

# ブランドス川流域調査

## 第3章 ブランタス川流域の状況

### 3.1 プロジェクト地域の自然条件

#### 3.1.1 地形

ブランタス川流域は、ジャワ島第2位の流域面積を持ち、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 12,000km<sup>2</sup> をもつ流域である。流域界及び主要河川を巻頭位置図に示す。

ブランタス川流域は、東部に位置する Bromo 山(標高 2,392m)から Semeru 山(標高 3,676m)、南部の Kidul 分水嶺(標高 300-500m)、西部の Willis 山(標高 2,169m)とそれに連なる峰々及び北部は Kedung 分水嶺と Madura 海峡を流域界としている。Arjuno 山(標高 3,339m)、Butak 山(標高 2,868m)、Kelud 山(標高 1,731m)から成る Arjuno 山コンプレックスが流域の中央に位置している。

#### 3.1.2 気象及び水文

##### (1) 現在の気象

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する。雨季は 11 月から 4 月までの 6 ヶ月、乾季は 5 月から 10 月となっている。流域内の年平均気温は、Malang で 24.6°C、Porong で 26.8°C となっている。

流域の年平均降雨量は、PJT-I が所有する 6 カ所の雨量観測所の降雨資料から評価すると約 2,100mm となる。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。年間降雨量は地域によって異なり、標高が高い地域の年平均降雨量は多く、特に Kelud 山の南斜面と西斜面は 3,000~4,000mm に達する。流域の年平均相対湿度は、場所によって 74% から 83% となっている。

##### (2) 気候変動下の将来気象

2046 年から 2065 年の気候変動下の将来の気象は、JICA プロジェクトチーム 1 (以下「チーム 1」) が作成したコンポーネント 1 の結果に基づき、予想される将来気候変動下の気象条件を示す。

気候変動条件下での流域の年平均気温が約 2.0 度上昇すると推定されており、Malang で 26.6°C、Porong で 29.4°C と想定されている。将来気候下の平均的な年では、流域の年降雨量は約 2,200mm と推定され、現在観測されている年平均降雨量より 100mm 増加する。年降雨量の約 78% が雨季に発生し、年降雨量の変動は、豊水年の 2,640 mm から渇水年の 1,940 mm と推定されている。

##### (3) 観測所の現況

###### 1) 気象観測所

ブランタス川流域内の気象観測所は 4 か所あり、PJT-I によって維持管理され、気温、湿度、蒸発量、気圧、日照時間、風速が日ベースで観測されている。表 3.1.1 に流域の気象観測所の一覧を示す。

表 3.1.1 ブランタス川流域内の気象観測所

番号	観測所名	位置	標高 (El.m)	データ入手 可能期間	適用
1	Karangates	S 08° 09' 20" E 112° 27' 09"	285.0	2006 - 2011	蒸発散量の計測は 行っていない。
2	Wlingi	S 08° 08' 36" E 101° 52' 24"	173.8	2005 - 2009, 2012	
3	Wonorejo	-	-	2003-2012	
4	Selorejo	S 07° 53' 00" E 121° 21' 00"	637.0	2003 - 2005, 2007 - 2012	

出典：PJT-I 資料

## 2) 雨量観測所

ブランタス川流域周辺の雨量観測所は、以下のとおりである。

- PJT-Iにより、観測を停止した観測所も含めて48カ所が維持管理されている。
- ブランタス川流域管理事務所(以下「BBWS Brantas」)は、31の雨量観測所を管理している。
- 5つの地方行政レベルの灌漑局(以下「DINAS」)では、350の雨量観測所を管理している。

図 3.1.1 に、PJT-I が所有する雨量観測所の一覧と各観測所の観測期間を、図 3.1.2 に観測所位置図を示す。また、図 3.1.3 に BBWS Brantas と DINAS の所有する観測所位置図を示す。

## 3) 水位観測所と河川水位流量曲線

水位観測所は合計10カ所あり、PJT-Iによって管理されている。図 3.1.1 に河川水位観測所及び観測期間、図 3.1.2 に水位観測所の位置図を示す。河川水位-流量(H-Q)曲線は、上述した河川水位観測所の10カ所で作成されており、毎年更新されている。

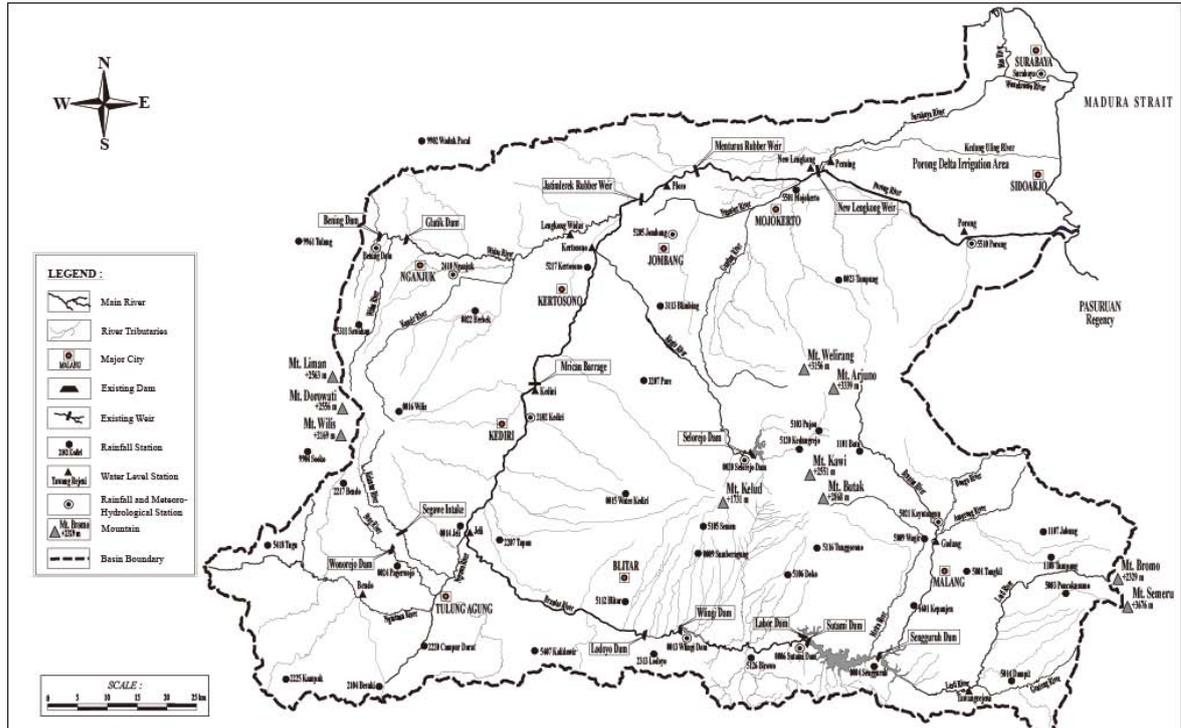
一方、BBWS Brantas は21カ所の河川水位観測所の維持管理を行っている。これらの水位観測所は、ブランタス川の支川に設置されており、ブランタス川本川には設置されていない。

## (4) 潮位観測所

気象気候地球物理庁(以下「BMKG」)の Surabaya 海洋気象観測所では、Surabaya 市の Kenjeran にある港で潮位を観測している。潮位は、日ベースで最高および最低の潮位を観測している。2006年から2013年にかけて Kenjeran で観測された最高、平均および最低潮位を表 3.1.2 に示す。

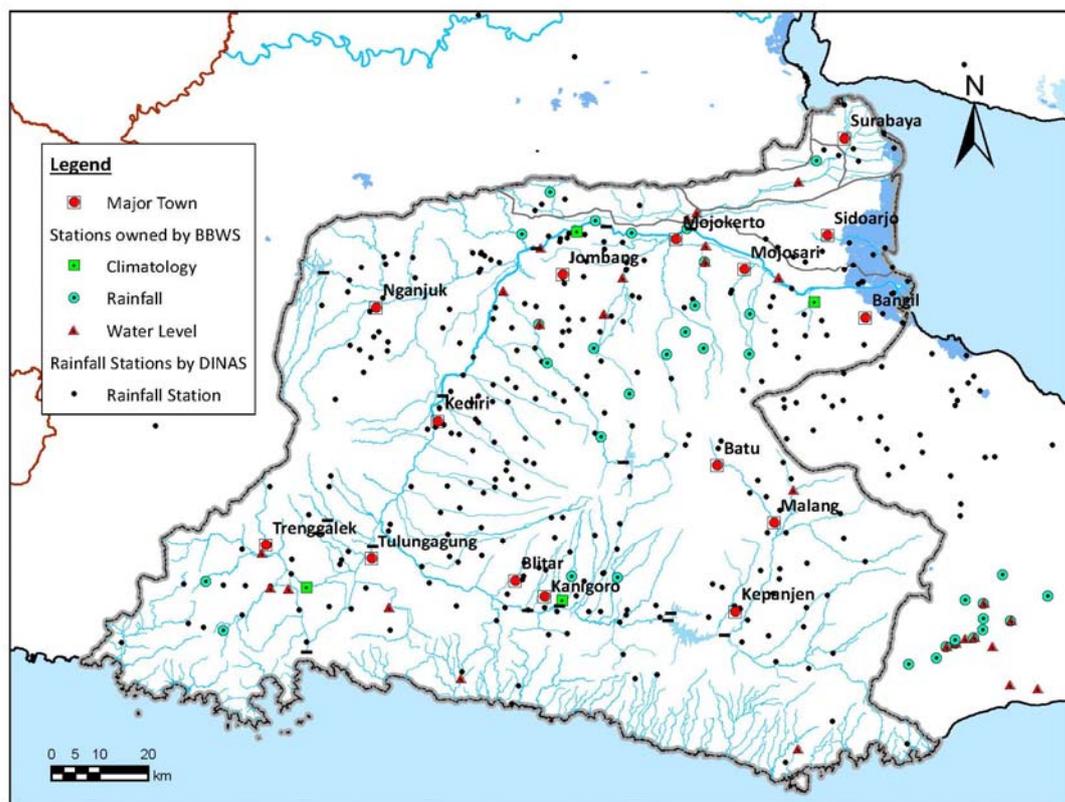
表 3.1.2 に示すとおり、潮位は-180cm から 160cm の範囲にあり、日最高、最低、平均の潮位差はそれぞれ 320cm、70cm、199.8cm となっている。





出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 3.1.2 PJT-I 管轄の雨量観測所及び水位観測所位置図



出典：BBWS Brantas

図 3.1.3 BBWS Brantas および DINAS 管轄の雨量観測所および水位観測所位置図

### 3.1.3 地質・水理地質

ブランタス川流域の地下水賦存量を評価するための基礎資料として、地形・地質に関する文献資料を収集・整理した。ブランタス川流域の地質ならびに水理地質の概要は以下のとおりである。

ブランタス川流域の地形は、東西の走向を示す顕著な地質構造を反映し、表 3.1.3 に示すような東西方向に帯状に伸びる 5 つのゾーンに区分される。これら地質図に追記した 5 つの地形ゾーンを図 3.1.4 に示す。

表 3.1.3 ブランタス川流域の地形ゾーン

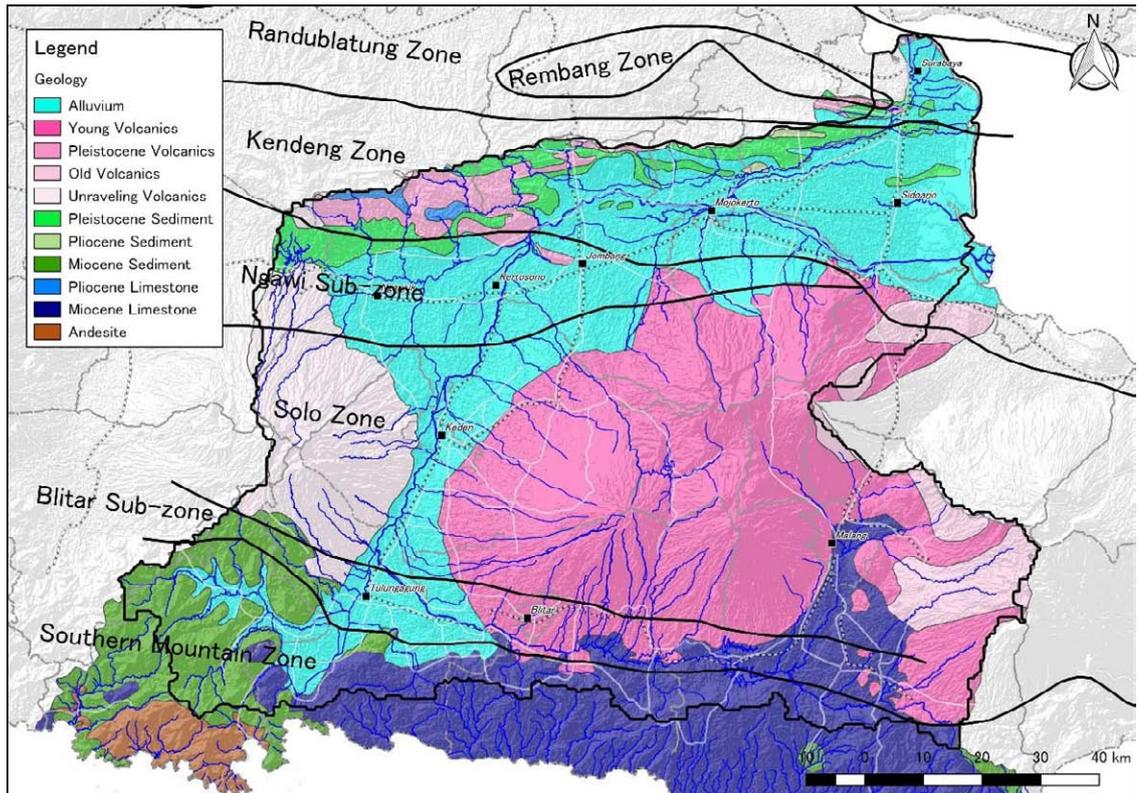
ゾーン	分布地域	地形的特徴
Remubang 帯	Randublatung 帯内の一部	主に石灰岩と泥岩からなる丘陵地帯
Randublatung 帯	Surabaya の西方域	沖積低地、沖積軟弱層は 100m 弱に達する陥没地帯
Kedeng 帯	流域北部	成層した堆積岩からなる丘陵地帯
Solo 帯	流域中央部	第四紀の火山列からなる山岳とその間に広がる山麓平野。北部の Ngawi 副帯と南部 Blitar 副帯がある。
Southern Mountain 帯	流域最南部	比較的古い地質時代の石灰岩や火山岩類が分布する山岳地帯

出典: JICA プロジェクトチーム 2

ブランタス川流域の最も古い地層は、新第三紀中新世の炭酸塩岩、石灰岩、泥灰岩で構成され、流域全体に広く分布している。その上位を鮮新世の堆積岩類が、さらに最上位を第四紀層が覆う。ブランタス川流域では第四紀層が有力な帯水層として古くから開発が進んでいるが、この帯水層は大きく深部帯水層と浅部帯水層に分けられる。

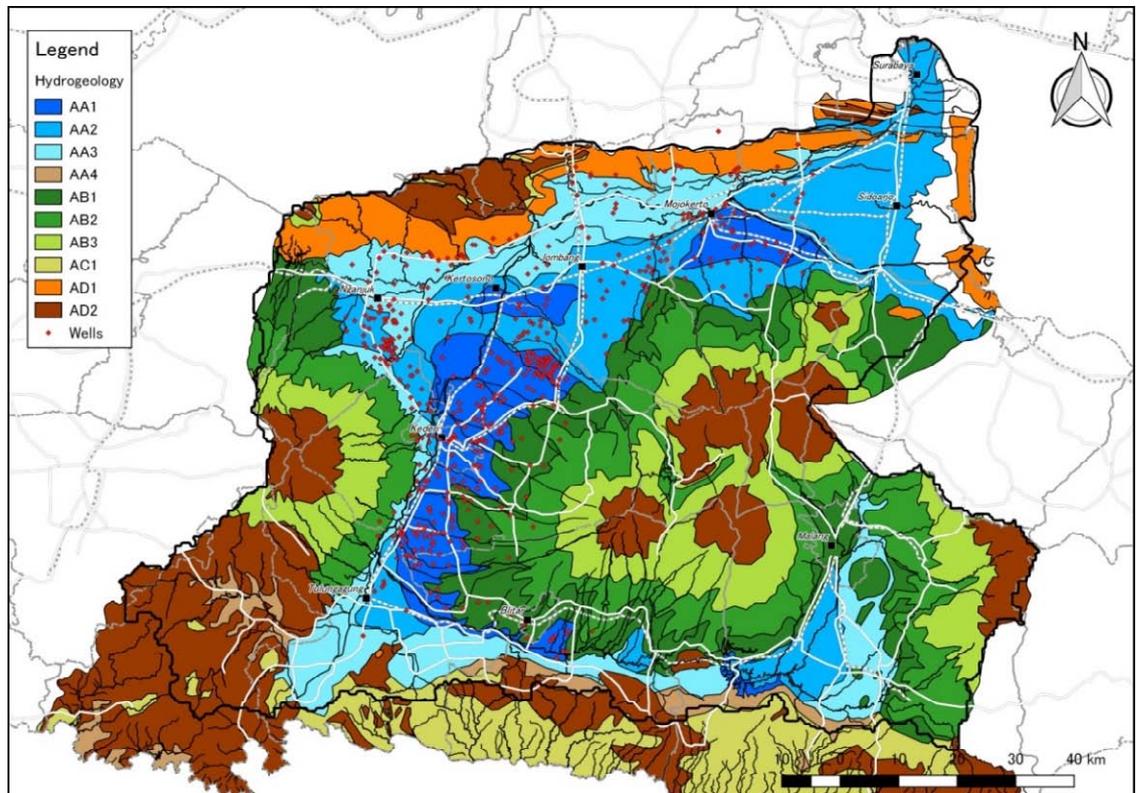
深部帯水層は山間盆地に形成され、火砕流および火砕流起源の堆積物と Kubuh 層の礫岩および砂岩などの粗粒堆積物が弱く固結した層からなり、不整合に下位の火山岩類と堆積岩類からなる Pucangan 層を覆う。更新世の火山岩類と堆積岩類は非常に複雑な指交関係にあるが、その中に高い地下水ポテンシャルを有する層が挟在する。さらに、ブランタス川流域のほぼ平地全域で広く利用されている浅部帯水層は、周辺火山からの崩落や河川洪水を起源とした堆積物で構成されている。

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 3.1.5 であり、図中で用いられている水理地質区分を表 3.1.4 に示す。この水理地質区分をブランタス川流域の現在ならびに将来の地下水ポテンシャルを評価するための地下水モデリングに使用した。主な帯水層はブランタス川とその支川沿いに分布し、ほとんどの揚水井戸がこの帯水層が存在する地域にある。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 3.1.4 ブランタス川流域の地質ならびに地形ゾーン



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 3.1.5 ブランタス川流域の水理地質図

表 3.1.4 ブランタス川流域の水理地質区分

分類	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。	低から中程度の透水性を有する帯水層。地下水面は地表面近くから 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。
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~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

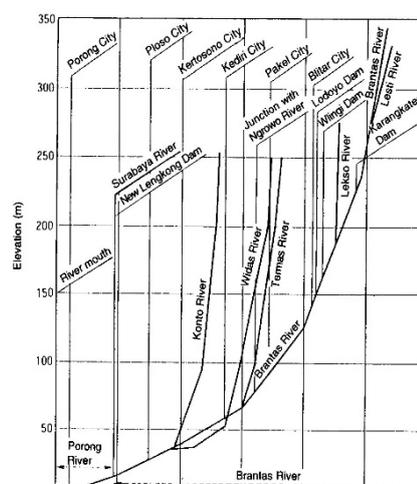
### 3.1.4 河川状況

ブランタス川は Arjuno 山の泉を源流とし Kelud 山を中心に時計回りに流下している。河川延長は約 320km であるが、下流で Surabaya 川と Porong 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。

また、Porong 川と Surabaya 川は標高 25m 以下の低平地を流下している。

図 3.1.6 にブランタス川流域の河川縦断図を示す。

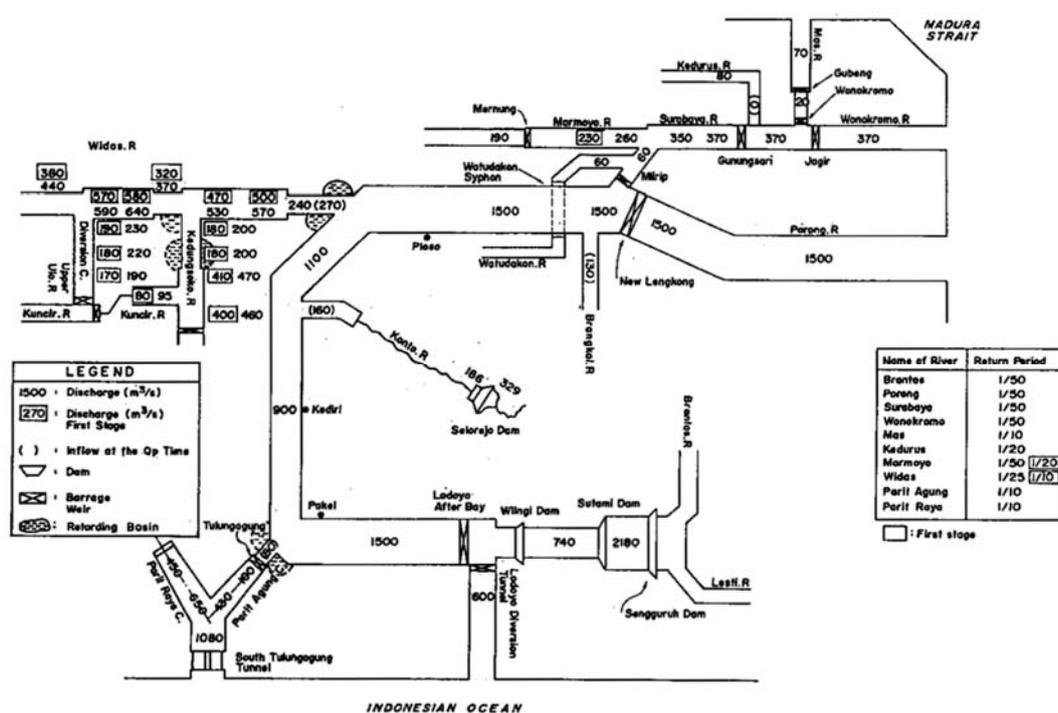
また、ブランタス川の流量配分が設定されており、それに基づいて、本川の河川改修が実施されてい



出典: "Development of Brantas River Basin"

図 3.1.6 河川縦断図

る。図 3.1.7 に流量配分図を示す。



出典: The Study on Comprehensive Management Plan for the Water Resources of the Brantas River Basin in the Republic of Indonesia Vol.II Main Report, October 1998 JICA

図 3.1.7 ブランタス川の流量配分図

### 3.1.5 自然環境

以下の情報は、BBWS Brantas、流域管理センター（以下「BPDAS」）、水資源保全センター（以下「BKSDA」）、国立公園事務所、州環境局および NGO への聞き取りと二次情報収集結果をまとめたものである。

#### (1) 森林

法定林地は 520,498.7ha (レビューPOLA2015(ドラフト))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%)となっている。9つの森林管理ユニット（以下「KPH」）が法定林地の管理を担当しており、Malang と Kediri の KPH が最大規模で、それぞれ約 120,000ha の林地を管理している。

#### (2) 保護区

Bromo Tengger Semeru 国立公園の一部がブランタス川流域内に位置している。野生生物保護区(Suaka Margasatwa)は流域内に存在していない。自然公園(Cagar Alam)が Besowo Gadungan、Manggis Gadungan、Gunung Abang の3か所存在し、重要野鳥生息地 (IBA) は5か所存在する。

#### (3) 生態系

ブランタス川流域は東部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)といった大型魚類が記録されている。

#### (4) 景観

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。

### 3.1.6 水質

水質検査は毎年定期的に行われており、表 3.1.5 に 2012 年の各モニタリング地点での検査結果を、表 3.1.6 に 2010 年から 2014 年の年次モニタリング結果を示す。BOD の数値は環境基準値を上回っているが、COD と DO は基準値内となっている。(しかしながら、さほど良好な数値とは言えない)。上流、中流において水質は、雨季が最も悪く、次に乾季となっている。これは雨季の流入水の影響と乾季の濃縮効果によるものと推察される。下流域においては、乾季および中間季に水質が悪く、これは濃縮効果によるものと推察される。

Surabaya 川において、2012 年に製糖工場からの汚染による魚の大量死が報告されている。ブランタス川下流やその他支流における DO の数値が低いことから、魚類等に致死的な影響を与えるスポットが点在している可能性が危惧される。

表 3.1.5 季節ごとの水質検査結果 (ブランタス川、2012)

	BOD (mg/l)			COD (mg/l)			DO (mg/l)		
	上流	中流	下流	上流	中流	下流	上流	中流	下流
雨季	3.95	3.50	4.22	10.89	9.01	10.39	7.27	7.31	5.42
中間季	2.98	3.48	4.05	7.28	9.50	9.78	7.65	7.91	5.55
乾季	3.25	3.41	3.91	8.48	8.87	10.11	8.03	8.09	5.49

注釈: 雨季: 11月から3月、中間季: 4月から5月、乾季: 6月から10月

出典: 東部ジャワ州 BLH のデータを基に算定

表 3.1.6 ブランタス川の年間水質モニタリング結果 (2010-2014)

	Unit	2010	2011	2012	2013	2014	Average	Env. Standard
BOD	mg/l	5.12	4.41	4.33	3.60	4.27	4.35	3.00
COD	mg/l	17.94	15.45	13.64	10.92	12.45	14.08	25.00

出典: 東部ジャワ州 BLH

### 3.1.7 自然立地条件

インドネシア国内には、土壌侵食の高い可能性が潜在する土地が広く分布しており、流域管理上の重大な課題となっている。ブランタス川流域においても、流域面積の 30.85% にあたる 435,049 ha がこれに該当していることが、2009 年に作成された「森林・土地回復土木計画」(以下「RTkRHL DAS」)により報告されている。また、同報告書では土壌侵食可能性に基づいて流域の 4.47%を「極めて高い」、14.27%を「高い」、12.11%を「や

や高い」、12.11%を「潜在性あり」、残り 60.94%を「可能性無し」、と類別している。

## 3.2 プロジェクト地域の社会状況

### 3.2.1 行政区分

ブランタス川流域は、東部ジャワ州に位置し、流域内の行政区分として 9 県と 6 市が位置している。流域内に位置する県、市を表 3.2.1 に示す。

表 3.2.1 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)

### 3.2.2 人口

2010年のセンサスを基に算定すると、ブランタス川の流域内人口は約1,620万人であり、2015年は約1,690万人と想定されている。人口年増加率は、Surabaya市周辺は東部ジャワ州の平均よりも高くなっている。

### 3.2.3 土地利用

BBWS Brantas が作成した現況土地利用図に基づき、表 3.2.2 に流域の土地利用区分と分布面積を示す。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。土地利用図はサポーティングレポート D を参照されたい。

表 3.2.2 ブランタス川流域における土地利用の現状

類型区分	面積(ha)	比率 (%)
自然林	71,675	6.002
乾燥地林	55,650	4.660
灌木林	675	0.056
マングローブ林	50	0.004
永年作物植栽地	157,995	13.231
水田	337,925	28.298
畑地	273,875	22.935
休耕地	6,700	0.561
家庭菜園	40,030	3.352
居住地	225,050	18.846
養魚池・池塘	22,525	1.886
湖・貯水池	1,825	0.153
河川	175	0.014
合計	1,194,150	100.000

出典: BBWS Brantas

### 3.2.4 産業構造

過去の東部ジャワ州の地域内総生産 (GRDP: Gross Regional Domestic Product) は、2017年において、1.482兆ルピア(2010年物価)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。

### 3.2.5 社会経済状況

東部ジャワ州の生活環境は直近 5 年間で改善されてきている。

東部ジャワ州の月平均給与は 2016 年において 178.6 万ルピアであり、インドネシア国平均と比べると約 18%低い数値となっている。一方、2016 年の失業率は 4.14%であり、同国平均よりも 1.36%低い値となっている。

識字率や就学率といった数値で表される教育水準は、次第に改善されている。清潔な上水道サービスの提供割合も次第に増加し、2015 年で 70%を超えており、基本的なインフラ施設の改善を示している。

### 3.2.6 社会環境

人間開発指数は改善してきている。一方で 2015 年における貧困率は依然 12.3%と高く、ジニ係数は貧困の偏りの増加を示している。

その他、東部ジャワ州には 8 世紀から 20 世紀に由来する国の歴史的遺産が 22 カ所ある。これらは主に Surabaya 市、Malang 市、Mojokerto 市に位置している。

### 3.2.7 汚水

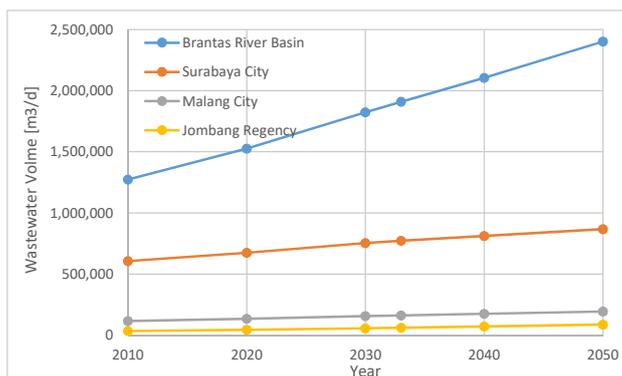
#### (1) 既存下水道施設

ブランタス川流域における下水道施設はまだ十分に整備されていないため、各戸からの汚水は腐敗槽に溜められ、越流水が周辺の水路に放流されている状況である。腐敗槽に溜められる汚水は通常し尿であり雑排水は直接水路に放流されている。一方で、工場排水は各工場の責任で一次処理がなされている。

#### (2) 将来汚水量の算定

図 3.2.1 に示すように、2050 年までの水需要予測をもとに汚水量を算定した。汚水量は現状を鑑みて都市部においてのみ処理される事とし、工業排水は公共で処理する汚水量として考慮に入れていない。都市部における生活用水及び非生活用水の 80%が汚水量に相当するとして算定した。

汚水量は、水需要が増加するに従い、増加する傾向となる。そのため、下水処理場及び下水管渠の整備が必要であり特に人口密度が高く汚水負荷が高いと考えられる都市部においては段階的な整備計画に基づく実施が重要である。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 3.2.1 2050 年までの汚水量算定

### 3.3 水セクターの現状

#### 3.3.1 水資源に関する地域開発計画

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)を作成している。以下に長期計画、中期計画及び空間計画について示す。

##### (1) 長期開発計画 (2005-2025)

東部ジャワ州地域開発計画庁(以下「BAPPEDA」)は、長期開発計画(以下「RPJP」)を作成している。この計画のビジョンは、「東部ジャワの豊かさおよびモラルに向けての中央でのビジネス機会、国際競争力及び持続性」である。3つの戦略として、1)持続的な経済成長、2)基本的人権、3)公平なインフラ開発を掲げている。

##### (2) 中期開発計画 (2014-2019)

5つのミッションを通して「東部ジャワの繁栄、公正、自主性、競争力」のビジョンを実現するために以下の戦略を示している。

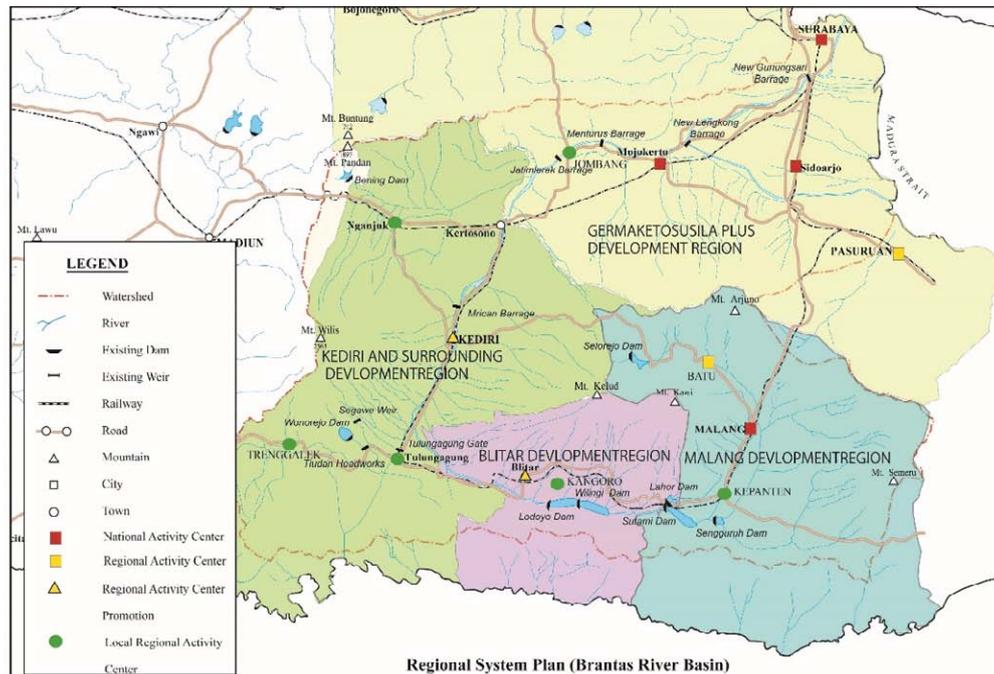
- 1) 持続可能な開発は人々を中心としたものであり(人々を中心とした開発)、人々の参加を促進するものである(参加型開発)。
- 2) 経済成長は貧困層の成長にあり、それは雇用促進、成長促進、環境保護を含む。
- 3) ジェンダーの主流化

##### (3) 空間計画 (2011-2031)

東部ジャワ州 BAPPEDA は、国家空間計画に基づいて東部ジャワ州空間計画を作成している。この空間計画の目標は東部ジャワ州長期開発計画のビジョンとミッションに即して決定されている。東部ジャワ州の空間計画のビジョンでは、農業セクターを東部ジャワ州の主要な開発分野の1つとして位置づけ、農業圏(Agropolitan)において食糧生産地域を中心にその周辺地域を含めた農業ビジネス活性化を志向している。図 3.3.1 にブランタス川流域の4つの開発地区ゾーンを示す。

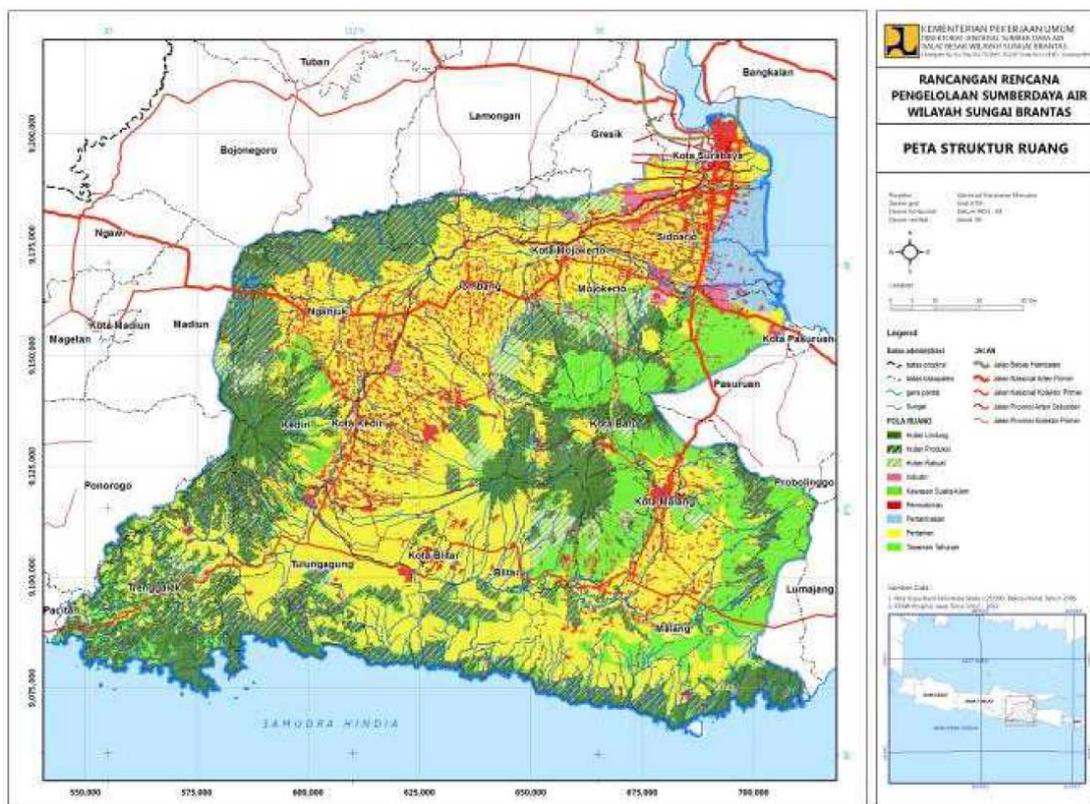
BBWS Brantas は、東部ジャワ州空間計画に基づいて流域内の保全区域と利用区域の分布状況を示した図 3.3.2 を作成し、レビューPOLA2015(ドラフト)に掲載している。これによれば、ブランタス川流域を包括する14県・市の総面積の23.5%が保全林と自然保護

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: Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Jawa Timur 2011-2031

図 3.3.1 ブランタス川流域の開発地区ゾーン



出典: BBWS Brantas

図 3.3.2 ブランタス川流域の保全区域および利用区域分布図

### 3.3.2 水資源管理戦略計画 (POLA)

ブランタス川流域の POLA は 2010 年に作成され、承認された。一方、2016 年には RENCANA(ドラフト)がローカルコンサルタントによって作成中の状況であった。また、2016 年時点で、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 を作成し、13 ダムが POLA の高経済シナリオに基づき提案されている。

表 3.3.1 に、POLA に記載されている水資源管理に関連する解析結果、戦略及び運用ポリシーについて示す。

表 3.3.1 POLA の概要

項目	検討結果	戦略	運用ポリシー
流域保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 森林面積の減少</li> <li>● 不適切な土地管理</li> <li>● 被覆エリアの変更</li> <li>● Malang 県、Malang 市からの多くのごみが河川、貯水池に流入</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 森林、クリティカルランドのリハビリテーション</li> <li>● 河川環境管理と保全に対する住民理解の向上</li> <li>● 土砂制御構造物及び上流の涵養井戸の建設</li> <li>● 様々な農業活動の禁止及び水の保全の試みを促進するため新しい法令整備</li> <li>● 河川浄化キャンペーン実施の継続と集約及び水資源管理のインセンティブのメカニズムの創設</li> <li>● 廃棄物投棄に対する法執行、および汚染者支払い原則の適用による経済的手段による水質管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 雨季開始時の緑化</li> <li>● 保全違反に対する法的措置</li> <li>● 保全の試みに対する共同体の関与、及び水資源管理機関間の調整</li> <li>● 共同体の取込</li> <li>● 流域保全の重要性に関して共同体、工場への助言</li> <li>● 建物の建設許可に関する限定的な承認および公共サービス施設の建設</li> <li>● マスメディアを通じての環境保全の社会的重要性についてのプレゼンテーション</li> <li>● 共同体による定期的な水質モニタリング、廃棄物のライセンスシステムの開発、既存の産業廃棄物管理の管理能力の改善、および液体廃棄物管理の開発</li> <li>● 貯水池や川への稚魚の放流</li> <li>● 違法廃棄物処理に対するペナルティの強化、ごみ廃棄の制限、ごみのリサイクル/除去</li> </ul>
水資源の利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 水利用者の利益相反</li> <li>● 水需要量(灌漑、上水、工業用水)に対する不足</li> <li>● 不法な水利用</li> <li>● 地下水利用に対する不十分な管理</li> <li>● 貯水池容量の減少</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 統合的かつ有効な水配分の計算方法の準備</li> <li>● 水供給施設の開発、利用、リハビリテーション及び維持管理</li> <li>● 取水の水配分コントロール、水利権、水配分に関する法的な強化</li> <li>● 貯水池堆砂の浚渫、貯水池運用のレビュー、灌漑システム農業技術の開発</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 取水のモニタリング及び評価、有効な水利用、不法な水利用に対するペナルティ</li> <li>● 地下水の運用に関する法及び基準の展開</li> <li>● 不法水利用に関する警告及びペナルティ</li> <li>● 既存灌漑ネットワークシステムの改善、リハビリテーション、アップグレード</li> <li>● 貯水池の維持管理のレビュー</li> <li>● 集約的水稻栽培法(SRI)の適用</li> </ul>
洪水制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 雨季と乾季の間の大きな流量変動</li> <li>● 河川改修不足</li> <li>● 砂の不法採取</li> <li>● 上流の河床上昇及び下流の河床低下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 統合洪水制御計画及び共同体ベースの緊急警報システムの構築/実施</li> <li>● 河川の維持管理に関する法的強化、河川改修及び維持管理の継続</li> <li>● 技術的及び社会的観点からの河床低下の制御</li> <li>● 砂採取に対する法的強化及び制御</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 本川及び支川の統合洪水制御の実施</li> <li>● 持続的な構造物及び河川のリハビリテーション、標準化及び管理</li> <li>● 既存緊急警報システムの改善及び機材の投入</li> <li>● その他</li> </ul>
水資源情報システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 各水資源管理組織の情報不足</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 組織横断的な管理システムの構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 統合水資源情報システムを通じた全ての利害関係者へのデ</li> </ul>

項目	検討結果	戦略	運用ポリシー
	● 既存情報へのアクセスは不可	● 水資源管理システムの開発	ータ供給 ● データベース及びユーティリティシステムの構築 ● 信頼性のあるデータ/情報の供給
共同体の参加	● 限定的な共同体の参加	● 運用面からの調整組織の設立	● 州、県、郡レベルで水資源評議会の設立 ● 河川流域管理に関する共同体支援の改善、計画、工事、施工管理、維持管理に対する資金の供給

出典: JICA プロジェクトチーム 2

### 3.3.3 レビュー POLA 2015(ドラフト)

BBWS Brantas は、2016 年時点でレビューPOLA の承認手続きを進めている状況であった。2010 年作成 POLA の幾つかのデータは更新されており、このレビューPOLA2015(ドラフト)をレビューした結果、追加作業として表 3.3.2 に示す問題点の再評価が必要であると判断した。

表 3.3.2 レビューPOLA2015(ドラフト)のレビュー結果

項目	レビューPOLA 2015 (ドラフト)	気候変動影響評価に反映する評価結果
雨量データ、流量データ	PJT-I の雨量データ及び水位データは、各々11 と 6 か所の観測所データ期間は 2011 年から 2015 年。	これらのデータは、更新されるべきである。BBWS Brantas は、自身及び Dinas PU によって観測されたデータを持っている。両方のデータを収集し、反映させるべきである。
水質データ	2011 年から 2015 年までの水質データが収集された。	これらのデータはアップデートされ、BLH のデータをチェックする必要がある。
計画ダム貯水池	23 の計画ダムがリストされている。10 ダムが POLA から追加されている。	これらのデータはプロジェクトに反映させるべきである。新規追加 10 ダムに関しデータ、情報を収集すべきである。
貯水池堆砂データ	PJT I が最新の堆砂データを持っている。	これらのデータを収集し、最新のデータを使用して将来の堆砂を予測する必要がある。
河道貯留	水資源開発計画において 3 つの河道貯留施設が新たに提案されている。	貯留量と将来計画について、水収支解析の際に考慮すべきである。データと情報を収集すべきである。
ため池	ため池の貯留量の一覧が記載されている。ため池の建設スケジュールが明記されている。	貯留量と将来計画について、水収支解析の際に考慮すべきである。
地下水ポテンシャル	現在の地下水ポテンシャルは大統領令 No.26, M 2011 によって評価されている。しかしながら、算定方法、地下水ポテンシャルの定義は明示されていない。	算定方法、地下水ポテンシャルの定義について、確認すべきである。
上水需要算定方法	上水需要は SNI (インドネシア国家基準) で評価されている。都市部と地方の原単位は、各々120 l/capita/日と 60 l/capita/日となっている。上水需要は、原単位と人口予測から決定されている。	上水需要は、一般的に人口、原単位、接続率、無水収率等から算定される。水需要に関連する項目を、最大限に考慮する事が望ましい。この場合、気候変動の適応策、緩和策は各々の項目 (パラメータ) について考える事が可能となる。SNI による方法は、簡易な方法であるため、気候変動の影響を検討するには、適切ではない。このため、上水需要算定方法は上記方法 (上記項目での検討方法) を採用すべきである。
人口予測	人口予測は、至近の人口増加率を基に算定している。	統計局では、2035 年までの各州の長期人口予測を実施している。長期人口予測によれば、東部ジャワ州の人口は 2033 年以降漸次減少となっている。

項目	レビューPOLA 2015 (ドラフト)	気候変動影響評価に反映する評価結果
		一方、Surabaya 市付近の現在の人口増加率は高い。もし、現在の人口増加率を適用するのであれば、Surabaya 市周辺の将来人口は過大評価となる。将来の人口予測は、長期の予測人口及び各県/市の都市化率を考慮して予測すべきである。
灌漑面積	灌漑面積は、2014 年に発行された、「Profile of Brantas」を参照している。	2015 年に発布された、省令 No.14/PRT/M/2015 に、記載されている灌漑面積を採用すべきである。
灌漑水需要	灌漑水需要は、SNI の手法で算定している。必要単位水量は、年間を通して一定値を用いている(1L/s/ha、稲作)。	気候変動影響を検討する際に SNI の手法を採用する場合、影響評価は難しい。なぜなら、必要単位水量は、気候の影響を受けるが、SNI の手法ではこれを考慮できない。 この必要単位水量は、気候条件を考慮して評価が可能な手法 (灌漑局のガイドライン KP-I に記載されている方法) を採用すべきである。
灌漑面積の開発コンセプト	<b>POLA:</b> 新規灌漑スキームをダム開発と共に行う。 <b>レビューPOLA 2015 (ドラフト):</b> 新規灌漑スキームは考慮しない。新規ダム開発と共に作付面積を増加させる。	BBWS Brantas より、新規ダム建設により既存灌漑スキームの乾季作付面積を増加させるコンセプトであるレビューPOLA2015(ドラフト)のコンセプトが求められた。
水収支モデル	水収支モデルは、PJT-I のモデルを参照している。 水収支計算の流量データは実測データを用いている。	水収支計算で使用している流量データは自然流量ではないため、自然流量を使うべきである。 レビューPOLA2015(ドラフト)の水収支モデルは、PJT-I によってカバーされている供給地域のみ考慮しているため、水収支モデルと流量は、チーム 2 の作成したモデルを採用する。
地下水開発	POLA では地下水開発は考慮していない。しかし、レビューPOLA2015(ドラフト)では、2030 年までに 21m <sup>3</sup> /s の開発を計画している。	レビューPOLA2015(ドラフト)では、地下水開発のための、位置、井戸の数について特定されていないため、必要な開発量を検討する必要がある。

注釈： チーム 2 が POLA(2010)をベースとした渇水に関する気候変動影響検討後に、レビュー POLA(2015) (ドラフト)についての説明が BBWS Brantas からあり、レビューPOLA(2015) (ドラフト)のデータを基に再度解析を求められた。このため、レビューPOLA(2015) (ドラフト)のレビューを実施し、JICA 本部と協議を行った結果、レビューPOLA(2015) (ドラフト)をベースに再検討を行う事となった。このため、本プロジェクトの渇水に対する検討はレビューPOLA(2015) (ドラフト)をベースとしている。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

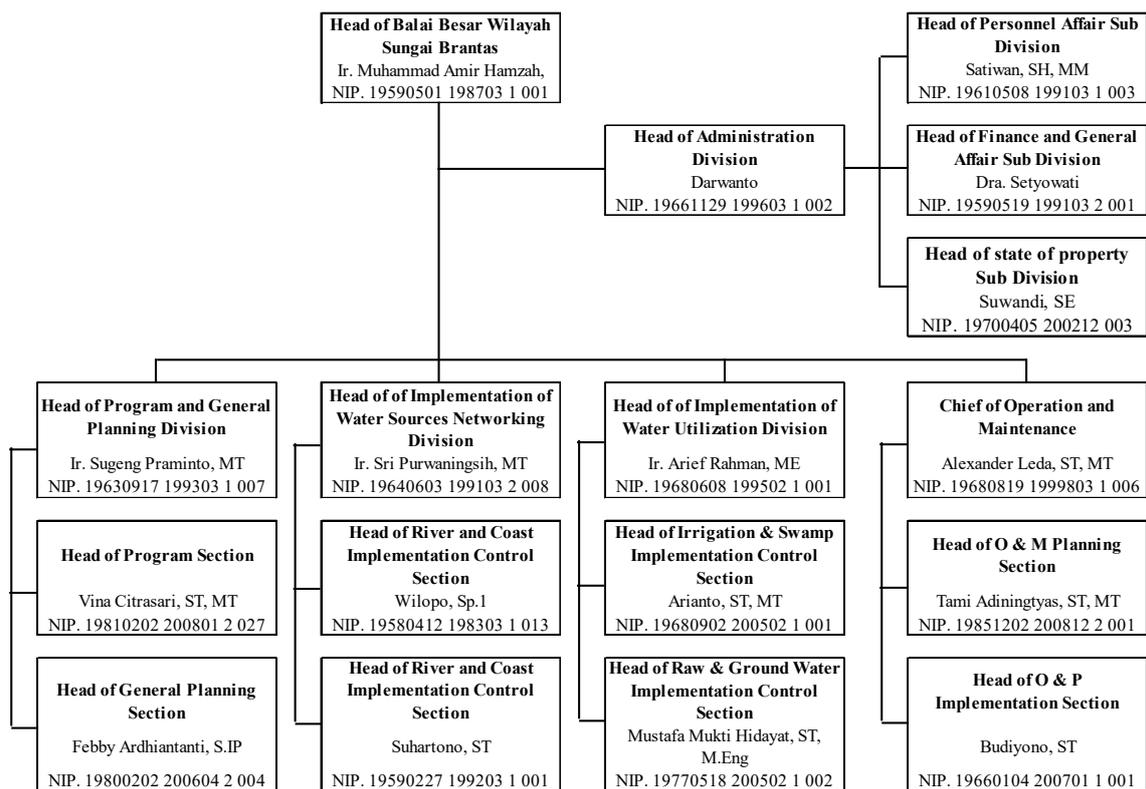
### 3.3.4 水資源管理に関連する組織

ブランタス川流域には複数の水資源管理に関連する組織がある。

#### (1) ブランタス川流域管理事務所 (Balai Besar Wilayah Sungai Brantas: BBWS Brantas)

BBWS Brantas は、公共事業省 (公共事業国民住宅省の前身: 以下「MPWH」) 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 水資源総局の下でその責任を負っている。BBWS Brantas は 4 つの流域 (Brantas, Kali Tengah, Ringin Bandulan, Kondang Merak) から構成される地域の水資源管理を実施する責任を負っている。

BBWS Brantas は、ブランタス川流域の水資源管理のための構造物の計画、建設に関する主要な役割を持っている。図 3.3.3 に BBWS Brantas の組織図を示す。



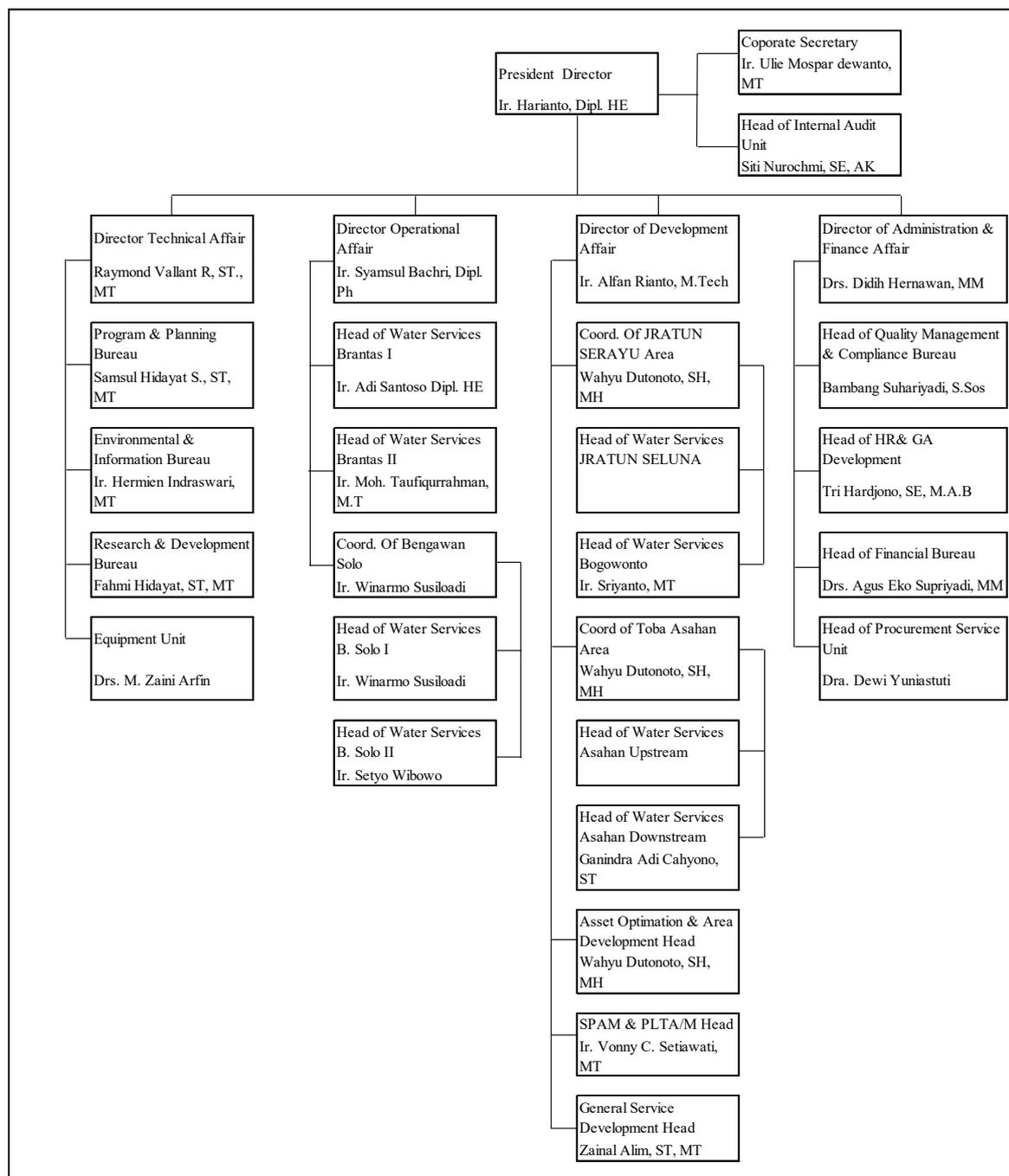
出典：Profile BBWS Brantas

図 3.3.3 BBWS Brantas 組織図(2015 年)

(2) 水管理公団 I (Perum Jasa Tirta I: PJT-I)

PJT-I は 1990 年に設立された国有企業である。PJT-I の役割は、その業務エリア内の様々なユーザーに水サービスを提供すること、水道サービス保証のために関連インフラの運用と保守を行うこと、および流域の規制機関に技術的アドバイスと支援を提供することである。PJT-I の業務エリアは、ブランタス川流域を含むジャワ島・スマトラ島内の 5 つの流域をカバーしている。

PJT-I はブランタス川流域の水資源管理における既存ダム、堰の運営維持管理に対する主要な役割を持っている。図 3.3.4 に組織図を示す。



出典：Annual Report PJT-I and interview from PJT-I

図 3.3.4 PJT-I 組織図 (2016 年)

(3) 水資源管理調整チーム(Tim Koordinasi Pengelolaan Sumber Daya Air: TKPSDA)

TKPSDA はブランタス川流域の水資源管理のための調整機関として 2009 年に設立された。2019～2024 年期のメンバーは合計 50 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。

#### (4) 他関連組織

##### 1) 東部ジャワ州開発計画庁 (*Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Jawa Timur: BAPPEDA JATIM*)

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、州知事の下で地域秘書官を通してその責任を負っている。

##### 2) 東部ジャワ州地方防災局 (*Badan Penanggulangan Bencana Daerah: BPBD*)

BPBD は非省庁型の政府機関であり、国家防災庁 (BNPB<sup>1</sup>) 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。

##### 3) 東部ジャワ州公共住宅・住宅・人間居住局 (*Dinas Perumahan Rakyat, Kawasan Permukiman dan Cipta Karya: DPRKPCK*)

DPRKPCK は公共事業、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、技術政策の策定、人間居住公共サービスと空間計画に関する業務の実施、職務範囲に応じたタスクと知事が指定するタスクの実施と指導である。

##### 4) 東部ジャワ州環境局 (*Dinas Lingkungan Hidup: DLH*)

DLH は環境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、技術政策の策定、地方政府の実施支援、職務範囲に応じたタスクと知事が指定するタスクの実施と指導である。

##### 5) 東部ジャワ州林業局 (*Dinas Kehutanan: Dishut*)

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、森林管理、天然資源とその生態系の保全、教育と訓練、森林分野における普及と共同体のエンパワーメント、および流域管理である。

##### 6) ブランタス川流域内の各市/州政府の関連部局

ブランタス川流域内には 6 市と 9 県があり、Surabaya 市、Blitar 市、Malang 市、ならびに Sidoarjo 県、Mojokerto 県、Tulungagung 県等が含まれる。各市/県には、上述した様な東部ジャワ州政府と同様な部局がそれぞれある。

##### 7) 水道公社 (*Perusahaan Daerah Air Minum: PDAM*):

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。ブランタス川流域内の各市/県にそれぞれ PDAM がある。

<sup>1</sup> BNPB (*Badan Nasional Penanggulangan Bencana*)

### 3.3.5 水配分の現状

#### (1) 上工水

現状は以下の3グループに分類される。

##### 1) 各 PDAM からの水供給

PDAM は、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）に分けて水供給を行っている。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は、以下のとおりである。

- 家庭用水： 居住地域の風呂、台所、トイレ
- 工業用水： 産業クラスター、民間工場等
- 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利用

##### 2) 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。

##### 3) 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 30m<sup>3</sup>/s が表流水、約 20m<sup>3</sup>/s が地下水となっている。

#### (2) 灌漑用水

2007 年におけるブランタス川流域の既存灌漑スキームの灌漑面積は 304,620ha であり、2010 年の POLA では水需要を概略 114.47m<sup>3</sup>/s と見積もっている。

#### (3) 水力発電

2015 年から 2024 年の PLN による電力供給事業計画(RUPTL 2015-2024)では、現状の東部ジャワ州における設備容量は 9,127.7 MW であり、使用可能発電容量は 8,521.1 MW となっている。

## 第4章 現地調査

### 4.1 河川縦横断測量

河川縦横断測量は、JICA ガイドラインに基づいた再委託業者選定プロセスによって選定された PJT-I により、2013 年 7 月～2013 年 11 月に実施された。

表 4.1.1 に河川横断測量の側線数を、表 4.1.2 に河川縦断測量の数量を示す。

表 4.1.1 河川横断測量

番号	河川名	断面数	摘要
1	Porong 川	27	河口 (KP235) から New Lengkong 堰 (KP1) 直下流, 1km 間隔
2	Sadar 川	7	Porong 川支川
3	支川	12	Sadar 川に合流する支川

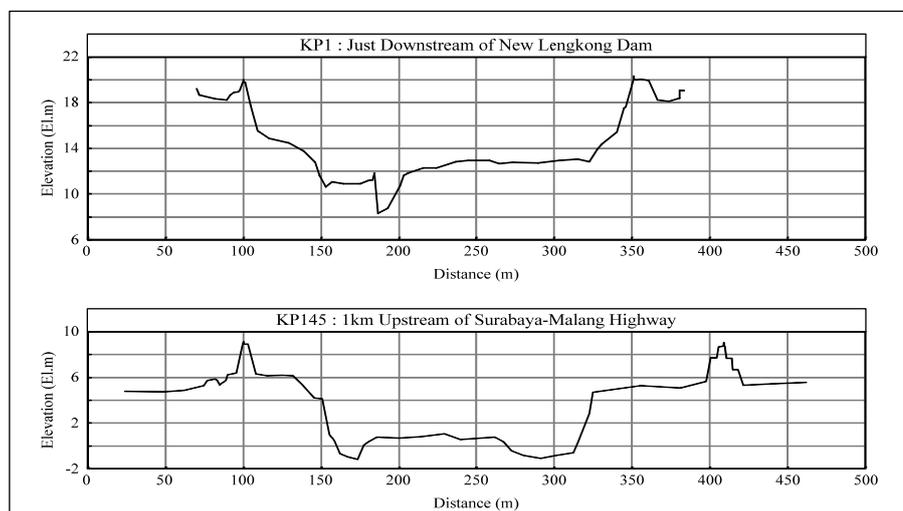
出典：JICA プロジェクトチーム 2

表 4.1.2 河川縦断測量

番号	河川名	延長	摘要
1	Porong 川	45.594 km	
2	Sadar 川	17.501 km	
3	支川	6.706 km	Kembangan 川, Gembolo 川, Sumber Glogok 川, Sumber Ngrayung 川, Sumber Kembar 川, Bangsal 川

出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 4.1.1 に河川横断測量結果の例を示す。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 4.1.1 河川横断測量結果の一例

### 4.2 地下水位観測

ブランタス川流域では、表 4.2.1 に示すように、複数のプロジェクトから地下水位データが入手可能であった。公共事業国民住宅省（以下「MPWH」）ならびに地下水開発プロジェクト（Proyek Pengembangan Air Tanah：以下「P2AT」）は、東部ジャワ地下水開発プロ

プロジェクトを最重要プロジェクトと位置付けて実施してきた。P2AT では 1979 年から 1985 年まで地下水を管理する目的で地下水位をモニタリングしていたことから、P2AT からこれらの地下水位データを入手した。さらに、その他の地下水位データは、東部ジャワ州の鉱山鉱物資源局と ESDM から入手した。入手した地下水位データは、2009 年から 2013 年までの 3 カ所の自動モニタリング井戸、ならびに 2004 年から 2009 年までの 16 カ所の観測井戸のものである。ブランタス川流域の地下水流動モデルの構築とキャリブレーションにおいてはこれらのデータを利用することが可能であったことから、本プロジェクトで新たな観測井の設置ならびに地下水位のモニタリングを行う必要はないと判断した。なお、最新の地下水データとその関連情報は、Bandung 市にある ESDM の下部組織である地質庁 (*Badan Geologi*) が所有している。

地下水位データについては、Data Book (C/D) 内の Data C を参照されたい。

表 4.2.1 複数のプロジェクトから取得したブランタス川流域の地下水データ一覧

報告書／組織	地域	井戸数	観測方法	期間	観測頻度
East Java Groundwater Development Project - Progress of Project and Feasibility Study Report (1986)/P2AT Jawa Timur	Pace, Nganjuk	2	自動	1979-1985	日～月単位のデータ。不連続
East Java Groundwater Development Project (P2AT)	Nganjuk	3	自動	1997-1998	日～月単位のデータ。不連続
Ministry of Energy and Mineral Resources (ESDM) East Java Data	Mojokerto, Kediri	3	自動	2009-2013	時間単位のデータ。1～2年間連続
	Nganjuk, Mojokerto, Jombang, Kediri	16	マニュアル	2004-2009	月単位のデータ。手作業で測定

出典： JICA プロジェクトチーム 2

## 第5章 2050年における気候変動影響の評価

### 5.1 概要

本章では、ブランタス川流域の気候変動影響について、JICA プロジェクトチーム 1 (以下「チーム1」)の結果を基に渇水および洪水についての評価を行う。

水需要は、土地利用、社会状況及び将来の気候条件を考慮して評価する。特に灌漑用水の単位水量は、灌漑地区における蒸発散量や日雨量によって変化するため将来気候下では増加する。

地下水ポテンシャルは、将来気候下で減少し、将来気候下での渇水の利水安全度もまた現在気候に比べて低下する。

将来気候下の洪水ピーク流量も現在気候下に比べて大きくなるため、治水安全度も現在気候下に比べて低下する。

### 5.2 地盤標高及び 2050 年における土地利用

#### 5.2.1 地盤標高のメッシュデータ

WEB-DHM で使用する数値標高モデル(以下「DEM」)は、HydroSHEDS から 500m メッシュを利用した。しかしながら、ブランタス川流域の支川の氾濫域を評価する際に、この 500m メッシュサイズでは大きいため、氾濫解析では国家測量地図庁(以下「BAKOSURTANAL」)が作成している 25m の DEM データを用いた。

#### 5.2.2 2050 年における土地利用

2050 年における将来の土地利用を想定するため、基本資料を参照の上、以下の条件を設定した。

- 東部ジャワ州空間計画(RTRW Jawa Timur 2011-2031)において設定されている土地資源利用区域並びに国家空間計画に基づく持続的食用作物生産基盤(LP2B) 保全に係る農業省の指示を考慮し、水田面積は2031年まで年率0.4%で減少とする。
- 畑地や永年作物植栽地面積は、現状規模で推移する。
- 住宅地・工業地域は、2031年までに年率1.5%、それ以降は0.8%で増加する。
- 自然林及び造林地面積は、流域保全のため現況水準を維持する。
- 養魚池、農業用溜池、河川、貯水池、内陸湿地、感潮湿地などの湛水面積は、現状規模で推移する。

上記条件から想定した 2031 年および 2050 年のブランタス川流域内想定土地利用面積を表 5.2.1 に示す。

表 5.2.1 2031 年および 2050 年におけるブランタス川流域の想定土地利用

類型区分	2010 年 (ha)	年変化率	2031 年 (ha)	年変化率	2050 年 (ha)
自然林	71,675	0.0%	71,675	0.0%	71,675
乾燥地林	55,650	0.0%	55,650	0.0%	55,650
灌木林	675	0.0%	675	0.0%	675
マングローブ林	50	0.0%	50	0.0%	50
永年作物植栽地	157,995	0.0%	157,995	0.0%	157,995
水田	337,925	-0.40%	309,600	0.0%	309,600
畑地	273,875	0.0%	273,875	0.0%	273,875
休耕地	6,700	0.0%	6,700	-3.1%	2,530
家庭菜園	40,030	0.17%	41,465	0.0%	41,465
居住地	225,050	0.57%	251,940	0.08%	256,110
養魚池・池塘	22,525	0.0%	22,525	0.0%	22,525
湖・貯水池	1,825	0.0%	1,825	0.0%	1,825
河川	175	0.0%	175	0.0%	175
合計	1,194,150		1,194,150		1,194,150

出典: 2010 年データ: BBWS Brantas、2031 年、2050 年: JICA プロジェクトチーム 2

### 5.3 水利用

#### 5.3.1 水需要予測

##### (1) 上水・工業用水の水需要予測

##### 1) 算定方法

表 5.3.1 に示す 2010 年のブランタス川流域における水需要を基準として将来の水需要予測を行った。2050 年までの水需要は、2010 年における水需要をもとに表 5.3.2 に示す各項目の増加率で予測した。

##### 2) 人口予測

中央統計庁(以下「BPS」)が 2010 年から 2035 年までの人口予測を実施しているが、2050 年までの予測は行われていない。そのため、以下の条件を基に 2050 年までの人口予測を行った。

- BPS が公開している 2035 年までの東部ジャワ州の人口増加率及び都市化率を採用する。
- 各都市・地域における都市・地方の人口比率は、2010 年のインドネシア人口統計データにおける比率を基に配分する。
- BPS による東部ジャワ州の人口予測では、2033 年にピークを迎え、2035 年に向けて人口減少の傾向となっている。人口予測は 2035 年までであったが、本プロジェクトでは 2033 年をピークとして 2033 年以降 2050 年までを一定とし安全側の水需要予測となるように設定した。

表 5.3.1 水需要予測に対する基本条件

管理組織		PDAM		PDAM 管轄外	
水源 <sup>*1</sup>		表流水	地下水	表流水	地下水
水利用途	生活用水	- 人口 (統計データ), - 原単位 <sup>*2</sup> , - 給水率 <sup>*3</sup> , - 無収水率 <sup>*3</sup>		なし	- 原単位=(原単位+30 <sup>*5</sup> )/2 - PDAM が給水していない地域。(100%-PDAM 地域) - 無収水率=0%
	非生活用水 <sup>*4</sup>	生活用水の 20%		なし	生活用水の 20%
	工業用水	総給水量 <sup>*3</sup> - (生活用水 + 非生活用水)		ブランタス流域では 12m <sup>3</sup> /s と設定 <sup>*6</sup> .	ESDM の実績値を基にブランタス流域では 1.68m <sup>3</sup> /s と設定。

注釈: \*1:表流水と地下水量の割合は、2010年における水利用量を参照 (Direktori Perpamsi 2010 を参照)。

\*2:給水量 (売水量) と接続数から算定 (Direktori Perpamsi 2010 を参照)。

\*3: Direkto ri Perpamsi 2010 を参照。給水率は PDAM によって給水されている給水人口から算定。

\*4: 公共施設への給水は、公共事業省都市住宅総局が 1996 年に規定した生活用水の 10-15% を採用した。生活用水の 20% には約 5-10% の商業用水も含まれる。

\*5: 30 リッターは、”Study on Formulation of Spatial Planning for GERBANGKERTOSUSILA (GKS) Zone in East Java Province in Indonesia”において見積もられた農業地域の住民の水利用量とした。

\*6: 12 m<sup>3</sup>/s は JICA プロジェクトチーム 1 において算定されたブランタス川流域の工業用水から算定した。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.2 2050 年までの水需要予測に対する各項目の増加率

管理組織		PDAM		PDAM 管轄外	
水源		表流水	地下水	表流水	地下水
水利用途	生活用水	1)人口増加 2)将来水原単位 <sup>*1</sup> , 3)給水率 <sup>*2</sup> , 4)無収水率 <sup>*3</sup>	2030 年まで利用可能な地下水まで増加し、2030 年から 2050 年までは最大量を維持する。	なし	2030 年まで利用可能な地下水まで増加し、2030 年から 2050 年までは最大量を維持する。
	非生活用水	生活用水の 20%	2010 年と同等	なし	2010 年と同等
	工業用水	都市化 (人口増加) に従って増加	2010 年と同等	都市化 (人口増加) に従って増加	2010 年と同等

注釈: \*1: 2050 年の給水原単位は Surabaya 市で 200 l/人/日、それ以外の都市を 150 l/人/日、120 l/人/日と設定した。(参照: 公共事業省都市住宅総局)

\*2: 2050 年にブランタス川流域の給水率を 70%となるよう年平均 1%の増加とする。

\*3: 2010 年時点での各都市の無収水率によって、2050 年での無収水率が 20%-25%を目標として年々減少するように設定。

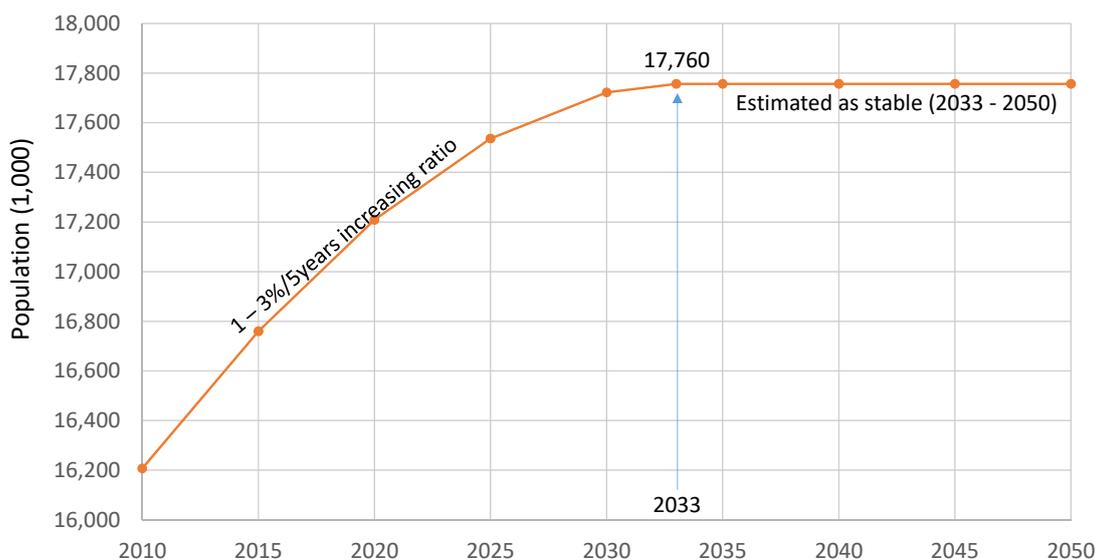
出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.3 2050年までの人口予測

(単位: 1,000 人)

No	市/県	2010	2015	2020	2030	2033	2050
1.	Batu 市	190	200	203	211	211	211
2.	Malang 県	2,446	2,554	2,586	2,651	2,652	2,652
3.	Malang 市	820	851	879	913	917	917
4.	Kediri 県	1,500	1,546	1,584	1,623	1,624	1,624
5.	Blitar 県	1,117	1,145	1,177	1,204	1,203	1,203
6.	Sidoarjo 県	1,941	2,117	2,075	2,152	2,160	2,160
7.	Mojokerto 県	1,025	1,080	1,084	1,111	1,112	1,112
8.	Jombang 県	1,202	1,250	1,276	1,313	1,315	1,315
9.	Kediri 市	269	280	288	299	300	300
10.	Mojokerto 市	120	125	129	134	134	134
11.	Surabaya 市	2,765	2,848	2,963	3,078	3,093	3,093
12.	Trenggalek 県	674	689	709	723	723	723
13.	Blitar 市	132	137	141	147	148	148
14.	Tulungagung 県	990	1,021	1,046	1,072	1,072	1,072
15.	Nganjuk 県	1,017	1,041	1,072	1,095	1,095	1,095
	合計	16,210	16,890	17,211	17,725	17,760	17,760

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 5.3.1 水需要予測のための人口予測

### 3) 水需要予測

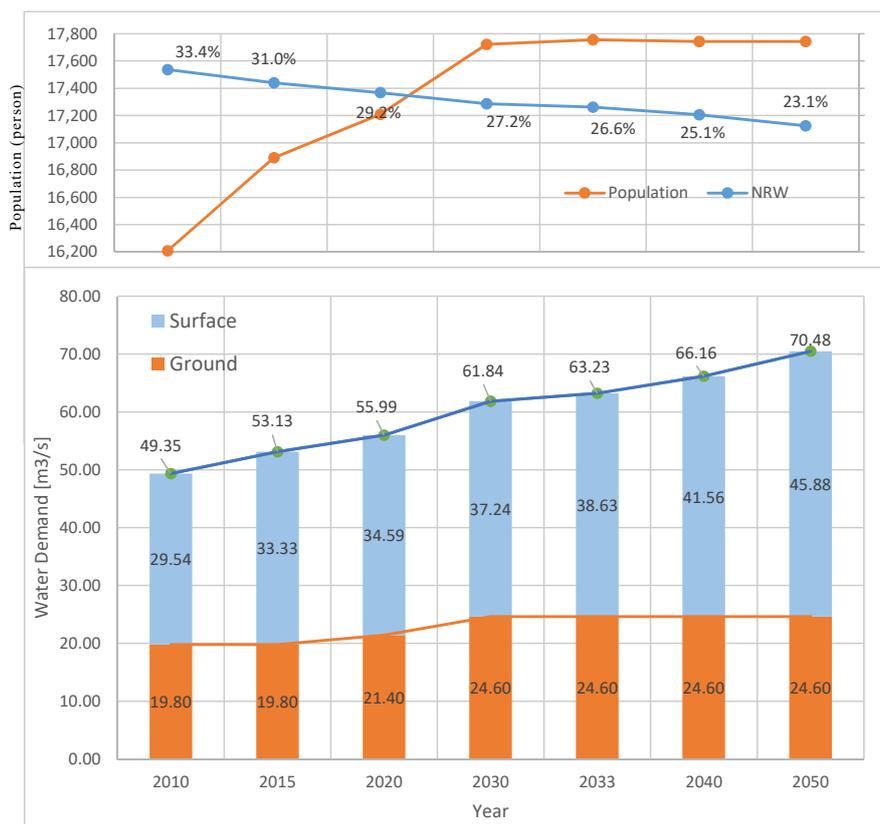
上記の増加率をもとに表 5.3.4 に示す 2050 年までの水需要予測を行った。図 5.3.2 には水需要予測に合わせて人口増加及び無収水率の削減を示す。

表 5.3.4 2050年までの水需要予測

(単位: m<sup>3</sup>/s)

年	2010		2015		2030		2050	
目的	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水	表流水	地下水
生活用水	8.37	11.10	10.41	11.09	13.80	13.95	20.00	13.95
非生活用水	1.68	2.20	2.08	2.21	2.91	2.78	4.73	2.78
工業用水	19.49	6.50	20.84	6.50	20.53	7.87	21.15	7.87
計	29.54	19.80	33.33	19.80	37.24	24.60	45.88	24.60
	49.34		53.13		61.83		70.48	

出典: JICA プロジェクトチーム 2



注釈: 無収水率はブランタス流域の平均値を示す

出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.2 2050年までの水需要予測

(2) 灌漑水需要予測

1) 灌漑用水需要量算定方法

レビューPOLA2015(ドラフト)では、灌漑用水量の算定にインドネシア国家標準(SNI 19-6728.1-2002)が適用されている。SNI 算定方式では、全ての灌漑地区の水需要量が単位灌漑用水量(1.0L/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。

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算定式を用いる。この算定式には、降雨量及び蒸発散量の二つの

気象要素が含まれている。

両者の算定方式の比較を表 5.3.5 に示す。

表 5.3.5 灌漑用水量計算式の比較

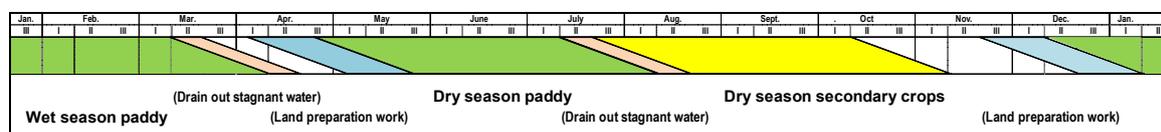
SNI 算定式	KP-1 算定式
$IWR = A \times CI \times \alpha$ ここに IWR: 灌漑用水量 A: 灌漑対象面積 (ha) CI: 作付け率 (%) $\alpha$ : 単位灌漑用水量 (l/s/ha)	$KAI = (Etc + IR + WLR + P - Re) / IE \times A$ ここに KAI: 灌漑取水量 Etc: 作物消費水量 (mm/日) IR: 圃場用水量 (mm/日) WLR: 湛水深維持水量 (mm/日) P: 浸透量 (mm/日) Re: 有効雨量 (mm/日) IE: 灌漑効率 (%) A: 灌漑面積 (ha)

出典: SNI 及び KP-1

## 2) 作物暦

灌漑水田で栽培される作物の灌漑用水量を算定するには、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ブランタス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、統計庁東部ジャワ州支局編纂の「*Survei Pertanian Produksi Padi dan Palawija di Jawa Timur 2015*」(東部ジャワ州稲作・裏作調査 2015 年)に報告されている各県・市別雨季作及び乾季作水稻の栽培期間を参照し、単一作物暦設定を検討した。設定に当たり、雨季・乾季稲作の田植え前に実施する代掻き作業期間を 20 日間、収穫作業開始前の田面落水期間を 10 日間とそれぞれ仮定した。これらの条件に基づいて設定した単一作物暦を図 5.3.3 に示す。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.3 ブランタス川流域単一作付け体系

## 3) ブランタス川流域の既存表流水灌漑地区

省令 2015 年第 14 号「灌漑地区基準及び地位決定」の付表には、ブランタス川流域を包含する 15 県・市に合計 3,698 か所の表流水灌漑地区が登録されている。管理主体別の内訳を表 5.3.6 に示す。これらの灌漑地区のうち、ブランタス川本流から取水している灌漑地区は 7 か所のみで、残りの灌漑地区は全てブランタス川水

系の支流を取水源としている。BBWS Brantas 直轄灌漑地区の取水源別一覧を表 5.3.7 に示す。

表 5.3.6 ブランタス川流域の既存灌漑地区

県 / 市	直轄		州政府管理*		県・市政府管理**				合計	
	10,000 ha 以上		10,000 -1,000 ha		1,000 - 100 ha		100 ha 以下			
	(カ所)	(ha)	(カ所)	(ha)	(カ所)	(ha)	(カ所)	(ha)	(カ所)	(ha)
Batu 市	0	0	(2)	328	6	1,139	36	968	42 (2)	2,435
Malang 県	2 (1)	8,771	11 (9)	3,165	99	19,033	618	16,313	730 (10)	47,282
Malang 市	(1)	587	9 (9)	1,287	0	0	10	276	19 (10)	2,150
Blitar 県	(1)	1,637	4 (9)	2,123	53	11,553	621	16,460	678 (10)	31,773
Blitar 市	0	0	8 (2)	333	0	0	36	1,051	44 (2)	1,384
Tulungagung 県	1	10,580	3 (2)	4,915	27	5,825	141	4,397	172 (2)	25,717
Trenggalek 県	0	0	1 (2)	1,894	11	3,342	512	6,366	524 (2)	11,602
Kediri 県	(3)	9,179	11 (2)	4,611	97	17,763	538	17,021	646 (5)	48,574
Kediri 市	0	0	2 (7)	620	3	363	39	1,345	44 (7)	2,328
Nganjuk 県	2	21,106	3	3,866	41	11,106	169	3,845	215 (0)	39,923
Jombang 県	2 (1)	31,962	5 (2)	3,419	38	9,145	158	3,503	203 (3)	48,029
Mojokerto 県	2 (1)	7,655	6 (4)	5,477	35	9,173	330	8,584	373 (5)	30,889
Mojokerto 市	(1)	53	1 (4)	580	0	0	0	0	1 (5)	633
Sidoarjo 県	1	17,766	0	0	12	3,827	6	291	19 (0)	21,884
Surabaya 市	0	0	0	0	0	0	0	0	0 (0)	0
合計	8	109,296	54	32,618	422	92,269	3,214	80,420	3,698	314,603

注釈: \*; 東部ジャワ州公共事業水資源部, \*\*; 公共事業課  
 出典: 水資源総局

表 5.3.7 ブランタス川本川・支川別 BBWS Brantas 直轄灌漑地区一覧

Brantas 本川				Brantas 支川			
灌漑地区	灌漑面積 (ha)		所在地	灌漑地区	灌漑面積 (ha)		所在地
D.I. Lodoyo	12,217	1,637	Blitar 県	D.I. Kedung Kandang	5,160	4,573	Malang 県
		10,580	Tulungagung 県			587	Malang 市
D.I. Mrican Kanan	17,612	3,952	Kediri 県	D.I. Molek	3,883		Malang 県
		13,660	Jombang 県	D.I. Waduk Bening	8,752		Nganjuk 県
D.I. Mrican Kiri	12,729	375	Kediri 県	D.I. Siman	23,060	315	Malang 県
		12,354	Nganjuk 県			4,852	Kediri 県
D.I. Jatimlerek		1,812	Jombang 県			17,893	Jombang 県
D.I. Mentrus	3,632	409	Jombang 県	D.I. Padi Pomahan	4,309	4,256	Mojokerto 県
		3,223	Mojokerto 県			53	Mojokerto 市
D.I. Jati Kulon	638	586	Mojokerto 県				
		52	Mojokerto 市				
D.I. Delta Brantas	17,942	176	Mojokerto 県				
		17,766	Sidoarjo 県				
合計	64,770				45,164		

出典: 水資源総局

4) 作付け率

インドネシア全土の相当数の既存表流水灌漑地区において、灌漑施設の破損、建設工事未了、灌漑対象地区受益農民による開田作業未了、対象地区の土地農外用途転用などの理由により、計画灌漑面積が部分的あるいは全面的に灌漑水田として利用されていない。ブランタス川流域内の 15 県・市の場合、表流水灌漑地区の総計画灌漑面積に対する現況利用率は 81.9% である。また、年間水稲収穫面積を現況水田面積で除した水稲作付け率は 173.7% となる。表 5.3.8 に県・市別計画灌漑面積利用率及び水稲作付け率を示す。

表 5.3.8 県・市別計画灌漑面積利用率及び水稲作付け率

県/市	計画灌漑面積 (ha)	現況水田面積			年間水稲 収穫面積 (ha)	水稲 作付け率 (%)	計画灌漑 面積利用 率 (%)
		灌漑水田 (ha)	天水田 (ha)	合計 (ha)			
Batu 市	2,435	474	0	474	691	145.8	19.5
Malang 県	47,282	34,641	2,183	36,824	63,047	171.2	73.3
Malang 市	2,150	865	0	865	1,977	228.6	40.2
Blitar 県	31,773	27,843	3,151	30,994	51,020	164.6	87.6
Blitar 市	1,384	1,097	0	1,097	1,850	168.6	79.3
Tulungagung 県	25,717	23,454	2,410	25,864	45,003	174.0	91.2
Trenggalek 県	11,602	11,049	890	11,939	24,648	206.4	95.2
Kediri 県	48,574	37,866	335	38,201	55,625	145.6	78.0
Kediri 市	2,328	1,005	0	1,005	1,901	189.2	43.2
Nganjuk 県	39,923	37,212	4,269	41,481	83,188	200.5	93.2
Jombang 県	48,029	37,235	4,742	41,977	73,796	175.8	77.5
Mojokerto 県	30,889	26,777	4,676	31,453	53,205	169.2	86.7
Mojokerto 市	633	511	0	511	965	188.8	80.7
Sidoarjo 県	21,884	17,517	0	17,517	30,266	172.8	80.0
Surabaya 市	0	0	1,353	1,353	1,758	129.9	0.0
合計	314,603	257,546	24,009	281,555	488,940	173.7	81.9

出典: Dalam Angka 2016, BPS Jawa Timur

5) 将来の表流水灌漑面積の予測

ブランタス川流域における将来の灌漑面積は、前節で述べた 2050 年の土地利用想定条件に準じて検討することとし、さらに下記の条件を設定した。

- 既存灌漑地区の全てを、既設及び新設計画貯水池からの放流を灌漑用水源とする地区と河川自流を灌漑用水源とする地区に二分する。
- 優良農地保全政策(LP2B)に即し、貯水池放流を水源とする灌漑地区は新規地区 4 か所(計画灌漑合計面積 5,134 ha) を含め、原則として全面積を将来も維持。ただし、Delta Brantas 灌漑地区については、市街化区域該当面積 5,736 ha 部分は農外転用し、計画灌漑面積を 17,942 ha から 12,206 ha に削減する。

- ▶ 河川自流水を水源とする既存灌漑地区は、LP2B 政策で設定された各県・市の保全枠組みに準拠して削減する。

上述の設定条件に基づいて想定したブランタス川流域の県・市別将来灌漑面積を表 5.3.9 に示す。

表 5.3.9 ブランタス川流域の将来想定灌漑面積

県/市	2010年現況 (ha)			2050年将来 (ha)		
	総計画 灌漑面積	灌漑用水源		総計画 灌漑面積	灌漑用水源	
		貯水池放流	河川自流水		貯水池放流	河川自流水
Batu 市	2,435	0	2,435	1,252	0	1,252
Malang 県	47,282	8,771	38,511	35,559	11,220	24,339
Malang 市	2,150	587	1,563	587	587	0
Blitar 県	31,773	1,637	30,136	27,599	1,637	25,962
Blitar 市	1,384	0	1,384	677	0	677
Tulungagung 県	25,717	10,580	15,137	20,000	10,580	9,420
Trenggalek 県	11,602	0	11,602	9,824	1,185	8,639
Kediri 県	48,574	9,179	39,395	40,865	9,179	31,686
Kediri 市	2,328	0	2,328	500	0	500
Nganjuk 県	39,923	21,106	18,817	35,477	21,806	13,671
Jombang 県	48,029	33,774	14,255	42,488	34,574	7,914
Mojokerto 県	30,889	8,241	22,648	27,996	8,065	19,931
Mojokerto 市	633	105	528	105	105	0
Sidoarjo 県	21,884	17,766	4,118	12,206	12,206	0
Surabaya 市	0	0	0	0	0	0
合計	314,603	111,746	202,857	255,135	111,144	143,991

出典: JICA プロジェクトチーム 2

#### 6) 単位灌漑用水需要量

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 High・Medium・Low シナリオ及び現況パターンの有効雨量データを用い、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 の日雨量に規定する。
- ▶ 蒸発散量及び有効雨量の旬日平均値を入力して旬日平均単位用水量を算定する。
- ▶ 算定期間は現況気候パターンを 1991 年から 2010 年まで、将来気候パターンを 2046 年から 2065 年までのそれぞれ 20 年間に設定する。
- ▶ 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する。

表 5.3.10 に、貯水池放流を水源とするブランタス川流域管理事務所直轄灌漑地区の旬日平均単位灌漑用水量算定結果を本流・支流別に示す。表 5.3.11 に、河川自流水を水源とする灌漑地区の県・市別旬日平均単位灌漑用水量を示す。

表 5.3.10 直轄灌漑地区別旬日平均単位灌漑用水量

灌漑地区	作期別旬日平均単位灌漑用水量 (l/s/ha)											
	現況降雨パターン (1995 - 2010)			Low シナリオ (2046 - 2065)			Medium シナリオ (2046 - 2065)			High シナリオ (2046 - 2065)		
	雨季	乾季1	乾季2	雨季	乾季1	乾季2	雨季	乾季1	乾季2	雨季	乾季1	乾季2
ブランタス川支流の貯水池放流を取水源とする直轄灌漑地区												
Kedung Kandang	0.39	0.88	0.29	0.44	0.84	0.32	0.42	0.96	0.31	0.53	0.97	0.24
Molek	0.41	0.84	0.25	0.58	0.79	0.22	0.44	0.91	0.24	0.52	0.87	0.14
Siman	0.56	0.96	0.32	0.35	0.87	0.27	0.54	1.00	0.22	0.58	0.99	0.19
Waduk Bening	0.34	0.86	0.24	0.36	0.75	0.24	0.43	0.91	0.23	0.44	0.91	0.18
Padi Pomahan	0.49	0.98	0.33	0.42	0.89	0.29	0.52	1.02	0.24	0.53	1.02	0.21
Jaruma I & II	0.43	0.88	0.29	0.44	0.84	0.32	0.42	0.96	0.31	0.53	0.97	0.24
Ngasinan	0.41	0.96	0.35	0.36	1.03	0.45	0.42	1.01	0.39	0.44	1.02	0.35
Kedung Soko	0.35	0.86	0.24	0.39	0.74	0.20	0.42	0.88	0.18	0.43	0.87	0.15
Bareng	0.46	0.93	0.32	0.42	0.84	0.32	0.52	0.95	0.27	0.52	0.95	0.22
ブランタス川本流の貯水池放流を取水源とする直轄灌漑地区												
Lodoyo (Lodagung)	0.47	0.94	0.37	0.51	0.96	0.44	0.50	1.07	0.42	0.60	1.10	0.30
Mrican Kanan	0.53	0.98	0.37	0.46	0.91	0.34	0.55	1.04	0.30	0.57	1.02	0.23
Mrican Kiri	0.44	0.98	0.39	0.40	0.91	0.42	0.49	1.05	0.36	0.51	1.07	0.31
Jatimlerek	0.49	0.92	0.33	0.43	0.87	0.32	0.52	1.00	0.27	0.54	0.99	0.22
Mentrus	0.53	0.97	0.34	0.46	0.90	0.30	0.55	1.03	0.25	0.57	0.98	0.25
Jatikulon	0.51	0.91	0.36	0.43	0.92	0.38	0.54	1.06	0.34	0.57	1.08	0.31
Brantas Delta	0.43	0.95	0.16	0.39	0.89	0.21	0.49	1.02	0.24	0.51	1.00	0.19

出典: JICA プロジェクトチーム 2 (データブック E1)

表 5.3.11 県・市別旬日平均単位灌漑用水量

県/市	作期別旬日平均単位灌漑用水量 (l/s/ha)											
	現況降雨パターン (1995 - 2010)			Low シナリオ (2046 - 2065)			Medium シナリオ (2046 - 2065)			High シナリオ (2046 - 2065)		
	雨季	乾季1	乾季2	雨季	乾季1	乾季2	雨季	乾季1	乾季2	雨季	乾季1	乾季2
Batu 市	0.19	0.80	0.28	0.27	0.78	0.35	0.29	0.82	0.33	0.44	0.84	0.32
Malang 県	0.32	0.81	0.30	0.39	0.84	0.32	0.38	0.96	0.30	0.45	0.79	0.22
Malang 市	0.32	0.81	0.30	0.39	0.84	0.32	0.38	0.96	0.30	0.58	0.92	0.23
Blitar 県	0.36	0.83	0.27	0.39	0.81	0.27	0.39	0.91	0.25	0.48	0.80	0.17
Blitar 市	0.36	0.83	0.27	0.45	0.96	0.44	0.44	1.07	0.42	0.49	0.84	0.25
Tulungagung 県	0.42	0.76	0.37	0.43	0.84	0.25	0.44	0.95	0.23	0.44	0.85	0.31
Trenggalek 県	0.54	0.92	0.29	0.52	0.92	0.23	0.52	1.02	0.24	0.46	0.87	0.27
Kediri 県	0.38	0.87	0.28	0.36	0.85	0.29	0.43	0.97	0.26	0.36	0.75	0.24
Kediri 市	0.26	0.78	0.28	0.24	0.74	0.31	0.34	0.79	0.24	0.36	0.87	0.47
Nganjuk 県	0.30	0.77	0.25	0.32	0.75	0.24	0.39	0.91	0.23	0.35	0.74	0.20
Jombang 県	0.43	0.91	0.36	0.38	0.92	0.38	0.49	1.06	0.34	0.39	0.82	0.35
Mojokerto 県	0.39	0.91	0.31	0.38	0.87	0.32	0.44	1.10	0.36	0.40	1.06	0.39
Mojokerto 市	0.43	0.91	0.34	0.38	0.89	0.21	0.47	1.02	0.24	0.42	0.84	0.32
Sidoarjo 県	0.26	0.90	0.23	0.34	0.95	0.38	0.37	0.95	0.24	0.42	0.87	0.29

出典: JICA プロジェクトチーム 2

## 7) 灌漑用水需要予測

灌漑用水需要量は、「表流水灌漑地区において灌漑用水量が有効雨量で充足できない不足量の補給に必要な水量」と定義され、この補給水量は水源河川から取水される。灌漑用水取水量の予測に当たり、下記の点に留意する。

- 貯水池放流を水源とする既存及び新規灌漑地区の作付け率を 250% (雨季稲作 100%、乾季稲作 100%、乾季裏作 50%) に設定し、現況降雨パターン及び将来降雨パターン双方に適用する。
- 河川自流を水源とする既存灌漑地区の作付け率を、現況降雨パターンでは雨季稲作 73.5%、乾季稲作 45.6%、乾季裏作 4.9%に設定する。将来降雨パターンでは乾季稲作のみ 55.4%に増加設定する。

上述の設定条件で想定した貯水池放流を水源とする灌漑地区ごとの作期別灌漑用水平均取水量を表 5.3.12、河川自流を水源とする灌漑地区の県・市別作期別灌漑用水平均取水量を表 5.3.13 に示す。

### (3) 維持流量

政令 (以下「PP」) No.38/2011 (河川)の 25 条に以下のとおり維持流量について規定されている。

#### 25 条

- (1) 河川管理における流量の維持 (20 条 3 節) は河川生態系維持を目的として行われる。
- (2) 河川生態系の維持 (本条 1 節) は、上流から河口までに渡り実施される。
- (3) 維持流量は、現況流量の 95%を確保する。
- (4) 維持流量が 95%を満たすことが出来ない場合、上流域での水利用のコントロールを行う。

維持流量は現状の流況に基づいて設定し、気候変動下の将来においても、維持流量は現状と同じ値を基準に設定する。

ブランタス川における基準点は、本川では Sutami ダム、Mrican 堰と New Lengkong 堰それぞれの下流、そして主要な支川の合流点の直前とする。表 5.3.14 に各々の基準点における維持流量を示す。

表 5.3.12 貯水池計画放流水灌漑地区作期別灌漑用水平均取水量

灌漑地区	計画灌 漑面積 (ha)	現況降雨パターン (m <sup>3</sup> /s)			計画灌 漑面積 (ha)	Low シナリオ (m <sup>3</sup> /s)		
		1991 - 2010				2046 - 2065		
		雨季	乾季 1	乾季 2		雨季	乾季 1	乾季 2
ブランチス川支流を水源とする直轄灌漑地区								
Kedung Kandang	5,160	2.0	4.5	0.7	5,160	2.7	5.2	1.3
Molek	3,883	1.1	3.1	0.5	3,883	1.2	3.2	0.8
Siman	23,060	12.7	22.0	3.7	23,060	12.9	24.2	6.5
Waduk Bening	8,752	3.0	7.6	1.0	8,752	3.7	8.4	2.4
Padi Pomahan	4,309	2.1	4.2	0.7	4,309	2.3	4.5	1.2
Jaruma I & II	2,449	1.2	2.1	0.3	2,449	1.3	2.4	0.6
Ngasinan	1,185	0.7	1.1	0.2	1,185	0.8	1.3	0.3
Kedung Soko	700	0.2	0.6	0.1	700	0.3	0.7	0.2
Bareng	800	0.4	0.7	0.1	800	0.4	0.8	0.2
ブランチス川本流を水源とする直轄灌漑地区								
Lodoyo (Lodagung)	12,217	5.8	11.5	2.2	12,217	6.8	12.5	3.2
Mrican Kanan	17,612	9.3	17.3	3.2	17,612	9.6	18.2	4.7
Mrican Kiri	12,729	5.6	12.5	2.5	12,729	6.0	12.8	3.5
Jatimlerek	1,812	0.9	1.7	0.3	1,812	1.0	1.9	0.5
Mentrus	3,632	1.9	3.5	0.6	3,632	2.0	3.8	1.0
Jatikulon	638	0.3	0.6	0.1	638	0.3	0.7	0.2
Brantas Delta	17,765	5.9	16.8	2.2	12,206	5.1	12.4	3.2
灌漑地区	計画灌 漑面積 (ha)	Medium シナリオ (m <sup>3</sup> /s)			計画灌 漑面積 (ha)	High シナリオ (m <sup>3</sup> /s)		
		2046 - 2065				2046 - 2065		
		雨季	乾季 1	乾季 2		雨季	乾季 1	乾季 2
ブランチス川支流を水源とする直轄灌漑地区								
Kedung Kandang	5,160	2.3	5.5	1.2	5,160	3.0	6.0	1.3
Molek	3,883	1.8	4.1	0.9	3,883	1.6	3.9	0.8
Siman	23,060	13.4	27.0	6.6	23,060	14.0	28.5	6.3
Waduk Bening	8,752	4.5	9.9	2.3	8,752	4.2	10.3	2.3
Padi Pomahan	4,309	2.4	5.1	1.2	4,309	2.5	5.3	1.2
Jaruma I & II	2,449	1.1	2.6	0.6	2,449	1.4	2.9	0.6
Ngasinan	1,185	0.8	1.3	0.3	1,185	0.8	1.5	0.3
Kedung Soko	700	0.3	0.8	0.2	700	0.3	0.8	0.2
Bareng	800	0.4	0.9	0.2	800	0.5	1.0	0.2
ブランチス川本流を水源とする直轄灌漑地区								
Lodoyo (Lodagung)	12,217	6.0	13.6	3.2	12,217	6.8	14.8	3.1
Mrican Kanan	17,612	10.2	20.8	5.1	17,612	10.6	21.8	4.8
Mrican Kiri	12,729	6.2	14.4	3.6	12,729	6.6	15.3	3.4
Jatimlerek	1,812	1.0	2.1	0.5	1,812	1.1	2.2	0.5
Mentrus	3,632	2.1	4.3	1.0	3,632	2.2	4.5	1.0
Jatikulon	638	0.4	0.8	0.2	638	0.4	0.8	0.2
Brantas Delta	12,206	5.7	13.9	3.2	12,206	5.9	14.4	3.0

出典: JICA プロジェクトチーム 2 (データブック E1)

表 5.3.13 県・市別河川自流水灌漑地区灌漑用水作期別平均取水量

県/市	計画灌漑面積 (ha)	現況降雨パターン (m <sup>3</sup> /s)			計画灌漑面積 (ha)	Low シナリオ (m <sup>3</sup> /s)		
		1991 - 2010				2046 - 2065		
		雨季	乾季 1	乾季 2		雨季	乾季 1	乾季 2
Batu 市	2,435	0.3	0.9	0.03	1,252	0.2	0.5	0.02
Malang 県	38,511	9.2	14.2	0.55	24,339	6.1	9.3	0.23
Malang 市	1,563	0.4	0.6	0.02	0	0.0	0.0	0.00
Blitar 県	30,136	7.9	11.3	0.40	25,962	7.4	11.5	0.22
Blitar 市	1,384	0.4	0.5	0.02	677	0.1	0.3	0.01
Tulungagung 県	15,137	4.6	5.3	0.27	9,420	3.0	4.4	0.14
Trenggalek 県	11,602	4.6	4.9	0.16	8,639	3.3	3.5	0.10
Kediri 県	39,395	10.9	15.5	0.50	31,686	8.2	13.2	0.37
Kediri 市	2,328	0.4	0.8	0.03	500	0.1	0.2	0.01
Nganjuk 県	18,817	4.2	6.6	0.22	13,671	3.0	5.4	0.15
Jombang 県	14,255	4.5	5.9	0.25	7,914	1.5	2.7	0.10
Mojokerto 県	22,648	6.5	9.4	0.34	19,931	5.4	9.4	0.31
Mojokerto 市	528	0.2	0.2	0.01	0	0.0	0.0	0.00
Sidoarjo 県	4,118	0.8	1.7	0.04	0	0.0	0.0	0.00
県/市	計画灌漑面積 (ha)	Medium シナリオ (m <sup>3</sup> /s)			計画灌漑面積 (ha)	High シナリオ (m <sup>3</sup> /s)		
		2046 - 2065				2046 - 2065		
		雨季	乾季 1	乾季 2		雨季	乾季 1	乾季 2
Batu 市	1,252	0.3	0.6	0.02	1,252	0.4	0.6	0.02
Malang 県	24,339	6.0	9.9	0.33	24,339	7.0	11.3	0.31
Malang 市	0	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.0	0.00
Blitar 県	25,962	7.4	11.7	0.34	25,962	9.2	13.1	0.32
Blitar 市	677	0.2	0.4	0.01	677	0.2	0.4	0.01
Tulungagung 県	9,420	3.0	4.4	0.12	9,420	3.0	5.0	0.11
Trenggalek 県	8,639	2.8	3.8	0.08	8,639	2.5	4.2	0.09
Kediri 県	31,686	10.0	14.9	0.45	31,686	8.4	17.0	0.40
Kediri 市	500	0.1	0.2	0.01	500	0.1	0.2	0.01
Nganjuk 県	13,671	3.3	5.3	0.15	13,671	3.8	6.5	0.13
Jombang 県	7,914	1.5	2.4	0.09	7,914	1.9	3.1	0.09
Mojokerto 県	19,931	5.7	11.4	0.34	19,931	6.3	11.9	0.37
Mojokerto 市	0	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.0	0.00
Sidoarjo 県	0	0.0	0.0	0.00	0	0.0	0.0	0.00

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.14 維持流量

基準点	流量 (m <sup>3</sup> /s)	基準点	流量 (m <sup>3</sup> /s)
1. 本川		2. 支川	
Sutami ダム下流	29.9	Tulungagung	12.33
Mrican 堰下流	54.1	Konto	1.64
New Lengkong 堰下流	32.1	Widas	4.38
		Sadar	1.11

注釈: 支川の維持流量は、本川合流直前とする。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(4) 発生電力量

電力供給事業計画(以下「RUPTL」) 2015-2024 で想定されている 2015 年から 2024 年までの東部ジャワ州の電力需給の伸びを表 5.3.15 に示す。

表 5.3.15 電力供給予測

年	経済成長率	電力需要	電力供給量	ピーク電力
	(%)	(GWh)	(GWh)	(MW)
2015	7.2	33.422	35.487	5.471
2016	7.2	36.104	38.310	5.854
2017	7.2	39.327	41.695	6.318
2018	7.2	42.704	45.242	6.797
2019	7.2	46.544	49.273	7.341
2020	7.2	50.633	53.580	7.913
2021	7.2	54.714	57.880	8.483
2022	7.2	59.014	62.403	9.078
2023	7.2	63.553	67.181	9.699
2024	7.2	68.355	72.234	10.351
年率	7.2	8.27	8.22	7.34

出典: RUPTL 2015-2024

表 5.3.15 に示すように、地域の予想電力需要は、年間の経済成長率 7.2%に合わせて増加する。この電力需要の増加に迫いつくため、2024 年までに 2,752MW の発電所容量を増強する計画である。ブランタス川流域の既存の水力発電所の電力供給計画は RUPTL 2015-2024 で言及されていないが、既存発電所は、設備容量に応じ発電すると考えられる。ブランタス川流域の水力発電所の設備容量と発電容量を表 5.3.16 に示す。

表 5.3.16 ブランタス川流域の水力発電所

	発電所名	タイプ	所有者	設備容量	発電能力
				MW	MW
1	Karangates	PLTA	PJB	105	103
2	Wlingi	PLTA	PJB	54	53.6
3	Lodoyo	PLTA	PJB	4.5	4.5
4	Selorejo	PLTA	PJB	4.5	4.7
5	Sengguruh	PLTA	PJB	29	28.5
6	Tulungagung	PLTA	PJB	36	35.7
7	Mendalan	PLTA	PJB	23	20.7
8	Siman	PLTA	PJB	10.8	10.2
	合計			266.8	260.9

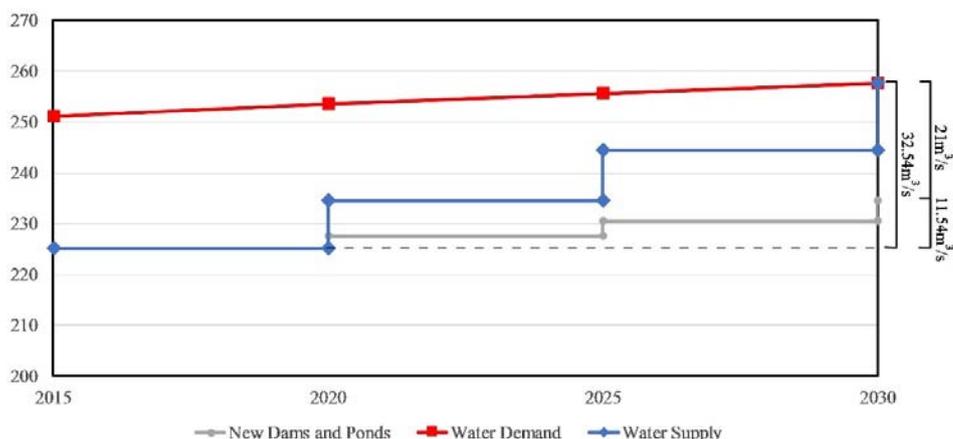
出典: RUPTL 2015-2024

水力発電所を管理する PJB の発電計画においても、貯水池からの水供給は灌漑用水と上水および工業用水が優先され、水力発電所による発電は、これら優先される水需要に従属したものとなっている。

### 5.3.2 地下水

#### (1) 2030 年までの地下水開発

レビューPOLA 2015 (ドラフト) では、図 5.3.4 に示すように、2015 年から 2030 年までに合計 21m<sup>3</sup>/s (5 年ごとに 7m<sup>3</sup>/s) の地下水開発を計画している。



出典: レビューPOLA 2015 (ドラフト)

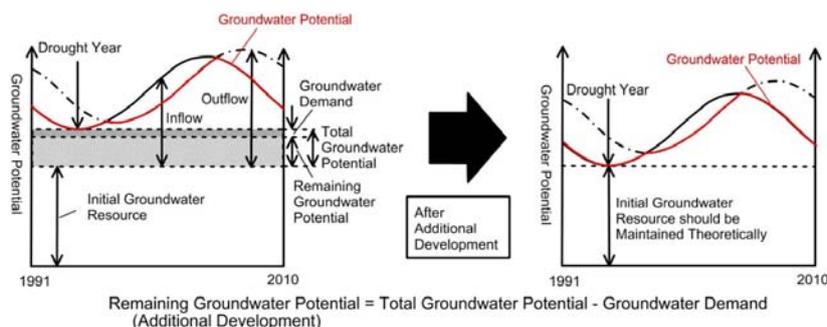
図 5.3.4 ブランタス川流域における水の需要量と供給量との関係

開発する地域については慎重に検討する必要があるが、2030年までの  $21\text{m}^3/\text{s}$  ( $662.26$  百万  $\text{m}^3/\text{年}$ ) の地下水開発は、レビューPOLA2015(ドラフト)の既存の地下水ポテンシャル値と ESDM (2005 および 2010) の報告書から判断すると十分可能と考えられる。

## (2) 地下水ポテンシャルの定義

ブランタス川流域の帯水層は大きく2つ、すなわち不圧(浅部)帯水層と被圧(深部)帯水層に分類され、それらの地下水ポテンシャルは地質庁 (*Badan Geologi*) が公開している報告書に示されている。ただし、地下水ポテンシャルの定義と評価の過程は同報告書に示されていない。

本プロジェクトでの地下水ポテンシャルの概念を図 5.3.5 に示す。本プロジェクトでは、自治体単位で地下水開発可能性を評価するため、地質庁の定義よりも具体的かつ厳密に地下水ポテンシャルを定義することとし、地下水流動モデル (USGS MODFLOW) を用いた地下水シミュレーションによる「動的平衡状態下での20年間の計算結果において、指定領域(自治体)への地下水の年間流入量/流出量の最小値」を、地下水ポテンシャルと定義した。これは、年間流入量/流出量の最小値以下の開発量であれば現在の地下水環境に影響を与えることなく地下水が利用できるという概念に基づくものである。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.5 本プロジェクトにおける地下水ポテンシャルの定義

### (3) 地下水流動シミュレーション

#### 1) シミュレーションモデルの構造と水理地質

シミュレーションモデルの構造を、表 5.3.17 に示す。EGM96 ジオイドに対して標高が計算されている SRTM からの補間データを、モデル上面（地表面）に取り込んだ。また、1984 年に ESDM によって公開された水文地質図の水文地質区分をモデルに採用した。水理地質区分の詳細については 3.1.3 節 地質・水理地質に示す。

表 5.3.17 モデルの構造

項目	条件
モデル範囲	19,557km <sup>2</sup> (東西 159km x 南北 123km)
水平方向解析領域	約 11,596km <sup>2</sup> (ブランタス川流域を含む)
鉛直方向解析領域	上面：地表面 下面：地表面下約 200m (既存井戸の深度分布をもとに設定)
レイヤー数	6 レイヤー (浅部帯水層：1 レイヤー、加圧層：1 レイヤー、深部帯水層：4 レイヤー)
単位グリッドサイズ	1.0km x 1.0km

出典: JICA プロジェクトチーム 2

#### 2) 解析方法

地下水シミュレーションに用いた解析コードは、米国地質調査所が開発したモジュール型 3 次元差分地下水流動モデル MODFLOW 2005 である。また、前処理／後処理のアプリケーションソフトウェアには Visual MODFLOW 2009.1 を用いた。解析方法を表 5.3.18 に示す。現在の地下水環境をモデル内に再現するため、1991 年～2010 年（20 年間）の月単位での非定常シミュレーションを実施した。

表 5.3.18 シミュレーションの解析方法

項目	計算条件
コード	MODFLOW2005 (Visual MODFLOW 2009.1)
計算	非定常シミュレーション
期間	1991 年 - 2010 年 (20 年間)
時間ステップ	1 ヶ月
検定対象	収集した地下水位データ

出典: JICA プロジェクトチーム 2

#### 3) 境界条件

境界条件を表 5.3.19 に示す。指定水頭境界は、約 EL. -0.05m SHVP である既存の平均スラバヤ潮位データに基づき、平均海面と等しい標高の海洋部分のモデルセルに割りあてた。インドネシアでは地球温暖化に伴って海面が 5mm /年の速さで上昇しているとされているため、将来予測モデルにおいてはこの海面上昇の効果を組み込んだ。地下水と表流水の交流を考慮できる河川境界は、ブランタス川を含む主要河川に相当するセルに割りあてた。地表面からの涵養は、チーム 1 からの小流域ごとの日涵養量データとして提供されているものを用いた。涵養量は標高とともに増加する降雨量に比例し、山間部の流域では大きく、海洋に面した流域では小さい。

表 5.3.19 境界条件

設定箇所	境界条件	
地表面	地下水涵養量：チーム 1 から提供された小流域ごとの日涵養量	
海洋	指定水頭境界（海水面）	-0.05m： 現況再現モデル 0.05m： 近い将来（2030）予測モデル 0.15m： 将来（2050）予測モデル
主要河川	河川境界	
主要河川以外の地表面	浸出境界	
揚水井戸	揚水量：県／市ごとの総地下水需要量	

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(4) 地下水需要量

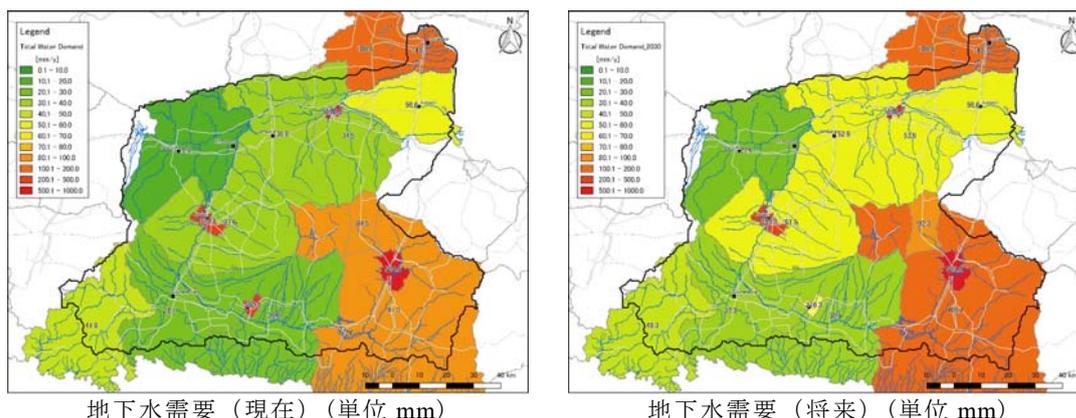
地下水の利用は主に 3 つのカテゴリーに分類される。家庭用／非家庭用水、工業用水、および灌漑用水である。現在ならびに将来の地下水の総需要量を表 5.3.20 および図 5.3.6 に示す。

レビューPOLA 2015（ドラフト）では、将来（2030年/2050年）の地下水需要量が調査され、計画地下水開発量が示されている。現在の地下水利用状況を考慮すると、地下水ポテンシャルは不均一であることから、地下水利用地域は大きく 2 つのゾーン、すなわち追加の地下水開発が可能なゾーンと、追加の地下水開発は避けた方がよいゾーンに分類される。本プロジェクトでは、現在の地下水流動シミュレーションの結果に基づいて、追加の地下水開発可能ポテンシャルを評価し、将来の家庭用／非家庭用ならびに工業用地下水需要についても評価した。

表 5.3.20 ブランタス川流域の現在および将来の総地下水需要量

番号	自治体名	モデル領域 (km <sup>2</sup> )	総地下水需要量			
			現在		将来 (2030 / 2050)	
			(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /年)	(mm/年)	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /年)	(mm/年)
1	Batu 市	211.9	17.89	84.5	19.60	92.3
2	Malang 県	2216.5	201.63	91.0	241.80	109.1
3	Malang 市	109.4	58.5	534.6	69.29	633.2
4	Kediri 県	1521.0	57.2	37.6	78.33	51.5
5	Blitar 県	1281.3	38.17	29.8	48.83	38.1
6	Sidoarjo 県	690.4	40.46	58.6	40.46	58.6
7	Mojokerto 県	899.4	31.01	34.5	48.22	53.6
8	Jombang 県	1102.8	39.45	35.8	58.37	52.9
9	Kediri 市	66.6	20.66	310.1	23.98	359.9
10	Mojokerto 市	20.3	11.81	582.9	11.81	582.9
11	Surabaya 市	237.5	34.85	146.7	34.85	146.7
12	Trenggalek 県	632.3	26.45	41.8	31.15	49.3
13	Blitar 市	33.4	8.71	260.3	10.65	318.3
14	Tulungagung 県	951.9	26.73	28.1	35.51	37.3
15	Nganjuk 県	1292.8	23.31	18.2	35.44	27.6
16	Gresik 県	105.6	11.26	106.6	11.26	106.6
合計		11363.1	648.09	57.0	799.50	70.4

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 5.3.6 現在および将来の総地下水需要量の分布

### (5) 地下水ポテンシャル

#### 1) 現在の地下水ポテンシャル

自治体ごとに評価した現在の地下水ポテンシャルを表 5.3.21 に示し、残存地下水ポテンシャル（表 5.3.21 の (C) - (A)）を図 5.3.7 に示す。太字の自治体の地下水需要量は、1991 年～2010 年の平均地下水涵養量よりも大きい。すなわち、これらの自治体では、域内の地下水涵養量だけでは地下水需要量を満たせないことを意味する。

さらに、Gresik 県においては、残存地下水ポテンシャルがマイナス値を示している。これは、すでに残存地下水ポテンシャル以上の地下水を利用していることを意味する。Gresik 県には海に面した地域があり、この地域で地下水を過剰に揚水すると、帯水層への塩水浸入とともに地盤沈下も発生する可能性が高まる。また、Sidoarjo 県、Surabaya 市および Mojokerto 市では、残存地下水ポテンシャルは正の値であるものの、地下水涵養量の不足分を周辺自治体からの地下水流入あるいは河床を通じた河川水の浸透に依存していることから、地下水開発においては要注意地域といえる。

#### 2) 2030 年の地下水ポテンシャル

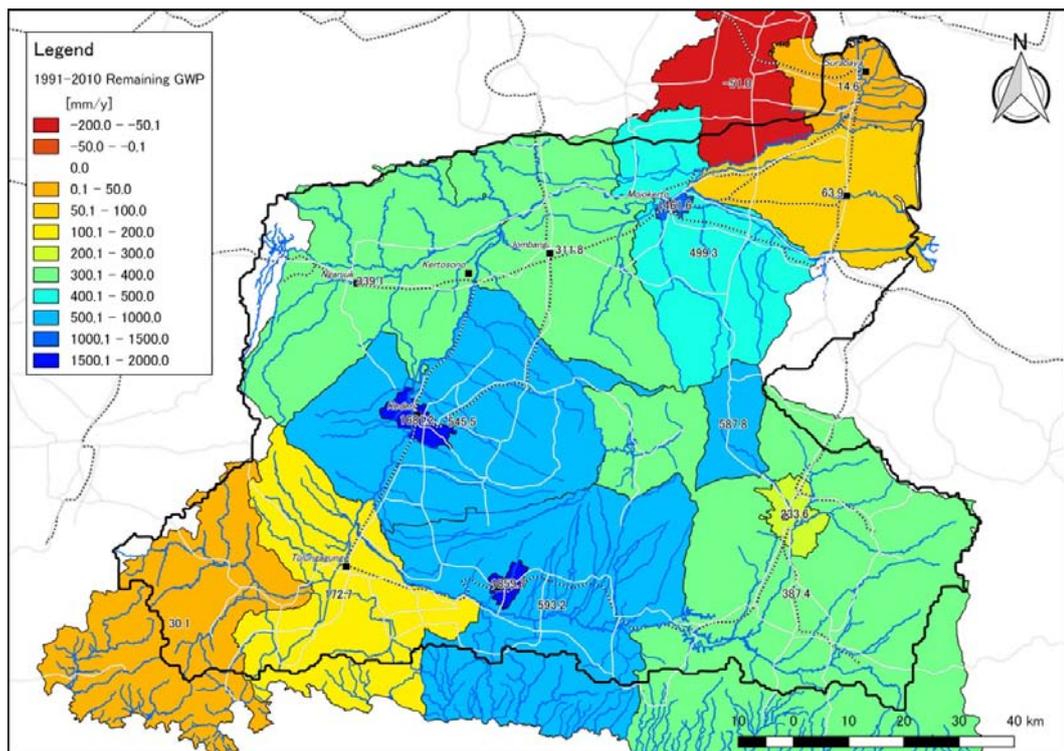
2030 年の地下水ポテンシャルは、現況再現地下水モデルに将来の指定水頭境界（海水面）と地下水需要量を設定し、解析・評価を行った。表 5.3.22 に 2030 年における地下水ポテンシャルを示す。また、残存地下水ポテンシャルを図 5.3.8 に示す。Kediri 市は、現在の地下水開発が可能な地域から、2030 年には地下水開発の要注意地域へと変化した。

表 5.3.21 ブランタス川流域の自治体ごとの現在の地下水ポテンシャル評価

番号	自治体名	モデル領域 <sup>*1</sup> (km <sup>2</sup> )	(A) 地下水需要量		(B) 涵養量 (1991-2010)		(B) - (A)		(C) 総ポテンシャル (1991-2010)		(C) - (A) 残存ポテンシャル (1991-2010)	
			(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>*1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>*1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>*1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>*1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>*1</sup>
1	Batu City	211.8	17.89	84.5	274.49	1296.3	256.60	1211.8	142.36	672.3	124.47	587.8
2	Malang Regency	2216.5	201.63	91.0	1727.40	779.3	1525.77	688.4	1060.40	478.4	858.77	387.4
3	Malang City	109.4	58.50	534.6	74.91	684.6	16.41	150.0	84.06	768.2	25.56	233.6
4	Kediri Regency	1521.0	57.20	37.6	821.27	540.0	764.06	502.3	886.89	583.1	829.69	545.5
5	Blitar Regency	1281.3	38.17	29.8	951.21	742.4	913.04	712.6	798.18	623.0	760.01	593.2
6	Sidoarjo Regency	690.4	40.46	58.6	33.85	49.0	-6.61	-9.6	84.59	122.5	44.13	63.9
7	Jokerto Regency	899.4	31.01	34.5	420.70	467.8	389.69	433.3	480.02	533.7	449.01	499.3
8	Jombang Regency	1102.8	39.45	35.8	350.57	317.9	311.12	282.1	383.26	347.5	343.82	311.8
9	Kediri City	66.6	20.66	310.1	22.89	343.5	2.22	33.3	132.69	1991.3	112.02	1681.2
10	Mojokerto City	20.3	11.81	582.9	5.20	256.5	-6.61	-326.4	41.43	2044.5	29.62	1461.6
11	Surabaya City	237.5	34.85	146.7	0.27	1.1	-34.58	-145.6	38.32	161.3	3.47	14.6
12	Trenggalek Regency	632.3	26.45	41.8	256.88	406.2	230.42	364.4	45.48	71.9	19.03	30.1
13	Blitar City	33.4	8.71	260.3	23.90	714.5	15.19	454.2	70.90	2120.0	62.20	1859.7
14	Tulungagung Regency	951.9	26.73	28.1	405.65	426.1	378.92	398.0	191.13	200.8	164.40	172.7
15	Nganjuk Regency	1282.8	23.31	18.2	473.09	368.8	449.78	350.6	458.34	357.3	435.03	339.1
16	Gresik Regency	105.6	11.26	106.6	0.38	3.6	-10.88	-103.0	5.88	55.6	-5.39	-51.0
合計		11363.1	648.08	57.0	5842.63	514.2	5194.54	457.1	4903.94	431.6	4255.85	374.5

\*1: モデル領域を用いて計算 (km<sup>2</sup>)

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

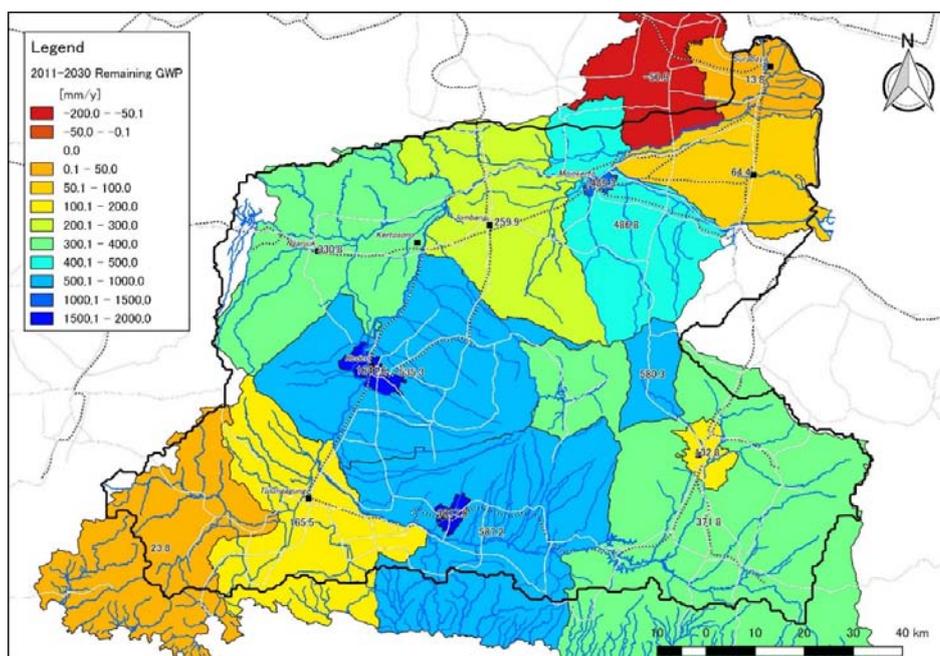
図 5.3.7 現在の残存地下水ポテンシャル分布

表 5.3.22 ブランタス川流域における 2030 年の地下水ポテンシャルの評価

番号	自治体名	モデル領域*1 (km <sup>2</sup> )	(A) 地下水需要量		(B) 涵養量 (1991-2010)		(B) - (A)		(C) 総ポテンシャル (2011-2030)		(C) - (A) 残存ポテンシャル (2011-2030)	
			(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y)*1	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y)*1						
1	Batu City	211.8	19.56	92.4	274.49	1296.3	254.93	1203.9	142.44	672.7	122.89	580.3
2	Malang Regency	2216.5	241.76	109.1	1727.40	779.3	1485.64	670.3	1065.78	480.8	824.03	371.8
3	Malang City	109.4	69.29	633.2	74.91	684.6	5.62	51.4	83.82	766.1	14.53	132.8
4	Kediri Regency	1521.0	78.33	51.5	821.27	540.0	742.93	488.5	892.54	586.8	814.20	535.3
5	Blitar Regency	1281.3	48.83	38.1	951.21	742.4	902.38	704.3	801.24	625.3	752.40	587.2
6	Sidoarjo Regency	690.4	40.46	58.6	33.85	49.0	-6.61	-9.6	84.94	123.0	44.49	64.4
7	Mojokerto Regency	899.4	48.22	53.6	420.70	467.8	372.48	414.2	486.00	540.4	437.78	486.8
8	Jombang Regency	1102.8	58.37	52.9	350.57	317.9	292.19	265.0	384.71	348.9	326.34	295.9
9	Kediri City	66.6	23.98	359.9	22.89	343.5	-1.10	-16.5	133.37	2001.5	109.38	1641.6
10	Mojokerto City	20.3	11.81	582.9	5.20	256.5	-6.61	-326.4	41.99	2072.2	30.18	1489.3
11	Surabaya City	237.5	34.85	146.7	0.27	1.1	-34.58	-145.6	38.12	160.5	3.27	13.8
12	Trenggalek Regency	632.3	31.15	49.3	256.88	406.2	225.73	357.0	46.20	73.1	15.05	23.8
13	Blitar City	33.4	10.65	318.3	23.90	714.5	13.25	396.2	71.44	2136.1	60.80	1817.8
14	Tulungagung Regency	951.9	35.51	37.3	405.65	426.1	370.14	388.8	193.05	202.8	157.54	165.5
15	Nganjuk Regency	1282.8	35.44	27.6	473.09	368.8	437.64	341.2	459.73	358.4	424.29	330.8
16	Gresik Regency	105.6	11.26	106.6	0.38	3.6	-10.88	-103.0	5.89	55.7	-5.38	-50.9
合計		11363.1	799.48	70.4	5842.63	514.2	5043.15	443.8	4931.28	434.0	4131.80	363.6

\*1: モデル領域を用いて計算 (km<sup>2</sup>)

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 5.3.8 2030 年の推定残存地下水ポテンシャル分布

### 3) 2050 年の地下水ポテンシャル

将来の気候変動条件下で 2050 年の地下水ポテンシャルを推定する 3 つのシナリオは、9 つの GCM (大気循環モデル) に基づきチーム 1 によって選定されたものである。2050 年の地下水ポテンシャルは、指定水頭境界 (海水面) と地下水涵養量を除いて 2030 年モデルと同じ解析条件で、検定された現況再現地下水モデルに上記条件を設定し、解析・評価した。

3 つのシナリオによる将来の地下水ポテンシャルと地下水需要量の比較、将来の地

下水ポテンシャルと残存地下水ポテンシャルの計算値を、表 5.3.23 と表 5.3.24 に示す。Medium シナリオの評価において、表 5.3.23 に示す Gresik 市を除く 5 つの (赤色) 太字の自治体では、地下水を開発する余地があることを表 5.3.24 の残存地下水ポテンシャルは示している。ただし実際には、表 5.3.23 に示すようにこれら 5 つの自治体の地下水涵養量は決して十分ではなく、地下水需要量が地下水涵養量を上回っている状態で、周辺地域からの帯水層を介した地下水の流入や河床を通した河川水の浸透など、他の地下水供給源によってポテンシャルが維持されている。

Medium シナリオの地下水涵養量は Low シナリオの地下水涵養量より少ないが、Medium シナリオの総ポテンシャルと残存地下水ポテンシャルは Low シナリオよりも大きい。これは、本プロジェクトでの地下水ポテンシャルの定義に起因するもので、使用した Medium シナリオの 20 年間の地下水涵養量の変動が小さかったため、このような逆転現象が生じたと考えられるが、現実的にも起こりうることである。

表 5.3.23 2050 年におけるブランタス川流域の地下水涵養量と地下水需要量

番号	自治体名	モデル領域 <sup>1)</sup> (km <sup>2</sup> )	(A) 地下水需要量 (2050 = 2030)		Highシナリオ (2046-2065)				Mediumシナリオ (2046-2065)				Lowシナリオ (2046-2065)			
					(B1) 涵養量		(B1) - (A)		(B2) 涵養量		(B2) - (A)		(B3) 涵養量		(B3) - (A)	
			(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>
1	Batu City	211.8	19.56	92.36	244.37	1154.1	224.82	1061.7	251.98	1190.0	232.42	1097.6	277.93	1312.52	258.37	1220.2
2	Malang Regency	2216.5	241.76	109.07	1217.43	549.2	975.67	440.2	1346.16	607.3	1104.40	498.3	1480.21	667.81	1238.46	558.7
3	<b>Malang City</b>	109.4	69.29	633.23	53.98	493.3	<b>-15.31</b>	<b>-139.9</b>	61.36	560.8	<b>-7.93</b>	<b>-72.4</b>	66.10	604.10	<b>-3.19</b>	<b>-29.1</b>
4	Kediri Regency	1521.0	78.33	51.50	569.43	374.4	491.09	322.9	538.95	354.3	460.62	302.8	698.21	459.05	619.88	407.5
5	Blitar Regency	1281.3	48.83	38.11	543.36	424.1	494.52	386.0	708.02	562.6	659.19	514.5	731.18	570.67	682.35	532.6
6	<b>Sidoarjo Regency</b>	690.4	40.46	58.60	29.68	43.0	<b>-10.78</b>	<b>-15.6</b>	25.57	37.0	<b>-14.88</b>	<b>-21.6</b>	38.61	55.92	<b>-1.85</b>	<b>-2.7</b>
7	Mojokerto Regency	899.4	48.22	53.62	310.47	345.2	262.25	291.6	274.09	304.8	225.87	251.1	393.47	437.50	345.25	383.9
8	Jombang Regency	1102.8	58.37	52.93	255.31	231.5	196.94	178.6	225.36	204.4	166.98	151.4	330.43	299.64	272.06	246.7
9	<b>Kediri City</b>	66.6	23.98	359.94	16.14	242.2	<b>-7.85</b>	<b>-117.8</b>	14.64	219.7	<b>-9.35</b>	<b>-140.3</b>	20.73	311.04	<b>-3.26</b>	<b>-48.9</b>
10	<b>Mojokerto City</b>	20.3	11.81	582.90	3.30	162.7	<b>-8.52</b>	<b>-420.2</b>	2.71	133.6	<b>-9.11</b>	<b>-449.3</b>	5.08	250.72	<b>-6.73</b>	<b>-332.2</b>
11	<b>Surabaya City</b>	237.5	34.85	146.71	4.27	18.0	<b>-30.58</b>	<b>-128.7</b>	3.89	16.4	<b>-30.96</b>	<b>-130.3</b>	4.22	17.78	<b>-30.63</b>	<b>-128.9</b>
12	Trenggalek Regency	632.3	31.15	49.26	126.36	199.8	95.21	150.6	133.57	211.2	102.42	162.0	180.30	285.14	149.15	235.9
13	<b>Blitar City</b>	33.4	10.65	318.29	9.00	269.2	<b>-1.64</b>	<b>-49.1</b>	15.28	456.8	4.63	138.5	16.86	503.98	6.21	185.7
14	Tulungagung Regency	951.9	35.51	37.30	253.57	266.4	218.06	229.1	257.54	270.5	222.03	233.2	334.67	351.57	299.16	314.3
15	Nganjuk Regency	1282.8	35.44	27.63	342.40	266.9	306.96	239.3	312.90	243.9	277.45	216.3	440.64	343.50	405.20	315.9
16	<b>Gresik Regency</b>	105.6	11.26	106.65	1.84	17.4	<b>-9.42</b>	<b>-89.2</b>	1.91	18.1	<b>-9.36</b>	<b>-88.6</b>	3.12	29.50	<b>-8.15</b>	<b>-77.2</b>
	合計	11363.1	799.48	70.36	3980.90	350.3	3181.43	280.0	4173.92	367.3	3374.44	297.0	5021.76	441.94	4222.29	371.6

<sup>1)</sup>: モデル領域を用いて計算 (km<sup>2</sup>)

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.24 2050 年におけるブランタス川流域の地下水ポテンシャルの評価

番号	自治体名	モデル領域 <sup>1)</sup> (km <sup>2</sup> )	(A) 地下水需要量 (2050 = 2030)		Highシナリオ (2046-2065)				Mediumシナリオ (2046-2065)				Lowシナリオ (2046-2065)			
					(C1) 総ポテンシャル		残存ポテンシャル (C1) - (A)		(C2) 総ポテンシャル		残存ポテンシャル (C2) - (A)		(C3) 総ポテンシャル		残存ポテンシャル (C3) - (A)	
			(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1)</sup>
1	Batu City	211.8	19.56	92.36	145.89	689.0	126.33	596.6	162.75	768.6	143.19	676.2	154.89	731.47	135.33	639.1
2	Malang Regency	2216.5	241.76	109.07	1057.29	477.0	815.53	367.9	1309.67	590.9	1067.91	481.8	1191.74	537.66	949.98	428.6
3	Malang City	109.4	69.29	633.23	86.56	791.1	17.27	157.9	96.29	880.0	27.00	246.8	89.99	822.41	20.70	189.2
4	Kediri Regency	1521.0	78.33	51.50	799.58	525.7	721.25	474.2	848.29	557.7	769.95	506.2	888.35	584.06	810.02	532.6
5	Blitar Regency	1281.3	48.83	38.11	660.38	515.4	611.54	477.3	844.03	658.7	795.20	620.6	745.88	582.14	697.05	544.0
6	Sidoarjo Regency	690.4	40.46	58.60	88.44	128.1	47.98	69.5	93.72	135.7	53.26	77.1	105.76	153.19	65.31	94.6
7	Mojokerto Regency	899.4	48.22	53.62	433.30	481.8	385.08	428.2	460.74	512.3	412.52	458.7	487.39	541.93	439.17	488.3
8	Jombang Regency	1102.8	58.37	52.93	303.63	275.3	245.26	222.4	324.47	294.2	266.10	241.3	381.98	346.39	323.61	293.5
9	Kediri City	66.6	23.98	359.94	130.83	1963.5	106.85	1603.5	131.95	1980.2	107.96	1620.2	134.40	2016.98	110.42	1657.0
10	Mojokerto City	20.3	11.81	582.90	40.29	1988.2	28.48	1405.3	40.54	2000.5	28.73	1417.6	41.77	2061.31	29.96	1478.4
11	Surabaya City	237.5	34.85	146.71	40.32	169.8	5.48	23.1	41.18	173.4	6.33	26.7	42.40	178.51	7.55	31.8
12	Trenggalek Regency	632.3	31.15	49.26	43.17	68.3	12.02	19.0	81.36	128.7	50.21	79.4	57.39	90.76	26.24	41.5
13	Blitar City	33.4	10.65	318.29	65.19	1949.1	54.54	1630.8	68.70	2054.1	58.05	1735.8	66.94	2001.58	56.30	1683.3
14	Tulungagung Regency	951.9	35.51	37.30	224.88	236.2	189.37	198.9	301.06	316.3	265.55	279.0	233.84	245.65	198.33	208.3
15	Nganjuk Regency	1282.8	35.44	27.63	409.44	319.2	374.00	291.5	430.30	335.4	394.86	307.8	472.43	368.28	436.99	340.6
16	<b>Gresik Regency</b>	105.6	11.26	106.65	7.58	71.8	<b>-3.68</b>	<b>-34.9</b>	7.98	75.6	<b>-3.28</b>	<b>-31.1</b>	9.64	91.30	<b>-1.62</b>	<b>-15.3</b>
	合計	11363.1	799.48	70.36	4536.77	399.3	3737.30	328.9	5243.03	461.4	4443.55	391.1	5104.81	449.24	4305.33	378.9

<sup>1)</sup>: モデル領域を用いて計算 (km<sup>2</sup>)

出典: JICA プロジェクトチーム 2

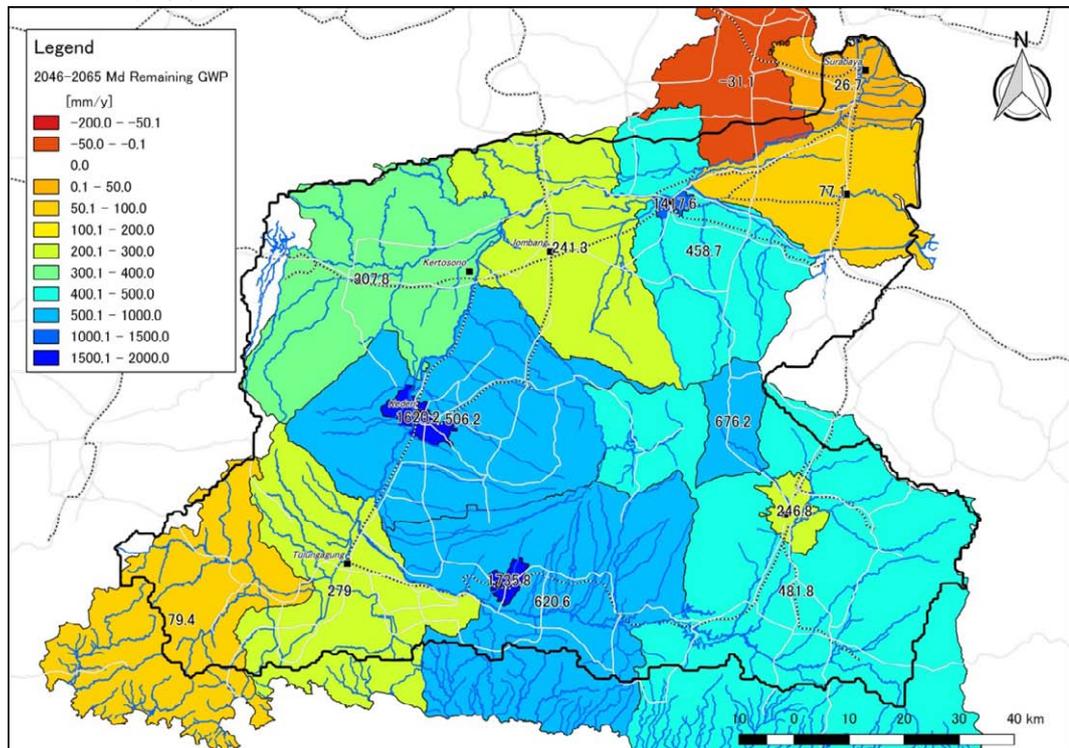
表 5.3.25 に、気候変動の代表シナリオである Medium シナリオの詳細な評価結果と、シミュレーション結果による地下水流動の各要素を示す。Gresik 市を除く自治体の残存地下水ポテンシャルは、正の値を示している。ただし、将来周辺自治体からの地下水流入量や河床を通じた河川水の浸透量が減少すると、その残存地下水ポテンシャルは減少し、最悪の場合には地下水の利用に障害が発生する可能性もある。

表 5.3.25 地下水流動の要素ごとの詳細な評価 (Medium シナリオ)

番号	自治体名	モデル領域 <sup>*1</sup> (km <sup>2</sup> )	(A) 地下水需要 (2050 = 2030)		(C) 総ポテンシャル (2046-2065Md)		(C) - (A) 残存ポテンシャル 1 (2046-2065Md)		(D) 他の自治体から の地下水流入量 (2046-2065LE)		(C) - (A) - (D) 残存ポテンシャル 2 (2046-2065Md)		(E) 河川からの 地下水流入量 (2046-2065Md)		(C) - (A) - (D) - (E) 残存ポテンシャル 3 (2046-2065Md)	
			(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1</sup>	(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> /y)	(mm/y) <sup>1</sup>
1	Batu City	211.8	19.56	92.36	162.75	768.6	143.19	676.2	1.33	6.3	141.86	669.9	0.63	3.0	141.23	667.0
2	Malang Regency	2216.5	241.76	109.07	1309.67	590.9	1067.91	481.8	56.08	25.3	1011.83	456.5	99.26	44.8	912.57	411.7
3	Malang City	109.4	69.29	633.23	96.29	880.0	27.00	246.8	35.21	321.8	-8.21	-75.0	5.16	47.2	-13.37	-122.2
4	Kediri Regency	1521.0	78.33	51.50	848.29	557.7	769.95	506.2	126.68	83.3	643.27	422.9	234.40	154.1	408.88	268.8
5	Blitar Regency	1281.3	48.83	38.11	844.03	658.7	795.20	620.6	84.56	66.0	710.64	554.6	145.37	113.5	565.26	441.2
6	Sidoarjo Regency	690.4	40.46	58.60	93.72	135.7	53.26	77.1	29.66	43.0	23.60	34.2	29.49	42.7	-5.89	-8.5
7	Mojokerto Regency	899.4	48.22	53.62	460.74	512.3	412.52	458.7	27.07	30.1	385.45	428.6	183.76	204.3	201.69	224.3
8	Jombang Regency	1102.8	58.37	52.93	324.47	294.2	266.10	241.3	58.42	53.0	207.68	188.3	26.18	23.7	181.50	164.6
9	Kediri City	66.6	23.98	359.94	131.95	1980.2	107.96	1620.2	104.06	1561.6	3.91	58.6	10.53	158.1	-6.63	-99.5
10	Mojokerto City	20.3	11.81	582.90	40.54	2000.5	28.73	1417.6	35.64	1758.8	-6.91	-341.2	1.04	51.4	-7.96	-392.6
11	Surabaya City	237.5	34.85	146.71	41.18	173.4	6.33	26.7	1.63	6.9	4.70	19.8	36.08	151.9	-31.37	-132.1
12	Trenggalek Regency	632.3	31.15	49.26	81.36	128.7	50.21	79.4	3.03	4.8	47.18	74.6	20.62	32.6	26.56	42.0
13	Blitar City	33.4	10.65	318.29	68.70	2054.1	58.05	1735.8	53.18	1590.1	4.87	145.7	3.44	102.8	1.44	43.0
14	Tulungagung Regency	951.9	35.51	37.30	301.06	316.3	265.55	279.0	26.78	28.1	238.77	250.8	28.40	29.8	210.36	221.0
15	Nganjuk Regency	1282.8	35.44	27.63	430.30	335.4	394.86	307.8	101.70	79.3	293.16	228.5	41.22	32.1	251.94	196.4
16	Gresik Regency	105.6	11.26	106.65	7.98	75.6	-3.28	-31.1	1.73	16.3	-5.01	-47.4	3.92	37.1	-8.93	-84.5
合計		11363.1	799.48	70.36	5243.03	461.4	4443.55	391.1	746.78	65.7	3696.78	325.3	869.50	76.5	2827.28	248.8

\*1: モデル領域から計算 (km<sup>2</sup>)

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 5.3.9 2050年の地下水ポテンシャルの分布 (Medium シナリオ)

4) 各シナリオの最終評価と追加の地下水開発の可能性

(a) 評価方法

残存地下水ポテンシャルは、開発可能な地下水ポテンシャルと考えることができる。ただし、その地域特有の制約条件を十分調査・検討した上で、追加の地下水開発を行う必要がある。地域特有の制約条件には、水理地質分布、河川の維持流量の確保、水源としての湧水の保護、特定の井戸の水位の維持、地盤沈下を発生させない適切な揚水量、他の自治体への帯水層を通じた地下水流出量の確保などが挙げられる。本プロジェクトではより現実的な追加の地下水開発ポテンシャルを評価するために、制約条件のうち主要な制約条件の重要な要素である水理地質分布を考慮できる次の式で追加の地下水開発ポテンシャルを表すこととした。

$$(\text{追加の地下水開発ポテンシャル}) = (\text{水理地質係数}) \times (\text{総地下水ポテンシャル}) - \text{地下水需要量} - \sum (\text{制約条件下での追加の地下水需要量})$$

ここで、水理地質係数は水文地質分布を表す係数である。詳細はサポーティングレポート C に示す。また、追加の地下水開発の可能性は、表 5.3.26 に定めた判定基準を用いて評価を行った。この「(修正残存地下水ポテンシャル) - (他自治体への地下水供給するための追加の地下水需要量)」の閾値 100mm/年は、他の制約条件も含んだ暫定的な値である。上記計算式と判定基準は実際に地下水開発をする場合の詳細解析の中で改めて検討する必要がある。

表 5.3.26 追加の地下水開発ポテンシャルの評価基準

評価	追加の地下水開発	(平均涵養量) - (地下水需要量)	(修正残存地下水ポテンシャル <sup>*1</sup> ) - (周辺自治体へ供給するための追加の地下水需要量)
A	可能	プラス	100mm/年以上
B	一部可能	プラス	他の自治体へ地下水を供給している、あるいは 100mm/年未満
C	不可能	マイナス	マイナス

\*1: (水理地質係数) x (総地下水ポテンシャル) - 地下水需要量

出典: JICA プロジェクトチーム 2

(b) 評価結果

各シナリオの最終評価と追加の地下水開発の可能性を表 5.3.27 に示す。平均地下水涵養量は Medium シナリオの方が Low シナリオより少ないが、一部の自治体における追加の地下水開発の可能性は Medium シナリオの方が Low シナリオよりも大きい。同じ傾向が、High シナリオと Medium シナリオの間でも確認できる。このように、シナリオ解析には、High シナリオが必ずしも最小の地下水ポテンシャル評価にはならないという不確実性が含まれている。

以上を踏まえ、各自治体の地下水開発における留意点を表 5.3.28 に示す。

表 5.3.27 各シナリオの評価と追加の地下水開発の可能性

番号	自治体名	モデル領域 (km <sup>2</sup> )	水理地質係数	評価			追加の地下水開発ポテンシャル (百万 m <sup>3</sup> /年)		
				Medium	High	Low	Medium	High	Low
1	Batu 市	211.8	0.20	B	B	B	13.26	9.86	11.67
2	Malang 県	2,216.5	0.47	B	B	B	365.35	239.44	314.70
3	Malang 市	109.4	0.74	C	C	C	—	—	—
4	Kediri 県	1,521.0	0.69	B	B	B	497.54	463.94	531.27
5	Blitar 県	1,281.3	0.50	A	B	A	374.70	280.90	325.45
6	Sidoarjo 県	690.4	0.59	C	C	C	—	—	—
7	Mojokerto 県	899.4	0.63	B	B	B	233.74	216.40	252.95
8	Jombang 県	1,102.8	0.58	A	A	A	128.92	116.89	162.12
9	Kediri 市	66.6	0.85	C	C	C	—	—	—
10	Mojokerto 市	20.3	0.84	C	C	C	—	—	—
11	Surabaya 市	237.5	0.47	C	C	C	—	—	—
12	Trenggalek 県	632.3	0.08	C	C	C	—	—	—
13	Blitar 市	33.4	0.78	A	C	A	42.65	—	41.29
14	Tulungagung 県	951.9	0.48	B	B	B	108.59	72.13	76.42
15	Nganjuk 県	1,282.8	0.51	A	A	A	184.64	173.97	206.18
16	Gresik 県	105.6	0.31	C	C	C	—	—	—
合計		11,363.1					1949.39	1537.54	1,922.06

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.28 自治体ごとの地下水開発において留意すべき点

番号	自治体名	留意点
1	Batu 市	ブランタス川の源流エリア。地下水開発が可能な地域は、谷底平野に限られる。
2	Malang 県	地下水を帯水層と河川の流出水を介して Malang 市に供給している。地下水開発が可能な地域は谷底平野に限られる。
3	Malang 市	Malang 県からの地下水流入に依存している。
4	Kediri 県	帯水層と河川流出水を介して Kediri 市に地下水を供給している。産出量が多い帯水層が広く分布し、すでに多くの井戸が存在している。山岳地帯には湧水も多い。
5	Blitar 県	地下水の需要が少ない。
6	Sidoarjo 県	沿岸地域での地下水の開発は、帯水層に塩水が侵入する可能性がある。
7	Mojokerto 県	Mojokerto 市に地下水と河川流出水を介して地下水を供給している。
8	Jombang 県	産出量が多い帯水層が分布し、すでに多くの井戸が存在している。
9	Kediri 市	Kediri 県からの地下水流入に依存している。
10	Mojokerto 市	Mojokerto 県からの地下水流入に依存している。
11	Surabaya 市	地下水涵養量が少なく、周辺自治体からの地下水流入の可能性も低い。塩水侵入のリスクが比較的高い。
12	Trenggalek 県	火山岩分布域にあたり地下水ポテンシャルは低い。開発が可能な地域は、谷底平野に限られる。
13	Blitar 市	Blitar 県からの大量の地下水が流入している。
14	Tulungagung 県	地下水が開発され、多くの井戸が存在する。
15	Nganjuk 県	産出量が多い帯水層が分布し、すでに多くの井戸が存在している。
16	Gresik 県	少量の地下水涵養量と周辺自治体からの地下水流入がわずか期待される。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

本プロジェクトの地下水シミュレーションに基づく地下水開発ポテンシャル評価から以下の事が言える。

- Malang 市、Sidoarjo 県、Kediri 市、Mojokerto 市、Surabaya 市、Trenggalek 県ならびに Gresik 県は地下水の需要が大きく、また地域特有の制約条件があることを鑑みると、気候変動という環境下で追加の地下水資源を開発することは難しい。
- Batu 市、Malang 県、Kediri 県ならびに Mojokerto 県地域特有の制約条件を考慮した上で、追加の地下水開発を行うことが可能であるが、開発可能量は少なく、地下水開発は慎重に行うべきである。
- Blitar 県、Jombang 県、Blitar 市、Tulungagung 県および Nganjuk 県地域特有の条件を考慮した上で、十分な量の追加の地下水開発を行うことができる。
- ブランタス川流域の地下水資源を適切かつ総合的に管理し、貴重な地下水資源を有効活用するためには、追加の地下水開発の前に十分な調査・解析を実施することが強く求められる。

本プロジェクトで構築された地下水モデルにおいて、利用可能な水理地質情報は限られており、検定対象の地下水位観測データも 26 地点のみである。したがって、このモデルを使用した地下水ポテンシャルの評価には、多くの不確実性が含まれており、地下水ポテンシャル評価の精度を向上させるためには、検定対象となる地下水位の連続観測を含む地下水位データおよび水理地質等の情報をさらに収集し、モデルを更新してゆく必要がある。

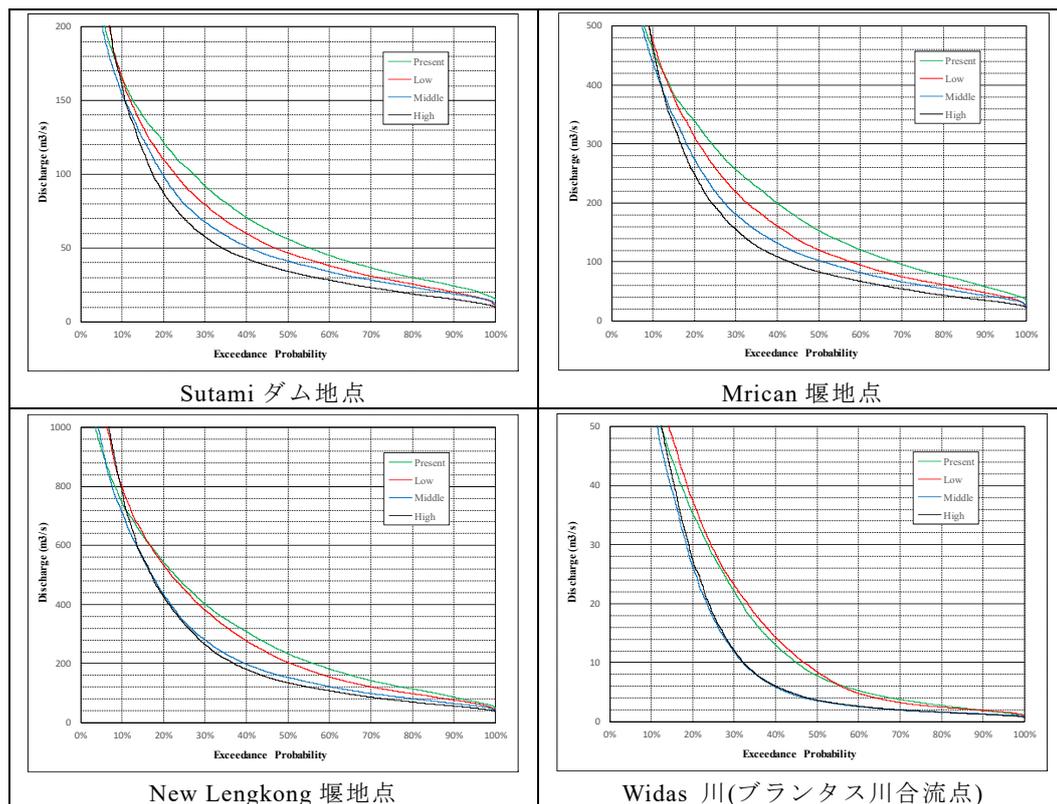
### 5.3.3 表流水

#### (1) 流況

チーム 1 は、選定された 3 つの GCM(Low・Medium・High シナリオ)に対して、WEB-DHM を用い、2046 年から 2065 年までのブランタス川とその支流の将来気候下の流量を推定した。現在気候と 3 つのシナリオの下での、Sutami ダム、Mrican 堰、New Lengkong 堰、および Widas 川合流点の流況曲線を図 5.3.2 に示す。また図 5.3.11 から図 5.3.14 に各地点の流量の時系列を示す。

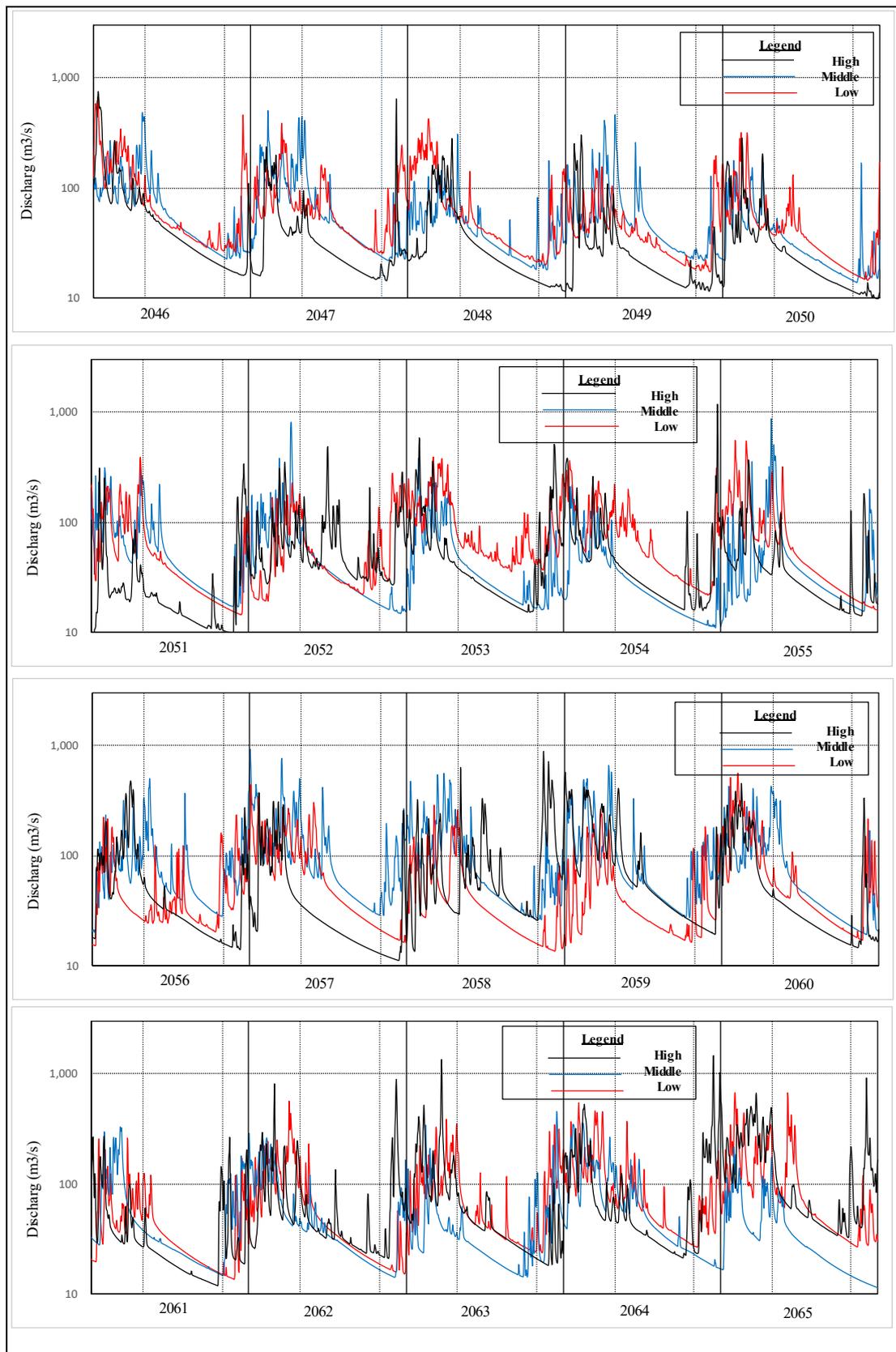
図 5.3.10 に示すように、将来気候の全ての流況曲線は、超過確率 10%未満の低水域において、現在気候よりも低くなる。シナリオ名に示すとおり、High シナリオは低水流量が最も低く、Low シナリオは、3 つの将来気候のシナリオで最も高いが、現在気候のそれよりも低くなる。

ただし、図 5.3.11 に示すように、時系列で流量を見ると Low シナリオの低水流量が乾季に、3 つのケースの中で最低になる年もある。



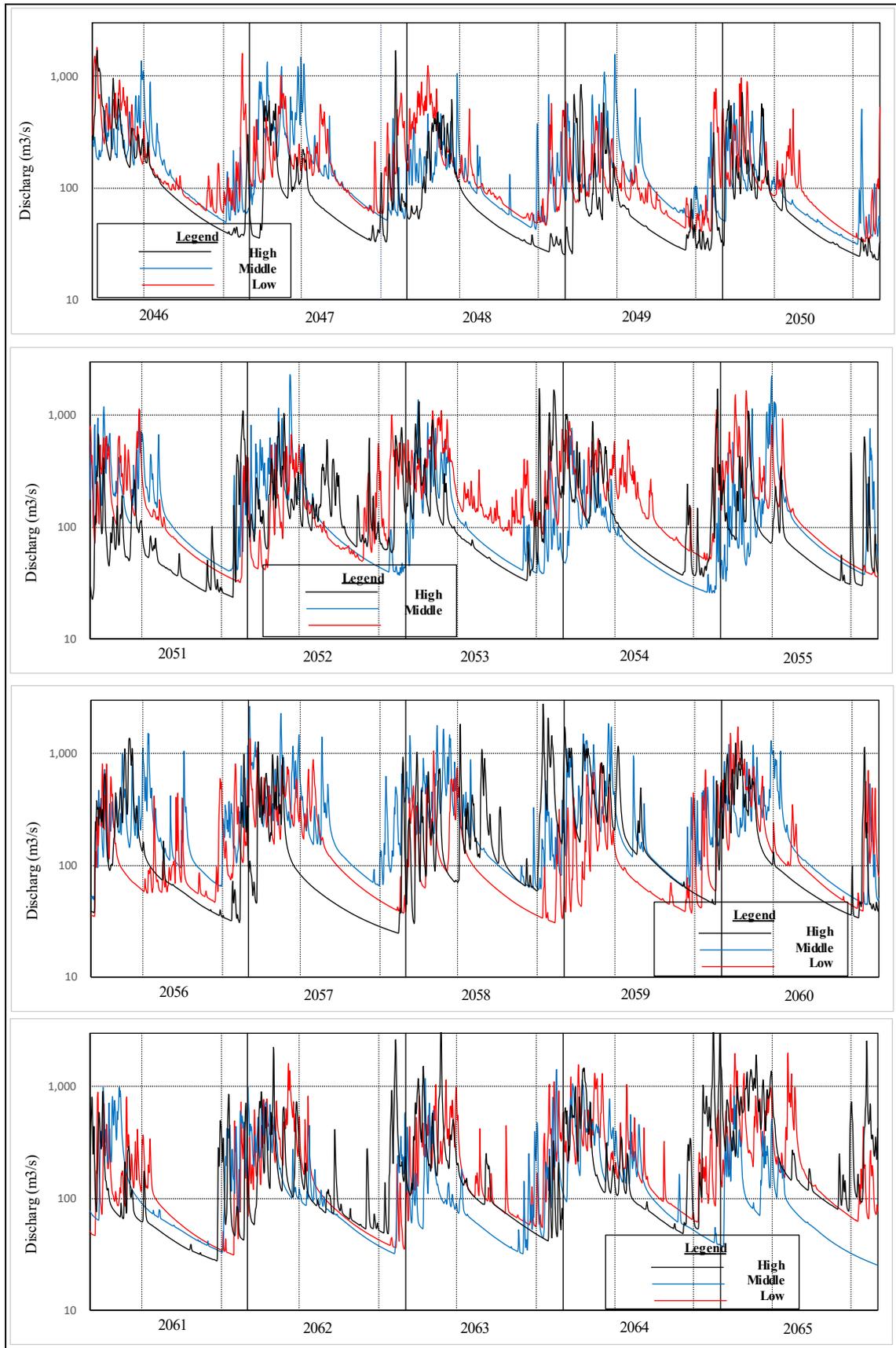
出典: JICA プロジェクトチーム 1

図 5.3.10 Sutami ダム、Mrican 堰、New Lengkong 堰、Widas 川合流点における現在気候及び将来気候下の流況曲線



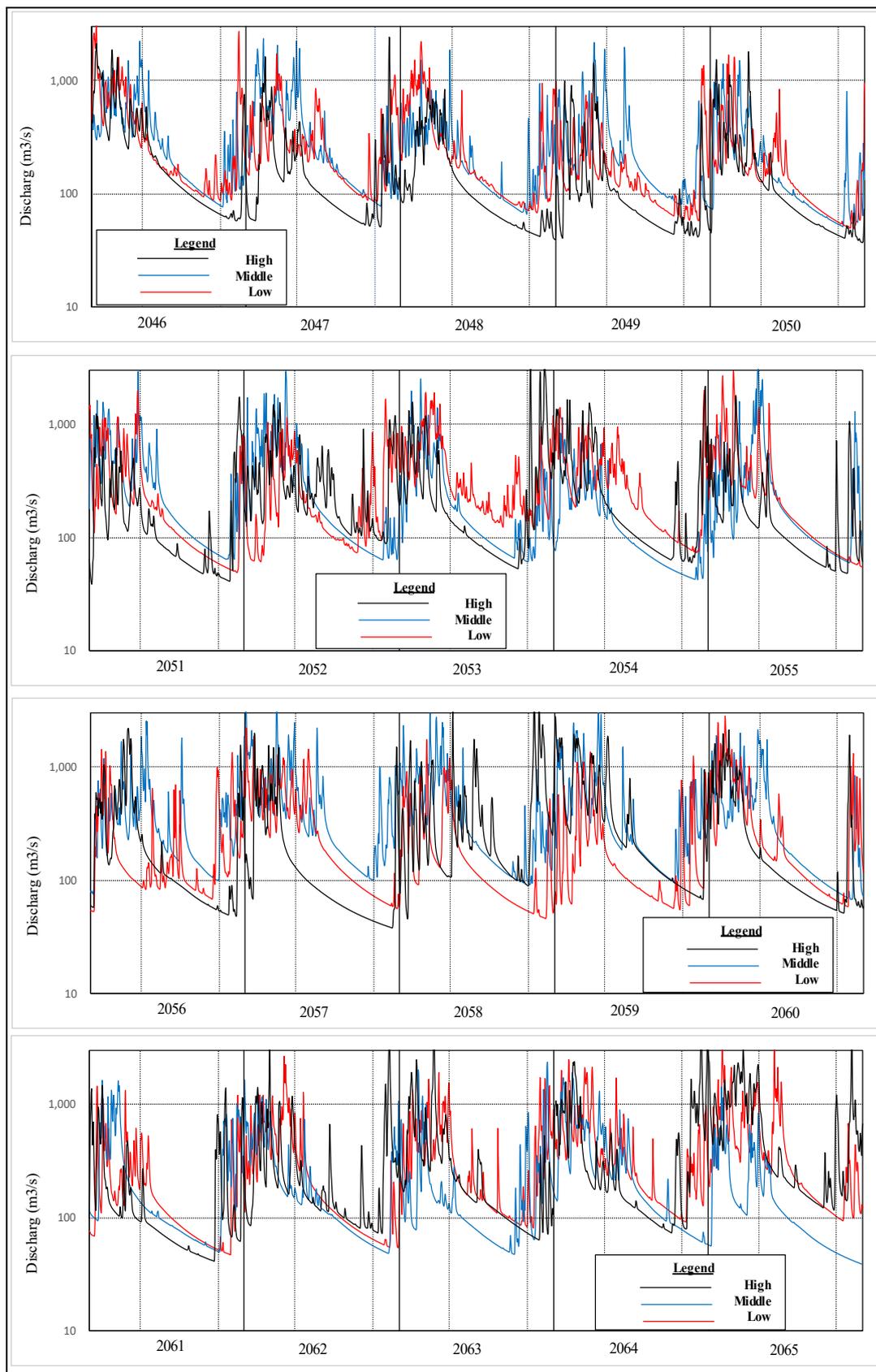
出典: JICA プロジェクトチーム 1 のデータを基に JICA プロジェクトチーム 2 が作成

図 5.3.11 将来気候下の Sutami ダム地点の時系列流量



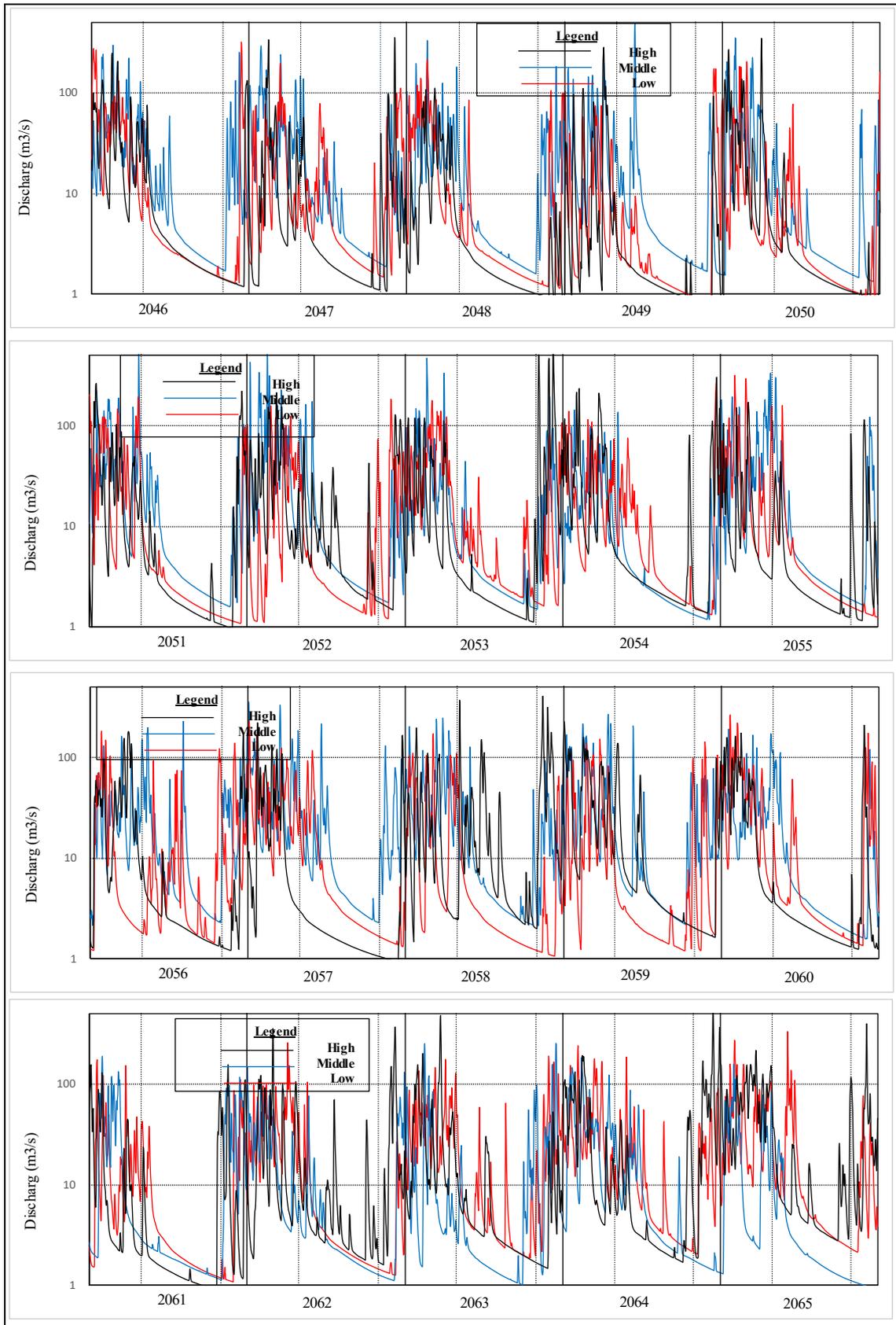
出典: JICA プロジェクトチーム 1 のデータを基に JICA プロジェクトチーム 2 が作成

図 5.3.12 将来気候下の Mrican 堰地点の時系列流量



出典: JICA プロジェクトチーム 1 のデータを基に JICA プロジェクトチーム 2 が作成

図 5.3.13 将来気候下の New Lengkong 堰地点の時系列流量



出典: JICA プロジェクトチーム 1 のデータを基に JICA プロジェクトチーム 2 が作成

図 5.3.14 将来気候下の本川合流地点 Widas 川の時系列流量

## (2) 解析手法

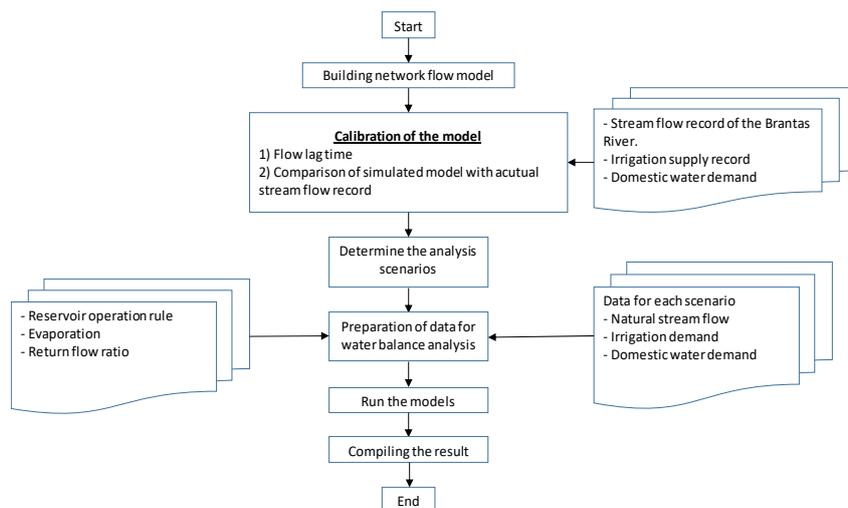
### 1) 水収支解析の流れ

水収支解析の流れは以下のとおりである。

- ① 水系のネットワークフローモデルを、ブランタス川の水配分計画に基づき作成する。
- ② 水収支計算モデルがブランタス川流域の現況流況を正しく再現できるように、ネットワークフローモデルを実際の河川流量資料を用いてキャリブレーションを行う。
- ③ 水収支計算モデルのキャリブレーション後、計画された水需要、チーム 1 によって推定された流域からの自然流量をモデルデータとして入力する。これらの値は想定年、開発シナリオ、気候条件によって異なる。水需要としては、灌漑、上水および工業用水、水力発電を考慮する。

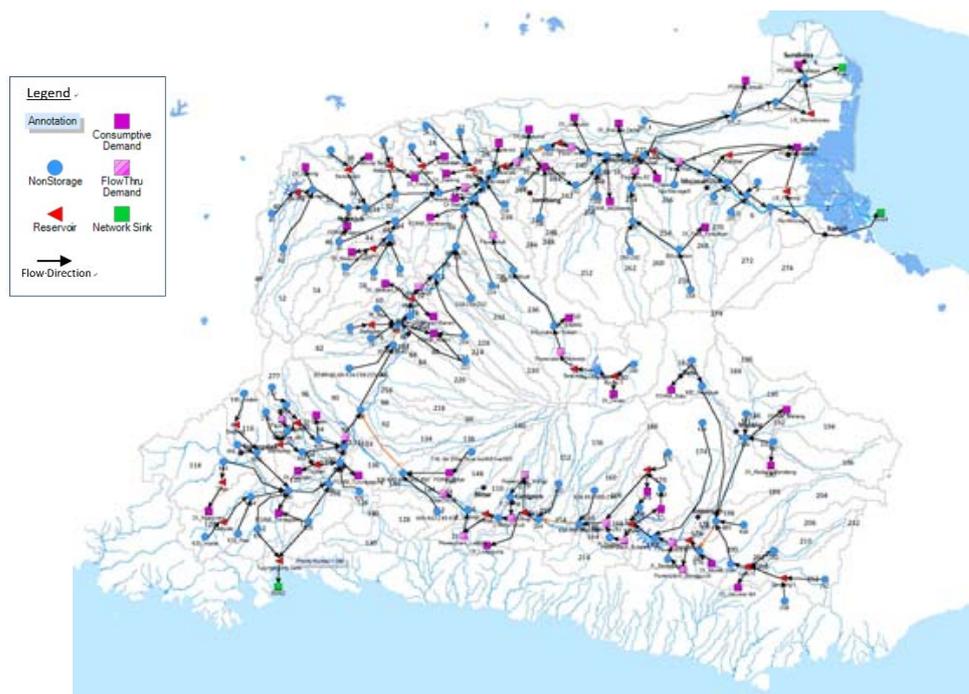
ブランタス川流域の水収支解析の流れを図 5.3.15 に、既存ダム、取水施設および灌漑取水地点を図 5.3.16 に示す。

ブランタス川流域の水収支計算モデル図を、図 5.3.17 および図 5.3.18 に示す。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.15 ブランタス川流域の水収支解析フロー



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.16 ブランタス川流域の水収支シミュレーションモデル

2) 水需要に対する供給優先順位

政令 No.121,2015 を基に以下の供給順位を設定した。

1. 上水
2. 灌漑用水
3. 工業用水
4. 水力発電

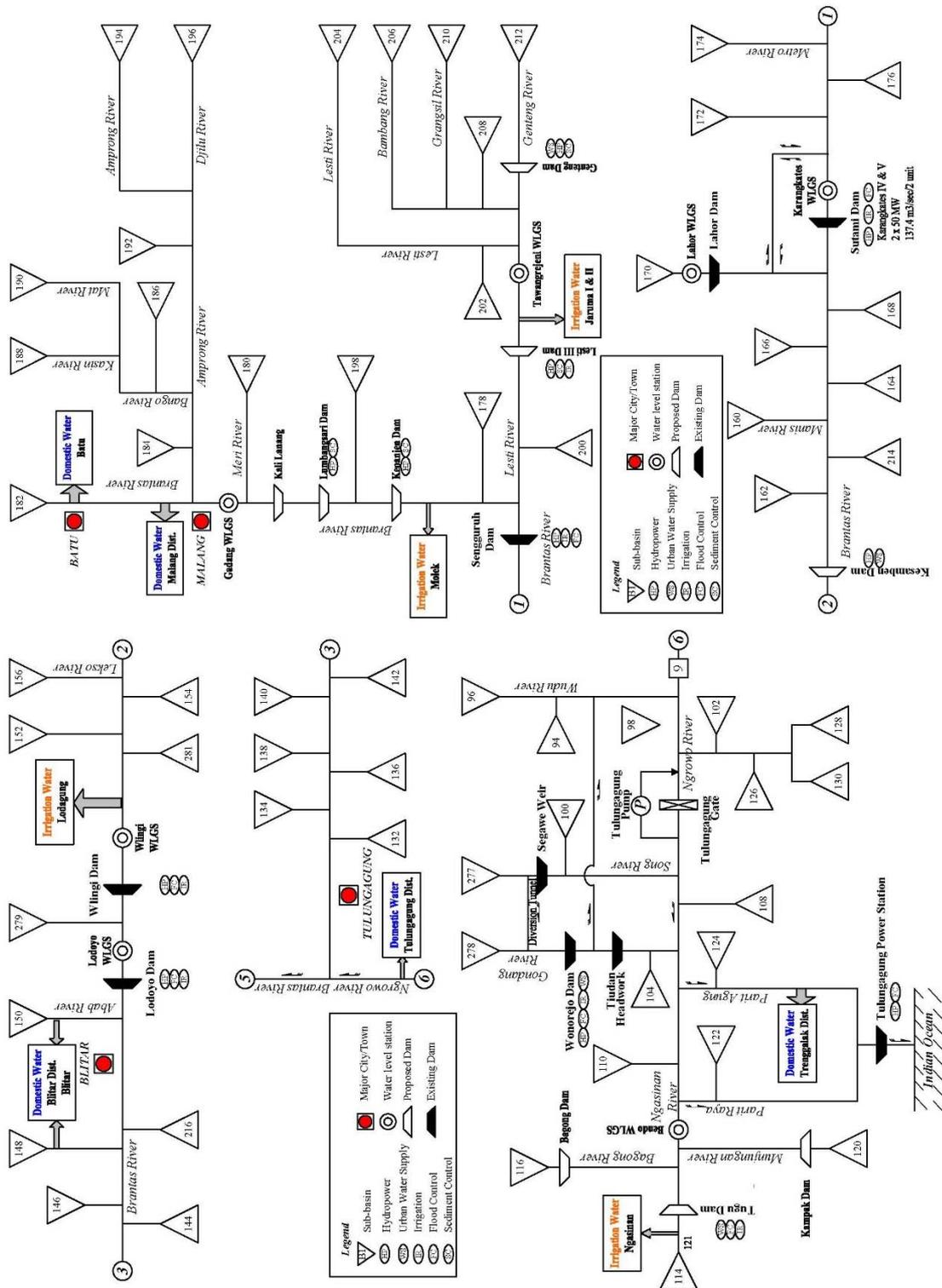
3) 環境流量

環境流量(維持流量)は、河川沿いの住民生活、良好な自然環境を維持するために必要な最小流量である。インドネシアでは、環境流量は流況の 95% 流量以上とするように規定されている。表 5.3.29 に 3 地点の必要環境流量を示す。

表 5.3.29 Sutami ダム、Mrican 堰、New Lengkong 堰地点の環境流量

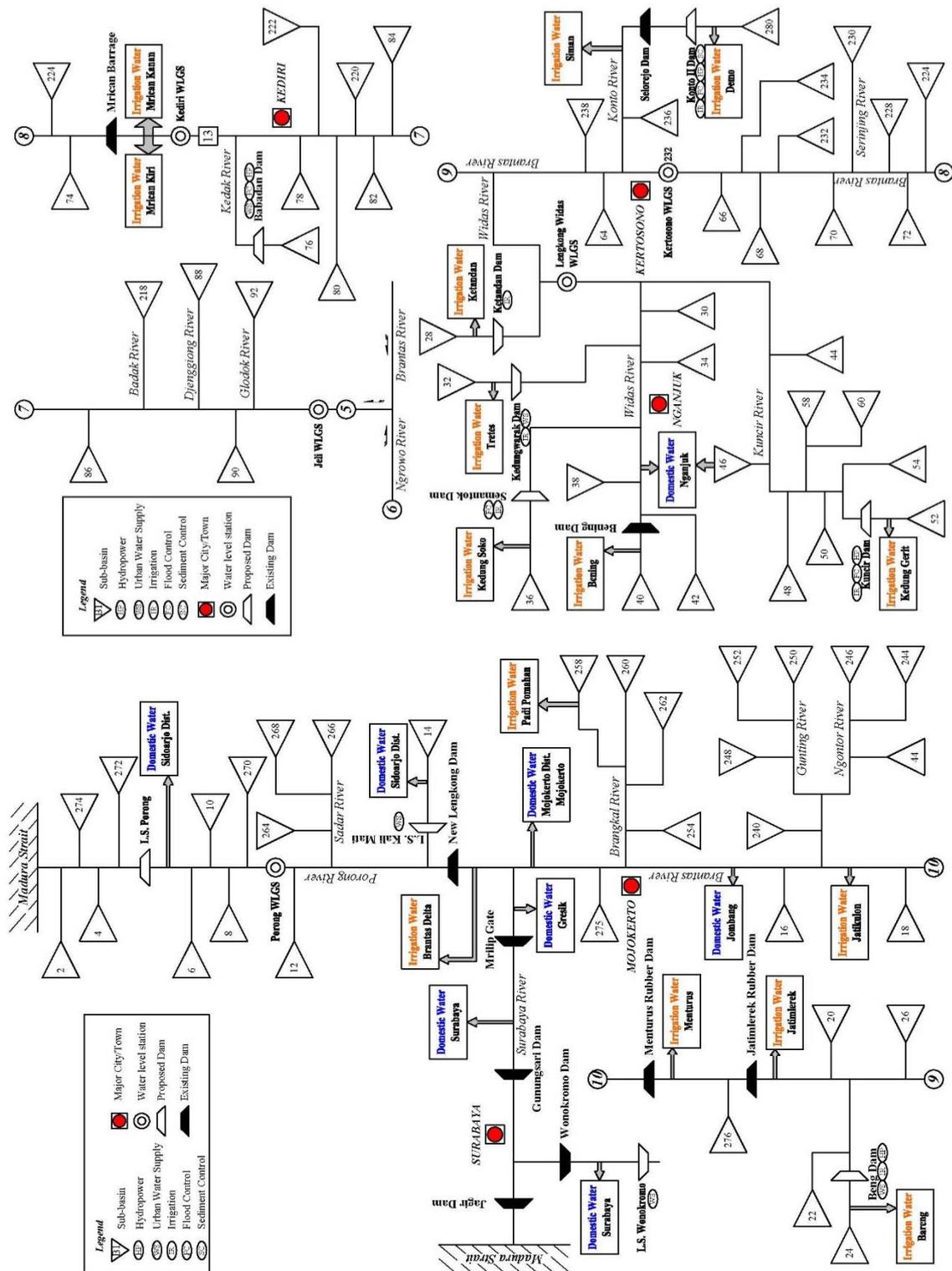
基準点	Sutami	Mrican	New Lengkong
環境流量 (m <sup>3</sup> /s)	29.9	54.1	32.1

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 5.3.17 水収支解析に対するブランタス川流域モデル図 (1/2)



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.18 水収支解析に対するブランタス川流域モデル図 (2/2)

(3) 2030年までの貯留施設整備計画

レビューPOLA 2015 (ドラフト)において、2030年までの水資源開発コンセプトがPOLA2010 から更新された。ダムリストが変更され、ため池リスト、ため池及び河道貯留施設の開発計画がレビュー POLA 2015 (ドラフト)に追加されている。

表 5.3.30 にダム、ため池、河道貯留施設の一覧を示す。

表 5.3.30 2030年までの既存、計画中ダム、ため池、河道貯留施設一覧

番号	ダム名	状況	貯水池容量 (百万 m <sup>3</sup> )
<b>ダム</b>			
1	Sengguruh ダム	既設	135.43
2	Sutami ダム	既設	24.52
3	Lahor ダム	既設	2.05
4	Wlingi ダム	既設	2.37
5	Lodoyo ダム	既設	33.32
6	Selorejo ダム	既設	25.44
7	Bening ダム	既設	97.09
8	Wonorejo ダム	既設	135.43
9	Tugu ダム	建設中	21.2
10	Lesti III ダム	計画	4.0
11	Bagong ダム	計画	5.0
12	Semantok ダム	計画	40
13	Beng ダム	計画	147
<b>河道貯留</b>			
1	L/S Porong	計画	8
2	L/S Kali Mati	計画	1.5
3	L/S Wonokromo	計画	2
<b>ため池</b>			
1	77 カ所の既存ため池	既設	0.5 x 77
2	2 カ所/県/年	計画	9/年

出典: レビュー POLA 2015 (ドラフト)

1) 提案されているダム

レビューPOLA 2015 (ドラフト)において、ブランタス川流域では2030年までに5基のダムが建設される計画である。

2020年まで: Tugu ダム, Lesti III ダム

2025年まで: Bagong ダム, Semantok ダム,

2030年まで: Beng ダム

上記の5基のダムの位置図を図 5.3.18 に示す。現在の状況を BBWS Brantas の聞き取り調査から更新した結果を表 5.3.31 に示す。

表 5.3.31 2016年9月時点のブランタス川流域の提案ダムの状況

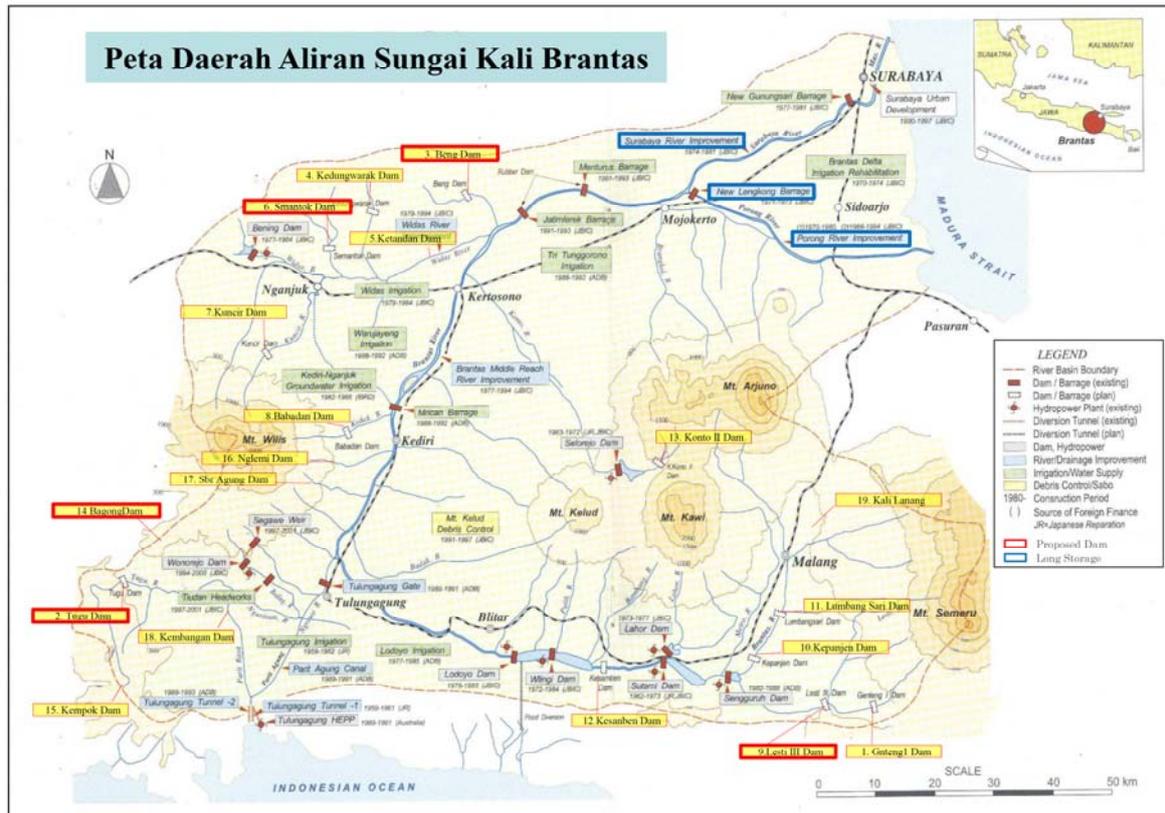
No.	ダム名	河川/場所	有効容量 (百万 m <sup>3</sup> )	目的	2016年9月時点の BBWS Brantas へのインタビューに基づく情報更新
1	Tugu	Keser 川 Trenggalek 県	7.8	FC, IR, WS	BBWS Brantas の3つの優先ダムの一つである。建設工事は実施中で、2017年以降に完成予定である。建設地点の地質上の問題があるため、洪水吐き設計レビューが実施されている。用地取得問題あり。
2	Lesti III	Lesti 川 Malang 県	7.4	IR, HP, SC	詳細設計のレビューと追加地質調査が2014年に実施された。環境影響評価(EIA)は完了済。予算配分を待っている状況。用地取得は近々開始される予定。
3	Bagong	Bagong 川 Trenggalek 県	13.5	FC, IR	BBWS Brantas の3つの優先ダムの一つである。SID(調査・設計)は2014年4月に実施された。設計承認が発行された。用地取得は2015年に開始された。建設工事は、2017年、2018年に開始される予定。予算の問題がある。
4	Semantok	Smantok 川 Nganjuk 県	8.3	FC, IR, HP	BBWS Brantas の3つの優先ダムの一つである。SID(調査・設計)は2013年5月に実施された。設計はほぼ完了済。事業は、建設フェーズに移行。ダムの位置は、2地点の代替案として上流、下流案があり、地方政府と協議中。
5	Beng	Beng 川	147.0	IR, HP, WS	Beng 多目的ダムの F/S は2013年に実施された。現在、社会問題が生じている。

注釈: WS: 都市用水, IR: 灌漑用水, FC: 洪水防御, HP: 水力発電, SC: 土砂制御

出典: JICA プロジェクトチーム 2

## 2) 提案されているため池

計画されている新規のため池の位置に関する情報は、レビューPOLA 2015 (ドラフト)には記載されていない。しかし、現地地方政府は新規ため池の建設を進めている状況である。新規ため池の個数は、各県で一年当たり 2 基の建設が計画されているが、年間の新規ため池の数は地方政府の年予算によって決められている。



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.19 ブランタス川流域の提案ダムおよび河道貯留施設位置図

3) 提案されている河道貯留施設

レビューPOLA 2015 (ドラフト)では、ブランタス川流域に 2020 年までに 3 基の河道貯留施設の建設が計画されている。これらの河道貯留施設の位置図を図 5.3.19 に示す。

しかし、調査報告書は Kali Mati 河道貯留施設のみであり、他の 2 カ所の施設はまだ調査が実施されていない状況である。このため、これらの貯留量を本プロジェクトにおいて概略推定を行った。

表 5.3.32 に提案されている河道貯留施設の貯留量の検討結果を示す。また、3 カ所の河道貯留施設の詳細の情報についても合わせて示す。

表 5.3.32 レビュー POLA 2015 (ドラフト)で提案されている河道貯留施設の貯留量の  
 評価結果

番号	河道貯留施設名	可能貯水容量	常時満水位	低水位	設計河床高	設計堤防高
		(m <sup>3</sup> )	(El.m)	(El.m)		
1	Wonokromo	309,000	3.10	2.60	-	4.10
2	Porong	2,410,000	7.40	3.10	2.10	8.90
3	Kali Mati					
3-1	Longstorage1	553,300			10.20	15.94
3-2	Longstorage2	597,200			9.70	15.15
3-3	Longstorage3	504,300				13.14
	Kali Mati 全体計	1,654,800				

出典: Kali Mati 河道貯留, BBWS Brantas

Porong 及び Wonokromo 河道貯留は, JICA プロジェクトチーム 2

(4) 貯水池容量

ダム貯水池に関しては、堆砂の進行による有効容量の減少が、ブランタス川流域では大きな課題の一つとなっている。気候変動によって、より強い降雨強度による土砂生産量が増加することが予想される。生産土砂量のメカニズムを、堆砂量の記録、土地利用、降雨量の記録などの既存のデータをもとに検討を行った。対象とする気候変動下の 2050 年の生産土砂量の推定を以下に示す。

1) 貯水池への流入土砂量

気候変動によって、降雨強度が高まることによる生産土砂量の増加を、次の 3 手法によって推定を行う。

- USLE (統合土砂流亡式)
- 浮遊砂量の相関式による方法
- 侵食基準降雨量による評価

これらの 3 つの手法による算出結果の比較を表 5.3.33 に示す。

表 5.3.33 生産土砂量の増加率の評価

手法	現在条件に対する将来の生産土砂量の増加比(α)		
	将来気候シナリオ (2050)		
	Low	Medium	High
USLE	1.10	1.15	1.25
浮遊砂量*	1.74	0.92	1.37
侵食性降雨 (R>10mm/日)	1.02	0.96	1.05
採用値	1.10	1.15	1.25

注釈: \*Recommendation Report on Countermeasures against Sediment Inflow to Wlingi Reservoir, 1990  
 出典: JICA プロジェクトチーム 2

本プロジェクトでは、年間生産土砂量の増加率に、それぞれの将来気候変動シナリオに対してバラツキが小さく 3 手法の中でも中間的な推定値である USLE 手法による値を採用する。

2) 将来の貯水容量の推定

将来の土砂流入量は、下式から算出する。(図 5.3.20 参照)

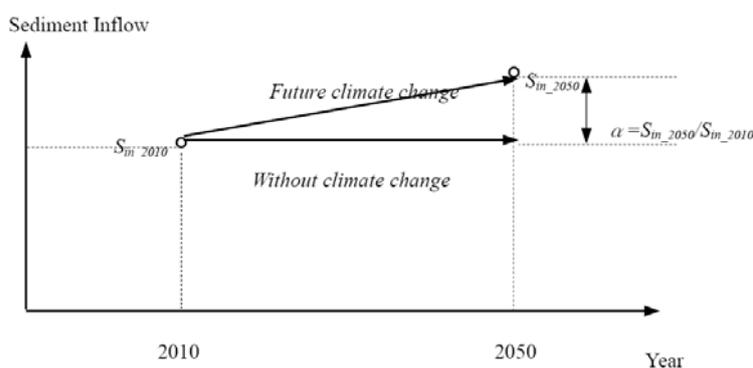
$$S_{in\_2050} = \alpha \times S_{in\_2010}$$

将来の気候変動シナリオ毎のダム堆砂量の推定ケースを表 5.3.34 に取り纏めた。

表 5.3.34 将来ダム堆砂量の推定ケース

項目	現在気候	将来気候 (2050)		
		Low	Medium	High
年間ダム流入量	過去の平均値	WEB-DHM による流出解析結果		
ダムへの年間土砂流入量	過去の平均値	現在の土砂流入量の 1.10 倍 (α=1.10)	現在の土砂流入量の 1.15 倍 (α=1.15)	現在の土砂流入量の 1.25 倍 (α=1.25)

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 5.3.20 ダム流入土砂量の推定

上述の推定年間土砂流入量を用いて、目標年次 2050 年のダム貯水容量を算定する。2030 年及び目標年次 2050 年のブランタス川流域のダムの貯水容量を表 5.3.35 および表 5.3.36 に示す。

表 5.3.35 2030 年時点のダム貯水容量の推定

ダム名	現在気候下の 総貯水容量 (百万 m <sup>3</sup> )	将来気候シナリオ (2050) (単位: 百万 m <sup>3</sup> )		
		Low	Medium	High
Sengguruh ダム	1.38	1.35	1.34	1.32
Sutami ダム	140.80	140.73	140.70	140.63
Lahor ダム	25.64	25.59	25.57	25.53
Wlingi ダム	4.36	4.35	4.34	4.32
Lodoyo ダム	0.67	0.67	0.67	0.67
Selorejo ダム	29.52	29.40	29.34	29.21
Wonorejo ダム	97.71	97.57	97.50	97.35
Bening ダム	24.81	24.77	24.75	24.70

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.36 2050 年時点のダム貯水容量の推定

ダム名	現在気候下の 総貯水容量 (百万 m <sup>3</sup> )	将来気候シナリオ (2050) (単位: 百万 m <sup>3</sup> )		
		Low	Medium	High
Sengguruh ダム	1.39	1.31	1.28	1.21
Sutami ダム	119.37	119.03	118.86	118.50
Lahor ダム	21.46	21.24	21.13	20.89
Wlingi ダム	4.20	4.15	4.13	4.07
Lodoyo ダム	0.12	0.12	0.12	0.12
Selorejo ダム	23.18	22.57	22.25	21.60
Wonorejo ダム	87.71	87.08	86.75	86.08
Bening ダム	1.39	1.31	1.28	1.21

出典: JICA プロジェクトチーム 2

### (5) 水収支解析

水収支解析は、Case 1（全ての需要を想定）と Case 2（水供給の安全度を考慮）し

た2つのケースで行う。各ケースで、以下6つのシナリオを想定し、シミュレーションを行う。

表 5.3.37 水収支解析シナリオ

シナリオ	解析年	気候シナリオ	灌漑面積	上水需要	貯水池堆砂
シナリオ 1	2015	現在気候	2015年	2015年	2015年
シナリオ 2	2030	現在気候	2030年	2030年	2030年
シナリオ 3	2050	現在気候*	2050年	2050年	2050年
シナリオ 4	2050	将来気候 Medium	2050年	2050年	2050年
シナリオ 5	2050	将来気候 Low	2050年	2050年	2050年
シナリオ 6	2050	将来気候 High	2050年	2050年	2050年

注釈：\*気候変動がないと仮定

出典：JICA プロジェクトチーム 2

1) ケース 1 の水収支計算結果

水収支解析を基に、各シナリオの上工水と灌漑可能面積の渇水リスクを評価する。渇水リスクの評価における前提条件は以下のとおりである。

- 作付け率（年間）： 全ての灌漑面積において 250%
- 上工水： 将来需要予測結果
- 安全度： 考慮せず

ケース 1 の水収支解析結果の評価では、水供給の利水安全度を考慮しない。

表 5.3.38 および表 5.3.39 に示すとおり、需要の算定では、上工水は 20 年の評価期間で 2 番目に大きい供給不足量、灌漑用水は 4 番目に大きい作付面積不足量を示す。

水力発電は、水収支解析結果から得られる各発電所の年間発生電力量を、表 5.3.40 に示す。

表 5.3.38 上工水供給において 2 番目に大きい不足量

番号	県・市	不足 (20 年間で 2 番目に発生している不足の値) (m <sup>3</sup> /s)					
		シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6
1	Batu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Malang	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68
3	Kediri	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24
4	Blitar	0.00	0.00	0.46	0.57	0.58	0.64
5	Sidoarjo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Mojokerto	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Jombang	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
8	Surabaya	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Trenggalek	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Tulungagung	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Nganjuk	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14
12	Gresik	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63
計		0.00	0.00	0.46	0.57	0.58	2.42
需要		33.33	37.24	45.87	45.87	45.87	45.87

出典：JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.39 各灌漑地区において4番目に大きな作付面積の不足

灌漑地区	灌漑面積 (ha)	作付面積の不足 (20年間で代4位の不足量) (ha)					
		シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6
支川							
DI_Kedungkandang	5,160	0	0	0	357	86	683
DI Molek	3,883	0	0	0	0	0	1,643
DI Siman	23,060	15,502	15,505	15,511	16,890	14,361	27,072
DI Bening	8,752	5,828	5,828	5,810	7,546	6,185	11,767
Di Padi Pomahan	4,309	2,627	2,627	2,627	2,835	1,704	4,573
DI Jaruma I&II	2,449	0	0	0	0	0	858
DI Ngasinan	1,185	440	0	46	0	0	953
DI Kedung Soko	700	440	0	0	591	0	850
DI Bareng	800	132	0	0	0	0	815
小計	50,298	24,969	23,960	23,948	28,219	22,336	49,214
本川							
DI Lodagung	12,217	0	0	0	0	0	6,108
DI Mrican Kanan	17,612	0	0	63	22	0	8,806
DI Mrican Kiri	12,729	0	0	17	10	0	12,973
Di Jatimlerek	1,812	0	0	0	0	0	906
DI Mentrus	3,632	0	0	174	0	0	2,151
DI Jatikulon	638	0	0	0	2	0	319
DI Brantas Delta	17,942	0	0	0	0	0	6,311
小計	66,132	0	0	254	34	0	37,858
合計	116,430	24,969	23,960	24,202	28,253	22,336	87,072

注釈：最大作付け率は250%である。

出典：JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.40 ブランタス川流域の水力発電所の平均年間発生電力量

番号	水力発電所	年間発生電力量 (平均) (MWh)					
		シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6
1	Sengguruh	104,106	103,977	102,574	81,657	91,883	75,109
2	Sutami	424,135	422,732	418,758	351,825	368,467	316,682
3	Wlingi	181,793	181,602	180,091	155,629	158,324	137,335
4	Lodoyo	34,715	34,639	33,981	29,559	31,386	26,653
5	Wonorejo	27,531	28,057	27,673	19,070	27,071	16,566
6	Tulungagung Gate	53,408	54,838	47,200	43,121	60,592	46,309
7	Selorejo	27,411	28,704	29,696	27,739	30,401	27,891
	合計	853,099	854,548	839,968	708,601	768,124	646,545

注釈：発生電力は、灌漑と上工水の需要による。

出典：JICA プロジェクトチーム 2

## 2) 安全度を考慮した水収支解析

各シナリオで水収支解析を行い、上工水と灌漑用水の供給可能水量の評価を行う。

水利用の安全度は以下のように設定する。

- 灌漑用水 : 5年供給信頼度
- 上工水 : 10年供給信頼度

水供給の安全度を考慮した水収支解析結果を表 5.3.41 から表 5.3.43 に示す。

表 5.3.41 上工水への供給可能量

No.	県/市	供給可能量(m <sup>3</sup> /s)					
		シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6
1	Batu	0.06	0.06	0.11	0.11	0.11	0.11
2	Malang	1.70	1.70	3.56	3.56	3.56	2.49
3	Kediri	1.64	1.64	2.49	2.49	2.49	2.49
4	Blitar	0.17	0.17	0.13	0.07	0.07	0.03
5	Sidoarjo	9.57	10.69	12.02	12.02	12.02	12.02
6	Mojokerto	0.70	0.78	0.90	0.90	0.90	0.90
7	Jombang	0.28	0.28	0.91	0.91	0.91	0.91
8	Surabaya	15.45	17.45	18.35	18.35	18.35	18.35
9	Trenggalek	0.13	0.15	0.38	0.38	0.38	0.38
10	Tulungagung	0.40	0.40	0.71	0.71	0.71	0.71
11	Nganjuk	0.38	0.38	0.84	0.84	0.84	0.84
12	Gresik	2.85	3.54	4.34	4.34	4.34	2.17
合計		33.33	37.24	44.74	44.68	44.68	41.40
需要		33.33	37.24	45.28	45.28	45.28	45.28

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.42 供給可能作付面積

県・市	灌漑面 積 (ha)	作付面積 (ha)					
		シナリ オ 1	シナリ オ 2	シナリ オ 3	シナリ オ 4	シナリ オ 5	シナリ オ 6
支川							
DI_Kedungkandang	5,160	12,900	12,900	12,900	12,900	12,900	11,868
DI Molek	3,883	9,708	9,708	9,708	9,708	9,708	9,708
DI Siman	23,060	48,426	48,426	46,120	46,120	48,426	39,202
DI Bening	8,752	19,254	19,254	18,379	15,754	20,130	14,878
DI Padi Pomahan	4,309	8,618	8,618	8,618	8,618	9,480	7,325
DI Jaruma I&II	2,449	6,123	6,123	6,123	6,123	6,123	6,123
DI Ngasinan	1,185	2,015	2,963	2,963	2,963	2,963	2,963
DI Kedung Soko	700	1,260	1,750	1,750	1,470	1,750	1,330
DI Bareng	800	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,680
小計	50,298	110,304	111,742	108,561	105,656	113,480	73,501
		219%	222%	216%	210%	226%	146%
本川							
DI Lodagung	12,217	30,543	30,543	30,543	30,543	30,543	28,099
DI Mrican Kanan	17,612	44,030	44,030	44,030	44,030	44,030	44,030
DI Mrican Kiri	12,729	31,823	31,823	31,823	31,823	31,823	31,823
DI Jatimlerek	1,812	4,530	4,530	4,530	4,530	4,530	4,168
DI Mentrus	3,632	9,080	9,080	9,080	9,080	9,080	8,354
DI Jatikulon	638	1,595	1,595	1,595	1,595	1,595	1,467
DI_Brantas Delta	17,942 (12,206)	44,855	44,855	30,515	30,515	30,515	28,074
小計	66,582 (60,846)	166,456	166,456	152,116	152,116	152,116	146,015
		250%	250%	250%	250%	250%	240%
合計	116,880 (111,144)	276,760	278,198	260,677	257,772	265,596	219,516
		237%	238%	235%	232%	239%	198%

注釈: 作付面積の最大値は250%とする。

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.43 ブランタス川流域の水力発電所での年間平均発生電力量

番号	水力発電所	年間発生電力量 (平均) (MWh)					
		シナリオ 1	シナリオ 2	シナリオ 3	シナリオ 4	シナリオ 5	シナリオ 6
1	Sengguruh	104,106	103,979	102,573	81,666	91,895	76,107
2	Sutami	424,120	422,919	418,823	352,086	369,008	319,961
3	Wlingi	181,649	181,631	180,117	155,698	158,510	138,079
4	Lodoyo	34,764	34,647	34,075	29,636	31,408	27,126
5	Wonorejo	27,835	28,168	28,052	19,112	27,125	17,961
6	Tulungagung Gate	52,946	55,517	46,359	43,334	60,899	46,620
7	Selorejo	30,927	31,317	32,815	29,896	32,382	30,707
	合計	856,347	858,178	842,815	711,428	771,227	656,561

注釈：発生電力は、灌漑と上工水の需要による。

出典：JICA プロジェクトチーム 2

### (6) 水収支解析結果

#### 1) 現在気候

シナリオ 1 から 3 が現在気候下における水収支計算結果となる。シナリオ 1 は、現在の水需要を用い、シナリオ 2 では 2030 年に想定される水需要を用いている。これらの需要は、レビューPOLA2015(ドラフト)を参照したものである。レビューPOLA2015(ドラフト)では、計画中の 5 つのダムが含まれているため、シナリオ 2 では、水供給が改善されている。

シナリオ 3 は、気候状況として現在気候を 2050 年の開発ステージに当てはめたもので、2050 年に想定される水需要を用いている。2030 年以降新設ダムは考慮していない。上工水の需要は 20 年間で増加し、貯水池の貯水量は堆砂により減少する。灌漑については、Delta Brantas の灌漑面積は縮小し、2050 年のブランタス川流域の作付面積は縮小することを想定している。

#### 2) シナリオ 3 とシナリオ 4 の比較

シナリオ 3 と 4 の違いは、気候条件の違いのみである。気候条件の違いにより、灌漑需要も異なる点に注意が必要である。両シナリオを比較することにより、気候変動による影響を把握できる。表 5.3.44 に両シナリオの解析結果要約を示す。

表 5.3.44 利水安全度を考慮したシナリオ 3 および 4 の結果

シナリオ	上工水 (m <sup>3</sup> /s)	作付面積 (ha)	発生電力量 (MWh)
3	44.74	260,677	842,815
4	44.68	257,772	711,428
差異	0.06	2,905	131,387

出典：JICA プロジェクトチーム 2

#### 3) 総水需要量と自然河川流量

ブランタス川流域の総水需要量（上水、工業用水、灌漑用水）と、New Lengkong 堰における自然流量の比較を示す。ここで、自然流量とは、取水やダムによる流量調整の無い、自然状態の河川流量を指す。図 5.3.21 に現在気候（シナリオ 1）

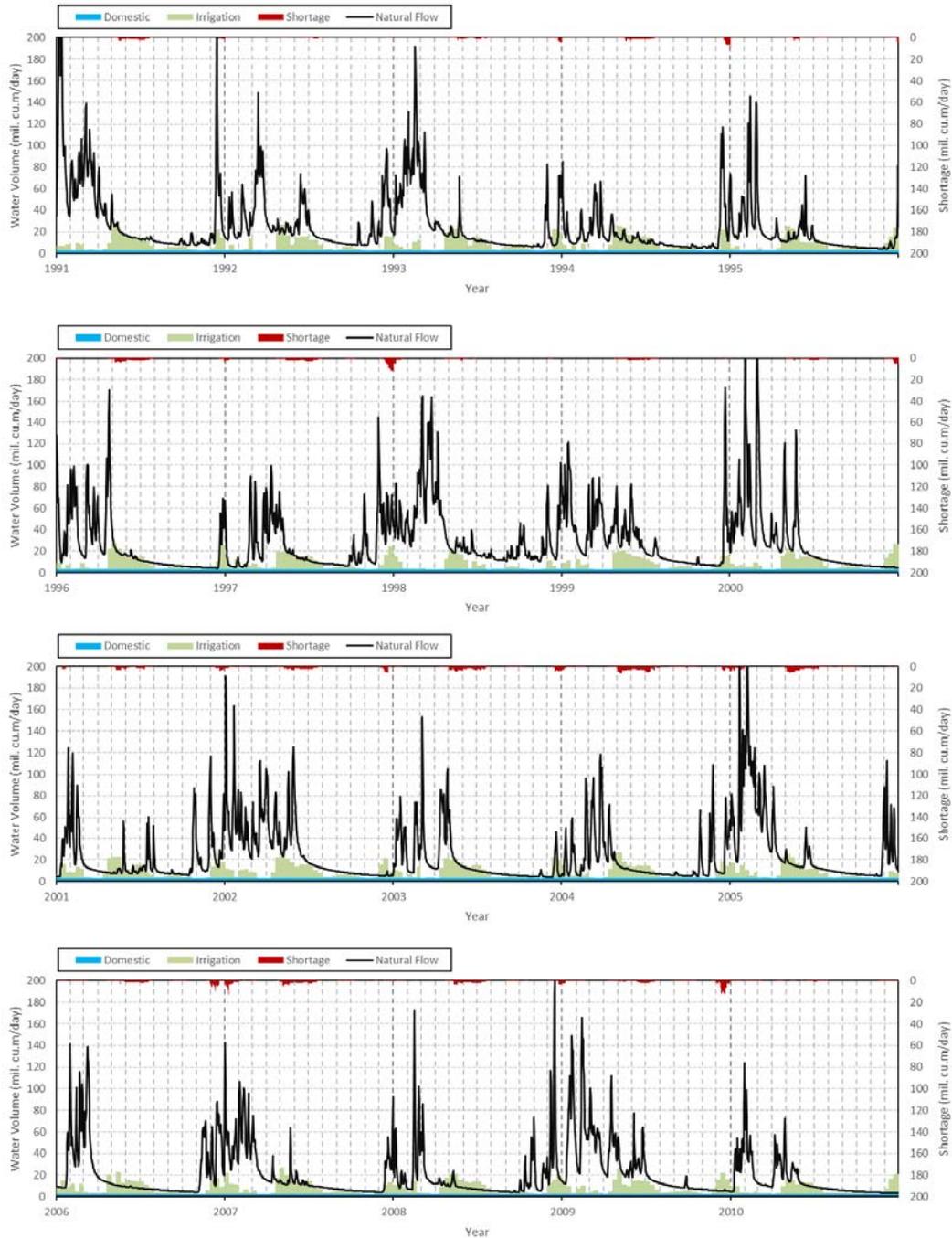
における総需要と自然河川流量の比較を示し、図 5.3.22 に、将来の Medium シナリオ (シナリオ 4) における自然河川流量と総需要の比較を示す。

図に示すとおり、雨季の自然河川流量は総水需要に対して豊富にあることが分かる。乾季に総水需要が河川流量を上回る期間は、現実的には貯水池に蓄えられた水から供給される。しかし、シナリオ 1 と 4 では、依然として供給不足が生じているため、供給力が足りないと考えられる。

#### 4) 貯水池運用

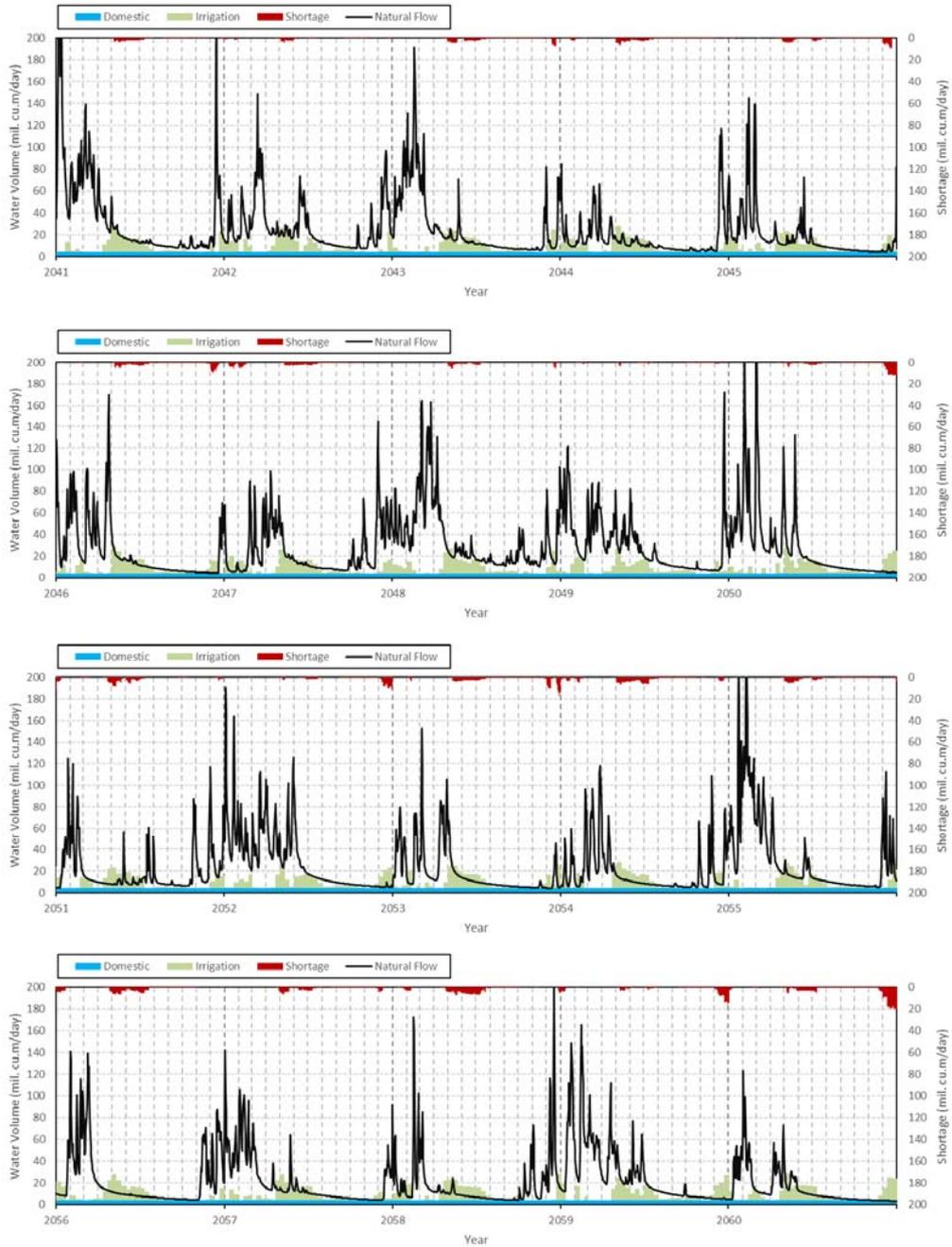
ブランタス川本川に位置する Sutami・Lahor ダムと、支川の Selorejo ダムの、シナリオ 1 と 4 における貯水池運用結果を図 5.3.23 かおよび図 5.3.24 に示す。Sutami・Lahor ダムと Selorejo ダムの、シナリオ 1 と 4 における平均貯水位を図 5.3.25 に示す。また、シナリオ 1 と 4 における Sutami ダムの 20 年間の貯水池水位の変化を図 5.3.26 と 5.3.27 に示す。

図に示すとおり、シナリオ 4 の将来気候における Sutami・Lahor ダムと Serolejo ダムの貯水位は、シナリオ 1 のそれよりも低くなる。この結果は、将来気候では、より多くの水を下流の需要のために放流する事となることや、将来気候における流入量の減少のよるものと考えられる。



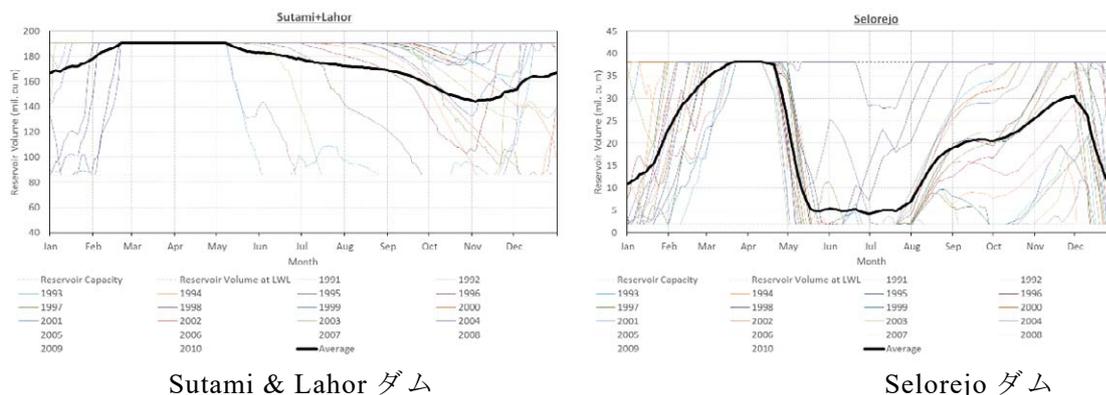
出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.21 総水需要量と自然流量の比較 (シナリオ 1)



出典: JICA プロジェクトチーム 2

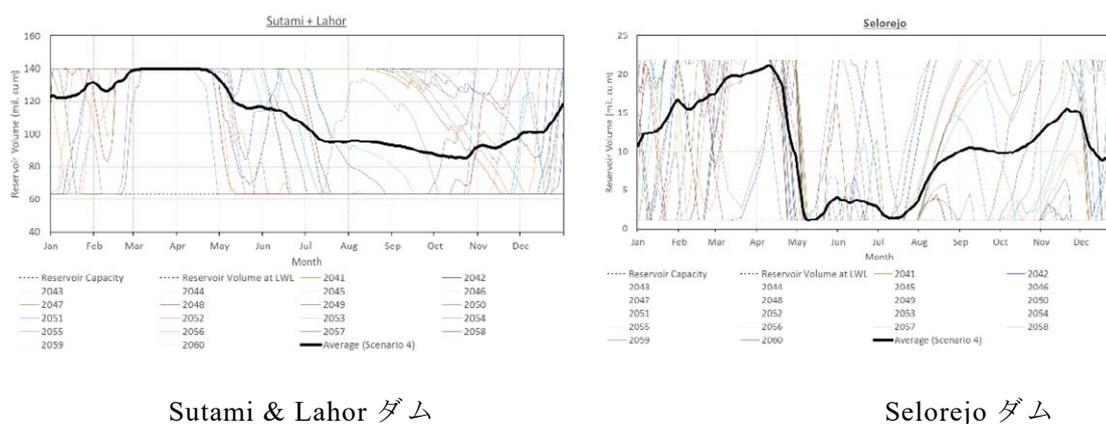
図 5.3.22 総水需要量と自然流量の比較 (シナリオ 4)



Sutami & Lahor ダム  
 出典: JICA プロジェクトチーム 2

Selorejo ダム

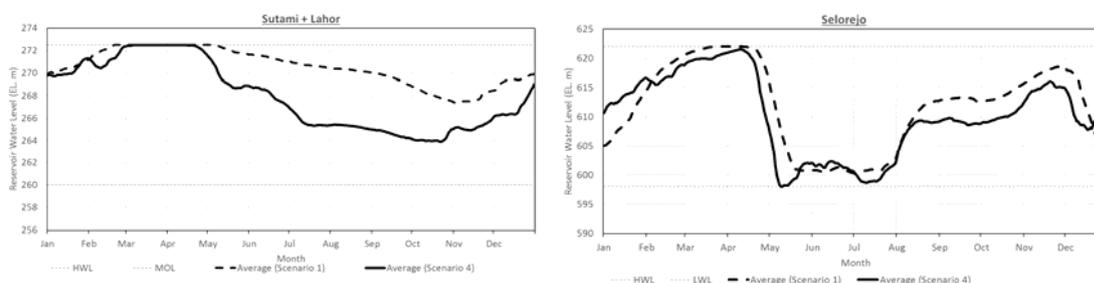
図 5.3.23 シナリオ 1 に対する Sutami ダムと Selorejo ダムの貯水池運用曲線



Sutami & Lahor ダム  
 出典: JICA プロジェクトチーム 2

Selorejo ダム

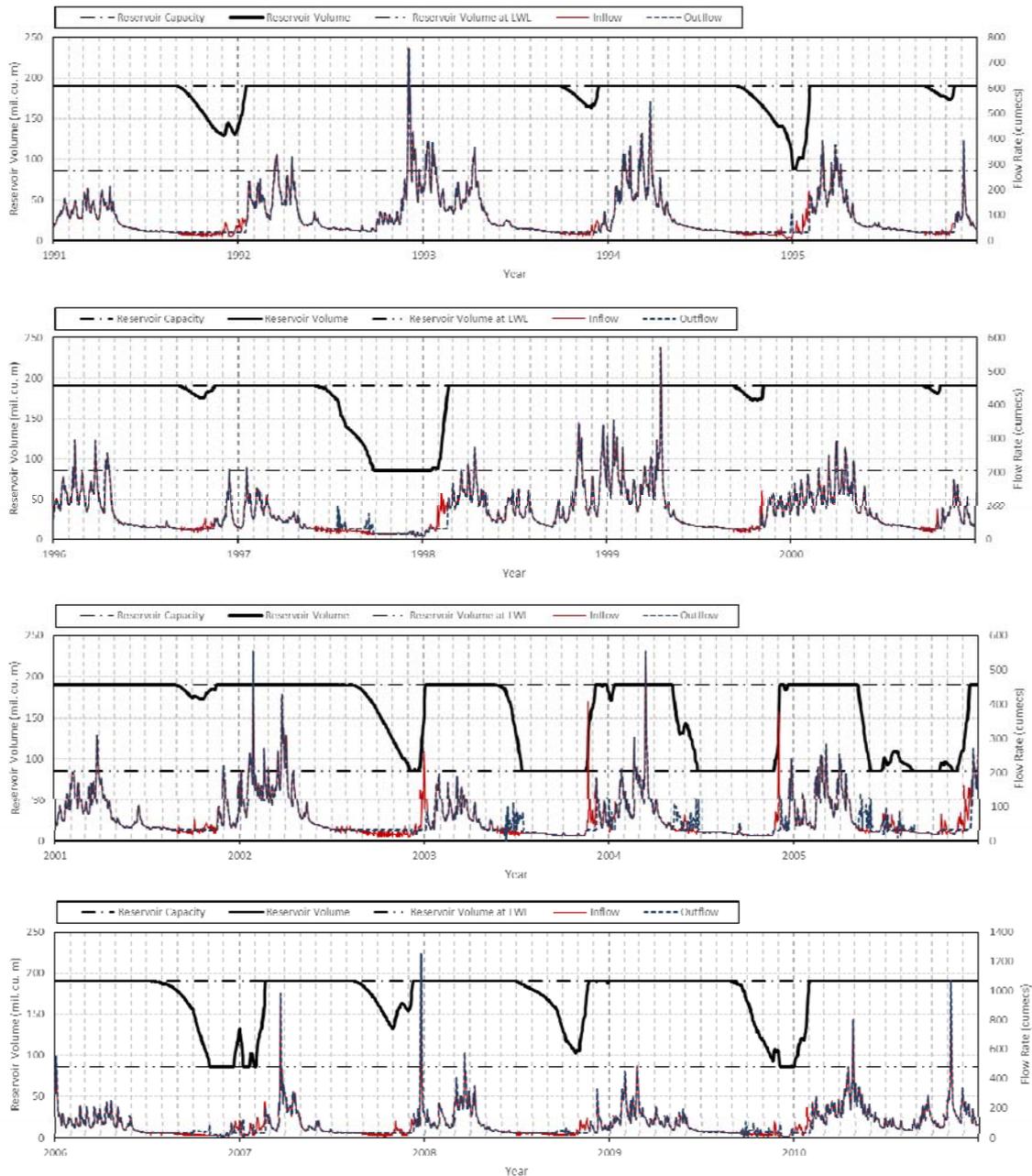
図 5.3.24 シナリオ 4 に対する Sutami ダムと Selorejo ダムの貯水池運用曲線



Sutami & Lahor ダム  
 出典: JICA プロジェクトチーム 2

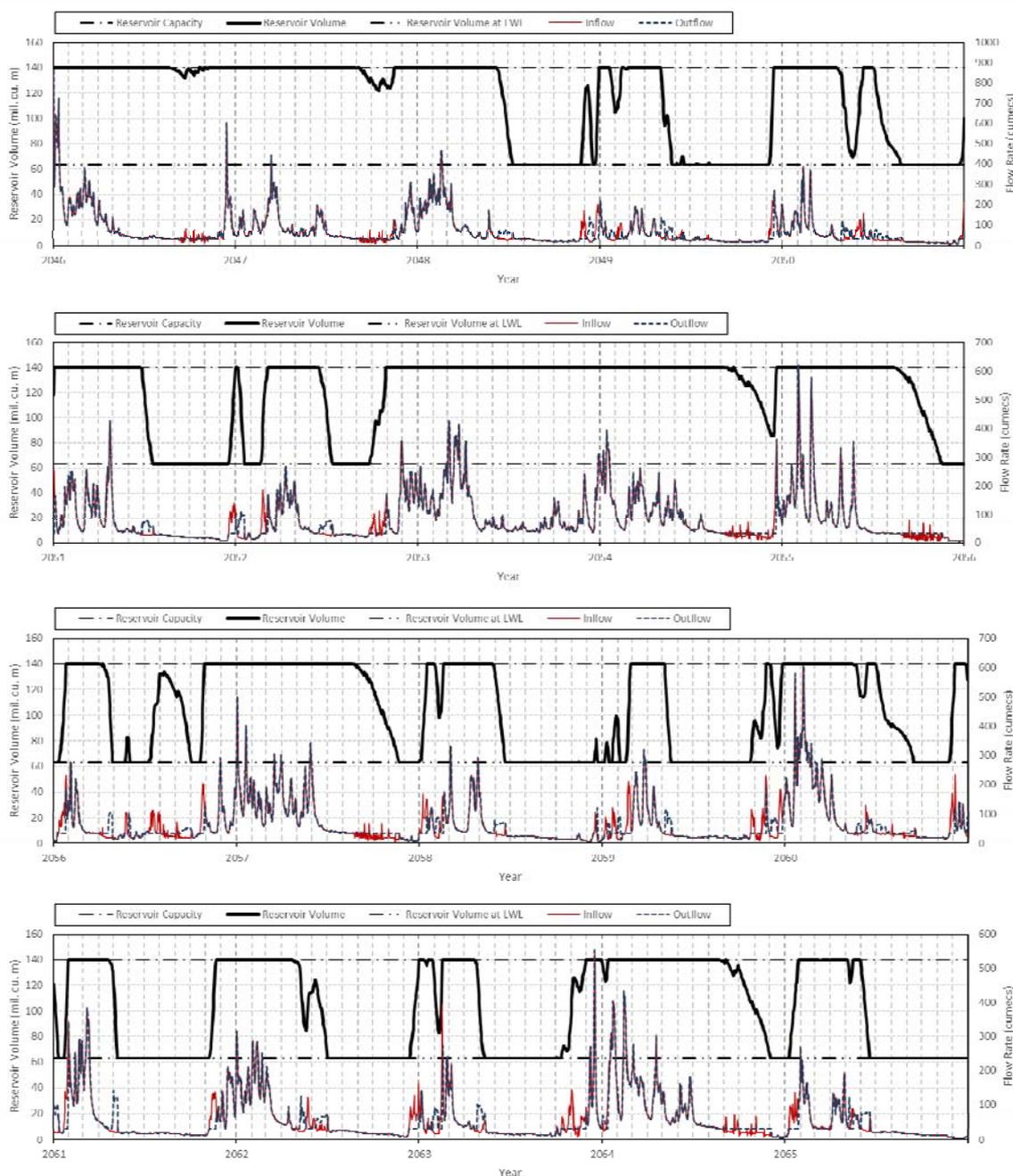
Selorejo ダム

図 5.3.25 シナリオ 1 とシナリオ 4 の貯水位比較



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.26 シナリオ 1 に対する Sutami ダム、Lahor ダムの貯水池運用



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.3.27 シナリオ 4 に対する Sutami ダム、Lahor ダムの貯水池運用

(7) 支川灌漑地区に対する気候変動の影響

各県、市、州および中央政府管轄の灌漑地区は 2015 年の省令 No.14/PRT/M/2015 で規定されている。ここでは、気候変動の影響を考慮した地方政府が管轄している支川灌漑地区の、将来の作付面積の評価を行った。

1) 地方政府管轄の灌漑面積

地方政府の灌漑地区を県ベースに分類したものを表 5.3.45 に示す。地方政府管轄の灌漑面積は、2050 年には現在の約 65%と計画されている。

表 5.3.45 地方政府管轄の灌漑面積

県	灌漑面積 (ha)		
	(2015-2030)	2050	差異
1 Malang	42,509	25591	-16,918
2 Blitar	35,653	26639	-9,014
3 Trenggalek	13,976	8639	-5,337
4 Tulungagung	25,884	9420	-16,464
5 Kediri	41,723	32186	-9,537
6 Nganjuk	18,817	13671	-5,146
7 Jombang	13,073	7914	-5,159
8 Mojokerto	23,812	19931	-3,881
9 Sidoarjo	7,112	0	-7,112
合計	222,559	143,991	-78,568

出典 JICA プロジェクトチーム 2

2) 現在の灌漑地区における作付け率

表 5.3.46 に地方政府管轄の灌漑地区における現状の作付け率を示す。作付け率は、作付けパターンと作付け暦を基に評価される。地方政府管轄下の各灌漑地区の作付けは、地形、水文状況、灌漑用水供給システム等を基に、3種類の作付けパターン(米-米-雑穀、米-米の2期作、雨季の米1期作)が想定される。

表 5.3.46 現在の灌漑面積に対する作付け率

県	灌漑面積 (ha)	作付面積 (ha)				作付け率 (%)			
		雨季	乾季 1	乾季 2	合計	雨季	乾季 1	乾季 2	合計
1 Malang	42,509	27,421	18,864	2,188	48,473	64.5	44.4	5.1	114.0
2 Blitar	35,653	27,303	18,129	5,066	50,498	76.6	50.8	14.2	141.6
3 Trenggalek	13,976	11,049	9,356	3,547	23,952	79.1	66.9	25.4	171.4
4 Tulungagung	25,884	12,655	8,212	0	20,867	48.9	31.7	0.0	80.6
5 Kediri	41,723	37,213	15,874	212	53,299	89.2	38.0	0.5	127.7
6 Nganjuk	18,817	16,106	11,130	0	27,236	85.6	59.1	0.0	144.7
7 Jombang	13,073	8,973	0	0	8,973	68.6	0.0	0.0	68.6
8 Mojokerto	23,812	20,794	11,896	0	32,690	87.3	50.0	0.0	137.3
9 Sidoarjo	7,112	2,000	2,000	0	4,000	28.1	28.1	0.0	56.2
合計	222,559	163,514	95,461	11,013	269,988	73.5	42.9	4.9	121.3

出典 JICA プロジェクトチーム 2

ブランタス川流域には75のため池があり、これらため池からの補給は、地方政府管轄の灌漑地区で乾季1作目の作付けに対して水を供給すると仮定する。しかしながら、これら既存のため池位置が不明確であるため、ため池からの供給対象は、地方政府の灌漑地区全体を考える。

ため池の効果

- ため池1基当たり容量:  $0.5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- ため池の数: 75 個
- 全容量:  $500,000 \text{ m}^3 \times 75 \text{ 個} = 37.5 \times 10^6 \text{ m}^3$
- 乾季1作目の平均必要単位水量: 0.552 litter/s/ha
- 乾季1作目の平均日数: 130 日
- 供給可能な灌漑面積:  $37.5 \times 10^6 / (0.552 \times 0.001 \times 86,400 \times 130) = 6,048 \text{ ha}$

これより、乾季 1 作目の既存ため池による作付面積の効果は 6,048 ha と考えられる。表 5.3.47 に現在と 2030 年のため池の効果を示す。

表 5.3.47 ため池の効果

シナリオ	ため池の数	ため池容量 (百万 m <sup>3</sup> )	必要単位水量 (l/s/ha)	水供給可能な灌漑面積 (ha)
現在	75	37.5	0.552	6,048
2030	345	172.5	0.552	27,822

出典：JICA プロジェクトチーム 2

現在と 2030 年における作付面積と作付け率を表 5.3.48 に示す。

表 5.3.48 作付面積と作付け率

シナリオ	作付面積(ha)				作付け率 (%)			
	雨季	乾季 1	乾季 2	計	雨季	乾季 1	乾季 2	計
現在	163,514	101,509	11,013	276,036	73.5	45.6	4.9	124.0
2030	163,514	123,283	11,013	297,810	73.5	55.4	4.9	133.8

出典：JICA プロジェクトチーム 2

### 3) 将来の灌漑面積における作付け率

将来の作付面積と作付け率は、以下の手順で算定を行う。

#### (a) 現在気候と将来気候における流量の違い

灌漑用水は支川から供給されるため、河川流量は供給側から作付面積を決めるための重要な要素の一つである。

#### (b) 現在気候と将来気候における必要単位水量の違い

必要単位水量は、蒸発散量、降雨量、作付品種等から決まり、蒸発散量や降雨量は気候変動の影響を受ける。

必要灌漑用水量は、必要単位水量と灌漑面積から決まるため、必要単位水量は需要側からも重要な要素の一つである。

#### (c) 流量と必要単位水量の合成倍率

将来気候下の作付面積と作付け率を評価するため、合成倍率を用いる。また、将来気候下の作付面積は、流量減少と必要単位水量の増加の影響を受けると仮定する。これより、将来気候下の作付面積は次式で評価される。

$$(\text{将来気候下の作付面積}) = (\text{現在気候下の作付面積}) \times (\text{合成倍率})$$

表 5.4.49 は、チーム 1 の結果から計算された流量と必要水量の変化率を示す。

表 5.3.49 現在気候下と将来気候下の変化率

シナリオ	流量 (a)			必要単位水量 (b)			合成倍率 (a)/(b)		
	雨季	乾季 1	乾季 2	雨季	乾季 1	乾季 2	雨季	乾季 1	乾季 2
気候変動なし	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Medium	0.857	0.846	0.846	1.144	1.137	0.939	0.749	0.744	0.901
Low	0.916	1.223	1.223	1.207	1.152	0.795	0.759	1.062	1.538
High	0.647	0.841	0.841	1.012	1.000	1.015	0.639	0.841	0.829

出典：JICA プロジェクトチーム 2

表 5.3.50 に将来気候下における地方政府管轄の灌漑地区の作付け率を示す。

表 5.3.50 将来気候下における作付け率に対するため池の効果

シナリオ	灌漑面積 (ha)	作付面積 (ha)				作付け率 (%)			
		雨季	乾季 1	乾季 2	計	雨季	乾季 1	乾季 2	計
3 気候変動なし	143,991	143,991	120,589	11,013	275,593	100.0	83.7	7.6	191.4
4 Medium	143,991	117,449	93,910	9,481	220,840	81.6	65.2	6.6	153.4
5 Low	143,991	117,673	122,640	15,019	231,184	81.7	85.2	10.4	177.3
6 High	143,991	70,900	81,066	6,002	157,968	49.2	56.3	4.2	109.7

出典：JICA プロジェクトチーム 2

### 5.3.4 土地利用変化に対する評価

将来土地利用については 5.2 節に述べており、現在気候下および将来気候下における日ベースの自然流量はチーム 1 によって WEB-DHM により算出されている。土地利用の大きな変化が見られないため、現在気候下及び将来気候下の自然流量を照査した結果、ほとんど差異がないことが判明した。これより、土地利用変化による影響はほとんどないと言える。

## 5.4 洪水

### 5.4.1 氾濫シミュレーション

#### (1) 氾濫シミュレーションの対象地域

図 5.4.1 に示す公共事業国民住宅省が作成したブランタス川流域の氾濫マップによれば、氾濫被害が発生する地域は以下のとおりである。

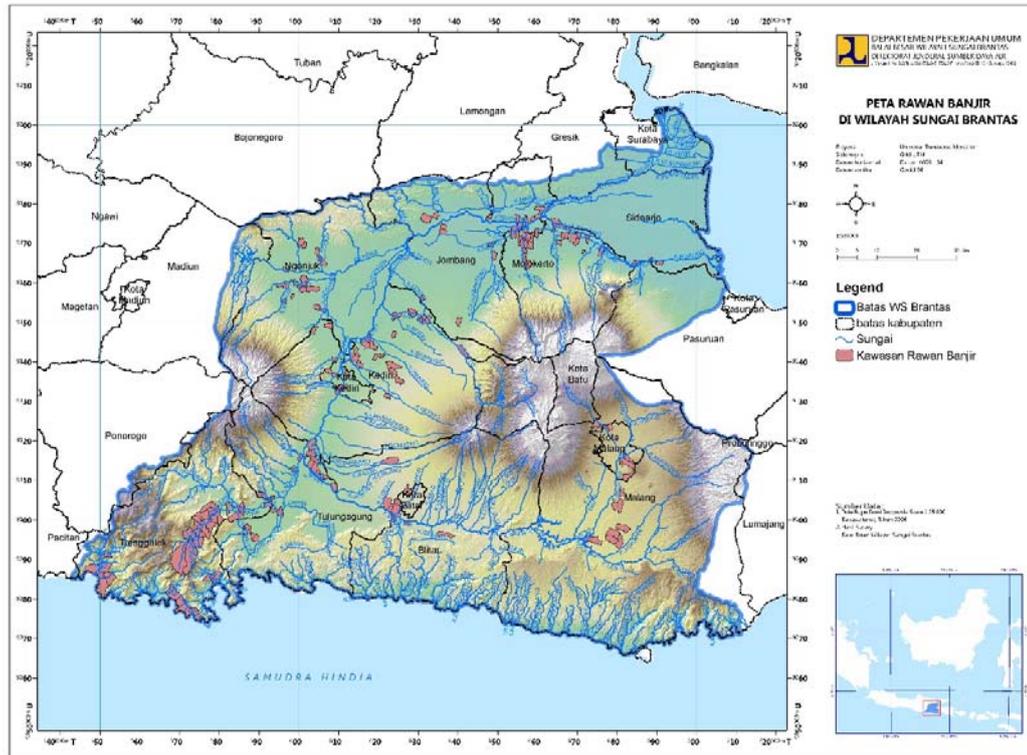
- ブランタス川本川：支川合流地点
- 支川：Tulungagung 地域の Tawing 川、Widas 川、Brangkal 川、Sadar 川等々

既存報告書、場所の重要性、BBWS Brantas からの情報を考慮し、以下の氾濫がしばしば発生する地域に対して氾濫シミュレーションを実施した。

- Widas 川流域
- Sadar 川流域
- Ngotok 川流域 (Brangkal 川支川)
- Tawing 川流域 (Tulungagung 地域)

さらに、本川の Mrican 堰から河口区間について現在気候及び将来気候下での既存堤防からの越水の可能性についての検討を行った。このため、Porong 川からの越水の可能性を

考慮し、Porong 川についても氾濫解析を実施した。



出典：公共事業・国民住宅省

図 5.4.1 ブランタス川流域の氾濫域

(2) 氾濫シミュレーションの手法

氾濫シミュレーションのモデルは、解析の対象と氾濫特性から選定される。一般的な氾濫パターンと解析モデルの関係を表 5.4.1 に示す。

表 5.4.1 氾濫パターンと解析モデルの関係

型式	氾濫パターン	解析モデル
流下型	河道中の洪水流と氾濫流とが一体となって流下する氾濫パターン。氾濫域は河道沿いに限定される。	<ul style="list-style-type: none"> <li>一次元水理モデル</li> <li>平面二次元水理モデル（必要・目的に応じて）</li> </ul>
貯留型	氾濫域が限定されたエリアに留まる洪水形態である。洪水域が洪水規模によって大きく変わらない傾向。	<ul style="list-style-type: none"> <li>ポンドモデル</li> </ul>
拡散型	平坦部における一般的な氾濫形態であり、地形および構造物の影響を受ける。氾濫流は拡散する傾向。	<ul style="list-style-type: none"> <li>一次元および平面二次元水理解析モデル</li> <li>平面二次元水理モデル</li> </ul>

出典：JICA プロジェクトチーム 2

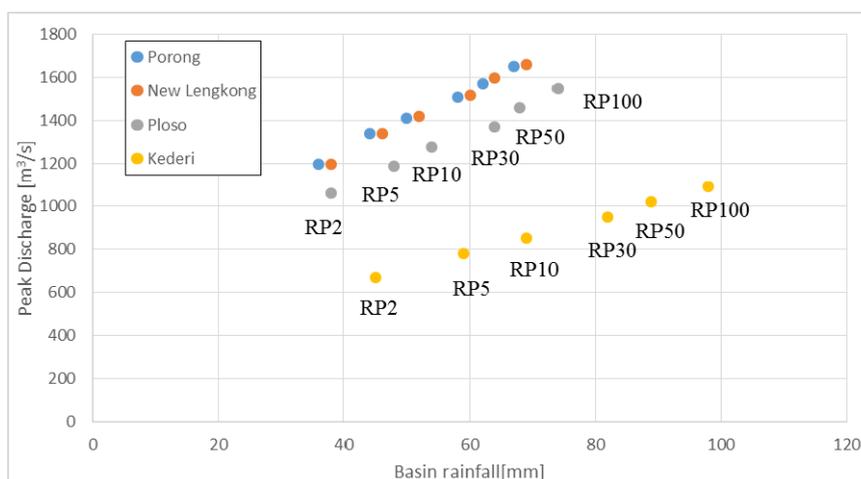
### (3) 各ダムの洪水調節容量と効果

貯水池の堆砂は常時満水位以下の有効貯水容量内に堆積する。常時満水位より高い水位の洪水調節容量に対する堆砂の影響は、利水に対する有効貯水容量よりも小さいため影響は小さい。

このため、ここでは各ダムの洪水調節容量は 2012 年時点から将来も変化しないと仮定する。

### (4) 将来気候下の本川ピーク流量

将来気候下の本川確率ピーク流量は、越水場所を検証するために必要な情報である。3つのシナリオ (Low、Medium、High) の流域平均雨量は、チーム 1 によって評価されており、流域平均雨量とピーク流量の関係は、“Widas Flood Control and Drainage Project, 1985”で説明されている。図 5.4.2 にブランタス川本川の流域平均雨量とピーク流量の関係を示す。



出典: Widas Flood Control and Drainage Project, 1985

図 5.4.2 流域平均雨量とピーク流量の関係

図 5.4.2 を基に、将来気候におけるピーク流量を算定した。表 5.4.2 に将来気候下の流域平均雨量とピーク流量の関係を示す。

表 5.4.2 将来気候下の確率ピーク流量

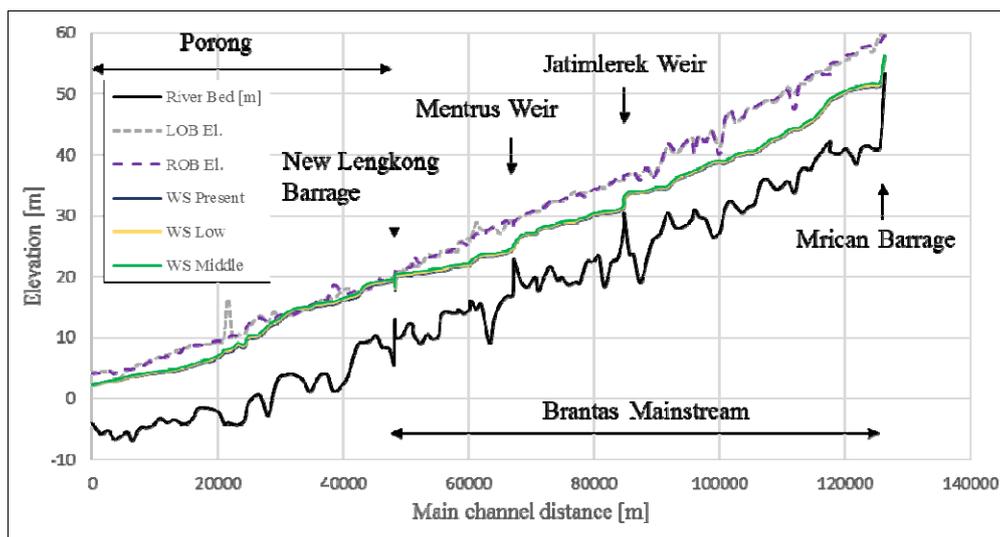
シナリオ	水文	確率年 (年)					
		2	5	10	30	50	100
1. Kediri							
Low	流域平均雨量(mm)	52	68	76	90	93	103
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	720	850	920	1,030	1,050	1,130
Medium	流域平均雨量(mm)	52	68	79	94	102	113
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	720	850	940	1,060	1,130	1,210
High	流域平均雨量(mm)	56	74	86	107	120	137
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	760	900	1,000	1,160	1,270	1,400
2. Ploso							
Low	流域平均雨量(mm)	44	55	59	70	71	78
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,140	1,290	1,350	1,490	1,510	1,590
Medium	流域平均雨量(mm)	44	55	62	74	78	85
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,140	1,290	1,380	1,530	1,600	1,690
High	流域平均雨量(mm)	48	60	68	83	92	104
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,190	1,350	1,450	1,660	1,780	1,930
3. New Lengkong 堰							
Low	流域平均雨量(mm)	44	53	57	66	67	72
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,300	1,430	1,500	1,630	1,640	1,720
Medium	流域平均雨量(mm)	44	53	60	69	74	79
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,300	1,430	1,530	1,670	1,740	1,820
High	流域平均雨量(mm)	48	58	65	78	86	97
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,350	1,500	1,610	1,800	1,920	2,070
4. Porong							
Low	流域平均雨量(mm)	41	51	55	64	65	70
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,290	1,420	1,480	1,610	1,620	1,700
Medium	流域平均雨量(mm)	41	51	58	67	71	77
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,290	1,420	1,520	1,650	1,710	1,790
High	流域平均雨量(mm)	45	55	63	75	84	94
	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	1,340	1,480	1,590	1,770	1,880	2,030

出典：JICA プロジェクトチーム 2

#### 5.4.2 既存河川施設の評価

(1) 本川沿いの堤防余裕高と流量の関係

図 5.4.3 に Mrican 堰から New Lengkong 堰までの本川の河川縦断と洪水位を示す。本川の堤防余裕高は 1.0m と設定されており、表 5.4.3 に現在気候下と将来気候下の余裕高を示す。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

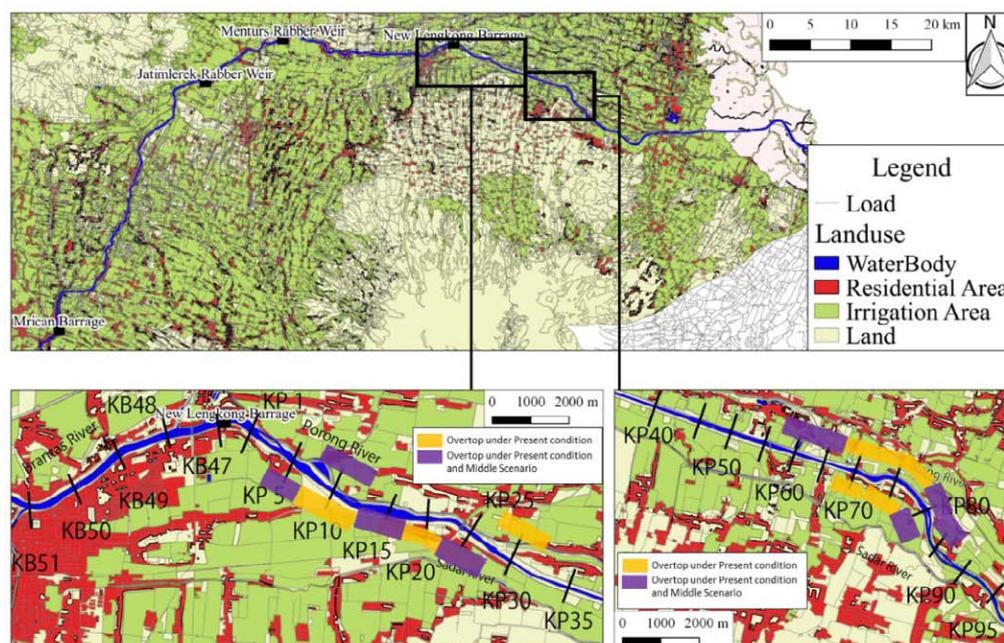
図 5.4.3 50 年確率流量に対する水位及び河川縦断

表 5.4.3 現在気候下および将来気候下の余裕高比較

位置	河口からの距離 (km)	現在	将来		
			High	Medium	Low
KB125~KB99	126 ~ 101	>100 cm	>100 cm	>100 cm	>100 cm
KB98	100	>100 cm	< 100 cm	>100 cm	> 100 cm
KB97~KB52	99 ~ 53	>100 cm	>100 cm	>100 cm	> 100 cm
KB51~New Lengkong dam	52~48	複数の断面で 100 cm 以下となっている。	New Lengkong 堰で越水 複数の断面で 100 cm 以下となっている。	複数の断面で 100 cm 以下となっている。	複数の断面で 100 cm 以下となっている。
KP1~KP15	48 ~ 45	<100 cm	越水	< 100 cm	< 100 cm
KP20~KP30	43 ~ 42	越水	越水	越水	越水
KP40~KP55	40 ~ 37	< 100 cm	< 100 cm	< 100 cm	< 100 cm
KP60~KP85	36 ~ 30	複数の断面で越水	ほとんどの断面で越水	ほとんどの断面で越水	ほとんどの断面で越水
KP90~KP125	29 ~ 23	> 100 cm	< 100 cm	>100 cm	> 100 cm
KP130~KP195	22 ~ 9	> 100 cm	>100 cm	> 100 cm	>100 cm
KP200~KP220	7.5 ~ 3.5	KP215 で 100 cm 未満	< 100 cm	KP215 で 100 cm 未満	KP215 で 100 cm 未満
KP225~河口	2.5 ~ 0	> 100 cm	> 100 cm	> 100 cm	> 100 cm

出典：JICA プロジェクトチーム 2

ピーク流量と本川堤防の余裕高の関係から、越水箇所を図 5.4.4 に示す。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 5.4.4 50年確率流量による越水箇所

表 5.4.3 によれば、堤防越水が発生すると考えられる場所が Porong 川沿いに複数あるため、これら越水地点の堤防嵩上げが必要である。また、越水地点及び余裕高が不足する場所について、水防団は洪水時にモニターすべきである。さらに、解析によって特定された場所付近に土嚢等を準備しておくべきである。

(2) 現在気候下および将来気候下における洪水氾濫

1) 洪水被害

洪水被害として、主に灌漑面積、影響家屋と影響住民を評価する。灌漑面積は、浸水面積と土地利用から、影響家屋は係数を用いて完全に損害を受けた家の数として評価する。また、軒数については浸水面積と係数から算定する。影響家屋数は次式で算定される。

$$(\text{影響家屋数}) = (\text{氾濫域内の家屋数}) \times (\text{損害率})$$

日本では、家屋被害は家屋の価値と表 5.4.4 に示す損害率から評価される。家屋の洪水被害の様に、家屋内の資産も同様に家屋数から評価され、損害率は日本の洪水被害評価と同じ値を用いるものとする。

表 5.4.4 家屋の損害率

土地の勾配	浸水深(cm)				
	<50	50-99	100-199	200-299	>300
1/1,000 以下	0.092	0.119	0.266	0.580	0.834
1/1,000-1/500	0.126	0.176	0.343	0.647	0.870
1/500 以上	0.144	0.205	0.382	0.681	0.888

出典：治水経済マニュアル(案) 平成 17 年 4 月国土交通省河川局

影響人口は、家屋数と各県、市の1世帯当たりの人数から評価する。

2) ブラントス川本川

(a) 計算条件

ブラントス川本川の 5.4.2(1)の結果から、現在気候下および将来気候下の 50 年確率に対して Porong 川の越水地点についての評価を行った。現在気候下および将来気候下の 50 年確率に対する氾濫解析を実施することにより将来気候における氾濫被害の増加を評価した。氾濫シミュレーションの条件を表 5.4.5 に示す。

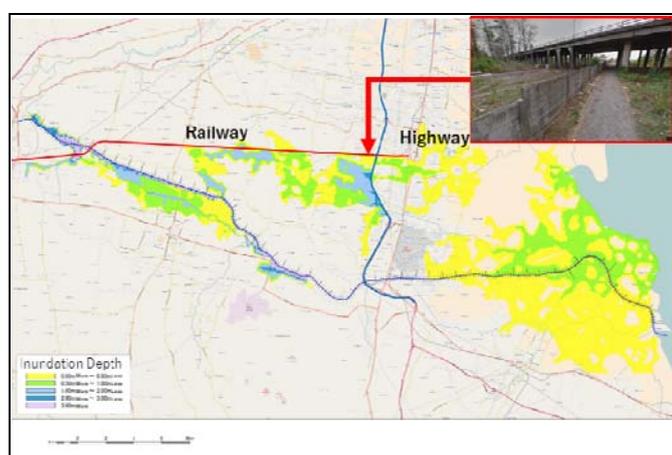
表 5.4.5 Porong 川の氾濫解析に対する計算条件

項目	条件
手法	2次元不定流解析
対象河川	Porong 川河口部から New Lenkong 堰 (KP.001-KP270)地点
計算メッシュサイズ	河道域 200m
	氾濫域 100m
地形データ	BAKOSURTANAL による DEM データ (25 m x 25 m)
	BBWS Brantas による 2013 年の河道横断測量データ
マニング粗度係数	河道: 0.025 (1985 年のマスタープランと同様)
	氾濫域 住居地域: 0.1, 農作地域 : 0.06
境界条件	下流境界: 潮位 (現況気候 1.53m, 将来気候 1.72m)
	上流境界: 各確率洪水年
ケース	現在気候: 1,570m <sup>3</sup> /s
	将来気候 Low シナリオ: 1,620m <sup>3</sup> /s
	将来気候 Medium シナリオ: 1,710m <sup>3</sup> /s
	将来気候 High シナリオ: 1,880m <sup>3</sup> /s

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(b) 氾濫解析モデルのキャリブレーション

Porong 川の氾濫解析モデルのキャリブレーションは、氾濫に関する情報がないため、高速道路と鉄道を考慮し実施した。図 5.4.5 は鉄道と高速道路の交わる地点を示している。鉄道は盛土区間となっており、高速道路は鉄道の上を横切っている。このような構造物の条件を考慮した氾濫域となる様キャリブレーションを行った。



出典： JICA プロジェクトチーム 2, 写真: Google Street View, 背景: Google map

図 5.4.5 Porong 川のキャリブレーション

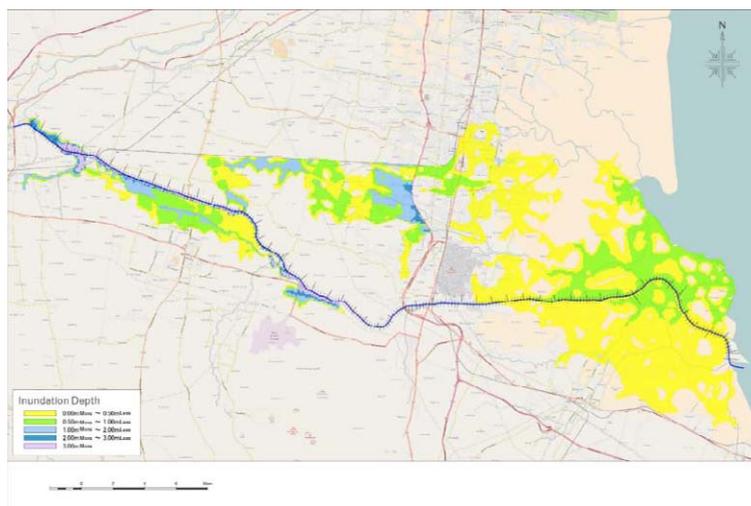
(c) 解析結果

表 5.4.6 に氾濫解析結果を、図 5.4.6 に現在気候下の氾濫域を示す。

表 5.4.6 浸水深および氾濫域 (Porong 川)

シナリオ	住居		灌漑		全体
	面積 (ha)	平均浸水深 (m)	面積 (ha)	平均浸水深 (m)	面積 (ha)
現在	888	1.2	2,390	1.2	3,278
Low	933	1.2	2,554	1.2	3,487
Medium	1,143	1.2	2,902	1.3	4,045
High	2,509	1.1	5,509	1.3	8,018

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, 背景: Google map

図 5.4.6 現在気候下の最大浸水深および氾濫域 (Porong 川)

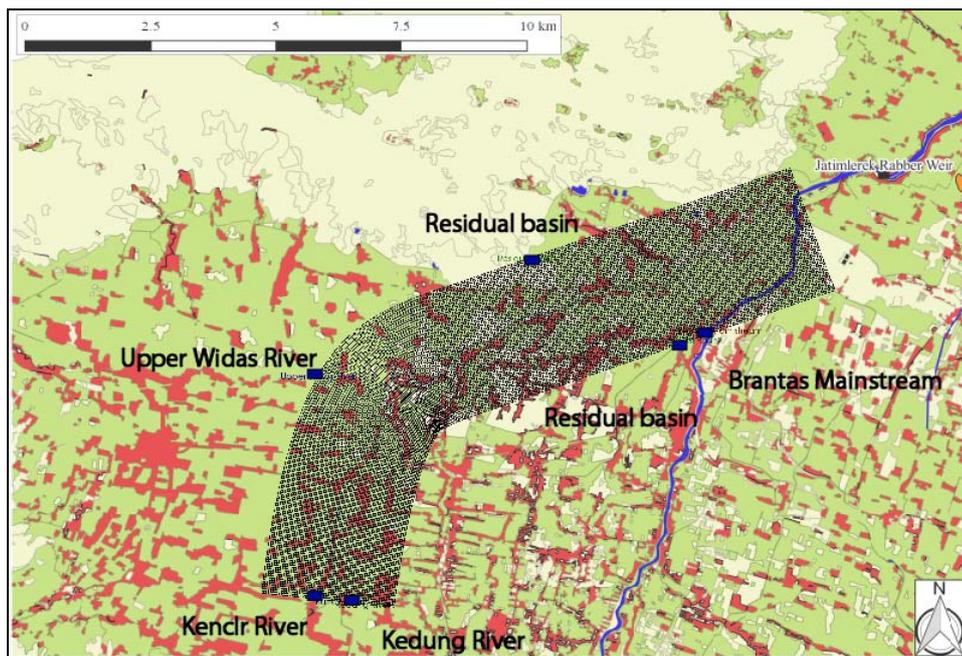
3) Widas 川流域

(a) Widas 川流域の現状

Widas 川流域の洪水解析は、「Widas Flood Control and Drainage Project (1986)」の中で 25 年確率洪水に対して実施されている。この地域は平坦な地域であり、氾濫形態は拡散型と判断される。このため、この氾濫域に対して 2 次元不定流解析モデルを採用した。

(b) シミュレーションモデル

Widas 川流域の氾濫解析の解析モデルを図 5.4.7 に示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

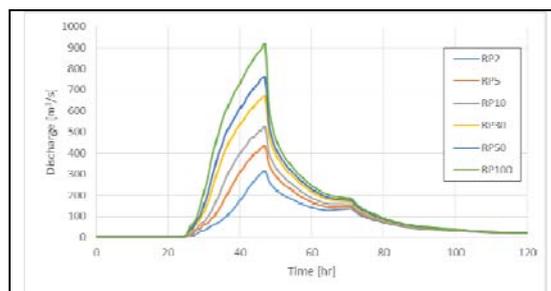
図 5.4.7 Widas 川流域の氾濫解析モデル

(c) 解析条件

解析条件は、以下のとおりである。

境界条件

- ▶ 下流端境界: 下流端境界条件はブランタス本川水位とする。本川の確率水位は、HEC-RAS による不等流解析で算定する。
- ▶ 上流端境界: チーム 1 から入手したไฮドログラフおよび現在気候と将来気候の引伸ばし率を用いる。図 5.4.8 に例として Widas 川上流の流入ไฮドログラフを示す。表 5.4.7 に各上流端境界のピーク流量を示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 5.4.8 各上流境界のไฮドログラフ (Widas 川上流)

表 5.4.7 各上流境界のピーク流量 (Widas 川流域)

確率年 (年)	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)			
	現在	Low	Medium	High
<b>1. Widas 川上流</b>				
2	316	384	384	432
5	432	527	527	593
10	523	597	632	717
30	671	786	855	1,069
50	759	833	985	1,305
100	916	916	1,175	1,629
<b>2. Kedung 川</b>				
2	201	248	248	279
5	289	344	344	404
10	341	403	426	511
30	471	580	637	796
50	561	621	718	1045
100	673	673	906	1387
<b>3. Kuncir 川</b>				
2	47	57	57	66
5	65	79	79	90
10	79	91	98	113
30	105	127	142	193
50	123	136	171	253
100	154	154	219	338
<b>4. 残留域</b>				
2	12	13	13	15
5	15	17	17	18
10	17	18	20	25
30	23	28	32	42
50	27	31	38	54
100	34	34	47	73

出典： JICA プロジェクトチーム 2

その他条件

- 粗度係数：河川内 (n = 0.03), 陸域 (n = 0.045)
- 計算間隔： dt = 1 [sec]
- 河川横断図：このプロジェクトでは河川横断測量は実施していない。

(d) モデルのキャリブレーション

2次元不定流解析モデルのキャリブレーションは、既存報告書に記載されている3か所の自然遊水地の氾濫容量を合わせる事で行った。

(e) 氾濫解析結果

氾濫解析は、現在気候下と将来気候下 (Low、 Medium、 High) に対して実施した。解析結果を表 5.4.8 に示す。また、図 5.4.9 に 30年確率流量に対する現在気候と Medium シナリオの氾濫域を示す。

表 5.4.8 氾濫解析結果 (Widas 川流域)

1. 現在気候

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	12.2	0.9	18
5	29.0	11.4	232
10	97.5	26.8	547
30	390.2	110.6	2,256
50	536.4	175.4	3,580
100	524.6	294.2	6,003

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

2. 将来気候 (Medium)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	22.5	7.2	148
5	106.0	27.6	562
10	309.1	73.1	1,492
30	699.0	259.0	5,286
50	880.2	335.3	6,843
100	1,347.8	474.9	9,693

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

3. 将来気候 (Low)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	22.5	2.4	48
5	89.2	13.9	283
10	249.0	36.8	752
30	570.7	197.4	4,030
50	627.1	242.6	4,952
100	750.8	294.2	6,003

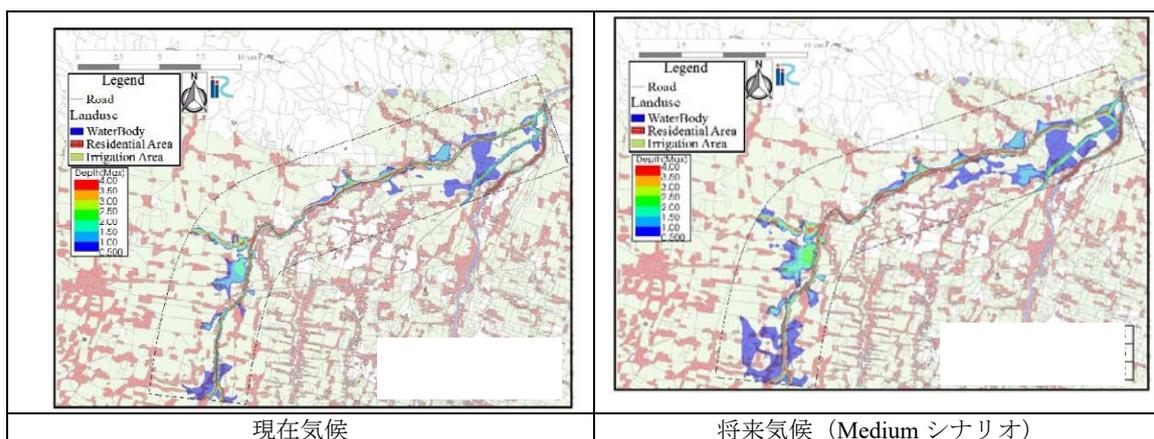
注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

4. 将来気候 (High)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	36.1	11.4	232
5	247.5	36.4	742
10	450.5	148.1	3,022
30	1,172.7	393.1	8,024
50	1,646.3	1,050.0	10,996
100	1,996.8	1,160.5	12,153

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

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 5.4.9 Widas 川流域最大浸水深及び氾濫域 (30 年確率洪水)

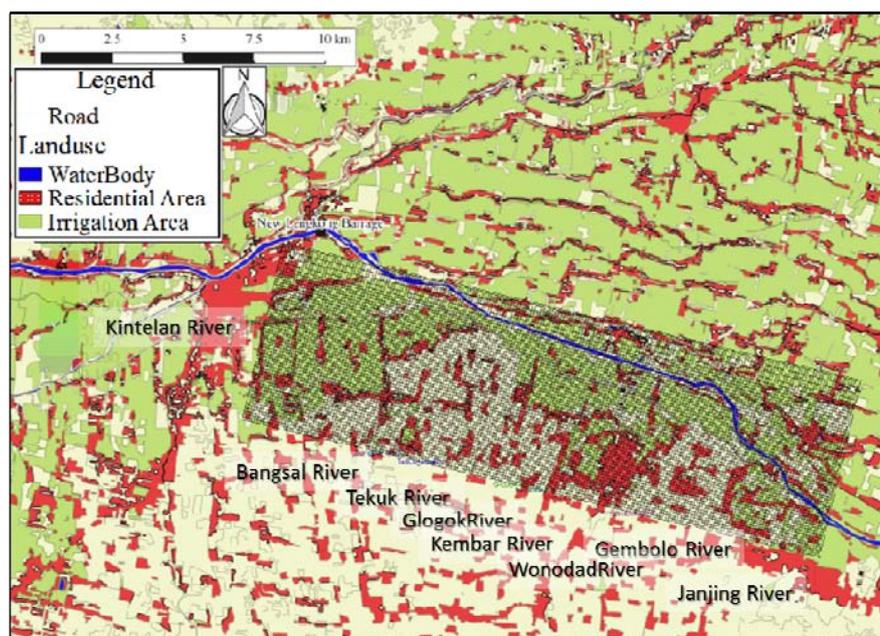
4) Sadar 川流域

(a) Sadar 川の現状

Sadar 川の洪水防御計画は、“*Studi Evaluasi System Pengendalian Banjir Kali Sadar Kabupaten dan Kota Mojokerto, 2013*”で検討された。これによれば、ポンプ排水システムが提案されている。また、洪水は小さな複数の支川が Sadar 川合流地点で氾濫し洪水を引き起こしている。この地域も平坦な地域であり氾濫形態は拡散型と判断されるため、2次元不等流解析モデルを採用する。

(b) シミュレーションモデル

モデルエリアは過去の洪水による氾濫域から決定する。図 5.4.10 にシミュレーションモデルを示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

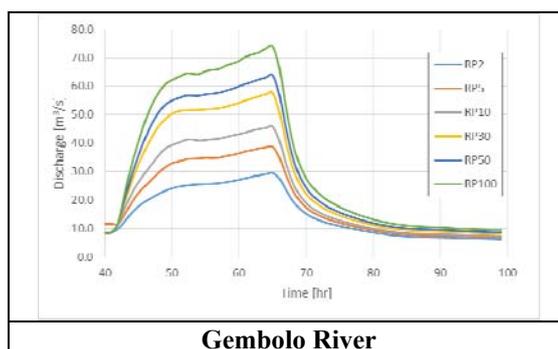
図 5.4.10 Sadar 川流域氾濫解析モデル

(c) 解析条件

解析条件を以下に示す。

境界条件

- 下流端境界: 下流端境界条件はブラタス本川水位とする。本川の確率水位は、HEC-RAS による不等流解析で算定する。
- 上流端境界: チーム 1 から入手したヒドログラフおよび現在気候と将来気候の引伸ばし率を用いる。図 5.4.11 に例として最大流量支川のヒドログラフを示す。表 5.4.9 に各上流境界のピーク流量を示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 5.4.11 上流端境界のヒドログラフ(Gembolo 川)

表 5.4.9 上流端境界のピーク流量 (Sadar 川流域)

確率年 (年)	ピーク流量 (m³/s)			
	現在	Low	Medium	High
<b>1. Kintelan 川</b>				
2	2.6	3.0	3.0	3.3
5	3.4	4.0	4.0	4.3
10	4.1	4.5	4.8	5.3
30	5.3	6.0	6.4	8.0
50	6.0	6.4	7.6	11.3
100	7.3	7.3	10.0	20.2
<b>2. Bangsal 川</b>				
2	5.5	6.3	6.3	6.8
5	7.2	8.3	8.3	9.1
10	8.5	9.5	10.0	11.1
30	11.0	12.6	13.4	16.8
50	12.5	13.5	15.8	23.7
100	15.2	15.2	21.0	42.4
<b>3. Tekuk 川</b>				
2	3.5	4.0	4.0	4.3
5	4.6	5.2	5.2	5.7
10	5.4	6.0	6.3	7.0
30	7.0	7.9	8.5	10.6
50	7.9	8.5	10.0	14.9
100	9.6	9.6	13.3	26.7
<b>4. Glogok 川</b>				
2	1.5	1.6	1.6	1.7
5	1.8	2.1	2.1	2.3
10	2.1	2.4	2.5	2.8
30	2.8	3.2	3.4	4.2
50	3.2	3.4	4.0	6.0
100	3.8	3.8	5.3	10.7

確率年 (年)	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)			
	現在	Low	Medium	High
<b>5. Kembar 川</b>				
2	1.3	1.4	1.4	1.5
5	1.6	1.9	1.9	2.1
10	1.9	2.1	2.3	2.5
30	2.5	2.8	3.0	3.8
50	2.8	3.0	3.6	5.4
100	3.4	3.4	4.8	9.6
<b>6. Wonodad 川</b>				
2	1.6	1.8	1.8	2.0
5	2.1	2.4	2.4	2.7
10	2.5	2.8	2.9	3.2
30	3.2	3.7	3.9	4.9
50	3.7	3.9	4.6	6.9
100	4.4	4.4	6.1	12.4
<b>7. Gembolo 川</b>				
2	29.5	33.9	33.9	36.7
5	38.7	44.7	44.7	48.6
10	45.8	50.7	53.1	57.8
30	57.7	63.9	67.3	78.6
50	63.9	67.6	76.0	96.6
100	74.0	74.0	90.3	122.6
<b>8. Janjing 川</b>				
2	26.6	30.9	30.9	33.7
5	36.0	42.2	42.2	46.2
10	43.3	43.3	50.0	54.7
30	54.4	60.5	63.5	73.7
50	60.3	63.9	71.4	87.8
100	69.3	69.3	83.6	111.6

出典： JICA プロジェクトチーム 2

その他条件

- 粗度係数：河川(n = 0.03), 陸域 (n = 0.045)
- 計算間隔： dt = 1 [sec]
- 河川横断面図:このプロジェクトでは河川横断面測量は実施していない。

(d) モデルのキャリブレーション

行政区分内で頻繁に氾濫する地域について“*Studi Evaluasi System Pengendalian Banjir Kali Sadar Kabupaten dan Kota Mojokerto, 2013*”に記載されており、モデルのキャリブレーションは既存報告書の洪水氾濫域が一致する様に実施した。

(e) 氾濫解析結果

氾濫解析は、現在気候下と将来気候下 (Low、Medium、High) に対して実施した、解析結果を表 5.4.10 に示す。また、図 5.4.12 に 30 年確率流量に対する現在気候と Medium シナリオの氾濫域を示す。

表 5.4.10 氾濫解析結果(Sadar 川流域)

1. 現在気候

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	91.1	88.2	962
5	127.1	99.5	1,084
10	149.2	105.2	1,147
30	174.3	115.8	1,262
50	186.2	120.2	1,311
100	215.1	141.5	1,543

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

2. 将来気候 (Medium)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	106.8	92.6	1,009
5	143.6	108.5	1,183
10	173.7	117.5	1,281
30	193.2	125.2	1,364
50	208.4	137.6	1,500
100	262.0	161.9	1,765

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

3. 将来気候 (Low)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	106.8	92.6	1,009
5	137.8	106.1	1,157
10	161.8	112.2	1,224
30	186.2	120.8	1,317
50	193.6	127.1	1,386
100	215.2	141.5	1,543

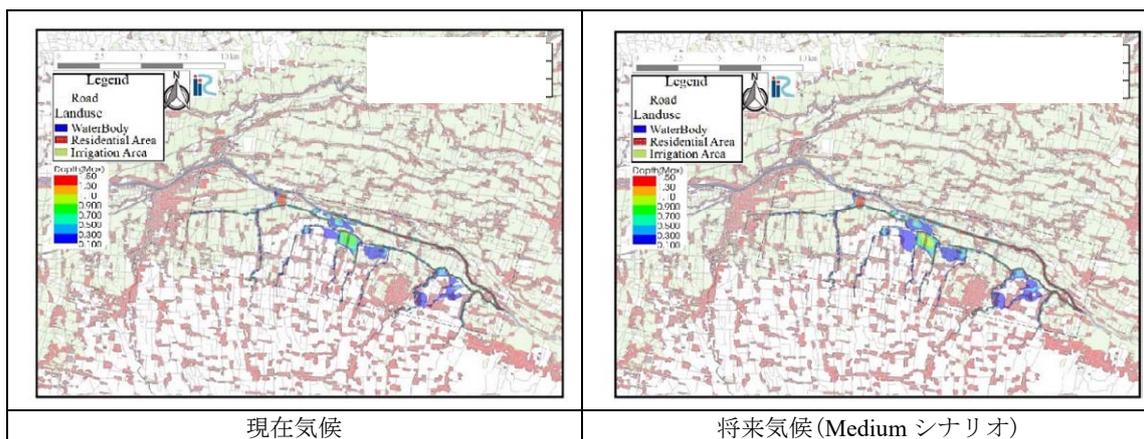
注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

4. 将来気候 (High)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	113.3	95.7	1,043
5	149.4	110.9	1,208
10	180.8	120.1	1,309
30	215.2	139.4	1,519
50	268.2	162.1	1,767
100	502.8	319.8	3,486

注釈: 影響家屋数のパラメータは治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

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 5.4.12 Sadar 川流域の最大浸水深および氾濫域(30 年確率洪水)

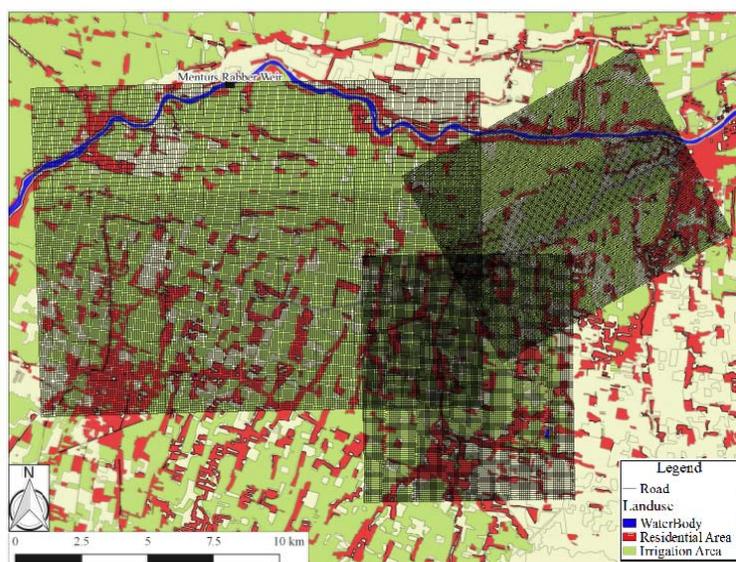
5) Ngotok 川流域 (Brangkal 川支川)

(a) Ngotok 川流域の現状

Brangkal 川流域の洪水防御計画調査が実施され、Brangkal 川本川の堤防建設が実施中であるが、洪水氾濫による被害は Brangkal 川の支川の Ngotok 川で発生している。2008 年に実施された“*Sid Sistem Penanggulangan Banjir Ngotok Ring Kanal Kabupaten Mojokerto, 2008*”によれば、複数の地点で氾濫が発生している。この地域の地形と現在の氾濫状況から 2 次元不定流解析モデルを採用する。

(b) シミュレーションモデル

モデル範囲は過去の洪水による氾濫域から決定する。Ngotok 川の氾濫域は川沿いの 3 地域に分類される。図 5.4.13 にシミュレーションモデルを示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

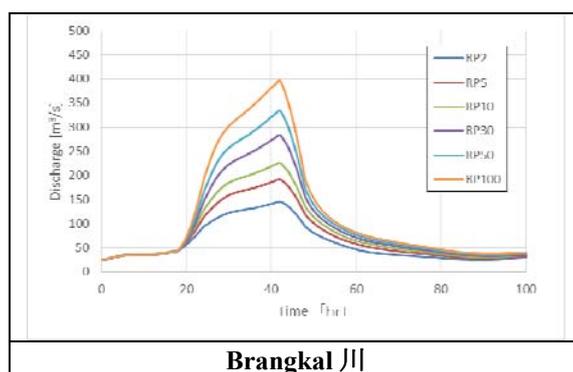
図 5.4.13 Ngotok 川流域の氾濫解析モデル

(c) 解析条件

解析条件は、以下のとおりである。

境界条件

- 下流端境界: 下流端境界条件は本川水位とする。本川の確率水位は、HEC-RAS による不等流解析で算定する。
- 上流端境界: チーム 1 から入手したヒドログラフおよび現在気候と将来気候の引伸ばし率を用いる。図 5.4.14 に例として最大流量支川のヒドログラフを示す。表 5.4.11 に各上流境界のピーク流量を示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 5.4.14 上流端境界のヒドログラフ(Brangkal 川)

表 5.4.11 上流端境界のピーク流量 (Ngotok 川流域)

確率年 (年)	ピーク流量 (m³/s)			
	現在	Low	Medium	High
<b>1. Temblang 川</b>				
2	58	67	67	72
5	77	89	89	99
10	94	89	113	130
30	114	134	145	183
50	134	145	172	232
100	164	164	214	310
<b>2. Jombang 川</b>				
2	68	78	78	84
5	86	100	100	111
10	94	100	113	130
30	123	146	157	198
50	143	156	184	249
100	174	174	226	328
<b>3. Bening 川</b>				
2	117	133	133	144
5	144	166	166	185
10	170	166	204	234
30	218	258	278	350
50	258	280	332	448
100	310	309	402	583
<b>4. Gunting 川</b>				
2	146	167	167	180
5	182	211	211	235

確率年 (年)	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)			
	現在	Low	Medium	High
10	217	211	261	299
30	274	325	351	442
50	325	353	418	564
100	387	387	503	728
<b>5. Brangkal 川</b>				
2	146	167	167	180
5	192	222	222	247
10	226	222	272	312
30	284	336	363	457
50	334	363	430	581
100	397	397	515	746

出典： JICA プロジェクトチーム 2

その他条件

- 粗度係数：河川(n = 0.03), 陸域 (n = 0.045)
- 計算間隔： dt = 1 [sec]
- 河川横断面図: 2008年に“SID Sistem Penanggulangan Banjir Ngotok Ring Kanal Kabupaten Mojokerto (2008)”で実施している。河川横断面の形は測量データを参照に矩形断面とする。

(d) モデルのキャリブレーション

モデルのキャリブレーションは、既存報告書に示されている氾濫が発生するエリアと合致する様に行った。

(e) 氾濫解析結果

氾濫解析は、現在気候下と将来気候下 (Low、Medium、High) に対して実施した。解析結果を表 5.4.12 に示す。また、図 5.4.15 に 30 年確率流量に対する現在気候と Medium シナリオの氾濫域を示す。

表 5.4.12 氾濫解析結果 (Ngotok 川流域)

1. 現在気候

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	1	15	300
5	6	109	1,110
10	13	606	6,161
30	33	1,117	11,357
50	50	1,394	14,168
100	74	1,826	18,561

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

## 2. 将来気候 (Medium)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	8	87	1,728
5	25	259	5,133
10	41	428	8,471
30	76	1,544	15,688
50	103	2,065	20,991
100	150	2,926	29,733

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

## 3. 将来気候 (Low)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	8	87	1,728
5	25	259	5,133
10	34	355	7,031
30	70	1,415	14,384
50	80	1,619	16,451
100	91	1,840	18,704

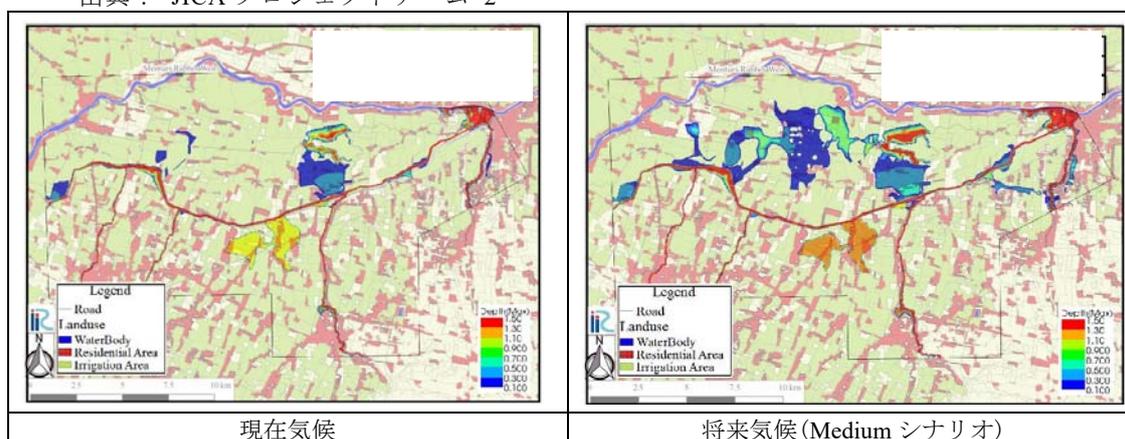
注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

## 4. 将来気候 (High)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	15	159	1,152
5	35	364	10,080
10	63	1,279	12,499
30	127	2,512	23,421
50	182	3,496	37,522
100	250	4,648	49,418

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

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 5.4.15 Ngotok 川流域の最大浸水深および氾濫域 (30 年確率流量)

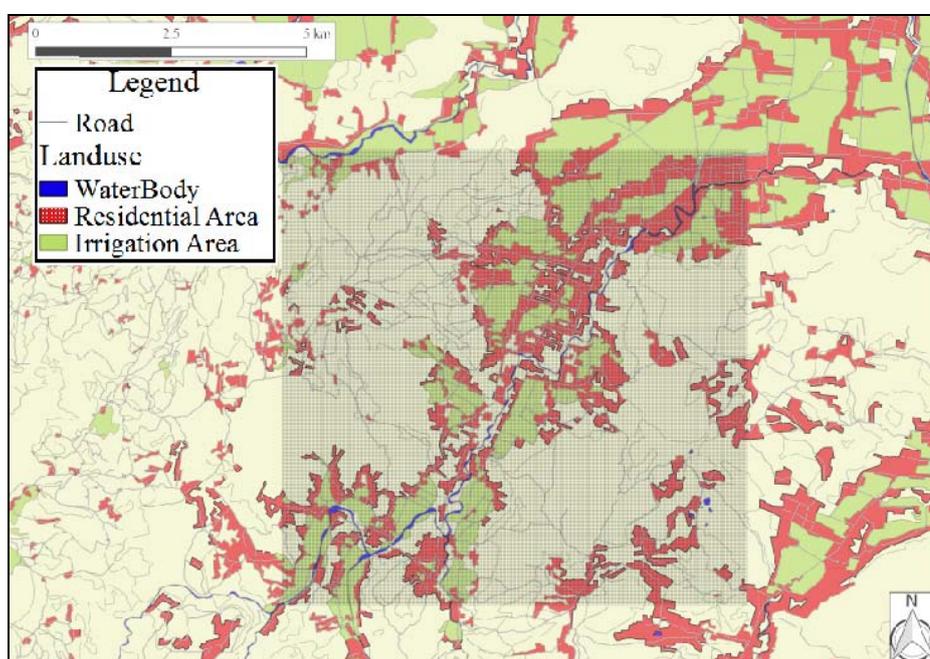
## 6) Tawing 川流域

### (a) Tawing 川流域の現状

Tulungagung 地域で、洪水防御施設として Neyama 排水トンネルが建設されている。しかしながら、Trenggalek 県に位置する Tawing 川でフラッシュフラッドが発生している。このため、Tawing 川で氾濫解析を実施する。Tawing 川は山岳地域に位置しており、河道内と氾濫域の水の両方が下流に流れる。一方、下流域は平坦であり洪水は拡散する。このため、氾濫解析モデルは現況の氾濫特性から 1 次元及び 2 次元の複合モデルとする。

### (b) シミュレーションモデル

Tawing 川の氾濫解析は、1 次元及び 2 次元不定流モデルを適用する。モデル範囲は、過去の洪水の氾濫域から決定する。図 5.4.16 にシミュレーションモデルを示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

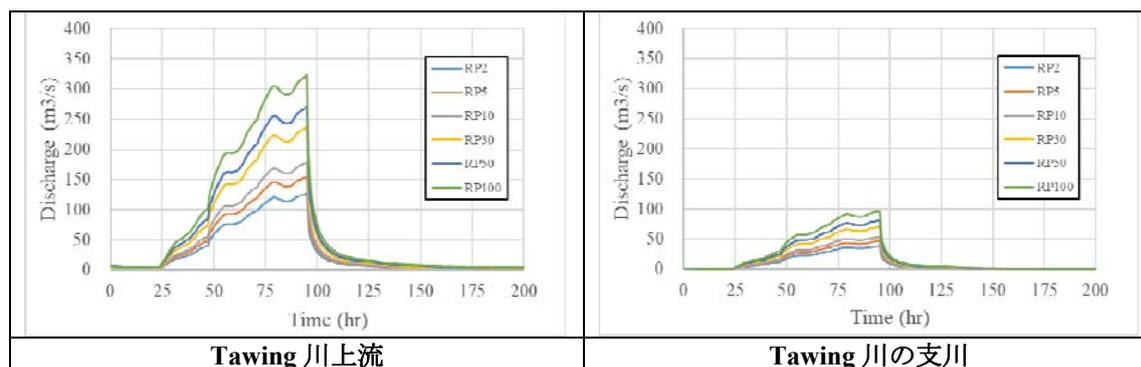
図 5.4.16 Tawing 川流域氾濫解析モデル

### (c) 解析条件

解析条件は、以下のとおりである。

#### 境界条件

- 下流端境界: 下流端境界条件は等流水深とする。
- 上流端境界: チーム 1 から入手したヒドログラフおよび現在気候と将来気候の引伸ばし率を用いる。図 5.4.17 に例として最大流量支川のヒドログラフを示す。表 5.4.13 に各上流境界のピーク流量を示す。



出典： JICA プロジェクトチーム 2

図 5.4.17 各上流端境界の修正ハイドログラフ(Tawing 川)

表 5.4.13 上流端境界のピーク流量 (Tawing 川流域)

確率年 (年)	ピーク流量(m³/s)			
	現在	Low	Medium	High
<b>1. Tawing 川上流</b>				
2	127.1	134.9	142.7	154.3
5	154.0	167.4	180.8	205.3
10	178.2	205.9	222.0	257.9
30	236.6	271.1	305.7	384.3
50	270.1	295.7	350.9	469.8
100	322.1	322.1	417.4	587.4
<b>2. Tawing 川の支川</b>				
2	38.0	40.3	42.6	46.1
5	46.0	50.0	54.0	61.3
10	53.2	61.5	66.3	77.0
30	70.7	81.0	91.3	114.8
50	80.7	88.3	104.8	140.3
100	96.2	96.2	124.7	175.5

出典： JICA プロジェクトチーム 2

その他条件

- 粗度係数：河川(n = 0.025), 陸域 (n = 0.03)
- 計算間隔： dt = 0.2[sec]
- 河川横断面図: 河川横断面測量は本プロジェクトでは実施していない。

(d) モデルのキャリブレーション

モデルのキャリブレーションは、不定流解析結果と“SID Pengendalia Banjir Kali Tawing Kabupaten Trenggalek, 2013”に記載されている水位を比較して行った。過去の報告書に記載された水位が 10 年確率相当であるため、10 年確率洪水でモデルのキャリブレーションを実施した。

(e) 氾濫解析結果

氾濫解析は、現在気候下と将来気候下 (Low、Medium、High) に対して実施した、解析結果を表 5.4.14 に示す。また、図 5.4.18 に 30 年確率流量に対する現在気候と Medium シナリオの氾濫域を示す。

表 5.4.14 氾濫解析結果 (Tawing 川流域)

1. 現在気候

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	144.3	69.6	1,378
5	237.3	165.9	1,686
10	267.3	186.0	1,891
30	317.3	204.3	2,076
50	334.2	211.0	2,145
100	352.5	224.3	2,280

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

2. 将来気候 (Medium)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	220.2	77.2	1,528
5	269.6	186.6	1,896
10	305.4	199.6	2,029
30	352.1	218.8	2,224
50	362.6	231.6	2,354
100	220.2	245.0	2,490

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

3. 将来気候 (Low)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	171.5	72.7	1,440
5	253.4	181.9	1,849
10	293.1	192.8	1,959
30	334.6	211.4	2,149
50	343.6	214.9	2,184
100	352.5	224.3	2,280

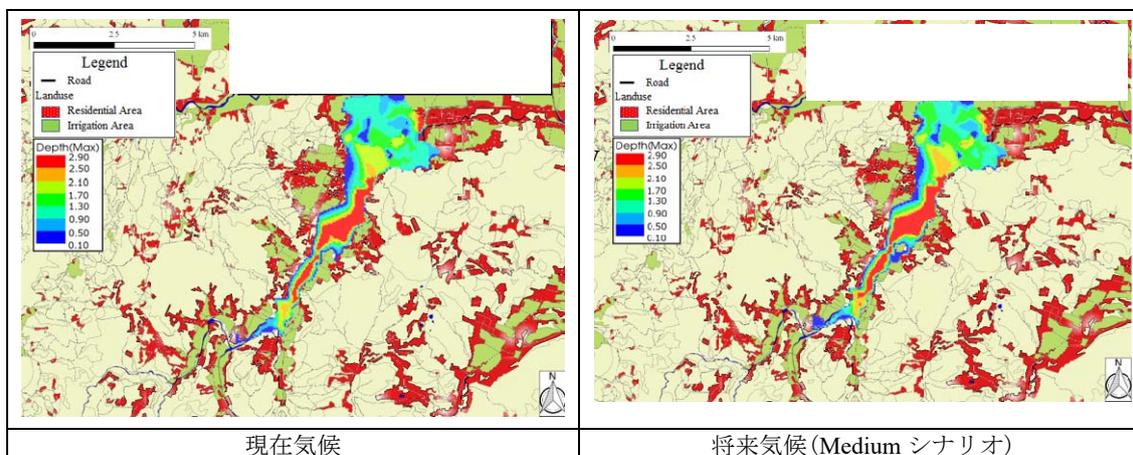
注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

4. 将来気候 (High)

確率年 (年)	灌漑面積 (ha)	影響家屋数 (軒)	影響人数 (人)
2	237.7	166.1	1,689
5	292.9	192.8	1,959
10	329.2	209.0	2,124
30	379.7	239.3	2,432
50	397.7	258.3	2,626
100	426.1	269.7	2,741

注釈: 影響家屋数の係数は治水経済マニュアル(案)の値を採用した。

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 5.4.18 Tawing 川流域の最大浸水深および氾濫域 (30 年確率洪水)

### 5.4.3 Sutami ダムの洪水調節容量と効果

将来に渡って洪水調節容量が同じと仮定したとしても、ダム貯水池への洪水流入量は気候変動によって増加すると考えられる。このため、気候変動の影響下における既存ダムの洪水調節の効果を検討する。ブランタス川流域で最も大きい洪水調節容量を持つ Sutami ダムを対象とする。

#### (1) Sutami ダムの洪水調節運用

Sutami ダムの洪水調節運用は、“Report on the Revision of Design of the Karangates Dam<sup>1</sup>, August 1965” (以下 1965 年報告書) で検討され決定されている。

この中で、ダム貯水池の洪水調節計算のため 2 種類の設計ハイドログラフが用いられた。一つは設計洪水のハイドログラフであり他方は異常洪水のハイドログラフである。表 5.4.15 に洪水吐きからの放流量、洪水位、ダム天端標高を示す。また、図 5.4.19 に設計洪水に対する洪水調節計算結果を示す。

表 5.4.15 Sutami ダム洪水調節計算結果

項目		設計洪水	異常洪水
流入量	ピーク流量	3,000 m <sup>3</sup> /s	4,200 m <sup>3</sup> /s
	確率年	1/200	1/1000
初期水位	-	WL 272.500	WL 272.500
ケース A*の放流量	放流量	1,060 m <sup>3</sup> /s	1,580 m <sup>3</sup> /s
	貯水位	WL 275.500	WL 276.630
ケース B*の放流量	放流量	920 m <sup>3</sup> /s	1,400 m <sup>3</sup> /s
	貯水位	WL 276.150	WL 277.230
設計値	洪水吐き設計流量	1,600 m <sup>3</sup> /s	
	洪水位	FWL 277.000 m	
	ダム天端標高	EL. 279.000 m	

注釈: \* ケース A: 洪水吐きゲート運用有, ケース B: 洪水吐きゲート運用なし

出典: 1965 Study Report

#### (2) 2050 年における Sutami ダム洪水調節計算

2050 年の将来気候下における洪水調節計算を上述した原設計のケース A (洪水吐きゲート運用) と同様の方法を用いて検討を行った。将来気候シナリオの洪水ハイドロに対して、原設計ハイドログラフを図 5.4.20 に示すように引伸ばしを行った。引き延ばし率はチーム 1 による気候変動調査の解析結果から得られる確率雨量の比率によって得られる。

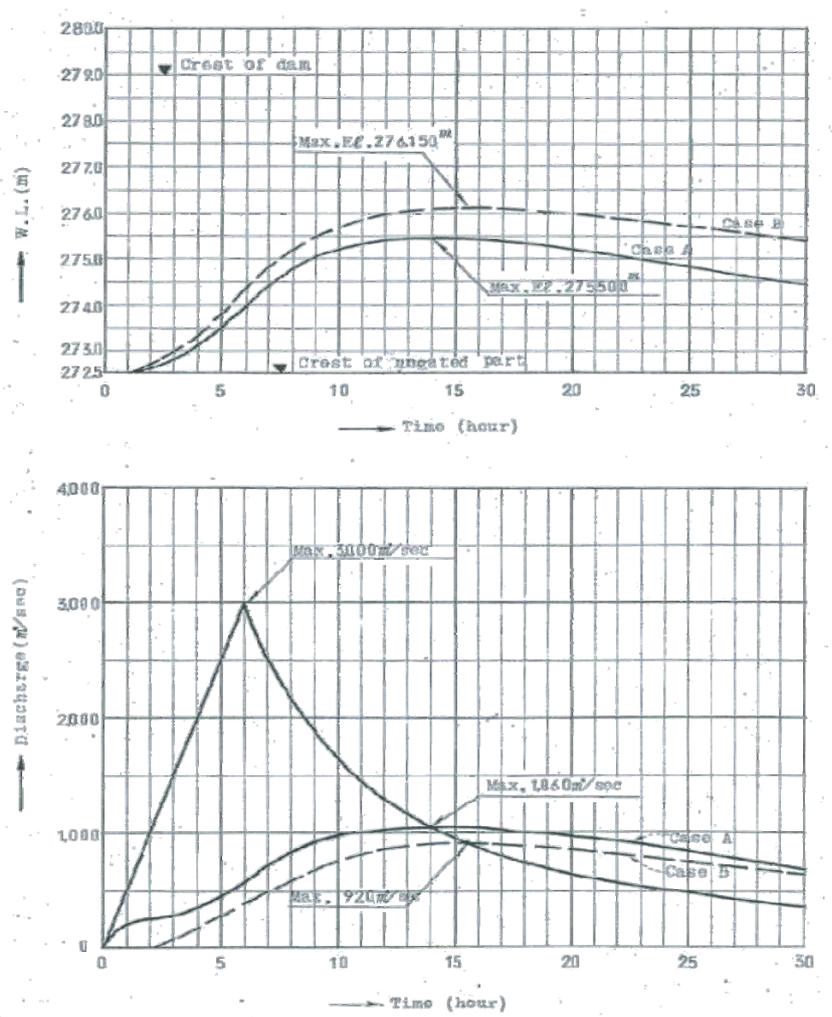
表 5.4.16 2050 年における Sutami ダム洪水調節検討ケース

検討ケース	設計洪水	異常洪水	ダム貯水位容量曲線	
(1) 原設計 (1972)	3,000 m <sup>3</sup> /s	4,200 m <sup>3</sup> /s	1972 年データ	
(2) 現在 (2012)	3,000 m <sup>3</sup> /s	4,200 m <sup>3</sup> /s	2012 年データ	
(3) 将来 (2050)				
i) 現在気候	3,000 m <sup>3</sup> /s	4,200 m <sup>3</sup> /s	2050 年想定(P)*	
将来気候シナリオ	ii) Low	3,300 m <sup>3</sup> /s	4,620 m <sup>3</sup> /s	2050 年想定(L)*
	iii) Medium	3,450 m <sup>3</sup> /s	4,830 m <sup>3</sup> /s	2050 年想定(M)*
	iv) High	4,200 m <sup>3</sup> /s	5,880 m <sup>3</sup> /s	2050 年想定(U)*

注釈: \*常時満水位より上の洪水調節スペースは 2012 年以降減少しないと仮定

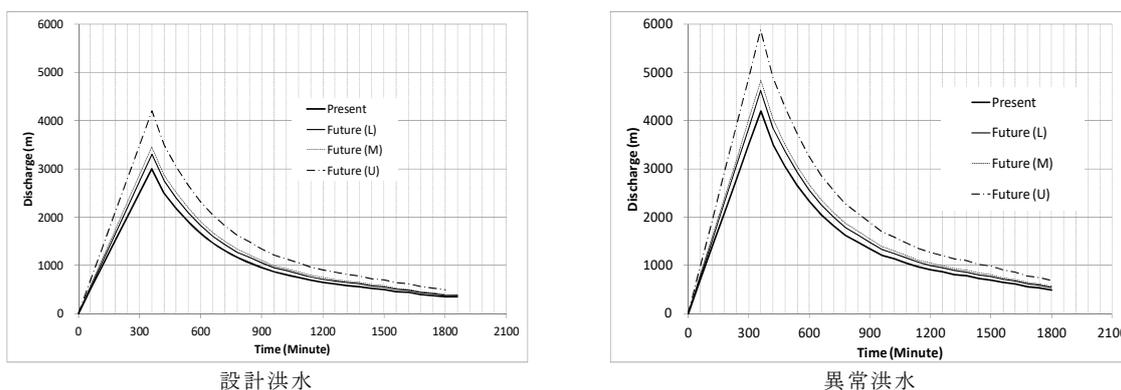
出典: JICA プロジェクトチーム 2

<sup>1</sup> Sutami Dam とダム名が変更する以前の名称が Karangates Dam である。



出典: 1965 Study Report

図 5.4.19 ピーク流量 3,000m<sup>3</sup>/s に対する Sutami ダム洪水調節計算結果



出典: JICA プロジェクトチーム 2

図 5.4.20 2050 年の将来気候シナリオに対する洪水ハイドログラフ

(3) 2050 年における Sutami ダムの洪水調節計算結果

図 5.4.21 に洪水調節計算結果を、表 5.4.17 に結果の要約を示す。

表 5.4.17 2050年のSutamiダム洪水調節計算結果

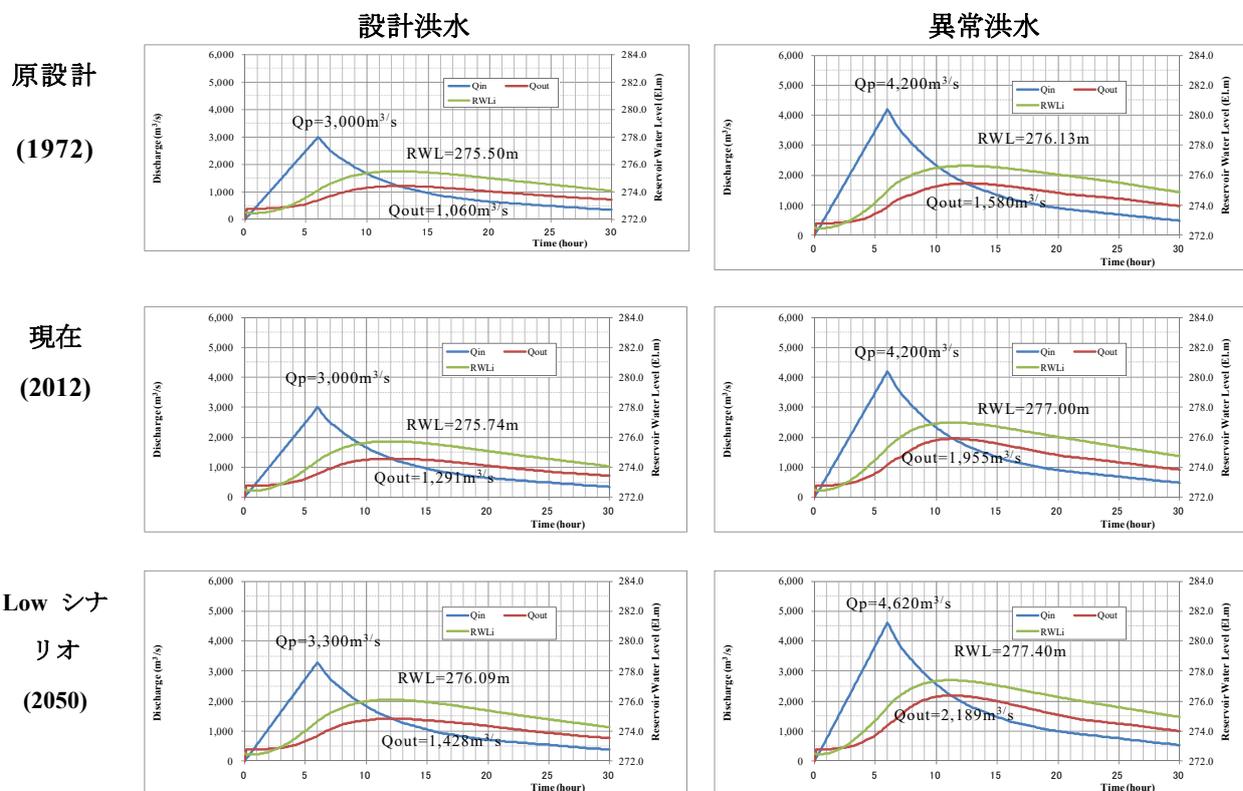
< 設計洪水 >

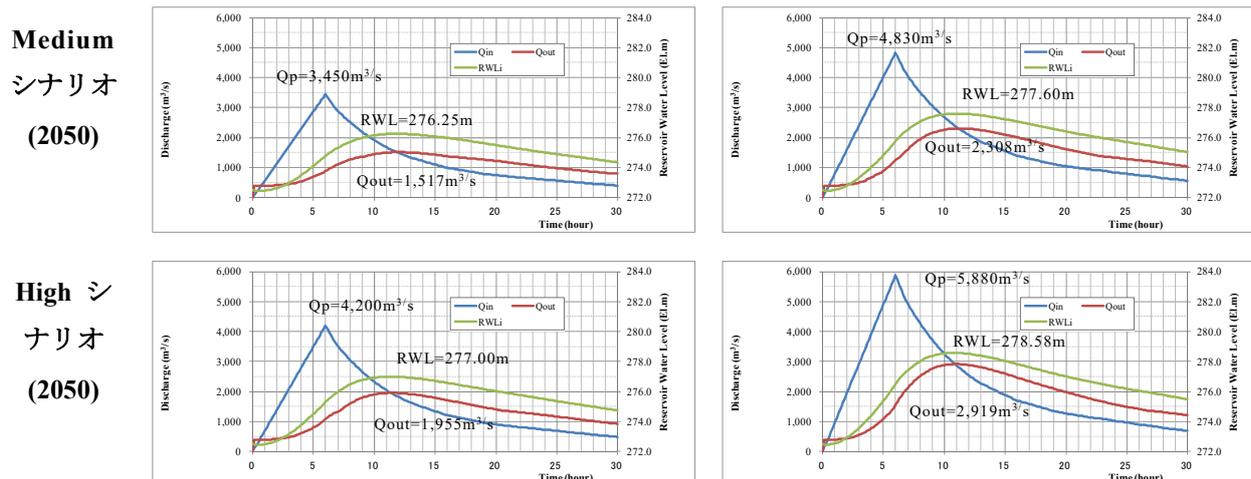
検討ケース	貯水池最高水位		ダムからの放流量		
	水位 (El.m)	差異 (m)	放流量 (m <sup>3</sup> /s)	差異(m <sup>3</sup> /s)	
(1) 原設計 (1972)	275.50	-	1,060	-	
(2) 現在(2012)	275.74	+ 0.24	1,291	+ 231	
(3) 将来 (2050)					
i) 現在気候	275.74	+ 0.24	1,291	+ 231	
将来気候	ii) Low	276.09	+ 0.59	1,428	+ 368
	iii) Medium	276.25	+ 0.75	1,517	+ 457
	iv) High	277.00	+ 1.50	1,955	+ 895

<異常洪水>

検討ケース	貯水池最高水位		ダムからの放流量		
	水位 (El.m)	差異 (m)	放流量 (m <sup>3</sup> /s)	差異(m <sup>3</sup> /s)	
(1) 原設計 (1972)	276.63	-	1,580	-	
(2) 現在(2012)	277.00	+ 0.37	1,955	+ 375	
(3) 将来 (2050)					
i) 現在気候	277.00	+ 0.37	1,955	+ 375	
将来気候	ii) Low	277.40	+ 0.77	2,189	+ 609
	iii) Medium	277.60	+ 0.97	2,308	+ 728
	iv) High	278.58	+ 1.95	2,919	+ 1,339

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 5.4.21 Sutami ダム洪水調節計算結果

- 設計値と比較して、将来気候下の貯水池水位は設計洪水に対して+0.59m~+1.50m 高くなる。また異常洪水については+0.77m~+1.95m 高くなる。
- 将来気候の洪水吐きからの最大放流量の増加は、設計洪水に対して+368 m³/s~+895 m³/s、異常洪水に対して+609 m³/s ~ +1,335 m³/s となる。
- 将来気候(High)に対する異常洪水が最も極端なケースであり、ダム天端標高から42cm 低い EL.278.58m まで水位が達する。

上述した様に、気候変動により Sutami ダムの天端を越水する洪水リスクが増加する。このため、危険な状態になる前に何らかの対策を行うべきである。

## 5.5 2050 年の気候変動影響評価

### 5.5.1 安全度

#### (1) 渇水に対する安全度

##### 1) 現在気候下の自然流量に対する現状の水需要と水供給

上工水の安全度は利水安全度の 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は作付け率は 224%となる。

##### 2) 気候変動下の自然流量に対する現状の水需要と水供給

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。表 5.5.1 に不足回数、年間発生電力量を示す。

<比較条件>

条件	現在	将来
気候	現在気候	将来気候
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

表 5.5.1 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

1. 灌漑

	灌漑地区	灌漑面積 (ha)	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		

2. 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

3. 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

3) 灌漑用水供給

各灌漑地区における不足回数が増加する。特に Siman 灌漑地区と Bening 灌漑地区では利水安全度(1/5)を下回る。

4) 上工水供給

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。

5) 電力量

年間発生電力量は、現在気候の 86%となる。

(2) 治水安全度

1) Widas 川流域

現在気候の各確率流量に対する将来気候各ケースの治水安全度の比較を表 5.5.2 に示す。

表 5.5.2 将来気候下における治水安全度 (Widas 川流域)

現在気候条件下の確率洪水流量(m <sup>3</sup> /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

2) Sadar 川流域

現在気候の各確率流量に対する将来気候各ケースの治水安全度の比較を表 5.5.3 に示す。

表 5.5.3 将来気候下における治水安全度 (Sadar 川流域)

現在気候条件下の確率洪水流量(m <sup>3</sup> /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

3) Ngotok 川流域

現在気候の各確率流量に対する将来気候各ケースの治水安全度の比較を表 5.5.4 に示す。

表 5.5.4 将来気候下における治水安全度 (Ngotok 川流域)

現在気候条件下の確率洪水流量(m <sup>3</sup> /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

4) Tawing 川流域

現在気候の各確率流量に対する将来気候各ケースの治水安全度の比較を表 5.5.5 に示す。

表 5.5.5 将来気候下における治水安全度 (Tawing 川流域)

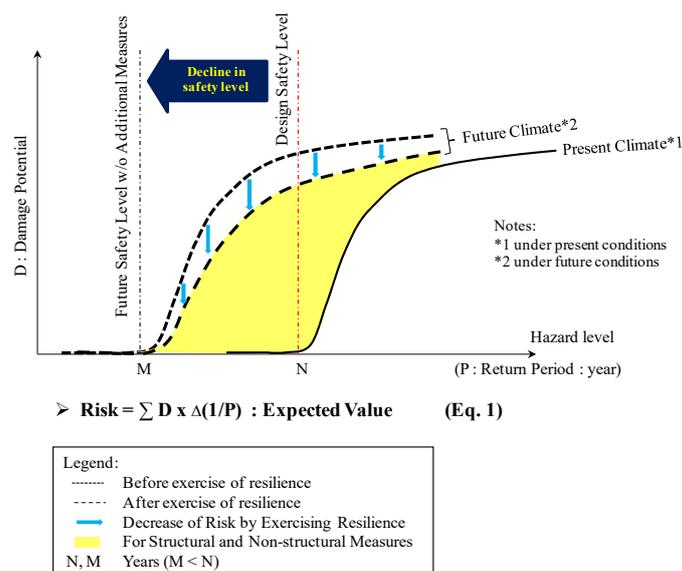
現在気候条件下の確率洪水流量(m <sup>3</sup> /s)	確率年 (年)			
	現在	Low	Medium	High
165.1	2	1.7	1.3	1.1
199.9	5	3.8	2.8	2.2
231.4	10	5.8	4.5	3.4
307.3	30	15.1	12.0	7.4
350.7	50	30.0	19.5	10.1
418.3	100	100.0	39.5	17.7

出典：JICA プロジェクトチーム 2

5.5.2 リスクおよびレジリエンス

(1) 水資源管理のリスクおよびレジリエンス評価の概念

本プロジェクトで行う将来気候変動下での水資源管理のリスクおよびレジリエンス評価について、その概念を図 5.5.1 に示している。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 5.5.1 水資源管理のリスクおよびレジリエンスの概念 (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。

**回復力(レジリアンス)**=ハザードに曝されたシステム、コミュニティあるいは社会が、基本的な機構及び機能を保持・回復することなどを通じて、ハザードからの悪影響に対し、適切なタイミングで、効果的な方法で抵抗し、それを吸収・受容し、またそこから復興する能力。

**解説:** 回復力とは、外力から「跳ね返って元に戻る」能力のことである。潜在的なハザード事象に対するコミュニティの回復力は、当該コミュニティが必要な資源をどの程度持ち、また、必要な時やそれに先だってどの程度適切に行動できるかによって決まる。

**出典:** 国連国際防災戦略防災用語集(2009年版) (日本語版)

図 5.5.1 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及び非構造物対策はこのリスクに対して策定される。

本プロジェクトで行ったリスクおよびレジリアンスの評価は、表 5.5.6 および表 5.5.7 に示す被害評価指標ならびにレジリアンス発揮の方法を踏まえて実施された。

**表 5.5.6** ブラントス川流域で想定される洪水被害とレジリアンスの評価

評価項目	被害評価の指標	レジリアンス発揮の方法*
<b>&lt; 定量評価 &gt;</b>		
<b>資産被害</b>		
- 直接被害	一般資産被害 (被害家屋数) 農産物被害 (被害耕作地面積) 文化財被害 (被害施設数)	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存治水施設の現行運用ルール見直し (含: 経年貯留ダム、ダム統合運用)</li> <li>既存治水施設の修理・復旧</li> </ul>
- 間接被害	社会機能の低下による被害 <ul style="list-style-type: none"> <li>交通途絶による波及被害 (途絶する主要道路・鉄道の延長、通行不能橋梁数等)</li> <li>ライフライン停止による波及被害 (上下水道停止による影響人口)</li> <li>防災拠点施設機能低下による被害 (洪水氾濫地域内の警察、消防、役所等の数)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(同上)</li> <li>既存インフラストラクチャーおよび治水施設の耐水性改善</li> <li>構造物対策の多重化 (代替施設の投入)</li> </ul>
	経済被害 (営業停止事業所・工場数)	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存治水施設の現行運用ルール見直し (含: 経年貯留ダム、ダム統合運用)</li> <li>既存治水施設の修理・復旧</li> </ul>
<b>人的被害</b>	洪水氾濫地域内人口	<ul style="list-style-type: none"> <li>避難関連施設等の強化 (避難道路/センター、丘陵地等)</li> <li>土地利用規制</li> </ul>
<b>&lt; 定性評価 &gt;</b>		
組織・制度の機能低下による被害	不測の洪水災害に対する組織・制度的な能力 (役所の拠点機能、避難/水防制度、復旧活動など) (能力不足、機能不全の視点)	治水関連既存組織・制度の能力強化

(注) \* 既存施設の可能最適活用

出典: JICA プロジェクトチーム 2

表 5.5.7 ブランタス川流域で想定される渇水被害とレジリアンスの評価

評価項目	被害評価の指標	レジリアンス発揮の方法*
<b>&lt; 定量評価 &gt;</b>		
<b>資産被害</b>		
- 直接被害	農産物被害（被害耕作地面積）	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存利水施設の現行運用ルール見直し（含：経年貯留ダム、ダム統合運用）</li> <li>利水施設の修理・復旧</li> <li>構造物対策の多重化（代替施設の投入）</li> </ul>
	ライフライン被害 <ul style="list-style-type: none"> <li>電力の停止（影響人口）</li> <li>上水道停止（影響人口）</li> </ul>	
	文化財被害（被害施設数）	
	環境被害 <ul style="list-style-type: none"> <li>河川の水質悪化（環境流量の減少）</li> <li>自然生態系の劣化（被害面積）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>（同上）</li> <li>廃水管理の強化</li> </ul>
- 間接被害	経済被害（営業停止事業所・工場数）	<ul style="list-style-type: none"> <li>施設的対策の多重化（代替施設の投入）</li> </ul>
人的被害	上水供給影響地区内の人口	<ul style="list-style-type: none"> <li>上水道施設の改善（送水効率向上他）</li> <li>構造物対策の多重化（代替施設の投入）</li> </ul>
<b>&lt; 定性評価 &gt;</b>		
組織・制度の機能低下による被害	関連組織（渇水管理委員会等）および制度の能力（能力不足、機能不全の視点）	利水関連既存組織・制度の能力強化

（注） \* 既存施設の可能最適活用

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(2) 水資源管理の 5 本の柱に対するリスク

公共事業国民住宅省令 No.10/PRT/M/2015 によれば POLA の中で水資源管理の 5 つの柱について検討される。5 つの柱とは

- 1) 水資源保全
- 2) 水資源利用
- 3) 洪水制御
- 4) 水資源情報システム
- 5) 共同体や経済界の参加

表 5.5.8 に 5 つの柱における 1) 想定される将来状況と 2) 想定される将来状況におけるリスクを示す。

表 5.5.8 想定される将来の状況およびリスク

1. 水資源の保全

項目	想定される将来の状況	想定される将来のリスク
水資源の保護・保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 州政府が森林保全を計画しても、違法伐採は止められない。</li> <li>・ 傾斜部の植被は、気候変動により裸地に代わる可能性がある。斜面の植生が長期干ばつにより枯れる可能性が高い。</li> <li>・ 洪水時のピーク流量は、気候変動により現在よりも大きくなる。</li> </ul>	以下の現在気候におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 保水機能の低下</li> <li>・ 土砂生産量の増加</li> <li>・ 森林の傾斜部が徐々に裸地へと変化。その際には、洪水のピーク流量が大きくなり、地下水の涵養量が減少する。</li> <li>・ 裸地でのガリー侵食の発生。</li> </ul>
水の保全	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 河川施設の更なる建設は、生態系の分断、生息地への影響を与える。水の流れ、河岸の位置が変わる事や、河床が干上がると言った事が起こる可能性がある。</li> <li>・ 洪水、渇水、水温上昇は、生態系(生息地、季節的な移動、生活サイクル等々)に影響する可能性がある。</li> <li>・ 河川状況の変化は、外来種の侵入を加速させる可能性がある。</li> <li>・ 利用可能な地下水賦存量が違法取水及び気候変動の影響で減少する。</li> </ul>	以下の現在気候におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 渇水発生頻度の増加</li> <li>・ 利用可能な地下水が乾季中に減少する場合は、渇水の可能性が増加する。</li> </ul>
水質管理及び水質汚染制御	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ (ピーク流量及び降雨の増加により)農地の肥料や堆砂と言った、点源ではない所からの汚染が増加する。</li> <li>・ (渇水により)低流量時の濃縮効果により水質が低下する。</li> <li>・ 工場からの流出、農業の肥料、人からの汚水の増加により、水質が悪化する。</li> <li>・ 水質悪化により、魚へのダメージが増加する可能性が高くなる。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 飲料水に対する健康リスク</li> <li>・ 上工水の水質悪化</li> <li>・ 河川の生態系へのダメージの可能性</li> </ul>

2. 水資源利用

項目	想定される将来の状況	想定される将来のリスク
水資源管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 利用可能な地下水賦存量が違法取水及び気候変動の影響で減少する。</li> <li>・ 現状よりも貯水池容量が減少する。</li> <li>・ 貯水池内の温度躍層がより簡単に形成され、貯水池の水質が悪化する(富栄養化)。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 渇水頻度の増加</li> <li>・ ダムの洪水調節容量の減少及びピーク流量の増加により洪水時の貯水池からの放流量が増加する。</li> <li>・ 貯水池内の水質悪化</li> </ul>
水資源の供給	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 利水の面で、供給サイドの利水安全度が確保出来なくなり、この状況が深刻化する。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 貯水池上流からの流入土砂が、</li> </ul>

項目	想定される将来の状況	想定される将来のリスク
	<ul style="list-style-type: none"> <li>土砂流入量が現状よりも増加する。</li> <li>河川の乾季流量が減少する。</li> </ul>	有効貯水容量部に堆積するため、貯水池からの供給量が減少する。
水資源の利用	<ul style="list-style-type: none"> <li>乾季流量が減少する。</li> <li>貯水池容量が、現状よりも小さくなる。</li> <li>地下水開発可能量が減少する。</li> <li>表流水及び地下水の水質が悪化する。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>計画値よりも作付け率が減少する。</li> <li>水質悪化が発生する。</li> </ul>
既存水資源開発計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>幾つかの計画ダム建設が予算の問題で実施されていない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>この項目は概念的な評価となるため、評価の対象から除外する。</li> </ul>
新規水資源開発計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>既存水資源開発計画が完了していない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>この項目は概念的な評価となるため、評価の対象から除外する。</li> </ul>

## 3. 洪水制御

項目	想定される将来の状況	想定される将来のリスク
防災	<ul style="list-style-type: none"> <li>異常洪水により、しばしば破堤する。</li> <li>流入土砂量の増加により、ダムの洪水調節容量が減少する。また、洪水時の流入量も増加する。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>洪水氾濫の発生</li> <li>洪水時の各ダムからの放流量の増加</li> </ul>
災害救助	<ul style="list-style-type: none"> <li>人口予測によれば、将来は現在よりも老人の比率が増加する。これは、避難所に避難するための支援が必要となることを意味する。</li> <li>気候変動の影響で、ピーク流量が現在よりも大きくなる。また、洪水頻度が高くなる。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>水防団のスキルが高くないため、洪水氾濫が発生する（堤防補強等の作業スキル不足）。</li> <li>避難の遅れや避難を行わないことにより、死傷者が発生する。</li> <li>避難回数の増加</li> <li>堤防からの越水回数の増加</li> <li>氾濫域が現在よりも広がる</li> </ul>
災害復旧	<ul style="list-style-type: none"> <li>堤防、公共インフラ、家屋、工場、農作物への被害が増加する。復旧作業の規模も拡大する。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>堤防破損個所からの浸水の可能性が増加する。</li> <li>堤防、公共インフラの損傷エリアがより広がる。</li> <li>復旧、復興予算の増加</li> </ul>

## 4. 水資源情報システム

項目	想定される将来の状況	想定される将来のリスク
水資源情報システム	<ul style="list-style-type: none"> <li>タイムリーにシステムやソフトウェアを更新できない。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>全ての水資源管理データをタイムリーにシステムに入力出来ない。</li> </ul>
管理組織	<ul style="list-style-type: none"> <li>データ管理システムは、現状と変わらない。</li> </ul>	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 <ul style="list-style-type: none"> <li>データ管理は、BBWS Brantasで実施されているが、データは他の関連機関から収集する事となる。BBWS Brantasと関連機関の</li> </ul>

項目	想定される将来の状況	想定される将来のリスク
		間のインターフェースが明らかになっていない。
水資源情報システム管理の組織及び人的資源の改善	・管理データは現在よりも大きなものになる。	以下の現在気候時におけるリスクがさらに悪化すると想定される。 ・データベースシステムのスペシャリストがほとんどいない。

5. 共同体及び企業への権限移譲及び改善

項目	想定される将来の状況	想定される将来のリスク
計画における共同体、企業の役割改善	・共同体、企業の役割改善等の状況は現状と変わらない。	現在気候時におけるリスクと同様である。想定される現在のリスクは以下のとおりである。 ・水資源開発計画に関する限定的な情報 ・これらの利害関係者が深刻に正、負のインパクトについて検討しない。
実施における共同体、企業の役割改善	・共同体、企業の役割改善等の状況は現状と変わらない。	現在気候時におけるリスクと同様である。想定される現在のリスクは以下のとおりである。 ・プロジェクトの実施は、影響を受ける水利用者達が土地収用費について合意に達せずしばしば遅れる。
モニタリングにおける共同体、企業の役割改善	・共同体、企業の役割改善等の状況は現状と変わらない。	現在気候時におけるリスクと同様である。想定される現在のリスクは以下のとおりである。 ・主水路からの漏水の発生により、農民グループが必要な水量を確保できない。 ・地下水の実際の揚水量を計測していない。

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(3) リスク

インドネシアとしては水資源管理に対する 5 つの柱を考えているが、ここでは 2050 年の気候変動下の洪水および渇水リスクに対するレジリアンスの検討を行う。このため、5 つの柱のスクリーニングを行う。表 5.5.9 にリスク評価結果を示す。

表 5.5.9 気候変動下のリスク

1. 水資源保全

項目	ハザード	リスク	リスク評価インデックス	リスク評価
水資源の保護・保全	違法伐採	・保水機能の減少 ・流入土砂の増加	質的なリスク	このハザードは気候変動からの影響を受けない。
	洪水		質的なリスク	気候変動下では、このリスクはより深刻な状況となる。
	渇水		質的なリスク	気候変動下では、このリスクはより深刻な状況となる。
水の保全	違法伐採	・渇水頻度の増加	質的なリスク	このハザードは気候変動からの

項目	ハザード	リスク	リスク評価インデックス	リスク評価
	採		ク	影響を受けない。
	渇水		質的なリスク	地下水賦存量は、違法伐採のみならず気候変動下の深刻な気候状況により減少すると想定される。
水質管理及び水質汚染制御	工場排水	<ul style="list-style-type: none"> <li>表流水利用による健康被害の可能性</li> <li>魚への被害の可能性</li> </ul>	質的なリスク	このハザードは気候変動からの影響を受けない。
	下水		質的なリスク	このハザードは気候変動からの影響を受けない。
	洪水		質的なリスク	洪水時に肥料や農薬が河川に流入する。気候変動により降雨強度が増大すると、これらの流入量が増加し、水質悪化が考えられる。しかしながら、川に溶け込んでいる農薬の測定は難しい。
	渇水		質的なリスク	気候変動下、乾季に川の希釈水が減少する。この影響は、健康被害、魚に影響を及ぼすと考えられる。

## 2. 水資源利用

項目	ハザード	リスク	リスク評価インデックス	リスク評価
水資源管理	不法取水	<ul style="list-style-type: none"> <li>渇水頻度の増加</li> </ul>	質的なリスク	気候変動下の地下水賦存量減少によりリスクはより深刻となると想定される。 このリスクは、政府が新規貯留施設を作るまで改善されないと考えられる。
	渇水		作付面積 (ha) 上工水 (l/s) 発生電力量 (GWh)	気候変動下で利用可能な全体量は減少すると想定されるが、リスクは水収支計算から評価される。 水収支計算による評価は、渇水に関する全ての項目(上工水不足、農業用水不足)に対して示される。
水資源の供給	渇水	貯水池からの供給量の減少	作付面積 (ha) 上工水 (l/s) 発生電力量 (GWh)	貯水池への土砂流入により年々貯水池容量が減少する。土砂流入は気候変動により増加すると想定される。 リスクは水収支計算結果から評価される。
水資源の使用	渇水	渇水頻度の増加		リスクは水収支計算結果から評価される。 水収支計算による評価は、渇水に関する全ての項目に対して示される。
既存水資源開発計画	洪水及び渇水	<ul style="list-style-type: none"> <li>渇水頻度の増加</li> <li>開発スケジュール</li> </ul>	質的なリスク	もしこれらの提案された構造物が2050年まで建設されなければ、

項目	ハザード	リスク	リスク評価インデックス	リスク評価
		の遅れ(予算措置の問題)		水不足は発生するであろうし、洪水のピーク流量は大きくなる。リスクはこれらすべての計画された構造物が建設されるまで改善されない。
新規水資源開発計画	洪水及び渇水	・ 全ての既存水資源開発計画が完了するまでは不確実である。	質的なリスク	新規水資源開発が気候変動下の条件で計画され、実施されるまでリスクは改善されない。

## 3. 洪水制御

項目	ハザード	リスク	リスク評価インデックス	リスク評価
防災	構造物の不良状態	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水氾濫回数の増加</li> <li>洪水時の各ダムからの放流量の増加</li> </ul>	質的なリスク	このリスクは、地方及び中央政府が構造物のモニタリングやリハビリを実施するまで改善されないと考えられる。
	洪水防御構造物の維持管理不足		質的なリスク	堤防に関するリスクは、地方及び中央政府が堤防の定期検査や補修を実施するまで改善されない。貯水ダムのリスクは、PJT-I が新しい貯水池運用ルールや流入土砂に対する対策を決めるまで改善されない。
	避難所の不十分な状況		質的なリスク	避難所に関するリスクは、地方政府が全ての避難所の洪水時の氾濫状況(避難所が氾濫域に位置するか否か)及び建物の状況、備蓄状況を検討するまで改善されない。
	洪水		影響家屋数(軒) 農地の氾濫面積(ha) 影響人口(人)	リスクは、氾濫解析結果から評価される。しかしながら、氾濫解析評価結果は洪水に関する全ての項目に対して示される。この解析結果は、便宜上項目ごとに分けて整理を行う。
災害救助	洪水	<ul style="list-style-type: none"> <li>死傷者数の増加</li> </ul>	質的なリスク	避難誘導を行う人の未熟なスキルに対するリスクは、死傷者の増加を引き起こす。
			老人と子供の数	要支援者(老人、子供等)を避難所に避難させることは難しい。人口の年齢構成の予測によれば、老人が増加する。避難リスクは、彼らの数から評価される。
災害復旧	洪水	<ul style="list-style-type: none"> <li>洪水被害の増加</li> </ul>	影響家屋数(軒) 農地の氾濫面積(ha) 影響人口(人)	リスクは、氾濫解析結果から評価される。しかしながら、氾濫解析評価結果は洪水に関する全ての項目に対して示される。この解析結果は、便宜上項目ごとに分けて整理を行う。

#### 4. 水資源情報システム

項目	ハザード	リスク	リスク評価インデックス	リスク評価
水資源情報システム	組織	・他の関連機関は、水資源管理に関連するデータ入力および収集を実施していない。	質的なリスク	関連機関は、BBWS Brantas 内の水資源情報システムの利用を決定している。 BBWS Brantas はタイムリーにデータ及びシステムを更新すべきである。 BBWS Brantas はホームページを通じてデータ共有を考えているがまだ作成中である。
管理組織	組織	・各関連組織のこのシステムに関する責任者が明確ではない。 ・データベースシステムの更新	質的なリスク	誰がデータ収集を行い誰がシステムに入力するのか明らかではない。
水資源情報システム管理の組織及び人的資源の改善	組織	・BBWS Brantas 内の要員不足	質的なリスク	データベース専門家の雇用が困難。

#### 5. 共同体及び企業への権限移譲及び改善

項目	ハザード	リスク	リスク評価インデックス	リスク評価
計画における共同体、企業の役割改善	制限された情報	・オーナーシップに対する感覚があまりない	質的なリスク	彼らの中の利害の対立の調整が難しい。水資源・河川流域管理機関の会議を通じた彼らの要求の調整が必要。
実施における共同体、企業の役割改善	制限された情報	・オーナーシップに対する感覚があまりない	質的なリスク	彼らは実施機関を支援していない。裨益者は実施機関を支援すべきである。
モニタリングにおける共同体、企業の役割改善	制限された情報	・オーナーシップに対する感覚があまりない	質的なリスク	彼らは、水資源管理施設からの裨益を被っているが、それらの施設に対するオーナーシップの感覚がない。彼らは、モニタリングの一部を支援すべきである。

出典：JICA プロジェクトチーム 2

##### 1) 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 5.5.10 に渇水状況の被害を示す。

表 5.5.10 渇水被害

シナリオ	作付面積 (ha)			作付け率 (%)	上工水 (m <sup>3</sup> /s)	発生電力量 (GWh)
	本川	支川	合計			
現在	166,455	77,350	243,805	224	29.5	877
将来						
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

2) 洪水リスクのスクリーニング

主要なリスクは、構造物の越流である。それゆえ、以下にリスクの整理を示す。

(a) Porong 川

表 5.5.11 に現在気候および将来気候による越流箇所を示す。

表 5.5.11 越流部の位置

位置	河口からの距離 (km)	現在	将来		
			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

New Lengkong 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。

(b) 他の支川

表 5.5.12 に将来気候における想定される年平均被害を示す。

表 5.5.12 洪水リスク

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

### 3) 選定されたリスクに対するレジリアンス

#### (a) レジリアンス

利水に対する水資源管理は、既存構造物の運用が考えられる。もし水供給が厳しい状況ならば、水供給管理および水需要管理が考えられる。需要管理は灌漑用水および上工水に対して実施される。レジリアンスとして考えうる項目は、下記のとおりである。

#### a) 灌漑需要管理

- 品種改良 (耐高温や高収量)
- SRI (集約的水稻栽培法) の導入
- リアルタイムオペレーションの導入
- 作付け暦の変更

#### b) 上工水需要管理

- 上工水に対する原単位の抑制
- 工場における水のリサイクルシステム導入

表 5.5.13 にブランタス川流域の定性的なリスクとレジリアンスを示す。

表 5.5.13 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。 <sup>*1</sup>
	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)	・ 乾季の常時満水位の変更 <sup>*2</sup> ・ 維持浚渫の実施 <sup>*1</sup> ・ フラッシング及びスルーシングの実施 <sup>*1</sup>
	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 <sup>*2</sup> ・ 各ダムの経年貯留の容認 <sup>*2</sup> ・ ブランタス川流域のダム群の貯水池最適運用 <sup>*2</sup> ・ 表流水から地下水への水源変更 <sup>*2</sup>
洪水	3.1 防災	・ 洪水氾濫回数が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 <sup>*1</sup>	・ 各ダムの計画と同様の洪水調節容量を確保(洪水位を低下させる) <sup>*2</sup>
	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 <sup>*1</sup>	・ 避難誘導スタッフの能力強化の実施 <sup>*1</sup> ・ ハザードマップ、避難ルート図を作成 <sup>*1</sup> ・ 要支援者の把握 <sup>*1</sup> ・ 水防団の能力強化 <sup>*1</sup> ・ 洪水世警報システムの精度向上 <sup>*1</sup>
	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 <sup>*1</sup>	

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

(b) レジリアンスの評価

表 5.5.9 のレジリアンスは、定性的および定量的評価を示している。レジリアンスの定量的評価項目を表 5.5.14 に示す。

表 5.5.14 レジリアンスの定量的対策項目

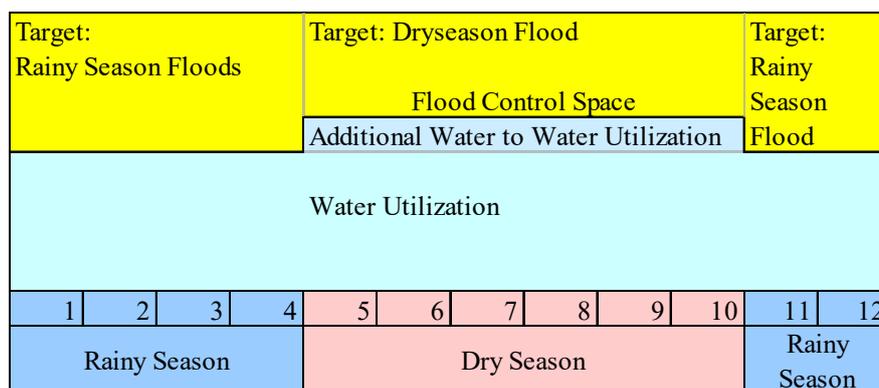
ハザード	項目	レジリアンス (対策)
渇水	2.2 水資源の供給	・ 乾季における各ダムの常時満水位の変更 (制限水位方式)
	2.3 水資源の使用	・ Sutami ダムにおける運用水位と最低水位間の貯水の利用 ・ 各ダムにおける経年貯留の容認 ・ ブランタス川流域における貯水地運用の最適化
洪水	3.1 防災	・ 各ダムにおける洪水調節容量を計画通りに確保する (洪水位を下げる)

出典：JICA プロジェクトチーム 2

(4) Sutami ダムに対する制限水位方式

1) 渇水に対する制限水位方式

ソロ河上流に位置する Wonogiri ダムは、ジャワ島の気候特性から制限水位方式を採用している。この方法は、雨季および乾季の2種類の水位を適用する(図 5.5.2 参照)。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 5.5.2 制限水位方式の概念図

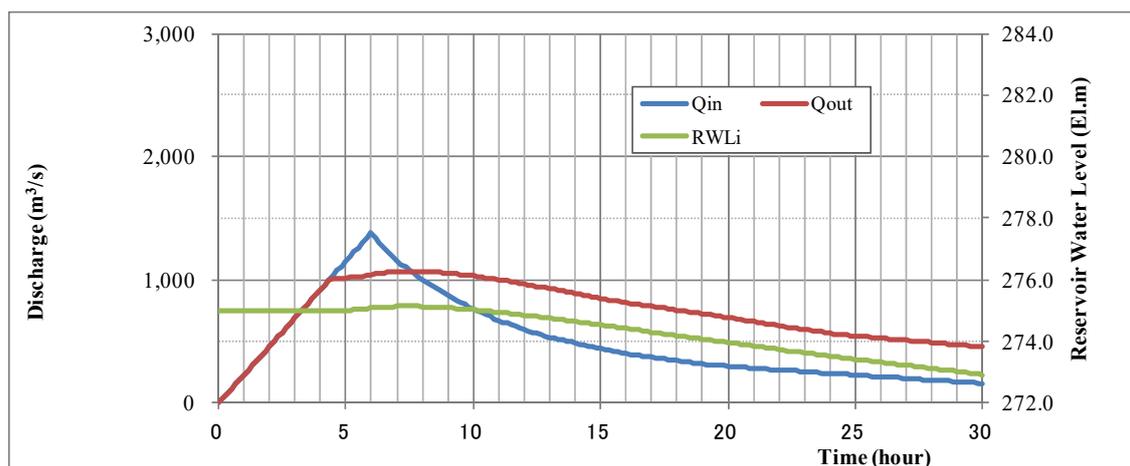
(a) 制限水位

Sutami ダムへの適応として、乾季の洪水流量を評価し、乾季の洪水波形を雨季の洪水波形を調整することで作成した。表 5.5.15 および図 5.5.3 に乾季の洪水調節計算結果を示す。

表 5.5.15 乾季制限水位の結果

ケース	制限水位 (EL.m)	ピーク流量 (m <sup>3</sup> /s)	最高水位 (EL.m)	最大放流量 (m <sup>3</sup> /s)
0	272.50	1,380	273.76	630
1	273.00		274.01	700
2	274.00		274.49	831
3	274.90		275.07	1,041
4	275.00		275.14	1,070
原設計	常時満水位 272.50	3,450	洪水位 275.500	1,060

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 5.5.3 乾季洪水の洪水調節計算結果(ケース 3)

常時満水位(WL.272.50m)を乾季制限水位として WL.274.90m に上げる事が出来る。

(b) 水収支計算

レジリアンスとして以下の対策が考えられる。

- Sutami ダムの乾季制限水位を EL.274.9m とする。
- Sutami ダムの貯水を最低運用水位ではなく、最低水位まで利用する。
- 全てのダムで経年貯留を許容する。

将来気候に対して水収支計算を実施した結果を、表 5.5.16 に示す。

上記対策により、表 5.5.17 に示す様に灌漑用水が改善された。

表 5.5.16 レジリアンス検討結果

シナリオ	レジリアンス考慮せず			レジリアンス考慮		
	作付面積 (ha)	上工水 (m³/s)	発生電力量 (GWh)	作付面積 (ha)	上工水 (m³/s)	発生電力量 (GWh)
Medium	201,111	50.27	730	216,827	50.27	702
Low	262,803	50.40	767	272,031	50.40	752
High	156,448	46.73	657	164,651	46.73	634

出典：JICA プロジェクトチーム 2

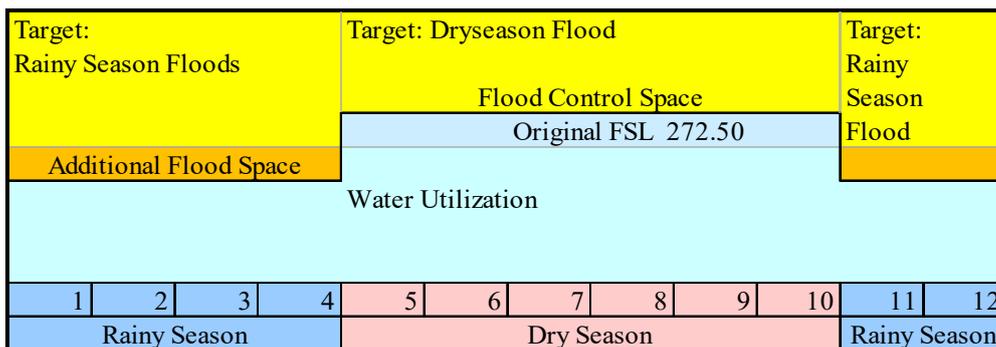
表 5.5.17 レジリアンスの効果

シナリオ	作付面積 (ha)	上工水 (m³/s)	発生電力量 (GWh)
Medium	15,716	0.00	-28
Low	9,228	0.00	-15
High	8,203	0.00	-23

出典：JICA プロジェクトチーム 2

2) 洪水に対する制限水位方式

貯水池への流入土砂量が浚渫土砂量よりも多いため、年々洪水調節容量は小さくなる。図 5.5.4 に雨季制限水位方式の概念図を示す。また、表 5.5.18 に解析結果を示す。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

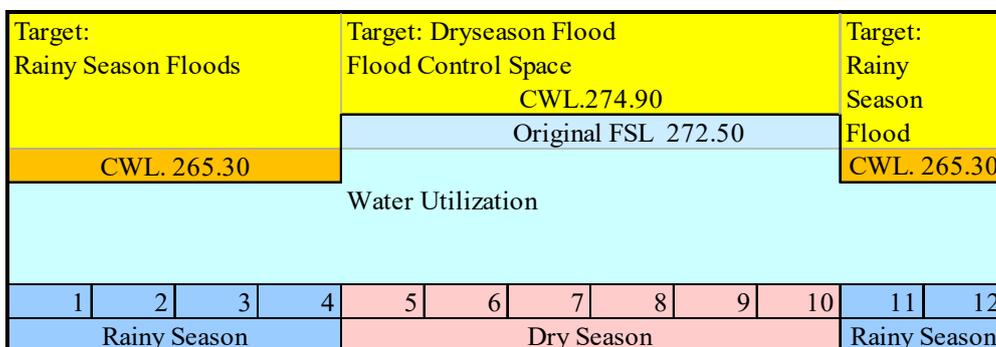
図 5.5.4 雨季制限水位の概念図

表 5.5.18 洪水調節計算結果

ケース	設計洪水位		異常洪水	
	常時満水位 (EL.m)	設計洪水位 (EL.m)	常時満水位 (EL.m)	異常洪水位 (EL.m)
原設計	272.50	275.50	272.50	276.63
Low	269.40		267.10	
Medium	268.30		265.30	
High	261.40		252.30	

出典：JICA プロジェクトチーム 2

表 5.5.18 によれば将来気候下(Medium シナリオ)では、雨季制限水位は EL. 265.30m となる。図 5.5.5 にレジリアンスを考慮した貯水池運用計画図を示す。



出典：JICA プロジェクトチーム 2

図 5.5.5 2050 年における Sutami ダムの貯水池運用計画図