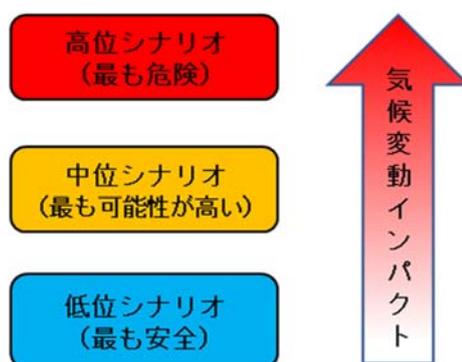


第9章 2050年における気候変動の影響評価

9.1 一般

この章では、特に渇水と洪水のリスクに焦点を当て、2050年での気候変動インパクトの評価について説明する。この目的のために、JICA プロジェクトチーム1（以下「チーム1」）から提供された気象・流量データを使用して、水収支解析および洪水氾濫解析を実施した。またその解析結果に基づいて、渇水と洪水に係るインパクトとリスクを評価し、次に関連するセクターの既存の能力内でのレジリエンス対策について議論する。

気候変動の不確実性についてできるだけカバーするために、このプロジェクトでは、図9.1.1に示す3つのシナリオを扱う。3つのシナリオとは、高位シナリオ（最も危険）、中位シナリオ（最も可能性が高い）、低位シナリオ（最も安全側）である。水収支解析及び洪水氾濫解析に先立ち3つのシナリオにそれぞれ対応する代表的なGCM(大気循環モデル)を選択し、チーム1が提供するそれら代表的なGCMの流出計算流量データを使用して、水収支解析及び洪水氾濫解析を行った。



出典: JICA プロジェクトチーム1

図 9.1.1 3つの気候変動シナリオ

9.2 標高及び2050年の土地利用

9.2.1 標高メッシュデータ

(1) 利用可能なDEMデータ

洪水シミュレーションモデルにおいて、氾濫原における現実的な洪水流れを表現するためには精度の高い数値標高モデル（DEM）が必要となる。ムシ川流域に適したDEMを選定するために、無償で利用可能なDEMデータ一覧を表9.2.1のとおり整理した。また、JICA プロジェクトチーム2（以下「チーム2」）はインドネシア側カウンターパートからのDEMデータの収集も試みたが、対象流域において利用可能なDEMデータは無かった。

表 9.2.1 無償で利用可能な DEM データ一覧

名称	DSM/ DTM*	参照測地系	参照ジオイド	解像度	出典
SRTM (version 4.1)	DSM	WGS84	EGM96	3 arc-second (about 90m)	https://cgiarcsi.community/data/srtm-90m-digital-elevation-data-base-v4-1/
SRTM (version 3.0)	DSM	WGS84	EGM96	1 arc-second (about 30m)	https://earthexplorer.usgs.gov/
Aster GDEM (version 2.0)	DSM	WGS84	EGM96	1 arc-second (about 30m)	https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/aster/aster_products_table/astgtm
ALOS World 3D (version 2.1)	DSM	GRS80	EGM96	1 arc-second (about 30m)	https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/aw3d30/index_j.htm
DEMNAS	DSM	WGS84	EGM2008	0.27 arc-second (about 8m)	http://tides.big.go.id/DEMNAS/
MERIT DEM	DTM	WGS84	EGM96	3 arc-second (about 90m)	http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/MERIT_DEM/index.html

出典：*DSM (数値表面モデル), DTM (数値地形モデル)

出典： JICA プロジェクトチーム 2

(2) DEM の選定

ムシ川流域における洪水シミュレーションモデル構築により適した DEM を選定するため、表 9.2.1 に挙げた DEM を対象に測量基準点（GCPs）による検証を行った。検証に使用した測量基準点は、インドネシア地理空間情報局（BIG）⁴のウェブサイトよりダウンロードした。測量基準点との適合性を DEM の精度を検証する指標とした。

その結果、ALOS、DEMNAS および MERIT が測量基準点の標高と比較的高い適合度を示した。また数値地形モデル（DTM）は、数値表面モデル（DSM）から建築物や植生の高さを取り除いた地表面標高を表すことから、建築物や植生の合間を縫って流れる氾濫流を再現するには数値地形モデル（DTM）を洪水シミュレーションモデルに適用すべきである。このため、MERIT DEM を洪水シミュレーションモデルの地形モデル構築に使用することとした。

9.2.2 将来の土地利用

(1) 将来土地利用想定重点項目

ムシ川流域における 2050 年の将来土地利用を想定するにあたり、目標年次が 2031 年の MSBL 流域 POLA 2014 及び RENCANA 2017、2036 年の南スマトラ州空間計画を参照し、基本構想を下記のように設定した。

- BBWS-S8 及び南スマトラ州が管轄する各既存表流水灌漑地区は、2050 年までに残存工事もしくは改修工事を実施し、計画灌漑面積全域を実現・維持。県・市所管地区も改良工事の実施により、計画灌漑面積全域を機能化するとともに、小規模地区の一部は に示す新規表流水灌漑地区に統合。
- 既存天水田地域は、表流水灌漑地区拡張計画事業実施により灌漑施設を新設、残存

⁴ 地理空間情報局に関する大統領令 第 94 号（2011 年）および地理空間情報に関する法律 第 4 号（2011 年）により、旧測量地図庁（Bakosurtanal）から業務分掌を拡大する形で地理空間情報局（BIG）に組織改編された。

天水田は保持もしくは他作物栽培目的に転用。

- BBWS-S8 及び南スマトラ州所管の感潮湿地排水地区水田は全域を維持するが、県・市所管の小規模排水地区は永年作物、特にオイルパーム植栽地に転換。
- RENCANA 2017 で提案されている新規地区の全域を 2050 年までに稲作目的に利用。
- 永年作物植栽地は、南スマトラ州経済へ農業セクター最大の貢献度を維持するため、空間計画で設定された目標を上限に 319 万 ha まで拡大。これに要する新規土地資源約 100 万 ha は、休耕地、焼き畑農地、転換可能林地に加え、生産林の一部を充当。
- Palembang 市及び Prabumulih 市の全域は、将来の人口増加に対応して居住及び商工用地として利用するため、既存農地を転用。

(2) 水田・永年作物植栽地・森林の将来面積想定

上述の設定条件に基づいて想定したムシ川流域における 2050 年の表流水灌漑・湿地排水地区、永年作物植栽地、森林の想定面積を表 9.2.2～表 9.2.4 に示す。

表 9.2.2 2050 年の想定灌漑面積

県/市	表流水灌漑地区 (ha)				湿地排水地区 (ha)		
	BBWS-S8	州管理	県管理	合計	BBWS-S8	州管理	県管理
1. Palembang 市	0	0	0	0	0	0	341
2. Prabumulih 市	0	0	0	0	0	0	0
3. Pagar Alam 市	10,050	1,479	1,525	13,054	0	0	0
4. Lubuk Linggau 市	1,322	0	1,529	2,851	0	0	0
5. OKI 県	13,000	0	0	13,000	39,335	14,126	46,480
6. Ogan Ilir 県	0	0	0	0	16,536	14,992	43,232
7. OKU Timur 県	57,988	4,920	650	63,558	0	7,550	8,250
8. OKU 県	0	0	3,824	3,824	0	0	45,480
9. OKU Selatan 県	0	4,801	5,179	9,980	0	0	0
10. Muara Enim 県	0	8,885	24,327	33,212	0	1,200	3,957
11. PALI 県	0	0	0	0	0	0	0
12. Lahat 県	10,000	5,443	8,348	23,791	0	0	0
13. Empat Lawang 県	9,244	1,500	5,614	16,358	0	0	0
14. Musi Rawas 県	32,341	4,013	6,563	42,917	6,000	0	0
15. Musi Rawas Utara 県	3,000	0	640	3,640	0	0	0
16. Musi Banyuasin 県	0	0	0	0	32,065	11,641	58,518
17. Banyuasin 県	0	0	0	0	164,197	0	166,263
南スマトラ州 計	136,945	31,041	58,199	226,185	258,133	49,509	326,041
ランブン州 計	15,048	0	0	15,048	0	0	0
合計	151,993	31,041	58,199	241,233	258,133	49,509	326,041

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 9.2.3 2050年の南スマトラ州における永年作物植栽想定面積

県 / 市	ゴム (ha)	椰子 (ha)	油椰子 (ha)	コーヒー (ha)	その他 (ha)	合計 (ha)	増減面積 (ha)**
Palembang 市	0	0	0	0	0	0	▲ 522
Prabumulih 市	0	0	0	0	0	0	▲ 11,197
Pagar Alam 市	1,180	40	0	12,440	1,800	15,460	4,301
Lubuk Linggau 市	12,210	220	0	2,910	630	15,970	3,790
OKI 県	198,390	3,320	265,040	2,030	17,370	486,150	198,257
Ogan Ilir 県	28,350	3,360	14,560	0	8,800	55,070	13,318
OKU Timur 県	49,580	480	45,690	3,910	9,970	109,630	11,984
OKU 県	99,370	1,120	51,630	33,320	7,410	192,850	68,534
OKU Selatan 県	5,840	1,180	60	96,360	10,760	114,200	27,612
Muara Enim 県	136,350	1,260	123,050	31,810	36,480	328,950	69,403
PALI 県	58,430	330	11,400	0	12,080	82,240	14,684
Lahat 県	55,080	550	77,930	95,080	33,040	261,680	82,461
Empat Lawang 県	5,440	750	0	85,700	20,450	112,340	26,106
Musi Rawas 県	132,960	1,550	172,800	4,450	11,010	322,770	79,372
Musi Rawas Utara 県	138,390	390	30,500	230	9,350	178,860	44,101
Musi Banyuasin 県	193,720	4,950	337,490	0	19,630	555,790	141,085
Banyuasin 県	91,510	47,300	201,050	4,160	13,020	357,040	96,167
南スマトラ州 計	1,206,800	66,800	1,331,200	372,400	211,800	3,189,000	869,456

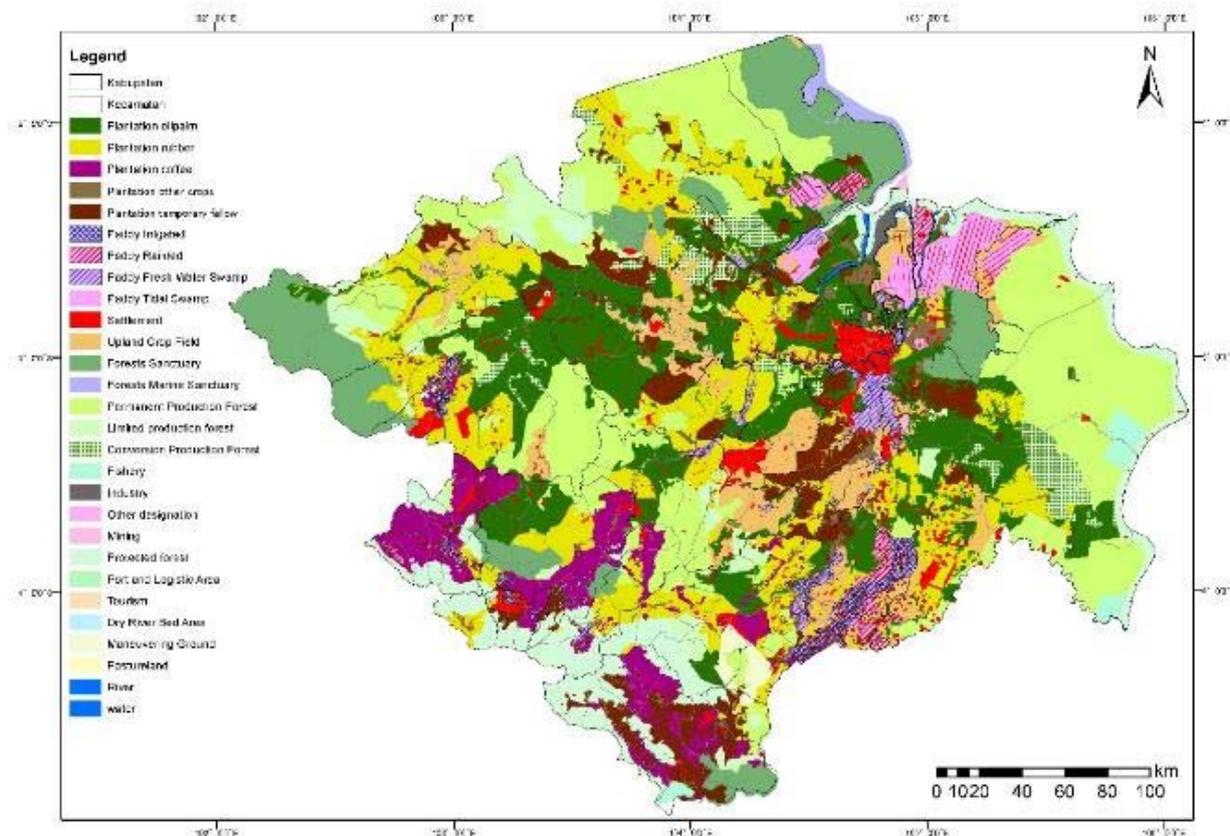
注釈: 増減面積**; 2015年と2050年の主要4永年作物面積増減比較
 出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 9.2.4 2050年の南スマトラ州における森林想定面積

県/市		保全林 (ha)	自然保護林 (ha)	限定生産林 (ha)	生産林 (ha)	転用可能 生産林 (ha)	合計 (ha)
1.	Palembang 市	0	50	0	0	0	50
2.	Prabumulih 市	0	0	1,070	0	1,060	2,130
3.	Pagar Alam 市	26,090	0	0	0	24,490	50,580
4.	Lubuk Linggau 市	1,220	4,150	1,100	0	620	7,090
5.	OKI 県	96,510	15,290	10,030	643,840	30,350	796,020
6.	Ogan Ilir 県	0	0	0	100	0	100
7.	OKU Timur 県	10	0	0	19,480	0	19,490
8.	OKU 県	68,310	0	18,650	54,960	58,470	200,390
9.	OKU Selatan 県	127,970	44,990	10,230	17,840	138,130	339,160
10.	Muara Enim 県	61,940	8,860	25,500	162,370	40,690	299,360
11.	PALI 県	0	0	0	8,550	0	8,550
12.	Lahat 県	48,310	52,260	4,350	28,550	3,010	136,480
13.	Empat Lawang 県	880	3,760	4,550	3,270	43,920	56,380
14.	Musi Rawas 県	64,970	75,350	7,390	157,680	0	305,390
15.	Musi Rawas Utara 県	190	172,780	36,750	109,780	36,910	356,410
16.	Musi Banyuasin 県	16,300	67,550	94,280	400,520	74,650	653,300
17.	Banyuasin 県	64,600	345,560	0	67,160	0	477,320
南スマトラ州 計		577,300	790,600	213,900	1,674,100	452,300	3,708,200

出典: JICA プロジェクトチーム 2

将来の土地利用分布状況を図 9.2.1、県・市別主要土地利用類型想定面積を表 9.2.5 にそれぞれ示す。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 9.2.1 2050年のムシ川流域想定土地利用図

表 9.2.5 2050年の南スマトラ州県・市別主要土地利用類型想定面積

県/市	水田 (ha)	畑地 (ha)	焼畑耕地 (ha)	永年作物 植栽地 (ha)	休耕地 (ha)	森林 (ha)
1. Palembang 市	0	0	0	0	0	0
2. Prabumulih 市	0	0	0	0	0	0
3. Pagar Alam 市	3,440	1,600	0	15,460	0	50,580
4. Lubuk Linggau 市	1,894	1,690	0	15,970	0	7,090
5. OKI 県	185,998	68,810	0	486,150	0	796,020
6. Ogan Ilir 県	67,627	12,300	0	55,070	16,240	100
7. OKU Timur 県	85,620	21,820	1,400	109,630	5,390	19,490
8. OKU 県	8,872	21,550	0	192,850	0	200,390
9. OKU Selatan 県	18,040	28,500	0	114,200	0	339,160
10. Muara Enim 県	27,017	24,540	0	328,950	0	299,360
11. PALI 県	6,579	8,960	0	82,240	0	8,550
12. Lahat 県	17,525	16,430	0	261,680	0	136,480
13. Empat Lawang 県	14,091	7,950	0	112,340	0	56,380
14. Musi Rawas 県	30,451	23,820	0	322,770	0	305,390
15. Musi Rawas Utara 県	7,131	16,810	0	178,860	24,870	356,410
16. Musi Banyuasin 県	66,810	23,790	0	555,790	0	653,300
17. Banyuasin 県	226,518	18,630	0	357,040	0	477,320
南スマトラ州 計	774,502	297,200	1,400	3,189,000	46,500	3,708,200

出典: JICA プロジェクトチーム 2

9.3 水利用

9.3.1 水利用予測

(1) 農業面の水利用予測

1) 目的

本プロジェクトにおいて農業面の水利用を予測する主目的は、気候変動が表流水灌漑対象地区の水需要に与える影響を評価することである。しかしながら、ムシ川流域においては、影響評価に先立ち、代表気候変動モデルを選択する必要があるため、9種類のGCM気候モデルから3種類の代表GCM気候モデルを選択する目的で水収支による検討方法を適用することとした。これに必要な灌漑用水取水量に係る入力データを準備するため、以下のケースを設定の上、表流水灌漑対象地区が存在する9ヶ所の小流域における気象データを用い、9種類のGCM気候モデルについて各ケースの単位灌漑用水需要量を算定した。

ケース 1 実測気象データと既存灌漑地区計画灌漑面積

ケース 2: 気候モデル(現況ケース)と既存灌漑地区計画灌漑面積

ケース 3: 気候モデル(将来ケース)と既存灌漑地区計画灌漑面積

ケース 4: 気候モデル(将来ケース)と将来灌漑地区計画灌漑面積

この作業で得られた合計 324 の単位灌漑用水量 (4 ケース x 9 GCM 気候モデル x 9 小流域) を各表流水灌漑地区の灌漑用水取水量計算に供用した。

2) POLA の灌漑用水量算定方法

POLA においては、灌漑用水量の算定にインドネシア国家規格 (SNI 19-6728.1-2002) が適用されている。下記の SNI 算定方式では、すべての灌漑地区の水需要量が単位灌漑用水量(1.0 l/s/ha)に灌漑面積と作付け率を乗じて算定されており、気象要素が含まれていない。

$$IWR = A \times CI \times a$$

ここに

IWR: 灌漑用水量(l/s)

A: 灌漑対象面積(ha)

CPI: 作付け率 (%)

a: 単位灌漑用水量 (l/s/ha)

したが、この算定式からは気候変動が灌漑用水量に与える影響は算定できない。

3) プロジェクトの灌漑用水量算定方法

本プロジェクトの目的に即し、気候変動が灌漑用水需要量に及ぼす影響を定量的に把握するため、水資源総局策定の「灌漑計画規範・設計基準(KP-1)」において設定されている下記の算定式を採択する。

$$KAI=(Etc+IR+WLR+P-Re)/IE \times A$$

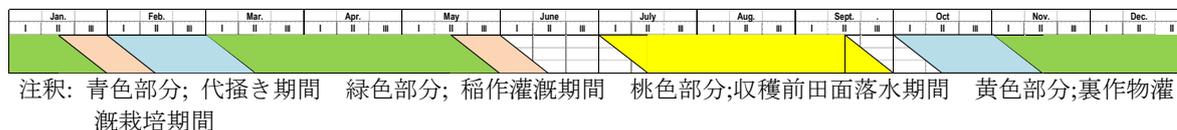
ここに

- KAI: 灌漑取水量 (l/s)
- Etc: 作物消費水量 (mm/day)
- IR: 圃場用水量 (mm/day)
- WLR: 湛水深維持水量 (mm/day)
- P: 浸透量 (mm/day)
- Re: 有効雨量 (mm/day)
- IE: 灌漑効率 (%)
- A: 灌漑面積 (ha)

したが、この算定式には降雨量と蒸発散量の二つの気象要素が含まれており、気候変動が灌漑用水量に与える影響を評価できる。

4) 作物暦

灌漑水田で栽培される作物の灌漑用水量を計算するには、水稻及び裏作物の栽培暦を設定する必要がある。また、複数の気候変動ケースがムシ川流域の灌漑用水需要量に与える影響の比較検討作業を簡素化するためには、単一の作物暦を設定することが必要となる。このような前提条件に対応するため、RENCANA 2017 に設定されている作物暦に、南スマトラ州政府食用作物・園芸作物部から収集した水稻・裏作物月次作付け及び収穫時期データを加味し、図 9.3.1 に示す単一作物暦を設定した。ここでは、雨季及び乾季稲作の代掻き期間を 15 日、収穫前落水期間を 10 日とした。



注釈: 青色部分; 代掻き期間 緑色部分; 稲作灌漑期間 桃色部分; 収穫前田面落水期間 黄色部分; 裏作物灌漑栽培期間

出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 9.3.1 ムシ川流域表流水灌漑地区単一栽培暦

5) 単位灌漑用水量

気候変動が灌漑用水需要量に及ぼす影響を定量化するため、灌漑地区及び県ごとに 9 種類の GCM 気候モデル及び観測降雨量・蒸発散量データを KP-1 算定式に入力し、単位灌漑用水量を算定した。また、計算は旬日ベースで現況気候ケースは 1985/86 年雨季作から 2000 年乾季作、将来気候ケースは 2050/51 年乾季作から 2065 年乾季作の各 15 年間を対象に行った。表 9.3.1 に Musi Rawas 県の計算例を示す。数値は各作期中の旬日ごとの単位灌漑用水量の 15 年間平均値を意味する。

表 9.3.1 各 GCM ケースの単位灌漑用水量計算例

ケース / 作期 / 作物		Musi Rawas 県の作期別単位灌漑用水量 (l/s/ha)									
		GCM-1	GCM-2	GCM-3	GCM-4	GCM-5	GCM-6	GCM-7	GCM-8	GCM-9	
Case 1 実測気象データ・既存表流水灌漑地区											
雨季作	水稲	0.89	Case1 は GCM とは無関係の実測データに基づく地域の水需要量を示す。								
乾季作	水稲	0.97									
乾季作	裏作物	0.49									
Case 2 気候モデル(現況ケース)データ・既存表流水灌漑地区											
雨季作	水稲	0.46	0.82	0.62	0.76	0.76	0.64	0.64	1.04	0.65	
乾季作	水稲	0.99	0.70	0.75	0.69	0.69	0.76	0.80	1.11	0.75	
乾季作	裏作物	0.43	0.40	0.45	0.63	0.63	0.28	0.37	0.47	0.37	
Case 3 / Case 4 気候モデル(将来ケース)データ・既存 / 将来表流水灌漑地区											
雨季作	水稲	1.01	0.77	0.68	0.83	0.82	0.68	0.75	1.02	0.86	
乾季作	水稲	0.47	0.97	0.68	0.88	0.74	0.76	0.79	1.08	0.85	
乾季作	裏作物	0.59	0.23	0.39	0.42	0.65	0.29	0.35	0.46	0.46	

出典: JICA プロジェクトチーム 2 (データブック E2)

6) 灌漑用水需要量

灌漑用水需要量は、各 GCM 気候モデルの年間降雨パターンの相違特徴を明らかにすることを目的とし、上記の単位灌漑用水量に加え、BBWS-S8・州・県が管理する既存表流水灌漑地区の計画灌漑面積に対する作付け率を 300% に仮定して算定した。表 9.3.2 に Musi Rawas 県の現況・将来気候及び既存・将来表流水灌漑地区面積を組み合わせた 4 ケースにつき、灌漑用水需要量計算結果を例示する。なお、数値は各作期中の旬日ごとの灌漑用水需要量の 15 年間平均値を意味する。

表 9.3.2 Musi Rawas 県における GCM ケース別灌漑用水需要量計算例

ケース / 作期 / 作物		Musi Rawas 県における各作期中旬日灌漑用水需要量平均値(m ³ /s)									
		GCM-1	GCM-2	GCM-3	GCM-4	GCM-5	GCM-6	GCM-7	GCM-8	GCM-9	
Case 1 実測気象データ・既存表流水灌漑地区											
雨季作	水稲	28.1	Case1 は GCM とは無関係の実測データに基づく地域の水需要量を示す。								
乾季作	水稲	30.5									
乾季作	裏作物	15.4									
Case 2 気候モデル(現況ケース)データ・既存表流水灌漑地区											
雨季作	水稲	14.4	19.7	19.6	20.4	23.5	20.3	19.9	32.9	20.0	
乾季作	水稲	31.7	22.2	24.9	24.2	22.1	24.2	25.7	35.6	7.6	
乾季作	裏作物	13.3	12.5	11.3	14.7	19.7	8.7	11.6	13.7	11.9	
Case 3 気候モデル(将来ケース)データ・既存表流水灌漑地区											
雨季作	水稲	31.6	24.9	21.2	26.2	25.7	20.9	22.9	31.3	27.2	
乾季作	水稲	14.9	30.2	21.3	28.1	23.9	24.3	25.3	34.0	27.4	
乾季作	裏作物	18.8	16.1	12.0	13.6	20.2	9.7	10.8	15.5	13.9	
Case 4 気候モデル(将来ケース)データ・将来表流水灌漑地区											
雨季作	水稲	39.6	31.3	26.6	32.8	32.2	26.2	28.8	39.3	34.1	
乾季作	水稲	18.7	37.9	26.7	35.2	30.0	30.5	31.8	42.7	34.3	
乾季作	裏作物	23.6	20.2	15.1	17.0	25.4	12.2	13.5	17.4	17.4	

出典: JICA プロジェクトチーム 2 (データブック E2)

(2) 家庭用・公共用・工業用(DMI)の水利用予測

1) 概要

本プロジェクトでの家庭用水、公共用水及び工業用水需要は、人の日常生活での需要と、家庭、職場、商業施設、公共施設、工業施設といった都市部での活動における需要とを網羅している。ただし本項では灌漑、漁業、森林用水並びに河川維持用水は含めていない。

水需要予測のベースとなる給水の統計資料は、行政単位ごとに整理されている。各流域ごとの市・県別給水資料は、サポーティングレポート F に示されている。

2) 給水現況

インドネシアにおける公共水道は一般に、各県のインドネシア地方水道公益事業会社（PDAM）あるいは公共事業省の下で市（Kota）によって運営されている。

(a) PDAM 及び 非 PDAM

PDAM は、家庭、商業施設、公共施設、工業施設と複数の異なる分野に対し給水を行っている。これらの顧客は、PDAM との契約に基づいてサービスを受けている。一方、非 PDAM とは、PDAM が給水サービスを行っていない地域を指している。非 PDAM 地区の水利用者は、表流水源あるいは地下水源等から直接水を得て飲料、洗濯、炊事等に使用するか、あるいは利用者の目的に応じて市販の水を使用している。こうした状況から、水道普及率（coverage ratio）は、各県/市での PDAM の顧客の比率を指すものとする。

2016 年現在の本プロジェクト地域での各県における PDAM の水道普及率は、Palembang 市の 77%（2015 年値）を除き、概ね 30%あるいはそれ以下であった。

(b) 水使用目的

PDAM 並びに非 PDAM 地区ともに、水使用目的は家庭用水、非家庭用水、及び工業用水として以下のように分類されている。

- 家庭用水： 水浴、炊事、洗濯並びにトイレ等住居地での日常生活用水
- 非家庭用水（都市用水）： ショッピングモール、レストラン、ホテル、スポーツセンター、映画館、政府庁舎、警察署、消火栓等、商業施設、行政並びに公共 活動用水
- 工業用水： 工業団地、個別の工場等での使用水

(c) 水源

水情報の統計によると、ムシ川、バニヤシン川及びスギハン川流域での水源は、表流水及び地下水から成る(参照: Directori Perpamusi 2016)。非 PDAM 地区での水源に関する統計資料は利用可能ではないが、飲料用として市販水と洗濯用として表流水からの取水並びに貯留した雨水が同地区での主要な水源となっている。2015 年の水需要をサポーティングレポート F に示す。

3) 既存 POLA 2014 及び RENCANA 2017

POLA 2014 は、ムシ川、バニヤシン川、スギハン川及び Lemau 川流域の水資源管理を目的とした最新の管理計画である。本プロジェクト対象地域は、上記 POLA2014 の対象地域の一部である。また、RENCANA 2017 においても家庭用水、公共用水及び工業用水の将来需要予測が示されているが、その対象地域としてムシ川、バニヤシン川、スギハン川流域以外の流域も含まれていること、さらに RENCANA 2017 で用いられている人口予測手法が不明であり、予測値が統計庁 (BPS) の人口データと必ずしも一致していないこと等が、本プロジェクトの中で確認された。したがって、本プロジェクトでは水需要予測を、以下の項に示す通り、可能な限り統計資料に基づいて実施した。

4) 水需要予測の条件

(a) 基本条件

ムシ川、バニヤシン川、スギハン川流域での水需要予測に際し、ベース年となる水需要現況を 2015 年に設定した。予測の基本条件を表 9.3.3 に示す。

表 9.3.3 2015 年ベースでの水需要予測の基本条件

組織		PDAM		非-PDAM	
		表流水	地下水	表流水	地下水または貯留雨水
使用目的	家庭用水	- 人口 (統計資料) - 使用原単位*2 - 給水カバー率*3 - 無収水*3		- 使用原単位 = (PDAM 使用原単位)+30*5)/2 - PDAM により給水されない地区. (100%-PDAM 給水地区) - 無収水率 = 0%	
	家庭用水以外*4	家庭用水の 20%		家庭用水の 20%	
	工業用水	26 l/人/日 Cipta Karya 1998 の基準に基づく 州労働者統計 (Dalam Angka 2017)		26 l/人/日 Cipta Karya 1998 の基準に基づく 州労働者統計 (Dalam Angka 2017)	

注) *1: 表流水/地下水への依存比率は実績値による。(参照: Direktori Perpamsi).

*2: 水使用実績 (販売実績) 及び消費者数に基づき計算。(参照: Direktori Perpamsi) until 2016.

*3: 全数値は Direktori Perpamsi を参照。給水カバー率は PDAM による給水人口より計算。

*4: 公共用水は、公共事業省居住総局の基準 (1996 年) より、家庭用水の 10-15% で計算。商業用水が家庭用水の約 5-10% であることを考慮し、家庭用水以外の需要は家庭用水の 20% とした。

*5: 30 リッターは、農村部住人の 1 日 1 人当たり水消費量 (公共事業省居住総局 1996 年の公共水栓の基準)

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(b) 水道サービス普及率

チーム 2 は、POLA での設定を考慮し 2050 年での水道普及率を 100% とした。県/市ごとの普及率は、徐々に増加し 2050 年までに目標値に達するものとする。各県/市の PDAM によって給水されている地区の水道普及率をサポートィングレポート F に示す。

(c) 水使用原単位

Cipta Karya 作成の基準によると、水使用原単位は対象地の人口規模に応じて定義されて

いる。PDAM から給水サービスを受ける市及び県に対する水使用原単位は、120 あるいは 150 リッター/人/日と定義されている。Palembang 市は、スマトラ島で 2 番目の大都市であり特に注意を払う必要がある。Palembang 市の水使用原単位は、2015 年時点の 199 リッター/人/日からわずかに上昇し、2050 年時点で 200 リッター/人/日となっている。

(d) 無収水率

無収水率減少の目標値は、2015 年時点での各県/市の無収水率現況に応じて、30%、25%、20%及び 20%以下の 4 つが設定されている。一般的に、漏水調査と量水計を用いた水使用量のコントロールとモニターに基づく適切な管更新により、無収水率を 30%まで減少させることは容易であると言われている。本プロジェクト対象流域では、その水道普及率が 2015 年現在で 30%を下回っている地区があるが、その普及率を上げる努力、特に管路ネットワーク構築の促進は同時に、無収水率を上昇させるリスクをも内在している。PDAM が給水する各市/県での 2050 年までの無収水率をサポートングレポート F に示す。

(e) 地下水

地下水量は、Direktori Perpamsi 2016 の推定データ (推定期間 2010-2050 年)に基づき、PDAM 給水地区の水源比率によって推定されている。本調査での水需要予測では、河川水、湧水、湖沼及び深井戸からの 2015 年利用実績を用いている。

5) 人口予測

(a) POLA 2014 での人口予測

POLA 2014 では、2012 年時点の人口をベースに人口増加率を適用した単純な予測計算により人口予測がなされている。よってこの人口予測には、BPS によって予測されたような南スマトラ州、ジャンビ州及びブンクル州の長期人口増加の傾向は反映されていない。また、各市/県での都市化の要因も考慮されていない。

一方、チーム 2 による人口予測では、BPS がその統計資料 (Census 2010 of Indonesia) の中で与えている都市化率を考慮しており、南スマトラ州、ジャンビ州及びブンクル州に対し 2035 年時点の都市化率として 40.1%、38.2%、35.6%をそれぞれ適用した。同一の県/市においても都市部と地方部の人口増加率には差異があるという観点から、チーム 2 による人口予測はより現実的であると言える。州別の人口増加率と都市化率をサポートングレポート F に示す。

(b) 本プロジェクトでの人口予測

2050 年時点までの人口予測値はないが、BPS による各州の 2010 年から 2035 年までの人口予測値が利用可能である。本プロジェクトでは、以下に示す条件で 2050 年までの人口予測を実施した。

- 人口予測のベースを BPS による Census 2010 とし、各州の BPS 支所によって出版されている Provinsi Dalam Angka 2017 の資料により補足した。

- 人口予測は、県/市別に実施し、2035年まではCensus 2010に基づく州ごとの人口増加率を用いて計算した。
- 2035年以降は、2035年までの人口増加率を線形式で外挿して用いた。ただし、人口増加率が2035年と2050年の間でゼロとなった場合はその後の計算では増加率をゼロのままとした。
- 人口予測は、水需要予測を目的としているので都市/地方部ごと別々に実施した。都市と地方の人口は、Census 2010の都市/地方人口データを用いて2035年まで計算し、それ以降は、上述の人口増加率と同様の方法で都市化率を外挿して予測計算に用いた。
- 県/市別の人口データを、流域内に占める各県/市の行政区域面積比で調整し流域人口を算定した。
- 各県及び市の2050年までの人口予測値をサポートィングレポートFに示す。

6) 水需要予測

前項で述べた条件を適用して実施した2050年までの水需要予測結果を

表 9.3.4 から表 9.3.6 に示す。また、県及び市ごとの2015年と2050年時点の水需要をサポートィングレポートFに示す。RENCANA 2017と本調査での水需要予測値との間には図 9.3.2 に示すような差異がある。この差異の主たる理由は、予測においてその対象としている地域が異なっていること、及び人口予測方法において両者の間に違いがあるためである。

表 9.3.4 水需要予測の要約 (ムシ川流域)

(単位: m³/s)

年	2015		2025		2035		2050	
	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水
家庭用水	9.071	0.205	12.895	0.292	15.152	0.371	18.158	0.480
家庭用水以外	1.816	0.041	2.581	0.058	3.033	0.074	3.634	0.096
工業用水	0.048	0.000	0.054	0.000	0.058	0.000	0.059	0.000
合計	10.935	0.246	15.530	0.350	18.243	0.445	21.851	0.576
	11.181		15.880		18.688		22.427	

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 9.3.5 水需要予測の要約 (バニヤシン川流域)

(単位: m³/s)

年	2015		2025		2035		2050	
	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水
家庭用水	0.671	0.001	0.968	0.002	1.276	0.002	1.732	0.003
家庭用水以外	0.134	0.000	0.194	0.000	0.255	0.000	0.346	0.001
工業用水	0.011	0.000	0.012	0.000	0.013	0.000	0.014	0.000
合計	0.816	0.001	1.174	0.002	1.544	0.002	2.092	0.004
	0.817		1.176		1.546		2.096	
	11.181		15.880		18.688		22.427	

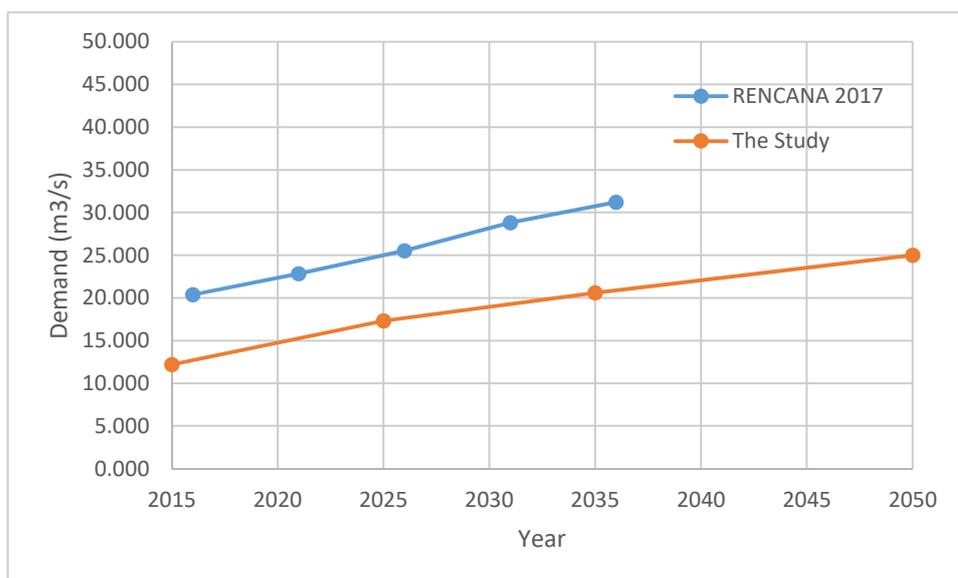
出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 9.3.6 水需要予測の要約 (スギハン川流域)

(単位: m³/s)

年	2015		2025		2035		2050	
	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水
家庭用水	0.155	0	0.220	0	0.289	0	0.392	0
家庭用水以外	0.031	0	0.044	0	0.058	0	0.078	0
工業用水	0.002	0	0.002	0	0.003	0	0.003	0
合計	0.188	0	0.266	0	0.350	0	0.473	0
	0.188		0.266		0.350		0.473	
	11.181		15.880		18.688		22.427	

出典: JICA プロジェクトチーム 2



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 9.3.2 RENCANA 2017 と本プロジェクトでの水需要予測の差異

前項 3) 既存 POLA 2014 及び RENCANA 2017 マスタープランで述べた通り、本プロジェクトでは対象となる 3 流域 (ムシ川、バニヤシン川及びスギハン川流域) 内に位置する県/市のみを対象としており、人口予測においては BPS の推定による長期人口データ (2011 年から 2035 年) を基にしている。一方で RENCANA 2017 での水需要予測は、短期人口データ (2006 年から 2010 年の統計データ) の年人口増加率の単純平均を用いて算定した人口予測値を基にしており、水需要予測結果は過剰と思われる。よって、本プロジェクトでの水需要予測値はより現実的なものと考えられる。

9.3.2 水収支解析

ムシ川流域全域を対象に水収支解析 (利水計算) を実施した。詳細はサポーティングレポート B に記述した。

(1) 計算条件

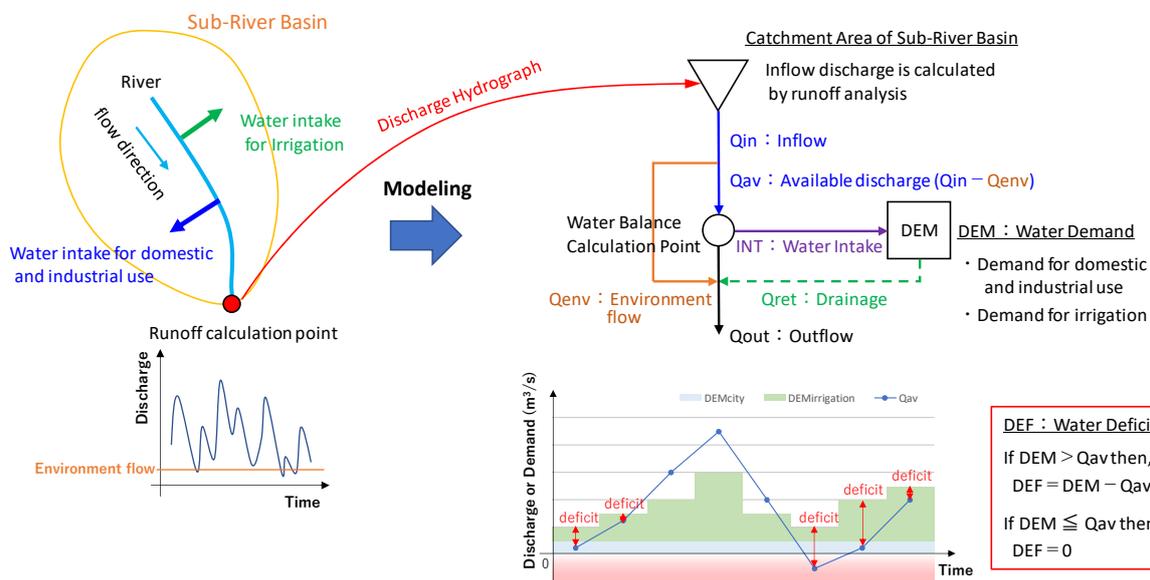
水収支解析の計算条件を表 9.3.7 に、水収支解析の基本的な考え方を図 9.3.3 に示す。

表 9.3.7 水収支解析の計算条件

項目	計算条件
対象地域	全ムシ川流域
水収支を考慮する単位	小流域単位
計算時間単位	10 日
計算期間	-現況ケース: 1985 年 9 月 1 日～2000 年 8 月 31 日 (15 年間) -将来ケース: 2050 年 9 月 1 日～2065 年 8 月 31 日 (15 年間)
モデルに組み込まれた河川施設	RRF*及び Musi Hydropower Station (PLTA Musi)
取水の優先順位	(1) 河川維持用水 (2) 水道用水 (3) 灌漑用水
還元水	水道用水の 80%、灌漑用水の 30%が排水路を通じて河川に還元すると仮定した。

注釈：*RRF は Ranau 湖水位調整施設(Ranau Regulation Facility)の事。詳細は 10.3.2 節参照。

出典：JICA プロジェクトチーム 2



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 9.3.3 水収支モデルの基本的な考え方

(2) 代表 3 GCM (シナリオ) の選定

1) 代表 3 GCM 選定の目的

大気循環モデル (General Circulation Models : GCM) は、その基本的な性質として不確実性と多様性を持つ。第一に、チーム 1 により、30 以上の GCM からムシ川流域の気候特性に比較的適合度の高い 9 つの GCM が選定された。続いて、チーム 2 により水資源不足量を指標として、3 つの GCM を高位シナリオ、中位シナリオ、低位シナリオとして選定した。

表 9.3.8 選定された 9 GCMs

No.	GCM
1	CCCMA CGCM
2	CSIRO MK35
3	GFDL 2 0
4	GFDL 2 1
5	GISS AOM
6	INGV ECHAM4
7	MIUB ECHO
8	MIUB MPI ECHAM5
9	MIUB MRI CGCM232A

出典：JICA プロジェクトチーム 1

代表 3GCM を選定する目的は、GCM の不確実性と多様性を考慮しつつ、将来の渇水リスクを定量的に検討するためである。

代表 3 GCM 選定にあたっての指標の候補を表 9.3.9 に示す。雨量と流量は渇水リスクを水資源の供給量の観点から評価する指標である。一方で、水不足量は供給量と需要量両方の観点から評価する指標となる。ここでは、水不足量を指標として選定した。

表 9.3.9 代表 3 GCMs 選定のための指標の選定

Workload	Indicator	Explanation	Consideration
light	Rainfall	Average annual rainfall over Musi river basin	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Easy to understand ✓ Normally used for flood control plan as external force
	Discharge	Average discharge at Musi river mouse computed by run-off analysis	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Discharge reflects rainfall spatial and chronological characteristics and run-off characteristics of river basin ✓ The effect of water use is not considered
heavy	Water Deficit	Total water deficit computed by water balance analysis	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Both surface flow and water demand are considered ✓ Workload is heavy

出典：JICA プロジェクトチーム 2

以上より、表 9.3.10 に示す計 28 ケースについて、水不足量を算定した。

表 9.3.10 水収支解析の計算ケース

ケース	気候シナリオ	土地利用	検討ケース数
1	実績（現況）	現況	1 ケース
2	9 GCMs（現在気候）	現況	9 ケース
3	9 GCMs（将来気候）	現況	9 ケース
4	9 GCMs（将来気候）	将来	9 ケース

出典：JICA プロジェクトチーム 2

2) 水収支解析

表 9.3.10 に示した計 28 ケースについて水収支解析を行った結果を表 9.3.11 に示す。なお、計算に使用した流量データは、チーム 1 により実施した流出計算結果を、水需要量予測データについては、前節で示した需要量データを使用した。

表 9.3.11 水収支解析結果

(Unit: MCM / Year)

Case		Water Balance (10 days Base)											
		Qin	Qenv	Demand		Intake		Deficit			Qret	Qout	
				City	Irrigation	City	Irrigation	Qenv	City	Irrigation			total
Case 1	Observed Rainfall	87,453	31,758	345	4,037	302	3,264	4,669	43	773	816	1,144	85,030
Case 2	GCM1 CCCMA_CGCM	79,910	31,758	345	3,685	265	2,219	7,114	80	1,466	1,546	679	78,105
	GCM2 CSIRO_MK35	81,724	31,758	345	3,900	286	2,575	6,320	59	1,325	1,384	768	79,631
	GCM3 GFDL_2_0	78,241	31,758	345	4,054	303	3,253	4,078	42	801	843	1,207	75,892
	GCM4 GFDL_2_1	80,555	31,758	345	3,724	286	2,709	6,369	59	1,015	1,074	988	78,548
	GCM5 GISS_AOM	77,423	31,758	345	3,879	253	2,400	8,640	92	1,479	1,571	925	75,695
	GCM6 INGV_ECHAM4	77,611	31,758	345	3,833	317	3,249	2,301	27	584	611	1,266	75,310
	GCM7 MIUB_ECHO	78,036	31,758	345	4,121	315	3,260	1,978	30	860	891	1,152	75,613
	GCM8 MIUB_MPL_ECHAM5	83,719	31,758	345	3,633	306	2,679	3,051	38	954	992	917	81,650
	GCM9 MIUB_MRI_CGCM232A	80,408	31,758	345	3,716	305	2,910	3,278	40	806	846	1,068	78,260
Case 3	GCM1 CCCMA_CGCM	85,804	31,758	689	3,753	572	2,372	4,452	117	1,381	1,499	858	83,718
	GCM2 CSIRO_MK35	60,706	31,758	689	4,625	475	2,396	11,021	214	2,229	2,443	1,023	58,858
	GCM3 GFDL_2_0	85,987	31,758	689	3,838	610	3,050	3,063	79	788	867	1,320	83,647
	GCM4 GFDL_2_1	75,017	31,758	689	4,288	546	3,183	6,689	143	1,105	1,247	1,356	72,644
	GCM5 GISS_AOM	86,423	31,758	689	3,815	511	2,399	7,992	178	1,416	1,594	1,126	84,639
	GCM6 INGV_ECHAM4	77,474	31,758	689	3,954	603	3,104	3,383	86	850	936	1,376	75,143
	GCM7 MIUB_ECHO	81,687	31,758	689	4,369	617	3,342	2,333	72	1,027	1,099	1,399	79,128
	GCM8 MIUB_MPL_ECHAM5	89,621	31,758	689	3,653	601	2,536	3,606	88	1,117	1,206	1,066	87,551
	GCM9 MIUB_MRI_CGCM232A	75,213	31,758	689	4,367	552	2,870	5,948	137	1,497	1,635	1,301	73,093
Case 4	GCM1 CCCMA_CGCM	86,938	31,758	689	4,196	556	2,633	5,682	133	1,563	1,696	953	84,702
	GCM2 CSIRO_MK35	62,053	31,758	689	5,174	476	2,706	12,427	214	2,468	2,682	1,180	60,051
	GCM3 GFDL_2_0	87,071	31,758	689	4,300	595	3,398	4,179	94	902	996	1,521	84,599
	GCM4 GFDL_2_1	75,886	31,758	689	4,748	536	3,486	8,703	153	1,263	1,415	1,514	73,378
	GCM5 GISS_AOM	87,045	31,758	689	4,329	495	2,838	10,899	195	1,491	1,686	1,313	85,025
	GCM6 INGV_ECHAM4	78,545	31,758	689	4,385	593	3,417	4,195	96	968	1,064	1,541	76,076
	GCM7 MIUB_ECHO	82,629	31,758	689	4,808	603	3,613	3,311	86	1,195	1,281	1,553	79,966
	GCM8 MIUB_MPL_ECHAM5	90,660	31,758	689	4,150	593	2,899	4,714	96	1,251	1,347	1,282	88,450
	GCM9 MIUB_MRI_CGCM232A	76,052	31,758	689	4,830	536	3,240	7,766	153	1,590	1,743	1,472	73,747

出典：JICA プロジェクトチーム 2

3) 代表 3GCMs の選定

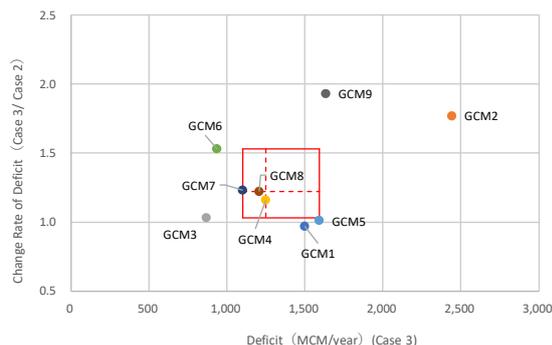
不足量の計算結果について、特にケース 2 からケース 3、4 への増加率に着目して整理した結果を表 9.3.12、図 9.3.4 および図 9.3.5 に示す。表 9.3.13 に示すように、渇水リスク高・中・低はケース 2 に対するケース 3 の変化率を指標に、高位のリスクを第 3 四分位数、中位のリスクを第 2 四分位数、低位のリスク第 1 四分位数に該当する GCM を選定した。

表 9.3.12 不足量を指標とした代表 3GCMs の選定

(Unit: MCM / Year)

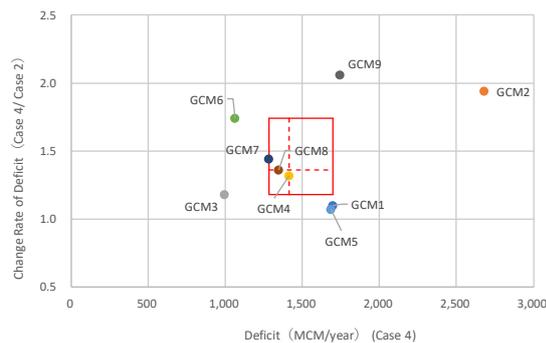
GCM	Case 2		Case 3		Case 4		Case 3/Case 2		Case 4/Case 2	
	Deficit	RANK	Deficit	RANK	Deficit	RANK	Deficit	RANK	Deficit	RANK
GCM1 CCCMA_CGCM	1546.2	2	1498.6	4	1696.4	3	0.97	9	1.10	8
GCM2 CSIRO_MK35	1384.0	3	2442.9	1	2681.5	1	1.77	2	1.94	2
GCM3 GFDL_2_0	842.9	8	866.7	9	996.0	9	1.03	7	1.18	7
GCM4 GFDL_2_1	1074.1	4	1247.2	5	1415.3	5	1.16	6	1.32	6
GCM5 GISS_AOM	1570.9	1	1593.7	3	1685.6	4	1.01	8	1.07	9
GCM6 INGV_ECHAM4	611.2	9	935.7	8	1063.9	8	1.53	3	1.74	3
GCM7 MIUB_ECHO	890.6	6	1099.0	7	1281.1	7	1.23	4	1.44	4
GCM8 MIUB_MPL_ECHAM5	992.1	5	1205.7	6	1347.0	6	1.22	5	1.36	5
GCM9 MIUB_MRI_CGCM232A	845.7	7	1634.7	2	1743.3	2	1.93	1	2.06	1
Max	1570.9	-	2442.9	-	2681.5	-	1.93	-	2.06	-
75%	1384.0	-	1593.7	-	1696.4	-	1.53	-	1.74	-
50%	992.1	-	1247.2	-	1415.3	-	1.22	-	1.36	-
25%	845.7	-	1099.0	-	1281.1	-	1.03	-	1.18	-
Min	611.2	-	866.7	-	996.0	-	0.97	-	1.07	-

出典：JICA プロジェクトチーム 2



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 9.3.4 散布図による Cases 2 & 3 の比較



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 9.3.5 散布図による Cases 2 & 4 の比較

表 9.3.13 代表 3 GCMs の選定結果

シナリオ	GCM	選択の理由
高位	(GCM6) INGV ECHAM4	不足量の変化率(Case 3/ Case 2) が第 3 四分位数
中位	(GCM8) MIUB MPI ECHAM5	不足量の変化率(Case 3/ Case 2) が第 2 四分位数
低位	(GCM3) GFDL 2 0	不足量の変化率(Case 3/ Case 2) が第 1 四分位数

出典：JICA プロジェクトチーム 2

4) 不足量

現況の不足量はケース 1(実績)が該当する。将来の年平均不足量は、現況の年平均不足量にケース 2 からの増加率を乗じることで算定した。結果として、将来の気候変動および土地利用変化の影響により、シナリオによって不足量の増加率は 18%~74%、不足量は現況の 816 から 963~1,420 百万 m³/年に増加する予測結果となった。

表 9.3.14 代表 3 GCMs の年平均不足量合計

シナリオ	現況不足量 (百万 m ³ /年)	将来気候 + 現況土地利用		将来気候 + 将来土地利用	
		ケース 2 からケース 3 への増加率	不足量 (百万 m ³ /年)	ケース 2 からケース 4 への増加率	不足量 (百万 m ³ /年)
高位	816 (168)	1.53	1,248 (298)	1.74	1,420 (433)
中位		1.22	996 (207)	1.36	1,110 (275)
低位		1.03	840 (194)	1.18	963 (260)

注釈：括弧内の数値は、河川環境流量（維持流量）を考慮しない場合の不足量を表す

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(3) 感潮湿地地域の予備的水収支解析

1) 感潮灌漑エリアの開発

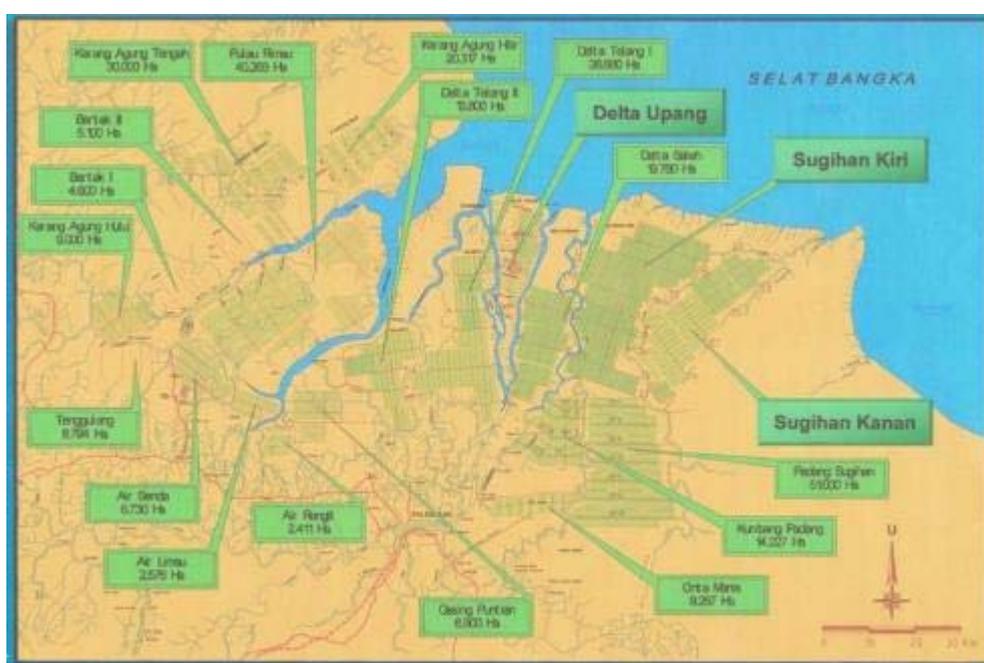
図 9.3.6 に示すように、ムシ川、バニユアシン川、スギハン川流域の低地には、広大な感潮湿地地域がある。インドネシア政府は、南スマトラ州を食料庫とすべく支援する政策に沿って、灌漑地域を拡大する努力を行っている。特に、スギハン川流域の感潮湿地の灌漑面積は倍増されると予測されている。

表 9.3.15 感潮湿地地域での灌漑面積予測

現況/将来	ムシ川下流域	バニユアシン川流域	スギハン川流域	合計
現況	51,722	142,667	15,688	210,077
将来 (2050)	53,705	154,230	31,978	239,913

出典: BBWS-S8

感潮湿地地域の灌漑方法は、潮位の変動に大きく依存している。一般に、満潮時には川の水が三次水路に引き込まれ、貯水される。貯水された水はさらに水田に汲み上げられる。干潮時には、水田の水は水路を通じて川に排水される。上流側の他の地域とは全く異なる灌漑方法のため、干潮湿地地域の灌漑地域は、前節で説明したムシ川流域の水収支解析から除かれている。その代り、ムシ川本川下流部、バニユアシン川流域、およびスギハン川流域の感潮湿地地域について簡易な水収支分析を行ない、特に増加する水需要に対して河川流出流量が引き続き十分かどうかを検討した。



出典: BBWS-S8

図 9.3.6 感潮湿地灌漑地域

2) 感潮灌漑エリアにおける農地レベルでの淡水消費水量

ムシ川本川下流部、バニユアシン川流域、およびスギハン川流域の感潮湿地地域について、農地レベルでの淡水消費水量の算定について以下のような仮定の下、簡易な水収支分析を行なった。

- 入植農民の間で通常使用されている 90 日間生育の早生品種雨季単作。
- 雨季開始後の積算降雨量が 20 mm を超えた日から代掻き作業に着手し、田面湛水深が 250 mm 到達まで継続。
- 田植え後、下層土からの塩水遡上防止策として田面湛水深を 250 mm に維持するために排水路から揚水する作業は、農民の自己判断と自己負担経費で実施。

- したがって、雨季初期の降雨商況に対応して稲作開始時期・期間が変動。
- 排水路の基幹ゲートは BBWS-S8 が操作するが、圃場レベルの水位調節施設は農民による管理。

上述の仮定条件下で、バニュアシン川、ムシ川及びスギハン川の各流域に存在する排水地区を対象とし、天水栽培圃場レベルの水収支を表 9.3.13 に示す 3 ケースの GCM 気候モデルについて行った。排水路からのポンプによる補給水量計算結果を表 9.3. に例示する。

表 9.3.16 感潮湿地排水地区における補給用水量計算例

年	現在気候モデル (m ³ /s)			年	将来気候モデル (m ³ /s)					
	既存排水地区				既存排水地区			新規排水地区		
	GCM-3	GCM-6	GCM-8		GCM-3	GCM-6	GCM-8	GCM-3	GCM-6	GCM-8
1985/86	264.5	447.0	61.0	2050/51	437.6	138.7	127.9	473.0	149.9	138.2
1986/87	620.7	174.1	448.5	2051/52	245.9	174.4	39.1	265.9	188.5	42.2
1977/88	620.7	118.7	96.5	2052/53	78.5	138.8	31.6	84.8	160.9	34.2
1988/89	254.8	30.3	99.8	2053/54	252.0	179.7	32.3	272.4	194.3	34.9
1989/90	173.1	287.4	72.5	2054/55	395.7	289.2	210.6	427.7	312.6	227.7
1990/91	196.7	177.8	395.3	2055/56	78.5	145.0	113.9	84.8	156.8	123.1
1991/92	310.5	186.9	203.2	2056/57	190.0	131.1	0.0	205.4	141.7	0.0
1992/93	334.4	105.2	276.6	2057/58	198.3	101.9	134.3	214.3	110.1	145.2
1993/94	245.4	220.2	174.1	2058/59	124.9	281.7	166.3	135.0	304.5	179.8
1994/95	300.1	246.5	239.7	2059/60	101.5	165.2	53.8	109.7	178.6	58.1
1995/96	187.8	192.0	83.0	2060/61	279.3	389.0	279.0	301.9	420.5	301.7
1996/97	671.3	311.6	291.0	2061/62	148.1	245.4	372.7	160.1	265.3	402.9
1997/98	205.5	332.4	128.4	2062/63	535.9	389.0	122.4	579.3	420.5	132.3
1998/99	203.8	292.2	255.8	2063/64	619.6	254.8	229.4	669.9	275.4	248.0
1999/00	302.2	170.9	209.9	2064/65	160.9	152.3	361.0	173.9	164.6	390.3

出典: JICA プロジェクトチーム 2

3) 水収支解析

表 9.3.17 は将来の気候変動と土地利用の変化の下での河川流出流量と水需要を比較している。Palembang より下流のムシ川流域については、河川流量が 3 つの全てのシナリオの水需要よりも圧倒的に大きく、ムシ川下流域では水不足の可能性は無視できるほど小さいと言える。バニュアシン川とスギハン川流域に関しては、気候変動シナリオによって最大灌漑需要が最小河川流出流量よりも大きい場合がある。しかし、図 9.3.7 に見られるように、最大水需要は洪水期にのみ発生し、幸いにその時期は河川流量も大きく、水需要量が河川流量を上回る事態は発生していない。

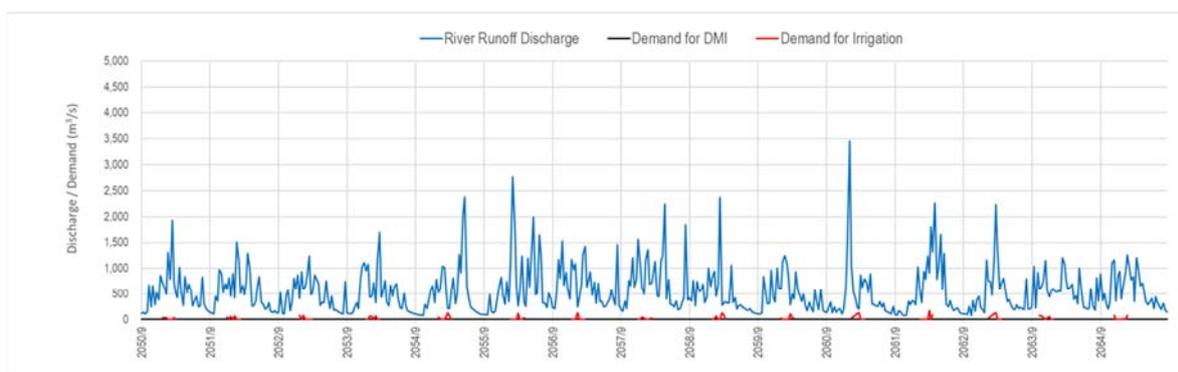
表 9.3.17 将来の気候変動下での河川流量と水需要量の比較

(単位: m³/s)

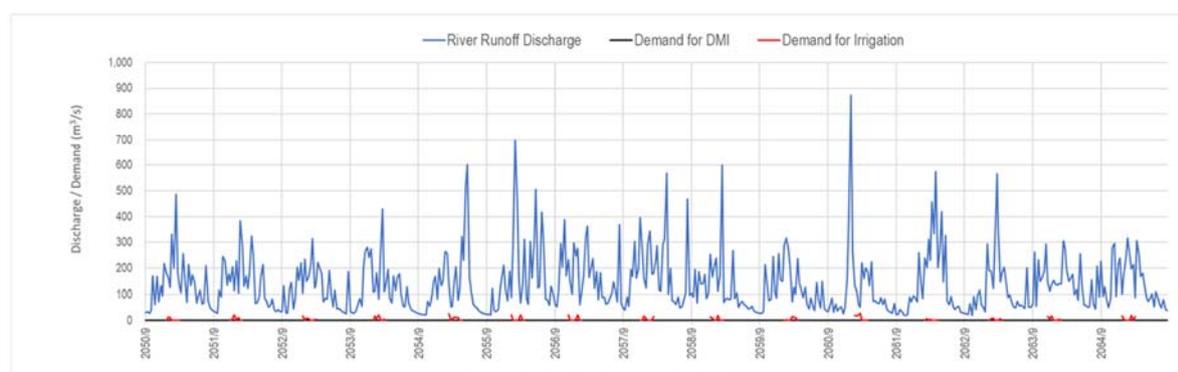
気候変動シナリオ	項目	ムシ下流部	バニユアシン	スギハン
高位 (INGV_ECHAMA4)	15年間(2050-2065)での最小河川流量	514.4	79.4	20.1
	15年間(2050-2065)での最大灌漑需要量	121.2	173.3	27.4
	15年間(2050-2065)での最大 DMI* 水需要量	0.1	2.1	0.5
中位 (MIUB_MOI_ECHAM5)	15年間(2050-2065)での最小河川流量	729.3	119.0	30.1
	15年間(2050-2065)での最大灌漑需要量	109.3	132.1	28.5
	15年間(2050-2065)での最大 DMI 水需要量	0.1	2.1	0.5
低位 (GFDL_2_0)	15年間(2050-2065)での最小河川流量	450.3	77.1	19.5
	15年間(2050-2065)での最大灌漑需要量	74.3	116.0	34.4
	15年間(2050-2065)での最大 DMI 水需要量	0.1	2.1	0.5

注: 河川流量にはチーム 1 による流出解析結果 (将来気候+将来土地利用のケース) を用いた。

出典: JICA プロジェクトチーム 1



Banyuasin River Basin



Sugihan River Basin

出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 9.3.7 河川流量及び水需要量波形図

9.4 洪水

気候変動による洪水ハザードへの影響の評価を洪水氾濫解析により行った。洪水氾濫解析の概要を以下に示す。また、詳細はサポーティングレポート B に記述した。

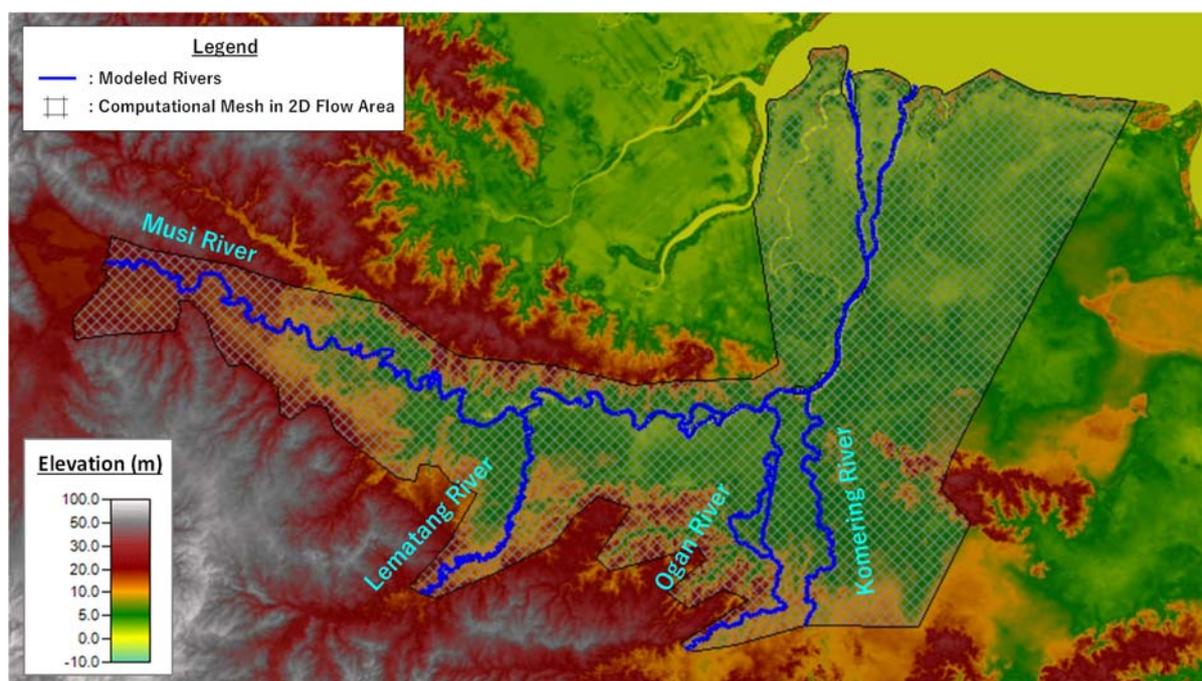
9.4.1 洪水氾濫モデルの構築

二次元不定流計算が可能な HEC-RAS ソフトウェアを使用し、ムシ川流域を対象とした洪水シミュレーションモデルを構築した。洪水シミュレーションモデルの仕様を表 9.4.1 に示す。

表 9.4.1 洪水シミュレーションモデルの仕様

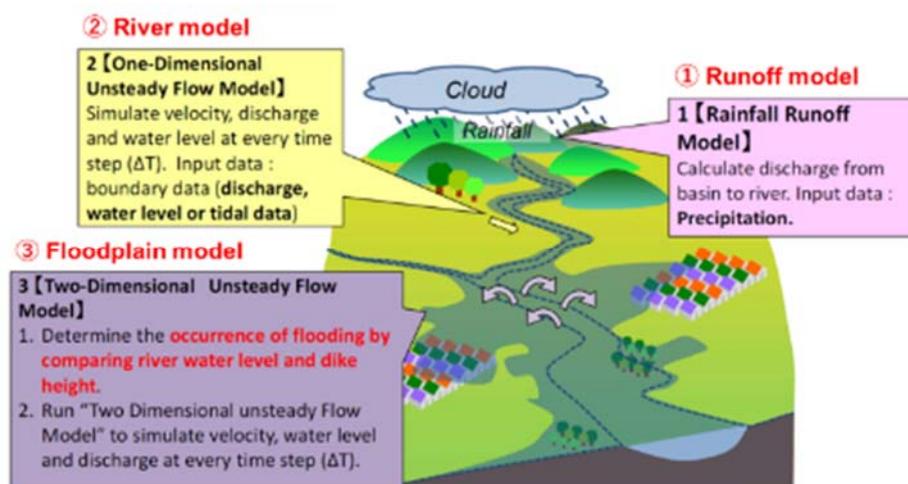
項目	内容	備考
ソフトウェア	HECRAS	
氾濫解析エリア(2次元計算エリア)	面積:12,000 km ² DEM: MERIT DEM メッシュサイズ: 1km	図 9.4.1 参照
計算	時間ステップ: 2分 計算式: Saint-Venant 式	
境界条件	上流端流量および側方流入量: チーム1からの提供 下流端: Tanjung Buyut 潮位データ	
モデル同定対象洪水	2005年洪水	

出典: JICA プロジェクトチーム2



出典: JICA プロジェクトチーム2

図 9.4.1 洪水解析対象エリア



出典: JICA プロジェクトチーム2

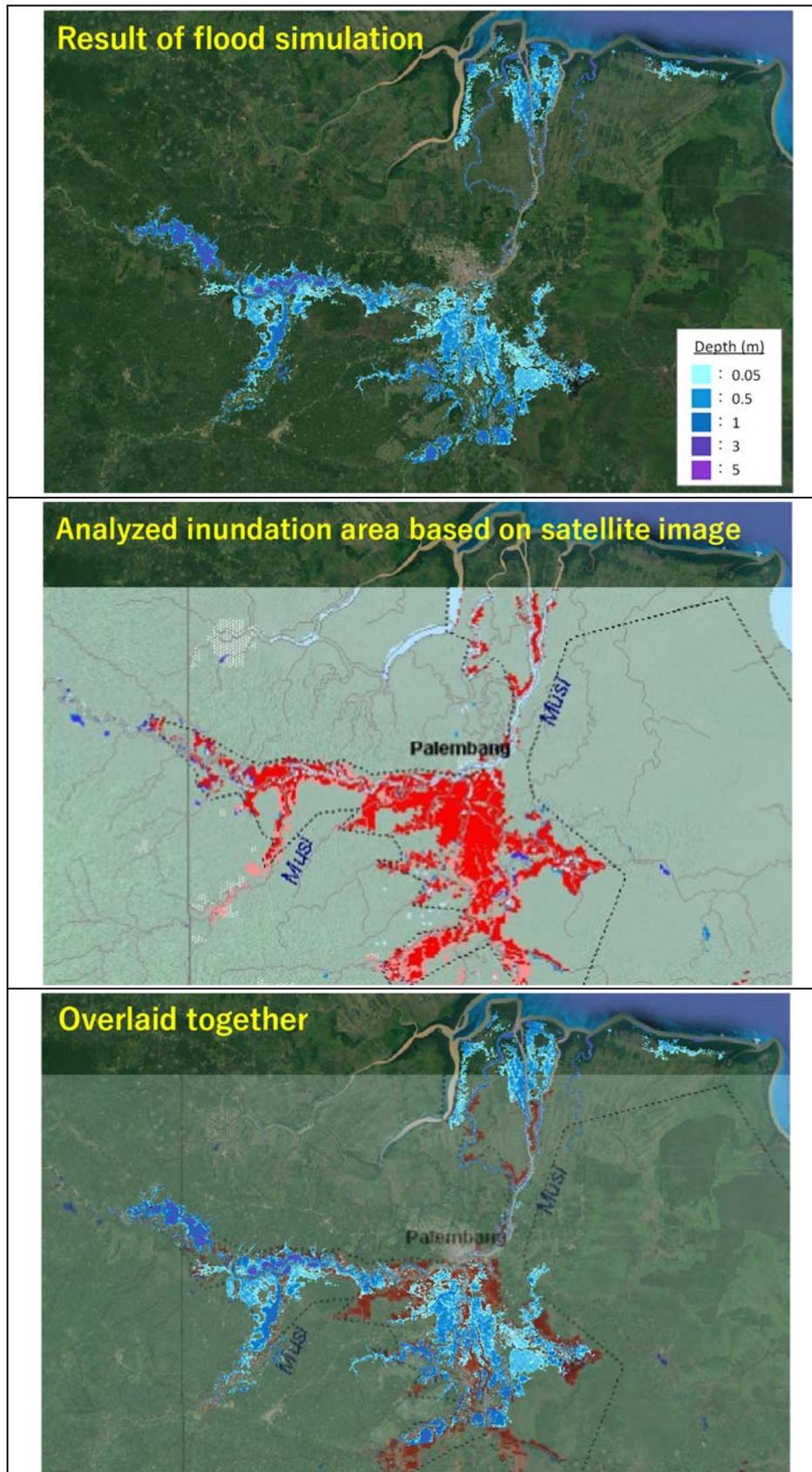
図 9.4.2 洪水氾濫モデルの概念図

9.5 気候変動影響の評価

9.5.1 渇水

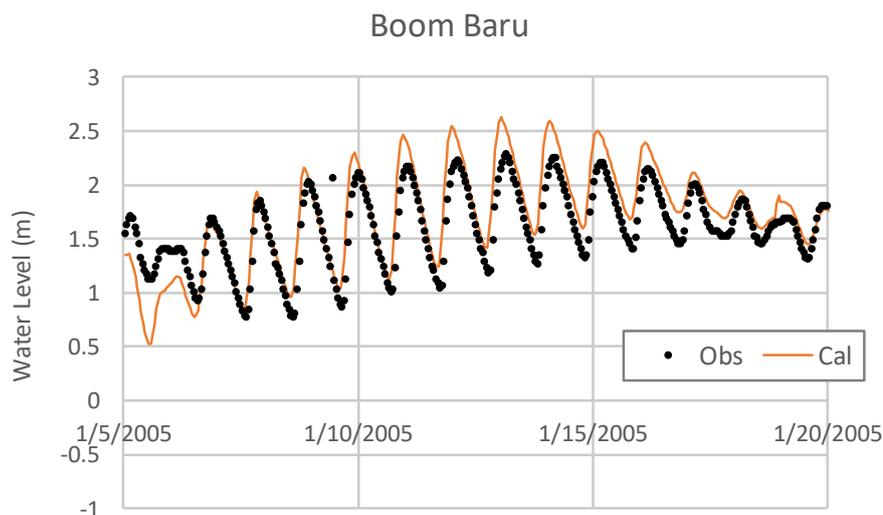
気候変動が水利用に与える影響を評価するために、灌漑水及び DMI 水の確保の安全レベルの指標としての水不足の発生する年（渇水年）の頻度を、水収支解析の結果を使用して推定した。頻度は、15 年間の水収支解析期間における渇水年の数を意味し、小流域毎に推定された。平均年間総不足水量も図中に示されている。この図から以下のように評価される。

- 図 9.5.1 に示されるように、すべての気候シナリオにおいて、水不足は西側の Komeriing 川、Lematang 川、Kelingi 川、Lakitan 川水系の上流小流域でのみ発生するが、中流域と下流流域では水不足は発生していない。その理由は、これらの上流小流域に既存および計画の大規模な灌漑取水施設が集中しているからである。
- Komeriing 川と Lematang 川の水不足の小流域には、いくつかのダム貯水池が計画/提案されている。しかし、Kelingi 川と Lakitan 川には計画/提案されているダムはない。
- 水の安全性の観点から灌漑用水より優先される DMI 水は、すべての気候変動シナリオでほぼ 100%確保される。不足量のほとんどは灌漑用水である。
- 図 9.5.1 の検討ケースではとくに河川維持用水量は考慮されていないが、10.3.2 の適応策の検討においては、各計画ダム地点で必要な河川維持用水量を考慮して、計画ダムの妥当性をより詳細に検討する。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 9.4.3 氾濫域の比較



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 9.4.4 水位の比較（Boom Baru 潮位観測所地点）

9.4.3 土地利用変化および気候変動による影響評価

キャリブレーションした氾濫解析モデルを用いて、土地利用変化および気候変動による影響を評価した。ムシ川下流には重要な感潮低平地が広がるため、降雨の増加同様、海面上昇についても重要な気候変動要因として検討した。

(1) 土地利用変化

チーム 1 による流出解析結果によると、9.2.2 節に示した将来土地利用変化は洪水時の流量にほとんど影響しない結果となった。したがって、チーム 2 は都市域における排水問題について慎重に検討する必要があるものの、流域スケールにおいては土地利用変化は大きく影響しないと判断した。

(2) 海面上昇

気候変動に伴う海面上昇については、すでに世界の様々な場所で観測されている。気候変動が洪水リスクに与える影響を評価するにあたっては、ムシ川河口における将来の海面上昇量を想定する必要がある。

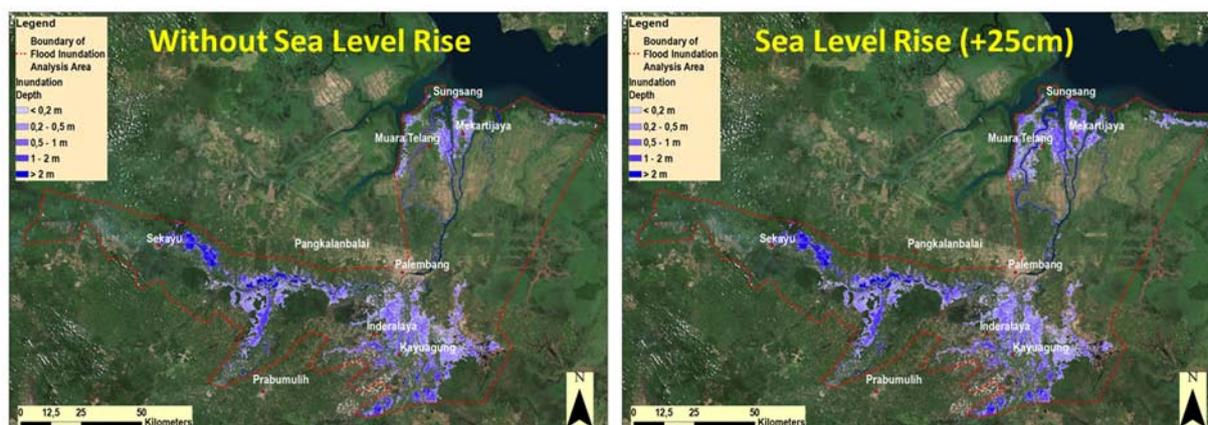
海面上昇に関する複数の研究レポートを収集し、結果を表 9.4.2 に要約した。収集した既往文献によれば、海面上昇率は 0.1 から 1.3 cm/年である。本検討では、南スマトラを対象とした最新の調査レポートが報告している 0.5 cm/年を採用し、洪水氾濫解析に使用した。

海面上昇が洪水の氾濫域に与える影響について評価するため、2005 年洪水を対象に海面上昇 25cm 有りと無しの 2 ケースについて氾濫計算を実施した。結果を図 9.4.5 に示す。図に示されている通り、ムシ川河口付近の河川沿いに氾濫域が広がる結果となった。

表 9.4.2 既往文献における海面上昇率

No.	レポート名	地域	対象年	海面上昇 (cm)	上昇率 (cm/年)	算定根拠	採用
1	"Climate Change Risk and Adaptation Assessment, South Sumatera" sector report "Sea Level Rise and Extreme Event Projections" by MOE (GIZ & Aus AID) Climate Change Risk and Adaptation Assessment, South Sumatera, Sea Level Rise and Extreme Event Projections FINAL DRAFT .p73. June 2012 Ministry of Environment (GIZ & Aus AID)	South Sumatera	2000~2050	25.2cm ±11.7cm	0.5cm/year	Focusing on the SRCC (Special Report on Emission Scenario) A1B scenario by IPCC, analyzed using HYCOM (HYbrid Coordinate Ocean Model) and FVCOM (Finite Volume Coastal and Ocean Model)	✓
2	World Bank Water Management Report (2012) Water Management for Climate Change Mitigation and Adaptive Development in Lowlands – WACLIMAD. Government of Indonesia (World Bank). P16.February 2012	All Indonesia	Present (2012? ~2050)	50cm	1.3cm/year	Configuration based on estimates of sea level rise in the 21st century of the IPCC AR4 (18-59 cm / all scenarios) and estimates of sea level rise by analyzing Sofian, 2010 papers (35-40 cm in 2050, 75 cm in 2100)	
3	IPCC AR4 Report(2007) Climate change 2007: Summary for policy makers Ministry of the Environment	All World	1990~2090	21cm~48cm (2090~2099 year /A1B scenario)	0.4cm/ year	Analysis result by Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM)	
4	Paper on Sea Level Rise (1994) TETSUO YANAGI and TATSUYA AKAKI. 1994. Sea Level Variation in the Eastern Asia, Journal of Oceanography Vol. 50, pp. 643 to 651.	East Asia	1985~2030	13cm	0.29cm/ year	Estimated from tide level data at 16 stations from 1951 to 1991	
5	Report on climate change by WWF (2007) Michael Case, Fitriani Ardiansyah, Emily Spector. 2007. Climate Change in Indonesia Implications for Humans and Nature. WWF report.	All Indonesia	21 st Century	13cm (0.3cm/year×43year)	0.1~0.3cm/ year	Cruz, et al., 2007 paper cited	

出典：JICA プロジェクトチーム 2



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 9.4.5 海面上昇 (25cm) 有り無しによる氾濫計算結果 (2005年洪水)

(3) 降雨増加

1) 代表 3GCM の選定

雨季（11月から3月）の5ヵ月雨量の増加率を指標として、高、中、低位シナリオに該当する代表 3GCM を選定した。結果として、高位シナリオに GISS_AOM、中位シナリオに CCCMA_CGCM、低位シナリオに GFDL_2.1 をそれぞれ選定した。

2) 対象降雨ハイトグラフの作成および流出解析

確率規模別およびシナリオ別の対象降雨ハイトグラフは、既往最大 5 ヶ月雨量を記録した 1993 年 11 月から 1994 年 3 月に観測された雨量を引き伸ばして作成した。適用した引き伸ばし率を表 9.4.3 に、確率規模別・シナリオ別の流域平均 5 ヶ月雨量を表 9.4.4 に示す。引き伸ばし率は、シナリオ間で最大 14%異なる結果となった。

チーム 1 は、引伸ばしにより作成した各対象降雨ハイトグラフを基に流出解析を実施し、その計算流量データをチーム 2 が受領した。

表 9.4.3 5 ヶ月雨量による引き伸ばし率（1993/1994 年降雨ハイトグラフ）

確率年	気候変動無し (過去実績データ)	気候変動有り		
		高位 (GISS AOM)	中位 (CCCMA CGCM)	低位 (GFDL 2.1)
2	0.71	0.79	0.73	0.68
5	0.82	0.91	0.84	0.78
10	0.88	0.97	0.89	0.84
25	0.94	1.03	0.95	0.89
50	0.98	1.06	0.98	0.93
100	1.01	1.10	1.01	0.96

出典：JICA プロジェクトチーム 1

表 9.4.4 確率規模別・シナリオ別、流域平均 5 ヶ月雨量

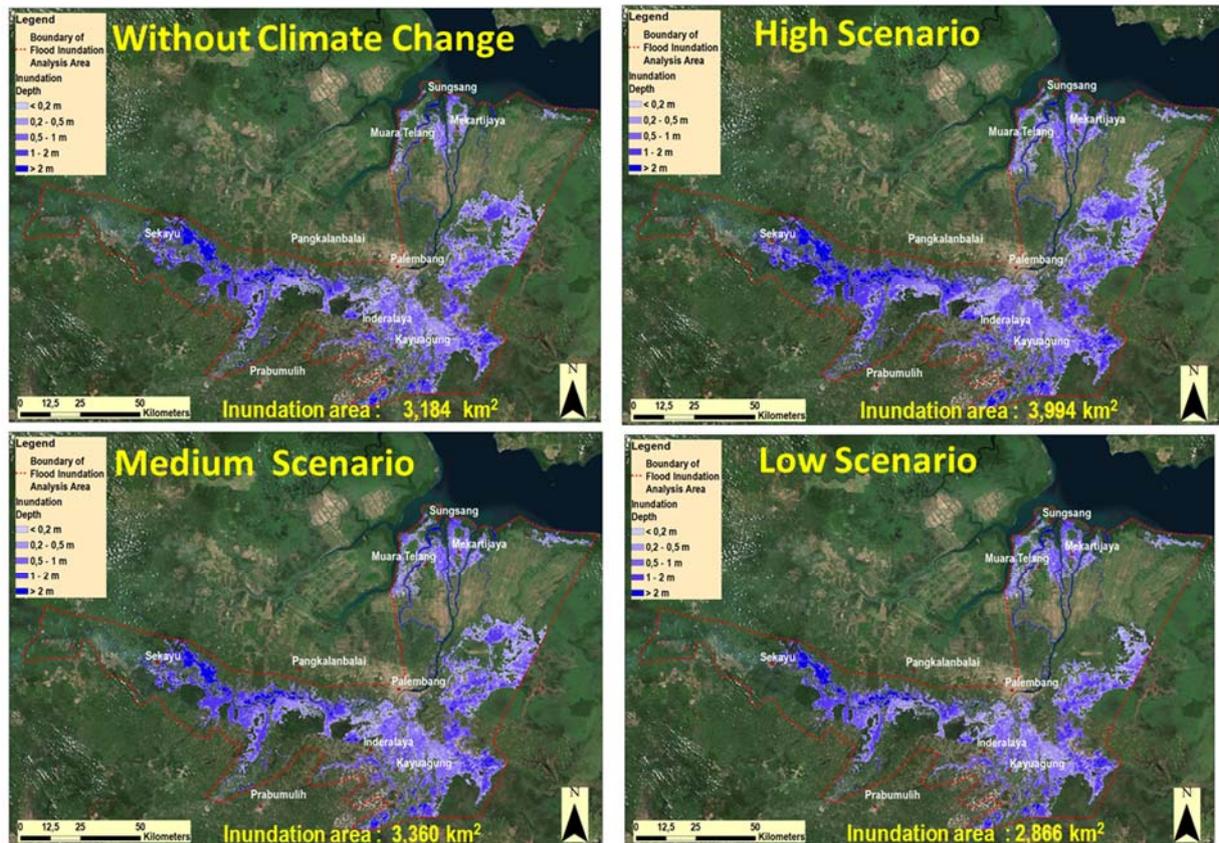
(単位: mm)

確率年	2yr	5-yr	10-yr	25-yr	50-yr	100-yr
現況（過去実績）	1,349	1,558	1,672	1,786	1,862	1,919
高位シナリオ（2050）	1,501	1,729	1,843	1,957	2,014	2,090
中位シナリオ（2050）	1,387	1,596	1,691	1,805	1,862	1,919
低位シナリオ（2050）	1,292	1,482	1,596	1,691	1,767	1,824

出典：JICA プロジェクトチーム 2

3) 洪水氾濫解析

チーム 1 から受領した流量データを使用して、洪水氾濫解析を確率規模別およびシナリオ別を実施した。例として 100 年確率洪水を対象とした氾濫計算結果を図 9.4.6 に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 9.4.6 最大浸水エリアの比較 (100年確率洪水)

9.4.4 豪雨の増加

気候変動が都市域での内水氾濫を悪化させる可能性も懸念される。気候変動の影響としてどの程度豪雨頻度が増加するかを把握するために、チーム 1 によって提供された 500m x 500m メッシュのバイアス補正された日雨量データを使用して、頻度分析を行った。

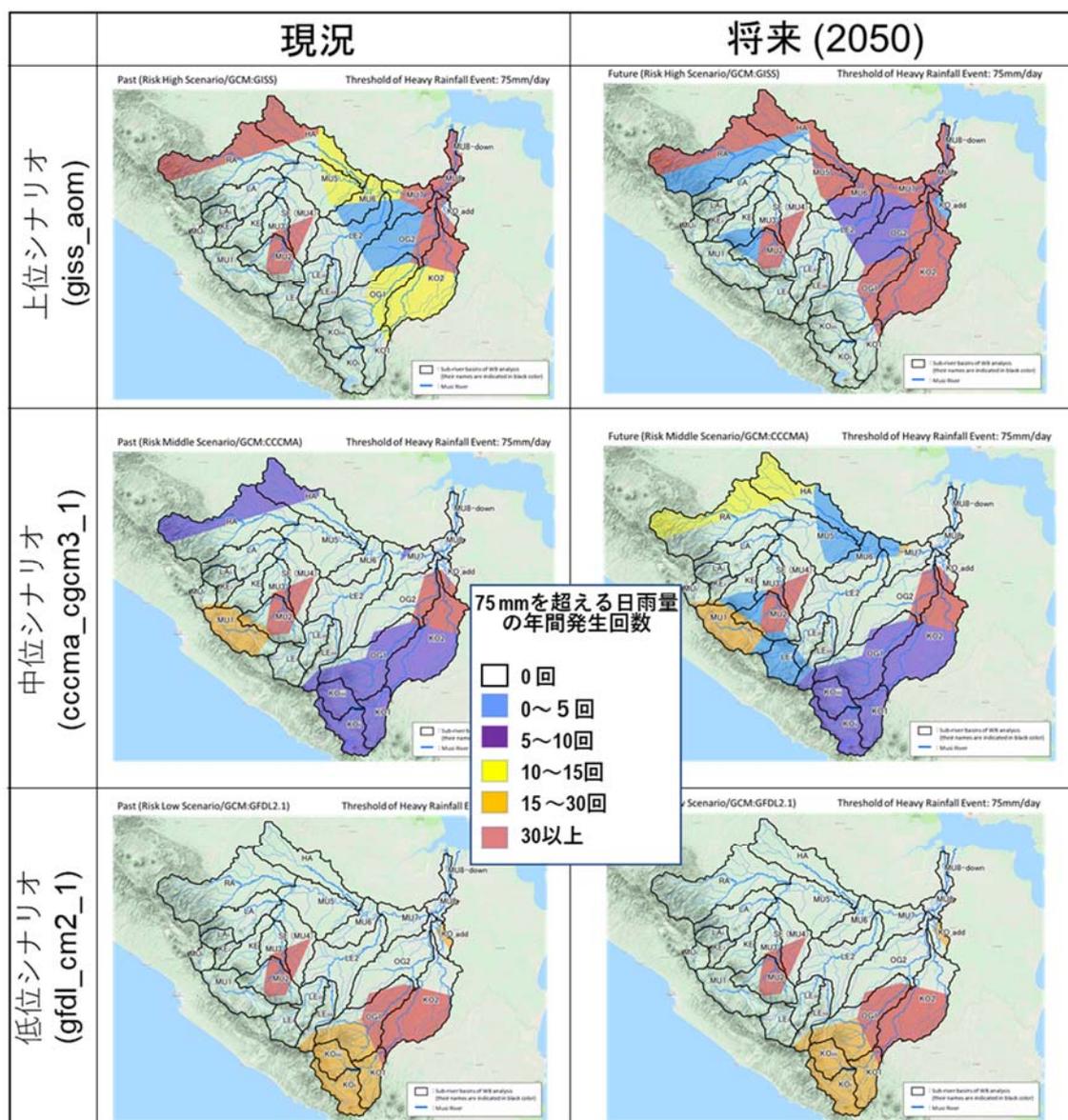
表 9.4.5 はムシ川流域において、いくつかの閾値を超える日雨量の年間発生回数を示している。この表は、現況から将来シナリオへの増加率も示している。図 9.4.7 は、閾値が 75mm/日の場合、つまり 75mm/日を超える日雨量の発生日数を示している。

これらの表と図から、大雨の頻度は一般的に将来的に増加し、高位シナリオの増加率は特に高く、1.5~7.0 の範囲であることが分かる。

表 9.4.5 ムシ川流域における年平均豪雨発生回数

閾値 (>=mm/day)	上位 (GISS)			中位 (CCCMA)			下位 (GFDL2.1)		
	現況	将来	増加率	現況	将来	増加率	現況	将来	増加率
50	37.5	57.7	1.5	39.3	38.8	1.0	14.7	13.7	0.9
75	18.8	31.1	1.7	7.1	8.6	1.2	8.5	8.8	1.0
100	10.8	17.5	1.6	3.8	4.1	1.1	1.3	2.6	2.0
125	3.7	9.0	2.4	2.5	2.7	1.1	0.0	0.9	-
150	0.8	3.5	4.4	1.5	1.1	0.7	0.0	0.2	-
175	0.1	0.7	7.0	0.3	0.3	1.0	0.0	0.1	-
200	0.0	0.0	-	0.2	0.1	0.5	0.0	0.0	-

出典: JICA プロジェクトチーム 2



出典: JICA プロジェクトチーム 2

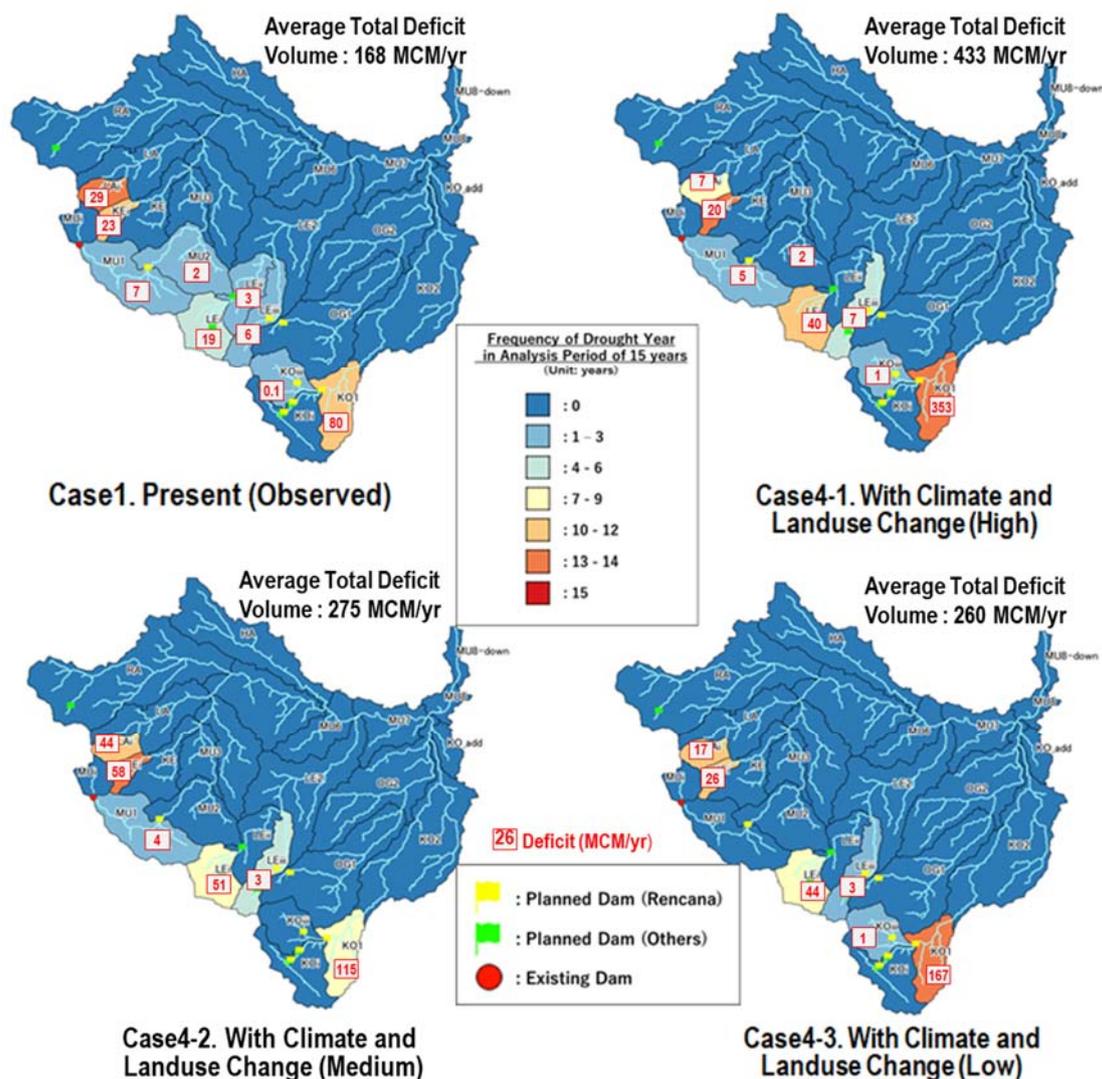
図 9.4.7 日雨量 75mm/日を超える頻度

9.5 気候変動影響の評価

9.5.1 渇水

気候変動が水利用に与える影響を評価するために、灌漑水及び DMI 水の確保の安全レベルの指標としての水不足の発生する年（渇水年）の頻度を、水収支解析の結果を使用して推定した。頻度は、15 年間の水収支解析期間における渇水年の数を意味し、各小流域毎に推定された。平均年間総不足水量も図中に示されている。この図から以下のように評価される。

- 図 9.5.1 に示されるように、すべての気候シナリオにおいて、水不足は西側の Komeriing 川、Lematang 川、Kelingi 川、Lakitan 川水系の上流小流域でのみ発生するが、中流域と下流流域では水不足は発生していない。その理由は、これらの上流小流域に既存および計画の大規模な灌漑取水施設が集中しているからである。
- Komeriing 川と Lematang 川の水不足の小流域には、いくつかのダム貯水池が計画/提案されている。しかし、Kelingi 川と Lakitan 川には計画/提案されているダムはない。
- 水の安全性の観点から灌漑用水より優先される DMI 水は、すべての気候変動シナリオでほぼ 100%確保される。不足量のほとんどは灌漑用水である。
- 図 9.5.1 の検討ケースではとくに河川維持用水量は考慮されていないが、10.3.2 の適応策の検討においては、各計画ダム地点で必要な河川維持用水量を考慮して、計画ダムの妥当性をより詳細に検討する。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 9.5.1 渇水年の発生頻度及び不足量 (Case 4)

9.5.2 洪水

ムシ川流域の中流域には広大な湿地がある。また海岸に近い下流地域には感潮湿地水田と呼ばれる農業地域がある。これらの地域では毎年のように雨季には洪水氾濫が発生している。

チーム 1 によって提供された流量データを用い、2050 年に想定される 25 cm の海面上昇の下、さまざまな確率規模と気候変動シナリオのいくつかのケースについて洪水氾濫解析を実施した。その結果を図 9.4.6 及び表 9.5.1 にまとめた。

これらの結果から、洪水の浸水面積は洪水の確率規模が大きくなるにつれて確実に増加することが理解できる。現状では、100 年確率の推定浸水面積は約 3,200 km² である。これが将来の気候シナリオに応じて、2050 年までに 4,000~2,900 km² に増減することが予想される。また、海面上昇により、とくに下流の感潮湿地水田地域で洪水浸水が拡大する様子が見られる。

解析結果によると、約 26 万から 30 万の家屋が洪水浸水地域に位置する。しかし現状では、これらの全ての家屋が実際に洪水浸水の影響を受けるわけではないことに注意すべきである。BBWS-S8 によれば、洪水氾濫原地域の人口の多くは、写真 9.5.1 に見られるように道路や河岸に沿って建てられたピロティ式の家屋に住んでおり、洪水と共存する知恵を有している。

表 9.5.1 洪水氾濫解析の結果

シナリオ	確率年	氾濫面積 (km ²)	氾濫 Vol. (百万 m ³)	氾濫地域内家屋数	氾濫地域内水田面積 (ha)
現況 (気候変動なし)	2 years	646	368	0	46,356
	5 years	1,249	820	174,259	47,194
	10 years	1,862	1,267	201,415	47,894
	25 years	2,434	1,761	227,614	50,476
	50 years	2,856	2,124	257,135	51,694
	100 years	3,184	2,462	271,931	53,794
高位シナリオ	2 years	1,313	849	189,545	58,843
	5 years	2,371	1,696	233,904	60,643
	10 years	2,981	2,229	246,857	62,743
	25 years	3,548	2,814	264,688	65,643
	50 years	3,749	3,067	285,178	68,943
	100 years	3,994	3,355	297,725	78,952
中位シナリオ	2 years	996	618	148,183	58,543
	5 years	1,695	1,172	201,386	58,843
	10 years	2,190	1,543	220,663	60,043
	25 years	2,742	2,040	259,626	61,943
	50 years	3,063	2,307	248,570	62,943
	100 years	3,360	2,593	280,549	63,843
低位シナリオ	2 years	694	450	109,492	58,201
	5 years	1,258	805	182,205	58,843
	10 years	1,695	1,172	201,409	58,843
	25 years	2,235	1,582	221,812	59,643
	50 years	2,553	1,865	248,806	61,343
	100 years	2,866	2,127	260,849	61,943

出典: JICA プロジェクトチーム 2



出典: JICA プロジェクトチーム 2

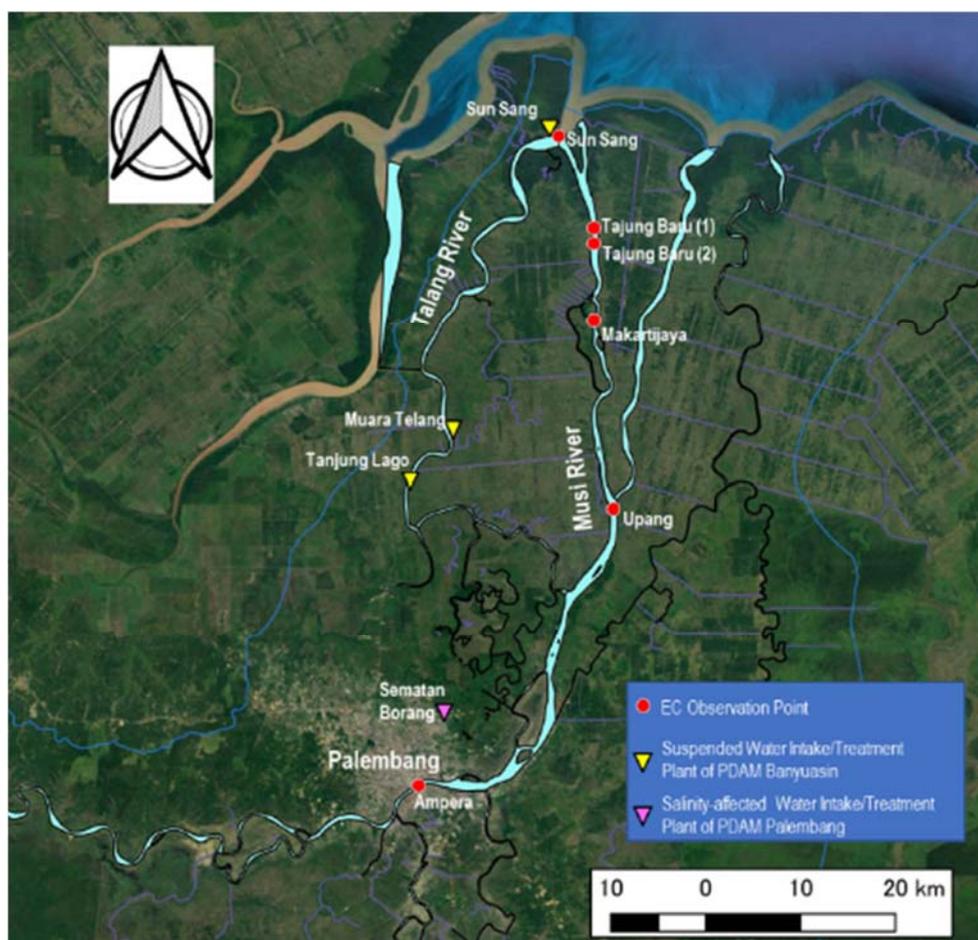
写真 9.5.1 氾濫原のピロティ式家屋

9.6 他のインパクト

9.6.1 塩水遡上

海面上昇は、気候変動の最も重要なインパクトの一つである。9.4.3 で説明したように、ムシ川の河口では年間 0.5cm の海面上昇が予測されており、約 30 万人が感潮湿地域に住み、その多くが農業に従事している。海面上昇によって増大する塩水遡上は、沿岸の低地に住む人々にとって最も重大な脅威の一つであると予想され、既にそんな脅威の具体的な兆候が現れている。

農民と関係者へのインタビューによると、農業への重大な塩害はまだ報告されていない。ただし、PDAM バニユアシンによれば、図 9.6.1 に示すように、Talang 川沿いにある 3 つの取水/浄水施設に高塩分水対策として逆浸透(RO)施設を設置したとのことである (ただし RO 膜の交換の予算を確保できなかったため、3 つの取水/浄水施設の運転はここ 3 年間で中断されたままになっている)。さらに、Palembang の Sematan Borang の取水/処理施設でかつて高い塩分濃度が検出されたことが報告されている。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

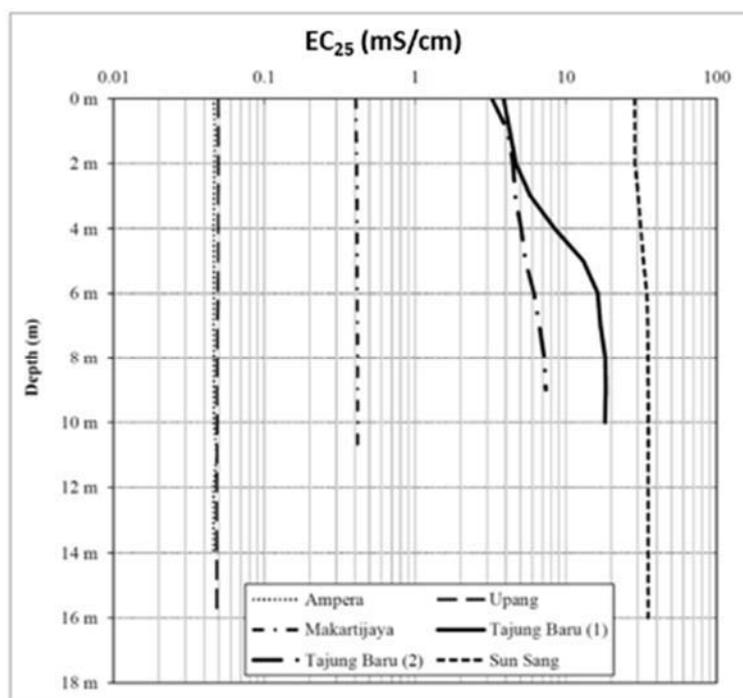
図 9.6.1 塩水の影響を受けた取水/浄水施設と電気伝導度観測地点

ムシ川の感潮区間での塩分分布を大まかに把握するため、チーム 2 は 図 9.6.2 に示すように、2013 年 12 月 6 日にムシ川沿いの 6 地点で電気伝導率 (EC) の観測を実施した。

観測結果を図 9.6.2 に示すとともに、さまざまなタイプの水の一般的な EC 値の範囲も参考のために表 9.6.1 に示す。図 9.6.2 から以下の点が考察される。

- Sun Sang の EC 値はほぼ海水の値である。
- 河口から約 45km および 90km 上流に位置する Upang および Ampera の EC 値はほぼ河川水の値である。
- 河口から約 15 km 上流にある Tanjung Baru (1) には塩水のくさびの形成の兆候が見られる。水面から深くなるほど、EC 値は大きくなる。
- 表 9.6.1 に基づくと、河口から約 25km に位置する Makartijaya は、塩分に関して無害な水が利用できるほぼ下流限界となっている。

上記の考察は、2013 年 12 月 6 日の 1 回限りの観測結果のみに基づいて行われたものであり、河口付近の塩分濃度は、潮位と河川流量によって大きく影響を受けることに注意する必要がある。すなわち、塩分濃度の特性を特定するには、このような監視を継続してデータを蓄積する必要がある。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 9.6.2 2013 年 12 月 6 日の電気伝導度観測結果

表 9.6.1 水の一般的な電気伝導度

水のタイプ	電気伝導度 (EC ₂₅)	備考
淡水 (河川水)	約 0.1 mS/cm	
稲作の許容最大電気伝導度	0.3 mS/cm	日本の基準
飲料水の許容最大電気伝導度	0.6~1 mS/cm	JICA プロジェクトチーム 2 の推定値
海水	約 45 mS/cm	

注: EC₂₅ とは水温 25°C での換算値。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

9.6.2 土砂流出

現在および将来の気候下での土砂流出は以下の通りである。

(1) 土砂流出の現況

- 大規模な地すべりや巨大崩壊などの深刻な土砂災害は、流域で認められなかった。したがって、それらに起因する土砂流出はない。
- 土砂流出の主な発生源は、耕作地と河川からの供給と推定される。
- 広大な平野に分布する土砂は、洪水により徐々に下流に運搬されると考えられる。
- Komeriing 川の中流部に巨大な河床堆積物が認められた。これらの堆積物は、更新世の侵食によって運ばれた火山性堆積物であると推定される。
- 土砂流出の要因と考えられる河岸侵食が所々で認められた(写真 9.6.1)。



写真 9.6.1 河岸侵食の現況 (6月/2014, 7月/2018)

(2) 将来気候下での土砂流出

将来の気候下での土砂流出量は、USLE の式を使用して推定される。推定方法は、ブランタス川流域に適用されている方法と同様である(サポーティングレポート H を参照)。

- USLE の式の I (一連の降雨における最大時雨量) の変化に基づいて計算され、将来気候 (2050 年) におけるムシ川流域の土砂流出の増加率は、表 9.6.2 に示される。
- 表 9.6.2 によると、土砂流出の増加率は現在気候 (2000 年) に対して平均 15% と予想される。

- 将来の降雨量の増加率は、表 9.6.2 に示される通り、平均 3% と見込まれる。

表 9.6.2 土砂流出と降雨量の増加率

1) 土砂流出の増加率		2) 降雨量増加率	
Basin ID	1-19	Basin ID :	1-19
High (2050/2000)	1.37	High (2050/2000)	1.08
Middle (2050/2000)	1.11	Middle (2050/2000)	1.07
Low (2050/2000)	0.98	Low (2050/2000)	0.94
Ave	1.15	Ave	1.03

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(3) USLE による解析の課題

現在、土砂流出に関しては、土壌侵食に使用される USLE が POLA で採用されている。しかし、次の課題が指摘される。

- 現在、侵食解析として ULSE (Universal Soil Loss Equation) が採用されている。
- この式によると、最も深刻な場合、侵食深は約 30mm /年以上になると計算されている。実際の状況を考慮すると、この侵食深は深過ぎると思われる。おそらく、この式で計算された値は、相対評価として使用することが望ましい。
- この式は多くのパラメーターで構成されている。したがって、検証することは非常に困難である。土砂濃度の観測は、検証可能な方法の一つであると考えられる。

(4) 土砂管理の課題

- 森林破壊と無秩序な土地開発は、土砂流出の主な要因と考えられる。したがって、これらの土地に対する土砂流出の適切な管理が強く求められる。
- 無秩序な河床の土砂掘削は、河床低下を引き起こす可能性がある。掘削および監視計画が必要である。
- 護岸工の沈下と変形が、所々で認められる。適切な設計基準に基づく護岸工の建設計画と管理が必要である。

9.7 水資源管理におけるリスク及びレジリアンス

9.7.1 水資源管理におけるリスク及びレジリアンス評価のコンセプト

評価コンセプトは、“ブランタス川流域調査”のそれと同様であり、5.5.2 節を参照されたい。

9.7.2 水資源管理のリスク及びレジリアンス

これまでの議論に基づき、渇水、洪水、塩水遡上、土砂流出の4つのハザードに係る気候変動によって引き起こされるリスクとレジリアンスについて表 9.7.1 に纏めた。レジリアンスとは現状のリソースを用い、少ないコストで実施可能な対策であり、非構造物対策が主体となる。本格的な構造物及び非構造物対策については次章で提案される。

表 9.7.1 水資源管理のリスクとレジリアンスのまとめ

ハザード	リスク	レジリアンス
渇水	<ul style="list-style-type: none"> 農業生産の減少 水道用水(DMI 用水)の不足 エコシステムへのダメージ 水質の悪化 	<u>灌漑用水需要量の管理</u> <ul style="list-style-type: none"> 米品種の変更 (渇水に強い品種) リアルタイムな天気予報に基づく農業作業 作付暦の変更 地下水の利用 伝統的な水管理システムである Giliran (ローテーション灌漑)や Golongan (時差灌漑) <u>DMI 用水需要量の管理</u> <ul style="list-style-type: none"> 節水のプロモーション 雨水利用
洪水	<ul style="list-style-type: none"> 人命や家屋・インフラへのダメージ 経済活動上での損失(営業停止等) 	<ul style="list-style-type: none"> 対応活動 (早期警報に基づく避難活動、救援活動等) の強化 洪水ハザードマップの周知 事業継続計画(BCP)の作成 氾濫原管理 (土地利用規制・誘導、洪水に強い家屋 (ピロティ式家屋))
塩水遡上	<ul style="list-style-type: none"> 農業、DMI 水、生態系への塩害 	<ul style="list-style-type: none"> 電気伝導度のモニタリングに基づくゲート運転
土砂流出	<ul style="list-style-type: none"> 河岸浸食 河道の流下能力の低下 舟運の困難 	<ul style="list-style-type: none"> 砂利採取の監視と規制 河道のモニタリング (定期的な河川測量) 航路維持浚渫

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(1) 渇水

図 9.5.1 に示すように小流域レベルでの渇水年の発生確率は気候変動シナリオに依存する中、気候変動と土地利用の変化の下で総水不足量は 18~74%増加すると予想される。農業生産の減少、DMI (家庭用水、非家庭用水および工業) 目的の水不足、生態系への悪影響、水質の低下などのリスクが高まる可能性がある。

レジリアンスとしては、灌漑水需要管理と水道用水(DMI 用水)需要管理の2つに大別される。灌漑需要管理には、イネの品種の変更 (耐高温及び耐乾燥性の強い品種の採用)、リアルタイムの天気予報に基づく農作業、作付暦の変更、地下水の使用、ギリラン (ローテーション灌漑方法) またはゴロンガン (時差灌漑方法) などの伝統的な調整システ

ムなど。またこれらの対策を効率的かつ効果的に実施するために、公共部門と民間部門の両方の関係者の能力強化を図ることが必要である。

(2) 洪水

9.5.2 節で説明したように、気候変動の下で洪水の影響が増加する可能性がある。したがって、人命、住宅、インフラ、農業などへの直接的な損害や経済活動（事業運営の停止など）の損失のリスクが高まる可能性がある。

レジリアンスには、早期警報に基づく避難活動、水防活動、救助、救援物資の配布、復旧活動などの対応の強化、洪水ハザードマップの公表、BCP（事業継続計画）の準備、氾濫原管理等が含まれる。氾濫原の管理は、土地利用の規制と誘導、および洪水に強い住宅の建設等で構成されている。濁水ハザードと同様に、関係者の能力強化は、レジリアンスの成功の鍵である。

(3) 塩水遡上

気候変動のインパクトとして、ムシ川河口において 0.5cm/年の海面上昇が予測されている。9.5.3 (1) で述べられているように、最下流部の低平地において塩水遡上の兆候が現れ始めている。海面が上昇すると、塩水遡上は明らかに進行し、近い将来、農業、水道、生態等への塩害が具現化することが懸念される。

レジリアンスとして感潮湿地灌漑地区では二次/三次水路への海水の浸入を防ぐために、電気伝導度や塩分濃度の監視に基づく注意深いゲート操作が求められる。

(4) 土砂流出

USLE に基づく土砂流出の予備的検討によれば、ムシ川流域の土砂流出は、気候変動シナリオに応じて、37%（高位シナリオ）、11%（中位シナリオ）または-2%（低位シナリオ）増加・減少する。したがって、河道内の堆積が増大し、河床上昇を引き起こし、河積が減ることによって流下能力が低下し、洪水が溢れて洪水被害を受けやすくなる他、船舶の航行が困難になる可能性がある。また気候変動により河川流量が増加すると、河岸侵食が加速する可能性もある。

レジリアンスとしては、河道の変化の監視（定期的な河川測量）と河積維持のための浚渫等がある。砂利採取の監視と規制も河岸の侵食を防ぐために必要である。

第10章 水資源管理計画のための気候変動適応策の検討

10.1 気候変動インパクトを反映させた水資源管理の計画手法

計画手法の概念は、“ブランタス川流域調査”のそれと同様であり、6.1節を参照されたい。

10.2 適応策の検討方針

Tiga Dihaji ダムの建設が2019年に始まったばかりだが、ムシ川流域には Perjaya 堰や Lakitan 堰等のいくつかの頭首工を除けば、大規模な水資源管理施設はない。その結果、膨大な河川水が未利用のまま海に流出している。

洪水対策に関しては、Palembang 市洪水対策マスタープランがあり、これに基づいて現在 Bendung 川で調整池やポンプ場の建設が進められている。しかし、ムシ川流域全体をカバーするようなマスタープランは作成されておらず、洪水に対する流量配分図等もない。これまで実施されてきた洪水対策事業は、対処療法的な、局所的な護岸工事等に限られる。

このように、ムシ川流域の開発は、たとえば多くのダム貯水池を有するブランタス川流域に代表される他の河川流域よりもはるかに遅れており、これらの流域に追いつくための努力が必要になっている。

南スマトラ州の空間計画2016のビジョンは、「優れた先駆的な州の建設に向けて、持続可能な食料資源とエネルギーのポテンシャルを活用することにより、生産的、効率的、適格な州の領土空間を作成する」と述べている。

気候変動の影響の不確実性の下、このようなビジョンを達成するために、気候変動の影響への適応に限らず、特に水資源開発・供給および治水の観点から、構造物、非構造物対策からなる包括的な河川流域開発計画を提案する。

10.3 洪水及び渇水の影響を緩和するための水資源管理施設の最適運用の提案

10.3.1 洪水

(1) 河岸侵食保護工

7.3.1節で述べたように、ムシ川流域の洪水問題のうち河岸侵食が最も深刻な問題である。上流、中流の河岸に近接する住居やインフラを以下に防御するのが洪水リスク管理上の主要な課題となっている。

Banuasın 県 Sekayu 市の既存護岸工の被災メカニズムと対策工検討の基本方針を、BBWS-S8 関係者と協議し検討した。

ムシ川の気候変動影響緩和策にける既存護岸工の最適化として、以下の事項を BBWS-S8 が実施していくことを提言する。

- 河岸侵食箇所のインベントリー作成
- 関連調査（測量、地質調査、河道変遷調査、河床材料調査など）
- 河岸侵食リスク評価
- 護岸工整備優先箇所の選定
- 護岸工設計基準やガイドラインの整備
- 河床土砂採取の規制、モニタリングの確立

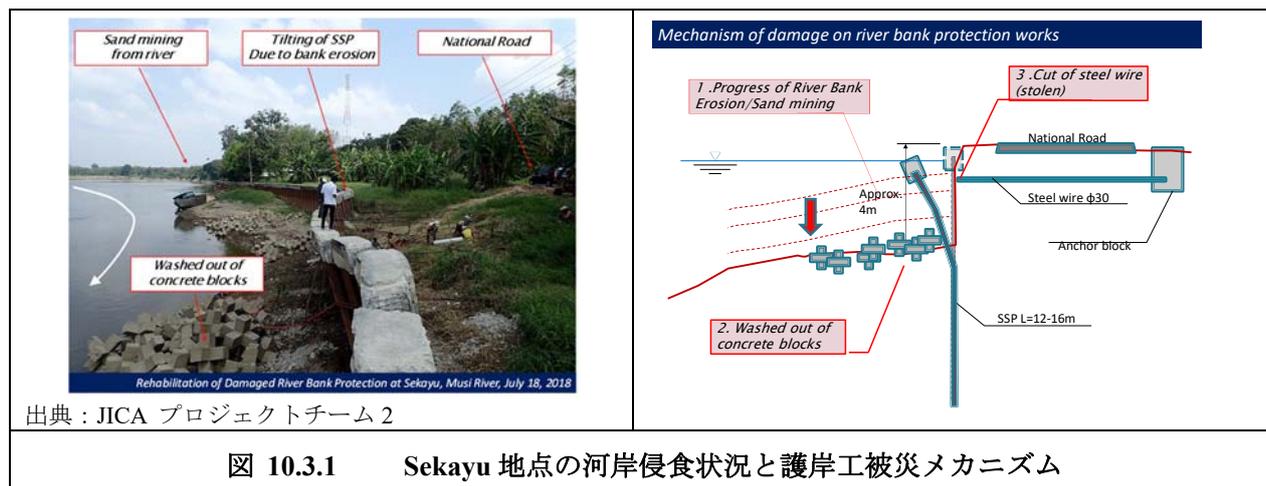


図 10.3.1 Sekayu 地点の河岸侵食状況と護岸工被災メカニズム

(2) Komerling 川と Ogan 川の連結水路

7.3.1 節で述べたように、Komerling 川、Ogan 川の間には、5 つの連結水路（通称：“RAJASIAR”水路）とレギュレーター（分流施設）があり、複数の水路により両河川が接続されている。レギュレーターの主要な機能は、i)雨季の Komerling 川から Ogan 川への洪水放流、ii) 乾季の Komerling 下流への水量確保のための流量調整である。

気候変動影響緩和策の検討における既存連結水路レギュレーターの施設管理については、以下の事項に留意すべきである。

- Komerling 川、Ogan 川下流の流量、流送土砂量を調整するためには、気候変動影響を考慮した上でレギュレーターの計画、設計を適切に策定、更新していくことが肝要である。
- 現在、既存の計画流量配分図がある。地形測量、河川測量（縦横断）、文水理量の評価、土砂バランスの評価を行い、この計画流量配分図をレビューし、更新していくべきである。
- 河川の流況予測システムの必要性調査や、河川情報として、例えば河川水位、流量、流送土砂量、河床材料、水文気象情報をモニタリング・記録する関連組織づくりの必要性調査の実施が提言される。
- この計画に基づき、水路・レギュレーター等の構造物の設計、ゲートの操作運用計画、河川・水路の運用、維持管理計画を作成していく必要がある。
- また、レギュレーターと連結水路の安全を確保するためには、河川や水路の護岸改修や管理浚渫が必要になる可能性もある。

10.3.2 渇水

(1) Ranau 湖水位調整施設 (Ranau Regulation Facility: RRF)の運用変更

1) 概要

Ranau 湖はスマトラで 2 番目に大きい湖で、南スマトラ州とランブン州の 2 つの州にまたがっている。約 125 km²の湖水面積と約 500 km²の集水域を持つ Ranau 湖は Komering 川の水源となっているが、経済、観光、水資源の面から統合的に開発される計画がある。

図 10.3.2 に示すように、Ranau 湖の水位は RRF で制御され、ここから Komering 川に放流される。放流された水は Mandiri Bank が所有する水力発電所による水力発電と、Ranau 村の農業地域の灌漑に使用される。この RRF の約 900 m 下流に位置する水力発電所は、11m の落差を使用して 2 つの 750kw のタービンで発電を行う。

図 10.3.3 に示すように、2006 年と 2010 年に実際の水位は 542.0 m を超えたが、RRF のゲートキーパーによると、Ranau 湖の水位は基本的に 541.2 m と 541.9 m のわずか 0.5m の範囲で運用されている。一方、表 10.3.1 に示すように、数十年前から関係者の間で、特に Komering 灌漑プロジェクトへの灌漑用水の供給のために、湖水のより効果的な利用の可能性が議論されてきた。2015 年には、「Komering 灌漑プロジェクトステージ II フェーズ 2 完了報告書、2015 年 7 月、日本工営」において、540.2m から 541.7m の 1.5m の範囲で湖の水を使用することを目的とした新しい操作が提案された。この提案された Ranau 湖の水位運用ルールの有効性とその実施に当たって想定される諸問題を以下に説明する。

表 10.3.1 現況と提案された湖水位運用ルール

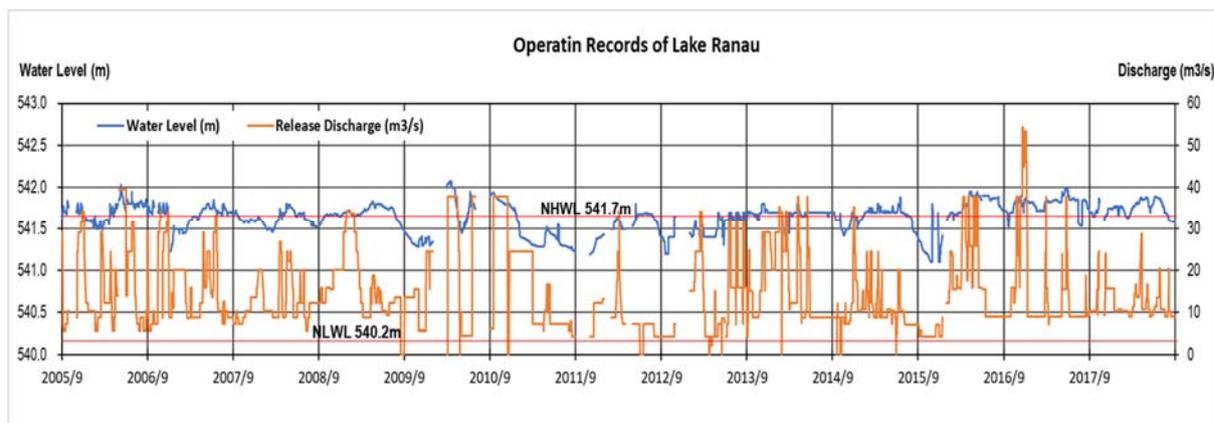
運用	NHWL(m)	LWL (m)	有効貯水容量 (MCM)
現状	541.9	541.2	106
2015 年の Komering 灌漑プロジェクトでの提案	541.7	540.2	190

出典: BBWS-S8



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 10.3.2 RRF とその下流の水力発電所の位置図



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 10.3.3 Ranau 湖水位と RRF からの放流量の観測データ

2) 湖水位運用ルール変更の渇水に対する効果

提案された湖水位運用ルールの効果を評価するため以下に示す条件で水収支解析を行った。

表 10.3.2 RRF の運用ルールの評価のための水収支計算の条件

項目	条件
解析対象地域	全 Komering 川流域: 9,725km ²
解析期間	15 年間 (1985 年 10 月~2000 年 9 月)
流量データ	JICA プロジェクトチーム 1 から提供された流出計算結果(観測降雨のケース)
水需要	水道及び灌漑需要量 (灌漑需要量については表 10.4.18 に基づき再計算した水量を用いている。)
解析単位時間	10 日
河川維持流量	RRF の下流で 11.7 m ³ /s, Perjaya 頭首工の下流で雨季 35 m ³ /s、乾季 25 m ³ /s、の河川維持流量を考慮した。
解析ケース	2 ケース (現況運用方法と提案運転ルール)

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 10.3.3 に解析結果を、図 10.3.4 に湖水位及び RRF からコメリン川への放流量を、図 10.3.5 に Perjaya 頭首工での不足量をそれぞれ示す。これらの結果について以下のように考察する。

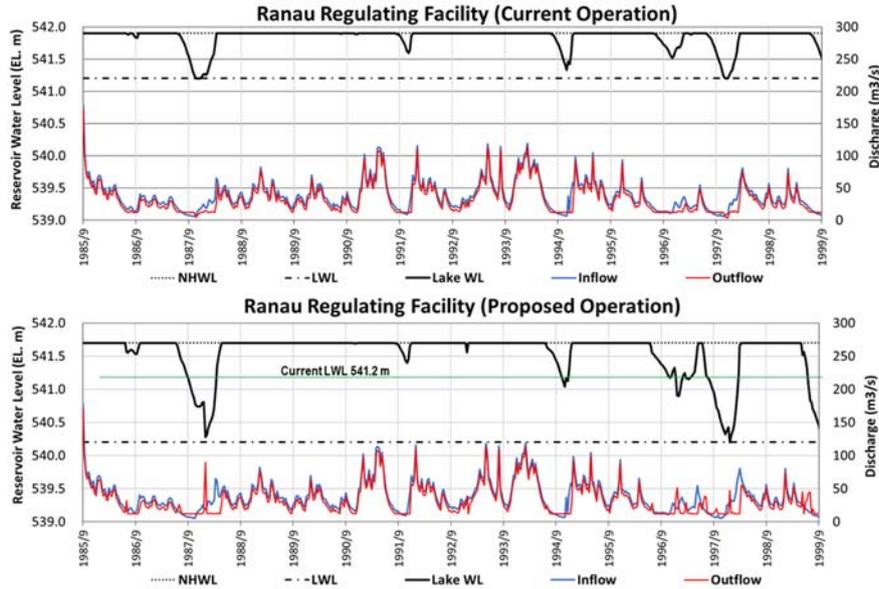
- 提案された運用ルールは非常に効果的であり、灌漑水の充足率は大幅に改善される。
- 発電量はわずかであるが増加する。
- 湖の水位は、15 年間で合計わずか 10 日間だけ提案された LWL の 540.2m まで下がる。湖の水位が現在の LWL の 541.2m より低い合計期間は約 21 か月である。

表 10.3.3 湖水位運用方法別の水収支解析結果

運用方法	水道水需要充足率 (%)	灌漑水需要充足率			不足量 (百万 m ³ /年)	渇水年の 頻度	発電量 (10 ⁶ kWh/年)
		雨季	乾季 1	乾季 2			
現況	100.0	91.9%	92.2%	97.4%	51.4	80.0%	9.39
提案	100.0	98.6%	100.0%	100.0%	18.1	66.7%	9.42

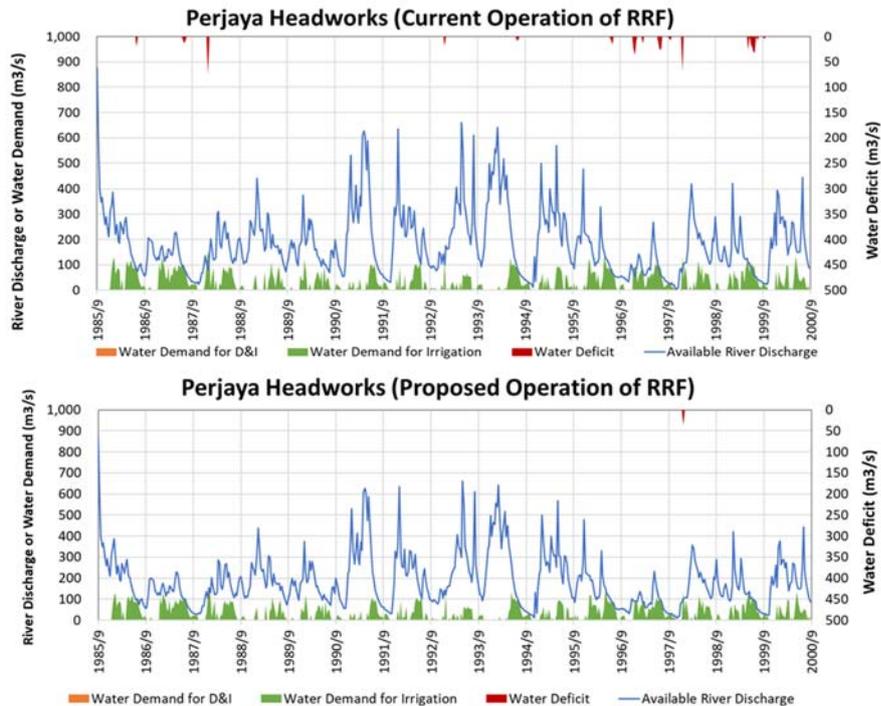
注釈：水道水充足率 (%) = 水供給用/水需要
 灌漑水充足率 (%) = (水供給用/水需要) の各年の最小値の平均値

出典： JICA プロジェクトチーム 2



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 10.3.4 計算結果 (湖水位と RRF からの放流量)



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 10.3.5 計算結果 (Perjaya 頭首工での不足量)

3) 自然環境と社会への影響

Ranau 湖は南スマトラ州最大の自然湖であり、湖水面積は約 125km² で約 9 万人が周辺地区に居住している(表 10.3.4)。主たる産業は観光業、続いて漁業および農業である。

表 10.3.4 Ranau 湖周辺地区の人口

州	地区名	人口
南スマトラ	Banding Agung	22,517
南スマトラ	BPR Ranau Tengah	18,624
南スマトラ	Warkuk Ranau Selatan	20,153
ランブン	Sukau	26,666
計		87,960

出典: UKL-UPL of Water Level Lowering of Ranau Lake, BBWS-S8 (2011)

当初の運営計画である JICA による Komering 川上流域農業開発計画プロジェクト (1981 年) では、Ranau 湖の水を灌漑用水として利用することが提案され、HWL から 1.5m 減少させて利用することが計画された。その後、インドネシア側で当初計画より変動幅が 0.5m 大きい 1.7m (1998 年) と 2.0m (2011 年) の変更計画案が策定された。Ranau 湖の現調整施設は EL.539 m~EL.543 m 間の水位調節が可能であり、インドネシア側で提案されている計画を実施するにあたり施設改修の必要はない。しかし、実際には地域からの要請を考慮して、計画よりもはるかに狭い範囲で水位が保たれている。これらの水位に関連する値を表 10.3.5 に示した。Ranau 湖の水位維持に関して RRF に寄せられる地域住民の要請は、次に述べる社会的な影響によるものである。

表 10.3.5 Ranau 湖の利用計画水位および現状の水位変動

	Komering 川上流域農業開発計画 ⁽²⁾ (1981)	BBWS-S8 の当初計画(1998)	BBWS-S8 の修正計画(2011)	RRF の 2019 現在の運用 ⁽¹⁾	Komering 灌漑計画(2015)
常時満水位	EL. 542.3 m	EL. 541.7 m	EL. 541.7 m	EL. 541.9 m	EL. 541.7 m
最低水位	EL. 540.8 m	EL. 540.0 m	EL. 539.7 m	EL. 541.1 m	EL. 540.2 m
水位変動幅	1.50 m	1.7 m	2.0 m	0.8 m	1.5 m
裨益者	-	KIDP ⁽³⁾ (50,000 ha)	KIDP+LIDP ⁽⁴⁾ (63,500 ha)	-	

出典: 1) Ranau 湖管理所ヒアリング(JICA プロジェクトチーム 2, 2018 年 11 月)

2) Komering 川上流域農業開発計画実施調査 (Pre-FS) (1981) JICA

3) Komering 灌漑開発計画 (Komering Irrigation Development Project, BBWS-S8)

4) Lempuing 灌漑開発計画(Lempuing Irrigation Development Project, BBWS-S8)

(a) 湖水流出口河床の露頭

BBWS-S8 によれば Ranau 湖の流出口の岩盤の露頭の標高は EL. 541.0 m であり湖水の水位は現状でこの露頭標高以下には下らない。同事務所としては、もし技術的に可能であればこれを掘削除去したいという意向は持っているものの同事務所の見解では岩盤が比較的固く、技術的に掘削は難しいとの認識から、これまでのところ流出部の掘削は行われていない。この技術的な課題に加え、地域住民は「対象となっている岩 (河床露頭) は神聖であり簡単に廃棄できない」と RRF の管理所に訴えている。

(b) 漁業

浅水域における養殖網を使った漁業は Ranau 湖沿岸の主要産業の 1 つである。主な養殖魚はティラピア (*Oreochromis niloticus*)、マス (*Carassius auratus*)、パティン (*Pangasius bocourti*) など。その他に投網、刺し網、および竿釣り漁も水深 6 m より浅い水域で行われている。Ranau 湖の魚類事業の年間平均収入は、年間 148,459,460 ルピアである。

水位が EL.541.1m を下回ると RRF 管理所に対し住民から苦情が入るため、同管理所は住民の生活を重視しつつ Ranau 湖の水位を維持している。

一般的に長期的に水位が変動すると、水位が変動する区間の湖底で植生が成長しにくくなり、生物相が薄くなることが知られている。この対策として、コストと利便性を度外視すれば現状の浅水域の養殖網を浮き筏式に切り替えて沖に移動し、水深を常時確保する、またはコンクリートの養殖池を汀線付近に建設して池の水を確保する等の代替案が考えられる。

(c) 舟運

湖面を使用した舟運は Ranau 湖岸に散在する集落間の重要な交通手段である。水位が現在より約 1 m 低下すると、一部の栈橋が陸化して舟が接岸できなくなるため、集落の交通と輸送に大きな影響を与えることが予想される。水位変動対策としてポンツーン式の栈橋に改良することが考えられる。

(d) 観光

Ranau 湖地域は、南スマトラ州内の最大の観光地の 1 つである。国家観光開発マスタープラン (2010-2050)、法令 No.50/2011 により Ranau 湖とその周辺地域は国家観光戦略地域に指定されている。したがって BBWS-S8 が湖の水位を低下させる際には、観光省と十分調整する必要がある。湖岸には温泉やビーチといった観光資源があり、コテージスタイルの宿泊施設が多く存在する。多くのイベントも年間を通して開催されている。水位低下時の汀線付近は植生のない地表面が顕われるため湖面景観への影響が大きい。水位が低下する乾季には観光収入が減少する可能性も考えられるので、汀線付近の水辺の景観計画を検討する必要がある。

(e) 水道局の取水口

水位が低下すると、PDAM の取水口が水面上に浮いてしまう、もしくは浮遊物を吸い込む可能性があることから、取水口の位置を改良する必要がある。

10.4 洪水及び渇水の影響を緩和するための水資源管理施設の最適運用の提案

10.4.1 洪水に対する適応策

(1) 洪水に係る課題

ムシ川流域における洪水に係る課題は以下のように纏められる：

- 中下流部における大規模な洪水氾濫
- Palembang や Lubuk Linggau 等の市街地の内水氾濫

- 上流山間部でのフラッシュ洪水
 - 下流部の低平地での海面上昇による氾濫リスク
- 1) 中下流部における大規模な洪水氾濫

9.5.2 節で説明したように、中流域には広大な沼地があり、下流地域には感潮湿地水田地域が広がっている。これらの地域は常襲的な洪水氾濫地域となっている。

- 2) 市街地での内水氾濫

Palembang と同様にムシ川流域の多くの都市（居住地）地域は、降雨時の内水氾濫に苦しんでいる。少しの雨でも低地で水たまりがすぐに形成され、交通渋滞や家屋や家財の損傷を引き起こしている。この内水問題は、ムシ川流域の都市部の社会的および経済的活動に対する最大の制約の1つとなっている。9.4.4 で説明したように、大雨の頻度は一般的に今後さらに増加する恐れがあり、都市部の内水対策を強化する必要がある。



出典: SRIPOKU.COM, Palembang



出典: SRIPOKU.COM, Palembang

写真 10.4.1 2019年4月25日の Palembang での内水氾濫

- 3) 山間部でのフラッシュ洪水

Lahat, Muara Enim 及び Musi Rawas 県などの山間部では鉄砲水だけでなく、地滑りなどの土砂災害が頻繁に発生する。これらの状況は、気候変動によってさらに加速される可能性がある。

- 4) 下流部の低平地での海面上昇による氾濫リスク

図 9.4.5 に示すように、海面上昇により最下流部での洪水氾濫が拡大する。これらの地域は元々感潮湿地だったが、1960 年代からインドネシア政府によって干拓が行われてきた。

- (2) 想定される適応策

気候変動により悪化する可能性のある上記の洪水問題に包括的に対処するため、以下に示す構造物及び非構造物対策を組み合わせる行うことが考えられる。

- (3)以下で説明するように、堤防やダム貯水池に代表されるオーソドックスな構造物対策

は地形、水文及び社会的条件のためムシ川流域では全般的にそれほど効果的ではない。都市部の内水対策及び氾濫原管理に代表される非構造物対策がムシ川流域ではより重要となる。

表 10.4.1 想定される洪水に対する適応案

構造物/ 非構造物	適応策	期待される効果
構造物対策	堤防	洪水氾濫防御
	ダム貯水池	ダム下流の流量の制御 (フラッシュ洪水対策)
	河川浚渫	河道の流下能力の増加
	河岸浸食対策	河岸浸食の防御
	道路の嵩上げ	洪水時の道路交通の確保
	内水氾濫に対する総合対策	内水氾濫被害の軽減
	砂防	土砂災害の軽減
非構造物対策	氾濫原管理	洪水氾濫被害の軽減
	対応能力の強化	洪水被害の軽減と早期の復旧
	早期警報システム	人的被害を含む洪水被害の削減
	流域保全	洪水流量の土砂災害の抑制

出典: JICA プロジェクトチーム 2

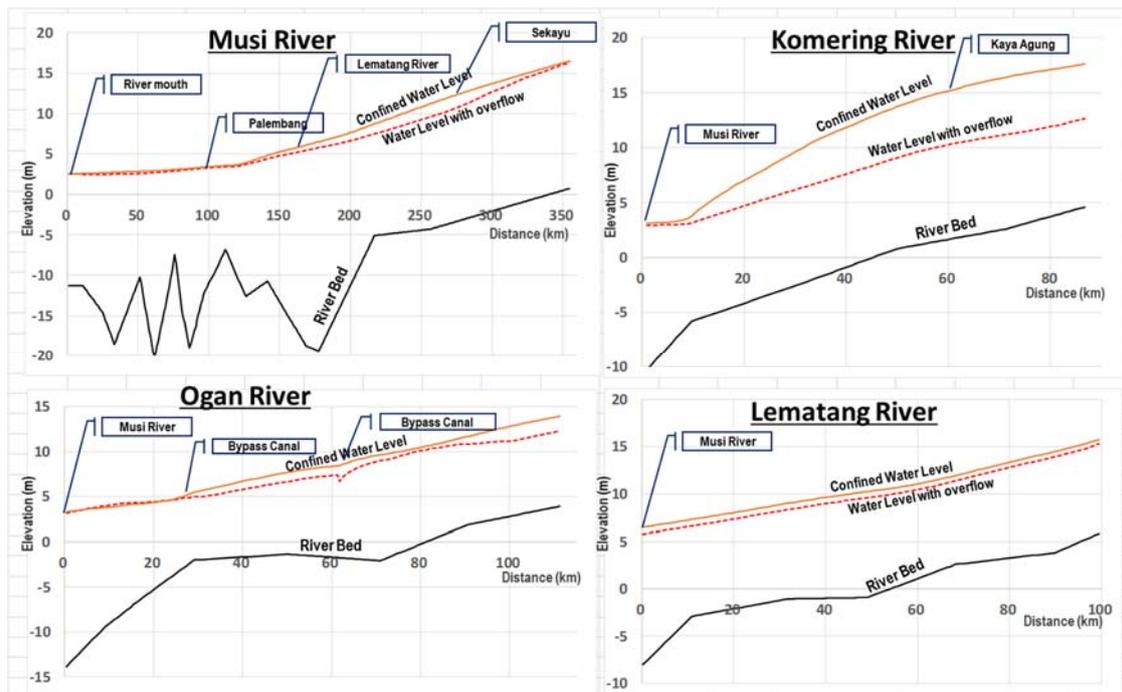
(3) 構造物対策

1) 堤防

堤防は、一般的に洪水に対する最もオーソドックスな構造物対策の1つである。堤防は、堤内地を洪水のオーバーフローから保護することを目的としており、一般に連続堤防と輪中堤防の2つのタイプに分類される。連続堤防は川岸に沿って長く建設され、川沿いに長く分布する財産を保護し、輪中堤防は守るべき地域を囲むように建設される。ただし、現在のところ、ムシ川流域には連続堤防も輪中堤防もない。これらの堤防は以下の理由からムシ川流域にはあまり効果的でない可能性がある。

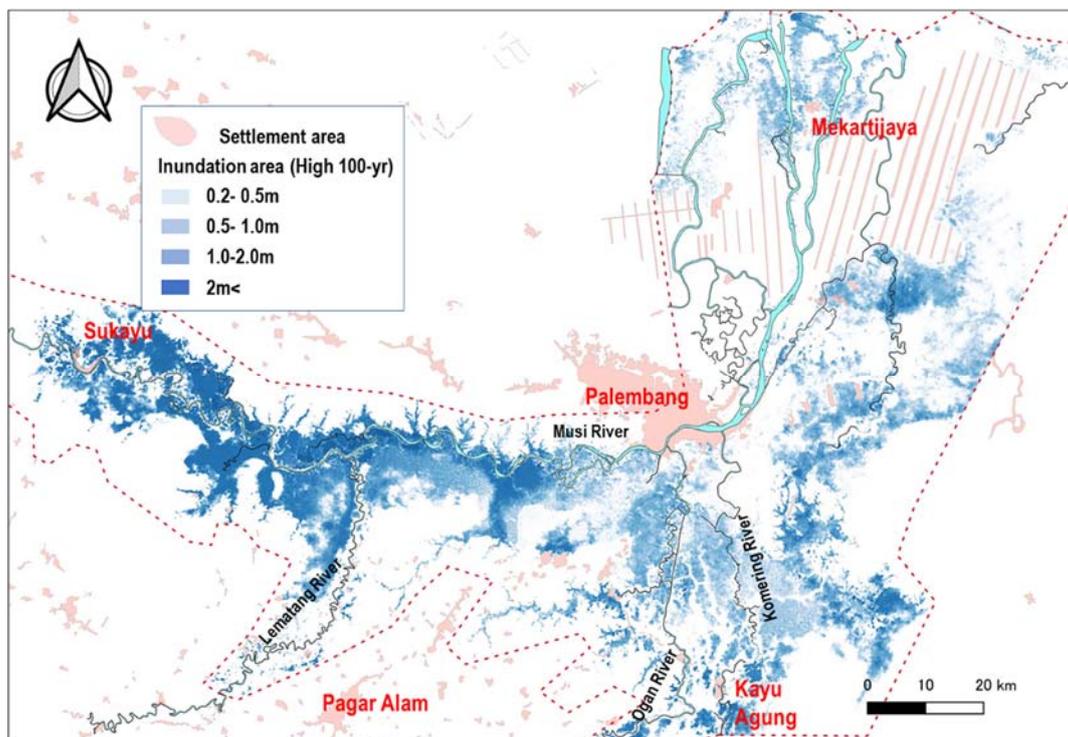
- 連続堤防は洪水を河道内に閉じ込めることになり、河川水位を上昇させる。図 10.4.1
- は、100年洪水の高位シナリオの下で連続堤防により、河川水位がどれだけ上昇するか示している。連続堤防によって河道内に洪水が閉じ込められ、河川の水位が上昇していることが分かる。特に、多くの場所でオーバーフローが発生する Koming 川の水位は連続堤防を建設することで最大 5 m も河川水位が上昇する。
- 輪中堤防は、通常、孤立した集落等資産が集中した地域を洪水から保護するために建設される。しかし、図 10.4.2 に見られるように、既往のムシ川流域の下流域と中流域の重要な居住地域（都市部）のほとんどは、比較的高い場所に位置し、洪水氾濫域からは外れたところある。
- 表 9.5.1 に示されるように、洪水氾濫地域には 200,000 から 300,000 軒の家屋がある。しかしこれらの多くはピロティ形式の家屋であり、洪水に対して強い構造となっている。そしてそれらは道路や河岸に沿って長い帯のように分布しており、輪中堤防自体を建設しにくい分布となっている。したがって、当面は、輪中堤防によって保護されるべき適切な集落地域はほとんどないと考えられる。しかし、低地に住宅団地や工業団地が開発される場合には、輪中堤防が必要となるケースが出て来ると想定される。

結論として、輪中堤防が将来の開発地域の防御に有効である場合を除き、堤防は一般的にムシ川流域の洪水に対してあまり効果的ではないと考えられる。代わりに、適切な氾濫原管理により、広大な氾濫地域が有する遊水機能を適切に保全することが賢明と思われる。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 10.4.1 堤防による水位上昇 (高位シナリオ, 100 年確率洪水)



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 10.4.2 洪水氾濫地域と市街地

2) ダム貯水池

現在、ムシ川流域にはダム貯水池はないが、インドネシア政府は、ダム建設を通じて水資源開発を促す強い意向を持っている。最初のダムの建設は Komeriing 川の Tiga Dihaji ダムで 2019 年より始まったばかりである。表 10.4.2 及び図 10.4.3 に示すように、現在ムシ川流域には Tiga Dihaji ダムを含む 9 つのダム候補地がある。

ダム貯水池は、洪水制御のための特定の容量（洪水調節容量）があり、守るべき地域に近くにある場合、洪水に対して効果的である。しかしムシ川流域で計画・提案されているダム貯水池はいずれも家庭用水、都市用水または工業用水供給、灌漑水供給、または水力発電を目的としているため、洪水調節のための貯水池容量を持たない。また地形的な制約のため、それらはすべて南西側の流域界に近く、中流域と下流域の広範な氾濫地域から非常に遠くに位置している。9 つのダム貯水池の総流域面積は 6,100 km² であり、ムシ川流域の 59,300 km² のわずか 10% である。

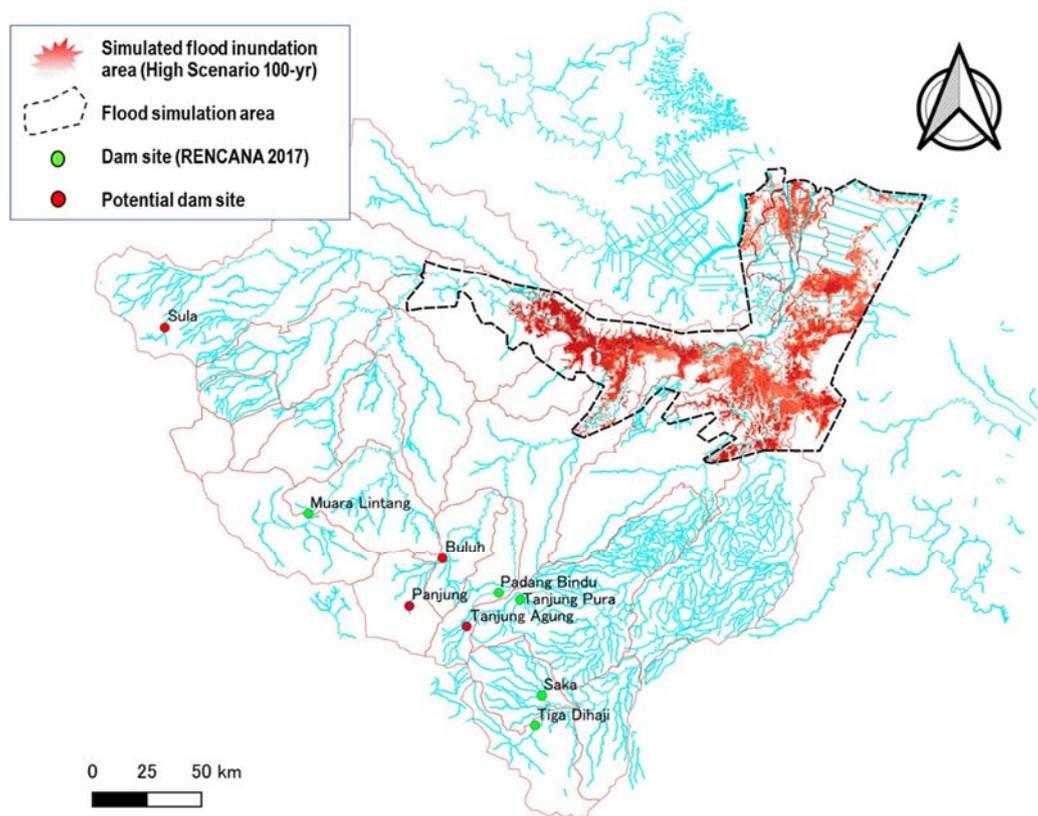
したがって、提案されているダム貯水池は、中流域と下流域の広範囲の洪水氾濫には効果的ではなく、洪水調節を目的としてダム貯水池を再設計することも勧められない。ただし、これらのダム貯水池は、洪水の前に空の貯水容量がどれだけ残っているかに応じて、ダムの直下流部に対するフラッシュ洪水対策には有効である。

表 10.4.2 ムシ川流域における計画・提案ダム貯水池

ダム名	小流域	目的	流域面積 (km ²)	総貯水容量 (百万 m ³)	有効貯水容量 (百万 m ³)	現在の状況
Tiga Dihaji	Komeriing	DMI, IR, HP	1,156	106	65	建設中
Saka	Komeriing	DMI, IR, HP	386	43	20	F/S 完成 (2013)
Tanjung Pura	Ogan	DMI, IR, HP	125	51	データなし	Pre FS 完成 (2015)
Padang Bindu	Lematang	DMI, IR, HP	468	110	53	Pre FS 完成 (2015)
Muara Lintang	Musi	DMI, IR, HP	2,954	21,623	17,306	RENCANA 2017 に記載あり。
Tanjung Agung	Lematang	HP	226	80	43	ポテンシャルダム
Buluh	Lematang	DMI, IR, HP	391	433	データなし	ポテンシャルダム
Panjung	Lematang	HP	220	150	106	ポテンシャルダム
Sula	Rawas	IR, HP	235	583	データなし	ポテンシャルダム
		合計	6,141	23,179	(17,595)	

注釈: DMI: 水道, IR: 灌漑, HP: 発電

出典: BBWS-S8 及び JICA プロジェクトチーム 2



出典 BBWS-S8

図 10.4.3 計画・提案ダムと氾濫地域の位置

3) 河川浚渫

Komering 川の中流域に大規模な河床堆積物が見られる。これは河川流量の減少による掃流力の減少が原因と言われている。河川流量のかなりの部分が Perjaya の頭首工で取水され、その結果 Menanga と Cempaka 間の川床上昇が発生し、洪水時の河川水位が上昇している。このような河積の減少は、Komering 川からの大規模な氾濫の原因の 1 つとなっている。

河川の維持管理の一環として、河川浚渫が重要である。そのためには 2~5 年ごとの定期的な河川測量を実施する必要がある、その結果に基づき、浚渫計画を作成し、また砂利採取の管理にも役立てることができる。

4) 道路の嵩上げ

ムシ川流域の中流域と下流域の一部の幹線道路は、洪水氾濫に対して脆弱である。洪水により道路交通が遮断されると、日常の交通だけでなく、避難、救助、資材供給などの洪水対応活動が妨げられる。

洪水時でも正常な道路交通を確保するには、幹線道路の低い部分を高くする必要がある。この目的のために、インタビュー調査、詳細な道路標高調査、水文水理調査などにより、このような低い部分を特定するためのインベントリ調査を実施する必要がある。そのイ

ンベントリ調査に基づいて、実施の優先順位を設定し、順次、道路の嵩上げを実施していくことが求められる。

5) 都市域における総合的内水対策

10.4.1 (1) 2) で説明したように、都市部の排水施設は非常に貧弱であるため、都市部で習慣的な氾濫が発生し、都市インフラ・施設、経済活動、家屋及び住民の日常生活に深刻な被害をも



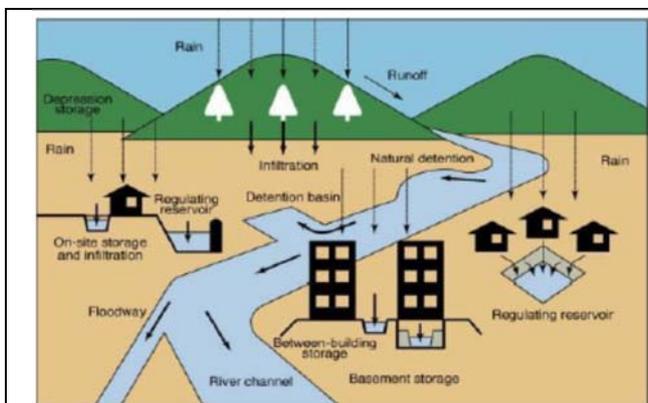
Source: JICA プロジェクトチーム 2

写真 10.4.2 氾濫により通行不能となった道路

たらしている。また、近年及び将来に予想される都市開発は、交通や電気通信の中断、業務の停止、日常生活の不便などの間接的な損失や、都市特有の問題としての都市インフラ・施設への直接的な損害など、洪水リスクを高めている。この内水氾濫問題は、ムシ川流域の都市域の社会的及び経済的活動に対する最大の制約の一つである。また、本プロジェクトにより、気候変動により豪雨の頻度が増加する可能性が高いことが明らかになる等、このような状況下において、都市部の内水氾濫に対する総合的な対策の実施の重要性が高まっている。

これらの内水氾濫に対処するためには、一般的に、流下対策（河川の改修、分水路など）、流域対策（貯留池、地表水の浸透、土地利用規制、洪水に強い建物等）で構成される包括的な洪水対策と情報対策（早期警告、対応活動など）を適用する必要がある。さらに、この地域の都市部の社会経済的機能を考慮した場合、民間セクターを含むすべての利害関係者と協力して、内水氾濫に対する包括的な洪水緩和策に BCP（事業継続計画）の準備も追加する必要がある。

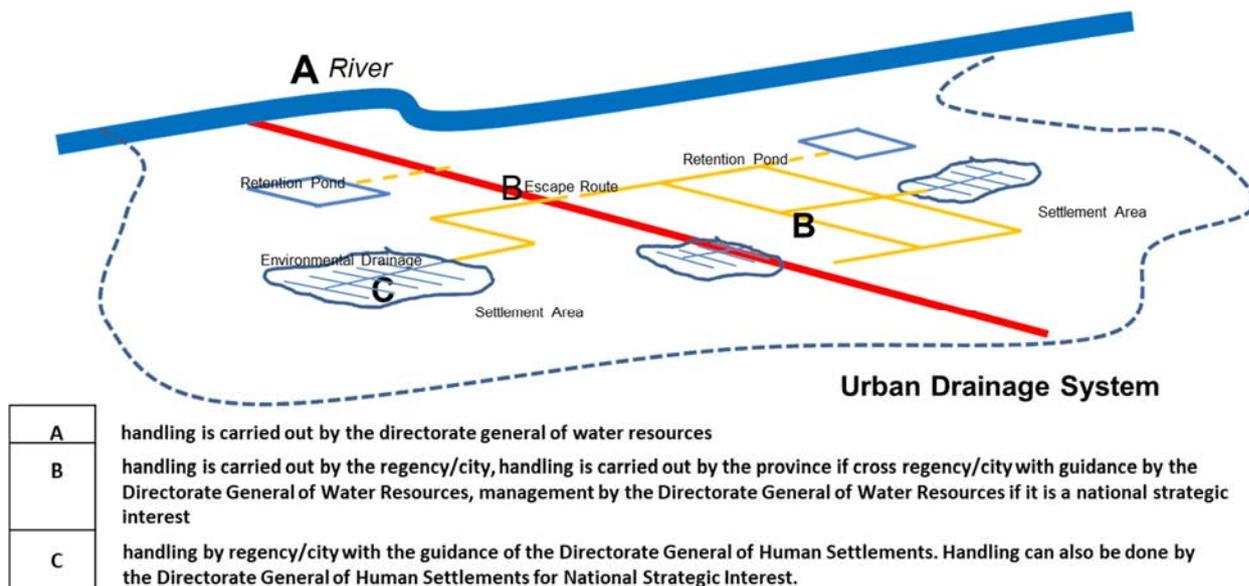
2014 年、BBWS-S8 は Palembang 市の洪水制御マスタープランを作成し、現在、マスタープランに従って排水改善プロジェクトを実施している。に示すこのマスタープランのコンセプトは上記の総合的な内水対策に近い。今後はマスタープランに沿って順次整備を進めていくこととともに、Lahat、Pagaralam、Lubuk Linggau を含む他の都市部についても、同様のマスタープランを準備し、水資源総局、人間居住総局、道路総局の公共事業国民住宅省の各総局、及び州政府と県



出典: Flood Control Master plan of Palembang, 2014

図 10.4.4 Palembang 市の洪水対策コンセプト

／市政府の間で調整して実施する必要がある。



出典: BBWS-S8

図 10.4.5 都市域での排水改善事業における中央、州、県政府の役割

6) 砂防管理

気候変動に対する備えとして、以下の項目が指摘される。

- 土砂流出は、土地開発だけでなく季節変動によっても引き起こされる。現在の土砂流出の変化が気候変動によって引き起こされているかどうかを結論付けることはできない。
- したがって、現在の変化を定期的に記録、マッピング、監視する必要がある。気候変動によって変化が想定される場合、対策は前倒しするべきである。そのためには、定期的なモニタリングに基づいた土砂管理計画を確立する必要がある。
- 下層植生が成長するまで、主として細粒土砂が耕作地やプランテーションから確実に侵食されている。
- 土地開発が広がるにつれて、土砂流出は増加する。この細粒土砂は、将来的には河口周辺に堆積する。そして、気候変動により堆積速度は加速すると想定される。
- 気候変動下では、降雨強度の増加がリスクになる。定期的な観測により、土砂流出の変化を定量的に明らかにし評価することが望ましい。

(4) 非構造物対策

1) 氾濫原管理

中流域には広大な湿地エリアがあり、下流地域には、かつて感潮湿地地域であった広大な水田地域がある。これらの地域は洪水氾濫を常襲的に受けている。洪水シミュレーション

ョンの結果によると、高位シナリオの 100 年確率洪水の総氾濫面積は 4,000 km²であり、氾濫ボリュームは 3,400 百万 m³であり、これらの地域には約 30 万軒の家屋がある。

幸いなことに、比較的標高が高い場所にある主要な既存の市街地は氾濫常襲地域から辛うじて外れている。さらに湿地の氾濫原の人口の大部分はピロティ形式の家屋に住んでおり、洪水に耐える方法に非常に精通している。これが、少なくとも当面の間、ムシ川流域における大規模な洪水氾濫が最優先の災害問題ではない理由の一つである。ただし、今後の氾濫原管理によって状況は変わる可能性がある。土地利用管理は、ムシ川流域の湿地および低地の既存の遊水効果を維持しながら、洪水被害ポテンシャルを増加させないために非常に重要である。南スマトラ州空間計画 2016-2036 においても、洪水が発生しやすい地域の機能とゾーニング規制を次のように維持することが求められている。

- 洪水氾濫原の特定
- 氾濫原の緑の広場への利用と低密度の公共施設の建設
- 氾濫原の居住地や重要公共施設のスペースとしての利用の禁止

空間計画に従った具体的な行動は、湿地の管理と利用に関する条例を制定した Palembang 市を除けば、他の県/市ではまだ始まっていない。南スマトラ州の BAPPEDA 当局者によると、これらの県/市政府は、氾濫原管理の重要性をまだ十分に理解していないとのことである。

氾濫原管理は、堤防やダム貯水池などのオーソドックスな構造的対策がそれほど効果的でないムシ川流域にとって最も効果的な対策の一つである。すべての利害関係者にその重要性を認識してもらい継続的な努力がなされるべきであり、「グッドプラクティス」として、湿地管理に係る Palembang 市の取り組みを以下に紹介する。

(a) Palembang 市による湿地管理

Palembang 市は、居住、農業、プランテーション、漁業、畜産、林業、工業、輸送、観光の土地利用を目的とした施設・インフラを準備することによって地域福祉の実現を達成するため、さらに水の供給源と貯水池としての沼地生態系の維持と保護をすることによって GHG 排出量を削減するために「湿地の管理と利用に関する条例 2012 年第 11 号」を制定した。

この条例は表 10.4.3 と図 10.4.6 に示すように、保全湿地、耕作湿地、埋め立て湿地の 3 つのカテゴリーに湿地を分類する。計 2,106 ha を有する「保全湿地」は、水源及び洪水対策のための貯水池以外の利用に供することを禁止されている。計 2,811 ha の「耕作湿地」は、埋め立てをせずに農地、漁場、プランテーション、またはピロティ式家屋の居住地として使用できる。「干拓湿地」として指定された湿地は、市長の許可を得た後、コミュニティの利益のために埋め立て可能となる。沼地の管理と利用の監督は、コミュニティと市長によって行われる。この条例には、違反者に対する制裁と罰則の規定が含まれている。

保全沼地の保全を確実にするために、Palembang 市は現在 100ha を取得する即時計画の下

で土地の取得を進めており、そのうち 10～15%はすでに取得されている。

表 10.4.3 Palembang 市による湿地の 3 分類

湿地	面積 (ha)	目的	管理
保全湿地	2,106	水源及び洪水対策のための貯水池	他の利用を禁止
耕作湿地	2,811	農地または居住地としての利用	農業、漁業、プランテーション、プロティ式家屋による居住は可能、埋め立ては不可
干拓湿地	未特定	埋め立てをして利用.	埋め立てには市長の許可が必要

出典: Palembang 市



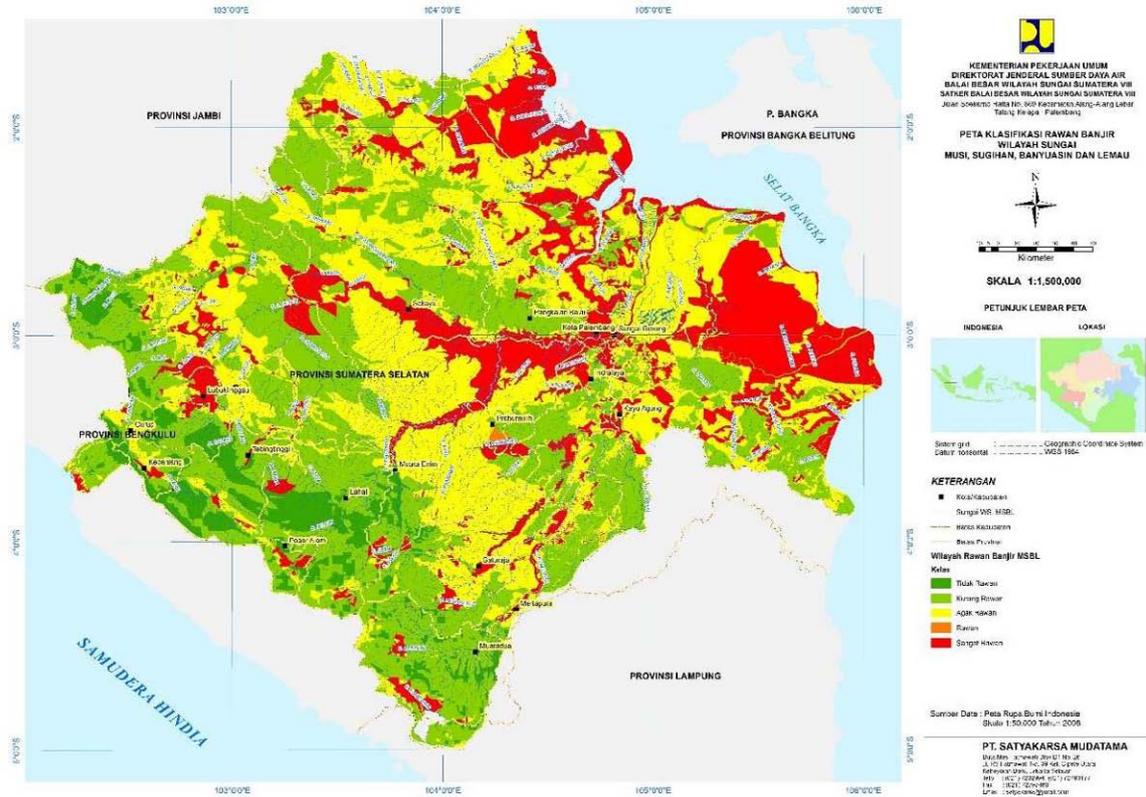
出典: Palembang 市

図 10.4.6 Palembang 市の湿地エリアマップ

(b) 洪水ハザードマップ

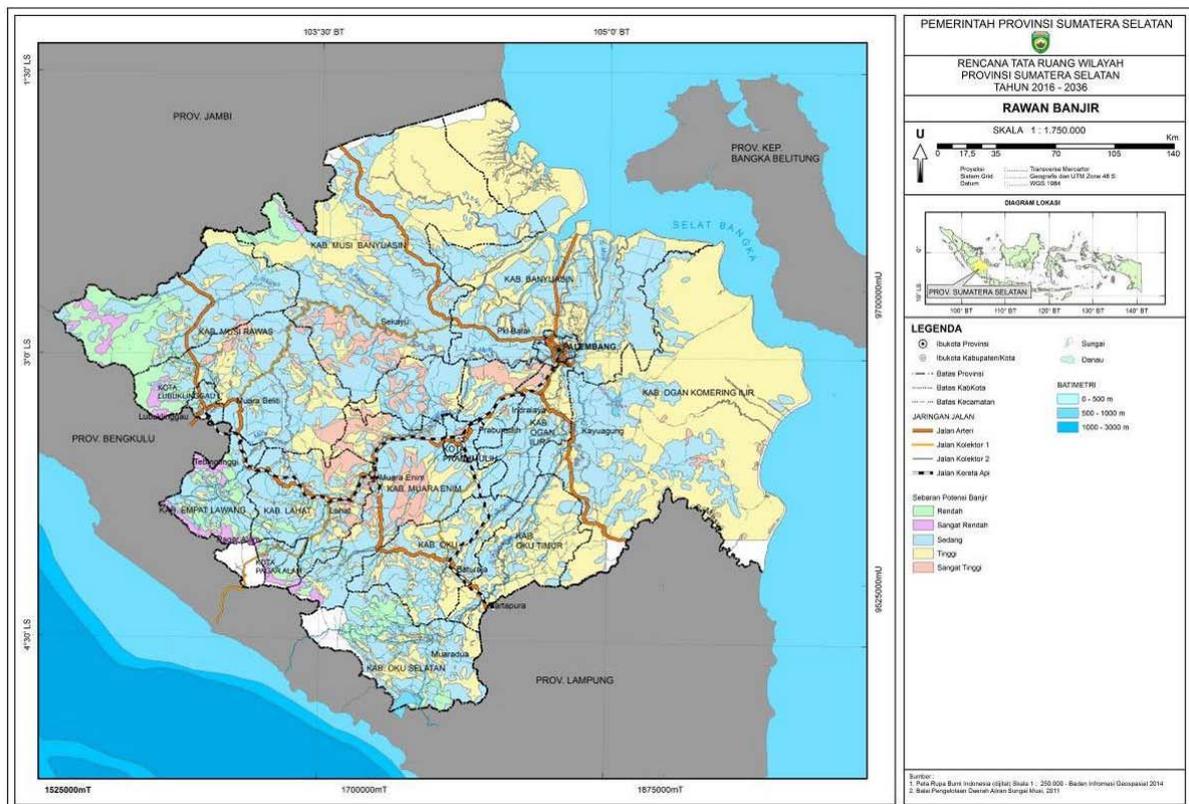
氾濫原管理の最初のステップとして、洪水氾濫が起りやすい地域を特定するために、正確かつ詳細な洪水ハザードマップが不可欠である。ムシ川流域には、以下に示す BBWS-S8 と BPDASHL Musi (ムシ流域保護林管理組織) が作成した 2 つの洪水ハザードマップがある。

縮尺がそれぞれ 1/1,500,000 および 1/1,750,000 であるこれらのハザードマップは、ハザードエリアを概観するに非常に役立つ。しかし、それらは氾濫原管理のための実務に供するにも、氾濫エリアの境界を正確に特定するにも縮尺が小さ過ぎる。縮尺が 1/35,000 で作成されている図 10.4.6 の Palembang 市の湿地マップに倣って、県/市レベルの氾濫原管理には、少なくともは縮尺 1/50,000～1/10,000 の洪水ハザードマップを作成すべきである。



出典: BBWS-S8

図 10.4.7 BBWS-S8 による洪水ハザードマップ



出典：南スマトラ州空間計画 (2016-2036)

図 10.4.8 BPDASHL による洪水マップ

2) 洪水緊急対応活動の強化

洪水の緊急対応活動には、水防、避難、救助、救援物資支給などが含まれる。これらの活動は、主に自治体と協力して地方防災局（BPBD）によって行われる。

構造物対策によって洪水氾濫を抜本的に減じることが非常に難しいため、ある程度の浸水を受け入れなければならず、洪水被害を最小限に抑え、早期回復を確保するための努力が必要である。このためには、洪水緊急時対応活動の強化が非常に重要である。その最初のステップとして、各地域単位で洪水緊急時対応計画を作成する必要がある、それは以下の項目を含めるべきである。

- 洪水の脅威の特性
- 洪水ハザードエリアの特定
- 洪水情報の情報源
- 洪水前、洪水期間中、洪水後の各機関の役割と責任
- 指揮権の配分
- 計画発動条件
- 連絡体制
- 公教育、警告、洪水の影響を受けたコミュニティへの情報伝達、道路管理、土嚢作成、避難、再供給、救助、避難者の登録と福祉、初期の復旧、洪水後の報告会の手配
- 訓練

3) 洪水早期警報システム

10.3.5 で説明するように、BBWS-S8 の水文観測テレメータ設備の多くが故障しているため、BBWS-S8 は現在、早期洪水警報の活動にほとんど関与していない。BPBD によると、「準備完了」、「警告」、「緊急」の3つの警告レベルがあり、知事から州 BPBD に、さらに州 BPBD から県/市レベルの BPBD に指示が伝播される。BPBD は、地震、洪水、津波などの災害情報を BMKG から受け取るが、BBWS-S8 からは連絡を受けていないとのことである。

適切で迅速な対応活動を確保するには、河川水位データや降雨データなどの正確な洪水情報が不可欠である。表 10.4.28 に示すように、洪水早期警報システムの開発は RENCANA 2017 の努力活動の一つとして指定されており、その通り開発が実施されるべきであり、またそのシステムは持続的に運用維持管理されることが求められる。

4) 流域管理

(a) 流域に起因する洪水発生の原因

南スマトラ州では土地の利用が進むにつれて、森林が少なくなっている。都市部、農地やプランテーション等の人工的な森林面積の拡大により、雨水の流出が促進され、時間当たりの流出量が大きくなっている。この結果として一時的に大量の雨水が河川に流入することで、洪水が発生しやすくなっている。

さらに、元々存在した森林が消失することにより、表流水が発生しやすくなっている。また降雨が直接土壌にあたることや、表流水の速度が上昇することによって土壌中の団塊が破壊され、土壌の流出が促進されている。

河川に流出した土壌は河床上昇の原因となり、洪水流下断面の減少を引きおこし、洪水発生の原因となっている。一般的には河川縦断勾配の変化する地点における堆砂が顕著であることが知られている。

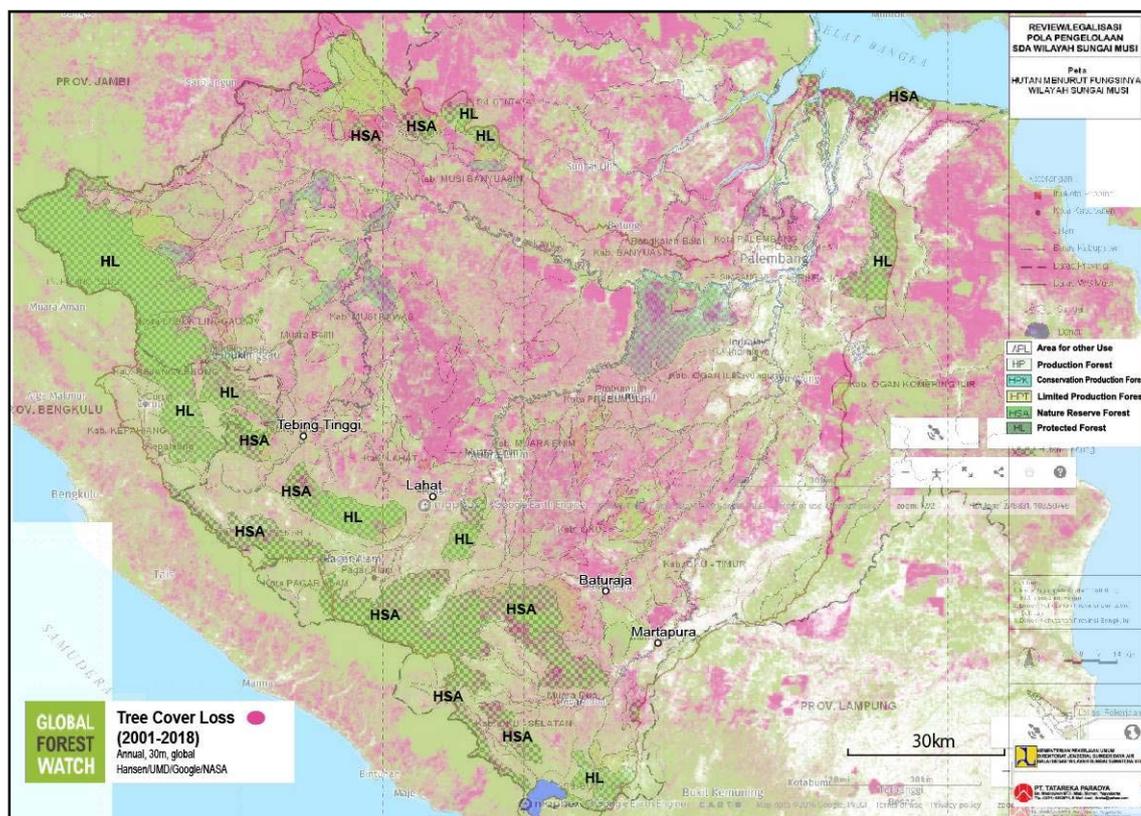
都市が広がるにつれて道路や鉄道等の連続したインフラが河川に並行して建設されることが多い。本来であれば溢水した河川水は面的に拡がっていくところ、盛土道路によって遮断されてしまったり、カルバートがうまく機能しなかった場合、河道側にある地域では以前と比較して洪水の水位が急に高くなったり、流速が早くなったりする現象が生じる。人口の増加や、プランテーションの開発等により、以前は湿地であったところや、旧河道等の洪水常襲地域に新しい集落ができる場合がある。古い集落は比較的安全な場所にあることが多い反面、新規で開発される地域はこれまで何等かの理由で利用されてこなかった地域であり、本来水害に対して脆弱な地区である場合がある。

(b) ムシ川流域の地形特性と洪水の関係

ムシ川は河口から 220km (約四分之三) まだが標高 50m以下の低平地であり、そこから最上流端の Barisan 山地の尾根までが山間部という特性を持っている。したがって流速を伴う洪水が発生しやすい地域は限定的であり、低平地の洪水は流速を伴わない冠水であることが一般的である。流速のある洪水が発生する地域は概ね以下の都市および上流域である。Martapura (Komerling 川)、Baturaja (Ogan 川)、Lahat (Lintang 川)、Tebing Tinggi (ムシ川)。これらの地域は中流部よりも人口密度が高いことも洪水対策が重要である理由の一つといえる。

(c) 流域における対策案

政令 No. 45/2004 Forest Protection の第 16 項に定められている通り、水理的に危機的な地域においては森林を回復する義務を負っている。特に勾配のある地域においては、理想的には大規模プランテーションもしくは耕作を行っている場合は積極的な森林 (保護林: HL および自然保護林: HSA) として回復をすべきであるが、平地のものと差別化して堰などで貯留機能を持たせること、農地であれば沈砂池の付設を義務付ける等の対策を推奨すること、伐採後の裸地においては露出した表土を雨水が洗わないよう地域に応じた土砂流出対策の実施を推奨する。例えばプランテーションの排水路には簡易の減勢工や、簡易堰等、土地由来の材料で土壌の被覆をする、混交農業への強制移行等が考えられる。図 10.4.9 に南スマトラ州における森林が焼失した地区と保護林と自然保護林の配置を示す。



出典：Global Forest Watch

図 10.4.9 森林の消失と保護林（HL）および自然保護林（HSA）の配置

道路等が河川と並行に建設されており、河川の水位が上がると危険と考えられる住民が住む地域の災害インベントリを年ごとに整理する。次に必要十分な数と規模のカルバートを最適な位置に計画・建設することを提案する。なお、河川の水を逃がす地域は、安全な箇所を選定して二次的な被害を発生させないように留意する。

また危険な地域については州災害管理局（BPBD）のデータを用いて氾濫マップを作成すれば森林の開発パターンと洪水被害度合いの関連性を図面上で特定して流域の開発計画に反映させることも可能である。開発制限の必要性の高い斜面の位置情報を知ることができるとともに、危険な地域に住む住民や自治体、開発業者にも周知することができる。

(d) 他省庁との連携

Balisan 山地に属する傾斜地域の多くは州森林局の管轄であり、河川管理とは密接な関連があるものの、州森林局は TKPSDA のメンバーではない。また州の環境土地局（DLHP）や流域の計画および森林の回復を責務としている中央政府の森林管理事務所（BPDAS HL）も流域管理のための重要な機関であることから、上記委員会への参加要請等の連携の強化が求められる。

10.4.2 渇水に対する適応策

(1) 渇水に係る課題

9.5.1 節において明らかになった渇水に係る課題は以下のとおりである。

- 図 9.5.1 に示されるように、すべての気候シナリオにおいて、水不足は南西側の Komeriing 川、Lematang 川、Kelingi 川、Lakitan 川水系の上流小流域でのみ発生するが、中流域と下流流域では水不足は発生していない。その理由は、これらの上流小流域に既存および計画の大規模な灌漑取水施設が集中しているからである。
- Komeriing 川と Lematang 川の水不足の小流域には、いくつかのダム貯水池が計画/提案されている。しかし、Kelingi 川と Lakitan 川には計画/提案されているダムはない。
- 水の安全性の観点から灌漑用水より優先される DMI 水は、すべての気候変動シナリオでほぼ 100%確保される。不足量のほとんどは灌漑用水である。

上記の状況に基づいて、ムシ川流域では以下の適応策が想定される。気候変動の影響の不確実性に対処し、増加する水需要に対処するために、これらの対策を包括的に講じる必要がある。

表 10.4.4 想定される渇水に係る適応策

構造物/非構造物	対策案	期待される効果
構造物対策	ダム貯水池	水源開発.
	ため池 (Embung)	水源開発.
	地下水の利用	水源開発.
	灌漑水路の漏水対策	灌漑用水の節水
	水道無収水の削減 (漏水対策)	水道水の節水
	工業用水のリサイクル	工業用水の節水.
	雨水の利用	水源開発
非構造物対策	RRF の運用の変更	水源開発
	灌漑用水の需要管理	水道水の節水
	水道用水の需要管理	水道水の節水
	流域の保全	水源の保全

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(2) 構造物対策

1) ダム貯水池開発

水不足が発生する可能性が高い 4 つの河川流域に焦点を当て、提案されたダム貯水池の必要性と有効性を、水収支解析を通じて調べる。表 10.4.5 に示すように、4 つの河川流域にはそれぞれ水供給目標がある。水収支解析の目的は、提案されているダム貯水池によって目標が達成されたかどうかを確認することである。

表 10.4.5 2050 年における各流域での水供給の目標

期間	流域	流域面積 (km ²)	灌漑水供給				水道用水供給	
			灌漑面積* (ha)			利水 安全 度(%)	水需要量** (m ³ /s)	利水安 全度 (%)
			雨季	乾季 1	乾季 2			
現況	Komering	9,725	74,717	64,221	30,847	80	0.18	90
	Lematang	7,608	50,860	16,095	4,786	80	0.31	90
	Kelingi	1,931	12,387	8,470	3,848	80	0.29	90
	Lakitan	2,784	12,634	10,786	5,237	80	0.17	90
	合計	22,048	150,597	99,573	44,718	80	0.95	90
将来目 標 (2050)	Komering	9,725	98,208	87,712	42,593	80	2.92	90
	Lematang	7,608	55,160	29,518	12,392	80	2.60	90
	Kelingi	1,931	15,387	11,470	5,348	80	1.04	90
	Lakitan	2,784	12,634	10,786	5,237	80	0.62	90
	合計	22,048	181,388	139,487	65,569	80	7.18	90

注釈 *: 灌漑面積は、表 10.4.18 の需要量算定に基づく。

** : 水需要量は無収水も含む。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

Komering 川流域には 2 つのダム貯水池が計画されている。水道、灌漑用水の供給と水力発電を目的とする Tiga Dihaji ダムは、2019 年に建設が始まり、2022 年に完成予定である。Saka ダムも水道、灌漑用水の供給及び水力発電の目的で計画されている。これら 2 つのダム貯水池に加えて、RRF (Ranau 湖水位調整施設) の操作の変更も、10.3.2 において説明したように、環境問題はまだクリアされていないが、この河川流域の水不足の緩和に大きく貢献することが予想される。

Lematang 川流域には、計画ダムに加え、流域の水不足を緩和するのに効果的な 2 つのダム候補地 (Tanjung Agung ダムと Panjung ダム) がある。計画ダムである Padang Bindu ダムについては 2015 年に Pre-FS 調査が実施されたが、Tanjung Agung ダムと Panjung ダムについてはほとんど調査が実施されていない。現状においてはこれら 2 つのダムはポテンシャルダムという位置付けで、BBWS-S8 の文書で潜在的な水力発電ダムとして大まかな位置が示されているだけである。

水不足に脆弱な Kelingi 川流域と Lakitan 川流域では、残念ながら計画/提案ダムはないが、将来気候の下での水の需給状況を確認するために水収支解析を実施する。

上記のダム貯水池の効果を評価し、ムシ川流域の水資源開発のための長期戦略を確立するために、表 10.4.7 に示す条件で水収支分析を行う。

表 10.4.6 計画または提案ダム貯水池

河川流域	ダム名	目的	河川	流域面積 (km ²)	ダムのタイプ	ダム高 (m)	総貯水容量 (百万 m ³)	有効貯水容量 (百万 m ³)	現状
Komeriing	Tiga Dihaji	水道、灌漑 発電	Komeriing 川	1,156	ロック フィル	122	106	65	2019年から 建設中
	Saka	水道、灌漑 発電	Saka 川	386	ロック フィル	75	43	20	2013年にF/S 完成
Lematang	Padang Bindu	水道、灌漑 発電	Enim 川	468	中央コ ア付き ロック フィル	109	110	53	2015年にF/S 完成
	Tanjung Agung*	発電		206	未定	130	80	45	ポテンシヤ ルダム
	Panjung*	発電	Lahat 川	220	未定	170	150	106	ポテンシヤ ルダム

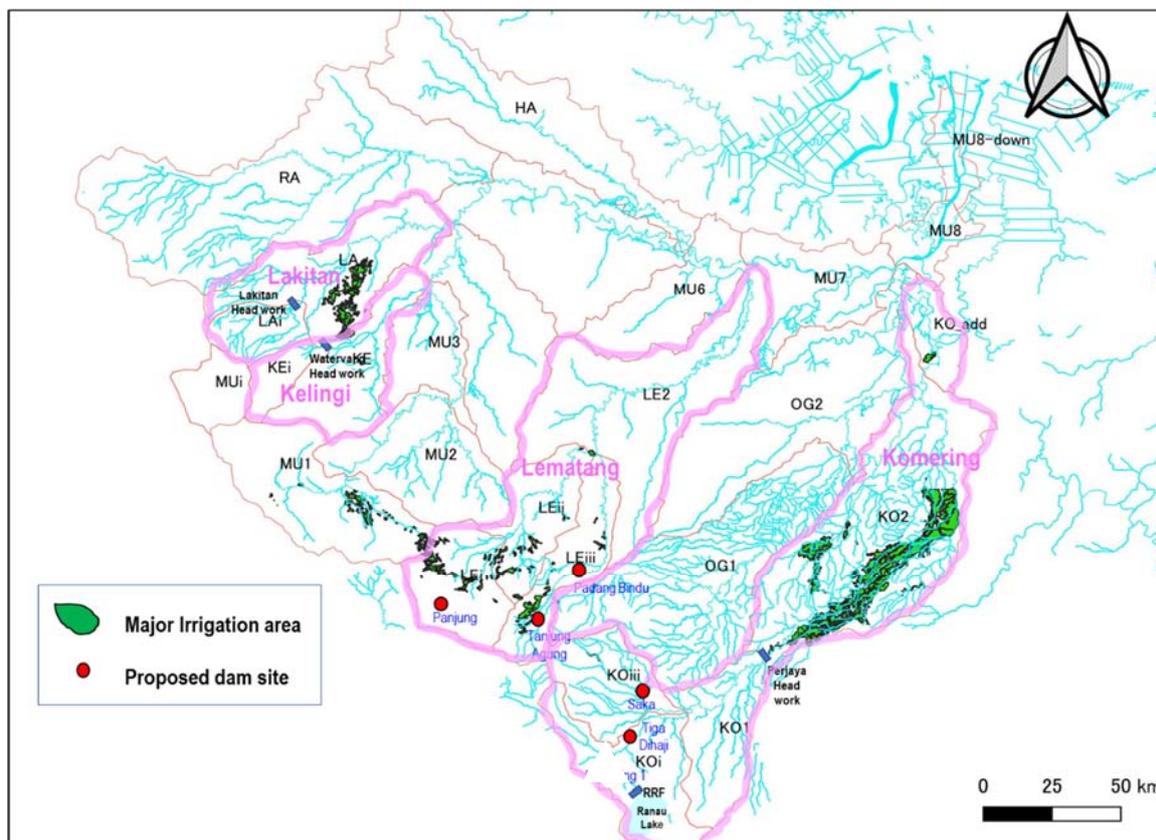
注釈: *Tanjung Agung ダム と Panjung ダムについては JICA プロジェクトチーム 2 が SRTM の DEM データを用いて簡易に設定。

出典: BBWS-S8 及び JICA プロジェクトチーム 2

表 10.4.7 水収支計算の条件

項目	条件
解析対象地域	Komeriing 川流域: 9,725km ² , Lematang 川流域: 7,608 km ² , Kelingi 川流域: 1,931 km ² , Lakitan 川流域: 2,784 km ²
計算期間	現況ケース: 15年間(1985年10月~2000年9月)、将来ケース: 15年間(2050年10月~2065年9月)
流量データ	JICA プロジェクトチーム 1 から提供された流出計算を用いた。
水需要	水道と灌漑の水需要を考慮する。灌漑需要量については表 10.4.18 に基づき計算した需要量を用いる。
計算単位時間	10 日間
河川維持流量	RRF 直下流の河川維持流量: 11.7m ³ /s、Perjaya 頭首工の河川維持流量: 35m ³ /s (雨季)、25 m ³ /s (乾季)、このほかそれぞれのダム直下流において、流況曲線の 95%流量を河川維持流量として与える。
ダムでの発電量	水力発電については Komeriing 川水系の Tiga Dihaji ダムと Saka ダム及び RRF 下流の水力発電所については考慮するが、Lematang 川水系のダムについては情報が不足のため考慮しない。

出典: JICA プロジェクトチーム 2



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 10.4.10 主な灌漑エリアと計画/提案ダムサイトの位置図

(a) Komering 川流域

水収支解析の結果を表 10.4.8 に示す。図 10.4.11 は Perjaya 頭首工での水不足が 2 つの計画ダムと RRF の提案された操作によってどれだけ軽減されるか示したものである。またその運用結果を図 10.4.12 に示す。これらの表と図から、次の点が明らかになった：

- Perjaya 頭首工の水不足は、Tiga Dihaji ダム、Saka ダム及び RRF 運用の変更の 3 つの対策により大幅に軽減される。ただし、これら 3 つの対策を施してもいずれのシナリオにおいても必要な安全レベル (DMI 水で 90%、灌漑水で 80%) には達しておらず、さらなる対策が必要である。
- 低位シナリオは、中位シナリオよりも充足率と不足量の点でより厳しいようである。
- 水不足は灌漑用水に影響を及ぼすが、水道の充足率はすべての場合でほぼ 100% である。

表 10.4.8 Komering 川流域の水収支解析結果

ケース No.	シナリオ	灌漑エリア	ダム貯水池		RRF 運転	水道水充足率	灌漑水充足率			不足量 (百万 m ³ /年)	渇水年発生確率	発電量 10 ⁶ kWh/年
			Tiga Dihaji	Saka			雨季	乾季 1	乾季 2			
1-1	現況	現況	無	無	現況	100.0%	91.9%	92.2%	97.4%	51.4	80.0%	9.39
2-0	低位	現況	無	無	現況	99.9%	92.0%	94.4%	98.7%	63.2	53.3%	30.6
2-1-0	低位	将来	無	無	現況	100.0%	90.9%	87.5%	96.6%	113.3	73.3%	61.2
2-1-1	低位	将来	有	無	現況	100.0%	90.9%	92.0%	97.5%	84.8	73.3%	543.9
2-1-2	低位	将来	有	無	提案	99.9%	93.9%	96.1%	95.5%	69.4	73.3%	544.4
2-1-3	低位	将来	有	有	提案	99.9%	93.8%	95.4%	95.5%	67.8	60.0%	631.0
3-0	中位	現況	無	無	現況	99.9%	90.0%	99.2%	100.0%	43.6	66.7%	24.8
3-1-0	中位	将来	無	無	現況	100.0%	85.6%	96.3%	97.6%	61.3	86.7%	49.6
3-1-1	中位	将来	有	無	現況	100.0%	91.6%	100.0%	100.0%	32.0	80.0%	448.3
3-1-2	中位	将来	有	無	提案	100.0%	95.7%	100.0%	100.0%	18.9	80.0%	448.3
3-1-3	中位	将来	有	有	提案	100.0%	95.9%	100.0%	100.0%	10.5	40.0%	520.1
4-0	高位	現況	無	無	現況	99.8%	73.7%	93.5%	97.7%	107.2	80.0%	22.4
4-1-0	高位	将来	無	無	現況	99.9%	70.8%	87.6%	95.9%	152.3	93.3%	44.8
4-1-1	高位	将来	有	無	現況	99.9%	79.1%	93.3%	96.8%	101.9	93.3%	404.8
4-1-2	高位	将来	有	無	提案	99.9%	86.0%	98.6%	93.1%	76.5	93.3%	404.9
4-1-3	高位	将来	有	有	提案	99.9%	84.8%	98.5%	94.8%	61.8	73.3%	470.5

注釈: 水道水充足率 (%) = 水供給用/水需要
 灌漑水充足率 (%) = (水供給用/水需要) の各年の最小値の平均値
 出典: JICA プロジェクトチーム 2

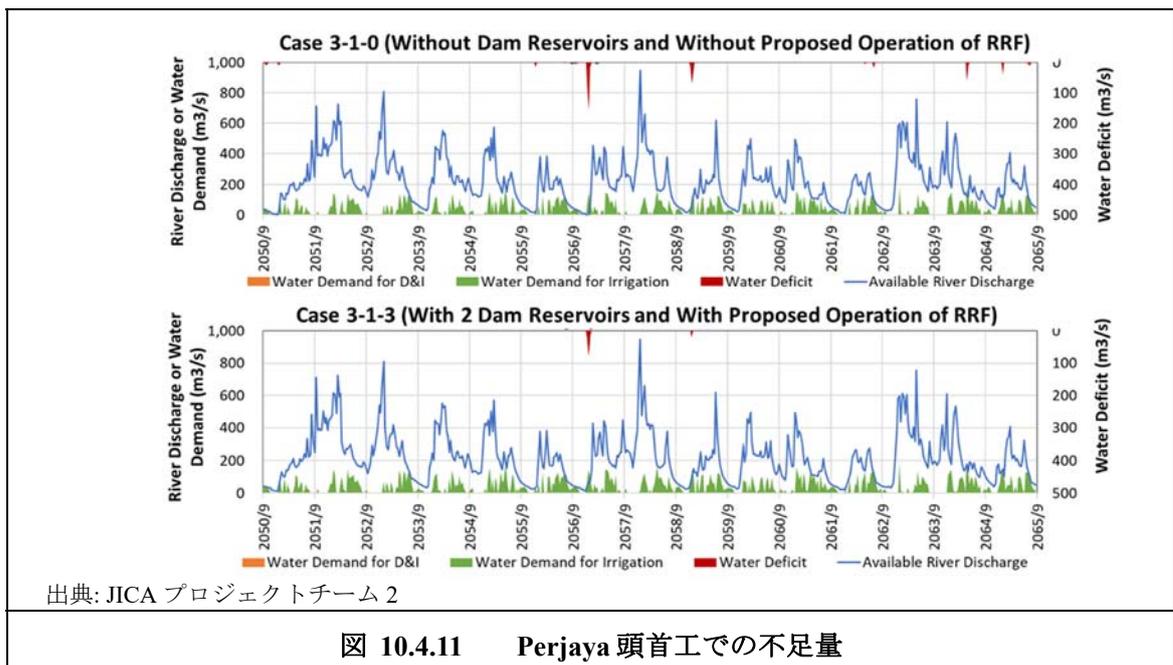


図 10.4.11 Perjaya 頭首工での不足量

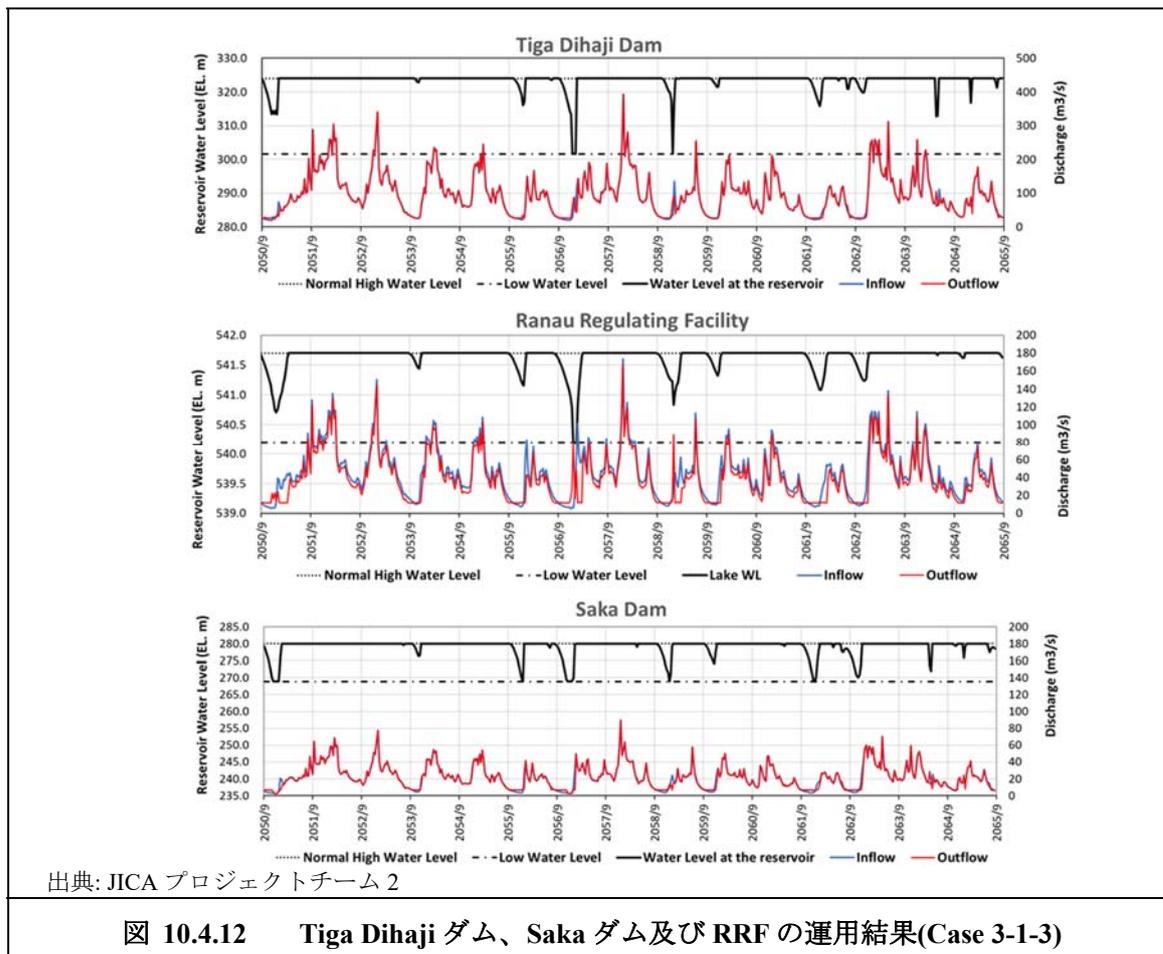


図 10.4.12 Tiga Dihaji ダム、Saka ダム及び RRF の運用結果(Case 3-1-3)

(b) Lematang 川流域

2015 年に Pre-FS 調査が実施された Padang Bindu ダムについては、ダム、貯水池容量、ダム基準水位などの基本諸元を入手することができ、本プロジェクトで活用できた。しかし Tanjung Agung と Panjung の 2 つのポテンシャルダムについては、おおよその位置情報を除いてほとんど情報が得られない。そのため、チーム 2 は、水収支解析と 10.6.4 項の経済分析用のコスト推定のためのために、SRTM DEM データを使って、地形的に許容できる最も高いダムとして簡易検討を行い、それを水収支解析に用いた。すなわち、水収支解析の便宜上簡易的に表 10.4.6 に示すように諸元を定めたが、その簡易検討には地質条件等は全く考慮されていないことから分かるように、チーム 2 はこの 2 つのダムの実行可能性を保証するものではない。

水収支解析の結果を表 10.4.9 に要約する。図 10.4.13 は、LEi サブ川流域において 3 つの新しいダム貯水池によって不足量をどれだけ減少可能かを示している。水収支解析で得られた貯水池操作を図 10.4.14 に示す。これらの表と図から、以下のように考察できる。

- 気候変動に関わらず、Lematang 川流域およびサブ流域 LEi の水不足は、3 つのダムによって完全に解消される。
- ただし図 10.4.14 に示すように、3 つのダムの大容量の貯水量は完全には使用されて

いない。貯水池の水位は、15年間で一度もLWL（低水位）まで低下しない。即ち、貯水池の容量が水需要に比べて極めて過大である。今後地質調査等を含めたより詳細な調査を実施し、より現実的かつ効率的なダム計画を作成することを勧める。

- 中位シナリオは、3つのシナリオの中で、充足率と不足量の点で最も厳しいようである。
- 水不足は灌漑用水に影響を及ぼすが、水道水の充足率は全てのケースにおいてほぼ100%である。

表 10.4.9 Lematang 川流域での水収支解析結果

ケース No.	シナリオ	灌漑エリア	ダム貯水池			水道水充足率	灌漑水充足率			不足量 (百万 m ³ /年)	渇水年発生 確率
			Padang Bindu	Tanjung Agung	Panjung		雨季	乾季 1	乾季 2		
1-1	現況	現況	無	無	無	100.0%	88.2%	93.7%	98.5%	44.4	93.3%
2-0	低位	現況	無	無	無	100.0%	94.2%	97.1%	100.0%	13.9	86.7%
2-1-0	低位	将来	無	無	無	99.5%	99.9%	100.0%	99.2%	7.0	46.7%
2-1-1	低位	将来	有	無	無	99.6%	99.9%	100.0%	99.5%	4.5	46.7%
2-1-2	低位	将来	有	有	無	99.8%	99.9%	100.0%	99.8%	3.2	46.7%
2-1-3	低位	将来	有	無	有	99.9%	100.0%	100.0%	99.7%	1.3	33.3%
2-1-4	低位	将来	有	有	有	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0	0.0%
3-0	中位	現況	無	無	無	100.0%	93.0%	98.5%	100.0%	33.9	86.7%
3-1-0	中位	将来	無	無	無	98.5%	97.2%	100.0%	98.6%	31.8	60.0%
3-1-1	中位	将来	有	無	無	99.1%	97.8%	100.0%	99.2%	16.3	60.0%
3-1-2	中位	将来	有	有	無	99.5%	98.5%	100.0%	99.7%	8.7	60.0%
3-1-3	中位	将来	有	無	有	99.5%	99.3%	100.0%	99.5%	7.6	60.0%
3-1-4	中位	将来	有	有	有	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0	0.0%
4-0	高位	現況	無	無	無	100.0%	81.6%	92.9%	96.5%	63.5	100.0%
4-1-0	高位	将来	無	無	無	98.5%	98.3%	99.5%	98.4%	26.1	66.7%
4-1-1	高位	将来	有	無	無	99.1%	98.7%	99.7%	99.1%	13.8	66.7%
4-1-2	高位	将来	有	有	無	99.5%	99.2%	99.9%	99.6%	7.6	66.7%
4-1-3	高位	将来	有	無	有	99.5%	99.6%	99.8%	99.4%	6.2	66.7%
4-1-4	高位	将来	有	有	有	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0	0.0%

注釈：水道水充足率 (%) = 水供給用/水需要
 灌漑水充足率 (%) = (水供給用/水需要) の各年の最小値の平均値
 出典：JICA プロジェクトチーム 2

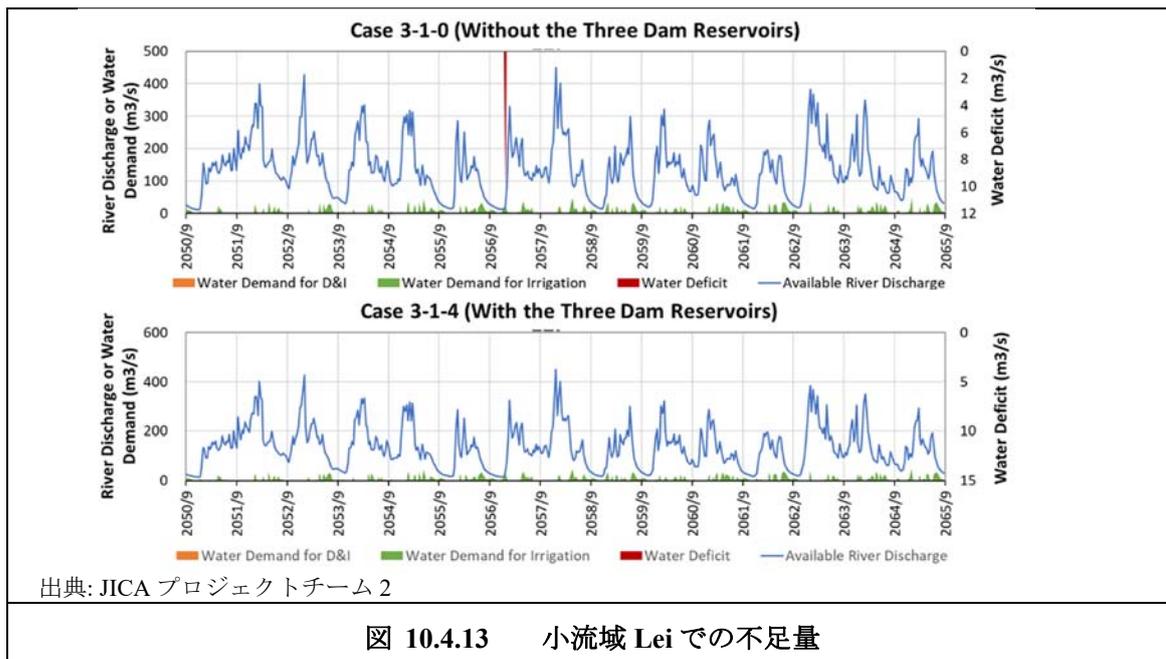


図 10.4.13 小流域 Lei での不足量

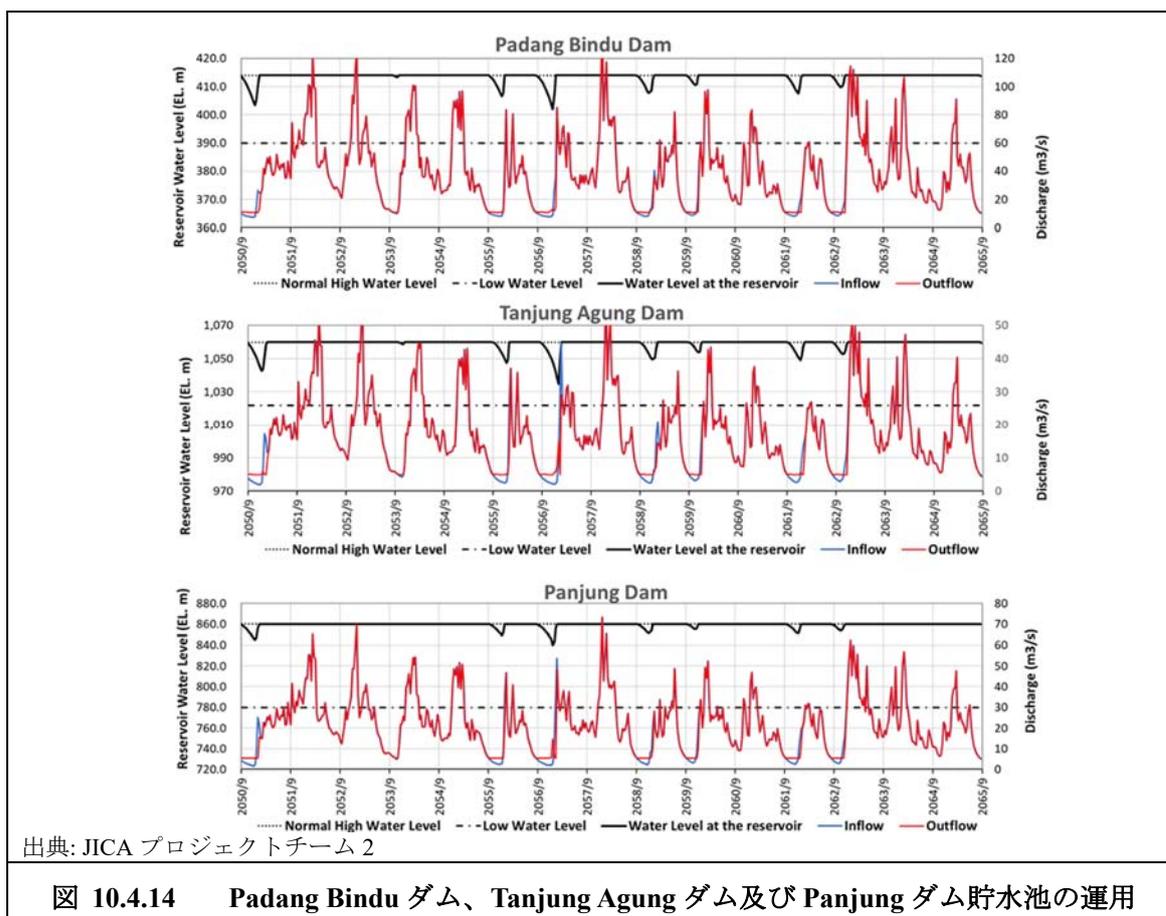


図 10.4.14 Padang Bindu ダム、Tanjung Agung ダム及び Panjung ダム貯水池の運用

(c) Kelingi 及び Lakitan 川流域

Kelingi 川流域および Lakitan 川流域には計画/提案されているダムはないが、9.5.1 節で述べたように水不足が予想される。ここでは新規に設定し直した灌漑需要量データを用いて、より詳細に水収支解析を実施した。

水収支解析の結果は、表 10.4.10 と表 10.4.11 に纏められる。図 10.4.15 と図 10.4.16 は、小流域 Kei (Watervang 頭首工) と Lai (Lakitan 頭首工)での不足量を比較している。これらの表と図から、以下のように考察できる。

- 両河川流域において、3 つのシナリオの中で充足率と不足量の点で、中位シナリオが最も厳しいシナリオとなっている。
- Kelingi 川流域ではすべてのシナリオで灌漑水不足が発生する。
- Lakitan 川流域の高位シナリオでは、水不足は発生しない。ただし低位及び中位シナリオでは灌漑水不足が発生する。

表 10.4.10 Kelingi 川流域での水収支解析結果

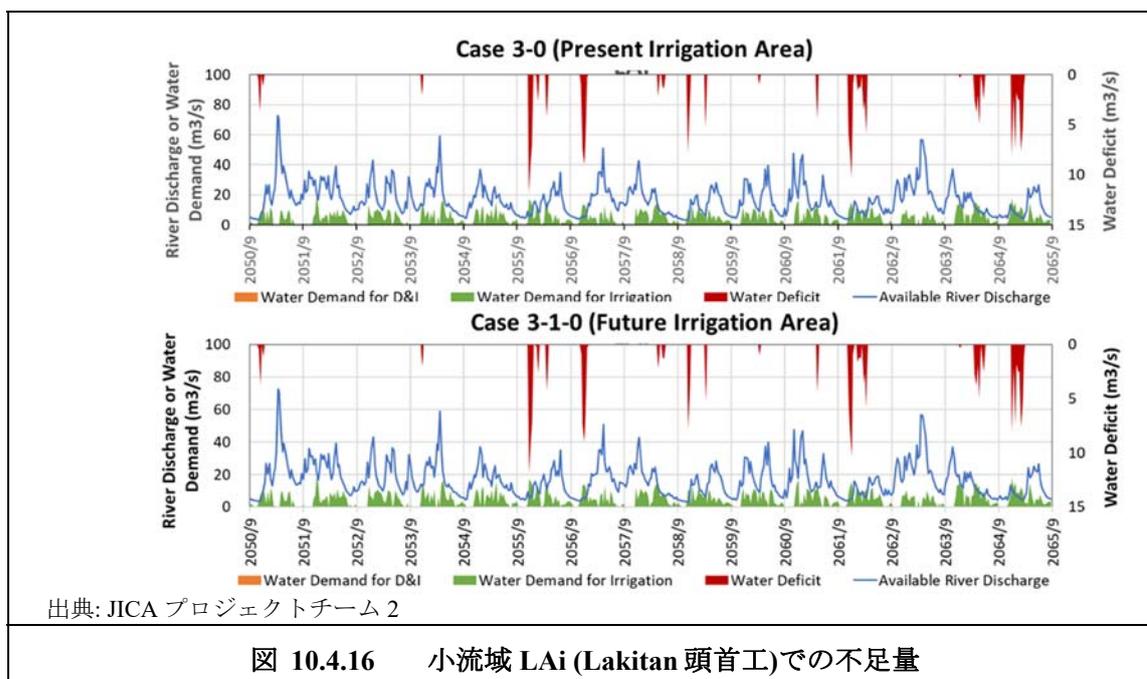
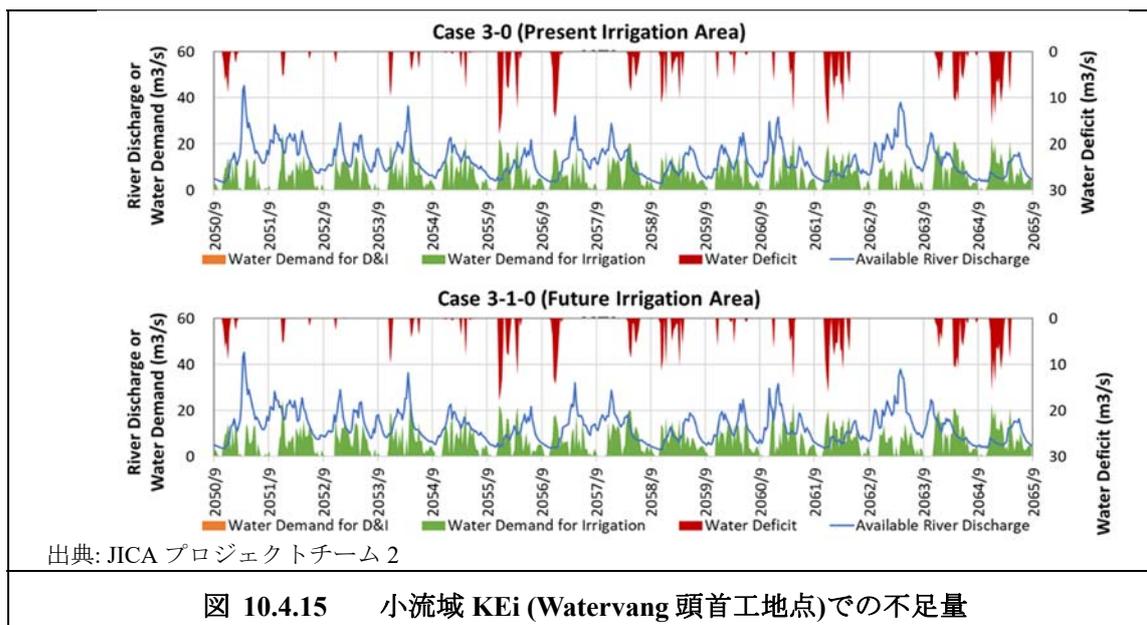
ケース No.	シナリオ	灌漑エリア	水道水充足率	灌漑水充足率			不足量 (百万 m ³ /年)	渇水年発生確率
				雨季	乾季 1	乾季 2		
1-1	現況	現況	100.0%	88.0%	96.7%	100.0%	6.0	60.0%
2-0	低位	現況	100.0%	93.3%	100.0%	100.0%	2.1	26.7%
2-1-0	低位	将来	100.0%	94.3%	100.0%	100.0%	1.6	26.7%
3-0	中位	現況	100.0%	58.5%	78.4%	98.0%	42.5	93.3%
3-1-0	中位	将来	100.0%	60.7%	81.2%	98.4%	35.9	93.3%
4-0	高位	現況	100.0%	94.6%	99.5%	100.0%	1.4	33.3%
4-1-0	高位	将来	100.0%	95.8%	99.9%	100.0%	0.9	33.3%

注釈： 水道水充足率 (%) = 水供給用/水需要
 灌漑水充足率 (%) = (水供給用/水需要) の各年の最小値の平均値
 出典： JICA プロジェクトチーム 2

表 10.4.11 Lakitang 川流域での水収支解析結果

ケース No.	シナリオ	灌漑エリア	水道水充足率	灌漑水充足率			不足量 (百万 m ³ /年)	渇水年発生確率
				雨季	乾季 1	乾季 2		
1-1	現況	現況	100.0%	97.4%	100.0%	100.0%	0.7	26.7%
2-0	低位	現況	100.0%	99.1%	100.0%	100.0%	0.1	6.7%
2-1-0	低位	将来	100.0%	99.6%	100.0%	100.0%	0.1	6.7%
3-0	中位	現況	100.0%	78.9%	94.4%	100.0%	14.5	80.0%
3-1-0	中位	将来	100.0%	84.8%	96.6%	100.0%	11.0	73.3%
4-0	高位	現況	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0	0.0%
4-1-0	高位	将来	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	0.0	0.0%

注釈： 水道水充足率 (%) = 水供給用/水需要
 灌漑水充足率 (%) = (水供給用/水需要) の各年の最小値の平均値
 出典： JICA プロジェクトチーム 2



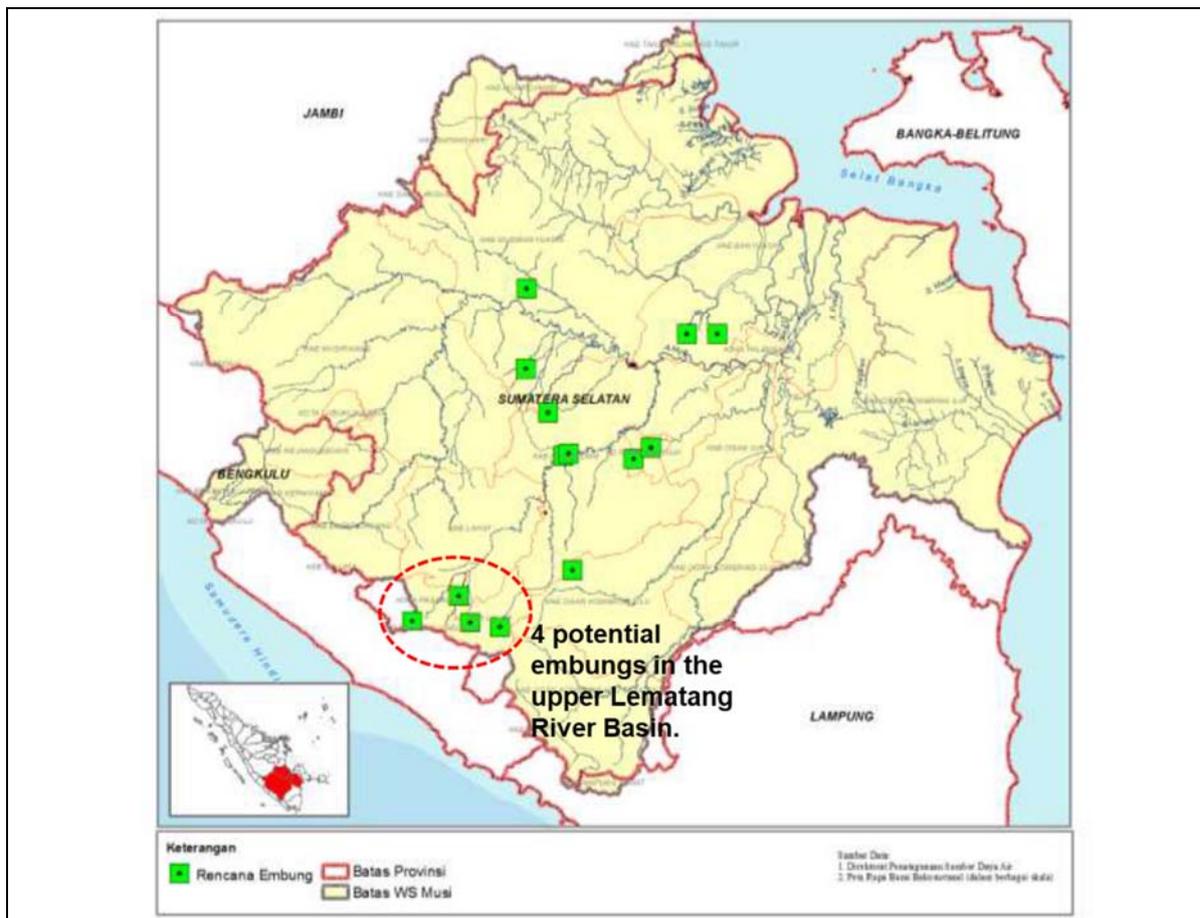
2) ため池 (Embung) の建設

ため池は、雨季に過剰な水を貯め、乾季に貯めた水を利用する貯水池である。ため池は、農業目的、漁業、家庭のニーズに水を供給するなど、多くの目的に利用される。

一般的に低コストで従来の技術で建設されるため池は、大きなダム貯水池の代替となる可能性があり、かつ自然・社会環境への影響は、ダム貯水池のそれよりはるかに少ない。

BBWS-S8 は、図 10.4.17 に示すように、ため池のポテンシャルサイトを確認している。これらのため池が建設された場合、それらは計画/提案されているダム貯水池よりも効率的な方法で Lematang 川流域の水不足の緩和に貢献する可能性がある。ダム建設候補地がまだ特定されていない Kelingi 川流域及び Lakitan 川流域では、ため池は水不足に対する

代替ソリューションの1つとなる可能性がある。この観点から、ダム貯水池と同様にため池のサイト調査を実施することが推奨される。



出典: RENCANA 2017

図 10.4.17 ため池 (Embung) のポテンシャルサイト

3) 地下水利用

既存資料に基づくムシ川流域における地下水利用状況を表 10.4.12 に示す。これによると、ムシ川流域の水利用の総量に対する地下水利用量の割合は、わずか約 2%である。集計データは 2003 年のものであるが、2003 年以降のインドネシアの経済成長を考慮しても、現在においても 10%以下であると推定される。

表 10.4.12 全水利用と地下水利用

利用区分	A: 水利用量 (x 1000m ³ /年)	B: 地下水利用量		B / A (%)
		(x 1000m ³ /年)	(%)	
家庭	101,000	8,168	7.2%	8.1
工業	377,000	66,892	58.6%	17.7
鉱業	115,000	30,617	26.8%	26.6
かんがい	2,760,000	92	0.1%	0.0
湿地	1,961,000	-	-	-
養殖	514,000	265	0.2%	0.1
観光	150	-	-	-
家畜	17,400	8,045	7.1%	46.2
水力発電	0	0	0.0%	0.0
合計	5,845,550	114,079	100.0%	2.0

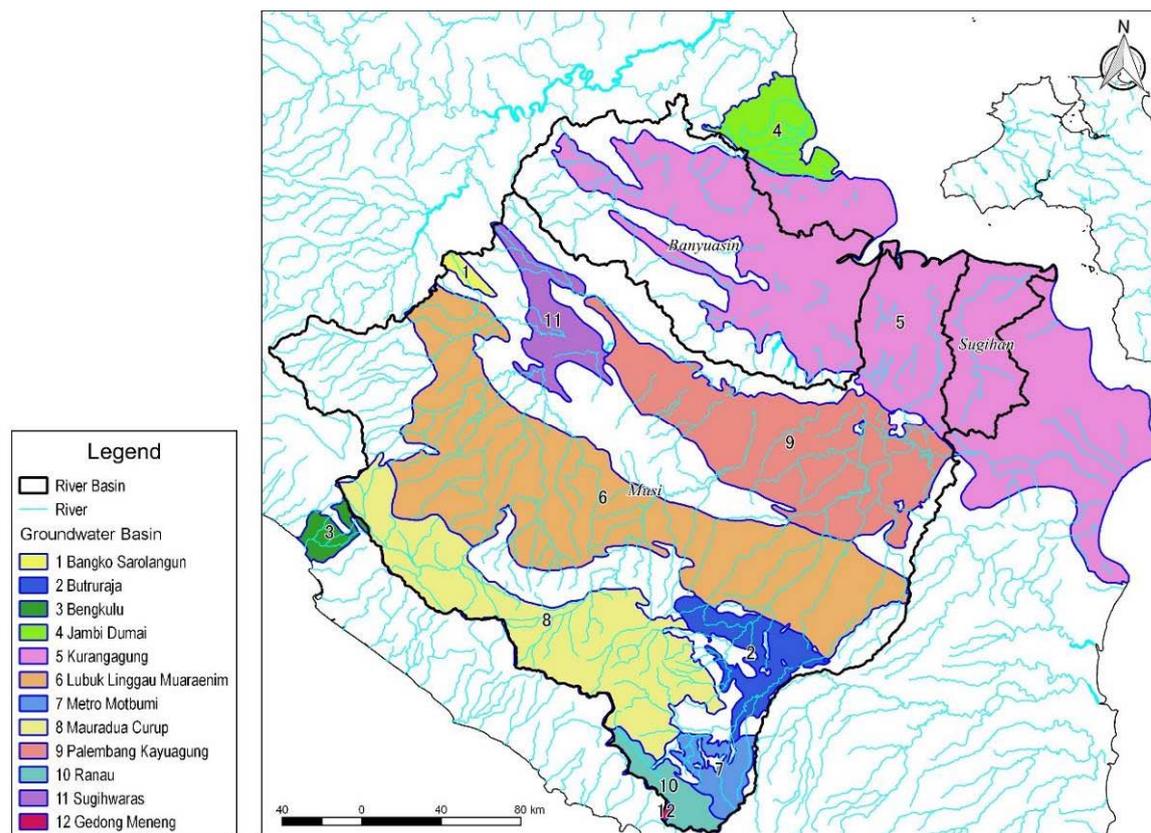
出典：インドネシア国ムシ川流域総合水管理計画調査報告書、国際協力機構（2003）

考えられる理由は次のとおりである。

- 現在の水需要量は地表水によって満たされている。
- ムシ川流域の最大都市である Palembang では地下水中の鉄イオン濃度が高く、利用には適さない。

ただし、将来の気候変動下における水需要量の増加と利用可能な水資源とのバランスの変化を考える場合、現在の地下水ポテンシャルと将来の変化を評価しておく必要がある。

2011年に発せられた大統領令第26号によって、インドネシア全土の地下水盆が定義されている。図10.4.18に示すように、このうち12の地下水盆がムシ川流域あるいはその一部が流域内に位置する。大統領令はその発令以前に実施された地質庁（*Badan Geologi*（ESDMの下部組織））による地下水ポテンシャル調査に基づく。*Badan Geologi*によって公開されている地下水盆ごとの地下水ポテンシャルのうち、ムシ川流域を含む地下水盆全体の地下水ポテンシャルを表10.4.13に纏めた。この表に、ムシ川流域部分のみの地下水ポテンシャルも計算し、その結果も示した。現在、ムシ川流域全体で1年間に利用可能な地下水ポテンシャルの合計値は258億4,100万m³/年と推定される。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 10.4.18 ムシ川流域の地下水盆

表 10.4.13 地下水盆別の現況地下水ポテンシャル

No.	地下水盆	面積 (km ²)	地下水ポテンシャル		ムシ川流域 面積 (km ²)	地下水ポテン シャル (百万 m ³ /年)
			(百万 m ³ /年)	(mm/年)		
1	Bangko Sarolangun	6,072	4,221	695	231	161
2	Butururaja	2,404	1,151	479	1,838	880
3	Bengkulu	4,888	3,836	785	18	14
4	Jambi Dumai	69,776	20,401	292	7	2
5	Kurangagung	22,860	12,977	568	14,655	8,319
6	Lubuk Linggau Muaraenim	15,400	6,062	394	14,937	5,880
7	Metro Motbumi	21,640	12,331	570	994	567
8	Mauradua Curup	8,521	4,389	515	7,847	4,042
9	Palembang Kayuagung	8,652	3,759	434	8,592	3,733
10	Ranau	1,501	934	622	997	620
11	Sugihwaras	1,794	1,549	863	1,853	1,600
12	Gedong Meneng	1,412	1,185	839	29	24
合計(平均)		164,920	72,795	(441)	51,997	25,841

出典：JICA プロジェクトチーム 2

次に、将来の地下水ポテンシャルを以下の方法で予測した。

- 有効降雨量に対する現在の地下水ポテンシャルの比率 (%) を計算する。
- 気候変動シナリオごとの有効降雨量に上記の比率 (%) をかけて、シナリオごとの将来の地下水ポテンシャルを予測する。

現在の地下水ポテンシャルと有効降雨量の比を表 10.4.14 に示す。Jambi Dumai は、チーム 1 の検討地域に含まれていないことから、ほぼ同じ水文環境であると想定される

Karangagung の値を用いた。なお、気候変動シナリオは有効降雨量を用いて別途検討した。気候変動シナリオ選定の詳細な過程は、サポーティングレポート C を参照されたい。最終的に高位シナリオとして GFDL_2_1、中位シナリオとして MIUB_ECHO、低位シナリオとして GFDL_2_0 を選定した。

表 10.4.14 有効降雨に対する現在の地下水ポテンシャルの比率

No.	地下水盆	ムシ川流域面積 (km ²)	A: R-ET (過去実績) (mm/年)	B: 現況ポテンシャル (mm/年)	比 (A/B) (%)
1	Bangko Sarolangun	231	1,370	695	51
2	Buturaja	1,838	1,563	479	31
3	Bengkulu	18	1,723	785	46
4	Jambi Dumai*	7	1,578	292	19
5	Kurangagung	14,655	1,578	568	36
6	Lubuk Linggau Muaraenim	14,937	1,703	394	23
7	Metro Motbumi	994	1,596	570	36
8	Mauradua Curup	7,847	1,710	515	30
9	Palembang Kayuagung	8,592	1,513	434	29
10	Rantau	997	1,653	622	38
11	Sugihwaras	1,853	1,503	863	57
12	Gedong Meneng	29	1,653	839	51
合計 (平均)		51,997	(1,638)	(441)	(27)

注釈：*に関するデータは、JICA プロジェクトチーム 1 から得られないため、「Karangagung」のデータで代用した。

出典：JICA プロジェクトチーム 2

将来の地下水ポテンシャルと現在の地下水ポテンシャルからの変化量を表 10.4.15 に示す。高位シナリオ以外を除いて、将来のムシ川流域の平均降雨量は現在よりも増加すると予測されているが、温度上昇による蒸発散量の増加量が降雨量の増加量を上まわるため、結果的にすべての将来シナリオで有効降雨量は減少する。すなわち、地下水ポテンシャルは将来の気候変動によって減少すると予測される。ただし、ムシ川流域には未開発の膨大な地下水資源が存在していることから、将来表流水の代替水源として地下水を有効活用することは十分可能であるといえる。

表 10.4.15 将来の地下水ポテンシャルと現在の地下水ポテンシャルからの変化量

番号	地下水盆	現在のポテンシャル (百万 m ³ /年)	将来のポテンシャル (百万 m ³ /年)			変化量 (百万 m ³ /年)		
			高位	中位	低位	高位	中位	低位
1	Bangko Sarolangun	161	156	182	195	-4	21	34
2	Butururaja	880	926	870	900	46	-10	20
3	Bengkulu	14	10	14	15	-4	-0	0
4	Jambi Dumai*	2	1	1	2	-1	-1	-0
5	Kurangagung	8,319	6,014	5,986	6,823	-2,305	-2,333	-1,496
6	Lubuk Linggau Muaraenim	5,880	5,043	5,496	5,824	-837	-384	-56
7	Metro Motbumi	567	653	577	607	86	10	41
8	Mauradua Curup	4,042	3,347	3,843	3,981	-694	-199	-61
9	Palembang Kayuagung	3,733	3,132	3,454	3,727	-601	-279	-6
10	Rantau	620	715	629	652	95	9	31
11	Sugihwaras	1,600	1,399	1,645	1,786	-201	45	186
12	Gedong Meneng	24	28	24	25	4	0	1
Total		25,841	21,425	22,721	24,536	-4,417	-3,120	-1,306

注釈： *JICA プロジェクトチーム 1 からの利用可能なデータがないため、Karangagung のデータを使用

出典： JICA プロジェクトチーム 2

4) 無取水の低減

無取水低減の努力による水量節約の効果を示すため、前項で取り上げられた 4 つの流域での水需要を満たすために必要となる給水量を以下の 2 ケースに分けて表 10.4.16 に示す。

ケース-1: 目標とする無取水率の低減を達成する

ケース-2: 無取水低減の活動は特に実施しない (2015 年時点の無取水率は改善されない)

表 10.4.16 無取水量低減の効果

(単位: m³/日)

年	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Komering sub-system 5								
目標無取水率 (%)	60	46	39	35	31	28	25	23
無取水を除いた水需要	6,167	27,464	51,334	77,523	105,360	134,257	164,013	194,600
必要給水量 (ケース-1)	15,411	50,393	84,794	119,203	153,278	186,710	219,616	252,221
必要給水量 (ケース-2)	15,411	68,631	128,281	193,726	263,289	335,501	409,860	486,295
給水量の差	0	18,238	43,487	74,523	110,011	148,791	190,244	234,074
Lematang sub-system 5								
目標無取水率 (%)	29	29	28	26	25	23	22	21
無取水を除いた水需要	18,748	35,313	54,686	76,457	100,302	125,643	151,785	178,698
必要給水量 (ケース-1)	26,366	49,563	75,515	103,584	133,261	163,786	194,296	224,805
必要給水量 (ケース-2)	26,366	49,563	76,907	107,524	141,058	176,696	213,461	251,310
給水量の差	0	0	1,392	3,940	7,797	12,910	19,165	26,505
Lakitan sub-system 2								
目標無取水率 (%)	58	50	44	40	36	32	29	25
無取水を除いた水需要	6,166	10,622	15,370	20,326	25,387	30,390	35,134	39,657
必要給水量 (ケース-1)	14,577	21,202	27,589	33,677	39,451	44,712	49,240	53,215
必要給水量 (ケース-2)	14,577	25,111	36,336	48,053	60,017	71,845	83,060	93,753
給水量の差	0	3,909	8,747	14,376	20,566	27,133	33,820	40,538
Kelingi sub-system 2								
目標無取水率 (%)	52	47	43	39	36	33	30	27
無取水を除いた水需要	12,046	18,940	26,146	33,910	41,770	50,006	57,986	65,606
必要給水量 (ケース-1)	24,843	35,487	45,592	55,608	64,998	74,195	82,394	89,627
必要給水量 (ケース-2)	24,843	39,061	53,922	69,934	86,144	103,130	119,587	135,302
給水量の差	0	3,574	8,330	14,326	21,146	28,935	37,193	45,675

出典: JICA プロジェクトチーム 2

水需要増加の主たる理由の一つは、無収水量を考慮しない場合、PDAMにより給水される地域の増加である。PDAMによる給水は主に都市部であるが、本プロジェクトでの水需要予測においては、県/市の全人口に対する都市人口の比率を2010年から2050年まで変わらないと仮定している。すなわち、既存都市部での人口は年々増加するが、これを分布で見ると人口密度の増加と既存都市部周辺への都市の広がりとして想定している。

PDAM給水地域での将来の給水管網の拡張を考えた場合、その拡張は上述した人口増加と都市域の拡大パターンに沿って実施されるものと想定できる。つまり、将来の管路網の布設が既存の管路網を基に展開されていくことは明らかであり、既存の給水管路網は将来に渡って依然として重要な役割を負う。

以上より、表10.4.16に示すように、もし既存及び将来の給水施設に対し無収水低減の対策がなされないとすると、2050年時点の水需要を満たすためには対策が取られた場合に比べて約1.5倍から2倍の水生産が必要となる。これは、効果的な節水（概ね中～大規模浄水場一つ分の水生産量に相当）対策であり水道事業に対する渇水インパクトへの効果的な適応策である。

5) 工業用水の再利用

水量で考えた場合、一般に給水量の約80%は下水として河川や海に排水される。よって、もしこの下水を再利用するならば、将来の致命的な渇水のインパクトに対する有効な適応策と言える。しかしながら下水の再利用には、まず下水の収集施設、送水施設及び処理施設を含む下水システムの存在が前提となる。調査対象地域においては、Palembang市の中心部を対象に現在建設中の下水施設（最終事業対象人口10万人）はあるものの、その他には現在運転されている公共下水システムは無い。さらに、Palembang市並びにBanyuasinのPDAMでの聴き取りによると、同地区での水道事業における現在の課題は水道水源/原水の確保ではなく、如何に浄水能力と送・配水能力の向上を図るかということである。こうした状況を考えると、下水の再利用は短・中期的には渇水に対する現実的な適応策とは言えない。

一方で、工場内での下水の再利用は渇水に対するより現実的な適応策と言える。下水の収集施設、及び簡易な処理施設、さらに飲料目的を除く再生水の多目的利用のための場内給水施設を整備することはそれ程困難ではない。工場の種類にもよるが、再生水が工場の生産工程に利用可能となる可能性もある。水の再利用施設の建設にはある程度の投資は必要であるが公共水道への依存度を軽減し将来の致命的な渇水時においても工場生産の持続性を確保あるいは補完するために、工業用水の再利用システムを構築することは有益と考える。

6) 雨水の利用

雨水を各戸で貯留することで一般的に飲料用を除き、トイレ、散水、洗濯等の家庭用水として利用可能である。雨水利用は、各戸ベースでの対策であり、個人の努力と投資に依る。各戸の雨水貯留では量的にも多くは期待できず、またその利用も気象条件に大きく影響されるが、多くの住民が対応することで渇水に対する適応策の一端に貢献するも

のと考えられる。

Banyuasin 県の PDAM はムシ川下流部デルタ地域の広大な低湿地をその給水対象地域としているが、そこでの聴き取りによると、現在その感潮湿地域の住民は、河川水を自ら汲み上げ直接利用するとともに雨水をもタンクに貯留して利用している。各戸では容量 200～300 リットルのタンクを所有しており、雨季においては飲料用も含めて生活用水として雨水を利用している。乾季においては、それら住民は市販の飲料水を購入、あるいは PDAM から水タンクで水を購入し家庭用水に充てている。この状況は湿地域の住民にとっては生活用水を得るための日常的活動であり、特に管路による水道施設の整備を期待しているようではない。



利用可能性の点では、雨水利用は簡易で廉価であるが、雨季に限られてしまうので厳しい渇水に対する有望な適応策としてはあまり期待できないであろう。しかしながら、場所に依らずもし表流水や地下水を含む従来の水源が水質問題等で利用不可能な場合はその代替水源として考えられる。

(3) 非構造物対策

1) 灌漑用水需要管理

(a) 圃場レベル渇水適応策

ムシ川流域の表流水灌漑地区において、公共事業国民住宅省の法的管轄権の枠内で実行可能な水田圃場レベルの適応策として、以下の三案が想定される。

- 各表流水灌漑地区の灌漑対象水田に輪番配水システムの導入
- 雨季稲作の代掻き実施時期に焦点を絞った栽培暦の最適化
- 法制度的調整策を含む三次水路網整備による灌漑効率の向上

(b) 輪番灌漑システム

灌漑対象地区において、灌漑用水の配水期間を短縮すれば、必然的にピーク用水量が増加する。このピーク用水量を削減するためには、灌漑対象地区全域を原則として3ブロックに分け、配水開始時期を10日間隔でずらして設定する。この輪番灌漑システム実行に伴い、個々の農作業実施期間が地区全体では長くなるものの、ピーク用水量平準化が可能となる。

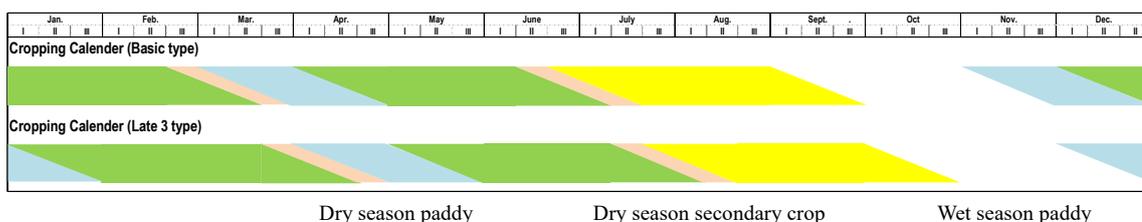
(c) 作物暦最適化

現在、ムシ川流域の既存表流水灌漑地区のすべては用水源を河川の自流に依存している。雨季作を10月に開始する場合には、水源河川の自流量が乾季から引き続く最も少ない時期に該当する。したがって、雨季稲作の代掻き用水量を降雨量で最大限満たさなければならぬ。この観点に立ち、有効雨量が雨季作代掻き用水量を充足できる回数に着目し、現況気候モデルの5年確率渇水年を対象に、雨季作代掻き作業の開始日を10月1日から12月1日まで10日きざみにずらし、最適実施時期を検討し、その結果に基づき以下の2タイプを選定した。

- 雨季稲作代掻き作業開始日を11月1日とする基本タイプ
- 雨季稲作代掻き作業開始日を12月1日とするL3タイプ

この検討結果に基づいて最適作物暦を確立するため、下記の条件を設定した。

- 作物生育期間を雨季稲作は110日間、乾季稲作100日間、いずれも苗代栽培期間を20日間。乾季裏作物は70日間に設定
- 地区内の灌漑用水配分に輪番灌漑システムの導入
- 灌漑水路網補修のため、毎年1回30日間の通水完全停止期間を設定
- 図10.4.19に示す2種類の作物暦を想定
- 作物暦基本タイプでは、雨季稲作播種開始日を11月1日、収穫終了日を3月31日、乾季稲作播種開始日を3月1日、収穫終了日を7月20日、乾季裏作播種開始日を6月21日、収穫終了日を9月30日に設定
- 作物暦L3タイプでは、雨季稲作栽培期間を12月1日から4月31日まで、乾季稲作栽培開始日を4月1日から8月20日まで、乾季裏作栽培開始日を7月21日から10月30日までに設定



注釈：青色部分；代掻き期間 緑色部分；稲作灌漑期間 桃色部分；収穫前田面落水期間
 黄色部分；裏作物灌漑栽培期間

出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 10.4.19 ムシ川流域表流水灌漑地区の最適化作物暦

これら2種類の作物暦を下記のように各県・市に所在する表流水灌漑地区に適用する。

- 基本タイプ作物暦は Musi Rawas 県及び Musi Rawas Utara 県
- L3 タイプ作物暦は、OKU、OKI、Muara Enim、Lahat、OKU Selatan、OKU Timur、Empat Lawang の各県及び Pagar Alam、Lubuk Linggau の各市

(d) 灌漑効率の向上

ムシ川流域の既存表流水灌漑地区では末端水路網の設置が限られており、田越し灌漑方法が普遍している。インドネシアでは、既設灌漑地区対象の三次水路整備業務は農業省が所管しているが、極めて少額の国家予算しか割り当てられないため、農民のニーズに追いつかない。一方、水資源総局では、外国資金援助による新規灌漑開発事業のスケープに三次水路網整備を含め、農民のニーズに対応している事例もある。したがって、今後の三次水路網整備推進には法制度の改正が欠かせない。

水資源総局の設計基準においては、灌漑水路の搬送損失率に基づいて灌漑効率を規定している。設計目標として、搬送損失率を幹線水路では10%、支線及び三次水路ではそれぞれ15%に設定の上、地区全体の灌漑効率を65%と算定している（= 0.9 x 0.85 x 0.85）。また、ムシ川流域の数少ない三次水路網設置地区においては、三次水路の搬送損失率が現状では30%程度に達しているものと関係者の間では共通認識されており、既存灌漑システムにおける漏水削減は、節水という観点からみて有効な渇水対策の一つである。灌漑水路搬送損失率が高止まりしている原因が三次水路の毀損もしくは未設であることから、プレキャストコンクリートブロックによる三次水路ライニング工の実施が極めて有効である。

(e) 作付け率の適正設定

現在、ムシ川流域の既設表流水灌漑地区は水源をすべて河川自流に依存しており、統計数値を分析すればやに示すように、灌漑地区においても実際の乾季作付け率は極めて低いことが指摘される。南スマトラ州では、地形的・社会的制約から投資額に見合うダム・貯水池建設のポテンシャル限られていることから、有限な灌漑用水源を効率的に利用するためには、既設・新設灌漑地区の作付け率を適正に設定することが必要となる。このような観点に立ち、有限な水資源に即応して設定した表流水灌漑地区における将来の作付け率を表 10.4.17 に示す。また、残存する天水田地域では雨季作に限定し、作付け率を最大100%とする。

表 10.4.17 表流水灌漑地区の将来想定作付け率

管理主体 / 規模 / 作付け率			雨季作		乾季作 1		乾季作 2	
BBWS-S8	3,000 ha 以上	250%	水稻	100%	水稻	100%	裏作物	50%
州	3,000 – 1,000 ha	150%	水稻	100%	水稻	40%	裏作物	10%
県 / 市	1,000 ha 以下	125%	水稻	100%	水稻	20%	裏作物	5%

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(f) 灌漑用水算定ベースの特徴

9 ケースの GCM 気候モデルから 3 ケースの代表 GCM 気候モデルを選抜する目的で設定した POLA/ RENCANA ベースの作物暦 (9 章の水収支解析に適用) と代表 3 ケースの GCM 気候モデル条件下で渇水リスクを予想する目的で設定した作物暦 (10 章の水収支解析に適用) それぞれの主要項目に関する特徴の比較を表 10.4.18 に示す。

表 10.4.18 ムシ川流域における灌漑用水需要量計算方法の比較

項目		9 章	10 章
1.	目的	POLA と JICA 調査の間の灌漑用水需要量計算方法の差異明確化	渇水に対する灌漑用水管理適応策実施後の将来気候代表 3 モデルが灌漑用水需要量に与える影響を算定及び気候変動適応策の費用・便益算定データの供与
2.	灌漑用水量計算方法基準	POLA: インドネシア国家規格 (SNI 19-6728-1-2002) チーム 2: DGWR 灌漑システム計画規範・設計基準 (KP-1)	KP-1
3.	単位用水量	POLA: 固定レート (1.0 l/s/ha) チーム 2: 生育段階別作物消費水量対応変動レート	生育段階別作物消費水量対応変動レート
4.	気候関連パラメーター	無し	降雨量・蒸発散量
5.	灌漑効率	60%	観測気象データケース 60%、将来気象データケース 65%
6.	灌漑用水配分システム	無考慮	配水開始日を 10 日間隔でずらした輪番灌漑システム
7.	作物暦	降雨パターンとは無関係の固定暦	雨季作代掻き用水量最少の最適化作物暦
	雨季稲作	10 月 1 日～ 2 月 15 日	基本タイプ: 12 月 1 日～ 4 月 30 日 L3 タイプ: 1 月 1 日～ 5 月 31 日
	乾季稲作	2 月 1 日～ 6 月 15 日	基本タイプ: 4 月 1 日～ 7 月 10 日 L3 タイプ: 5 月 1 日～ 8 月 10 日
	乾季裏作	6 月 16 日～ 9 月 30 日	基本タイプ: 6 月 21 日～ 9 月 30 日 L3 タイプ: 7 月 21 日～ 10 月 31 日
8.	各農作業実施期間	15 日間	30 日間
9.	作付け率	300% (各作期 100%)	BBWS-S8 直轄地区 250% (100%-100%-50%)、州管轄地区 150% (100%-40%-10%)、県・市管轄地区 125% (100%-20%-5%)

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(g) 表流水灌漑地区将来面積の補正

ムシ川流域において、最近完工した円借款による灌漑開発事業の灌漑対象区域が確定したことに伴い計画灌漑面積を以下のように補正する。

- 参加型灌漑改修・管理事業 (Participatory Irrigation Rehabilitation and Management Project, PIRIMP) のサブ・プロジェクトとして実施され、2017 年に完工した Air Lakitan 灌漑地区については、DGWR の登録計画灌漑面積 9,500 ha を竣工検査結果に基づき、6,920 ha に下方修正
- 2017 年に実施された Komerling 灌漑事業第 III 期 (Komerling Irrigation Project Stage III) 円借款審査時に、第 II 期フェーズ 2 が 竣工した 2016 年時点において、計画灌漑面

積 62,536 ha のうち開発済み面積を 59,167 ha に確定するとともに、第 III 期の開発面積を 8,500 ha に設定。なお、開発済み面積のうち 5,048 ha は隣接のランブン州に存在。また、RENCANA 2017 では、南スマトラ州内 13,500 ha、ランブン州内 10,000 ha の Komerling 灌漑地区拡張計画が提案されているが、前者は第 II 期フェーズで 5,000 ha が開発済み。

RENCANA 2017 には、Komerling 灌漑地区拡張計画を含む 9 件の新規事業が提案され、2035 年までの 20 年間に合計 58,491 ha の開発実施が計画されている。

表 10.4.19 に、上述の状況を勘案した表流水灌漑地区の現況及び将来面積の補正値を示す。

表 10.4.19 現況・将来気候条件下の表流水灌漑地区面積の補正

表流水灌漑地区存在の県 / 市	現況灌漑面積			転換対象面積		将来灌漑面積		
	BBWS-S8 直轄 (ha)	県・市 管轄 (ha)	合計 (ha)	天水田 (ha)	県・市 管轄田 (ha)	BBS-S8 直轄 (ha)	県・市 管轄 (ha)	合計 (ha)
Pagar Alam 市	3,050	10,004	13,054	0	7,000	10,050	3,004	13,054
Lubuk Linggau 市	1,322	1,529	2,851	0	0	1,322	1,529	2,851
OKI 県	5,000	0	5,000	8,500	0	13,500	0	13,500
OKU Timur 県	49,119	5,570	54,689	4,991	0	54,110	5,570	59,680
OKU 県	0	3,824	3,824	0	0	0	3,824	3,824
OKU Selatan 県	0	9,980	9,980	0	0	0	9,980	9,980
Muara Enim 県	0	33,212	33,212	0	0	0	33,212	33,212
Lahat 県	0	23,791	23,791	0	10,000	10,000	13,791	23,791
Empat Lawang 県	9,244	7,114	16,358	0	0	9,244	7,114	16,358
Musi Rawas 県	15,761	12,576	28,337	13,000	2,000	30,761	10,576	41,337
Musi Rawas Utara 県	0	640	640	3,000	0	3,000	640	3,640
小計	83,496	110,240	191,736	29,491	19,000	131,987	89,240	221,227
ランブン州	5,048	0	5,048	10,000	0	15,048	0	15,048
小計	5,048	0	5,048	10,000	0	15,048	0	15,048
合計	88,544	108,240	196,786	39,491	19,000	147,035	89,240	236,275

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(h) 単位灌漑用水量

複数の気候変動モデルが灌漑用水需要量に及ぼす影響を定量化するため、KP-1 算定式に気候変動高位・中位・低位モデル及び現況パターンの有効雨量データを入力し、下記の諸点に留意の上、単位灌漑用水需要量を算定した。

- 有効雨量を上限 80.0 mm、下限 5.0 mm の日雨量に規定
- 観測及び GCM-3、GCM-6、GCM-8 気候モデルの蒸発散量及び有効雨量旬日平均値を入力し、旬日平均単位用水量を算定
- 算定期間を、現況気候パターンでは 1985/86 年雨季作から 2001 年乾季作まで、将来気候パターンでは 2050/51 年雨季作から 2065 年乾季作までのそれぞれ 15 年間に設定
- 算定作業は、表流水灌漑地区が存在する小流域に限定

- 算定結果は、雨季稲作、乾季稲作、乾季裏作期間の旬日平均値として表示。

表 10.4.20 に、各作期の旬日平均灌漑用水量を小流域別に示す。また、現況気候ケースについては、灌漑効率 60%及び 65%の算定結果を示す。

表 10.4.20 小流域・作期別旬日平均単位灌漑用水量

ケース / 作期 / 作物	各作期旬日平均単位灌漑用水量 (l/s/ha)									
	OKI & OKU-T	OKU	OKU Selatan	Muara Enim	Lahat	Pagar Alam	Musi Rawas	Empat Lawang	Lubuk Linggau	
作物暦型	L3	L3	L3	L3	L3	L3	基本	L3	L3	
観測気象条件 (灌漑効率: 60%)										
雨季	水稻	0.56	0.54	0.58	0.48	0.48	0.57	0.75	0.47	0.62
乾季	水稻	0.96	0.93	0.96	0.96	1.00	0.88	0.82	0.79	1.01
乾季	裏作物	0.30	0.28	0.29	0.24	0.25	0.24	0.29	0.19	0.21
観測気象条件 (灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	0.52	0.50	0.54	0.43	0.44	0.53	0.69	0.43	0.58
乾季	水稻	0.89	0.86	0.88	0.89	0.92	0.81	0.76	0.73	0.93
乾季	裏作物	0.28	0.26	0.27	0.22	0.23	0.22	0.27	0.17	0.20
低位リスク<GCM-3>(灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	0.56	0.58	0.58	0.45	0.48	0.38	0.47	0.52	0.36
乾季	水稻	1.07	1.11	1.11	0.89	0.87	0.89	0.53	0.81	0.77
乾季	裏作物	0.22	0.27	0.27	0.11	0.18	0.22	0.25	0.14	0.16
中位リスク<GCM 8>(灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	0.48	0.32	0.32	0.22	0.21	0.21	0.80	0.41	0.32
乾季	水稻	0.80	0.72	0.72	0.61	0.60	0.53	0.79	0.72	0.74
雨季	裏作物	0.31	0.31	0.31	0.29	0.29	0.29	0.29	0.25	0.30
高位リスク<GCM6>(灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	0.42	0.43	0.43	0.40	0.57	0.58	0.58	0.53	0.67
乾季	水稻	0.86	0.82	0.82	0.82	0.84	0.78	0.56	0.76	0.86
乾季	裏作物	0.34	0.40	0.40	0.29	0.28	0.26	0.18	0.26	0.26

出典: JICA プロジェクトチーム 2 (データブック E2)

(i) 灌漑用水取水量

表流水灌漑地区及び県・市ごとの灌漑用水取水量を算定するため、小流域別単位灌漑用水量データを以下のように適用した。

- 小流域 SB 270 のデータは OKI 及び OKU Timur 両県と Komering Selatan / Way Komering 灌漑地区、Komring Tulang Bawang 新規灌漑地区にそれぞれ適用
- 小流域 SB 280 のデータは OKU 県、小流域 SB 290 のデータは OKU Selatan 県にそれぞれ適用
- 小流域 SB 460 のデータは Muara Enim 県。小流域 SB 470 のデータは Lahat 県及び Dong Kanan / Kiri 新規灌漑地区、小流域 490 のデータは Pagar Alam 市及び Muara Riben 灌漑地区、Lematan 新規灌漑地区、Merapi 新規灌漑地区にそれぞれ適用
- 小流域 SB 920 のデータは Musi Rawas 及び Musi Rawas Utara の両県と Kelingi Tugu Mulyo 灌漑地区、Air Lakitan 灌漑地区、Air Rawas 新規灌漑地区、Kambahang 新規灌漑地区、Muara Beliti 新規灌漑地区及び Air Gegas 新規灌漑地区にそれぞれ適用
- 小流域 SB 980 のデータは Lubuk Linggaushi , 小流域 SB 990 のデータは Empat Lawang 県と Air Keruh 灌漑地区、Lintang Kanan 灌漑地区及び Lintang Kiri 灌漑地区に適用

先に設定した単位灌漑用水量、灌漑地区別及び県・市別面積と上述の小流域別データの適用に基づいて算定した小流域・作期別旬日平均単位灌漑用水取水量を表 10.4.21 に示す。

表 10.4.21 小流域・作期別旬日平均単位灌漑用水取水量

ケース / 作期 / 作物	各作期平均灌漑用水需要量 (m ³ /s)									
	OKI & OKU-T	OKU	OKU Selatan	Muara Enim	Lahat	Pagar Alam	Musi Rawas	Empat Lawang	Lubuk Linggau	
作物層型	L3	L3	L3	L3	L3	L3	基本	L3	L3	
観測気象条件 (灌漑効率: 60%)										
雨季	水稻	35.9	1.9	5.5	14.3	10.8	1.7	18.9	1.2	9.0
乾季	水稻	62.2	0.7	2.8	8.1	6.8	2.7	15.4	1.3	11.1
乾季	裏作物	9.9	0.1	0.2	0.5	0.5	0.4	2.7	0.2	1.2
観測気象条件 (灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	33.1	1.8	5.1	13.2	9.9	1.5	17.5	1.1	8.3
乾季	水稻	57.4	0.7	2.6	7.5	6.3	2.5	14.2	1.2	10.2
乾季	裏作物	9.1	0.1	0.2	0.5	0.4	0.4	2.5	0.1	1.1
GCM-3 (灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	48.6	2.2	5.7	14.8	10.5	4.8	21.1	1.5	6.3
乾季	水稻	90.4	0.9	3.3	7.5	12.4	9.9	21.3	1.3	8.5
乾季	裏作物	9.3	0.1	0.2	0.4	1.1	1.2	4.9	0.1	0.8
GCM 6 (灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	42.6	1.2	3.1	7.3	4.5	2.7	36.1	1.2	5.1
乾季	水稻	67.5	0.5	2.1	5.1	8.5	5.9	31.7	1.2	8.1
乾季	裏作物	13.0	0.1	0.2	0.6	1.7	1.5	5.7	0.2	1.5
GCM 8 (灌漑効率: 65%)										
雨季	水稻	36.5	1.6	4.2	16.1	12.9	7.5	10.9	1.5	7.5
乾季	水稻	72.6	0.6	2.4	6.9	11.9	8.4	22.7	1.2	8.4
乾季	裏作物	14.4	0.1	0.3	0.6	1.7	1.4	3.6	0.2	1.4

出典: JICA プロジェクトチーム 2 (データブック E2)

(j) 天水田における有効雨量の充足度

気候変動影響の影響を定量的に評価する一環として、天水田に灌漑施設を整備する新規表流水灌漑地区を対象に、現況作物消費量に対する有効雨量の充足度を検討した。その結果を表 10.4.22 に示す。

表 10.4.22 天水田作物消費水量に対する有効雨量充足率

新規表流水灌漑地区	作物消費水量に対する有効雨量充足率			
	観測	GCM-3	GCM-6	GCM-8
Air Rawas	0.91	0.94	0.93	0.90
Kembanhang	0.91	0.94	0.93	0.90
Muara Beliti	0.91	0.94	0.93	0.90
Komeriing	0.94	0.93	0.95	0.94
Komering / Tulang Bawang	0.94	0.93	0.95	0.94

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(k) 将来のコメ生産量

表流水灌漑地区、湿地排水地区、残存転電地域における将来の県・市別コメ生産諸元を表 10.4.23 に示す。

表 10.4.23 南スマトラ州県・市別想定将来コメ生産量

県 / 市	表流水灌漑地区			湿地排水地区			天水田地域		
	収穫面積 (ha)	収量 (t/ha)	収穫量 (ton)	収穫面積 (ha)	収量 (t/ha)	収穫量 (ton)	収穫面積 (ha)	収量 (t/ha)	収穫量 (ton)
Palembang 市	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0
Prabumulih 市	0	0.00	0	0	0.00	0	0	0.00	0
Pagar Alam 市	24,005	5.00	120,024	0	0.00	0	0	0.00	0
Lubuk Linggau 市	4,479	5.50	24,633	0	0.00	0	0	0.00	0
OKI 県	27,000	6.00	162,000	53,461	2.50	133,653	123,387	2.00	246,774
Ogan Ilir 県	0	5.50	0	31,528	2.50	78,820	36,099	2.00	72,198
OKU Timur 県	7,668	5.50	42,174	7,550	2.50	18,875	29,573	2.00	59,146
OKU 県	4,589	5.50	25,238	0	0.00	0	5,628	2.00	11,256
OKU Selatan 県	121,156	6.50	787,515	0	0.00	0	1,941	3.00	5,823
Muara Enim 県	41,631	4.00	166,526	1,200	3.00	3,600	19,422	3.00	58,266
PALI 県	0	4.50	0	0	0.00	0	6,579	2.00	13,158
Lahat 県	38,038	4.00	152,151	0	0.00	0	1,680	3.00	5,040
Empat Lawang 県	27,325	4.50	122,962	0	0.00	0	986	3.00	2,958
Musi Rawas 県	75,416	5.00	377,079	6,000	2.50	15,000	11,030	2.00	22,060
Musi Rawas Utara 県	6,768	3.00	20,304	0	0.00	0	6,716	2.00	13,432
Musi Banyuasin 県	0	5.50	0	43,706	2.50	109,265	10,104	2.00	20,208
Banyuasin 県	0	5.00	0	164,197	2.50	410,493	59,321	2.00	118,642
南スマトラ州 計	378,074		2,000,607	307,642		769,705	312,466		648,961

出典: JICA プロジェクトチーム 2

2) 家庭用水・公共用水・工業用水の水需要管理

水需要管理・抑制の適切な実施は、消費者個人毎の日常の節水の努力に依る。人々の水消費は生活様式や地域の文化と密接に関連している。よって、水需要管理・抑制効果を短期間であげるとはあまり期待できない。しかしながら東京の例に見られる様に、1990年代において 370 lpcd であった水使用原単位が 2015 年においては 250 lpcd まで減少している。これは、水使用者と供給側両者の節水の努力の結果と言える。このように、個人毎の節水への努力の積み重ねは大規模な節水に大きく貢献することは明らかである。適切な水需要管理・抑制の実現のために、以下の様な対策が考えられる。

(a) 水利用者への周知

水需要管理・抑制においてまず考えられ得る緻密な方法としては、水資源と水生産に関する現在の事情を利用者に余すことなく確実に知らせることである。利用者は、もしサービスが提供されないとすると供給者に対し苦言を呈しまた支払いを拒むことになる。しかし一方で、社会良識を有する大抵の人は、もしすべき事が解っているなら重要な水資源を節約しようとする努力をする。水道運営会社は、マスコミと利用者に対し積極的に情報提供を行うことが重要である。

(b) 宣伝・広告

事業対象地域において、PDAM のみならず給水事業に係る組織は一般への宣伝・広告にあまり積極的とは言えない。一般への宣伝・広告に積極的に取り組むためには、水道事業における主要な課題や現在の水道事業自体に関しマスコミに対し常に積極的に情報提供をする必要がある。こうした活動を通して、マスコミとの良好な関係を構築すること

に努力する必要がある。そのためには、宣伝広報活動に専念する担当者を任命しておくことが望ましい。

(c) 教育

水需要管理・抑制への人々の理解を得るためには、PDAM が直面している課題/問題に関しなるべく多くの人々を教育する必要がある。水道会社は、宣伝・広報材料を学校や給水地区内の多くの事業体に配布する機会を持つことが必要である。また、可能であるならば学校の生徒への講義や浄水場訪問の機会を設け、「水循環」や「最も価値ある資源は何か」といったことを知らせることが望まれる。こうした活動により、子供たちが成長した時には、水道事業者が直面する問題に対しより積極的な意識で向き合えるものと期待できる。また、多くの水を利用する事業者との関係構築も重要である。こうした事業者は、水の有効利用や再利用をいかにしたらよいかに関心があるはずである。水の有効利用の検討の一例としてホテルがある。ホテルは、宿泊客に対し水の有効利用を通して環境へ配慮を行っていることをプラスイメージで積極的に示すことができる。

(d) 結びつき

水利用者やマスコミに対し前向きなイメージを示すことが重要である。また、社会にある「意見形成者」との良好な関係構築も必要である。ここでもやはり、こうした人々に対し水道事業内容や直面する課題/問題を発信し続ける必要がある。

現在調査対象地域の各県/市において PDAM による給水を受けている地区の比率は、Palembang 市を除き 3%から 30%であり、この地域のほとんどの人々は管路施設による各戸給水を受けた経験がないものと理解できる。こうした状況は、前述の東京での水需要抑制の活動に比べれば PDAM にとり将来の水需要管理・抑制を主導していく上での利点となる可能性はある。

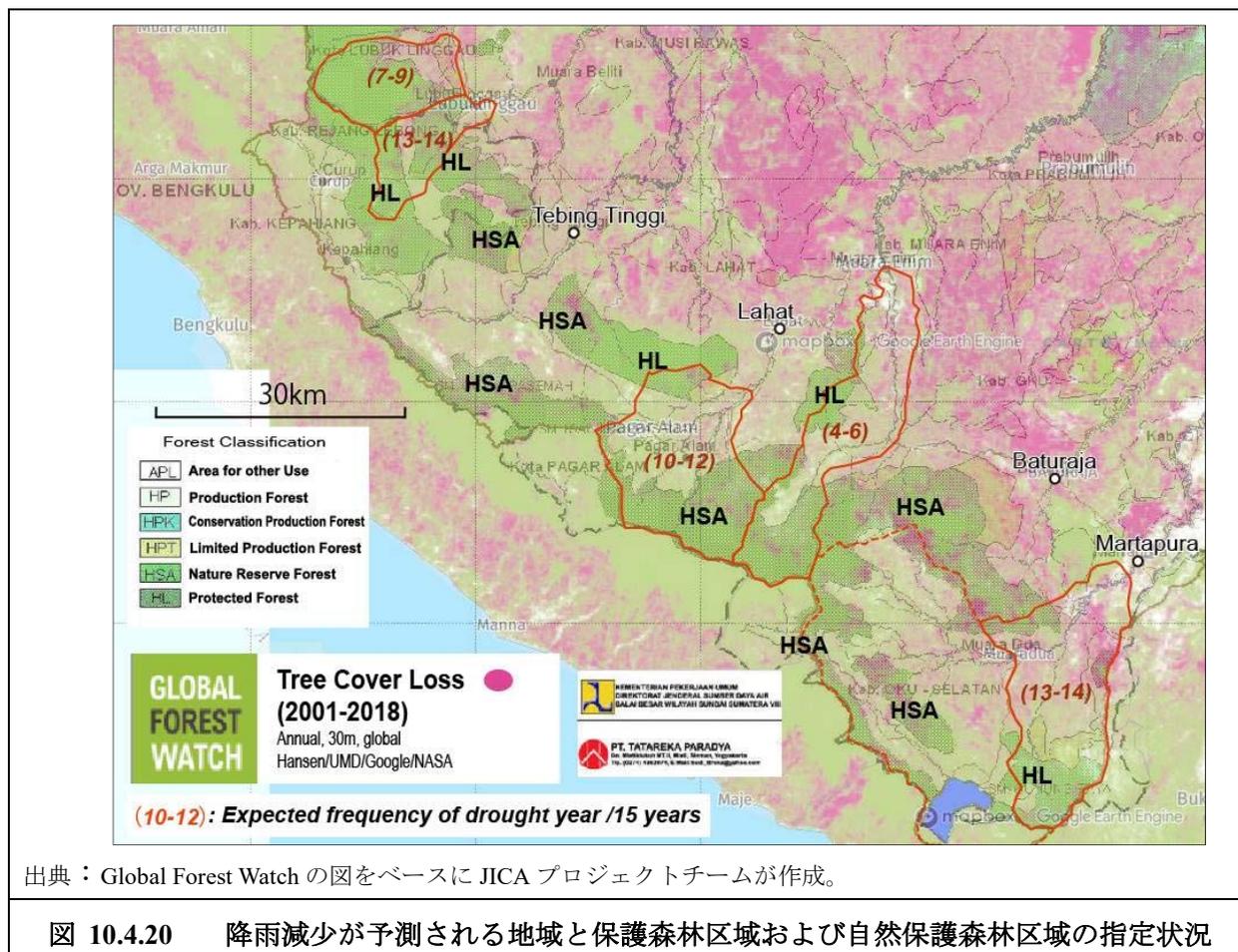
3) 灌漑に資する流域管理

チーム 2 の予測した 15 年間に 4 年以上の渇水が予想される地域は表 10.4.24 のとおり 5 流域となっている。これらはムシ本川および支川の最上流端に位置しているとともに、保護林区域や自然保護林区域に指定されている地区が約半数ほど存在しており農地開発ができない区域となっている (図 10.4.20)。一方、保護森林区域としての指定がない地域においては、森林を焼き払ってプランテーションに転換しつつある地域や都市部および石炭鉱山地区が大半となっている。渇水の影響を受けやすいと予測される区域は主として Komeri ng 川、Lematang 川上流域の一部に限られており、マルタプラ上流域を除けばほぼ開発規制がかかっており水源涵養機能が期待できる。

表 10.4.24 渇水予測流域内の森林保護区域

降雨減少予測地区	渇水頻度 (回/15年)	面積	保護森林区域および 自然保全林面積（域内%）	
LAi	7-9	630 km ²	440 km ²	(70%)
KEi	13-14	460 km ²	290 km ²	(63%)
LEi	10-12	1,335 km ²	660 km ²	(49%)
LEiii	4-6	1,290 km ²	460 km ²	(36%)
KO1	13-14	1,420 km ²	360 km ²	(25%)

出典: JICA プロジェクトチーム 2



出典：Global Forest Watch の図をベースに JICA プロジェクトチームが作成。

図 10.4.20 降雨減少が予測される地域と保護森林区域および自然保護森林区域の指定状況

灌漑用水を念頭においた流域管理の手法として洪水対策の場合と違うのは雨水の流出する時間を雨季の終わりから乾季の間の期間、最大で 3 ヶ月程度遅延させることが求められることである。そのため雨水の地下浸透を促すためには森林の保全もしくは地下浸透施設の設置等が考えられる。

渇水が予測されている地区の土地利用は主として森林ではあるが、現在はプランテーションの造成のため高標高部の森林も速い速度で伐採が進んでいる。プランテーションの拡大は、大規模な湧水の減少が生じることも知られているので、ムシ川最上流域における大規模プランテーションの造成についても、地下水涵養の視点から抑制されることが望ましい。

10.4.3 塩水遡上に対する適応策

9.6.1 節で述べたように、塩水遡上はムシ川流域における最も重要な気候変動インパクトの一つであり、適応策として次に述べる構造物対策及び非構造物対策が考えられる：

(1) 構造物対策

1) 感潮湿地灌漑地域の二次および三次水路へのゲートの設置

ムシ川下流部の感潮湿地灌漑地域はかつて一面マングローブ林に覆われていた干潟であり、1960年代から進められてきた国の干拓プロジェクトによって今日の農業地域に変わってきた。したがって、灌漑地域の標高は一律に低く、干拓地での農業開発の成功の主なポイントは、農作物の水要件を満たすために農民レベルで水位を制御する方法である。農場レベルでのこの水位制御には、写真 10.4.4 に示されている二次および三次水路のゲートが不可欠である。これらのゲート構造は、上昇する塩水を遮断するのに非常に効果的である。しかし、干拓地の約 60%にはこのようなゲートが装備されておらず、オープンで水位の制御の効かない状況にある。ゲートの設置は、農業の生産性を高めるだけでなく、海面上昇による塩水遡上対策としても加速されるべきである。



1) 二次水路上のゲート



2) 三次水路上のゲート

出典: Sriwijaya 大学

写真 10.4.4 二次、三次水路のゲート

2) 海水淡水化による給水

表流水、地下水を含め、水量と水質の両面で他の代替水源が利用できない場合において海水淡水化による給水は現実味があるといえる。しかしながら、公共水道目的とした海水淡水化プラントの建設は財務的に妥当とは言えない。その建設費は一般に知られるように概ね USD1,500/m³ であり、通常の浄水場の建設費(USD400~500/m³)の約3倍となる。加えて、その水生産コストの USD1.0/m³ は従来の浄水場の生産コスト（約 USD0.15/m³）と比べてかなり高額である。

本プロジェクト対象地域には、Banyuasin 県のムシ川デルタ地域のような低湿地が存在している。こうした地域では河川水は、海水侵入に影響され給水目的には使用できない。PDAM Banyuasin での情報によると、300 軒への給水を目的として Sungsang に3ヶ所の海水淡水化プラントが建設されたが、フィルター（逆浸透膜フィルター）の更新費が賄われないためすべてのプラントが2年前から運転されていないとのことである。

上記の議論と Banyuasin 県での事例より、海水淡水化は調査対象地域内の海水侵入による公共水道事業への影響に対する適応策としては適切とは言えない。代わって、経済特区や大規模リゾート地への給水といった大量の水を限られた目的で供給する場合は妥当な方法とも言える。

(2) 非構造物対策

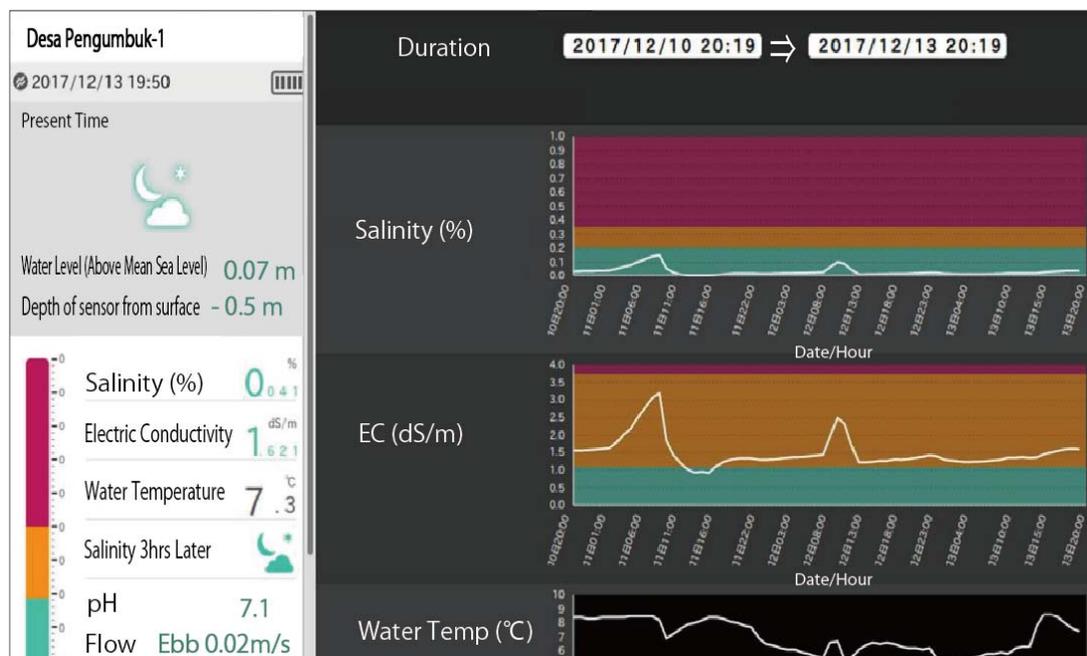
1) 感潮湿地灌漑地域のゲート操作に関する能力強化

農民の能力開発は、農場レベルで適切な水位管理を確実にするための鍵である。塩水遡上に備えた訓練も必要である。BBWS-S8、農民協会、NGO、専門家が能力開発活動に関与する必要がある。

2) 上水用の塩分モニタリング

Palembang 市域および下流河川における塩分濃度は、i) 取水施設の地理的な位置、ii) 潮位（上げ潮／下げ潮の別）、iii) 河川流量、iv) 取水量、v) 取水深、vii) 河川横断面の位置等の環境条件によって細かく変動する。

必要量の効果的な取水のためには水質のモニタリングが不可欠である。Banyuasi および Palembang 市の各取水所において塩分濃度のモニタリングを長期にわたって行うことにより、将来的な塩分濃度の変化が予測可能となるとともに、取水可能な原水の判別と取水計画の策定が可能となる。そのために時間ごとに各地点の潮位（水位）と流向も pH も塩分濃度とともに記録しておくことが望ましい。また各取水施設におけるデータは一元化して共有し、公開することによって民間事業者も利用可能なシステムとすることを提案する。図 10.4.21 は取水施設における水質モニタリングモニタリング画面の一例である。



出典：NTT のデータをベースに JICA プロジェクトチーム 2 が作成

図 10.4.21 ムシ川の取水施設における水質モニタリング用の画面の例

3) 下流デルタの農業用水

淡水と塩水が交互変化する感潮区域の圃場に水を引き込む場合は農民が味覚によってその都度判断しており測定器具等も不要で簡易かつ確実な手法である。農場によって条件が様々に違うことから、維持管理が必要な塩分濃度のモニタリングシステムが多数必要であり、これをあえて導入することは労力と事業費が継続的に必要となるため維持が困難である。長期的にもゲートの高さ以上に海水面が上昇しない限り現状のままでも塩分の問題は生じないと考えられる。

現在実施されているムシ川河口デルタにおける感潮灌漑農業では塩水侵入は現在のゲート施設により効果的に遮断されており、潮位の上昇は灌漑可能な面積が広がるため逆に好ましい事象であると現地農業関係者は捉えている。

10.4.4 泥炭地管理

(1) 泥炭地火災対策案

インドネシア政府は 2010～2015 年まではスマトラ島において 3.063（百万）ヘクタールの森林開発を許可していたが、現政権になってからは泥炭地内の森林開発許可を保留するとともに、プランテーション事業者に対して、泥炭層厚が 3m 以上ある地区は元の森林の状態に戻すこと、および地下水位を地表から 40cm 以内に保つことを義務付けている。

2016年の大統領令によって大統領府直轄の泥炭地回復庁(BRG)が設置されるとともに、泥炭地を有する7州において泥炭地回復チーム(TRGD)が設置された。そのひとつである南スマトラ州 TRGD は州知事直轄の組織であり、泥炭地の回復と管理責任を負う唯

一の機関であるとともに、州内の関連機関の参加を得て、泥炭復興のための連絡調整会議を運営している。南スマトラ州内の泥炭地の回復に関する一切の取り組みはこの連絡調整会議に諮られて決議を経る必要があるため、公共事業省独自の泥炭地回復事業は行えない。

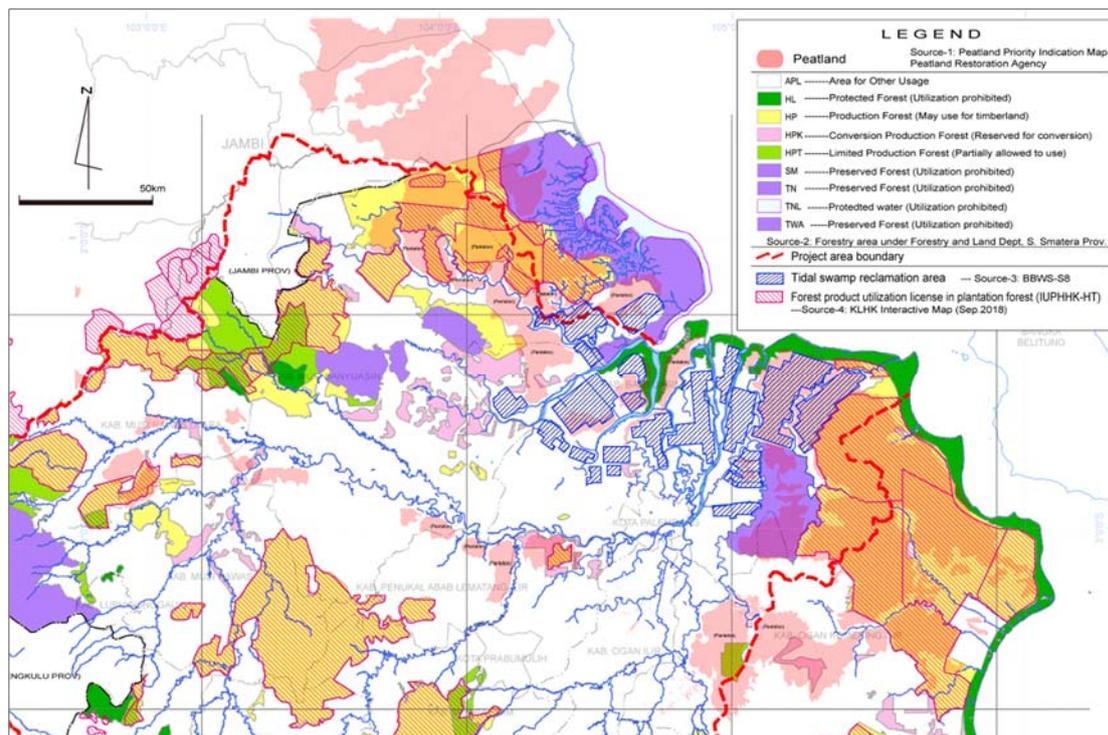
現在行われている主たる事業は、民間業者が地下水位低下のために不法に開削している水路の特定およびこれらへの堰やゲートの設置である。これにより州内各所で行われている泥炭地の人為的な地下水位の低下に歯止めをかけようとしている (図 10.4.22)。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 10.4.22 不法水路による人為的な泥炭地の地下水低下行為

BBWS-S8 による TRGD に対する協力としては、現在 TRGD が作成しつつある泥炭地における「水文・微地形標高図」作成と実際の水路事業について把握し、Bogor の農業研究所が設計する BBWS-S8 の事業と干渉しないようにすることが重要である。ゲートを設置しない水路は泥炭地の地下水の水位を低下させ乾燥地化に寄与してしまうので、結果的に森林火災を助長することにつながることから留意が必要となっている。現在のところ BBWS-S8 は TRGD の運営する上記連絡協議会に参加していない。同計画部は河口デルタ地域の灌漑水路とゲートの管理責任者としてこれに参加して情報の交換に努める必要がある。図 10.4.23 には BBWS-S8 の管理地域 (青斜線) 泥炭地分布および森林管理区域を示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2 が BBWS-S8 と TRGD のデータから作成

図 10.4.23 泥炭地と BBWS-S8 および森林管理地域の重複図

(2) 地下水環境の変化

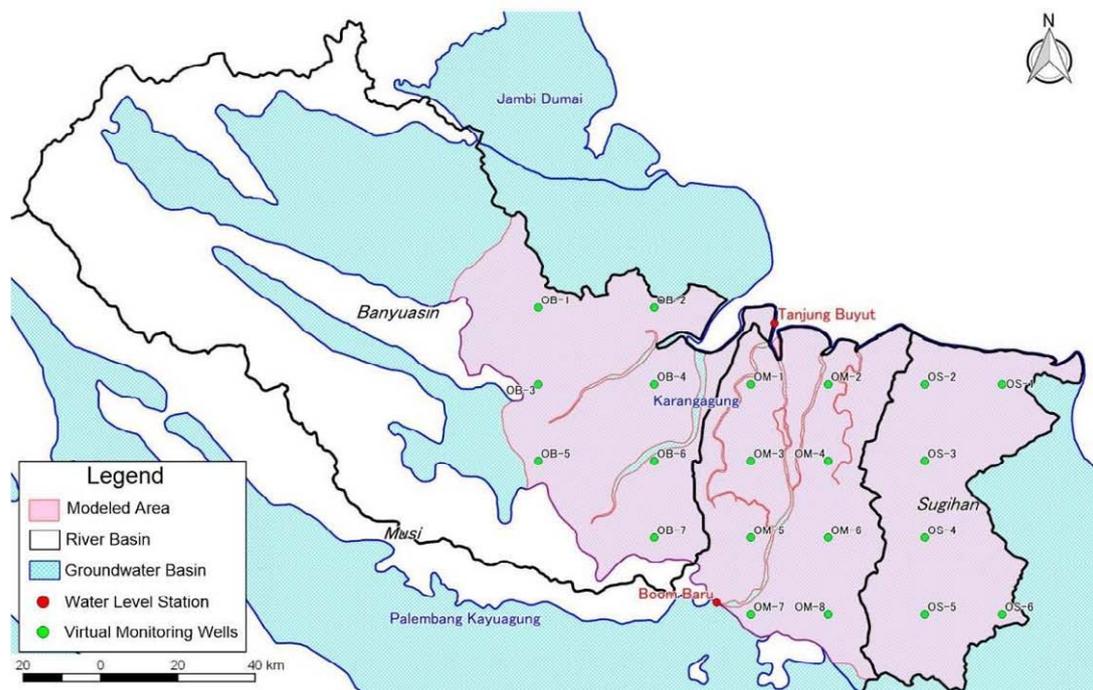
泥炭地の乾燥化が進行すると、火災が発生する危険性が高まることが知られている。ここでは、海面上昇を考慮して、気候変動下において海岸泥炭地の地下水位がどのように変化するかを予測した。本検討は、10.3.3 (2) 3) で評価した地下水涵養量（地下水ポテンシャル）に海面上昇を考慮し、地下水モデルを用いておこなった。解析領域はムシ川流域の最下流の熱帯泥炭地が広がる干潟地域である。

海岸泥炭地の地下水環境の変化を評価するにあたり使用した地下水モデルは、三次元地下水流動モデル MODFLOW である。解析条件を表 10.4.25 に示す。解析期間は広域地下水ポテンシャル解析と同じ期間である 1985 年 9 月 1 日から 2000 年 8 月 31 日までの 15 年間とした。ただし、解析に使用する潮位データには連続データを使用する必要があるが、欠測期間が多く解析期間と同じ期間を利用することができなかった。そこで、欠測がない 2000/9/1 から 2005/8/31 の 5 年間のデータを、15 年の予測期間中 3 回繰り返すことで対応することにした。また、水理地質情報、帯水層定数、および検定対象としての地下水観測データは存在しない。さらには、地下水涵養量を推定するためのチーム 1 の予測気象データは、ムシ川本流流域のみ解析・提供されている。したがって、このムシ川本流の最下流域のデータを、Banyuasin 川流域と Sugihan 川流域に適用した。なお、2050 年の海水面は現在より 0.25m 上昇すると推定されており、モデルにはこれを組み込んだ。解析領域を図 10.4.24 に示す。モデルの詳細については、サポーティングレポート C を参照されたい。

表 10.4.25 解析条件

項目	条件	注記
解析コード	MODFLOW2005	世界中でもっとも使用されているコードのひとつ
解析領域	Kurangagung 地下水盆の海岸地域	図 10.4.24 を参照
	-200m (モデル下面)	
グリッドサイズ	1 km×1km	ブランタス川流域地下水モデルと同じ
解析期間	現在	1985/9/1～2000/8/31 (15 年間)
	将来	2050/9/1～2066/8/31 (15 年間)
時間ステップ	1 ヶ月	ブランタス川流域地下水モデルと同じ
水理地質構造	広域地質図から推定	全地域が泥炭地であると想定。DEMNAS データを処理し、モデルの地表面に組み込んだ。3つの水文地質区分を想定：浅部（不圧）帯水層、遷移帯、深部（被圧）帯水層
帯水層定数	一般値	カリマンタン島の泥炭地地下水解析で使用された値と同じ値を設定
検定対象	なし	
境界条件	海洋	Tanjung Buyut 潮位データ
	感潮河川	Boom Baru 水位データ
将来予測シナリオ	GCM (高位、中位、低位)	高位: GFDL_2_1, 中位: MIUB_ECHO, 低位: GFDL_2_0
地下水涵養量	Kurangagung 地下水盆の推定値	地下水ポテンシャルを地下水涵養量に設定

出典：JICA プロジェクトチーム 2



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 10.4.24 解析領域と仮想モニタリング井戸

仮想モニタリング井戸を、解析結果の地下水位の出力を取得するために、各河川流域のモデルに設定した (図 10.4.24)。仮想モニタリング井戸における、現在と将来気候 15 年間の平均地下水深と地下水変動量を流域ごとに表 10.4.26 に示す。すべての流域において、海面上昇にもかかわらず、将来の地下水位は現在よりも低下する。

熱帯泥炭地における火災発生の危険性は、一般に地下水面が地表面から 0.4m 以下になると増加するとされている (例えば、Henk Wösten ほか、2010)。したがって、将来的には、地下水位の低下によって、海岸泥炭地地域での火災発生のリスクは高まることを意味する。海水面は現在より 0.25m 高くなると予測されているものの、海面上昇量よりも地下水涵養量の減少の影響を強く受け、海岸泥炭地の地下水位が低下すると評価される。なお、海水面が上昇することで、塩水侵入のリスクも高まる。

表 10.4.26 現在および将来のシナリオごとの 15 年間の平均地下水深と現在からの変化量

番号	河川流域	仮想モニタリング井戸	現在 (m)	将来 (m)			水位変化量 (m)		
				高位	中位	低位	高位	中位	低位
1	Musi	OM1-OM8	0.31	0.42	0.42	0.39	-0.11	-0.11	-0.08
2	Banyuasin	OB1-OB7	0.48	0.65	0.66	0.61	-0.16	-0.18	-0.13
3	Sugihan	OS1-OS6	1.39	1.63	1.64	1.58	-0.24	-0.25	-0.19
平均			0.68	0.84	0.85	0.80	-0.17	-0.17	-0.13

出典：JICA プロジェクトチーム 2

10.4.5 水文観測の強化

水資源管理には水文データが不可欠である。量と質において十分に信頼できる水文データがなければ、適切な水資源管理は不可能である。しかし、このプロジェクトを通じて、ムシ川流域の水文観測とデータ管理に重要な問題があることが判明した。すなわち、信頼できるデータが限られており、このことがチーム 1 による気候影響評価と流出解析を非常に困難にした。チーム 1 は、観測所数は少なくとも、気候変動の影響評価には長期的かつ質の高いデータが不可欠であることを最終報告書で指摘している

(1) 水文観測の現状

BBWS-S8 は、MSBL 川流域に合計 34 の水位観測所、14 の雨量観測所、11 の気象観測所を有する。しかし、2018 年時点では、表 10.4.25 に示すように、主にメンテナンスが不十分なため、これらの観測所の 3 分の 1 以上が正常に動作していない。すべての自記水位観測所と 3 つの雨量観測所、かつて GSM ベースのテレメータ観測機器が装備されていたが、ほとんどのテレメータ機器はすでに故障しており、稼働していない。

表 10.4.27 2018年時点のBBWS-S8の水文観測所の状態

観測所の種類	観測所数			備考
	正常稼働	非稼働	計	
自記水位観測所	23	11	34	全 34 観測所にはテレメータ機材が据え付けられているが、6 観測所のみが正常に稼働している他はテレメータ機材の故障により自記機能は動いておらず、マニュアル観測所として使用に限られている。
雨量観測所	8 (マニュアル)	6	14	3 観測所にはテレメータ機材が据え付けられているが、いずれもテレメータ機器の故障により、マニュアル観測所としての使用に限られている。
気象観測所	4	7	11	
計	35	24	59	

出典: JICA プロジェクトチーム 2

さらに BBWS-S8 は、8.3.2 節で述べたように、高機能かつ高価な流量測定システムである ADCP (超音波ドップラー流速分布計) を 1 台有している。ADCP は水深と流速を同時に測定できる強力な流量測定システムであるが、残念ながら実際の使用は非常に限られており、せっかくの高機能かつ高価な機器が十分使われていない状況にある。流量観測は 2017 年には数回行われたが、2018 年には流量観測は全く行われなかった。

(2) データ品質

7.3.1(2) 2)で述べたように、データ品質についても問題がある。観測の精度だけでなく、データの整理、データ入力、データベース化においても細心の注意を払うとともに、まずは品質を確保するためのシステム化が必要である。

(3) RENCANA 2017 で提案されている取り組み

上記の水文モニタリングの状況を改善するために、表 10.4.28 に示すように RECANA 2017 で努力活動が提案されている。これらの取り組みは全て非常に重要であり、提案どおり着実に実施されるべきである。ただし、これらの努力活動を持続的に実施するには、中央レベルからの技術的及び財政的支援が不可欠である。

表 10.4.28 RENCANA 2017 において提案されている水資源管理情報に係る努力活動

No	努力活動
A.	非物理的活動
1	BBWS-S8 と南スマトラ州の水資源管理部局との調整
2	TKPSDA との調整
3	民間会社との協調
4	標準水資源情報システムフォーマットのセットアップ
5	データ収集と管理
6	データ管理の能力強化
7	データ管理訓練
8	データ管理への住民参加
B.	物理的活動
1	機材の調達
2	機材の修理、維持管理、機材の交換
3	全ての主要河川への早期警報システムの据え付け
4	洪水早期警報システムの開発
5	統合 SISDA(Water resources information system)のソフトウェアの開発と更新
6	情報に容易にアクセスできる機材の用意

出典: RENCANA 2017

10.5 戦略的アセスメント (SEA)

10.5.1 適用される法律等

SEA は、環境影響および持続可能性の課題を比較検討し、開発オプションに反映するメカニズムとしてインドネシアで用いられており、以下の法令等によって実施が義務づけられている。

(1) 環境保護管理法 (UU No.32/2009)

環境管理法 (Environmental Protection and Management Act : EPMA) によって SEA は、国家または州の政策、地域の計画およびプログラムの策定を対象とすることが明示しており、SEA を実施することにより、持続可能な成果を達成することを目的としている。同法第 16 項では、政策、計画、プログラムの策定者に対し、気候変動に対する脆弱性と適応の可能性についての説明責任を求めている。

(2) 戦略的環境調査の実施手順 (政令 No. 46/2016)

戦略的環境調査の実施手順 (Procedures for Operating Strategic Environmental Study) は、SEA の必要性を示し、SEA が必要となる「政策、計画、およびプログラム」を規定している。またこの政令は、SEA の作業が環境省令 (No.9 / 2011) に規定されている手順に従うことを決定している。具体的な SEA の対象となる政策、計画、およびプログラムのうち、主要なものは以下のとおりであり、流域管理計画 POLA/RENCANA を策定する場合も SEA の実施が求められている。本プロジェクトは厳密には SEA の実施が義務付けられてはいないものの、同様の手法を用いて実施している。

- 国／州／県・市の長期開発計画 (RPJP)
- 国／州の中期開発計画 (RPJM)
- 「インドネシアの経済発展の加速と拡大のためのマスタープラン」 (MP3EI)
- 国／州／県・市の空間計画 (RTRW)

(3) SEA 実施についてのガイドライン (環境省令 No.9/2011)

このガイドラインは SEA の実施に係る実務的な事項について定めたものである。

10.5.2 施設案の候補比較

ムシ川の洪水および渇水対策施設について、必要性、効率、技術的な優位性、環境への影響等の観点から比較を行った。表 10.5.1 に適応策 (案) の比較表を示す。これらの施設の比較検討の結果として、予測されている 2050 年の気候条件およびムシ川流域への適合性が高いと考えられる施設案を表 10.5.2 に示す。

表 10.5.1 適応策の比較

項目	施設案	目的	評価
水資源の保全	1. ダム建設	乾季のための河川水貯留	貯水機能増加というプラスの影響が予想されるものの、貯水可能量や位置等の有効性と環境への影響について提案されているダムごと詳細に調査する必要性がある。
	2. Ranau 湖の取水	灌漑可能な水量を増加	この計画が実行された場合、年間 1 億 m ³ を超える追加の水が利用可能となるが、有効性と環境および社会的影響のさらなる調査を検証する必要性がある。
水資源の利用	3. 灌漑水路の修復	灌漑用水の漏水低減	既存の用水路改修は、水の損失を減らすために効果的であると考えられており、重大な環境影響の発生は考えにくい。したがって、経済的に実行可能であれば、適切な適応策と考えられる。
	4. 上水配水管の修復	配水管からの漏水の低減	上水の送配水管の交換は、水の損失を減らすのに効果的であり、重大な環境影響の発生は考えにくい。したがって、経済的に実行可能であれば効果が期待できる。
	5. 海水淡水化施設	海水を上水に転換	淡水化プラントは、Banyuasin 県における先例事例があり、経済的に持続可能ではないことがすでに証明されている。高い価格の飲料水を購入希望者がいない限り、適応策としては推奨されない。
	6. 浄水場	下水のリサイクル	ムシ川の水質が良好ではないため、水処理施設によって受給者への水供給量を増やすことが可能となる。経済および財務分析の結果が良好であれば、適応施策として有効と考えられる。
	7. 防潮堰	塩水侵入をムシ河口で遮断	ムシ河口域では川と運河が相互に連結していることから、塩水遡上を防ぐことは物理的に不可能である。またこの地域は Palembang への航路として不可欠であり、閘門を設置しなければ河川横断構造物は航行の阻害となる。
洪水被害対策	8. ダム建設	ダム目的に洪水調節を追加	洪水軽減の有効性は、流域のなかにおけるダムサイトの位置と洪水調節用貯水量に依存するため、個別の検討が必要となっている。
	9. 堤防/輪中堤	洪水から住宅地を防御	堤防や輪中堤の建設は、堤内地でより長い期間浸水を生じさせる可能性があり、ムシ川流域の都市域の特性から実用的ではないと考えられている。
	10. 遊水池	中流域における洪水の貯留機能を確保	遊水池は広い面積が必要であり、土地の取得と大規模な住民移転が必要となる可能性が高い。
	11. 侵食対策 (砂防ダム、河川整備、床止工等)	流下断面確保のため土砂の流出を低減	現在、南スマトラ州の大部分の傾斜地は侵食が進み、堆積によって河川は危機的な状態にあるが、流域の土壌流出の原因のひとつは森林からプランテーションへの転換によって引き起こされていると考えられている。傾斜地における土地利用規制は、土壌流出防止のための構造物よりも技術的および経済的にはるかに効果的である。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 10.5.2 適応策として選択された主な施設

分野	施設案
水資源の利用	1. ダムの建設 2. Ranau 湖からの取水 3. 灌漑水路の補修 4. 水道管の補修 5. 浄水場の建設
洪水被害対策	—

出典: JICA プロジェクトチーム 2

10.5.3 スコーピング

検討されたそれぞれの対策案の環境的および社会的影響を総合的に検討した検討結果を表 10.5.3 のスコーピング一覧に示す。

通常の AMDAL (EIA) プロセスでは、プロジェクトの概要は SEA 段階よりも明確であることが多いが、本プロジェクトでは対応策の正確な場所、施設のタイプ、規模などのプロジェクトの概要はまだ決定されていない。現在のところ施設の性質、おおよその機能・場所の候補のみが挙げられている状況にあるため、スコーピングは以下の条件下で検討したものである。

- 新しいダムサイトを選定するために、可能性のある全てのダムを対象とした。そのうち、BBWS-S8 によって Tiga Dihaji ダムと Saka Gilas ダムの二基の実施が決定している。他のダムはまだ構想段階であり具体的な情報は、そのおおよその場所を除いて不明である。
- 灌漑用水路、配水管、水処理施設の修復についても、規模と場所に関する具体的な情報はまだないことから、一般的なことを記述する。

環境的および社会的影響は、以下のとおり A、～D の評価基準を基に評価を行った。

- A (+/-) : 現時点で重要なプラス／マイナスの影響が見込まれる
- B (+/-) : 現時点で A ほど重要ではないプラス／マイナスの影響が見込まれる
- C : 影響の程度は不明（さらに調査が必要で、調査の進捗により影響の度合いを判明できる。）
- D : ほとんど無視できる軽微な影響もしくは影響は見込まれない

表 10.5.3 スコーピング結果

	自然環境		社会環境		備考
	保護地区	生態系	用地取得と住民移転	生計・生活	
水資源の保全					
1. ダム建設					
(1) Tiga Dihaji ダム	A-	A-	A-	A-	▶ 移転事業は既に完了 (751 世帯) ▶ 地域住民の賛同を得ている ▶ 保護森林地域に一部かかる
(2) Komiring-1 ダム	A-	A-	A-	A-	▶ 保護区域の緩衝地区内 ▶ 保護森林地域内 ▶ 600 世帯以上が要移転 ▶ 環境的に重要な場所のため、このプロジェクトは中止が決定
(3) Saka-Gilas ダム	B-	B-	B-	A-	▶ EIA 完了 ▶ 生活用の重要な連絡橋が水没
(4) Maura Lingtang ダム	B-	B-	A-	A-	▶ 渇水の予想区域外 ▶ 15,000 以上の世帯に影響 ▶ 渇水の予想区域外のため検討中止
(5) Laham (Tanjung Pura) ダム	B-	B-	A-	A-	▶ 渇水の予想区域外 ▶ 50 世帯以上に影響 ▶ 渇水の予想区域外のため検討中止

	自然環境		社会環境		備考
	保護地区	生態系	用地取得と 住民移転	生計・生活	
(6) Enim (Padang Bindu) ダム	B-	A-	A-	B-	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 保護地区の緩衝帯内 ➢ 既存の農地を用地取得する必要あり
(7) Tanjung Agung ダム	A-	A-	B-	B-	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 保護森林地域内 ➢ 保護区域内
(8) Sula ダム	A-	A-	B-	B-	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 渇水の予想区域外 ➢ ユネスコ世界遺産地域 ➢ 保護ゾーン内 ➢ 渇水の予想区域外のため検討中止
(9) Buluh (Lematang) ダム	B-	B-	B-	B-	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 渇水の予想区域外 ➢ 渇水の予想区域外のため検討中止
(10) Panjung ダム	A-	A-	A-	B-	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 保護区域内 ➢ 保護森林地域内
2. Ranau 湖の水利 用	B-	A-	B-	A-	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 水位低下の影響施設：栈橋、養殖魚籠、観光資源としての美観、PDAM 取水機能、浅水域の水生生物

水資源の利用					
3. 灌漑水路の補修	D	D	D	B-/B+	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 修復は従前の施設と同じ個所で行われるため、重大な環境的および社会的影響は予想されない。ただし、修復工事期間に灌漑用水の一時的な中断が発生。
4. 水道送配水管の補修	D	D	D	B-/B+	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 一時的な配水の中断による影響以外に交換による重大な環境的および社会的影響は予想されない。
5. 浄水場	D	D	B-	B-/B+	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 小規模の土地取得以外の重大な環境的および社会的影響は予想されない。

出典：JICA プロジェクトチーム 2

10.5.4 ステークホルダー会議

本件プロジェクトを実施するにあたり、ムシ流域内外の様々な利害関係者を交えて全三回のステークホルダーミーティング (SHM) を開催した。表 10.5.4 に示したアジェンダについて説明後、討議が行われた (各 SHM の詳細については、サポーティングレポート J に掲載)。

表 10.5.4 ステークホルダー会議の内容

	日時と場所	参加者数	討議内容
第一回 SHM	2018年11月1日 10:20-11:20 101 Rajawali ホテル、 Palembang	82名	<ul style="list-style-type: none"> ● 本プロジェクト実施に係る戦略アセスメント ● 本プロジェクトの概要
第二回 SHM	2019年2月19日 13:00-17:00 BBWS-S8 会議室、 Palembang	12名	<ul style="list-style-type: none"> ● ムシ川流域における気候変動の影響予測 ● 考えられる気候変動対策案とその効果 ● 気候変動対策案の環境影響予測
第三回 SHM	2019年4月25日 19:20-20:40 Horison Ultima ホテル会 議場、Palembang	60名	<ul style="list-style-type: none"> ● ムシ川流域における気候変動の影響予測につい ての追加調査結果 ● 気候変動の適応策としての対策案とその効果 ● 適応策を実施した際の環境影響

出典: JICA プロジェクトチーム 2

10.6 2050年までの優先対策の提案と気候変動インパクトに対する適応と緩和のためのPOLA 及びRENCANAへの統合の提案

10.6.1 優先対策の提案

これまでの議論において提案された対策案について、2020年～2030年、2031年～2040年、及び2041年～2050年の3つの期間に実施すべき優先アクションとしてPOLA及びRENCANAとほぼ同様な形式で対策と行動を表10.6.1に纏めた。ムシ川流域は大きなポテンシャルを有するが、開発は遅れている。したがって、提案した行動は気候変動の適応策であるばかりでなく、特に水資源開発・水供給さらに洪水対策における流域を総合的に開発する対策と言える。これらの提案とPOLA/RENCANAとの比較を表10.6.2に示す。

表 10.6.1 提案される2050年までの対策と行動

大分野	小分野	対策	目的	対象地域	提案される行動			実施及び関係機関
					2020-2030	2031-2040	2041-2050	
1. 水資源保全	1.1 水資源の 防御と保全	土地利用方針 の修正: プラン テーションの 契約承認を制 限することによ り、水源地域 の傾斜地にお ける森林開発 を抑制する	1.水資源地域 の森林の保 全 2.斜面エリア の開発を制 限 3.浸食に強い 植林パター ンの確立	ムシ川流域 の傾斜地	情報の共有 1.ムシ川の土 砂堆積と洪 水発生位置 比較から関 連性を明示 2.関係機関と の乾季の湧 水および地 下水の減少 状況	州空間計画 の変更、およ び斜面エリ アで水源涵 養に適した プランテー ション技術 手法を確立 する	空間計画の 実施	Dishut (州森 林局), DLHP (環境局), BPDASHL (森林省), BAPPEDA (地方開発計 画庁), 農地 空間計画省 (ATR/BPN), BBWS-S8
		帯水層への水 の涵養	地下水資源 量の増加	中央平野	FS, EIA	維持管理	維持管理	BBWS-S8、 自治体政府、 ESDM
	1.2 水保全	管路更新	無収水低減	全県/市	漏水調査と 管路更新	漏水調査と 管路更新	漏水調査と 管路更新	PDAM
		水需要管理・抑 制対策 (非構 造物対策)	水需要管 理・抑制対策	全県/市	アクションプ ラン策定と実 施	アクションプ ラン策定と実 施	アクションプ ラン策定と実 施	PDAM, BBWS-S8, 他関係機関
		地表水の使用 を優先するこ とによる地下 水利用の制御	地表水と地 下水の統合 的水利用	地下水盆に 関連するすべ ての自治体	1) 土地利 用に関する広 域規制の 準備 2) 地下水利 用規制に関 する PERDA の社会化	施行	施行	ESDM、 南スマトラ 州鉱業エネ ルギー庁
		地下水位の 管理	温室効果ガ スの排出	海岸泥炭地	法的対策	施行	施行	TRGD

大分野	小分野	対策	目的	対象地域	提案される行動			実施及び関係機関
					2020-2030	2031-2040	2041-2050	
			削減					
	1.3 水質の管理と水質汚濁の制御	Palembang 市での下水収集施設と処理施設	衛生条件と水域の水質改善	Palembang 市中心部	建設と運転維持管理	運転維持管理	運転維持管理	Cipta Karya Palembang 市, Balai PPW
		他の3つの市での下水収集施設と処理施設	衛生条件と水域の水質改善	Lubuk Linggau, Pagar Alam 3市と Prabumulih の市中心部	FS, EIA, DD 及び建設	建設と運転維持管理	運転維持管理	各市の Cipta Karya
		主要な県での下水収集施設と処理施設	衛生条件と水域の水質改善	主要な県の都市部	F/S, EIA	D/D と建設	運転維持管理	各県の Cipta Karya
	1.4 日常的活動							
2. 水資源利用	2.1 水資源の管理							
	2.2 水資源の提供							
	2.3 水資源の活用	Komering 灌漑事業ステージ III	灌漑地区拡張 (13,491 ha)	Komering 川流域	詳細設計・施工・維持管理	維持管理	維持管理	BBWS-S8
		Komering 灌漑事業 / Tulang Bawang	ランブン州 (10,000 ha) 向け灌漑用水分水	Tulang Bawang 川流域 (ランブン)	-	-	詳細設計・施工	BBWS-S8
		Lematang 灌漑事業	州管理既存灌漑地区 (2,000 ha) の統合	Lematang 川流域	詳細設計・施工・維持管理	維持管理	維持管理	BBWS-S8
		Air Gegas 灌漑事業	県管理既存灌漑地区 (2,000 ha) の統合		詳細設計・施工・維持管理	維持管理	維持管理	BBWS-S8
		Air Rawas 灌漑事業	天水田 (10,000 ha) に灌漑システム新設	Rawas 川流域	詳細設計・施工・維持管理	詳細設計・施工・維持管理	維持管理	BBWS-S8
		Kembahang 灌漑事業	天水田 (3,000 ha) に灌漑システム新設	Ogan 川流域	-	詳細設計・施工	維持管理	BBWS-S8
		Muara Beliti 灌漑事業	天水田 (3,000 ha) に灌漑システム新設	Rawas 川流域	-	詳細設計・施工・維持管理	維持管理	BBWS-S8
		Merapi 灌漑事業	州管理既存灌漑地区 (1,479 ha) と県管理既存灌漑地区 (3,521 ha) の統合	Lematang 川流域	-	詳細設計・施工	維持管理	BBWS-S8
		Dongku Kiri / Kanan 灌漑事業	州管理既存灌漑地区 (3,000 ha) と県管理既存灌漑地区 (7,000 ha) の統合	Lematang 川流域	-	-	詳細設計・施工・維持管理	BBWS-S8
		灌漑効率改善事業	州管理既存灌漑地区 (35,062 ha) 及び県管理既存灌漑地区 (54,178 ha) に三次水路システム敷設	南スマトラ州	-	詳細設計・施工 (30,000 ha)	詳細設計・施工 (59,240 ha)	BBWS-S8
		感潮湿地灌漑地域での水路やゲートの改良	1. 農業における効率的な水利用 2. 農民の生活を改善す	感潮湿地灌漑地域	1. 感潮湿地灌漑に関する関係機関との情報の共有	水路やゲートの建設・改良	水路やゲートの建設・改良	農業省、Lowland-Wetland-Coastal Area Data Info. Center,

大分野	小分野	対策	目的	対象地域	提案される行動			実施及び関係機関
					2020-2030	2031-2040	2041-2050	
2.4 水源開発			ることで森林伐採の減少		2. 行動計画の作成 3. 水路やゲートの建設・改良			BBWS-S8、農民組織、Banyuasin 県
		Tiga Dihaji ダムの建設	利用できる水量の増加	Komering 川流域	建設、運用維持管理	運用維持管理	運用維持管理	BBWS-S8
		RRF の運用の変更	利用できる水量の増加	Komering 川流域	FS, EIA, 実施	運用維持管理	運用維持管理	BBWS-S8
		Saka ダムの建設	利用できる水量の増加	Komering 川流域	DD, 建設	運用維持管理	運用維持管理	BBWS-S8
		Padang Bindu ダムの建設	利用できる水量の増加	Lematang 川流域	FS, DD, 建設	建設、運用維持管理	運用維持管理	BBWS-S8
		Tanjung Agung ダムの建設	利用できる水量の増加	Lematang 川流域	FS	DD, 建設	建設、運用維持管理	BBWS-S8
		Panjung ダムの建設	利用できる水量の増加	Lematang 川流域	-	FS, DD	建設	BBWS-S8
		水資源開発のMP作成	水資源開発M/Pの作成	ムシ川全流域	MP	-	-	BBWS-S8
		MPで提案されたダムの建設	利用できる水量の増加	ムシ川全流域	FS, DD	FS, DD, 建設、運用維持管理	FS, DD, 建設、運用維持管理	BBWS-S8
		ため池 (Embung) の建設	利用できる表流水の増加	ムシ川全流域	FS, DD, 建設、運用維持管理	FS, DD, 建設、運用維持管理	FS, DD, 建設、運用維持管理	BBWS-S8
2.5 水源開拓								
3. 治水	3.1 防御	河岸侵食防止工	河岸の侵食防止工	全ての河川	インベントリ調査、DD、建設、運用維持管理	DD、建設、運用維持管理、モニタリング	DD、建設、運用維持管理、モニタリング	BBWS-S8
		砂防対策工	土砂災害の防止	山間地域	MP, FS, DD, 建設、運用維持管理	FS, DD, 建設、運用維持管理	FS, DD, 建設、運用維持管理	BBWS-S8
		道路高上げ	洪水時の交通の確保	洪水氾濫地域	インベントリ調査、DD、建設、運用維持管理	建設、運用維持管理	建設、運用維持管理	Bina Marga
		内水対策	都市域の内水氾濫の防止	都市域	MP, FS, DD, 建設、運用維持管理	MP, FS, DD, 建設、運用維持管理	MP, FS, DD, 建設、運用維持管理	BBWS-S8, Cipta Karya, Bina Marga, 県/市
		河川浚渫	河積の確保	全ての河道	インベントリ調査、DD、建設、運用維持管理	インベントリ調査、DD、建設、運用維持管理、モニタリング	インベントリ調査、DD、建設、運用維持管理、モニタリング	BBWS-S8
	3.2 対策	県/市毎の詳細な洪水ハザードマップの作成	洪水氾濫区域の特定	全ての県/市	航空測量・地図作成、洪水マップ作製	ハザードマップの更新	ハザードマップの更新	県/市、BBWS-S8 BPBD
		氾濫原管理の条例の施行	洪水氾濫原の適切な管理	パレンバンを除く県/市	条例の制定	広報活動の実施	実施	県/市、BBWS-S8 BPBD
		早期警報システムの設置	洪水警報の伝達	洪水地域	MP, FS, DD, 据え付け	運用維持管理、訓練	システムの更新、運用維持管理、訓練	県/市、BBWS-S8 BPBD
		緊急対応能力の強化	洪水被害の削減と早期復旧	洪水地域	対応計画の作成、訓練、実施	対応計画の更新、訓練、実施	対応計画の更新、訓練、実施	BBWS-S8
	3.3 修復							
4. 水資源情報	4.1 水資源情報	塩水モニタリングシステムの導入	ムシ川下流における淡水の減少に対応するための塩分濃度情報の把握と周知	ムシ川河口および塩水遡上区間	施設の設置と運用	施設の運用	施設の運用	Palembang 市水道局、Banyuasin 県水道局、州環境局

大分野	小分野	対策	目的	対象地域	提案される行動			実施及び関係機関
					2020-2030	2031-2040	2041-2050	
		水文観測システムのリハビリ	水文観測の改善	全流域	MP、FS、DD及び実施	運用維持管理	運用維持管理、更新	BBWS
	4.2 情報システムの強化							
5. 能力強化及びモニタリング	5.1 水資源管理へのコミュニティの巻き込み	感潮湿地灌漑地区の農民の能力強化	農民の感潮灌漑の水管理能力強化	感潮湿地灌漑地区	マニュアルの作成、訓練	訓練	訓練	BBWS-S8, NGO, 専門家
		農地レベルでの渇水対策の能力開発	農民を対象とした渇水対策の能力開発	表流水灌漑地域	マニュアルの作成、訓練	マニュアルの作成、訓練	訓練	BBWS-S8, NGO, 専門家

出典： JICA プロジェクトチーム 2

表 10.6.2 提案対策と POLA/RENCANA との比較

項目	POLA (2014) / RENCANA (2017)	本プロジェクトでの提案対策	備考
目標年	POLA: 2033 年 RENCANA: 2036 年	2050 年	
対象地域	MSBL 流域 (86,100km ²)	ムシ川流域、スギハン川流域、バニユアシン川流域 (76,000 km ²)	7.4.2 節を参照
対象分野	5つの分野、すなわち統合水資源の保全、水資源利用、治水、水資源情報システム、能力強化及びモニタリングを対象としている。	POLA/RENCANA の 5 分野をカバーしているが、水資源利用と治水により重点を置いている。	
気候変動インパクトの考慮	POLA には、「2つの気候変動シナリオ（重大な気候変動インパクト有り、無し）を考慮する」とあるが、どのように気候変動インパクトを実施政策に反映させているのか何ら記述がない。	3つの気候変動シナリオ（高位、中位、低位）を設定し、気候変動の洪水や渇水へのインパクトについて定量的な解析を行っている。	
提案活動/行動	上記5つの分野を網羅する数百の活動が、RENCANA に提案されている。	洪水や渇水に対する気候変動インパクトへの適応のためだけでなく、水資源開発、水供給、治水のための重要な行動が提案されている。	RENCANA と表 10.6.1 には共通する活動/行動が数多くある。

出典： JICA プロジェクトチーム 2

10.6.2 水資源開発と水供給事業の予備的費用積算

表 10.4.5 に示した 2050 年における 4 河川流域の灌漑と水道の水供給を目的とした水資源開発と灌漑及び水道施設整備のプロジェクト費用は、表 10.6.3 に示されているように総額約 90 兆 IDR と推定される（見積もりの詳細についてはサポーティングレポート K を参照）。

表 10.6.3 水資源開発と水供給事業の概算費用の纏め

河川流域	分類	対策	事業費 (十億 IDR)	備考
Komerling	ダム貯水池の建設	Tiga Dihaji ダムの建設	6,271	発電を含む
		RRF の運転の変更	0	
		Saka ダムの建設	3,045	発電を含む
		小計	9,316	
	水道整備	浄水場の建設	2,369	
		パイプ網の整備	977	
		無収水の削減 (漏水対策)	76	
		小計	3,421	
	灌漑施設整備	一次水路の整備	642	
		二次水路の整備	3,088	
		三次水路の整備	6,461	
		排水路及び圃場整備	2,096	
		小計	12,286	
	計	25,024		
Lematang	ダム貯水池の建設	Padang Bindu ダムの建設	7,219	
		Tanjung Agung ダムの建設	13,630	
		Panjung Dam ダムの建設	28,690	
		小計	49,539	
	水道整備	浄水場の建設	2,004	
		パイプ網の整備	1,699	
		無収水の削減 (漏水対策)	61	
		小計	3,764	
	灌漑施設整備	一次水路の整備	464	
		二次水路の整備	1,314	
		三次水路の整備	3,629	
		排水路及び圃場整備	1,177	
		小計	6,585	
	計	59,888		
Kelingi	水道整備	浄水場の建設	678	
		パイプ網の整備	569	
		無収水の削減 (漏水対策)	73	
		小計	1,320	
	灌漑施設整備	一次水路の整備	-	
		二次水路の整備	-	
		三次水路の整備	831	
		排水路及び圃場整備	270	
	小計	1,101		
	Sub-total	2,420		
Lakitan	水道整備	浄水場の建設	395	
		パイプ網の整備	374	
		無収水の削減 (漏水対策)	47	
		小計	816	
	灌漑施設整備	一次水路の整備	82	
		二次水路の整備	395	
		三次水路の整備	1,012	
		排水路及び圃場整備	265	
	小計	1,753		
	計	2,570		
合計		ダム貯水池の建設	58,856	
		水道整備	9,321	
		灌漑施設整備	21,725	
		総計	89,902	

出典: JICA プロジェクトチーム 2

10.6.3 実施スケジュール

上記の水資源開発と水供給事業を、以下の点を考慮し、表 10.6.4 に示すように 2020 年から 2050 年にかけて実施することを提案する。

- 2050 年までにすべての事業は完成すると想定する。
- このスケジュールは、3 つのシナリオに共通である。
- ダム貯水池の実施順序は、費用効率に基づいて決定される。Lematang 川流域のダム貯水池は総じて効率が悪いので、Komering 川のダム貯水池を先に実施する。
- 水収支解析で、今回採用した Lematang 川流域の 3 つのダム貯水池はあまり効果的ではなく、将来のより詳細な調査でサイトやダムの諸元を再検討されるべきである。ただし、その時まで 3 つのダム貯水池計画は暫定的に保持される。
- 水収支分析の結果によれば、表 10.6.3 に示す全ての対策が実施されたとしても、特に灌漑のための水不足を回避することはできない。そのため、気候変動の影響に包括的に対処するために、表 10.4.4 で提案されている他の対策を追加で実施する必要がある。

表 10.6.4 実施スケジュール案

流域	事業	年																																		
		20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50				
コメリン川	Tiga Dihajiダムの建設	■	■	■	■	■																														
	RRFの運用の変更			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Sakaダムの建設						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	水道施設整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	灌漑施設整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
レマタン川	Padang Binduダムの建設												■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
	Tanjung Agungダムの建設																																			
	Panjungダムの建設																																			
	水道施設整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	灌漑施設整備																																			
ケリング川	水道施設整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	灌漑施設整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ラキタン川	水道施設整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	灌漑施設整備	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

出典: JICAプロジェクトチーム 2

10.6.4 組織・制度

(1) 関係機関

前出の表 10.6.1 に示されるとおり、提案されたムシ川流域における気候変動適応策に対して、様々な実施機関ならびに関係機関が存在する。その中でも特に重要な役割を果たす関係機関および調整機関を以下に列挙する：

スマトラ VIII 流域管理事務所 (BBWS-S8⁵) :

BBWS-S8 は MPW (公共事業省) 令 No.13/PRT/M/2006 に従って設立された事務所であり、公共事業・国民住宅省 水資源総局下でその責任を負っている。BBWS-S8 は MSBL 川流域 (ムシ川、スギハン川、バニユアシン川、Lemau 川) の水資源管理を実行する責任を負っている。

水資源管理調整チーム (TKPSDA⁶) :

TKPSDA は MSBL 川流域の水資源管理のための調整機関として 2013 年に設立された。メンバーは合計 88 人である。TKPSDA の任務には水資源管理に関する POLA (戦略計画) および RENCANA (実施計画) の策定が含まれている。

ムシ流域保護林管理組織 (BPDASHL⁷) :

ムシ BPDASHL は流域および保護林の管理のための技術的实施ユニットであり、環境林業省 流域・保護林管理総局下でその責任を負っている。ムシ BPDASHL は約 86,000 km² の流域を管理している。

南スマトラ州 開発企画庁 (BAPPEDA⁸) :

BAPPEDA は地域開発の研究および計画分野における地域別の技術機関であり、州知事下で地域秘書官を通してその責任を負っている。

南スマトラ州 地方防災局 (BPBD⁹) :

BPBD は非省庁型の政府機関であり、国家防災庁 (BNPB¹⁰) が決定する政策に基づいて管轄州内の災害管理の任務を実行する。

南スマトラ州 公共事業・道路・空間計画局 (PUBM-TR¹¹) :

PUBM-TR は公共事業、道路、空間計画の分野における州政府の実施ユニットである。その主な機能は、開発および管理に係る技術政策の策定、県/市のインフラサービスに対する技術的な監督・統制・指導である。

南スマトラ州 環境土地局 (DLHP¹²) :

DLHP は南スマトラ州の環境管理事務所として所在する機関である。大まかに言えば、実行される戦略的機能は、環境保護および管理に関する法律 No.32/2009 の指令に従って持続可能な開発を促進することである。

⁵ BBWS-S8 (Balai Besar Wilayah Sungai Sumatra VIII)

⁶ TKPSDA (Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air)

⁷ BPDASHL (Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung)

⁸ BAPPEDA (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah)

⁹ BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah)

¹⁰ BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana)

¹¹ Dinas PUBM-TR (Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Tata Ruang)

¹² DLHP (Dinas Lingkungan Hidup dan Pertanahan)

南スマトラ州 林業局 (Dishut¹³) :

Dishut は林業分野における州政府の実施ユニットである。その主な機能は、林業セクターのマネジメント政策の策定、森林管理の調整、および森林管理の監督と評価である。

南スマトラ州 泥炭地回復チーム (TRGD¹⁴) :

大統領規則 No.1/2016 に基づき、全国レベルの組織として泥炭地回復庁 (BRG¹⁵) が 2016 年に設立された。これに続き、南スマトラ州の TRGD が 2017 年に設立された。TRGD は非省庁型の政府機関であり、州知事の下で責任を負っている。TRGD は州政府内の各局の調整機関と位置付けられる。

ムシ川流域内の各市/県政府の種々の部局 :

ムシ川流域内には 17 の市/県があり、Palembang 市、Banyuasin 県、Ogan Komering Ilir 県、Muara Enim 県等が含まれる。各市/県には、上述したような南スマトラ州政府と同様な部局がそれぞれある。

ティルタムシ水道公社 (PDAM¹⁶) :

PDAM は地域経営のビジネスユニットであり、公共に浄水を供給している。ティルタムシ PDAM は、Palembang 市およびその周辺の 401 km² のエリアと 160 万人の人口をカバーしている。ムシ川沿いに 3 基の取水口があり、同エリア内に 6 基の浄水施設がある。

(2) 組織・制度の懸案事項に関するインタビュー調査の概要

提案された気候変動適応策の多くは複数の機関によって実施されることになっており、様々なセクターが関与する。提案された対策を実施するにあたっての課題や懸案事項を明確にすることを目的として、2019 年 8 月にインタビュー調査を実施した。

インタビューは、に要約されているように、組織機能、制度的制約、人材、資金の 4 つの側面で構成されるアンケートに基づいて実施された。機関によっては適さない質問もあるため、機関に応じて適切に質問を選択した。また、情報そのものを収集することよりも、インタビュー中の議論を通じて問題を特定することに重点を置いた。

¹³ Dishut (Dinas Kehutanan)

¹⁴ TRGD (Tim Restorasi Gambut Daerah)

¹⁵ BRG (Badan Restorasi Gambut)

¹⁶ PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum)

表 10.6.5 組織・制度の懸案事項に関する質問のまとめ

分類	質問項目
組織機能	Q 1-1) 各適応策の実施機関ならびに関係機関 Q 1-2) 機関間の役割と責任の分担 Q 1-3) 機能の重複等による運用上の非効率 Q 1-4) 調整上の課題
制度的制約	Q 2-1) セクター間で整合していない法律や規則 Q 2-2) 不法行為の監視制度 Q 2-3) 不法行為に対する法執行 Q 2-4) 既存の規則の改善
人材	Q 3-1) 人材の不足 Q 3-2) 強化すべき能力
資金	Q 4-1) 資金調達制度上の課題 Q 4-2) 資金管理の実行 Q 4-3) 地方政府の財政能力

出典：JICA プロジェクトチーム 2

インタビューは、表 10.6.6 に列挙されている機関を個別に訪問して実施した。インタビュー調査の対象機関は、提案された適応策におけるその機関の役割の重要性を考慮して、BBWS-S8 と協議して選定した。

表 10.6.6 ムシ川流域におけるインタビュー実施機関

番号	日程	機関名（主な対応者の所属部署）
1	2019年8月12日	BBWS-S8（総合プログラム・計画部）
2	2019年8月12日	BBWS-S8（総合計画課）
3	2019年8月13日	南スマトラ州 BPBD（リハビリ・復興部）
4	2019年8月13日	BBWS-S8（運用維持管理部）
5	2019年8月14日	Palembang 市 公共事業・空間計画局（水資源・灌漑・廃棄物部）
6	2019年8月14日	南スマトラ州 TRGD
7	2019年8月15日	ティルトムシ PDAM
8	2019年8月16日	Ogan Komering Ilir 県 公共事業局（計画部）
9	2019年8月16日	南スマトラ州 BAPPEDA（インフラ・地域開発部）

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(3) 組織・制度の懸案事項に関するインタビュー調査の結果

インタビュー調査による主な確認事項を以下に整理する。記述内容の出典は、各記述の終わりに上記のインタビュー番号をカッコ書きで参照して表示している。

- 1) 組織機能（質問 Q1-1～Q1-3）
 - a) 複数の機関が同様な機能を持っていたとしても責任が異なる。そのため、問題が生じるような機能の重複はない。[No.1,5]
 - b) ハザードマップ作成の役割分担が機関間で明確に認識されていない。[No.3,4,5,8]
 - c) 将来的に洪水早期警報システムを構築して運用することを前向きに考えている機関が複数存在する。[No.3,4,5]
 - d) 塩水モニタリングを主導する機関はインタビューでは明確に確認できなかったが、BBWS-S8 は南スマトラ州環境土地局（DLHP）が適任であると提案した。[No.4,7]

- e) 機関間の役割分担は、これまで、施策が実施される度に関係機関で協議して決定してきた。Palembang 市では現在、河川事業を実施する際の役割に関するレターを BBWS-S8 宛てに発行するための手続き中である。[No.5]
 - f) 下水処理プロジェクトの実施においては、実施機関（州政府または市政府）はその時点で利用可能な予算の状況に応じて柔軟に決定されてきた。公衆衛生に関する国家スローガンの達成に向けて、各レベルの機関が協力的に実施している。[No.5]
 - g) TRGD は調整機関であるため、プロジェクトを実施しない。地下水制御の施策は BRG が実施することになる。[No.6,8]
 - h) 州政府内の業務分掌に変更があり、土地利用計画の責任は BAPPEDA から州の公共事業・道路・空間計画局へ変更された。[No.9]
- 2) 機関間の調整（質問 Q1-4）
- a) 調整不足が生じるのは、組織上の欠陥というよりもむしろ、個人の能力不足や不注意によるケースもある。[No.1]
 - b) BBWS-S8 の灌漑地区と州の灌漑地区が同じ水源から水を利用する際に、水不足により対立が発生するケースがあった。[No.4]
 - c) 漁業者と農業者の間で対立が発生したケースもあった。このときは、水利用組合が十分に機能していなかった。[No.4]
 - d) 保護林エリア内で構造物対策を実施する際は、流域管理を担う BPDASHL との密な連携が重要となる。[No.4]
 - e) 流域レベルの組織として TKPSDA およびムシ Forum DAS という 2 つの調整機関が存在するが、これら 2 つが十分に調整できていない時がある。[No.9]
- 3) 不法行為に対する法執行（質問 Q2-2～Q2-3）
- a) BBWS-S8 や地方政府の公共事業局などの水資源管理の責任機関は法執行の職務を行う権限がなく、モニタリングおよび報告を行うのみである。[No.1,4,5,8]
 - b) 公務員調査官（PPNS¹⁷）制度があり、調査官として任命された BBWS 職員は犯罪捜査を行う権限がある。[No.1]
 - c) Palembang 市政府は河川敷地内での投棄や建築を監視するための“河川ケアコミュニティ”や“洪水ケアコミュニティ”などの組織を立ち上げた。[No.5]
- 4) 追加または改善すべき規則（質問 Q2-4）
- a) 2014 年に水資源法が無効になった後に様々な省令が制定されているが、まだ十分ではない。なお、新しい法律はまだ手続き中である。[No.4]
 - b) 新しい規則によって、市政府の管轄地区内でも、市政府に十分な予算がないときには、BBWS-S8 や州政府が排水プロジェクトを実施できるようになった。[No.5]

¹⁷ PPNS (Penyidik Pegawai Negeri Sipil)

- c) 市民が河川を綺麗に保つことを奨励する条例を市レベルで制定する以前に、国レベルまたは省レベルの規則を制定する必要がある。[No.5]
- d) 灌漑参加制度に係る新しい規則が現在手続き中であるが、これにより法的枠組みの下で公衆の参加を増進することができる。[No.9]
- 5) 地図に関する問題（質問票には含まれていない）
 - a) 技術的観点から、地図の共有に問題がある。州内の各局がそれぞれ個別に地図を作成するため、整合しない部分が出てくる。[No.9]
 - b) 県の境界線が明確に認識されていない箇所がある。この問題により、重複した2つの県が異なる政策を持つ場合に土地利用計画の変更が困難となる。[No.9]
 - c) 灌漑プロジェクトを実施する際の責任分担は省令で明確に決まっているが、地図の不整合によって灌漑面積が正確に算定されず、その結果、機能が重複する事態が生じている。[No.9]
- 6) 人材（質問 Q3-1～Q3-2）
 - a) BBWS-S8 では人数的には十分な人材がいるが、個々の能力不足により全体として不足感がある。[No.1]
 - b) BBWS-S8 ではすべての部で職員が不足している。特に、運用維持管理部は外部調達ができないため、もっと多くの職員が必要である。[No.4]
 - c) Palembang 市政府は質量ともに十分な人材を有している。[No.5]
 - d) Ogan Komering Ilir 県政府ならびに州 BAPPEDA はより多くの職員を必要としている。[No.8,9]
 - e) TRGD は様々な背景を持った職員が集まって設立されたため、体系的な能力強化が必要である。[No.6]
 - f) 各機関で能力強化を必要とする技術分野は、工学および水資源管理 [No.1]、応急対応 [No.3]、土木、水資源および地質 [No.4]、気候変動、泥炭管理および水管理 [No.6]、計画 [No.8]、情報および IT [No.9]である。
- 7) 資金（質問 Q4-1～Q4-3）
 - a) 予算要求がすべて承認される訳ではないが、優先順位を考慮して配分された予算内で工面している。[No.1,4,5,9]
 - b) 災害発生は事前に予測できないため、予算の過不足は発生した災害規模による。[No.3]
 - c) 現状の資金調達制度および資金管理に目立った問題はない。[No.1,4,5,6,8]
- (4) 考察

上述の通り、インタビュー調査では良い面と悪い面の両方が明らかになった。全体として、ムシ川流域における水資源管理のための既存の制度的枠組みと組織的取り決めは適切であると考えられる。しかしながら、重要な懸案事項もいくつか特定された。懸案事

項はブランタス川流域と共通しているものもあるため、ブランタス川流域と併せて 12.2.2 節では是正措置を提言する。

10.6.5 経済分析とプロジェクト評価

(1) 経済評価

表 10.6.3 に上げた水資源開発及び水供給事業を表 10.6.4 に示すスケジュールで実施した場合の経済性を確認するために経済分析を行った。その結果を表 10.6.7 に纏める。また計算条件等の詳細をサポートイングリポート L に示す。

計算結果について以下に考察する：

- 4 流域合計の EIRR（経済的内部収益率）は、低位シナリオで 8.6%、中位シナリオで 7.4%、高位シナリオで 7.1%である。気候変動のシナリオに応じて、最大 1.5%の EIRR の変動幅があることに注意すべきである。
- Koming 川流域の対策は、11.5%から 13.6%の非常に高い EIRR を持ち、これは国際ドナーに必要な最低割引率の 9~12%と同等もしくはより大きいため、経済的に妥当である。
- 他の河川流域については、EIRR は小さく、提案された対策は経済的に妥当とは言いがたく、ダム計画及び灌漑地域開発計画を必要に応じてレビュー/修正することを提言する。

表 10.6.7 経済計算評価の結果（利水）

シナリオ	流域	EIRR (%)	NPV* (十億 IDR)	B/C*
低位	Koming	13.6%	4,870	1.3
	Lematang	N/A	-5,394	0.4
	Kelingi	N/A	-811	0.3
	Lakitan	3.4%	-531	0.5
	計	8.6%	-1,866	0.9
中位	Koming	12.3%	3,154	1.2
	Lematang	N/A	-5,468	0.4
	Kelingi	N/A	-784	0.3
	Lakitan	3.7%	-513	0.5
	計	7.4%	-3,611	0.9
高位	Koming	11.5%	2,110	1.1
	Lematang	N/A	-4,826	0.5
	Kelingi	N/A	-807	0.3
	Lakitan	3.5%	-528	0.5
	計	7.1%	-4,050	0.8

注釈: * EIRR と B/C 算定に割引率 10%を適用した。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(2) 想定されるプロジェクト資金源

本プロジェクトにおける適応策に関しては、Tiga Dihaji ダムの建設及び Koming 灌漑事業（フェーズ 3）を除いては実施の際の資金源が決まっていない。Tiga Dihaji ダムの建設についてはインドネシア政府予算が当てられ 2018 年末に着工した。コメリン灌漑事業（フェーズ 3）は、JICA 円借款が当てられる見込みである。その他の多くのプロジェクトは、他のドナーからの支援の可能性を全く否定することはできないが、インドネシア政府予算により実施される可能性が高いと言える。そのため、政府予算確保に向けた必

要手続き等の準備が望まれる。

予算規模の観点から考察を加えれば、BBWS-S8 の情報では BBWS-S8 の 2019 年の予算である概算 11 兆インドネシアルピアは、2015 年予算の概算 4 兆インドネシアルピアの約 2.7 倍となっている。

プロジェクトコストである 90 兆インドネシアルピア規模の支出が BBWS-S8 に可能か否かを検証すべく、2019 年予算額と将来的な予算成長率を予測し簡易的な分析を行った。その際、保守的な分析とすべく、予算の成長率には上記 2.7 倍の成長率が続くという予想値ではなく 2017 年から 2018 年へのインドネシアの実質 GDP 成長率 (5.17%) を用いた。その結果によると、2020 年から 2050 年までの累計予算は 84 兆インドネシアルピアに達し、本プロジェクト予算を若干下回る規模の数値となった。この計算結果、既に述べた BBWS-S8 の予算増加の傾向、通常、実際のプロジェクト選考の際には国家方針に沿った優先プロジェクトが選定されること鑑みると、本プロジェクトコストは非現実的とは言えないであろう。

10.7 提案した気候変動対策案の POLA 及び RENCANA への反映

現在の POLA と RENCANA は、それぞれ 2014 年と 2017 年に承認された。その時点から将来 20 年間を対象とするこれらの政策及び戦略文書は、5 年ごとに改訂される予定である。したがって、POLA については 2019 年頃、RENCANA については 2022 年頃にそれぞれ次の改訂が行われる。その改訂にあたっては、表 10.5.1 にリストされている 2020 年から 2040 年までの提案された行動を POLA 及び RENCANA に組み込むことを提案する。

能力強化

第 11 章 「イ」国側の能力強化

11.1 ワークショップ

JICA プロジェクトチーム 2 は、本プロジェクトにおける「イ」国側の能力強化の一環としてジャカルタ市・スラバヤ市・パレンバン市においてワークショップを開催した。ワークショップの開催数ならびに参加者数を開催市毎に表 11.1.1 に整理している。このワークショップでは、各専門技術分野のテーマ毎に関係カウンターパート機関から数名程度（主として実務レベル職員）に参加してもらい、チーム 2 の専門家がプロジェクトに密接に関係する調査/検討手法の講義、検討過程/結果の説明、我が国や他国の事例紹介等を行い、さらに参加者が意見交換・協議を通じて知識・理解を深めることにも留意した。

表 11.1.1 プロジェクトで開催されたワークショップの概要

開催地	フェーズ 1		フェーズ 2		合計	
	TNWS	TNP	TNWS	TNP	TNWS	TNP
ジャカルタ	1	4	4	58	5	62
スラバヤ	10	約 130	8	83	18	213
パレンバン	8	80	8	85	16	165
合計	19	214	20	226	39	440

(注) フェーズ 1：2013 年 6 月～2016 年 6 月、フェーズ 2：2016 年 7 月～2019 年 12 月

TNWS = ワークショップの全回数（回）

TNP = 全参加者数（除：JICA プロジェクトチーム）

出典：JICA プロジェクトチーム 2

11.2 本邦国別研修

本プロジェクトには、気候変動の影響を評価して水資源管理を計画する「イ」国側の能力強化を図るべく本邦での国別研修が組み込まれている。以下に示すように、プロジェクトのフェーズ 1 およびフェーズ 2 を通して合計 4 回の国別研修が JICA プロジェクトチーム 1 およびチーム 2 の協力の下で実施された。

フェーズ 1 国別研修

プロジェクトのフェーズ 1（2013 年 6 月～2016 年 6 月）には、チーム 2 が、「コンポーネント 1：気候変動影響評価および流出解析」を担当するチーム 1（総括：小池教授、東京大学）の協力を得て、表 11.2.1 に示す「気候変動影響評価」に係る暫定研修計画を踏まえて第 1 回・2 回国別研修を実施した（参照：表 11.2.2）。

表 11.2.1 「気候変動影響評価」に係る研修計画 (暫定)

項目	内容
研修員	計4名 (PUSAIR、DGWR、BMKG)
期間	4週間 x 2回 (同一の研修員を2回招聘する)
目的	気候変動影響評価及び流出解析の手法を習得すること
研修内容	1回目の4週間：講義や実習を通じた方法の習得 2回目の4週間：自ら作業を行うことによる理解の深化と定着
講師	「気候変動影響評価及び流出解析」業務担当コンサルタント

出典：JICAプロジェクトチーム 2

表 11.2.2 JICA 第1回・2回本邦国別研修 (気候変動影響評価) の概要

I. JICA 第1回本邦国別研修																					
コースの名称	ダウンスケーリング及び水文流出解析モデルによる気候変動影響のシミュレーションと評価 ¹																				
研修の目的	研修員が以下を行うための技術的知識を習得すること (1) 気候変動影響の不確実性に配慮した同影響の評価 (2) 気候変動影響の定量評価を踏まえた適応策の検討																				
期間	2014年3月31日～4月26日 (27日間)																				
研修員	<table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>名前</th> <th>所属先</th> <th>部署など</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Mr. HARIADI Mugni Hadi</td> <td>BMKG</td> <td>気候変動・大気質センター</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Mr. WICASONO Fajar Baskoro</td> <td>DGWR, MPWH</td> <td>水文・水質 課</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Mr. Heruyoko</td> <td>PUSAIR, MPWH</td> <td>実験ステーション (水文・水管理)</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Ms. SEIZARWATI Wulan</td> <td>PUSAIR, MPWH</td> <td>実験ステーション (水文・水管理)</td> </tr> </tbody> </table>	番号	名前	所属先	部署など	1	Mr. HARIADI Mugni Hadi	BMKG	気候変動・大気質センター	2	Mr. WICASONO Fajar Baskoro	DGWR, MPWH	水文・水質 課	3	Mr. Heruyoko	PUSAIR, MPWH	実験ステーション (水文・水管理)	4	Ms. SEIZARWATI Wulan	PUSAIR, MPWH	実験ステーション (水文・水管理)
番号	名前	所属先	部署など																		
1	Mr. HARIADI Mugni Hadi	BMKG	気候変動・大気質センター																		
2	Mr. WICASONO Fajar Baskoro	DGWR, MPWH	水文・水質 課																		
3	Mr. Heruyoko	PUSAIR, MPWH	実験ステーション (水文・水管理)																		
4	Ms. SEIZARWATI Wulan	PUSAIR, MPWH	実験ステーション (水文・水管理)																		
研修場所	JICA/東京、東京大学																				
研修項目	- 気候システム・気候変動影響評価概説 - バイアス補正、ダム運用 - WEB-DHM ¹ 研修 (ムシ川・ブランタス川流域：序論、入力データ作成) - GCM データおよび WEB-DHM を使用した将来状況の評価 - 作物モデル/結合水稻モデル (含：灌漑モジュール)																				
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>小池俊雄教授による講義</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>研修報告会 (於：東京大学)</p> </div> </div>																				

¹ WEB-DHM=Water Energy Budget-based Distributed Hydrological Model (水エネルギー収支分布型水循環モデル)

II. JICA 第2回本邦国別研修																	
コースの名称	ダウンスケーリング及び水文流出解析モデルによる気候変動影響のシミュレーションと評価 2																
研修の目的	（第1回本邦国別研修に同じ）																
期間	2015年5月27日～6月24日（29日間）																
研修員	<table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>名前</th> <th>所属先</th> <th>部署など</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Mr. Mohammad Ridwan Nur Prasetyo</td> <td>BMKG</td> <td>気候早期警報部</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Mr. Heruyoko</td> <td>PUSAIR, MPWH</td> <td>実験ステーション（水文・水管理）</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Ms. SEIZARWATI Wulan</td> <td>PUSAIR, MPWH</td> <td>実験ステーション（水文・水管理）</td> </tr> </tbody> </table>	番号	名前	所属先	部署など	1	Mr. Mohammad Ridwan Nur Prasetyo	BMKG	気候早期警報部	2	Mr. Heruyoko	PUSAIR, MPWH	実験ステーション（水文・水管理）	3	Ms. SEIZARWATI Wulan	PUSAIR, MPWH	実験ステーション（水文・水管理）
番号	名前	所属先	部署など														
1	Mr. Mohammad Ridwan Nur Prasetyo	BMKG	気候早期警報部														
2	Mr. Heruyoko	PUSAIR, MPWH	実験ステーション（水文・水管理）														
3	Ms. SEIZARWATI Wulan	PUSAIR, MPWH	実験ステーション（水文・水管理）														
研修場所	JICA/東京、東京大学、ICHARM ² 、JAXA ³ 、JMA ⁴ 、日本工営																
研修項目	<ul style="list-style-type: none"> - 気候変動解析 - WEB-DHM 概説 - WEB-DHM によるブランタス川流域の調査結果 - WEB DHM 開発への取り組み - 農業への課題研究 																

出典： JICA プロジェクトチーム 2

フェーズ2 国別研修

プロジェクトのフェーズ2（2013年7月～2019年12月）では、表11.2.3に示す「水資源管理計画」に係る暫定研修計画を踏まえ、チーム2が第3回・4回国別研修を実施した（参照：表11.2.4）。

表 11.2.3 「水資源管理計画」に係る研修計画（暫定）

項目	内容
研修員	計8名（DGWR、両流域のBBWS、PJT-I）
期間	15日間 x 2回（1回目と2回目の研修員は異なる）
目的	我が国の水資源管理計画の作成・実践と、気候変動による影響に関する考え方を学び、「イ」国での気候変動の影響を加味した水資源管理計画の策定と実施に資する事
研修内容	前半1週間：気候変動の影響を加味した水資源管理計画の策定に関する講義 後半1週間：現場実習
講師	室内講義：「水資源管理計画」業務担当コンサルタント 現場実習：関連部署との協議により設定

出典： JICA プロジェクトチーム 2

² ICHARM=International Centre for Water Hazard and Risk Management（水災害・リスクマネジメント国際センター）

³ JAXA= Japan Aerospace Exploration Agency（宇宙航空研究開発機構）

⁴ JMA=Japan Meteorological Agency（気象庁）

表 11.2.4 JICA 第3回・4回本邦国別研修（水資源管理計画）の概要

I. JICA 第3回本邦国別研修																	
コースの名称	インドネシア水資源管理計画																
研修の目的	不確実性を含む気候変動の定量評価を踏まえて適応策を検討し、インドネシアにおける気候変動影響に配慮した水資源管理計画の策定/実施に寄与すること																
期間	2018年9月30日～10月13日（14日間）																
研修員	<table border="1"> <thead> <tr> <th>番号</th> <th>名前</th> <th>所属先</th> <th>部署など</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Ms.Lucky Dyah Ekorini</td> <td>BBWS Brantas</td> <td>運用維持管理部、課長</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Mr.Arie Adrian Lubis</td> <td>BBWS Sumatra VIII</td> <td>計画部、課長</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Mr.Gede Santika Darma</td> <td>PJT-1</td> <td>運用維持管理部</td> </tr> </tbody> </table>	番号	名前	所属先	部署など	1	Ms.Lucky Dyah Ekorini	BBWS Brantas	運用維持管理部、課長	2	Mr.Arie Adrian Lubis	BBWS Sumatra VIII	計画部、課長	3	Mr.Gede Santika Darma	PJT-1	運用維持管理部
番号	名前	所属先	部署など														
1	Ms.Lucky Dyah Ekorini	BBWS Brantas	運用維持管理部、課長														
2	Mr.Arie Adrian Lubis	BBWS Sumatra VIII	計画部、課長														
3	Mr.Gede Santika Darma	PJT-1	運用維持管理部														
研修場所	JICA/東京、日本工営（株）、淀川ダム統合管理事務所、渡良瀬遊水地出張所																
研修項目	<ul style="list-style-type: none"> - 気候変動予測方法の概要を理解し説明できること（GCM 選定、バイアス補正、ダウンスケーリング他） - 水資源管理計画（治水・利水）作成のための洪水氾濫解析および水収支解析の手法とケーススタディを理解し説明できること - 気候変動予測の不確実性に配慮した水資源管理計画策定の方法（含：ブラントス川流域の例）を理解し説明できること - 現場実習 																
写真	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>プログラム・オリエンテーション</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>淀川ダム統合管理事務所</p> </div> </div>																

II. JICA 第4回本邦国別研修	
コースの名称	インドネシア水資源管理計画
研修の目的	不確実性を含む気候変動の定量評価を踏まえて適応策を検討し、インドネシアにおける気候変動影響に配慮した水資源管理計画の策定/実施に寄与すること
期間	2019年5月12～25日（14日間）

II. JICA 第4回本邦国別研修				
研修員	番号	名前	所属先	部署など
	1	Mr. Widi Pradipta	Pemali Juana River Basin Office	企画・計画部、計画課長
	2	Ms. Ardhiyanti Febby	Brantas River Basin Office	企画・計画部、計画課長
	3	Ms. Hartini Komang Sri	Center for Data and Information Technology	地理空間データ・情報課、課長
	4	Mr. Meidiansyah Doddy	BBWS Sumatra 8	企画・計画部
研修場所	JICA/東京、日本工営（株）、淀川ダム統管理事務所、渡良瀬遊水地出張所			
研修項目	<ul style="list-style-type: none"> - 気候変動予測方法の概要を理解し説明できること（GCM 選定、バイアス補正、ダウンスケーリング他） - 水資源管理計画（治水・利水）作成のための洪水氾濫解析および水収支解析の手法とケーススタディを理解し説明できること - 気候変動予測の不確実性に配慮した水資源管理計画策定の方法（含：ブランタス川流域の例）を理解し説明できること - 現場実習 			
写真				
	講義（於：日本工営）		渡良瀬遊水地の説明（於：見晴台）	

出典： JICA プロジェクトチーム 2

11.3 セミナー

JICA プロジェクトチーム 2 は、JICA およびチーム 1 の支援・協力を得て、第 1 回～第 4 回セミナーをジャカルタ市・スラバヤ市・パレンバン市において開催した（参照：表 11.3.1）。ジャカルタ市における第 2 回（2014 年 5 月 19 日）セミナーでは、「イ」国側からの関係機関（現公共事業国民住宅省：本省およびバライ事務所、環境省、気候・気象・地球物理庁、国家開発計画庁、州/県政府など）、住民代表、大学、本邦コンサルタント他を招待し、また新聞報道も含めて本業務の成果普及・広報を図った。この第 2 回セミナーは「イ」国 公共事業省空間計画総局長 Dr. Ir. Basoeki Hadimoeljono（現 公共事業国民住宅省大臣）による開会の挨拶をもって開始した。また、第 3 回セミナーはパレンバン市およびジャカルタ市で開催され、BBWSBS-S8 所長 Ir. Jarot および公共事業国民住宅省水資源総局長 Ir. Imam Santoso それぞれの開会の挨拶をもって開始した。

第4回目は、プロジェクト最後のセミナーとしてプロジェクトの成果（含：気候変動の問題に配慮した「イ」国の水資源管理計画策定に適用できるハンドブック）が広く共有されるようにスラバヤ市、パレンバン市、ジャカルタ市で開催した。

表 11.3.1 「イ」国における第1回～4回セミナーの概要

I. 第1回セミナー（ジャカルタ）	
項目	説明・詳細など
会場	会議室（8階）、水資源総局/公共事業省（現：公共事業国民住宅省）
開催日	2013年6月24日
主な内容	1) WEB-DHMを使った河川流域の気候変動影響評価手法 2) 食物生産への気候変動影響の評価手法 3) 気候変動予測（PUSAIR） 4) 気候変動予測（BMKG） 5) 気候変動の影響を加味した水資源管理計画 6) 各国の気候変動適応
講演者	1) 小池俊雄教授、東京大学 2) 本間香貴先生、京都大学 3) Ir. Bambang Hargono, PUSAIR 4) Dr. Evin Aldrian, Director, Center for Climate Change & Air Quality, BMKG 5) 馬場仁志国際協力専門員、JICA 6) 守安邦弘 JICA 専門家（水資源総局）
司会	Dr. Ir. Mochammad Amron: President of HATHI Dr. Ir. Djaja Murni Wargadalam
参加者数*	31人

II. 第2回セミナー（ジャカルタ、スラバヤ）		
項目	説明・詳細など	
会場	ジャカルタ: 会議室（8階）、水資源総局/公共事業省（現：公共事業国民住宅省）	スラバヤ: Singgasana ホテル
開催日	2014年5月19日	2014年5月20日
主な内容	1) 講演：「不確実性に配慮した水資源管理戦略の策定に向けた新たなパラダイム」 2) ブランタス川流域における気候変動影響と流出解析結果の説明 <ul style="list-style-type: none"> ・ 気候変動影響と適応の紹介 ・ 水資源管理への気候変動影響の評価と水文学的シミュレーション ・ 水田の区分とシミュレーションモデルへの適用 ・ 稲作と結合した水文モデルの開発 3) 本セミナーの時点までの調査成果の説明 <ul style="list-style-type: none"> ・ 対象流域特有の条件を踏まえた水資源管理のための水収支計算および氾濫解析手法の提案 	
講演者	1): 馬場仁志国際協力専門員、JICA 2): JICA プロジェクトチーム1 3): JICA プロジェクトチーム2	
司会	Dr. Eka Nugraha Abdi, Head of Subdid of Hydrology and Water Quality, PU	Ir. Anggia Satrini, Head of Division for Program and Planning, BBWS Brantas
参加者数*	42人	65人

III. 第3回セミナー (パレンバン、ジャカルタ)		
項目	説明・詳細など	
会場	パレンバン: 会議室 (3 階)、BBWS-S8/ 公共事業国民住宅省	ジャカルタ: 会議室 (8 階)、水資源総局/公共事業国民住宅省
開催日	2017 年 2 月 2 日	2017 年 2 月 3 日
主な内容	1) 講演: 「気候・災害レジリエンスの強化は持続可能な開発に不可欠」 (ジャカルタ; 小池俊雄教授、東京大学) 2) プロジェクト概要の説明 3) コンポーネント 1 調査の成果説明: 本セミナー時点までの気候変動影響評価と流出解析 (ムシ川流域) <ul style="list-style-type: none"> • 水循環にかかる気候変動影響評価 • 米生産への気候変動影響 	
挨拶/講演者	1): Ir. Jarot , General Manager of BBWS Sumatra VIII MPWH (PLMB) 2): Ir. Imam Santoso, M.Sc , Director General of Water Resources, MPWH (JKT) 3): Dr. Andi Eka Sakya, M. Eng , Head of BMKG (JKT) 4): 後藤伸也主任調査役、地球環境部、JICA/ 東京 (ジャカルタ) 5): JICA プロジェクトチーム 1 6): JICA プロジェクトチーム 2	
司会	Mr. Roy Panagom Pardede, ST.M. Tech Chief of Water Utilization Network Implementation Division, BBWS Sumatra VIII	Dr. Eka Nugraha Abdi, Head of Subdiv of Hydrology and Water Quality, MPWH
参加者数*	46 人	74 人

IV. 第4回セミナー (スラバヤ、パレンバン、ジャカルタ)		
項目	説明・詳細など	
会場	スラバヤ (SBY): 会議室 (3 階)、BAPPEDA JATIM パレンバン (PLM): 会議室 (3 階)、BBWS-S8/公共事業国民住宅省 ジャカルタ (JKT): 会議室 (8 階)、水資源総局/公共事業国民住宅省	
開催日	SBY: 2019 年 11 月 12 日、 PLM: 2019 年 11 月 14 日、 JKT: 2019 年 11 月 19 日	
主な内容	1) 講演: 「プロジェクトの経緯と全体像、日本の最新技術事情他」 (馬場仁志 国際協力専門員、JICA) (JKT) 2) プロジェクト概要の説明 3) 気候変動適応策の提案を含む主なプロジェクト成果の説明 (ブラントス川・ムシ川流域) 4) 気候変動の影響評価および水資源管理計画への統合のためのハンドブック	
挨拶/講演者	1): Ir. Fauzi Idris , Director of Directorate of Water Resources Management, DGWR, MPWH (JKT) 2): Ir. Birendrajana , General Manager of BBWS Sumatra VIII, MPWH (PLMB) 3): Mrs. Novia Rosalita , Head of Program & Planning Division, BBWS Brantas, MPWH (SBY) 4): 小川 亮 JICA インドネシア事務所次長 (ジャカルタ) 5): 馬場仁志国際協力専門員、JICA/東京 (ジャカルタ) 6): JICA プロジェクトチーム 2	

司 会	SBY: Mrs. Novia Rosalita, Head of Program & Planning Division, BBWS Brantas PLM: Mr. Samadi, Chief of Water Utilization Network Implementation Division, BBWS s JKT: Mr. Idham Riyando Moe, Section Head of Hydrology and Water Quality, DGWR
参加者数*	SBY : 51 人, PLM : 47 人, JKT : 93 人

(注) *JICA プロジェクトチーム 1 および 2 を除く。

出典 : JICA プロジェクトチーム 2

結論と提言

第12章 結論と提言

12.1 POLA および RENCANA のための気候変動適応策策定

本プロジェクトは、ブランタス川流域およびムシ川流域をパイロット地域に選び、気候変動が及ぼすことが懸念される水資源管理への被害を軽減することに主眼を置いて POLA/RENCANA に取り入れるべき構造物、非構造物対策から成る気候変動適応策を策定した。

当該気候変動適応策は、水資源管理、地下水資源管理、砂防管理および流域保全の4分野において、「イ」国の水資源管理分野で従来から採用されている対策を適用しながら経済・環境/社会配慮の面からも予備的な評価を加えつつ策定された。しかしながら、これらの対策は、将来予測には避けられない不確実性を有する将来気候データに加え、信頼性の面でどうにか使えるデータや情報も含む資料に基づいて立案されている。

今後、1) ブランタス川流域およびムシ川流域では POLA/RENCANA のレビューに合わせて本プロジェクトで策定した適応策のレビューが、また2) 「イ」国のその他流域では POLA/RENCANA に取り入れる気候変動適応策の策定が実施されることから、これら次段階に向けて表 12.1.1 に示す提言内容や留意事項を踏まえて取り組みを進めることを推奨する。

表 12.1.1 提言および留意事項

(1) ブランタス川・ムシ川流域の気候変動適応策のレビュー	
分野	提言
水文/水理	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動影響評価の基本情報となる気象・水文データの蓄積と質の改善 適切な水理氾濫モデルの選定（洪水氾濫域の地形および氾濫流の特性に依存） 氾濫解析用の河川横断測量、地形測量、水位・流量観測の実施 水需要の大半を占める灌漑用水が本川/支川の複数地点で取水されるので水需要の面的な分布に留意した水収支解析の実施
水理地質/ 地下水管理	<ul style="list-style-type: none"> ブランタス川流域：地下水開発が大きな規模で進行している現状を踏まえ地下水開発計画調査の追加 ムシ川流域：地下水は将来気候下の持続可能な水資源として期待されることから地下水利用管理計画の整備
農業/灌漑	<ul style="list-style-type: none"> 単位水需要量（1.0 l/s/ha、SNI）を用いて過大に評価されている灌漑水需要について、KP-1（DGWR）の公式および観測データから算出される有効雨量による再評価
上下水道	<ul style="list-style-type: none"> 年々増え続ける水供給需要予測の更新 上水開発と共にきれいな原水も確保するべく工場廃水管理に係る基本計画の策定
環境・社会配慮	<ul style="list-style-type: none"> ブランタス川流域：適応策は新規構造物の建設や既存構造物の改善・強化などを含み自然・社会環境への影響が想定されるのでその実施ならびにそれに伴い起こりうる正/負の影響について関係者間による意見交換 ムシ川流域：Ranau 湖の水利用に伴う湖面の水位低下により重大な社会影響が懸念されることから関係者間の話し合いを通して同湖の水

	利用に関する対策の整備
水資源管理/ 河川管理	<p>洪水:</p> <ul style="list-style-type: none"> 本プロジェクトで使用した日本の手法も参考にしつつ氾濫域内の被害率に基づく洪水被害の再評価 選定された4支川における将来気候変動シナリオに関する対象洪水の選定におけるMSAの適用 <p>渇水:</p> <ul style="list-style-type: none"> バライによる社会的問題・課題の評価とダム追加の検討に向けた水収支計算を含むダム追加事業の調査
(2) 「イ」国の他流域における気候変動適応策の策定	
分野	留意事項
水文/水理	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動影響評価の基本情報となる気象・水文データの蓄積と質の改善 適切な水理氾濫モデルの選定（洪水氾濫域の地形および氾濫流の特性に依存） 氾濫解析用の河川横断測量、地形測量、水位・流量観測の実施
水理地質/ 地下水管理	<ul style="list-style-type: none"> 水収支解析・地下水位流動シミュレーションに基づく実際の地下水利用および地下水開発ポテンシャルの算定 地下水循環の保全と改善に配慮した地下水管理計画の策定
農業/灌漑	<ul style="list-style-type: none"> 1) ライニングによる第3次水路網の改善など現地レベルの節水対策による構造物対策および2) 現地の気候条件に合致する穀物カレンダーの最適化や循環灌漑用水配分法の強化などによる非構造物対策の適用の検討
上下水道	<ul style="list-style-type: none"> 気候変動の基礎的対策として上水需要量削減に寄与する「節水」による非構造物対策の検討
湿地管理/ 流域保全	<ul style="list-style-type: none"> 空間計画の改訂に際して、森林保全や斜面地域プランテーション開発制限の必要性の重視（異常洪水・土砂流出、川道内堆砂、地下水涵養量減少などの主な原因の一つは、通常森林斜面伐採を伴うプランテーションの開発であり、斜面地域プランテーション開発規制は、下流における洪水の頻発化や農業の弱体化に対する対策として極めて効果が高い）
環境・社会配慮	<ul style="list-style-type: none"> 水資源管理調整チーム(TKPSDA)の定例会議に向けたSEAレポートの整備（「イ」国ではPOLA / RENCANの策定においてSEAが法的義務となっている）
水資源管理/ 河川管理	<p>洪水:</p> <ul style="list-style-type: none"> 流域の特性を踏まえた気候変動影響下での安全目標設定手法の検討（MSA他） <p>渇水:</p> <ul style="list-style-type: none"> 将来気候下における単位水需要量の算出（将来気候下の単位水需要量は、現在気候下のそれと異なることが想定される）。 貯留施設について既存調査も踏まえた選定（適応策策定に貯留施設を導入する場合）。

(注) * CC = 気候変動

出典: JICA プロジェクトチーム 2

12.2 組織および制度

12.2.1 農業・灌漑セクター

(1) 現況

公共事業国民住宅省令 No.14/PRT/M/2015「灌漑地区基準及び地位決定」の付表には、管理主体別に全国合計 48,028 ヶ所の表流水灌漑地区が登録されている。表 12.2.1 には全国、ブラントス川流域、ムシ川流域の表流水灌漑地区数及び計画灌漑面積を示す。これらの地区は、人口の増加、水利用の制約、利水者間の競合増加、水源地帯の涵養機能低下などの環境変化に直面している。その結果、灌漑地区が機能している割合は 2015 年時点で、計画灌漑面積に対しインドネシア全国では 66.5%、ブラントス川流域では 81.9%、ムシ川流域では 58.4%となっている。

表 12.2.1 表流水灌漑地区数及び計画灌漑面積

地域	水資源総局所管		州政府所管		県・市政府所管		合計	
	(nos.)	(ha)	(nos.)	(ha)	(nos.)	(ha)	(nos.)	(ha)
Indonesia	283	2,376,521	984	1,105,474	46,761	3,663,173	48,028	7,145,168
Brantas	8	109,296	54	32,618	3,636	172,689	3,698	314,603
Musi	7	94,493	28	41,541	696	67,190	731	198,176

出典: 省令 No.14/PRT/M/2015

(2) 将来の方向

参加型灌漑管理サービスのさらなる効率化、有効化、持続化を通じて既存灌漑システムを取り巻く環境の改善を目指す今後の方向は、次の 5 目標を確実に達成することである。その 5 目標は、(i) より良き水利用、(ii) 良質なインフラストラクチャー; (iii) 改善された灌漑管理、(iv) 強化された組織、(v) 能力が向上した人材である。これらの目標に到達する手段として、(i) 環境に軸足を置いた水の参加型共同利用、(ii) 調和のとれた上流域・下流域間の水管理、(iii) 圃場段階の水管理改善が選定される。

(3) 提言

(a) 関係者間の水平協議と垂直協業

水資源総局内及び出先機関の各河川流域機関事務所内における縦割り行政の弊害を克服するため、灌漑開発・管理に係る課題対処に関し、計画、設計、実施、維持管理担当部局の関係者による水平協議の励行を提言する。加えて、組織強化対策の一環として、主要稲作地域において灌漑用水供給・利用体制を強化するため、県知事が主催する灌漑委員会の機能を拡大し、水供給から水利用に至る関係者による垂直協業の場として活用することを勧告する。垂直協業の関係者は、水資源総局、流域機関事務所、州政府公共事業部、農業省、州政府農業部、県政府知事室、水利組合などとする。

(b) 灌漑セクターの組織強化及び人材能力向上のための活動計画

灌漑セクターの組織強化及び人材能力向上を目的とした表 12.2.2 に示す活動の実施を勧告する。

表 12.2.2 灌漑セクター組織強化および人材能力向上活動計画

活動	活動主体
組織強化	
1. 灌漑委員会設置・活性化、灌漑近代化ユニット設置、流域水管理協議チーム設立	公共事業国民住宅省水資源総局長。農業省水土総局長、州知事、県知事
2. 設計・情報管理センター設置	
3. 灌漑・農業強化ユニット設置	
4. 灌漑施設監視人支援	
5. 移動整備ユニット設置	
6. 水利組合結成・活性化	
人材能力向上	
1. 社会的地位の自覚奨励	大臣、水資源総局長、州知事、県知事
2. 訓練受講証明書発行	
3. 採用システム及びキャリア育成計画確立	
4. 報奨システム導入	

出典: JICA プロジェクトチーム 2

12.2.2 その他のセクター

(1) 全般

全体として、両流域における水資源管理のための既存の制度的枠組みと組織的取り決めは適切であると考えられる。しかしながら、重要な懸案事項と課題もいくつか特定された。これらの事項を念頭に置いた上で、提案された適応策を POLA に組み込む際に改善措置を慎重に検討することが求められる。留意事項の要点を以下に述べる。

(2) 表流水と地下水の一体的管理 《ブランタス川・ムシ川流域》

水保全対策の一環として、地下水保全がブランタス川とムシ川流域の両方で提案されている。多くの機関が、インタビューにおいて、エネルギー・鉱物資源を扱う事務所(ESDM¹)が地下水関連対策の実施機関になると回答した。ムシ川流域については、TRGD²/BRG³も関与することになる。それは職務分掌に照らすと正しいことである。

しかしながら、地下水は流動し、水循環の一形態として存在する。表流水と地下水は相互に影響を与える可能性が高い。地下水資源を適切に保全して利用していくためには、地下水資源と表流水資源を統合的に考慮する必要がある。統合管理は、i) 地下水情報の共有、ii) 表流水と統合された地下水利用計画の策定、iii) 種々の対策における協調、を通じて実行される。地下水と表流水をそれぞれ担当する両機関の間で情報共有から始めることが望ましい。

(3) 洪水関連のアクションにおける役割の明確化 《ブランタス川・ムシ川流域》

洪水に対する非構造物対策の一環として、洪水ハザードマップ作成と早期警報システムが提案されている。インタビューでは、複数の機関がこれらの対策を主導することを主張していた。

しかしながら、災害関連情報は最終的には一般市民に提供されるものであり、不必要な混乱を避けるべく異なる機関が異なる情報を公表すべきではない。特に、洪水早期警報システムは緊急時に運用されるため、迅速かつ円滑なアクションが求められる。役割分担を事前に明確に決定する必要がある。

¹ ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) エネルギー・鉱物資源省 または 地方政府のエネルギー・鉱物資源関連の部局

² TRGD (Tim Restorasi Gambut Daerah) 泥炭地回復チーム

³ BRG (Badan Restorasi Gambut) 泥炭地回復庁

洪水ハザードマップは目的に応じて、一般市民の避難や政府の計画策定など、様々な用途のために作成される。ハザードマップを作成する際には、意図する最終用途ならびに共有すべき対象を明確にしておく必要がある。他方、洪水早期警報システムの運用には、水文モニタリングからデータ分析、警報発表、警報伝達までの各段階で、様々な機関が関与することになる。役割分担と手順は、関係機関間で議論し、文書化した上で認識を共有する必要がある。

(4) SIH3 構築に向けた TKPSDA を通じた協調体制の強化 《ブランタス川流域》

SIH3 と名付けられた水文・水文地質・水文気候の情報システムを BBWS Brantas、PJT-I、BMKG および地方政府が共同で開発中である。当該組織がこれまでに直面した課題の 1 つは、各機関が観測した全データを集約することである。BBWS Brantas と PJT-I の間でさえデータ共有のための特定ルールが存在しない。

SIH3 開発を促進することは、TKPSDA のタスクの 1 つである。TKPSDA のタスクを明示的に文書化し、その明確なタスクに従って TKPSDA の運用を改善すること、ならびに各機関が所有するデータを共有する方法を具体的に決めることによって、システム開発を促進することが望ましい。

(5) 主要機関が効果的に協調した流域管理 《ブランタス川流域》

流域保全対策は、ブランタス川流域の水資源保全対策の 1 つとして位置付けられている。BBWS Brantas は PJT-I と協力して水資源管理を実施しており、調整機関として TKPSDA が存在する。同様に、ブランタス-サンペアン BPDASHL⁴と林業公社 (Perhutani⁵) は、環境林業省の枠組みの下で森林管理を実施しており、調整機関として Forum DAS が存在する。さらに、州および市/県レベルの地方政府の関連部局も流域保全に関与する。このように、ブランタス川流域では多くの組織が流域保全に関係することになる。

BPDASHL が流域管理の主要実施機関となることが想定されているが、これら 4 主要機関、すなわち 2 省事務所 (Balai) と 2 公社 (Perum) は、調和のとれた流域保全活動が実施できるよう緊密に連携する必要がある。

(6) 土地利用計画策定における BAPPEDA による調停 《ムシ川流域》

ムシ川流域では水資源保全対策の一環として、土地利用の変更が提案されている。南スマトラ州 BAPPEDA によれば、県の行政界の一部が明確かつ適切に認識されていないという問題がある。この問題により、重複する 2 つの県の政策が異なる場合には、その曖昧なエリアの土地利用を計画、変更することが困難となる場合がある。

県の行政界を決めるのは内務省の責任である。BAPPEDA は、正確な行政界について内務省に公式に問い合わせ、必要に応じて両県を調整することが期待される。BAPPEDA は、2 つの県が開発計画や土地利用計画を策定する際に異なる政策を主張するような場合に、両者を調整する上で重要な役割を果たすことが必要である。

⁴ 環境林業省 流域・保護林管理総局下の流域保護林管理組織

⁵ 林業公社 (Perum Perhutani) は国営企業であり、管轄エリア内の森林の計画、管理、開発、保護を実施する義務と権限を持っている。当初は政府規制 No.15/1972 に基づいて設立されたものである。

12.3 ハンドブック

「イ」国では、水資源法 Law No. 17/2019 ならびに水開発・灌漑システム計画に係る省令 No. 10/PRT/M/2015 に基づき水資源を適切に管理すべく POLA および RENCANA が策定されている。この法律ならびに省令は、将来の気候変動影響に対応する POLA /RENCANA の策定を規定している。

このような中、本プロジェクトは 2050 年の気候変動影響を水資源の脆弱性/リスクならびにレジリアンスの観点から評価し、両流域の POLA/RENCANA に気候変動影響を反映するための提案を策定した。さらに、プロジェクトは気候変動の課題を考慮に入れた「イ」国における他流域の POLA/RENCANA に適用できるハンドブックを作成している。このハンドブックは、手戻りをより減らし災害リスクをより減らすことを主眼とした適応策の策定を主要なコンセプトとして、両河川流域の気候変動適応策策定に採用した手法に加えプロジェクトを通して得られた知見や教訓を取り込みながら作成されている。

ハンドブック作成の基本方針は以下のとおりである。

- (1) ハンドブックは現在気候下での水資源管理計画の策定では必ずしも使用しないが、両パイロット流域の気候変動適応策策定においてプロジェクトで使用したデータ/情報、現地調査/観測、評価項目、解析方法などを説明する。したがって、このハンドブックは、「イ」国における他流域の気候変動適応策策定の実用に役に立つガイドである。
- (2) 水資源法 Law No. 17/2019 ならびに省令 No. 10/PRT/M/2015 では、POLA/RENCANA は気候変動を考慮して策定することを求めており、この要求を具体化するために同ハンドブックは参照される。
- (3) このハンドブックは、第 1 段階として公共事業国民住宅省/水資源総局下の大河川流域機関 (BBWS) が管理する河川流域での適用を想定している。
- (4) 将来気候予測の対象年については、日本側からの以下の説明も含めて日本側・インドネシア側双方で複数回協議を行った。
 - (a) 気候変動の影響および計画/戦略は分けて考える。
 - (b) この影響の評価年ならびに計画/戦略の目標年は、長期および 20 年をそれぞれ設定する。
 - (c) 長期とは現在の技術で影響を計算するバックデータがそろい、中長期的なトレンドを見ることができる 2050 年または 2100 年を想定している。

インドネシア側の意向を踏まえて、以下の表現をハンドブックに記載することとされた。

「このハンドブックは、ブランタス川・ムシ川流域において JICA が行った調査に基づいて作成されており、他流域にそのまま適用できない事項もある。このハンドブックは 2050 年までの気候変動影響について作成されており、それは他河川流域には必ずしも適用されない。」

2013 年に始まった本プロジェクトは IPCC 第 4 次評価報告書 (AR4) を参照しつつ実施されており、本ハンドブックの水資源管理計画への適用には今後の IPCC 評価報告書も適宜参照されることが重要である。

12.4 結論と提言

本プロジェクトにおいて有益な知見や教訓が 2050 年までの将来気候条件の予測やブランタス川・ムシ川流域の気候変動適応策策定を通して蓄積され、日本側・インドネシア側双方で共有されている。この知見や教訓の全てが双方の緊密な協力のもとで上記のハンドブックに取り込まれた。

このことを踏まえ、今後、気候変動適応策の必要性に応え、特に将来気候の変化により懸念される水資源への負の影響に脆弱な人々への対策の必要性を重視しつつ、このハンドブックを適切に活用して「イ」国の他河川流域における POLA/RENCANA に含める適応策を適時に策定することを提言する。