第３章　ブータン国の概要

第３章　ブータン国の概要

１．ブータン国の概要

以下、日本国通商産業省海外電力調査会資料に基く。

国土の概要	
首　都	ティンプー
面　積	4万6,500Km²
人　口	65万人（1993年年央現在）
人　種	ブータン人（チベット系）60%、ネパール人25%
言　語	公用語ゾンカ語（Dzhongka:チベッ系） 他にネパール語、英語
宗　教	ラマ教75%、ヒンディー教25%
政　体	君主制
通　貨	ニュルタム（Ngultrum:Nu）でインドルピーと等価交換制。 1USドル＝31.39Nu（93年12月） 補助通貨Chetrum＝1/100Nu。
ＧＤＰ	1992年推定3.2億米ドル

1949年にインドとの間で、友好条約が締結された。外交問題については、インド政府の助言を求めることに合意する代わりに、インドは領土の一部をブータンに委譲し、ブータンの内政干渉を行わないこと、さらに多額の開発援助を行うことを約束した。

ブータンはインド一辺倒の外交を徐々に変えつつある。1971年に国連加盟を果たし、日本とは1986年に外交関係を樹立した。インドに全面的に依存していた開発援助もOECD･DACなどの国際機関や日本などに広げてきた。日本は、200kWクラスのミニ水力発電所やセメント工場の建設、農業の機械化などで協力している。

1989年に発表された伝統文化復興政策（driglamnamza）は、南部を中心に住むネパール系住民を刺激し、1990年後半以降、テロを含む反政府運動が起きている。ワンチュク国王は「民族対立の危機が克服できなければ退位の用意がある」と声明。1991年後半から事態は一応沈静化に向かっている。

中国との国境確定をめぐって、1984年から息の長い友好的な交渉が続けられており、毎年、政府首脳が相互訪問している。

就労人口の90%以上が農林業に従事し、GDPに占める農林業の比率は40%を上回る。水力発電

や豊富な高品位石灰石を利用したセメント、炭酸カルシウムなど鉱工業が近年拡大を続け、GDPの40%弱を占めるに至っている。1987年に部分運開したチュカ（Chukha）水力発電所の低廉な電力を使った同国初めての化学企業であるブータン・カーバイド化学会社（BCCL）が、ノルウェー、クウェート、世銀の資金助成を得て、1988年に操業を開始したことが特筆される。後述するように、チュカ水力発電所の運転開始は様々な面で大きな恩恵をブータンにもたらしている。

輸出入の80%余りはインドを相手とするものである。主たる輸出品目は電力、炭酸カルシウム、セメント、木材、木工製品、鉄合金など、また輸入品目は米、石油製品、自動車などである。鉄合金などは日本にも輸出されている。今後は、インド向けの水力発電とともに、観光収入に期待している。

2．ブータン国のエネルギー・電力事情

（1）エネルギー

1）エネルギー需給

A）水力

理論的包蔵水力は20,000MW、また開発可能包蔵水力は6,000MWと推定されている。開発済水力は合計341MW、全てが流れ込み式である。最大の発電所はチュカで出力は336MW、このほか、200kW－1,500kWクラスの小規模水力が7か所、10kW～80kWクラスのミニ水力が12か所ある。日本の援助で建設された200kWクラスの小規模水力発電所にダガ県のDarachuとDamphuがある。

チューカの発生電力は大半がインドに輸出されており、貴重な外貨獲得源となっている。

B）石油製品

総エネルギー消費量の約8%を占めるに過ぎない。近年、自動車の普及に伴いガソリンとディーゼル油の消費が増えている。また、住宅電化が進んでいないことから、照明用を中心に灯油が使われている。石油製品の輸入と販売は民間の会社によっている。

2）エネルギー政策

ブータンの国民一人当たりGNPは1992年現在で190USドル程度と世界で最も貧しい国の一つであり、国造りには外国の支援が欠かせない。

1992年から1997年を計画期間とする第7次5か年計画（歳出総額152.4億 Nu＝6億USドル）が、1992年10月、国民議会において承認された。同計画には、インド政府が1993年1月に約2.3億ドルを援助することを約束した。また、1993年3月にジュネーブで開催されたOECD開発援助委員会（DAC）も、「ブータン政府の効果的な資金利用と持続可能な開発政府」を評価し、約5,700万USドルを援助することを約束した。

第7次5か年計画では、以下の電力関連計画を掲げている。

①インド向け電力輸出および地元産業向けの販売電力量を拡大し、国庫歳入の拡大を図る。

②地域的にバランスのとれた経済成長ならびに、地域的に公平な電力供給を達成するために、定廉な電力を需要家に供給する。

③環境に配慮した持続可能な水力資源の利用を図る。

④急速な森林破壊を緩和するために、木材利用を電力に置き換える。

（2）電気事業者と発電設備

貿易産業省（MTI）の電力局（DOP）が発送配電を担当している。DOPの他、インドとの合弁によるチュカ発電公社（CPA）、ペンデン・セメント公社（南西部インド国境付近で1988年操業開始）、ゲドまき木材製造公社および自家用の発電所がある。DOP以外による、これら発電所の多くは、単独系統の周辺需要家にも電力を供給している。

政府の民営化政策に従って、1988年にはセメント公社とまき木材製造公社の株式が、それぞれ50%、60%が民間に放出された。さらに、1991年6月、チュカ水力発電公社がMTIに移管された。従って、現在、発送配電事業は一部を除いて、MTIの電力局が担当しているが、以下では、旧体制当時の統計に従って書き進める。

ブータンの総発電設備は1992年末現在、361MWであり、チュカ発電公社（CPA）の水力が336MWと大半を占めている。その他、DOP設備は18MW、自家発設備は6MW程度である。DOPの発電設備は、その多くが単独系統の市町村を供給先とする小規模なディーゼル発電機と水力である。

ブータン最大の発電所チュカ水力（84MW×4）は、インド政府の資金援助と技術援助を得て、ブータン政府がワンチュウ川に開発したものである。両国政府の間で締結された協定に基づき、ブータンの電力系統を整備するとともに、余剰電力をインド（アッサム州とウエストベンガル州）に輸出している。最初の2機が1988年に営業運転を開始した結果、総発電電力量は1987年の3億4,600万kWhから1990年には一挙に15億5,700万kWhに急増した。

表－1

（単位：MW）

年	事業者	自家発	合計
1982	8	9	18
1983	10	9	19
1984	12	10	22
1985	12	4	17
1986	14	4	19
1987	182	7	189
1988	268	7	274
1989	345	6	353
1990	347	6	353
1991	354	6	360
1992	355	6	361

［出所］UN ESCAP,UN World Energy Statistics,
アジア開銀：Electric Data Book for the
Asian and Pacific Region,1993より作成.

（3）電力需給

DOPの販売電力量は1983年の940万kWhから1987年には1,720万kWhさらに、1988年には産業用需要の伸びが顕著であり6,090万kWhとなった。また1989年には1億2,330万kWhに倍加した。需要家軒数は1.5万軒程度である。最大電力も販売電力量とほぼ同じパターンを辿っており、1983年の4.5MWから1989年には24MWに伸びた。

系統ロス率は、1983年の33%から86年には約22%に、さらに、1991年に12.0%に改善された。これは、盗電の顕著な減少によるところが大きい。

販売電力量の約90%程度が、南部の平地に立地するセメント工場などの産業用で占められている。国土の大半がヒマラヤの山岳地帯に位置すること、小集落が多いこと、さらには、資金不足もあって、町村の電化は足踏み状態が続いており、電力が使えるのは総人口の約10%に過ぎない。

（4）送配電設備

国内の高圧送電電圧は220kVと66kV、低圧送電電圧は33kVと11kVである。また、高圧配電電圧は415V、低圧配電電圧は240Vである。なお周波数は50Hzである。

第6次5か年計画（1987-92年）では、320kmの高圧送電線を建設する計画であった。しかし、送電線の大半はKurichu発電所などと一体で建設されるものであり、発電所建設が遅れていることから、送電線の建設もさほど進んでいない。

ThimpuとParaにおける変電所と配電網の建設が進んだ。Thimpuでは、大半の建設設備は地中化によるものである。

表－2　電力需給～1989年～

（単位：万kWh）

電力省（COP）		チュカ発電公社（CPA）	
発電電力量		発電電力量	
水力	271	水力	154,106
ディーゼル	24		
CPAより受電	13,651		
インドより輸入	352	インドへ輸出	134,597
系統ロス	1,971		
国内販売電力量	12,327	国内販売電力量	14,509

〔出所〕アジア開銀：Electric Data Book for the Asian and Pacific Region,1993より作成.

表－3　発電電力量

（単位：100万kWh）

年	事業者	自家発	合計
1982	10	12	225
1983	10	12	236
1984	10	9	19
1985	11	17	27
1986	11	17	27
1987	346	-	347
1988	1,476	-	1,476
1989	1,544	-	1,544
1990	1,557	7	1,564
1991	1,573	7	1,580
1992	1,620	7	1,627

〔出所〕アジア開銀：Electric Data Book for the Asian and Pacific Region,1993より作成.

ブータンの電力系統は西部、中央部、東部の３地域に区分される。

①西部系統

1987年にチュカ水力発電所（試運転）からの供給が開始されたThimpu～Phuntsholing系統を含み、現在では、よく整備された送電グリッドとなっている。域内では電力が自給自足されている。

チュカ水力発電所からThimpu郊外のSimtokha変電所までは66kV送電線によって結ばれ、また国境付近の町Phuntsholingを経由し、インド・アッサム州のビルパラ変電所へは220kV送電線で結ばれている。

②中央部系統

インド国境沿のGayleguphugとブータン中央のTongsaに挟まれた地域であり、電力の大半は、インドのアッサム州電力局（ASEB）からの輸入に依存している。

③東部系統

北部（TashigangとMongar）では水力に依存し、南部（Samdrup JonkharとDeothang）はインドからの輸入に頼っている。

（５）電源開発計画

「電力系統マスタープラン」作りが、1993年完成を目途に着手された。中期的に手掛ける予定の電源プロジェクトには以下が含まれている。

①Kurichu水力（45MW）

東部地域の産業開発（石膏・セメントなど）と農村電化を狙いとし、1997年までに竣工。インド政府は93年8月に締結された協定に基づき、インフラ整備で援助する。

②Bosochu水力（49MW）

1996年までに竣工の計画であり（1997年現在建設中）、220kV送電線を通じて西部系統と接続される。オーストリアは、東部系統に接続されるRanjung水力（1.1MW）と併せて316万USドルの建設費を援助することで同意している。

③Tangsibji水力（45MW）

1996年までに竣工し、中央部系統と接続される。Gaylephug地域の需要を満し、余剰電力は西部系統からインドに輸出される計画である。

④チュカ放水路改良工事

チュカ水力は出力336MWで設計されているが、放水路トンネルが設計通りに施工されなかったため、現在は310MW出力で運転されている。

⑤Bunakha貯水池建設

チュカ水力の発電増（年間1億8,500万kWh）を図るために貯水池を建設するもの。1992年にインドは資金援助で協定書に署名した。

⑥チュカⅡ、Ⅲ調査

第7次5か年計画（1992-97年）の早期の段階に、チュカ水力発電所の下流部で大規模水力開発の可能性を調査する。候補としては、1,000MW規模の流れ込み式と、600MW規模のダム式が考えられている。どちらが選択されるにせよ、着工は早くとも第7次5か年計画の末、運転開始は第8次5か年計画期間中となるものと見られている。発生電力は大半がインド向けになる模様である。

その後UNDPの協力によって1993年、電団水力開発マスタープランが作成され、これをベースとした第1段階としてタラ発電所（120万kW）が具体化し、インドの協力を得て現在準備工事中である。このプナ・チャンチュ計画（76万kW）はその第2段階として、調査を日本へ要請した。

3．ブータン国のエネルギー政策

ブータン国は、就業人口の約9割が農業に従事しており、後発途上国（LLDC）の一つでもあり、化石エネルギーに乏しいため、利用エネルギーは薪などが中心となっている。同国は、国土のほとんどが険しい山岳地帯であるため、水力資源は豊富であるため、近年では、その資源を活用した小規模水力発電が導入されており、都市部においては配電網が進展してきており、電力事情が向上しつつある。また、生活水準も向上しつつあり、軽油、ガソリン、灯油、LPGなどの石油類の使用も増加傾向にある。

（1）電力政策

1985年から1995年までのGDP額はそれぞれ15億1980万Nu、29億4600万Nuである。GDP長率は1980年基準で8.5％となっている。上記の内、電力の占める額は1985年が600万Nu、1995年には2億4490万Nuとなっている。

電力の成長率は1985年から1995年までで48.2％伸びており、1985年ではGDP全体の0.4％を占めていたものが1995年はGDP全体の8.3％を占めている。

The import of petroleum products during the period 1991-95

Fuel import	1991	1992	1993	1994	1995
LPG	-	720 ton	1,800 ton	1,741 ton	1,675 ton
Kerosene	6,253 kL	7,122 kL	8,078 kL	6,691 kL	7,961 kL
Diesel	16,173 kL	16,778 kL	16,461 kL	17,647 kL	20,035 kL
Petrol	3,574 kL	3,506 kL	3,469 kL	3,530 kL	3,690 kL

第7次5ヶ年計画（1992年～1996年）ではクリチュー水力発電所（発電出力60MW）、パソチュー水力発電所（発電出力60MW）が建設に入り、4つのミニ水力の補修とプナカ水力発電所（発電出力180MW）は貯水池式計画で詳細なプロジェクト報告書を作成している。また、変圧器生産プロジェクトは完成し、計画を終了した。

地方電化事業は154村、5990世帯を目標としていたが、その80％を達成している。

第8次5ヶ年計画（1997年～2001年）の主要なプロジェクトの一つとしてタラ水力発電所（発電出力1020MW）の建設が挙げられている。

第8次5ヶ年計画では新しいマイクロ水力とミニ水力の導入とパソチュー、クリチュー両水力発電所の完成を見込んでいる。

（参考）

1 Nu＝1 Rs

1 US $＝35.2～35.4Rs（1997年1月現在）

（２）電力需給

ブータンの理論包蔵水力（純粋な水力資源量）は約20,000MWであり、1995年現在での開発可能な水力（技術的、経済的に開発可能な量）は16,280MWを越えるとされている。

1990年から1993年に立案されたパワーシステムマスタープランでは91地点で10MWを越える開発可能地点が計画された。

1995年現在で開発されている水力地点は23地点、344MW（年間発生電力量1,631.809GWh）である。

ミニ水力が6.480MW（5.880GWh）、マクロ水力が1.000MW（2.015GWh）、チュカ発電所が333MW（1,623.31GWh）、この他にディーゼル発電が13MW（1.069GWh）となっている。

これらを合計したブータン国全体の電力供給量は357MW（年間発生電力量1,632.878GWh）である。

1994年現在で開発されているのは22地点342.15MW（年間発生電力量1,685GWh）であり、他にディーゼル発電7.96MW（年間発生電力量1GWh）がある。これらのうち1,456GWh（約86%）はインドに輸出されており、国内消費量は198GWh（ロスを含む）である。

出典：・1993－1994　Table－1　既設水力発電所一覧

・1996. 10　ブータン王国　計画省　第８次５ヶ年計画　P146　Table24. 1

（参考）

インド

理論包蔵水力　263,780GWh（1995　WEC資料　世界の包蔵水力）

開発可能水力　263,780GWh（1995　WEC資料　世界の包蔵水力）

WEC：World Energy Council　世界エネルギー機関

（３）他のエネルギー事情

1）太陽光発電

発電所からの遠隔地においては、太陽光発電の導入が図られており、第７次５ヶ年計画の終了時には、1,316枚の太陽光発電パネルが設置されることとなっている。

パネルの導入さきとしては、学校、寺院、医院などとなっている。第８次５ヶ年計画においても引き続き太陽光の導入が図られることとなっている。

2）まき

まきは、地方部において厨房、暖房、採光のための主流なエネルギーであり、国の総エネルギー消費量の約75%を占めている。

一件あたりの、まきの消費量をみると、年間1.2トンであり、これは、世界的にも高い消費水準となっている。

3）石油類

石油類は、インドから輸入されており、生活様式の変化に伴い消費量が増加している。

ガソリン、軽油の消費量増加は、自動車の普及に伴うためであり、灯油は地方の一部における厨房、採光用として使用されている。

LPGの使用は、都市部の厨房用として一般的となりつつある。

4．電力部門の各国機関協力状況

今回調査団と同時期に、ジュネーブに於いてブータン関係の援助国によるRTM（Round Table Meeting）が開催され、日本からは在インド大使館の駒場参事官が出席した。会議全体の雰囲気としては，環境保全に対するブータン政府の取り組み、特に現在国土の約72%を覆っている森林を国立公園に指定（約26%）する事によって守ろうとしている事実、官吏が厳正な規律のもとに業務を遂行していること、懸念された人口増加の問題もやや落ち着いてきたこと等を考慮して、全体的にはブータンに対して好意的なものであった。

第8次6カ年計画の遂行に当たって1千億円相当の予算が必要であるが、その約30%はインドが協力する予定である。他に4.5億ドル程度の援助が期待できるものと思われる。増え続ける経費の問題があり、将来的には電力の輸出でこれを賄うこととなるが、インドとの買電単価も従来の倍とすることで基本的な合意がなされている。

ブータンとインドは、年1回の定期協議の他、現在動いている比較的規模の大きい5プロジェクト、小規模の20のプロジェクトの進行をレビューするために、次官クラスによる定期会合が2週間に一度の割合で開催されている。

インドの協力は電力部門にあっても，1980年代のチュカ水力発電所を始め、現在準備中のタラ水力発電所（120万KW）と続き、インドの影響は大きい。タラ発電所計画は6割がグラントで4割がローンであり、3年後に本格着工し2004年に連関する予定となっている。同じくインドが東部のクリチュー発電所（45MW、将来60MWに増設予定）に協力して既に工事段階に入っている。

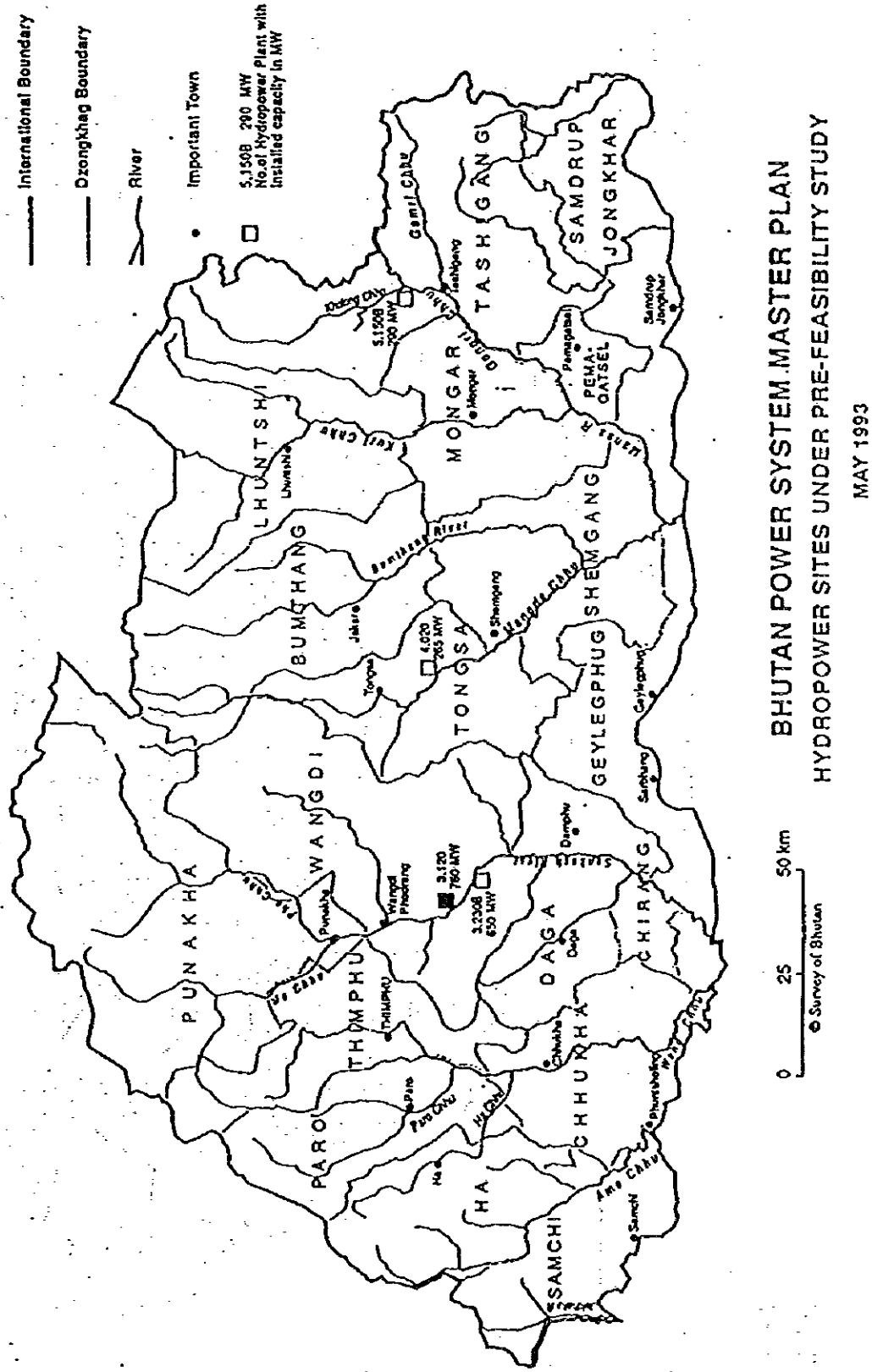
1991年から1993年にかけて実施されたUNDP－IBRD資金によるNorConsultannsの全国水力マスタープランが実施されたが、それによると全国で90地点計3千万KWの包蔵があり、経済的に開発可能な水力は1千9百万KWとの報告がなされている。

今回のプナチャンチュー計画近傍の右岸支流に於いて、オーストリーがパソチュ水力発電所の建設に協力しており，無償と有償の割合は50%となっている。2カ所の発電所合計で約60MWであり、第1期22.8MWについては4月にも本格工事の建設業者が決定する予定である。

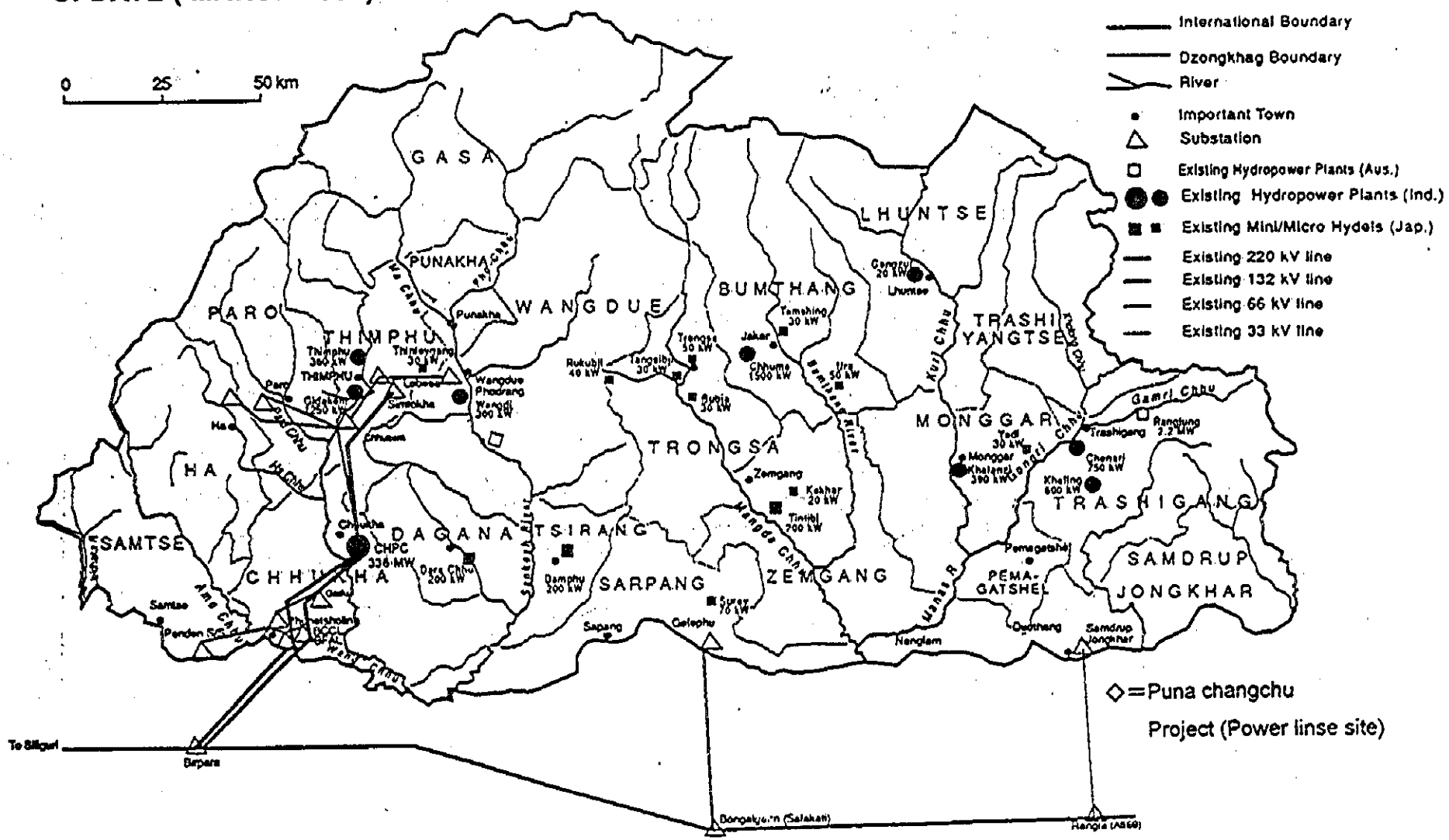
ADBによる送電線計画も含めた農村電化計画が進んでおり、更にUNDPも国内の送配電系統計画のマスタープランを提案して、JICAとの協力を模索している。

第4章　プロジェクトの概要
及び今後の課題

Bhutan Power System Master Plan
Pre-feasibility Study of 4 Projects
(Map of Bhutan)



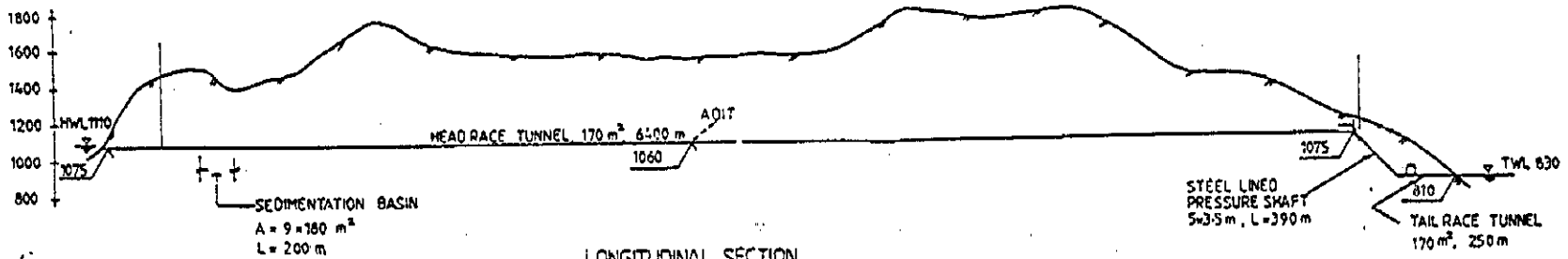
EXISTING HYDROPOWER PLANTS WITH MAJOR TRANSMISSION NETWORK UPDATE (MARCH 1996)



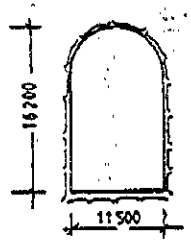
PROJECT DATA SUMMARY

Sankosh River at elevation 1,070 m.a.s.l

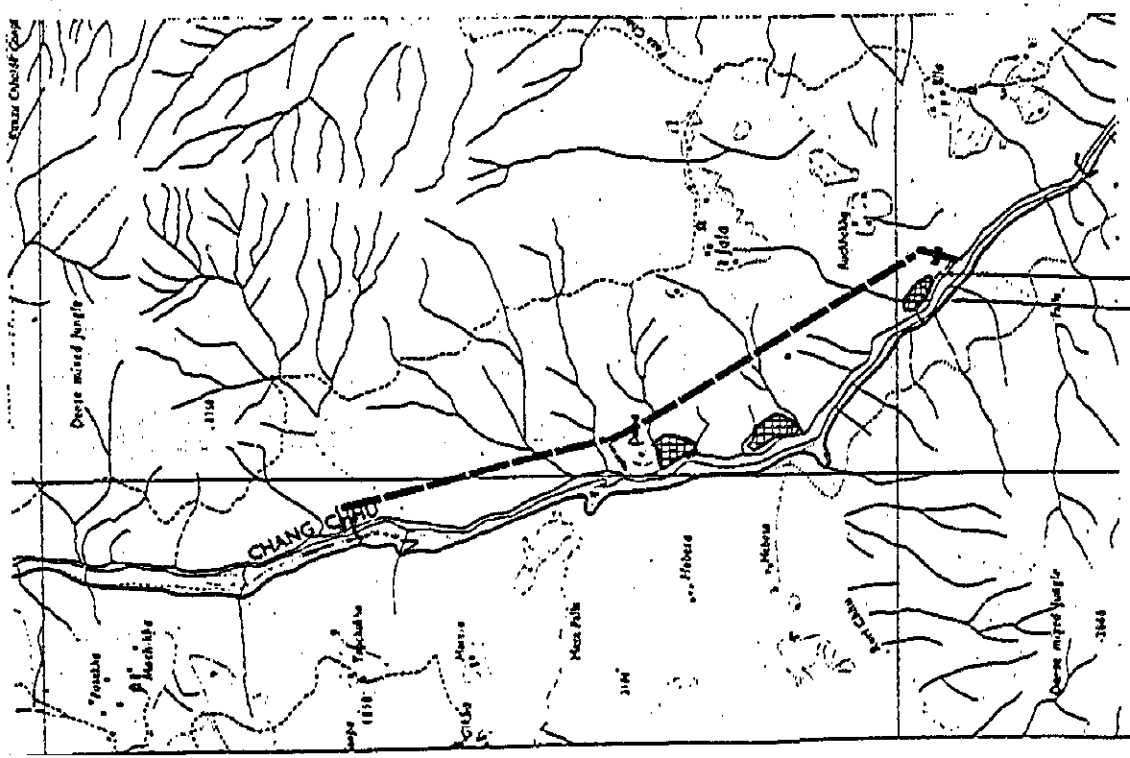
Catchment Area		5,797	km²
Estimated Specific Run-off		43.8	l/s/km²
Annual Mean Flow		253.8	m³/s
Mean Annual Yield		8,004	mill m³
Intake Elevation, including diversion dam		1,110	m.a.s.l
Tailwater Elevation		830	m.a.s.l
Gross Head		280	m
Tailwater rating at design flood		7	m
Design Discharge	1.28 x mean flow	324.0	m³/s
	5 units of	64.8	m³/s
Maximum Net Head, all units		272	m
Average Net Head		270	m
Energy equivalent		0.626	kWh/m³
Installed Capacity	5 x 152 MW	760	MW
Estimated Firm Power (continuous) Capacity		125	MW
Peaking Capacity, 4 hours continuous		520	MW
% of mean annual yield accommodated by turbines		65.9	%
Mean Annual Energy Production	8004 x 0.659 x 0.626	3,305	GWh
Firm Flow	22.4%	56.9	m³/s
7-day 1 in 10 year low flow	15.4%	39.1	m³/s
Firm Energy	8004 x 0.224 x 0.626	1,125	GWh
of this for Peaking	8004 x 0.154 x 0.626	775	GWh
Secondary Energy	3305 - 1125	2,180	GWh
Type of Development	Run-of-the-River		
Live Storage	HWL/LWL el. 1,110/el. 1,093	2.80	mill. m³
Dead Storage		1.75	mill. m³
Roads	Construction	3	km
	From Indian border	190	km
Diversion Dam	Concrete Gravity	84,000	m³
Maximum Height above foundation		58	m
Crest Length		160	m
Design Flood		5,700	m³/s
Radial Crest Gates	12 x 12.5 m	1	nos
Low Level Radial Gates	9.5 x 9.5 m	3	nos
Headrace Tunnel	170 m²	6,400	m
Sediment Basins	F = 180 m², L = 200 m	9	nos
Pressure Shafts	5 x 3.5 m diam.	390	m
Tailrace Tunnel	170 m²	250	m
Power House	Underground	85,000	m³
Transmission	400 kV to Bongaigaon	120	km
Transmission losses	4.3 MW	15	GWh
Total Investment, March 1993, including Transmission		506.3	mill USD
Construction Time		7	years
Economic Unit Cost of Energy at Delivery Point		2.17	USc/kWh



LONGITUDINAL SECTION
SCALE = 1:25000



SECTION
HEAD RACE / TAIL RACE TUNNEL



GENERAL LAYOUT
scale - 1: 50,000

EXISTING ROAD	
PROPOSED ROAD	
TUNNEL SPOIL AREA	
TUNNEL W/POWER HOUSE	
DIVERSION DAM	
Bhutan Power System Master Plan	
SANKOSH RIVER PROJECT 3·120 GENERAL LAYOUT LONGITUDINAL SECTION	
Norconsult / Norpower	3-12-101

第4章プロジェクトの概要

1、電力計画

先方要請のプナ・チャンチュ水力発電計画に関する開発調査（F/S）は、1993年に行われたUNDP－世界銀行（NorConsul）による全国水力開発マスタープラン及び本計画に関するプレ・フィージビリティ・スタディがベースとなっている。

計画は、インドの東部を東より西へ流下してバングラディシュにてベンガル湾に注ぐブラマプトヲ河の中流部に北より合流するサンコシュ川の中流部、流域面積5,797km^{3}の地点に、高さ58mのコンクリート重力式ダムを建設して有効容量280万m^{3}の日調整池を設け、最大毎秒324m^{3}の水量を、長さ6,400mの導水トンネルによって下流に導水し、有効落差280mを得て、地下発電所に設置される4台の水車発電機によって最大760MW、年間3,305GWhの電力を生み出し、主としてインドにこれを輸出しようとする、大規模日調整式の水力発電計画である。

全体的に、日本の開発調査の対象とすることに大きな障害はなく、計画としても、インドへの電力輸出という観点から見るならば、極めて有望な計画と考えられる。先方の期待も考慮して、方針が決定次第早急に事前調査団を派遣する段階に至っているものと考える。

リンポ・オム・プラダン通商産業大臣との面談に於いて、この計画に対する日本の協力の最初の足がかりとして、日本政府が極めて迅速に対応したことに、厚い感謝の言葉があった。

大臣は、インドとの関係について、既に先週ジュネーブで開催された援助国会議で今回調査団派遣に対するプレッジが席上行われており、これがインドに対する公式な通知となっている、との考えが表明された。更に大臣の意見として、インドとしても現今の電力危機に対するブータンからの電力輸入に対する資金不足が問題になっており、開発調査に限ってみても日本からの協力は歓迎の筈である、と述べた。

当方の意見で、「本工事に関する資金協力について今回議論する段階ではないが、大規模計画であるため広範な資金協力を想定した開発調査となろう」とのコメントに対して、大臣も同意する旨発言したが、OECF資金に対する期待は、言葉の端々から関知された。しかし、OECFの資金協力を得るまでには極めて困難な障害がある点では、既に認識されていることが窺えた。

また当方より、民間資金の活用に関する先方政府の方針について質したところ、現段階に於いては困難であるとの明確な発言があった。これは、先方政府の確実な民間投資に対する方針が確定していない段階で、一部について民間資金を導入することは、国政への混乱を招くとの配慮からと推察される。

本計画は、主としてインドへの電力輸出を考慮したうえ計画されたもので、開発調査はインドの電力の現状ならびに将来の開発計画と密接に関連してくる。先方は、これらの点に関しJICAが直接インド関連機関と情報収集に関する接触を行うことは時期尚早と考えており、必要な資料はブータン側がこれをインドより得てJICAへ提供するとの説明を行った。これに対して当方は、最低限、インドの電力送電設備の概況と電源送電網の長期開発計画、需要の伸びの想定、代替電源

の経済性、電力料金制度、売電制度（ブータン並びにネパール）、送電網系統図などが必要であることを説明したが、先方はこれを了解し、本格調査に際しては、これらの点について積極的に協力する旨の意志表示を行った。調査団は、このような手段でもってインド関連の情報が入手できるならば、開発調査を行うことは可能であるとの見解である。

将来本工事のための資金計画の見通しついて、この調査団が協議を行う立場にないことを確認した。しかし、この計画は5億ドルを超す大規模計画であるから、幅広い視野で将来の資金計画を想定したうえで財務評価を含めた本格調査を実施すべきであり、F/Sの内容が何れの融資機関に於いても有効であるべく普遍的な調査の手続きを踏むべきものであることを、特に調査団は確認した。

2．水力計画

（1）流れ込み式（旧調整式）であることによる電力輸出上の問題

貯水池式でない水力を他国に売電することについては、その供給信頼度の面から複雑な問題を含んでいる。現在ブータン政府は、チュカ水力発電所（360MW）をインドへ電力輸出しているが、両政府はKWhのみに関して契約を行っており、ピーク時対応のKWが如何に評価されているか明らかではない。一方で、一般に水力発電所はKWの評価なくして経済性を保つことは困難であり、40％のインドからの無償協力を得ているチュカ発電所の契約の方法を今回開発調査にそのまま採用することは適切でない。しかし、この点についてはブータン政府もインドとの力関係から曖昧にしており、今後JICAの開発調査に於いて如何に経済ならびに財務評価を行うか、慎重に対応する必要がある。

（2）堆砂の面からダムゲート方式が必要である点に対する問題

取水を円滑に行い且つ日調整容量を確保するために、ダムゲート方式は避けられない、しかもこれが円滑に操作されるための操作員の技術と流量等水文資料情報のネットワークの構築が必要となる。この点に関しては、既設チュカ発電所を調査した際、有効な示唆が得られた。操作員の操作技術をカバーするために、雨期に於いては4mの余裕を見て水位を下げており、きめの細かいゲート操作を要求していない。

しかしこのため、年間にして相当の電力量損失を生んでおり、今後我が国の技術と如何に調和をとるか、開発調査に於ける重要な視点である。

またこれに伴って、上流の水文情報が的確に得られる必要があるが、チュカの場合は好都合にも上流のパロ川との合流点に適切な水位観測所があって、これより無線で水文情報を操作員に通報している。これらのことを考慮して開発調査を進めるならば、このダムゲート方式による日調整式発電所の開発可能性はあるものと判断した。

（3）地下発電所であることの技術的問題点

急峻な現場の状況を考えると地下発電所とならざるを得ないであろう。地下発電所の大空洞掘削が地形地質上経済的に可能か、どのような型式を選ぶか（NATM方式か、鉄筋コンクリート方式か、どの程度のアンカーボルトが必要か）について、F/Sの段階で確定する必要がある。

今回現地踏査の結果によると、空洞を設置すべき山塊はかなり特定されて、若干山容が他の急峻な部分とは趣を異にしているので、出来ればボーリングの他200m程度の試掘坑を設けることが望ましい。

さらに、型式を決定するうえで重要な要素となる地山の初期応力の測定は高度な技術を必要とするうえ、試掘坑内で実施する必要がある。しかしこのような高度な現地調査の実施については、調査工事の工程、予算に大きな影響を与えるので、今後事前調査団の派遣までに詳細設計との分解点を明確にしたうえ、計画を確立する必要がある。

（4）逆調整池は現在では考える必要がない

4時間という高いピーク発電を行うため、下流に利水等影響を受けるものがあれば、ピークを平準化するための逆調整池が必要となる。今回現地踏査の結果及び先方との協議の結果を踏まえると、下流への大きな影響はないことと、将来下流の計画を考慮すれば、逆調整池を設ける必要性はないものと判断したが、この点は本格調査の初期段階で、サンコシュ川全体の開発計画を踏まえて再度議論する必要がある。

（5）下流維持放流量について

ダム地点から発電所までの区間が問題となるが、先方のTORによると、「動物魚類に影響が出ないように」との表現があり、我が国の場合の基準（渇水量放流）より緩和できるものと期待できる。先方の従来の基準を参考に聴取し、発電の便益に大きな影響が出ないことを確認しておく必要がある。なお、発電所より下流、インドに至る河道については、池が日調整式であり、問題はない。1989年に完成したチュカ発電所では、これを考慮していない。

（6）堆砂の問題について

ゲート方式で放流するため、下流に対して大きな影響は出ない。ベッドロードによる上流の背砂が問題と考え、関心を持つて現地踏査に臨んだ。現地はこの池の最上流端が狭窄部となっており、人家もないことから、水は澄んでいてサスペンディッドロードも少なく、背砂の影響は殆どないものと判断した。既に10年が経過しているチュカ調整池の状況は、ボートによる遡上が必要なため、今回は確認できなかったが、発電所員の説明では殆ど問題はないとのことで、現在のダムサイトであれば、特別な対策は必要ないと判断した。しかし、取水口付近の堆砂の問題に対する排砂ゲートの設計には工夫が必要であろう。

3．発電施設・土木

主要な土木構造物はダム、導水トンネル及び地下発電所である。いずれの構造物の建設にも、現地建設環境より判断すると、特に障害となる事柄は無い。既存の道路より容易にプロジェクトサイトへのアクセスが可能であり、環境への配慮を除外すれば建設工事自体、何ら制約条件は見当たらない。

強いて挙げるとすれば、年平均流量234m³/sという大きな流出量を有する河川を対象とするため、特に雨期の出水量に対し構造物の設計、施工上の配慮が必要となる。

（1）ダム

ブレ・F/Sレポートによると堤高58mの電力式コンクリートダムとしており、地形、設計洪水流量の大きさ及び氷河湖決壊洪水の存在を考えるとダム型式を電力式コンクリートダムとする事は十分納得できる。大きな洪水を安全に流下させると共に、ダム貯水池内の堆砂を排出する必要性から、日本国内でも最大級に匹敵する規模のゲートが必要となる。

建設に当たっては、ダム施工中の河川の切り廻しが工費に大きく影響すると考えられる。切り廻し方法として半川締切（案）とIntake Tunnelを利用したトンネル（案）が考えられるが、ダムサイトは河床砂礫が厚くV字形の渓谷であること、また河川流量が多いこと等を考慮すればトンネル（案）の方が有利と推定される。

しかしながら、トンネル（案）の場合は雨期の出水量が大きいため、乾期だけの工事となり工期が長くなることは避けられない。今後のダムサイトの地質調査結果及び全体工程計画の調整を待って両者を比較検討し、決定することが必要である。

一方、ダム本体コンクリートの運搬手段としては軌索式ケーブルクレーンあるいはタワークレーンの利用が考えられるので、ダムサイトの地形測量を実施し、決めることが望ましい。

（2）導水トンネル、地下発電所

作業用の横坑トンネルが導水トンネル（長さ6.4km）の中間点付近に工程短縮と安全性確保のため必要となる。掘削方法として大別して、従来の発破工法とトンネルボーリングマシーン工法があるが、トンネルの掘削長及び技術移転の目的等に鑑みれば、従来の発破工法が適切であると考えられる。

地下発電所の大きさは概略高さ40m、幅35m、長さ120m程度と考えられるが、地質調査結果を十分に検討し、空洞の安定性確保の観点からその空洞の形状、方向性及び支保工形式を決定することが必要となる。従って、ボーリング地質調査の他、200m程度の横坑による地質調査も合わせて実施することが望ましい。

なお、地下空洞の掘削はその作業用横坑の計画いかんにより工程、工費、工事の安全性に大きな影響を与えるので慎重に検討することが肝要である。一方、掘削工事のためのアクセス道路及びずり捨て場等の適切な地形場所は比較的容易に見いだせると推定された。

（3）資機材運搬道路調査等

本プロジェクトに必要な資機材はインドのカルカッタ港より陸揚げされ、陸路ブータン国へ搬入される。重量物ならびに長尺物のプロジェクトサイトへの運搬については橋梁の架け替え、補強、あるいは道路の拡幅、線型の改善が必要と考えられるので、ルート決定後、調査が必要となり、状況によってはプロジェクトコストにかなり影響を与えると思われる。

プロジェクトサイトへは前述のように既設道路がサンコシュ川の右岸を走っているので工事用アクセス道路はその長さも短くて良く、容易に新設可能である。

一方、本プロジェクトに必要となるコンクリートの総量は、概略20万m³を越すものと推定されるが、そのコンクリート骨材の調達は、ダムサイト上流（約8km）のWangdi bridge付近の河床砂利を利用することを検討したい。原石山を開発することはコストアップの要因となり、自然環境保護の点からも好ましくない。河床砂利の検討については品質、賦存量の確認が必要であるが品質については問題無い。今後、その賦存量の確認と共に導水トンネル、地下発電所の掘削ずりの利用も工程計画を考慮しながら検討する必要がある。

4．地形・地質

（1）計画地点周辺の地形・地質

1）地形

ダムサイトより上流の平均河川勾配は1:200程度で、Wangdu Phodrangに至っているが、ダムサイトの直上流付近数百メートルの範囲では比較的急峻な河川勾配で、1:50程度の急勾配となり、上流に行くに従って緩い傾斜となって、谷幅は広くなる。

一方、ダムサイトより下流では、発電所計画地点箇所付近までは平均勾配が1:20程度と、河川は急峻で谷幅は狭く、谷の形はV字谷となっている。ダムサイトより下流側の左岸は大きな壁岩露頭で、数百メートルもの高さの崖となっている。ここでの斜面の傾斜はおおよそ1:1と極端に切り立っている。ここでは急崖斜面の地形的、地質的特徴が認められ、左岸側には壁岩からの落石や崩壊堆積物から構成された崖錐堆積物を厚く堆積している箇所がしばしば分布している。

右岸側の斜面は左岸側と比較すると緩いもののそれでも1:2程度の斜面勾配となっている。現地調査のみでは、遠望する場所がないことから、判断は難しいが、本計画サイトの右岸側には比較的厚い堆積物が分布しているようである。現在の調査ではこれが地滑りによって形成されたものかは判断ができない。
崩壊地は一部には認められるが、崖錐堆積物の表面が崩れて形成されている程度である。河川によって形成された段丘は河川に沿って数段認められる。

2）地質

この地域を構成する地層・岩体はUNESCO(1991)によれば中央結晶質岩ベルトに属するThimphu層とされている。Thimphu層は先カンブリア紀からカンブリア紀のミグマタイト、黒雲母花崗岩質片麻岩で一部にコーザイト、雲母片岩、大理石を挟むとしている。

一方、Gansser (1983) によるGeology of the Bhutan Himalaya によれば、ダムサイトより上流では Paro Metasedimentから構成され、ダムサイトより下流側では花崗片麻岩から構成されるHigh Himaraya の主要結晶質岩類としている。Metasediment とはもともとは堆積岩が造山運動などの強い力により変成して形成された岩石である。

また、二次的な堆積物として、河床には礫が膠結して岩石化した礫岩（ダムサイト下流に分布、時代未詳）や厚さ10メートルを越える崖錐堆積物、数段の河成段丘堆積物が分布している。また、現河床には直径最大10メートルを越す巨礫が転がっている。上流の河川勾配が緩い地域の河床には広く、砂が堆積している。このことは、将来調整池を建設した場合にもこのような堆砂がたまることを念頭に入れておくことが重要である。

3）岩石鑑定結果

今回の調査で、プロジェクト対象地域及びチュカ発電所において採取した岩石標本の偏光顕微鏡観察による岩石及び鉱物の特徴を以下に記載する。（次頁より写真掲載）

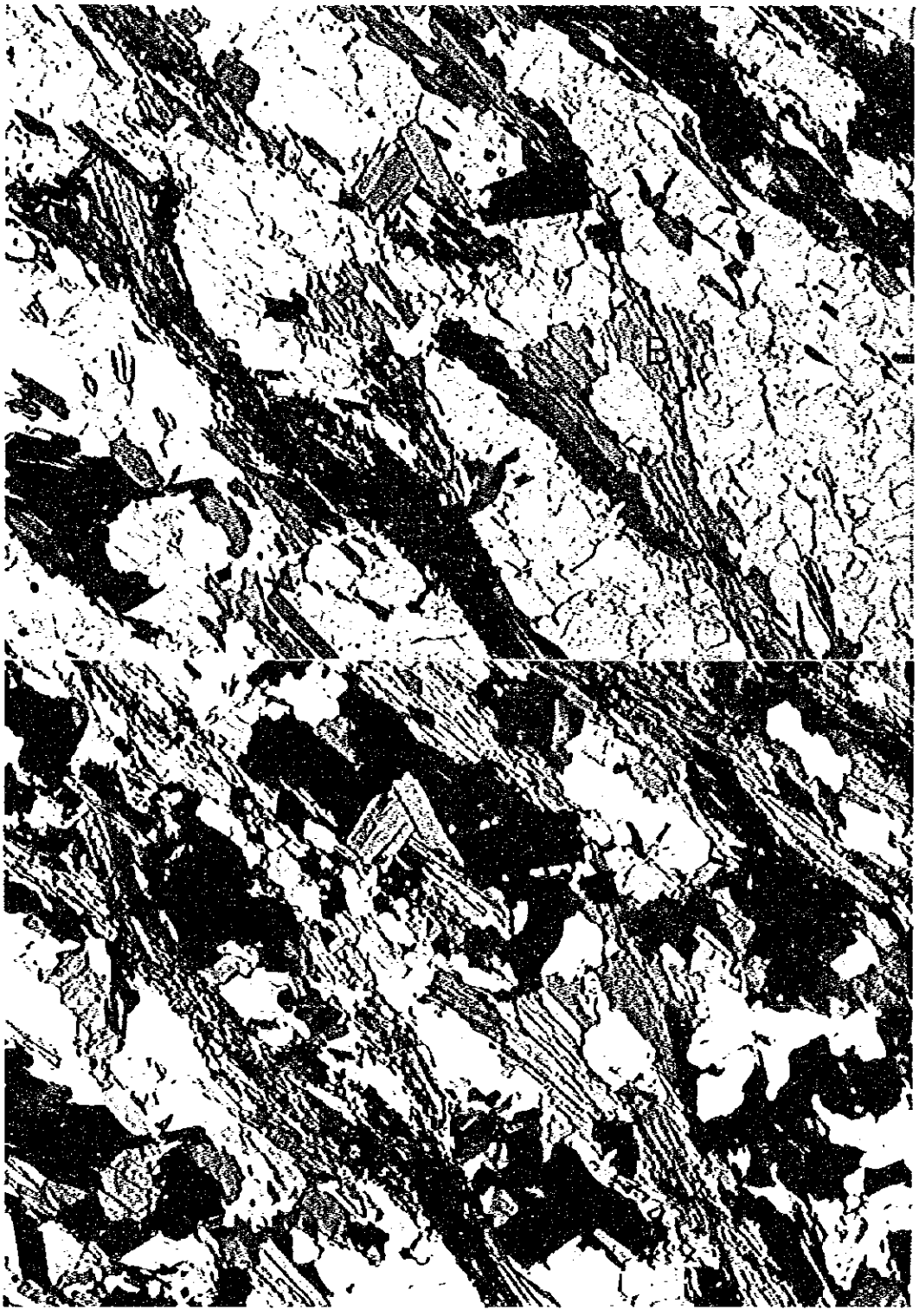
顕微鏡写真名称	ダム1	ダム2	発電所
採取場所	ダムサイト右岸道路、ダム軸近傍	ダムサイト右岸道路、ダムより上流側	チュカ発電所（地下）
分類	片麻岩	黒雲母片岩	片麻岩
構成鉱物	石英、斜長石、カリ長石 黒雲母、珪線石、ザクロ石	石英、斜長石、カリ長石 黒雲母、電気石	石英、斜長石、カリ長石 黒雲母、白雲母、ザクロ石
特徴	長さ0.5～1mmの板状で緑褐色の黒雲母が一定方向に配列し縞状構造を示す。 黒雲母の一部は、細粒の繊維状の珪線石に変化している。石英、長石類は、粒状である。ざくろ石は1mm程度の粒状の結晶として、少量含まれる。	ダム1の片麻岩に比べて細粒であり、1～0.5mmの緑褐色の黒雲母を多く含む。 緑Fで細粒の電気石を少量含む。石英、長石類は粒状を呈する。 片状に割れやすい性質をもつ結晶片岩である。	長さ1mm程度の黒雲母、白雲母が一定方向に配列し縞状組織を示す。ザクロ石は、1mm程度の粒状の斑状変晶であり無色の細粒鉱物を包有物として含む。 ダム1に比べ白雲母とざくろ石が多いことが特徴である。
生成要因	この岩石は、泥質の堆積岩、または、花崗岩類が角閃岩相に相当する高温高圧の変成作用により生じた片麻岩と考えられる。	ダム1と同様に高温高圧の変成作用により生じた	縞状構造を持つものの、やや片状に割れやすく、片麻岩と結晶片岩の中間的な組織をもち，高温高圧の変成作用により生じた.

表9-1-3　岩石鑑定結果
鑑定協力：（財）電力中央研究所

（2）ダムサイトの地形・地質

ダムサイトのダムアバットメントの地形は左岸、右岸共にきわめて急峻で35～45度程度と思われる。上下流からみても谷幅が最も狭まっており、周囲に比較しても崖錐堆積物の分布の少ない箇所といえる。

ダムサイトを構成する岩石はやや強い片麻状構造を有する片麻岩と推定される。左岸側はほとんど全露出の岩盤露頭から構成されているが、河床付近には崩落性の堆積物が分布している。右岸から左岸を遠望したところ、左岸側の片麻岩の表面は風化の影響が認められるが、堅硬な岩石で、CM級程度と考えられる。節理はランダムに分布しているものの、やや水平に近い片麻状構造（N30E/25SE)方向に卓越している。



顕微鏡写真　　上：オープンニコル　下：クロスニコル

ダム1　　片麻岩

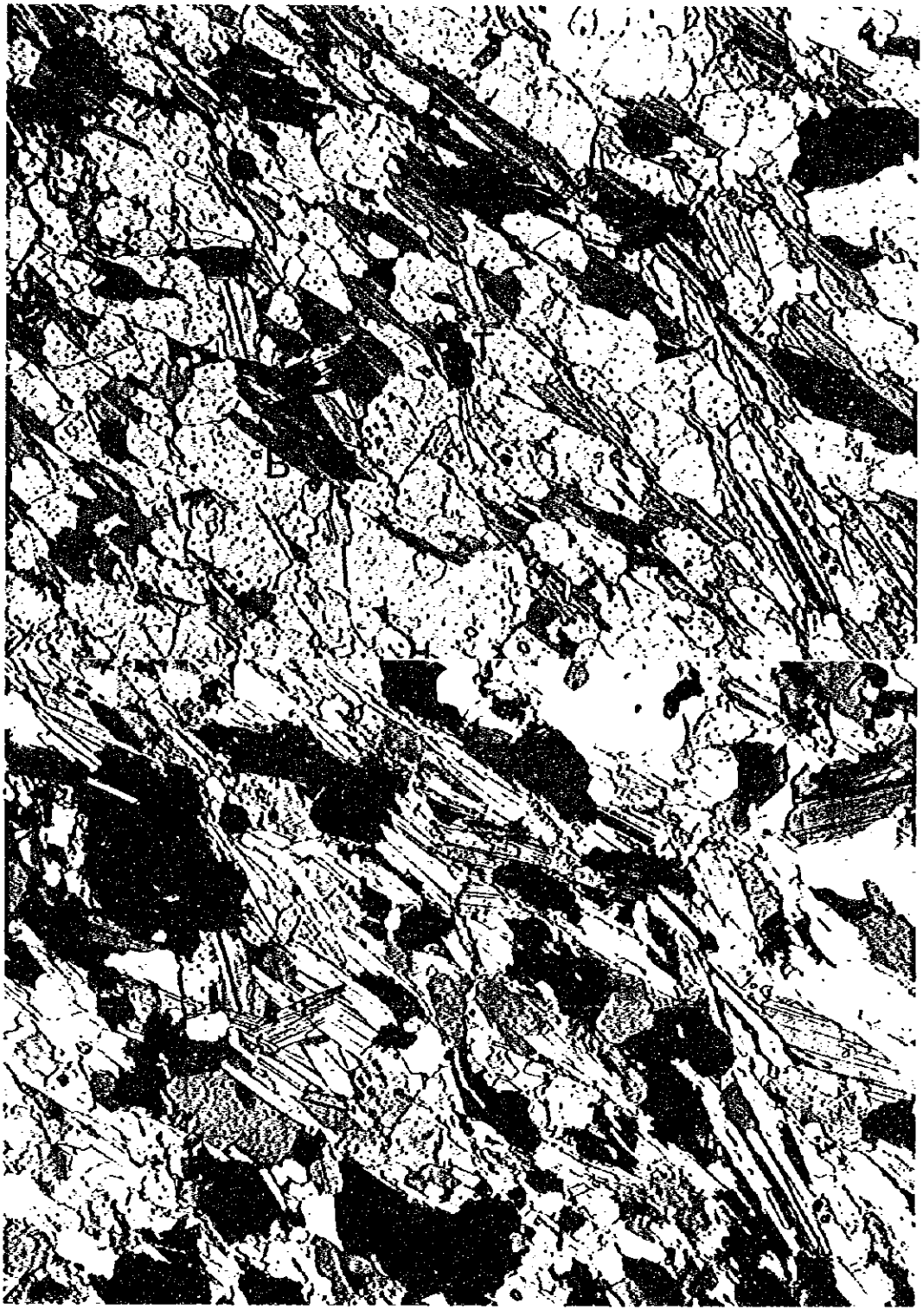
鉱物：Q：石英　P：斜長石　K：カリ長石　B：黒雲母　S：珪線石　G：ざくろ石

黒雲母が一定方向に配列し縞状構造を示す。

顕微鏡写真　　上：オープンニコル　下：クロスニコル

ダム1　　片麻岩

鉱物：　Q：石英　P：斜長石　カリ長石　B：黒雲母　S：珪線石　G：ざくろ石

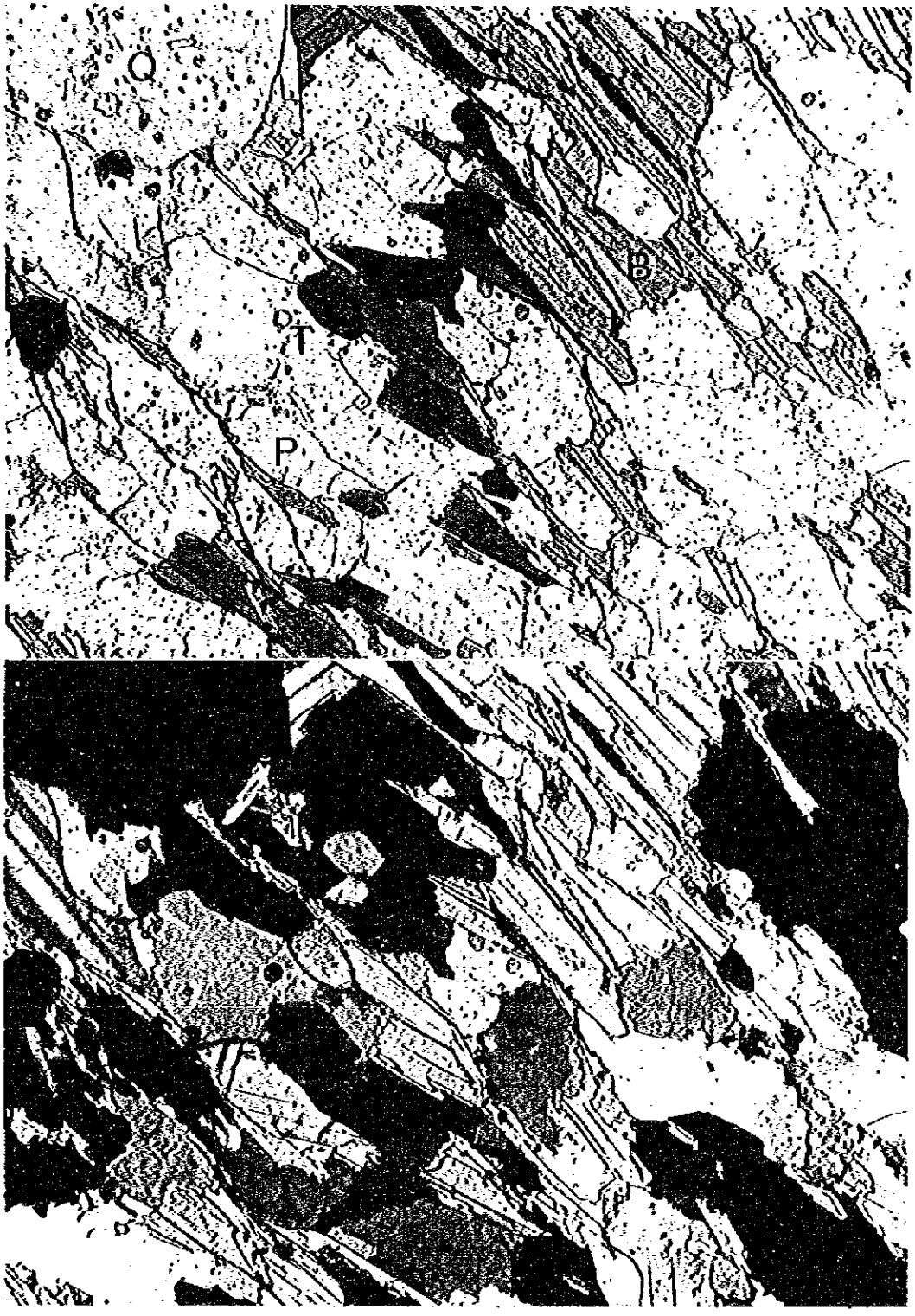


顕微鏡写真　　上：オープンニコル　下：クロスニコル

ダム2　　黒雲母片岩

鉱物：　Q：石英　P：斜長石　K：カリ長石　B：黒雲母　T：電気石

ダム1の片麻岩に比べて細粒である。

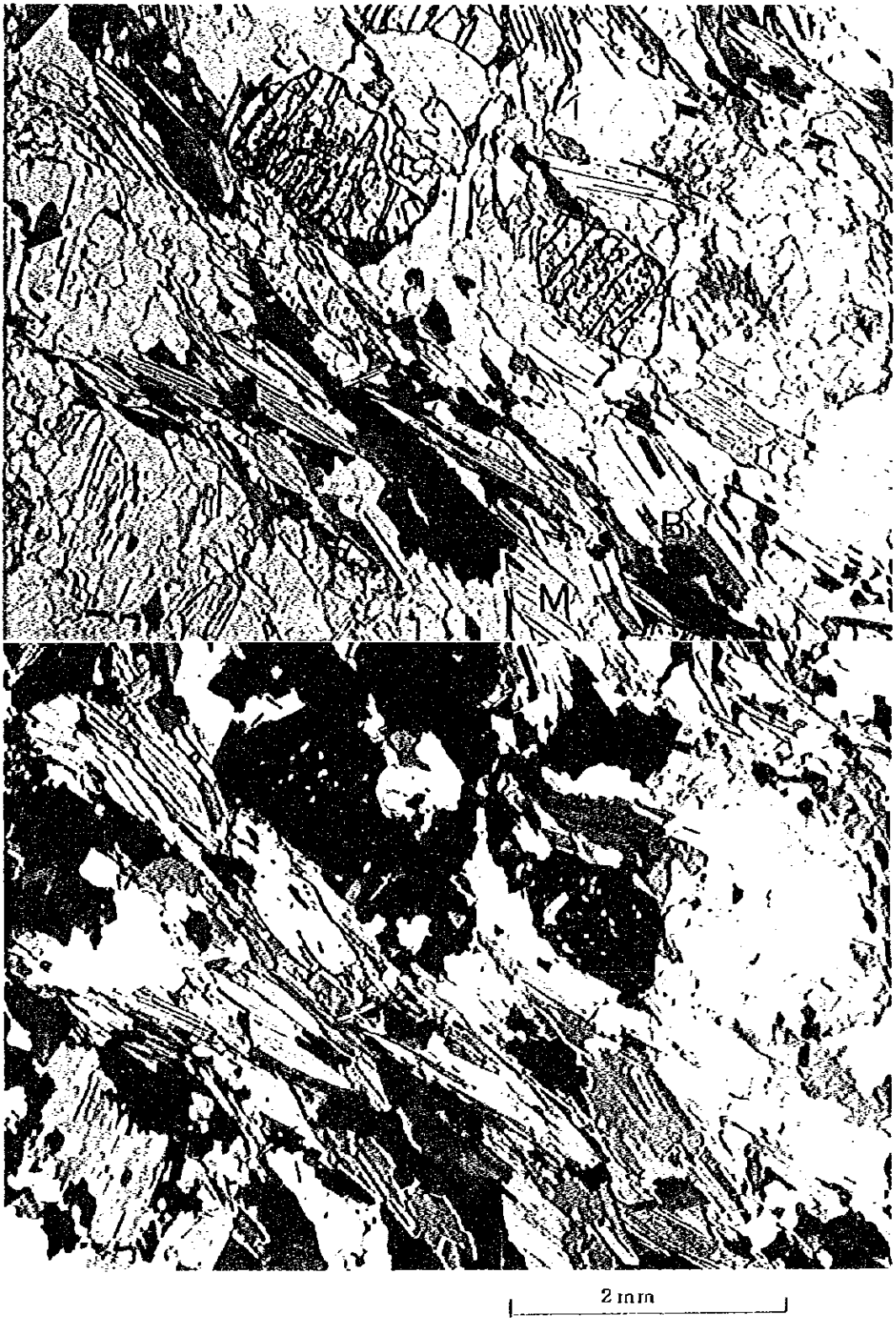


0．5mm

顕微鏡写真　　上：オープンニコル　下：クロスニコル

ダム2　　黒雲母片岩

鉱物：　Q：石英　P：斜長石　カリ長石　B：黒雲母　T：電気石



顕微鏡写真　　上：オープンニコル　下：クロスニコル

発見所　　片麻岩

鉱物：Q：石英　P：斜長石　カリ長石　M：白雲母　B：黒雲母　G：ザクロ石

雲母類が一定方向に配列し縞状組織を示す。ザクロ石の斑状変晶を含む。

1 mm

顕微鏡写真　　上：オープンニコル　下：クロスニコル

発電所　　片麻岩

鉱物：Q：石英　P：斜長石　K：カリ長石　M：白雲母　B：黒雲母　G：ザクロ石

また左岸側の岩盤は新鮮な岩盤（CH級）に達するにはそれほど深くはないもの（数m程度）と推定される。因みに、一般的には高さ50m程度のコンクリート重力式ダムはCMまたはCH級程度の岩盤が必要となる

一方右岸側、及び河床には露頭している岩石は認められない。右岸側は後述するが道路盤まで来るとN30E/20SEの片麻状構造を示す片麻岩がダム直上に露頭しており、それより上流側では雲母片岩が分布する右岸側河床には片麻岩の露頭様な岩石が見られるが、これは片状構造が左岸と調和的でないことや、このような巨礫は数多く転石として分布していることなどから判断すると現段階では岩盤の露頭では無く転石であると考えられる。

前述した道路盤での露頭から下流側へ150m以上にわたって岩石露頭は認められず、巨礫から構成される崖錐堆積物が分布している、同様に道路より川側についても崖錐堆積物（主として転石）から構成されていることが推定される。道路より上側のダム軸に張り出している尾根を遠望すると、ここでは岩石露頭が分布していることが推定されることから、これらの崖錐堆積物は道路盤ではダム軸より下流、河床付近ではほぼ全体にわたって分布していることが懸念される。ただし、その厚さは現段階では10～20m程度と推定されるが、これは今後の調査の重要な課題である。

この崖錐堆積物の成因は単なる崩落なのか、地滑りなのかは現段階では判断できない。いずれにしても右岸側のダムアバットメントには岩盤露頭はないため、今後の調査によってどこまで掘削するかを決定しなければならない。

また、右岸側の上流側ではダムセンターより上流側へ100m程度は露頭は認められずに崖錐堆積物の分布が連続して認められるが、それより上流では数十mにわたって雲母片岩の露頭がオーバーハングして分布している。さらに、それより上流には数十mの厚さを有する崖錐堆積物または地滑り堆積物が分布していることが予想される。また、左岸の上流側ではダムセンターより150m程度は全露頭であるが、それより上流では厚い崩落堆積物に覆われている。ダムを選定する範囲としては、現在のダムセンターから上流側に150mの範囲が適当であると思われる。

河床部は周囲の地形や川幅から考慮すると15m程度の礫が堆積していることが推定されるが、これも今後の調査の重要な課題である。15mと判断する根拠は川筋が異なるもののTchuka発電所やTara発電所における河床の砂礫の深さが15mとのことから推定したものである。

現地で確認はしていないが、このような切り立った崖では一般的には岩盤はトップリングにより高い部分ほど前面に倒れやすいものである。そのため、特に左岸については、開口節理の調査が重要である。

左岸に分布する片麻岩や右岸の崖錐堆積物の下に分布することが予想される岩石（おそらく片麻岩と推定される）から判断すると、50～60m程度の高さのダム基礎岩盤としては、耐荷力は充分であり、またカーテングラウチングによる透水性改良は充分可能な岩盤であると考えられ、さらに詳細な地質調査を進めるに値する充分成立性のあるダムサイトである。

（3） 地下発電所・水槽箇所の地形・地質

左岸側の大きな支流であるPaza Chhuと合流する直上流の尾根に水槽、その山の中に地下発電所が計画されている。ここでの地形は上下流の急峻な地形と比較すると緩やかになっている。対岸からは水槽の位置は望めないが、水槽より下側の斜面では、河床部ではN40E/10SEの片麻状構造を示す片麻岩の露頭が認められる。

しかしながら、それより上部では30m程度の厚さの細粒な 堆積物からなる崖錐堆積物が分布している。この尾根は地形が緩やかなことから表面付近においては岩石が緩んでいることが推定される。つまり風化の深さが比較的深い可能性も考えられる。地下発電所、放水口の坑口の位置との関係から線形が重要となり、今後の調査により、放水口の位置を決定することとなる。

地下発電所については片麻岩となるものと推定され、片麻岩は風化に対して強い岩石であり、地下深部に入れば風化の影響がなくなり、それほど岩盤は緩んでいないと推定されることや、片麻岩そのものは比較的塊状であることやチュカ発電所の様に地下深部においては新鮮な岩盤が認められている実績などから、今後の調査によって位置の選定が可能であると考えられる。

（4）導水路の地形・地質

導水路は急峻な左岸の地山を通過する計画となっており、片麻岩となる見込みである。片麻岩は所々片岩様の片理の著しい部分が認められ、その片理の方向はおおむね緩く下流側に傾斜している。前述した様に、片麻岩は風化に対して強い岩石であり、地山深部に入れば、風化の影響は無いものと推定され、今後空中写真調査や地表踏査によって大破砕帯の有無を確認する事によって、ここへのトンネルの掘削は充分可能と考えられる。むしろ、新鮮な片麻岩は硬すぎることが考えられ、トンネルの進行に時間がかかることなどを考慮しておくことが必要となる。

（5）今後の調査

ダムサイト、導水路、地下発電所の位置をおおまかに確定し、設計に資するデータを取るべき地質調査について以下に述べる。

1）計画地域全体

調査の主な目的は地質分布、破砕帯分布など地質構造を把握すると共に、構造物基礎としての適正などを検討するもので地形図は1:10,000程度が必要である。

A. 空中写真判読

空中写真は既に取られているものが入手できれば最初の調査の段階で実施することが望ましい。特にこの地域は厚い崖錐堆積物が分布しているために、初期の調査としてその分布を空中写真によって把握することは重要である。空中写真が手に入らない場合には、とりあえずSPOT衛星（解像度は一つの画素が10m程度）で代用するが、位置を確認する程度である。空中写真調査の留意点は地滑り、崖錐堆積物、河成段丘堆積物の分布およびリニアメント（特に水路に沿って）による破砕帯の推定ならびに地層の構造の推定などである。

B. 地表踏査

地表踏査は現地を踏査することによって、地形、地質、地下水などの情報を集め、土木地質図としてとりまとめ、今後のボーリング調査などの調査計画をたてるために初期の調査として最も重要である。しかしながらこの地域は地形が急峻であるため、踏査範囲に限界があり、なおさらに空中写真判読が重要となると思われる。

今回の調査結果によれば地表踏査は12月、1月、2月など雨の無い季節で、新しい植生が生える前および毒蛇などの活動のない時期がベストと思われる。特にこの地域の地質踏査の留意点は通常の地表踏査に加えて急峻な斜面におけるクリープの有無、崖錐堆積物、崩落堆積物の分類と規模の推定および石灰岩の分布とその性状を把握する事と思われる。

2）ダムサイト

ダムサイトの調査の目的は掘削線、基礎処理のカーテングラウチング深さの見積もりなどで、現段階でダムのクレストの長さなどは不明であるが、上記の目的のためにとりあえず以下の程度の調査が必要である。

ダムサイトの地質断面図、岩盤分類図、ルジオンマップなど設計に必要な資料を作成する。

A. 弾性波探査

弾性波探査はダムの基礎の地質の面的な推定とダム右岸の崖錐堆積物の分布調査を目的とする。弾性波探査の測線の配置はダムセンターに平行に3測線（右岸のみでも今回の目的の達成は可能である）、及び道路の上とそれに平行に川側に1測線を設け実施する。ただし、川側測線は急峻なため不可能であれば、山側でも可能であるが、この測線がなくても崖錐堆積物の分布の推定は不可能では無い。

B. ボーリング、透水試験（ルジオンテスト）

ダムサイトとしての地質の種類、岩盤の程度、透水性、地下水位などを把握する事を目的とする。数量としては、とりあえず初期の調査の段階としてダムセンターに6本（内訳左岸2本、河床1本、右岸3本）程度、深さはダムの高さ程度の長さが必要である。ただし、左岸のうち1本は崩落堆積物の深さを確認する短いボーリングでも可能である。また、ダムの上下流に1本づつ、河床礫の深さがわかる程度のボーリングが必要である。

C. 岩石試験

ダム基礎となる岩盤の強度を知るためにボーリングコアーを用いて岩石の一軸圧縮強度試験を実施する。対象となる岩石としてはCH級,CM級の岩石を数個づつ試験することとなる。

D. 横坑調査

横坑調査は直接岩盤を目で確認することによって、設計に資する資料を得ると共に、ダムの力のかかる箇所の岩盤と同様な岩盤を想定して岩盤試験を実施することを目的として掘削する。実施個所は左岸側に30m程度の長さ，右岸側には上部と下部の各1坑30m程度の長さが必要となると思われるが、右岸の崖錐堆積物の深さや風化の程度によってはそれ以上になることも考えられる。

E. 岩盤試験

ダム基礎となる岩盤の変形、強度特性を試験し、設計に資する値を得る。試験の内容はコストや時間を要する試験となることからダム基礎となる平均的な岩盤で最小限の数の変形試験、ブロック剪断試験を実施することが望ましい。

F. その他

地表踏査によりダムサイトに石灰岩の空洞による漏水が懸念される場合は地下水の調査が必要となる。その場合は沢毎の比流量測定や水質、水温などにより漏水経路の推定を行うことになる。

3）導水路、横坑箇所、放水路

何れも、空中写真判読や地表踏査による。ただし、放水路を現計画線に掘るとするなら放水口付近に地表からボーリングが1本程度必要となる。

4）水槽

水槽は規模の大きい構造物であると共に、地表近くまたは地表に出ることが考えられることから、予めボーリングによって地質、岩盤の性状を確かめておきたい。その長さは水槽基礎の深さまで掘削する。

5）地下発電所

地質調査の手順としては，最初に地下発電所予定箇所までのボーリングを実施して、予め地下発電所の箇所の地質の種類および岩盤の性状ならびに地下水の情報等を調査し、その後横坑を掘削することが望ましいが、現地事情を考慮すると、ボーリング調査を省くことも不可能では無い。

横坑調査の目的はダムの調査と同様であるが、大規模の地下空洞を掘削するための調査となるため、特に岩盤の状況や破砕帯や割れ目の分布や性状などの情報を確実に得る調査を実施する。

地下発電所箇所に到達したら初期地圧の測定が必要となる。特にこの地域はインドプレートとユーラシアプレートの衝突地帯とされていることから、空洞に偏圧を与えないかどうかの調査が必要となる。オーバーコアリング法が現段階の技術では最も信頼がおけるが、時間と費用を要するため、オーバーコアリング法が不可能なら、AE法により地圧の大きさや方向を測定する。

AE法による地圧測定は、世の中で信頼する人とそうでないと言う人と両方いる現状にある。AE法とは、採取してきた岩石に、人工的に地圧に相当する圧力を加えれば、初期応力を超えた途端に岩石からAEが発せられる現象を測定原理としてきている。このことをカイザー効果といい、それが明瞭な所を選んで現在の地圧としているが、変形率変化法（DR法、これもコアーによる）も併用し、現在コアーで出来る最善の方法で実施することが望ましい。

これまで、この方法の精度を確認するためにオーバーコアリング法（OC法）と比較した例があるが、(財)電力中央研究所で行った5例はほぼ対応している。ただ、メカニズムとしてなかなか学問的に説明出来ないところがあるが、オーバーコアリングに比較すると、安価で実験室でできることがメリットである。

プナ・チャンチュの本格調査にてAE方を適用する場合には、以下の3通りの方法が考えられる。
第一の方法は、地表からの1本のボーリングによりコアから多方向にサンプリングをする方法。
第二の方法は、横坑からの1本のボーリングによりコアから多方向のサンプリングをする方法。
第三の方法は、横坑から多方向のボーリングをする方法である。
実際には、地表からのボーリングでは深さ数百メートルのコアの方向を定めることが難しいため、横坑の中から一本または数本の定方位のボーリングコアーにより、さらに多方向の小さいコアを作成する方が効率

的であろう。また、技術を簡略化するために、一方向のコアボーリングからさらに、小さなコアを抜いて日本で実施するのが効率的であると考えられる。

水平、垂直応力を求めるためには、水平に4方向、垂直に1方向のコアが望ましいのでコアーの中からコアーリングが必要で、より正確な応力を求めるために、コア径は最低でも76mm必要である。

さらに、空洞の安定計算および支保の設計の為に、日本では岩盤試験を実施することが通常である。今回の様な事情では発電所サイトでのデータは必要であるが、ダムサイトが同様な岩盤であることを考慮してダムサイトのデータで流用することも可能かもしれない。

参考文献

United Nations (1991) Atlas of mineral resources of the Escap region , vol.8, Bhutan

Augusto Gansser(1983) Geology of the Bhutan Himalaya

橋本光男（１９８７）日本の変成岩，岩波書店

都城，久城（１９７５）岩石学２，共立出版

5．氷河湖決壊洪水

氷河湖決壊はネパールで研究され、その生成原因について述べられており、一部対策も提案されている。ブータンにおいても氷河湖は存在し、後述するように現実に氷河湖決壊は発生している。

今回計画されているPuna Chanch川の上流であるMo Chu,Pho Chuの最上流でも氷河湖の存在が指摘されている。

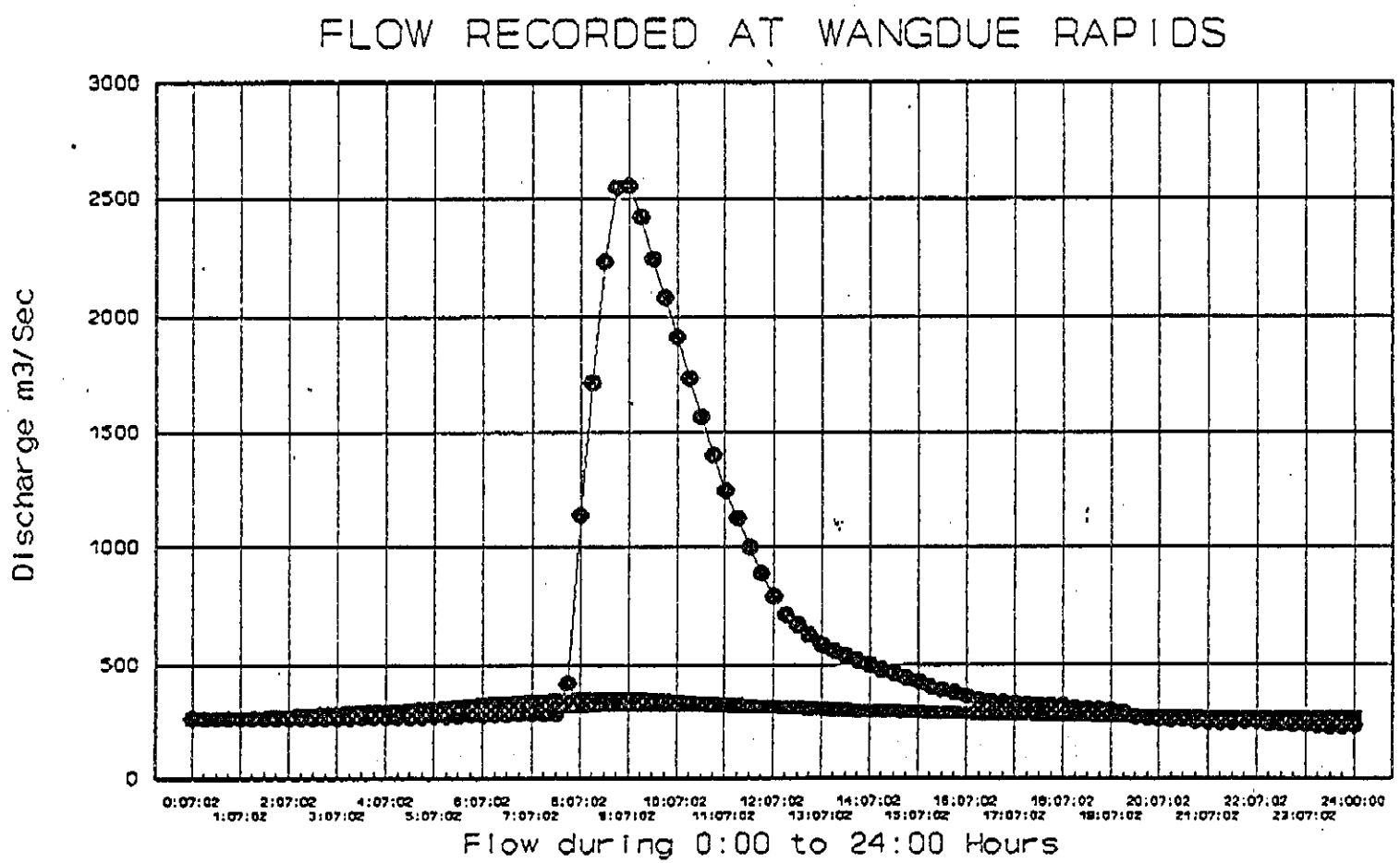
ブータンDOPの報告によれば、過去にサンコシュ川の流域で起こった記録上最大と思われるものは、1994年10月7日（雨期の終わり）のピーク流量毎秒約2,600立方mの規模のもので、計画貯水池直上流の側水所で測定されたデータによると、朝7時半から水位が上がりはじめ、9時頃にピークに達して、夕方4時までで正常に返つている。（次頁に流量データ掲載）

計画地点の上流にプナカの町があるが、この時の大洪水によって、現河床より数m水位が上昇したとしている。このケースでは、89km上流の氷河湖の決壊による洪水は、7時間かけてプナカまで到達し、橋を押し流し、プナカゾン（城）に被害を与えている。またそこでは支流を逆流したということである。

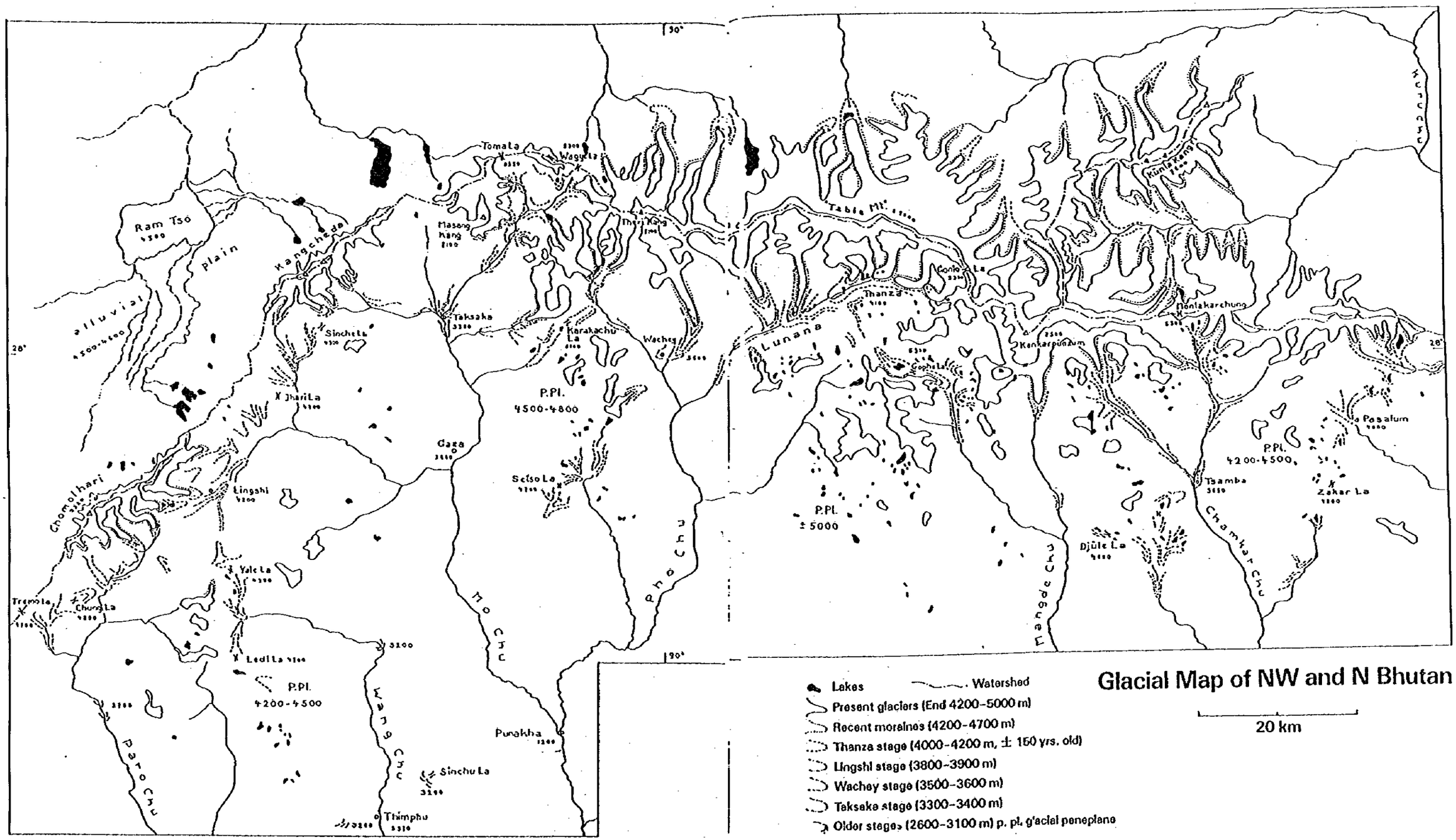
プナカの町では20～30人の死者を出し、全体では100人程度の死者がでたとされている。一方全体で死者は3人との情報もある。　また、このような被害は42年前にも起きたとの言い伝えがあり、これよりも大きかったろうと言われている。

以上のことから判断すると氷河湖決壊洪水の問題を無視することはできず、現実の技術と経済的効果から、この種の洪水は上流では阻止できないものと考えてダムの設計を行うことが必要となる。幸いにも、このダムのプレF/Sでの設計洪水量は毎秒約6000立方mであり、上記のケースでは、洪水時のピーク流量はダムの洪水設計量の約50%程度なので、十分対処可能であると考えられるが、今後の予測については相当の調査が必要である。

今後の調査の中での氷河湖決壊の問題の取り扱いとしては、氷河湖決壊が起こつた場合にダムがあるためにその被害を増大させないことを原則として臨みたい。そのためには、ダムの仕様を決定する上で、既往の洪水の程度の調査および将来起こりうる洪水の推定が必要となる。既往の洪水では、前述した1994年の洪水のデータが得られているが、将来の洪水量を推定するためには、氷河湖を調査する事が必要である。問題は、流域内の氷河湖の調査をどこまで行うかであり、現地踏査は標高が高く現実的でないことから、過去10年程度の衛星写真などから氷河湖の成長状況と、流域内最大の氷河湖が決壊した場合の段波の解析を行つて、異常洪水量を試算するシミュレーション計算によって設計に資する程度に留めてよかろう。ただしそのためには、雲の量の少なくかつ解像度が大きい（出来ればスポット衛星）衛星写真を入手することが必要である。



PUNA-CHANGCHU HYDROGRAPH (5,6, 7/10/94) and TSHODRA CHHO GLACIAL LAKE OUTBURST GRAPH
Drawn by Bharat Tamang, DoP



Glacial Map of NW and N Bhutan

6．水文

河川の流量観測については、予定貯水池の直上流に水位観測所を設けて、電力局によって1991年9月より継続的に時間観測を行っており、この技術については問題なく、本格調査団による河川流量のチェック以外は、これを先方に一任して良いと考えられる。

しかし、開発調査の終了時までに最大7年程度の資料しか得られなく、雨や近傍流域の値を参考として30年程度の流入量を合成する必要があり、水文技術者による相当の資料収集を含めた現地に於ける広範な活動が必要である。

雨期に於ける流量の日変動は大きく、日間隔の解析が要求される可能性がある。インドの実施したチュカ発電所では月平均流量でのみ検討を実施している。

7．環境問題

（1）動植物調査

ブータン国は貴重な高山植物や動物が棲息していると言われているが、ほとんど調査がされていないのでその実態は不明である。プロジェクトサイト調査時に「猿」を5～6匹散見したが、同行者の説明によれば「Golden Langur」という種類との事であった。

ブータン国は環境保護には特に力を入れており、1990年5月に国連主催の環境会議がブータン国で開催され「The Paro Declaration of 5 May 1990」としてまとめられている。

プロジェクトサイト周辺の動植物フィールド調査ならびにサンコシュ川の川魚調査は最低限実施する必要がある。現在、進行中のタラ発電プロジェクトでは、ダムに魚道の設計が考慮されていることを考えると、本プロジェクトのダム設計にも同様な配慮が要求されると推定される。

具体的な調査方法についてはUNEP (United Nation Environment Program)のGreen bookが参考になるとの助言を現地ブータンスタッフより受けた。

（2）水質調査

本プロジェクトのダムサイト予定地より上流にある測水所で、サンコシュ川のPHを測定したところ9.0で弱アルカリ、発電所予定地では8.5であった。サスペンデッドソリッド(Suspended Solid)は測定できなかったが、概ね5～10程度と非常に透明度が良く、建設中の濁水処理対策には十分注意を払う必要がある。

8．今後の課題

現地調査に於けるローカルコントラクターの能力について調査を行うため、現在農業分野の無償援助協力でパロに滞在中の日本人スタッフと面談した結果では、先方カウンターパーツの情報とは大きくかけ離れ、何れの調査に於いても殆ど人夫供給以外は期待できないとのことであった。

本格調査において、インドのコントラクターを直接使用することについては先方が難色を示しており、その契約実施方法が次回の調査団の大きな焦点となるであろう。

開発調査の実施に際して、現地工事実施の難点を踏まえて開発調査の意義を評価するならば、従来日本が実施してきたように、技術移転を大きく評価することを考えるべきであろう。

以下個々の現地調査について、調査団としての見解を述べるが、次回調査団の対処方針決定までには具体的な構想を策定する必要がある。

（1）地形調査

既存の5万分の1地形図は、インドの場合と異なり容易に入手が可能で、今回既に電力局に存在するただ一枚の地形図を貸与された。

計画地域全体をカバーする航測図（1万分の1程度）については、どのように作成するか大きな問題である。インドに直接委託することは避けるべきと考えられるが、航空機の持ち込み撮影を日本国内の再委託で行うことは、制度上経済的にも困難であろう。次回調査団派遣までに対策を立てる必要がある。

ダムサイト並びに発電所付近の実測地形図（500分の1程度）の作成は、現地再委託にて人夫を調達して、直接日本人技術者が、技術移転を行いながら実施する必要があろう。この場合は測量用機器の機材供与が伴う可能性がある。

（2）地質調査

現地には日本の無償で供与されたただ1台のボーリング機械が、政府の鉱山地質調査機関にあるのみで、民間コントラクターを含めて全く技術的にも機材面からも現地再委託は、インド業者以外には、期待できない。

人夫供給を主体とした現地再委託、ボーリング機械の機材供与等を組み合わせ、日本人技術者を派遣して技術移転を行いながら、これを実施する必要があろう。このことは試掘トンネル（ダム及び発電所）の実施についても言えるが、トンネルの掘削用機材を供与することは不可能であり、機器損料で対処するならば国内再委託を行う必要があり問題が多い。

今回の地質調査に於ける焦点は、地下発電所の調査であり、最低でも200mの試掘トンネルと、その先端に於ける地山初期応力の測定が後々、欠かせない（詳細設計との分界点を何処に持ってくるか議論の要がある。）。

全体の工程との問題もあるが、特に初期応力の測定は極めて高度な技術であり、日本人技術者の投入は不可欠である。また、ボーリングコアーの日本への輸送も必要となって来る。次回調査団の対処方針までには更に煮詰める必要があろう。

（3）コンサルタントのモービリゼーション等

先方に車両を供与する能力は全くなく、現地にもこれを供給する十分な能力を持ったレンタル業者は存在しない。現地調査の密度を考えると、全天候装備（冬季の走行は極めて危険が伴う）の4輪駆動車が、少なくとも4台、機材供与として必要と思われるが、台数については調査行程を更に検討して、次回対処方針までに具体的な案を策定する必要がある。

計画区域内は比較的アクセス容易であり、上流のブナカに位置する観光用のホテルが使用可能である。従って域内に於ける環境は比較的良好である。

通信事情も、日本の協力によってかなり改善されている。

その他、首都に於ける事務所建物の先方による供与は困難であるとの先方のコメントがある。

（4）次回調査の課題

次回予備あるいは事前調査にて、確認すべき事項を以下にまとめる。

1）地形測量における先方の能力の確認及び実施方法の検討
2）ボーリング調査に必要な、供与機材の確定及び調査実施主体の検討・確認
3）試掘横坑調査が必要かどうかの最終判断及び調査実施主体の検討・確認
4）航空写真図化の実施方法
5）雨量資料の確認
6）流量資料のアップデイト
7）氷河湖決壊洪水に対処するための調査方法の検討

JICA