

独立行政法人 国際協力機構（JICA）

フィリピン国
マニラ首都圏及び周辺地域における
水資源開発計画に係る基礎情報収集調査
（水収支解析等）

ファイナル・レポート
要 約

平成25年3月
（2013年）

日本工営株式会社
国立大学法人 東京大学

環境
JR
13-056

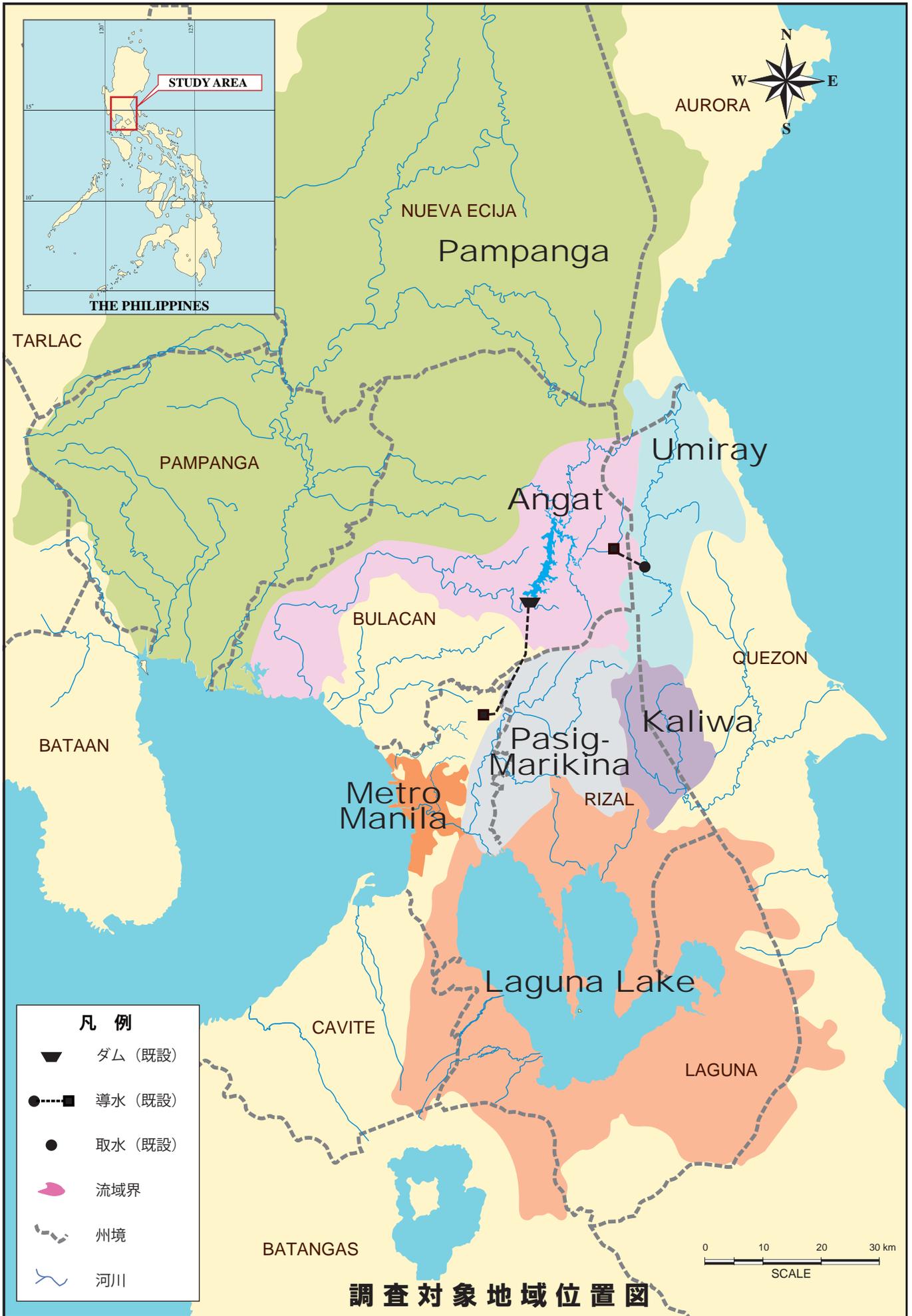
独立行政法人 国際協力機構（JICA）

フィリピン国
マニラ首都圏及び周辺地域における
水資源開発計画に係る基礎情報収集調査
（水収支解析等）

ファイナル・レポート
要 約

平成25年3月
（2013年）

日本工営株式会社
国立大学法人 東京大学



フィリピン国
マニラ首都圏及び周辺地域における
水資源開発計画に係る基礎情報収集調査
(水収支解析等)

ファイナルレポート

要約

目次

調査対象地域位置図

本文目次

表リスト

図リスト

略語集

本文目次

第1章 序論	1
1.1 調査の背景と典拠	1
1.2 調査の目的	2
1.3 調査対象地域	2
第2章 制度と組織	3
2.1 水分野に係わる法制度	3
2.2 水資源管理に係わる組織	3
2.3 水資源管理に係わる制度上の課題	4
第3章 社会と経済	6
3.1 行政区分	6
3.2 人口	6
3.3 経済状況	7
第4章 調査対象地域の環境と保全	8
4.1 環境保全に係わる政府の方針	8
4.2 水資源開発に影響をうける環境	8
第5章 都市用水需要	11
5.1 MWSS サービス地区の現状水利用	11
5.2 周辺地域における現在の水利用	14
5.3 MWSS サービスエリアの水需要予測	15
5.4 周辺地域の需要予測	20

第 6 章 灌漑用水需要予測	26
6.1 農業の現状	26
6.2 調査対象地域の灌漑事業	26
6.3 調査対象地域の将来灌漑事業	29
6.4 既存灌漑システムの問題点	29
6.5 灌漑用水量	31
6.6 気候変動が灌漑用水量に及ぼす影響	34
第 7 章 供給面の分析	35
7.1 気象・水文	35
7.2 地下水	53
7.3 給水事業	56
第 8 章 気候変動解析	60
8.1 排出シナリオと全球気候モデル GCM	60
8.2 GCM のバイアス補正	60
8.3 気候変動の影響評価	62
第 9 章 流出解析	63
9.1 流出モデルとデータ	63
9.2 流出モデルのキャリブレーション	63
9.3 水文環境に対する気候変動影響評価	64
9.4 気候変動に対する水資源の脆弱性評価	66
第 10 章 水収支解析	72
10.1 アンガット川流域	72
10.2 アゴス川流域	74
10.3 マニラ首都圏における水需給バランス	77
10.4 マニラ首都圏における水需給バランスー気候変動の影響	79
10.5 マニラ首都圏における水需給バランス：水需要予測及び気候変動影響予測の組み 合わせ	83
第 11 章 調査対象地域の水資源管理に係る診断	87
11.1 診断によって浮き彫りにされた課題	87
11.2 提案されたプロジェクトの効果	90
第 12 章 提案されたプロジェクトの効果	95
12.1 水資源プロジェクトの評価	95
12.2 評価軸の選定	95
12.3 評価のための項目の選定	96
12.4 項目別プロジェクトの効果	97
12.5 配点表と評価結果	99
第 13 章 結論および提言	104
13.1 結論	104
13.2 提言	106

表リスト

表 3.1	水源と州	6
表 3.2	MWSS サービスエリアの人口	6
表 3.3	周辺地域の人口予測	7
表 3.4	調査対象地域 GDP 増加率 (%)	7
表 4.1	流域別保護地域	8
表 4.2	保護地域別 II 類以上に指定されている種数	8
表 5.1	西地区 (MWSI) のカテゴリー別有収水量 (単位: 百万 m ³ /年)	11
表 5.2	東地区 (MWCI) のカテゴリー別有収水量 (単位: 百万 m ³ /年)	11
表 5.3	MWSS サービス地区の有収水量概要	12
表 5.4	東地区 (MWCI) における一人当たり水使用量計算	13
表 5.5	西地区 (MWSI) における一人当たり水使用量計算	13
表 5.6	家庭用水の 1 人当り使用水量(lpcd: l/capita/day)	14
表 5.7	現在の非家庭用水需要の試算	15
表 5.8	UP-NEC と世銀の需要予測結果 (MLD : 百万リットル/日).....	16
表 5.9	MWSS サービス地域の給水対象人口予測.....	17
表 5.10	MWSS サービス地域の給水率目標.....	17
表 5.11	MWSS サービス地域の NRW 率の目標値.....	17
表 5.12	MWSS サービス地域の基本ケースにおける合計給水需要量.....	17
表 5.13	非家庭水量の需要予測 (年 0%増加)	17
表 5.14	非家庭水量の需要予測 (年 4%増加)	18
表 5.15	2 地区の合計 NRW 率	18
表 5.16	非家庭用水の需要予測 (NRW 含む)	18
表 5.17	MWSS サービス地域の合計需要予測結果.....	19
表 5.18	MWSS の正式な水需要予測	20
表 5.19	調査地域の施設レベル 1 ~ 3 の給水率割合.....	21
表 5.20	家庭用水の 1 人当り水使用量 (lpcd)	21
表 5.21	周辺地域における河川流域毎の家庭用水の需要予測.....	22
表 5.22	河川流域毎の非家庭用水の需要予測.....	23
表 5.23	河川流域毎の周辺地域の合計水需要予測 (m ³ /sec)	24
表 5.24	2012 年における想定表流水需要	24
表 5.25	表流水需要 (ケース 1)	25
表 5.26	表流水需要 (ケース 2)	25
表 6.1	調査対象地域内の既存国営灌漑システム.....	26
表 6.2	実施中の NIS 開発プロジェクト	27
表 6.3	開発が予定されている NIS	27
表 6.4	調査対象地域内の機能している CIS	28
表 6.5	調査対象地域内の既存小規模灌漑地区.....	28
表 6.6	調査対象地域内の新規小規模灌漑地区.....	29
表 6.7	現在および将来の灌漑面積	29
表 6.8	州毎の単位灌漑用水量	31
表 6.9	現状の NIS 灌漑用水量	31

表 6.10	将来の NIS 灌漑用水量	32
表 6.11	現状の CIS 灌漑用水量	32
表 6.12	将来の CIS 灌漑用水量	32
表 6.13	現在の SSI 灌漑用水量	33
表 6.14	将来の SSI 灌漑用水量	33
表 6.15	地下水灌漑・水産・畜産水需要	33
表 6.16	気温と蒸発散量の関係	34
表 7.1	アンガット川の流域面積及び流域平均雨量	37
表 7.2	アンガット川の主要地点における平均流量（疑似自然流況）	38
表 7.3	パンパンガ川の流域面積及び流域平均雨量	39
表 7.4	パンパンガ川の主要地点における平均流量（疑似自然流況）	40
表 7.5	アゴス川の主要地点における平均流量	41
表 7.6	ラグナ湖の水収支	44
表 7.7	アンガット貯水池の運用ルール	46
表 7.8	パンタバンガン貯水池の運用ルール	51
表 7.9	揚水実績（2011 年 12 月）	54
表 7.10	地下水の揚水可能量	54
表 7.11	コンセッショネア 2 社のサービス地区概要	56
表 7.12	マニラ首都圏の水源地	57
表 7.13	浄水場の概要	58
表 7.14	配水施設の概要	59
表 9.1	WEB-DHM 境界条件として必要となるその他の気象データ	63
表 9.2	パッシング-マリキナ川流域での渇水指標評価結果	67
表 9.3	ウミライ川流域での渇水指標評価結果	67
表 9.4	アゴス川流域での渇水指標評価結果	67
表 9.5	ラグナ湖周辺流域の渇水指標の評価結果	68
表 10.1	アンガット川流域の水資源による持続可能な水供給と水需要との比較	74
表 10.2	2037 年までの水資源開発（マニラ首都圏水需要予測のバッファーなし）	78
表 10.3	2037 年までの水資源開発（マニラ首都圏水需要予測のバッファーあり）	79
表 10.4	マニラ首都圏水供給のための水資源開発（気候変動影響あり）	80
表 10.5	水供給能力の比較（気候変動影響なし・あり）	81
表 10.6	2037 年までの水資源開発（気候変動影響あり、“mirc3_2_medres”）	82
表 10.7	水需要予測及び気候変動影響予測の組み合わせ	84
表 10.8	2037 年までの水供給能力増加（最小・最大）：ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ	84
表 10.9	2037 年までの水供給能力増加（最小・最大）：アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ	85
表 12.1	技術委員会で決めた各軸の評価項目	97
表 12.2	経済軸に対するプロジェクトの効果	98
表 12.3	財務軸に対するプロジェクトの効果	98
表 12.4	環境軸に対するプロジェクトの効果	98
表 12.5	社会軸に対するプロジェクトの効果	99
表 12.6	配点表	100
表 12.7	経済軸に関する得点	101
表 12.8	財務軸に関する得点	101
表 12.9	環境軸に関する得点	101

表 12.10	社会軸に関する得点	101
表 12.11	プロジェクトの評価 (GMI)	102
表 12.12	評価したプロジェクトの効果	102

図リスト

図 5.1	有収水量の過去の傾向	12
図 5.2	水道事業の合計接続数	12
図 5.3	家庭用水の一人当たり水使用量	14
図 5.4	UP-NEC と世銀調査の需要予測結果比較	16
図 5.5	非家庭用水の需要予測 (NRW 含む)	18
図 5.6	MWSS サービス地域の合計水需要量予測	19
図 5.7	MWSS サービス地域の総水需要量の予測比較	19
図 5.8	MWSS の正式な水需要予測	20
図 5.9	各種需要予測結果の比較	20
図 5.10	河川流域毎の家庭用水の需要予測	22
図 5.11	河川流域毎の周辺地域の家庭用水量の需要予測	23
図 5.12	周辺地域の河川流域毎の合計水需要予測	24
図 7.1	調査対象地域の降雨	35
図 7.2	調査対象地域の気温	36
図 7.3	アンガット川流域の位置図	37
図 7.4	アンガット川の主な河川流量推定地点	38
図 7.5	ウミライ川流域	38
図 7.6	取水地点における降雨量 (2000~2010)	39
図 7.7	パンパンガ川流域の位置図	39
図 7.8	パンパンガ川の主な河川流量推定地点	40
図 7.9	アゴス川流域の位置図	41
図 7.10	アゴス川流域の等雨量線図	41
図 7.11	アゴス川の主な河川流量推定地点	41
図 7.12	パッシングーマリキナ川流域の位置図	42
図 7.13	パッシングーマリキナ川流域の等雨量線図	42
図 7.14	パッシングーマリキナ川流域の水文観測所位置図	42
図 7.15	ラグナ湖流域の位置図	43
図 7.16	ラグナ湖流域の等雨量線図	43
図 7.17	ラグナ湖の水位 (Looc, Cardona, Rizal)	43
図 7.18	アンガット貯水池の概要	44
図 7.19	アンガット貯水池の容量配分	45
図 7.20	アンガット貯水池への年平均流入量	45
図 7.21	アンガット貯水池の月末貯水位 (2006~2010)	46
図 7.22	貯水位がルールカーブ (低) 及び下限値 EL180m を下回った月数	47
図 7.23	アンガット貯水池からの放流ルート	47
図 7.24	アンガット貯水池からの放流量	48
図 7.25	アンガット貯水池からの導水システム概念図	49
図 7.26	パンタバンガン貯水池の概要	50
図 7.27	パンタバンガン貯水池の容量配分	50

図 7.28	パンタバンガン貯水池への年平均流入量.....	51
図 7.29	パンタバンガン貯水池の月末貯水位（2006～2010）	51
図 7.30	パンタバンガン貯水池周辺の発電所.....	52
図 7.31	パンタバンガン貯水池からの放流量.....	52
図 7.32	水理地質図	53
図 7.33	地下水面標高分布図	55
図 7.34	コンセッショネア 2 社の給水エリアと主要浄水場位置.....	56
図 7.35	MWSS サービス地区の導水施設概要.....	57
図 9.1	キャリブレーション例（パッシング-マリキナ）	63
図 9.2	アンサンブル平均流況曲線での現状から将来 2040 年気候への変化（アンガット、パンパンガ、パッシング-マリキナ）	64
図 9.3	アンサンブル平均流況曲線での現状から将来 2040 年気候への変化（ウミライ、アゴス、ラグナ湖）	65
図 9.4	パッシング-マリキナ川流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較.....	68
図 9.5	ウミライ川流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較.....	69
図 9.6	アゴス川流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較.....	69
図 9.7	ラグナ湖周辺流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較.....	70
図 9.8	年間流況曲線の各ランクごとでの変動係数(CV)の評価結果.....	71
図 10.1	アンガット川流域の水資源（表流水）	72
図 10.2	世銀調査によるロードマップ（シナリオ 1 及び 2）	73
図 10.3	将来必要となるアゴス川流域の水資源開発による水供給能力の増加.....	75
図 10.4	ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ.....	76
図 10.5	アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ.....	77
図 10.6	2037 年までの水需給バランス（マニラ首都圏水需要予測のバッファーなし）	78
図 10.7	2037 年までの水需給バランス（マニラ首都圏水需要予測のバッファーあり）	79
図 10.8	マニラ首都圏水供給のための水資源開発（気候変動影響あり）	80
図 10.9	2037 年までの水需給バランス（気候変動影響あり）	82
図 10.10	2037 年までの水需給バランス（気候変動影響あり、“miroc3_2_medres”）	83
図 10.11	水需要予測及び気候変動影響予測の組み合わせによる水需給バランス：ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ.....	85
図 10.12	水需要予測及び気候変動影響予測の組み合わせによる水需給バランス：アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ.....	86
図 11.1	MWSS 管轄区域における問題分析結果.....	91
図 11.2	アンガット川流域の問題分析結果.....	92
図 11.3	パンパンガ川流域の問題分析結果.....	93
図 11.4	パッシング・マリキナ川流域およびラグナ湖流域の問題分析結果.....	94

略語集

AMRIS	Angat-Maasim River Irrigation System アンガット・マアシム河川灌漑システム
AR4	Forth Assessment Report (気候変動に関する政府間パネル) 第4次評価報告書
BEMs	Business Efficiency Measures ビジネス効率化対策
BOT	Build-operate-transfer 建設・運営管理・移転
BRL	Bureau of Research and Laboratories 研究検査局
BRS	Bureau of Research and Standards 研究規格局
BSWM	Bureau of Soils and Water Management 土壌水管理局
BWSA	Barangay Waterworks and Sanitation Association バランガイ上下水道協会
CA	Concession Agreement コンセッション契約
CAG	Corporate Affairs Group 国営企業グループ
CARP-IC	Comprehensive Agrarian Reform Program, Irrigation Component 総合農地改革プログラムー灌漑コンポーネント
CIS	Communal Irrigation System 共同灌漑システム
CMIP-IC	Casecnan Multi-purpose Project - Irrigation Component カセクナン多目的灌漑発電計画
CMIP3	Phase 3 of Coupled Model Inter-comparison Project 第3次結合モデル相互比較プロジェクト
CPC	Certificate of Public Convenience 公益事業証書
DA	Department of Agriculture 農業省
DAO	Department Administrative Order 省令
DAR	Department of Agrarian Reform 農地改革省
DBM	Department of Budget and Management 予算管理省
DD	Diversion Dam 取水堰
DEM	Digital Elevation Model 数値標高モデル
DENR	Department of Environment and Natural Resources 環境天然資源省
DIAS	Data Integration and Analysis System データ統合・解析システム
DILG	Department of Interior and Local Government 内務地方政府省
DOF	Department of Finance 財務省
DOH	Department of Health 保健省
DPWH	Department of Public Works and Highways 公共事業道路省

ECC	Environmental Compliance Certificate 環境適合証明
EDITORIA	The University of Tokyo Earth Observation Data Integration and Fusion Research Initiative 東京大学地球観測データ統融合連携研究機構
EHS	Environmental Health Services 環境保健サービス
EIA	Environmental Impact Assessment 環境影響評価
EMB	Environmental Management Bureau 環境管理局
EO	Executive Order 行政命令
EPIRA	Electric Power Industry Reform Act 電力産業改革法
FAO	Food and Agriculture Organization 国際連合食料農業期間
FMB	Forest Management Bureau 森林管理局
FPIC	Free and Prior Informed Consent 先住民の十分な参加と説明に基づく合意
FTA	Fault-tree-analysis
GAA	General Appropriations Act 一般歳出予算法
GCM	General Circulation Model 全球気候モデル
GDP	Gross Domestic Products 国内総生産
GIS	Groundwater Irrigation System 地下水灌漑システム
GOCC	Government Owned and Controlled Corporation 政府所有管理法人
GOP	The Government of the Philippines フィリピン政府
GRDP	Gross Regional Domestic Products 地域総生産
H-Q	Water Level – Discharge 水位－流量
IA	Irrigation Association 灌漑組合/水利組合
ICC	Investment Coordination Committee 投資調整委員会
ICC/IP	Indigenous Cultural Communities/Indigenous Peoples 先住民文化コミュニティ
IMT	Irrigation Management Transfer 灌漑管理委譲
INFRACOM	NEDA Board Committee on Infrastructure 国家経済開発庁インフラ委員会
IPCC	Inter-governmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル
IPRA	The Indigenous Peoples’ Rights Act of 1997 先住民権利法
IRA	Internal Revenue Allotment 内部収益配分
IRR	Implementing Rules and Regulations 実施規則規定
IWRM	Integrated Water Resources Management 統合的水資源管理

JICA	Japan International Cooperation Agency 国際協力機構
KPIs	Key Performance Indicators 主要運用効果指標
LAI	Leaf Area Index 葉面積指数
LGU	Local Government Units 地方政府ユニット
LLDA	Laguna Lake Development Authority ラグナ湖開発庁
LPCD	Litter Per Capita Per Day リットル/人/日
LWUA	Local Water Utility Administration 地方水道公益企業庁
MCM	Million Cubic Meter 百万立方メートル
MERALCO	Manila Electric Company マニラ電力会社
MGSB	Mines and Geo-science Bureau 鉱山地圏科学局
MLD	Million Litter per Day 百万リットル/日
MMDA	Metro Manila Development Authority マニラ首都圏開発庁
MRIIS	Magat River Integrated Irrigation System マガット川統合灌漑システム
MTPDP	Medium-term Philippine Development Plan 中期開発計画
MWCI	Manila Water Company, Inc. マニラ・ウォーター社
MWSI	Maynilad Water Services, Inc. マニラッド社
MWSS	Metropolitan Waterworks and Sewerage System マニラ首都圏上下水道公社
MWSS-RO	MWSS Regulatory Office マニラ首都圏上下水道公社規制監督部
NAMRIA	National Mapping and Resource Information Authority 国土地理資源情報庁
NAPC	National Anti-Poverty Commission 国家貧困対策委員会
NASA	National Aeronautics and Space Administration 米国航空宇宙局
NCIP	National Commission on Indigenous Peoples 国家原住民委員会
NCR	National Capital Region 国家首都地域
NEDA	National Economic Development Agency 国家経済開発庁
NIA	National Irrigation Administration 国家灌漑管理公社
NIPAS	National Integrated Protected Areas 全国統合保護地域制度
NIS	National Irrigation System 国営灌漑システム
NPC	National Power Corporation 国家電力公社
NRW	Non-revenue Water 無収水

NSCB	National Statistical Coordination Board 国家統計調整評議会
NSO	National Statistics Office 国家統計局
NWRB	National Water Resources Board 国家水資源委員会
NWRC	National Water Resources Council 国家水資源評議会
NWRMC	National Water Resources Management Council 国家水資源管理委員会
O&M	Operation and Maintenance 運営維持管理
OPDS	Project Development Services (内務地方政府省) プロジェクト開発サービス
PAGASA	Philippine Atmospheric, Geophysical and Astronomical Services Administration フィリピン気象地球物理宇宙庁
PAWB	Protected Areas and Wildlife Bureau 保護区野生生物局
PD	Presidential Decree 大統領令
PDRIS	Pampanga Delta River Irrigation System パンパンガ・デルタ河川灌漑システム
PhP	Philippine Pesos フィリピンペソ
PIDP	Participatory Irrigation Development Project 参加型灌漑開発プロジェクト
PIS	Private Irrigation System 民間灌漑システム
PMO-MFCP	Project Management Office - Major Flood Control Projects プロジェクト管理事務所－洪水対策プロジェクト
PMO-RWS	Project Management Office - Rural Water Supply プロジェクト管理事務所－農村給水
PMO-SWIM	Project Management Office - Small Water Impounding Projects プロジェクト管理事務所－小規模ため池プロジェクト
PNSDW	Philippine National Standards for Drinking Water フィリピン飲料水国家基準
PPP	Public-private-partnership 官民パートナーシップ
PSALM	Power Sector Assets and Liabilities Management 電力セクター資産負債管理会社
RA	Republic Act 共和国法
RAP	Resettlement Action Plan 住民移転計画
RBO	River Basin Organization 河川流域組織
RDC	Regional Development Council 地域開発評議会
RIS	River Irrigation System 河川灌漑システム
RPF	Regional Physical Framework Plan 地域フィジカルフレームワーク計画
RWSA	Rural Waterworks and Sanitation Associations 地方上下水道協会
SAFDZ	Strategic Agriculture and Fishery Development Zone 戦略的農漁業開発ゾーン
SCWR	Sub-Committee on Water Resources (国家経済開発庁インフラ委員会) 水資源分科会

SFR	Small Farm Reservoir 農業用ため池
SHER	Similar Elements of Hydrological Response
SPUG	Small Power Utilities Group 小規模電力供給事業者
SRES	Emission Scenarios 排出シナリオ
SRI	System of Rice Intensification
SRIP	Small Reservoir Irrigation Project ため池灌漑システム
SRTM-3	Shuttle Radar Topography Mission - 3 Seconds スペースシャトル地形データ
STW	Small Tubewell 浅井戸灌漑
SWIP	Small Water Impounding Project ため池プロジェクト
TWG	Technical Working Group 作業部会
UP-NEC	University of the Philippines - National Engineering Center フィリピン大学国家技術センター
UPRIIS	Upper Pampanga River Integrated Irrigation System パンパンガ川上流域統合灌漑システム
US\$	United States Dollars 米国ドル
WD	Water District 水道区
WEB-DHM	Water and Energy Budget-based Distributed Hydrological Model 水・エネルギー収支ベース分布型流出モデ
WSP	Water Security Plan 水保障計画
WSP	Small Water Supply Provider 小規模水道事業者
WSSU	Water Supply and Sanitation Unit (内務地方政府省プロジェクト開発サービス) 上下水道ユニット
WTP	Water Treatment Plant 浄水場

要約

1 序論

1.1 調査の背景と典拠

マニラ首都圏上下水道公社（MWSS）は人口 1200 万人を抱えるマニラ首都圏の上下水道事業を監督する公的機関である。MWSS の主たる上水道水源はアンガット川流域に位置するアンガット貯水池である。アンガット貯水池には隣接するウミライ川流域から導水されており、アンガットーウミライシステムと称される。MWSS が取得している水利権の合計は 4,190 百万リットル/日（MLD）であり、このうち 4,000 MLD がアンガット貯水池、100 MLD がラグナ湖、90 MLD が地下水である。水源はアンガット貯水池一つに著しく偏っており、冗長度に欠け、給水の安全度を損なっている。

2010 年における首都圏の都市用水需要量は 3,600 MLD と推定されており、MWSS の水利権を最大限活用することでなんとか水不足を生ずることなく水需要を満たしてきた。しかし、水文学的にはアンガットーウミライシステムの供給能力は十分なものではなく、MWSS による水利権の完全行使は他の利水関係者、例えば、国家かんがい庁（NIA）による国営かんがい事業であるアンガット・マアシム河川かんがいシステム（AMRIS）やブラカン州の都市用水供給を圧迫している。

こうした事情から、新たな水源を開発することが MWSS にとって緊急の課題となっている。

MWSS は 2012 年に WSP 策定を完了せしめるため、国際協力機構（JICA）及び世界銀行に技術協力を要請した。

世界銀行は、要請に応じて Metro Manila Water Security Study を 2011 年 7 月から 2012 年 7 月にわたって実施した。一方、JICA は 2011 年 11 月に MWSS と“The Study of Water Security Master Plan for Metro Manila and Its Adjoining Areas”に関する協議を行い合意書をまとめた。JICA は合意書に沿って「マニラ首都圏及びその周辺地域の水資源開発計画に係る基礎情報収集調査」を 2012 年 2 月から開始した。業務の技術的複雑さに鑑み、調査を以下の二つの業務に分けて実施することとした。

- － 水収支解析等
- － 気候変動影響評価及び流出解析

本要約は「水収支解析等」の検討結果をまとめたもので、主に 1) 水資源にかかわる法制度・組織 2) 対象地域における水資源に係わる環境問題、3) 都市用水や農業・水産業のための水需要に係わる調査結果、4) 表流水・地下水等水供給側に係る調査、5) 気候変動が水資源に及ぼす影響調査、6) 気候変動の影響を考慮した水需給収支、7) 水資源管理に係わる診断、8) 世銀調査により提案された水資源開発事業の効果・影響の評価、9) 結論及び勧告について述べている。本要約の主報告書としてファイナル・レポートが作成されている。

1.2 調査の目的

調査の目的は以下の通りである。

- 気候変動の影響を考慮して、2040年を対象とするマニラ首都圏とその周辺地域における水需給収支を求める。
- 世銀調査によって提案されている水資源開発プロジェクトの効果と影響を気候変動の影響を考慮した水需給収支解析結果に重点をおきつつ、評価する。

1.3 調査対象地域

調査対象地域はマニラ首都圏及びその周辺地域である6河川流域からなる。6河川流域とは、アンガット川流域、パンパンガ川流域、パッシング・マリキナ川流域、アゴス川流域、ウミライ川流域及びラグナ湖流域を指す。調査対象地域の図を見返りの地図に示した。

2 制度と組織

2.1 水分野に係わる法制度

フィリピン国憲法（1987年）は水資源を「国家の所有」としており、その開発と使用は「国家による完全な監督と管理の下になされる」としている（第7条第2項）。

水資源管理に係る基本法は「フィリピン水法典」（Water Code of the Philippines、1976年大統領令1067号）であり、憲法を原則として制定されている。国家水資源評議会（NWRB、過去のNWRC）が主たる執行機関であり、NWRBは水法典の施行規則（IRR）を1979年に制定した。現行のIRRは2005年に改正されたものである。

水資源配分に係る規定で特徴的であるのは、水利用者間の関係においては先願主義（先使用）の原則が採用されていることである。また水不足などの非常事態においては、家庭用及び公共水道の水利用が優先する。ただし、「水不足が頻発し、且つ公共水道の水利権者が優先権において劣後する場合には、公共水道の水利権者は代替の水源を手配しなければならない」（22条）という条項があり、マニラの現状がこれに該当している。

2.2 水資源管理に係わる組織

国家水資源委員会（NWRB）

国家水資源委員会（NWRB）は主に水分野の関連機関の調整及び規制を担当し、統合水源管理（IWRM）の原則に基づきこれらを実施する機関である。水利用許可（Water Permit）を発行し水利権を付与するとともに、全国の水資源に係る施設の規制を担当している。NWRBは環境天然資源省（DENR）の附属機関であり、議長（Board Chairman）はDENR大臣が務める。水資源に係る施策の計画立案を担当し、国家経済開発庁（NEDA）に対し水資源開発事業・プログラムに関し助言する。

上記の幅広い担当業務に対し、NWRBの組織体制はかなり限られている。年間予算はおよそ5千万ペソであり、人員は100名程度しかない。また全国の水資源を所掌しているにも拘わらず地方組織を有していない。こうした課題に対し、政府ではNWRBにかわる新しい「国家水資源管理評議会」（NWRMC: National Water Resources Management Council）を設立し、水分野全般に亘る行政能力の強化が検討されており、最近諮問会議の答申が大統領に提出されたところである。

公共事業道路省（DPWH）

公共事業省は政府施設の建設を担当する省であり、特に道路、洪水対策、小規模な貯水・給水など、政府予算によって建設される公共施設の計画、設計、建設及び運営維持管理を所掌している。DPWHが実施する事業の大半は高速道路の建設であり、洪水対策施設は同省開発予算（2010年）の6.4%を占めるにすぎない。また、DPWHは設計、施工、維持管理に係る様々な技術規格を設けている。

水資源開発に関しては、以下の4つの部局が担当している。(a) 水文調査とデータ収集を担当する研究規格局（BRS）、(b) 洪水対策プロジェクト管理室（PMO-MFCP）、(c) 外国援助の給水事業を担当する農村部給水プロジェクト管理室（PMO-RWS）、(d) 地方政府予算及び外国

援助による小規模貯水事業を担当する小規模貯水プロジェクト管理室(PMO-SWIM)である。また、政府機関の中で DPWH は洪水対策に係る中心的な役割を担っている。主要河川の管理を担っていて河川水位資料を管理している。

環境天然資源省 (DENR)

DENR は森林、河川流域を含む全国の環境と天然資源の保護、保全、管理を担当する組織であり、水質・大気・土壌汚染対策に係るガイドラインの普及も行っている。同省の 4 つの内局と 3 つの付属機関が水資源管理に関連している。

内局は以下の 4 部局である。環境管理局 (EMB) は、水質・大気汚染対策に係る施策の立案及び環境基準の制定と普及、監視を所掌している。公共事業における環境影響評価 (EIS) 及び環境コンプライアンス認証 (ECC) の承認も同局が担当している。

鉱山地圏科学局 (MGSB) は、鉱物資源の適切な利用と保全を通じた持続可能な開発の推進を担当している。また同局は全国の地下水源の監視と地図化を行なっている。

森林管理局 (FMB) は、水源利用の改善を含む森林地域及び流域の効果的な保護、保全及び開発に関する政策の立案・助言を行う。

保護地域野生生物局は、全国の統合保護地域制度 (NIPAS) の指定及び管理を所掌し、特に水資源の関係では、湖沼などの湿地帯の保護・保全を行い、その生態系の保護に努めている。

気象天文庁 (PAGASA)

降雨を含む気象観測の担当組織であり、全国に事務所を構え、測候所を運営している。測候所で記録された情報をデータベースとして運営している。最近では首都圏等重要地点に洪水予警報発令を目的に、実時間計測システムを導入して、河川水位データも収集している。しかしながら、要員、施設、予算に制約があり、その情報量は限られている。

水利用の組織

上水の利用はマニラ首都圏上下水道公社 (MWS S) のほか、各地の地方水道公益企業庁 (LWUA) が主体となっている。大口の灌漑用水は国家灌漑管理公社 (N I A) が専ら管理している。水力発電用水の管理は国家電力公社 (N P C) が行っている。これらのほか、各自治体が管理している組織もある。それらのうち、水道区 (WD) は地域の上水道を、また小規模ながら共同灌漑組合 (Communal Irrigation Unit) は小規模灌漑の水管理を担っている。これらの組織は数も多い。

2.3 水資源管理に係わる制度上の課題

フィリピンはモンスーン地帯に位置し、また、地形的には火山性山地が国土の大半を占める。従って表流水は短時間で流出する。このため、水利用に関しては、乾季の深刻な渇水が問題である。一方、雨季の有り余る表流水は、斜面を下り、人口稠密な、下流部の氾濫原で洪水となる。列島はその南東で発生する台風の進路にあたり、年間 20 以上の台風が通過し、治水を一層困難なものにしている。主食は水需要の大きい米で、人口も多く、土地は高度に開発され利用されていて流域の保全が遅れている。

こうした事情から利水・治水・保全のための水資源開発が喫緊の課題であるが、開発には上

に述べた組織に加えさまざまな政府組織がからんでいて、30以上の組織間の調整が必用とされている。調整は上記国家水資源委員会（NWRB）の所掌であるが、必ずしも十分に機能していない。従って多くの開発計画が提案されているものの、実施に至るのは稀である。マニラ首都圏の水事情も、まさにこうした問題の渦中にある。

2011年にはこのような現状を改善するべく、NWRBを改組して国家水資源管理評議会（NWR C）を設立する提言がなされた。NWR Cには、現在、様々な組織に分散している権限を集中化させ、実行性を高めようという提言で、現状を大きく改善するものと期待されている。現在、大統領令として法制化の途上にあると言われている。

水資源開発が滞るもう一つの主たる原因は、土地収用である。土地収用に係る移転や補償のための法制度は整備されているが、その適用には多くの困難を抱えている。マニラ首都圏の水資源開発の対象となっているアゴス流域には多くの原住少数民族の居住もあり、一層複雑化する可能性がある。計画実現のためには、地権者を事業者に組み込む社会配慮のための仕組みが有効ではないかと考えている。制度的開発がその先駆けとなる。

3 社会と経済

3.1 行政区分

調査対象地域はマニラ首都圏とアンガット川、パンパンガ川、アゴス川、ウミライ川、パッシング-マリキナ川およびラグナ湖の流域からなる。行政区分としては首都圏（NCR）と12州からなる。地域はその水源を5つの河川と湖によっている。水源とそれに連なる州を下表に示す。

表 3.1 水源と州

流域	州	郡・市の数
Angat, Umiray and Laguna Lake	NCR(17), Cavite(6), Rizal(2)	25
Angat River	Bulacan(17)	17
Pampanga River	Aurora(2), Bulacan(5), Nueva Ecija(32), Nueva Visaya(5), Pampanga(22), Pangasinan(1), Tarlac(10)	77
Pasig-Marikina River	Bulacan(2), Rizal(3)	5
Agos River	Quezon(3), Rizal(1)	4
Umiray River	Aurora(1)	1
Laguna Lake	Batangas(4), Cavite(5), Laguna(30), Quezon(5), Rizal(8)	52

注：括弧に挟まれた数字は州別の郡・市の数を示す

出典：JICA 調査団

3.2 人口

人口データは、国家統計局（NSO）が各州の人口、及びその増加率を公表している。最新の2007年の国勢調査データを基に、NSOが予測した州毎の増加率を反映させることで、将来の人口数を予測した。

フィリピン国の総人口は、2010年時点で94,013,200人であり、そのうち、調査地域の人口は29,038,931人であった。調査地域人口の割合としては、MWSSの給水地域が15,683,803人、その周辺地域が13,355,128人である。調査地域の人口は、全国人口の31%を占めている。

調査地域の、NSOが公表しているリサール州とカビテ州の一部を含むMWSS給水地域の人口予測を表3.2に、またそれ以外の各州の将来人口予測を表3.3に示す。

表 3.2 MWSS サービスエリアの人口

Area	Population based on NSO Medium Assumption								
	2010	2011	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
West Zone	9,203,882	9,325,211	9,448,372	9,829,182	10,380,518	10,855,275	11,247,921	11,539,073	11,716,258
East Zone	6,479,921	6,573,421	6,668,373	6,962,175	7,392,551	7,768,943	8,084,300	8,325,824	8,486,621
Total	15,683,803	15,898,632	16,116,745	16,791,357	17,773,069	18,624,217	19,332,221	19,864,896	20,202,879

出典：JICA 調査団

表 3.3 周辺地域の人口予測

Province	NSO		Projected Population							
	2007	2010	2011	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
1 AURORA (part)	81,047	87,483	89,468	91,498	97,868	108,610	119,431	129,500	139,489	148,962
2 BATANGAS (part)	557,940	595,348	606,365	617,586	652,510	709,008	762,977	812,630	857,327	895,589
3 BULACAN	2,822,216	3,084,443	3,158,928	3,235,211	3,475,292	3,870,169	4,261,122	4,636,994	4,989,419	5,311,064
4 CAVITE (part)	1,022,526	1,132,317	1,162,565	1,193,621	1,291,855	1,456,602	1,625,040	1,789,437	1,946,605	2,092,347
5 LAGUNA	2,473,530	2,634,056	2,678,142	2,722,965	2,861,987	3,077,714	3,274,484	3,445,323	3,587,071	3,699,184
6 NUEVA ECIJA	1,804,497	1,903,635	1,932,229	1,961,253	2,050,968	2,189,117	2,312,668	2,417,561	2,503,892	2,570,211
7 NUEVA VIZCAYA (part)	95,452	102,943	104,946	106,988	113,356	123,240	132,530	140,891	148,124	154,115
8 PAMPANGA	2,229,349	2,367,002	2,405,313	2,444,243	2,564,857	2,752,145	2,925,242	3,077,828	3,203,792	3,299,404
9 PANGASINAN (part)	62,497	67,068	68,400	69,758	73,995	80,820	87,446	93,880	99,970	105,571
10 QUEZON (Part)	419,276	443,468	450,767	458,185	481,182	518,386	553,268	584,390	611,862	636,038
11 TARLAC (part)	886,167	937,365	951,853	966,565	1,012,079	1,082,105	1,146,125	1,201,428	1,246,695	1,281,708
TOTAL	12,454,497	13,355,128	13,608,974	13,867,873	14,675,948	15,967,916	17,200,333	18,329,861	19,334,247	20,194,194

出典：JICA 調査団

3.3 経済状況

調査対象地域は、NCR (National Capital Region)、と I、II、III、IV-A という、5つの地区に属している。調査地域の経済状況は、NCR を頂点とし、国の経済状況を代表する。

国家統計調整評議会によると、2009年のGDPは7兆6790億フィリピンペソである。NCRのGRDPは2兆8140億フィリピンペソであり、全国の36%以上を占める。IV-A地区は8030億フィリピンペソで、全体の10%以上を占める。調査地域のI、II、III地区を含めると、調査地域のGRDP合計は、GDPの60%程度となる。

調査地域のGDPの高さは、地域の高い経済性を示している。これら、経済性を維持するためには、工業、商業、家庭利用に対する十分な水供給が不可欠である。

フィリピンでは、サービス業の割合が高く、NCRで70%以上、周辺地域で50%以上を占める。工業がサービス業に続き、30%程度となっている。残りは農業によるものであるが、NCRにおいては、ほぼ0%である。

地区毎のGRDPの増加率は、各地域の経済状況・発展状況を示す尺度である。国家統計評議会 (National Statistical Coordination Board) が発表している2001年から2010年までの各地区の伸び率を表3.4.に示す。国全体の10年間の平均GDP増加率は、4.8%であり、NCRのGRDPは最も高い5.1%であった。一方、周辺地域はより低く、最も低いのは3.0% (Cagayan Valley Region) で、最も高いのが3.7% (Ilocos Region) であった。

表 3.4 調査対象地域 GDP 増加率 (%)

地区	州	2009 (Billion PHP)	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Ave	
全国	-	7,679	3.0	4.3	4.6	6.2	4.9	5.4	7.1	3.7	1.1	7.6	4.8	
NCR	Metro Manila	NCR (National Capital Region)	2,814	3.1	3.1	5.2	8.4	7.4	6.7	7.8	4.7	-0.4	**	5.1
I	Ilocos Region	Pangasinan	215	2.1	4.3	3.3	5.4	5.2	6.1	5.7	2.0	-1.0	**	3.7
II	Cagayan Valley	Nueva Vizcaya	139	3.2	-1.2	1.2	10.4	-4.3	7.4	6.4	1.7	1.9	**	3.0
III	Central Luzon	Aurora, Bulacan, Nueva Ecija, Pampanga, Tarlac	577	4.0	3.7	3.4	1.8	2.7	4.8	5.9	3.7	-1.4	**	3.2
IVA	Calabarzon	Batangas, Cavite, Laguna, Quezon, Rizal	803	2.8	6.5	2.8	4.0	2.6	4.6	5.3	1.9	1.6	**	3.6

出典：NSCB (National Statistical Coordination Board)

4 調査対象地域の環境と保全

4.1 環境保全に係わる政府の方針

政府の方針の根本をなすものは 1987 年に制定されたフィリピン共和国の憲法である。

憲法第 2 条 16 項に、国家は、自然のリズムと調和に従った、健康でバランスのとれた環境は国民の権利として維持発展させなければならない、と規定している。

第 3 条 9 項では社会問題に言及しているが、個人の資産は正当な補償なしに、公共のために取り上げられることはない、と規定している。さらに第 8 条 10 項において、都市および農村に居住するいかなる住民も、法に従わない、あるいは不正な立ち退きを求められることは無く住居を破壊される事もない、と規定している。

共和国令 7279 は 1992 年に制定された都市開発と住宅に関する法令である。その実施規則（Implementing Rules and Regulation : IRR）は総合的で継続的な都市開発と住宅開発に言及している。その中には移転と再定住を規定している部分もある。第 2 条 22 項では、国家は国家の統一と発展の枠組みのなかで、原住民の文化と部族社会（ICC/IP）を認識し、権利を保護するものと規定している。

共和国令 8371 は 1997 年に制定された原住民の権利令（IPRA）である。この政策は原住民の権利、特に伝統を認識し、保護する事を規定した法律である。当共和国令に沿って、2006 年に自由および事前の情報提供に基づく合意（FPIC）ガイドラインである国家原住民評議会命令 No.1 が発布されている。この命令は、貸借、免許、許諾、合意やプロジェクトやプログラムの実施・運営等伝統的文化に影響を及ぼす行為に対して FPIC が必要であることを述べている。

その他自然環境保護のための政策は以下の通り。

大統領令 1586 は環境影響報告システムを確立した。システムは社会・経済開発行為が環境と調和していなければならない事を明示している。

共和国令 7586 は 1992 年の国家統合保全地域システム令（NIPAS）である。これは現在及び将来のフィリピン国民のために自然の植物・動物が保全されることを保証するための総合的な法令である。一方共和国令 9147 は野生生物資源とその生息域を保全している。

環境・天然資源省令 30 は 2003 年に発布された。これは環境影響報告システムを規定した大統領令 1586 の実施細則である。そこには人間の行為が環境に及ぼす影響の評価方法が規定されている。

4.2 水資源開発に影響をうける環境

原住民

フィリピンの文化は豊かで多岐にわたる。原住民は 110 の言語に分類される。国連開発機構の調査によれば、2010 年 2 月現在で人口はおおよそ 14 百万人から 17 百万人におよぶ。

本調査の対象地域は、行政区画としての地区別では IV-A（CALBARZON）地区、III（Central Luzon）地区、および II（Nueva Vizcaya）地区に属する。国家原住民評議会本部によれば、2011

年現在、IV-A 地区における原住民人口は 15,869 人とのことである。種族は Dumagats, Remontado および Aetas が主で、わずかに Badjaos も居住している。

国家原住民評議会地区事務所 No.3 の情報によれば RgionIII の原住民人口は 2011 年現在 182,206 人である。おもな部族は 15 で、Abelling, Aeta, Applai, bago, Baluga, Bugkalot, Dumagat, Gaddang, Ibaloi, Igorot, Ilonggot, Kalanguya, Kalinga, Kankanaey および Remontado である。2011 年 II 地区の原住民人口は 10,442 と推定されているが詳細は不明である。

共和国令 8371 や 1997 年の原住民の権利令は原住民の権利保護に効果を発揮しているものの、居住地がいずれであれ、おしなべて貧困層をなし、脆弱な立場にあることに変わりはない。水資源の開発はこれらの住民との調和について注意深い検討が望まれる。

自然環境

水資源開発に対して脆弱な自然環境は、おおむね保護地域に生息している。調査対象地域には 14 の保護地域が含まれる。下表は各流域に広がる保護地域である。

表 4.1 流域別保護地域

River Basin	Protected Area
Angat	(1)Angat Watershed Forest Reserve
Pampanga	(1)Aurora National Memoprial Park, (2)Candaba Swamp, (3) Casecnan Protected Landscape, (4)Manila Bay, (5)Mt. Dingalan, (6)Mt. Arayat, (7)South Central Sierra Madre Mountains
Pasig-Marikina	(1)Pasig River
Laguna Lake	(1)Mount Makiling Forest Reserve, (2)Mts. Banahaw-San Cristobal National Park
Agos-Umiray	(1)Uplands Grants(Pakil and Real), (2)Mts. Irid-Angilo and Binuang, (3) Umiray River

出典：JICA 調査団

これらの保護地域内に生息する生物のうち絶滅危惧 II 類と判定されているものも少なくない。II 類以上の種数を下表に示す。

表 4.2 保護地域別 II 類以上に指定されている種数

River Basin	Protected area	Specific Forms								
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Angat	A. Watershed Forest Reserve	1	10	1	-	-	2	-	-	14
Pampanga	Aurora Memorial National P.	9	7	4	8	-	-	1	-	29
	Candaba swamp	-	4	-	-	-	-	-	-	4
	Casecnan Prtctd Landscape	3	8	-	-	-	-	2	-	13
	Manila Bay	-	4	-	-	1	-	-	-	5
	Mt. Dingalan	2	9	4	-	-	1	3	-	19
	Mt. Arayat	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S.C.Sierra Madre Mts	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Pasig-Marikina	Pasig River	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Laguna Lake	Mt. Makiling Forest Resv.	1	7	1	1	-	-	3	3	16
	Mts. Banahau-S. Cristobal NP	4	4	6	-	-	-	3	-	17
Agos-Umiray	Uplands Grants	-	6	-	-	-	1	-	-	7
	Mts. Irid-angilo and Binuang	4	11	2	2	-	2	3	-	24
	Umiray River	-	-	-	-	-	-	-	-	-

出典：JICA 調査団

フィリピン鷹は絶滅危惧種 IA 類に指定されていて、アンガット流域およびパンパンガ流域の Dingalan 山保護地区を生息地としている。中国冠あじさしは、同じく絶滅危惧種 IA 類に指定

されている鳥類でマニラ湾にみられる。白ラワンやライチの一種（Daling Ligan, Manngga Chapui）はラグナ湖流域の産地に繁殖していたが、絶滅危惧種 IA 類に指定されている植物である。

絶滅危惧種 IB 類に指定されている鳥類として黒頭へらさぎ、蝙蝠類はまだら大蝙蝠や金冠蝙蝠がいる。ポリロ森蛙やまだら緑鮫も絶滅危惧種 IB 類に属する。絶滅危惧種 IB 類の植物としては、ライチの仲間である Ulas や Malapaho が指定されている。

水資源開発は、これらの生物そのものや、その生息域に影響をもたらさぬよう、留意する必要がある。

5 都市用水需要

5.1 MWSS サービス地区の現状水利用

MWSS サービス地区の有収水量

1997年に、マニラ首都圏における上下水道事業のコンセッション契約（西地区、及び東地区の2つ）が調印された。事業者の料金徴収データは、サービス地区の水利用を明確に示している。事業者が作成した料金グループ毎の有収水量を以下の表に示す。

表 5.1 西地区（MWSI）の 카테고리別有収水量（単位：百万m³/年）

Year	Residential	Semi-Business	Commercial	Industrial	Total
2000	167.41	12.74	72.60	19.29	272.04
2001	174.62	14.90	72.26	20.78	282.56
2002	165.31	13.81	66.27	18.75	264.14
2003	162.00	13.00	64.00	16.00	255.00
2004	162.00	16.00	61.00	16.00	255.00
2005	161.00	16.00	59.00	15.00	251.00
2006	174.96	16.61	56.53	14.45	262.55
2007	191.95	19.69	59.55	15.65	286.84
2008	209.34	24.78	63.69	17.38	315.19
2009	238.82	27.48	65.70	18.22	350.24
2010	257.82	30.01	67.23	18.79	373.85
Average	187.75	18.64	64.35	17.30	288.04

出典：： Report on the Metro Manila Water Security Study

表 5.2 東地区（MWCI）の 카테고리別有収水量（単位：百万m³/年）

Year	Residential	Semi-Business	Commercial	Industrial	Total
2000	147.99	6.65	76.59	15.63	246.86
2001	164.85	7.99	78.13	25.35	276.32
2002	171.71	7.71	73.50	16.49	269.41
2003	169.96	15.02	72.90	15.10	272.98
2004	179.60	19.65	76.25	14.24	289.74
2005	196.14	22.29	78.60	18.25	315.28
2006	216.50	24.88	82.66	11.17	335.21
2007	242.09	26.43	94.62	11.15	374.29
2008	258.52	26.75	92.46	9.97	387.70
2009	263.09	30.64	91.06	9.25	394.04
2010	271.96	33.86	91.99	8.94	406.75
Average	207.49	20.17	82.61	14.14	324.42

出典：： Report on the Metro Manila Water Security Study

需要分析においては、水利用の実形態を考慮し、家庭（Residential）と小商業（Semi-Business）カテゴリーを、家庭用水量として分類した。一方、商業（Commercial）と工業（Industrial）カテゴリーを、非家庭用水量に分類した。家庭用水の割合は、西地区と東地区において全使用水量の約 3/4 におよぶ。下記グラフは両地区の水需要の配分を示す。

2000年における、MWSS サービス地区全体の料金徴収水量は、合計 519 百万m³である。2010年において、同水量は 781 百万m³に増加した。

中でも家庭用水量の増加が著しく、10年間の年平均増加率は 5.7%である。この高い需要の

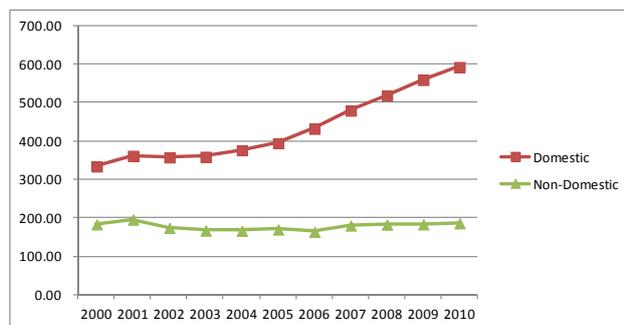
増加は、家庭用水の給水率の増加と、人口増加によるものである。また、NRW 率の減少も、料金徴収水量の増加に大きく貢献している。なお、一人当たりの使用量は、既存調査において、この期間、大きな変化はみられないと結論づけている。

非家庭用水の使用水量は、概して一定となっている。商業用水はわずかに増加傾向を示すが、工業用水の減少により、合計水量は増加しなかった。

表 5.3

MWSS サービス地区の有収水量概要

Year	Domestic	Non-Domestic
2000	334.79	184.11
2001	362.36	196.52
2002	358.54	175.01
2003	359.98	168.00
2004	377.25	167.49
2005	395.43	170.85
2006	432.95	164.81
2007	480.16	180.97
2008	519.39	183.50
2009	560.03	184.23
2010	593.65	186.95
Average	434.05	178.40



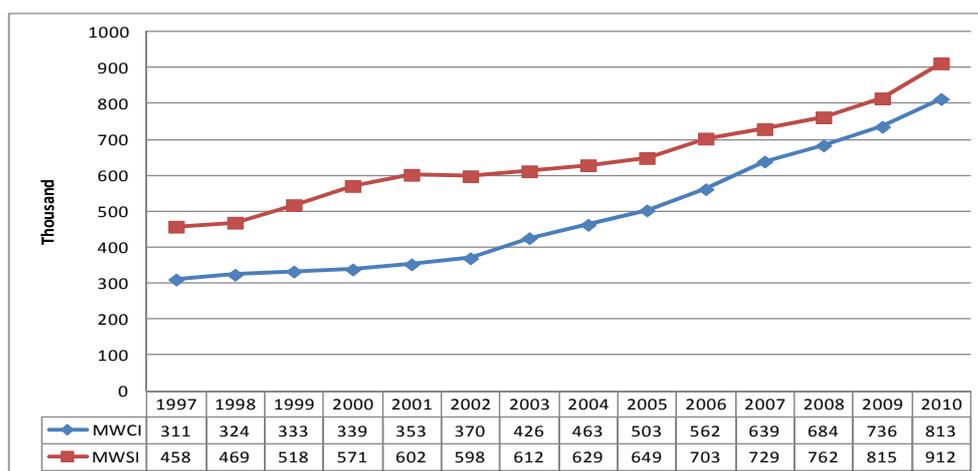
(Unit: Million m³ /year)

図 5.1 有収水量の過去の傾向

出典：JICA 調査団

MWSS サービス地区の上水道接続数

上水道の合計接続数は、1997 年の数値と比較すると、東地区 (MWCI) で 161%、西地区 (MWSI) で 99%増加した。なお、合計接続数に対する家庭用の接続は、東地区で約 94%、西地区で約 93%となっている。



出典：Evaluation on KPIs/BEMs 2012, MWSS

図 5.2 水道事業の合計接続数

MWSS サービス地区の 1 人当り水使用量

現在の 1 人当りの平均水使用量 (LPCD: Litter Per Capita per Day)を以下の方法で計算した。

LPCD = 「(i) 1 日当たりの家庭用有収水量」 / 「(ii) 1 家庭接続当りの平均使用者数」 / 「(iii) 家庭接続数」

1 日当たりの家庭用有収水量は表 5.3 に示した。1 家庭接続当りの平均使用者数については 2003 年のサービス状況を評価した PAWS 報告書を参照した。西地区 (MWSI) は 7.07、東地区 (MWCI) は 8.10 とした。総接続数は、図 5.2 から 2010 年において、東地区 813,000、西地区 912,000 とした。家庭接続数は総接続数と家庭接続数の割合(東地区 94%、西地区 93%)から求めた。

表 5.4 東地区 (MWCI) における一人当たり水使用量計算

Year	Billed Volume (MCM/year)	Billed Volume (LPD)	Total Connection	Domestic Connection	Population	LPCD (l/per capita /day)
2000	154.64	423,671,233	339,000	318,660	2,581,146	164.14
2001	172.84	473,534,247	353,000	331,820	2,687,742	176.18
2002	179.42	491,561,644	370,000	347,800	2,817,180	174.49
2003	184.98	506,794,521	426,000	400,440	3,243,564	156.25
2004	199.25	545,890,411	463,000	435,220	3,525,282	154.85
2005	218.43	598,438,356	503,000	472,820	3,829,842	156.26
2006	241.38	661,315,068	562,000	528,280	4,279,068	154.55
2007	268.52	735,671,233	639,000	600,660	4,865,346	151.21
2008	285.27	781,561,644	684,000	642,960	5,207,976	150.07
2009	293.73	804,739,726	736,000	691,840	5,603,904	143.60
2010	305.82	837,863,014	813,000	764,220	6,190,182	135.35
Average	-	-	-	-	-	156.09

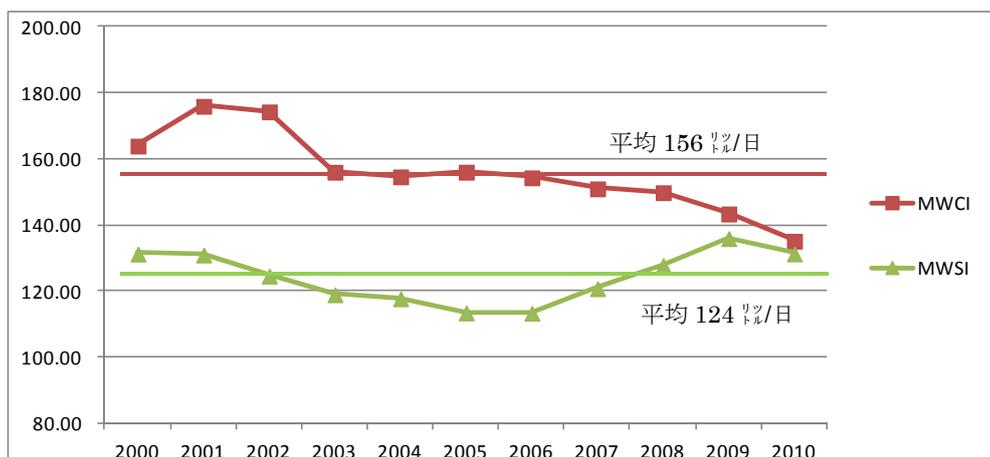
出典：JICA 調査団

表 5.5 西地区 (MWSI) における一人当たり水使用量計算

年	有収水量 (MCM/year)	有収水量 (LPD)	全接続 (Table 7.1.3)	接続家庭	人口	LPCD (l/per capita /day)
2000	180.15	493,561,644	571,000	531,030	3,754,382	131.46
2001	189.52	519,232,877	602,000	559,860	3,958,210	131.18
2002	179.12	490,739,726	598,000	556,140	3,931,910	124.81
2003	175.00	479,452,055	612,000	569,160	4,023,961	119.15
2004	178.00	487,671,233	629,000	584,970	4,135,738	117.92
2005	177.00	484,931,507	649,000	603,570	4,267,240	113.64
2006	191.57	524,849,315	703,000	653,790	4,622,295	113.55
2007	211.64	579,835,616	729,000	677,970	4,793,248	120.97
2008	234.12	641,424,658	762,000	708,660	5,010,226	128.02
2009	266.30	729,589,041	815,000	757,950	5,358,707	136.15
2010	287.83	788,575,342	912,000	848,160	5,996,491	131.51
Average	-	-	-	-	-	124.40

出典：JICA 調査団

以下の図 5.3 に示すとおり、家庭用水の一人当たり水使用量は、東西両地区において、過去 10 年間に於いて比較的安定した値を示している。



出典：JICA 調査団

図 5.3 家庭用水の一人当たり水使用量

5.2 周辺地域における現在の水利用

周辺地域の一人当たり家庭用水使用量

周辺地域における、レベル1とレベル2施設の一人当たり水使用量の調査結果は報告されていない。DPWHは地方部における給水事業の設計基準値を用い、レベル1は30 lpcd、レベル2では60 lpcdと設定した。また、この値は、近い将来においても変わらないと仮定した。

レベル3の水使用量については、水道区が存在する自治体に関しては、各水道区が公表している情報を用いた。水道区が無い自治体における、一人当たり水使用量は、同州に属し、水道区が存在する自治体の平均値を適用した。調査地域の中で、AuroraとNueva Vizcayaの2州については、水道区が存在する自治体がないので、一般的な値である120 lpcdの値を採用した。

表 5.6 に各州の1人当り使用水量の平均値を示す。

表 5.6 家庭用水の1人当り使用水量(lpcd: l/capita/day)

Province	2010	2011	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
1 AURORA (part)	120.0	120.6	121.2	123.0	126.1	129.3	132.6	135.9	139.4
2 BATANGAS (part)	132.9	133.5	134.2	136.2	139.7	143.2	146.8	150.5	154.3
3 BULACAN	127.4	128.1	128.7	130.6	133.9	137.3	140.8	144.4	148.0
4 CAVITE (part)	139.8	140.3	140.8	142.3	144.9	147.6	150.3	153.0	155.9
5 LAGUNA	133.1	133.8	134.4	136.3	139.6	143.0	146.4	150.0	153.6
6 NUEVA ECIJA	121.2	121.8	122.3	124.1	127.1	130.1	133.3	136.5	139.8
7 NUEVA VIZCAYA (part)	120.0	120.6	121.2	123.0	126.1	129.3	132.6	135.9	139.4
8 PAMPANGA	137.4	138.1	138.8	140.9	144.4	148.1	151.8	155.6	159.6
9 PANGASINAN (part)	112.7	113.2	113.8	115.5	118.4	121.4	124.5	127.6	130.9
10 QUEZON (Part)	97.6	98.1	98.6	100.1	102.6	105.2	107.8	110.5	113.3
11 TARLAC (part)	111.2	111.7	112.3	114.0	116.9	119.8	122.8	125.9	129.1

Note: The above figures are the average of municipalities located in the Study Area

出典：JICA 調査団

周辺地域における非家庭用水量

非家庭用水量は、NRWB から与えられた水利権の総量、及び水道区が実際に送水している水量を元に推定した。

前述したとおり、NRWB の提供資料によると、調査地域には 883 の CPC 権利譲与者が存在する。水需要として与えられた水利権が行使されているものと仮定した。水利権を持つ CPC 権利譲与者の所在位置から、これらを 6 つの河川流域に配分した。

河川流域ごとの水量と、水源種類を、表 5.7 に要約する。これを見ると、ラグナ湖からの表流水取水が、全使用量の二分の一を占めている。上記の CPC 権利譲与者に加え、水道区 (WDs) も非家庭用水を提供しており、調査地域内にある 55 水道区の水量を LWUA の資料より算出した。これら水道区での使用水量は、全て地下水が水源であると仮定した。水道区の非家庭用水の NRW 率は、家庭用水量の設定と同じく、2012 年で 35%、2040 年で 25% を想定した。表 5.7 に、CPC 権利譲与者と、水道区の資料から算出された、現在の非家庭用水量を、河川流域別に示す。

表 5.7 現在の非家庭用水需要の試算

流域	非家庭用水地下水水利権				WDs による非 家庭用水	Total
	Surface Water		Underground Water		m3/sec	
	lps	m3/sec	lps	m3/sec		m3/sec
1 Angat	22.47	0.02	336.44	0.34	0.09	0.45
2 Pampanga	1,391.30	1.39	2,663.01	2.66	0.14	4.19
- PAM-1	95.00	0.10	194.42	0.19	0.00	0.29
- PAM-2	965.00	0.97	30.48	0.03	0.01	1.01
- PAM-3	0.00	0.00	844.27	0.84	0.00	0.84
- PAM-4	166.00	0.17	36.61	0.04	0.04	0.25
- PAM-5	60.26	0.06	1.13	0.00	0.00	0.06
- COR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
- PAN	25.00	0.03	237.74	0.24	0.00	0.27
- RCH	4.00	0.00	900.19	0.90	0.04	0.94
- PEN	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
- PAS	76.04	0.08	418.17	0.42	0.06	0.56
3 Agos	553.00	0.55	105.79	0.11	0.00	0.66
4 Umiray	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
5 Pasig-Marikina	242.75	0.24	757.20	0.76	0.01	1.01
6 Laguna*	3,493.89	3.49	3,281.54	3.28	0.47	7.24
Total	5,703.41	5.69	7,143.98	7.15	0.72	13.56

* Water right granted to LDDA (for fisheries) and Sierra Madre Water Corp. (service not started) are excluded from the amount at Laguna River Basin.

出典：JICA 調査団 (as of March 2012)

5.3 MWSS サービスエリアの水需要予測

既存調査の水需要予測

世銀調査は独自に様々な仮定を設けて需要予測を行った。一方、MWSS はフィリピン大学に委託して需要予測を行っている。

フィリピン大学の予測は、1) セクター的分析、及び 2) 空間的分析の 2 つの分析方法を試みている。レポートの結論には、特に 2031 年までの短期間において、セクター的分析が、空

間的分析より現実的で有効な予測であると記載されている。

世銀調査は、家庭用水の一人当たり水使用量の設定、及び非家庭用水の増加率（3%）設定により、3種類の代替成長シナリオが示されている。最終的に、3種類の代替案のうち、実際の有収水量データに基づいて算出された「Middle ケース」がより適当だとしている。

フィリピン大学と世銀の需要予測結果を以下の表に示す。

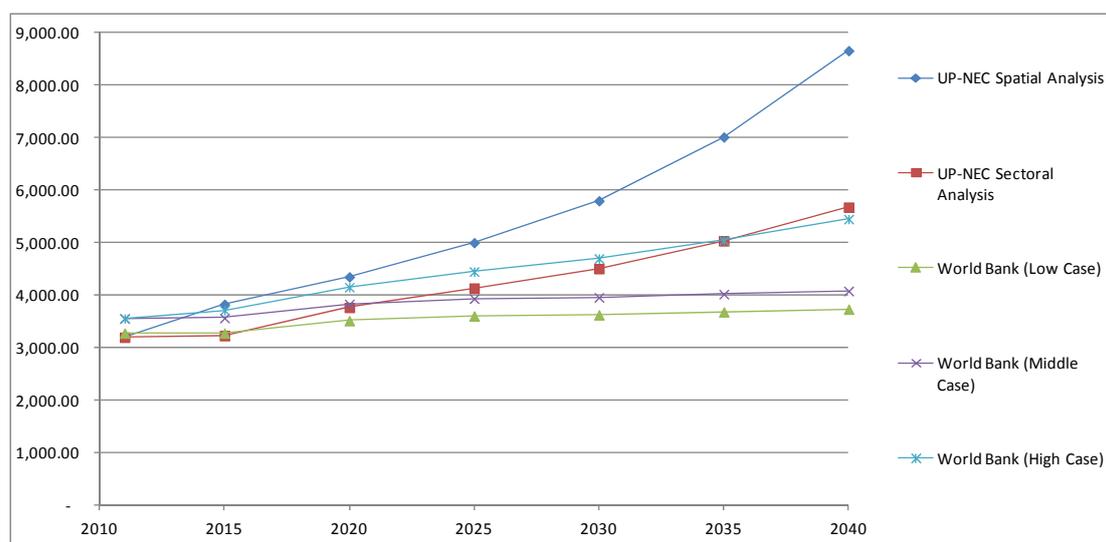
表 5.8 UP-NEC と世銀の需要予測結果 (MLD：百万リットル/日)

Year	2011	2015	2020	2025	2030	2035	2037
UP-NEC Spatial	3,213.00	3,828.00	4,351.00	5,002.00	5,800.00	7,014.00	8,658.35
UP-NEC Sectoral	3,202.00	3,231.00	3,768.00	4,138.00	4,508.00	5,036.00	5,678.78
WB (low case) *	3,278.54	3,279.09	3,517.27	3,606.36	3,626.36	3,682.73	3,735.22
WB (middle case) *	3,557.82	3,567.27	3,833.64	3,935.45	3,960.00	4,022.73	4,082.08
WB (high case) *	3,557.82	3,715.45	4,154.55	4,450.91	4,699.09	5,049.09	5,451.51

*The buffer ratio (10% of total demand) is excluded from the number to compare the real consumption prediction by UP-NEC and World Bank Study.

出典：JICA 調査団

以下の図 5.6 に各シナリオの需要予測を示す。



出典：JICA 調査団

図 5.4 UP-NEC と世銀調査の需要予測結果比較

本調査の需要予測

家庭用水の需要予測

家庭用水を、人口、一人一日当たり使用量、給水率及び無収水率を推定して予測した。人口は、前述の 3.2 章において、予測されている。MWSS サービス地域の、給水対象となる総人口を以下の表 5.11 にまとめる。

2000 年～2010 年における、1 人当たり 1 日使用水量は、東地区で平均 156l/人/日、西地区で平均 124 l/人/日と算出された。

表 5.9 MWSS サービス地域の給水対象人口予測

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
West	9,203,882	9,829,182	10,380,518	10,855,275	11,247,921	11,539,073	11,716,258
East	6,479,921	6,962,175	7,392,551	7,768,943	8,084,300	8,325,824	8,486,621
Total	15,683,803	16,791,357	17,773,069	18,624,217	19,332,221	19,864,896	20,202,879

出典：JICA 調査団

給水率と NRW 率に関しては、MWSS とコンセッショネア 2 社が設定した、将来の目標値を
需要計算に用いた。

表 5.10 MWSS サービス地域の給水率目標

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
West	89.0%	96.0%	98.0%	99.0%	100.0%	100.0%	100.0%
East	73.0%	81.0%	92.0%	98.0%	100.0%	100.0%	100.0%

出典：MWSS

表 5.11 MWSS サービス地域の NRW 率の目標値

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
West	43.0%	34.0%	25.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%
East	15.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%

* The target figures of the latest business plan agreed by MWSS and two concessionaires are used as of September 2012.

出典：MWSS

上記の前提に基づき、将来の家庭用水の水需要量は、以下の表のとおり予測された。

表 5.12 MWSS サービス地域の基本ケースにおける合計給水需要量

(Unit: million litter per day)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
West	1,782	1,773	1,682	1,666	1,743	1,789	1,816
East	868	1,000	1,206	1,350	1,433	1,476	1,504
Total	2,650	2,773	2,888	3,016	3,176	3,265	3,320

出典：JICA 調査団

非家庭用水の需要予測

非家庭用水の使用水量は、需要の増加率を過去 10 年の実績から 0%とした場合、及び GRDP
の伸び率を参照に 4%とした場合の 2 ケースについて予測した。表 5.13 に伸び率 0 の場合、
表 5.14 に伸び率 4%を仮定した場合の予測値を示す。

表 5.13 非家庭水量の需要予測（年 0%増加）

(Unit: MLD)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
West	276.5	276.5	276.5	276.5	276.5	276.5	276.5
East	235.7	235.7	235.7	235.7	235.7	235.7	235.7
Total	512.2						

出典：JICA 調査団

表 5.14 非家庭水量の需要予測（年 4%増加）

(Unit: MLD)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
West	276.5	336.4	409.3	498.0	605.9	737.2	896.9
East	235.7	286.8	348.9	424.5	516.5	628.4	764.5
Total	512.2	623.2	758.2	922.5	1122.4	1365.6	1661.4

出典：JICA 調査団

仮定した NRW 率を表 5.15 に、また予測の結果を表 5.16 および図 5.5 に示す。

表 5.15 2 地区の合計 NRW 率

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
NRW Rate in West	43.0%	34.0%	25.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%
NRW Rate in East	15.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%
Combined NRW Rate *	32.8%	25.4%	19.5%	16.5%	16.5%	16.5%	16.5%

* The composition of west and east is based on the actual billed volume of non-domestic water in 2010.

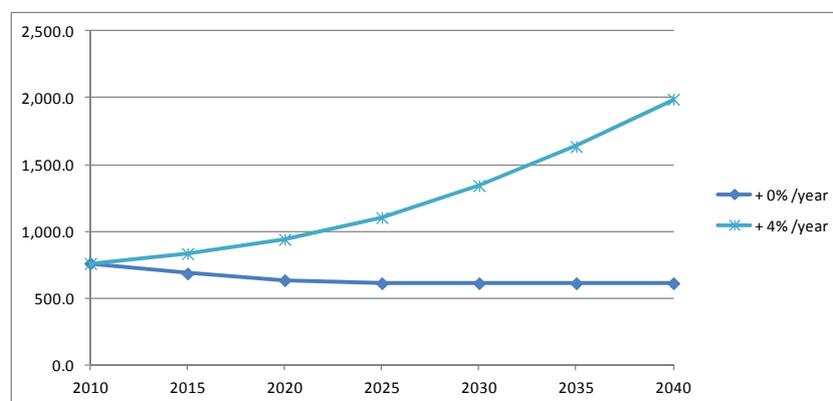
出典：JICA 調査団

表 5.16 非家庭用水の需要予測（NRW 含む）

(Unit: MLD)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Total of 0% Increase	762.4	686.7	636.5	613.4	613.4	613.4	613.4
Total of 4% Increase	762.4	835.6	942.2	1104.9	1344.3	1635.6	1989.9

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 5.5 非家庭用水の需要予測（NRW 含む）

合計水需要

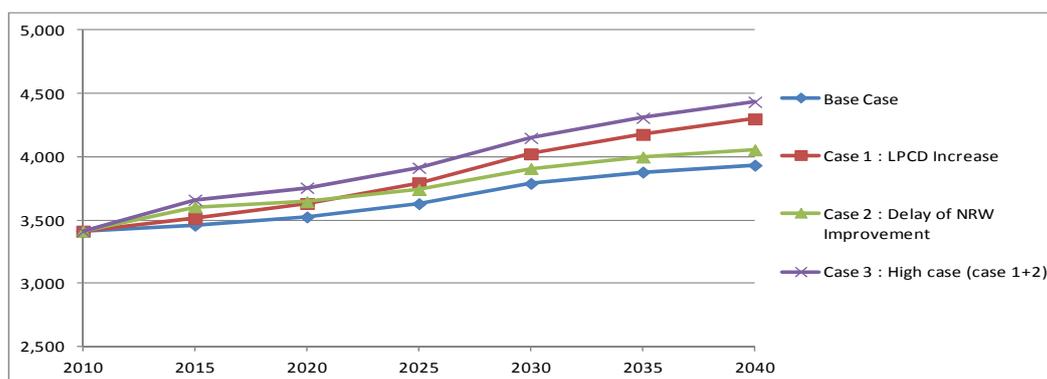
家庭用水需要量と、非家庭用水需要量の合計水需要量は以下の表 5.17 と図 5.6 で示す結果となった。非家庭用水の増加率は、過去の料金徴収水量が増加傾向を示していないことから、増加しない想定とした。

表 5.17 MWSS サービス地域の合計需要予測結果

(Unit: MLD)

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Base Case	3,412	3,460	3,525	3,629	3,789	3,878	3,933
Case 1 : LPCD Increase	3,412	3,512	3,631	3,794	4,022	4,176	4,298
Case 2 : Delay of NRW Rate Reduction	3,412	3,605	3,645	3,740	3,906	3,997	4,054
Case 3 : High case	3,412	3,660	3,756	3,912	4,148	4,307	4,433

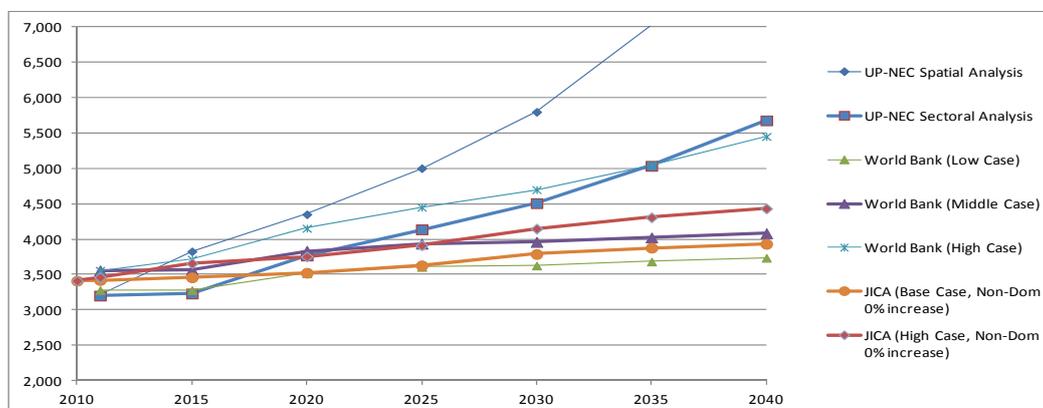
出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 5.6 MWSS サービス地域の合計水需要量予測

JICA 調査団が実施した、基本ケース、及び高需要ケースを、他の UP-NEC、及び World Bank 調査結果と比較した。



出典：JICA 調査団

図 5.7 MWSS サービス地域の総水需要量の予測比較

MWSS の正式な需要予測

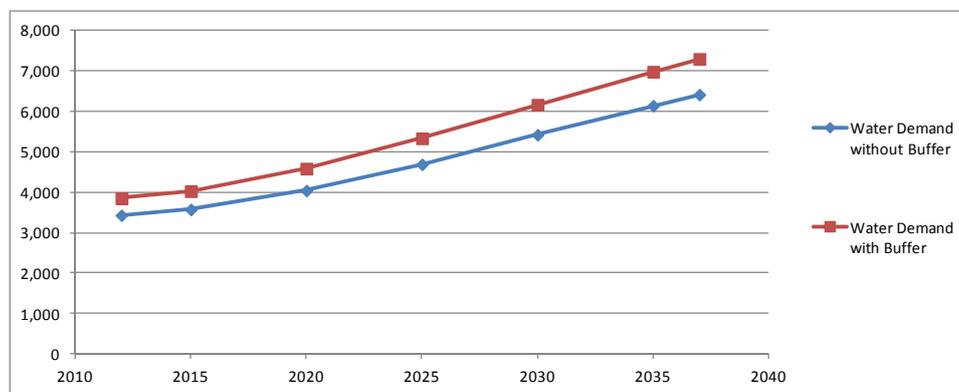
MWSS は、本調査実施中の 2012 年 10 月に、将来の水資源開発計画を策定するための正式な需要予測値を発表した。この数値は、MWSS とコンセッションネア 2 社が、今後の料金計画で用いる数値として、正式に合意されている。水収支解析にはこの数値を用いる事になった。与えられた需要予測値を以下の図表に示す。

表 5.18 MWSS の正式な水需要予測

(Unit: MLD)

	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2037
Water Demand without Buffer	3,412	3,460	3,525	3,629	3,789	3,878	3,933
Water Demand with Buffer	3,412	3,512	3,631	3,794	4,022	4,176	4,298

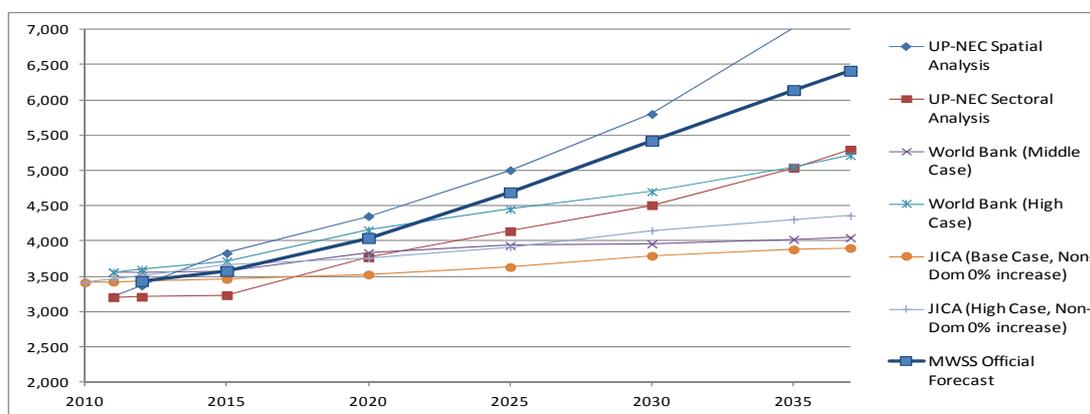
出典：MWSS



出典：MWSS

図 5.8 MWSS の正式な水需要予測

各数値は、前述した UP-SEC の想定に基づいて作成されたが、家庭用水の LPCD が増加していく予想であること、非家庭用水が年率 5%以上で増加していくこと、Buffer 率が 15%程度と多めに設定されていること等の理由により、高めの数値となっている。



出典：JICA 調査団

図 5.9 各種需要予測結果の比較

2020 年程度までは、MWSS の正式需要予想と他の予測値に大きな違いはないが、それ以降において増加率が高くなり、各予想との差が広がっている。

5.4 周辺地域の需要予測

周辺地域の給水率

州の全体人口のうち、各戸給水（施設レベル 3）による給水を受ける人口の割合は、各州の Provincial Health Office の資料より求められた。

表 5.19 調査地域の施設レベル 1～3 の給水率割合

Province	2010			2020			2030			2040		
	lv1	lv2	lv3									
1 AURORA (part)	19%	0%	81%	16%	0%	84%	13%	0%	87%	9%	0%	91%
2 BATANGAS (part)	20%	4%	76%	18%	0%	82%	12%	0%	88%	6%	0%	94%
3 BULACAN	34%	0%	66%	24%	0%	76%	14%	0%	86%	4%	0%	96%
4 CAVITE (part)	1%	3%	96%	1%	2%	98%	1%	1%	99%	0%	0%	100%
5 LAGUNA	35%	14%	51%	32%	10%	58%	28%	6%	65%	24%	4%	73%
6 NUEVA ECIJA	67%	9%	24%	64%	6%	29%	61%	5%	34%	57%	4%	39%
7 NUEVA VIZCAYA (part)	43%	36%	21%	41%	31%	28%	40%	25%	35%	39%	20%	41%
8 PAMPANGA	61%	4%	35%	58%	3%	39%	54%	2%	43%	51%	2%	47%
9 PANGASINAN (part)	93%	0%	7%	91%	0%	9%	90%	0%	10%	89%	0%	11%
10 QUEZON (Part)	20%	21%	59%	20%	17%	64%	18%	14%	68%	16%	11%	73%
11 TARLAC (part)	81%	0%	19%	76%	0%	24%	71%	0%	29%	66%	0%	34%

Note: The above figures are the average of municipalities located in the Study Area

出典：JICA 調査団

一人当たり水使用量

レベル 1 および 2

一人当たりの使用水量は前述 5.2 に述べた。この数値は、将来においても変わらないと想定した。

レベル 3

一人当たりの使用水量は前述 5.2 に述べた。増加率は、一人当たり水使用量が 100l/日以下の場合、年間 1%の増加。100l/人日以上の場合、年間 0.5%が増加すると仮定した。

表 5.20 に、州毎の平均 1 人当り水使用量を示す。

表 5.20 家庭用水の 1 人当り水使用量 (lpcd)

Province	2010	2011	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
1 AURORA (part)	120.0	120.6	121.2	123.0	126.1	129.3	132.6	135.9	139.4
2 BATANGAS (part)	132.9	133.5	134.2	136.2	139.7	143.2	146.8	150.5	154.3
3 BULACAN	127.4	128.1	128.7	130.6	133.9	137.3	140.8	144.4	148.0
4 CAVITE (part)	139.8	140.3	140.8	142.3	144.9	147.6	150.3	153.0	155.9
5 LAGUNA	133.1	133.8	134.4	136.3	139.6	143.0	146.4	150.0	153.6
6 NUEVA ECIJA	121.2	121.8	122.3	124.1	127.1	130.1	133.3	136.5	139.8
7 NUEVA VIZCAYA (part)	120.0	120.6	121.2	123.0	126.1	129.3	132.6	135.9	139.4
8 PAMPANGA	137.4	138.1	138.8	140.9	144.4	148.1	151.8	155.6	159.6
9 PANGASINAN (part)	112.7	113.2	113.8	115.5	118.4	121.4	124.5	127.6	130.9
10 QUEZON (Part)	97.6	98.1	98.6	100.1	102.6	105.2	107.8	110.5	113.3
11 TARLAC (part)	111.2	111.7	112.3	114.0	116.9	119.8	122.8	125.9	129.1

出典：JICA 調査団

無収水(NRW) 率

現在の NRW 率は 35%、これがより効率的な O&M により、2040 年での 25%になる計画とした。

家庭用水の需要予測

家庭用水の需要予測結果を表 5.21、図 5.10 に示す。ラグナ、パンパンガ、アンガット河川流域における水消費量が高い。

表 5.21 周辺地域における河川流域毎の家庭用水の需要予測

	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Angat	3.87	4.32	5.10	5.94	6.83	7.74	8.67
Pampanga	7.72	8.28	9.22	10.16	11.09	11.97	12.80
Pampanga (PAM-1)	0.85	0.91	1.03	1.14	1.25	1.36	1.46
Pampanga (PAM-2)	0.65	0.73	0.87	1.02	1.19	1.35	1.53
Pampanga (PAM-3)	0.10	0.11	0.12	0.14	0.15	0.17	0.18
Pampanga (PAM-4)	1.00	1.06	1.14	1.23	1.30	1.37	1.43
Pampanga (PAM-5)	0.02	0.02	0.03	0.03	0.04	0.04	0.05
Pampanga (COR)	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23
Pampanga (PAN)	0.21	0.22	0.25	0.28	0.30	0.33	0.36
Pampanga (RCH)	2.26	2.42	2.69	2.96	3.22	3.47	3.70
Pampanga (PEN)	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
Pampanga (PAS)	2.44	2.60	2.86	3.13	3.38	3.62	3.83
Agos	0.16	0.17	0.19	0.20	0.22	0.24	0.25
Umiray	0.05	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09
Pasig-Marikina	0.44	0.49	0.56	0.64	0.72	0.81	0.89
Laguna	8.51	9.14	10.21	11.30	12.38	13.41	14.39
Total	20.76	22.45	25.34	28.32	31.31	34.25	37.09

出典：JICA 調査団

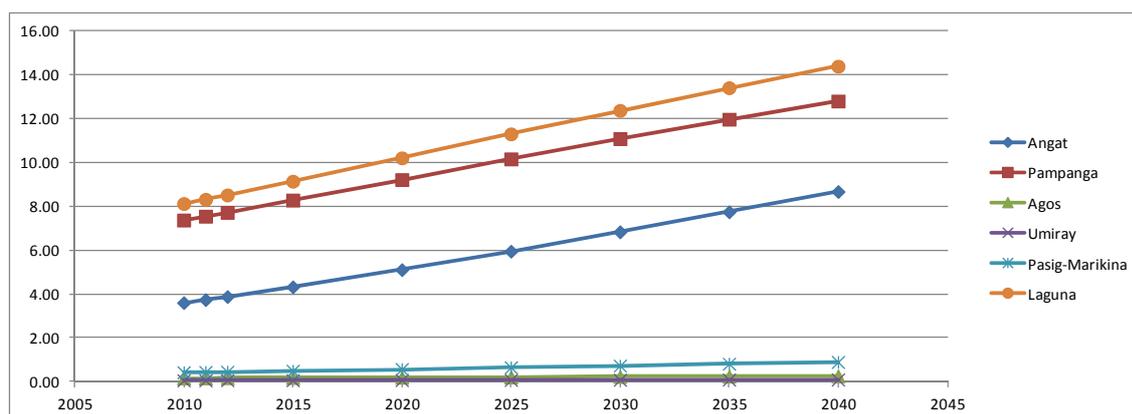


図 5.10 河川流域毎の家庭用水の需要予測

非家庭用水の需要予測

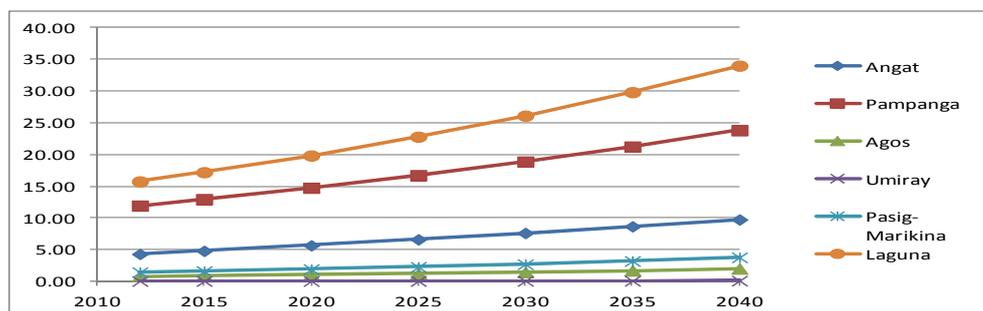
将来の非家庭用水の需要予測は、3.0%から 5.1%を示す、地域 GDP の平均増加率に比例すると仮定し、計算された。以下の表に、河川流域毎の需要予測結果を示す。

表 5.22 河川流域毎の非家庭用水の需要予測

(m³/sec)

	Average Increase Rate	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Angat	3.20%	0.45	0.49	0.58	0.68	0.79	0.93	1.09
Pampanga	3.55%	4.22	4.67	5.54	6.57	7.80	9.26	11.01
Pampanga (PAM-1)	3.20%	0.29	0.32	0.37	0.44	0.51	0.60	0.70
Pampanga (PAM-2)	3.22%	1.01	1.11	1.30	1.52	1.79	2.09	2.45
Pampanga (PAM-3)	3.20%	0.84	0.92	1.08	1.27	1.48	1.73	2.03
Pampanga (PAM-4)	3.57%	0.25	0.28	0.33	0.39	0.47	0.56	0.67
Pampanga (PAM-5)	3.60%	0.06	0.07	0.08	0.10	0.11	0.14	0.16
Pampanga (COR)	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pampanga (PAN)	5.06%	0.27	0.31	0.40	0.51	0.66	0.84	1.08
Pampanga (RCH)	3.55%	0.94	1.04	1.24	1.48	1.76	2.10	2.50
Pampanga (PEN)	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pampanga (PAS)	3.39%	0.56	0.62	0.73	0.86	1.02	1.21	1.42
Agos	3.58%	0.66	0.73	0.87	1.04	1.24	1.48	1.77
Umiray	3.20%	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
Pasig-Marikina	3.84%	1.01	1.13	1.37	1.65	1.99	2.40	2.90
Laguna	3.62%	7.24	8.06	9.62	11.49	13.73	16.40	19.60
Total	-	13.59	15.10	17.99	21.45	25.58	30.50	36.38

出典：JICA 調査団



出典：JICA 調査団

図 5.11 河川流域毎の周辺地域の家庭用水量の需要予測

周辺地域の合計水需要予測

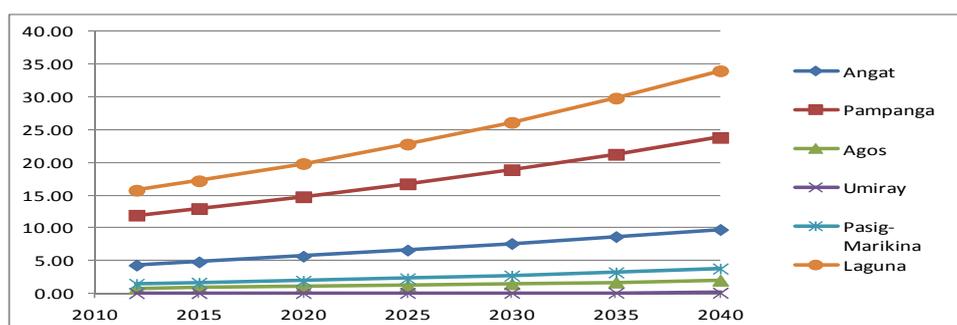
以下の表に、周辺地域における、合計水需要予測を示す。

表 5.23 河川流域毎の周辺地域の合計水需要予測 (m3/sec)

River Basin	2012	2015	2020	2025	2030	2035	2040
Angat	4.32	4.81	5.68	6.62	7.62	8.67	9.76
Pampanga	11.94	12.95	14.76	16.73	18.89	21.24	23.81
Pampanga (PAM-1)	1.14	1.23	1.40	1.57	1.76	1.96	2.16
Pampanga (PAM-2)	1.66	1.84	2.17	2.55	2.97	3.45	3.98
Pampanga (PAM-3)	0.94	1.03	1.20	1.40	1.63	1.90	2.21
Pampanga (PAM-4)	1.25	1.33	1.47	1.62	1.77	1.93	2.09
Pampanga (PAM-5)	0.08	0.09	0.11	0.13	0.15	0.18	0.21
Pampanga (COR)	0.14	0.15	0.16	0.18	0.19	0.21	0.23
Pampanga (PAN)	0.48	0.54	0.65	0.79	0.96	1.17	1.43
Pampanga (RCH)	3.20	3.47	3.94	4.44	4.98	5.56	6.19
Pampanga (PEN)	0.04	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.07
Pampanga (PAS)	3.00	3.22	3.60	3.99	4.40	4.82	5.25
Agos	0.82	0.91	1.06	1.25	1.46	1.72	2.02
Umiray	0.06	0.07	0.07	0.08	0.09	0.10	0.11
Pasig-Marikina	1.45	1.62	1.93	2.29	2.71	3.21	3.79
Laguna	15.75	17.20	19.83	22.80	26.11	29.82	33.99
Total	34.35	37.55	43.33	49.78	56.89	64.76	73.48

出典：JICA 調査団

以下の図に、河川流域毎の需要量を示す。



出典：JICA 調査団

図 5.12 周辺地域の河川流域毎の合計水需要予測

表流水の需要予測

周辺地域では地下水が表流水とともに重要な水源となってきた。現在の流域毎の地下水くみ上げ量の 2011 年 12 月の実測値を依存量として下表に示す。従って、現在の表流水需要は現在の総需要と、地下水くみ上げ量の差によってほぼ近似できる。こうして求めた表流水需要を表 5.24 に示す。

表 5.24 2012 年における想定表流水需要

流域	総需要	地下水依存量	表流水需要
Angat	4.3	1.1	3.2
Pampanga	11.9	3.2	8.7
Pasig-Marikina	1.4	0	1.4
Agos	0.8	0	0.8
Umiray	0.1	0	0.1
Laguna Lake	15.7	3.7	12.0

出典：JICA 調査団

一方、地下水くみ上げ可能量は NWRB が推定している。従って将来の表流水需要に関して二

つの予測が考えられる。

- 1) 地下水への依存量が、表 5.24 に示したくみ上げ量から変わらず、維持する。（ケース 1）
- 2) 地下水への依存量が増加して、2040 年にくみ上げ可能量に達する。（ケース 2）

両ケースの表流水需要を表 5.25 および 5.26 に示す。ここで、ケース 2 において、くみ上げ量の増加は一定と仮定した。水需給収支解析では、このように推定した表流水需要が優先的に水資源賦存量から差し引かれるものと仮定する。

表 5.25 表流水需要（ケース 1）

（単位：MLD）

River Basin	Ground Water	出典：	2010	2020	2030	2040
Angat	91MLD	Total	372	491	657	847
		Surface	281	400	566	756
Pampanga	273	Total	1,028	1,279	1,633	2,056
		Surface	755	1,006	1,360	1,783
Agos	0	Total	69	92	130	173
		Surface	69	92	130	173
Umiray	0	Total	5	6	8	10
		Surface	5	6	8	10
Pasig-Marikina	0	Total	121	164	233	328
		Surface	121	164	233	328
Laguna Lake	320	Total	1,365	1,711	2,255	2,938
		Surface	1,045	1,391	1,935	2,618

出典：JICA 調査団

表 5.26 表流水需要（ケース 2）

（単位：MLD）

River Basin	Water 出典：	2010	2020	2030	2040
Angat	Total	372	491	657	847
	Ground Water	91	199	307	416
	Surface Water	281	292	350	431
Pampanga	Total	1,028	1,279	1,633	2,059
	Ground Water	273	798	1,324	1,849
	Surface Water	755	481	309	210
Agos	Total	69	92	130	173
	Ground Water	0	65	130	173
	Surface Water	69	27	0	0
Umiray	Total	5	6	8	10
	Ground Water	0	6	8	10
	Surface Water	5	0	0	0
Pasig-Marikina	Total	121	164	233	328
	Ground Water	0	17	35	52
	Surface Water	121	147	198	276
Laguna Lake	Total	1,365	1,711	2,255	2,939
	Ground Water	320	373	425	477
	Surface Water	1,045	1,338	1,830	2,462

出典：JICA 調査団

6 灌漑用水需要予測

6.1 農業の現状

フィリピンの農業セクターは、国家経済にとって重要な役割を果たしており、GDP こそ 18.4% であるが雇用は 35% を占めている（2010 年）。フィリピン政府は、現行の「フィリピン国家開発計画 2011-2016」の中で、貧困削減と、農業（特に米）の生産性向上に重点を置いている。同国には 12 百万 ha の農地が存在するが、そのうち 5.7 百万 ha（47%）が耕作地である。2008 年には水田（天水田＋灌漑水田）の総面積は 4.5 百万 ha に達した。1970 年代に米の自給が短期的には達成されたものの、その後、相次ぐ自然災害や、調査研究や灌漑開発投資の縮減などが相まって、米の生産の増大が停滞し、2004-2010 の期間では、米の自給率が 85% に留まっている。とりわけ、2008 年には米の輸入が 2.4 百万トン、額にして 190 億ドルに達し、国家財政を圧迫している。

灌漑セクターは、フィリピンにおける農業生産の維持と食糧安全保障に重要な役割を果たしてきている。同国の灌漑ポテンシャル面積は 3.13 百万 ha で、2009 年の既存灌漑面積は 1.54 百万 ha、すなわちポテンシャル面積の 49% である。灌漑地区は 3 つに区分されており、国営灌漑システム(NIS)が 765,000 ha、コミューナル灌漑システム(CIS)が 558,000 ha、民間灌漑システムが 217,000 ha である。NIS は、国営灌漑公社(NIA)が建設・改修および幹線施設の維持管理を担当し、末端施設の維持管理は水利組合が担当している。一方、CIS の維持管理は水利組合が担当している。

6.2 調査対象地域の灌漑事業

NIS

調査対象地域内には、8 カ所の NIS があり、その合計灌漑面積は 156,000 ha に達する（表 6.1 参照）。最大規模のシステムは、Upper Pampanga River Integrated Irrigation System(UPRIIS)で、5 つのサブシステムから構成されており、総灌漑面積は 119,000 ha である。次いで、大きいのは Angat-Maasim(AMRIS)で、灌漑面積は 26,000 ha である。これらの 2 つの NIS は、その規模の大きさから、他の国営灌漑システムとは異なり、NIA の下、各々独自の組織体制の下で管理運営されている。

表 6.1 調査対象地域内の既存国営灌漑システム

河川流域	灌漑システム名称	サブシステム	灌漑面積 (ha)	水源
Angat	Angat-Maasim (AMRIS)		26,000	Angat R.+Maasim R.
Pampanga	Upper Pampanga River Integrated Irrigation System (UPRIIS)	District-I	20,520	Pampanga R.+Talavera R.
		District-II	22,591	Pampanga R.
		District-III	25,881	Pampanga R.
		District-IV	19,924	Penaranda R.
		District-V	16,879	Pampanga R.
	Aulo SRIP		810	Aulo R.
	Pampanga Delta (PDRIS)		6,604	Pampanga R.
	Porac-Gumain		3,087	Gumain R.+Porac R.
	Pampanga流域合計		117,609	
Laguna	Cabuyao East		348	Diversion dam
	San Cristobal		413	Diversion dam
	Diezmo		852	Diversion dump

	Macablang		418	Diversion dam
	San Juan		341	Diversion dam
	Sta. Maria		974	Diversion dam
	Mayor		375	Diversion dam
	Sta. Cruz		2,185	Diversion dam
	Mabacan		272	Diversion dam
	Balanac		1,000	Diversion dam
	Lumban		57	Intake
	Malaunod		227	Diversion dam
	Laguna流域合計		7,462	
Quezon	Agos		1,234	Intake
	Dumacaa		1,893	Diversion dam
	Hanagdong		274	Diversion dam
	Lagnas		639	Diversion dam
	Quezon流域合計		4,040	
調査対象地域の合計			155,902	

出典： NIA

NIA によれば、実施中の NIS 開発プロジェクトは以下の通りである。

表 6.2 実施中の NIS 開発プロジェクト

プロジェクト名	位置（県）	実施予定（年）	
		開始	終了
Rehabilitation of AMRIS	Bulacan	2009	2010
Along-along Creek Irrigation Project (In UPRIS Div-3)	Nueva Ecija	2010	2019
Comprehensive Agrarian Reform Program, Irrigation Component, Project-II	Nationwide	1993	-
Repair, rehabilitation of existing Groundwater Irrigation Systems, Establishment of Groundwater Pump Project	Nationwide	-	-
Repair, Rehabilitation, Restoration & Preventive Maintenance of existing National & Communal Irrigation Facilities	Nationwide	-	-
Balikatan Sagip Patubig Program (BSPP)	Nationwide	2010 -	2019
Repair, Rehabilitation, Restoration & Preventive Maintenance of Existing National & Communal Irrigation Facilities (RRENIS/CIS)	Nationwide	2010 -	2019
Restoration/Rehabilitation of Existing NIA Assisted Irrigation System (PRE-NIA-AIS)	Nationwide	2010 -	2019
Participatory Irrigation Development Project (PIDP)	Nationwide	2010 -	2019
Rehabilitation of Small Water Impounding Projects / Diversion Dam	Nationwide	2009-	2011
Upper Tabuating SRIP	Nueva Ecija	2010-	2010-

出典： NIA COPLAN, 2009-2018, NIA: Indicative Irrigation Development Program, 2010-2019 and BSWM

開発が予定されている NIS は表 6.3 に示す通りである。

表 6.3 開発が予定されている NIS

プロジェクト名	位置（県）	灌漑面積 (ha)	実施機関
Participatory Irrigation Development Project	Nationwide	26,791	GAA / IBRD
Procurement of Pumps, Drilling Rigs & Related Equipment	Nationwide	3,900	GAA / Spanish Loan
Balog-balog Multipurpose Project Phase 2	Tarlac	34,410	GAA / ODA
Sector Loan on Rehabilitation of Irrigation Facilities	Nationwide		GAA / JICA
Casencan Multipurpose Power & Irrigation Project Irrigation Component - Phase II	Nueva Ecija / Bulacan	61,000	GAA / ODA
Irrigation Water Resources Augmentation Pump Establishment Project	Nationwide	2,361	-
Appropriate Irrigation Technologies for Enhanced Agricultural Production	Include. Regions III	4,000	GAA / ODA

Central Luzon Groundwater Irrigation Systems Reactivation Project	Nueva Ecija	5,000	-
Gumain Reservoir Project	Pampanga	16,750	-

出典： NIA COPLAN, 2009-2018 and Indicative Irrigation Development Program, 2010-2019

備考： GAA : General Appropriations Act, IBRD : International Bank for Reconstruction and Development

CIS

NIA が開発するシステムのうち、1,000 ha 以下の規模のものは原則として CIS であり、建設後は全面的に水利組合に移管される。しかし、過去の経緯から、1,000 ha 以下の規模の NIS も存在している。また、いくつかの CIS は、民間により管理運営されている。

調査対象地域内には現在機能している 218 の CIS が存在し、その総灌漑面積は 37,522 ha である。

表 6.4 調査対象地域内の機能している CIS

河川流域	コミュニティ灌漑システム				合計	
	重力灌漑		ポンプ灌漑		数	面積 (ha)
	数	面積 (ha)	数	面積 (ha)		
Angat	7	219	0	0	7	219
Pampanga	137	25,712	31	7,427	168	33,139
Umiray	0	0	0	0	0	0
Agos	1	224	0	0	1	224
Pasig-Marikina	3	206	0	0	3	206
Laguna Lake	39	3,734	0	0	39	3,734
合計	187	30,095	31	7,427	218	37,522

出典：JICA 調査団取り纏め

既存の CIS の中、約 3 分の 1 は現在機能していない。機能していない主な理由は、灌漑地区が UPRIIS などの大規模灌漑地区に組み込まれたため、基幹灌漑施設が使われなくなったこと、都市化の影響で灌漑地区が転用されたこと、ポンプ灌漑システムの一部が、高い運転コストの負担に耐えられず使われなくなったこと、等である。

小規模灌漑地区（農業省支援）

NIA が担当する灌漑地区とは別に、小規模灌漑地区の開発が農業省の土地水管理局 (BSWM) の支援で実施されてきた。その目的は、散在する小規模農業地区の農業生産性向上で、ごく小規模の灌漑施設を建設し灌漑農業を支援するもので、灌漑施設の内容には、頭首工灌漑、小規模溜池、小規模農民溜池、浅井戸などがある。

表 6.5 調査対象地域内の既存小規模灌漑地区

タイプ	地区数	灌漑面積 (ha)	
		雨季作	乾季作
頭首工灌漑 (DD)	32	1,108	735
小規模溜池灌漑 (SWIP)	14	681	108
小規模農民溜池灌漑 (SFR)	1	37	0
合計	47	1,826	843

出典：Prepared by the Study Team based on the BSWM GIS Data base

今後実施が予定されている新規の小規模灌漑地区は次表の通りである。

表 6.6 調査対象地域内の小規模灌漑地区

タイプ	地区数	灌漑面積 (ha)
頭首工灌漑 (DD)	18	1959
小規模溜池灌漑 (SWIP)	24	1,635
小規模農民溜池灌漑 (SFR)	4	112
合計	46	2,706

出典: Estimated by the Study Team based on the BSWM data base

6.3 調査対象地域の将来灌漑事業

各種の灌漑事業ごとに初来の開発計画を持っている。開発計画による将来の灌漑面積の概要を表 6.7 に示した。

表 6.7 現在および将来の灌漑面積

河川流域	カテゴリー	Change of Irrigation Scheme					
		現状		将来		差異	
		地区数(no)	面積(ha)	地区数(no)	面積(ha)	地区数(no)	面積(ha)
Angat	NIS	1	26,000	1	26,791	0	791
	CIS	7	219	13	515	6	296
	WRMP	2	62	4	117	2	55
Pampanga	NIS	5	117,609	6	171,809	1	54,200
	CIS	168	32,139	209	42,213	41	10,074
	WRMP	41	1,764	95	4,702	54	2,938
Agos	NIS	4	4,040	4	4,040	0	0
	CIS	1	224	6	523	5	299
	WRMP	0	0	0	0	0	0
Umiray	NIS	0	0	0	0	0	0
	CIS	0	0	0	0	0	0
	WRMP	0	0	0	0	0	0
Pasig-Marikina	NIS	0	0	0	0	0	0
	CIS	3	206	3	206	0	0
	WRMP	4	84	4	84	0	0
Laguna Lake	NIS	12	7,462	12	7,462	0	0
	CIS	39	3,734	42	3,979	3	245
	WRMP	23	779	23	779	0	0
Total	NIS	22	155,902	23	210,102	1	54,200
	CIS	218	37,522	273	47,436	55	9,914
	WRMP	70	2,689	126	5,682	56	2,993
Grand Total		310	196,113	422	263,220	112	67,898

出典: JICA 調査団取り纏め

6.4 既存灌漑システムの問題点

水不足

(1) 既存灌漑システムの水不足

大規模灌漑、小規模灌漑地区のいずれも、水不足問題に直面している。その原因と理由は、①近年の気候変動の影響による降雨の不安定化、②水資源開発の遅れ、③維持管理不足による灌漑施設の機能低下、④小規模灌漑における水源施設の不足。さらに、流域内の焼畑農業や伐採による水源の劣化が、河川のベースフローの減少や洪水の増大などを引き起こす原因となっている。

(2) 大規模灌漑開発事業の実施の遅れ

調査対象地域で最大の河川である Pampanga 川流域では、多くの灌漑計画が立案されている。主な大規模灌漑プロジェクトは、①Casecnan Multipurpose Irrigation & Power Project - Irrigation Component (CMIPP-IC), Phase-2、②Balintongan Reservoir Multipurpose Project (BRMP)、および③Balog-Balog Multipurpose Project (BBMP), Phase-II である。しかしながら、これらは、開発資金手当ての遅れにより実現していない。また BBMP では、反政府勢力（NPA）が引き起こす治安問題がプロジェクトの実施を妨げている。

(3) AMRIS 灌漑システムにおける水不足

水不足問題が最も深刻なのは AMRIS 地区で、Angat 多目的ダム貯水の水配分（水道と灌漑の間）が課題である。現状は、マニラ首都圏の水道用水への配分が優先され、灌漑分野に水不足が起きている。さらに、ダム下流にある既存の Bustos 頭首工はダムでの発電後の放流水の日変動を調整する容量（1.5 MCM）を持っているが、これが有効に機能していない。このため、ダムの貯水が全ては有効利用されていないのが現状である。

低い灌漑効率

(1) 灌漑施設の不足と経年劣化

現在の灌漑効率の低さはいろいろな原因で生じている。施設面では、(i) 維持管理不足による灌漑排水施設の経年劣化、(ii) 量水施設を含む流量調整施設の不足、(iii) ライニングしていない土水路区間での大きな搬送ロス。この結果生じている灌漑効率の低さが水代徴収率の低さを引き起こしている。

(2) 水管理

灌漑効率の低さは、農民や政府機関による適切な水管理の欠如からも生じており、その改善のため、能力向上トレーニングや新しい節水灌漑法の導入普及が必要である。また、地方政府灌漑関連機関が担当するコミューナル灌漑地区の事業実施や維持管理も弱体である。

その他の問題点

(1) 水質の悪化

フィリピン最大の農業および水産（養魚）の生産地は Pampanga デルタ地域である。そこでは、とくに養魚池へ補給される灌漑水の水質悪化が問題化している。その汚染源は、工場、都市、畜産業から出る排水や廃棄物である。さらに、これらがマニラ湾の水質悪化を招いている。また、ピナツボ火山噴火の結果、地下水に含まれる硫酸塩が増大している。

(2) 地下水の減少

地下水の減少が、Bulacan、Pampanga、Nueva Ecija の各州から報告されている。その原因は、ポンプ灌漑面積の増大、養魚池用水や都市用水の需要増大である。さらに、

地下水開発利用の実態調査や規制の不備もある。Pampanga および Bulacan 州の一部では、地下水の減少が灌漑用の井戸への塩水侵入を引き起こしている。

(3) 灌漑施設や養魚池の洪水被害

農地の排水路および構造物の劣化は、頻繁に発生する洪水被害や施設維持管理不足から生じているが、これが作物生産の不安定化を招いている。とくに Pampanga 下流域で著しい。また、養魚池の洪水被害も指摘されている。農地や養魚池の保全のため、洪水被害軽減策が必要である。

6.5 灌漑用水量

灌漑用水量の算定

州ごとの気候条件を考慮して単位灌漑用水量を求め、下表に示した。

表 6.8 州毎の単位灌漑用水量

Region / Province	Climate Type	Cropping Pattern	Monthly Unit Diversion Water Requirement (lit/s/ha)											
			Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Region III														
Nueva Ecija-1	1 (4)	8	1.4	1.8	0.8	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.9
Nueva Ecija-2	3	8	1.2	1.6	0.8	0.0	0.0	1.2	0.2	0.1	0.4	0.0	1.0	0.3
Tarlac	1	4	1.7	0.4	0.0	0.0	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	1.1	0.8	1.4
Pampanga	1	6	1.6	1.6	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.1	0.0	1.5	1.2
Bulacan	1	7	1.7	1.8	0.7	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.1
Region IVa														
Rizal	1 (4)	8	1.4	1.7	1.2	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	0.4
Laguna	1	7	1.3	1.7	11.0	0.0	0.0	1.0	0.1	0.3	0.2	0.0	1.0	0.4
Quezon	1	8	0.1	0.1	0.0	0.0	1.6	0.4	0.5	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0

出典： The Master Plan Study on the Small –Scale Irrigation Development Project (JICA/NIA, 1992)

灌漑用水量の予測結果

(1) NIS の灌漑用水量

表 6.9 現状の NIS 灌漑用水量

River Basin	NIS	Diversion Water Demand (m ³ /s)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Angat	AMRIS	41.3	41.7	32.0	9.7	0.0	25.5	9.9	1.2	5.4	10.1	18.8	34.2
Pampanga	UPRIIS	125.8	142.7	107.4	25.5	12.2	78.9	46.1	16.0	18.7	41.7	74.6	108.9
	Aulo	1.1	1.2	0.6	0.0	0.2	0.7	0.3	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9
	PDRIS	8.7	9.4	5.3	0.0	1.5	5.7	2.1	1.2	1.3	3.4	5.9	7.0
	Porac-Gmain	4.1	4.8	4.0	1.3	0.1	2.7	1.6	0.5	0.5	1.3	2.1	3.7
	Total	139.7	158.1	117.3	26.8	14.0	88.0	50.1	17.8	20.7	46.8	83.3	120.5
Umiray		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agos	4 NISs	6.2	6.3	4.9	1.5	0.0	3.8	1.5	0.2	0.8	1.5	2.8	5.2
Pasig-Marikina		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Laguna Lake	12 NISs	11.5	11.6	9.0	2.7	0.0	7.1	2.8	0.3	1.5	2.8	5.2	9.5
Grand Total		198.7	217.7	163.2	40.7	14.0	124.4	64.3	19.5	28.4	61.2	110.0	169.4

出典： JICA 調査団

表 6.10 将来の NIS 灌漑用水量

River Basin	NIS	Diversion Water Demand (m ³ /s)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Angat	AMRIS	42.5	43.0	33.2	10.0	0.0	26.3	10.2	1.2	5.6	10.4	19.4	35.2
Pampanga	UPRIIS	150.7	171.4	131.6	33.1	12.9	92.7	56.8	18.9	22.2	49.3	88.4	131.1
	Aulo	1.1	1.2	0.6	0.0	0.2	0.7	0.3	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9
	Balintingon	19.5	21.2	11.9	0.0	3.3	12.8	4.8	2.7	3.0	7.7	13.3	15.8
	PDRIS	15.7	16.9	9.5	0.0	2.7	10.3	3.8	2.2	2.3	6.1	10.6	12.6
	Porac-Gmain	12.9	12.9	7.6	6.3	6.7	6.2	4.3	6.0	5.3	2.8	8.8	12.5
	Total		180.4	202.5	149.3	39.4	22.5	109.8	65.2	27.2	30.0	58.6	108.5
Umiray		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agos	4 NISs	6.2	6.3	4.9	1.5	0.0	3.8	1.5	0.2	0.8	1.5	2.8	5.2
Pasig-Marikina		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Laguna Lake	12 NISs	11.5	11.6	9.0	2.7	0.0	7.1	2.8	0.3	1.5	2.8	5.2	9.5
Grand Total		240.6	263.4	196.4	53.6	22.5	147.0	79.7	28.9	37.9	73.3	135.9	207.0

出典： JICA 調査団

(2) CIS の灌漑用水量

表 6.11 現状の CIS 灌漑用水量

River Basin	CIS (nos)	Diversion Water Demand (m ³ /s)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Angat	7	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2
Pampanga	168	29.1	31.5	17.8	0.0	7.3	28.5	10.6	6.0	6.6	17.2	19.7	23.5
Umiray	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agos	1	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2
Pasig-Marikina	3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
Laguna Lake	39	2.3	2.5	1.4	0.0	0.6	2.2	0.8	0.5	0.5	1.4	1.6	1.9
Total	218	32.0	34.6	19.5	0.0	7.9	31.3	11.7	6.5	7.1	18.9	21.6	25.9

出典： JICA 調査団

表 6.12 将来の CIS 灌漑用水量

River Basin	CIS (nos)	Diversion Water Demand (m ³ /s)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Angat	13	0.6	0.6	0.3	0.0	0.1	0.6	0.2	0.1	0.1	0.3	0.4	0.5
Pampanga	209	41.2	44.6	25.1	0.0	10.3	40.3	15.1	8.4	9.4	24.4	28.0	25.4
Umiray	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agos	6	0.1	0.1	0.0	0.8	0.2	0.3	0.2	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0
Pasig-Marikina	3	0.4	0.6	0.3	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1
Laguna Lake	42	3.5	3.8	2.1	0.0	0.9	3.4	1.3	0.7	0.8	2.1	2.4	2.8
Total	273	45.8	49.7	27.8	0.8	11.5	44.9	16.8	9.2	10.5	26.8	31.1	28.8

出典： JICA 調査団

(3) 小規模灌漑（SSI）の灌漑用水量

表 6.13 現在の SSI 灌漑用水量

河川流域	地区数 (nos)	月別灌漑用水量(m ³ /s)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Angat	2	0.05	0.06	0.03	0.00	0.01	0.05	0.02	0.01	0.01	0.03	0.04	0.04
Pampanga	41	1.55	1.68	0.95	0.00	0.39	1.52	0.56	0.32	0.35	0.92	1.05	1.25
Umiray	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agos	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pasig-Marikina	4	0.07	0.08	0.05	0.00	0.02	0.07	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06
Laguna Lake	23	0.68	0.74	0.42	0.00	0.17	0.67	0.25	0.14	0.16	0.41	0.46	0.55
Total	70	2.35	2.56	1.45	0.00	0.59	2.31	0.86	0.49	0.54	1.40	1.60	1.90

出典： JICA 調査団

表 6.14 将来の SSI 灌漑用水量

河川流域	地区数 (nos)	月別灌漑用水量(m ³ /s)											
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Angat	4	0.10	0.11	0.06	0.00	0.03	0.10	0.04	0.02	0.02	0.06	0.07	0.08
Pampanga	95	4.13	4.47	2.52	0.00	1.03	4.04	1.51	0.84	0.94	2.45	2.80	3.34
Umiray	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Agos	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Pasig-Marikina	4	0.07	0.08	0.05	0.00	0.02	0.07	0.03	0.02	0.02	0.04	0.05	0.06
Laguna Lake	23	0.68	0.74	0.42	0.00	0.17	0.67	0.25	0.14	0.16	0.41	0.46	0.55
Total	126	4.98	5.40	3.05	0.00	1.25	4.88	1.83	1.02	1.14	2.96	3.38	4.03

出典： JICA 調査団

(4) 地下水灌漑・水産・畜産水需要

表 6.15 地下水灌漑・水産・畜産水需要

水需要の 分野	時期	河川流域別水需要(m ³ /s)						合計 (m ³ /s)
		Angat	Pampanga	Umiray	Agos	P-Marikina	Laguna	
地下水 灌漑	現在	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
	将来	0.00	2.25	0.00	0.00	0.08	0.19	2.52
水産	現在	0.2	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6
	将来	0.2	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6
畜産	現在	0.02	0.27	0.00	0.00	0.01	0.01	0.31
	将来	0.04	0.38	0.00	0.00	0.01	0.02	0.45

出典： JICA 調査団

6.6 気候変動が灌漑用水量に及ぼす影響

本調査における気候変動の将来予測の結果、2050年に気温が現在よりも2℃上昇すると試算された。気温の上昇は、蒸発散量を増加させ、灌漑用水量の増大を引き起こすものと考えられる。

作物蒸発散量の変化

作物蒸発散量の算定は、FAOが推奨しているペンマン式（FAO Penman-Monteith equation）を用いて行うのが一般的である。この式を用いて作物蒸発散量を算定するために必要な気象要素は、(a) 日最高最低気温、(b) 湿度、(c) 風速、(d) 日照時間、および (e) 作物表面の放射量、である。

ペンマン式による気温の変化による蒸発散量の変化は以下の通り算定された。

表 6.16 気温と蒸発散量の関係

ケース	気温 (°C)		蒸発散量 (mm/day)
	最高気温	最低気温	
A	31.0	23.0	3.9
B	30.0	23.0	3.6
C	29.5	23.0	3.5

この試算結果から、気温が1℃上昇すると、蒸発散量は1日あたり0.3 mm増大することが分かった。したがって、今回の気候変動予測で得られた将来の2℃の気温上昇は、蒸発散量を1日あたり0.6 mm増大させることになる。

調査地区で算定された現在の気象条件下での水稲稲作の日平均蒸発散量は4 mm/dayであるので、気候変動の結果、この値が4.6 mm/dayに増大することになる。これは、15%の増大に相当する（=4.6 mm/day / 4.0 mm/day）。

将来の用水量増大への対応策

調査対象地区の貯水ダムなどによる新たな水資源開発の余地は極めて限られている。そこで、将来想定される灌漑用水量の増大に対して、水稲稲作における節水灌漑の導入・普及を進めることが必要となる。その節水方法には、国際稲研究所（IRRI）が推奨しているAWD(Alternate wetting and drying)と称される間断灌漑法と、SRI(System of Rice Intensification)と称される低投入稲作増収技術がある。いずれの方法も、その導入により、15%から最大30%の節水が可能である。

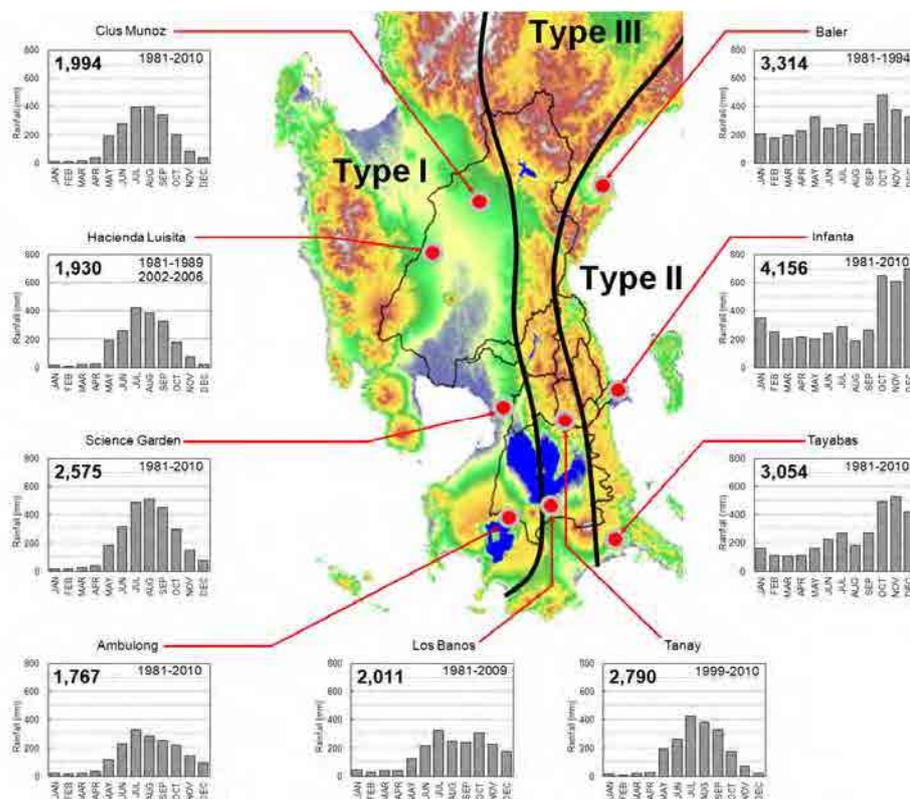
7 供給面の分析

7.1 気象・水文

降水量

フィリピン国の気候はモンスーン及び熱帯雨林の影響を強く受け、地域ごとの降雨特性によって4タイプの気候区分に分類されている。調査対象地域は、ルソン島を南北に連なるシエラ・マドレ山脈（Sierra Madre）を分水嶺として、その西側のアンガット川下流域、パンパンガ川下流域、パッシングマリキナ川下流域、ラグナ湖流域西部が気候区分Ⅰ、東側のウミライ川流域、アゴス川下流域が気候区分Ⅱに分類される。また、シエラ・マドレ山脈に沿った山岳地のアンガット川上流域、パンパンガ川上流域、アゴス川上流域及びラグナ湖流域東部は気候区分Ⅲとなっている。

降雨をもたらす主な要因は、モンスーン、熱帯低気圧、貿易風である。6月と8月には熱帯収束帯の影響も受けている。5～10月にかけて南西モンスーン、11～4月にかけては北東モンスーンが卓越する。地域によって多少の差異はあるが、南西モンスーンは雨季をもたらす。さらに、7～10月にかけては東方海上で熱帯低気圧が発生、フィリピン国に接近しつつ発達して台風となる。フィリピン国付近を通過する台風の数は平均的に年間20程度である。



出典： PAGASA 資料に基づき調査団が作成

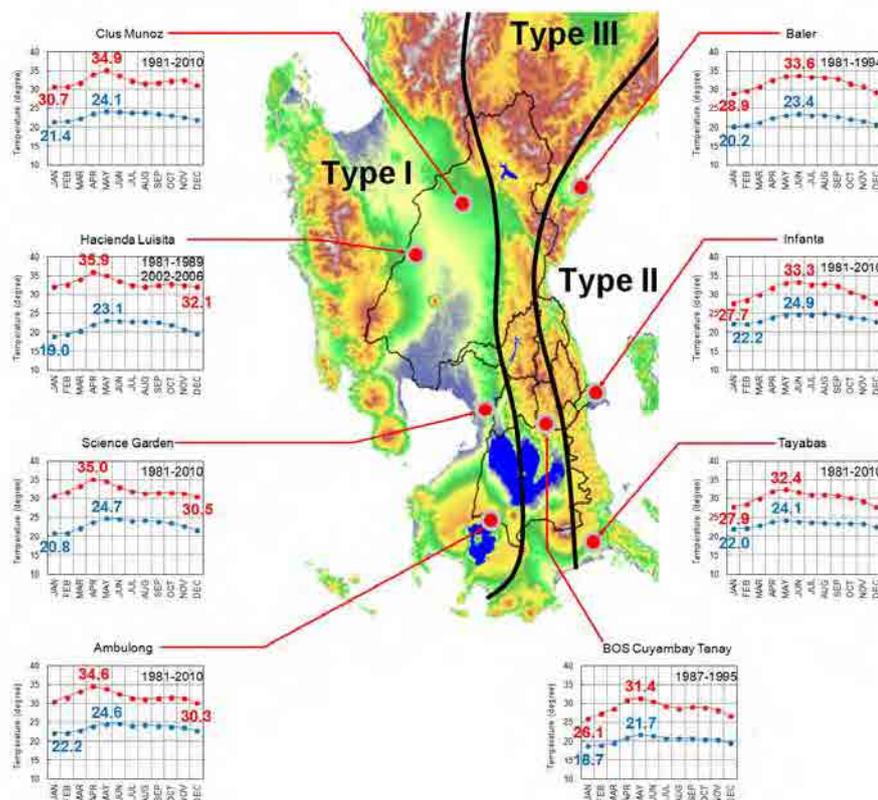
図 7.1 調査対象地域の降雨

図 7.1 は調査対象地域の平均月降水量を示す。

気温

パンパンガ川流域、マニラ首都圏において月別気温の推移は概ね同様のパターンとなっている。Clus Munos では、月別の平均日最高気温は 30.7～34.9℃で5月に最高となり、平均日最低気温は 21.4～24.0℃で1月に最低となる。

シエラ・マドレ山脈東側の Baler、Infanta、Tayabas においては、月別気温の推移は上記の地域とはやや異なるパターンとなっている。



出典： PAGASA 資料に基づき調査団が作成

図 7.2 調査対象地域の気温

Infanta では、月別の平均日最高気温は 27.7～33.3℃で6月に最高となり、平均日最低気温は 22.2～24.9℃で1月に最低となる。図 7.2 は調査対象地域の気温を示す。

相対湿度

パンパンガ川流域の Clus Munoz では乾期（11～4月）の相対湿度は 75～77%で推移するが、雨期には最大 87%（8月）に達する。Science Gardern では月別の変動幅が大きく、最大 84%（9月）、最小 66%（4月）である。Ambulong における相対湿度の月別の推移は Science Garden のパターンと類似しており、最大 84%（9月）、最小 73%（4月）である。

一方、Infanta 及び Tayabas では、ほぼ年間を通じて相対湿度が 80%以上となる。Infanta では最大 86%（12月）、最小 80%（8月）、Tayabas では最大 87%（12月）、最小 81%（4月）である。

パン蒸発量

可能蒸発量はA-パンを用いて計測されている。年平均蒸発量(パンデータ)は、パンパンガ川流域の Clus Munoz で 1,939 mm、Hacienda Luisita で 1,685 mm マニラ首都圏（ケソン市）の National Agromet Research Center (NARS)で 1,337 mm、アゴス川流域とラグナ湖流域の境界付近の Cuyembay Tanay で 1,230 mm、ラグナ湖流域南部の Los Banos で 1,560 mm である。Clus Munoz において、月別蒸発量は乾期の4月に最大、雨期の9月に最小となる。一方、NARS

と Los Banos では月別蒸発量はやや異なるパターンとなっており、4月に最大、12月に最小となる。

日照時間

平均日照時間は乾期のピークに最長、雨期のピークに最短となる。

パンパンガ川流域において、平均日照時間は4月に最長となり、Clisu Munos で10.1時間/日、Hacienda Luisita で9.6時間/日である。また、平均日照時間は8月に最短となり、Clisu Munos で4.7時間/日、Hacienda Luisita で4.6時間/日である。マニラ首都圏及びラグナ湖流域周辺においても、平均日照時間の月別推移は概ね同様のパターンである。4月の平均日照時間は、Science Garden で8.0時間/日、Ambulong で8.8時間/日である。また、8月の平均日照時間は、Science Garden で4.0時間/日、Ambulong で4.6時間/日である。

Infanta における平均日照時間は、他の地域の観測所とは異なる月別推移パターンとなっている。平均日照時間は8月に7.0時間/日（最長）、12月に2.1時間/日（最短）となる。

アンガット川の流域と流況

アンガット川の総流域面積は約1,100方キロで、シエラ・マドレ山脈(Sierra Madre Mountains)の西側斜面に位置する。山脈を挟んで東側にウミライ川流域、南側にマリキナ川流域が隣接している。その中流域(546方キロ)にマニラ首都圏への給水上最も重要なアンガットダムが設けられている。

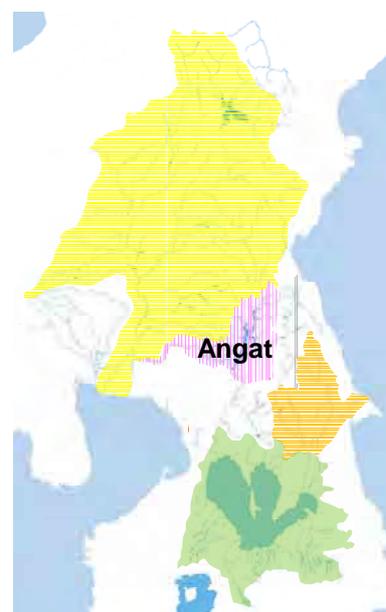
アンガット貯水池の上流域は急峻な山岳地であり、フィリピン国内における多雨地域のひとつである。「パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査(JICA/NWRB、2009～2011)」によれば、上流域の年平均雨量は4,391mmと推定されている。

アンガット貯水池の下流域ではパンパンガ・デルタに向かって徐々に緩勾配となり、パンパンガ・デルタにおいてラバンガン放水路(Labangan Floodway)を通じてマニラ湾に注いでいる。ラバンガン放水路合流点における残流域面積は346km²、年平均雨量は2,425mmと推定されている。

表 7.1 アンガット川の流域面積及び流域平均雨量

分割流域の区間	流域面積 (km ²)	流域平均雨量 (mm)
アンガット貯水池の上流	546	4,391
アンガット貯水池～ラバンガン放水路合流点	346	2,425
ラバンガン放水路～マニラ湾	194	1,806
計	1,085	3,303

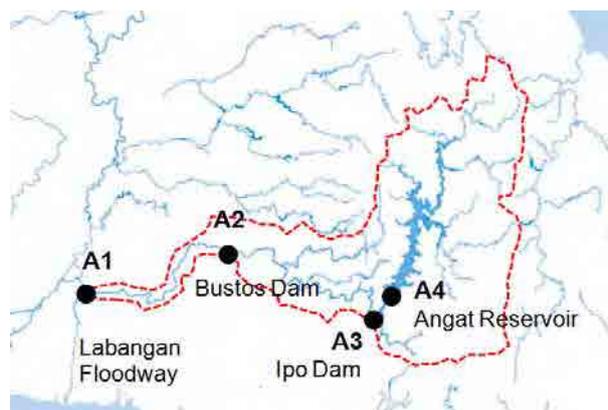
出典：パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書 (JICA/NWRB、2011)



出典：JICA 調査団

図 7.3
アンガット川流域の位置図

「パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査（JICA/NWRB、2009～2011）」では、1958～2007（50年間）の気象・水文資料に基づいてパンパンガ川流域、アンガット川流域及びパサク川流域の流出解析が行われた。この流出解析では水資源ポテンシャル評価のため、人為的な影響（貯水池による流量調節、流域間導水、河川からの取水など）を除いた仮定条件（疑似自然流況）について流域の主要地点における河川流量が推定された（表 7.2 参照）。



出典：パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.4
アンガット川的主要な河川流量推定地点

アンガット川的主要な河川流量推定地点を図 7.4 に示す。アンガット貯水池における平均流量は 58.3 m³/sec、年間総流出量は 1,839 百万 m³/年である。また、ラバング放水路合流点における平均流量は 74.7 m³/sec、年間総流出量は 2,356 百万 m³/年である。

表 7.2 アンガット川の主要地点における平均流量（疑似自然流況）

番号	地点	流域面積 (km ²)	平均流量 (m ³ /sec)	比流量 (m ³ /sec/km ²)
A4	アンガット貯水池	546	58.3	0.107
A3	イゴ堰	618	63.7	0.103
A2	ブストス堰	846	73.5	0.087
A1	ラバング放水路合流点	892	74.7	0.084

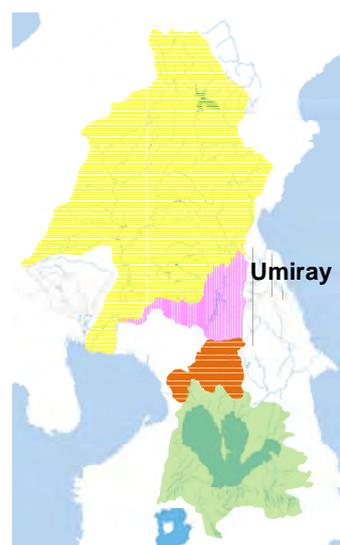
出典：パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

ウミライ川流域と流況

(2) ウミライ川流域

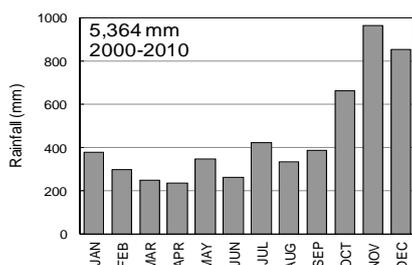
ウミライ川は、西に隣接するアンガット川流域と東に隣接するカナン川流域に挟まれた渓谷を北に流下して太平洋に至る。その流域面積は 538 km²である。（図 7.5 参照）上流域はフィリピン国内における多雨地域のひとつであり、図 7.6 に示すウミライ～アンガット導水の取水地点における降雨データ（2000～2010）は、上流域の年平均雨量が 5,000 mm 以上であることを示唆している。

ウミライ川上流域には豊富な流出量があることから、ウミライ川からアンガット貯水池に流域間導水が行われている。ウミライ～アンガット導水事業は 2000 年に運用が開始された。



出典：JICA 調査団

図 7.5 ウミライ川流域

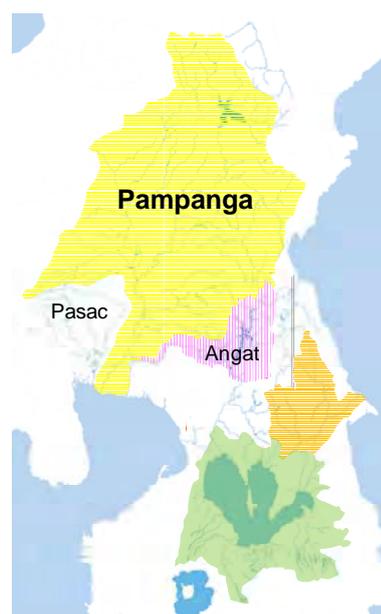


出典： MWSS 資料に基づき調査団が作成

図 7.6 取水地点における降雨量 (2000～2010)

パンパンガ川流域と流況

パンパンガ川は、カラバジョ山脈（Caraballo Mountains）の谷間を南に向かって流下、東側のシエラ・マドレ山脈から流下する支川と合流しつつ、カンダバ湿地（Candaba Swamp）付近において流域西部を流下するチコ川（Chico River）と合流、さらに南に向かいパンパンガ・デルタからマニラ湾に流下する。パンパンガ川の流域面積は 7,978 km² であるが、南東に隣接するアンガット川流域（1,085 km²）及び南西に隣接するパサック川流域（1,371 km²）を含めた 10,434 km² がパンパンガ川流域と呼称されることもある（図 7.7 参照）。



出典： JICA 調査団

図 7.7 パンパンガ川流域の位置図

年平均雨量は、山岳地である北部のパンタバンガン貯水池上流域で 2,183 mm、東部のコロネル川流域及びペナランダ川流域でそれぞれ 2,460 mm、2,638 mm である。また、西部のチコ川流域の年平均雨量は 1,926 mm である。中流域から下流域において年平均雨量は 1,700～1,800 mm と減少する。（表 7.3 参照）。

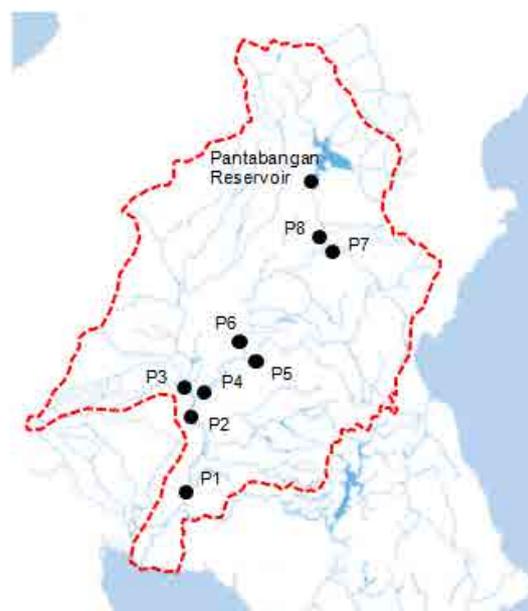
表 7.3 パンパンガ川の流域面積及び流域平均雨量

河川	区間	流域面積 (km ²)	流域平均雨量 (mm)
パンパンガ川	パンタバンガン貯水池の上流	849	2,183
パンパンガ川	パンタバンガン貯水池～コロネル川合流点	437	2,016
コロネル川	パンパンガ川合流点の上流	712	2,460
パンパンガ川	コロネル川合流点～ペナランダ川合流点	799	1,724
ペナランダ川	パンパンガ川合流点の上流	570	2,638
パンパンガ川	ペナランダ川合流点～チコ川合流点	40	1,509
チコ川	パンパンガ川合流点の上流	2,895	1,926
パンパンガ川	チコ川合流点～カルムピット	1,517	1,811
パンパンガ川	カルムピット～河口	159	1,731
	計	7,978	2,009

出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

「パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査（2009～2011）」による河川流量推定結果（疑似自然流況）を表 7.4 に示す。また、主な河川流量推定地点を図 7.8 に示す。

パンパンガ川のパンタバンガン貯水池（P9）（849 方キロ）における平均流量は 33.4 m³/sec、年間総流出量は 1,053 百万 m³/年である。また、カルムピット地点（P1）における平均流量は 289.8 m³/sec、年間総流出量は 9,139 百万 m³/年である。



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.8 パンパンガ川的主要地点

表 7.4 パンパンガ川的主要地点における平均流量（疑似自然流況）

番号	河川	地点	流域面積 (km ²)	平均流量 (m ³ /sec)	比流量 (m ³ /sec/km ²)
P9	パンパンガ川	パンタバンガン貯水池	849	33.4	0.039
P8	パンパンガ川	コロネル川合流点の上流側	1,286	47.8	0.037
P7	コロネル川	パンパンガ川合流点の上流側	712	33.3	0.047
P6	パンパンガ川	ペナランダ川合流点の上流側	2,797	105.0	0.038
P5	ペナランダ川	パンパンガ川合流点の上流側	570	31.3	0.055
P4	パンパンガ川	チョコ川合流点の上流側	3,406	137.2	0.040
P3	チョコ川	パンパンガ川合流点の上流側	2,895	105.2	0.036
P2	パンパンガ川	チョコ川合流点の下流側（コン・ダオン堰）	6,308	242.6	0.038
P1	パンパンガ川	カルムピット	7,819	289.8	0.037

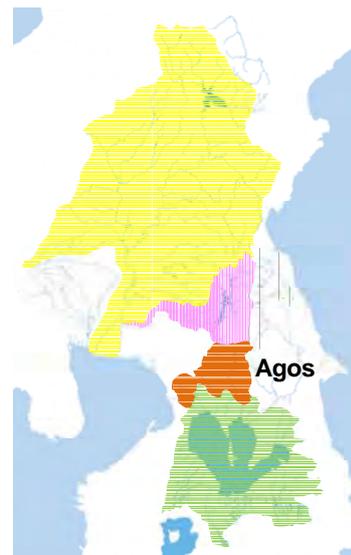
出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

アゴス川流域と流況

シエラ・マドレ山脈の東側に位置しており、北にウミライ川流域、西にマリキナ川流域、南にラグナ湖流域と接している（図 7.9 参照）。流域面積は 940 km²であり、その大半は山岳地からなる。上流域はフィリピン国内有数の多雨地域である（図 7.10 参照）。

年平均雨量は、北東部のカナン川流域（Kanan River Basin）で約 5,700 mm、西南部のカリワ川流域（Kaliwa River Basin）で約 3,300 mm と推定されている。カリワ川とカナン川の合流後はアゴス川となって東に流下し、インファンタ市付近で太平洋に至る。

「マニラ首都圏水資源開発計画調査（2001～2003）」において、1950～1988（39 年間）の気象・水文資料に基づいて流出解析が行われ、アゴス川の主要地点における河川流量が推定された。主な河川流量推定地点を図 7.11 に示す。また、これらの地点における平均流量を表 7.5 に示す。カリワ川流域(276 方キロ)の平均流量は 37.4 m³/sec、年間総流出量は 1,179 百万 m³/年である。また、カナン川流域（393 方キロ）の平均流量は 74.5 m³/sec、年間総流出量は 2,349 百万 m³/年である。

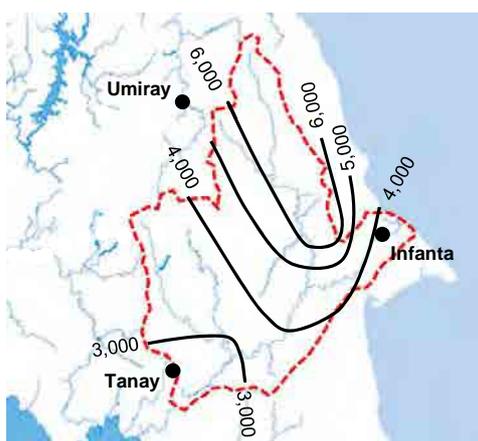


出典： JICA 調査団
図 7.9 アゴス川流域の位置図

7.5 アゴス川の主要地点における平均流量

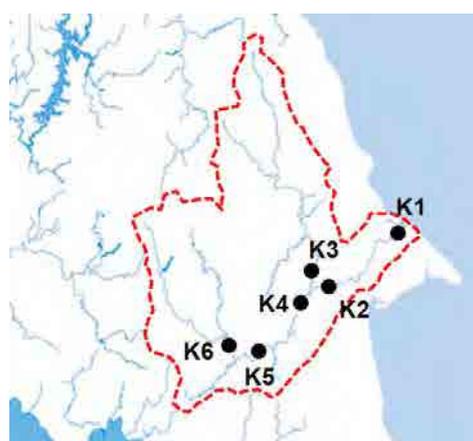
番号	河川	地点	流域面積 (km ²)	平均流量 (m ³ /sec)	比流量 (m ³ /sec/km ²)
K6	カリワ川	ライバン貯水池計画地点	276	23.4	0.085
K5	カリワ川	カリワ堰計画地点	366	27.9	0.076
K4	カリワ川	カナン川との合流点の上流	465	37.4	0.080
K3	カナン川	カリワ川との合流点の上流	393	74.5	0.190
K2	アゴス川	カリワ川・カナン川合流点の下流	858	111.9	0.130
K1	アゴス川	Banugao 観測所	908	120.5	0.133

出典： マニラ首都圏水資源開発計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2003）



出典： マニラ首都圏水資源開発計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2003）

図 7.10
アゴス川流域の等雨量線図



出典： マニラ首都圏水資源開発計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2003）

図 7.11
アゴス川の主な河川流量推定地点

パシグーマリキナ川の流域と流況

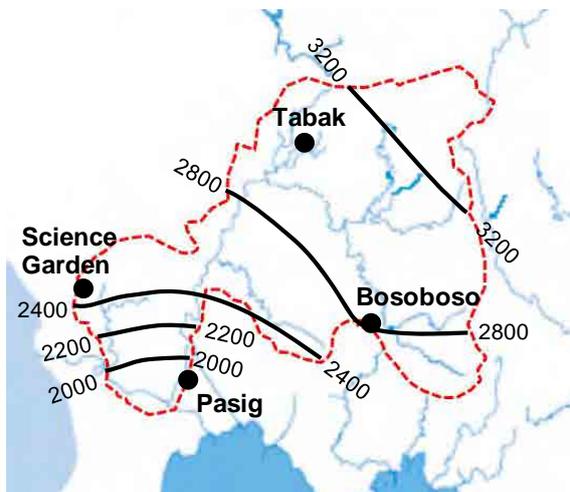
世銀調査「Master Plan for Flood Management in Metro Manila and Surrounding Areas」（2011年2月～2012年2月）により公開されている情報によれば、パシグーマリキナ川流域の面積は 635 km² とされており、その流域の下流端はパシグ川とサン・フアン川（San Juan River）の合流点である。一方、パシグ川はマンガハン水路（Mangahan Floodway）及びナピンダン水路（Napindan Channel）によってラグナ湖と繋がっているが、同調査ではこれら水路沿いの地域をパシグーマリキナ川流域に含めていない（図 7.12、図 7.14 参照）。

パシグーマリキナ川流域の等雨量線図を図 7.13 に示す。年平均降雨量は、マリキナ川上流域の北部で 3,000 mm、マリキナ川上流域の南東部で 2,800 mm、マリキナ川下流域で 2,000 mm、サン・ホアン川流域で 2,400 mm である。



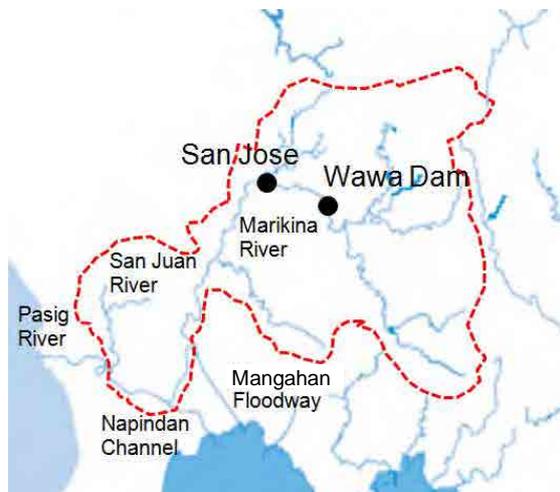
出典： JICA 調査団

図 7.12
パシグーマリキナ川流域の
位置図



出典： River Catalogue, Vol-5（京都大学、2004）

図 7.13
パシグーマリキナ川流域の等雨量線図



出典： メトロマニラ洪水制御及び警報システム改善
計画基本設計報告書（JICA/DPWH、2000）

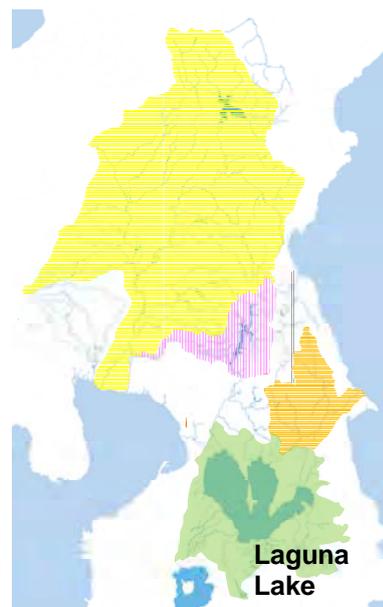
図 7.14
パシグーマリキナ川流域の水文観測所
位置図

パシグーマリキナ川はマニラ首都圏を流れていて、その洪水は甚大な被害をもたらしてきた。日本の技術・経済協力によって治水事業が進められていて現在 3 次事業が実施されている。

ラグナ湖の流域と流況

ラグナ湖開発庁提供の資料（Laguna De Bay, Experiences and Lessons Learned Brief, 2006）によれば、ラグナ湖の湖水面積は 900 km² であり、平均水深は 2.5 m、総貯留量は 2,250 百万 m³ である。湖面を除いた流域面積は 2,920 km² である。ラグナ湖には 100 以上の河川が流入しており、これらは 24 の河川流域に分類されている。湖から流出するのはパッシング川のみであるが、乾期には湖水位が低下するため、潮位が高いとパッシング川を通じて湖まで塩水遡上が発生する。

上記資料によればラグナ湖の流域面積は湖水域を含めて 3,820 km² となるが、これにはマリキナ川流域（535 km²）が含まれていると思われる。一方、世銀調査「Master Plan for Flood Management in Metro Manila and Surrounding Areas」による資料には、マリキナ川流域を含まない流域面積は 3,280 km² と記載されている（図 7.15 参照）。



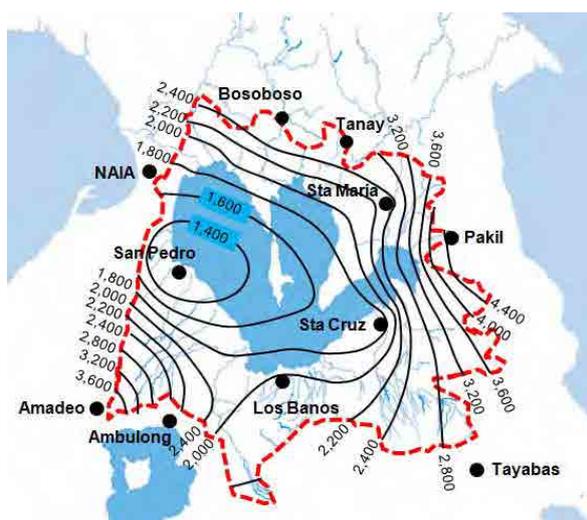
出典： JICA 調査団

図 7.15 ラグナ湖流域の位置図

ラグナ湖流域の等雨量線図を図 7.16 に示す。年平均降雨量は、湖の西岸付近で 1,400～1,800 mm、北部及び南部の流域界付近で 2,000～2,400 mm、東部の流域界付近で 3,000 mm 以上となっている。

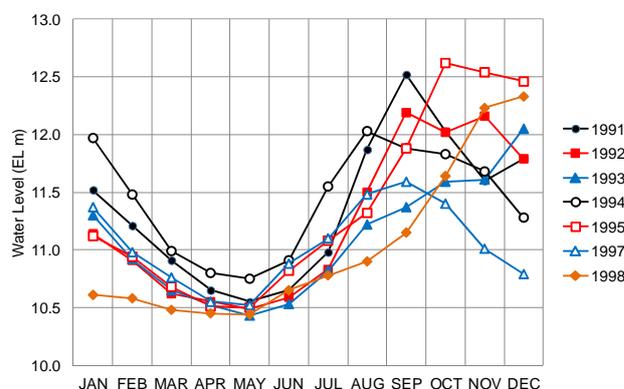
ラグナ湖の水位は乾期の終わりの 5 月に最低となり、その後雨期の後半の 9～12 月にかけて最高となる（図 7.17 参照）。「Environmental Impact Assessment, 300 MLD Laguna Lake Bulk Water Supply Project, (MWSS, 2002)」によれば、湖の平均的な最低水位は EL 10.5 m、平均的な最高水位は EL 12.5 m である。

平均的な最低水位は、ほぼマニラ湾の平均海面（MSL）と同じレベルである。すなわち、湖が最低水位となる時期には、潮位が高くなるとマリキナ川を通じて塩水遡上が発生する



出典： River Catalogue, Vol-5（京都大学、2004）

図 7.16 ラグナ湖流域の等雨量線図



出典： LLDA からの入手資料に基づき調査団が作成

図 7.17 ラグナ湖の水位 (Looc, Cardona, Rizal)

「マニラ洪水対策計画調査（JICA, 1990）」によれば、ラグナ湖の既往最高水位は 1972 年の EL 14.03 m であり、次いで EL 13.58 m (1978)、EL 13.34 m (1986)、EL 13.17 m (1960)、EL 13.08m (1952) となっている。なお、2009 年 9 月の台風オンドイによる洪水時には最高水位 EL 13.90 m を記録した（Needs Assessment for the Disasters by Ondoy and Pepeng: JICA, 2009）。

現地調査（2012 年 3～4 月）で LLDA から入手した資料によれば、ラグナ湖の水収支は表 7.1.8 のとおりである。流入量約 16,000 MLD (= 5,840 百万 m³/年) のうち、80%はパッシング川を通じてマニラ湾に排水され、16%は蒸発散であり、利用されている水資源は 4%である。カラヤアン（Kalayaan）発電所はラグナ湖東部のサンタ・クルス付近に位置しており、ラグナ湖を下池、カリラヤ貯水池（Caliraya Reservoir）を上池とする揚水発電所である。

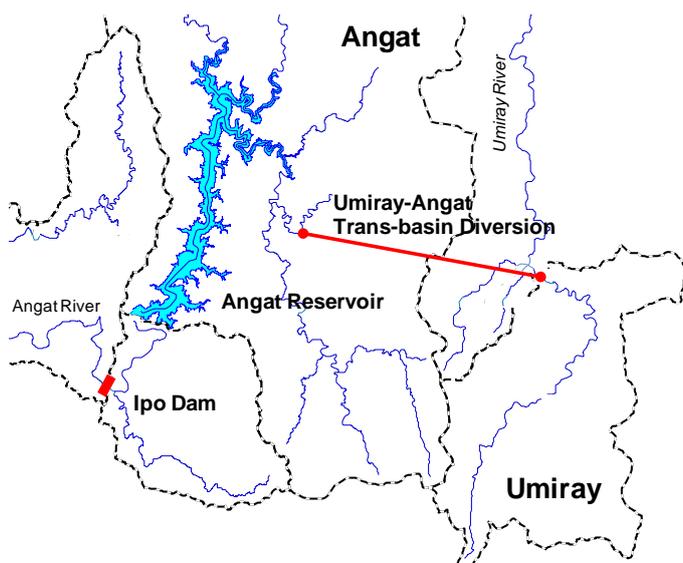
表 7.6 ラグナ湖の水収支

流入（百万リットル/日）		流出（百万リットル/日）	
23 河川流域からの流入	10,800	パッシング川～マニラ湾への流出	12,960
湖水面への降雨	3,283	蒸発散	2,505
地下水涵養	1,382	上工水	50
水力発電（放流）	432	かんがい用水	173
		水力発電（揚水）	432
計	15,897	計	16,120

出典： LLDA

アンガット貯水池

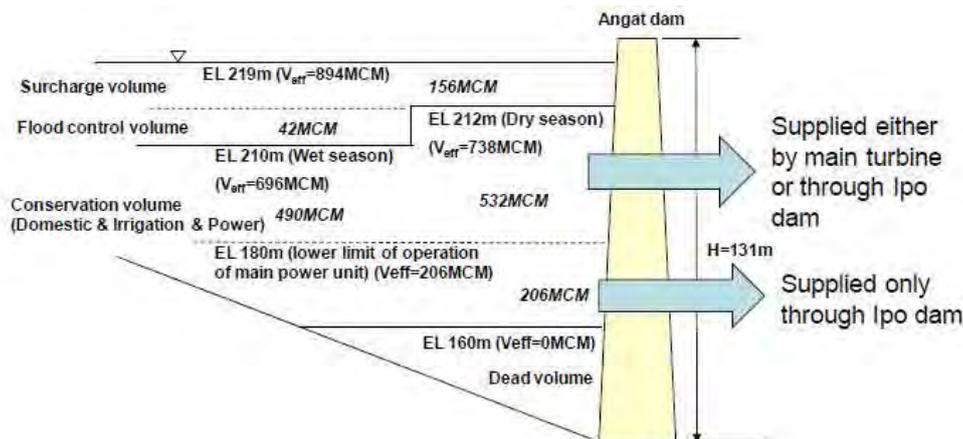
アンガット貯水池は都市用水、かんがい、水力発電及び洪水制御を目的として、1968 年に運用開始された多目的貯水池である。貯水池の集水面積（自流域）は 546 km² である。これに加え隣接するウミライ川流域からの導水が 2000 年より運用開始され、その集水面積は 130 km² である（図 7.18 参照）。自流域からの年平均流入量は 59.3 m³/sec (= 1,869 百万 m³/年)、導水による年流入量は 11.7 m³/sec (= 370 百万 m³/年) と推定されている。アンガット貯水池の有効貯水容量は 894 百万 m³ である（図 7.19 参照）。



完成年	1967 年 9 月
目的	都市用水、かんがい、水力発電、洪水制御
ダム形式	アース、ロックフィル
ダム高	131m
集水面積	アンガット川流域（自流域）：546 km ² ウミライ川流域（導水）：130 km ²
流入量	アンガット川流域（自流域）： 59.3 m ³ /sec (=1,869 百万 m ³ /年) ウミライ川流域（導水）： 11.7 m ³ /sec (= 370 百万 m ³ /年)
有効貯水容量	894 百万 m ³

出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB, 2011）

図 7.18 アンガット貯水池の概要



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.19 アンガット貯水池の容量配分

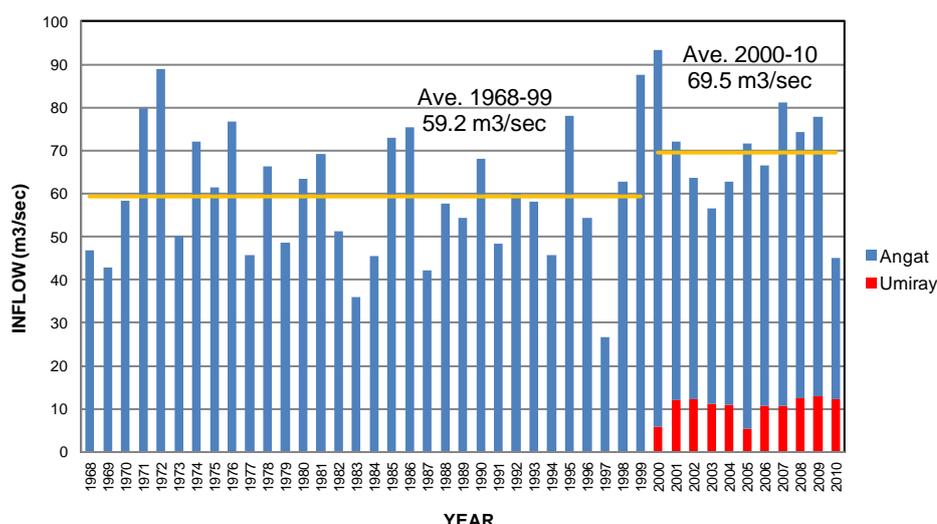
Project Completion Report on the Umiray-Angat Trans-basin Project（ADB、2004年）によれば、2000年に完成したウミライーアンガット導水事業の主な施設は次のとおりである。

- 取水堰
- 導水トンネル：延長 13.1 km、口径 4.3 m
- 小水力発電所：970 KW
- 送電施設： 延長 18 km

また、Metro Manila Water Security Study 最終報告書（世銀、2012年7月）によれば、導水路トンネルの計画流量は 30 m³/sec である。

アンガットダムへの流入量

アンガット貯水池への年平均流入量を 7.20 に示す。1968～1999 の平均流入量は 59.2 m³/sec である。2000年6月よりウミライーアンガット導水が運用開始されたことにより、2000～2010 の平均流入量は 69.5 m³/sec に増加している。



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.20 アンガット貯水池への年平均流入量

アンガットダムの運用

アンガット貯水池は表 7.7 のとおり 2 つのルールカーブ（貯水池操作基準曲線）に基づいて運用されている。

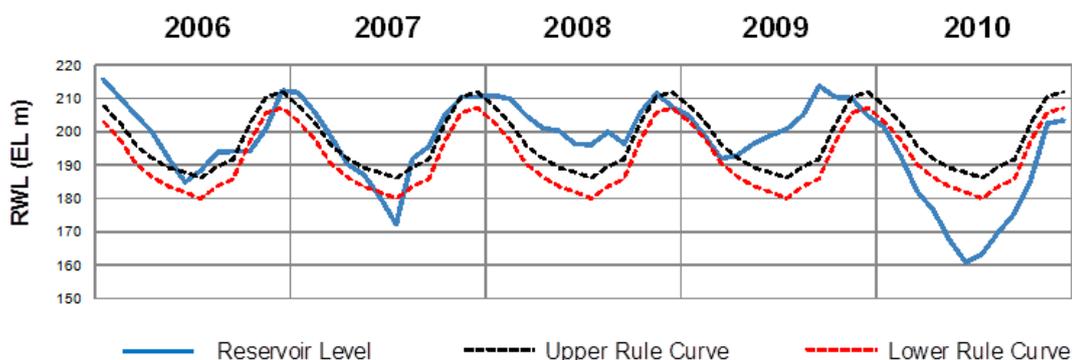
表 7.7 アンガット貯水池の運用ルール

貯水位	用途
ルールカーブ（高）以上	都市用水及びかんがい用水の追加利用が可能
ルールカーブ（高）と（低）の範囲内	都市用水及びかんがい用水
ルールカーブ（低）以下	都市用水優先、かんがい用水（使用の可否はNWRBが判断）
ルールカーブ（低）の下限值 EL180m 以下	都市用水のみ

出典： ダム放流に関する洪水予警報能力強化プロジェクト業務（JICA/PAGASA、2011）

2006～2010 の月末貯水位を図 7.21 に示す。2007 年にはルールカーブ（低）以下となる貯水位が発生している。また、2010 年はほぼ年間を通じて貯水位はルールカーブ（低）以下となり、6 か月にわたって下限値 EL180 m 以下となった。日データによれば、2010 年 7 月 14 日に既往最低貯水位 EL157.55 m を記録した。

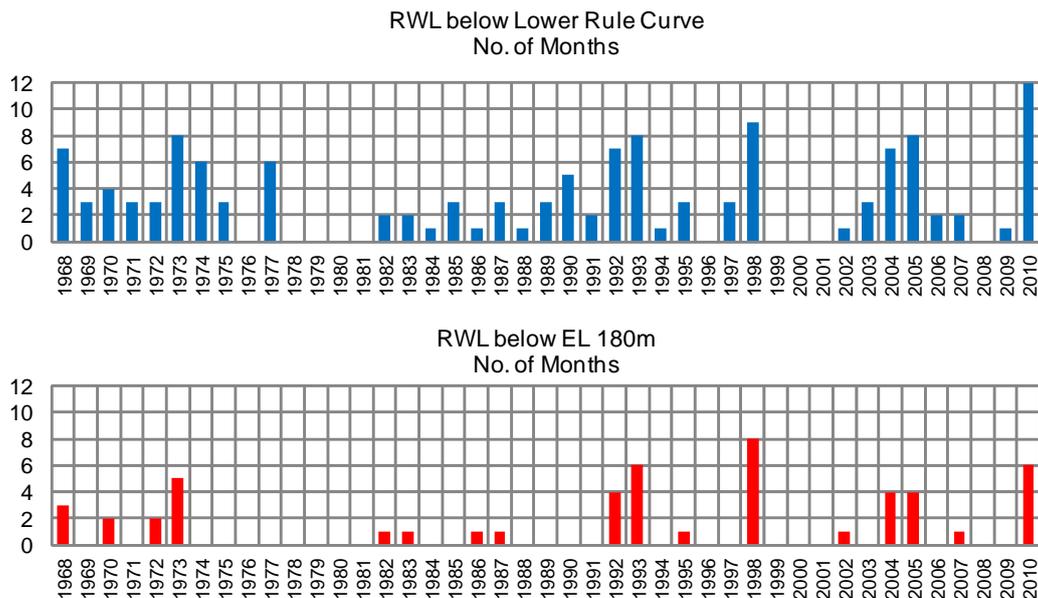
全期間（1968～2010）について月末貯水位がルールカーブ（低）、さらには下限値の EL180 m を下回った月数を整理すると図 7.22 のとおりとなる。1968～2010 の 43 年間のうち、33 年においてルールカーブ（低）を下回る貯水位が発生している。さらに、17 年において下限値 EL180 m を下回る貯水位が発生している。



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

ルールカーブ；フィリピン国ダム放流に関する洪水予警報能力強化プロジェクト業務（JICA/PAGASA、2011）

図 7.21 アンガット貯水池の月末貯水位（2006～2010）



出典： JICA 調査団

図 7.22 貯水位がルールカーブ（低）及び下限値 EL180m を下回った月数

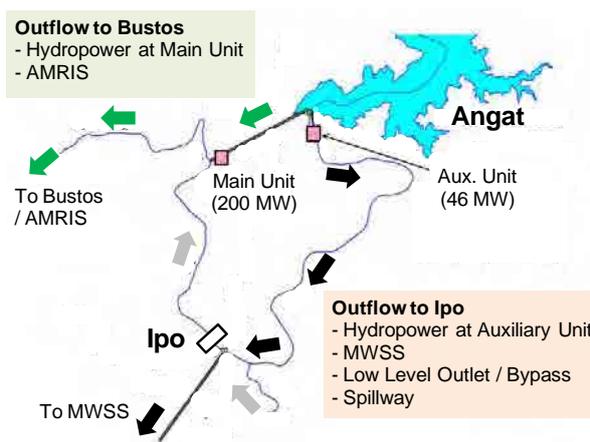
アンガットダムからの放流量

MWSS による都市用水供給は、水源の 95.5%をアンガット貯水池に依存している。さらに、アンガット貯水池は下流域に位置するアンガット-マアシム河川かんがいシステム (AMRIS: 26,000 ha) にかんがい用水を供給している。

アンガット貯水池からの放流には図 7.23 に示すように二つのルートがある。そのひとつは主発電所 (200MW) 及び導水トンネルを経由して、アンガット川下流へと放流するルートである。このルートへの放流量は発電に使用された後、下流のブストス堰において取水され、アンガット・マアシム河川かんがいシステム (AMRIS) へと供給される。

もうひとつは、貯水池の直下流に位置する副発電所 (46MW)、下部放流口、洪水吐きによる放流である。このルートへの放流量は下流の河道を経由してイポ堰に至り、ここから MWSS 向けの導水が行われている。

アンガット貯水池からの年平均放流量を図 7.24 に示す。ブストス堰に向かう放流量は、1968 年の運用開始以降 2000 年頃まで漸減している。一方、イポ堰に向かう放流量は同じ期間に漸増している。

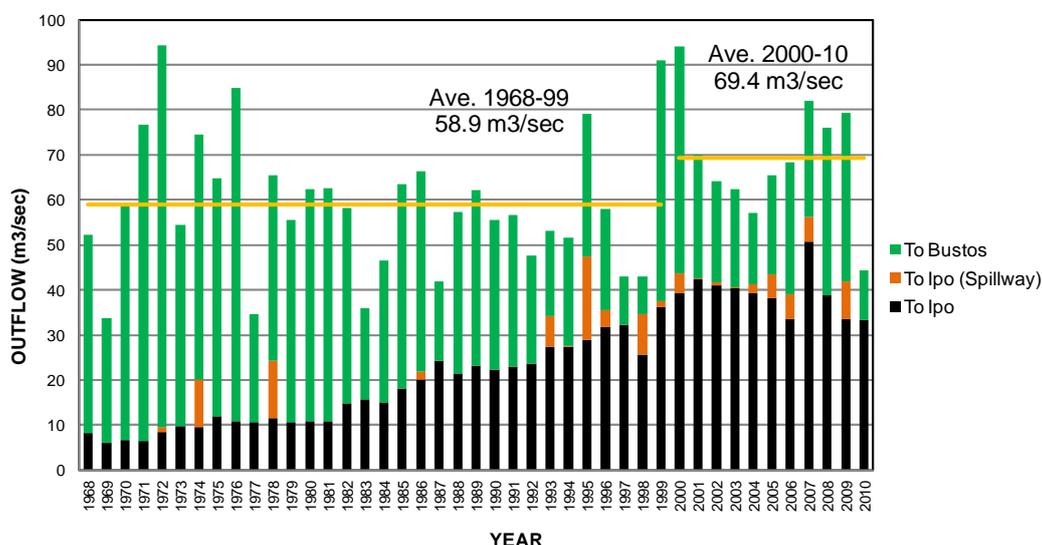


出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書 (JICA/NWRB、2011)

図 7.23 アンガット貯水池からの放流ルート

アンガット貯水池からイポ堰に向かう放流量は、ほぼイポ堰から MWSS 向けの導水量に相当

する。すなわち、マニラ首都圏の水需要の増加に対応すべく、イポ堰に向かう放流量が増加されてきたものと考えられる。2000年にウミライ〜アンガット導水事業が運用開始されて以降、イポ堰に向かう放流量は40 m³/sec 前後で推移している。



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.24 アンガット貯水池からの放流量

アンガット貯水池の運用にあたり、NWRB を議長、MWSS, NIA, NPC 及び PAGASA をメンバーとする Technical Working Group (TWG) が組織されている。TWG において、毎月の MWSS と NIA への水配分が決定される。NPC は水配分に従って貯水池及び発電所を運用する。渇水時には MWSS への水配分が優先され、NIA への水配分は制限される。

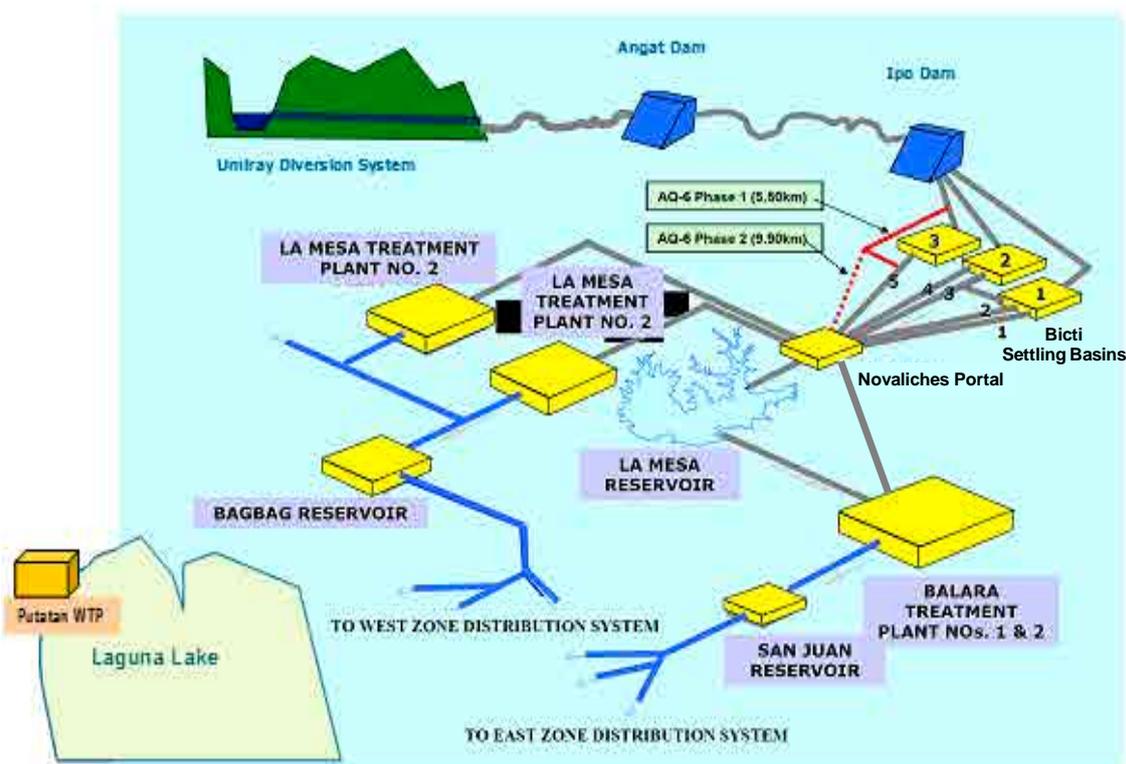
発電使用水量は MWSS と NIA への水配分に依存している。貯水池から NIA (AMRIS) に対する放流量は主発電所 (200 MW) の発電用水として使用される。また、貯水池から MWSS に対する放流量は副発電所 (46 MW) の発電用水として使用される。

首都圏への送水施設

アンガット貯水池から MWSS 向けの放流量は図 7.25 の概念図に示す導水システムによりイポ堰からマニラ首都圏のラ・メサ (La Mesa) 地区へ導水される。イポ堰からラ・メサ湖に至る導水施設は Common Purpose Facilities (CRF) と呼ばれており、コンセッション事業者のマニララッド社とマニラ・ウォーター社により共同管理されている。

イポ堰で取水された原水は 3 本のトンネルで 6.4 km 下流のビクティ (Bicti) 沈砂池へと導水される。次にビクティ沈砂池から 6 本の導水路で 15 km 下流のノバリチェス (Novaliches) 調整池へと導水される。ノバリチェス調整池において、大部分の原水は開水路を通じてラ・メサ第 1, 2 浄水場及びバララ (Balara) 第 1, 2 浄水場へと向かう。残る原水はラ・メサ湖へと流入する。また、ラ・メサ湖には 3 か所の取水施設が設けられており、これらにより取水された原水は導水路を通じてバララ第 1, 2 浄水場へと向かう。

マニララッド社 (MWSI) はラ・メサ第 1, 2 浄水場からマニラ首都圏西地区へと配水している。一方、マニラ・ウォーター社 (MWCI) はバララ第 1, 2 浄水場からマニラ首都圏東地区へと配水している。



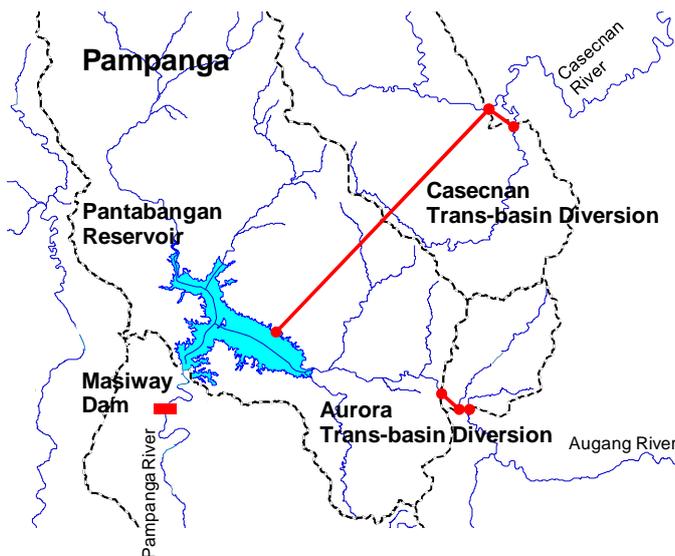
出典： MWSS

図 7.25 アンガット貯水池からの導水システム概念図

MWSS はビクティ調整池～ノバリチェス調整池の導水路改修事業（Angat Water Utilization and Aqueduct Improvement Project）を実施している。第一期事業の導水路 No.6 上流側区間（導水路 No.5 のバイパス、延長 5.5 km）は 2006 年に完成した。現在、第二期事業として導水路 No.6 の下流側区間（延長 9.9 km）、導水路 No.5 の修復が実施中であり、2012 年 7 月に第二期事業による導水路の開通が報道された。

パンタバンガン貯水池

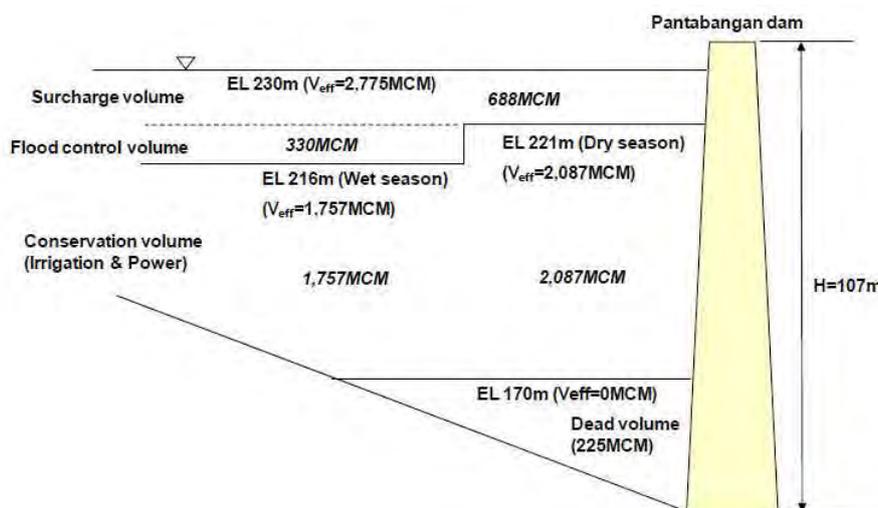
パンタバンガン貯水池はかんがい、水力発電及び洪水制御を目的として、1974 年に運用開始された多目的貯水池である。貯水池の集水面積（自流域）は 869 km²、東に隣接するアウロラ（Aurora）導水の流域は 68 km² である。さらに 2001 年より北東に隣接するカセクナン（Casecnan）導水が運用開始され、その流域面積は 571 km² である（図 7.26 参照）。自流域とアウロラ導水からの年平均流入量は 38.4 m³/sec（= 1,195 百万 m³/年）、カセクナン導水による年流入量は 23.8 m³/sec（= 751 百万 m³/年）と推定されている。パンタバンガン貯水池の有効貯水容量は 2,775 百万 m³ である（図 7.27 参照）。



完成年	1974年2月
目的	かんがい、水力発電、洪水制御
ダム形式	アースフィル
ダム高	107m
集水面積	パンタバンガン川流域（自流域） +アウロラ導水流域: 869 + 68 km ² カセクナン導水流域: 571 km ²
流入量	アンガット川流域（自流域） +アウロラ導水流域: 38.4 m ³ /sec (=1,195 百万 m ³ /年) カセクナン導水: 23.8 m ³ /sec (=751 百万 m ³ /年)
有効貯水容量	2,775 百万 m ³

出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.26 パンタバンガン貯水池の概要

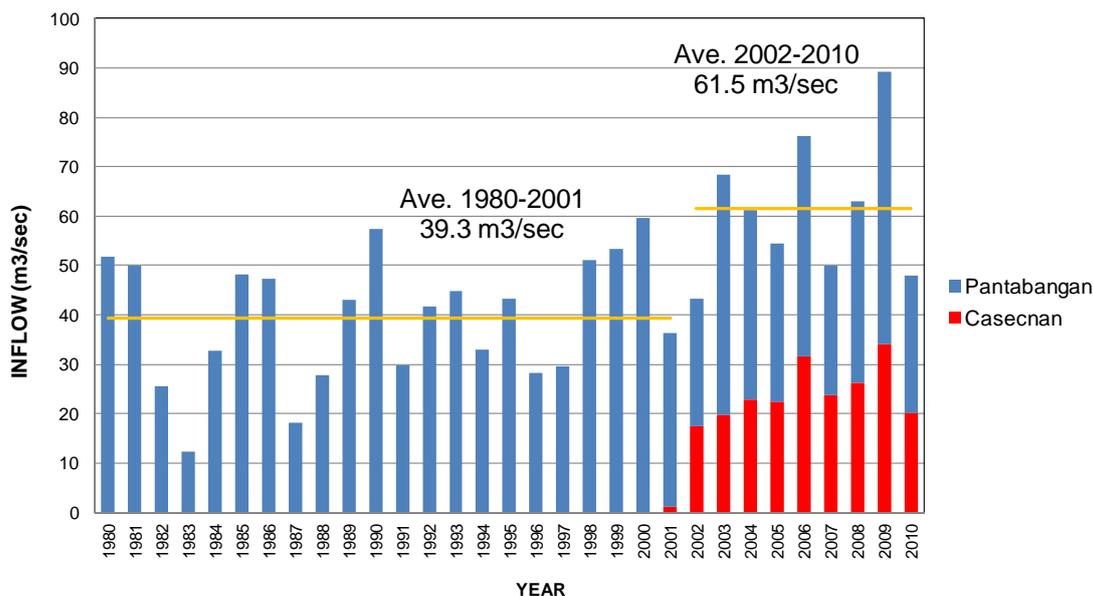


出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.27 パンタバンガン貯水池の容量配分

パンタバンガンダムへの流入量

パンタバンガン貯水池への年平均流入量を図 7.28 に示す。1980～2001 の平均流入量は 39.3 m³/sec である。なお、パンタバンガン貯水池への年平均流入量データには、自流域 (869 km²) からの流入量とアウロラ導水 (68 km²) からの流入量が含まれている。その後 2001 年 12 月よりカセクナン導水が運用開始されたことにより、2002～2010 の平均流入量は 61.5 m³/sec に増加している。



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.28 パンタバンガン貯水池への年平均流入量

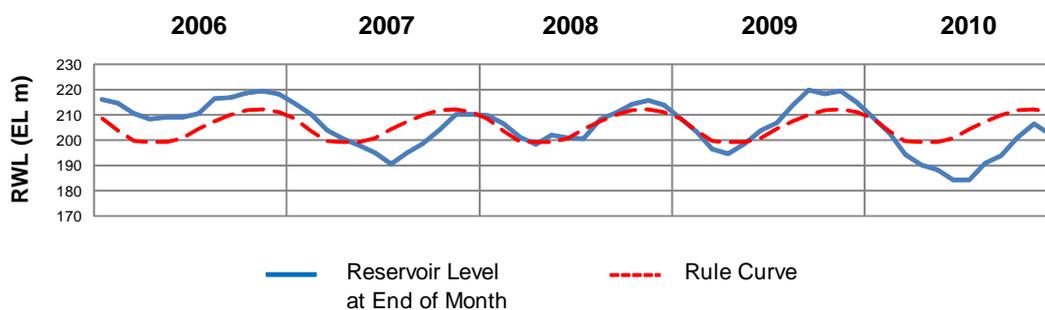
パンタバンガン貯水池の運用

NIA の資料（カセクナン多目的かんがい・発電事業、2008 年）によれば、パンタバンガン貯水池の運用ルールは表 7.8 のとおりである。2006～2010 の月末貯水位及びルールカーブを図 7.29 に示す。

表 7.8 パンタバンガン貯水池の運用ルール

貯水位	使用水量
通常領域	かんがい用水必要量の 100%
調節領域 1	かんがい用水必要量の 90%
調節領域 2	かんがい用水必要量の 80%
調節領域 3	かんがい用水必要量の 60%

出典： カセクナン多目的かんがい・発電事業（NIA、2008 年）



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

ルールカーブ；パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.29 パンタバンガン貯水池の月末貯水位（2006～2010）

パンタバンガンダムからの放流量

カセクナン導水からパンタバンガン貯水池への流入地点に 150 MW の水力発電所が設けられている。また、パンタバンガン貯水池の直下流に 100 MW の水力発電所があり、さらに下流のマシワイ（Masiway）逆調整池にも 12 MW の水力発電所が設けられている（図 7.30 参照）。

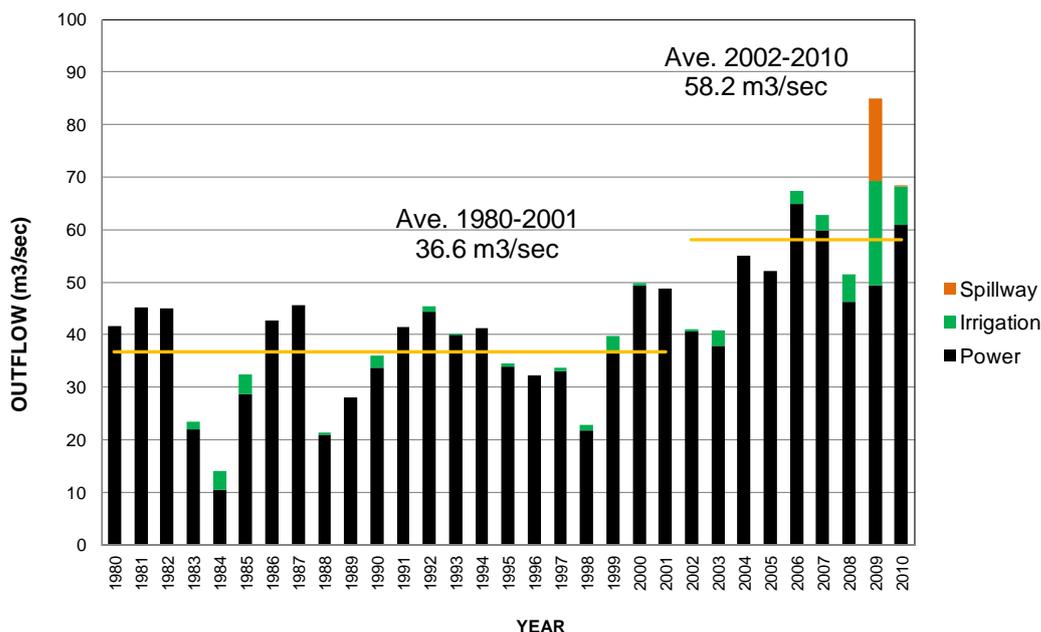
マシワイ逆調整池下流には UPRIIS のリザール堰（Rizal Dam）があり、ここから UPRIIS の Ib 地区、II 地区及び V 地区にかんがい用水が供給されている。



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

図 7.30 パンタバンガン貯水池周辺の発電所

パンタバンガン貯水池からの年平均放流量を図 7.31 に示す。1980～2001 の平均放流量は 36.6 m³/sec であり、カセクナン導水の運用開始後 2002～2010 の平均放流量は 58.2 m³/sec である。



出典： パンパンガ川流域統合的水資源管理計画調査、最終報告書（JICA/NWRB、2011）

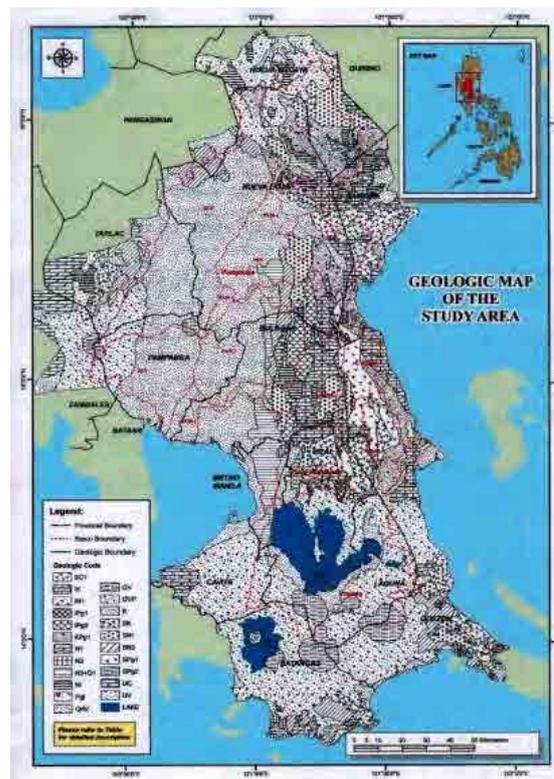
図 7.31 パンタバンガン貯水池からの放流量

7.2 地下水

水理地質の概要

マニラ首都圏及びその周辺地域の地層基盤は近年の堆積物、すなわち礫岩、泥岩 あるいは砂岩（Alat Conglomerate）、および火山噴火に伴う火砕流堆積物（Dilliman Tuff）によって構成されている。これらは洪積世の Guadalupe 層と呼ばれ、北のブラカン州から南のカビテ州まで、全域にひろがっている。

第4紀の堆積層は未固結の岩、礫、砂で構成されていてマニラのデルタやマリキナ川の氾濫原に広がっている。堆積層の厚さはマニラデルタで50メートル、マリキナ渓谷では130メートルと推定され、パッシング川氾濫域では200メートルに達する。



出典：NWRB

図 7.32 水理地質図

洪積世の Guadalupe 層を構成する堆積物は帯水性である。そのうち Alat Conglomerate は風化泥岩や砂岩からなり、厚さは100メートルである。Dilliman Tuff は1,300 から2,000メートルの厚さを持ち、細粒の火山灰を主体として火山性凝灰岩を含んでいる。

マニラの東側、アンガット川流域は玄武岩や輝緑岩を主体とする火成岩混合物で覆われている。Guadalupe 層、ラグナ層、タール火山灰からなる第4紀の火山堆積層はマニラとその周辺地域の主要な帯水層である。

パンパンガ川流域に広がる平坦な地帯は元々海であり、数百メートルの厚さの海洋堆積物や大陸性堆積物で構成されている。下層の構成物は海性の第三紀石灰岩、頁岩、砂岩であり、これらは平野の周辺部で露出している。山地の北面は比較的安定した第3紀の岩盤におおわれている。一方、東部には後に噴出した流紋岩、玄武岩、安山岩が分布する。

中部ルソンの基盤には広く変成岩が分布する。第三紀の火山堆積物が厚く覆っているが、さらに第四紀の堆積物が薄く覆っている。表層を覆っている沖積堆積物が主たる地下水源となっている。

ラグナ湖流域の東部は砂、礫、シルトよりなる沖積層に覆われている。流域の北部から南部の西側は、火砕流などの火山堆積物が広く覆われている。南部には第四紀の貫入物も見られる。ロス・バニョスやサンタ・ロサ地域では莫大な地下水・湧水が利用可能である。

地下水利用の現況

地下水利用の現況を調べるに当たり、これまでに実施された調査報告書を収集した。

現在、MWSS の給水地域は東西二つの民間業者にその運営が委託されている。MWSI は西地区、MWCI が東地区の給水を受け持っている。西地区では MWSI が 12 本の深井戸から日量 9 百万リットル（毎秒 104 リットル）を揚水してケソン市、マラボン市、イムス市、バコール市及びカビテ市に給水している。これらの地下水利用は、表流水による水供給が実施される時点で緊急用待機水源となる予定である。一方、東地区では MWCI が 64 本の深井戸をもち、日量 113 百万リットル（毎秒 1,305 リットル）を揚水している。周辺地域では、家庭用水・工業用水共に地下水が重要な水源である。また使用量は少ないものの、いくつかの灌漑システムも地下水を利用している。地方水道事業団（WD）の供給を補助するために家庭用水・工業用水用に独自の井戸が掘られている例もある。また、湧水によって水需要を満たしている例もある。

現行の地下水使用量を推定するために、地方水道局のウェブサイトから各 WD の管理している井戸の揚水実績データを収集した。その結果 2011 年 12 月現在における実揚水推定値は以下のとおりであった。

表 7.9 揚水実績（2011 年 12 月）

River Basin	Average Exploitation in l/sec
Metro Manila, Rizal and Cavite	2,782
Angat	1,052
Pampanga	3,163
Agos-Umiray	0
Pasig-Marikina	0
Laguna	3,709

出典：JICA 調査団

揚水可能量の推定

各流域の地下水可能揚水量を推定するために、国家水資源委員会（NWRB）が 1998 年 8 月に JICA の技術協力のもと実施した「フィリピン国全国水資源開発計画調査」の最終報告書を参照した。報告書の降水量データおよび地下水利用可能面積の比率を利用して下表を作成した。

下表で年降水量は PAGASA の観測データに基づく。また、地下水利用可能面積の比率は、流域面積に対する、第 4 紀火山堆積物あるいは沖積堆積物によって覆われている面積の比率から求めている。表 7.10 はこうして求めた地下水の揚水可能量の集計結果を示す。

表 7.10 地下水の揚水可能量

River basin	A Land Area (Km ²)	B Rainfall (mm/Year)	C Assumed Recharge (5% of AxB)	Ratio of GW Available Area (%)	GW Potential (l/sec)
Angat	2,146	2,409	259	58.7	4,812
Pampanga	13,031	1,874	1,221	58.5	21,397
Pasig-Marikina	494	1,761	44	42.2	601
Agos	1,767	2,079	184	38.9	2,265
Umiray	788	2,429	96	38.9	1,181
Laguna lake	5,259	1,667	448	38.9	5,520

出典：NWRB Master Plan Study-National Water Resources Management in the Republic of the Philippines, March 1998

マニラ首都圏の面積 630 方キロ、年間降水量 1,631 ミリであり、地下水利用可能率は 38.9%、揚水可能量は 630 lps と推定される。

これらの検討から、以下の結論が導かれる。

- 1) 2011 年 12 月のマニラ首都圏での揚水量は揚水可能量 630 lps を超えている。また、ラグナ湖流域の揚水可能量は流域全体としては 5,520 lps であるが、揚水実績は 3,709 lps でありあまり余裕はなく、場所によっては過揚水となっていた可能性がある。
- 2) 明らかに過剰揚水となっていたマニラ首都圏を除けば、2011 年 12 月の揚水実績はまだ余裕があり、新たな地下水需要を受け入れられそうにみえる。しかしながら、NWRB に登録されていない地下水利用者、違法な利用者もいるので、さらなる調査が必要である。特に井戸が集中している場所では局地的な過揚水となっている。
- 3) 都市化による地下水の浸透量減少が無視できない。さらなる検討が必要である。

揚水量と地盤沈下

2004 年に NWRB が実施した CEST、Inc.の調査によれば、マニラ首都圏、ブラカン州、カビテ州の地下水開発は、被圧地下水面の標高を、平均海面から 80 メートル下に押し下げたことが報告されている。

図 7.33 は地下水面の低下した地域を示す。

一方カロオカン州の井戸で実施した段階試験、揚水試験の結果では、帯水層の平均透水係数は $5.07 \times 10^{-3} \text{m}^2/\text{s}$ 、また比揚水量は 0.767 lps であり比較的良好な帯水層である事がわかる。井戸の分布と揚水速度に留意すれば安全な開発が可能である。

地質構造と過剰な地下水のくみ上げが沈下の原因である。2002 年の JICA 調査、および 2006 年に実施された K.S. Rodolfo と F.P. Siringan の調査を参照すると、パンパンガ州の年平均沈降率は内陸部で 0.5 センチ、沿岸部で 8 センチと推定される。



出典：NWRB

図 7.33 地下水面標高分布図

7.3 給水事業

マニラ首都圏の給水

上下水道事業は二つのコンセッション事業者により実施されている。合計給水エリアは2,370 km²であり、給水人口は1300万人以上に達する。コンセッション2社の給水エリアを図7.34に示す。



出典： JICA 調査団

図 7.34 コンセッショネア 2 社の給水エリアと主要浄水場位置

表 7.11 に、給水人口とサービス地区の概要を示す。

表 7.11 コンセッショネア 2 社のサービス地区概要

	面積 (km ²)	行政区域	給水人口
MWSI (west)	540	Cities of Manila, Pasay, Paranaque, Caloocan, Muntinlupa, Las Pinas, Malabon, Navotas, Valenzuela and parts of Makati and Quezon Cities in National Capital Region, and Cavite City, and the municipalities of Bacoor, Imus, Kawit, Noveleta and Rosario in Cavite Province.	7.40 Million
MWCI (east)	1,830	Cities of Makati, Mandaluyong, Marikina, Pasig, Pateros, SanJuan, Taguig, and parts of Quezon City and Manila in National Capital Region, and Antipolo City and the municipalities of Angono, Baras, Binangonan, Cainta, Cardona, Jalajala, Morong, Pililia, Rodriguez, Tanay, Taytay and San Mateo in Rizal Province.	5.90 Million
Total	2,370		13.30 Million

出典： MWSS (as of Dec. 2010)

マニラ首都圏の水源

現在、MWSS サービス地区における水道事業の水源は、Angat-Umiray 水系、ラグナ湖、及び地下水である。これらの水源において付与された水利権は、下表に示すとおり、約 4,190 MLD（48 m³/sec）である。Angat-Umiray 水系のコンセッションネア 2 社への水の分配は、MWSI に 60%、MWCI に 40%と決められている。

表 7.12 マニラ首都圏の水源

水源	水利権	比率
Angat-Umiray System	4,000MLD (46 m ³ /s) (MWCI:1600, MWSI:2400)	95.5%
Laguna Lake	100MLD (1 m ³ /s)	2.4%
Groundwater *	90MLD (1 m ³ /s)	2.1%
Total	4,190MLD (48 m ³ /s)	100.0%

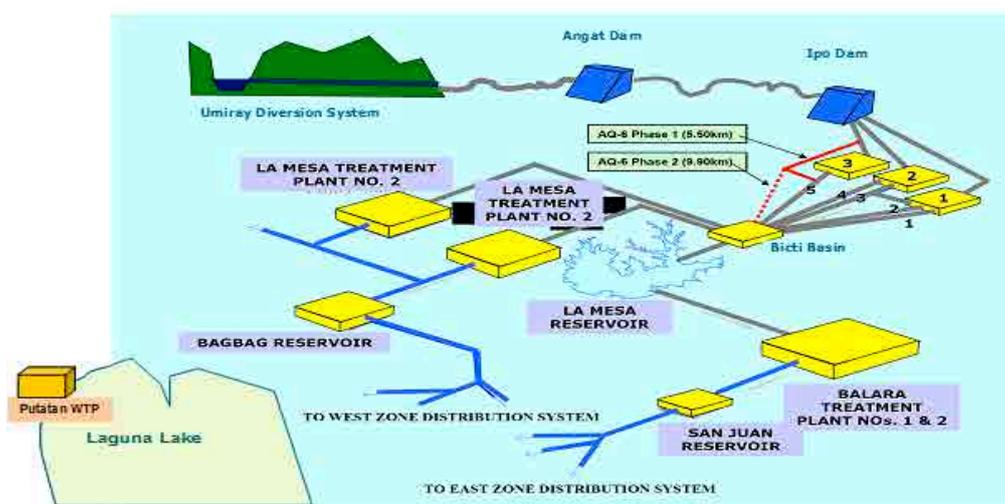
Note: * Extraction of underground water is terminated in 2003 by MWCI and 2009 by MWSI. The wells will be used only in emergency cases.

出典： MWSS

マニラ首都圏の導水施設

図 7.35 に示すとおり、Angat ダムから放流された原水は、Ipo ダム、Bustos ダムの 2 つの調整ダムに流入する。原水は Ipo ダムから 3 つのトンネルを通して Bicti Basin（接続施設）へ運ばれ、その後 5 つの導水管を通して MWSI の La Mesa 浄水場、または La Mesa 貯水池に流入する。La Mesa 貯水池から、さらに MWCI の Balara 浄水場に流入する。

Mesa 貯水池から、さらに MWCI の Balara 浄水場に流入する。



出典： MWSS

図 7.35 MWSS サービス地区の導水施設概要

浄水施設

MWSI と MWCI は、7 つの浄水場を運転している。これらの浄水場の概要を以下の表 7.13 に示す。

表 7.13 浄水場の概要

会社	名称	能力	精算高	浄水工程	薬品	建設年
-	-	MLD	MLD	-	-	year
MWSI	La Mesa-1	1,500	2,143 (average in 2011) 86% of total capacity	Screen, Coagulation, Flocculation, Sedimentation, Rapid Filtration, Disinfection	Hypochlorite, Hydrated Lime, Caustic Soda, Liquid Alm, Ferric Chloride, PAC, Coagulant Aid, Flocculent	1984
	La Mesa-2	900		Screen, Coagulation, Flocculation, Sedimentation, Rapid Filtration, Disinfection	Hypochlorite, Hydrated Lime, Caustic Soda, Liquid Alm, Ferric Chloride, PAC, Coagulant Aid, Flocculent	1994
	Putatan	100		Screen, Coagulation, Mixing and Flocculation (Dissolved Air Flotation), Skimming, Micro-Filtration (MF), Reverse Osmosis (RO), Disinfection	Aluminum Chlorhydrate, Potassium Permanaganate, Gas Chlorine	2009
MWCI	Balara-1	470	1,277 (average in 2011) 79% of total capacity	Screen, Pre chlorination, Coagulation, Flocculation, Sedimentation, Rapid Filtration, Disinfection	Aluminum Sulphate, Poly Aluminum Chloride, Polymer, Chlorine	1936
	Balara-2	1,130		Screen, Pre chlorination, Coagulation, Flocculation, Sedimentation, Rapid Filtration, Disinfection	Aluminum Sulphate, Poly Aluminum Chloride, Polymer, Chlorine	1958
	Jala Jala	10		Reverse Osmosis (RO)	-	-
	San Rafael	0.6		Reverse Osmosis (RO)	Chlorine Dioxide	-

出典： Asset Condition Report as of December 2011, Evaluation on KPIs/BEMs 2012

設計能力に対する、処理水量の割合は、2011年において、MWSIが86%、MWCIが79%であった。

Angat-Umiray システムに加え、MWCI と MWSI はラグナ湖からの取水も行っている。

配水施設

配水施設はポンプ、サービスレザーバー、配水路が主たる施設である。表 7.14 に主たる既存配水施設を示す。中に老朽化したものもみられるが、比較的適切に維持管理がなされている。

表 7.14 配水施設の概要

	MWSI	MWCI
ポンプ	16 Pump Stations (Commonwealth, Fairview-3, La Mesa, Novaliches, Fairview-4, Caloocan, D. Tuazon, Algeciras, Ermita, Espiritu, Tondo, Noveleta, Pasay, Villamor, Pagcor)	19 Pump Stations (Balara, Cubao, Fort Bonifacio, Makati, Maybunga, Pasig, San Juan, N. Domingo-1, N. Domingo-2, 21st, Kingsville, Lucban-1, Lucban-2, Siruna, Brookside, Celina, Curayao, Dalos Santos, San Rafael)
サービ ス・レザー バー	17 Reservoirs (Binuksuk 30ML, Sacred Heart 10ML, Fairview-3 1.5ML, La Mesa 50ML, Novaliches 7ML, Fairview-4 1.1ML, Bagbag 200ML, Caloocan 18.9ML, D. Tuazon 18.9ML, Algeciras 38.7ML, Ermita 18.9ML, Espiritu 18.9ML, Tondo 18.9ML, Noveleta 8ML, Paysay 18.9ML, Villamor 10ML, Pagcor 23ML,	8 Reservoirs (Balara 44ML, Fort Bonifacio 29ML, Makati 19ML, Pasig 80 ML, San Juan 167.8ML, Siruna 24ML, Lucban-1 15ML, Lucban-2 6.5ML)
配水管等	5,444 km (PVC 3,567km, ACP 506km, CIP 389km, GSP 349km, Steel Pipe 324km, HDPE 100km, Others 210km)	4,466km (HDPE 2,131km, PVC 1,818km, Steel Pipe 312km, DIP 98km, Others 107km)

出典： MWCI, MWSI (as of April 2012)

8 気候変動解析

8.1 排出シナリオと全球気候モデル（GCM）

本調査では、排出シナリオとして、IPCC が 2000 年に発行した特別報告書で現実的な社会条件設定と物理設定とした A1B を採用した。また、24 ある GCM の出力を、長期再解析プロジェクト(Japanese Re-Analysis 25 years: JRA25)の成果と比較して、GCM を選定した。モデル出力の降雨の気候値空間分布パターンの再現性を評価するのに、グリッドごとの再解析値とモデル出力の相関係数で評価した。一方、全体的な量の差異を評価するのに二乗平均誤差(RMSE)を用いた。他の気象変数についても、長期再解析プロジェクトの成果を観測値として用いた。

GCM の降雨の地域特性の再現能力を評価して選出するために、以下の作業を行った。

- 1) 長期の平均的な降雨量（気候値）で観測値と GCM 出力結果の比較を行った。GCM が雨季や乾季などの季節的な降雨の変動を表現できるものを選定した。
- 2) もし、無降雨日に関するバイアス補正を施したあとでも GCM が不合理な長期の乾季を呈していた場合、その GCM は除外する。
- 3) 最後に、観測降雨分布の不均一性が流域内で激しい場合、評価範囲を分割する必要がある。

モデル再現性を評価するのに用いた気象変数は、海面更正気圧、気温、南北風および東西風、外向き長波放射、海面温度である。水資源管理に関する検討を行うことから、検討対象領域においては、GCM の降雨の季節性（雨季・乾季）の再現性が重要であり、5 月から 11 月の雨季における空間的な相関係数(scorr)および二乗平均誤差(RMSE)で評価した。それぞれの GCM で算出される相関係数および二乗平均誤差を用いて、相対的にモデルの良し悪しを評価した。すなわち、全 GCM の scorr の平均値を上回る scorr を与えるモデルに 1 点、下回る場合に 0 点を与える。同様に RMSE の全モデル平均値との比較で 1 点、0 点を与える。両指標で 1 点を獲得したモデルについて、RMSE と scorr をまとめた評価として 1 点とし、いずれか一方が 1 点の場合に 0 点、両指標共に平均を下回る 0 点の場合には、-1 点とする。気象変数 7 つのそれぞれの得点を合計したものを GCM の総得点とした。更に雨季の降水量に対する RMSE と scorr が共に平均を上回るものを選定の基準とした。以上の選定基準により

6 GCM, gfdl_cm2_0, gfdl_cm2_1, cccma_cgcm3_1, giss_aom, ingv_echam4, miroc3_2_medres を予測モデルとして選定した。

8.2 GCM のバイアス補正

降水量に関する補正

降雨に関する補正を行うに当たり、無降雨日数、高強度降雨および平常時雨量に着目した。

無降雨日のバイアス補正

GCM による推定は一般に無降雨日が殆ど無く、微小な降雨がだらだらと継続するような結果となる。この無降雨日に関するバイアスを補正するため以下の補正作業を行った。

- 1) 観測値と GCM 出力結果をそれぞれ降順で並び替える
- 2) 無降雨日の閾値を観測データで 0mm/day となる順位から設定する。観測値で 0mm/day となる順位の現在気候での GCM 出力雨量を閾値とする。
- 3) この閾値以下の GCM（現在気候）出力降雨を無降雨日とし、0mm/day と補正する。
- 4) 将来気候の GCM 無降雨日の補正は、そのモデル現在気候計算結果から設定された閾値を適用することで行う。

高強度降雨のバイアス補正

GCM の推定高強度降雨は観測値に比べて小さい。高強度降雨の適切なバイアス補正を、観測値の高強度降雨の頻度分布に適合するように行った。

観測データの各年から年最大雨量を抽出する。年最大雨量のうち、最小のものを高強度降雨日として抽出するための閾値とする。GCM の現況気候および将来気候の計算結果における高強度降雨日は、観測データで抽出された高強度降雨日の日数と等しくなるように上位の降雨から抽出する。

確率分布関数（PDF）を観測データと GCM 計算結果の高強度雨量データから作成し、GCM による確率豪雨を観測データの確率豪雨に合わせた。

平常時雨量のバイアス補正

平常時降雨は、前述の無降雨日と高強度降雨のそれぞれの閾値で挟まれる範囲となる。この平常時雨量を月毎に仕分け、降順で並び替える。この降雨出現順位は、累積確率分布(CDF)とみなすことができる。平常時降雨のバイアス補正は、観測値と GCM 出力結果の CDF を比較して行った。

空間的なダウンスケーリングは、100km オーダーの GCM 出力結果を上記のバイアス補正により、降雨観測所地点の観測データに合わせることで行った。

気温に関する補正

気温の観測記録と GCM の 20 世紀再現実験結果(20c3m)の出力結果それぞれの累積密度関数(CDF)を作成した。作成された CDF の差を観測値とモデル計算値のバイアスとし、この差分を GCM の将来計算結果(A1B)の累積密度関数に適用することで将来気候条件下の日気温のバイアス補正とした。

GCM の選出にあたっては、雨季の降雨の再現性に優先順位をおいて選出した。この 6 モデルについて、日気温のバイアス補正と計画対象年の気候推定を実施した。6 つの GCM から推定された将来気温をアンサンブル平均したものをパッシング-マリキナ流域について流域平均した。すべての期間、季節について、将来は気温が上昇すると予測された。ただし 2055 年気候で現状から 3 度上昇するというやや極端な結果となった。

改めて、気温の再現性に着目しての GCM の再選定を行い 10 種類の GCM を選定した。6 GCM から miroc_3_2_medres にかえて miroc_3_2_hires を入れ、さらに cccma_cgcm3_1, cccma_cgcm3_1_t63, cnrm_cm3, mpi_echam5 の 4 GCM を追加した。計画対象年次(2040 年)の気候値で見れば、通年で約 1.2 度の気温上昇となっている。

8.3 気候変動の影響評価

年最大および最小月降水量

気候変動調査は降水、気温その他の気候値に対する影響を推定し、水需給収支解析にデータとして提供した。以下に示す表は、1981～2000(現在)および 2031～2050(将来)の 20 年間の年最小及び最大月降水量の推定平均値である。

Min/Max	Period	Laguna	Marikina	Angat	Pampanga	Umirai	Agos
最小値	現在	56.7	38.8	46.2	45.4	49.9	84.0
	将来	63.6	45.3	56.1	56.7	60.8	95.2
最大値	現在	395.3	503.4	516.2	384.4	518.3	414.5
	将来	416.0	492.9	486.7	404.2	489.5	431.5

出典：JICA 調査団

乾季の降水量は軒並み増加している。一方、雨季の降水量は増える流域と減る流域がともに存在する事がわかる。

年最高及び最低月平均気温

気候変動解析によって、各対象流域では平均的に摂氏 2 度前後上昇することが予想された。以下に示す表は、現在および将来の月平均気温の年最高、最低を 20 年間で平均したものである。

Min/Max	Period	Laguna	Marikina	Angat	Pampanga	Umirai	Agos
最低気温	現在	24.7	23.6	23.0	24.3	22.2	22.0
	将来	26.5	25.4	24.9	26.2	24.0	23.8
	差	1.8	1.8	1.9	1.9	1.8	1.8
最高気温	現在	28.1	27.5	26.9	27.8	26.1	25.9
	将来	30.3	29.6	29.1	29.8	28.3	28.1
	差	2.2	2.1	2.2	2.0	2.2	2.2

出典：JICA 調査団

水資源

上記月降水量の評価では乾季の降水量が増える事を示した。一方気温への影響評価では気温が上昇する事も示している。気温の上昇は蒸発散量の増加を示し、水資源を減少させる要因となる。以下の表では乾季における、降水量から上発散量を差し引いたもので差は真の水資源の増分を示す。

Item	Period	Laguna	Marikina	Angat	Pampanga	Umirai	Agos
乾季の水資源	現在	-1.74	-2.15	-1.77	-1.82	-1.5	-0.36
	将来	-1.99	-2.3	-1.78	-1.97	-1.47	-0.42
	差	-0.25	-0.15	-0.01	-0.15	0.03	-0.06

出典：JICA 調査団

表は、ウミライ川流域を除き、乾季の水資源は減少する事を示している。減少は平均的に 10% 前後であるといえる。

9 流出解析

9.1 流出モデルとデータ

基本的な流出モデルとして WEB-DHM を採用した。陸面過程を表現する SiB2 モデルとグリッドベースの分布型流出モデルである geomorphology-based hydrological model (GBHM)を結合させていてエネルギー収支を組み込んだ精緻な物理モデルである。一方ラグナ湖流域は平坦な地形となっており、複数の水系が湖に流れ込む。WEB-DHM のモデルデータを作成する地形解析が困難であるため、SHER モデルを適用することとした。SHER モデルも WEB-DHM と同様に物理的基礎式に基づいて表層土壌での水分伝達特性を解析できるモデルであるが、WEB-DHM のような詳細の陸面過程は解いておらず、外部境界条件として可能蒸発散量を与えるモデルとなっている。

前述 8 に述べた気候変動解析では、降水量、気温については日を単位として求めている。採用した流出モデルでは時間単位のデータを必要とする。降水量については実測時間雨量から時間分布を推定した。また気温については Carla Cesaraccio による Temperature Model を用いて時間データを作った。

その他の必用となる気象データは以下のように整備した。

表 9.1 WEB-DHM 境界条件として必要となるその他の気象データ

気候値	単位	Data ソース
Relative humidity	[%]	実測値
Cloud fraction	[%]	日照時間、気温からの推定
Long wave radiation	[W/m ²]	同上
Short wave radiation	[W/m ²]	同上
Pressure	[Pa]	JRA25 dataset
wind speed	[m/s]	同上
Specific humidity	[%]	同上

出典： JICA 調査団

9.2 流出モデルのキャリブレーション

下図はパッシング-マリキナ川サンホセにおける流出の実測と計算値の例である。

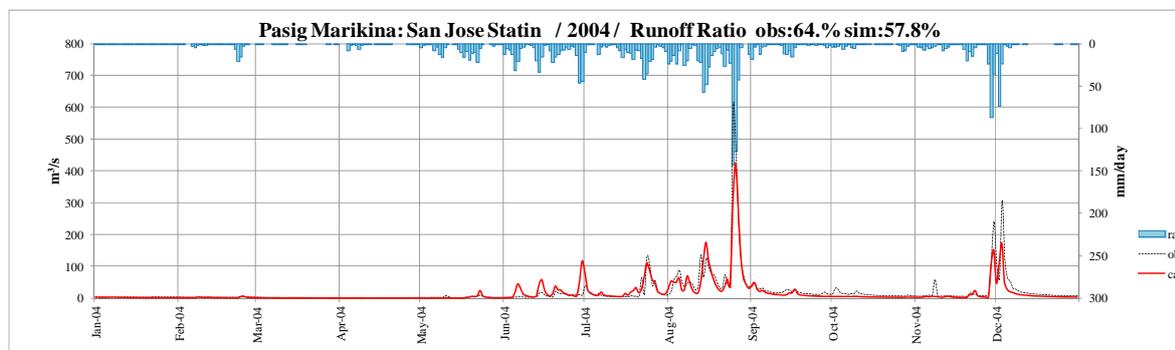


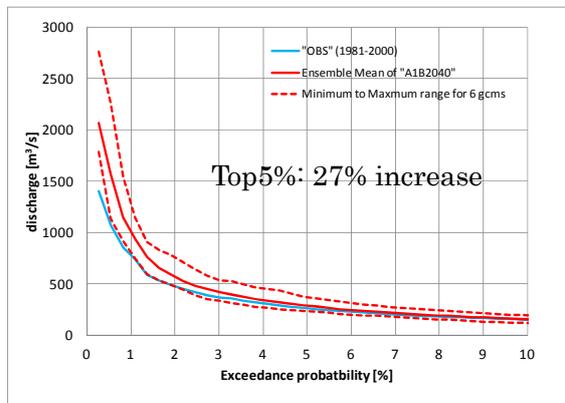
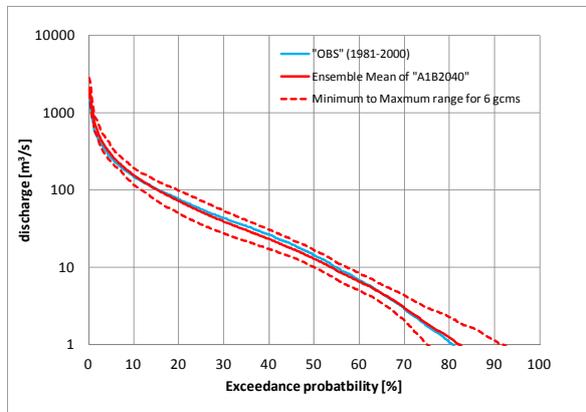
図 9.1 キャリブレーション例（パッシング-マリキナ）

図中の赤線が計算結果、黒い破線が観測結果、グラフ上部の青いバーチャートは降雨データであり、グリッド雨量データから流域平均値を算出した。

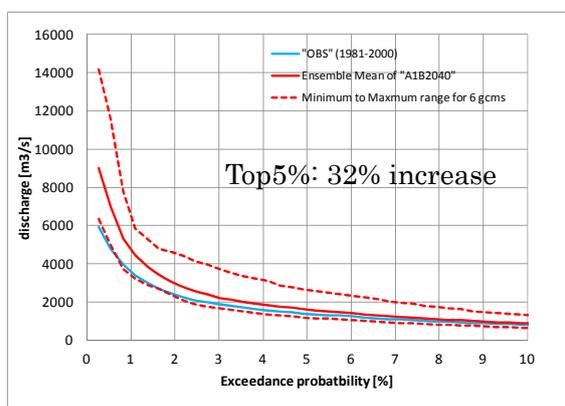
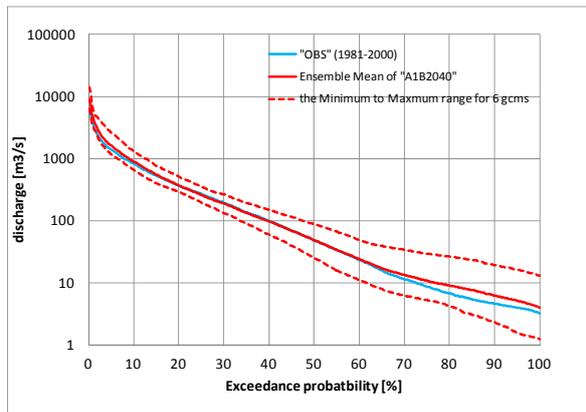
9.3 水文環境に対する気候変動影響評価

将来(2040)における 6 GCM の気候予測値とそれらの平均(アンサンブル)を用いて流出予測を行った。以下にその結果を示す。

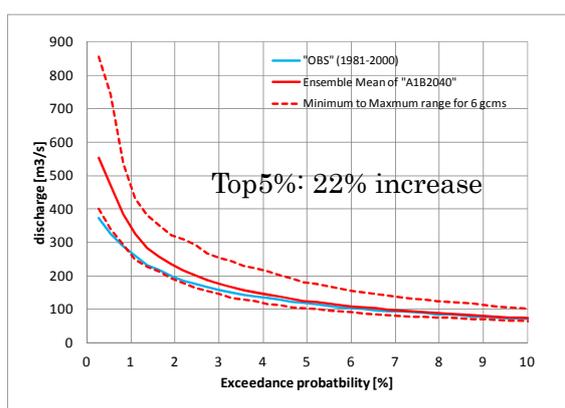
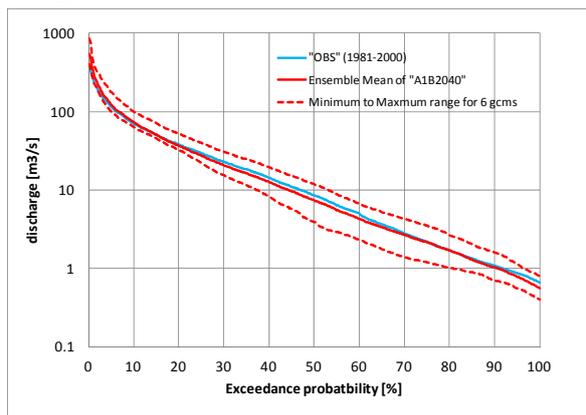
Angat River Basin



Pampanga River Basin



Pasig-Marikina River Basin



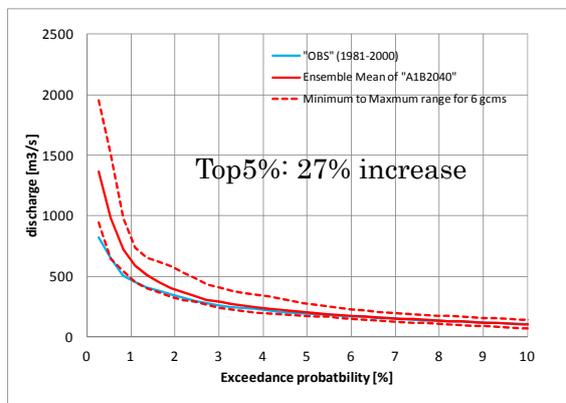
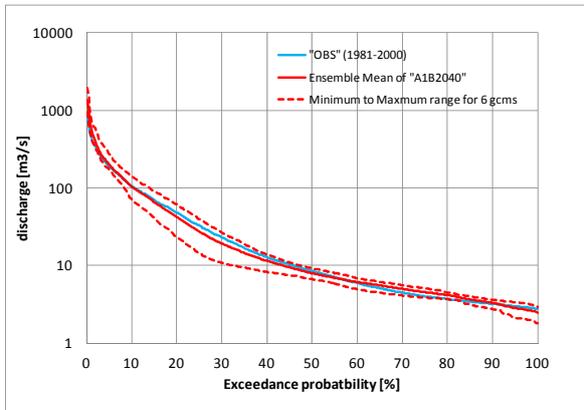
出典： JICA 調査団

図 9.2 アンサンブル平均流況曲線での現状から将来 2040 年気候への変化（アンガット、パンパンガ、パッシング-マリキナ）

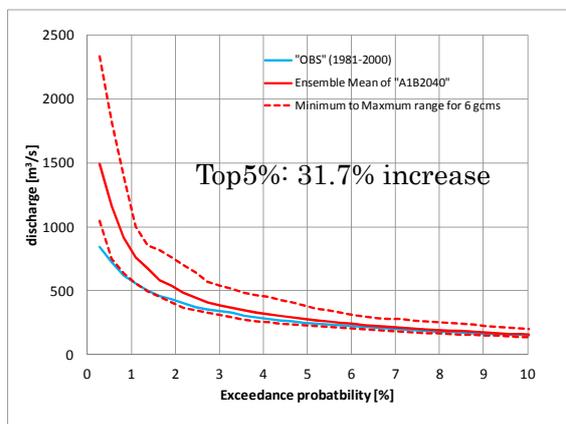
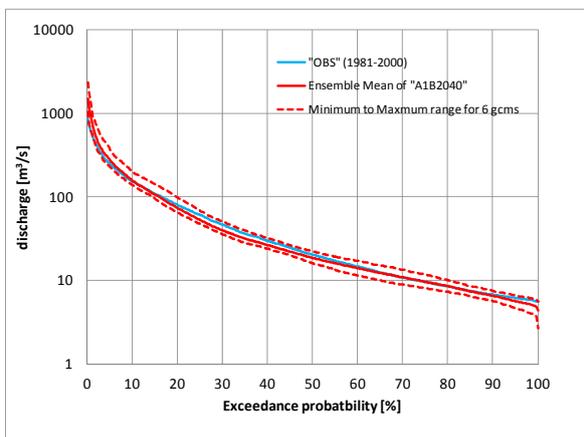
青い実線が 1981-2000 年の観測雨量による流出解析結果、赤い実線が 2040 年の平均流況曲線の 6 GCM のアンサンブル平均値である。赤い点線は各 GCM での平均流況曲線のうち、最大、

最小となるものを示している。左側に配置されている図は、流況の全域（0 から 100%まで）を示しており、縦軸を対数軸としている。図の右側は、上位 10%の流況を示している。ウミライ、アゴス、ラグナ湖については 図 9.3 に示す。

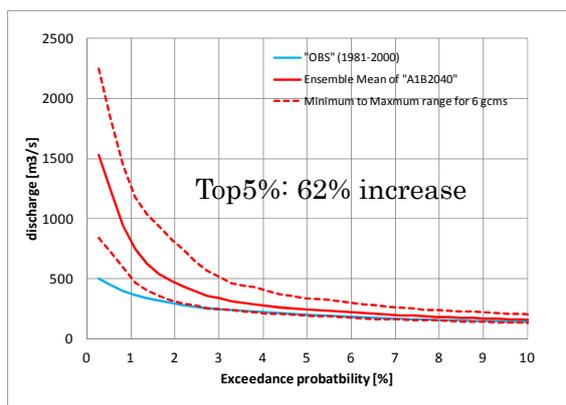
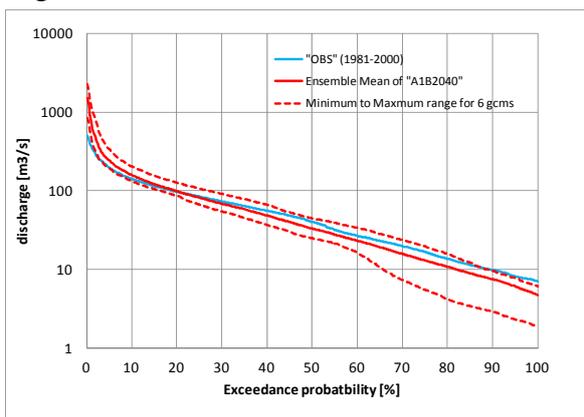
Umirai River Basin



Agos River Basin



Laguna Lake Basin



出典： JICA 調査団

図 9.3 アンサンブル平均流況曲線での現状から将来 2040 年気候への変化（ウミライ、アゴス、ラグナ湖）

9.4 気候変動に対する水資源の脆弱性評価

渇水指標

渇水に与える気候変動の影響評価が本調査で重要な事項である。将来の渇水の状況の評価するために、下に列挙した複数の渇水指標を導入した。それぞれの評価結果は表 9.2 から表 9.5 に示されている。

- a) 渇水流量（年間流況曲線のうち、上位から 355 番目の流量）
- b) 現状の平均渇水流量を下回る流量の日数
- c) 10%の非超過確率での渇水流量（10年に1回規模での渇水流量）
- d) 10%非超過確率の渇水流量を下回る流量の日数

渇水指標での評価の結果、全体的に 2/3 の GCM が将来に向かって渇水傾向が進むという結果であった。水資源管理計画を策定するためには、将来に向かって増大すると見込まれる渇水リスクを織り込むことが重要である。

季節変動に関する評価

現況と 2040 年気候での平均月流量を算出し、比較したものを図 9.4 から図 9.7 に示す。各月の 20 年分の値のうち、下から 2 番目の流量を抽出したものを図の右側に示している。ここで注意が必要なのは、このような渇水年が生じると予測しているのではなく、各月ごとでの 1/10 渇水評価を行ったものであるということである。平均的な月平均流量は若干増加するとみられるが、現況と大きくは変わらない。一方、各月の 1/10 渇水によれば、特に雨季での流量の減少が顕著に見られる。つまり、平均的には大きな変化はないが、年ごとのばらつきが大きくなると予測される。

年較差の評価

変動係数（The coefficient of variation, CV）は、20 年の月流量の標準偏差を 20 年平均月流量で正規化したもので、年ごとの格差の大きさを評価する指標である。正規化しているため、留意期間での比較にも用いることができる。各月ごとに算出された CV を図 9.8 に示す。年々格差は、将来に向かってより激しくばらつくようになることが図から読み取れる。これは、水資源管理上、留意すべき脆弱性である。

表 9.2 パッシング-マリキナ川流域での渇水指標評価結果

GCM Model	Annual Drought Discharge (m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present drought discharge		10% Non Exceedance Probability of Annual Drought Discharge(m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present 1/10 drought discharge		Longest # of days for each year below average drought discharge	
	(average 355 th rank)				(10 th percentile of 355 th rank)					
	Present	Future	Present	Future	Present	Future	Present	Future	Present	Future
CSIRO	1.51	1.38	42	48	0.47	0.30	3	5	104	148
GFDL_0	1.00	0.84	49	77	0.32	0.23	5	8	141	179
GFDL_1	0.90	0.68	32	44	0.34	0.24	2	9	113	96
INGV	0.90	1.06	36	35	0.38	0.46	3	1	97	81
IPSL	0.52	0.69	32	27	0.20	0.34	2	1	108	68
MIROC	0.81	0.56	38	51	0.38	0.23	2	12	92	123

※The index was evaluated for the daily discharges at the downstream end of modeled area.
Red = drier in future; more frequent below drought discharge
Blue = wetter in future; less frequently below drought discharge

出典： JICA 調査団

表 9.3 ウミライ川流域での渇水指標評価結果

GCM Model	Annual Drought Discharge (m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present drought discharge		10% Non Exceedance Probability of Annual Drought Discharge(m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present 1/10 drought discharge		Longest # of days for each year below average drought discharge	
	(average 355 th rank)				(10 th percentile of 355 th rank)					
	Present	Future	Present	Future	Present	Future	Present	Future	Present	Future
CSIRO	2.91	2.92	29	25	2.44	2.34	3	10	97	90
GFDL_0	2.68	2.32	38	44	2.05	1.92	4	10	137	125
GFDL_1	2.67	1.86	27	52	2.00	1.43	2	25	97	106
INGV	2.74	2.85	20	18	2.40	2.34	3	6	66	149
IPSL	2.57	2.89	26	26	2.21	2.36	4	1	103	72
MIROC	2.70	2.39	22	33	2.36	1.86	3	21	68	62

※The index was evaluated for the daily discharges at the downstream end of modeled area
Red = drier in future; more frequent below drought discharge
Blue = wetter in future; less frequently below drought discharge

出典： JICA 調査団

表 9.4 アゴス川流域での渇水指標評価結果

GCM Model	Annual Drought Discharge (m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present drought discharge		10% Non Exceedance Probability of Annual Drought Discharge(m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present 1/10 drought discharge		Longest # of days for each year below average drought discharge	
	(average 355 th rank)				(10 th percentile of 355 th rank)					
	Present	Future	Present	Future	Present	Future	Present	Future	Present	Future
CSIRO	5.85	5.45	44	39	4.00	4.07	3	1	119	112
GFDL_0	4.41	4.33	37	41	3.08	2.85	3	8	115	168
GFDL_1	5.12	3.51	39	60	3.07	2.25	3	13	158	210
INGV	5.38	4.79	23	61	4.26	3.70	4	11	100	128
IPSL	4.46	4.81	36	19	3.21	3.92	2	0	102	70
MIROC	5.16	3.65	37	56	3.98	2.82	3	32	111	124

※The index was evaluated for the daily discharges at the downstream end of modeled area
Red = drier in future; more frequent below drought discharge
Blue = wetter in future; less frequently below drought discharge

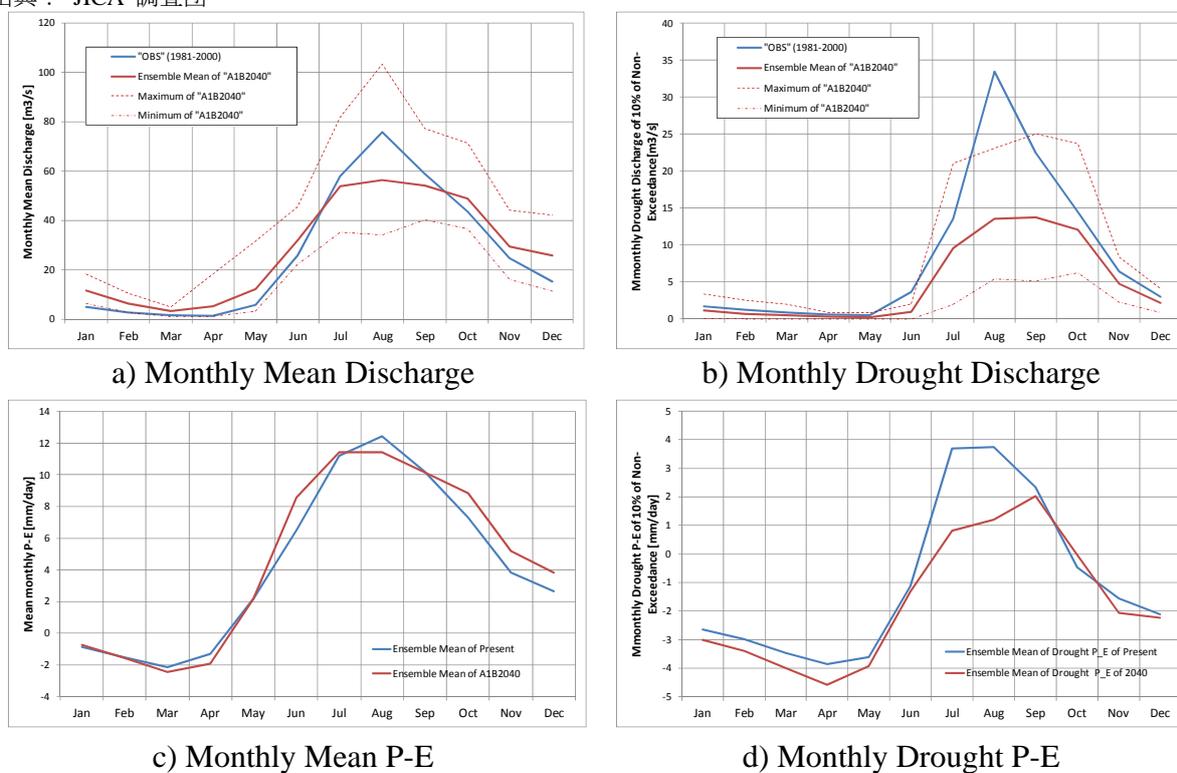
出典： JICA 調査団

表 9.5 ラグナ湖周辺流域の渇水指標の評価結果

GCM Model	Annual Drought Discharge (m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present drought discharge		10% Non Exceedance Probability of Annual Drought Discharge (m ³ /s)		# of days/year that baseflow < present 1/10 drought discharge		Longest # of days for each year below average drought discharge	
	(average 355 th rank)		Present	Future	Present	Future	Present	Future	Present	Future
CSIRO	8.16	6.17	68	69	0.71	0.51	3	7	197	164
GFDL_0	7.36	7.02	71	82	2.02	0.94	2	6	199	238
GFDL_1	7.15	5.20	70	69	0.63	0.34	3	4	179	194
INGV	7.29	7.37	59	93	0.50	0.20	3	5	168	221
IPSL	7.73	7.80	38	37	4.75	5.69	2	1	148	77
MIROC	6.93	2.14	68	122	0.63	0.36	4	6	165	227

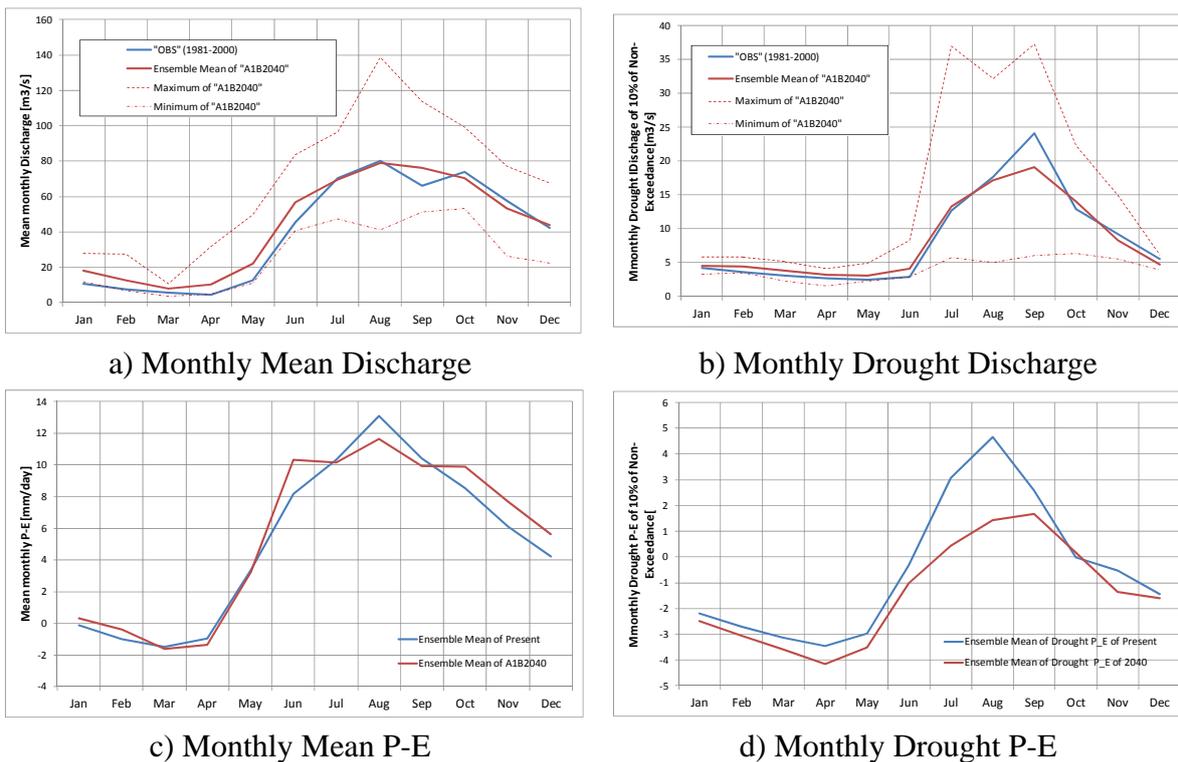
※The index was evaluated for the daily discharges at the downstream end of modeled area
Red = drier in future; more frequent below drought discharge
Blue = wetter in future; less frequently below drought discharge

出典： JICA 調査団



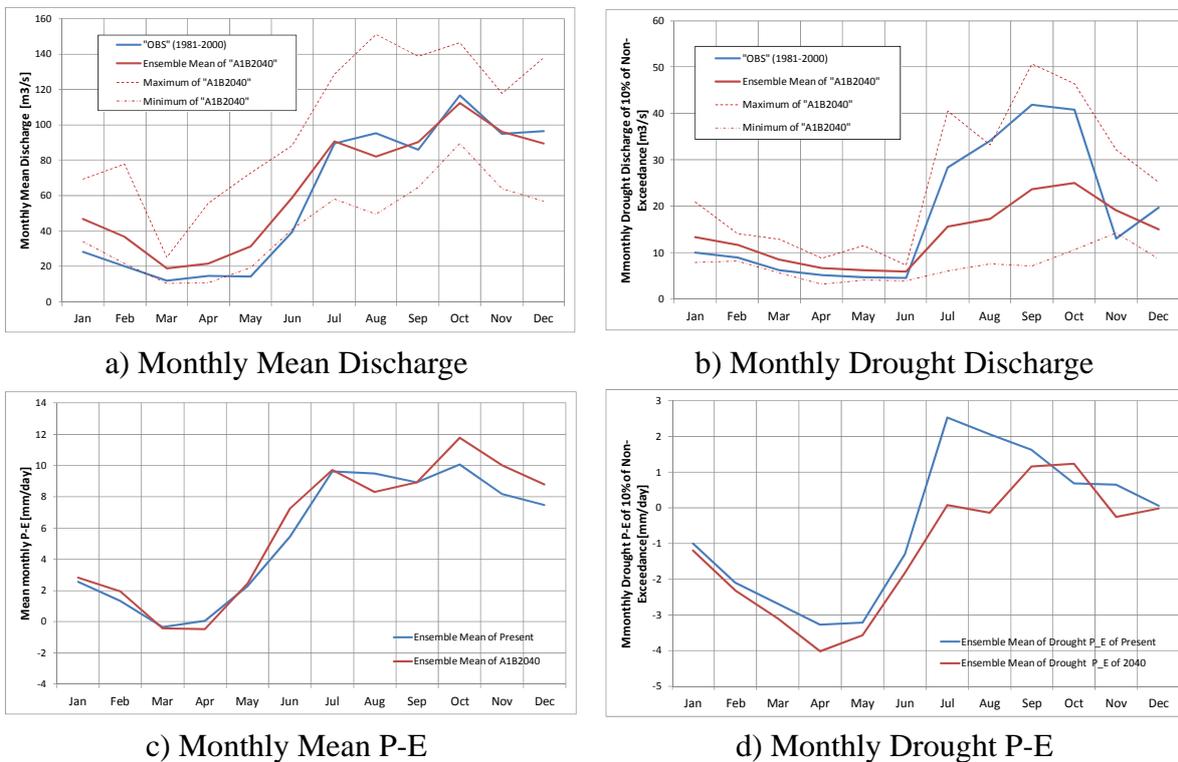
出典： JICA 調査団

図 9.4 パシグ-マリキナ川流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較



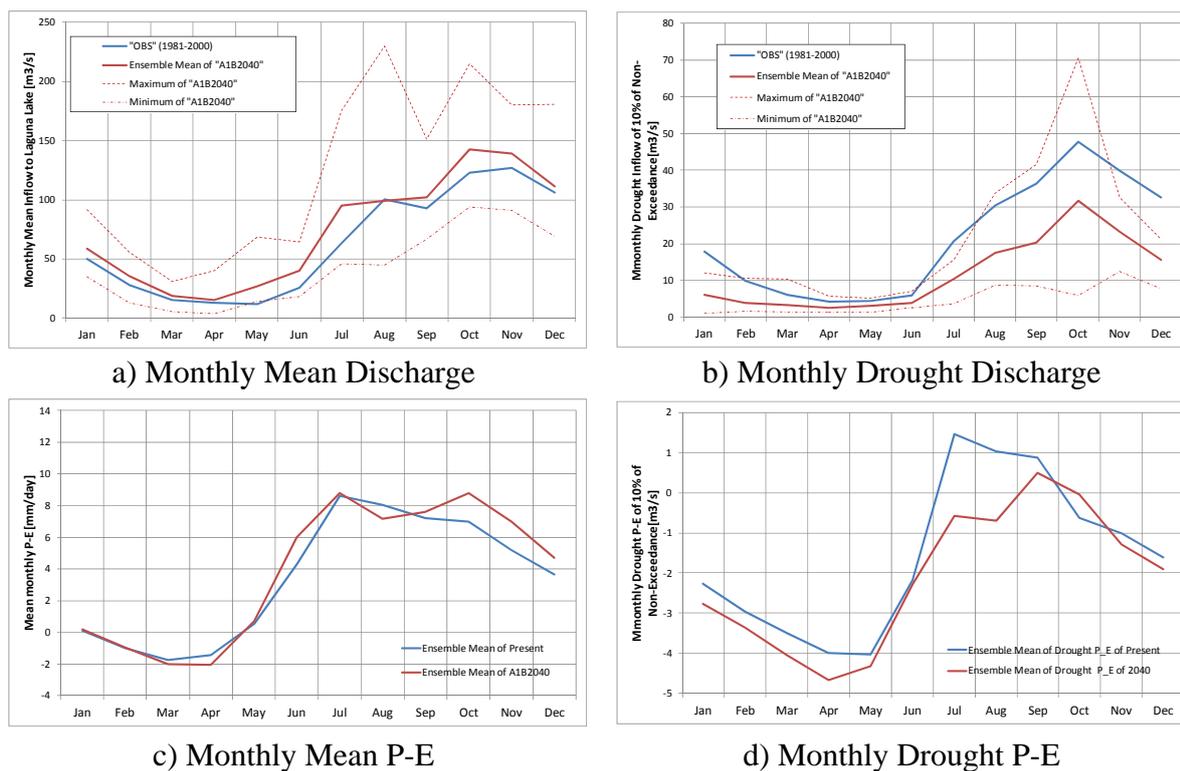
出典： JICA 調査団

図 9.5 ウミライ川流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較



出典： JICA 調査団

図 9.6 アゴス川流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較



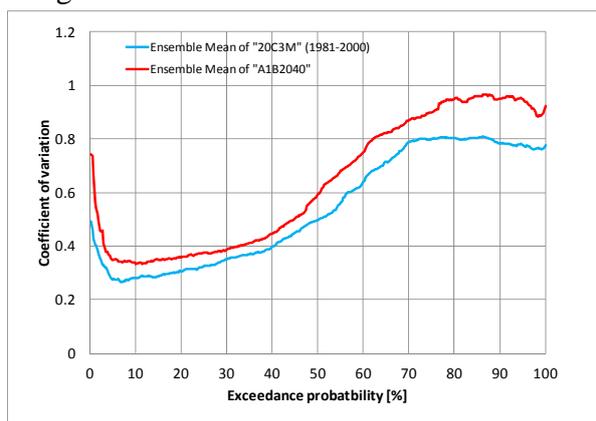
出典： JICA 調査団

図 9.7 ラグナ湖周辺流域の月平均の P-E 比較と月平均流量の変化の比較

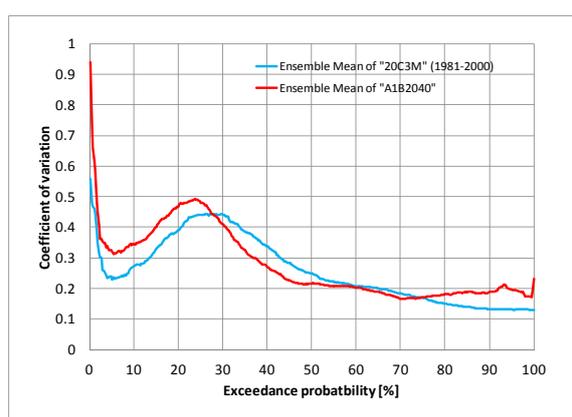
これらの図のうち a)は、20 カ年の平均値、b)は、月ごとの 1/10 渇水時の流量を示しており、破線は GCM のうち、最大値、最小値を示したものである。下段は、P-E の流域平均値の現況と将来の比較を示したものであり、c)は、20 年平均値、d)は各月ごとの 1/10 渇水時の値を比較したものである。

現在、将来の流況曲線を重ね各点の変動係数をグラフで表示する事により年較差をしめしたのが図 9.8 である。どのような流量が影響を受けるかが明示される。

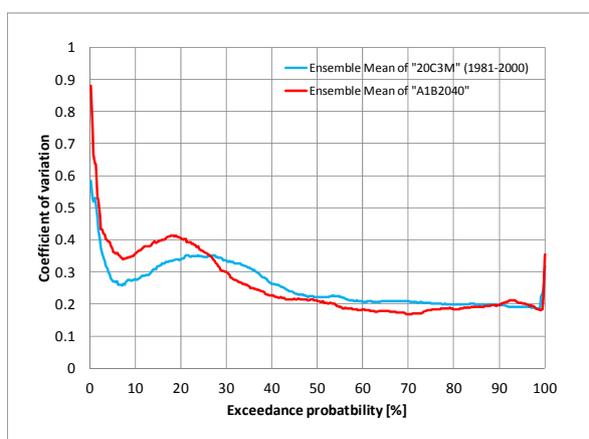
Pasig Marikina River Basin



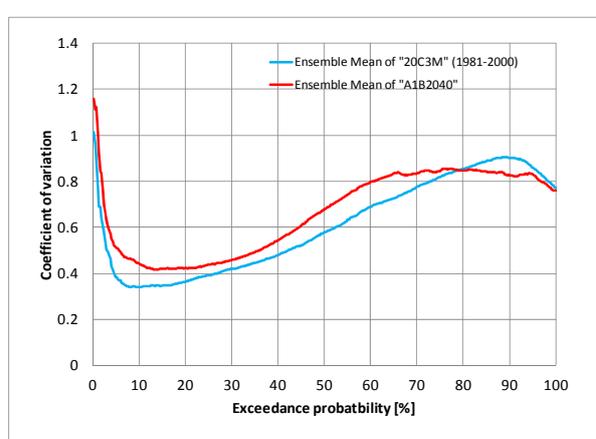
Umirai River Basin



Agos River Basin



Laguna River Basin



出典： JICA 調査団

図 9.8 年間流況曲線の各ランクごとでの変動係数(CV)の評価結果

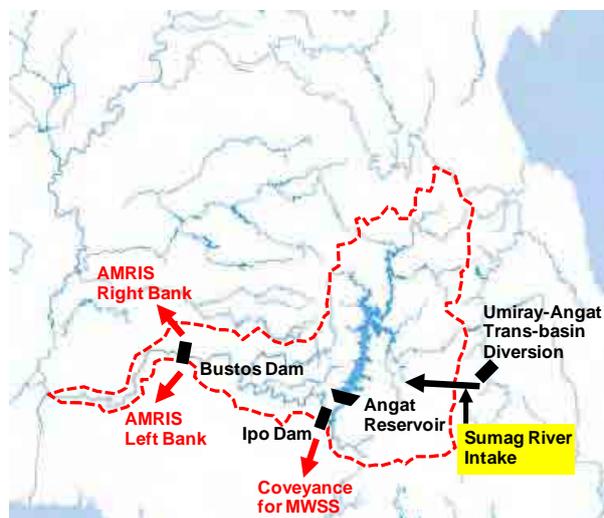
10 水収支解析

10.1 アンガット川流域

主要な問題点

既存の主な水資源はアンガット貯水池及びウミライ導水である。

アンガット川流域において世銀調査 Metro Manila Water Security Study によるロードマップに示されている計画は、図 10.1 に示すとおり、ウミライ～アンガット導水事業の未実施部分であるスマッグ川取水のみである。スマッグ川取水を実施することにより、MWSS に対する水配分が 2.17 m³/sec (= 188 MLD) 増加する。



出典： JICA 調査団

図 10.1

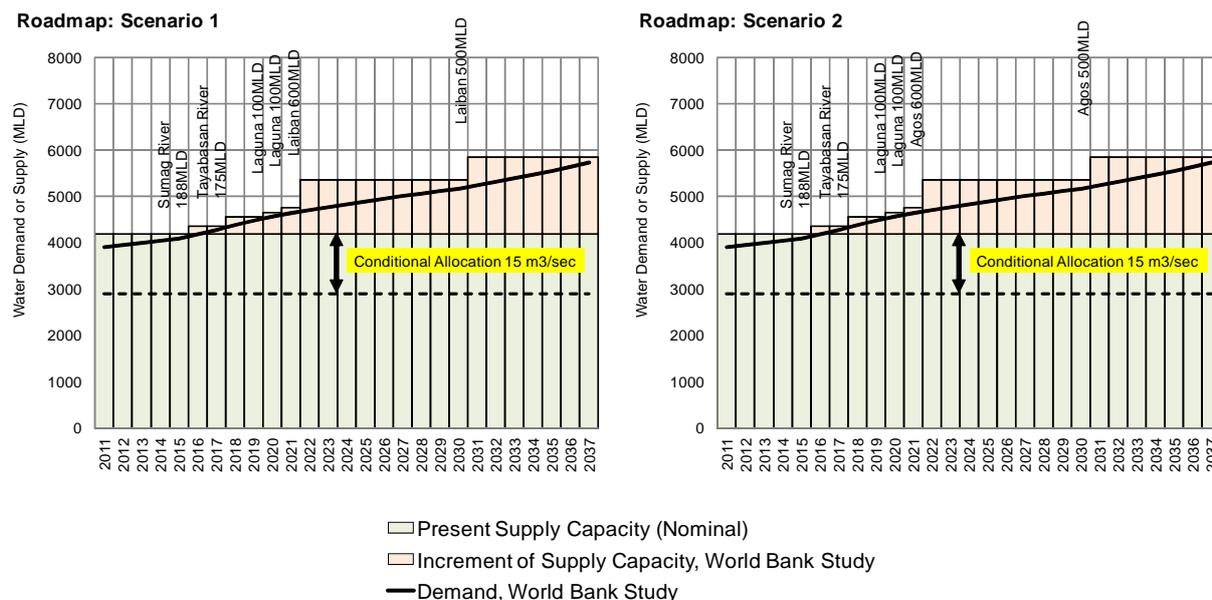
アンガット川流域の水資源（表流水）

現状において、MWSS によるマニラ首都圏水供給は水源の 95.5%をアンガット貯水池に依存している。MWSS への水配分は 46.3 m³/sec (= 4,000MLD) であるが、これには「かんがい用水の条件付き水配分 15 m³/sec (= 1,296 MLD)」が含まれている。本来、この 15 m³/sec はアンガット～マアシム河川かんがいシステム（AMRIS）で使用されないかんがい用水を MWSS に配分するものであるが、事実上は MWSS に対して優先的に配分されており、渇水発生の場合、AMRIS における水不足が深刻化する要因となっている。

世銀調査によるロードマップの水需給バランスは図 10.2 に示すとおりである。現状の水供給能力は、アンガット貯水池 4,000 MLD+その他 190 MLD とされており、マニラ首都圏の将来的な水需要増加に対応するため、ロードマップに示される計画の実施によって、4,190 MLD に上乗せする形で水供給能力を増加させていくこととなっている。

一方、アンガット貯水池による MWSS への水配分 46.3 m³/sec (= 4,000 MLD) には、かんがい用水の条件付き配分 15 m³/sec (= 1,296 MLD) が含まれていることに留意しなければならない。しかし、世銀調査では、かんがい用水の条件付き配分の解決策は明確に示されていない。

世銀調査では、バリンティンゴン貯水池から AMRIS に水配分する案が有力として検討された。しかし、同調査の最終報告書は、MWSS, NIA 等の関係者間の議論において、「バリンティンゴン貯水池の受益者はあくまで地元（ヌエバ・エシジャ州）であるべき」との結論となり、同案による「かんがい用水の条件付き水配分（15 m³/sec）」の解決は実現できないと記述している。



出典： Metro Manila Water Security Study, Final Report（世銀、2012年7月）

図 10.2 世銀調査によるロードマップ（シナリオ1及び2）

アンガット貯水池からの水配分

本調査ではアンガット貯水池からの水配分可能性についての検討を行った。結果は以下のとおり。

1) 現行のアンガット貯水池の運用に基づくケース：

上工水（MWSS 及びその他流域内）及び農業用水（AMRIS 及びその他流域内）とも、水供給不足の深刻化が予想される。現行の水配分及び貯水池運用を見直す必要がある。

2) 上工水の水配分に対して利水安全度 1/10 を確保することを与条件とするケース：

上工水に対する水配分を水需要のとおり、現在において $49.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= MWSS 46.3 + Local 3.3)、将来において $55.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 46.3 + 8.8) として、利水安全度 1/10、農業用水の利水安全度が 1/5 となる水配分を試算すると、現在 $5.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= AMRIS 5.2 + Local 0.1)、将来 $2.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 2.2 + 0.1) となり、それぞれ水需要に比して大幅に少ない。

3) 農業用水の水配分に対して利水安全度 1/5 を確保することを与条件とするケース：

農業用水に対する水配分を、現在において $19.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= AMRIS 19.0 + Local 0.3)、将来において $20.2 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 19.6 + Local 0.6) として、利水安全度 1/5 を確保することを与条件とする場合、上工水の利水安全度が 1/10 となる水配分を試算すると、現在 $34.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= MWSS 31.3 + Local 3.3)、将来 $35.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 27.1 + 8.8) となる。

上記のとおり、いずれの計算ケースにおいても水需要は水供給能力を上回っている。表 10.1 にアンガット川流域の水資源による持続可能な水供給と水需要との比較を示す。

現状（Existing）の水供給能力は、5年確率渇水年において $55.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、10年確率渇水年において $52.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。一方、現在の水需要合計は $68.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ である。

With Project（スマグ）による水供給能力は、5年確率渇水年において $57.9 \text{ m}^3/\text{sec}$ 、10年確率

渇水年において $53.8\text{m}^3/\text{sec}$ である。一方、将来の水需要合計は $75.4\text{m}^3/\text{sec}$ である。

以上より、持続可能な水供給と水需要との差異の主な原因はかんがい用水の条件付き配分 $15\text{m}^3/\text{sec}$ であることは明らかである。かんがい用水の条件付き配分は、AMRIS で使用されないかんがい用水を MWSS に配分するものと定義されていたが、現状では事実上 MWSS が常時使用できる状況にあり、渇水発生の場合、AMRIS における水不足が深刻化する要因となっている。

表 10.1 アンガット川流域の水資源による持続可能な水供給と水需要との比較

Present (2012)

Water Resources - Existing	Angat Reservoir +	$55.7\text{ m}^3/\text{sec}$	(4,812 MLD)	1/5 Drought Year
Dependable Supply Capacity	Umiray-Angat Trans-basin Diversion	$52.0\text{ m}^3/\text{sec}$	(4,493 MLD)	1/10 Drought Year
Present Water Demand (2012)	M & I Water Supply - MWSS	$46.3\text{ m}^3/\text{sec}$	(4,000 MLD)	
	M & I Water Supply - Local	$3.3\text{ m}^3/\text{sec}$	(285 MLD)	
	Agriculture - AMRIS	$19.0\text{ m}^3/\text{sec}$	(1,642 MLD)	
	Agriculture - Local	$0.3\text{ m}^3/\text{sec}$	(26 MLD)	
	Total	$68.9\text{ m}^3/\text{sec}$	(5,953 MLD)	

Future (2040)

Water Resources - With Project	Angat Reservoir +	$57.9\text{ m}^3/\text{sec}$	(5,003 MLD)	1/5 Drought Year
Dependable Supply Capacity	Umiray-Angat Trans-basin Diversion + Sumag River	$53.8\text{ m}^3/\text{sec}$	(4,648 MLD)	1/10 Drought Year
Future Water Demand (2040)	M & I Water Supply - MWSS	$46.3\text{ m}^3/\text{sec}$	(4,000 MLD)	
	M & I Water Supply - Local	$8.8\text{ m}^3/\text{sec}$	(760 MLD)	
	Agriculture - AMRIS	$19.6\text{ m}^3/\text{sec}$	(1,693 MLD)	
	Agriculture - Local	$0.6\text{ m}^3/\text{sec}$	(52 MLD)	
	Total	$75.3\text{ m}^3/\text{sec}$	(6,506 MLD)	

出典： JICA 調査団

10.2 アゴス川流域

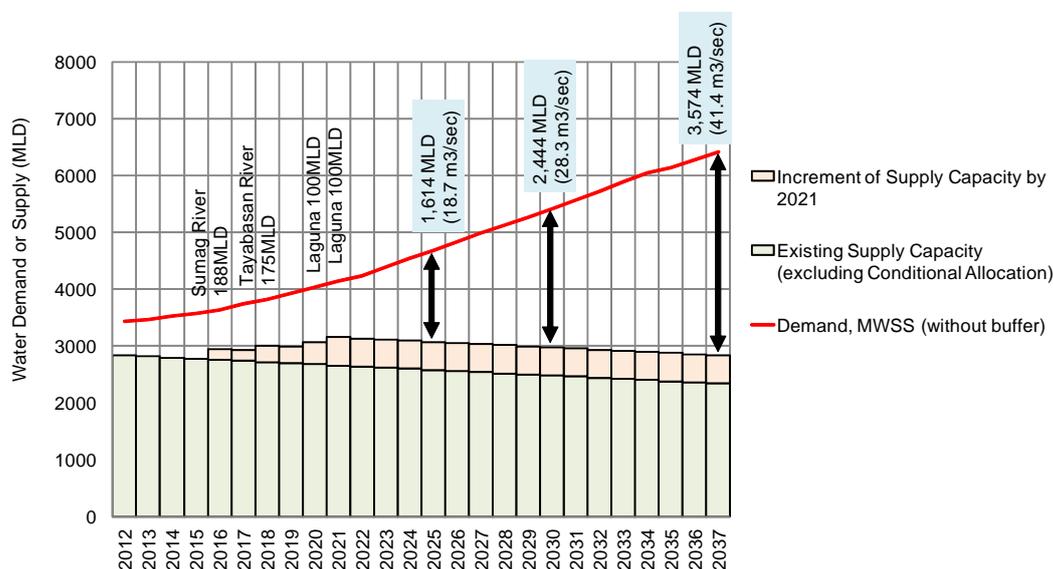
アゴス川流域において必要となる水資源開発の規模

マニラ首都圏の水需要にはアンガット貯水池のみで対応することはできない。アンガット貯水池から MWSS に対する水配分を超える部分の水需要に対応するためには、アゴス川流域における水資源開発の実施が不可欠である。開発の規模を以下のように検討した。

- MWSS が 2012 年に公式に確定したマニラ首都圏の水需要予測に基づいて、水需給バランスを修正する。
- アンガット川流域における上工水及び農業用水の水需要を満たしたうえでマニラ首都圏への水配分を行う必要がある。アンガット貯水池からマニラ首都圏への水配分は、現在（2012 年）において $31.3\text{m}^3/\text{sec}$ (= 2,704 MLD) であり、その後はアンガット川流域における水需要の増加によってマニラ首都圏への水配分は漸減し、2037 年には $25.6\text{m}^3/\text{sec}$ (= 2,210 MLD) になると予測される。
- 世銀調査 Metro Manila Water Security Study のロードマップに示される 2021 年までの水資

源開発による水供給能力の増加は $5.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 493 MLD) である。

- 以上より、アゴス川流域の水資源開発による水供給能力の増加は、図 10.3 に示すとおり 2025 年までに $18.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 1,614 MLD)、2030 年までに $28.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 2,444 MLD)、2037 年までに $41.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 3,574 MLD) となる。



出典： Metro Manila Water Security Study, Final Report（世銀、2012）及び MWSS による水需要予測を参照して調査団が作成

図 10.3 将来必要となるアゴス川流域の水資源開発による水供給能力の増加

MWSS に対する水供給能力

アゴス川流域における上工水及び農業用水の水需要を満たしたうえでマニラ首都圏へ導水することを条件として算定する。水収支計算の結果は以下のとおりである。

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ（図 10.4）：

ライバン貯水池	$20.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 1,740 MLD)
ライバン貯水池 + カリワ取水堰	$20.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 1,760 MLD)
ライバン貯水池 + カリワ取水堰 + カナン 2 貯水池	$58.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 5,060 MLD)

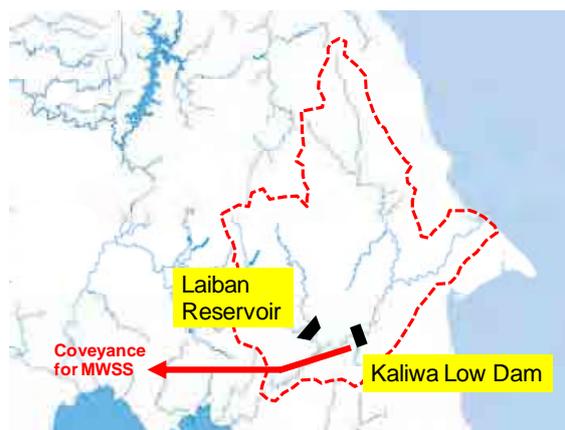
アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ（図 10.5）：

カリワ取水堰（90%保障流量）	$4.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 410 MLD)
カリワ取水堰 + アゴス貯水池	$34.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 2,950 MLD)
カリワ取水堰 + アゴス貯水池 + カナン 2 貯水池	$55.8 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 4,820 MLD)

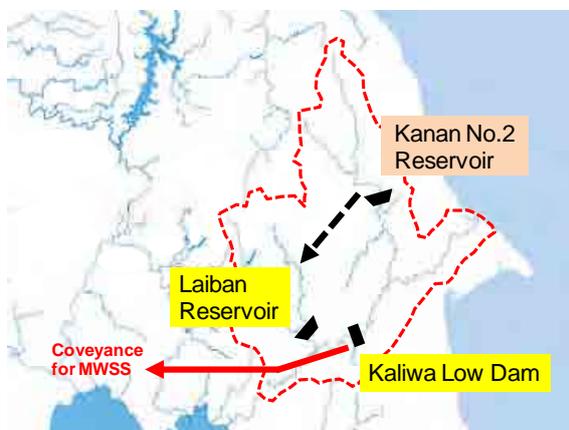
ライバン貯水池



ライバン貯水池 + カリワ取水堰



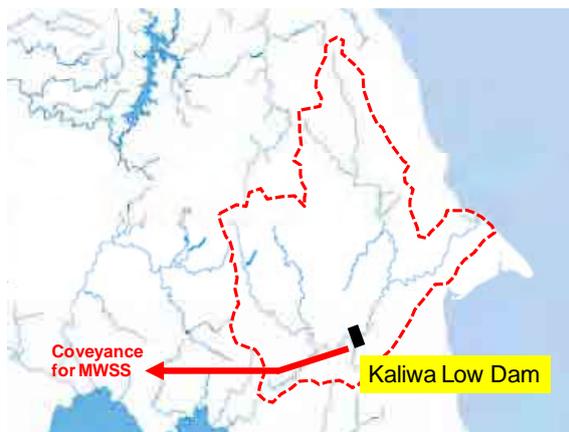
ライバン貯水池 + カリワ取水堰 + カナン2貯水池



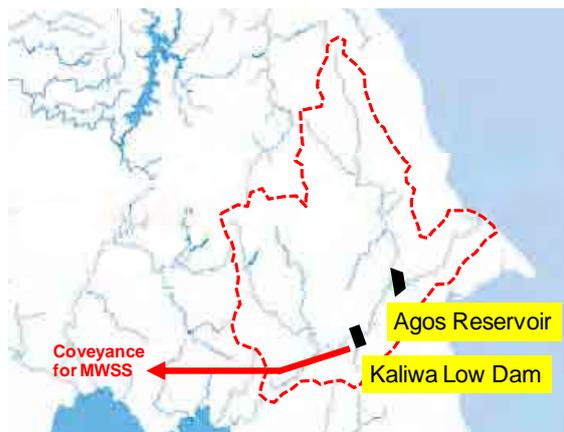
出典： JICA 調査団

図 10.4 ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

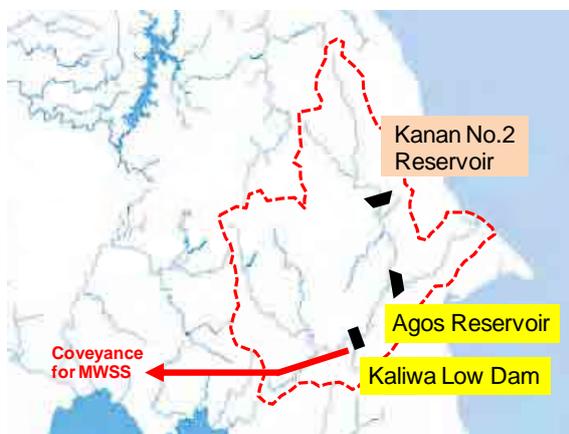
カリワ取水堰



カリワ取水堰 + アゴス貯水池



カリワ取水堰 + アゴス貯水池 + カナン2貯水池



出典： JICA 調査団

図 10.5
アゴス貯水池を主な水資源開発とする
シナリオ

10.3 マニラ首都圏における水需給バランス

マニラ首都圏水需要予測のバッファーなし

2037年までに必要となる水供給能力の増加は $47.1 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 4,067 MLD) である。世銀調査のロードマップに含まれる 2021年までの水資源開発は $5.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 493 MLD) であり、2022年以降のアゴス川流域において必要となる水資源開発は $41.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 3,574 MLD) である。

表 10.2 及び図 10.6 に 2037年までの水資源開発を示す。ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる 2037年までの水供給能力増加の合計は $51.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 4,453 MLD) となる。アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる 2037年までの水供給能力増加の合計は $50.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 4,378 MLD) となる。

表 10.2 2037 年までの水資源開発（マニラ首都圏水需要予測のバッファなし）

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

Project	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(2,211)
Laguna & Other	(Existing)	(132)
(1) Sumag River	2016	188
(2) Tayabasan River	2018	105
(3) Laguna Lake	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100
(5) Laiban Reservoir + Kaliwa Low Dam	2022	1,760
(6) Kanan No.2 Reservoir, 1/3	2026	1,100
(7) Kanan No.2 Reservoir, 2/3	2033	1,100
Total (1) to (7)		4,453

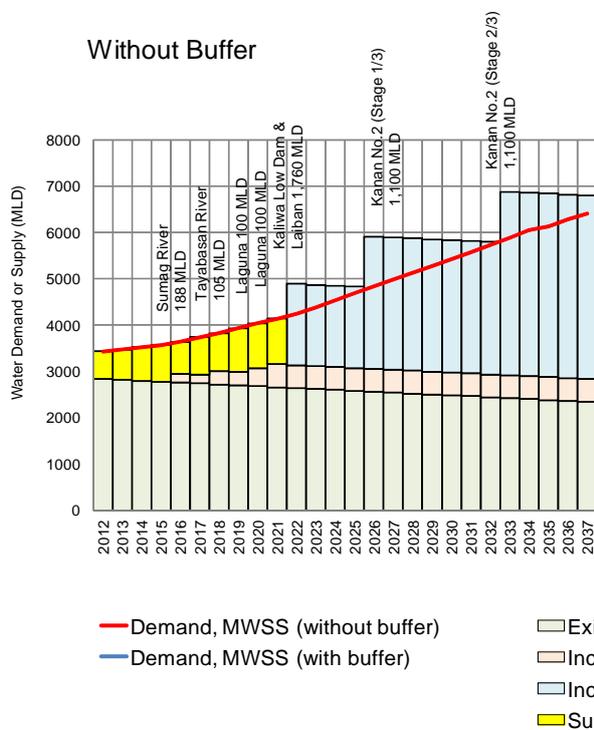
アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

Project	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(2,211)
Laguna & Other	(Existing)	(132)
(1) Sumag River	2016	188
(2) Tayabasan River	2018	105
(3) Laguna Lake	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100
(5) Kaliwa Low Dam	2022	410
(6) Agos Reservoir, Stage 1/3 and 2/3	2025	1,590
(7) Agos Reservoir, Stage 3/3	2028	950
(8) Kanan No.2 Reservoir, Stage 1/2	2033	935
Total (1) to (8)		4,378

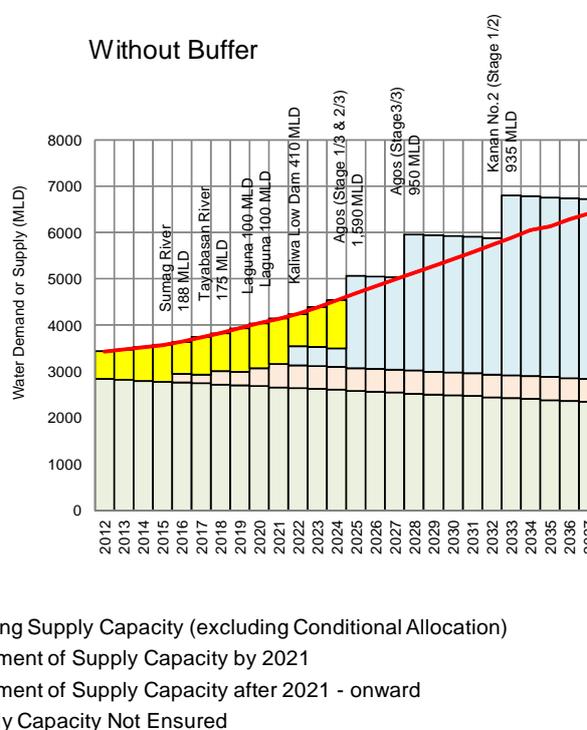
注： Capacity は 2037 年における水供給能力である。

出典： JICA 調査団

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ



アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ



出典： JICA 調査団

図 10.6 2037 年までの水需給バランス（マニラ首都圏水需要予測のバッファなし）

マニラ首都圏水需要予測のバッファあり

2037 年までに必要となる水供給能力の増加は $57.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 4,949 MLD) である。世銀調査のロードマップに含まれる 2021 年までの水資源開発は $5.7 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 493 MLD) であり、2022 年以降のアゴス川流域において必要となる水資源開発は $51.6 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 4,456 MLD) である。

表 10.3 及び図 10.7 に 2037 年までの水資源開発を示す。ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる 2037 年までの水供給能力増加の合計は $64.3 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 5,553 MLD) となる。アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる 2037 年までの水供給能力増加の合計は $61.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ (= 5,313 MLD) となる。

表 10.3 2037 年までの水資源開発（マニラ首都圏水需要予測のバッファあり）

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

Project	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(2,211)
Laguna & Other	(Existing)	(132)
(1) Sumag River	2016	188
(2) Tayabasan River	2018	105
(3) Laguna Lake	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100
(5) Laiban Reservoir + Kaliwa Low Dam	2022	1,760
(6) Kanan No.2 Reservoir, 1/3	2025	1,100
(7) Kanan No.2 Reservoir, 2/3	2028	1,100
(8) Kanan No.2 Reservoir, 3/3	2034	1,100
Total (1) to (8)		5,553

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

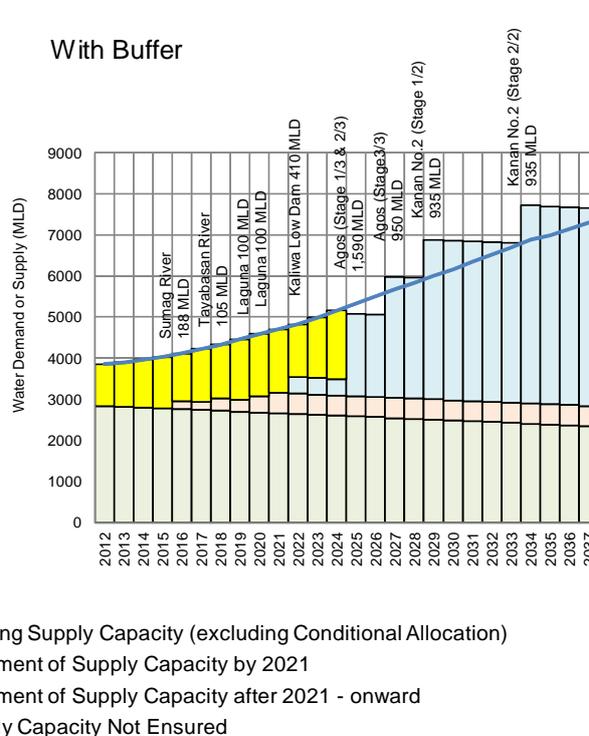
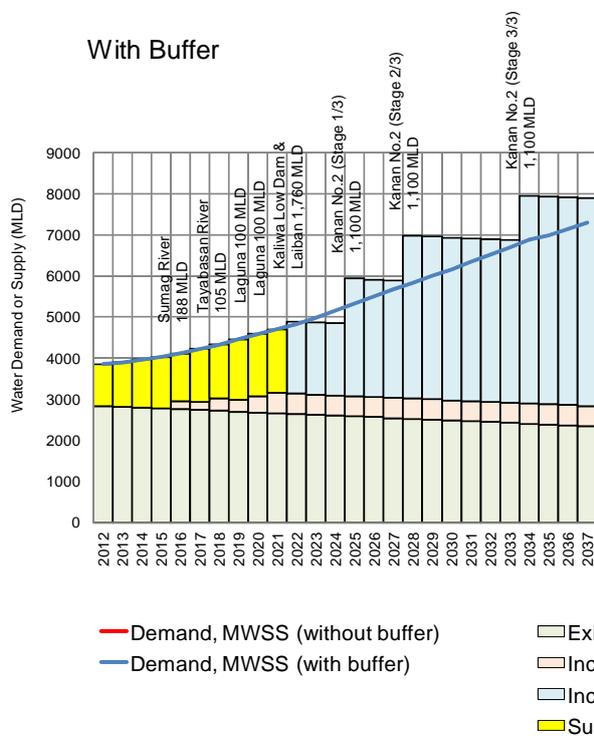
Project	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(2,211)
Laguna & Other	(Existing)	(132)
(1) Sumag River	2016	188
(2) Tayabasan River	2018	105
(3) Laguna Lake	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100
(5) Kaliwa Low Dam	2022	410
(6) Agos Reservoir, Stage 1/3 and 2/3	2025	1,590
(7) Agos Reservoir, Stage 3/3	2027	950
(8) Kanan No.2 Reservoir, Stage 1/2	2029	935
(9) Kanan No.2 Reservoir, Stage 2/2	2034	935
Total (1) to (9)		5,313

注： Capacity は 2037 年における水供給能力である。

出典： JICA 調査団

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ



出典： JICA 調査団

図 10.7 2037 年までの水需給バランス（マニラ首都圏水需要予測のバッファあり）

10.4 マニラ首都圏における水需給バランス：気候変動の影響

気候変動影響を考慮したマニラ首都圏に対する水供給能力

気候変動影響の検討で選定された 6 つの GCM による気候予測値に基づいて、それぞれ流出計算で得られた 6 つの水文データセット（2031-2050）を水収支計算に適用する。水収支計算の結果を表 10.4 及び図 10.8 に示す。

表 10.4 マニラ首都圏水供給のための水資源開発（気候変動影響あり）

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

Unit: m³/sec

GCM for Hydrological Data Set	Angat Umiray Sumag	Tayabasan Laguna Other	Laiban Kaliwa L Kanan 2	Total
(Recorded Climate)	27.1	5.1	58.6	90.8
csiro_mk3_0	26.2	5.7	59.6	91.5
gfdl_cm2_0	25.6	4.9	53.1	83.6
gfdl_cm2_1	28.5	5.3	57.8	91.6
ingv_echam4	30.5	5.3	59.5	95.3
ipsl_cm4	32.6	5.6	60.3	98.5
miroc3_2_medres	21.5	5.2	56.4	83.0
			Max	98.5
			Ave	90.6
			Min	83.0

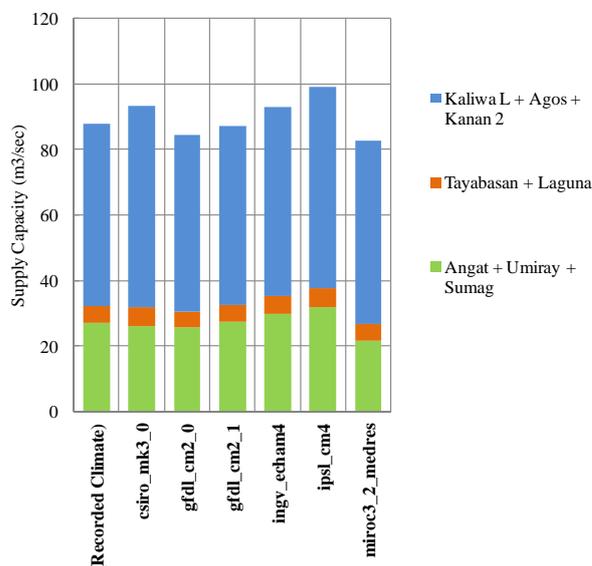
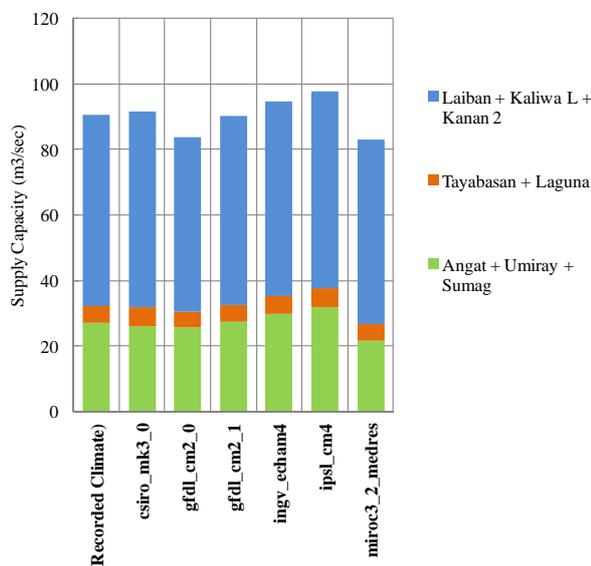
Unit: m³/sec

GCM for Hydrological Data Set	Angat Umiray Sumag	Tayabasan Laguna Other	Kaliwa L Agos Kanan 2	Total
(Recorded Climate)	27.1	5.1	55.8	88.0
csiro_mk3_0	26.2	5.7	61.6	93.4
gfdl_cm2_0	25.6	4.9	53.8	84.3
gfdl_cm2_1	28.5	5.3	54.4	88.2
ingv_echam4	30.5	5.3	58.0	93.8
ipsl_cm4	32.6	5.6	61.7	99.9
miroc3_2_medres	21.5	5.2	56.1	82.8
			Max	99.9
			Ave	90.4
			Min	82.8

注： 気候変動影響なしのケースとの比較—赤字：正の影響、黒字：影響小（±1%以下）、青字：負の影響
出典： JICA 調査団

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ



出典： JICA 調査団

図 10.8 マニラ首都圏水供給のための水資源開発（気候変動影響あり）

1) アンガット川流域

気象水文データ実績値（気候変動影響なし）に基づくデータセットを使用した水収支計算では、1/10 確率渇水年におけるアンガット貯水池からの水供給可能量は 53.8 m³/sec と算定されている。これに対し気候変動影響ありの場合、水供給可能量は最大 60.7 m³/sec、最小 48.3 m³/sec と予測される。

上記の水供給能力からアンガット川流域の上工水及び農業用水に対する水配分を差し引くことで、MWSS に対する水供給可能量が算定される。MWSS に対する水供給可能量は気候変動影響なしの場合 27.1 m³/sec、気候変動影響ありの場合は最大 32.6 m³/sec、最小 21.5 m³/sec である。

2) アゴス川流域：ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

気候変動影響なしの場合、ライバン貯水池＋カリワ取水堰＋カナン 2 貯水池により、1/10 確率渇水年において MWSS に対する水供給可能量は 58.6 m³/sec と算定されている。これに対し、気候変動影響ありの場合、水供給可能量は最大 60.3 m³/sec、最小 53.1 m³/sec と予測される。

3) アゴス川流域：アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

気候変動影響なしの場合、カリワ取水堰＋アゴス貯水池＋カナン 2 貯水池により、1/10 確率渇水年において MWSS に対する水供給可能量は 55.8 m³/sec と算定されている。これに対し、気候変動影響ありの場合、水供給可能量は最大 61.7 m³/sec、最小 53.1 m³/sec と予測される。

4) その他の流域

タヤバサン川取水は、河川流量の季節変動を調節できるような貯水容量を有していないため、水供給能力として取水地点における 90%保障流量（1.22 m³/sec）を適用する。ラグナ湖については、水供給能力（3.47 m³/sec）に対する気候変動影響はないものと仮定する。

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる水供給能力合計は 90.8 m³/sec（＝7,841 MLD）である。一方、気候変動影響ありの 6 ケースの水供給能力合計は最大 98.5 m³/sec（＝8,334 MLD）、最小 83.0 m³/sec（＝7,627 MLD）の範囲と予測される。

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる水供給能力合計は 88.0 m³/sec（＝7,600 MLD）である。一方、気候変動ありの 6 ケースの水供給能力合計は最大 99.9 m³/sec（＝8,452 MLD）、最小 82.8 m³/sec（＝7,612 MLD）の範囲と予測される。

2037 年までの水需給バランスに対する気候変動影響

10.3 節に記載する 2037 年までのマニラ首都圏の水需給バランスに対して予測される気候変動影響は次のとおりである。

気候変動影響なしの場合の水供給能力に対し、気候変動影響による水供給能力の増減幅は、2037 年においてライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオで-8.5%～+8.8%、アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオで-3.4%～+15.8%と予測される（表 10.5 及び図 10.9 参照）。

表 10.5 水供給能力の比較（気候変動影響なし・あり）

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

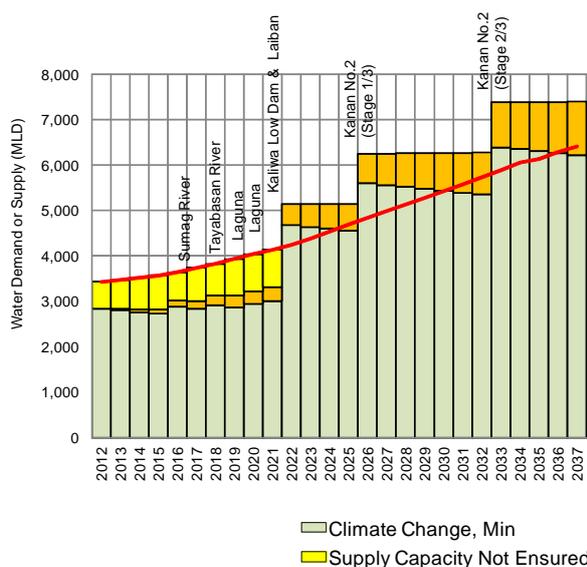
アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

		Unit: MLD				
Year	2021	2022	2026	2033	2037	
Recorded Climate	3,152	4,892	5,916	6,881	6,802	
Climate Change Max.	3,320 +5.4%	5,135 +5.0%	6,252 +5.7%	7,382 +7.3%	7,399 +8.8%	
Climate Change Min.	3,000 -4.8%	4,682 -4.3%	5,607 -5.2%	6,397 -7.0%	6,226 -8.5%	

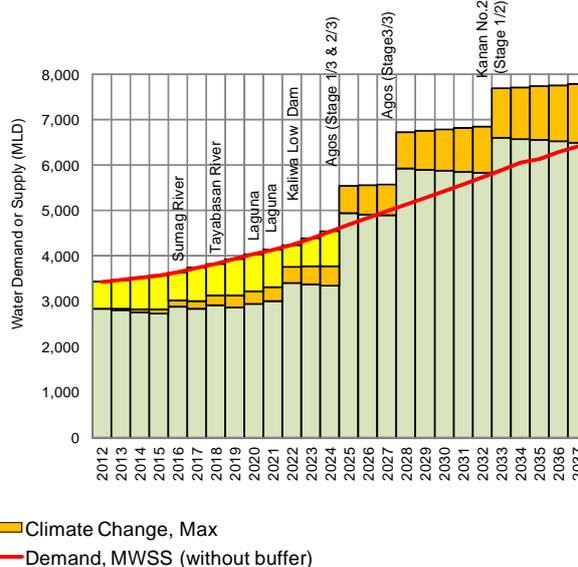
		Unit: MLD				
Year	2021	2025	2028	2033	2037	
Recorded Climate	3,152	5,073	5,963	6,800	6,721	
Climate Change Max.	3,320 +5.4%	5,537 +9.2%	6,732 +12.9%	7,692 +13.1%	7,783 +15.8%	
Climate Change Min.	3,000 -4.8%	4,944 -2.5%	5,922 -0.7%	6,607 -2.8%	6,491 -3.4%	

出典： JICA 調査団

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ



アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ



出典： JICA 調査団

図 10.9 2037 年までの水需給バランス（気候変動影響あり）

気候変動影響ありの 6 ケースのうち、“miroc3_2_medres”による予測に基づく水文条件において、マニラ首都圏に対する水供給能力の合計は最小となる。気候変動影響なしの場合と比較すると、二つのシナリオともカナン 2 貯水池の実施を前倒しすることで 2037 年までの水需要に対応することが可能となる（表 10.6 及び図 10.10 参照）。

表 10.6 2037 年までの水資源開発（気候変動影響あり、“miroc3_2_medres”）

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

Project	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(1,833)
Laguna & Other	(Existing)	(132)
(1) Sumag River	2016	136
(2) Tayabasan River	2018	114
(3) Laguna Lake	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100
(5) Laiban Reservoir + Kaliwa Low Dam	2022	1,653
(6) Kanan No.2 Reservoir, 1/3	2025	1,079
(7) Kanan No.2 Reservoir, 2/3	2031	1,079
(8) Kanan No.2 Reservoir, 3/3	2036	1,079
Total (1) to (8)		5,339

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

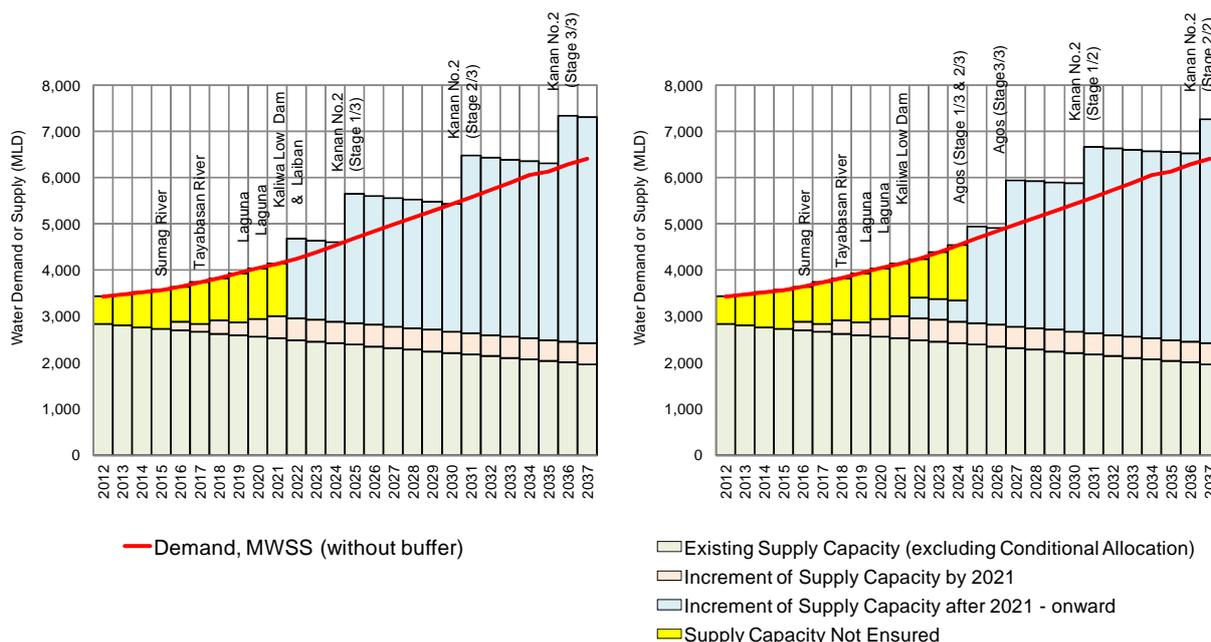
Project	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(1,833)
Laguna & Other	(Existing)	(132)
(1) Sumag River	2016	136
(2) Tayabasan River	2018	114
(3) Laguna Lake	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100
(5) Kaliwa Low Dam	2022	2,205
(6) Agos Reservoir, Stage 1/3 and 2/3	2025	
(7) Agos Reservoir, Stage 3/3	2027	1,102
(8) Kanan No.2 Reservoir, Stage 1/2	2031	770
(9) Kanan No.2 Reservoir, Stage 2/2	2037	770
Total (1) to (8)		5,297

注： Capacity は 2037 年における水供給能力である。

出典： JICA 調査団

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ



出典： JICA 調査団

図 10.10 2037 年までの水需給バランス（気候変動影響あり、“miroc3_2_medres”）

10.5 マニラ首都圏における水需給バランス：水需要予測及び気候変動影響予測の組み合わせ

本節では、水需要予測代替案及び気候変動影響予測を組み合わせたケースについて、マニラ首都圏における 2037 年までの水需給バランスについて記述する。

水需要予測代替案及び気候変動影響を組み合わせたケースは次の条件設定に基づく。

- マニラ首都圏の水需要予測： 「バッファなし」及び「バッファあり」
- 周辺地域（河川流域）の水需要予測： 「代替案 1」及び「代替案 2」
- 気候変動影響予測： 6 GCM による気候変動予測に基づき推定した河川流況

以上の組み合わせは少なくとも 24 ケースとなるが、本節ではこのうち「Case A：マニラ首都圏に対する 2037 年までの水配分の増加が最小」及び「Case B：マニラ首都圏に対する 2037 年までの水配分の増加が最大」の 2 ケースについて、マニラ首都圏における 2037 年までの水需給バランスを試算する。これら 2 ケースの条件設定は表 10.7 のとおりである。

表 10.7 水需要予測及び気候変動影響予測の組み合わせ

	Case A 2037年までの水配分の増加が最小	Case B 2037年までの水配分の増加が最大
マニラ首都圏の水需要予測	バッファなし	バッファあり ● バッファなしの水需要予測に対して15%上乗せする。
周辺地域（河川流域）の水需要予測	代替案2 ● 将来（2040年）の地下水使用量は持続可能な地下水使用量まで増加する。 ● 節水かんがい技術の普及によりNISの水需要が将来（2040年）までに10%減少する。 ➔ マニラ首都圏への水配分合計（表流水）が代替案1よりも多い。	代替案1 ● 現在（2012年）の地下水使用量が将来にわたって維持される。
気候変動影響予測	ipsl_cm4 ● マニラ首都圏への水配分合計（表流水）に対して正の影響が大きい。	miroc3_2_medres ● マニラ首都圏への水配分合計（表流水）に対して負の影響が大きい。

出典： JICA 調査団

「マニラ首都圏の水需要予測のバッファなし」、「周辺地域（河川流域）の水需要予測の代替案1」、「気候変動影響なし」の場合、2037年までに必要となる水配分の増加は47.1 m³/sec (= 4,067 MLD) と推定される。一方、水需要予測及び気候変動影響予測を組み合わせるケースでは、Case A で 37.6 m³/sec (= 3,252 MLD)、Case B で 61.7 m³/sec (= 5,327 MLD) と推定される。

ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる 2037 年までの水資源開発と水需給バランスをそれぞれ表 10.8 及び図 10.11 に示す。Case A では、2022 年にライバン貯水池＋カリワ取水堰による水供給、2030 年にカナン2貯水池の第一期による水供給を運用開始することで、2037 年までの水需要を満たすことができる。Case B では、2022 年のライバン貯水池＋カリワ取水堰の運用開始後、2032 年までにカナン2貯水池による水供給をすべて運用開始する必要がある。

表 10.8 2037 年までの水供給能力増加（最小・最大）：ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

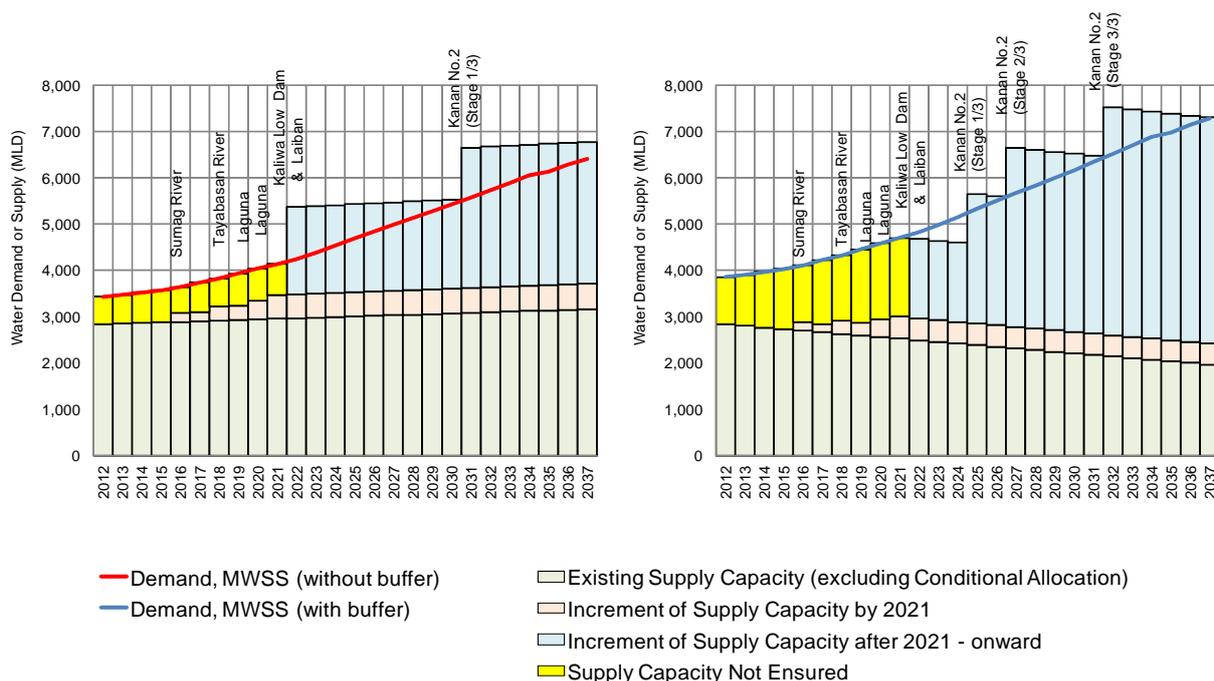
Project	Case A Capacity Increment Min.		Case B Capacity Increment Max.	
	Year	Capacity (MLD)	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(3,028)	Existing	(1,833)
Laguna & Other	(Existing)	(132)	Existing	(132)
(1) Sumag River	2016	198	2016	136
(2) Tayabasan River	2018	148	2018	114
(3) Laguna Lake	2020	100	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100	2021	100
(5) Laiban Reservoir + Kaliwa Low Dam	2022	1,965	2022	1,653
(6) Kanan No.2 Reservoir, 1/3	2030	1,100	2025	1,079
(7) Kanan No.2 Reservoir, 2/3	(After 2037)		2027	1,079
(8) Kanan No.2 Reservoir, 3/3	(After 2037)		2032	1,079
Total (1) to (8)		3,610		5,339

注：Capacity は 2037 年における水供給能力である。

出典： JICA 調査団

Case A : 2037 年までの水配分の増加が最小

Case B : 2037 年までの水配分の増加が最大



出典： JICA 調査団

図 10.11 水需要予測及び気候変動影響予測の組み合わせによる水需給バランス：ライバン貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオによる 2037 年までの水資源開発と水需給バランスをそれぞれ表 10.9 及び図 10.12 に示す。Case A では、2025 年にアゴス貯水池第一期及び第二期による水供給、2035 年に第三期による水供給を運用開始することで、2037 年までの水需要を満たすことができる。Case B では、2025 年までにアゴス貯水池による水供給をすべて運用開始、2033 年までにカナン 2 貯水池による水供給をすべて運用開始する必要がある。

表 10.9 2037 年までの水供給能力増加（最小・最大）：アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

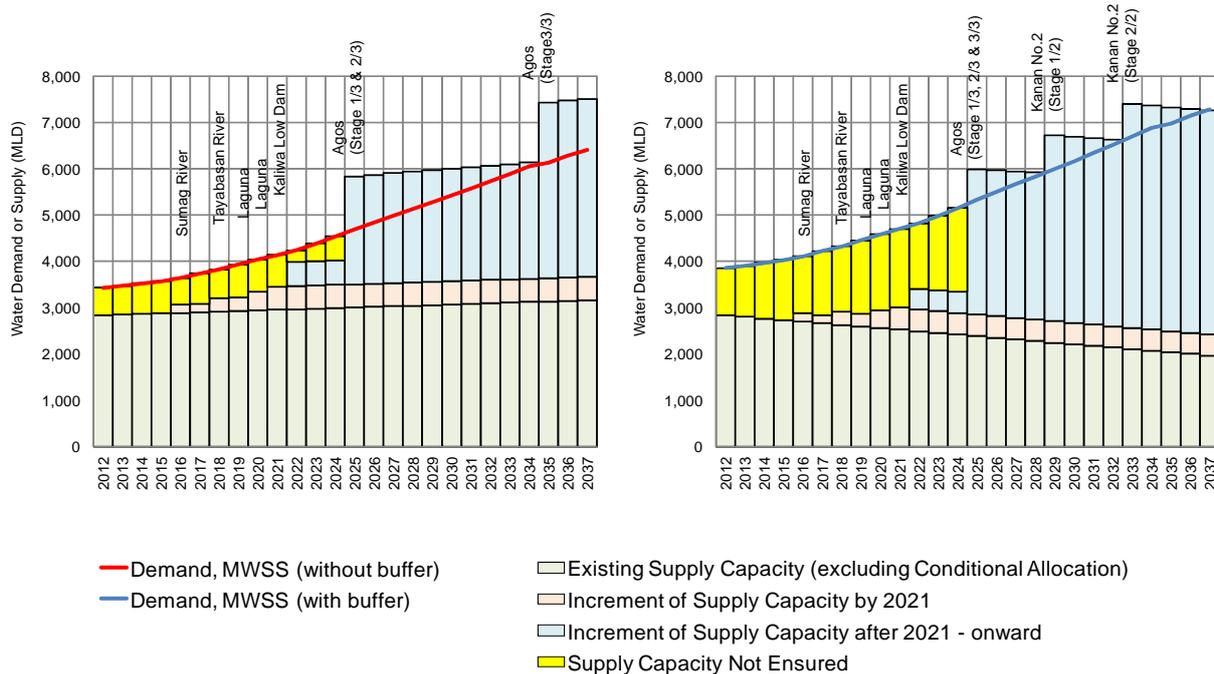
Project	Case A Capacity Increment Min.		Case B Capacity Increment Max.	
	Year	Capacity (MLD)	Year	Capacity (MLD)
Angat & Umiray	(Existing)	(3,028)	(Existing)	(1,833)
Laguna & Other	(Existing)	(132)	(Existing)	(132)
(1) Sumag River	2016	198	2016	136
(2) Tayabasan River	2018	148	2018	114
(3) Laguna Lake	2020	100	2020	100
(4) Laguna Lake	2021	100	2021	100
(5) Kaliwa Low Dam	2022	2,568	2022	2,205
(6) Agos Reservoir, Stage 1/3 and 2/3	2025		2025	
(7) Agos Reservoir, Stage 3/3	2035	1,284	2025	1,102
(8) Kanan No.2 Reservoir, Stage 1/2	(After 2037)		2029	770
(9) Kanan No.2 Reservoir, Stage 2/2	(After 2037)		2033	770
Total (1) to (9)		4,398		5,297

注：Capacity は 2037 年における水供給能力である。

出典： JICA 調査団

Case A : 2037 年までの水配分の増加が最小

Case B : 2037 年までの水配分の増加が最大



出典： JICA 調査団

図 10.12 水需要予測及び気候変動影響予測の組み合わせによる水需給バランス：アゴス貯水池を主な水資源開発とするシナリオ

11 調査対象地域の水資源管理に係る診断

11.1 診断によって浮き彫りにされた課題

これまでに述べた調査・検討によって調査対象地域の課題が浮き彫りにされた。以下に流域ごとの課題を述べる。

MWSS サービス地域

MWSS サービス地域における主たる問題は、アンガットシステムの供給能力が日量 4600 百万リットルに限られることである。アンガットシステムは、主としてマニラ首都圏への上水供給、日量 3,400 百万リットル、アンガットマアシム灌漑（AMRIS）用水日量 1,700 百万リットル、およびブラカン州の上水日量 200 百万リットルを供給する責務を負っている。マニラ首都圏の上水供給のための代替水源はラグナ湖および地下水でその供給能力は合計 200 百万リットルにすぎない。つまり 3,200 百万リットルはもっぱらアンガットシステムに依存していることになる。一方、アンガット川流域内に位置するブラカン州と AMRIS はアンガットシステム以外の水源をもっていない。従って、他に影響を及ぼさない、アンガットシステムのマニラ首都圏への安全な配分は 2,700 百万リットルということになる。つまりマニラ首都圏の現状給水能力はラグナ湖と地下水を含めても 2,900 百万リットルということになる。

それでもマニラ首都圏が給水制限を余儀なくされることは極めて稀である。それは上水の優先性が法律によって規定されていて、渇水時においても 3,200 百万リットルの配分が確保されているからである。逆に AMRIS の水不足は頻繁で、特に乾季の水供給はしばしば滞る。ブラカン州への給水は今のところ零である。

これまで、多くの代替水源開発の計画が策定されてきた。それらのうち有望な案はアゴス川流域に集中している。それらは、ライバンダム、カリワ低ダム、カナンダムおよびアゴスダムである。スマグダムはウミライ川流域に計画され、実施中である。その他パッシング-マリキナ川流域のタヤバサンダムおよびラグナ湖からの取水拡張計画が対策として検討されている。前述のとおり、水需給収支解析をおこない、各計画の供給能力の向上に対する貢献の程度を推定した。

上記 9 計画のうち実施の段階に進んでいるのはスマグダムプロジェクトのみである。計画の実施を阻んでいる阻害要因がいくつかある。主な要因は、投資額が大きいこと、土地収用等の社会問題および環境問題である。複雑に関係し合っている許認可制度の故に、法的手続きに時間がかかり、プロジェクト実施の一つの阻害要因となっている。

過去 10 年間の平均年間物価上昇率は 8 % に達していて、ダム及び関係施設の建設費が高騰している。プロジェクト実施のためには無駄な出費を抑えるため最適設計が必要である。ダムの多目的化を設計に取り入れる事も対策として有効である。給水以外の目的に高騰した建設費の一部を負担せしめることが可能になるからである。この点に関して水力発電は有望である。

土地収用と移転は調査対象地域においても主要な社会問題である。地権者は、移転計画や補償が不公平であり、事業者側に偏っていると考えがちである。これらはいずれにおいても困難な問題であるが、ひとつの対策として、こうした影響を受ける人々を水供給のプロジェクト

トの実施側に引き込むことが考えられる。水供給事業の実施が彼らにとっても有益である事が実感できれば、事業に対する協力を得る可能性が見えてくる。彼らを事業に参画せしめる組織制度上の方策が社会問題への対策として提案される。

ダムのような大規模開発は、少なくともその現場において環境への影響をもたらす。設計にあたっては環境への影響を詳細に評価しなければならない。また、設計は影響を緩和する方策を検討・設計し、プロジェクトの一要素として組み込む事が必要である。

制度上、30程の役所が水資源に関わっていて、プロジェクト実施の手続きは煩雑である。建設の申請後、実施に至るまでの手続きには相当の時間がかかる。この間の出費も無視できず、プロジェクト実施費用の高騰をまねいている。手続きの簡素化と意思決定の迅速化が必用である。政府内で検討されている国家水資源評議会の設立が有効で最も現実的な対策であろう。

水資源管理は需要面の合理化を、水利用の円滑化の一環としてとりいれている。需要の合理化策は供給能力に制約がある場合に水供給を改善するための、一つの対策である。今回採用した都市用水の一人日当たり需要 150 リットルは他の大都市における数字と比較して特別なものではない。しかしながら、自流域に水源がなく、他流域からの導水に頼らねばならないマニラ首都圏であってみれば、節水によって消費を抑える努力は必要である。この点に関して、水の循環利用の導入が家庭用水・非家庭用水の対策として考えられる。

アンガットシステムからの導水は乾季に逼迫する。水供給状況の緩和のためには乾季の水需要を抑える事が有効である。MWSS は乾季の節水に対してなんらかの動機を与えるべきである。無論詳細な制度上の検討を経る必要はあるが、季節によって水料金を変える制度を導入することで乾季の節水を奨励できるであろう。

もう一つの深刻な問題は、MWSS の水供給信頼度が低いことである。アンガットシステムは首都圏における総供給量の 95%を冗長度なしに担っている。システムになんらかの事故が発生した場合、首都圏は簡単に干上がってしまう。その場合の国家経済に与える影響は数え切れない。上述の代替水源の開発は冗長度を与え、水供給の信頼度向上のための重要な対策となる。

地下水の枯渇は、マニラ首都圏のもう一つの水資源問題である。過剰なくみ上げによる地盤の沈下と地下水の塩水化が発生している。首都圏においては、あらたな地下水の開発は考えられない。

アンガット川流域

当流域の主たる問題は水不足と地下水の枯渇である。前者の問題は、MWSS サービス地域の問題と密接にかかわっている。というのも、当流域の水資源の多くがアンガットシステムによってマニラ首都圏に導水されているからである。アンガットダム下流に位置する灌漑システムである AMRIS の水不足は頻繁に生じている。ブラカン州は未だにシステムからの供給を得ていない。

考えられる対策は代替水資源の開発と灌漑水需要の合理化である。前節で述べたアンガットシステムの代替水源の開発は、マニラ給水のための水源として若干なりとも余裕をうむであろうから、AMRIS への配分が増大するものと期待される。

AMRIS の水源を独自の代替水源に求めることができれば、水不足解消に有効である。マアシ

ムダム、バヤバスタムプロジェクトの有効性はすでに検証されている。

灌漑用水不足を解決するためには、灌漑用水の節水も有効な手段である。政府が普及をはかっている間断灌漑は新しい灌漑技術であり、節水に有効である。この技術は世界的に普及しつつある新しい灌漑技術、System of Rice Intensification (SRI) から給水技術の一部を取り出したものである。SRI 導入による節水効果は約 40%とされている。

Real Time Operation System (RTOS;実時間運用システム)も灌漑用水の節水に有効なシステムで水不足の対策として推薦できる。灌漑用水は、5 年渇水時の有効雨量を想定して補給・供給する。言い換えれば 5 年のうち 4 年間は必用以上の水を補給していることになる。もし、灌漑システムが、圃場での実際の降水量に応じて補給すれば余分に供給される水を節約することに注目したシステムである。

老朽化した導水施設の効率が悪いため水需要も無視できない。維持管理の組織強化は節水を可能にする。

ブストダムへの流入量は変動が激しい。変動は主として水力発電によるピーク出力によるもので、AMRIS への導水能力を超える事がしばしばである。逆調整池を設けることができれば、灌漑用水不足の緩和につながる。

現在の地下水くみ上げ量は毎秒 1.1 立法メートルであり、流域の揚水可能量である毎秒 4.8 立法メートルの 4 分の一に満たない。しかしながら、実際の揚水は一部の都市化地域に集中していて、局地的な枯渇を招いている。地下水面は低下し、固有塩による塩水に接近しており、一部の地域は地盤低下を招いている。くみ上げを制御するための強力な組織が必用で、国家水資源評議会の設立が有効かつ現実的な対策と考えられる。

パンパンガ川流域

水需給収支解析結果によれば、毎秒 140 立法メートルの需要が水不足問題の原因である。水不足は水資源の年内変動のため、特に乾季に著しい。ダム等、調整施設の導入が変動する水資源に対する最も有効な供給面の対策と考えられる。バリンチンゴンドムは最も有望なプロジェクトである。しかしその実施は大幅に遅延している。遅延の理由はアンガット川流域の場合と同様である。従って計画の最適化、地域地権者の事業への参画、環境保護対策の統合化および組織制度の強化が主たる対策となる。

需要のうち 130 立法メートルは灌漑用水によるものである。従って灌漑用水の節約が有効な水資源管理改善のための対策となる。灌漑用水量が大きくなる原因はいくつかあるが、いずれもアンガット川流域の場合と同じである。従って、間断灌漑の導入、RTOS の導入、品種改良による節水および維持管理の効率化のための組織制度強化が有効な需要面の対策となる。

現在の地下水くみ上げ量、毎秒 3.2 立法メートルは推定可能揚水量毎秒 9.5 立法メートルの 3 分の一にしかあたらぬ。しかしながら需要は都市化された地域に集中しており、局地的な枯渇を招いている。一部の需要を表流水に負荷を転換する必要がある。むろん揚水の制限、監視の仕組みの強化はアンガット川流域同様必用であろう。このためには国家水資源評議会の設立が有効である。

パッシング-マリキナ川流域

現在の地下水揚水量は毎秒0.5立方メートルは推定された揚水可能量である0.6立方メートルの80%にあたる。揚水は一部都市化した地域に集中していて、地盤沈下の原因となっている。雨水の地下浸透を促進する必要がある、浸透施設の導入が有効な対策と考えられる。揚水が無害化するためには、需要の一部を表流水に負荷の転換をはかる必要もあろう。また、揚水を制御するために組織制度の強化を図る必要がある、国家水資源評議会の設立が有効である。

ラグナ湖流域

水質が悪いため、都市用水に利用しようとするすると浄化の過程で費用が発生する。従って大規模な開発は考慮されていない。問題解決のためには、汚染源である都市用水の排水処理を徹底する必要がある。内水面漁業も汚染源となっている。ただし、内水面漁業からの汚染に対処するためには総合的で詳細な調査が必用である。塩水の侵入に対しては水門の操作が有効であるが、汽水域での漁業との関係から慎重な検討を要する。

現在の地下水揚水量は毎秒3.7立方メートルで、推定された揚水可能量毎秒5.5立方メートルの70%に相当する。しかしながら、他流域同様、井戸が狭い地域に集中していて局地的には過揚水の状況になっている。一部の需要は表流水に負荷させるべく水源の転換が必用である。揚水の管理も徹底する必要がある、組織の強化が望まれる。国家水資源評議会の設立が有効である。

11.2 提案されたプロジェクトの効果

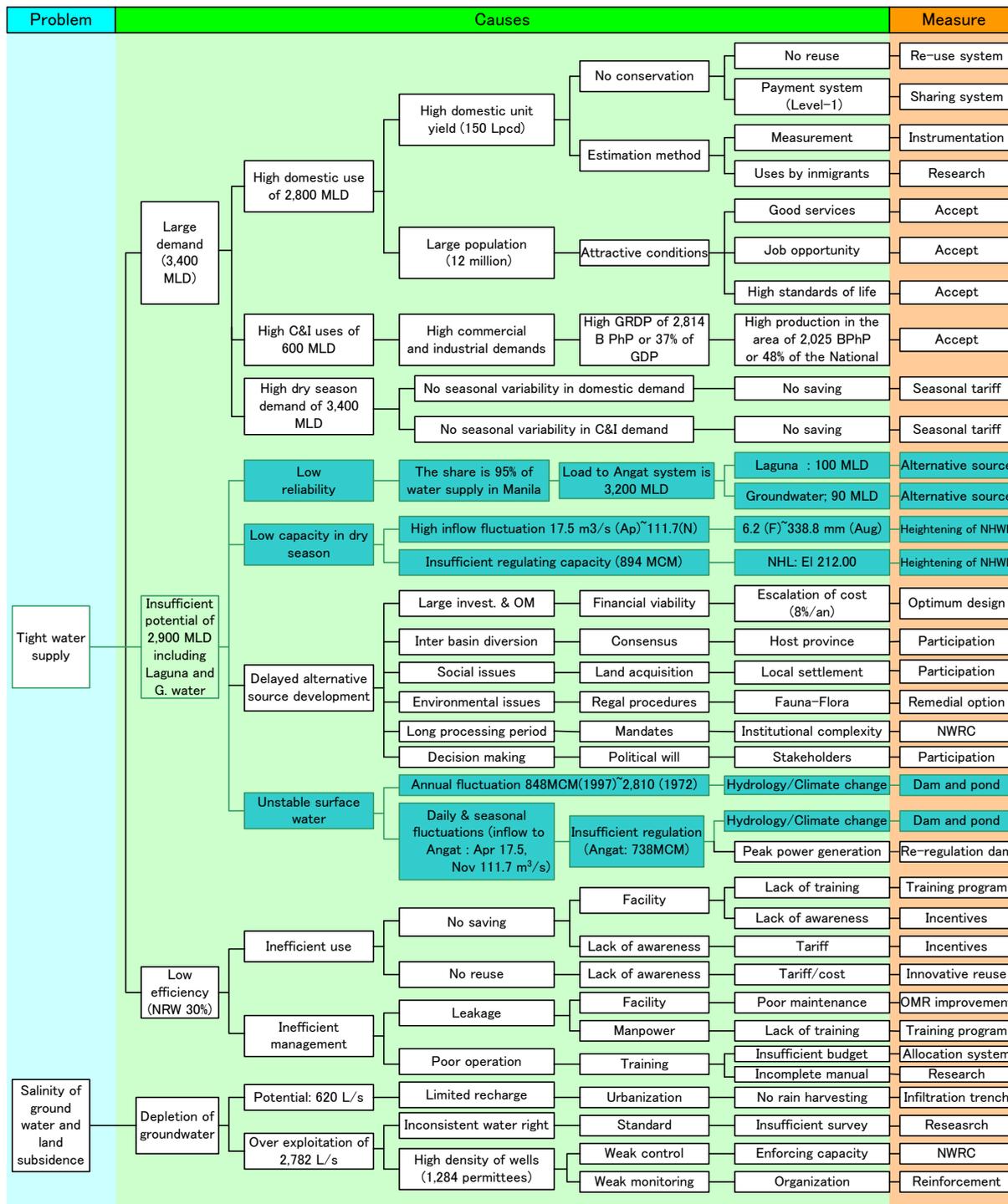
水資源管理を効率よく実施するために、各流域ごとに明らかとなった課題を、問題とその誘因、問題を解決するために考え得る対策に分解して、図11.1～11.4の樹形図で表した。

問題は左端の、背景が青で着色された欄に記載されている。問題を惹起する原因は真ん中の欄、背景を緑で着色した部分に、また考えられる対策を右端の背景が茶色の欄に示している。

濃い緑で着色されたブロックは、世銀調査で提案されたプロジェクトによって緩和もしくは取り除かれる原因を示している。これらのブロックにつながる対策はプロジェクトで代表されるべきものである。

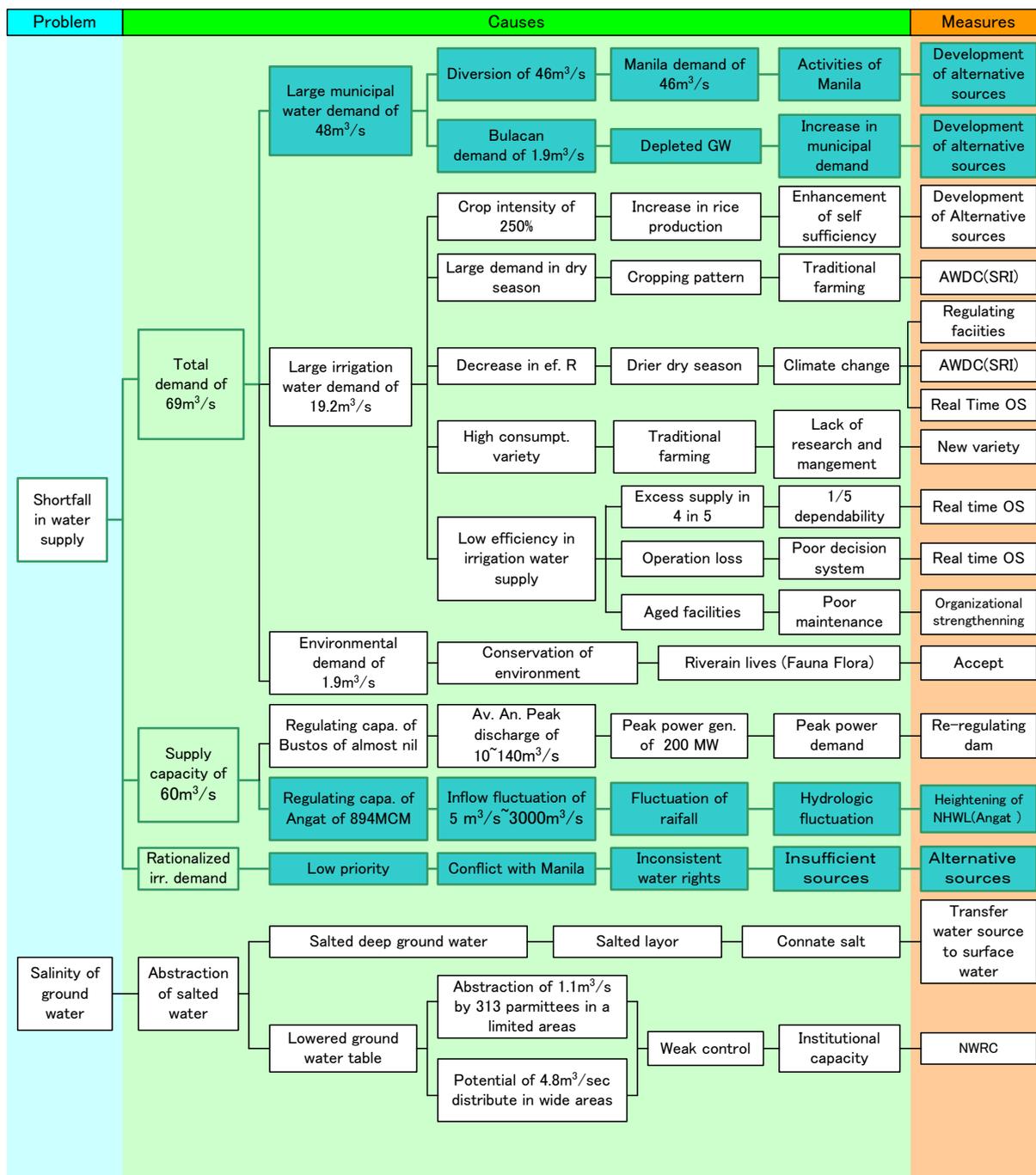
一方白抜きブロックはプロジェクトでは解決されない原因である。

プロジェクトの効果は、主として緑のブロックに対する効果の大きさによって評価できる。



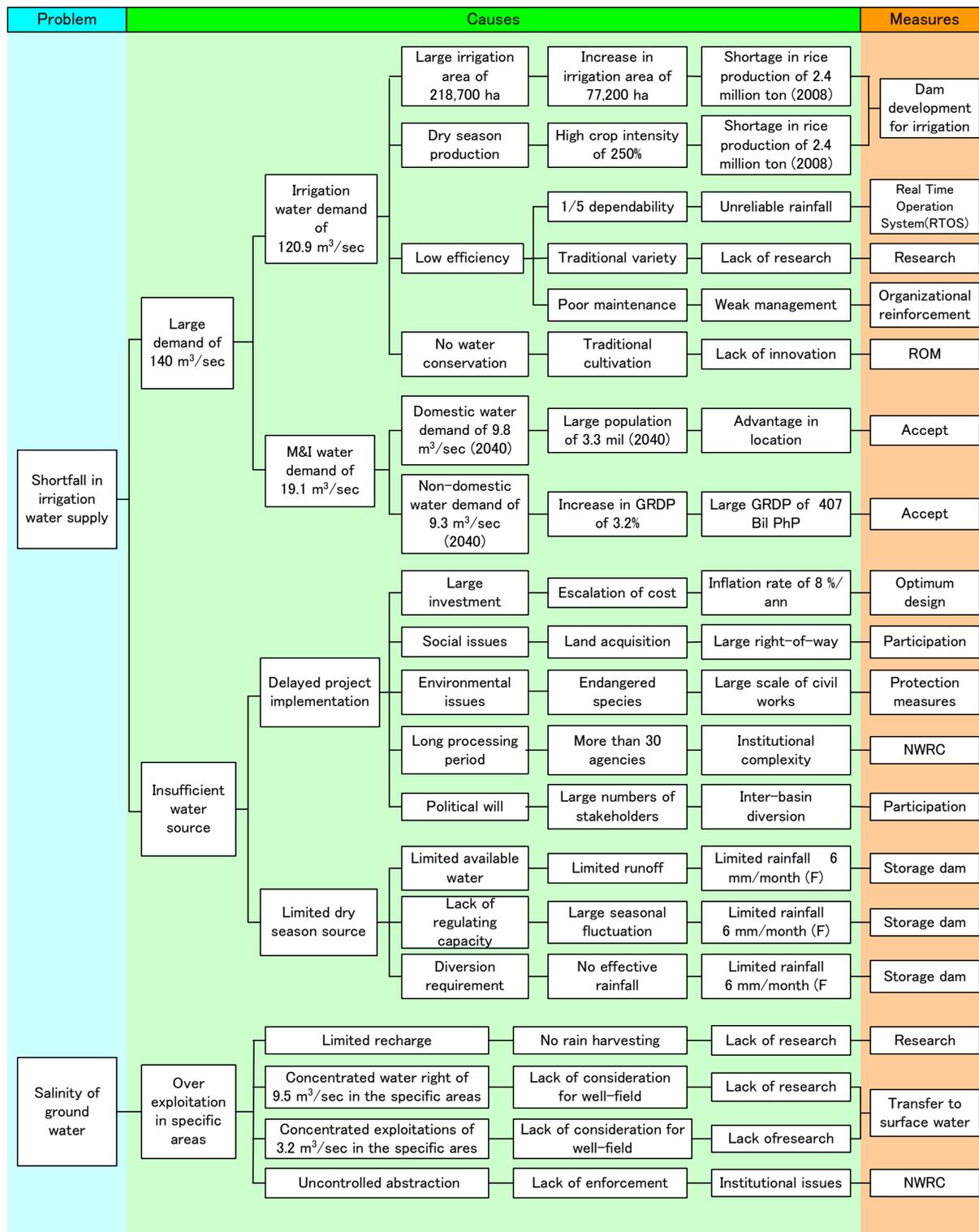
Fault-Tree-Analysis (MWSS Service Area)

図 11.1 MWSS 管轄区域における問題分析結果



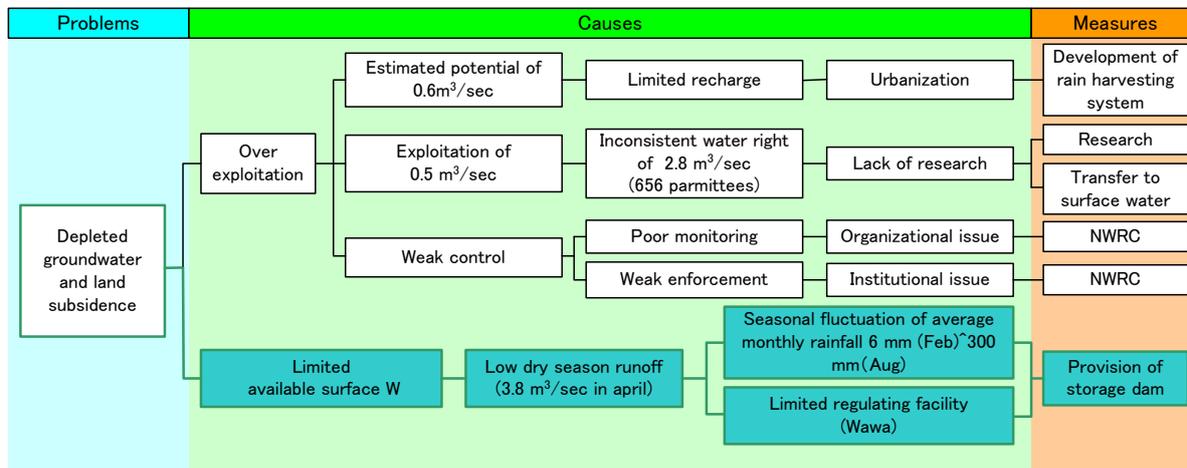
Fault-Tree-Analysis (Angat River Basin)

図 11.2 アンガット川流域の問題分析結果

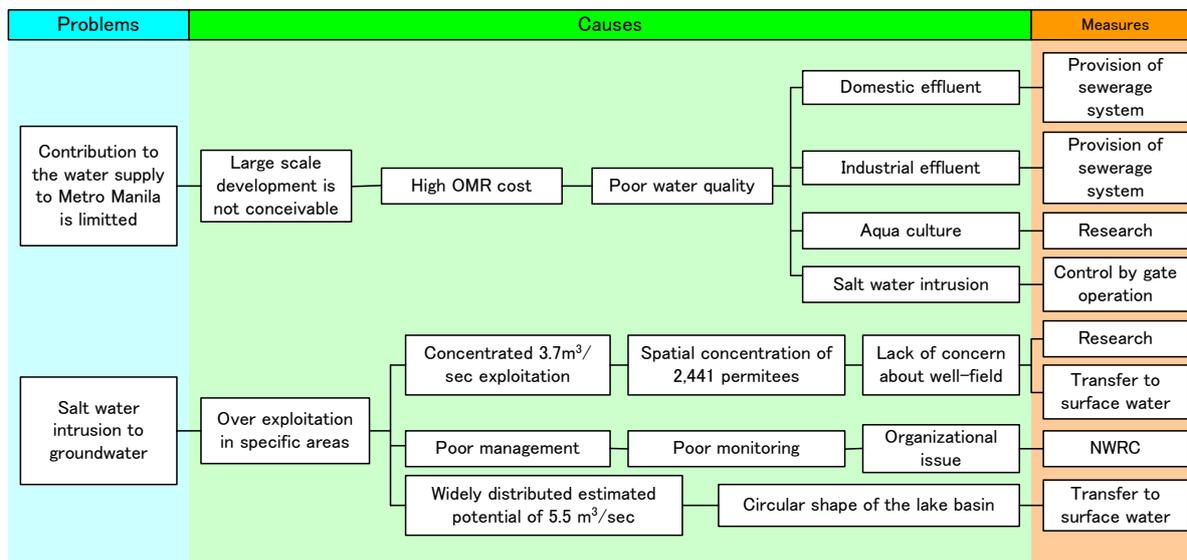


Fault-Tree-Analysis (Pampanga River Basin)

図 11.3 パンパンガ川流域の問題分析結果



Fault-Tree-Analysis (Pasig-Marikina River Basin)



Fault-Tree-Analysis (Laguna Lake Basin)

図 11.4 パッシング-マリキナ川流域およびラグナ湖流域の問題分析結果

12 提案されたプロジェクトの効果

12.1 水資源プロジェクトの評価

水資源はあらゆる生命の基本的な資源で有るから、水資源計画の利害関係者は多岐にわたる。従って水資源プロジェクトの評価は多面的に行う必要がある。Multi-Objective-Analysis (MOA) はプロジェクトの効果や影響の大きさを多次元的に評価する。当調査ではプロジェクトの多次元的评价を行うために MOA をその手法に採用した。

12.2 評価軸の選定

世銀調査（Metro Manila Water Security Study）はマニラ首都圏の水資源開発のため、二つの開発工程を提案している（シナリオ1及び2）。両方のシナリオに登場するプロジェクトは、スマグダム、ラグナ湖、タヤバサダム、ライバンダム、アゴスダムおよびカナン No.2 ダムプロジェクトである。当調査は、これらプロジェクトの効果を評価することになる。ライバンダムプロジェクトの第一段階はカリワ取水工と導水路の計画を含む。一方シナリオ2ではアゴスダムプロジェクトの第一段階にカリワ取水工の計画を含んでいる。カナン No.2 ダムプロジェクトは、どちらのシナリオにも明示されていないが、報告書によれば、シナリオ1でライバンダムが2037年までの需要を満たすことができなくなった場合に登場させるとしている。

平成24年9月5日に開催された第3回技術委員会では、利害関係にある各組織を代表する委員が協議して、MOAを実施するための評価の軸（Objectives）、軸を細分化した項目（Items）、項目間の重み付け、および採点基準を決定した。

前述の診断結果からもわかるように、調査対象地域での最も深刻な課題は、国家経済の中心である首都圏の水供給に関わる信頼度である。従って、プロジェクトの経済に与える影響について評価することは最も重要と考えられた。従って一つの評価軸として経済を採用した。

診断結果を基に作成した樹形図（FTA）は、開発計画が予定を大幅に遅れているのが水供給の不安定化問題を引き起こす最大の原因であることを明らかにしている。さらに、FTAは遅れる原因として事業の財務収益性の低さを指摘している。MOAは財務を評価軸の一つに選定した。

環境問題も事業実施を遅延させる原因となっている事がFTAに示されている。プロジェクトの現場には、少数民族が居住しているところもあり、また水資源開発適地には希少生物の繁殖地となっているところが多い。環境問題は重要な評価の軸である。

プロジェクトの用地となるべき地域は現地住民による土地利用が進んでいる。診断結果は土地収用に関わる社会問題も遅延の主たる原因の一つとしている。プロジェクトによってはいわゆる地権者が沢山いるものもある。一方、水供給が不安定であることは社会問題の一つにあげられる。こうしたことから社会問題を評価の軸に選定した。

実施したFTAはさらに多くの課題を抽出している。特に需要面の課題も少なくない。しかしながら、本調査の目的が提案されたプロジェクトの効果の評価であることから、今回のMOAでは以上4つを評価の軸とした。

12.3 評価のための項目の選定

プロジェクトの効果の評価とは、診断の結果明らかとなった問題の解決にどれだけ寄与することができるか、を評価する事に帰する。したがって、各軸を細分化して評価するための項目を選定するにあたってはFTAが明らかにした問題およびその誘因を参照した。項目の選定も技術委員会会議で決定した。

プロジェクトの経済的妥当性を表すさまざまな経済指標を経済軸の評価項目に選んだ。選ばれた指標は、事業の規模の違いも考慮して内部収益率、便益・費用比、および純現在価値を採用した。また、河川を流れる水に経済的な付加価値を考え評価することとした。水は用益としてマニラの経済活動を支える。その便益は開発される水の量に比例するものと考えた。プロジェクトは押し並べてダム開発である。開発によって浸水する地域は元来、生産活動に寄与してきている。これらは機会費用として評価することとした。

財務的内部収益率はプロジェクトの財務評価を行う一般的指標である。一方、年収益は投資家にとって重要な指標である。年収益は年売上から年費用を引いて単純に求めることとした。また診断結果から、投資額の大きさも事業実施を阻む原因となっていることが指摘されている。投資額も評価項目に取り入れた。一方、投資額のほかに、維持修繕費もプロジェクト実施の足かせとなっていることから評価項目として採用した。全体のシステム費用および変動する需要を考慮した長期平均費用も財務軸の項目に採用した。

ダム開発プロジェクトは広大な土地を収用する。法律的に保護区として指定された地域を収用する場合は様々な支障が生じるので、保護区の収用を環境軸の一項目とした。原住少数民族や固有生物に対する工事中および運用時に影響を及ぼす場合は十分な対策を必要とするので評価項目に採用した。プロジェクトは乾季においても維持用水を放流する余力を持つ場合と、そうでない場合がある。水需給収支解析の結果から、維持用水に対する能力を評価することとした。プロジェクトは流域保全に影響を与える。すでに荒廃している流域では、流域保全に尽力して状況は改善される。一方、現在良好な場合は、むしろ悪化させる可能性が高い。こうした事情も考慮して評価項目を決めた。建設事業は環境に影響を及ぼす。影響は工事数量と比例するものとして評価項目に採用した。水力発電が目論まれている案件は、炭素排出量を削減する効果があり、評価の項目とした。

ダムプロジェクトは現地住民に影響を与える。影響を受ける家族数は社会軸の中で最も重要な評価項目である。水供給は衛生状態の改善に有効であり、社会問題の改善につながる。水供給の保障は最も重要な社会保障の一つと考えられる。アンガットシステムに冗長度を持たせる効果は社会軸で評価すべき項目である。しばしば診断で示されているように現在AMRISへの水供給は影響をうけ、社会的弱者である農民にその影響が及んでいる。AMRISへの水配分を的確に行うことは弱者救済と考えられるので社会軸の項目として選定した。診断結果にもあるようにプロジェクト実施の手続きが一つの大きな課題となっている。その意味で、制度上の進捗の度合いは今後かかるであろう時間に大きく関わってくるので評価する必要がある。維持修繕費は一方で、現場における雇用機会をつくるので社会軸の評価項目として採用した。

採用した評価項目を下表にまとめた。

表 12.1 技術委員会で決めた各軸の評価項目

経済軸

項目	説明	単位
1) EIRR	Economic internal rate of return	%
2) Benefit/cost	Benefit-cost ratio	ratio
3) Net Present Value	Discounted total profit less total cost	MPhP
4) Worth of Water	Induced value added to water	MPhP/an
5) Utility	Supporting resource of economic activities	MLD
6) Land	Opportunity cost of land submerged	1,000 Ha

財務軸

項目	説明	単位
1) FIRR	Financial internal rate of return	%
2) Annual Benefit	Annual earning less annual expenditure	MPhP/an
3) Investment Cost	Required investment for project implementation	MPhP
4) OMR Cost	Annual running cost, for OMR per m ³	PhP/ m ³
5) Overall System Cost	Development of source, conveyance and treatment	MPhP
6) LR average cost	Per m ³ adapting demand including depreciation	PhP/ m ³

環境軸

項目	説明	単位
1) Protected Area	Activities in protected areas	1,000Ha
2) Terrestrial Ecology	Disturbance to habitat	Nos. of species
3) Indigenous People	Population to be disturbed life	Person
4) Environmental Flow	Rate of actually affordable flow	%
5) Watershed Mangmnt	Preservation of watershed area	Deg. of devastation
6) Work volume	Embankment volume	Mm ³
7) CO ₂ emission	Hydropower generation	MW

社会軸

項目	説明	単位
1) Project Affected Family	Numbers of affected families	Nos.
2) Sanitary	Sufficiency of water supply	Mld
3) Social Security	Water supply security	Mld
4) Social Weak Issue	Water allocation to AMRIS	Mld
5) Institutional Issue	Water right, EIA & stage of implementation	Status
6) Job opportunity	Expenditure for OMR	MPhP/an

出典： JICA 調査団 Technical Working Group Meeting の結論にもとづく

12.4 項目別プロジェクトの効果

世銀調査は、選定した経済指標のうち幾つかについて推定している。報告書には、推定した内部収益率、B/C や純現在価値が収用土地面積等とともに記述されている。しかしながら、水の付加価値については、経済評価上重要な数値ではあるが、推定しておらず、記述されていない。シエラマドレ水公社は水の価値を1立法メートルあたり9ペソと推定している。本調査ではこの水単価と、年間開発水量の積がプロジェクトの付加価値誘因効果と仮定した。また用益としての価値は開発水量に比例するものと仮定した。

財務軸の項目についてはすべて世銀調査の推定結果が利用できる。

環境軸の項目に対しても世銀調査から採用できるものは多い。それらは、プロジェクトによ

って占められる保護区の面積、プロジェクトに影響をうける危惧種の数、プロジェクトサイト内の原住少数民族、プロジェクトに伴う土工・盛りたて量、発電量等である。世銀調査は流域の荒廃の度合いを評価している。環境流量が保障されれば、プロジェクトは環境にとって有益である。水需給収支解析は各プロジェクトの真の能力を推定した。推定した能力と、計画された能力の比はプロジェクトが維持用水のための余裕をもつかどうかを測る尺度となる。能力が計画より小さい場合は、維持用水分を侵食する恐れがあるからである。

プロジェクトに影響をうける家族数は世銀調査で推定されている。衛生状態の改善、給水の信頼度、社会的弱者への貢献度は生産される水量に比例するものと仮定した。地域での雇用機会は維持修繕費に比例して発生するものと仮定した。

各プロジェクトの項目別貢献度を以上の方法で求め、表 12.2 から 12.5 までにまとめた。

表 12.2 経済軸に対するプロジェクトの効果

Project	EIRR	B/C	NPV	Valuation of water	Utility	Land area	-
Unit	%	-	BP	BP/a	Mld	1000ha	-
Weight	2	1	2	1	1	1	-
Sumag	37.0	2.7	4.2	0.6	188	0	-
Tayabasan Dam	23.2	1.6	1.3	0.6	175	0	-
Laguna Lake	-	-	-	0.7	200	0	-
Laiban Dam	15.7	1.1	1.3	6.2	1,900	2.3	-
Agos Dam	15.5	1.0	1.0	9.9	3,000	1.8	-
Kanan Dam N02	15.2	1.1	0.8	10.8	3,300	2.6	-

出典：JICA 調査団

表 12.3 財務軸に対するプロジェクトの効果

Project	FIRR	Ann. benefit	Invest. cost	OM cost	System Cost	LRA Cost	-
Unit	%	Bp/an	BP	P/m ³	Bp	P/ m ³	-
Weight	2	2	1	1	1	1	-
Sumag	41.6	1.2	1.0	0.97	2.7	5.7	-
Tayabasan Dam	21.0	0.9	3.5	0.94	4.6	2.0	-
Laguna Lake	-	1.5	-	-	-	-	-
Laiban Dam	17.4	9.8	36.7	0.76	49.1	2.1	-
Agos Dam	18.5	16.1	43.3	0.90	63.8	2.7	-
Kanan Dam N02	18.6	16.6	55.9	1.24	80.7	1.8	-

出典：JICA 調査団

表 12.4 環境軸に対するプロジェクトの効果

Project	Protd. area	Eco-logy	IP	Env. flow	Water-shed	Work vol	Co2
Unit	1000ha	Nos	person	%	Deg.dvst	M m ³	MW
Weight	0.5	0.5	1	1	2	1	2
Sumag	16	0	0	75	mining	0	0
Tayabasan Dam	26	0	0	24	good	na	0.1
Laguna Lake	-	0	0	100	industry	na	0
Laiban Dam	18	13	1,175	78	dvsttd	6.2	25
Agos Dam	88	12	118	92	dvsttd	6.7	51
Kanan Dam N02	70	22	118	86	ideal	9.1	54

出典：JICA 調査団

Note; Planned water abstraction of 200 MLD is supposed to be assured even in the driest condition.

表 12.5 社会軸に対するプロジェクトの効果

Project	PAF	Sanit. Cond.	Social Sec.	Social weak	Insti- tutional	Job opp.	-
Unit	Family	Mld	Mld	Mld	Status	Mp/an	-
Weight	2	1	1	2	1	1	-
Sumag	0	188	188	188	DD,ECC	67	-
Tayabasan Dam	300	175	175	175	PQ	60	-
Laguna Lake	0	200	200	200	IEE,FS	-	-
Laiban Dam	2,497	1,900	1,900	1,900	FS,ECC	527	-
Agos Dam	225	3,000	3,000	3,000	FS	985	-
Kanan Dam N02	100	3,300	3,300	3,300	FS	1,494	-

出典：JICA 調査団

ラグナ湖のプロジェクトに関しては、多くの評価項目に対する効果を示す数値が得られなかった。従って、最終的に評価の対象から除く事となった。

12.5 配点表と評価結果

平成 24 年 9 月 5 日に開催された第 2 回技術委員会会議は表 12.6 に示す配点表について最も活発な討議を行った。

今回の Multi-Objective-Analysis ではプロジェクトの貢献度の幅に応じて各項目ごとに 3 点から-3 点までの得点を与える。配点表は貢献度と得点の関係をしめしている。得点 2 や 1 は貢献度の幅に対してほぼ線形で与えるように考えた。

表 12.6 配点表

Object	Item	Weight	Unit	Point to be Assigned						
				-3	-2	-1	0	1	2	3
Economic Impact	1)EIRR	2	%	~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~
	2)B/C	1	-	~0.7	0.7~0.8	0.8~0.9	0.9~1.0	1.0~1.1	1.1~1.2	1.2~
	3)NPV	2	BP	~0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0	1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~
	4)Valuation of water	1	BP/an	NA	NA	NA	0~1	1~4	4~8	8~
	5)Utility	1	Mld	NA	NA	NA	0~300	300~1000	1000~2000	2000~
	6)Land to be submerged	1	1000ha	~4	4~2	2~	0	NA	NA	NA
Financial Impact	1)FIRR	2	%	NA	NA	NA	~5	5~10	10~15	15~
	2)Annual benefit	2	BP/an	NA	NA	NA	~5	5~10	10~15	15~
	3)Investment cost	1	BP	~50	50~30	30~10	10~0	NA	NA	NA
	4)OM cost	1	P/m ³	~1.5	1.5~1	1~0.5	0.5~0	NA	NA	NA
	5)Overall system cost	1	BP	~80	80~40	40~5	5~0	NA	NA	NA
	6)Long run average benefit	1	P/m ³	NA	NA	NA	0~0.5	0.5~1.5	1.5~2.5	2.5~
Environmental Impact	1)Protected area	0.5	1000ha	~100	100~50	50~10	10~0	NA	NA	NA
	2)Terrestrial ecology	0.5	NOs	~50	50~20	20~	0	NA	NA	NA
	3)IP	1	Person	~1000	1000~500	500~	0	NA	NA	NA
	4)Environmental flow	1	%	~65	65~70	70~75	75~80	80~85	85~90	90~
	5)Watershed management	2	Dev.degree	Very G	Good	N Dev	VSlight Dev	Slightly D	Devastated	S D
	6)Work volume	1	Mm ³	~12	12~6	6~	0	NA	NA	NA
	7)CO2 emission	2	MW	NA	NA	NA	0	~25	25~50	50~
Social Impact	1)PAF	2	Family	~600	600~300	300~100	100~0	NA	NA	NA
	2)Sanitary condition	1	Mld	NA	NA	NA	0	~1500	1500~3000	3000~
	3)Social security	1	Mld	NA	NA	NA	0	~1500	1500~3000	3000~
	4)Social weak issue	2	Mld	NA	NA	NA	0~1500	1500~2000	2000~3000	3000~
	5)Institutional issue	1	Status	NA	NA	NA	No EC/WR	Water right	ECC	Both
	6)Job opportunity	1	MP/an	NA	NA	NA	0	~400	400~800	800~

Note; Unit: a: annual, B: Billion, Dev. degree: Devastated degree, ld: Litre per day, M: million, P: Philippine Peso

Rating D: Devastated, NA: Not available, N Dev.: Not devastated, SD: Significantly devastated

以下に示す表は、貢献度を配点表に照らして採点したものである。

表 12.7 経済軸に関する得点

Project	EIRR	B/C	NPV	Valuation of water	Utility	Land area	-
Unit	%	-	BP	BP/a	Mld	1000ha	-
Weight	2	1	2	1	1	1	-
Sumag	3	3	3	0	0	0	-
Tayabasan Dam	3	3	2	0	0	0	-
Laguna Lake	-	-	-	0	0	0	-
Laiban Dam	2	2	2	2	2	-2	-
Agos Dam	2	1	1	3	3	-1	-
Kanan Dam N02	2	2	2	3	3	-2	-

出典：JICA 調査団

表 12.8 財務軸に関する得点

Project	FIRR	Ann. benefit	Invest. cost	OM cost	System Cost	LRA Cost	-
Unit	%	Bp/an	BP	P/m ³	Bp	P/ m ³	-
Weight	2	2	1	1	1	1	-
Sumag	3	0	0	-1	0	3	-
Tayabasan Dam	3	0	0	-1	0	2	-
Laguna Lake	-	0	-	-	-	-	-
Laiban Dam	3	1	-2	-1	-2	2	-
Agos Dam	3	3	-2	-1	-2	3	-
Kanan Dam N02	3	3	-3	-2	-3	2	-

出典：JICA 調査団

表 12.9 環境軸に関する得点

Project	Protd. area	Eco-logy	IP	Env. flow	Water-shed	Work vol	Co2
Unit	1000ha	Nos	person	%	Deg.dvst	M m ³	MW
Weight	0.5	0.5	1	1	2	1	2
Sumag	-1	0	0	0	1	0	0
Tayabasan Dam	-1	0	0	-3	-1	0	1
Laguna Lake	-	0	0	3	2	0	0
Laiban Dam	-1	-1	-3	0	2	-2	2
Agos Dam	-2	-1	-1	3	3	-2	3
Kanan Dam N02	-2	-2	-1	2	-1	-2	3

出典：JICA 調査団

表 12.10 社会軸に関する得点

Project	PAF	Sanit. Cond.	Social Sec.	Social weak	Institutional	Job opp.	-
Unit	Family	Mld	Mld	Mld	Status	Mp/an	-
Weight	2	1	1	2	1	1	-
Sumag	0	1	1	0	3	1	-
Tayabasan Dam	-1	1	1	0	3	1	-
Laguna Lake	0	1	1	0	3	-	-
Laiban Dam	-3	2	2	1	2	2	-
Agos Dam	-1	3	3	3	1	3	-
Kanan Dam N02	0	3	3	3	1	3	-

出典：JICA 調査団

各得点と項目ごとの重みの積がそのプロジェクトのその項目に対する効果を示している。項目に対する効果を合計したものが、そのプロジェクトのその軸に対する効果を表す。4つの軸の効果を集計したもの（GMI ; Gross Magnitude of Impact）がそのプロジェクトの総合的な効果である。下表は各プロジェクトの軸ごとの効果と総合効果を示す。

表 12.11 プロジェクトの評価（GMI）

Project	Economic	Financial	Envrnmntal	Social	Total(GMI)
Sumag	15	8	2.5	6	31.5
Tayabasan	13	7	1.5	4	25.5
Laiban	12	5	3	4	24
Agos	12	9	10.5	14	45.5
Kanan No2	14	6	2	16	38

出典；JICA 調査団

GMI はプロジェクトの経済、財務、環境および社会に対する効果を総合的に評価したものでアゴスダムプロジェクトが 45.5 と最高の効果を示している。カナン NO.2 ダムプロジェクトは GMI が 38 でアゴスダムに次いでいる。一方ライバダムの GMI は 24 で最も低くなった。水需給収支解析の結果、水供給能力が日量 1,700 百万リットルと小さく、2026 年以降にカナン NO.2 ダムの開発が必要となるため財務軸の得点が低く、また影響を受ける家族数が 2,500 軒以上と、社会・環境軸での得点が低くなったことがその原因である。

GMI は総合点であるからその高いプロジェクトの総合的な効果は高いといえる。しかしながら、ある軸で高得点を得ると、ほかの軸では低いにもかかわらず、高い評価を得てしまう事が従来の MOA の弱点であった。経済性を重視して、環境を顧みなかった工業化が今日多くの先進国で環境問題として顕在化している。一部の分野にのみ貢献する案件は、将来社会の発展を不安定に導く可能性がある。最近、各軸間の得点のバランスも評価に加える MOA が開発された。

バランスの評価は、総得点（GMI）が完全にバランスした理想的な場合を想定して、そこからの偏りで決める。数学的には汎距離（Generalized Distance）を求めてバランスの悪さの指標（DUB ; Degree of Unbalance）¹とする。GMI が大きいほど好ましいのに対して、DUB は小さいほど好ましいと言える。

同じ汎距離でも総得点が高くなれば、そのバランスに対する影響は弱まる。従って総得点の大きさを反映させて調整（Normalization）を図る必要がある。各プロジェクトの総合点（GMI）とバランスの悪さ（DUB）を求めて下表にまとめた。

表 12.12 評価したプロジェクトの効果

Item	Sumag	Tayabasan	Laiban	Agos	Kanan No2
GMI	31.5	25.5	24.0	45.5	38.0
Ideal point to a objective	7.9	6.4	6.0	11.4	9.5
Generalized distance	9.6	8.6	7.1	3.7	12.7
Normalization factor	15.8	12.8	12	22.8	19.0
Degree of imbalance	0.61	0.50	0.59	0.16	0.67

出典；JICA 調査団

¹ Takayanagi N, Mizutani Y, Loucks D.P.; Stakeholder Consensus Building in Multi-Objective Environment; Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE

アゴスダムプロジェクトは総合点が 45.5 で最も高く、バランスの悪さは最も低い。各プロジェクトの中でずば抜けた評価となった。カナン NO2 ダムは総合点は高いものの、バランスはかならずしも良いとはいえない。

総合点ではプロジェクトごとにやや開きが出たが、バランスに関してはアゴスを除き、ほぼ同水準であると考えられる。

13 結論および提言

13.1 結論

(1) 水資源の診断結果、アゴス川およびウミライ川流域には特に問題がないことが判明した。診断の一端として実施した水需給収支解析の結果、両流域の水資源賦存量は、流域内の需要を十分に満たしうる事が明らかとなった。解析の結果は、相当量の余剰水があることを示唆している。両流域から他流域への転流は、取水の場所、時節を考慮すれば、問題を生じない。

(2) アンガットシステムは、都市用水のためマニラ首都圏に、また灌漑用水のため AMRIS に給水してきた。マニラ首都圏の需要は $46\text{m}^3/\text{秒}$ 、AMRIS の需要は $19.2\text{m}^3/\text{秒}$ である。システムはさらにブラカン州の都市用水として $1.9\text{m}^3/\text{秒}$ を供給することになっている。システムの平均供給能力は $70\text{m}^3/\text{秒}$ で、すべての需要に対し、都市用水の信頼度 90%、灌漑用水の信頼度 80% を満足することはできない。一方、地下水は局地的に枯渇していて、塩水の混入、地盤の沈下はマニラ首都圏、アンガット川流域共通の問題となっている。水不足解消の一助とするためには地下水の効率的な開発と管理のための詳細な検討が必用である。このような事情から、代替水源開発はマニラ首都圏とアンガット川流域にとって喫緊の課題となっている。

(3) MWSS はマニラ首都圏を含む給水域の将来水需要を推定した。2037 年の予測は日 6,412 百万リットルあるいは、 $74.2\text{m}^3/\text{秒}$ であり、世銀調査で採用した予測値より $34\text{m}^3/\text{秒}$ 大きい。需要の増大は、相応の水資源開発を行わない限り、水供給の事情を一層悪化させる。

(4) マニラ首都圏の水源のうち、アンガットシステムが占める割合は約 95% である。水供給の安全度は冗長度がなく、極めて低いと言わざるを得ない。信頼度を上げるためにも、代替水源の開発は必須である。

(5) 水需給収支解析に基づくパンパンガ川流域の診断結果によれば水不足の問題が生じている。雨季の水資源は有り余るものの、乾季には $140\text{m}^3/\text{秒}$ という巨大な需要のため、パンタバンガン貯水池、カセクナン導水事業の恩恵を受ける現在でも水不足は頻繁である。しかも塩水の地下水への混入、一部の地盤の沈下は同流域の重要な課題となっている。従って、地下水の開発は水不足解消の対策とは成りえない。

(6) フィリピンでは米の自給が達成されておらず、コメの増産は政府の重要政策の一つとなっている。こうした政府の政策に則り、NIA は UPRIS を拡張する計画である。計画の中心は、乾季需要を満たすために雨季の流出を貯留する貯水池の建設である。バリンチンゴン、マアシムおよびバヤバスダムプロジェクトは雨季の豊水を貯留するために有望なプロジェクトである。水需給収支解析結果から、これらのプロジェクトは、マニラやアンガット川流域の水不足解消に流用できる余力を持たないことが判明した。

(7) パングーマリキナ川流域の水資源は雨季に限れば余りあり、下流域では洪水となって氾濫する事がしばしばである。水需給収支解析によれば、この水資源を安定的に利用するために調整用貯水池の導入は欠かせない。しかしながら、流域は高度に土地利用が進んでいて、ダムサイトの適地が見当たらない。世銀調査は、治水用に計画されているタヤバスダムの貯水池の一部をマニラへの給水用に割く案を提案している。同調査は、給水可能量は $0.1\text{m}^3/\text{秒}$

秒と推定している。流域の地下水は枯渇しており、地盤の沈下は下流域の深刻な問題となっている。

（８）ラグナ湖の水質は家庭用水や工業用水の排水によって劣化している。沿岸の漁業も劣化に拍車をかけている。湖には海水が浸入していて、汽水域に属する。こうした事情から湖の水を都市用水に用いるためには、複雑なプロセスの浄化装置が必用である。

（９）世銀調査はその成果として水源開発のロードマップを作製し、アゴス川流域内に幾つかの大規模水源開発を提案している。提案は上に述べた診断結果と整合性がとれていて賛同できる。提案されている大規模プロジェクトは、ライバングダム、アゴスダムおよび第２カナンダムプロジェクトである。

（１０）水需給収支解析の結果、ライバングダムが転流してマニラに供給できる能力は日量1,700百万リットルである。この能力によって2026年までのマニラ首都圏の水需要を満たすことができる。2040年までの需要を満たすためには、2026年にさらなる水源開発プロジェクトが稼働する必要がある。なお、マニラ首都圏以外の水需要には配慮していない世銀調査では、将来の水需要に対応するために、2040年以降に第２カナンダムを実施する必要がある、としている。

（１１）世銀調査のロードマップによって提案されたプロジェクトの効果を評価するため、Multi-Objective-Analysisを実施した。これは、利害関係者が多方面にわたる水資源開発プロジェクトを統合水資源管理の観点から評価しようとするものである。評価の結果を下表にまとめる。

Item	Sumag	Tayabasan	Laiban	Agos	Kanan No2
総合点	31.5	25.5	24.0	45.5	38.0
完全にバランスした場合	7.9	6.4	6.0	11.4	9.5
汎距離	9.6	8.6	7.1	3.7	12.7
補正係数	15.8	12.8	12	22.8	19.0
アンバランスの度合い	0.61	0.50	0.59	0.16	0.67

出典；JICA 調査団

すべてのダムプロジェクトは正の総得点（GMI）を持つ結果となった。つまりマニラ首都圏とアンガット川流域の問題を解決するための計画としていずれも妥当であることが証明された。

（１２）気候変動は流域の水文条件に影響を与える。その結果としてプロジェクトの能力に変動が生じる。水需給収支解析の結果、各ダム計画は気候変動の影響を緩和する事が判明した。その効果は流域の位置はもとより、流域面積や貯水容量等によって異なる。以下の表に、10年渇水時の各プロジェクトの供給能力を日量百万リットルで表す。

Project	WB Study(2010)	JICA Study(2012)	JICA Study(2040)
Angat System	4,000	4,660	4,240
Sumag	188	188	188
Tayabasan	175	105	105
Laguna Lake	200	200	200
Laiban	1,900	1,740	1,640
Kaliwa Low Dam	550	550	500
Agos	3,000	2,950	2,950

出典；JICA 調査団

アンガットダム及びライバンドムの計画貯水容量はそれぞれ 900 および 650 百万立方メートルである。一方流域面積はそれぞれ 546 および 276 方キロである。アゴスダムの貯水容量は 718 百万立方メートルであるが流域面積は 860 方キロに上る。アンガットダムやライバンドムは気候変動の影響をアゴスダムに比べ、より強く受けるものと思われる。利水の安全をはかるため、気候変動を監視して、各案件の供給能力にどのような影響を与えるか、継続的な調査を行うべきである。

13.2 提言

(1) 本調査は対象流域に対する気候変動の影響を予測した。また、世銀調査が提案したプロジェクトの効果を評価した。気候変動の予測も、プロジェクト効果の評価も斬新的で科学的な手法を駆使して定量的に示している。一方、将来の水需給収支の解析には MWSS から提供された公式に採用されている需要を用いている。解析は、マニラおよび周辺地域の開発計画を勘案して行っていて、統合水資源管理の思想に沿うものである。こうしたことから、本調査結果は MWSS が実施中の水資源開発計画に反映され、生かされるべきものとする。プロジェクト効果の評価は、見方を変えると、各プロジェクトの弱点を明示しており、プロジェクトのどこを改善すべきであるか、という点に関してヒントを与えている。例えば、環境軸の点数が低いプロジェクトは、環境保護の要素をプロジェクトに付け加えることにより改善することができる。プロジェクト評価の結果をこのようにプロジェクト形成に応用することで、プロジェクトを効率の良い、実施可能なものにする事ができる。

(2) さらに、評価手法に採用された Multi-Objective-Analysis は実施中の水資源開発計画を管理する目的でも利用できる。すなわち、検討中のプロジェクトがどの程度改善されたか、改善の度合いを測る指標が得られるのである。もし、改善が不十分であることを示す指標が得られたなら、さらなる改善を行うべく計画作業を管理する事が出来る。

(3) MWSS は PDMF を用いて、ライバンドム、カリワ低ダムをその要素とする水資源開発計画の調査を進めている。ライバンドムについては既に詳細設計が、まがりなりにも完了している。今回実施した Multi-Objective-Analysis でも GMI は正の値を示している案件の妥当性を証明している。しかしながら、ダムの給水能力は 1700MLD と推定されていて 2026 年までの需要をみたすことができるにすぎない。2026 年以降の需要に応えるためには新たな水源開発が必用になる。マニラ首都圏および AMRIS の水需要を合理化できれば、新たな投入時期を遅らせることができる。従って需要の合理化は、ライバンドムプロジェクトの経済性を押し上げるのに有効である。プロジェクトに影響を受ける所帯数が 2,500 家族に及ぶこともこの案件の重大な問題である。プロジェクトがこうした地権者を保護する計画を包含するように構築できれば、社会面の評価を改善する事が出来る。地権者を水供給事業に参画させる手続きを開発実施することはこうした計画の一つと言えよう。これらの改善策を MWSS が実施中の調査に含めるよう勧告する。プロジェクトの改善は、経済性や財務性のみならず、利害関係者の合意形成に有効であるからプロジェクトの実施を円滑にする効果もある。

(4) プロジェクトの評価は、カリワ取水施設を含むアゴスダムプロジェクトの妥当性を確認した。2003 年に JICA が実施したフィージビリティ調査を、更新した水需要と気候変動の影響を考慮して見直す必要がある。見直しに際し、環境や社会に対する配慮が必用であることは言を俟たない。見直しに際して特に留意すべき事項を以下に上げる。

イ) PPP を推進するための制度的検討

ロ) 住民を事業に参画させるための制度的検討

住民を導水事業に参画せしめることで、合意形成を妥当かつ容易にする。

ハ) マニラ首都圏と水力発電への水配分の最適化

アゴスダムの供給能力は日量 5,500 百万リットルであるが、世銀調査のシナリオ 2 ではこのうち 3,000 百万リットルを導水に、2,500 百万リットルを水力発電に配分している。しかし近未来の給水需要は 3,000 百万リットルの給水を必要とせず、余分は発電にまわすことができる。反対に 2034 年には給水需要は 3,000 百万リットルを超える。その場合、発電用水を給水に振り向ける事も一案である。あるいは、その時点で第 2 カナンダムを実施することも代替案となろう。発電の設備容量と第 2 カナンダムの投入時期を最適化する事が FS 見直しの重要な課題と考えられる。

MWSS が実施中の PDMF 調査と並行して、アゴスダムの FS 見直しを実施する事を勧告する。見直しではカリワ取水施設に代えて、PDMF が検討しているカリワ低ダムを採用する案も検討すべきである。

(5) プロジェクト評価は、カナンダムプロジェクトの得点を二番目に高い 38.0 とした。MWSS が実施中の調査はライバンドムへの最適な導水方法を検討すべきである。注目すべき事項は水力発電の様式である。発電様式は、導水路の能力と、日内で一定と考えられる水需要を主たる条件として決まる。カナンダムに貯留された水は、ピーク発電が可能なはずであるが、現在検討されている計画では常時発電となるであろう。最適化にあたっては、ピーク発電を逸失便益として機会費用に計上すべきである。カナンダムについては(4)に述べたような代替機能をも考慮する必要がある。

(6) 政府の重要政策の一つである米の自給率向上を実現するため、パンパンガ川流域に計画されているダムプロジェクトの早期実施が必用である。

(7) ラグナ湖の水質を改善するために、流域の下水・排水施設の充実が望まれる。

(8) 診断結果は水需要が大きいことが問題を困難にしている一つの主たる原因であることを明らかにした。需要面からの改善策は世銀調査では触れられていないが、需要の合理化も問題解決のための対策案件として考えるべきである。実施した Fault-Tree-Analysis は幾つかの需要制御の対策を提示している。提示された対策の効果が発現するまでにはかなりの時間を要するであろう。しかしながら、気候変動解析は、水資源の賦存量への影響を危惧させる結果を示している。こうした状況に対応するために、需要制御の対策を、ダム開発プロジェクトと同時並行的あるいはその一要素として実施する事を提案する。提案する対策は以下のとおりである。

イ) 低水消費型米品種の導入

ロ) 間断灌漑法あるいは SRI の普及

ハ) 実時間操作システムの灌漑への導入

ニ) 節水奨励のための季節水料金制の検討と導入

ホ) 無収水率の低下