

ネパール王国

カトマンズ盆地 地下水開発計画調査

最終報告書

要 約

1990年11月

国際協力事業団

ネパール王国

カトマンズ盆地 地下水開発計画調査

最終報告書

要 約

JICA LIBRARY



1089568(8)

22247

1990年11月

国際協力事業団

国際協力事業団

22247

序 文

日本国政府は、ネパール王国政府の要請に基づき、同国のカトマンズ盆地地下水開発計画に係る開発調査を行うことを決定し、国際協力事業団がこの調査を実施した。

当事業団は、1989年1月から1990年2月まで日本工営株式会社 一宮隆夫氏を団長とし、同社及び日本技術開発株式会社から構成される調査団を現地に派遣した。

調査団は、ネパール王国政府関係者と協議を行うとともに、プロジェクト・サイト調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなった。

本報告書が、本計画の推進に寄与するとともに、ひいては両国の友好親善の一層の発展に役立つことを願うものである。

終りに、本件調査に御協力と御支援をいただいた両国の関係者各位に対し、心より感謝の意を表するものである。

1990年11月

国際協力事業団
総 裁 柳 谷 謙 介

伝達状

国際協力事業団

総裁 柳谷謙介殿

カトマンズ盆地地下水開発計画調査の最終報告書を提出します。本報告書は、ネパール政府がカトマンズ盆地において実施する最適水資源管理計画に寄与すべく作成されました。

報告書は4分冊より成り、第1冊は要約で、調査結果の要旨を取りまとめたもので、第2冊は主報告書で、水資源管理計画の調査結果を含み、第3冊はサポーティング・レポートで主報告書の裏付となる社会経済、水文、水文地質、地下水シミュレーション、表流水資源、水道施設、人口予測、水需要の各分野の成果を含み、第4冊はデータ集で調査の基本的データを含みます。

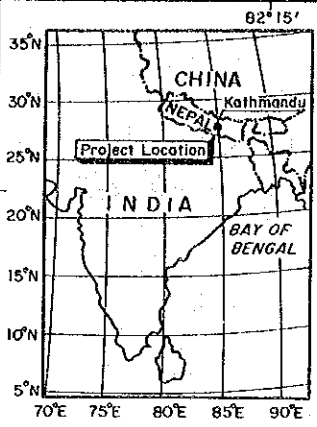
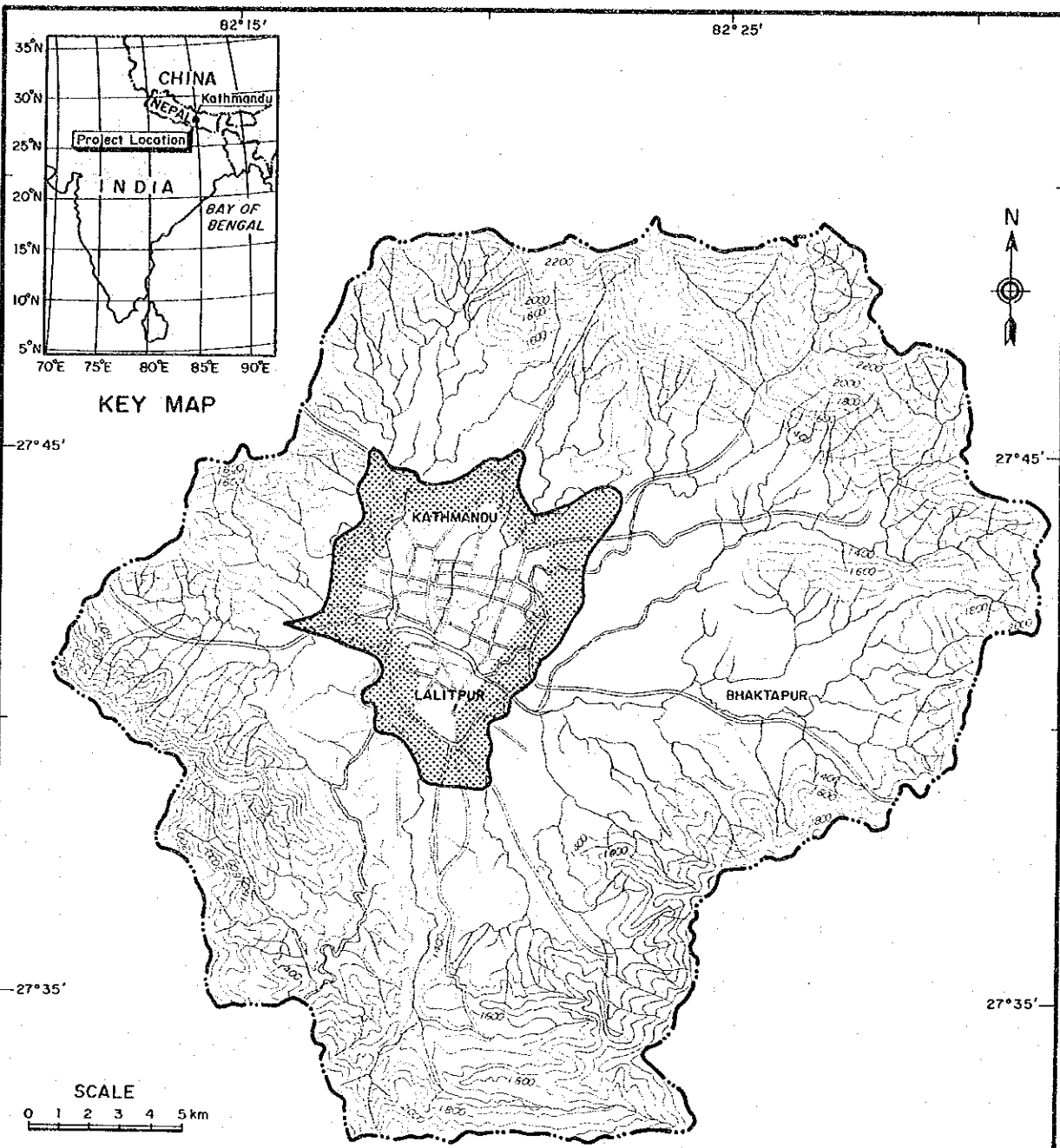
本報告書を提出するにあたり、全調査期間にわたり多大なご支援を賜った貴事業団、外務省、在ネパール大使館及びネパール国の関係各位に対して心から御礼申し上げます。

最後に、本調査結果がカトマンズ盆地における今後の水管理計画に活用されるならば、これに優る幸いはないと存ずる次第であります。

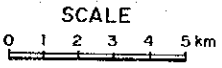
1990年11月

調査団長


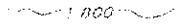
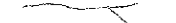


一宮隆夫



KEY MAP



LEGEND

-  Study Area
(Boundary of the Kathmandu Valley Basin)
-  Contour Line at 100m Interval
-  River
-  Road
-  Objective Area for Water Demand Forecast
(Greater Kathmandu)

HIS MAJESTY'S GOVERNMENT OF NEPAL
GROUND WATER MANAGEMENT PROJECT
IN THE KATHMANDU VALLEY
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

調 査 位 置 図

要 約

A 経 緯

1. 調査地域はカトマンズ盆地全域で中央平坦部で標高約1,300m広さ約585km²である。盆地は、ほぼ隅々まで耕地として利用されており、水田が広く分布している。盆地内にカトマンズ、ラリットプール（パートン）、バクタプール（バドガオン）の3つの都市があり、その余の部分にも人口が分散して分布し、全人口は約100万人（1990）、このうち3都市に約50万人が集中している。水需要計画対象地域はカトマンズ盆地中央部のカトマンズとラリットプールの都市部である。カトマンズとラリットプールは隣接しており、あたかも一つの都市のように機能しておりグレーター・カトマンズと呼ばれている。ここの人口は1990年に約43万人と見積もられる。カトマンズはネパール王国の首都で、政治を始め王国の諸機能の中心地である。

2. グレーター・カトマンズの上下水道の主管は政府の住宅供給省（Ministry of Housing and Physical Planning）に属するネパール水道公社（NWSC）である。（1990年以前は上下水道公社WSSCと称されていたが1990年3月に改称された）。上水道は百年以上の歴史を持っているが、設備が老朽化したままになっていた。1970年代に入って配水の不足が起き始めたので、1973年に国連開発機構（UNDP）がマスター・プランを作り、これに従って世界銀行（IBRD）の融資で第1プロジェクト、第2プロジェクト、第3プロジェクトを次々と実施し、1987年に完成した。この3つのプロジェクトで作られたものは、幾つかの配水池、送水管、および43本（うち30本が使われている）の深井戸である。

3. 上水道水源は以前は専ら表流水に頼っていたが、プロジェクト完成時には地下水が加わった。結果として、量的には当面の需要を満たせる事になったが、地下水の水質は予想に反して甚だ望ましくないものだった。地下水はアンモニア、鉄、マンガンなどの含有が高く、消費者には甚だ不評だった。配水された水は鉄分によって赤い色を帯び、^{おろもの}澱物があり、かつ悪臭があって飲用、調理、洗濯などに不向きだった。現在では表流水と混ぜて配水され幾分程度が良くなっているが、現在以上の水質改善は望めず、抜本的な対策が施されていないまま現在に至っている。一方消費者への送水は伝統的な朝夕1日2回の送水のシステムが続けられている。他方送水漏水率（漏水によるもの、および料金回収できないもの）が著しく高い。

4. 1970年のUNDPのマスター・プランでは、このまま需要が伸びると、盆地内の水源ではもはや需要に応じられなくなるので、盆地外からの導水が必要とされている。こ

れに応じて1989年にはUNDPの資金で最適の水源を求めるスタディーが行われ、盆地の北方にあるメラムチ・コーラ（コーラはネパール語で川の意）が選ばれた。現在はIBRDによりこの導水トンネルのフィージビリティ調査が行われている。盆地外からの水は2001年には使えるようになる計画である。

5. このような状況下に、2001年までの水源拡張と水管理の方策を確立することが必要であり、ネパール政府は日本政府に技術協力を要請した。日本政府はこの要請に応え、国際協力事業団（JICA）を通じて調査団を組織した。NWSCとの緊密な協力のもとに1989年1月から本格調査を開始し、1990年11月に至る間に、3次にわたる現地調査とそれぞれに続く日本国内での作業が行われた。報告書もインセプション、プログレス1、プログレス2、インテリム、ドラフト・ファイナルと5回作成され、その都度NWSCとの討議が行われた。本報告書はドラフト・ファイナル・レポートを基に、ネパール側のコメントを加味して作成されたファイナル・レポートである。

B 現 状

6. 地勢と水文：ネパール王国は147,181km²の国土を有し、人口は1990年現在約1,800万人である。国土全体は東西に長い矩形のような形をしており、長手方向に4つの違った地勢を持っている。北からヒマラヤ山脈、マハバラト山脈、シワリック山脈、およびガンジスの沖積平野の北縁をなすタライ平地である。カトマンズ盆地はマハバラト山脈の南縁にあり、全国の東から3分の1のあたりに位置している。盆地の標高は約1,300m、四周の山地は約3,000mである。盆地内にはただ一つのバグマティ水系があり、たくさんの支流が集まってただ一か所から排水されている。集水面積は出口に近いチョパール地点で585km²あり、このうち平坦地が約400km²を占める。今回の調査の対象地域はバグマティ水系の集水域と一致している。年間降雨量は盆地中央で1,300mm、周囲の山地は約3,000mmで、全流域の平均は1,912mmである。明確な雨季と乾季があり、降雨の約80%はこの6月から9月までの雨季に降る。蒸発パンによる蒸発量は3.7mm/日である。また盆地出口のバグマティ川の平均年流出量は500MCMと推定される。

7. 土地利用：全流域のうち約420km²（80%）が農地で、このうち220km²が水田、90km²が畑として利用されている。このうち支配面積合計約7,600haが表流水で灌漑されている。無数の灌漑システムが存在し、川から取水している。これらの灌漑施設は未整備だったり旧式だったり、灌漑効率が低い。また乾季には、川の流量不足により、限られた面積だけが灌漑されているに過ぎない。最大灌漑用水量は田植時期

の6月に発生し $1.21/s/ha$ と推定される。もしも、盆地全体の灌漑施設の見直しを行なってマスタープランを作り、これに従って全施設の近代化を行うなら、農業の便益増加は言うまでもないが、表流水に余裕を生じ、上水道水源の増加となることは確実である。

8. 地質：盆地は2つの地質系統より構成されている。その一つは第四紀層で盆地の中央部に堆積して基盤を覆っている。もう一つは先カンブリア紀からデボン紀（古生代）の基盤岩で盆地を取り囲んでいる。たくさんの尾根が盆地の底部に向かって周囲から伸びており、埋没尾根になっている。地表から先カンブリアの基盤岩までは数十mから500m以上あることが確認されている。盆地中央部の厚い第四紀堆積物は湖成堆積物と河成堆積物とより成る。湖成堆積物は3つのタイプに区分される。すなわち砂質堆積物、粘土質堆積物そしてこれらの互層である。

9. 地下水の利用状況：カトマンズ盆地全体で1989年末で約60本の管井戸が運転されている。年間揚水量は $1,400万m^3$ と推定される。60本のうち28本がNWSCの井戸であり、その生産量は全汲み上げ量の80%以上に達している。井戸の他に、カトマンズとラリットプールには約30のスパウトが存在し、生活用水として利用されている。最大のスパウト汲み上げ量は $31/s$ 、また雨季では $151/s$ である。この水はバクテリアや大腸菌が50から250単位/m¹と高く、水質は良くない。またスパウトの水は深い井戸の地下水に比べて、高い塩素イオン濃度を示しており人為汚染されていることを示している。

10. 地下水位の傾向：調査地域の地下水位は第3プロジェクトの井戸建設以来低下し始め、低下が続いている。地下水開発の結果、マノハラの井戸群では、過去4年間に累進的に約10m低下している。地下水位低下の傾向は、年々汲み上げ量が増加するとともに増加し、深刻な事態となっている。

11. 地下水の水質：NWSCの井戸水の大部分では、高い濃度の鉄分（ $1-3mg/l$ ）異常に高い濃度のアンモニア（ $0.05-6.5mg/l$ ）、窒素（ $0.1-4.8mg/l$ ）、過マンガン酸カリ消費量（ $3.9-16mg$ ）が確認されている。しかし、NWSCの表流水水源ではこのように高い濃度のイオンは確認されていない。

12. 水文地質：カトマンズ盆地の地下水涵養の可能性は、容易な涵養を妨げる黒粘土を挟んだ湖成堆積物によって制限されている。盆地の北部では、堆積物の上部は雲母を含む石英質の砂礫よりなる非固結性の高い透水性より成る。非固結の粗粒堆積物層厚は約60mあり、盆地の主力帯水層となっている。この地下水の水質は $100-200MS/cm$

と低い電気伝導度で特徴づけられる。帯水層の透水係数は $83-1,963\text{ m}^3/\text{日}/\text{m}$ である。

13. 盆地中央部の堆積物上部は、いくらかの褐炭を伴う200mに及ぶ不透水性の非常に厚い黒粘土より成る。この下部には未固結の中程度ないし低い透水性の粗粒堆積物が存在する。これらからの地下水の水質は、カトマンズ中心のトリプリスワールの近くの井戸で確認された $1,000\text{ MS}/\text{cm}$ という非常に高い電気伝導度を持っている。これらの帯水層の透水係数は $32-960\text{ m}^3/\text{日}$ である。一般にこの地域の水頭は高く、特にすべてのガス井戸は自噴している。年代分析によれば、ガス井戸の水の年齢は約28,000年と見積られる。これにより中央地区の被圧地下水は涵養の少ない停滞性の地下水と確認される。

14. 盆地の南部地域は、厚い不透水性粘土層と低い透水性の基底礫岩によって特徴づけられる。帯水層はほとんど発展しておらず、僅かにバグマティ川沿いのチョパールとパールピンの間に確認できる。

15. 地下水の涵養：カトマンズ盆地内の帯水層は他の地下水からは隔離されており、湖成堆積層より加圧された被圧地下水である。帯水層内の地下水流動は微々たるもので、トリチウムおよび炭素同位体による年代測定によればほぼ化石水とみなせる。加圧層の透水係数は $0.0003\text{ m}/\text{日}$ ($12\text{ cm}/\text{年}$)と見積られる。

16. 上水道施設：盆地内でNWSCが管轄している給水システムはカトマンズとラリットプール(グレーター・カトマンズ)へ給水している8システムと、バクタプールへ給水している2システムの10システムである。前者のうちチャバガオン、ドゥッド・ボカリおよびロカットの3システムは泉を水源とし、主に市の周辺の村や部落に給水している。これ以外の各システムの水源は表流水と地下水で、各々の浄水場または配水池に集められて市内に配水されている。盆地内の水道用水源の全生産可能量(施設の設計能力)は今回の調査の結果、表流水は $60,540\text{ m}^3/\text{日}$ 、地下水は $55,620\text{ m}^3/\text{日}$ 、合計 $116,160\text{ m}^3/\text{日}$ と推定される。ただし地下水は、施設の修理、停電などの原因のほか、井戸間の距離が十分でないため地下水位の低下が起こって運転できなくなる井戸が出るなどの原因で、実際の地下水汲み揚げ量が低下することがしばしばある。

17. 水質：調査の水質分析は乾季と雨季に行った。表流水のうち泉の水は乾季雨季とも安定した水質で、水質上の問題はない。また河川水は、雨季の降雨直後に濁度が上昇するが、適切な浄水が行われれば、水道水源として特に問題とはならない。一方地下水はパールピン井戸群以外のものは、鉄、マンガン、アンモニアの含有量が非常に高く、普通は水

道用水源としては許容できない範囲のものである。現在はこの様な地下水が無処理で給水されており、給水上の種々の問題を発生させる原因の一つになっている。

18. 給水：水源から供給される表流水と地下水は、無処理または各システムの浄水設備で処理された後、配水池に貯留される。配水は朝3時間、夕方3時間の2回の時間給水により市内に配水されている。グレーター・カトマンズに給水している配水池はバラジュ、バンスバリ、マハラジガンジ、マハンカル・チュールおよびシャインプーの5つである。調査時の解析によるとこれら5つの配水池からの平均給水量は表流水39,199 m³/日、地下水は21,956 m³/日、合計61,155 m³/日であった。

19. 浄水：浄水場は5カ所ある。すなわちグレーター・カトマンズに給水しているバラジュ、マハラジガンジ、スندگانリガルおよびスندگانリガットと、バクタプールへ給水しているバンスバリ（前述のバンスバリとは同名異所のもの）である。このうちスندگانリガット浄水場は近年都市下水の流入が増加し原水の汚濁がひどいため、現在は運転を中止している。以下各浄水場の施設概要と運転、維持管理の現状について述べる。

20. バラジュ浄水場の現状：1961年に建設されビシュヌー・コーラ流域内の5つの泉からの表流水を処理している。設計能力は10,900 m³/日である。原水の濁度が高いときは凝集剤が注入されることになっているが、実際には注入されず、原水は直接沈殿池に送られている。このため濾過池に過大な負荷を与えている。また濾過池の機能は十分でなく、逆洗用水を配水池に頼っているため、配水池の水位が低いと十分な時間の間洗浄できない。濾層が汚染され十分な水処理ができない現状にある。滅菌は配水渠で晒粉が注入されているが、浄水の水質が悪いため、残留塩素は配水池において0.1 ppmと低い。

21. マハラジガンジ浄水場の現状：1960年に建設された。水源はビシュヌマティ・コーラの河川水とシバプリの2つの泉である。設計能力は2,400 m³/日である。沈殿池は1987年に漏水が激しいため取り壊され、現在原水は直接濾過池に入る。このため濾過池に過大な負荷を与えている。洗浄装置の機能が不備で濾材が著しく汚染されている。滅菌は配水渠で晒粉が注入されているが、浄水の水質が悪い上に、無処理の水がバンスバリ配水池などから流入するため残留塩素は配水池において0.1 ppm以下と低い。

22. スندگانリガル浄水場の現状：1966年に建設された。水源はバグマティ川のスندگانリガル・ダム（元来は発電用に建設されたもの）の河川水である。設計能力は19,600 m³/日である。雨季の原水の濁度が高いときには凝集剤の明礬とpH調整のための石灰が投入されているが、量が不十分である。原水は薬品投入後水路内で混和され、3

つの沈殿池に送られる。沈殿池は一日に一つが洗浄される。しかし薬品投入が十分でなく、逆洗用タンクの容量が小さく、十分な時間の洗浄を継続できない。濾材が汚染されている。滅菌は浄水渠で晒粉が注入されている。滅菌後送水管で沿線の村落とマハンカル・チュールの配水池に送られて貯留される。

23. バンスバリ浄水場の現状：マハデブ・コーラの河川水を処理してバクタプール市へ給水している。設計能力は4,900m³/日である。薬品投入設備がなく、原水は直接沈殿池に入る。従って雨季の原水の濁度が高い時には、沈殿後も濁度がほとんど落ちないまま濾過池に送られる。濾過池は3池で、洗浄設備がない。そのため洗浄には濾材を池の外に人力で持ち出して行われている。滅菌は配水池で晒粉が注入されているが、残留塩素は乾季には0.1ppm程度、雨季には検出されなかった。

24. 配水システムの現状：現在グレーター・カトマンズとバクタプールの市部へは各システムの配水池から送水管で送水されている。市の周辺の村落へは、その多くが送水管沿線に位置しているから、送水管から直接送水されている。送水は朝夕3時間づつ時間給水が行われている。これは盆地の給水の始めから行われている伝統的なやり方である。配水池は第1プロジェクトと第2プロジェクトによって容量が大幅に増大した。現在はグレーター・カトマンズには合計24,000m³、バクタプールは合計5,600m³の配水池が配置されている。しかしバラジュ、マハラジガンジなどの配水池は老朽化し漏水などの問題を生じている。またバンスバリ、シャインプールの配水池は容量が不足し、給水時間外には越流を生じている。

25. 配水管網：市内の配水管網は、需要が増えると増設される形で現在に至ったため、同じ道路下に複数の管が布設され、非常に複雑な配水システムとなっている。また配水システムの不備により、システム内では均等な水圧が得られず、特に配水管の末端部では断水の原因となっている。対策としてシステム内のバルブの細かい操作をして配水ブロック別の給水が行われている。給水開始直後と一定時間経過後の水質を調査した。結果は直後には非常に高い汚染物質を含み、時間の経過と共に漸減するのが確認された。これと同時に現地での残留塩素量を調査したが、シャインプールの配水されているラリットプール市内以外には残留塩素が検出されなかった。これらの結果は、給水水質は非常に高いアンモニア、鉄およびマンガンを含む、残留塩素がなく、さらに給水時間外で配水管内に流れがないときには、管内は鉄バクテリアや硝酸バクテリアなどの増殖を促す環境にあることを示している。これが給水の水質を一層悪くすると同時に、その消費量を増大させる原因となっている。従って現在の給水水質では病原バクテリアを殺滅することは不可能であり、給水栓からバクテリアを流出させたり色の着いた水を出す原因となっている。

26. 残留塩素：給水栓で保持されるべき残留塩素は赤痢菌、腸チフス菌などの病原生物を殺滅するのに十分な量でなくてはならない。平常時では0.1ppm、消化器系統の伝染病が流行している時や、断水後給水を再開する時には0.2ppm以上が必要である。また一方配水管の防食のためにはpH値が7.5ないし8.0あって、ランゲリア値が-1.0以上が望ましい。調査での実測値はバラジュ-、マハンカル・チュールおよびシャインプ-のランゲリア値はそれぞれ-1.50、-2.65および0.08であった。シャインプ-以外は不適当と判断される。

C 需 要

27. 人口予測：1973年以後カトマンズ市とラリットプール市の人口予測はプロジェクトがあるごとに種々の予測者によって予測されているが、結果は夫々大きく異っている。今回はこの中で最新のプロクター社によるもの(1984)とビニー社によるもの(1988)をレビューした。両者は差が大きいので、新たに別法によって予測を行った。結果の比較は下表のとおりである。

予測者	都市人口(千人)			平均年増加率(%)		
	1981	1991	2001	1971-81	1981-91	1991-2001
A) プロクター	316	479	729	4.08	4.16	4.20
B) ビニー	316	593	958	4.08	6.29	4.80
C) 今回	315	486	734	4.08	4.34	4.12

この表で明らかなように、CはAに近く、Bは著しく大きい。これはBは1981-86の選挙投票者名簿を用いたことによるものと考えられる。この名簿はB自身が指摘するように投票者名の重複があるといわれている。しかし今回の調査期間内にその事実を明らかにすることは困難である。一方CはAと比較してより新しい予測関係資料を用いている。従って、水需要予測にはCの人口予測値を採用するのが適当と判断される。

28. 都市の現在の水需要：カトマンズ市とラリットプール市の現在の水需要の動向を知るために2回のアンケート調査を行った。サンプル数は第1回が52,246、第2回が24,693であった。調査項目は第1回が1栓当りの水消費量、季節変化、水の用途、1栓当りの人数、トイレットの型、1人当りの水消費量、第2回がメーターの有無、メーターが稼働しているかどうか、用途(家庭用、工業用、商業用)の別の数、1栓当りの人数、用途別の水消費量である。これにより既存のデータでは知り得ない情報を得た。これらのうち水消費量はメーター付きメーター稼働の場合(1)のみ知り得たので、メーター

付きメーター不稼働の場合(2)とメーターのない場合(3)は、(1)を1とし、(2)と(3)は夫々1.10倍、1.77倍とした。月別の変化は(1)の水使用実績と、月平均気温の変化のパターンから推定した。

29. 将来の水需要：将来の使用水量の推定の前提は、まず人口は前期の推定値によること、稼働するメーターの数は漸増(その増加率は1991年が40%、1992年と1993年が20%、1994年と1995年が10%)すること、家庭用水の増加には水洗便所の普及による増加を0.371/日、生活向上による増加率を2.5%と見込むこと、漏水率はIDA改善計画に基いて減少(1991年に20%、1992年と1993年が15%、1994年から1998年までが10%)することである。改良の最終目標は25%とする。これらの前提に基いて2001年までの水使用量を推定した。これに基いて将来の給水計画を策定することになる。

D 最適水管理計画

30. 計画の前提条件：与えられた期間としての2001年までの生活用水の水管理計画の前提条件は次のとおりである。

- a) 上水道施設の開発計画は水量の確保のための水源開発と、水質の向上のための施設建設または改良の両方について行なう。
- b) 2001年には盆地流域外からの導水が完成して、流域外からの追加の水が使えるようになるものとする。
- c) 地下水取水は地下水資源の保護のために、現在より少なくする。シミュレーションで求めた限界地下水位を越えないように取水する。
- d) 2001年までに発生する需要増は盆地内の水資源で対応する。当然地下水は増加できないから、専ら表流水開発に頼ることになる。
- e) 表流水開発計画は考え得るすべての取水可能な案を検討して、その中から選ぶものとする。
- f) 主水源は表流水であり、表流水は月毎の量的変化が大きいから、給水施設は計画月別給水量を十分考慮して調和を保つ。
- g) 地下水は必ずアンモニアや鉄を除去するために生物濾過を行う。
- h) 表流水と地下水とを問わず全ての水には配水前に滅菌を行なう。よってすべての浄水場には滅菌施設を完備させる。
- i) 各配水システムごとに給水区域を確立し、管内流速の変動による給水栓水質への影響を出来るだけ少なくする。
- j) 開発順位の決定は水需要の増加に応え、かつ水質の向上のための施設建設または改良の実施の両方から比較検討して決めるものとする。

31. 主要帯水層のシミュレーション：主要帯水層を対象とした有限要素法を用いた地下水シミュレーションにより、以下のことが明らかになった。

- a) 主要帯水層の涵養は上層難透水層からの漏水（または絞り出し）である。
- b) 現在の地下水揚水量は既存施設による：限界揚水量、およそ15,000m³の2倍以上に相当している。
- c) 地下水の汲み揚げによって強制的な上層難透水層からの漏水または絞り出しが生じる。しかしこの汲み揚げが上述のおよそ15,000m³を越える場合は揚水効果が大幅に低下し、また地盤沈下などの社会問題が生じよう。

32. 最適揚水計画：修正シンプレックス法による最適揚水計画による各井戸群の揚水量および寄与率は、井戸損失を50%と仮定して、以下のとおり算定された。

 パンスバリ井戸群 6,936m³/日 (44%)

バラジュ-井戸群	1,000 m ³ /日 (6%)
マノハラ・ゴカルナ井戸群	6,093 m ³ /日 (39%)
パールピン井戸群	1,600 m ³ /日 (10%)
合計	15,629 m ³ /日 (100%)
	(=15,000 m ³ /日)

3.3. 配水必要量：先述の2001年までの需要想定を基本とし、これを下回る事のないように表流水開発を行う用にする。このためにすべての可能性を検討した。検討した表流水開発案を以下個々に説明する。表流水開発の現状は、盆地内に政府と農民によって作られた約60の取水堰とNWSCが管理運営している9つの取水堰が既存であり、乾季には表流水の大部分が利用されている。従って検討した表流水開発案は、これら既存の施設の取水を妨げないように考えられたものである。

3.4. 河川利用計画：既存施設の余り水を2001年までに有効に利用すべく、次の6河川に流れ込み式の取水施設を検討した。このうち地形、地質、施設の容易な運営、管理を勘案して床止工取水施設をマノハラ川、ドビ・コーラ、ランバガール・コーラに設ける。またコンクリート堰の取水施設をバルクー・コーラ、ビシュヌマティ川に設ける。さらにバグマティ川では既設のスダリジャル発電所の上池施設を兼用して取水する。新規の開発地点では利用可能量が季節的に変動し取水量は季節によって変る。とくに乾季には僅かになってしまうから、施設の計画取水量は月別に異なるが、月間取水量は80%の利水安全度を保たせることとし、最大0.15 m³ /sまで取水できる施設とする。

3.5. ダム貯水計画：ダム貯水計画を選定し提案する。バルクー・ダム案はキルティプール町の西側に位置し、ダムの貯水効率がよく最大開発流量は0.8 m³ /sである。経済性に優れているが、池敷の中のビシュヌー・デビ寺が水没する。この寺は現地の宗教上重要なもので、この問題が解決しない限り計画の実施は難しい。コドック・ダム案（バレガウ地点、ナクー・コーラからの導水計画を含む）とナクー・ダム案（テイカパイラウ地点）は最大開発流量が夫々0.3 m³ /sと0.6 m³ /sであり、経済的に優れ、現時点では大きな技術的制約も見られないが、水没地の農地の補償を伴う。

3.6. 水質改善計画：盆地内の地下水は非常に高いアンモニア、鉄、マンガンを含み無処理のままでは水道用水源として不適當である。これらの物質は人体に直接有害であるというわけではない。しかしこれらの物質は、滅菌のために投入される塩素を極めて多量に消費するため、配水システム内で水系の疾病を防止するのに十分な残留塩素を保持できなくなるといふ問題を生じる。鉄とマンガンは通常の処理方法で処理できる程度であるが、アンモニアの含有量は他に例を見ない程度に高いものである。アンモニアの処理方法は幾

つかあるが、有害なトリハロメタン（発癌性物質）を発生したり、非常なコスト高だったりする。そこでこれらの欠点はないが、余り実例のない生物濾過法を現地で実験し、好結果を得た。そこで盆地においてもこの方法を用いることを提案する。全体として生物濾過、凝集沈殿、除鉄急速濾過による処理システムを基本として水質改善計画を策定した。各システムごとの水質改善計画を以下に述べる。

37. バラジュー・システムの改修計画案：本システムの水源は、表流水源（8,700 m³/日）とバラジュー井戸群の地下水源（600 m³/日）である。既存の浄水場は老朽化してほとんど機能を果たしていない。これを再建して処理能力9,300 m³/日の浄水場とする。既存の配水池（3,700 m³/日）は漏水が激しいので改修する。処理水はこの配水池に貯水された後、自然流下で給水（9,000 m³/日）される。またこの配水池にはランバガール浄水場からの4,300 m³/日の処理水が送水されて本システムに供給される。

38. ランバガール・システムの改修計画案：本システムの水源はランバガール・コーラの取水堰（取水能力14,300 m³/日）からの表流水である。通常の浄水場（13,000 m³/日）を新設する。処理水の一部（4,300 m³/日）はバラジュー・システムに送水し、残りの8,300 m³/日は新設の送水管で新設の配水池（2,400 m³/日）に送られ加圧か自然流下で給水される。

39. バンスバリ・システムの改修計画案：水源はマハラジガンジ浄水場の既存表流水源（2,100 m³/日）、ビシュヌマティ川の新設取水堰（取水能力14,300 m³/日）からの表流水、およびバンスバリ井戸群からの地下水である。地下水用に生物濾過装置を設けて前処理し、表流水と合わせて新設の通常の浄水場（21,500 m³/日）で処理する。処理水のうち6,900 m³/日は既存のバンスバリ貯水池（2,000 m³/日）から自然流下でカトマンズ市北部に給水し、残りの13,900 m³/日はマハラジガンジ・システムに送水する。

40. マハラジガンジ・システムの改修計画案：既存の浄水場は破棄し、既存の配水池（3,750 m³）を再建し、バンスバリ浄水場からの新設送水管で受水し、自然流下で給水（13,900 m³/日）する。

41. マハンカル・チョール・システムの改修計画案：水源はドビ・コーラ、マノハラおよびゴカルナの各井戸群の地下水、スンドリジャル発電所からのバグマティ川の表流水とドビ・コーラの新設取水堰からの表流水である。地下水を生物濾過（処理能力18,600 m³/日）で前処理した後、表流水とあわせて新設の通常の浄水場（処理能力32,9

00 m³ /日) で処理する。処理水は既存の配水池 (9, 000 m³ /日) に圧送されて、カトマンズ市中央部に給水する。

42. スンドリジャル・システムの改修計画案 : 既存の浄水場の処理水は現在マハンカル・チュール配水池に送られているが新システムではスンドリジャル・システムに転換する。既存のスンドリジャル浄水場を処理能力20, 600 m³ /日の浄水場に再建する。処理水はカトマンズ東部の給水区域に3つの配水池 (容量1, 850 m³, 1, 850 m³, 1, 550 m³) を新設し、既設と新設の送水管で送水し、各配水池から夫々6, 400 m³ /日、6, 400 m³ /日、5, 200 m³ /日が給水される。

43. シャインプー・システムの改修計画案 : 水源は泉とパールピン井戸群の地下水で、給水区域はラリットプール市である。24, 500 m³ を朝夕各5時間づつ的確に給水できるよう、既存の配水池 (2, 700 m³) と配水管に追加して4, 500 m³ の配水池と配水管を新設する。また滅菌設備を新設する。

44. マノハラ・システムの新設計画案 : 給水区域はカトマンズ市東南部である。マノハラ・コーラに取水堰を新設して水源とし、通常の浄水場を新設する。処理水は給水区域内に新設する2つの配水池 (各1, 850 m³) に送水され、各々6, 300 m³ /日が加圧給水される。

45. バルクー・システムの新設計画案 : 給水区域はカトマンズ市南西部である。バルクー・コーラに取水堰を新設して水源とし、通常の浄水場を新設する。処理水は給水区域内に新設する2つの配水池 (各1, 850 m³) に送水される。1つの配水池からは6, 300 m³ /日が自然流下で給水され、もう1つの配水池からは6, 300 m³ /日が加圧給水される。

46. 段階開発計画の条件 : 以上に考え得る計画のすべてを述べた。次に2001年までの需要増加に応え、かつ水質改善に万全を期するため、各々の開発計画案を優先順位を付けて選び出すことになる。この前提条件は次のとおりである。

- a) 実施によって生じた給水量が、先に述べた需要想定とバランスするようにする。
- b) 実施しても既存の給水能力に支障を来すことのないようにする。
- c) 水質水量ともに障害になっている地下水を水源としているシステムを最優先とする。このなかには、該当のシステムと共にあわせて開発すべき表流水を水源とする拡張をも含める。
- d) 老朽化しすでに浄水機能がなくなっている既存浄水場を含むシステムは、早急に実施するものとする。該当のシステムと共にあわせて開発すべき表流水を水源とする拡張をも

含める。

e) 次に全くの新規の表流水を水源とする新システムを実施する。

f) 以上には施工性、経済性についても十分考慮する。

g) 先に検討した諸プランのなかで、貯留ダムは2001年まででは不要となる。従って貯留ダム案は今回は取り上げず、2001年以後の将来の計画を行うときの参考に資するものとする。

47. 段階開発計画：以上の条件を満たしつつ、各計画を次々に実施するための各計画の組み合わせ、およびその優先順位を各種作って比較検討した。その結果下に示す8つに区分した計画を、表中に示される優先順位順で実施するのが望ましいとの結果を得た。すなわち、

計画名	主な施設
1 マハンカル・チョール計画	地下水水質改善施設の新設、浄水場の新設、表流水源開発
2 バンスバリ、マハラジガンジ計画	地下水水質改善施設の新設、浄水場の新設、表流水源開発、バンスバリは加えて配水池改修
3 シャインプー計画	送水管と配水池の拡張
4 バラジュール計画	既設浄水場と配水池の改修
5 ランバガール計画	表流水源開発、配水池と浄水設備と送水管の新設
6 スンダリジャール計画	既設浄水設備の改修、配水池の建設、送水設備の新設
7 マノハラ計画	表流水源開発、浄水場の新設、送水管の新設
8 パルクー計画	表流水源開発、浄水場の新設、送水管の新設

E 地下水管理計画

48. 地下水管理計画の前提条件：

a) 地下水資源を枯渇させないことを大前提とする。

b) 最適化シミュレーションにより限界揚水量を求め、これを越えない範囲で地下水汲み上げを行う。

c) 乾季には盆地内の表流水は需要を満足させないので、地下水管理は表流水との連結運転を考慮する。

d) 地下水管理のために地下水モニタリングと地盤沈下観測を行う。

49. 地下水管理計画：カトマンズ盆地の地下水管理のための、NWS Cの既設井戸（バクタプール井戸群を除く）の揚水可能量は、地下水評価手法によって、選定された標準生

産井戸だけを使って約15,000m³/日と見積られる。これにより過剰な水位降下を防ぐために揚水量を制限しなくてはならない。

50. 井戸の運転：乾季には盆地内の表流水は水需要を満足させないので、地下水管理は表流水との連携運転を考慮した標準井戸による井戸運転の組み合わせによって行う。しかしながら、標準井戸の全揚水量は乾季（4月-5月）におけるピーク的需求を満足させられないので、乾季における追加の地下水揚水量は、標準井戸のみならず予備井戸でも行う必要を生じる。

51. 連携運転を行うために既設のNWS Cの井戸（バクタプール井戸群を除く）を3つに区分する。すなわち標準井戸、予備井戸、観測井戸の3つの区分である。12本の生産井戸が最適地下水管理のための標準井戸として選ばれる。他の井戸は、全てのNWS Cの井戸（バクタプール井戸群を除く）における年間揚水量が年平均で15,000m³/日を越えないという条件で、乾季の表流水の不足を補うための予備井戸とする。雨季には標準生産井戸による標準運転が行われる。1994年以後の乾季には観測井戸を除く全井戸でピーク運転が行われるが、あくまでピーク運転は例外であって、通常の運転ではない。従って帯水層を保全するために、より注意深い地下水管理が必要である。地下水位を観測するためにNWS Cの3本の井戸と、4本のJICAの観測井戸を各井戸群における観測井戸として選ぶ。

52. 地下水モニタリング：地下水資源を枯渇から守るために、地下水の観測が必要である。観測は地下水位のみならず揚水量、水質、地盤沈下の観測も必要である。これらの観測結果から、帯水層が渴れる前に将来の計画を変更することができる。また地盤沈下の観測はカトマンズ盆地の地盤を保守するのに重要なものである。

F プロジェクトのコストと評価

53. プロジェクトのコスト：先述の8つのプロジェクトのコストについては、各プロジェクトの比較と優先順位検討のため、およびプロジェクトの概略評価のために、概略のコストの見積もりが行われる。その結果の一覧は次のとおりである。

計画	コスト (単位：千米ドルまたは相当額)		
	外貨分	国内通貨分	計
1 マハンカル・チャール計画	14,030	4,300	18,330
2 バンスバリ、 マハラジガンジ計画	11,599	3,816	15,415
3 シャインプー計画	3,579	1,346	4,925
4 バラジュー計画	4,271	973	5,244
5 ランバガール計画	8,201	3,052	11,253
6 スンダリジャール計画	11,118	4,452	15,570
7 マノハラ計画	12,746	5,988	18,734
8 バルクー計画	11,230	5,790	17,020
合計	76,774	29,717	106,491

54. プロジェクトの評価、経済分析：プロジェクトとして先述の8つの計画（プロジェクト）の全てを実施して、一括して経済分析を行うものとする。計量できる便益は（1）給水量の増加による便益と（2）水質改善による疾病の減少による便益の二つによってである。便益は完成の翌年から逐次発生し、全システムの完成の翌年、すなわち2001年に4,115百万ドル相当額のフル便益に達する。このフル便益は2023年まで毎年発生し、その後プロジェクトのライフが過ぎた施設から逐次消滅し、2031年には全ての便益の発生が終了する。この便益とプロジェクト・コスト（建設費と運転維持修理（OMR）コスト）を比較して経済的内部収益率（EIRR）は3.4%と推定される。

55. プロジェクトの評価、財務分析：建設費は全額借款として次のモデルを仮定する。（1）利率年：1%、（2）据え置き期間：10年間、（3）返済期間：据え置き期間を含めて30年間。収益としては、家庭収入の1.5%、および現行の水道料金の約4倍の、2つのモデルを仮定する。この2つの財務的モデルのいずれの場合も、財務的内部収益率（FIRR）は2%以下の低い率になる。しかし30年のプロジェクトのライフの期間（2030年まで）にはすべての借款を返済し、収益はこれらのプロジェクトにかかわる経常費を上回るものと推定される。

56. 判定：以上のように上水道プロジェクトは普通は低い内部収益率（IRR）を示す。それにもかかわらずこの計画の実施は、ベーシック・ヒューマン・ニーズ・プロジェクトとして、飲料用の安全かつ適性な水を地域住民に提供する。更にネパールは世界各国の中で最低の一人当りの国内総生産（GDP）の国であることを考慮して、これらプロジェクトが実施可能（v i a b l e）であると判断される。

G 結 論 と 勧 告

57. 結論：現在は地下水を汲み上げ過ぎている。現在の汲み上げ量は管理して一定限界内まで減らさなくてはならない。表流水の新規水源は、流れ込み式によって最大0.15 m³ / s（12,600 m³ / 日）の取水が可能である。初期には表流水の取水設備が完成するまで、一時的に水不足が生ずる。

58. 新規開発は今回提案する8つのプロジェクトを、提案した順位で次々に実施し、2001年までに完成する必要がある。水道の本来の目的は必要で十分な量の上水道水を供給すると同時に、この水は安全で衛生的なもの（必要で十分な量の残留塩素を含んだもの）でなくてはならない。カトマンズ盆地の地下水を使い続けるかぎり、この後者の障害となるものは高い含有量のアンモニアである。浄水時にはアンモニアは同量の鉄、マンガンの約10倍の塩素を消費する。また身体に有害な物質を発生する可能性がある。従って脱アンモニア設備は絶対に不可欠である。また脱アンモニア処理をした後の水と表流水は、脱鉄、マンガン処理と通常の滅菌処理を行わなくてはならない。量だけ送ってもこれらの処理を行わなければ、上水道本来の目的は達せられてはいないのである。

59. 今回新規プロジェクトとして提案した8つのプロジェクトは全て必要であり、技術的に可能であり、経済的かつ財務的に実施可能である。よって8つのプロジェクトは全て実現に値する。

60. 勧告1：地下水管理を徹底的に行う事を勧告する。これを行わなければ、かけがえない帯水層を枯渇せしめ、またこれによって地盤沈下という社会障害を生ずることを忘れてはならない。

（1）既存の井戸から12本の標準井戸と3本の観測井戸を選び、他は予備井戸とする。

（2）通常は標準井戸からだけしか揚水しない。

（3）乾季の末、特に4、5月は表流水が減って水が不足するときがある。そのときは臨時に予備井戸を運転する。しかし全揚水量は一年を平均して15,000 m³ / 日を

越えないようにしなければならない。

(4) 盆地外からの水が使えるようになったら、地下水保全のために予備井戸に代る水源を確保する。

(5) 地下水保全と地盤沈下防止のための地下水モニタリングを行う。

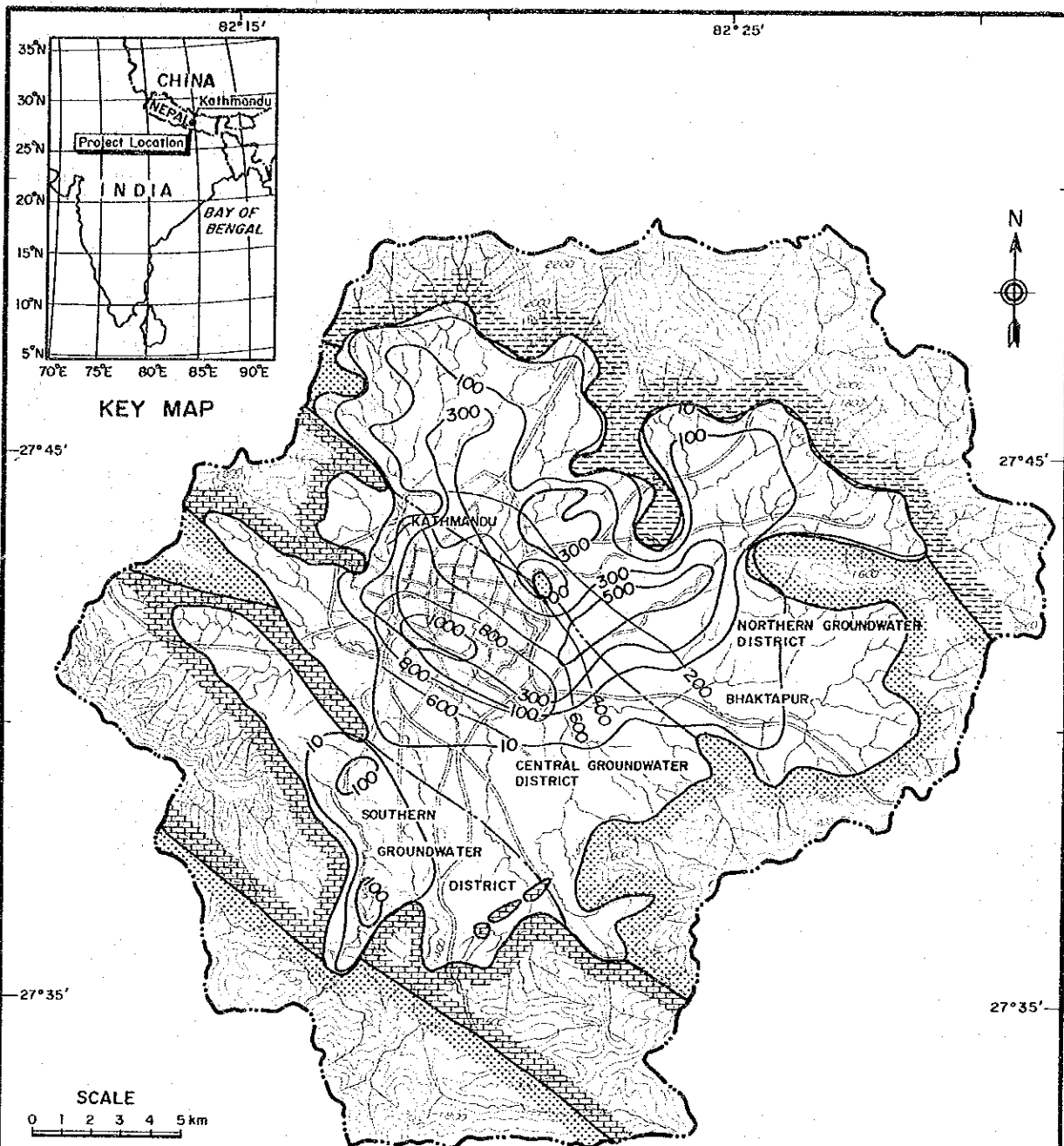
(6) 近い将来、カトマンズ盆地内の地下水の法的性格を公水として位置づけ、その考え方に立脚した地下水採取の規制を含めた地下水の管理、保全等に関する総合的な法制度を確立する必要がある。

61. 勧告2：今回提案した8つのプロジェクト、すなわち

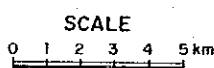
- 1 マハンカル・チョール計画
- 2 バンスバリ、マハラジガンジ計画
- 3 シャインプー計画
- 4 バラジュー計画
- 5 ランバガール計画
- 6 スンダリジャル計画
- 7 マノハラ計画
- 8 バルクー計画

は、速やかに実現せしめるべく、必要な手段を講じ始めることを勧告する。実施の順位は技術的見地からここに示す順位が最良の組み合わせである。よってこの順位に従って実施に取り掛かることを勧告する。

62. 勧告3：2001年以後、盆地外からの導水が行われても、4月や5月の最乾季に盆地内の表流水が減水し、ピーク流量の維持に困難を感じることもあるかもしれない。このために盆地内のダム貯水計画は検討に値する。



KEY MAP



LEGEND

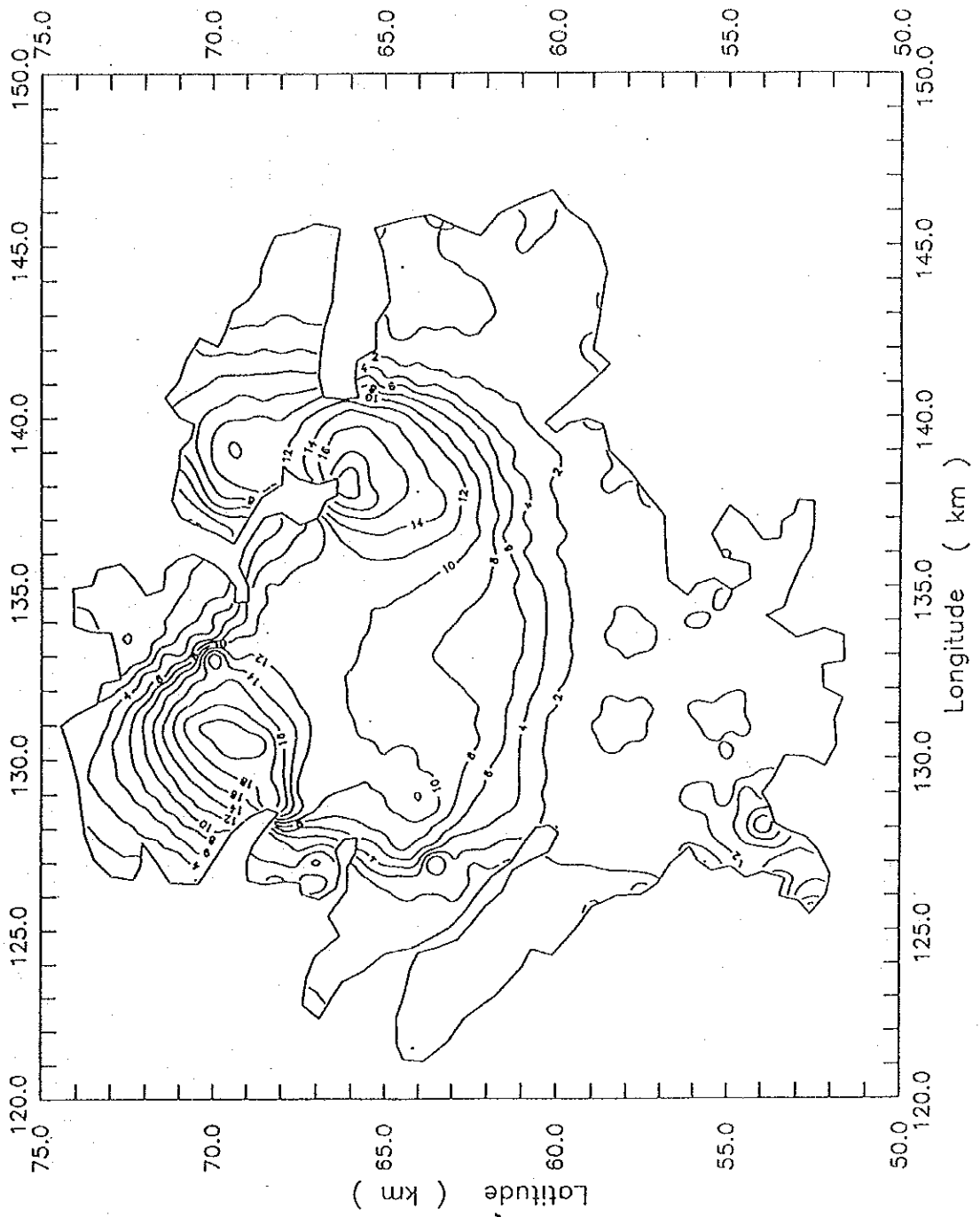
- | | | | |
|---|---|--|--|
| Hydrogeological Basement Rock
(Devonian - Precambrian) | | | River |
| | Chandraraj Formation
Crystalline Limestone, Quartzites | | Contour Line at 100m Interval |
| | Tistung Formation
Phyllites, Sandstone, Sandy Limestones | | Boundary of the Kathmandu Valley Basin |
| | Augen Gneisses, Banded Gneisses | | Groundwater District Boundary |
| | 200 EC Contur (MS/cm) | | Road |
| | 500 Iso Transmissivity Contour (m ² /day) | | |

HIS MAJESTY'S GOVERNMENT OF NEPAL
GROUND WATER MANAGEMENT PROJECT
IN THE KATHMANDU VALLEY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

水文地質図

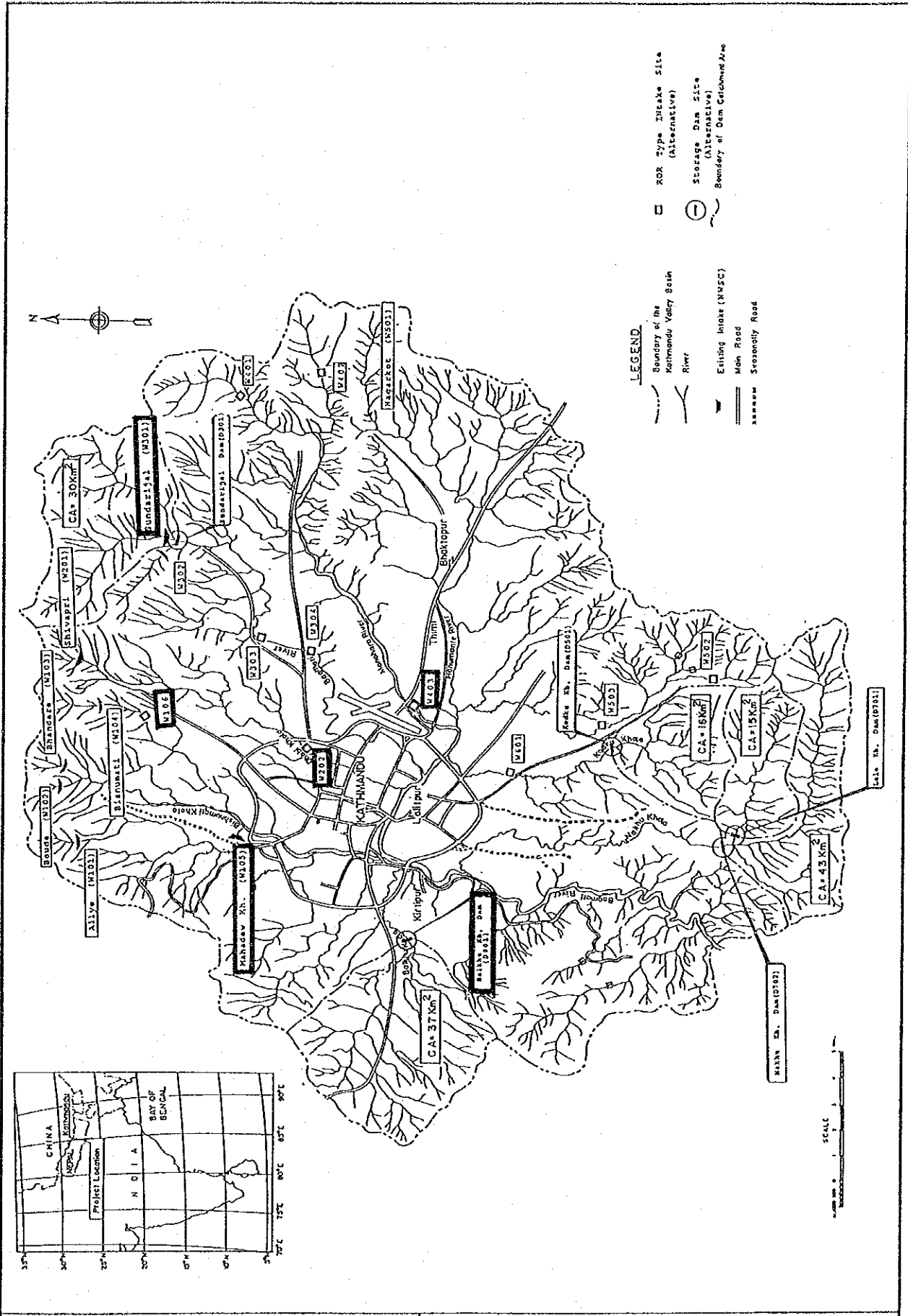
GROUNDWATER BASIN OF THE KATHMANDU VALLEY



HIS MAJESTY'S GOVERNMENT OF NEPAL
GROUND WATER MANAGEMENT PROJECT
IN THE KATHMANDU VALLEY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

地下水水位降下等値線図
(1 9 8 9 年)

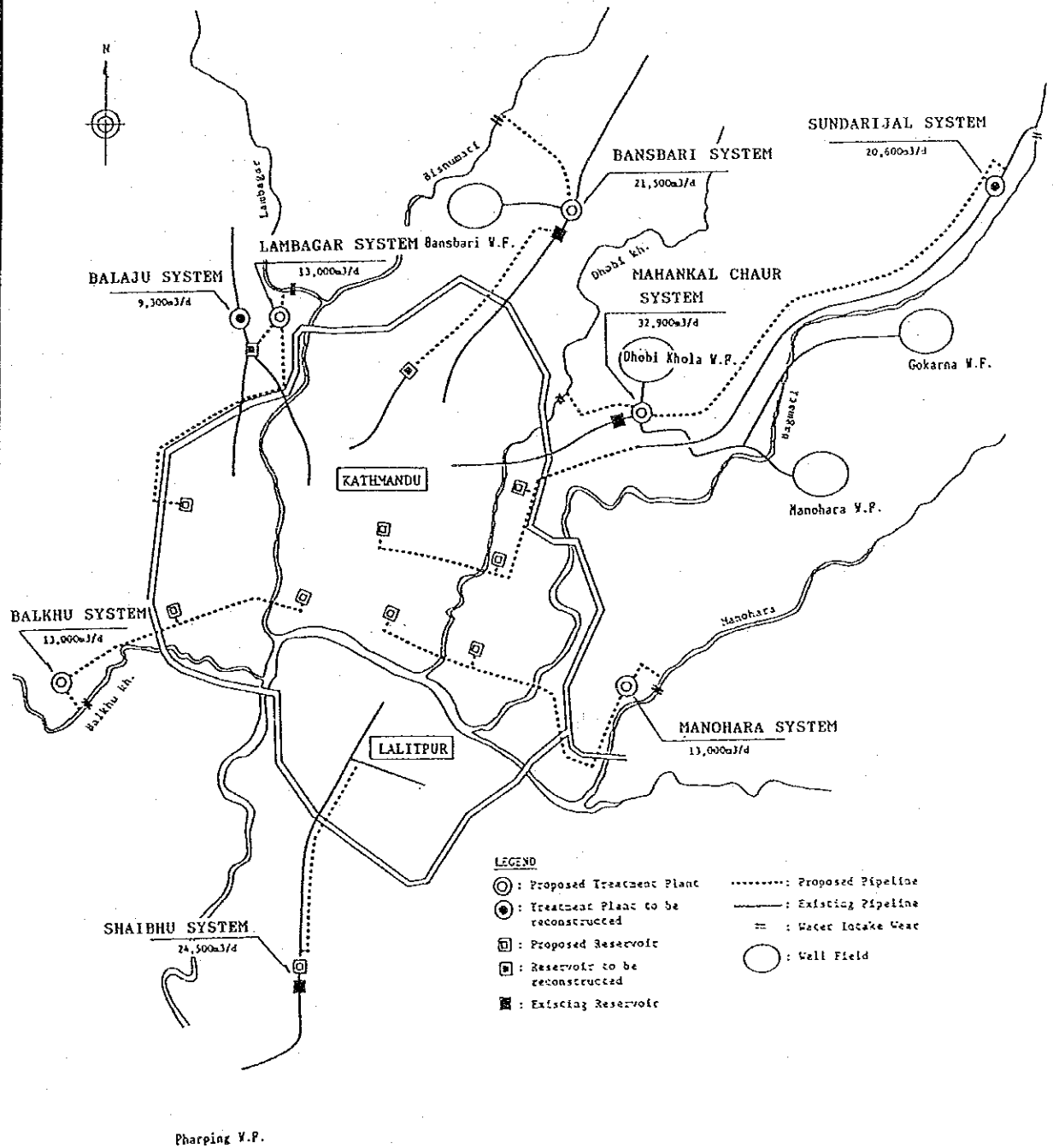


HIS MAJESTY'S GOVERNMENT OF NEPAL
 GROUND WATER MANAGEMENT PROJECT
 IN THE KATHMANDU VALLEY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

既存及び代替取水地点位置図

PROPOSED WATER SUPPLY SYSTEM

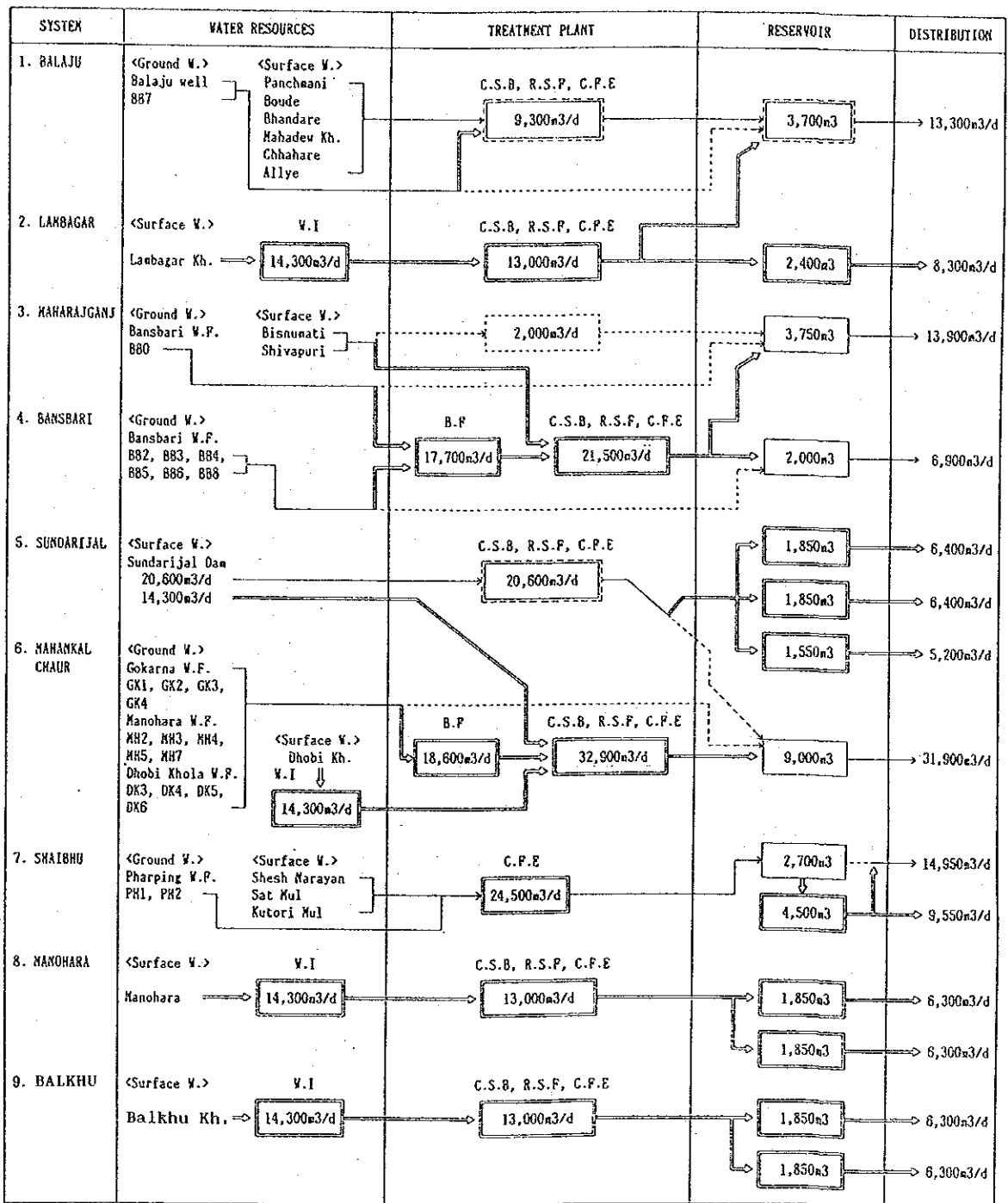


SCALE

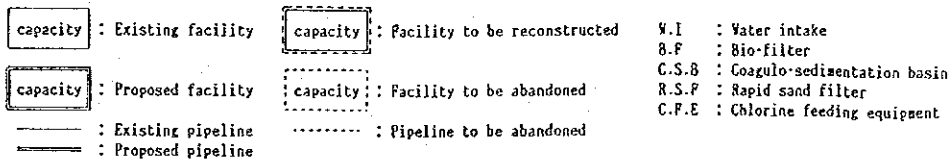


HIS MAJESTY'S GOVERNMENT OF NEPAL
GROUND WATER MANAGEMENT PROJECT
IN THE KATHMANDU VALLEY
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

計画水道施設配置図



LEGEND



HIS MAJESTY'S GOVERNMENT OF NEPAL
GROUND WATER MANAGEMENT PROJECT
IN THE KATHMANDU VALLEY

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

既存及び計画水道系統図

JICA