

ケニア共和国
ソンドゥ川水力発電開発計画
調査報告書

主報告書

1985年 12月

国際協力事業団

JICA LIBRARY



1029494[0]

ケニア共和国

ソンドゥ川水力発電開発計画

調査報告書

主報告書

1985年 12月

国際協力事業団

和文報告書一覧表

要約書

主報告書

- ソンドゥ川水力開発計画フィージビリティ調査報告書
- カノー平野灌漑計画プレ・フィージビリティ調査報告書

英文報告書一覧表

Volume I. EXECUTIVE SUMMARY REPORT

Volume II. FEASIBILITY REPORT ON SONDU HYDROPOWER DEVELOPMENT

Volume III. PRE-FEASIBILITY REPORT ON KANO PLAIN IRRIGATION PROJECT

Volume IV. SUPPORTING STUDY REPORT FOR HYDROPOWER PLAN

Volume V. SUPPORTING STUDY REPORT FOR IRRIGATION PLAN

Volume VI. SUPPORTING STUDY REPORT FOR SOCIO-ECONOMY

DATA BOOK-1 GROUND SURVEY

DATA BOOK-2 GEOTECHNICAL SURVEY

DATA BOOK-3 HYDROLOGICAL DATA

国際協力事業団	
受入 月日 '86. 2. 21	407
登録No. 12436	643
	MPN

序 文

日本国政府は、ケニア共和国政府の要請に基づき、同国西部のビクトリア湖流域のソンドゥ川水力発電開発計画に関するフィジビリティ調査を行うこととし、その実施を国際協力事業団に委託した。

当事業団は、中村桑夫氏を団長とする18名の専門家から成る調査団を編成した。調査団は、1984年1月22日から3月23日、及び同年6月10日から11月30日までの間現地調査を行い、帰国後、現地調査で得られた結果と資料に基づいて問題点の解析・検討および計画立案等の国内作業を行った。

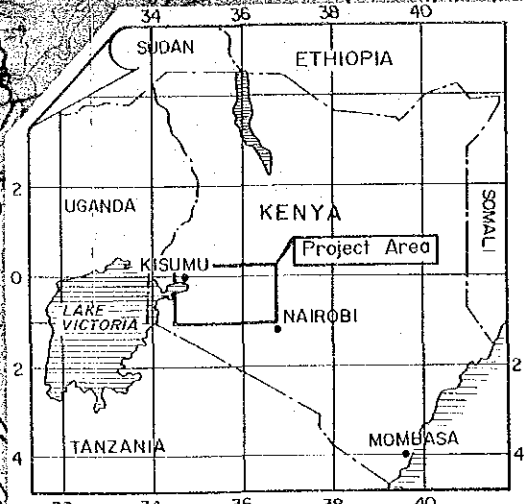
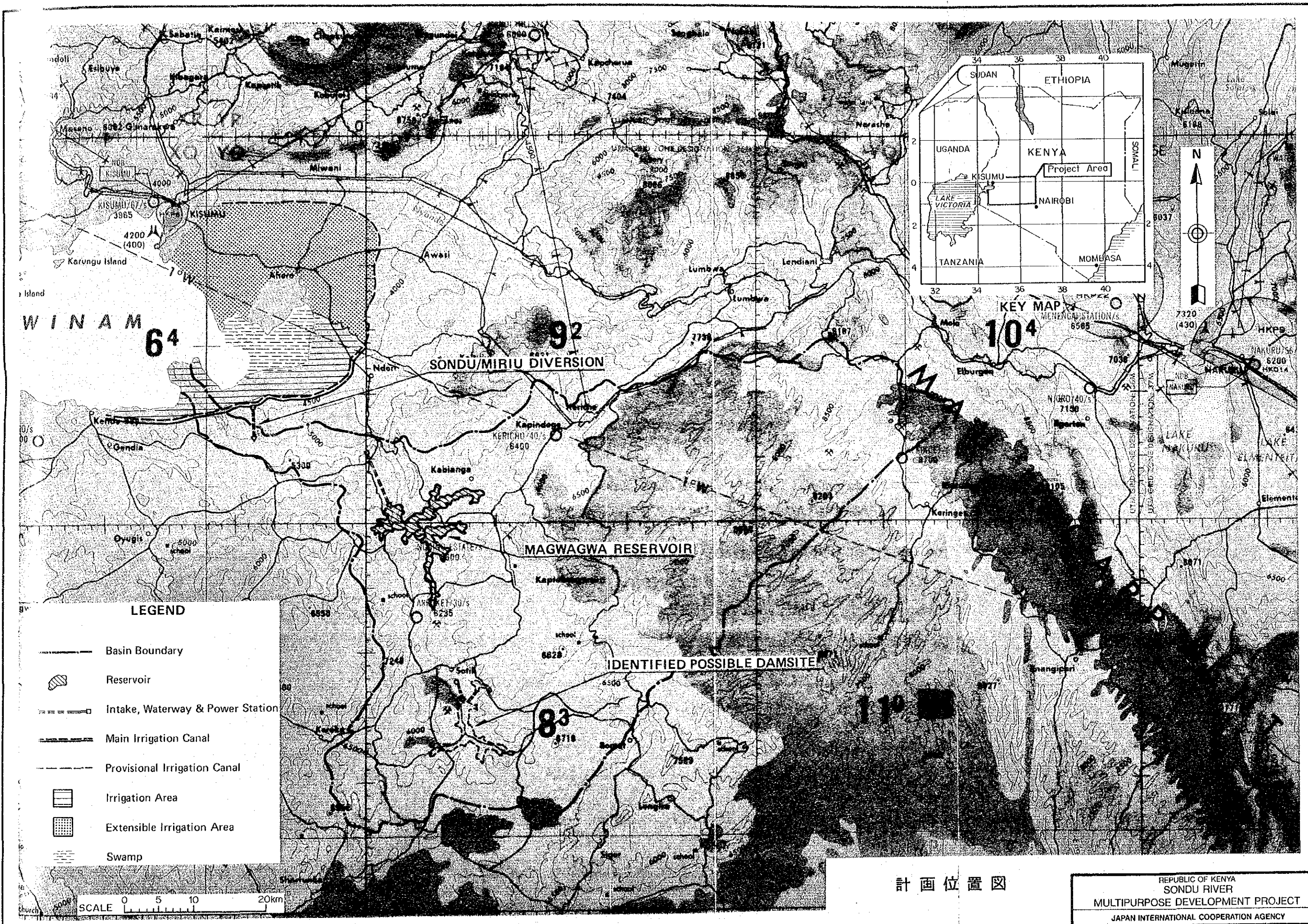
この調査実施期間中、両国は、調整委員会を3度にわたり現地で開催し、本計画に関する意見の調整を行った。

本報告書はこれらの成果を取りまとめたものである。本報告書がケニア共和国の水資源・電力・農業開発計画の推進に役立つとともに同国の社会的・経済的發展に寄与し、ひいては、同国とわが国との経済交流、友好親善をより一層深めることに貢献できれば幸いである。

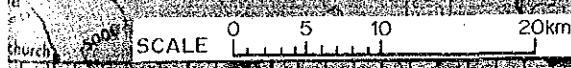
最後に、本調査の任に当られた団員各位の御尽力に敬意を表するとともに、調査に際し、多大の御協力を頂いたケニア共和国政府関係機関、ビクトリア湖流域開発公社、在ケニア日本国大使館、外務省、通商産業省及び農林水産省の関係各位に対し、深く感謝の意を表わすものである。

1985年12月

国際協力事業団
総裁 有田 圭 輔



- LEGEND**
- Basin Boundary
 - Reservoir
 - Intake, Waterway & Power Station
 - Main Irrigation Canal
 - Provisional Irrigation Canal
 - Irrigation Area
 - Extensible Irrigation Area
 - Swamp



計画位置図

REPUBLIC OF KENYA
SONDU RIVER
MULTIPURPOSE DEVELOPMENT PROJECT
JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

ソンドゥ川水力発電開発計画

フィージビリティ調査報告書

目 次

	頁
第1章 序文	1
1. 1 調査目的	1
1. 2 作業過程	1
1. 3 報告書の構成	3
第2章 背景	5
2. 1 国家経済的背景	5
2. 2 基本開発方針	6
2. 3 プロジェクトの経緯	7
第3章 ビクトリア湖集水域	9
3. 1 位置及び国土	9
3. 1. 1 行政区分	9
3. 1. 2 自然条件	9
3. 1. 3 ソンドゥ川流域	10
3. 2 民族と人口	11
3. 2. 1 民族	11
3. 2. 2 人口	12
3. 3 経済	13
3. 3. 1 GRDPと収入	13
3. 3. 2 農業及びその他の主要生産部門	13
3. 3. 3 その他	14
3. 4 開発可能性	15
3. 4. 1 開発の制約要因	15
3. 4. 2 開発可能性と開発計画	15

第4章	プロジェクト地点の状況	17
4.1	位置及び地形	17
4.2	地質	17
4.2.1	地質	17
4.2.2	地震	18
4.2.3	計画予定地点の土木地質評価	18
4.3	水文及び気象	19
4.3.1	概観	19
4.3.2	気象	19
4.3.3	水文	20
4.3.4	水質源及び必要放流量	22
4.4	建設材料	22
4.4.1	概説	22
4.4.2	不透水性材料	23
4.4.3	ロック材、フィルター材、及びコンクリート骨材	23
4.4.4	砂利	24
4.5	環境	24
4.5.1	概説	24
4.5.2	現況	24
第5章	電力供給及び需要	29
5.1	電力部門の組織	29
5.2	現在の電力供給系統	30
5.2.1	概説	30
5.2.2	現在の発電施設	31
5.2.3	現在の送電線網と変電所	31
5.3	電力消費	32
5.4	電力需要	32
5.4.1	国家の電力需要	32
5.4.2	地域電力需要	35
5.5	電力供給拡大計画	39
5.5.1	進行中の発電計画	39
5.5.2	建設予定の発電計画	39

	5. 5. 3	計画送電線網及び変電所	40
5. 6		出力バランスの検討	41
第6章		計画の立案	43
6. 1		計画要領	43
6. 2		開発方法	44
	6. 2. 1	開発計画	44
	6. 2. 2	開発案の組み合わせ	46
6. 3		最適案	47
6. 4		計画投入時期	49
	6. 4. 1	基本概念	49
	6. 4. 2	最小費用順序	50
	6. 4. 3	感度分析	51
第7章		基本設計	53
7. 1		概説	53
7. 2		主構造物の設計	53
	7. 2. 1	取水堰	53
	7. 2. 2	水路	55
	7. 2. 3	発電所	56
7. 3		水門鉄管等の設計	57
	7. 3. 1	取水堰	57
	7. 3. 2	取水口	58
	7. 3. 3	水圧鉄管路及び放流設備	60
7. 4		水車発電機の設計	61
	7. 4. 1	水車発電機及び補助機器	61
	7. 4. 2	屋外開閉所	62
	7. 4. 3	送電線保護装置及びPLC 電話設備	63
7. 5		送電線及び変電所	63
	7. 5. 1	概説	63
	7. 5. 2	送電線	63
	7. 5. 3	変電所	64

第8章	工事实施計画と工事費の積算	65
8. 1	工事实施計画と工事工程	65
8. 1. 1	概説	65
8. 1. 2	工事工程	65
8. 1. 3	工事实施計画	66
8. 2	工事費の算定	68
8. 2. 1	工事費	68
8. 2. 2	工事費の年次別支出	70
第9章	プロジェクト評価	71
9. 1	経済分析	71
9. 1. 1	構成	71
9. 1. 2	プロジェクト費用と便益	71
9. 1. 3	経済的収益率	73
9. 2	財務分析	76
9. 2. 1	プロジェクト費用及び収益	76
9. 2. 2	財務的収益率	76
9. 2. 3	プロジェクトの財務及び借款返済能力	77
9. 3	総合評価	78
9. 3. 1	関連便益及び費用	78
9. 3. 2	結論	80
第10章	今後の調査検討	81
10. 1	概説	81
10. 2	第1段階計画（ソンドゥ／ミリウ）の詳細設計	82
10. 2. 1	目的	82
10. 2. 2	業務内容	82
10. 3	第2段階計画のフィージビリティ調査及び段階実施計画	85
10. 3. 1	第2段階計画のフィージビリティ調査	85
10. 3. 2	段階実施計画	86

添 付 表 一 覧 表

- 2. 1 GDPの実質成長率
- 2. 2 1970, 1979, 及び1983年時価格での部門別GDP
- 2. 3 対外貿易の商品構成
- 2. 4 国際収支

- 3. 1 部族、人種、及び国籍別の人口
- 3. 2 計画対象地域の人口、人口密度、人口成長率、及び人口予測
- 3. 3 作物の作付面積及び生産高（1982）
- 3. 4 ビクトリア湖における総漁獲量

- 4. 1 確率雨量
- 4. 2 1 J G 1 測水所における月別平均流量
- 4. 3 ニヤンド川の月別平均流量
- 4. 4 岩石材料試験概要

- 5. 1 電力供給施設概要
- 5. 2 電力系統内の既設発電施設
- 5. 3 GDP及びエネルギー消費（1974～1983）
- 5. 4 ケニアにおける電力需要予測
- 5. 5 地域別電力販売量及び最大需要電力
- 5. 6 需要構造比較（1983）
- 5. 7 家庭電化率評価
- 5. 8 ケニア西部における電力使用量
- 5. 9 ケニア西部において予想される1987年時点の新規主要負荷量
- 5. 10 ケニア西部において1990年代中頃までに見込まれる実現性の高い産業
- 5. 11 ケニア西部における電力需要予測

- 6. 1 計画の最適化
- 6. 2 KP & L 系統の設備増強の為の火力発電施設候補の建設費及び維持管理費
- 6. 3 KP & L 系統の設備増強の為の水力及び地熱発電施設候補の建設費及び維持管理費
- 6. 4 KP & L 系統における最適な設備増強の順序

- 8. 1 主要建設施設及び機器
- 8. 2 用地買収費
- 8. 3 建設費
- 8. 4 建設費内訳
- 8. 5 建設費の年度別支出

- 9. 1 ソンドゥ川多目的計画の便益及び費用のフロー（標準ケース）
- 9. 2 ケニアでの評価方法によるソンドゥ川水力開発計画の便益及び費用のフロー
- 9. 3 ソンドゥ川水力開発計画の財務的キャッシュフロー
（平均料金 = 0.78 KShs/KWh）
- 9. 4 財務収支表
- 9. 5 環境アセスメント結果

添 付 図 一 覧 表

- 3. 1 行政区分及び河川流域区分図
- 3. 2 マクロ水文形態学的指標
- 3. 3 ソンドゥ川の縦断図
- 3. 4 L B D A 区域内主要部族の相対的位置

- 4. 1 ソンドゥ／ミリウ計画地区の地質図
- 4. 2 ソンドゥ川流域及び周辺の等雨量線図
- 4. 3 ソンドゥ川及びニャンド川流域内の測水所配置図
- 4. 4 1 J G 1 測水所における確率洪水量図
- 4. 5 テストピット位置図
- 4. 6 風化花崗岩の透水特性
- 4. 7 風化花崗岩の締固め特性
- 4. 8 ラテライト化された赤色土の締固め特性
- 4. 9 砂の粒度分布

- 5. 1 主要送変電系統図
- 5. 2 最近の調査による電力需要伸び率の比較
- 5. 3 国民一人当たり G D P と電力消費量の関係

- 6. 1 各計画地点配置図
- 6. 2 ソンドゥ／ミリウ流れ込み式水力発電計画
- 6. 3 ニャマリンバ流れ込み式水力発電計画
- 6. 4 ソンドゥ・マラボイ流れ込み式水力発電計画
- 6. 5 マグワグワ貯水池式水力発電計画
- 6. 6 マグワグワ貯水池水路式水力発電計画
- 6. 7 ソンドゥ／ミリウ貯水池式水力発電計画
- 6. 8 ソンドゥ川多目的開発の複合案
- 6. 9 K P & L 電力系統需要に対するピーク出力及び電力量収支
- 6. 10 ソンドゥ／ミリウ開発の実施計画

- 7. 1 水路平面及び縦断図
- 7. 2 取水堰平面及び縦横断図

- 7. 3 水圧鉄管路の平面図及び縦断面図
- 7. 4 サージタンク及び水圧鉄管路詳細図
- 7. 5 発電所平面図
- 7. 6 発電所建屋図
- 7. 7 国家電力供給系統図
- 7. 8 計画送電系統及び送電線ルート
- 7. 9 ムホロニ変電所拡張計画

- 8. 1 建設工程表

参 考 文 献

1. UNDP-Lotti/WLPU. "Lake Basin River Catchment Development River Profile Studies " Draft Final Report. March 1985.
2. EIU.Quarterly Economic Review of Kenya.No.3.1985.
3. LDBA.Mineral Potential Inventory Study of the Lake Basin Development Area.
"September 1983.
4. V.T. Chow and Kulandaiswamy V.C., "General Hydrologic System Model " .ASCE
HY6,June 1971.
5. C.Lotti & Associati and WLPU Consultants "Lake Basin River Profiles
Studies". Inception Report
6. PCR.Generation and Economic Study for the Turkwell Gorge Project.
Draft Final Report.July 1984.
7. World Bank.Staff Appraisal Report.Kiambere Hydroelectric Power Project.
November 15.1983.

第 1 章 序 文

1. 1 調査目的

ケニア共和国政府の要請に答え、日本政府はケニア西部で最も有望なプロジェクトの1つであるソンドゥ川多目的開発計画のフィージビリティ調査実施に際し、技術協力を決定した。この調査は、日本政府の技術協力計画実施を担当する公的機関である国際協力事業団（JICA）によって行われた。

この調査の主な目的は、ケニア政府の代表であるLake Basin Development Authority（LBDA）とJICAとの間で取り決められたスコープ・オブ・ワーク（S/W）に従って、この多目的計画のフィージビリティ調査を行なうことである。具体的には、以下より成る。

- (1) ソンドゥ川の水力発電計画についてフィージビリティ調査を行なうこと、及び
- (2) ソンドゥ川の水を利用し、S/Wで規定された地域について灌漑開発のプレ・フィージビリティ調査を行なうこと。

本調査以前に、ソンドゥ川とカノー平野の多目的開発について2、3の計画が公になっている。従って今回の調査の中ではそれらの案を再検討し計画に加味した。

調査のもう1つの重要な目的は技術移転である。これはケニアでの作業を通じて実施されると共に、本調査に携わるケニア側キースタッフを数人日本へ招待することにより行なわれる。この目的は日本の技術協力政策の立場からいっても欠かすことのできないものである。

1. 2 作業過程

ソンドゥ川多目的開発計画のフィージビリティ調査は、1984年1月にインセプション作業チームの派遣をもって始まった。インセプション作業は3月中旬までに終了し、その後の作業で用いる基本データと情報の収集、プロジェクトの背景分析及び、より詳細に検討を必要とする開発計画案を確認する予備調査を行った。この間、主調査における現場調査について仮契約も行われ、H.P.Gauff KG Nairobiと契約した。インセプション・レポートは1984年3月にLBDAに提出され、主な調査の内容と予定が提案された。

日本での J I C A 本部による調査予定の再検討の後、1984年 6月にフィージビリティ調査の現地調査団がケニアへ派遣された。J I C A 調査団はケニア側カウンターパートチームと協力し、水文、地質、土壌、建設材料、農業と灌漑、環境、社会経済、地域開発等についての調査を行った。

地上測量、ボーリング試験、弾性波探査、テストピット掘削と資料採取及び室内試験を含む現場調査作業のかなり多くの部分が、J I C A との契約を通じローカルコンサルタント、Gauff によって行われた。現場調査の間に、調査団は 2 回進捗報告書を作成し、L B D A に提出した。1 回目は 8 月、2 回目は全現場作業完了直前の 11 月である。

すべての現場調査の結果と期間中に収集したデータは、Gauff の収集したものを含めて J I C A 調査団により日本に持ち帰られた。引き続き、調査団はそれらをもとに、最適開発案の策定とその評価に必要な検討を開始した。

日本での作業のスコープ・オブ・ワークは以下の通りである。

- (1) 地質解析及び予想されるダム地点の地質評価
- (2) 建設材料の賦存量と材質の評価
- (3) ニャカチとカノー平野における灌漑のための、代替水源から得られる水を評価するための水文解析
- (4) 現在の発電と送電施設、過去の電力需要とその予測、及び将来の開発計画についての分析を含むケニア全土と西部地域における発電計画の検討
- (5) ソンドゥ川の包蔵水力分析
- (6) 水力発電と灌漑についての開発案の比較検討及び最適案の検討
- (7) 発電と灌漑用主要水路についての主要構造物の予備設計
- (8) 建設工事量と建設費用の予備評価
- (9) プロジェクトの経済的及び財務的実行可能性の予備評価
- (10) 中間報告書の作成

これらの作業成果は 1985 年 2 月までに中間報告書にまとめられ、1985 年 3 月の J I C A 調査団派遣に先立って L B D A に送られた。J I C A 調査団は中間報告書の内容を説明するとともに、ケニア側関係者とソンドゥ川多目的開発計画の内容について様々な点から討議を行なった。ケニア側はソンドゥ川開発の段階的開発の第一段階としてソンドゥ/ミリウ地点での転流による流れ込み式発電計画とニャカチ平野の灌漑計画を報告書にある通り基本的に受け入れた。

L B D Aからの強い要望により、J I C A調査団は調査の終了を最初S/Wに明記された1986年6月に代えて1985年12月終わりまでとした。このスケジュールの変更は後にJ I C A本部によって確認された。

後日受け取ったコメントとケニア側との討議結果に基づき、J I C A調査団は作業を進めた。中間報告書の内容は再度検討され、さらに開発案を練った。加えて以下の作業が行なわれた。

- (1) 水力発電に関連する構造物及び施設のフェージビリティレベルの設計、取水ダムと発電所のレイアウトと位置決定、発電設備の設計、水路構造部設計、送電設備と中継所、及び他の関連する図面
- (2) 水路、分土工、サイフォン、水路橋その他の灌漑施設と主要構造物のプレ・フェージビリティレベルの設計
- (3) 建設工事予定、輸送経路、建設機械、及び設備についての建設計画
- (4) 経済及び財務分析、地域開発、環境影響評価を含む、プロジェクト総合評価
- (5) 最終報告書案の作成

1. 3 報告書の構成

本主報告書の構成は第1章の序文に引き続き以下の通りとなっている。第2章では、ソンドゥ川多目的開発計画の背景を2、3の違った観点、すなわち、国家経済的背景、政治的背景、及びプロジェクトの背景から述べている。これらの記述はこの重要プロジェクトを促進するための動機づけを与えてくれる。

第3章では、ソンドゥ計画が位置する湖岸地域の現況を紹介し、この地域の特色とこの地域の開発に対するプロジェクトの位置づけを明らかにする。

第4章では、プロジェクト地点の現況をより詳細に、地形、地質、気象、水文、建設材料の利用可能性、及び自然、社会環境などの諸点について記述する。

第5章では、電力の供給と需要について記述している。現在の発電施設と系統について要約して述べるとともに、拡大計画について記述する。ごく最近の電力使用と需要予測を再検討し、最も合理的な需要予測を樹てる

次の3章は、計画立案、工学的判断、設計、建設工事計画及び建設費の積算を記述する。第6章では水力発電計画の比較代替案を策定し、転流による隣接流域の灌漑計画を組み合わせ、費用と便益を基準として比較検討を行ない最適開発を選定する。

第7章では、こうして選ばれた最適開発案について送電線及び変電所を含めたプロジェクトの全ての主要構造物の技術設計の結果を述べる。第8章には、建設計画と建設費の見積もりを述べる。

第9章では開発計画の経済的及び財務的の実行可能性を提案した第1段階開発について評価する。さらに、地域開発へ貢献及び環境への影響を含めた他の観点からも評価する。最後に第10章では、プロジェクトの実施に必要な次のステップについての提言がされている。

第 2 章 背 景

2. 1 国家経済的背景

1963年の独立以降のケニア経済の成長は、表-2.1の国内総生産（GDP）の実質成長率で表わされるように、1964年から69年までの間は平均年成長率 5.8パーセントと安定成長していた。1970年代前半に経済成長は速度を早めたが、その後コーヒー・ブームの時期（1977～78）を除いて低成長となった。この経済の低成長は、主にケニアがすべて輸入に依存している原油の一連の著しい値上がりによる。1970年代の年成長率は平均で 5.1パーセントだった。

1980年代初めのケニア経済は、国際的な景気後退を反映して全般に低成長だった。特に1982年にGDPの成長率が人口増加率以下となり、1人当りのGDPが低下するという結果になった。1983年には、ケニアの経済実績は回復の兆しを示し始めたが、アフリカのサハラ近隣地域を襲った苛酷なかんばつですぐに暗い見通しとなった。かんばつはケニアにとって史上最悪となり、その結果1984年の実質成長率はわずか 0.9パーセントにとどまった。

今後の見通しは、過去数年の実績に比べ全般に良くなるものと思われる。年4パーセントという成長目標は、IMFの融資協定（1985年2月に承認）も同調しているので1985年には達成されよう。また、政府開発計画は、この1980年代の終わりまでには年6パーセントの成長を達成することを目標にしている。

他の多くの発展途上国と同様、農業はケニア経済の最も重要な部門で、伝統および貨幣経済の両方合せて、GDPの約3分の1を占める（表-2.2参照）。実際には農業への依存度は、GDPに占める割合よりももっと大きいと見られている。国民の80パーセント以上が農村地域に住み、主に農業活動で収入を得ているからである。

農業部門は過去数年間に、総輸出額の約50パーセントを占めていた。特に2つの主な商品作物、すなわちコーヒーと紅茶は、国際市場価格の変動によりそのシェアが年ごとにかなり変化しているにもかかわらず、両方で約40パーセントを占めている。（表-2.3参照）もう1つの主要な輸出品は石油製品で、輸出に占める割合は1980年までに急速に増加し30パーセント台に達した。しかしその後は低下し、20パーセント以下となった。今もなお総輸出収入の約3分の2はこれらの商品から得られている。外貨収入が2、3の生産物のみ

に依存することで、ケニア経済は自然条件や国際市場における価格変動による影響を受けやすくなっている。

一方、輸入は燃料が大きな割合を占めるのが特徴で、最近では総輸入額の40パーセントに近づいている。経済構造のこれらの特徴は天然の燃料資源の欠如と相俟って外貨収支を悪化させる主な原因になっている（表-2.4参照）。貿易収支は1983年に少し好転したが、1984年には茶とコーヒーの価格が高い傾向であったにもかかわらず食料の緊急輸入のために悪化した。

2. 2 基本開発方針

政府の長期開発目標は実質的に独立以来変わっておらず、開発政策と戦略の策定の指針設定が続けられている。この中には、継続的な経済成長と公平な開発および基本的な生活基盤と社会文化的な基盤整備などが上げられている。しかしながら開発政策と戦略は、先に略述した様な国家経済および開発のある特定の状況のもとに現れる困難を必然的に伴う。

基本開発方針は互いに関連し、当然の事ながら部門別開発計画に反映される。ケニア経済の現状に向けられる重要な基本政策は、経済の多様化と公平な開発である。またエネルギーと地域開発についての戦略は、この基本政策とソンドウ川多目的開発計画とを特に関連づけている。

ケニア経済は農業部門に大きく依存しているので、経済の多様化は特に農作物の多様化を意味する。農作物の多様化は外貨収入源である2つの換金作物への依存を少なくするだけでなく、農業関連産業の基礎を拡大強化することになる。これらの相乗効果が長期的には輸出力を高めることにつながる。

この基本政策のもう1つの重要な点は、エネルギー源の多様化である。もちろんこれは輸入燃料への依存を少なくし、貿易収支の改善に寄与するだろう。この観点から2つの主な国産のエネルギー源である水力と地熱の開発が最優先されている。

政府は公平な開発というもう1つの基本政策に沿って低開発地域の開発にかなり力を入れている。低開発地域において十分に開発が行なわれるならば、食料自給、経済の多様化および輸出力の強化等の他の目標にも寄与するだろう。最近力を入れている農村電化計画も工業や農業の開発を刺激し農村地域の全般的な福利向上の促進に役立つことから、地域開発政策の重要な項目である。

「公平な開発のための国内資源活用」を主題にうたっている最新の5ヵ年開発計画（1984-88）にはこれらの諸政策が明確に反映されている。公平な開発という副題は、基本的な生活基盤、地方-都市のバランス、及び地域バランスの確立を指すものである。さらに5ヶ年計画は地域開発機関の拡充と権限の拡大を明記している。

2. 3 プロジェクトの経緯

この10年間、ソンドゥ川は大きな水力発電の可能性とその流域および近隣の流域での灌漑農業開発のための水資源として注目されてきた。1954年から56年に、Sir Alexander Gibb and Partners（アフリカ）がケニアのビクトリア湖集水地域についての最初の調査を行ない「Kenya Nile Basin Water Resources Survey」と題する報告書を作成している。

この調査は主にニヤンド川の水を利用したカノー平野の開発を論じているが、カノー平野の灌漑を補う目的でソンドゥ川から転流するという案も示した。この転流案は報告書に指摘されている様に水力発電を提示するものとなった。

1961年のその後の調査は、カノー平野とニヤンド川流域の開発に関する限りより包括的で全体的にまとまっているがソンドゥ川からの転流についてはわずかしか述べられていない。ソンドゥ川については詳しい調査は行なわれておらず、従って開発案の実施については何も述べられていない。

ビクトリア湖集水域における開発計画の実施のため法令により1979年にLake Basin Development Authority (L B D A) が設立された。設立以後数年間に、L B D Aは管轄区域である西部ケニア地方の開発のため様々な分野で数多くの調査を行なった。調査の多くは西部ケニア地域の主要河川流域の水資源開発についての特定のプロジェクトに関係するものだった。しかし、ソンドゥ川を扱ったものはT A M Sが行ったNational Master Water Plan調査以外にはなかった。T A M Sの報告書は、ソンドゥ川での水力発電開発について2つの主要な案を示した。すなわち中流域のマグワグワ貯水池と下流域のソンドゥ/ミリウ貯水池計画である。

過去の調査とソンドゥ川の開発可能性を確認して、L B D Aは水力発電、洪水調節および灌漑といったソンドゥ川の多目的開発を企図した。L B D Aの要請に応じ、日本のコンサルタントグループによる合同踏査団が1980年12月にこの地域を訪れ、ソンドゥ川流域とその周辺地域の開発についての種々の調査を実施し、踏査報告書を1981年2月にL B D Aに提出した。

ソンドゥ川水力発電開発プロジェクトをこの踏査報告書はその流域における最優先のプロジェクトとした。このフィージビリティ調査の技術援助についての公式要請がケニア政府よりナイロビの日本大使館に出された。要請はその後東京に伝えられた。

プロジェクトの概要、LBDAの要望、調査のスコープ・オブ・ワーク (S/W) を明らかにするため、キスム/ナイロビと東京の間で数多くの情報が交換された後1983年10月、LBDAと国際協力事業団の間でS/Wが認印された。プロジェクトの標題「ソンドゥ川多目的開発計画」にも表されているように、多目的開発を目指すことがS/Wにおいても一度強調されている。

第3章 ビクトリア湖集水域

3.1 位置及び国土

3.1.1 行政区分

ケニア西部地域に位置するビクトリア湖集水域は面積約47,709km²でケニア全国土面積569,137km²の約8.4パーセントを占める。LBDAの管轄する地域にはニャンザ、ウェスタン両州の全域と、リフトバレー州の一部であるケリチョ、ナンディ、トランス・ゾイア、ワシン・ギシュの各県の大部分とナロック、ナクル、ウェスト・ポコト及びエルギョ・マラクウェトの各県の一部が含まれる。

LBDA管轄地域の行政区分と、6つの主要河川の流域を図-3.1に示す。プロジェクトに直接関係する地域には、ニャンザ州のキスム、サウス・ニャンザ及びキシイの各県、リフト・バレー州のケリチョ県の大部分及びナンディとナクル両県の一部が含まれる。これらの地域はヤラ川上流域とニヤンド川とソンドゥ川流域及びその氾らん原である。

3.1.2 自然条件

ビクトリア湖集水域は、およそ東経34°から36°、北緯1°15′から南緯1°55′の間に位置する。赤道はこの地域中央を通過している。この地域は北西部でウガンダと、南部でタンザニアと国境を接している。

この地域の北西端のエルゴン山は標高4,310mでケニアで2番目に高く、また東にはキプタバー森林が広がっている。北東から南東にかけては、エルゲヨ断層崖とマウ森林とエソイト・オローロ断層崖がこの地域とグレートリフト・バレーとの境界になっている。

この地域は大別するとナンディとニヤカチ断層崖上の高地と、ビクトリア湖岸付近の低地に分かれる。高地の標高は海拔1,800mから3,000m、低地は約1,150mである(図-3.1参照)。ビクトリア湖の平均水位は海拔1,134mである。

シオ川とゾイア川はこの地域の北部にあるエルゴン山、キプタバー森林、アプタゲット森林に水源を発生し、ウガンダとの国境沿いにほぼ南西に流れてビクトリア湖に流れ込む。ヤラ川はカカメガ森林、ナンディ森林、ティンドレット森林から集水し、東から西に向かって湖に流れ込む。ニヤンド川はティンドレット森林、西部マウ森林よりほぼ西から東に

向かって湖のウィナム湾に流入する。ソンドゥ川はこの地域の南東部のマウ森林に水源を
 発し、ウィナム湾に流入する。クジャ川はこの地域の南西部から集水し、タンザニアとの
 国境近くで湖に流れ込む。

これらの6つの主要河川と他の2, 3の河川について集水面積、年間流量、推砂量、有
 機物汚染等の指標を図-3.2に示す。

この地域の気候の特徴は雨季が2回あることである。一般に長い雨季は3月から5月ま
 で、短い雨季は11月から12月まで続く。年間雨量は以下に示す通り、地域によってかなり
 変化している。

観測所	流域	年間雨量 (mm)
キタレ	ゾイア	1,191
エルドレット	ゾイア	1,124
キスム	ニャンド	1,806
ケリチョ	ソンドゥ	2,081
キシイ	クジャ	1,957

この地域の地表温度は1年を通じてあまり変化しない。山地を除く大部分の地域の気温
 は20℃から25℃の間で変動し、年間の温度変化は平均で約2℃である。相対湿度は年間を
 通じて50パーセントから70パーセントまで変化する。

高地部は植民地時代の初期から開発され、その結果農耕と定住のために森林を切り開い
 ている所もある。しかし、まだ実質上は森林に覆われているといえる。低地部は大部分が
 この地域の主要な河川の氾らん原で、肥沃な土地であるが湿地も含まれている。これらの
 自然条件の評価は、第4章に記述されている。

3. 1. 3 ソンドゥ川流域

ビクトリア湖に流れ込む6つの主要河川すなわち、シオ、ゾイア、ヤラ、ニャンド、ソ
 ンドゥ、クジャのうち、ソンドゥ川は水力発電開発の可能性、及びその流域と近隣の流域
 でのかんがい農業の有望な水源として注目されてきた。

ソンドゥ(ミリウ)川は総流域面積 3,470km² で上流に2つの支流をもつ。南側の流
 域は約 1,510km² でキブソノイ川に、東側の流域は 1,580km² でユリス川に夫々集められ
 る。両河川ともマウ断層崖(標高 2,500-2,800 m)の西側斜面のマウ森林に水源を発す

る。キプソノイ川は最初ソティック部落の近くまで南西方向に流れ、それから進路を北向きに変えマグワグワ村の近くを通り、東から来るユリス川と合流する。ユリス川はキムグ川とイタレ川が合流した川で、西に向かって流れてキプソノイ川と合流する。

ユリス川とキプソノイ川の合流後はソンドゥ川（または地域的にミリウ川）と名を変え、ソンドゥ村まで北方向に流れ、その後は西に向きを変える。最後にソンドゥ川はニャカチ断層崖を通り、ビクトリア湖のウィナム湾に流入する。

ソンドゥ川の縦断図を図-3.3に示す。この図に見られる様に、ソンドゥ川は、最下流域における10km未満の短い区間で100m以上も落ちている。ソンドゥ川の中流と下流域はV字形の谷となりいくつかの峡谷部を形成している。

流域の東側の地域は南西マウ、西マウ、トランスマラなどの保護林が流域を覆い、下流域はよく管理された茶農園が開かれている。この地域はよく保全されているといえる。

流域西部では標高1,800m以上の土地は、農耕と茶の栽培に利用されている。川筋の所々に湿地性の植物が密生していたり、ごく限られた地点でまばらな森林が見られるだけで、この地域の大部分の農耕地は保全が不十分で、土壌流失を受けやすい。くちばし状になった下流域では溪谷は草やかん木で覆われ、狭い耕地が点在している。

ソンドゥ川の上流域には年間で平均2,000mm以上の降雨がある。この地域はケニアにおける多雨地域の1つである。しかし下流域では年間1,500mm以下となっている。ソンドゥ川流域の北に隣接するカノー平野では、年間1,000mm以下とかなり少ない。

ソンドゥ川はその豊富な雨量によりビクトリア湖集水地域におけるもっとも有望な水資源となっている。さらにソンドゥ川は、ユリス川の合流後急流部が多くなる。この地形により、特に断層崖の出口付近では水力発電が有望となる。

3. 2 民族と人口

3. 2. 1 民族

ケニアには約40の部族、人種がいる。表-3.1に1979年の人口調査時のケニアの部族、人種、国籍別の人口を示す。

ケニア西部の部族構成は、ケニア全体のものとはかなり異っている。この地域の主な部族は、ルハヤ、ルオ、キシイ、カレンジン、マサイ、イテソ、クリアである。カレンジン族とは西部ケニア高地に住む南部クシチック語族と、その後に来た部族のうちの高地ニロチック語族が混合、同化した人種の集団名である。この地域のカレンジン族には、キブシギス、ナンディ、サバオットが含まれる。またトゥジェン、エルジェヨ、マラクウェト、ポコットのよう他の部族もこの地域の周辺部に住んでいる。

これらの部族の居住地を図-3.4に示す。図に見られる様に計画地域において最も多数の部族はルオ族である。

ルオ族は元来放牧民族であり、その名残が彼らの牛に対する態度からもうかがえる。ルオ族はあらゆる手段で自らの経済を支えているだけでなく、色々な社会的職務にも従事している。ルオ族はかつては川や湖の近くに住み漁業が盛んで今もなお多くが漁業に従事している。しかしながら今日ルオ族は大部分が定住農耕民で、さとうもろこしやきびのような伝統的な穀物だけでなくとうもろこしやカッサバも作っている。この生活様式の基本的変化は、人口増加と植民地政府に移動を制限されたことによると言われている（詳しくは第6巻の第1章を参照）。

3. 2. 2 人 口

L B D A地域の人口は約700万で、ケニア総人口の40%以上を占める。このうち約10%がソンドゥ川流域に住む。農村人口は総人口の90%以上である。

ニャンザ州の4つの県とケリチョ県における人口、人口密度、人口増加率を表-3.2に比較してある。表に示される様に、計画対象地域における人口密度は、他の大部分の地域よりも高い。特にキシイ地区は最も高い人口密度を示している（1979年時点で $395人/km^2$ ）。

表-3.2には人口調査の間の人口増加率も示されているが、計画対象地域における人口増加率は、ケニア全体の平均増加率や西部ケニアの平均増加率よりもかなり低いことがわかる。この地域での生産活動が生活水準を維持するために、さらに開発をするには土地資源がすでに限界になりつつあることを裏づけるものである。

高い人口密度と限られた土地資源のため、計画対象地域の人口はすでにかかなり安定している様である。これはキスム市の周辺地域を除いて農村から都市への人口流入が主要因になっている訳ではない様である。地域内の人口移動は、大きな開発計画に関連してのみ生

じている。たとえば、キスム地区のチェメリル砂糖会社、ケリチョの茶のプランテーション、キシイのソティク定住計画、サウス・ニャンザのアウェンド砂糖開発計画などである。

3. 3 経 済

3. 3. 1 GRDPと収入

中央統計局による最近の努力にもかかわらず、ケニアには地域経済についての信頼できる統計がほとんど無い。どの地域についても地域内総生産（GRDP）に関するデータは信頼できるものがないが、ケニアのGDPに占めるニャンザ州とウェスタン州のGRDPの割合は人口の占める割合に比べて極端に低い。

農業部門はケニアのGDPの約3分の1を占めるが、西部ケニア地域の経済に対する農業部門の寄与率は50パーセントをはるかに越す。最近の調査では、カノー平野地域の農業活動は総生産高の約65パーセントを締めているとも報告されている。¹⁾

カノー平野に対する同じ調査では、この地域の1人当りの年収入は640ケニアシリングと推定している。計画対象地域内の各県が作った5ヵ年開発計画には、1人あたりまたは1家庭当りの収入についての報告がされている。シヤヤ県計画では、1982年度の農家の1人当りの平均収入は617シリングと概算されたと報告している。キシイ県計画では、先の5ヵ年計画期間中における1戸当りの平均収入を年約6,000シリングと概算した。

JICA調査団はそのインセプション作業時に、計画対象地域における小土地所有農家の代表的な年間収支を計算した。典型的農家の平均年収入は4,080ケニアシリングと概算されているがこれは農作物より1,900シリング、家畜から1,080シリング、農業以外の収入1,000シリングより成る。

断片的なデータと上述の情報から、計画対象地域における現在の1人当り平均収入は、年1,200から1,500シリングと思われる。これはまだ、1983年に概算された264米ドルまたは約3,000ケニアシリングというケニア全体の平均値よりもかなり低い。²⁾

3. 3. 2 農業及びその他の主要生産部門

耕作面積と主な農作物の生産高を、計画対象地域の5地区について表-3.3に示す。この地域で作られている食用農作物はとうもろこし、さとうもろこし、きび、米、いも、カッ

サバ、豆類である。また主な換金商品作物はコーヒー、茶、さとうきび、綿、サイザル麻である。米は国家灌漑局が行っている大規模試験プロジェクトにおいてほぼ独占的に栽培されているが、米を除いた大部分の食用農作物は小規模な一般農家が原始的な耕作法で栽培している。換金作物のうち、さとうきびと茶は、大部分が大規模に近代的かつ集約的な農業技術のもとで栽培されている。しかし、他の換金作物は一般農家により栽培されている。

一般農家は化学肥料や農薬をほとんど用いず、大部分が自給自足の水準にある。ニャンザ州の1982年の農業年間報告書によると、生産高は全般的に低い。平均的な値を示すと、とうもろこしが2.5トン/ha、さとうもろこしが1.1トン/ha、さつまいもが0.9トン/ha、豆が0.7トン/haである。

西部ケニア地域における牧畜、漁業、林業といった他の主要生産部門の活動は他の地域よりも比重が大きい。この地域において牧畜と漁業が重視されているのは前述の通り、主としてルオ族の文化的遺産であることに由来している。

計画対象地域における漁獲高の約98パーセントは、ビクトリア湖のケニア水域からのものである。ビクトリア湖漁場の総漁獲高は、表3.4に示す様に急増している。しかし、漁獲に耐えうる最大量は年間約40,000トンであり、過去数年の漁獲高は明らかに過大である。しかしながら、この地域の漁業活動は近年活発化しつつある。この地域では住民の魚に対する需要が高いということから、LBDAは国際援助機関の協力のもとで、現存する養魚池の修復と新しい養殖場の設置により国内漁獲量を増加させる2、3の計画に着手している。

3.3.3 その他

西部ケニアにおいて1930年代には金とそれに付随する鉱物が小規模ながら広範に産出された。LBDA地域内に、種々の金属、非金属の有望な鉱床があると報告されている。³⁾ またソンドゥ川流域のすぐ外側のオユギス周辺を含めた、ニャンザ州内の2、3の地区では、予備探査が進んでいる。

現在ある農産加工業は、コーヒー、製粉、乳製品、砂糖、黒砂糖、綿、茶及び最近始まった醸造である。大部分は小規模な家内工業である。大規模な工場は2、3あるにすぎない。なわち、キスム綿工場、6つの砂糖工場、ウェブイエの製紙工場、キスムのケニア醸造所である。6つの砂糖工場には全部で20,000人以上が雇用されている。

観光産業は、気象条件、ビクトリア湖の近くであること、2、3の他の主な観光地があることなどから、この地域の開発のためのもう1つの重要な分野である。この地域は政治的にも重要な位置にあり、1983年のウガンダとタンザニアとの国境再開後再構成されようとしている東アフリカ共同体の中心を地理的に占める。

3. 4 開発可能性

3. 4. 1 開発の制約要因

西部ケニアの高地部は人口密度が高く、広範囲に耕作されている。その結果、森林伐採と土地浸食が進んでいる。一方低地部は雨季に洪水を受けやすく、乾季にはしばしば水不足に悩まされている。この地域は豊富な水資源に恵まれているにもかかわらず、これらの資源の適切な利用管理に欠けることが、開発を妨げる主因になっている。

この地域は広い肥沃な土地に恵まれ、気候も一般的に農業に適している。しかしながら現在は、この地域の農業は大部分が自給自足の水準にとどまっている。これは原始的な農業技術と、整備された農道、貯水施設、かんがい、排水といった様な適当な基幹施設が不足しているためである。

原材料の供給不足がより多くの農業関連加工産業の育成と既存加工産業の拡張を阻害している。農業生産物以外にも生産財の投入が不十分で、なかでも必須なのが動力としての電力供給である。もう一つの問題は燃料の供給である。モンバサからの石油の高い輸送コストはこの地域の他の工業開発の大きな阻害要因となっている。この観点から、産業用エネルギーを電力に転換することは将来の見通しを明るくすることになろう。産業振興のための基本的且つ長期的な解決策は、陸上、水上交通基盤を整備し、供給地と需要地を拡大することである。

3. 4. 2 開発可能性と開発計画

前述の様に、この地域は土壌、水、漁業、鉱物といった資源に恵まれ、また人的資源、地理的位置という観点からも、非常に高い開発の可能性を有していると云える。必要なのは先ず突破口を作ることである。ソンドゥ計画がちょうどその引き金になるだろう。

第1にソンドゥ計画の電力は、家庭電化のみならず将来の工業開発に対してもこの地域の比較的優位性を一段と高めることになる。また農業生産の増加は多種の農業関連産業

の設立基盤を拡大するだろう。さらに、より信頼性の高い電力と水の供給は、産業開発のためには必須とも云える。

第2にソンドゥ計画は農業生産技術の向上を促す機会ともなろう。灌漑・排水・洪水防禦の整備による耕作地の拡大はその他の基盤整備や農業技術普及活動と相俟ってこの地域により集約的な農耕技術を導入することにもつながる。

計画のもう1つの重要な効果は、人口の地理的分散が起こり得ると思えることである。この地域の低地部が開発されて、今以上の人口とより活発な経済活動を支えうるならば、現在高地部や傾斜地に居住する人々が低地に移住できるだろう。このことにより焼畑農業などによる高地や傾斜地の浸蝕が妨げるだろう。こうしてソンドゥ計画がその流域保全の一役を担うことも期待されよう。

ソンドゥ多目的開発計画はその電力と農業生産効果により、LBDAの財政能力と開発計画実施能力の向上に役立つだろう。これはLBDAが、輸送基盤整備なども含めた他の開発計画の投資を補完することになるだろう。

第4章 プロジェクト地点の状況

4.1 位置及び地形

ソンドゥ川はビクトリア湖集水域の6つの主要河川のうちの1つで、総流域面積は $8,470\text{km}^2$ であり、マウ断層崖の西側斜面に水源を発生し、ユリス川やキブソノイ川といった主な支川を合わせて西方向に流れる。ユリス川は年間雨量 $2,000\text{mm}$ 以上のケリチョ地域を通る流量の豊富な河川である。この豊富な流量に恵まれたソンドゥ川は1960年代の初めから開発可能性の高い川として注目されていた。ダム候補地点近くの流量観測所1JG1では、年平均流量が $41.6\text{m}^3/\text{sec}$ で、開発を誘引する裏付けになっている。

ユリス川とキブソノイ川の合流後、ソンドゥ川はニャカチ断層崖を貫く狭谷にはいり、オディノ滝と呼ばれる景勝の滝や急流を下り、ニャクウェレの氾らん原まで流れ下る。2つの川の合流点から 12km 下流にあるソンドゥ村（標高 $1,500\text{m}$ ）から、崖麓のニャクウェレ（標高 $1,300\text{mm}$ ）までの標高差は約 25km の流下距離に対して約 300m である。ソンドゥ川は最後にビクトリア湖のウィナム湾に流れ込んでいる。

ソンドゥ／ミリウ水力発電計画の候補地点は、キスムーキシイ道路（国道A1線）を通過してキスムから1時間で行くことのできるソンドゥ村から、約 18km 下流に位置する。この地点の地形は、高さ $80-100\text{m}$ 規模のダムを建設して大きな貯水池を造るに適し、また貯水池から北側のスルデブオロ村付近へ僅か 4km の導水路により、ソンドゥ川の水をニャカチ平野に流域変更することが可能である。

転流計画は 145m という落差（ダム地点の河床高さ $1,350\text{m}$ －放水位 $1,205\text{m}$ ）が利用できるだけでなく、発電所からの放水をニャカチ平野とカノー平野での灌漑に利用することができる。このようにソンドゥ／ミリウ水力発電計画の候補地点は、限られた資源を最大限に利用するという意味で非常に有利であると言える。

4.2 地質

4.2.1 地質

図-4.1に計画地域の地質平面図を示す。

この地域は主に後カンブリア紀の貫入岩で、部分的に閃緑岩、角閃石、片麻岩、粗粒玄

武岩を含む花崗閃緑岩から成る。この地域はほぼ東西に走る、ケンドウ断層という顕著な断層崖で分かれている。この断層崖の北側には浸食された崖錐土砂の堆積が見られ、その下には激しい風化を受けた花崗閃緑岩が10mから20mの厚さで存在している。発電所の計画地点は、この断層崖のちょうどふもとのゆるやかな傾斜地に選ばれた。

この断層崖の南側の台地に、貯水池または取水ダムの開発地点が標高約 1,300mから 1,500mのソンドゥ川溪谷に沿って位置している。溪谷の大部分にわたって、花崗閃緑岩の露頭が片麻岩とともに所々に見られる。左岸側は相対的に粗粒構造でアバットメントの上部は風化を受けている。一方、右岸側は堅く、細粒構造の岩から成る。

4. 2. 2 地震

この地域の地震は、ダム設計に使う地震係数を評価するため、以下のデータと報告に基づき、検討された。

- ・ 西部ケニアの地震記録（国際地震センターよりデータ収集）
- ・ 1971年のI.S. Loupekineによるケニアにおける有感地震の目録
- ・ 1968年のI.S. Loupekineによるホマ・ベイ地震についての予備報告書
- ・ キアムベレ計画の技術報告書

イースタンまたはグレゴリー・リフトバレーがダム計画地点から 100から 200km離れて、北から東に走っているという事実にもかかわらず、大部分の記録はこの地域が地震の危険度の低い地帯にあることを示している。地震加速度の計算では大きな地震では50gal から 60gal を示し、これは地震係数 $K=0.05$ に相当する。また 100年生起確率の可能最大地震については80gal で、これは地震係数 $K=0.08$ に相当する。

$K=0.05$ という地震係数はこのような地震の危険度の低い地帯に採用できる。しかし、フィージビリティ設計では、100年生起確率の可能最大地震の地震係数と安全性を充分考慮して $K=0.10$ を採用することが妥当である。

4. 2. 3 計画予定地点の土木地質評価

計画地域の全般的な地質調査に加え、ソンドゥ川の下流域に沿う計画予定地点についてより詳細な地質調査が行なわれた。その結果は第4巻、付録1に記述される。土木地質評価に依ると、中間報告書に一部報告している様に計画予定地点の地質はソンドゥ/ミリウ計画の主要構造物を建設するのに適している。

4. 3 水文及び気象

4. 3. 1 概観

標高 1,600m から 2,700m という高地にあるソンドゥ川流域の気候は一般に温和で、年間を通じて平均気温は 19℃ から 25℃ と変動が小さい。これに対し、日気温は 15℃ から 30℃ とかなり大きく変動する。この流域の年間雨量は 1,500mm から 1,600mm と比較的多く、高地では 2,000mm、低地では 1,200mm である。雨は 3 月から 6 月にかけては目立って多いが、特に雨の少ない月はない。しかしながら、年間雨量の経年変化はかなり大きい。

ソンドゥ川は流域内の雨に恵まれた流量の豊富な河川であると云える。流量の季節変動は雨と類似しているが、沼沢地、密生林、下流の茶畑などによる貯留、遅滞効果のために雨の季節変動よりも小さくなっている。洪水はこれらの貯留、遅滞効果に大きく影響を受け、なだらかなピーク流量が長時間続く。

4. 3. 2 気象

ソンドゥ川流域内とその周辺における降雨データは、水資源開発省 (MOWD) の水文課で収集された。月雨量データは 157 の観測所から収集され、このうち 4 つの観測所で日雨量が観測されている。

157 観測所データに基づいて年平均雨量の等雨量曲線を図-4.2 に示す様にソンドゥ川流域とその周辺について作成した。年雨量はケリチョ地域の 2,000mm からソンドゥ川南端での 1,200mm までの範囲にあり、平均で 1,480mm である。この図は流域が 1,800mm/年の等雨量線で囲まれているユリス川が、ソンドゥ川の豊富な流量に寄与していることを明らかにしている。

図-4.2 はさらにソンドゥ川流域とその周辺から選んだ 8 つの観測所の月平均雨量も示している。200mm/月以上の雨量が 3 月から 5 月の間に現れている。

4 つの観測所の日雨量データを用いて 1 日、3 日、5 日、7 日、15 日連続の流域の確率雨量を計算するため、頻度分析を行った。求めた確率雨量を表-4.1 に示す。確率雨量は降雨と流出量の関係を用い、洪水流量を予測するために使用される。

一方、2 つの気象観測所、Sotik Water Supply (9035297) と Ahero Experimental Station (9034086) において貯水池表面からの蒸発率を評価するため日蒸発量データが収集さ

れた。加えて、キスム空港とケリチョ・ティミリル・T. R. I. の蒸発量データが東アフリカ気象報告書、ナイロビ気象開発に集積されており、これらを参照してSotik Water SupplyとAhero Experimental Stationで収集したデータの信頼性を検証した。貯水池計画地点、つまりこの後第6章で検討するソンドゥ／ミリウとマグワグワでの蒸発率は結果として以下の様に評価された。

単位：mm/日

1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
4.0	4.2	3.8	3.4	3.2	3.2	3.0	3.2	3.5	3.6	3.4	3.5

4. 3. 3 水 文

低水：流出量予測のための記録は、MOWDの水文課が管理している13の観測所から収集した。このうち9つはソンドゥ川流域にあり、4つはニヤンド川流域にある。これらの水位観測所の位置を図-4.3に示す。

ソンドゥ村近くの観測所1JG1をソンドゥ多目的開発計画の開発規模決定のためのキーステーションとした。1JG1は計画対象地点に近く、流域内で最も長期にわたる記録を集積しているからである。それ故、1JG1の流出予測には細心の注意を払った。

1JG1で作成した水位流量曲線の信頼性を、まずダブルマスカーブ、相関法などで検討した。次に欠測データの補完を行った。計画の開発規模を決定するためのシミュレーションには、連続した長期間の流出量データが必要だからである。

1JG1における日ベースの連続した流出量データが1946年から1983年までの間で得られた。そして月平均流量を計算すると表-4.2に示す様になり、月平均流量の平均値として $41.6\text{m}^3/\text{sec}$ を得た。加えて、表-4.3にLOTTI が作成した水位流量曲線を用いて計算したニヤンド川流域の1GD1, 1GD3, 1GD4観測所の月平均流量を示す。

高水：洪水吐、取水堰、工事中の転流設備の設計のために洪水ハイドログラフを用意する。洪水ハイドログラフは降雨と流出量の関係を用いて合成した。さらに1JG1の観測記録から集めた各年の最大ピーク流量から求めた確率瞬間ピーク流量により合成したハイドログラフの信頼性を評価した。

ソンドゥ川流域の水文量の高い非線形性を考慮して、ChowとKulandaiswamy⁴⁾によって導かれた非線形数理モデルを、洪水ハイドログラフを求めるためのモデルとして適用した。1 J G 1で観測した洪水ハイドログラフの特徴は、洪水のピーク流量が比流量に比べやや小さい、ゆるやかなピークが長期間続くことである。

各確率生起年に対し計算で求めたハイドログラフを図-4.4に示す。これには4月と5月にしばしば起る洪水が3月に始まることが多いので、3月の平均流量、 $20 \text{ m}^3/\text{sec}$ を基底流量として加えている。

流量測定及び流量観測所の新設：流量データの信頼性は信頼できる水位流量曲線を用いたかどうかにかかっている。そのためL B D A, M O W D, J I C Aの共同作業のもとで、水位流量曲線の検証と補完のため集中的に流量測定を実施した。

集中的な流量測定に加えソンドゥ川流域における流量観測を強化するため、新しい自記水位計を2つ設置した。2つの水位計の位置は図-4.3に示す通り、観測所1 J G 3及び1 J F 1の近くにあり1 J G 4及び1 J F 8と命名された。

堆砂：貯水池にはいり込む流送土砂量は、1940年代後半と1950年代の1 J G 1, 1 J F 1, 1 J G 2における浮遊砂測定記録に基づいて浮遊砂・流量曲線を作成し推定した。

計画貯水池地点における年間の堆砂量は次の様に推定された。

ソンドゥ／ミリウに対し	5.750 千 m^3
マグワグワに対し	4.940 千 m^3

土砂流出率のオーダーは $0.2 \text{ mm}/\text{km}^2$ に相当する。

1940年代後半と1950年代の浮遊砂の測定記録に基づいて作成した浮遊砂・流量曲線の妥当性を調べるため、ソンドゥ川流域の開発状況を、1970年代後半のランドサット映像解析により簡単に調べた。その結果、1950年代から現在に至るまで、堆砂の原因となるような土地の荒廃が増加しているとの徴候はほとんどなかった。したがって堆砂推定に用いた浮遊砂・流量曲線は妥当であるといえそうだ。しかしながら、特に洪水期の堆砂量測定をより頻繁に実施することが今後緊急の課題である。

4. 3. 4 水資源及び必要放流量

現在ソンドゥ川からは家庭用、公共用、かんがい用、工業用、水力用（製粉）などきに平水時 $0.07\text{m}^3/\text{sec}$ 、洪水時 $0.87\text{m}^3/\text{sec}$ が取水されている。

LOTTI の予測⁵⁾によれば、ソンドゥ川の水需要は1978年から2008年までの30年間に5倍に増える見通しである。この推定を適用すれば、平水時の実質取水量は2000年代初めに $0.3\text{m}^3/\text{sec}$ から $0.4\text{m}^3/\text{sec}$ ($0.07 \times 5 = 0.35\text{m}^3/\text{sec}$) に達する。

一方、大規模な転流計画（ナクル給水計画）がニャンド川上流で企図されている。ソンドゥ多目的計画がその最終開発規模に達すると予想される2005年までにはニャンド川の水は実質的に $0.3\text{m}^3/\text{sec}$ だけ転用されることになろう。ソンドゥ多目的計画の最適開発を検討するに当ってはこれらの水需要を十分に考慮に入れる必要がある。

MOWDの情報によれば、ユリス川とキブソノイ川合流点より下流における水利権所有者は7名で、総取水量は $1,058.93\text{m}^3/\text{日}$ ($0.012\text{m}^3/\text{sec}$) である。一方、ニャクウェレ村から下流の使用水量は無視しうる程度である。したがって、将来使用水量が増えたとしても、貯水池から下流域への必要放流量は、観光用にオディノ滝の保全を含めた河川維持流量として決定されよう。水文と気象の詳細については、第6巻の付録3に記述する。

4. 4 建設材料

4. 4. 1 概 説

建設材料調査の目的は計画に必要となると思われる建設諸材料について周辺における自然材料の利用可能性と質的及び量的な適性を評価することと、それら材料の工学的特性について概略評価を行なうことであった。建設材料の現場調査は地質調査と並行して1984年6月から11月の間に実施された。調査された土質材料、岩石、砂の有望な採取候補地を図-4.5に示す。

建設材料調査は1984年6月に計画土取場における試掘作業を始め、それぞれの試掘坑から不透水性土質材料の試料が室内試験用に採取された。ロックフィルやコンクリート骨材に用いる岩石については、ボーリング・コアから室内試験用に試料の調整が行なわれた。これらの試料に加え、発電所地点とその周辺に存在する砂も室内試験用に採取された。すべての試料はナイロビにあるGauff の実験室に運ばれた。

4. 4. 2 不透水性材料

ダムの盛立に用いる不透水性材料は、計画土取場における花崗閃緑岩の風化した層から得られることになろう。この採取地域の材料はインセプション段階でラテライト系の赤土と見なされていたが、試掘後には1 mから2 mの厚さのラテライト系赤土に覆われた、「強風化花崗閃緑岩」であることが判明した。

土取場（500m×2,000m）における調査試掘によって、この地域には少なくとも1,000,000m³の豊富な土質材料があることがわかった。

強風化された花崗閃緑岩はシルト質砂（SM）に分類される。掘削、ストックパイル、積み込み、荷おろしのような作業過程を通じて、強風化された花崗閃緑岩は含水比が低下し、低位または中位の塑性をもった半透水性の土の傾向を示すと予想される。風化された花崗閃緑岩は図-4.6に示す室内実験で、 1×10^{-4} から 3×10^{-4} cm/secといったやや高い透水性を示した。この事実にもかかわらず、盛土工事段階で材料に水を加えて含水比を最適含水比よりも3パーセントから4パーセント湿潤側にし、よく破碎し締め固めればこの材料の透水性を許容限度の $K = 5 \times 10^{-5}$ cm/secまで下げることができると考えられる。これらを明確にするため、締め固めた時の透水特性が、次の調査段階で入念に吟味される必要がある。

前述の風化された花崗閃緑岩とラテライト系赤土の締め固め特性を、図-4.7と図-4.8に示す。

4. 4. 3 ロック材、フィルター材、及びコンクリート骨材

原石採取源としてロック材の原石山候補地点とダム基礎及びトンネルの掘削岩が調査された。原石山候補地は十分な賦存量があると判断された。両地点から採取した材料は表-4.4に示すように吸水試験、ロサンゼルスすりへり試験、硫酸塩に対する安定性、一軸圧縮強さのような試験で良好な結果を示した。

これらのロック材は耐久性があり、かつ強固である。一軸圧縮強さは乾燥状態においても、湿潤状態においてもほぼ1,000kg/cm²以上である。さらに、硫酸ナトリウム試験による損失量はかなり低かった。それにより、両地点の岩石はロックフィル材にも、破碎分級すればフィルター材あるいはコンクリート骨材にも適するとみなされる。

風化された岩石はロックフィルダムのランダムゾーンに流用可能である。

4. 4. 4 砂 利

ソンドゥ川の河床や河岸における沖積堆積物として、計画地域には十分な量の砂利は存在しない。川に沿った踏査で、川砂の堆積は全く限られた地点にしかなく、量的にもわずかであることが明らかになった。さらに、計画地域での踏査とこの地域に関する地質学的判断から、フィルター材やコンクリート骨材に利用する砂や砂利の採取場を川沿いに選定するという案は断念することになった。そのためこの段階では断層崖の北側の崖錐に形成された侵食堆積土や小川沿いの所々に見られる川砂を採取した以外には、調査試掘は行わなかった。これらの砂は採取地周辺の橋梁工事のコンクリートに用いられている。

比重や粒度のような基本的工学特性により、砂は細骨材に適すると考えられる。粒度曲線を図-4.9に示す。

4. 5 環 境

4. 5. 1 概 説

ケニアにおいても大規模投資プロジェクトに伴う環境問題への関心が増しつつある。この観点から、ソンドゥ多目的開発計画のフィージビリティ調査の一環として環境調査が行なわれた。

環境調査の目的は、第1に計画地点とその周辺、特にソンドゥ川流域における現在の環境状況を明らかにすること、第2にソンドゥ計画が及ぼす環境への影響を予測することにおいた。第9章に述べる通り環境影響調査は、計画がまだ比較的初期の計画段階にあるため予備的な水準にとどめた。

4. 5. 2 現 況

既存の文献や資料、政府職員や専門家からの聞き取り調査、限られた現地調査に基づき、色々な面からソンドゥ川流域の現在の状況を調査した。調査対象項目は、人口、土地利用、経済活動、文化財、公衆衛生、気候、土壌、水質、植生、野生生物、魚と漁業、自然保護である。

調査結果は第6巻、社会経済及び環境についての調査報告書の第3章に記述されている。環境の概要を以下に記述する。

土地利用及び植生

ソンドゥ川流域における現在の土地利用状況を以下に示す。

<u>土地利用</u>	<u>面積 ha (占有率 %)</u>	
I 農業	164,792	(46)
耕作地	87,531	
換金作物	32,078	
主要作物	31,370	
野菜, 果物	2,180	
その他、不明	3,823	
境界地	2,057	
休耕地	13,789	
放牧地	61,415	
II 社会基盤施設	21,378	(6)
III 自然植生	171,358	(48)
計	359,895	(100)

ソンドゥ川流域においては、自然植生と農業用地が土地利用の大部分を占めている。支流域ごとのより詳しい土地利用データは第6巻に記載してある。

公衆衛生

今日、多くのケニア国民が罹る病気の大部分は、感染性のものか栄養失調からくるものである。キスム地区と南ニャンザ地区で最も多い病気はマラリアで、新しい症例のうちキスムでは32.9パーセント、南ニャンザでは34.8パーセントを占めている。急性の呼吸器系感染症と下痢も高い率を示している。

水力発電及びかんがい開発により影響を受けると思われる地域の風土病は(1) マラリアと(2) 住血吸虫病(ビルハルツ住血吸虫とマンソン住血吸虫)である。これらについて以下に記述する。

(1) マラリア

熱帯熱マラリア — ファルシパラム原虫に起因する。特に湿度の高い熱帯地方において、最も重いマラリアで、死に至ることもある。

三日熱マラリア — ビバックス原虫に起因する。特に乾期や冷涼期が明らかである地方において、季節的に伝染する。

四日熱マラリア — マラリア原虫に起因し、通常3日ごとに発熱する。熱帯と亜熱帯に不規則に分布している。

卵型マラリア — オーバル原虫に起因し、まれに西アフリカで主に見られる。

最も日常的に見られ、症状も重いのは熱帯熱マラリアと三日熱マラリアである。

ビクトリア湖沿いの地域はケニアで最もマラリア発生率が高い（詳細は第6巻参照）。人口100,000人当りのマラリア感染者はニャンザ州が周辺のウェスタン州、リフトバレー州よりもかなり多く、特にキスム地区で多い。年次報告によると、ニャンザ州のマラリアによる死者数は1981年に100人、1982年に71人、1983年に141人である。

(2) 住血吸虫病

住血吸虫病はビルハルツ病としても知られる重要な病気で、その媒介となるのは節足動物ではなく水生腹足動物である。人間の住血吸虫病は主に4種の吸虫の1つによるものである。

日本住血吸虫 — 東アジアやフィリピンに見られ、人間はもちろん家畜や野生動物にも感染する。

マンソン住血吸虫 — アフリカ、中東、南アメリカ、カリブ海に見られ、人間やいくつかの動物に感染する。

ビルハルツ住吸血虫 — アフリカと中東に見られ、まれに動物に感染する。

インターカラタム住吸血虫 — カメルーン、コンゴ、カボン、ザイールに見られる。

これらのうち、マンソン住血吸虫病とビルハルツ住血吸虫病が調査地域に分布している。

住血吸虫病が全患者の中に占める割合は、キスム地区で0.2パーセント、南ニャンザ地区で0.4パーセントである。これらは数の上では小さいが、ウェスタン州やリフトバレー州と比べると比較的大きい。年次報告によれば、1982年と1983年には住血吸虫病による死者はない。

水 質

ソイア川とニャンド川の水質データは、水資源開発省の水質監視計画と汚染抑制課から入手できる。ソンドゥ川についてはそのデータがなかったため、ソンドゥ川において地点を選定し、水を採取して分析を行った。分析結果は第6巻に記述されている。

ソンドゥ川は濁度が高く、赤茶色をしている。溶存酸素濃度はほぼ飽和の水準である。硝酸態窒素濃度は比較的高い。化学的特性の分析結果によればソンドゥ川の水質はかんがいに適している。

動物と植物

(1) 植 生

すでに述べた通り、自然植生はソンドゥ川流域の約48パーセントを覆っている。以下にその内訳を示す。

<u>植 生</u>	<u>面積、ha</u>	<u>割合、%</u>
森 林	77,349	21.5
かん木	31,087	8.6
草 原	62,922	17.5
計	171,358	47.6

支流ごとについての詳細は、第6巻の第3章に記述されている。

(2) 野生生物

ソンドゥ川流域の野生生物についてのデータは存在していない。ダム地点周辺で土地の人々からの聞き取り調査で分かった主な野生生物は以下の通りである。

哺乳動物：ブッシュバック、カモシカ、サル、野ウサギ、ヒヒ、リス
ハツカネズミ

は 虫 類：トカゲ、大トカゲ、ワニ、コブラ、ニシキヘビ、黒マンバ、茶マンバ

(3) 水生生物

ビクトリア湖には5目13科28属 200種以上の魚類が生息している。以下に学名によって、最も重要な群のうち代表的なものを示す。ビクトリア湖の魚はすべて食用にできる。

ビクトリア湖には風土類のほかに、ナイル系の魚類も生息している。1951年から54年の間に、元来生息していなかった4種のテラピアがビクトリア湖に移入された。テラピア・ナイロティクスとテラピア・レウコスティクスはウガンダのエドワード湖から来たものである。ウガンダのアルバート湖に住むテラピア・ズィリーも同時期に移入された。テラピア・レンダリーは、マラウィ湖や他の南アフリカ水系で見られ、テラピア・ズィリーと近い関係にあり、キスム近くの養魚池からビクトリア湖に逃げ込んだものである。

ビクトリア湖におけるもう1つの重要な開発は1962年から63年の間にレイツァー・ナイロティクス、すなわちナイル・パーチがウガンダのアルバート湖とケニアのツルカナ湖からビクトリア湖に移入れられたことである。ナイル・パーチは全てのアフリカ淡水魚で最も大きい。最も重い記録は、160kgであるが、50kgが普通である。

土着のテラピアであるテラピア・エスキュレンタスとテラピア・バリアピリスの2種は、以前は主要な養殖魚で最も商業上重要な魚だったが、実質的にウィナム湾から消えてしまった。多くの他の魚種、特にハプロクロミス、ラベオ、バルバス、モルミルス、シルベ、シノドンティス、バグラス、クラリアス、アレステス、プロトプテルスもまた急速に減少している。

河川での漁業は雨季、特に洪水期に産卵のため川を上ってきた魚を対象としている。降雨の間、河川によって栄養に富む物質が湖に運ばれ、沿岸地帯の魚の食料となる。

ウィナム湾の何種かの魚、特にバルバス、ラベオ、アレステス、クラリアス、シルベは河川が洪水の時に上流に移り繁殖して、水位が下がるにつれて稚魚とともに湖へ戻る。

第 5 章 電力供給及び需要

5. 1 電力部門の組織

現在ケニアの電力供給は 4 つの組織で運営されている。

- (1) ケニア電力照明会社 (K P & L)
- (2) ケニア電力会社 (K P C)
- (3) タナ川開発会社 (T R D C)
- (4) タナ川及びアティ川開発公社 (T A R D A)

K P & L は 1892 年に東アフリカ電力照明会社 (E A P & L) という名称で、ケニアでただ 1 つの電力配給組織として発足した。K P C と T R D C は両者とも E A P & L 及びケニア政府によって設立された。前者は 1955 年に設立され、主にウガンダとの系統連結に資金を調達することと、輸入電力を E A P & L に売ることを目的とした。後者は 1964 年設立され、タナ川の包蔵水力を開発することを目的とした。1979 年以降、ケニア政府は政策的理由により、K P & L の大株主になっている。また、1971 年に K P C と T R D C の総ての株主権を獲得した。

K P & L の主業務はケニア全土への配電であるが、モンバサ、マリンディ、クワレを含めた海岸地帯に対しては必要電力をも発電している。さらにケニア主送電系統に必要な予備電力としての火力発電も有している。ケニア主送電系統につながっていない地区の発電業務も管轄している。これらの業務に加え、K P C と T R D C を経営し職員を配置している。また、すべての電力源を調整したり、オルカリア地熱発電計画の開発をも担当している。

T A R D A は 1974 年に設立 (タナ川開発公社、T R D A として) され、T R D A が最初に手掛けたマシंगा水力発電所を 1980 年の終りに完成させ、現在同発電所を所有している。また現在、キアムベレ水力発電プロジェクトを建設中である。これらの設備の経営と運転について K P & L と T A R D A との間に合意がなされており、その合意はソンドゥ計画がどのように経営、運転されるべきかを示唆している。

T A R D A 所有のマシंगा発電所の運転は、現在 K P & L の職員が実施している。K P & L は T R D C に対して合意電力料金に基づいて買電料金を支払っている。T A R D A が得るこれらの収入はマシंगाダムと発電所についての資金調達に関する債務返済に当てられている。運転経費と保険を含めた運転費用は K P & L が負担している。

キアムベレ水力発電所については、運転についての代替協定案がKP&LとTARDAによって検討されている。この協定ではKP&Lがキアムベレの全発電関係設備を賃借することになり、KP&LはTARDAの間接費を含めてキアムベレの発電関連施設の債務返還に必要な相当額を賃借料として支払うことになる。

5. 2 現在の電力供給系統

5. 2. 1 概 説

国家送電システム(NPGS)は9つの主要発電所(ウガンダのオウエンズフォール水力発電所を除く)とそれぞれ220KVと132KVの送電幹線を通じてつながっている20の主要変電所を所有している。以下にこれらの概要を示す。(表-5.1参照)

(1) 発電所	総設備容量
(a) 水力発電所(6ヶ所)	342.3MW
(b) 石油火力及び ガスタービン(2ヶ所)	128.1MW
(c) 地熱発電所(1ヶ所)	30.0MW
計	500.4MW
(2) 送電線	5.446Km-cct
(3) 配電線(11KV)	6.306Km-cct
(4) 変電所の変圧能力	2.108MVA
(5) 配電所の変圧能力	931MVA

さらに、常時出力30MWが1955年よりウガンダ電力庁のオウエンズフォール水力発電所から、2回線の132KV送電線によって供給されている。この供給はウガンダとの契約に基づき、2005年まで継続する見込みである。NPGSのload dispatching center(LDC)はナイロビのジュジャロード変電所内にあり、運転はpower line carrier(PLC)を通して各変電所へ指令が伝達されている。LDCはレスとカンプルにデータ解析用のマイクロプロセッサを装備することにより、1986年までには改善される予定となっている。

5. 2. 2 現在の発電施設

ケニアにおけるすべての発電施設の総設備出力は、表-5.2に詳述してある様に 526.7MWである。これはウガンダからの水力発電の輸入を除く。その内訳は水力66.2パーセント、火力28.1パーセント、地熱 5.7パーセントである。

いくつかの小規模なものをのぞいたすべての水力発電施設（343.32MW）はタナ川に集中している。石油火力発電施設（98MW）はモンバサにあり、ケニアでは唯一のこの種の発電所である。西部地域では、ゴゴ滝発電所（2×1.0MW）だけが鉱山用に開発され、現在33KVの送電線でNPGCとつながっている。

いくつかの古い発電施設（2×5MW）は、新しい施設の完成、すなわちキアムベレ水力発電計画が完了する1988年に停止することになっている。NPGSに接続しているディーゼル発電所1箇所（20MW）も、その耐用年数に達し停止する見込みである。

ナイロビの西約50Kmにあるオルカリアの地熱発電所（2×15MW）は最近開発されたもので、ベースロード発電所として1981年に運転を開始した。第3号機（15MW）は1985年に運転開始の予定となっている。

ウガンダからの電力供給（30MW）は1955年に始まり、少なくとも2005年までは継続する見込みである。しかしながら、KP&Lはその開発計画上、1988年以降は輸入電力を常時出力とは考えていない。

加えて、砂糖工場、茶の加工、ビール工場等では自家発電を有している。しかしながら、これらの設備はNPGSの停電に対して連動して作動しないので、KP&Lはそこからの電力買い入れの契約をしていない。

5. 2. 3 現在の送電線網と変電所

表-5.1に示す様に、現在の送電線の総回線延長は1983年現在約5,400Kmで、そのうち1983年の増加分は約900Km（17%）である。主な送電線網のルートを図-5.1に示す。最近、カンプル発電所とラバイ変電所の間に220KVの送電線が完成した。一方、現在の11KVの配電線網の総延長は1983年現在約6,300Kmで、同表に示す様に1983年に280Km（4%）伸びた。

主な変電所は図-5.1に示す様に、ナイロビから北西方向にはレススームサガまで、南西方向にはモンバサまでの132KVの送電線に沿って設置されている。稼働中の変電設備を以下に示す。

(1)	発電所用変電所	35	854 MVA
(2)	送電用変電所	158	1,253.5MVA
(3)	配電用変圧器	6,330	931 MVA
	計	6,523	3,038.5MVA

5. 3 電力消費

ケニアにおける電力利用は大体、国の南部を横断する主要道路に並行し、モンバサからナイロビを通りキスムまでと、海岸沿いで人口の集中した細長い地帯に限られている。他の地域は独立した設備によって電力を供給されている2、3の人口集中地域を除いては、人口が点在していることもあって電力は供給されていない。電力が利用できるのは総人口の6パーセントにすぎない。また、1人当りの平均電力消費量は、工場が有する自家発電によって供給される電力を含めても、1981年において約134KWh程度である。

1970年代、ケニアにおける平均の負荷の伸びは年約8パーセントだった。しかしその後、停滞した経済活動を反映して、伸びは著しく低下した(表-5.3)。1980年代の最初の3年間に、平均の負荷の伸びは、ちょうど年5パーセントで、その後はさらに低下している。

現在の5ヶ年開発計画によると、電力消費は1984年から88年の間に年率約6パーセントで伸びる見込みだった。一方ケニアの経済成長は1984年の3.9パーセントに始まり1988年の5.6パーセントになると予測され、年率平均4.9パーセントで発展すると計画された。年間成長率6パーセントは当局の開発計画が目標としているように、10年間の終わりまでには達成される見通しである(2.1節参照)。

5. 4 電力需要

5. 4. 1 国家の電力需要

(1) 最近の予測の再検討

最近のタークウェル水力発電開発計画の調査は、最近の電力需要予測についての最も包括的な再検討を行っている。⁶⁾タークウェル水力の調査では1人当りのエネルギー消費に

ついて回帰モデル（マクロモデル）とその修正版に基づいて、国家の電力需要についての独自の予測が示されている。

タークウェル調査によるこれらの予測と最近のいくつかの代表的な予測を、年間の伸び率に関して図-5.2で比較した。図から示される傾向は、全般的に停滞した経済を反映して、過去数年エネルギー需要の伸びが低迷している。最近の予測ほど電力需要に対し低い伸び率を想定している。

各予測の間にある相違は、いかに速く年間伸び率が6パーセントに達するかに関する仮定にある。この6パーセントという率は中期的な負荷の伸びを予測するのに一般的に受け入れられているもので、KP & Lが1983年にピーク負荷とエネルギー需要の両方が、2000年まで年6パーセントで伸びるという見通しをたてている。しかし現在は、今後3年間の伸び率は6パーセントよりも低い（おそらくは5パーセント）であろうということを認めている。

一方、タークウェルでのマクロ的予測は6パーセント水準までの回復を1993年まで遅らせている。タークウェルの調査はその後、マクロ的予測を修正し、「中間的予測」として、6パーセントの伸び率は1989年までに達成されると修正提言した。

(2) タークウェルの中間的予測の検証

本調査では国家の電力需要についてタークウェル計画において行なわれたばかりであり、さらにこの調査により提示された中間的予測は基本的にKP & Lに受け入れられているので、マクロ経済的観点から、タークウェルの中間的予測の合理性を確認するだけの簡単な解析にとどめる（表-5.4参照）。

エネルギー消費のGDP弾性

表-5.3に過去10年のケニアにおける国内総生産（GDP）と総エネルギー消費のデータを示す。またほかの期間におけるこれらの指標の伸び率と、データから算出したGDPに関するエネルギー消費の弾性率も示す。表-5.3からGDPが低くなるときに弾性率も低くなる傾向があるが、いずれにしても弾性率は1より大きい、ということがわかる。

一方、過去と将来のGDPの伸びについて注目すると、ケニア経済は1970年代、全消費を輸入に依存している石油の激しい価格上昇にもかかわらず、事実上、年間成長率5.1パーセントで成長した。しかしながら、その後成長速度が遅くなり、1982年には人口増加率（年約3.9パーセント）以下に落ち、1人当りのGDPが減少するという結果となった。現在ケニア経済はゆっくりと回復する見通しで、現在の5カ年開発計画は1984年の3.9パ

一セントに始まり、1988年の5.6パーセントまで達成させることを計画しており、この計画期間の実質的な成長目標を平均で年4.9パーセントにおいている。

上記の観測から、エネルギー消費は最初数年間に約4パーセントで成長し、5カ年計画の終わりまでに6パーセント台に近づくと予測される。このことはタークウェルの中間的予測が全く合理的であることを示している。

1人当りのエネルギー利用と1人当りのGDP

1人当りのエネルギー消費は当然1人当りのGDPが伸びるにつれて増加する。本調査ではケニアにおけるこの2つの量の関係の決定に、複雑なモデルは使用しなかった。しかし、図-5.3の過去10年間のデータがその関係を示唆している。図では1人当りのエネルギー消費とGDPが今後10年間にどのように伸びるかの範囲を示している。

1人当りのエネルギー利用とGDPの間関数的関係が、1970年代後半から1980年代前半に明らかに変化していることには、いくつかの要因がある。主な要因は、

- 経済構造のエネルギー節約型への変化
- 1980年代前半の経済活動停滞
- 不十分な電力供給能力
- 配電網延長の遅れに起因した需要の抑制

また1人当りのエネルギー消費の伸び率が、GDPのそれに比べて次第に低くなる傾向にあることが示されているが、これは経済開発が一つの段階を通過したためであろう。上記の現象の背景を詳しく分析することがここでの目的ではなく、図-5.3は1人当りのエネルギー消費とGDPの予想到達範囲を示すだけである。

1人当りのGDPの予測はタークウェルの調査から引用したものである。たとえ本調査で用いた1人当りのGDPの図がタークウェルの調査で引用したものとは異なるとしても、1人当りのGDPはタークウェルの調査で計画された率で伸びるところでは仮定する。

それにより2000年における1人当りのGDPは1975年価格で98ケニアポンドと算出された。2000年の1人当りのエネルギー消費は、98ケニアポンドという1人当りのGDPに対応して、図-5.3の曲線からは110KWhと125KWhの間と読み取れる。2000年の人口を公式予測の37,505,000人を用いるとすると、上の1人当りのエネルギー消費からそれぞれ総エネルギー需要4,100GWhと4,500GWhが得られる。一方、タークウェルの調査は2000年における低い予測と中間的予測がそれぞれ、発電端ベースで4,379GWhと4,920GWhになるとしている。

送電及び配電での損失（約15パーセント）を考慮すれば、2000年時点でのタークウェルの中間的予測は本調査で予測した2つの数字の中間にある。

5. 4. 2 地域電力需要

(1) 電力需要の地理的分布

タークウェルの調査ではまた、最近の消費傾向の観測及び1977年の国家電力開発計画について再検討して、電力供給地域別の最大負荷の検討をしている。しかしながら、この検討は基本的には1つのトレンド分析で、地域電力需要の開発の中にある種の構造的変化が含まれる場合、需要予測の目的に合うものではない。このような構造的変化は、ある特定の地域または分野に力を入れる政府の開発政策の変化に起因する。

過去のエネルギー需要の地理的分布を表-5.5に示す。この表から総需要を100パーセントとした場合、ナイロビ地域の需要が、1976年の60パーセントから55パーセント台にやや下降し、一方西部地域では同じ期間に8パーセントから12パーセントに上昇したことを示している⁷⁾。このことで、需要地域の相対的な重要性の変化は、政府の政策が1970年代前半から、西部地域の開発（特に工業）を奨励していることを反映していると言える。さらに、高い開発可能性をもつにも拘らず電力供給不足が主な障害となっている地域などでは大きな需要増（特に工業に）を誘発できることになる。

地方の電化も政策に大きく依存するものの一つである。この地方電化における過去の実態は必ずしも成功をしているとはいえないが、将来この地方の電化に力が注がれよう。引き続き第1に西部ケニア地域の開発と電力供給の特徴を明らかにするため、需要構造を地域ごとに比較する、そして第2に電力需要をこの西部地域について2000年まで予測することにする。

(2) 地域ごとの需要構造の比較

KP&Lの国家電力供給系統内の供給地域は5地域に分かれている。1983年の総電力消費は大まかに3つの消費に分類される。すなわち、(1)家庭用及び小規模の商業用、(2)工業用及び大規模商業用、(3)公共用及びその他で、表-5.6に各地域ごとの需要構成を示す。表-5.6は5つの地域がその需要構造、特に家庭用と小規模商業用の消費需要の割合によって、明らかに2つのグループに分けられることを示している。2つのグループそれぞれについて、以下の事が言える。

西部ケニア地域と海岸地域が1つのグループをつくっている。このグループは家庭用と小規模商業用の消費が約20パーセントを占め、工業用と大規模商業用の消費が80パーセント近くを占めていることが特徴である。もう1つのグループはリフトバレー、ケニア山、ナイロビ地域で、家庭用と小規模商業用がかなり高い割合を占めている。ピーク時外の家庭用需要を含めると、家庭用と小規模商業用の消費は、各地域とも総電力消費の約40パーセントを占める。

需要構造のこの違いはナイロビ、リフトバレー、ケニア山地域が国家の中心的な位置にあるとか、電力供給源や幹線送電線に近いために、多くの家庭と小規模商業施設が電力供給を受けやすいからと言える。西部ケニア地域と海岸地域は供給地域全体からみて端部にあるため、家庭用と小規模商業用消費に占める割合が小さい。

需要構造についてよりくわしい考察を行うために各供給地域について世帯の電化率を評価してみた。その結果を表-5.7に示す。この表では電力供給地域は行政区分とは一致していないので、人口と世帯数のデータは大きな需要地のある地区ごとのデータを用いて推定した。

地域ごとの世帯の電化率の推計値を示すと、西部ケニアと海岸地域は同じグループとされているが、実際にはかなり異なった需要構造を持っている。それは海岸地域では世帯の大部分が電力供給を受けている、ということである。海岸地域で家庭用と小規模商業用の消費の割合が小さいのは、モンバサとその近隣都市地域がキペブの主要発電施設の近くにあり、ここでの工業の高い需要が影響しているものと思われる。西部ケニア地域の世帯は国家送電システムの端に位置するため、電力供給が立ち遅れている。これら2地域間の差異は簡単に言うと、各地域に主要な発電設備があるかないかに起因している。

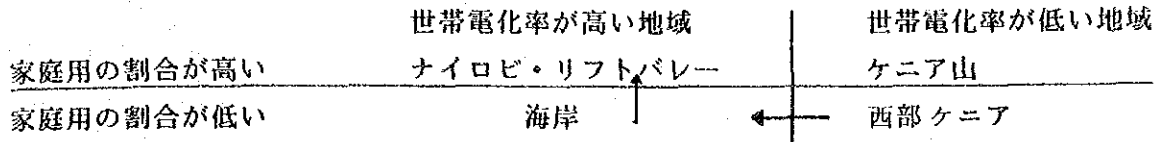
もう一方のグループの3地域のうち、ケニア山地域はケニアの中心的位置にあるにもかかわらず、極端に世帯電化率が低い。しかしながら、上に述べた様な人口と世帯数の地域データを推計するという方法によれば、この地域は国家送電システムの供給末端部であり純農村地帯であることによる。この地域の中心部の2、3の中規模な町に電力供給が行なわれているだけで、大規模な工場の数も限られている。

(3) 西部ケニアの電力需要予測

ここでは、上述の考察に従って西部ケニア地域における電力需要を2000年まで推定する。推定の中間点は、ソンドゥ水力発電計画の予想完成時期である1993年に置いた。

一 般

5つの供給地域を以下の様に2つに分類してみた。



西部ケニア地域の電力需要は電力供給システムが農村地域まで広がるにつれて、家庭用と小規模商業用電力の割合を増加させていき海岸地域型の需要構造に近づいていると思われる。

家庭用と小規模商業用

西部ケニア地域における家庭用と小規模商業用の消費の割合はゆっくりと増加すると思われるが、ソンドゥ水力発電所の様な主要発電施設がこの地域に設置されれば、世帯電化率は確実に増加するだろう。ケニア西部地域の世帯電化率が今世紀の終わりに現在のリフトバレー地域の水準（6パーセント）に近づくと仮定することは無理な推定でないであろう。以下の数字は需要推定で用いているものである。

世帯の電化率	予想年次
3パーセント	1993年まで
5パーセント	2000年まで

家庭用と小規模商業用の消費電力単位量は、西部ケニアについて年間2,092KWhと算出される。この数字はケニア山の2,159KWh、海岸の2,341KWh、リフトバレー地域の2,817KWh、ナイロビの地域4,196KWhと比較して、やや低めであるが、需要予測に用いることにした。この地域の推定人口は、公式予測に従えば1993年に10,978,000人、2000年に13,967,000人である。この地域の世帯の平均人数が5.46にとどまるという仮定のもとで、家庭用と小規模商業用の総電力需要は以下の通りに算出される。

年	総需要量
1993	$(10,978,000 / 5.46) \times 0.03 \times 2,100 = 127 \text{ GWh}$
2000	$(13,967,000 / 5.46) \times 0.05 \times 2,100 = 269 \text{ GWh}$

過去数年の電力消費量データによると、家庭用及び小規模商業用の需要に対する公共用及びピーク時以外の家庭使用量の割合が、15パーセントよりも少し小さく、総消費量が増加するに従って減少する傾向にあることを示している（表-5.8参照）。この需要は総電力

需要においてわずかな部分にすぎないことから、1983年と2000年の両方において、その割合は13パーセントであるとした。

年	総需要量
1993	$127 \times 0.13 = 17 \text{ GWh}$
2000	$269 \times 0.13 = 35 \text{ GWh}$

工業用と大規模商業用

すでに示した様に、電力供給能力が西部ケニアに対して増加するならば、多くの工業用需要が誘発されるであろう。この場合工業用と大規模商業用の分野に対する需要予測をトレンドにより予測することは不適當であろう。それゆえここでは、近い将来この地域に設置を予定される工場を確認し、予想される負荷を各工場ごとに大まかに推定した。

第1に、1987年までに国家送電系統に接続する見通しの、建設中かもしくは実現性の高い主要な工場がいくつか存在する。これらを1987年に予想される負荷とともに表-5.9に示す。これらの工場による総需要は、ピーク負荷で約19MW、総年間電力量で81GWhである。

第2に、表-5.10に示すいくつかの工場が中期的に見てやがては設置される見込みである。これらの予想される工場の総需要量はピーク負荷で約13MW、年間電力量で約57GWhである。もしすべての予想される工場が1993年までに設置されるならば、新しい工場による総需要量は約32MWと138GWhとなる。1983年に存在している工業と大規模商業の需要197GWhを含めると、この分野の総電力需要は1993年に335GWhになる。

長期的に見て設置が予想される特定の工場を確認することは、かなりの不確実性を含むのであまり意味を持たない。それゆえ1993年から2000年までの期間については、工業と大規模商業による電力需要が、1983年から1993年の間に予想される平均の伸び率と同じ率で伸びると仮定した。このように、この分野による電力需要は2000年に約486GWhとなる見込みである。

総電力需要

西部ケニア地域についての電力需要予測の結果を表-5.11に示す。総電力需要は年間の電力量で1993年に479GWh、2000年に790GWhになる見込みである。表-5.11に示す様に種々の消費分野毎の割合は1993年と2000年において、ケニア全体の1983年の需要構造と非常によく似たものになっている(表-5.6参照)。このようにして、この地域の負荷率は、1993年と2000年に現在の全国平均の負荷率70パーセントと同じ水準になると推測される。

負荷率70パーセントを適用することにより、ピーク負荷は1993年に約78MW、2000年に約129MWになると算出された。この数字はタークウェルの調査で推定された西部ケニアの地域最大電力需要によく一致している。

5. 5 電力供給拡大計画

5. 5. 1 進行中の発電計画

建設中もしくは建設することが決定している発電計画は次の通りである。

計 画 名	形式	設備出力(MW)	完成年
(a) オルカリア第3号機	地熱	15	1985
(b) キアムベレ	水力	144	1988
計		159	

キアムベレ水力発電所(2×72MW)はタナ川のキンダルマ発電所の約35km下流の地点に位置している。キアムベレが完成すると、タナ川の包蔵水力(約800MW)の約60パーセントが開発されたことになる。

5. 5. 2 建設予定の発電計画

ソンドゥ水力計画以外に次の発電計画が計画されている。

プロジェクト名	形式	設備出力(MW)	完成年
(a) オルカリア	地熱	30	開発中
(b) タークウェル	水力	100	F/S と評価完了
計		130	

ケニアのリフトバレーにおける地熱のポテンシャルは、蒸気探査によると約170MWと推定され、そのうち44%がオルカリアで上記計画の完了によって開発されたことになる。ケリオバレーのタークウェルの実施可能性は、コンサルティング・エンジニア、Preece, Cardew & Rider (PCR)により評価され、実施可能と報告された。タークウェル水力発電所は1回線の220KV送電線でレンス変電所に接続する。

考えられうる将来の水力発電計画は以下の通りであるが、これらのフィージビリティ調査はまだ始まっていない。

プロジェクト名	河川名	設備出力(No.×MW)
ムトンガ	タナ	2×35
グランドフォールズ	タナ	3×40*
アダムソンフォールズ	タナ	2×25
コレチ	タナ	2×40
キングダルマ3号機	タナ	1×22**
ギタル3号機	タナ	1×72***
ムニユ	アティ	38
エワソギロ	エワソギロ	2×50

注：* PCR のタークウェル水力発電及び経済調査による（1984年 6月）

** 22MW一機を増設するが年間発電電力量は10GWh 増加するだけである。

*** 72MW一機を増設するが設備出力で55MW、年間電力量で40GWh 増加するだけである。

5. 5. 3 計画送電線網及び変電所

以上に述べた発電開発計画に従い、主要な送電系統が図-5.1及び以下に示す様に拡大、強化される計画である。

送電線	電圧 (KV)	回線	推定延長 (km)	現状
(a) キアムベレーカンプル ¹	220	単	39	建設中、1988年 完成予定
(b) キアムベレーラバイ ¹	220	単	41	“
(c) ナイロビーラバイ	220	単	460	1992年完成予定
(d) タークウェルレソス	220	単	225	1993年完成予定
(e) レソスーナイロビ	220	単	240	1993年完成予定
(f) キリフィーブラ	132	単	400	1990年完成予定
系			1,401	

注：1- キアムベレ発電所の完成に伴い、220KV 送電線が現在の220KV のカンプルーラバイ送電線に接続される。

計画されている変電所に関して、拡張、強化について明確な情報は現在のところない。

5. 6 出力バランスの検討

前節で論じた電力需要予測によれば、K P & Lの送電系統における電力需要は1985年の355MW から1990年に454MW、1995年に608MW、2000年に814MW と増加する見通しである。一方、電力量の需要は1985年の2.148GWh/yr から1990年に2.747GWh/yr、2000年には4.920GWh/yr に増加する見通しである。さらに予備出力が送電系統維持のため要求される。予備出力を発電端で推定した電力需要の17% と見積り、これを電力需要に加えるならば、総電力需要は1990年に531MW、1995年に711MW、2000年に952MW に達する見込みとなる。

一方、K P & L送電系統における現在の供給能力は、1985年完成予定のオルカリア3号機の15MWとUEBからの輸入30MWを含めると有効出力で533MWである。キアムベレとタークウェルの水力発電所は設備出力が144MWと100MWで、それぞれ1988年と1993年に送電系統に加わる予定である。これら2つの発電所が加わることで、いくつかの古い発電所が停止するとしても予備出力を含めて1995年までには需要を満たす見通しである。

電力量のバランスは水力発電所の年平均電力量と火力発電所の最大利用率から推定した年間電力量に基づいて検討した。現在の電力量供給能力2,440GWh/yrは、キアムベレとタークウェルの加入によってそれぞれ3,120GWhと3,200GWhまで増加する(発電所の停止を含む)。それにより、送電系統における電力量の必要量は、1990年代の前半、おそらく1993年までは満たされるだろう。UEBから輸入している電力量をK P & Lの計画に従って1988年以降常時電力量とみなさない場合、タークウェルの運転開始後に電力量不足が生じる可能性がある。

この出力バランス検討の結果は、タークウェルの次に来る計画の投入時期を示唆する。タークウェルの後に送電系統に加わると予想される有力計画は、ソンドゥ/ミリウ水力発電、オルカリア第4、エブール、レイクボゴリアの各地熱発電である。

ソンドゥ/ミリウ以外にムトンガ、グランドフォールズ、アダムソンズフォールズ、コレチムニユ、エワソギロといったいくつかの水力発電プロジェクトが確認されている。しかしこれらは概略調査かプレフィージビリティ調査の段階にすぎない。これらはフィージビリティ調査が行なわれるまで、K P & L送電系統に投入すべき有力計画と考えることはできない。

第6章 計画の立案

6.1 計画要領

ソンドゥ川は流域内の雨に恵まれた流量の豊富な川であり、その豊かな流量と落差を利用すると常時出力で187MW 相当の発電ポテンシャルが見込まれる。これはケニアにある14の主河川のうち5番目に大きなものである。過去の調査では、今後20年の間にソンドゥ／ミリウやマグワグワ等といった地点に貯水ダムを建設し、75MWの電力を開発することを提案している。

一方、約60,000haに及ぶカノー平野はその肥沃な土壌や起伏の少ない地形から、灌漑水の十分な供給さえあれば農業開発における高いポテンシャルをもつ。ソンドゥ川はこの平野に隣接している。

カノー平野の土地資源の有効利用とより高度な管理を目的として、これまでいくつかの水資源開発計画が企画されてきた。L B D A地区にある6つの主要河川のうち、カノー平野へ流出するニャンド川に加え、アッパーヤラ川とソンドゥ川の流域を結ぶことによりカノー平野における灌漑農業開発のための水資源が確保されると思われる。

ソンドゥ川はアッパーヤラ川に比べ非常に豊富な水量を有し転流により適しているため、過去の調査では広大なカノー平野における灌漑開発及び大落差を利用した水力発電開発のためにソンドゥ川の転流が提案されている。

それ故、本調査の主目的は水力発電及びカノー平野における灌漑農業開発のためにニャンド川と合わせたソンドゥ川からの転流水の有効利用を検討することにある。本調査の目的に従い、ソンドゥ川流域とカノー平野においてこれまで報告された水資源及び土地資源の開発計画を見直す。

(1) ソンドゥ／ミリウ水力計画	IDCJ/NK, TAMS (1981) (1980)
(2) マグワグワ水力計画	TAMS (1980)
(3) ソティック給水計画	MOWD
(4) カノー平野灌漑計画	USBR, ITALCONSULT (1967) (1982)

(5) 南カノー灌漑計画	AGRAR & HYDROTECHNIK (1981)
(6) アヘロ灌漑試験計画	ILACO/NIB (1966)(1969)
(7) 西カノー灌漑計画	ILACO/NIB (1966)(1967)

上記計画のうち(6),(7)に関しては、各々ニャンド川とビクトリア湖からすでに灌漑用水をポンプで汲み上げている。しかし、もしソンドゥ川転流計画が実現すれば灌漑方法を重力式に変えることも可能である。

JICA調査に先立ち、UNDPはJICAによる調査対象地域の一部を含めたカノー平野灌漑計画の調査も行なっている。UNDPはニャンド川及びソンドゥ川の水の灌漑利用を計画した。本章ではこの調査結果をソンドゥ多目的開発計画の立案に組み入れた。

6.2 開発方法

ソンドゥ川多目的開発計画の最適開発案を作るための第一段階としてソンドゥ川の過去の調査結果や現地調査に基づき調整ダムや水力開発計画の可能性を調べることにした。水力発電及び灌漑により便益が確実に生じる計画を選定するために、予備比較検討を行なう。

第二段階では第一段階で選択した計画と合わせてカノー平野における灌漑開発案を作り、水力発電と灌漑により生ずる便益を最大にする最適開発計画を求める。灌漑開発計画を立てるためにまず計画地域における灌漑可能地域を調べ、次いで作付様式、灌漑用水の需要、そしてソンドゥ川転流にニャンド川の水利用をも考慮にいれてニャカチ、南カノー（ニャンド左岸）及び全カノー平野といった地域別に計画を立案する。

第三段階では将来の電力や電力量の増加にあわせてKP&L電力系統に新しく加えられる発電設備の長期増強計画におけるソンドゥ水力発電計画の最適投入時期を求める。

6.2.1 開発計画

第一段階のソンドゥ川における水力発電およびカノー平野における灌漑開発に関する計画案を図-6.1に示し、各計画を転流、貯水、灌漑別に簡単に説明する。

転流計画とはソンドゥ川の水をカノー平野へ流域変更することにより生ずる落差を利用して水力発電を行ない、転流水を灌漑用に利用する案である。

計画案は以下のとおりである。

D-1案：ソンドゥ／ミリウ転流案

ソンドゥ村から約18km下流で転流する。スルディブオロ村付近へ4kmのトンネル水路を引くことでソンドゥ川からの転流が可能になり約150mの落差が得られる。基本的な開発案を図-6.2に示す。

D-2案：ニャマリンバ転流案

ミリウ村から1km下流で転流した水を標高1,440mの等高線に沿って開水路でニャマリンバ村へ導水し、オカノワチ村の東1kmの方へ3kmの水圧鉄管路で導水する。この案の落差は230m余りである。基本的な開発計画案を図-6.3に示す。

D-3案：ソンドゥ・マラボイ転流案

ソンドゥ村の近くにあるソンドゥ川の大湾曲部から2km上流で取水し、標高1,520mの等高線に沿って開水路でカプレラテット村へ導水する。その後転流水を3kmの水圧鉄管路によりオニウォンゴ村傍のアサウォ川へ流す。この転流により生じる落差は240m余りである。基本的な開発案を図-6.4に示す。

貯水池計画とは水力発電のための常時流量をふやし、カノー平野における灌漑面積を広げようとする案である。

計画案は以下のとおりである。

S-1案：マグワグワ貯水池案

ソンドゥ村から約10km上流の狭谷部は100mのダムを建設して大規模な貯水池を造るのに適した地形をしている。建設費が節約できるために中間報告書で提案した地点を1.5km程下流へ移したが、十分な有効貯水量を確保するためにはサドルダムが必要となる。基本的な開発案を図-6.5に示す。

S-2案：マグワグワ貯水池の導水路延長案

この計画はマグワグワ貯水池からソンドゥ村の4km下流にあるパラ村へ8kmの導水路を作るもので、ダムにより生じる落差の他に100mの追加落差を発電に利用できる。またこの案とソンドゥ・マラボイ転流案(D-3案)は同時に成立し得ないことを付記しておく。基本的な開発案を図-6.6に示す。

S-3案：ソンドゥ／ミリウ貯水池案と転流案

この計画はソンドゥ川からの常時使用水量をふやし、転流するためにソンドゥ／ミリウ取水地点に貯水池を造るものである。また転流による落差以外にダムの建設で約80mの落差が得られる。基本的な開発案を図-6.7に示す。

灌漑計画は上述案に組み合わせるもので、以下に示す。

I-1案：カノー平野の内ニャンド川左岸地域(15,610ha)の灌漑計画案

この計画はソンドゥ川を水源として開発するものである。第4巻、付録7(カノー平野における拡張可能灌漑地域)に述べる様に、この計画に必要な灌漑用水はソンドゥ川の自流で十分である。言い換えるならば、ソンドゥ川転流計画により発電のみならず灌漑開発も十分に可能となる。

I-2案：カノー平野全域(25,610ha)の灌漑計画案

ニャンド川はその右岸地域の主水源だが、これだけでは十分な開発は行ない得ない。それ故に十分な給水ができるようにソンドゥ川の水も用いる。

6.2.2 開発案の組み合わせ

第2段階として、発電と灌漑の最適開発案を選定するために、夫々の計画を組み合わせ、5つの複合案を企画した。

複合案Aは、D-1案(ソンドゥ／ミリウ転流案)からD-3案(ソンドゥ・マラボイ転流案)の中で最適な流れ込み式水力発電計画案を灌漑計画案(I-1案)に組み合わせる計画で図-6.8-Aにその基本案を示す。

この複合案の基本構想は、ソンドゥ川の自流のみによる発電及び灌漑開発で生じる純便益を最大にすることである。

複合案Bは、図-6.8-Bに示すようにソンドゥ／ミリウ貯水池案（S-3案）をカノー平野全域の灌漑開発案（I-2案）と組み合わせるものである。

この計画では発電用貯水池の最適開発規模を求めるのみでなく、ニャンド川右岸への灌漑領域拡張の可能性を調べることを主目的としている。

複合案Cは貯水池の導水路延長案（S-2案）とカノー平野全域の灌漑開発案（I-2案）組み合わせる案であり、ソンドゥ／ミリウ案（D-1案）かニャマリンバ案（D-2案）のどちらかを流域変更の地点とする。基本案を図-6.8-Cに示す。

この計画はマグワグワ貯水池で流量を調節すると同時に、水路を長くにとってソンドゥ川で利用できる落差を有効に使うものである。

複合案Dはマグワグワ貯水池案（S-2案）とソンドゥ／ミリウ貯水池案（S-3案）をシリーズに開発する案とカノー平野全域の灌漑開発案（I-2案）の組み合わせである。開発案を図-6.8-Dに示す。

この複合案はソンドゥ川の水と落差を最大限に利用する意図から立案された。

複合案Eはマグワグワ貯水池（S-1案）をカノー平野全域の灌漑開発（I-2案）に組み合わせる案で、ソンドゥ川の落差を有効に利用するためにソンドゥ・マラポイ転流案（D-3案）で流域変更する。開発案を図-6.8-Eに示す。

6.3 最適案

複合案A～Eの中から最適開発案を求めるため、そしてまた選択した複合案の最適開発規模を決定するために、シミュレーションモデルを複合案A～Eに適合するよう作った。最大純便益を得られるものが最適な複合案であるという基準のもとにその選択を行なった。

シミュレーションスタディの結果を表-6.1に発電及び灌漑開発から生じる便益及び費用とともに示す。複合案C（マグワグワ貯水池の導水路延長案にソンドゥ／ミリウ転流案を組み合わせる案）の純便益が最も大きく最適な複合案となった。なお、ソンドゥ／ミリウ及びニャマリンバ転流案のうちソンドゥ／ミリウが経済比較の結果転流案として選ばれる。その概要は以下のとおり。

マグワグワ貯水池の導水路延長案

常時流量	:	24.1m ³ /sec
最大使用流量	:	72.3m ³ /sec
(8時間ピーク運転)		
満水位	:	標高 1.662.9m
最低水位	:	標高 1.606.3m
ダム堤頂標高	:	標高 1.667.9m
ダム高	:	100.9m
有効貯水量	:	590.7百万m ³
設備容量	:	94.6MW
常時電力量	:	276.2GWh/yr
2次電力量	:	57.9GWh/yr

ソンドゥ／ミリウ転流案

常時流量	:	24.1m ³ /sec (3.3m ³ /sec)
最大使用流量	:	39.9m ³ /sec (29.6m ³ /sec)
設備容量	:	48.6MW (32.8MW)
常時電力量	:	237.5GWh/yr (32.0GWh/yr)
2次電力量	:	14.9GWh/yr (155.6GWh/yr)

注：括弧の中の数字は、ソンドゥ／ミリウ転流案（D-1案）のみの場合の規模を示す。本報告書におけるソンドゥ／ミリウ転流案の予備設計は、マグワグワ貯水池を造るという前提で行なう。

複合案の出力

設備容量	:	143.2MW
常時電力量	:	513.7GWh/yr
2次電力量	:	72.8GWh/yr

灌漑面積

ニヤンド川の左岸	:	15.610ha
ニヤンド川の右岸	:	10.000ha