

## 4-4 表流水に係る調査

### 4-4-1 バゴー川流域

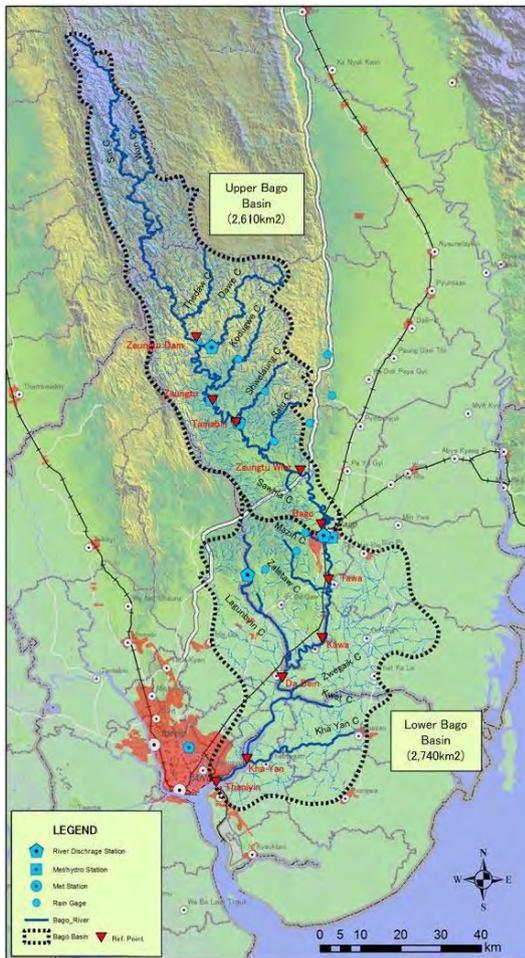


図 4-4-1-1 バゴー流域

河川勾配は 1/5000～1/1500 であり、河川に沿って谷底平野の発達が認められる。河道は周囲の丘陵地より 10 数m程度低く、区間により蛇行が発達する。一方、ザンツダムより上流では、地形は下流域と比較し急勾配となり、地質も頁岩優勢のペゲー層となる。河川勾配は 1/400 程度であり、支川の発達も少なく地質構造に沿って河道は直線的に屈曲することが多い。

下流域 (Lower Bago Basin) : バゴー橋から下流のタンリン橋までの区間であり、標高 10m 以下の沖積低地が連なる。河道に沿い自然堤防が形成され、その後背に氾濫原が広がる。河道の最低標高が海水準以下であり、乾季には、海水の遡上が著しい。18 世紀末より、水上交通網、灌漑水路網など人工水路が建設され、水路網により隣接するシタン川流域と連絡する。洪水時または

バゴー川は、調査地 (ティラワ経済特区) 付近で、ヤンゴン川と合流し海域に達するが、その源流はヤンゴン北方 190 km のペゲー丘陵 (標高 630m) にある。河川総延長は、蛇行部分も含め 360 km と長い、大きな支川が発達しないことから流域面積は 5,400 km<sup>2</sup> と河川延長と比較して相対的に小さい<sup>2</sup>。

後背となるペゲー丘陵は線状構造を持つ第三紀層が脊梁をなし、北北西-南南東の直線的な地質構造が特徴的である。また、下流域においては、その西側で (Nga Moe Yeik 支川 を介し) エーヤワディ水系のヤンゴン川流域、東側でシタン水系のシタン本川流域に挟まれ、流域は南北に伸長する形状を示す (図 4-4-1-1 参照)。

河川地形的には、上流域はペゲー丘陵内の「谷底平野」が代表的な地形要素となるが、下流域では数 m 以内の起伏の「低平地」が広がる。以下に下流域と上流域の地形な特徴を記述する。

上流域(Upper Bago Basin) : バゴー橋の上流域であり、流域面積は 2,610 km<sup>2</sup> である。バゴー橋～ザンツダム間は、砂状の地盤が発達し、地形も解析が進み、

<sup>2</sup> バゴー川と本邦河川との比較では、河川延長 360 km は本邦 1 位の信濃川に匹敵するが、流域面積 5,400 km<sup>2</sup> は本邦 10 位の阿武隈川 (東北) と同規模である。

高潮時にはシタン川西岸とバゴー流域の東岸部ともに湛水し、流域を超えた河水の流入(流出)が生ずる。

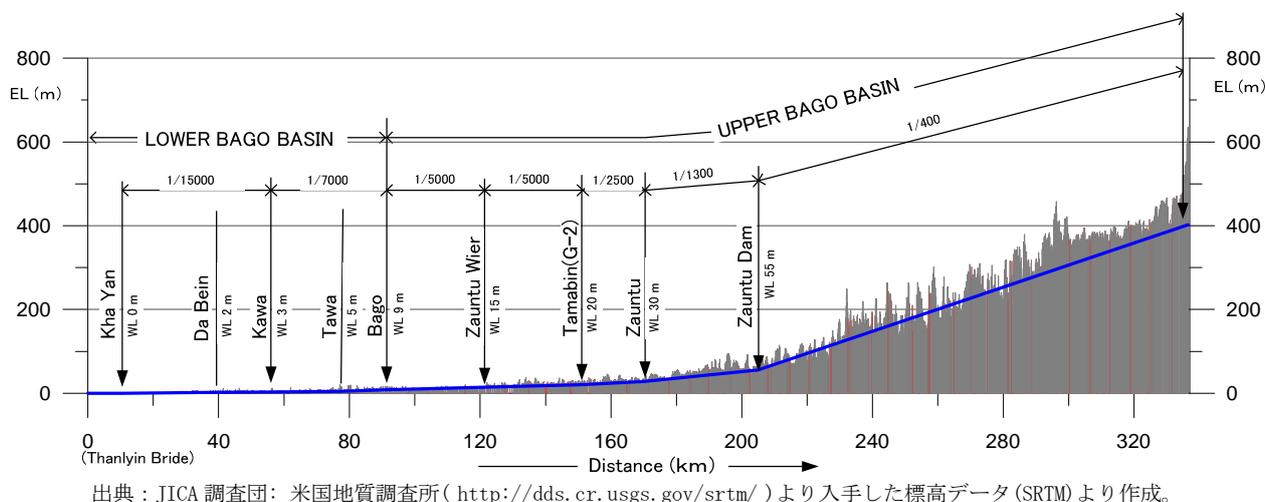


図 4-4-1-2 バゴー川流域の縦断面図

#### 4-4-2 バゴー川水文観測所

バゴー流域において、継続的に河川水位の観測が行われている地点は7箇所である。このうち2箇所(バゴー橋観測所、ザンツ観測所)は、運輸省気象水文局(DMH)によって運営され、バゴー橋観測所において1972年より41年間、ザンツ観測所で1987年より26年間の観測が行われている。しかし、DMHの2箇所の観測所では、建設後の堆砂や河道形状の変化は著しく、バゴー橋観測所では、フロート式水位計の導水管が土砂流入で閉塞され低水時の観測は量水標の読み取りのみとなっている(6時間毎 06:30-12:30-18:30)。また、ザンツ観測所においても河床の上昇に伴う河床断面の減少が懸念されている。残りの5箇所は、灌漑局単独または灌漑局と調査団が共同で設置したものであり、本川上流からダウェイ観測所、タマビン観測所、バゴー旧橋観測所およびセテ観測所の4箇所および支川でラグンビンダム観測所の1箇所である。同5カ所のうち、セテ観測所(量水標のみ)を除く4箇所については、水圧式自記水位計が設置され河川水位の観測が行われている。

河川流量調査については、1987年にDMH観測所(バゴー旧橋地点)、2012年に灌漑局観測所(バゴー橋及び旧橋)で数回行われているが、固定観測所として基準測線が定まり、継続的な水位観測に加えて流量観測が行われている地点は、現在、調査団が実施しているバゴー旧橋観測所の1カ所のみとなる。表4-4-2-1に気象・水文観測所一覧、図4-4-2-1に気象・水文観測所位置図を示す。

表 4-4-2-1 気象・水文観測所一覧(観測所位置は図 4-4-2-1 参照)

番号	観測所名	種別	状態	観測開始年	緯度 (DD)	経度 (DD)	設置機関
1	Bago Bridge	Met/Hydro_M	Ext	1965/1972	17.33	96.50	DMH
2	Zaungtu	Met/Hydro_M	Ext	1987/1987	17.63	96.23	DMH
3	Kabaaye	Met	Ext	1901	16.87	96.18	DMH
4	Zaungtu Dam	RG_M	Ext	1993	17.76	96.20	DHPI
5	Lagunbyin Dam	RG_M/RG_A/WL_A	Ext/ Const	2001	17.25	96.31	ID/JICA
6	Alaingni Dam	RG_M	Ext	2003	17.26	96.35	ID
7	Mazin Dam	RG_M	Ext	2000	17.34	96.44	ID
8	Zalataw Dam	RG_M	Ext	1999	17.30	96.42	ID
9	Pyi Pon Gyi Dam	RG_M	Ext	1988	17.64	96.50	ID
10	Baw Ni Dam	RG_M	Ext	1999	17.73	96.49	ID
11	Wa Ga Dok Dam	RG_M	Ext	2008	17.58	96.45	ID
12	Kodugwe Dam	RG_M/RG_A	Ext/Plan	2012	17.72	96.29	ID
13	Salu Dam	RG_M	Ext	2012	17.54	96.37	ID
14	Shewlaung Dam	RG_M	Ext	2012	17.65	96.35	ID
15	Daik-U	RG_M	Ext	-	17.80	96.67	ID
16	Waw	RG_M	Ext	-	17.47	96.68	ID
17	Tha Na Pin	RG_M	Ext	-	17.29	96.58	ID
18	Tawa	RG_M	Ext	-	17.23	96.50	ID
19	Kawa	RG_M	Ext	-	17.85	96.46	ID
20	Nyauglaybin	RG_M	Ext	-	17.95	96.73	ID
21	Myit Kyo	RG_M	Ext	-	17.59	96.82	ID
22	Min Ywa	RG_M	Ext	-	17.35	96.64	ID
23	Shwe Hla	RG_M	Ext	-	17.00	96.41	ID
24	Bago Old Bridge	Hydro(_M/_A)	Const	2013	17.34	96.48	ID/JICA
25	Tama Bin	Hydro	Const	2013	17.58	96.29	ID/JICA
26	Dawei	Hydro	Const	2013	17.75	96.23	ID/JICA
27	Shan Kine Sluice Gate	RG_A	Plan	2013	17.41	96.86	ID
28	Pine Kyone Sluice Gate	RG_A	Plan	2013	17.12	96.49	ID
29	Lower Se-Tee	Hydro (_M)	Const	2012	17.28	96.50	ID

Met: Meteorological Station for the measurement of climatic items including Rain, Temperature, Wind, Humidity, and Pan-Evaporation.  
Hydro: Hydrological Station for the measurement of both River Stage and Discharge Rate.  
WL A: Water Level Station for the (automatic) measurement of River Stage or Reservoir WL.  
RG M: Rain Gauge Station (Manual Measurement),RG A: Rain Gauge Station(Automatic Measurement)  
Ext: Existing Station, Const: Constructed by May 2013, Plan: Plan to Construct by May 2014  
DMH: Department of Meteorology and Hydrology, ID: Irrigation Department, JICA: Japan International Cooperation Agency,  
DHPI: Department of Hydropower Implementation, the Ministry of Electric PowerNo.(1)  
DD: Decimal Degree

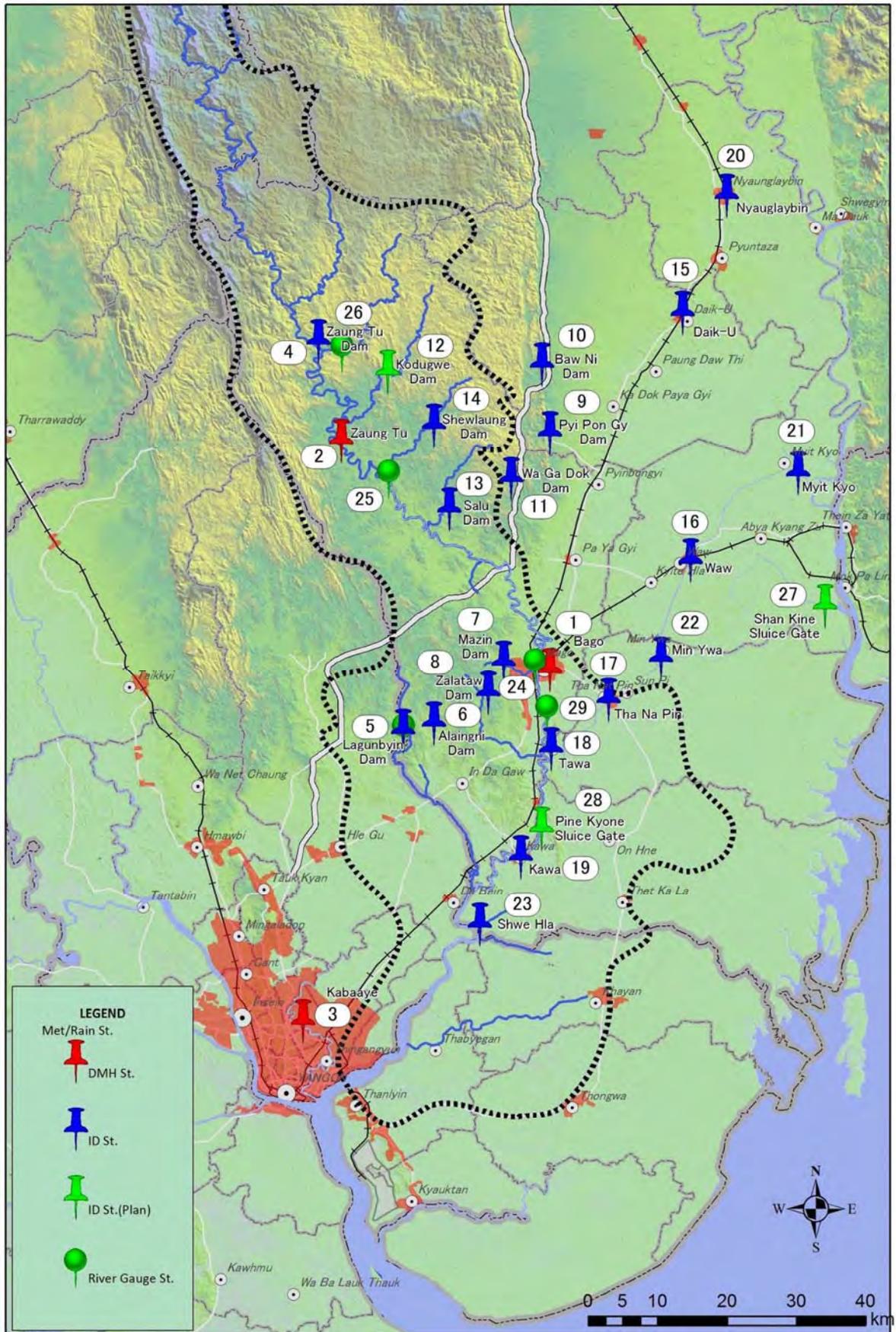


図 4-4-2-1 気象・水文観測所位置図(観測所名(数字)は表 4-4-2-1 参照)

#### 4-4-3 水文観測記録

前述のとおり、バゴー川流域の中～上流域には2箇所のDHM観測所があり、長期の観測を行っている。「バゴー橋観測所」はバゴー市の中心部に設置され1972年より観測記録が残される。また「ザンツ観測所 (Zaungtu Station)」は、バゴー流域の上流域の谷底平野に位置する観測所であり1989年より記録が蓄積されている。

##### (1) 河川水位

バゴー川の下流域は感潮することから年間を通じ河川流量が観測できる地点は、バゴー橋観測所(面積2,610 km<sup>2</sup>)が最も下流の観測所である。同観測所における河川水位の変動は大きく、最低2m、最高9mと年間で7mの開きがあり、水位は5月末より上昇を始め7月～8月で最大となり、雨季の終了が近づく9月中旬より水位は急速に減少に転じ、12月で最低水位の標高2～3mとなる。図4-4-3-1にバゴー橋観測所の2010年から2012年の河川水位ハイドログラフを示す。

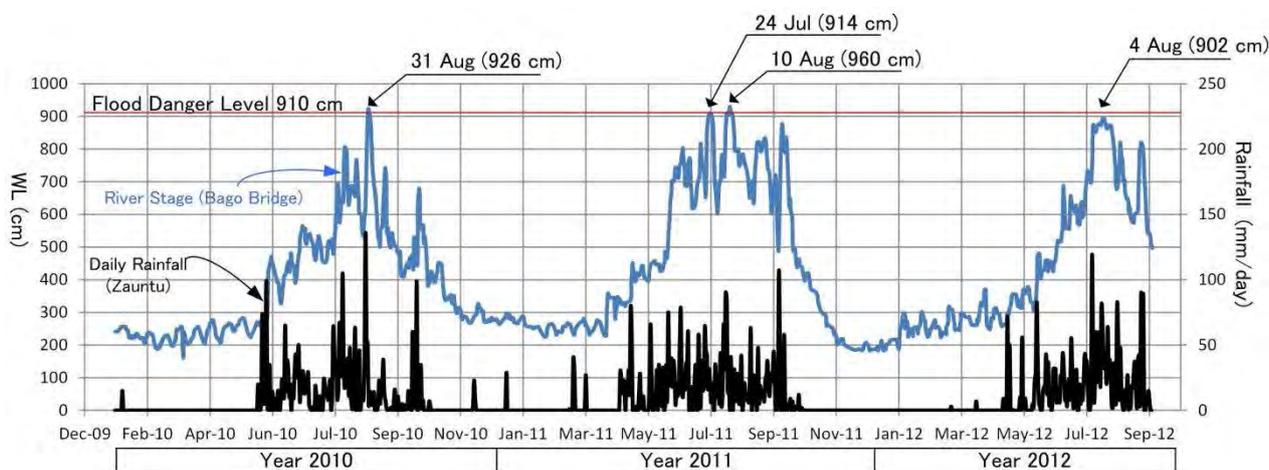


図 4-4-3-1 河川水位ハイドログラフ(バゴー橋観測所)

バゴー橋地点での洪水警戒水位は9.1mとされているが、2010年～2012年の3年間で3回警戒水位を超えている。2010年で一回(9.26m 8月31日)、2011年で2回(9.14m 7月24日、9.60m 8月10日)の洪水が発生している。一方で、2012年以降においては、バゴー流域上流域の3灌漑ダム(Kodugwe dam, Shwelaung dam, Salu dam)の運用が開始され、洪水の発生は抑えられている。

##### (2) 河川流量

河川水位と同様、バゴー橋観測所(流域面積2,610 km<sup>2</sup>)が水位流量曲線法を適用できる最も下流の観測所である。しかしながら、同手法の基礎となる流量観測は1980年に行われたものであり、観測地点も現在の観測所位置とは異なる。図4-4-3-2にバゴー橋観測所およびザンツ観測所の月別流量を示す。

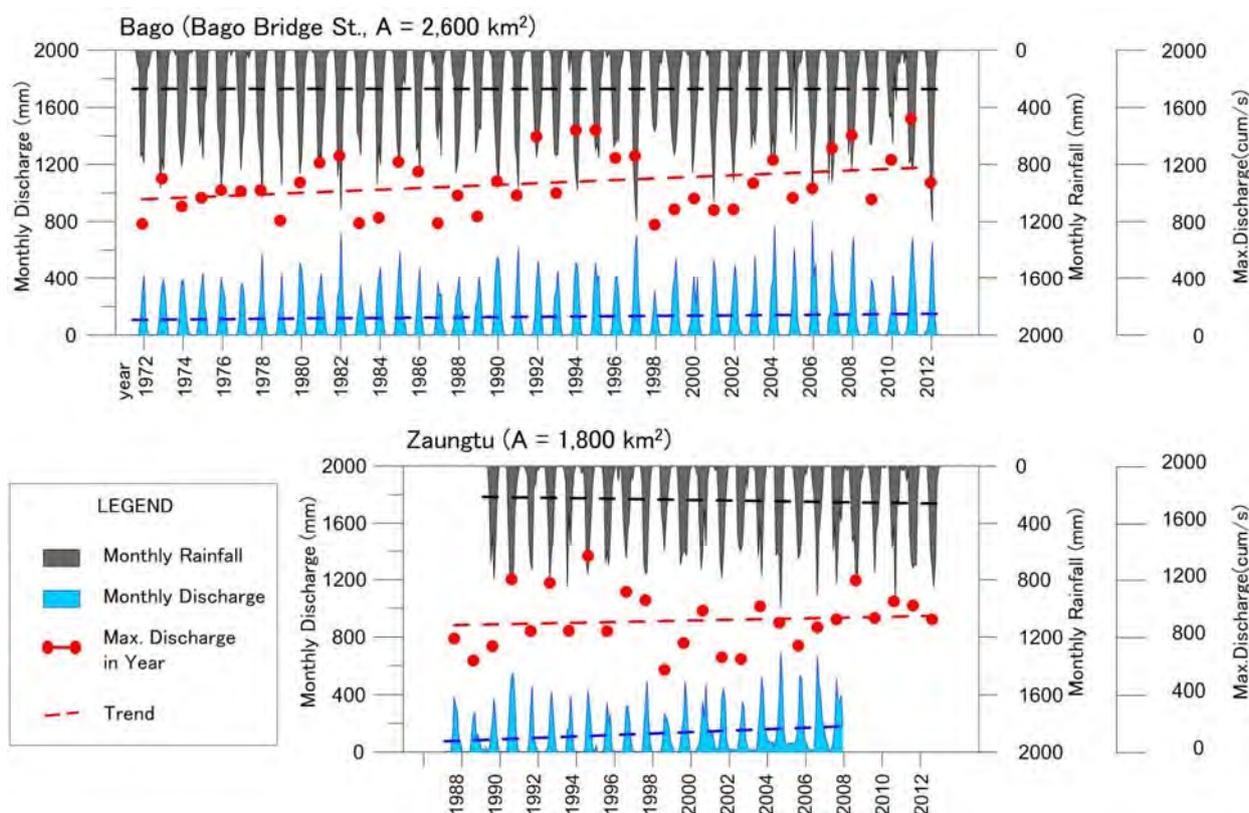


図 4-4-3-2 バゴ橋観測所およびザンツ観測所の月別流量

DMH 資料によると、2002 年から 2010 年までの平均流出量で年間 4,050 MCM であり<sup>3</sup>、これを流域面積 (2,610 km<sup>2</sup>) で除すると、流出高は 1,490 mm/年となる (表 4-4-3-1 参照)。これを流域内の観測雨量(Zaungtu 2,860 mm/年)と比較すると、雨水の半分程度 (52%) が流出する。しかしながら、これらの水位流量曲線は観測時点から 30 年以上が経過していることから、高水位の算定流量については灌漑局の観測値との開きは大きい。

同様に、ザンツ観測所の 1998 年～2001 年の平均年間流量は 3,680MCM/年と計算されているが、これを流域面積で除すると 2,080mm となり、これを流域雨量と比較すると流出率は 72% となる。この流出率は、隣接流域の流出率と比較し著しく高い値といえ、バゴ橋観測所と同様、値の信頼性に問題が残される。

<sup>3</sup> 灌漑局が行った流量観測を使った修正値では 3,950MCM/年となる。

表 4-4-3-1 バゴー橋地点の推定流量(運輸省気象水文局)

単位 : MCM

年	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合計
2002	0	0	0	1	248	610	1,288	1,194	878	80	130	3	4,430
2003	0	0	4	0	187	586	775	1,194	866	185	2	0	3,798
2004	0	0	0	1	247	664	807	1,449	928	181	0	0	4,276
2005	0	0	0	2	116	497	584	1,242	1,187	168	88	40	3,923
2006	0	0	0	12	161	491	1,419	1,256	893	281	42	0	4,554
2007	0	0	2	5	447	439	1,290	1,423	544	285	15	0	4,450
2008	0	1	13	351	478	1,157	1,197	783	210	83	0	0	4,273
2009	0	0	0	8	115	561	920	1,028	684	286	0	0	3,600
2010	0	0	0	0	125	406	614	1,194	282	462	52	46	3,180
2011	-	-	-	-	-	761	1,251	1,465	1,130	647	-	-	(5,254)
2012	-	-	-	-	-	401	1,037	1,455	754	230	-	-	(3,877)
平均*1	0	0	2	42	236	601	988	1,196	719	224	37	10	<u>4,054</u>

\*1:平均値は 2002 年～2010 年の平均, 2011 年及び 2012 年は除く。

### (3) 最大河川流量

DMH 観測データによると、バゴー橋地点の最大流量は、年々増加の傾向にある。1980 年前後までは最大洪水量は  $1,200\text{m}^3/\text{sec}$  程度に留まるが、以降において徐々に増加し、この 10 年間では  $1,400\text{m}^3/\text{sec}$  を超える。特に、2011 年で既往最大の洪水があり  $1,530\text{ m}^3/\text{sec}$ (水位 960 cm) を記録した(図 4-4-3-3 参照)。

ザンツ地点の流出状況は、上流のザンツダム運用の影響を受けていることから、下流のバゴー地点等の流出とは異なる。ザンツダムは、発電用及び洪水調整のために 2000 年より運用を開始されているが、同ダムのピークカットにより最大洪水量の低減が確認されている。

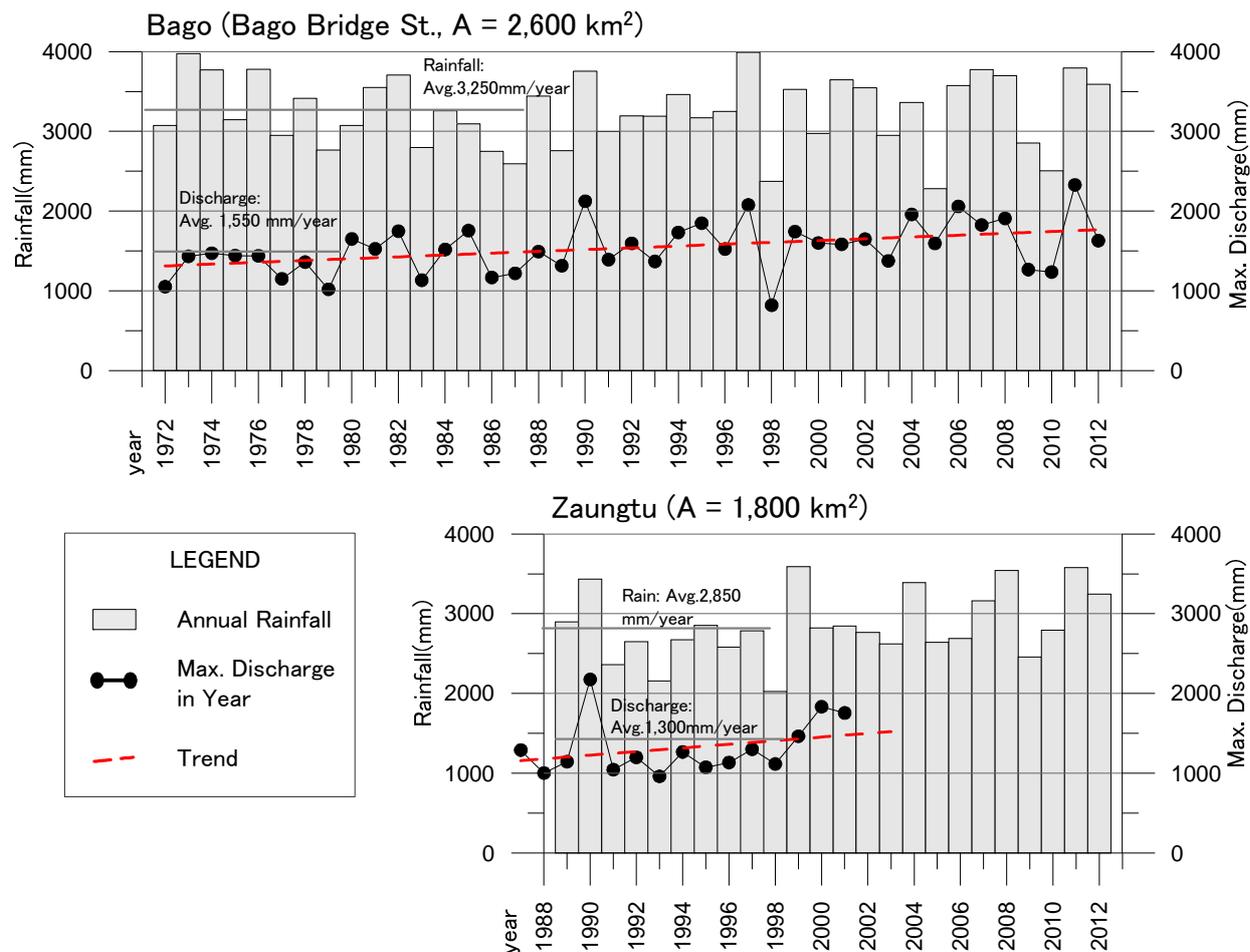


図 4-4-3-3 DHM 観測所の河川流量  
(バゴ橋観測所とザンツ観測所の年間流出量)

#### 4-4-4 水文観測記録

本調査においてバゴ川水系において4箇所の水位観測所を2013年の雨季に設け(図4-4-4-1、図4-2-2-2及び表4-4-2-1参照)観測を開始している。以下に観測所施設、観測状況および周辺観測所の記録を記述する。

(1) 観測所の新設

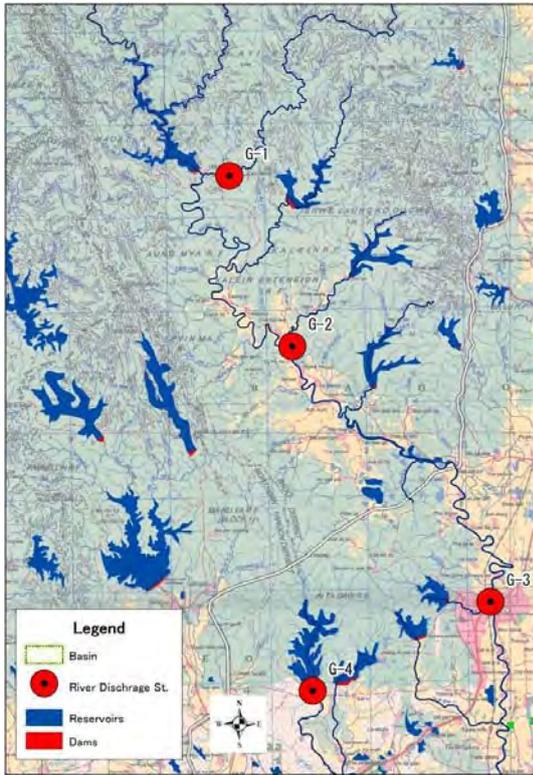


図 4-4-4-1 表流水観測所位置図

本調査で設置した4カ所のうち、3カ所はバゴ川における河川水位、流量の観測、1カ所はラゲンビン貯水池の水位を観測している。河川に設置した3カ所については、バゴ市の直下まで感潮していることから、最下流の観測点をバゴ市（バゴ旧橋観測点）とし、これより山地側へタマビン観測所およびダウェイ観測所を設けた。加えて、其々の候補地点において現地踏査を行い、河床変動（中州の形成・滲筋の頻繁な移動・局所洗掘）、植生・河川工事・渇水時の極端な流量減少が少なくかつ観測作業及び施設管理に適した位置を選択した。

観測所の建設は、バゴ旧橋観測点については地方自治政府の許可が遅れたが、雨季前（2013年4月末）までに4箇所が完成した。また基準点は3カ所とも同一の基準系を水準測量で結び、観測施設内に基準量水標を設けた。表 4-4-4-1 に観測所の設置緒元を示す。

表 4-4-4-1 河川水位観測所の設置緒元

Station Name(St No.)	Lat(D/M/S)	Lon(D/M/S)	BM(EL m)	GDZ(EL m)	Installed	
Dawei	G-1	17°44'52"	96°13'52"	BM:41.51	35.64	May2013
Tamabin	G-2	17°34'59"	96°17'29"	BM:23.36	15.77	Mar2013
Bago Old Bridge	G-3	17°20'09"	96°28'52"	BM:09.33	1.45	Jun2013
La Gun Byin	G-4	17°14'9"	96°18'39"	BM:27.49	14.48	Feb2013

Lat/Lon: Latitude and longitude based on WGS84

BM: Bench Mark Elevation in meter

GDZ: Gage Datum Zero Elevation in meter

1) バゴ旧橋（Bago Old Bridge, G3）観測所

同観測点の下流には、気象水文局（DMH）が管理する「バゴ橋観測所」、また下流には、灌漑局が所管する「バゴ旧橋観測所」の2箇所が設置済である。何れも、バゴ川の基幹観測所として位置づけられてはいるが「バゴ橋観測所」は観測導水管が土砂の流入により、高水位しか自動観測できない状況となっている。また「旧バゴ橋観測所」も、自記水位計は設



置されておらず、量水標による読み取りに終始している状況にある。これらの観測点はバゴー川流域における最重要観測点であるにも関わらず、水位、流量観測とも頻度は十分とは言えず、洪水対策、利水計画などに支障をきたしている状況にある。これら観測環境の改善を目的に「旧バゴー橋観測所」の上流に新たに流量観測所を設置した(図 4-4-4-2 参照)

図 4-4-4-2 バゴー旧橋(G3)観測所(Jun/2013)

表 4-4-4-2 バゴー旧橋観測所の観測概況(2013年)

Items	Observation Summary (2013)
Catchment Area	2,620 km <sup>2</sup>
Annual Area Rainfall	8,020 MCM/year
Max. Daily Rainfall	106 mm (Bago Station)
Min.-Max. Daily Mean River Stage	1.8-8.8 m (2013/1-2014/2)
River Discharge	3,315 MCM/year
Annual Runoff Rate	0.41

バゴー川の基幹観測所であり、流域面積は 2,610 km<sup>2</sup> と大きいですが、乾季には断流する。また雨季の洪水期には 942m<sup>3</sup>/sec の日最大流出量(10分最大流量では 1,005m<sup>3</sup>/sec) が観測されている。観測概要は以下のとおりである(表 4-4-4-2 参照)。

## 2) タマビン (Tamabin, G2) 観測所

タマビン観測所はバゴー川の本川の中流域に位置する。同地点の下流にはザンツ堰があり、雨季には貯水域が数kmにわたり広がる。観測点は、この堰上げの影響が及ばず、乾季・雨季を通じて観測できる地点に設定としたが、同地点の上流には、発電用のザンツダム、灌漑用のコドゥクエダム、シュエランダムがあることから、観測流量はこれらダム群の運用により大きく変動する。乾季の定期観測では、これらのダムよりの灌漑用水の放流により、数～数 10m<sup>3</sup>/sec 程度の変動が観測される(図 4-4-4-3 参照)。



図 4-4-4-3 タマビン(G2)観測所(Feb/2013)

表 4-4-4-3 タマビン観測所の観測概況(2013年)

Items	Observation Summary (2013)
Catchment Area	2,024 km <sup>2</sup>
Annual Area Rainfall	6,088 MCM/year
Max. Daily Rainfall	93 mm (Zaungtu Station)
Min.-Max. Daily Mean River Stage	16.5-22.1 m (2013/3-2014/2)
River Discharge	2,581 MCM/year
Annual Runoff Rate	0.42

乾季の水深は1m以下であるが、雨季には6m近くとなる。流量は最大で708 m<sup>3</sup>/sec程度となる。観測概要は以下のとおりとなる(表4-4-4-3参照)。

3) ダウエイ (Dawei, G1) 観測所



ダウエイ観測所<sup>4</sup>は、バゴー流域の支川であるダウエイ川の流量を観測するため、本川とダウエイ支川の会合部より上流3km程に設置した。同地点の上流でティラワ経済特区への利水を目的にダウエイダムが計画されていることから、また観測結果がこれらの将来計画で利用されることを考慮して観測点を決定した(図4-4-4-4参照)。

観測所の流況は乾季末には殆ど流出は認められないが、雨季には降雨に反応し鋭角的に増水し、水深は5mに達するが、継続時間は短く10時間程度である。2013年の観測概況は表4-4-4-4のとおりとなる。

図 4-4-4-4 ダウエイ(G3)観測所(Feb/2013)

表 4-4-4-4 ダウエイ観測所の観測概況(2013年)

Items	Observation Summary (2013)
Catchment Area	141 km <sup>2</sup>
Annual Area Rainfall	424 MCM/year
Max. Daily Rainfall	93 mm (Zaungtu Station)
Min.-Max. Daily Mean River Stage	35.6-41.0 m (2013/5-2014/2)
River Discharge	215 MCM/year
Annual Runoff Rate	0.51

4 ダウエイ観測点においては、4~5月に断流することから、自記水位計は雨季の間のみに設置としている。

#### 4) ラグンビン貯水池 (Lagunbyin G4) 観測所



ラグンビン地点の河川流量はダム下流地点で流路が分流・分散することから、適当な流量観測点が見いだせなかった。このため、貯水池の水位を時系列で観測し貯水量の変化を求め、これと放流量、洪水量などのダム運用記録から推計することとした。自記水位計はダム堤体より張り出した取水塔に設置した (図 4-4-4-5 参照)。

図 4-4-4-5 ラグンビン貯水池 (G4) 観測所 (Mar/2013)

#### (2) 河川水位記録 (2013 年)

下表に河川水位観測 4 箇所 (G-1~G-4) の水位ハイドログラフを示す。水位は何れも 5 月の雨の始まりと同時に上昇し 8 月に最高水位となる。また雨季の最高水位と乾季末の最低水位との差は、ダウエイ観測所 (G1) 及びタマビン観測所 (G2) のある中流域で 5m 程度、またバゴー旧橋観測所 (G3) のバゴー市で 6m 以上が観測される。またバゴー旧橋観測所の地域的な現象として、低水位時 (WL 4m 以下) で潮汐の影響が認められ干満に応じ最大 1m 程度の変動が観測される。

また、10 月末~11 月には、モンスーン末期の高水も観測され、観測所ダウエイ観測所 (G1) において年間の最高水位となった。そのピークを上流より追跡すると、ダウエイ観測所 (G1) で 10 月 28 日夜、タマビン観測所 (G2) で 10 月 29 日未明、下流のバゴー旧橋観測所 (G3) で 10 月 30 日未明が最高水位となっている。中流(G1)から下流(G3)の間で、2 日程の遅延が認められる。

一方で、この時期の灌漑用ダムは何れも満水状態にあり洪水調節容量に余裕は少なく、同時期の洪水はその全量が下流に流出すると想定される。因みに隣接するシットタン流域においては、同豪雨においてダム群からの放水による湛水被害と住宅地区の浸水被害が報告されている (Swa Township および Taungu Township)。

#### (3) 2013 年の観測水位および雨量

2013 年の年間雨量は、ヤンゴン (Kabaaye) 観測所で 2,774 mm、バゴー観測所で 3,242 mm、ザウンツ観測所で 3,008 mm であり、平年値との比較では、ザウンツ観測所で年平均雨量 (Kabaaye 観測所 : 2780 mm、バゴー観測所 : 3260 mm、ザウンツ観測所で 2860 mm) を上回る。これらの多雨

は、雨季末期の連続雨量 100 mm～200 mm (10 月 25 日～30 日) に由来する。

河川水位も、これらの雨量傾向に伴い、雨季クライマックスの 8 月中～下旬の高水位期の他に 10 月末にもピークをもつハイドログラフとなっている。図 4-4-4-6 に年間の河川水位と雨量を示す。

年間の最大流量はダウェイ観測所で 202 m<sup>3</sup>/sec(10 月 28 日の平均)、タマビン観測所で 707m<sup>3</sup>/sec(8 月 22 日の平均)、及びバゴ旧橋では 1005m<sup>3</sup>/sec (8 月 23 日 7 時) であった。また 10 分間流量との比較では、10 分間流量が日流量約 30%程より大きい結果となった。

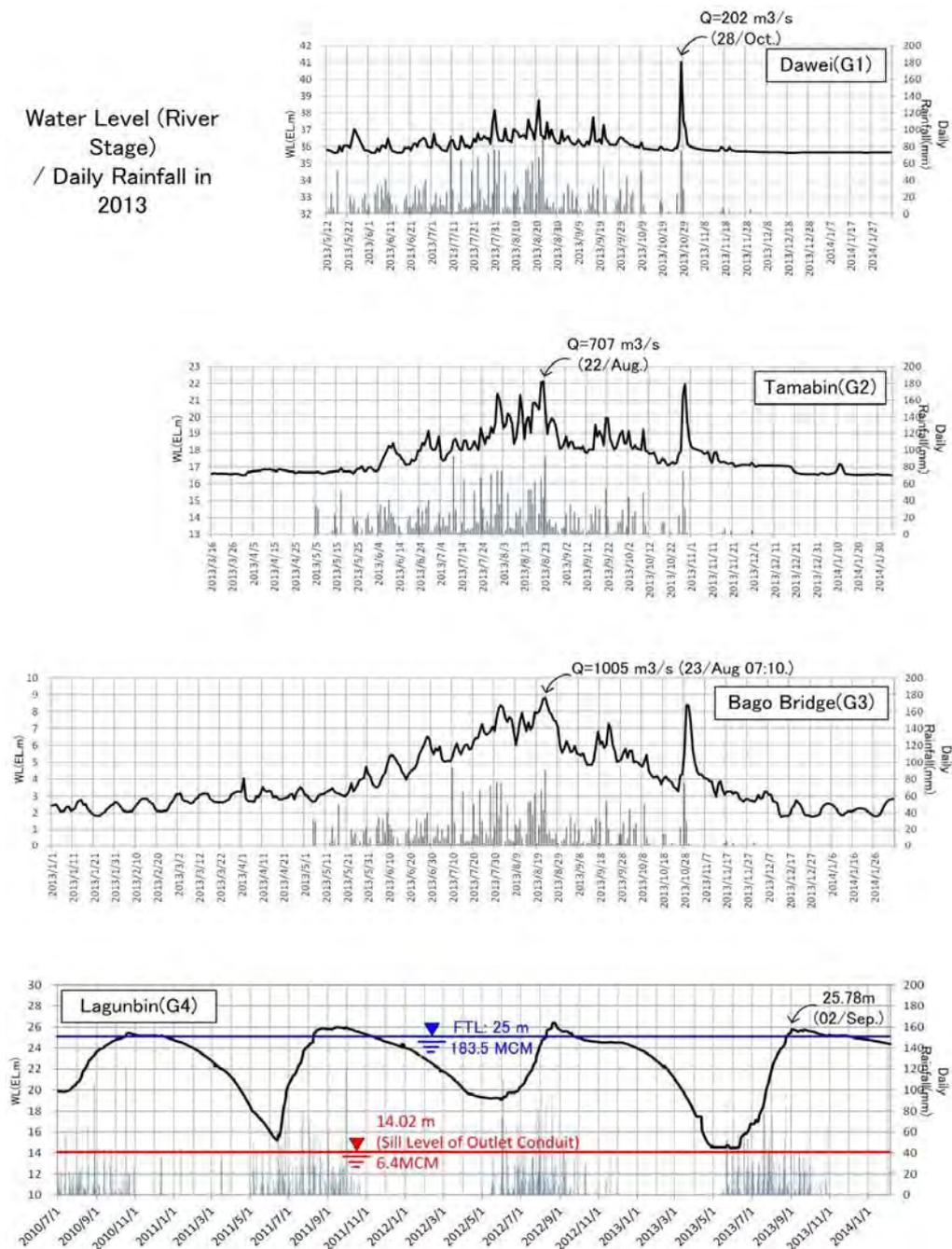


図 4-4-4-6 河川水位ハイドログラフ

#### (4) 流量観測

##### 1) 流量観測法

流量観測は、ダウェイ観測所で年 10 回、水位変動の大きいタマビン観測所及びバゴー観測所では年 15～20 回/年の観測を実施している。バゴー川は水位変動が大きいことが特徴であり、バゴー旧橋観測所を例にとると、乾季では最深部で水深 2m 程度であるが、雨季に入ると急速に水位を増し、水深は 9m に達する。また川幅も 40m から 70m と拡大し、流速分布も複雑となる。このため、観測の方法を、各季節の状況に応じ適切な測定法を使い分け精度の高い観測を行うこととした。

可搬式電磁流量計：本川では水深の 2m 以下の低水期、また水深が浅い支川（ダウェイ観測所）に適用した。バゴー川は乾季の低水期において流量は著しく減少し、断流に近い状態となることから、対象となる流速は 0.1m/sec 以下となることも多く、可搬式電磁流量計による観測のみが可能であった。

ドップラー流速計（ADCP：Acoustic Doppler Current Profiler）：中間水位～洪水時の流量観測に利用した。この時期には水深は 5m を超え、流芯部分での流速は 2m/sec を超える一方で、川岸では渦流が発生するなど流速分布も変化に富む。これらの状況においては、可搬式電磁流量計を使った点測定では十分な精度は確保できず、ADCP による断面測定が必要と判断された。

浮子：ドップラー流速計が適用できない洪水時において適用した。観測測線の上下流に見通し杭を設け、バゴー旧橋より投下した浮子を観測した。測線は ADCP 観測による流速分布を参考に 4 測線 x 3 測定を目途とし、4m 吃水の浮子を採用した。

##### 2) 流量観測手法

前項に述べたように、河川水位 10 月～5 月の低水位時には可搬式電磁流量計、水深のある 6 月～9 月の中間～高水位には ADCP を使い観測を実施した。また ADCP による船上観測が危険となる洪水時においては、浮子法を使い観測を行った。以下に可搬式電磁流量計およびドップラー流速計による観測（例）を記述する。

可搬式電磁流量計観測（2013 年 4 月 20 日）：可搬式電磁流量計による観測は、本邦の基準を参考に、水深が 75cm 以上の場合、水深の 2 割・8 割の位置で測る 2 点法、または 75cm 未満では、6 割の位置で測る 1 点法で行うこととした。また、測線（河川横断面）での測点は等間隔で配置し、観測区間を分割することを原則としたが<sup>5</sup>、河川幅が乾季と雨季において著しく変化することから、その分割の幅を河川幅の 10%以内とした。タマビン観測所での 4 月中旬の観測では、河川幅は 93m であったため、5m の等間隔で分割した。分割区間は

<sup>5</sup>河川の流速分布は一様ではなく、河川横断断面上の数点での測定が必要となる。また水深も変化することから、通常は河川断面を分割し、各々の区間毎に流速と測定しこれから区間流量を求め、さらに、これらを合計し観測断面を流れる流量を求めることとなる。通常は分割幅は河川幅の 10～20%を超えず、分割数もこれに応じ増減する。

45 程度となり、これらを合計し流量  $4\text{m}^3/\text{sec}$  を得た。

ドップラー流速計 (ADCP : Acoustic Doppler Current Profiler、2013 年 7 月 2 日) : ADCP による計測は、流速分布、河床変動により変化する流下断面積を同時に計測し流量を算出することが可能であるが、精度保持のためには、少なくとも  $4\sim 5\text{m}$  の観測水深が必要となる。例えば 7 月 2 日のバゴ橋観測所の観測では、最大水深は  $7.9\text{m}$  であり、これを  $0.5\text{m} \times 0.5\text{m}$  の観測単位で、航跡に沿って深度方向に順次流速を測定し、同時に河川断面を測深し河川流量を測定した。河川幅  $69\text{m}(229\text{ft})$ 、断面積  $388\text{m}^2(4200\text{ft}^2)$ 、平均流速は  $0.4\text{m}/\text{sec} (1.4\text{ft}/\text{sec})$  であり、これらから総流量は  $154\text{m}^3/\text{sec}(5494\text{ft}^3/\text{sec})$  が得られた (図 4-4-4-7 参照)。

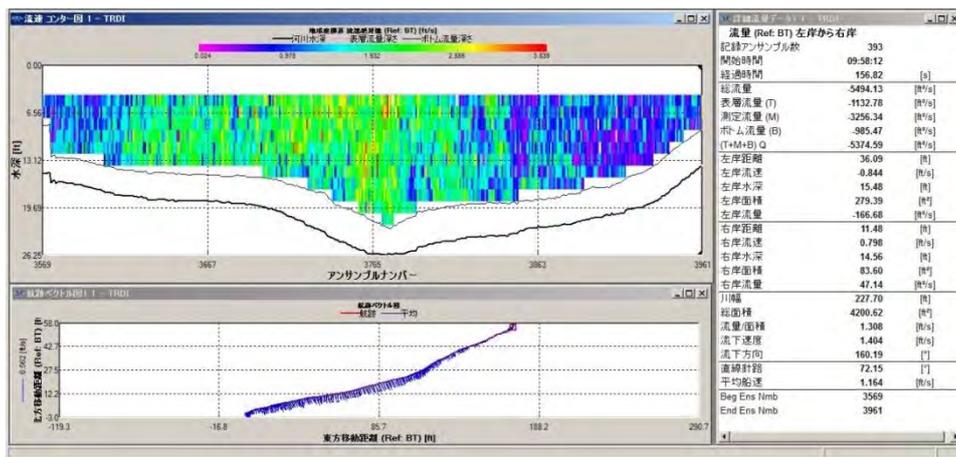


図 4-4-4-7 ドップラー流速計 (ADCP) 観測例 (02 July 2003、バゴ旧橋観測所)

### 3) 流量観測結果

本調査の流量観測は、河川水位観測所の建設とともに開始したことから、バゴ旧橋観測所およびタマビン観測所では昨年の 2013 年 1 月中旬より、また上流のダウェイ観測所では 2 月中旬より観測を開始した。調査における観測継続期間は 1 水文年であることから来年 2014 年 2 月初旬まで継続した。

観測所当初の 1 月は、乾季がすでに始まり、急速の流量が減少する時期にあたり、流水は基底流量またはダム貯水池より放流される流出成分のみであった。特に、ダウェイ観測所では観測時にはほぼ断流状態 ( $0.04\text{m}^3/\text{sec}$ ) にあり、3 月初旬より完全に無水となった。また、本川下流のタマビン観測所、及びバゴ旧橋観測所においても 1 月～4 月期の流量は、上流ダム群の利水 (放流) 状況に応じ、其々  $1\sim 5\text{m}^3/\text{sec}$  および  $1\sim 15\text{m}^3/\text{sec}$  であった。

雨季の開始とともに、5 月から上流域では自然流出が始まったが、7 月までの間においては、上流の灌漑ダムでの貯水により中流域の流量は制御され、タマビン観測所で月平均流量  $50\text{m}^3/\text{sec}$  前後、およびバゴ旧橋観測所で  $50\sim 200\text{m}^3/\text{sec}$  程度であった。7 月下旬～9 月上旬にかけては降雨時間も多くなることから、年間の最高水位が記録され、バゴ旧橋観測所の流量では  $300\sim 700\text{m}^3/\text{sec}$  が得られている。表 4-4-4-5～4-4-4-7 に観測結果要約表を示す。

表 4-4-4-5 観測結果要約表(ダウエイ G1 観測所)

Station ID	Survey No.	Direction *1/	Measurement No	Date (Y/M/D:H:M)	Mean Water Level*2/ (m)	Mean Water Depth (m)	Width (m)	Area (m2)	Mean Velocity (m/sec)	Discharge (m3/sec)	Method*3/	Surveyer	Remarks	Data Reliability *4/
G1	1	L-R	G1-1-L	2013/1/24 13:00	35.766	0.125	7.930	0.976	0.258	0.255	FL	JICA	Measurement before Installation	x V
G1	1	R-L	G1-1-R	2013/1/24 13:00	35.766	0.125	7.930	0.976	0.258	0.255	FL	JICA	- do -	x V
G1	2	L-R	G1-2-L	2013/2/13 14:00	36.191	0.135	7.500	1.015	0.043	0.043	EF	JICA	- do -	x V
G1	2	R-L	G1-2-R	2013/2/13 14:00	36.191	Nil	-	-	-	Nil	EF	JICA	- do -	x V
G1	3	L-R	G1-3-L	2013/2/28 10:00	35.841	0.106	6.000	0.635	0.028	0.018	EF	JICA	- do -	x V
G1	3	R-L	G1-3-R	2013/2/28 11:30	35.841	0.100	6.000	0.600	0.024	0.015	EF	JICA	- do -	x V
G1	4	L-R	G1-4-L	2013/3/31 9:30	35.641	0.050	3.000	0.150	0.020	0.003	EF	JICA	- do -	○
G1	4	R-L	G1-4-R	2013/3/31 10:30	35.641	0.052	3.000	0.155	0.020	0.003	EF	JICA	- do -	○
G1	5	L-R	G1-5-L	2013/7/9 12:00	35.961	0.778	19.000	14.790	0.600	8.868	EF	JICA		○
G1	5	R-L	G1-5-R	2013/7/9 12:30	36.011	0.808	19.000	15.350	0.559	8.580	EF	JICA		○
G1	6	L-R	G1-6-L	2013/7/9 16:00	36.286	1.059	20.000	21.175	0.767	16.239	EF	JICA		○
G1	6	R-L	G1-6-R	2013/7/9 16:30	36.256	1.035	20.000	20.693	0.783	16.211	EF	JICA		○
G1	7	L-R	G1-7-L	2013/8/4 11:45	36.151	0.508	13.700	6.955	0.660	4.590	EF	JICA	Unsteady flowing ?	x V
G1	7	R-L	G1-7-R	2013/8/4 11:45	36.151	0.511	13.500	6.900	0.638	4.401	EF	JICA	Unsteady flowing ?	x V
G1	8	L-R	G1-8-L	2013/8/4 16:40	36.291	0.663	14.300	9.475	0.535	5.069	EF	JICA	Unsteady flowing ?	x V
G1	8	R-L	G1-8-R	2013/8/4 16:05	36.291	0.663	14.300	9.475	0.464	4.395	EF	JICA	Unsteady flowing ?	x V
G1	9	L-R	G1-9-L	2013/8/5 7:00	37.541	1.433	18.400	26.360	0.487	12.825	EF	JICA	Unsteady flowing ?	xA
G1	9	R-L	G1-9-R	2013/8/5 16:05	37.541	1.439	18.400	26.480	0.408	10.800	EF	JICA	Unsteady flowing ?	xA
G1	10	L-R	G1-10-L	2013/8/26 14:00	36.771	0.969	24.100	23.345	1.345	31.399	EF	JICA	Unsteady flowing ?	xV
G1	10	R-L	G1-10-R	2013/8/26 13:00	36.771	0.940	24.100	22.645	1.223	27.692	EF	JICA		○
G1	11	L-R	G1-11-L	2013/8/26 14:00	37.186	1.366	24.500	33.475	0.821	27.485	EF	JICA		○
G1	11	R-L	G1-11-R	2013/8/28 16:30	37.141	1.366	24.500	33.475	0.924	30.943	EF	JICA		○
G1	12	L-R	G1-12-L	2013/8/27 7:30	36.516	0.803	23.100	18.555	0.929	17.243	EF	JICA		○
G1	12	R-L	G1-12-R	2013/8/27 8:30	36.516	0.849	23.100	19.605	0.900	17.650	EF	JICA		○
G1	13	L-R	G1-13-L	2013/9/10 13:00	36.111	0.448	21.800	9.770	0.634	6.192	EF	JICA		○
G1	13	R-L	G1-13-R	2013/9/10 13:00	36.111	0.448	21.800	9.770	0.670	6.547	EF	JICA		○
G1	15	L-R	G1-15-L	2013/9/23 16:30	36.161	0.549	21.800	9.740	0.605	7.236	EF	JICA		○
G1	15	R-L	G1-15-R	2013/9/23 16:30	36.161	0.549	21.800	9.740	0.622	7.437	EF	JICA		○
G1	14	L-R	G1-14-L	2013/9/24 9:10	36.081	0.449	21.700	11.960	0.654	6.367	EF	JICA		○
G1	14	R-L	G1-14-R	2013/9/24 9:30	36.081	0.449	21.700	11.960	0.647	6.306	EF	JICA		○
G1	16	L-R	G1-16-L	2013/10/10 9:10	35.861	0.328	16.200	5.310	0.607	3.225	EF	JICA		○
G1	16	R-L	G1-16-R	2013/10/10 8:50	35.861	0.322	16.200	5.215	0.579	3.020	EF	JICA		○
G1	17	L-R	G1-17-L	2013/10/24 9:00	35.731	0.204	17.500	3.575	0.492	1.760	EF	JICA		○
G1	17	R-L	G1-17-R	2013/10/24 8:40	35.731	0.204	17.500	3.575	0.479	1.713	EF	JICA		○
G1	18	L-R	G1-18-L	2013/11/15 13:00	35.741	0.2111	18	3.8	0.5125	1.9475	EF	JICA		○
G1	18	R-L	G1-18-R	2013/11/15 13:20	35.741	0.2122	18	3.82	0.5028	1.9244	EF	JICA		○
G1	19	L-R	G1-19-L	2013/12/1 9:30	35.661	0.1729	11.8	2.04	0.4556	0.9294	EF	JICA		○
G1	19	R-L	G1-19-R	2013/12/1 9:45	35.661	0.1729	11.8	2.04	0.4458	0.9095	EF	JICA		○
G1	20	L-R	G1-20-L	2013/12/23 14:10	35.621	0.1292	12	1.55	0.3487	0.5404	EF	JICA		○
G1	20	R-L	G1-20-R	2013/12/23 13:05	35.621	0.1292	12	1.55	0.3398	0.5267	EF	JICA		○

L-R: Left to Right, R-L:Right to Left \*2 Mean Water Level based on elevation  
 Data is evaluated with Velocity(xV) and Area (xA), and used only reliable Data (○)

\*3 FL:Float Method, EF:Electromagnetic Flow Meter,ADCP:Acoustic Doppler Current Profiler

表 4-4-4-6 観測結果要約表(タマビン G2 観測所)

Station Name	Station ID	Survey No.	Direction *1/	Measurement No	Date (Y/M/D:H:M)	Mean Water Level*2/ (m)	Mean Water Depth (m)	Width (m)	Area (m2)	Mean Velocity (m/sec)	Discharge (m3/sec)	Method*3/	Surveyer	Remarks	Data Reliability *4/
Tamabin	G2	1	L-R	G2-1-L	2013/1/14 10:00	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	Nil	JICA		○
Tamabin	G2	1	R-L	G2-1-R	2013/1/14 10:00	16.752	0.457	91.200	41.650	0.047	1.946	EF	JICA		○
Tamabin	G2	2	L-R	G2-2-L	2013/1/29 9:30	16.812	0.530	92.400	48.980	0.026	1.283	EF	JICA		○
Tamabin	G2	2	R-L	G2-2-R	2013/1/29 10:30	16.742	0.501	92.400	46.330	0.019	0.903	EF	JICA		○
Tamabin	G2	3	L-R	G2-3-L	2013/2/13 9:00	16.732	0.370	93.000	34.400	0.078	2.688	EF	JICA		○
Tamabin	G2	3	R-L	G2-3-R	2013/2/13 10:00	16.692	0.361	93.000	33.550	0.046	1.531	EF	JICA		○
Tamabin	G2	4	L-R	G2-4-L	2013/3/1 11:00	16.777	0.505	95.800	48.350	0.059	2.839	EF	JICA		○
Tamabin	G2	4	R-L	G2-4-R	2013/3/1 13:00	16.732	0.462	90.700	41.905	0.026	1.101	EF	JICA		○
Tamabin	G2	5	L-R	G2-5-L	2013/3/15 11:00	16.802	0.497	90.300	44.854	0.056	2.518	EF	JICA		○
Tamabin	G2	5	R-L	G2-5-R	2013/3/15 12:30	16.752	0.488	90.300	44.042	0.051	2.265	EF	JICA		○
Tamabin	G2	6	L-R	G2-6-L	2013/3/30 15:30	16.892	0.598	92.750	55.421	0.035	1.948	EF	JICA		○
Tamabin	G2	6	R-L	G2-6-R	2013/3/30 17:00	16.867	0.608	87.750	53.346	0.034	1.812	EF	JICA		○
Tamabin	G2	7	L-R	G2-7-L	2013/4/1 8:25	16.777	0.500	92.800	46.354	0.049	2.261	EF	JICA		○
Tamabin	G2	7	R-L	G2-7-R	2013/4/1 10:00	16.797	0.520	93.000	48.330	0.052	2.495	EF	JICA		○
Tamabin	G2	8	L-R	G2-8-L	2013/4/13 8:40	17.007	0.701	92.580	64.936	0.063	4.072	EF	JICA		○
Tamabin	G2	8	R-L	G2-8-R	2013/4/13 10:30	17.032	0.717	92.580	66.386	0.064	4.275	EF	JICA		○
Tamabin	G2	9	L-R	G2-9-L	2013/4/28 8:00	16.762	0.511	92.600	47.356	0.051	2.396	EF	JICA		○
Tamabin	G2	9	R-L	G2-9-R	2013/4/28 10:00	16.772	0.504	92.700	46.767	0.049	2.277	EF	JICA		○
Tamabin	G2	10	L-R	G2-10-L	2013/5/13 10:00	16.642	0.372	91.900	34.175	0.047	1.609	EF	JICA		○
Tamabin	G2	10	R-L	G2-10-R	2013/5/13 12:30	16.652	0.381	91.900	35.025	0.049	1.706	EF	JICA		○
Tamabin	G2	11	L-R	G2-11-L	2013/5/31 10:00	17.182	1.022	95.800	97.860	0.492	48.099	EF	JICA		○
Tamabin	G2	11	R-L	G2-11-R	2013/5/31 14:00	17.247	1.042	96.300	100.323	0.495	49.616	EF	JICA		○
Tamabin	G2	12	L-R	G2-12-L	2013/6/14 11:00	17.602	1.175	93.800	110.220	0.736	81.120	EF	JICA		○
Tamabin	G2	12	R-L	G2-12-R	2013/6/14 12:30	17.537	1.102	93.500	103.025	0.734	75.581	EF	JICA		○
Tamabin	G2	13	L-R	G2-13-L	2013/7/10 11:30	18.542	3.269	100.400	328.240	0.202	66.262	EF	JICA	Unsteady flowing ?	×A
Tamabin	G2	13	R-L	G2-13-R	2013/7/10 10:30	18.487	3.409	100.400	342.280	0.189	64.725	EF	JICA	Unsteady flowing ?	×A
Tamabin	G2	14	NA	G2-14-N	2013/7/30 0:00	19.972	3.238	103.900	336.400	1.010	340.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	15	NA	G2-15-N	2013/7/31 0:00	21.552	4.585	113.900	522.200	1.130	592.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	16	NA	G2-16-N	2013/8/1 0:00	21.172	3.873	115.800	448.500	1.200	537.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	17	NA	G2-17-N	2013/8/1 0:00	20.972	3.541	104.800	371.100	1.160	429.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	18	NA	G2-18-N	2013/8/25 0:00	19.552	3.540	99.200	351.200	0.854	300.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	19	NA	G2-19-N	2013/8/28 0:00	19.112	2.645	99.900	264.200	0.790	209.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	20	NA	G2-20-N	2013/8/28 0:00	19.312	3.157	88.400	279.100	0.853	236.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	21	NA	G2-21-N	2013/9/8 0:00	18.292	2.698	98.100	264.700	0.647	171.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	22	NA	G2-22-N	2013/9/9 0:00	18.042	2.339	100.100	234.100	0.576	135.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	23	NA	G2-23-N	2013/9/22 0:00	19.672	3.619	108.000	390.900	0.765	299.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	24	NA	G2-24-N	2013/10/9 0:00	19.332	3.370	102.800	346.700	0.673	233.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	25	NA	G2-25-N	2013/10/9 0:00	19.552	3.610	108.300	391.100	0.746	292.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	26	NA	G2-26-N	2013/10/9	19.792	3.810	108.200	411.600	0.872	359.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	27	NA	G2-27-N	2013/10/9	19.922	3.960	108.100	427.800	0.857	367.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	28	NA	G2-28-N	2013/10/9	20.032	4.010	111.200	452.300	0.863	390.000	ADCP	JICA		○
Tamabin	G2	24	L-R	G2-24-L	2013/10/23	17.262	0.934	94.500	88.275	0.482	42.583	EF	JICA		○
Tamabin	G2	24	R-L	G2-24-R	2013/10/23	17.262	0.939	94.500	88.775	0.480	42.620	EF	JICA		○
Tamabin	G2	30	L-R	G2-30-L	2013/11/16	17.402	0.894	75.600	67.580	0.430	29.064	EF	JICA		○
Tamabin	G2	30	R-L	G2-30-R	2013/11/16	17.402	0.899	75.600	67.980	0.426	28.964	EF	JICA		○
Tamabin	G2	31	L-R	G2-31-L	2013/12/22	16.757	0.453	62.500	28.325	0.296	8.377	EF	JICA		○
Tamabin	G2	31	R-L	G2-31-R	2013/12/22	16.757	0.460	62.500	28.275	0.295	8.484	EF	JICA		○

\*1 L-R: Left to Right, R-L:Right to Left

\*2 Mean Water Level based on elevation

\*3 FL:Float Method, EF:Electromagnetic Flow Meter,ADCP:Acoustic Doppler Current Profiler

\*4 Data is elvaluated with Velocity(xV) and Area(xA), and used only reliable Data (○)

表 4-4-4-7 (1/2) 観測結果要約表(バゴ旧橋 G3 観測所 下流)

Station Name	Station ID	Survey No.	Direction *1/	Measurement No	Date (Y/M/D:H:M)	Mean Water Level *2/ (m)	Mean Water Depth (m)	Width (m)	Area (m2)	Mean Velocity (m/sec)	Discharge (m3/sec)	Method*3/	Surveyer	Remarks	Data Reliability *4/
Bago Old Bridge(DS)	G3	1	L	G3-1-L	2013/1/31 8:10	2.380	6.00	66.2	397.16	0.017	6.91	EF	JICA	Surveyline is not on G3	×A
Bago Old Bridge(DS)	G3	1	R	G3-1-R	2013/1/31 9:00	2.380	6.51	26.2	170.61	0.013	2.16	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	2	L	G3-2-L	2013/2/15 8:30	2.690	6.43	68.5	440.58	0.035	15.54	EF	JICA	Surveyline is not on G3	×A
Bago Old Bridge(DS)	G3	2	R	G3-2-R	2013/2/15 9:30	2.680	6.06	68.5	415.23	0.037	15.25	EF	JICA	Surveyline is not on G3	×A
Bago Old Bridge(DS)	G3	3	L	G3-3-L	2013/6/21 14:49	4.397	3.92	63.3	279.47	0.259	72.39	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	3	R	G3-3-R	2013/6/21 14:30	4.297	4.25	63.3	272.07	0.258	70.08	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	4	L	G3-4-L	2013/6/24 9:00	5.447	3.91	66.1	333.86	0.392	130.99	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	4	R	G3-4-R	2013/6/24 10:00	5.447	4.89	66.1	323.32	0.430	139.02	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	5	L	G3-5-L	2013/6/26 9:00	5.927	3.91	66.9	357.38	0.508	181.68	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	5	R	G3-5-R	2013/6/26 7:50	5.897	5.29	66.9	353.90	0.448	158.43	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	6	L	G3-6-L	2013/6/27:08:30	6.142	3.85	68.3	362.40	0.647	234.65	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	6	R	G3-6-R	2013/6/27:09:30	6.142	5.35	68.3	365.59	0.633	231.24	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	7	L	G3-7-L	2013/6/27:16:00	6.392	3.97	68.7	359.99	0.665	239.39	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	7	R	G3-7-R	2013/6/27:17:00	6.442	5.67	68.7	389.69	0.645	251.33	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	8	L	G3-8-L	2013/7/2 0:00	5.657	5.77	66.6	384.55	0.417	160.00	ADCP	JICA	L-R Measurement	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	8	R	G3-8-R	2013/7/2 0:00	5.657	5.63	69.4	391.18	0.394	154.00	ADCP	JICA	R-L Measurement	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	8	M	G3-8-M	2013/7/2 0:00	5.657	5.82	65.0	378.10	0.418	157.00	ADCP	JICA	Mean of Measurements	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	9	M	G3-9-M	2013/7/24 0:00	7.247	6.89	72.6	500.10	0.766	383.00	ADCP	JICA	Mean of Measurements	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	10	M	G3-10-M	2013/7/29 0:00	7.087	7.04	66.3	466.80	0.748	349.00	ADCP	JICA	Mean of Measurements	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	11	U	G3-11-U	2013/8/1 10:20	8.377	7.46	77.0	574.78	1.372	788.60	FL	JICA	Float Method due to Flood	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	12	U	G3-12-U	2013/8/2 9:40	8.557	7.63	77.4	590.75	1.367	807.39	FL	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(DS)	G4	13	M	G4-13-M	2013/8/6 0:00	7.777	7.43	73.7	547.60	0.994	544.00	ADCP	JICA	Mean of Measurements	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	13	M	G3-13-M	2013/8/21 0:00	8.257	8.39	75.7	634.90	1.130	718.00	ADCP	JICA	Mean of Measurements	○
Bago Old Bridge(DS)	G3	14	M	G3-14-M	2013/8/22 0:00	8.857	8.01	73.6	589.60	1.180	696.00	ADCP	JICA	Unsteady flow ?	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	12	L	G3-12-L	2013/9/5 11:40	5.997	3.92	65.7	322.78	0.424	136.96	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	13	R	G3-13-R	2013/9/5 11:00	6.007	4.94	63.8	315.17	0.438	138.18	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	13	L	G3-13-L	2013/9/5 9:00	6.017	3.81	65.1	342.51	0.404	138.29	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	14	R	G3-14-R	2013/9/5 10:00	6.017	5.16	61.1	315.29	0.429	135.11	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	15	M	G3-15-M	2013/9/21 0:00	5.987	6.32	66.6	420.60	0.855	360.00	ADCP	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	15	M	G3-15-M	2013/9/21 0:00	5.987	6.48	66.8	433.10	0.901	433.10	ADCP	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	16	M	G3-16-M	2013/10/7 0:00	5.087	5.85	58.8	343.90	0.504	173.00	ADCP	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	16	M	G3-16-M	2013/10/7 0:00	5.087	4.97	57.7	286.50	0.519	149.00	ADCP	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	17	L	G3-17-L	2013/10/22 13:30	3.747	4.39	63.0	276.45	0.480	132.71	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	17	R	G3-17-R	2013/10/22 13:30	3.747	4.37	63.00	275.05	0.491	134.98	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	23	L	G3-23-L	2013/11/14 9:00	3.987	4.26	61.0	279.00	0.391	108.99	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	23	R	G3-23-R	2013/11/14 10:00	3.967	4.20	61.0	256.50	0.399	102.44	EF	JICA	-do-	×V
Bago Old Bridge(DS)	G3	24	L	G3-24-L	2013/12/2 14:15	3.067	3.18	60.5	192.35	0.198	38.08	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	24	R	G3-24-R	2013/12/2 13:30	3.127	3.19	60.5	192.75	0.183	35.35	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	25	L	G3-25-L	2013/12/26 15:15	1.912	2.61	55.8	145.41	0.044	6.33	EF	JICA		○
Bago Old Bridge(DS)	G3	25	R	G3-25-R	2013/12/26 14:30	1.912	2.48	55.8	138.21	0.038	5.31	EF	JICA		○

\*1 L-R: Left to Right, R-L:Right to Left

\*2 Mean Water Level based on elevation

\*3 FL:Float Method, EF:Electromagnetic Flow Meter,ADCP:Acoustic Doppler Current Profiler

\*4 Data is elvaluated with Velocity(xV) and Area(xA), and used only reliable Data (○)

表 4-4-4-7 (2/2) 観測結果要約表(バゴ旧橋 G3 観測所 上流)

Station Name	Station ID	Survey No.	Direction *1/	Measurement No	Date (Y/M/D:H:M)	Mean Water Level*2/ (m)	Mean Water Depth (m)	Width (m)	Area (m2)	Mean Velocity (m/sec)	Discharge (m3/sec)	Method*3/	Surveyer	Remarks	Data Reliability *4/
Bago Old Bridge(US)	G3	1	L	G3-1-L	2013/1/18 0:00	2.210	-	-	-	-	Nil	EF	JICA	U/S of Observation Line	○
Bago Old Bridge(US)	G3	1	R	G3-1-R	2013/1/18 17:00	2.100	2.00	43.0	85.90	0.010	0.87	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	2	L	G3-2-L	2013/3/3 7:30	2.940	1.90	65.7	124.92	0.039	2.53	EF	JICA	-do-	XQ
Bago Old Bridge(US)	G3	2	R	G3-2-R	2013/3/3 9:00	2.860	1.85	65.5	121.05	0.045	2.91	EF	JICA	-do-	XQ
Bago Old Bridge(US)	G3	3	L	G3-3-L	2013/3/9 7:45	2.765	1.85	65.0	120.30	0.035	2.27	EF	JICA	-do-	XQ
Bago Old Bridge(US)	G3	3	R	G3-3-R	2013/3/9 9:00	2.735	1.78	64.8	115.55	0.055	3.56	EF	JICA	-do-	XQ
Bago Old Bridge(US)	G3	4	L	G3-4-L	2013/3/20 8:30	2.640	1.68	63.7	107.30	0.036	3.84	EF	JICA	-do-	XQ
Bago Old Bridge(US)	G3	4	R	G3-4-R	2013/3/20 10:30	2.640	1.66	63.7	105.79	0.028	2.96	EF	JICA	-do-	XQ
Bago Old Bridge(US)	G3	5	L	G3-5-L	2013/4/5 7:30	2.670	1.76	65.0	114.65	0.056	6.41	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	5	R	G3-5-R	2013/4/5 8:30	2.670	1.75	65.0	113.95	0.055	6.29	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	6	L	G3-6-L	2013/4/20 7:00	2.800	1.85	65.0	120.10	0.061	3.93	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	6	R	G3-6-R	2013/4/20 10:00	2.800	1.81	65.0	117.50	0.061	3.95	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	7	L	G3-7-L	2013/5/5 9:30	2.385	1.80	65.0	117.20	0.047	5.55	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	7	R	G3-7-R	2013/5/5 8:00	2.380	1.81	65.0	117.60	0.048	5.68	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	8	L	G3-8-L	2013/5/19 9:40	3.030	2.02	65.0	131.25	0.200	26.25	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	8	R	G3-8-R	2013/5/19 10:50	3.030	2.00	65.0	130.00	0.207	26.91	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	9	L	G3-9-L	2013/6/21 13:00	4.597	3.94	71.1	242.97	0.259	63.02	EF	JICA	-do-	○
Bago Old Bridge(US)	G3	9	R	G3-9-R	2013/6/21 11:40	4.597	3.22	71.1	228.97	0.285	65.35	EF	JICA	-do-	○
Bago Bridge(at Bridge)	G3*/5/	1	*	G3*/5/-1.*	2012/6/6 0:00	6.260	5.70	78.0	444.20	0.608	268.18	ADCP	ID	Diffrent Surveyline	-
Bago Bridge(DS)	G3'	2	*	G3'-2.*	2013/7/27 0:00	8.620	6.17	90.2	556.90	1.252	697.12	ADCP	ID	-do-	-
Bago Bridge(US)	G3'	2	*	G3'-2.*	2012/7/27 0:00	8.680	6.61	88.8	587.30	1.159	680.78	ADCP	ID	-do-	-
Bago Bridge(US)	G3'	3	*	G3'-3.*	2012/7/28 0:00	8.460	6.21	91.8	569.90	1.094	622.83	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(DS)	G3'	4	*	G3'-4.*	2012/8/7 0:00	8.700	6.89	83.9	577.90	1.124	647.84	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(DS)	G3'	4	*	G3'-4.*	2012/8/7	8.640	6.066	91.300	553.800	1.213	671.966	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(DS)	G3'	4	*	G3'-4.*	2012/8/7	8.660	6.328	88.940	562.800	1.217	684.858	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(at Bridge)	G3'	5	*	G3'-5.*	2012/9/11	8.180	6.313	89.090	562.400	1.075	604.172	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(US)	G3'	5	*	G3'-5.*	2012/9/11	8.130	6.331	89.690	567.800	1.062	603.083	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(US)	G3'	6	*	G3'-6.*	2012/9/21	5.060	3.999	75.240	300.900	0.509	153.241	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(DS)	G3'	6	*	G3'-6.*	2012/9/21	4.920	3.632	70.160	254.800	0.671	158.130	ADCP	ID	-do-	-
Bago Old Bridge(at Bridge)	G3'	7	*	G3'-7.*	2012/10/5	4.540	3.822	67.300	257.200	0.591	151.147	ADCP	ID	-do-	-

\*1 L-R: Left to Right, R-L:Right to Left

\*2 Mean Water Level based on elevation

\*3 FL:Float Method, EF:Electromagnetic Flow Meter,ADCP:Acoustic Doppler Current Profiler

\*4 Data is evaluated with Velocity(xV) and Area(xA), and used only reliable Data (○)

#### 4-4-5 流量観測結果の照査

流量観測は、3 観測所で乾季の低水位では電磁流量計、また雨季の高水位では ADCP を主体に、また洪水時には浮子を使い行った。合計 140 回程度の観測記録が得られたが、これらについて、H-A 曲線、H-V 曲線、H-Q 曲線、H- $\sqrt{Q}$  曲線などの作成を通じデータ信頼性についての照査を行った。照査により、ダウェイ観測所で 3 割強 (14/40 記録)、タマビン観測所で 1 割弱 (2/47 記録)、バゴ旧橋観測所で 4 割 (22/58 記録) が観測条件の相違、記載ミスなどから信頼性に欠けると判断された。特にバゴ旧橋観測所では、潮汐による背水の影響が大きく (最大水位 1m)、観測時 (月齢) によるデータのバラツキが目立った。記録の信頼性の判定結果を下表の流量観測総括表に、また各地点の H-A 曲線、H-V 曲線、H-Q 曲線、H- $\sqrt{Q}$  曲線を図 4-4-5-1~4-4-5-3 に示す。

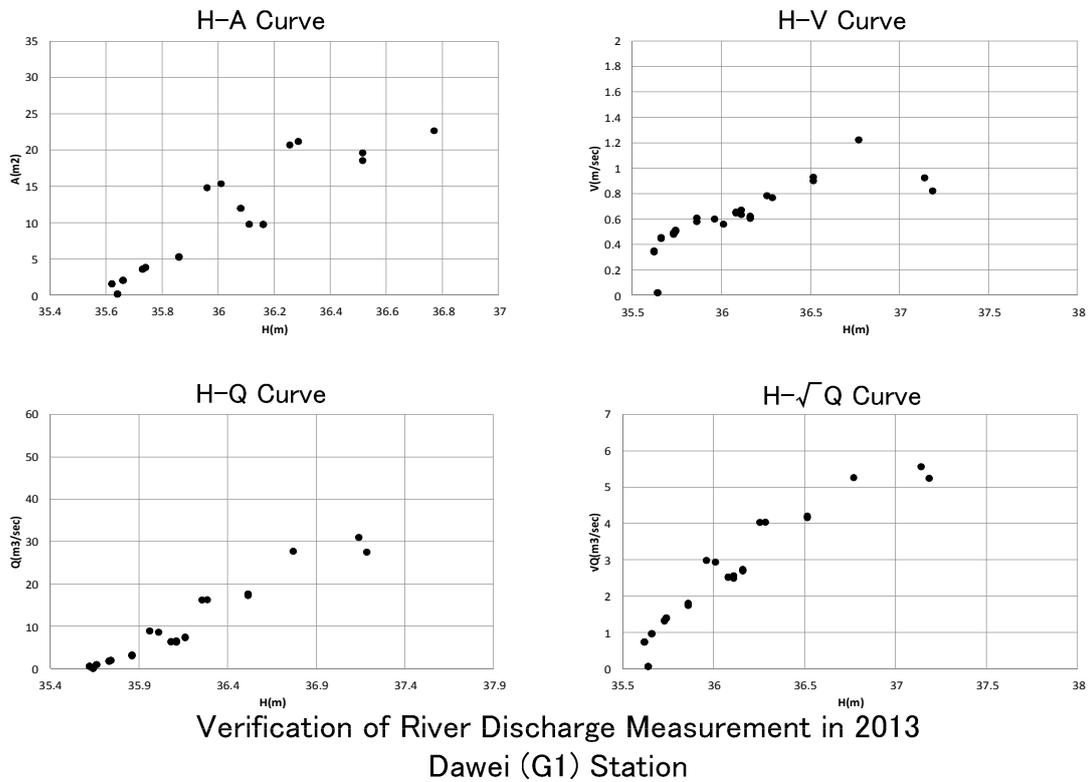


図 4-4-5-1 ダウェイ G1 観測結果照査図(H-A 曲線、H-V 曲線、H-Q 曲線、H- $\sqrt{Q}$  曲線)

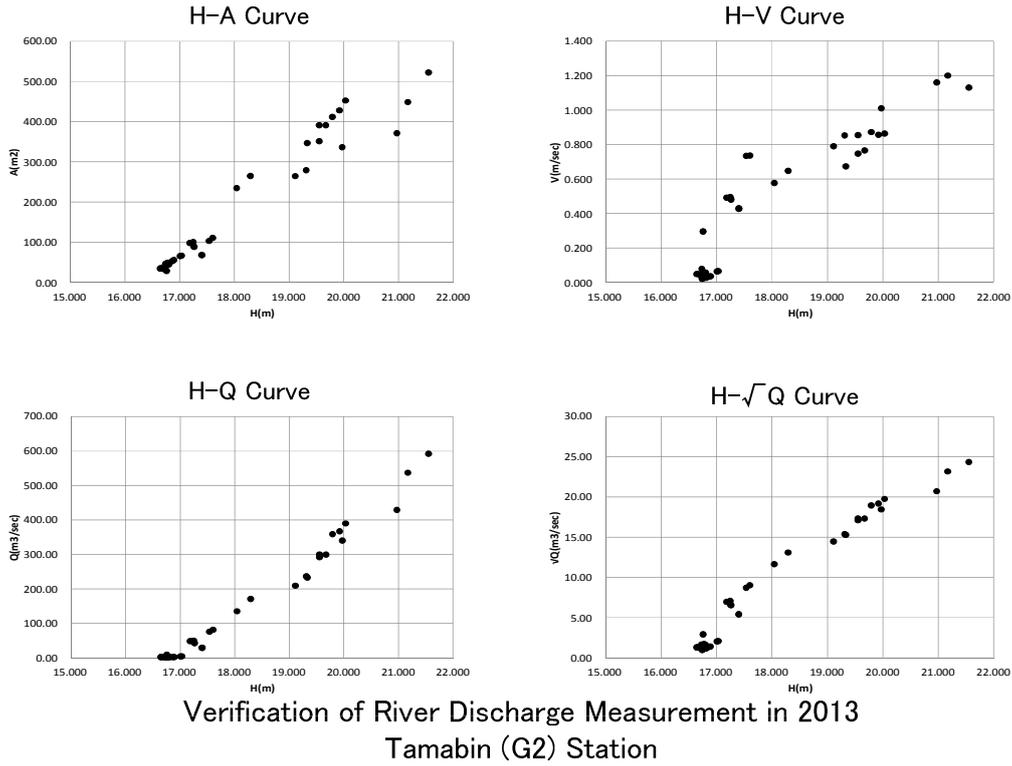


図 4-4-5-2 タマビン G2 観測結果照査図(H-A 曲線、H-V 曲線、H-Q 曲線、H-√Q 曲線)

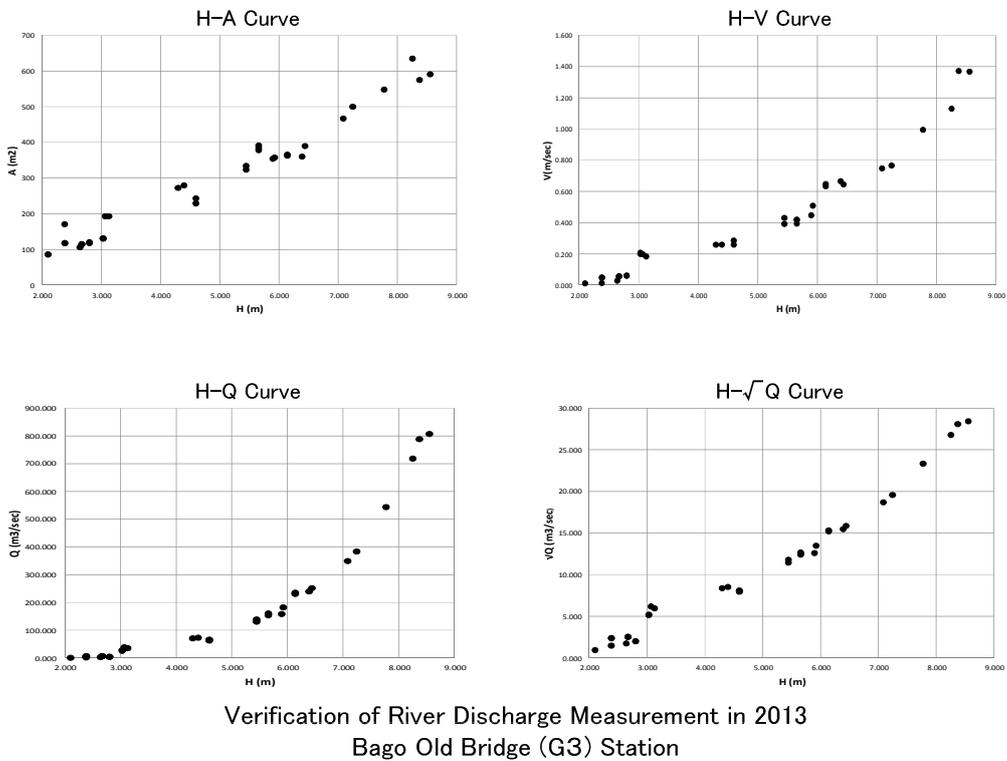


図 4-4-5-3 バゴー旧橋 G3 観測結果照査図(H-A 曲線、H-V 曲線、H-Q 曲線、H-√Q 曲線)

#### 4-4-6 水位流量曲線

1 水文年(2013年1月～2014年2月)の観測結果を基に各観測点での水位流量曲線を作成した。灌漑局水文部によって行われた2012年の高水期(7月末～9月上旬)の観測(灌漑局報告書、Feb.2013<sup>6</sup>)及び本調査で得られた水位(H)と流量(Q)を検証し水位流量曲線を作成した。

水位流量曲線式は2次式を用い、水位を縦軸に流量を横軸とする曲線座標上に、水位(H)及び流量(Q)の値をプロットし、これから最小二乗法によって関係式を求めた。

基本式はH(m)、流量をQ(m<sup>3</sup>/sec)として、

$$Q = aH^2 + bH + c$$

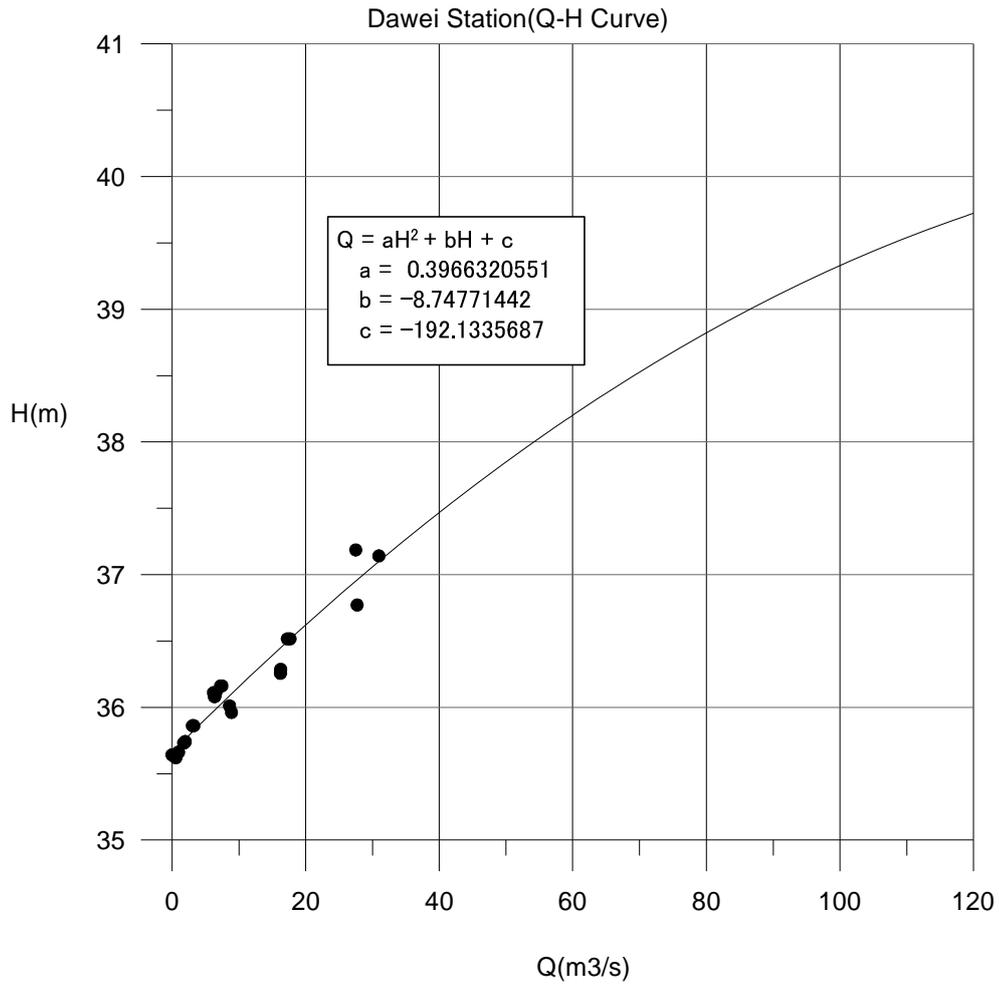
を適用した。また、水位流量曲線を用いて流量の算出は、2013年の流量観測値の範囲内において流量を算出し、また、水位流量曲線式の定数を求める際には、低水位部分で流量値がマイナスとならない制限を設けて同定した。図4-4-6-1～図4-4-6-3に各観測点の水位流量曲線図(H-Q図)を示す。

目的の異なった観測結果の合成であることから中間領域の観測値に欠損が認められるが、河川断面が単純なV字～凹型であることから、単一式の2次曲線で回帰された(R<sup>2</sup>=90%)<sup>7</sup>。また、得られた曲線式を使い同地点の警戒水位(910 cm)の流量を求めると、洪水時の流量は711 m<sup>3</sup>/secと算出された。

---

<sup>6</sup> Report for the Prevention of Flood Bago City (Reason of Flooded and Ebb-tide (Than Win, Hydro Branch ID, Feb 2013)

<sup>7</sup> H-Q図およびH-√Q図をみると、低水位と高水位で曲線分離が必要であるが、中間域のデータがないため水位区間が判定できず単一の2次曲線で回帰した。



Fit Results

Fit 2: Polynomial

Equation  $Y = -192.1335687 - 8.74771442 * X + 0.3966320551 * \text{pow}(X,2)$

Degree = 2

Number of data points used = 27

Average X = 36.069

Average Y = 8.42589

Coefficients:

Degree 0 = -192.1335687

Degree 1 = -8.74771442

Degree 2 = 0.3966320551

Degree: 0

Residual sum of squares = 2154.98

Coef of determination, R-squared = 0

Degree: 1

Residual sum of squares = 126.932

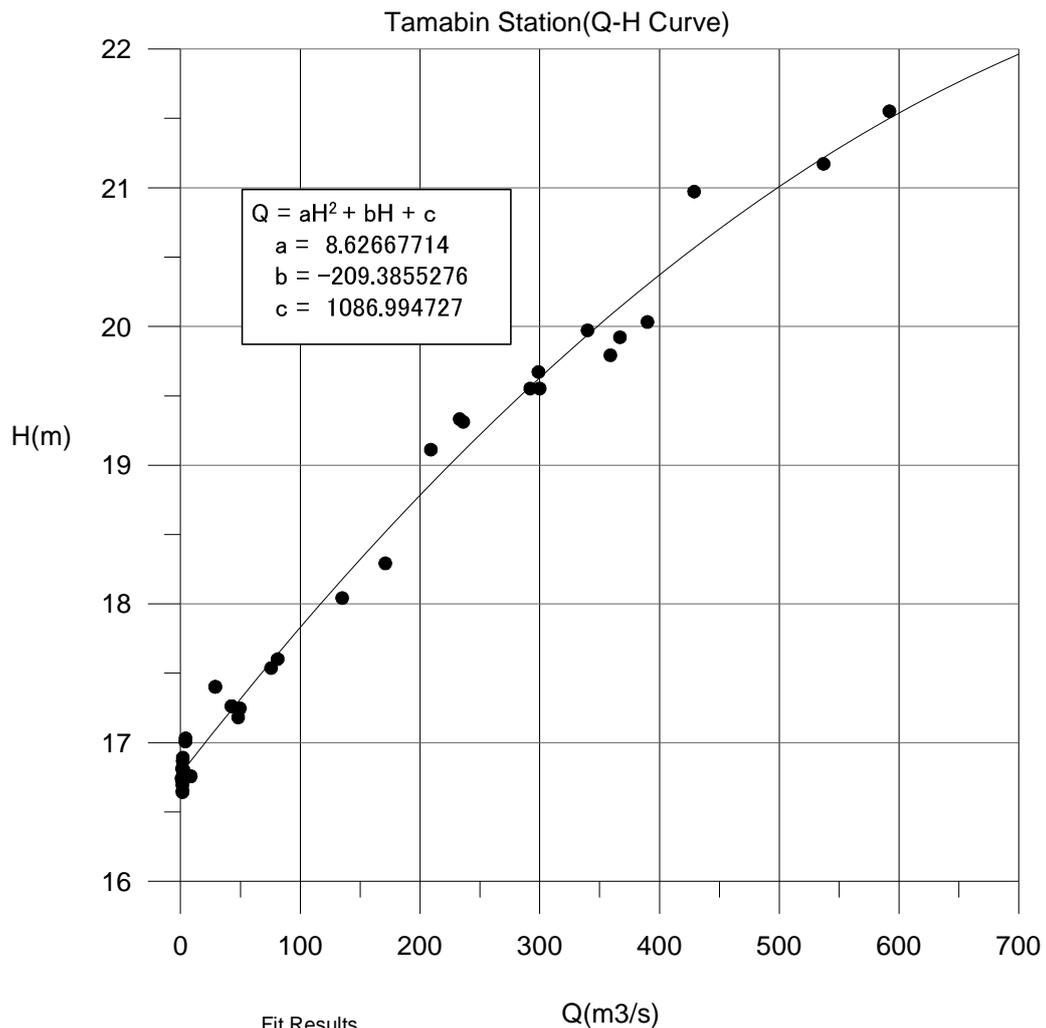
Coef of determination, R-squared = 0.941098

Degree: 2

Residual sum of squares = 126.736

Coef of determination, R-squared = 0.94119

図 4-4-6-1 水位(H)-流量(Q) 曲線(ダウエイ(G1)観測所)



Fit 2: Polynomial  
Equation  $Y = 1086.994727 - 209.3855276 * X + 8.62667714 * \text{pow}(X,2)$

Degree = 2  
Number of data points used = 44  
Average X = 17.9019  
Average Y = 121.487

Coefficients:  
Degree 0 = 1086.994727  
Degree 1 = -209.3855276  
Degree 2 = 8.62667714

Degree: 0  
Residual sum of squares = 1.19317E+006  
Coef of determination, R-squared = 0

Degree: 1  
Residual sum of squares = 22928.6  
Coef of determination, R-squared = 0.980783

Degree: 2  
Residual sum of squares = 13936.1  
Coef of determination, R-squared = 0.98832

図 4-4-6-2 水位(H)-流量(Q) 曲線(タマビン(G2)観測所)

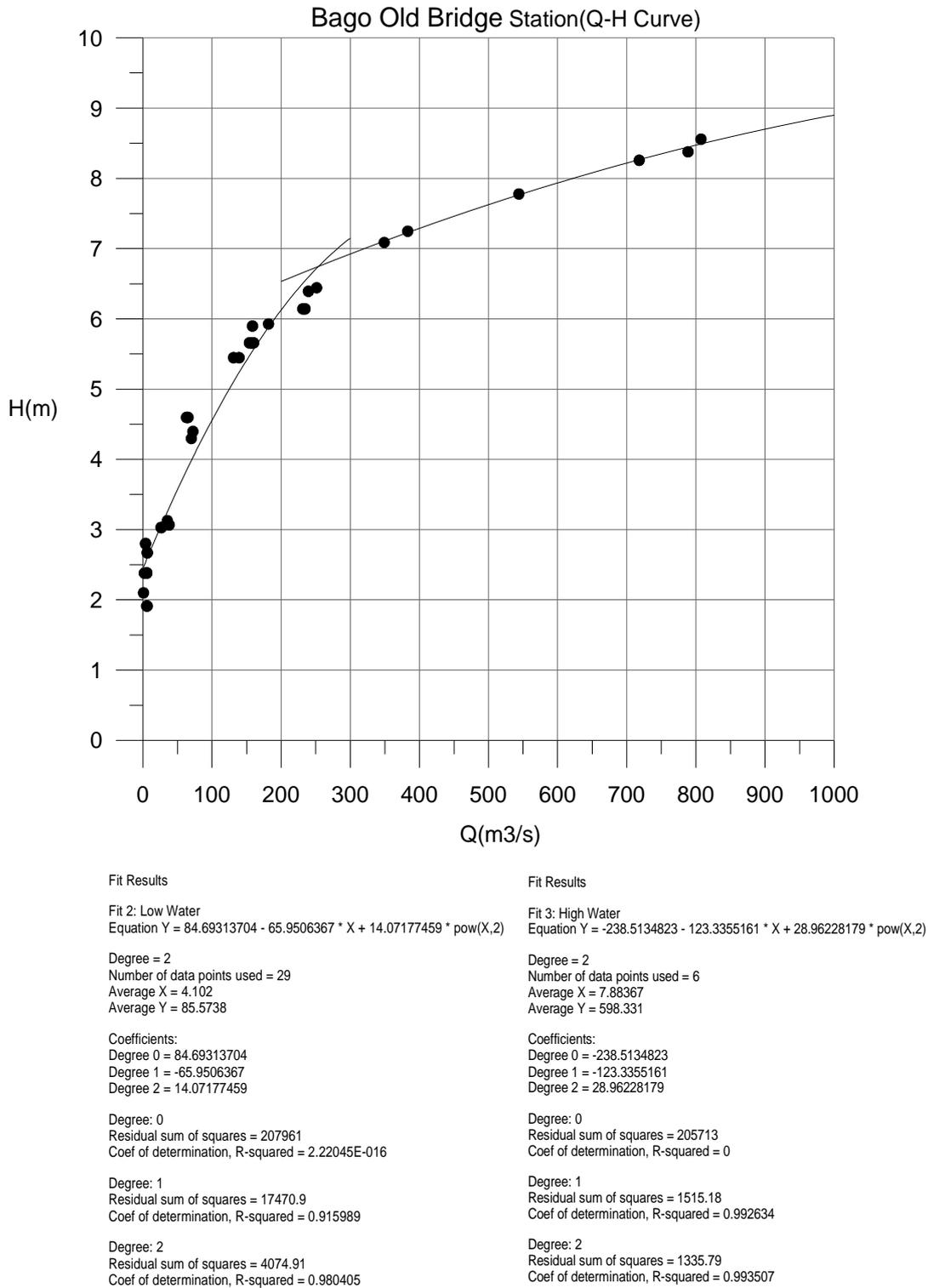


図 4-4-6-3 水位(H)-流量(Q) 曲線(バゴ旧橋(G3)観測所)

#### 4-4-7 河川流量の計算及び流量ハイドログラフ

流量観測によって得られた水位-流量曲線を基に、日平均河川水位から日平均流量を求めた。図 4-4-7-1 に流量ハイドログラフを示す。各々、雨量に応じ 8 月末と 10 月末にピークを持つが日平均流量(最大)で、上流から、ダウェイ観測所(G1)で 150m<sup>3</sup>/sec、タマビン観測所(G2)で 700 m<sup>3</sup>/sec、バゴ旧橋観測所(G3)で 950 m<sup>3</sup>/sec となる。また 10 分流量との比較では、3 割程度 10 分流量が大きな値が観測された。

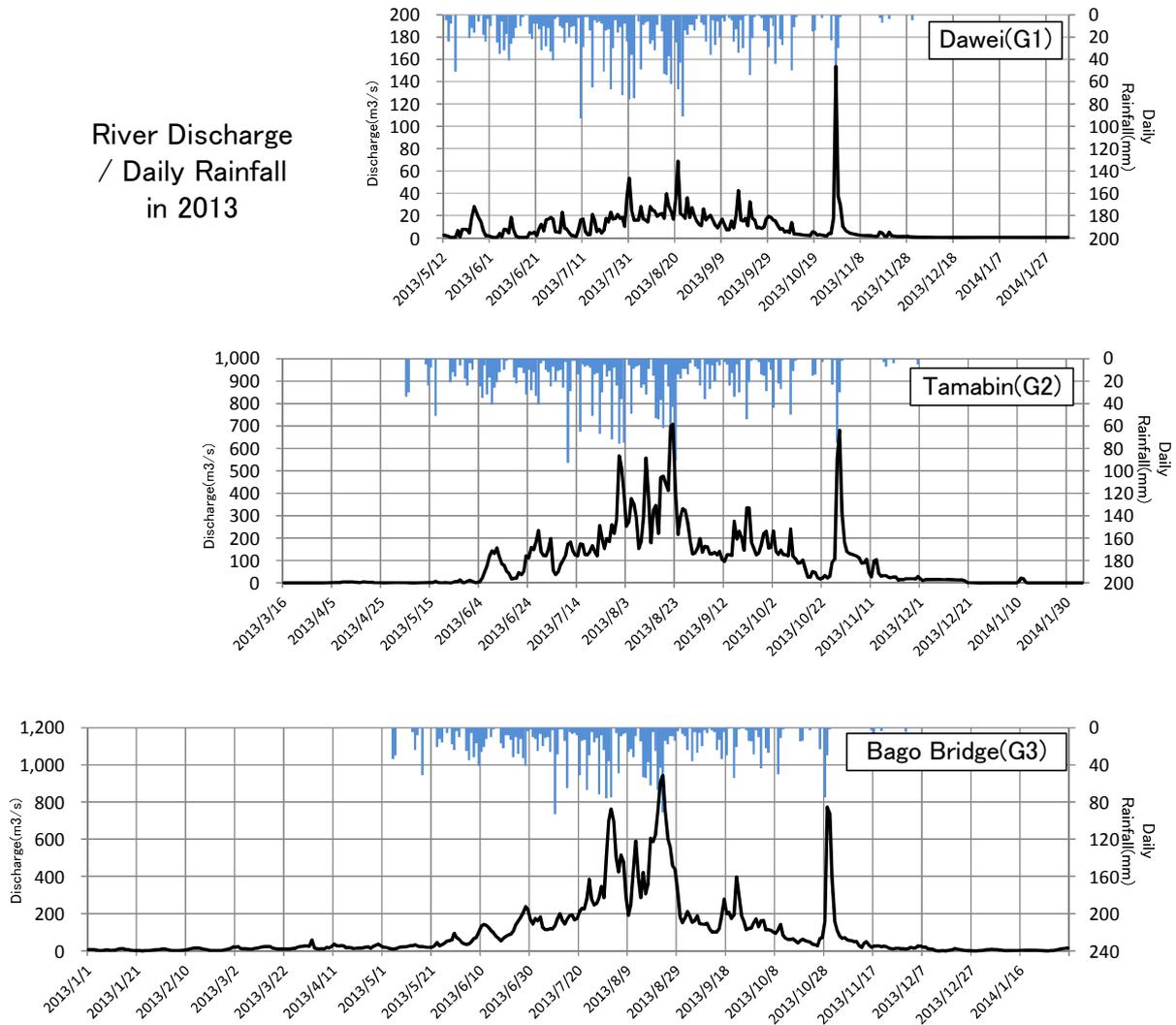


図 4-4-7-1 流量ハイドログラフ(2013 年、G1, G2 及び G3 観測所)

#### 4-4-8 他観測所との比較

##### (1) DMH 観測所記録

バゴ旧橋観測所(G3)の下流 70m には、運輸省気象水文局 (DMH) の所管する流量観測所があり、1 日 3 回の観測を行い河川流量への変換を行っている。同結果と今回調査結果 (2013 年) の比較を行うと図 4-4-8-1 のとおりとなる。

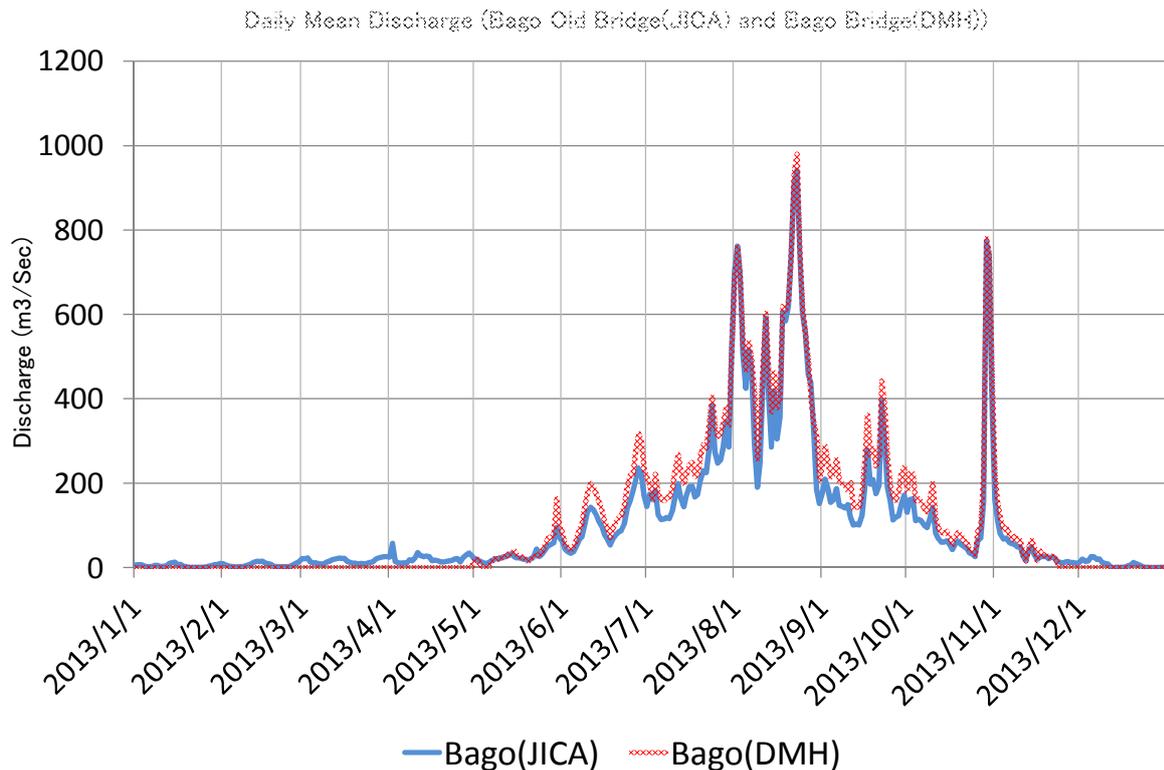


図 4-4-8-1 河川流量の比較(バゴ旧橋・バゴ橋)

高水位については両観測所とも大差ないが、低水位 (WL4m 以下) についてはバゴ旧橋観測所(G3)が小さな値となっている。これらの低水位区間では、最大 1 m の潮汐の影響が知られていることから、水位-流量曲線作成時における潮汐の影響を如何に評価したかが、両者の相違の原因と想定される。

##### (2) 灌漑局観測記録

灌漑局水文部は、バゴ橋観測所 (DMH 所管) の上流 230m に位置するバゴ旧橋に観測地点を設け、観測を続けている。日単位の水位標の読みとりによる水位観測、及び ADCP 機器による流量観測を実施している。特に 2011 年以降の 2 年間においては、昨年 (2012 年) より運用

を始めた灌漑用の貯水池（サルダム、コドウクェダム、シュエランダム）の洪水調整機能の評価を目的に観測を実施している(灌漑局 報告書、2013年2月<sup>8</sup>)。同調査結果より、灌漑局水文部は「2012年で雨量が洪水年の2011年と比較して多いにも関わらず洪水が生起していないことから、新設3ダムの洪水調節効果が確認された」と結論づけている。

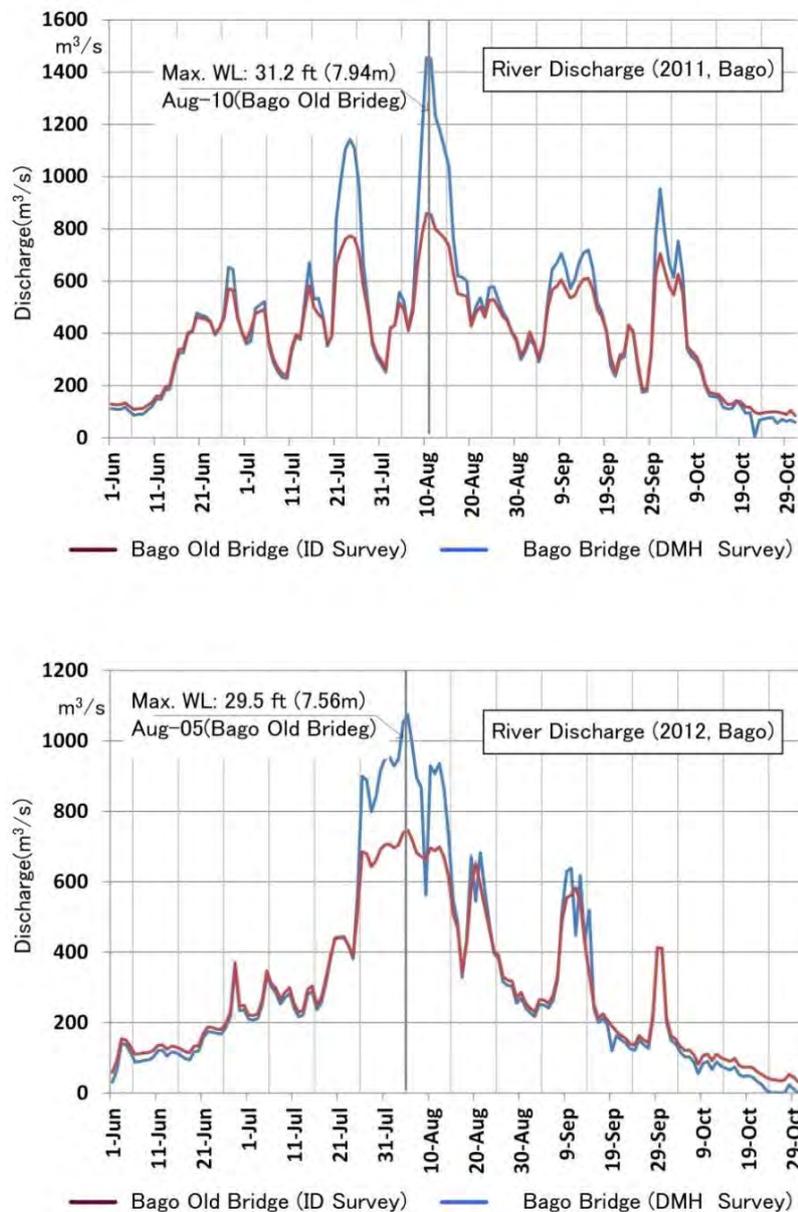


図 4-4-8-2 ID 観測結果および DMH 観測所結果(バゴー旧橋観測所およびバゴー橋観測所)

また、河川流量の算定において、灌漑局の観測結果には、バゴー橋観測所（DMH 所管）との間に高水流量に大きな違いが認められるが(図 4-4-8-2 参照)、これらの違いの原因として、ADCP

<sup>8</sup> Report for the Prevention of Flood Bago City (Reason of Flooded and Ebb-tide (Than Win, Hydro Branch ID, Feb 2013))

による洪水流量の測定と精度向上が挙げられる。

1) 河川流量（1972年～2013年）

バゴ橋付近においては河道形状に大きな経年変化がないと仮定し、今回得られた水位-流量曲線を過去の河川水位記録（1972年～2013年）に適用し、40年間の流量を求めた。図4-4-8-3にこれらの月別変化を示す。換算流量（月流量）及び月平均水位を見る限り、過去40年の間では水文年による変動を大きいものの顕著な経年的な増減は認められなかった。

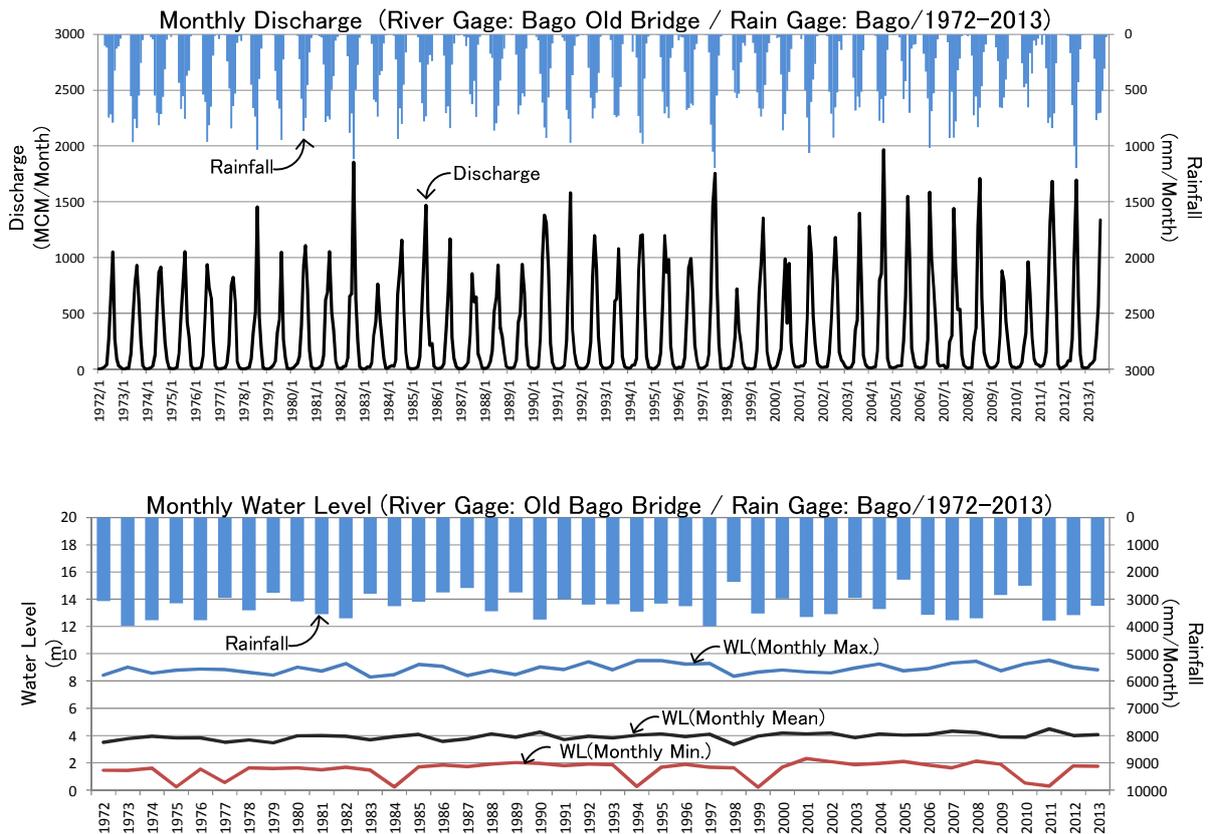


図 4-4-8-3 河川流量(月流量、1972年～2013年)

2) 年間最大日流量（1972年～2013年）

既存記録より再現したバゴ旧橋観測所（G3）の年間最大日流量、および運輸省気象水文局（DMH）のザウンツ観測所の年間最大日流量を図4-4-8-4に示す。年間最大日流量は流域開発の始まる1980年代初頭より変動は増大するが、一方で、ザンツダム（1999年貯水開始）、及びサルダム、コドウクエダム、シュエランダム（2012年貯水開始）建設による洪水調整効果が認められる。同時に、これらダム建設を契機とした流域開発も進むと見込まれることから、洪水のリスクは依然として残される。

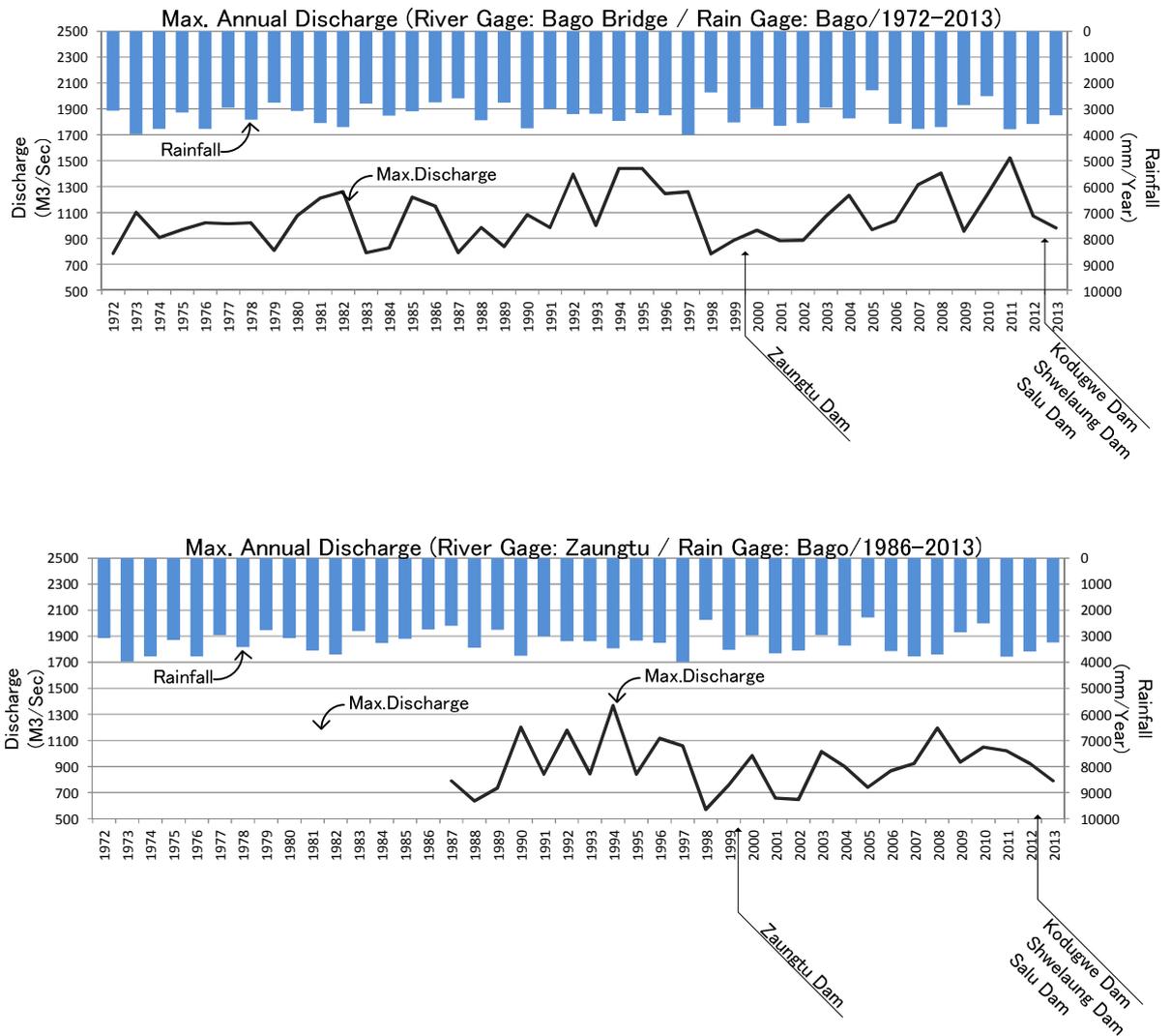


図 4-4-8-4 年間最大日平均流量 (バゴ橋及びザンツ DMH 観測所)

#### 4-4-9 表流水の水質

バゴ川水系にあるガモエ貯水池とシッタン川 (シッタン橋地点) における水質試験結果を表 4-4-9-1 に示す。また、ティラワ経済特区近傍にある 3 貯水池の水質試験結果を表 4-4-9-2 に示す。シッタン橋地点の河川水に 1 mg/l を越える鉄イオンが含まれていることが特徴的である。

表 4-4-9-1 ガモエ貯水池とシッタング川の水質試験結果

No	Parameter	Symbol	Unit	Sittaung River (Sittaung Bridge)				Ngamoeyeik Reservoir			
				Jul-11	Sep-11	Jan-12	Mar-12	Jun-10	Sep-10	Nov-10	Feb-11
1	Calcium	Ca <sup>++</sup>	mg/l	9.4	10.4	11.2	15.0	6.4	6.4	7.4	4.8
2	Magnesium	Mg <sup>++</sup>	mg/l	10.0	10.3	10.7	11.2	8.3	4.9	5.0	17.5
3	Sodium	Na <sup>+</sup>	mg/l	9.9	9.9	10.3	12.6	5.3	8.7	8.0	32.6
4	Potassium	K <sup>+</sup>	mg/l	1.6	2.0	1.6	2.0	2.0	2.0	2.0	2.3
5	Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	mg/l	12.0	12.6	12.0	12.0	ND	ND	ND	ND
6	Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	73.2	73.2	73.2	73.2	6.1	24.4	24.4	24.4
7	Sulphate	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/l	0.5	0.5	1.0	0.5	74.9	49.9	60.0	125.8
8	Chloride	CL <sup>-</sup>	mg/l	10.6	11.3	10.6	10.6	5.0	2.5	6.0	59.2
1	Calcium	Ca <sup>++</sup>	me/l	0.47	0.52	0.56	0.75	0.32	0.32	0.37	0.24
2	Magnesium	Mg <sup>++</sup>	me/l	0.82	0.85	0.88	0.92	0.68	0.40	0.41	1.44
3	Sodium	Na <sup>+</sup>	me/l	0.43	0.43	0.45	0.55	0.23	0.38	0.35	1.42
4	Potassium	K <sup>+</sup>	me/l	0.04	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
5	Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup>	me/l	0.40	0.42	0.40	0.40	ND	ND	ND	ND
6	Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	me/l	1.20	1.20	1.20	1.20	0.10	0.40	0.40	0.40
7	Sulphate	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	me/l	0.01	0.01	0.02	0.01	1.56	1.04	1.25	2.62
8	Chloride	CL <sup>-</sup>	me/l	0.30	0.32	0.30	0.30	0.14	0.07	0.17	1.67
	Total Cations		me/l	1.76	1.85	1.93	2.27	1.28	1.15	1.18	3.16
	Total Anions		me/l	1.51	1.53	1.52	1.51	1.80	1.51	1.82	4.69
9	Total Hardness	T-H	mg/l	64.5	68.5	72.0	83.5	50.0	36.0	39.0	84.0
10	Iron	Fe	mg/l	1.25	1.00	1.20	1.00	-	-	-	-
11	Total Dissolved Solids	TDS	mg/l	115.2	115.8	117.1	131.2	64.6	70.4	86.4	198.4
12	Soluble Sodium Percentage	SSP	%	24.4	23.2	23.3	24.2	18.0	33.0	29.7	44.9
13	Sodium Adsorption Ratio	SAR	-	0.24	0.52	0.53	0.60	0.32	0.63	0.56	1.54
14	Residual Sodium Carbonate	RSC	me/l	0.31	0.25	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	pH	pH		7.15	7.17	7.05	7.25	7.20	7.37	7.52	7.32
16	Electrical Conductivity	Ecw	µS/cm	180	181	183	205	101	110	135	310
17	Turbidity	Turb	NTU	257	375	426	237	2	1	2	10
18	Salinity	Sal	%	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
19	Temperature	Temp	C	28.7	28.5	28.8	29.3	30.6	29.0	29.0	28.7
20	Dissolved Oxygen	DO	mg/l	5.43	5.49	5.68	5.49	-	-	-	-
21	USDA Classification			C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>	C <sub>1</sub> S <sub>1</sub>
	ND = Not Detected										

Source: ID, MoIA. Analyzed by Investigation Branch, ID

表 4-4-9-2 ティラワ経済特区近傍三貯水池の水質試験結果

Reservoir		Zarmani-Inn	Ban Bwe Gone	Thilawa
Sampling Date		30/07/2004	30/07/2004	30/08/2004
Item	Unit			
Appearance		Rusty	Slightly Turbide	Rusty
Colour	Platinum, Cobalt Scale	30	54	14
Turbidity	Silica Scale Unit	2.2	8.8	2.2
pH	-	6.5	7.0	8.7
Total Solids	mg/l	90.0	252.0	104.0
Total Hardness	mg/l as CaCo3	14.0	16.0	27.0
Total Alkalinity	mg/l as CaCo3	13.0	14.0	20.0
Calcium	mg/l	2.4	2.4	6.4
Magnesium	mg/l	2.2	2.8	3.1
Chloride	mg/l	58.4	130.4	44.0
Sulphate	mg/l	5.8	11.5	18.2
Total Iron	mg/l	1.6	1.4	1.0

Source: D.H.S.H.D, Ministry of Construction

Analyzed by National Health Laboratory, Ministry of Health

## (1) 調査概要

### 1) 調査位置と目的

表 4-4-9-3 に水質調査地点の一覧と調査目的を、また、図 4-4-9-1 に水質調査の位置を示す。バゴー川とその支流、および、ティラワ経済特区近傍 3 貯水池の基本物理水質項目、塩素イオン濃度、および農薬濃度の調査を実施した。

### 2) 調査項目、方法および頻度

表 4-4-9-4 に水質調査の作業内容を、また、表 4-4-9-5 に水質調査の測定・分析項目と方法を示す。表 4-4-9-4 に示すように、表流水の水質調査は、2011 年 11 月から 2013 年 10 月の 1 年間であった。

なお、乾季と雨季における 4 か所の農薬についての水質調査は、各地点 3 深度の採水を当初予定していたが、時系列水質調査の結果、深度方向の水質に大差がないため、一深度のみの採水とした。

農薬の分析項目については、表 4-4-9-7 に示す 2011 年から 2012 年におけるミャンマーの農薬輸入リストのうち、WHO の飲用水ガイドライン値があるもの 6 項目（表 4-4-9-6 参照）を対象とした。

表 4-4-9-3 表流水の水質モニタリング地点一覧

Classification	No,	Location	Purpose	Related Water Source
Bago River and its Tributary	S-1	Dawe River near Dawei dam site (plan)	WQ check of planned Dawe reservoir	Dawe Reservoir, Khayan River
	S-2	Bago River (upstream) near Zidaw village	WQ check of Bago River water before diverting to the left bank	Dawe Reservoir, Khayan River
	S-3	Bago River (upstream) upstream of Zaungtu Weir	WQ check of Bago River water at the diverting to the left bank	Dawe Reservoir, Khayan River
	S-4	Bago River (midstream) near wooden Bago bridge in Bago City	WQ check of Bago River mid-stream	Bago River (midstream )
	S-5	Bago River (midstream) near Tawa	Confirmation of saline water condition in Bago River	Bago River (downstream )
	S-6	La Gun Byin reservoir	WQ check of Lagyn Byin reservoir	La Gun Byin Reservoir
	S-7	Head of La Gun Byin main irrigation canal	WQ check of released water from La Gun Byin reservoir	La Gun Byin Reservoir
	S-8	La Gun Byin River (near end) a little upstream of Ngetpawdaw sluice gate	WQ check of La Gun Byin River	La Gun Byin Reservoir
	S-9	Ngamoyeik River (downstream) upstream of Nga Mo Yeik Sluice gate	WQ check of Nga Mo Yeik irrigation canal and river water at present	La Gun Byin Reservoir
	S-10	Khayan River (downstream) upstream of Pagandaung intake gate	WQ check of Khayan River	Dawe Reservoir, Khayan River
	S-11	Bago River(downstream) near Thanlyin Bridge	Confirmation of saline water condition in Bago River	Bago River (downstream )
	S-12	Near confluence of Yangon and Bago rivers	Confirmation of saline water condition in Bago River	Bago River (downstream )
Three Reservoirs near SEZ	R-1	Zamani inn reservoir	WQ check of reservoir	Three Reservoirs near SEZ
	R-2	Thilawa reservoir	WQ check of reservoir	Three Reservoirs near SEZ, New reservoir
	R-3	Ban Bwe Gon Reservoir	WQ check of reservoir	Three Reservoirs near SEZ

表 4-4-9-4 地表水水質調査項目及び試験数量

Place	Title of Work	Frequency and Duration of Work		Content of work	Measurement /Sampling Points	Sampling (times)												
						2012		2013										
						11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Bago River and its Tributaries	Time-series WQ Survey	2times/ mon at high tide for 12 months		1) Measurement of physical items in-situ 2) Chemical and biological analysis with sampled water. 3) Sampling for arsenic and heavy metals analysis (Samples to be sent to out of Myanmar)	S-1 ~S12at different depths	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Pesticide Water Quality Survey	1 time/ month for 10 months		Sampling (1000ml) and analysis in Japan for 6 pesticide items	S-6	-	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-
		1 times/seazom			S-3,S-5,S-9,S-10	-	-				1		1	-	-	-	-	-
Three reservoirs near SEZ	4. Sampling for Analysis of Agrochemicals (100ml)  (Samples to be sent to out of Myanmar)	4.1 Time-series Survey of Surface Water	Monthly for 10 months	1)In-situ measurement of physical items. 2) Sampling for chloride ion analysis (100ml) and measurement in laboratory. 3) Sampling and in-situ measurement for BOD(DO measurement in-situ and after 5days in lob)	R-1 (Zamani-Inn) R-2(Thilawa) R-3(Ban Bwe Gon)	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1
				Sampling (100 ml) and analysis in Japan for 6 pesticide items														

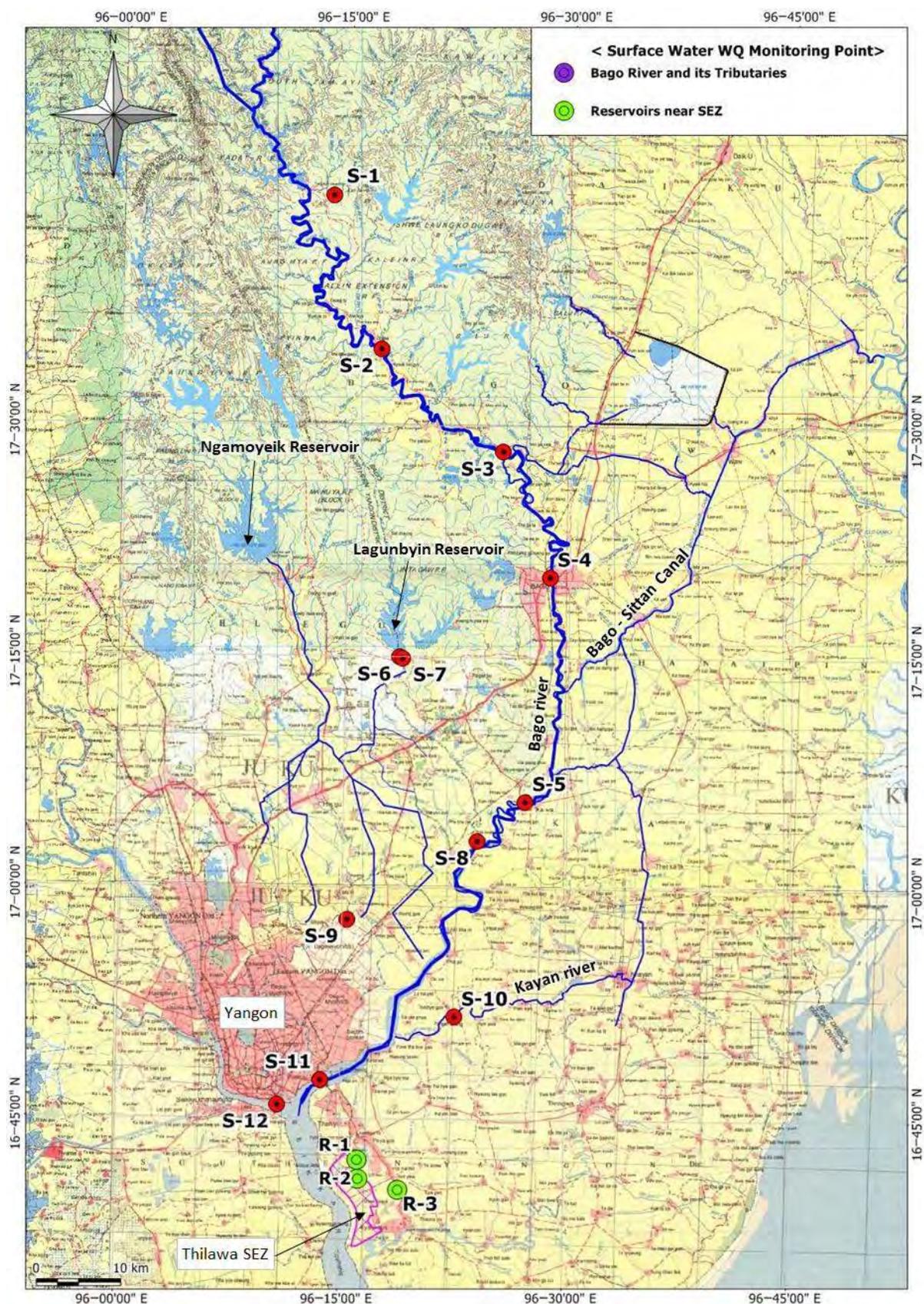


図 4-4-9-1 地表水の水質モニタリング位置図

表 4-4-9-5 表流水の水質モニタリング項目と調査方法

Item	Method	Measurement / Analysis Place	Sampling
Odor	By nose	In-situ	-
Taste	By tongue (if possible)		
Turbidity	Digital turbidity & color meter		
Color index	〃		
pH	Potable pH meter		
EC	Portable EC meter		
Temperature	Portable EC meter		
BOD	DO measurement with 5 days interval	In-situ and in laboratory	100 ml incubation bottle
Chloride	Portable chloride electrode	In laboratory	100 ml bottle
Pesticide 6 items	Instruments certified by Ministry of Health and Labor in Japan	In Japan	1000 ml bottle

表 4-4-9-6 農薬の分析対象項目

Name	WHO Drinking Water Guideline (4 <sup>th</sup> Edition)
2,4 D	0.03 mg/l
Atrazine	0.1 mg/l
Carbofuran	0.007 mg/l
Chlorpyrifos	0.03 mg/l
Dimethoate	0.006 mg/l
Pandimethalin	0.02 mg/l

表 4-4-9-7 農薬の輸入量(2011 年から 2012 年)と WHO 飲用水ガイドライン

No.	Active Ingredient	Imported Amount (TNE)	WHO Drinking-water Guideline Value/Description	Remarks
1	2,4 D	247	0.03 mg/l	
2	Abamectin 1.8%EC	189		
3	Acephate 75%SP	847		
4	Acetamidiprid 16% + Cypermethrin 72%EC	40		
5	Alpha Cypermethrin 5%EC	120		
6	Aminium Phosphide 56%Tb	139,584		Cereal fumigant
7	Atrazine 50% SC	20	0.1 mg/l	
8	Benfuracab 20%EC	10		
9	Benomyl	360		
10	Bifenthrin 10%EC	3		
11	Bispyriibac Sodium	26		
12	carbaryl 85%WP	20	Occurs in drinking-water at concentrations below those of health concern	
13	Carbendazim 50%	258		
14	Carbofuran	707	0.007 mg/l	
15	Carbosulfan	154		
16	Cartap 50%SP	31		
17	Cartap Hydrochloride 4%G	60		
18	Chlorothalonil	51	Unlikely occur in drinking water	
19	Chlorpyrifos	1,262	0.03 mg/l	
21	Copper Hydroxide	125		Used near SEZ.
22	Copper Oxychloride	60		
23	Cymoxanil 25%WP	50		
24	Cypermethrin 10%EC	800	Unlikely occur in drinking water	
25	Detamethrin	20	Unlikely occur in drinking water	
26	Difubenzuron	10		
27	Dimethoate 40%EC	454	0.006 mg/l	
28	Dimethomorph	60		
29	D-teramethrin 0.1% + Cyphenothrin 0.3%	11,268		Household insecticide
30	Fenoxaprop-P-ethyl + Ethoxysulfuron	20		
31	Fenopropathrin 20%EC	32		
32	Fenvalerate 20%EC	20		
33	Fipronil	90		
34	Fluazifop- Butyl 15%EC	10		
35	Formesafen 25%SL	10		
36	Formetanete Hydrochloride 20%SP	5		
37	Gibberellic Acid	125		
38	Glyphosate	397	Occurs in drinking-water at concentrations below those of health concern	
39	Hexaconazole 5%SC	20		
40	Imazethapyr 5%SC	10		
41	Imidacloprid	360		
42	Iprodione 50%WP	30		
43	Isoprothiolane 40%EC	10		
44	Kasugamycin	114		Effective for rice blast. Used near SEZ.
45	Lambda cyhalothrin	655		
46	Malathion	80	Occurs in drinking-water at concentrations below those of health concern	
47	Mancozeb	526		
48	Mepiquat chloride 5% SL	10		
49	Metalaxyl 25%WP	165		
50	Metofluthrin 5%EC	5		
51	NAA 0.3 + NOA 0.3%	20		
52	Nitrophenolate Mixture	40		
53	Orange Oil, Lemon 6%SC	10		
54	Oxadiazon	20		
55	oxyfluorfen 23.5%EC	8		
56	Pandimethalin 33%EC	10	0.02 mg/l	
57	Paraquat	36		
58	Ohenthoate 50%EC	30		
59	Pretilachlor	120		
60	Profenofos 50%EC	200		
61	Propiconazole 25%WP	150		
62	Propineb 70%WP	20		
63	Provalicarb 5.5% + Propineb 61.3%WP	20		
64	Pridaben 20%WP	20		
65	Quibclorac 25%SC	20		
66	Sodium ortho nitrophenolate	4		
67	Sulphur	320		
68	Terbufos 10%GR	10		
69	Thiodicarb 37.5%SC	80		
70	Thiomethoxam 25%WDG	20		
71	Thiophanate methyl	84		
72	Transfluthrin 0.06% + Permethrin + imiprothrin	121		
73	Tri Basic Copper Sulphate	40		
74	Valdamycin	20		
75	Zeta-Cypermethrin	8		

Note: Pesticide use information by Agriculture Department, MOAI

## (2) 調査結果

2012年11月から2013年7月上旬まで測定・分析が終了した結果の概要を以下に示す。

### 1) バゴー川および支流の時系列水質モニタリング結果

#### a) 電気伝導度 (EC) および塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) 濃度 (図 4-4-9-2 および図 4-4-9-3 参照)

雨季から乾季の移行期に当たる2012年11月中旬の測定では、全地点で淡水相当 (EC 最大値 549  $\mu$ S, 塩化物イオン濃度最大値 56mg/l) の値を示した。乾季に入ると1月の中旬以降、バゴー川本流の Tawa 地点 (S-5) より下流の観測点 (S-5, S-8, S-11, S-12) およびカヤン川の観測点 (S-10) で EC および塩化物イオン濃度が上昇し、塩水遡上が確認された。雨季に入った2013年5月から値は減少し、6月下旬以降は全地点で淡水相当の値となった。

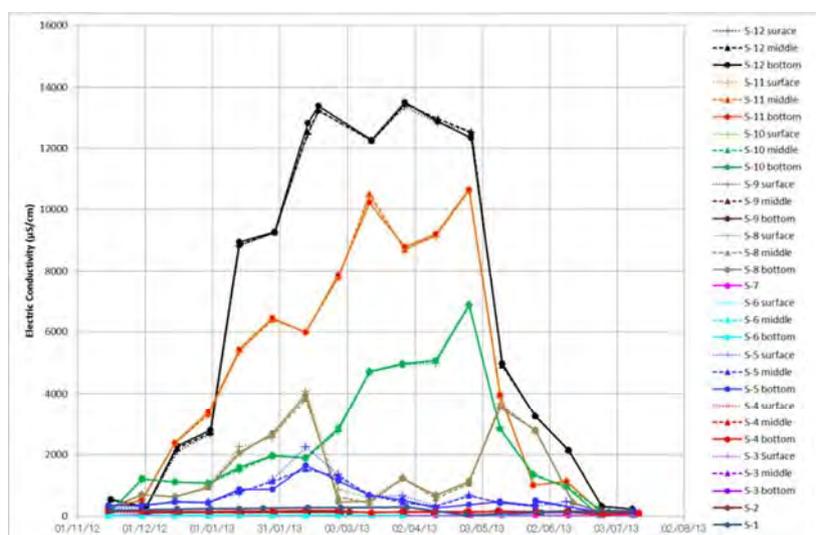


図 4-4-9-2 バゴー川および支流の電気伝導度の変化

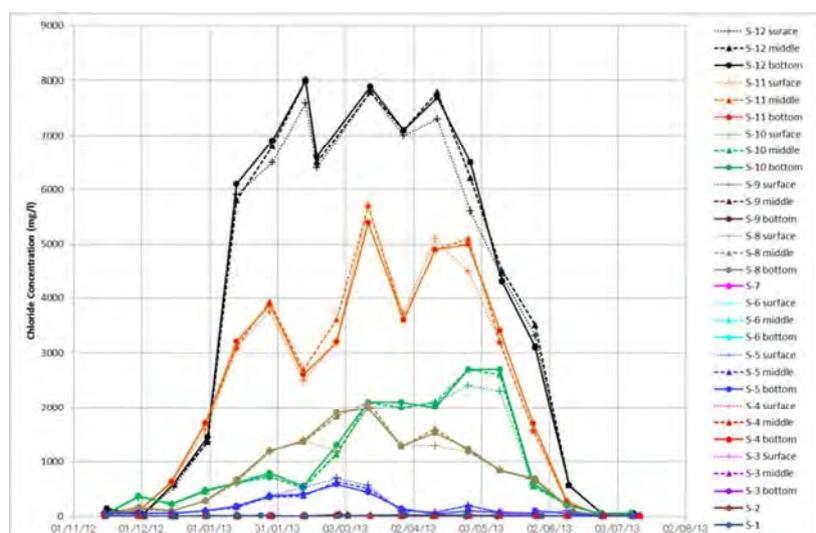


図 4-4-9-3 バゴー川および支流の塩化物イオン (Cl<sup>-</sup>) 濃度の変化

b) 濁度 (図 4-4-9-4 および図 4-4-9-5 参照)

バゴー川本流のタワ地点より下流の観測点 (S-5, S-8, S-11, S-12) では、常にほぼ 250 度 (カオリン標準液による濁度単位-日本の水道基準の単位 ; 1 度は約 2FTU/NTU-フォルマジン標準液による濁度単位-に相当) を越える高濁度であった。カヤン川では、12 月までは 50 度 ~150 度であったが、1 月以降 5 月までの乾季は 10 度 ~20 度に減少した。乾季中、バゴー川のバゴー市内(S-4)は、概ね 20 度 ~35 度であった。バゴー川上流部(S-1~S-3)、ラグンビン貯水池(S-6)およびガモエ水門上流地点(S-9)では、概ね 10 度以下であった。ラグンビン貯水池は常に 5 度前後で澄明である。2013 年 6 月以降の雨季中にはいずれの地点も濁度が上昇した。

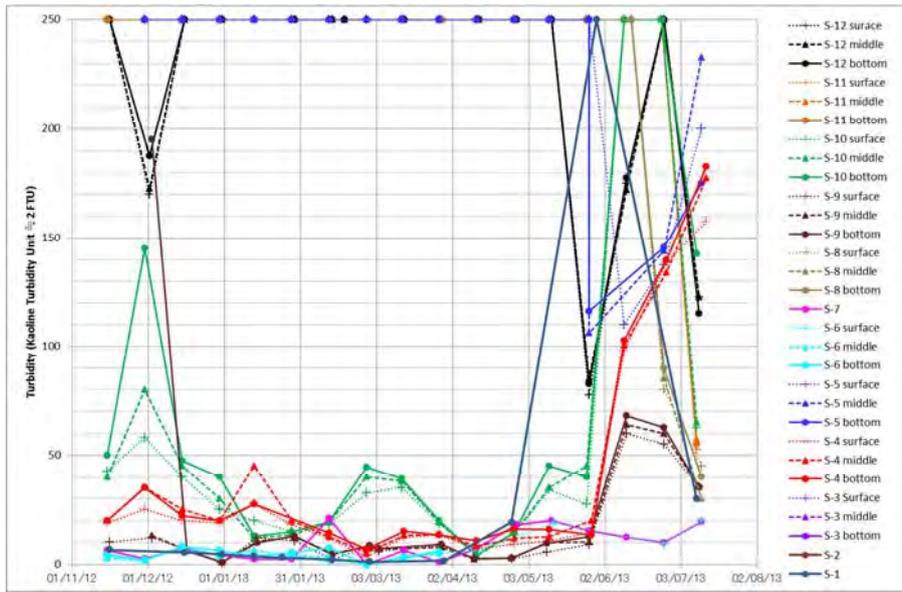


図 4-4-9-4 バゴー川および支流の濁度の変化 (1)

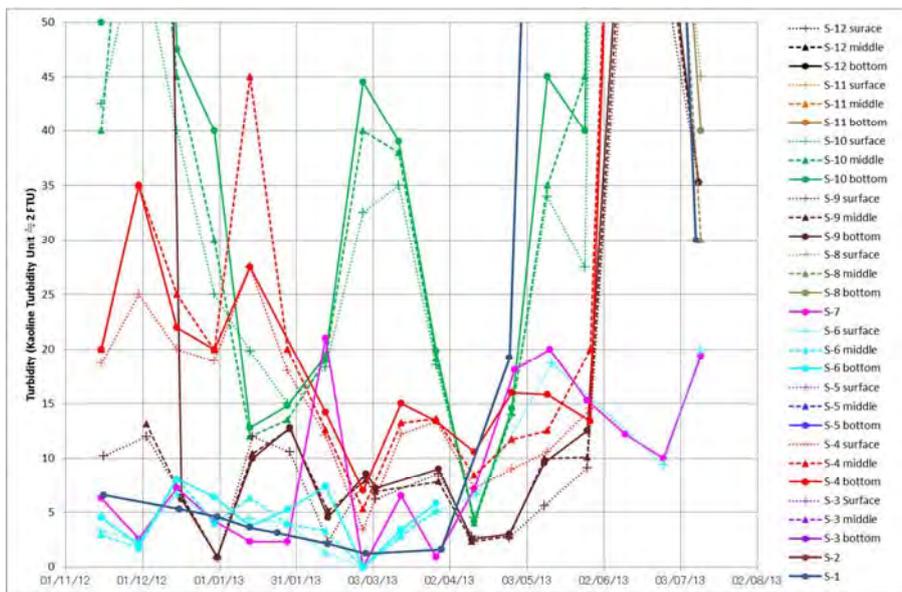


図 4-4-9-5 バゴー川および支流の濁度の変化 (2)

c) 色度 (図 4-4-9-6 参照)

色度は、濁度と同様な地点ごとの大小関係を示す。ラグンビン貯水池の色度は、乾季は概ね 10 度～25 度であるが、雨季には 50 度前後まで上昇した。

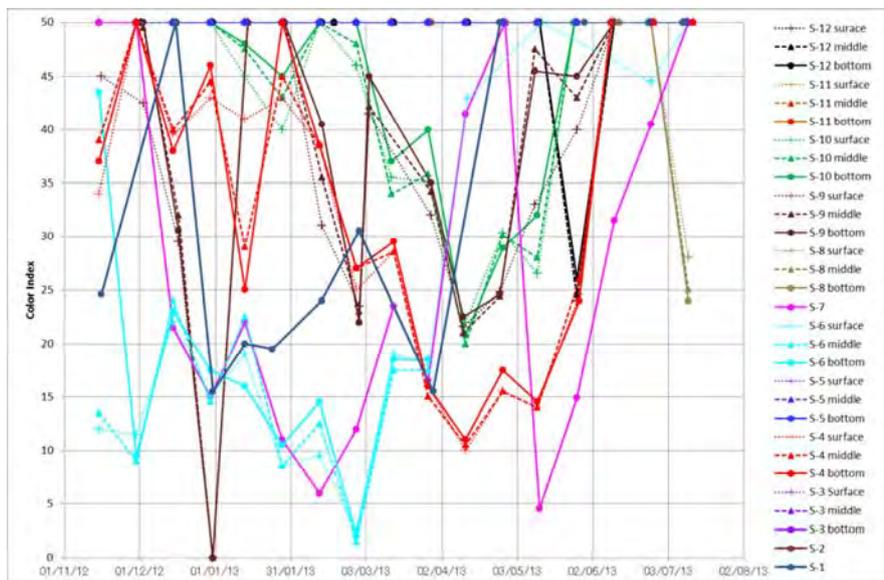


図 4-4-9-6 バゴー川および支流の色度の変化

d) 水温 (図 4-4-9-7 参照)

水温は、概ね 24 度～30 度の範囲にあった。S-3 と S-8 の水温が全体に低めなのは、早朝の計測のためと推定される。

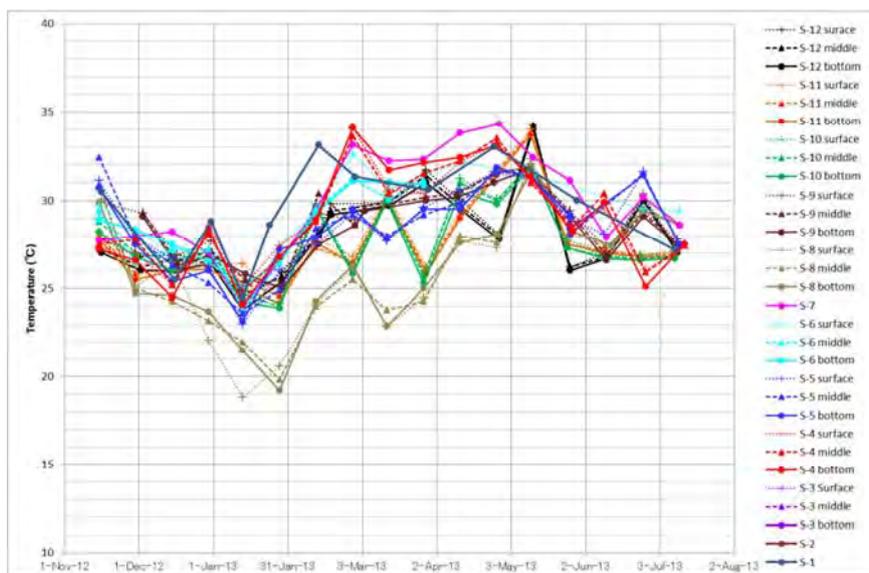


図 4-4-9-7 バゴー川および支流の水温の変化

e) pH (図 4-4-9-8 参照)

pH については、WHO の飲用水のガイドライン (第 4 版) にはないが、飲用水は通常 6.5 ~8.5 範囲内で給水されている。計測された値は、バゴー川最上流の S-1 で値が高い他は、ほぼこの範囲内に収まった。ラグンビン貯水池(S-6)、ガモエ水門上流(S-9)およびカヤン川(S-10)で値が小さい。

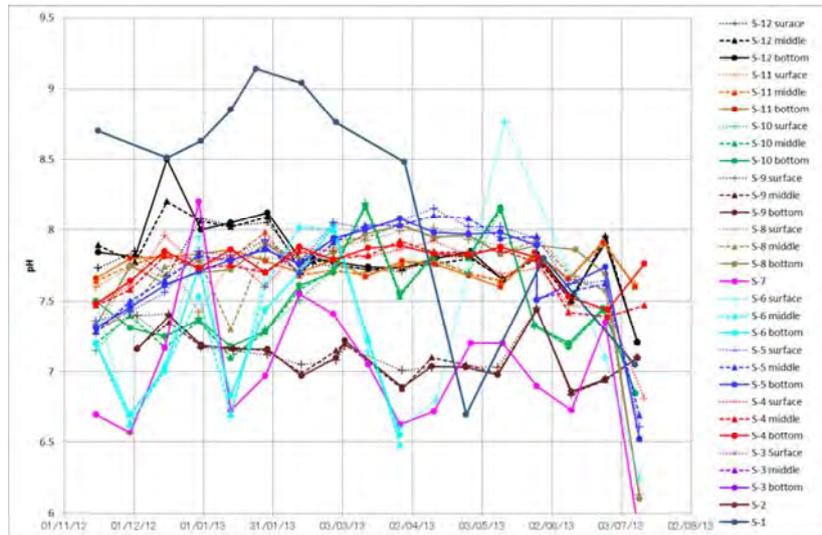


図 4-4-9-8 バゴー川および支流の pH の変化

f) DO (図 4-4-9-9 参照)

溶存酸素量 (DO) は、概ね 6~8mg/l で良好な値を示す。ただし、バゴー川中下流のタワ地点およびラグンビン川の末端付近の中下層水は、1 月以降、1~3ppm に低下しており、水の入れ替えが少なくなったことを暗示している。

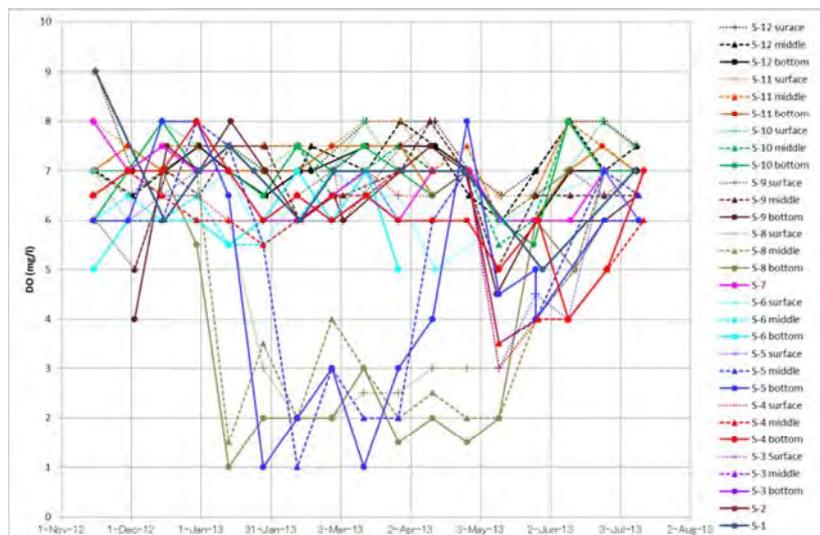


図 4-4-9-9 バゴー川および支流の DO の変化

g) BOD (図 4-4-9-10 参照)

多くは1~2 mg/lの小さな値を示すが、バゴー川本流のタワ集落地点(S-5)、ガモエ水門上流(S-9)、カヤン川(S-10)で4~7のやや大きい値を示した。前2者は、既存市街地ないしは集落内か最近市街化しつつある地域にあり、栄養物質が流入していることが推定される。ラゲンビン貯水池でも貯水位が低下するとBODが高い。

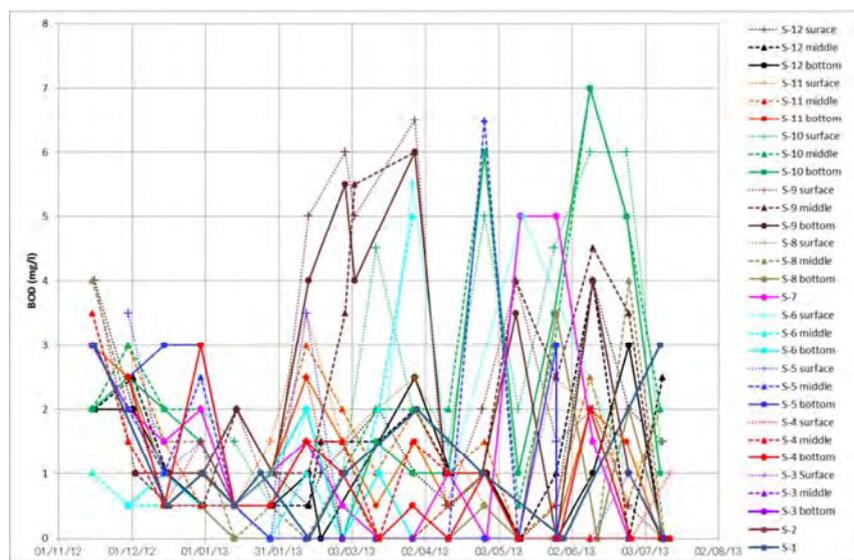


図 4-4-9-10 バゴー川および支流のBODの変化

h) 農薬

表 4-4-9-8 に示す地点および時期において、農薬6項目(表 4-4-9-6 参照)の水質試験を2102年11月~2013年7月に実施した<sup>9</sup>。2013年7月までの分析では、すべての試料で農薬は検出限界以下であった。

表 4-4-9-8 農薬の水質試験地点および試験実施月

Pesticide Monitoring Point		2013									
		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct
S-3	Bago River upstream of Zaungtu Weir				●			●			
S-5	Bago River (midstream) near Tawa				●			●			
S-6	La Gun Byin reservoir	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
S-9	Ngamoyeik River (downstream) upstream of Ngamoyeik Sluce gate				●			●			
S-10	Khayan River upstream of Pagandaung intake gate				●			●			
Remarks		Dry Season					Rainy Season				

<sup>9</sup> 農薬の試料は本邦の試験室に送り試験を行った。

2) ティラワ経済特区近傍 3 貯水池の季別水質モニタリング結果

予定 4 回のうち 2013 年 7 月までに 3 回実施した。水質試験結果を、表 4-4-9-9 に示す。概要は以下のとおりである。

濁度	0 度 (乾季初め) 3～13 度 (乾季後半～雨季)
色度	11～43
電気伝導度	25～56 $\mu$ S/cm
pH	7.2～8.0
DO	7 mg/l
BOD	0.0～1.0 mg/l (乾季初めおよびバンブエゴン貯水池) 3.0～5.0 mg/l (乾季後半～雨季のザマニ・インおよびティラワ貯水池)
塩化物イオン (Cl <sup>-</sup> )	2～12 mg/l
農薬 (6 項目)	不検出 (WHO ガイドラインの 1/10 未満)

色度がやや高いこと (鉄分のためか)、乾季後半から雨季の濁度やザマニ・イン貯水池とティラワ貯水池の BOD がやや高い他は、良好な水質である。表 4-4-9-9 に示すとおり、相対的にバンブエゴン貯水池の水質が優る。

表 4-4-9-9 ティラワ経済特区近傍 3 貯水池の水質試験結果(2013 年 7 月時点)

Item	Unit	Zamani Reservoir			Thilawa Reservoir			Banbuyegon Reservoir			Remarks	
Sample No.		R-1			R-2			R-3				
Total Water Depth	m	2.1	2.1	2.1	2.6	2.6	2.6	1.1	1.1	1.1		
Samling depth	m	1.0	1.6	1.6	1.0	0.6	0.6	0.5	0.8	0.8		
Date of Site Visit		15/01/13	06/04/13	08/07/13	15/01/13	06/04/13	08/07/13	15/01/13	06/04/13	08/07/13		
Time		11:20	10:15	13:45	12:25	12:00	11:33	13:30	14:50	13:04		
Name of Measurer/Analysist		U Kyaw Kyaw Win / U Nyunt Shwe	U Nyunt Shwe	U Nyunt Shwe	U Kyaw Kyaw Win / U Nyunt Shwe	U Nyunt Shwe	U Nyunt Shwe	U Kyaw Kyaw Win / U Nyunt Shwe	U Nyunt Shwe	U Nyunt Shwe		
Place of Measure /Analysis	Item	Unit	Zamani Reservoir			Thilawa Reservoir			Banbuyegon Reservoir			WHO Guideline (Version 4)
On-site	Odor		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Taste		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Turbidity	PTU	0	12.9	11.3	0	4.8	6.3	0	7	2.6	
	Color Index		10.5	35.5	42.5	14	18.5	11	14.5	33	26.5	
	pH		7.46	7.60	7.56	7.25	7.3	7.42	7.20	7.89	7.97	
	EC	$\mu$ S	48.9	55.7	56.0	22.5	30.0	41.0	25.2	30.2	31.3	
	Temperature	mg/l	25.5	29.7	28.7	24.6	29.8	29	27.7	33.6	29.1	
In Laboratory	DO <sub>0</sub>	mg/l	7	7	7	7	7	7	7	7	7	
	DO <sub>5</sub>	mg/l	6	3	4	6	2	4	6.5	7	7	
	BOD =DO <sub>0</sub> -DO <sub>5</sub>	mg/l	1	4	3	1	5	3	0.5	0	0	
	Chloride	mg/l	5	5.4	11.8	4.2	4.8	5.3	3.5	< 2	6.8	
In Japan	2,4 D	mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.03 mg/l
	Atrazine	mg/l	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.1 mg/l
	Carbofuran	mg/l	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	<0.0007	0.007 mg/l
	Chlorpyrifos	mg/l	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	0.03 mg/l
	Dimethoate	mg/l	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	<0.0006	0.006 mg/l
Pandimethalin	mg/l	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.02 mg/l	

## 4-5 既存水利施設の現状（国の灌漑システム整備状況）

### 4-5-1 貯水池

ティラワ経済特区への水源地の対象地区となるバゴー流域およびシッタン流域東岸には、様々な規模の貯水池が存在するが、現時点において 13 箇所の既存貯水池が存在する（表 4-5-1-1 および図 4-5-1-1 参照）。バゴー本川に建設されている施設は発電目的のザンツダムおよびザンツ堰の 2 ヶ所であり、その他 11 施設は支川に建設される。バゴー川の東岸支川に 3 箇所、西岸に 4 箇所、および隣接するシッタン川流域に 4 箇所が設けられている。

用途別では、ザンツダムが発電用施設であることを除き、その他はすべて乾季の灌漑利用を目的にして建設された。バゴー橋観測所より上流域の施設：ザンツダム、コドゥクェダム、シュエランダム、サルダム、ザンツ堰の 5 施設については、雨季の灌漑用貯水が、同時に洪水調整機能を発揮していると報告されている。これら 5 ダムの貯水量の総計は 836MCM（有効貯水量：708 MCM<sup>10</sup>）であり、バゴー橋地点の年流出量 3,950MCM/Year の 18%（有効貯水量/年流出量）にあたる。

また、バゴー西岸の 4 施設：ラグンビンダム、アライニダム、マジンダムおよびザラトウダムについては、何れも灌漑用施設として建設されたが、バゴー市近郊のマジンダムはバゴー市の水道水源として使用されて、ラグンビンダムはヤンゴン市水道の水源として供用される予定となっている。

なお、隣接するシッタン川流域東岸に位置するピンポンジダム、バウニダム、ワガドゥグダム、モエンジ貯水池は、前述のバゴー橋観測所上流域の 4 ダムとともに、バゴー川東岸をとおる 30 マイル緑化事業の水源として運用されている。

---

<sup>10</sup> バゴー橋地点の年流出量 3950MCM/Year の 18%（有効貯水量/年流出量）にあたる。

表 4-5-1-1 貯水池概要表

Name	Unit	La Gun Byin	Aline Nee	Magin	Zalataw	Pyi Pon Gyi	Bawni	Wagadok	Zaungtu Dam	Zaungtu Weir	Koduk we	Shwe Laung	Salu	Moe Yin Gyi
Purpose <sup>1</sup>		I	I	I	I	I	I	I	P+I	I	I	I	I	I
Construction Period	-	2000.9-2001.11	2002-2003	1999-2000	1998-1999	1987-1988	1998-1999	2007-2008	1994.1-2000.3	1994.1-2000.4	2012	2012	2012	1878,2003-2006
Location/TS	-	Hlegu	Bago	Bago	Bago	Dike U	Dike U	Dike U	Bago	Bago	Bago	Bago	Bago	Waw
Name of Creek	-	Lagunbyin	Alaingni	Magin	Zalataw	Pyi Pon Gyi	Bawni	Wagadok	Bago River	Bago River	Koduk we	Shwe Laung	Salu	Moe Yin Gyi
Catchment Area <sup>2/</sup>	km <sup>2</sup>	109	37	28	23	21	65	26	1,120	2,330	163	83	78	155
Average Annual Rainfall <sup>3/</sup>	mm	2,870	2,860	2,870	2,850	2,980	2,870	2,990	(2,700)	(2,700)	2,680	2,820	2,820	-
Average Annual Inflow <sup>4/</sup>	MCM	155	53	-	-	-	-	-	-	-	228	139	124	-
Irrigation Area	ha	8,903	4,047	263	809	1,592	243	-	14,569	14,670				16,187
Reservoir Capacity Necessary to Store	MCM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	244	145	130	-
Reservoir Full Tank Level	m	25	25	27	34	48	53	59	-	-	61	60	45	8
Reservoir Full Tank Capacity	MCM	184	48	32	23	137	43	40	400	18	183	123	112	173
Reservoir Water Spread Area at F.T.L.	km <sup>2</sup>	27	8	6	6	2	6	6	-	-	27	16	19	104
Free Board	m	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.0	1.7	1.6	-
Dam Crest Level	m	27	-	-	-	-	-	-	-	-	64	63	48	-
Creek Bed Level	m	9	-	-	-	-	-	-	-	-	37	35	21	-
Dam Height	m	19	16	18	15	20	26	26	45	-	27	28	27	3
Dam Length	m	1,579	1,737	1,219	1,391	320	248	1,951	-	-	344	1,433	1,746	43,452
Dam Type	-	Earth	Earth	Earth	Earth	Earth	Earth	Earth	-	-	Earth	Earth	Earth	-
Effective Storage	MCM	177	46	29	22	136	14	-	296	18	171	117	106	-
Number of Saddle Dams	Nos.(ft)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6 (1,081)	9 (928)	11 (3,862)	-
Generation Capacity	-	-	-	-	-	-	-	-	40 (20x2)	-	-	-	-	-

1: "Purpose"; I: Irrigation, P: Hydraulic Power generation

2: "Catchment Area" is referred from the reports of the ID hydrology section

3: "Average Annual Rainfall" is estimated from isohyets-map based on 2006-2010 records with the exception of the Zaungtu Dam and Weir which applied its own station data

4: "Average Annual Inflow" is referred reports from both the ID and the DHPI

5: Reservoirs are owned by irrigation department except Zaungtu managed by DHPI

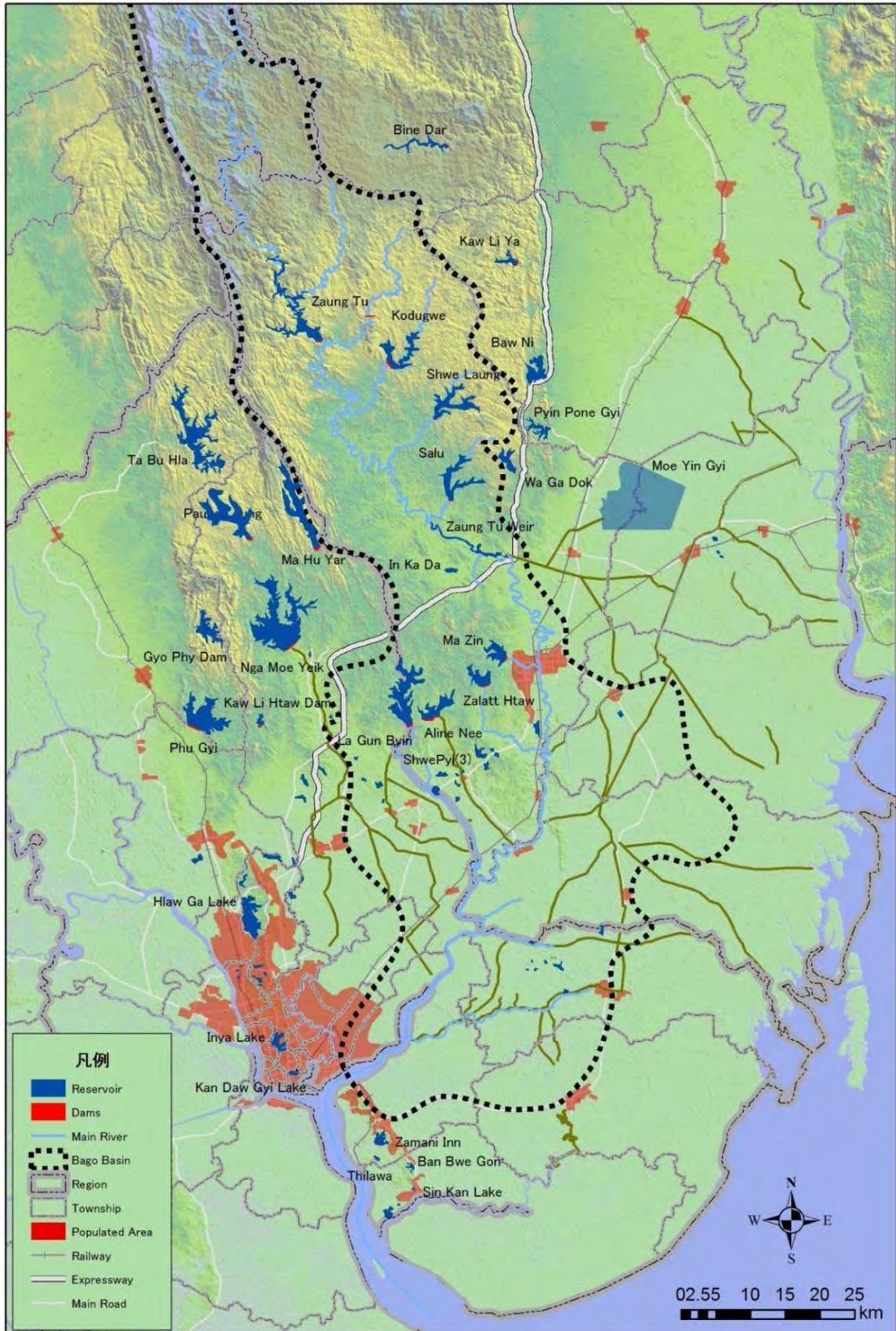


図 4-5-1-1 貯水池位置図

#### 4-5-2 漑水路・排水路および水門

バゴー流域およびシッター川東岸域における水路はバゴー本川中流の Zaungtu 堰より始まり、下流 10 km 地点で分流し Moe Yin Gyi 湖に導水される (Zaungtu-Meo Yin Gyi Canal)。さらに下流向かい 2 つに分かれ、Sun Pi 地点および Tu-kyite 地点でバゴー-Sittaung Drainage(Feeder) Canal (シッターン - バゴ運河<sup>11)</sup>) に入る。同様に、Moe Yin Gyi 湖に一時貯留された水源が Waw 地点よりシッターン - バゴ運河に合流する。同運河においては、3 箇所の排水堰：Aphyar 堰、Min Ywar 堰、Bagan Nyaung Pin 堰：があり、これらは下流 (南側または東側) に洪水を排水するために設けられたが、乾季には、Bagan Nyaung Pin 堰より分流された水が 30 マイル水路によってさらに南に運ばれる。30 マイル水路は、後述のとおり、現在灌漑局により建設されるが、その終端は 45 km 南のヤンゴン地区のカヤンクリークに至る。

シッターン - バゴ運河および 30 マイル水路は舟運や用水路用途のみならず排水も兼ねた大規模水路であり、ここより雨季の排水を目的に主要なものでシッターン川側に 4 系統、バゴー川に 7 系統の排水路が建設されている。

各排水路の末端には、塩水の遡上を防ぐ目的で水門が設けられるが、バゴー川で主な排水路 4 系統のうち、上流から Tawa、Pine Kyone、Khayan 地点の 3 箇所で水門が建設済みであり、残る 1 箇所 Shwe Hla 堰で計画中となっている。一方、シッターン側では施設整備は遅れ、7 箇所：上流から Shan Kine、Winkadat、Kalatsu、Kokko、Mamaul、Tan Din、Kim Mon Chone 地点の計画に対し、Shan Kine と Kim Mon Chone 地点の 2 箇所で水門が完成しているが、残る 5 箇所では軟弱基礎、堆砂などの技術的問題で計画が遅れている。シッターン川の河口部は世界的にも海嘯の発生地として有名であり、水門建設の未着手地点では、塩水遡上による湛水、高潮被害、土壌塩害などの問題を抱えている。図 4-5-2-1 に灌漑排水路位置図、図 4-5-2-2 に水門位置図を示す。

<sup>11</sup> シッターン川河口部では海嘯 (tidal bore) の発生が知られシッターン川の舟運の障害となっていた、木材を上流トングーよりヤンゴン港まで運ぶため、シッターン川とバゴー川を結ぶ運河が 1878 年に建設された。

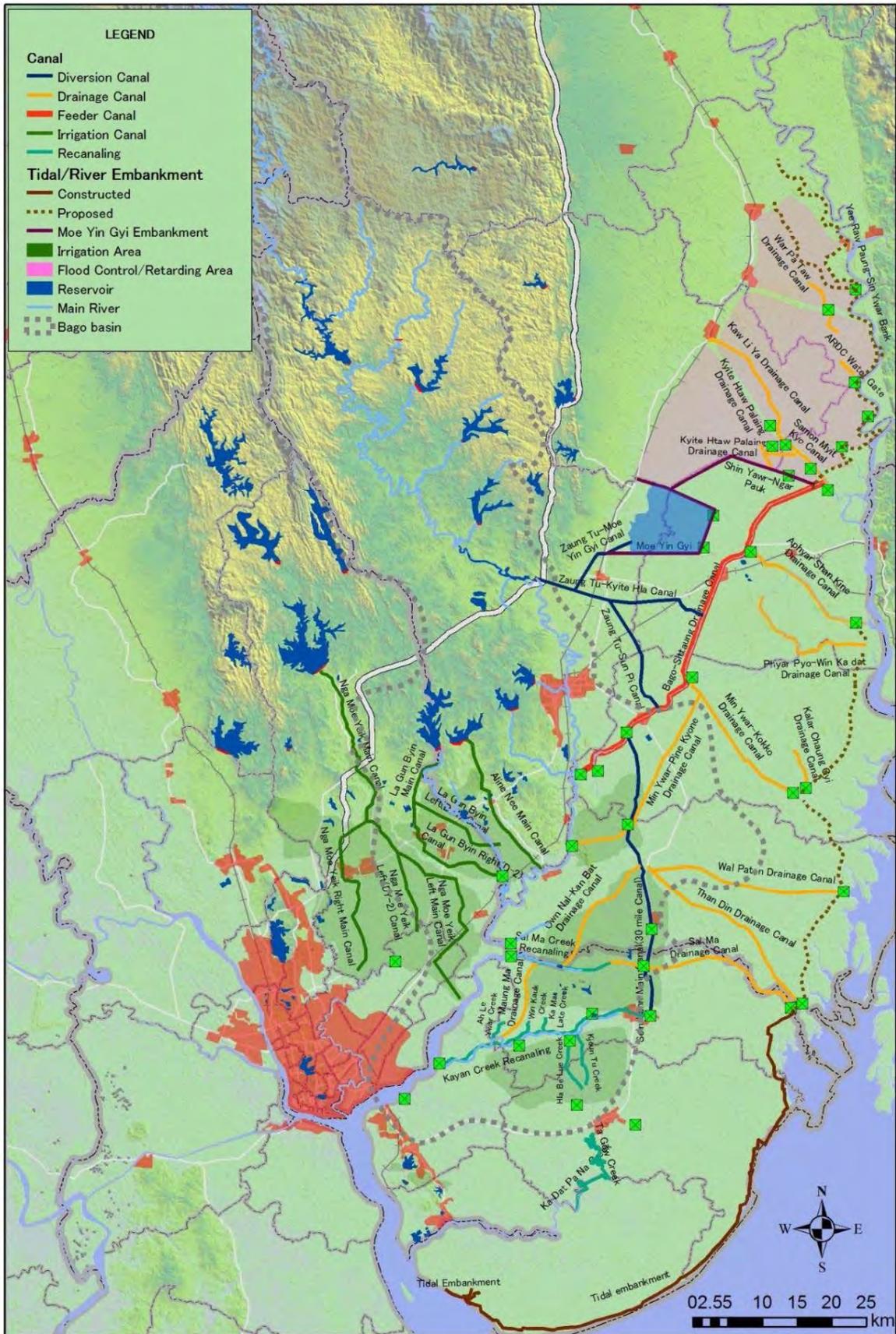


図 4-5-2-1 灌溉排水路位置図

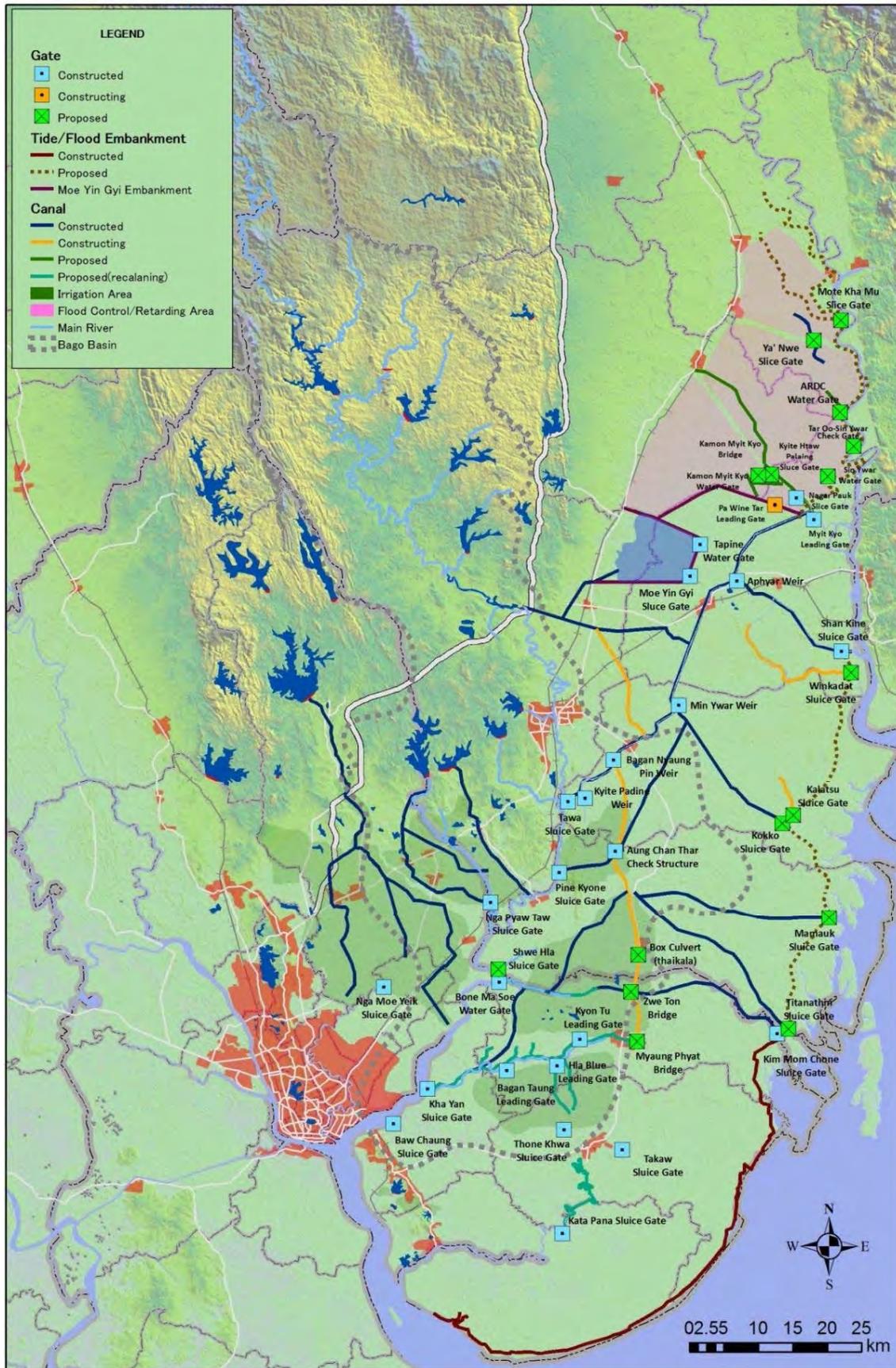


図 4-5-2-2 水門位置図

#### 4-5-3 30 マイル緑化事業

30 マイル緑化事業 (Yangon Region 30 miles Environs (eastern side) Greening and Development Project) は、バゴー川の上流域に新しくダム建設し、これで得た水源をシッタン - バゴー運河に導流し、さらにカヤンクreekまで導水し、ヤンゴン 30 マイル圏、特にバゴー川東岸の灌漑をおこなう事業であり、ミャンマー国農林灌漑省灌漑局により実施されている。

##### (1) 事業の背景および概要

ヤンゴン都市圏の緑化または灌漑は、ヤンゴン市を含むバゴー川の西岸において早く 1980 年台来より始まり、ペゲー丘陵に多くのダムが建設され、ヤンゴン市の都市給水および都市近郊の灌漑用に利用されてきている。しかし東岸部は、低平地が続く起伏が少なくダム等の適地がないことから開発が遅れ、水源は従前のまま雨水貯留および溜池に依存し、乾季末には慢性的な水不足となっている。30 マイル緑化事業は、ヤンゴン都市圏において取り残されてきた地区の大規模灌漑事業であり。都市近郊で広がりつつある地域間格差の解消が事業開始の発端となっている。

元来、バゴー川東岸域は、平均標高 13ft (4.8m) の平野が続くことから、広大な水田地帯であり、雨季の稲作 (単作) から、乾季も含めた 2 期作に切り替えが可能な灌漑適地もバゴー地域で 30,000 acre (12,141 ha)、ヤンゴン地区で 35,000acre (14,164 ha) の計 65,000 acre-ft (26,305 ha) と多い。灌漑による効果の大きい地区といえるが、当地の灌漑には約 400,000 acre-ft(493MCM) の水源が必要とされていた。

30 マイル緑化事業は、この広大な灌漑適地への水源確保を事業目的としたものであり、前述のように水源となるバゴー川ダム群から 100km 近い導水を行い、受益地のバゴー川東岸～ヤンゴン南東部に水を供給する事業であり、以下の 5 つのフェーズ (ワーク 1～5) にて実施されている。

ワーク 1 :Kawiliya ダム、Bine Da ダム及び Baw ni ダムの建設を行い、Nagapaulk Sluice 及び Pagaingtar Intake を通じバゴー-Sittaung Canal に導水。

表 4-5-3-1 貯水池計画(Work 1)

Sr	Name of Dam	Storage Capacity (acre-ft.)	Irrigation Area (acre)	Extent of Surplus Water (acre-ft.)
1	Kawiliya	165,000 (203 MCM)	24,500 (9,915 ha)	28,000 (35 MCM)
2	Bine Da	374,000 (461 MCM)	46,700 (1,899 ha)	84,000( 104 MCM)
3	Baw ni	35,200 (43 MCM)	600 (243 ha)	5,000 (6 MCM)
Total	-	574,200 (708 MCM)	71,800 (29,057 ha)	117,000 (144 MCM)

ワーク 2 :Warkadoke dam を建設し、これにより 32,000 acre-ft(39MCM)の水源を確保し、Moe Yin Gyi 貯水地に貯水し Bago-Sittaung Canal に導水。

ワーク 3 :Zarmani(Kodukwe)、Salu、Shweloug 及び Zaungtu 堰の余剰水 (15000acre-ft) を導水するため、ヤンゴン-マンダレー幹線道路を横断 (Mayin Village) する灌漑水路を建設し Sunpi Chaung (Thanatpin) を経由して Bago-Sittaung Canal に導水。

表 4-5-3-2 貯水池計画(Work 3)

Sr.	Name of Dam	Dam Catchment Area (Sq-mile)	Height of Dam (ft)	Average flow in water annually (acre-ft)
1	Koudukwe	68.7 (178 km <sup>2</sup> )	80 (24m)	138,000 (170 MCM)
2	Salu	30 (78 km <sup>2</sup> )	75 (23m)	79,000 (97 MCM)
3	Shwelaung	36 (93 km <sup>2</sup> )	90 (27m)	95,000 (117 MCM)
4	Zaungtu Weir	-	-	15,000 (18 MCM surplus water)
Total	-	-	-	327,000 (403 MCM)

ワーク 4 :ワーク 1～3 の水源より Bago-Sittaung Canal に導水された水源を Bagan Nyaung Pin Escape (Thanatpin) より分流し、Bagan Nyaung Pin-Khayan Canal を経由され Khayan Chaung まで導水する。また Khayan、Tawa、Paing Kyone、Shwe Lay などの水門も建設し、塩水の阻止と淡水貯留およびこれらの供給を行う。

ワーク 5 :Khayan Chaung は浚渫を行い、貯水容量を確保するとともに、Bagan Taung 取水工、Hla belu 取水工、Kyone Tu 取水工を経由して、Thone Kwa、Takwa、Bawchaung、Kadapana の各クリークに導水する。これらの水路を通じ Thonegwa、Kyauktan、Thanlyin 郡区の用水を賄う。

30 マイル緑化事業は、主幹線は Bago-Sittaung Canal から Bagan-Nyaung Pin Escape を通じて Paing Kyone Chaung に流下、Ohnne を通じ Thanatpin-Khayan 道路沿いに南下し、Thatkala のカルバートを通り、Thanatbin-Khayan 道路の東側から Khayan に至るものであるが、これらの建設に従い、幹線を横断する支川でチェックダムを建設し、乾季の損失を防止している。このためサイホン、フリュームなどを必要とせず、雨季においても自由な排水を可能とした。幹線における水位は Shwe Hla で 11ft、カヤン 水門で 9ft に保ち、乾季においても灌漑用水の供給し稲作を可能とする計画である。

以下に 30 マイル緑化事業の関連施設である①ザンツダム、②コドゥクウェダム、③シュウエランダム、④サルダム、⑤ザンツ堰および⑥カヤン水門の概要を示す。

### 1) ザンツダム



図 4-5-3-1 ザンツダム

電力エネルギー省がミャンマー国の 30 年電化計画に沿い 1994 年に建設を始めた。技術的な問題から建設がおくれていたが、中国の技術支援をうけ 2000 年に完成した。堤高 45m、堤長 1850m、総貯水量 400MCM、有効貯水量 296MCM のダムであり、20MW (10MWx2) の発電容量を持つ。灌漑用途では、下流のザンツ堰で用水を調整し 14,500ha (計画) の農地へ灌漑用水を供給している。また副次的にはあるが洪水調節機能が建設後に確認されている。

### 2) コドゥクェダム

バゴー川の支川の 1 つであるコドゥクェ支川の中流に位置する。2012 年 5 月に灌漑局によって建設された総貯水量 183MCM (有効貯水量 171MCM) の灌漑用ダムであり、堤高は 27m、堤長 344m (但サドルダム 6 カ所の延長 1,603m) である。流域面積は 163km<sup>2</sup>、年平均流入量は 228MCM (流出率 41%) と計画される。灌漑用ダムであるが、小規模発電、洪水調整などの多目的用途を持ち、現在 (2013 年 2 月) において 17m<sup>3</sup>/sec の放流を行い下流灌漑地への用水を担っている。



図 4-5-3-2 コドゥクェダム

### 3) シュエランダム



図 4-5-3-3 シュエランダム

コドゥクェダムと同様、バゴー川の支川の一つに灌漑局によって 2012 年に作られた灌漑ダムであるが、小水力発電、洪水調整などの用途も担う。流域面積 83km<sup>2</sup> であり、139MCM/年の流出がある。堤高 28m、堤長 1433m (サドルダム 9 カ所 928m) のダムであり、総貯水量 123MCM (有効貯水量 117MCM/年) の貯水池規模があり、堤体の盛り立ては 2011 年末から 2012 年の 1 乾季で実施され、昨年 (2012 年) の雨季が運用初年度であった。現時点 (2013 年 3 月) では、

洪水吐補修工事及び小水力発電施設などの付帯施設の建設が継続して行われている。

#### 4) サルダム



図 4-5-3-4 サルダム

サルダムは、バゴー流域の丘陵部（バゴーヨマ山地）最下流に位置するサル支川に設けられたダムであり、提高 27m、提長 1,746m（サドルダム 11 カ所 3,862m）のダムであり、総貯水量 112MCM（有効貯水量 106MCM）の貯水池規模を持つ。流域面積は 78km<sup>2</sup>、年間流入量は 124MCM である。シュエランダムと同時期の 2011 年末から 2012 年の乾季の間で建設され、2012 年雨季より運用を開始した。現時点（2013 年 2 月）においても付帯事業は継続中であり、ダム下流の導水路補修工事及び小水力発電施設の建設が行われている。

#### 5) ザンツ堰



図 4-5-3-5 ザンツ越流堰(Zaungtu Weir)

ザンツ堰は 18MCM の調整容量をもった越流堰であり、バゴー川上流のコドウクエ貯水池（296 MCM/-:総貯水量/有効貯水量）、シュエラン貯水池（145/117 MCM）、サル貯水池（112/97 MCM）などの貯水池群の水源をザンツースンピ灌漑水路（25km、3.7mx12.2m）に分水する機能を担っている。下流において、用水はバゴー・シッタン水路に合流し、バゴー川東岸に計画される 4 灌漑地地区で分水し、カヤン川の上流に合流する。同計画の新規建設区間は約 45 km であるが、すでに幹線水路の掘削は完工し 2013 年末までにカヤン川までの試験導水を行

った。一方、末端施設の整備は、幹線水路に付帯するチェックゲートなど構造物、また二次水路の整備などが残されていることから、さらに 5 年程度（完工 2018 年を目標）の工期が必要とされている。

6) カヤン水門

カヤン水門は、バゴー川の河口とカヤン川との合流部に建設されたスルースゲート堰であり、乾季の貯水とバゴー川本川からの防潮を目的とする。将来的には、カヤン川に導水された用水は、ポンプにより揚水され、トングア、チャウタン、タンリン地区に配水される計画となっている。ミャンマー政府は、カヤン水門の事業目的を以下のとおりとしている。



図 4-5-3-6 カヤン水門

- ・ 雨季の排水促進
- ・ 雨季末の補助水源の確保
- ・ 乾季の灌漑用水及び地域生活用水の確保 (30 マイル灌漑水路よりの導水を前提)
- ・ 塩水遡上の防止、塩水遡上に伴う堆砂の防止

a) カヤン水門の諸元

カヤン水門の諸元を表 4-5-3-3 に示す。

表 4-5-3-3 カヤン水門の諸元

Items	Description
Location	Near of Chaungwa old village, Thanlyin Tsp., Yangon Division
Map/Scale	(94D/5 - 715425), 1inch : 1mile(1:633,583)
Stream of Name	Khayan Chaung
Drainage Area	142 sqmiles (368km <sup>2</sup> )
Type of Sluice Gate	Concrete Sluice gate
Size of Sluice Gate	40gates 6' x 6' (1.83 x 1.83 m)
Upstream Length	4,000 ft (1289 m)
Downstream Length	2,500 ft (762m)
Contribution Area	30,000 acres (12,141 km <sup>2</sup> )
Project Cost	1247.28 million kyat (1.27 million dollar)
Project Period	April/2004 - June/2005

出典：灌漑局

カヤン支川は、その下流端（バゴー川との会合部）にカヤン水門が建設され、その河道部分は 30 マイル灌漑水路と連結する導水路、及び調整池（約 200 万トンの容量）として、周辺のタウンシップの水源となっている。

b) カヤン水門の通常運用

カヤン水門の運用は、毎年10月3週にゲート締切り貯水を始め、翌年の5月1週まで河川水を貯留している。2012年においては、100エーカーの水田と10,000エーカーの豆類の灌漑に使用している。同地点では、満潮時が洪水と重なると水位は標高4.5mまで上昇し、逆に低潮時には-1.0mに低下する。この差5.5mを制御し堰上流の貯水機能および灌漑を確保している。表4-5-3-4にカヤン水門の運用ルールを示す。

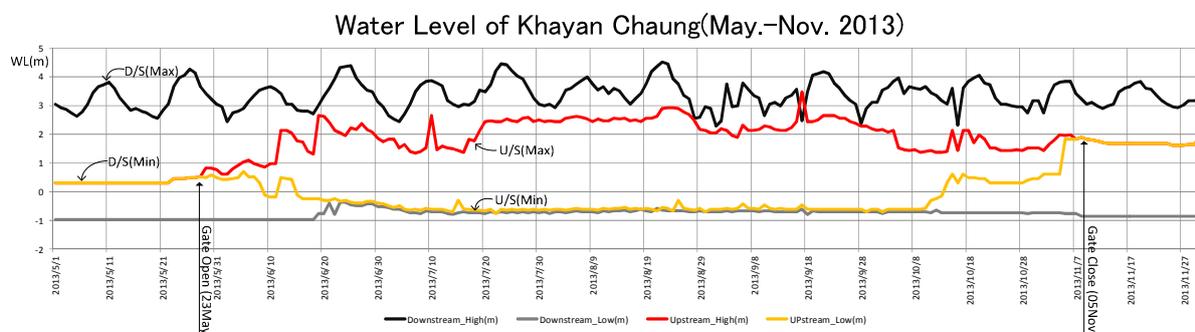
表 4-5-3-4 カヤン水門運用ルール

<u>Operation Rule of Khayan Sluice Gate</u>	
1.	Daily rainfall must be measured daily at 9:00 am, water level at Upstream, Downstream of sluice gate also must be measured daily at 6:00 am, 12:00 pm, 6:00 pm and put into the notice book and submit to the head officer and head office daily. If rainfall over 3 inch, report of the clock water level.
2.	Open and close of sluice gate must be guidance by head officer.
3.	Check and regularly put charging to the phone and report to the head officer immediately if something happened at telephone.
4.	The site gates must be opened and closed carefully with winch for no damage happened and not to danger for workers.
5.	The site gates must be opened first as layers of left and right from the center of upper stage. And then, flap gates must be opened from the center to left and right one by one. Flap gates must be opened when all the site gates have already been opened.
6.	At the check gate, to control the fresh water and protect from sand and silt incoming. So, for the result of the end of the rainy season period, the site gates must be closed from the edge of left and right to the center one by one in the third week of October. At the beginning of November, the flap gates must be shut down from the left and right to the center of the one by one when the upstream of check gate reach water level RL +9' .
7.	Upstream flap gate and downstream from silt gate must be opened at beginning of April to remove remain water from the field and the rain water, rained heavily at the early rainy season.
8.	Opening flap gate, closing downstream and downstream silt gate must be cleaned, repainted, rusting, put the lubricant into the hinge of gates must be needed to do carefully at dry seasons.
9.	At downstream, flap gates must be shut down for not incoming water from outside streams and rivers. If necessary, silt gates must be closed temporarily and flap gates must be repaired one by one.
10.	Upstream and downstream of sluice gate must be checked daily. If the cracks or something happened on there, must report to head officer. If the sticks and branches are flooded or jammed at the gates, must be removed at once and do not let the animals pass in.
11.	At the maintain water, to check the daily upstream (water conical shape) and downstream (muddy) happened or not.
12.	Longitudinal, horizontal sounding and level checking must be needed to check weekly.
13.	Along the water inflow/outflow canal and streams (or) rivers bank near sluice gate must be checked that the erosion happened or not, daily.
14.	Do not fishing and ship sailing in upper 500 ft and lower 500 ft at sluice gate.
15.	If something strange matters happened, must reported at once to head office
(Source: Irrigation Department)	

c) 運用状況 2013

昨年(2013年)の場合、5月25日に開門し11月5日に堰を閉門された。雨季の間(5月の開門後)には、満潮時にバゴー本川からの塩水遡上および土砂の流入を防ぎ、干潮時には排水

を促進するようなゲート操作が行われた。他方、乾季（11月の閉門後）においては、バゴー本川からカヤン支川を切り離すことで河道貯留を促進し水位を一定（EL2m：現地管理水位ではRL9ft）に保ち、水源として利便性が図られた。図 4-5-3-7 に 2013 年のカヤン水門の上下流の水位変化を示す。



Source: Irrigation department

図 4-5-3-7 カヤン水門の年間水位記録(2013 年)

雨季のクライマックス 8月の水位を図 4-5-3-8 に示す。満潮時にはバゴー川の水位は高くなるが、塩水の遡上を完全ではないが防ぎ、一方で感潮時にはカヤン支川側で干潮位まで低下させ排水を行っている。

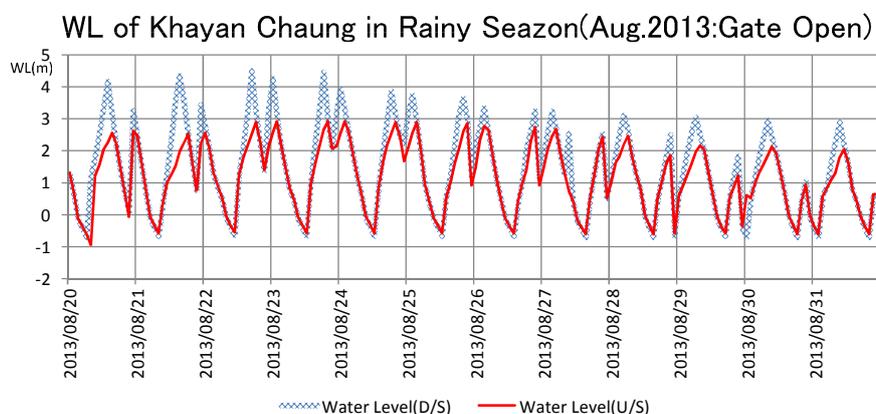


図 4-5-3-8 カヤン水門の雨季水位記録(2013 年 8 月)

一方、乾季に入った 2014 年の 1 月においてはバゴー川の水位の干満に応じ日々、5m 程度の差が生じているのに対し、カヤン支川側の水位は一定であり、かつ僅かであるが、上流域の流入（自流域および 30 マイル灌漑水路）により水位は上昇する（2014 年 1 月 図 4-5-3-9 参照）。

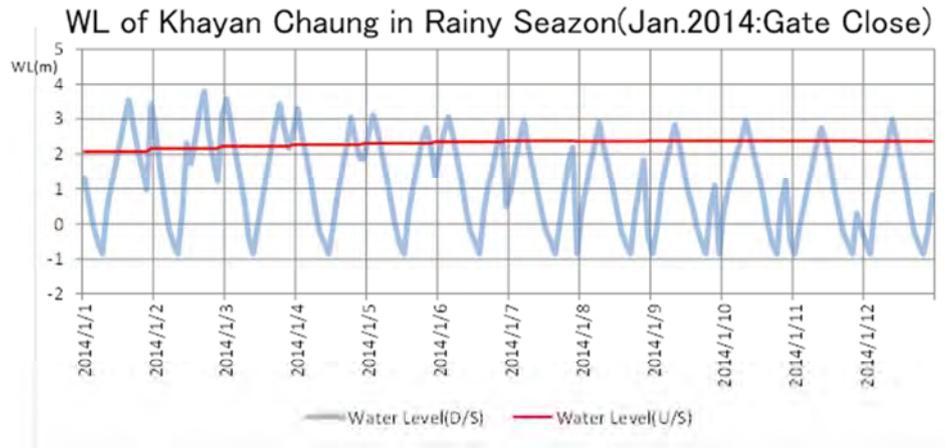


図 4-5-3-9 カヤン水門の乾季の水位記録(2014 年 1 月)

d) カヤン支川の水質

カヤン支川においては、2012 年 11 月から 2013 年 10 月に測水調査（7 項目：濁度、色度、電気伝導度、p H、DO、BOD、塩化物イオン）及び残留農薬（4 項目：2.4D、アトラジン、カルボフラン、クロルピリホス、ジメトエート、ペンディメタリン）について実施している。

試験結果は、農薬については 2 回（4 項目）とも分析限界以下であったが、測水調査 7 項目では著しい季別の変動が認められた。特に、電気伝導度（EC）及び塩化物イオン濃度は、雨季から乾季の流況の変化に敏感に反応し、EC 値で雨季には数 100  $\mu$  S/cm であったものが、乾季末（4 月）には 6,000  $\mu$  S/cm まで急激に上昇する結果となった。

e) カヤン支川の塩化の原因

2013 年の乾季の塩化は、

- ① カヤン支川では乾季には表流水の供給が完全に途絶えること、
- ② バゴー本川との会合部に設けられた防潮水門（カヤン水門）からの海水の漏入、及び
- ③ 隣接の帯水層及び塩化土壌からの塩分の浸出

などの複合的な要因と考えられた。現在、灌漑局において、支川の塩化防止を目的にカヤン水門の修繕、交換を行い、また塩化土壌分布域の特定を行っているところである。加えて、昨年 2013 年 12 月から 30 マイル緑化水路よりの試験導水が開始されたことから塩分の希釈が期待されている。

f) 電気伝導度分布 (EC)

EC と水温の関係において、水質タイプは明瞭に 2 分され、上流域 (K14-23) においては「低 EC・高温水 (代表値:  $500 \mu\text{S/cm} \cdot 27 \text{度}$ )」、下流域 (K1-7) では、「高 EC・低温水 (代表値;  $2000 \mu\text{S/cm} \cdot 25.5 \text{度}$ )」が卓越する(図 4-5-3-10 参照)。これらの水質の起源を周辺の EC-水温分布と比較すると、上流域の低 EC・高温水は 30 マイル緑化水路よりの流入口まで追跡され、また下流域の高 EC・低水温は周辺の浅層地下水に由来すると推定される。つまり、カヤン支川は、乾季には地表水の流入がなくなるにつれ、河川へ周辺の地下水が浸出する自然条件にあるが、今回導水により、上流より淡水の置き換えが始まっている状況にあるといえる。因みに、1 月から 2 月の EC 変化を見ると地下水との混合が進み塩化が僅かに進行するものの、Pagan Daung Bridge 付近の最高点は下流に移動 (1 km 程度/半月) している。

図 4-5-3-11 に試験導水開始後の電気伝導度分布 (EC) を示す。試験導水後より 2 月までの期間で、最も高い EC は、支川中流の Pagan Daung Bridge 地点 (測水調査採水地点) で、 $2,100 \mu\text{S/cm}$  (1 月) である。しかしながら同地点を除くと、支川の EC 分布は総じて上流域 (30 マイル緑化水路の流入部より中流部) で低く ( $1000 \mu\text{S/cm}$  以下)、また下流域 (カヤン水門より中流部) で高く ( $1000 \sim 2000 \mu\text{S/cm}$ ) なる。

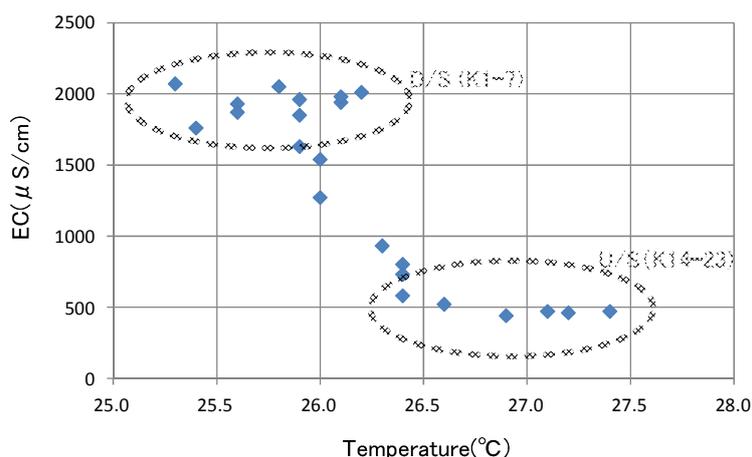
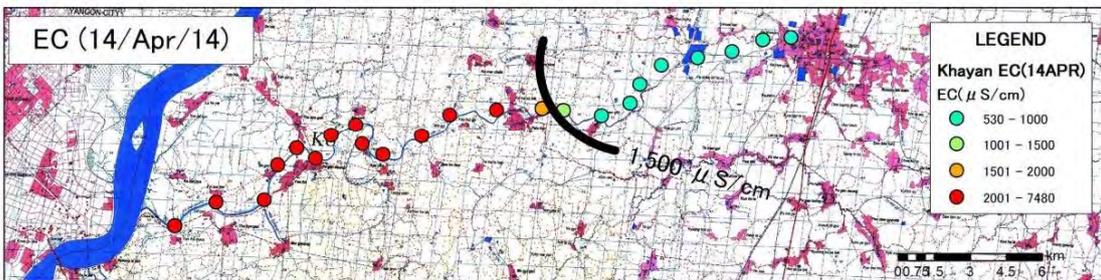
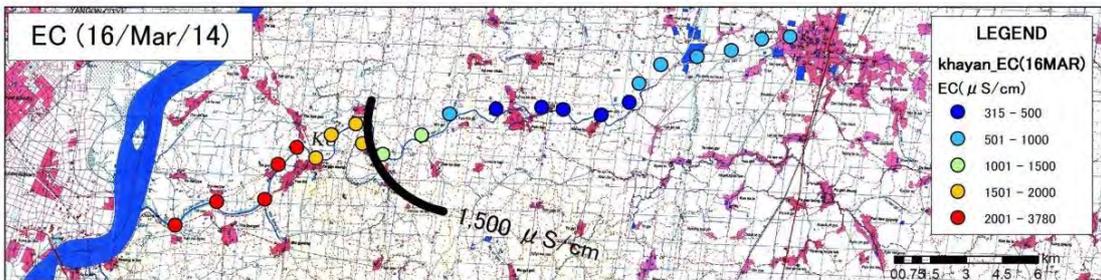
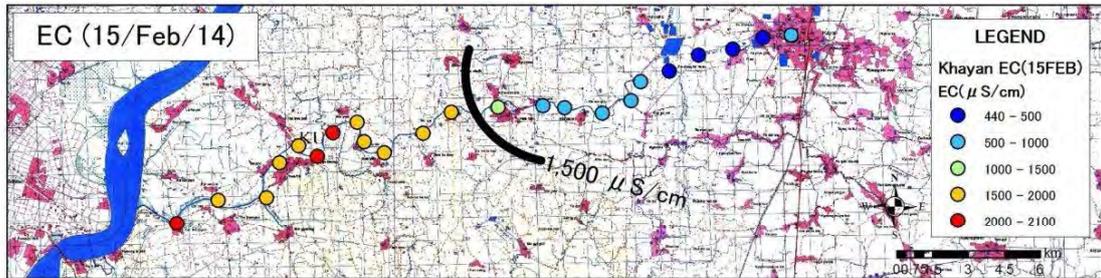
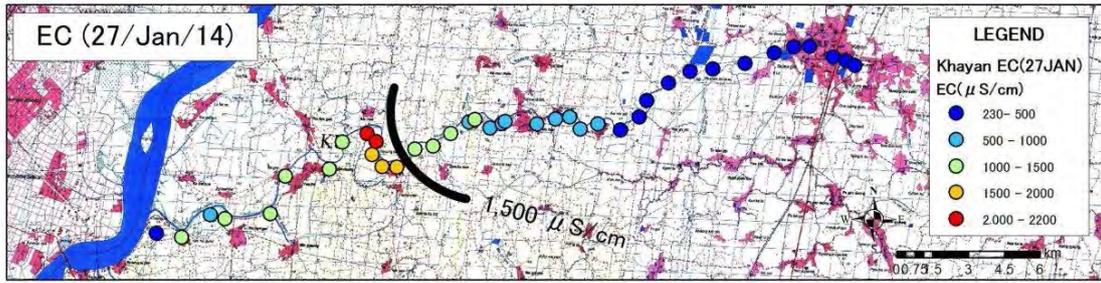


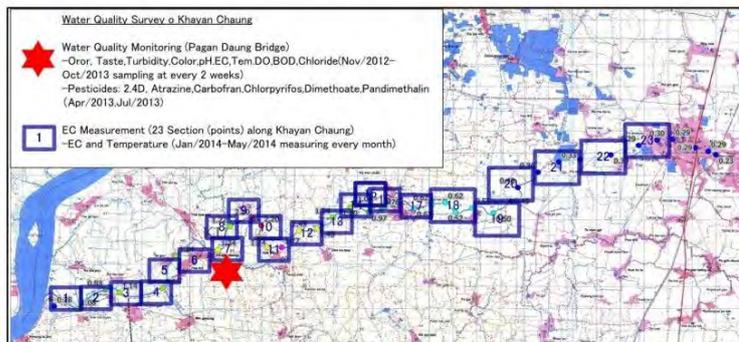
図 4-5-3-10 電気伝導度分布 (EC)-水温関係図

g) 水源量

水源量としては、河道貯留の 200MCM/年程度に加え、30 マイル緑化事業の試験通水による  $100 \text{ft}^3/\text{sec}$  ( $2.7 \text{m}^3/\text{sec}$ ) が利用可能である。また、取水位置は、カヤン水門の位置するバゴー川との合流点から 4 km 程の地点のカヤンポンプ場 (水資源利用局 (WRUD) により建設中) が有望であり、同地点における水質は乾季末 (2014 年 3 月~4 月) で  $2,000 \mu\text{S/cm}$  以上 (最大  $6,610 \mu\text{S/cm}$ 、4 月) の半鹹水となるが、雨季~乾季初頭 (5 月~2 月) で  $1,500 \mu\text{S/cm}$  以下の淡水が取水可能となる。



Distribution of Electric Conductivity



Location Map of Water Quality Survey in Khayan Cahung

図 4-5-3-11 カヤン支川、試験導水後の電気伝導度分布 (EC)

#### 4-5-4 ティラワ経済特区周辺の貯水池

##### (1) 貯水池の諸元

経済特区周辺には貯水池が複数存在するが、主要な表流水水源として建設された貯水池は以下の3つが挙げられる。

ザマニ・イン(Zarmani-Inn)貯水池 : 農業用貯水池であり主に灌漑を担う。加えて近隣の加工区へ、及び港湾へ飲用・生活用水を売水している(図4-5-4-1 左上)。

バンブエゴン(Ban Bwe Gon)貯水池 : 農業用貯水池であり灌漑用水を供給する他、近隣のチャウタウンタウンシップへ売水している。また僅かであるが、港へ飲用・生活用水を供給している(図4-5-4-1 右上)。

ティラワ(Thilawa)貯水池 : 隣接する工場及び灌漑用水を供給している。このほか、港に売水を行う(図4-5-4-1 左下)。



ザマニ・イン貯水池



バンブエゴン貯水池



ティラワ貯水池

図 4-5-4-1 ティラワ経済特区周辺 3 貯水池の全景

ザマニ・イン貯水池は、経済特区の北東に隣接し、バンブエゴン貯水池は3 kmを隔てて東に位置している。またティラワ貯水池は経済特区の中に位置する（図 4-5-4-2 参照）。

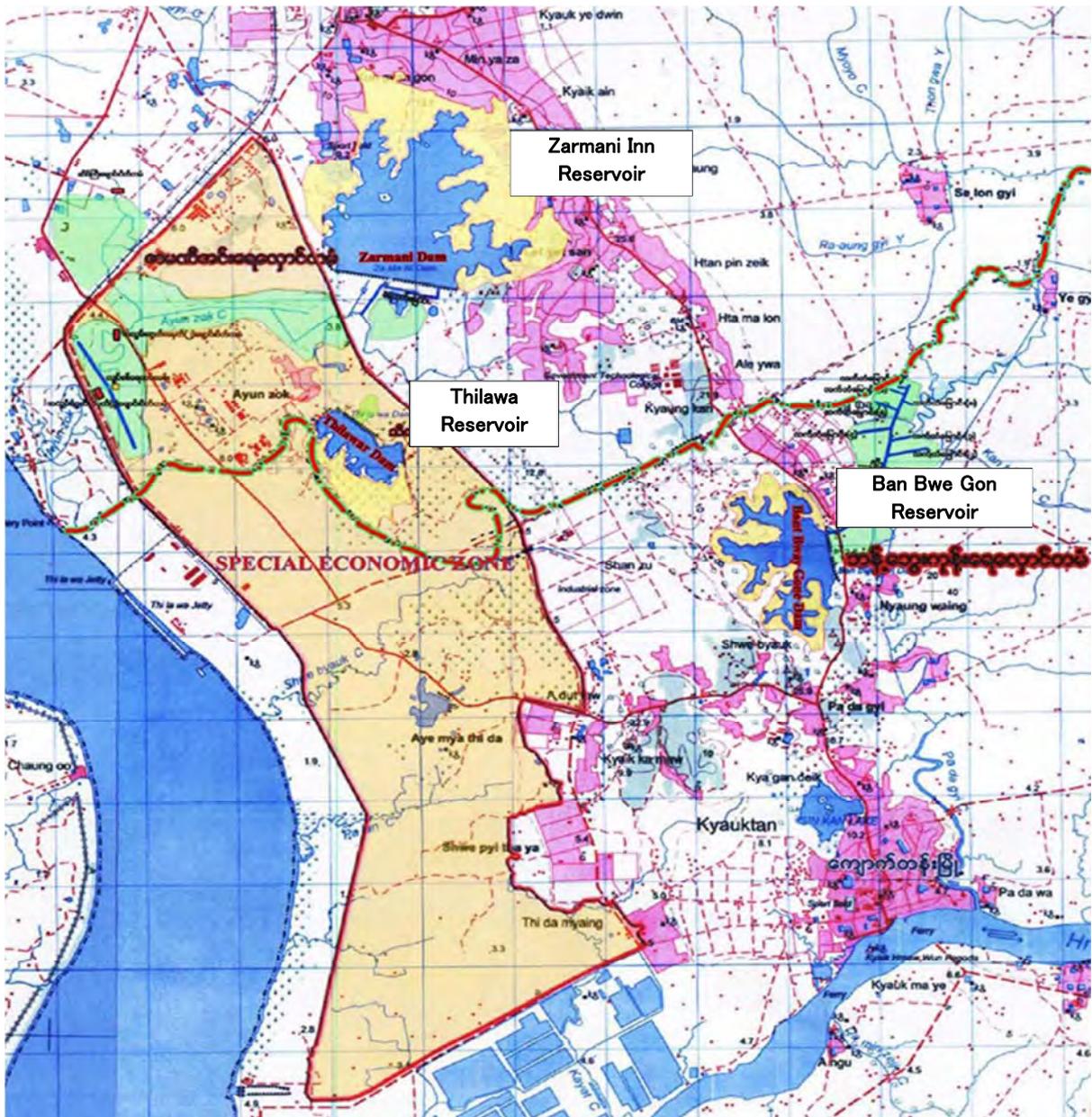


図 4-5-4-2 ティラワ経済特区周辺の3貯水池

これらはいずれも農業灌漑省灌漑局が建設した水利施設である。3貯水池中、最も古いティラワ貯水池（完工 1985 年）は既に第 1 工業省に移管されているが、バンプエゴン貯水池（完工 1994 年）及びザamani・イン貯水池（完工 1995 年）は、現時点において灌漑局が日常の管理を行っている。一方で、その水利権は、最近の法改正（灌漑面積 5,000acre 未満の中小灌漑施設を対象）によって、灌漑局からヤンゴン地域政府（Yangon Regional Government）に委譲された。

ティラワ経済特区周辺の 3 貯水池の計画諸元を表 4-5-4-1 に示す。

表 4-5-4-1 ティラワ経済特区周辺の 3 貯水池の諸元<sup>\*1</sup>

Specification		Zarmani-Inn	Ban Bwe Gon	Thilawa
Gross Storage Capacity	(1000m <sup>3</sup> )	6,616	2,140	1,363
Dead Water Storage Capacity	(1000m <sup>3</sup> )	402	185	14
Effective Storage Capacity	(1000m <sup>3</sup> )	6,217	1,955	1,349
Full Water Level	(EL m)	7.01	7.92	9.75
Dead Water Level	(EL m)	3.96	4.72	4.88(7.62) <sup>*2</sup>
Catchment Area	(km <sup>2</sup> )	7.25	2.25	0.93
Ability of Water Facility	(m <sup>3</sup> /sec)	0.765	0.765	-
Water Spread Area	(ha)	281	86	49
Construction Period	(Year Month)	1994-1995(JUN)	1993-1994(JUN)	1984-1985
Project Cost	(10 <sup>6</sup> Kyats)	448	199	47

\*1：灌漑局資料より抜粋、現地調査結果により追記。

\*2：ティラワ貯水池では、計画死水位は 16ft であるが、25ft で濁水となるため、25ft を取水最低水位としている。

## (2) 貯水池の利用概況

貯水池の利用概況（2003-2011 年）は、灌漑局水文部および第 1 工業省の管理記録によると年間の利用量は表 4-5-4-2 のとおり要約される。

表 4-5-4-2 貯水池の利用概況（2003-2011 年，単位：1000m<sup>3</sup>/年）

Purpose	Zarmani-Inn	Ban Bwe Gon	Thilawa <sup>*3</sup>
Irrigation Water (average) (maximum 1999 - 2011) (minimum 1999 - 2011)	2,455 (5,222) (752)	1,299 (2,620) (1,023)	The amount of Irrigation, Domestic and drinking water (2007 - 2011) 1,371
Domestic, Drinking Water (average : - 2011) <sup>*1</sup> (average : 2002 - 2003) <sup>*2</sup>	9 (23,719)	37 (2,187)	
Average water consumption (①+②) (average : - 2011) <sup>*1</sup>	2,464	1,336	

注 1：2002 年-2003 年を除く平均。

注 2：2002 年-2003 年は近郊の建設事業にザamani、バンプエゴン貯水池より大量に用水を供給、通常年とは異なる。

注 3：ティラワ貯水池については、2006 年以前の管理記録は、管理者（SHESAKA 工場）に残されていない。

各貯水池の1999年から2011年(2002年～2003年を除く)の平均利用量は、ザマニ貯水池 2,464 千 m<sup>3</sup>/年、バンブエゴン貯水池 1,336 千 m<sup>3</sup>/年、ティラワ貯水池 1,371 千 m<sup>3</sup>/年であり、ティラワ貯水池を除き、殆ど(ザマニ貯水池 99%及びバンブエゴン貯水池 97%)が灌漑用水に使用されている。

灌漑用途以外では、近隣の加工区、ティラワ港への給水に利用されているが裨益者は大口の事業所に限られ、0.09 Kyats/gallon(0.023 USD/m<sup>3</sup>≒1.86 円/m<sup>3</sup>)で売水している。2011年の売上実績から表 4-5-4-3 のとおり整理される。

表 4-5-4-3 工業用水及び生活用水の利用概況(単位:1000m<sup>3</sup>/年)

Zarmani-Inn		Ban Bwe Gon		Thilawa <sup>*1</sup>	
Establishment	Annual Usage	Establishment	Annual Usage	Establishment	Annual Usage
No.(1) Construction engineering battle lion (Thilawa)	5.309	Demolition of ship factory (Kyuktan)	37.237	6 factories (3,000 pop)	405
Glass Factory(Thanlyin)	3.928			Port	45
Total	9.237	-	37.237	-	450.0

注1: ティラワ貯水池の水利用に関しては運用記録が残されていないため、インタビュー結果から利用量を想定。

### (3) 貯水位及び貯水量

運用後の貯水位及び貯水量の変化は以下のとおりである。

#### 1) ザマニ・イン貯水池

ザマニ貯水池運用後14年間で最高水位は、サイクロン・ナルギスが本地区に上陸した2008年の雨季に記録されている。同年は、雨季の終了まで4か月間にわたり満水位を1m程度上回る状況にあり、かつダム本体のダメージも認められたことから、2009年5月～2010年7月においてダムの水位を下げ、ダムの補修(堤体保護工)を行っていたが、同年は旱魃年(2010年)にあたり、貯水池は2010年に3月に空になった(図 4-5-4-3 参照)。

これらの人為的なダム操作期間を除き、14年間の通常運用期でのダムの管理水位(FWL 満水位)は23ft～26ft、また最低水位は14.5ftであり、この時点の貯水量は775acre-ft(955千m<sup>3</sup>)であった。

また、2014年の4月には、改修工事が行われ洪水吐上にゲートが新設され、満水位が26.5ft(8.08m)に引き上げられるとともに、堤体も27ft(8.23m)から29ft(8.82m)への嵩上げが行われた。

### Zarmani Inn Dam

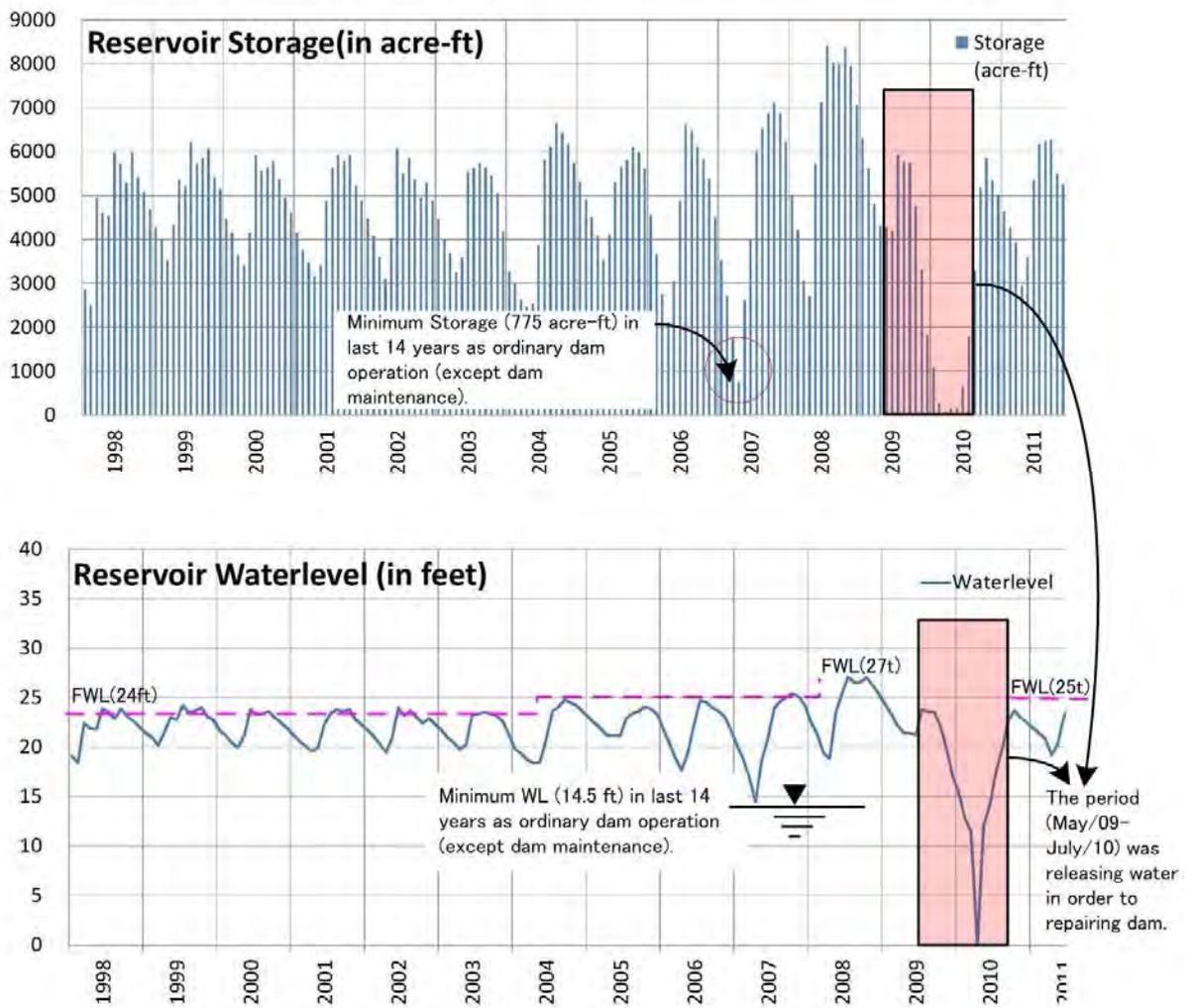


図 4-5-4-3 ザマニ・イン貯水池の水位および貯水量の変化(1998年-2011年)

2) ティラワ貯水池

ティラワ貯水池は 1985 年より運用されるが、現時点で収集される管理記録は過去 5 ヶ年分である。5 ヶ年の運用を見ると、管理水位（満水位）32ft に対し、2010 年の旱魃～現在まで貯水池は満水になったことはなく、さらに本年乾季末（2012 年 5 月、6 月）には、取水障害（用水に泥水が混入）が発生している。管理記録のある過去 5 ヶ年半の最低水位は 25ft であり、貯水量で 411acre-ft（507 千 $m^3$ ）に相当する（図 4-5-4-4 参照）。

Thilawa Dam

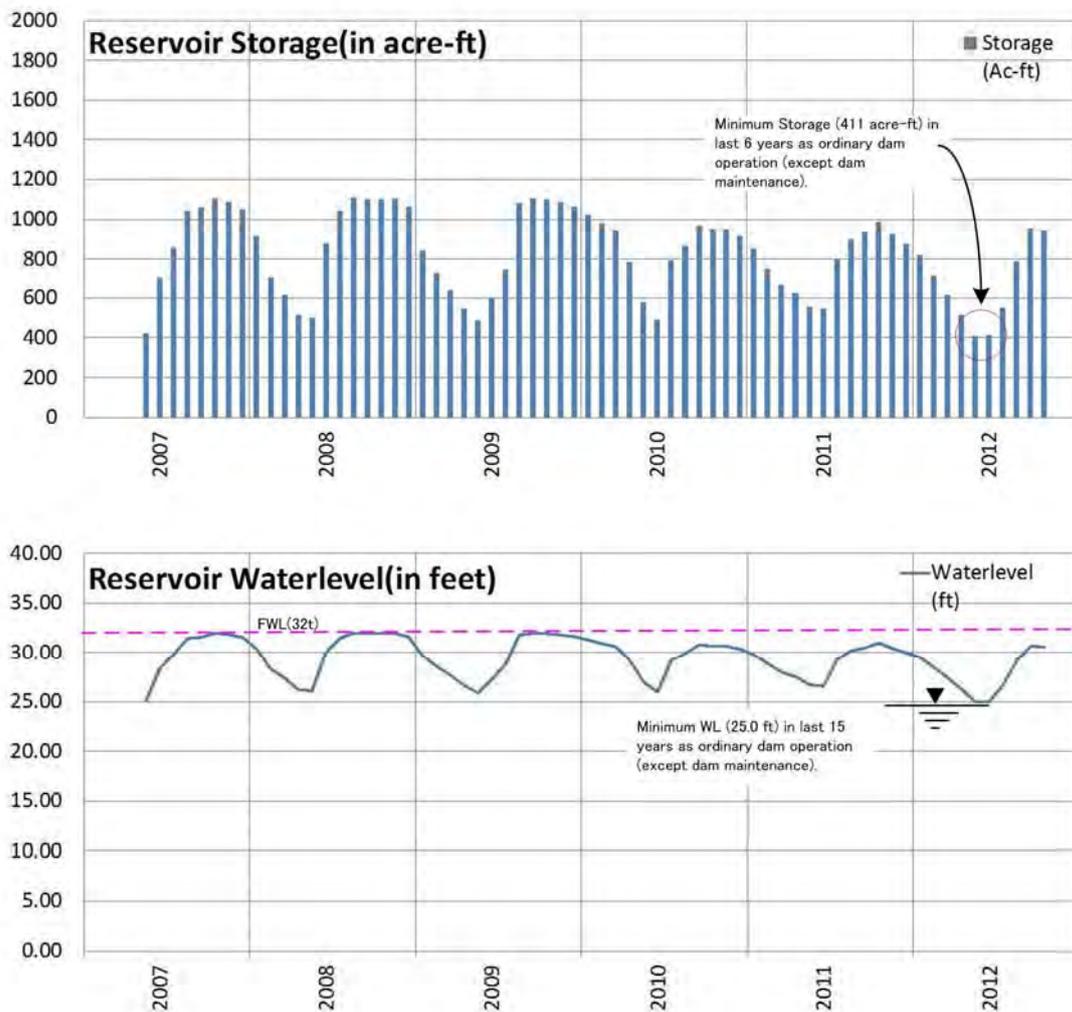


図 4-5-4-4 ティラワ貯水池の水位および貯水量の変化(2007 年-2012 年)

### 3) バンブエゴン貯水池

バンブエゴン貯水池は 1996 年より運用されるが、建設当初の 1 年間および昨年（2011 年）のダム補修等の緊急操作を除き、通常運用において管理水位は 26ft～28ft に設定されている。この間 16 年間の最低水位は 17.7ft、貯水量で 371acre-ft (457 千 m<sup>3</sup>) である (図 4-5-4-5 参照)。

2014 年の 4 月に洪水吐上にゲートが新設され、満水位が 26 feet (7.92m)から 28 feet (8.53m) に引き上げられた。

Ban Bwe Gon Dam

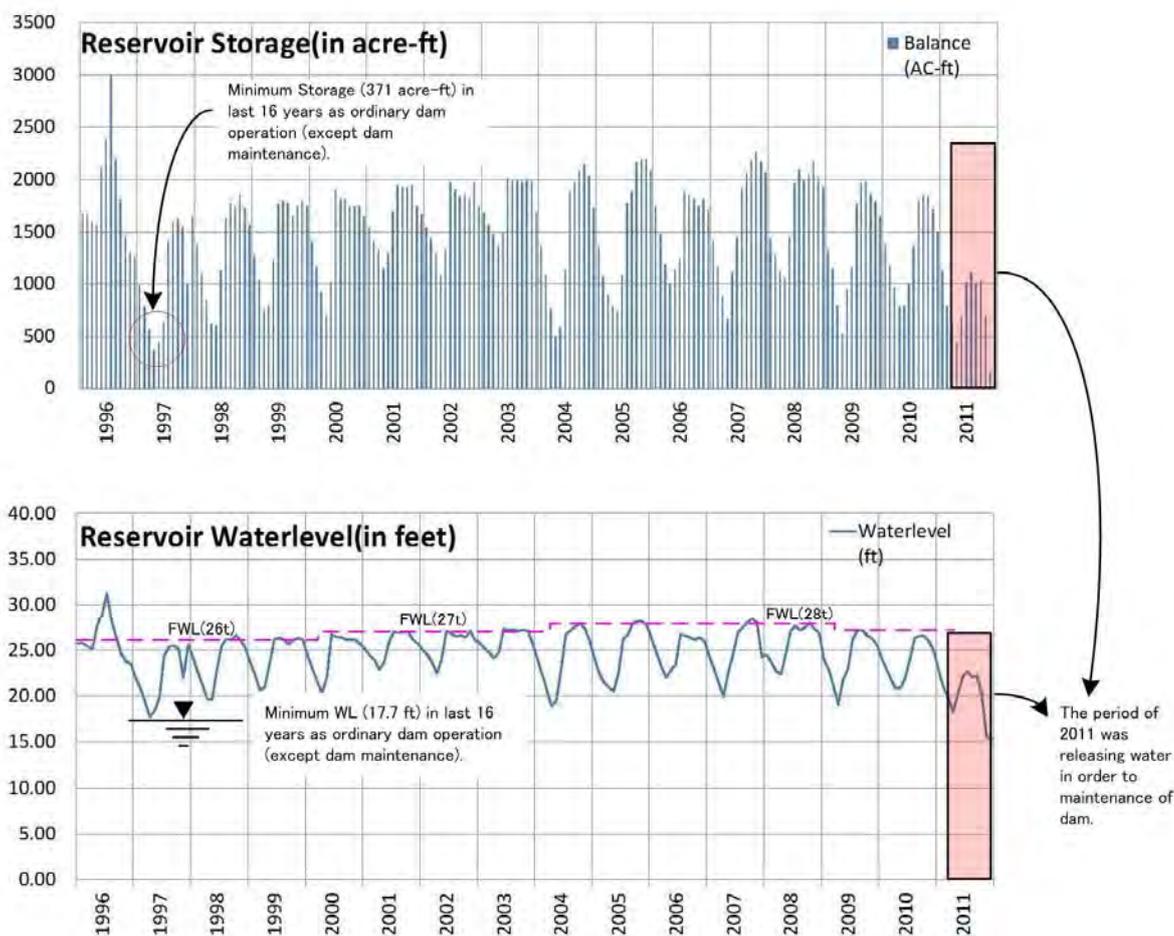


図 4-5-4-5 バンブエゴン貯水池の水位および貯水量の変化(2007 年-2012 年)

#### (4) 貯水池余剰水源の試算

ティラワ貯水池では、2010年以降の3年間で雨季末においても満水位に達していないこと、及び昨年(2011年)乾季末において取水障害(泥水混入)が発生していることなどから、余剰水の利用は難しいと判断された。

一方で、ザマニ貯水池及びバンブエゴン貯水池においては、渇水年(確率1/15年程度)の乾季末においても、553千 $m^3$ (貯水量955千 $m^3$  - 死水量402千 $m^3$ )、272千 $m^3$ (貯水量457千 $m^3$  - 185千 $m^3$ )の貯水量が残されていることから、これらの余剰を新たな利用に充てることは可能と思われた。これら2貯水池の余剰水源量を明確にし、またその限界を把握するため、貯水池運用シミュレーションを行った。以下に1)ザマニ貯水池及びバンブエゴン貯水池の水収支及び流入量、及び2)シミュレーション結果を示す。

##### 1) 貯水池の水収支及び流入量

ザマニ・イン貯水池及びバンブエゴン貯水池の現況水収支は以下のとおりである。

###### a) ザマニ・イン貯水池

貯水池への流入量は、直接測定することが難しいことから、貯水池の水収支の各項(下表①～⑤、⑥)の合計:貯水池からの取水量(下表①、②)、ロス(③蒸発、漏水、計画放流など)、越流量(下表④)及び期間中の貯水量の増減(下表⑥)を加えた値:により想定される。ザマニ貯水池の場合、緊急時の貯水池運用と思われる2002年～2003年を除き、通常期14年間の平均流入量は12,721千 $m^3$ であり、総貯水量6,616千 $m^3$ の1.9倍程度である(表4-5-4-4参照)。また、ヤンゴン気象台の同時期(1996年～2010年)の平均年雨量が2,547mm/年、及び流域面積7.25 $km^2$ より雨水量は18,465千 $m^3$ /年であることから、流出率は0.69となる。

表 4-5-4-4 ザマニ・イン貯水池の水収支及び流入量の算定(単位 1000m<sup>3</sup>)\*1

Year	Intake and Overflow (outflow)					⑥ Increase and decrease in the reservoir storage	⑦ inflow into the reservoir (⑤+⑥)
	① Irrigation	② Domesti c *3	③ Losses (Evaporation , leakage, etc.)	④ Overflo w	⑤ Outflow (①+②+③ +④)		
1996	0	0	2,705	8,092	10,797	2,110	12,907
1997	0	0	6,507	9,948	16,455	-4,911	11,544
1998	0	0	5,185	4,495	9,680	1,611	11,291
1999	2,871	0	2,638	9,770	15,279	589	15,868
2000	2,571	0	2,605	6,604	11,780	-671	11,109
2001	5,222	0	2,551	2	7,775	335	8,110
2002 <sup>*2</sup>	(2,898)	(44,453)	(2,574)	(406)	(50,331)	(0)	(50,331)
2003 <sup>*2</sup>	(4,969)	(2,984)	(3,154)	(0)	(11,107)	(-875)	(10,232)
2004	1,955	0	2,886	718	5,559	4,925	10,484
2005	1,943	0	2,657	1,192	5,792	-139	5,653
2006	4,946	0	2,592	11,825	19,363	-1,375	17,988
2007	4,238	0	2,449	13,654	20,341	2,124	22,465
2008	4,395	0	4,634	1,115	10,144	1,021	11,165
2009	2,213	0	17,325	4,437	23,975	-6,463	17,512
2010	752	0	3,349	1,209	5,310	3,946	9,256
2011	3,266	0	2,460	7,879	13,605	-866	12,739
平均	2,455	0	4,325	5,781	12,561	160	12,721

注1：灌漑局資料より抜粋。

注2：2002年-2003年は近郊の建設事業にザマニ、バンプエゴン貯水池より大量に用水を供給、通常年とは異なる。このため括弧 ( ) の値は同年の貯水池への流入量は信頼性に乏しいと判断し平均値の計算より除外した。

注3：2004年-2011年以降の飲用・生活用水については、僅かなため③損失（蒸発、漏水他）に計上。

b) バンプエゴン貯水池

バンプエゴン貯水池の通常運用期間14年間の平均流入量は5,365千m<sup>3</sup>であり（表4-5-4-5参照）、総貯水量2,140千m<sup>3</sup>の2.5倍であり、カバアエ観測所（ヤンゴン）の同時期（1996年～2010年）の平均年雨量2,547mm/年、及び流域面積2.25km<sup>2</sup>から年間の雨水量は5,730千m<sup>3</sup>であることから流出率は0.94となる。

表 4-5-4-5 バンプエゴン貯水池の水収支及び流入量の算定(単位 1000m<sup>3</sup>)\*<sup>1</sup>

Year	Intake and Overflow (outflow)					⑥ Increase and decrease in the reservoir storage	⑦ inflow into the reservoir (⑤+⑥)
	① Irrigation	② Domestic *3	③ Losses (Evaporation, leakage, etc.)	④ Overflow	⑤ Outflow (①+②+③ +④)		
1996	0	0	762	3,647	4,409	-578	3,831
1997	989	0	720	3,088	4,797	474	5,271
1998	563	0	1,693	904	3,160	-100	3,060
1999	1,290	1,379	855	0	3,524	229	3,753
2000	1,304	0	819	3,402	5,525	-126	5,399
2001	1,023	0	766	6,785	8,574	25	8,599
2002 <sup>*2</sup>	(853)	(4,237)	(793)	(5,808)	(11,691)	(101)	(11,792)
2003 <sup>*2</sup>	(378)	(137)	(964)	(12,618)	(14,097)	(-56)	(14,041)
2004	2,620	0	4,784	628	8,032	35	8,067
2005	1,032	0	740	6,124	7,896	450	8,346
2006	1,363	0	840	2,711	4,914	-460	4,454
2007 <sup>*2</sup>	(1,048)	(0)	(814)	(13,591)	(15,453)	(431)	(15,884)
2008	1,485	0	1,021	2,061	4,567	-174	4,393
2009	1,562	0	751	7,598	9,911	-335	9,576
2010	1,106	0	900	1,505	3,511	-191	3,320
2011	2,553	0	580	221	3,354	-1,676	1,678
Average	1,299	106	1,172	2,975	5,552	-187	5,365

注1:灌漑局資料より抜粋。

注2:2002年-2003年は近郊の建設事業にザマニ、バンプエゴン貯水池より大量に用水を供給、2007年はメンテナンスのため無効放流が行われ通常の運用とは異なる。このため括弧( )の値は同年の貯水池への流入量は信頼性に乏しいと判断し平均値の計算より除外した。

## 2) シミュレーション結果

貯水池シミュレーションは、前項に示した流域収支の内、1998年から2011年の14年間(2002～2003年の異常値は除外)の月別収支を利用して行った。同期間の貯水池への流入量を原資とし、既得水利権である灌漑用水+飲用・生活用水と蒸発・漏水量をまず差し引き、これに上乘せし、新規の利用量を順次増加させ取水することで、貯水池の水位がどの程度低下するかを追跡した。ここで、新規利用量の追加によって貯水池の水位が死水位を超過する時点の値(上乘せ分)を「新規可能利用量」とした。つまり、「新規可能利用量」は、過去14年間のシミュレーションで、計算上連続して貯水池より取水できる量といえる。以下にザマニ貯水池及びバンプエゴン貯水池のシミュレーション結果を要約する。

### a) ザマニ・イン貯水池

ザマニ貯水池では、貯水池改修および水利用の用途変更などがあり、これらの変更を前提に3ケースで利用可能な水源量を試算した。表4-5-4-6にシミュレーションの条件を示す。

表 4-5-4-6 ザマニ・イン貯水池のシミュレーションの条件

Case	Control Water level (FTL)	Irrigation Supply	Domestic Supply	Local Factory	Water Supply to Navy	Remarks
Case 1	EL 23t -26 ft	Average 3,017TCM with Max.5,222 TCM	Average 3,388 TCM with Max. 44,453 TCM	Average 2.9 TCM with Max. of 4.1 TCM	Average 3.9 TCM with Max. of 5.4TCM	Water utilization given Case 1 is modified from the existing records of water utilization 1998 -2011 <sup>*1</sup> .
Case 2	EL 26.5 ft	-do -	-do -	-do -	-do -	FWL is changed after dam rehabilitation made in Feb.-Apr. 2014.
Case 3	EL 26.5 ft	78.9 TCM (constant)	-do -	-do -	-do -	Water utilization follows a feature plan which irrigation area decreases by 26 from 240 acre.

注\*1: シミュレーションに使用した既存データは 1999-2011 年である。

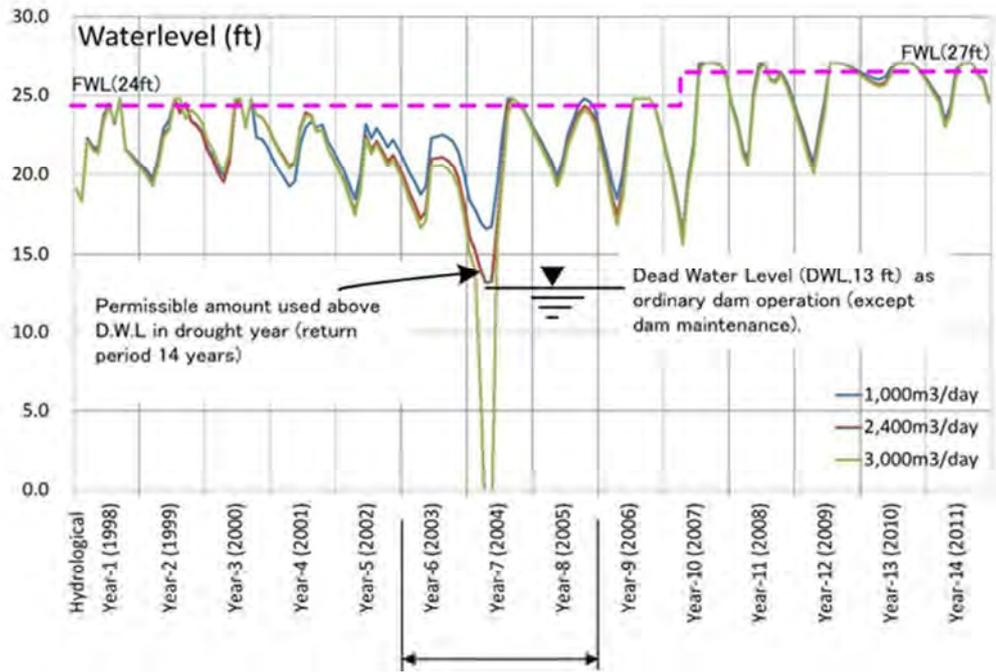
i) ケース 1

ケース 1 はダム改修以前の状態で灌漑面積 240acre(97ha)への用水を前提とし、工業用水を 1,000m<sup>3</sup>/日から 3,000m<sup>3</sup>/日まで増加させ、計算年中の最低水位月（2004 年 4 月）においても不足が生じない（運転水位が死水位を下回らない）取水量を求めた。試算を繰り返し、工業用水は最大 2,400m<sup>3</sup>/日が配分可能との結果が得られた。図 4-5-4-6 にシミュレーション結果を示す。

ii) ケース 2

ケース 2 はダム改修後の 2014 年に建設されたゲート（fallen shutter）により 2ft のダム堰上げの効果を考慮した。計算条件はダム満水位（FTL）を 23ft<sup>12</sup>から 26.5ft に引き上げ、灌漑用水は従前どおり 240acre(97ha)へ用水した場合の余剰を算定した。試算により、工業用水への配分量として 5,030 m<sup>3</sup>/日が取水可能であり、これよりケース 1 の 2,400m<sup>3</sup>/日を差し引いた 2,630 m<sup>3</sup>/日がダム改修の効果と判定された。図 4-5-4-7 にシミュレーション結果を示す。

<sup>12</sup> ダム計画時の洪水吐標高は 20ft であったが、2004 年以来、洪水吐け上に土嚢を積み上げ 25 ft で運用されてきた。改修によってさらに 26.5 ft まで満水位が引き上げられることとなる。



Year-6 (2003) --- Year-8 (2005)

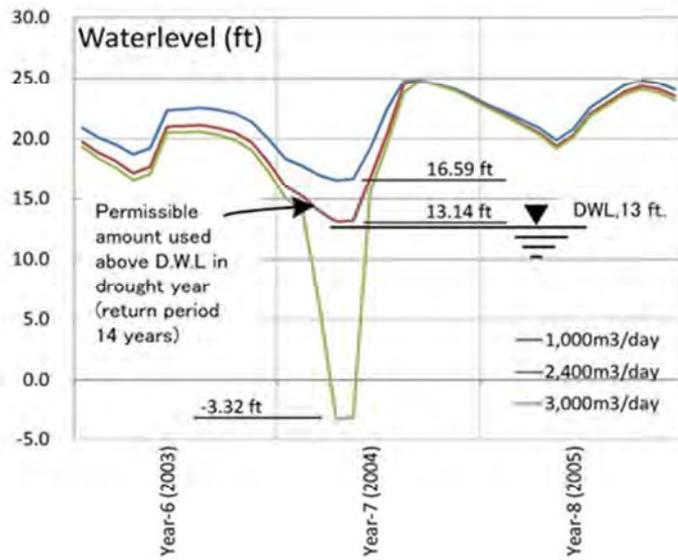
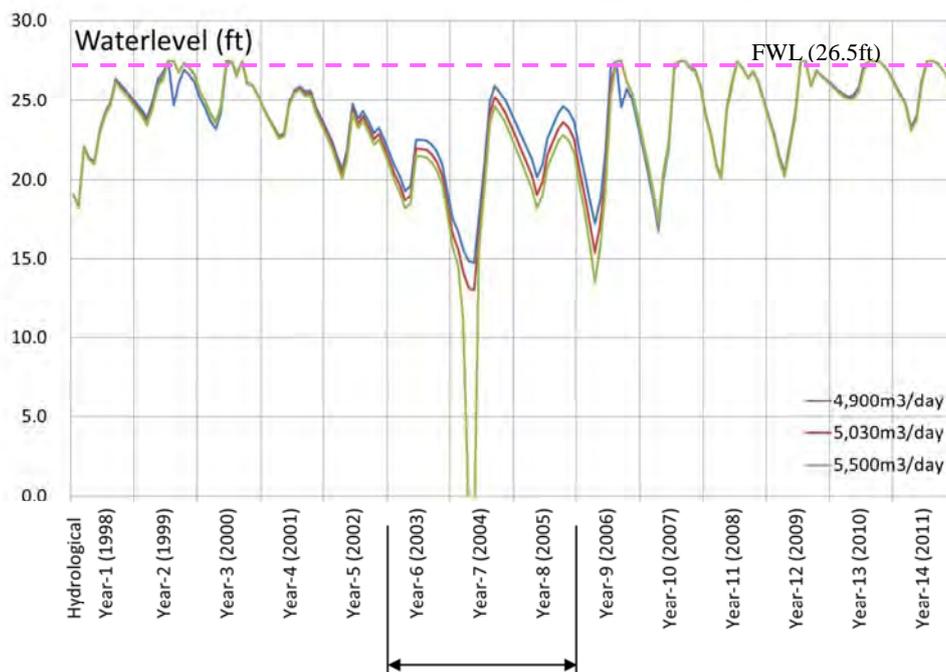


図 4-5-4-6 ザマニ・イン貯水池の運用シミュレーション結果(ケース 1)



Year-6 (2003) --- Year-8 (2005)

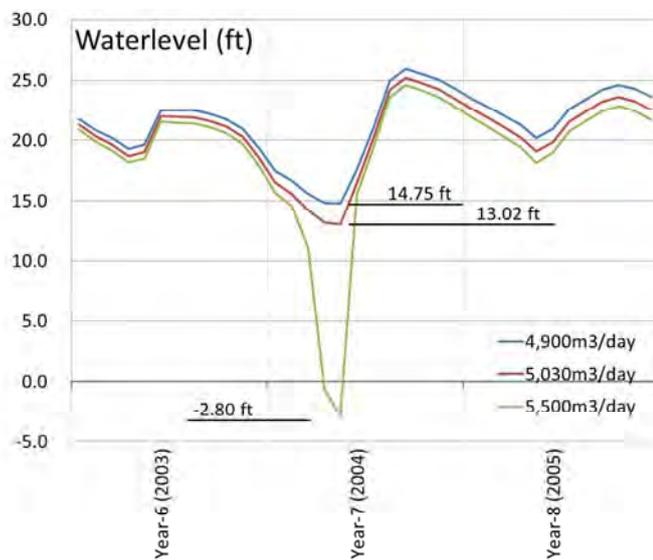
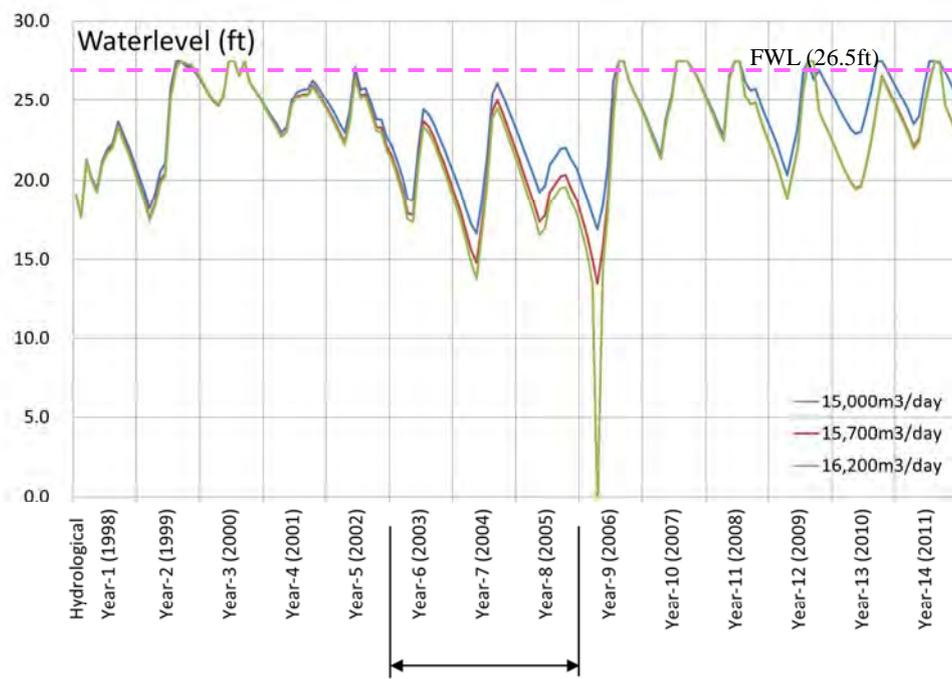


図 4-5-4-7 ザマニ・イン貯水池の運用シミュレーション結果(ケース 2)



**Year-7 (2004) --- Year-9 (2006)**

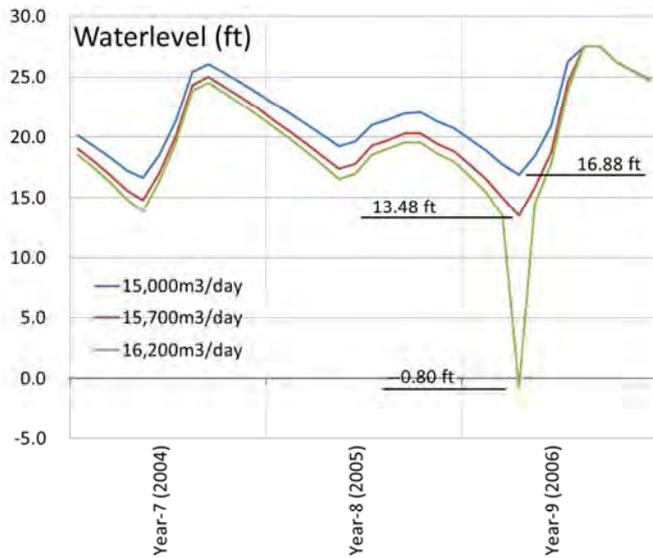


図 4-5-4-8 ザマニ・イン貯水池の運用シミュレーション結果(ケース 3)

iii) ケース 3

ケース 3 のシミュレーションは、ダム改修後の条件（満水位：26ft）で、かつ現在検討されている配分計画を計算条件とした。ザマニ・イン貯水池の水源配分については、従来の経済特区区内で行われていた乾季の米作（灌漑面積 240acre または 97ha）を中止し、経済特区外の畑作（26acre または 10.5ha）のみとすることが検討されている。これらの計画に従い、灌漑用水を削減し、余剰を工業用水に転用する条件で試算を行った結果、工業用水として 15,700 m<sup>3</sup>/日 が利用可能となった（図 4-5-4-8 参照）。

ケース 3 の結果およびダム貯水バランスを基に、ザマニ・イン貯水池の水源量と各用途への配分量について要約すると表 4-5-4-7 のとおりとなる。

表 4-5-4-7 ザマニ・イン貯水池の水源量と配分

Water Resources	Water recourses/utilizable/allocable water		
	MCM/a	MGD	Remarks
①Total Surface Water Resource	12.7	7.7	Total inflow to reservoir
②Loss	4.3	2.6	Evapotranspiration and seepage, 1.5m/sq.km(reservoir area)
③Utilizable Water	8.4	5.1	③=①-②
④Uncontrolled Flooding	2.5	1.5	Spilled water from dam spill way
⑤Allocable Water Resource	5.9	3.5	⑤=③-④
⑥Environmental Flow	0.0	0.0	Equivalent to 9mm/sq.km(catchment area)
⑦Irrigation Use	0.1	0.0	Irrigation Area 11 ha(26acre)
⑧Industry Use	5.8	3.5	Thilawa SEZ
⑨Electricity Generation	0.0	0.0	None
⑩Domestic Supply	0.0	0.0	None

b) バンプエゴン貯水池

バンプエゴン貯水池の試算は表 4-5-4-8 に示した 2 ケースで実施し、各用途別の利用可能量を試算した。

表 4-5-4-8 バンプエゴン貯水池のシミュレーションの条件

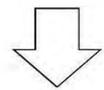
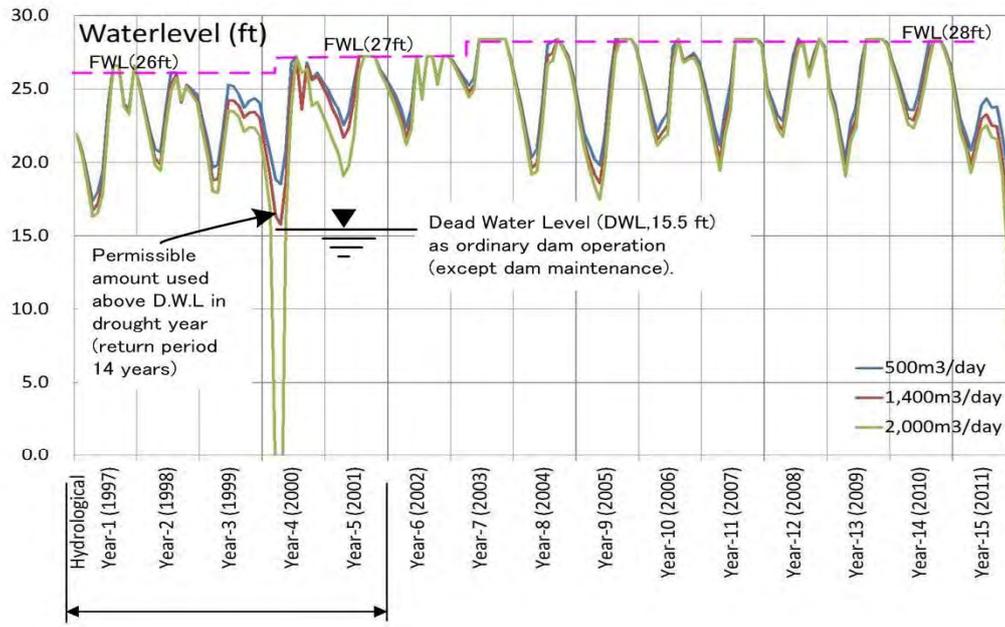
Case	Control Water level(FTL)	Irrigation Supply	Domestic supply	Local Factory	Water Supply to Navy	Remarks
Case 1	EL 26 ft	Average 1,278 TCM with Max.2,620 TCM	Average 387 TCM with Max. 4,237 TCM	-	-	Water utilization given Case 1 is same as the existing records of water utilization 1997 -2011.
Case 2	EL 28 ft	-do -	-do -	-do -	-do -	FWL is changed after dam rehabilitation made in Feb.-Apr. 2014.

i) ケース 1

ケース 1 は貯水池改修以前の条件で行った。灌漑用水を従前どおりとし、工業用水を順次 500m<sup>3</sup>/年から 2,000m<sup>3</sup>/日まで増加させ試算を行った。計算期間の最低水位は 2,000 年 4 月であり、この時点で取水可能となる余剰水源量は 1,400 m<sup>3</sup>/日 (511 千 m<sup>3</sup>/年、414acre-ft/年) と試算された。(図 4-5-4-9 参照)。

ii) ケース 2

ケース 2 は改修後の条件で実施した。バンプエゴン貯水池においても、ゲートの新設により満水位は 26ft から 28 feet に引き上げられた。これらに伴う貯水量の増分を考慮し、またこれまでの灌漑用水の供給を前提に、余剰及び開発水源量を試算した。試行を繰り返し、2,000 m<sup>3</sup>/日が得られた(図 4-5-4-10 参照)。



Year-1 (1997) --- Year-5 (2001)

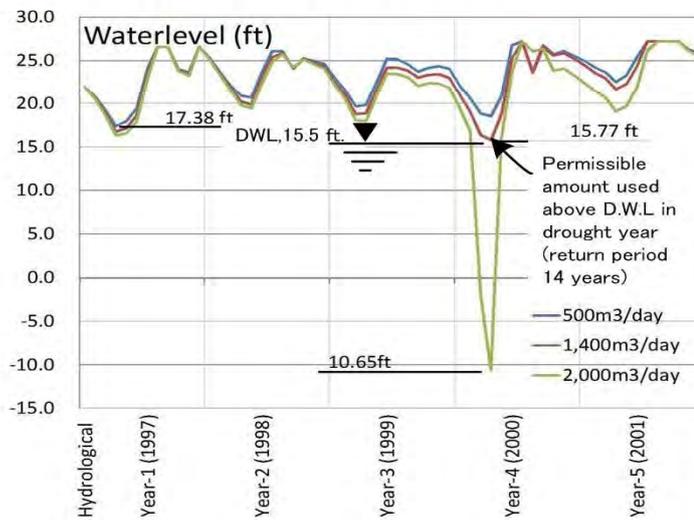
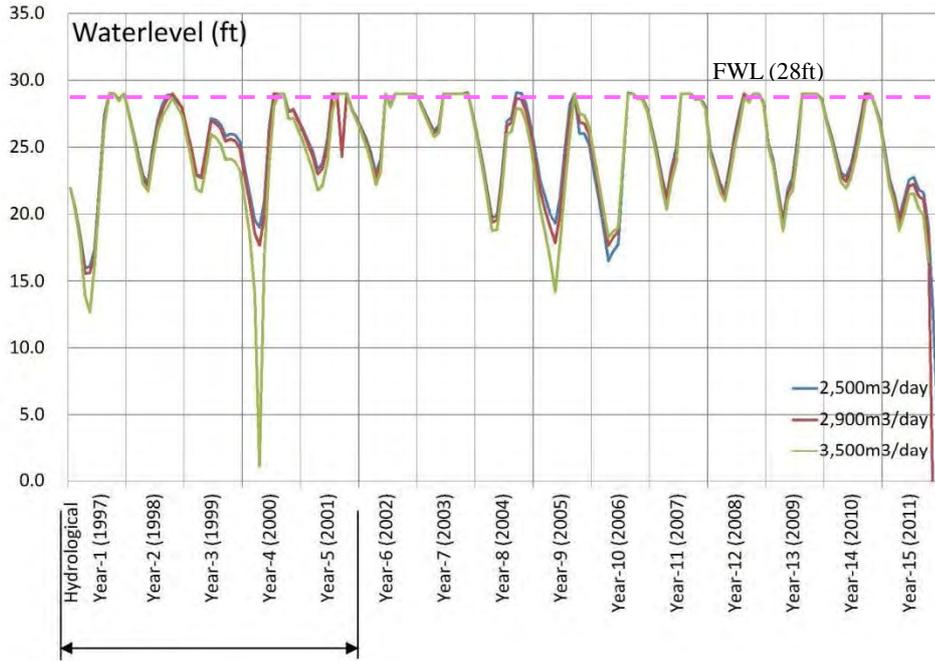


図 4-5-4-9 バンブエゴン貯水池の運用シミュレーション結果(ケース 1)



Year-1 (1997) --- Year-5 (2001)

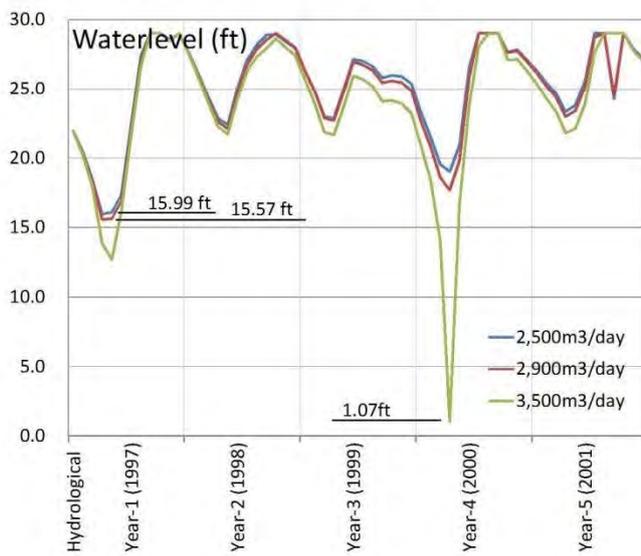


図 4-5-4-10 バンプエゴン貯水池の運用シミュレーション結果(ケース 2)

(5) ティラワ経済特区周辺の3貯水池の水源地

3貯水池の水源地および利用可能量を表4-5-4-9に要約する。

表 4-5-4-9 ティラワ経済特区周辺の3貯水池の水源地

(単位: 1000m<sup>3</sup>/年, 括弧内の数字は m<sup>3</sup>/日)

項目	ザマニ・イン貯水池	バンプエゴン貯水池	ティラワ貯水池	合計
① 既得水利権 (灌漑用水)	2,455 (6,730)	1,299 (3,560)	921 (2,520)	4,675 (12,810)
② 既得水利権 (上・工業用水、生活用水)	9 (20)	37 (100)	450 (1,230)	496 (1,360)
③ 既得水利権合計 (①+②)	2,464 (6,750)	1,336 (3,660)	1,371 (3,750)	5,171 (14,170)
④ 余剰水源地 (現状利用における余剰)	876 (2,400)	511 (1,400)	0 (0)	1,387 (3,800)
⑤ 新規開発水源地	960 (2,630)	548 (1,500)	0 (0)	1,508 (4,130)
⑥ 利用可能水源地 (既得水源地からの転換を除く) (④+⑤)	1,834 (5,030)	2,395 (2,900)	1,371 (0)	8,066 (7,930)
<p>注：既得水利権については灌漑局調査データ（1996-2011年の運用実績記録）を参照。余剰水源地、新規開発水源地については、灌漑局調査データをもとに貯水池シミュレーション（調査団）により推定した。各項目（①～⑥）の詳細は以下のとおり。</p> <p>① 既得水利権（灌漑用水）：ザマニ・イン貯水池よりSEZ内および周辺に供給された灌漑用水量（1996年-2010年の実績平均値）。</p> <p>② 既得水利権（上・工業用水、生活用水）：ザマニ・イン貯水池よりSEZ内および周辺に供給された上・工業用水、生活用水の合計（1996年-2010年の実績平均値）。</p> <p>③ 既得水利権合計：①既得水利権（灌漑用水）と②既得水利権（上・工業用水、生活用水）の合計。</p> <p>④ 余剰水源地（現状利用における余剰）：1996年-2010年のザマニ・イン貯水池利用期間中における貯水池に残された水源地。</p> <p>⑤ 新規開発水源地：貯水池改修により新たに開発される水源地</p> <p>⑥ ④余剰水源地（現状利用における余剰）と⑤新規開発水源地の合計。</p>				

ダム貯水池に残される余剰水源地とゲート新設等による開発水源地の合計は 7,930 m<sup>3</sup>/日である。これは、其々、ザマニ・イン貯水池から 5,030m<sup>3</sup>/日、またバンプエゴン貯水池から 2,900m<sup>3</sup>/日（の計 7,930 m<sup>3</sup>/日）であるが、バンプエゴン貯水池からのティラワ経済特区への配水は、現存する灌漑用水などの既得水利権との調整が難しい。

なお、灌漑局の情報によると、ザマニ・イン貯水池において灌漑面積減少に伴い今後灌漑に必要な水量が 78,900m<sup>3</sup>/年程度（乾季 10月から4月の畑地灌漑のみ）に減少する見込みであり、この減少分をティラワ経済特区への工業用水へ用途転換が可能であれば 15,700m<sup>3</sup>/日が利用可能水源地となる。

#### 4-5-5 ラグンビン貯水池

##### (1) 貯水池の概要

ラグンビン貯水池は灌漑局が 2000 年に建設した貯水池であり、ティラワ経済特区の北方 70 km に位置する堤高 18.9m、堤長 1578.8m、総貯水量 183.5MCM（有効貯水量 177.0 MCM）の農業用ダムである。原計画では 3,560 ha (8,800 acre) の灌漑用に供される予定であったが、現時点の灌漑面積は、1,780 ha (4,000 acre) である。貯水容量や流入量に比べ使用水量が小さいことから、灌漑局は、同貯水池に余剰水が残されていると考えている。

図 4-5-5-1 にラグンビン貯水池、主要灌漑水路及び灌漑地の概略位置を示す。

##### (2) 貯水池の諸元

ラグンビン貯水池の諸元を表 4-5-5-1 に示す。同貯水池の東方には、アライニ (Aline Nee) 貯水池(総貯水量 39,000 ac-ft, 流域面積 14.2 Square-mile)が隣接しており、両貯水池は、連結水路にて結ばれ、両者の水位差に応じ、相互に貯水は移動する。また、アライニ貯水池には洪水吐がなく、ラグンビン貯水池の洪水吐がアライニ貯水池の洪水吐けを兼用する。

表 4-5-5-1 ラグンビндаム貯水池の計画諸元

No.	Subject	La Gun Byin
1.	Location	Border of Yangon Division and Bago Division, Near Tha me ka lay Village
2.	Map Reference	94 C/7 L 718932
3.	Name of Chaung	La Gun Byin chaung
4.	Catchment area	42 Square-mile (108.78 km <sup>2</sup> )
5.	Average annual rain fall (Inch)	100 inch (2,500 mm)
6.	Average Annual Inflow (Ac-ft)	126,000 Ac-ft (155.418 MCM)
7.	Type of Dam	Earth Dam
8.	Height of Dam	62 ft (18.89m)
9.	Length of Dam	5,180 ft (1578.8m)
10.	Storage Capacity of Full Tank (Ac-ft)	148,800 Ac-ft (183.512 MCM)
11.	Dead Storage Capacity (Ac-ft)	5,250 Ac-ft (6.476 MCM)
12.	Water Spread Area of F.T.L (Acre)	6,700 Acre (27km <sup>2</sup> )
13.	Type of Conduit	Reinforce Cement Concrete
14.	Size of Conduit	4 ft x 6 ft (2) hole (1,219 x 1,829 mm)
15.	Length of Conduit (Ft)	244 ft (74.37m)
16.	Conduit Design Discharge(Cuft/sec)	500 Cuft/sec
17.	Type of Spillway	Reinforce Cement Concrete(Broad Crest)
18.	Width of Spillway (Ft)	50 ft (15.24 m)
19.	Spillway Design Discharge (Cuft/sec)	900 Cuft/sec (25m <sup>3</sup> /sec)
20.	Irrigable Area (Acre)	8,800Acre (3,560 ha) – Plan in 2002 4,000 Acre (1,618 ha) – in 2012

出典:灌漑局

### (3) 貯水池の取水設備とかんがい水路

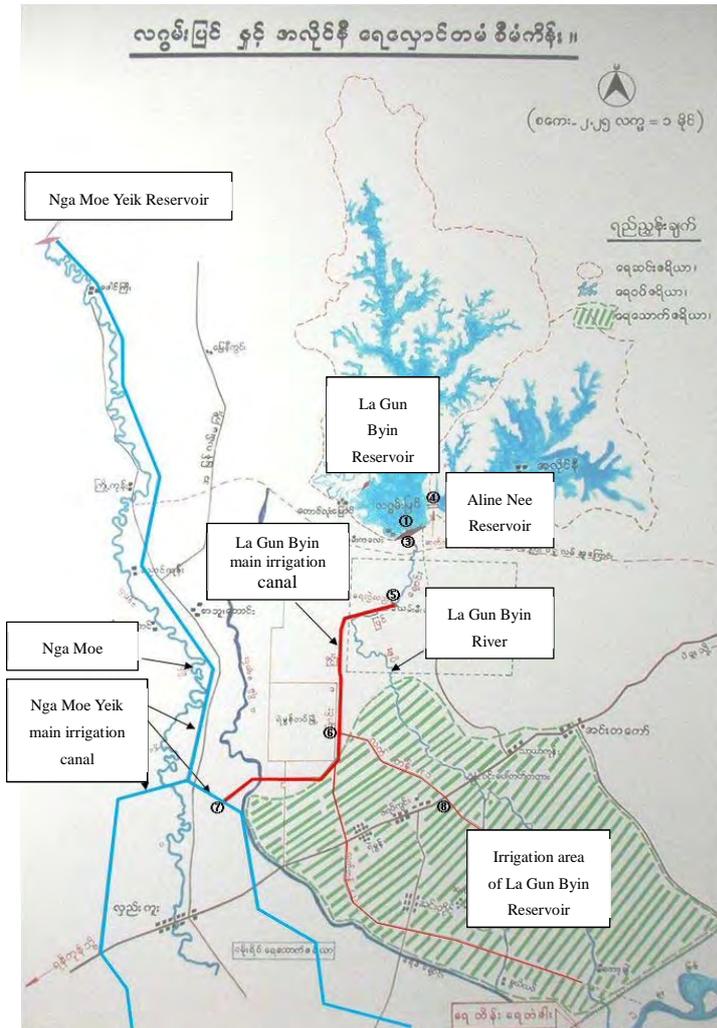


図 4-5-5-1 ラグンビン貯水池、幹線灌漑水路およびかんがい地域の概略位置図

から 103MCM/年が蒸発散により失われ、71MCM/年が制御されず洪水として流去する。残る 111 MCM/年が利用可能量であり、これから環境用水量を差し引いたものが実際に利用することができる水源となる。環境用水量の算定については、ラグンビン支川において、水質、堆積物、塩水侵入、水中生物、地下水涵養量、河畔居住者、及び支川に係る環境文化などの情報がなく、包括的手法の適用はできなかったことから水文統計による概定に頼らざるを得なかった。

ラングンビンは半ば季節河川であり、旱魃年には乾季末の 2、3 か月に断流し自然流量から環境用水量も大きくないと容易に想定できることから、環境用水量として最大渇水月の平均値 (14 MCM/年) 程度が環境用水量として適当と判断した。また、雨季の 4 ヶ月間は貯水池洪水吐からの環境用水に代わる無効放流があることから、これを差し引き約 8 MCM/年を年間の環境用水量

かんがい用水は、貯水池の取水施設 (能力 14.2m<sup>3</sup>/sec) からラグンビン川に落とされ、約 2.9 km 下流に設置された分土工により、幹線かんがい水路 (土水路; 部分的にライニングあり) へと流入する。

幹線水路からは、2 本の支幹線水路を通じて、受益地へ配水される。本幹線水路の末端は、ガモエ貯水池からの幹線かんがい水路に連結されているが、現在は水門により常時閉じられている。

### (4) 貯水池バランス

流入量、生活用水、灌漑用水、蒸発散ロス及び放流量から構成される貯水池の水収支は灌漑局によって作成されている。表 4-5-5-2 および図 4-5-5-2 に 2006 年以降の貯水池収支を示す。

ラグンビン貯水池への年間の流入量は 285MCM/年であり、これか

と判断した。つまり、利用可能量111 MCM/年から環境用水量8 MCM/年<sup>13</sup>を差し引いた103 MCM/年が灌漑、工業、生活用水等のセクターへの配分可能量となる。

表 4-5-5-2 ラグンビンダム貯水池の年間収支(2006年-2012年)

Year	① Inflow	OUT(MCM)						Storage Carry-over
		② Domestic Supply	② Irrigation Water	③ Evaporation Loss	④ Spilled Water	⑤ Released Water	⑥Total (②+③+ ④+⑤)	
2006	320	112	0	75	136	0	323	-3
2007	330	151	0	123	69	0	343	-13
2008	230	127	0	90	8	0	225	4
2009	249	0	0	130	40	85	254	-5
2010	227	0	78	76	16	43	213	14
2011	357	0	93	135	150	0	377	-20
2012	284	0	52	95	77	44	268	16
Avg.	285	56	32	103	71	25	286	-8

Source: Irrigation department

表 4-5-5-3 ラグンビンダム貯水池の月別収支(2010年10月-2011年12月)

Year	① Inflow	OUT(MCM)						Storage Carry-over
		② Domestic Supply	② Irrigation Water	③ Evaporation Loss	④ Spilled Water	⑤ Released Water	⑥Total (②+③+ ④+⑤)	
2010								
Oct	29.0	0.0	0.0	8.3	8.5	3.7	20.5	8.52
Nov	18.9	0.0	0.0	12.0	5.2	3.9	21.1	-2.21
Dec	12.2	7.4	0.0	3.4	2.4	5.0	18.2	-5.93
2011								
Jan.	2.8	0.0	13.9	10.7	0.0	0.0	24.6	-21.7
Feb	0.0	0.0	14.1	14.9	0.0	0.0	29.0	-29.0
Mar	1.3	0.0	14.7	22.2	0.0	0.0	36.9	-35.7
Apr	0.0	0.0	18.1	37.2	0.0	0.0	55.3	-55.3
May	0.8	0.0	12.4	10.5	0.0	0.0	22.9	-22.1
Jun	71.0	0.0	4.3	3.2	0.0	0.0	7.5	63.5
Jul	86.8	0.0	0.0	2.5	0.0	0.0	2.5	84.2
Aug	76.2	0.0	0.0	3.4	39.0	0.0	42.4	33.7
Sep	84.9	0.0	0.0	7.6	69.1	0.0	76.7	8.2

<sup>13</sup> 年間8MCMの環境用水量は平均流量の11%(=0.23m<sup>3</sup>/100km<sup>2</sup>)にあたり、本邦の河川維持流量の目安0.1~0.3 m<sup>3</sup>/100 km<sup>2</sup>の範囲に収まる。

Oct	29.6	0.0	0.0	7.4	39.3	0.0	46.7	-17.1
Nov	3.4	0.0	6.9	6.7	2.1	0.0	15.8	-12.3
Dec	0.0	0.0	8.0	8.8	0.0	0.0	16.8	-16.8
Total	357	0	93	135	150	0	377	-20

出典：灌漑局資料

ラグンビンダム当初計画(La Gun Byin Irrigation Project)では、貯水池より 64 MCM/年の用水を農地へ導水し 3,560ha を灌漑することとなっていた。この時点で、貯水池には 39 MCM (103 MCM/年- 64 MCM/年= 39 MCM/年)の余剰水があった。また、末端の灌漑水路網が建設中であったことから、2012年時点での灌漑面積は 2000ha の必要水量は 36 MCM/年に留まり、28 MCM/年が未使用のまま下流に放水されていた。この 2012年時点で使われていない既得灌漑水 67 MCM/年(40MGD)の利用について、上工水への用途変更が農業灌漑省および関係機関の間で調整が行われ、YCDC へ 50 MCM/年(30MGD)、ティラワ経済特区へ 17 MCM/年(10MGD) を配分することが確認されている。表 4-5-5-4 にラグンビンダムの水資源配分を示す。

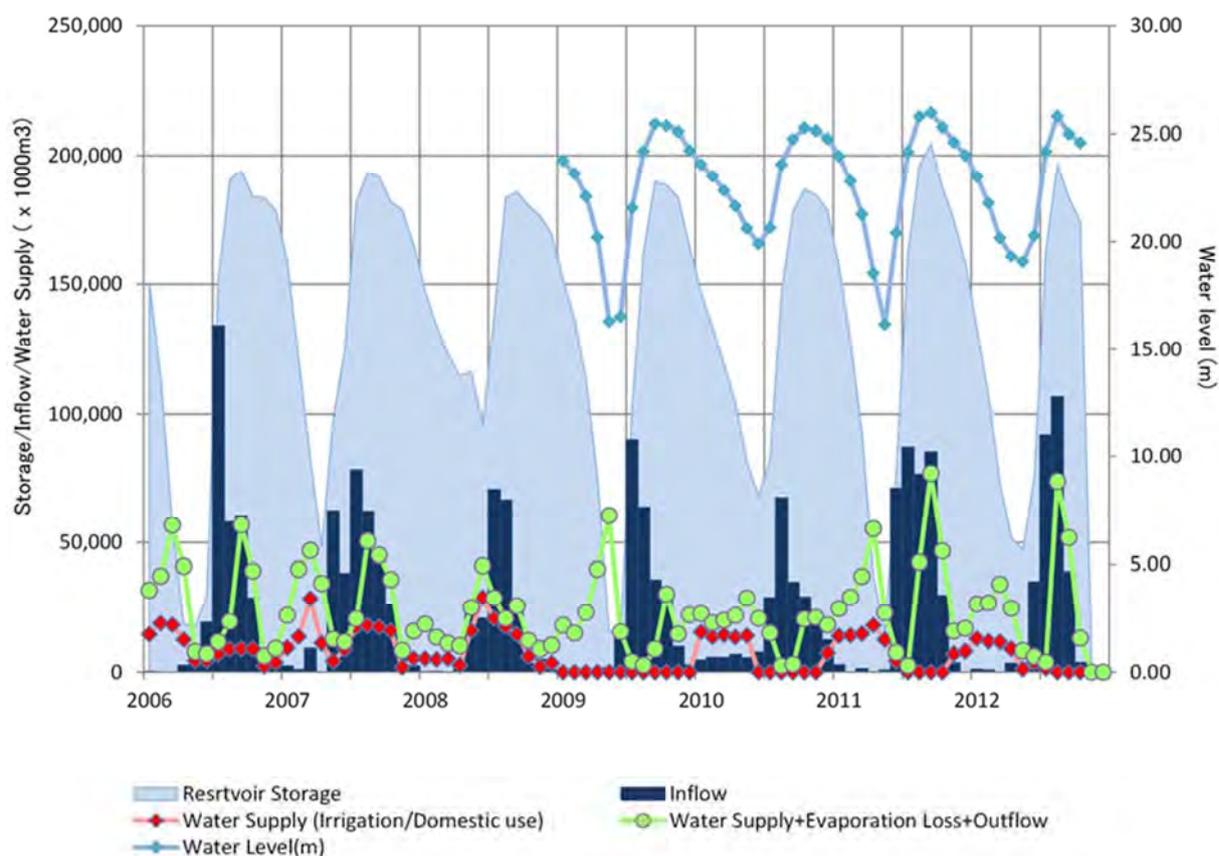


図 4-5-5-2 ラグンビン貯水池の水位と流入量 (2006年-2012年)

表 4-5-5-4 ラグンビン貯水池の水資源配分

Water Resources	Water recourses/utilizable/allocable water		
	MCM/a	MGD	Remarks
①Total Surface Water Resource	285	172	Total inflow to reservoir
②Loss	103	62	Evapotranspiration and seepage, 3.8m/sq.km(reservoir area)
③Utilizable Water	111	67	③=①-④
④Uncontrolled Flooding	71	43	Spilled water from dam spill way
⑤Allocable Water Resource	103	62	⑤=③-④
⑥Environmental Flow	8	5	Equivalent to 9mm/sq.km(catchment area)
⑦Irrigation Use	36	22	Irrigation Area 2000ha, Water allocation is 38% for original Plan(5200ha)
⑧Industry Use	17	10	Thilawa SEZ
⑨Electricity Generation	0	0	None
⑩Domestic Supply	50	30	Yangon Water Supply

(5) 水質

2013/14年の乾季初頭から乾季末にかけ、ラグンビンダム放水路出口にて水質のサンプリングを行い、重金属を含む24項目（本邦の水道項目より選定）について水質試験を実施した。臭気、色度、濁度、マンガン（Mn）、鉄(Fe)については日本飲用基準を上回ったものの、重金属等の濃度は基準以下であり水道原水として水質は適合していた（図4-5-5-5参照）。

表 4-5-5-5 ラグンビンダム貯水池の水質試験結果

No	Items	Unit	Standard Value	Sampling Date	
				Wet season 2013/12/2	Dry season 2014/4/11
1	Odor	—	Not abnormal	dusty	dusty
2	pH Value	—	5.8-8.6	6.2(20°C)	6.5(20°C)
3	Cadmium	mg/L	0.01	< 0.0003	< 0.0003
4	Cyanide ion and Cyanogens Chloride	mg/L	0.01	< 0.001	< 0.001
5	Lead	mg/L	0.01	< 0.001	< 0.001
6	Chromium(VI)	mg/L	0.05	< 0.005	< 0.005
7	Arsenic	mg/L	0.01	< 0.001	< 0.001
8	Mercury	mg/L	0.0005	< 0.00005	< 0.00005
9	Selenium	mg/L	0.01	< 0.001	< 0.001
10	Nitrate and Nitrite	mg/L	10	< 0.02	< 0.02
11	Fluoride	mg/L	0.8	< 0.05	< 0.05
12	Boron	mg/L	1	< 0.02	< 0.02
13	Copper	mg/L	1	< 0.001	< 0.001
14	Zinc	mg/L	1	0.016	0.009
15	Color	degree	5	2.4	15
16	Turbidity	degree	2	19	6.2
17	Total residue	mg/L	500	36	58
18	Organic surface active agent	mg/L	5	1.3	2.4

19	Manganese	mg/L	0.05	1.3	0.34
20	Iron	mg/L	0.2	8.4	2.6
21	Sodium	mg/L	200	1.1	1.4
22	Aluminum	mg/L	200	0.03	0.03
23	Calcium, Magnesium(Hardness)	mg/L	300	6	4.7
24	Chloride Ion	mg/L	200	1	1.1

#### 4-5-6 ダウエイダム計画

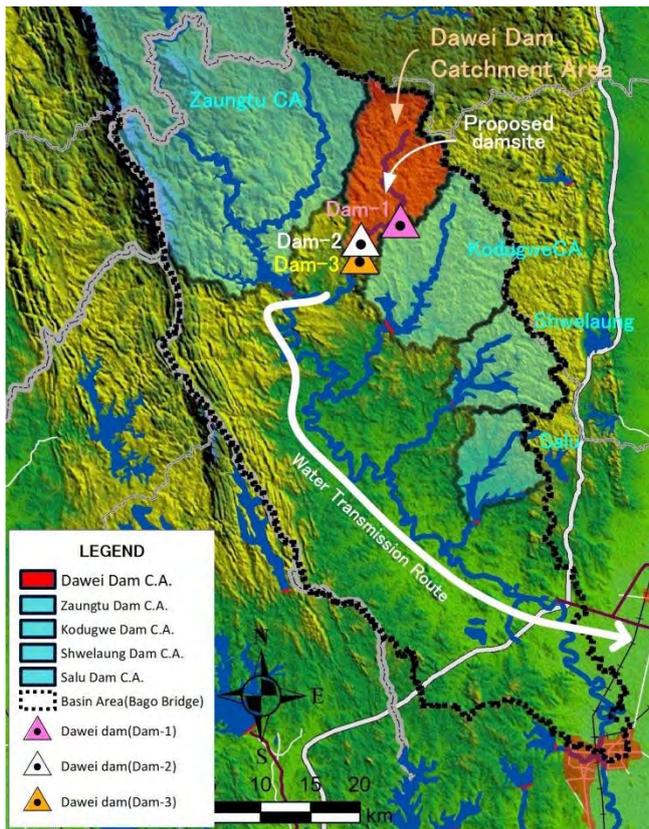


図 4-5-6-1 ダウエイ支川流域の位置図

ダウエイダムは、既存のザンツダムの下流で会合するダウエイ支川に計画される。現時点でダム候補地は支川の狭隘部である3カ所が候補地となっている。図 4-5-6-1 及び図 4-5-6-2 に、ダウエイダムの候補ダム軸位置を示す

それぞれ本川との会合点より 9km (ダム-1 サイト)、13km (ダム-2 サイト)及び 16km (ダム-3 サイト) の3カ所であるが、何れも、既存地形図 (1inch : 1mile 地形図、6 万分の 1 地形図) 上でその座どりが検討されているが、現地での測量調査などは行われていない。

表 4-5-6-1 に主要計画諸元を示す。総貯水量は、1 億 3 千万  $m^3$  ~ 1 億 7 千万  $m^3$  の大きな貯水容量のダムであるが、堤高は 23m ~ 28m が想定されている。

表 4-5-6-1 ダウエイダムの各候補ダム軸についての主要計画諸元

Plan	Plan Salient Data				
	Catchment Area( $km^2$ )	Estimated Inflow (MCM)	Storage Capacity (MCM)	Dam Height (m)	Catchment Area ( $km^2$ )
Dam-1	89.7	128.2	133.2	22.6	90
Dam-2	112.8	161.1	167.2	25.3	113
Dam-3	117.3	167.6	173.9	27.4	123

出典:灌漑局

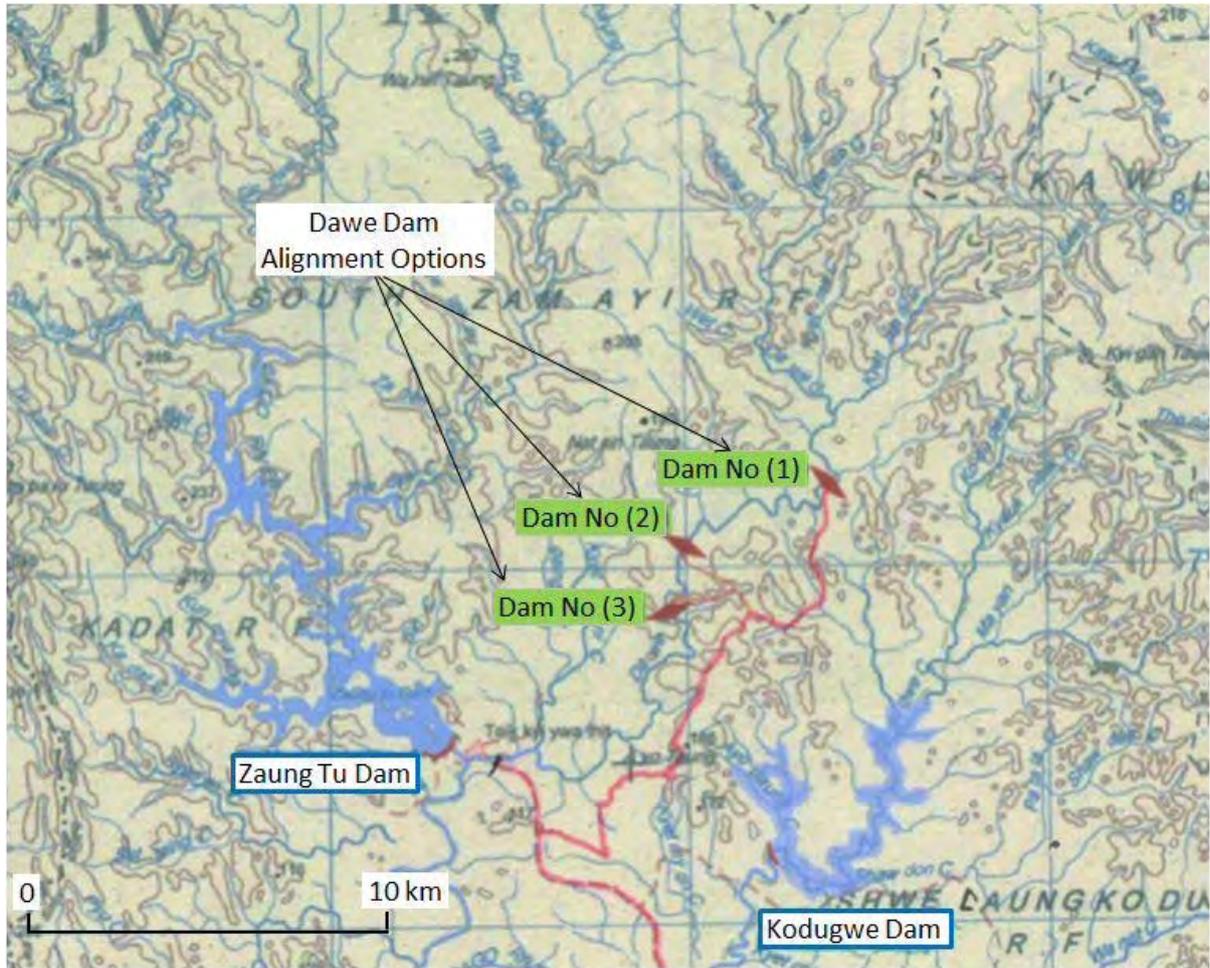


図 4-5-6-2 ダウエイ計画ダム候補地点

(1) 水源量

ダウエイ支川の流量は、1984年から2013年の30年間の流域モデル（6章 水資源及び流域水収支参照）による試算で、平均流量200 MCM/年が得られている。年変動は大きく、30年間の最大で277 MCM/年及び最小で155 MCM/年、平均200MCMである（表4-5-6-2参照）。

表 4-5-6-2 ダウエイダム候補地点の流入量(site3: lower site) 単位:MCM/年

Year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
1984	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	27.8	39.8	68.3	57.2	15.8	0.7	0.0	210.7
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	60.2	75.2	77.2	34.7	11.2	2.0	0.0	264.8
1986	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.4	50.5	67.3	17.6	6.9	0.4	0.2	151.5
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	4.2	58.4	64.1	44.9	13.0	2.5	0.0	187.4
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	37.5	30.0	42.2	24.7	2.3	0.0	0.0	137.0
1989	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	26.5	40.3	68.5	56.9	15.4	0.7	0.0	209.3
1990	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	57.6	74.5	76.8	34.9	11.0	2.0	0.0	261.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	8.0	49.0	66.2	17.6	6.1	0.3	0.3	147.6
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.3	58.8	64.0	45.6	12.0	1.8	0.0	187.8

1993	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	40.1	30.9	42.4	24.6	2.1	0.0	0.0	140.3
1994	0.0	0.0	0.2	0.1	0.9	28.6	68.6	47.0	29.9	7.8	0.1	0.0	183.1
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	26.6	51.3	61.1	47.2	12.4	1.6	0.0	200.8
1996	0.0	2.3	0.1	0.0	2.5	22.4	56.0	44.8	27.9	7.8	4.0	0.0	167.7
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	22.1	66.3	67.1	33.8	13.0	0.1	0.0	202.9
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	12.9	56.9	29.8	16.5	4.4	0.0	0.0	122.3
1999	0.0	0.0	0.0	3.2	29.9	55.9	54.5	53.6	57.2	14.8	3.2	0.0	272.4
2000	0.0	0.0	0.1	0.2	4.9	49.6	57.3	22.7	47.3	9.9	0.1	0.0	192.1
2001	0.0	0.0	0.1	0.0	1.3	31.4	72.1	54.8	30.7	8.4	0.1	0.0	198.9
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	33.1	53.1	50.9	26.2	3.6	5.7	2.8	182.6
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	28.3	33.7	73.9	36.0	8.1	0.0	0.0	181.6
2004	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5	48.3	54.4	94.5	53.1	2.6	0.0	0.0	265.4
2005	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	6.7	43.2	63.7	41.6	15.8	1.1	0.8	174.0
2006	0.1	0.0	0.0	0.4	1.2	16.3	80.0	41.4	30.3	21.1	0.2	0.0	190.9
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	15.3	23.5	76.2	48.3	24.5	37.6	5.3	0.0	230.6
2008	0.1	0.2	0.0	2.7	26.6	34.6	63.1	84.7	40.7	7.5	6.3	0.0	266.4
2009	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	7.5	59.4	45.4	29.6	15.4	1.2	0.0	159.3
2010	0.1	0.0	0.0	0.0	2.8	21.6	33.6	86.1	28.2	21.4	1.2	0.2	195.2
2011	0.4	0.0	1.2	0.1	15.2	46.3	67.3	67.2	58.1	21.3	0.2	0.0	277.3
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	16.2	59.5	87.2	61.0	14.0	0.2	0.0	239.7
2013	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	9.7	57.5	78.8	34.4	25.7	3.9	0.0	211.0
Average	0.0	0.1	0.1	0.2	4.7	27.2	55.7	61.3	37.1	12.3	1.5	0.1	200.4

1/10 確率年(再帰年 10 年)で、超過確率で 257MCM、非超過確率で 147MCM である。図 4-5-6-3 に月別流入量の推移を示す。

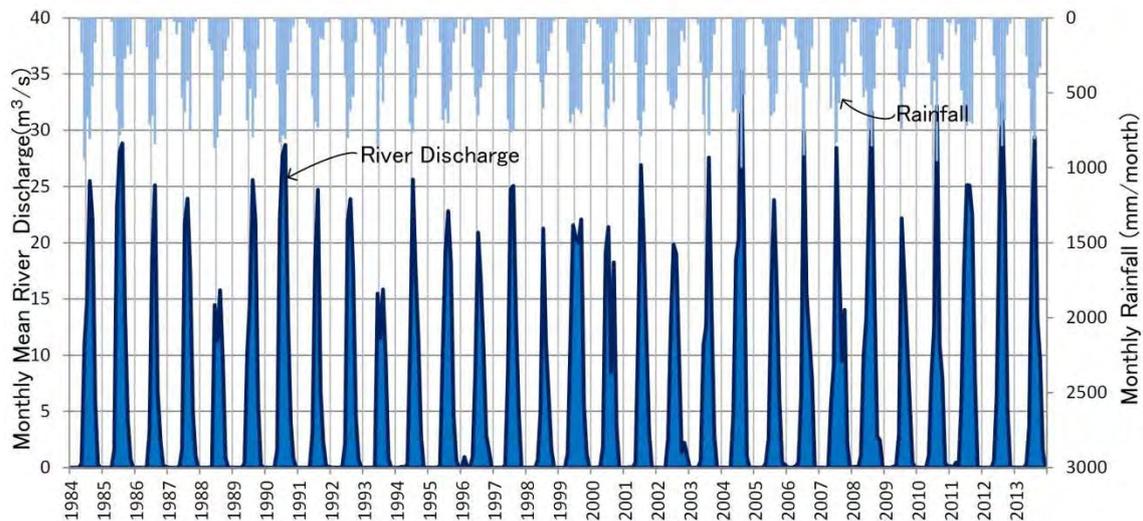


図 4-5-6-3 ダウエイダム候補地点の月平均流入量 (site3: lower site) 単位:  $m^3/sec$

ダム計画においては、平均流入量の 200MCM/year を地表水の総水資源量 (Total Surface Water Resource) と看做し、以下の各セクターへの水源の配分を想定した。

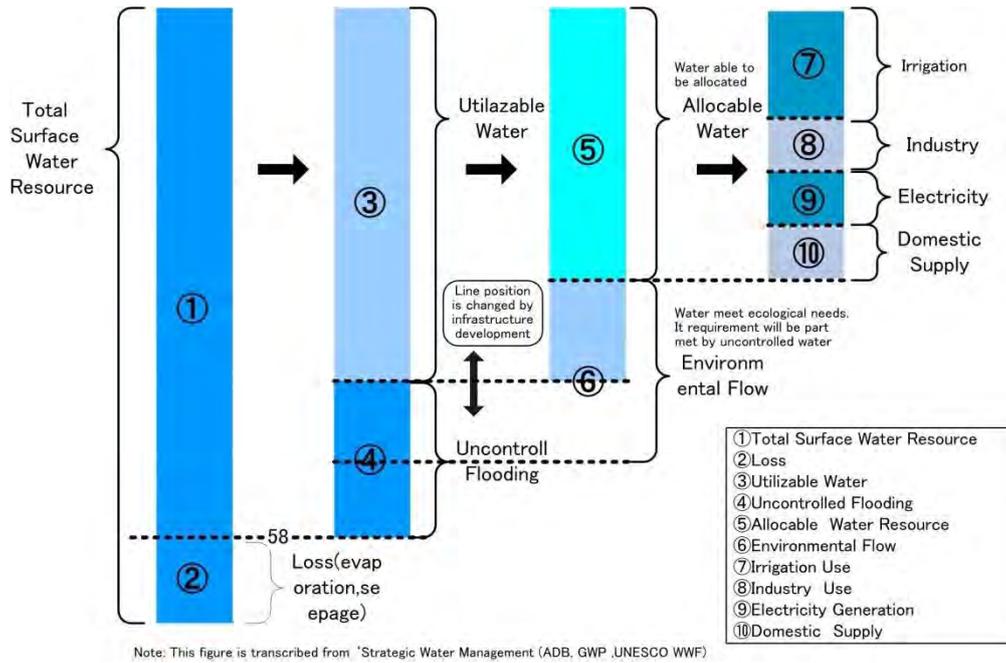


図 4-5-6-4 水源配分の構成要素

図 4-5-6-4 に示した水源配分に基づき、SWAT シミュレーションで再現した 30 年間の月別流入量を使い、表 4-5-6-3 の条件に基づき、貯水池運用シミュレーションを実施した。

表 4-5-6-3 貯水池運用シミュレーションの条件

Items	Condition of reservoir operation	
Total reservoir storage	150	MCM
Dead water storage	20	MCM
Water loss from reservoir	16.5	MCM
Environmental flow	1	MCM
Irrigation area	Using Reaming Amount	-
Demand for industrial water	28.5	MCM
Demand for electricity generation	-	MCM
Demand for domestic Supply	100,000	person

ダム開発により利用可能となる各セクターへの水源配分量を貯水池運用シミュレーションにより求めたが<sup>14</sup>、試算における条件の適用は、工業用水（78,000m<sup>3</sup>/日）と生活用水（10 万人@100lit/人）に優先的に確保したうえで、最大限に利用できる灌漑水量（水田乾季作、1/10 渇水年相当を対象）を求めた。図 4-5-6-5 に貯水池運用シミュレーションの試算結果を示す。

<sup>14</sup> ダウエイダムの有効貯水量は 130MCM（総貯水量 150MCM、死水量 20MCM）と計画されているが、これらが運用時においてどの程度利用できるかの目安を得るために貯水池運用シミュレーションを使い試算を行った。試算にあたり、工業用水は SEZ フル操業時、生活用水は灌漑地周辺の住民を対象とし条件を設定した。

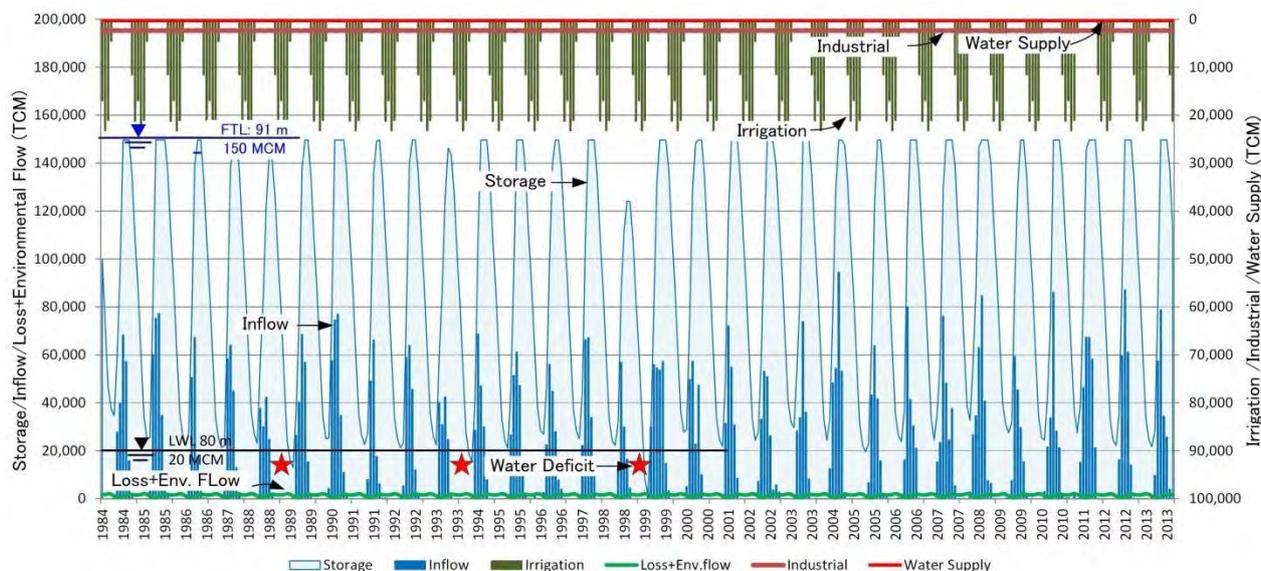


図 4-5-6-5 貯水池運用シミュレーションの結果(Dam-3 Site)

貯水池運用シミュレーション例として、ティラワ経済特区の需要を満足する水源配分を表 4-5-6-4 に示す。

表 4-5-6-4 ダウエイ貯水池(dam3 計画地点)の水資源配分

Water Resources	Water recourses/utilizable/allocable water		
	MCM/a	MGD	Remarks
①Total Surface Water Resource	200	121	Total inflow to reservoir
②Loss	17	10	Evapotranspiration and seepage, 2.4mm(0.7-3.5mm/day, based on Kodugwe Reservoir)
③Utilizable Water	131	79	③=①-②
④Uncontrolled Flooding	69	42	Spilled water from dam spill way
⑤Allocable Water Resource	130	79	⑤=③-④
⑥Environmental Flow	1	0	Equivalent to base flow in the dry season
⑦Irrigation Use	99	60	Irrigation Area 5,400ha(13,500 acre)
⑧Industry Use	29	17	Thilawa SEZ - excluded Class A (78,000m <sup>3</sup> /day since 2025)
⑨Electricity Generation	0	0	None
⑩Domestic Supply	4	2	Pop 100,000@100lit/day

#### 4-5-7 周辺の雨水利用

ティラワ経済特区周辺地区においては、上水道、地下水、溜池利用などの他、屋根集水方式による雨水利用も認められ、周辺住民の補助水源の1つとなっている。当地における雨水利用の可能性を検討するため、降雨データ、蒸発散能などの気候値より、利用可能量および利用可能期間を算定した。以下に、計算法、入力データ及び条件を記述する。

##### (1) 雨水利用計算法

計算は、日単位で行い、降雨から流出を分離することから始めた。降雨より損失高（蒸発＋初期(カット)雨水：2 mm）を差し引いた値を流出高とし、これより屋根集水面積（50m<sup>2</sup>、100m<sup>2</sup>、150m<sup>2</sup>）に応じた雨水量を算定した。雨水量を前日の貯水槽の水位に加え、また逆に日利用量を差し引き日々の貯水位を計算した。この日単位の計算を繰り返し、年間雨水利用可能量および期間の算定を行った。

##### (2) 計算の条件

雨水利用の計算の期間、入力データおよび条件は以下のとおりである。

計算期間：1980年～2012年の32年間

降雨データ：カバアエ観測所の日降雨記録

蒸発散能：月別蒸発散能（ClimWAT FAO データベースよりダウンロード<sup>15</sup>、表 4-5-3-1 参照）

利用量<sup>16</sup>：給水量原単位 100lit/人 x 4.3 人/戸（0.43 m<sup>3</sup>/日）

初期カット（損失）高：2mm（推定）

表 4-5-7-1 ヤンゴン地区の蒸発散能(ET0)

Month	Temp Max (°C)	Temp Min (°C)	Hum (%)	Win (km/day)	Sun (hrs)	Rad (MJ/m <sup>2</sup> /day)	ET0 (mm/day)	Water Demand (m <sup>3</sup> )
JAN	31.8	18.1	62.5	77.8	8.13	17.70	3.38	0.43
FEB	34.1	19.3	59.1	95.0	9.08	20.75	4.23	0.43
MAR	35.7	21.7	62.8	103.7	8.54	21.72	4.78	0.43
APR	36.8	24.3	64.2	121.0	8.79	23.01	5.47	0.43
MAY	33.2	24.9	76.0	112.3	5.26	17.70	4.23	0.43
JUN	30.1	24.5	85.2	95.0	2.41	13.31	3.06	0.43
JUL	29.5	24.1	88.3	103.7	1.73	12.26	2.76	0.43
AUG	29.3	24.0	87.9	95.0	2.02	12.59	2.78	0.43

<sup>15</sup> [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)

<sup>16</sup> SEZ 周辺地区の給水量原単位、および家族構成は「ミャンマー国ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査インテリムレポート、2013年5月」を参照。

SEP	30.2	24.1	86.2	77.8	3.63	14.56	3.11	0.43
OCT	31.4	24.1	81.9	69.1	5.85	16.65	3.49	0.43
NOV	32.0	22.4	75.4	77.8	6.73	16.28	3.39	0.43
DEC	31.4	19.4	69.1	86.4	7.31	16.07	3.21	0.43

### (3) 計算結果

前述したとおり、屋根集水面積を 50m<sup>2</sup>、100m<sup>2</sup>及び 150m<sup>2</sup>の 3 ケースに分けにわけ、また其々のケースで貯水槽規模を 2m<sup>3</sup>、3m<sup>3</sup>、5m<sup>3</sup>、7m<sup>3</sup>及び 10m<sup>3</sup>の 5 条件で年間利用可能期間を計算した。利用可能期間は、雨季の始まる 5 月から始まるが、最大規模のケース（集水面積 150m<sup>2</sup>、貯水槽 10 m<sup>3</sup>）においても 6.5 ヶ月程度であり、乾季の本格化する 11 月からの利用は困難となる。つまり、当地は、雨水利用は雨季と乾季が明瞭に別れ乾季の後半では無効雨となることから、年間を通じての雨水利用を行うためには、施設規模は相当に大きなものが必要な気候条件にあるといえる<sup>17</sup>。

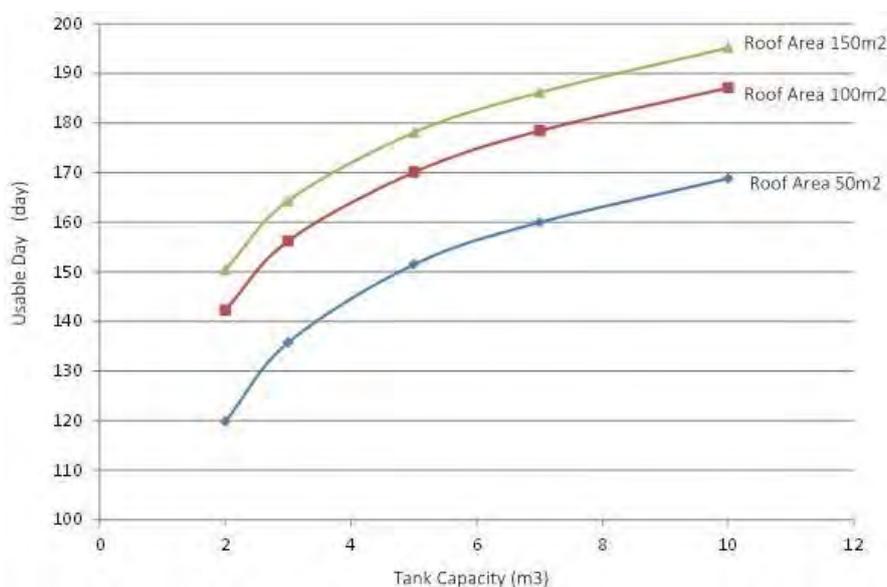


図 4-5-7-1 年間雨水利用可能期間(貯水槽容量-利用期間)

一方で、ティラワ経済特区周辺を俯瞰すると、家屋の屋根面積は 100m<sup>2</sup>程度が平均的であり、また既存貯水槽の容量も 2~3 m<sup>3</sup>程度のものが多い。この規模は、貯水槽容量-利用期間の関係図(図 4-5-7-1)においても経済的な施設規模の変曲点付近にあり適正規模であると評価される。

<sup>17</sup> 年間を通じて雨水により、1 戸の生活用水を賄うには 9 0 m<sup>3</sup>程の貯水槽が必要となり、経済的な合理性に欠ける。

平均的な施設（集水面積 100m<sup>2</sup>、貯水槽容量 3m<sup>3</sup>）の年間の収支をみると、年間で 217m<sup>3</sup> が雨水とし流出し、このうち 30%程度にあたる 69m<sup>3</sup> が貯水槽に給され 5 月から 10 月初旬までの 160 日で利用可能である。同施設の流出率は 78%<sup>18</sup>（流出：2,166 mm/降雨：2,785 mm）となる（表 4-5-7-2 参照）。

表 4-5-7-2 雨水利用における収支（集水面積 100m<sup>2</sup>、貯水槽容量 3m<sup>3</sup>）

Year	Rainfall (mm)	Runoff (mm)	Runoff (m3)	Usable Water Amount (m3)	Annual Usable Day (day)	Deficit Water Amount (m3)
1980	2,717	2,099	210	65	145	-93
1981	2,636	2,018	202	67	150	-90
1982	2,703	2,135	213	62	140	-95
1983	2,795	2,162	216	76	172	-81
1984	2,379	1,802	180	64	146	-93
1985	3,291	2,600	260	76	173	-81
1986	2,799	2,194	219	63	141	-94
1987	2,553	1,995	200	69	156	-88
1988	2,540	1,869	187	66	146	-92
1989	2,557	1,997	200	69	160	-88
1990	2,803	2,168	217	72	165	-85
1991	2,115	1,568	157	49	107	-108
1992	2,439	1,801	180	68	152	-90
1993	2,824	2,236	224	64	146	-93
1994	3,072	2,421	242	70	156	-87
1995	2,552	1,963	196	70	161	-87
1996	3,087	2,408	241	79	178	-79
1997	3,050	2,441	244	66	153	-91
1998	2,436	1,869	187	64	144	-93
1999	3,523	2,760	276	85	195	-72
2000	2,577	1,945	195	72	162	-85
2001	2,817	2,125	212	79	175	-78
2002	3,090	2,469	247	72	160	-85
2003	2,310	1,715	171	63	145	-94
2004	2,712	2,107	211	60	137	-97
2005	2,738	2,103	210	71	162	-85
2006	2,836	2,187	219	68	154	-89
2007	3,586	2,947	295	75	172	-82
2008	3,051	2,377	238	79	180	-78
2009	3,060	2,493	249	65	146	-92
2010	2,428	1,901	190	69	153	-88
2011	3,058	2,427	243	81	183	-76
2012	2,778	2,189	219	63	142	-95
Average	2,785	2,166	217	69	156	-88
Min.	2,115	1,568	157	49	107	-108
Max	3,586	2,947	295	85	195	-72

<sup>18</sup>アメリカ土木学会、雨水排水計画（道路土工排水工指針）では屋根の基礎流出係数（一般的範囲）は 0.75～0.95 とされている。

#### 4-5-8 ティラワ経済特区内貯水池新設貯水池

当地における雨水の直接利用の可能性を検討するため、降雨データ、蒸発散能などの気候値より、どの程度の規模の施設（貯水池）が必要となるか検討を加えた。以下に、計算法、入力データ及び条件、計算結果を記述する。

##### (1) 計算法

計算は、日単位で行い、降雨から損失高（蒸発＋漏水損失）を差し引いた値を流出高とし、これ前日の貯水池の水位に加え、また逆に日利用量を差し、引き日々の貯水位を計算した。この日単位の計算を繰り返し必要な集水面積、施設規模を検討した。

##### (2) 計算の条件

雨水利用の計算の期間、入力データおよび条件は以下のとおりである。

計算期間：1980年～2012年の32年間

降雨データ：カバアエ(kabaaye)観測所の日降雨記録

蒸発散能：月別蒸発散能（ClimWAT FAO データベースよりダウンロード<sup>19</sup>）

利用量<sup>20</sup>：4,000 m<sup>3</sup>/日(通年)

漏水損失高：0.3mm（ティラワ経済特区内の平野部を想定）

##### (3) 計算結果

日雨量から損失を除いた有効雨量は30年の平均で2,380 mm/年、旱魃年（1991年）においては1,750 mm/年に留まる。これらの雨水を貯留し継続的に日量4,000 m<sup>3</sup>/日の取水を可能するためには、集水面積70ha以上、および水深2.5m以上の規模の貯水池が必要となる。同施設は、バンプエゴン貯水池（貯水池面積86ha）に相当する規模であり、かつ完工から満水位まで時間を要し、建設初年は、年間を通じての継続的な取水はできないことが想定される。施設規模が大きくなること、及び本格運用までに時間を要することが同施設のリスクとして残される。

---

<sup>19</sup> [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_climwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html)

<sup>20</sup> SEZの必要量（2015～2018年）の7,000m<sup>3</sup>/日より、ザマニ・イン貯水池からの3,000m<sup>3</sup>/日を差し引き4,000m<sup>3</sup>/日を新設貯水池の利用量とした。

## 4-6 水資源及び流域水収支バランス

流域水収支解析の目的を、バゴー流域の水収支の把握を通じティラワ経済特区に供給できる水源量を評価することにおき、原資となるバゴー川流域の中で毎年供給される再生水源量を求めた。流域全体の流域収支バランスおよび個々の副流域の水源量を再現できるシミュレーションモデルとして SWAT<sup>21</sup>を採用し関連の収支項についての推定を行った。次節以下に、解析の手順を要約する。

### 4-6-1 シミュレーションモデル (SWAT)

Soil and Water Assessment Tool(SWAT)は時系列の準分散化モデルかつ水文過程を再現するプロセス・ベースド・モデルであり USDA-ARS( Agricultural Research Service United States Department of Agriculture)において、1980 年以来継続開発されてきた流域管理用モデルである。気象および土地利用、土壌情報から水文収支を計算し、さらに堆砂、土壌、農業化学など水にかかわる諸現象の長期予測に使われる。基本的なモデル構成(モデルで取り扱う水循環の過程)を図 4-6-1-1 に示す。

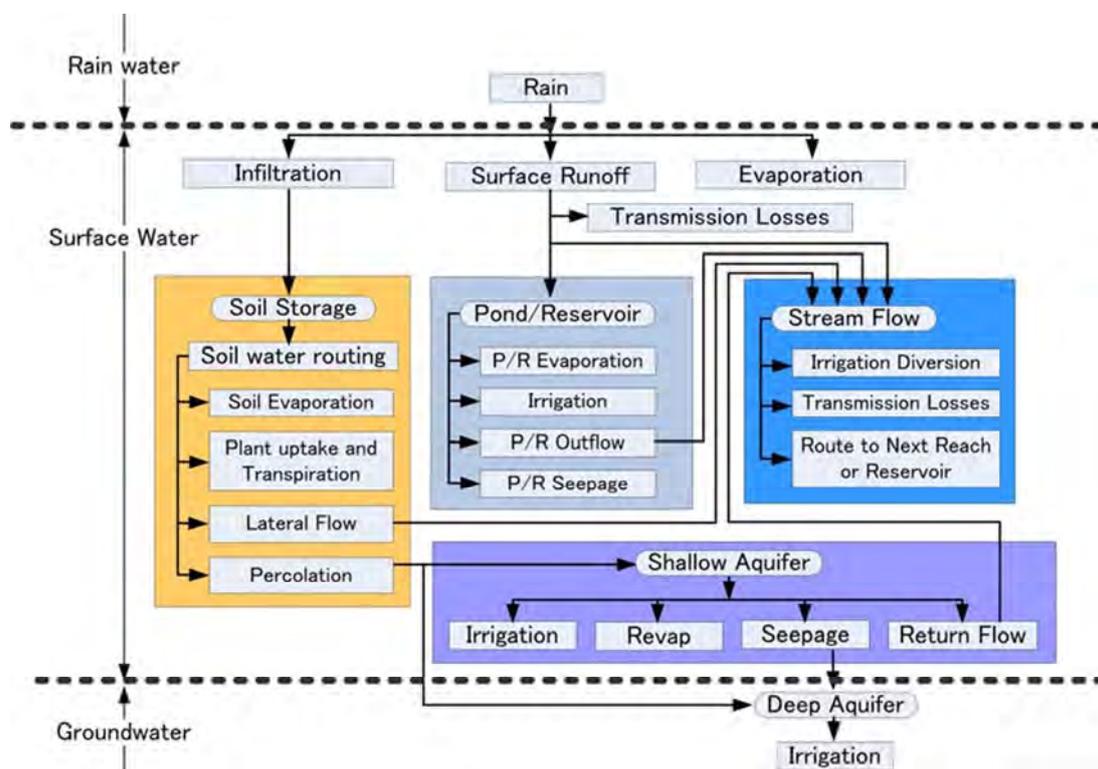


図 4-6-1-1 SWA の水循環過程

<sup>21</sup> SWATは Soil and Water Assessment Tool の略称であり、流域規模の解析を目的に米国農務省農業研究局 (USDA Agricultural Research Service) によって開発されたものである。元来、土地管理対策の検討において、多様な土壌、土地利用、管理形態からなる流域の中で、水、土壌侵食、肥料、農薬が、長期にわたりいかに振る舞い、どのような環境上の負荷を与えるかを予測するために開発されたものである。これらの地表水、地下水など何れの予測においても、流域の水循環はその背後の不可欠な項目であることから同モデルの基本に据えられている。その計算過程は2つに分けられる。第1の過程は地表フェーズであり、個々の小流域において雨が支川に移動するまでをモデル化するものであり、第2フェーズは、河川水移動フェーズであり、河川水が河川網に従い如何に下流まで流下するかをモデルで取り扱っている。

モデルの適用に際し、対象流域を副流域に区分し、さらにこれらを HRU (Hydrologic Response Units : 6-5 節参照) に区分した。HRU はモデル計算の最小単位であり、土地利用タイプ、地形 (勾配) 区分及び土壌タイプの組み合わせにより決まるが、計算の過程においては、個々の HRU 別に雨への応答、蒸発散量などを計算し、これらの個別の計算結果を HRU の占有率に応じ副流域単位で集計した。

流域収支は、まず入力した日気象データ (雨量、最高・最低気温、日射、湿度、風速) から蒸発散量、流出量、中間流出量、土壌浸透量を計算し、これらを河川または土壌に再配分した。土壌系においては、作物、自然植生による消費、または地表水系 (湖沼、河水) からの側方涵養、逆に河川への基底流出などを考慮した<sup>1</sup>。

#### 4-6-2 流域区分

モデル対象地区は図 4-6-2-2 に示したガモエ支川流域を含む以下の 3 流域 6,950 km<sup>2</sup> とした。

- バゴ橋の上流域 : ダウエイダム計画地域、コドゥグエダム、シュエランダム、サルダム、ザンツダム、ザンツ堰を含む流域。
- 下流左岸流域 : シッターバゴ水路、30 マイル緑化事業水路およびカヤン支川を含む流域。
- 下流右岸流域 : ガモエダム、ラグンビンダム、アライニダムを含む流域。

解析作業においては、SWAT プログラムの実施に必要なデータ処理 (前後処理) を行う GIS アプリケーション (ArcSWAT ArcGIS 2012) を使用した。

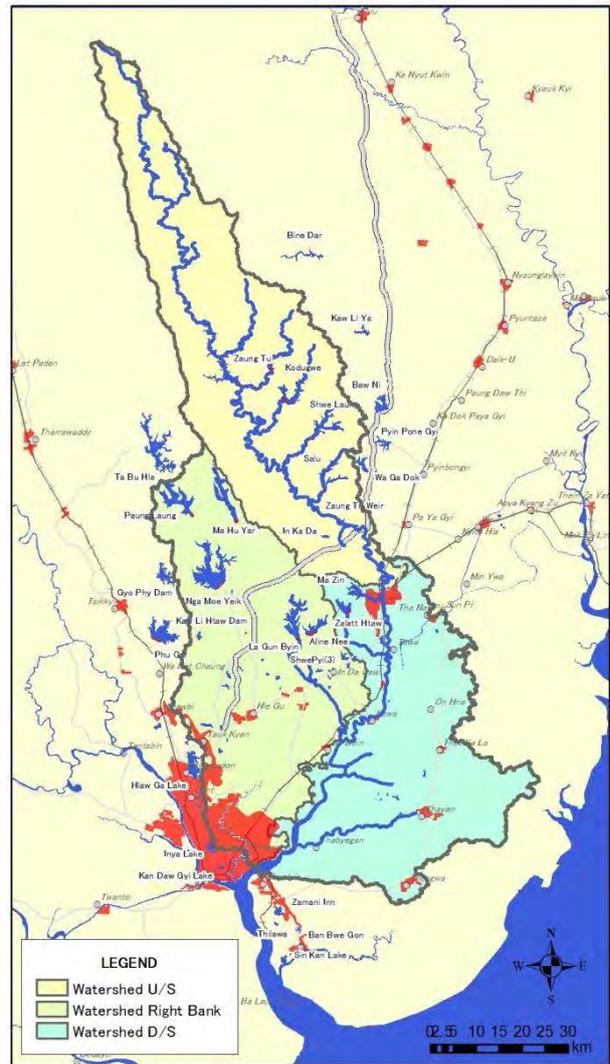


図 4-6-2-2 SWAT モデル対象流域

<sup>1</sup> 流域の地表水または地下水における諸現象は流域の水収支に由来することから、SWAT においては、(地下水涵養量等の) 予測精度を向上させるため、個々の収支項が流域内の水文循環の中でなにを生じさせているかを表現できる構造となっている。

### 4-6-3 副流域区分

モデリングの事前作業として、流域の地域性を把握しさらに SWAT モデル出力の有効利用が可能となるように、モデル対象流域を副流域 (SWAT では‘catchments(集水域)’と呼称) に区分した。

作業は、①デジタル標高モデル (Digital Elevation Model (DEM)) から②流向(flow direction)を計算、さらに③累化集水域 (flow accumulation grid) を生成し、これに④流出点を与えて副流域を区分した。

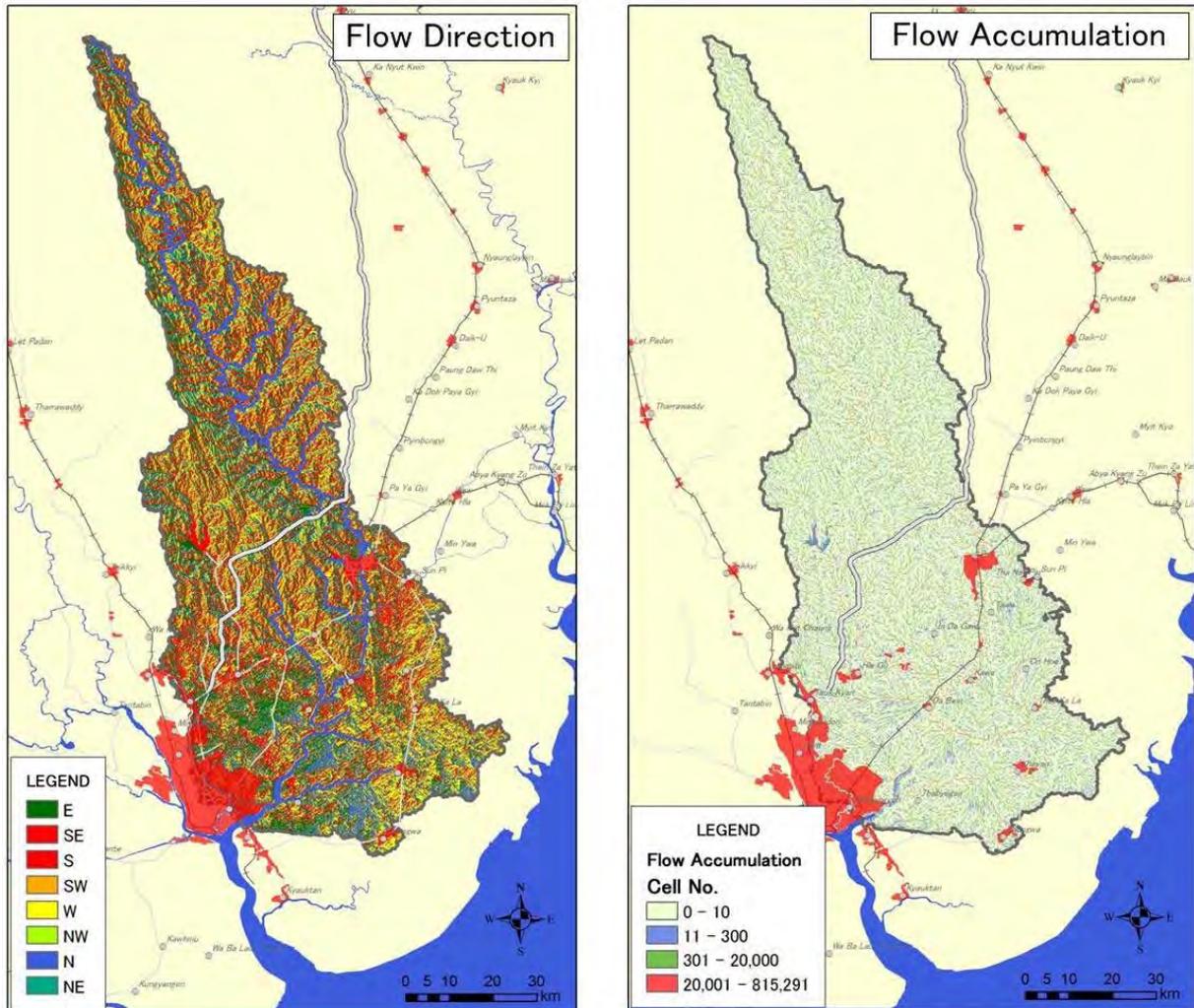
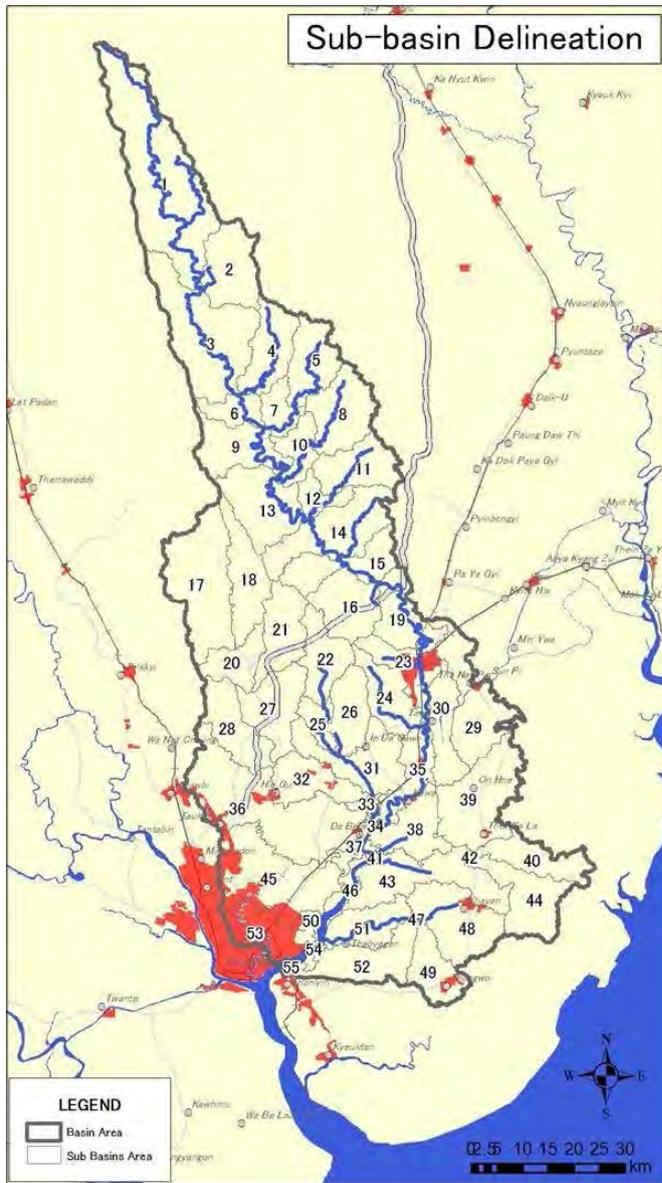


図 4-6-3-1 流向図及び累化集水域図

基本となるデジタル標高モデルに精度 90m の SRTM-3<sup>2</sup>を採用し、図 4-6-3-1 に示す流向図及び累

<sup>2</sup> SRTM は NASA の Jet Propulsion Laboratory (JPL) で C バンドレーダ信号を基に NGA(National Geospatial Intelligence Agency) で解析、編集された標高データであり、水系区分、海岸線または突出、井戸、及び空隙などを除去した修復データが含まれる。精度により 2 タイプ (SRTM-1 及び SRTM-3) があり、SRTM-1 は 1 アーク秒 (30m) 精度、SRTM-3 は 3 アーク秒 (90m) 精度となっている。本流域収支解析の流域区分では SRTM 3 を用いた(<https://lta.cr.usgs.gov/SRTM2>)。

化集水域図を作成し、これに支川合流点の他、モニタリング地点（検証点）を与えて、大小（1 km<sup>2</sup>~480 km<sup>2</sup>）の55副流域を生成した（図4-6-3-2参照）。



No. Subbasin	Area (km2)	Elevation (m)	Dam/Reservoir
1	480	357	
2	148	205	
3	312	217	
4	129	139	
5	123	115	Dawei Proposed Dam
6	57	118	Zaungtu Dam
7	58	86	Dawei G1 St.
8	155	93	Kodukwe Dam
9	139	106	
10	72	69	
11	128	79	Shwelaung Dam
12	48	46	
13	175	68	
14	203	50	Tamabin G2 St./Salu Dam
15	125	39	Zaungtu Weir
16	137	36	
17	275	81	Ngamoveik Dam/Paung Laung Dam
18	143	81	Ma Hu Yar Dam
19	129	22	Bago Old Bridge G2 St.
20	84	40	
21	129	47	
22	114	43	Lagunbin Dam
23	90	24	Mazin Dam
24	113	30	Zalataw Dam
25	45	22	
26	105	28	Aligni Dam
27	141	26	
28	130	31	
29	195	8	
30	108	8	
31	161	14	
32	114	10	
33	17	7	
34	3	8	
35	100	11	
36	393	12	
37	32	7	
38	121	7	
39	227	7	
40	112	7	
41	3	5	
42	2	6	
43	210	3	
44	150	5	
45	274	5	
46	40	5	
47	1	5	
48	184	5	
49	103	5	
50	24	5	
51	108	4	
52	144	4	
53	109	4	
54	18	3	
55	11	3	

Area of Sub-basins

図 4-6-3-2 バゴー流域の副流域区分

#### 4-6-4 入力データ

各副流域へは、気象などの入力データの他、土壌・地表被覆条件等の降雨応答特性などの情報を組み込む必要があり、以下のカテゴリに従い、SWATに必要なインプットデータを整理した。

##### 1) HRU (Hydrologic Response Unit)

- 2) 土地利用図および土壌タイプ分布図
- 3) 気象データ
- 4) 水文データ
  - 流量データ
  - ダム/湖沼/湿地
  - 排水路

インプットデータ（1-3 項）について次節以下に記述する。

#### 4-6-5 HRU 解析

HRU (Hydrologic Response Unit)は SWAT の基本計算単位であり、同質の水文学的な性質を持ち、同一の土地利用（または地表被覆）、地形勾配、土壌タイプをもつ。HRU の生成は、GIS レイヤーに其々、地表被覆、地形勾配、土壌タイプを同一座標で生成し、これらを重ね合わせ、地表被覆-地形勾配-土壌タイプのユニークな組み合わせを抽出した。以下の HRU の生成に使用した地表被覆、地形勾配、土壌タイプを記述する。

##### (1) 地表被覆

地表被覆データは 500m x 500m 解像度の GLCNMO version 2 を用いた。ISCGM (International Steering Committee for Global Mapping) が MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) 画像を基に 2008 年時点の地表被覆について取りまとめたもので、FAO が開発した LCCS (Land Cover Classification System)に基づいて分類されている。図 4-6-5-1 に示すように 2008 年時点のモデル対象地区は開発が進み、農地及び水田で 60%を占める状況となっている。

本解析においては、モデル対象地区で認められる 14 分類（森林 5 タイプ、草地 3 タイプ、農地 3 タイプ及びその他 2 タイプ）を対象として SWAT パラメータへの関連付けを行った。

SWAT への適用は、LCCS と SWAT の分類基準から表 4-6-5-1 に植生区分対比表（LCCS と SWAT 区分）を作成し、これを介して分布の再編成と行った。関連付けによって SWAT 内のデータベースへの参照が可能となり、自動で降雨応答特性のパラメータ初期値がセットされる。

表 4-6-5-1 植生区分対比表(LCCS と SWAT 区分)

LCCS(FAO)		SWAT Land Cover		Area
Code	LCCS(FAO)	Code	SWAT Land Cover	
1	Broadleaf Evergreen Forest	FRSE	Forest-Evergreen	213
2	Broadleaf Deciduous Forest	FRSD	Forest-Deciduous	273
3	Needle leaf Evergreen Forest	FRSE	Forest-Evergreen	42
4	Mixed Forest	FRST	Forest-Mixed	8
5	Tree Open	FRST	Forest-Mixed	1,577
6	Shrub	FRST	Forest-Mixed	421
7	Herbaceous	PAST	Pasture	175
8	Sparse Vegetation	PAST	Pasture	6

9	Cropland	AGRL	Agricultural Land-Generic	1,560
10	Paddy field	RICE	Rice	1,135
11	Cropland /Other Vegetation Mosaic	AGRL	Agricultural Land-Generic	1,475
12	Bare area, consolidated (gravel, rock)	BARR	Barren	3
13	Urban	URBN	Residential	21
14	Water Bodies	WATR	Water	42
Total				6,951

## (2) 土壌タイプ

土壌タイプは MAS (Myanmar Agriculture Service) の作成したヤンゴン地区及びバゴー地区の既存土壌図を ArcSWAT tool により合成し、解析に利用した。図 4-6-5-2 及び表 4-6-5-2 に示すように、対象地区内には 4 タイプの土壌(草地性、ラテライト質、森林性、塩分草地性の土壌)があり、其々異なる浸透能、保水能等の特性を有している。これらの 4 タイプの土壌の分布および物理特性を SWAT の入力値とした。表 4-6-5-3 に其々の入力値 (物理特性) を示す。

表 4-6-5-2 バゴー流域の土壌特性

No	Soil Type			Description
	*1	*2	*3	
2	Meadow & Meadow Alluvial Soil	Glesol/Gleysol Fluvisol/Humic Gleysol/Calcic Gleysol	2.Meadow & Meadow Alluvial Soil	There are different subtypes of Meadow soils. The meadow soils or paddy soils are widely occurring in the different parts of Myanmar in river plains, delta and low coastal plains and valleys. All types of Meadow Soils have thick solum and are mostly having clayey texture. They are most suitable foraddy cultivation. The Meadow soils of the Dry zone in the upper Myanmar have the characteristic light colors. There are Meadow soils with neutral reaction, whereas, some have the alkaline reaction. The Meadow Carbonate soils can also be found in that region. Although they are deficient in plant nutrients, they can be used for pulses and vegetables, The Meadow soils in the mountainous region with high rainfall and Meadow soils of the lower Myanmar have yellow brown color with acid to neutral soil reaction, the meadow soils which occur near the river plains with occasional tidal floods are non-carbonate. They usually contain large amount of salts. They contain more plant nutrients than the Meadow soils of Upper Myanmar. Regardless of the more content of iron, the soils can be utilized for rice and vegetables.
6	Lateritic Soil	Plinthic Ferrasol	6.Lateritic Soil	These soils occur mostly in the lower Myanmar in the lower slopes of the hills of Pegu Yoma, Rakhine Yoma and Donna hill range. They are found on well-drained low uplands and at the foot of low hills. They usually occur at the elevation not higher than 300 feet above sea level. They are formed under the influence of the tropical forests under the conditions of wet tropical monsoon climate with 80-200 inches of rainfall. Morphologically, yellow or yellow brown and reddish brown colors characterize them. The yellow and red colors of the soils are due to the presence of iron with oxidation and reduction processes. In some places the horizons of pisolithic laterite are found at the depth of 18 to 20 inches, whereas, in other places they are not found even at the depth below 4 and 5 feet. The humus content of these soils in forest area is high, but can be less in the deforested areas. The soil reaction is acidic in the upper horizon and can be more acidic at the lower horizons. The available plant nutrients are very low in these soils. These soils are suitable for plantation crops such as rubber, oil palm, orchards such as durian and mango or reforestation for soil conservation.

7	Red Brown Forest Soil	Rhodic Ferralsol	7 Red Brown Forest Soil	The Red Brown Forest soils are the typical soils of tropical evergreen forest of Myanmar. They occur on the well-drained hill slopes at the elevation between 1000 and 4000 feet above sea level. These soils also occur in the northern hilly region and on the hill slopes of Rakhine mountain range, Taninthari and Donna range. These soils are formed under the influence of tropical evergreen forests with the annual rainfall of about 80 to 200 inches. Some are also found at the low uplands. The soils are well structured and have a good drainage. The soil is slightly acid with the pH value ranging from 5.5 to 6.5. Usually these soils have medium to heavy loamy texture. The soils contain moderate amount of plant available nutrients. These soils can be regarded as forest land of good productivity; however, the soils on the lower elevation are suitable for gardens and plantation.
11	Saline Swampy Meadow Gley Soil	Gley - Gleysol	11 Saline Swampy Meadow Gley Soil	These soils occur in Ayeyarwady Delta and along the river bands of the Gulf of Motama and the marine flat lowlands influenced by the tidal sea water, hich is always salty. Due to high salinity and whole year tidal sea water, the land can only be utilized for prawn breeding and mangrove firewood forests.

- Note
- \*1: Soil type name used in local usage
  - \*2: Soil type correlate to International name
  - \*3: Soil name used in MAS Soil Map

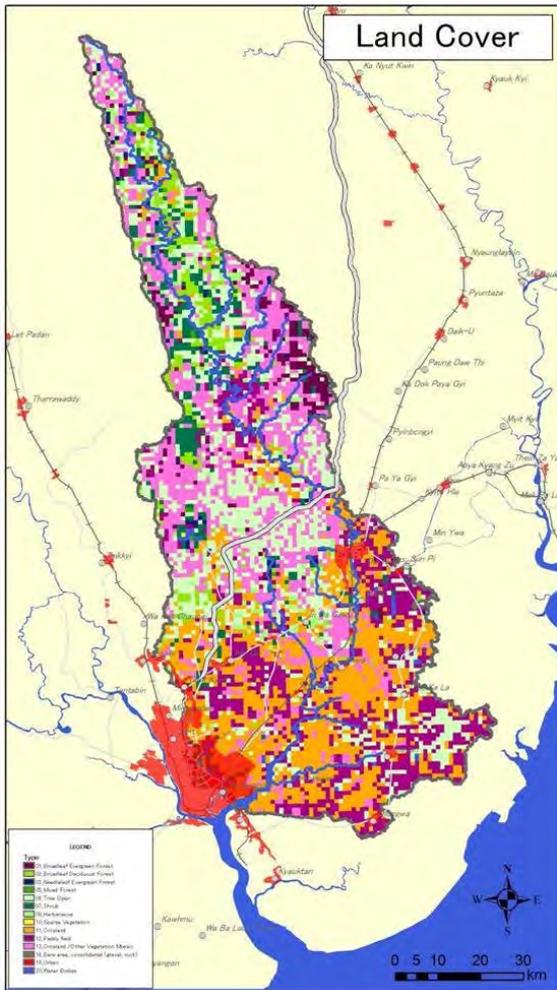


図 4-6-5-1 地表被覆区分

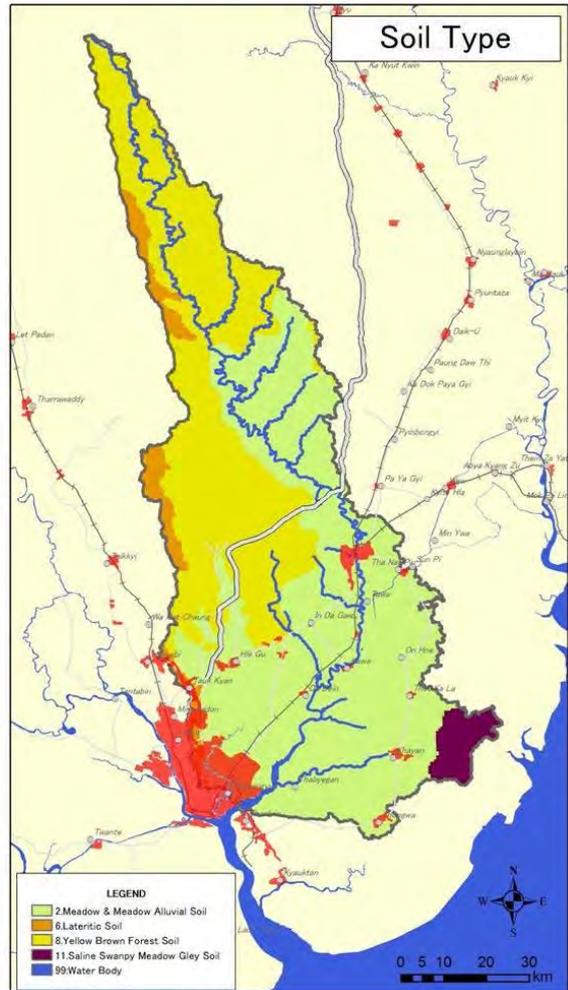


図 4-6-5-2 土壌タイプ区分

表 4-6-5-3 土壤物理・化学特性(SWAT 初期値)

TITLE	SYMBOL	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZMX	ANION	SOL_CRK	TEXTURE	SOIL LAYER	SOL_Z	SOL_BD	SOL_AWC	SOL_CBN	SOL_K	CLAY	SILT	SAND	ROCK	SOL_ALB	USLE_K	SOL_EC	SOL_CAL	SOL_PH
Alluvial Soil	L	3	B	1500	0.5	0.5	L	1	250	1.2	0.2	1	7.6	14	33	53	5	0.1	0.3	0	0	7
								2	900	1.4	0.15	1	5.7	14	33	53	5	0.1	0.3	0	0	7
								3	1500	1.6	0.1	1	3.8	14	33	53	5	0.1	0.3	0	0	7
Meadow Soils/Meadow Alluvial Soils/Meadow Swampy Soils	SiL	3	B	1500	0.5	0.5	SiL	1	250	1.2	0.2	1	7.6	14	73	13	5	0.1	0.3	0	0	7
								2	900	1.4	0.15	1	5.7	14	73	13	5	0.1	0.3	0	0	7
								3	1500	1.6	0.1	1	3.8	14	73	13	5	0.1	0.3	0	0	7
Lateric Soil	LCoS	3	A	1500	0.5	0.5	LCoS	1	250	1.2	0.2	1	11.4	8	7	85	10	0.1	0.3	0	0	7
								2	900	1.4	0.15	1	9.5	8	7	85	10	0.1	0.3	0	0	7
								3	1500	1.6	0.1	1	7.6	8	7	85	10	0.1	0.3	0	0	7
Red Brown Forest Soil	LFS	3	A	1500	0.5	0.5	LFS	1	250	1.2	0.2	1	11.4	8	13	79	7	0.1	0.3	0	0	7
								2	900	1.4	0.15	1	9.5	8	13	79	7	0.1	0.3	0	0	7
								3	1500	1.6	0.1	1	7.6	8	13	79	7	0.1	0.3	0	0	7
Saline Swampy Meadow Gley Soil	SCL	3	C	1500	0.5	0.5	SCL	1	250	1.2	0.2	1	3.8	17	10	73	5	0.1	0.3	0	0	7
								2	900	1.4	0.15	1	2.6	17	10	73	5	0.1	0.3	0	0	7
								3	1500	1.6	0.1	1	1.3	17	10	73	5	0.1	0.3	0	0	7

Title	Unit	Description	Title	Unit	Description
NLAYERS	na	Number of layers in the soil.	SOL_CBN	[%]	Organic carbon content .
HYDGRP	na	Soil Hydrologic Group	CLAY	[%]	Clay content.
SOL_ZMX	[mm]	Maximum rooting depth of soil profile.	SILT	[%]	Silt content.
ANION_EXCL	[fraction]	Fraction of porosity (void space) from which anions are excluded.	SAND	[%]	Sand content.
SOL_CRK	[fraction]	Crack volume potential of soil.	ROCK	[%]	Rock fragment content.
TEXTURE	na	Texture of soil layer.	SOL_ALB	na	Moist soil albedo.
SOL_Z	[mm]	Depth from soil surface to bottom of layer.	USLE_K	na	USLE equation soil erodibility (K) factor.
SOL_BD	[g/cm3]	Moist bulk density.	SOL_EC	[dS/m]	[Not currently active] Electrical conductivity.
SOL_AWC	[mm/mm]	Available water capacity of the soil layer.	SOL_CAL	[%]	Calcium carbonate content
SOL_K	[mm/hr]	Saturated hydraulic conductivity.	SOL_PH	na	Soil pH

### (3) 勾配

デジタル標高モデルより計算した地形勾配は、平坦（勾配 0%）から急傾斜（勾配>50%）まで認められるが、対象地区の多くは勾配 3%以下の緩傾斜地からなり、特に下流域では 1%以下の平坦地が広がる。1%、3% 及び 5%の勾配区分を適用し、地表被覆、土壌タイプと重ね HRU 区分に用いた（図 4-6-5-3 参照）。

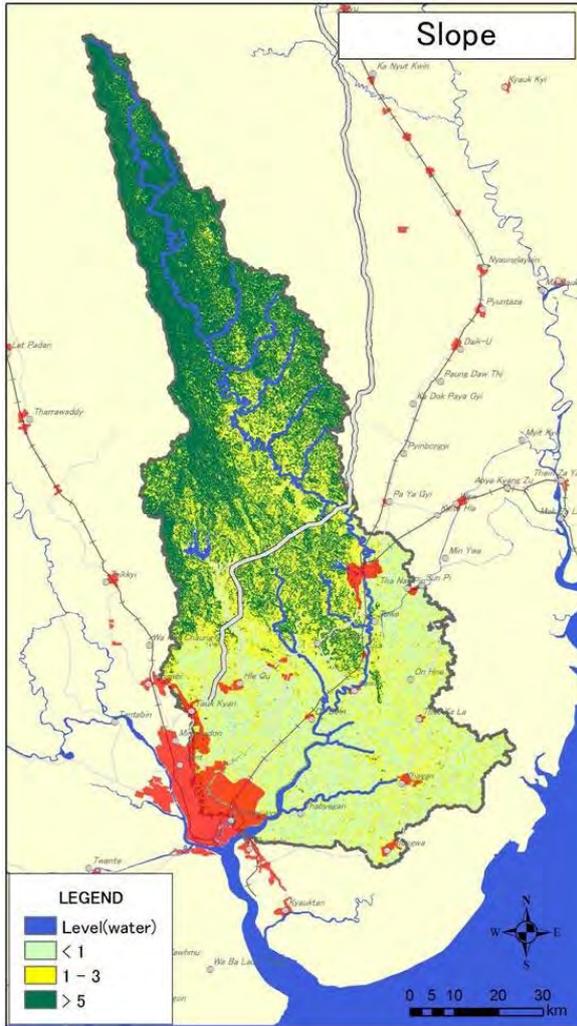


図 4-6-5-3 勾配区分

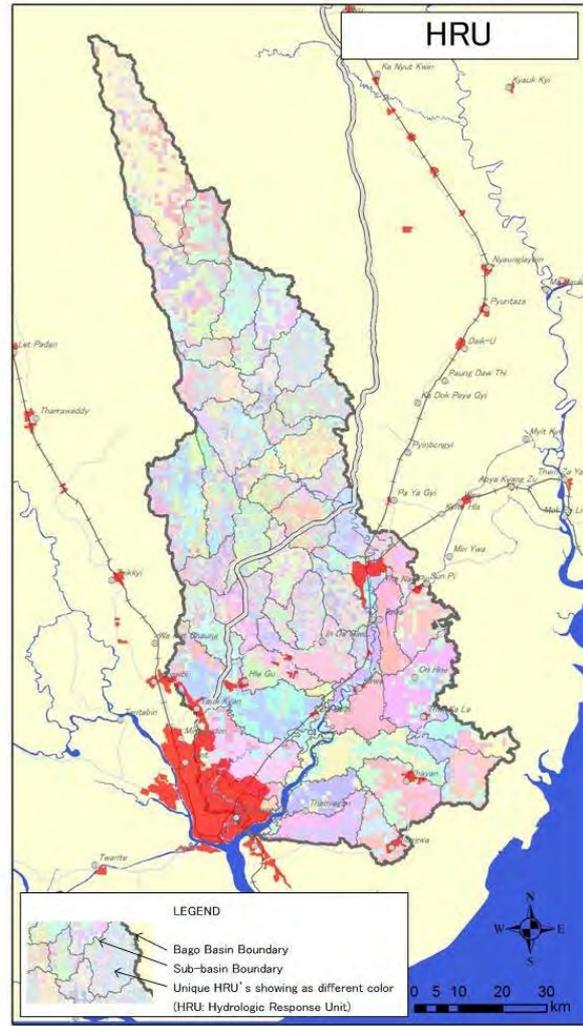


図 4-6-5-4 HRU 分布

### (4) HRU 分布

HRU は勾配-地表被覆-土壌のユニークな組み合わせであり、其々蒸発散その他の収支項において異なった応答関係をもつ。本解析において合計 1,140 のユニークな組み合わせの HRUs が得られた。図 4-6-5-4 に HRUs の分布を示す。

### (5) 気候データ

気候データは、これらにより流域の水循環に係る水分量及びエネルギーが定まり、また対象地区内での水文プロセスも規定することから SWAT 入力値の中では最も基本的なものである。

入力値となる気候データは雨量、最高気温、最低気温、日射、相対湿度、風速の6項目である。蒸散ポテンシャルはこれら気候データよりペンマン-モンティース法で自動生成される。

本解析に使用した気候値は、日射データを除く5項目であり、入力地点は図 4-6-5-5 に示すように流域内外の6観測所とした。なお日射データについては、月別統計パラメータよりデータの補完を行った。

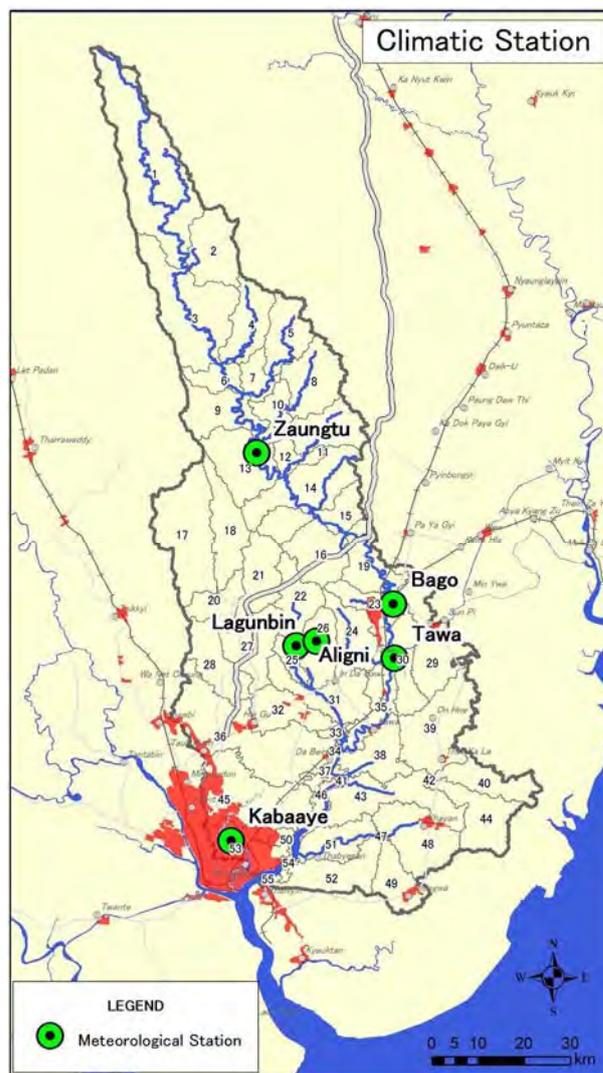


図 4-6-5-5 気候データ入力地点

### (6) 入力データ

SWAT に入力する気候データは 1979 年～2013 年までの日実測データとしたが、5 項目：雨量、最高気温、最低気温、相対湿度、風速データ：が観測されるのは、カバアエ観測所(ヤンゴン)及びバゴ観測所の2箇所であった。

雨量については全地点（6 箇所）で観測データは利用可能であった。図 4-6-5-6 に其々の観測地点の入力期間を示す。

Station	1980's									1990's									2000's									2010's								
	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
Rainfall																																				
Kabaaye																																				
Bago																																				
Lagunbin																																				
Aligni																																				
Tawa																																				
Zaungtu																																				
Others*																																				
Kabae																																				
Bago																																				

\*Others: Daily Max./Min Temperature, Daily Mean Humidity, Daily Mean Windspeed

図 4-6-5-6 SWAT 入力気候値の期間

(7) 気候値の補完

入力値の欠測は、月別統計パラメータ (weather generated table) を SWAT に与え、欠測部分を SWAT の補完機能 (WXGEN)により埋めた。日々の降雨の存在は、対湿度、気温、日射などに大きな影響を与えることから、SAWT においてはまず日降雨量を推定し併せて浸透量も求めることとなる。降雨補完後に、最高・最低気温、日射、相対湿度を想定し、最終的に風速を予測して入力データの欠測箇所を埋めた。

表 4-6-5-4 にカバアエ観測所とバゴ観測所記録から整理し、データ補完用に入力した気候値月統計パラメータを示す。

表 4-6-5-4 気候値補完に適用した月統計パラメータ

STATION: Kabaaye														
WLATITUDE: 16.87°					WELEV: 17m									
WLONGITUDE: 96.18°					RAIN_YRS: 33year									
Month	TMP MX	TM PMN	TMPSTD MX	TMPSTD MN	PC MM	PCP STD	PCP SKW	PR W1	PR W2	PCP D	RAINHH MX	SOLAR AV	DEW PT	WND AV
1	33.2	16.2	1.6	2.3	1.8	1.1	20.0	0.0	0.1	0.3	7.0	17.8	20.5	1.6
2	35.5	17.8	1.7	2.1	3.7	2.1	20.0	0.0	0.3	0.2	12.0	18.5	21.2	1.7
3	36.7	20.6	2.0	2.2	14.8	3.7	9.3	0.0	0.5	1.0	10.0	24.7	23.2	2.0
4	38.8	23.2	2.4	1.8	32.2	8.8	14.8	0.1	0.3	2.2	40.0	24.5	24.4	2.4
5	35.5	23.7	3.5	1.9	328.5	22.7	6.3	0.3	0.7	15.7	75.0	21.3	25.4	2.4
6	32.0	22.5	1.8	1.8	560.6	21.6	1.8	0.7	0.8	25.7	32.0	20.1	25.4	2.3
7	31.2	22.1	1.7	1.8	600.0	21.7	1.8	0.6	0.9	27.4	37.0	19.7	25.2	2.1
8	30.3	22.2	1.8	1.6	578.2	20.6	1.8	0.7	0.9	27.8	29.0	18.6	25.2	2.0
9	32.7	22.8	1.8	1.6	398.0	20.0	3.7	0.6	0.8	22.1	53.0	19.8	25.3	1.9
10	33.9	22.1	2.0	1.5	192.6	13.4	3.7	0.3	0.6	13.6	27.0	19.6	25.4	1.7
11	34.0	20.1	1.8	2.5	56.4	10.0	10.9	0.1	0.5	4.1	37.0	18.9	23.8	1.8
12	34.0	17.0	1.5	2.5	6.8	2.1	13.1	0.0	0.3	0.6	9.0	17.8	21.4	1.8

STATION: Bago														
WLATITUDE: 17.3°					WELEV: 11.3m									
WLONGITUDE: 96.5°					RAIN_YRS: 33year									
Month	TMP MX	TM PMN	TMPSTD MX	TMPSTD MN	PC MM	PCP STD	PCP SKW	PR W1	PR W2	PCP D	RAINHH MX	SOLAR AV	DEW PT	WND AV
1	31.0	16.4	1.5	2.2	2.1	1.1	20.0	0.0	0.3	0.5	7.0	17.2	20.7	1.2
2	34.0	17.3	1.9	2.2	2.4	1.4	20.0	0.0	0.4	0.2	8.0	19.9	22.5	1.3
3	36.0	20.7	2.5	2.2	15.8	3.8	9.8	0.0	0.4	1.1	12.0	24.2	24.9	1.3
4	38.0	22.8	2.3	2.1	41.1	7.3	8.1	0.1	0.3	2.5	20.0	24.0	25.9	1.3
5	33.0	22.7	3.9	2.4	308.8	19.3	3.9	0.3	0.7	15.7	49.0	19.8	25.5	1.3
6	31.0	22.2	1.7	2.5	600.0	22.9	1.4	0.8	0.9	26.8	43.0	17.7	25.0	1.3
7	30.0	22.5	1.5	1.9	600.0	25.4	1.8	0.7	0.9	27.8	40.0	17.2	24.9	1.2
8	30.0	22.6	1.5	1.7	600.0	26.0	2.7	0.6	0.9	26.9	55.0	16.5	24.9	1.2
9	31.0	22.8	1.7	1.8	470.7	21.4	2.2	0.5	0.8	22.6	41.0	17.8	25.2	1.2
10	32.0	23.4	1.7	1.2	185.0	13.3	3.8	0.3	0.5	12.0	26.0	18.9	25.5	1.3
11	32.0	20.9	1.5	2.6	48.8	7.9	9.0	0.1	0.5	3.6	29.0	18.4	23.8	1.3
12	31.0	17.7	1.4	2.3	7.9	2.9	15.0	0.0	0.3	0.6	12.0	17.2	21.3	1.3

Statistical parameters required for SWAT Weather Generator		
Data Type	Unit	Description
STATION	na	Weather Station name.
WLATITUDE	[Degrees]	Latitude of weather station used to create statistical parameters.
WLONGITUDE	[Degrees]	Longitude of weather station.
WELEV	[m]	Elevation of weather station.
RAIN_YRS	[Numeric]	The number of years of maximum monthly 0.5 h rainfall data.
TMPMX	[ deg c]	Average maximum air temperature for month .
TMPMN	[ deg c]	Average minimum air temperature for month.
TMPSTD MX	[ deg c]	Standard deviation for maximum air temperature in month .
TMPSTD MN	[ deg c]	Standard deviation for minimum air temperature in month.
PCPMM	[mm/dd]	Average amount of precipitation falling in month.
PCPSTD	[mm/dd]	Standard deviation for daily precipitation in month.
PCPSKW	na	Skew coefficient for daily precipitation in month.
PR_W1_	[fraction]	Probability of a wet day following a dry day in the month.
PR_W2_	[fraction]	Probability of a wet day following a wet day in the month.
PCPD	[days]	Average number of days of precipitation in month.
RAINHHMX	[mm]	Maximum 0.5 hour rainfall in entire period of record for month.
SOLARAV	[MJ/m2-day]	Average daily solar radiation in month .
DEWPT	[ deg c]	Average dew point temperature in month.
WND AV	[ m/s]	Average wind speed in month.

#### 4-6-6 水文観測データ

水文観測記録の内、モデル検証用としたデータはザンツダム、コドゥグエダム、ダウエイ (G1) 観測所、タマビン (G2) 観測所、バゴ橋観測所及びラゲンビンダムの 6 箇所である。

湖沼および湿地などの貯水量に係る資料は入手できず、モデルへの入力値とすることはできなかつた。また、バゴ流域から他流域への排水量に関する記録も入手できなかつた。

#### 4-6-7 モデル検証

##### 感度解析及びモデルパラメータの検証

モデル計算結果は前述の 6 箇所の実測値を使用し検証を行った。観測データのある 1969 年～1985 年を検証期間とし、モデル計算値との照合を通じ、モデルパラメータを順次修正、再試行を繰り返すことでパラメータの同定を図った。

同定の手順は、まず個々の流域で観測値（流量）を基に感度解析を行い、約 60 個の主要パラメータ（表 4-6-5-3 参照）より計算に影響を与える優先 20 項目を選定し、これらについて自動校正を行った。

さらに、自動校正機能の推奨値でも検証値と計算値が一致しない場合には、手動でモデルパラメータの調整を行う方針とし、すべての検証流域で手動による試行を行った。

手動による照合作業は、感度解析の上位 5 項目：①雨量と流出量との関係を定義する SCS Curve Number 初期値(CN2) 、②浸透の関数である最大土壌水分量(sol\_Awc)、③地下水涵養閾値 (GWQMN)、④飽和透水係数 (sol\_k)、⑤土壌深度(sol\_z) : を対象とし、パラメータの再調整を行った。表 4-6-7-1 に感度解析の結果（優先順位）を示す。

表 4-6-7-1 感度解析の結果

Parameters	Order	Parameters	Order	Parameters	Order
CN2	1	SLSUBBSN	8	GW REVAP	15
SOL AWC	2	SLOPE	9	REVAPMN	16
GWQMN	3	CH K2	10	TLAPS	17
SOL Z	4	SOL ALB	11	GW DELAY	18
SOL K	5	CH N	12	RCHRG DP	19
ALPHA BF	6	EPCO	13	BLAI	20
SURLAG	7	ESCO	14		

これらの上位 5 つのパラメータは、いずれも既存の土壌調査、または土地利用区分に基づき値を割り当て初期値としたものである。パラメータ最終同定にあたっては、CN2 値を中心に変動させ、計算値と検証値の差が 5%以内に収まることを目安とした。

CN2 は本来地表被覆、土壌タイプ、地形勾配などによって定まる HRU の属性で初期値が決められることから、調整は植生区分および土壌区分別に行い、計算期間を通じて実測流量と計算値が最も一致する値を最終値とした。

CN2 の範囲は 36～81 であり、ラテライト質土 (LT) で覆われる混合林 (FRST : SWAT 地表被覆区分) で最も低く、草地性沖積土壌 (MD) および草地性グレイソルに広がる水田 (RICE : SWAT 地表被覆区分) で最も高くなった。

また、土壌深度(SOL\_Z)については、3層構造 (1層 : 250 mm, 2層 : 650 mm 3層 : 600 mm) の 1,500 mm を適用した。また、地下水涵養の敷値 (GWQMN)は、副流域における個々の検証から 0 mmから 70 mm の範囲に収めた。表 4-6-7-2 に優先 20 項目のパラメータに対する検証結果を示す

検証は、ザンツダム、ダウェイ(G1)観測所、コドウグエダム、タマビン(G2)観測所、バゴ橋観測所、ラゲンビン(G4)観測所の 5 観測所を対象としたものであるが、バゴ橋観測所を除き月間の計算値と検証値の良好な一致が見られる。

バゴ橋観測所においては 1889 年～2013 の 25 年間で検証を行ったが 1997 年および最近 10 年間の高水位期においてモデルでは表現できない部分が認められた。

また、日単位での検証も試みたが、これら日データでは元来、流量観測と雨量記録上での相関も乏しく、当然モデルにおいても流出量の再現において両者の精度の高い一致は認められなかった。降雨は地域的な驟雨としてもたらされることが多く、流出をもたらす降雨を観測できなかったことに起因すると思われる。検証流域の同定結果を図 4-6-7-1～図 4-6-7-4 に示す。

表 4-6-7-2 検証後のパラメータ

Order	Parameters	AGRL			FRST			FRSE		FRSD	RICE			WATER
		BF	MD	LT	BF	MD	L T	BF	M D	B F	M D	SM		
1	CN2(Bago Main)	69	75	60	54	66	32	50	63	59	81	81	92	
	CN3(La Gun Byin)	77	83	66	60	73	35	92	63	59	81	81	92	
	CN4(Dawei)	69	82	-	54	73	-	49	63	59	81	81	92	
Order	Parameters	Layer 1			Layer 2			Layer 3						
2	SOL_AWC	0.8			0.7			0.5						
3	GWQMN	50/70(sub5,7)			50/70(sub5,7)			150						
4	SOL_Z	250			900			1500						
5	SOL_K(BF)	95			71			48						
	SOL_K(MD)	12			8			4						
	SOL_K(LT)	219			165			94						
Order	Parameters	Sub-basins/HRUs			Explanation									
3	GWQMN	50/70(sub5,7)			Landcover									
6	ALPHA_BF	0.3			AGRL: Agricultural Land-Generic									
7	SURLAG	4			FRST: Forest-Mixed									
8	SLSUBBSN	18 -121			FRSE: Forest-Evergreen									

9	SLOPE	0.002-0.19	WATR	Water
10	CH_K2	0	FRSD:	Forest-Deciduous
11	SOL_ALB	0.1	RICE:	Rice
12	CH_N	0.014-0.1		Soil Type
13	EPCO	1	BF:	Red Brown Forest Soil
14	ESCO	0.95	MD:	Meadow & Meadow Alluvial Soil
15	GW_REVAP	0.1	LT:	Lateritic Soil
16	REVAPMN	1	SM:	Saline Swampy Meadow Grey Soil
17	TLAPS	0.006		
18	GW_DELAY	4/5/20/31		
19	RCHRG_DP	0.1/0.15/0.27/0.5		
20	BLAI	0-5		

表 4-6-7-3 SWAT パラメータの説明

Par	Name	Type	Description	Location
1	ALPHA_BF	Sub	Baseflow alpha factor [days]	*.gw
2	GW_DELAY	Sub	Groundwater delay [days]	*.gw
3	GW_REVAP	Sub	Groundwater "revap" coefficient	*.gw
4	RCHRG_DF	Sub	Deep aquifer percolation fraction	*.gw
5	REVAPMN	Sub	Threshold water depth in the shallow aquifer for "revap" [mm]	*.gw
6	GWQMN	Sub	Threshold water depth in the shallow aquifer for flow [mm]	*.gw
7	CANMX	Sub	Maximum canopy storage [mm]	*.hru
8	GWNO3	Sub	Concentration of nitrate in groundwater contribution [mg N/l]	*.gw
10	CN2	Sub	Initial SCS CN II value	*.mgt
15	SOL_K	Sub	Saturated hydraulic conductivity [mm/hr]	*.sol
16	SOL_Z	Sub	Soil depth [mm]	*.sol
17	SOL_AWC	Sub	Available water capacity [mm H2O/mm soil]	*.sol
18	SOL_LABP	Sub	Initial labile P concentration [mg/kg]	*.chm
19	SOL_ORGN	Sub	Initial organic N concentration [mg/kg]	*.chm
20	SOL_ORGP	Sub	Initial organic P concentration [mg/kg]	*.chm
21	SOL_NO3	Sub	Initial NO <sub>3</sub> concentration [mg/kg]	*.chm
22	SOL_ALB	Sub	Moist soil albedo	*.sol
23	SLOPE	Sub	Average slope steepness [m/m]	*.hru
24	SLSUBBSN	Sub	Average slope length [m]	*.hru
25	BIOMIX	Sub	Biological mixing efficiency	*.mgt
26	USLE_P	Sub	USLE support practice factor	*.mgt
27	ESCO	Sub	Soil evaporation compensation factor	*.hru
28	EPCO	Sub	Plant uptake compensation factor	*.hru
30	SPCON	Bas	Lin. Re-entrainment parameter for channel sediment routing	*.bsn
31	SPEXP	Bas	Exp. Re-entrainment parameter for channel sediment routing	*.bsn
33	SURLAG	Bas	Surface runoff lag time [days]	*.bsn
34	SMFMX	Bas	Melt factor for snow on June 21 [mm H2O/°C-day]	*.bsn
35	SMFMN	Bas	Melt factor for snow on Decemner 21 [mm H2O/°C-day]	*.bsn
36	SETMP	Bas	Snowfall temperature [°C]	*.bsn
37	SMTMP	Bas	Snow melt base temperature [°C]	*.bsn
38	TIMP	Bas	Snow pack temperature lag factor	*.bsn
41	NPERCO	Bas	Nitrogen percolation coefficient	*.bsn
42	PPERCO	Bas	Phosphorus percolation coefficient	*.bsn
43	PHOSKD	Bas	Phosphorus soil partitioning coefficient	*.bsn
50	CH_EROD	Sub	Channel erodibility factor	*.rte
51	CH_N	Sub	Manning's nvalue for main channel	*.rte
52	TLAPS	Sub	Temperature lapse rate [°C/km]	*.sub
53	CH_COV	Sub	Channel cover factor	*.rte
54	CH_K2	Sub	Channel effective hydraulic conductivity [mm/hr]	*.rte
60	USLE_C	Sub	Minimum USLE cover factor	crop.dat
61	BLAI	Sub	Maximum potential leaf area index	crop.dat

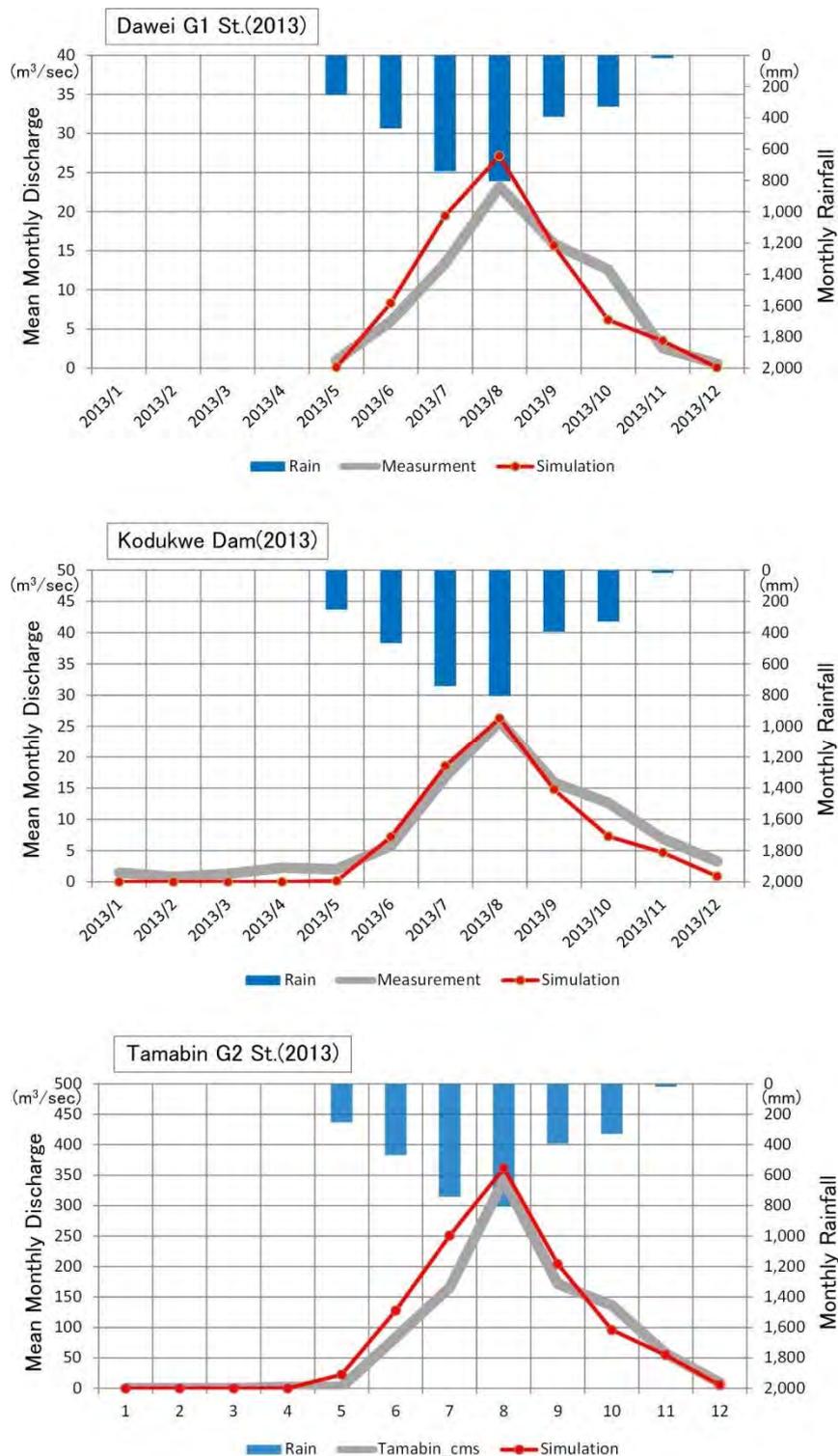


図 4-6-7-1 検証結果 (ダウエイ観測所、コドゥグエダム、タマビン観測所)

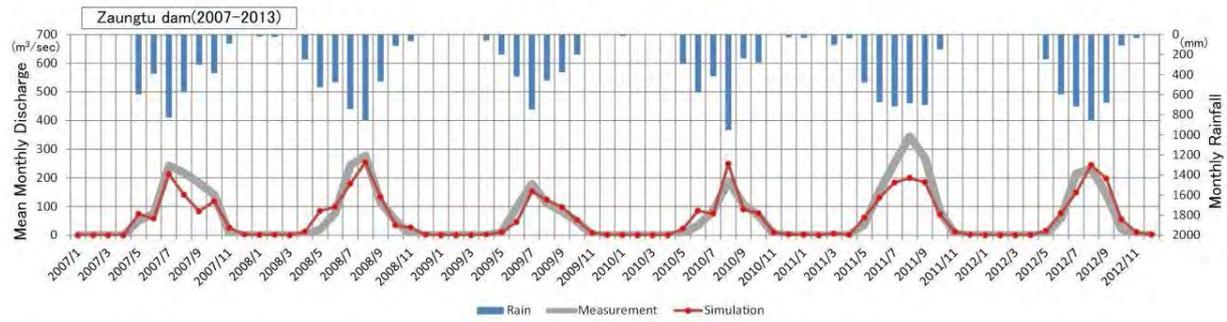
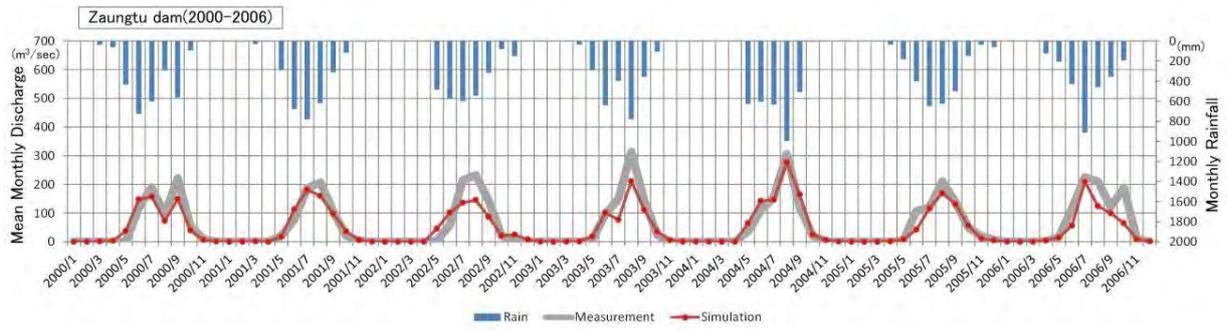


図 4-6-7-2 検証結果(ザンツダム)

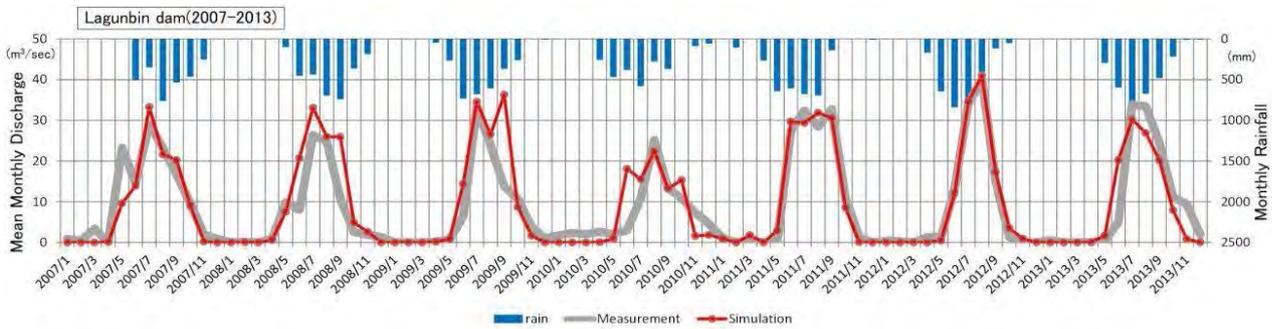


図 4-6-7-3 検証結果(ラゲンビンダム)

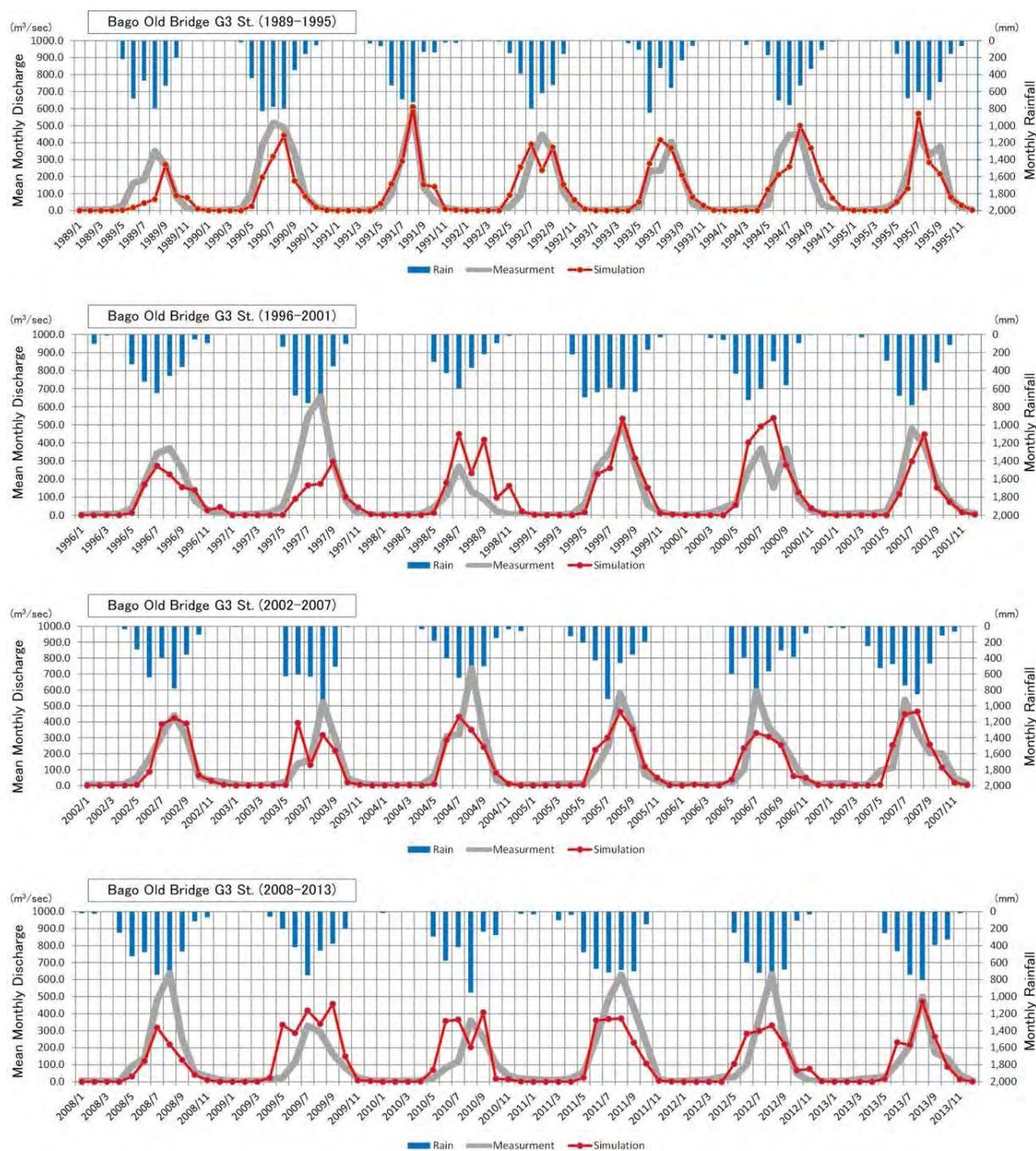


図 4-6-7-4 検証結果(バゴ橋観測所)

#### 4-6-8 モデル出力

対象地区においては小雨の場合、雨水は植生または地表にトラップされ大半が蒸発によって失われる、または、一部が時間とともに土壤に浸透するものの、その後の土壤保留中からの発散によって失われる。赤褐色森林土およびラテライト質土で覆われ地表の浸透性が高いバゴー中流域では、通常の雨であった雨水は土壤に浸透するが、草地性及び草地性沖積土からなる難～不透水性土壤の場合、殆どの雨水は河川に流入する。特に、下流に低平地においては、地下水位は浅く、また高潮により背水の影響で頻繁に洪水が発生する。これらの洪水は低地に残存し季節的な湛水域を形成する。これらの地表水および堆積物中の浸透水は、そのほぼ半分は発散によって失われるが、一部は、時間をかけ地下水に転化する。これら水文状況の把握のため、以下の収支項を SWAT モデルアウトプットとし、以下(1)-(7)のポストプロセッシングを行った。

- (1) 流域雨量
- (2) 蒸発散能
- (3) 実蒸発散量
- (4) 浸透量
- (5) 地表流出
- (6) 基底流出
- (7) 地表水の水源量

##### (1) 流域雨量

流域雨量は流域内 6 観測所の観測記録を基に計算した。計算年 30 年(1984 年-2013 年)の最高で 3,202 mm/年、最低 2,787 mm/年であり、平均雨量は 2,880 mm/年となった。図 4-6-8-1 の各々の副流域における分布を示す。

##### (2) 蒸発散能

蒸発散能は広域の植生域で制限なく土壤に水を供給した場合の蒸発散量であり、計算ではペンマン - モンティース法(Penman-Monteith method)を使い計算した。流域において最高は 2,668 mm/年であり、最低は 1,422 mm/年である。また平均は 1,541 mm/年であった。図 4-6-8-2 に各々の副流域における分布を示す。

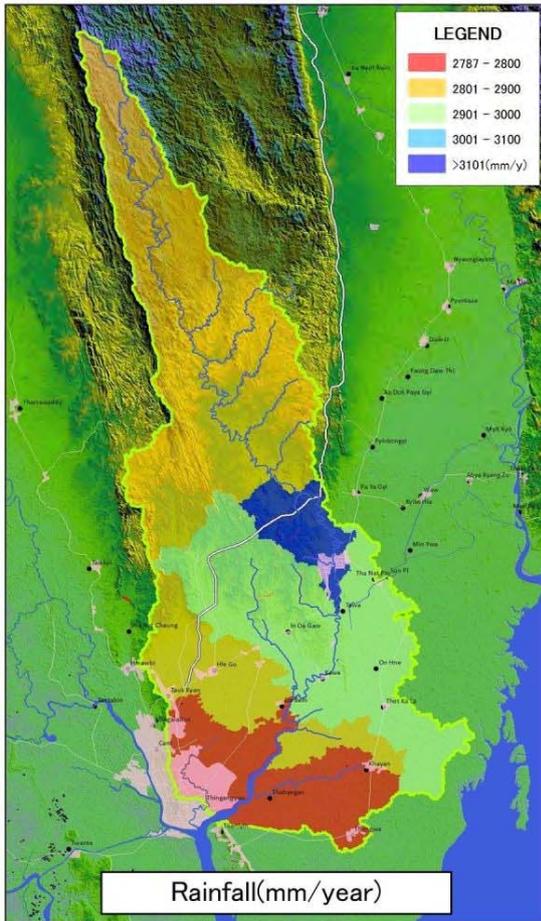


図 4-6-8-1 流域雨量

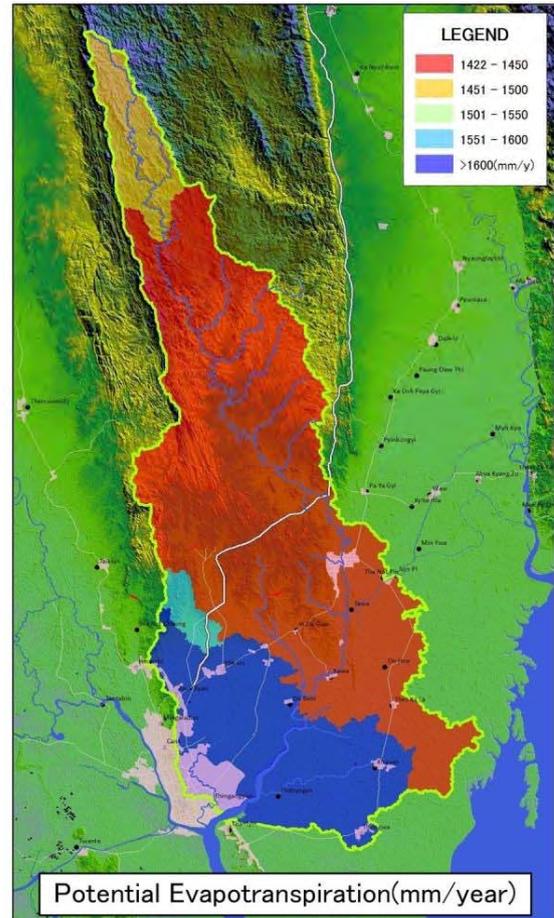


図 4-6-8-2 蒸発散能

### (3) 実蒸発散量

実蒸発量は河川、湖沼からの蒸発の他、露地および植生表面からの蒸発および蒸散を含むが、モデルにおいては、土壌からの蒸発と植物からの蒸散は其々別に取り扱っている。土壌からの蒸発については土壌深度と土壌含水比、また植物からの蒸散は蒸発散能と葉面積指数を使い計算した。図 4-6-8-3 に示すように、計算年 30 年において年平均 765 mm/年から 1,868 mm/年の実蒸発散が得られた。

### (4) 土壌浸透量

土壌浸透量は土壌層別に計算した。雨水よりの浸透は、対象となる土壌層が飽和した時点で生じ、下層へ不飽和帯をとおり浅層帯水層に達するものとした。また、この際の時間的な遅れは、浅層帯水層水位までの距離、及び不飽和帯及び浅層帯水層の透水係数により計算した。浸透量は最低 467 mm/年から最高 1,653 mm/年の範囲にあり、また 1984 年から 30 年の平均値で 977 mm/年となった。図 4-6-8-4 に各副流域別の土壌浸透量を示す。

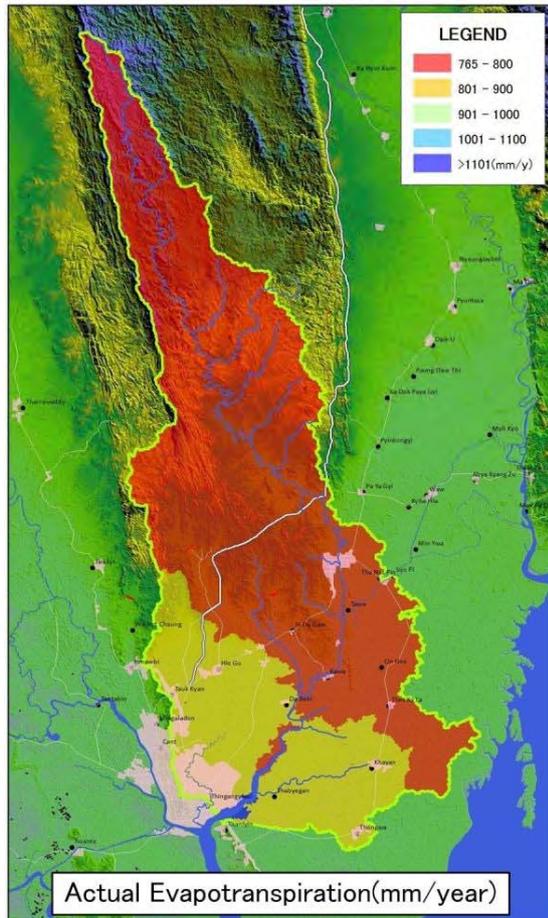


図 4-6-8-3 実蒸発散量

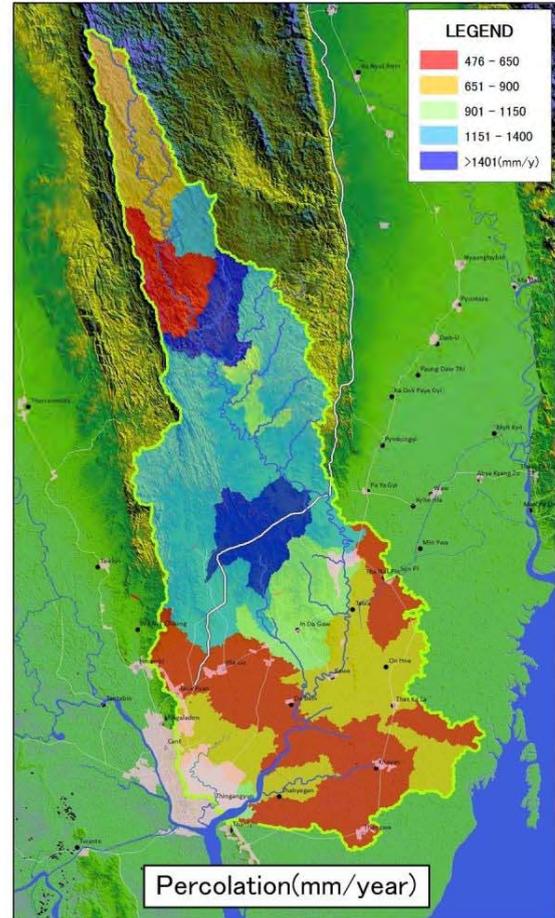


図 4-6-8-4 土壌浸透量

#### (5) 流出量

地表流出は地表において降雨強度が土壌浸透能を上回った時点で発生するものとした。降雨の初期において土壌浸透能は大きく流出は生じないが、降雨の持続とともに土壌が飽和し、降雨強度が土壌浸透を上回り、さらに地表部の窪みを埋めた時点で地表流出が始まる。実際の解析では、SCS Curven Number 法を適用し、これらの過程を取り込み 30 年間平均で 1,029 mm/年 (271 mm/年～1,730 mm/年) が得られた。図 4-6-8-5 に副流域別の地表流出分布を示す

#### (6) 基底流出

地形に応じ、浸透した水は浅層帯水層から毛管帯にまで上昇し飽和帯を形成し、これが地下水面となる。解析においては、浅層帯水層の地下水面を追跡し、これが河床標高を超えた時点の水量を河川へ還元される基底流出とした。基底流出は、最低 195 mm/年、最高 1,091 mm/年、平均 597 mm/年<sup>3</sup>と算出された。図 4-6-8-6 副流域別の分布を示す。

<sup>3</sup>流出量・基底流出量の単位は、降雨、蒸発散との比較のため流域面積で除し、流出高(mm)・基底流出高(mm)とした。

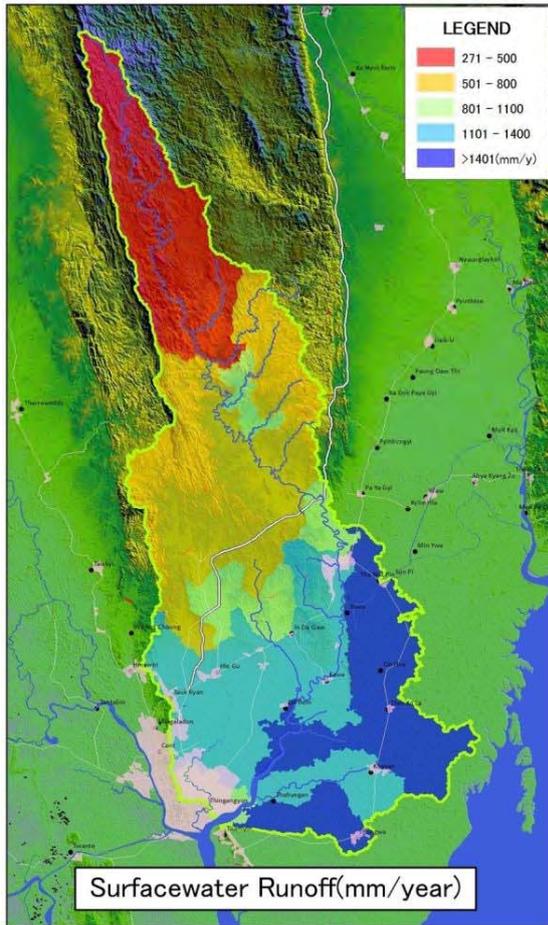


図 4-6-8-5 地表流出量

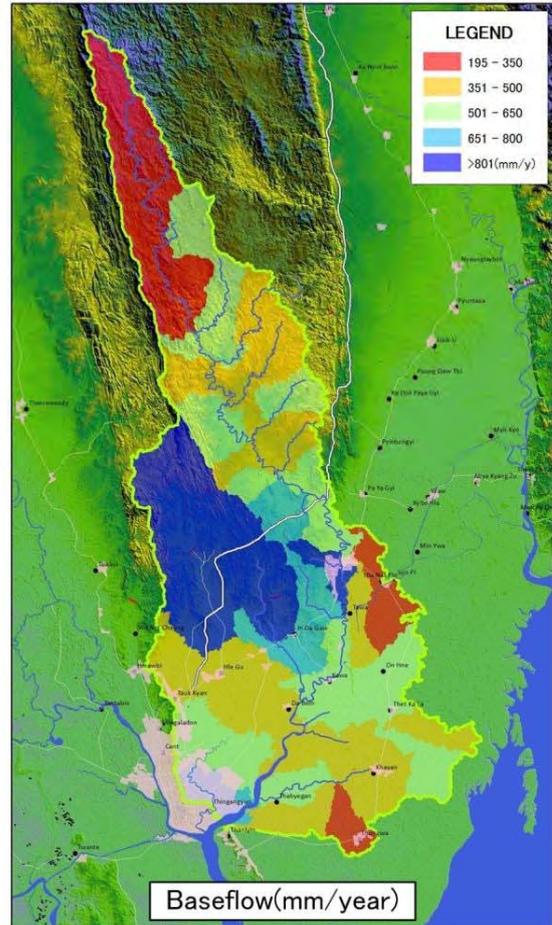


図 4-6-8-6 基底流出量

## (7) 地表水の水源量

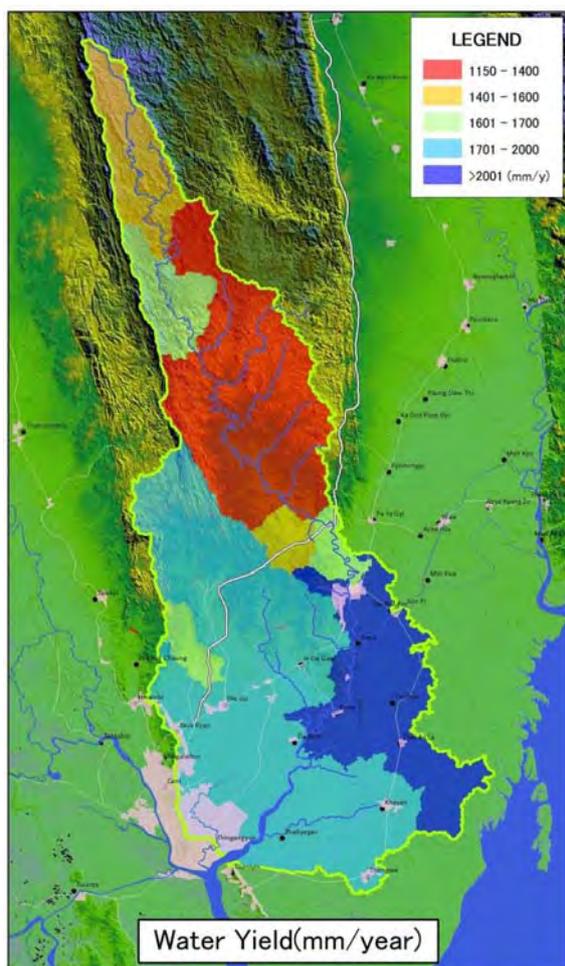


図 4-6-8-7 地表水の水源量

地表水は、河川に流入する以前の「地表部分」を流れるものと、これらが河川に流れ込み、河川網に流下する「河川部分」とに区分される。河川部分においては、貯留機能があり、これらが流出量（率）への影響することから、河川部分のモデル化において、河川追跡モデルを使い、副流域から排出される流量を計算している、さらに、これから、導水損失、蒸発等を求め、これらを差し引き下流の副流域に受け渡している。

この損失と副流域からの合計した流出量を SWAT では「水源量 (Water Yeild)」とよび、当然、変動貯水追跡モデルで計算した値と等しくなる。

バゴー流域の水源量は、バゴー市の下流の洪水常襲地帯で最大となり 2,163 mm/年を示すに対して、中上流域のザンツ付近で最小となり 1,150 mm/年を示す。また流域全体の平均で 1,710 mm/年となる。図 4-6-8-7 に副流域別の水源量の分布を示す。

## 4-6-9 流域収支

### (1) 収支の概要

過去 30 年(1984 年~2013 年)の流域収支を表 4-6-9-1、またこれらの平均値を図 4-6-9-1 に示す。過去 30 年の流域収支を見ると、平均雨量は 2,880mm/年であり、このうち 797mm/年が蒸発散で失われ、1,685mm/年が河川に流出する。残り 398 mm/年が深層帯水層に涵養されるか、または地下水より蒸散により大気中に還元される。また、早魃年においては、2010 年が 30 年で 3 位の早魃年 (1/10 年早魃年相当) であり、この年の雨量 2,595mm/年のうち、824 mm/年が蒸発散、1,394 mm/年が河川への流出、377 mm/年が地下水涵養および蒸散によって失われる。

表 4-6-9-1 流域収支(1984-2013)

Year	Area Rainfall	Surface Runoff	Lateral Flow	Base Flow	Percola- -tion	ET*1	PET*2	Water Yield	GW. Recharge*3	Order of Water Yield
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	-
1984	3,102	1,015	184	639	1,089	815	1,495	1,837	450	24
1985	2,718	959	140	487	849	778	1,531	1,586	354	8
1986	2,456	677	132	462	805	814	1,492	1,272	371	2
1987	2,183	585	114	375	693	803	1,469	1,074	307	1
1988	2,873	1,006	153	510	904	810	1,482	1,670	394	16
1989	2,812	910	165	569	967	775	1,467	1,643	393	13
1990	3,159	1,066	196	636	1,093	799	1,504	1,898	462	25
1991	2,528	762	134	513	858	771	1,483	1,409	348	4
1992	2,622	806	147	524	898	775	1,479	1,478	370	7
1993	2,649	940	123	525	858	737	1,481	1,587	325	9
1994	2,969	1,043	144	613	994	778	1,469	1,800	392	23
1995	2,874	969	157	566	950	792	1,470	1,691	391	18
1996	2,824	969	141	527	900	810	1,478	1,637	377	12
1997	2,806	963	161	545	935	759	1,504	1,669	379	15
1998	2,534	802	114	515	836	768	1,508	1,430	336	6
1999	3,653	1,379	206	772	1,270	793	1,437	2,358	502	30
2000	2,906	962	162	595	1,007	780	1,461	1,720	406	20
2001	2,905	879	167	601	1,022	835	1,532	1,647	423	14
2002	3,282	1,244	161	610	1,029	832	1,555	2,015	436	28
2003	2,755	912	149	537	915	798	1,530	1,598	359	10
2004	2,940	973	192	568	1,003	773	1,562	1,733	434	21
2005	2,613	818	148	449	797	808	1,544	1,414	391	5
2006	2,859	906	158	626	1,044	786	1,480	1,690	382	17
2007	3,038	1,061	177	551	977	813	1,566	1,790	435	22
2008	3,285	1,101	193	666	1,139	844	1,529	1,960	481	27
2009	2,883	1,021	138	543	904	819	1,551	1,702	362	19
2010	2,595	794	155	445	811	824	1,615	1,394	377	3
2011	3,618	1,379	206	745	1,241	810	1,539	2,329	479	29
2012	3,152	1,121	181	600	1,015	819	1,559	1,902	431	26
2013	2,801	873	163	580	974	784	1,471	1,615	402	11
Average	2,880	963	159	563	959	797	1,508	1,685	398	-

ET\*1: Actual Evapo-transpiration

PET\*2: Potential Evapo-transpiration

GW. Recharge\*3: Groundwater Recharge and Evapo-transpiration from Ground water

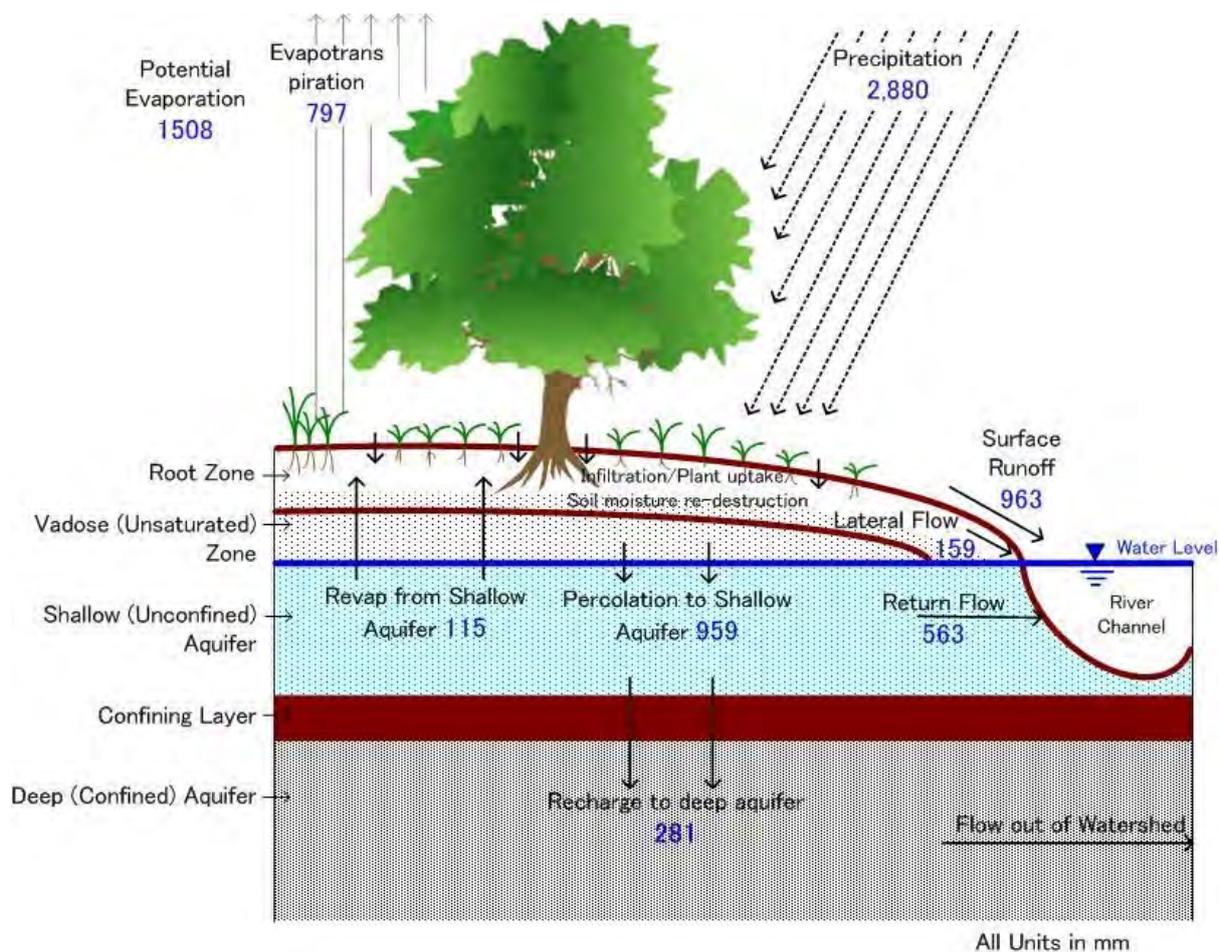


図 4-6-9-1 流域収支図(1984年-2013年の平均)

流域収支にみるバゴー流域全域の流出率は 58%であり、降雨の 2,880mm/年に対して 1,685mm/年（表面流出 963 mm+中間流出 159 mm+基底流出 563 mm）が河川に流入する。これは観測値（流域中流のバゴー橋観測所 52%、また上流のダウェイ観測所 60%）と同レベルにあり、また灌漑局が計画に使用している経験値（低浸透性土壌・植生ありで 50%、低浸透性土壌・植生なしで 60%）とほぼ等しい。また、蒸発散量として 797 mm/年が流域より失われることとなるが、この値は公表される衛星画像データ解析結果<sup>4</sup>（バゴー中流域で 750 mm程度）と大きくかけ離れたものではない。また、地下水涵養量は 281 mmが得られるが、これも類似土壌・地質で行ったタンクモデルの解析結果<sup>5</sup>と大きな相違は認められない。現時点で入手できる情報と照らし合わせ、流域収支の精度は、流域を概観するに満足できるレベルと判断される。

<sup>4</sup> MODIS Global Evapotranspiration Project (MOD16) <http://www.ntsg.umt.edu/project/mod16>

<sup>5</sup> 本調査で実施したタンクモデルによる解析結果では、地下水涵養量は広く 60 mm/年～600 mm/年の範囲にあるが、バゴー丘陵部の構成層と類似層（ペグー層）で行った結果では 320 mm/年が得られている。

4-6-10 副流域の水資源量

以上のとおり、流域の全体収支は副流域の収支バランスに基づき求められている。図 4-6-10-1 に副流域別の水源量を示す。

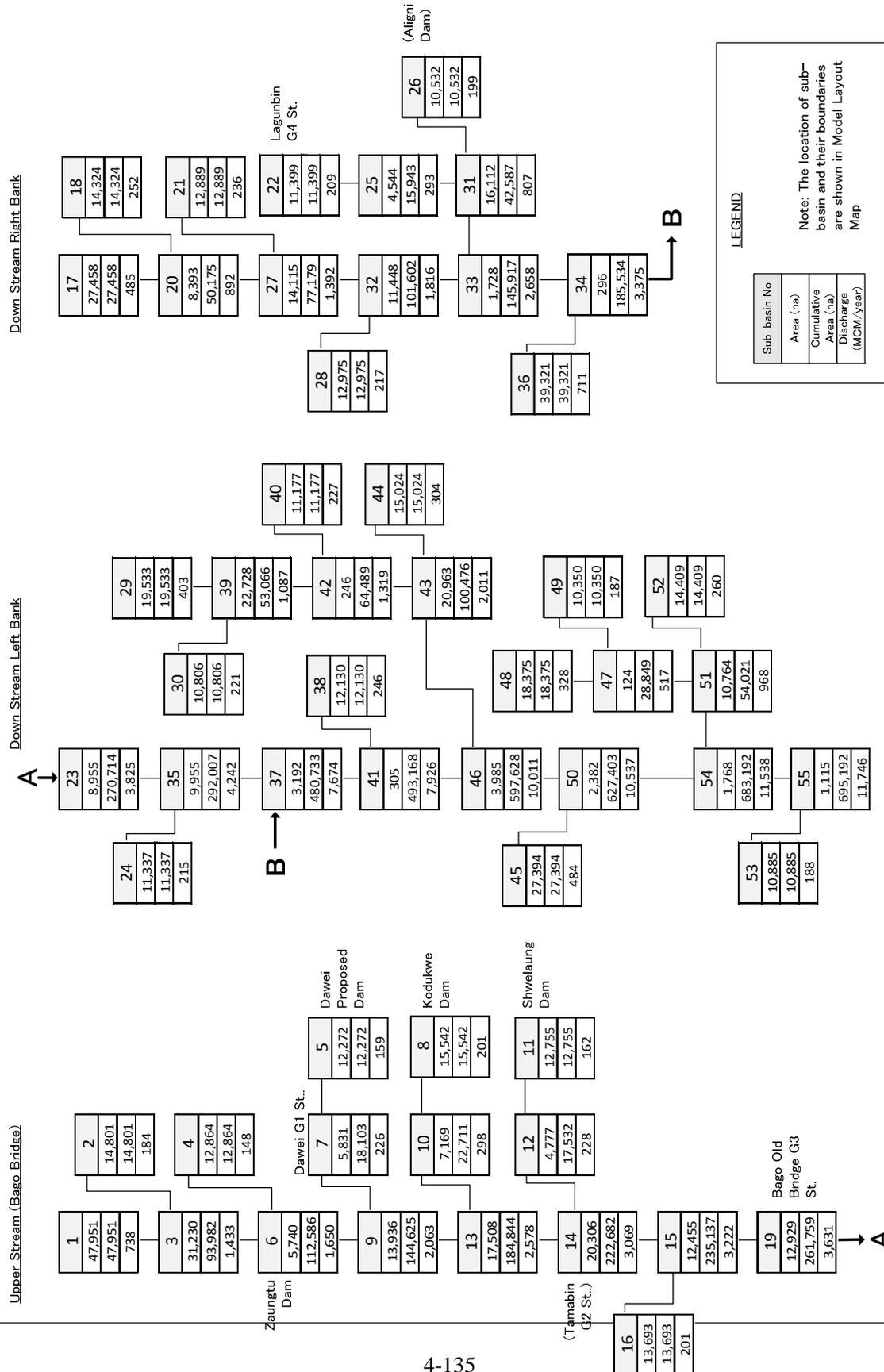


図 4-6-10-1 副流域別の地表水水源量

## 4-7 モニタリングシステム及びデータベース

### 4-7-1 モニタリング項目

水資源モニタリング及びデータベース構築の計画は、SEZ 周辺地区（タンリン、チャウタン、トンゲア郡区）、バゴー流域、バゴー流域東岸に位置するシッタン川河口部西岸を対象とする。また、モニタリング項目は、バゴー川流域に係る将来の計画、管理のために必要となる雨量、水位、流量、水質、底質、ダム、堰、海象とし（図 4-7-1-1 参照）、SEZ 周辺地区及びバゴー地区での利水管理に資することを目的とした。この前提に立ち、各々のモニタリング項目における観測点密度、観測・運用体制を以下のとおり計画した

雨量：バゴー川の流域規模 5,350 km<sup>2</sup>において、流出解析を行う観点から、その計算単位となる流域の平均降水量（面積雨量）を精度よく把握する必要から、観測点の設置密度は 50 km<sup>2</sup>/箇所が必要であり<sup>6</sup>、対象地区全体で 107 箇所程度の観測所の設置が理想であるが、対象地区内にはアクセスの困難な山地～丘陵が広がり、観測所新設、及びデータ送信、回収は難しい。現計画においては、観測所の設置可能な低平地～丘陵地を中心に 50 箇所程度の観測所設置を目指すこととする。低平地～丘陵地では、既にダム、堰などの 23 箇所貯水型雨量計による観測所が行われていることから、これらの既存施設を転倒桁式自記雨量計に移行するとともに、既存地点を補完する形で観測所を新設する。また、山地部～丘陵地においては、テレメータシステムを検討する。

流量：モニタリングの主な対象となるバゴー川は河口部から 60 km 以上にわたり感潮するが、潮汐の影響如何により流量観測法は異なる。非感潮部はバゴー市の上流域が対象となり、同区間においては、通常どおり非固定式の観測を行い「水位流量曲線法」にて流量を求めることが可能となる。一方で感潮部では、定地点に無人・自動での連続観測が可能なセンサーを流量観測地点のしかるべき場所に固定設置することが好ましい<sup>7</sup>。非感潮部の設置箇所については、既に適当な地点に観測所が設置されていることから、これら既存観測所を踏襲し、また観測頻度を上げ精度の向上を図ることとする。また、感潮部については、これまでコスト面などの負担から観測所は設置されてこなかったが、将来の利水状況の変化に合わせ、河口部の SEZ よりバゴー市までの間に観測点を新設する。また、支川の流量については、既にダム・堰等が多数建設されていることから、これらを利用した流量測定を検討する。

水位：河川において流量観測地点で水位観測も同時に行う。また、既存のダム・堰等の水理構造物が流量測定に利用できる箇所においても貯水位を計測する。また、計測は圧力式水位計による観測とする。

水質（表流水）：水質は将来の利水を考えて位置を検討する。本調査で実施した 12 点のバ

<sup>6</sup> 河川砂防技術基準調査編 2 章水文・水理観測 2 節降水量観測(2.3.1 節参照)及び 標本計画法による面積雨量の精度及び信頼度の評価に関する研究（橋本健），土木研究所 報告，No149，1977.2. 3. 参照。

<sup>7</sup> 河川砂防技術基準調査編 2 章水文・水理観測 4 節流量観測(4.11.1 参照)。

ゴー川流域のモニタリング地点（図4-4-9-1参照）、及びバゴー川とシッタン川との境界部、水源から受益地（SEZ 周辺地区）までの導水路での観測点を含むものとする。

底質：底質モニタリング地点は河道区間別（丘陵・沖積・河口区間など）で観測点を設けることとし、バゴー本川の流量観測所地点にて底質モニタリングを行う。

ダム・堰：流域内に認められる電力省、灌漑局の建設したダム及び堰の他、水路等のゲート操作などの管理諸量を対象とする。

海象：河川の流動に関する潮汐、波浪等の変動を含む河口部の水位（海面変動）の観測を行う。特に海嘯が発生し潮位変動の大きなシッタン川の河口部に観測所を設ける。

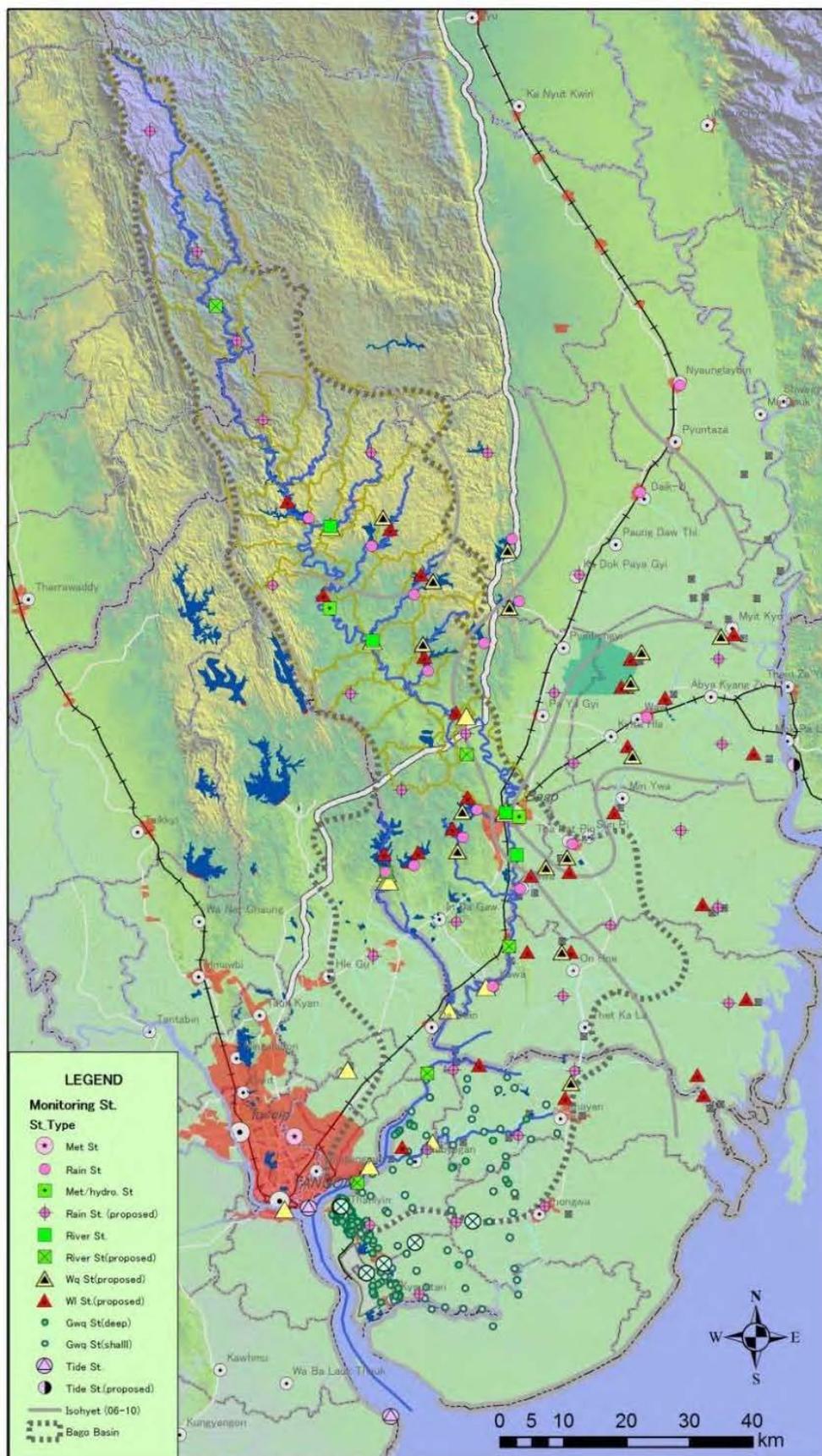


図 4-7-1-1 モニタリング地点

#### 4-7-2 データベース

本調査では、灌漑局または関連の組織に集積されている情報の全容は把握されず、データベース化の全容は包括できないが、収集のデータは、次の3つに大別される。

- ① 各機関・団体の担当部署より収集した既存データ
- ② 本業務で実施した調査データ（地下水解析・水文解析に使用）
- ③ ①・②を元にアレンジしたデータ群および一覧表・グラフなどの図表データ

このうち、①・③についてはデータの保存形態や様式が統一されておらず、様々なデータが混在している状態であった。

灌漑局においても、データ管理に支障をきたしている状況にあり、必要なデータを迅速に閲覧できるような情報収集・情報管理・情報共有システムの導入が望まれている。本調査においても今後の情報閲覧の迅速化を念頭に、収集データを①水文調査・水源情報、②水供給・利用情報、③水利施設情報の3エリア（カテゴリ）、22サブエリアに区分し、データを分類することとした(表4-7-2-1 参照)。また、雨量・河川流量など主要なデータは様式を統一した。

表 4-7-2-1 データベース構造

Categories of Data Modeling	Sub-areas Symbol	Sub-areas
Hydrological Observation And Water points	HO-00	Water Point (or Water measure Point)
	HO-01	Meteorological Observation (or Meteorology)
	HO-02	River Discharge(or River)
	HO-03	Spring Discharge(or Spring)
	HO-04	Observation Well
	HO-05	Ground Water Level survey (or Ground Water Level)
	HO-06	Geophysical Survey (or Geophysics)
	HO-07	Water Chemistry survey
	HO-08	Chemical analysis (or Chemistry)
	HO-09	Well construction
HO-10	Pumping Test	
Water Supply And Water Demand	WS-00	Water Supply Point
	WS-01	Water Service
	WS-02	Water Production
	WS-03	Well Inventory Survey
	WS-04	Irrigation Survey
	WS-05	Agricultural Survey (or Village Survey)
Water Facility	WF-00	Water Facility Project
	WF-01	Water Facility Point
	WF-02	Dam
	WF-03	Pump Station (or Pipe line)
	WF-04	Irrigation Network

	WF-05	Drainage Network
	WF-06	Sub Basin
3 Areas	22 sub-subject	

灌漑局における将来のデータベースシステムの構築にあたっては、このデータベース構造に沿った種々のデータ及び情報をルールに沿って登録、保管し、将来の水資源管理に利用することを提案し、また、本調査にて整理したサブエリア別データを、将来のデータベース実装に備える 22 のサブエリアからなるデータ群とし灌漑省に提供した。

### (1) 観測・運用体制

バゴー流域における水資源モニタリング及びデータベースの運用管理は、その運用を灌漑局の現在の枠組みで行うことが望まれる。現時点での灌漑局の水文データ観測・収集は、水文部、調査部、建設部、地域管理部、設計部、計画部が其々の調査項目に応じ分掌している。既存の雨量・水位観測は、観測点が灌漑局管理の水源施設内に設置されることから、施設建設中にあつては建設部が、また建設後の施設にあつては、バゴー管区、ヤンゴン管区の地域管理部が行っている。

また、各施設に施設管理人が常駐し、日々の施設の保守・観測を行い、定期的に観測データを計画部及び各関係部門へフィードバックしている。一方で、一定の経験、技術を必要とする流量観測、自記機器（雨量計、水位計など）保守は水文部の専任事項であり、水質試験についても調査部、水文部、灌漑技術センターで実施することとなっている。底質調査を含む土壌調査については調査部が行い、観測設置に付随する水準測量などは、設計部の測量部門が所管することとなっている。

現時点で、これらの既存の観測・運用体制は問題なく機能していることから、バゴー川の水資源モニタリング施設の管理運用、観測についても、灌漑省の現枠組みの中で行うことが現実的かつ確実な方策と考える。

一方で、本格的なデータベース管理システムの導入については、灌漑局で強い希望があるものの、局内のネットワーク事情、外部通信環境、職員の経験などで障害も多くこれらの導入には長期的な視点が必要と思われる。現段階では、本調査で収集した情報については、一部をのぞきデータ構造化は行わず原データ形式でサブエリア別に整理するに留めた。

## (2) データベース管理システム

流域管理の手段として、データベース管理システム (DBMS) の導入が不可欠と思われる。将来の灌漑局の DBMS の概念図 4-7-2-1 に示す。

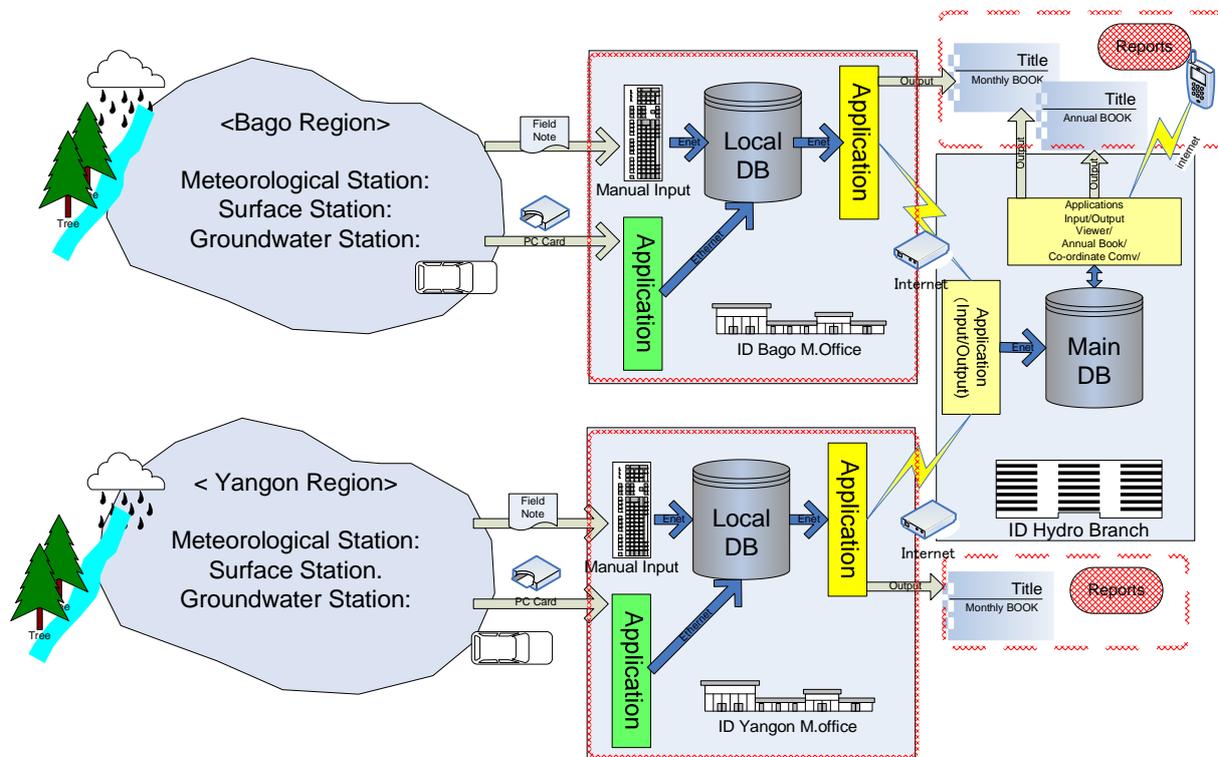


図 4-7-2-1 データベース管理システム (DBMS)

データベースの運用にあつたては、地方事務所 (ID バゴ地区およびヤンゴン地区管理事務所) において、観測機器の点検、計測値回収、及び現地照査・標準照査 (観測データの異常値補正: 計器及び読み取り誤差等の修正) を行い、ローカル・データベース (Local DB) への入力を行う。Local DB は各事務所に設置するが、本部のメイン・データベース (Main DB) と同一の構造・書式を有し、インターネット回線を通じた WAN で連結しているものとする。地方事務から本部に転送されたデータは、本部において周辺近傍の観測データなどから高度照査を行った後、Main DB に登録または再登録を行う。登録済データは、定期的に Local DB にフィードバックされると同時に、公開可能部分について、外部への提供を行うこととする。提供の形は月報、年報などの文書等の他、コンピューター、携帯電話による提供を考慮し、オープン・データベースを含む構造を計画する。



## 第5章

### 水需要予測



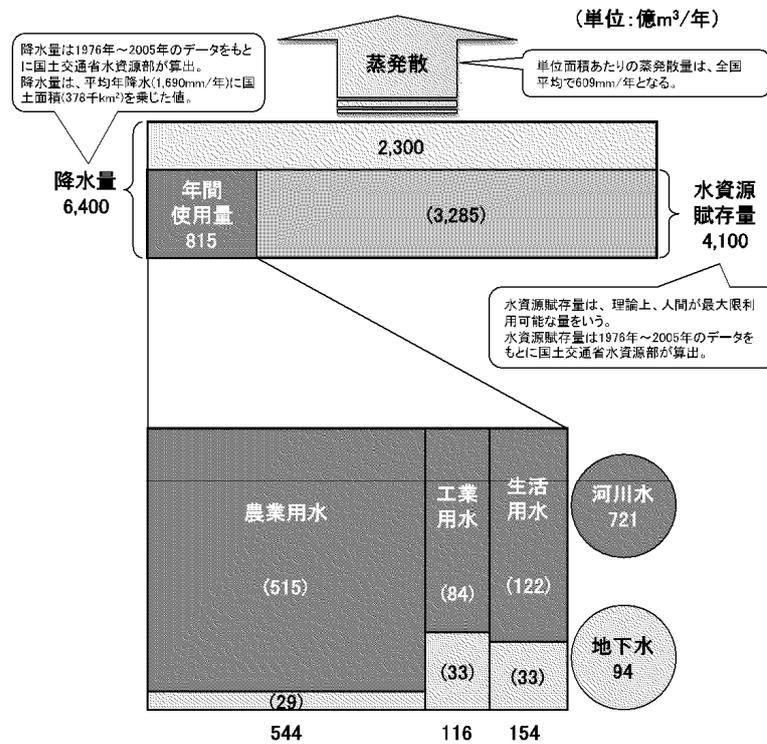
## 第5章 水需要予測

### 5-1 水需要予測の前提条件

調査対象地域における水需要予測を行うに際して、その需要量を構成する要素について定義を行う。我が国の国土交通省が編纂する水資源白書（平成24年版、第Ⅱ編P63）によると、我が国では、水資源賦存量と使用量（需要量）は下図に模式的に示される関係にある。

我が国における過去30年間の統計データに基づく分析結果を参考にすると、水需要量を予測するに際しては、①農業用水、②工業用水、③生活用水、の3需要要素を予測対象とすることが妥当と考えられる。今日では農業国とは定義できない我が国において、水資源の使用量、言い換えれば需要量の最大値（最大ユーザー）は農業用水であり、全体の67%を占めていることがわかる。

従って、以下の水需要予測においては、上記3要素について考察を加えることとする。



## 5-2 農業用水の需要予測

### 5-2-1 対象区域の農業の現況

農業は「ミ」国 GDP 構成比率(2011 年版)で 27.8%と第 1 位を占めており、将来は域内での工業立国を目指す「ミ」国であるが、現時点では農業が最大の基幹産業であり、その生産を支える上で必須なものは土地と水である事実から、農業分野は、「ミ」国では最大の水資源ユーザーである。

「Five-Year Plan of Action from 2011-2012 to 2015-2016 of Department of Agriculture」では、その目標の項において下記の如く記している。

- (a) あらゆる作物で単位収量（単収）を向上させる。
- (b) 作付面積の拡大
- (c) 品質の高い種子、化学肥料、農薬の系統的な活用
- (d) 適正農業生産規範（Good Agriculture Practices, GAP）を適用するための教育
- (e) 農学研究・開発の実施
- (f) 人材開発のための教育訓練

これら目標である面積拡大、優良品種の活用、単位収量の向上を実現する過程においては、農業用水の需要増が必然であり、安定した持続性のある農業用水供給を実現するための、追加的な水資源の確保が大きな課題となる。

### 5-2-2 対象地域の農業の将来

#### (1) 現況灌漑システム整備率

「ミ」国の人口動態と、食糧安全保障に基づく食糧増産需要、外貨獲得のための米輸出政策の推進を考えると、農業の振興は極めて重要な政策課題であり、その結果として水資源需要の最大ユーザーは、将来においても農業部門と言える。水資源需要量は、安定した持続性のある農業を支えるために必須である灌漑システムの整備率と大きな関係がある。

Myanmar Agriculture in Brief 2012（農業灌漑省 August 2012、P37）によると、2009 年時点での「ミ」国に全土の灌漑面積率は 16.7%であると報告されている。調査対象 4 タウンシップが所在するヤンゴン管区における現時点の灌漑システム整備率に関する情報は下記のとおりである。

	ヤンゴン管区	調査対象 4 タウンシップ
行政面積(km <sup>2</sup> )	5,030.9	2,665.3
耕地面積(ha)	357,337	190,513
灌漑面積(ha)	—	0
灌漑率 (%)	—	0

(2) 目標年(2040年)の灌漑システム整備率

農業・灌漑省灌漑局の5ヶ年計画書は、本局における聞き取り調査では、存在を確認できなかった。国家計画・経済開発省編纂による2011-2031の20年間を対象期間とする、「National Comprehensive Development Plan」における、「Agriculture Sector Development Objectives」の記載中に、5ヶ年計画期間の数値目標が下記の如く記されている。

表 5-2-1 5ヶ年計画(農業・灌漑省灌漑局)

年度	ダム/貯水池カ所	受益面積 (million ac)	灌漑面積 (million ac)
2011/12	415	33.93	5.65
2012/13	421	33.94	5.72
2013/14	424	33.52	5.76
2014/15	433	33.85	5.80
2015/16	443	36.67	5.82

この目標値から、2011/12年の灌漑整備率(5.65/33.93)16.65%から2015/16年には灌漑整備率を5.82/36.67=17.29%に向上させる計画と理解できる。

この整備率向上計画を計画目標年である2040年まで維持すると仮定すれば、2011年から2040年までの30年間における灌漑整備率の向上は、下記数値と想定できる。

$$(17.29\% - 16.65\%) \times (2040 - 2011)/30 = 3.84\%$$

この結果、2040年における「ミ」国全土の平均灌漑整備率は、16.65 + 3.84 = 20.49 (%)と推定することができる。

(3) 耕地面積

調査対象地域の農業開発計画がないことから、2040年の耕地面積を公的資料から推定できないが、今後の地域開発をめぐる可能性から、タンリン、チャウタン・タウンシップは現在の耕地面積は30%減少するとし、トンガア、カヤン・タウンシップは現状維持とする。

表 5-2-2 耕地面積の推移(2040年の推定耕地面積、ha)

	タンリン	チャウタン	トンガア	カヤン
現耕地面積	24,762	62,883	58,805	44,063
減少率	30%	30%	0%	0%
将来耕地面積	17,333	44,018	58,805	44,063

### 5-2-3 農業用水の需要予測

上述の国の農業政策の基本、灌漑システム整備方針などを前提として、調査対象地域における農業用水需要量予測に際して、下記の予測を立てる。

- ① 対象地域の耕地面積は、主食であるコメ（稲）の域内自給を前提条件とするならば、域内の人口増加率に伴って、耕作面積が増える可能性があるが、対象地域の都市化をも考慮すると、(3)耕地面積の項で述べた予測を立てる。
- ② 国家の政策目標としては、農業生産性の向上を図ることを掲げていることから、灌漑システムの整備率を上記算定値の20.49(%)を実現すると仮定する。
- ③ ヤンゴン市の発展に伴い、都市化が進行すると予想されるタンリン、チャウタン地域と、地域経済が農業依存型で推移すると想定されるトングア、カヤン地域に2分化すると仮定する。
- ④ 2040年に想定される夏作稲の作付面積を算定基礎として、灌漑局が用いている基礎数値を適用して農業用水需要量を求める。

水需要予測の計画対象年は、計画目標年 2040 年である。

表 5-2-3 農業用水需要量予測

	タンリン	チャウタン	トングア	カヤン	合計
耕地面積 (ha)	17,333	44,018	58,805	44,063	164,219
夏作作付面積 (ha)	3,552	9,019	12,049	9,029	33,649
夏作必要水量(10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	64.9	164.9	220.4	165.2	615.4

出典 耕地面積；表 7-2-2

夏作作付面積 = (耕地面積) × (灌漑システム整備率 20.49%)

夏作必要水量 = (作付面積) × (必要灌漑水深 6feet)

以上の結果より、計画目標年 2040 年における、農業用水の需要予測量は 6 億 1,500 万 m<sup>3</sup> との予測になる。灌漑局がバゴー川流域で現在も積極的に灌漑用貯水池計画を立案する背景には、ここに推論する水需要量が含まれるかについて、設計部における照会では明確な返答はなかった。今後、灌漑局の灌漑システム整備計画立案を待って、より精度の高い推論を行う必要がある。

### 5-3 工業用水の需要予測

#### 5-3-1 対象地域の工業用水利用の現況

##### (1) 既存ため池利用の現況

周辺地域で工業用水利用がなされているため池は、ティラワ貯水池である。正確な貯水池運用記録がないが、聞き取り調査によると年間 450,000m<sup>3</sup> の水供給が近傍工場になされているとの聞き取りであった。

##### (2) 地下水利用の現況

既存井戸インベントリー調査結果から、日量 1m<sup>3</sup> 前後の生活用水揚水に比較して、大口利用者すなわち工場稼働用利用と推定できる大口利用者数と、タンリン地区を例にとりて工場数 47 とほぼ合致する調査井戸数を比較した場合、12m<sup>3</sup>/日を揚水する井戸が工場用の井戸と推定した。

4 タウンシップ内 12,409 箇所の井戸中、日量 12m<sup>3</sup> を越える揚水量の井戸は下表の数となる。

表 5-3-1 工業用水としての地下水利用の推定

	タンリン	チャウタン	トングア	カヤン	合計
井戸本数	10,563	1,703	64	79	12,409
揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	13,639	2,451	215	586	16,891
12m <sup>3</sup> /day 以上の揚水井戸数	56	11	5	20	92
最大揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	72.0	35.0	40.8	35.7	-
平均揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	42.0	29.7	26.4	23.9	-
工場数	47	15	0	0	62
工場全体揚水量 (m <sup>3</sup> /日)	1,974	446	—	—	2,420

4 タウンシップ中、工場のある 2 タウンシップにおける工業用地下水利用の現況水需要量は 2,420 m<sup>3</sup>/日と推定される。

#### 5-3-2 2040 年における 4 タウンシップの工業用水需要

##### (3) ため池利用

ティラワ貯水池の利用形態がどのようになるかについて、ヤンゴン地方政府から日常の維持管理を委嘱されている灌漑局に確認したところ、将来計画は未定であるとの聞き取り結果であった。従って、ここでは現在の年間 450,000m<sup>3</sup> 利用を維持する。

##### (4) 地下水利用

地下水利用に依存している工場用水について、将来の域内の工業用需要を予測するに際して、タンリンおよびチャウタンタウンシップの工場数が現在の2倍になり、現在は工場がない2タウンシップはチャウタンタウンシップ並になると仮定する。

表 5-3-2 工業用地下水利用量の推定 (2040 年)

	タンリン	チャウタン	トングア	カヤン	合計
推定工場数	94	30	15	15	154
推定需要量 (m <sup>3</sup> /day)	3,948	892	446	446	5,732
年間需要量 (m <sup>3</sup> /year)	1,441,020	325,580	162,790	162,790	2,092,180

### 5-3-2 ティラワ SEZ の水需要予測

ティラワ SEZ は全体面積 2,400 ha から成るが、日本企業が進出を予定するクラス A 整備地区が 420 ha を占め、残りの 1,980 ha に主として「ミ」国企業が進出を計画する。進出企業群が開発段階に応じて必要とする水資源量 (日量) は、下記の如くにまとめられている。

表 5-3-3 開発段階に応じて必要とする水資源量 (日量)

開発段階	クラス A	その他	合計
2015 年	6,000~10,000 m <sup>3</sup>	-	6,000~10,000 m <sup>3</sup>
2018 年	42,000 m <sup>3</sup>	-	42,000 m <sup>3</sup>
2025 年	42,000m <sup>3</sup>	78,000 m <sup>3</sup>	120,000 m <sup>3</sup>

注) 2025 年に必要と想定される 78,000m<sup>3</sup> は、現在精査中である。

計画目標年 2040 年におけるティラワ SEZ の水需要量を予測することは、現段階では極めて難しい。「ミ」国の工業化が明確に見通せないことから、ここでは 2040 年における需要量を 2025 年に想定されている需要量と同じ値とする。その年間必要量は

$$120,000 \text{ (m}^3\text{/day)} \times 365 \text{ (day)} = 43,800,000 \text{ m}^3\text{/year} \text{ と推定される。}$$

### 5-3-3 工業用水需要量

以上の推定値を集計すると、

ため池利用	450,000 m <sup>3</sup>	
対象 4 タウンシップの工業用地下水利用量	2,092,000m <sup>3</sup>	
ティラワ SEZ の工業用水需要量	43,800,000 m <sup>3</sup>	
合計	46,342,000 m <sup>3</sup>	となる。

## 5-4 生活用水の需要予測

### 5-4-1 対象地域の生活用水の現況と目標

「ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査」（2013年5月）によると、計画目標年である2040年におけるタンリンおよびチャウタンタウンシップの公共水道普及率目標率を40%としている。トングアおよびカヤンタウンシップについては、記載がない。先行する2タウンシップより普及率は低く推移すると想定され、ここでは10%とする。

生活用水の需要予測に際しては、対象4タウンシップの人口動態予測値を算定し、上述の計画目標年における水道普及率の目標値を適用して、2040年に想定される必要生活用水量を推定することとする。

### 5-4-2 対象地域の人口動態

前出の「ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査」（2013年5月）によると、2040年の給水人口予測は下表の如くである。2011年におけるタンリン、チャウタン・タウンシップにおける人口が本調査チームの集計値と異なる（表2-4-2）。生活用水の需要量予測に際しては、都市化が進行して上下水道改善プログラムの恩恵を受ける対象人口を同調査予測人口とし、その恩恵を受けることができない、両タウンシップの予測人口は、残りの人口とする。

表 5-4-1 2040年の予測給水人口

	タンリン	チャウタン	トングア	カヤン	合計
2011年の人口（人）	181,959	48,473	162,884	159,204	552,520
2040年の40%普及地区給水人口	497,508	61,382	—	—	558,890
その時の人口（100%人口）	1,243,770	153,455	—	—	—
2040年の40%普及外人口（10%普及）	746,262	92,073	221,264	216,265	1,275,864

2011年の人口出典；「ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査」（2013年5月）及び  
トングア、カヤンについては、表2-4-2から引用

### 5-4-3 生活用水需要量予測

生活用水に係る需要量の推定には、下記の算式を用いる。

$$\text{需要量} = (\text{人口}) \times (\text{公共水道普及率}) \times (\text{給水量原単位}) / (1 - \text{漏水率})$$

表 5-4-2 2040 年における生活用水の年間水需要量予測

	タンリン		チャウタン		小計
2040 年の推定人口	1,243,770		153,455		1,397,225
普及率 (%)	40	10	40	10	-
2040 年の給水人口	497,508	746,262	61,382	92,073	1,397,225
生活用水原単位 (ℓ)	150	150	150	150	-
漏水率 (10%)	10	10	10	10	-
日水需要量 (m <sup>3</sup> /day)	33,167	12,438	4,092	1,535	51,232
年間水需要量 (m <sup>3</sup> /year)	12,105,955	4,539,870	1,493,580	560,275	18,699,680

注) 公共水道施設普及率、生活用給水原単位は、「ヤンゴン市上下水道改善プログラム協力準備調査」報告書の値を適用する。

	トングア	カヤン	小計
2040 年の推定人口	221,264	216,265	437,529
普及率 (%)	10	10	-
2040 年の給水人口	22,126	21,627	43,753
生活用水原単位 (ℓ)	150	150	-
漏水率 (10%)	10	10	-
日水需要量 (m <sup>3</sup> /day)	369	360	729
年間水需要量 (m <sup>3</sup> /year)	134,685	131,400	266,085

双方の年間水需要量を合計すると、18,965,765m<sup>3</sup>となる。

以上より対象地域の 2040 年における生活用水の年間水需要量は 19.0×10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>と推定する。

### 5-5 将来の水需要予測

以上の検討を踏まえて、2040 年を計画目標年とする調査対象地域 4 タウンシップにおける水需要値を集計すると下表のごとくなる。

表 5-5-1 水需要値の集計(2040 年)

	タンリン	チャウタン	トングア	カヤン	合計
農業用水 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	64.9	164.9	220.4	165.2	615.4
工業用水 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	—	—	—	—	46.3
生活用水 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	30.0	3.7	1.3	1.3	19.0
計 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	—	—	—	—	680.7

単位:百万 m<sup>3</sup>

以上の結果、対象地域における計画目標年 2040 年における年間の水需要量を、6 億 8,000 万 m<sup>3</sup>と推定する。

計画目標年 2040 年における水需要予測に際しては、農業用水、工業用水、生活用水の項目ごとに、予測を行う上での種々の条件設定を行った。今後、地域の水資源開発計画立案に際しては、より精度を高めた水需要予測を行った上で、地域の発展に寄与できる水資源開発計画の策定を行う必要がある。

## 5-6 水資源ポテンシャルからの考察

### 5-6-1 地下水資源ポテンシャル

本調査業務における地下水開発可能量に係る検討結果によると、「3-5-2 調査地域における地下水開発可能量の基本像」に下記のようにまとめられている。

- ー 開発に有効な地下水涵養量は、平均約 47,000m<sup>3</sup>/日と推定される。
- ー 既存井戸インベントリ調査より、調査対象地域では、既に 17,000m<sup>3</sup>/日が利用されている。
- ー タンリン～チャウタン丘陵部の北部丘陵地域（バゴー川沿いタンリン市街地）では過剰揚水を呈している。

従って、調査対象地域における地下水資源開発の余地としては、工業用水のような、特定の区域で高い揚水強度を継続的に行わない利用方法であることを前提条件として、新規開発の余地として、下記の水量を開発することが可能と考える。

$$47,000 \text{ (m}^3\text{/日)} - 17,000 \text{ (m}^3\text{/日)} = 30,000 \text{ (m}^3\text{/日)}$$

なお、農業用水は、年間需要量 615.4 百万 m<sup>3</sup> という膨大な量である。これは、日量にして 1,686,000m<sup>3</sup> であり、日量 30,000m<sup>3</sup> の地下水資源開発可能量の 562 倍に相当し、水源対象となり得ない。

このような考察結果から、地域の水資源の内、地下水開発によって将来の水需要量を賄うという構想には発展できないと言える。

### 5-6-2 表流水ポテンシャル

表流水に係る流域水収支解析は、SWAT シミュレーションモデル解析で行い、その解析内容は主報告書 (4-6 水資源及び流域水収支バランス) に詳述されている。この解析結果からは、下記のことと言える。

- ーバゴー市中心部に存するバゴー旧橋地点で、年間 36 億 3,100 万 m<sup>3</sup> の流量がある。
- ーヤンゴン市のタンリン橋地点で、年間 117 億 4,600 万 m<sup>3</sup> の流量がある。

ヤンゴン市に近接するタンリン橋地点では、ここから約 60km 上流に位置するバゴー旧橋地点に比較して実に 3.2 倍の利用可能水量があると推定される。水量としては豊富な水量であるが、水質の観点から考察を加えると、バゴー旧橋では塩水遡上が観測されていない事実があるが、タンリン橋地点はヤンゴン川と接合する地点であり、完全に感潮河川である。従って、表流水として

の利用価値から考えると、バゴー旧橋地点におけるバゴー川年間流下量 36 億 3,100 万  $m^3$  が、バゴー川西部の広大な平野部における、将来の水需要に対する表流水資源ポテンシャル量と位置づけることが妥当と考える。

### 5-6-3 水収支から見た水資源開発課題

地下水資源ポテンシャルと表流水資源ポテンシャルの解析結果より、ティラワ SEZ を含む当該調査対象地域の水資源収支の観点から見た水資源開発の可能性としては、年間 6 億 8,000 万  $m^3$  と推定される将来の水需要予測に対して、年間 36 億 3,100 万  $m^3$  の流下量を擁するバゴー旧橋地点の河川流下量を利用することに妥当性があると言える。

年間 6 億 8,000 万  $m^3$  の水需要量の約 90% を農業用水が占める事実から、国と地域政府が策定する将来の農業政策によっては、水需要量も大きく変動することが予見される。また、調査対象地域はヤンゴン市の巨大な経済圏の外郭を成し、その経済的発展の影響を受けやすいことから、農業用水のみならず、工業用水需要の動向が重要である。今後のヤンゴン都市圏の発展に注視して、水需要の動向を把握する努力を怠りなく継続することも重要と考える。