

インドネシア国
公共事業国民住宅省
水資源総局

インドネシア国
ブランタス川・ムシ川における
気候変動の影響評価及び
水資源管理計画への統合プロジェクト
(水資源管理計画)

最終報告書

第一巻 要約

令和元年 12 月
(2019 年)

独立行政法人
国際協力機構 (JICA)

日本工営株式会社
株式会社建設技研インターナショナル
国立大学法人東京大学

環境

JR

19-087

ブランタス川流域

外貨交換レート: USD 1.0 = IDR 13,341.82 = JPY 109.84
(2017年8月)

ムシ川流域

外貨交換レート: USD 1.0 = IDR 14,230.00 = JPY 111.10
(2019年3月)



プロジェクト対象流域位置図 (ブランタス川流域)

1. ブランタス川流域 (1/2)



Mrican 堰



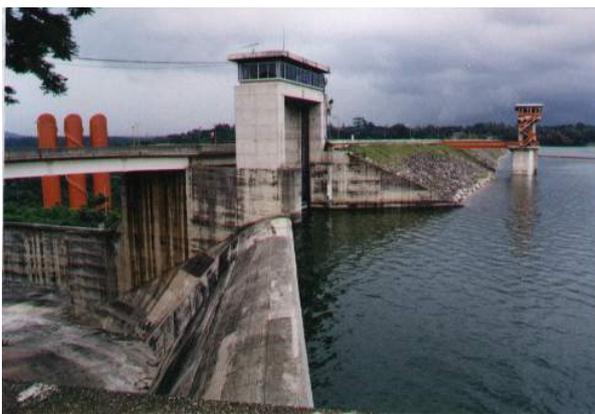
Jatimlerek ゴム堰



New Lengkong 堰



Gunugsari 堰



Sutami ダム



Wlingi ダム

1. ブランタス川流域 (2/2)



Sengguruh ダム
(貯水池内維持管理浚渫の状況)



Wonorejo ダム



Porong 自記水位計観測所



Ploso 河川水質監視局



第2回セミナー (Surabaya)



戦略的環境アセスメント (SEA) 会議

2. ムシ川流域 (1/2)



Ampera 橋 (ムシ川)



Sekayu地点 (ムシ川)



干潟区域 (**Talang I**)



淡水湿地区域 (**Rumbutan**)



Komerang 灌漑地区
(**Belitang**)



Perjaya 頭首工
(**Komerang** 灌漑システム)

2. ムシ川流域 (2/2)



Water Vang 型頭首工
(Tughumulyo 灌漑システム)



地下水位観測井
(Mambang)



BMKG Kenten 気象観測所



Pelindo-II 潮位観測所
(Boon Baru)



会議 (Bengkulu、BWS Sumatra VII)



会議 (Palembang、BBWS Sumatra VIII)

略語の説明

	英語	インドネシア語	日本語
ADB	Asian Development Bank	-	アジア開発銀行
ADCP	Acoustic Doppler Current Profiler	-	超音波ドップラー流速分布計
AMDAL	Environmental Impact Assessment	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan	環境影響評価
APBD	Regional Revenue and Expenditures Budget	Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah	地域歳入予算
APBN	National Budget	Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara	国家予算
BAKOSURTANAL	National Coordinating Agency for Surveying and Mapping	Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional	国家測量地図庁
BAPPEDA	Regional Planning Agency	Badan Perencanaan Pembangunan Daerah	州開発計画庁
BAPPENAS	Ministry of National Development Planning	Badan Perencanaan Pembangunan Nasional	国家開発計画庁
BAU	Business as Usual	-	BAU 比
BBWS	Large River Basin Organization	Balai Besar Wilayah Sungai	大河川流域機関
BCM	Business Continuity Management	-	事業継続マネジメント
BCP	Business Continuity Plan	-	事業継続計画
BCR	Benefit Cost Ratio	-	便益費用比率
BIG	Geospatial Information Agency	Badan Informasi Geospasial	国家地理空間情報局
BKSDA	Natural Resources Conservation Agency	Balai Konservasi Sumber Daya Air	水資源保全センター
BLHD	Regional Environment Agency	Badan Lingkungan Hidup Daerah	地域生活環境庁
BLU	-	Badan Layanan Umum	公共サービス機関
BMKG	Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency	Bandan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika	気象気候地球物理庁
BNPB	National Disaster Management Agency	Badan Nasional Penanggulangan Bencana	国家防災庁
BOD	Bio-chemical Oxygen Demand	-	生物化学的酸素要求量
BPBD	Regional Agency for Disaster Management	Badan Penanggulangan Bencana Daerah	地域防災局
BPDAS	Center for Watershed Management	Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Unda Anyar	流域管理センター
BPDASHL	Brantas-Sampean Watershed and Protected Forest Management Organization	Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung	流域・森林保護管理機関
BPPW	Regional Settlement Infrastructure Agency	Balai Prasarana Permukiman Wilayah	地域集落インフラ局
BPS	Central Agency on Statistics	Badan Pusat Statistik	中央統計庁
BRG	Peatland Restoration Agency	Badan Restorasi Gambut	泥炭地回復庁
COD	Chemical Oxygen Demand	-	化学的酸素要求量
COP	Conference of Parties	-	締約国会議
DANIDA	Danish International Development Agency	-	デンマーク国際開発庁
D/D	Detailed Design	-	詳細設計
DEM	Digital Elevation Model	-	数値標高モデル

	英語	インドネシア語	日本語
DGWR	Directorate General of Water Resources	Direktorat Jenderal Sumber Daya Air	水資源総局
Dishut	Department of Forestry	Dinas Kehutanan	林業局
DLH	Department of Environmental	Dinas Lingkungan Hidup	環境局
DMI	Domestic, Municipal and Industry	-	上工水
DNPI	National Council on Climate Change	Dewan Nasional Perubahan Iklim	気候変動に関する国民評議会
DO	Dissolved Oxygen	-	溶存酸素
DRR	Disaster Risk Reduction	-	災害リスク削減
DPRKPKK	Regional Development Planning Agency	Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya	公営住宅・住宅・人間居住局
DSM	Digital Surface Model	-	数値表面モデル
DTM	Digital Terrain Model	-	数値地形モデル
EC	Electric Conductivity	-	電気伝導率
EGM96	Earth Gravity Model 1996	-	地球重力モデル 1996
EIA	Environmental Impact Assessment	Analisis Mengenai Dampak Lingkungan	環境影響評価
EIRR	Economic Internal Rate of Return	-	経済的内部収益率
ENSO	El Nino-Southern Oscillation	-	エルニーニョ・南方振動
ESDM	Energy and Mineral Resources	Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral	エネルギー・鉱物資源省
EWS	Early Warning System	Sistem Peringatan Eini	早期警報システム
F/S	Feasibility Study	-	妥当性調査
FFWS	Flood Forecasting and Warning System	Sistem Peramalan dan Peringatan Banjir	洪水予警報システム
FPL	Flood Protection Level	-	治水安全度
FSL	Full Supply Level	-	常時満水位
FY	Fiscal Year	-	会計年度
GCM	Global Climate Model	-	大気循環モデル
GCP	Geodetic Control Point	-	測量基準点
GDP	Gross Domestic Product	-	国内総生産
GHG	Greenhouse Gas	-	温室効果ガス
GIS	Geographic Information System	-	地理情報システム
GIZ	German Corporation for International Cooperation	-	ドイツ国際協力公社
GOI	Government of Indonesia	-	インドネシア政府
GOJ	Government of Japan	-	日本政府
GRDP	Gross Regional Domestic Product	-	地域内総生産
GSM	Global System for Mobile communications	-	モバイル通信グローバルシステム
HDI	Human Development Index	-	人間開発指数
HDSS	Hydrometeorological Decision Support System	-	水文気象決定支援システム
HydroSHEDS	Hydrological data and maps based on SHuttle Elevation Derivatives at multiple Scales	-	シャトル標高誘導体による水文データ・地図（複数スケール）
IBA	Important Bird Area	-	重要野生生息地

	英語	インドネシア語	日本語
ICCSR	Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap	-	気候変動分野のロードマップ
IDR	Indonesia Rupiah	-	インドネシアルピア
IEE	Initial Environmental Evaluation	-	初期環境評価
IMB	Building construction permit	Izin Mendirikan Bangnan	建築許可
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	-	気候変動に関する政府間パネル
iRIC	International River Interface Cooperation	-	国際河川インターフェース協力組織
IWRM	Integrated Water Resources Management	Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu	統合水資源管理
JATIM	East Java	Jawa Timur	東部ジャワ
JBIC	Japan Bank for International Cooperation	-	国際協力銀行
JCM	Joint Crediting Mechanism	-	共同クレジットメカニズム
JICA	Japan International Cooperation Agency	-	国際協力機構
KLHK	Ministry of Environment and Forestry	Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	環境林業省
KP	Design Criteria for Irrigation Networks	Kriteria Perencanaan	灌漑ネットワークの設計基準
KPH	Forest management unit	Kesatuan Pemangkuan Hutan	森林管理ユニット
KPHP	Unity of Production Forest Management	Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi	生産林管理ユニット
LARAP	Land Acquisition and Resettlement Action Plan	-	土地収用移転行動計画
LIBOR	London Interbank Offered Rate	-	ロンドン銀行間資金金利
LP2B	Preservation of sustainable food production base	Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan	優良農地保全政策
LWL	Low Water Level	-	低水位
MEF	Ministry of Environment and Forestry	Kementerian Lingkungan dan Kehutanan	環境林業省
MSBL	Musi-Banyuasin-Sugihan-Lemau	Musi-Sugihan-Banyuasin-Lemaure	Musi-Sugihan-Banyuasin-Lemau 川流域
MDGs	Millennium Development Goals	-	ミレニアム開発目標
MH	Rainy season	Musim Hujan	雨季
MLIT	Ministry of Land, Infrastructure and Transportation and Tourism	-	国土交通省
MK	Dry season	Musim Kemarau	乾季
MOL	Minimum Operation Level	-	最低運用水位
M/P	Master Plan	-	マスタープラン
MPL	Micro Pulse Lidar	-	マイクロパルスライダー
MPW	Ministry of Public Works	Kementerian Pekerjaan Umum	公共事業省
MPWH	Ministry of Public Works and Public Housing	Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat	公共事業国民住宅省
MSA	Multiple Scenario Approach	-	マルチプルシナリオ・アプローチ
NGO	Non-Governmental organization	-	非政府組織
NPV	Net Present Value	-	純現在価値

	英語	インドネシア語	日本語
NRW	Non-Revenue Water	-	無収水
O&M	Operation & Maintenance	-	維持管理
ODA	Official Development Assistance	-	政府開発援助
OKI	-	Ogan Komering Ilir	-
OKU	-	Ogan Komering Ulu	-
P2AT	Groundwater Development Project	Proyek Pengembangan Air Tanah	地下水開発事業
PALI	-	Penukal Abab Lematang Ilir	-
PCO	Point of Cost Optimum	-	費用最適点
PDAM	Indonesian Regional Water Utility Company	Perusahaan Daerah Air Minum	地域水道公社
PELINDO	Indonesian Port Corporation	PT Pelabuhan Indonesia	インドネシア港湾公社
PIRIMP	Participatory Irrigation Rehabilitation and Management Project	-	参加型灌漑改修・管理事業
PJT-I	Jasa Tirta I Public Corporation	Perum Jasa Tirta I	水管理公団 I
PKL	Develop Local Activity Centers	-	地域活動開発センター
PKN	National Activity Center	-	国立活動センター
PKW	Regional Activity Center	-	地域活動センター
PLN	State Electric Company	Perusahaan Listrik Negara	国営電力公社
POLA	Water Resources Management Strategic Plan	Rencana Strategis Manajemen Sumber Daya Air	水資源管理戦略計画
PP	Government regulation	Peraturan Pemerintah	政令
PSDA	Water Resources Management	Pengelolaan Sumber Daya Air	水資源管理
PUSAIR	Research center for water resources	Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air	水資源研究センター
RAD-GRK	National Action Plan on Greenhouse Gas	Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca	温室効果ガス地域行動計画
RAN-API	National climate change adaptation action plan	Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim	気候変動国家行動計画
PANPI	National Action Plan Addressing Climate Change	Rencana Aksi Nasional Perubahan Iklim	気候変動にかかる国家行動計画
RBO	River Basin Organization	Balai Wilayah Sungai	河川流域機関
RENCANA	Water Resources Management Implementation Plan	Rencana Penerapan Manajemen Sumber Daya Air	水資源管理実施計画
RO	Reverse Osmosis	-	逆浸透
RPJM	Mid-term Development Plan	Rencana Pembangunan Jangka Menengah	中期開発計画
RPJMD	Medium Term Development Plan of Region	Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah	地域中期開発計画
RPJP	Long-term Development Plan	Rencana Pembangunan Jangka Panjang	長期開発計画
RTH	Green open space	Ruang Terbuka Hijau	緑の広場
RTRW	Spatial Plan	Rencana Tata Ruang Wilayah	空間計画
RUPTL	Electricity Supply Business Plan	Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik	電力供給事業計画

	英語	インドネシア語	日本語
RWL	Reservoir Water Level	-	貯水池水位
SEA	Strategic Environmental Assessment	-	戦略的環境アセスメント
SHM	Stakeholder Meetings	-	ステークホルダー会議
SHVP	Surabaya Haven Waste Peil	Surabaya Haven Vloed Peil	スラバヤ港平均海面レベル
SID	Study Investigation Design	-	調査、設計
SIH3	Information system for hydrology, hydrogeology and hydrometeorology	Sistem Informasi Hidologi Hidrogeologi Hidroklimat	水文・水文地質・水文気象情報システム
SNI	Indonesian National Standard	Standar Nasional Indonesia	インドネシア国家基準
SPPL	Statement of readiness to manage and monitor the environment	Surat Pernyataan Pengelolaan Lingkungan	環境管理計画書
SRI	System Rice Intensification	-	集約的水稻栽培法
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission	-	スペースシャトル立体地形データ
SSBSAP	South Sumatra Biodiversity Strategy and Action Plan	-	South Sumatra 生物多様性戦略と行動計画
TKPSDA	Water Resources Management Coordination Team	Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air	水資源管理調整チーム
TOT	Training of Trainers	-	トレーナー研修
TPA	Development of regional Ultimate Waste Management System	-	地域廃棄物管理システム開発
TRGD	Regional Peat Restoration Service Team	Tim Restorasi Gambut Daerah	泥炭地回復チーム
UKL-UPL	Environmental Management and Monitoring Plan	Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan LINGKUNGAN HIDUP	環境管理モニタリング
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	-	気候変動枠組条約
UNISDR	United Nations International Strategy for Disaster Reduction	-	国連国際防災戦略事務局
USLE	United Soil Loss Equation	-	ユニバーサル土壌損失式
UU	Law	Undang-Undang	法律
VAT	Value Added Tax	-	付加価値税
WATSP	Structural Adjustment Program of Water Resources Sector	-	水資源セクター構造調整プログラム
WB	World Bank	-	世界銀行
WEB-DHM	Water Energy Budget-based Distributed Hydrological Model	-	水エネルギー収支に基づく分散型水文モデル
WREFR & CIP,	Water Resources Existing Facilities Rehabilitation & Capacity Improvement Project	-	既存水資源施設リハビリ・能力改善事業
WUA	Water Users Association	-	水利用者組合
WWF	World Wide Fund for Nature	-	世界自然保護基金

インドネシア国

ブランタス川・ムシ川における気候変動の影響評価及び 水資源管理計画への統合プロジェクト (水資源管理計画)

最終報告書

第一巻 要 約

目 次

プロジェクト対象流域位置図

写 真

略 語

頁

<< 全 般 >>

- | | | |
|---|---------------------------|-----|
| 1 | 序 論 | S-1 |
| 2 | インドネシア国における水資源関連の動向 | S-2 |

<< ブランタス川流域の調査 >>

- | | | |
|---|--------------------------------------|------|
| 3 | ブランタス川流域の状況 | S-5 |
| 4 | 2050年の気候変動影響評価 | S-9 |
| 5 | 2050年までの水資源管理計画のための気候変動適応策の策定 | S-14 |
| 6 | POLA および RENCANA に取り込むべき気候変動対策 | S-17 |

<< ムシ川流域の調査 >>

- | | | |
|----|--------------------------------------|------|
| 7 | ムシ川流域の状況 | S-21 |
| 8 | 2050年の気候変動影響評価 | S-29 |
| 9 | 2050年までの水資源管理計画のための気候変動適応策の策定 | S-37 |
| 10 | POLA および RENCANA に取り込むべき気候変動対策 | S-37 |

<< 能力強化 >>

- | | | |
|----|------------|------|
| 11 | 能力強化 | S-41 |
|----|------------|------|

<< 結論と提言 >>

- | | | |
|----|-------------|------|
| 12 | 結論と提言 | S-41 |
|----|-------------|------|

表目次

	頁
表 S-1	中央、地方政府の役割分担S-3
表 S-2	ブランタス川流域の水理地質区分.....S-5
表 S-3	ブランタス川流域に位置する県及び市.....S-7
表 S-4	灌漑用水不足回数、上工水不足回数及び年間発生電力量の比較.....S-9
表 S-5	将来気候下における治水安全度 (ウィダス川流域).....S-10
表 S-6	将来気候下における治水安全度 (サダール川流域).....S-11
表 S-7	将来気候下における治水安全度 (ノゴット川流域).....S-11
表 S-8	将来気候下における治水安全度 (タウィン川流域).....S-11
表 S-9	渇水被害S-13
表 S-10	越流部の位置S-13
表 S-11	洪水リスクに起因する年平均被害.....S-13
表 S-12	水資源管理のリスクとレジリアンス.....S-14
表 S-13	洪水に対する構造物対策S-15
表 S-14	暴風雨・洪水に対する構造物対策 (Medium シナリオ).....S-17
表 S-15	暴風雨・洪水に対する非構造物対策.....S-17
表 S-16	砂防管理における堆砂に対する非構造物対策.....S-18
表 S-17	渇水に対する構造物対策 (Medium シナリオ).....S-19
表 S-18	渇水に対する非構造物対策S-19
表 S-19	レビューPOLA および RENCANA.....S-19
表 S-20	レビューPOLA/RENCANA の対策および 2050 年適応策.....S-20
表 S-21	地下水盆毎の地下水ポテンシャル.....S-23
表 S-22	TKPSDA の 6 つの義務と 3 つの機能.....S-25
表 S-23	ムシ川流域における主要頭首工、ダム、水力発電施設.....S-25
表 S-24	ムシ川流域における POLA/RENCANA のダム建設計画.....S-29
表 S-25	ムシ川流域における年間豪雨発生回数.....S-31
表 S-26	洪水氾濫解析の結果S-32
表 S-27	水資源管理のリスクとレジリアンス.....S-35
表 S-28	気候変動適応策 (提案) と POLA/RENCANA 内の対策との比較.....S-37
表 S-29	提案される 2050 年までの対策と行動.....S-38
表 S-30	提言および留意事項S-42
表 S-31	灌漑セクター組織強化および人材能力向上活動計画.....S-43

図目次

	頁
図 S-1	プロジェクトスケジュール (コンポーネント 2)S-1
図 S-2	ブランタス川流域の水利地質図.....S-6
図 S-3	ブランタス川流域の保全区域および利用区域分布図.....S-8
図 S-4	水資源管理のリスクおよびレジリアンスの概念 (ハザード: 洪水および渇水)S-12
図 S-5	ムシ川、バニュアシン川及びスギハン川流域.....S-21
図 S-6	Kenten 観測所 (パレンバン) における月雨量(1985~2013) および 月気温 (2012).....S-22
図 S-7	ムシ川流域の地下水盆S-22
図 S-8	ムシ川流域の現況土地利用図.....S-24
図 S-9	ムシ川流域の主要頭首工、ダム、水力発電所位置図.....S-26
図 S-10	RAJASIAR 水路のスキーム図S-27
図 S-11	洪水氾濫地域マップS-28
図 S-12	MSBL 川流域S-29
図 S-13	渇水年の発生頻度及び不足量 (Case 4)S-30
図 S-14	日雨量 75mm/日を超える頻度S-31
図 S-15	最大浸水エリアの比較 (100 年確率洪水).....S-33
図 S-16	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.....S-34

写真目次

	頁
写真 S-1	氾濫原のピロティ式家屋.....S-33

要約

＜＜ 全般 ＞＞

1 序論

(1) 本プロジェクトは次の2コンポーネントで構成されている。

- ・ コンポーネント1：気候変動影響評価および流出解析
- ・ コンポーネント2：水資源管理計画

このファイナルレポートは、コンポーネント2を記載している。

(2) プロジェクトの対象流域は次の2流域であり、巻頭図に各流域の位置図を示す。

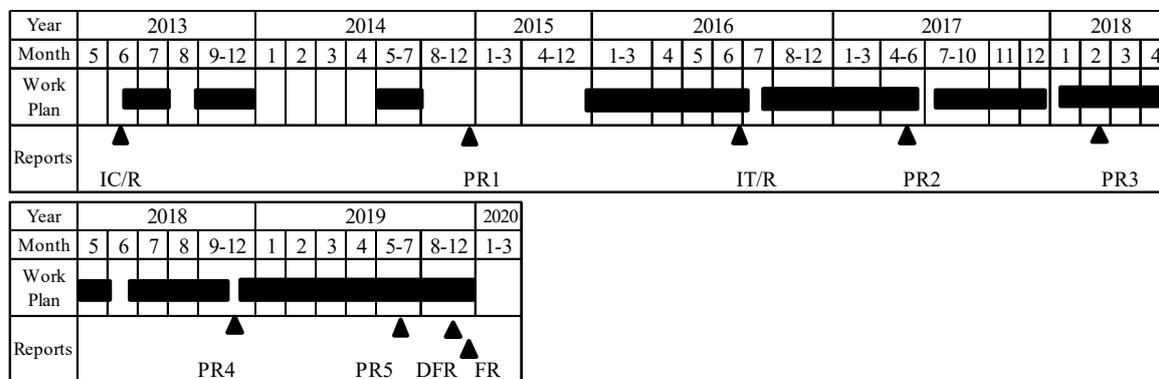
- ・ ジャワ島・ブランタス川流域（約12,000 km²）
- ・ スマトラ島・ムシ川流域（約60,000 km²）

本業務における「ムシ川流域」には隣接するバニユアシン川流域、スギハン川流域の下流低湿地を含める。

(3) コンポーネント2の目的は以下の通りである。

- ・ コンポーネント1の成果を用いたブランタス川流域およびムシ川流域（以下、「両流域」）における気候変動影響下での水資源管理リスク/脆弱性の評価ならびに水資源管理戦略計画（POLA）/水資源管理実施計画（RENCANA）に気候変動影響を反映するための提案
- ・ インドネシア国（以下、「イ」国）の他河川流域に適用できるガイドラインの作成
- ・ 上記の2項目を通じて、「イ」国における気候変動影響を踏まえた水資源管理能力の強化

(4) コンポーネント2の実施期間（変更後）は79ヶ月（2013年6月～2019年12月）であり、フェーズ1およびフェーズ2に分けられている（参照：次頁）。この変更スケジュールを図S-1に示している。



出典：JICAプロジェクトチーム2

図 S-1 プロジェクトスケジュール（コンポーネント2）

各フェーズの作業内容は以下の通りである。

- (a) フェーズ 1： 2013 年 6 月～2016 年 6 月
 - コンポーネント 1 の作業に必要なデータ・情報の収集
 - 両流域における気候変動影響下での洪水・渇水にかかる水資源管理リスク/脆弱性およびレジリアンスの評価
- (b) フェーズ 2： 2016 年 7 月～2019 年 12 月
 - 両流域の POLA/RENCANA に気候変動影響を反映するための提案
 - 「イ」国の他河川流域における気候変動の課題を考慮した POLA/ENCANA に適用できるガイドラインの作成

さらに、気候変動影響への戦略を踏まえた POLA/RENCANA の策定に向けた公共事業国民住宅省（MPWH）の能力強化も両フェーズを通して実施された。

- (5) 本ファイナルレポートは 2013 年 6 月から 2019 年 12 月までに実施されたプロジェクトの最終成果を報告している。

2 インドネシア国における水資源関連の動向

2.1 河川流域水資源管理の動向

(1) 河川流域レベルの統合水資源管理

「イ」国では、1999 年以降の地方分権化と世界銀行が中心となって「水資源セクター構造調整プログラム（WATSP）」を推進する中で、2004 年に「水資源法 No.7/2004」を制定し、1) 中央と地方政府の役割分担、2) ベーシック・ヒューマンニーズの充足、3) 水利権の導入、4) 水資源の保全などの水資源管理のあり方を規定した。これにより、中央・地方政府のみならず関係ステークホルダーも参画する流域レベルでの「統合水資源管理」（IWRM）が重要になった。

(2) 河川流域機関（RBO）

公共事業省令（No.11A/PRT/M/2006、No.12/PRT/M/2006、No.13/PRT/M/2006、No.26/PTR/M/2006）では、「イ」国内における 5,590 河川流域を 133 の河川地域に区分し、その内の 63 河川地域を公共事業省直轄管理とすることを定め、これらの流域の開発ならびに管理に携わる 34 の河川流域機関（RBO：River Basin Organization）、インドネシア語では「バライ Balai」を各地域に設置した。その他の流域については、各州自治体が管轄する約 50 の RBO が順次設立されている。

(3) POLA および RENCANA

「イ」国は、63 河川地域の水資源管理を適切に実施すべく水資源法 No.7/2004 に従い次の法定計画を策定している。

- 河川流域管理の方向性を示す水資源管理戦略計画（POLA）
- POLA に基づく流域管理の実施に向けた具体的な計画である水資源管理実施計画（RENCANA）

さらに、両計画については「イ」国の水資源管理に関する政令 No.42/2008 でも記述されており、主な内容は以下の通りである。

- 水資源管理は、国、州、県/市レベルの水資源管理政策に基づいて実施される。
- 水資源管理政策は、水資源保全、水資源利用、水資源制御、情報システムの観点から構成される。
- POLA は 20 年間を対象に作成し、少なくとも 5 年毎に見直すことができる。
- RENCANA も 20 年間を対象に作成し、少なくとも 5 年毎に見直すことができる。

(4) 水資源管理調整チーム (TKPSDA)

TKPSDA は通常州知事が議長を務める河川流域レベルの調整組織であり、下記の事項を主な機能としている。

- 所轄河川流域内の統合水資源管理の推進に向けた関連組織との協議
- 水資源管理にかかる河川流域内のセクター間、地域間、その他のステークホルダー間における利害・利権などの統合・調整の促進
- 河川流域内の水資源管理関連プログラム・計画の実施にかかるモニタリング・評価
- POLA 案の協議/策定および RENCANA 協議

(5) 中央、地方政府の役割分担

水資源法 No.7/2004 には水資源管理に関する中央政府、州政府、地方政府/市間の役割分担が表 S-1 のように規定されている。

表 S-1 中央、地方政府の役割分担

Roles	Central Government	Provincial Government	Regency/Municipal Governments
Jurisdictional areas	Cross-provincial, cross-country, and national strategic river basins	Cross-regency/ municipal river basins	River basins in regency/ municipality
Preparation of norm, standards, etc.	Preparation of norm, standards, guidelines, manuals	-	-
Flood control	Nation-wide flood control	Province-wide flood control	Regency/municipality wide flood control
Construction/ improvement of irrigation canals	Primary and secondary irrigation canals in Jurisdictional areas	(Same as the left)	(Same as the left)
Operation/ maintenance and improvement of irrigation systems	Primary and secondary irrigation systems (irrigation areas of more than 3,000ha)	Primary and secondary irrigation systems (irrigation areas of more than 1,000ha and less than 3,000ha)	Primary and secondary irrigation systems (irrigation areas of less than 1,000ha)

出典: Pre-evaluation Report on Project for Capacity Development of RBOs for Practical Water Resources Management in Indonesia, JICA, May 2009

2.2 気候変動対策の動向

「イ」国の地理的位置は気候変動影響に非常に脆弱であり、同国は国連気候変動枠組み条約 (UNFCCC) に対する“非附属書 I 締約国 (Non-Annex I Party)”として、その公約の実施に向けて活動している。

2009年、「イ」国大統領は、ピッツバーグのG-20会議およびコペンハーゲンでのCOP15においてGHG排出削減に参加すべく2020年までに意欲的な世界トップレベルの目標であるBAU26%の炭素排出削減を約束した。このため、同国は低炭素開発に進路をとっている。

(1) 法制度的状況

「イ」国政府は、UNFCCCを効果的に推進すべく気候変動課題の主流化の中で多くの手順を進めている。最初のステップは、気候変動に取り組む国家行動計画(MoE, 2007年11月)の発令であった。本計画は、同国のGHG排出削減の適切な活動および適応活動を定めている。さらに、国家開発計画庁(BAPPENAS)は、この国家行動計画を「5ヵ年国家中期開発計画(RPJMN, 2010-2014)」に取り込み、2030年までのRPJMNへの投入事項を準備すべく気候変動分野のロードマップ(ICCSR, 2009年12月)を策定した。

(2) 組織的な状況

気候変動に取り組む「イ」国の実施体制は、「気候変動に係る国家評議会(DNPI)」ならびに省/庁レベルの気候変動担当部局などから成り、国/省/庁レベルで強化されつつある。

(a) 国家レベル

気候変動に係る国家評議会: DNPI (PD No.46/2008)

本評議会は、大統領令 No 46/2008 にしたがって2008年に省間横断組織として設立された。その主要な機能は以下の通りである。

- 国家政策/戦略/行動計画の策定
- 活動の調整
- 炭素クレジットメカニズムに係る方針・手続きの策定
- 気候変動活動の監視と評価
- 先進国へ責任を果たすことによる国の地位強化

(b) 省レベル

「イ」国における気候変動影響予測を担当する主な省は、気象・気候・地球物理庁(BMKG)および公共事業国民住宅省(MPWH)である。

2.3 水資源法 No.7/2004 の廃止

「イ」国憲法裁判所は、2015年2月18日に「水資源法 No.7/2004 は以下の理由から違憲である。」との裁定を下した。

“インドネシア共和国憲法(1945年)は、市民の水を使う権利を保障している。したがって、水供給事業への民間会社の参入にはある制限を設けねばならない。”

JICAプロジェクトチーム2は、2016年1月にDGWR/MPWHおよびPJT-1にこの廃止に伴うプロジェクトへの影響を把握すべく聞き取りを行い、本プロジェクト業務を計画通りに実施できることを確認した。

〈〈ブランタス川流域の調査〉〉

3 ブランタス川流域の状況

3.1 自然状況

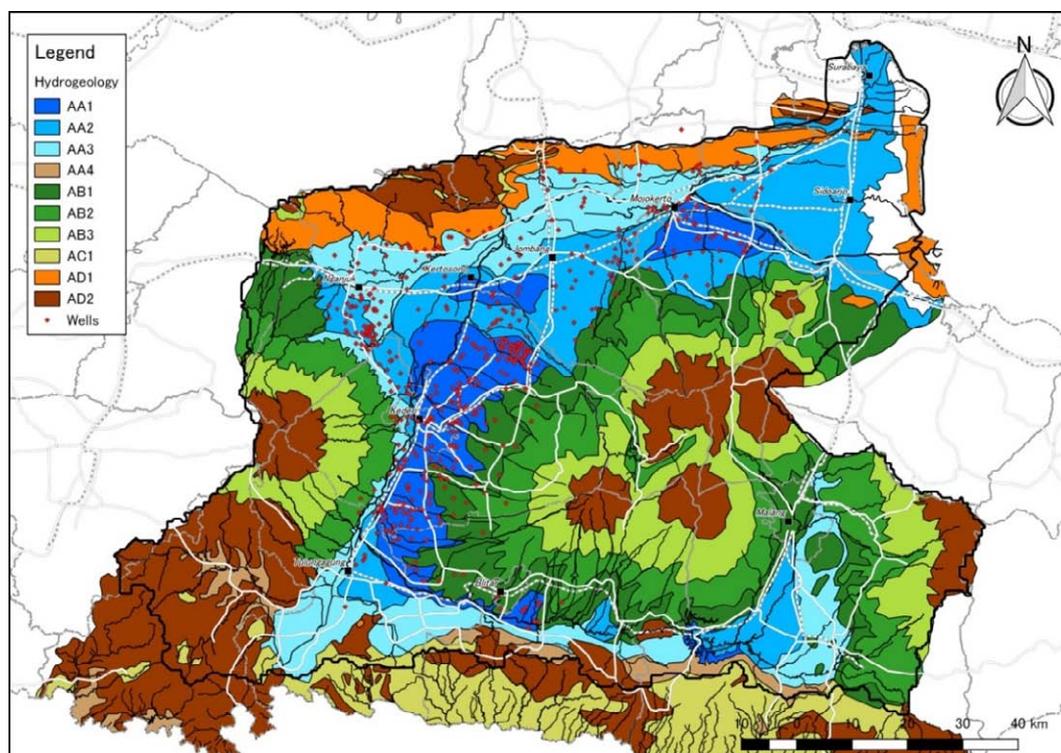
- (1) ブランタス川流域は、ジャワ島第2位の流域面積を持つ河川であり東部ジャワ州の東経 110° 30'から 112° 55'、南緯 7° 01'から 8° 15'に位置し、流路長約 320km、流域面積約 12,000 km² をもつ流域である。本流域は、東部に位置するプロモ山(標高 2,392m)からスメル山(標高 3,676m)、南部のキドゥル分水嶺(標高 300-500m)、西部のウィリス山(標高 2,169m)とそれに連なる峰々及び北部はクドゥン分水嶺とマドゥーラ海峡を流域界とし、アルジャノ山(標高 3,339m)、ブタック山(標高 2,868m)、クルド山(標高 1,731m)から成るアルジャノ山コンプレックスが流域の中央に位置している。
- (2) ブランタス川はアルジャノ山の泉を源流としクルド山を中心に時計回りに流下し、下流でスラバヤ川とポロン川に分かれる。平均河床勾配は、上流域の 1:200 から中流域の 1:2,000 と緩やかに変化している。ポロン川とスラバヤ川は標高 25m 以下の低平地を流下している。
- (3) ブランタス川流域の気象は、熱帯モンスーンに属し、明瞭な雨季と乾季を有し、雨季は 11 月から 4 月までの 6 か月、乾季は 5 月から 10 月までとなっている。流域内の年平均気温は、マランの 24.6℃からポロンの 26.8℃の範囲にある。流域の年平均降雨量は約 2,100mm であり、年間降雨量の変動は大きく豊水年の約 2,250mm から渇水年の 1,850mm の範囲にある。流域の年平均相対湿度は、場所に応じて 74%から 83%となっている。
- (4) スラバヤ港における潮位は-180cm から 160cm の範囲にあり、日最大、最小、平均の潮位差はそれぞれ 320cm、70cm、199.8cm となっている。
- (5) ブランタス川流域を含む 25 万分の 1 水理地質図が、鉱山エネルギー省（現エネルギー・鉱物資源省）から 1984 年に発行されている。そのうちブランタス川流域を抽出したものが図 S-2 である。図で用いられている水理地質区分を表 S-2 に示す。

表 S-2 ブランタス川流域の水理地質区分

区 分	帯水層特性	説 明
AA1	広範囲かつ高い生産性をもつ。	中程度から高い透水性を有する； 地下水面または圧力水頭は地表面近くまたは地上にある； 井戸の産出量は一般に 5～10L / s で、局所的には 50L / s 以上
AA2	広範囲かつ比較的高い生産性をもつ。	中程度の透水性を有する帯水層； 地下水面または圧力水頭は地表面近くまたは地上にある； 井戸の産出量は一般に 5～10L / s、20L / s を超える場所もある。
AA3	広範囲かつ中程度の生産性をもつ。	低～中程度の透水性を有する帯水層； 地下水面は地表近くから 10m 以上の深さにある； 井戸の産出量は通常 5L / s 未満である。

区分	帯水層特性	説明
AA4	局所的だが中程度の生産性をもつ。	薄層で透水性が低く、連続性に乏しい帯水層；井戸の産出量は通常 5L / s 未満である。
AB1	広範囲かつ高い生産性をもつ。	透水性が大きく変化する帯水層；地下水面までの深さも広範囲に変化する；井戸の産出量は一般に 5L / s 以上である。
AB2	広範囲かつ中程度の生産性をもつ。	透水性が大きく変化する帯水層；地下水面までは一般に深い；井戸の産出量は通常 5L / s 未満である。
AB3	局所的だが生産性をもつ。	透水性が大きく変化する帯水層；一般に、非常に深い地下水面まで掘削することによる地下水開発はない；局所的な小規模湧水が存在することがある。
AC1	高い～中程度の生産性をもつ。	地下水の流れは、割れ目、破碎帯、溶解によって形成された水路に限定される；井戸の産出量と湧水量の幅は非常に広い。
AD1	局所的に重要だが生産性は低い。	一般的に非常に低い透水性を有する；局所的で、限られた浅層の地下水資源が、硬岩の谷部や風化帯で得られることがある。
AD2	利用可能な地下水がない地域	—

出典: JICA プロジェクトチーム 2



出典: Adapted from Hydrogeological Map of 1/250,000 (1984), Ministry of Mines and Energy

図 S-2 ブランタス川流域の水理地質図

- (6) ブランタス川流域の自然環境は以下のように整理される。
- (a) 法定林地は 520,498.7ha (2015, Review POLA)であり、生産林 354,944ha (68.2%)、保護林 113,918ha (21.9%)および保全林 51,582ha (9.9%)である。
 - (b) Bromo Tengger Semeru 国立公園の一部がブランタス流域内に存在する。野生生物保護区(Suaka Margasatwa)は流域内に存在せず、自然公園(Cagar Alam)が Besowo Gadungan、Manggis Gadungan、Gunung Abang の3か所存在する。重要野鳥生息地 (IBA) は5か所存在する。
 - (c) ブランタス川流域は東ジャワエコリージョンに属しており、熱帯雨林植生と103種の哺乳類が記録されている。主な固有種として、スンダイボイノシシ(*Sus verrucosus*, 絶滅危惧/EN)、キエリテン (*Martes flavigula robinsoni*, 低危険種/LC)、バンテン (*Bos javanicus*, 絶滅危惧/EN)、ジャワヒョウ (*Panthera pardus melas*, 絶滅寸前/CR)が挙げられる。また、ヨアケオオコモリ (*Eonycteris spelaea*)は花粉や種子の媒介者として生態系にとって重要な種として知られている。河川生態系としては、*Hemibragus nemurus* (ナマズ的一种)、*Channa striatus* (雷魚的一种)のような大型魚類が記録されている。
 - (d) Gunung Baung 自然観光公園(Taman Wisata Alam)、Tretes 自然観光公園が設置されている。また、Batu 地区は観光地としてインドネシア国内で知られている。

3.2 社会・経済

- (1) ブランタス川流域は、東部ジャワ州に位置し、流域内に行政区分として9県と6市が位置している。流域内に位置する県、市を表 S-3 に示す。流域内の人口は2010年に1,620万人、2015年には1,690万人と推定されている。

表 S-3 ブランタス川流域に位置する県及び市

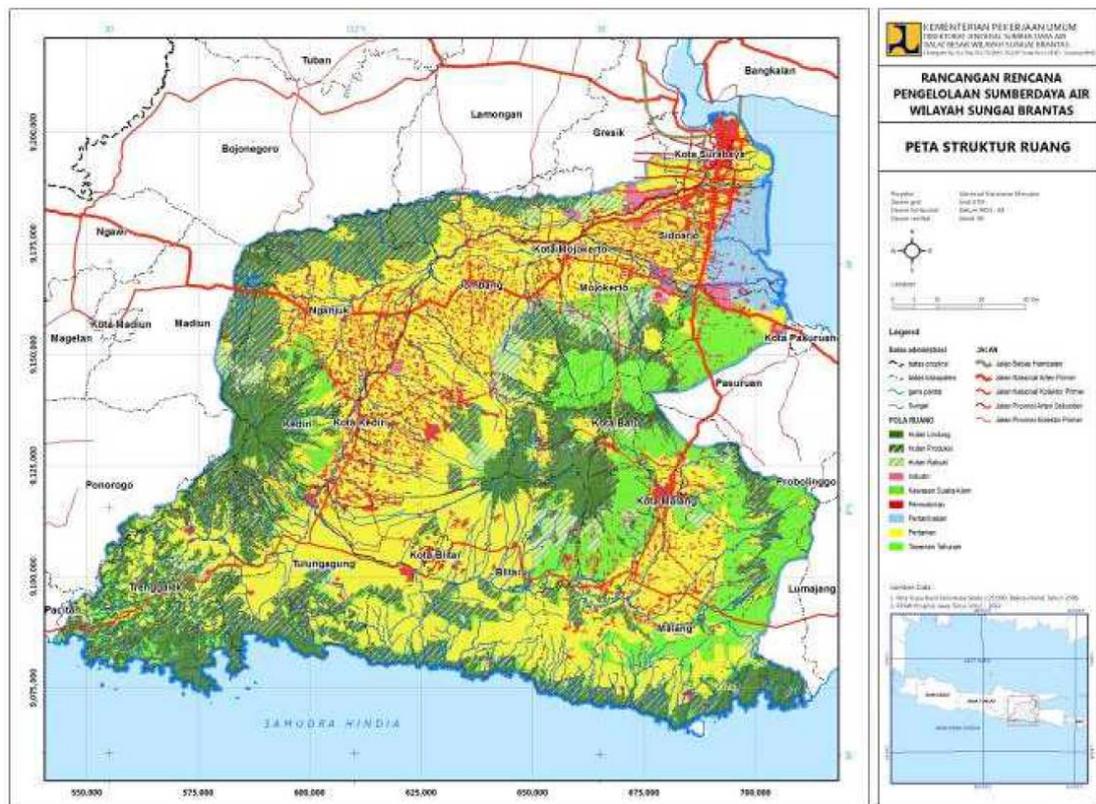
県	Sidoarjo, Mojokerto, Malang, Blitar, Kediri, Nganjuk, Jombang, Tulungagung, Trenggalek
市	Surabaya, Mojokerto, Malang, Batu, Kediri, Blitar

出典: Brantas River Basin Water Resources Management Plan (2010)

- (2) BBWS Brantas が作成した現況土地利用図によれば、流域全体の65%が農業目的に利用され多数の農民が食用作物栽培に従事している。
- (3) 過去の東部ジャワ州の地域別 GDP (GRDP: Gross Regional Domestic Product) は、2017年において2010年物価で1.482兆ルピアとなっている。2013年のGRDPと比較すると、物価上昇を除き、実質的に24%増加しており、2013年から2017年における平均増加率は5.6%となっている。統計データによると、東部ジャワ州の産業構造は、GRDPに対し、「製造業」が最も大きい29%を占め、「車両の販売・補修」、「農業・家禽業・漁業」、「建設業」が続いている。
- (4) 東部ジャワ州の月当たり平均給与は2016年において178.6万ルピアであり、「イ」国平均と比べると約18%低い数値であった。一方、2016年の失業率は4.14%であり、国平均よりも1.36%低い値となっている。

3.3 水セクターの現況

- (1) 東部ジャワ州は長期計画(2005-2025)、中期計画及び空間計画(2011-2031)を作成し、その空間計画では、農業セクターが東部ジャワ州の開発を牽引する一つの重要なセクターとして期待されている。
- (2) BBWS Brantas は、東部ジャワ州空間計画に基づいて流域内の保全区域と利用区域の分布状況を示した空間計画図を図 S-3 のように作成し、Review POLA に掲載している。これによれば、ブランタス川流域を包括する 14 県・市の総面積の 23.5% が保全林と自然保護地からなる保全区域、残り 76.5% が居住・工業・農業・その他用途目的の利用区域に区分されている。



出典: BBWS Brantas

図 S-3 ブランタス川流域の保全区域および利用区域分布図

- (3) ブランタス川流域の POLA は 2010 年に承認された。一方、2016 年に RENCANA(ドラフト)がローカルコンサルタントによって作成された。また、BBWS Brantas は省令(第 6 条, No.10/PRT/M/2015)に基づき POLA のレビューと評価の必要性からレビュー-POLA を 2016 年に作成し現在承認されている。
- (4) ブランタス川流域の上水供給の現状は、以下の 3 グループに分類される。
 - (a) 各 PDAM からの水供給： 都市部で(a) 家庭用水、(b)工業用水、(c)それ以外（商用、公共施設等）に分けられ供給を行っている。また、水源は(A)表流水、(B)地下水に分類される。都市部の水利用の各項目については、以下の通りである。
 - 家庭用水： 居住地域の風呂、台所、トイレの水消費

- 工業用水：工業クラスター、民間工場等の水消費
 - それ以外の用水：ショッピングモール、学校、政府事務所等の公共エリアにおける水消費
- (b) PDAM 供給地域以外における工業用水以外の水需要：水供給は主に地下水による。
- (c) PDAM 供給地以外の工業用水：水源は、表流水、地下水の両方を使用している。水需要の約 30m³/s が表流水、約 20m³/s が地下水となっている。

4. 2050年の気候変動影響評価

4.1 安全度

(1) 渇水に対する安全度

上工水の利水安全度は 1/10 を満足する。一方、灌漑用水については 1/5 の利水安全度を確保するために作付け率は 224%となる。

下表に示す条件および比較シナリオについて検討を行った。

条件	現在	将来
気候	現在気候	将来気候
気候シナリオ	-	Medium
灌漑需要	現在	現在
上工水需要	現在	現在
貯水池容量	現在	将来

出典：JICA プロジェクトチーム 2

表 S-4 に不足回数、年間発生電力量を示す。

表 S-4 灌漑用水不足回数、上工水不足回数及び年間発生電力量の比較

<灌漑用水>

	灌漑地区	灌漑面積 (ha)	灌漑用水の不足発生回数	
			現在気候	将来気候
支川	DI Kedung kandang	5,160	0	4
	DI Paingan	551	0	1
	DI Blader	286	1	1
	DI Siman	23,060	4	6
	DI Bening	8,752	4	10
	DI Padi Pomahan	4,309	3	4
本川	DI Lodagung	12,217	0	1
	DI Mrican Kanan	17,612	0	2
	DI Mrican Kiri	12,729	0	2
	DI Jatimlerek	1,812	0	2
	DI Mentrus	3,632	0	3
	DI Jatikulon	638	0	3
	DI Brantas Delta	17,942	0	3
	合計	108,700		

<上工水>

番号	県・市	上工水の不足回数	
		現在気候	将来気候
1	Batu	0	0
2	Malang	0	1
3	Kediri	0	0
4	Blitar	0	0
5	Sidoarjo	0	0
6	Mojokerto	0	0
7	Jombang	0	0
8	Surabaya	0	0
9	Trenggalek	0	0
10	Tulungagung	0	0
11	Nganjuk	0	0
12	Gresik	0	0

<年間発生電力量>

番号	発電所	年発生電力量 (GWh)	
		現在気候	将来気候
1	Sengguruh	114	92
2	Sutami	475	397
3	Wlingi	189	162
4	Lodoyo	36	33
5	Wonorejo	31	20
6	Selorejo	32	30
合計		877	735 (86%)

出典：JICA プロジェクトチーム 2

- 灌漑用水については、不足回数が増加する。特に、シマン灌漑地区とブニン灌漑地区では利水安全度(1/5)を下回る。
- 上工水については水供給の優先順位が高いため、上工水供給の安全度は低下しない。
- 年間発生電力量は、現在気候の 86%となる。

(2) 治水安全度

(a) ウイダス川流域

現在気候の各確率流量に対する将来気候の治水安全度の比較を表 S-5 に示す。

表 S-5 将来気候下における治水安全度 (ウイダス川流域)

現在気候条件下の 確率洪水流量(m ³ /s)	確率年 (年)			
	現在	Low	Medium	High
172	2	1.6	1.5	1.4
229	5	2.5	2.5	2.0
278	10	4.7	4.7	3.1
389	30	17.0	12.8	7.7
441	50	26.3	19.0	10.8
532	100	100.0	37.9	17.8

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(b) サダール川流域

表 S-6 将来気候下における治水安全度 (サダール川流域)

現在気候条件下の確率洪水流量(m ³ /s)	確率年 (年)			
	現在	Low	Medium	High
51	2	1.5	1.5	1.3
67	5	2.9	2.9	2.3
78	10	6.7	6.7	4.0
95	30	19.3	17.5	11.3
105	50	30.0	25.4	15.3
114	100	100.0	37.1	20.8

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(c) ブランカル川流域

表 S-7 将来気候下における治水安全度 (ノゴット川流域)

現在気候条件下の確率洪水流量(m ³ /s)	確率年 (年)			
	現在	Low	Medium	High
464	2	1.7	1.7	1.4
529	5	2.9	2.9	2.0
597	10	6.5	5.8	3.7
684	30	16.8	13.5	7.0
754	50	34.2	26.7	11.9
823	100	149.3	45.4	18.8

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(d) タウイン川流域

表 S-8 将来気候下における治水安全度 (タウイン川流域)

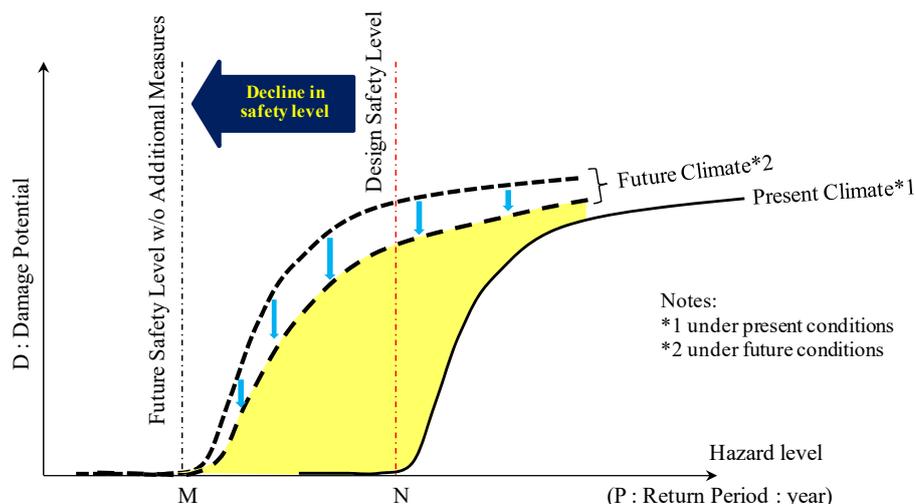
現在気候条件下の確率洪水流量(m ³ /s)	確率年 (年)			
	現在	Low	Medium	High
165.1	2	1.7	1.3	1.1
199.9	5	3.8	2.8	2.2
231.4	10	5.8	4.5	3.4
307.3	30	15.1	12.0	7.4
350.7	50	30.0	19.5	10.1
418.3	100	100.0	39.5	17.7

出典：JICA プロジェクトチーム 2

4.2 水資源管理のリスクとレジリアンス

(1) 水資源管理のリスクおよびレジリアンス評価の概念

本プロジェクトで行う将来の気候変動下での水資源管理のリスクおよびレジリアンスの評価について、その概念を図 S-4 に示している。



➤ Risk = $\sum D \times \Delta(1/P)$: Expected Value (Eq. 1)

Legend:	
-----	Before exercise of resilience
-----	After exercise of resilience
→	Decrease of Risk by Exercising Resilience
■	For Structural and Non-structural Measures
N, M	Years (M < N)

出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 S-4 水資源管理のリスクおよびレジリアンスの概念
 (ハザード: 洪水および渇水)

リスクは上記の「式 1」で算定し、「レジリアンス」は「国連国際防災戦略防災用語集 (2009 年版)」にしたがい下枠のように定義している。

Resilience = The ability of a system, community or society exposed to hazards to resist, absorb, accommodate to and recover from the effects of a hazard in a timely and efficient manner, including through the preservation and restoration of its essential basic structures and functions.

Comment: Resilience means the ability to “resile from” or “spring back from” a shock. The resilience of a community in respect to potential hazard events is determined by the degree to which the community has the necessary resources and is capable of organizing itself both prior to and during times of need.

Source: UNISDR (United Nations International Strategy for Disaster Reduction) Terminology on Disaster Risk Reduction (2009)

図 S-4 の黄色部分が将来気候変動下でのレジリアンス発揮後に残るリスクであり、将来追加すべき構造物・非構造物対策はこのリスクに対して策定される。

- (2) 水資源管理のリスク
- (a) 渇水リスクのスクリーニング

将来気候における主な渇水リスクは、作付け率および発生電力量の低下である。表 S-9 に渇水状況の被害を示す。

表 S-9 渇水被害

気候シナリオ	作付面積 (ha)			作付け率 (%)	上工水 (m ³ /s)	発生電力量 (GWh)
	本川	支川	合計			
現在気候	166,455	77,350	243,805	224	29.5	877
将来気候						
Medium	131,315	69,796	201,111	150	50.2	730
Low	166,465	96,348	262,813	196	50.4	767
High	93,182	63,265	156,447	116	46.7	657

注釈：安全度 灌漑 1/5、上工水 1/10

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(b) 洪水リスクのスクリーニング

主要なリスクは、構造物からの越流であり、以下に整理している。

1) ポロン川

表 S-10 に現在気候および将来気候における越流箇所を抜粋して示す。

表 S-10 越流部の位置

位置	河口からの距離 (km)	現在気候	将来気候		
			High	Medium	Low
KB51~New Lengkong 堰	52~48	複数断面で余裕高(100 cm)以下	New Lengkong 堰で越水 複数断面で余裕高(100 cm)以下	複数断面で余裕高(100 cm)以下	複数断面で余裕高(100 cm)以下
KP1~KP15	48~45	余裕高(100 cm)以下	越水	余裕高(100 cm)以下	余裕高(100 cm)以下
KP20~KP30	43~42	越水	越水	越水	越水
KP60~KP85	36~30	複数断面で越水	ほとんどの断面で越水	ほとんどの断面で越水	ほとんどの断面で越水

出典：JICA プロジェクトチーム 2

ニューレンコン堰付近、KP-1 から KP-15 の区間、KP-20 から KP-30 の区間、KP-60 から KP-85 の区間で越水が発生すると想定される。これらの下流で適応策を考慮する必要がある。

2) 他の支川

表 S-11 に将来気候における想定される年平均被害を示す。

表 S-11 洪水リスクに起因する年平均被害

シナリオ	流域	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数(人)
Medium	Widas	100.3	31.1	634.9
	Sadar	96.9	75.5	822.8
	Ngotok	16.6	222.3	3,346.2
	Tawing	186.6	97.1	1,280.8
Low	Widas	81.4	19.0	387.2
	Sadar	94.0	74.2	808.6
	Ngotok	15.2	200.4	3,156.0
	Tawing	162.0	93.3	1,224.8
High	Widas	177.4	57.9	1,001.9
	Sadar	104.0	79.1	861.5
	Ngotok	26.6	406.7	5,439.6
	Tawing	201.9	135.5	1,337.7

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(c) 選定されたリスクに対するレジリアンス

表 S-12 にブランタス川流域における水資源管理のリスクとレジリアンスを示す。

表 S-12 水資源管理のリスクとレジリアンス

ハザード	項目	リスク	レジリアンス	
			構造物	非構造物
渇水	1.2 保水	・ 渇水頻度の増加		・ 関連機関のモニタリングにより、地下水汲み上げを制御する。*1
	2.2 水資源の供給	・ 貯水池からの供給量の減少	・ 降雨利用システムの導入（降雨貯留タンク、地下貯留等）	・ 乾期の常時満水位の変更*2 ・ 維持浚渫の実施*1 ・ フラッシング及びスルーシングの実施*1
	2.3 水資源の使用	・ 渇水頻度の増加		・ Sutami ダムの運用水位と最低水位間の貯水容量の利用*2 ・ 各ダムを経年貯留の容認*2 ・ ブランタス川流域のダム群の貯水池最適運用*2 ・ 表流水から地下水への水源変更*2
洪水	3.1 防災	・ 洪水氾濫回数の増加及び氾濫域の拡大 ・ 洪水時の各ダムからの放流量の増加	・ 定期検査を基に毎年堤防のモニタリング、修復を実施*1	・ 各ダムの計画と同様の洪水調節容量を確保（洪水水位を低下させる）*2
	3.2 災害救助	・ 死傷者数の増加	・ 定期検査を基に堤防、避難所の補修の実施*1	・ 避難誘導スタッフの能力強化の実施*1 ・ ハザードマップ、避難ルート図を作成*1 ・ 要支援者の把握*1 ・ 水防団の能力強化*1 ・ 洪水世警報システムの精度向上*1
	3.3 災害復旧	・ 洪水被害の増加	・ 決壊箇所の補修（テンポラリー）の実施*1	

注釈: *1: 質に関する事項, *2: 量に関する事項

出典: JICA プロジェクトチーム 2

5. 2050年までの水資源管理計画のための気候変動適応策の策定

5.1 気候変動影響を反映した水資源管理の計画手法

気候変動影響を考慮した水資源管理計画（つまり気候変動適応策）を策定する時、予測される気候変動影響に含まれる不確実性を考慮することが求められる。

JICA プロジェクトチーム 2 は、計画論としてのマルチプルシナリオ・アプローチ (MSA) について「イ」側と協議を重ね、以下を双方で確認した。

対象地域における MSA の費用最適点（PCO）について、治水安全度（FPL）との関係で 2 ケースが起こりうる。

(i) ケース 1: $PCO < FPL$ および (ii) ケース 2: $PCO > FPL$.

- ケース 1 : FPL に相当する安全レベルが対象地域の気候変動適応策に採用される
- ケース 2 : PCO に相当する安全レベルが対象地域の気候変動適応策に採用される。

5.2 暴風雨および洪水に対する気候変動適応策

(1) 水資源管理

表 S-13 に構造物対策を示す。

表 S-13 洪水に対する構造物対策

将来気候シナリオ	河川	流量 (m ³ /s)	タイプ	高さ (m)	延長 (km)
Medium	Widas	710 (上流)	堤防(新規)+氾濫原管理	1.9 ^{*1}	6.5 ^{*1}
				1.2 ^{*2}	11.4 ^{*2}
				1.5 ^{*3}	34.3 ^{*3}
	Ngotok	1,457	堤防(新規)	1.3	43.1
	Sadar	130	堤防(新規)	0.5	6.8
Low	Widas	680	堤防(新規)+氾濫原管理	1.9 ^{*1}	6.5 ^{*1}
				1.2 ^{*2}	11.4 ^{*2}
				1.5 ^{*3}	34.3 ^{*3}
	Ngotok	947	堤防(新規)	0.8	24.1
	Sadar	130	堤防(新規)	0.5	6.8
High	Widas	680	堤防(新規)+氾濫原管理	1.9 ^{*1}	6.5 ^{*1}
				1.2 ^{*2}	11.4 ^{*2}
				1.5 ^{*3}	34.3 ^{*3}
	Ngotok	2,079	堤防(新規)	2.1	62.9
	Sadar	210	堤防(新規)	0.7	12.5

注釈: *1: Widas 上流, *2: Kedung 及び Kuncir, *3: Widas 下流

出典: JICA プロジェクトチーム 2

また、非構造物対策としては以下の対策が考えられる。

- 洪水予警報システム(FFWS)の更新
- 共同体単位の早期警報システム
- 複数の確率洪水に対するハザードマップの作成
- 既存公共施設からの避難所指定および避難所の建設
- 水防団の強化
- 民間企業および地方政府による事業継続計画(BCP)もしくは事業継続マネジメント(BCM)の策定

- 洪水アクションプランの作成
- 浸水頻度の高い地域の土地利用規制

(2) 砂防管理

(a) 浚渫細粒土砂に対する凝固剤の使用

ブランタス川本川上流および支川コント川の貯水池で浚渫された土砂は貯水池周辺の土捨て場に廃棄されているが、土捨て場はまもなく満杯になり、また貯水池の近くに代替地を探すことは困難である。このような場合は、浚渫された細粒堆積物に対する凝固剤の使用は効果的な手段である。

(b) 砂防施設の浚渫/掘削

捕捉能力を高めるために既存砂防施設の定期的な浚渫/掘削は、不安定土砂や細粒土砂を捕捉するために効果的である。浚渫/掘削は、砂防施設の貯水池が満砂したときに実施する。シングルダム上流地域における砂防施設の浚渫/掘削は、スメル火山によって生成された不安定な堆積物が大量に存在するため、優先度が高い。

(c) 砂防管理の一環で行う流域保全

土砂流出は、表層侵食や溪岸・河床侵食、山地斜面での崩壊などのほか、森林伐採や耕作地の拡大といった流域開発が主な要因と考えられる。前者は、自然現象であるため、砂防施設（構造物対策）によって対応する。後者は人為的な要因の可能性があるため、それを制限するか表土の保全を考慮した開発を行うことが重要である。具体的には以下が含まれる。

- 複層林構造やアグロフォーレストリー
- テラス工法と呼ばれる逆傾斜の耕作地を造成して表土の流出を防ぐ方法
- 裸地面を枯れ草等で覆い、雨滴による浸食を防止する方法

5.3 渇水に対する気候変動適応策

(1) 表流水管理

(a) 構造物対策

以下は優先事業として重要になる

- PDAM が管理する配水管路の交換
- 再生水施設の建設
- 三次水路の改修
- 5 新規ダムの建設（Kedungwarak dam, Kunci dam, Babadan dam, Kont II dam, Genteng I dam）

(b) 非構造物対策

渇水に対して考える全ての非構造物対策は実施すべきであり、以下が優先事業として重要になる。

- 水源を表流水から地下水に変更

- 間断浅水灌漑方法
- 集約的水稻栽培法(SRI)の促進
- 各ダム貯水池水位の広報
- 近接流域からの生活用水供給サポート
- 渇水アクションプランの作成

(2) 地下水資源管理

ブランタス川流域では、地下水利用の実態把握と併せて構造物対策による適応策を推進し、適切な規制や管理を導入することが望ましい。気候変動が地下水に与える影響を最小限に抑えるための普遍的な適応策は存在しないため、地下水資源管理の目標は現実的な手段を用いて気候変動の影響を緩和することになる。すなわち、適応策を水資源管理計画に組み込み既存の地下水関連の管理システムと対策を強化することによって、気候変動による直接的・間接的な影響に対処することを目指す。

6 POLA および RENCANA に取り込むべき気候変動対策

気候変動の影響を反映すべき次期レビューステージの POLA と RENCANA に提案すべき適応策および緩和策を以下に示す。

6.1 暴風雨および洪水に対する適応策

(1) 水資源管理

表 S-14 および S-15 に適応策を提案している。

表 S-14 暴風雨・洪水に対する構造物対策 (Medium シナリオ)

対象河川	対策	治水安全度
Widas 川	堤防建設 (堤防高=1.9 m:Widas 川上流, 1.2m:Kedung 川、1.5 m Widas 川下流, 総延長=52.3k m)	17 年
Ngotok 川	堤防建設(堤防高=1.3 m, 総延長=43.1 km)	50 年
Sadar 川	堤防建設(堤防高=0.5 m, 総延長=6.8 km)	16 年
Tawing 川	堤防建設(堤防高=2.1 m, 総延長=26.6 km)	30 年
Porong 川	堤防建設(堤防高=0.8 m, 総延長=40.1 km)	50 年

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 S-15 暴風雨・洪水に対する非構造物対策

対策	詳細
洪水予警報システムの更新	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 洪水予測モデルの開発 ➢ 関連機関、共同体に対する洪水予測情報サービスの提供 ➢ サーバーへの時間雨量、流量の保存
共同体ベースの早期警報システム	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 対象共同体を増やす。 ➢ スマートフォンを利用した情報システムの開発
避難	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 複数の洪水流量に対するハザードマップを作成 ➢ 氾濫域を考慮した、避難所の指定 ➢ 氾濫域を考慮した避難所の建設
土地利用管理	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 地方政府による、氾濫域を考慮した空間計画の作成

対策	詳細
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 地方政府は、頻繁に氾濫している地域について制限区域として考えるべきである。
洪水アクションプランの策定	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 防災活動（洪水）に対して、実施機関が「いつ」、「誰が」、「何をやる」について時系列で整理される。
水防団の能力強化	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 水防に関する高いレベルの知識と技術が必要である。このため、水防団と関連機関の能力強化が求められる。
事業継続計画/事業継続マネジメント	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 事業継続計画/事業継続マネジメント(BCP/BCM) は緊急時や災害時においても事業を継続するための計画であり、民間企業及び地方政府はこれらを作成すべきである。

出典: JICA プロジェクトチーム2

(2) 砂防管理

構造物対策は、既存計画を前倒して現在の流域全体の土砂管理計画を実施する事となる。このため、表 S-16 に示す非構造物対策を提言する

表 S-16 砂防管理における堆砂に対する非構造物対策

対策	詳細
細粒土砂に対する凝固剤の利用	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 浚渫土砂の凝固 ▶ 建設資材もしくは農業用に使用
浚渫/掘削	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 補足率を上げるため、既存砂防施設の定期浚渫/掘削 ▶ Sengguruh ダム上流の砂防施設の浚渫（最も高い優先順位）
統合土砂管理計画	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ブランタス川流域に対する火山砂防計画に加えて流域全体の砂防計画

出典: JICA プロジェクトチーム2

(3) 流域保全

POLA では、暴風雨・洪水に対する流域保全について一般的に森林管理が森林分類およびクリティカルランドの点から述べられている。気候変動はより厳しい影響を与えるかもしれないが、現在の森林被覆を保つもしくは改善するための予防策が適応策の鍵である。森林生態系に対する気候変動の影響はまだ不明であることから特に保水能力に貢献している地域や降雨パターン・気温上昇の影響を受ける地域について森林生態系のモニタリングと同様に予防的対策を開始する事が重要である。このため、以下をPOLA/RENCANAに取り込む事を提案する。

- 政策レベル： 森林地帯およびブランタス川流域全体の森林被覆の維持および改善

6.2 渇水に対する適応策

(1) 表流水管理

表 S-17 および表 S-18 に将来気候下の適応策を示す。

表 S-17 渇水に対する構造物対策 (Medium シナリオ)

対策	場所	詳細
Kedungwarak ダム	Widas 川流域	型式: ロックフィル, ダム高:25.3m,堤頂長:164.3m
Kuncir ダム	Widas 川流域	型式: ロックフィル, ダム高:100m,堤頂長:450.5m
Babadan ダム	Bendokrosok	型式: ロックフィル, ダム高:80m,堤頂長:179m
Kont II ダム	Konto 川	型式: ロックフィル, ダム高:120m,堤頂長:1,004m
Genteng I ダム	Kesti 川	型式: ロックフィル, ダム高:84m,堤頂長:441m

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 S-18 渇水に対する非構造物対策

対策	詳細
表流水から地下水への水源変更	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Blitar の上工水(PDAM): 0.48m³/s ➢ 工業用水: 上流域: 0.66m³/s 下流域: 0.09m³/s ➢ 追加の井戸が必要となる。
SRI の導入	<ul style="list-style-type: none"> ➢ RI 栽培法の灌漑用水節減効果については、一定規模の面積を有する灌漑地区において定量的把握を把握したケースはないものの、インドネシアのボゴール農科大学の報告によれば、実験田で実施した乾期稲作への SRI 栽培法適用により、3.35%の灌漑用水供給量節減効果が得られている。また、従来の栽培方法と比較して 9.15%の灌漑用水当たりの生産性(g grain/ kg water)が増加する。
渇水アクションプランの策定	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 渇水前・中の地方政府、民間企業、病院、住民の活動計画を作成する。
各ダムの貯水位についての広報	<ul style="list-style-type: none"> ➢ PJT-I は、ウェブサイトです計画貯水位と実績水位を公開している。 ➢ 実績水位が計画水位よりも低い場合、地方政府は広報によって住民に伝達すべきである。
上水供給支援システム	<ul style="list-style-type: none"> ➢ 近接流域に比べて、ブランタス川流域の上水供給が厳しい場合、タンクローリーやパイプライン等を用いて近接流域からの上水供給を行うべきである。 ➢ 近接流域の関連機関の間で覚書を作成する必要がある。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(2) 地下水資源管理

気候変動に対する考慮の中で現在のレビューPOLA/RENCANA における地下水管理の運用ポリシーを表 S-19 に示す。ブランタス川流域の地下水資源管理の運用ポリシーの方向性は、「水資源保全」と「水資源利用」に区分できる。

表 S-19 レビューPOLA および RENCANA

項目	現在のレビューPOLA/ RENCANA における戦略	現在のレビューPOLA/RENCANA に提案された運用ポリシー
水資源保全	条例で設定されているように、全ての家で浸透井戸を建設する。これは（ブランタス川流域での）建物の建築許可 (IMB)、電源、他の施設を得るための要件として関連付けられる。	IMB の選択的な発行及び電気、電話等の他の公共サービス施設の提供
水資源利用	地下水の利用許可、地下水配分、地下水送水の管理は（ブランタス川流域の）水の便益の最適化によって決定される。	運用レベルでの地下水に関連する法律、規制の編集 違法な地下水汲み上げに対するカウンセリングの提供及び罰則

出典: JICA プロジェクトチーム 2

地下水の保全は、地下水涵養と地下水利用のバランスを保つことを考慮すべきである。地下水管理の方法は、（1）人工的な地下水涵養および（2）地下水利用の制御である。地域の規則で設定されているように、すべての家に浸透（注入）井戸を建設することは地下水貯留能力を強化するための手段であり、また地下水に関する水利権と地下水配分および地下水分布の制御は、制御されていない地下水利用を防ぐための手段となる。

現在のレビューPOLA / RENCANA で提案されている対策と、2050 年を計画目標年とする気候変動下の渇水に対する適応策についての比較を表 S-20 に示す。現在のレビューPOLA / RENCANA で提示されている対策は、将来の気候変動に対しても効果的であるが、渇水を対象とした追加対策を提案する。この追加対策は、予測が困難な気候変動への幅広い対応を可能にするための基礎データを確立する事である。加えて、現在のレビューPOLA / RENCANA の対策をより具体的にすることである。

表 S-20 レビューPOLA/RENCANA の対策および 2050 年適応策

レビューPOLA/ RENCANA の対策	渇水に対する提案された追加適応策
注水井戸による人工的な地下水のリチャージ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 注水井戸による人工的な地下水のリチャージ ➤ 地下水賦存量検討を含む新規井戸掘削のための地下水開発調査 ➤ 地下水位、湧水のモニタリングシステムの確立
法・政令に基づく地下水取水の管理	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 規制すべき地域特定のための実際の地下水利用調査 ➤ 法・政令に基づく地下水取水管理

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(3) 流域保全

POLA では、渇水に対する流域保全について一般的に森林管理が森林分類およびクリティカルランドの点から述べられている。気候変動はより厳しい影響を与えるかもしれないが、現在の森林被覆を保つもしくは改善するための予防策が適応策の鍵である。森林生態系に対する気候変動の影響はまだ不明であることから特に保水能力に貢献している地域や降雨パターン・気温上昇の影響を受ける地域について森林生態系のモニタリングと同様に予防的対策を開始する事が重要である。このため、以下を POLA/RENCANA に取り込む事を提案する。

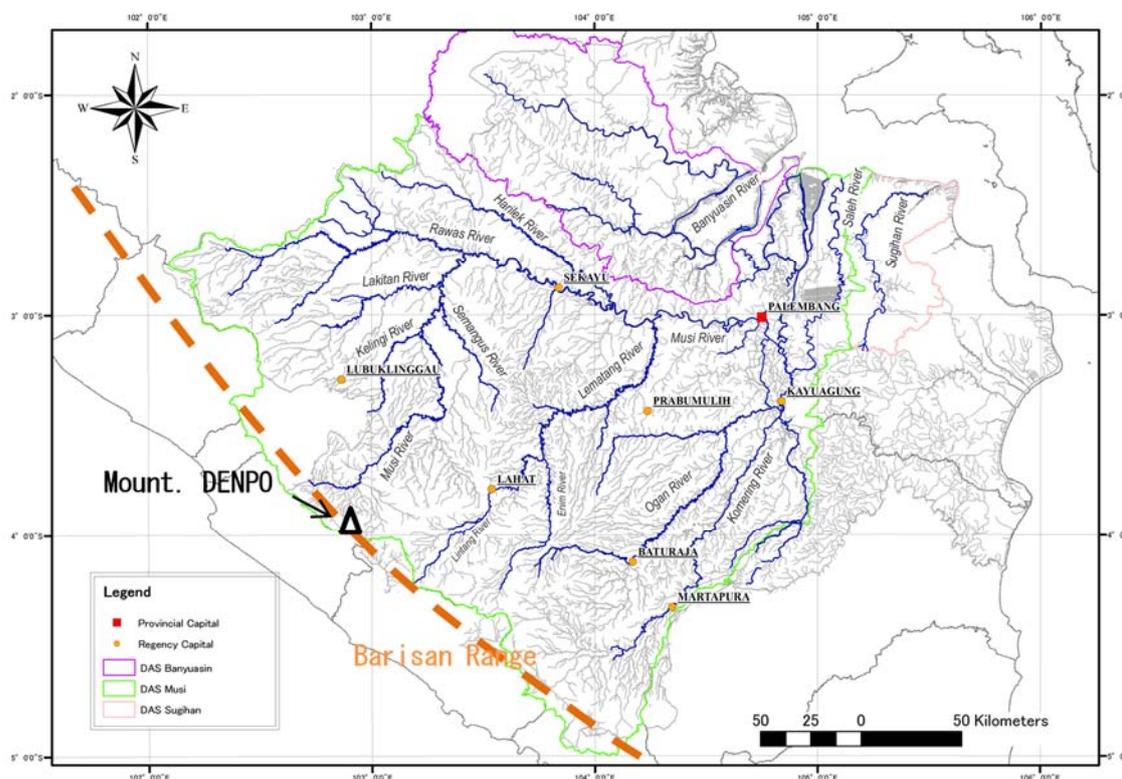
- 政策レベル； 森林地帯およびブランタス川流域全体の森林被覆の維持および改善

《 ムシ川流域の調査 》

7. ムシ川流域の状況

7.1 自然状況

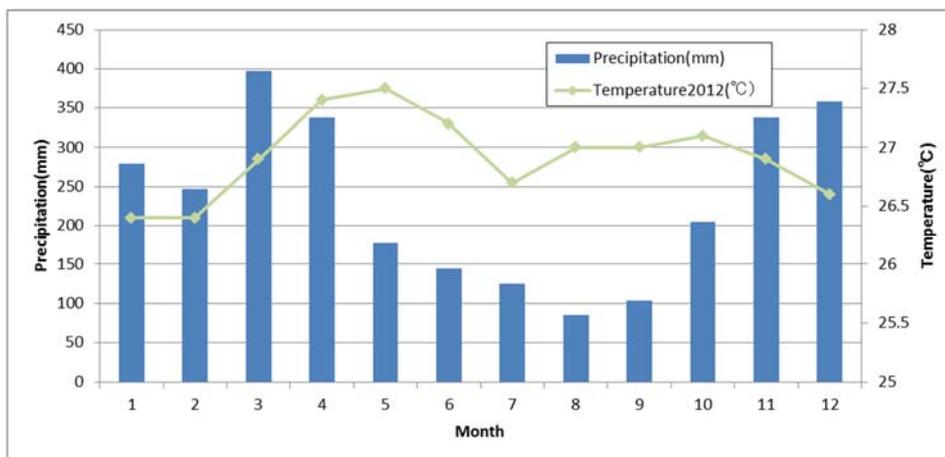
- (1) ムシ川流域の地形は、大きく5つのゾーンに区分できる。ムシ川源流域にあたる山岳地帯とそれに付随する山麓地帯は、北西-南東方向の走向を示す顕著な地質構造の影響をうけ、流域の西-南西-南の地域にのみ分布する。山岳地帯と山麓地帯を除く流域の残り60%を、中央平野、内陸湿地、および海岸平野が占める。
- (2) ムシ川は、南スマトラ州を西から東へ流れるスマトラ島最大の河川で、インドネシアでは4番目に大きな流域(59,942 km²)を有し、その長さは約640kmに達する。平均河床勾配は上流域の1/100~1/200から下流域にあたるPalembang市周辺の1/10,000まで大きく変化し、海岸地域に向かってさらに緩い1/20,000となる。ムシ川流域は下流の低平地においてバニュアシン川とスギハン川に挟まれている。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 S-5 ムシ川、バニュアシン川およびスギハン川流域

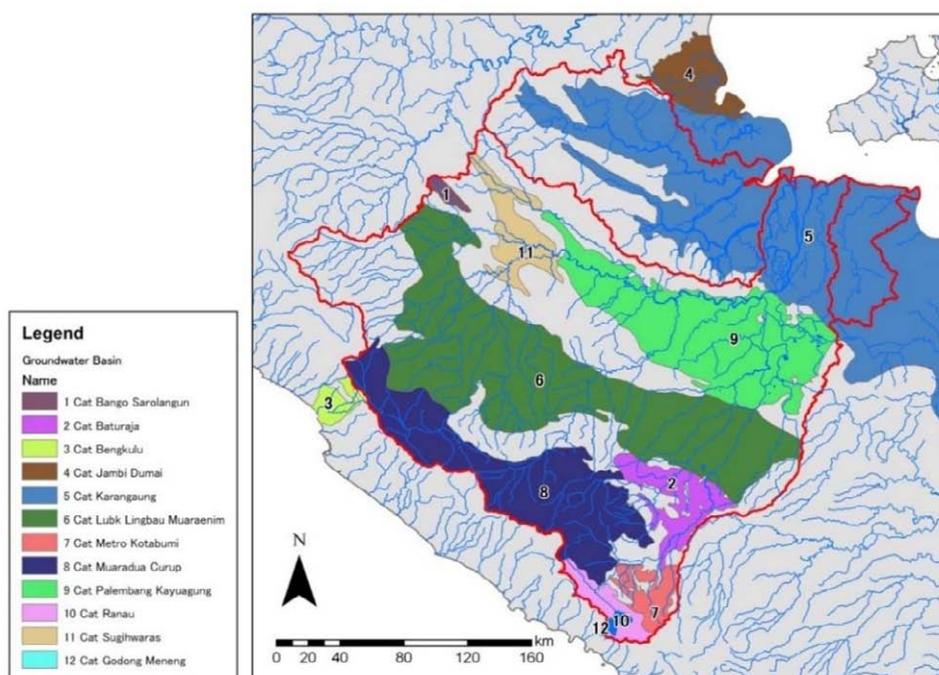
- (3) ムシ川流域の気候はジャワ島や東インドネシアと比べて明確でない雨季・乾季からなる年間を通じて適度に偏りなく降る豊富な雨量に特徴がある。図 S-6 にパレンバンの Kenten 観測所での月雨量及び月気温を示す。年雨量は約2,800mmで、10月~4月にかけて雨量が多い。月平均気温は年間を通じてほぼ27°Cであり、年間のポテンシャル蒸発散量は1,200~1,500mm/yearと推定される(Musi River Basin Study, PU, 1989)。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 S-6 Kenten 観測所 (パレンバン) における月雨量(1985~2013) および月気温(2012)

- (4) 「インドネシア国ムシ川流域総合水管理計画調査、2003年、JICA」(以降「2003年JICAムシ川調査」と呼ぶ)によれば、Komerling川合流点下流の平均流量は $2,500\text{m}^3/\text{s}$ であり、乾季から雨季に渡って $1,400\sim 4,200\text{m}^3/\text{s}$ の間で変動する。通常はムシ川やその支川は2月から3月にピークを迎え、7月から9月にかけて流量が最小になる。潮位の最大振幅は3.5mであり、最高潮位は一般的に12月~1月に発生する。
- (5) ESDMが定義したムシ川流域の地下水盆を図S-7に、各地下水盆の地下水ポテンシャルを表S-21に示す。ムシ川流域を含む地下水盆の平均地下水ポテンシャル $533\text{mm}/\text{年}$ は、ムシ川流域の平均降雨量 $2,800\text{mm}/\text{年}$ の約19%、流域の日平均蒸発散量を $4\text{mm}/\text{日}$ と仮定した場合の有効降雨量 $1,340\text{mm}/\text{年}$ の約40%に相当する。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 S-7 ムシ川流域の地下水盆

表 S-21 地下水盆毎の地下水ポテンシャル

番号	地下水盆	面積 (km ²)	Q1+Q2*1		順位	(Q1+Q2)/面積 (mm/y)
			(M m ³ /y)	(%)		
1	Bangko Sarolangun	6,072	4,221	5.8	5	695
2	Butururaja	2,404	1,151	1.6	10	479
3	Bengkulu	4,888	3,836	5.3	6	785
4	Jambi Dumai	69,776	20,401	28.0	1	292
5	Kurangagung	22,860	12,977	17.8	2	568
6	Lubuk Linggau Muaraenim	15,400	6,062	8.3	3	394
7	Metro Motbumi	21,640	12,331	16.9	8	570
8	Mauradua Curup	8,521	4,389	6.0	4	515
9	Palembang Kayuagung	8,652	3,759	5.2	7	434
10	Ranau	1,501	934	1.3	12	622
11	Sugihwaras	1,794	1,549	2.1	9	863
12	Gedong Meneng	1,412	1,185	1.6	11	839
合計 1(1,2,5,6,7,8,9,10,11)		88,844	47,373	65.1	-	533
合計 2(1-12)		164,920	72,795	100.0	-	441

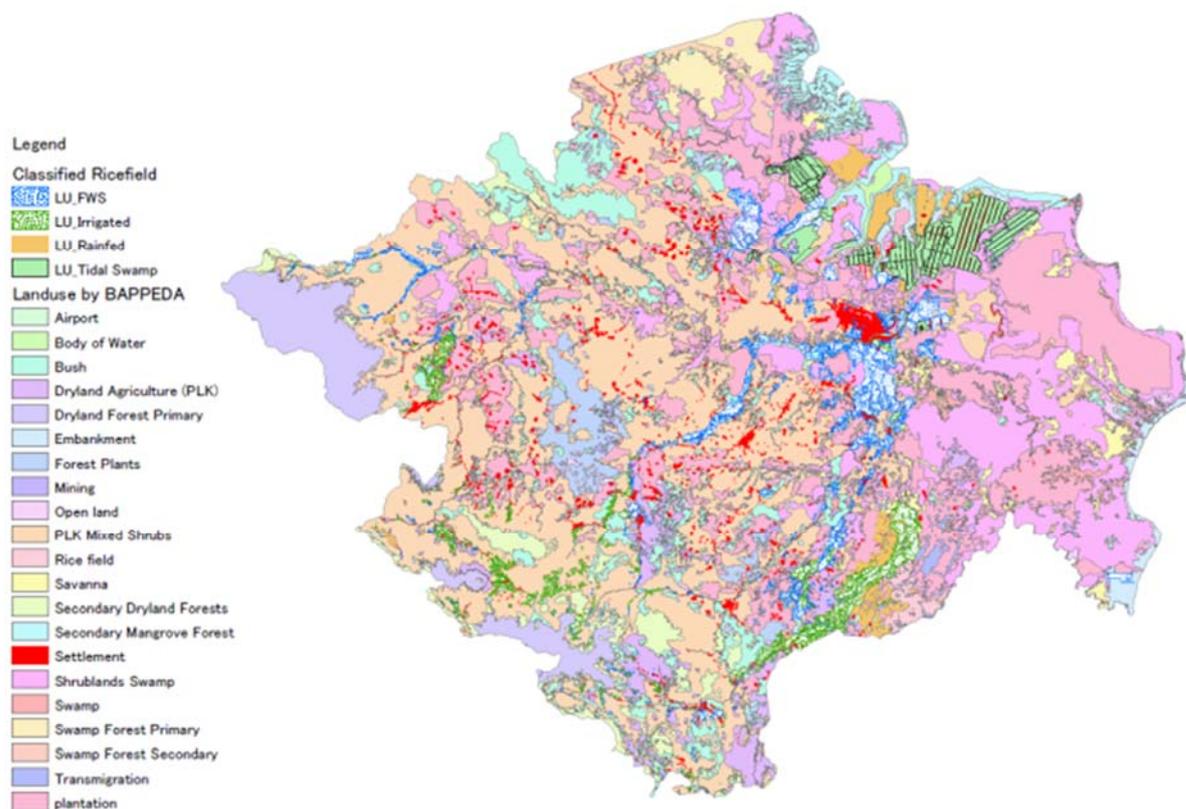
注釈：*1: Q1 は浅部（不圧）帯水層、Q2 は深部（被圧）帯水層

出典：JICA プロジェクトチーム 2

7.2 社会・経済

- (1) ムシ川流域は南スマトラ、ブンクル、ジャンビ、ランプンの4つの州に広がっている。その内、南スマトラ州は約 60,000 km² の 96% を占め、一方ブンクル、ジャンビ、ランプンの各州は 3.6%、0.4% 及び無視できる程の小さい割合をそれぞれ占める。パニュアシン川流域は南スマトラ州とジャンビ州にまたがり、スギハン川流域は全流域が南スマトラ州に収まっている。
- (2) 2010 年時点のムシ川流域の人口は概ね 795 万人で、2000 年から 2010 年にかけての年増加率は 1.06% である。
- (3) 南スマトラ州の 2009 年の地域総生産(GRDP)は 604 億ルピアであり、人口一人当たりでは約 8 百万ルピアである。南スマトラ州の経済は、鉱業、農業、製造業の主要 3 セクターに大きく依存している。鉱業、農業、製造業のセクターが GRDP に占める割合はそれぞれ 23%、20% 及び 17% である。南スマトラ州は化石燃料資源が豊富である。南スマトラ州には約 24,179.98 BSCF (Billions of Standard Cubic Feet) の天然ガス資源が、またそれはインドネシア国の天然ガスの全資源量の ±13.01% を占めている。その他に同州は石炭の埋蔵量も豊富であり、全国 22,240.47 百万トンの埋蔵量の内 ±38.44% を占めている。さらに石油の全国埋蔵量の ±8.78%、すなわち 757.60 MSTB (Million Stock Tank Barrels) を有している。一方で、南スマトラ州は食物庫とも見なされている。農業は穀物農業、園芸農業、プランテーション、畜産及び養殖に分類される。米は同州において最も重要な穀物である。他の農業生産物としては、トウモロコシ、キャッサバ、サツマイモ、ピーナッツ、大豆がある。また、ゴム、オイルパーム、コーヒー等がプランテーションの主要作物となっている。

- (4) JICA プロジェクトチーム 1 と 2 は、南スマトラ州政府 BAPPEDA が 2010 年に作成した土地利用図の水田を灌漑水田、内陸湿地水田、感潮湿地水田に類別した図 S-8 に示す土地利用図を共同で作りました。



出典: JICA プロジェクトチーム 1 & 2

図 S-8 ムシ川流域の現況土地利用図

- (5) 州の月最低賃金は 2,388 千ルピア (IDR) とされているものの、非正規従業員の平均月収は、2017 年の統計によれば 1,501 千ルピアと法定収入よりもかなり少ない。2017 年 9 月現在、州の貧困者の割合は 13.1% であり、全国平均 (10.12%) よりも高い。都市部の貧困層の割合は 12.36% であるのに対し、農村部では 13.54% とやや高い。州内の飲料水の供給源は大きなものから井戸 (34.77%)、市販ボトル (19.75%)、水道水 (16.65%) の順となっている (2017 年統計)。災害による全壊および半壊した家屋数は、2017 年に 196 軒、2016 年に 114 軒であり、水害が頻発している他州と比較すると少ない。

7.3 水セクターの現況

- (1) ムシ川、スギハン川及びバニュアシン川の 3 つの大河川流域とインド洋に流れ落ちるレマウ川の小流域の組み合わせである MSBL (Musi-Sugihan-Banyuasin-Lemau) 川流域が 2012 年大統領令 No. 12 により確立された。この州界を超えた大河川流域はスマトラ VIII 河川流域機関 (BBWS Sumatra VIII、以下では BBWS-S8 と略す) によって、中央政府の権威のもと管理されている。BBWS-S8 には、水資源の管理、水資源の

開発、水資源の利用、および河川流域の水破壊力の制御のための計画、建設、運用、保守を含む水資源の管理を実施するタスクがある。

- (2) 2013年4月、MSBL川流域の水資源管理調整チーム (TKPSDA) が設立され、合計88人のメンバー (Bappeda, Dinas PU, Dinas Pertanian 等の政府機関から44人、NGOから44人) が水資源の管理に関するすべての利害関係者の要望に対応する。TKPSDAはパレンバンに拠点を置き、表 S-22 に示す6つの義務と3つの機能を備え、公共事業国民住宅省大臣に対し責任を負う。

表 S-22 TKPSDA の6つの義務と3つの機能

義務/機能	内容
6つの義務	1. 水資源管理のパターン、POLA (戦略計画) および RENCANA (実施計画) に関する議論 2. 河川流域の天然資源管理のためのプログラム設計と行動計画案に関する議論 3. あらゆる水源からの水の配分計画案に関する議論 4. 統合情報管理のための水文、水文気象、水文地質情報システムに関する議論 5. 河川流域での天然資源管理のパフォーマンスを最適化するための、人的資源利用、財政的、制度的ツールの草案に関する議論 6. 大臣の検討のため河川流域における天然資源管理計画の提案
3つの機能	1. 水資源管理の統合に関する関係者との協議 2. セクターおよび地域と水資源管理における利害関係者間の利益の統合と調整 3. 水資源管理活動の計画とプログラム実施の監視と評価

出典: BBWS-S8

- (3) 気象データ (気温、日照時間、風速、湿度、蒸発量等) は、運輸省下の気候・気象・地球物理庁 (BMKG) によって観測されている。BMKGは南スマトラ州内で2つの気象観測所 (SMB II および Kenten II Station) と120の雨量観測所を管理している。BBWS-S8と南スマトラ州水資源局 (ムシ川流域管理事務所、スギハン川流域管理事務所) もそれぞれ水文観測 (雨量、水位、流量) をムシ川流域において実施している。また、水資源研究センター (PUSAIR) は水文観測を行っていないが、観測データを収集・整理し、年毎にデータブックを作成、公表している。インドネシア港湾公社 II (Pelindo II) はムシ川最下流付近に5つの潮位観測所を管理している

- (4) 既存河川施設

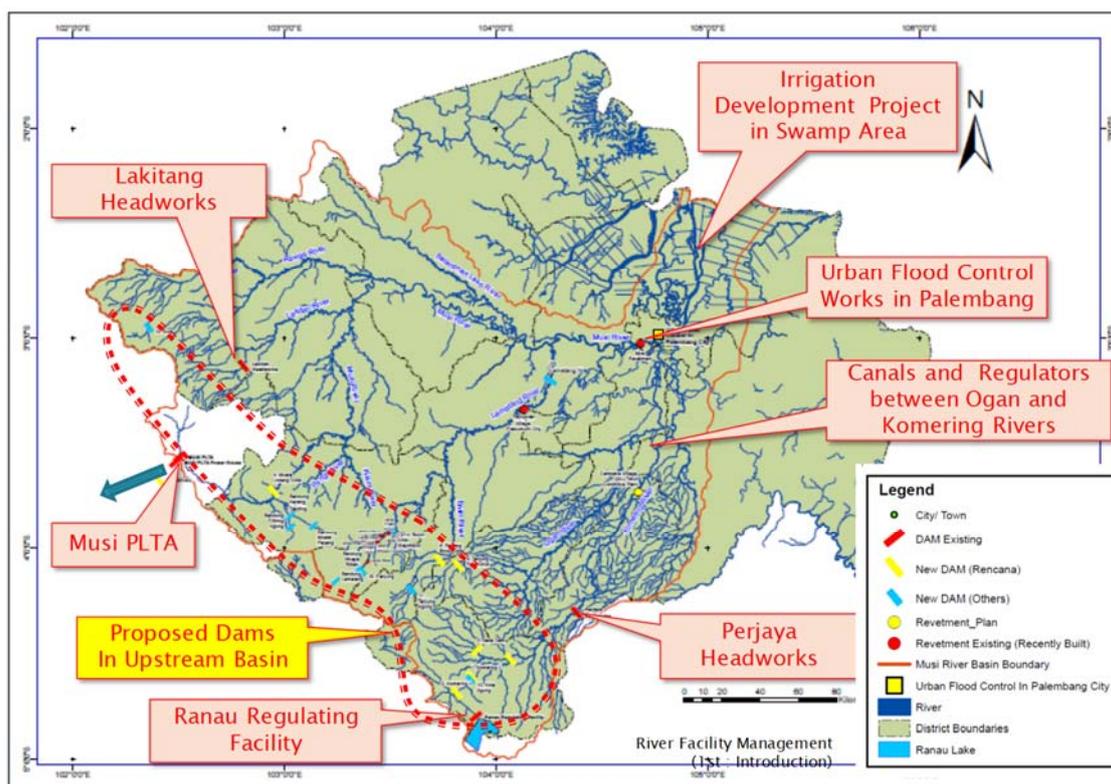
主要な既存ダム、頭首工、発電所の基本諸元等を表 S-23 および 図 S-9 に整理した。

表 S-23 ムシ川流域における主要頭首工、ダム、水力発電施設

河川施設	技術特性	建設年
(1) Headworks		
Perjaya Headworks	End sill height=2-3m, L=215.5m, gated weir, with 7 nos. spillway gates, 3nos. sluiceway gates, 59,148ha	1996
Lakitang Headworks	H=7.66m, L=80m, fixed weir with 4 nos. sluiceway gates, 9,667ha	1997
Lintang Kiri Headworks	H=4.0m, L=40.0m, fixed weir with 3 nos. sluiceway gates, 3,037ha	2011
Lintang Kanan Headworks (Siring Agung) (Karang Tanding)	H=1.0m, L=31.0m, fixed weir with sluiceway gates, 1,293ha H=1.5m, L=24.0m, fixed weir with sluiceway gates, 1,761ha	1997
Lematang Headworks	H=2.0m, L=30.0m, fixed weir with 2 nos. sluiceway gates, 3,000ha	建設中

河川施設	技術特性	建設年
(2) Dam/Reservoir		
Ranau Lake	Reservoir area: 125 km ² , Storage volume: 190 MCM for irrigation water supply.	-
Ranau Regulating Facility	H=7.0m, L=144.0m, gated weir with 6 nos. regulating gates and emergency spillway	1996
(3) Hydro Power Plant		
Musi PLTA	Installed Capacity: 21.0MW, Power Generation 1,834GWh/year	2006
Ranau Niagla PLTMH	Installed Capacity: 2 x 850 kW,	2015

出典: JICA プロジェクトチーム 2



出典: Prepared by JICA Project Team 2 referring to RENCANA(2016) and others

図 S-9 ムシ川流域の主要頭首工、ダム、水力発電所位置図

(5) コメリン川、オガン川の間、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。これらの水路はオランダ植民地時代に建設され、その目的はコメリン川下流の洪水対策であり、コメリン川からオガン川への洪水放流であった。しかし、水路線形が直線的で河床勾配が急であり、水路の流速が速く、大量の土砂が輸送されるため、河岸浸食と河床低下の問題が悪化することとなった。これにより、乾季に連結水路を通じてコメリン川からオガン川に常時も水が流れ込むようになり、コメリン川下流の渇水の問題が新たに発生した。この対策として、各水路の流入部にレギュレーターが建設された。レギュレーターの主要な機能は以下の通りである。

- 雨季：コメリン川からオガン川への洪水放流
- 乾季：コメリン川下流への水量確保のための流量調整

特にランド水路では、レギュレーターが度重なる洪水で被災したことから 2014 年に締切堤とレギュレーターが修復されたところである。

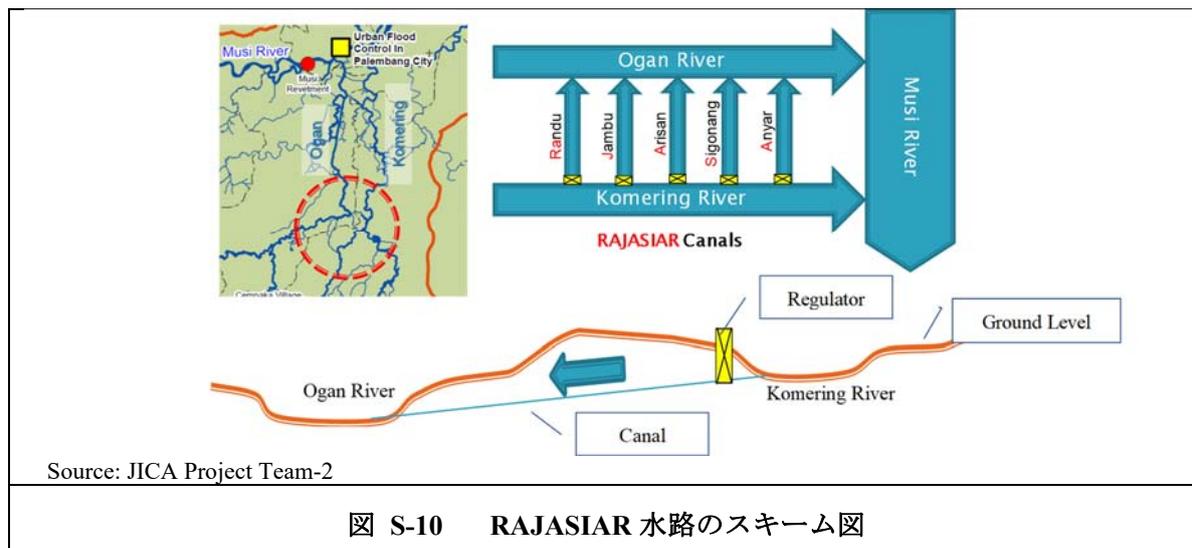
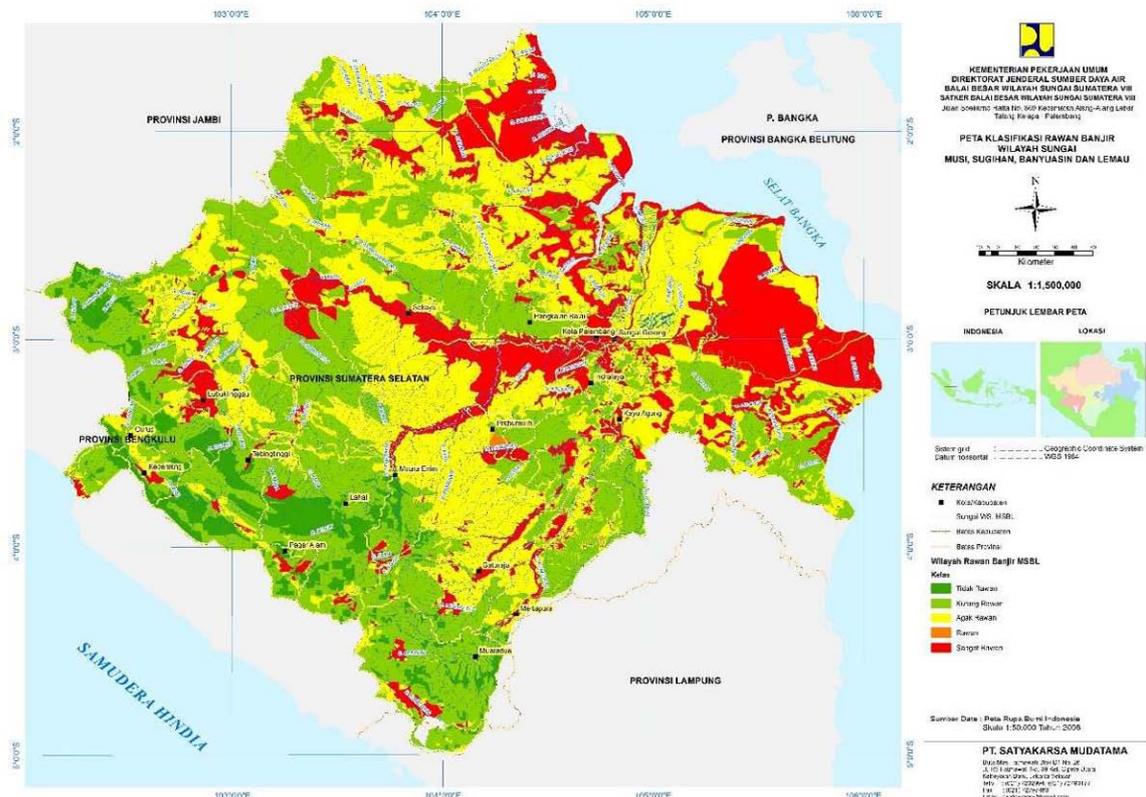


図 S-10 RAJASIR 水路のスキーム図

- (6) 洪水はムシ川流域で最も重要な自然災害の一つである。ムシ川とケリング川、ムシ川とラキタン川、ムシ川の中流域のムシ川とラワス川などの合流点近くの低地では、毎年大規模な浸水が発生している。洪水はしばしば近くの道路を損傷する。パレンバン市では以前は洪水浸水による被害はそれほど深刻ではなかった。しかし近年の経済発展に歩調を合わせた急速な市街化により、パレンバン市の市街地が浸水氾濫を発生しやすい地域にまで拡大している。ムシ川、バニュアシン川、スギハン川流域の洪水マップは、2014年にMSBL川流域での洪水多発地域マップ準備調査において、インタビュー調査とGIS分析に基づいて地元のコンサルタントによって準備された(図S-11)。
- (7) インドネシア政府はパリ協定(Paris Agreement, 2015)においてBUA比で2030年までにGHGを無条件に29%削減、条件付きで41%削減することを約束している。インドネシアのCO₂排出量(464.18 MT¹)のうち、泥炭地の火災に由来するものが排出量全体の90%以上との研究結果もある²。したがって中央政府にとって泥炭地の火災管理は重要な取り組みのひとつとなっており、2016年1月に大統領府直下に泥炭地回復庁(BRG)を置くとともに南スマトラ州をはじめとして泥炭地が分布する各州に泥炭地回復チーム(TRGD)が設置された。

¹ World Bank Data Indicators (2014)

² Levine et al., 1999, Geophys. Res. Lett.; Page et al., 2002, Nature



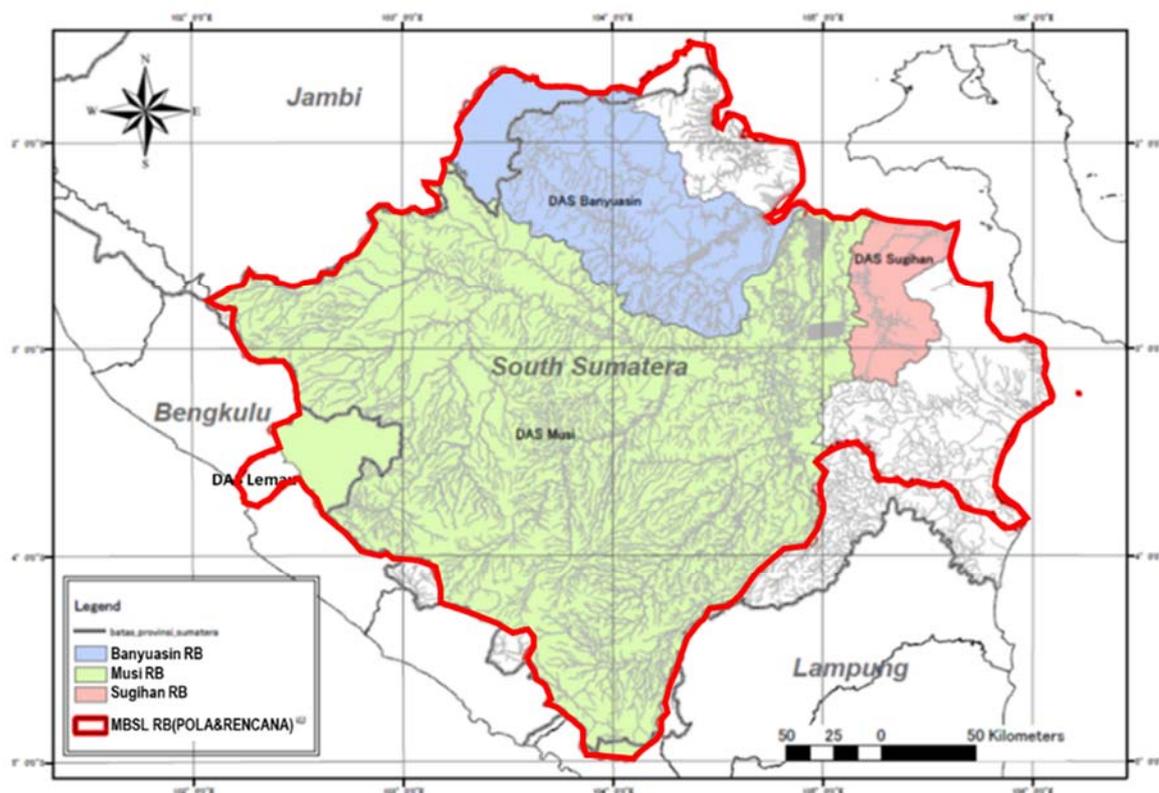
Source: Flood-Prone Area Map Preparation Study in Musi Sugihan Banyuasin Lemau RB, 2014, BBWS Sumatra VIII

図 S-11 洪水氾濫地域マップ

- (8) スマトラ州空間計画作成に係る調査研究は 2011 年に開始され、空間計画は 2016 年に公共事業国民住宅省 (MPWH) によって承認され、2016-2036 年の南スマトラ州空間計画として同州の Regulation No. 11, 2016 で発行された。2025 年の州の開発の戦略的課題とビジョンを考慮して、空間計画の目的は次のように設定された。

「優れた先進州の実現に向けて持続可能な食料資源とエネルギーの可能性を活用することにより、生産的で効率的かつ適格な州の領土空間を作成する」

- (9) ムシ川流域の水資源管理に関する POLA (戦略計画) と RENCANA (実施計画) はそれぞれ、MPW (公共事業省) 令 (No.196/KPTS/M/2014) 及び MPWH (公共事業国民住宅省) 令 (No. 317 / KPTS / M / 2017) に公布された。レマウ川流域、バニュアシン川流域およびスギハン川流域を含む計 86,100 km² をカバーする MSBL 川流域は、以下に示すように、ムシ川、バニュアシン川およびスギハン川流域に焦点を当てた本プロジェクトの 76,000 km² の対象地域よりも若干大きい



Data Source: BBWS Sumatra VIII

図 S-12 MSBL 川流域

(10) POLA、RENCANA (2017 年版) には、生活用水、灌漑用水の需要を満たすため、8 基のダム建設計画が示されている。これらの内ムシ川流域内 7 計画ダムの投入工程は表 S-24 に示す 4 つの期間 (5 年間) に区分されている。

表 S-24 ムシ川流域における POLA/RENCANA のダム建設計画

2016-2021	2022-2026	2027-2031	2032-2036
1. Komering 2 (2021)	3. Muara Lingtang (2026)	6. Muara Dua (2031)	7. Padan Bindu (2036)
2. Komering 1 (2021)	4. Saka (2026)		
	5. Tanjung Pura (2026)		

出典: Water Resources Management Plan Musi-Sugihan-Banyuasin, Lemau River Basins (Year 2017)

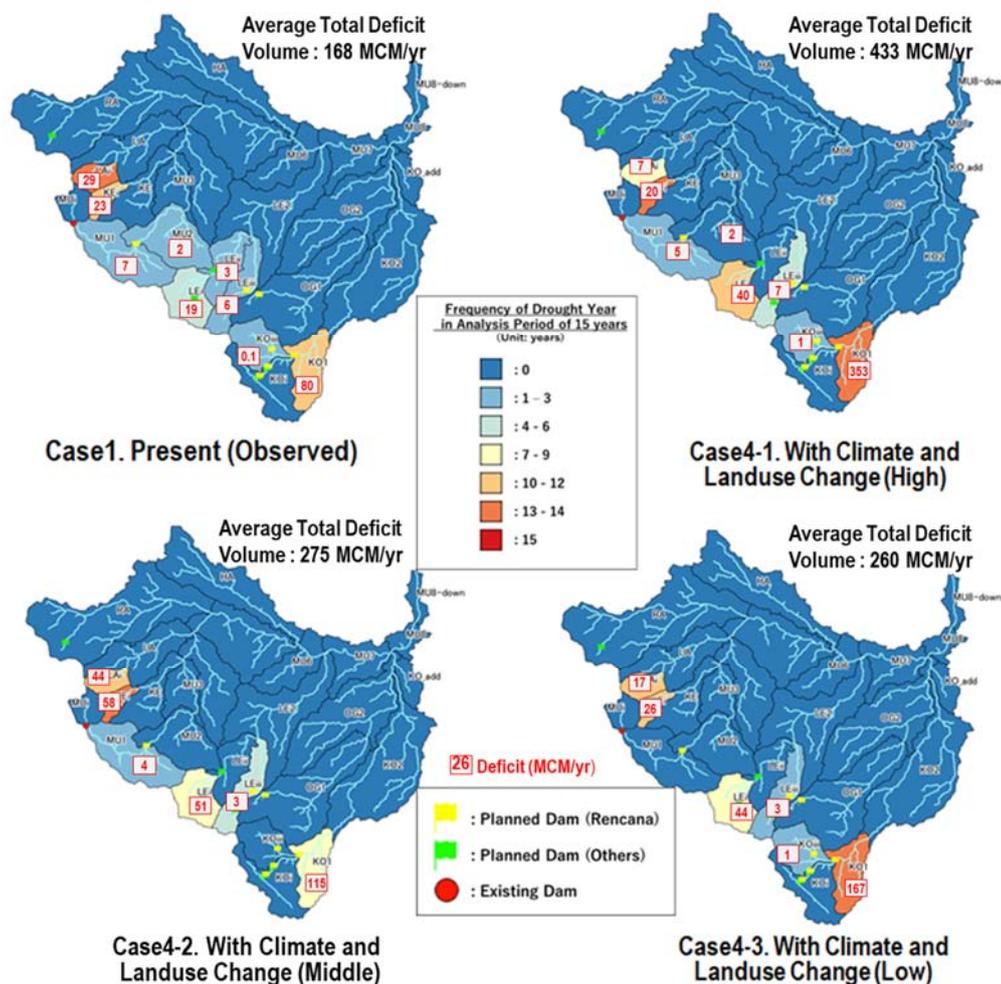
8. 2050 年の気候変動影響評価

8.1 渇水

気候変動が水利用に与える影響を評価するために、灌漑用水及び DMI 用水確保の安全度指標として、水不足発生年 (渇水年) の頻度を、水収支分析の結果を使用して推定した。頻度は、15 年間の水収支分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 (参照: 図 S-13)。平均年間総不足水量も同図に示しており、以下のように評価される。

- すべての気候シナリオにおいて、水不足は西側のコメリン川、レマタン川、ケリンギ川、ラキタン川水系の上流小流域のみで発生し、中/下流域では発生していない。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灌漑取水施設が集中しているからである。

- コメリン川とレマタン川の水不足小流域には、いくつかのダム貯水池が計画/提案されている。しかし、ケリング川とラキタン川には計画/提案ダムはない。
- 水供給の安全性の観点から灌漑用水より優先される DMI 用水は、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。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 S-13 渇水年の発生頻度及び不足量 (Case 4)

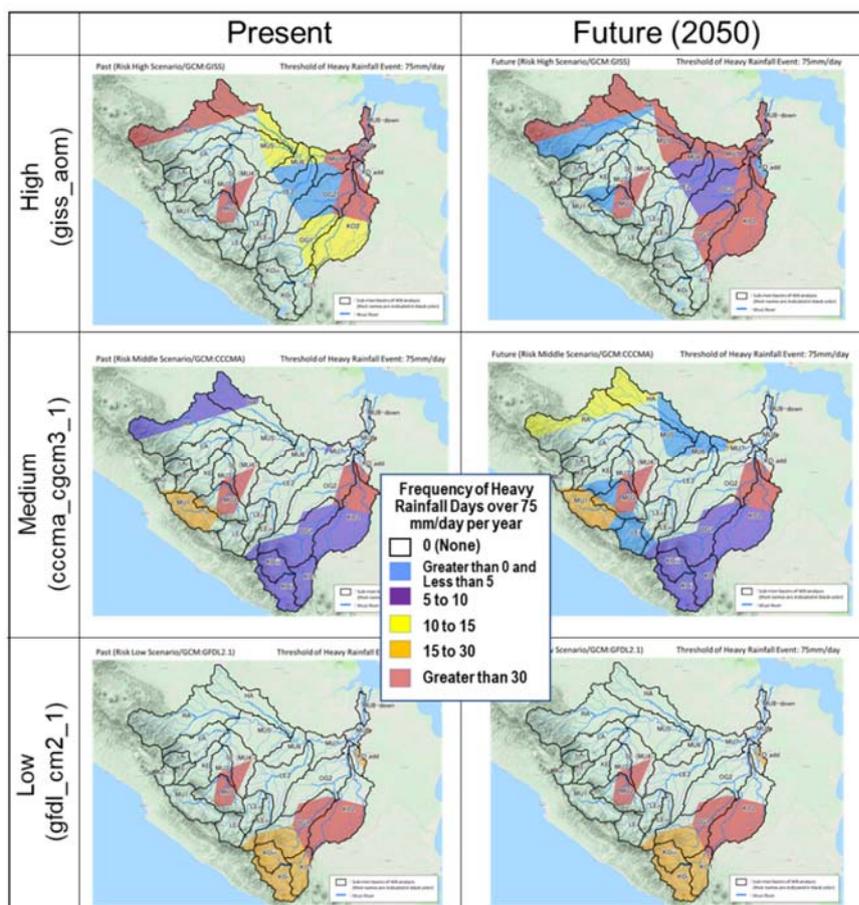
8.2 豪雨の増加

気候変動の影響として豪雨頻度がどの程度増加するかを把握するために、JICA プロジェクトチーム 1 によって提供された 500m x 500m メッシュのバイアス補正済み日雨量データを使用して、頻度分析を行った。表 S-25 はムシ川流域において、複数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、現在から将来気候シナリオへの増加率も示している。図 S-14 は、閾値が 75mm/day の場合、つまり 75mm/day 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増加し、上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 S-25 ムシ川流域における年間豪雨発生回数

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 S-14 日雨量 75mm/日を超える頻度

8.3 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。

JICA プロジェクトチーム 1 によって提供された流出流量データを用い、2050 年に想定される 25 cm の海面上昇の条件で、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 S-15 及び表 S-26 にまとめた。

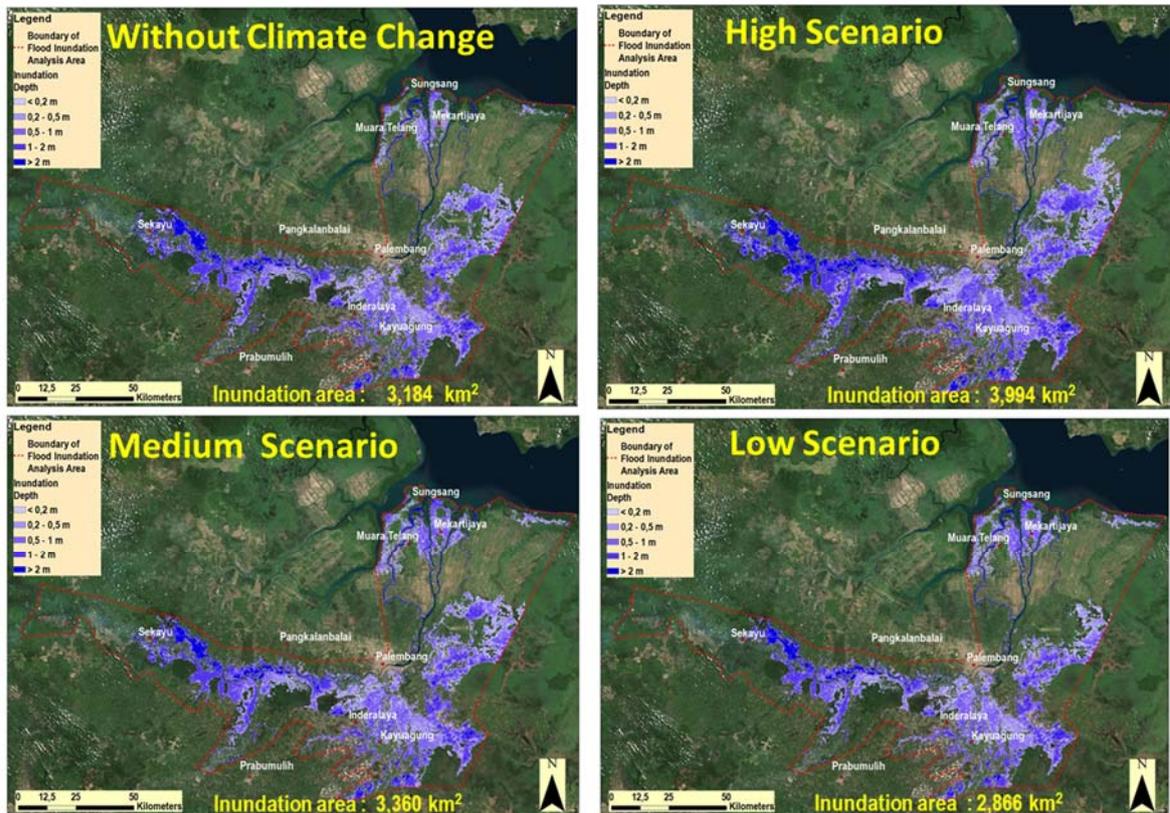
これらの結果から、洪水の浸水面積は洪水の確率規模が大きくなるにつれて確実に増加することが理解できる。現状では、100年確率の推定浸水面積は約3,200 km²である。これが将来の気候シナリオに応じて、2050年までに4,000~2,900 km²に増減することが予想される。また、海面上昇により、とくに下流の感潮湿地水田地域で洪水浸水が拡大する様子が見られる。

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、洪水氾濫原地域の住民の多くは、写真S-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 S-26 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. (MCM)	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
上位シナリオ	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
下位シナリオ	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

図 S-15 最大浸水エリアの比較 (100 年確率洪水)



出典: JICA プロジェクトチーム 2

写真 S-1 氾濫原のピロティ式家屋

8.4 塩水遡上

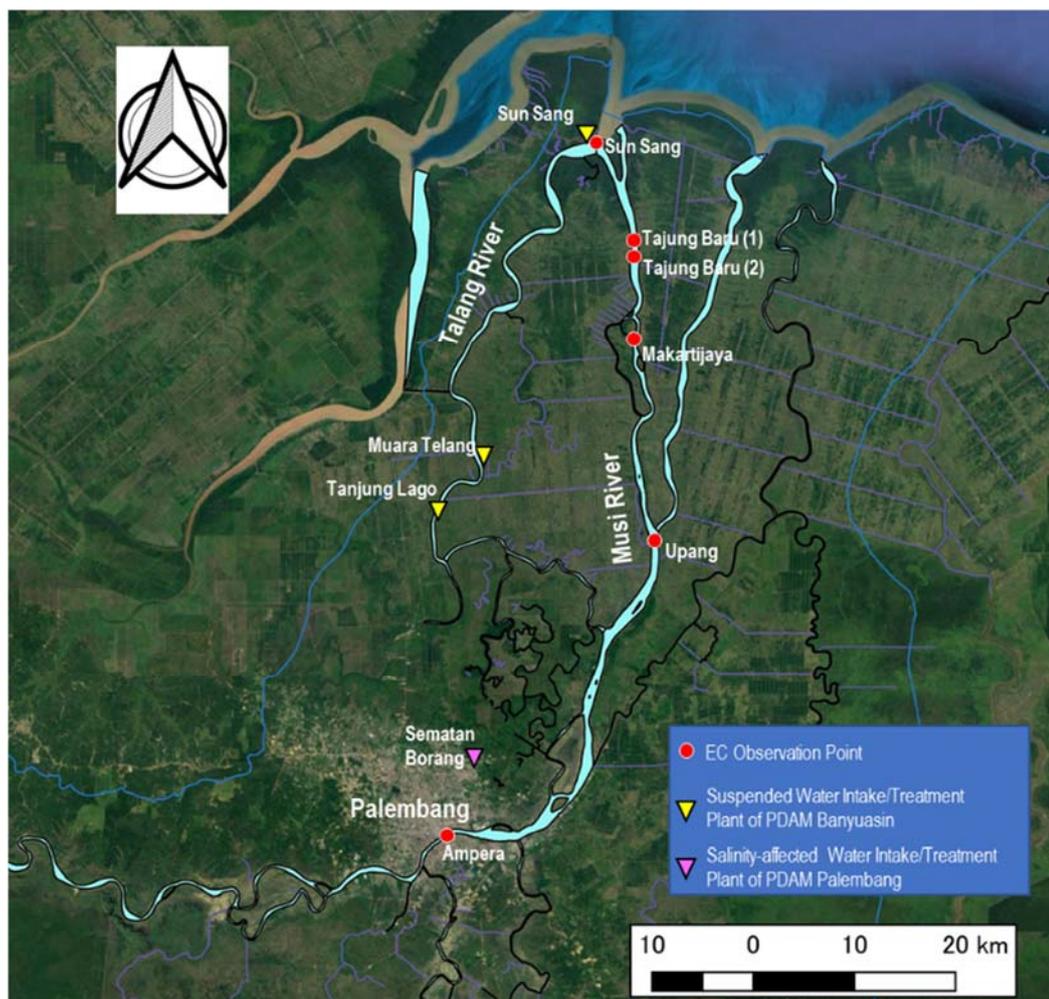
海面上昇は、気候変動の最も重要なインパクトの 1 つである。ムシ川の河口では年間 0.5cm の海面上昇が予測されており、約 30 万人が感潮湿地地域に住み、その多くが農業に従事している。海面上昇によって増大する塩水遡上は、沿岸の低地に住む人々にとって最も重大な脅威の 1 つであると予想され、既にそんな脅威の具体的な兆候が現れている。農民および関係者へのインタビューによると、農業への重大な塩害はまだ報告され

ていないが、パレンバンの 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

2013年12月6日にムシ川沿いの6点で電気伝導率 (EC) の計測を実施し (参照: 図 S-16)、以下の事項が考察される。

- 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) には塩水くさびの兆候が見られる。水面から深くなるほど EC 値は大きくなる。
- 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回限りの計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/計測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 S-16 塩水の影響を受けた取水/浄水施設と電気伝導度計測地点

8.5 土砂流出

(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、流域で認められていない。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察される。
- 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。
- コメリン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、更新世の浸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浸食が所々で認められた。

(2) 将来気候下での土砂流出

将来気候下での土砂流出量は、USLE の式を使用して推定された。

- 将来気候下（2050 年）におけるムシ川流域の土砂流出増加率は、現在気候（2000 年）に対して平均 15%と予想される。また、将来降雨量の増加率は 3%と見込まれる（参照：下表）。

将来土砂流出増加率		将来降雨量増加率	
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

8.6 水資源管理のリスクとレジリエンス

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エンスについて表 S-27 に纏めた。レジリエ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。

表 S-27 水資源管理のリスクとレジリエンス

ハザード	リスク	レジリエンス
渇水	<ul style="list-style-type: none"> 農業生産の減少 DMI 水の不足 エコシステムへのダメージ 水質の悪化 	<p><u>灌漑用水需要量の管理</u></p> <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ローテーション灌漑 (Giliran)や時差灌漑(Golongan) <p><u>DMI 用水需要量の管理</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 節水のプロモーション 雨水利用

ハザード	リスク	レジリアンス
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

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もとで総水不足量は18～74%増加すると予想される。農業生産の減少、DMI 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、灌漑用水需要管理と DMI 用水需要管理の2つに大別される。灌漑用水需要管理には、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、作付けカレンダーの変更、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がある。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

気候変動の下で洪水の影響が増加する可能性があることから、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 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。渇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。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、生態系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) 流出土砂

USLE 法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、将来気候シナリオに応じて、37%（上位シナリオ）、11%（中位シナリオ）の増加および-2%（下位

シナリオ)の減少となる。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、河岸浸食が加速する可能性もある。レジリアンスとしては、河道変化の監視（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浸食を防ぐために必要である。

9 2050年までの水資源管理計画のための気候変動適応策の策定

上述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表 S-29 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、提案した対策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 S-28 に示す。

表 S-28 気候変動適応策（提案）と POLA/RENCANA 内の対策との比較

項目	POLA (2014) / RENCANA (2017)	本プロジェクトでの提案
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、パニユアシン川流域 (76,000 km ²)
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（上位、中位、下位）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/対策	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対策が提案されている。

出典： JICA プロジェクトチーム 2

10 POLA および RENCANA に取り込むべき気候変動適応策

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 年間で対象とするこれらの水資源管理計画は、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ため、表 S-29 にリストされている 2020 年から 2040 年までの提案された対策を次の POLA 及び RENCANA に組み込む必要がある。

表 S-29 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	地下水盆地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削減	海岸泥炭地	法的対策	施行	施行	TRGD	
	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			

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	
		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ることで森林伐採の減少	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 2. 行動計画の作成 3. 水路やゲートの建設・改良	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, BBWS-S8、農民組織、Banyuasin 県
	2.4 水源開発	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MP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	河岸浸食防止工	河岸の浸食防止工	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

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		
		道路嵩上げ	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
			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

＜＜ 能力強化 ＞＞

11 能力強化

- (1) 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。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・理解を深めめることにも留意した。
- (2) 本プロジェクトは「イ」国側の能力強化の一環で、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回の国別研修を実施した。
フェーズ1（2013年6月～2016年6月）：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「気候変動影響評価」に係る第1回・2回国別研修を実施した。
フェーズ2（2013年7月～2019年12月）：チーム2が「水資源管理計画」に係る第3回・4回国別研修を実施した。
- (3) チーム2は、JICA およびチーム1のご支援・ご協力を得て第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。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 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いただき、また本業務成果の普及・広報を図るべく新聞報道も含まれた。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、バライ・スマトラ8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。最後の第4回セミナーは、本プロジェクトの成果（含：ハンドブック）が「イ」国にて広く共有されるべく2019年11月にジャカルタ市・スラバヤ市・パレンバン市で開催された。

＜＜ 結論と提言 ＞＞

12. 結論と提言

12.1 POLA/RENCANA のための気候変動適応策策定

本プロジェクトは、気候変動が水資源管理に及ぶことが懸念される被害を軽減することに主眼を置いてブランタス川およびムシ川流域のPOLA/RENCANAに含めるべき構造物対策、非構造物対策から成る気候変動適応策を策定した。この対策は、将来予測で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 S-30 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 S-30 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"> <u>ブランタス川流域</u>: 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 <u>ムシ川流域</u>: 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"> <u>ブランタス川流域</u>: 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 <u>ムシ川流域</u>: 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><u>洪水</u>:</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><u>渇水</u>:</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

分野	留意事項
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（異常な洪水・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><u>洪水:</u></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><u>渇水:</u></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

(1) 農業・灌漑セクター

(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た上で、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提言する。垂直協業の関係者は、水資源総局、河川流域機関事務所、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 S-31 に示す活動の実施を勧告する。

表 S-31 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	

活動	活動主体
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

(2) その他のセクター

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

(a) 表流水と地下水の一体的管理 《両流域》

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。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。

(b) 洪水関連のアクションにおける役割の明確化 《両流域》

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。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。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。

(c) 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・水文気象の情報システムを BBWS Brantas、PJT-I、BMKG および地方政府が共同で開発中であるが、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 つであることから 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。

(d) 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、BBWS Brantas、PJT-I、ブランタス-サンペアン BPDASHL³ と林業公社 (Perhutani⁴)、さらには州および市/県レベルの地方政府の関連部局も流域保全に関与する。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

³ 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

⁴ 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。

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。

(e) 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が、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。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役割を果たすことが必要である。

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/省令は将来の気候変動影響に対応する POLA /RENCANA を策定することを規定している。このような中、本プロジェクトはブランタス川・ムシ川流域の POLA/RENCANA に気候変動影響を反映するための提案を策定するとともに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た。

本ハンドブックは、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する適応策策定を主要なコンセプトとして、両河川流域の適応策策定に取り入れた計画・解析手法に加えプロジェクトを通して得られた多くの知見や教訓も取り込んでいる。

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対策策定を通して蓄積され、その全てが双方の緊密な協力のもとで上記ハンドブックに取り込まれている。

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伴い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」国の他河川流域の POLA/RENCANA に含める適応策を適時に策定することを提言する。