

# 第5章 水文調査

## 5.1 概要

### 5.1.1 目的

ナムニアップ-I水力発電計画における水文調査の主な目的は以下の通りである。

- ① 関連する水文基礎データの評価および更新
- ② ダム地点における長期日流入量の推定および評価
- ③ 確率洪水流量の推定
- ④ 可能最大流量の推定
- ⑤ 貯水池水面からの純蒸発(損失)量の推定
- ⑥ 貯水池堆砂量のレビューおよび推定

### 5.1.2 調査対象地域

#### (1) 流域地形

ナムニアップ川はメコン河左支川のひとつであり、その合流点はバクサン市の約 7 km 上流に位置する。同川の源流はシェンクアン(フォンサバン)市付近である。図 5.1.1 に示すように、同川は北から南へ標高 1,200 m のトラニン高原に端を発し、標高 160 m のメコン平原まで密林地帯を貫流する。

また、流域の西側と北側は、浸食により非常に急峻な斜面が切り立っている。流域の最高標高は 2,819 m であり流域の西端に位置する。本川の総河道延長は 160 km、総落差 1,300 m である。メコン合流点までの総流域面積は 4,510 km<sup>2</sup> である。

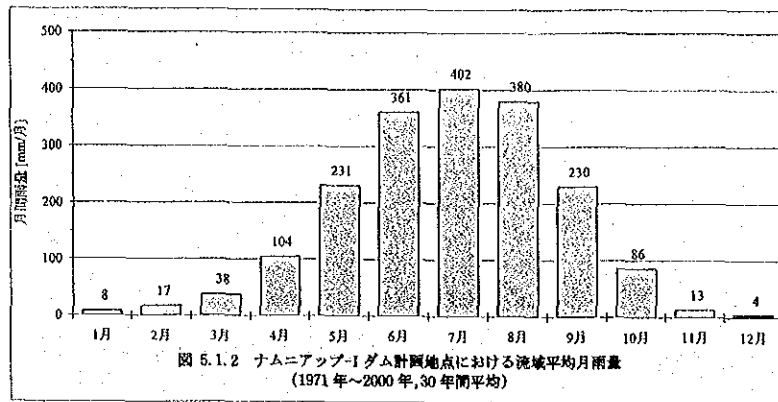
ナムニアップ-I計画ダム地点は、北緯 18° 39'、東経 103° 30' に位置し、その流域面積は 3,700 km<sup>2</sup> である。



図 5.1.1 ナムニアップ-I計画地点集水域位置図

(2) 気象的特徴

対象地域は、熱帯気候区域、すなわち冬期には明確な乾期をもち、夏期に南西季節風(アジアモンスーン)による雨期をもつ気候区に属する。計画地域は、図 5.3.1 に示すように、南西季節風の影響により4月～10月までが雨期であり、乾期は11月～3月である。



Pre-F/S 調査報告書(ソグレア社、1991)によれば、シナ海で発生したサイクロン(熱帯性低気圧)は、通常メコン渓谷の主に左岸または右岸に阻まれながら北上する。そして、それがナムニアップ川流域付近に達すると、流域北西部に聳える高い山々と急峻な崖に阻まれて通過できず、低気圧が消滅するまで停滞することが多い。降雨は夏に短期に集中して降るため、流域が豊かな植生で覆われているにもかかわらず流出量は非常に大きいといえる。

5.2 既存水文調査のレビュー

5.2.1 既存水文調査のレビュー

ナムニアップ-I水力発電計画に係わる水文調査として、以下の既往調査があげられる。

- (i) "Pre-F/S on Hydropower Layout of Nam Ngiep 1", Sogreah and HEC, January 1991 (both in English and in French).
- (ii) "Hydropower Development of Nam Ngiep 1, updating of revised prefeasibility study", Sogreah, November 1995.
- (iii) "Inventory Studies on Lower Mekong Water Resources", Lahmeyer and HP(Hydrotecnica Portuguesa), February 1997.
- (iv) "Interim Report on Hydropower Development Plan for the Lao PDR", Lahmeyer and HP(Hydrotecnica Portuguesa), February 1997.
- (v) "Nam Theun 2 Study of Alternatives", Lahmeyer and Worley, March 1998.
- (vi) "A Power System Planning within the Lao PDR", Knight Piesold Ltd., 1996.
- (vii) "Feasibility Study on The Nam Ngiep-I Hydroelectric Power Project in the Lao PDR", (Phase-I Report), JICA, February 2000.

各調査の結果の概要は表 5.2.1 に示す通りである。

表 5.2.1 ナムニアップ-I 水力発電計画に係わる既往調査結果の概要

No.	出典 (調査実施者)	調査年	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	年平均流域 降雨量 [mm/年]	年平均 流出量 [m <sup>3</sup> /s]	流出 係数	可能最大降水量 [mm]			PMF (24時間) ピーク流量 [m <sup>3</sup> /s]	単位km <sup>2</sup> 当たりの 比流量 [t/km <sup>2</sup> /年]	年平均 土砂流入 容量 [MCM/年]
							24 時間	48 時間	72 時間			
1	Sogreah & HEC (Pre-F/S)	1991	3,700	2,960	281.0	0.81	840	1,109	-	15,900	< 2,400	< 6.80
2	Sogreah (Updating Pre-F/S)	1995	3,700	2,960	210.8	0.61	-	-	-	15,900	< 1,800	< 5.10
3	Lahmeyer (Inventory Studies)	1997	3,730	-	152.0	-	-	-	-	-	-	-
4	Lahmeyer, et al. (Hydropower Dev. Plan)	1997	(4,367) at M.Mai	(2,409) at M.Mai	(184.5) at M.Mai	0.55	-	-	-	-	-	-
5	Lahmeyer & Worley (Alternative)	(NT2) 1998	3,700	-	162.0	-	-	-	-	15,900	-	-

出典:

- (1) "Pre-F/S on Hydropower Layout of Nam Ngiep 1", Sogreah and HEC, January 1991 (both in English and in French).
- (2) "Hydropower Development of Nam Ngiep 1, updating of revised prefeasibility study", Sogreah, November 1995.
- (3) "Inventory Studies on Lower Mekong Water Resources", Lahmeyer and HP(Hydrotecnica Portuguesa), February 1997
- (4) "Interim Report on Hydropower Development Plan for the Lao PDR", Lahmeyer and HP(Hydrotecnica Portuguesa), February 1997
- (5) "Nam Theun 2 Study of Alternatives", Lahmeyer and Worley, March 1998

第1フェーズ調査では、各既存調査の概要を以下の通りにまとめている。

(1) ナムニアップ-I 水力開発計画プレ・フィージビリティ調査

ナムニアップ-I 水力 Pre-F/S はソグレア社によって実施され、1991年1月に終了した。その後、Pre-F/S 再調査により最新のものとされ1995年11月最終報告書が提出された。本調査団は水文調査に関し、下記報告書を入手した。

- 1) *Pre-F/S on Hydropower Layout of Nam Ngiep 1, Sogreah and HEC, January 1991 (both in English and in French).*
- 2) *Hydropower Development of Nam Ngiep 1, updating of revised prefeasibility study, Sogreah, November 1995.*

Pre-F/S では下記の水文気象解析を行っている。

- ① ナムニアップ-I 水力ダム地点の流域面積(= 3,700km<sup>2</sup>)
- ② 地域降雨解析によるナムニアップ-I 水力ダム地点の年平均雨量の推定
  - 年平均降雨量(MAP) = 2,960mm
- ③ 確率理論に基づくナムニアップ-I 水力ダム地点の年平均流出量の推定
  - 年平均流出量(MAR) = 1,798 mm (or 210.8m<sup>3</sup>/s)
  - 流出率= 0.61
- ④ 推計学理論に基づく合成流量モデルによるナムニアップ-I 水力ダム地点の月平均流量算出(Xedon 川の Ban Nanay と Nam Ngum ダム地点の既存観測月流量から求めた、年総流量の月分散、月流量と年流量との相関係数、月流量平方根の変動係数を用いている。)
  - ナムニアップ-I 水力ダム地点での 20 年間の合成月流量(2 ケース)

(2) ラオス国全国水力発電開発計画

ラオス全国水力開発計画はラーメイヤー社等によって 1994 年 6 月に開始され、水力案件インベントリー調査結果を含む中間報告書は 1997 年 2 年に提出された。同計画は下記項目をレビューしている。

- ① 既に確認された水力案件
- ② 水文気象データの入手可能性
- ③ 開発地点及び水文などの上記水力案件特性

ラオス全国水力開発計画において、ナムニアップ-I 水力計画は対象とされていない。これはナムニアップ-I 水力計画が IPP として開発するとの合意書があったためである。しかしながら、ラオス全国水力開発計画による水文気象調査はナムニアップ-I 水力開発地点での信頼性の高い長期月流量推定を行っており、本調査団にとって貴重な情報を提供している。

ラオス全国水力開発計画は、ラオス国全域をカバーする以下の水文気象解析を実施している。

- ① メコン委員会より得られた 1991 年までの雨量及び流量データの利用度検討
- ② 基準期間(1962 年から 1991 年までの 30 年間)での年平均雨量及び流量の推定
- ③ ラオス国全域の年平均等雨量曲線の作成
- ④ メコン河流域の単純化された分割流域モデルの確立
- ⑤ 流域モデルから得られた水文特性を用いた基準期間 30 年の各プロジェクト開発地点月流量の推定

1962 年から 1991 年までのモンマイ村での年平均雨量及び流量の推定値は、以下に示す通りである。

表 5.2.2 モンマイ測水所年平均雨量・流量推定値(1962-1991)

流域面積 (km <sup>2</sup> )	年平均雨量 (mm)	年平均流出量 (mm)	年平均流量 (m <sup>3</sup> /s)	流出 係数
4,367	2,409	1,332	184.5	0.55

(3) メコン河下流域水資源開発調査

後述する通り、1997 年 2 月ラーメイヤー社等が行ったラオス全国水力開発計画の中間報告書が提出されたが、同報告書の中で下記に示すメコン河下流水資源インベントリー調査が行われ、同調査によって既にナムニアップ-I プロジェクトが水力案件として取り上げられていることが報告されている。

- 1) *Inventory of Promising Tributary Projects in the Lower Mekong Basin, Mekong Secretariat, December 1970.*
- 2) *Lower Mekong Water Resources Inventory, Summary of Project Possibilities, prepared by WATCO for the Mekong Secretariat, September 1984.*

上記中間報告書では、以下の水文推定値が簡単に引用されている。

表 5.2.3 ナムニアップ-Iダム地点水文指標

ナムニアップ-Iダム地点 の流域面積 (km <sup>2</sup> )	年平均流量 (m <sup>3</sup> /s)
3,730	152

年平均流出量の算出根拠は示されていないが、おそらくダム地点の年平均雨量及び地域流出率を用いた地域水文気象解析による算定であろう。詳細に関しては未入手である。

(4) ナムテン第2水力開発計画代替案調査

ナムテン2水力代替案調査はラーメイヤー社とウォーリー社によって実施され、最終報告書は1998年3月に提出された。本調査は下記解析を含むナムテン2水力以外の水文調査をレビューしている。

- ① 既存水文調査のレビュー
- ② 各IPPプロジェクト地点の流量推定

ナムニアップ-I水力に対する年平均流量の推定値は以下の通りである。なお、この解析に用いられた手法は、ラオス全国水力開発計画と同様のものである。

表 5.2.4 ナムニアップ-Iダム地点年平均流量推定値(1966-1995)

流域面積 (km <sup>2</sup> )	年平均流出量 (mm)	年平均流量 (m <sup>3</sup> /s)
3,700	1,383	162

なお本調査報告書では、ナムニアップ-Iダム地点での年平均雨量は示されていない。

(5) ラオス国電力システム計画

ラオス電力システム計画はナイトピエソールド社によって1996年に実施され、工業工芸省(MIH)内における適切な技術混合の開発支援を行うことを目的としている。ただし、本調査はナムニアップ-I水力を対象としていない。1998年1月に調査終了し、最終報告書が提出されている。

本調査は既存調査計画をレビューし、基本的には前述のラオス全国水力開発計画によって推定された測水所及びプロジェクト地点の年平均雨量及び流量を用いている。したがって、本調査による新規水文気象調査は実施されていない。

5.2.2 流域面積のレビュー

ナムニアップ-Iダム地点及びモンマイ測水所の流域面積は、既存の調査により幾つか推定されており、以下の通りまとめられる(表 5.2.5 参照)。

第1フェーズ調査時(1998)に JICA 調査団は、1:100,000 地形図を用いてダム地点及びモンマイ測水所の流域面積を算出したが、その結果は1991年ソグレア社が実施した Pre-F/S 調査結果と同様であった。

表 5.2.5 ナムニアップ-Iダム地点及びモンマイ測水所の流域面積推定値比較

調査 (実施機関)	計画ダム地点流域面積 (km <sup>2</sup> )	モンマイ測水所流域面積(km <sup>2</sup> )
1. メコン川委員会 (*)	-	4,270 (98.8%)
2. ラオス国農林省水文気象局 DMH (1997) (**)	-	4,305 (99.7%)
3. メコン川委員会ベトナム調査 (1970)	3,670 (99.2%)	-
4. プレF/S 調査 (1991)	3,700 (100%)	4,320 (100%)
5. ラオス国全国水力発電開発計画(1997)	-	4,367 (101.1%)
6. ナムテン2水力代替案調査(1998)	3,700 (100%)	-
7. JICA 第1フェーズ調査 (1998)	3,700 (100%)	4,320 (100%)

出典: (\*) Lower Mekong Hydrologic Yearbook (1988-1993)

(\*\*) Hydrological Data Book on the Mekong River Basin in Lao PDR (An Interim Report)

各調査の計画ダム地点及びモンマイ測水所の流域面積推算定値の差は無視できる範囲で、本調査による推定値のおよそ1%以内である。従って、下記に示す通り、今後の調査計画に適用するモンマイ村及び計画ダム地点の流域面積は、JICA 調査団推定値と同様の Pre-F/S 調査 (1991年)の推定値を採用することとする。

第1フェーズ調査時に、1:100,000地形図を用いてナムニアップ川流域を主要支川流域毎に区分し、その面積をプランイメータにより計測された。主要地点の集水面積は、表 5.2.6 の通りである。

表 5.2.6 採用したナムニアップ川流域の主要地点における集水面積

番号	地点	集水面積(km <sup>2</sup> )
1.	ナムニアップ-Iダム計画地点	3,700
2.	ハトカム水位観測所地点(ナムニアップ川)	3,744.3
3.	支川サオ川(Nam Xao)	313
4.	タフア水位観測所地点(支川サオ川)	304.2
5.	モンマイ水位観測所(ナムニアップ川)	4,320
6.	ナムニアップ川最下流点(メコン河合流点)	4,533

### 5.3 入手可能な気象・水文資料

計画地域内および周辺の長期にわたる気象・水文資料は下表に示す通り限られている。

ナムニアップ川における浮遊砂および河床砂礫に関する観測データはない。また、流域内での気象観測すなわち気温、相対湿度、気圧、日射量、日照時間、蒸発量、風速などの観測データも行われていない。

表 5.3.1 収集した気象・水文データ

データ	観測所名	標高	開始年	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
気象 (月単位)	1 パクサン	155m	1929																													
	2 シェンタン(モンパット)	1,050m	1982	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	3 ホンマイ	215m	1929																													
	4 フォンフォン																															
	5 グオンチヤン	170m	1907																													
雨量 (日単位)	R1 パクサン	155m	1929																													
	R2 シェンタン	1,050m	1982	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	R3 ホンマイ	215m	1929																													
	R4 モンカオ(モン・ホリカン)	158m	1986																													
	R5 モン・コウ(レン・ソク)	1,110m	1996																													
	R6 シェンタン	1,050m	1982	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	R7 モン・バクサイ(レン・ホクサイ)	1,100m	1996																													
	R8 ナルアン	460m																														
	R9 ホアイリエン(クドレック)	230m																														
	R10 クボック	160m	1986																													
	R11 グオンチヤン	170m	1907																													
	R12 ホンマイ	215m	1929																													
	R13 モン・モルグ	900m																														
・ ロンチエン	1,000m																															
・ フォンアン	230m																															
河川水位 (日単位)	1 モンマイ(ナムニアップ川)	152.51m	1978	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	2 ホンマイ(ナムニアップ川)		1998	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	3 ナルアン(ナムニアップ川)		1998	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	4 ナルアン(ナムニアップ川)		1998	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	5 パクサン(ナムニアップ川)		1976	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
流量観測 結果	1 モンマイ(ナムニアップ川)	152.51m	1987	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	2 ホンマイ(ナムニアップ川)	152.51m	1987	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	3 ナルアン(ナムニアップ川)		1998	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	4 ナルアン(ナムニアップ川)		1998	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

注: ●: 観測済, ○: 観測不明, △: 欠測, ◎: 月単位のみ観測, ○: 年単位のみ観測, △: 年月別の欠測あり

### 5.4 現地調査

#### 5.4.1 雨量観測所の新規設置

ナムニアップ川流域内に設置されている雨量観測所は、流域最上流端に2個所(パクサイ山およびコウン山)、ダム地点下流のMRCモンマイ観測所に1個所、さらに第1フェーズ調査で新規に設置した計画貯水池上流域タビアン地区ドン村に1個所の計4個所である。

同流域内には、パクサイ山、ケ山、サオ山、ピア山等いずれも標高2,000mを超える高い山々が存在し、流域の平均流出量に大きな影響を及ぼしていると思われる。したがって、山岳部の降雨量を正しく把握することが、本計画全体の精度を高めることになる。

第1フェーズ調査時の提言で、既存雨量観測網では流域降雨を推定するには不十分であることが指摘されていた。このため本調査では、第1次現地調査でJICA調査団が指示後、2001年4月24~25日にMIHのスタッフにより、流域内の平均雨量データを補完する

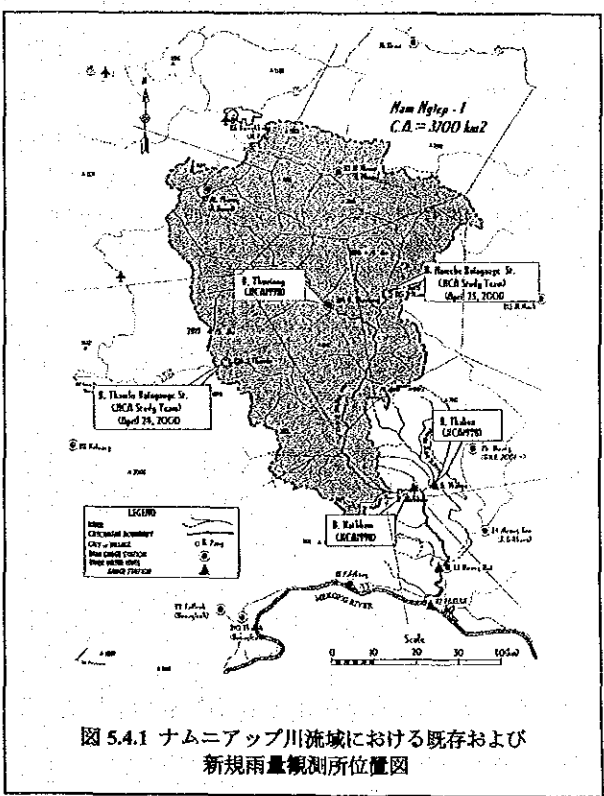
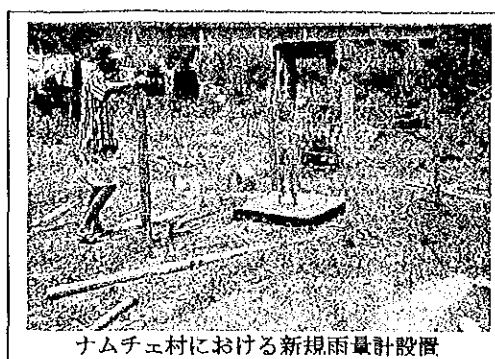


図 5.4.1 ナムニアップ川流域における既存および新規雨量観測所位置図

のに適した2地点に雨量計を新規設置した。

新規雨量観測所として、上掲の流域図(図 5.4.1)に示すようにナムチェ村およびピア山付近のタムロ村を選定し、選定にあたっては、流域平均雨量を把握する上で有効且つ維持管理やアクセスが容易な地点、周辺地形を含めた現地の状況、常駐観測依頼者の所在、流水の状況、治安などを考慮した。選定地点の概要は下表の通りである。



ナムチェ村における新規雨量計設置

表 5.4.1 2001年4月に設置した新規雨量観測所 (JICA 調査団)

No.	観測所名	設置日	緯度	経度	標高(m)	県	郡
1.	タムロ村	2001年4月24日	18° 55' N	103° 10' E	920 m	サイソングン	サイソングン
2.	ナムチェ村	2001年4月25日	19° 02' N	103° 30' E	400 m	サイソングン	サイソングン

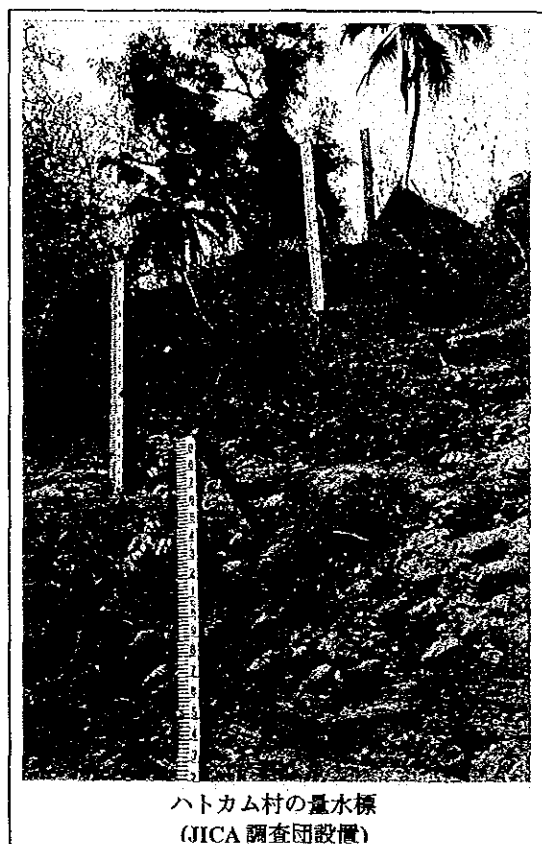
調査団は、新規観測地点データを含め、各測定地点における気象・水文データを随時収集・解析し、水文データ更新を継続的に行うこととしている。

#### 5.4.2 水位・流量観測

ナムニアップ川流域内の既設水位観測所は、メコン河との合流点に近いモンマイ村(流域面積 4,320 km<sup>2</sup>)に量水標が設置されており、1978年からラオス国農林省水文気象局によって定期的に管理されている。計画ダム地点における長期流量を推定するため、第1フェーズ調査時(1998年9月1日)に下記2箇所の追加水位観測所が JICA 調査団により設置されている。

- (i) ハトカム村水位観測所(ナムニアップ川) : 計画ダム地点より 8.5 km 下流(流域面積=3,744.3 km<sup>2</sup>)
- (ii) タファ村水位観測所(支川サオ川) : ナムニアップ川-サオ川合流点の 3 km 上流(流域面積=304.2 km<sup>2</sup>)

これらの地点で観測された水位・流量データは本調査で整理・評価した。ハトカム(ナムニアップ川)およびタファ(支川サオ川)水位観測所における更新した水位-流量曲線は以下の通りである(図 5.4.2 及び 図 5.4.3 参照)。



ハトカム村の量水標 (JICA 調査団設置)



河川名	観測所	No.	観測日	時刻	天候	観測流量 (m <sup>3</sup> /s)	量水標 水位 (m)	観測 方法
ナムニアップ	ハトカム	A-1	1998/9/2	13:10	晴	535.35	12.22	流速計法
		A-2	1998/12/8	15:30	曇	39.68	9.68	
		A-3	1999/2/9	12:52	曇	23.44	9.83	
		A-4	1999/5/29	11:15	曇	170.13	10.68	
		A-5	1999/6/25	14:20	曇	359.59	11.57	
		A-6	1999/8/3	9:25	曇	229.45	11.19	
		A-7	1999/9/5	11:15	曇	250.15	11.34	
		A-8	1999/10/9	9:57	曇	184.96	10.77	
		A-9	1999/11/28	13:00	晴	68.53	10.15	
		A-10	2000/1/27	15:20	晴	60.75	9.60	
		A-11	2000/6/4	9:33	曇	196.18	10.30	
		A-12	2000/7/30	9:59	曇	320.77	11.35	
		A-13	2000/10/1	9:15	曇	229.41	10.89	
		A-14	2000/12/17	9:37	曇	74.18	10.10	
		A-15	2001/2/17	13:17	曇	32.12	9.92	
		A-16	2001/7/4	10:49	雨	359.29	11.59	
		A-17	2001/9/29	17:28	晴	196.52	10.84	
		A-18	2002/1/9	11:35	晴	56.87	10.05	
		A-19	2002/3/27	9:45	晴	27.35	9.86	

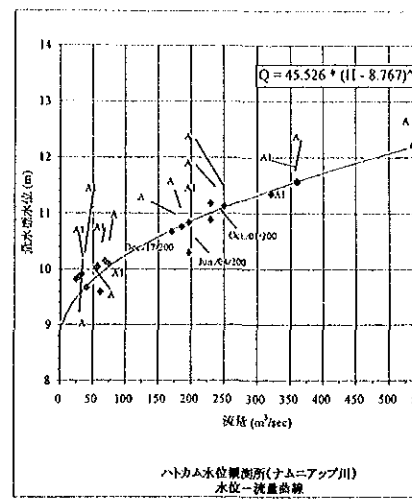


図 5.4.2 ハトカム水位観測所(ナムニアップ川)における観測流量および水位-流量曲線

河川名	観測所	No.	観測日	時刻	天候	観測流量 (m <sup>3</sup> /s)	量水標 水位 (m)	観測 方法
サオ川	タフア	B-1	1998/9/2	18:25	晴	57.20	11.61	流速計法
		B-2	1998/12/9	11:53	曇	1.17	9.58	
		B-3	1999/2/10	10:50	晴	0.52	9.44	
		B-4	1999/5/29	14:06	曇	7.91	10.17	
		B-5	1999/6/26	16:40	曇	22.84	10.85	
		B-6	1999/8/3	11:50	曇	48.22	11.23	
		B-7	1999/9/5	12:37	曇	21.68	10.74	
		B-8	1999/10/9	12:47	曇	9.74	10.35	
		B-9	1999/11/29	14:35	晴	2.88	9.70	
		B-10	2000/1/27	18:15	晴	1.92	9.49	
		B-11	2000/6/4	9:33	曇	54.63	10.81	
		B-12	2000/7/30	11:26	曇	7.89	10.79	
		B-13	2000/10/1	11:32	曇	38.11	10.60	
		B-14	2000/12/17	11:35	曇	2.10	9.65	
		B-15	2001/2/18	9:02	曇	0.44	9.42	
		B-16	2001/7/4	13:05	曇	46.95	11.52	
		B-17	2001/9/20	8:40	晴	11.56	10.33	
		B-18	2002/1/10	8:40	晴	1.54	9.54	
		B-19	2002/3/2	14:35	晴	2.88	9.70	

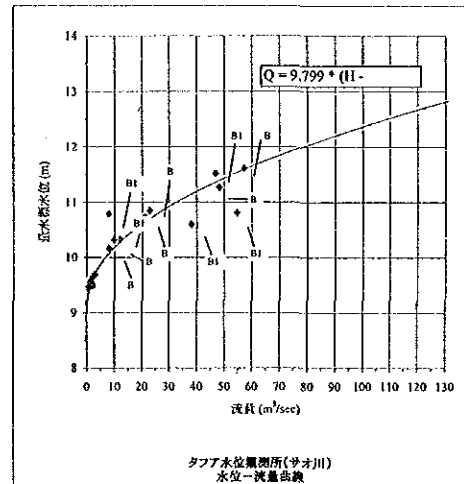


図 5.4.3 タフア水位観測所(サオ川)における観測流量および水位-流量曲線

上図に示すタフア水位観測の水位-流量曲線からも明らかのように、タフア観測所の水位はナムニアップ本川の背水の影響を受けていると考えられる。従って、タフア観測所における水位・流量観測データは、直接的には利用せず、本水文解析の参考として利用することとした。

## 5.5 低水解析

### 5.5.1 概要

通常、水力開発計画の最適開発規模の評価においては、少なくとも20年以上の連続した計画地点における流量が必要とされている。さらに、経済的な実現可能性の評価が、得られる流量に大きく左右されることから、その流量データには高い精度が要求される。しかしながら、長期間にわたる観測流量が得られる場合は稀である。従って、入手可能な雨量データを適用して流出モデルを用いて観測流量データを延長することが重要となる。

前述のように、計画ダム地点に近いハトカム水位観測所における流量観測は1998年から2000年までのわずか3年間しか得られていない。この観測期間では、計画での信頼性は十分とは言えない。一方、モンマイ観測所における日水位観測記録は、約20年間(1978-80, 82-83, 85, 87-2000年)入手可能である。日流量データは1987年以降(13年間)から入手可能である。

しかしながら、雨量データについては流域内外の観測所において1971年から2000年まで30年間が入手可能であることから、流出モデルを用いれば、流量データについても同期間の推定が可能となる。

ここで、本調査では流出モデルにタンク・モデル法を用いることとし、モデルのパラメータ(係数)を得られた雨量および流量観測データに基づき同定した。モンマイ水位観測所における観測流量を流出率等から評価した。次に、タンクモデルによる低水解析を実施し、得られた観測流量を延長することとした。低水解析の作業手順を以下に示した。

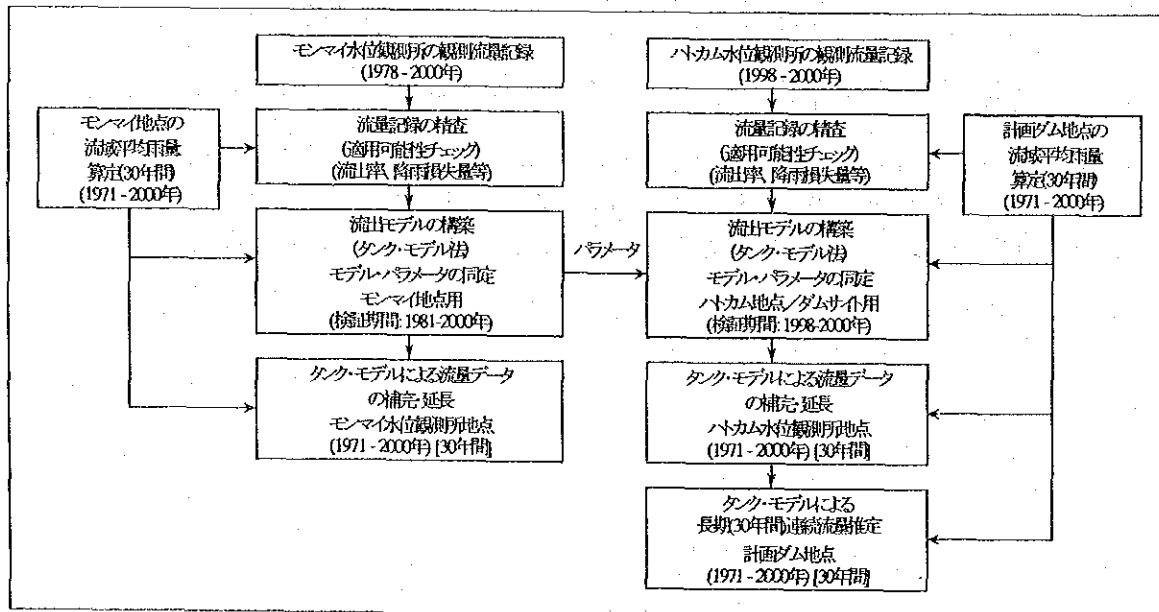


図 5.5.1 低水解析の作業手順

### 5.5.2 流域平均雨量

ナムニアップ-I 計画ダムサイトおよびハトカム、モンマイ水位観測所地点のそれぞれの地点における流域平均雨量を 1971 年から 2000 年までの 30 年間についてティーセン法を用いて推定した。算定したダムサイトおよびモンマイ地点における流域平均雨量の概要は下表に示通りである。

表 5.5.1 推定した流域平均雨量 (1971 - 2000 年の平均)

地点	流域面積 (km <sup>2</sup> )	平均期間 (年)	単位: mm												年間 合計
			1月 Jan.	2月 Feb.	3月 Mar.	4月 Apr.	5月 May	6月 Jun.	7月 Jul.	8月 Aug.	9月 Sep.	10月 Oct.	11月 Nov.	12月 Dec.	
ダムサイト	3,700	1971-2000	8.0	16.8	37.6	104.4	231.2	360.6	402.3	379.7	230.0	85.9	12.9	3.9	1,873.4
モンマイ	4,320	1971-2000	7.9	18.0	40.0	107.8	242.0	385.9	425.2	397.6	243.1	87.6	12.8	4.0	1,971.9

30 年間平均の流域平均年間降水量(MAP)は、計画ダム地点およびモンマイ水位観測所地点でそれぞれ 1,873 mm/年および 1,972 mm/年となった。この値は、Pre-F/S 調査における流域平均雨量推定値 2,900 mm/年よりも少なく、また、ラーメイヤー社(1997 年)が実施した調査におけるモンマイ地点の流域雨量 2,409 mm 年よりも少ない結果となった。

しかし既存調査時点では、対象地域近傍の雨量観測所数は現在よりも少なく、観測期間も短期間であった。また、流域上流部に近いシェンクアン市における雨量観測記録から、流域上流域は、下流(モンマイ付近)よりも常に少ないことが分かった。本調査結果は、可能な限り入手した流域内外 14 箇所の日雨量観測データに基づいて算定したものであり、信頼できるものと考えられる。従って、上記算定結果を本調査で適用することとした。

### 5.5.3 流出モデル

#### (1) タンク・モデルの概要

タンク・モデル(菅原,1956)の基本的な考え方は、各タンクに空けられた孔から流出する水の容量を計算することからなる。各孔からの流出は、各孔と水面の高さに比例する。各タンクはタンク底面に空けられた孔と側面の 2 つの孔からなり、その孔からの流量量の計算方法は以下の通りである。

$$\begin{aligned}
 y_n &= 0 & (X_n \leq h_1) \\
 y_n &= \alpha_1 (X_n - h_1) & (h_1 < X_n \leq h_2) \\
 y_n &= \alpha_2 (X_n - h_2) + \alpha_1 (X_n - h_1) & (h_2 < X_n) \\
 z_n &= \beta * X_n \\
 X_{n+1} &= X_n - y_n - z_n \\
 Z_{n+1} &= X_n + x_n + 1 & \text{---- (1)}
 \end{aligned}$$

- ここに、
- $X_n$  : タンク内水位(時間ステップ  $n$ )
  - $y_n$  : タンク側面流出孔からの流出
  - $z_n$  : タンク底面浸透孔からの流出
  - $x_n$  : タンク流入量
  - $\alpha_1, \alpha_2$  : 側面流出孔係数
  - $\beta$  : 底面浸透孔係数

通常タンク・モデルは、複数のタンクに分けるとシミュレーション結果が良くなることが知られている。日本では一般に、直列4段タンク・モデルが多くの流域で適用されている。これらのモデルでは、上式(1)で表される方法に従い相互に作用することとなる。

最上段タンクでは流入量として降水量が与えられ、下段タンクでは上段タンクからの浸透量が直接流入する。最下段タンクは通常側面孔のみとする。各タンクの側面流出孔からの流出量の合計が河道流入量となる。タンク各孔のパラメータ(係数)の決定は、試行錯誤法が必要となり、観測流量と計算流量の差が最小となるように調整する。

(2) タンク・モデル・パラメータ(係数)の同定

モンマイおよびハトカム測水所におけるタンク・モデルの同定した各パラメータは図 5.5.2 に示す通りである。

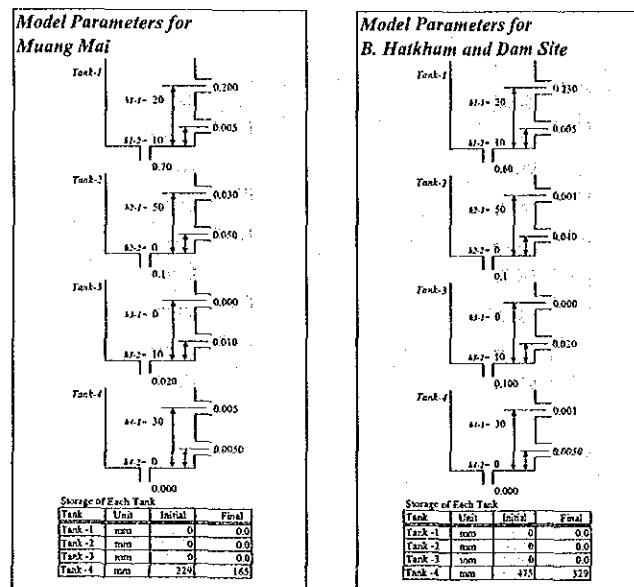


図 5.5.2 同定したモンマイ/ハトカム測水所におけるタンク・モデルのパラメータ

モデル・パラメータはモンマイおよびハトカム測水所の観測流量を基に同定した。計算は日単位で行った。モンマイ地点におけるモデル同定結果を下図に示す。

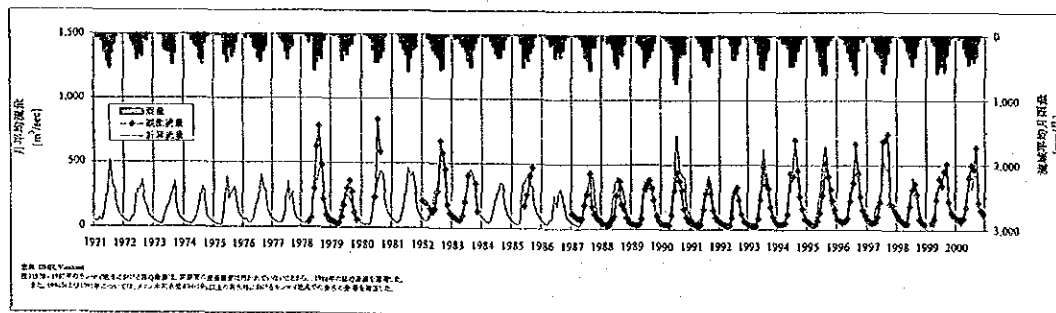


図 5.5.3 モンマイ観測所のタンクモデル計算結果と観測流量の比較 (流域面積 = 4,320 km<sup>2</sup>)

基本的には、モンマイ地点で同定したタンク・モデルのパラメータを、ダム地点流量算定用のタンク・モデルに適用することとした。また、ハトカム測水所で観測された1998年9月から2000年まで(約2.5年間)の日流量データを用いて若干のパラメータの再調整を行った。ハトカム測水所に適用したタンク・モデルの計算結果は以下に示す通りである。

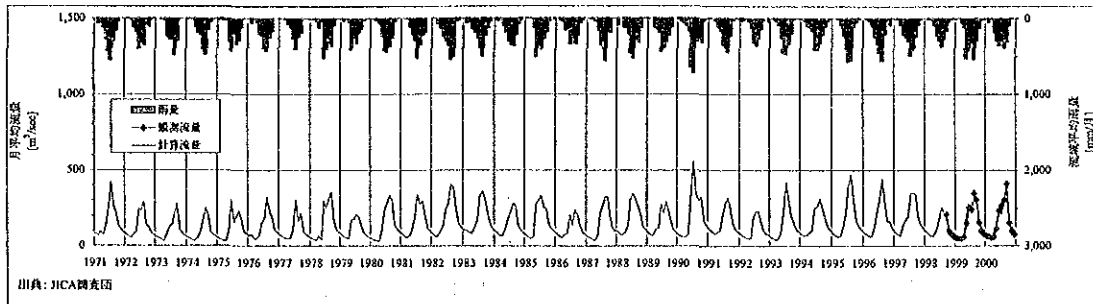


図 5.5.4 ハトカム観測所のタンクモデル計算結果と観測流量の比較 (流域面積 = 3,774 km<sup>2</sup>)

### 5.5.4 長期連続流量

ハトカム地点で調整した流出タンクモデルを用い、ナムニアップ-I計画ダム地点における長期日流量を1971年~2000年(30年間)の期間で作成した。この30年間のダムサイトにおける月平均流量算定結果を表5.5.2に示す。

表 5.5.2 ナムニアップ-I計画ダム地点月平均流量算定結果

地点: ナムニアップ-I計画ダムサイト													単位: m <sup>3</sup> /sec	
年	月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	年平均
		Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
1	1971	81.7	70.8	93.7	73.4	131.6	233.3	412.3	263.0	214.3	133.0	107.1	88.3	158.5
2	1972	74.0	60.8	53.3	73.1	91.1	242.0	231.6	279.5	143.0	118.0	86.8	71.6	127.1
3	1973	59.1	50.9	40.3	34.4	80.3	120.5	139.7	208.2	272.0	103.8	80.4	65.4	104.6
4	1974	55.5	46.9	37.2	36.5	55.7	92.9	159.6	243.1	197.8	84.8	70.4	58.6	94.9
5	1975	49.9	39.7	33.7	32.2	107.1	299.8	157.6	192.4	226.0	168.6	95.3	80.2	123.5
6	1976	65.0	72.4	48.4	44.4	68.6	150.8	175.2	316.1	230.3	184.8	106.4	86.0	129.0
7	1977	71.7	59.6	51.9	46.1	51.8	108.6	298.5	163.6	215.0	91.9	77.0	63.0	108.2
8	1978	53.7	43.9	39.0	67.9	40.8	288.6	250.6	302.2	349.5	161.1	110.8	92.1	150.0
9	1979	77.4	63.9	55.4	50.3	169.8	172.3	202.0	189.8	130.5	85.0	68.7	57.3	110.2
10	1980	48.2	38.5	35.3	34.3	100.0	233.2	276.1	325.9	296.6	136.6	110.6	91.9	143.9
11	1981	77.0	63.0	54.3	66.8	114.3	186.8	332.4	273.7	293.5	210.5	115.7	96.4	157.0
12	1982	80.6	66.0	63.2	93.9	130.3	234.9	266.8	403.5	382.6	237.7	145.7	120.3	185.5
13	1983	99.9	103.5	86.6	83.9	122.6	164.8	329.2	354.7	308.2	209.1	142.5	111.6	176.4
14	1984	96.0	81.4	64.7	69.1	114.6	178.4	219.9	276.9	262.7	131.7	105.3	86.4	140.6
15	1985	71.6	59.6	51.7	57.9	275.0	296.2	327.1	250.5	241.3	139.2	111.9	95.2	164.8
16	1986	78.8	64.7	55.8	77.1	78.7	201.3	139.2	231.8	202.8	131.3	88.8	73.9	118.7
17	1987	60.5	52.5	41.7	36.3	64.5	211.1	264.3	317.9	320.4	200.3	116.4	96.4	148.5
18	1988	98.1	76.0	70.2	90.4	128.7	301.7	338.4	307.2	255.0	206.9	126.4	105.6	175.4
19	1989	86.7	73.1	70.3	110.6	114.2	268.7	214.7	288.1	233.9	164.2	109.6	91.2	152.1
20	1990	76.6	63.2	60.2	58.0	75.7	346.8	547.0	340.5	300.5	321.0	163.9	133.7	207.3
21	1991	110.5	92.5	78.9	92.1	98.1	190.4	278.1	311.3	245.5	145.4	108.7	89.7	153.4
22	1992	81.0	64.2	56.1	47.5	52.3	186.4	223.7	224.6	155.0	101.3	81.4	74.1	112.3
23	1993	57.3	48.6	38.8	46.5	97.9	232.2	414.1	294.3	198.6	149.7	108.5	89.7	148.0
24	1994	75.8	66.6	69.4	84.3	102.5	247.5	258.3	300.9	249.2	179.7	124.9	100.7	155.0
25	1995	83.4	69.5	58.4	64.4	128.5	210.8	381.5	464.4	306.8	159.6	128.7	107.1	180.3
26	1996	88.0	74.4	63.6	63.2	118.6	220.8	295.1	435.6	288.2	158.0	157.3	110.0	172.7
27	1997	91.4	77.3	67.8	131.3	167.2	190.8	342.6	347.1	337.7	182.0	136.3	112.9	182.0
28	1998	93.8	79.6	65.0	66.2	107.6	167.9	247.1	214.9	185.9	104.4	85.2	71.2	124.1
29	1999	59.0	50.8	43.2	43.8	227.7	251.8	237.4	331.0	292.6	158.0	117.8	98.2	159.3
30	2000	81.9	70.1	58.4	89.7	152.8	229.5	209.4	295.8	305.0	151.2	110.8	91.9	153.9
	平均	76.1	64.8	56.9	65.5	112.3	215.4	272.3	291.6	254.7	157.0	110.0	90.4	147.2

出典: JICA調査団

計画ダム地点(流域面積=3,700 km<sup>2</sup>)における年平均流量は、147.2 m<sup>3</sup>/sec (1,259 mm/年)と算定された。流出係数は、下表に示すように 0.67 (= MAR/MAP = 1,259/1873 = 0.67)となった。

表 5.5.3 ナムニアップ-I 計画ダム地点流出係数算定結果 (1971~2000 年平均)

流域面積 [km <sup>2</sup> ] = 3,700		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
流域平均雨量	mm	8.0	16.8	37.6	104.4	231.2	360.6	402.3	379.7	230.0	85.9	12.9	3.9	1,873.4
平均流量	m <sup>3</sup> /sec	76.1	64.8	56.9	65.5	112.3	215.4	272.3	291.6	254.7	157.0	110.0	90.4	147.2
平均流出高	mm	55.1	42.4	41.2	45.9	81.3	150.9	197.1	211.1	178.4	113.6	77.0	65.4	1,259.4
流出率 (年平均)														0.67

このダムサイト年平均流量(MAR) 147.2 m<sup>3</sup>/sec (比流量で 4.38 m<sup>3</sup>/sec/100km<sup>2</sup>) もまた、既往調査結果の値と比較して少ない。例えば 1991 年の Pre-F/S では 281 m<sup>3</sup>/sec と推定され、同 Pre-F/S の更新調査では 210.8 m<sup>3</sup>/sec、ラーメイヤー社の調査結果では 152 m<sup>3</sup>/sec、さらにラーメイヤー・ウォーリー社による調査結果では 162 m<sup>3</sup>/sec と推定されている。しかしながら、ラオス国における様々な水力発電計画調査では、年流出量の 100 km<sup>2</sup> あたりの比流量は下表に示す通り 1.34 から 7.59 m<sup>3</sup>/sec/100 km<sup>2</sup> (平均 4.28 m<sup>3</sup>/sec/100 km<sup>2</sup>) となっている。

下表から、本算定結果である MAR = 4.38 m<sup>3</sup>/sec/100km<sup>2</sup> (ナムニアップ-I 計画ダム地点流量) は、対象地域の近傍のラオス国中部(ナムテン川流域等)やラオス国北西部(ナムグム川等)での値のほぼ平均的な値であり、当地域における年平均流出量の妥当な範囲内であると判断される。

表 5.5.4 主要水力発電計画での年平均雨量, 年平均流量および流出率の比較

No.	プロジェクト名	プロジェクトサイトの位置 (エリア)	ナムニアップからの距離 [km]	出典 (調査機関)	調査実施年	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	年平均雨量 [mm/year]	年平均流出量			流出率	
								流量 [m <sup>3</sup> /s]	比流量 [m <sup>3</sup> /year]	比流量 [m <sup>3</sup> /100 km <sup>2</sup> ]		
1	Xe Kaman-1/2	SE	580 km	HEC	1995	3,800	2,100	133.0	1,104	3.40	0.53	
2	Xe Kaman	SE	580 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	3,800		124.0	1,029	3.26		
3	Xe San (Xe Kong Basin)	SE	550 km	HCA	1993	3,224	2,238	124.0	1,213	3.85	0.54	
4	Sekong 4	SE	550 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	5,279		181.0	1,681	3.43		
5	Sekong 5	SE	550 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	2,615		86.0	1,031	3.29		
6	Houay Lo	SE	510 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	192		10.8	1,274	5.63		
7	Xe Katam-1&2	SE	500 km	HCA	1991	290	2,100	9.8	1,061	3.37	0.51	
8	Xe Katam-1&2	SE	500 km	HEC Estrogies Corp.	1995	291	2,600	15.3	1,625	5.15	0.67	
9	Xe Katam-1	SE	500 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	291		15.0	1,593	5.05		
10	Xe Katam-2	SE	500 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	255		13.0	1,589	5.04		
11	Xe Set-1	SE	470 km	Notconsult	1985	325	3,140	14.6	1,417	4.49	0.45	
12	Xe Set-2	SE	480 km	Notconsult	1999	268.5	2,468	11.2	1,315	4.17	0.53	
13	Xe Set-3	SE	480 km	Notconsult	1999	187.3	2,587	8.2	1,319	4.37	0.53	
14	Xe Don (Sechon) 2	SE	450 km	Nippon Koei & Sogreah	1991	4,090	1,920	129.4	998	3.16	0.52	
15	Nam Theum 1	Mid.	70 km	SWECO & HEC	1992	13,800		583.0	1,337	4.24		
16	Nam Theum 1	Mid.	70 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	14,070		687.0	1,540	4.88		
17	Nam Theum 1/2	Mid.	130 km	Notconsult	1993	8,927		461.0	1,623	5.16		
18	Nam Theum 2	Mid.	170 km	SMEC	1991	4,013	2,600	211.0	1,894	6.01	0.73	
19	Nam Theum 2	Mid.	170 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	4,013		243.0	1,910	6.06		
20	Nam Theum 3	Mid.	170 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	2,283		114.0	1,524	4.66		
21	Theam Hinbosa	Mid.	170 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	8,985		471.0	1,653	5.24		
22	B. Hin Hiep	Mid.	110 km				5,115	2,414	258.0	1,591	5.04	0.66
23	Xe Bang Hieng (Ban Keng Dene)	Mid.	110 km	Hiraka & Sundborg	1992							
24	Nam Ngiep-1 (Pre-F/S)	NW	0 km	Sogreah & HEC	1991	3,700	2,260	281.0	2,395	7.59	0.81	
25	Nam Ngiep-1 (Updating Pre-F/S)	NW	0 km	Sogreah	1995	3,700	2,960	210.8	1,797	5.70	0.61	
26	Nam Ngiep-1	NW	0 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	3,700		162.0	1,381	4.38		
27	Nam Ngom-1	NW	120 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	8,460	2,100	297.0	1,107	3.51	0.53	
28	Nam Ngom-1 (Estimation)	NW	120 km	Lahmeyer & Worley	1995	8,460	2,100	296.0	1,103	3.50	0.53	
29	Nam Ngom-2	NW	90 km	Lahmeyer & Worley	1995	5,750	2,790	163.0	894	2.83	0.43	
30	Nam Ngom-2	NW	90 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	5,812		190.0	1,031	3.27		
31	Nam Ngom-3 (Upper damsite)	NW	110 km	SMEC	1995	3,888	1,820	92.0	746	2.37	0.41	
32	Nam Ngom-3	NW	110 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	3,889		101.0	855	2.74		
33	Nam Ngom-3 (Lower damsite)	NW	110 km	SMEC	1995	4,335	1,820	108.0	756	2.49	0.41	
34	Nam Ngom-5	NW	140 km	Lahmeyer International	1997	483	2,500	22.8	1,489	4.72	0.60	
35	Nam Mang-3	NW	50 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	116	2,227	4.1	1,141	3.50	0.50	
36	Nam Leuk	NW	70 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	274	2,227	9.6	1,105	3.50	0.50	
37	Nam Leuk	NW	70 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	274		15.7	1,807	5.33		
38	Nam Song	NW	130 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	1,303	2,642	80.6	1,751	6.19	0.74	
39	Nam Lik	NW	190 km	Haitan SIF Enterprise, Beijing Hydro.IDI	1996	1,993	2,129	88.6	1,302	4.43	0.66	
40	Nam Lik	NW	190 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	2,059		100.0	1,532	4.86		
41	Nam Ou	NW	240 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	11,760		303.0	819	2.58		
42	Nam Tha-1	NW	370 km	Ates, RSW, Hydro Quebec	1997	2,630	1,760	168.0	694	2.29	0.39	
43	Nam Tha	NW	370 km	Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	2,630		194.0	821	2.54		
44	Nam Xong							60.6	1,951	6.19	0.74	
45	Se Namoy			Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	533		28.3	1,634	6.19		
46	Se Pian			Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	291		15.1	1,635	5.15		
47	Houay Malcha			Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	83		4.3	1,634	5.18		
48	Hong Sa			Lahmeyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1998	439		5.9	424	1.34		
平均							2,338		1,347	4.28	0.56	

## 5.6 洪水解析

### 5.6.1 概要

洪水(高水)解析は、洪水吐や分水工の設計およびダム高の決定などに必要な計画ダム地点における確率洪水流量および可能最大洪水流量(PMF)を算定することを目的として実施される。

確率洪水流量の推定には、計画ダム地点の下流約 43.6 km のモンマイ測水所における日平均流量記録に基いた統計的手法を適用した。一方、可能最大洪水流量(PMF)の推定に際しては、ハイドログラフ解析を実施した。ハイドログラフ法は、流域平均雨量の可能最大降水量(PMP)から可能最大洪水(PMF)流量ハイドログラフを合成するものであり、流域全体に一定の単位継続時間と一様強度の有効降雨があった場合に、流域下流端で得られる流出の関係であるとした単位図(unit hydrograph)の考え方に基づいている。単位図法は元来、大流域を対象として考案されたもの(Sherman,1932年提案)であるが、その後の研究により小流域にまで適用可能とされ、Linsley らはその著書 *Hydrology for Engineering (McGRAHILL)* においては、単位図の適用限度は一般的に約 5,000 km<sup>2</sup> であるとしている。

本調査では、単位図作成に必要とされる、時間単位の流量観測記録が、モンマイおよびハトカム地点で長期にわたって得られないことから、多くの水資源開発計画で用いられている米国土壌保全局(SCS)公表の無次元単位図を用いることとした。

洪水解析の概要を以下のフローに示す。

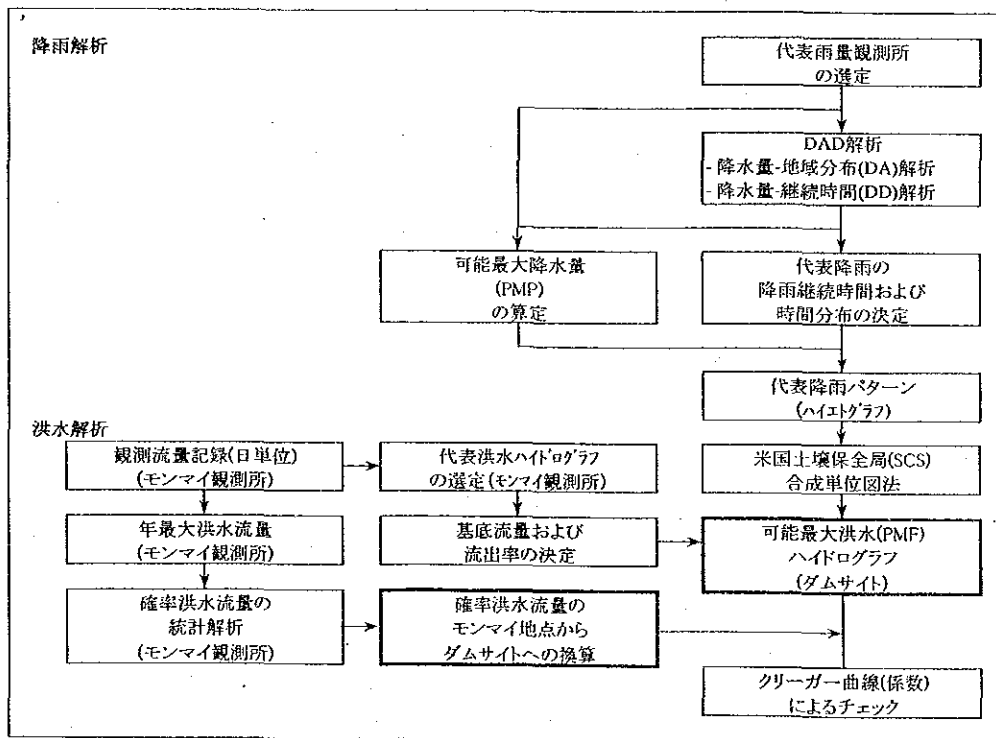


図 5.6.1 洪水解析の作業フロー

## 5.6.2 降雨解析

### (1) 日雨量

日雨量は対象流域内外の 14 観測所で観測されている。収集した期間は 1971 年から 2000 年までの 30 年間分である。これらの日雨量観測記録は、後述する洪水解析で用いる地点雨量から面積雨量を推定する面積補正係数(area reduction factor)を求めるための降雨量分布解析 (Depth-Area 解析)に用いられる。

### (2) 時間雨量

時間雨量は、対象流域内外のパクサン、シェンクアン、モンマイ、ピエンチャン(DMH)およびタピアン雨量観測所で観測されている。しかしながら、本調査では、後述する洪水解析で必要となる対象流域の代表的な降雨パターンを推定するため、タピアン観測所 1 地点のみの時間雨量データを用いることとした。タピアン雨量観測所(自動転倒マス型)は、対象流域のほぼ中心に位置し、第 1 フェーズ調査期間中の 1998 年 9 月に JICA 調査団により設置された観測所である。

### (3) 降水量(Depth)－地域分布(Area)－継続時間(Duration)解析

DAD 解析は、以下の関係について調査するものである。

- i) 降水量と地域分布の関係(DA 解析)、および
- ii) 降水量と継続時間(または降雨強度)の関係(DD 解析)

#### 降雨地域分布解析 (DA analysis)

ナムニアップ川流域での豪雨は、短時間に集中的で、かつ限られた範囲で起こることが多い。したがって、豪雨の流域平均雨量は、暴雨の中心における地点雨量よりも小さくなることが予想される。降雨分布(DA)解析は、その流域平均雨量を算定するための面積補正係数(area reduction factor)を求めることを目的とする。

一般に、地点雨量と面積雨量の関係は、次式に示されるホートン(1924)の式として知られる指数関係式で表すことができるとされている。

$$P_b = P_o * \exp [-kA^n]$$

ここで、 $P_b$  : 面積 A についての面積雨量 [mm]

$P_o$  : 豪雨中心における地点雨量の最大値 [mm]

A : 対象範囲の面積[km<sup>2</sup>]

k, n : 地域係数

地点雨量から流域平均雨量を推定するための面積補正係数は、次式で示すように流域雨量の比率として説明できる。



$$P_b = f_a * P_o$$

- ここで、 $P_b$  : 流域平均雨量 [mm]  
 $P_o$  : 地点雨量 [mm]  
 $f_a$  : 面積補正係数

仮に、上述のホートン式を適用すると、面積補正係数は次式で表すことができる。

$$f_a = \exp [-kA^n]$$

上記ホートン式とその係数  $k$ 、 $n$  をそれぞれ 0.1、0.25 と仮定すると、計画ダム地点における面積雨量を推定するための面積補正係数は 0.46 と算定される。この係数  $k$ 、 $n$  の値は、熱帯雨林地域の 24 時間雨量を算定する際に一般に用いられている値である。

次に、計画ダム地点の流域平均日雨量推定値と地点雨量(実測)の関係を用いて面積補正係数を算定する。選定した雨量観測所は、対象流域内外のパクソイ、パクサン、モンマイ、モンカオ、ナルアング、タドレック、タバックおよびバンビエンの 8 観測所である。これらの観測所では、毎年のように豪雨が観測されている。流域平均雨量は、地点雨量の平均とし、テイーセン法により算定し、その発生日は、地点雨量の年最大雨量が発生した同日の流域平均である。算定した面積補正係数およびその地点雨量の関係は図 5.6.2 に示した通りである。

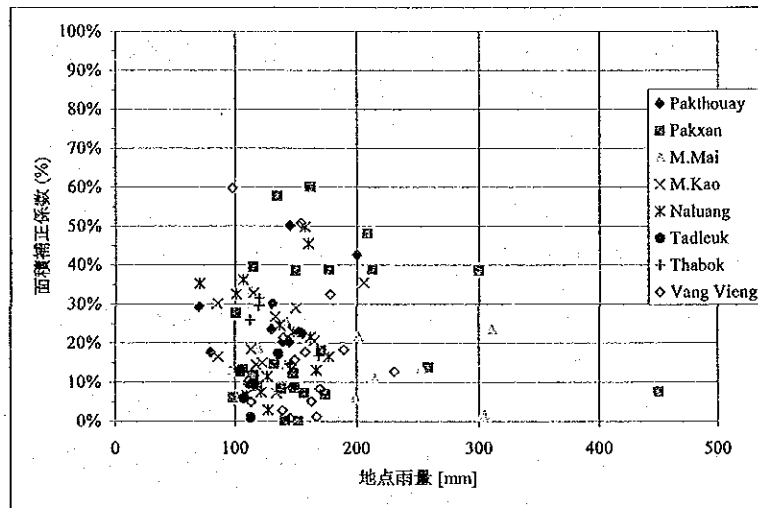


図 5.6.2 計画ダム地点における地点雨量－流域平均雨量算定の面積補正係数(24 時間雨量)

算定された面積補正係数は、0.01 から 0.6 の範囲であった。したがって対象地域における計画面積雨量係数は安全側に考慮して 0.6 とした。

#### 降雨継続時間(降雨強度)解析 (DD analysis)

豪雨の時間雨量ハイトグラフ推定のために、タビアン雨量観測所で観測された時間雨量データから 24 時間雨量が 45 mm 以上の降雨を選定した。図 5.6.3 に対象地域の豪雨として選定した時間雨量累計曲線を示す。

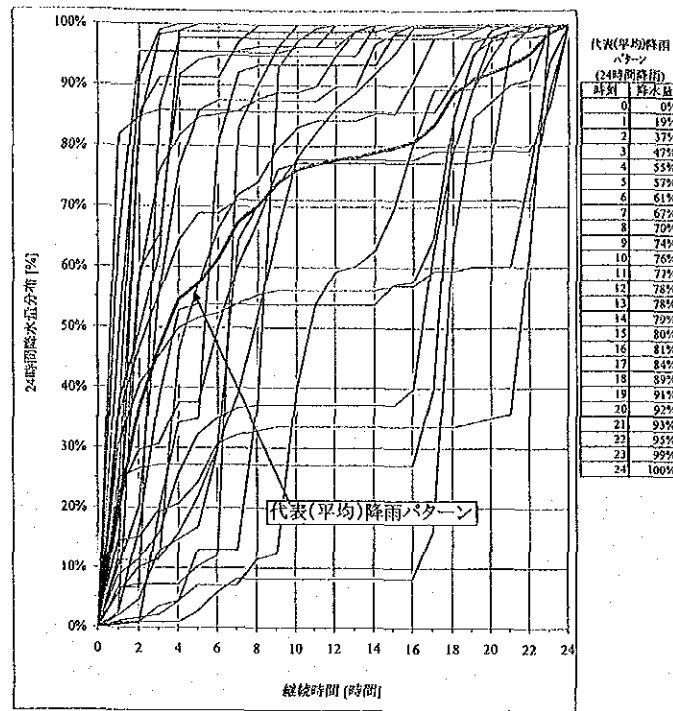


図 5.6.3 タビアン雨量観測所における時間雨量累計曲線 (24 時間雨量)

可能最大流量(PMF)推定のための計画ハイドログラフとして、上図の降雨ハイドログラフ(24時間継続降雨の場合)を適用することとした。

(4) 可能最大降水量 (PMP)

可能最大降水量(PMP)推定手法は、次の4手法に大別される。

- (i) 気象学的(理論的)手法：物理的に起こりうる湿度供給の最大限界値を考慮する手法(湿度補正法)。
- (ii) 統計的手法(Hershfield 法)：1973年のWMOが刊行した"Manual for estimation of probable maximum precipitation", operational hydrology report No.1, (WMO, No.332)に紹介されている手法で、Hershfieldにより開発された。
- (iii) 歴史的手法：対象地域で起こった既往最大降水量を歴史的に調査する手法。
- (iv) 米国気象局(US. Weather Bureau)による「メコン河下流域のPMP調査結果」の利用

本調査では、ナムニアップ川流域内および近傍での気象観測記録が限られていることから、上記のうち、(ii)と(iv)の方法をPMP推定に適用することとした。

a) Hershfield の手法 (WMO, No.332)

Hershfield (WMO, 332) の手法を用いて算定した対象流域における可能最大降水量(PMP)は以下の通りである。

表 5.6.1 Hershfield (WMO, 332) 手法による計画ダム流域の可能最大降水量(PMP)算定結果

可能最大降水量(PMP)	24時間PMP	48時間PMP	72時間PMP
ナムニアップ-I計画ダム地点(流域面積=3,700 km <sup>2</sup> )	590 mm	690 mm	730 mm

b) 米国気象局(U.S. Weather Bureau)法

前述のように、可能最大降水量(PMP)推定にあたり、対象流域周辺における気象データすなわち、露点温度、湿度、風速などの観測データが限られているため、本調査では、米国気象局(US. Weather Bureau)の手法を用いることとした。メコン河下流域における PMP 推定調査は、1970 年米国気象局水文気象分署により実施された。同調査は、メコン下流域において詳細な気象学的手法を適用して調査されたものであり、その適用手法について、WMO(World Meteorological Organization, 1986)の PMP 算定マニュアルにも紹介されている。

同手法を用いて算定したナムニアップ-I 計画ダム地点流域における可能最大降水量(PMP)推定結果は下表の通りである。

表 5.6.2 米国気象局の手法による計画ダム流域の可能最大降水量(PMP)算定結果

	6時間	12時間	24時間	36時間	48時間	72時間
ベトナム海岸域におけるPMP (流域面積= 3,700 km <sup>2</sup> )	383	590	786	860	897	937
合成補正係数	80%	80%	80%	80%	80%	80%
ナムニアップ-I計画ダム地点(3,700 km <sup>2</sup> )におけるPMP	310	480	630	690	720	750

出典: \*1): US Weather Bureau (1970), "Probable Maximum Precipitation, Mekong River Basin" Hydrometeorological Report No.46  
注) ダム地点PMP算定値は、10位四捨五入値。

5.6.3 ハイドログラフ解析

(1) 単位図

単位図には、下図に示す米国土壌保全局(SCS)合成単位図法を用いることとした。

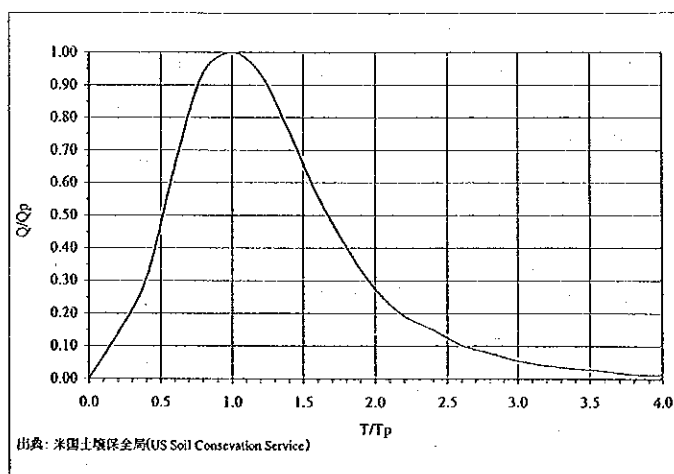


図 5.6.4 米国土壌保全局(SCS)による標準無次元ハイドログラフ

(2) 可能最大洪水 (PMF)

モンマイ観測所における MRC が設置した圧力式自記水位計による水位観測開始は 1996 年であり、対象流域における時間流量観測記録は、前述の通り非常に限られているため、ナムニアップ-I 計画ダム地点における流量単位図は、米国土壌保全局(SCS)による合成単位図手法を適用することとした。

SCS 手法は、様々な地形の多くの流域における解析結果により構築されたものである。流量は流量( $q$ )と最大流量( $q_p$ )との比( $q/q_p$ )で、時間は時間( $t$ )と遅れ時間( $t_p$ )との比( $t/t_p$ )で表現される単位図で、多くの実流域において適用されている。無次元ハイドログラフを  $q_p$  と  $t_p$  を用いて歪めることにより容易に単位図が求められる。

SCS 単位図は洪水集中時間と単位流域平均雨量からなる。単位図とは単位(1mm)の降雨からなる流出波形のことである。

上述の米国気象局の手法により算定した PMP と、Hershfield の手法により算定した PMP を用いて、SCS 単位図法を適用して算定した PMF ハイドログラフを以下に示す。

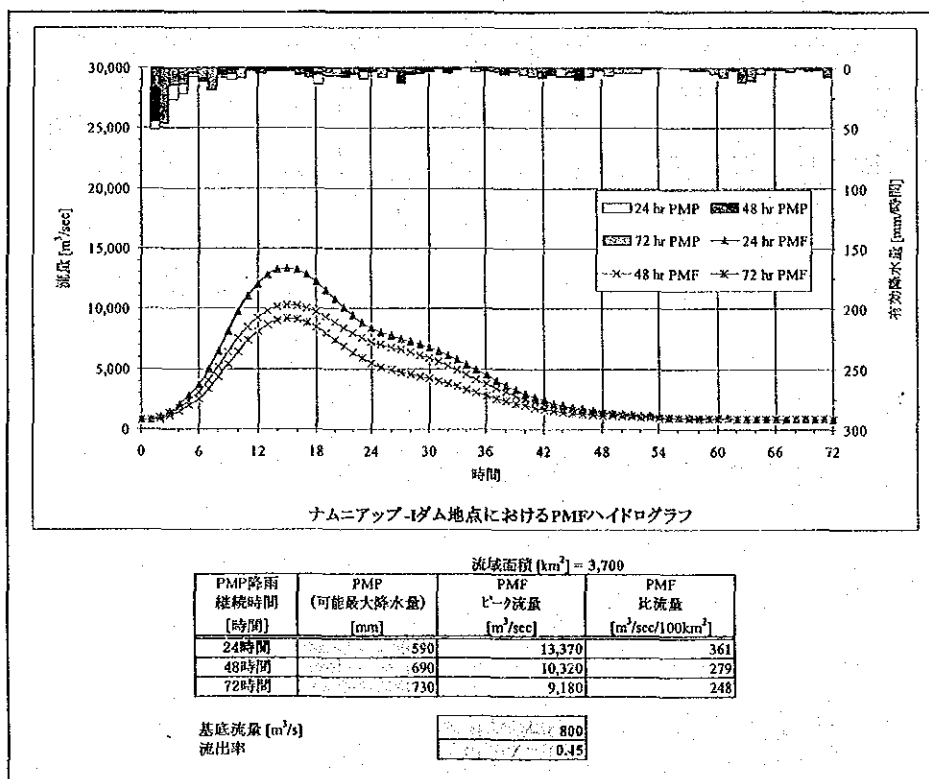


図 5.6.5 ナムニアップ-I計画ダム地点における PMF ハイドログラフ  
(Hershfield 手法による PMP 算定結果を用いた場合)

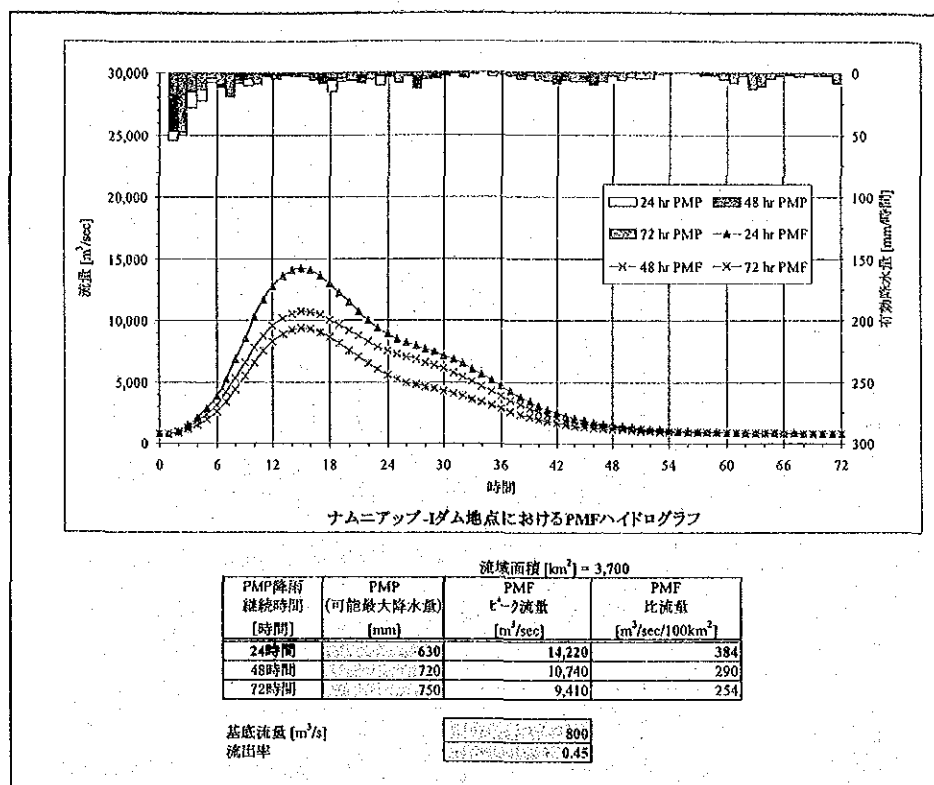


図 5.6.6 ナムニアップ-I計画ダム地点における PMF ハイドログラフ

(米国気象局の手法による PMP 算定結果を用いた場合)

上記算定結果(24、48、72 時間 PMF)のうち、24 時間 PMF が最も大きな洪水ピーク流量となった。従って、ナムニアップ-I 水力発電計画における PMF ピーク流量は、Hershfield の手法による PMP を用いた場合 13,370 m<sup>3</sup>/sec、米国土壌保全局の手法による PMP を用いた場合 14,220 m<sup>3</sup>/sec となる。この値は、プレ F/S 調査結果の PMF 15,900m<sup>3</sup>/sec よりもわずかに小さな値である。

参考として、ナイト・ピエソルド社(1998)による "Power System Planning in the Ministry of Industry and Handicraft" では、様々なラオス国の既往水力発電計画調査における PMF 包絡線についてレビューし、以下のようにまとめている。

セ・コン川(Se Kong)流域における調査(JICA 1995)では、ラオス、タイ、ベトナムおよびカンボジアにおける様々な洪水から作成した包絡線に基づき、クリーガー式を適用して、以下のような可能最大流量(PMF)推定式を作成している。

$$Q_{PMF} = 61 * A^{0.05}$$

ここで、A は流域面積 [km<sup>2</sup>]

また、ナムグム 3 水力計画(SMEC, 1996)では、熱帯地域における様々なダム計画の PMF 算定結果(表 5.6.3)を比較調査し、次式のような関係式を導き出している。

$$Q_{PMF} = 206.4 * A^{0.5271}$$

表 5.6.3 ラオス国における主要水力プロジェクトにおける PMF の比較

No.	プロジェクト名	プロジェクト 種別 (河川内 の位置/国)	プロジェクト の長さ (km)	出典 (調査機関)	調査 年度	流域 面積 (km <sup>2</sup> )	与水量大洪水流量(PMF) (m <sup>3</sup> /日)			PMFの ピーク 流量 (m <sup>3</sup> /sec)
							ピーク 流量 (m <sup>3</sup> /sec)	比流量 (m <sup>3</sup> /100 km <sup>2</sup> )	流出量 (MCM)	
1	Xe Kaman-1/2	SE	330 km	HEC	1993	3,800	13,000	342		1日
2	Xe Kaman	SE	330 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	3,800	13,000	342		
3	Xe San (Xe Kong Basin)	SE	350 km	JICA	1993	3,234				
4	Sekong 1	SE	350 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	5,279				
5	Sekong 2	SE	350 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	2,615				
6	Houay Hfo	SE	310 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	192	1,210	632		
7	Xe Kham-1&2	SE	300 km	JICA	1991	290				
8	Xe Kham-1&2	SE	300 km	HEC Enterprise Corp.	1995	297				
9	Xe Kham-2	SE	300 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	297				
10	Xe Kham-2	SE	300 km	Labreyer & Worley (NT1 Alternative Study)	1994	218				
11	Xe Sa-1	SE	470 km	Marconault	1983	323				
12	Xe Sa-2	SE	450 km	Marconault	1999	268.3				
13	Xe Sa-3	SE	430 km	Marconault	1999	172.3				
14	Xe Dong (Sikho) 2	SE	420 km	Nippon Kaido & Seppan	1991	4,050	14,600	357	7,750	13日
15	Nam Theum 1	Mid.	70 km	SMECO & HEC	1991	13,800	32,800	232		13日
16	Nam Theum 1	Mid.	70 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	14,070	34,100	242		
17	Nam Theum 1/2	Mid.	130 km	Norpower	1993	8,937	19,700	220		
18	Nam Theum 2	Mid.	170 km	SMEC	1991	4,013	13,315	337	9,615	13日
19	Nam Theum 2	Mid.	170 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	4,013	13,315	337		
20	Nam Theum 3	Mid.	170 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	2,387				
21	Theum Hekoon	Mid.	170 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	8,385				
22	B. Hin Heup	Mid.	110 km		1992	5,113				
23	Xe Bang Heng (Ban Xeng Dong)	Mid.	110 km	Hirten & Sandberg	1992					
24	Nam Niap-1 (Ft-FS)	NW	8 km	Sogreah & HEC	1991	3,700	15,200	430		
25	Nam Niap-1 (Updating Ft-FS)	NW	8 km	Sogreah	1995	3,700	15,500	430		
26	Nam Niap-1	NW	8 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	3,700	15,500	430		
27	Nam Ngum-1	NW	120 km	Beca Worley & Labreyer	1993	8,450				
28	Nam Ngum-1 (Extension)	NW	120 km	Labreyer & Worley	1995	8,460	8,000	104		1日
29	Nam Ngum-2	NW	90 km	Labreyer & Worley	1995	5,750				
30	Nam Ngum-2	NW	90 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	5,812	10,990	187		
31	Nam Ngum-3 (Upper damsite)	NW	110 km	SMEC	1993	3,888	12,150	313		3日
32	Nam Ngum-3	NW	110 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	3,839	12,150	312		
33	Nam Ngum-3 (Lower damsite)	NW	110 km	SMEC	1995	4,335	15,260	352		1日
34	Nam Ngum-5	NW	140 km	Labreyer International	1997	483				
35	Nam Mang-3	NW	50 km	Beca Worley & Labreyer	1993	116				
36	Nam Loak	NW	70 km	Beca Worley & Labreyer	1993	274				
37	Nam Loak	NW	70 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	274				
38	Nam Song	NW	150 km	Beca Worley & Labreyer	1991	1,303				
39	Nam Lik	NW	150 km	Hainan SIT Enterprise, Beijing Hydro. I.D.I.	1996	1,593				
40	Nam Lik	NW	150 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	2,059				
41	Nam Ou	NW	240 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	11,760				
42	Nam The-1	NW	310 km	Arcet, RSW, Hideo Quebec	1997	7,630	19,800	197		
43	Nam The-1	NW	310 km	Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	7,630	19,800	197		
44	Se Hanoy			Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	331	3,860	724		
45	Se Piao			Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	231	1,320	616		
46	Houay Malchan			Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	43	900	1,084		
47	Hong Sa			Labreyer & Worley (NT2 Alternative Study)	1993	439				
48	Khao Lam (Thailand)	Thailand		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1916	3,720	7,130	191		
49	Hwa Noi (Thailand)	Thailand		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1916	4,230	8,350	198		
50	Pak Thon (Cambodia)	Cambodia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1950	3,630	41,600	1,129		
51	Abrang (Malaysia)	Malaysia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1914	120	2,580	2,150		
52	Klang Gera (Malaysia)	Malaysia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1884	37	1,610	2,091		
53	Batu (Malaysia)	Malaysia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1994	30	915	1,830		
54	Langat (Malaysia)	Malaysia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1918	1,200	6,120	510		
55	Kengri (Malaysia)	Malaysia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1916	2,650	15,470	585		
56	Kedung Onko (Indonesia)	Indonesia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1982	614	9,500	1,303		
57	Jatayu (Indonesia)	Indonesia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1972	1,460	10,500	719		
58	Toaki (Papua New Guinea)	PNG		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1985	851	14,230	1,672		
59	Ox Street (Papua New Guinea)	PNG		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1982	231	8,900	3,463		
60	Copperfield Falls (Australia)	Australia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1916	44	1,360	3,091		
61	Stoodlands (Australia)	Australia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1911	51	1,320	3,121		
62	Kuurnara (Australia)	Australia		SMEC, NT2 HEPP (1991)	1960	47,100	56,600	120		
平均										
									810	

上述の2つの PMF 算定式をナムニアップ-Iダム地点に適用すると、流域面積が 3,700 km<sup>2</sup> であるので、PMFはそれぞれの式により 14,173 m<sup>3</sup>/sec および 15,686 m<sup>3</sup>/sec と推定される。

従って、本調査で算定したナムニアップ-Iダム地点における PMF ピーク流量 14,220 m<sup>3</sup>/sec は、当地域における妥当な値の範囲内であると判断される。

### (3) 確率洪水流量

様々な確率年における確率洪水流量は、1978年～2000年までのモンマイ水位観測所における観測日流量データに基づき推定した。

算定したモンマイ水位観測所地点における理論確率分布曲線を図 5.6.7 に示す。

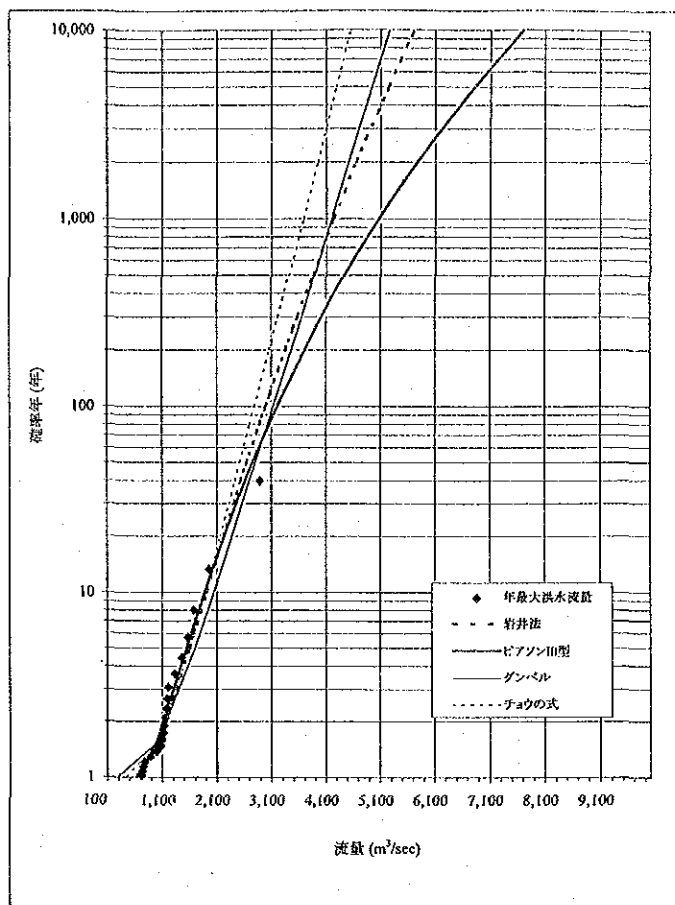


図 5.6.7 モンマイ水位観測所における年最大洪水流量及び確率洪水流量曲線

上図に示すように、適用した確率密度関数の中ではピアソン III 型の曲線が最もよく適合している。ピアソン III 型の曲線により算定したナムニアップ-I ダム地点における確率洪水のピーク流量算定結果は、下表の通りである。

表 5.6.4 計画ダム地点における確率洪水のピーク流量算定結果

確率年 (年)	超過確率	洪水ピーク流量 (m³/sec)
1.01	0.9901	680
1.50	0.6667	1,000
2	0.5000	1,150
5	0.2000	1,590
10	0.1000	1,930
20	0.0500	2,300
25	0.0400	2,420
30	0.0333	2,530
40	0.0250	2,700
50	0.0200	2,840
80	0.0125	3,140
100	0.0100	3,290
200	0.0050	3,800
300	0.0033	4,130
500	0.0020	4,560
1,000	0.0010	5,210
2,000	0.0005	5,930
5,000	0.0002	7,000
10,000	0.0001	7,920

注): (モンマイ地点の洪水ピーク流量) = (モンマイ地点の日平均最大流量) × 1.2  
 (ダムサイトにおける洪水ピーク流量) = (モンマイ地点の洪水ピーク流量) × 3,700 / 4,320  
 確率密度関数はピアソンIII型を適用した。

(4) 確率洪水のハイドログラフ

ナムニアップ-I 計画ダム地点における確率洪水のハイドログラフは、モンマイ水位・流量観測所における実績洪水波形を用いて、ピーク流量の比率により引き延ばした。代表洪水波形は、モンマイ地点で水位-流量(H-Q)曲線の得られる観測期間中(1988~2000年)において最大のピーク流量を観測した1993年7月洪水の波形を選定した。なお、モンマイ観測所では、1980年7月25日に観測史上最大の水位(H = 10.98 m)を記録しているが、1987年以前は流量観測が行われていない。算定した計画ダム地点における確率洪水のハイドログラフを図5.6.8に示す。

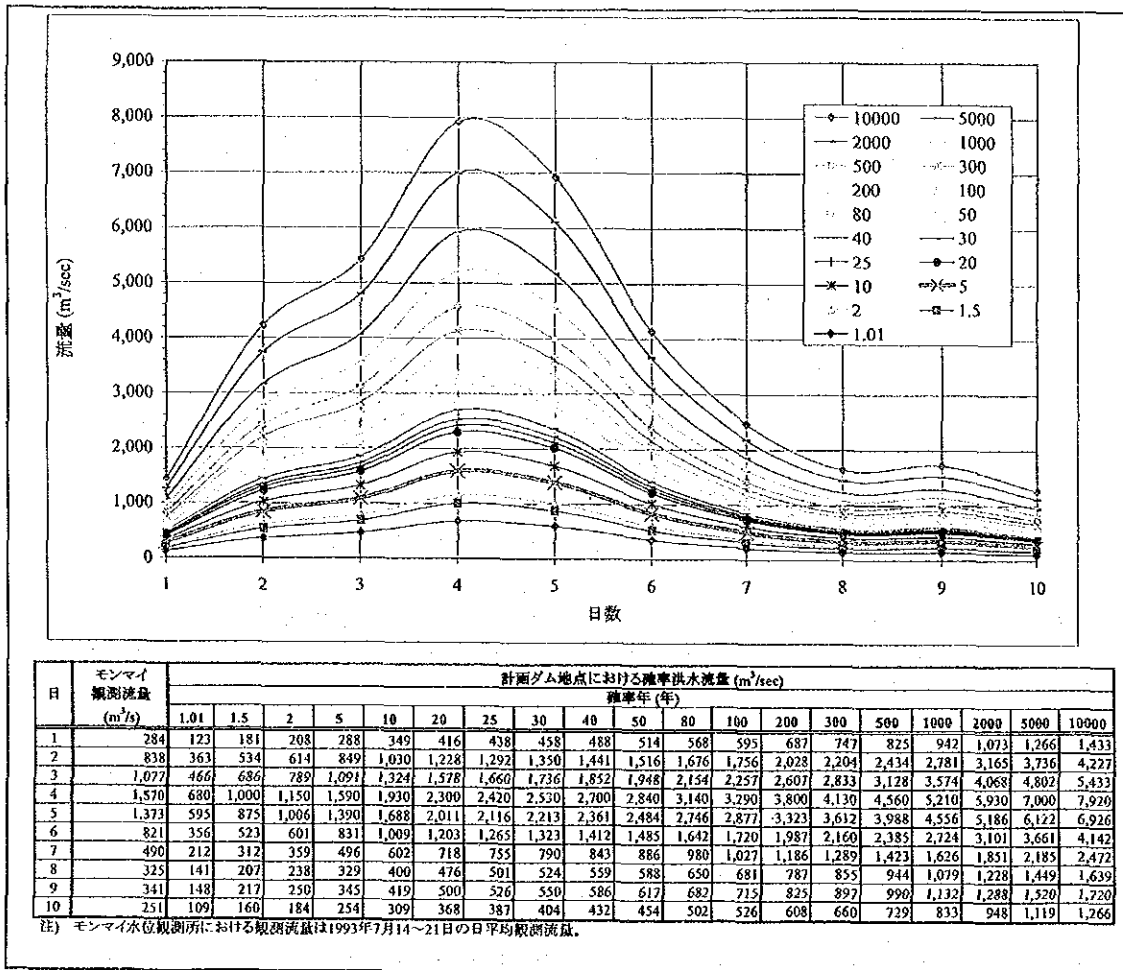


図 5.6.8 計画ダム地点における確率洪水のハイドログラフ

(5) 乾季確率洪水流量

施工中の各仮設備設計の参考として、乾季期間中すなわち11月から3月までの期間に発生しうる乾季確率洪水流量(ピーク流量)を算定した。算定にあたっては、上述の確率洪水算定と同様に、モンマイ水位・流量観測所における1978年~2000年の観測流量(但し、11~3月のみ)を用い、ピアソン III 型の曲線を適用した。算定した計画ダム地点における乾季確率洪水のピーク流量算定結果は、下表の通りである。



表 5.6.5 計画ダム地点における乾季(11月～3月)確率洪水ピーク流量

確率年 (年)	超過確率	乾季 洪水ピーク流量 (m <sup>3</sup> /sec)
2	0.5000	156.6
5	0.2000	215.6
10	0.1000	255.4
20	0.0500	294.2
25	0.0400	306.6
30	0.0333	316.8
40	0.0250	332.8
50	0.0200	345.4

(6) ナムニアップ-Iダム地点 PMF および確率洪水流量のクリーガー係数

確率洪水流量のクリーガー係数(Creager's coefficient)は下式により算定される。

$$Q_p = (46 * 0.02832) * C * (0.3861 * A)^a$$

$$a = 0.894 * (0.3861 * A)^{0.048}$$

- ここで、 $Q_p$  : ピーク流量 [m<sup>3</sup>/sec]  
 $C$  : クリーガーの係数  
 $A$  : 流域面積 [km<sup>2</sup>]

図 5.6.9 にナムニアップ-Iダム地点における 1,000 年、10,000 年確率洪水および PMF のピーク流量算定結果と、他のラオス国における水資源開発計画で算定された値の関係を示した。算定された本ダム地点における確率洪水および PMF のピーク流量算定結果は、本地域における計画洪水流量として妥当な範囲内であるといえる。

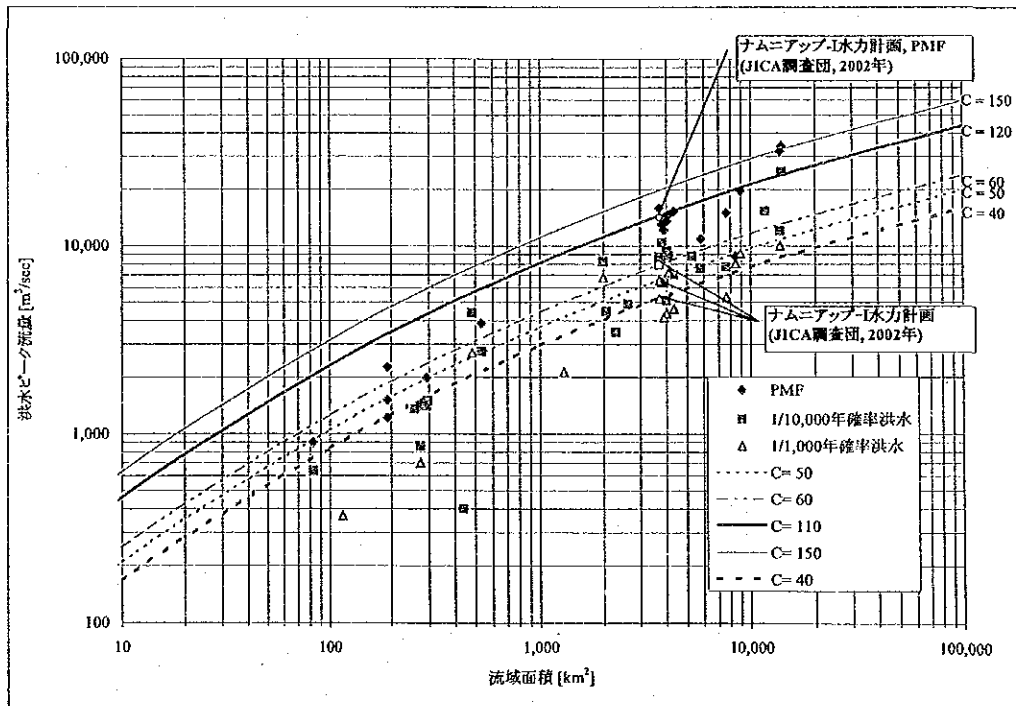


図 5.6.9 ラオス国における水力発電計画の確率洪水流量および PMF

### 5.7 貯水池純蒸発量

貯水池水面からの純蒸発量(湖面蒸発損失)は、バンビエン、ピエンチャン、シェンクアン、パクサン気象観測所におけるパン蒸発量と流域平均雨量に基づき推定した。貯水池水面からの実蒸発量は、パン蒸発量よりも少ないことが知られている。これは、湖の温度慣性が大きいことと、パン蒸発計内の水が日射を受けて温まりやすい事が原因と言われている。

パン蒸発計に対する湖面蒸発算定のための補正係数は、一般には 0.7 から 0.8 の範囲でありが、湿潤な沿岸地域などではより大きな係数値 0.85 程度が採られることがある。本調査では、パン蒸発計補正係数を 0.8 と仮定した。

貯水池純蒸発量算定結果は下表の通りとなった。

表 5.7.1 ナムニャップ-I水力計画の貯水池水面からの純蒸発量算定結果

月	単位: mm												年間 合計
	1 Jan.	2 Feb.	3 Mar.	4 Apr.	5 May	6 Jun.	7 Jul.	8 Aug.	9 Sep.	10 Oct.	11 Nov.	12 Dec.	
貯水池湖面蒸発量	131.4	113.1	133.9	115.2	75.6	75.6	95.5	95.5	98.4	114.1	108.0	111.6	1,268.0
貯水池湖面への降水量	8.0	16.8	37.6	104.4	231.2	360.6	402.3	379.7	230.0	85.9	12.9	3.9	1,873.4
純蒸発量	123.5	96.3	96.3	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	95.1	107.7	557.8

### 5.8 貯水池堆砂量

ナムニャップ川における堆砂量推定に係わる観測が行われていないことから、本調査では、以下の方法により貯水池堆砂量を推定することとした。

(1) 年平均生産土砂量

計画ダム地点(流域面積 = 3,700 km<sup>2</sup>)における年平均生産土砂量(比堆砂量: 単位面積当たり)は、以下の式により推定した。

(出典: *Lahmeyer International (1997), "Hydropower Development Plan for the Lao PDR" Interim Report - Hydropower Inventory*)

$$S = 488 * A^{0.01}$$

ここで、 S: 年平均比堆砂量 [tonnes/km<sup>2</sup>/year],

A: 集水面積[km<sup>2</sup>]

従って、本ダム地点における年平均比堆砂量は、

$$S = 488 * 3,700^{(-0.01)} = 450$$

= 約 500 [tonnes/km<sup>2</sup>/year] と推定される。

(2) 計画堆砂密度

計画貯水池における計画堆砂密度は、1,300 kg/m<sup>3</sup>と仮定した。この値は、Murthy (1977)による多くの既設貯水池における堆砂実態調査の結果から得られた堆砂密度が 500~1,800kg/m<sup>3</sup>の範囲であったことから、その範囲内で仮定した。

(出典：Murthy, B. N., 1977. "Reservoir sedimentation, life and remedial measures", Symposium on Silting Reservoirs. India, Cent. Board Irrig. Power, Publ. No. 126; Vol.1, pp.123 -134)

(3) 貯水池の堆砂捕捉効果

本計画における貯水池の総貯水容量一年間総流入量の比率(=総貯水容量/年間総流入量)は、約0.5(= 2,279 MCM / 4,541 MCM = 0.502)である。従って、Brune (1974)による貯水池の堆砂捕捉効果(trap efficiency)曲線を用いれば、捕捉効果は95%と推定される。

(出典：G.M.Brune, eg US Bureau of Reclamation, 1974)

上述の手法により推定した貯水池堆砂量推定結果とラオス国の主な水力開発計画における堆砂量推定値の比較を下表に示した。

表 5.8.1 ラオス国の主な水力開発計画における堆砂量推定値

No.	プロジェクト名 または河川名	位置 (村区 における 方位)	ダム・フック からの 距離 [km]	出典 (調査実施機関)	調査 実施 年	(Rate of Erosion)		Deposition Rate [t/year]	堆砂 密度 [kg/m <sup>3</sup> ]	堆砂 捕捉率 [%]	年合計 流入土砂量 (貯蔵) [MCM/year]
						浸蝕 係数 [t/m <sup>2</sup> /year]	年平均 比堆砂量 [t/year]				
1	Xe Kamsan-1/2	SE	380 km	HECEC Australia	1995	3,800	410	1,558,000	1,000	100%	1.56
2	Xe San (Xe Kong Basin)	SE	550 km	JICA	1993	3,274					
3	Houay Ho	SE	510 km	Hydroconsult	1993	273	404	0			
4	Xe Katam-1&2	SE	500 km	JICA	1992	290	300	0			
5	Xe Katam-1&2	SE	500 km	HEC Enterprises Corp.	1995	297					
6	Xe Set-1	SE	470 km	Norconsult	1985	325	411	0			
7	Xe Set-2	SE	480 km	Norconsult	1999	268.5					
8	Xe Set-3	SE	480 km	Norconsult	1999	187.5					
9	Xe Don (Sedon) 2	SE	450 km	Nippon Koei & Sogreah	1991	4,090	193	790,000		100%	6.00
10	Nam Theum 1	Mid.	70 km	SWECO & IHEC	1992	13,800					
11	Nam Theum 1/2	Mid.	130 km	Norpower	1993	8,937	73	650,000			
12	Nam Theum 2	Mid.	170 km	SMEC	1991	4,013	73	0			
13	Nam Theum-2 (Alternative Study)	Mid.	170 km	Lahmeyer & Worley	1997	4,013	300	1,203,900			
14	Nam Theum	Mid.	170 km	Mekong Secretariat	1986	14,700	488	7,173,600			
15	B. Hin Heup	Mid.	110 km		1992	5,115	212	0			
16	Xe Bang Hieug (Ban Keng Dong)	Mid.	110 km	Harden & Sundborg	1992	19,400	345	0			
17	Nam Ngiep-1 (Pre-F/S)	NW	0 km	Sogreah & IHEC	1991	3,700	< 2,360	< 8,880,000	1,300	100%	< 6.80
18	Nam Ngiep-1 (Updating Pre-F/S)	NW	0 km	Sogreah	1995	3,700	< 1,890	< 6,660,000	1,300	100%	< 3.10
19	Nam Ngiep-1 (This Study)	NW	0 km	JICA	2002	3,700	500	1,850,000	1,300	95%	1.35
20	Nam Ngum-1	NW	120 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	8,460		2,350,000			
21	Nam Ngum-1 (Extension)	NW	120 km	Lahmeyer & Worley	1995	8,460					
22	Nam Ngum-2	NW	90 km	Lahmeyer & Worley	1995	5,750					
23	Nam Ngum-3 (Upper dam, Present)	NW	110 km	SMEC	1995	3,888	85	328,700	0.085	93-99%	0.72
24	Nam Ngum-3 (Lower dam, Present)	NW	110 km	SMEC	1995	4,335	85	366,490	0.085	90-98%	0.72
25	Nam Ngum-3 (Upper damite, Plan)	NW	110 km	SMEC	1995	3,888	423	1,643,500	0.085	93-99%	3.57
26	Nam Ngum-3 (Lower damite, Plan)	NW	110 km	SMEC	1995	4,335	423	1,832,450	0.085	90-98%	3.98
27	Nam Ngum-3	NW	140 km	Lahmeyer International	1997	483	459	221,578	1,160	100%	0.23
28	Nam Mang-3	NW	50 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	116		40,000			
29	Nam Leuk	NW	70 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	274	347	95,000			
30	Nam Song	NW	130 km	Beca Worley & Lahmeyer	1993	1,301	277	415,000			
31	Nam Lik	NW	190 km	Hainan SIT Enterprise, Beijing Hy	1996	1,993	40	79,300	0.028		
32	Nam Tha-1	NW	370 km	Acres, RSW, Hydro Quebec	1997	7,630	137	1,048,000			
33	Houay Namsoi-1						419				
34	Houay Namsoi-2						413				

注) \*4) 出典:Nam Ngum from: Uppsala University study.

なお、1995年のNo.18 Updated Pre-F/Sでは1,800t/km<sup>2</sup>/yearとしているが、同報告書によればこの値は最大値であり、No.29 Nam Leuk HEPPの347t/km<sup>2</sup>/yearよりは大きいものの、これに近い値と推定されるとの記述がある。

## 5.9 追加調査の提言

本ダム計画の実施に向け、水文データの更なる信頼性向上を図ることが必要である。このため、以下の継続・追加調査および追加施設設置を提言する。

### 雨量観測(継続)

- (1) ダムサイト流域内に設置した3箇所(タピアン/ナムロ/ナムチェ)の雨量観測の継続
- (2) 上記3雨量観測所のO&Mを考慮した設置個所・配置の再検討
- (3) 上記3雨量観測所の雨量計システムの改良(データロガー装置等の追加)
- (4) テレメータ雨量観測網の検討(将来計画)

### 気象観測(新規)

- (5) 自動気象観測施設の設置(流域内4箇所程度)。必要観測項目は雨量・気温・湿度・風向・風速・気圧・日射量・パン蒸発量とし、パン蒸発以外は自動計測が望ましい。

### 水位観測(継続・新規)

- (6) ハトカム水位観測所既存量水標による日水位観測の継続
- (7) ハトカム水位観測所に自記水位計の新規設置(圧力式/フロート式/気泡式、10分毎自動水位観測)
- (8) サオ川タプア水位観測所は、ナムニアップ川の背水影響を受けていることが判明したため観測は終了してもよい。

### 流量観測(継続・新規)

- (9) 同上ハトカム水位観測所における毎3ヶ月に1回程度の定期流量観測の継続
- (10) 同上データを用いた水位-流量曲線の更新
- (11) 流量観測を行う測線上に張るロープの固定用アンカー施設の新規設置(コンクリート製で両岸に数カ所必要)

### 流送土砂量観測(新規)

- (12) 同上ハトカム村水位・流量観測所での流送土砂量観測の実施。上記定期流量観測時に同時サンプリングする。

### 水文解析(継続)

- (13) 上記観測データに基づく水文解析の更新・見直し

### 一般的留意事項

- (14) 雨量・気象観測は、記録紙および記録ペン交換時のトラブルや用紙のセットミス、電池消耗、交換日時の不記入または日付を確認しない村人による日時の記入ミスなど

の問題が多い。また、ラオス国では、各観測機種別の記録用紙等の入手も困難であることから、データロガーを用いた自動計測システムとし、さらに観測員によるマニュアル観測も同時に行うことが望ましい。

- (15) ハトカム水位観測所に設置した量水標について、1998年に設置後、数年が経過していることから、補強・改良が必要である。

#### 流量観測時の安全規則

- (16) 定期流量・流送土砂量観測時には、安全管理の徹底が重要であり、具体的には以下に示すような流量観測時の安全規則を提案する。
- ① 観測員・船頭・その他補助員の全員は、必ず救命胴衣を着用すること。
  - ② ボート乗船時は必ず靴を脱ぐこと。
  - ③ 高水時における観測では、ボートは常に2艘以上用意し、1艘は観測用に、もう1艘は緊急時の救助用に現場に待機させておくこと。
  - ④ 救助艇はエンジン付ボートとし、船内に、救助用ロープ・浮輪・長い棒・予備の救命胴衣・その他必要な物を用意し、船頭以外に2名以上が待機すること。
  - ⑤ 増水時は、流速計法ではなく、浮子法による観測とする。
  - ⑥ 観測は午後3時まで終了し、夕方・夜間における乗船等の行動は行わない。
  - ⑦ ハトカム観測所に救急・医薬品類、無線または衛星電話を常備すること。
  - ⑧ 緊急連絡体制の整備、救助隊編成方法等を常に確認・更新すること。
  - ⑨ その他必要な安全対策を適宜追加すること。

# 第6章 環境調査

## 6.1 概要

自然及び社会環境調査は、第1フェーズ調査(1998年～2000年)で実施された。ここに示す調査結果は、2000年2月に提出された最終報告書第2巻の要約報告書から、第3章の環境影響評価と第4章の初期住民移転計画を抜粋したものである。したがって、環境影響評価は大規模開発案(FSL.360m)と中規模開発案(FSL.320m)の比較評価が主となっている。

なお、第2フェーズ調査では、中規模開発案(FSL.320m)に的を絞り、対象となる4村落の住民移転候補地の現地調査を2002年7月に実施したので、その調査結果を章末に示した。

## 6.2 公聴会の開催

本調査の特徴の一つである公聴会の開催は、第1フェーズ調査と第2フェーズ調査を通じて開催された。第2フェーズ調査での公聴会の記録は、第12章で詳しく説明している。

### 第1フェーズ調査(1998年7月～2000年3月)

No.	公聴会	開催日時	開催場所	議題	参加者数(人)
1.	第1回中央公聴会	1998年11月	首都ピエンチャン市	着手報告書	110
2.	第2回中央公聴会	1999年6月	県都バクサン	中間報告書	120
3.	第3回中央公聴会	1999年12月	首都ピエンチャン市	最終報告書(案)	120
4.	第1回現地公聴会	1999年3月	ドン村/アプヨーク村	着手報告書	50, 30
5.	第2回現地公聴会	1999年6月	モンマイ村	中間報告書	40
6.	第3回現地公聴会	1999年12月	ドン村/アプヨーク村/モンマイ村	最終報告書(案)	200, 170, 70

### 第2フェーズ調査(2001年3月～2002年11月)

No.	公聴会	開催日時	開催場所	議題	参加者数(人)
1.	第1回中央公聴会	2001年6月	首都ピエンチャン市	着手報告書	110
2.	第2回中央公聴会	2002年3月	県都バクサン	中間報告書	100
3.	第3回中央公聴会	2002年9月	首都ピエンチャン市	最終報告書(案)	130
4.	第1回現地公聴会	2001年6月	ドン村/アプヨーク村/モンマイ村	着手報告書	不詳
5.	第2回現地公聴会	2002年3月	ドン村/アプヨーク村/モンマイ村	中間報告書	50, 40, 100
6.	第3回現地公聴会	2002年9月	アプヨーク村	住民移転計画	40

### 6.3 環境影響評価

#### 6.3.1 EIA 調査の概要

環境影響評価のための現地調査は、予期される潜在的インパクトの調査から基本的な情報を確立するため、1998年11月～1999年9月の期間で実施した。1998年10月には初期環境調査報告書(IEE)が、また1999年3月には予備的な影響評価と結論を述べた中間報告書が作成されている。両報告書とも公聴会の場で一般に公開され、また、環境評価委員会や工業・手工芸省(MIH)の水力発電開発室(HPO)との広範な意見交換が行われた。

この環境影響評価(EIA)報告書は、事業団のガイドラインに従うと同時に、ADB や世銀の主たる国際金融機関の勧告にも沿うものとして作成された。本 EIA 報告書には、以下の内容がまとめられている。

- ① ラオス政府における環境管理のための法制度と体制。
- ② 本事業に含まれる施設の概要。
- ③ 調査対象地域の環境および社会の現況に関する基礎情報。
- ④ 環境影響の分析および環境保全対策の提示。
- ⑤ 環境マネジメント/モニタリング計画の概要。
- ⑥ 住民移転計画の概要。
- ⑦ 調査中に実施されたと住民参加の概要。

#### 6.3.2 計画地域の基本情報

##### (1) 気候及び水文

本ダム予定地点は、ナムニアップ川とメコン河の合流点から約 54km 上流に位置する。ダムサイトにおける支配流域面積は 3,700km<sup>2</sup> で、同河川の総流域面積(4,510km<sup>2</sup>)の 82%を占めている。流域の年間平均雨量は約 1,900mm であり、ほぼ周辺地域の雨量と同じで、降雨量の90%以上が雨季の5月～10月に集中している。

本ダム地点の年流出量は 147.2m<sup>3</sup>/s で流出係数は 0.67 である。水力発電計画のため、ダムサイトの流量を 30 年間について求めた。その 30 年間の流域平均雨量、平均流量、平均流出高をそれぞれ下表に示した。

表 6.3.1 ダム計画地点の河川流量 (流出係数 0.67)

項目	単位	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年間
流域平均雨量	mm	8.0	16.8	37.6	104.4	231.2	360.6	402.3	379.7	230.0	85.9	12.9	3.9	1,873.4
平均流量	m <sup>3</sup> /s	76.1	64.8	56.9	65.5	112.3	215.4	272.3	291.6	254.7	157.0	110.0	90.4	147.2
平均流出高	mm	55.1	42.4	41.2	45.9	81.3	150.9	197.1	211.1	178.4	113.6	77.0	65.4	1,259.4

## (2) 河川水質

河川水質は、1999年1月、3月、6月及び8月下旬に、4個所でそれぞれサンプルを採取して調べた。その結果、ナムニアップ川の水質は良質であることが判った。乾季中は自然 pH に近く、窒素含有物や溶存物質も少量もしくは中程度である。雨季中の窒素含有量はやや高いが、それは地表に堆積する塵埃や有機物が流入するためである。しかし、これらの値は低く、従って貯水池内の層状化のリスクを和らげている。村落の集合と河川流速が遅いため人的排出物による若干の汚染が下流で観測される。

## (3) 水生生態系および漁業

ナムニアップ川のダム下流域 7 地点、貯水池下流域 5 地点、貯水池上流域 9 地点の計 21 地点で、魚類の採取・観察・特定を行った。調査は 1999 年 1 月の乾季と 1999 年 7 月の雨季にそれぞれ 2 回実施した。

最初の調査では、115 種を採取し特定した。また第 2 回目の調査では、別種 19 種を採取し調査対象は計 134 種にのぼった。この 134 種は、近隣の流域に生息する魚種で、ナムルック川流域の 122 種、ナムテン/セバンファイ川流域の 156 種と比較した結果、発見されたほとんどの種はこの地域に広く分布しているものと推測される。しかし、ある種は、種(属のみ)のレベルではさらに制限された分布をしている可能性がある。従って、この点については、次調査段階において追加調査を実施することが必要である。

貯水池上部・下部で観測されたいくつかの種は、メコン河流域においても生息が報告されており、回遊魚と考えられるが、魚類の種および回遊に関する情報は極めて限られたものである。

地域社会の経済活動としての自給漁業の現況を把握するため、社会経済調査と共同で、漁業に関するアンケート調査を実施した。

各世帯において、平均一人以上は 31 調査村の全てで漁業活動をしていることが確認された。多くは 2~3 日/週、ナムニアップ川で漁業をしており、漁獲の最も多い時期は 11 月~12 月である。鉤針付の刺網が漁具として最も広く用いられている。

1 回当りの平均漁獲量は、0.7kg/世帯であった。魚の平均消費量は、下流域で 137kg/世帯/年と算定される。上流域では、その算定に必要な一貫したデータが得られなかった。いずれにしても下流域と大差ないものと推定される。ナムルック水力発電計画の 3 年間にわたる漁業モニタリング調査によると、平均 133kg/世帯/年(あるいは 50~60g/人/日)であり、今回の調査結果に近い。

## (4) 植生および野生生物

陸上生態系に関する現地調査は、次の目的において行われた。① 事業対象地域(流域全体を含む)における野生生物と生息地の現況に関する予備情報を得ること、② 計画貯水池内にお



ける植生の生物量および商業ベースの材木量に関する予備情報を得ること。第1回現地調査は、7名のチームで1999年1月22日から2月20日まで行った。引き続いて第2回現地調査を同年4月1日から12日まで実施した。

森林調査を実施した結果、ラオス国における他の森林調査結果(サイナボウリ(SFE6)、ピエンチャン(SFE9)、アタプ(セ・カマン流域)の調査)と比較して、この地域の樹木は多様性が低いことが判明した。この多様性の水準は、ナムルック川流域の退化した樹林と同等である。流域内植生調査中に、40科に属する160種の植物が同定された。将来貯水池となる森林は、ほとんどが退化した二次森林で構成され、部分的に竹の密林に覆われている。

貯水池上部の森林は、既に広範囲にわたって極めて顕著な形で伐採されている。図に示したように流域における開発の可能性は、その土地の植生・地質・土壌・地形を考慮した地系により変わり得るものである。

商業用材木の予備調査結果では、 $30\text{m}^3/\text{ha}$ 程度の伐採が可能と思われるが、貯水池上部の森林は既に広範囲に伐採されているため、開発の可能性は極めて低いものと考えられる。

全体湿潤地表生物量密度は  $278.5\text{t}/\text{ha}$  であったが、これはナムルック水力の生物量調査結果(湿潤地表生物量密度  $289.8$ )と同等の数値である。水質の観点では、新貯水池における初期の酸素需要に影響する、急速に分解される生物量が重要である。

計画貯水地の外側に沿う地域は、種の多様性が豊富で密度も高く、「恵まれた共同体」と表現できる。この種の地域は2箇所発見されており、ソプホウン村の北からナカン村までがその1つである。他の1つは、ソプヨーク村の真南及びナムニアップ川の東である。これらは特に恵まれた地域であり、少なくともそれぞれ12頭及び6頭が確認されているアジア象の群れの存在を証明するものである。

調査期間中、100種の鳥類、48種の哺乳動物、9種の爬虫類の存在が、流域内調査地点で報告されている。そのうち、16種の哺乳動物と3種の爬虫類は、国際的或いは国内の特別保護動物であった。

### 6.3.3 環境インパクトのスクリーニング

予測される環境インパクトは、各開発段階別に可能な被害軽減策と併せて表 6.3.2 に示した。

### 6.3.4 建設期間中の環境インパクト

未だ位置の確定しない原石山や土取場を除き、プロジェクトの主要設備はほぼ全てダム周辺に配置される。工事には  $250\text{ha}\sim 500\text{ha}$  程度の土地を必要とし、それらは耕作地を避けて配置される。建設現場周辺での特に大規模な土地収用は必要ない。

表 6.3.2 (1/2) 計画全域の環境インパクト一覧表 (ダム下流域及び建設現場)

開発段階	影響の分野	影響のタイプ	原因	インパクト	評価基準	可能な被害軽減策	
建設段階	水系	偶発的な化学物質の放出による水質汚濁	建設現場における化学物質の保管と取り扱い (主に油製品)	河川の生態と魚場の一時的被害	汚濁の種類 放出地より離れた様々な地点における汚濁物質の希釈濃度 被害の発生と深刻度 地域に於ける魚の消費	化学物質の適切な保管と取り扱い 金銭補償 金銭補償	
		病原菌の河川への放出による水質汚濁	労働者宿舎での不適切な衛生管理 (特に下水管理)	生活用水に与える危険	病原菌の種類 (生存期間) 流速 危険性に晒される人口 水利用	衛生設備の設計 施工業者の契約義務の明確化 金銭補償	
		河川への不法投棄	土工作業時における不適切な防衛対策	河川の生態と魚場の一時的被害	浮遊物質の体積 期間 (下流での影響の方が大きい) 発生	施工方法の検討 金銭補償	
		化学物質による継続的汚濁	バッチャープラントの汚水を処理せずに河川に流出	河川の生態と魚場に影響	河川水の浮遊物質と pH 流出場所からの距離	沈殿及び緩衝池	
	土地系	施工現場における土地利用による影響	プロジェクト現場における工事の実施: 建設現場、宿舎、採石場、土捨場	自然資源の消失 牧草地の消失 農耕地の消失	必要面積と場所 土地利用	必要最少限とする設計 用地買収と金銭補償	
			アクセス道路と送電線の建設	自然資源の消失 牧草地の消失 農耕地の消失 生態系の乱れ	必要面積と場所 土地利用 野生生物の生活空間	貴重な価値への影響を最少限とするようなルートの調整 用地買収と金銭補償	
	社会面	地域の雇用と収入	未熟練労働者の仕事の機会: 土工作業、用地伐採	地元の人々の収入の改善	季節における地域の労働の可能性 地域住民の優先度 雇用手順	プロジェクトの雇用の優先度を地域住民に与える	
		治安	資機材運搬の交通、トラック交通の激化	騒音 粉塵 道路周辺での事故及び怪我の危険性の増大	危険性を最小とする対策	設計 交通規制と標識 道路の定期散水 夜間交通の削減	
			建設現場への人口の集中	伝染病の危険性 HIV および水関連の病気の流行	予防対策および監視	住民への説明および意識管理	
					宿舎施設の設計と組織化	宿舎の衛生管理の徹底 健康管理、施設、監視	
	貯水池湛水段階	水系	下流河川流量の減少	貯水池の湛水	下流へ放流しないと、100%の確率で水辺生息地および漁場は3-5年の間に壊滅的な被害を受ける 放流すれば、水辺生息地および漁場は一部保護される 下流における水不足	下流への適切な放流 湛水継続期間と周期 予想される漁獲の減少	金銭補償 代替え給水設備、金銭補償
				湛水の悪化	湛水数ヶ月後の水の酸素欠乏	天水田や灌漑地の割合	代替え地補償、金銭補償
水質の変化			貯水池内の植生および土地の水没	湛水数ヶ月後の水の酸素欠乏	湛水の継続期間 貯水池に存在する有機物と腐敗	被害の範囲を部分的にする 貯水池の伐採	
				生活用水として不適當 家畜用水として不適當	被害村落/世帯数	代替え給水設備、金銭補償	
社会面		湛水池内の住民移転	貯水池湛水	土地利用と地域住民に対する被害の可能性		代替え地の特定と用地確保、対象地域と近郊村落の開発計画 その他 RAP で述べるべき軽減策	
		雇用と地域の経済	建設工事終了時	労働人口の急減と地域経済活動への影響	労働者数 地域経済への平均的貢献度	住民に対する説明会	
		河川輸送機能の低下	湛水時における下流への流量減少	たとえ 20m <sup>3</sup> /s 放流しても流量不足で舟運は困難	河川のボート数 地域経済への貢献度	金銭補償	
貯水池運転段階	水系	不規則な日流量変動	中間的ピーク発電 (16 hrs/day)	水辺生息地と漁場の破壊 水路の侵食 人と家畜への危険性	漁場の 100% 損失 河川輸送手段の 100% 損失 事故に対する高リスク	逆調整池の建設および金銭補償 警告システム 逆調整池	
			流量の正常な季節変動	年間の安定した発電	メコン川の乾期流量の改善 乾期における河川輸送機能の改善 雨季乾季を通じた乾期湛水の可能性を向上させる	ナムニアップ流量のメコン流量との比率 河川のボート数 河川の水位上昇量 平均流量 土地の適合性 ポンプ施設の位置	必要なし 必要なし 必要なし
		雨期に於ける流量増加の不足	流出の貯水池への貯蔵	雨季のはじめに遡上する回遊魚の減少 漁獲量の減少	観察される回遊魚の種類と数	河産養殖、金銭補償	
		水中浮遊送流砂量の不足	貯水池内への堆砂	特に乾期に於ける侵食に対する河道の不安定化 河床低下の危険性	メコン川の背水現象の役割 緩やかな流れによる危険性の最小化	必要な場合の河川改修工事	
		酸素欠乏水の短期的流出	水没植生および土壌生物の腐敗	酸素欠乏水の短期的な流出、生活用水および家畜用水として不適當	FSL により予想継続期間は 4 年から 7 年	湛水前の貯水池伐採 貯水池管理	
				溶存酸素レベルの作用による下流の漁場の破壊	河道での空気混入率 ダムから離れた地点における溶存酸素濃度	代替え漁場の開発 金銭補償	
		酸素欠乏水の長期的季節流出	貯水池の層状化 貯水池管理	生活用水および家畜用水として不適切 下流の漁場に影響	被害の期間: おもに 10 月から 1 月の間の貯水池水位が高い時期	多段式取水工設備	
		長期的偶発的および不変的汚濁	貯水池および流域周辺の人口増加と産業の発展	生活用水および家畜用水への汚染	危険性のレベル 汚濁の種類	流域管理対策	
		土地系	河岸の菜園の消失	乾季水位の 1m 上昇による浸食性向の増大	(洪水および浸食による) 河岸低地部の菜園の消失	被害を受けると思われる菜園の初期区域 平均作物生産量	金銭補償

表 6.3.2 (2/2) 計画全域の環境インパクト一覧表 (貯水池及び全流域)

開発段階	影響の分野	影響のタイプ	原因	インパクト	評価基準	可能な被害軽減策		
建設段階	水系	重大な影響は予想されない						
	土地系	土地利用	湛水予定地での採石場、宿舎、土捨て場の設置	自然資源や牧草地の局所的減少	影響範囲の限定；建設に必要な区域	金銭補償と用地買収		
	社会面	地域の雇用と収入	貯水池の伐採 森林生産物の収集	地元住民の収入の改善	季節別地域労働人口 地域住民への優先度 雇用手順			
貯水池湛水段階	水系	恒常的な放流と流速の増加	貯水池の建設	流速による生息地の消失 河川保全形態の破壊	回遊生物の存在	自然保護信託資金への資金協力		
		水質変化	有機物を多く含んだ土地の水没	酸素欠乏水による魚類の減少 上流支流への魚の逃避 稀少魚類の消失の可能性 生活用水として不適当（飲み水/入浴） 家畜用水として不適当	初期河川区域における収容量 稀少魚類の存在 貯水池周辺住民および移住した人口 貯水池周辺の人口と家畜頭数	自然保護信託資金への資金協力 生物学的に同価値な地域の保全 代替水源の確保 必要な場合の代替水源の確保		
		土地系	生物の死滅 植物群ならびに動物群の生息地	貯水池区域の水没	稀少植物の消失	稀少植物のリスト	地域において観察される植物のリスト	代替生息地の保全
					鳥類にとっての豊かな川辺生息地の消失	鳥類にとっての豊かな川辺生息地のリスト	河川洪水の期間 多様な生物の住む地域	代替生息地の保全
	稀少陸上動物の消失				保護が必要な動物のリスト		代替生息地の保全	
	湛水による動物の溺死				危険性に晒される大型哺乳動物の存在 湛水の速度 湛水前の伐採 島の出現	湛水前の計画伐採 湛水時の動物救済対策		
	森林生産物の消失	貯水池区域の湛水	森林木材の消失 森林木材以外の資源の消失	森林の種類と場所 商業価値のある木材の密度 森林の種類と場所 人々の収入における重要度	湛水前の木材回収 事前伐採と木材回収			
	生産システムと居住地の消失	貯水池区域の湛水	個人の社会的資本の消失；家、公共施設、耕作地、牧草地など	(詳細は貯水池運転段階の項参照)	住民移転計画と期限限定財務補償			
	鉱物生産の消失	貯水池区域の湛水	砂や砂利の生産機会の消失； (報告はされていないが)金の可能性も？	影響を受ける人口 関連する土地	代替産物の確保、金銭補償			
	残骸の浮遊	伐採区域の水没； 一部の木材資源のみ完全焼却	取水口や将来の舟運漁業に弊害	幹や枝の体積 ゴミの流れや集積地	処理計画の準備と実施			
	社会面	移転施設完成前の移転住民	湛水前伐採による移転	新たな産業の実施	特別移転計画	財政補助および一時金補償		
	貯水池運転段階	水系	恒常的な河川の洪水	貯水池の建設	河川生産物の消失	水没河川系の面積	必要なし	
			湛水後の水質悪化 (短期的)	水生資源と土壌生物の腐敗	4年 (FSL 320) - 7年 (FSL 360) で予想される問題 水質が改善するまで貯水池における魚場は不可能	水生生物資源の評価 湛水前の伐採計画 問題の期間 魚場が安定した状態に貯水池が落ち着くまでの時間	事前伐採による問題継続期間の短期 失われたタンパク源の代替的な補償	
			季節的長期的水質低下	層状化した貯水池の水の入れ替わり	漁網方式による養殖業の強化促進に与える弊害	貯水池形状による季節的入れ替わりの危険性	貯水池層の入れ替わりにあわせて産卵期の調査	
			水生資源の増加	貯水池の建設； 表水層の品質の向上	漁場の生産と活動を向上	貯水池が安定した後の可能収量	貯水池産物産業の開発	
水中堆砂の増加			流域内での無制限な開発による浸食の増加	養殖業の強化促進による収益 貯水池湛水能力の低下とプロジェクトライフの短縮 貯水池上流端の堆砂量の増加による背水の上げで水没被害が上流へ拡大する	魚種の管理と生産の増強 貯水池死水域 浸食率 per km <sup>2</sup> 河川水位の水理 移転規模	貯水池産物強化計画の実施 流域管理対策 FSLの低下または移転規模の増加		
長い水路の出現			貯水池建設	物資と人の水面輸送を可能とする	湖岸人口	検討されていない		
季節的な 30m の水位低下による貯水池へのアクセスの制限			発電による貯水池の管理	一年のある期間に於ける湖面輸送による収入の損失(乾期)	雨期と乾期の湖岸からの距離	水位低下に追従できる停泊施設の建設		
一時的に水位が低下する区域の出現			発電による貯水池の管理	風景を悪化させる、水に関連する病気が発生する可能性	水位低下の影響を受ける面積： 54 km <sup>2</sup> (FSL 360)、44 km <sup>2</sup> (FSL 320)	水位低下領域における管理計画		
貯水池の安全性の低下			公共輸送手段と湖岸の安全	人が溺れる危険性	湖面輸送の重要性	安全標識の設置 公共舟運設備の安全管理		
新たな水郷の形成			発電による貯水池の管理	水生資源増加の可能性と水生生物多様性の向上	可能水郷地の場所 水位低下範囲と地形	重要地点における湿地生産保全状況の管理		
新たな産卵場所の形成			発電による貯水池の管理	魚の生産と生物多様性の向上	可能区域の位置	重要地点における保全管理		
土地系			将来収穫できる資源の消失による経済的損失	貯水池の建設	可能材木資源の消失	湛水区域、森林の種類 年間平均生産量	必要なし	
		材木以外の可能資源の消失			湛水区域、森林の種類 年間平均価値	必要なし		
		可能竹製品の消失			湛水区域 竹の生息密度	必要なし		
		可能天水田の消失			湛水区域 平均生産量	必要なし		
		乾期灌漑による生産機会の消失			湛水区域 平均生産量	必要なし		
		川岸の可能菜園の消失			影響を受ける世帯 年間平均生産量	必要なし		
		可能牧草地の消失			影響を受ける牛その他家畜の数と牧草地面積	必要なし		
		移転住民が継続できた土地開発の財政的損失			貯水池の建設	天水田の消失 灌漑地の消失 菜園の損失(フルーツと野菜の菜園)	区域 区域 区域もしくは単位あたり	3年分の生産と移動できない財産に対する金銭補償 3年分の生産と移動できない財産に対する金銭補償 移動できない財産に対する補償プラスα

両開発規模とも 10km の新設道路の建設が必要で、そのための土取場や土捨場用地として 20ha 程度の土地収用が必要となる。また両開発規模とも 110km の送電線工事を伴い、鉄塔の用地買収とルート沿いの土地補償として約 11 万ドルが必要となる。

建設現場での化学物質や石油化合物の貯蔵・取扱いが不適切であれば、この物質が川に流込み、下流で飲料水や生活用水を利用する約 5,000 人の住民に悪影響を与える。同様のことは工事現場でのトイレやその他の汚水排水からも引き起こされる。

工事中的下流の汚染に対しては、建設業者に万全の対策を講じさせると共に、代替生活用水源を確保する。20 世帯に対し、100 台の揚水ポンプを設置する費用として約 25 万ドルを見込む。また、魚や漁業に与えるインパクトに対しては、建設業者に責任を持たせ、下流を汚染した場合にはそれに対する課徴金を徴収するシステムを導入するのも一考である。

建設機材の運搬は、交通量を高めて路上の事故を増加させるため、施工業者には交通標識や、速度制限、建機の修理、道路の補修などの励行を義務づける。塵埃の拡散に対しては、工事現場や周辺道路の定期的な散水で抑制する。土捨場の法面に対する植生も、風による粉塵の飛散を抑える効果がある。

### 6.3.5 湛水時のインパクト

水力発電プロジェクトにおいて湛水開始は最も重要な工程である。またそれは極く短期間に、① 下流の河川流況を突発的に変える、② 河川水の水質を極端に改変する、③ 水地域内住民の大規模な移転を強いる、など極端な現象をもたらす。

ダムが建設されると、直ちに下流域では激的な変化が起こる。湛水時、20m<sup>3</sup>/s を強制放流した場合の下流の流況変化は、下表に示す通りである。

表 6.3.3 湛水時 20m<sup>3</sup>/s 放流による下流の流況変化(平年次)

平均年の状況		1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
ムアンマイ	前	69	58	50	46	80	217	276	680	419	196	124	76
	後	30	28	27	27	32	52	60	119	81	48	38	31
メコン合流点	前	72	61	53	49	84	228	290	714	440	206	130	80
	後	33	31	30	29	36	63	74	154	102	59	44	35

上流域からの流入量と下流域への種々の放流量を考慮して行った貯水池運用シミュレーションによると、下流に 20m<sup>3</sup>/s を放流しながら FSL.360m まで湛水するには、雨期・乾期により 13~25 ヶ月必要で、平均年では 16 ヶ月を要する。一方 FSL.320m では、それぞれ 3~15 ヶ月、平均年で 3 ヶ月要することが判った。また、放流量を 50m<sup>3</sup>/s に増加しても、FSL.360m の場合で平均年に 20m<sup>3</sup>/s の時より 2 ヶ月だけ多い 18 ヶ月で満水できることも判明した。このことから、湛水時の放流は下流住民・プロジェクト双方の便益を加味して、できるだけ多い流量を流すべきであろう。次の詳細調査段階では、養殖業や地域住民の河川利用(主に舟運や灌漑)を考慮した湛水中の最適下流放流量の検討をすべきである。

(1) 土地利用へのインパクト

下表に示す通り、湛水は貯水池内の土地利用にも影響を与える。

表 6.3.4 湛水地域内の土地利用現況

利用区分	面積 (ha)	
	FSL.360m	FSL.320m
常緑樹林	830	450
落葉樹林	8,950	4,480
再生林	1,200	380
灌木林	2,890	1,770
耕作地	950	310
総面積	14,820	7,390

満水位 320m に比べて満水位 360m では、ほぼ 2 倍の貯水池面積と 3 倍以上の耕作地が影響を受ける。これらの地域に関する全ての補償費は予備移転計画の中で詳細を明らかにする。

森林の水没は動植物の生態系に多大な影響を与えるだけでなく、森林から得られる全ての生産物の経済的なロス、例えば材木や、葉草、果実、木製材料としての植物、また動物や自然保護にとっての価値のロスなどで、更に広義には炭素固定としての森林の喪失にも繋がる。FSL.360m 案で水没する 9,780ha の森林は木材量にして 290,000m<sup>3</sup> の消滅に相当する。また、FSL.320m 案では水没面積は 4,930ha となり、木材量 148,000m<sup>3</sup> に相当する。

湛水は、最初の数ヶ月の水位上昇が速いため(2.3m/日で湛水すると最初の月に水位は EL.130m 迄上昇する)、域内の動物達は周囲を水に閉ざされて小島に取り残されてしまう。このため湛水に際しては何らかの救済措置を講じる必要がある。

(2) 水質へのインパクト

河川水質変化は湛水時の大きな問題だが、残念ながら強い影響は湛水期間中だけに留まらず、通常運開後数年間は続く。

水質変化の主原因は、水没した植生や表土の有機物の腐敗である。地面上の植生と表土 5cm は分解可能であるとされる炭素容量は、FSL.360m 案で 2,400,000 トンであり、FSL.320m 案で 1,200,000 トンであるとそれぞれ推定される。

約 21%のバイオマスは軟バイオマスであり 2~3 年で急速に分解される。残りのバイオマスは樹木、太い幹や根といった木々の部分から成り、15~20 年以上かけてゆっくりと分解される。

最も決定的な段階は軟バイオマスの腐敗時である。それは、嫌氣的分解による大量のメタンガスの放出により水中の溶存酸素が消費され、水中環境に影響を与えるからである。現在、一時的な水質の変化を抑える良策は無く、水質変化の程度を減じたり影響期間を縮めることが唯一の対策方法である。それは営利を目的とした森林の湛水前伐採である。ナムルック貯水池に対して実施した湛水前伐採とその焼却の実績により、地面より上の軟バイオマスの

70%～80%を減らすことが可能であると判っている。

この事前伐採により、硬バイオマスを 50%以上減らすのは困難である。また、土中のバイオマスを減らす手段は無い。促進を防ぐ一つの方法として、発電所放水庭で空気混入を行うことが考えられるので、次段階調査では、こうしたこともオプションとして調査する必要がある。

ナムルック貯水池では地域住民 400 人が 5 ヶ月間で、その全域 1,300ha を伐採したが、その単価は 420\$/ha であった。このデータに基づけば本プロジェクトの伐採費用は、FSL.360m 案で 5-6 百万ドル、FSL.320m 案で 3 百万ドルと推定される。このコストは排気ガスによる地球温暖化の減少効果に見合うものであり、貯水池の将来の利用価値(漁業、観光等)としての便益に振り替えられるものである。

酸素欠乏水の下流への放水は漁業に影響するので、河川に頼らない独自の養魚方法を広めるための養殖業促進計画立案を推奨する。

短期的な水質変化がそれほど極端でない場合は、過去の解析事例から、河川水質は早期に改善され、貯水池内の水質も長期的に安定することが判っており、少なくとも利用水深内の水質にはこの判断が下せる。

### 6.3.6 貯水池運用時のインパクト

#### (1) 利用水深範囲

貯水池は流域からの流入形態や季節的な要因などによる水位の恒常的な変動を受け、ダイナミックな動きをする。

貯水池の利用水深内の土地は、季節的に大気に露出される。このことは灌漑や牧場、湿原などへの土地開発にとって好ましい。両開発規模とも、最大利用水域の面積はほぼ 4,000ha と同じである。しかし、水田耕作にとって最低限必要な 5 ヶ月間の露出がある土地は僅かであり、FSL.360m 案の場合、約 1,000ha、FSL.320m 案の場合で 1,500-1,800ha である。この視点からは満水位の低い開発が望ましい。

#### (2) 貯水池

ナムニアップ貯水池は水深が深いため、層状化するものと考えられる。極く表面の 15-20m 層では、水中の容存酸素が良く循環し、プランクトンや魚の繁殖が円滑に行われる。その下の層では、酸素の供給が得られず、硫化水素やメタンガスを放出する細菌を除き、魚類や他の水生動植物の繁殖が起こらない。この水域は水温が低く pH も低いいため金属類の腐敗を促進する。

ナムグム貯水池で観測されたように、冷却水と大気温が水面で作用し、この層が年に 1 回入替る。この入替りによって下層の有害な水が浮上し、しばしば甚大な被害を及ぼすが、逆に

下層では、酸素の還流が起こり、水の腐敗を軽減する効果が期待できる。このような現象についても今後のステップで更に調査を進める必要がある。

貯水池水の滞留期間が、FSL.360m案で13.2ヶ月、FSL.320m案で3.6ヶ月と極めて短いため、長期的に見た表層水の富栄養化の可能性は低いと思われる。また、天然リンの負荷率は低い(FSL.360m案で0.45gP/m<sup>2</sup>/yr、FSL.320m案で0.90gP/m<sup>2</sup>/yr)。

発電用取水口は1年のうち、大半は水面下15-20mに水没しているため、下流へは無酸素水を放出することになる。もし建設費用が嵩む理由から選択取水設備を設けられないのであれば、下流での空気混入システムの導入や養殖産業の育成促進が重要課題となる。

アジア地域での経験的な観測結果に基づいて算出した湖面養殖での漁獲高の期待値は、FSL.360m案の場合11kg/ha/year(160t/year)で、FSL.320m案では13kg/ha/year(96t/year)である。もし浮遊ネット方式を用いた集約的漁業を導入すれば、更に高い漁獲量が期待できる。

### (3) ダム下流域

下流河川の流況変化は、主要な環境インパクトの一つである。水車は1日16時間運転する計画なので、下流への放流量を24時間制御する逆調整設備が設けられる。それでも完成後の流況はFSL.360m案の場合、雨季初期の流量は半分にまた、乾季には約3倍多く流れることになる。この変化は、灌漑ポンプ設備や舟運の発展に寄与する反面、水位上昇による河岸に拓ける菜園可能面積を減少させるため、このロスや補償に係わる評価も今後の調査課題である。

既に述べたように、下流の水質変化は、貯水池内水質変化の影響を受ける。漁業にもまた恐らく影響する。

### (4) 両開発規模の環境影響比較

表6.3.5は環境の量的な指標を開発規模別に判りやすく整理したものである。また、水力発電計画での環境に与える影響の指標として、単位発電容量当りの水没面積と住民移転人口の割合が用いられる。両代替案を、世界各地のダム事例と比較して示すと図6.3.1に示す通りである。

## 6.3.7 環境管理計画

環境マネジメント・モニタリング計画(EMP)には二つの目的がある。一つは全ての環境保護対策(EPMs)を実施するにあつたてのフレーム・ワークの設定であり、もう一つはプロジェクト・ライフの全期間を通して実施される全てのモニタリング(建設中と湛水時に特に焦点を当てた作業)の徹底である。EMPはまたEPMsを実施するに当たってプロジェクトの過程を評価するための判断材料を提供してくれる。

環境影響評価報告書で提案している環境対策費用は、表6.3.6に示す通りである。

表 6.3.5 代替案別環境影響比較

No.	Components & Indicators	Unit	Alternative	
			FSL,EL.360m	FSL,EL.320m
<b>I. RESERVOIR</b>				
1.	FSL Area	km <sup>2</sup>	148.2	73.8
2.	FSL Volume	Mill.m <sup>3</sup>	6,780	2,280
3.	MOL Level	m	335	284
4.	MOL Area	km <sup>2</sup>	104	32.7
5.	MOL Volume (Dead storage)	Mill.m <sup>3</sup>	3,689	627
6.	Mean Level	m	342	306
7.	Mean Area	km <sup>2</sup>	133	54
8.	Mean Volume	Mill.m <sup>3</sup>	5471	1548
9.	Mean Depth	m	41.4	28.7
10.	Reservoir shoreline at FSL	km	565	350
11.	Draw down (DD) magnitude	m	25	36
12.	DD area (maximum)	ha	4,420	4,110
13.	DD area exposed >120 days	ha	1,200	2,300
14.	Length of river flooded	km	90	70
15.	Average river width in reservoir area	m	80	80
16.	River area flooded	ha	720	560
17.	River area above reservoir	ha	228	388
18.	Length of tributary system dammed	km	372	372
19.	Area of tributary system dammed	ha	2,100	2,100
20.	Average river bank width in reservoir	m	50	50
21.	Area of river bank flooded	ha	450	350
22.	Controlled catchment area	km <sup>2</sup>	3,700	3,700
<b>II. RESERVOIR FORECASTS</b>				
1.	Hydraulic Residence Time (months)	month	13.2	3.6
2.	Areal Hydraulic Loading (m/year)	m/yr	34.5	68.1
3.	Catchment to Reservoir area ratio	-	25.0	49.3
4.	Duration of water quality problems	year	6	2
5.	Filling Period (no riparian release)	month	15	3
6.	Filling Period with RR of 20 m <sup>3</sup> /s	month	16	3
7.	Filling Period with RR of 50 m <sup>3</sup> /s	month	18	4
8.	Mean annual evaporation	Mill.m <sup>3</sup>	204	83
9.	Reservoir shoreline development	-	13.1	11.4
10.	Maximum temperature	°c	29	29.7
11.	Minimum temperature	°c	21	21.4
12.	Phosphorus loading rate (gP/m <sup>2</sup> /y)	-	0.449	0.902
13.	Electrical conductivity in future lake	μS/cm	46	62
14.	Morpho-edaphic index (MEI)	-	0.65	0.93
15.	Reservoir potential fish catch	tons/y	160	96
16.	Reservoir potential fish yields	kg/ha/y	11.3	13.6
<b>III. TERRESTRIAL RESOURCES</b>				
1.	Forest area flooded	ha	9,780	4,930
2.	Timber standing volume (30 m <sup>3</sup> /ha)	m <sup>3</sup>	293,000	148,000
3.	Timber annual production (1.5 m <sup>3</sup> /ha/y)	m <sup>3</sup> /y	16,500	8,000
4.	Open woodland	ha	2,890	1,770
5.	Distance to nearest (NBCA)	km	14	14
6.	Area with important wildlife species	ha	100	100
7.	Flooded biomass rapid decay	'000 t	568	284
8.	Flooded biomass slow decay	tons	2,140	1,071



表 6.3.5 代替案別環境影響比較

No.	Components & Indicators	Unit	Alternative	
			FSL.BL.360m	FSL.EL.320m
<b>IV.</b>	<b>DOWNSTREAM AREA AND CONSTRUCTION SITES</b>			
1.	Length of river downstream	km	54	54
2.	Area of river downstream	ha	880	880
3.	Area of river banks	ha	400	400
4.	flow change driest month (dam)	initial	355%	333%
5.	flow change wettest month (dam)	initial	34%	49%
6.	Villages along river	nos.	14	14
7.	Households	nos.	1,132	1,132
8.	Population	nos.	6,473	6,473
9.	Grazing land	ha	19,716	19,716
10.	Buffalo	nos.	864	864
11.	Cattle	nos.	986	986
12.	Average flow velocity	m/s	0.2	0.2
13.	Population km 0-10 (from dam site)	nos.	785	785
14.	Population km 10-20 & 20-30	nos.	0	0
15.	Population km 30-40	nos.	3,307	3,307
16.	Population km 40-54	nos.	3,166	3,166
17.	Area for re-regulation pond	ha	240	240
18.	Area for dam construction site & camps	ha	150	150
19.	Area for quarries and borrow areas	ha	150	100?
20.	Length of new access road	km	10	10
21.	Area for new access road	ha	20	20
22.	Length of transmission line	km	110	110
23.	Area for transmission line (ROW)	ha	550	550
24.	Area for TL (land acquisition)	ha	2.0	2.0

表 6.3.6 環境保全対策費の検討 (Unit : US\$)

No	Environmental Measures	Responsible Organism	Executing Organism	Duration (years)	Total Cost
<b>A Completion of EIA Study to International Standards</b>					
A1	Monitoring of Fisheries	SPC/DOE	Dept. Fishery	2	30,000
A2	Aquatic Ecology Surveys	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
A3	Water Quality Monitoring	SPC/DOE	Consultant	2	50,000
A4	Water Quality Forecast Study (Reservoir Modeling)	SPC/DOE	Consultant	1	60,000
A5	Study and Design of Water Re-Aeration Structures	SPC/DOE	Consultant	1	50,000
A6	Study for Optimization of Riparian Release	SPC/DOE	Consultant	1	20,000
A7	Study for D/S Villages Water Supply	SPC/DOE	Consultant	1	50,000
A8	Land Use Study of Village Gardens along River Banks in D/S Area	SPC/DOE	Consultant	1	20,000
A9	Study on Wildlife and Biodiversity with Preparation of Rescue Plan	SPC/DOE	Consultant	1	80,000
A10	Survey of Reservoir Timber and Vegetation Biomass	SPC/DOE	NOFIP, Consultant	2	110,000
A11	Preparation of Logging and Clearing Plan	SPC/DOE	Consultant	1	46,000
A12	Strategic Study for Biodiversity Compensation and Support (possible participation to trust fund)	SPC/DOE	CPAWM, Consultant	1	20,000
A13	Preliminary Watershed Management Plan	SPC/DOE	Consultant	1	10,000
A14	Preparation of Detailed Environmental Management and Monitoring Plan	SPC/DOE	Consultant	-	60,000
A15	Coordination, Reporting, Presentation	SPC/DOE	Consultant	-	60,000
<b>SUB TOTAL A</b>					<b>726,000</b>
<b>B Completion of Resettlement Action Plan(RAP) &amp; Social Action Plan(SAP)</b>					
B1	Preparation of Draft RAP	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B2	Study on Floating Net Aquaculture/Fisheries Intensification	SPC/DOE	Consultant	1	60,000
B3	EIA for Resettlement Sites	SPC/DOE	Consultant	1	70,000
B4	Archeological Review & Field Survey	SPC/DOE	Archeological Department	1/4th	5,000
B5	Detailed (Participatory) Design of Floating Net Aquaculture Livelihood Program	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B6	Agricultural Development Program (design phase)	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B7	Forest Management Program (design phase)	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B8	Livestock Improvement Program (design phase)	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B9	Dairy Development Program (design phase)	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B10	Horticulture Development Program (design phase)	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B11	Technical Training Program (design phase)	SPC/DOE	Consultant	2	60,000
B12	Detailed Census of Inundation Losses	SPC/DOE	Consultant	1	30,000
B13	Preparation of Public Consultation Program	SPC/DOE	Consultant	1	30,000
B14	Capacity Assessment Resettlement Sites	SPC/DOE	Consultant	1	50,000
B15	Backwater & Sedimentation Modeling	SPC/DOE	Consultant	1	100,000
<b>SUB TOTAL B</b>					<b>825,000</b>

表 6.3.6 環境保全対策費の検討 (Unit: US\$)

No	Environmental Measures	Responsible Organism	Executing Organism	Duration (years)	Total Cost
<b>C Organization of Environmental Management Unit (EMU) and Committee</b>					
C1	Constitution of EMU	GOL/SPC	STEA/DOE/EDL	0.5	80,000
C2	Capacity building of EMU and Creation of Committee (1 year Technical Assistance)	STEA/SPC	EMU/Consultant	1	300,000
C3	Preparation of Detailed Working Program for EMU	GOL/SPC	STEA/Consultant	0.5	300,000
C4	Appointment of Independent Panel of Experts	GOL/SPC	STEA	-	600,000
C5	Preparation of Detailed Environmental Specification for Contractors	SPC/DOE	Consultant	-	30,000
<b>SUB TOTAL C</b>					<b>500,000</b>
<b>D Measures during Construction Phase (5 years)</b>					
D1	Provide Operating Budget for EMU	GOL/SPC	STEA	5	900,000
D2	Appointment of Independent Panel of Experts	GOL/SPC	EMU	-	300,000
D3	Monitoring of Contractor's Construction Sites and Camps	GOL/SPC	EMU	5	-
D4	Provision for Compensation for Accidental Spill or D/S Pollution	STEA	EMU	When justified	100,000
D5	Provision for Independent Investigation Audit and Arbitration of Impact Event, if required	EMU	Consultant	When justified	20,000
D6	Monitoring of Fisheries in Reservoir & D/S villages	EMU	Fishery Dept.	5	75,000
D7	Construction of Water Supply Facilities for D/S Villages last 1-2 years of Construction	EMU	SPC	1-2	250,000
D8	Water Quality Monitoring (incl. technical assistance)	EMU	Vientiane Laboratory	5	125,000
D9	Study for Detailed Rehabilitation of Quarries, Borrow and Spoil Banks	EMU	Consultant	1	30,000
D10	Preparation of Specifications for Logging and Clearing Tender Documents, Evaluation of Tenders	STEA Forest Dept.	EMU Consultant	0.5	20,000
D11	Technical Assistance to EMU for Supervision and Monitoring of Logging and Clearing	EMU	Consultant D. Forestry	2	150,000
D12	Clearing of Reservoir	EMU	SPC	2	3,000,000
D13	Preparation of Detailed Watershed Development and Management Plan	STEA CPAWM	Consultant	1	100,000
D14	Study for Creation of Wildlife Reserve	STEA	EMU, Consultant	1	50,000
D15	Budget for Land Acquisition and Compensation along Access Road & Transmission Line	STEA/SPC	EMU	1	110,000
<b>SUB TOTAL D</b>					<b>5,230,000</b>
<b>E Measures during Reservoir Filling Phase</b>					
E1	Provide Operation Budget for EMU	SPC	EMU	1	180,000
E2	Water Quality Monitoring	EMU	Vientiane Laboratory	1	12,000
E3	Specific Monitoring of Released Water Quality	STEA	EMU, Consultant	1	12,000
E4	Monitoring of D/S Fisheries	EMU	Fishery Dept.	1	15,000
E5	Implementation of Animal Rescue Plan and Management of Filling Event (2 years)	EMU	SPC	1st year	130,000
E6	Removal of Floating Trunks and Branches and Release on Ground Landings	EMU	SPC	1	150,000
E7	Implementation of Fisheries Intensification Program in D/S Villages	MOAF	Fish Dept. SPC	-	11,000
<b>SUB TOTAL E</b>					<b>510,000</b>

表 6.3.6 環境保全対策費の検討 (Unit : US\$)

No	Environmental Measures	Responsible Organism	Executing Organism	Duration (years)	Total Cost
<b>F Measures during Initial Operation Phase (year 1-5)</b>					
F1	Provide Operation Budget for EMU	GOL/SPC	-	1	180,000
F2	Water Quality Monitoring	EMU	Vientiane Laboratory	5	90,000
F3	Specific Monitoring of Released Water Quality	STEA	EMU Consultant	2	24,000
F4	Management of Filling Event (2 years)	EMU	Consultant SPC	2nd year	40,000
F5	Evaluation/Provision of Compensation for Loss of River Bank Gardens and Existing Irrigation Facilities	STEA	EMU	1	50,000
F6	Monitoring of D/S Fisheries	EMU	Fish. Dept.	5	75,000
F7	Development of Irrigation in D/S Area	MOAF	Irrig. Dept. SPC	-	20,000
F8	Compensate for Lost Biodiversity by Annual Contribution to Environmental Trust Fund	GOL	EDL or SPC	5	50,000
F9	Implementation of Watershed Management Plan (for aspects related to Project)	GOL	EDL or SPC	5	50,000
<b>SUB TOTAL F</b>					<b>579,000</b>
<b>G Measures during Concession Period (year 6-25)</b>					
G1	Water Quality Monitoring	EMU	Vientiane Laboratory	5	60,000
G2	Compensate for Lost Biodiversity by Annual Contribution to possible Environmental Trust Fund	GOL	EDL or SPC	20	120,000
G3	Implementation of Watershed Management Plan	GOL	MOAF	20	120,000
G4	Implementation of Commercial Fisheries Program in Reservoir	GOL/SPC	MOAF	5	60,000
G5	Implementation of Fish Culture in Reservoir	GOL/SPC	MOAF, Private Sect.	5	60,000
<b>SUB TOTAL G</b>					<b>420,000</b>
<b>GRAND TOTAL (A to G)</b>					<b>8,790,000</b>

Note: SPC = Special purpose company,  
 DOE = Department of electricity (MIH),  
 EMU = Environmental Management Unit,  
 GOL = Government of Laos  
 EDL = Electricite du Laos

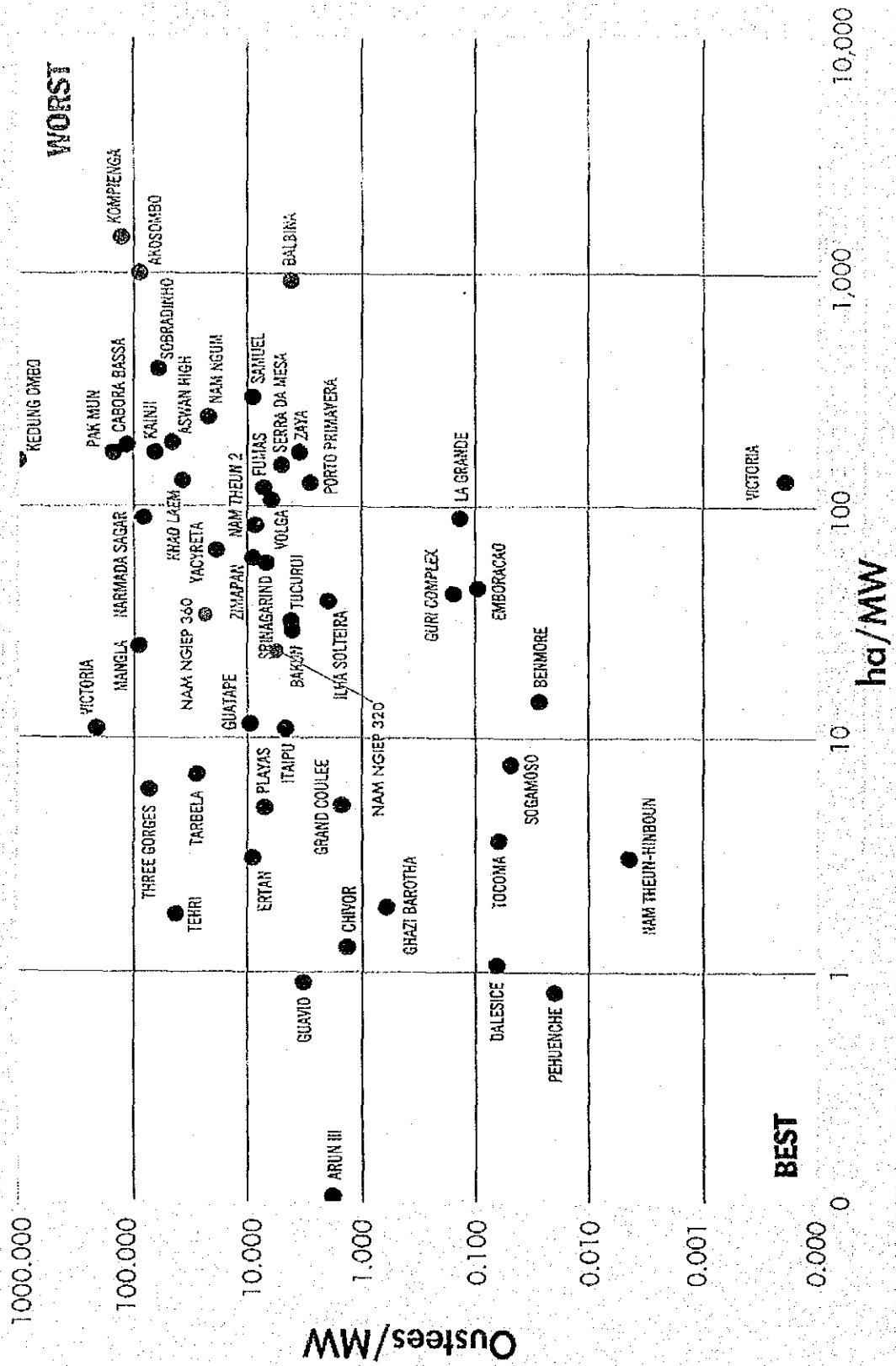


図 6.3.1 単位発電量に対する水没面積と移転住民数との相関図