

バングラデシュ人民共和国

バングラデシュ人民共和国
南部チョットグラム地域水資源開発に係る
情報収集・確認調査
ファイナル・レポート

2022年8月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社
株式会社地球システム科学
株式会社建設技研インターナショナル
独立行政法人 水資源機構

南ア
JR
22-049

Bangladesh 人民共和国

南部チョットグラム地域水資源開発に係る 情報収集・確認調査

ファイナル・レポート



令和4年8月

(2022年)

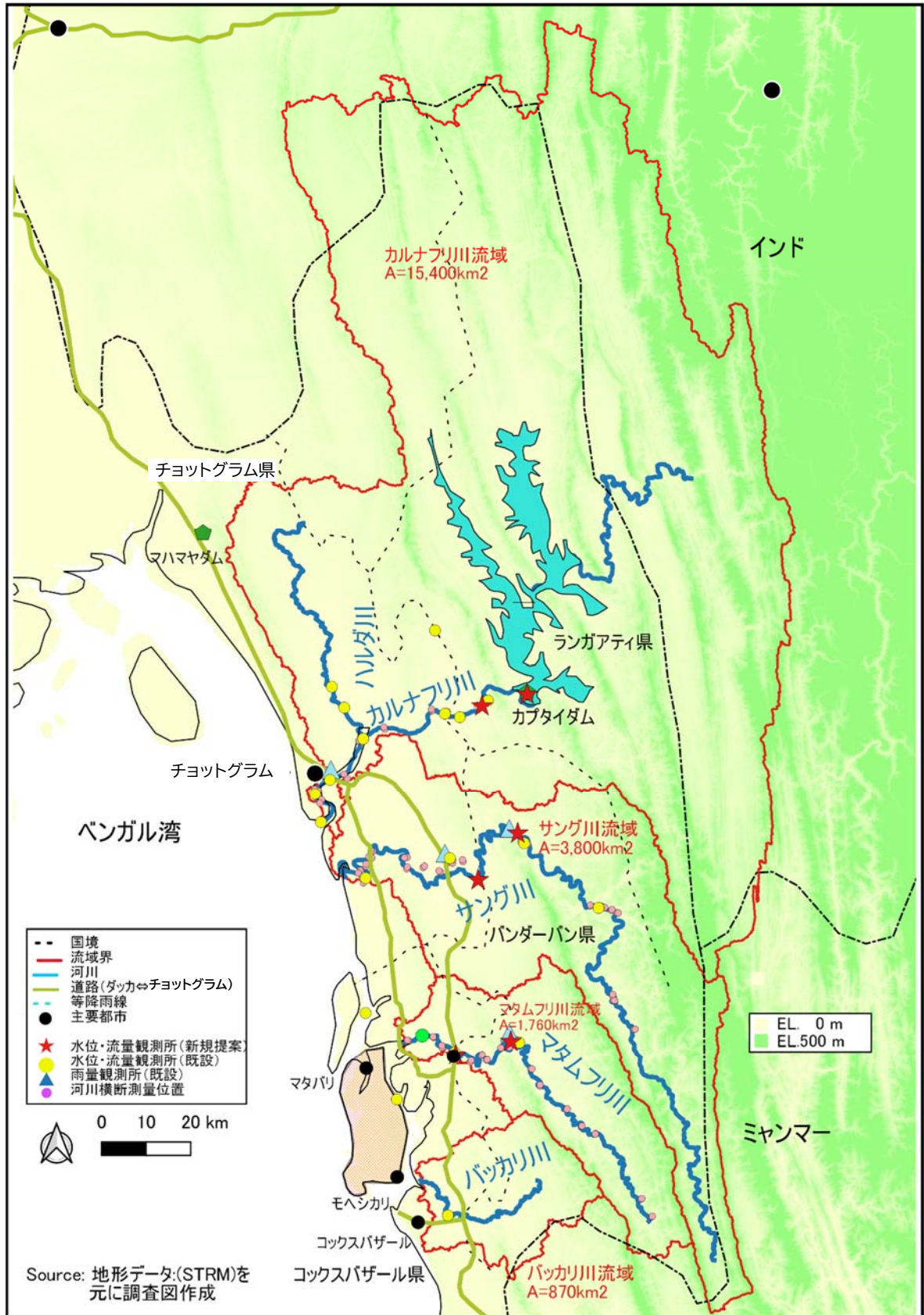
独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

日本工営株式会社
株式会社地球システム科学
株式会社建設技研インターナショナル
独立行政法人 水資源機構

外貨交換レート: USD 1.0 = BDT 84.5 = JPY 121.9

(2022年4月)

調査対象地域位置図



I 序論

1.1 本業務の目的を以下に示す。

- (1) 南部チョットグラム地域の現状の水資源賦存量および水利用形態の調査
- (2) モヘシュカリ・マタバリ地域総合開発計画を考慮した将来の水需要予測
- (3) 水源地候補および利水施設の概略（水資源開発方法）の検討
- (4) 協力準備調査・案件形成を念頭に置いた JICA の支援可能性の提案

1.2 調査対象地域は、バングラデシュ人民共和国（以下、「バングラデシュ」）チョットグラム管区南部チョットグラム地域（巻頭図参照）である。

1.3 このファイナル・レポートは、2019年12月中旬の本調査開始から2022年8月までにおける結論/提言を含む調査業務の成果などを報告・記載している。

II コンポーネント1：現地調査による水資源賦存量を含む調査対象地域における水資源の現状の分析

テクニカルワーキンググループ（TWG）の設立

- 2.1 調査体制の確立においては、日本側・バングラデシュ側関係者間の協議を通して、バングラデシュ関係機関から成る上位協議機関としての TWG（議長：水資源省次官）と、その下に実務レベルの協議機関として3つの Sub TWG（①表流水/水需要、②地下水、③環境）を設立した。
- 2.2 2020年1月19日に TWG 会議、2月4日に Sub TWG (表流水/水需要)会議を開催し、本調査の背景、基本方針、実施方法などを説明してバングラデシュ側から意見、要望などを聴取するとともに TWG 設立の経緯も説明した。

実査

表流水調査

- 3.1 調査対象地域ではカルナフリ川、ハルダ川、サング川およびマタムフリ川の本川において合計14箇所で水位観測が実施されており、半数の7箇所では1965年から50年以上に渡り水位観測が続けられている。
- 3.2 JICA 調査団（以下、調査団）は、既存水位観測の精度検証を目的として、上記4河川の各1箇所（計4箇所）に水位標及び水位センサー（圧力式）を2020年1月30日に設置し、同年2月1日から2021年1月まで観測を実施した。さらに、新設の水位観測地点において定期的に超音波ドップラー流速計（ADCP）を用いて流量観測を実施した。コロナ禍による2020年3月中旬～5月末の行動制限期間を除き、1

回/月以上流量観測を行った。これら水位・流量観測の結果を BWDB の観測値と比較することで BWDB が実施している観測精度を検証した。検証結果の内容は「4.1、4.2」に記載している。

- 3.3 2020年2月より2021年5月まで表流水の水質モニタリングを下記の通り実施した。バングラデシュでは、環境保全規則（1997）により飲料水水源としての環境水基準が下表に示すように定められている。一方、その他農業用水、工業用水、漁業に関する具体的な環境基準は定められていない。

項目（単位）	pH	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	Total Coliform number/100
飲料水水源としての環境水基準	6.5-8.5	2 or less	6 or above	50 未満

出典：バングラデシュ人民共和国 環境保全規則（1997）

(1) カプタイ湖

COD の値が全体に高く、非常に汚濁が進んでいる。一つの可能性として、常態的にダム湖周辺より生活排水等の汚濁物質が流入すること、また、雨季の表流水流入に際して上流域のし尿が流入した可能性が考えられる。COD 値が非常に高いこと、乾季に水銀、カドミウムが検出されていることから、上水の水源としての利用に際しては雨季に限定して検討する必要がある。工業用水としての利用に際して、pH、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等により、マンガン、鉄に関しては接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また、亜鉛が多くの月で基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により低減する必要がある。また、更なるモニタリングを実施し、利用時期、低減のための政策、必要となる処理及びそれらの経済性を考慮して判断することがより適切である。

(2) ハルダ川

大腸菌及び濁度の値が全体に高く、BOD の値も基準を超過する月が多い。一つの可能性として、採水地点の上流域からの生活排水等の汚濁物質が常態的に流入していること、雨季に、し尿・下水等により汚濁物質が流入している可能性が考えられる。塩水による影響はほとんどないと考えられる。

BOD、大腸菌の値が非常に高いこと、雨季に鉛が、乾季に水銀及びカドミウムが検出されていることから、上水利用の検討に際しては更なるモニタリングを実施し、汚染源の推定、水溶性／懸濁物質由来であるか、分析の正確性等を詳細に検討し、利用時期、低減のための政策、必要となる処理及びそれらの経済性を考慮し判断することがより適切である。工業用水としての利用に際して、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等により、亜鉛、鉄に関しては接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また、亜鉛が多くの月で基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により

低減する必要がある。

(3) サング川

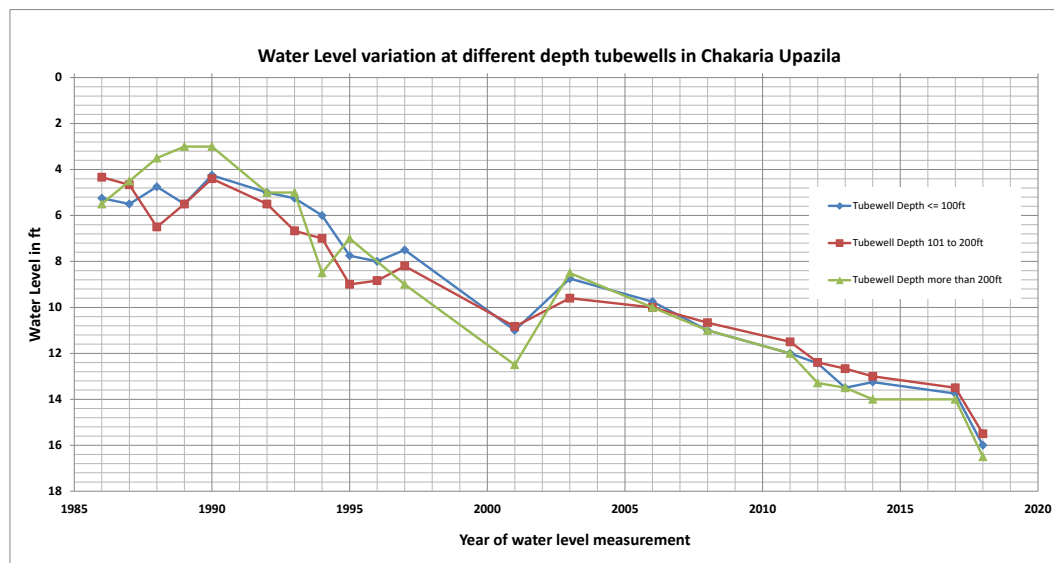
大腸菌及び濁度の値が非常に高く、BOD の値も基準を大きく超過する月が多い。一つの可能性として、採水地点の上流域からの生活排水等の汚濁物質が常態的に流入していること、雨季にし尿・下水等により汚濁物質が流入している可能性が考えられる。塩水による影響はほとんどないと考えられる。BOD、大腸菌の値が非常に高く、フッ素についても基準値を超えていることから、上水利用の検討に際しては、既存処理施設における処理技術の有効性、経済性を考慮し判断することが適切である。工業用水としての利用に際して、pH、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等、鉄に関しては接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また、亜鉛が多く、多くの月で基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により低減する必要がある。

(4) マタムフリ川

大腸菌及び濁度の値が高く、BOD の値も基準を大きく超過する月が多い。一つの可能性として、採水地点の上流域からの生活排水等の汚濁物質が、濁度が高くなる時期に流入していること、雨季に、し尿・下水等により汚濁物質が流入している可能性が考えられる。塩水による影響はほとんどないと考えられる。BOD、大腸菌の値が非常に高く、フッ素についても基準値を超え、乾季にカドミウムが検出されていることから、上水の水源としての利用に際しては雨季に限定して検討する必要がある。また、更なるモニタリングを実施し、汚染源の推定、水溶性／懸濁物質由来であるか、分析の正確性等を詳細に検討し、利用時期、低減のための政策、必要となる処理及びそれらの経済性を考慮し判断することがより適切である。工業用水としての利用に際して、pH、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等、鉄に関しては接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また、亜鉛が多く、多くの月で基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により低減する必要がある。

地下水調査

3.4 調査地域の地下水位経年変化を示す典型的な例として、DPHE の観測データを用いてチャカリア・ウパジラの 1986 年から 2018 年まで (32 年間) の地下水位変化を下図に、低下量を次表示す。図中の 3 本の地下水位変化曲線は、それぞれ深度 100 フィートまで、深度 101~200 フィート、200 フィート以上の井戸の平均地下水位を示している。



出典：DPHE のデータを基に調査団作成

井戸の深度	地下水位(m)		水位低下量(m)	平均水位低下量(m/年)
	1986	2018		
100 フィート以浅 (約 30m 以浅)	1.6	4.9	3.3	0.10
101 フィート～200 フィート (約 30m から 61m)	1.3	4.7	3.4	0.10
200 フィート以深 (約 61m 以深)	1.7	5.0	3.3	0.10

出典：DPHE の観測データを基に JICA 調査団作成

- 3.5 3つの井戸群とも、1986年以降に地下水位は低下傾向にある。水位低下量は32年間で3.3～3.4m（平均水位低下量：0.10 m/年）でほぼ同じ挙動を示している。このため、3つの井戸群の井戸はそれぞれ深度が異なる帯水層から揚水していても、それぞれの帯水層に何らかのつながりがある可能性を示唆している。
- 3.6 本調査では、インベントリー調査を行った既存井戸から選定した104本の井戸について、pH、電気伝導度（EC）、濁度、色度、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、鉄、マンガン、ヒ素、水温、亜硝酸性窒素、大腸菌群数、大腸菌の13項目について現地水質測定を行った。測定の対象となった井戸数は、チャカリアで38本、モヘシユカリで19本、コックスバザールで27本、ラムで20本である。
- 3.7 調査地域で物理探査を行った結果、深度300m以深に、これまで開発されている帯水層とは別の新たな帯水層が存在することは期待できないことが判明した。

カプタイダム現況調査

- 3.8 貯水池は標高76フィートから109フィート（放流開始水位）までの間で運用している。建設後の運用開始（1962年）以来、貯水池運用は大きく変更されていない。下流の塩水遡上防止、チョットグラム水道用水供給を兼ねて毎年2月1日からNo.1～No.5発電ユニットを順次使用して乾季放流する。これは口頭による関係者間の

了解事項であるが、あくまで発電放流であり下流のための利水放流では無い。現在、貯水池堆砂により湖内では船舶の移動に支障をきたしている。2022年5月の時点で、BIWTAの調査が完了し浚渫事業計画が策定されている。

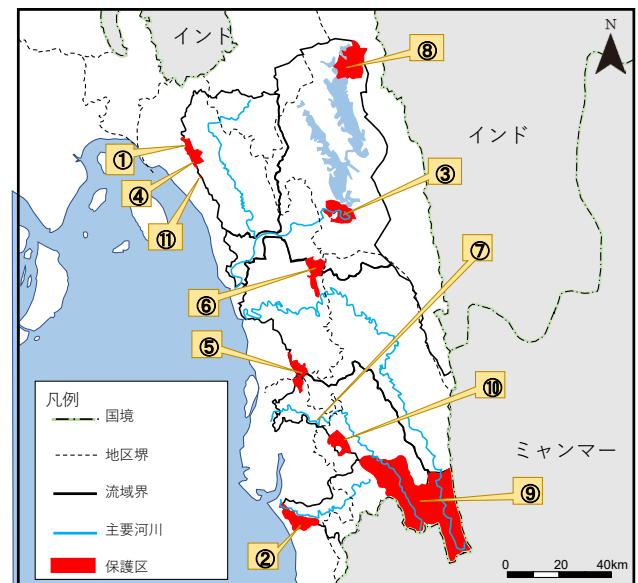
- 3.9 収集した1988～1997年の発電実績および余水吐からの溢水量記録によると、余水吐からの溢水量は年平均1,542百万m³である。また、2012～2018年の発電放流量及び余水吐からの溢水量記録によると、この間の溢水流量は年平均939百万m³である。ダム運用を改善しこの無効放流量を減少させることで、本計画も含めた新たな水資源として開発できる可能性がある。例えば、この無効放流量の7割を乾期6ヵ月に一定配分するのであれば、約41～68m³/sの流量（カプタイダム年平均流量509m³/sに対し約8～14%）を下流に補給できる計算となる。

概略環境調査

- 3.10 調査対象地域には、3国立公園、6野生生物保護区、1大規模な保安林及び1エコパークが存在している。

No.	名称	区分
1	バロイヤハラ	国立公園
2	ヒムチャリ	国立公園
3	カプタイ	国立公園
4	ハジャリル	野生生物保護区
5	チュナティ	野生生物保護区
6	ドゥプクリアードパチャリ	野生生物保護区
7	ファシアハリ	野生生物保護区
8	パブラカリ	野生生物保護区
9	マタムフリ	保安林
10	サング	野生生物保護区
11	シタクンドゥ	エコパーク

出典:バングラデシュ森林局資料



注: 図中の番号は、左表に対応する。

出典:バングラデシュ森林局資料

- 3.11 文献調査では、調査対象地域における確認された貴重種は哺乳類に多く、絶滅寸前(CR)種である、アジアゾウ、ツキノワグマ、フーロックテナガザル、ファイヤールトン、ユーラシアカワウソ、ビロードカワウソ、サンバー、絶滅危機(EN)種であるインドノウサギ、スナドリネコが確認されている。
- 3.12 バングラデシュ政府が実施した2011年国勢調査では、同国の先住民族・少数民族の人口は約1.6百万人であり、当時の同国総人口の1.8%に相当する。これら先住民の約8割は国の北部と南東部の平地に住んでおり、その他では調査対象地域のチョットグラム丘陵地帯が主な居住地域となっている。
- 3.13 ため池の計画地はコックスバザール県土地管理事務所での聞き取りによると、コックスバザール県所有の土地であり、民有地の用地取得は想定されない。ため池建設予定地の北側には集落が存在しており、概略の現地踏査から約200世帯程度

が居住していると考えられるが、計画地内に集落は存在しないことから、住民移転は想定されない。ため池の計画地は、コックスバザール県から土地を10年単位でリース契約を行っている塩田及びエビ養殖池として利用されている。リース契約者数は明らかではないが、コックスバザール県土地管理事務所及び聞き取り調査を行った土地利用者(30世帯)の情報を踏まえると、ため池計画地全体で約100世帯程度のリース契約者がいると推定される。これらのリース契約者の年間収益は今後、詳細調査が必要だが、今回調査の聞き取り調査によると、約300,000BDT/年である。ため池建設後はこれらで生計を得ている住民の生計に影響を与えることから、生計回復支援策について検討する必要がある。

III コンポーネント2：調査結果分析による水資源の解析および水需要予測

データ解析・モデル構築

水文観測データの照査・分析

4.1 BWDBにより3観測所(パンチプクリア(Panchpukuria)、バンドルバン(Bandarban)、ラーマ(Lama))において観測された過去の流量データ(1966年～2019年)を収集してデータの信頼性を検証し、各観測所において以下の問題点が確認された。

(1) ラーマ観測所(マタムフリ川)

1995年～2015年の期間で大きな流況の変化が確認された。降雨量からはこのような変化が確認されないことから、水位観測や水位から流量への変換過程等に何らかのエラーが発生していることが想定される。また、流出率は1966年～2011年の期間が非常に大きな値となっていることから、この期間も時系列流量データ作成過程において何らかのエラーが発生していると推察される。

(2) バンドルバン観測所(サング川)

流況及び流出率において、1995年だけは過少な流量であることが確認された。当該年で適用しているデータベースにおける時系列流量データの作成過程に何らかのエラーが発生していると推察される。

(3) パンチプクリア観測所(ハルダ川)

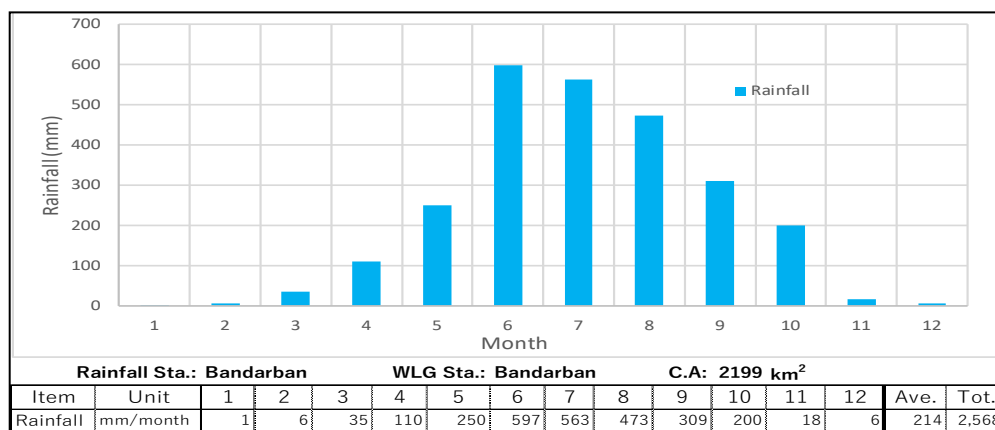
1974年～1999年の期間で非常に大きな流出率となっていることが確認された。その他3期間(1971-72、2002-03、2005-06)はデータ欠測となっている。また、2007年以降は河床材料採集に起因した河川水位の継続的な低下が確認されるとともに2012年以降は観測所の上流に設置されたラバー堰からの取水が開始されている。これら人為的な影響により2007年以降の時系列流量データの信頼性は低いと想定される。

4.2 殆どの期間で時系列流量データの信頼性が確保されているバンドルバン観測所データは、1995年のみを更新した。一方、多くの期間で信頼性が低いラーマ観測所及びパンチプクリア観測所の時系列流量データは、信頼性の高いバンドルバン観測所

ータを相関式で変換して更新を行った。更新対象期間は、ラーマ観測所で 1966–2015 年、パンチプクリア観測所で 1971–2019 年である。

降雨解析

4.3 バングラデシュは、高温多湿の熱帯モンスーン型気候に属し、インド洋で発生するサイクロンの進路にあたり、短期間に集中的な降雨が発生する。本調査の対象地域であるチッタゴン丘陵地域は特にサイクロンの常襲地域であることが確認された。当該丘陵地帯は約 2,500 mm の年間平均降水量で同国では北部丘陵地帯に次いで 2 番目に多い降水地帯である。バングラデシュの気候は、雨季（4 月-10 月）と乾季（11 月 - 3 月）に分けられる。雨季の期間でも特に 5 月から 10 月はモンスーンの影響で降水量が多く年間降水量の約 9 割を占める。チッタゴン丘陵地域の中央に位置するバンドルバン雨量観測所の月別降水量を下図に示す（5-10 月降水量 2,392mm、 $2,392/2,568=93\%$ ）。



出典：バンドルバン雨量観測所（BWDB）の観測データ（2010–2019 年）を基に JICA 調査団作成

4.4 3 河川流域（カルナフリ川、サング川及びマタムフリ川流域）における 54 ヶ年間の流域平均雨量については、各流域とも年間雨量及び雨季は増加傾向、乾季は減少傾向であることが確認された。

河川維持流量の暫定設定

4.5 バングラデシュでは、「維持流量」ではなく「環境流量」という言葉の方が一般的に使われている。文献レビューの結果、同国では「環境流量」の概念は比較的新しく、河川の環境流量評価に対する法的要件はない。ただし、水資源に関連する開発や河川に関連する事業では、関連要件として環境影響評価（EIA）が必須であり、EIA 自体に河川流量の分析と流量減少の評価が含まれている。本調査では、対象 3 河川において河川維持流量が以下のように暫定設定された。

Discharge Data (Observation)

River		Karnafuli (Halda)	Sangu	Matamuhuri
Station		Panchpukuria	Bandarban	Lama
Period		1966/1/1-2019/12/31	1966/1/1-2019/12/31	1966/1/1-2019/12/31
Catchment Area (km ²)	Total	1,758	3,663	2,511
	at WL gauge	856	2,199	1,201
Discharge (m ³ /s) @ WL Station	Mean Annual Flow (MAF)	27.36	92.26	49.05
	95% discharge:	1.23	4.13	2.14
	85% discharge:	1.89	6.45	3.51
	50% discharge:	7.16	23.43	13.25

Maintenance Flow (preliminary estimation)

River		Karnafuli (Halda)	Sangu	Matamuhuri
Station		Panchpukuria	Bandarban	Lama
(1) Method in Japan	0.73m ³ /s/100km ²	12.8	26.7	18.3
(2) Methods in Bangladesh	Tenanto method (10% of MAF)	2.7	9.2	4.9
	FDC method (90% discharge in dry season)	0.9-3.8	3.0-13.1	1.6-7.0
	FDC method (90% discharge in wet season)	18.8-49.5	62.0-167.4	32.3-90.0
(3)-1 Method in Indonesia	95% discharge	1.2	4.1	2.1
(3)-2 Method in Philippines	90% of the 85% discharge	1.7	5.8	3.2

出典：JICA 調査団

- 4.6 カルナフリ川では、2007年に上水取水地点で塩分濃度が非常に高まり BWDB が調査を行った。その結果、河口から 40 km 強の区間では塩水化の影響を受けると推測されている。この調査結果に基づき、カルナフリ川ではカプタイダムの運用に関連し、最低でも発電 2 基は必ず運用して下流への放流を実施することが BWDB とダム管理者間で覚書が交わされ、既に維持放流を考慮したダム放流量運用が実施されている。

地下水ポテンシャル

- 4.7 調査地域の地下水ポテンシャルについて、地下水位の変動状況およびマクロ水収支の面から検討を行った。調査地域における地下水位の変動を把握するために調査対象地域の 4 ウパジラ（チャカリヤ、モヘシュカリ、コックスバザール、ラム）毎に浅井戸および深井戸の地下水位変動を検討した。用いたデータは DPHE の 1986 年から 2018 年までの地下水位モニタリングデータである。

(1) 地下水位の変動状況

対象地域の 4 ウパジラにおける地下水位のモニタリング結果は、地下水位変化の挙動に差異はあるものの、地下水位の低下が 2000 年頃を境にして早まる傾向が共通している。このことは、2000 年頃に地下水の揚水量を増大させるような何らかのイ

ベントがあったことを示唆している。しかし、現時点ではこれについて明確なデータや情報は得られていない。

調査地域では、ラムを除き浅井戸と深井戸で地下水位の変動が同様の挙動を示していることから、それぞれは難帯水層で区分されていても所々で互いに繋がっている可能性があることを示している。

(2) 地下水の水収支の検討

調査地域全体では、生活・都市用水等として約 $69.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、灌漑用水として約 $87.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、合計約 $156.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ の地下水が揚水されているようである(参照: 下表)。

	浅井戸 (m ³)	深井戸 (m ³)	計 (m ³)
村落部での生活用水	30,650,085	37,471,588	68,121,673
都市給水 (コックスバザール)	-	876,000	876,000
マタバリ・プロジェクトサイト	-	226,665	226,665
灌漑用水	87,498,872		87,498,872
合計	-	-	156,723,210

出典: JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

一方、表流水からは約 $1,323.38 \times 10^6 \text{ m}^3$ が地下浸透し地下水を涵養しているものと推定されている。さらに、上記の調査結果から、地下水の揚水量が $156.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ であるのに対し、表流水からの地下浸透量は $1,323.4 \times 10^6 \text{ m}^3$ であるため、浸透量が $1,166.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ だけ上廻っている。このことは、地下水の揚水量が地下水涵養量の約 12% に相当し、 $1,166.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ は調査地域外へ流出していることを示唆している。

(3) 考察

調査地域の地下水は、地下水位の分布状況から、大きく見て北から南へおよび東から西へ向かって流動していると考えられる。この流動による上流側から調査地域内への流入量および地下水涵養量を合わせた量よりも、地下水揚水量および調査地域外への流出量を合わせた量が上回る状況下にあることが明らかとなった。地下水揚水のための井戸掘削は継続して行われていること、人口も増加していることなどから、地下水揚水量はさらに増加していると想定される。既存井戸の深度は 300m 以下であるため、深度 300m までの帯水層の地下水位は低下傾向にあり、地下水の過剰揚水状態であると考えられる。

水需要予測

生活用水・工業用水

5.1 南部チョットグラム地域では、マタバリ島、モヘシュカリ島、ソナディア島、チャカリア市を中心に、経済特区開発やエネルギー開発、港湾開発等が実施されている。特にモヘシュカリ・マタバリ地区では、短期的な開発として日本の支援で「マタバリ超々臨界圧石炭火力発電事業」が実施されており、石炭火力発電開発に伴い様々

なインフラ開発が実施されている。中長期的には、モヘシュカリ経済特区開発（以下、モヘシュカリ EZ）が計画されており、モヘシュカリ・マタバリ地区の南側へ開発エリアが拡大していく。一方、同エリアの東側及び南側には自然保護区に指定されている地域があることから開発地域は制限されている。

- 5.2 モヘシュカリ・マタバリ地区における短期・中長期的工業用水需要量は以下のよう
に算出される。

需要地	面積 (ha)	水需要 (m ³ /日)	
		短期 (2026 年)	長期 (2041 年)
マタバリ港	—	600	600
一般 EZ	450	7,400	38,300
臨界 EZ	700	49,400	140,200
モヘシュカリ EZ	1,604	0	180,504
合計	—	57,400	359,600

出典：JICA 調査団

モヘシュカリ・マタバリ地区及びその周辺地域の工業用水需要として、ウパヅラ毎の工業用水需要を以下に示す。

ウパヅラ	水需要 (m ³ /日)	
	短期 (2026 年)	長期 (2041 年)
モヘシュカリ	50,000	321,304
チャカリア	7,400	38,300
合計	57,400	359,600

出典：JICA 調査団

- 5.3 モヘシュカリ・マタバリ地区及びその周辺地域の生活用水需要として、コックスバザール県のコックスバザール市およびモヘシュカリ、ペクア、チャカリア、クトゥブディアの 4 ウパヅラにおける生活用水需要を以下に示す。

ウパヅラ	2011	2026	2036	2041
コックスバザール	40,392	60,891	81,097	91,619
モヘシュカリ	28,248	42,584	56,715	64,073
ペクア	15,136	22,817	30,389	34,332
チャカリア	41,712	62,881	83,747	94,613
クトゥブディア	11,000	16,582	22,085	24,951
合計	136,488	205,755	274,032	309,589

単位：m³/日

出典：JICA 調査団

農業用水の水需要

- 5.4 農業用水の水源比率はバングラデシュ全体で、地下水：表流水＝3：1 程度である。

しかし、対象4県に限れば、その比率は地下水：表流水=1：1.3程度であり、地下水への依存度は表流水への依存度より国全体と比べて低い。これは、対象地域の殆どは山岳地帯に位置し、地下に比較的岩層が多く、井戸掘りに適していないためとのことである。バングラデシュの農業政策としては、地下水汲み上げ過剰による地盤沈下も起きてきていることから、今後は地下水による灌漑水の供給は低減していくとのことである。

- 5.5 農業用水の対象4流域（Karunafuli、Sangu、Matamhuri および Bakkhali）の河川からの水需要予測をするにあたり、河川からの現況灌漑用水量を算出し、それをもとに各河川からの水需要を予測した。入手可能な灌漑面積情報より使われている作付け体系を考慮し、ペンマン法により対象河川の流域毎、ウパジラ毎に表流水による現況灌漑用水量を算出した。算出に当たっては、1966年～2019年の54年間の各年について、その年における気象データ及び推定灌漑面積による現況灌漑水量を算出した。農業用水の水需要を予測するにあたり、2026年および2041年の予想灌漑面積の算出には、過去のデータ（2006年～2019年）に基づく灌漑面積の伸び率0.96%/年を踏襲して使用した。また、地下水灌漑量の減少傾向を予測にあたり考慮した。

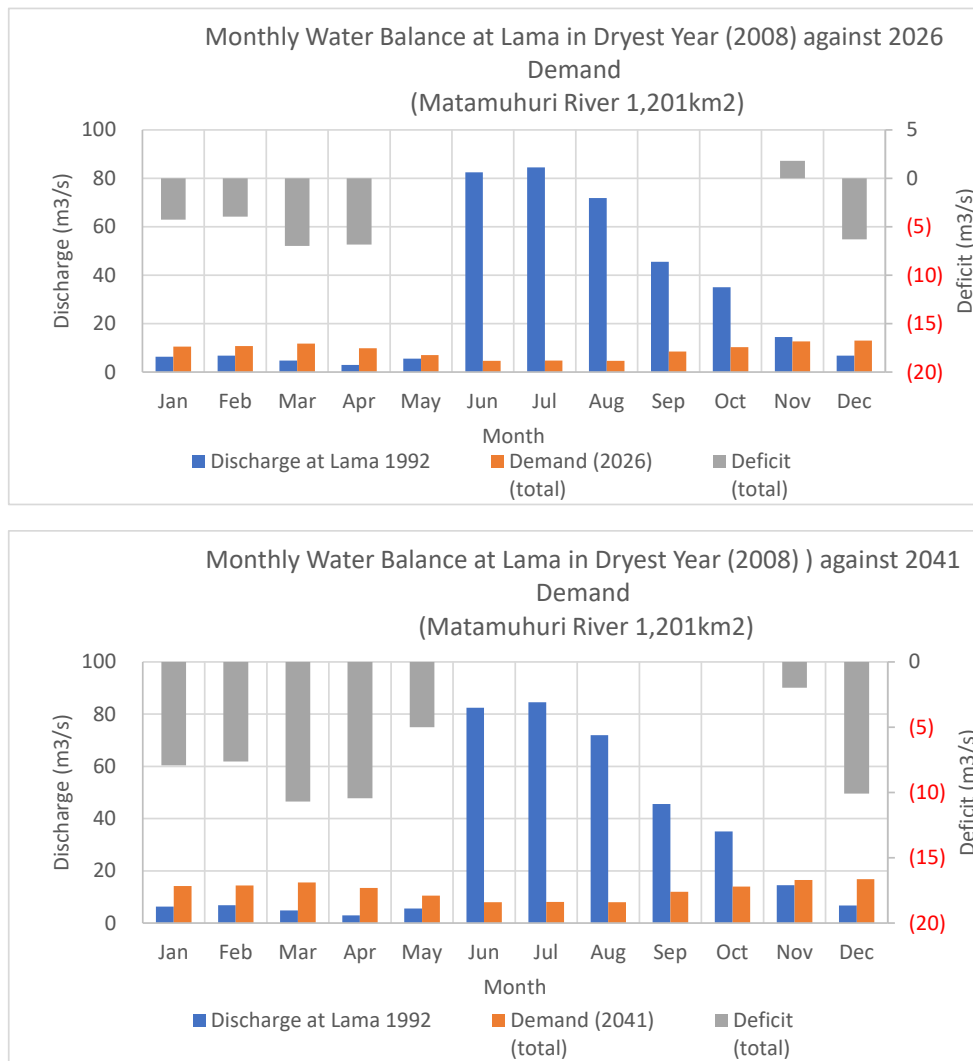
IV コンポーネント3：コンポーネント1および2で得られた結果に基づく水資源開発ポテンシャルの評価ならびに先方政府への実施体制提案

水資源開発ポテンシャル評価（案）

- 6.1 コンポーネント1および2で得られた以下に示す表流水、地下水の現在の水資源賦存量の評価結果を踏まえて水資源開発計画策定の基本方針を設定し、この方針に基づく水資源開発計画に係る代替案の立案、概略検討などを通じて短期、長期の水資源開発ポテンシャルを評価した。

表流水賦存量（現況）の評価

- 6.2 計画目標年次2026年および2041年における表流水賦存量と水需要量の月別収支（不足量）を下図に示す。最乾季3月に次の不足量が生じている。
- （不足流量）短期；-7.0 m³/s、 中長期；-10.7 m³/s



出典：JICA 調査団

6.3 対象流域では雨季と乾季の河川流量の変動が大きく、特に乾季は流量が少ないことから新規開発用水（生活用水、工業用水）、河川維持流量、灌漑用水を自然河川流量で賄うことは困難である。このため雨季の豊富な河川流量を貯留可能な設備へ一旦貯留し、年間を通しその貯留設備から需要地へ安定供給可能な設備が必要であると評価される。

地下水開発ポテンシャル評価

6.4 地下水の水位は、浅井戸、深井戸とも緩やかな低下傾向にある。平均地下水位降下量は次の通りである。

ウパジラ	平均地下水位降下量 (m/年)	
	浅井戸	深井戸
チャカリア	0.10	0.10
モヘシュカリ	0.02	0.03
コックスバザール	0.12	0.15
ラム	0.13	0.10

出典：JICA 調査団

上記の地下水位降下や本調査で得られた他の成果からから下記が考察される。

- (1) 地下水への涵養量は揚水量を大きく上回るにも拘わらず、地下水位は低下傾向にある。このことは、地下水揚水量と帯水層から調査地域外への流出を合わせた量が、地下水涵養量と帯水層の上流側からの流入量を合わせた量よりも多いことを窺わせる。
- (2) 現状の地下水利用状況が続けば、調査地域の地下水は緩やかではあるが低下し続けることになる。地下水位が低下し海水面以下になれば海に面した地域で塩水浸入の可能性が出てくる。その他、地下水位の低下で井戸に設置したポンプからの揚水が不可能になる事態も想定される。
- (3) 地下水揚水量を上回っている涵養量がありながら地下水位が低下しているため、全体として見ると、地下水揚水量は調査地域での地下水開発ポテンシャルを上回っているものと考えられる。したがって、現状のまま新規の大規模な地下水開発を行うことは不可能である。
- (4) 調査地域で地下水を開発するためには、帯水層から調査地域外へ流出している地下水の流動を止めるか流動を遅らせるような方策が必要である。その代表的なものは地下ダムであるが、調査地域には地下ダムの建設に適した地形・地質条件は見られない。
- (5) 調査地域では DPHE によりハンドポンプ設置用の井戸の建設が行われており、今後も継続されるものと推察される。しかし、1 年間に建設される井戸数は限られているため、短期的に見た場合、井戸建設が地下水位の降下を大きく促進するとは考えられない。
- (6) 調査地域では、生活・工業用水を上廻る地下水が灌漑用水として利用されている。長期的に見た場合、灌漑用の水源を表流水に転換することが可能であれば、その分は生活用水・工業用水としての利用が可能となる。

開発計画策定の方針

6.5 開発に伴う将来の水需要予測に合わせた段階的な水資源開発の基本方針は次のとおりとした。

- (1) 統合水資源管理による流域単位での管理を指向する方針とし、総合開発計画に伴って発生する水需要はモヘシュカリ・マタバリ地区の位置するマタムフリ川流域での対処を第一に考える。
- (2) その後、サング川、カルナフリ川流域からの導水開発案を視野に入れた段階的な水資源開発方法を検討する。それに基づき、水資源開発ロードマップを策定する。
- (3) 地下水は表流水に比べて未知・不明の事項が多く、また現状で新規大規模地下水開発は期待できないとの評価もあり、表流水の開発を優先する。

- (4) 対象地域の表流水の賦存量は季節間変動が大きく、一方、モヘシュカリ・マタバリ総合開発地域の水需要は生活・工業用水が主で、年中の変動は小さい。従って給水のためには年内で調整する施設が必要となる。

マタムフリ川流域水資源開発計画代替案検討

- 6.6 マタムフリ川は雨季と乾季の流量変動が大きい。特に、乾季は流量が少なく新規開発用水（生活用水、工業用水）、河川維持流量、灌漑用水を自然河川流量で確保することは困難である。このため雨季の豊富な河川流量を貯留可能な設備へ一旦貯留し、年間を通しその貯留設備から需要地へ安定供給可能な設備が必要である。新規需要を賄うためマタムフリ川流域に必要な貯留設備の規模を下表に示す

開発目標年	必要貯水池容量 (百万m ³)	維持流量 (m ³ /s)	生活用水 (m ³ /s)	工業用水 (m ³ /s)	農業用水 (m ³ /s)	合計需要量 (m ³ /s)
短期 2026	70	3.30	0.39	0.97	4.40	9.06
長期 2041 短期へ追加量	71	—	0.63	2.67	0.26	3.56
2041(合計)	141	3.30	1.02	3.64	4.66	12.62

出典：JICA 調査団

- 6.7 必要貯水池容量の規模およびマタムフリ川流域における計画施設候補地適否の観点から短期および長期需要を賄える可能性の高い施設代替案を次に示す。なお、長期需要案については、流域間導水案を検討に含めた。

短期案

- S 1：取水口＋ため池案
S 2：取水口＋ため池＋地下水案
S 3：取水口＋ため池＋海水淡水化案（小規模）

長期案

- M1：短期案＋ため池拡張案
M2：短期案＋ダム案
M3：流域間導水案（カプタイダム送水パイプライン案他）

- 6.8 地形図、地質図、土地利用図、空中写真を参照し、マタムフリ川流域においてインセプションレポート（2019年12月）時に想定された短期水資源開発オプションを基に図上調査を行った。

(1) 検討条件

マタムフリ川流域で考えられる取水堰・ため池の配置を以下の条件を考慮し、図上検討を行った。

- 流域では既存の小規模ため池が点在し、地域住民の生活用水として利用されている。

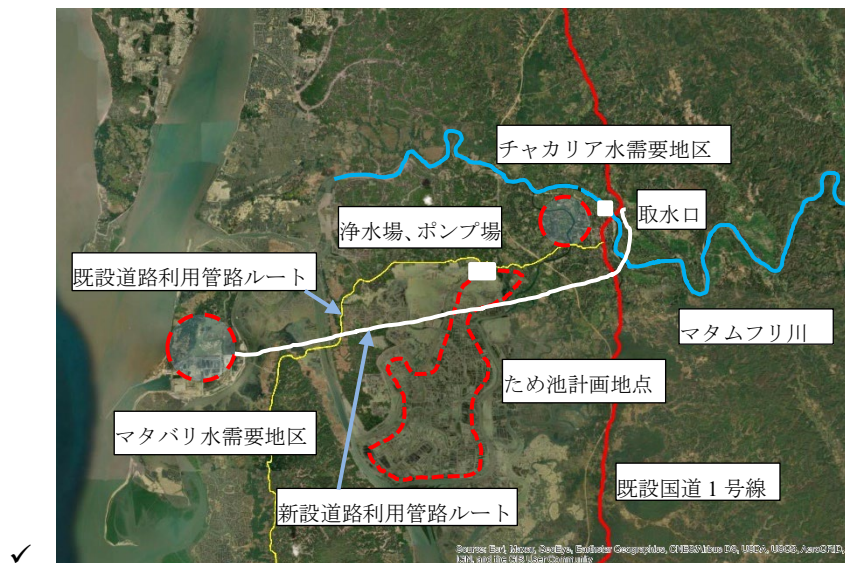
- マタムフリ川流域で考えられる取水堰とため池は、需要地（チャカリア、マタバリ）の位置を考慮し、取水堰は国道1号線のマタムフリ川橋付近、ため池は取水堰とマタバリの中間地点付近を想定する。
- ため池建設地点は、マタムフリ川下流の汽水域に位置し、養魚池、塩田が広がっている。また、チャカリアーマタバリ間の既存道路や新規道路、新規鉄道、並びに開発計画があり、これらの配置にも配慮する。

(2) ため池案施設概略検討

マタムフリ川流域河口上流部に広がる氾濫原に「ため池」を建設し、乾季に不足が想定される水需要量を需要地へ送水する案である。「ため池」に河川水を貯留する。一方、需要が賄えるため池築造には広大な用地が必要である。現在、この地点の大半が塩田、養魚場に利用されている。このため、広大な用地取得に伴う補償等、実施に向けた各種施策が今後必要である。

(3) 導水施設配置計画

施設はマタムフリ川ポンプ式取水口→導水路→ため池→浄水場→送水ポンプ場→配水設備の構成である（参照：下図）。なお、水路ルートについては、既設道路利用案に加えて新設道路利用案も代替案として検討する。



出典：JICA 調査団

(注) 長期水資源開発オプションの図上調査については「8.2」に後述している。

短期水資源開発計画の代替案策定

6.9 短期代替案はこれまでの図上検討結果および現地踏査結果から、洪水流を Plakata 近傍のため池に一時貯留後、浄水場を経て需要地に用水を供給する案とする。

(1) ため池計画規模

現地踏査により、ため池建設候補地は需要地の近傍で広範な平坦地を有するマタム

フリ川河口部氾濫原とした。各補給対象水需要の組合せについて現状の地下水利用を表流水に転化した場合、基本水理量は以表のとおりである。

補給対象	生活用水、工業用水	生活用水、工業用水、河川維持流量	生活用水、工業用水、農業用水、河川維持流量
補給水量(m ³ /s)	生活用水 1.04、工業用水 0.66、農業用水 3.09、河川維持流量 7.07 (ため池地点)		
ため池容量(百万 m ³)	16	36	95
河川取水量(m ³ /s)	4.7		10.0
浄水場処理量	1.7m ³ /s=150,000m ³ /day		
マタバリ需要地送水量	1.32m ³ /s		
チャカリア需要地送水量	0.38m ³ /s		
河川維持流量	0	7.89m ³ /s	11.97m ³ /s

出典：JICA 調査団

(2) 導水施設配置計画

施設はマタムフリ川ポンプ式取水口→導水路→ため池→浄水場→送水ポンプ場→配水設備の順の構成である。

(a) 取水地点

マタムフリ川下流の塩水遡上区域を避けた位置とした。現地踏査の結果も踏まえて、取水地点は堰建設のない護岸方式により河道を固定する取水方式を提案している。

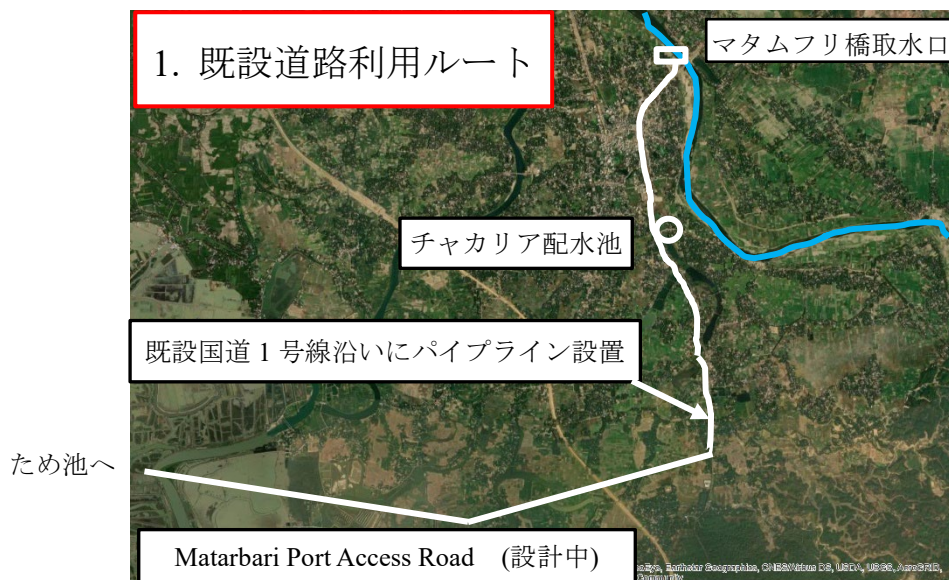
取水地点は、既設道路を開削し管路ルートとする場合、または新設道路を管路ルートに利用する場合によって位置が異なる。前者はマタムフリ川橋下流であり、後者はマタムフリ川橋上流約 3.6km 地点の新設 Chattogram-Cox's Bazar Highway 道路(計画中) 上流である。これら取水地点については河道特性を考慮し、今後取水位置、護岸工の範囲、種類について詳細検討が重要になる。

(b) 導水路、送水路ルート

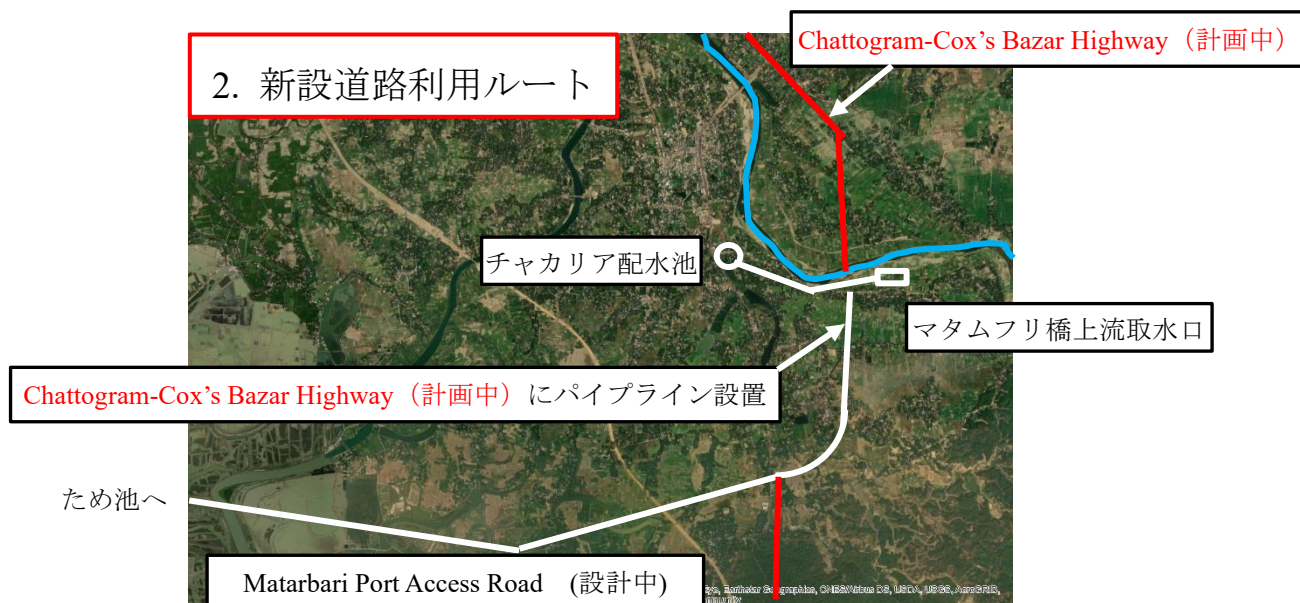
圧力管路は、維持管理、用地取得、管固定方法の観点から道路下の埋設が一般的であり、計画地点近傍の既設国道 1 号線+R-172 線の利用、もしくは新設 Chattogram-Cox's Bazar Highway(計画中)+Matarbari Port Access Road(設計中)の利用が想定される。なお、新設道路沿いを管路として利用の場合、取水口位置を新設道路近傍に設けることによる管路長短縮化が可能である。取水地点概略位置、および各取水地点における管路延長を次表・図に示す。

管路ルート	既設道路利用案 (マタムフリ橋取水口)	新設道路利用案 (マタムフリ橋上流取水口)
取水口 - ため池	13.0km	10.9km
ため池 - マタバリ港	23.8km	19.7km
ため池 - チャカリア	10.9km	10.5km

出典：JICA 調査団



出典 JICA 調査団



出典 JICA 調査団

6.10 短期代替案について下の比較表を踏まえて次のように考察される。

- (1) 短期代替案は、補給対象を「生活用水、工業用水」を最優先開発計画とする場合が最も経済的である。
- (2) その中で、導水路、送水路ルートは新設道路の利用案が既設道路利用案より経済的である。

- (3) 新設道路沿いを管路敷設に利用する場合、市街地から離れた工事箇所であり資機材運搬、周辺交通および住民への影響を軽減できると想定される。

<短期代替案比較諸元 (ため池案)>

施設	補給対象	生活用水、工業用水	生活用水、工業用水、河川維持流量	生活用水、工業用水、農業用水、河川維持流量
ため池		傾斜遮水ゾーン型、高さ 8.2m、天端 EL.10.2、堤敷き幅 42.5m、		
ため池容量(MCM)		16	36	95
湛水面積(km ²)		3.2 (320 ha)	7.2 (720 ha)	19.0 (1,900 ha)
ため池延長(km)		8.7	12.6	26.6
洪水吐き(長さ x 幅)		33m x 130m	33m x 570m	33m x 790m
放流設備		2.0 H x 3.0 W x ゲート 1 門		
Palakata 浄水場設備容量 (急速ろ過、天日乾燥方式)		1.70m ³ /s=150,000m ³ /day		
河川取水設備		取水量 4.7 (406,000m ³ /day) 立軸斜流ポンプ径 1.8m		取水量 10.0 (864,000 m ³ /day) 立軸斜流ポンプ径 1.8m x 2
送水ポンプ場 (Chakaria, 0.38m ³ /s)		ポンプ径 0.5m		
送水ポンプ場 (Matarbari, 1.32m ³ /s)		ポンプ径 1.0m		
導水管(取水口～ため池)、送水管(ため池～Matarbari, Chakaria)		導水管径 1.8m x 1 条 マタバリ送水管径 1.0m, チャカリア送水管径 0.5m		導水管径 1.8m x 2 条 マタバリ送水管径 1.0m, チャカリア送水管径 0.5m

<短期代替案概算建設費用比較>

施設	補給対象	生活用水、工業用水	生活用水、工業用水、河川維持流量	生活用水、工業用水、農業用水、河川維持流量
ため池		160 億円	230 億円	500 億円
浄水場		140 億円		
取水口ポンプ設備		46 億円		46 億円 x 2 台=92 億円
取水口導水路、護岸工		7 億円		16 億円
送水ポンプ場 (Chakaria, 0.38m ³ /s)		6 億円		
送水ポンプ場 (Matarbari, 1.32m ³ /s)		19 億円		
管路	取水口 Matamuhuri River 橋の場合	909 億円		1,632 億円
	取水口 Matamuhuri River 橋上流の場合	620 億円		1,155 億円
概算建設費用	取水口 Matamuhuri River 橋の場合	1,287 億円	1,357 億円	2,505 億円
	取水口 Matamuhuri River 橋上流の場合	998 億円	1,068 億円	2,028 億円

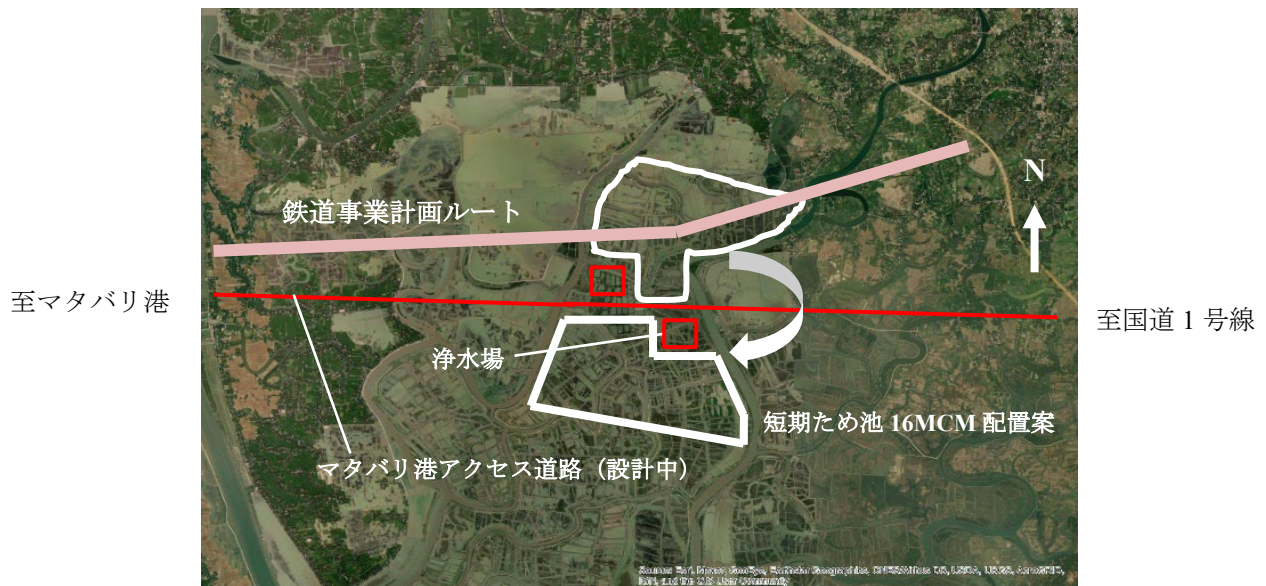
出典：JICA 調査団

(注) 建設費用は経済性比較を目的として「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き、2011 年 12 月、厚生労働省健康局水道課」および「令和 2 年度版 (2020 年) 土木工事積算基準マニュアル」により見積られた参考概算額 (除く：用地、補償費) であり、工事費用額ではない。

出典：JICA 調査団

6.11 2022 年 3 月に実施したモヘシュカリ・マタバリ地区総合開発事業に関するヒアリングの結果、アクセス鉄道事業計画のアライメントと提案しているため池の位置が重複している可能性があることが確認された。本件については、提案のため池位置

を南方に移動するなどの対応が必要となる。コンセプト図を下に示す。



出典：JICA 調査団

水収支検討

6.12 短期対策案で有力候補として想定されるパラカタのため池案 (Palakata Regulation Pond) について、水収支モデルを構築し短期対策における関連施設規模を検討した。水収支計算モデルの基本ルールを以下に示す。

- (1) 水需要の補給優先順位は、一般的に以下のとおりであるが、補給対象を組み合わせた複数のケーススタディーを実施する。
維持流量⇒生活用水⇒工業用水⇒農業用水
- (2) 貯留施設より下流の水需要をその施設の補給対象とする。
- (3) 既得水利権を侵さないように河川余剰水の範囲内で貯留施設の水位回復を行う。
- (4) 貯留施設の運用は単年回復を基本とする。

6.13 短期対策のパラカタため池による水補給対象として、維持流量、生活用水、工業用水、農業用水の組み合わせを以下の6ケース設定して、各ケースにおけるパラカタため池の必要容量を算定した。

- Case 1 : Maintenance Flow
- Case 2-1 : Maintenance Flow + Domestic Water
- Case 2-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water
- Case 3-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water
- Case 3-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water
- Case 4 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water

(注) *: ため池から河川維持流量が供給されないケース

さらに、河川から取水する水需要量（生活、工業、農業）を水収支モデルに設定した場合の Case A と、生活用水および工業用水の地下水利用分を河川水利用に転換して加えた場合の Case B の2つのケースについて上記6ケースと組み合わせて、全12ケースの水収支計算を実施した。

6.14 全12ケースの水収支計算結果を下表に整理する。下記の方角性を踏まえると太枠で示した3ケースが施設計画における有力な候補になると考えられる。

- (1) 生活用水および工業用水は必須の水補給対象である (Case3-1, Case3-2)。
- (2) 農業用水を補給対象とすることの実現性を検証する必要がある (Case-4)。
- (3) 水利用を地下水から表流水へ転換する方針に適合させる (Case B)。
- (4) 利水安全度を 1/5 渇水年とする (今後、バングラデシュ政府機関と要協議事項)。

Case A:

Item		Case1	Case2-1	Case2-2	Case3-1	Case3-2	Case4
Chakaria Intake Pump		3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	10.0 m ³ /s
Palakata Regulation Pond	5 yr ¹⁾	20.642 MCM	23.486 MCM	2.793 MCM	28.843 MCM	8.934 MCM	83.907 MCM
	10 yr ¹⁾	32.251 MCM	35.556 MCM	3.706 MCM	40.686 MCM	10.546 MCM	104.510 MCM

1) safety factor of water use

Case B:

Item		Case1	Case2-1	Case2-2	Case3-1	Case3-2	Case4
Chakaria Intake Pump		3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	10.0 m ³ /s
Palakata Regulation Pond	5 yr ¹⁾	20.642 MCM	29.170 MCM	9.209 MCM	35.952 MCM	15.934 MCM	94.051 MCM
	10 yr ¹⁾	32.251 MCM	40.945 MCM	10.923 MCM	49.502 MCM	17.763 MCM	113.082 MCM

1) safety factor of water use

出典：JICA 調査団

概略環境評価

6.15 バングラデシュの環境保全規則（2002年改正）を踏まえると、本調査で検討する短期的水資源開発計画オプションであるため池の建設・運用は、将来的に環境社会影響評価(ESIA)を実施すると共に、同事業で影響を受ける計画地で塩の製造、エビ養殖を営んでいる住民の生計の消失に伴う生計回復支援策の検討を行う必要がある（本文表 4.1.17 に予備的環境社会影響の検討結果を示す）。また、本調査で検討する長期的水資源開発計画オプションは、将来的に ESIA を実施すると共に、新規のダム・貯水池建設を含むオプションについては湛水域はマタムフリ保安林にあたるが、同地域にいくつかの小集落が存在する可能性があり住民移転の影響が想定され住民移転計画(RAP)の検討を行う必要がある（本文表 4.1.18 に予備的環境社会影響の

検討結果を示す)。

用水供給機関に係る組織・法制度、実施体制の検討

6.16 下表に示す事業とその事業実施を担当する機関候補を設定し、関係機関である水資源省、水資源計画機構、Bangladesh水開発庁、地方行政総局、公衆衛生工学局、チャットグラム上下水道公社他からその是非に関する聞き取りを行った。

	事業とその施設概要	事業実施機関候補
短期代替案	<input type="checkbox"/> 水資源開発事業： 河川管理権限の執行	<ul style="list-style-type: none"> ● 水資源省 (MoWR) ● 水資源計画機構 (WARPO) ● Bangladesh水開発庁 (BWDB)
	<input type="checkbox"/> 工業用水道事業・上下水道事業： 取水口、導水路、ため池、浄水場、送水ポンプ場、送水管、配水設備他	<ul style="list-style-type: none"> ● 地方行政総局 (LGD) ● 公衆衛生工学局 (DPHE) ● チャットグラム上下水道公社 (CWASA)
長期代替案	<input type="checkbox"/> 水資源開発事業： 河川管理権限の執行、マタムフリ川上流あるいはサング川上流ダム (流域外導水路を含む)、カプタイダムからの流域外導水路	<ul style="list-style-type: none"> ● 水資源省 (MoWR) ● 水資源計画機構 (WARPO) ● Bangladesh水開発庁 (BWDB)
	<input type="checkbox"/> 工業用水道事業・上下水道事業： 取水口、導水路、ため池 (拡張)、浄水場、送水ポンプ場、送水管、配水設備他	<ul style="list-style-type: none"> ● 地方行政総局 (LGD) ● 公衆衛生工学局 (DPHE) ● チャットグラム上下水道公社 (CWASA)

出典：JICA 調査団

その結果、これらの事業実施担当に最も適した機関は、水資源開発事業における河川管理権限の執行は WARPO と BWDB、施設の建設と建設後の運用、維持・管理に対応可能な機関は、BWDB である。その根拠は、

- WARPO は、水利権行政を担当している。
- BWDB は、全ての河川、流路、地下水帯水層を対象に、河川改修、洪水調節、排水、地表灌漑と渇水防止を目的としたダム、堰、貯水池、堤防、水位・流量調節構造物他の建設する責務を有すること。
- 故に、関係機関への聞き取り調査から WARPO と BWDB 自身が対応できるとのことであった。

しかしながら、聞き取りからは課題も指摘された。

- BWDB の権能として灌漑用水は扱えるが、都市用水の開発・導水はできない。
- 水資源開発事業全体の実施主体が別途存在し、その事業実施主体が工事や運用・維持管理を BWDB に委託する形で実施可能ではないか。

工業用水道事業・上下水道事業の実施担当に最も適した機関は、公衆衛生工学局（DPHE）である。その根拠は、

- 現状では、DPHE は、WASA 事業エリアを除く全土で事業展開が可能であり、CWASA はモヘシュカリ・マタバリ地区等で事業はできない。
- CWASA の主務省である LGD の認識は、仮に、WASA が担当するならば、CWASA ではなく、新たな WASA を設立する必要がある。
- バングラデシュでは、WASA に限らず、新たな機関を創設することは、関係機関の調整等大変な労力、時間を要し、实际的ではない。
- しかしながら、DPHE は、サービス事業の運用については実績が無く、その能力については懸念されるところである。一方で、バングラデシュでは PPP の法制度が確立されていることから、DPHE は、海外の民間企業を活用してサービスを提供することが考えられる。

水資源開発事業と工業用水道事業・上下水道事業にはそのユーザーを始め、多くの利害関係者が存在し、各事業の計画策定、事業進捗管理、提供サービスレベル等のモニター、評価、関係者利害調整・指導を所管する機関が必要であり、MoWR と LGD が担当機関として妥当である。

今後の法制度整備であるが、喫緊の対象として以下が考えられる。

- BWDB は、現状では灌漑用水のみ扱うことができ、都市用水を扱う権能を有しない。都市用水を扱うことができるように BWDB 法 2000 を早急に改定する必要がある。
- 水資源開発は渇水期をベースとした河川の低水管理技術が必要であるが、BWDB は、業務経験は無く、その技術を持ち合わせていない。洪水対応を目的とした高水管理も含め、低水管理に必要な河川法が必要であり、日本の河川法を参考に法制度を構築することが有効である。
- 水資源開発は渇水期をベースとした河川の低水管理技術が必要であるが、BWDB は、業務経験は無くその技術を持ち合わせていない。洪水対応を目的とした高水管理も含め、流水の占用、河川区域の設定とその占用など、低水管理、高水管理等に必要な日本の河川法に該当する法律が必要である。チョットグラム管区の河川は、日本の河川特性と概ね似ており、日本の河川法を参考に法制度を構築することが有効である。

短期水資源開発基本計画の選定

6.17 モヘシュカリ・マタバリ地区およびチャカリア市を水需要地域として本調査で検討する「短期水資源開発計画」について、前述「6.5-6.16」において複数の開発水源や利水施設に係る考え方や代替案が考案され、主として以下の観点から比較・評価された。

- 短期計画の開発目標年次（2026年）
- 需要地域に相応しい表流水および地下水の将来水源として信頼性
- 利水施設に係る概算工事費
- 環境・社会影響及び対応策
- 事業実施体制

これらの調査結果を踏まえ、本調査ではマタムフリ川の流水を表流水源とし下記の施設で構成する開発候補案を「短期水資源開発基本計画案」として選定した。本選定の流れは次表のように整理される。

- ポンプ式取水口：マタムフリ川橋（国道 N-1）から 3.6km 上流左岸（チャカリア）
- 導水路： Chattogram-Cox’s Bazar 高速道路（建設中）および Matarbari Port 連絡道路（設計中）沿いのパイプライン
- ため池＋浄水場＋送水ポンプ場：パラカタ地区（コックスバザール県）
- 送水管（パイプライン）および配水設備（水需要地区）

作業の流れ		主要な成果
1. 図上調査	1.1 水資源開発計画代替案策定の基本方針設定	• 短期計画では、モヘシュカリ・マタバリ地区（主要な水需要地）が位置するマタムフリ川流域での対処を第一に考える。
	1.2 新規水需要の水源確保に向けたマタムフリ川流域内表流水の利用可能性調査	• 年間を通して安定した需要地への水供給には雨季における豊富な河川流水を貯留施設に一旦貯えることが不可欠である。
	1.3 水資源開発計画代替案の検討 (1) 短期計画：S1, S2 および S3*	• 短期計画：S1（取水工＋調整池）が他代替案より適している。
3. 短期計画代替案の策定	“2. 現地踏査”の結果も踏まえた S1 に関する代替案の検討 (1) 取水地点および調整池までのパイプライン・ルート - 既存および新規（計画/設計中）道路沿いパイプライン・ルート の 2 ケース (2) 調整池（含：4. 水収支解析） 1) 第 1 ステップ：水需要の組み合わせによる 3 ケース 2) 第 2 ステップ：水需要および地下水利用の有無の組み合わせによる 12 ケース	<ul style="list-style-type: none"> • 新規道路(Chattogram-Cox’s Bazar Highway＋Matarbari Port Access Road)沿いのパイプライン・ルートが、経済および社会影響の観点から望ましい。 • 「調整池」の計画地は「パラカタ地区（コックスバザール）」に位置している。 • 「地下水利用は無し」で「生活用水＋工業用水」を新規に供給するケースが、優位性の高い計画案として考察された。
	上記の成果ならびに「概略環境評価」を踏まえた「短期基本計画候補案」の選定	<ul style="list-style-type: none"> • 水源：表流水（雨季のマタムフリ川流水） • 利水施設（取水地点から水需要地） (1) <u>ポンプ式取水工（チャカリア）</u>：マタムフリ川左岸（国道 1 号線のマタムフリ川橋から 3.6km 上流） (2) <u>導水路</u>：上記の新規道路沿いパイプライン (3) <u>調整池、浄水場/送水ポンプ場</u>：パラカタ地区 (4) <u>送水管および配水設備（水需要地区）</u>

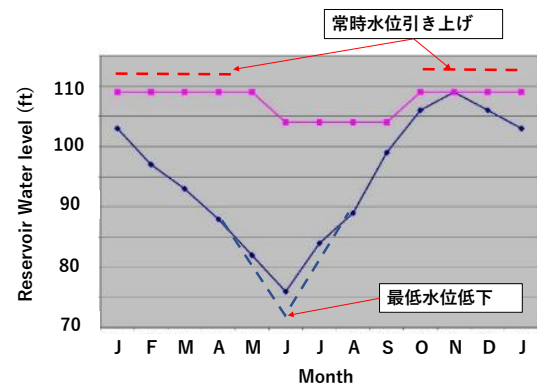
(注) * 参照 「項目 4.1.5 (3)」
出典: JICA 調査団,

カプタイダム運用改善案の提案

7.1 カプタイダムは広大な貯水池を有し、利用水深 1m 当り約 2 億 m³（ダム最低水位付近）の容量がある。運用を改善し、例えば新規水源として利用水深を 10cm 増やす

ことで、2千万 m³の水資源（貯水容量）の増加を見込むことができる。このことから、以下に示す2通りのダム操作規則改善の適用性について概略検討を行った。

- (1) 最低水位低下や常時水位の引上げ等により利用水深を増やすことでダムに新規水源開発容量を確保し下流の水利用に活用する案
- (2) 放流設備の増強、事前放流などの導入により既存貯水容量を再配分する案



右図は、ダム操作ルールカーブの改善例を示している。(1) 案については水位

出典：JICA 調査団

引上げに対する湖岸住民への影響や最低水位引き下げ時の取水口構造（設計被り水深、土砂吸込）の確認、(2) 案については、ダム放流の下流河川への影響を評価するべく、過去のダム放流時の浸水の有無や河道の通水能力を確認することが重要になる。

7.2 将来の水資源需要の増加に応じるため、カプタイダムによる乾期調整流量の増加を図るダム運用改善案として、以下の2ケースを検討した。

(Case 1) ルールカーブの最低水位月の水位設定値を 1m 下げる案

(Case 2) ルールカーブの最低水位月の水位設定値を 2m 下げる案

各ケースの検討結果を下表に示す。

項目	単位	現状	Case 1	Case 2	Case 1 (差分)	Case 2 (差分)
年間ダム流入量	m ³ /s	515.2	515.2	515.2	0.0	0.0
年発電放流量	m ³ /s	509.0	509.6	510.1	0.6	1.1
乾期調整流量	m ³ /s	263.1	268.8	272.2	5.7	9.1
発生電力量	GWh	887.4	887.2	847.3	-0.2	-40.1

出典：JICA 調査団

- (1) 乾期調整流量(12月～5月のダムによる調整流量)の増分は、Case1 で約 5.7m³/s、Case2 で約 9.1m³/s となり、ダム運用最低水位を下げることでダム下流河川流量増加、すなわち水資源開発の効果が期待できる。
- (2) カプタイダムにおける水力発電への影響に関しては、ダム運用最低位を下げることにより有効落差は減少するが、発電使用水量は増加するため、それぞれの効果が相殺され影響の程度は小さい。これにより、Case1 では現状の年間発生電力量に対し、0.2GWh、Case2 では 40.1Gwh の減少が生じる。

- 7.3 当初、検討を予定していた“ルールカーブの最大月の水位設定値を上げる”代替案も考えられるが、本調査での情報収集の過程で、貯水池水位上昇に伴う湖岸の土地利用への影響など社会面の影響や排水に対する水理的影響など負のインパクトが大きくなることが確認されたので今回の比較検討では考慮しないこととした。
- 7.4 洪水吐設備の増強や事前放流等により貯水位低減を図り既存貯水容量を再配分する案については、カプタイダム既貯水面積は広大であり、その水位低減効果は小さい。なお、カプタイダムの治水効果については、過去に定量的に評価はされていないものの、巨大な貯水容量によりダム上流域からの洪水流入に対し自然洪水調節が機能しており、ダム下流の洪水被害低減に非常に大きな役割を果たしている。
- 7.5 カプタイ貯水池では、近年土砂堆積が進行し貯水容量が減少しているという情報もあり、基礎情報収集時に最新の貯水池堆砂実態を再委託調査などで確認し、堆砂対策の必要性についても検討した。

(1) 1980F/S 時のレビュー

貯水池の湛水表面積は、1968年作成の地図から算出した値よりも若干大きいこと、また、有効容量は1968年以来ほとんど変化していないことが判明した。これにより、貯水池最低水位以上の貯水池敷の堆砂堆泥はごく僅かで貯水池有効容量に何ら影響を及ぼしていないと推察される。但し、貯水池最低水位下の貯水池堆砂堆泥の現状を明らかにすることは、深淺測量を実施して堆積堆泥の層厚を実測しない限り不可能であるとされている。また、有効容量は次の理由により今後とも十分安全に確保できるとされている。

- カルナフリ川の勾配は、1万分の1程度と緩く、流水の流速も非常に遅い。従って、河底および河岸の浸食はほとんど起こらない。
- カルナフリ川流域の大部分は緩傾斜で密林に覆われ、また河川近くに標高の高い山は存在しない。このように流域全体が安定した地勢を形成していると言える。
- この地域は典型的なモンスーン地帯で、地質学的に長い時間を経て厳しい気象条件に抵抗し得る現地勢に移行した。従って、将来とも電力発生に影響を及ぼすような貯水池の堆砂堆泥はないと思われる。

(2) 現地再委託において、以下のカプタイ貯水池深淺測量のデータを収集した。

- 2012年深淺測量
- 2019年深淺測量

これらの深淺測量はカプタイ貯水池の中央部で実施されたものであるが、上流側の測量断面以外は堆砂の進行が見られない。このため、貯水池流入部では部分的に堆砂が進行しているものの、貯水池中央部においては堆砂の進行速度は遅く、当面は発電や水資源利用に影響を及ぼすような貯水池の堆砂現象はないものと推定される。

推奨水資源開発オプション概略検討

長期水資源開発計画の代替案策定

8.1 前述「6.5」に示すように、開発に伴う将来の水需要予測に合わせた段階的な水資源開発の基本方針は次のとおりとした。

- (1) 統合水資源管理による流域単位での管理を指向する方針とし、モヘシュカリ・マタバリ地域総合開発計画に伴って発生する水需要は当該地域が位置するマタムフリ川流域での対処を第一に考える。
- (2) その後、サング川、カルナフリ川流域からの流域間導水開発案も視野に入れた段階的な水資源開発方法も検討する。
- (3) 地下水は表流水に比べて未知・不明の事項が多く、また現状で新規大規模地下水開発は期待できないとの評価もあり、表流水の開発を優先する

この方針より、長期水資源開発計画の代替案は以下の4案を設定した。

<マタムフリ川自流域にて不足量を補給する案>

- M1 : マタムフリ川ため池拡張案
- M2-1 : マタムフリ川ダム案

<流域外からの導水案>

- M2-2 : サング川からの流域外導水案 (サング川ダム案)
- M3 : カルナフリ川からの流域外導水案 (カプタイダム・パイプライン案)

8.2 上記の4長期計画代替案は、「短期水資源開発基本計画案(ため池案、参照「6.17」)で不足する貯水容量を、M1:ため池の拡張、M2:新規ダムの建設(マタムフリ川またはサング川)、あるいはM3:カプタイダム(カルナフリ川)からのパイプラインによる流域間導水路建設により確保する案である。図上調査は短期計画代替案と同様、地形図、土地利用図、空中写真等の情報を Google Earth から得る方法により実施した。特に、ダム候補地点については居住家屋、土地利用、希少生物に留意しつつ、開発容量確保可能な地点をダム代替候補地点として選定した。M2:新規ダムの建設案については、下図に示す11候補ダム地点から流域の大きさ、集落人家分布、貯水効率、貯留能力を比較し、次の4ダムを代替候補地点として選定した。

- マタムフリ川流域 : Main River Dam-1 Bit Phar (3), Main Dam-2 (5)
- サング川流域 : Ghalangya Khal (3), Chema Khal (4)

(注:カッコ内番号は下図のダム候補地点番号を示す。)



出典：JICA 調査団

8.3 新規ダムは利水専用施設として設置する治水容量を持たない設備であるが、ダム設置に伴う河川の従前の機能の維持、流域の気象情報に基づく出水時の放流操作など、特に下流域への影響最小化について留意する必要がある。さらに、環境改変を最小化するための工事前、工事中、工事後の諸対策の実施、湛水に伴う住民移転、代替地手当、必要な補償の実施等、実施に当たり多くの課題があることに留意して計画を進める必要がある。

8.4 M3：カプタイダム（カルナフリ川）からパイプラインによる流域間導水路建設案は、カプタイダムの運用ルールを変更し、L.W.L以下の貯水池容量を使用してダムサイトより無圧水路でマタムフリ川沿いに設けられた浄水場（チャカリア近傍）ま

で延長約 95km を導水する案である。

- 8.5 上記の 4 長期開発計画代替案について、次項目の「水収支検討（長期計画）」の対象案を選別する為、各案の施設規模を概略検討し、実現可能性（コスト、社会面、環境面、技術面）から 1 次評価を行った。その結果、M3 は長大なパイプライン建設予定地の用地費が過大となり、コストが他案と比べて過大であり現実的ではないことから、M1、M2-1、M2-2 を長期水資源開発代替案の水収支検討（長期計画）の対象として選定した。

水収支検討（長期計画）

- 8.6 長期計画案として想定される下の 3 案にかかる施設計画について水収支計算モデルを構築して施設容量や計画実現の可能性について検討し、下表の結果が得られた。

計 画 案		水収支分析結果
長期計画案 1: M1	パラカタため池（短期計画案） +パラカタため池拡張	短期計画案の「ため池容量 16MCM」に加えて、ため池拡張容量 173.7MCM が必要であると算定された。
長期計画案 2: M2-1	パラカタため池（短期計画案） +マタムフリ川上流ダム	既設のため池容量 16MCM（短期計画案）に加えてマタムフリ上流ダムを新設し、その容量は 175.5MCM が必要であると算定された。
長期計画案 3: M2-2	パラカタため池（短期計画案） +サング川ダム及び導水	サング川にダムを新設してもサング川自流域の水需要を十分賄えないことから、サング川からマタムフリ川へ導水することは困難と判断された。

出典：JICA 調査団

長期水資源開発計画代替案の比較・評価

- 8.7 各長期開発計画代替案に採択されている利水施設について、前述の「水収支検討（長期計画）」における施設容量や計画実現の可能性に関する水文的な観点からの分析結果を踏まえて、マタムフリ川への導水が困難である M2-2 を除く 2 長期計画代替案（M1 および M2-1）について、「Multi-Objective Analysis (MOA) 法」により比較・評価を行った。

MOA 法では、代替案の事業内容や対象地域の自然環境、社会・経済の現状を勘案して下表に示す 5 評価軸ならびに合計 21 の詳細項目を選出した。

評価軸	詳細項目数
社会配慮	6
環境の保全	3
制度・組織	3
財務的影響	2
技術的可能性・安定性	7
合 計	21

出典：JICA 調査団

8.8 上記の5評価軸に基づく評価結果は次表のように整理できる。

比較・評価代替案		総合点 (GMI)	不衡平性係数
M1	マタムフリ川ため池拡張案(パラカタため池(短期計画案)+パラカタため池拡張)	33	38.1
M2-1	マタムフリ川ダム案(パラカタため池(短期計画案)+マタムフリ川上流ダム)	54	7.4

出典：JICA 調査団

この評価から、総合点で「M2-1」が高い点数を獲得し、不衡平性の度合いについても小さいという結果が得られたことから、本代替案が事業の優位性・健全性を有するものと考察され、水資源開発オプションの推奨案として位置づけた。

水資源開発ロードマップの作成

8.9 前述までの調査の成果を踏まえて「水資源開発オプション推奨案」として位置づけられた「M2-1：マタムフリ川ダム案(パラカタため池(短期計画案)+マタムフリ川上流ダム)」は、下表のように整理される。この開発推奨案の事業化プロセスも含めたロードマップは下図のように時系列に整理して提案される。

項目	概要
短期計画	
開発目標	モヘシュカリ・マタバリ地区工業用地内の生活・工業用水およびチャカリア市の生活用水の供給
計画目標年次	2026年*
水源	表流水：マタムフリ川の雨季河川流量
主要施設	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ式取水口：マタムフリ川橋(国道N-1)から3.6km上流左岸(チャカリア) 導水路：Chattogram-Cox's Bazar 高速道路(建設中)およびMatarbari Port 連絡道路(計画)沿いのパイプライン ため池+浄水場+送水ポンプ場：パラカタ地区(コックスバザール県) 送水管(パイプライン)および配水設備(水需要地区)
社会影響	ため池(湛水面積：約3.2km ²)の計画地では、塩の製造、エビ養殖を営んでいる住民の生計への影響が想定される**。
建設費***	998億円 <ul style="list-style-type: none"> ポンプ式取水口：46億円 導水路：7億円 ため池+浄水場+送水ポンプ場：325億円 送水管(パイプライン)および配水設備(水需要地区)：620億円
長期計画	
開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 短期計画の目標(上記) 南部チョットグラム地域の農業・工業・生活用水
計画目標年次	2041年
水源	表流水：マタムフリ川の雨季河川流量
主要施設	<ul style="list-style-type: none"> 上記短期計画施設 マタムフリ川本川上流ダム(Alikadam 地点より上流23km)
社会影響	上流ダムによる貯水域(約25km ²)は、「森林法(Bangladesh Forest Act, 1927)」により指定された森林環境の保全を目的とした区域である「マタムフリ保

項目	概要
	安林」にあたる。いくつかの小集落（約 20 集落）が存在する可能性があり、土地収用・住民移転の影響が想定される。
建設費***	1,100 億円 ・ 上記短期計画施設：998 億円 ・ マタムフリ川本川上流ダム他：102 億円

注) * コロナ禍による調査遅延により施設工事終了は 2031 年を想定

** 参照：「3.13」

*** 他代替案オプションとのコスト比較用として、「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き、2011 年 12 月、厚生労働省健康局水道課」および「令和 2 年度版（2020 年）土木工事積算基準マニュアル」による概算値（除く：用地、補償費）

出典：JICA 調査団

Descriptions	Years																			
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Short Term Plan																				
Data collection survey*	■																			
Feasibility Study		■	■																	
Financial arrangement				■	■															
Pre-construction stage**					■	■	■	■												
Construction									■	■	■									
Long Term Plan																				
Feasibility Study										■	■	■								
Financial arrangement												■								
Pre-construction stage**													■	■	■					
Construction																	■	■	■	■

Notes :

- 1) ▼ Target years, * The completion of the Study was delayed due to COVID19.
- 2) ** including procurement of consultant, D/D, P/Q & Tender
- 3) The long term road map is to be reviewed in future state of developments in the Moheshkhali/ Matarbari region and its suburbs.

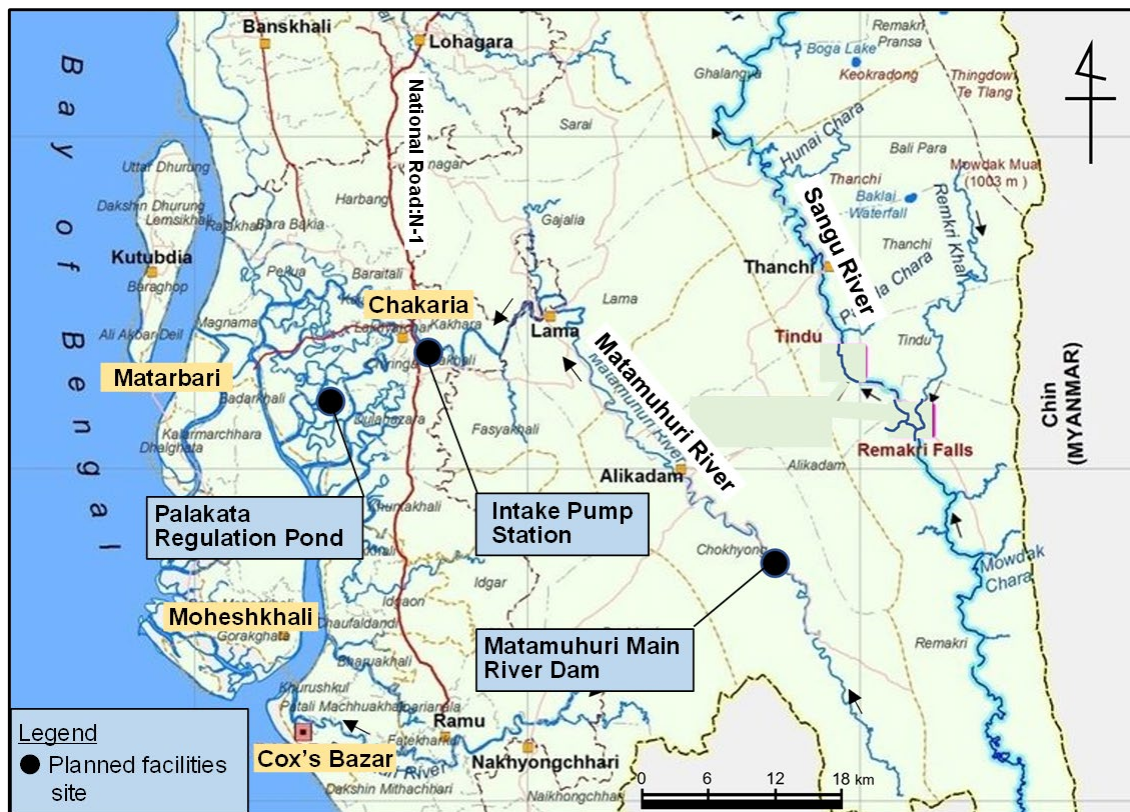
出典：JICA 調査団

V 結論と提言

9.1 本調査では、南部チョットグラム地域における推奨水資源開発オプションを概略検討して「M2-1：マタムフリ川ダム案（パラカタため池（短期計画案）¹+マタムフリ川上流ダム）」をオプション推奨案²として位置づけ、そのロードマップを提案した。

¹ 推奨開発オプションは、技術的な観点では最も優位であるが概略環境調査によれば計画ダム地点は森林環境の保全を目的とした保安林区域の外縁部に位置することから環境社会配慮の影響を踏まえて実施可否を十分に検討する必要がある。

² 水資源開発オプション推奨案の施設計画位置を次頁図に示す。



出典：JICA 調査団

9.2 本調査はコロナ禍に起因する制約の中で作業工程の遅延・変更を余儀なくされる中、 Bangladesh 側関係者とのウェブ会議や本邦でのリモートワークを取り込みながら実施された。上記の推奨水資源開発オプションにかかる次段階の調査に向けて以下の留意事項などを踏まえて今後の取り組みが適時に進められることを提言する。

- (1) マタムフリ川の水文解析に関する維持流量、水収支解析モデルの精度向上
- (2) マタムフリ川の水利用に際し、重金属や農薬に関して日本にサンプルを持ち帰る形での詳細な水質検査
- (3) マタバリ・モヘシュカリ地域の開発は、 Bangladesh の国家戦略であり短期・中長期的に開発が見込まれる中でアフターCOVID19 の経済状況等や世界的な政策（低炭素、省エネ等）による潮流の考慮
- (4) 推奨案に含まれるパラカタため池案に関する Bangladesh の制度に則った環境社会影響評価の実施支援および「JICA 環境社会配慮ガイドライン」に則った環境社会配慮調査の実施
- (5) 短期・長期水資源開発計画に取り込まれる施設計画に向けた地形測量、地質・土質調査ならびに本施設計画の他 MIDI 関連事業との整合
- (6) 短期・長期水資源開発計画の事業実施体制に係る調査の継続

- (7) 短期・長期水資源開発計画に係る経済・財務的事業実行可能性の評価・確認
- (8) 短期・長期水資源開発計画を MIDI「プロジェクト」の一部として MIDI 総体に付加価値を付けるべく、ため池の広大な水面や水辺空間を利用して追加的な事業にも活用し相乗効果が期待できる事業の検討

バングラデシュ国
南部チョットグラム地域水資源開発に係る情報収集・確認調査

略 語 表

英 語		日本語
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler	音波式ドップラー流速計
Al	Aluminum	アルミニウム
As	Arsenic	砒素
BADC	Bangladesh Agricultural Development Corporation	バングラデシュ農業開発公社
BBS	Bangladesh Bureau of Statistics	バングラデシュ統計局
BD	Bangladesh	バングラデシュ
BDP2100	Bangladesh Delta Plan 2100	バングラデシュデルタプラン 2100
BETS	Bangladesh Engineering and Technological Services	BETS 社(再委託業務コンサルタン ト地下水調査)
BEZA	Bangladesh Economic Zones Authority	バングラデシュ経済特区庁
BIG-B	Bengal Bay Growth Zone Plan	ベンガル湾成長地帯構想
BIWTA	Bangladesh Water Transport Authority	バングラデシュ内陸水運公社
BMD	Bangladesh Meteorological Department	バングラデシュ気象局
BOD	Biochemical Oxygen Demand	生物化学的酸素要求量
BPDB	Bangladesh Power Development Board	バングラデシュ電力開発庁
BREB	Bangladesh Rural Electrification Board	バングラデシュ地方電化庁
BRRRI	Bangladesh Rice Research Institute	バングラデシュ稲研究協会
BUET	Bangladesh University of Engineering and Technology	バングラデシュ工科大学
BWDB	Bangladesh Water Development Board	バングラデシュ水開発庁
CC-MIDI	Moheshkhali and Matarbari Integrated Infrastructure Development Initiative Coordination Committee	モヘシュカリ・マタバリ統合的イン フラ開発イニシアティブ調整委 員会
Cd	Cadmium	カドミウム
CEGIS	The Center for Environmental and Geographic Information Services	CEGIS 社(再委託業務コンサルタン ト：概略環境調査)
CEPZ	Chittagong Export Processing Zone	チョットグラム輸出加工区
CHT	Chattogram Hill Tract	チョットグラム丘陵地
Cl-	Chloride	塩化
CN-	Cyanides	シアン化物
COD	Chemical Oxygen Demand	化学的酸素要求量
CPA	Chattogram Port Authority	チョットグラム港湾機構
CPGCB	Coal Power Generation Company, Bangladesh Limit	バングラデシュ石炭火力発電会社
Cr	Chrome	クロム
Cu	Copper	銅
CWASA	Chattogram Water Supply and Sewerage Authority	チョットグラム上下水道公社
DAE	Department of Agriculture Extension	農業普及局
DBHWD	Department of Bangladesh Haor and Wetlands Development	バングラデシュハオール・湿地開 発局
DC	Deputy Commissioner	県副行政官
DEM	Digital Elevation Model	数値標高モデル
DFR	Draft Final Report	ドラフトファイナルレポート
DLRS	Department of Land Record and Surveys	土地記録調査局
DO	Dissolved Oxygen	溶存酸素量
DOE	Department of Environment	環境局
DPHE	Department of Public Health Engineering	公衆衛生工学局
EA	Environmental Assessment	環境評価
EC	Electro Conductivity	伝導率
EIA	Environmental Impact Assessment	環境影響評価
ECNWR	Executive Committee of the National Water Resources Council	国家水資源評議会執行委員会
EIP	Eco Industrial Park	環境に配慮した工業団地
EL	Elevation	標高
EPWAPD	East Pakistan Water and Power Development Authority	東パキスタン水資源・電力開発局
A		
EZ	Economic Zone	経済特区

F-	Fluoride	フッ化物
FAO	Food and Agriculture Organization	国連食糧農業機関
FAP	Flood Action Plan	洪水行動計画
Fe	Iron	鉄分
FPCO	Flood Plan Coordination Organization	洪水計画調整機構
FR	Final Report	ファイナルレポート
GOB	Government of Bangladesh	バングラデシュ国政府
GPS	Global Positioning System	全地球測位システム
GSMaP	Global Satellite Mapping of Precipitation	降水量グローバル衛星マッピング
Hg	Mercury	水銀
IBRD	International Bank for Reconstruction and Development	国際復興開発銀行
ICR	Inception Report	インセプションレポート
ISO	International Organization for Standardization	国際標準化機構
ITR	Interim Report	インテリムレポート
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources	国際自然保護連合
IWM	Institute of Water Modelling	水モデル研究所
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JETRO	Japan External Trade Organization	独立行政法人日本貿易振興機構
JICA	Japan International Cooperation Agency	国際協力機構
JP	Japan	日本
JRC	Joint Rivers Commission	バングラデシュ合同河川委員会
JSS	Japan Security Service	日本セキュリティサービス
JWA	Japan Water Agency	水資源機構
KKCD	Khuta Khali Chara Dam	Khuta Khali Chara ダム
LG	Local Government	地方政府
LGD	Local Government Division	地方行政総局
LGED	Local Government Engineering Department	地方政府技術局
MCM	Million Cubic Meters	百万立方メートル
MIDI	Moheshkhali and Matabari Integrated Infrastructure Development Initiative	モヘシュカリ・マタバリ統合的インフラ開発イニシアティブ
MLD	Million Liter per Day	百万立法リットル/日
MoA	Ministry of Agriculture	農業省
Mn	Manganese	マンガン
MoDMR	Ministry of Disaster Management and Relief	防災支援省
MOE	Ministry of Energy	エネルギー省
MoEF	Ministry of Environment and Forests	環境森林省
MoEF	Ministry of Environment and Forests	環境森林省
MoLGRD & C	Ministry of Local Government, Rural Development and Cooperatives	地方自治・農村開発協同組合省 地方自治総局
MoS	Ministry of Shipping	海運省
MoU	Memorandum of Understanding	了解覚書
MoWR	Ministry of Water Resources	水資源省
MPEMR	Ministry of Power, Energy and Mineral Resources	電力、エネルギー、鉱物資源省
M/P	Master Plan	マスタープラン
MPO	Master Plan Organization	マスタープラン機関
MSL	Mean Sea Level	平均潮面
mS	Milli Siemens	ミリジーメンズ
MW	Mega Watt	メガワット
NGO	Non-governmental Organization	非政府組織
N-NH4	Ammonium-nitrogen	アンモニウム窒素
N-NO3	Nitrous-nitrogen	亜硝酸窒素
NTU	Nephelometric Turbidity Unit	比濁法濁度単位
NWMP	National Water Management Plan	国家水管理計画
NWPo	National Water Policy	国家水政策
NWRC	National Water Resources Council	国家水資源評議会
O&M	Operation and Maintenance	運用管理
ODA	Official Development Assistance	政府開発援助
PD	Project Director	プロジェクト統括責任者
PCU	Platinum Cobalt Units	色度
PDB	Power Development Board	電力開発庁
PFI	Private Finance Initiative	民間資金主導

PMO	The Prime Minister's Office	大統領官邸
PPP	Public Private Partnership	官民パートナーシップ
PPPA	Public Private Partnership Authority	官民パートナーシップ庁
QCBS	Quality and Cost Based Selection	技術・価格評価
Qtu	Qtu	現世堆積物（砂丘砂、海岸砂）
RRI	River Research Institute	河川研究所
RDCD	Rural Development and Co-operatives Division	農村開発協同組合総局
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
SEZ	Special Economic Zone	経済特区
SIA	Social Impact Assessment	社会影響評価
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	スペースシャトル立体地形データ
SoB	Survey of Bangladesh	バングラデシュ測量局
SPM	Single-Point Mooring	一点係留
STWG	Sub-Technical Working Group	サブテクニカルワーキンググループ
Tmbb	Bokabil Formation	ボカビル層
Tmts	Tipam Formation	ティパム層
Tmub	Upper Part of Bhuban Formation	ブバン上層
ToR	Terms of Reference	付託条項
Tpmd	Dupitila Formation	ドゥピティラ層
TWG	Technical Working Group	テクニカルワーキンググループ
UNICEF	United Nations Children's Fund	国際連合児童基金
USAID	United States Agency for International Development	アメリカ合衆国国際開発庁
WASA	Water Supply and Sewerage Authority	上下水道公社
WHO	World Health Organization	世界保健機関
WL	Water Level	水位
WLG	Water Level Gauge	水位計
WR	Water Resource	水資源
WRDOs	Water Resources Development Options	水資源開発オプション
WARPO	Water Resources Planning Organisation	水資源計画機構
Zn	Zinc	亜鉛

バングラデシュ国
南部チョットグラム地域水資源開発に係る情報収集・確認調査

ファイナル・レポート

目 次

調査対象地域位置図

要 約

略語集

	頁
第 1 章 序 論	1-1
1.1 調査の背景	1-1
1.2 調査の目的	1-1
1.3 調査対象地域	1-1
1.4 関係機関（カウンターパート機関）	1-1
1.5 調査スケジュール	1-2
1.6 ファイナル・レポート	1-3
第 2 章 コンポーネント 1：現地調査による水資源賦存量を含む調査対象地 域における水資源の現状分析	2-1
2.1 表流水調査	2-1
2.1.1 基礎情報の収集・整理	2-1
2.1.2 表流水観測	2-5
2.2 地形・地質・地下水調査	2-22
2.2.1 地形・地質・地下水に関する基礎情報	2-22
2.2.2 地形	2-23
2.2.3 地質	2-24
2.2.4 地下水	2-29
2.3 カプタイダム現況調査	2-62
2.4 概略環境調査	2-71
第 3 章 コンポーネント 2：調査結果分析による水資源の解析および水需要 予測	3-1
3.1 データ解析・モデル構築	3-1
3.1.1 地形図・空中写真・衛星写真分析	3-1
3.1.2 水文観測データの照査・分析	3-3

3.1.3	降雨解析	3-14
3.1.4	水文解析	3-25
3.1.5	河川維持流量の暫定設定	3-28
3.1.6	地下水ポテンシャル	3-37
3.1.7	水循環解析	3-46
3.2	水需要予測	3-54
3.2.1	生活用水・工業用水	3-54
3.2.2	農業用水	3-67
第4章	コンポーネント3：コンポーネント1および2で得られた結果に基づき水資源開発ポテンシャルの評価ならびに先方政府への実施体制提案	4-1
4.1	水資源開発ポテンシャル評価（案）	4-1
4.1.1	表流水賦存量（現況）の評価	4-1
4.1.2	地下水開発ポテンシャル評価	4-3
4.1.3	開発計画策定方針	4-6
4.1.4	水資源開発計画代替案の設定	4-7
4.1.5	マタムフリ川流域水資源開発計画代替案検討	4-10
4.1.6	新規利水対策施設候補地の現地踏査	4-15
4.1.7	短期水資源開発計画の代替案策定	4-19
4.1.8	水収支検討（短期計画）	4-30
4.1.9	概略環境評価	4-34
4.1.10	用水供給機関に係る組織・法制度、実施体制の検討	4-45
4.1.11	短期水資源開発基本計画案の抽出	4-70
4.2	カプタイダム運用改善案の提案	4-72
4.2.1	ダム操作規則の検討	4-72
4.2.2	堆砂状況の確認、堆砂対策必要性の検討	4-80
4.3	推奨水資源開発オプション概略検討	4-87
4.3.1	長期水資源開発計画の代替案策定	4-87
4.3.2	水収支検討（長期計画）	4-99
4.3.3	長期水資源開発計画代替案の比較・評価	4-110
4.3.4	水資源開発ロードマップの作成	4-113
第5章	結論と提言	5-1

表 目 次

		<u>頁</u>
表 1.4.1	本調査の協力機関	1-1
表 2.1.1	現地再委託業務の概要（表流水調査）	2-1
表 2.1.2	流域諸元	2-2
表 2.1.3	主要洪水において危険水位を上回った日数	2-5
表 2.2.4	水位観測の現状調査結果	2-6
表 2.2.5	設置した水位計の観測実績（JICA 調査チーム観測）	2-8
表 2.2.6	観測データの欠測事由及び対応結果	2-8
表 2.2.7	流量観測の実績（JICA 調査チーム観測）	2-9
表 2.1.8	表流水水質サンプリング情報	2-10
表 2.1.9	水質分析項目	2-11
表 2.1.10	環境水基準（飲料水水源）	2-12
表 2.1.11	人の健康の保護に関する環境基準	2-12
表 2.1.12	農業（水稲）用水基準	2-12
表 2.1.13	工業用水道の供給標準水質の基準値	2-13
表 2.1.14	水質分析結果：カプタイ湖 1（取水口付近）	2-13
表 2.1.15	水質分析結果：カプタイ湖 2	2-14
表 2.1.16	水質分析結果：パンチブクリア	2-16
表 2.1.17	水質分析結果：バンドルバン	2-18
表 2.1.18	水質分析結果：ラーマ	2-20
表 2.2.1	調査対象地域の地質層序	2-26
表 2.2.2	DPHE により建設された稼働中の井戸（2020 年 3 月時点）	2-30
表 2.2.3	灌漑井戸数	2-30
表 2.2.4	インベントリー調査の調査数量（実績）	2-31
表 2.2.5	インベントリー調査対象井戸における揚水ポンプの形式別数量	2-35
表 2.2.6	収集した地下水位モニタリングデータのリスト	2-43
表 2.2.7	チャカリア・ウパジラにおける 1994 年から 2014 年までの地下水位 変動	2-44
表 2.2.8	観測開始時点と水位が最も低下した時点の水位の比較	2-45
表 2.2.9	探査資機材一式	2-56
表 2.2.10	地質図作成の参考とした既存資料	2-56
表 2.2.11	先行調査における比抵抗と地層との関係	2-60
表 2.2.12	調査地で推定される水理地質的特徴	2-60
表 2.3.1	カプタイダムに関する基礎情報収集状況	2-65
表 2.3.2	カプタイダム年間発電電力量と余水吐放流量	2-69
表 2.3.3	カプタイダムの発電放流量および溢水量記録（2012~2018 年）	2-70

表 2.4.1	保護区一覧	2-72
表 2.4.2	生態系保全ゾーン	2-73
表 2.4.3	文献調査で確認されている貴重種	2-73
表 2.4.4	産業の状況	2-74
表 2.4.5	収入レベル及び貧困率	2-74
表 2.4.6	先住民族の分布	2-75
表 2.4.7	考古学的及び文化的遺産	2-75
表 2.4.8	ARIPA 2017 に基づく用地取得の主要な手続き	2-79
表 3.1.1	目視観測とセンサー観測値との決定係数 (JICA 調査チーム観測値)	3-3
表 3.1.2	水位流量曲線と流量観測値との決定係数 (JICA 調査チーム観測値)	3-4
表 3.1.3	BWDB と JICA 調査団による水位観測値の決定係数	3-5
表 3.1.4	水位流量曲線と流量観測値との決定係数 (BWDB 観測値)	3-7
表 3.1.5	観測期間及びデータ欠測状況 (雨量観測所)	3-16
表 3.1.6	近傍雨量観測所間の相関係数一覧	3-16
表 3.1.7	流域平均雨量統計値 (54 ヶ年 : 1966-2019 年)	3-17
表 3.1.8	ティーンセン係数一覧表	3-18
表 3.1.9	月別流域平均雨量の相関分析結果 (雨量観測所と GSMaP データ)	3-21
表 3.1.10	近年の気候変動の傾向と将来の気候変動の予測の纏め	3-21
表 3.1.11	既往降雨データに基づく流域平均雨量増減量	3-22
表 3.1.12	長期目標 (2041 年) における流域平均雨量増減率	3-22
表 3.1.13	各河川の流況一覧 (54 ヶ年 : 1966-2019 年)	3-25
表 3.1.14	各河川の総流出量 (54 ヶ年 : 1966-2019 年)	3-25
表 3.1.15	各河川の総流出高 (54 ヶ年 : 1966-2019 年)	3-26
表 3.1.16	カプタイダム地点の総流出量及び総流出高 (54 ヶ年 : 1968-2019 年)	3-27
表 3.1.17	河川維持流量の検討項目・考え方	3-28
表 3.1.18	対象 3 河川の河川維持流量の検討項目	3-29
表 3.1.19	日本の事例による対象 3 河川の河川維持流量	3-30
表 3.1.20	バングラデシュにおける環境流量検討の例 (ゴライ川)	3-31
表 3.1.21	バングラデシュの維持流量算定事例 (テナント法)	3-32
表 3.1.22	バングラデシュの事例 (テナント法) による対象 3 河川の河川維持 流量	3-32
表 3.1.23	バングラデシュの事例 (流況曲線法) による対象 3 河川の河川維持 流量	3-32
表 3.1.24	周辺他国の維持流量の事例による対象 3 河川の河川維持流量	3-34

表 3.1.25	対象3河川の河川維持流量の暫定設定	3-36
表 3.1.26	モヘシュカリにおける浅井戸および深井戸の地下水位低下量 (1986-2014年)	3-38
表 3.1.27	モヘシュカリの地下水位の変動状況	3-38
表 3.1.28	コックスバザールにおける地下水位の変動状況	3-41
表 3.1.29	ラムにおける1986年から2012年までの地下水位の低下状況	3-42
表 3.1.30	インベントリー調査に基づく井戸1本あたりの平均揚水量	3-44
表 3.1.31	既存井戸からの生活用水の揚水量	3-44
表 3.1.32	既存井戸からの灌漑用水の揚水量	3-44
表 3.1.33	調査地域全域での年間地下水揚水量	3-46
表 3.1.34	水資源量の算定方法	3-46
表 3.1.35	地下浸透速度調査結果	3-46
表 3.1.36	表流水の水資源量算定結果表(マタムフリ川流域)	3-49
表 3.1.37	表流水の水資源量算定結果表(サング川流域)	3-50
表 3.1.38	表流水の水資源量算定結果表(カルナフリ川流域)	3-50
表 3.2.1	南部チョットグラム地域の開発計画・プロジェクト	3-54
表 3.2.2	一般EZの水需要	3-57
表 3.2.3	臨界EZの水需要	3-58
表 3.2.4	モヘシュカリEZの水需要	3-59
表 3.2.5	モヘシュカリ・マタバリ地区における工業用水需要量	3-59
表 3.2.6	ウパジラ毎の工業用水需要量	3-59
表 3.2.7	各県の将来人口推計	3-60
表 3.2.8	諸条件	3-60
表 3.2.9	南部チョットグラム地域における生活用水需要量 (m ³ /day)	3-61
表 3.2.10	モヘシュカリ・マタバリ地区及び周辺地域の生活用水需要量 (m ³ / 日).....	3-61
表 3.2.11	ウパジラ毎の水源	3-62
表 3.2.12	流域毎の水源割合	3-63
表 3.2.13	マタムフリ川流域に含まれるウパジラ	3-64
表 3.2.14	マタムフリ川流域内の水需要	3-64
表 3.2.15	水再生や節水策に関する海外事例	3-65
表 3.2.16	各流域の月別現況灌漑用水量: 54年間(1966 - 2019)の平均 (m ³ /sec)	3-70
表 4.1.1	ウパジラ毎の平均地下水位降下量	4-4
表 4.1.2	本調査における水源・利水施設の個別対策案<流域単位の代替案候 補>	4-8
表 4.1.3	新規開発必要量	4-10

表 4.1.4	短期代替案	4-11
表 4.1.5	現地踏査（2021年10月14～19日）による主な現地状況等	4-15
表 4.1.6	短期代替案補給対象基本水理量	4-20
表 4.1.7	管路ルート	4-24
表 4.1.8	短期代替案比較（ため池案）	4-26
表 4.1.9	短期代替案概算建設費用比較	4-26
表 4.1.10	無圧水路諸元	4-27
表 4.1.11	圧力水路諸元	4-28
表 4.1.12	無圧および圧力水路比較	4-28
表 4.1.13	水収支計算モデルの設定条件一覧（短期目標：パラカタため池案）	4-31
表 4.1.14	各ケースの水補給対象一覧（短期目標：パラカタため池案）	4-33
表 4.1.15	水収支計算結果一覧（短期目標：パラカタため池案）	4-34
表 4.1.16	アジア周辺国の利水安全度	4-34
表 4.1.17	短期的水資源開発オプション（ため池建設計画）に係る予備的な環境社会影響の検討	4-35
表 4.1.18	長期的水資源開発オプションに係る予備的な環境社会影響の検討	4-39
表 4.1.19	主要な水に関する法制度と所管機関	4-46
表 4.1.20	事業形態に応じた聞き取り対象機関	4-63
表 4.1.21	聞き取り対象機関と日程	4-63
表 4.1.22	「短期水資源開発基本計画案」策定の流れ	4-70
表 4.2.1	カプタイダムの現状運用シミュレーション結果	4-77
表 4.2.2	カプタイダムの各ケースのダム運用シミュレーション結果	4-78
表 4.3.1	長期代替案	4-87
表 4.3.2	マタムフリ川ダムサイト候補地点比較	4-92
表 4.3.3	サング川ダムサイト候補地点比較	4-92
表 4.3.4	図上検討に基づく長期代替案の1次評価	4-96
表 4.3.5	ため池拡張案基本諸元	4-97
表 4.3.6	マタムフリ川ダム案基本諸元	4-98
表 4.3.7	水収支解析結果の要点（長期計画案）	4-100
表 4.3.8	水収支計算モデルの設定条件一覧（長期目標：パラカタため池拡張案）	4-100
表 4.3.9	各ケースの水補給対象一覧（長期目標：パラカタため池案）	4-102
表 4.3.10	水収支計算結果一覧（長期目標：パラカタため池案）	4-103
表 4.3.11	水収支計算モデルの設定条件一覧（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）	4-103
表 4.3.12	各ケースの水補給対象一覧（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）	4-106

表 4.3.13	水収支計算結果一覧（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）	4-106
表 4.3.14	水収支計算モデルの設定条件一覧（長期目標：サング川ダム案）	4-107
表 4.3.15	各ケースの水補給対象一覧（長期目標：サング川ダム案）	4-109
表 4.3.16	MOA の評価軸と詳細項目数	4-112
表 4.3.17	MOA による代替案の評価表	4-112
表 4.3.18	水資源開発計画オプション推奨案	4-113

図目次

	頁	
図 1.4.1	TWG および Sub TWG	1-2
図 1.5.1	調査全体スケジュール	1-3
図 2.1.1	流域図	2-2
図 2.1.2	年平均雨量分布図（1980-2014 平均）	2-3
図 2.1.3	サイクロンの進路実績図	2-3
図 2.1.4	月別平均雨量（バンドルバン地点、2010-2019 平均）	2-4
図 2.1.5	洪水発生区域図	2-4
図 2.1.6	水位観測所位置図（既存観測所）	2-6
図 2.1.7	水位観測所位置図（新規設置観測所）	2-7
図 2.1.8	超音波ドップラー流速計（ADCP）による流量観測 （サング川バンドルバン地点）	2-10
図 2.2.1	チョットグラム丘陵地の地形	2-23
図 2.2.2	モヘシュカリ島北部に広がる塩田	2-24
図 2.2.3	調査地域周辺の地質図	2-25
図 2.2.4	ティパム層およびボカビル層の露頭の状況	2-28
図 2.2.5	調査地域の地質断面図（南北方向）	2-29
図 2.2.6	インベントリー調査対象井戸の位置図	2-32
図 2.2.7	井戸の建設時期と建設本数	2-33
図 2.2.8	浅井戸および深井戸の深度毎の井戸数の分布	2-33
図 2.2.9	ケーシング径毎の井戸数の分布	2-34
図 2.2.10	No. 6 および Tara ハンドポンプの構造図	2-35
図 2.2.11	井戸の揚水量の分布状況およびケーシング径毎の揚水量	2-37
図 2.2.12	井戸利用者数の分布	2-37
図 2.2.13	井戸深度と揚水量の分布	2-38
図 2.2.14	地下水位等高線図（雨季：2020 年 8 月～9 月観測）	2-40
図 2.2.15	地下水位等高線図（乾季：2021 年 2 月～3 月観測）	2-42

図 2.2.16	チャカリア・ウパジラにおける平均地下水位変動（1996-2017 年）	2-43
図 2.2.17	地下水位モニタリング井戸配置図	2-44
図 2.2.18	各観測 LINE における地下水位変動	2-45
図 2.2.19	鉄（Fe）の分析値の分布	2-50
図 2.2.20	ヒ素濃度の分布	2-52
図 2.2.21	ウパジラ毎の塩化物の分布	2-54
図 2.2.22	物理探査の測点配置図	2-55
図 2.2.23	物理探査機および探査状況	2-56
図 2.2.24	地質平面図	2-57
図 2.2.25	地質断面図（東西方向）	2-58
図 2.2.26	地質断面図（南北方向）	2-59
図 2.2.27	水理地質構造 模式断面図	2-61
図 2.3.1	カプタイダム現地視察時写真	2-65
図 2.3.2	カプタイダム 4, 5 号機増設全体平面図	2-66
図 2.3.3	カプタイダム 4, 5 号機増設縦断図	2-67
図 2.3.4	カプタイダム計画図	2-67
図 2.3.5	カプタイダム貯水池容量曲線	2-68
図 2.3.6	カプタイダムの発電放流量および溢水量記録（2012~2018 年）	2-69
図 2.3.7	カプタイダムの余水吐き放流時の警報通知の事例	2-71
図 2.4.1	保護区一覧	2-72
図 2.4.2	環境影響評価実施手順	2-77
図 2.4.3	環境適合証明書取得手順	2-78
図 3.1.1	土地利用の分類	3-1
図 3.1.2	モヘシュカリ・マタバリ地区の土地利用	3-2
図 3.1.3	空中写真（マタバリ・チャカリア市周辺）	3-2
図 3.1.4	水位観測値の検証（JICA 調査チーム観測値）	3-4
図 3.1.5	流量観測値の検証（JICA 調査チーム観測値）	3-5
図 3.1.6	水位観測値の検証（BWDB 観測値）	3-6
図 3.1.7	流量観測値の検証（BWDB 観測値）	3-7
図 3.1.8	時系列流量データの整理フロー	3-8
図 3.1.9	時系列流量データの検証結果（初期段階：ラーマ観測地点）	3-9
図 3.1.10	時系列流量データの検証結果（初期段階：バンドルバン観測地点）	3-10
図 3.1.11	時系列流量データの検証結果（初期段階：パンチプクリア観測地点）	3-11
図 3.1.12	流量データ相関図	3-12
図 3.1.13	時系列流量データの検証結果（更新最終段階：ラーマ観測地点）	3-12
図 3.1.14	時系列流量データの検証結果（更新最終段階：バンドルバン観測地点）	3-13

図 3.1.15	時系列流量データの検証結果（更新最終段階：パンチプクリア観測地点）	3-14
図 3.1.16	雨量観測所位置図	3-15
図 3.1.17	ティーセン分割図	3-18
図 3.1.18	月別日平均雨量（GSMaP データ）	3-20
図 3.1.19	月別流域平均雨量の相関図（雨量観測所と GSMaP データ）	3-21
図 3.1.20	流域平均雨量の時系列グラフ	3-25
図 3.1.21	各観測地点の月流出高	3-27
図 3.1.22	カプタイダム地点の月流出高グラフ	3-28
図 3.1.23	流域面積と維持流量の関係（日本の事例）	3-30
図 3.1.24	カルナフリ（ハルダ）川、サング川、マタムフリ川の月別流況データ ..	3-33
図 3.1.25	カルナフリ（ハルダ）川、サング川、マタムフリ川の流況曲線	3-35
図 3.1.26	塩分濃度シミュレーション結果（カルナフリ川）	3-37
図 3.1.27	モヘシュカリ浅井戸/深井戸の平均地下水位変動曲線図(1986-2014年)	3-38
図 3.1.28	モヘシュカリにおける浅井戸の地下水位の変動曲線図（1986-2014年）	3-39
図 3.1.29	コックスバザールにおける浅井戸の地下水位の変動曲線図（1986-2017年）	3-40
図 3.1.30	コックスバザールにおける深井戸の地下水位の変動曲線図（1986-2017年）	3-40
図 3.1.31	ラムにおける浅井戸の地下水位の変動曲線図（1986-2017年）	3-42
図 3.1.32	ラムにおける深井戸の地下水位の変動曲線図（1986-2017年）	3-42
図 3.1.33	地下浸透速度調査地点位置図	3-48
図 3.1.34	表流水の水資源量算定結果グラフ（マタムフリ川流域）	3-49
図 3.1.35	表流水の水資源量算定結果グラフ（サング川流域）	3-49
図 3.1.36	表流水の水資源量算定結果グラフ（カルナフリ川流域）	3-49
図 3.1.37	地下水の流動状況（雨季）	3-53
図 3.1.38	地下水の流動状況（乾季）	3-53
図 3.2.1	モヘシュカリ・マタバリ地区およびチャカリア周辺における開発計画変遷 （短期 2026・中期 2036・長期 2041）	3-57
図 3.2.2	マタムフリ川流域の範囲	3-64
図 3.2.3	再生利用技術のイメージ	3-66
図 3.2.4	膜分離活性汚泥法のイメージ	3-66
図 3.2.5	スマートメーターのイメージ	3-67
図 3.2.6	2006年～2019年のデータによる灌漑耕地面積の伸び率	3-69
図 4.1.1	Lama 基準地点 1992 年月平均流量	4-1
図 4.1.2	2026 年および 2041 年水需要予測（事前検討概算値）	4-2
図 4.1.3	2026 年および 2041 年水需要と不足水量予測（事前検討概算値）	4-3

図 4.1.4	水資源開発オプションの概念図と検討手順	4-7
図 4.1.5	水資源開発オプション代替案検討手順と想定される代替案	4-9
図 4.1.6	ため池案図上検討	4-15
図 4.1.7	現地踏査地点 (2021 年 10 月 14~19 日).....	4-19
図 4.1.8	短期代替案 ため池施設概略図 (参考図).....	4-21
図 4.1.9	短期代替案各補給対象ため池配置	4-22
図 4.1.10	短期代替案 取水口案 3m ³ /s (参考図)	4-23
図 4.1.11	管路ルート案	4-25
図 4.1.12	無圧水路および圧力水路位置図	4-28
図 4.1.13	短期ため池配置案 (鉄道事業計画との整合を図る)	4-30
図 4.1.14	マタムフリ川流域図 (短期対策: パラカタため池案)	4-31
図 4.1.15	水収支計算モデル図 (短期対策: パラカタため池案)	4-32
図 4.1.16	マタムフリ川河口付近図	4-32
図 4.1.17	バングラデシュの地方行政機関階層図	4-46
図 4.1.18	NWMP と BDP2100 における地域区分	4-59
図 4.2.1	カプタイダム操作規則の検討案	4-72
図 4.2.2	カプタイダム水位計の設置状況	4-73
図 4.2.3	カプタイダム水位変動データ	4-73
図 4.2.4	カプタイダム発電放流量データ	4-74
図 4.2.5	カプタイダム余水吐放流量データ	4-74
図 4.2.6	カプタイダム貯水池容量曲線	4-75
図 4.2.7	カプタイダム流入量データ (ダム水位、ダム放流量から換算)	4-76
図 4.2.8	カプタイダムのルールカーブデータ	4-76
図 4.2.9	カプタイダムの現状運用シミュレーション結果 (月別流量、月別発電放流量、乾期のダムによる調整流量)	4-78
図 4.2.10	カプタイダムの取水口断面図	4-80
図 4.2.11	カプタイダム計画図	4-81
図 4.2.12	カプタイダム貯水池容量曲線	4-82
図 4.2.13	貯水池測定の位置図	4-84
図 4.2.14	貯水池横断測定の比較図 (2012 年、2019 年) (1/2).....	4-85
図 4.2.15	貯水池横断測定の比較図 (2012 年、2019 年) (2/2).....	4-86
図 4.3.1	マタムフリ川、サング川ダムサイト候補地点 (案)	4-90
図 4.3.2	マタムフリ川縦断図 (Matamuhuri River 橋上流部)	4-91
図 4.3.3	サング川縦断図 (Badarban 上流部)	4-91
図 4.3.4	マタムフリ川ダム (Main River Dam-1) 流域、集落人家分布状況図上検討	4-93
図 4.3.5	カプタイダム・パイプライン案模式図	4-94
図 4.3.6	カプタイダム・パイプライン案図上検討	4-95

図 4.3.7	ため池拡張案模式図	4-98
図 4.3.8	マタムフリ川ダム案模式図	4-99
図 4.3.9	マタムフリ川流域図（長期目標：パラカタため池拡張案）	4-101
図 4.3.10	水収支計算モデル図（長期目標：パラカタため池案）	4-102
図 4.3.11	マタムフリ川流域図（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）	4-104
図 4.3.12	水収支計算モデル図（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）	4-105
図 4.3.13	サング川流域図（長期目標：サング川ダム案）	4-107
図 4.3.14	水収支計算モデル図（長期目標：サング川ダム案）	4-108
図 4.3.15	水収支計算結果図（長期目標：サング川ダム案）	4-110
図 4.3.16	水資源開発オプション・ロードマップ	4-114
図 5.1.1	水資源開発オプション推奨案の施設計画位置図	5-1

付 録

付録 2.1-1	水位計設置位置の選定
付録 2.1-2	表流水水質分析結果
付録 2.2-1	既存井戸のインベントリー
付録 2.2-2	地下水位一斉測定結果
付録 2.2-3	地下水位長期観測結果
付録 2.2-4	既存井戸の水質現地測定結果
付録 2.2-5	物理探査調査地点一覧表
付録 2.2-6	物理探査解析結果および ρ -a 曲線
付録 2.2-7	既存井戸の地質柱状図
付録 3.1-1	雨量観測所位置図
付録 3.1-2	流域平均雨量算定結果一覧
付録 3.1-3	流量データ集計表
付録 3.1-4	表流水水資源量集計表
付録 3.2-1	表流水需要・地下水需要・その他（雨水、池等） 需要
付録 3.2-2	農業用水の水需要予測
付録 4.1-1	ため池概略検討
付録 4.1-2	水収支計算手順書（短期計画）
付録 4.1-3	水収支計算結果（短期計画）
付録 4.2-1	カプタイダムの現状運用シミュレーション

付録 4.3-1	導水路ルート
付録 4.3-2	水収支計算手順書（長期計画）
付録 4.3-3	水収支計算結果（長期計画）
付録 4.3-4	MOA 法による評価
付録 5-1	下水処理素案の検討

第1章 序論

1.1 調査の背景

バングラデシュ人民共和国（以下、バングラデシュ）のコックスバザール県モヘシュカリ・マタバリ地区は、2014年9月の日本・バングラデシュ首脳会談で合意された「ベンガル湾成長地帯構想（BIG-B）」に基づき、我が国の技術協力等も受けながらバングラデシュ初の深海港となるマタバリ港開発や超々臨界圧発電所が整備されるなど、重要なインフラ拠点として開発が進んでいる。

さらに、現在、モヘシュカリ・マタバリ地区の総合開発コンセプトの策定や実施体制、法的枠組み等の検討・提案が進む中で、住民移転や産業誘致に必要な水資源開発が必要であり、「JICA モヘシュカリ・マタバリ地域における土地利用計画策定調査（2019年8月）」では一般経済特区、臨界経済特区および住宅関連の開発により発生する水需要が短期的（～2026年）に61,800m³/日、中長期的（～2041年）に194,500m³/日と推定された。

今後、同地域の産業立地促進とそれに伴う人口増加に向けた対応策として早急な水資源開発が求められている。

1.2 調査の目的

本調査の目的を以下に示す。

- 1) 南部チョットグラム地域の現状の水資源賦存量および水利用形態の調査
- 2) モヘシュカリ・マタバリ地域総合開発計画を考慮した将来の水需要予測
- 3) 水源地候補および利水施設の概略（水資源開発方法）の検討
- 4) 協力準備調査・案件形成を念頭に置いた JICA の支援可能性の提案

1.3 調査対象地域

調査対象地域は、バングラデシュ人民共和国チョットグラム管区南部チョットグラム地域（巻頭図参照）である。

1.4 関係機関（カウンターパート機関）

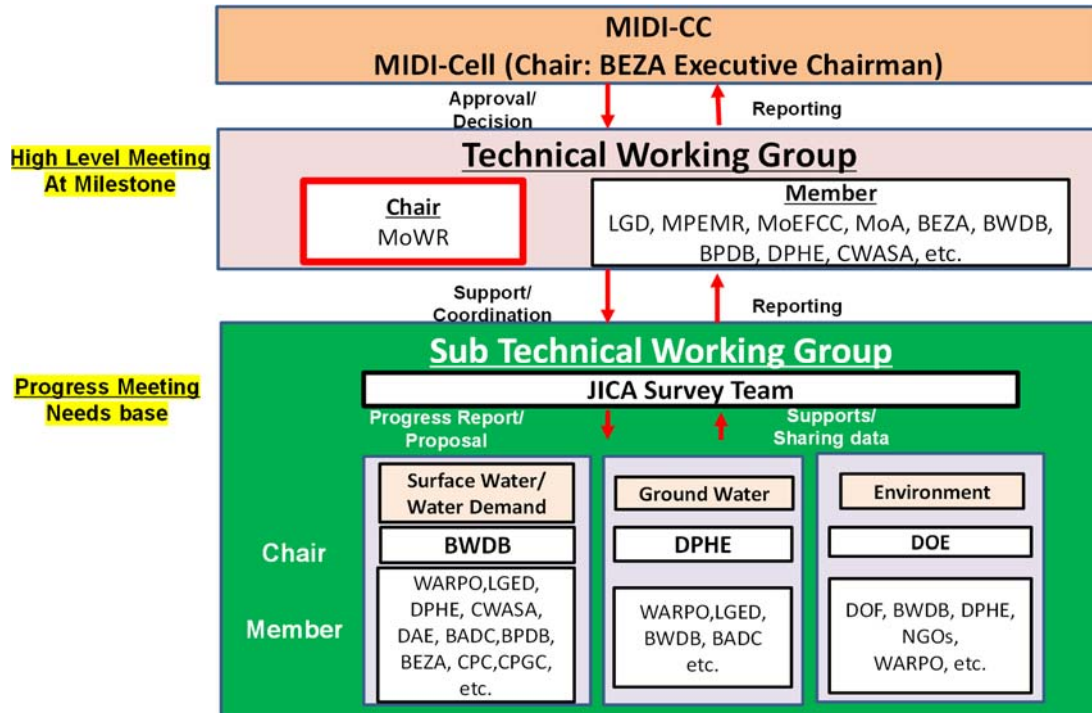
本調査の実施にあたっては、行政区を越えた広範囲に亘る複数の組織・機関との連携が不可欠である。モヘシュカリ・マタバリ地区のセクター横断的な総合開発を担う機関は、関係省庁・機関の次官級で構成されるモヘシュカリ・マタバリ統合的インフラ開発イニシアティブ調整委員会（以下、「MIDI 調整委員会」という。）である。本調査では、MIDI 調整委員会

表 1.4.1 本調査の協力機関

・モヘシュカリ・マタバリ統合的インフラ開発イニシアティブ調整委員会（MIDI調整委員会）
・経済特区庁
・水資源省 - 水開発庁 - 水資源計画機構
・産業省
・防災支援省
・チッタゴン水道公社
・電力開発庁
・農業普及局
・公衆衛生工學局
・地方行政局 - 地方行政技術局

をはじめ、複数の機関と協力し、調査を行う。本調査の協力機関を表 1.4.1 に示す。

本調査では、MIDI 調整委員会の下で水資源省 (MoWR) を幹事機関とするテクニカルワーキンググループ (Technical Working Group。以下、「TWG」という。参照：図 1.4.1) を設置し、この TWG が本調査のカウンターパート機関である。

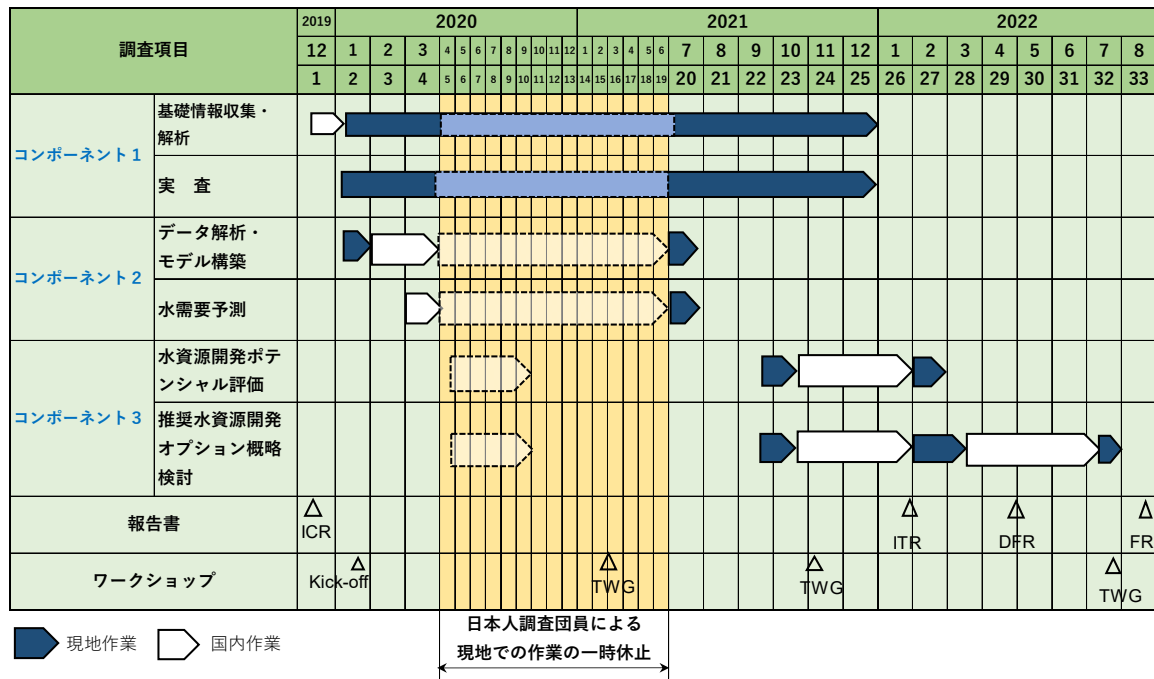


出典:JICA 調査団

図 1.4.1 TWG および Sub TWG

1.5 調査スケジュール

2019 年 12 月に調査開始後、コロナ禍による渡航制限に伴い、2020 年 4 月から 2021 年 6 月まで日本人調査団員の現地作業が一時休止となったが、2021 年 7 月に渡航を再開した。図 1.5.1 に修正された調査全体スケジュールを示す。



出典：JICA 調査団

図 1.5.1 調査全体スケジュール

1.6 ファイナル・レポート

このファイナル・レポートは、2019年12月中旬の本調査開始から2022年8月までの調査の成果を網羅し、以下の5章で構成されている。

章	主な調査内容および成果
第1章 序論	
第2章 コンポーネント1	<ul style="list-style-type: none"> 現地調査による水資源の現状分析（含：水資源賦存量）
第3章 コンポーネント2	<ul style="list-style-type: none"> 現状分析を踏まえた水資源の解析および水需要予測
第4章 コンポーネント3	<ul style="list-style-type: none"> コンポーネント1および2で得られた結果に基づく水資源開発ポテンシャルの評価 協力準備調査・案件形成を念頭に置いた JICA による支援の可能性のある水資源開発計画オプション推奨案ならびにそのロードマップの提案
第5章 結論と提言	<ul style="list-style-type: none"> 上記の水資源開発計画オプション推奨案にかかる次段階に向けた今後の取り組みの提言

出典：JICA 調査団

第2章 コンポーネント1:現地調査による水資源賦存量を含む調査対象地域における水資源の現状の分析

本章では、以下の4項目に係る現地調査を「現地再委託調査」として実施し、その成果を踏まえて行った調査対象地域における水資源の現状分析（含：水資源賦存量）に係る調査結果を報告している。

- 表流水調査
- 地形・地質・地下水調査
- カプタイダム現況調査
- 概略環境調査

2.1 表流水調査

2.1.1 基礎情報の収集・整理

本再委託調査の内容は、表 2.1.1 のように整理される。

表 2.1.1 現地再委託業務の概要（表流水調査）

項目	調査内容
基礎情報収集・解析	既存の基礎情報の収集、整理、分析 対象項目：流域諸元、気候特性、洪水被害、水文データ、水利用（生活用水/工業用水）、農業用水、社会経済状況、既存開発計画
表流水観測	≪調査対象区域≫ 4河川：カルナフリ川および支川ハルダ川、サング川、マタムフリ川） ≪主な作業項目≫ <ul style="list-style-type: none"> • 河川水位観測所の設置（4河川×1箇所＝計4箇所） • 河川横断測量（新設4水位観測所×2回（乾期1回＋雨期1回）＝計8回） • 河川流量観測（新設4水位観測所×9回（低水6回＋高水3回）＝計36回） • 水質サンプリング（3河川×1箇所×3水深×12回（1回/月）＝計108サンプル）

出典：JICA 調査団

(1) 流域概要

本プロジェクトにおける対象地域の流域図（Karnafuli、Sangu、Matamuhuri、Bakkhali 川流域）及び流域諸元を図 2.1.1 及び表 2.1.2 に示す。南部チョットグラム地域はヒマラヤ山脈の延長部に当たる標高 300～500m 前後の丘陵が連なっており、各河川は丘陵地帯から平地部を経由してベンガル湾へ流れ出ている。Karnafuli 川流域が最も大きな流域面積を有し、中流域に Kaptai ダムが建設され下流域には地方都市である Chattogram が位置する。流域面積が 2 番目に大きな Sangu 川は中流域に地方都市 Bandarban を抱える。Matamuhuri 川及び Bakkali 川流域はそれぞれ地方都市 Lama 及び Cox's Bazar が流域内に位置し、ミャンマーとの国境に面している。各河川流域の丘陵地域の割合は 57%～79%を占め、Sangu 川が最も多い 79%の丘陵地帯を抱えている。

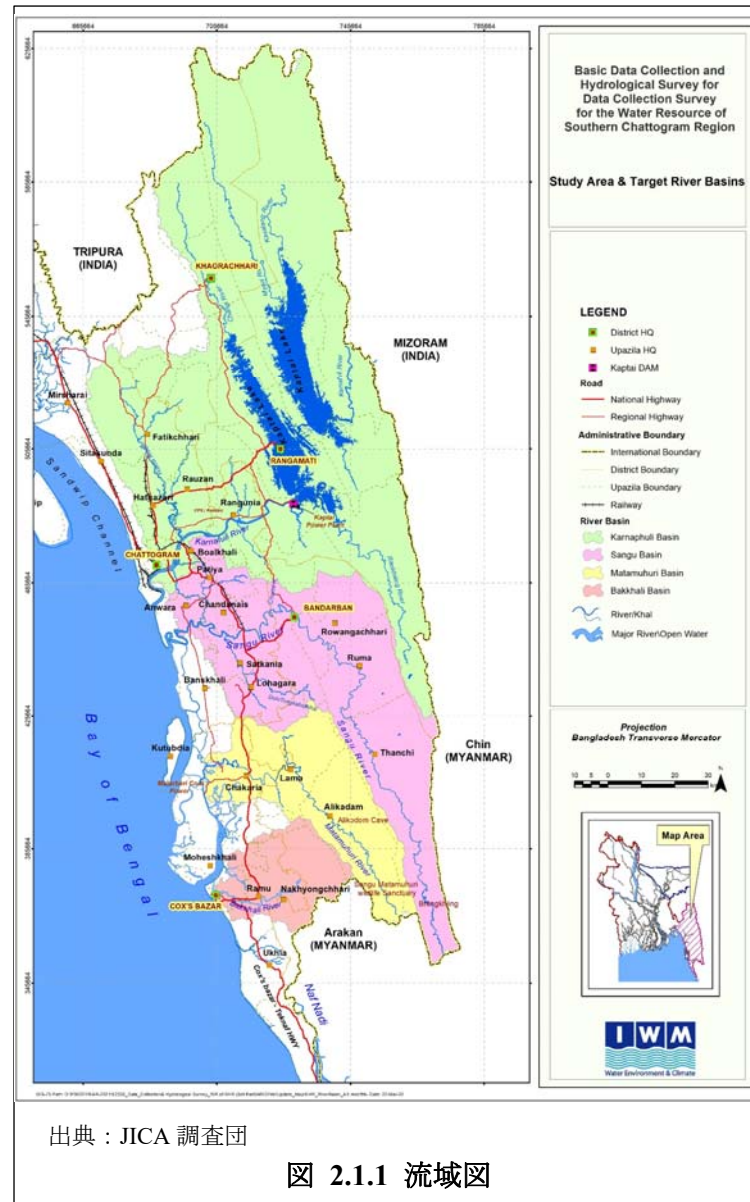


表 2.1.2 流域諸元

No.	Items	River Dimension			
		Karnafuli	Sangu	Matamuhuri	Bakhali
01	Total Basin	14,362 km ²	3,667 km ²	2,511 km ²	845 km ²
02	Hilly Area	8,186 km ² (57%)	2,897 km ² (79%)	1,484 km ² (59%)	600 km ² (71%)
03	Plain area	6,176 km ² (43%)	770 km ² (21%)	1,027 km ² (41%)	245 km ² (29%)
04	Length	175 km	294 km	176 km	69km
05	Width	161m to 960m	76m to 180m	86 to 238m	17m to 400m
06	Avg. Slope	1/2,940 (34 cm/km)	1/6,250 (16 cm/km)	1/3,570 (28 cm/km)	1/3,570 (28 cm/km)

出典： JICA 調査団

(2) 気候特性

バングラデシュは高温多湿の熱帯モンスーン型気候に属し、インド洋で発生する台風であるサイクロンの進路にあたり、短期間に集中的な降雨が発生する。図 2.1.3 に示すとおり、本調査の対象地域であるチッタゴン丘陵地域は特にサイクロンの常襲地域であることが確認される。

図 2.1.2 に示すとおり、年間降水量はバングラデシュの西部で約 1,500 mm、東部で約 2,500 mm、北部丘陵地帯で約 3,500 mm と東部及び北部丘陵で降水量が多い傾向である。本調査の対象地域であるチッタゴン丘陵地帯は東部地域と同様の約 2,500 mm 程度の年間平均降水量でバングラデシュでは北部丘陵地帯に次いで多い降水地帯である。

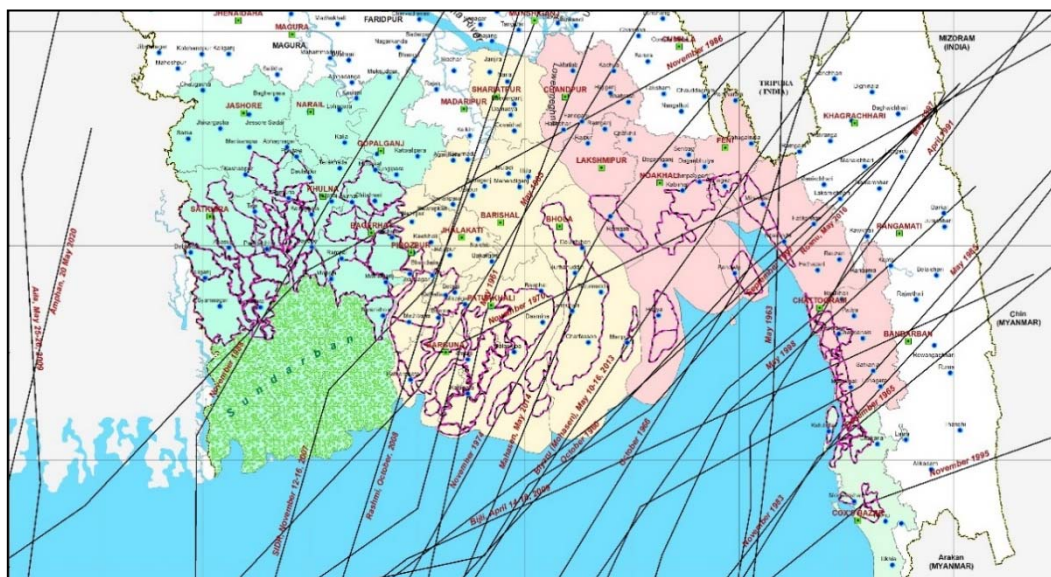
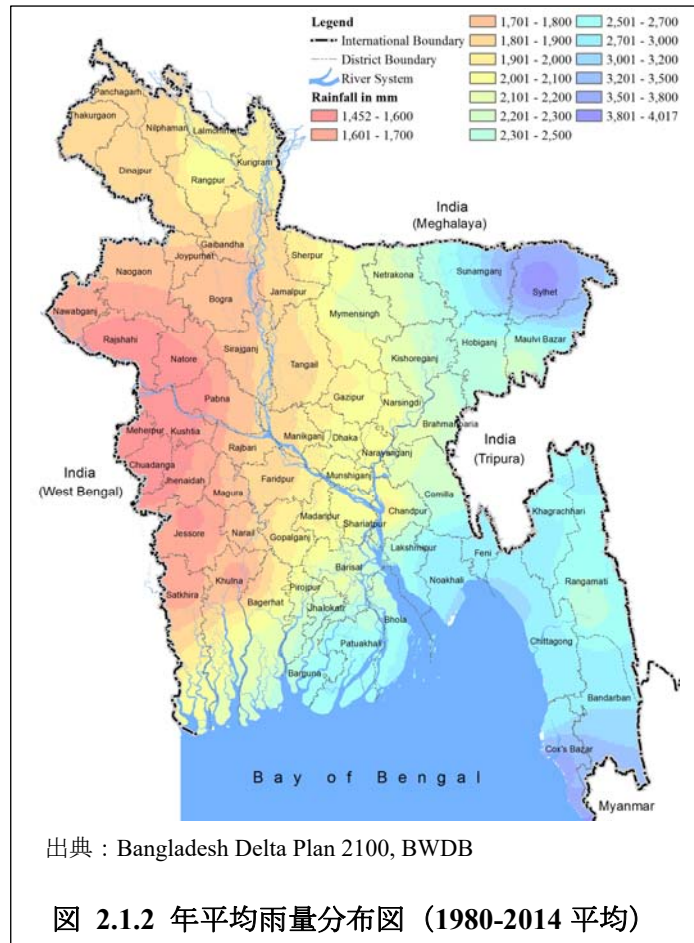
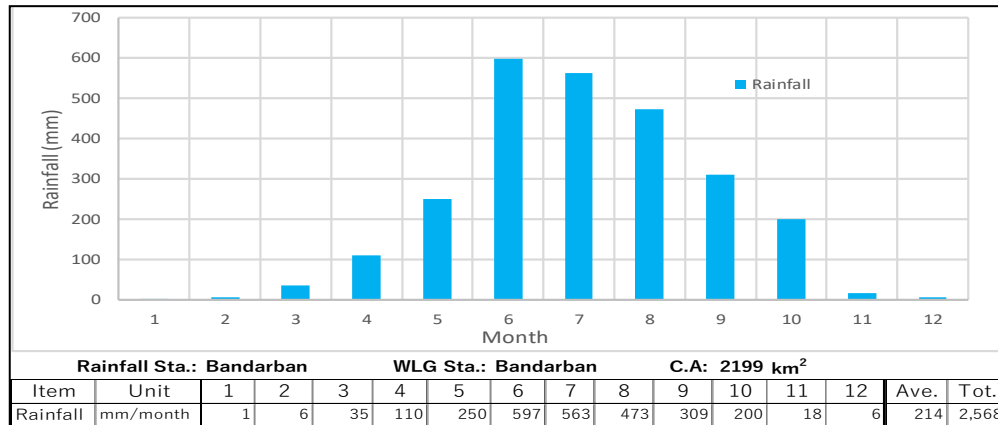


図 2.1.3 サイクロンの進路実績図

チッタゴン丘陵地域の中央に位置するバンドルバン雨量観測所の月別降水量を図 2.1.4 に示す。バングラデシュの気候は、雨季（4月-10月）と乾季（11月 - 3月）に分けられる。

雨季の期間でも特に5月から10月はモンスーンの影響で降水量が多く、年間降水量のうち約9割を占める（バンドルバン観測所：5-10月降水量2,392mm、2,392/2,568=93%）。



出典：バンドルバン雨量観測所（BWDB）の観測データを基に JICA 調査団作成

図 2.1.4 月別平均雨量（バンドルバン地点、2010-2019 平均）

(3) 洪水被害

バングラデシュ農業研究評議会（BARC: Bangladesh Agricultural Research Council）が作成した洪水発生区域図を図 2.1.5 に示す。橙色の区域が丘陵地からの出水に起因した洪水氾濫区域で、チョットグラム地区周辺が主な常襲地帯となっている。紫色の区域は高潮による浸水区域を示しており、モヘシュカリ・マタバリ地区が主な常襲地帯となっている。対象河川（カルナフリ川、支川ハルダ川、サング川、マタムフリ川）が近年の主要な洪水（2017 年、2018 年）や既往最大洪水（1998 年）において危険水位（洪水氾濫を開始する河川水位）を上回った日数を表 2.1.3 に示す。カルナフリ川下流（Chattogram）及びその支川ハルダ川の洪水発生日数が比較的多いことが確認される。

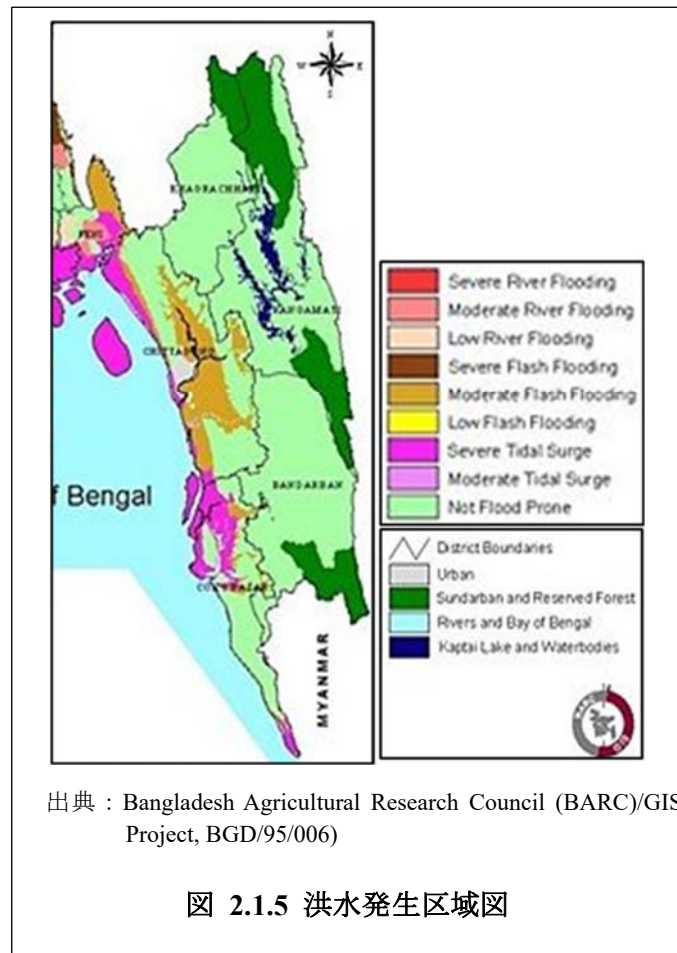


図 2.1.5 洪水発生区域図

表 2.1.3 主要洪水において危険水位を上回った日数

Sl. No	River	Station	Water level (m PWD)					Days above Danger level		
			Recorded Maximum	Danger Level ¹⁾	Peak of the year			2018	2017	1998
					2018	2017	1998			
1	Karnafuli	Chattogram	4.98	4.60	4.65	4.98	-	1	7	-
2	Halda	Narayanhat	19.30	15.25	16.92	16.85	16.57	5	11	21
3	Halda	Panchpukuria	12.54	9.50	10.90	9.70	10.44	2	2	4
4	Sangu	Bandarban	20.70	15.25	15.85	16.60	15.25	2	3	1
5	Sangu	Dohazari	9.05	7.00	7.50	7.79	7.42	3	3	2
6	Matamuhuri	Lama	15.46	12.25	13.29	13.79	13.05	4	5	2

1) Danger Level (危険水位) : 堤内地へ洪水氾濫を開始する河川水位。

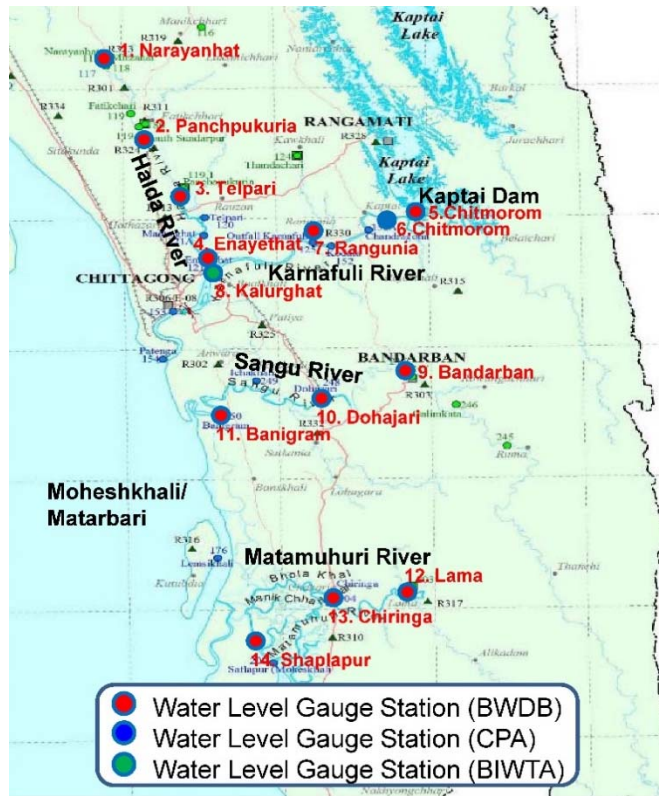
出典 : JICA 調査団

2.1.2 表流水観測

既存水位流量観測データの検証を目的に本調査において水位計を設置して水位流量観測を実施した。また、河川水質の現況把握を目的に水質調査を実施した。観測調査の概要を以下に述べる。

(1) 水位観測の現状

カルナフリ川、ハルダ川、サング川およびマタムフリ川の水位観測の現状について整理した。観測所位置を図 2.1.6 に、諸元一覧を表 2.1.4 に示す。各河川の本川において合計 14 箇所で水位観測が実施されており、半数の 7 箇所では 1965 年から 50 年以上に渡り水位観測が続けられている。観測は BWDB 等政府機関から委嘱された読取者（地域住民）により手動方式（水位標の目視観測および記録）で 1 日 5 回実施されている。なお、カルナフリ川のチットモロム（Chitmorom, No.6）観測所はチョットグラム港湾機構（CPA）により圧力式水位計が設置され、自動式で毎時データロガーに記録されている。



出典：JICA 調査団

図 2.1.6 水位観測所位置図（既存観測所）

表 2.1.4 水位観測の現状調査結果

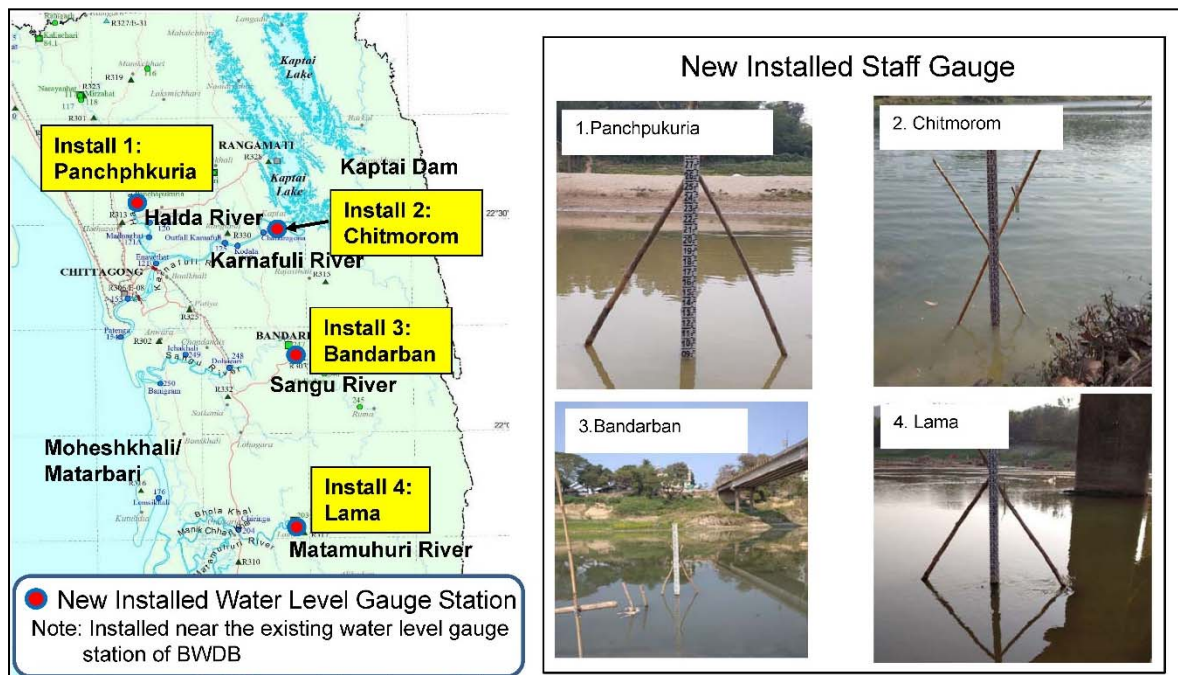
No.	観測所名	河川	所管	観測開始年	記録型式	観測頻度
1	Narayanhat	Halda	BWDB	1965	Manual	5 times/day
2	Panchpukuria	Halda	BWDB	1965	Manual	5 times/day
3	Telpari	Halda	BWDB	1965	Manual	5 times/day
4	Enayethat	Halda	BWDB	1965	Manual	5 times/day
5	Kaptai	Karnafuli	BPDB	1990	Automatic	24 times/day
6	Chitmorom	Karnafuli	CPA	2011	Automatic	24 times/day
7	Rangunia	Karnafuli	BWDB	1965	Manual	5 times/day
8	Kalurghat	Karnafuli	BIWTA	2012	Manual	5 times/day
9	Bandarban	Sangu	BWDB	1965	Manual	5 times/day
10	Dohajari	Sangu	BWDB	1969	Manual	5 times/day
11	Banigram	Sangu	BWDB	1968	Manual	5 times/day
12	Lama	Matamuhuri	BWDB	1965	Manual	5 times/day
13	Chiringa	Matamuhuri	BWDB	1968	Manual	5 times/day
14	Shaplapur	Matamuhuri	BWDB	1968	Manual	5 times/day

出典：JICA 調査団

(2) 水位計の設置およびモニタリング

1) 水位計の設置

既存水位観測の精度検証を目的にカルナフリ川、ハルダ川、サング川およびマタムフリ川の各1箇所（計4箇所；図 2.1.7 参照）に水位標及び水位センサー（圧力式）を設置した（2020年1月30日設置、2月1日観測開始）。設置個所の選定にあたっては、既存の水位観測の中から観測期間や潮位の影響、道路アクセス等の観点から総合的に評価して最適な地点を決定した（参照：付録 2.1-1）。



出典：JICA 調査団

図 2.1.7 水位観測所位置図（新規設置観測所）

2) 水位観測

調査開始から1年間（2020年2月～2021年1月）を通して、水位標の目視観測を実施するとともに水位センサーによりデータを記録した。目視観測は毎正時毎に記録を行うとともに、水位センサーは10分毎にデータを記録した。

これらデータの記録期間を表 2.1.5 に示す。2020年5月24日にバングラデシュに來襲したサイクロン「アンファン(Amphan)」により、本調査で設置したハルダ川パンチプクリア（Panchpukuria）地点の水位標及び水位センサーが流失した。5月末までコロナ禍による行動制限があったため規制が解除された6月1日に水位センサーを再設置した（水位標は河川水位が低下した6月10日に再設置）。水位センサーの保存データは2ヵ月強（3月21日～5月31日）流失したが、水位標による目視観測が2020年5月23日まで継続されていたため、水位センサーが再設置された2020年6月1日前日までの8日間（2020年5月24日～5月31日）の欠測に止まり、その他の期間は1年間を通して全て水位データを記録することが出来た。また、コロナ禍の行動制限でチットモロム（Chitmorom）の水位標目視観測

が行えなかったなど、その他欠測期間の要因や再発防止として対処した方策について表 2.1.5 に整理した。なお、パンチプクリア観測所以外の3観測所は部分的にセンサーデータまたは目視データのいずれかに欠測が発生したものの、全ての期間において水位観測値を記録することが出来た。

表 2.1.5 設置した水位計の観測実績 (JICA 調査チーム観測)

SI No.	Description of Activities	Feb-20			Mar-20			Apr-20			May-20			Jun-20			Jul-20		
		1 to 10	11 to 20	20 to 29	1 to 10	11 to 20	21 to 31	1 to 10	11 to 20	21 to 30	1 to 10	11 to 20	21 to 31	1 to 10	11 to 20	20 to 30	1 to 10	11 to 20	20 to 30
1	Panchpukuria (Haldia River)																		
1.1	Sensor Data						20/03		Missing S1 ¹⁾				01/06						
1.2	Visual Observation												Missing V1 ¹⁾						Missing V3 ¹⁾
2	Chitmorom (Karnafuli River)													23/05-10/06					10-15/07
2.1	Sensor Data																		
2.2	Visual Observation							Missing V2 ²⁾		Missing V2 ²⁾									
3	Bandarban (Sangu River)							25/03-03/04		09/04-04/05								25-27/06	10-12/07
3.1	Sensor Data																	Missing S2 ³⁾	Missing S2 ³⁾
3.2	Visual Observation																		
4	Lama (Malamuhuri River)																	12-28/06	Missing S3 ¹⁾
4.1	Sensor Data																		
4.2	Visual Observation																		

SI No.	Description of Activities	Aug-20			Sep-20			Oct-20			Nov-20			Dec-20			Jan-21		
		1 to 10	11 to 20	21 to 31	1 to 10	11 to 20	21 to 30	1 to 10	11 to 20	21 to 31	1 to 10	11 to 20	21 to 30	1 to 10	11 to 20	20 to 31	1 to 10	11 to 20	20 to 31
1	Panchpukuria (Haldia River)																		
1.1	Sensor Data																		
1.2	Visual Observation		Missing V3 ¹⁾	Missing V3 ¹⁾															
2	Chitmorom (Karnafuli River)																		
2.1	Sensor Data																		
2.2	Visual Observation																		
3	Bandarban (Sangu River)																		
3.1	Sensor Data																		
3.2	Visual Observation												Missing V3 ¹⁾						
4	Lama (Malamuhuri River)																		
4.1	Sensor Data																		
4.2	Visual Observation												24-26/10						

Recorded sensor data, Recorded visual observation, Missing observation

Note: The reason and countermeasure for missing observation can be referred to in the Table below.

出典 : JICA 調査団

表 2.1.6 観測データの欠測事由及び対応結果

<Visual Observation of Staff gauge>

Missing No.	Missing Period (Gauge Station)	Missing reason	Countermeasure for recurrence prevention
Missing V1	23 May-10 Jun. 2020 (Panchpukuria)	The staff gauge was washed away due to the flash caused by cyclone Amphan at the end of May 2020	Strengthened its stability by piling pillar deeper into riverbed to prevent recurrence and fastening staff gauge to a tree on the riverbank with a rope
Missing V2	25 Mar.-03 Apr. 09 Apr.-04 May 2020 (Chitmorom)	Visual observation was suspended due to restriction on moving under lock down of Covid-19.	N/A
Missing V3	10-15 July, 10-11 Aug., 22 Aug. 2020 (Panchpukuria) 27-29 May 2020 24-26 Oct. 2020 (Bandarban)	The staff gauge was submerged during flash floods	The manual staff gauge had been installed as a complement for calibration and comparison of sensor data. Since the sensor was in operation there, didn't install extra staff gauge for recording short period during

Missing No.	Missing Period (Gauge Station)	Missing reason	Countermeasure for recurrence prevention
			very high stages.

<Sensor Observation>

Missing No.	Missing Period (Gauge Station)	Missing reason	Countermeasure for recurrence prevention
Missing S1	20 Mar.- 01 Jun. 2020 (Panchpukhuria)	The sensor was washed away due to the flash caused by cyclone Amphan at the end of May 2020	The casing of the sensor was tied with a rope to a tree log driven into the riverbed.
Missing S2	25-27 Jun. 2020, 10-12 Jul. 2020 (Bandarban)	The sensor failed recording due to mechanical trouble, resulting in no stored data	Replaced the sensor with new one
Missing S3	12-28 Jun. 2020 (Lama)	Sensor was buried under sediment loads after flash flood	Location of sensor installation was changed

出典：JICA 調査団

3) 流量観測

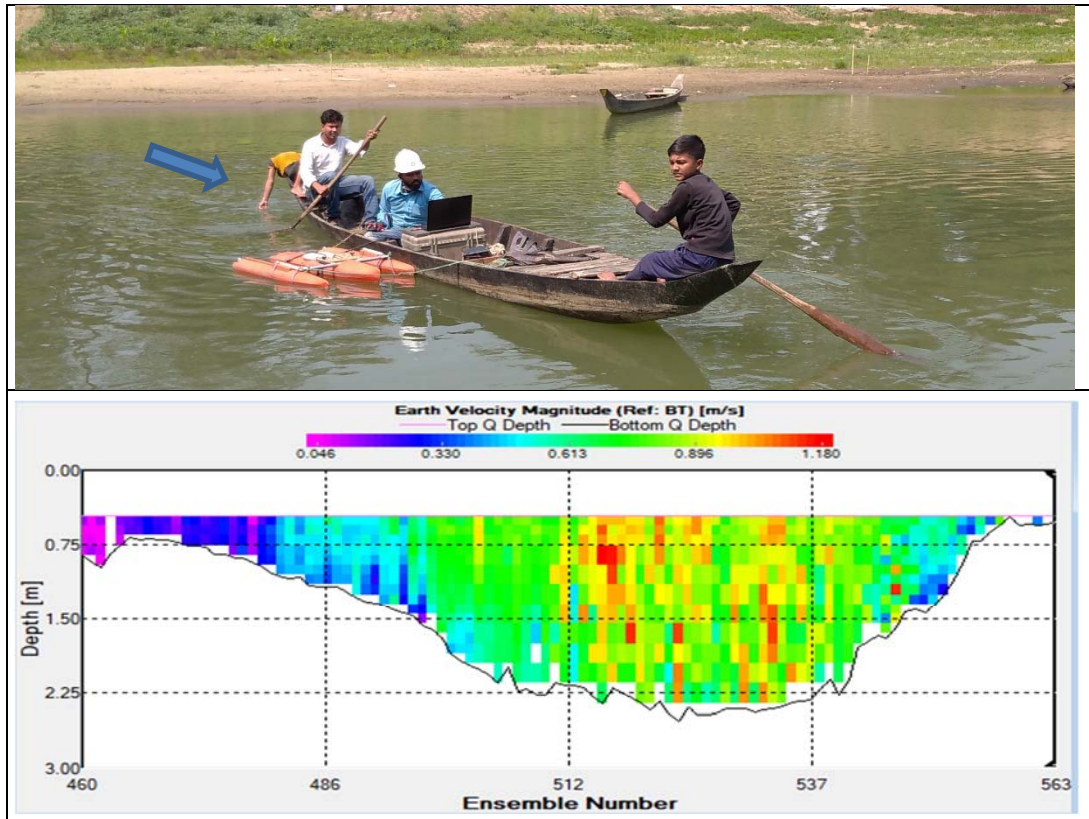
新たに設置した各水位観測地点において表 2.1.7 に示すとおり定期的に流量観測を実施した。2020年3月中旬から5月末までの2か月半はコロナ禍における行動制限により観測できなかったが、その他は1回/月以上流量観測を実施することが出来た。河川横断測量についても年間を通して計6回実施した。横断測量及び流速計測は超音波ドップラー流速計(ADCP)を用いて計測した(図 2.1.8 参照)。ADCP で得られた流速分布から平均流速を算定して横断面積に乗じることで通過流量を算出した。

本調査で実施したこれら水位観測及び流量観測の精度を検証するとともに、BWDB の観測値と比較することで BWDB が実施している観測精度の検証を行った。検証結果の内容を次章「3.1.2 水文観測データの照査・分析」に詳述する。

表 2.1.7 流量観測の実績 (JICA 調査チーム観測)

SL	Station Name	Description of Activities	Feb-20	Mar-20	Apr-20	May-20	Jun-20	Jul-20	Aug-20	Sep-20	Oct-20	Nov-20	Dec-20	Jan-21	Total No				
1	Panchpukhuria	Discharge Measurement	● 22 Feb	● 8 Mar			● 2 Jun	● 13 Jul	● 18 Jul	● 8 Aug	● 18 Aug	● 12 Sep	● 25 Sep	● 13 Oct	● 27 Oct	● 19 Nov	● 20 Dec	● 19 Jan	14
		Cross section survey	● 22 Feb							● 8 Aug	● 12 Sep	● 13 Oct		● 19 Nov					● 19 Jan
2	Bandarban	Discharge Measurement	● 23 Feb	● 7 Mar			● 1 Jun	● 12 Jul	● 7 Aug	● 19 Aug	● 13 Sep	● 24 Sep	● 12 Oct	● 24 Oct		● 18 Nov	● 19 Dec	● 17 Jan	13
		Cross section survey	● 23 Feb				● 1 Jun		● 7 Aug	● 13 Sep	● 13 Oct		● 18 Nov						● 17 Jan
3	Lama	Discharge Measurement	● 23 Feb	● 7 Mar			● 1 Jun	● 12 Jul	● 7 Aug	● 19 Aug	● 14 Sep	● 25 Sep	● 14 Oct	● 25 Oct		● 18 Nov	● 18 Dec	● 16 Jan	13
		Cross section survey	● 23 Feb							● 19 Aug	● 14 Sep		● 14 Oct			● 18 Nov			● 16 Jan
4	Chiltmorrom	Cross section survey	● 22 Feb				● 2 Jun			● 20 Aug		● 15 Oct			● 20 Nov			● 18 Jan	6

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 2.1.8 超音波ドップラー流速計（ADCP）による流量観測
（サング川バンドルバン地点）

(3) 表流水の水質観測

表流水の水質調査については以下の手順で実施した。(i)サンプリングは、カルナフリ川、サング川、マタムフリ川においては流量観測地点付近（塩水遡上の影響が少ない最下流地点で水利用の取水地点候補となる可能性が高い）で十分な水位がある地点、カプタイ湖（貯水池）においては発電施設の取水口付近及び採水可能な範囲で湖心に近い地点で実施した（地点の座標については表 2.1.8 に記載）。尚、地点の選定に際しては、上記の他、排水、支川等の直接的な影響が少ない（河川に流入した後十分混合する地点）ことを確認している。採水に際しては、水深の 2 割、5 割、8 割地点でサンプルを採取した（水深が 1.5m 未満の場合には水深の 2 割、8 割地点で採水を実施）。(ii)モニタリングは、原則通年で 12 か月の連続観測を想定していたが、Covid-19 の影響による中断をはさみ、表 2.1.8 に示す期間（2020 年 2 月より 2021 年 5 月）において実施した。サンプリング状況の写真を付録 2.1-2 (1) に示す。

表 2.1.8 表流水水質サンプリング情報

湖/河川		カプタイ湖		ハルダ川	サング川	マタムフリ川
採水場所地名		カプタイ湖 1 (取水口付近)	カプタイ湖 2	パンチプ クリア	バンドルバン	ラマ
位置 (座標)	Easting (m)	420157	420663	374882	419235	416295
	Northing (m)	2488001	2488541	2507041	2454880	2409212

湖/河川	カプタイ湖		ハルダ川	サング川	マタムフリ川	
採水日	2020年2月	2020/02/23	2020/02/23	2020/02/23	2020/02/24	2020/02/24
	2020年3月	2020/03/07	2020/03/07	2020/03/07	2020/03/08	2020/03/08
	2020年6月	2020/06/02	2020/06/02	2020/06/02	2020/06/01	2020/06/01
	2020年7月	2020/07/13	2020/07/13	2020/07/13	2020/07/12	2020/07/12
	2020年8月	2020/08/08	2020/08/08	2020/08/08	2020/08/07	2020/08/07
	2020年9月	2020/09/13	2020/09/13	2020/09/12	2020/09/13	2020/09/14
	2020年10月	2020/10/13	2020/10/13	2020/10/13	2020/10/12	2020/10/14
	2020年11月	2020/11/13	2020/11/13	2020/11/13	2020/11/12	2020/11/14
	2020年12月	2020/12/19	2020/12/19	2020/12/19	2020/12/19	2020/12/18
	2021年1月	2021/01/18	2021/01/18	2021/01/18	2021/01/17	2021/01/16
	2021年4月	2021/04/12	2021/04/12	2021/04/12	2021/04/13	2021/04/13
	2021年5月	2021/05/25	2021/05/25	2021/05/24	2021/05/25	2021/05/26

注：Covid-19の影響に起因する事象により2020年4、5月及び2021年2、3月にサンプリングは実施されていない。

出典：JICA 調査団

以下の通り、採水した一部のサンプルはダッカに持ち込まれ、表 2.1.9 に示す施設において分析を行った。

表 2.1.9 水質分析項目

分類	項目	分析施設	備考
項目1類	pH, 水温, 濁度, 色度, 電気伝導度, DO, BOD, 硝酸態窒素, 亜硝酸態窒素, 硫酸イオン, 亜鉛, 鉄, マンガン, 塩化物イオン, アルカリ度, 硬度, アンモニア態窒素	In-situ/IWM Laboratory	採水：1回/月
	E-coli, 臭気, フッ素	ICDDR, B & BUET	採水：1回/月
項目2類	銅, シアン, カドミウム, 鉛, 水銀, アルミニウム, カドミウム	BUET	採水：雨季1回 (20年8月) 乾季1回 (21年1月)

出典：JICA 調査団

分析結果及びグラフを付録 2.1-2 (2) 及び (3) に記載する。本調査では、水深 50%の値を代表値とし、水深が浅い地点においては、水深 80%と 20%地点の平均値を代表値として使用している。重金属については検出限界等で前記の条件が満たされなかった場合、検出された値を使用している。

分析結果の考察概要

バングラデシュでは、環境保全規則 (1997) により、飲料水水源としての環境水基準が表 2.1.10 に示すように定められている。評価において、pH、BOD、DO については以下の基準を使用する。尚、大腸菌については、日本国内の環境省環境基準専門委員会において、かねてより「大腸菌群 (表 2.1.10 では Total Coliform Number に該当) は、糞便由来ではな

い細菌も測定されることから糞便汚染を的確に捉えているとは言えない状況にある。」という認識のもと基準改定の動き¹があったため、本件においては大腸菌：E-coli を測定している。そのため、下記基準値を参考として評価している。²また COD については日本の環境基準（類型 A：3mg/l）を用いて評価を行った。

表 2.1.10 環境水基準（飲料水水源）

項目（単位）	pH	BOD (mg/l)	DO (mg/l)	Total Coliform number/100
飲料水水源としての環境水基準	6.5-8.5	2 or less	6 or above	50 未満

出典：バングラデシュ人民共和国 環境保全規則（1997）

上記バングラデシュの基準では、人の健康やその他産業についての評価を実施することができない。そのため、以下のように人の健康、農業、工業について日本の基準を適用することで評価を行うこととした。

人の健康に関しては、日本国環境省の「人の健康の保護に関する環境基準」を用いた。

表 2.1.11 人の健康の保護に関する環境基準

項目	標準値
Cd（カドミウム）	0.003 mg/l 以下
全シアン	検出されないこと
Pb（鉛）	0.01 mg/l 以下
総水銀	0.0005 mg/l 以下
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	10 mg/l 以下
F（フッ素）	0.8 mg/l 以下

出典：環境省（日本国）「人の健康の保護に関する環境基準」より抜粋

農業に関しては、日本の農林水産技術会議による農業（水稲）用水基準の適用性について現地再委託先と検討を行った。現地再委託先へ確認を行ったところ、現状バングラデシュにおいては、塩分濃度のみが影響因子であると認識しているとのことであり、加えて表 2.1.12 に示す項目を含めて、現地の稲種の生育に対しての水質項目の影響に関する学術論文等の情報は、本件調査期間においては確認できなかった。従って、農業（稲作）についての検討は塩化物イオンによる海水の侵入の可能性の検討にとどめた。

表 2.1.12 農業（水稲）用水基準

項目	標準値
pH（水素イオン濃度）	6.0～7.5
COD（化学的酸素要求量）	6mg/l 以下
DO（溶存酸素）	5mg/l 以上
EC（電気伝導度）	0.3mS/cm 以下
As（ヒ素）	0.05mg/l 以下
Zn（亜鉛）	0.5mg/l 以下
Cu（銅）	0.02mg/l 以下

出典：農林水産技術会議（日本国）より抜粋

¹ 2022年改訂予定

² 大腸菌数：E-coliの値がこの値を超えた場合、大腸菌群として超過していると判断可能である。

工業用水としての評価を行うため、表 2.1.13 に示す日本工業用水協会の工業用水水質基準制定委員会によって定められている基準を評価に用いた。

表 2.1.13 工業用水道の供給標準水質の基準値

項目	標準値
濁度 (度)	20 以下
pH	6.5～8.0
全硬度 (mg/l)	120 以下
塩化物イオン (mg/l)	80 以下
鉄 (mg/l)	0.3 以下
マンガン (mg/l)	0.2 以下

出典：日本工業用水協会・工業用水水質基準策定委員会より
抜粋

漁業に関しては、日本の環境省の「水生生物の生息状況の適応」の基準値「亜鉛 0.003mg/l 以下」を評価に用いた。

以下に、各水域の水質分析結果を記載する。分析結果の考察に際しては、水質分析項目毎の相関関係について分析を行った。水質分析項目毎の相関分析結果を付録 2.1-2 (4) に示す。なお、分析結果については、t 検定 (有意水準 0.05) により評価を行った。

1) カプタイ湖

カプタイ湖における水質分析結果を表 2.1.14 に示す。

表 2.1.14 水質分析結果：カプタイ湖 1 (取水口付近)

項目	状況	基準値の超過状況	
pH	3月に8近くの最大値を示すが、その他の月については、10月を除いて7.5-6.5の範囲の値を示している。10月に6.5を下回る値を示している。	飲料水源としての環境水基準：6.5-8.5 工業用水道の供給標準水質基準：6.5-8.0	雨季：× 乾季：×
水温	2月に最小値 (22℃) を示し、5、9月に最高値 (31℃) を示している。		
DO	8、9月に約3mg/l、11月、翌年4月、5月にそれぞれ5.93mg/l、4.41mg/l、1.9mg/lと基準値以下の値を示している。その他の月においては、6mg/lを以上の値を示している。	飲料水源としての環境水基準：>=6.0	雨季：× 乾季：×
EC	6月に最小値 (60us/cm) を示した後、値が増加し8月以外は100us/cm以上の値を示している。 5月に最大値 (135us/cm) を示す。		
E-Coli	3月に最大値 (30CFU/100ml) を示すが、すべての月で基準値以下の値である。	飲料水源としての環境水基準：=<50	雨季：○ 乾季：○
臭気	すべての月で0.05以下の値を示す。8月に最大値 (0.047mg/l) を示す。		
COD	12月を除くすべての月ですべての月で基準値である3mg/lを超える値を示している。7月に最大値 (31mg/l) を示している。	日本の環境基準 水道2、3級：=<3	雨季：× 乾季：×
色度	8月に最大値 (135PtCo) を示す。 乾季に低い値を示す傾向がある。		
濁度	8月に最大値 (63NTU) を示す。 乾季に低い値を示す傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<20	雨季：× 乾季：○
アルカリ度	9月に基準値を上回る最大値 (151mg/l) を示す。他の月は一定の範囲内 (40-70mg/l) で推移している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<75	雨季：× 乾季：○
硬度	45-65mg/lの範囲内で推移しており、雨季と乾季の値に明確	工業用水道の供給標準水質	雨季：○

項目	状況	基準値の超過状況	
	な差異は確認されない。すべての月で基準値以下の値を示している。	基準：=<120	乾季：○
塩化物イオン	7月、10月に大きな値（20mg/l、26mg/l）を示す。乾季に値が低い傾向がある。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<80	雨季：○ 乾季：○
フッ素	5月に最大値（0.55mg/l）を示す。すべての月で基準値以下の値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.8	雨季：○ 乾季：○
アンモニア態窒素	5月に最大値（0.5mg/l）を示す。8月に比較的大きな値（0.37mg/l）を示した後、1月にかけて漸減する。		
硝酸態窒素	すべての月において硝酸性窒素と亜硝酸性窒素の合計値は、基準値である10mg/l以下の値を示している。2月に最大値（0.07mg/l）を示す。	人の健康の保護に関する環境基準：硝酸性窒素+亜硝酸性窒素=<10	雨季：○ 乾季：○
亜硝酸態窒素	10月に最大値（0.032mg/l）を示す。その他の月は0.02mg/l以下の値を示している。		
硫酸イオン	7月に最大値（14mg/l）を示し、後概ね1月まで漸減している。 雨季の値と比較して乾季に値が若干低い傾向がある。		
亜鉛	8月に最大値（0.4mg/l）を示し、後概ね1月まで漸減している。 10月と1月の値を除き、すべての月で基準値である0.03mg/lを超えた値を示している。	水生生物の生息状況の適応性=<0.03mg/l	雨季：× 乾季：×
マンガン	2月に最小値（0.005mg/l）、10月に最大値（0.074mg/l）を示す。すべての月で基準値以下の値を示している。雨季の値と比較して乾季に値が低い傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<0.2	雨季：○ 乾季：○
鉄	8月に最大値（0.58mg/l）を示している。その他の月はすべて0.3mg/l以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<0.3	雨季：× 乾季：○
銅	雨季、乾季ともに検出されていない。		
クロム	雨季、乾季ともに検出されている。		
鉛	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.01	雨季：○ 乾季：○
水銀	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.0005	雨季：○ 乾季：○
アルミニウム	雨季、乾季ともに検出されていない。		
カドミウム	乾季に基準値を超える値が検出されている。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.003	雨季：○ 乾季：×
シアン	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：検出されないこと	雨季：○ 乾季：○

注) 基準値を超えた項目はハッチをかけている。

出典：JICA 調査団

表 2.1.15 水質分析結果：カプタイ湖2

項目	状況	基準値の超過状況	
pH	3月に8近くの最大値を示すが、その他の月は10月、翌年1月を除いて7.5-6.5の範囲の値を示している。10月、1月は6.5を下回る値を示している。	飲料水源としての環境水基準：6.5-8.5 工業用水道の供給標準水質基準：6.5-8.0	雨季：× 乾季：×
水温	2月に最小値（22℃）を示し、5、9月に最高値（31℃）を示している。		
DO	5月に1mg/l以下、6月に2.2mg/l、8、9月に約3mg/l、11月に5.5mg/lと基準値以下の値を示している。その他の月においては、6mg/lを以上の値を示している。	飲料水源としての環境水基準：>=6.0	雨季：× 乾季：×
EC	6月に最小値を（63us/cm）示した後、値が増加し8月以外は100以上の値を示している。 5月に最大値（135us/cm）を示す。		

項目	状況	基準値の超過状況	
E-Coli	5月に最大値(24CFU/100ml)を示すが、すべての月で基準値以下の値である。	飲料水源としての環境水基準： ≤ 50	雨季：○ 乾季：○
臭気	すべての月で0.06以下の値を示す。8月に最大値(0.054mg/l)を示す。		
COD	9月を除くすべての月で基準値である3mg/lを超える値を示している。5月、7月に最大値(23mg/l)を示す。	日本の環境基準 水道2,3級： ≤ 3	雨季：× 乾季：×
色度	8月に最大値(247PtCo)を示す。 乾季に低い値を示す傾向がある。		
濁度	8月に最大値(97.6NTU)を示す。 乾季に低い値を示す傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準： ≤ 20	雨季：× 乾季：○
アルカリ度	9月に基準値を上回る最大値(149mg/l)を示す。他の月は一定の範囲内(40-70mg/l)で推移している。	工業用水道の供給標準水質 基準： ≤ 75	雨季：× 乾季：○
硬度	35-65mg/lの範囲内で推移しており、雨季と乾季の値に明確な差異は確認されない。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準： ≤ 120	雨季：○ 乾季：○
塩化物イオン	7月、10月に大きな値(19mg/l, 18mg/l)を示す。若干乾季に値が低い傾向がある。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準： ≤ 80	雨季：○ 乾季：○
フッ素	5月に最大値(0.23mg/l)を示すが、変動幅はKatilより小さい。すべての月で基準値以下の値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準： ≤ 0.8	雨季：○ 乾季：○
アンモニア態窒素	8月に最大値(0.56mg/l)を示した後、1月にかけて漸減する。4,5月にも比較的大きな値を示している。		
硝酸態窒素	すべての月において硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合計値は、基準値である10mg/l以下の値を示している。2月に最大値(0.08mg/l)を示す。	人の健康の保護に関する環境基準：硝酸態窒素+亜硝酸態窒素 ≤ 10	雨季：○ 乾季：○
亜硝酸態窒素	10月に最大値(0.043mg/l)を示す。その他の月は0.02mg/l以下の値を示している。		
硫酸イオン	8月に最大値(9mg/l)を示し、後概ね1月まで漸減している。 雨季の値と比較して乾季に値が若干低い傾向がある。		
亜鉛	2月に最大値(0.25mg/l)を示している。7月にも大きな値(0.22mg/l)を示し、その後概ね1月まで漸減している。1月、3月、5月の値を除き、すべての月で基準値である0.03mg/lを超えた値を示している。	水生生物の生息状況の適応性： $\leq 0.03\text{mg/l}$	雨季：× 乾季：×
マンガン	6月には基準値である0.2mg/lを超える値(0.804mg/l)を示し、その後概ね12月まで漸減している。6月以外の月においては基準値を下回る値を示している。雨季の値と比較して乾季に値が低い傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準： ≤ 0.2	雨季：× 乾季：○
鉄	8月に最大値(0.8mg/l)を示している。その他の月はすべて0.3mg/l以下の値を示している。雨季の値と比較して乾季に値が若干低い傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準： ≤ 0.3	雨季：× 乾季：○
銅	雨季、乾季ともに検出されていない。		
クロム	乾季に検出されている。		
鉛	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準： ≤ 0.01	雨季：○ 乾季：○
水銀	乾季に基準値を超える値が検出されている。	人の健康の保護に関する環境基準： ≤ 0.0005	雨季：○ 乾季：×
アルミニウム	雨季、乾季ともに検出されていない。		
カドミウム	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準： ≤ 0.003	雨季：○ 乾季：○
シアン	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：検出されないこと	雨季：○ 乾季：○

注) 基準値を超えた項目はハッチをかけている。

出典：JICA 調査団

COD の値が全体に高く、雨季・乾季ともに 10mg/l 以上の値を示しており、非常に汚濁が進んでいる。濁度、色度の値の増加、水位の変動を考慮すると、一つの可能性として、常態的にダム湖周辺より生活排水等の汚濁物質が流入しており、COD 値が高い状態であるところに、雨季に表流水が流入し、その結果希釈され COD 値が減少した可能性が考えられる。比較的湖心に近いサンプリング地点であるカプタイ湖 2 においては、色度は、濁度及び鉄と非常に強い正の相関を示し、アンモニア態窒素及び硫酸イオンと強い正の相関を示している。濁度についても、アンモニア態窒素と正の相関、硫酸イオンと強い正の相関、鉄と非常に強い正の相関を示している。このことから、雨季の表流水流入に際して、上流域のし尿が流入した可能性が考えられる。また、硝酸態窒素の値が比較的大きいことから、過去にし尿による汚濁を受け一定の期間を有して硝酸態窒素の形で存在している可能性が考えられる。硝酸態窒素と硫酸イオンに強い正の相関があることから、一つの可能性として化学肥料（硫酸アンモニウム）による影響が考えられる。DO については、ほとんどの月で表層に近い方が値しており、カプタイ湖 1（取水口付近）においては、アンモニア態窒素との強い負の相関を示している。貧酸素状態における還元作用による可能性が考えられる。

COD 値が非常に高いこと、乾季に水銀、カドミウムが検出されていることから、上水の水源としての利用に際しては雨季に限定して検討する必要がある。また、更なるモニタリングを実施し、汚染源の推定、水溶性／懸濁物質由来であるか、分析の正確性等を詳細に検討し、利用時期、低減のための政策、必要となる処理及びそれらの経済性を考慮し判断することがより適切である。工業用水としての利用に際しては、pH、濁度、アルカリ度、マンガン、鉄に関して基準値を超えることから、pH、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等により、マンガンを、鉄に関しては、接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また亜鉛の値が多く、多くの月で基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により低減する必要がある。

2) ハルダ川

ハルダ川における水質分析結果を表 2.1.16 に示す。

表 2.1.16 水質分析結果：パンチプクリア

項目	状況	基準値の超過状況	
pH	すべての月で 8.0-6.5 の範囲の値を示している。	飲料水源としての環境水基準：6.5-8.5 工業用水道の供給標準水質基準：6.5-8.0	雨季：○ 乾季：○
水温	5月に最高値（35℃）を示している。10月から低下し、12月に最低値（22℃）を示している。		
DO	7月に基準値を下回る最小値（5.7mg/l）を示した後、多少の変動はあるものの1月の最大値（9.4mg/l）まで漸増している。 7月以外の月においては6以上の値を示している。	飲料水源としての環境水基準：>=6.0	雨季：× 乾季：○
EC	3月に最大値（285us/cm）を示す。7月に最小値を示し、1月にかけて概ね漸増する。		
E-Coli	3月に非常に大きな値（22,000CFU/100ml）を示している。その他の月についても、1、5月以外については基準値である50MPN/100mL以上の値を示している。	飲料水源としての環境水基準：<50	雨季：× 乾季：×
臭気	すべての月で 0.04 以下の値を示す。7月に最大値（0.039mg/l）を示す。		

項目	状況	基準値の超過状況	
BOD	乾季の前半に基準値である 2mg/l 以下の値を示すが、その他 3月、6月をを除いてすべての月で基準値を上回る値を示す。9月に最大値 (5.25mg/l) を示す。	飲料水源としての環境水基準：=<2	雨季：× 乾季：×
色度	6月、10月に大きな値 (164PtCo、188PtCo) を示している。乾季に低い値を示す傾向がある。		
濁度	2月、3月を除き、すべての月において基準値である 20NTU を超える値を示している。6月、10月に大きな値 (254NTU、157NTU) を示している。	工業用水道の供給標準水質基準：=<20	雨季：× 乾季：×
アルカリ度	9月に基準値を上回る最大値 (157.5mg/l) を、3月と5月の値についても 100mg/l 以上を示している。	工業用水道の供給標準水質基準：=<75	雨季：× 乾季：×
硬度	乾季の値が雨季の値より大きい傾向がある。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質基準：=<120	雨季：○ 乾季：○
塩化物イオン	4月に最大値 (27mg/l)、10月でも大きな値 (19 mg/l) を示す。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質基準：=<80	雨季：○ 乾季：○
フッ素	6月に最大値 (0.27mg/l) を示す。その他の月については0からこの範囲で値が推移している。すべての月で基準値以下の値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.8	雨季：○ 乾季：○
アンモニア態窒素	7月に最大値 (0.48mg/l) を示した後、1月にかけて値が上下しながら減少する。4、5月にも比較的大きな値を示している。		
硝酸態窒素	すべての月において硝酸性窒素と亜硝酸性窒素の合計値は、基準値である 10mg/l 以下の値を示している。10月に最大値 (0.36mg/l) を示す。3月、8月を除き 0.1mg/l 以下の値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準：硝酸性窒素+亜硝酸性窒素=<10	雨季：○ 乾季：○
亜硝酸態窒素	10月に最大値 (0.13mg/l) を示し、1月も比較的大きな値 (0.094mg/l) を示している。		
硫酸イオン	7月、8月に最大値 (9mg/l) を示した後、9月、10月で減少するが、11月に再び上昇し、その後1月まで減少する。		
亜鉛	8月に最大値 (0.31mg/l) を示した後概ね1月まで漸減している。1月、3月、10月の値を除き、すべての月で基準値である 0.03mg/l を超えた値を示している。	水生生物の生息状況の適応性=<0.03mg/l	雨季：× 乾季：×
マンガン	11月に最大値 (0.098mg/l) を示す。雨季乾季の明確な差異は確認されない。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質基準：=<0.2	雨季：○ 乾季：○
鉄	5月(最小値：0.12mg/l) 以外の月は、すべての月で基準値である 0.3mg/l 以上の値を示している。11月に最大値 (0.95mg/l) を示す。	工業用水道の供給標準水質基準：=<0.3	雨季：× 乾季：×
銅	雨季、乾季ともに検出されていない。		
クロム	雨季、乾季ともに検出されている。		
鉛	代表値である中間深度においては、雨季、乾季ともに基準値を下回っているが、雨季において河床に近い部分では基準値を超える値が検出されている。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.01	雨季：○ 乾季：○
水銀	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.0005	雨季：○ 乾季：○
アルミニウム	雨季、乾季ともに検出されていない。		
カドミウム	乾季に基準値を超える値が検出されている。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.003	雨季：○ 乾季：×
シアン	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：検出されないこと	雨季：○ 乾季：○

注) 基準値を超えた項目はハッチをかけている。

出典：JICA 調査団

大腸菌の値が非常に高く、濁度の値も全体に高く、BOD の値も基準を超過する月が多い。大腸菌及び濁度の値が全体に高く、BOD の値も基準を超過する月が多い。BOD は濁度や色度等の雨水流

入の影響が強いと考えられる分析項目と相関を有していないことから、採水地点の上流域からの生活排水等の汚濁物質が常態的に流入している可能性が考えられる。臭気は、濁度と非常に強い正の相関、アンモニア態窒素と強い正の相関がある。濁度はアンモニア態窒素と正の相関がある。DOについても、濁度及びアンモニア態窒素と強い負の相関を示している。このようなことから、濁度が増加した時期に、し尿・下水等により汚濁物質が流入し、汚染されてから間もない可能性が考えられる。塩化物イオンの値から、塩水による影響はほとんどないと考えられる。

BOD、大腸菌の値が非常に高いこと、雨季に鉛が、乾季に水銀及びカドミウムが検出されていることから、上水利用の検討に際しては、更なるモニタリングを実施し、汚染源の推定、水溶性/懸濁物質由来であるか、分析の正確性等を詳細に検討し、利用時期、低減のための政策、必要となる処理及びそれらの経済性を考慮し判断することがより適切である。濁度、アルカリ度、鉄に関して基準値を超えることから、工業用水としての利用に際しては、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等により、亜鉛、鉄に関しては、接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また亜鉛の値が多くのもで基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により低減する必要がある。尚、鉛、水銀及びカドミウムについては、利用を考慮する際には、再度詳細なモニタリングを行う必要がある。

3) サング川

サング川における水質分析結果を表 2.1.17 に示す。

表 2.1.17 水質分析結果：バンドルバン

項目	状況	基準値の超過状況	
pH	2、3月に8.0を超える値を示すが、その他の月では8.0-6.5の範囲の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：6.5-8.0	雨季：○ 乾季：×
水温	5、10月に最高値（33℃）を示している。10月から低下し、12月に最低値（21℃）を示している。		
DO	6月に基準値を下回る最小値（5.5mg/l）を示した後、多少の変動はあるものの1月まで漸増している。6月以外の月においては6mg/l以上の値を示している。	飲料水源としての環境水基準：>=6.0	雨季：× 乾季：○
EC	6月に最小値（111us/cm）を示した後漸増し、翌年4月に最大値（297us/cm）を示す。すべての月で100以上の値を示している。		
E-Coli	3月に非常に大きな値（21,000MPN/100mL）を示している。その他の月の値も、1月以外については基準値である50MPN/100ml以上の大きな値を示している。	飲料水源としての環境水基準：<50	雨季：× 乾季：×
臭気	すべての月で0.03以下の値を示す。7月に最大値（0.021mg/l）を示す。		
BOD	雨季の後半から乾季にかけて基準値である2mg/l以下の値を示す月（10月、12月、1月、3月）があるが、その他の月はすべて基準値を上回る値を示している。9月に最大値（12mg/l）を示す。	飲料水源としての環境水基準：=<2	雨季：× 乾季：×
色度	6月に最大値（796PtCo）を示している。乾季に低い値を示す傾向がある。		
濁度	雨季に基準値である20NTUを超える値を示している。6月に最大値（1304NTU）を示している。乾季に低い値を示す傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<20	雨季：× 乾季：×
アルカリ度	9月に最大値（250mg/l）を示す。過半数の月で、基準値を上回る値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<75	雨季：× 乾季：×
硬度	6月に最小値（40.9mg/l）を示した後、徐々に値が増加する	工業用水道の供給標準水質	雨季：○

項目	状況	基準値の超過状況	
	傾向を示している。乾季の値が雨季の値より大きい傾向がある。すべての月で基準値以下の値を示している。	基準：=<120	乾季：○
塩化物イオン	10月に最大値(30mg/l)を示す。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<80	雨季：○ 乾季：○
フッ素	8月、9月に、基準値を超えるそれぞれ1.97mg/l、1.7mg/lを示す。その他の月については、基準値を下回る値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.8	雨季：× 乾季：×
アンモニア態窒素	6月に最大値(1.27mg/l)を示した後、12月まで漸減している。4月、5月にかけて増加が見られる。		
硝酸態窒素	すべての月において硝酸態窒素と亜硝酸態窒素の合計値は、基準値である10mg/l以下の値を示している。6月に最大値(0.65mg/l)を示す。その他の月は1月、2月、5月を除き0.1mg/l以下の値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準：硝酸態窒素+亜硝酸態窒素=<10	雨季：○ 乾季：○
亜硝酸態窒素	5月に最大値(0.074mg/l)を示し、1月、6月、10月も比較的大きい値を示している。		
硫酸イオン	6月に最大値(13mg/l)を示し、その後減少するが、11月に再び上昇し、その後1月まで減少する。		
亜鉛	6月に最大値(0.36mg/l)を示した後概ね1月まで漸減している。雨季の値と比較して乾季に値が若干低い傾向がある。10月の値を除き、すべての月で基準値である0.03mg/lを超えた値を示している。	水生生物の生息状況の適応性=<0.03mg/l	雨季：× 乾季：×
マンガン	6月に比較的大きな値(0.047mg/l)を示した後概ね10月まで漸減するが11月に再び大きくなり最大値(0.05mg/l)を示している。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<0.2	雨季：○ 乾季：○
鉄	6月に最大値(2.19mg/l)を示した後概ね12月まで漸減している。5月、6月、7月において基準値を超える値を示している。雨季の値と比較して乾季に値が若干低い傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<0.3	雨季：× 乾季：○
銅	雨季、乾季ともに検出されていない。		
クロム	乾季に検出されている。		
鉛	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.01	雨季：○ 乾季：○
水銀	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.0005	雨季：○ 乾季：○
アルミニウム	雨季、乾季ともに検出されていない。		
カドミウム	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.003	雨季：○ 乾季：○
シアン	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：検出されないこと	雨季：○ 乾季：○

注) 基準値を超えた項目はハッチをかけている。

出典：JICA 調査団

大腸菌及び濁度の値が非常に高く、BODの値も基準を大きく超過する月が多い。BODは濁度や色度等の雨水流入の影響が強いと考えられる分析項目と相関を有していないことから、採水地点の上流域からの生活排水等の汚濁物質が常態的に流入している可能性が考えられる。臭気は、色度、濁度及び鉄と強い正の相関、アンモニア態窒素と亜鉛と正の相関がある。濁度はアンモニア態窒素及び鉄と非常に強い正の相関、硫酸イオンと強い正の相関がある。DOについても、臭気と強い負の相関を、色度、濁度及びアンモニア態窒素と負の相関を示している。このようなことから、濁度が増加した時期に、し尿・下水等により汚濁物質が流入し、汚染されてから間もないか、有機汚濁の程度が大きいために溶存酸素が欠乏している可能性が考えられる。硝酸態窒素と硫酸イオンに強い正の相関があることから、一つの可能性として化学肥料(硫酸アンモニウム)による影響が考え

られる。塩化物イオンの値から、塩水による影響はほとんどないと考えられる。

BOD、大腸菌の値が非常に高く、フッ素についても基準値を超えていることから、上水利用の検討に際しては、既存処理施設における処理技術の有効性、経済性を考慮し判断することが適切である。pH、濁度、アルカリ度、鉄に関して基準値を超えることから、工業用水としての利用に際しては、pH、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等、鉄に関しては、接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また亜鉛の値が多くのもで基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により低減する必要がある。

4) マタムフリ川

マタムフリ川における水質分析結果を表 2.1.18 に示す。

表 2.1.18 水質分析結果：ラーマ

項目	状況	基準値の超過状況	
pH	2、3月及び翌年1月に8.0を超える値を示すが、その他の月では8.0-6.5の範囲の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：6.5-8.0	雨季：○ 乾季：×
水温	10月に最高値(37℃)を示している。10月から低下し、1月まで漸減する。2月に最小値(22℃)を示している。		
DO	6月に基準値を下回る最小値(1.3mg/l)を示した後、変動はあるが概ね値が増加し、1月に最大値(9.8mg/l)を示す。6月以外は6以上の値を示す。	飲料水源としての環境水基準：>=6.0	雨季：×
EC	6月に最小値(105us/cm)を示した後漸増し、翌年4月に最大値(256us/cm)を示す。すべての月で100以上の値を示している。		乾季：○
E-Coli	1月以外のすべての月で基準値である50MPN/100ml以上の値を示している。	飲料水源としての環境水基準：<50	雨季：×
臭気	すべての月で0.03以下の値を示す。7月に最大値(0.022mg/l)を示す。		乾季：×
BOD	12月、1月、3月と基準値を下回る値を示すが、その他すべての月で基準値を上回る値を示す。6月、9月に最大値(9.7mg/l)を示す。	飲料水源としての環境水基準：=<2	雨季：×
色度	6月に最大値(2389PtCo)を示している。乾季に低い値を示す傾向がある。		乾季：×
濁度	雨季に基準値である20NTUを超える値を示している。6月に最大値(3440NTU)を示している。乾季に低い値を示す傾向がある。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<20	雨季：×
アルカリ度	9月に最大値(241mg/l)を示す。過半数の月で、基準値を上回る値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<75	乾季：×
硬度	6月に最小値(41mg/l)を示した後、徐々に値が増加している。乾季の値が雨季の値より大きい傾向がある。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<120	雨季：○ 乾季：○
塩化物イオン	7月に最大値(34mg/l)、10月でも比較的大きな値(27.59mg/l)を示す。すべての月で基準値以下の値を示している。	工業用水道の供給標準水質 基準：=<80	雨季：○ 乾季：○
フッ素	6月に基準値を超える値(1.67mg/l)を示している。その他の月については、基準値を下回る値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.8	雨季：×
アンモニア態窒素	6月に最大値(3.03mg/l)を示し、9月まで減少した後再び上昇、12月に再度減少する。4月、5月にかけて増加が見られる。		乾季：○
硝酸態窒素	すべての月において硝酸性窒素と亜硝酸性窒素の合計値は、基準値である10mg/l以下の値を示している。5月に最大値(0.52mg/l)を示す。その他の月は2、4月を除き0.1mg/l以下の値を示している。	人の健康の保護に関する環境基準：硝酸性窒素+亜硝酸性窒素=<10	雨季：○ 乾季：○

項目	状況	基準値の超過状況	
亜硝酸態窒素	10月に最大値(0.186mg/l)を示す。その他の月は概ね0.05mg/l以下の値を示している。		
硫酸イオン	6月に最大値(12mg/l)を示し、その後減少するが、1月まで2-6mg/lの範囲で増減する。		
亜鉛	8月に最大値(0.29mg/l)を示した後概ね1月まで漸減している。 1月、10月の値を除き、すべての月で基準値である0.03mg/lを超えた値を示している。	水生生物の生息状況の適応性=<0.03mg/l	雨季：× 乾季：×
マンガン	6月に基準値である0.2mg/lを上回る最大値(0.348mg/l)を示した後、概ね12月まで漸減している。6月以外の月においては基準値以下の値を示している。雨季の値と比較して乾季に値が低い傾向がある。	工業用水道の供給標準水質基準：=<0.2	雨季：× 乾季：○
鉄	6月に最大値(3.37mg/l)を示した後概ね1月まで漸減している。6月、7月、10月、11月、12月において基準値を超える値を示している。雨季の値と比較して乾季に値が低い傾向がある。	工業用水道の供給標準水質基準：=<0.3	雨季：× 乾季：×
銅	雨季、乾季ともに検出されていない。		
クロム	雨季、乾季ともに検出されている。		
鉛	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.01	雨季：○ 乾季：○
水銀	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.0005	雨季：○ 乾季：○
アルミニウム	雨季、乾季ともに検出されていない。		
カドミウム	乾季に基準値を超える値が検出されている。	人の健康の保護に関する環境基準：=<0.003	雨季：○ 乾季：×
シアン	雨季、乾季ともに検出されていない。	人の健康の保護に関する環境基準：検出されないこと	雨季：○ 乾季：○

注) 基準値を超えた項目はハッチをかけている。

出典：JICA 調査団

大腸菌及び濁度の値が高く、BODの値も基準を大きく超過する月が多い。BODは濁度と正の相関があることから、採水地点の上流域からの生活排水等の汚濁物質が、濁度が高くなる時期に流入している可能性が考えられる。臭気は、濁度と非常に強い正の相関、色度、アンモニア態窒素及び鉄と正の相関がある。濁度はアンモニア態窒素、マンガン及び鉄と非常に強い正の相関、硫酸イオンと強い正の相関がある。DOについても、濁度及びアンモニア態窒素と非常に強い負の相関を、臭気、色度と強い負の相関を示している。このようなことから、濁度が増加した時期に、し尿・下水等により汚濁物質が流入し、汚染されてから間もないか、有機汚濁の程度が大きいために溶存酸素が欠乏している可能性が考えられる。硝酸態窒素と硫酸イオンに強い正の相関があることから、一つの可能性として化学肥料(硫酸アンモニウム)による影響が考えられる。塩化物イオンの値から、塩水による影響はほとんどないと考えられる。

BOD、大腸菌の値が非常に高く、フッ素についても基準値を超えている。乾季にカドミウムが検出されていることから、上水の水源としての利用に際しては雨季に限定して検討する必要がある。また、更なるモニタリングを実施し、汚染源の推定、水溶性/懸濁物質由来であるか、分析の正確性等を詳細に検討し、利用時期、低減のための政策、必要となる処理及びそれらの経済性を考慮し判断することがより適切である。pH、濁度、アルカリ度、鉄に関して基準値を超えることから、工業用水としての利用に際しては、pH、アルカリ度については適正範囲への管理、濁度については沈殿・ろ過等、鉄に関しては接触ろ過法等による除去処理が必要となる。また亜鉛の値が多くの月で

基準値を超える値を示していることから、中長期的な水生生物への影響を考慮し、適切な政策により低減する必要がある。

5) 全体的な傾向

すべての採水地点において、概ね、乾季に pH 値が高くなり、雨季に低くなる傾向がある。pH 値の低下は降雨による影響が考えられる。雨季の増水期に濁度がピークを迎え、同時期に、アンモニア態窒素、硝酸態窒素、亜鉛、鉄の値もピーク値を取る。採水地点の上流に鉱山、鉱床、熱水等の影響が考えられる地質的な構造が確認されていないこと、大規模な工場等が存在しないこと、一方で重金属についても検出されていることから、一つの可能性として、肥料が長期にわたって散布され、増水期に土壌が流出してこれらの項目の値の上昇に寄与したことが考えられる。大腸菌 (E-coli) の値については、すべての地点において、3月に高い値を示しており、マタムフリ川においては7月及び10月においても高い値を示している。これらについては稲の作付け時期に厩肥もしくは下肥散布の可能性が考えられる。尚、これらの考察は、工場、肥料散布についての統計資料が確認されていないこと、水質に影響を与える要因は時間的なものを含めて多岐に渡ることから、確定的な結論ではなく水質分析結果から考えられる可能性を示したものである。

2.2 地形：地質・地下水調査

2.2.1 地形・地質・地下水に関する基礎情報

調査地域は、チョットグラム丘陵地帯 (Chattogram Hill Tracts : CHT) と称される丘陵地の西縁部からその西側に広がる海岸平野、モヘシュカリ島、マタバリ島を含む地域である。調査地域の北端はカプタイダム周辺、南端はコックスバザール市の南部である。調査地域内にはコックスバザールおよびチャカリアといった都市部がある他は村落部となっている。調査地域内には通年で利用できる河川が無く、都市部および村落部ともに生活用水を地下水に依存している。灌漑用水についても地下水への依存度は高い。本調査では、調査地域の自然条件の基礎情報となる地形および地質を把握するため、既存の地形図、地質図、坑井柱状図 (Borehole Log) および文献を収集するとともに、現地踏査・物理探査を実施した。また、調査地域での地下水利用状況を把握すること、および地下水ポテンシャルを評価するための基礎データを得ることを目的として、DPHE が建設した井戸の Borehole Log、DPHE・BWDB による地下水位モニタリングデータ、既存文献・情報等を収集するとともに、地下水調査 (井戸のインベントリー調査、地下水位の一斉・長期観測、水質測定) を現地再委託で実施した。以下、これらの結果について述べる。

2.2.2 地形

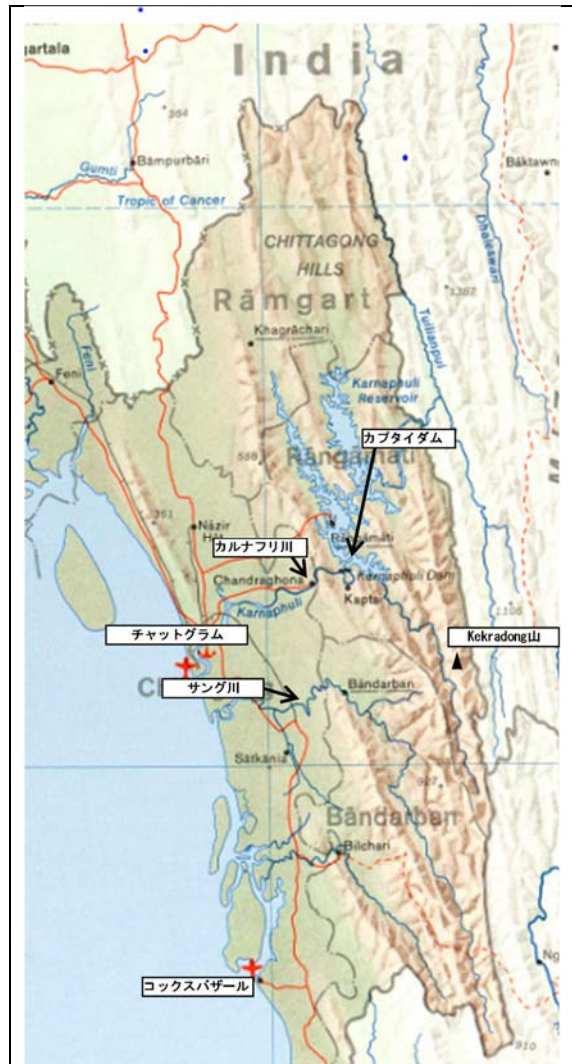
調査地域周辺の地形を図 2.2.1 に示す。CHT はバングラデシュの東南部に位置し、ヒマラヤ山脈の延長部に当たる標高 300～500m 前後の丘陵が連なっている。面積は約 13,180 km² を占め、インドおよびミャンマーとの国境地帯に当たっている。丘陵地帯の東側はミャンマーのアラカン山脈に繋がり、丘陵地の西側にはチョットグラムからコックスバザールへかけて海岸平野が広がり、ベンガル湾に面している。

丘陵の高さは東に行くにつれて高くなり、最高地点は標高 1,230m の Kekradong 山となっている。

ベンガル湾からその南のアンダマン湾にかけては、インドプレートがビルマプレートに対して年間約 10 mm/年の速度で沈み込んでいるとされている(宍倉他 2007⁴)。このため、調査地域一帯で発達している北北西-南南東方向の地質構造(褶曲構造、断層構造等)を反映し、北北西-南南東方向に伸びる丘陵地が列を成して分布している。すなわち、地層の背斜構造の軸(背斜軸)の部分が丘陵地となり、向斜構造の軸(向斜軸)の部分が谷部となっている。

丘陵地を流れる河川は、北北西方向から南南東方向へ流れるものと南南東方向から北北西方向へ流れるものが合流し、丘陵地の延長方向と直角するように浸食した谷を通り、西側へ流れベンガル湾へと注いでいる。主な河川は、カルナフリ川、サング川、マタムフリ川およびバッカリ川の4河川である。これらの河川は丘陵地を横切って流れており、丘陵地が形成される際の隆起量よりも先にその地域を流れていた河川の浸食量の方が上廻っていたために形成されたいわゆる“先行河川”であろうと考えられる。

丘陵地帯の西側には海岸平野が形成されており、水田や畑地として利用されている。海岸



出典：テキサス大学作成の地図³に、調査団が加筆

図 2.2.1 チョットグラム丘陵地の地形

³ : Map No. 503753 1979 Bangladesh, Map Collection Perry-Castañeda Library, University of Texas Library, http://legacy.lib.utexas.edu/maps/middle_east_and_asia/txu-pclmaps-oclc-6423840-bangladesh_1979.jpg を使用。

⁴ : 宍倉正展・e・藤野滋弘：ミャンマー西海岸古地震調査報告、活断層研究センターニュース、No.76、pp.1-3、e、

平野のさらに西側には海岸線に沿い軟弱な干潟状の低地が形成されており、多くは塩田として、一部はエビの養殖池に利用されている。

チャカリア市の西側には、モヘシュカリ水道を隔ててモヘシュカリ島、さらにその西側にマタバリ島があり、これら2島と本土側とは橋梁により道路が繋がっている。モヘシュカリ島は362 km²、マタバリ島は27 km²の面積を有している。モヘシュカリ島の中央部には北北西-南南東に延びる丘陵地があり、山麓から海岸にかけて海岸平野、干潟状の低地が広がっている。干潟状の低地は本土側と同様に主に塩田やエビの養殖池として利用されている（参照：図2.2.2）。

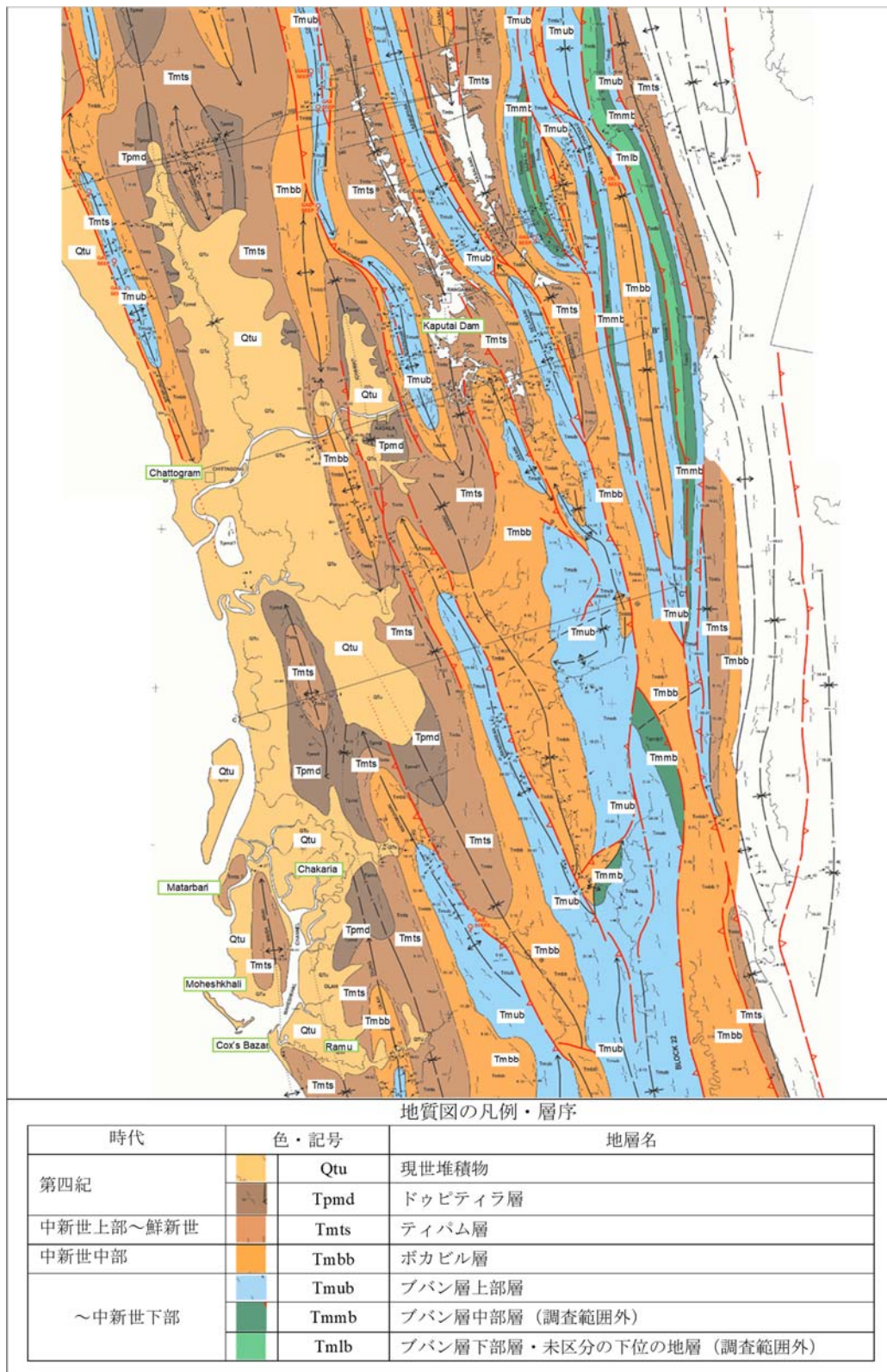


図 2.2.2 モヘシュカリ島北部に広がる塩田
 (撮影：調査団)

モヘシュカリ島の南側には Bangladesh 政府によりエコロジカル・クリティカルエリアとして指定されているソナディア島がある。

2.2.3 地質

調査地域には、下位から中新世のブバン層、中新世のボカビル層、中新世~鮮新世のティパム層、およびこれらを覆うドゥピティラ層他の第四紀層が分布する。これらの層序および分布を図 2.2.3 に地質図として示す。なお、調査対象地域の東側の範囲をカプタイダム湖の東側あたりとすれば、その東方地域にはブバン層の中部層・下部層およびその下位の未区分堆積岩が分布しており、地質図にはこれらも含めて表現されている。また、表 2.2.1 に調査地域に分布する地層の層序表を示す。



出典：Thomas L. Davis (2016) Geologic Map, Chittagong Hill Tracts, Bangladesh

図 2.2.3 調査地域周辺の地質図

調査対象地域を構成する地層は、Afros (2012)、Hossain & Hassan (2012)および Md. Zakaria *et al* (2015)等に基づいて表 2.2.1 のようにまとめられる。

表 2.2.1 調査対象地域の地質層序

時代	地層名	層相	層厚
現世	海岸砂・砂丘砂	淘汰の良い細粒砂	最大 120m
鮮新-更新世	ドゥピティラ層	赤褐色～黄褐色の中粒～粗粒砂岩。 砂岩勝ちの粘土との互層。 弱固結。河川堆積物	最大 300m
鮮新世	ギルジャン粘土層	赤色・褐色の斑点状の粘土。 湖底・氾濫原・河岸堆積物 (図 2.2.3 では表示されていない)	70～300m
中新世～鮮新世	ティパム層	灰褐色～淡灰色の粗粒砂岩。斜行層理が発達する。	約 610m
中新世	ボカビル層	頁岩、シルト岩、砂岩。 葉理～層理が発達する青灰色頁岩、シルト・細砂のレンズが時折出現する。堅硬緻密な石灰質のバンドが出現するのが特徴的。	約 1800m
漸新世～中新世	ブバン層	上部層	約 3,500m
		中部層	
		下部層	

出典：Afros (2012)、Hossain & Hassan (2012)、Md. Zakaria *et al* (2015)、Geological Group-Formation, Banglapedia⁵を基に JICA 調査団が編集加筆した。

調査地域は、インドプレートのビルマプレートへの沈み込みによる横圧力で生じたチッタゴン-トリプラ褶曲帯 (Chittagong-Tripura Folded Belt) に位置し、北北西-南南東方向に延びる背斜構造と向斜構造が列を成し、さらにこれらの構造に平行する何本もの逆断層・衝上断層が走っている。地質の分布は、これらの背斜構造により形成された丘陵地の中心部付近が浸食されブバン層やボカビル層等の古い地層が分布し、向斜構造によって生じた凹地状の低地にティパム層やそれより新しい地層が分布するという構成になっている。

調査地域周辺で最下位の地層は中新世のブバン層である。ブバン層の下部層および中部層はカプタイダムよりも東方を北北西-南南東に走る数本の逆断層・衝上断層に沿って帯状分布している。ブバン層の上部層は、カプタイダムの東方では下部層・中部層に沿って分布しているが、カプタイダムより西側では、北北西-南南東に走る多くの背斜構造の軸部に沿って分布している。

ブバン層上部層を覆って分布するのは中新世のボカビル層である。ボカビル層は、調査地域を北北西-南南東に走る背斜構造および向斜構造に沿って分布している。層相は、シルト岩、砂質頁岩、頁岩から成る。砂岩には、斜交層理が発達することもある。

ティパム層は、ボカビル層を覆って、主として向斜構造に沿って広く分布する。層相は、砂岩を主体として泥岩、砂岩泥岩互層を含んでいる。

ボカビル層およびティパム層は、互いに層相が似通っており、露頭では風化が進んでいる場合もあり、露頭の観察のみでは識別が困難な場合がある。

⁵ Geological Group-Formation, Banglapedia, http://en.banglapedia.org/index.php?title=Geological_Group-Formation

ギルジャン粘土層は、湖底・氾濫原・河岸堆積物とされている。今回の地質調査では、調査可能な範囲および滞在時間等の制約があり、ギルジャン粘土層の分布を確認することは出来なかった。

ドゥピティラ層は、チャカリアの東部の丘陵地に、ティパム層を覆って分布している。層相は、未固結の砂層、泥層、粘土層から成るとされている。今回実施した地質踏査では、ギルジャン粘土層の場合と同様な理由で、本層の分布地を確認することはできなかった。現世堆積物は、調査地域の最上位の堆積層として、海岸平野の上部、河川沿い、海岸沿いの低地等に分布している。

調査地域に分布する地層は、西から東へ向かうにつれて、古い地層が分布するようになる。すなわち、調査地域の概ね西半部ではティパム層やギルジャン粘土層・ドゥピティラ層等の比較的若い地層が分布し、東半部ではボカビル層・ブバン層等の古い地層が主として分布するようになる。

モヘシュカリ、チャカリア、コックスバザール、ラムの各ウパジラの一部地域について、調査地域に分布する地質の状況を把握するために踏査を行い、分布する地質の概略を把握した。なお、地質踏査は、安全対策上の措置のため、コックスバザール県内のみ対象とし、隣接するバンドルバン県については対象外とした。図 2.2.7 に、現地で観察したティパム層およびボカビル層の露頭の状況を示す。

コックスバザールからラム・ウパジラにかけての地域のみを観察であるが、褐色および青灰色の細砂～中粒砂の薄層の互層が発達する層準、層理が発達しない塊状の褐色の中粒砂の層準、褐色の薄い葉理状の細砂～中粒砂および青灰色の細粒砂の薄層（白色の極めて薄い層を挟む）の互層が発達する層準等が観察された。これらの特徴から、この地層はティパム層であると考えられる。地質構造は、地質図で示されているラムの東側を北北西-南南東に走る背斜構造付近では約 20 度前後の傾斜を示し、その西側（コックスバザールとラムの間）を走る向斜構造付近では 5 度以下の極めて緩い傾斜を示している。コックスバザール南方のテクナフ半島でティパム層の下位のボカビル層が示したような 70 度を超す急傾斜の構造は観察されなかった。このことは、地下水流動に地質構造が大きく影響を与えることは少ない可能性を示している。

チャカリアからモヘシュカリにかけての地域では、ティパム層が分布する小丘や丘陵地が分布している。この地域でのティパム層は図 2.2.4 の写真-1 に示されるように、概ね淡褐色や淡灰色の成層し層理が発達した細粒砂～中粒砂層を主とし、薄いシルト～粘土層を挟在している。ボカビル層は、丘陵地の下部に時折露出している。比較的新鮮な露頭では写真-2 に示されるように淡灰色で層理が見られる細粒～中粒砂岩を主とし、ティパム層と同様に薄いシルト～粘土層を挟在している。風化が進んでいる場合は、全体に淡褐色がかかった色調になり、ティパム層と似通った早々になるため、両者の区別が難しい。

モヘシュカリ島の中央部の丘陵地にもティパム層が分布している。島の東北部で、ティパム層を切る北西-南東方向の断層が確認された。断層の東側では地層の傾斜は緩やかである。

のに対して、断層の西側ではほぼ直立している。そこからさらに西側へ数十m行くとふたたび地層の傾斜が緩やかになる。この断層の連続性は、北東方向では植生に覆われ、南東方向では現世の堆積物に覆われているため辿ることができない。この断層が地下水流動に及ぼす影響についても不明である。



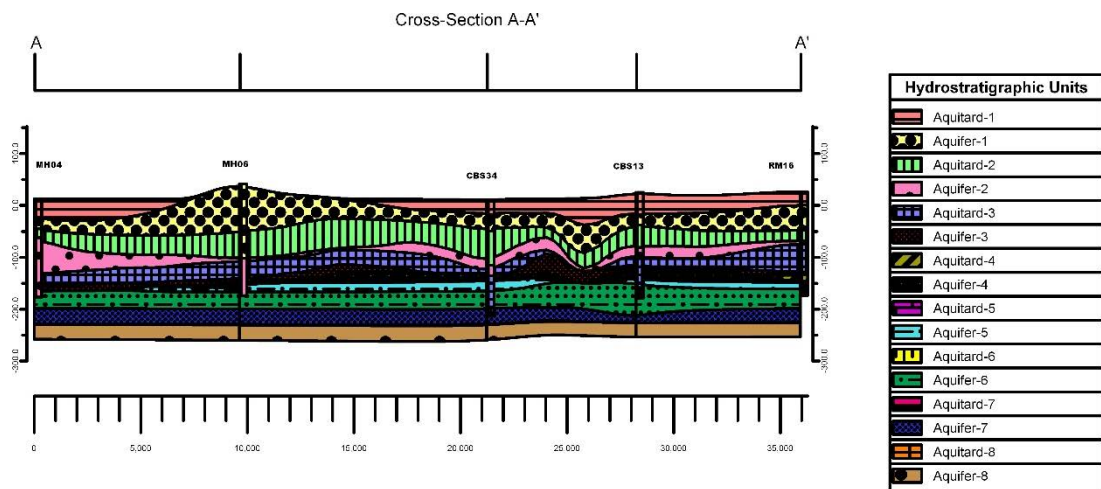
出典：JICA 調査団

図 2.2.4 ティパム層およびボカビル層の露頭の状況

次に、水理地質構造について記述する。

DPHE が調査地域内で建設した井戸の内、地質や水質等のデータをまとめた Borehole Log を作成している井戸について、掘削深度約 200m 以深の井戸 53 本分のデータを収集し作成した地質断面を図 2.2.5 に示す。Borehole Log には、地層の対比を行うための情報に乏しいため、断面図に示した地層についての情報だけではそれぞれ何層に相当するのかを判定することは困難である。しかし、地質踏査の結果から、調査地域の地表下にはティパム層あるいはその上位の地層が広く分布していると考えられることからティパム層およびそれよりも上位の地層であると推定される。

この他、マタバリ火力発電所建設用地内に掘削された深井戸 16 本があるが、これらについては、地質に関するデータは記録されていない。



出典：JICA 調査団

図 2.2.5 調査地域の地質断面図（南北方向）

調査地域の深度 300m までには、概ね 8 枚の難帯水層（粘土・シルト層等）及び 8 枚の帯水層（主に砂層）が交互に重なって分布している。しかし、これらの地層が調査地域全域に亘って連続的に分布しているとは限らない。例えば、上位から 3 番目の難帯水層（Aquitard-3）は CBS34 と CBS13 の間で明らかに欠如しており、連続性を欠いていることが窺われる。この場合、調査地域の帯水層の地下水は、部分的には難帯水層で隔てられていても全体としては繋がっている可能性がある。

2.2.4 地下水

調査地域の地下水について把握するため、既存井戸調査を下記の内容で実施した。

- DPHE により建設され、主としてハンドポンプで揚水している井戸数の確認、Borehole Log およびその他データの収集
- 上記の井戸および灌漑用井戸を対象としたインベントリー調査（952 本）
- インベントリー調査結果から選択した井戸での地下水位一斉観測および水質測定（104 本：雨季、乾季各 1 回、水質測定：雨季に 1 回のみ）
- インベントリー調査結果から選択した井戸での地下水位連続観測（9 本：毎月 1 回）
- 物理探査（29 箇所。主として、深度 300m 以深における帯水層の有無について調査）

以下、これらの調査結果について述べる。

1) DPHE による井戸建設状況

調査地域における生活用水用井戸は DPHE により整備されてきている。DPHE によるハンドポンプ用井戸の建設状況は、DPHE コックスバザール事務所に属するチャカリヤ、モヘシュカリ、コックスバザール、ラムの各ウパジラ事務所が把握している。このため、JICA

調査団はこれらの事務所を訪問し、稼働中の井戸数の聴き取り、および主な Borehole Log の収集を行った。その結果、調査地域には表 2.2.2 に示すように、浅井戸 8,825 本、および深井戸 6,765 本の合わせて 15,590 本の井戸が存在することが明らかとなった（2020 年 3 月時点）。なお、本調査では掘削深度 200 フィート（約 60m）までの井戸を浅井戸、それより深い井戸を深井戸と区分する。

表 2.2.2 DPHE により建設された稼働中の井戸
(2020 年 3 月時点)

ウパジラ	浅井戸	深井戸	計
チャカリア	2,809	2,436	5,245
モヘシュカリ	1,975	1,305	3,280
コックスバザールシヨドル	1,925	1,836	3,761
ラム	2,116	1,188	3,304
計	8,825	6,765	15,590

出典：JICA 調査団

調査地域には、DPHE により建設された生活用水の井戸の他に、灌漑用に建設された井戸が多数存在する。農業省 (Ministry of Agriculture) による Minor Irrigation Survey Report (2017-2018)によれば、表 2.2.3 に示すように、浅井戸 583 本、深井戸 2,990 本の合計 3,573 本が存在する。ただし、灌漑用井戸の場合、浅井戸と深井戸の区分は井戸の掘削深度ではなく地下水水位と揚水ポンプ間の深度 (7m) を規準として行われている。このため、灌漑用井戸については生活用水用井戸と同じ基準で井戸深度により浅井戸と深井戸を区分することができない。したがって、本調査では灌漑用井戸については、浅井戸と深井戸を一括して取り扱う。表 2.2.3 に示した井戸数は、農業省の区分による浅井戸および深井戸の数を合計したものである。

表 2.2.3 灌漑井戸数

ウパジラ	浅井戸／深井戸の本数(本)
チャカリア	1,215
モヘシュカリ	470
コックスバザール	1,173
ラム	715
合計	3,573

出典：Minor Irrigation Survey Report (2017-2018)、農業省 (Ministry of Agriculture)

2) 既存井戸のインベントリー調査

調査地域に分布する生活用および灌漑用の既存井戸についてインベントリー調査を行った（参照：付録 2.2-1）。当初計画では、全体で約 900 本の井戸調査を行う予定であった。しかしながら、インベントリー調査に続き地下水水位を測定する過程で 14 本の井戸が使用不能となっていたため、新たに 14 本の井戸を追加して調査した結果、最終的な調査数量は

生活用水用井戸：688本、灌漑用井戸264本の合計952本となった（表2.2.4）。インベントリー調査対象となった井戸の位置を図2.2.6に示す。なお、調査地域には約280の村落が分布するため、インベントリー調査の対象となった井戸は、偏りを避けるため各村落で最低1本は調査を行うこととし、原則として複数の井戸を調査できるように選定した。なお、地域の中央部を占めるチャカリアウパジラの南西部からコックスバザールウパジラ北部にかけての広い地域、およびモヘシュカリ島の西部・東部地域は塩田となっているために既存井戸が存在しない空白地域となっている。

表 2.2.4 インベントリー調査の調査数量（実績）

Upazila	浅井戸		深井戸		計
	生活用水用	灌漑用	生活用水用	灌漑用	
Chakaria	33	19	243	44	339
Moheshkhali	19	9	100	36	164
Cox's Bazar Sadr	18	20	151	69	258
Ramu	13	12	111	55	191
計	83	60	605	204	952
	143		809		952
	952				

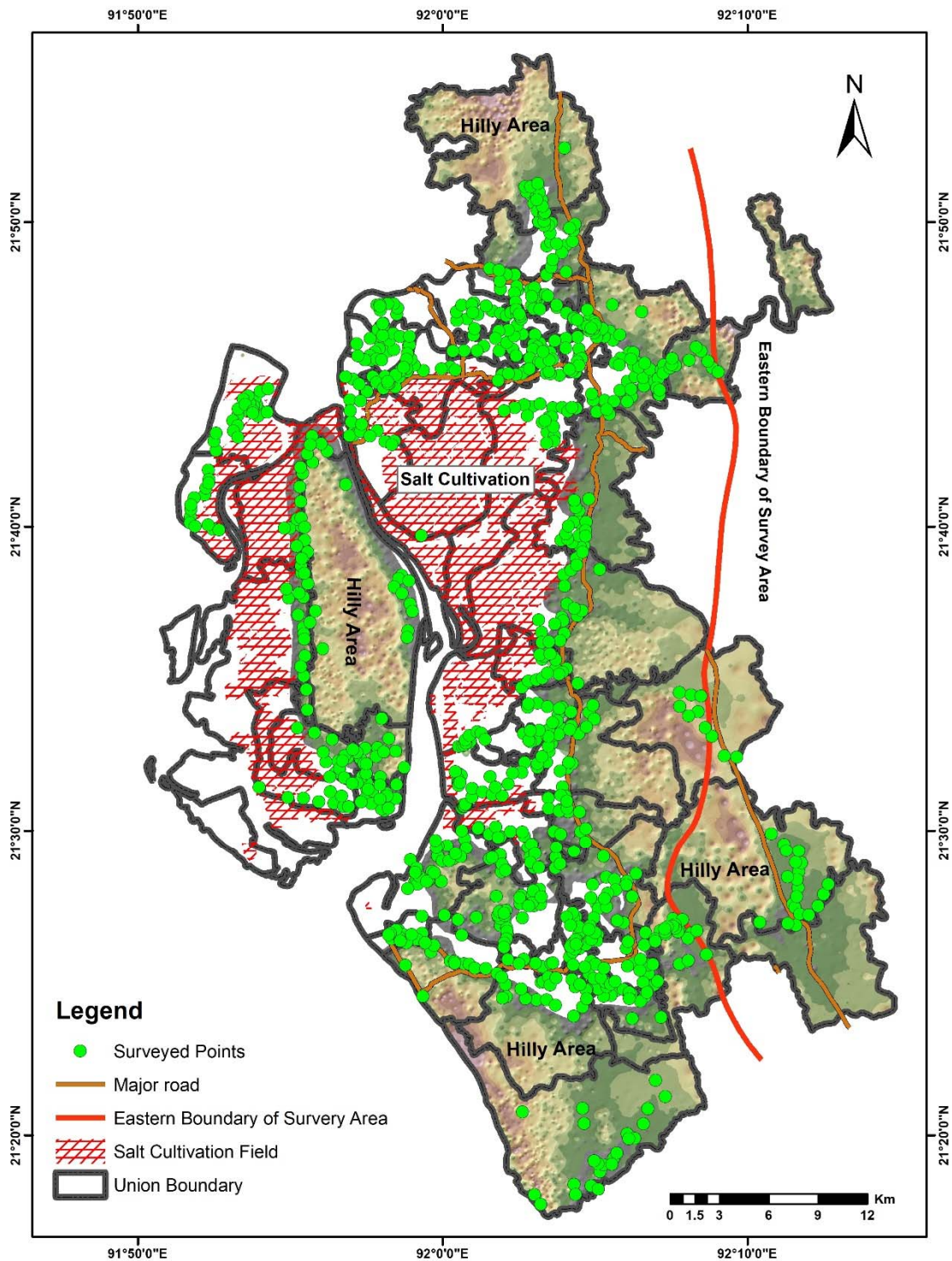
出典: JICA 調査団

既存井戸に対する調査した各用途別の井戸のカバー率は次の様である。

- 生活用水用の浅井戸: 83本 (0.94%)
- 生活用水用の深井戸: 605本 (8.94%)
- 灌漑用の浅井戸および深井戸: 264本 (7.39%)

インベントリー調査では、既存井戸に関するデータを井戸所有者あるいは管理者へのインタビューによって収集した。収集したデータは次の通りである。

位置（村落名、座標）、建設時期、所有者、管理者、建設者、利用者および利用人数、井戸構造、深度、スクリーン深度・ケーシング径、井戸の形式、揚水量、用途



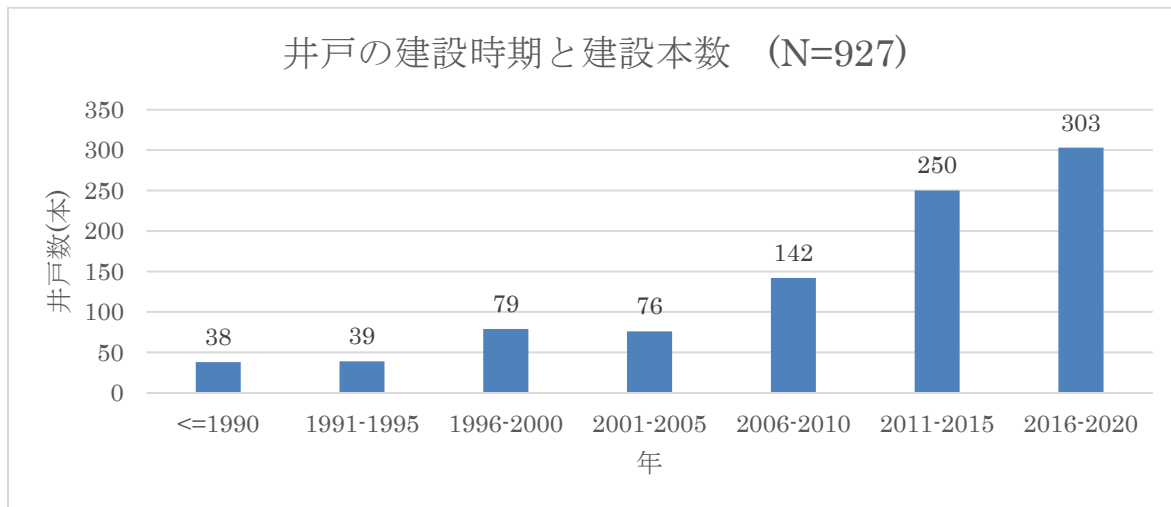
出典：JICA 調査団（地図は DEM データを加工して作成し使用した。）

図 2.2.6 インベントリー調査対象井戸の位置図

以下、インベントリー調査の主な調査項目の調査結果について述べる。

- (i) 井戸の建設時期

調査地域に分布する井戸について、2020年までに建設された井戸数をまとめたグラフを図2.2.7に示す。



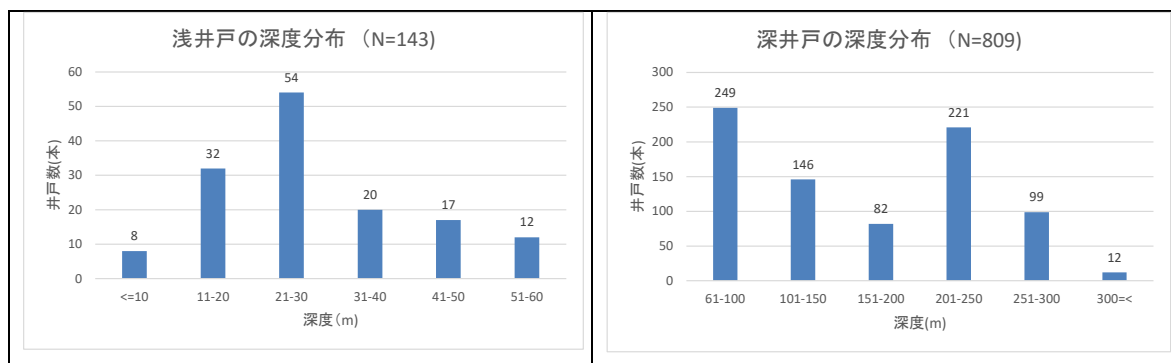
出典：JICA 調査団

図 2.2.7 井戸の建設時期と建設本数

調査地域の井戸建設は 1990 年以前から行われている。インベントリー調査の対象となった井戸について建設時期を見ると、1995 年までは 5 年間に 38~39 本で、1 年間に平均で 7~8 本が建設されている。1996 年からの 10 年間で井戸建設本数はほぼ 2 倍になり、2005 年までは 1 年間におよそ 13~16 本が建設されている。これ以降井戸建設数は増加を続け、2006 年からの 5 年間で 142 本 (28 本/年)、2011 年からの 5 年間で 250 本 (50 本/年) と増大し、2016 年以降の 5 年間は 303 本 (60 本/年) の建設数に達している。

(ii) 井戸深度

調査地域の井戸について、浅井戸および深井戸の深度毎の井戸数の分布を示すグラフを図2.2.8に示す。



出典：JICA 調査団

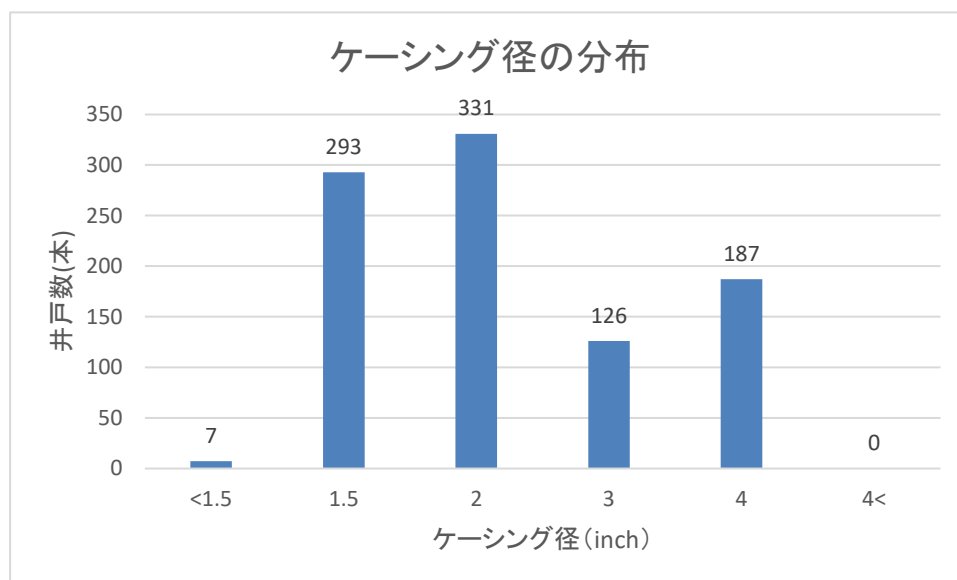
図 2.2.8 浅井戸および深井戸の深度毎の井戸数の分布

浅井戸の深度は 21～30m のものが最も多く 54 本で 38%を占めている。次いで、11～20m の 32 本 (22%)、31～40m の 20 本 (14%)、41～50m の 17 本 (12%)、51～60m の 12 本 (8%) で、10m 以下の井戸は 8 本 (6%) に過ぎない。

深井戸は、61～100m のものが 249 本 (30%)、201～250m のものが 221 本 (27%) で、この両者で 470 本と深井戸の 58%を占めている。これから、101～150m が 146 本 (18%)、251～300m が 99 本 (12%)、151～200m が 82 本 (10%) と続く。300m を超える井戸は少なく、わずか 12 本 (1.5%) である。

(iii) ケーシング径

インベントリー調査を行った井戸のケーシング径は最大 4 インチであり、4 インチを超えるものは無い。最小径は、1 インチである。ケーシング径毎の井戸数の分布を図 2.2.9 に示す。



出典：JICA 調査団

図 2.2.9 ケーシング径毎の井戸数の分布

井戸のケーシング径は、2 インチが最も多く 331 本 (35.4%)、次に 1.5 インチが多く 293 本 (31.0%) である。これらの井戸には主にハンドポンプが設置されている。3 インチ以上の径のケーシングは少なくなり、3 インチが 126 本 (13.3%)、4 インチが 187 本 (19.8%) で、4 インチを超えるケーシングは見られない。3 インチ以上の径のケーシングが設置されている井戸では水中ポンプ、その他の動力ポンプが設置されていることが多い。

(iv) 設置されているポンプの形式

生活用水用の井戸・灌漑用井戸には揚水用のハンドポンプあるいは揚水ポンプが設置されている。インベントリー調査の対象とした生活用水用井戸（浅井戸および深井戸）について、設置されているポンプの形式毎の数量を把握した。その結果を表 2.2.5 に示す。なお、

DPHE は地下水位 7.5 m 以浅は No.6 ポンプ、7.5～25 m は Tara Dev.ポンプ、25m より深ければモーターポンプ（水中ポンプ）を設置する方針である。図 2.2.10 に No. 6 および Tara ハンドポンプの構造図を示す。

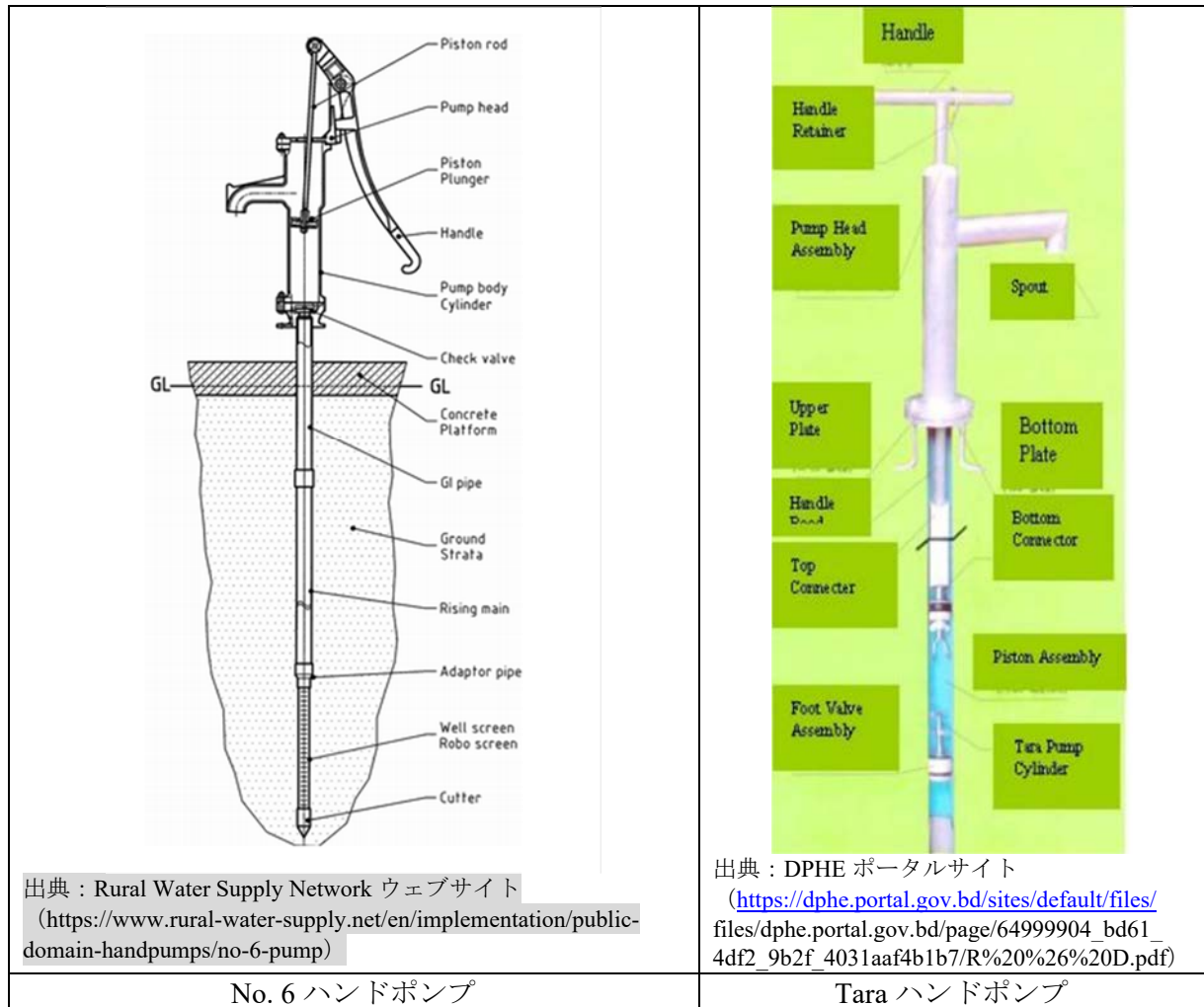


図 2.2.10 No. 6 および Tara ハンドポンプの構造図

表 2.2.5 インベントリー調査対象井戸における揚水ポンプの形式別数量

Upazila	井戸区分	ポンプ形式 ⁶				計
		No. 6	Tara	Motor	Other	
Chakaria	浅井戸	26	0	7	6	52

⁶ - No. 6 ポンプ：バングラデシュで最も普及しているハンドポンプである。世界水会議（World Water Council）によって1996年に結成されたRural Water Supply Network (RWSN)の仕様に基づき製造されているハンドポンプの形式で、設置が簡単で村落ベースでのメンテナンスが容易である。対応できる地下水位は7m程度で、100人程度の利用に適している。

- Taraポンプ：RWSNの仕様およびインド規格に基づき製造されているハンドポンプの形式で、耐食性があり、設置が簡単で村落ベースでのメンテナンスが容易である。汲み上げ時のハンドルが軽くなるように設計されている。ヘビーデューティー用途向けではなく、100人程度の利用者向きである。最大汲み上げ能力は約

Upazila	井戸区分	ポンプ形式 ⁶				計
		No. 6	Tara	Motor	Other	
	深井戸	26	0	20	6	52
	計	165	0	84	38	287
Moheshkhali	浅井戸	191	0	104	44	339
	深井戸	13	1	14	0	28
	計	55	1	60	20	136
Cox's Bazar Sadr	浅井戸	68	2	74	20	164
	深井戸	10	0	28	0	38
	計	71	3	137	9	220
Ramu	浅井戸	81	3	165	9	258
	深井戸	12	2	9	2	25
	計	39	0	112	15	166
合計	ポンプ形式	51	2	121	17	191
	(%)	41.1	0.7	48.7	9.5	100.0

出典：JICA 調査団

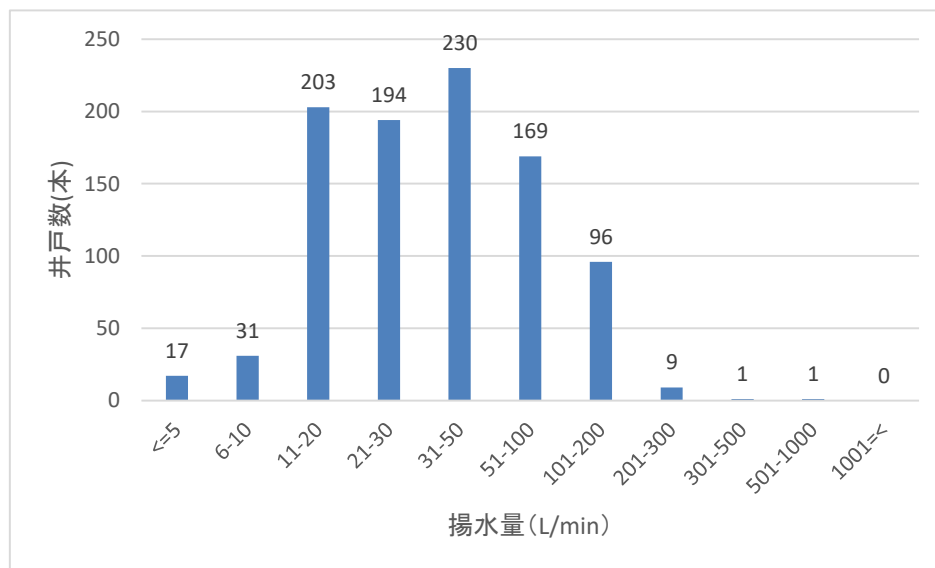
設置されている揚水ポンプは、モーターポンプが最も多く、952本の井戸中464本の井戸に設置され48.7%を占める。次いで、No. 6形式のハンドポンプが391本の井戸に設置されており41.1%を占める。Tara形式のハンドポンプは7本の井戸でしか確認されなかった。残る90本の井戸についてはその他（自噴井戸等）である。チャカリアではハンドポンプの方がモーターポンプより多いが、他の県ではモーターポンプの方が多い。生活用水用の井戸の口径は1.5インチおよび2インチであり、従来No. 6型のハンドポンプが設置されてきたが、これに代わり利便性の面から個人住宅で使用されるモーターポンプが設置されるケースが増えているものと推定される。

(v) 井戸の揚水量

井戸の揚水量の分布状況を示したグラフを図2.2.11に示す。

50 L/分で15m程度までの地下水位に対応できる。

- モーターポンプ：電力を動力源とする水中ポンプ。



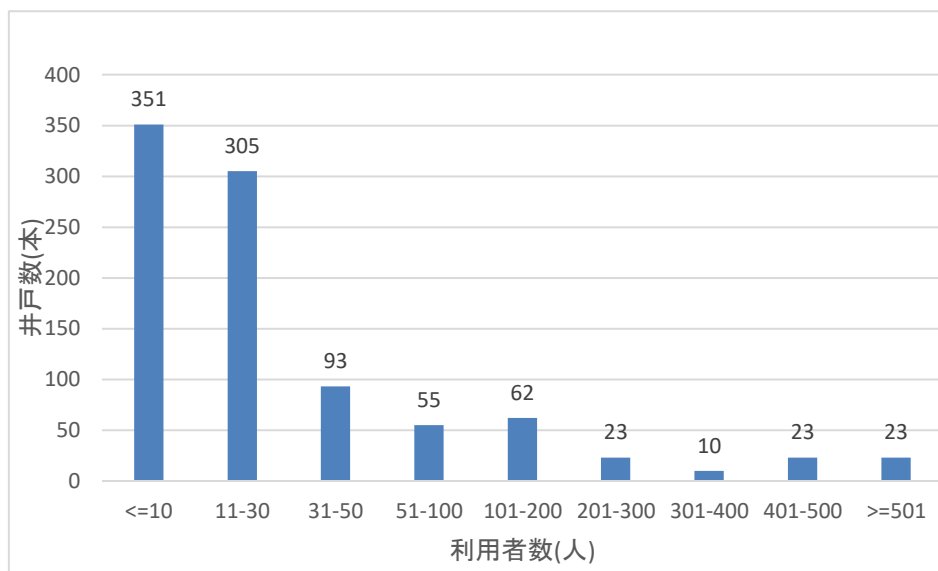
出典：JICA 調査団

図 2.2.11 井戸の揚水量の分布状況およびケーシング径毎の揚水量

1 分間あたりの揚水量は、11～200 L/分に 892 本（93.8%）の井戸が集中している。井戸数が多い順に、31～50 L/分の 230 本（24.1%）、11～20 L/分の 203 本（21.3%）、21～30 L/分の 194 本（20.4%）、51～100 L/分の 169 本（17.8%）、101～200 L/分の 96 本（10.1%）となっている。10 L/分および 201 L/分以上の井戸数は極端に少ない。

(vi) 井戸利用者数

井戸利用者数の分布を図 2.2.12 に示す。



出典:JICA 調査団

図 2.2.12 井戸利用者数の分布

1 本の井戸の利用者数は、10 人以下の井戸が 351 本（37.1%）、11～30 人の井戸が 305 本（32.3%）で、30 人以下の利用者数の井戸が 656 本となり、全体の 69.4%と約 70%を占め

ている。これは、調査地域では多数のハンドポンプが設置されていることを反映しているものと考えられる。31～50 人の井戸は 93 本（9.8%）、51～100 人の井戸は 55 本（5.8%）、101～200 人の井戸は 62 人（6.6%）となっている。200 人を超え 500 人以下の井戸は 10～23 本で推移している。

(vii) 各調査項目間の相関について

<井戸の深度、口径、建設時期の関係>：井戸の深度、口径および建設時期の間には特段の関係は見られない。

<井戸口径とポンプ形式の関係>：調査地域の生活用水用の井戸は掘削予定深度に拘わらず 1.5 インチあるいは 2 インチの井戸口径で仕上げられる。設置されているポンプは、モーターポンプかハンドポンプとしては No. 6 ポンプである。この両方で 90%を占める。地下水位が 7m 以深になれば Tara ポンプを使用することになるが、Tara ポンプが設置されているのは僅か 7 本で全調査数量の内 0.7%を占めるのみである。

地下水位が低い場合、灌漑用の井戸の場合や、管路給水用の水源のように大量の地下水を揚水する必要がある場合は井戸の口径は 4 インチとして 88%の井戸にモーターポンプが設置されている。

<井戸深度と揚水量の関係>：井戸深度と揚水量の関係を図 2.2.13 に示す。

浅井戸の内深度 30m 以浅の井戸は、揚水量 1～3 m³/時のものが最も多く、深度 30m 以浅の井戸の 54%を占める。これに次ぐのが、揚水量 1 m³/時以下のもので 23%を占める。

深度 31～60m 以浅の浅井戸は、前者と同様、揚水量 1～3 m³/時のものが最も多く、深度 31～60m 以浅の井戸の 49%を占める。揚水量 3～5 m³/時のものがこれに次ぎ 27%を占める。

深度 61m 以上の井戸（深井戸）は、揚水量 1～3 m³/時に最も集中しており、深井戸全体の 56%を占める。揚水量 1 m³/時以下、3～5 m³/時および 5～10 m³/時の井戸群はほぼ同じ比率でそれぞれ 12、13、15%を占めている。

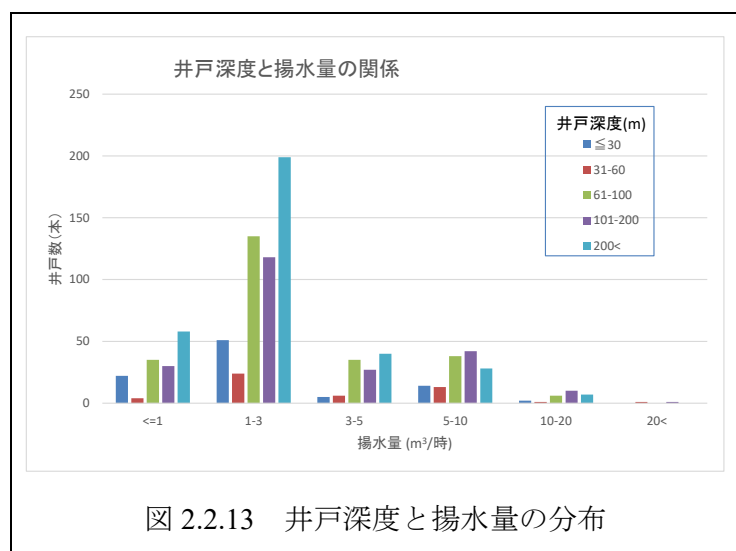


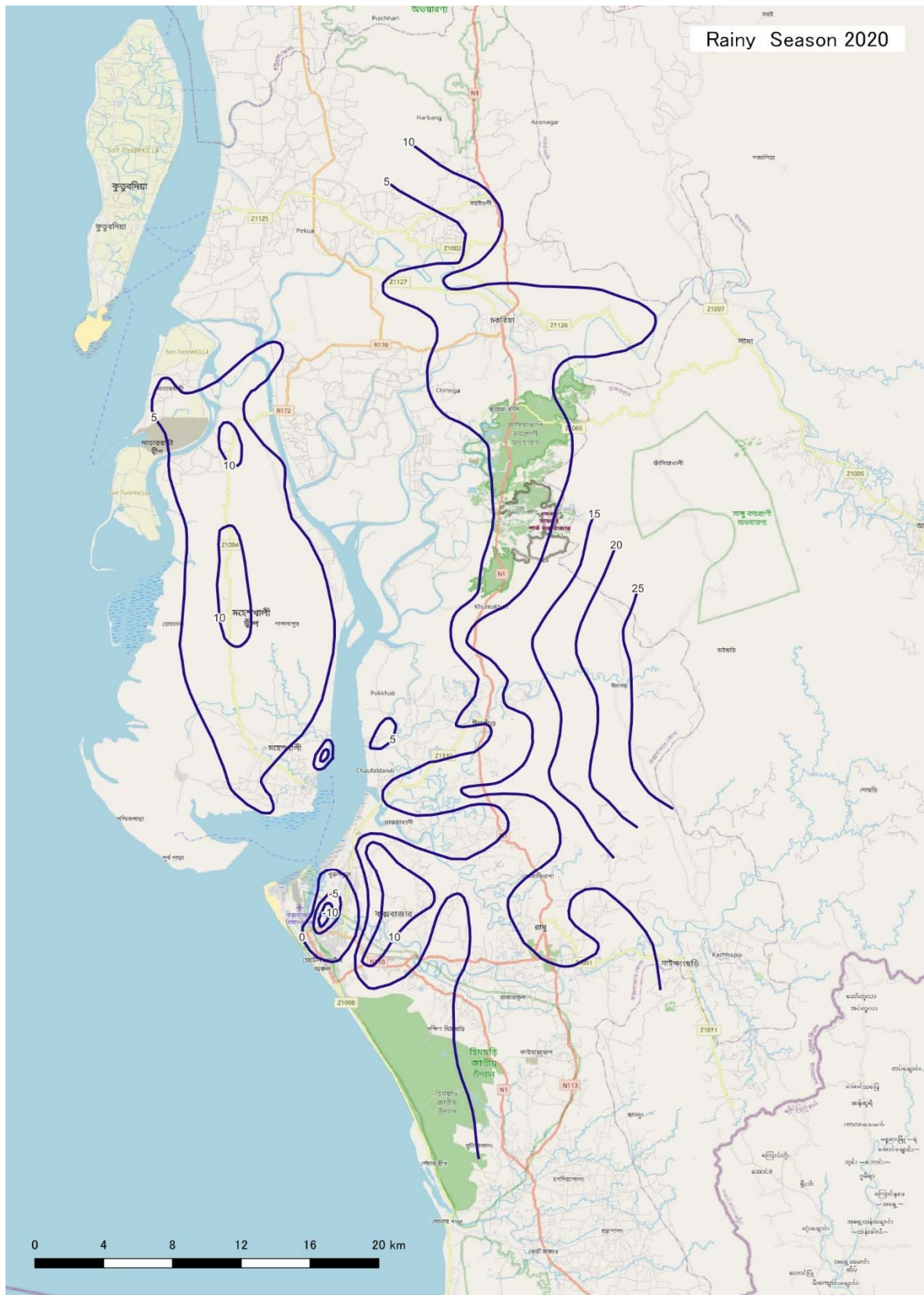
図 2.2.13 井戸深度と揚水量の分布

3) 地下水位（一斉観測）

インベントリ調査を行った井戸から、極力地域的な偏りが生じないように 104 本の井戸を選定した。地下水位の一斉観測は、雨季（2020 年 8～9 月）および乾季（2021 年 2～3 月）

の2回実施した。各井戸の標高は携帯型GPSで測定したが精度が劣るため、比較的精度が良いとされるSRTM-1のDEMデータ⁷(30m x 30m)を用いて求めた。観測値は、平均海水面からの水位(MSL)に換算した。雨季および乾季の地下水位とこれを基にして描いた地下水位等高線図を図2.2.14および図2.2.15に示す。

⁷ SRTM-1のDEMデータ：SRTMはShuttle Radar Topography Missionの略称である。SRTMはシャトルに搭載され合成開口レーダーを用いたリモートセンシング技術により地表のレーダー画像を取得し、DEM(Digital Elevation Model：デジタル標高モデル)と呼ばれる標高データに加工されたものである。SRTM-1のDEMデータとは、地表を30mx30mのメッシュに区切り、各メッシュの中央の標高を示すデータである。このデータは、米国地質調査所のウェブサイトで公開されている。

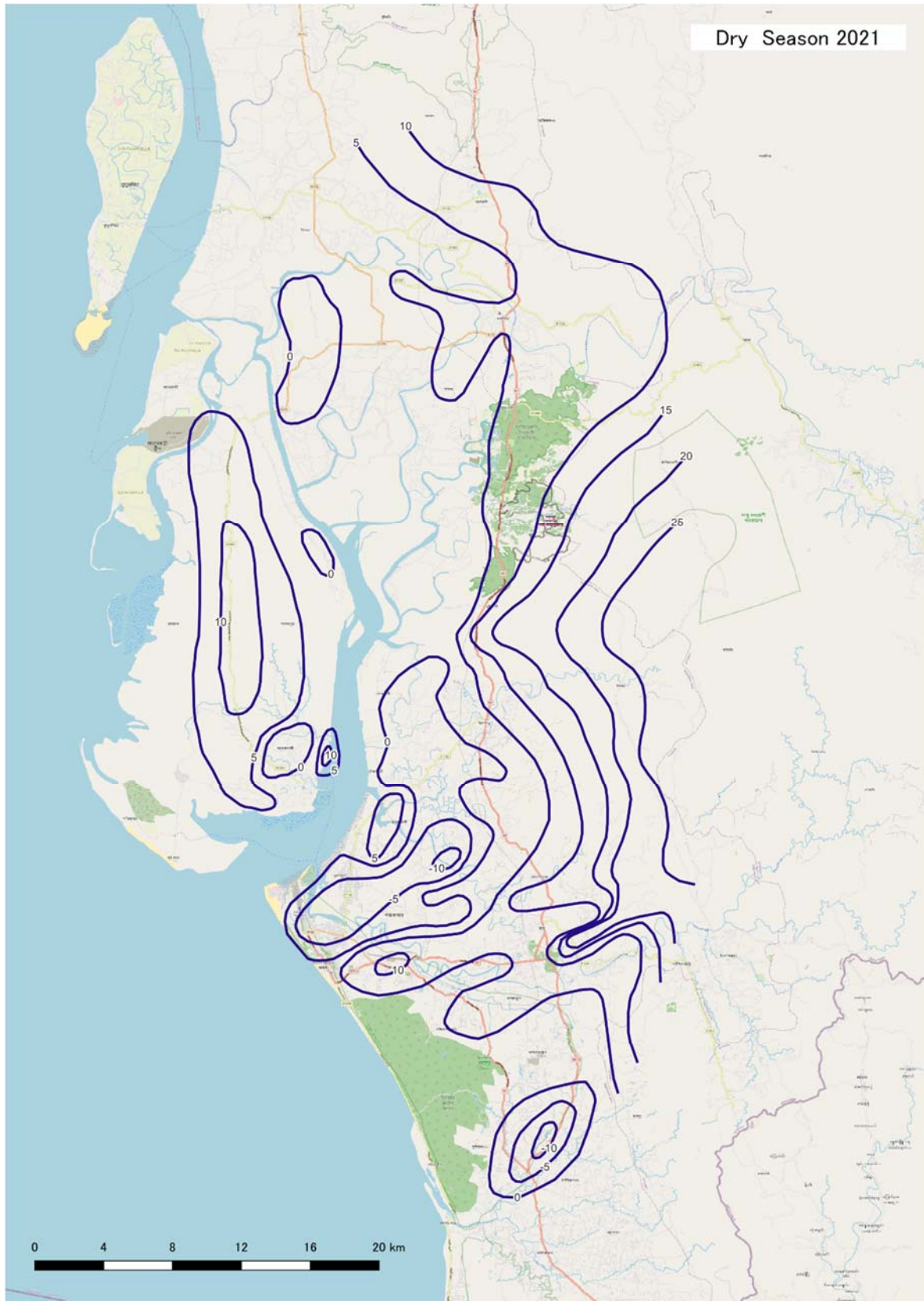


出典：JICA 調査団（地図は Bing Map を使用した。）

図 2.2.14 地下水位等高線図（雨季：2020年8月～9月観測）

雨季の地下水位等高線（以下、「等高線」と略する）は、5m および 10m の等高線が調査地域の中央部付近を CHT⁸の縁辺部に沿うように概ね南北方向に走っている。この 10m の等高線の東側は丘陵地となっているため、それにつれて地下水位も高くなっている。CHT 上では 29.26m や 22.02m の地下水位が観測されている。5m の等高線の西側では地下水位は緩やかに低下している。コックスバザール市街地の北方では 5m および 10m の等高線が西へ向かって峯上に張り出している。コックスバザール市街地では地下水位が-11.43m と海水面以下となっている。チャカリア西部のマタムフリ川の河口付近にも-2.53m と海水面以下のところが見られる。モヘシュカリ島およびマタバリ島では、地下水位は 2m 以上であり地下水位が海水面以下となっている地域は見られない。

⁸ CHT:Chattogram Hill Tractの略語でチョットグラム丘陵地帯を意味し、Bangladesh 人民共和国南東部に広がる面積13,180 km²の丘陵地帯でインドおよびミャンマーとの国境に接しヒマラヤ山系の延長部にあたる。



出典：JICA 調査団（地図は Bing Map を使用した。）

図 2.2.15 地下水位等高線図（乾季：2021 年 2 月～3 月観測）

乾季の地下水位等高線は、雨季の 5m および 10m の等高線が東側へ移動しており、乾季に地下水位が低下したことを示している。10m の等高線の東側は、CHT およびその山麓部であるため地下水位は高い。コックスバザール市街地付近およびコックスバザールの北部付近では地下水位は海水面以下で、それぞれ-13.58m、-10.88m である。コックスバザール北部からチャカリアとの境界にかけても地下水位が海水面以下の地域が点在する。モヘシュカリ島では雨季には地下水位はすべて海水面以上であったが、モヘシュカリの市街地で-4.1m、島の中部の東側で-0.62m と地下水位が海水面以下を示す地域が生じている。

4) 地下水位（長期観測結果：既存データ）

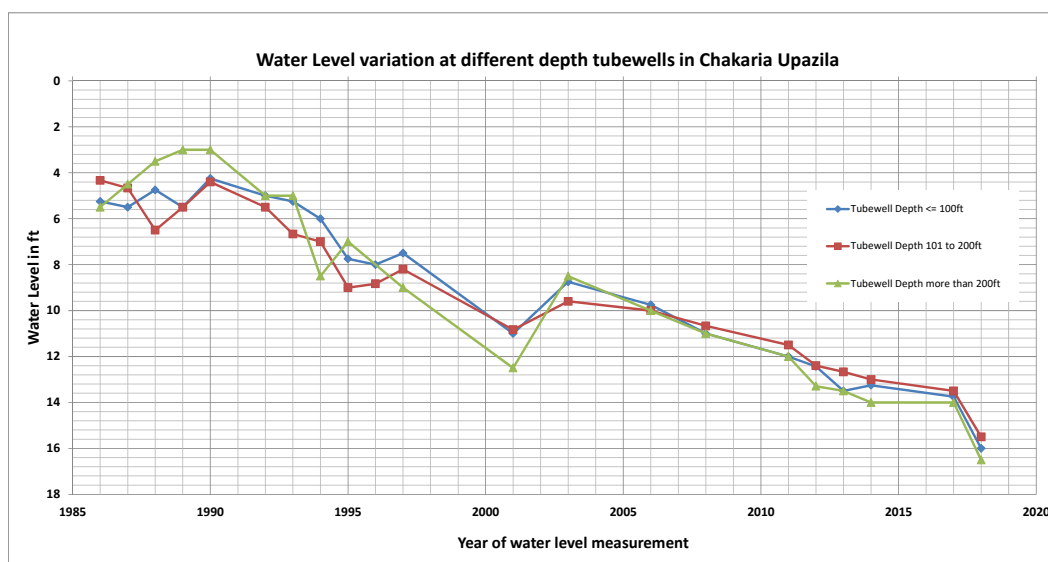
調査地域の地下水の経年変化観測については、DPHE および BWDB により行われている。表 2.2.6 に収集した地下水位モニタリングデータのリストを示す。

表 2.2.6 収集した地下水位モニタリングデータのリスト

観測機関	観測井の本数（本）		収集した最長の観測データの期間	観測間隔
	浅井戸	深井戸		
DPHE	40	10	1986-2018	年 1 回、乾季
BWDB	16	-	1967-2019	週 1 回
BADC	5	-	2016-2018	半月毎

出典:JICA 調査団

調査地域の地下水位の経年変化を示す典型的な例として、DPHE の観測データを用いてチャカリア・ウパジラの 1986 年から 2018 年までの 32 年間の地下水位変化を図 2.2.16 に、地下水位の低下量を表 2.2.7 に示す。なお、地下水位は地表面からの地下水の深度で示している。図中の 3 本の地下水位変化曲線は、それぞれ深度 100 フィートまで、深度 101～200 フィート以下、200 フィート以上の井戸の平均地下水位を示している。



出典：DPHE のデータを基に調査団作成

図 2.2.16 チャカリア・ウパジラにおける平均地下水位変動（1986-2018 年）

表 2.2.7 チャカリア・ウパジラにおける 1986 年から 2018 年までの地下水位変動

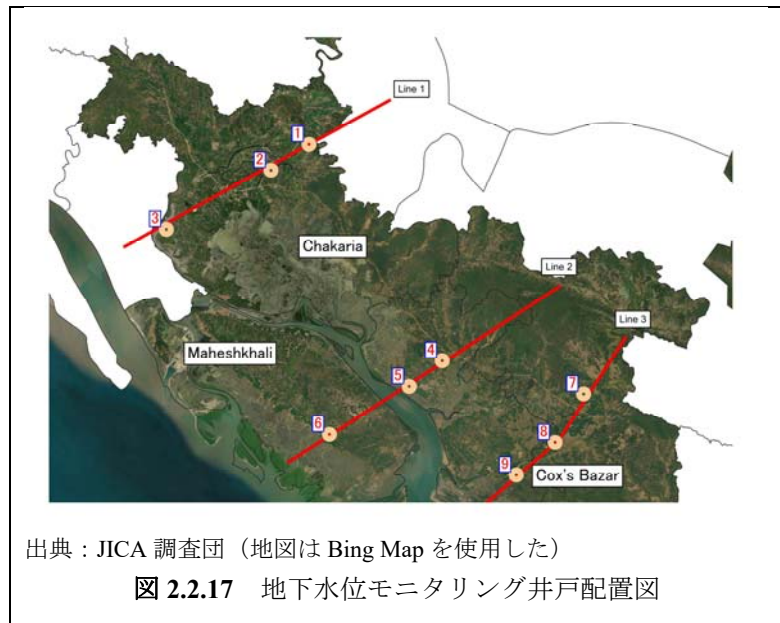
井戸の深度	地下水位(m)		水位低下量 (m)	平均水位低下量(m/年)
	1986	2018		
100 フィート以浅 (約 30m 以浅)	1.6	4.9	3.3	0.10
101 フィート～200 フィート (約 30m から 61m)	1.3	4.7	3.4	0.10
200 フィート以深 (約 61m 以深)	1.7	5.0	3.3	0.10

出典：DPHE の観測データを基に JICA 調査団作成

3つの井戸群とも、1986年以降地下水位は低下傾向にある。水位低下量は32年間で3.3～3.4m、平均水位低下量は0.10m/年で、ほぼ同じ挙動を示している。このため、3つの井戸群の井戸は、それぞれ深度が異なる帯水層から揚水していても、それぞれの帯水層に何らかのつながりがある可能性を示唆している。

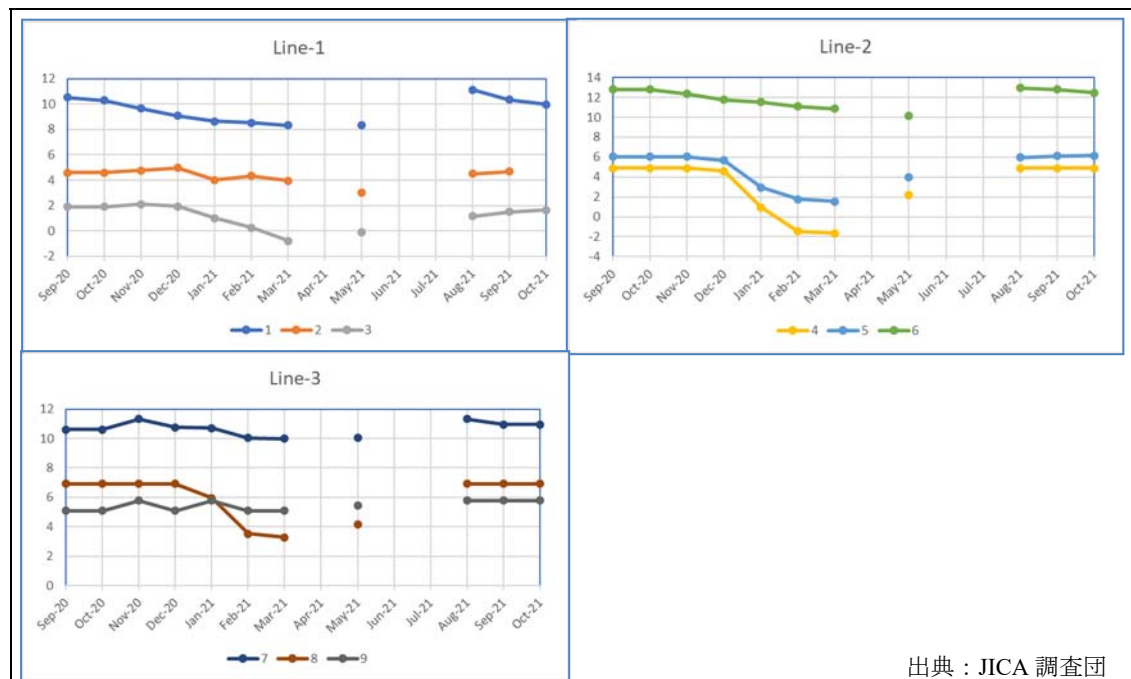
5) 地下水位長期観測（本調査で実施）

本調査では図 2.2.17 に示す様に調査地域全体で9個所の井戸で地下水位のモニタリングを実施した。観測井は、調査地域の北部、中部および南部の3個所を横断する線を配置し、測線の西部、中央部および東部に位置する井戸から選定した。モニタリング期間は2020年9月から2021年10月までの約1年間(2021年4月、6月、7月はCOVID-19によるバングラデシュ政府の移動制限措置のため欠測)



である。モニタリング用の井戸は、ほぼ東西方向に走る Line 1 から Line 3 までの3本の線に沿ってそれぞれ3本（合計9本）が配置されている。

それぞれの井戸におけるMSLからの水位に換算した地下水位の変化を図 2.2.18 に示す。



出典：JICA 調査団

図 2.2.18 各観測 LINE における地下水位変動

Line-1 は、チャカリア北部、Line-2 はチャカリア南部からモヘシュカリへ至る地域、Line-3 はコックスバザールをほぼ東西方向に配置されている。

観測データを見ると、全体としては各 Line とも乾季に相当する 2021 年 1 月から水位が低下し、3 月頃まで低下が続いている。2021 年 6 月および 7 月のデータが欠測しているが、雨季に相当する 2021 年 8 月にはほぼ観測開始時点の水位に回復している（ただし、Line-3 の観測井-9 のみは乾季の水位低下が見られない）。これらのことから、調査地域の帯水層は、一般的に乾季には涵養が少ないか無いため地下水位が低下し、雨季には涵養を受けて水位が回復していることが窺われる。

各 Line で観測開始の 2020 年 9 月の水位と水位が最も低下した月の水位のデータを比較したものを表 2.2.8 に示す。

表 2.2.8 観測開始時点と水位が最も低下した時点の水位の比較

Line	観測井	観測開始時の水位 (2020 年 9 月) (m)	水位が最も低下した月の 水位 (m)	水位低下量 (m)	
1	1	10.54	2021 年 3-5 月	8.32	2.22
	2	4.59	2021 年 5 月	3.03	1.56
	3	1.90	2021 年 3 月	-0.78	2.68
2	4	4.88	2021 年 3 月	1.65	3.23
	5	6.03	2021 年 3 月	1.54	4.49
	6	12.82	2021 年 5 月	10.18	2.64
3	7	10.62	2021 年 3 月	10.00	0.62
	8	6.91	2021 年 3 月	3.29	3.62
	9	5.09	2021 年 2-3 月	5.09	0.00

出典：JICA 調査団

観測井の中で乾季に最も水位が低下しているのは、コックスバザールの北部で、CHT から西側へ張り出した丘陵地およびその麓に位置する Line-2 の観測井-4 および 5 である。水位低下量はそれぞれ 3.23m および 4.49m である。これに対し、水位低下量が少ないのは、ラムおよびコックスバザールを通る Line-3 上にある観測井-7 および 9 で、水位低下量はそれぞれ 0.62m および 0.00m である。

次に各 Line における水位変化を見る。チャカリア北部の Line-1 では、東および中部に位置する観測井-1 および 2 では乾季になると緩やかに水位が低下するのに対し、観測井-3 では 2020 年 12 月を過ぎるとやや水位低下がやや大きくなる。

調査地域中央部の Line-2 では、モヘシュカリ島西部にある観測井-6 で乾季の水位低下が緩やかであるのに対し、CHT の縁辺部および山麓部に位置する観測井-4 および 5 では 2021 年 1 月から 3 月にかけて比較的急激に水位が低下している。

調査地域南部でラムおよびコックスバザールを通る Line-3 では、東側および西側の観測井-7 および 9 では乾季における水位低下がほとんど見られない。これに対し、中央の観測井-8 では 2021 年 1 月から急激に水位が低下する。

Line-1 から 3 の乾季に水位が低下した観測井では雨季になる 2021 年 8 月にはほぼ水位が回復している。

6) 地下水の水質

本調査では、インベントリー調査を行った既存井戸から選定した 104 本の井戸について、特記仕様書で示された pH、電気伝導度 (EC)、濁度、色度、アンモニア性窒素、硝酸性窒素、鉄、マンガンの 8 項目に、次の 5 項目を加えた 13 項目について現地測定を行った。

- バングラデシュで広範囲で汚染が知られているヒ素
- pH や EC を測定する際に同時に測定する水温
- 糞尿による汚染を示す亜硝酸性窒素
- 飲料水としての適否を評価するための大腸菌群数および大腸菌

大腸菌群数および大腸菌については、分析室において分析を行った。水質測定の対象となった井戸数は、チャカリアで 38 本、モヘシュカリで 19 本、コックスバザールで 27 本、ラムで 20 本である。

本調査では、バングラデシュ飲料水水質基準 (Water Quality Parameters Bangladesh Standards) に糞便性大腸菌および大腸菌群数が定められていることから、これら両者の分析を行った。なお、大腸菌群数には大腸菌以外に土壌・植物など自然界に由来する菌種も多く含まれるが、糞便性大腸菌群数は糞便由来の菌 (大腸菌) の数とほぼみなすことができるとされている (「水質に関する用語集」、国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所)。

調査地域の地下水の水質については、UNICEF⁹による全国的な調査が行われている他、DPHE が井戸を掘削した際に行っている水質測定データ等がある。これらのデータでは、塩分濃度および鉄分 (Fe) について Bangladesh の飲料水の水質基準 (以下、「基準値」) を超過しているものがあるが、ヒ素 (As) その他の健康に関わる項目はいずれも基準値を超過するものは無い。以下、本調査による測定結果について述べる。なお、WHO により飲料水水質ガイドライン値 (以下、「ガイドライン」) が設定されている項目についてはガイドライン値に基づく評価をも加える。

WHO の飲料水水質ガイドラインについては、次の様に位置付けられている。

「本ガイドラインは、主として、水と健康に関わる規制担当者、政策担当者およびその助言者らによる国の基準策定の支援を目的として作成している (WHO (2011) Guidelines for drinking-water quality – 4th ed.)」。すなわち、WHO のガイドラインはあくまでもガイドラインであって、各国の水質基準はその国により WHO のガイドラインを参考として決定されることを意味している。この意味からは、開発される飲料水の水源の水質は当該国の水質基準値を満足すれば良いことになる。しかしながら、当該国で決定された基準値と WHO ガイドライン値の間には乖離が認められることがある。特に、それらが「健康に拘わる項目 (Chemicals that are of health significance)」である場合は注意が必要である。一方、WHO ガイドラインを厳密に適用すれば、途上国においては対応できない場合がしばしば発生する。水質の評価においては、このような状況を考慮する必要があると考える。

本調査は我が国による“モヘシュカリ・マタバリ統合的インフラ開発イニシアティブ”への支援を前提としていることから、水質に起因する健康被害が発生することがあってはならない。したがって、水質の評価は“健康に拘わる項目”については WHO ガイドライン値を、それ以外の項目については Bangladesh 飲料水水質基準を採用することを提案する。以下、この考えに沿って水質の評価を行う。本調査の分析項目の内、「健康に拘わる項目」に該当するのは、硝酸態窒素、亜硝酸態窒素、ヒ素の3項目である。

(i) pH

pH の基準値は 6.5~8.5 である。ガイドライン値は設定されていない。本調査で測定した 104 個所の井戸の内、19 個所 (18.3%) で基準値を満たしていない。そのすべてが基準値の下限である 6.5 未満で、最低値はコックスバザールにある井戸で 5.4 を示している。基準値を満たさない井戸数は、チャカリアで 3 本、モヘシュカリで 5 本、コックスバザールで 8 本、ラムで 2 本である。

(ii) 電気伝導度 (EC)

EC については、基準値およびガイドライン値は設けられていない。本調査における測定値の範囲は、0.02 mS/cm (ラム) から 3.63 mS/cm (モヘシュカリ) である。全測定値で 1 mS/cm を超える井戸は 10 本 (9.6%) であり、全体として塩分濃度は低い傾向にあると言える。1 mS/cm を超える井戸はモヘシュカリで 4 本 (1.1~3.63 mS/cm)、コックスバザール

⁹ UNICEF 2009 Bangladesh National Drinking Water Quality Survey of 2009

で4本(1.59~3.08 mS/cm)の井戸がベンガル湾に面した地域に分布している。これらの地域ではベンガル湾からの塩水浸入の影響が考えられる。この他、ラムで2本の井戸(2.39、3.38 mS/cm)が1 mS/cm以上である。ラムは海に面しない内陸部にあり、電気伝導度がやや高い理由は不明である。チャカリアでは1 mS/cmを超える井戸は確認されなかった。

(iii) 濁度

濁度の基準値は10 NTU以下、ガイドライン値は5 NTU以下である。本調査の測定値の範囲は、0~309 NTUである。濁度の最高値はコックスバザールで測定されている。ガイドライン値を超え基準値以下の井戸は、ラムの1本(8.36 NTU)のみである。基準値を超える井戸は5本(4.8%)で、モヘシュカリで2本(28.4~37.6 NTU)と、コックスバザールの3本(18.46~309 NTU)である。残り98本の内95本(96.9%)の井戸で濁度は0である。

(iv) 色度

色度の基準値およびガイドライン値はともに15 PCU/Hazen以下である。本調査での測定値は0~500 PCU/Hazen以上である。基準値・ガイドライン値を超える井戸は、コックスバザールの1本(1.0%)のみである。他の井戸はすべて基準値・ガイドライン値を満たしている。

(v) アンモニア態窒素 (NH₄-N)

アンモニア態窒素濃度の基準値は0.50 mg/L以下、ガイドライン値は0.20 mg/L以下である。本調査では現地での簡易測定のため、測定レンジは0~0.25、0.25~0.50、0.50~1、1~2、2~4 mg/Lの5つである。このため、0~0.25の測定値の場合ガイドライン値を満足しているか否かの判定ができない。次の0.25~0.50の測定値はガイドライン値を超過するが基準値以下であることを示す。0.50以上のレンジの測定値は基準値を超過している。

測定値が0~0.25のレンジに入る井戸は全体で22本(21.2%)あり、チャカリアで13本(12.5%)、モヘシュカリで5本(4.8%)、コックスバザールおよびラムでそれぞれ2本(1.9%)である。

ガイドライン値を超過し基準値以下の井戸は、全体で56本(53.8%)である。チャカリアで18本(17.3%)、モヘシュカリで10本(9.6%)、コックスバザールで16本(15.4%)、ラムで12本(11.5%)である。

本調査での濃度の測定値は、26本(24.0%)の井戸で基準値を超過している。基準値を超過しているのは、チャカリアで7本(6.7%)、モヘシュカリで4本(3.8%)、コックスバザールで9本(8.7%)、ラムで6本(5.8%)の井戸である。

(vi) 硝酸態窒素 (NO₃-N)

硝酸態窒素濃度の基準値は10 mg/L以下である。硝酸態窒素は健康に拘わる項目として、ガイドライン値は、硝酸塩濃度として50 mg/Lである。硝酸態窒素濃度の測定値は、コックスバザールの1本の井戸で10 mg/L以上で20 mg/L以下の値を示すが、残り103本の井

戸では検出されていない。これを硝酸塩濃度として換算すると、44 mg/L 以上で 88 mg/L 以下となり、基準値・ガイドライン値を超過している可能性もある。

(vii) 亜硝酸態窒素 (NO₂-N)

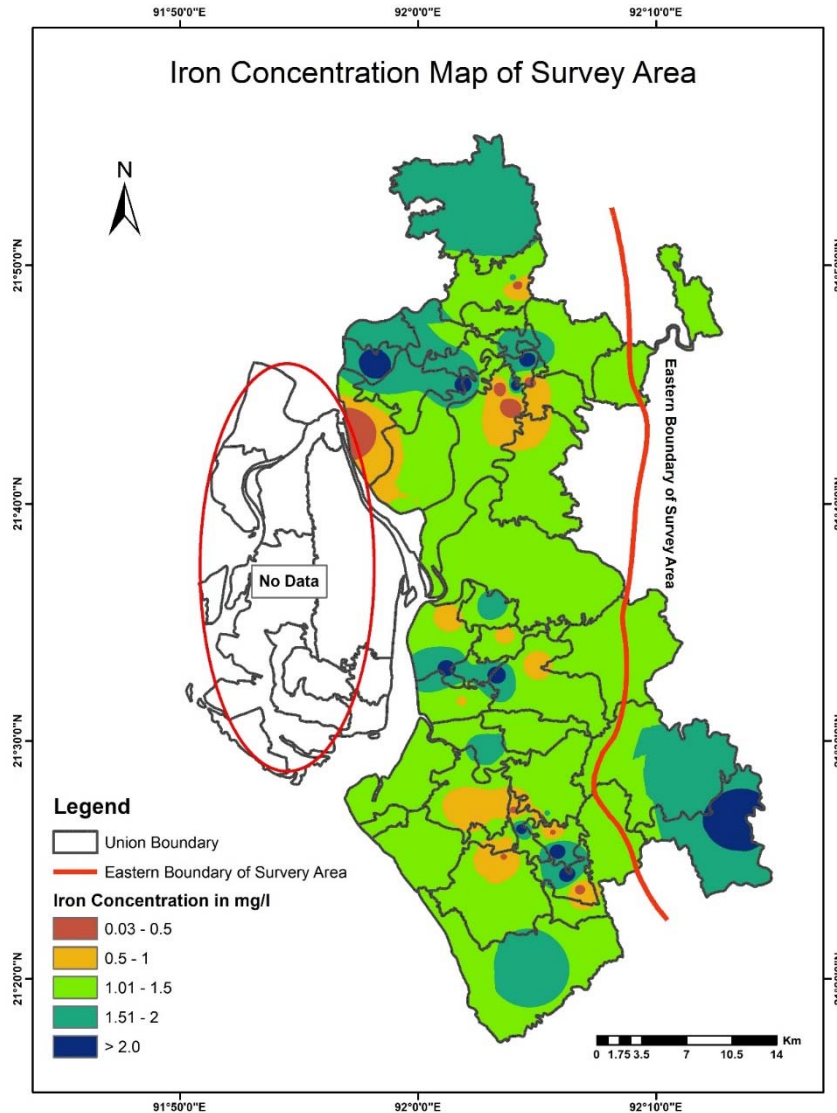
亜硝酸態窒素濃度の基準値は 1 mg/L 以下である。亜硝酸態窒素は健康に拘わる項目として、ガイドラインは、慢性毒性について亜硝酸塩として 0.06 mg/L である。本調査による濃度の測定では、104 本のすべての井戸で基準値以下である。上述の硝酸態窒素濃度が基準値を超えたコックスバザールの 1 本の井戸において 0 以上で 0.2 mg/L 以下の測定値を示している。これを亜硝酸塩濃度へ換算した場合 0~0.66 mg/L となり、ガイドラインを越えている可能性もある。

(viii) 鉄 (Fe)

鉄の基準値は 0.3~1.0 mg/L で、ガイドライン値は設定されていない。本調査の測定では、104 本の井戸の内 70 本の井戸 (67.3%) で基準値を満たしていない。これらの井戸はすべて基準値の上限の 1.0 mg/L 以上の濃度であり、調査地域では概して鉄分の濃度が高いことを示している。

UNICEF のデータでは、鉄の分析値の最大値は、チャカリア、モヘシュカリ、コックスバザールおよびラムで、それぞれ 3.4、3.17、2.4 および 2.63 mg/L である。これに対し最小値は、それぞれ 0.3、0.05、0.73 および 0.01 mg/L である。チャカリアおよびモヘシュカリでは約 50%の分析値、コックスバザールでは約 75%、ラムでは約 75%以上の分析値が基準値 (0.3-1.0 mg/L) を超過している。これは、本調査による測定結果とも類似する傾向である。

UNICEF のデータによる鉄の分析値の分布を図 2.2.19 に示す。鉄の分析値の分布は、1.01-1.5 mg/L の範囲が調査地域全体を広く覆っている。1.5 mg/L 以上の地域はチャカリアの北方、コックスバザール北部の一部の地域、ラムの東部等に分布している。0.5-1.0 mg/L の地域は、1.5 mg/L 以上の地域の周辺に部分的に分布する。



出典：JICA 調査団。UNICEF のデータを使用。

図 2.2.19 鉄 (Fe) の分析値の分布

(ix) マンガン (Mn)

マンガンの基準値は 0.1 mg/L 以下である。ガイドライン値は設定されていない。本調査での測定では、12 本の井戸 (11.5%) で基準値を超過している。チャカリアではすべての井戸が基準値を満たしている。モヘシュカリでは 4 本、コックスバザールでは 5 本、ラムでは 3 本の井戸が基準値を超過している。マンガンの濃度が基準値を超過している井戸では、鉄の濃度も高い傾向がある。

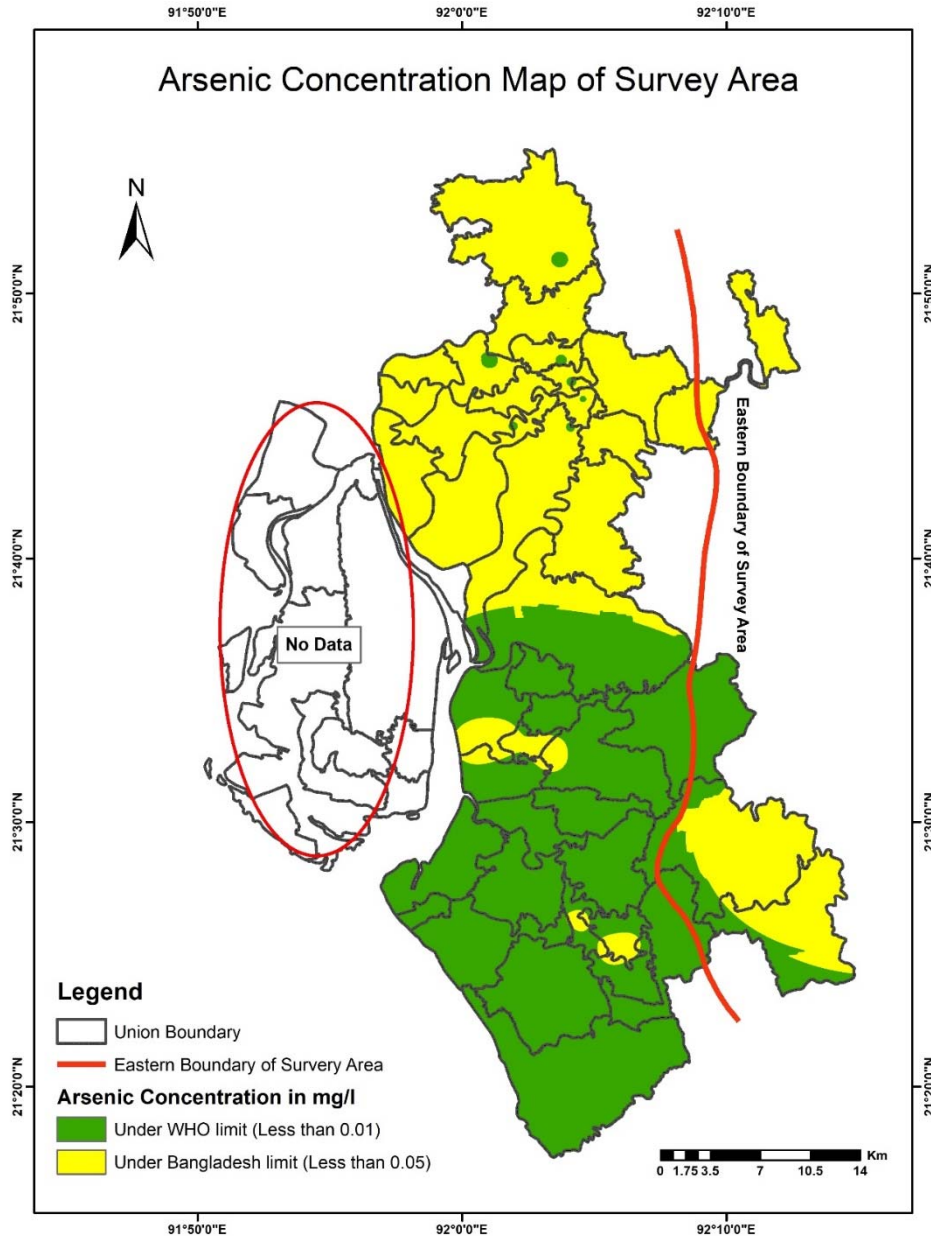
(x) ヒ素 (As)

ヒ素の基準値は 0.05 mg/L である。ヒ素は健康に拘わる項目として、ガイドライン値は 0.01 mg/L である。本調査での測定では 104 本の井戸すべてでヒ素は簡易測定の検出限界以下である。

UNICEF のデータを見ると、ヒ素の濃度は、一部でガイドライン値 (0.01 mg/L) を超価するが、すべての分析値において基準値 (0.05 mg/L) 以下である。最大濃度はチャカリアの地下水で 0.05 mg/L を示す。ウパジラ毎の最大値は、コックスバザールおよびラムで約 0.02 mg/L である。これらは WHO ガイドライン値 (以下、「ガイドライン値」) (0.01 mg/L) を超過し、基準値以下である。

UNICEF のデータによるヒ素濃度の分布を図 2.2.20 に示す。調査地域の南半部 (コックスバザール、ラムおよびチャカリアの南部) ではヒ素濃度が低く、ガイドライン値以下の地域が広がり、部分的にガイドライン値を超え基準値を下廻る地域が分布している。調査地域の北半部では、ガイドライン値を超えるが基準値以下である。モヘシュカリ島およびマタバリ島では DPHE による分析値は無い。しかし、マタバリの石炭火力プロジェクト用地内で建設された 17 本の井戸の水質分析ではヒ素は検出されていない。

上述のように、調査地域の北半部を主とする地域では、UNICEF による調査によりガイドライン値を超過する分析値が得られている。一方、本調査やマタバリの石炭火力プロジェクト用地内での分析ではガイドライン値を超過する結果は得られていない。本調査におけるヒ素の測定は簡易測定であるため、実際に調査地域の地下水の開発を検討する場合は、分析によるヒ素濃度の確認を行う必要があると考えられる。



出典：JICA 調査団（水質データは UNICEF のデータを使用）

図 2.2.20 ヒ素濃度の分布

(xi) 水温

水温の基準値は 20～30℃である。本調査での測定値で基準値を超えているのは 3 本の井戸（2.9%）のみである。これらの水温は 30.2～31.1℃で基準値を僅かに超過しているに過ぎない。基準値を超える井戸はチャカリアで 1 本、モヘシュカリで 2 本である。

(xii) 大腸菌群数

大腸菌群数の基準値・ガイドライン値は“検出されないこと”である。本調査での分析では、104 本中 88 本の井戸（84.6%）で大腸菌群が検出されている。大腸菌群が検出された井戸数は、チャカリアが 38 本の内 35 本（92.1%）モヘシュカリが 19 本の内 18 本（94.7%）、

コックスバザールが 27 本の内 16 本 (59.3%)、ラムが 20 本の内 19 本 (95.0%) である。調査地域では、コックスバザールの井戸の汚染が約 60%であるのに対し、他の 3 つのウパジラではいずれも 90%を超えている。この状況から調査地域ではコックスバザールを除き大腸菌による汚染が進んでいると言える。

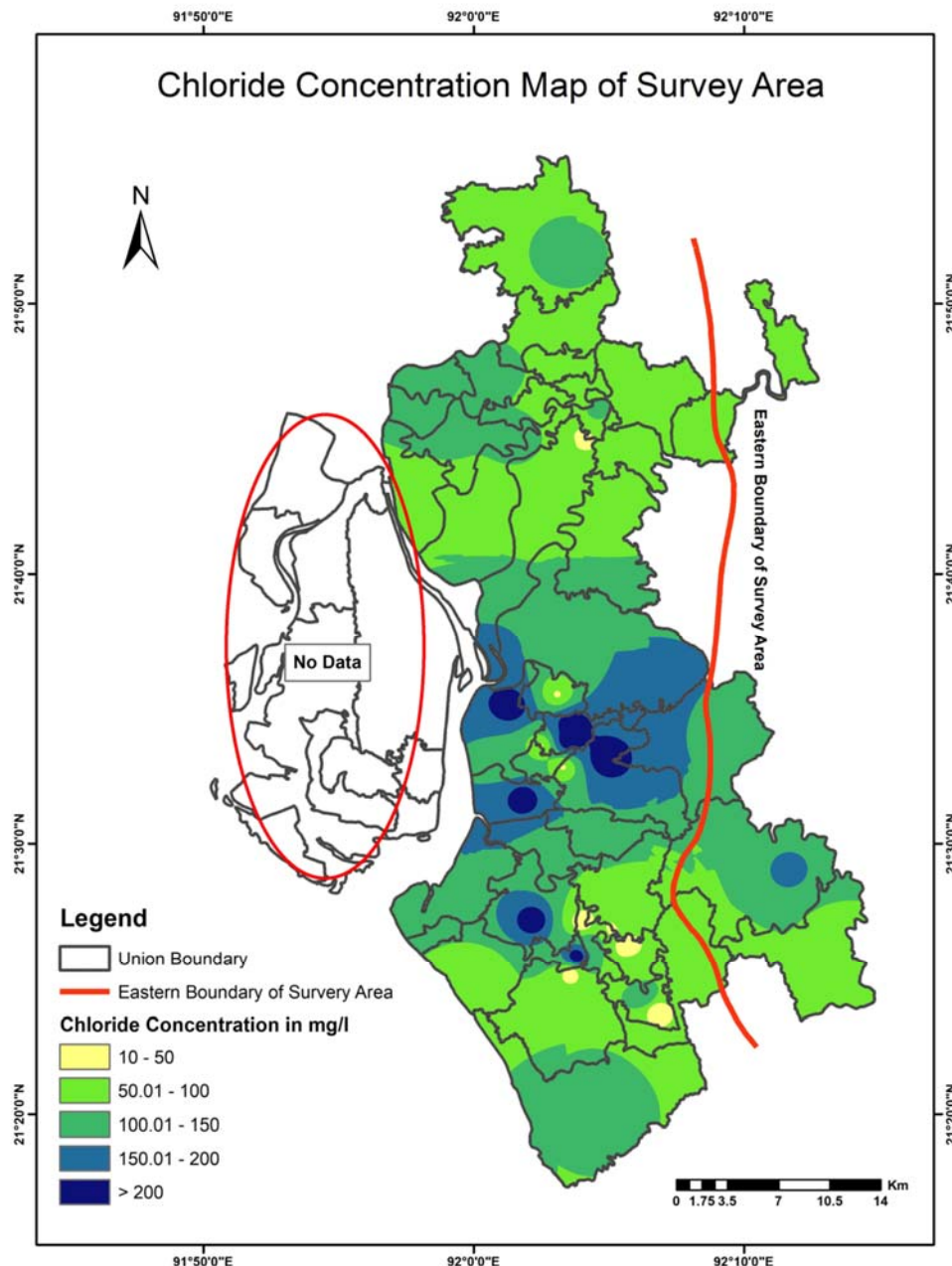
(xiii) 大腸菌

大腸菌の基準値・ガイドライン値は“検出されないこと”である。本調査での分析では、104 本中 39 本の井戸 (37.5%) で大腸菌が検出されている。チャカリアでは 38 本の井戸の内 1/2 にあたる 19 本 (50%) で検出されている。モヘシュカリでは、19 本の内 11 本 (57.9%) であり約 60%の井戸が汚染されている。これに対し、コックスバザールでは 27 本の井戸の内、汚染されているのは 4 本 (14.8%) に過ぎない。ラムでも、20 本の内 5 本 (25%) であり、汚染されている井戸の割合は低い。大腸菌による汚染の状況を見ると、農地の割合が広いチャカリアやモヘシュカリで汚染が進んでおり、市街地が広いコックスバザールで汚染の割合が低い傾向が見られる。

(xiv) 塩化物

本調査では測定していないが、塩化物について UNICEF のデータが利用できる。塩化物の基準値は 150-600 mg/L で、ガイドライン値は設けられていない。塩化物濃度の最大値はチャカリアの 350 mg/L である。チャカリア、モヘシュカリ、コックスバザール、ラムにおける最小値は、それぞれ 1.2、8、45、10 mg/L である。塩化物のすべての分析値が基準値以下である。

UNICEF のデータによる塩化物の分析値の分布を図 2.2.21 に示す。チャカリア中部から北部にかけて、濃度 50-100 mg/L の範囲が広がる。チャカリアの北西部および北部には、これより濃度が高い 100-150 mg/L の範囲が分布するのが認められる。



出典：JICA 調査団（水質データは UNICEF のデータを使用）

図 2.2.21 ウパジラ毎の塩化物の分布

調査団の現地調査および DPHE の各ウパジラ事務所における聞き取り調査によれば、次の地域で地下水への塩水浸入が認められる。

- ・ モヘシュカリ：モヘシュカリ島西部から南部にかけての地域。マタバリ島の超々臨界圧石炭火力発電所用地内の井戸でも、塩分濃度が高いものがある。
- ・ コックスバザール：ベンガル湾に面する Pokkhali, Khurushkul, Chautoldondi の 3 つのユニオン。

なお、DPHE モヘシュカリ・ウパジラ事務所によれば、モヘシュカリ島の南部では DPHE により深度約 300m の井戸が 3 本掘られているが、いずれも海水の塩分濃度を遙かに超える濃度の塩分が検出されている。

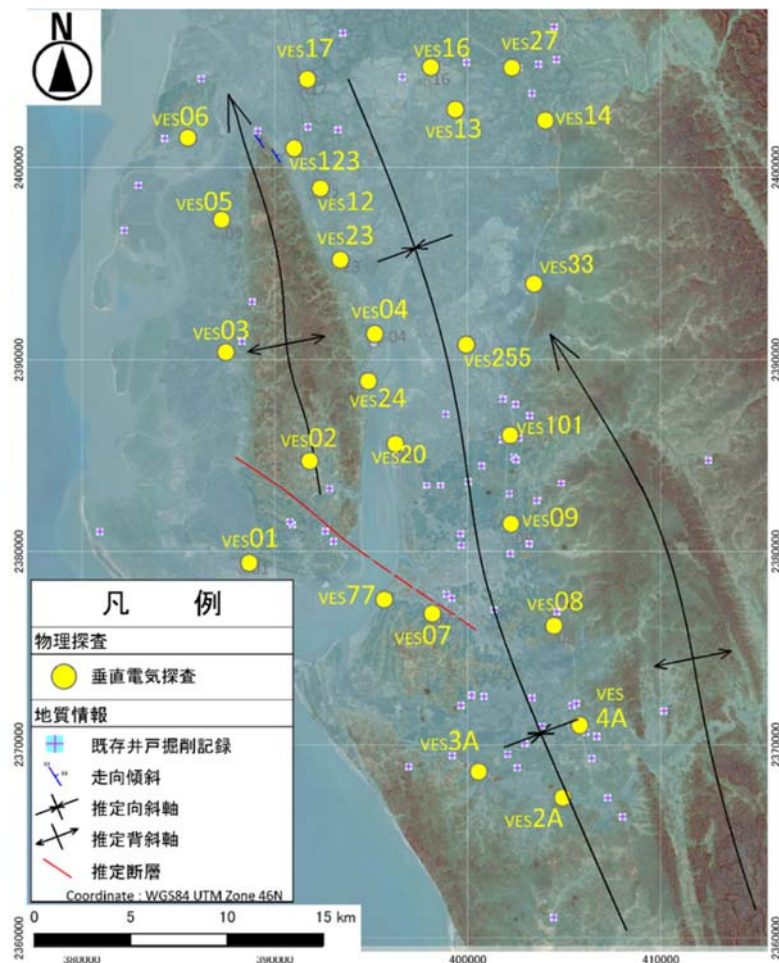
7) 物理探査

調査地域の水理地質構造を把握するため物理探査を実施した。物理探査の主な目的は次の通りである。

- 調査地域の水理地質構造を把握
- これまで地下水開発の対象とされていない深度 300m 以深に新しい帯水層が存在するか否かの確認

調査の概要は次の通りである。

- 探査方法：シュランベルジャー法による垂直電気探査
- 平均探査深度：約 660m
- 探査測点数：26 点（探査地点は図 2.2.22 参照）。





出典：JICA 調査団（地図は DEM データを加工して使用）

図 2.2.22 物理探査の測点配置図

探査手法の概要および使用した資機材を表 2.2.9 に、探査機材および現地での探査状況を図 2.2.23 に示す。

表 2.2.9 探査資機材一式

資機材名	数量	単位	適用
McOHM Profiler-4	1	台	比抵抗測定装置
Power booster	1	台	昇圧機
観測線	1800	m	φ2mm 電線
電極棒	4	本	鉄筋 φ30mm L=1000mm
その他雑品	1	式	ハンマー 12V バッテリー 測量テープ等
IX1Dv3	1	台	垂直電気探査 解析ソフトウェア
			
探査資機材 一式		探査状況	

出典：JICA 調査団

図 2.2.23 物理探査機および探査状況

1) 探査結果

測定で得られた見かけ比抵抗曲線を基に、比抵抗値と層厚を決定した。解析手法はリニアフィルタ法を適用した。

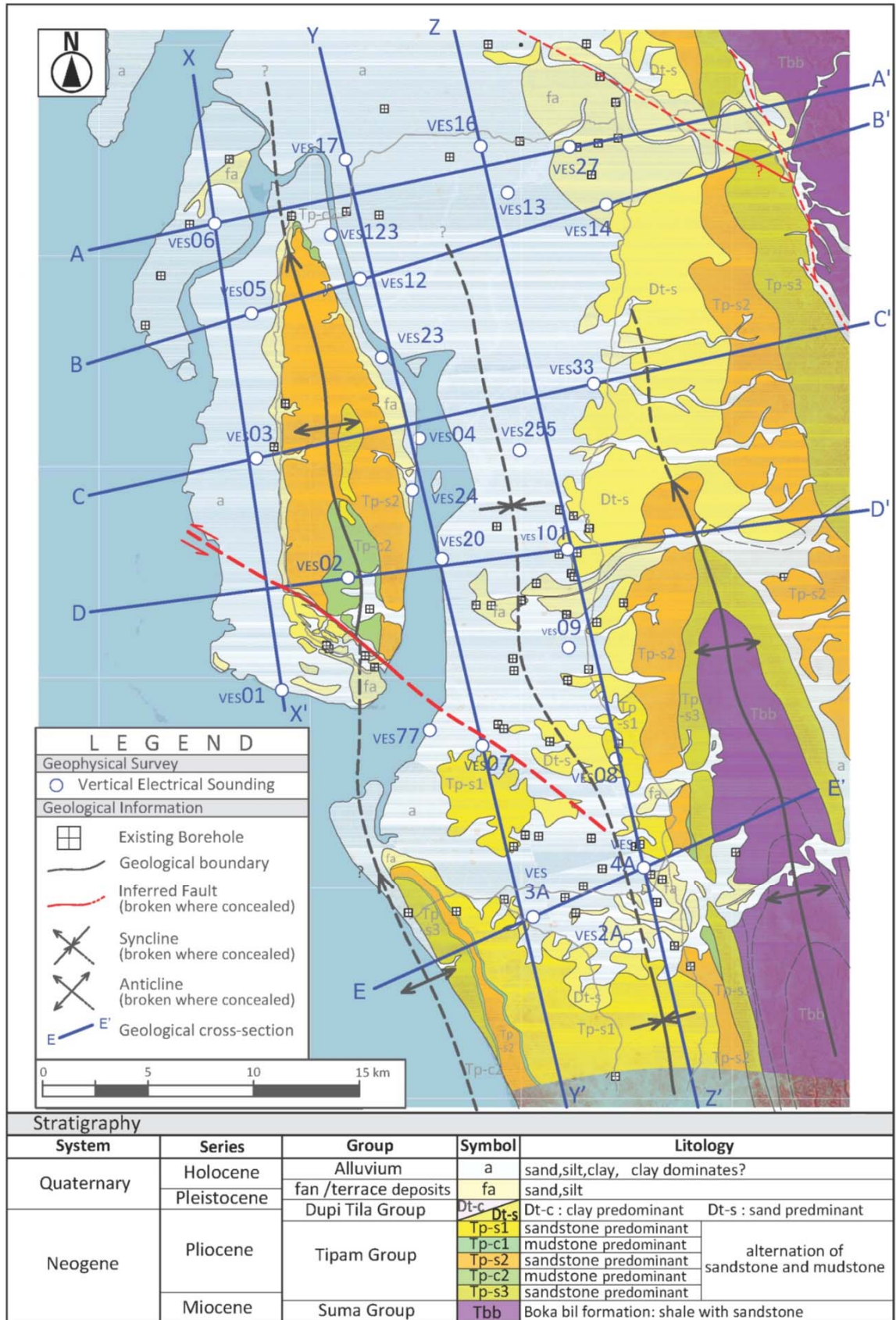
2) 水理地質構造の推定

対象地域における水理地質構造を推定するため、地質断面図および平面図を作成した。地質平面図を図 2.2.24 に、地質断面図を図 2.2.25 および図 2.2.26 に示す。なお、作成の参考とした資料を表 2.2.10 に示す。

表 2.2.10 地質図作成の参考とした既存資料

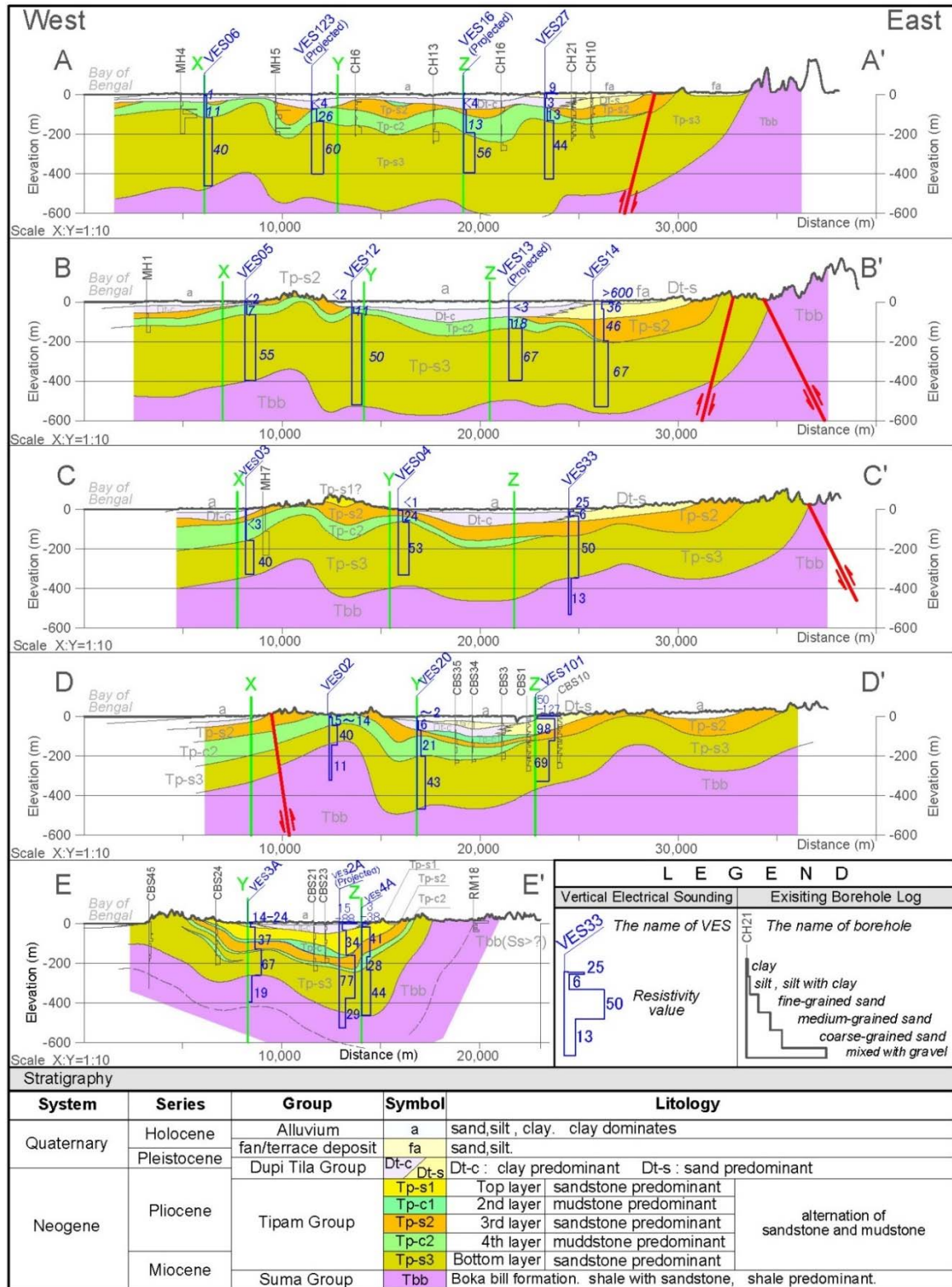
資料種別	資料名	出典
比抵抗特性	比抵抗区分図	本探査
既往井戸情報	Borehole log	DPHE 所有
既往地形図	Digital Elevation Model SRTM-1	NASA
既往地質図	Geologic Map Chittagong Hill Tracts Bangladesh	Thomas Davis, 2016 年
既往水理地質調査報告書	Groundwater resources investigation at Ukhia, Cox' s Bazar	DPHE/JICA, 2017 年

出典：JICA 調査団



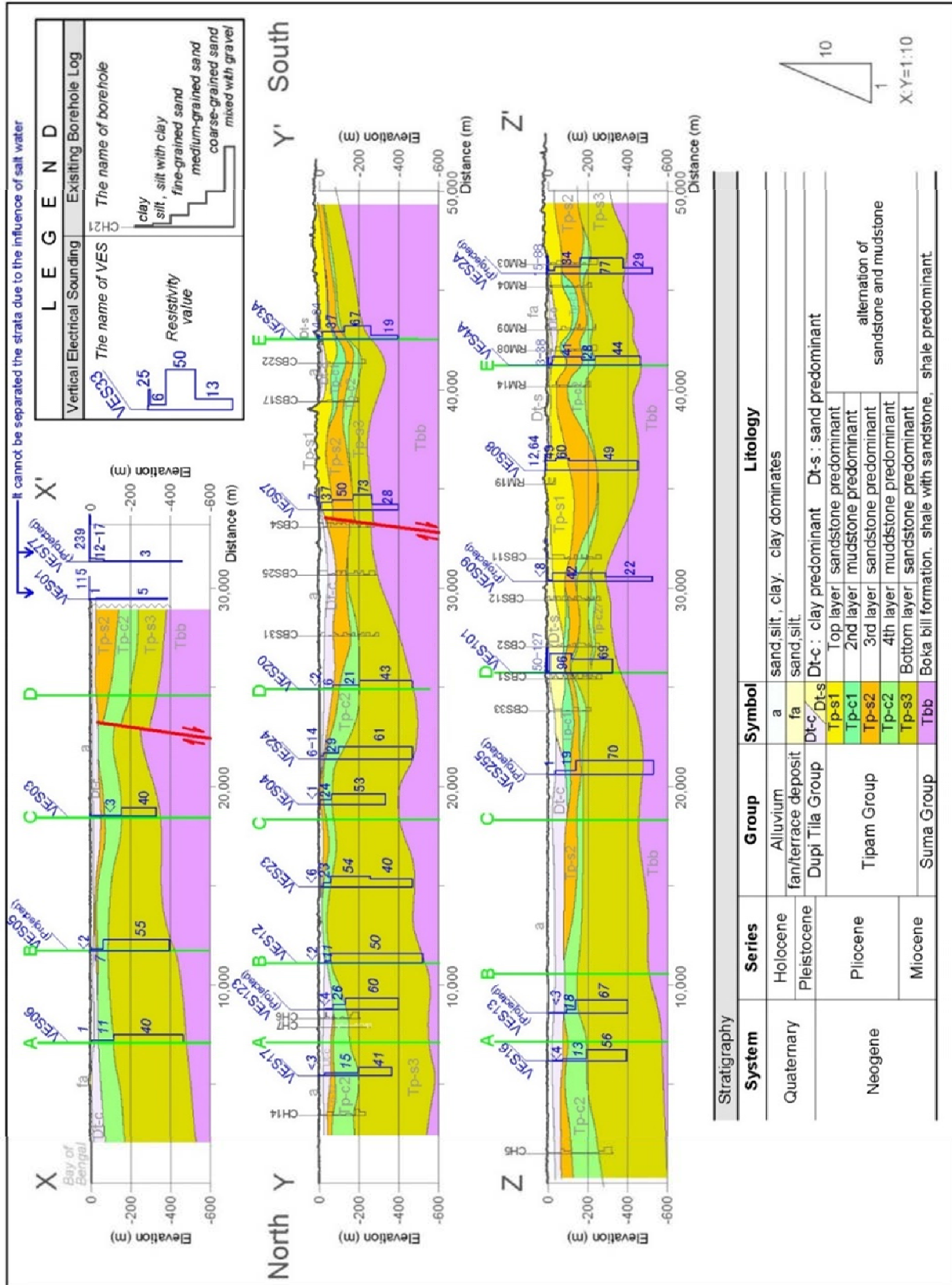
出典：JICA 調査団

図 2.2.24 地質平面図



出典：JICA 調査団

図 2.2.25 地質断面図（東西方向）



出典：JICA 調査団

図 2.2.26 地質断面図（南北方向）

3) 帯水層評価

比抵抗値および地層の分布傾向を基に、調査地域における水理地質特性を評価する。比抵抗値に基づく帯水層評価は、40 Ω-m 以上を“砂優勢層”として良好、40 Ω-m以下を”粘性土優勢ないし水質不良”として不良と評価した。参考とした既存資料を表 2.2.11 に示す。

表 2.2.11 先行調査における比抵抗と地層との関係

Lithology		Resistivity (Ω-m)		
		This survey	Previous study ^{*1)}	
Tipam Sandstone	Alluvium deposit (Mainly Clay)	al	○ 2-11Ω-m Medium sand with low resistivity Water quality Saline	
	Clay	Tt-1	○ 7-10 Ω-m Clay	
			○ 11-13 Ω-m Silty Clay	
	Silt	Tt-2	○ 15Ω-m Very Fine sand Water quality Slightly Saline	
	Sand		Very Fine	○ 18-27Ω-m Fine sand Water quality Brackish
			Fine	○ 25-32Ω-m Fine to Medium sand Water quality Brackish
Coarse	Tt-3	○ 34-1,000Ω-m Medium sand Water quality Brackish to Fresh		
Unsaturated Soil (Mainly Sand)		5,000		

*1) Delineation of Fresh-Saline Water Interface In and Around Cox's Bazar Town, Bangladesh : Rafiq 2013 (Unpublished MS Thesis)

出典: Groundwater resources investigation at Ukhia, Cox's Bazar , DPHE/JICA 2017
 年 12 月に加筆

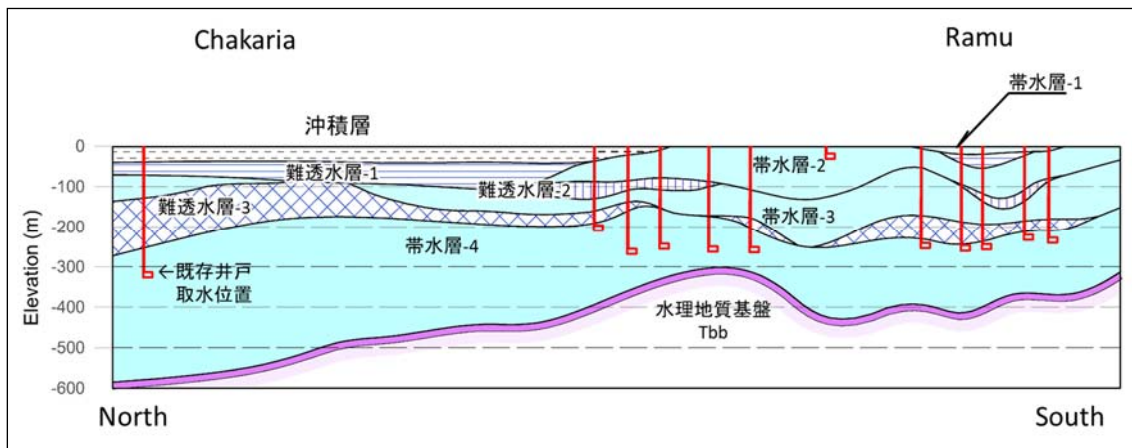
次に、帯水層の分布傾向と既存井戸情報とを対比し、帯水層の利用状況を整理した。なお、地層の分布傾向は、調査地の中央付近を縦断する Z 断面を基準とした。表 2.2.12 に物理探査データの解析結果から推定される水理地質学的特徴を、図 2.2.27 に水理地質構造模式断面図を示す。

表 2.2.12 調査地で推定される水理地質的特徴

地質年代	地層名	記号	層相	比抵抗特性			分布深度 GL -m	水理地質構造/ 帯水層利用状況 ^{*2)}
				範囲 Ω-m	中央値 Ω-m	帯水層 判定 ^{*1)}		
第三紀 漸新世	完新世	沖積層	a 砂、シルト、粘土	1 - 239	6	-	0 - 40m	- 表流水~浅層地下水 水質不良?
	更新世	扇状地 堆積物等	fa 砂、シルト	2 - 600	55	○	0 - 25m	帯水層-1 : 浅井戸水源
		Dupi Tila Group	Dt-c 粘土優勢	2 - 19	6	×	20 - 100m	難透水層-1
鮮新世	Tipam Group		Dt-s 砂優勢	14 - 46	36	○-×	0 - 90m	帯水層-2 : 浅井戸/深井戸水源
		Tp-s1 砂岩優勢 砂岩泥岩互層	12 - 64	38	○-×	0 - 130m		
		Tp-c1 泥岩優勢	-	19	×	60 - 80m	難透水層-2	
		Tp-s2 砂岩優勢	19 - 98	49	○	50 - 250m	帯水層-3 : 深井戸水源	
		Tp-c2 泥岩優勢	2 - 29	14	×	80 - 250m	難透水層-3	
		Tp-s3 砂岩優勢	40 - 77	53	○	120 - 550m	帯水層-4 : 主要深井戸水源	
中新世	Suma Group	Tbb 頁岩優勢 砂岩頁岩互層	11 - 29	22	×	300-550m 以深	水理地質的基盤	

*1) × : 遮水層 ○: 帯水層 *2) 浅井戸 : 60m以浅 深井戸 : 60m以上

出典 : JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 2.2.27 水理地質構造 模式断面図

以下に各帯水層の概要および新規水源に係る評価結果を記す。

- 帯水層-1**：浅井戸水源
最大層厚 25m 程度、地表付近、ごく浅い位置にのみに分布する。層厚が薄いことに加えて、水平方向の連続性が悪く、ポテンシャルは極めて低い。
新規水源としての評価：適さない（深度 300m 以浅）
- 帯水層-2**：浅井戸・深井戸水源
最大層厚 130m 程度、地表付近から GL-130m 付近に分布する帯水層。場所により Dt-c 層からなる難透水層に被覆されるものの、大半は不圧帯水層といえる。所々にシルトや粘土層を挟むものの、主に砂優勢層で構成されており、浅～深井戸の取水対象層となっている。
新規水源としての評価：適さない（深度 300m 以浅）
- 帯水層-3**：深井戸水源
最大層厚 115m 程度、GL-50m～GL-250m 付近に分布する不圧～被圧帯水層
上位の帯水層-2 との間には、Tp-c1 からなる難透水層-2 が存在するが、水平方向の連続性が悪く、帯水層-2 と帯水層-3 は完全に分離していない。大半の範囲で帯水層-2 と帯水層-3 が接続して一連の帯水層を形成している。
新規水源としての評価：適さない（深度 300m 以浅）
- 帯水層-4**：深井戸水源
層厚 200～350m 程度、GL-120m～GL-550m 付近に分布する分布する不圧～被圧帯水層。下位は水理地質的な基盤をなす Tbb 層（ボカビル層）であり、最深部に位置する帯水層である。
帯水層-3 同様、上位の帯水層とは完全に分離しておらず、調査地の東側/南側では、上位の帯水層と連続して一連の不圧帯水層を形成する。一方、北側/西側においては、厚い難透水層で区切られた被圧帯水層として存在するが、いずれの場合においても、当該層は深度 200m を超える深井戸での主要な取水対象となっている。深度 300m 以深にも分布するが、それより浅い深度に分布する帯水層と水理地質学的に連続しており、

本層での揚水深度 300m 以浅に分布する帯水層へ影響が及ぶことになる。
新規水源としての評価：適さない。(深度 300m 以深であるが、開発済み)

● **結論**

以上、本調査における検討結果として、深度 300m 以深に、既存の開発された帯水層から独立した新規に水源開発が可能となる深部帯水層の存在は確認されなかった。

2.3 カプタイダム現況調査

(1) 現地踏査 (2020 年 1 月 20 日)

2020 年 1 月 20 日、カプタイダムの現地踏査と関係者面談を実施した。以下に面談時の協議要旨と現地写真 (参照：図 2.3.1) を示す。

1) 貯水池堆砂状況

現在、貯水池堆砂により、湖内で船舶の移動に支障をきたしている。BIWTA が調査を行い、浚渫事業を実施している。

2) 情報提供について

ダムに関する情報収集依頼リストを提示し、ダム等の構造図、発電や洪水による放流量等のデータを調査団に提供する旨の返答を得、後日、現地再委託業者を通じて収集した (以降、表 2.3.1 参照)。

3) 貯水池の運用

- 貯水池は標高 76 フィートから 109 フィート (放流開始水位) までの間で運用している。建設後の運用開始 (1962 年) 以来、貯水池運用は大きく変更していない。現地踏査当日の水位は 94 フィート。
- 洪水吐から放流が必要となる洪水は流入量次第であるが、ヒアリングによると実感として 2～3 年に一度発生するとの情報があった。
- 下流の塩水遡上防止、チョットグラム水道用水供給を兼ねて毎年 2 月 1 日から No.1～No.5 発電ユニットを順次使用して乾季放流する。これは口頭による関係者との了解事項であるが、あくまで発電放流であり下流のための利水放流では無い (翌 2020 年 1 月 21 日の CWASA からの聞き取りでは、所管省庁間で MoU があるとのことであった。後日、再委託業者を通じて 2015 年 12 月付けの Prime Minister Office から CWASA, BPDB 宛ての通達を入手した。これによると、カプタイダム運用規則変更として、「ハルダ川の塩水遡上を防止するため、11 月から 5 月の期間は、少なくとも 2 台の水車発電機を 24 時間運転すべき」とされている。
- 湖周に道路はほとんど無く、湖周に住む住民の移動、物流は BIWTA による舟運事業による。この航路の維持浚渫に関する調査とその浚渫が BIWTA により進行中である。2022 年 5 月時点で、調査が完了し、浚渫事業計画が策定されている。

- H-V 曲線があり、それに則って運用されている（後日、再委託業者によりデータを入手した）。

4) 貯水池流入河川における事業

主要流入河川はカルナフリ川本川に加えて 4 河川あり、上流北側から流入する Kasalong River, 上流南側から流入する Cholok River, 下流北側から流入する Changi River, 下流南河から流入する Rainkhiang River となっている。このうち、2つの支川で中国の技術 (Hydraulic Elevation Dam:HED) を用いたダム計画が進行中である。その事業目的は、それぞれ、飲料水開発、灌漑用水開発（事業主体：BWDB）、灌漑用水開発（事業主体：チョットグラム県）である。2022年5月時点で、カプタイダム上流支川の2基のHED建設計画は棄却され、ダム下流のチョットグラム州のPatiya ウパジラで1基の建設計画が承認されたという情報がある。

5) 現場視察時の聞き取り情報

- 堤体内部には漏水の集水・計測用ギャラリーがある。漏水は下流面中央部にある2か所の小さな小屋内の計測機器によって測定されることとなっていたが、現在は壊れて使われていない。
- 現在、漏水は僅かで問題は無い。
- ダム湖の水位計として、堤体右岸に水位標が設置されている。
- 雨量計は、ダム左岸にあるが管理状態が悪い。(ゴミが集水柵(ペットボトル)に付着、残水がある、近傍に背の高い葉の生い茂った木がある、など)
- 洪水吐ゲートは、設置以来、扉体の取り替えは行っていない。電気・機械設備のみ交換した。
- 洪水吐下流側の護床工ブロックを改修中。エプロン下流に仮締切堤を建設中。
- 発電放水口まで潮位の影響を受けている。



2020/01/20@Kaptai Dam O&M Office
 Center left: Mr. Jahangin Alam, Acting Manager
 Center right: Mr. Kayesup Bar



2020/01/20@Kaptai Dam Spillway
 Rehabilitation of concrete blocks in downstream of apron



2020/01/20@Kaptai Dam Rainfall gauge



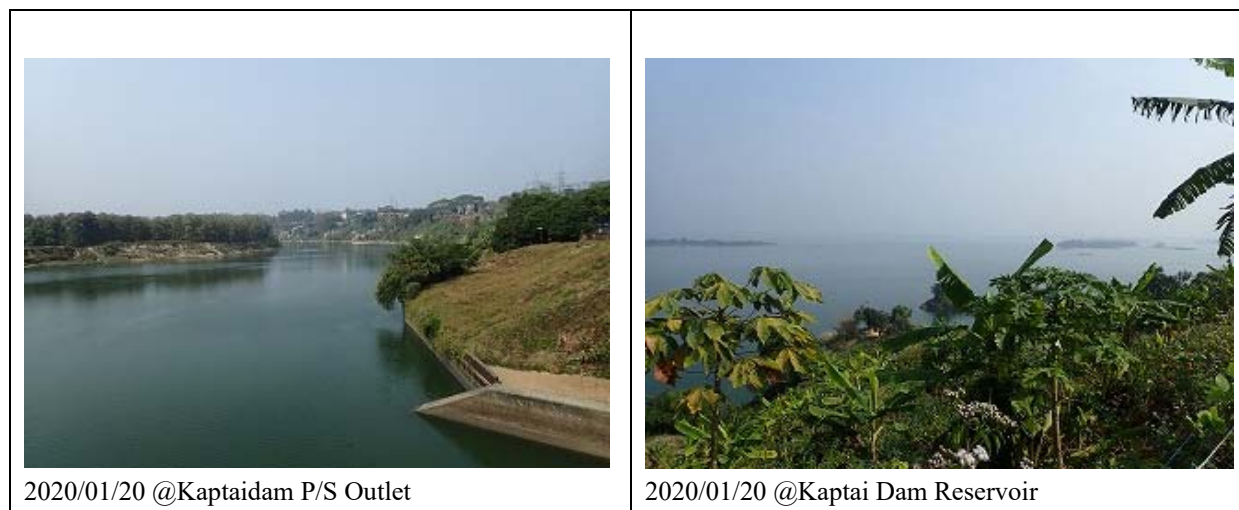
2020/01/20@Kaptai Dam Water level gauge



2020/01/20@Kaptai Dam Reservoir (right side)



2020/01/20@Kaptai Dam Reservoir (left side)



出典：JICA 調査団

図 2.3.1 カプタイダム現地視察時写真

(2) カプタイダムに関する情報収集

カプタイダムに関する以下の関連報告書を収集した。

- 東パキスタン・カルナフリ水力発電計画基礎調査報告書、昭和 48 年 3 月、海外技術協力事業団
- Feasibility Study Report for Kaptai Hydropower Station Extension Project, 1980 Sep.,
- カプタイ水力増設(6,7 号機)計画に関わる F/S 調査報告書、平成 12 年 3 月、日本貿易振興会
- 2016 電力 MP

上記の関連報告書の内容を確認し以下の事項を整理した。

- 開発経緯
- ダム基本情報（基本諸元）
- ダム上流の水位・雨量の観測状況
- ダム運用ルールのレビュー
- 余水放流量の確認

(3) 現地再委託調査による情報収集

2020 年 10 月 24・25 日に再委託業者 IWM が現地カプタイ事務所を訪問し、表 2.3.1 の情報収集を行った。一部提供データに誤りがある事が分かり、後日データの諸元を修正した。

表 2.3.1 カプタイダムに関する基礎情報収集状況

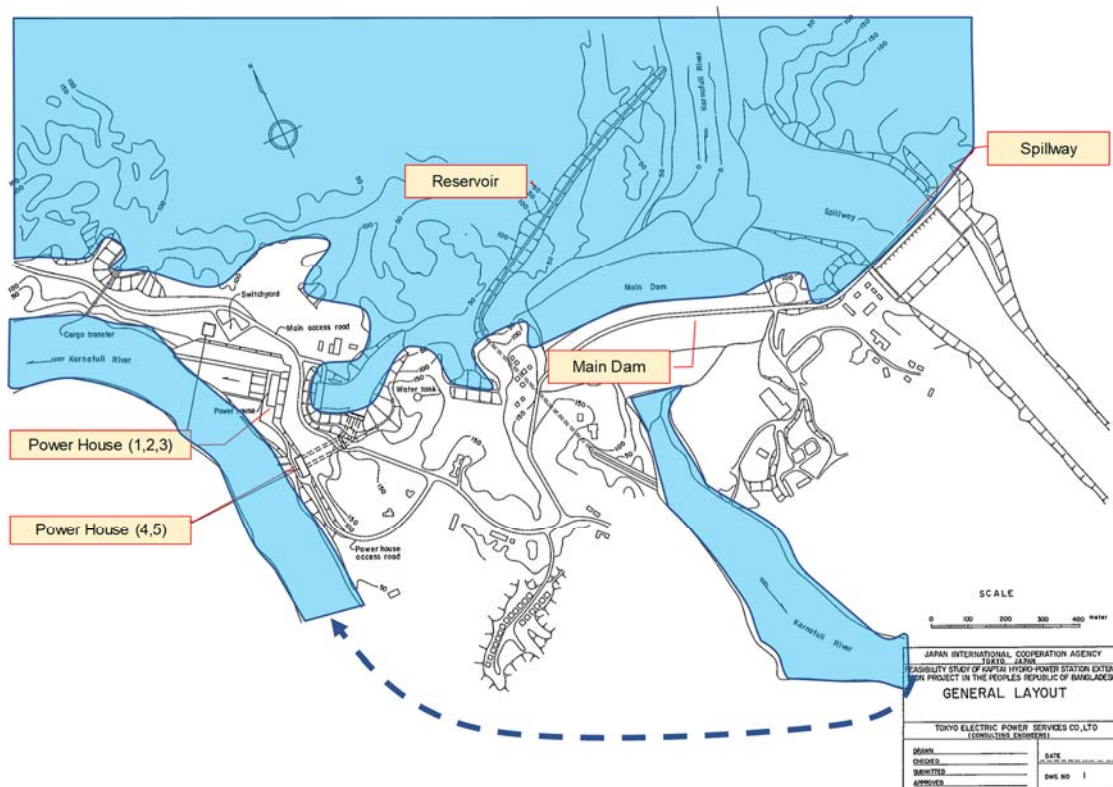
項目	収集状況
・ダムの構造	図面等を入手
・ダム運用ルールのレビュー	ルールカーブ（計画、現況）を収集済み。
・発電量	2015-2020 の日発電量

項目	収集状況
・ダム上流の水位・雨量の観測状況	収集済み（水文データ参照）
・水質（溶存酸素：DOについては、比較的水深が深い部分の低層、中層、表層の3か所で行う。）	観測実施済
・堆砂量推定	1999 HV カーブ。2012年、2019年の横断測量(12測線)データ。
・過去の貯留実績	1968-2019の流入量、ダム水位など
・ダム湖への時期別流入量及び時期別貯留量	同上
・期別及び通年の利用可能水資源量の算定	同上
・近年のダム水位およびゲート操作の実態	2012/6/1-2018/12/31の日放流量（発電、余水吐）。
・地震対策の状況	詳細な情報やデータは得られなかったが、ダム管理所長へのヒアリングにより関連情報を確認した。
・維持管理点検の状況	同上
・ダム下流の放流警報の仕組み等	同上

出典：JICA 調査団

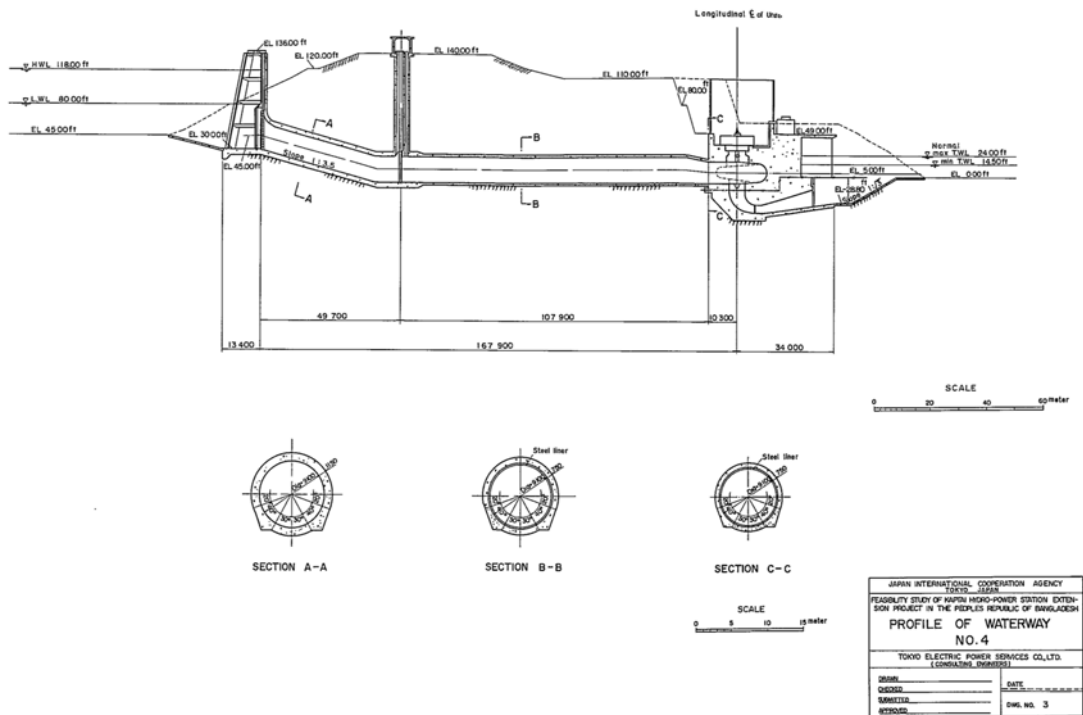
(4) カプタイダムに関する収集データ・情報の整理

1) 施設関連図面



出典：1980JICA F/S

図 2.3.2 カプタイダム 4, 5号機増設全体平面図

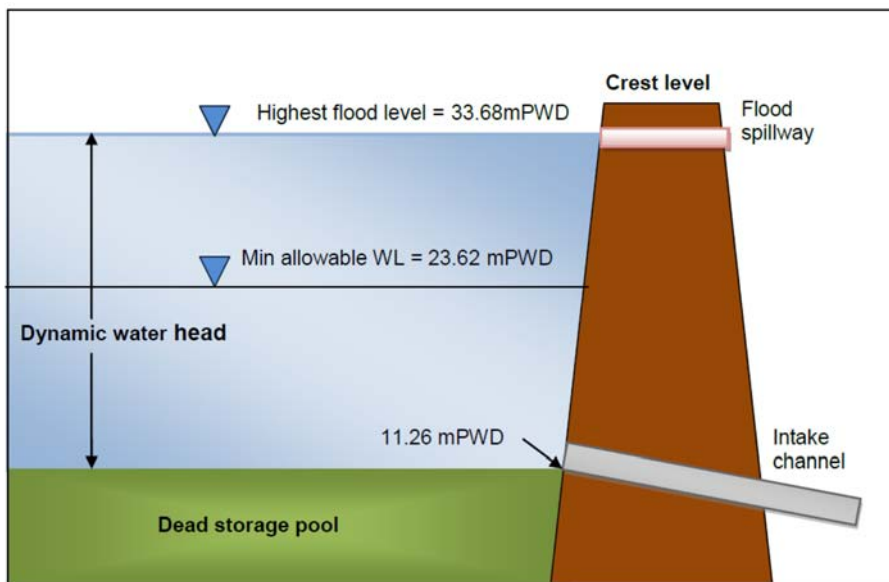


出典：1980JICA F/S

図 2.3.3 カプタイダム 4, 5号機増設縦断図

2) ダム堆砂情報

カプタイダムは、図 2.3.4 に示すように 11.26mPWD 以下が堆砂容量となっている。この容量は $1,800 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。



出典：2016 電力 MP

図 2.3.4 カプタイダム計画図

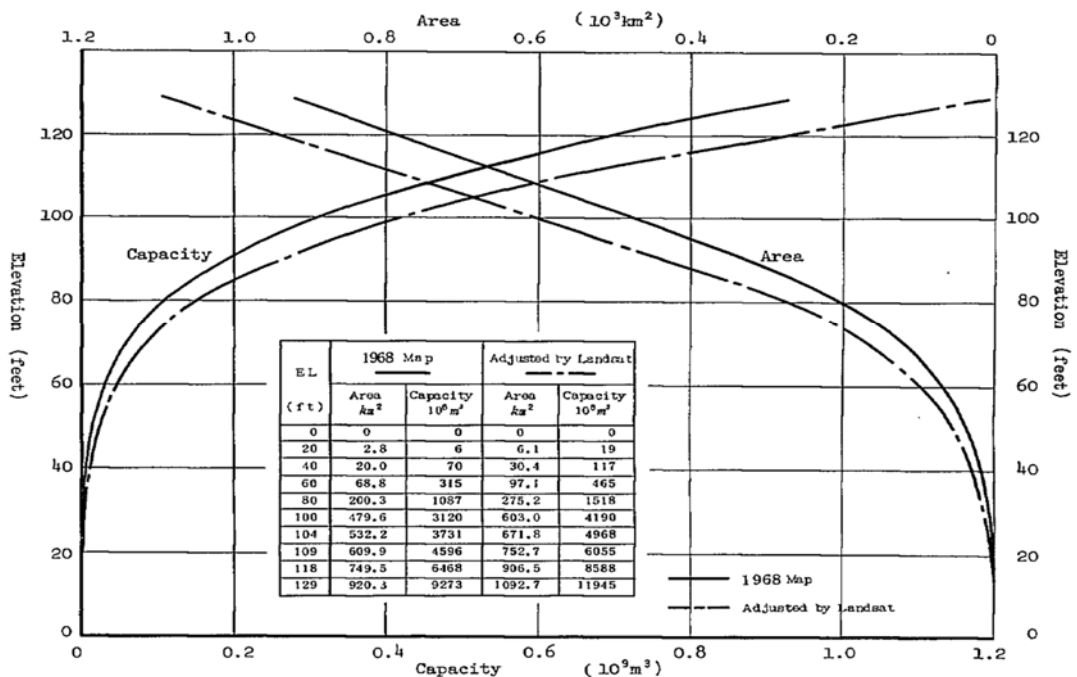
i) 1980F/S 時のレビュー

カプタイ貯水池の水位・湛水表面積・容量曲線は1968年に確定された。その後、1980年にJICAにより貯水容量がLANDSAT写真や発電所運転記録により再検討された。

この結果、貯水池の湛水表面積は、1968年作成地図から算出した値よりも若干大きいことが分かった。また、有効容量は1968年以来ほとんど変化していないことが分かった。これより、貯水池最低水位以上の貯水池敷の堆砂堆泥はごく僅かで貯水池有効容量に何ら影響を及ぼしていないと推察される。但し、貯水池最低水位下の貯水池堆砂堆泥の現状を明らかにすることは、深浅測量を実施して堆積堆泥の層厚を実測しない限り不可能であるとされている。また、有効容量は次の理由により今後とも十分に安全に確保できるとされている。

- カルナフリ川の勾配は、1万分の1程度と緩く、流速も非常に遅い。従って河底および河岸の浸食はほとんど起こらない。
- カルナフリ川流域の大部分は緩傾斜で密林に覆われ、しかも河川近くに標高の高い山は存在しない。このように、流域全体が安定した地勢を形成しているといえる。
- この地域は典型的なモンスーン地帯で、地質学的に長い時間を経て厳しい気象条件に抵抗し得る現地勢に移行した。従って、将来とも電力発生に影響を及ぼすような貯水池の堆砂堆泥はないと思われる。

Fig. 5.3 Area and Capacity Curve of Kaptai Reservoir



出典：1980F/S

図 2.3.5 カプタイダム貯水池容量曲線

3) 現地再委託によるダム堆砂収集データ

現地再委託にて、以下の貯水池深淺測量のデータを収集した。

- 2019年9月10日（5測線）
- 2019年12月26日－31日（28測線）

4) 余水放流量の確認

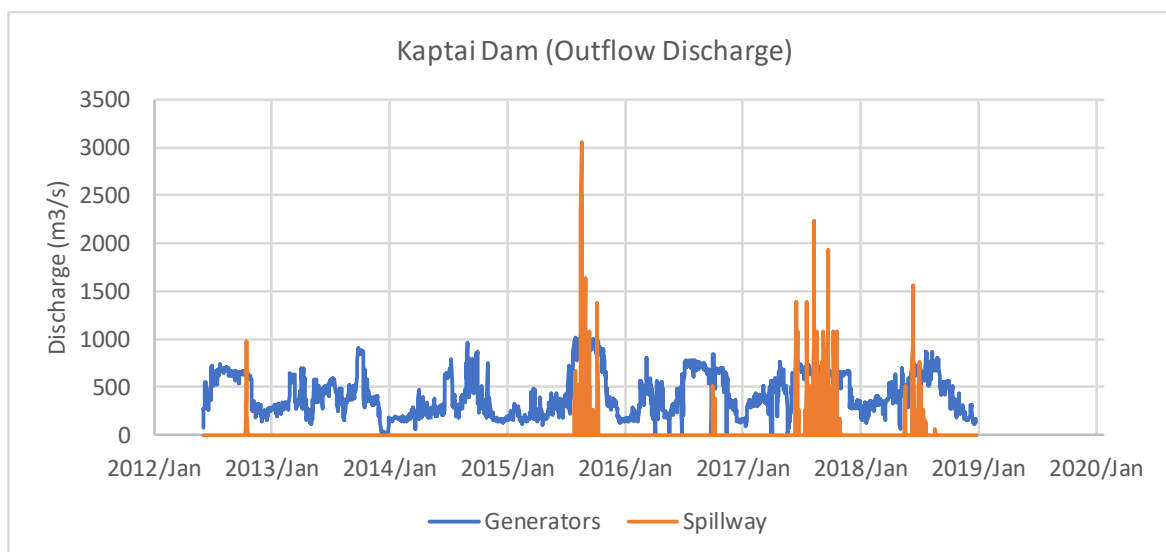
1988～1997年間の発電実績および洪水吐からの溢水量記録を収集した。収集資料を整理して表 2.3.2 に示す。余水吐からのスピルアウト流量は年平均 1,542 百万 m³ である。

表 2.3.2 カプタイダム年間発電電力量と余水吐放流量

Year	発電電力量 Million kWh	降雨量 mm	洪水吐からの 溢水量 Million m ³	溢水による 発電電力量 ロス Million kWh
1988	1,001.8	2,746	3,743	298.5
1989	738.9	3,734	986	72.6
1990	822.7	2,265	-	-
1991	935.5	2,764	2,435	145.8
1992	583.0	1,522	-	-
1993	867.6	3,287	4,060	288.5
1994	491.8	1,746	-	-
1995	607.4	1,927	-	-
1996	678.0	2,274	-	-
1997	722.9	2,365	4,197	305.0
Average	745.0	2,463	1,542	111.0

出典：2016 電力 MP

2012～2018年間の発電放流量及び洪水吐からの溢水量記録を収集した。収集資料を整理して図 2.3.6 および表 2.3.3 に示す。この間のスピルアウト流量は年平均 939 百万 m³ である。



出典:BPDB のデータを基に調査団作成

図 2.3.6 カプタイダムの発電放流量および溢水量記録 (2012～2018 年)

ダム運用を改善しこの無効放流量を減少させることで、本計画も含めた新たな水資源として開発できる可能性がある。例えば、この無効放流量の7割を、乾期6ヵ月に一定配分するのであれば、約41~68m³/sの流量(カプタイダム年平均流量509m³/sに対し約8~14%)を下流に補給できる計算となる。

表 2.3.3 カプタイダムの発電放流量および
溢水量記録 (2012~2018年)

Year	Generator (MCM)	Spillway (MCM)
2012	9,168	213
2013	12,378	0
2014	9,574	0
2015	13,981	2,129
2016	13,933	143
2017	15,877	3,259
2018	13,522	832
Average	12633	939

出典:JICA 調査団

5) 地震対策の状況に関する情報

地震対策の状況に関する詳細なデータは得られなかったが、BPDB へのヒアリングにより以下の情報を確認した。

- 過去に、地震後2回の検査がBUETにより行われた実績がある。
- 但し、レポートを保管していない。
- 同レポートではダムが健全な状態と結論付けられている。
- 同レポートでは、ピエゾメータが約30年間故障していることが指摘され、その早期の修復と監視の継続が提言されている。

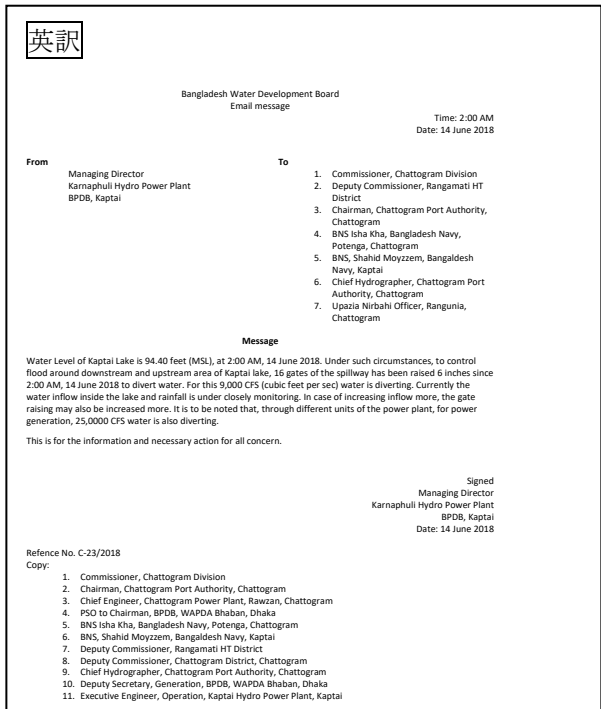
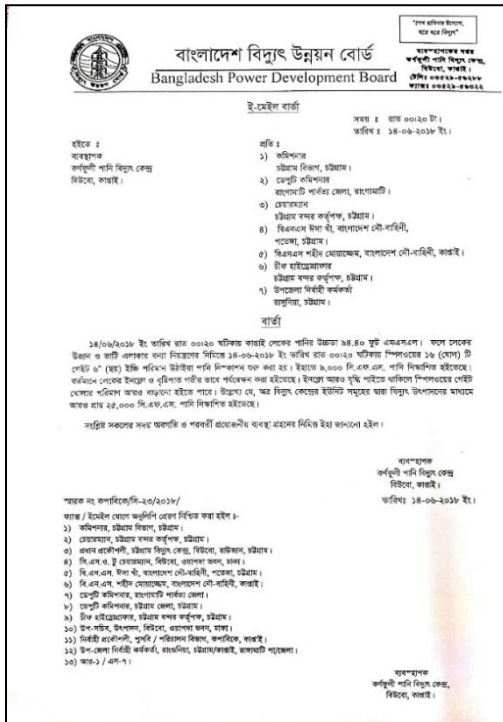
2022年5月時点で提言はまだ実施されていない。

6) ダムの維持管理点検の状況

ヒアリングの結果によると、ダムの維持管理・点検の活動は、ダム施設の監視と排水溝の清掃、草刈り、灌木の除去などに限定されている。維持管理の活動は、通常、外部業者委託により年4回程度行われ、モンスーン期間中には2回行われている。また、ダム管理所職員の月1回の目視検査を通じて、貯水池湖岸の侵食や周辺丘陵の地滑りの確認を行っている。書面での維持管理点検の記録は収集できなかったため、これらの保管状況は良くないと推察される。

7) ダム下流の放流警報の仕組み等

ヒアリングの結果によると、洪水運用時のダム下流の放流警報として、余水吐ゲートを開く前に、ダム下流の3つのウパジラ (Kaptai、Rangamati Sadar、Rangunia) へ書面での通知が行われている。通知の事例を以下に示す。また、合わせて下流の住民へ音声での警報が行われている。



出典:BPDB カプタイダム事務所

図 2.3.7 カプタイダムの余水吐き放流時の警報通知の事例

2.4 概略環境調査

(1) 自然環境

1) 国立公園及び野生保護区等

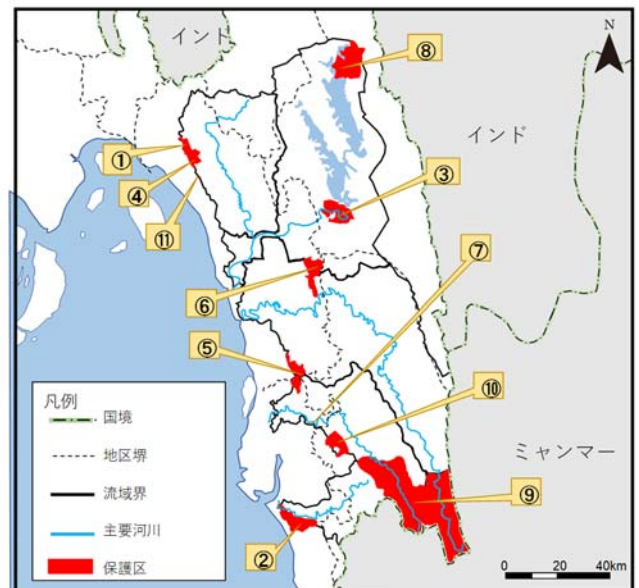
調査対象地域には、3つの国立公園、6つの野生生物保護区、1つの大規模な保安林及び1つのエコパークが存在している。主な地区の特徴は以下に示すとおりである。これらの保護区のうち、国立公園、野生生物保護区、エコパークは“Wildlife Conservation and Security Act (2012)”で規定されている。国立公園、野生生物保護区では、農牧業、鉱業、産業の操業などが禁止されている。一方でエコパークは前述の活動が禁止される一方で、サファリパーク等、野性生物に係る教育の場としての活用が可能である。また、保安林は“Bangladesh Forest Act (1927)”で規定されており、森林の伐採、農牧業、及び産業の操業などが禁止されている。但し、政府の許可があれば開発行為も可能な地域である。

- ・ マタムフリ保安林は、かつては常緑林で覆われていたが、近年は人為的な影響を受け、耕作地や集落が点在すると共に、国防を目的として国境までの道路が建設されている。しかしながら、依然として留意すべき動物が生息しており、アジアゾウ、サンバルシカ、アジアクロクマ、ヒョウが記録されている。また、トラの報告事例もある。
- ・ チュナティ野生生物保護区はコックスバザール県チャカリア及びバンシュカリ地区に位置しており、1986年にバングラデシュで初めて制定された保護区の一つである。同保護区はミャンマーとの間を移動するアジアゾウの移動経路に位置しており、同種の生息地である。
- ・ ヒムチャリ国立公園はコックスバザール中心街より約 13 km 東に位置している。比較的良い状態に保たれた混合熱帯広葉樹林が存在しており、アジアゾウの小集団が同域内に生息する等、大型動物相の貴重な生息地となっている。
- ・ ファシャカリ野生保護区はコックスバザールの北部、チャカリア地区に位置している。同保護区は広葉樹と針葉樹の混合常緑林や灌木地、湿地、溪流といった多様な自然環境を有し、アジアゾウやアカゲザル、スローロリス、ジャングルキャット、スナドリネコ、ハクオウチョウ等が生息している。現在は同区域に流入した住民の影響によって同地域での森林環境の劣化が見られている。

表 2.4.1 保護区一覧

No.	名称	区分
1	バロイヤハラ	国立公園
2	ヒムチャリ	国立公園
3	カプタイ	国立公園
4	ハジャリル	野生生物保護区
5	チュナティ	野生生物保護区
6	ドゥプクリアードパチャリ	野生生物保護区
7	ファシアハリ	野生生物保護区
8	パブラカリ	野生生物保護区
9	マタムフリ	保安林
10	サング	野生生物保護区
11	シタクンドゥ	エコパーク

出典:バングラデシュ森林局資料



注: 図中の番号は、表 2.4.1 に対応する。
出典:バングラデシュ森林局資料

2) 生態系保全ゾーン

国際自然保護連合 (International Union for Conservation of Nature) は、地域の野生動物の生息環境としての機能別に、バングラデシュで 25 の生態系保全ゾーンを定めている。

調査対象地域には生態系保全ゾーンとして、表 2.4.2 に示すとおり、湖沼 1 箇所、沿岸平原 3 箇所、丘陵環境 5 箇所が設定されている。

図 2.4.1 保護区一覧

表 2.4.2 生態系保全ゾーン

No.	流域名	区分	面積 (ha)
1	カルナフリ	湖沼	65,768
2	マタムフリ	沿岸平原	1,031
3	サング	沿岸平原	1,113
4	カルナフリ	沿岸平原	438
5	バッカリ	丘陵環境	58,677
6	マタムフリ	丘陵環境	157,958
7	サング	丘陵環境	359,240
8	カルナフリ	丘陵環境	273,754
9	ハルダ	丘陵環境	170,134

出典: International Union for Conservation of Nature 2002

3) 動植物

調査対象地域の陸域植生は、ケッペンの気候区分で年間の降雨量が多く気温の寒暖差が小さい地域として定義される熱帯湿潤地域に存在する常緑林及び落葉林が分布している。具体的には、(a) 熱帯湿潤常緑林、(b) 熱帯湿潤準常緑林、(c) 熱帯湿潤落葉林、(d) 二次林、(e) 灌木林、(f) 草地に分類できる。また、河川周辺及び沿岸には、湿地環境が分布しており、浮遊植物による植生が見られるほか、マングローブの自然林及び植林が分布している。

再委託による文献調査では、調査対象地域で以下の貴重種が確認されている。確認された貴重種は哺乳類に多く、絶滅寸前(CR)種である、アジアゾウ、ツキノワグマ、フーロックテナガザル、ファイヤールトン、ユーラシアカワウソ、ピロードカワウソ、サンバー、絶滅危機(EN)種であるインドノウサギ、スナドリネコが確認されている。

表 2.4.3 文献調査で確認されている貴重種

区分	絶滅寸前 (Critically Endangered)	絶滅危機 (Endangered)	危急 (Vulnerable)	準絶滅危惧 (Near Threatened)	軽度懸念 (Least Concern)	情報不足 (Data Deficient)
哺乳類	7	2	2	3	13	3
鳥類	-	-	-	-	16	-
爬虫類	-	-	2	4	15	1
両生類	-	-	-	-	7	-

出典: 2018 EIA Report for Proposed Gas Transmission Pipeline for Mirsarai Economic Zone and KGDCL Gas Distribution Network upgradation Project

2018 EIA Report for River port at Cox's Bazar under Development of Teknaf, Cox's Bazar (Kasturaghat), Chhatak, Faridpur and Nowapara River Ports and some other Ferry Ghats and Jetties at various locations

2018 IEE, ESIA/ESMP, RAP and Other Studies for Transmission Line from Sonagazi to Mirsarai

2019 Environmental Impact Assessment (EIA) Study on Construction of Production Boreholes to provide Water Supply to Forcibly Displaced Myanmar Citizen and Communities Hosting them in Ukhia & Teknaf Upazila, Cox's Bazar

(2) 社会環境

1) 土地利用

主要な土地利用現況は、森林、灌木地及び農地であり、2020年の衛星画像解析によると、森林が約35%、灌木地が約31%、農地が約17%を占める。近年の産業振興に伴い調査対

象地域の土地利用は大きく変化している。MIDI 地域の開発計画調査で確認した関連地域の土地利用は、農地の占める割合が減少し、市街地及び商用地の占める割合が増える傾向が確認されている。また、チョットグラム、コックスバザールでの港湾開発と観光により、急速な成長と都市化が進んでいる。

2) 産業

主要な産業はバンドルボン県、コックスバザール県は農業であり、米、野菜などが栽培されている。チョットグラム県では、卸売・小売業、製造業に加え、世界一の長さを誇る観光可能な砂浜の海岸を有することから、ホテル、レストランといった観光業も盛んである。また、調査対象地域は森林資源も豊富で地域の収入源となっている。また、漁業も重要な収入源であり、雨季にはエビなどの養殖業も営まれている。前述のチョットグラム県の海岸線のほか、バンターバンの溪流環境、チョットグラム丘陵地域の先住民族の伝統的な文化行事など、自然・文化に係る観光資源を活用し、近年は地域の観光資源を活用した観光業の振興も見られる。

表 2.4.4 産業の状況

項目/県	バンドルボン	チョットグラム	コックスバザール
主要産業（商業、サービスを含む）	農業	卸売・小売業、製造業、ホテル・レストラン	農業
主要作物	米、綿、タバコ、野菜、等	米、キンマの葉、ジャガイモ、トウモロコシ、ターメリック、茶、等	米、じゃがいも、玉ねぎ、にんにく、生姜、等
農場数（2008年）	45,423	367,514	148,271
企業数（2013年）	16,149	380,550	95,614
従業員数（2013年）	64,754	1,968,862	260,078

出典：2022 バングラデシュ国南部チョットグラム地域開発事業準備調査ファイナルレポート（先行公表版）

3) 収入

2016 年家計支出調査（Household Income and Expenditure Survey: HIES）によると、バングラデシュは経済成長により 1 人あたりの所得が増加している。1 世帯あたりの平均月収（現在価格）は 2016 年の全国レベルで約 16,000BDT であった。

調査対象地域の収入レベル及び貧困率は表 2.4.5 に示すとおりである。収入レベルはチョットグラム県が最も高く、次いでコックスバザール県、バンドルボン県となる。バンドルボン県は貧困率が高い地域もみられる。

表 2.4.5 収入レベル及び貧困率

項目/県	バンドルボン	チョットグラム	コックスバザール
収入レベル(月収)	14,000 BDT 以上	26,000 BDT～ 39,000 BDT	12,000 BDT～ 28,000 BDT
貧困率（%, 貧困世帯の割合）	37.3 - 70.8	23.4 - 30.5	23.4 - 30.5

出典：Bandarban Paurashava Master Plan (2017-2037), June 2019, (LGED)
Chittagong Strategic Urban Transport Master Plan, November 2018 (WB)
Cox's Bazar Urban Vulnerability Assessment, July 2020 (WFP)
Bangladesh Poverty Assessment, 2019 (World Bank)

4) 先住民

Bangladesh政府が実施した2011年の国勢調査では、同国の先住民・少数民族の人口は約1,586,141人であり、これは当時の同国の総人口の1.8%に相当する。これら先住民の約8割は国の北部と南東部の平地に住んでおり、その他では調査対象地域のチョットグラム丘陵地帯が主な居住地域となっている。調査対象地域には、表2.4.6に示す先住民が確認されている。これらの先住民は、ジュマ（Jumma、焼き畑農業をする人）と総称され、主にバンドルボン県に分布している。

表 2.4.6 先住民の分布

地域	年	先住民					
		マルマ	ムロ	トリプラ	チャクマ	ラカイン	トチオンギヤ
バンドルボン	2011	77,477	38,021	20,685	-	-	-
	2020	87,570	42,974	23,380	-	-	-
カグラチョリ	2011	44,882	-	16,025	39,145	-	-
	2020	50,729	-	50,891	44,245	-	-
ランガマティ	2011	51,235	-	-	260,445	-	27,052
	2020	57,910	-	-	294,375	-	30,576
チョットグラム	2011	5,278	-	11,225	6,853	-	-
	2020	5,966	-	12,687	7,746	-	-
コックスバザール	2011	-	-	-	439	5,660	2,257
	2020	-	-	-	496	6,397	2,551

出典: Bangladesh Population and Housing Census 2011

5) 考古学的及び文化的遺産

調査対象区域には、13の考古学的及び文化的遺産が分布している。主な遺産は表2.4.7に示すとおりである。

表 2.4.7 考古学的及び文化的遺産

名称	位置	特徴
アンデルキラシャヒジェーム	チョットグラム県チョットグラム市内、J M Sen 道路沿い	最も初期のムガル帝国時代に建設された砦。モスクを有する。
チョットグラムゲストハウス	チョットグラム県チョットグラム市内、20 Chatteshwari 道路沿い	大英帝国が1913年に建設した建造物
バシャミア街の戦没者墓地	チョットグラム県チョットグラム市内、19 Badshah Miah Chowdhury 道路沿い	731名の兵士の墓

出典: JICA 調査団

(3) 環境影響評価に関する法令

1) 国家環境政策（1992年）

調査対象区域には、13 の考古学的及び文化的遺産が分布している。主な遺産は下表に示すとおりである。

2) 国家環境管理アクションプラン (1995 年)

国家環境管理アクションプランは国家保全戦略の提言に基づき、環境課題への対応と持続的な開発を促進するためのアクションプランとして策定された。

3) 環境保全法 (1995 年)

環境保全法はこれまでに 2000 年、2002 年、2010 年に改訂され、バングラデシュにおける産業や事業を統治する様々な執行事項を定義してきた。同環境保全令の下で、バングラデシュの環境保全活動の責任を担う環境庁 (DoE) が設立された。第 12 項では、DoE の長官が発行する環境適合証明書について規定している。

4) 環境保全規則 (1997 年)

環境保全規則 (2002 年改訂) はバングラデシュにおける開発事業の環境アセスメントの作成のための一連の規則を規定し、ECA を補佐するものである。本規則は全てのプロジェクトの環境評価の基本的なフレームワークを提供し、手続きを確立するものである。本規則によると、事業主体が対象事業の立地許可 (Location Clearance) を取得した上で、環境許可 (Environmental Clearance) を取得するための調査を実施しなければならない。バングラデシュではどのような建設事業でもその建設着手前に環境認可の取得が義務となっている。

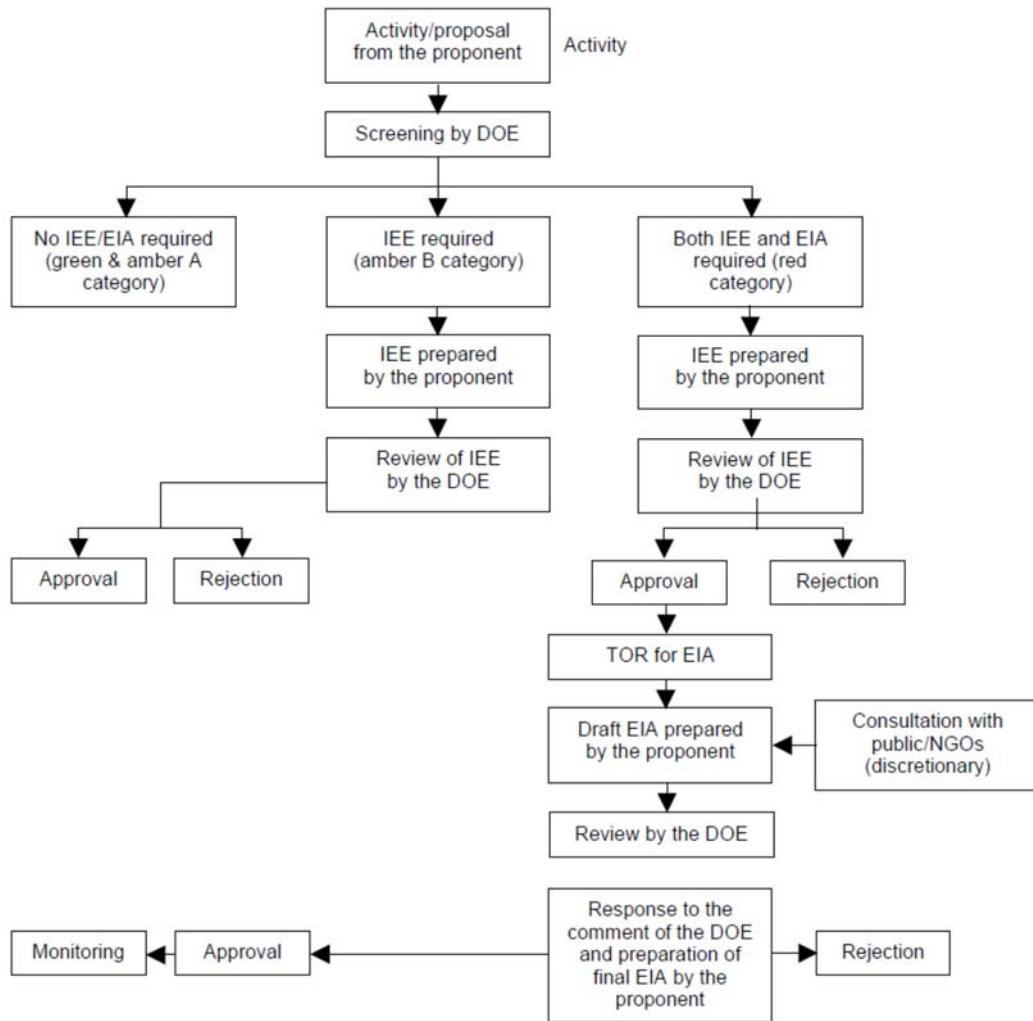
環境保全規則の規則 7 において、対象事業の立地条件および環境への影響から、(a) 緑、(b) オレンジ A、(c) オレンジ B、及び (d) 赤、の 4 つのいずれかのカテゴリーに対象事業が分類される。環境保全規則の別表 1 に異なる事業種がどのカテゴリーに分類されるかが規定されているが、ダム、水路、堰等、水利用に関連する施設については記載が無いことから、環境部の判断で事業が分類される。環境保全規則によると、カテゴリー緑に分類される事業に対しては環境調査を不要として環境適合証明書が発行される。一方で、その他のカテゴリーの事業については、立地許可の取得に引き続く環境許可取得のための文書の提出が必要とされる。

5) その他の法制度

バングラデシュにおける環境と開発の課題に関するその他の法制度としては、水質汚染管理条例 (Water Pollution Control Ordinance, 1973)、環境汚染管理条例 (Environment Pollution Control Ordinance, 1977)、森林政策 (Forest Policy, 1994)、漁業政策 (Fisheries Policy, 1998)、水政策 (Water Policy, 1998)、新農業普及政策 (New Agriculture Extension Policy, 1995) などが挙げられる。

6) 環境影響評価の実施手順

バングラデシュ環境庁が 2010 年に発行した「環境認可手続きの手引き (A Guide to Environmental Clearance Procedure)」等による EIA の実施手順を図 2.4.2 に示す。



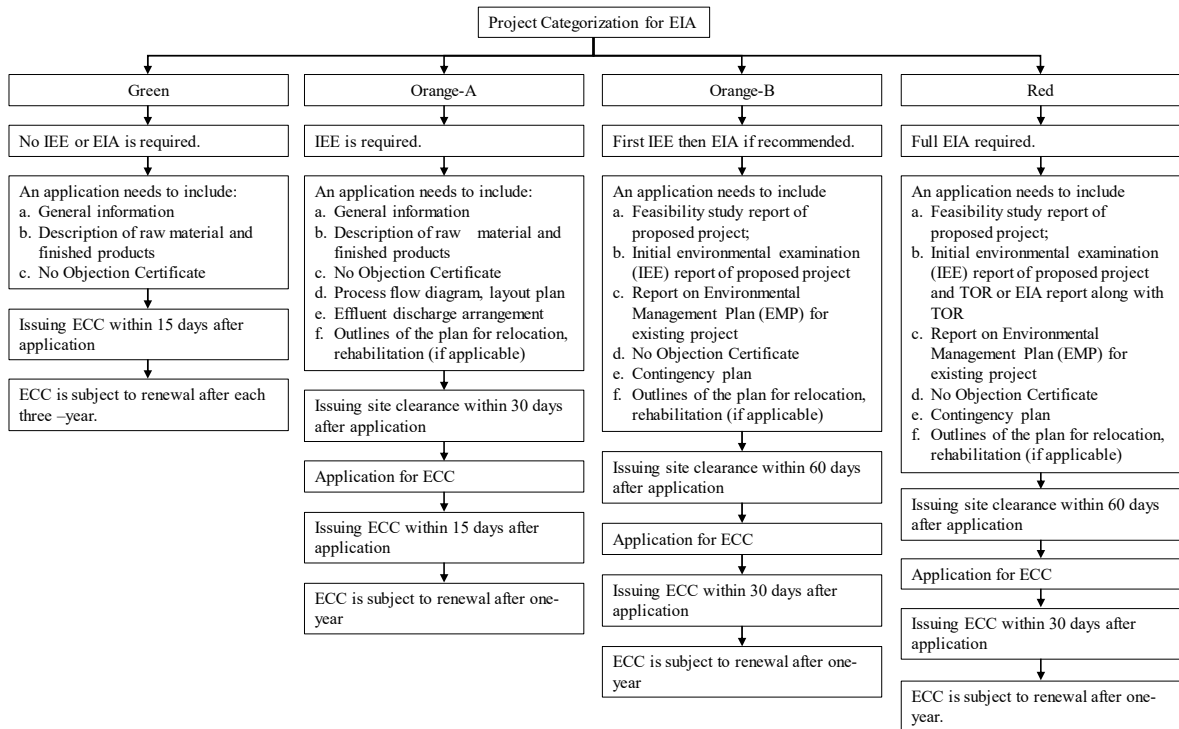
出典：1997 環境保全規則

図 2.4.2 環境影響評価実施手順

7) 環境適合証明書の取得手順

バングラデシュ環境庁が 2010 年に発行した「環境認可手続きの手引き (A Guide to Environmental Clearance Procedure)」に示したカテゴリー別の ECC 取得手順の概要を図 2.4.3 に示す。

本事業は、環境保全規則 (ECR) の別表 1 に基づき、「国道の新規建設・改良」に該当することから赤カテゴリーに該当する。従い、本事業は今後 ECC 取得のため、IEE の実施を行わずに EIA の実施が必要となる。



出典：1997 環境保全規則

図 2.4.3 環境適合証明書取得手順

(4) 用地取得・非自発的住民移転の法規

1) 背景

以前の用地取得関連法である Acquisition and Requisition of Immovable Property Ordinance II 1982 (ARIPO 1982) を含むバングラデシュの用地取得にかかる法規は、非自発的住民移転にかかる国際基準との間にはギャップがあり、その結果、相手国政府の資金による案件とドナーが資金提供する案件では、補償・支援策が異なるという二重の「基準」が生じていた。

これらの問題に対処するため、2008年にADBの技術支援により、通常土地所有者への金銭補償に加えて、(1) 被影響者・移転者の権利を保護、(2) 適切な緩和策と移転計画の確実な実施、(3) 社会経済状況の回復及び改善するための被影響世帯・コミュニティへの適切な支援の提供、(4) 移転後のコミュニティの社会システムとネットワークの確立のために、National Policy on Involuntary Resettlement and Rehabilitation (NPIRR) が起案された。NPIRR は最終的な政府承認がされておらず、代わりに2017年に用地取得にかかる法規である Acquisition and Requisition of Immovable Property Act 2017 (ARIPA 2017) が制定された。

2) Acquisition and Requisition of Immovable Property Act, 2017

ARIPA に基づく主な用地取得手順を表 2.4.8 に示す。

同法は、(1) 第2章で土地を含む不動産の恒久的な取得と(2) パート3で土地を含む不動産の一時的または有期の取得について説明している。公的案件の場合は、土地の市場レートの200%のプレミアムを、民間案件の場合は土地の市場レートの300%のプレミアムを加算するなどの土地の補償にかかる規定がある。

表 2.4.8 ARIPA 2017 に基づく用地取得の主要な手続き

法規該当箇所	用地取得手続き	法規該当箇所	申立て手続き
Section 4 (3)(a)	記録及び報告書作成 取得対象となる土地内の実際の状況、構造物、耕作物・立木についてビデオ、写真、他の技術によって記録し、報告書を作成	-	-
Section 4	事前通知 (Preliminary notice) Deputy Commissioner (DC)による用地取得の事前通知の発行	-	-
Section 4 (3) (b)	2者検証調査 (Joint verification survey) のDCと関係者による実施	-	-
Section 4 (7)	DCはSection 4 (3) (a)の手続き後、構造物等により土地用途が不適切な動機で変更されている場合は、2者検証リスト(joint list)における土地用途の変更を記録しない。	-	-
Section 4 (3) (b), (6)	2者検証結果の準備と公開	Section 4 (8), (9), (10)	Section 4 (7)でのDCの決定に対しては、7営業日でCommissionerに対して異議申し立てをする。 Commissioner は、異議を聞き、通常の案件の場合は15日間、国が重要と認める案件の場合は10日間で最終決定を行う。
Section 5 (3)	15営業日以内に異議が提出されない場合は、DCは10日間で最終決断をする。そして、一般的な案件の場合は30日間、国が重要と認める案件については15日間で Divisional Commissionerの許可を取得する。	Section 5 (1), (2), (3) (a) (b)	15営業日以内に取得にかかる異議をDCに対して行う。 DCは異議を聞き、通常の案件では30日間、国が重要と認める案件では15日間で報告書を作成し、用地が50 standard bighas (16.5 acre)を超える場合は土地省に、以下の場合にはCommissionerに提出する。

法規該当箇所	用地取得手続き	法規該当箇所	申立て手続き
Section 6	(1)DCの報告書提出後60日間、及び (2)Commissionerの報告書提出後15日間、または報告の遅延が記録されている場合は30日間で、用地取得にかかる 政府の最終決断 がされる。	-	-
Section 7 (1)	用地取得の通知及び公開 ：利便性の高い場所または用地の近傍でDCが公開を実施する。	-	-
Section 7 (2)	通常の案件は同通知の発行後15日、国が重要と認めた案件の場合は7日間のうち、 利害関係者は個別または代理人がDCにコンタクトする 。	-	-
Section 8 (1), (3)	DCによる補償結果の発行 補償結果が作成されて7日間のうちに、DCが利害関係者に補償結果の通知を行う	Section 30	補償結果について同意が得られない場合は、補償結果の発行から45日以内に調停者(Arbitrator)に結果の改定申請を行う。
-	-	Section 31	申請後90日間で公聴会を開催し、決定する。
-	-	Section 34	調停者による補償結果の決定 (DCの補償結果の10%以内) 10%以上の増額となる場合は上訴仲裁裁判所(Appellate Arbitration Tribunal)の決定を必要とする。
-	-	Section 36	調停者による補償結果に対する控訴及び上訴仲裁裁判所の決定： 控訴は上訴仲裁裁判所で行われる。上訴仲裁裁判所で決定された補償額が調停者の決定した補償額を超過する場合は、追加の補償費は調停者の補償額の10%までとする。
Section 8 (5)	Section 7で通知が発行された後、30日間で 補償額の算定 を行う。	-	-
Section 8 (4)	用地を必要とする者・機関は、DCによる補償費算定額の受領後120日間で 補償費をDCに支払う (預ける) 。	Section 37	追加補償の支払い
Section	補償費支払い は、用地を必要とする	-	-

法規該当箇所	用地取得手続き	法規該当箇所	申立て手続き
11	者・機関が補償費をDCに預けた後60日のうち、かつ政府が土地の所有権を持つ前に(taking possession of the property)、DCから補償費の受給者に支払われる。		
Section 13 (1), (2)	補償費支払後にDCによる 用地・不動産の取得 。DCによる宣言は官報の発行で行う。	-	-

出典: 2017 Acquisition and Requisition of Immovable Property Act

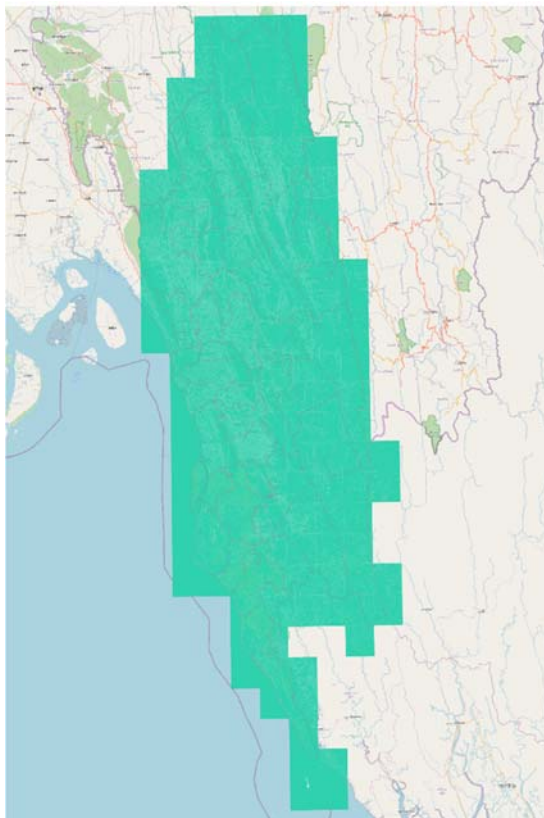
第3章 コンポーネント2：調査結果分析による水資源の解析および水需要予測

3.1 データ解析・モデル構築

3.1.1 地形図・空中写真・衛星写真分析

SOB（バングラデシュ測量局）は、2011年撮影のSPOT衛星画像（解像度2.5m）から作成した土地利用図を整備しており、15年前に撮影された空中写真よりも新しく、土地被覆や植生についても十分に分類されている（参照：図3.1.1）。

モヘシュカリ・マタバリ地区の土地利用図を図3.1.2に示す。モヘシュカリ・マタバリ地区の東側はマングローブ地帯が形成されており、西側では竹林や植物が疎らな地帯が形成されており、中央部は塩水地帯、集落、農業地域が形成されている。モヘシュカリ・マタバリ地区周辺の空中写真を図3.1.3に示す。

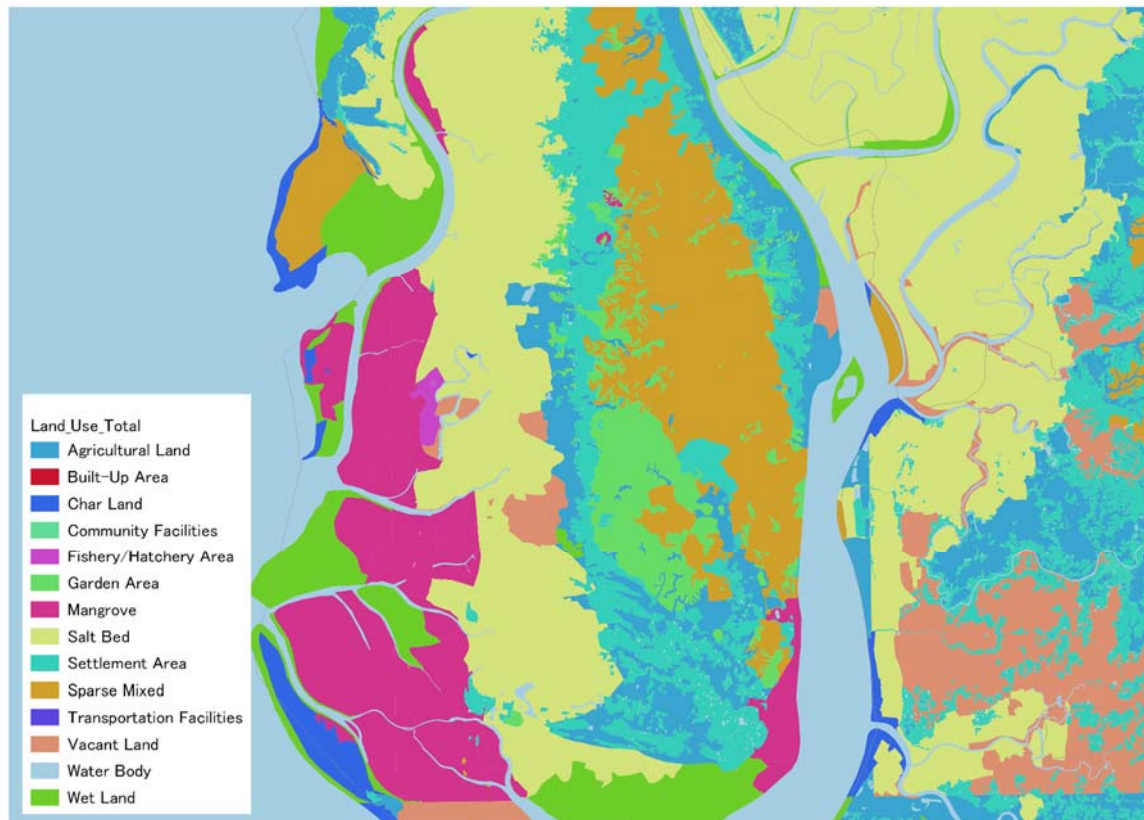


Agricultural Land	Settlement Area
Cultivation Land	Building / House
Built-Up Area	Building/House
Built-Up Area	Cultivation Land
Char Land	Mainly Bamboo
Char	Sparse Mixed
Island	Uncultivation Land
Sand	Vegetation
Community Facilities	Vegetation Land
Playground	Sparse Mixed
Power Transmission Plant	Mainly Bamboo
Stadium	Sparse Mixed
Fishery/Hatchery Area	Transportation Facilities
Fishery	Railway Station
Hatchery	River Port
Garden Area	Runway
Betel Garden	Uncultivation Land
Lichi Orchard	Vacant Land
Mango Orchard	Uncultivation Land
Orchard	Vegetation Land
Rubber Garden	Water Body
Tea Garden	Bay of Bengal
Mangrove	Beel
Mangrove	Haor
Sparse Mixed	Lake
Salt Bed	Non Tidal River
Salt Bed	Pond
Wet Land	River Nontidal
Marsh	River Tidal
Mud Cultivated	
Mud Uncultivated	
Swamp	

注釈：上記図の青の地域の範囲で情報を入手した。

出典: JICA 調査団

図 3.1.1 土地利用の分類



出典: SOB データをもとに JICA 調査団が編集

図 3.1.2 モヘシュカリ・マタバリ地区の土地利用



出典: SOB データをもとに JICA 調査団が編集

図 3.1.3 空中写真 (マタバリ・チャカリア市周辺)

3.1.2 水文観測データの照査・分析

表流水の水資源賦存量の算定や水資源開発施設の規模を検討するうえで水位、流量データは最も重要なデータソースとなる。そこで、本調査で実施した水位流量観測の精度を確認するとともに、BWDB が所持する観測データの検証を以下のとおり実施した。

(1) 観測精度の照査 (JICA 調査チーム観測値)

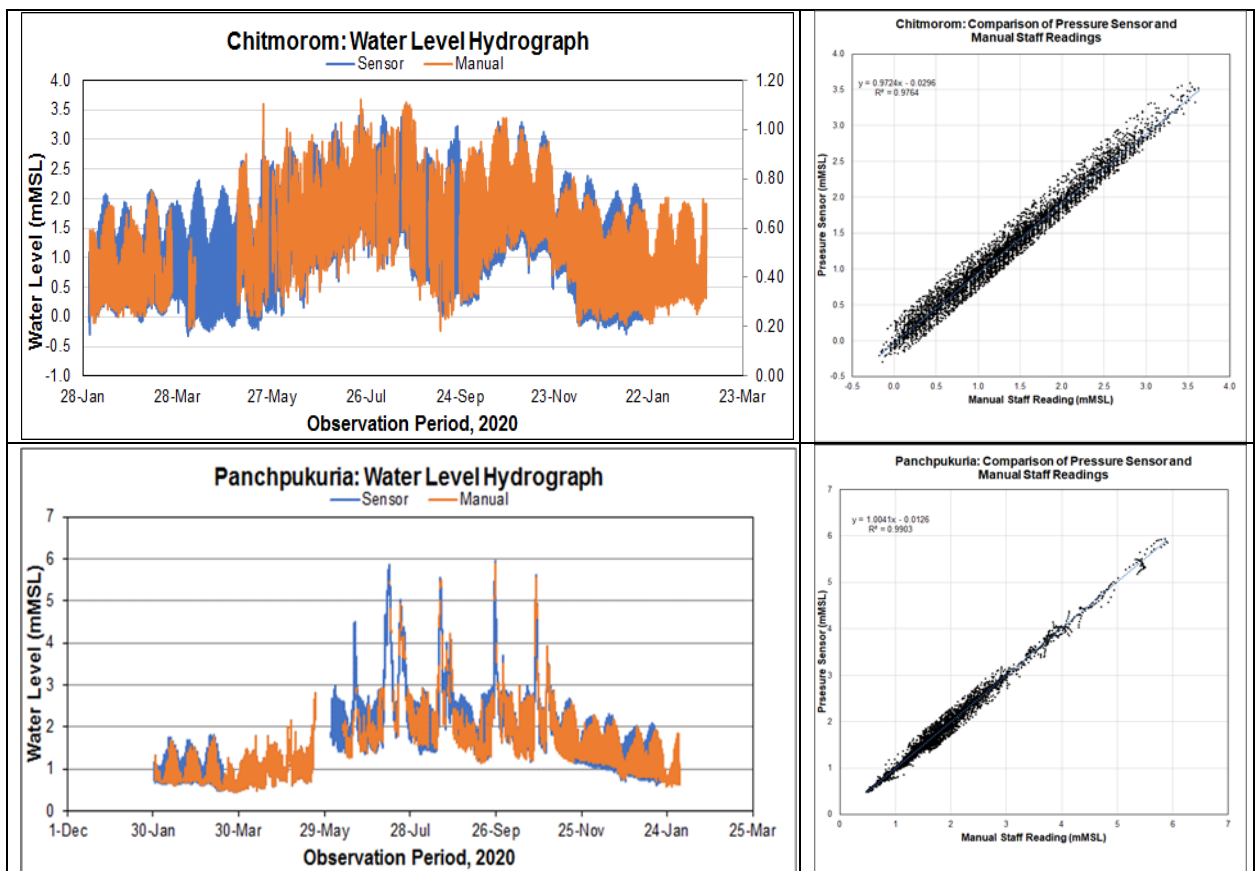
1) 水位観測データの照査 (JICA 調査チーム観測値、2020年)

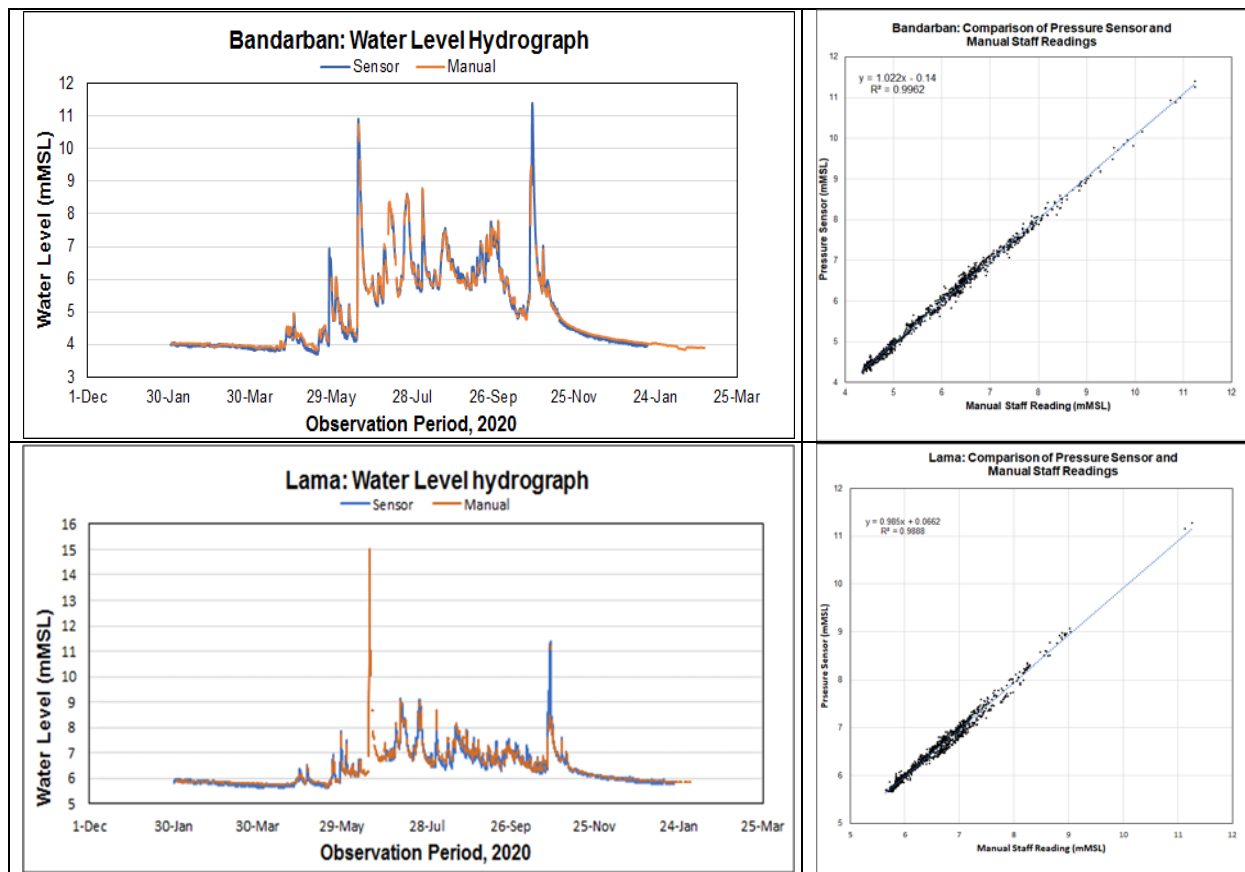
本調査で設置した水位観測所における目視観測及び水位センサー記録値を比較し、その整合性を確認することで水位観測値の精度を検証した。各観測値を時系列に比較したグラフと相関図にプロットした図および相関図における決定係数値 R^2 を以下に示す。決定係数値が非常に高い数値であることから、目視観測値及びセンサー記録値は共に信頼性の高い観測値であると判断される。

表 3.1.1 目視観測とセンサー観測値との決定係数 (JICA 調査チーム観測値)

水位観測所	河川	決定係数
チットモロム (Chitmorom)	カルナフリ	0.976
パンチプクリア (Panchpukuria)	ハルダ	0.990
バンドルバン (Bandarban)	サング	0.996
ラーマ (Lama)	マタムフリ	0.989

出典：JICA 調査団





出典：JICA 調査団

図 3.1.4 水位観測値の検証 (JICA 調査チーム観測値)

2) 流量観測データの照査 (JICA 調査チーム観測値、2020 年)

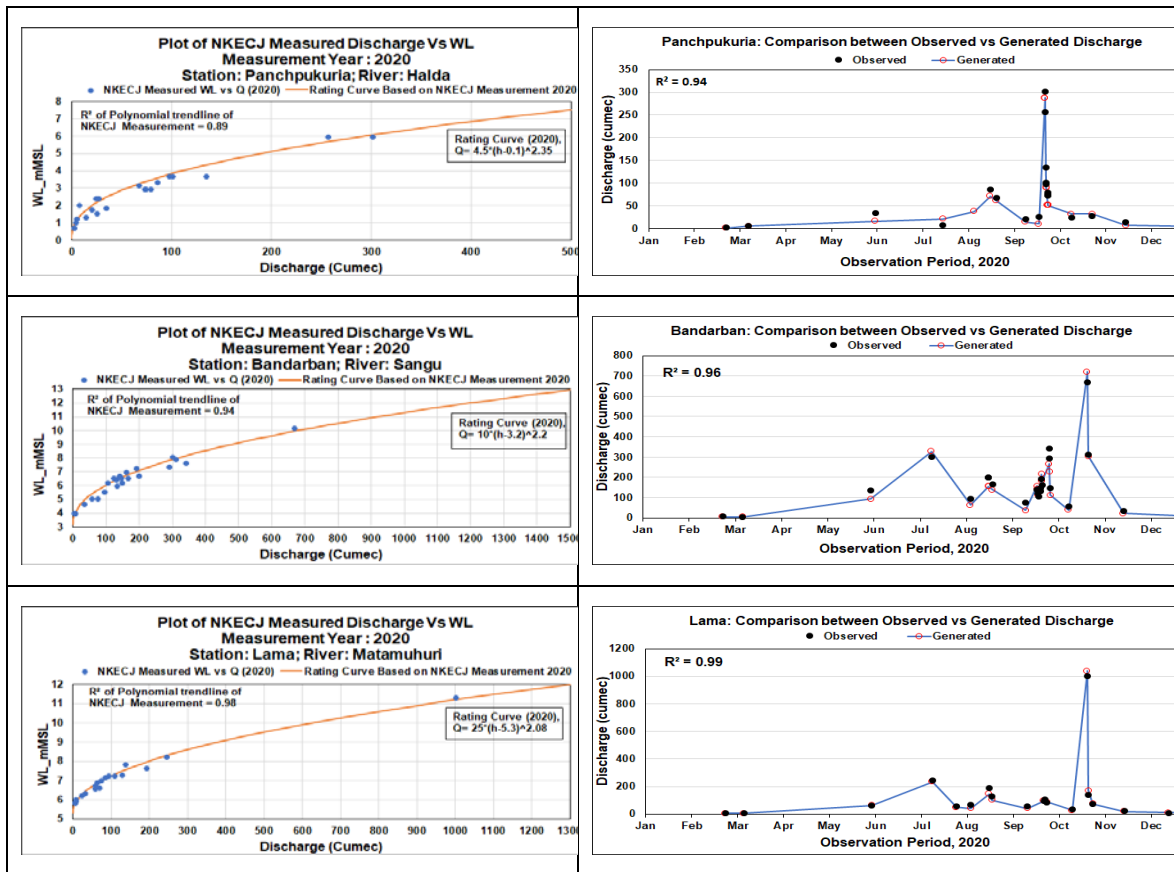
本調査で観測した流量データに基づいて水位流量曲線 (H-Q 曲線) を図 3.1.5 に示すとおり作成した。なお、チョットrom観測所は感潮区間に位置し潮位の影響を受けることから流量検証の対象からは除外しその他 3 観測所について検証を行った。

H-Q 曲線に基づいて水位から流量に換算した値と観測値の比較を図 3.1.5 の右列に示すが、再現性の高い曲線であることが確認できる。近似曲線と観測値との決定係数 R^2 を表 3.1.2 に示すが、0.89 以上と高い値となっている。決定係数値は一般的に 0.5 以上であれば高い相関性があると判断されるが、非常に高い決定係数値となっていることから流量観測の精度は十分確保できたと判断される。

表 3.1.2 水位流量曲線と流量観測値との決定係数 (JICA 調査チーム観測値)

水位観測所	河川	決定係数
パンチプクリア (Panchpukuria)	ハルダ	0.890
バンドルバン (Bandarban)	サング	0.940
ラーマ (Lama)	マタムフリ	0.980

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.5 流量観測値の検証 (JICA 調査チーム観測値)

(2) 水位流量観測精度の検証 (BWDB 観測値)

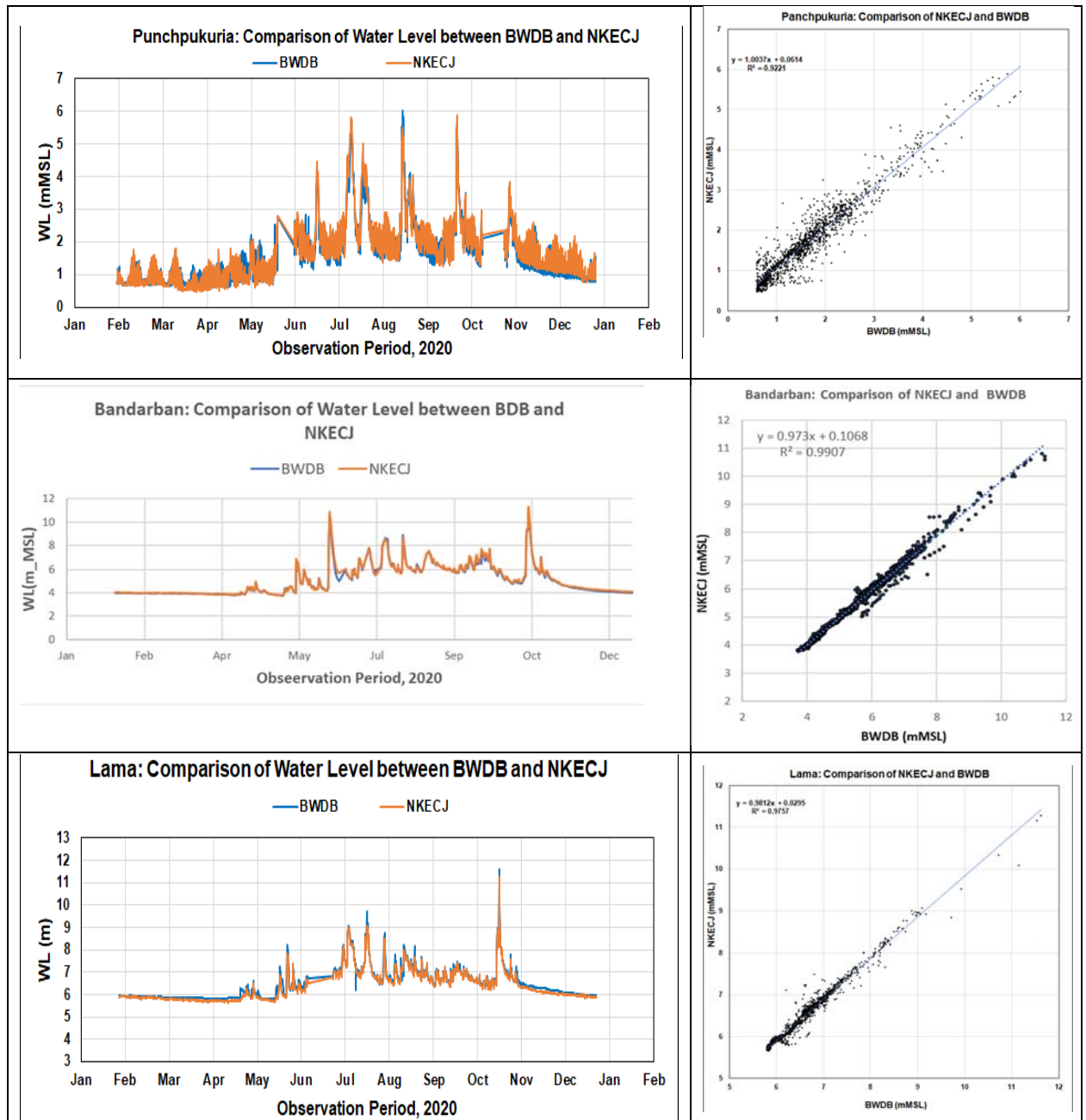
1) 水位観測の検証 (BWDB 観測値、2020 年)

本調査で設置した水位観測所における水位観測値と BWDB による観測値を比較し、その整合性を確認することで BWDB による水位観測の精度を検証した。各観測値を時系列に比較したグラフと関連図にプロットした図及び、関連図における決定係数値 R^2 を以下に示す。決定係数値が非常に高い数値であることから、BWDB による水位観測は信頼性の高い精度であると判断された。

表 3.1.3 BWDB と JICA 調査団による水位観測値の決定係数

水位観測所	河川	決定係数
パンチプクリア (Panchpukuria)	ハルダ	0.922
バンドルバン (Bandarban)	サング	0.991
ラーマ (Lama)	マタムフリ	0.976

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.6 水位観測値の検証 (BWDB 観測値)

2) 流量観測の検証 (BWDB 観測値、2020 年)

本調査で観測した流量データに基づいて作成した水位流量曲線 (H-Q 曲線) と BWDB による流量観測値を比較することで、BWDB による流量観測の精度を検証した。なお、チョットrom観測所は流量観測が実施されていないことから流量検証の対象からは除外しその他 3 観測所について検証を行った。

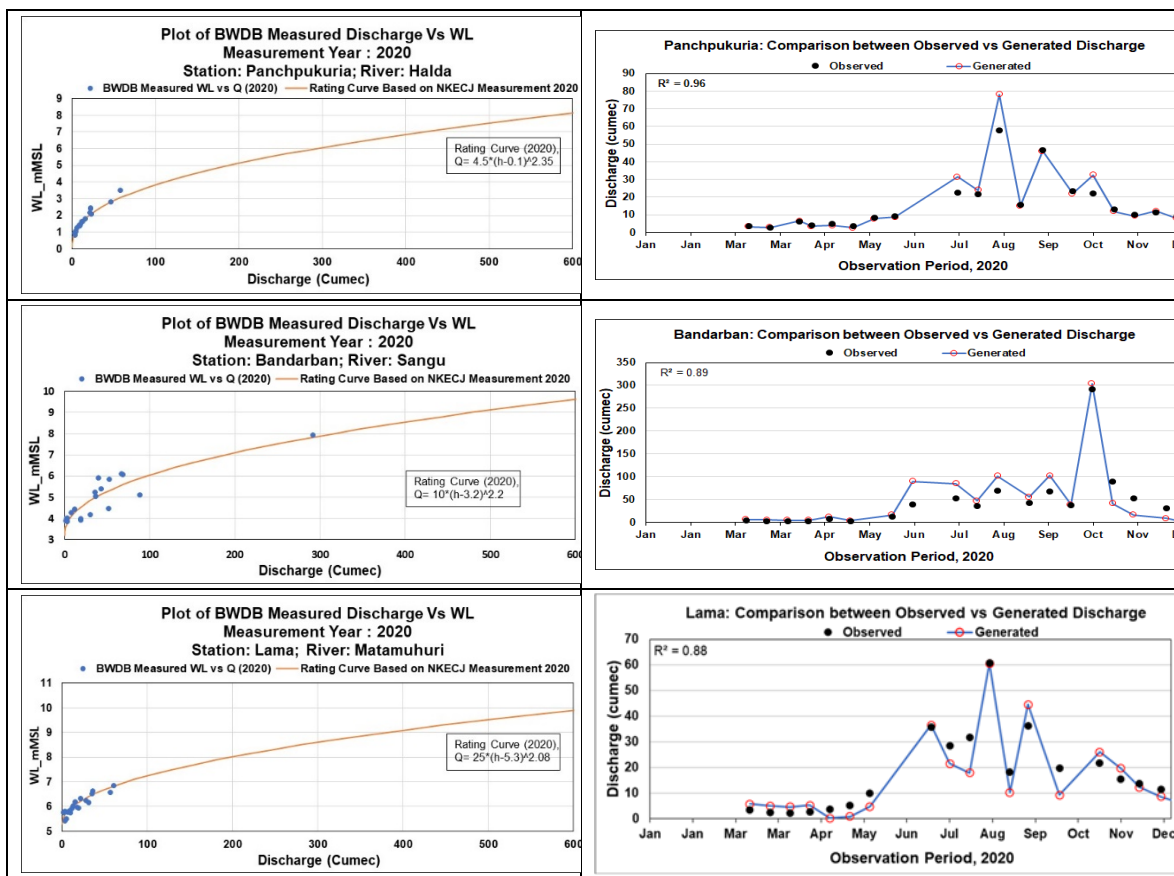
H-Q 曲線に基づいて水位から流量に換算した値と BWDB による流量観測値の比較を図 3.1.7 の右列に示すが、整合性が高いことが確認できる。H-Q 曲線と観測値との決定係数 R^2 を表 3.1.4 に示すが、0.88 以上と高い値となっている。決定係数値は一般的に 0.5 以上で

あれば高い近似性があると判断されるが、非常に高い決定係数値となっていることから BWDB による流量観測精度の信頼性は高いと判断された。BWDB は、水準測量により河川横断を測量するとともに流速計を用いて河川流速を観測し、河川断面積に流速を乗じて河川流量を観測するといった基本に忠実な観測を行っていることから本調査との整合性が高くなったと考えられる。

表 3.1.4 水位流量曲線と流量観測値との決定係数 (BWDB 観測値)

水位観測所	河川	決定係数
パンチプクリア (Panchpukuria)	ハルダ	0.960
バンドルバン (Bandarban)	サング	0.890
ラーマ (Lama)	マタムフリ	0.880

出典：JICA 調査団



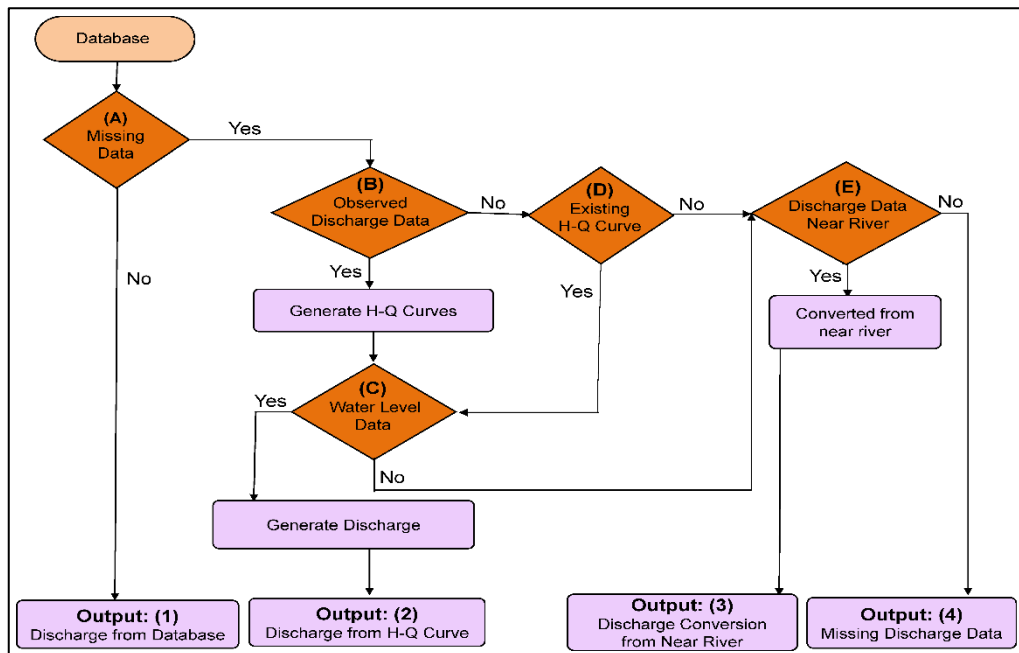
出典：JICA 調査団

図 3.1.7 流量観測値の検証 (BWDB 観測値)

(3) 過去の流量データの検証 (BWDB 観測値、1966 年–2019 年)

BWDB により観測された過去の流量データを収集整理してデータの信頼性を検証した。3 観測所 (パンチプクリア (Panchpukuria)、バンドルバン (Bandarban)、ラーマ (Lama)) では、いずれの観測所とも 1965 年から水位、流量観測が開始されているが初年度は欠測が多いことからデータが揃っている 1966 年以降を検証の対象期間に設定した。水位及び流

量の時系列データや流量観測値、H-Q 曲線等を収集して、図 3.1.8 に示すフローに従って対象期間の時系列流量データを整理した。



出典：JICA 調査団

図 3.1.8 時系列流量データの整理フロー

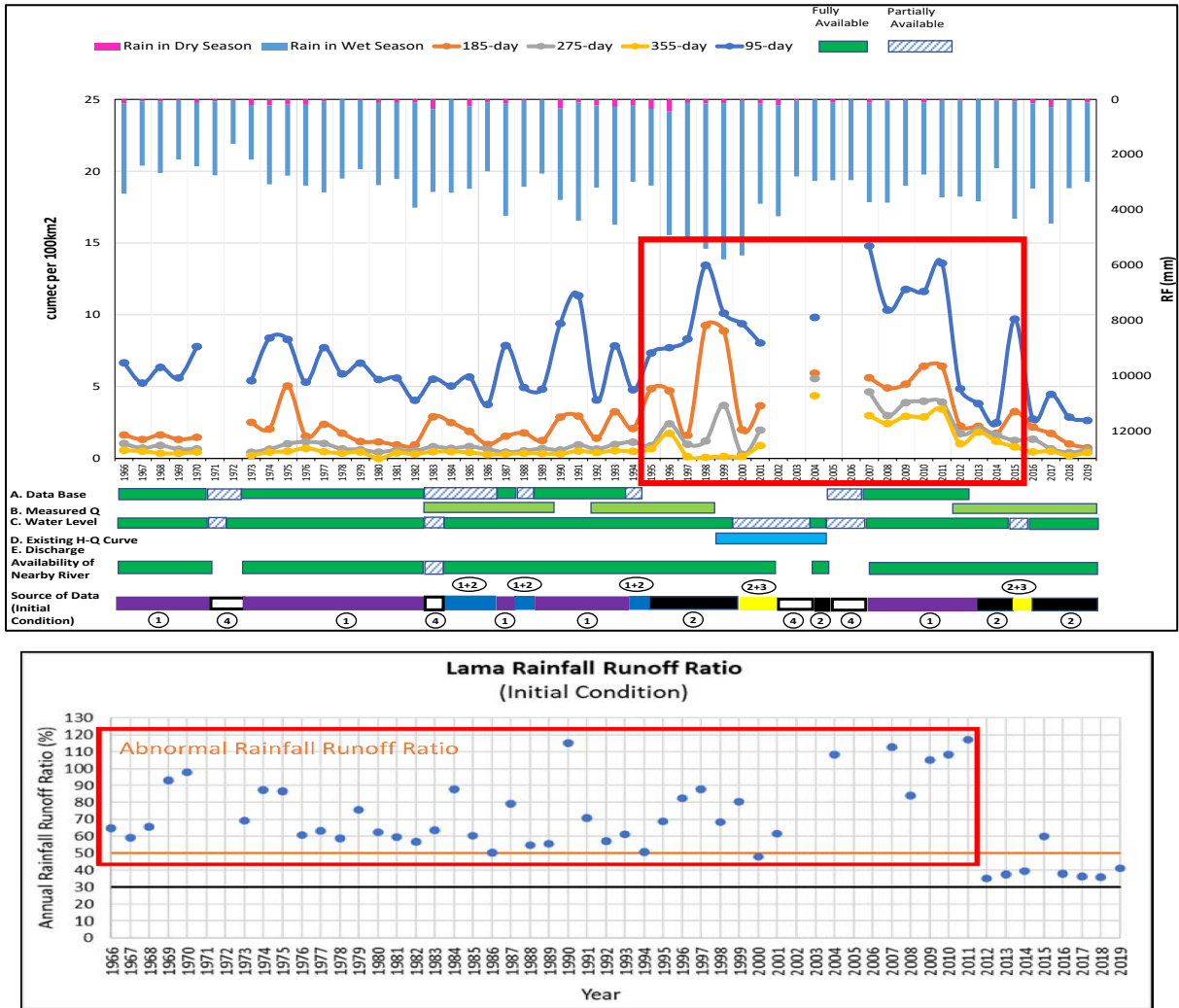
整理した流量データを図 3.1.9～図 3.1.11 に示すとおり、豊水量、平水量、低水量、渇水量別に時系列折れ線グラフを作成するとともに、年間降水量に対する流出率を時系列にグラフ化した（豊水量、平水量、低水量、渇水量はそれぞれ年間で 95 日、185 日、275 日、355 日はこの流量を下回らない値として算定）。また、流出率のグラフでは、2020 年に JICA 調査チームが観測した 3 観測所における流出率が 30%～50%であったことから、目安値としてその範囲を表示した。これらグラフから各観測所流量データにおいて以下の問題点が確認された。

ラーマ観測所(マタムフリ川)：1995 年～2015 年の期間で大きな流況の変化が確認された。降雨量からはこのような変化が確認されないことから、水位観測や水位から流量への変換過程等に何らかのエラーが発生していることが想定される。また、流出率グラフでは 1966 年～2011 年の期間が非常に大きな流出率となっていることから、この期間も時系列流量データ作成過程において何らかのエラーが発生していると推察される。

バンドルバン観測所 (サング川)：流況及び流出率の両グラフにおいて、1995 年は過少な流量であることが確認された。当該年で適用しているデータベースにおける時系列流量データの作成過程に何らかのエラーが発生していると推察される。

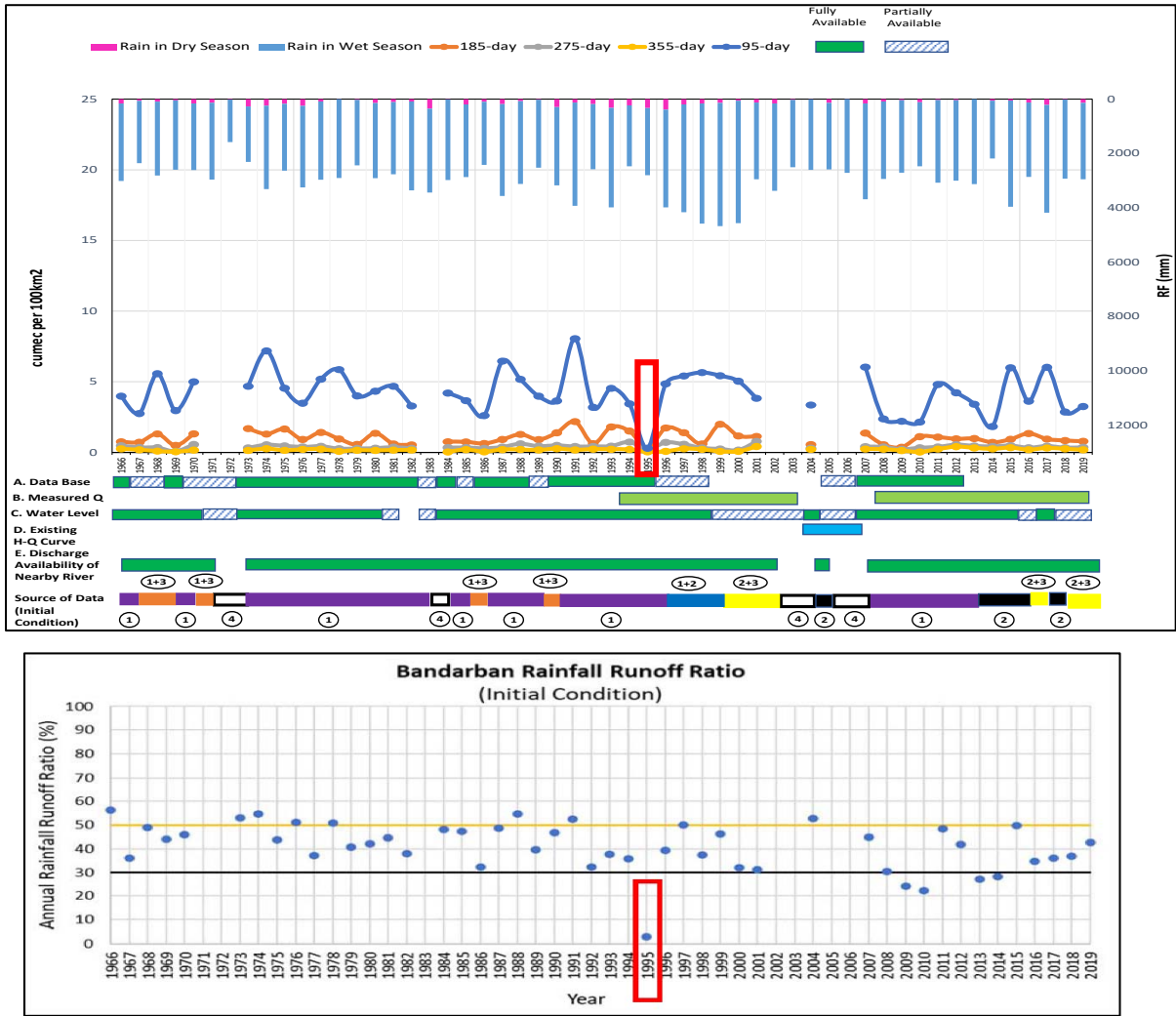
パンチプクリア観測所 (ハルダ川)：1974 年～1999 年の期間で非常に大きな流出率となっていることが確認された。その他 3 期間 (1971-72、2002-03、2005-06) はデータ欠測となっている。また、2007 年以降は河床材料採集に起因した河川水位の継続的な低下が確認されたとともに 2012 年以降は観測所の上流に設置されたラバー堰からの取水が開始されて

いる。これら人為的な影響により 2007 年以降の時系列流量データの信頼性は低いと想定される。



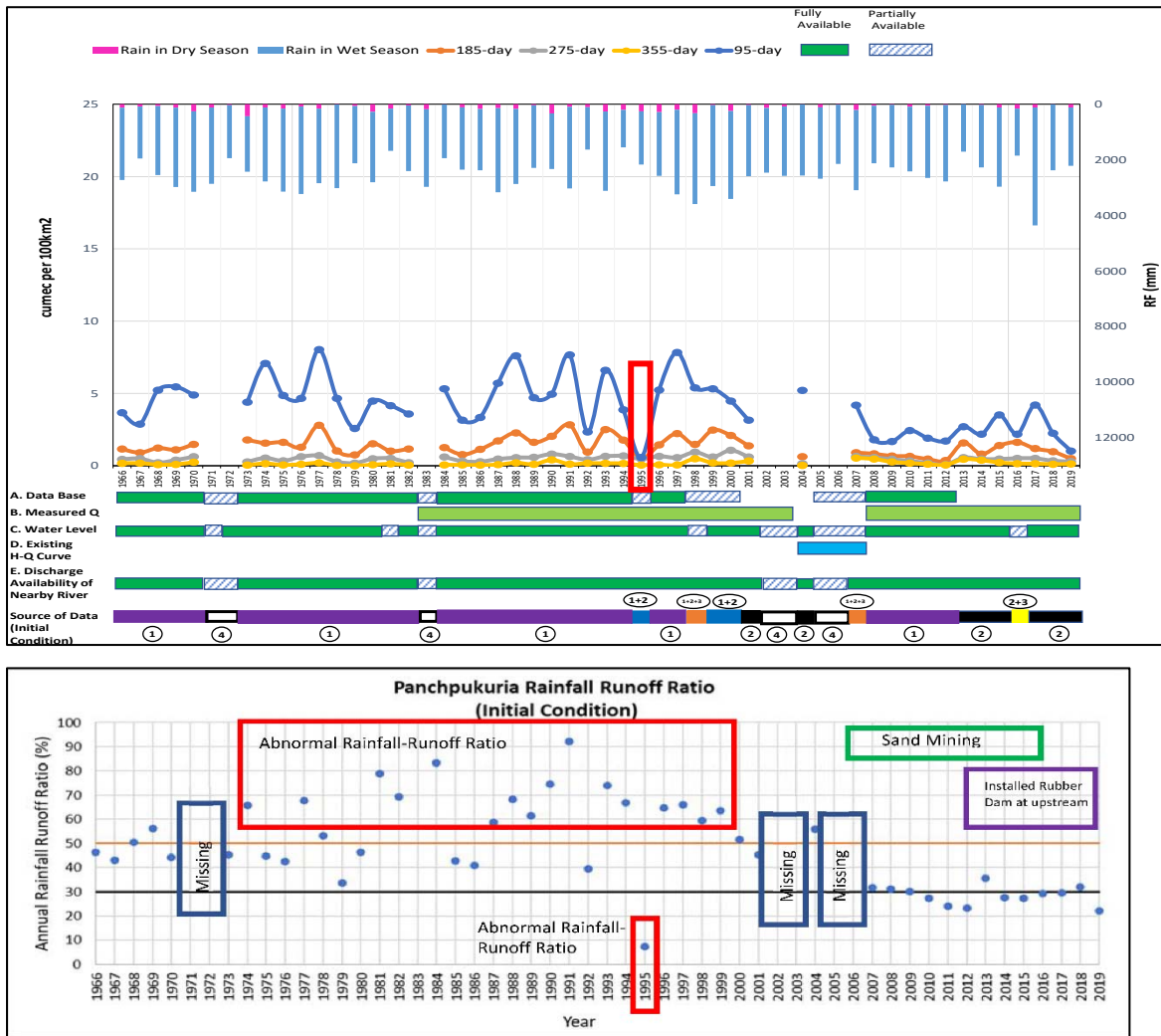
出典：JICA 調査団

図 3.1.9 時系列流量データの検証結果（初期段階：ラーマ観測地点）



出典：JICA 調査団

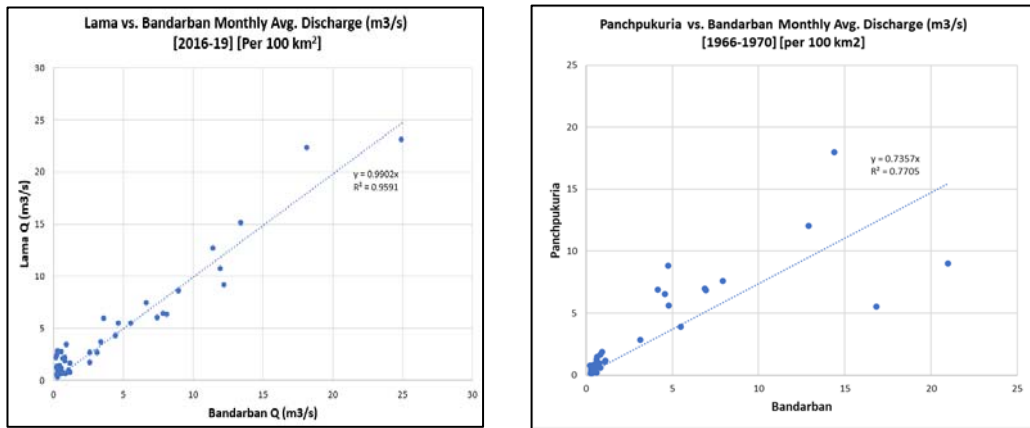
図 3.1.10 時系列流量データの検証結果（初期段階：バンドルバン観測地点）



出典：JICA 調査団

図 3.1.11 時系列流量データの検証結果（初期段階：パンチプクリア観測地点）

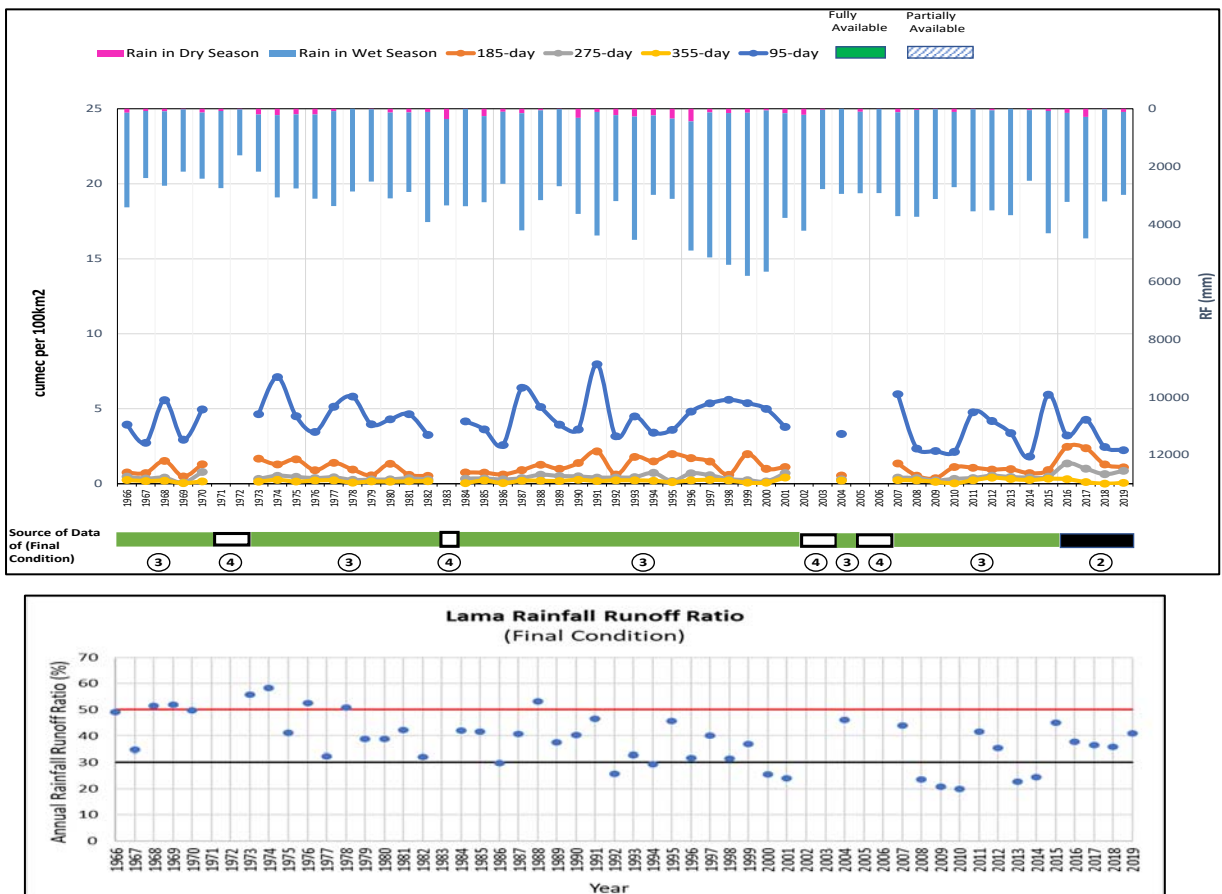
上記問題点について次の解決策を講じた。殆どの期間で時系列流量データの信頼性が確保されているバンドルバン観測所データは、1995年のみを更新した。一方、多くの期間で信頼性が低いラーマ観測所及びパンチプクリア観測所の時系列流量データは、信頼性の高いバンドルバン観測データを相関式（図 3.1.12）で変換して更新を行った（更新対象期間：ラーマ観測所（1966年－2015年）、パンチプクリア観測所（1971年－2019年））。



出典：JICA 調査団

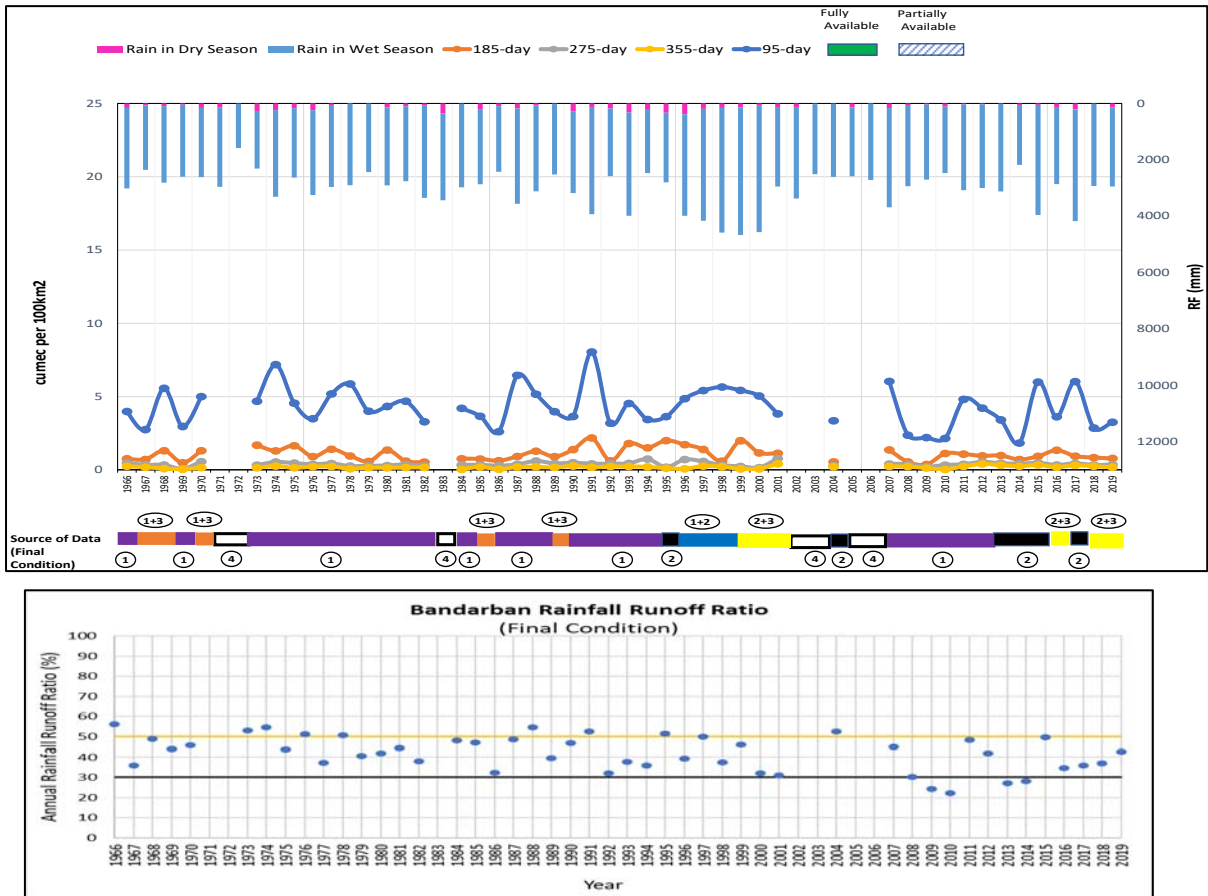
図 3.12 流量データ相関図

各観測所の時系列流量データを更新した結果を図 3.1.13～図 3.1.15 に示す。流況及び流出率のいずれのグラフにおいても異常な傾向は全て解消された。これら時系列流量データを用いて水資源賦存量や水収支解析を行うこととした。



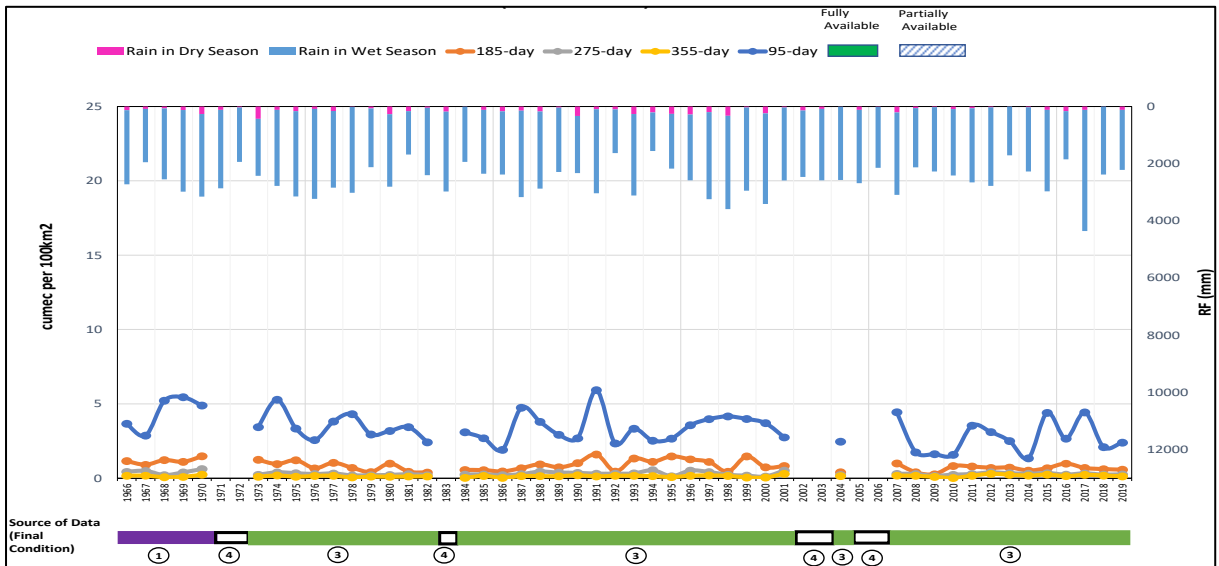
出典：JICA 調査団

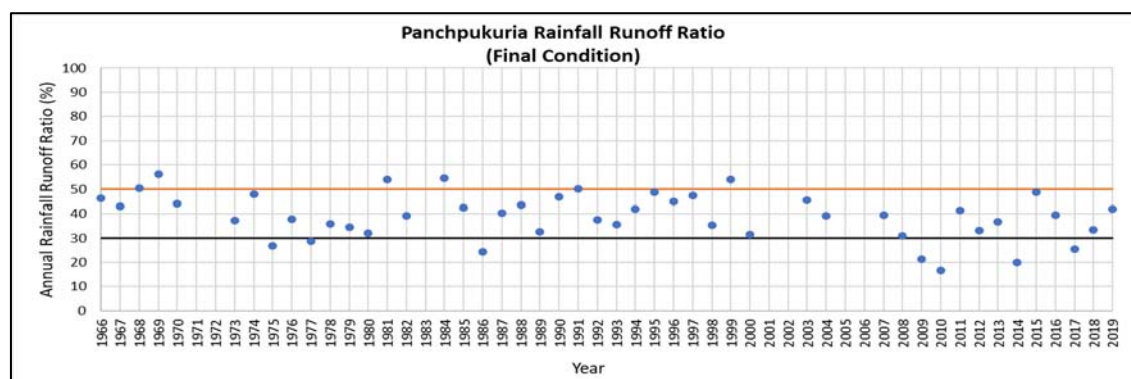
図 3.1.13 時系列流量データの検証結果（更新最終段階：ラーマ観測地点）



出典：JICA 調査団

図 3.1.14 時系列流量データの検証結果（更新最終段階：バンドルバン観測地点）





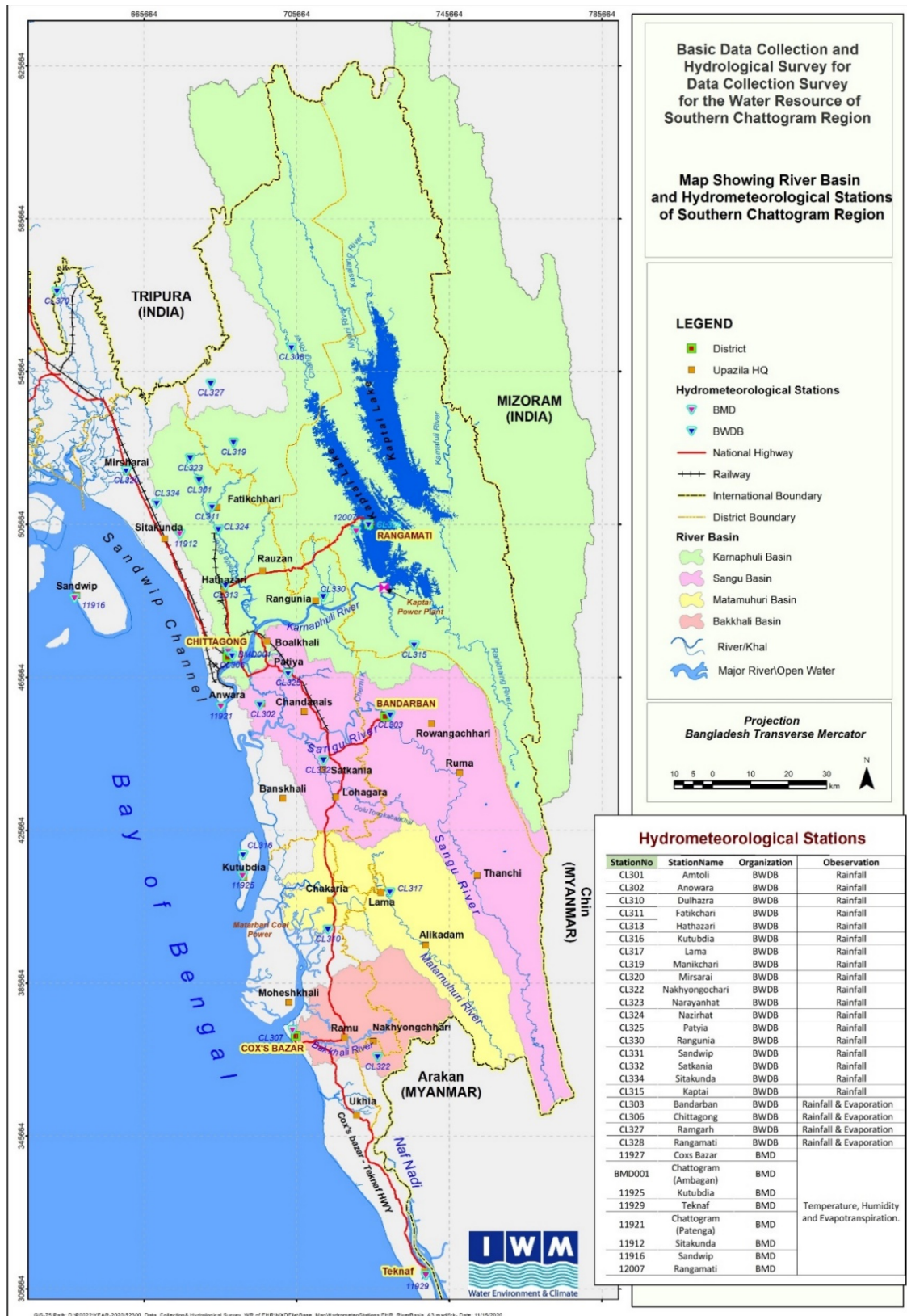
出典：JICA 調査団

図 3.1.15 時系列流量データの検証結果（更新最終段階：パンチプクリア観測地点）

3.1.3 降雨解析

(1) 流域平均雨量の算定

3 河川流域（カルナフリ川、サング川及びマタムフリ川流域）における雨量観測所の降雨データを収集し、観測期間やデータ欠測状況について表 3.1.5 のとおり整理した。基本的に観測データは主管組織（BWDB、BMD）のデータ精査を経て1年後に公表されることから、収集が可能な2019年までのデータを全て入手した。表 3.1.5 に示すとおり対象流域の殆どの雨量観測所が1962年以降に観測を開始されているが1965年までは欠測が多いことから、1966年以降の54年（1966年～2019年）を対象に相関係数による欠測データの補填を行い、ティーセン係数法により各流域の流域平均雨量を算定した。



出典：JICA 調査団

図 3.1.16 雨量観測所位置図

Fatikchari	CL301 Amtoli	0.995	Ramgarh	CL332 Satkania	0.985	
	CL334 Sitakunda	0.995		CL319 Manikchari	0.990	
	CL313 Hathazari	0.998		CL320 Mirsarai	0.990	
Hathazari	CL330 Rangunia	0.996		CL328 Rangamati	0.995	
	CL311 Fatikchari	0.998		CL323 Narayanhat	0.997	
	CL306 Chittagong	0.998		CL319 Manikchari	0.988	
Kaptai	CL328 Rangamati	0.996	Rangamati	CL330 Rangunia	0.995	
	CL330 Rangunia	0.997		CL327 Ramgarh	0.995	
	CL325 Patiya	0.997		CL328 Rangamati	0.995	
Kutubdia	CL302 Anwara	0.991	Rangunia	CL325 Patiya	0.997	
	CL317 Lama	0.995		CL313 Hathazari	0.996	
	CL310 Dulahazra	0.992		CL320 Mirsarai	0.987	
Lama	CL316 kutubdia	0.995	Sandwip	CL334 Sitakunda	0.989	
	CL310 Dulahazra	0.997		CL313 Hathazari	0.983	
	CL322 Nakhyongochari	0.997		CL302 Anwara	0.982	
Manikchari	CL323 Narayanhat	0.980	Satkania	CL325 Patiya	0.985	
	CL27 Ramgarh	0.990		CL316 Kutubdia	0.977	
	CL311 Fatikchari	0.985		CL317 Lama	0.989	
Mirsarai	CL331 Sandwip	0.987		Sitakunda	CL310 Dulhazra	0.984
	CL301 Amtoli	0.982			CL320 Mirsarai	0.999
	CL323 Narayanhat	0.995			CL323 Narayanhat	0.997
	CL327 Ramgarh	0.990	CL301 Amtoli		0.988	
	CL334 Sitakunda	0.999			CL311 Fatikchari	0.995

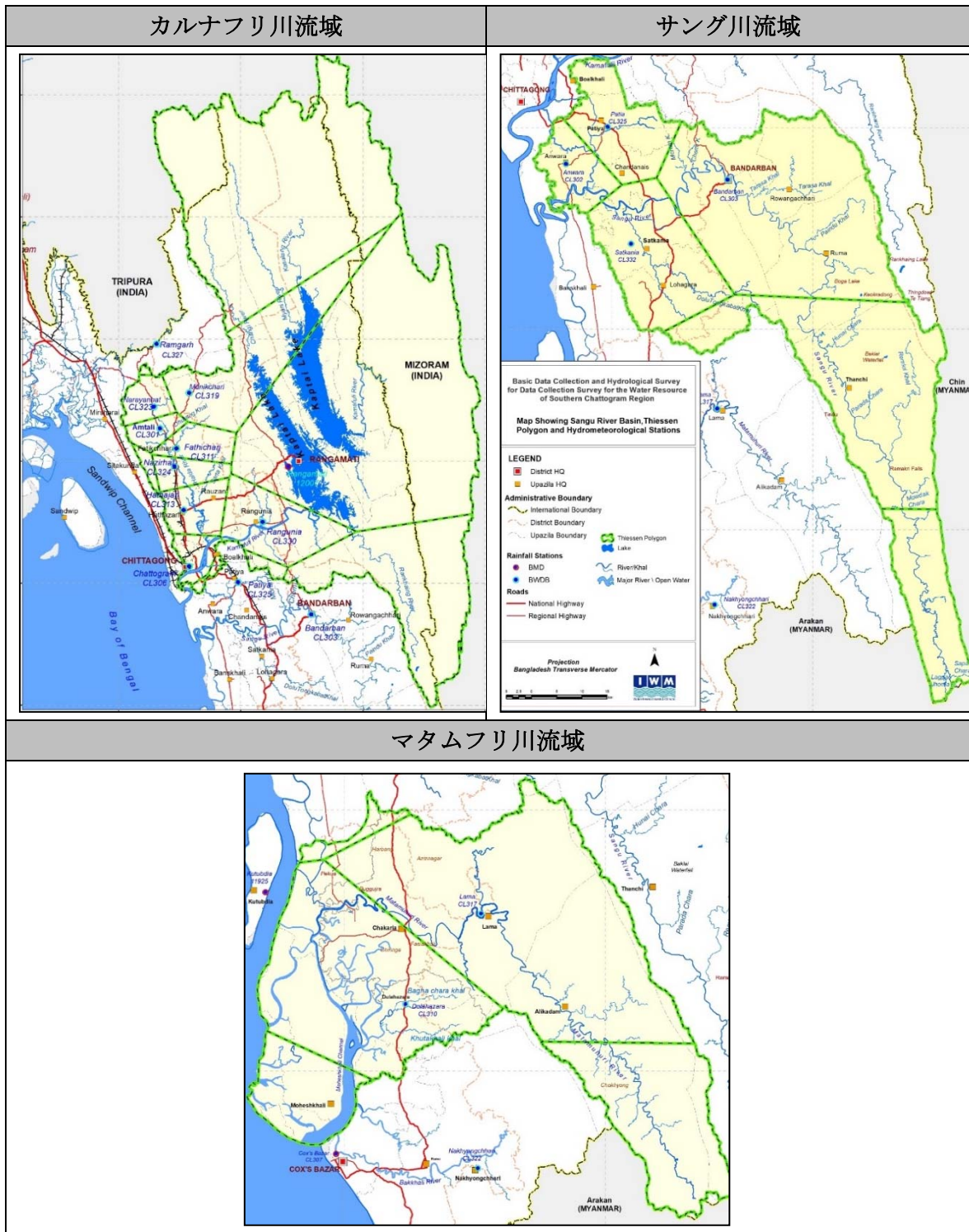
出典：JICA 調査団

図 3.1.17 および表 3.1.8 に示す各流域のティーセン分割及びティーセン係数値に基づいて流域平均雨量を算定し、統計値を表 3.1.7 に整理した（参照：付録 3.1-2）。

表 3.1.7 流域平均雨量統計値（54 年：1966-2019 年）

雨量統計値		カルナフリ川流域	サング川流域	マタムフリ川流域
Whole Year	平均値	2,496 mm	2,843 mm	3,392 mm
	最大値	3,737 mm	4,183 mm	5,666 mm
	最小値	1,174 mm	1,598 mm	1,864 mm
	1/5 渇水年	2,060 mm	2,362 mm	2,687 mm
	1/10 渇水年	1,871 mm	2,282 mm	2,568 mm
Rainy Season	平均値	2,362 mm	2,716 mm	3,270 mm
	最大値	3,541 mm	4,002 mm	5,491 mm
	最小値	999 mm	1,488 mm	1,761 mm
	1/5 渇水年	2,002 mm	2,243 mm	2,660 mm
	1/10 渇水年	1,818 mm	2,274 mm	2,567 mm
Dry Season	平均値	134 mm	128 mm	122 mm
	最大値	196 mm	181 mm	176 mm
	最小値	176 mm	110 mm	102 mm
	1/5 渇水年	58 mm	118 mm	28 mm
	1/10 渇水年	53 mm	8 mm	1 mm

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.17 ティーセン分割図

表 3.1.8 ティーセン係数一覧表

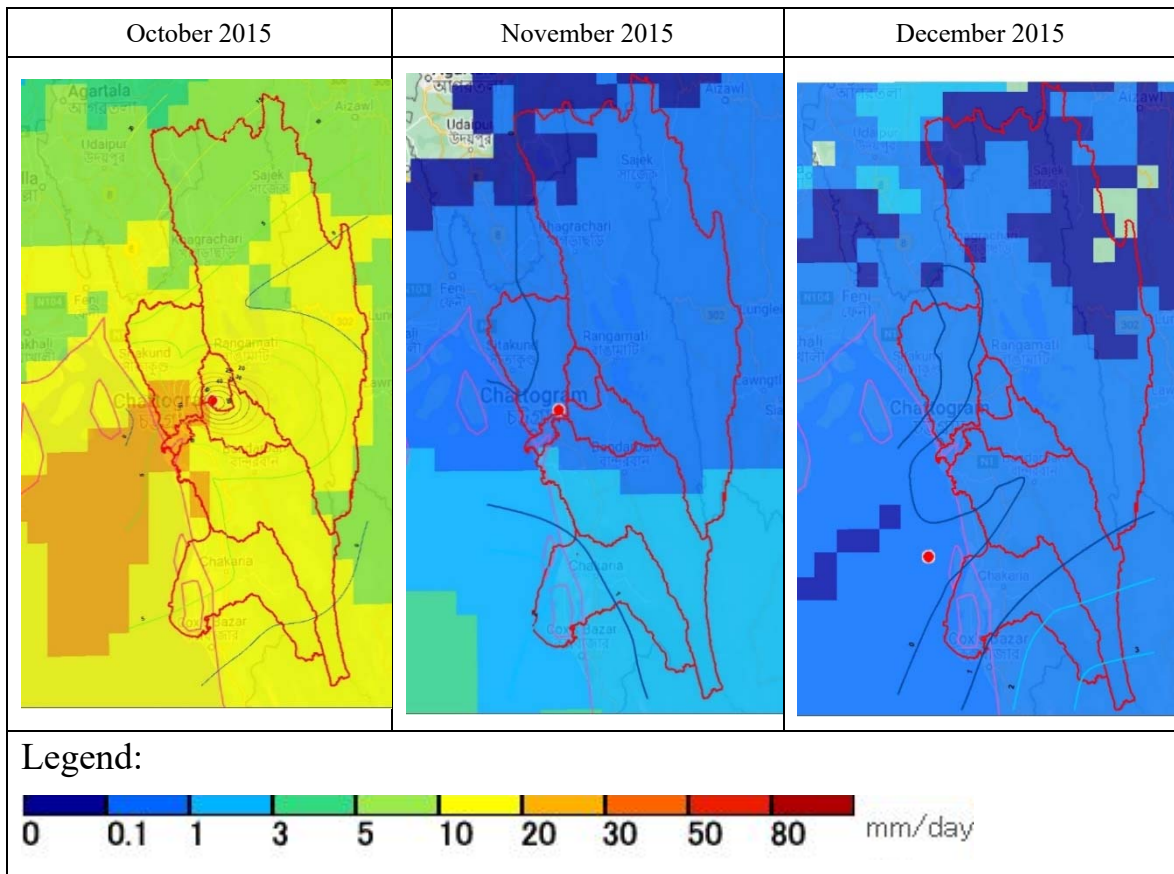
Sl. No	Rainfall Station	Weightage Factor		
		Karnafuli Basin	Sangu Basin	Matamuhuri Basin
1	Manikchari	0.09	-	-
2	Bandarban	0.11	0.35	-
3	Patyia	0.02	0.09	-
4	Chittagong	0.02	-	-

Sl. No	Rainfall Station	Weightage Factor		
		Karnafuli Basin	Sangu Basin	Matamuhuri Basin
5	Fatikchhari	0.02	-	-
6	Narayanhat	0.01	-	-
7	Rangunia	0.05	-	-
8	Rangamati (BMD)	0.36	-	-
9	Ramgarh	0.28	-	-
10	Nazirhat	0.01	-	-
11	Hathazari	0.02	-	-
12	Amtoli	0.01	-	-
13	Satkania	-	0.14	-
14	Lama	-	0.27	0.44
15	Nakhyongochari	-	0.10	0.16
16	Anwara	-	0.05	-
17	Dulhazra	-	-	0.21
18	Cox's Bazar (BMD)	-	-	0.09
19	Kutubdia	-	-	0.10
Total		1.00	1.00	1.00

出典：JICA 調査団

(3) 流域平均雨量の検証

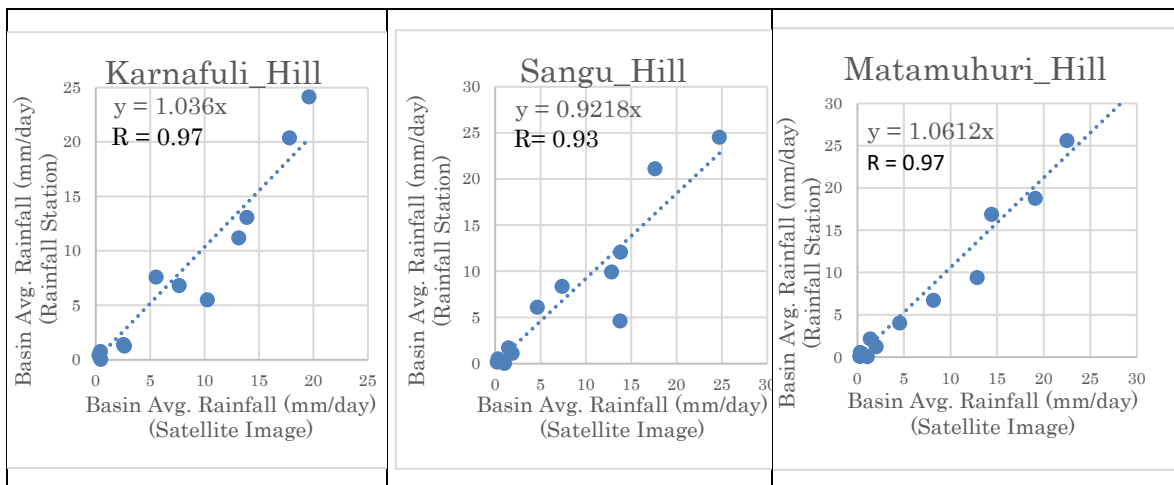
雨量観測所データを用いて算定した流域平均雨量について、宇宙航空研究開発機構 (JAXA: Japan Aerospace Exploration Agency) が公開している GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) データと比較して妥当性を検証した。GSMaP は気象衛星に搭載されているマイクロ波放射計により取得された降雨データから作成した全球降水マップであり 11 kmメッシュ毎の降雨量が集計されている (図 3.1.18 参照)。GSMaP の観測精度向上が図られた 2015 年以降 5 ヶ年 (2015 年-2019 年) の月別雨量データを用いて山地流域及び平地流域について比較検証を行った。

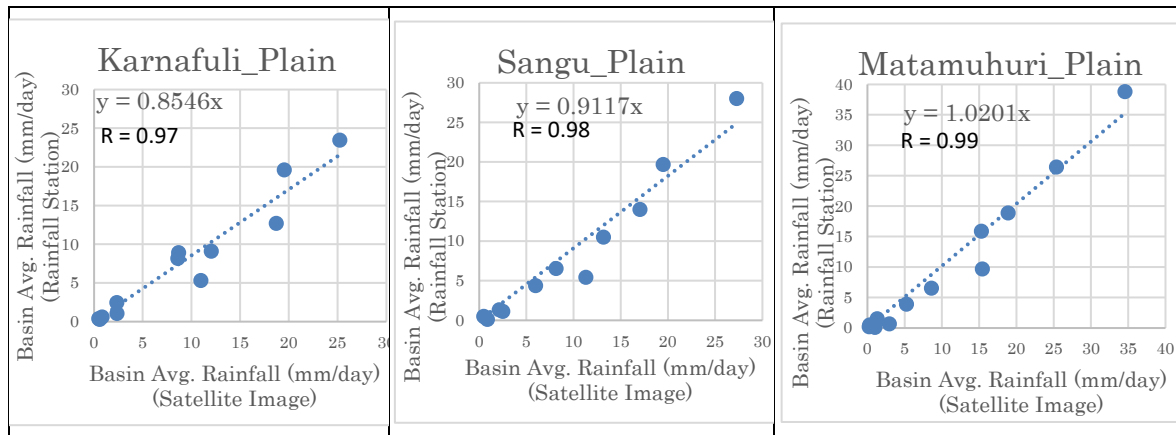


出典：GSMaP 雨量データ (JAXA ホームページ)

図 3.1.18 月別日平均雨量 (GSMaP データ)

雨量観測所及び GSMaP データから算定した山地流域及び平地流域の 5 ヶ年月別日平均雨量を 3 流域(カルナフリ、サング、マタムフリ川流域)について相関分析した結果を図 3.1.19 及び表 3.1.9 に示す。山地、平地ともに相関係数 0.9 以上と高い相関を示している。近似直線の傾きもいずれの河川流域の山地、平地部ともほぼ 1 前後と同値の傾向であり本調査で算定した雨量観測所データに基づいた流域平均雨量は妥当であると判断される。





出典：JICA 調査団

図 3.1.19 月別流域平均雨量の相関図（雨量観測所と GSMaP データ）

表 3.1.9 月別流域平均雨量の相関分析結果（雨量観測所と GSMaP データ）

Basin Name	Hill Basin		Plain Basin	
	近似直線の傾き (Slope)	相関係数 (R)	近似直線の傾き (Slope)	相関係数 (R)
Karnafuli	1.036	0.97	0.855	0.97
Sangu	0.922	0.93	0.912	0.98
Matamuhuri	1.061	0.97	1.020	0.99

出典：JICA 調査団

(4) 気候変動による降雨の影響分析

バングラデシュの気候変動に関して研究されている既往文献を収集して表 3.1.10 に整理した。2060 年に気温は 1.8℃上昇し、年平均降雨量は 7%上昇することが予測されている。サイクロンによる洪水の影響も大きくなることが予測されており、特に雨期の降雨量が増加することが想定される。

表 3.1.10 近年の気候変動の傾向と将来の気候変動の予測の纏め

	近年の気候変動の傾向	将来の気候変動の予測
気温	1960 年から 2003 年の期間平均気温は上昇傾向 ¹⁾ 。	平均気温で 2060 年 1.8℃、2090 年 2.7℃上昇 (2010 年比) ¹⁾ 。
降雨	国土全体で増加傾向。西部及び北西部においては、増加傾向が強い ¹⁾ 。	年平均降雨量は、2060 年に 7%上昇 (1970-2000 年平均比) ¹⁾ 。
洪水	国土の 2/3 が海拔 5m 以内にあり、洪水やサイクロンによる氾濫の危険地域となっている ²⁾ 。	2030 年までに新たに 14.3%の国土が洪水に対する危険度が高い地域になる ³⁾ 。
サイクロン	ほぼ毎年サイクロンが上陸。国土の 26-34%が浸水する大規模なものは、約三年に一度の頻度で到来 ⁴⁾ 。	2050 年までにサイクロン影響地域が 55%増加する。サイクロンの発生頻度が増える予測 ⁵⁾ 。

出典：1) Climate Change Profile Bangladesh (2018)

2) Bangladesh Climate Change Strategy and Action Plan (2009)

3) Policy Agenda for Addressing Climate Change in Bangladesh (2010)

4) Modeling recent climate change induced extreme events in Bangladesh, A review (2015)

5) Changes in the Tropical Cyclone Genesis Potential Index over the Western North Pacific in the SRES A2 Scenario (2010)

3 河川流域（カルナフリ川、サング川及びマタムフリ川流域）の流域平均雨量について、年間、雨季、乾季別に54年の総雨量時系列グラフを図3.1.20のとおり作成した。各図に示した近似直線の傾きに基づいて表3.1.11のとおり流域平均雨量の年増減量を整理した。各流域とも年間総雨量及び雨季は増加傾向、乾季は減少傾向であることが確認された。これら年増減量を用いて長期目標2041年時点の流域平均雨量の増減率を表3.1.12に示すとおり算出した。3流域の乾季における減少率は16%～24%と2割近くの流域平均雨量の減少が推測された。水資源開発において表流水の水源となる降雨量の変化は開発施設規模等への影響が想定される。今後の課題として、公表予定であるIPCC第5次統合報告書（2022年9月公表予定）を参考に想定されるシナリオ別に南部チョットグラム地域の気候変動を分析して、長期目標における降雨量変化の予測精度向上を図ることが重要である。

表 3.1.11 既往降雨データに基づく流域平均雨量増減量

Basin	Increase and decrease values of basin average rainfall per year		
	Whole year	Rainy Season	Dry Season
Karnafuli	0.9 mm/year	2.8 mm/year	-1.0 mm/year
Sangu	8.5 mm/year	10.3 mm/year	-1.4 mm/year
Matamuhuri	17.0 mm/year	18.2 mm/year	-1.2 mm/year

Note: □ Increase trend, □ Decrease trend

出典：JICA 調査団

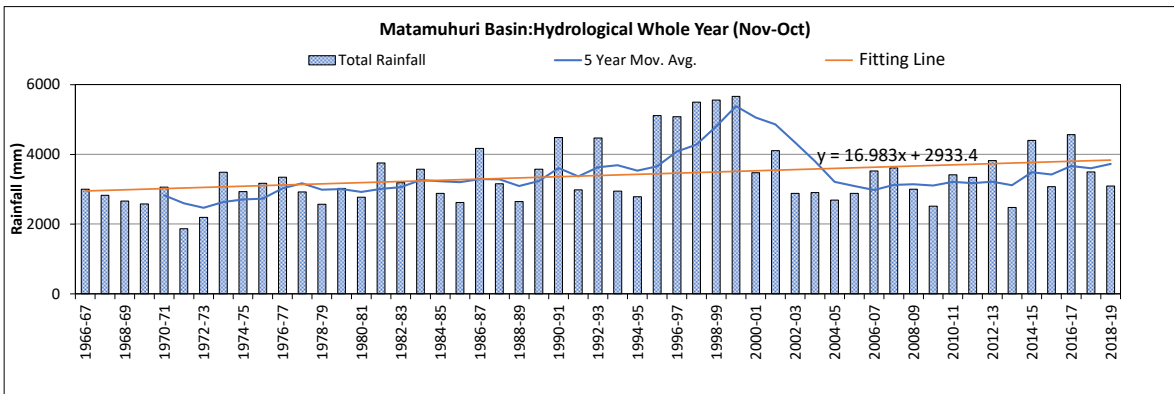
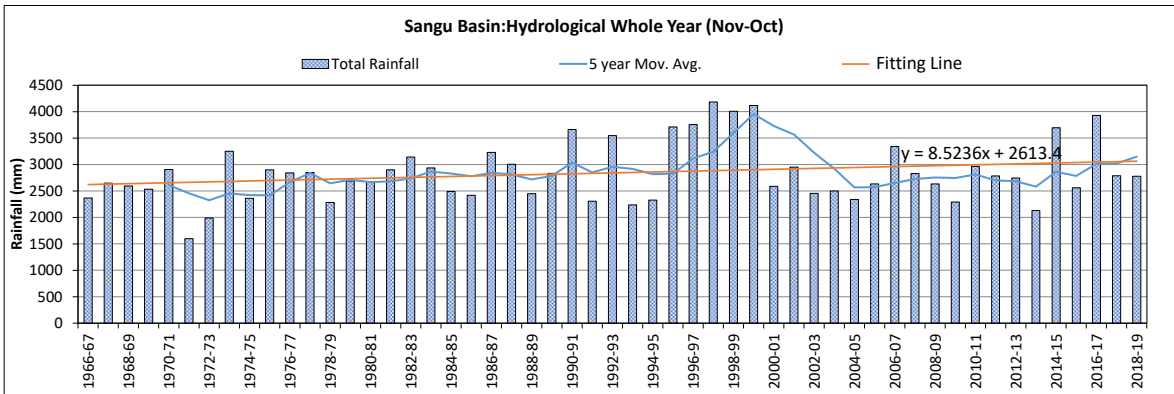
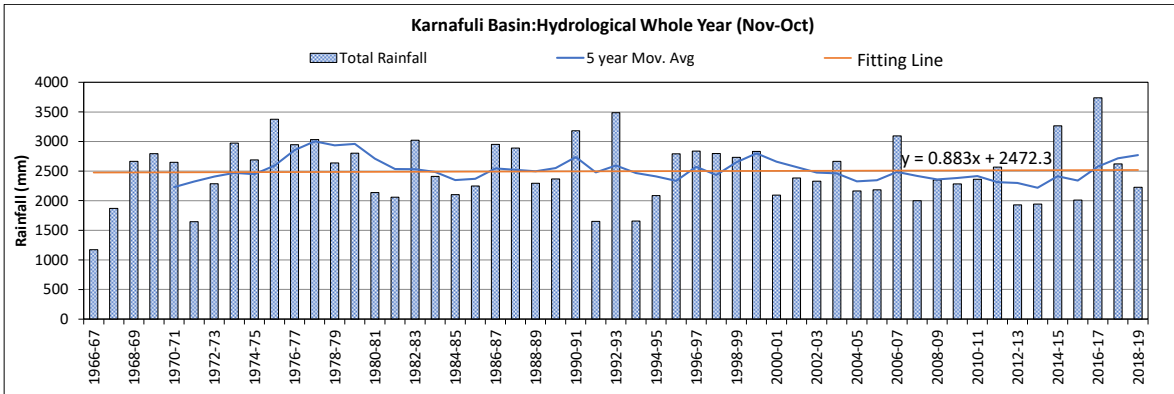
表 3.1.12 長期目標（2041年）における流域平均雨量増減率

Basin	Period	(1)Change value per year	Basin average rainfall		(4)Change rate =((3)/(2)-1)*100
			(2)Present 2019 ¹⁾	(3)Long-term 2041	
Karnafuli	Whole year	0.9 mm/year	2,496 mm	2,516 mm	1%
	Rainy season	2.8 mm/year	2,362 mm	2,424 mm	3%
	Dry season	-1.0 mm/year	134 mm	112 mm	-16%
Sangu	Whole year	8.5 mm/year	2,843 mm	3,030 mm	7%
	Rainy season	10.3 mm/year	2,716 mm	2,943 mm	8%
	Dry season	-1.4 mm/year	128 mm	97 mm	-24%
Matamuhuri	Whole year	17.0 mm/year	3,392 mm	3,766 mm	11%
	Rainy season	18.2 mm/year	3,270 mm	3,670 mm	12%
	Dry season	-1.2 mm/year	122 mm	96 mm	-22%

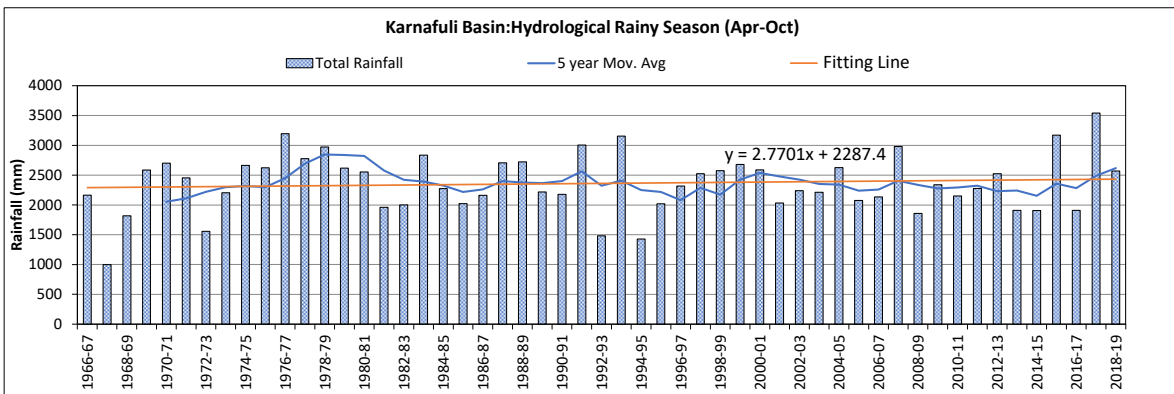
1) Average rainfall for 54 years from 1966 to 2019

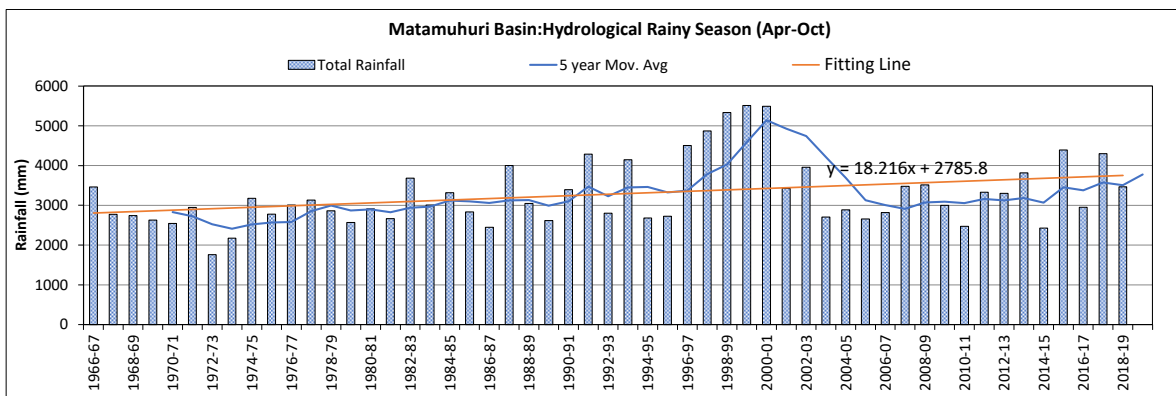
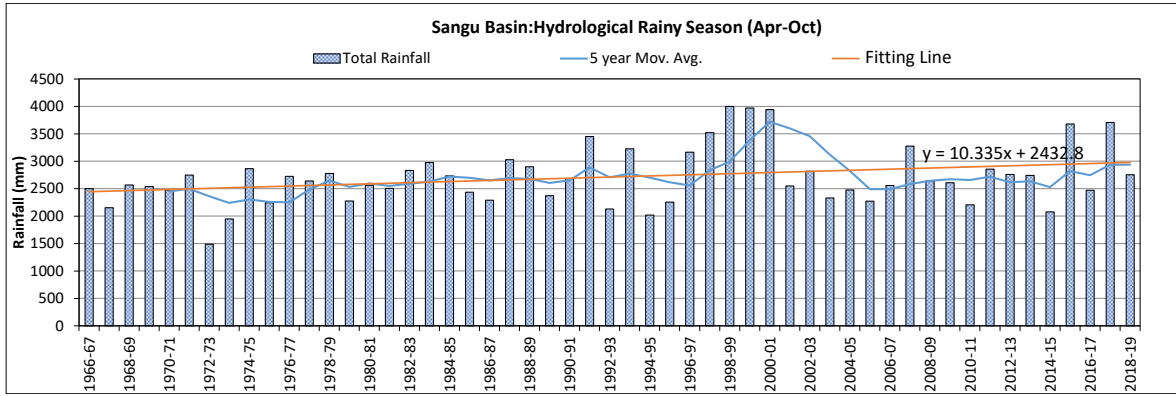
出典：JICA 調査団

年間総雨量：

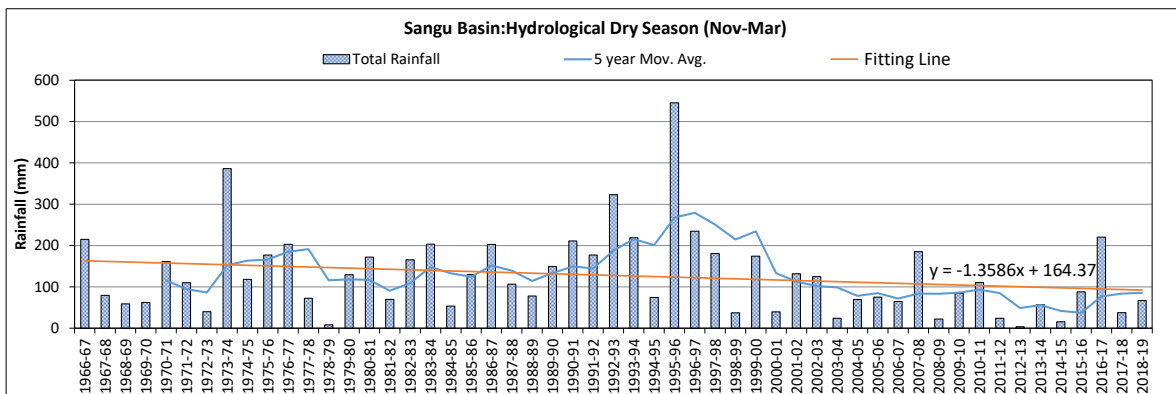
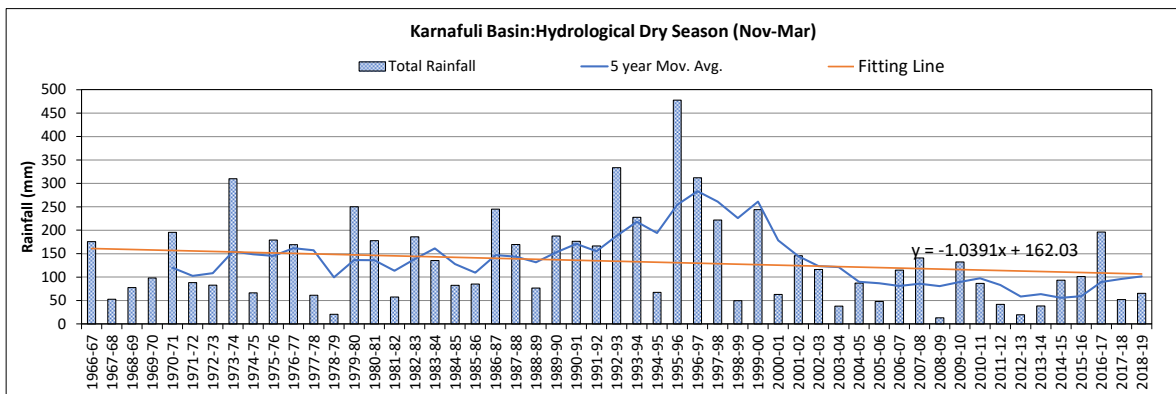


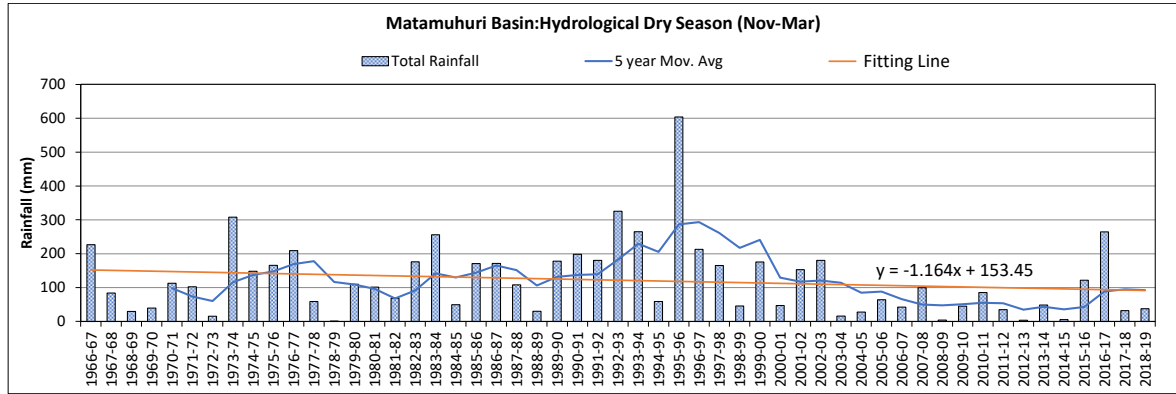
雨季総雨量：





乾季総雨量:





出典：JICA 調査団

図 3.1.23 20 流域平均雨量の時系列グラフ

3.1.4 水文解析

前項「3.1.2」で検証して精査した3河川（マタムフリ川、サング川、ハルダ川）の流量データについて表 3.1.13～表 3.1.15 のとおり統計値（豊水量 95-days、平水量 185-days、低水量 275-days、渇水量 355-days、最大、最小流量）や総流出量について整理した（参照：付録 3.1-3）。また、各月の平均、最大、最小流出高（mm/month）の54カ年（1966-2019）平均値グラフを図 3.1.21 に整理した。総流出量の表 3.1.14 に示すとおりいずれの河川も雨季の流出量は年間総流出量の90%以上を占め乾季は7～8%であることが確認された。

表 3.1.13 各河川の流況一覧（54カ年：1966-2019年）

単位：m³/s/100km²

Item	Statistic	Lama WLG Station in Matamuhuri River	Bandarban WLG Station in Sangu River	Panchpukuria WLG Station in Halda River
Average (1966-2019)	95-days	4.18	4.55	3.34
	185-days	1.09	1.10	0.83
	275-days	0.44	0.41	0.30
	355-days	0.18	0.20	0.15
	Average	4.05	4.20	3.16
1/5 Drought Year	355-days	0.08	0.14	0.09
1/10 Drought Year	355-days	0.04	0.07	0.05
Maximum		175.31	179.84	132.29
Minimum		0.00	0.00	0.00

出典：JICA 調査団

表 3.1.14 各河川の総流出量（54カ年：1966-2019年）

単位：MCM

Statistic	Season	Lama WLG Station in Matamuhuri River CA: 1,201 km ²	Bandarban WLG Station in Sangu River CA: 2,199 km ²	Panchpukuria WLG Station in Halda River CA: 856 Km ²
Average (1966-2019)	Whole year	1,536 (100%)	2,913 (100%)	854 (100%)
	Dry Season	122 (8%)	220 (8%)	64 (7%)
	Rain Season	1,417 (92%)	2,693 (92%)	790 (93%)
Maximum (1966-2019)	Whole year	2,454	4,610	1,426
	Dry Season	328	526	151
	Rain Season	2,380	4,471	1,354
Minimum (1966-2019)	Whole year	580	1,090	312
	Dry Season	24	45	13
	Rain Season	556	1,045	299

Statistic	Season	Lama WLG Station in Matamuhuri River CA: 1,201 km ²	Bandarban WLG Station in Sangu River CA: 2,199 km ²	Panchpukuria WLG Station in Halda River CA: 856 Km ²
1/5 Drought Year	Whole year	1,078	2,025	602
	Dry Season	73	137	39
	Rain Season	946	1,777	519
1/10 Drought Year	Whole year	905	1,700	487
	Dry Season	59	111	32
	Rain Season	832	1,563	448

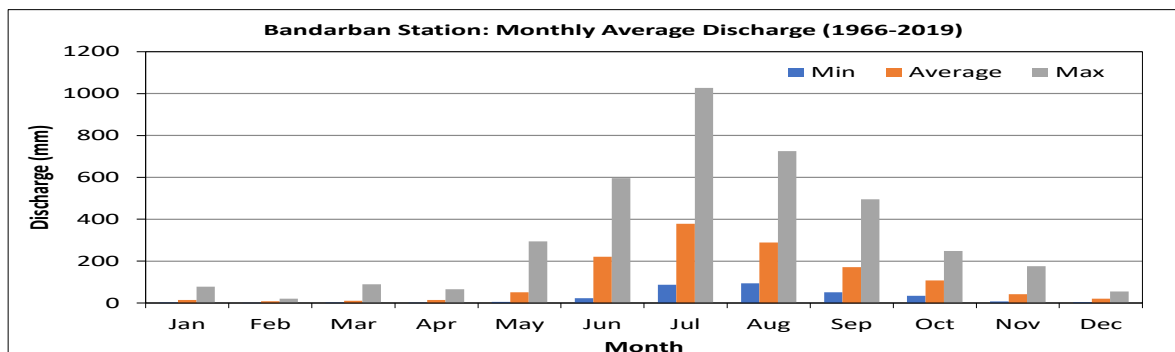
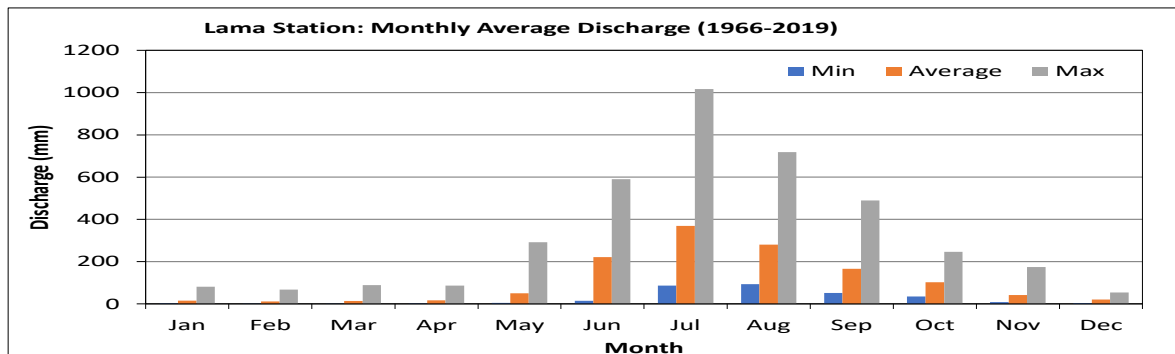
出典：JICA 調査団

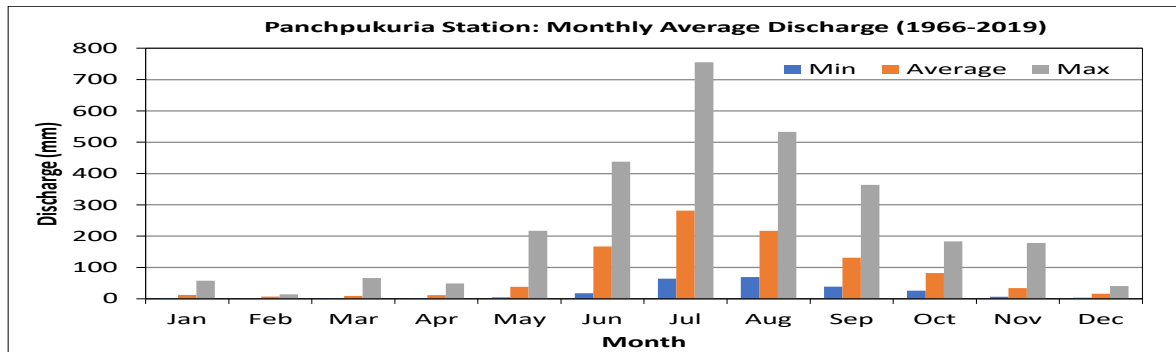
表 3.1.15 各河川の総流出高 (54 年：1966-2019 年)

単位：mm

Statistic	Season	Lama WLG Station in Matamuhuri River	Bandarban WLG Station in Sangu River	Panchpukuria WLG Station in Halda River
Average (1966-2019)	Whole year	1,279	1,325	997
	Dry Season	102	100	75
	Rain Season	1,177	1,225	922
Maximum (1966-2019)	Whole year	2,043	2,096	1,666
	Dry Season	273	239	176
	Rain Season	1,982	2,033	1,582
Minimum (1966-2019)	Whole year	483	496	365
	Dry Season	20	20	15
	Rain Season	463	475	350
1/5 Drought Year	Whole year	897	921	703
	Dry Season	61	62	46
	Rain Season	788	808	606
1/10 Drought Year	Whole year	754	773	569
	Dry Season	49	50	37
	Rain Season	693	711	523

出典：JICA 調査団





出典：JICA 調査団

図 3.1.21 各観測地点の月流出高

カルナフリ川本川の河口からカプタイダム地点までの区間は全て感潮区間であり、水位観測から適切な流量を把握することが困難である。そこで、カプタイダムの流入量を算定してカルナフリ川本川の流況を把握した。カプタイダムの流入量は貯水池の水位データや放流量データを用いて下式から算出した。放流量データは1997年以降存在するため23ヵ年(1997年-2019年)のダム流入量を算出した。なお、2000年にカプタイダム発電所拡張事業実現可能性調査(F/S Report of Hydro Power Plant Expansion of Kaptai Dam, Japan External Trade Organization (JETRO), March, 2000)が実施されており、同様の算定方法で30ヵ年(1968年-1997年)の月流入量が算定されている。これらデータも含めて52ヵ年(1968年-2019年)のダム流入量データに基づいて表3.1.16に示すとおりカルナフリ本川の流況を整理した。

$$Q_i = Q_T + Q_S + \Delta S + \Delta ET$$

ここで、

Q_i = Natural inflow (m³)

Q_T = Turbine discharge (m³)

ΔS = Change in storage (m³) = S₂-S₁

S₁ = Reservoir storage corresponding to WL of day 1 at 8:00 AM

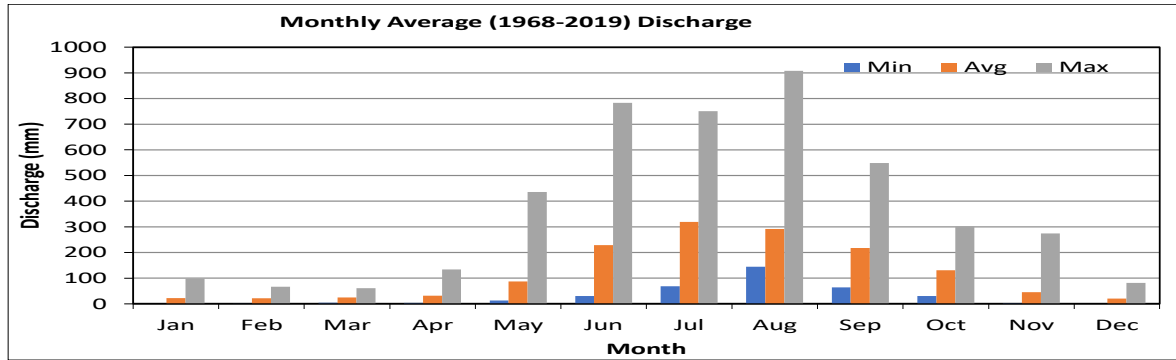
S₂ = Reservoir storage corresponding to WL of day 2 at 8:00 AM (next day)

ΔET = E_T * Surface Area

表 3.1.16 カプタイ・ダム地点の総流出量及び総流出高
(52ヵ年：1968-2019年)

Statistics	Season	At Kaptai Dam, CA: 11,366 km ²	
		Runoff Volume (MCM)	Runoff Depth (mm)
Average (1968-2019)	Whole year	16,275 (100%)	1,432 (100%)
	Dry Season	1,536 (9%)	135 (9%)
	Rain Season	14,739 (91%)	1,297 (91%)
Maximum (1968-2019)	Whole year	28,394	2,498
	Dry Season	4,826	425
	Rain Season	26,039	2,291
Minimum (1968-2019)	Whole year	7,911	696
	Dry Season	209	18
	Rain Season	6,994	615
1/5 Drought Year	Whole year	12,875	1,133
	Dry Season	819	72
	Rain Season	10,903	959
1/10 Drought Year	Whole year	10,483	922
	Dry Season	617	54
	Rain Season	9,380	825

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.22 カプタイダム地点の月流出高グラフ

3.1.5 河川維持流量の暫定設定

(1) 河川維持流量の定義、考え方

河川維持流量とは、動植物の保護、漁業、景観、流水の清潔の保持（水質）、舟運、塩害の防止、河口の閉塞の防止等を総合的に考慮し、河川に維持すべきであるとして定められた流量である。主に表 3.1.17 の項目などを考慮して設定する。

表 3.1.17 河川維持流量の検討項目・考え方

項目	考え方	設定方法（日本の事例等*）
①動植物の保護及び漁業	魚、動植物が生息・生育するのに必要となる流量。	対象魚類を設定し、必要な水深や流速を水理条件として規定し、期別で流量を設定。最小限の水深として 10cm は確保する。
②景観	河川の主要景観の維持・形成を図るために、河川が確保すべき水理条件を満足し得る必要な流量。	水面幅と川幅の比 (=W/B) が 0.2 以上のときは水量感に関する不満がほぼなくなる傾向があると言われている
③水質	渇水時に水質の悪化する河川では流量を確保して水質を改善するのに必要な流量。	環境基準の 2 倍程度となるよう流量を確保する。
④舟運	舟運を維持する為に水面や喫水深を保つための流量。	対象船種などで必要水面幅や喫水深を設定。
⑤塩害の防止	流量が減少した場合に塩水の遡上による河川水や地下水の塩分濃度上昇で水利用等に支障が生じないよう、塩水遡上を抑制するための流量。	実態調査或いはシミュレーションモデルにより流量と塩水遡上の関係を求め、塩害を生じない流量を求める。
⑥河口の閉塞防止	流量が減少した場合に河口が閉塞することを避けるため、河口部での恒常的な土砂の堆積を抑制するために必要な流量。	現況調査、河口閉塞と流量の関係調査、将来予測などを行い、実績や河口部における掃流力を検討し必要流量を設定する。
⑦河川管理施設の保護	水位の低下による木製の施設（護岸の基礎や杭棚）等の腐食を防止するために一定の水位を確保する等、河川管理施設の保護のため一定の水理条件を確保する流量。	他の項目から決まる流量をみて、本条件を満足するか検討し、必要に応じて代替手段を含む対応策を検討する。

項目	考え方	設定方法（日本の事例等*）
⑧地下水位の維持	流量の減少が地下水位低下に直接影響する場合があります、そのような河川では河川水位の低下に起因する地下水位の低下を引き起こさないために確保する流量	相当量の降雨が年間を通じて期待できる地方においては、流量の多寡が問題となることは少ないが、必要に応じて代替手段を含む対応策を検討する。

*注）「正常流量検討の手引き（案）」（国土交通省）等を参照して整理

出典：JICA 調査団

(2) 対象河川の維持流量の検討で考慮すべき項目

本調査の対象河川の維持流量の検討で考慮すべき項目を表 3.1.18 に示す。

表 3.1.18 対象 3 河川の河川維持流量の検討項目

項目	カルナフリ	サング	マタムフリ
①動植物の保護及び漁業	◎	◎	◎
②景観	△	△	△
③水質	○	○	○
④舟運	◎	◎	◎
⑤塩害の防止	◎	○	○
⑥河口の閉塞防止	△	△	△
⑦河川管理施設の保護	△	△	△
⑧地下水位の維持	△	△	△

検討の重要度：◎非常に高い、○高い、△：やや低い

出典：JICA 調査団

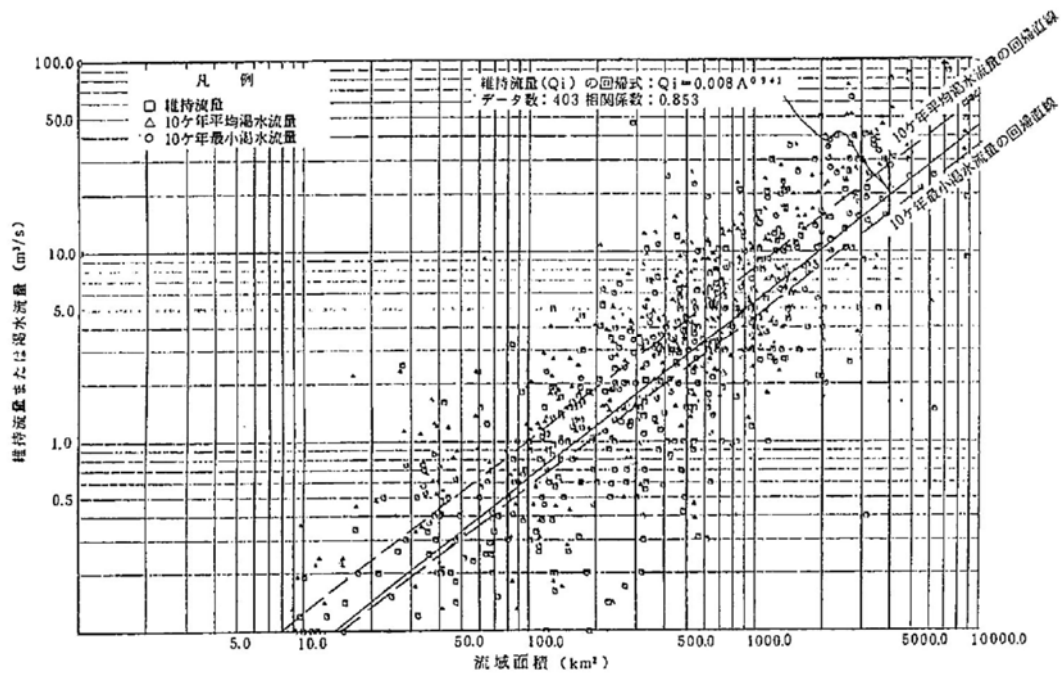
(3) 対象河川の維持流量の概略検討

上記(1), (2)を踏まえ詳細な検討により維持流量を算定していく必要がある。ただし、本調査は流域水資源開発に伴う全体の水収支を検討するものであり、以下の概略調査により暫定的に維持流量を設定する。

- 日本の主要河川における維持流量の事例
- バングラデシュの事例
- 周辺国の事例

1) 日本の主要河川における維持流量の事例

日本の主要河川における河川特性と維持流量の研究成果を図 3.1.23 に示す。これによれば維持流量は 10 ヶ年平均渇水流量と 10 ヶ年最小渇水流量の間にほぼ位置しており、平均的には $0.69\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ であり、 $0.3\sim 2.0\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ 程度に多く集中している。また、主要水系の維持流量の平均値は $0.73\text{m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ である（期別に設定されている場合は最大値による）。



出典：国土交通省河川局、正常流量検討の手引き（案）

図 3.1.23 流域面積と維持流量の関係（日本の事例）

日本の維持流量の流域面積に対する平均値 $0.73 \text{ m}^3/\text{s}/100\text{km}^2$ を参照して、対象河川の維持流量を試算すると、表 3.1.19 となる。

表 3.1.19 日本の事例による対象 3 河川の河川維持流量

項目	カルナフリ (ハルダ)	サング	マタムフリ
流域面積 (km ²)	1,758	3,663	2,501
上記の方法適用による 維持流量(m ³ /s)	12.8	26.7	18.3

出典：JICA 調査団

2) バングラデシュにおける維持流量の事例

バングラデシュでは、「維持流量」ではなく「環境流量」という言葉の方が一般的に使われている。¹文献レビューの結果、同国では「環境流量」の概念は比較的新しく、河川の環境流量評価に対する法的要件はない。ただし、水資源に関連する開発や河川に関連する事業では、関連要件として環境影響評価 (EIA) が必須であり、EIA 自体に、河川流量の分析と流量減少の評価が含まれている。

¹ 細分すると「環境流量」は河川生態系全般を対象とし、河川利用（舟運、河口閉塞防止、河川施設保護）は含まないもの、「維持流量」は河川利用も含むが環境面の「物質循環」や「土砂収支」を含んでいない、というように区分される傾向にある。しかし、実質的にはその区分は曖昧で、バングラデシュのゴライ河の環境流量設定の事例を見ると、日本の「維持流量」設定と同様に河川利用（舟運）なども考慮されており、両者を勘案して設定されている。本調査においては、単に言葉の違いで、定義の違いはない。

バングラデシュの環境流量の設定事例は幾つかあり、表 3.1.20 に BUET が 2017 年に実施したゴライ川の環境流量の検討事例を示す。

表 3.1.20 バングラデシュにおける環境流量検討の例（ゴライ川）

項目	内容
設定事例	Basic Features on the ‘Environmental Flow Assessment of Gorai River under Gorai River Restoration Project (Phase II)’ Report, (2017, BUET)
背景・目的	ゴライ川は、ガンジス川（パドマ）の主要な支流の1つである。1975年にインドがバングラデシュ北西部のインドから流入するガンジス川の国境直上流に大規模な堰（ファラッカ）を建設し、それによりガンジス川の流れは大きく変動し、ゴライ川は甚大な影響を受けている。特に、スンドルバンスを含む南西地域で塩分侵入が増加し、ゴライ川に依存している灌漑、漁業、航行、生物多様性に悪影響を及ぼしている。 このような影響を受けて、ゴライ川再生プロジェクトにおいて河川の維持浚渫が実施された。 当調査は、ゴライ川の回復と蘇生の持続可能性のために、ゴライ川の環境流量を評価することを目的としている。
環境流量の評価方法	ゴライ川の環境流量評価として、以下の方法が使用されている。 (1) Hydrological Methods (2) Hydraulic Rating Method (3) Habitat Method（生態系） (4) E-Flow Assessment based on Salinity Condition (5) E-Flow Assessment for Navigation (6) Holistic Approach
評価結果	上述の方法で算定、それぞれの数値が算定されている。 (1) Hydrological Methods：乾期中の適正な水文適正值として最小流量 160 m ³ /s (2) Hydraulic Rating Method：ゴライ川の平均低水敷流量が 38 m ³ /s、平均高水敷漸近線流量が 3686 m ³ /s。 (3) Habitat Method:魚類別で検討し、最小流量は1月～3月 300 m ³ /s、4月～6月 400 m ³ /s、7月～9月 7000m ³ /s、10月～12月 400 m ³ /s。 (4) E-Flow Assessment based on Salinity Condition：ゴライ鉄道橋で塩分濃度 1.0pptを保つための最小流量 400 m ³ /s (5) E-Flow Assessment for Navigation:クラス IV の航路を条件とし、乾期最低流量 140 m ³ /s (6) Holistic Approach: 乾期（1月から5月）のゴライ鉄道橋でのゴライ流量 160～400 m ³ /s を推奨 以上より、当調査では、塩分侵入、持続可能な生態系、水生生物の良好な生息地、水文学的側面、および航行を考慮した乾燥期間（1月から5月）のゴライ川の環境流量要件が 160 m ³ /s から 400 m ³ /s（最小）が推奨されている。

出典：Basic Features on the ‘Environmental Flow Assessment of Gorai River under Gorai River Restoration Project (Phase II)’ Report, (2017, BUET)

表 3.1.20 で用いられている手法のうち、水文学的な手法である「テナント法」や「流況曲線法」は、最も簡便な方法として採用されている例がある。

i) テナント法

テナント法は、表 3.1.21 に示すように、河川の流量と河川生物の生息地の状態を、年平均流量（Mean Annual Flow (MAF)の比率により設定したものである。

表 3.1.21 バングラデシュの維持流量算定事例（テナント法）

Habitat quality	% of MAF	
	Low flow season	High flow season
Flushing or Maximum	200	200
Optimum	60-100	60-100
Outstanding	40	60
Excellent	30	50
Good	20	40
Fair	10	30
Poor	10	10
Severe degradation	<10	<10

出典：BWDB

表 3.1.21 のうち、Poor と規定される MAF10%を参照し、1966-2019 年の各河川の流量観測地点の流量データより MAF を算定し、対象河川の維持流量を試算すると表 3.1.22 のようになる。

表 3.1.22 バングラデシュの事例（テナント法）による対象 3 河川の河川維持流量

項目	カルナフリ（ハルダ）	サング	マタムフリ
年平均流量 MAF (m ³ /s)	27.4	92.3	49.1
テナント法適用による維持流量(m ³ /s)	2.7	9.2	4.9

出典：JICA 調査団

ii) 流況曲線法

流況曲線法は、図 3.1.24 に示すように流量記録を利用して各月で作成した流況曲線のデータをもとに、乾期の月では 90%流量、雨期の月では 50%流量として設定される。この手法による対象河川の維持流量を、1966-2019 年の各河川の流量観測地点の流量データを参照し試算すると以下となる。

表 3.1.23 バングラデシュの事例（流況曲線法）による対象 3 河川の河川維持流量

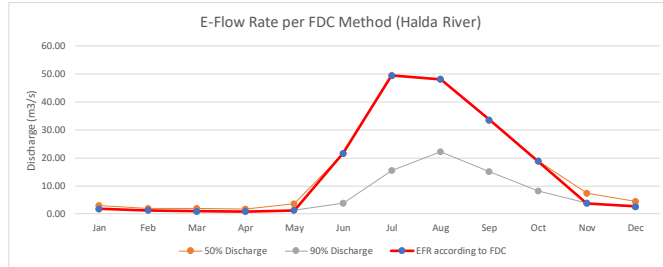
項目	カルナフリ（ハルダ）	サング	マタムフリ
乾期月の 90%流量 (m ³ /s)	0.9-3.8	3.0-13.1	1.6-7.0
雨期月の 50%流量 (m ³ /s)	18.8-49.5	62.0-167.4	32.3-90.0

出典：JICA 調査団

[Halda River]

Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
10% Discharge	6.32	3.92	3.35	7.42	23.00	136.90	206.78	128.88	78.66	51.80	18.50	9.06
50% Discharge	2.98	2.06	1.89	1.82	3.74	21.68	49.50	48.10	33.61	18.80	7.48	4.47
90% Discharge	1.80	1.30	1.03	0.86	1.31	3.78	15.58	22.28	15.18	8.16	3.84	2.62
Flow Season	Low	Low	Low	Low	Low	High	High	High	High	High	Low	Low
EFR according to FDC	1.80	1.30	1.03	0.86	1.31	21.68	49.50	48.10	33.61	18.80	3.84	2.62

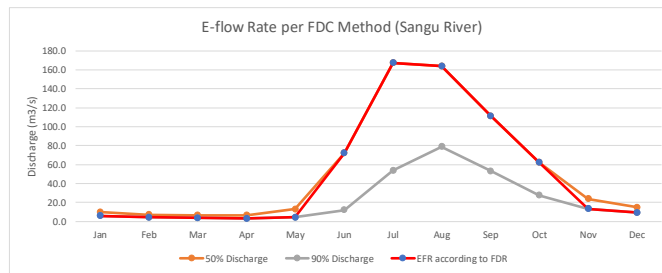
Dry Season	0.9	-	3.8
Wet Season	18.8	-	49.5



[Sangu River]

Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
10% Discharge	20.4	12.9	11.7	23.5	77.6	454.6	663.3	426.7	254.0	160.0	62.9	26.5
50% Discharge	9.9	7.2	6.3	6.4	12.8	72.0	167.4	163.8	111.3	23.9	14.6	
90% Discharge	5.8	4.3	3.6	3.0	4.3	11.9	53.6	78.9	53.2	27.3	13.1	9.1
Flow Season	Low	Low	Low	Low	Low	High	High	High	High	High	Low	Low
EFR according to FDR	5.8	4.3	3.6	3.0	4.3	72.0	167.4	163.8	111.3	62.0	13.1	9.1

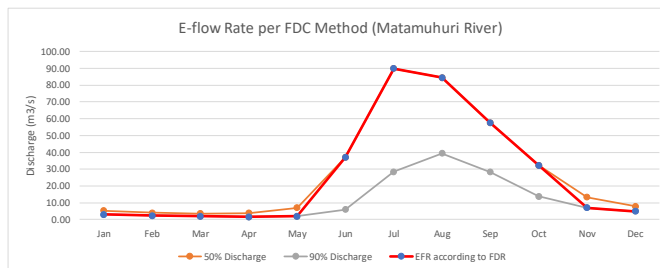
Dry Season	3.0	-	13.1
Wet Season	62.0	-	167.4



[Matamuhuri River]

Item	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
10% Discharge	11.23	9.25	8.59	18.21	36.89	247.07	372.59	228.52	135.83	84.10	34.97	14.82
50% Discharge	5.32	3.99	3.47	3.80	6.93	36.89	89.96	84.56	57.49	32.26	13.25	7.92
90% Discharge	2.99	2.24	1.93	1.64	1.99	5.96	28.41	39.33	28.32	13.73	7.03	4.94
Flow Season	Low	Low	Low	Low	Low	High	High	High	High	High	Low	Low
EFR according to FDR	2.99	2.24	1.93	1.64	1.99	36.89	89.96	84.56	57.49	32.26	7.03	4.94

Dry Season	1.6	-	7.0
Wet Season	32.3	-	90.0



出典：JICA 調査団

図 3.1.24 カルナフリ（ハルダ）川、サング川、マタムフリ川の月別流況データ

3) 周辺他国の維持流量の事例

周辺他国の事例として、インドネシア、フィリピンにおける維持流量の設定は以下の条件で設定されている。

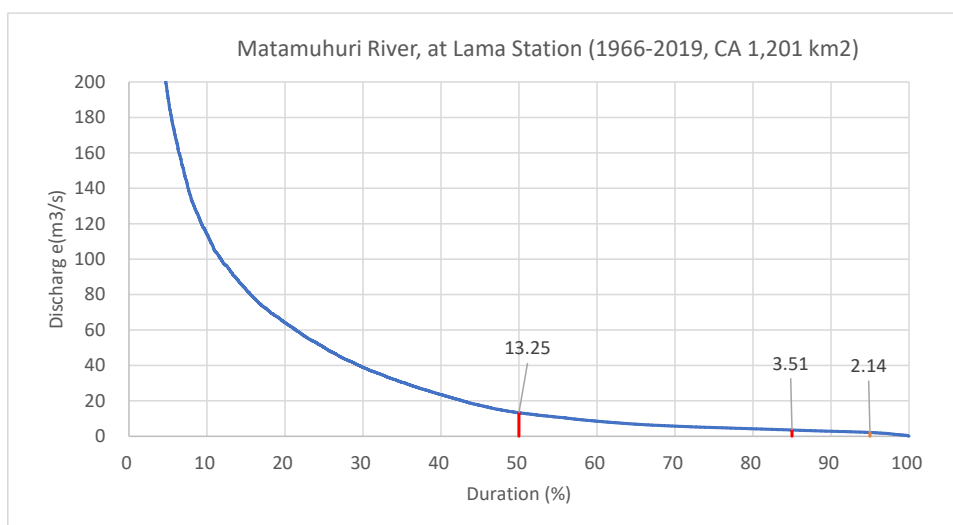
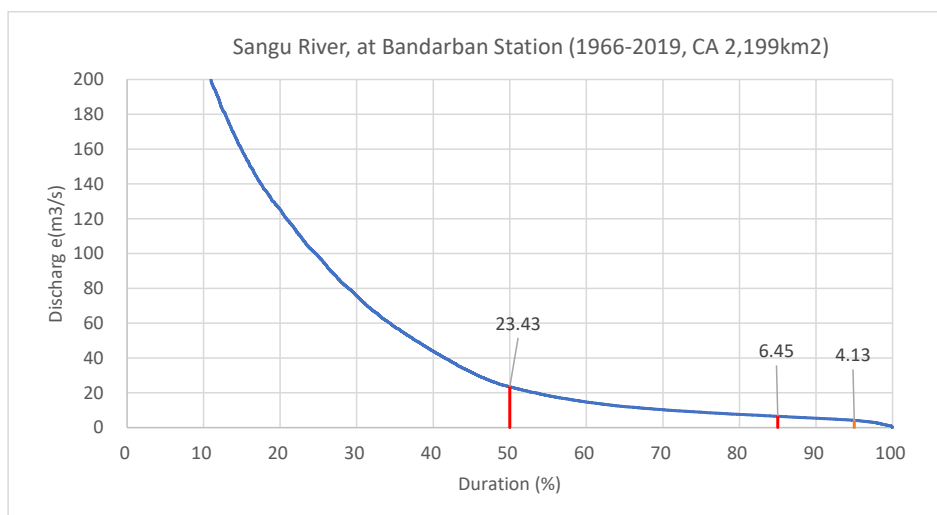
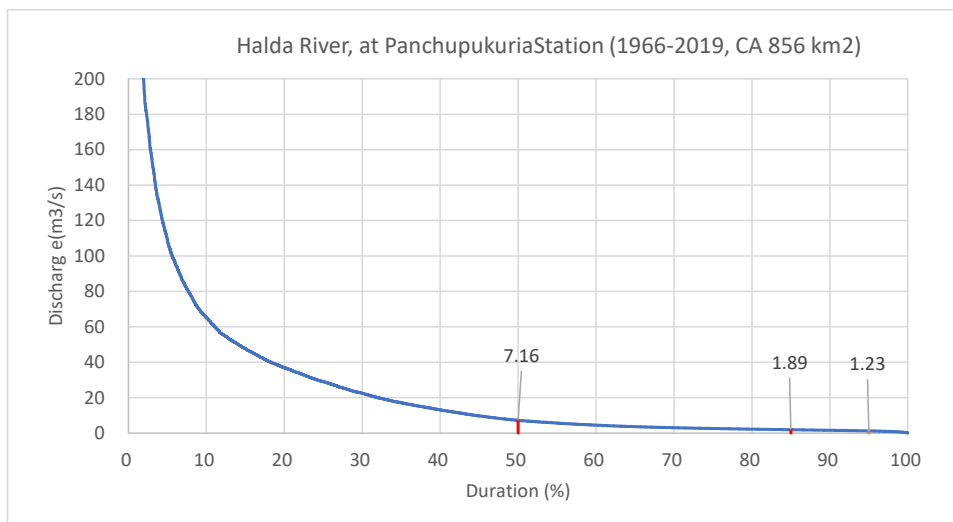
- インドネシア：95%日流量 (PU：河川生態系の維持)
- フィリピン：85%日流量の90% (NWRB)

これらの事例を参照し、対象河川の流況データより（参照：図 3.1.25）より、各河川の維持流量を算定すると表 3.1.24 となる。

表 3.1.24 周辺他国の維持流量の事例による対象3河川の河川維持流量

項目	カルナフリ	サング	マタムフリ
95%日流量 (m ³ /s)	1.2	4.1	2.1
85%日流量の90% (m ³ /s)	1.7	5.8	3.2

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 3.1.25 カルナフリ（ハルダ）川、サング川、マタムフリ川の流況曲線

4) 維持流量の暫定設定

上記 1) - 3) のデータを表 3.1.25 に整理する。

表 3.1.25 対象 3 河川の河川維持流量の暫定設定

Discharge Data (Observation)

River		Karnafuli (Halda)	Sangu	Matamuhuri
Station		Panchpukuria	Bandarban	Lama
Period		1966/1/1-2019/12/31	1966/1/1-2019/12/31	1966/1/1-2019/12/31
Catchment Area (km ²)	Total	1,758	3,663	2,511
	at WL gauge	856	2,199	1,201
Discharge (m ³ /s) @ WL Station	Mean Annual Flow (MAF)	27.36	92.26	49.05
	95% discharge:	1.23	4.13	2.14
	85% discharge:	1.89	6.45	3.51
	50% discharge:	7.16	23.43	13.25

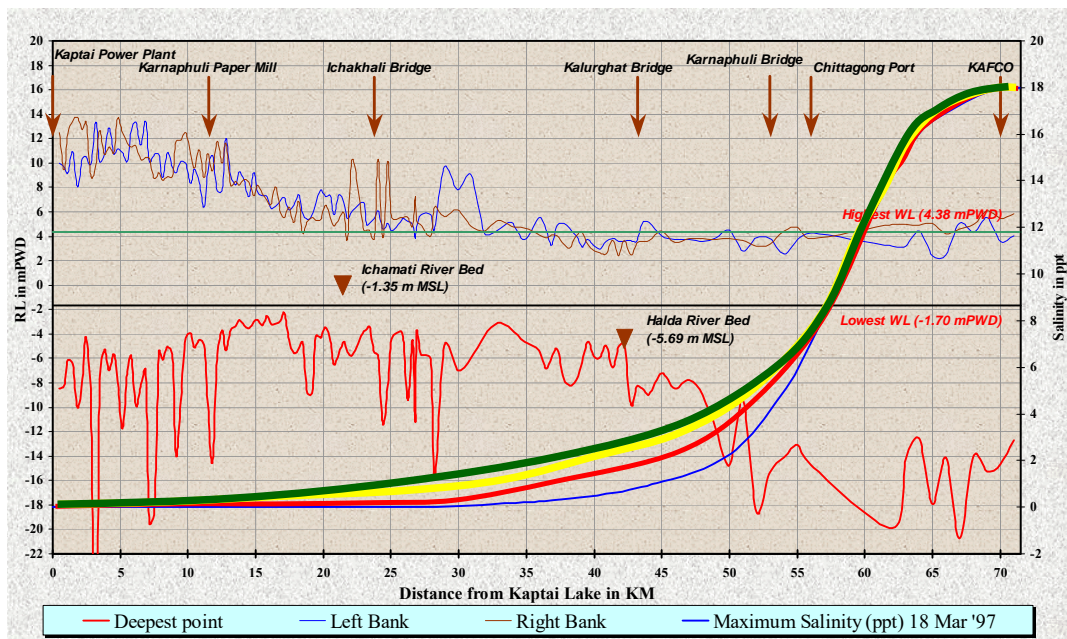
Maintenance Flow (preliminary estimation)

River		Karnafuli (Halda)	Sangu	Matamuhuri
Station		Panchpukuria	Bandarban	Lama
(1) Method in Japan	0.73m ³ /s/100km ²	12.8	26.7	18.3
(2) Methods in Bangladesh	Tenanto method (10% of MAF)	2.7	9.2	4.9
	FDC method (90% discharge in dry season)	0.9-3.8	3.0-13.1	1.6-7.0
	FDC method (90% discharge in wet season)	18.8-49.5	62.0-167.4	32.3-90.0
(3)-1 Method in Indonesia	95% discharge	1.2	4.1	2.1
(3)-2 Method in Philippines	90% of the 85% discharge	1.7	5.8	3.2

出典：JICA 調査団

(4) カルナフリ川の維持流量について

カルナフリ川では、2007 年に上水取水地点で塩分濃度が非常に高まり、BWDB が調査を行った。その結果（参照：図 3.1.26）によると、河口から 40 km 強の区間では塩水化の影響を受けると推測されている。この調査結果に基づき、カルナフリ川ではカプタイダムの運用に関連し、最低でも発電 2 基は必ず運用して下流放流を実施することが BWDB とダム管理者間で覚書が交わされ、既に維持放流を考慮したダム放流量運用が実施されている。



出典) IWM プレゼン資料

図 3.1.26 塩分濃度シミュレーション結果 (カルナフリ川)

3.1.6 地下水ポテンシャル

調査地域の地下水ポテンシャルについて地下水位の変動状況およびマクロ水収支の面から検討を行った。

(1) 地下水位の変動状況

調査地域における地下水位の変動を見るために、調査対象地域の4ウパジラ毎に、浅井戸および深井戸の地下水位変動曲線図を作成した。用いたデータはDPHEの1986年から2018年までの地下水位モニタリングデータである。ただし、ウパジラによっては、上記の観測期間に満たない観測期間の場合がある。

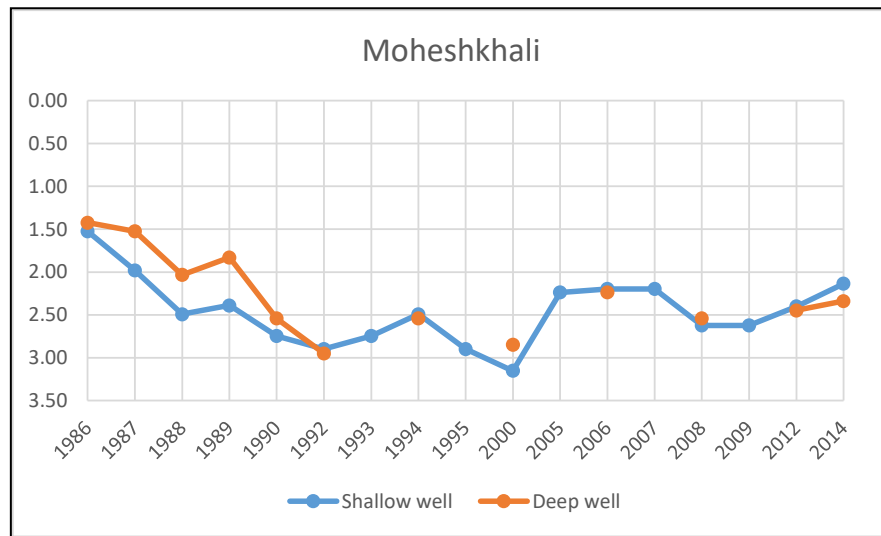
1) チャカリア・ウパジラにおける地下水位の変化

チャカリアにおける1986年から2018年までの井戸の平均地下水位の変化状況は、第2章の図2.2.15および表2.2.22に示した。これらのデータによって明らかになった事項は以下のとおりである。

- 浅井戸および深井戸の地下水位変動曲線はほぼ同じ挙動を示す。
- 各深度の井戸にかかる32年間の地下水位降下量は3.3~3.4mで、平均地下水位低下量は0.10m/年とほぼ同じである。
- 浅井戸および深井戸はそれぞれ異なる帯水層から取水しているものの、各帯水層は水理地質学的なつながりがあることを示唆している。

2) モヘシュカリ・ウパジラにおける地下水位の変化

モヘシュカリ・ウパジラにおける 1986 年から 2014 年まで 28 年間の浅井戸および深井戸の地下水位変化および地下水位低下量を図 3.1.27 および表 3.1.26 に示す。



出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

図 3.1.27 モヘシュカリ浅井戸/深井戸の平均地下水位変動曲線図(1986-2014 年)

表 3.1.26 モヘシュカリにおける浅井戸および深井戸の地下水位低下量 (1986-2014 年)

井戸の深度	地下水位(m)		水位低下量 (m)	平均水位低下量(m/年)
	1986	2014		
浅井戸：200 フィート以浅 (61m 以浅)	1.53	2.14	0.61	0.02
深井戸：200 フィート以深 (約 61m 以深)	1.42	2.34	0.92	0.03

出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

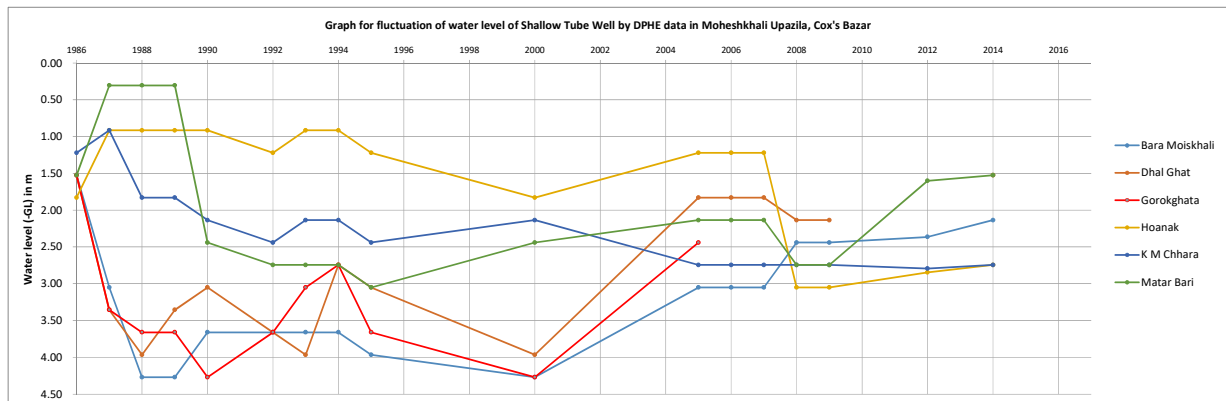
地下水位の変動状況を見るため、1986 年の水位および観測データの最終年 (2014 年) の水位を表 3.1.27 に、各井戸の水位変動状況を図 3.1.28 に示す。1986 年から 2014 年までのデータを有する井戸は、浅井戸 5 本、深井戸 3 本である。

表 3.1.27 モヘシュカリの地下水位の変動状況

井戸位置 (ユニオン)	1986 年の水位(m)	2014 年の水位(m)	2014 年までの水位降下量(m)	年平均水位降下量 (m/年)
<浅井戸>				
Bara Moiskhali	1.53	2.14	0.61	0.022
Dhai Ghat	1.53	1.53	0.00	0.000
Hoanak	1.83	2.75	0.92	0.033
K. M. Chhara	1.22	2.75	1.53	0.055
Matarbari	1.53	1.53	0.00	0.000
<深井戸>				
Dhal Ghat	1.53	1.83	0.30	
K M Chhara	1.22	2.75	1.53	

井戸位置 (ユニオン)	1986年の 水位(m)	2014年の 水位(m)	2014年までの水位 降下量(m)	年平均水位降下量 (m/年)
Matarbari	1.53	2.44	0.91	

出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。



(DPHE のデータを基に調査団作成)

図 3.1.28 モヘシュカリにおける浅井戸の地下水位の変動曲線図 (1986-2014 年)

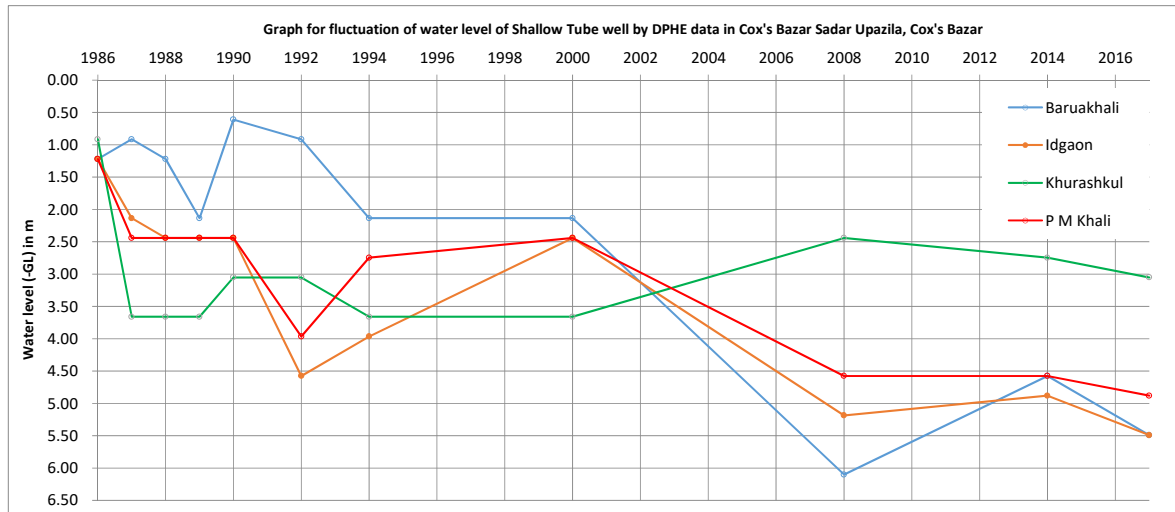
浅井戸の 1986 年水位は 1.22m から 1.83m の間に集中している。地形的な要因等を考慮すれば、5 本の浅井戸はほぼ同じ帯水層から揚水している可能性が高いと言える。1986 年の観測開始後、Hoanak の井戸を除き、4 本の井戸の水位は低下傾向を示すが、2000 年頃にはやや上昇傾向を示すようになる。Hoanak の井戸は 1994 年まで水位に大きな変化は無いが、1994 年以降低下傾向を示す。特に、2007 年から 2008 年にかけては急激に 1.83m 低下し、その後極緩やかな上昇傾向を示している。モヘシュカリの浅井戸は、全体としては一旦水位が低下した後、その水位前後で推移するか緩やかな上昇傾向を示している。モニタリング開始の 1986 年とデータ最終年である 2014 年の水位を比較すると、同じ水位を示す井戸が 2 本ある。他 3 本の井戸の水位降下量は 0.61~1.53m である。これを観測期間の 28 年間で単純に平均すると 2.2~5.5cm であり、極めて小さい水位低下量を示している。しかしながら、1986 年から 1990 年にかけては 4 本の井戸で 1 年間に 2m 以上の地下水位低下を示している。モヘシュカリには大規模な開発は見られないことから揚水量が著しく増加する要因に乏しく、何らかの理由で僅かな揚水量の増加による影響を受けやすいことを示している可能性がある。そうすると、モヘシュカリ・ウパジラに分布する浅層帯水層のポテンシャルは著しく小さいと言える。

深井戸については、1986 年の水位は、浅井戸の水位とほぼ同じ 1.22~1.53m を示している。3 本の内 2 本の井戸で 1986 年以降に水位降下が始まり、1990 年頃まで急速に低下し約 0.9~1.5m 低下している。その後は小幅な変化を繰り返している。1 本の井戸 (Matarbari) の井戸のみ 1987 年に急激に 1.8m に及ぶ水位上昇を示した後、1989 年に水位降下に転じ、その後は他の井戸とほぼ同じような挙動を示している。Matarbari においてもモヘシュカリと同様に、ポテンシャルは高くなさそうである。

モヘシュカリにおいては、島の南部から西南部にかけて山麓部付近を中心に地下水が自噴している地域がある。

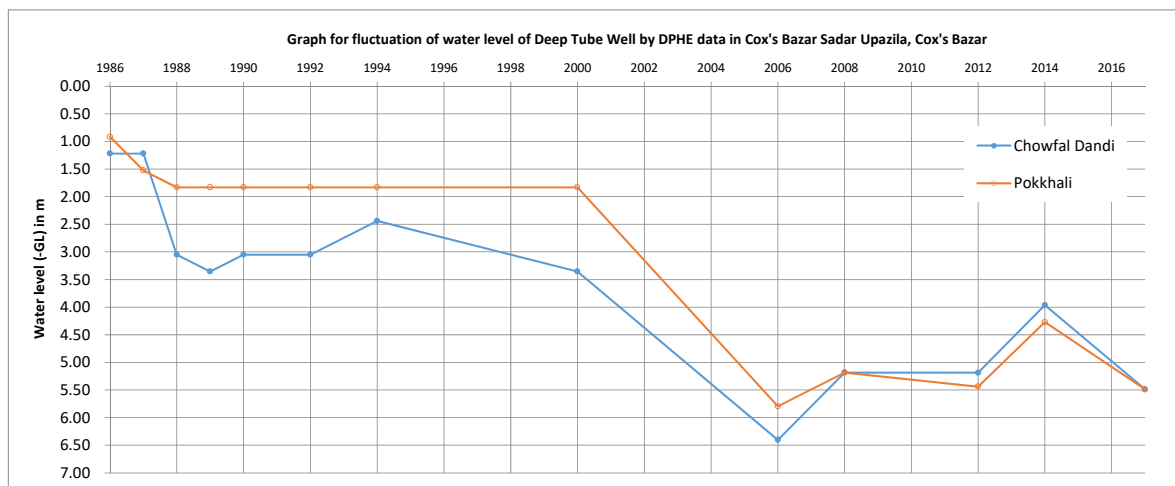
3) コックスバザールにおける地下水位の変化

コックスバザールにおける浅井戸および深井戸の地下水位の変化をそれぞれ図 3.1.29 および図 3.1.30 に示す。



出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

図 3.1.29 コックスバザールにおける浅井戸の地下水位の変動曲線図 (1986 -2017 年)



出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

図 3.1.30 コックスバザールにおける深井戸の地下水位の変動曲線図 (1986-2017 年)

コックスバザールでは、浅井戸 4 本、深井戸 2 本のデータがある。観測データの期間は 1986 年から 2017 年までの 31 年間である。1986 年の観測開始時 (1986 年) から 2017 年の地下水位および地下水位の変動を表 3.1.28 に示す。

表 3.1.28 コックスバザールにおける地下水位の変動状況

井戸位置 (ユニオン)	地下水位 (m)		水位降下量 (m)		
	1986	2017	水位降下量 (m)	平均水位降下量 (m/年)	平均水位降下量 (m/年)
<浅井戸>					
Baruakhali	1.22	5.49	4.27	0.14	0.12
Idgaon	1.22	5.49	4.27	0.14	
Khurashkul	0.92	3.05	2.13	0.07	
P M Khali	1.22	4.88	3.66	0.12	
<深井戸>					
Chowfal Dandi	1.22	5.49	4.27	0.14	0.15
Pokkhali	0.92	5.49	4.57	0.15	

出典：JICA 調査団 (DPHE のデータを使用)

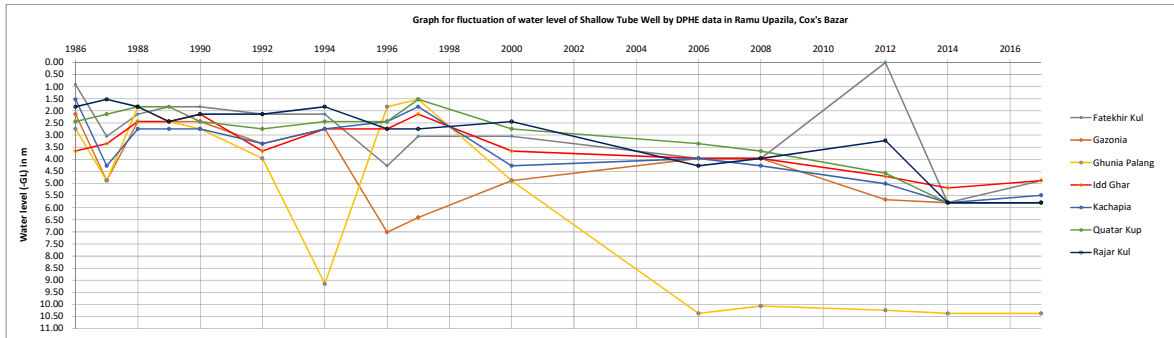
浅井戸の水位は、1986年以降水位降下が始まり、1994年までに約2.7～5.2mの水位が降下している。その後は、Khurashkulの井戸を除き、2000年から再度水位が降下し2017年の水位に至っている。2017年の水位は3.1～5.5mである。Khurashkulの井戸は、1987年に0.9mから3.7mに下降した後、多少の水位の上下はあったものの同じレベルの水位を保ち、2000年から緩やかな上昇に転じている。2008年から再び徐々に下降し、2017年には3.1mとなっている。Khurashkulの井戸の水位は他3本の井戸とは明らかに異なる挙動を示している。これは、同じ浅層帯水層から揚水していることは同じでも、帯水層の分布状況により異なる涵養の影響を受けている可能性があることを示している。

深井戸のデータは2本の井戸のものが利用できる。深井戸の水位は、1986年から1988年にかけて0.9～1.8m低下した後大きな水位変動は無い。2000年から2008年にかけて再び低下が始まり2017年には両井戸とも5.5mに低下している。

浅井戸と深井戸の地下水位の挙動は、Khurashkulの井戸を除くと、両者とも1988年頃に水位が一旦低下し、2000年から再度低下するという、似たような挙動を示している。このことから、浅部帯水層と深部帯水層は何らかのつながりがあるものと推定される。

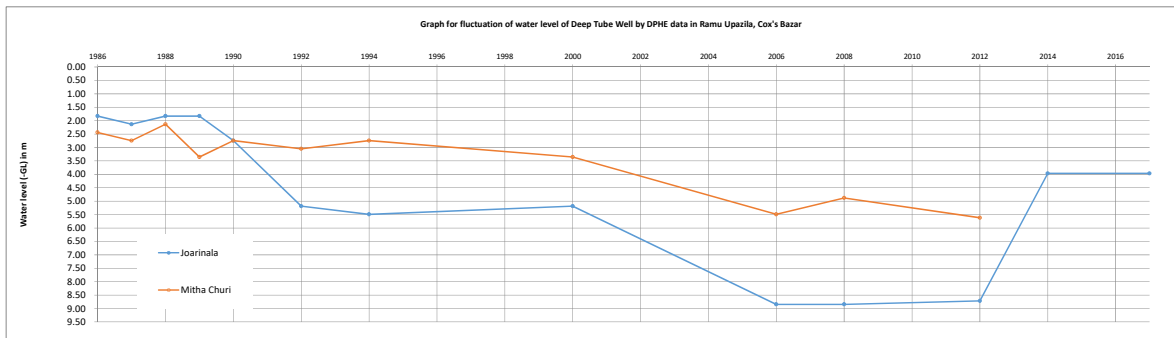
4) ラムにおける地下水位の変化

DPHE ラム・ウパジラ事務所によれば、ウパジラ全域に亘って自噴井戸が分布するということである。ここでは、自噴井戸を除いた観測井のデータを用いる。データの期間は、1986年から2017年までである。データを用いて浅井戸および深井戸の地下水位変動曲線図を作成した。これを、図3.1.31および図3.1.32に示す。



出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

図 3.1.31 ラムにおける浅井戸の地下水位の変動曲線図（1986-2017年）



出典：DPHE のデータを基に調査団作成

図 3.1.32 ラムにおける深井戸の地下水位の変動曲線図（1986-2017年）

表 3.1.29 にラムにおける 1986 年から 2012 年までの 26 年間の地下水位の低下の状況を示す。

表 3.1.29 ラムにおける 1986 年から 2012 年までの地下水位の低下状況

井戸位置 (ユニオン)	1986 年の水位	2012 年の水位	2012 年までの 水位降下量	年平均水位降下量 (m/年)
<浅井戸>				
Gazonia	2.14	5.67	3.53	0.14
Ghuniala Palang	2.75	10.24	7.50	0.29
Idd Ghar	3.66	4.70	1.04	0.04
Kachapia	1.53	5.01	3.48	0.13
Quatar Kup	2.44	4.58	2.14	0.08
Rajar Kul	1.83	3.23	1.40	0.05
<深井戸>				
Joarinala	1.83	8.72	6.89	0.26
Mitha Churi	2.44	5.62	3.18	0.12

出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

浅井戸の地下水位は、全体として 1998 年前後頃までは大きな地下水位の変化は無い。1998 年前後から地下水位の低下が始まり、地下水位は緩やかに低下し続け 2017 年の水位に至っている。ただし、Ghuniala Palang の井戸の地下水位のみは全く異なる挙動を示している。

すなわち、1997年頃までは水位の大きな変化は認められないが、1997年頃から水位4.9mから10.4mまで急激に低下し、ほぼそのままの水位で2017年に至っている。これとは逆にFatekhir Kulの井戸は、2012年に水位が上昇し自噴井となる。しかし、2014年には再び水位は低下している。このように、ラムの浅層帯水層は地域によっては例外があるが、全体として緩やかに地下水位が低下しており、過剰揚水の状況である地域が多いことを示している。

深井戸の地下水位のデータは2本だけであり全体の傾向を論じるのは難しいが、2012年までは概ね低下傾向にある。Joarinalaの井戸の地下水位は、1989年までは大きな変化が無いが、1989年から1992年にかけて1.8mから5.2mへと急激に大きな低下を示している。その後は、2012年までMitha Churiの井戸と地下水位は異なるものの、水位変化は似たような挙動を示している。Joarinalaの井戸は、2000年までほぼ同じ水位を維持しているが、2000年以降2006年にかけて8.9mまで低下する。その後、2012年まで水位に変化は無いが、2014年までに4.8mの大きな地下水位の上昇を示している。その後の水位はほぼ一定である。ラムの深井戸の地下水位は、時期によって同じ様な挙動を示したり、異なる挙動を示したりしているため、帯水層としては何らかの関連を有しながらも、地域によって涵養その他の条件が異なっている可能性がある。

浅井戸と深井戸の地下水位の変動曲線は異なる挙動を示していることから、ラムにおいては浅層帯水層と深層帯水層とは分離されている可能性がある。

地下水調査対象地域の4つのウパジラにおける地下水位のモニタリング結果は、地下水位の変化の挙動には差異があるものの、地下水位の低下が2000年頃を境にして早まる傾向が共通している。このことは、2000年頃に地下水の揚水量を増大させるような何らかのイベントがあったことを示唆している。しかしながら、現時点ではこれについて明確なデータや情報は無い。

調査地域では、ラムを除き浅井戸と深井戸で地下水位の変動は同じ様な挙動を示していることから、それぞれは難帯水層で区分されていても、所々で互いに繋がっている可能性があることを示している。このことは、第2章の図2.2.5で示した一部の難帯水層の連続性が途切れていることと合致している。

(2) 地下水の水収支の検討

1) 地下水の揚水量の検討

調査地域で地下水が揚水されているのは、村落部における生活用水、コックスバザール市街地への都市給水、マタバリプロジェクト地域内における揚水、および灌漑用水である。この内、生活用水および灌漑用水について、インベントリ調査結果に基づく井戸1本あたりの平均揚水量と、DPHEおよび農業省による既存井戸数のデータを基にして年間の揚水量を求めた。表3.1.30にインベントリ調査結果から求めた井戸1本あたりの平均揚水量を、表3.1.31に各用途の井戸からの年間揚水量を示す。

表 3.1.30 インベントリ調査に基づく井戸 1 本あたりの平均揚水量

項目	調査井戸数	揚水量	揚水時間	揚水日数	年間揚水量	1本あたり平均揚水量	
	本	(m ³ /時)	(時間/日)	(日/年)	(m ³ /年)	(m ³ /本/年)	
生活用水	<浅井戸>						
	チャカリア	32	60.2	6.1	365	134,674	4,209
	モヘシュカリ	18	29.4	5.5	365	59,021	3,279
	コックスバザール	18	29.9	6.4	365	69,347	3,853
	ラム	11	11.0	5.7	365	22,764	2,069
	計	77	130.5			285,805	
	<深井戸>						
	チャカリア	243	493.5	8.5	365	1,531,825	6,304
	モヘシュカリ	98	196.8	8.9	365	641,460	6,546
	コックスバザール	143	298.5	6.1	365	664,610	4,648
ラム	107	204.7	5.8	365	431,771	4,035	
計	591	1,193.5			3,269,666		
灌漑用水	<浅井戸・深井戸>						
	チャカリア	63	427.0	12.0	115	621,809	9,870
	モヘシュカリ	45	158.8	12.3	134	286,306	6,362
	コックスバザール	88	472.4	11.3	117	615,103	6,990
	ラム	66	467.7	8.8	108	428,155	6,487
	灌漑用水計	262	1,525.8			1,951,373	

出典：JICA 調査団

表 3.1.31 既存井戸からの生活用水の揚水量

ウパジラ	浅井戸			深井戸			年間揚水量計 (m ³)
	揚水量 (m ³ /本/年)	井戸数 (本)	年間揚水量 (m ³)	揚水量 (m ³ /本/年)	井戸数 (本)	年間揚水量 (m ³)	
チャカリア	4,407	2,809	12,379,025	6,405	2,436	15,602,791	27,981,816
モヘシュカリ	3,279	1,975	6,475,860	6,546	1,305	8,541,888	15,017,748
コックスバザール	3,853	1,925	7,416,285	4,648	1,836	8,533,038	15,949,323
ラム	2,069	2,116	4,378,915	4,035	1,188	4,793,871	9,172,786
計		8,825	30,650,085		6,765	37,471,588	68,121,673

出典：JICA 調査団

表 3.1.32 に灌漑用井戸の揚水量を示す。

表 3.1.32 既存井戸からの灌漑用水の揚水量

ウパジラ	浅井戸・深井戸		
	揚水量 (m ³ /本/年)	井戸数 (本)	年間揚水量 (m ³)
チャカリア	29,189	1,215	35,464,485
モヘシュカリ	16,347	470	7,683,002
コックスバザール	22,475	1,173	26,363,742
ラム	25,158	715	17,987,643

ウパジラ	浅井戸・深井戸		
	揚水量	井戸数	年間揚水量
計		3,573	87,498,872

出典：JICA 調査団

表 3.1.32 から、1 年間の揚水量は、生活用水が 68,121,673 m³、灌漑用水が 87,498,872 m³である。コックスバザールの都市用水の水源地からの揚水は次の様に推算される。コックスバザール市には 10 本の深井戸がある。現時点でコックスバザールの都市用水用の地下水の揚水量を求めるため、次のように仮定する。

- 10 本の井戸の揚水量は、Primary School Pump Station の井戸の揚水量である 30 m³/時とし、揚水時間も同様に 10 時間とする。
- 10 本の井戸の内、2 本をスタンバイ用の井戸とする。すなわち、常時揚水を行っているのは 8 本とする。

以上の条件から、コックスバザールの都市用水用井戸からの揚水量は、次のように求めることができる。

$$30 \text{ (m}^3\text{/時)} \times 10 \text{ (時間/日)} \times 8 \text{ (本)} \times 365 \text{ (日)} = 876,000 \text{ (m}^3\text{)}$$

なお、コックスバザールでは、地下水位の低下および地下水への塩水浸入の恐れがあるため、都市用水の水源地を表流水への転換することが計画されている。2021 年 10 月時点で DPHE により次の給水施設の建設が行われており、2022 年半ば頃の完了を予定している。

- バッカリ川からの取水施設：1 箇所
- 浄水場：1 箇所
- 地上タンク：1 基
- 高架タンク：4 基
- 管路の拡張

この他、チャカリア市では都市給水用の水道建設が行われている。水源は地下水で、5 本の水源用の深井戸が建設済であるが配管の一部が破損したため修理が行われ、2022 年 8 月時点で修理工事は完了しており 2022 年 12 月の給水サービス開始を想定している状況である。

わが国の協力により進められているマタバリ超々臨界圧石炭火力発電事業用地内には、2020 年 1 月時点で 16 本の深井戸（2020 年 1 月時点）が建設され、14 本の井戸から生活用水及び工事用水として地下水が揚水されている。1 日の揚水量は約 621 m³である。したがって、1 年間の揚水量は、621(m³/日) x 365 (日)= 226,665 m³である。

以上の検討結果から、調査地域全体の地下水の揚水量については、表 3.1.33 のようにまとめることができる。

表 3.1.33 調査地域全域での年間地下水揚水量

	浅井戸 (m ³)	深井戸 (m ³)	計 (m ³)
村落部での生活用水*	30,650,085	37,471,588	68,121,673
都市給水 (コックスバザール)	-	876,000	876,000
マタバリ・プロジェクトサイト	-	226,665	226,665
灌漑用水	87,498,872		87,498,872
合計	-	-	156,723,210

(注)*コックスバザールの都市用水を除く。

出典：JICA 調査団。DPHE のデータを使用。

調査地域全体では、生活・都市用水等として約 $69.2 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、灌漑用水として約 $87.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ 、合計約 $156.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ の地下水が揚水されていることになる。

3.1.7 水循環解析

(1) 表流水の分析

降水量を蒸発散、表面流出、地下浸透量に分離して各流域（カルナフリ、サング、マタムフリ川流域）における表流水の大まかな水収支量を把握する。水資源量について、表 3.1.34 に示す算定方法及びデータを用いて 54 ヶ年（1966 年～2019 年）の対象期間について算定した。

表 3.1.34 水資源量の算定方法

項目	算定手法	データソース
降水量	Calculate average rainfall over watershed by Thiessen method	Observed daily rainfall data
蒸発散量	Penman-Monteith method	Observed daily temperature, humidity, sunshine hour and wind speed
表面流出	Discharge conversion by using catchment area rate from water level gauge station	Observed daily discharge data
地下浸透量	Percolation rate with considering raining date Percolation rate: Mountain 5mm/day, Plain area 2.5mm/day	Percolation rate and daily rainfall data

出典：JICA 調査団

地下浸透量を算定するための地下浸透速度（日当り）は、BMDA（バリンド(Barind)多目的開発局：Barind Multipurpose Development Authority）が過去に南部チョットグラム地域で実施した調査結果を参考に平野部を 2.5mm/日に設定した（表 3.1.35、図 3.1.33 参照）。なお、山地部での調査結果は存在しなかったため、地質構成（砂、シルト、粘土）及び地形特性（丘陵地）が近似している北西部の丘陵地域（Panchagarh, Thakurgaon 地区）の調査実績値 5.0mm/日を適用した。

表 3.1.35 地下浸透速度調査結果

Target plain Area-2:

District		Thana	Percolation (mm/day)
Chittagong	C ₁	Boalkhali	2.5
	C ₂	Hathazari	2.5
	C ₃	Lohagara	2.5

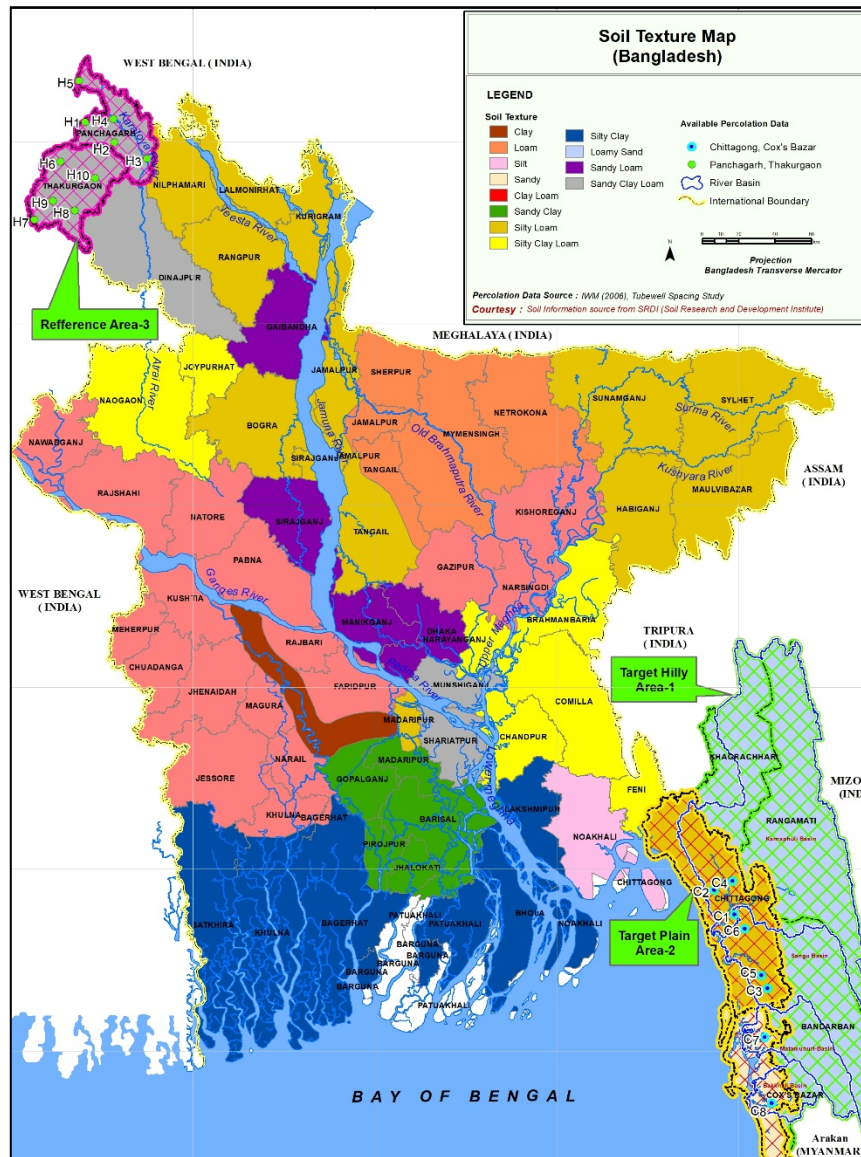
District		Thana	Percolation (mm/day)
	C ₄	Raozan	2.5
	C ₅	Satkania	2.5
	C ₆	Patiya	2.5
Cox's bazar	C ₇	Chakaria	2.5
	C ₈	Ramu	2.5
Average			2.5

出典：Tubewell Spacing Study, BMDA, June 2006

Reference Area-3:

District		Thana	Percolation (mm/day)
Panchagarh	H ₁	Atwari	5.0
	H ₂	Boda	5.0
	H ₃	Debiganj	5.0
	H ₄	PanchagarhSadar	5.0
	H ₅	Tentulia	5.0
Thakurgaon	H ₆	Baliadangi	5.0
	H ₇	Haripur	5.0
	H ₈	Pirganj	5.0
	H ₉	Ranisankail	5.0
	H ₁₀	ThakurgaonSadar	5.0
Average			5.0

出典：Tubewell Spacing Study, BMDA, June 2006

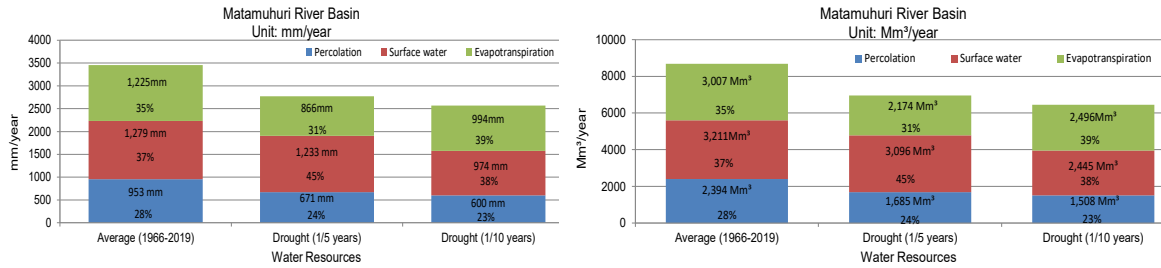


出典 : Tubewell Spacing Study, BMDA, June 2006

図 3.1.33 地下浸透速度調査地点位置図

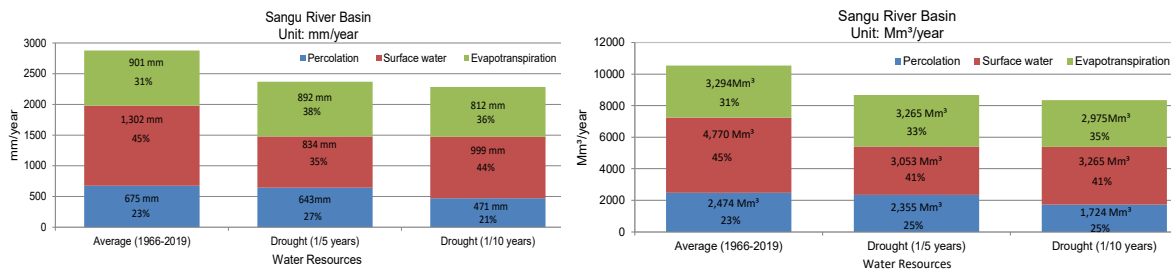
54 ヲ年 (1966 年~2019 年) の解析結果 (参照 : 付録 3.1-4) から、マナムフリ川流域及びサング川流域の 54 ヲ年平均及び 1/5, 1/10 渇水年の表流水水資源量を算定して下の図 3.1.34~図 3.1.36 および表 3.1.36~表 3.1.3738 に整理した。

カルナフリ川流域はカプタイダム地点の上流域と下流域に分けて算定した。上流域はカプタイダム流入量、下流域は Panchpukuria 地点流量を用いて算定し、それらを合算して全体流域の 52 ヲ年平均 (1968 年-2019 年) 及び 1/5, 1/10 渇水年の表流水水資源量を算定した。



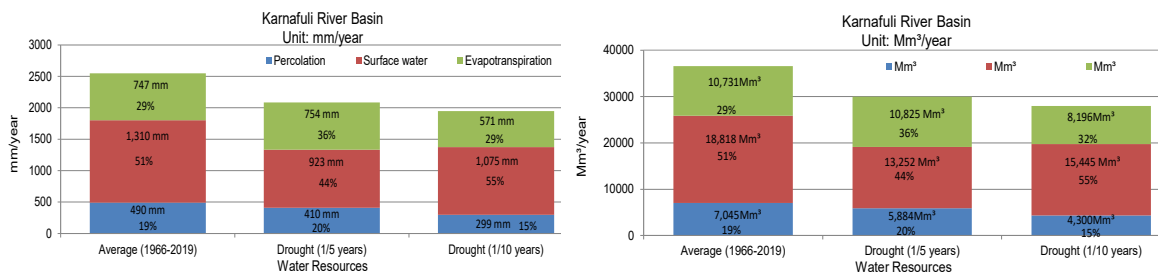
出典：JICA 調査団

図 3.134 表流水の水資源量算定結果グラフ (マタムフリ川流域)



出典：JICA 調査団

図 3.135 表流水の水資源量算定結果グラフ (サング川流域)



出典：JICA 調査団

図 3.136 表流水の水資源量算定結果グラフ (カルナフリ川流域)

表 3.136 表流水の水資源量算定結果表 (マタムフリ川流域)

Water Resources	Drought Year	Rainfall	Percolation		Surface water		Evapotranspiration	
		mm	mm	%	mm	%	mm	%
Average (1966-2019)	-	3,457	953	28	1,279	37	1,225	35
Drought (1/5 years)	(1980-81)	2,769	671	24	1,233	45	866	31
Drought (1/10 years)	(1978-79)	2,568	600	23	974	38	994	39

Note: Drought year selected based on rainfall

Water Resources	Drought Year	Rainfall	Percolation		Surface water		Evapotranspiration	
		Mm³	Mm³	%	Mm³	%	Mm³	%
Average (1966-2019)	-	8,681	2,394	28	3,211	37	3,077	35
Drought (1/5 years)	(1980-81)	6,954	1,685	24	3,096	45	2,174	31
Drought (1/10 years)	(1978-79)	6,449	1,508	23	2,445	38	2,496	39

Note: Drought year selected based on rainfall

出典：JICA 調査団

表 3.1.37 表流水の水資源量算定結果表（サング川流域）

Water Resources	Drought Year	Rainfall	Percolation		Surface water		Evapotranspiration	
		mm	mm	%	mm	%	mm	%
Average (1966-2019)	-	2,877	675	23	1,302	45	901	31
Drought (1/5 years)	(1966-67)	2,368	643	27	834	35	892	38
Drought (1/10 years)	(1978-79)	2,282	471	21	999	44	812	36

Note: Drought year selected based on rainfall

Water Resources	Drought Year	Rainfall	Percolation		Surface water		Evapotranspiration	
		Mm ³	Mm ³	%	Mm ³	%	Mm ³	%
Average (1966-2019)	-	10,538	2,474	23	4,770	45	3,294	31
Drought (1/5 years)	(1966-67)	8,673	2,355	27	3,053	35	3,265	38
Drought (1/10 years)	(1978-79)	8,359	1,724	21	3,659	44	2,975	36

Note: Drought year selected based on rainfall

出典：JICA 調査団

表 3.1.38 表流水の水資源量算定結果表（カルナフリ川流域）

Water Resources	Drought Year	Rainfall	Percolation		Surface water		Evapotranspiration	
		mm	mm	%	mm	%	mm	%
Average (1966-2019)	-	2,548	490	19	1,310	51	747	29
Drought (1/5 years)	(1994-95)	2,086	410	20	923	44	754	36
Drought (1/10 years)	(2013-14)	1,945	299	15	1,075	55	571	29

Note: Drought year selected based on rainfall

Water Resources	Drought Year	Rainfall	Percolation		Surface water		Evapotranspiration	
		Mm ³	Mm ³	%	Mm ³	%	Mm ³	%
Average (1966-2019)	-	36,595	7,045	19	18,818	51	10,731	29
Drought (1/5 years)	(1994-95)	29,962	5,884	20	13,252	44	10,825	36
Drought (1/10 years)	(2013-14)	27,942	4,300	15	15,445	55	8,196	29

Note: Drought year selected based on rainfall

出典：JICA 調査団

(2) 地下水の分析

調査地域の地下水は、不圧の浅層帯水層と被圧の深層帯水層に胚胎されていると考えられてきたが、本調査によってこの2つの帯水層は「第2章 2.2」で述べたように水理地質学的につながりを有していることが分かった。

浅層帯水層は北部のチャカリアから南部のコックスバザールにかけて CHT の西麓部から西方のベンガル湾に向かって開いた盆状の海岸平野に主として分布している。したがって、浅層帯水層はこの分布地で降った降水により直接涵養を受けていると考えられる。このため、調査地域に分布する帯水層の地下水位は、第2章で述べたように雨季および乾季の影響を受けている。表流水から地下水への涵養量を直接測定することはできないため、本章の「3.1.7 水循環解析、(1)表流水の分析」での検討で得られた地下への涵養量を地下水の涵養量と見なして検討する。水文解析は、マタムフリ川流域について行われている。マタムフリ川流域は地下水調査地域に隣接している。同流域および地下水調査地域はともに CHT

地域の西縁部に位置し、地質条件は類似している。地形的にもモヘシュカリ島と CHT 西縁部の間は谷状の地形となっており、地形的にも類似性が認められる。CHT の西縁とモヘシュカリ島の間に広がる海岸平野の広い範囲は塩田として利用されており、塩水を湛水させるためのシートで覆われており、表流水の地下浸透は期待できない。塩田の面積は、チャカリア、モヘシュカリ、コックスバザールの3つのウパジラで 149 km² の面積に及んでいる。調査地域全体をカバーした地下水涵養に関するデータは無いため、マタムフリ川流域のデータを流用して利用する。

マタムフリ川流域における水文解析結果は次の通りである。

- 流域面積：2,511.10 km²
- 地下浸透量：2,394 x 10⁶ m³ (30.0%)

調査地域の4つのウパジラの面積の合計は 1,387 km² であるから、塩田の面積を差引くと 1,238 km² となる。マタムフリ川流域と地下水調査地域の面積比で地下浸透量を求めると次の通りである。

$$(2,394 \times 10^6 \text{ m}^3) \times (1,238 \text{ km}^2) / (2,511 \text{ km}^2) = 1,180 \times 10^6 \text{ m}^3$$

すなわち、表流水から約 1,180 x 10⁶ m³ が地下浸透し地下水を涵養しているものと推定される。さらに、上記 1) および 2) の検討結果から、地下水の揚水量が 157 x 10⁶ m³ であるのに対し、表流水からの地下浸透量は 1,180 x 10⁶ m³ であるため、浸透量が 1,023 x 10⁶ m³ 上廻っている。このことは、地下水の揚水量が地下水涵養量の約 13% に相当し、1,023 x 10⁶ m³ が調査地域外へ流出していることを示している。

調査地域の地下水は、地下水位の分布状況から、大きく見て北から南へおよび東から西へ向かって流動していると考えられる。この流動による上流側から調査地域内への流入量および地下水涵養量を合わせた量よりも、地下水揚水量および調査地域外への流出量を合わせた量が上回る状況下にあることが明らかとなった。地下水揚水のための井戸掘削は継続して行われていること、人口も増加していることなどから、地下水揚水量はさらに増加していると想定される。既存井戸の深度は 300m 以浅であるため、深度 300m までの帯水層の地下水位は低下傾向にあり、地下水の過剰揚水状態であると考えられる。

雨季および乾季の地下水位等高線図を、第2章に図 2.2.14 および図 2.2.15 として示した。これらの図を見ると、地下水位は雨季における地下水位の方が乾季の地下水位よりも高い傾向にある。このことは、調査地域の帯水層は CHT 地域を含めて主に雨季に表流水からの涵養を受けていることを示している。

雨季の地下水流動図（図 3.1.38）を基に、地下水の流動状況について述べる。地下水位は丘陵地で高く、海岸平野で低い。海岸平野では過剰揚水の影響と推察される地下水位が海水面以下（0m 以下）の地域がコックスバザール市街地およびモヘシュカリの市街地周辺に存在する。チャカチャカリアからラムにかけての国道1号線から東側の地域からコックスバザールの南側へ至る地域は丘陵地となっており、地下水位が高い。チャカリア北部では

11.39m、チャカリア東部で 10.51m、ラム北部で 22.02m および 29.26m、ラム市街地で 23.92m、コックスバザール南部で 11.42m を示している。丘陵地はチャカリアとラムの境界付近で海岸へ向かって張り出しており、ここでも地下水位は高い。丘陵地から西側の海岸平野に入ると地下水位は概して大きく低下する。海岸平野の中には、地下水位が高い地点がスポット状に存在する。それらは、チャカリア付近の 9.76m、マタムフリ川の南側の河川付近の 6.61m、コックスバザールとラムの境界付近の 10.07m・10.08m、コックスバザール市街地から南東方向の 11.42m である。この他、モヘシュカリでは、島の中央部の丘陵地上で約 10m から 13m 弱の地下水位が分布する。

これらの地下水位の分布状況から、調査地域の地下水の流動について次の様な流れが存在することが推察される。

- 地下水は調査地域東部の丘陵地から、調査地域西部の海岸平野へ向かい流下する流れ(図の青色の矢印)。
- チャカリア付近から南へ向かって流れ、上述した丘陵地の張出し部とモヘシュカリ島の間を抜けてコックスバザールへ向かう流れ(図のオレンジ色の矢印)。
- モヘシュカリ島の丘陵地から東側の海岸平野の方向へ向かう流れ(図のオレンジ色の矢印)。
- チャカリアから西方へ向かい、モヘシュカリ島およびマタバリ島の北方に広がる海岸平野へ向かう流れ(図の赤色の矢印)。
- コックスバザール周辺の丘陵地からコックスバザール市街地周辺の海岸平野へ向かう流れ(図の赤色の矢印)。

以上が、調査地域における主な地下水の流動方向で、これに地下水揚水により影響を受けている流れが存在する。その最大のもはコックスバザール市街地で見られる-11.23mの地下水位を示す地域へ向かう流れである。この地域では、コックスバザールの市街地へ対する都市用水供給のための水源として8~10本の井戸で地下水が揚水されている。地下水はコックスバザール市街地を取り囲む周辺地域から市街地へ向かって流れていることが窺われる。コックスバザール市街地の地下水位が-11.23mと海水面以下に大きく低下していることから、海からの塩水浸入が生じやすい状況が発生している。

次に、乾季の地下水流動図(図 3.1.37)から乾季の地下水流動について検討する。雨季の地下水位等高線図と比較すると、大局的には地下水の流動方向については大きな変化はないが、次の様ないくつかの変化が見られる。

- 調査地域東部の CHT の末端部である丘陵地において地下水位が高いことは雨季と同様であるが、雨季よりも地下水位が高くなっている。チャカリア北部の 11.39m の地下水位は 12.39m へ、ラム北部の 29.26m が 29.76m へ、ラムにおいて 21.95m が 23.92m へと上昇している。この要因は明確では無いが、次の様に推定される。深層帯水層の主体をなすと推定される Tipam 層は、CHT の一部で地表に露出していることから、露出地の地表への降水や表流水からの涵養を受けている可能性がある。しかし、涵養を受けた地域から調査地域へ流動してくるためある程度の時間を要し、地下水位が上昇するのが遅れていると推定される。

- 海岸平野では、乾季には表流水からの涵養が皆無か少ないため、全般的に雨季よりも地下水位が低下している傾向がある。これに伴い、地下水位が海水面以下となっている地域が雨季と比較してスポット状に拡大している。これに伴い、雨季よりもさらに地下水位が低下している傾向がある。雨季に最も地下水位が深かったコックスバザール市街地では雨季に 11.23m であったものが 13.58m と 2m 以上低下している。地下水位が海水面以下の地域は乾季と比較すると、コックスバザール市街地から北方へ大きく広がっている。また、チャカリアの西方およびモヘシュカリ島の北東部に新たに海水面以下の地域が出現している。これらの地域では、いずれも塩水の浸入が生じている可能性が高い。

2021 年の乾季（9 月）に測定した地下水位に基づく地下水位等高線図（図 2.2.15）に地下水の流動方向および地下水位が海水面以下の地域を示した図を図 3.1.38 として示す。

2021 年の乾季の地下水位等高線を見ると、2020 年の雨季と比較して、地下水位が海水面以下の範囲が大きく拡大している。それらは、コックスバザールの市街地周辺から北方へかけた地域で最も顕著であり、更にチャカリアの西方やモヘシュカリにも海水面以下の地域が新たに出現している。これらの地域では、既に海側から塩水の浸入が生じている可能性がある。

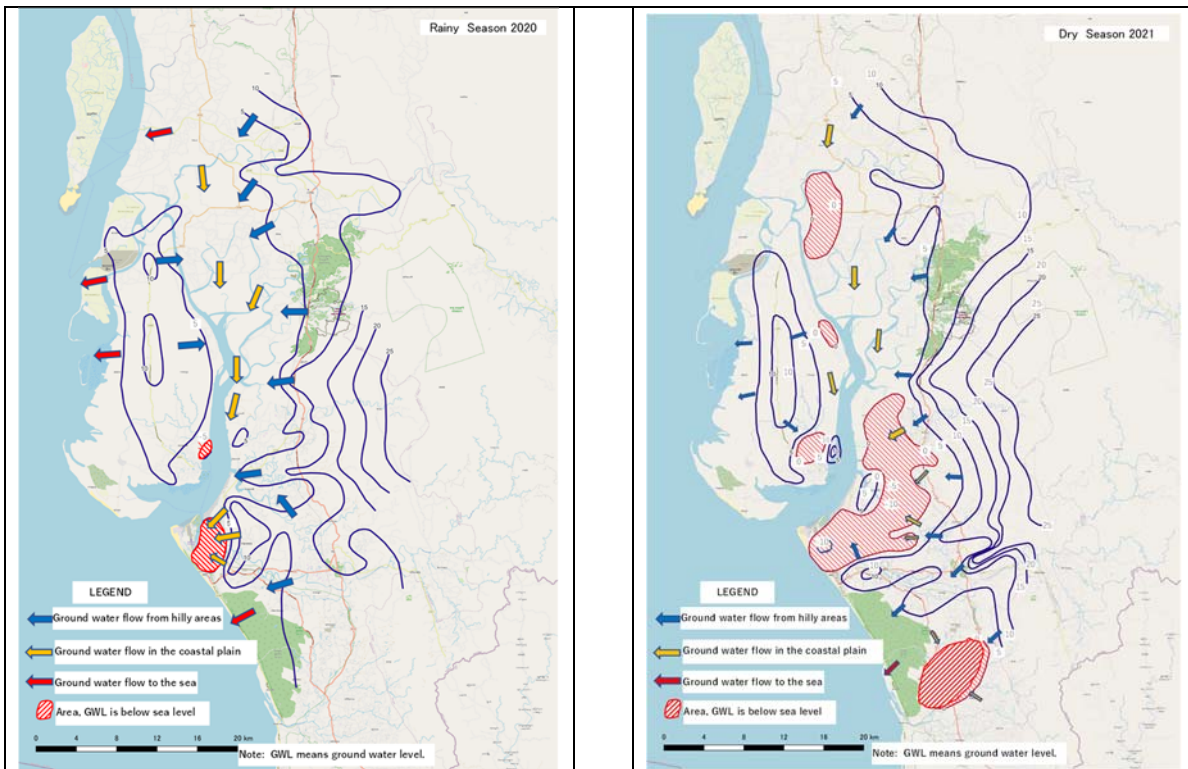


図 3.1.37 地下水の流動状況（雨季）

図 3.1.38 地下水の流動状況（乾季）

出典出：JICA 調査団（地図は Bing Map を使用した。）

3.2 水需要予測

3.2.1 生活用水・工業用水

(1) 南部チョットグラム地域における開発計画及びプロジェクト

南部チョットグラム地域では、マタバリ島、モヘシュカリ島、ソナディア島、チャカリア市を中心に、経済特区開発やエネルギー開発、港湾開発等が実施されている。特にモヘシュカリ・マタバリ地区では、短期的な開発として日本の支援で「マタバリ超々臨界圧石炭火力発電事業」が実施されており、石炭火力発電開発に伴い様々なインフラ開発が実施されている。中長期的には、モヘシュカリ経済特区開発（以下、モヘシュカリEZ）が計画されており、モヘシュカリ・マタバリ地区の南側へ開発エリアが拡大していく。一方、同エリアの東側及び南側には自然保護区に指定されている地域があることから開発地域は制限されている。

将来の工業用水需要及び生活用水需要では、上記の開発状況の影響を受けるため、将来の工業用水需要及び生活用水需要の算出に際し、考慮すべき都市開発及びプロジェクトを表3.2.1に整理した。モヘシュカリ・マタバリ地区及び周辺地域に関する都市開発を整理している計画として、LGDが作成した「Sector Development Plan of Local Government Division (LGD) for Moheshkhali-Matarbari Integrated Infrastructure Development Initiative (MIDI) Area of Cox's Bazar District (2021)」がある。この計画に基づき、モヘシュカリ・マタバリ地区及び周辺地域に関する都市開発（産業開発、住宅開発等）やインフラ計画（鉄道、道路、港湾等）の立地状況を整理した。一方、工業団地開発や経済特区開発など上記 Sector Development Plan では不足する情報については、JICA「バングラデシュ人民共和国マタバリ港開発事業準備調査（2019）」の情報をもとに、BEZA「Industrial and Economic Zones Sector Development Plan (IEZ-SDP) (2021)」等、表3.2.1中の脚注の情報を踏まえて更新した。

表 3.2.1 南部チョットグラム地域の開発計画・プロジェクト

セクター	プロジェクト名	対象地	進捗状況
港湾	カルナフリ・コンテナターミナル (KCT) 計画	チッタゴン港	情報なし
	ラルディア・マルチパーバスターミナル (LMT) 計画	チッタゴン港	チッタゴン港湾局による調達段階 ²
	パテンガ・コンテナターミナル (PCT) 計画	チッタゴン港	2022年運営開始 (海外オペレーターの入札準備中で、オペレーターが決定するまで港湾局が運営) ³
	ベイ・コンテナターミナル (BCT) 計画	チッタゴン港	2024年稼働目標 コンテナヤードのための用地取得及び造成工事はすでに完了。 ⁴

² Prime Minister's Office 「Project Profile」 URL: <http://www.pppo.gov.bd/projects-laldia-bulk-terminal.php>

³ Container News (2022年1月16日) 「Chittagong Port Authority to start operating new box terminal in April」
URL: <https://container-news.com/chittagong-port-authority-to-start-operating-new-box-terminal-in-april/>
Daily sun (2022年1月25日) 「Patenga Container Terminal to start operation in May」
URL: <https://www.daily-sun.com/printversion/details/601486/Patenga-Container-Terminal-to-start-operation-in-May>

⁴ Container News (2021年8月20日) 「Bangladesh sets target to build Bay Terminal by 2024」
URL: <https://container-news.com/bangladesh-sets-target-to-build-bay-terminal-by-2024/>

セクター	プロジェクト名	対象地	進捗状況
	シタクンダ・ターミナル計画	チッタゴン港	情報なし
	マタバリ港湾フェーズ 1	マタバリ港/モヘシュカリ・マタバリ地区	2026年完成目標 用地取得完了 ⁵
	マタバリ港湾フェーズ 2	マタバリ港/モヘシュカリ・マタバリ地区	2028年完成目標
	マタバリ港湾フェーズ 3	マタバリ港/モヘシュカリ・マタバリ地区	2035年完成目標
道路	国道一号線拡張事業（チョットグラム-コックスバザール）	チョットグラム-コックスバザール	2021年準備調査（JICA） 2024年詳細設計（ADB）
	マタバリ港アクセス道路	モヘシュカリ・マタバリ地区	2025年完成目標 ⁶ 設計完了、建設入札の準備中
	モヘシュカリ - コックスバザール Road and Bridges	コックスバザール	中長期計画（～2031年）
	Regional Highway (R170) - Patiya-Anowara-Banshkali-Toitong-Pekua-Badarkhali-チャカリア (Eidmoni) Road	南部チョットグラム地域	計画段階
	Construction of コックスバザール - Chowfaldi - Eidmony Road	南部チョットグラム地域	中長期計画（～2031年）
	Improvement of Janatabajar-Gorakghata Road (Z-1004)	ソナディア	情報なし
	Marine Drive from Mirshorai to コックスバザール through モヘシュカリ-マタバリ	南部チッタゴン沿岸部	情報なし
鉄道	チャカリア駅からマタバリ港湾及びモヘシュカリ地域	モヘシュカリ・マタバリ地区	詳細設計・FS 調査完了
	ドハザリーコックスバザール鉄道建設事業 Dohazari-コックスバザール railway development project	南部チョットグラム地域	実施中
電力・エネルギー ⁷	Matabari 2x600MW USC CFPP (Phase-1)	モヘシュカリ・マタバリ地区	2026年完成目標
	Matabari 2x600 MW USC CFPP (Phase-2)	モヘシュカリ・マタバリ地区	2031年完成目標
	Bangladesh - Singapore 700 MW USC CFPP (Phase-1)	モヘシュカリ・マタバリ地区	2025年完成目標
	Bangladesh - Singapore 700 MW USC CFPP (Phase-2)	モヘシュカリ・マタバリ地区	2030年完成目標
	CPGCBL-Mitsui 500-630 MW LNG Based CCPP	モヘシュカリ・マタバリ地区	2028年完成目標
	CPGCBL-Sumitomo 2x600-660 MW USC CFPP	モヘシュカリ・マタバリ地区	2026年完成目標
	Matabari Coal Transshipment Terminal	モヘシュカリ・マタバリ地区	情報なし
	Solar Power Project	モヘシュカリ・マタバリ地区	情報なし

⁵ Dhaka Tribuni (2020年8月6日) 「State Minister: First phase of Matarbari deep sea port by 2026」
URL: <https://archive.dhakatribune.com/bangladesh/development/2020/08/06/state-minister-first-phase-of-matarbari-deep-sea-port-by-2026>

⁶ BEZA 「Industrial and Economic Zones Sector Development Plan (IEZ-SDP)(2021)」

⁷ CPGCBL Homepage (2021年3月及び2022年6月閲覧) URL: <http://www.cpgcbl.gov.bd/site/page/4b81edcd-a942-45eb-a092-bb0d8020c0fd/>

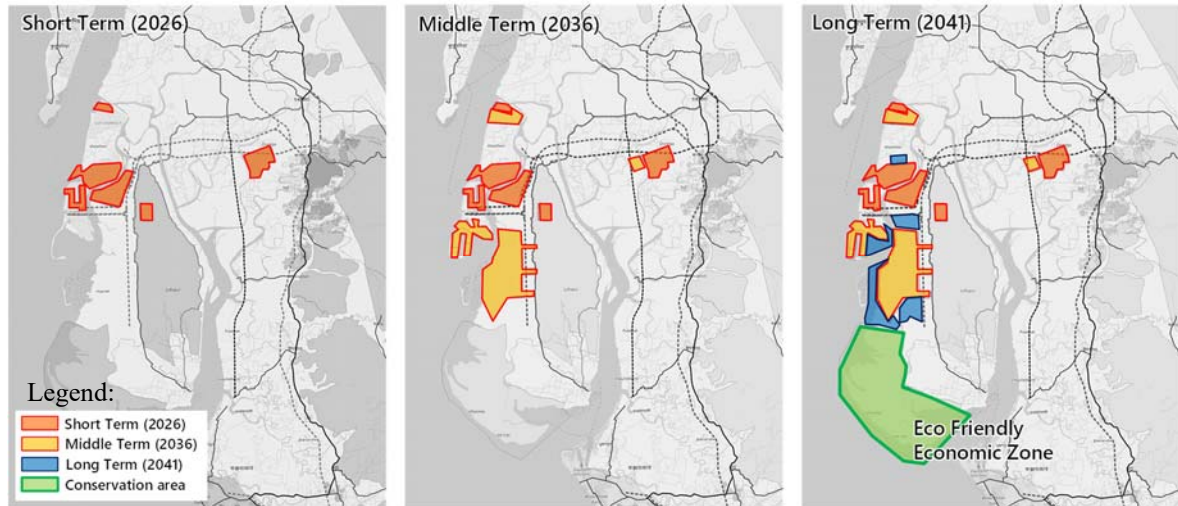
セクター	プロジェクト名	対象地	進捗状況
	BPDB 10,000MW Power Hub	モヘシュカリ・マ タバリ地区	2025年完成目標
	Transmission Line by PGCB	モヘシュカリ・マ タバリ地区	2024年完成目標
工業	一般経済特区（一般EZ）	チャカリア	敷地面積：約450ha 短期（～2026年）： 第1期：約100ha 中長期（2027年～2041年）： 第2期：約150ha 第3期：約200ha
	臨界経済特区（臨界EZ）	モヘシュカリ・マ タバリ地区	敷地面積：約708.1ha 短期（～2026年） 長期（～2041年）
	モヘシュカリEZ-1	モヘシュカリ・マ タバリ地区	2041年
	モヘシュカリEZ-2	モヘシュカリ・マ タバリ地区	2041年
	モヘシュカリEZ-3	モヘシュカリ・マ タバリ地区	2036年
	Sabrang Tourism SEZ	コックスバザール 南側	2026年
	Naf Tourism Park	コックスバザール 南側	短期：2024年 中期：2031年 現在マスタープランの策定中 ⁸
	Gohira Anowara Economic Zone	チョットグラム /Anwara	建設中 ⁹
	Mirshorai Industrial Zone	Mirshorai	短期：2026年 ¹⁰ 長期：2040年

出典：JICA 調査団

⁸ BEZA Homepage 「Government Approved EZ Sites」(2022年7月閲覧) URL: <https://www.beza.gov.bd/economic-zones-site/government-owned-sites/>

⁹ BEZA Homepage 「Government Approved EZ Sites」(2022年7月閲覧) URL: <http://www.beza.gov.bd/chinese-economic-industrial-zone/>

¹⁰ IWM (2020 「)DETAIL STUDY ON TOTAL WATER DEMAND AND WATER AVAILABILITY ASSESSMENT FOR BANGABANDHU SHEIKH MUJIB SHILPANAGAR」



出典：タウンシップ SDP より JICA 調査団作成

図 3.2.1 モヘシュカリ・マタバリ地区およびチャカリア周辺
における開発計画変遷（短期 2026・中期 2036・長期 2041）

(2) モヘシュカリ・マタバリ地区における工業用水需要

1) 港湾開発における水需要

モヘシュカリ・マタバリ地区の港湾開発における水需要については、ターミナルの想定従業員数を基に算出された生活用水需要及びコンテナ洗浄水、修理工場用水、船舶給水量等を想定して 600m³/day と算出されている。現状給水システムに関しては、深井戸 2 基が考慮され、給水圧調整のために圧力タンクシステムが提案されている。地下水槽の容量は最低でも 1 日分の給水量 600m³ を確保するものと想定されている。

2) 一般 EZ による水需要

モヘシュカリ・マタバリ地区とチャカリアを結ぶ道路沿いには、経済特区と新市街地開発の一体開発を目的とした、一般 EZ の開発計画がある。一般 EZ の開発規模は、約 450ha の敷地面積が想定されており、短期における開発区画を 100ha、中長期における開発区画は 150ha、200ha が想定されている。JICA 調査（2019）では、一般 EZ のための段階的な開発の水需要は表 3.2.2 のように算出されている。

表 3.2.2 一般 EZ の水需要

優先産業	面積 (ha)	水需要原単位 (m ³ /day/ha)	水需要	
			短期（2026年）	長期（2041年）
農業・食品加工品	20	241	1,203	4,812
物流・流通業	20	35	351	702
縫製及び織物産業	30	148	2,216	4,432
高付加価値の縫製及び織物産業	30	148	2,216	4,432
皮革・皮革製品	25	40	602	1,003

優先産業	面積 (ha)	水需要原単位 (m ³ /day/ha)	水需要	
			短期 (2026年)	長期 (2041年)
プラスチック業	20	137	683	2,732
家具	5	17	85	85
輸送機械	75	37		2,742
電気・電気製品/部品	45	36		1,608
医薬品	45	348		15,645
一般EZの用地	450		7,400	38,300

出典：JICA (2019)

3) 臨海EZによる水需要

JICA 調査 (2019) では、モヘシュカリ・マタバリ地区において臨海EZとして約708.1haの敷地面積が計画されている。臨海EZは、物流・加工業の物流保税区・輸出加工を中心に形成される Logistics Centre (約203.8ha)、石油化学産業を中心に形成される Energy Industry Zone (約504.3ha) を想定する。このことから臨海EZのための段階的な開発の水需要は表3.2.3のように算出されている。

表 3.2.3 臨海EZの水需要

優先産業	面積 (ha)	水需要原単位 (m ³ /day/ha)	水需要	
			短期 (2026年)	長期 (2041年)
輸入穀物	10	241	2,406	2,406
物流・加工業	200	35	3,514	7,028
石油化学産業	250	348	43,459	86,919
石油精製業	200	180	-	36,000
鉄鋼業	20	203	-	4,059
飼料業	10	300	-	2,997
セメント製造業	10	78	-	782
合計	700	-	49,400	140,200

出典：JICA (2019)

4) モヘシュカリEZによる水需要

モヘシュカリ・マタバリ地区では、モヘシュカリ Economic Zone (以下、モヘシュカリEZ)の短期・中長期における開発が計画されている。モヘシュカリEZの想定される開発面積は、中期的開発320ha (モヘシュカリ・マタバリ地区北側)、長期的開発630ha (モヘシュカリ・マタバリ地区中部)、654ha (モヘシュカリ・マタバリ地区南側)の開発用地が確保されている。そこでモヘシュカリEZ開発における水需要量の算出のため、バングラデシュにおける工業団地用地の水需要原単位を設定する。BEZAによると、既存のCEPZ、AEPZ、CoEPZ、KEPZの4つの経済特区の販売面積当たりの水消費量を基に、水需要原単位が検討されており、その需要量は、販売面積当たり162m³/day/haと算定されている。また、販

売面積は土地利用の60%、工業用途が不明の場合は1.15をかけてモヘシュカリEZの水需要を算出した結果を表3.2.4に示す。

表3.2.4 モヘシュカリEZの水需要

EZ	面積 (ha)	水需要原単位 (m ³ /day/ha)	水需要 (m ³ /day)	
			短期 (2026年)	長期 (2041年)
モヘシュカリEZ-1	630	162	0	70,896
モヘシュカリEZ-2	654	162	0	73,597
モヘシュカリEZ-3	320	162	0	36,011
合計	1,604	-		180,504

出典：JICA 調査団

5) モヘシュカリ・マタバリ地区における工業用水需要量

上記の条件を基にモヘシュカリ・マタバリ地区における工業用水需要を算出すると、短期・中長期的な水需要は表3.2.5のように算出される。

表3.2.5 モヘシュカリ・マタバリ地区における工業用水需要量

需要地	面積 (ha)	水需要 (m ³ /day)	
		短期 (2026年)	長期 (2041年)
マタバリ港	—	600	600
一般EZ	450	7,400	38,300
臨界EZ	700	49,400	140,200
モヘシュカリEZ	1,604	0	180,504
合計	—	57,400	359,600

出典：JICA 調査団

また、モヘシュカリ・マタバリ地区及びその周辺地域の工業用水需要として、ウパジラ毎の工業用水需要を表3.2.6に示す。

表3.2.6 ウパジラ毎の工業用水需要量

ウパジラ	水需要 (m ³ /day)	
	短期 (2026年)	長期 (2041年)
モヘシュカリ	50,000	321,304
チャカリア	7,400	38,300
合計	57,400	359,600

出典：JICA 調査団

(3) 生活用水需要

1) 人口動態 (人口、人口密度、人口増加率)

南部チョットグラム地域における人口動態は、Bangladesh Bureau of Statistics (BBS)が発行するDistrict Statistics 2011を基に1981年、1991年、2001年、2011年の人口の実績値を基に将来人口を推計する。人口増加率は、各県の1981年から2011年までの平均増加率を設

定し、将来人口を表 3.2.7 のように推計した。南部チョットグラム地域は、現時点で 1,000 万人の人口を有する地域であり、2041 年までに人口はおおよそ倍になると推計できる。

また、2015 年に発行された「Population Projection of Bangladesh Dynamics and Trends」では、複数のシナリオを基に将来人口の推計がなされている。上記統計書によると、南部チョットグラム地域では、依然として高い出生率が維持されることを指摘しており、2026 年には 1,477 万人に達するという試算がなされている。

2041 年にかけてはモヘシュカリ・マタバリ地区およびその周辺開発が進行することから、今後、開発に伴う住宅整備や都市開発が見込まれる南部チョットグラム地域は、引き続きの人口増加が見込まれる。

なお、先行して経済発展や住宅開発が進むダッカ県では 1981 年から 2011 年までの年平均増加率は 3.74%（都心部のみで見ると 4.03%で増加している）であり、南部チョットグラム地域でも同様な推移を見せると推察できる。

表 3.2.7 各県の将来人口推計

県	人口増加率	1981	1991	2001	2011	2026	2036	2041
バンドルバン	2.44	180	230	298	388	557	709	800
チョットグラム	1.88	3,985	4,450	5,950	6,938	9,174	11,052	12,131
コックスバザール	2.47	1,061	1,420	1,774	2,289	3,301	4,213	4,759
カグラチュリ	2.91	270	342	528	614	944	1,258	1,452
ランガマティ	2.49	299	400	507	598	865	1,106	1,251
合計（平均）	(2.38%)	5,795	6,842	9,057	10,827	14,841	18,338	20,393

単位：千人

2) 生活用水に係る原単位

生活用水需要に関する水需要原単位は、JICA（2013）で実施された「チッタゴン上水道改善事業準備調査」で使用されている水需要原単位を参考に、IWM との協議により 0.11m³/day、将来的にはコックスバザール市もモヘシュカリ・マタバリ地区の開発を契機として当該準備調査で検討されているチョットグラム市の将来の需要に達すると仮定し、0.12m³/day とした（参照：表 3.2.8）。同様な仮定のもと、上水の普及率についてもチョットグラム市と同様な推移である 80%として仮定した¹¹。

表 3.2.8 諸条件

項目	単位	2011	2026	2036	2041
水需要原単位	Litter/Day/Person	110	115	120	120
上水接続率	%	80	80	80	80

出典：JICA 調査団

¹¹ CWASAが2015年までに達成すべき普及率を80%として設定している（JICA（2013）「バングラデシュ国チッタゴン上水道改善事業準備調査 最終報告書」）

3) 南部チョットグラム地域における生活用水需要

表 3.2.9 南部チョットグラム地域における生活用水需要量 (m³/day)

県 (District)	2011	2026	2036	2041
バンドルバン	34,144	51,246	68,052	76,770
チョットグラム	610,544	844,027	1061,033	1164,592
コックスバザール	201,432	303,658	404,423	456,898
カグラチュリ	54,032	86,860	120,748	139,369
ランガマティ	52,624	79,563	106,172	120,065
合計	952,776	1,365,354	1,760,428	1,957,694

出典：JICA 調査団

4) モヘシュカリ・マタバリ地区および周辺地域における生活用水需要

モヘシュカリ・マタバリ地区及びその周辺地域の生活用水需要として、コックスバザール県に属するコックスバザール、モヘシュカリ、ペクア、チャカリア、クトゥブディアのウパジラの生活用水需要を表 3.2.10 に示す。

表 3.2.10 モヘシュカリ・マタバリ地区及び周辺地域の生活用水需要量 (m³/日)

ウパジラ	2011	2026	2036	2041
コックスバザール	40,392	60,891	81,097	91,619
モヘシュカリ	28,248	42,584	56,715	64,073
ペクア	15,136	22,817	30,389	34,332
チャカリア	41,712	62,881	83,747	94,613
クトゥブディア	11,000	16,582	22,085	24,951
合計	136,488	205,755	274,032	309,589

出典：JICA 調査団

(4) 生活用水需要に対する上水開発量の検討

ここで、生活用水需要に対する上水開発量は、今後の水供給計画を検討するため、河川取水による表流水需要及び地下水需要に分けて検討する。

Bangladesh Bureau of Statistics (BBS)が発行する「Population & Housing Census (2011)」では、各 Upazila に対する飲料水の供給源の割合が記載されており、飲料水の供給源は、Tap (水道)、Tube-well (井戸)、Others (その他)として定義されている。そこで、「Population & Housing Census (2011)」に示される3分類を、本調査で考慮する「表流水需要」、「地下水需要」、「その他の需要」に分けるため以下の方針で整理した。

- Tap (水道)：「表流水」及び「地下水」に分けて算出する。「表流水」を水源とした水道供給がされているのはチョットグラム市であることを踏まえ、
 - チョットグラム市：Tap (水道) は主に「表流水」として算出

- ▶ その他ウパジラ：Tap（水道）は「地下水」として算出
- Tube-well（井戸）：すべて「地下水」として算出
- Others（その他）：「Population & Housing Census（2011）」で示される Others（その他）には雨水、池、河川等が含まれており、ウパジラの立地状況を踏まえて、「その他（雨水、池等）」及び「表流水（河川取水）」に分けて算出

上記の方針をもとに、各ウパジラの表流水需要、地下水需要、その他（雨水、池等）の需要の割合を表 3.2.11 に示す。なお、各ウパジラの表流水需要量、地下水需要量、その他（雨水、池等）の需要量については、付録 3.2-1 に整理している。

表 3.2.11 ウパジラ毎の水源別の需要割合（％）

No	県	ウパジラ	流域	表流水 需要	地下水 需要	その他 (雨水、池等)
1	バンドルバン	Rowangchhari	サング川	7	62	31
2		Ruma	サング川	8	74	18
3		Thanchi	サング川	41	41	18
4		Alikadam	マタムフリ川	28	28	45
5		Lama	マタムフリ川	18	18	64
6		Naikhongchhari	バッカリ川	22	22	55
7		Bandarban Sadar	サング川	18	18	64
8	チョットグラ ム	Mirsharai	調査対象外	2	2	96
9		Sandwip	調査対象外	0	6	94
10		Anwara	サング川	4	4	93
11		Boalkhali	サング川	2	2	97
12		Chandanais	サング川	2	2	96
13		Lohagora	サング川	4	4	93
14		Patia	サング川	2	2	96
15		Satkania	サング川	3	3	94
16		Bashkhali	流域外	2	2	95
17		Sitakunda	流域外	2	2	96
18		Chattogram Metr	カルナフリ川	50	2	48
19		Fatikchhari	カルナフリ川	6	6	88
20		Hathazari	カルナフリ川	0	6	94
21		Rangunia	カルナフリ川	4	4	92
22	Rauzan	カルナフリ川	2	2	97	
23	コックスバザ ール	Kutubdia	流域外	0	4	96
24		Moheshkhali	流域外	1	9	90
25		Pekua	流域外	1	1	98
26		Teknaf	流域外	10	10	80
27		Ukhia	流域外	2	15	84
28		Chakaria	マタムフリ川	1	7	92
29		Cox's Bazar Sadar	バッカリ川	0	3	96
30		Ramu	バッカリ川	1	10	88
31	カグラチュリ	Matiranga	流域外	3	28	69
32		Ramgarh	流域外	0	35	65
33		Dighinala	カルナフリ川	17	17	66
34		Khagrachari Sadar	カルナフリ川	10	10	80
35		Laksmichhari	カルナフリ川	39	39	22
36		Mohalchhari	カルナフリ川	3	31	66
37		Manikchhari	カルナフリ川	3	29	68
38		Panchhari	カルナフリ川	3	27	71

No	県	ウパジラ	流域	表流水 需要	地下水 需要	その他 (雨水、池等)
39	ランガマティ	Baghaichhari	カルナフリ川	31	31	38
40		Barkal	カルナフリ川	45	45	11
41		Belaichhari	カルナフリ川	35	35	30
42		Juraichhari	カルナフリ川	68	0	32
43		Kaptai	カルナフリ川	39	0	62
44		Betbunia	カルナフリ川	22	22	56
45		Langadu	カルナフリ川	73	0	27
46		Nannerchar	カルナフリ川	34	34	32
47		Rangamati Sadar	カルナフリ川	25	0	75
48		Rajasthali	カルナフリ川	0	32	68

注釈) 水道はチョットグラム市を除き、地下水取水として仮定。その他についてはウパジラ地域特性を踏まえて河川取水とその他(雨水、池等)に分けて算出。

上記を基に、流域毎の表流水需要、地下水需要、その他(雨水、池等)の割合を表 3.2.12 に示す。

表 3.2.12 流域毎の水資源割合

流域	河川取水	地下水取水	その他(雨水、池)
バツカリ川流域	7.9	80.0	12.0
カルナフリ川流域	24.2	58.1	17.7
マタムフリ川流域	15.5	66.9	17.6
サング川流域	9.0	69.9	21.1
流域対象外	2.4	85.8	11.8
調査対象外	1.1	94.9	4.0
平均	14.4	69.2	16.4

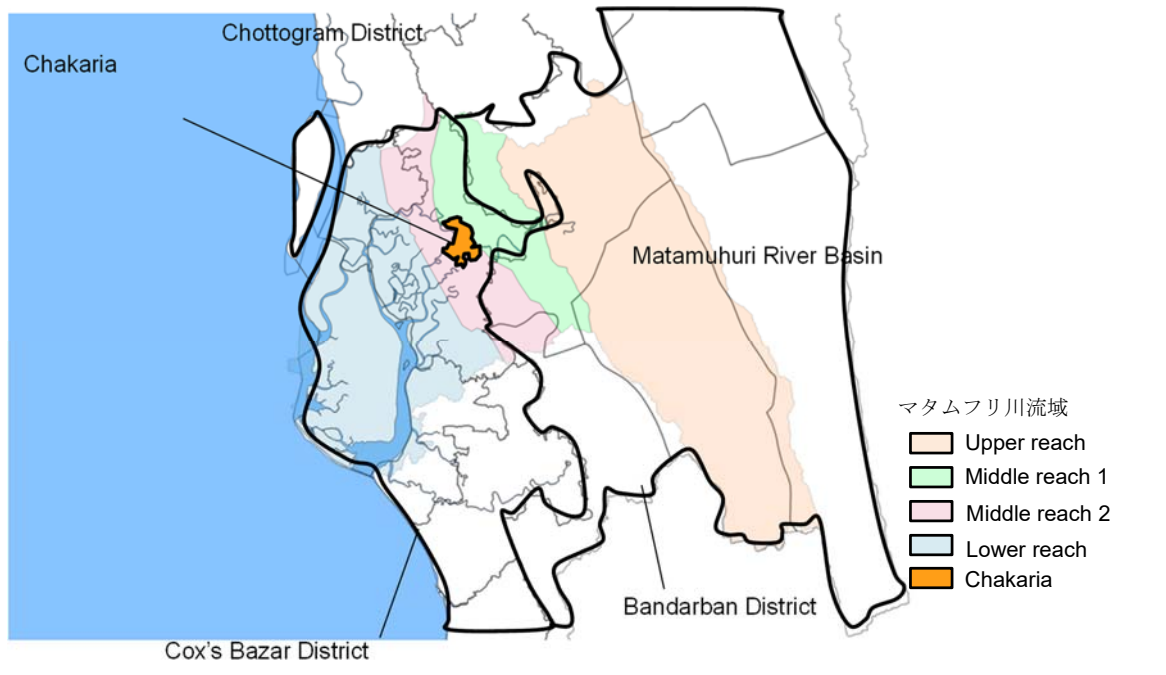
出典：JICA 調査団

(5) マタムフリ川流域に対する工業用水需要及び生活用水需要

1) マタムフリ川流域の範囲

今後開発が見込まれるモヘシュカリ・マタバリ地区及びチャカリアは、マタムフリ川流域に位置しており、工業用水需要及び生活用水需要について、マタムフリ川流域に含まれるウパジラの需要を算出する。なお、マタムフリ川流域は、河川からの取水可能地点を踏まえて、4つの上流・下流域に分割して、各需要を求めることとする。

図 3.2.2 には、マタムフリ川流域の範囲と 4 分割流域を示しており、表 3.2.13 には各分割流域に含まれるウパジラを示している。



出典：JICA 調査団

図 3.2.2 マタムフリ川流域の範囲

表 3.2.13 マタムフリ川流域に含まれるウパジラ

分割流域	県：ウパジラ
Upper Reach	バンドルバン県：Alikadam, Thanchi, Lama, Ruma, Bandarban Sadar
Middle Reach 1	バンドルバン県：Naikhongchhari, Alikadamy, Lama, Lohagora
Middle Reach 2	バンドルバン県：Naikhongchhari, Lama チョットグラム県：Lohagora, Bashkhali コックスバザール県：Pekua
Lower Reach	バンドルバン県：Naikhongchhari チョットグラム県：Bashkhali コックスバザール県：Cox's Bazar Sadar, Moheshkhali, Pekua

出典：JICA 調査団

2) マタムフリ川流域に対する生活用水需要及び工業用水需要

マタムフリ川流域に含まれるウパジラは前述したとおりであり、各ウパジラ的生活用水需要及び工業用水需要を集計した結果、マタムフリ川流域の将来的生活用水需要は、表 3.2.14 の通りとなる。

表 3.2.14 マタムフリ川流域内の水需要

マタムフリ流域	水需要 (m ³ /day)					
	2020		2026		2041	
	生活用水	工業用水	生活用水	工業用水	生活用水	工業用水
Upper Reach	10,816	0	12,543	0	21,432	0
Middle Reach 1	12,903	0	15,829	0	24,307	0
Middle Reach 2	16,472	0	20,077	3,714	30,502	19,223
Lower Reach	49,633	0	60,504	53,286	92,076	340,981

Chakaria	7,507	0	9,182	0	14,046	0
合計	97,331	0	118,135	57,000	182,363	360,200

出典：JICA 調査団

(6) 節水策（水需要調整策）

水需要量が多いことにより施設規模が大きくなり、コスト増に伴う計画実現の可能性が危惧されるようになる場合の節水策について、周辺国で事業化検討がなされている事例や技術について整理した。本事例及び技術は、バングラデシュの土地利用状況を加味し、環境省等のモデルプロジェクトに位置付けられており工業団地等を対象とした水再生プロジェクトを選定している。

表 3.2.15 水再生や節水策に関する海外事例

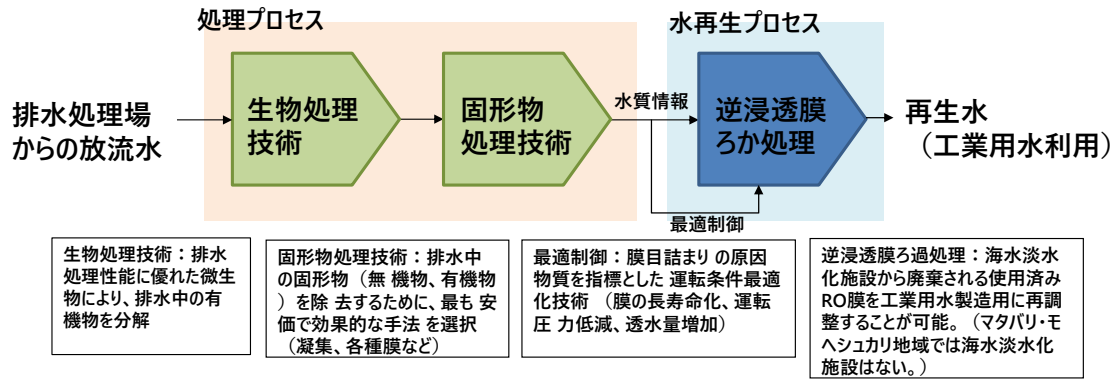
国	対象地域	実施目的	適用技術	期待される効果
インド	マハシュトラ州 ムンバイ 郊外パ タルガンガ工業 団地	工業団地内の共同排水処 理場における再生水シス テムの構築を通じた水資 源の有効利用	生物処理技術 固形物除去処理 逆浸透膜（RO 膜）ろ過処理 逆浸透膜（RO 膜）洗浄・運転 技術	水源確保（用水の取 得量削減に伴い表流 水・伏流水の抑制）
インド	ハリヤナ州	インド政府系の石油精製 プラント内の排水処理設 備の診断。排水再利用の 促進に向けた改善計画・ FS を実施	MBR（膜分離活 性汚泥法）	排水再生利用の促進 水資源の保全のため の取水量削減
シンガポ ール	シンガポール	水資源が乏しいシンガポ ールにおいて、水道事業 の効率化や節水行動を促 すことが目的。	スマートメー ター	水消費パターンの方 針や迅速な漏水検 知、節水の促進

出典：各資料より JICA 調査団作成

マハシュトラ州ムンバイ郊外パタルガンガ工業団地¹²

- マハシュトラ州の主要産業は化学、電気・電気機器、繊維産業等であり、工業団地用水需要が高まっている。今後、工業用水・生活用水の不足が懸念される。また、放流水の水質の基準未達による流域の水環境悪化が懸念されている。
- そこで、日系技術の導入により水環境の改善や水再生利用技術の構築を実施している。現地試験結果によると、水再生プロセスにより環境中に放流される排水量が 50%削減（10,000t/日⇒5,000t/日に削減）される試算がなされた。再生化プロセスで再生された水は各工場へ工業用水として利用される。

¹² 平成27年5月25日富士電機株式会社 アジア水環境改善ビジネス展開促進方策検討会 「インド国ムンバイ近郊パタルガンガ工業団地における再生水システム構築事業」

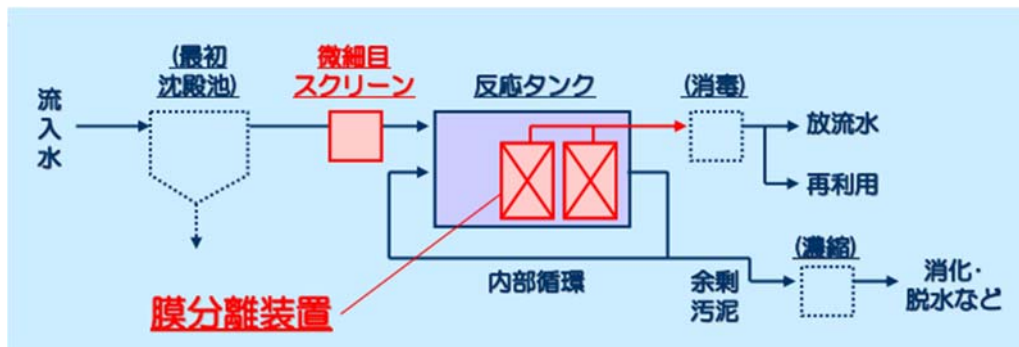


出典：富士電機株式会社資料より JICA 調査団作成

図 3.2.3 再生利用技術のイメージ

インド国ハリヤナ州パニパット石油精製プラント¹³

- インド政府系石油会社は、同社のパニパット石油精製プラント内の排水処理設備の診断及び環境保全に向けた適正処理の実現と排水再生利用の促進に向けた検討を実施している。そこで日系企業の優位性のある MBR（膜分離活性汚泥法）の適用検討を平成 23 年に実施した。
- 対象地域では、施設内排水処理施設の性能が十分に発揮されておらず、大量の原水（45,000m³/日）を連続して用水路から取水している。また、水環境汚染の発生の懸念がある。これに対して、日系技術の導入により排水再生利用による水消費量の抑制が期待される。



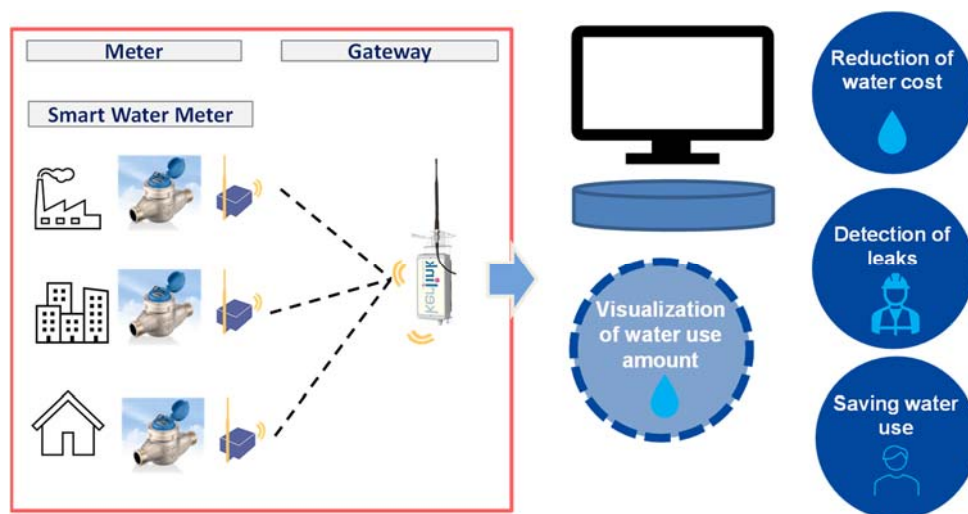
出典：日本下水道事業団

図 3.2.4 膜分離活性汚泥法のイメージ

¹³ 平成24年6月6日東洋エンジニアリング株式会社「平成23年度アジア水環境改善モデル事業 インド工業排水処理施設の総合的改善と再利用促進事業のご紹介」 https://www.env.go.jp/water/asia_business/pdf/s_tec.pdf

シンガポール国スマートメーターの導入検討¹⁴

- シンガポールでは、シンガポール公益事業庁が給水事業を実施しており、約 540 万人（国全体）の給水人口を擁する。2015 年から、シンガポール公益事業庁はスマートメーターの試験導入を開始している。
- スマートメーターの導入により、水の消費パターンに関する分析や、水の使用量がわかるモバイルアプリの消費者への配信なども同時に行われ、迅速な漏水検知や節水習慣の促進により、約 5 %の節水効果が認められた。



出典：日本下水道事業団

図 3.2.5 スマートメーターのイメージ

3.2.2 農業用水

(1) 農業用水利用の現状

バングラデシュの農業セクターは雇用の 47%を生み出しているが、GDP に占める農業の貢献度は 16%でしかない。耕作可能地は 858.6 万 ha で、国土面積（1,476 万 ha）の 58.17%を占める。「Minor Irrigation Survey Report 2017-2018（BADC）」によると、2017～18 年の灌漑期における灌漑総面積は 555.7 万 ha で耕作可能地（858.6 万 ha）の 65%を占める。灌漑面積（555.7 万 ha）のうち 73%の 408.1 万 ha は地下水により灌漑され、残りの 147.6 万 ha（27%）は表流水により灌漑されている。浅井戸及び深井戸の普及による地下水利用の増加により、コメ自給率がほぼ達成できた（2011-12 年）と言える。今までの農業政策では、水資源管理ではなく水資源開発に焦点を当てていたことが指摘されている。これにより地下水位が下がるなどの水源の枯渇、地下水質の低下といった重大な問題が起きている。農業用水の水源の比率はバングラデシュ全体で、地下水：表流水=3：1 程度である。しかし、対象 4 県に限れば、その比率は地下水：表流水=1：1.3 程度であり、地下水への依存度は

¹⁴ 令和元年9月JWRC「海外の水道事業におけるスマートメーターの利用状況」

表流水への依存度より国全体と比べて低い（出典：上記 BADC 報告書）。これは、対象地域の殆どは山岳地帯に位置し、地下に比較的岩層が多く、井戸掘りに適していないためとのことである。 Bangladesh の農業政策としては、地下水汲み上げ過剰による地盤沈下も起きてきていることから、今後は地下水による灌漑水の供給は減らしていくとのことである。

Bangladesh における灌漑事業に係っている行政機関は、 Bangladesh 水資源開発庁（BWDB: Bangladesh Water Development Board）、水資源計画機構（WARPO: Water Resources Planning Organization）、地方行政技術局（LGED: Local Government Engineering Department）、 Bangladesh 農業開発公社（BADC: Bangladesh Agricultural Development Corporation）及び農業普及局（DAE: Department of Agricultural Extension）である。それぞれの機関の役割を下記に示す。

- BWDB：水資源省（MoWR）の下部機構であり、灌漑事業に関するモニタリングをし、灌漑面積が 1,000 ha 以上の事業の実施を管轄する。扱う事業の個々の規模は大きいですが、総規模としては、 Bangladesh の灌漑面積の 6% に過ぎない。
- WARPO：水資源省（MoWR）の下部機構であり、灌漑事業に関する法・制度を管轄し、包括的に灌漑事業を統括する。
- LGED：地方行政、農村開発、協同組合省（MLGRDC）の下部機構であり、灌漑面積が 1,000 ha 以下の比較的小規模事業の実施機関である。扱う事業の規模は小さく、総規模としては、 Bangladesh の灌漑面積の 5% ほどに過ぎない。
- BADC：農業省（MoA）の下部機構であり、灌漑面積が 1,000 ha 以下の比較的小規模事業の実施機関である。扱う事業の個々の規模は小さいが、総規模としては、 Bangladesh の灌漑面積の 47% を管轄しており、 Bangladesh における灌漑事業に一番の影響力を持っているとのことである。
- DAE：農業省（MoA）の下部機構であり、農業栽培技術の普及機関である。

(2) 各流域の河川からの現況灌漑用水量の算出

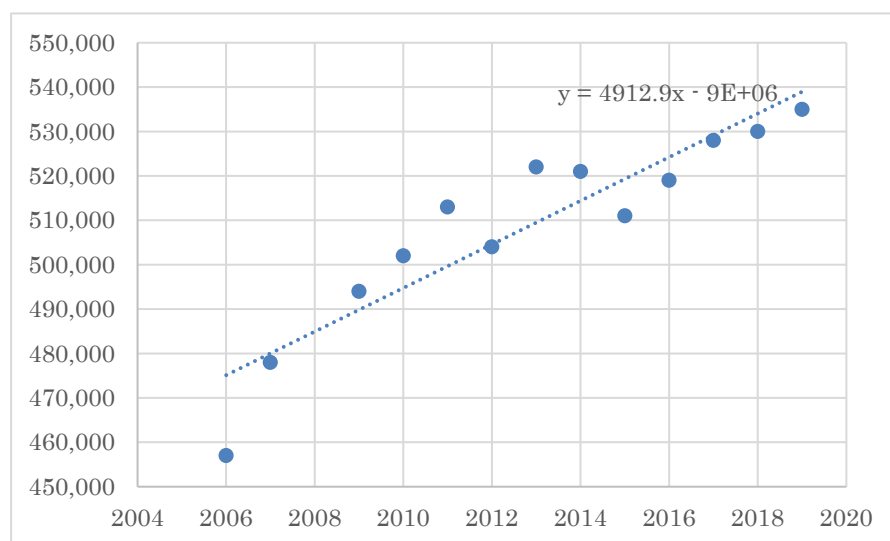
農業用水の対象 4 流域（Karunafuli, Sangu, Matamhuri and Bakkhali）の河川からの水需要予測をするにあたり、河川からの現況灌漑用水量を算出し、それをもとに各河川からの水需要を予測した。

Bangladesh では、灌漑用水量を集計した統計資料がないため、入手可能な灌漑面積より、使われている作付け体系を考慮し、ペンマン法により対象河川の流域毎、ウパジラ毎に表流水による灌漑用水量を算出した。算出に当たっては、1966 年～2019 年の 54 年間の各年について、その年における気象データ及び推定灌漑面積による現況灌漑水量を算出した。

1) 灌漑面積

灌漑面積については各関係機関よりの断片的に集計したものしか取得できず、それぞれの資料間の整合性が取れないため信頼性に欠ける。また、取得した資料では河川流域毎の面積が明確になっていない。従って測量局より入手した信頼できる地形図データにより河川の流域毎、ウパジラ毎に灌漑面積を確定した。ただし、地形図データより確定した面積は耕地面積である。バングラデシュ統計局（BBS: Bangladesh Bureau of Statistics）の耕地面積と灌漑面積のデータによると、2006年から2019年の耕地面積に対する灌漑面積の比率は平均値で59.23%となっている。この値により、灌漑面積を算出した。また、地形図データより確定した灌漑面積は地下水源のものと表流水を水源としたものが混在している。河川からの取水量を算定するため、表流水を水源とした面積を確定した。そのため、「Minor Irrigation Survey Report 2017-2018（BADC）」に記載されているウパジラ毎の地下水と表流水による灌漑面積の比率を利用し、地形図データなどより確定した灌漑面積のうち表流水によるものを算出した（付録3.2-2 添付資料1にウパジラ毎の表流水の比率を示す）。

なお、地形図データは2011年のものであり、現在のデータと差がある。その差を補正するためバングラデシュ統計局（BBS: Bangladesh Bureau of Statistics）の灌漑面積のデータを利用した。ただし、BBSのデータは2006年からのものであり、2006年から2019年のデータによる近似直線式（参照：図3.2.6）により、その伸び率を算出した。伸び率は0.96%/年となった。この伸び率により、1966年～2019年の各ウパジラの表流水灌漑面積を算出した。



出典：JICA 調査団

図 3.2.6 2006年～2019年のデータによる灌漑耕地面積の伸び率

2) 作付け体系

ウパジラ毎の作付け体系を明記した資料は見つからなかったが、チョットグラム地域の作付け体系の代表的なものを記載した資料「Diversity of Cropping Systems in Chittagon Region (BRR: 2017)」が入手できた。これによると、同地域で実施されている作付け体系は、93種類あり、その内の上位14体系で同地域の82%以上を占めている。上位14体系により同地

域を代表するものとし、上位 14 の体系による各単位用水量をペンマン法により算出した。算出した数値に各体系の占有率を乗じた値を算出し、合計してその地域を代表する単位用水量とした（付録 3.2-2 添付資料 2 にチョットグラム地域の代表的な作付け体系を示す。添付資料 2' に、例としてサング川流域の 2011 年の各作期の作付け体系による需要の差を示す。）。

3) 単位用水量の算出

単位用水量の算出に当たっては、各流域の 1966 年～2019 年の気象データによりペンマン法で ETo（基準蒸発散量）を算出した。有効雨量については、水田は日降雨量の 80 mm～5 mm に 0.8 を乗じたものを、畑では日降雨量の 5 mm 以上に 0.8 を乗じたものを使用した。灌漑効率については、BADC の提案する 38% とした。この数値は、アジア圏の各国で採用されている灌漑効率の値が 18% から 40% に推移している（IWMI 1998）ことから見ても妥当な値であると判断する。

4) 各流域の現況灌漑用水量

上記方法により、各流域の現況灌漑用水量を算出した。算出結果については、付録 3.2-2 に示す。（付録 3.2-2：添付資料 3～6 に各流域毎のウパジラ別表流水灌漑面積を示す。添付資料 7～10 に 1966 年～2019 年（54 年分）のカルナフリ、サング、マタムフリ及びバッカリ川各流域の毎月のウパジラ毎の現況表流水灌漑用水量を示す。）

なお、算出された各流域の月毎の現況灌漑用水量の 54 年間の平均値を表 3.2.16 に示す。

表 3.2.16 各流域の月別現況灌漑用水量：54 年間（1966 - 2019）の平均（m³/sec）

流域	灌漑面積 (ha)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
バッカリ流域	13,073	9.26	10.05	11.65	8.98	1.35	0.24	0.04	2.28	3.08	6.58	10.99	14.79
カルナフリ流域	65,790	51.41	57.19	68.79	48.10	6.91	1.83	1.06	40.25	17.37	45.15	65.32	92.45
マタムフリ流域	18,362	14.72	16.27	18.36	11.75	2.18	0.47	0.14	9.78	6.12	12.88	18.89	24.73
サング流域	32,901	20.22	22.35	25.22	16.14	3.00	0.64	0.20	13.43	8.41	17.69	25.94	33.96

出典：JICA 調査団

5) 各流域の現況還元水量

各流域の水収支計算に必要な現況還元水量については、上記で算出した各ウパジラ毎の粗用水量（河川からの取水量）に全降雨量を加え、それに流域降雨からの還元率 60% を乗じて算出した（付録 3.2-2 添付資料 11～14 に 1966 年～2019 年（54 年分）のカルナフリ、サング、マタムフリ及びバッカリの各流域の毎月のウパジラ毎の現況還元用水量を示す）。

(3) 農業用水の水需要予測

バングラデシュ南部地域農業開発マスタープラン 2012 年 6 月（Master Plan for Agricultural Development in the Southern Region of Bangladesh June 2012）では、将来計画において農業生産性の向上、気象耐性のある開発と表流水灌漑システムの改善などに重点を置いている。本マスタープランによると、南部地域の作付け率は 159% と国平均の 176% に比べ 17% の

遅れを取っており、全耕作可能面積の15%は休耕地または未使用となっている。この理由として、塩分土壌、塩水、土地の沈下、土地の浸水、表流水灌漑施設（用水装置）の欠如、農民の知識不足を挙げている。また、表流水灌漑を増やす機会があり、70万ヘクタールの土地が表流水灌漑を導入できるとしている。

農業用水の水需要予測をするに当たり、対象地域の灌漑開発のマスタープラン等を調べたが、将来計画については抽象的な記述しかなく、個々の計画の数字の記述はなかった。従って、上述の過去のデータ（2006年～2019年）により算出した灌漑面積の伸び率0.96%/年を踏襲して使用し、2026年および2041年の予想灌漑面積を算出した。なお、上述のように「Master Plan for Agricultural Development in the Southern Region of Bangladesh: June 2012」によると、南部チョットグラム地域では70万ヘクタールの表流水による灌漑面積の開発が可能であるとしている。また、第8次五か年計画（2021 - 25）によると、バングラデシュの現状について、農業セクターのGDPに占める割合が13.3%に下がり、36%の5歳以下の子供が栄養失調であり、14%が栄養失調による衰弱の状態にあるとしている。加えて、五か年計画の中で挑戦するものとして、LDCからの脱却を上げている。このようにバングラデシュでは経済成長が終わる状況からは程遠く、現在の農業開発の傾向はこのまま続くものと判断される。このため、過去の傾向から算出した0.96%の伸び率は過大とはならないと考えられる。この結果、2011年から2026年（短期目標）及び2011年から2041年（長期目標）までの伸び率は、それぞれ14.4%及び28.8%となった。ただし、この値をそのまま使うのではなく、下記を考慮した。

上述のように、バングラデシュでは、農業への地下水利用の増加による地下水位低下の問題が起きており、1999年の国家水政策（National Water Policy 1999）で地下水利用に対する規制の動きが示された。「Minor Irrigation Survey Report 2019-20, (BADC)」による、1961年～2019年の灌漑施設より推測した地下水灌漑量と表流水灌漑量の傾向を見ると、2010年を境に地下水灌漑量が減少の傾向にあることが読み取れる。この減少率は0.36%/年と算出された。この数値については、短期目標年までの7年間（2019年～2026年）にはさほどの影響はないので、短期目標案では無視できるとし、14.4%をそのまま採用することにする。長期目標案では、2019年からの期間が22年と長いことから、0.36%/年とわずかな伸び率ではあるが、22年後には7.92%となることから、考慮することにする。地下水開発については、現状の地下水位の低下傾向のままでは今後の開発は不可能であり、バングラデシュ政府もその削減に力を入れていることを考慮に入れ、地下水灌漑量は表流水灌漑量へ移行していくものと推察する。従って、2011年から2041年までの灌漑面積の伸び率は28.8%を採用するとともに、灌漑面積の算出に利用したウパジラ毎の表流水の比率については、地下水灌漑量の減少率を考慮して、見直した値を使うことにする。（付録3.2-2 添付資料15に地下水利用の規制による表流水灌漑量増加の考慮について詳細を示す。添付資料16に見直し後のウパジラ毎の表流水の比率を示す。添付資料17～20及び添付資料21～24に1966年～2019年（54年分）のカルナフリ、サング、マタムフリ及びバックカリ川各流域の2026年時及び2041年時のそれぞれの毎月のウパジラ毎の表流水灌漑用水量を示す。）

また、還元水量の将来予測についても同様に算出した。(付録 3.2-2 : 添付資料 25~28 及び添付資料 29~32 に 2026 年及び 2041 年の還元水量の各流域の予測を月別、ウパジラ毎に示している。)

農業用水の水需要予測の算出に使用したデータは、BADC、BBS 及び BRRI などのバングラデシュにおいて権限を付与されている公的機関発行の報告書に記載されているものであり十分に信頼できる情報源であるが、データが的確であることを検証することは重要であることから、バングラデシュにおいて灌漑計画に大きな影響力を持つ LGED、BWDB 及び BADC の担当者と算出結果の妥当性についての合意を得るための打ち合わせを行い、データ収集方法及び算出法について大筋で合意を得た。

(4) 農業用水の節水策 (水需要調整策)

水需要予測における農業用水の占める割合が多いこともあり、予測量を削減するために、節水灌漑を導入することを検討した。節水灌漑を検討するに当たり、今回灌漑用水量の算出に使用した作付け体系における、稲作栽培に必要な用水量と畑作栽培に必要な用水量をそれぞれ算出し、比較を行った。その結果、稲作栽培に必要な用水量は総用水量の 93.7% を占めており、畑作栽培に必要な用水量は少なく、畑作栽培に節水灌漑を導入してもその影響は微々たるものであることから、稲作栽培の節水灌漑技術だけを考慮することにした。

1) 稲作栽培の節水灌漑

節水稻作栽培技術として、SSC (Saturated Soil Culture)、AWD (Alternate Wetting and Drying)、SRI (The System of Rice Intensification)、Aerobic Rice などがあるが、バングラデシュにおいても普及が進められており、比較的实现性の高い AWD の技術を対象に検討する。

AWD (Alternate Wetting and Drying)

AWD は、国際稲研究所 (IRRI) が開発し普及させた間断灌漑を用いた技術であり、稲の播種後の活着期と開花期を除いて間断灌漑 (湛水時は水深 5 cm) を行うことにより、15~30% の水量を節約できる (Lampayan et al., 2005, Tabbal et al., 2002)。他方、この技術を導入することにより、収量の低減はないとのことである。また、常時湛水に比べてメタンガスの発生を抑えられるため、気候変動対策のコンテキストでも語られることが多い。

山口哲由他による論文 (Asia and African Area Studies, 15 (2), 2016) によると、ヴェトナムにおいては、2005 年から AWD の普及が進められ、その普及率は 2009 年乾季では 18% であったが、2013 年乾季には 47% まで拡大している。従って、バングラデシュにおいても今から普及を進めれば、2041 年までには 50% の普及は見込めると考えられる。

2) AWD 導入による予測量の削減量の検討

水需要予測量における稲作栽培の占める割合 : 93.7%

AWD 導入後の普及予測量 : 50% (2041 年)、15% (2026 年)

節水水量：20%

2041年の水需要予測量の節水量の割合： $0.937 \times 0.5 \times 0.2 = 0.0937 = 9.4\%$

2026年の水需要予測量の節水量の割合： $0.937 \times 0.15 \times 0.2 = 0.0281 = 2.8\%$

従って、2041年の農業灌漑水量の水需要予測は、9.4%の削減が可能となる。2026年の農業灌漑水量の水需要予測は、2.8%の削減が可能となる。

3) AWD導入に当たり考慮すべき点

上述のように、AWDの導入により、2041年の時点で、9.4%の灌漑水需要の予測量の削減が可能であると試算された。しかし、Bangladeshにおいては、普及員の不足及び農民の稲作栽培についての認識とAWDの技術的論法が相いれなかったことから、AWDの普及はあまりうまくいかなかったとの報告がある。従って、調査対象地においてAWDの普及率を2041年に50%にするためには、農民の意識醸成・能力向上教育及び普及員の十分な確保が不可欠となる。

本計画実現のために灌漑水需要予測量を削減する必要性が認められ、AWDの導入を決めるに当たっては、バ国側とその実現性について協議をし、慎重にAWDの普及率を推定し、削減率を想定することが重要である。

第4章 コンポーネント3: コンポーネント1および2で得られた結果に基づく水資源開発ポテンシャルの評価ならびに先方政府への実施体制提案

4.1 水資源開発ポテンシャル評価 (案)

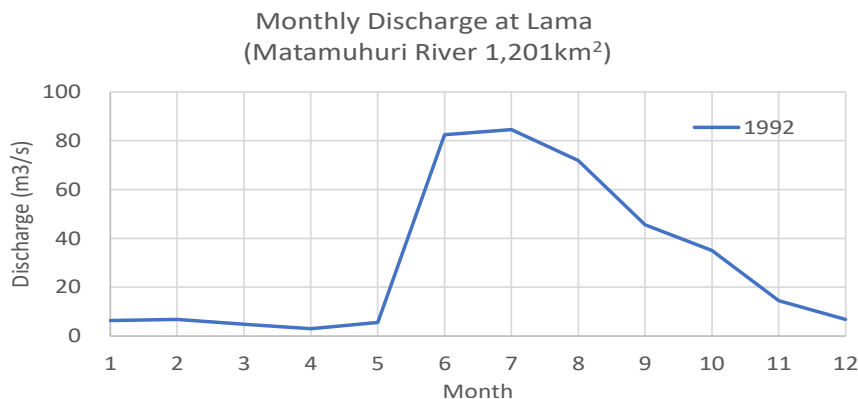
コンポーネント1, 2の検討より得られた表流水、地下水の現況の水資源賦存量の評価結果を踏まえて、水資源開発計画策定の基本方針を設定する。この基本方針に基づき、考えられる基本代替案を複数案立案し、図上調査、現地踏査、概略検討を通じてそれぞれの対策オプションによる短期、長期の水資源開発ポテンシャル評価を行う。

4.1.1 表流水賦存量 (現況) の評価

対策オプションの事前検討 (図上調査) を行うための基本条件として、コンポーネント1、2の調査結果を用いて、1) 水賦存量、2) 水需要、3) 水収支表流水ポテンシャルの予備的評価を行った。

(1) 水賦存量 (表流水)

マタムフリ川の河川流出量に基づいた1/5 渇水年は1992年である (参照: 3.1.7 水循環解析)。流量観測 Lama 地点 (流域面積 1,201km²) の1992年の流況を図4.1.1に示す。これら流量データを全体流域面積 2,511km² に面積換算してマタムフリ川全体流域の表流水賦存量とした。



出典: JICA 調査団

図 4.1.1 Lama 基準地点 1992 年月平均流量

(2) 水需要

維持流量、灌漑用水、生活用水、工業用水についての水需要を以下のとおり検討した。

(a) 需要地

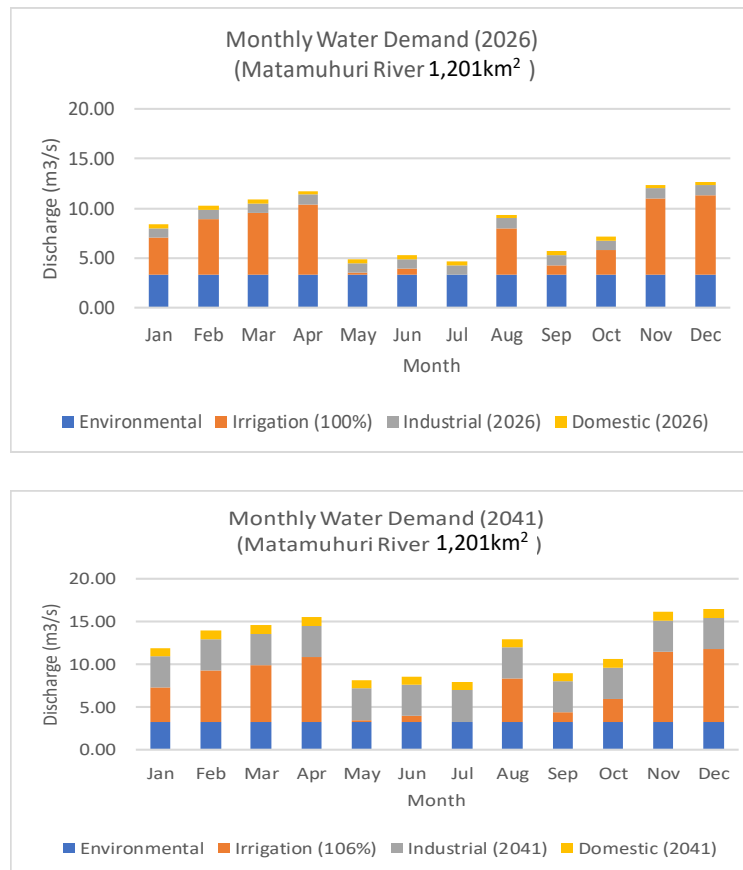
- 維持流量: 基準点 (Lama 地点)
※利水基準点は、潮位の影響を受けずに適切な流量管理が可能で、かつ主な水需要地域の upstream に位置するラーマ水位観測所地点に設定した。
- 灌漑需要: マタムフリ川流域灌漑地区

- 工業用水：モヘシュカリ・マタバリ地区内の工業団地（マタバリ港、一般EZ、臨海EZ、モヘシュカリEZ）
- 生活用水：モヘシュカリ・マタバリ地区の開発に伴い生活用水需要の増加が見込まれるマタムフリ川流域に含まれるウパジラ（コックスバザール県の4市町
 i) モヘシュカリ, ii) ペクア, iii) チャカリア, iv) クトゥブディア）

(b) 水需要量

水需要量は、マタムフリ川流域に含まれるコックスバザール県の4市町を対象に算出した。最大需要月は短期2026年、中長期2041年ともに12月、年間平均水需要量は以下のとおりである（図上調査時点）。

- 短期 9.06 m³/s
- 中長期 12.62 m³/s



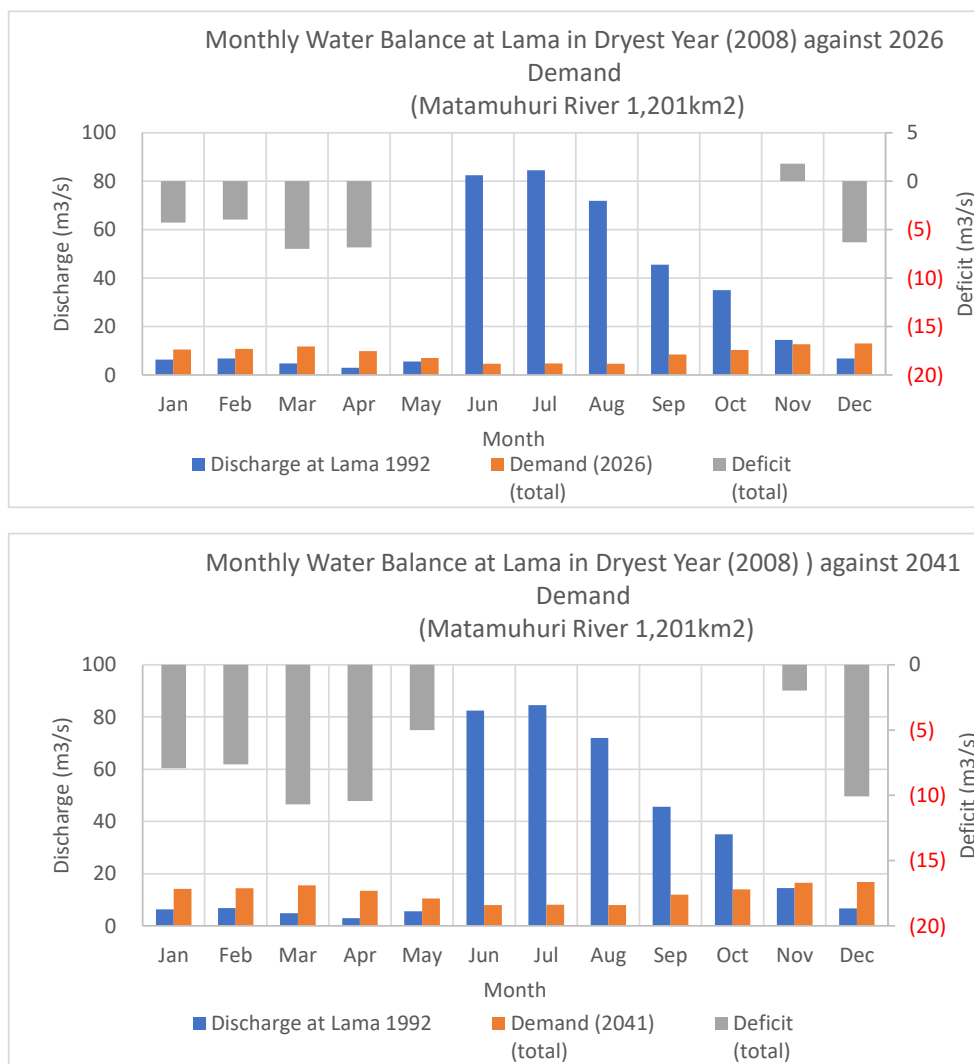
出典：JICA 調査団

図 4.1.2 2026 年および 2041 年水需要予測（事前検討概算値）

(3) 水収支

目標年 2026 年および 2041 年における表流水賦存量と水需要量の月別収支（不足量）を図 4.1.3 に示す。最乾季 3 月に次の不足量が生じている。

（不足流量）短期； -7.0 m³/s、 中長期； -10.7 m³/s



出典：JICA 調査団

図 4.1.3 2026 年および 2041 年水需要と不足水量予測（事前検討概算値）

(4) 対象流域の水収支の予備的評価

上述のように対象流域では雨季と乾季の流量変動が大きい。特に、乾季は河川流量が少なく新規開発用水（生活用水、工業用水）、河川維持流量、灌漑用水を自然河川流量で確保することは困難である。このため雨季の豊富な河川流量を貯留可能な設備へ一旦貯留し、年間を通しその貯留設備から需要地へ安定供給可能な設備が必要と考えられる。

4.1.2 地下水開発ポテンシャル評価

これまでの調査結果から、調査地域の地下水について次の様な状況であることが明らかとなった。

地下水の水位は、浅井戸、深井戸ともに緩やかな低下傾向にある。平均地下水水位降下量は表 4.1.1 の通りである。

表 4.1.1 ウパジラ毎の平均地下水位降下量

ウパジラ	平均地下水位降下量 (m/年)	
	浅井戸	深井戸
チャカリア	0.10	0.10
モヘシュカリ	0.02	0.03
コックスバザール	0.12	0.15
ラム	0.13	0.10

出典：JICA 調査団

地下水位降下量は、浅井戸ではモヘシュカリを除くと 0.10～0.13 m/年である。モヘシュカリでは 0.02 m/年と極めて小さい。深井戸についても同様の傾向で、モヘシュカリを除くと 0.10～0.15 m/年である。モヘシュカリでは 0.03 m/年と浅井戸と同様に小さい。

既存井戸の Borehole Log および地下水位の変化状況から見て、深度 300m までの浅部帯水層および深部帯水層は、両者を分ける難帯水層が所々で欠如しているため、水理地質学的に繋がっている可能性がある。

調査結果から、地下水の揚水量は $156.7 \times 10^6 \text{ m}^3$ と推算される。これに対し、表流水から地下水への涵養量は、約 $1,323.38 \times 10^6 \text{ m}^3$ と推算される。したがって、地下水の揚水量は涵養量の約 12% に相当する。

地下水への涵養量は揚水量を大きく上回っているにも拘わらず、地下水位は低下傾向にある。このことは、地下水揚水量と帯水層から調査地域外への流出を合わせた量が、地下水涵養量と帯水層の上流側からの流入量を合わせた量よりも多いことを窺わせる。

現状の地下水利用状況が続けば、調査地域の地下水は緩やかではあるが低下し続けることになる。地下水位が低下し海水面以下になれば海に面した地域で塩水浸入の可能性が出てくる。その他、地下水位の低下で井戸に設置したポンプからの揚水が不可能になる事態も想定される。ポンプの内、地下水位の低下による影響を最も受けるのは、調査地域で最も利用されている No.6 型のハンドポンプである。No. 6 型ハンドポンプのスクリーン位置は地表面下 7.5m 程度である。地下水位降下を考慮した No. 6 型ハンドポンプの稼働可能年数は、次式で求められる。

$$(\text{稼働可能年数}) = (7.5\text{m} - (\text{現在の地下水位})) / (\text{その地域の年平均地下水位降下量})$$

地下水揚水量を上回っている涵養量がありながら地下水位が低下しているため、全体として見ると、地下水揚水量は調査地域での地下水開発ポテンシャルを上回っているものと考えられる。したがって、現状のままで新規の大規模な地下水開発を行うことは不可能である。

調査地域で地下水を開発するためには、帯水層から調査地域外へ流出している地下水の流動を止めるか流動を遅らせるような方策が必要である。その代表的なものは地下ダムであるが、調査地域には地下ダムの建設に適した地形・地質条件は見られない。その理由について以下に述べる。地下ダムは、地下水の流路に遮水壁を構築して、地下水を貯留するシステムであり、原理としては通常の地上ダムと同じである。しかしながら、貯水する対象

が地下水であることから、地下ダムを計画する際に検討を要する事項とそれに対する本調査結果に基づく考察を述べる。

◇ **事項 1**：深層地下水を地下ダムの対象にすることは工事規模が過大になるため、浅層地下水を対象とすることが一般的である。

調査地域には浅部帯水層および深部帯水層が分布している。しかしながら、両者は第2章で述べたように水理地質学に繋がっていると考えられるため、浅部帯水層の地下水を遮水壁で貯留したとしても、深部帯水層を通して流出する可能性がある。もし、深部帯水層の基底まで達する遮水壁を建設使用とすれば、深度 200～300m に達する遮水壁が必要であり、非現実的な計画となる。

◇ **事項 2**：貯水域の側部や底部が難透水性の地盤で構成されていること。

貯留する対象となる地下水の帯水層をティパム層あるいはその上位の地層とすると、貯水域の側部や底部に分布する地層はボカビル層ということになる。ボカビル層は砂岩や頁岩からなる地層である。砂岩中には、水質は開発に適さないが地下水が胚胎されていることから難透水性ではない。したがって、地下ダムの基盤としては不適である。

◇ **事項 3**：地上ダムと同様に、難透水性地盤が狭窄部をなし、かつ、上流側に広い帯水層を有する地域であること。

仮に、ボカビル層が難透水層と仮定して検討を行う。最初の条件である“難透水性地盤が狭窄部をなす”に合致するのは、サング川やマタムフリ川などの河川のチョットグラム丘陵地内の流路沿いである。2番目の“上流側に広い帯水層を有する”という点に加え、“地下ダムの貯水量は、貯水域の帯水層の有効間隙率に規制されるため貯水域の容積の 10%～30%にしかない”ことを考慮する必要がある。これらの地域では地上ダムが計画されている。地下ダムを計画しても既に計画されている地上ダムの貯留量に対し多く見積もっても 30%程度の貯留量にしかないため、本調査で推算されている水需要に応えることはできない。これに対し、浅部帯水層が広く分布するのは海岸平野部で、地下水はベンガル湾方向へ流動している。海岸平野にはベンガル湾との間に難透水層の狭窄部は存在しない。

以上のことから、本調査地域には地下ダムに適する地形、地質条件は見られない。

調査地域では DPHE によりハンドポンプ設置用の井戸の建設が行われており、今後も継続されるものと推察される。しかし、1 年間に建設される井戸数は限られているため、短期的に見た場合、井戸建設が地下水位の降下を大きく促進するとは考えられない。

調査地域では、生活・工業用水を上廻る地下水が灌漑用水として利用されている。長期的に見た場合、灌漑用の水源を表流水に転換することが可能であれば、その分は生活用水・工業用水としての利用が可能となる。

4.1.3 開発計画策定方針

(1) 開発計画策定の基本方針

マタバリ・モヘシュカリ地区及び周辺地域の開発に伴う水資源の不足を解消するには、流域を跨がる水資源開発の検討が必要である。多角的視点（複数案比較、水利権、コスト、社会環境配慮、必要な許認可、開発期間）に加えて、実現可能性、水需要側の要求に見合った地点選定及び水資源開発の検討が必要となる。

本調査では、限られた水資源の合理的で衡平な利用を図る統合水資源管理の理念に沿って、バングラデシュ政府との十分な協議を行い、実現性の高い水資源開発方法の提案に向け、以下を基本方針として開発計画を策定する。

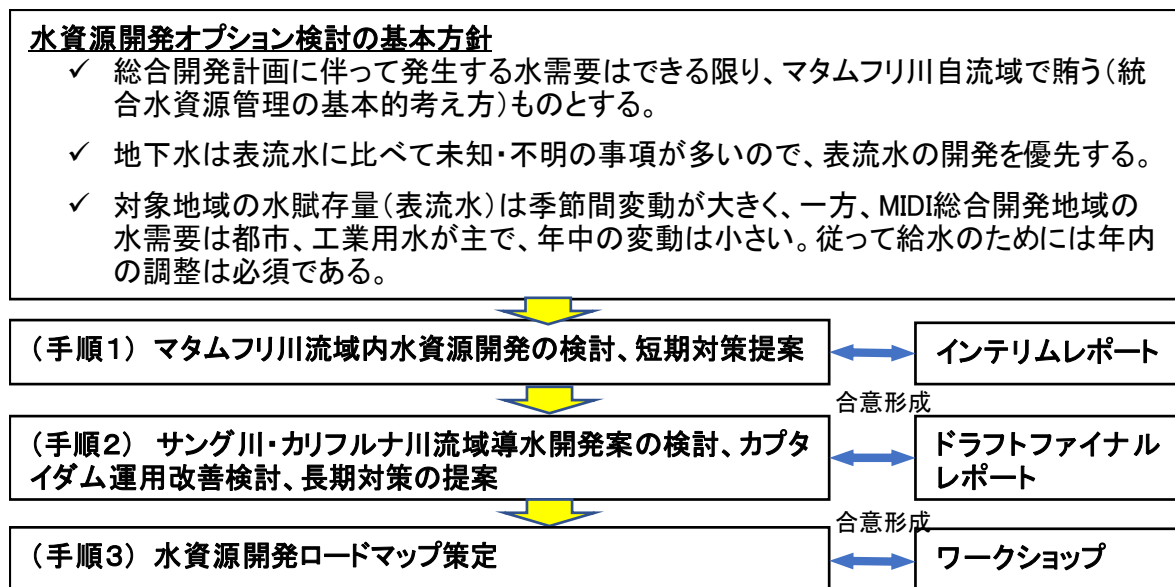
- ✓ 水資源の利用は、関連する中央政府機関、地方政府、住民の合意のもと合理的に水の利用が可能となるように計画すべきである。それによって、本水供給計画への摩擦が和らぎ実現性が保証され、早期実施を可能にする。
- ✓ 既存の水利用の中には、将来その活動を拡大する計画を持っているものもある。現在のマタバリ・モヘシュカリ地区の開発に伴う新たな水利用計画は、それら将来計画との調和のとれた計画とする。
- ✓ 統合水資源管理による流域単位での管理を指向する方針とし、総合開発計画に伴って発生する水需要はモヘシュカリ・マタバリ地区の位置するマタムフリ川流域での対処を第一に考える。
- ✓ 水需要面の調査では、中央政府、地方政府、住民のほか、環境維持のための現在および将来の需要を考慮する。
- ✓ 調査で検討する代替案評価では、多角的視点（経済性、自然環境、社会環境、技術面、持続性（SDGs）など）に立つて行う。
- ✓ 計画策定に当たり、調査協力機関などからの意見を徴収し、計画に取り込み、多流域を跨がる複数機関、組織に関する水資源開発計画に対する合意形成を図る。

(2) 開発計画策定の基本手順

開発に伴う将来の水需要予測に合わせた段階的な水資源開発の策定方針と立案手順を図4.1.4に示す。

- 基本方針として、統合水資源管理による流域単位での管理を指向する方針とし、総合開発計画に伴って発生する水需要はモヘシュカリ・マタバリ地区の位置するマタムフリ川流域での対処を第一に考える。短期案は、モヘシュカリ・マタバリ地区の位置するマタムフリ川流域内で水源を確保し、給水・利水施設の提案を行う。
- その後、サング川、カルナフリ川流域からの導水開発案を視野に入れた段階的な水資源開発方法を検討する。それに基づき、水資源開発ロードマップを策定する。

- 地下水は、表流水に比べて河川や湖沼のように目に見えて水の流れや溜まっている箇所を確認、観測できるものでなく、井戸調査や物理探査などでその流動や分布、ポテンシャルを推定したもので未知・不明の事項が多い。
- 対象地域の表流水の賦存量は季節間変動が大きく、一方、モヘシュカリ・マタバリ総合開発地域の水需要は生活・工業用水が主で、年中の変動は小さい。従って給水のためには年内で調整する施設が必要となる。



出典：JICA 調査団

図 4.1.4 水資源開発オプションの概念図と検討手順

4.1.4 水資源開発計画代替案の設定

(1) 基本代替案の設定

4.1.3 (2)で述べたように短期案は、モヘシュカリ・マタバリ地区の位置するマタムフリ川流域内で水源を確保し、給水・利水施設の提案を行う。表 4.1.2 に考えられる個別の施設対策案を示した。これらに対し、1 次スクリーニングより候補として挙げられた案に対し、図上調査、現地踏査を行い、各対策案の採用可能性について比較検討し、現実的な案を選定する。

表 4.1.2 本調査における水源・利水施設の個別対策案<流域単位の代替案候補>

対策案	表流水開発				地下水開発	海水淡水化	水需要管理
	ダム*	可動堰	ため池*	防潮堰			
概要	乾季流量を調整する代表的な方法、社会環境面の慎重な配慮が必要	現在現地で実施されている構造物	現在現地で実施されている構造物	舟運があり採用不可	現在現地で実施されている	あくまで水量が少ない場合の補完的対策	節水農業、漏水対策、中水利用など
1次スクリーニング:採用可能性	短期 ×	◎	◎	×	◎	△	◎
	長期 ○	◎	◎	×	◎	△	◎

注記；◎ 適用の可能性高い、○ 適用の可能性あり、△ 部分適用の可能性あり、× 適用の可能性低い

* 本調査では、ダムとため池の区分は、水を貯める構造物でダム高15m以上のものをダムと定義し、それより低いものをため池と定義して取り扱う。

出典：JICA 調査団

(2) 1次スクリーニング

基本代替案の1次スクリーニングによる評価結果を以下に示す。

- 可動堰、ため池案は、現在、現地で実施されている構造物であり、実現可能性が高く、主対策候補の一つとして検討する。
- ダム案は、「2016年 JICA 総合開発調査」において、マタムフリ川で乾季流量調整施設として、3地点の代替案比較の後、Khuta Khali Chara ダム（容量 61MCM）と取水堰（ゴム堰、高さ 5m、幅 40m）の建設が検討されている。しかし、同ダムは、大規模な住民移転が必要であるなど実現性に乏しく調査精度が低いと評価されている。今回の本調査では実現可能な水源候補を抽出する方針とする。なお、ダム案は、移転・用地取得等の環境アセスメントが必要かつ調査に時間を要する為、「長期案」と位置付ける。
- ダム案のうち、サング川ダム建設やカルナフリ川のカプタイダム運用改善により新たに開発した水を流域間導水する案についても、上記ダム案と同様の理由で「長期案」と位置付ける。
- 「防潮堰案」は、事前調査より対象河川は舟運に利用されており大規模な防潮堰を建設することは困難であり、対策案から除外する。
- 「海水淡水化案」については、現在、対象流域の表流水がほぼ未開発の状況であり、海水淡水化事業を実施する前にまず表流水による水資源開発を優先すべきと考えられる。一方、「海水淡水化」案はダム・貯水池や大規模ため池建設のように広大な用地取得や住民移転の問題は小さく、小規模のものは事業を早期に推進できる可能性がある。従い、「海水淡水化」案は、あくまで局所的な水需要でかつ水量が少ない場合の補助的対策と位置付ける。

- 「地下水開発案」については、現地の農業、上工水の主水源として地下水が利用されているが、「4.1.2」で述べたように対象地域では経年的な地下水位低下の傾向が見られること、また、地下水は、表流水に比べて河川や湖沼のように目に見えて水の流れや溜まっている箇所を確認、観測できるものでなく、井戸調査や物理探査などでその流動や分布、ポテンシャルを推定したもので未知・不明の事項が多いので、表流水の開発を優先し、補助的対策と位置付ける。
- 「水需要管理案」は、主要な構造物対策と並行して実施可能であり、補助的対策として位置付ける。

(3) 水資源開発オプションの検討手順

以上より、短期案として「可動堰、ため池案」、長期案として「ダム案、流域間導水案」を主要対策として考え、「海水淡水化」、「地下水開発」、「水需要管理」案は補助的対策として位置づける。

また、短期案の計画の順序として表流水・地下水の賦存量が十分あればその開発を優先する計画とし、不足した場合に需要調整を検討する手順とする。これらの短期、長期の基本対策案を想定し、図 4.1.5 に示す手順で水資源開発オプションを検討した。



出典：JICA 調査団

図 4.1.5 水資源開発オプション代替案検討手順と想定される代替案

4.1.5 マタムフリ川流域水資源開発計画代替案検討

(1) 貯留設備概略検討

前述のように、マタムフリ川は雨季と乾季の流量変動が大きい。特に、乾季は河川流量が少なく新規開発用水（生活用水、工業用水）、河川維持流量、灌漑用水を自然河川流量で確保することは困難である。このため雨季の豊富な河川流量を貯留可能な設備へ一旦貯留し、年間を通しその貯留設備から需要地へ安定供給可能な設備が必要である。新規需要を賄うためマタムフリ川流域に必要な貯留設備の規模は表 4.1.3 のとおりである。

表 4.1.3 新規開発必要量

開発目標年	必要貯水池容量 (百万m ³)	維持流量 (m ³ /s)	生活用水 (m ³ /s)	工業用水 (m ³ /s)	農業用水 (m ³ /s)	合計需要量 (m ³ /s)
短期 2026	70	3.30	0.39	0.97	4.40	9.06
長期 2041 短期へ追加量	71	—	0.63	2.67	0.26	3.56
2041(合計)	141	3.30	1.02	3.64	4.66	12.62

出典：JICA 調査団

表 4.1.3 における必要貯水池容量は、渇水年の中で乾季流量が少ない 1992 年流況を使用し、維持流量、生活用水、工業用水、農業用水の需要を満足できる貯水池容量を水収支計算により推定した。

(2) 貯留設備候補地点

貯留設備候補地点は以下を考慮し Google Earth による情報を使用して大略選定した。

- 河川水を利用するため、貯留設備取水地点は塩水遡上リスクが小さい地点を選定する。
- 貯留容量が大きく平坦部、山岳部ともに広範な用地が必要である。さらに候補地点は可能な限り人家、設備密集地を避けることが望ましい。
- 需要地までの送水ルート、取水地点からの導水路ルートは道路下埋設を想定する。

(3) マタムフリ川流域における水資源開発代替案

4.1.4 (2)の 1 次スクリーニングで選定した代替案をもとに、貯留設備規模およびマタムフリ川流域における計画施設候補地適否の観点から短期および長期需要を賄える可能性の高い施設代替案を次に示す。なお、長期需要案については、流域間導水案を検討に含めた。

短期案

- S 1：取水口＋ため池案
- S 2：取水口＋ため池＋地下水案
- S 3：取水口＋ため池＋海水淡水化案（小規模）

長期案

- M1 : 短期案+ため池拡張案
- M2 : 短期案+マタムフリ川流域ダム案
- M3 : 流域間導水案（カプタイダム送水パイプライン案他）

各短期代替案についての得失は表 4.1.4 の通りである。

表 4.1.4 短期代替案

番号	ゼロオプション	S1	S2	S3
代替案	なし	取水口+ため池	S1+地下水	S1+海水淡水化 (小規模)
特徴	代替案なし	マタムフリ川に取水口およびため池を建設し、ため池から隣接の浄水場を経て需要地に給水。	ため池の規模が小さくなるよう地下水で補填する。	ため池の規模が小さくなるよう海水淡水化で補填する。需要地近傍に建設する。
環境面	× 水資源開発による環境面への影響は生じない。一方で、水需要の増加により河川の流況等への影響が生じる可能性がある。	△ 事業による影響は想定されるものの計画地には国内法、国際条約等において保護が必要とされる貴重種の生息地は確認されていない。	△ S1と同様の影響に加え、地下水利用による流況への影響が生じる可能性がある。	△ S1と同様の影響に加え、海水淡水化により発生する排塩水による水質への影響が生じる可能性がある。
社会面	× 水資源開発による社会面への影響は生じない。一方で、水需要増加により水利用、地域経済、地域における利害の対立といった影響が生じる可能性がある。	△ ため池の計画地はコックスバザール県所有の土地であり、私有地の用地取得は想定されない。また住民移転は想定されない。一方で、計画地は塩田及びエビ養殖池として利用されており、聞き取り調査結果を踏まえると、約100世帯程度のリース契約者の生計に影響を与える。	△ ため池の規模が小さくなることから、S1と比較するとため池計画地で事業を営んでいるリース契約者に係る影響は小さくなる。一方で、地下水の利用により地域における利害の対立といった影響が生じる可能性がある。	△ ため池の規模が小さくなることから、S1と比較するとため池計画地で事業を営んでいるリース契約者に係る影響は小さくなる。一方で、海水淡水化により発生する排塩水により、漁業等の生計に影響が生じる可能性がある。

番号	ゼロオプション	S1	S2	S3
経済面	× マタバリ、モヘシュカリ地区の開発が、水資源不足により制約を受け、当地区の経済効果に支障が生じる。	○ S2,S3 案との経済性の比較評価の基準案。 取水口・ため池建設の初期投資と、構造物の維持管理費が必要となる。	◎ 地下水ポテンシャルがある場合、ため池規模を縮小できるため、S1 案に比べ、経済性は良い。	× 一例として小規模淡水化プラント 40,000m ³ /day の概算建設費 90 億円、年経費（電力、薬品、RO 膜交換、人件費）概算 10 億円。かつポンプ設備と併用運転のため年経費が嵩み、左記 2 案に比べ経済性悪い。
技術面	× 現状では水量の季節変化が大きく、乾季の水不足が想定される。	◎ マタムフリ川下流氾濫原の平坦地に広大なため池を建設する。氾濫原の補償、周辺堤防への影響最小化、軟弱地盤処理等課題はあるが、他案より実現性が高い。	△ 大深度地下水利用可否について現時点不確定。案の確実性劣る。	× RO 膜法は蒸発法に比べエネルギー消費が少なく環境負荷が小さいが海水淡水化プラント地点の海水が汚染されていると浸透膜の目詰まり等が発生し浄化のための前処理費が嵩む。

出典：JICA 調査団

表 4.1.4 から短期代替案は「取水口+ため池」案が推奨され、本案について検討を進める方針とする。

したがって、今回の水資源開発計画は「表流水利用案」を中心に検討する方針とし、「地下水利用」、「海水淡水化」については水資源開発需要量の不足量を補足する位置付けとして今後の検討に委ねる。なお、短期・長期代替案に加え以下の諸対策を適切に実施することは水資源開発効率化に重要と考えられる。

- 雨水貯留施設建設
- 無収水対策
- 節水対策

なお、長期代替案の検討については、以降の「4.3.1」に取り纏めている。

(4) 短期代替案の図上調査

地形図、地質図、土地利用図、空中写真等を参照し、マタムフリ川流域において水資源開発オプションにかかる図上調査を行った。

1) 検討条件

マタムフリ川流域で考えられる取水堰・ため池の配置を以下の条件を考慮し、図上検討を行った。

- 流域では既存の小規模ため池が点在し、地域住民の生活用水として利用されている。
- マタムフリ川流域で考えられる取水堰とため池は、需要地（チャカリア、マ

タバリ、モヘシュカリなど)の位置を考慮し、取水堰は国道1号線のマタムフリ川橋付近、ため池は取水堰とマタバリの中間地点付近を想定する。

- ため池建設地点は、マタムフリ川下流の汽水域に位置し、フィッシュポンド、塩田が広がっている。また、チャカリアーマタバリ間の既存道路や新規道路、新規鉄道、並びに開発計画があり、これらの配置にも配慮する。

2) ため池案施設概略検討

マタムフリ川流域河口上流部に広がる氾濫原に「ため池」を建設し、乾季に不足が想定される水需要量を需要地へ送水する案である。「ため池」に河川水を貯留する(参照:図4.1.6)。

(a) ため池計画規模

ため池建設候補地は、需要地の近傍が望ましく塩水遡上の恐れが無くかつ広範な平坦地が必要であることから、マタムフリ川河口部氾濫原とした。ため池の原水は主として雨季の洪水流である。規模は以下のとおりである。

- 計画有効容量¹; 短期70MCM、長期141MCM(71MCM増設)。本検討では、次の条件で予備的な水収支計算を行い、図上検討に用いる不足量(必要貯水容量)を算定した。①表流水賦存量: 当時渇水基準年として1992年を5年確率規模の渇水年と評価し、月別の表流水賦存量を概算。②上水需要: コックスバザール県の4市町(i)モヘシュカリ、ii)ペクア、iii)チャカリア、iv)クトゥブディアの上水需要を基に概算。③前回調査の数値(一般EZ、臨海EZ)に加えて、前回考慮されていなかったモヘシュカリ工業団地の需要を加味して概算。④農業用水需要は、当時収集・分析済の2008年灌漑用水データをもとに月別の需要量を概算。
- 有効水深; 高潮被害の最小化の観点からため池天端EL.10m以上、湛水面上の余裕高さ最小値3m、ため池敷高EL.2mを仮定し常時満水位W.L.7mとした。従い、有効水深5m。
- 湛水面積; 短期ため池14.0km²、長期ため池28.2km²(拡張14.2km²)
- ため池高さ8mと低いため軟弱地盤にも適応する。

(b) 導水施設配置計画

施設はマタムフリ川ポンプ式取水口→導水路→ため池→浄水場→送水ポンプ場→配水設備の構成である。

- マタムフリ川下流は塩水遡上域に位置するがマタムフリ川橋下流には農業用水取水のため起伏堰が設置され、塩水遡上が防止されている。従い、起伏堰上流を取水地点とする。

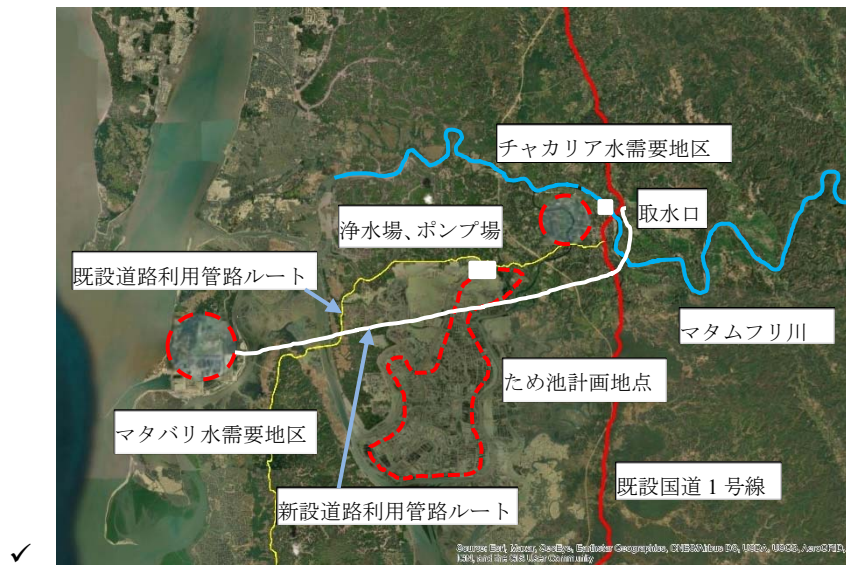
¹ 図上検討では、ため池案は、上水工業用水開発、農業用水開発、および維持流量確保すべてを賄う容量を確保することを想定し概略の検討を行ったものである。

- 取水地点にポンプ場を設置、河川水をため池に圧送する。
- ため池貯留水は、ポンプ設備で生活用水、工業用水を浄水場へ圧送する。

(c) ため池施設配置計画²

- ため池設置地盤高は+1.0~3.0mの平坦地であり、堰堤で囲む「ため池」構造とする。
- 堰堤は被災リスクの小さいゾーン型土堰堤を想定し、池側法面は護岸被覆
- する。
- 土堰堤上流側をブランケットで被覆し浸透流を対策する。
- ため池に流入する雨水処理のため洪水吐を設置する。洪水は自然調節方式で河川へ放流する。
- 灌漑用水、河川維持流量、貯水位低下用放流水を河川に放流するため放流設備を設ける。
- 調整池内の水質確保、排泥対策が必要となる。
- ため池構造は、氾濫原が軟弱地盤と想定されるため可能な限り盛土高の低い土堰堤が望ましい。このため、池内部の軟弱地盤を掘削し貯水容量を確保することによって盛土高を低くできる「堀込式」ため池案、および貯水容量確保のために貯水池内掘削を伴わない「地上式」ため池案の2案を検討した。その結果「地上式」ため池案は「堀込式」に比べ以下の特徴があり、ため池は「地上式」とした。
 - ✓ 建設コストが「堀込式」に比べ約1/2と経済的である。
 - ✓ ため池天端がEL.10.2のため、堀込式ため池天端EL.6.7に比べ高潮被害リスクが小さい。
 - ✓ 放流設備は「堀込式」に必要なポンプ設備が不要であり、ゲート付き暗渠設備で可能である。従い、ポンプ運転維持管理費用を節約できる。

² 付録4.1-1参照。なお、ため池諸元は農林水産省 土地改良事業設計指針「ため池整備指針」（2015年2月26日）によった。



出典：JICA 調査団

図 4.1.6 たため池案図上検討

4.1.6 新規利水対策施設候補地の現地踏査

上述する図上調査の中で考案された「水資源開発計画オプション（短期・長期案）」に取り入れられている新規利水対策施設案（堰、ダム、導水路、調整池、貯水池など）の建設候補地点などについて、土地利用その他の現状を確認するべく、JICA バングラデシュ事務所ならびにバングラデシュ側関係機関（含：コックスバザール・チョットグラム・バンドルバン県副コミッショナーおよび警察事務所、BWDB コックスバザール・チョットグラム・バンドルバン事務所、現地警察）からの多大なるご支援・助言をいただきながら、表 4.1.5 に示す 6 地点およびその周辺の現地踏査を 2021 年 10 月 14 日～19 日に実施した。

今後の調査や計画策定に向けてこの現地踏査から得られた主な現地状況等を表 4.1.5 に整理している。

表 4.1.5 現地踏査（2021 年 10 月 14～19 日）による主な現地状況等

踏査地点*	主な現地状況等
地点 1：ドハザリ （サング川取水ポンプ場候補地点；写真 4.1.1）	<ul style="list-style-type: none"> サング川ポンプ取水用の堰建設案は、利水対策オプション検討案として採用できる。 川の流れは過剰な土砂混入で茶色に濁っている。このため、堰運用段階におけるポンプなどの故障回避に向けた適切な対策が重要になる。

踏査地点*	主な現地状況等
	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Railway Bridge Under Construction</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Dohazari Bridge (Route-N1)</p>  </div> </div> <p style="text-align: center;">Sangu River</p> <p style="text-align: center;">写真-4.1.1 ドハザリ（サング川取水ポンプ場候補地点）</p>
<p>地点2：ルマ（サング川支川ダム地点付近）</p>	<ul style="list-style-type: none"> • サング川支川ダム地点は、目視による技術的な観点から利水対策オプション検討案として採用できるように見える。 • ダム地点へのアクセスは、現状では、乾季にサング川左岸に位置するチンブク道路を使用することが望ましい。また、ルマからの小型ボートによるアクセスも可能である(写真4.1.2)。
	 <p style="text-align: center;">写真 4.1.2 サング川波止場（ルマ付近）</p>
<p>地点3：チャカリア（マタムフリ取水ポンプ場；写真4.1.4）</p>	<ul style="list-style-type: none"> • マタムフリ川ポンプ取水用の堰建設案は、利水対策オプション検討案として採用できる。 • 地域住民からの情報として当該地点の舟運は小型ボートが利用されその通過は年間を通して2～3回/日程度であることから本堰はこの舟運への深刻な影響もなく運用できると考えられる(写真4.1.3)。

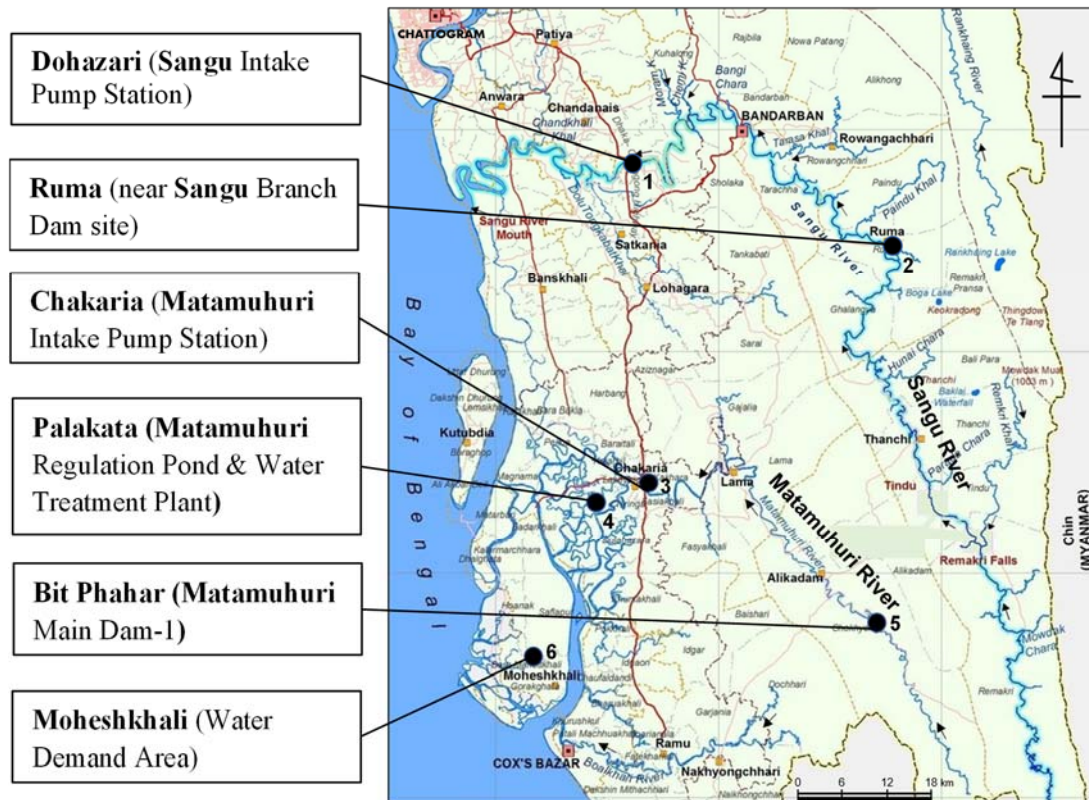
踏査地点*	主な現地状況等
	 <p data-bbox="512 667 1125 698">写真 4.1.3 小型ボートによる舟運 (マタムフリ川)</p> <p data-bbox="320 734 678 766">New Bridge Under Construction</p>  <p data-bbox="443 1142 1193 1173">写真 4.1.4 チャカリア (マタムフリ川取水ポンプ場候補地点)</p>
<p data-bbox="240 1240 459 1366">地点 4 : パラカタ (マタムフリ調整池)</p>	<ul data-bbox="512 1196 1393 1415" style="list-style-type: none"> 「マタムフリ調整池」建設候補区域の大半は、現在塩田、養魚池として利用されている(写真4.1.5)。 マタムフリ川取水ポンプ場から本調整池およびモヘシュカリ水需要地区までのパイプラインは、現在建設中の「マタバリ深海港道路」沿いに敷設する線形計画も実際的な案として検討が望ましい。
	 <p data-bbox="608 1839 1029 1870">写真 4.1.5 養魚池 (パラカタ地区)</p>
<p data-bbox="240 1895 486 2020">地点 4 : パラカタ (マタムフリ川浄水場)</p>	<ul data-bbox="512 1895 1393 2020" style="list-style-type: none"> マタムフリ浄水場からモヘシュカリ水需要地区までの既存道路は曲がりくねる区間が多くところどころに家屋も密集していることからこの区間のパイプライン敷設はショートカット線形の適用も必要であろう。

踏査地点*	主な現地状況等
地点5：ビット・パハール （マタムフリ川本川ダム-1）	<ul style="list-style-type: none"> マタムフリ川本川ダム-1 地点および周辺では、地域道路の複数斜面で露頭が見られる(写真4.1.6)。 ジープによるダム地点へのアクセスは可能であり、またモンスーン期およびその前後の時期には小型ボートでもアクセス可能である。
 <p>写真 4.1.6 山岳道路斜面の露頭（ビット・パハール）</p>	
地点6：モヘシュカリ （水需要地区）	<ul style="list-style-type: none"> モヘシュカリ島には複数のレンガ工場が現在稼働しており、レンガ材料はこの島内で得られている。このため、マタムフリ調整池の全底面に敷きつめる「ブランケット」の建設土質材料は同島内で調達が可能のようである。

(注) 1) * 参照：図 4.1.7

2) [] 施設候補位置、 → 対象位置の表示、白矢印：流向

出典：JICA 調査団



(注) 地点番号1～6：表4.1.5の「地点番号」に対応
出典: JICA 調査団

図 4.1.7 現地踏査地点 (2021年10月14～19日)

4.1.7 短期水資源開発計画の代替案策定

(1) 短期代替案の策定

短期代替案は図上検討の結果および現地踏査の結果から、パラカタ近傍の平坦地形を活用した広大なため池に洪水流を一時貯留後、浄水場を経て需要地に用水を供給する案が推奨される。一方、水需要を賄うためには広範囲のため池用地が必要である。現在ため池想定地点の大半が塩田、養魚場に利用されているが広大な用地取得に伴った補償費用、移転先における補償等、実施に向けた各種施策が今後必要である。

1) ため池計画規模

ため池からの補給対象は現在のところ生活用水、工業用水、農業用水、河川維持用水が想定される。各補給対象の組合せについて現状の地下水利用を表流水に転化し、ため池に補給対象用水を貯留した場合の基本水理量は表4.1.6のとおりである。

表 4.1.6 短期代替案補給対象基本水理量

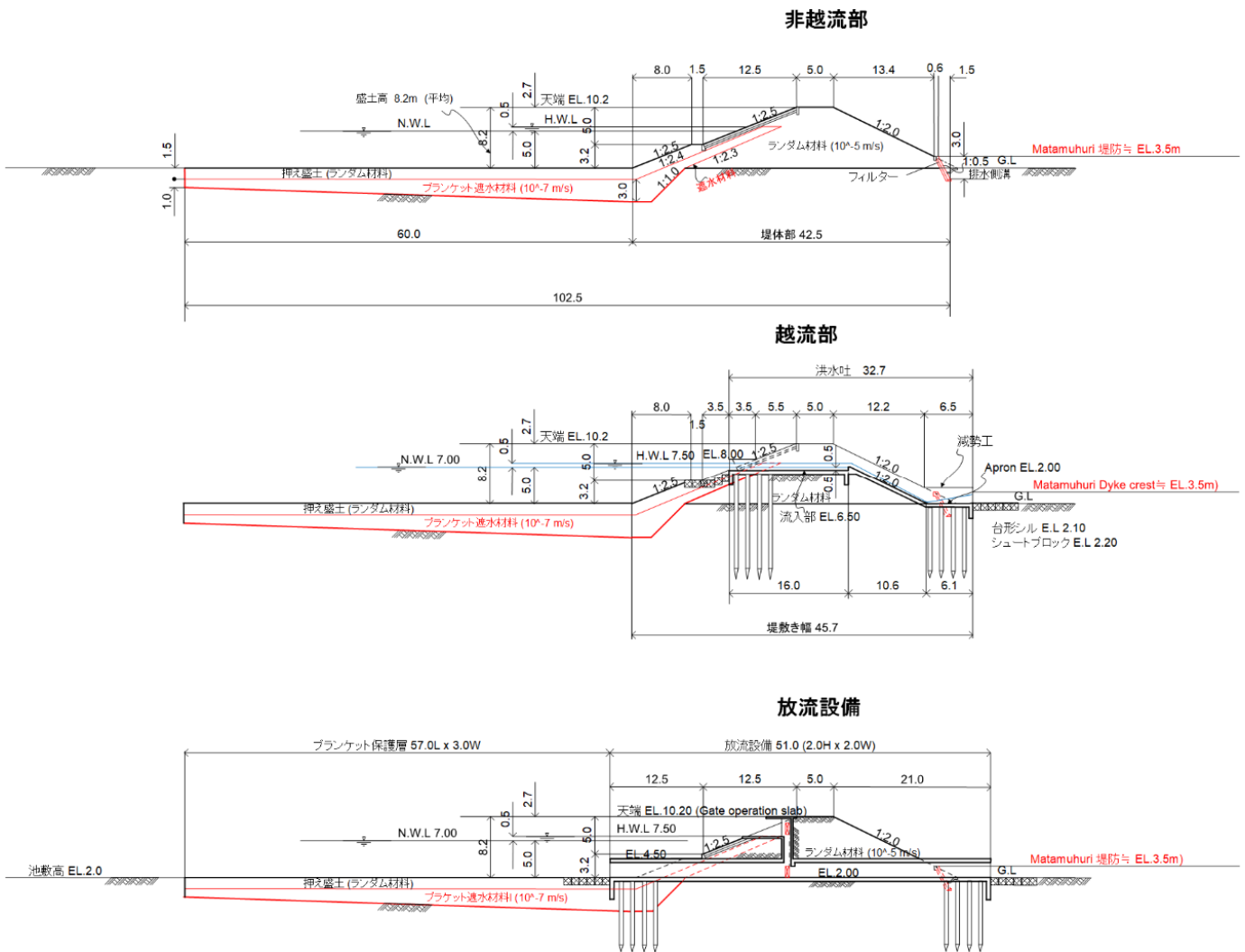
補給対象	生活用水、工業用水	生活用水、工業用水、河川維持流量	生活用水、工業用水、農業用水、河川維持流量
補給水量(m ³ /s)	生活用水 1.04、工業用水 0.66、農業用水 3.09、河川維持流量 7.07 (ため池地点)		
ため池容量(百万 m ³)	16	36	95
河川取水量(m ³ /s)	4.7		10.0
浄水場処理量	1.7m ³ /s=150,000m ³ /day		
マタバリ需要地送水量	1.32m ³ /s		
チャカリア需要地送水量	0.38m ³ /s		
河川維持流量	0	7.89m ³ /s	11.97m ³ /s

出典：JICA 調査団

現在、モヘシュカリ・マタバリ地区の開発では、3.2.1 (1)で示されるように港湾施設や工業団地、住宅開発等が計画・整備されつつある。この地区へ用水供給可能な上記各案の中で、補給対象を生活用水、工業用水に限定した場合の施設規模が最も小さい。施設供用開始2026年（短期計画目標年次）を勘案すれば最小限の需要が満足できる本案が推奨される。なお、推奨案ではため池からの維持流量補給は行わないが、取水地点において下流河川区間の維持流量を上回る河川水のみをポンプ取水することで現況流況を悪化させない運用とすることを想定している。この中で、ため池施設基本方針は次のとおりである。

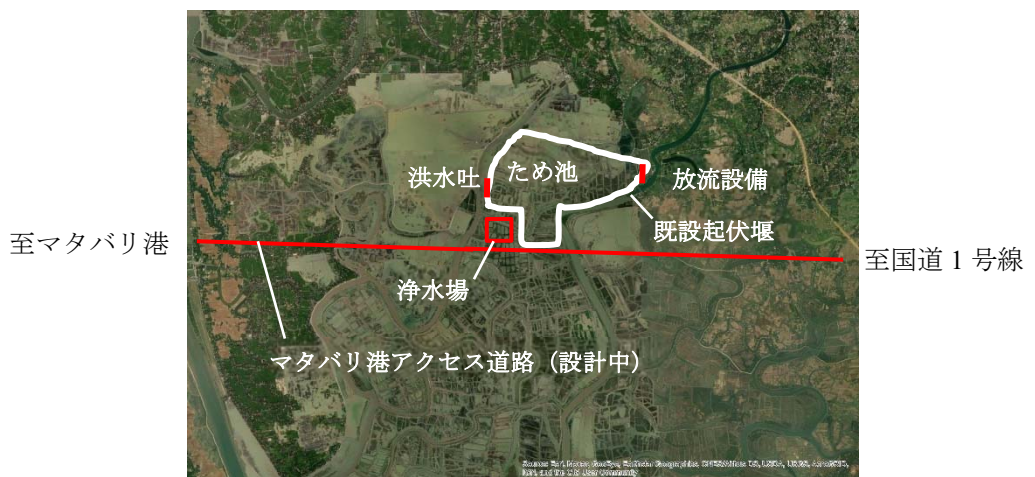
- ため池基礎地盤は今後調査が必要である。本調査ではマタバリ超々臨界圧火力発電所地点地質調査資料からため池地点の地質を想定した。
- 上記資料によるとため池の基礎地盤は軟弱地盤が想定される。このため、ため池有効水深は各案とも5mとし、ため池高さを高くしないことが軟弱地盤上の構造物として重要である。このため、補給対象を増加させる場合のため池は、その用地範囲を大きくし湛水面積を広くする方法でため池容量を確保することになる。付録 4.1-1 に軟弱地盤対策例を示した。
- ため池には降雨を放流できる洪水吐設備、ため池から補給対象流量を放流できる放流設備、ため池点検時貯水を空にできる放流設備が必要である。

ため池施設の検討図を図 4.1.8、図 4.1.9 に示す（付録 4.1-1 参照）。

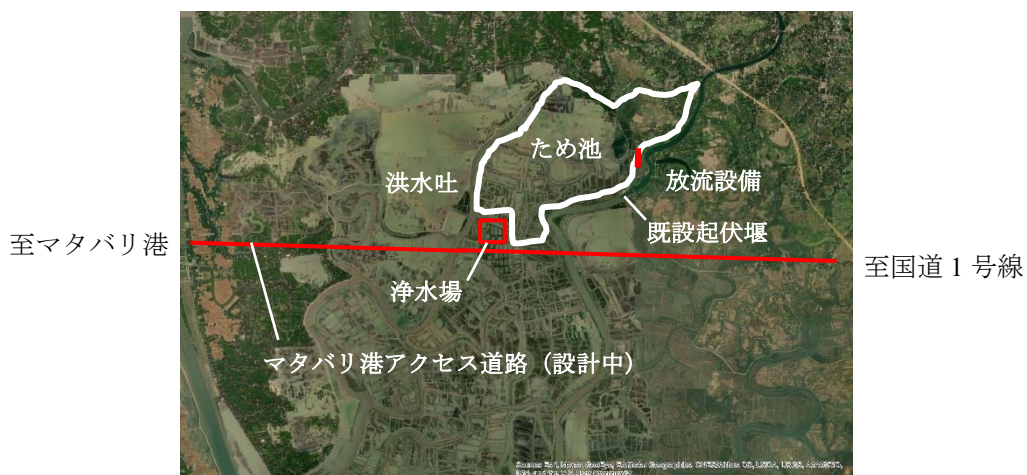


出典 JICA 調査団

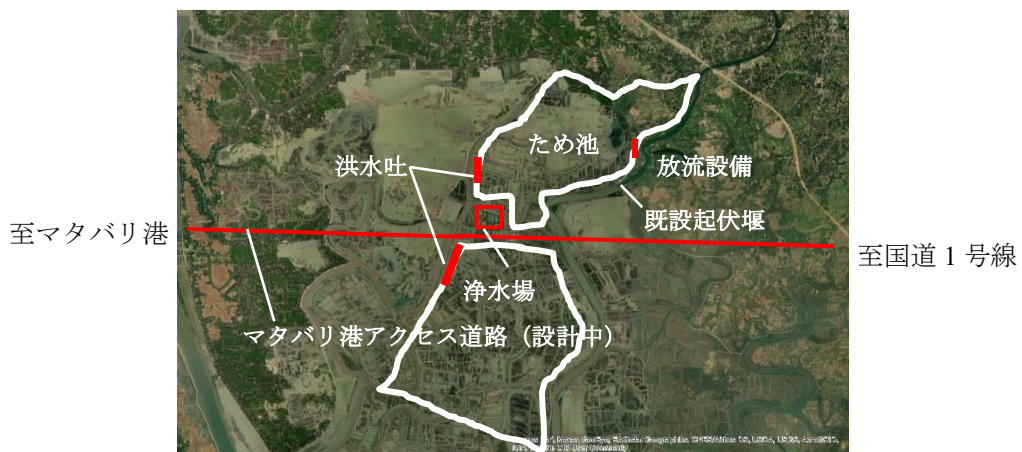
図 4.1.8 短期代替案 ため池施設概略図 (参考図)



生活用水、工業用水優先ため池 湛水面積 320ha



生活用水、工業用水、河川維持流量優先ため池 湛水面積 720ha



生活用水、工業用水、農業用水、河川維持流量優先ため池 湛水面積 1,900ha

図 4.1.9 短期代替案各補給対象ため池配置

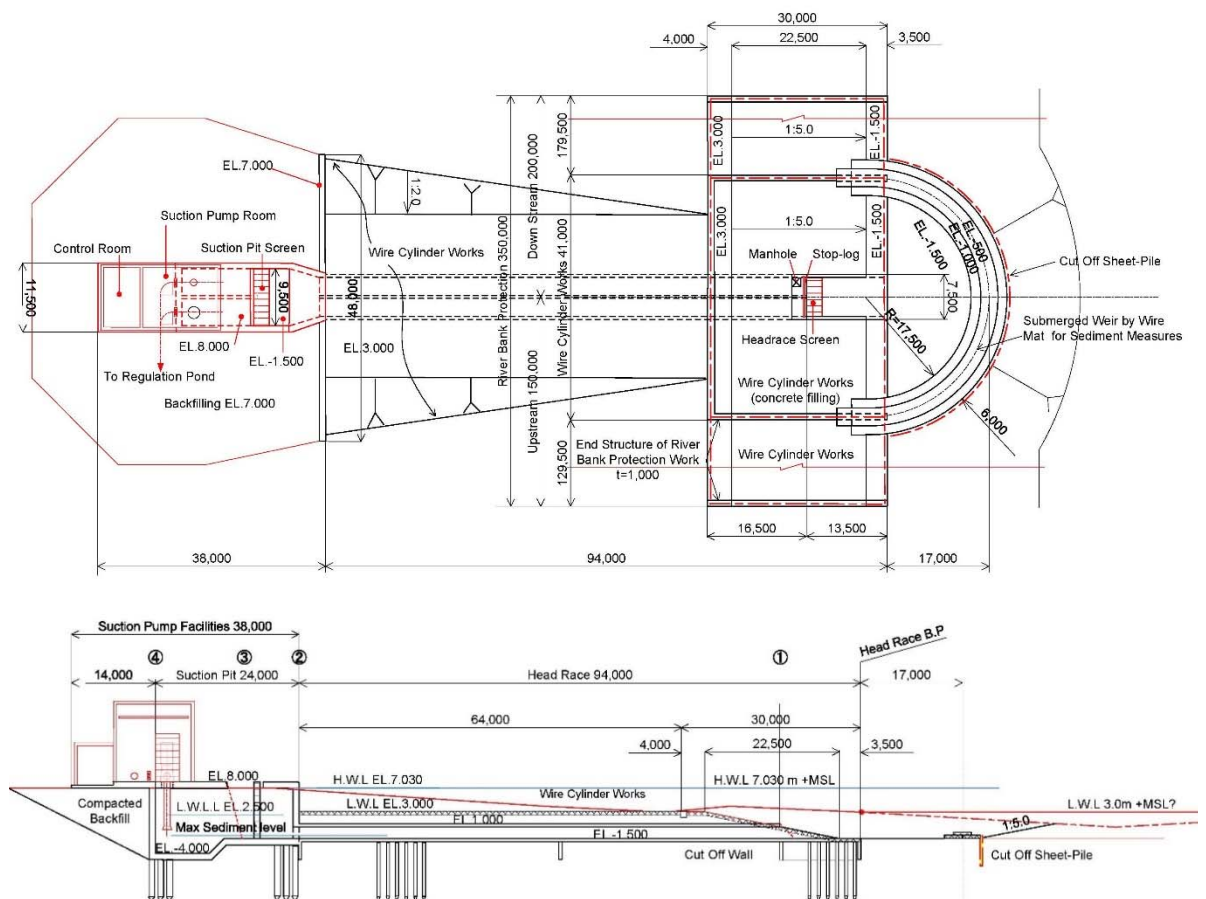
2) 導水施設配置計画

施設はマタムフリ川ポンプ式取水口→導水路→ため池→浄水場→送水ポンプ場→配水設備の順の構成である。

(a) 取水地点

マタムフリ川下流の塩水遡上区域を避けた位置とした。現地踏査によりマタムフリ川橋付近では水運による河川利用頻度が低いため、堰施設が河川を横断してもその影響は小さいことが想定された。従って、**1.** 取水地点に堰を建設し塩水遡上を防止するとともに、堰上流で取水する。または、**2.** 河川水筋を護岸工で固定して取水する案が考えられた。一方、取水地点下流は灌漑を目的とするゴム起伏堰が現在運用されていることから、堰を設置しない取水口としても塩水取水の危険性は低いことが想定された。このため、取水地点は堰を設置しない護岸方式により河道を固定する取水方式とした（参照：図 4.1.10）。

一方、取水地点は既設道路を開削し管路ルートとする場合、または新設道路を管路ルートに利用する場合によって位置が異なる。前者はマタムフリ川橋下流であり、後者はマタムフリ川橋上流約 3.6km 地点の新設道路（建設中）上流である。これら取水地点については河道特性を考慮し、今後取水位置、護岸工の範囲、種類についての詳細検討が重要になる。



出典 JICA 調査団

図 4.1.10 短期代替案 取水口案 3m³/s (参考図)

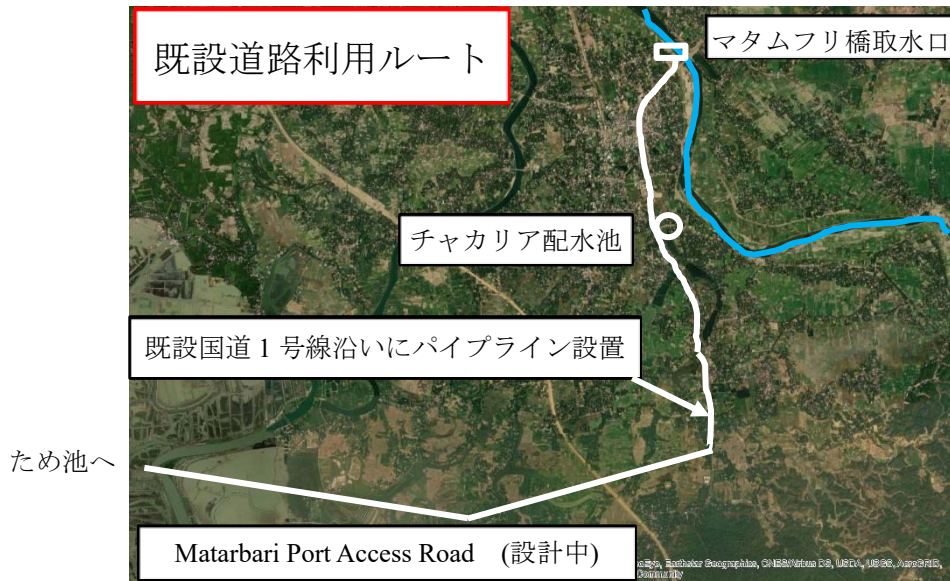
(b) 導水路、送水路ルート

圧力管路、維持管理、用地取得、管固定方法の観点から道路下の埋設が一般的である。従い、計画地点近傍の既設国道1号線、もしくは新設 Chattogram-Cox's Bazar Highway(計画中)および Matarbari Port Access Road(設計中)の利用が想定される。なお、新設道路沿いを管路として利用の場合、取水口位置を新設道路近傍に設けることによる管路長短縮化が可能である。取水地点概略位置、および各取水地点における管路延長を表4.1.7・図4.1.11に示す。

表 4.1.7 管路ルート

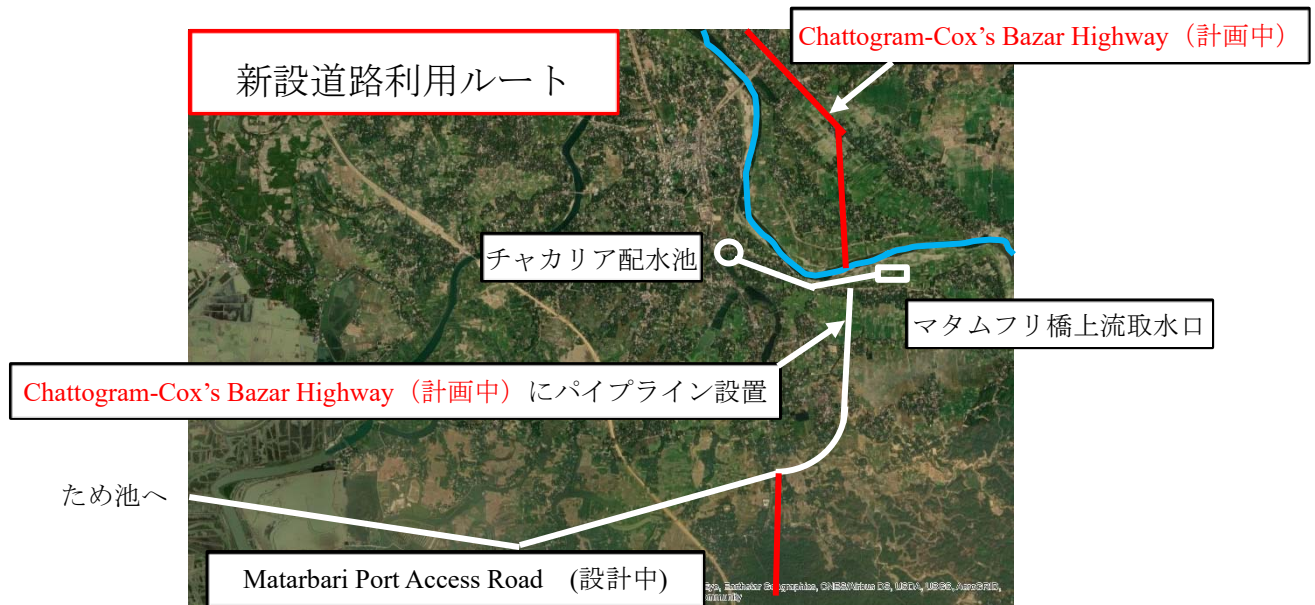
比較項目		既設道路利用案 (マタムフリ橋取水口)	新設道路利用案 (マタムフリ橋上流取水口)
管路ルート	取水口 - ため池	13.0km	10.9km
	ため池 - マタバリ港	23.8km	19.7km
	ため池 - チャカリア	10.9km	10.5km
	延長	47.8km	41.3km
特徴		マタムフリ橋直下流に取水口設置。 パイプラインは既設国道1号線を経由し設計中のマタバリ港アクセス道路を経てため池地点に至る。	マタムフリ橋上流に取水口設置。 パイプラインは計画中の Chattogram-Cox's Bazar Highway を経由し設計中のマタバリ港アクセス道路を経てため池地点に至る。
経済面 (表 4.1.9 参照)		△ 延長の短い新設道路利用案より高い	○ 延長の長い既設道路利用案より安い
技術面		△ 既設国道を運用しながら管路工事が発生するため、工事時間、管理設工法に制約があり、新設道路利用案より工事難度高い。	○ 道路幅の広い新設道路内工事のため、管路設置個所選択に自由度が大きく、工事容易。
環境面		△ 事業による影響は想定されるものの既設道路沿いには特に保護が求められている環境は確認されていない。	△ 事業による影響は想定されるものの新設道路沿いには特に保護が求められている環境は確認されていない。
社会面		△ 既設国道内工事による夜間工事を行う場合、周辺住民への影響、既設道路沿いの活動への影響、道路交通規制による交通渋滞の発生が想定される。	△ 夜間工事を行う場合、周辺住民への影響、道路交通規制による交通渋滞の発生が想定される。

出典：JICA 調査団



出典 JICA 調査団

図 4.1.11 (1/2) 管路ルート案1 (既設道路利用)



出典 JICA 調査団

図 4.1.11 (2/2) 管路ルート案2 (新設道路利用)

(2) 短期代替案における補給対象比較検討 (ため池案)

短期代替案の補給対象ごとの基本諸元を表 4.1.8 に示す。

表 4.1.8 短期代替案比較諸元 (ため池案)

施設	補給対象	生活用水、工業用水、河川維持流量		生活用水、工業用水、農業用水、河川維持流量
		生活用水、工業用水	生活用水、工業用水、河川維持流量	
ため池		傾斜遮水ゾーン型、高さ 8.2m、天端 EL.10.2、堤敷き幅 42.5m、		
ため池容量(MCM)		16	36	95
湛水面積(km ²)		3.2 (320 ha)	7.2 (720 ha)	19.0 (1,900 ha)
ため池延長(km)		8.7	12.6	26.6
洪水吐き(長さ x 幅)		33m x 130m	33m x 570m	33m x 790m
放流設備		2.0 H x 3.0 W x ゲート 1 門		
Palakata 浄水場設備容量 (急速ろ過、天日乾燥方式)		1.70m ³ /s=150,000m ³ /day		
河川取水設備		取水量 4.7 (406,000m ³ /day) 立軸斜流ポンプ径 1.8m	取水量 10.0 (864,000 m ³ /day) 立軸斜流ポンプ径 1.8m x 2	
送水ポンプ場 (Chakaria, 0.38m ³ /s)		ポンプ径 0.5m		
送水ポンプ場 (Matarbari, 1.32m ³ /s)		ポンプ径 1.0m		
導水管(取水口～ため池)、送水管 (ため池～Matarbari,Chakaria)		導水管径 1.8m x 1 条 マタバリ送水管径 1.0m, チャカリア送水管径 0.5m	導水管径 1.8m x 2 条 マタバリ送水管径 1.0m, チャカリア送水管径 0.5m	

表 4.1.9 短期代替案概算建設費用比較

施設	補給対象	生活用水、工業用水、河川維持流量		生活用水、工業用水、農業用水、河川維持流量
		生活用水、工業用水	生活用水、工業用水、河川維持流量	
ため池		160 億円	230 億円	500 億円
浄水場		140 億円		
取水口ポンプ設備		46 億円	46 億円 x 2 台=92 億円	
取水口導水路、護岸工		7 億円	16 億円	
送水ポンプ場 (Chakaria, 0.38m ³ /s)		6 億円		
送水ポンプ場 (Matarbari, 1.32m ³ /s)		19 億円		
管路	取水口 Matamuhuri River 橋の場合	909 億円	1,632 億円	
	取水口 Matamuhuri River 橋上流の場合	620 億円	1,155 億円	
概算 建設 費用	取水口 Matamuhuri River 橋の場合	1,287 億円	1,357 億円	2,505 億円
	取水口 Matamuhuri River 橋上流の場合	998 億円	1,068 億円	2,028 億円

出典：JICA 調査団

表 4.1.9 における経済性優劣の判断材料として比較に使用した概算費用は、日本国内の計画初期段階における概算値である。概算費用は以下の資料に基づき算定した。

- 1) ポンプ場、管路、浄水場および配水池については、「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き 2011年12月 厚生労働省健康局水道課」による費用を100としたデフレーター（上下水道）により2020年116を得、1.16倍した費用を使用した。費用は仮設費、諸経費が含まれる。補償費は含まれない。
- 2) 護岸工、ため池諸施設、その他の土木工事については、「令和2年度版（2020年）土木工事積算基準マニュアルより直接工事費、仮設備費用を求めそれらの合計値に諸経費率15%（推定）を乗じた費用とした。補償費は含まれない。
- 3) 選択された案についての概算建設費用は、今後のフィジビリティ調査により精度を高め推算する必要がある。

表 4.1.9 の結果を踏まえ、短期代替案について以下が考察できる。

- 短期代替案は、補給対象を「生活用水、工業用水」を最優先開発計画とする場合が最も経済的である。
- その中で、導水路、送水路ルートは新設道路の利用案が既設道路利用案より経済的である。
- 新設道路沿いを管路工事に利用の場合、市街地から離れた工事箇所であり資機材運搬、周辺交通および住民への影響を軽減できると想定される。

なお、環境社会配慮については、その結果を「項 4.1.9」において報告する。

(3) 短期代替案に係る補足検討

1) 取水工型式の検討

マタムフリ川の取水施設は、上述のように圧力式（河川水筋を護岸工で固定して、ポンプ取水する案）が提案されている。一方で、ポンプの維持管理やその費用を考えると無圧式（自然流下式）の案も考えられる。そのため、取水工型式について表 4.1.10～表 4.1.12 および図 4.1.12 のように比較検討を行った。

<検討基本条件>

表 4.1.10 無圧水路諸元

取水地点	マタムフリ橋上流 6.6km	河床 E.L 7.00		
堰	ゴム製起伏堰	3.00 H x 50.00 L x 2units	起立時堰天端 高 E.L 9.5 最大越流水深 0.6m H.W.L 10.10	起立時許容天端高 (Vノッチ E.L 9.38=9.50- 0.6x20%)
導水路 取水口	取水工敷高 E.L 8.5 (7.0+1.5)	最小取水深 E.L9.38- E.L8.5=0.88m L.W.L 9.38	取水地点とた め池最小落差 9.38- 7.00=2.38m	導水路勾配 2.38m/11,000m =1/4621 ≒ 1/5000
	取水口 2.00 H x 4.00 B x 2units	矩形コンクリート導水路（盛土地盤 2.00 H x 5.00 B）		

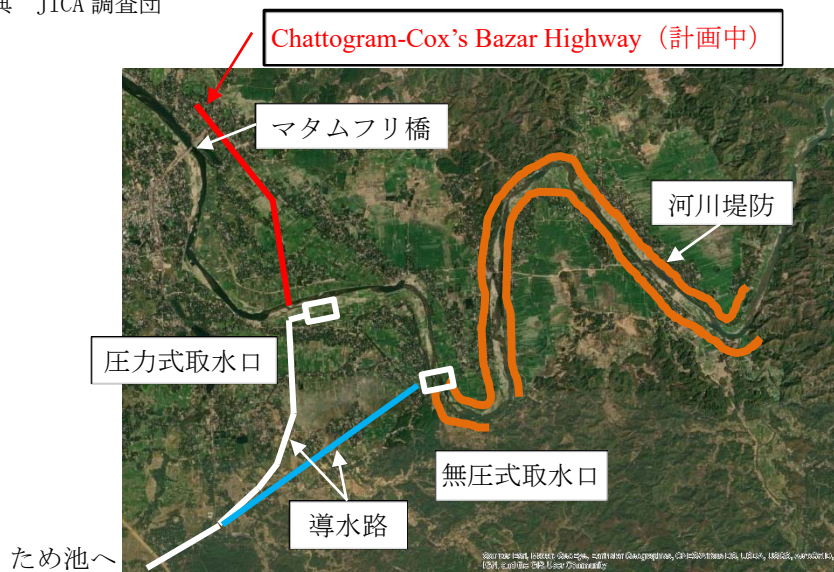
護岸工 護床工	堰下流および堰上流	低水路護岸工 L=350m	蛇籠工、遮水矢板
河川堤防	堰上流	右岸 8.55km 左岸 7.40km	堤防天端 EL. 12(想定高)

出典 JICA 調査団

表 4.1.11 圧力水路諸元

取水地点	マタムフリ橋上流 3.6km	河床 E.L 3.00		
導水路, 取水口, ポンプ場	取水口敷高 E.L -1.50 暗渠 2.00H x 3.00B x 2units	取水口～ポンプ 室 7.5Bx94.0L(暗 渠)	ポンプ室 EL. 7.00 立軸斜流ポンプ 1.8D x 4800kW	導水路 ダクタ イル鋼管 1.2D x 2 units x 10.9km
護岸工	取水口下流および上流	左岸部低水路護 岸工 L=350m	蛇籠工、遮水矢板	

出典 JICA 調査団



出典 JICA 調査団

図 4.1.12 無圧水路および圧力水路位置図

< 考 察 >

表 4.1.12 無圧および圧力水路比較

項目	無圧式水路案	圧力式水路案
堰施設要否	ため池 F.S.L 7.0 へ導水のため取水水位約 EL. 10 が確保可能な堰上げ施設必要。△	護岸工設置に伴う低水位時川筋固定化により取水路を安定化する。このため堰施設不要。○
河川堤防要否	約 3m の河水堰上げにより取水地点上流河川堤防必要。取水地点付近に護岸工、護床工必要。△	堰上げを伴わないが、取水地点付近の河床安定のため護岸工、護床工必要。○

<p>経済性（初期投資額）</p>	<p>約 301 億円+（チッタゴン-コックスバザール高速道路まで導水路 3km 区間および堰上流堤防 16km 区間の用地必要。 △</p>	<p>約 278 億円+ポンプ運転費用 2.7 億円/年 ○</p>
<p>景観改変、社会環境への影響</p>	<p>取水口、河川堤防、導水路による改変あり。堤防、取水施設、導水路が地上部に建設されるため自然および社会環境への影響は避けられない。 △</p>	<p>取水地点の改変あり。導水路は地下埋設のため景観改変少なく、社会環境への影響も小さい。 ○</p>
<p>考察</p>	<p>初期投資少なく経済性良好、かつ社会環境への影響、景観改変が少ない「圧力式水路案」が推奨される。</p>	

出典 JICA 調査団

検討の結果、無圧式案は以下の課題があり、圧力式案を基本案とする。

- ため池への開水路導水となり、取水地点の堰上げ（含：両岸堤防新設/嵩上げ）により取水水位を上げる必要が生じる。
- これにより、堰上流の河川区間の洪水リスクが増加し、また堤防の建設や水路延長の増加、道路横断部の河川構造物（サイフォン、水管橋）などにより初期コストが増加する。
- 開水路を建設する必要があるため、大規模用地取得や移転に伴う社会コストが増加する。

なお、無圧水路に必要な緩勾配水路の建設可否については現段階では情報不足である。その採用にあたり今後導水路経過地および堤防区間を含めた調査が必要と考えられる。

2) 他の開発計画との整合

2022 年 3 月に実施したモヘシュカリ・マタバリ地区の総合開発事業に関するヒアリングの結果、アクセス鉄道事業計画のアライメントと提案のため池の位置が重複している可能性があることが確認された。

事業間の錯綜を避けるためには提案のため池位置をマタバリ港アクセス道路の南方に移動するなどの対応が必要となる。その概念図を図 4.1.13 に示す。

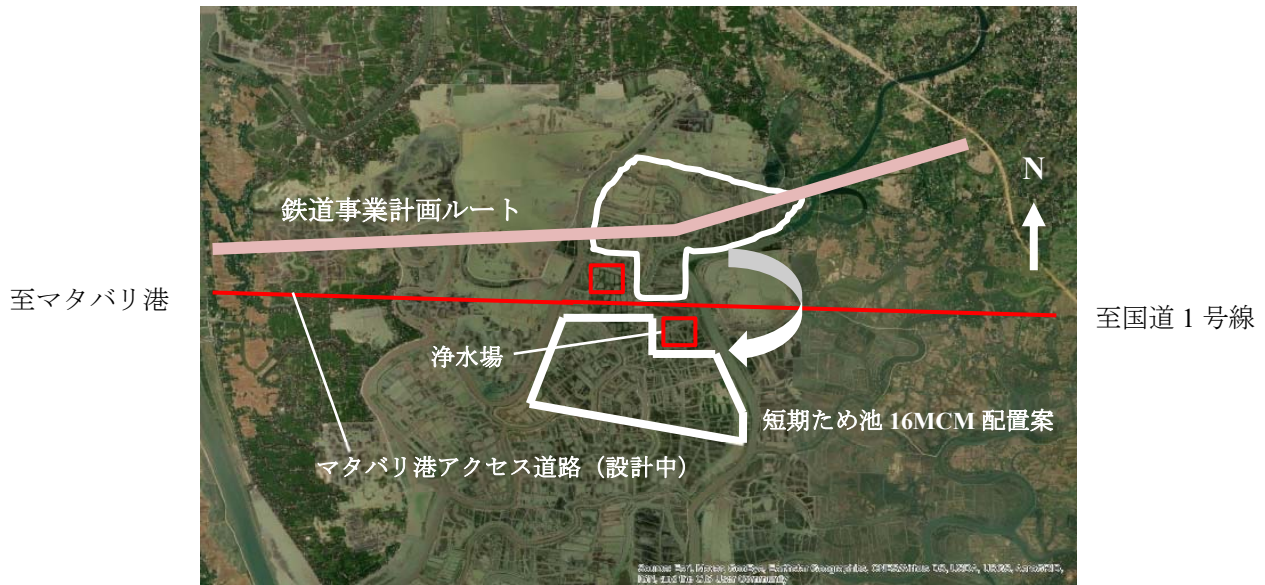


図 4.1.13 短期ため池配置案（鉄道事業計画との整合を図る）

なお、ため池建設の一部である管路敷設は、計画中のマタバリ港アクセス道路、チッタゴン〜コックスバザール高速道路を送水路ルートとして利用する案が望ましく、今後実施に向けて各事業主体との協議が必要である。

4.1.8 水収支検討（短期計画）

(1) 水収支計算モデルの構築（短期対策案）

短期対策案で最も有力候補として想定されるパラカタのため池案（Palakata Regulation Pond）について、水収支モデルを構築し短期対策における施設規模を検討した。水収支計算モデルの基本ルールを以下に記述するとともに、モデル条件一覧表及びモデル図を表 4.1.13、図 4.1.14 に示す（水収支計算手順：付録 4.1-2 参照）。利水基準点は、潮位の影響を受けずに適切な流量管理が可能で、かつ主な水需要地域の上流端に位置するラーマ水位観測所地点に設定した。

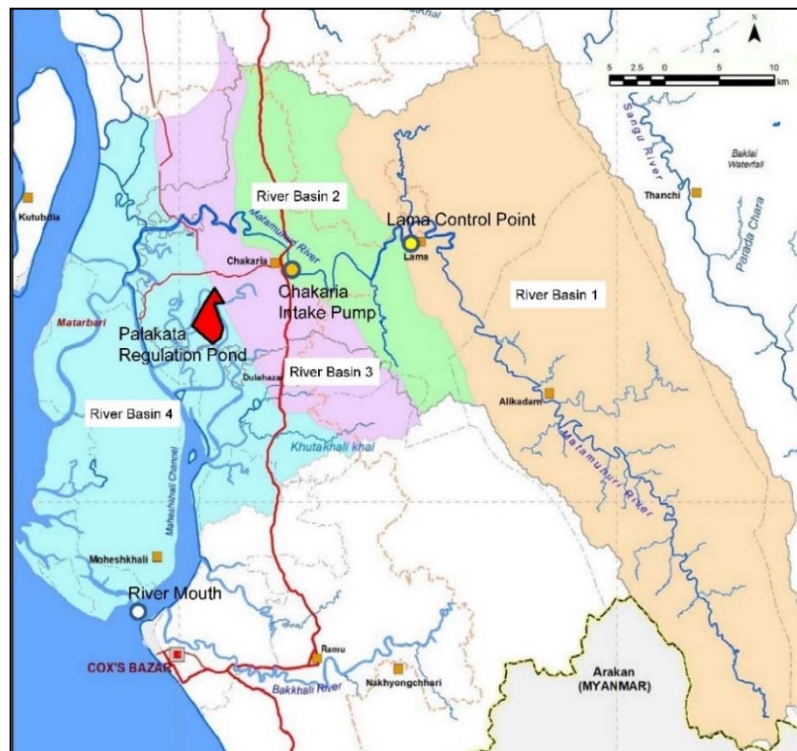
水収支計算モデルの基本ルール

- 水需要の補給優先順位は一般的に以下のとおりであるが、補給対象を組み合わせた複数のケーススタディーを実施する。
維持流量⇒生活用水⇒工業用水⇒農業用水
- 貯留施設より下流の水需要をその施設の補給対象とする。
Target District (Upazila): Bandarban (Chakaria, Naikhongchhari, Lama)、
Chattogram (Lohagora, Bashkhali)、 Cox's Bazar (Cox's Bazar Sadar, Moheshkhali, Pekua)
- 既得水利権を侵さないように河川余剰水の範囲内で貯留施設の水位回復を行う。
- 貯留施設の運用は単年回復を基本とする。

表 4.1.13 水収支計算モデルの設定条件一覧（短期目標：パラカタため池案）

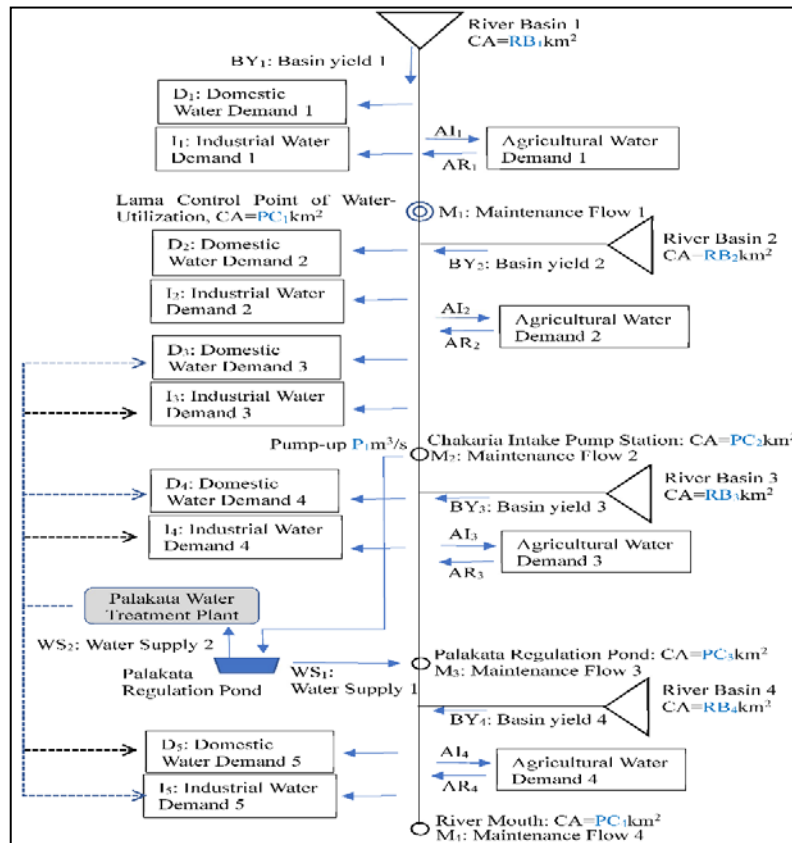
	Item	Setting Condition	Remark
Basic Conditions	Data Period	1966.11 – 2019.10 (53 years)	
	Target Year	Short Term: 2026, Long Term: 2041	
	Target River Basin	Matamuhuri RiverBasin: CA= 2,511 km ²	
	Control Point of Water Utilization	Lama control point	Water Level Gauge Station
	Development Structure	Palakata Regulation Pond	
	Water Demand	Case A: Intake water from river of domestic, industrial and agricultural demand Case B: Case A plus intake ground water of domestic and industrial demand	Case B intends to shift intake water of domestic and industrial demand from ground to surface water
Model Parameter	Catchment Area of River Basin	River Basin 1: 1,201 km ² River Basin 2: 289 km ² River Basin 3: 278 km ² River Basin 4: 744 km ²	
	Catchment Area at check point	Lama Control Point : 1,201 km ² Chakaria Intake Pump Station : 1,490 km ² Palakata Regulation Pond : 1,767 km ² River Mouth Point : 2,511 km ²	
	Maintenance Flow	0.8 m ³ /s/100km ²	
	Capacity of Chakaria Intake Pump Station	Trial calculation of minimum capacity of Chakaria Intake Pump for keeping full recovery of Palakata Regulation Pond each year	

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.1.14 マタムフリ川流域図（短期対策：パラカタため池案）

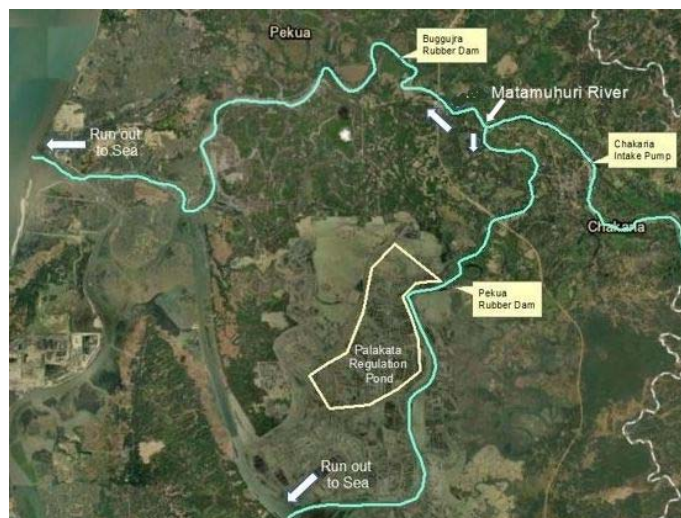


出典：JICA 調査団

図 4.1.15 水収支計算モデル図（短期対策：パラカタため池案）

(2) 維持流量補給の考え方（短期対策：パラカタため池案）

マタムフリ川は図 4.1.16 に示すとおりチャカリア地区の下流で分岐してベンガル湾へ流れ出ている。パラカタため池は南側へ分岐する河川の沿川に位置することから、河口地点の維持流量のうち半分をパラカタため池による維持流量補給の対象流量に設定した。



出典：JICA 調査団

図 4.1.16 マタムフリ川河口付近図

(3) 水収支計算ケース及び結果（短期対策：パラカタため池案）

パラカタため池による水補給対象として、維持流量、生活用水、工業用水、農業用水の組み合わせを以下の全6ケース設定して、各ケースにおけるパラカタため池の必要容量を算定した。

■補給対象となる水需要の組み合わせ（全6ケース）

- Case 1 : Maintenance Flow
 - Case 2-1 : Maintenance Flow + Domestic Water
 - Case 2-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water
 - Case 3-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water
 - Case 3-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water
 - Case 4 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water
- *: In case of no supply for maintenance flow by Palakata Regulation Pond

各ケースにおける補給対象（維持流量、生活、工業、農業）は表 4.1.14 のとおりである。

表 4.1.14 各ケースの水補給対象一覧（短期目標：パラカタため池案）

Case No.	Water Supply	Maintenance	Domestic	Industrial	Agricultural	Remark
Case 1	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
Case 2-1	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	
Case 2-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	
Case 3-1	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
Case 3-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
Case 4	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	AI ₄	

Note (1): Objects of water supply from Palakata Regulation Pond

WS₁ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Matamuhuri River

WS₂ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Palakata Water Treatment Plant

Note (2): Each mark of M (Maintenance flow), D (Domestic water), I (Industrial water) and AI (Agricultural intake water) shows object water demand. The location of each mark with the number beside the one can be found by referring to the figure of “Water Balance Model” above.

出典：JICA 調査団

また、河川から取水する水需要量（生活、工業、農業）を水収支モデルに設定した場合の Case A と、生活用水および工業用水の地下水取水量を河川取水に転換した場合の Case B の2つのケースについて上記6ケースと組み合わせて、全12ケースの水収支計算を実施した。

河川取水と地下水取水の水需要設定ケース（2ケース）

- Case A: I 生活、工業、農業用水需要の河川取水量
- Case B: Case A に生活、工業用水需要の地下水取水量分を加える。

全 12 ケースの水収支計算結果を表 4.1.15 に整理した（参照：付録 4.1-3）。下記の方向性を踏まえると表 4.1.15 の太枠で示した 3 ケースが施設計画における有力な候補になると考えられる。

- 生活用水および工業用水は必須の水補給対象である（Case3-1, Case3-2）。
- 農業用水を補給対象とすることの実現性を検証する必要がある（Case-4）。
- 水利用を地下水から表流水へ転換する方針に適合させる（Case B）。
- 利水安全度を 1/5 渇水年とする（今後、バングラ政府機関と要協議事項）。

表 4.1.15 水収支計算結果一覧（短期目標：パラカタため池案）

Case A:

Item		Case1	Case2-1	Case2-2	Case3-1	Case3-2	Case4
Chakaria Intake Pump		3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	10.0 m ³ /s
Palakata Regulation Pond	5 yr ¹⁾	20.642 MCM	23.486 MCM	2.793 MCM	28.843 MCM	8.934 MCM	83.907 MCM
	10 yr ¹⁾	32.251 MCM	35.556 MCM	3.706 MCM	40.686 MCM	10.546 MCM	104.510 MCM

1) safety factor of water use

Case B:

Item		Case1	Case2-1	Case2-2	Case3-1	Case3-2	Case4
Chakaria Intake Pump		3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	10.0 m ³ /s
Palakata Regulation Pond	5 yr ¹⁾	20.642 MCM	29.170 MCM	9.209 MCM	35.952 MCM	15.934 MCM	94.051 MCM
	10 yr ¹⁾	32.251 MCM	40.945 MCM	10.923 MCM	49.502 MCM	17.763 MCM	113.082 MCM

1) safety factor of water use

出典：JICA 調査団

なお、バングラデシュ国において利水安全度が規定された技術基準等はないことから、表 4.1.16 に示す周辺国における設定事例を参考にした。周辺国では利水安全度を 1/5～1/10 年に設定している事例が多いことから、本調査では短期目標（2026 年）を利水安全度 1/5、長期目標（2041 年）を利水安全度 1/10 に設定することとした。

表 4.1.16 アジア周辺国の利水安全度

国	事業名	利水安全度		
		上水	工水	農水
フィリピン	全国水資源開発マスタープラン、1998 年	1/20 ¹⁾	1/20 ¹⁾	1/5 ¹⁾
インドネシア	プランタス・ムシ川水資源管理計画、2019 年	1/10 ²⁾	1/10 ²⁾	1/5 ²⁾
日本	直轄、補助河川全般	1/5～1/10 ³⁾	1/5～1/10 ³⁾	1/5～1/10 ³⁾

出典：1) フィリピン国全国水資源開発マスタープラン最終報告書、1998 年、JICA、2) インドネシア国プランタス・ムシ川水資源管理計画最終報告書、2019 年、JICA、3) 国土交通省ホームページ

4.1.9 概略環境評価

(1) 短期的水資源開発オプションに係る予備的な環境社会影響の検討

バングラデシュの環境保全規則(2002 年改正)を踏まえると、本調査で提案する短期的水源開発オプションであるため池の建設・運用は、将来的に環境社会影響評価(ESIA)を実施す

ると共に、同事業で影響を受ける計画地で塩の製造、エビ養殖を営んでいる住民の生計の消失に伴う生計回復支援策の検討を行う必要がある。表 4.1.17 に、ため池建設計画に関わる予備的な環境社会影響の検討結果を示す。

表 4.1.17 短期的水資源開発オプション(ため池建設計画)に係る予備的な環境社会影響の検討

分野	環境社会項目	予備的な検討		予備的な評価の理由
		施工中	供用時	
汚染	1 大気汚染	—	N	施工中: 施工中の建設機械や車両の運用により、大気質が影響を受ける可能性がある。
	2 水汚染	—	+ / —	供用時: 水況の変化の状態に応じて、正および負の両方の影響が想定される。現時点では、各水資源開発オプションによって以下の影響の可能性がある。
	3 廃棄物	—	N*	施工中: 建設廃棄物や労働者キャンプからの一般廃棄物の発生が想定される。また建設残土が発生する可能性がある。 供用時: 施設からの廃棄物の適正な回収・処分を事業者が担当するため、適切な管理により特に負の影響は想定されない。
	4 土壌汚染	N	N	施工中: 既存の土地利用を踏まえると、建設により有害物質を含んだ残土の発生は想定されないため、特に負の影響は想定されない。
	5 騒音・振動	—	N	施工中: 施工中の建設機械・車両の使用による一時的な騒音・振動の増加が見込まれる。 供用時: ポンプ場の操業時、周囲の土地利用を考慮して騒音の影響を検討する必要がある。
	6 地盤沈下	N	N	施工中: 地下水の汲み上げや地盤沈下を招くような工事は行わないため、負の影響は想定されない。 供用時: 地下水利用を計画・実施する際には、地盤沈下の可能性を検討する必要がある。
	7 悪臭	N	要検討	施工中: 臭気の原因となるような工事は計画されていないため、特に悪影響は想定されない。 供用時: ため池の運用に伴い、富栄養化が生じると臭気が発生する可能性があることから、影響について検討する必要がある。
	8 底質	N	N	施工中: 既存の土地利用を踏まえると、有害な底泥の浚渫は想定されないため、特に負の影響は想定されない。

分野	環境社会項目	予備的な検討		予備的な評価の理由	
		施工中	供用時		
自然環境	9	保護区域	N	N	計画地に保護区域の指定は無い。また、計画地は塩田として利用されており、既存文献で確認された絶滅危惧種の主要な生息環境ではない。なお、ため池計画地の周辺域には小規模なマングローブ林が存在するが、保護区域には指定されていない。
	10	生態系	—	要検討	<u>供用時</u> :ため池の運用により乾季にも適切と考えられる維持流量を確保する場合、河川生態系の変化が考えられる。
	11	水文	—	要検討	<u>施工中</u> :取水用のダムを建設する場合、水況に影響を及ぼす。 <u>供用時</u> :ため池の運用により河川系下流域の水況が変化する可能性がある。
	12	地形・地質	N	N	<u>施工中</u> :ため池の計画地は平野部であり、工事による地形への影響は想定されない。
社会環境	13	用地取得及び住民移転	N	N	<u>施工中</u> :ため池の計画地はコックスバザール県土地管理事務所での聞き取りによると、コックスバザール県所有の土地であり、民有地の用地取得は想定されない。ため池建設予定地の北側には集落が存在しており、概略の現地踏査から約200世帯程度が居住していると考えられるが、計画地内に集落は存在しないことから、住民移転は想定されない。
	14	生計	—	+	<u>施工中</u> :ため池の計画地は塩田及びエビ養殖池として利用されている。「13 用地取得及び住民移転」に記載したとおり、ため池の計画地はコックスバザール県所有の土地である。コックスバザール県土地管理事務所での聞き取りによると、塩田及びエビ養殖池としての利用者は、コックスバザール県から土地を10年単位でリース契約している。リース契約者数は明らかではないが、コックスバザール県土地管理事務所及び聞き取り調査を行った土地利用者(30世帯)の情報を踏まえると、ため池計画地全体で約100世帯程度のリース契約者がいると推定される。これらのリース契約者の年間収益は今後、詳細調査が必要だが、今回調査の聞き取り調査(30世帯)によると、約300,000BDT/年である。ため池建設後はこれらで生計を得ている住民の生計に影響を与えることから、生計回復支援策について検討する必要がある。 <u>供用時</u> :利用可能な水資源量の増加による現地雇用の創出により、正の影響が期待される。

分野	環境社会項目	予備的な検討		予備的な評価の理由
		施工中	供用時	
社会 環境	15 貧困層及び社会的に脆弱なグループ	要検討	+	<p><u>施工中</u>: ため池の計画地は塩田及びエビ養殖池として利用されている。ため池建設後はこれらで生計を得ている住民の生計に影響を与え、貧困層が増える可能性がある。</p> <p><u>供用時</u>: 利用可能な水資源量の増加による現地雇用の創出により、正の影響が期待される。</p>
	16 少数民族及び先住民族	N	N	計画地及びその周辺に少数民族及び先住民族は存在しない。
	17 雇用・生活などの地域経済	-	+	<p><u>施工中</u>: ため池の計画地は塩田及びエビ養殖池として利用されているおり、それらによる雇用が失われる。</p> <p><u>供用時</u>: 長期的には、利用可能な水資源量の増加による現地雇用の創出により、間接的な正の影響が期待される。</p>
	18 土地利用・地域資源利用	-	+	<p><u>施工中</u>: ため池建設のための土地獲得により、塩田の減少が見込まれる。</p> <p><u>供用時</u>: 可能な水資源開発オプションを適用した後、利用可能な水資源の増加に伴い、新たな土地利用が計画されることが想定される。</p>
	19 水利用	N	+	<p><u>施工中</u>: 工事による大きな影響は予測されない。</p> <p><u>供用時</u>: 可能な水資源開発オプションを適用することで、水利用に正の影響が期待される。</p>
	20 既存の社会インフラと社会サービス	-	+	<p><u>施工中</u>: 工事による交通量への影響が想定される。具体的には、既存の道路上の施工中に渋滞が想定される。</p> <p><u>供用時</u>: 既存の社会インフラや社会サービスに悪影響はないと想定される。可能性のある水資源開発オプションを適用することにより、利用可能な水資源の増加に伴って社会サービスに正の影響を及ぼすことが期待される。</p>
21 社会資本や地域の意思決定機関等	要検討	+ / -	<p><u>施工中</u>: ため池の建設のために、用地取得の合意が必要となる。</p> <p><u>供用時</u>: 利用可能な水資源の増加量を利用するためには、様々な水利用者間の調整が必要である。</p>	
22 被害と便益の分配や開発プロセスにおける公平性	-	N	<u>施工中</u> : ため池の計画地は塩田及びエビ養殖池として利用されている。ため池建設後はこれらで生計を得ている住民の生計に影響を与える。	

分野	環境社会項目	予備的な検討		予備的な評価の理由
		施工中	供用時	
23	地域における利害の対立	N	要検討	<u>施工中</u> : 建設段階では大きな影響は見込まれない。 <u>供用時</u> : 増加した利用可能な水資源の利用について、様々な水利用者間の調整が必要である。
24	文化遺産	N	N	計画地に文化遺産は無い。
25	景観	N	N	ため池の建設により大きな景観の変化はない。
26	ジェンダー	要検討	N	<u>建設前・施工中</u> : 女性労働者の雇用・処遇の在り方に留意が必要である。 <u>供用時</u> : ジェンダーギャップを拡大させる活動は計画されていない。
27	子どもの権利	要検討	N	<u>施工中</u> : 工事業者による児童労働の発生の可能性がある。 <u>供用時</u> : 子どもの権利に関連する事項がないと考えられるため、特に負の影響はないと想定される。
28	HIV/AIDS 等の感染症	要検討	+	<u>施工中</u> : 工事従事者の流入による感染症リスクの増加の懸念がある。 <u>供用時</u> : 利用可能な水資源の増加により、衛生環境改善効果が期待できる。
29	労働環境(労働安全を含む)	N*	N*	適正な労働環境を実現するためには、適正な労働環境管理を行う必要がある。
30	事故	—	N*	<u>施工中</u> : 地域内の建設車両数が増加することから、適切な安全管理が行われないと交通事故のリスクが高まる可能性がある。 <u>供用時</u> : 事故の危険を減らすために、提案された施設の運用に伴い適切な安全管理が行われる必要がある。
31	越境的な影響及び気候変動	—	N	<u>建設時</u> : 建設工事による温室効果ガス排出が想定される。
32	自然災害リスク	N	N	ため池建設に伴う自然災害リスクの増大は想定されない。

注: “—”: 予備的な検討により負の影響が想定される。
 “+”: 予備的な検討により正の影響が想定される。
 “要検討”: 影響の検討のためには今後の調査が必要となる。
 “N”: 影響は想定されない。
 “N*”: 影響回避のためには適切な管理計画の策定、実施が必要である。
 出典: JICA 調査団

(2) 長期的水資源開発オプションに係る予備的な環境社会影響の検討

バングラデシュの環境保全規則(2002年改正)を踏まえると、本調査で提案する長期的水資源開発オプションは、将来的に環境社会影響評価(ESIA)を実施すると共に、一部のオプシ

ョンについては住民移転計画(RAP)を作成する必要がある。重大な影響を回避するためには、現時点で環境・社会への影響について予備的に検討する必要がある。表 4.1.18 に、水資源開発のオプションの検討に関わる予備的な環境社会影響の検討結果を示す。

表 4.1.18 長期的水資源開発オプションに係る予備的な環境社会影響の検討

分野		環境社会項目	予備的な検討								予備的な評価の理由	
			施工中	供用時								
				ダム・貯水池	可動堰	ため池	防潮堰	カプタイダムの水利用	地下水開発	海水淡水化		節水
汚染	1	大気汚染	—	無							施工中: 施工中の建設機械や車両の運用により、大気質が影響を受ける可能性がある。	
	2	水汚染	—	+ / —	+ / —	+ / —	+ / —	+ / —	要 検 討	要 検 討	無	供用時: 可能な水資源開発オプションの実施により、対象水系の既存の水況に影響を与えることになる。水況の変化の状態に応じて、正および負の両方の影響が想定される。現時点では、各水資源開発オプションによって以下の影響の可能性はある。 ダム/貯水池およびため池: 貯水池及びため池の富栄養化の可能性を検討する必要がある。 ダム/貯水池、ため池、可動堰、防潮堰の運用、及び既設水利用のための Kaptai ダムからの水の分流: 河川系下流域の水況が変化する。乾季に水況が減少すると、負の影響が生じる。一方、乾季の水量は増加する場合、正の影響が期待できる。
	3	廃棄物	—	要 検 討	要 検 討	無*	無*	無*	無*	無*	無	施工中: 建設廃棄物や労働者キャンプからの一般廃棄物の発生が想定される。 供用時: 施設からの廃棄物の適正な回収・処分を事業者が担当するため、適切な管理により特に負の影響は想定されない。 なお、ダム・貯水池やため池の供用時に、浚渫作業を行うと、浚渫残土を適切に処理しなければ、負の影響が発生する可能性がある。
	4	土壌汚染	—	無	無	無	無	無	無	無	無	供用時: 既存の土地利用を踏まえると、建設により有害物質を含んだ残土の発生は想定されないため、特に負の影響は想定されない。

分野	環境社会項目	予備的な検討									予備的な評価の理由
		施工中	供用時							節水	
			ダム・貯水池	可動堰	ため池	防潮堰	カプタイダムの水利用	地下水開発	海水淡水化		
	5 騒音・振動	—	要検討	要検討	無	無	要検討	要検討	要検討	無	<p>施工中: 施工中の建設機械・車両の使用による一時的な騒音・振動の増加が見込まれる。</p> <p>供用時: ポンプ場の操業時、周囲の土地利用を考慮して騒音の影響を検討する必要がある。</p>
	6 地盤沈下	無	無	無	無	無	要検討	無	無	<p>施工中: 地下水の汲み上げや地盤沈下を招くような工事は行わないため、負の影響は想定されない。</p> <p>供用時: 地下水利用を計画・実施する際には、地盤沈下の可能性を検討する必要がある。</p>	
	7 悪臭	無	無	要検討	無	無	無	無	無	無	<p>施工中: 臭気の原因となるような工事は計画されていないため、特に悪影響は想定されない。</p> <p>供用時: ため池の運用に伴い、富栄養化が生じると臭気が発生する可能性があることから、影響について検討する必要がある。</p>
	8 底質	無	無	無	無	無	無	無	無	無	<p>施工中: 底質汚染の原因となる土砂の水域への投棄等の工事が想定されていないため、特に悪影響はないものと想定される。</p> <p>供用時: 既存の土地利用を踏まえると、有害な底泥の浚渫は想定されないため、特に負の影響は想定されない。</p>
自然環境	9 保護区域	—	—	無	無	無	無	無	無	無	<p>建設・供用時: ダム・貯水池の建設により、マタムフリ保安林の人為の影響を受けた外縁部の区域が影響を受ける。また、ダム/貯水池、ため池、可動堰、防潮堰の運用、既設水利用のための Kaptai ダムからの水の転用等によっては、河川系下流域の水況が変化する。乾季に水量が減少すると、生態系に悪影響が生じる可能性がある。一方、乾季の水量は増加する場合、正の影響も期待できる。</p>

分野	環境社会項目	予備的な検討									予備的な評価の理由
		施工中	供用時								
			ダム・貯水池	可動堰	ため池	防潮堰	カプタイダムの水利用	地下水開発	海水淡水化	節水	
社会環境	10 生態系	—	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	無	要検討	無	<p>施工中および供用時:ダム/貯水池の建設により、マタムフリ保安林が影響を受ける。また、ダム/貯水池、ため池、可動堰、防潮堰の運用、既設水利用のための Kaptai ダムからの水の転用等によって、河川系下流域の水況が変化することになる。乾季に水況が減少すると、生態系に負の影響が生じる可能性がある。一方、乾季の水量は増加する場合、正の影響も期待できる。</p>
	11 水文	—	+ —	+ —	+ —	+ —	+ —	要検討	無	無	<p>施工中:可動堰、防潮堰の建設 施工中、対象河川の水況に影響を及ぼす。</p> <p>供用時:ダム/貯水池、ため池、可動堰、防潮堰の運用、既存の水利用のための Kaptai ダムからの水の分流によっては、河川系下流域の水況が変化する。</p>
	12 地形・地質	要検討	要検討	要検討	無	無	要検討	無	無	無	<p>施工中:ダム・貯水池、ため池、既設の水利用のための Kaptai ダムからの水の転用パイプラインの建設の際には土工が行われる。これらの構造物を設計し、工事計画を作成する際には、周辺地域の地形への影響を検討し、その影響を軽減・回避する必要がある。</p>
13 用地取得及び住民移転	—	—	—	—	—	—	要検討	要検討	無	<p>施工前・施工中:ため池の建設、Kaptai ダムからの水の転用パイプライン、ポンプ場、浄水施設、水源と接続するパイプライン等の建設に際し、用地取得が必要となる。ダム・貯水池建設については、湛水域はマタムフリ保安林にあたるが、同地域にいくつかの小集落が存在する可能性があり、住民移転の影響が想定される。</p> <p>供用時:住民移転による影響についてモニタリングが必要となる。</p>	

分野	環境社会項目	予備的な検討									予備的な評価の理由
		施工中	供用時								
			ダム・貯水池	可動堰	ため池	防潮堰	カプタイダムの水利用	地下水開発	海水淡水化	節水	
14	貧困層及び社会的に脆弱なグループ	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	無	<p>施工中: 貧困層は用地取得と住民移転によって影響を受ける可能性がある。</p> <p>供用時: 住民移転による影響についてモニタリングが必要となる。</p>
15	少数民族及び先住民	—	—	無	無	無	無	無	無	無	<p>施工中: ダム/貯水池建設のためには、ダム敷地と浸水地域はマタムフリ保安林にあたるが、同地域にいくつかの小集落が存在する可能性があり、少数民族及び先住民への影響の可能性はある。</p> <p>供用時: 住民移転による影響についてモニタリングが必要となる。</p>
16	雇用・生活などの地域経済	+ / -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	<p>施工中: 用地取得と住民移転が発生し、農業や商業などの生計に影響を及ぼす可能性がある。建設工事は、建設労働者の雇用機会の増加や、店舗、食品メーカー等の現地ビジネスに対する需要の増加により、現地経済に正の影響を与える。しかし、ため池建設予定地の塩田の消失による影響を検討する必要がある。</p> <p>供用時: 長期的には、利用可能な水資源量の増加による現地雇用の創出により、間接的な正の影響が期待される。</p>
17	土地利用・地域資源利用	— (by regulation pond construction)	+	+	+	+	+	+	+	+	<p>施工中: ため池建設のための土地獲得により、塩田の減少が見込まれる。</p> <p>供用時: 可能な水資源開発オプションを適用した後、利用可能な水資源の増加に伴い、新たな土地利用が計画されることが想定される。</p>
18	水利用	無	+	+	+	+	+	+	+	+	<p>施工中: 工事による大きな影響は予測されない。</p> <p>供用時: 可能な水資源開発オプションを適用することで、水利用に正の影響が期待される。</p>

分野	環境社会項目	予備的な検討									予備的な評価の理由
		施工中	供用時								
			ダム・貯水池	可動堰	ため池	防潮堰	カプタイダムの水利用	地下水開発	海水淡水化	節水	
19	既存の社会インフラと社会サービス	-	+	+	+	+	+	+	+	+	<p>施工中: 工事による交通量への影響が想定される。具体的には、既存の道路上の施工中に渋滞が想定される。</p> <p>供用時: 既存の社会インフラや社会サービスに悪影響はないと想定される。可能性のある水資源開発オプションを適用することにより、利用可能な水資源の増加に伴って社会サービスに正の影響を及ぼすことが期待される。</p>
20	社会資本や地域の意思決定機関等	-	+	+	+	+	+	+	+	+	<p>施工中: ダム/貯水池、ため池の建設のために、用地取得が必要となる。</p> <p>供用時: 利用可能な水資源の増加量を利用するためには、様々な水利用者間の調整が必要である。</p>
21	被害と便益の分配や開発プロセスにおける公平性	無	+ \ -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	+ \ -	要検討	要検討	無	<p>工事前・施工中: 用地取得、住民移転対象者と水源確保による受益者(利用者)の間で、被害・便益の分配が不均一になる可能性がある。さらに、社会的に脆弱な集団は、より悪影響を受ける可能性がある。</p>
22	地域における利害の対立	無	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	<p>施工中: 建設段階では大きな影響は見込まれない。</p> <p>供用時: 増加した利用可能な水資源の利用について、様々な水利用者間の調整が必要である。</p>
23	文化遺産	無	無	無	無	無	無	無	無	無	<p>施工中: 用地取得が文化遺産に及ぼす影響は確認されていないが、ダム・貯水池の計画時に確認を行う必要がある。</p> <p>供用時: 特に負の影響は想定されない。</p>
24	景観	無	無	無	無	無	無	無	無	無	<p>施工中: 一時的に景観に影響を及ぼすことが想定されるが、改変される景観は特定の価値を持たない。</p> <p>供用時: 特に負の影響は想定されない。</p>

分野	環境社会項目	予備的な検討									予備的な評価の理由
		施工中	供用時								
			ダム・貯水池	可動堰	ため池	防潮堰	カプタイダムの水利用	地下水開発	海水淡水化	節水	
25	ジェンダー	要検討	無	無	無	無	無	無	無	無	<p>建設前・施工中: 未亡人世帯など女性の社会的弱者層への負の影響が想定される。施工中に地域住民が雇用される可能性があるが、女性労働者の雇用・処遇の在り方を決定するための情報収集が必要である。</p> <p>供用時: ジェンダーギャップを拡大させる活動は計画されていないが、今後、各水資源開発オプションの実施時に、影響の有無を確認する必要がある。</p>
26	子どもの権利	要検討	無	無	無	無	無	無	無	無	<p>施工中: 工事業者による児童労働の発生の可能性がある。</p> <p>供用時: 子どもの権利に関連する事項がないと考えられるため、特に負の影響はないと想定される。</p>
27	HIV/AIDS 等の感染症	要検討	+	+	+	+	+	+	+	+	<p>施工中: 工事従事者の流入による感染症リスクの増加の懸念がある。</p> <p>供用時: 負の影響は予測されない。利用可能な水資源の増加により、衛生環境改善効果も期待できる。</p>
28	労働環境(労働安全を含む)	要検討	無*	無*	無*	無*	無*	無*	無*	無*	<p>施工中: 工事労働者の作業環境への影響が想定される。</p> <p>供用時: 適正な労働環境を実現するためには、適正な労働環境管理を行う必要がある。</p>
29	事故	要検討	無*	無*	無*	無*	無*	無*	無*	無*	<p>施工中: 地域内の建設車両数が増加する見込みであり、適切な安全管理が行われないと交通事故のリスクが高まる可能性がある。</p> <p>供用時: 事故の危険を減らすために、提案された施設の運用に伴い、適切な安全管理が行われる必要がある。</p>

分野	環境社会項目	予備的な検討									予備的な評価の理由
		施工中	供用時								
			ダム・貯水池	可動堰	ため池	防潮堰	カプタイダムの水利用	地下水開発	海水淡水化	節水	
30	越境的な影響及び気候変動	—	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	要検討	建設時:建設工事による温室効果ガス排出が想定される。 運転時:流量制御ポンプシステムを適用した場合、温室効果ガス削減に貢献する可能性がある。
31	自然災害リスク	要検討	+	+	+	+	+	+	+	無	施工中および運用中:想定される水資源オプションの導入により洪水制御能力の向上が期待される。

注: “—” : 予備的な検討により負の影響が想定される。
 “+” : 予備的な検討により正の影響が想定される。
 “要検討” : 影響の検討のためには今後の調査が必要となる。
 “無” : 影響は想定されない。
 “無*” : 影響回避のためには適切な管理計画の策定、実施が必要である。
 出典: JICA 調査団

4.1.10 用水供給機関に係る組織・法制度、実施体制の検討

4.1.10.1 水資源開発・用水供給機関に係る組織・法制度の現状

(1) バングラデシュの行政機関の階層構造

バングラデシュにおける水セクターに関する組織・法制度の理解を容易にするために、まずは中央政府と地方行政機関について概観する。

1) 中央政府

バングラデシュでは、憲法により大統領（任期5年、2期まで）は国家元首に位置付けられ、国会議員の選挙によって選出される。大統領の主な職務は、総理大臣と総理大臣の指名した大臣、副大臣の任命、最高裁判所長官の任命、国会を通過した法案の承認等であり、これらは原則として総理大臣の助言に基づいて大統領の名の下で執行される。

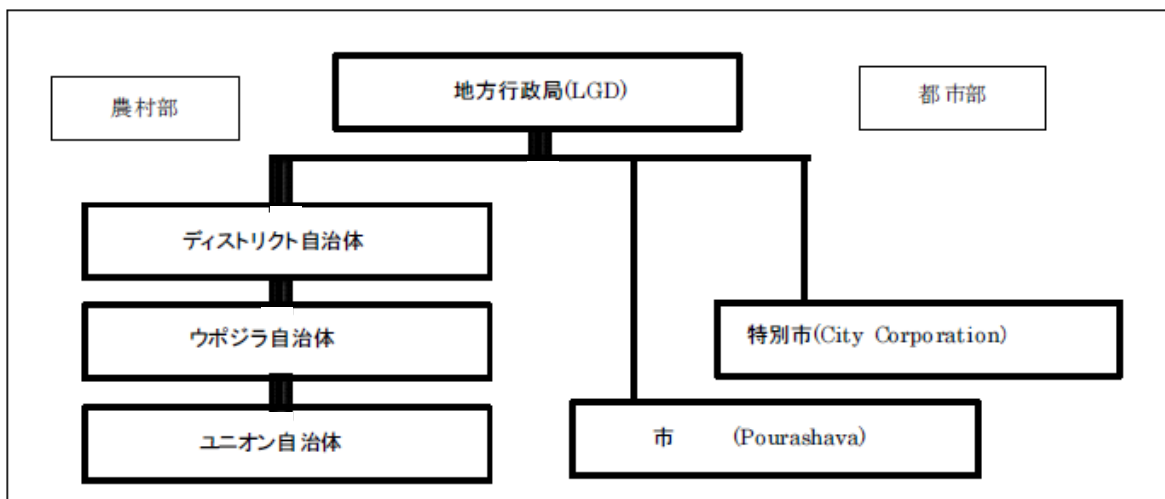
総理大臣は、任命された大臣らと共に内閣を構成する。総理大臣は内閣の首長としてバングラデシュの行政を執行するほか、大統領に対して国内外に係る政策を伝える責務を負う。バングラデシュは、内閣が国会に対して責任を負う議院内閣制を有する。総理大臣は、国会議員の過半数の支持を保持できなくなった場合には辞職するか、大統領に対して国会の

解散を求めることができる。大統領も総理大臣が国会議員の過半数の支持を得ていないと認める場合には、国会を解散する権限を有する。

省庁 (Ministry and Division) の数は 58 であり、それぞれの省庁は業務に関連する現業部門である行政法人 (Directorate) を有し、その数は 353 とたいへん多い。これらのうちで水に関する中央政府機関は、2001 年に策定された国家水管理計画 (National Water Management Plan : NWMP) によると省庁レベルで 14、行政法人レベルで 33 を数える。

2) 地方政府機関

バングラデシュの地方政府機関の区分は、地方行政・農村開発組合省地方行政総局の管轄下に上位レベルから、8 管区 (Division)、64 県 (District/Zila)、492 郡 (Upazila)、4,554 ユニオン (Union) となっている。地方の都市部は人口や税収の規模に応じて県・郡に跨る規模の中核都市である 11 のシティ・コーポレーション (City Corporation) と郡・ユニオンに跨る規模の 315 の地方都市ポルシャバ (Pourashava) に区分され (図 4.1.17)、それぞれ市庁が存在する。多くの中央省庁の出先機関は、この郡レベルに設置されている。



出典：JICA バングラデシュ人民共和国地方行政強化事業準備調査最終報告書 平成 27 年 2 月 (2015 年)

図 4.1.17 バングラデシュの地方行政機関階層図

(2) バングラデシュ水セクターに関する政府機関

バングラデシュは、これまで 50 年以上にわたる水政策に関する経験があり、多くの法制度を有する。主要な法制度とそれを所管する政府機関を表 4.1.19 に示す。

表 4.1.19 主要な水に関する法制度と所管機関

The Embankment & Drainage Act 1952	Ministry of Water Resources (MoWR)
The IECO Master Plan (1964)	Bangladesh Water Development Board (BWDB)
The Marine Fisheries Ordinance (1983)	Ministry of Fisheries and Livestock (MoFL)
The National Water Plan I (1986)	Master Plan Organization (MPO)

The National Water Plan II (1991)	Master Plan Organization (MPO)
Floodplain Management Pilot Project	Ministry of Water Resources (MoWR)
Flood Action Plan FAP (1990/95)	Ministry of Water Resources (MoWR)
Protections and Conservation of Fish Act (Amended 1995)	Ministry of Fisheries and Livestock (MoFL)
Environment Conservation Act (1995)	Ministry of Environment and Forests (MoEF)
National Minor Irrigation Development Project (1996)	Ministry of Agriculture (MoA)
Environmental Conservation Rules (1997)	Ministry of Environment and Forests (MoEF)
National Policy for Safe Water Supply and Sanitation 1998	Ministry of Local Government, Rural Development and Cooperatives (MoLGRDC)
Meghna Estuary Study, Master Plan (1998)	Bangladesh Water Development Board (BWDB)
National Fisheries Policy (1998)	Ministry of Fisheries and Livestock (MoFL)
National Water Policy (1999)	Ministry of Water Resources (MoWR)
Guidelines for Participatory Water Management (2000)	Ministry of Water Resources (MoWR)
The National Water Management Plan (NWMP) (2001)	Water Resources Planning Organization (WARPO)
Brick Burning (Control) (Amendment) Acts (2001)	Ministry of Environment and Forests (MoEF)
Action Plan for Solid Waste Management in 19 Towns	Department of Public Health Engineering (DPHE)
Clean Dhaka Master Plan (2005)	Ministry of Environment and Forests (MoEF)
The Coastal Zone Policy (2005)	Ministry of Water Resources (MoWR)
National Fisheries Strategy and Action Plan (2006)	Ministry of Fisheries and Livestock (MoFL)
Government Jolmohal Management Policy (2009)	Ministry of Fisheries and Livestock (MoFL)
The Master Plan for Haor Areas (2010)	Bangladesh Haor and Wetland Development Board (BHWDB)
Environment Court (Amendment) Act (2010)	Ministry of Environment and Forests (MoEF)
Hazardous Waste and Ship Breaking Waste Management Rules (2011)	Ministry of Environment and Forests (MoEF)
Dredging Plan 2012	Ministry of Shipping (MoS)
Sector Development Plan (SDP) for Water Supply and Sanitation Sector in Bangladesh	Local Government Division, Ministry of Local Government, Rural Development and

(FY 2011-25)	Cooperatives (MoLGRDC)
The National Water Act (2013)	Ministry of Water Resources (MoWR)
Bangladesh Water Development Board Act (2013)	Ministry of Water Resources (MoWR)
Bangladesh Haor & Water Bodies Development Board Act (2014)	Ministry of Water Resources (MoWR)
National Shrimp Policy (2014)	Ministry of Fisheries and Livestock (MoFL)
Participatory Water Management Rules (2014)	Ministry of Water Resources (MoWR)

出典: BDP 2100 Technical Team Analysis, GED, 2015, MoEF, 2012

これらのうちで水セクターに関与する主な政府機関は、次の 8 評議会・省庁とその実施機関である。

- i. 国家水資源評議会 (National Water Resources Council: NWRC)
- ii. 国家水資源評議会執行委員会 (Executive Committee of the National Water Resources Council: ECNWRC)
- iii. 水資源省 (Ministry of Water Resources : MoWR)
- iv. 地方行政・農村開発協同組合省 (Ministry of Local Government, Rural Development and Cooperatives : MoLGRDC)
- v. 海運省 (Ministry of Shipping : MoS)
- vi. 農業省 (Ministry of Agriculture : MoA)
- vii. 水産畜産省 (Ministry of Fisheries and Livestock : MoFL)
- viii. 環境森林省 (Ministry of Environment and Forests : MoEF)

これらの省庁、実施機関も含め、モヘシュカリ・マタバリ地区への水資源開発とその供給に関係すると考えられる機関について概要を述べる。

1) 国家水資源評議会 (National Water Resources Council: NWRC)

NWRC は、1992 年 6 月に内閣府によって創設された省庁間の調整を含む、水政策の策定のための最高の国家機関であり、すべての水政策問題について内閣に勧告を行う責任を有する。これは、関係省庁大臣等 48 人のメンバーから構成され、首相がその長を務める。NWRC は、1999 年 1 月に国家水政策 (National Water Policy: NWPo) を策定し、この中で NWRC の戦略的役割として以下が規定されている。

- i. 水資源管理に関する種々政策方針を策定する。
- ii. 水資源の最適な開発と利用のための指示を出す。
- iii. 国家水管理計画 (National Water Management Plan : NWMP) の策定と実施を監督する。
- iv. 水資源を管理するための効率的な制度・公的機関の創設に関する指示を与える。
- v. さまざまな水セクター機関間の適切な調整のための政策指令を与える。
- vi. その他水資源管理に係る案件に関与する。

2) 国家水資源評議会執行委員会 (Executive Committee of the National Water Resources

Council: ECNWRC)

ECNWRC は、NWRC を支援するため 1997 年 6 月に設立された機関で、水資源省大臣が議長を務め、後述する水資源計画庁（Water Resources Planning Organization: WARPO）が事務局を務めている。NWRC がその責任を果たすべく以下の適切な事務を行うこととされている。

- i. 全ての水セクターに、NWRC が必要とする可能性のある広く関わる水資源の計画、管理、調整に関するすべての案件への指示を与える。
- ii. 国、地域、地方レベルの制度・公的機関に対し、水管理と投資の改善に向けた政策と計画に関する指導を行う。
- iii. 水資源管理の問題について定期的に NWRC に通知、助言を行う。
- iv. その他 NWRC が随時必要とする役割を担う。

3) 水資源省（Ministry of Water Resources: MoWR）

Bangladeshにおける水資源の開発と管理に係る事業方針、計画、戦略、ガイドライン、規則・規制などを策定し、これらの施行を通して、後述する水資源計画機構（Water Resources Planning Organization : WARPO）、 Bangladesh水開発庁（Bangladesh Water Development Board : BWDB）、 Bangladeshハオール・湿地開発局（Department of Bangladesh Haor and Wetlands Development: DBHWD）、 Bangladesh合同河川委員会（Joint Rivers Commission : JRC）、河川研究所（River Research Institute : RRI）、水モデル研究所（Institute of Water Modelling : IWM）、環境・地形情報サービスセンター（Center for Environmental and Geographic Information Services : CEGIS）の 7 所管機関を通して、

- i. 洪水制御、排水および灌漑（flood control, drainage and Irrigation: FCDI）事業として、河川・海岸堤防、河道浚渫、埋立て、堰、水門、灌漑水路、揚・排水機場等建設事業を実施
- ii. 水文情報を収集、処理および提供を行っているこの水文情報を基に、雨季の毎日、洪水予測および警告情報を全土に提供
- iii. 特定された地域、期間における優先順位に基づく水配分を決定
- iv. 浅層地下帯水層を保全・維持するために地下水のくみ上げを規制
- v. 季節的な渇水などが繰り返し発生している地域に、緊急時対応計画の作成とその実施、モニタリングを実施
- vi. 地方政府またはその他の機関に、深刻な渇水発生地域に河川水を割り当て、水環境を監視し、規制を実施する権限を付与
- vii. 地下水/地表水などに係る水利権を私的機関およびコミュニティ機関に付与
- viii. 河川維持流量を確保する。
- ix. 越境河川の管理に係る隣接国との協議

など、灌漑、洪水調節、排水、浸水・浸食防止、渇水対策等の分野における政策・技術支

援、調査・研究、事業、国際協力を実施している。

また、所管機関の権限を定期的に見直し、必要に応じて役割の再定義を行い、変化するニーズと優先順位に見合った効率的で効果的な各種水資源に係る施策、事業の実施に努めている。

4) 水資源計画機構 (Water Resources Planning Organization : WARPO)

1983年にバングラデシュ政府は、水資源省下にマスタープラン機関 (Master Plan Organization : MPO) を創設し、MPOによる国家水計画 (National Water Plan (1985-2005) : NWP) 策定事業を開始した。このMPOは1992年6月にWARPOと改名された。

一方でバングラデシュでは1987年と88年に発生した大規模洪水を契機に4つの国際機関と日本を含む11か国の支援を得て洪水行動計画 (Flood Action Plan : FAP、正式には「Bangladesh Action Plan for Flood Control」) が実施された。これは、26のコンポーネント (FAP-1~26) から構成された洪水対策への取り組みであり、1990年から95年 (FAP-21/22 : Bank Protection, River Training and Active Flood Plain Management は2005年) まで実施された。この事業調整のために、水資源省下に洪水計画調整機構 (Flood Plan Coordination Organization : FPCO) が設立され、FAPが終了後の1996年にFPCOは、WARPOに合併された。

WARPOは、バングラデシュにおけるマクロレベルの水資源計画の策定等を専門的に扱うMoWR所管の政府機関である。また、ECNWRCの事務局として、次の主要な任務を行う。

- i. ECNWRCに運営上、技術上、および法的なサポートを提供
- ii. ECNWRCに、水資源管理および関連する土地と環境の管理に関する政策、計画、規制事項について助言
- iii. 国家水管理計画 (NWMP) を策定し、定期的に更新し、NWRCの承認受領
- iv. 国家水資源データベース (NWRD) および情報管理システムの構築と更新
- v. さまざまな水セクター機関によって特定されたすべてのプロジェクトの「情報センター」として機能し、それらのプロジェクトのNWMPへの適合性についてECNWRCに報告
- vi. 国家水政策およびバングラデシュの水と洪水管理戦略で想定されている目的とプログラムを達成するために、ECNWRCが必要とする可能性のある特別な調査を実施
- vii. 政府によって随時割り当てられる可能性のあるその他機能を施行

5) バングラデシュ水開発庁 (Bangladesh Water Development Board : BWDB)

BWDBの前身は、東パキスタン水資源・電力開発局 (East Pakistan Water and Power Development Authority : EPWAPDA) の水部門として1959年に設立された。独立後1972年にBWDBとして分離され、MoWRの下で水資源開発事業等を所管することになった (電力開発部門が Bangladesh Power Development Board: BPDB)。

1990年代に入ると Bangladesh 政府はドナー等から BWDB 改革への強い要求を受け、BWDB の大幅な組織改編・人員削減を行うと共に、BWDB は 2000 年に成立した BWDB Act 2000 (BWDB 法) の下、国家水政策 (NWPo) に沿った責務を果たす独立性の高い機関として再構築された。この BWDB 法による大きな改革点は、BWDB の活動とその管理を統括する理事会の設立であり、水資源省大臣を議長とし、4 人の水関係省庁次官 (MoWR、財務省 : Finance Division、地方行政・農村開発協同組合省 : Ministry of Local Government, Rural Development and Co-operatives、環境森林省 : Ministry of Environment and Forest)、WARPO 長官 (Director General : DG)、BWDB 長官および Bangladesh 政府から任命された学識経験者 4 名、流域代表 1 人、NGO 1 名の計 13 メンバーで構成されている。BWDB 自体の経営管理部門は、長官の下に総務、財務、企画、東部地域事業、西部地域事業を担当する 5 人の副長官 (Additional Director General : ADG) から構成されている。

BWDB の所掌事業は、国家水政策 (National Water Policy : NWPo)、国家水管理計画 (National Water Management Plan : NWMP) に基づき、 Bangladesh のすべての河川、流路、地下水帯水層を対象とすることが BWDB 法に規定されている。BWDB の事業は、いわゆる構造物 (ハード)、非構造物 (ソフト) 両面にわたり、具体には、

(ハード事業の実施)

- i. 河川改修、洪水調節、排水、地表灌漑と渇水防止を目的としたダム、堰、貯水池、堤防、水位・流量調節構造物他の建設
- ii. 漁労、舟運、森林管理、野生生物の利用と環境改善の支援のための流水促進あるいは分流促進を目的とした河口閉塞物の除去、水路堆積物の掘削除去
- iii. 土壌保全、堆積による土地形成 (land accretion)、干拓と河口管理を目的とした事業
- iv. 街区、市場、歴史的・公共的に重要な場所を土地浸食災害から保全することを目的とした河川改修と河川堤防保全
- v. 海岸堤防の建設とその維持管理
- vi. 塩水浸入と砂漠化の防止
- vii. 灌漑、環境保全と飲料水供給のための雨水確保

(ソフト事業の実施)

- i. 水文観測
- ii. 洪水と渇水の予警報
- iii. BWDB 事業関連用地利用による関連政府機関と連携した環境の保全と改善並びに貧困削減を目的とした林業開発、漁業開発
- iv. BWDB 事業のあらゆる側面に関する基礎的および応用的研究
- v. 完成事業の利水者や利害関係者の組織化と彼らによる参加型事業計画の策定、実施、運営と維持管理、彼らの能力向上に向けた研修の実施

なお、BWDB の附属機関として、洪水予警報センター (Flood Forecasting and Warning Center: FFWC) がある。FFWC は、雨季を対象に、時間雨量データ (70 地点)、3 時間毎水位 (94 地点) 等から洪水予測モデル (Mike11) を用いて毎日 600 を超えるユーザーに予警報を发出している。

6) 地方行政・農村開発協同組合省 (Ministry of Local Government, Rural Development and Co-operatives : MLGRDC)

MLGRDC は、地方行政総局 (Local Government Division : LGD) と農村開発協同組合総局 (Rural Development and Co-operatives Division: RDCD) を有する。

バングラデシュでは、水供給と衛生の確保の責任は主に政府にあり、LGD が担当している。LGD は、地方自治体に関する政策担当機関であり、政策遂行、自治体監督を行っている。主な責務は、地方自治に関する各種計画の策定・実施・モニタリング、地方自治体への交付金配賦、地方自治体の業務に関する各種規則の制定や業務の監視、管轄下の実施機関 (公衆衛生工学局 (Department of Public Health Engineering: DPHE)、上下水道公社 (Water and Sanitation Authority: WASA)、地方政府技術局 (Local Government Engineering Department : LGED) を通じた地方インフラ整備・給水、地方自治体の能力強化などである。特に DPHE、WASA の 2 機関は、モヘシュカリ・マタバリ地区への用水供給等機関として重要な役割を果たすものと考えられる。

RDCD は、農村開発を通じて、地域農民の貧困を削減し、社会経済的状況を改善することを目的に、農村開発政策と法律、協同組合に関連する規則と政策の策定、農村部の貧困を緩和するためのプログラムおよびプロジェクトの策定と実施を責務としている。具体には、マイクロクレジットの適用、協同組合ベースの農業、小規模産業の支援、協同組合銀行・保険、その他の協同組合企業を通じて農民を支援するなどを実施している。

7) 地方政府技術局 (Local Government Engineering Department: LGED)

LGED は、道路、橋、カルバート、市場の建設などの農村・地方都市インフラ開発、小規模水資源 (Small Scale Water Resources: SSWR) 開発 (1000ha 未満の小規模灌漑開発) の計画と実施を担当している。バングラデシュでは 1960 年代初頭に農村作業プログラム (Rural Works Program : RWP)、タナ灌漑プログラム (Thana Irrigation Program : TIP) などから構成される作業プログラム (WP) が開始され、その管理を担当する Works Program Wing (WPW) が LGD の下に 1982 年に作られた。WPW は、1984 年 10 月に Local Government Engineering Bureau (LGEB) に改定され、更に 1992 年 8 月に現在の LGED に格上げされた。LGED は、2018 年時点で 500 を超す SSWR 開発を完了させている。

8) 公衆衛生工学局 (Department of Public Health Engineering: DPHE)

1947 年のインド独立後に東パキスタン政府によって DPHE は設立された。現在、DPHE は LGED、WASA と同じく地方行政・農村開発共同組合省の下部組織である。DPHE は、WASA が事業を実施しているダッカ・ナラヤンガンジ、チッタゴン、クルナ、ラッシュヤジを除く他の都市部 (City Corporation、Pourashavas、Union Parishads) に対し、パイプ給水による飲

料水供給サービスを提供するとともに、地方部においては、井戸による飲料水供給サービスを提供している。また、汚水・排泄物処理やその他の廃棄物管理についても、DPHEは環境の改善を実現するためにさまざまなプロジェクトを実施している。このためバングラデシュ全土の県・郡に出先機関を有し、必要なインフラ整備や技術指導、水質検査を所掌する機関でもある。1993年にバングラデシュで初めて確認された砒素汚染地への安全な水供給サービスもDPHEの重要な任務である。

9) 上下水道公社 (Water and Sanitation Authority: WASA)

現在、ダッカ WASA (Dhaka WASA : DWASA)、チャットグラム WASA (Chattogram WASA : CWASA)、クルナ WASA (Khulna WASA : KWASA)、ラッシャヒ WASA (Rajshahi WASA : RWASA) の4 WASA がそれぞれの市 (City Corporation) の既存水道事業体を基に設立され、事業を実施している。WASAの主な役割は、1) 飲料水の取得・浄化・貯蔵・分配に関する施設の建設、改善、維持管理、2) 衛生的な下水道システムの施設の建設、改善、維持管理、3) 不必要な既存排水施設の廃止、4) 雨水排水溝等の排水システムの建設及び維持管理である。

なお、現在、ポリシャル (Barisal)、シレット (Sylhet)、ラングプール (Rangpur)、マイメンシン (Mymensing)、ファリドプール (Faridpur) の5都市で新たに WASA の創設に向け手続き中であるが長期の時間を費やしている。

CWASAは、当初、1963年に、かつての東パキスタン政府の条例「[NO.XIX: The East Pakistan Water Supply and Sewerage Authority Ordinance, 1963]」に基づき、チャットグラム市とその指定された郊外地域への給水および衛生サービスの提供を目的として設立された。その後、1996年の WASA 法制定により CWASA は再構築され、2008年にチャットグラム上下水道公社として正式に発足した。CWASAの主な機能は次のとおりである。

- i. チッタゴン大都市圏の家庭用、工業用、商業用の水供給に必要なインフラの建設、改善、拡張、運用、保守
- ii. チッタゴン大都市圏における下水道システムの建設、運営、維持管理
- iii. 雨、洪水、地表水を対象とした排水施設の建設、運営、維持管理
- iv. 固形廃棄物管理

WASA 法により、WASA の資本は全てバングラデシュ政府の所有であり、理事会はバングラデシュ政府によって指名された13人の理事によって構成されているが、チャットグラム市条例により CWASA は市所管41区155 km²を対象に同区域に対して給水サービスを提供する義務を担っている。

なお、現状では、CWASA は下水処理および雨水排水サービスは実施しておらず、チャットグラム市 (Chattogram City Corporation) で行われている。

10) バングラデシュ電力開発庁 (Bangladesh Power Development Board: BPDB)

BPDBは、カルナフリ川上流の発電専用カプタイダム (230MW) を有する機関であり、かつての東パキスタン水資源・電力開発局 (East Pakistan Water and Power Development

Authority: EPWAPDA) からの分離後、1972年5月1日に、大統領令第59号によって設立された。BPDBは、電力エネルギー鉱物資源省 (Ministry of Power, Energy and Mineral Resources: MPEMR) 傘下であり、主にダッカと西部地域を除く都市部での発電と配電の大部分を担っている。BPDBは、これまでの改革と再編を通して、以下の発電および配電の国有企業を有し、主に天然ガスを燃料とする火力発電を行い、2016年4月時点で発電容量は12,339MWに達している。

- i. Ashuganj Power Station Company Ltd. (APSCL)
- ii. Electricity Generation Company of Bangladesh (EGCB)
- iii. North West Power Generation Company Ltd. (NWPGL)
- iv. West Zone Power Distribution Company Ltd. (WZPDCL)

11) バングラデシュ農業開発公社 (Bangladesh Agricultural Development Corporation : BADC)

BADCは、東パキスタン時代の1961年に農業開発公社として設立され、独立後の1975年に政府農業部門における他の開発機関と機能の仕分けを行い、今日に至っている。BADCは、ダッカ市に本拠を置く農業省傘下の独立法人であり、バングラデシュ全土のウパジラレベルまで、ウパジラによっては更にその下位レベルまで出先機関を置く。その機能は、さまざまな作物の高収量種子の生産・保存と供給、肥料の輸入、灌漑事業 (面積1,000ha未満、ポンプ給水、パイプ給水の利用をベース)、農業資機材の調達、運搬、配布、および地表水の最適利用と土壌の水分飽和の低減による灌漑効率の増大を通して農業生産性の向上を目指すことである。

(3) 水セクターに関する法制度

バングラデシュには既に多くの水セクターに関連する法制度が存在し、主要なものを表4.1.19に示した。本業務で検討対象となるモヘシュカリ・マタバリ地区への水供給機関は、主に表流水を対象とした水資源開発を実施する機関 (BWDB等) と開発された原水を上・工水に加工してモヘシュカリ・マタバリ地区のユーザーに直接届けるとともに、汚水・廃棄物等処理を行う上下水道事業者 (WASA等)、更にこれら機関の機能と関連する地域の利害関係をモニター・評価し、不具合が生じた場合はこれを是正勧告する機関が必要になると考えられる。このため、法制度としては、これら機関の機能発揮を適切に担保するものであるとともに、既存の法制度を活用する、また必要に応じて改正することが实际的である。

1) 水資源全般 (水供給と衛生も含む) に関する法制度等の概要

現在、バングラデシュにおける水管理の全ての側面を網羅した包括的な法的枠組みは、水法2013 (Water Act 2013) である。同法の主な目的は「水資源の統合された開発、管理、取水、流通、使用、保護および保全のための備えること」であり、これにより、関連する既存の組織・法制度は整合の取れた形になり、将来に向けて前進するための強力な基盤を提供するものとなっている。同法は、後述する1999年の国家水政策 (National Water Policy :

NWPo) および 2001 年の国家水管理計画 (National Water Management Plan : NWMP、2004 年に採択) において定義された多くの概念に基づき策定されたものである。

なお、2018 年には NWMP の改訂版とも言える「Bangladesh Delta Plan 2100 : BDP2100」が策定されたが、これに至るまでの水管理に関する基本計画 (Master Plan : MP) 策定は Bangladesh の前身である東パキスタン時代の 1964 年にまで遡る。この MP は、農業生産の拡大を主な目的とした大規模洪水調節、灌漑排水事業に関する計画を内容とし、Bangladesh の水分野事業を 1975 年まで形成した。

1970 年に Bangladesh 政府と世界銀行の共同ミッションによって、水資源賦存量と水需要の体系的な評価に基づく国家水計画 (NWP) 策定の必要性が表明された。その後、国際復興開発銀行 (International Bank for Reconstruction and Development : IBRD) による 1964 年策定の MP の見直し提言もあり、漁業や地下水保全、都市用水等への配慮や 1975 年にインドのファラッカ堰乾季取水に伴うガンジス河の濁水対応等、利水や自然環境保全への対応の必要性に目が向けられるようになった。

1983 年に Bangladesh 政府は、水資源省下にマスタープラン機関 (Master Plan Organization : MPO、WARPO の前身) を創設し、国家水計画 (National Water Plan (1985-2005) : NWP) 策定事業を開始したことは既に述べた。これにより、水資源賦存量、水需要、水運、漁業、自然環境に必要な水資源量の包括的評価を行い、1987 年に NWP を完成させた。この NWP は、Bangladesh の長期的な水管理計画とその制度的実施の提案を行うものであった。

1987 年と 88 年に発生した大規模洪水を契機に 4 つの国際機関と日本を含む 11 か国の支援を得て洪水行動計画 (Flood Action Plan : FAP) が策定され、1990 年から 95 年 (一部コンポーネントは 2005 年) まで実施に移された。この FAP に係る一連の活動により蓄積された知見を基に、水と洪水管理戦略 (Bangladesh Water and Flood Management Strategy : BWFMS) が 1995 年に策定され、更に種々水問題への対処方針を内容とする国家水政策 (National Water Policy : NWPo、1999 年 1 月) とこれに基づく包括的な国家水管理計画 (National Water Management Plan : NWMP、2004 年 3 月承認) の策定に繋がっていった。

2) 国家水政策 (National Water Policy : NWPo)

NWPo は、Bangladesh における水資源の調査、開発、利用、管理に関する施策を担当する全ての関係省庁、地方自治体並びに民間機関に対し、施策の取り得るべき方針を以下の通り提示するものである。

- i. あらゆる種類の地表水と地下水の利用と開発、効率的かつ公平な管理に関する問題に対処
- ii. 全ての国民の公平な水利用、特に女性と子供への配慮
- iii. 適切な法的および財政的措置とインセンティブ (水利権の付与と水価格設定を含む) 確保による持続可能な公共および民間機関の水供給システムの開発支援
- iv. 水資源管理の地方分権化、水管理における女性の役割強化

- v. 水開発と管理における民間部門の投資環境の改善、規制環境の整備
- vi. 幅広い国民参加による水管理目標の達成促進、経済的効率確保、ジェンダー平等、社会正義に基づく将来の水資源管理計画策定に向けた能力開発

また、以下事項に関する具体目標と対策が記載されている。

- i. 水資源の計画と管理
- ii. 水利権とその配分
- iii. 水管理への公的および私的関与
- iv. 公共用水への投資
- v. 水の供給と衛生
- vi. 水と農業、工業、漁業、ナビゲーション、水力発電、レクリエーション、自然環境
- vii. 風光明媚な水域の保全
- viii. 水の経済的および財政的管理
- ix. 研究と情報管理
- x. 利害関係者の参加
- xi. 制度的および法的改革

3) 国家水管理計画 (National Water Management Plan : NWMP)

NWMP は 2001 年から 2025 年までの 25 年を見通した計画であり、総数 84 のプログラムで構成されている。これらのプログラムは、8 つのサブセクターにグループ化されるとともに、国内の水文・気象環境に応じた 8 つの地域にも空間的に配置されている。また、分野横断プログラム、国家プログラム、地域プログラムの 3 カテゴリーにも整理されている。NWMP においては、これらのプログラムを主導し、実施する 35 の機関が特定されており、各機関は NWMP フレームワーク内で通常の政府の行政手続き、関連ルールとガイドラインに準拠しプロジェクトを計画し実施する責任があるとされている。

本業務の対象地域は EH (East Hill) 地域 (チッタゴン丘陵地帯) の一部であるが、NWMP における当地域の扱いは、乾季には水不足が比較的多く発生し、主要な河川を対象とした全地域での水利用は現実的でないと評価している。また、沿岸地帯は、サイクロンの脅威に曝されているという特徴があるとし、これらの地域固有の主な問題と、その解決に向け設定したプログラムを以下の通りとしている。

- i. チッタゴン丘陵地帯における小規模灌漑問題に対する乾季井戸水活用による高価な作物栽培プログラム
- ii. チッタゴン丘陵地帯における電力不足問題に対するミニ水力発電開発とカプタイダム湖水の多目的利用プログラム
- iii. チッタゴン市のサイクロンに対する脆弱性問題に対する雨水排水、洪水防御等プログラム

iv. 沿岸地域の堤防脆弱性問題に対する沿岸堤防補強と植林実施プログラム

なお、WARPO は、現在、NWMP を改定し、National Water Resources Plan を制定する作業に取り掛かっている。

4) バングラデシュ水法 2013 (Bangladesh Water Act 2013 : BWA2013)

BWA2013 は、バングラデシュにおける水管理の全ての側面を網羅した包括的な法的枠組みである。NWPO に基づき、バングラデシュの水資源の開発、取水、分配、利用、保護・保全の在り方を総合的に規定したものである。この法律により、バングラデシュ領土内のすべての形態の水（地表水、地下水、海水、雨水、大気中の水蒸気など）は国民に代わって政府に帰属するとし、その個人・法人による利用許可の取得、土地所有者に対しては、その土地に賦存する水資源の保護・保全を規定している。水需要がひっ迫している地域では、飲料水供給>灌漑用水供給>養殖>生物多様性確保>野生生物の保全>流水の確保>産業用水確保>塩水制御>水力発電用水確保>レクリエーション>その他の順番で水利用の優先順位を定めている。また、本法は、河川構造物等の設置に関する許可についても規定している。利水者等が上記各種許可、規制に違反した場合の罰則や罰金についても規定している。

これらの許可、規制等の執行権限は、この法律によって位置づけが明確化された国家水資源評議会 (National Water Resources Council: NWRC) と国家水資源評議会執行委員会 (Executive Committee of the National Water Resources Council: ECNWRC) に与えられている。

なお、水質保全対策については、この法律では規定が乏しく、他の法律による対応が必要になることが別途指摘されている。

5) バングラデシュ水規則 2018 (Bangladesh Water Rule 2018 : BWR2018)

バングラデシュ水規則 2018 は、BWA2013 のより具体的実施を図ることを目的に、WARPO が草案を作成し、関係機関調整を経て 2018 年 8 月に制定された。現時点で公式英語版は存在していない。

6) 工業用水使用政策 2020 (素案) (Industrial Water Use Policy, 2020 (Draft))

WARPO は、工業用水使用政策 2020 の策定に取り組んでいる。現在、素案段階であり、関係省庁で内容の確認、調整が進められており、この調整が終われば首相府に送られ、更なる審議を経て制定に至ることとなっている。

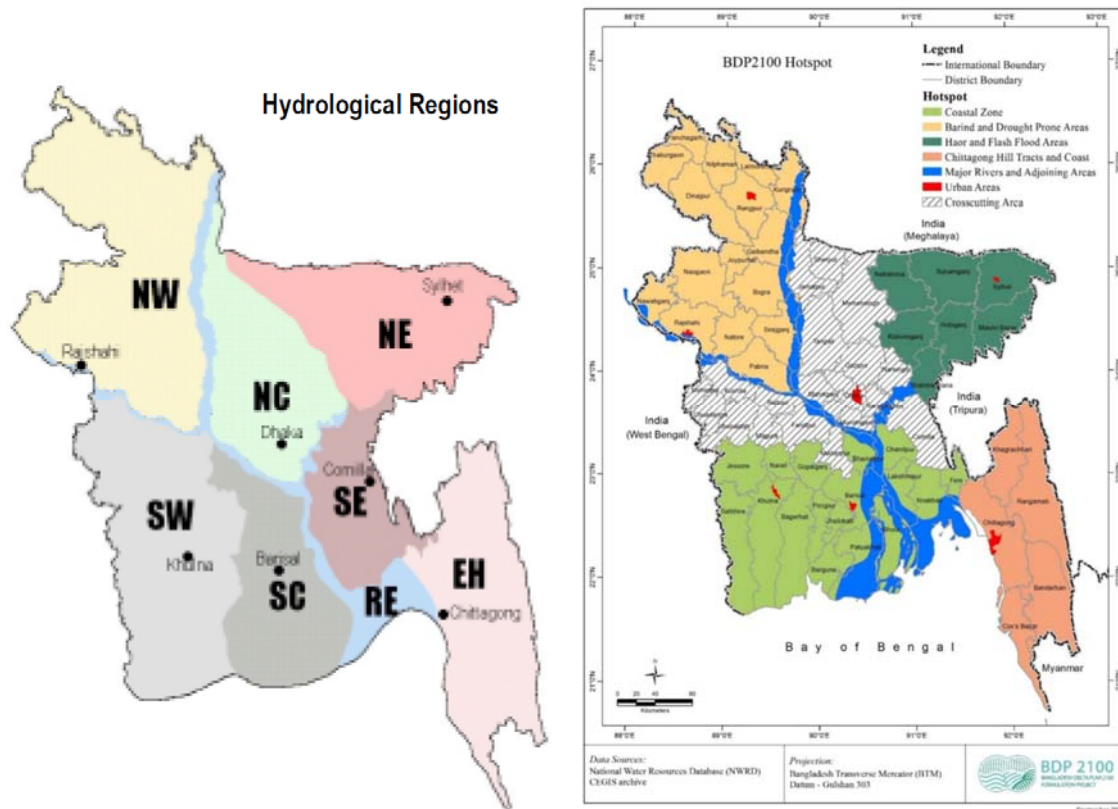
7) バングラデシュ・デルタ・プラン 2100 : Bangladesh Delta Plan 2100 (BDP2100)

バングラデシュ政府は、オランダ政府と提携してバングラデシュ全体を対象とした Bangladesh Delta Plan 2100 (BDP2100) の策定を、2011 年から 12 年にかけての準備作業と 12 年 5 月の MOU 締結を経て進め、2018 年 9 月にバングラデシュ政府は今後 BDP2100 に沿った国家運営を進めていくことを決定している (BDP2100 の開始年は 2015 年であるが、種々調整に期間を要し、2018 年になった)。

BDP2100 は、今後 21 世紀の間、健全な水資源管理（気候変動による自然災害の増大からの安全確保、水の安全保障と効率的な利用、持続可能かつ総合的な河川流域・河口域の管理、湿地・河川の生態系保全、国内・国際河川の公平なガバナンス、土地と水資源の最適な利用）を核にバングラデシュの繁栄を具体化していくもので、全国を水文環境、気候変動への脆弱性から 6 つの特徴あるエリア（6 Hotspots : Coastal Zone、Barind and Drought Prone Areas、Haor and Flash Flood Areas、Chittagong Hill Tracts and Coast、Major Rivers and Adjoining Area、Urban Areas）に分割し、この 6 つの Hotspot に共通する問題を有し、いずれの Hotspot にも分類できないエリアを Crosscutting Area としている。NWMP と BDP2100 のエリア分けを図 4.1.18 に示す。

また、BDP2100 では、2030 年まで（短期）、2030-50 年（中期）、2050-2100 年（長期）に分け、これらのエリア、期間に対して問題の把握を通して開発課題（対象事業は、既に進行中事業も含め、80 事業）とその投資計画（その資金手当は、今後のバングラデシュ GDP の伸び、ドナー支援等を考慮）を策定し、計画実施を図る。中期（2050 年）までは各 5 か年計画が事業レビューと実施の手段となり、長期においては、その時点の環境と開発の不確実性を踏まえた展開シナリオに基づくこととなるものと考えられている。

ところで、NWMP は 2001 年から 2025 年までを見通した計画であるが、バングラデシュ政府は、早くも 2018 年に BDP2100 を策定した。この背景であるが、大きく 2 点ある。1 点は、バングラデシュ政府は、昨今、気候変動への世界的な懸念の高まりを受け、これへの対処を怠ると今後のバングラデシュの持続可能な成長がたいへん困難になると認識していること、2 点目は、それまで NWMP の枠組みで進められてきた事業が関係機関の十分な協働を得られず、十分な成果を上げることができていないことである。このため、NWMP は MoWR が所管していたが、BDP2100 は計画省（Ministry of Planning）が所管しており、いわば挙国一致体制での取り組みである。



出典：WARPO、NAWMP Volume 1、Summary、2001年12月、12ページ、および
<https://cdkn.org/story/feature-bangladeshs-delta-plan-offers-major-opportunity-for-climate-compatible-development>

図 4.1.18 NWMP と BDP2100 における地域区分

本業務の対象地域である南部チョットグラム地域は、Hotspot の一つである「Chittagong Hill Tracts and Coast」であり、BDP2100 においては、丘陵地帯における地すべり災害の発生、海岸平野部での土砂堆積による排水不良等の問題が顕著であることを特徴としている。また、バングラデシュの巨大河川の集水域の多くは国外にあるが、この地域では、重要な河川のほとんどの集水域が国内にあり、諸問題に対し統合流域管理の観点から対処可能とし、全体的な戦略を以下の通り定めている。

- i. 経済活動・居住地域を洪水や高潮から防御する。
- ii. 水の安全保障と持続可能な衛生を確保する。
- iii. 統合河川管理を実践する。
- iv. 生態学的バランスを維持し、その価値を資産として保全する。
- v. 持続可能な成長のための多目的資源管理システムを開発する

また、この地域で、以下の具体事業が計上されている。

- i. Water Supply and Environmental Sanitation in Pourashavas Under CHTs
- ii. Prospects for Promoting Soil Conservation and Watershed Protection in CHT
- iii. Kaptai Lake Rehabilitation Study and Pilot Project
- iv. Development Catchment and Sub-catchment Management Plans

- v. Program for Implementation of Rationalized Water related Interventions in CHT Basin
- vi. Rationalization of Polders in Chittagong Coastal Plain
- vii. Enhancement of Livelihood in the Chittagong Hill Tracts through Good Agricultural Practices
- viii. Sustainable Tourism CHT Feasibility Study
- ix. Promoting Sustainable Cultivation Practices, including Agro-Forestry
- x. Flow Control and Water Storage Structures for Water Availability in the Dry Season

(4) 水供給と衛生に関する国家政策・計画の概要

1) 安全な水供給と衛生のための国家政策 1998 (National Policy for Safe Water Supply and Sanitation : NPoSWS&S 1998)

この政策は、政府の目標を全ての国民が安全な水と衛生 (Water Supply and Sanitation: WSS) サービスの提供を適正なユーザーコスト負担で確実に利用できることと設定し、この実現に向け、WSS サービスに係る計画、管理をユーザーの参加を通して実施し、持続可能性を確保していくものとしている。このため、WASA と Pourashavas は、運営と財務の管理に責任を持ち、WSS サービスの提供に民間部門と NGO の参加を促進するとしている。また、計画、設計、実施、管理、人材育成のための WASA と Pourashavas の能力向上させるため、DPHE は適切な制度的連携を持たなければならないとしている。

2) ヒ素緩和と実施計画に向けた国家政策 2004 (National Policy for Arsenic Mitigation and Implementation Plan 2004)

この政策は、包括的かつ持続可能な方法で人と環境に対するヒ素の影響を緩和するためのガイドラインの提供を目的とする。貧困緩和、公衆衛生、食料安全保障という国家目標を達成する観点から、1998 年の NWPo、NPoSWS&S1998 を促進するとしている。ヒ素の影響を受ける全ての地域における飲用、調理用への安全な水確保は、代替給水を実施することにより確保され、ヒ素中毒者は、適切な診断を受け、効果的な健康管理システムの下に置かれなければならないとしている。

3) バングラデシュ水供給と衛生部門発展計画 (2011- 2025) (Sector Development Plan for Water Supply and Sanitation Sector in Bangladesh (FY 2011-25))

この計画の目的は、水供給と衛生部門 (Water Supply and Sanitation Sector : WSSS) の全ての活動を計画、実施、調整、および監視するためのフレームワークを提供するもので、WSSS 発展に向けたロードマップと部門投資計画を提供するものである。

これは計画期間 15 年を有し、短期、中期、長期計画にそれぞれ 5 年の期間を割り当て、政府の開発 5 か年計画のサイクルと一致させている。また、計画内容は 5 年ごとに見直し、更新する。短期計画は、実施中事業と承認済み、準備中の優先プログラムで構成され、中期計画には、次の優先プログラム・事業の資金手当が決められ、現短期計画 5 年が終了すると中期計画は新しい短期計画に移行することとなっている。長期計画では、可能な部門

資金手当てに基づいて WSSS が最終的にどのような発展が見込まれ、計画、実施、O&M に関して期待される能力が、政府ビジョンとしてまとめられている。

(5) 個別実施機関に関する法制度の概要

1) BWDB ACT 2000 (Water Development Board Act, 2000 (Act No. XXVI))

BWDB は、東パキスタン水資源・電力開発局 (East Pakistan Water and Power Development Authority : EPWAPDA) から 1972 年に Bangladesh Water and Power Development Boards Order (P.O. No. 59) によって分離・設置された機関である。BWDB ACT 2000 は、この P.O. No. 59 を廃止し、BWDB の所管事業、理事会の役割、組織運営他を新たに規定する法律であり、全 27 条から成る。所管事業については、4.1.6 (2) 5) で述べたハード事業、ソフト事業が規定されている。

2) 上下水道法 1996 年 (Water Supply and Sewerage Act 1996 (No. 19 of 1996): WASA ACT 1996)

都市に上下水道サービスを提供する機関として、1963 年にダッカ市とチッタゴン市にそれぞれ DWASA と CWASA が設立されていたが、WASA の特性を自律的な公社として定義し、上下水道、雨水排水サービスを提供する責任を持たせ、組織、権限、予算、料金設定等の組織運営、並びにバングラデシュ政府 (LGD) との役割分担、調整手続きについて規定したものである。この法律は、WASA の財政健全化を図るため、バングラデシュ政府の承認を条件として毎年最大 5% まで水道料金を引き上げることを可能にしている。

4.1.10.2 水資源開発・用水供給機関に係る組織・法制度の提案

前述する調査対象地域における水資源開発計画代替案の調査結果(参照:「4.1.4」～「4.1.7」)を踏まえ、関連施設の建設と運用事業を担当する機関とその基盤となる法制度に関する考え方についてバングラデシュ関係機関に聞き取り調査を実施した。

(1) 水資源開発計画代替案の仕分け

聞き取りに当たっては、水資源開発計画代替案を水資源開発事業と工業用水道事業・上下水道事業に以下の観点から仕分けした。

- 水資源開発は、一般に、河川のある地点における渇水期の流況(流量の時間変化)をダム等に予め貯留してある水を補給することによって調整(流量増加)し、その地点から一定量の取水を可能とすることをいう。この点から、洪水時の河川流量をため池とポンプ式取水口、導水路(ため池等)で取り込み、水道水源として通年利用することは、広義には水資源開発と位置付けることも可能であるが、厳密には水資源開発とは言い難い。
- 水資源開発事業と工業用水道事業・上下水道事業を対比する場合、ため池等の施設整備(工事)、その運用・維持管理は、その効率性や費用負担等の観点からは、工業用水道事業・上下水道事業として一体として扱うことが望ましい。
- ただし、ため池等の施設整備では、厳密には河川区域の指定、占用許可等に関する法

制度整備が先行する必要があるものの、MoWR、BWDB による構造物の技術審査、WARPO による水道事業者に対する水利使用許可（日本には豊水水利権がある）といった河川管理権限の執行が必要となる。この河川管理権限の執行を水資源開発事業の一部と位置付ける。

- なお、ため池によりマタムフリ川への維持用水補給を行う場合、河川管理機能が付加されることとなり、MoWR 下の BWDB によるため池等の運用・維持管理が必要になる。一方、維持用水補給だけならば、工業用水道事業・上下水道事業者が MoWR、BWDB の河川管理権限の代行者として維持用水補給を行うことも考えられる。

なお、工業用水道事業、上下水道事業については、モヘシュカリ・マタバリ地区において大規模なインフラ整備が実施される新規開発地域（図 4.1.6 に示すパイプラインで給水されるエリア）を対象とした定性的な検討を行うものである。特に、上水道事業については、モヘシュカリ・マタバリ地区を含む全受益地（需要地）のシティ・コーポレーションとチャカリアを含む個々のポルシャバを対象とした広域的な水道用水供給事業として整備することが考えられるが、本業務においてその検討の重要性は薄く、検討対象として含まないものとした。

(2) 聞取り対象機関

水資源開発事業（代替案）と工業用水道事業・上下水道事業は、短期代替案は、河川管理権限の執行、取水口、導水路、ため池、浄水場、送水ポンプ場、送水管（パイプライン）および配水設備他であり、長期代替案では、短期代替案に加え、ため池拡張、マタムフリ川あるいはサング川に上流ダム（サング川上流ダムの場合はマタムフリ川までの導水施設が必要）とカルナフリ川カプタイダムからマタムフリ川までの導水施設がそれぞれ必要になる。

Bangladeshで、これらの代替案事業の実施担当にふさわしい現業機関は、水資源開発事業では、MoWR 傘下で、全ての河川（約 700 河川、延長 24,140km）³、地下水帯水層を対象とする水管理・灌漑事業（これまでの 60 年間で 800 事業：水路建設 4,425km、堤防建設 11,393km 等を実施）³を所管する BWDB である。用水供給と下水・廃棄物処理等を担当する現業機関は、MLGRDC/LGD 傘下の DPHE（2020 年時点の職員数：5,613 人、2015 年までに全国で約 115,761 千人を対象とした給水施設（うち井戸が 95.8%）を建設）⁴と CWASA（2016 年時点の職員数：1,048 人、2015 年時点の給水人口計 60,668 人）⁵が該当する。

なお、灌漑事業所管機関は、LGD 傘下の LGED と MoA 傘下の BADC が該当する。しかしながら、いずれも灌漑面積が 1000ha 未満の事業と小規模であり、これら機関の所管事業の一部でしかなく、ダムや大規模導水施設を建設、管理していないので、聞取り対象機関からは除外する。

³ 出典：Bangladesh Delta Plan 2100, Baseline Studies: Volume 1

⁴ 出典：2021年7月、Bangladesh国 公衆衛生工学局総合能力強化プロジェクト完了報告書

⁵ CWASAホームページ <http://ctg-wasa.org.bd/site/page/6b3b1f6-509f-4ac7-9544-ec25204d9bb4/>

また、受益地においてはシティ・コーポレーションとポルシャバが用水供給等サービス業務を個々に実施しているが、広域的に水資源を確保し、大規模な工業地帯や都市域を対象に上下水道等事業を展開する事業主体には当てはまらないので、聞取り対象機関からは除外する。

これらの事業と機関に関連する法制度については、各現業機関とその所管機関が対象となる他、MoWR傘下のWARPOを対象に加えた。WARPOは、バングラデシュにおけるマクロレベルの水資源計画の策定等を専門的に扱う機関であり、水利権行政等を担っている。

以上から、水資源開発計画代替案仕分けと聞取りを行う対象機関は、表 4.1.20 のとおり設定する。

表 4.1.20 事業形態に応じた聞取り対象機関

	水資源開発計画代替案仕分け	聞取り対象機関
短期	<input type="checkbox"/> 水資源開発事業： 河川管理権限の執行	<ul style="list-style-type: none"> ● 水資源省 (MoWR) ● 水資源計画機構 (WARPO) ● バングラデシュ水開発庁(BWDB)
	<input type="checkbox"/> 工業用水道事業・上下水道事業： 取水口、導水路、ため池、浄水場、送水ポンプ場、送水管、配水設備他	<ul style="list-style-type: none"> ● 地方行政総局 (LGD) ● 公衆衛生工学局 (DPHE) ● チャットグラム上下水道公社 (CWASA)
長期	<input type="checkbox"/> 水資源開発事業： 河川管理権限の執行 マタムフリ川上流あるいはサング川上流ダム、カプタイダムからの導水路	<ul style="list-style-type: none"> ● 水資源省 (MoWR) ● 水資源計画機構 (WARPO) ● バングラデシュ水開発庁(BWDB)
	<input type="checkbox"/> 工業用水道事業・上下水道事業： 取水口、導水路、ため池 (拡張)、浄水場、送水ポンプ場、送水管、配水設備他	<ul style="list-style-type: none"> ● 地方行政総局 (LGD) ● 公衆衛生工学局 (DPHE) ● チャットグラム上下水道公社 (CWASA)

出典：JICA 調査団

聞取り対象機関と日程は表 4.1.21 のとおりである。

表 4.1.21 聞き取り対象機関と日程

聞取り対象機関	日程
水資源省 (MoWR)	2021年11月30日 (火)、2022年3月23日 (水)
水資源計画機構 (WARPO)	2021年11月28日 (日)、2022年3月15日 (火)
バングラデシュ水開発庁本庁 (BWDB-HQ)	2021年11月29日 (月)、2022年3月15日 (火)
バングラデシュ水開発庁チャットグラム事務所 (BWDB-CTG)	2021年12月6日 (月)、2022年3月20日 (日)
バングラデシュ水開発庁コックスバザール事務所 (BWDB-Cox'Bazar)	2022年3月21日 (月)
地方行政総局 (LGD)	2022年4月6日 (水)、2022年7月27日 (水) ⁶
公衆衛生工学局 (DPHE)	2021年12月9日 (木)、2022年3月13日 (日)

⁶ 聞取りは、Public Private Partnership Authority: PPPAに異動していた政府職員から実施したが、4月6日と同じ職員であり、LGDの見解として扱う。

聞取り対象機関	日程
チョットグラム上下水道公社 (CWASA)	2021年12月5日(日)、2022年3月20日(日)、 2022年7月27日(水)
バングラデシュ経済特区庁 (BEZA) ⁷	2021年12月2日(木)

出典：JICA 調査団

(3) 主な聞取り項目

主な聞取り項目は、以下のとおりである。

- (i) JICA 調査団の提案する水源地候補、利水施設整備に対する意見
- (ii) 水資源開発事業、工業用水道・上下水道事業の実施機関、両事業に係る関係機関調整、実施機関のパフォーマンス監視・評価機関の候補

(4) 聞取り調査結果

上記 (i)、(ii) に関する聞取り結果は以下のとおりである。() 内は発言機関である。

- (i) JICA 調査団の提案する水源地候補、利水施設整備に対する意見

【地下水利用について】

- 地下水は、その地域の既存水利用の水源地であり、新規水需要の水源地には適さない。大量取水は、地下水位の低下、塩水化を招く (BWDB-HQ、WARPO)。モヘシュカリ・マタバリ地区では、40~50m³/日程度の汲み上げが限界と考えている (DPHE)

【新規ダム建設、カプタイダム湖利用について】

- 長期水需要に対しては、河川上流にダム建設は必要であり、調査団に対し、良いダムサイトを見つけてほしい。しかしながら、この案を実現するためには、全ての関係機関を巻き込み、調整することが必要である (DPHE)。
- カプタイダム湖は、利水に転用したい。カプタイダムの運用改善は重要である (MoWR)。
- 個人的見解と断りつつ、カプタイダム湖の水を使用しないとこの地域の今後の水需要は賄えないであろう。カプタイダムの発電量も小さくなく、発電用水の都市用水への転用の重要性は大きい (BWDB-CTG)。
- ダム湖周辺住民はダム湖の水を利用しているが、ダム湖の水量も堆砂により容量が減少し、決して豊富ではない。カルナフリ川からの取水で下流流量が減少し、塩水遡上によって淡水の取水に影響を受ける関係者も多く、また、近隣地下水の塩水化も起こり得る。ダムの運用改善による取水は種々難しい問題がある (BWDB-CTG)。
- CHT の少数民族とのコミュニケーションはたいへん難しく、大きな問題である。ダム湖から取水する場合は、彼らの利用している水を別途確保する必要がある (BWDB-CTG)。
- 今回、聞き取り調査対象となっている水関係政府機関が BPDB と調整してカプタイダム湖の利水転用を実現することは困難である (WARPO、BWDB-HQ、DPHE)。

⁷ BEZAは、チョットグラム管区で経済特区 (EZ) とエコ・ツーリズム公園の開発を手掛けており、水供給や廃水処理への対応について聞取りを行ったものである。

- 調査団の提案を実現するためには、全ての関係機関を巻き込み、調整することが必要である。調査団には、関係機関、利害関係者を集めて、調査結果に関する説明を行い、議論する場を設定してほしい（DPHE、BWDB-CTG）。

なお、MoWR からは、MoWR によるカプタイダムに関する発言は聞き取りメモからは削除するよう依頼があった。

(ii) 水資源開発事業と上下水道事業の各実施機関、両事業に係る関係機関調整、実施機関のパフォーマンス監視・評価機関の候補

【水資源開発事業実施機関候補】

- 水資源開発事業は、BWDB が担当できる（MoWR、WARPO、BWDB-HQ/CTG）。ただし、BWDB は、都市用水の導水は現状では認められていないし（BWDB-HQ/CTG）、BPDB に代わってカプタイダムの運用はできない（MoWR）。
- ただし、モヘシュカリ・マタバリ地区への水資源開発・上下水道事業という全体事業の中で、サング川あるいはマタムフリ川での新規ダム建設・運用、カルナフリ川から導水施設建設・運用がコンポーネント事業として位置づけられるならば、全体事業主体から BWDB が施設建設・運用を受託することで実施可能である。実際にコックスバザール空港の拡張事業による住民移転地の堤防護岸工事を BWDB は実施している（BWDB-Cox'Bazar）
- 一方で、BWDB はトンネル導水路施工の実績が無いことから、その部分の施工が可能か疑問である（BWDB-Cox'Bazar）。
- BWDB は、100km という長距離水路施工の実績が無く、施工が可能か疑問である（MoWR）。

【工業用水道、上下水道事業実施機関候補】

- 一般に、市街地における用水供給、廃水処理事業担当は、シティ・コーポレーションあるいは WASA、地方都市ポルシャバであるが、WASA 地区以外の市街地は DPHE も担当できる。したがって、現状で CWASA 管轄地でないモヘシュカリ・マタバリ地区における事業実施機関は DPHE となる（LGD、BWDB-HQ、DPHE）。
- 仮に WASA が担当するならば、CWASA ではなく、新たな WASA を設立することとなる（LGD）。
- 新 WASA のような機関を新規に立ち上げることは、多くの関係機関による了承、手続きが必要で長期間を要し、たいへん困難である（BWDB-HQ）。
- CWASA は、モヘシュカリ・マタバリ地区における事業展開が可能である。その根拠は、WASA ACT-1996 Article-18 of Chapter-4 による（CWASA）。

なお、WASA 法の正式な英訳は存在していないため、JICA 調査団が雇用しているバングラデシュコンサルタントによる Article-18 of Chapter-4 の英訳は以下のとおりである。

Chapter 4: Powers and duties of the Authority

14. *Execution of schemes framed by Government or agency:-* Authority, after approval from board, and with mutual agreement of both party, can implement or maintain water supply or sanitation management related scheme which was made before establishment of authority by government or any corporation or municipality or any other agency.

14. 政府または行政法人によって形成された事業計画の実施：WASA は、関係機関相互の合意を踏まえた理事会の承認により、WASA の設置以前に政府またはシティ・コーポレーション、市・町、他の機関による給水または衛生管理関連の運用に関する事業計画を実施することができる。

-
- BEZA が実施している EZ とエコ・ツーリズム公園整備事業の水源は、地下水利用が難しいなかで懸案事項となっているが、いずれの事業も竣工し、本格的な運用段階に至っていないため、問題は顕在化していない（BEZA）。
 - DPHE と BEZA は、2015 年 10 月に、DPHE がチャットグラム県北部とフェニ県南部に位置する Bangabandhu Sheikh Mujib Shilpa Nagar (BSMSN) EZ とシレット県 Sherpur EZ への水供給を行うとする基本合意書（MoU）を締結している（DPHE）。
- 仮に上下水道施設の財産権を DPHE あるいは CWASA が有し、事業運用権を契約によって外国企業を含む私企業に一定期間譲渡し、上下水道サービスをユーザーに提供する（コンセッション）方式の採用は可能かという調査団からの問いに対し、
- バングラデシュは、既に PFI、PPP 事業制度を取り入れており、可能である（LGD、DPHE、CWASA）。
 - BEZA によって BSMSN 経済特区事業が進められているが、DPHE と CWASA から個別に上水道事業に関する提案書を受けている。CWASA の提案書は、コンセッション方式による韓国企業を活用した提案となっている（LGD）。
 - これらの提案のうち、DPHE の提案が採用されたが、首相府では DPHE が給水サービス実績を有しないことから、CWASA 提案の採用に向け検討中であり、この方向で進むものと思われる。CWASA が実施することとなった場合、BSMSN 事業地は CWASA の管轄地に新たに指定されることとなる（LGD）。

【両事業に係る関係機関調整、実施機関のパフォーマンス監視・評価機関候補】

- 担当できる機関は MoWR と LGD である（MoWR、LGD）。
- モヘシュカリ・マタバリ地区では多くの機関が事業を展開しており、1 つの包括的機関の下に関係機関を置き、調整、機能させることが重要である。首相は最近モヘシュカリ・マタバリ地区に進行する事業の適切な調整を行う MIDI Authority（予定）の設置を指示し（WARPO、BEZA）、現在、首相府はこれを設立中である（MoWR、LGD）。
- 現状において関係機関、利害調整者として該当する機関は以下である（MoWR）。
 - 国家水資源評議会（National Water Resources Council: NWRC）
 - チョットグラム、コックスバザール、バンダーバン、カグラチャリ、ラングマティ

各県の行政官 (Deputy Commissioner)

- ▶ MoWR、MoLGRDC、MoEF、MoS、の各大臣
- ▶ DoE、WARPO、BWDB、BPDB、DPHE、BIWTA の各長官
- ▶ チョットグラム、コックスバザール特別市長
- ▶ モヘシュカリ・マタバリ地区における地方行政府長

なお、上記事業に係る関係機関調整等に関連し、現在のバングラデシュ経済は、丁度、日本の高度経済成長期(1955年～1973年)に相当すると考えられることから、日本の総合水資源管理 (IWRM) の事例を聞き取り相手に示した。すなわち、水資源開発促進法 (1961年)、水資源開発公団法 (1962年) の制定とこれらに基づく事業実施枠組みを示したもので、バングラデシュにおいても類似の枠組み整備が必要と思料されるからである。

(5) 事業実施体制の提案

以下に聞き取り対象であるバングラデシュ政府機関からの確認内容を整理するとともに併せて事業実施機関の属性を考慮して事業実施体制を提案する。

(i) 水資源開発事業実施機関候補の提案

- 水資源の開発と利用は、短期および長期水需要ともに、需要地の自流域であるマタムフリ川流域の河川水で賄うことを基本に、長期において不足する量については流域外導水により賄うことも提案している。各種水利用 (生活用水、工業用水、農業用水および河川維持用水) のための水資源開発事業に係る短期・長期代替案の概要は、それぞれ

- 短期代替案：河川管理権限の執行
- 長期代替案：河川管理権限の執行
マタムフリ川上流あるいはサング川上流ダム (流域外導水路を含む)、カプタイダムからの流域外導水路

である。河川管理権限の執行は WARPO と BWDB、これらの施設の建設と建設後の運用、維持・管理に対応可能と思われる機関は、BWDB である。その根拠は、

- WARPO は、水利権行政を担当している。
- 国家水政策 (NWPo)、国家水管理計画 (NWMP) に基づき、バングラデシュのすべての河川、流路、地下水帯水層を対象に、河川改修、洪水調節、排水、地表灌漑と渇水防止を目的としたダム、堰、貯水池、堤防、水位・流量調節構造物他の建設する責務を有すること。
- 既に述べたように、小規模水資源開発事業を担当する機関として LGED と BADC があるが、モヘシュカリ・マタバリ地区等への水資源開発事業の特性から、両者の責務、実績からは不十分であり、それらは BWDB に比肩するものではないこと。
- 関係機関への聞き取り調査から MoWR、WARPO と BWDB 自身が対応できるとのことであった。
- しかしながら、聞き取りからは課題も指摘された。
 - BWDB の責務を規定する BWDB ACT 2000 により、BWDB が扱う利水は灌漑用水であり、都市用水の開発・導水はできない (BWDB-HQ/CTG)。
 - 現状では、事業主体として都市用水事業はできないが、モヘシュカリ・マタバリ地区等への水資源開発事業全体の実施主体が別途存在し、その事業実施

主体から工事や運用・維持管理を委託する形で実施可能ではないか。コックスバザール空港の拡張工事で、住民の移転代替地の堤防工事を BWDB が実施した実績がある (BWDB-Cox'Bazar)。

- ただし、トンネル導水路や延長約 100km の導水路は、BWDB の実績の観点から実施可能かは疑問である (MoWR)。
- 長期代替案におけるカプタイダムからの導水であるが、導水的前提として水を生み出すためにカプタイダムの運用改善が必要であり、バングラデシュ電力開発庁 (BPDB) の協力が必要となる。聞き取り結果からは、モヘシュカリ・マタバリ地区のみならず、チョットグラム県とコックスバザール県において今後増大すると予想される水需要の水源としてたいへん重要という認識は、ほぼ関係機関共通であったが、関係機関では電力セクターとの調整は不可能ということで、MIDI Authority (予定) への調整への期待は大きかった。

(ii) 工業用水道、上下水道事業実施機関候補の提案

- 工業用水道、上下水道事業に係る短期・長期代替案の概要は、給水量の規模は異なるものの、以下である。
 - 短期・長期代替案：取水口、導水路、ため池（長期案：拡張）、浄水場、送水ポンプ場、送水管、配水設備他
- 実施機関候補としては、DPHE と CWASA である。DPHE は WASA 事業地区を除く地方都市と村落への水供給施設（内、約 95.8%は井戸）の提供と関連する能力強化を実施しているが、利水者への給水サービスそのものは実施していない。一方、CWASA は下水道事業の実績は現時点では無いものの、浄水場等工事や市街地 155 km² に対して給水サービスを実施していることから、JICA 調査団としては、当初、CWASA が有力候補という認識であった。
- しかしながら、CWASA を除く、今回、聞き取りを行った LGD、DPHE 他機関は、DPHE が適任機関という判断であった。その根拠は以下のとおりである。
 - DPHE は、WASA (ダッカ、チャットグラム、クルナ、ラッシュヤヒの各 WASA) の事業エリアを除く全土で事業展開が可能であり、CWASA はモヘシュカリ・マタバリ地区で事業はできない。
 - CWASA の主務省である LGD の認識は、仮に、WASA が担当するならば、CWASA ではなく、新たな WASA を設立する必要がある。
 - バングラデシュでは、WASA に限らず、新たな機関を創設することは、関係機関の調整等たいへんな労力、時間を要し、実際的ではない。
- CWASA は、自ら実施可能との認識であったが、その根拠は、
 - WASA ACT-1996 に基づき、関係機関相互の合意を踏まえた理事会の承認により、モヘシュカリ・マタバリ地区の事業計画実施を担当できる。であり、結局は、関係機関の合意が前提というものであり、根拠としては弱いと言わざるを得ない。
- なお、現在、ポリシャル、シレット、ラングプール、マイメンシン、ファリドプールの 5 都市で新たに WASA の創設に向け手続き中であるが長期の時間を費やしていることから、新規 WASA 設立は困難であることが分かる。

- 以上から、適任機関は DPHE となるが、やはり DPHE の事業遂行能力は現状では十分ではないと考えられることから、特に施設整備が完了し、運用段階に入った段階について、コンセッション方式採用による事業経営、当該サービス提供の可能性を LGD、DPHE、CWASA に質問した。結果は以下のとおりであった。
 - バングラデシュは、既に PFI、PPP 事業制度を取り入れており、可能である。
 - LGD によると、チョットグラム県北部の経済特区事業では、韓国企業からコンセッション方式による上下水道事業参画の申し込みを受けている。これより、運用段階におけるサービス提供については、コンセッション方式が採用でき、事業主体として DPHE が可能となることが判明した。
- CWASA も、事業主体である DPHE の下で、施設整備（施工管理）業務の受託や運用サービス業務をコンセッション方式によって受託、実施することも、その時点での CWASA の能力次第ではあるが、可能である。
- なお、上述のように、BSMSN においてコンセッション方式による韓国企業を活用した事業提案を CWASA が行っており、首相府はその提案を採用の方向で検討している。LGD の意見では、モヘシュカリ・マタバリ地区等においては、CWASA の組織能力も限られていることから、JICA 調査団提案のとおり、DPHE が事業主体で良いとのことであった。

(iii) 今後の事業推進に向けた法制度の提案

- 都市用水供給を目的とした大規模な水資源開発事業は、バングラデシュにとって、当然ながら、BWDB にとって初めての事業であり、技術、組織・法制度の面で克服する問題は多く、問題克服のための課題設定が急務である。これを踏まえ、優先すべき法制度として以下を提案する。
 - BWDB は、現状では灌漑用水のみ扱うことができ、都市用水を扱う権能を有しない。都市用水を扱うことができるように BWDB 法 2000 を早急に改定する必要がある。
 - 水資源開発は渇水期をベースとした河川の低水管理技術が必要であるが、BWDB は、業務経験は無く、その技術を持ち合わせていない。洪水対応を目的とした高水管理も含め、流水の占用、河川区域の設定とその占用など、低水管理、高水管理等に必要な日本の河川法に該当する法律が必要である。チョットグラム管区の河川は、日本の河川特性と概ね似ており、日本の河川法を参考に法制度を構築することが有効である。
 - 治水、利水ともに建設事業とその後の管理業務の形成に向けた利害関係者との調整、特に、事業・業務の複数の受益者への適正な費用負担をどのように決定し、その決定を順守させていくかなどの法制度構築が喫緊の課題である。これらについては、60 年以上前に高度経済成長を迎えた日本は、手探りながら対応し、克服した経験がある。すなわち、水資源開発促進法（1961 年）と水資源開発公団法（1962 年、現水資源機構法（2002 年））等を参考に法制度を構築することが有効である。
- 今回の聞き取りで、調査団提案の事業実施にあたって、調査団が利害関係者との調整に取り組む必要が指摘された。調査団からは、逆に事業形成や実施等に関する調整や事業監視・評価機関候補を聞き取ることで、複数機関が明らかになった。事業形成に向け、これら機関との調整を嚆矢に、組織・法制度構築においても取り組みが進捗して

いくものと思料する。

4.1.11 短期水資源開発基本計画案の抽出

モヘシュカリ・マタバリ地区およびチャカリア市を水需要地域として本調査で検討する「短期水資源開発計画」について、前記「4.1.3-4.1.10」において複数の開発水源や利水施設に係る考え方や代替案が考案され、主として次に示す観点から比較・評価された。

- 短期計画の開発目標年次（2026年）
- 需要地域に相応しい表流水および地下水の将来水源として信頼性
- 利水施設に係る概算工事費
- 環境・社会影響及び対応策
- 事業実施体制

これらの結果を踏まえて、本調査ではマタムフリ川の流水を表流水源とし下の施設で構成する開発候補案を「短期水資源開発基本計画案」として選定した。本選定の流れは表 4.1.22 のように整理される。

- ポンプ式取水口：マタムフリ川橋（国道 N-1）から 3.6km 上流左岸（チャカリア）
- 導水路： Chattogram-Cox’s Bazar 高速道路（計画中）および Matarbari Port 連絡道路（設計中）沿いのパイプライン
- ため池＋浄水場＋送水ポンプ場：パラカタ地区（コックスバザール県）
- 送水管（パイプライン）および配水設備（水需要地区）

表 4.1.22 「短期水資源開発基本計画案」策定の流れ

作業項目		主要な成果
1. 図上調査	1.1 水資源開発計画代替案策定の基本方針設定	• 短期開発計画では、モヘシュカリ・マタバリ地区（主要な水需要地）が位置するマタムフリ川流域での対処を第一に考える。
	1.2 新規水需要の水源確保に向けたマタムフリ川流域内表流水の利用可能性調査	• 年間を通して安定した需要地への水供給には、雨季の豊富な河川流水を貯留施設に一旦貯えることが不可欠である。
	1.3 水資源開発計画代替案の検討 (1) 短期計画：S1, S2 および S3*	• 短期計画：S1（取水工＋調整池）が他代替案より適している。
3. 短期計画代替案の策定	“2. 現地踏査”の結果も踏まえた S1 に関する代替案の検討 (1) 取水地点および調整池までのパイプライン・ルート - 既存および新規（計画/設計中）道路沿いパイプライン・ルート の 2 ケース	• 新規道路(Chattogram-Cox’s Bazar Highway＋Matarbari Port Access Road)沿いのパイプライン・ルートの方が、経済および社会への影響の観点から望ましい。
	(2) 調整池（含：4. 水収支解析） 1) 第 1 ステップ：水需要の組み合わせによる 3 ケース	• 調整池は、大雑把に言って「パラカタ地区（コックスバザール）」に位置している。

表 4.1.22 「短期水資源開発基本計画案」策定の流れ

作業項目		主要な成果
	2) 第2ステップ：以下の12ケース** a) 水需要の組み合わせによる6ケース × b) 地下水利用の有無による2ケース	<ul style="list-style-type: none"> 「地下水利用は無し」で「生活用水＋工業用水」を新規に供給するケースが、優位性の高い計画案として考察された。
5. 短期基本計画候補案の選定	上記の成果ならびに「概略環境評価」の結果を踏まえた「短期基本計画候補案」の選定	<ul style="list-style-type: none"> 水源：表流水（雨季のマタムフリ川流水） 利水施設（取水地点から水需要地） <ol style="list-style-type: none"> ポンプ式取水工（チャカリヤ）：マタムフリ川左岸（国道1号線のマタムフリ川橋から3.6km上流） 導水路：新規道路（Chattogram-Cox's Bazar Highway＋Matarbari Port Access Road）沿いのパイプライン 調整池、浄水場/送水ポンプ場：パラカタ地区（コックスバザール） 送水管および配水設備（水需要地区）

（注） * 参照 「項目 4.1.5 (3)」、 ** 参照 「項目 4.1.8 (3)」
 出典: JICA 調査団,

4.2 カプタイダム運用改善案の提案

カプタイダムは広大な貯水池を有し、利用水深 1m 当り約 2 億 m^3 (ダム最低水位付近) の容量がある。運用を改善し、例えば新規水源として利用水深を 10cm 増やすことで、2 千万 m^3 の水資源 (貯水容量) の増加を見込むことができる。収集情報等に基づき、以下の通りダム操作規則の概略検討、ダム堆砂状況の確認、堆砂対策必要性の検討を行った。

4.2.1 ダム操作規則の検討

(1) 概要

ダム運用カーブの操作規則検討例を図 4.2.1 に示す。i) 最低水位低下や常時水位の引上げ等により利用水深を増やすことでダムに新規水源開発容量を確保し、下流の水利用に活用する案、あるいは ii) 放流設備の増強、事前放流などの導入により既存貯水容量を再配分する案、などの適用可能性を検討した。

i) 案については水位引上げに対する湖岸住民への影響や最低水位引き下げ時の取水口構造 (被り水深、土砂吸込) の確認、ii) 案については、放流の下流河川への影響を評価する為、過去のダム放流時の浸水の有無や、河道の通水能力を確認した。

(2) 検討手法

既往のカプタイダムの運用実績データを参照し、ルールカーブの変更による水資源開発の可能性 (乾期のダム放流量の増加) について検討する。合わせて、変更に伴う発電への影響についても概略評価を行う。

(3) 基本検討条件

1) 収集データ

本調査で収集したカプタイダムの基本データを下記に示す。

- Water Level (WL): Daily WL (1990, 2003-2011, 2019-20) & Hourly WL (1991-2002, 2012-18)
- Discharge (Q): Daily Turbine discharge (m^3/s) & Spillway discharge (m^3/s)
- Evapotranspiration (mm) & Rainfall (mm) of Rangamati Station
- Elevation-Storage Curve (Social Impact Assessment (SIA) study for Kaptai Hydro Electric Power Plant Extension Project (6th & 7th Units)

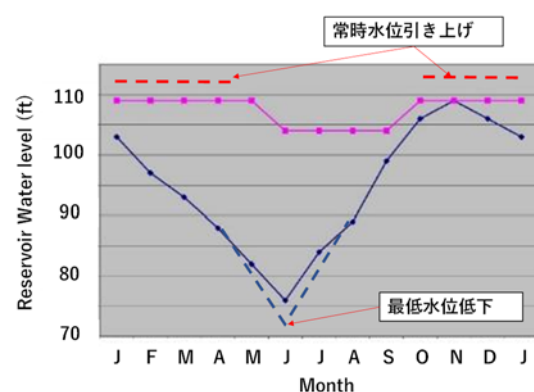


図 4.2.1 カプタイダム操作規則の検討案

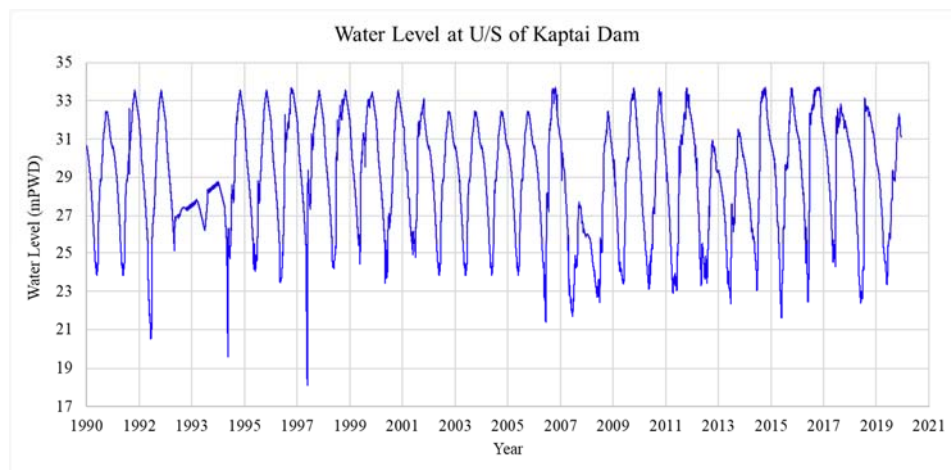
2) 貯水池水位データ

カプタイダム堤体上流面に BPDP の水位計が設置され、定期水位観測が行われている。収集した 1991 年から 2020 年の 30 年間の貯水池水位変動を図 4.2.3 に示す。



出典：JICA 調査団

図 4.2.2 カプタイダム水位計の設置状況

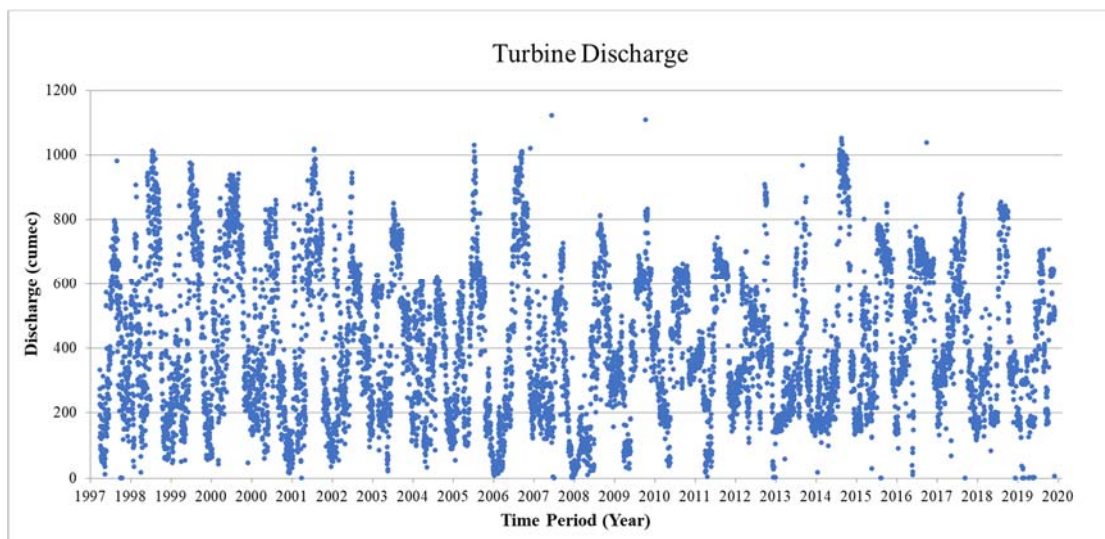


出典：BPDP データをもとに調査団作成

図 4.2.3 カプタイダム水位変動データ

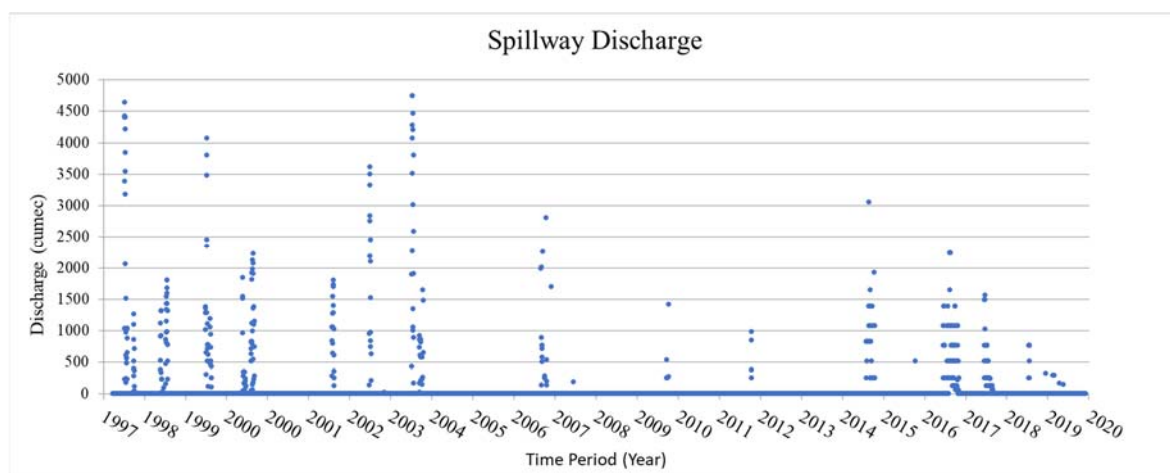
3) 発電放流量、余水吐き放流量データ

BPDP より収集した発電放流量、余水吐き放流量データを図 4.2.4 および図 4.2.5 に示す。



出典：BPDP データをもとに調査団作成

図 4.2.4 カプタイダム発電放流量データ



出典：BPDP データをもとに調査団作成

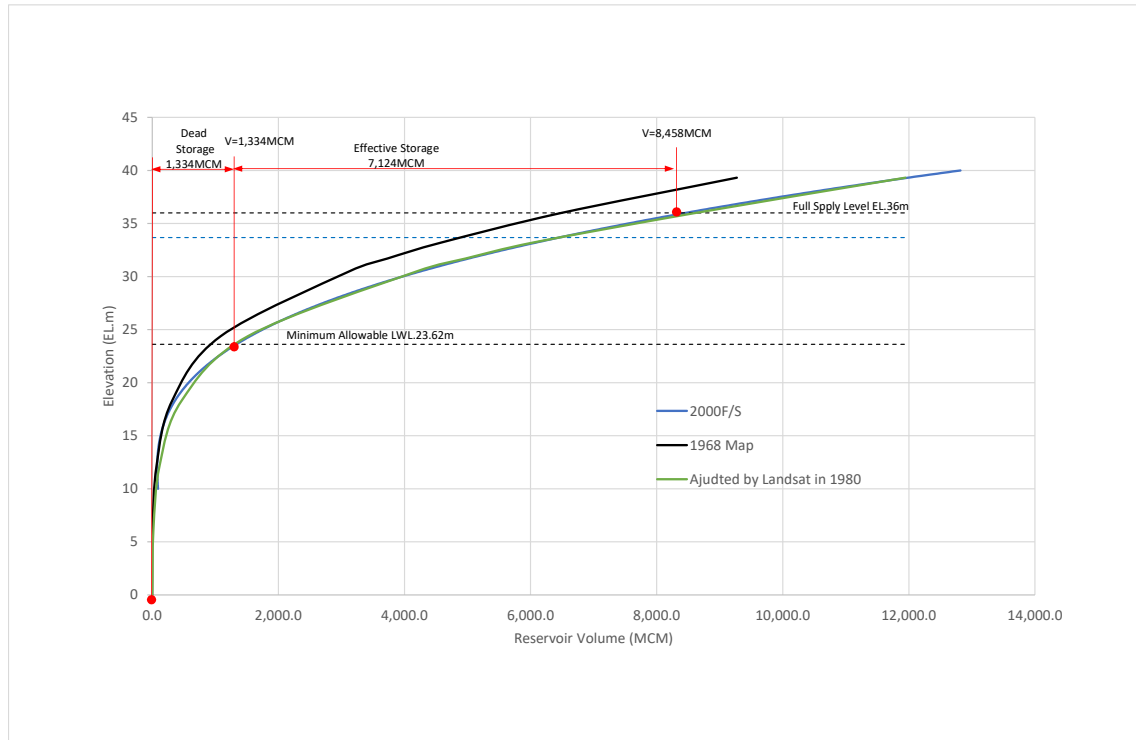
図 4.2.5 カプタイダム余水吐放流量データ

4) 貯水池容量曲線

1968 年、2000 年調査時に設定されたカプタイダム貯水池容量曲線を図 4.2.6 に示す。2000 年調査時の情報によると、1968 年に比べて貯水容量が増加しているが、これは 1968 年当時の地形データの精度によるものとされている。また、2000 年調査によると、貯水池内の堆砂の進行は報告されていない。

以降に示すように本調査で収集した最新の深淺測量結果においても、貯水池内の堆砂の著しい進行は確認されていない。ダム貯水池容量に関する詳細なデータは今後

の調査が必要であるが、本調査では上述の状況を踏まえ、貯水池容量曲線は 2000年のデータを参照して検討を行った。



出典：2000F/S

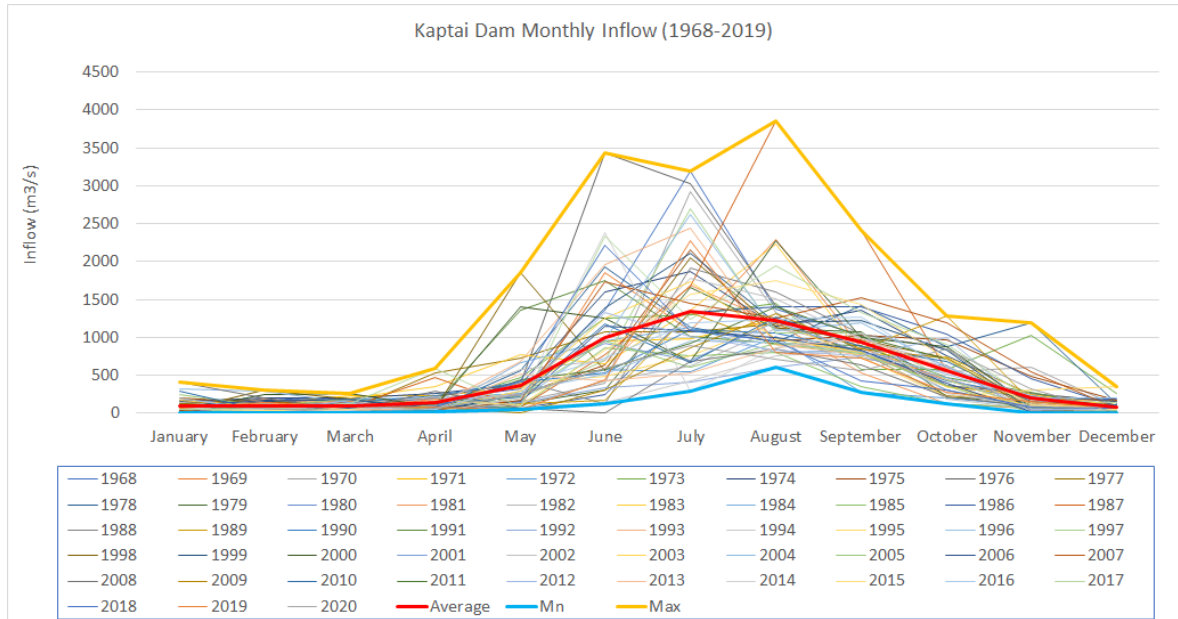
図 4.2.6 カプタイダム貯水池容量曲線

5) ダム流入量の算定

ダム流入量データは、2000年 F/S 調査において、1969年から1997年の29年間の貯水池水位変動が整理されている。1997年以降のデータについては、ダム上流河川から流入量の観測データはないため、収集した貯水池水位変動と発電放流量、余水吐放流量、湖面蒸発量のデータを用いて、下式で算定している。

- i) Reservoir storage corresponding to daily WL (8:00 AM) = S1
- ii) Reservoir storage corresponding to following day WL (8:00 AM) = S2
- iii) Change of Storage, Δs (m³) = S2 - S1 (may be positive or negative)
- iv) Evapotranspiration loss, ΔET (m³) = $E_{To} \times \text{Surface Area}$
- v) Daily inflow to reservoir, Q_{inflow} (m³) = Turbine discharge (m³) + Spillway discharge (m³) + Δs (m³) + ΔET (m³)

上記のデータより整理、算定した1969年から2019年のダム流入量データを図 4.2.7に示す。

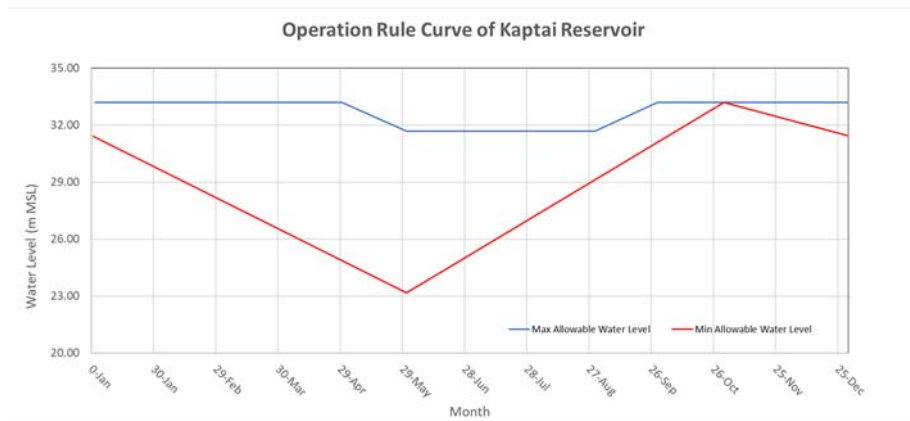


出典：JICA 調査団

図 4.2.7 カプタイダム流入量データ（ダム水位、ダム放流量から換算）

6) ルールカーブ

カプタイダムでは操作規則が1度改訂されており、今回収集した1998年時のもの（参照：図 4.2.8）を参照する。



出典：BPDP

図 4.2.8 カプタイダムのルールカーブデータ

(4) 貯水池運用シミュレーションの手順

2000年F/Sのカプタイダム発電量シミュレーション時に用いられた以下の手順を用いて貯水池運用シミュレーションを行い、月別のダム放流量、発電量を算定する。

- ① ダム流入量 ($Q_{in}(t)$) は、上記期間の月別のダム流入量を参照する。

- ② ダム放流量($Q_{out}(t)$)は、ルールカーブに則った当該月の想定放流量を算定する
(当月ダム水位、翌月目標水位をもとにその区間の貯水量を算定し、その差分よりダム放流量を算定)。
- ③ ②で計算したダム放流量が、発電最大使用水量(Q_{pmax})を上回る場合は、その超過分の水量をダムに貯留し、ダム放流量=発電最大使用水量に補正する。一方、計算したダム放流量がゼロ以下となる場合は、ダム放流量=0に補正する。
- ④ 上述のダム流入量、ダム放流量と当該月のダム水位データ($RWL(t)$)、ダム HV データから、翌月のダム水位($RWL(t+1)$)を算定する。
- ⑤ 翌月ダム水位が、余水吐き越流部標高を上回る場合は、余水放流量を算定し、ダム水位は、ダム水位=余水吐き越流部標高となるよう補正する。
- ⑥ 上述のダム放流量(発電使用水量)、ダム水位と、それらから換算される有効落差、発電合成効率のデータをもとに、当該月の発電量 ($P(t)$)を算定する。

(5) ダム運用シミュレーション結果

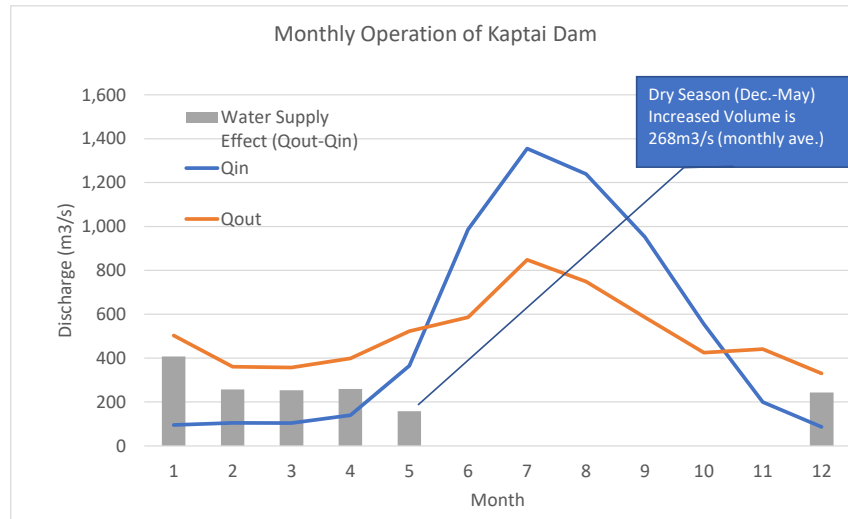
1) 現状 (Case 0)

現状のシミュレーション結果による、ダム流入量、発電放流量(発電使用水量)、ダムによる乾期調整流量(ダム放流量とダム流入量の差分)、発電量のデータを表 4.2.1 および図 4.2.9 に示す。

表 4.2.1 カプタイダムの現状運用シミュレーション結果

Month	Dam Inflow	Power Discharge	Regulated Discharge by Dam in Dry Season	Power Generation
	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)	(GWh)
Jan	96	503	407	83
Feb	104	361	257	50
Mar	104	357	253	51
Apr	139	399	259	51
May	365	523	158	62
Jun	987	586	—	62
Jul	1,356	848	—	111
Aug	1,239	749	—	114
Sep	952	586	—	96
Oct	555	425	—	75
Nov	200	440	240	76
Dec	87	330	244	57
Average	515	509	260	74
Total	-	-	-	887

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.2.9 カプタイダムの現状運用シミュレーション結果（月別流量、月別発電放流量、乾期のダムによる調整流量）

2) 運用変更案

将来の水資源需要の増加に応じるため、カプタイダムによる乾期調整流量の増加を図るダム運用変更案として、以下の2ケースの検討を行う。

(Case 1) ルールカーブの最低水位月の水位設定値を 1m 下げる。

(Case 2) ルールカーブの最低水位月の水位設定値を 2m 下げる。

なお、当初、検討を予定していた“ルールカーブの最大月の水位設定値を上げる”代替案も考えられるが、本調査における情報収集の過程で、貯水池水位上昇に伴う湖岸の土地利用の影響などの社会面の影響や、排水に対する水理的影響などのインパクトが大きくなることが確認されたため、今回の比較検討では考慮しないものとした。

3) 各ケースの検討結果

各ケースの検討結果を表 4.2.2、および付録 4.2-1 に示す。

表 4.2.2 カプタイダムの各ケースのダム運用シミュレーション結果

項目	単位	現状	Case 1	Case 2	Case 1 (差分)	Case 2 (差分)
年間ダム流入量	m³/s	515.2	515.2	515.2	0.0	0.0
年発電放流量	m³/s	509.0	509.6	510.1	0.6	1.1
乾期調整流量	m³/s	263.1	268.8	272.2	5.7	9.1
発生電力量	GWh	887.4	887.2	847.3	-0.2	-40.1

出典：JICA 調査団

乾期調整流量（12月～5月のダムによる調整流量）の増分は、Case1で約 $5.7\text{m}^3/\text{s}$ 、Case2で約 $9.1\text{m}^3/\text{s}$ となり、ダム運用最低水位を下げることによりダム下流河川流量増加、すなわち水資源開発の効果が期待できる。

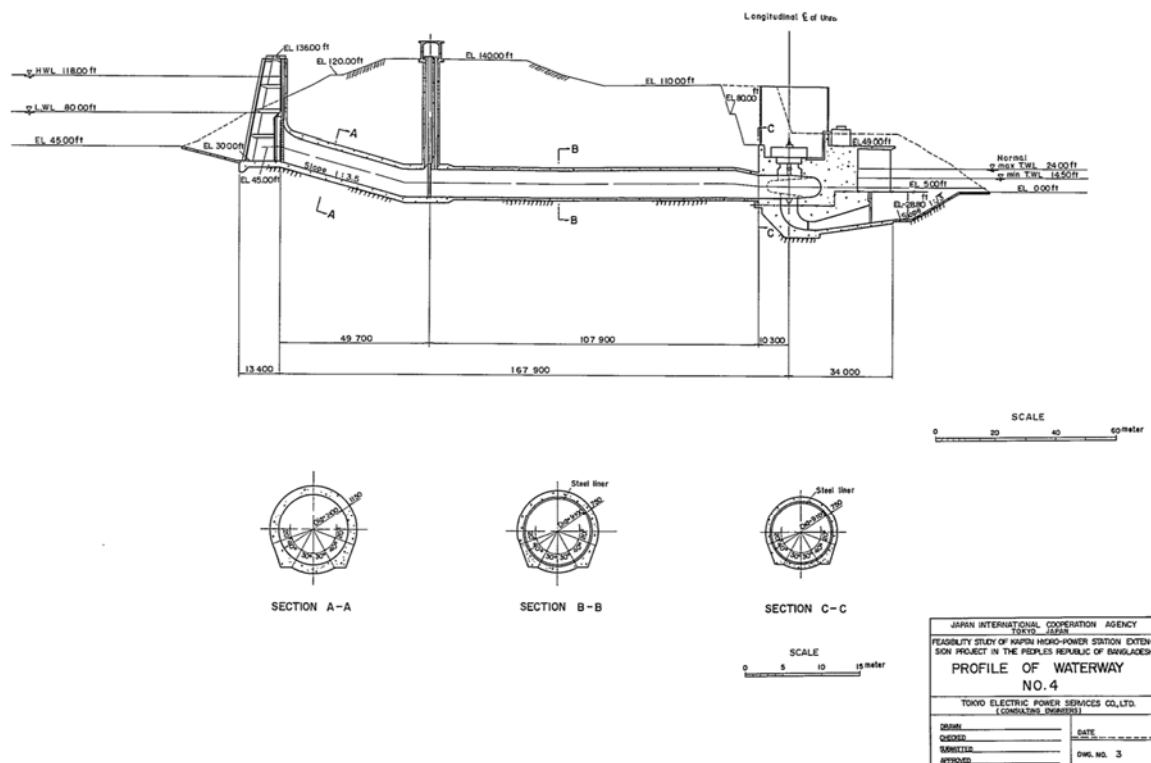
一方、カプタイダムにおける水力発電への影響に関しては、ダム運用最低位を下げるにより有効落差は減少するが、発電使用水量は増加するため、それぞれの効果が相殺され、影響の程度は小さい。これにより、Case1では現状の年間発生電力量に対し、 0.2GWh 、Case2では 40.1Gwh の減少が生じる。

(6) 最低水位引き下げ時の取水口構造の検討

カプタイダムの取水口の断面図を図4.2.10に示す。現状の最低水位（Low Water Level: LWL）はEL.24.38mに設定されている。現状の最低水位に対し、発電取水口の呑口部の被り水深は約 7.89m を有している。ダム運用変更に伴い最低水位を $1\sim 2\text{m}$ 引き下げの場合、被り水深は $5.89\sim 6.89\text{m}$ となるが、圧力式取水口の設計上必要とされる設計条件（被り水深 \geq 水路内径 (2.77m) ）の条件は依然満足している。

但し、最低水位の変更に伴い、取水口の水理面や土砂吸引の影響が生じることが考えられ、これらについては必要に応じて、取水口前面の堆砂形状の詳細調査や水理模型実験などを実施し、確認する必要がある。

最低水位	(LWL)	24.38	EL.m	
発電敷高	(Elb)	13.72	EL.m	
水路内径	(D)	2.77	m	
被り水深	(hd)	7.89	m	$\text{LWL}-\text{Elb}-\text{D} \geq \text{D}$



出典：1980JICA F/S

図 4.2.10 カプタイダム取水口断面図

(7) 放流設備の増強、事前放流などの導入により既存貯水容量を再配分する案

放流設備を増強し、事前放流等により貯水位低減を図り既存貯水容量を再配分する案については、カプタイダムの既貯水面積は広大であり、その水位低減効果は小さい。

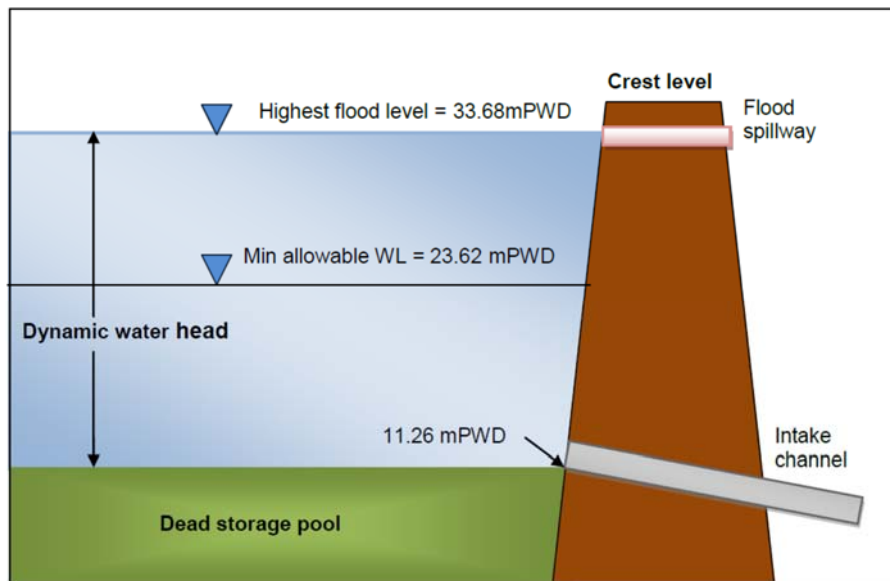
なお、カプタイダムの治水効果については、過去に定量的に評価はされていないものの、巨大な貯水容量により、ダム上流域からの洪水流入に対し自然洪水調節が機能しており、ダム下流の洪水被害低減に非常に大きな役割を果たしている。

4.2.2 堆砂状況の確認、堆砂対策必要性の検討

1980年にJICA発電増強調査が実施されており、1962-1980年の間の有効容量の減少は殆どないと報告されているが、近年、土砂堆積が進行し貯水容量が大きく減少しているという情報がある。基礎情報収集時に最新の貯水池堆砂実態を再委託調査などで確認した。

(1) ダム堆砂情報

カプタイダムは、図 4.2.11 に示すように 11.26mPWD 以下が堆砂容量となっている。この容量は $1,800 \times 10^6 \text{ m}^3$ である。



出典：2016 電力 MP

図 4.2.11 カプタイダム計画図

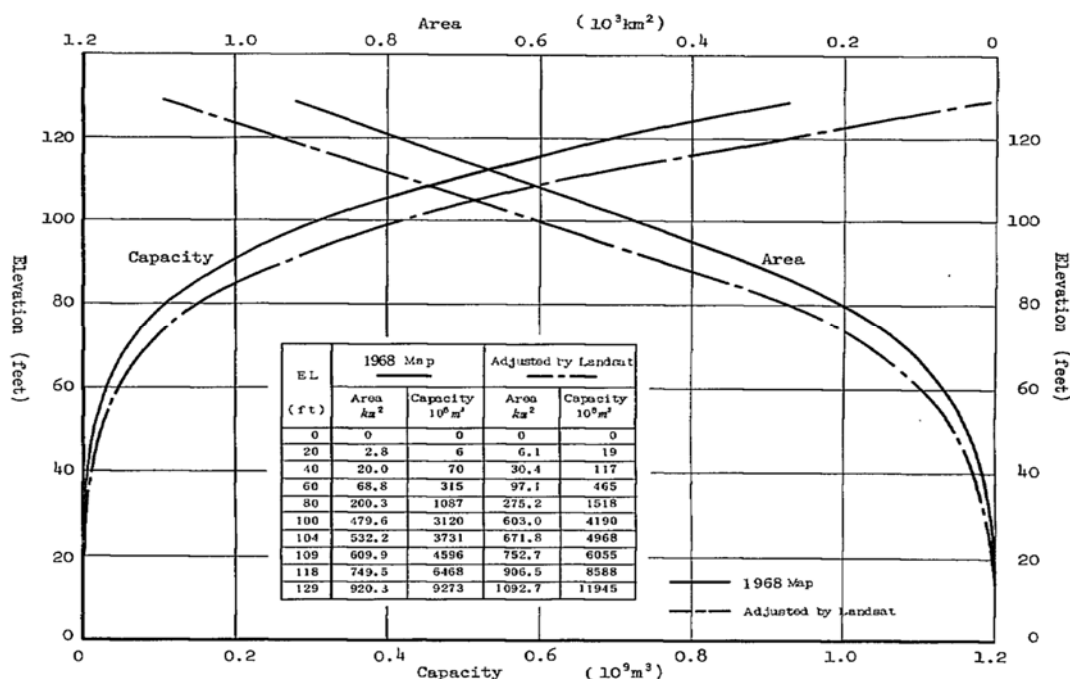
(2) 1980F/S 時のレビュー

カプタイ貯水池の水位・湛水池面積・容量曲線は 1968 年に確定された。その後、1980 年に JICA により貯水容量が LANDSAT 写真や発電所運転記録により再検討された。

この結果、貯水池の湛水表面積は、1968 年作成地図から算出した値よりも若干大きいことが分かった。また、有効容量は 1968 年以来ほとんど変化していないことが分かった。これより、貯水池最低水位以上の貯水池敷の堆砂堆泥はごく僅かで貯水池有効容量に何ら影響を及ぼしていないと推察される。但し、貯水池最低水位下の貯水池堆砂堆泥の現状を明らかにすることは、深淺測量を実施して堆積堆泥の層厚を実測しない限り不可能であるとされている。また、有効容量は次の理由により今後とも十分安全に確保できるとされている。

- カルナフリ川の勾配は、1 万分の 1 程度と緩く、流速も非常に遅い。従って河底および河岸の浸食はほとんど起こらない。
- カルナフリ川流域の大部分は緩傾斜で密林に覆われ、しかも河川近くに標高の高い山は存在しない。このように、流域全体が安定した地勢を形成しているといえる。
- この地域は典型的なモンスーン地帯で、地質学的に長い時間を経て厳しい気象条件に抵抗し得る現地勢に移行した。従って、将来とも電力発生に影響を及ぼすような貯水池の堆砂堆泥はないと思われる。

Fig. 5.3 Area and Capacity Curve of Kaptai Reservoir



出典：1980F/S

図 4.2.12 カプタイダム貯水池容量曲線

(3) 2000F/S 時のレビュー

ダム建設時の計画では、カプタイダムの浮遊砂量を 1000ppm、掃流砂をこの 50%と想定し、堆砂の乾燥単位重量は、1 立方フィートあたり 60 ポンドと設定して、貯水池の寿命を 272 - 300 年と推定している。

また、Kaptai と Rangamati 付近で堆砂測量が 1978 年、1980 年、1983 年、1986 年、2000 年に実施されている。2000 年の堆砂調査に関する報告書を KHPP 当局から収集したが、それ以外のレポートは適切に保管されていなく、入手できていない。2000 年の報告書では、1983 年、1986 年、2000 年の堆砂状況が検討され比較が行われ、ダム堆砂の原因は、次のように推定されている。

- 巨大な集水域の雨水による侵食、運搬作用により流入する細粒土砂
- ダム湖岸の侵食土砂
- 貯水池に隣接する丘陵地帯の地すべり

但し、詳細な堆砂測量は実施されておらず、適切な測定を行わずに堆砂量を定量化することは非常に困難であり、上記の検討結果は実際の状況を真に反映するものではないと言及されている。

また、2000 年 F/S では、特に北部地域のダム湖の流入部でかなりの堆砂が発生したことが報告されている。2000 年に BWDB が実施した堆砂調査では、1983 年から 2000 年の間に 222,000cft (62,782m³)の堆砂が発生したことが示されている。

(4) 現地再委託によるダム堆砂データ

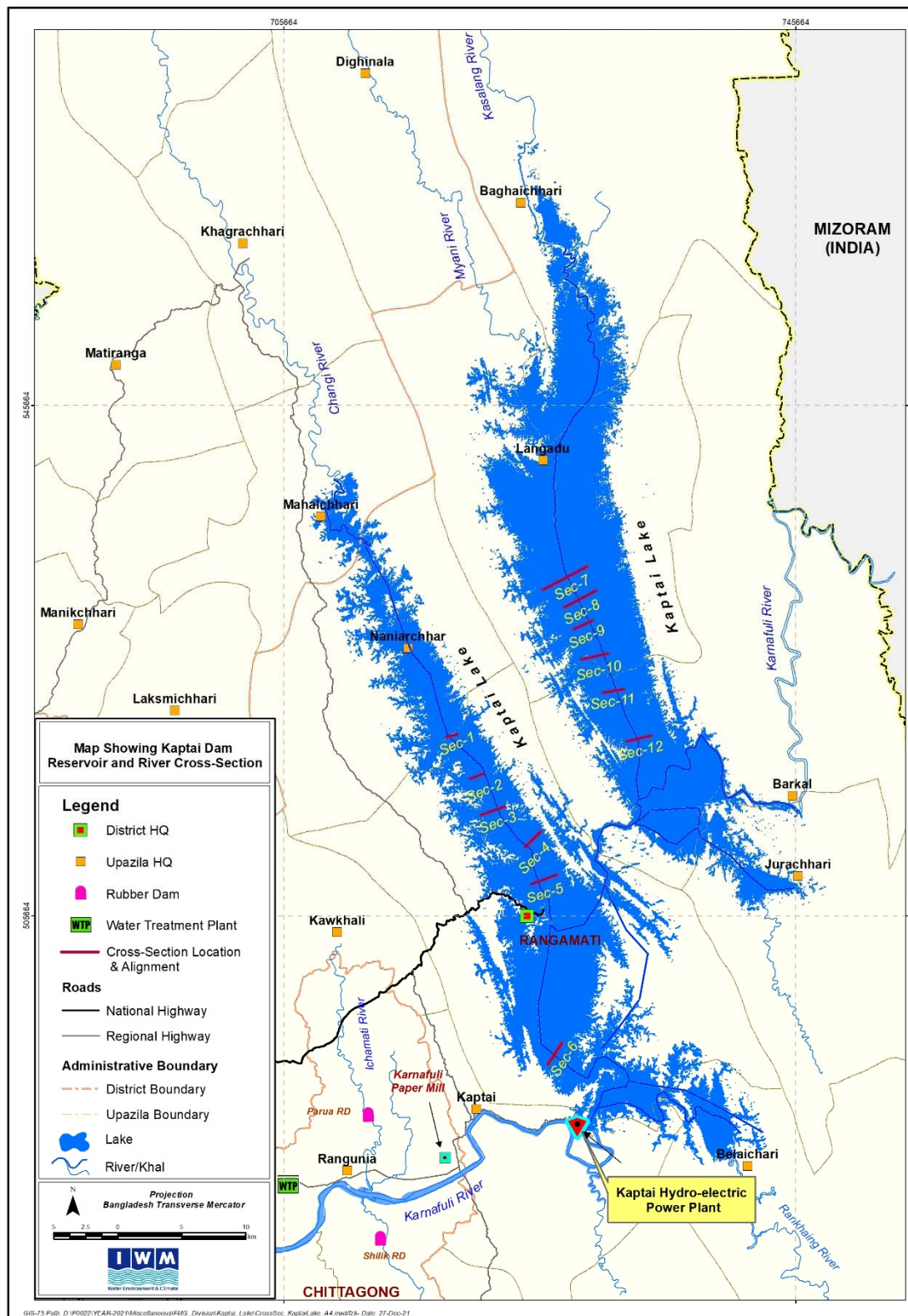
現地再委託にて、以下の貯水池深淺測量のデータを収集した。

- ・ 2012 年深淺測量
- ・ 2019 年深淺測量

これらのデータのうち、比較可能なデータを用いて測量断面の比較を行った。測線の位置図と、測量断面の比較図を図 4.2.13、図 4.2.14、図 4.2.15 に示す。

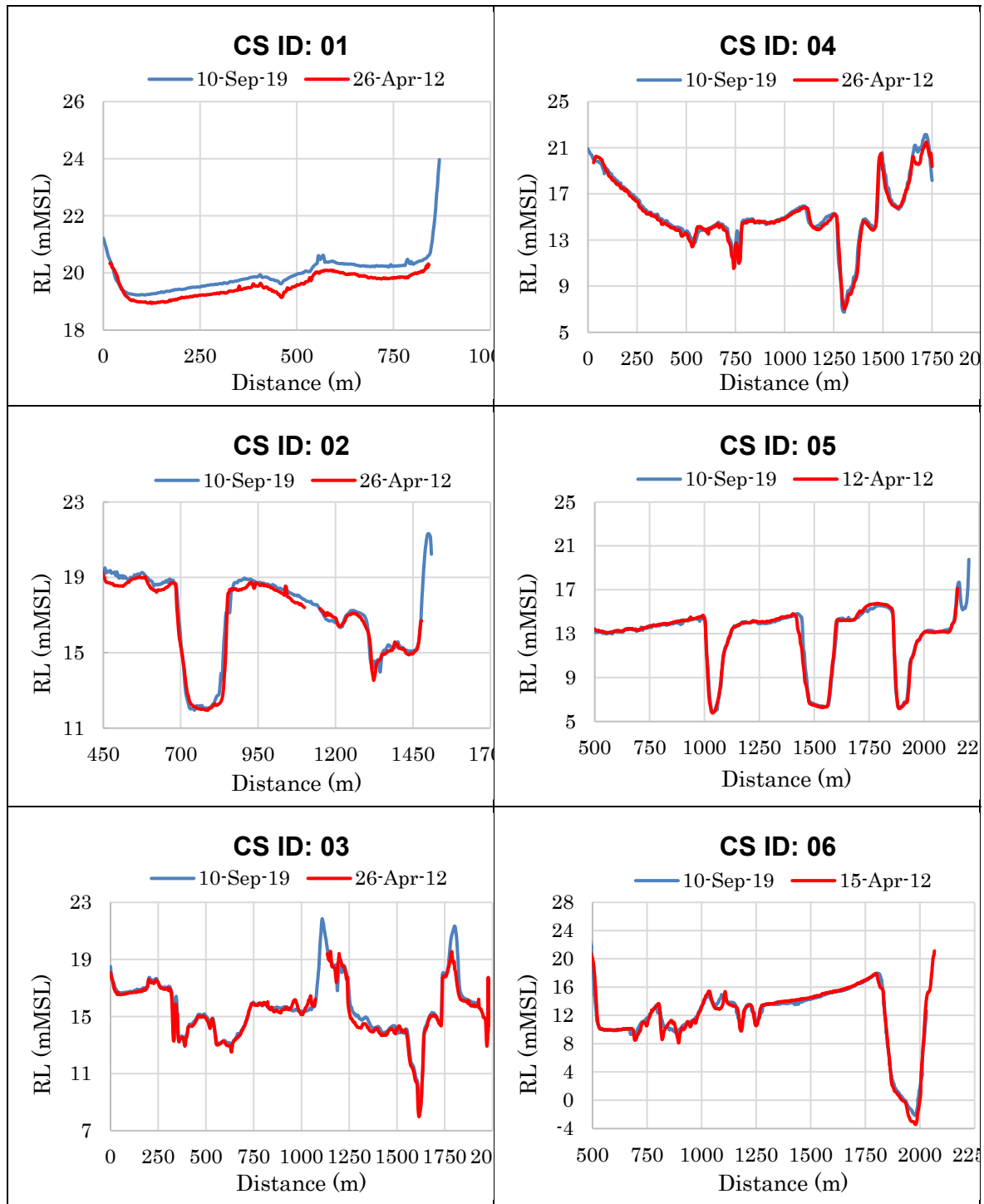
これらの測量は貯水池中央部で実施されたものであるが、上流側の断面（CS-ID01）以外の断面では堆砂の進行は見られない。

従って、上述したように、貯水池流入部では部分的に堆砂が進行しているものの、貯水池中央部では、堆砂の進行速度は遅く、当面、発電や水資源利用に影響を及ぼすような貯水池の堆砂はないものと推定される。



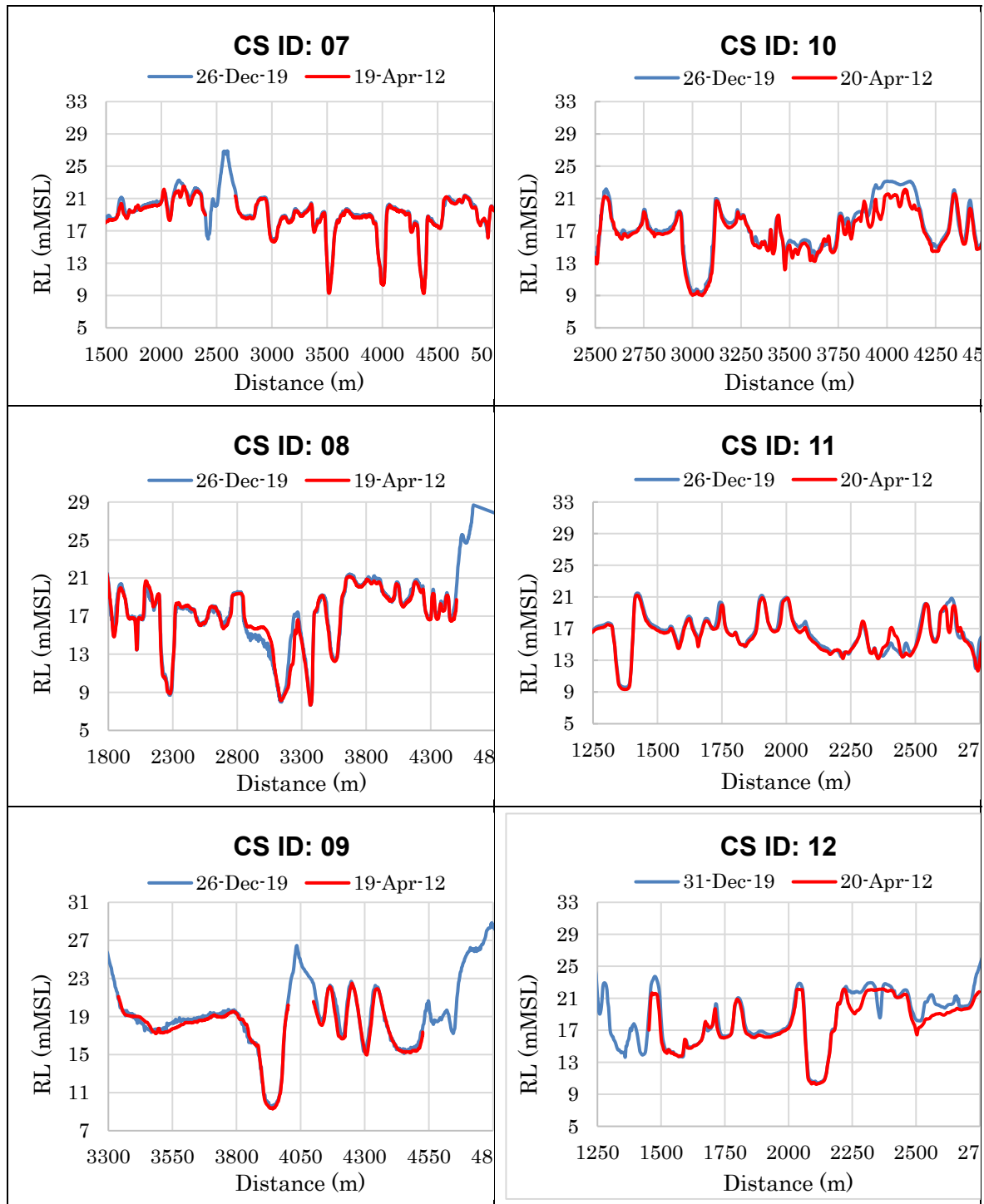
出典：JICA 調査団

図 4.2.13 貯水池測量の位置図



出典：JICA 調査団

図 4.2.14 貯水池横断測量の比較図 (2012年、2019年) (1/2)



出典：JICA 調査団

図 4.2.15 貯水池横断測量の比較図 (2012年、2019年) (2/2)

4.3 推奨水資源開発オプション概略検討

4.3.1 長期水資源開発計画の代替案策定

(1) 長期代替案の検討方針

前述 4.1.1 で述べたように、マタムフリ川流域の現状の水賦存量に対し、モヘシュカリ・マタバリ地区への給水量に不足が生じることが確認された。基本方針にも述べたように、統合水資源管理の理念に則り、流域単位の水資源開発を指向しマタムフリ川自流で賄う案を基本案とする。一方で、マタムフリ川流域での水資源開発オプションで社会面や環境面で開発に制約があり得ることも考慮し、長期代替案としては、サング川、カルナフリ川からの流域外導水の代替案も含めて検討する。

長期案の検討に当たっては、以下の点を前提条件とする。

- ・ マタムフリ川流域の賦存量（現状）に対し、モヘシュカリ・マタバリ地区への給水量に不足が生じる。
- ・ 短期案については、前述「4.1.11」のため池による水資源開発計画を参照する。
- ・ 短期案を入れたケースの水収支計算に基づく長期案の不足量（供給必要量を算定）を算定し、その開発規模を設定する。

(2) 長期代替案の設定

上記の方針より、長期代替案として以下の4案を設定した。

<マタムフリ川自流域で不足量を補給する案>

M1 : マタムフリ川ため池拡張案

M2-1 : マタムフリ川ダム案

<流域外導水案>

M2-2 : サング川からの流域外導水案（サング川ダム案）

M3 : カルナフリ川からの流域外導水案（カプタイダム・パイプライン案）

表 4.3.1 長期代替案

番号	M1	M2-1	M2-2	M3
代替案	ため池拡張案	マタムフリ川ダム案	サング川ダム案	カプタイダム・パイプライン案
特徴	✓氾濫原の軟弱地盤上に高さの低い土質堰堤によるため池を築造する。	✓マタムフリ川の本・支川ダムにより長期需要不足容量を確保する。	✓サング川の本・支川ダムにより長期需要不足容量を確保する。 ✓施設の基本構造は、M2-1と同じ。	✓カルナフリ川の既設カプタイダムの貯留水を利用し、パイプラインで需要地に送水する。

番号	M1	M2-1	M2-2	M3
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 拡張ため池は短期容量 16 百万 m³ に追加 173.7 百万 m³ を隣接確保する。 ✓ 原水は河川ポンプ場で取水後ため池に導水する。 ✓ 浄水場はため池隣接地に建設し需要地までポンプ圧送する。 ✓ 広大な氾濫原用地内補償、軟弱地盤対策、ため池水質対策等の課題が想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ダム放流設備を使用し河川へ需要量を放流する。 ✓ 放流水はため池案と同様の塩水遡上リスクが小さい地点でポンプ取水し浄水場へ導水する。 ✓ マタムフリ川取水地点は既設あるいは新設道路橋梁架設近傍を想定する。 ✓ ダム建設に伴う水没地の住民移転、道路付け替え、環境保全等課題が想定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ サング川取水地点は「Dahazari」橋梁付近が想定されるが、この取水地点から浄水場まで圧送距離 58km と長くポンプ圧送コストも大きい。このため、サング川とマタムフリ川支川を無圧導水路トンネルにより連絡する流域間導水路により、マタムフリ川へ転流する*1。 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ カプタイダムに圧力式取水口を建設し約 100km 下流のマタムフリ浄水場まで無圧導水する。 ✓ 約 100km 水路ルート確定、用地確保、電力事業に新規用水供給事業が追加されることによるダム運用ルール変更可否、等課題が想定される。

(注) *1: 付録 4.3-1 参照

出典: JICA 調査団

なお、前節「4.1.4」で述べたように、「海水淡水化案」、「地下水開発案」、「水需要管理案」については補助的対策として位置付ける。

- 「海水淡水化案」については、現在、対象流域の表流水がほぼ未開発の状況であり、海水淡水化事業を実施する前にまず表流水による水資源開発を優先すべきと考えられる。一方、「海水淡水化」案はダム・貯水池や大規模ため池建設のように広大な用地取得や住民移転の問題は小さく、小規模のものは事業を早期に推進できる可能性がある。従い、「海水淡水化」案は、あくまで局所的な水需要でかつ水量が少ない場合の補助的対策と位置付ける。
- 「地下水開発案」については、現地の農業、上工水の主水源として地下水が利用されているが、「4.1.2」で述べたように調査対象地域では経年的な地下水位低下の傾向が見られること、また表流水に比べて未知・不明の事項が多いので、表流水の開発を優先し、補助的対策と位置付ける。
- 「水需要管理案」は、主要な構造物対策と並行して実施可能であり、補助的対策として位置付ける。

(3) 長期代替案の図上調査

長期代替案は、短期代替案で不足する容量を M1: ため池拡張、M2-1、M2-2: ダム建設、あるいは M3: 流域間導水路建設により確保する案である。

図上調査は、短期代替案と同様、地形図、土地利用図、空中写真等の情報を Google Earth

から得る方法により実施した。特に、ダム候補地点については居住家屋、土地利用、希少生物に留意しつつ、開発容量確保可能な地点をダム候補地点として選定した。各案の位置図を図 4.3.1 に示す。

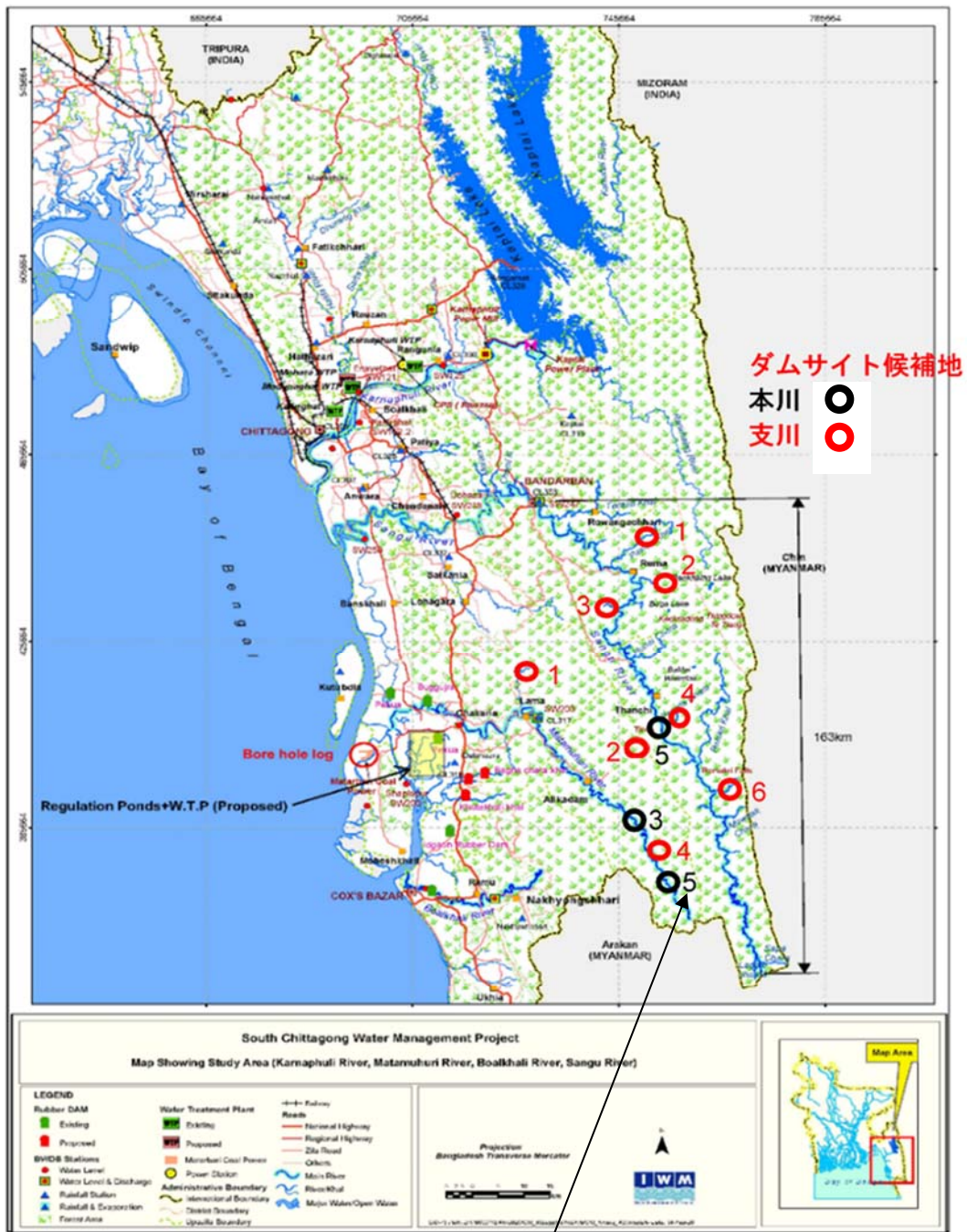
1) ダム貯留案 (M2-1, M2-2)

(a) マタムフリ川流域(M2-1)およびサング川流域内(M2-2)ダムサイト候補位置

マタムフリ川、サング川ダムサイト候補地を図 4.3.1 に示す。

なお、ダムは利水専用施設として設置することから治水容量を持たない施設であるが、ダム設置に伴う「河川の従前の機能の維持」、「流域の気象情報に基づく出水時の放流操作」など、特に下流域への影響最小化について留意する必要がある。

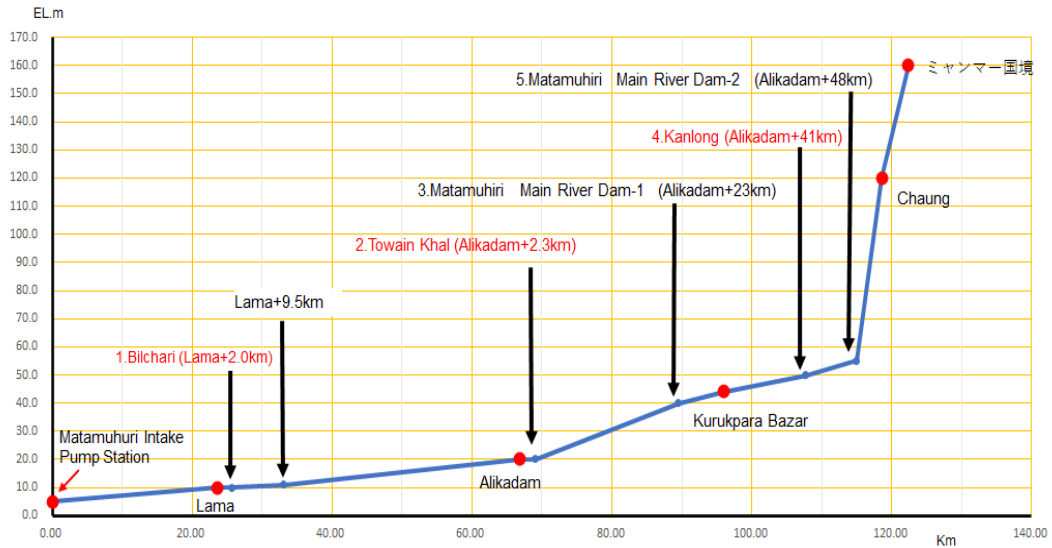
さらに、環境改変を最小化するための工事前、工事中、工事後の諸対策、湛水に伴う住民移転、代替地手当、必要な補償の実施等、多くの課題があることに留意し計画を進める必要がある。



注記 ダムサイト番号 (図 4.1.103.2, 図 4.1.113.3 参)

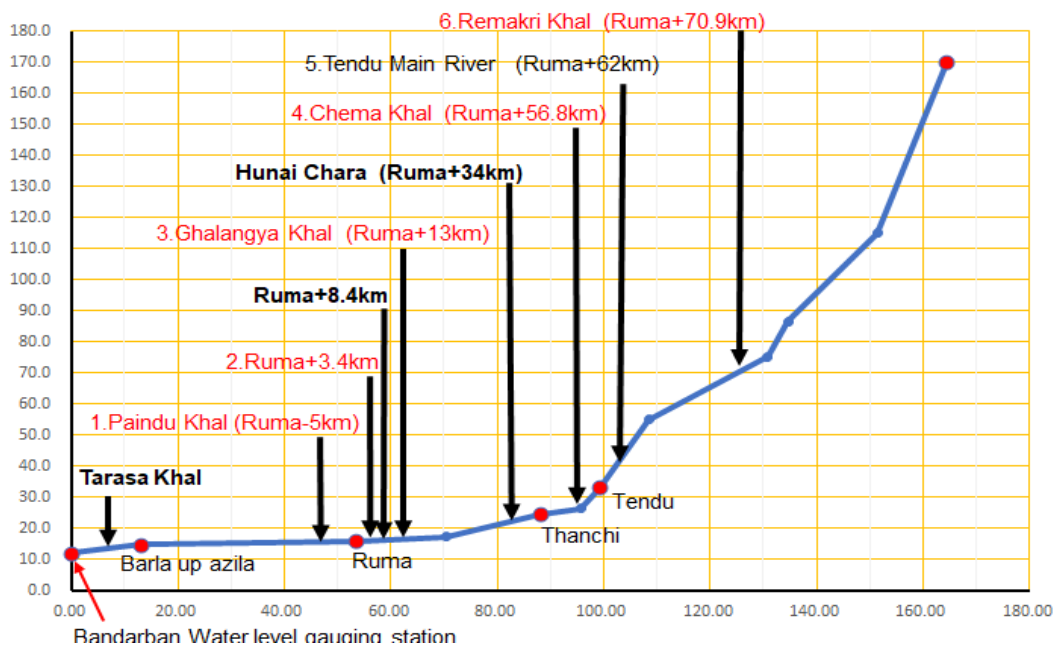
出典 : JICA 調査団

図 4.3.1 マタムフリ川、サング川ダムサイト候補地点 (案)



出典：JICA 調査団

図 4.3.2 マタムフリ川縦断図 (Matamuhuri River 橋上流部)



注記 ダムサイトが想定される支川名、本川名および位置番号 (参照：図 4.3.1)

出典：JICA 調査団

図 4.3.3 サング川縦断図 (Badarban 上流部)

(b) ダムサイト候補地提案

マタムフリ川、サング川各ダムサイトについて、流域の大きさ、集落人家分布、貯水効率、貯留能力を表 4.3.2 および表 4.3.3 に示す通り比較し、次の 4 ダムサイトを候補地点として提案する。

- マタムフリ川流域：Main River Dam-1 Bit Phar (3), Main Dam-2 (5)

- サング川流域：Ghalangya Khal (3), Chema Khal

表 4.3.2 マタムフリ川ダムサイト候補地点比較

流域		Matamuhiri 川					
		Bilchhari	Lama 上流	Alikadam 上流			
支川、位置、河床高等 (図 4.1.10 参照)		Lama 上流 2km	Lama 上流 9.5km	2.3km	41km	23km	48km
		右支川 EL.45(サイト)	右支川 EL.20 (合流点)	右支川 Towain Khal EL.40(サイト)	右支川 Kanlong EL.50(サイト)	Main River Dam-1 Bit Phar EL.40(サイト)	Main River Dam-2 ミャンマー国境まで 8km EL.50 (サイト)
集落状況、ダムサイト有無 ¹⁾		ダムサイト無 (合流点上流 33km 区間 集落連続) ダムサイト有 (33km 上流部少数 集落点在 EL.50~ 60)	ダムサイト無 (合流点から上流端 まで集落連続 EL.20 ~100 かつ支川沿い 既設道路の水没想 定され、ダムサイ トとして不適)	ダムサイト無 (合流点上流約 17km 区間 貯水 可能地点無) ダムサイト有 (支川上流部分 峻点下流、 分岐上流右支川 人穿集落点在)	ダムサイト有 (合流点上流 部少数集落 点在) EL.65,80,90, 115 点在)	ダムサイト有 (上流部人家集 落点在 E.40,45,50,55,60, 65,100,130,150)	ダムサイト有 (上流部人家集落点在 E.55,65,70,80,90,100, 120)
集落分布図(Google Earth)		図 3.3.1	図 3.4.1	図 3.5.1	図-3.6.1	図-3.1.1	図-3.2.1
流域面積 ²⁾ C.A (km ²)		11.4		96.3	33.0	328	128
堤体積 ²⁾ V (MCM)		1.36	----	0.13	0.42	0.11	0.15
貯水効率 ²⁾ $\alpha = \text{貯水量} / V$		57		592	183	700	513
洪水時想定貯留可能量 ³⁾ (MCM)		7	----	63	22	213	83
平水時想定貯留可能量 ³⁾ (MCM)		14	----	116	40	397	155
ダムサイ ト得失	集落水没	有 △		有 △	有 △	有 △	有 △
	貯水効率	悪い ×	----	中 ○	中 △	良 ○	良 ○
	貯留能力	低 ×		中 △	低 ×	高 ○	中 △
Matamuhiri 川ダムサイト候補地 (案)		<ul style="list-style-type: none"> ● 貯水効率の良い Main River Dam-1 Bit Phar (Alikadam 上流 15km) および Main River Dam-2 (Alikadam 上流 48km)が提案される。 ● いずれのサイトも流域面積大きいため貯留能力優れる。 ● これらのサイトも他支川と同様、水没集落家屋が想定される。 ● 本川は小規模な水運に利用されている。 					

表 4.3.3 サング川ダムサイト候補地点比較

流域		Sangu 川								
		Tarasa Khal	Paindu Khal	Ruma 上流		Hunai Chara	Hunai Chara 上流		Tendu	
支川、位置、河床高等 (図 4.1.11 参照)		Badrahan 上流 8.1km	Ruma 下流 5.0km	3.4km	8.4km	13km	Ruma 上流 34km	Ruma 上流 56.8km	Ruma 上流 70.9km	Ruma 上流 62km
		右支川 EL.10(合流点)	右支川 EL.40(サイト)	右支川 EL.72(サイト)	右支川 EL.17(合流点)	左支川 Ghalangya Khal EL.22(サイト)	右支川 EL.40(合流点)	右支川 Chema Khal EL.40(サイト)	右支川 Remakri Khal EL.60(サイト)	本川 EL.40 (サイト)
集落状況およびダムサイト 有無 ¹⁾		ダムサイト無 (支川全体 集落連続)	ダムサイト無 (合流点上流約 10km 区間 EL.40 以下集落点在) ダムサイト有 (10km 地点の上 流部 EL.350 ま で集落無)	ダムサイト無 (合流点上流 約 10km 区間 集落 点在) EL.70 以下集落 点在) ダムサイト有 (上流部人家 集落無)	ダムサイト無 (合流点上流 部 集 落 EL.30,60, 120,140, 200 点在)	ダムサイト有 (上流部人家 E.46,87,105,1 48,159 点在、集 落 EL.84 水没家 屋少ない)	ダムサイト無 (支川全体集 落連続、特に上 流部 EL.40 ~ EL.190)	ダムサイト有 (上流部 EL.55,60,95,150, 220,250 集落、人家 EL.57,65,100~106, 130 点在水没集落 あるが小規模ダム で容量確保可)	ダムサイト有 (上流部 2.2km 地点 に支川分岐点あり、分 岐点上流左支川集落 EL.100 点在、右支川 集落 EL.80~160 点在 集落人家の水没発生 あるが、流域面積大、 分岐点下流にダム輪)	ダムサイト有 (サイト上流に集落 点在、上流部 Remakri の水没回避 必要)
集落分布図(Google Earth)		図 3.9.1	図 3.9.1	図 3.10.1	図-3.11.1	図-3.12.1	図-3.13.1	図-3.14.1	図-3.15.1	図-3.7.1
流域面積 ²⁾ C.A (km ²)			62	26.4		26.7		59	193.8	500
堤体積 ²⁾ V (MCM)		----	1.00	2.30	----	0.20	----	0.17	0.44	----
貯水効率 ²⁾ $\alpha = \text{貯水量} / V$			77	33		385		453	175	----
洪水時想定貯留可能量 ³⁾ (MCM)		----	40	17	----	17	----	38	126	325
平水時想定貯留可能量 ³⁾ (MCM)		----	75	32	----	32	----	71	234	604
ダムサイ ト得失	集落水没		有 △	有 △		有 △		有 △	有 △	上流 Remakri 水没回 避のため、貯留可能 量が 18MCM と小さ い。
	貯水効率	----	悪い ×	悪い ×	----	良 ○	----	良 ○	中 ○	
	貯留能力		中 △	低 ×		低 ×		中 △	高 △	
Sangu 川ダムサイト候補地 (案)		<ul style="list-style-type: none"> ● 貯水効率の良い Ghalangya Khal (Ruma 上流 13km) および Chema Khal(Ruma 上流 56.8km)が提案される。 ● 流域面積小さいため貯留能力劣るが、長期需要不足分の補給施設として短期施設との共同使用が想定される。 ● Sangu 川ダム地点から Matamuhiri 流域への導水は水路トンネルを使用し Matamuhiri 支川へ放流するルートが提案される。 								

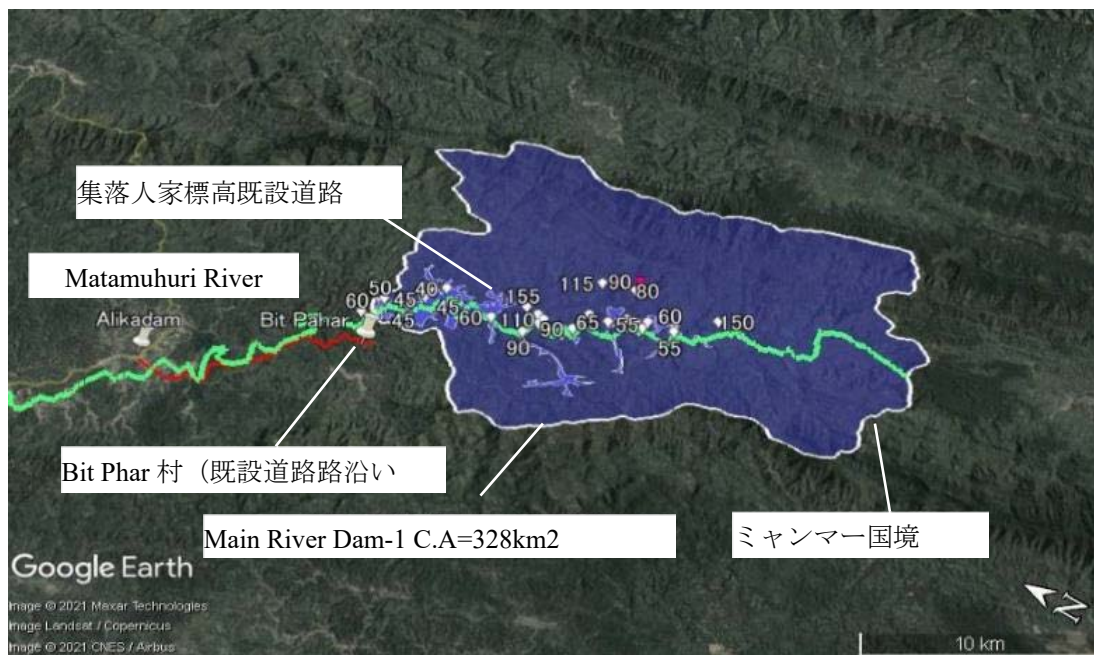
注記；*1 Google Earth にて視認される人家集落

*2 C.A; 流域面積、 α ; 貯水効率=想定利水容量 / V 堤体積 (百万 m³)

*3 貯留能力は洪水時貯留可能量=0.65m x 流域面積(km²)、および平水時貯留可能量=1.209m x 流域面積(km²)と必要貯留量を比較し、平水時において必要貯留量が確保できないサイトを「低」とした。

出典：JICA 調査団

ダムサイト候補地点の内、マタムフリ川ビットパハール (BitPhar) 近傍の本川ダム候補地点を図 4.3.4 に示す。



出典：JICA 調査団

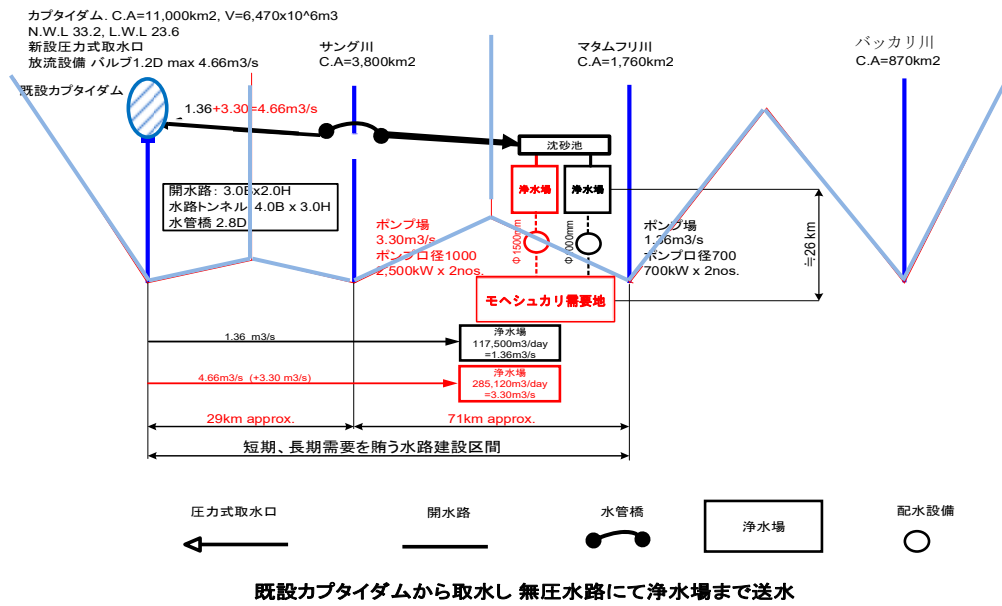
図 4.3.4 マタムフリ川ダム (Main River Dam-1) 流域、集落人家分布状況図上検討

2) カプタイダム・パイプライン案 (M3)

カプタイダムの運用ルールを変更し現在の L.W.L.を下げ、その間の貯水容量を活用する案である。すなわち、現在の L.W.L.以下の容量を使用しダムサイトからマタムフリ川右岸に設けられた浄水場まで延長約 95km の無圧導水施設を新設し、浄水場施設を経て需要地に用水を供給する。

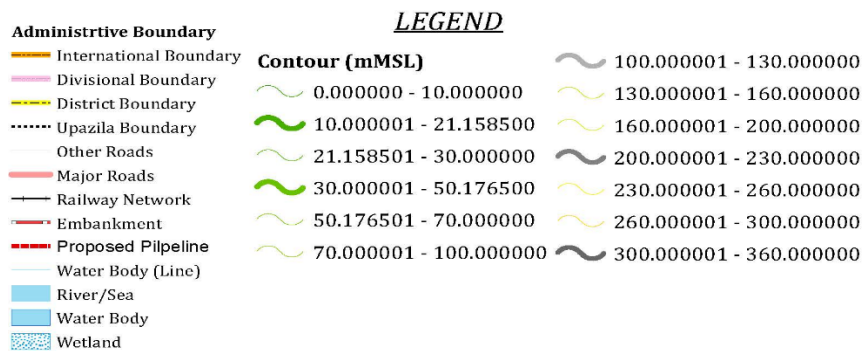
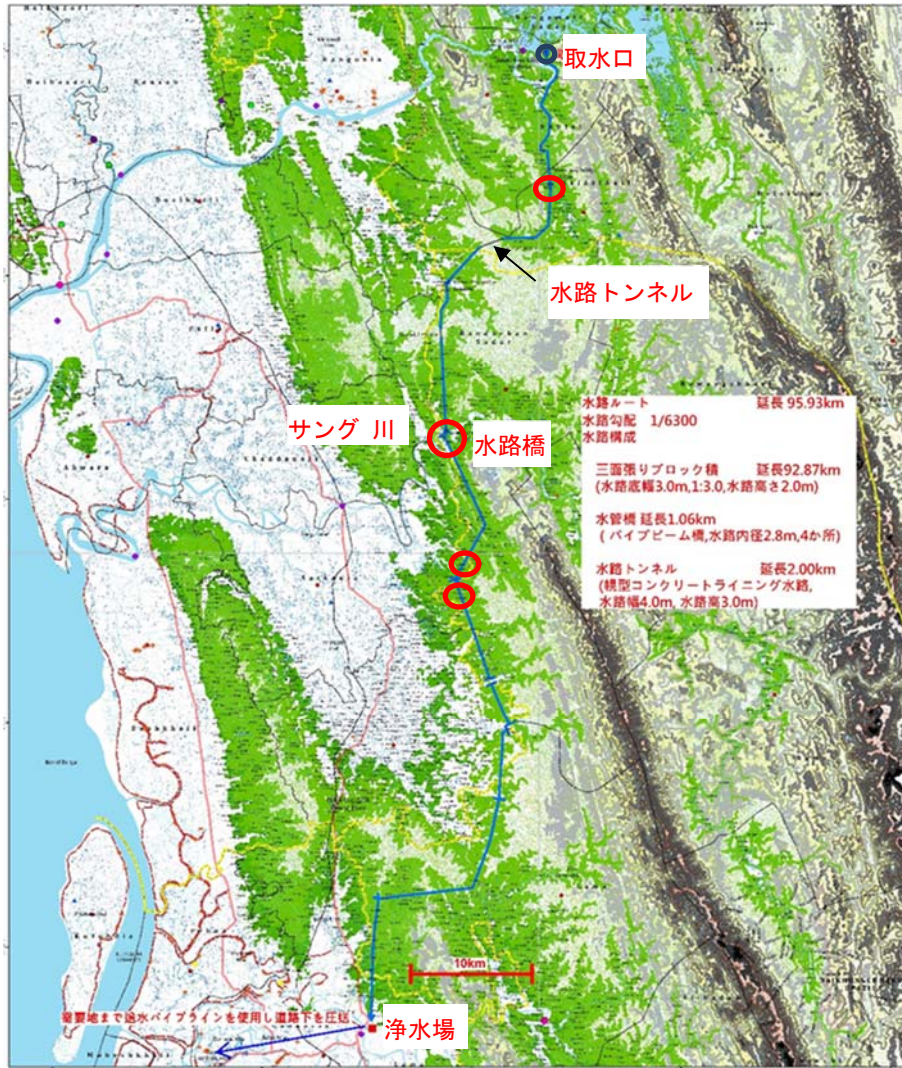
水路構成は以下のように想定される。カプタイダムからの水路ルートを図 4.3.5 に示す。

- カプタイダム圧力式取水口を設け、ダム L.W.L 23.6m にて長期需要を賄う水量 (仮定) $4.66\text{m}^3/\text{s}$ (短期需要 1.36+追加需要分 3.30)を取水し、開水路 1/6300 (EL.20-EL.5 / 95km)に導水する。
- 開水路 3 面張水路：底幅 3.0m、高さ 2.0m、側壁 1:3.0、勾配=0.025、水深 1.41m、延長 92.9km
- トンネル (NATM)：4.0B x 3.0H、勾配=0.015、水深 1.45m、延長 2.0km
- 水管橋 (パイプビーム)：2.8D、勾配=0.012、水深 2.11m、延長 1.06km
- 浄水施設位置：マタムフリ川右岸側国道 1 号線交差上流部 (需要地まで約 26km)
- 浄水場から需要地まで：送水ポンプにて既設道路下に埋設したパイプライン 短期 1.0mD、長期追加 1.5mD を使用し圧送



出典：JICA 調査団

図 4.3.5 カプタイダム・パイプライン案模式図



出典：JICA 調査団

図 4.3.6 カプタイダム・パイプライン案図上検討

水路は取水地点の水路標高 EL.20m からマタムフリ川橋右岸側の浄水処理場 EL.5m まで約 95km を水路勾配 1/6,300 の無圧水路として計画する。このため、水路標高 EL.20m~EL.10m 地形範囲（緑色）を通過する水路ルートを想定した。なお、水路を最短距離とするため、河川横断箇所は水路橋による横断、さらにトンネル水路によってルートの迂回が回避でき

るルートを採用した。なお、水路地形図の精度に限界があるため、水路ルートは地形図相当等の概略レベルのものである。

(4) 長期代替案の1次評価

以降に示す「4.3.2 水収支検討（長期計画）」の対象代替案を選別する為、各案の施設規模を概略検討し、実現可能性（コスト、社会面、環境面、技術面）から1次評価を行った。

表 4.3.4 図上検討に基づく長期代替案の1次評価

長期代替案	M1	M2-1	M2-2	M3
特徴	短期案のマタムフリ川ため池を拡張	マタムフリ川上流にダムを建設	サング川にダムを建設し、流域外導水	カルナフリ川カプタイダムからサング川を経由し、流域外導水
主要施設規模（短期案）	<ul style="list-style-type: none"> ため池：容量 16 MCM、湛水面積 320 ha 取水工：計画取水量 3.0 m³/s 浄水場：計画処理能力 1.7 m³/s 送水路：延長（取水口～ため池）10.9 km、 （ため池～マタバリ）19.7 km、 （ため池～チャカリア）10.5 km 			
主要施設規模（長期案において、追加で必要となる施設）	<ul style="list-style-type: none"> ため池拡張 浄水場拡張 送水路拡張 	<ul style="list-style-type: none"> ダム貯水池 浄水場拡張 送水路拡張 	<ul style="list-style-type: none"> パイプライン（サング川～マタムフリ：71km） ダム貯水池 浄水場拡張 送水路拡張 	<ul style="list-style-type: none"> パイプライン（カプタイダム～マタムフリ：95 km） ダム貯水池 浄水場拡張 送水路拡張
技術面	◎	◎	○ 長大パイプラインとなるが技術的に可能	○ 長大パイプラインとなるが技術的に可能
コスト	2.5（導水路送水路コスト課題あり）	1.0+α（ダム関連補償、用地費要）	1.1+α（ダム関連補償、用地費要）	1.3+α（導水路用地費過大）
環境面	△ 計画地は乾季は塩田、雨季はエビ養殖に使用されている。	△ 森林環境の保全を目的とする保安林の区域であるが、外縁部であり既に開発された地域である。	△（大） 森林環境の保全を目的とする保安林の内部での計画となる。	△ 長大パイプラインルートは、新規高速道路沿いとなると想定され、同事業と同様の影響が想定される。
社会面	○ ため池建設予定地の用地取得移転は発生しない。拡張するため池の建設により、同地域で生計を営んでいる労働者に影響を与える。現地地点で被影響世帯数は不明だが、数百世帯に及ぶ可能性がある。	○ ダム貯水池建設予定地の用地取得・住民移転 ダム建設に係る住民移転（衛星画像によると約20集落程度が影響すると想定される）が必要となる。	△ ダム貯水池・パイプライン建設予定地の用地取得・住民移転（大） ダム建設に係る住民移転及び長大パイプラインの建設に係る用地取得及び住民移転が必要となる。	△ パイプライン建設予定地の用地取得（大） 長大パイプラインの建設に係る用地取得及び住民移転が必要となる。
統合水管理	◎ 自流域開発	◎ 自流域開発	△ 流域外導水	△ 流域外導水
1次評価	採用	採用	採用	不採用

(水収支計算対象)				コストが他案と比べ、過大となり現実的ではない)
-----------	--	--	--	-------------------------

出典：JICA 調査団

以上より、M1,M2-1,M2-2 を長期代替案の水収支計算の対象として選定し、以降「4.3.2 水収支検討（長期計画）」の検討を行った。

(5) 長期代替案の基本諸元

水収支計算結果に基づく各案の計画基本諸元を表 4.3.5 および表 4.3.6 に示す。

1) ため池拡張案 (M1)

表 4.3.5 ため池拡張案基本諸元

項目	内容		備考
	短期	長期	
1. 取水工	位置	マタムフリ橋上流 約 3.6km	
	型式	圧力式	
	取水量	4.7 m ³ /s	17.05 m ³ /s
	取水位	L.W.L 3.0m	
2. 導水路、送水路			
区間 1 (取水口～ため池)	延長	10.9 km	
	型式	圧力式、ダクタイル鋼管	
	規模 (短期)	Q=4.7m ³ /s, Φ1.2m、 2 条	Q=17.05m ³ /s, Φ1.65m、 4 条
区間 2 (ため池～マタバリ)	延長	19.7 km	
	型式	圧力式、ダクタイル鋼管	
	規模	Q=1.32m ³ /s, Φ1.0m、 1 条	Q=3.69m ³ /s, Φ1.5m、 1 条
区間 3 (ため池～チャカリア)	延長	10.5 km	
	型式	圧力式、ダクタイル	
	規模	Q=0.38m ³ /s, Φ0.5m、 1 条	Q=0.36m ³ /s, Φ0.5m、 1 条
3.ため池	容量	16MCM	173.7MCM
	湛水面積	3.2km ²	34.7km ²
4. 浄水場	処理能力	1.7 m ³ /s	4.05 m ³ /s
	処理方式	天日乾燥式	
	用地	ため池隣接地	
5. 附帯設備	配水池	マタバリ 9,500 m ³ チャカリア 2,700 m ³	マタバリ 26,600 m ³ チャカリア 2,600 m ³
			送水量の 2 時間 容量を想定

出典：JICA 調査団

図 4.3.7 にため池拡張案模式図を示す。

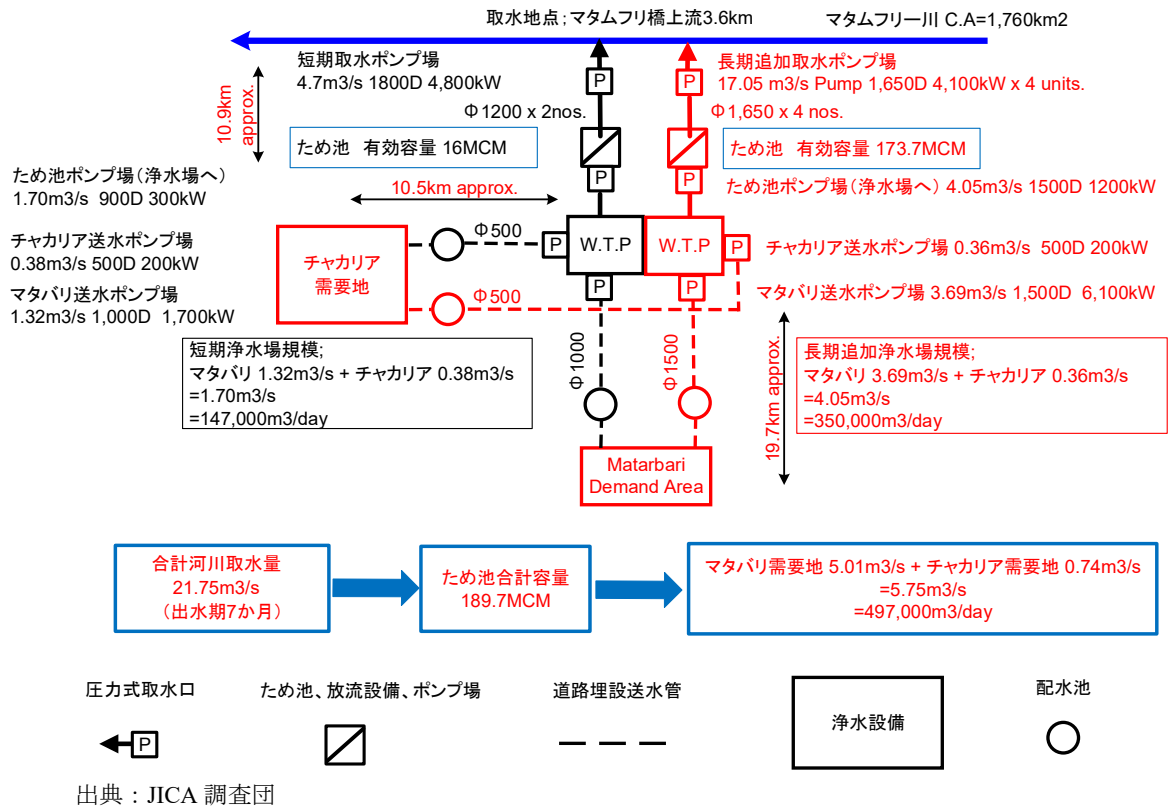


図 4.3.7 ため池拡張案模式図

2) マタムフリダム案 (M2-1)

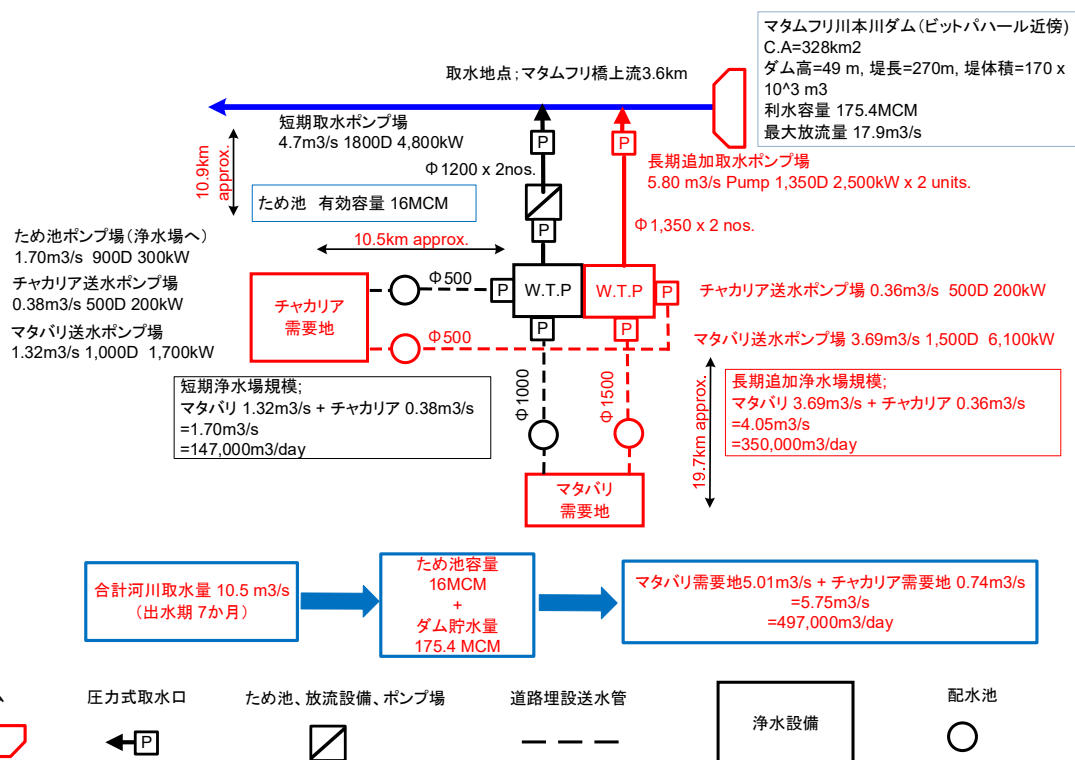
表 4.3.6 マタムフリ川ダム案基本諸元

項目	内容		備考
	短期	長期	
1. 取水工	位置	マタムフリ橋上流 約 3.6km	
	型式	圧力式	
	取水量	4.7 m ³ /s	5.8 m ³ /s
	取水位	L.W.L 3.0m	
2. 導水路、送水路			
区間 1 (取水口～ため池)	延長	10.9 km	
	型式	圧力式、ダクタイル鋼管	
	規模	Q=4.7m ³ /s, Φ1.2m、 2条	Q=5.8m ³ /s, Φ1.35m、 2条
区間 2 (ため池～マタバリ)	延長	19.7 km	
	型式	圧力式、ダクタイル鋼管	
	規模	Q=1.32m ³ /s, Φ1.0m、 1条	Q=3.69m ³ /s, Φ1.5m、 1条
区間 3 (ため池～チャカリア)	延長	10.5 km	
	型式	圧力式、ダクタイル	
	規模	Q=0.38m ³ /s, Φ0.5m、 1条	Q=0.36m ³ /s, Φ0.5m、 1条
3. ため池 (短期) / ダム (長期)	容量	ため池 16MCM	ダム: 高さ 49m 堤頂長 270m

			貯水池 175.5MCM	
	湛水面積	3.2km ²	18km ²	
4. 浄水場	処理能力	1.7 m ³ /s	4.05 m ³ /s	
	処理方式	天日乾燥式		
	用地	ため池隣接地		
5. 附帯設備	配水池	マタバリ 9,500 m ³ チャカリア 2,700 m ³	マタバリ 26,600 m ³ チャカリア 2,600 m ³	送水量の2時間容量を想定

出典：JICA 調査団

図 4.3.8 にマタムフリ川ダム案模式図を示す。



出典：JICA 調査団

図 4.3.8 マタムフリ川ダム案模式図

4.3.2 水収支検討 (長期計画)

(1) 水収支検討 (長期計画案) の概要

長期目標案で想定される下記3案の施設計画について水収支計算モデルを構築して施設容量や計画実現の可能性について検討した。

- 長期計画案 1：パラカタため池 (短期計画案) + パラカタため池拡張
- 長期計画案 2：パラカタため池 (短期計画案) + マタムフリ川上流ダム
- 長期計画案 3：パラカタため池 (短期計画案) + サング川ダム及び導水

解析結果の要点を表 4.3.7 に整理するとともに各案の解析詳細を以降に記述する。

表 4.3.7 水収支解析結果の要点（長期計画案）

計 画 案		水収支分析結果
長期計画案 1	パラカタため池（短期計画案） ＋パラカタため池拡張	短期計画案の「ため池容量 16MCM」に加えて、ため池拡張容量 173.7MCM が必要であると算定された。
長期計画案 2	パラカタため池（短期計画案） ＋マタムフリ川上流ダム	既設のため池容量 16MCM（短期計画案）に加えてマタムフリ上流ダムを新設し、その容量は 175.5MCM が必要であると算定された。
長期計画案 3	パラカタため池（短期計画案） ＋サング川ダム及び導水	サング川にダムを新設してもサング川自流域の水需要を十分賄えないことから、サング川からマタムフリ川へ導水することは困難と判断された。

出典：JICA 調査団

(2) 水収支計算の基本ルール（長期目標案）

長期計画における水収支計算の基本ルールを以下のとおり設定した。

水収支計算モデルの基本ルール（長期計画）

1) 水需要の補給優先順位は一般的に以下のとおりであるが、補給対象を組み合わせた複数のケーススタディーを実施する。

河川維持流量⇒生活用水⇒工業用水⇒農業用水

2) 貯留施設より下流の水需要をその施設の補給対象とする。

3) 既得水利権を侵さないように河川余剰水の範囲内で貯留施設の水位回復を行う。

4) 貯留施設の運用は単年回復を基本とする。

5) 長期計画における利水安全度は 1/10 渇水年とする（4.1.8 (3) 参照）。

6) 他流域へ導水する場合は、流域間の水利用紛争を避けるためにまずは自流域の水資源開発を優先した上で余剰水がある場合に限り導水する。

(3) 水収支計算モデルの構築及び分析（長期目標案）

1) 長期計画案 1（パラカタため池（短期計画案）＋パラカタため池拡張）

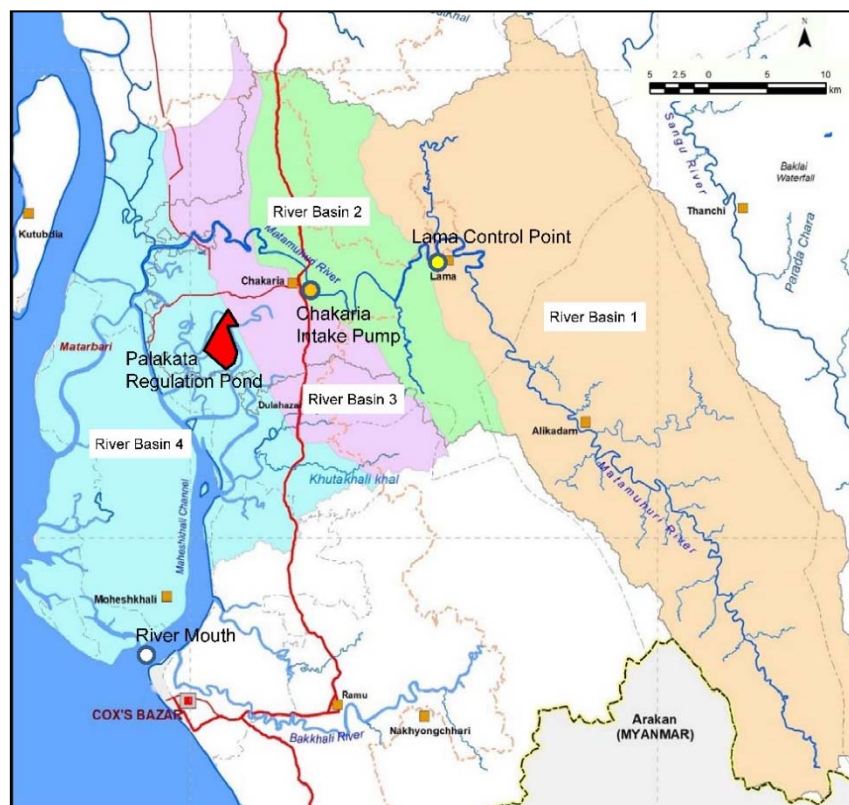
短期計画で立案したパラカタため池（貯水池容量 16MCM）の貯水容量を拡張する案を検討した。水収支モデルの条件一覧及びモデル図を表 4.3.8、図 4.3.9～図 4.3.10 に示す（水収支計算手順：「付録 4.3-2」参照）。

表 4.3.8 水収支計算モデルの設定条件一覧（長期目標：パラカタため池拡張案）

Item		Setting Conditions	Remarks
Basic Conditions	Data Period	1966.11－2019.10 (53 years)	
	Target Year	Long Term: 2041	
	Target River Basin	Matamuhuri RiverBasin: CA= 2,511 km ²	
	Control Point of Water Utilization	Lama control point	Water Level Gauge Station

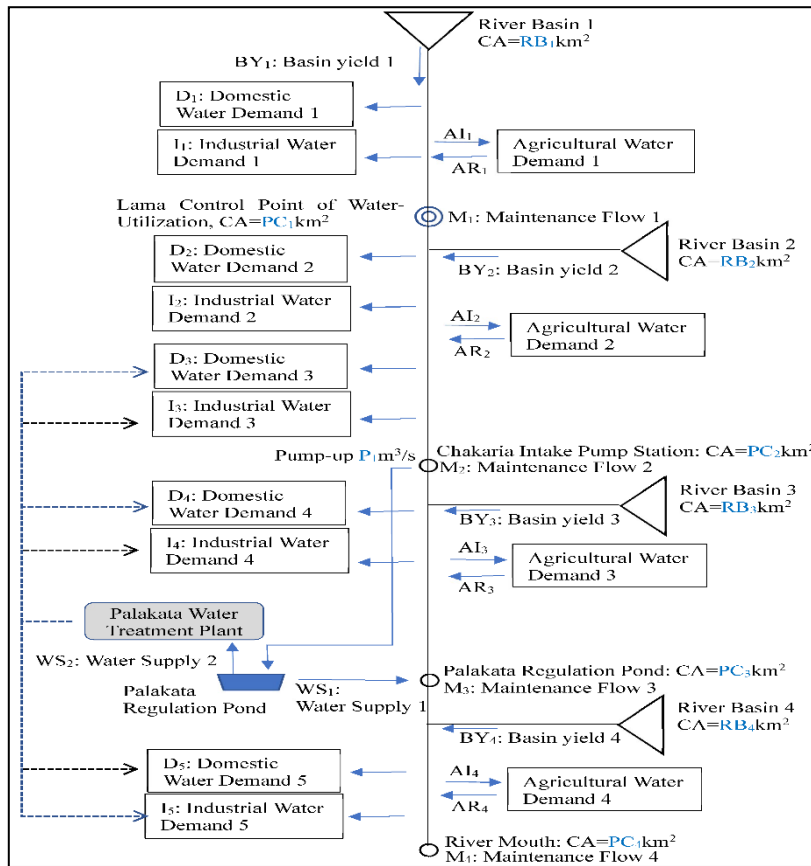
Item		Setting Conditions	Remarks
	Development Structure	Palakata Regulation Pond	
	Water Demand	Intake water from river of domestic, industrial and agricultural demand	
Model Parameter	Catchment Area of River Basin	River Basin 1: 1,201 km ² River Basin 2: 289 km ² River Basin 3: 278 km ² River Basin 4: 744 km ²	
	Catchment Area at check point	Lama Control Point : 1,201 km ² Chakaria Intake Pump Station : 1,490 km ² Palakata Regulation Pond : 1,767 km ² River Mouth Point : 2,511 km ²	
	Maintenance Flow	0.8 m ³ /s/100km ²	
	Capacity of Chakaria Intake Pump Station	Trial calculation of minimum capacity of Chakaria Intake Pump for keeping full recovery of Palakata Regulation Pond each year	

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.3.9 マタムフリ川流域図（長期目標：パラカタため池拡張案）



出典：JICA 調査団

図 4.3.10 水収支計算モデル図（長期目標：パラカタため池案）

パラカタため池による水補給対象として、河川維持流量、生活用水、工業用水、農業用水の組み合わせを以下の全7ケース設定して、各ケースにおけるパラカタため池の必要容量を算定した。

■補給対象となる水需要の組み合わせ（全7ケース）

- Case 1 : Maintenance Flow
 - Case 2-1 : Maintenance Flow + Domestic Water
 - Case 2-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water
 - Case 3-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water
 - Case 3-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water
 - Case 4-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water
 - Case 4-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water
- *: In case of no supply for maintenance flow by Palakata Regulation Pond

各ケースにおける補給対象（河川維持流量、生活・工業・農業水）は表 4.3.9 のとおりである。

表 4.3.9 各ケースの水補給対象一覧（長期目標：パラカタため池案）

Case No.	Water Supply	Maintenance	Domestic	Industrial	Agricultural	Remark
Case 1	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
Case 2-1	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	

Case No.	Water Supply	Maintenance	Domestic	Industrial	Agricultural	Remark
Case 2-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	
Case 3-1	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
Case 3-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
Case 4-1	WS ₁	M ₃ , M ₄	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	AI ₄	
Case 4-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	AI ₄	

Note (1): Structure of water resource and target of water supply

WS₁ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Matamuhuri River

WS₂ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Palakata Water Treatment Plant

Note (2): Each mark M (Maintenance flow), D (Domestic water), I (Industrial water) and AI (Agricultural intake water) shows target water demand. The location of each mark with the number beside the one can be found by referring the figure of water balance model above.

出典：JICA 調査団

全7ケースの水収支計算結果を表4.3.10に整理した(「付録4.3-3」参照)。長期計画では河川維持流量も含めた全ての水需要に対する水資源開発が目標となることからCase4-1の貯水池容量189.7MCMが選定される。短期計画案のパラカタため池容量16MCMに対して173.7MCMの容量拡張が必要となることが推算された。

表 4.3.10 水収支計算結果一覧 (長期目標：パラカタため池案)

Item	Case1	Case2-1	Case2-2	Case3-1	Case3-2	Case4-1	Case4-2
Chakaria Intake Pump	5.0 m ³ /s	6.0 m ³ /s	3.0 m ³ /s	10.0 m ³ /s	6.0 m ³ /s	16.0 m ³ /s	13.0 m ³ /s
Palakata Regulation Pond	5 yr	18,760,082 m ³	35,436,203 m ³	15,703,366 m ³	81,788,430 m ³	63,808,666 m ³	148,536,300 m ³
	10 yr	32,888,143 m ³	45,882,663 m ³	17,294,688 m ³	96,554,588 m ³	72,418,540 m ³	164,628,479 m ³

Note: Values of chakaria intake pump indicate pump capacity for restoring regulation pond excluding maximum intake water 5.75m³/s

出典：JICA 調査団

2) 長期計画案2 (パラカタため池 (短期計画案) + マタムフリ川上流ダム)

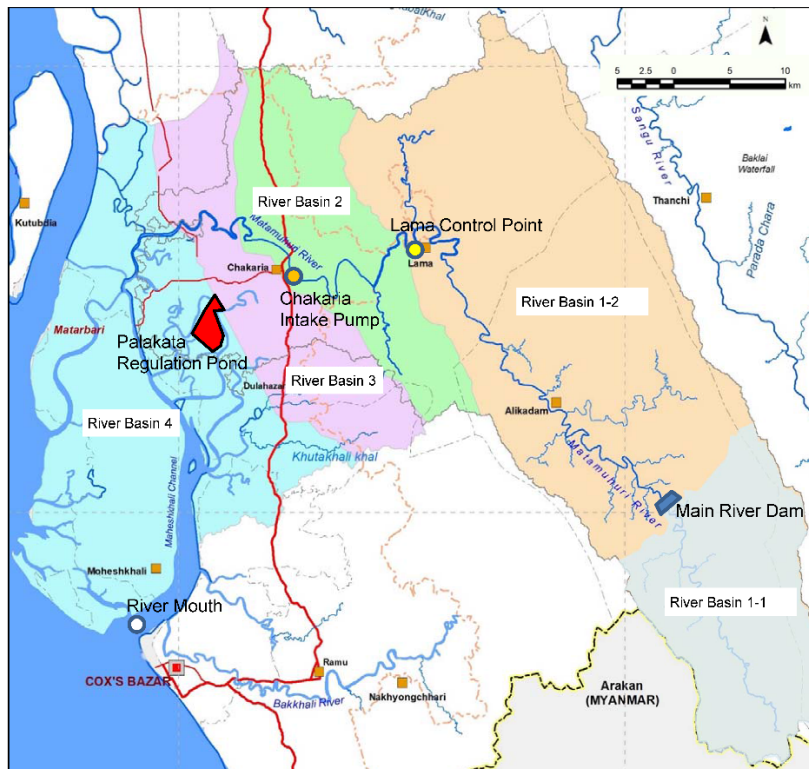
短期計画で立案したパラカタため池 (貯水池容量 16MCM) に加えてマタムフリ川上流にダムを新設する案を検討した。水収支モデルの条件一覧及びモデル図を表 4.3.11、図 4.3.11～図 4.3.12 に示す (水収支計算手順は「付録 4.3-2」参照)。

表 4.3.11 水収支計算モデルの設定条件一覧 (長期目標：マタムフリ川上流ダム案)

Item	Setting Condition	Remark	
Basic Conditions	Target Period	1966.11 – 2019.10 (53 years)	
	Target Year	Long Term: 2041	
	Target River Basin	Matamuhuri RiverBasin: CA= 2,511 km ²	
	Control Point of Water Utilization	Lama control point	Water Level Gauge Station
	Development Structure	Palakata Regulation Pond (Planned in short term) + Dam upstream in Matamuhuri river	
	Water Demand	Intake water from river of domestic, industrial and agricultural demand	
Mod	Catchment Area of River Basin	River Basin 1-1 : 349 km ² River Basin 1-2 : 852 km ² River Basin 2 : 289 km ²	

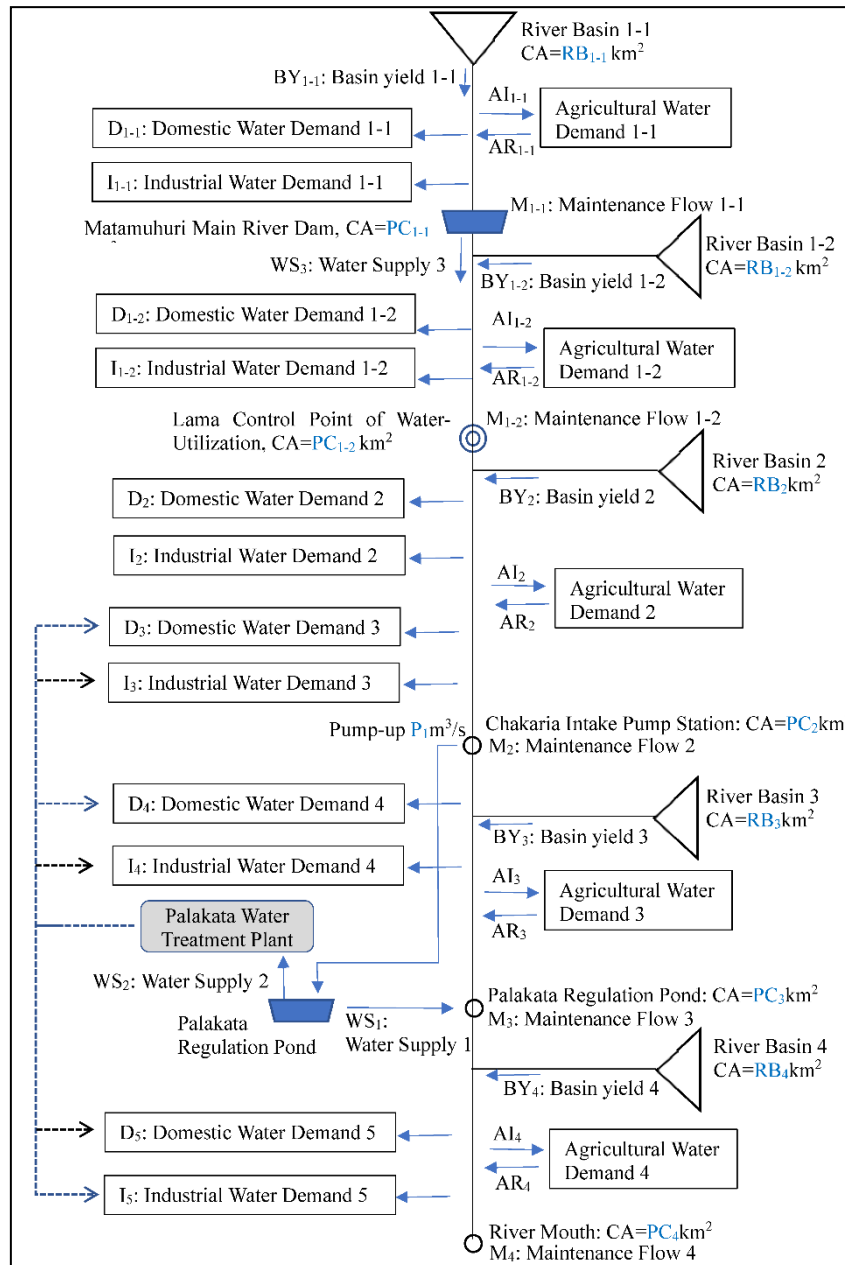
Item	Setting Condition	Remark
	River Basin 3 : 278 km ² River Basin 4 : 744 km ²	
Catchment Area at check point	Dam in Matamuhuri river : 349 km ² Lama Control Point : 1,201 km ² Chakaria Intake Pump Station : 1,490 km ² Palakata Regulation Pond : 1,767 km ² River Mouth Point : 2,511 km ²	
Maintenance Flow	0.8 m ³ /s/100km ²	
Capacity of Chakaria Intake Pump Station	3.0 m ³ /s for restoring Palakata regulation Pump, 1.7 m ³ /s for intake water of domestic and industrial	

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.3.11 マタムフリ川流域図（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）



出典：JICA 調査団

図 4.3.12 水収支計算モデル図（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）

パラカタため池及びマタムフリ川上流ダムによる水補給対象として、河川維持流量、生活用水、工業用水、農業用水の組み合わせを以下の全7ケース設定して、各ケースにおけるマタムフリ川上流ダムの必要容量を算定した。

■補給対象となる水需要の組み合わせ（全7ケース）

- Case 1 : Maintenance Flow
 - Case 2-1 : Maintenance Flow + Domestic Water
 - Case 2-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water
 - Case 3-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water
 - Case 3-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water
 - Case 4-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water
 - Case 4-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water
- *: In case of no supply for maintenance flow by Palakata Regulation Pond

各ケースにおける補給対象（河川維持流量、生活・工業・農業水）は表 4.3.12 のとおりである。長期計画案 1 のパラカタため池拡張案と同一条件で比較するために、水補給区間はパラカタため池から下流の水取水を対象とした（マタムフリ川上流ダム～パラカタため池区間の取水は補給対象から除外）。

表 4.3.12 各ケースの水補給対象一覧（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）

Case No.	Water Supply	Maintenance	Domestic	Industrial	Agricultural	Remark
Case 1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	M ₃ , M ₄	—	—	—	
Case 2-1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	
	WS ₃	M ₃ , M ₄	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	
Case 2-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	
	WS ₃	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	—	—	
Case 3-1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
	WS ₃	M ₃ , M ₄	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
Case 3-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
	WS ₃	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
Case 4-1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
	WS ₃	M ₃ , M ₄	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	AI ₄	
Case 4-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	—	
	WS ₃	—	D ₃ , D ₄ , D ₅	I ₃ , I ₄ , I ₅	AI ₄	

Source: JICA Study Team

Note (1): Structure of water resource and target of water supply

WS₁ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Matamuhuri River

WS₂ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Palakata Water Treatment Plant

WS₃ : Water supply from Matamuhuri Main River Dam to downstream of Matamuhuri River

Note (2): Each mark M (Maintenance flow), D (Domestic water), I (Industrial water) and AI (Agricultural intake water) shows target water demand. The location of each mark with the number beside the one can be found by referring the figure of water balance model above.

Note (3): Water supply rule at overlapping points

D₃, D₄, D₅, I₃, I₄, I₅: Shortage of water demand at overlapping points by water storage facilities more than one is supplied by Palakata Regulation Pond first, then remain shortage of water supply is supplied by Matamuhuri Main River Dam.

出典：JICA 調査団

全 7 ケースの水収支計算結果を表 4.3.13 に整理した(付録 4.3-3 参照)。長期計画では河川維持流量も含めた全ての水需要に対する水資源開発が目標となることから Case4-1 の 175.5MCM がマタムフリ川上流ダムの貯水池容量として推算された。

表 4.3.13 水収支計算結果一覧（長期目標：マタムフリ川上流ダム案）

Item		Case1	Case2-1	Case2-2	Case3-1	Case3-2	Case4-1	Case4-2
Dam upstream in Matamuhuri river	5 yr	18,759,776 m ³	19,435,807 m ³	—	65,787,948 m ³	47,808,515 m ³	155,286,289 m ³	135,494,726 m ³
	10 yr	32,887,816 m ³	32,887,816 m ³	1,294,688 m ³	80,554,030 m ³	56,418,427 m ³	175,445,485 m ³	151,657,009 m ³

出典：JICA 調査団

3) 長期計画案3 (パラカタため池 (短期計画案) + サング川ダム及び導水)

短期計画で立案したパラカタため池案 (貯水池容量 16MCM) に加えてサング川にダムを新設してマタムフリ川へ導水する案を検討した。基本ルールで記述したとおり他流域へ導水する場合は、流域間の水利用紛争を避けるために自流域の水資源開発を優先した上で余剰水がある場合に限り導水が可能となる。そこで、他流域へ導水できる余剰水の有無を判断するためにまずはサング川の水収支モデルを構築した。水収支モデルの条件一覧及びモデル図を表 4.3.14、図 4.3.13～図 4.3.14 に示す (水収支計算手順：付録 4.3-2 参照)。

表 4.3.14 水収支計算モデルの設定条件一覧 (長期目標：サング川ダム案)

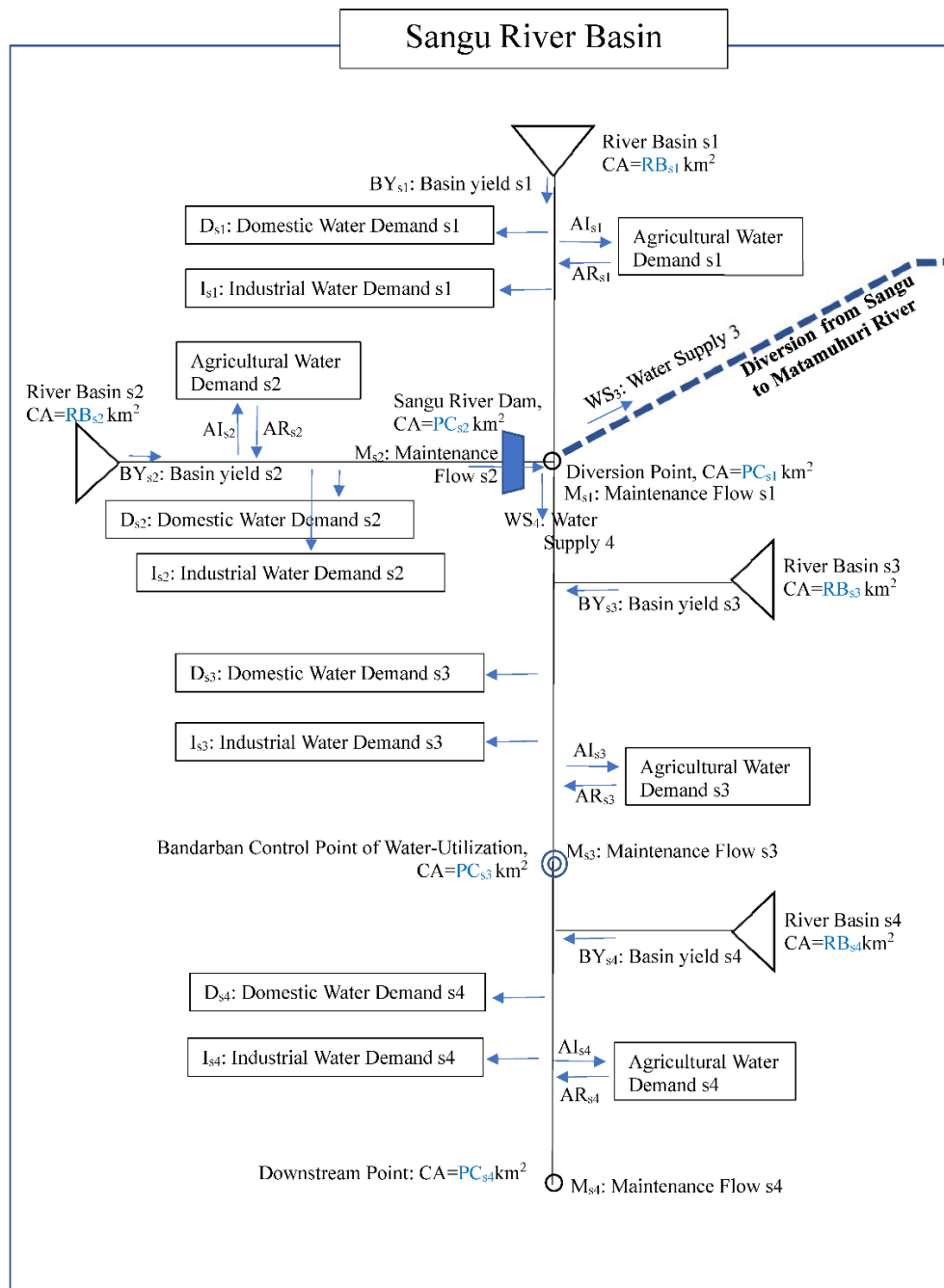
Item	Setting Condition	Remark	
Basic Conditions	Target Period	1966.11–2019.10 (53 years)	
	Target Year	Long Term: 2041	
	Target River Basin	Sangu RiverBasin: CA= 3,663 km ²	
	Control Point of Water Utilization	Bandarban control point	Water Level Gauge Station
	Development Structure	Dam in Sangu river	
	Water Demand	Intake water from river of domestic, industrial and agricultural demand	
Model Parameter	Catchment Area of River Basin	River Basin s1 : 802 km ² River Basin s2 : 59 km ² River Basin s3 : 1,305 km ² River Basin s4 : 1,498 km ²	
	Catchment Area at check point	Diversion Point : 861 km ² Dam in Sangu river : 259 km ² Bandarban Control Point : 2,165 km ² Downstream Point : 3,663 km ²	
	Maintenance Flow	0.8 m ³ /s/100km ²	

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 4.3.13 サング川流域図 (長期目標：サング川ダム案)



出典：JICA 調査団

図 4.3.14 水収支計算モデル図（長期目標：サング川ダム案）

サング川ダムによる水補給対象として、河川維持流量、生活用水、工業用水、農業用水の組み合わせを以下の全7ケース設定して、各ケースにおけるサング川ダムの必要容量を算定した。

■ 補給対象となる水需要の組み合わせ（全7ケース）

- Case 1 : Maintenance Flow
- Case 2-1 : Maintenance Flow + Domestic Water
- Case 2-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water
- Case 3-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water
- Case 3-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water
- Case 4-1 : Maintenance Flow + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water

Case 4-2 : Maintenance Flow* + Domestic Water + Industrial Water + Agricultural Water
*: In case of no supply for maintenance flow by Palakata Regulation Pond

各ケースにおける補給対象（河川維持流量、生活・工業・農業水）は表 4.3.15 のとおりである。

表 4.3.15 各ケースの水補給対象一覧（長期目標：サング川ダム案）

Case No.	Water Supply	Maintenance	Domestic	Industrial	Agricultural	Remark
Case 1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	—	—	—	—	
	WS ₄	M _{s1} , M _{s2} , M _{s3} , M _{s4}	—	—	—	
Case 2-1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	—	—	—	—	
	WS ₄	M _{s1} , M _{s2} , M _{s3} , M _{s4}	D _{s3} , D _{s4}	—	—	
Case 2-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	—	—	—	—	
	WS ₄	—	D _{s3} , D _{s4}	—	—	
Case 3-1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	—	—	—	—	
	WS ₄	M _{s1} , M _{s2} , M _{s3} , M _{s4}	D _{s3} , D _{s4}	I _{s3} , I _{s4}	—	
Case 3-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	—	—	—	—	
	WS ₄	—	D _{s3} , D _{s4}	I _{s3} , I _{s4}	—	
Case 4-1	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	—	—	—	—	
	WS ₄	M _{s1} , M _{s2} , M _{s3} , M _{s4}	D _{s3} , D _{s4}	I _{s3} , I _{s4}	AI _{s3} , AI _{s4}	
Case 4-2	WS ₁	—	—	—	—	
	WS ₂	—	—	—	—	
	WS ₃	—	—	—	—	
	WS ₄	—	D _{s3} , D _{s4}	I _{s3} , I _{s4}	AI _{s3} , AI _{s4}	

Source: JICA Study Team

Note (1): Structure of water resource and target of water supply

WS₁ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Matamuhuri River

WS₂ : Water supply from Palakata Regulation Pond to Palakata Water Treatment Plant

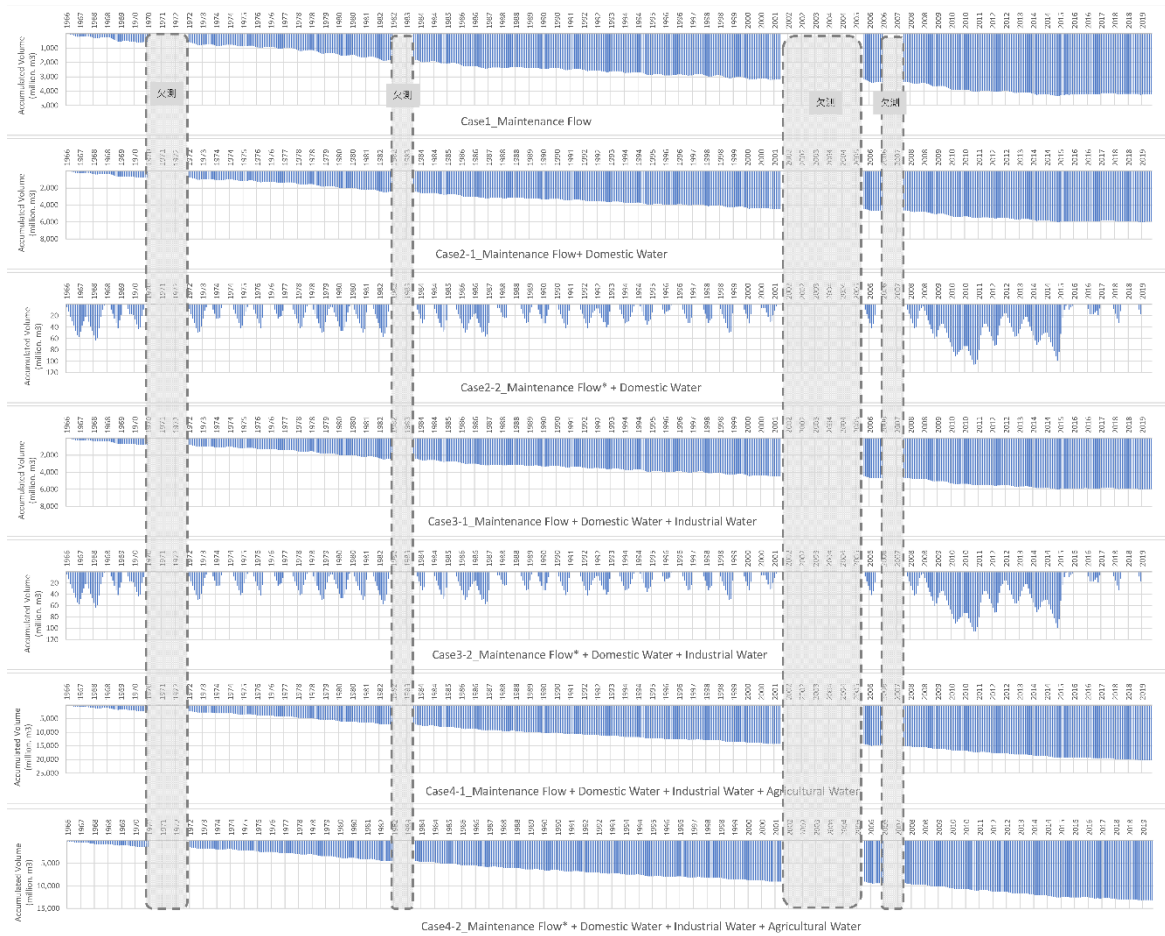
WS₃ : Water supply from Sangu River Dam to downstream of Matamuhuri River through diversion

WS₄ : Water supply from Sangu River Dam to downstream of Sangu River

Note (2): Each mark M (Maintenance flow), D (Domestic water), I (Industrial water) and AI (Agricultural intake water) shows target water demand. The location of each mark with the number beside the one can be found by referring the figure of water balance model above.

出典：JICA 調査団

全7ケースの水収支計算結果を図 4.3.15 に示す。Case 2-2, 3-2 以外のケースではサング川ダムの貯水容量は回復することなく一方的に右肩下がりとなっている。サング川ダムの流域面積は 59km² と小さいことから貯水池回復が行えないことが確認された。このようにサング川流域では自流域で十分な水補給が行えるダム適地が無いことから、マタムフリ川への導水は困難であると判断された。



出典：JICA 調査団

図 4.3.15 水収支計算結果図（長期目標：サング川ダム案）

4.3.3 長期水資源開発計画代替案の比較・評価

前述「4.3.1」における長期水資源開発計画代替案の策定ならびに「4.3.2」における水収支検討（長期計画）による各代替案の施設計画に係る水文的な観点からの施設容量・計画実現の可能性検討により、下の2案（M1 および M2-1）が比較・評価の対象として選定された。

- **M1：** マタムフリ川ため池拡張案（パラカタため池（短期計画案：容量 16MCM）＋パラカタため池拡張（容量 173.7MCM））
- **M2-1：** マタムフリ川ダム案（パラカタため池（短期計画案：容量 16MCM）＋マタムフリ川上流ダム（貯水容量 175.5MCM））

この両案の比較・評価には、以下に記す「Multi-Objective Analysis（MOA）法」を採用した。

一つの事業はそれが実施された場合、社会の様々な方面に影響を及ぼす。それらは、事業を実施する目的であるものをはじめとして、望まないがやむなく生ずるものもある。事業の経済的効果や事業が環境に与える影響などがそれらにあたる。したがって、事業はその

計画の早い段階において影響を予測し評価しておかねばならない。

事業の影響を評価する対象（影響を与える方面であり、目的あるいは評価軸といわれる）は社会、環境、経済、財務、制度、技術等々事業によって様々である。これらのうち、経済や財務については貨幣価値という共通の尺度をもつが、他の目的あるいは社会、環境にはそうした尺度がない。MOA 法はこうした課題に対応する手法として適用される。MOA では全ての影響を共通の点（ポイント）で表す。事業の健全性・優先度を評価するにあたり、MOA では目的（評価軸）ごとの得点を合計した総合点を指標とすることが一般的に行われてきた。

総合点を指標とした場合、例えば経済性には大いに優れ高得点を得てしまうと、環境に対してかなり悪い影響を与える事業も総合点は高くなり、良い評価を与えてしまう恐れがある。つまり、目的ごとの得点が極端にばらついていない事も事業の評価（健全性）には重要であり、総合点が高く評価軸間の得点がバランスしている（衡平性の高い）事業に高い評価を与えようとするものである。

総合点および衡平性の度合いは下記の式(1)、(2)を使用して算出した。式(2)は衡平性の悪さを算出しており、この指標が小さいほど事業の影響は将来にわたり安全であることを示す。

1) 総合点 (GMI)

$$GMI = \sum_{i=1}^n \left\{ WOB(i) \times \sum_{j=1}^{m(i)} (WIT(i, j) \times P(i, j)) \right\} \quad (1)$$

ここに、*GMI*: 総インパクト
WOB(i): 第*i*目的（軸）の相対重み
WIT(i, j): 第*i*目的の第*j*項目の相対重み
P(i, j): 評点 (= -3 ~ 3)
n: 目的の数
m(i): 第*i*目的の項目数

2) 不衡平性

$$GD = \sqrt{\sum_{i=1}^n \{(IOB(i) - O)\}^2}$$

$$DUB = \frac{GD}{O} \quad (2)$$

ここに *GD*: 完全に釣り合った状態（等得点）からの汎距離
DUB: 課題の不衡平性
IOB(i): 第*i*目的の得点

$$= \sum_{j=1}^m (WIT(i, j) \times P(i, j))$$

O: 等得点の場合の座標

本調査では、事業内容や対象地域の自然環境、社会・経済の現状を踏まえて表 4.3.16 に示す 5 評価軸および合計 21 の詳細項目を選出して、上記の 2 代替案を評価した。その詳細

を付録 4.3-4 に示している。

表 4.3.16 MOA の評価軸と詳細項目数

評価軸	詳細項目数
社会配慮	6
環境の保全	3
制度・組織	3
財務的影響	2
技術的可能性・安定性	7
合計	21

出典: JICA 調査団

上記の 5 評価軸に基づく評価結果の詳細は付録 4.3-4 に示す通りであり、表 4.3.17 のように整理できる。

なお、行政区を越えた広範囲に亘る複数の組織・機関の緊密な連携が不可欠であり事業の計画・実施段階において求められる重要事項であることから、「制度・組織」の評価軸には相対重みとして「2」を与えている。

表 4.3.17 MOA による代替案の評価表

比較・評価代替案		総合点 (GMI)	不衡平性係数
M1	マタムフリ川ため池拡張案 (パラカタため池 (短期計画案) + パラカタため池拡張	33	38.1
M2-1	マタムフリ川ダム案 (パラカタため池 (短期計画案) + マタムフリ川上流ダム	54	7.4

出典: JICA 調査団

表 4.3.17 の MOA ならびに付録 4.3-4 に示す結果から以下のことが評価できる。

- 1) 総合点では M2-1 が高い点数を獲得しており、不衡平性係数でも小さいという結果が得られた。建設費において両案に大きな相違が見られ財務的影響の評価において大きな差異が生じて評価に影響している。
- 2) ダムの建設による下流河川区間の流況改善効果 (特に、乾季の河川維持流量の確保) が環境の保全の面で良い評価になっている。
- 3) 制度・組織、技術的可能性・安定性の面では、両代替案に大きな相違は見られない。

以上から、代替案 M2-1 が事業の総合点および不衡平性の度合いの観点から事業の優位性を有するものと考察され、概略分析による水資源開発オプションの推奨案として位置づける。

4.3.4 水資源開発ロードマップの作成

前記「4.3.3」までの調査結果を踏まえ、南部チョットグラム地域の水資源開発における今後の JICA による支援に向けて選定された開発計画オプション推奨案を表 4.3.18 のように推奨する。

表 4.3.18 水資源開発計画オプション推奨案

項目	概要
短期計画	
開発目標	モヘシュカリ・マタバリ地区工業用地内の生活・工業用水およびチャカリア市の生活水の供給
計画目標年次	2026年*
水源	表流水：マタムフリ川の雨季河川流量
主要施設	<ul style="list-style-type: none"> ポンプ式取水口：マタムフリ川橋（国道 N-1）から 3.6km 上流左岸（チャカリア） 導水路：Chattogram-Cox's Bazar 高速道路（建設中）および Matarbari Port 連絡道路（計画中）沿いのパイプライン ため池＋浄水場＋送水ポンプ場：パラカタ地区（コックスバザール県） 送水管（パイプライン）および配水設備（水需要地区）
社会影響	ため池（湛水面積：約 3.2km ² ）の計画地では、塩の製造、エビ養殖を営んでいる住民の生計への影響が想定される**。
建設費***	998 億円 ・ポンプ式取水口：46 億円 ・導水路：7 億円 ・ため池＋浄水場＋送水ポンプ場：325 億円 ・送水管（パイプライン）および配水設備（水需要地区）：620 億円
長期計画	
開発目標	<ul style="list-style-type: none"> 短期計画の目標（上記） 南部チョットグラム地域の農業・工業・生活用水
計画目標年次	2041年
水源	表流水：マタムフリ川の雨季河川流量
主要施設	<ul style="list-style-type: none"> 上記短期計画施設 マタムフリ川本川上流ダム（Alikadam 地点より上流 23km）
社会影響	上流ダムによる貯水域（約 25km ² ）は、森林法（Bangladesh Forest Act, 1927）により指定された森林環境の保全を目的とした区域である「マタムフリ保安林」にあたる。いくつかの小集落（約 20 集落）が存在する可能性があり、土地収用・住民移転の影響が想定される。
建設費***	1,100 億円 ・上記短期計画施設：998 億円 ・マタムフリ川本川上流ダム他：102 億円

注) * コロナ禍による調査遅延により施設工事終了は 2031 年を想定

** 参照：表 4.1.17（社会環境 13、14）

*** 他代替案オプションとのコスト比較用として、「水道事業の再構築に関する施設更新費用算定の手引き、2011 年 12 月、厚生労働省健康局水道課」および「令和 2 年度版（2020 年）土木工事積算基準マニュアル」による概算値（除く：用地、補償費）

出典：JICA 調査団

表 4.3.18 に示す短期・長期水資源開発計画オプション推奨案のロードマップは、事業化プロセスも含めて図 4.3.16 のように時系列に整理して提案される。

Descriptions	Years																			
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Short Term Plan	▼																			
Data collection survey*	■																			
Feasibility Study		■	■																	
Financial arrangement			■	■																
Pre-construction stage**				■	■	■	■	■												
Construction								■	■	■	■									
Long Term Plan	▼																			
Feasibility Study									■	■	■									
Financial arrangement											■	■								
Pre-construction stage**												■	■	■	■	■				
Construction																■	■	■	■	■

Notes :

- 1) ▼ Target years, * The completion of the Study was delayed due to COVID19.
- 2) ** including procurement of consultant, D/D, P/Q & Tender
- 3) The long term road map is to be reviewed in future state of developments in the Moheshkhali/Matarbari region and its suburbs.

出典: JICA 調査団

図 4.3.16 水資源開発オプション・ロードマップ

第5章 結論と提言

本調査では、南部チョットグラム地域における推奨水資源開発オプションを概略検討して「M2-1: マタムフリ川ダム案 (パラカタため池 (短期計画案) + マタムフリ川上流ダム¹⁾)」をオプション推奨案 (参照: 図 5.1.1) として提案し、そのロードマップを作成した。また、調査地域の下水処理の素案を検討し「付録 5-1」に示している。

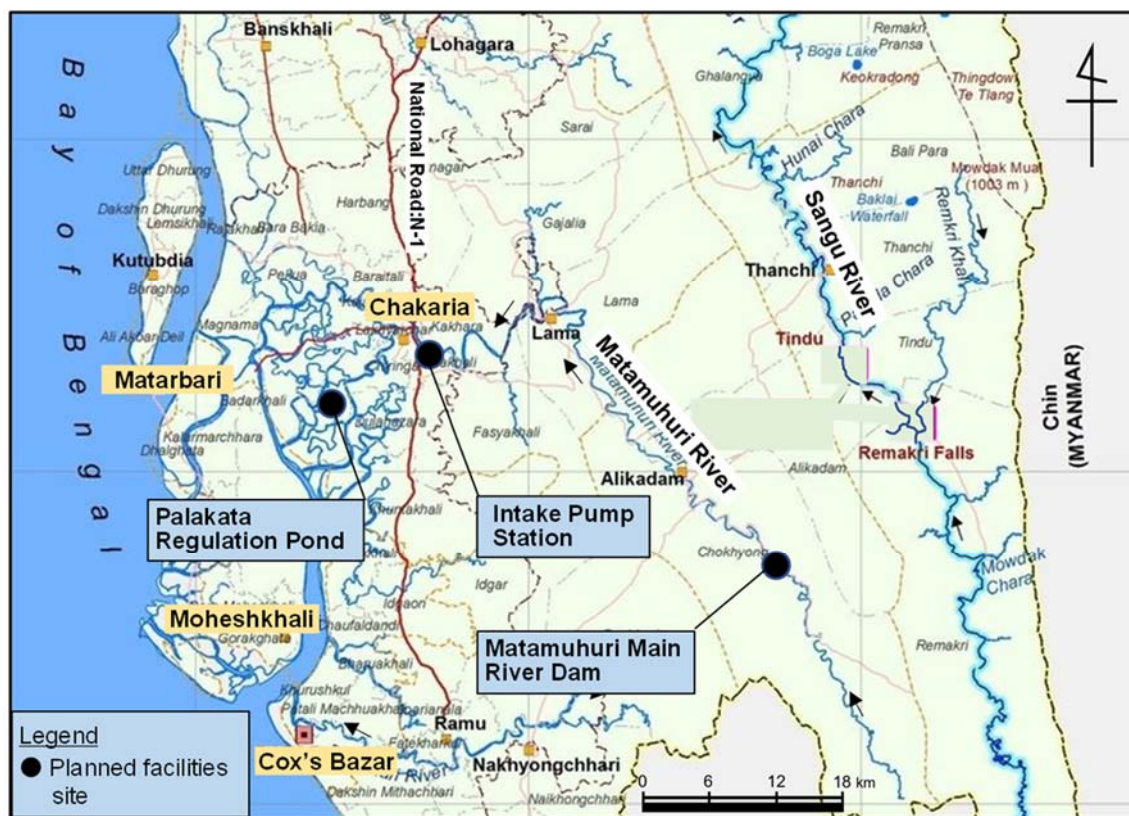


図 5.1.1 水資源開発オプション推奨案の施設計画位置図

本調査はコロナ禍に起因する制約の中で作業工程の遅延・変更を余儀なくされ一部本邦でのリモートワークを取り込みながら実施された。

モヘシュカリ・マタバリ地区は、BIG-B のもと我が国の技術協力等も受けながら重要なインフラ拠点として開発が進んでおり、今後の同地区およびその周辺地域における人口増加に向けた早急な水資源開発が求められている。このような中、当該推奨水資源開発オプションにかかる次段階の調査に向けて以下の留意事項などを踏まえて今後の取り組みが適時に進められることを提言する。

(1) マタムフリ川の水文解析に関する以下の検討

¹ 推奨開発オプションは、技術的な観点では最も優位であるが概略環境調査によれば計画ダム地点は森林環境の保全を目的とした保安林区域の外縁部に位置することから環境社会配慮の影響を踏まえて実施可否を十分に検討する必要がある。

- 1) 維持流量：項目別必要流量（動植物の保護、水質、舟運等）を調査して河川の利用や環境保全に必要な維持流量設定の精度向上
 - 2) 水収支解析：短期/長期計画における水収支解析モデルの精度を向上し（月単位から日単位の解析等）、水資源開発施設の設計に向けた施設規模や機能に関する分析精度の向上
- (2) マタムフリ川の水利用に際して、水質調査に関する以下の作業の実施
- 1) 重金属が検出されていることから、精査するために日本にサンプルを持ち帰る形で詳細な水質検査の実施
 - 2) 農薬に関しては、現地再委託による対応ができなかったことから、日本にサンプルを持ち帰る形で詳細な水質検査の実施
- (3) マタバリ・モヘシュカリ地域の開発は、国家戦略であり短期・中長期的に開発が見込まれる一方、アフターCOVID19の経済状況等や世界的な政策（低炭素、省エネ等）による潮流を考慮する必要があり以下の作業の実施
- 1) 今後アフターCOVID19の経済状況と各国の投資状況を把握し、随時の開発状況モニタリング
 - 2) 開発側の水需要コントロールの方策を検討することにより、省エネ対策、節水対策等、水供給のインフラコスト低減の検討
- (4) 環境社会配慮の観点からパラカタため池案に関する以下の作業の実施
- 1) バングラデシュの制度に則った環境社会影響評価の実施支援、及びJICA環境社会配慮ガイドラインに則った環境社会配慮調査の実施
 - 2) 塩製造、エビ養殖による生計の影響を受ける世帯数の把握
 - 3) 過去のバングラデシュでのグッドプラクティスを参照した生計回復支援プログラム案の作成、及び影響住民とのコンサルテーションの実施
- (5) 短期・長期水資源開発に取り込まれる施設計画に向けた地形測量、地質・土質調査、ならびに本施設計画（導水・送水路等）はMIDI関連事業で現在計画/設計中の新設道路との整合が必要
- (6) 短期・長期水資源開発計画の事業実施体制に係る調査の継続
- (7) 短期・長期水資源開発計画に係る経済・財務分析による経済・財務的事業実行可能性の評価
- (8) 短期・長期水資源開発計画をMIDI「プロジェクト」の一部としてMIDI総体に付加価値を付けるべく、ため池の広大な水面や水辺空間を利用して追加的な事業にも活用し相乗効果が期待できる事業の検討、例えば、①ポンプ取水、浄水場等に必要な電

力の創出に向けた水上設置型太陽光発電システムの導入および②地域の憩いの場や観光スポットの創出のような事業コンセプト