

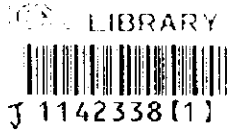
国際協力事業団
ケニア共和国
ニアルギ

ムトンガノグラドフォールズ水力発電計画調査

最終報告書

主報告書

平成10年3月



日本工営株式会社
株式会社 バスコインターナショナル

ムトンガノグラドフォールズ水力発電計画調査

最終報告書

主報告書

平成10年3月

日本工営株式会社
バスコインターナショナル

407
64.3
MPN

98-032

資源調査
J R
98-032

国際協力事業団
ケニア共和国
エネルギー省

ムトンガ／グランドフォールズ水力発電計画調査

最終報告書

主報告書

平成10年3月

日本工営株式会社
株式会社 バスコインターナショナル

本報告書に用いた外貨交換率は次のとおりである。

US\$ 1.00 = KShs. 54

¥ 1.00 = KShs. 0.45

(1997年6月現在)

序 文

日本国政府は、ケニア共和国の要請に基づき、同国のグランドフォールズ水力発電所計画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ました。

当事業団は、平成6年2月から平成10年2月までの間、8回にわたり日本工営株式会社澄川啓介氏を団長とする調査団を現地に派遣しました。

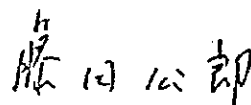
調査団はケニア共和国政府関係者と協議を行うとともに、現地調査を実施し、帰国後の国内作業を経て、ここに本報告書完成の運びとなりました。

この報告書が、本計画書の推進に寄与するとともに、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す。

終わりに、調査にご協力とご支援を頂いた関係者各位に対し、心から感謝申し上げます。

平成10月3月

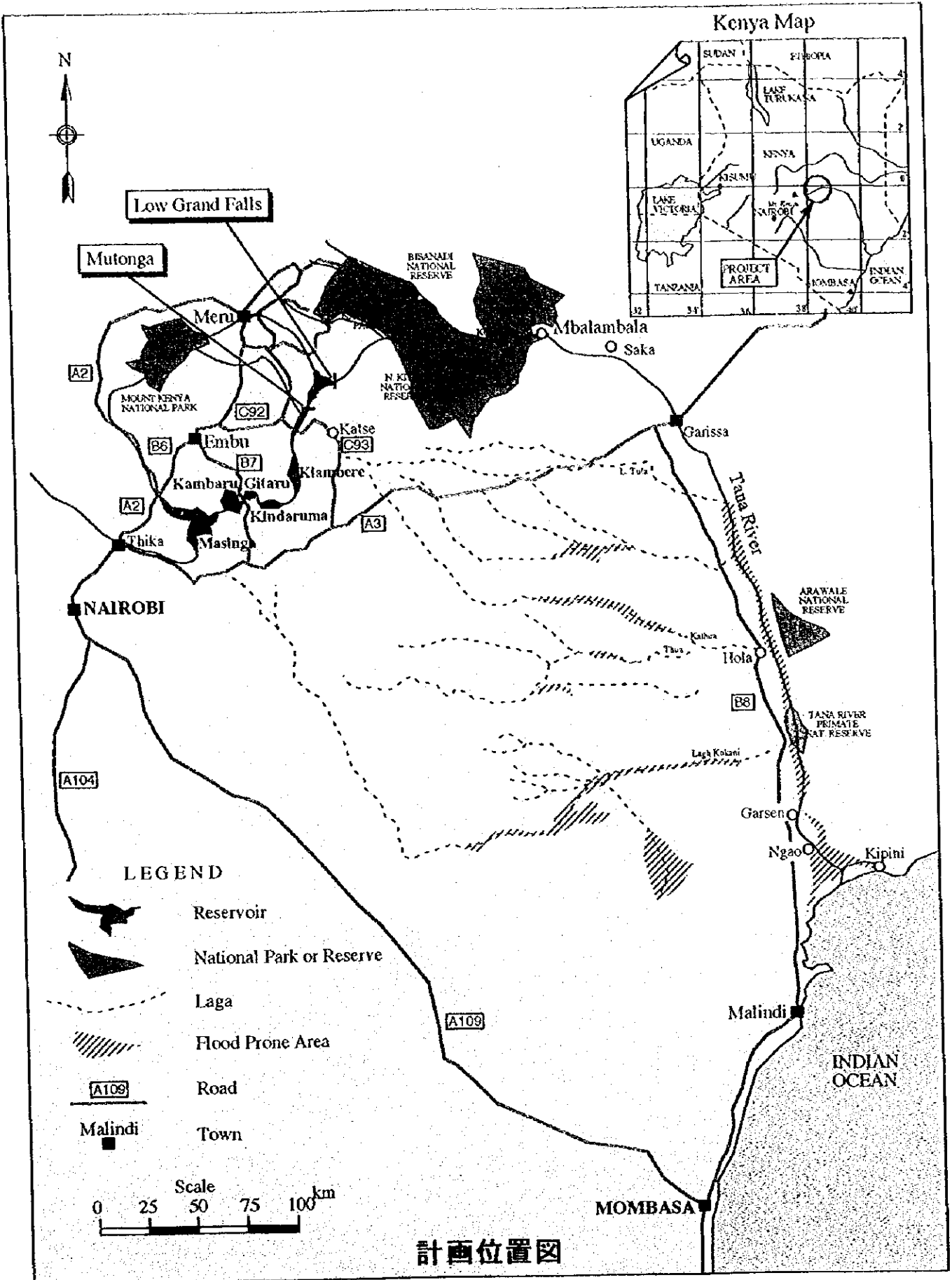
国際協力事業団



総裁 藤田公郎



1142338 {1}



Low Grand Falls

Mutonga

Meru

BISAMAH NATIONAL RESERVE

Mbalambala

Saka

A2

MOUNT KENYA NATIONAL PARK

Embui

Katse

Garissa

B6

B7

C92

C93

Kambaru

Gitaru

Ktambere

A2

Thika

Kindaruma

A3

Masingu

NAIROBI

Tana River

ARAWALE NATIONAL RESERVE

Kahua

Thua

Hola

B6

TANA RIVER PRIMATE SANCTUARY RESERVE

Laga Kolani

A104

Garsen

Ngao

Kipini

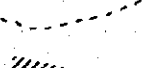
LEGEND



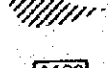
Reservoir



National Park or Reserve



Laga



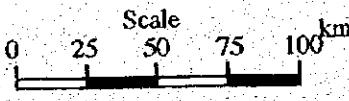
Flood Prone Area

A109

Road

Malindi

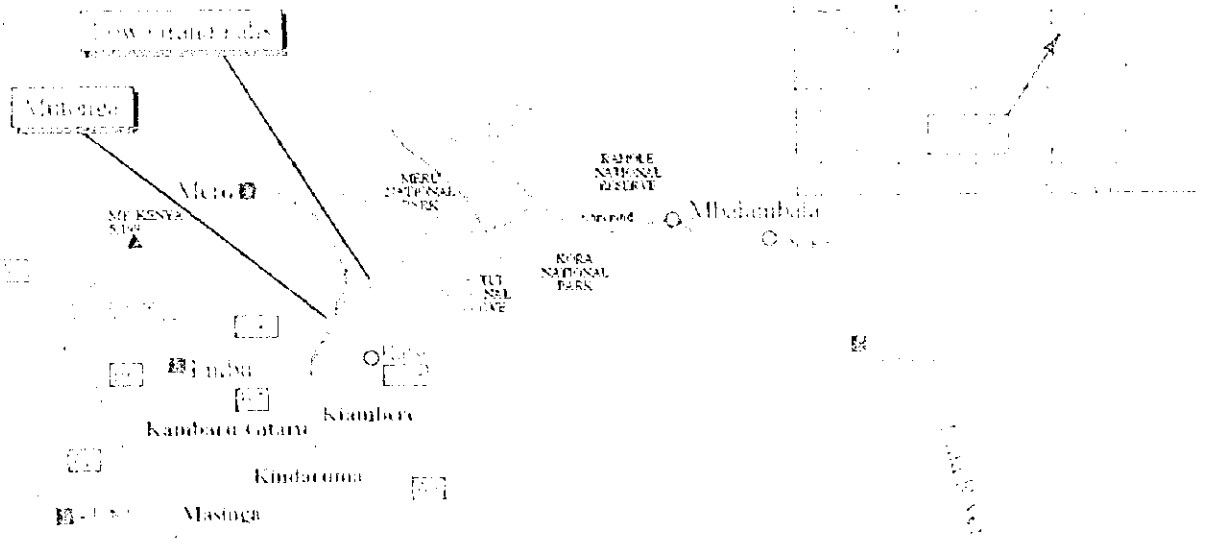
Town



MOMBASA

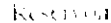
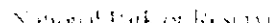

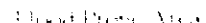



INDIAN OCEAN

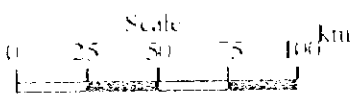
計画位置図



NAIROBI

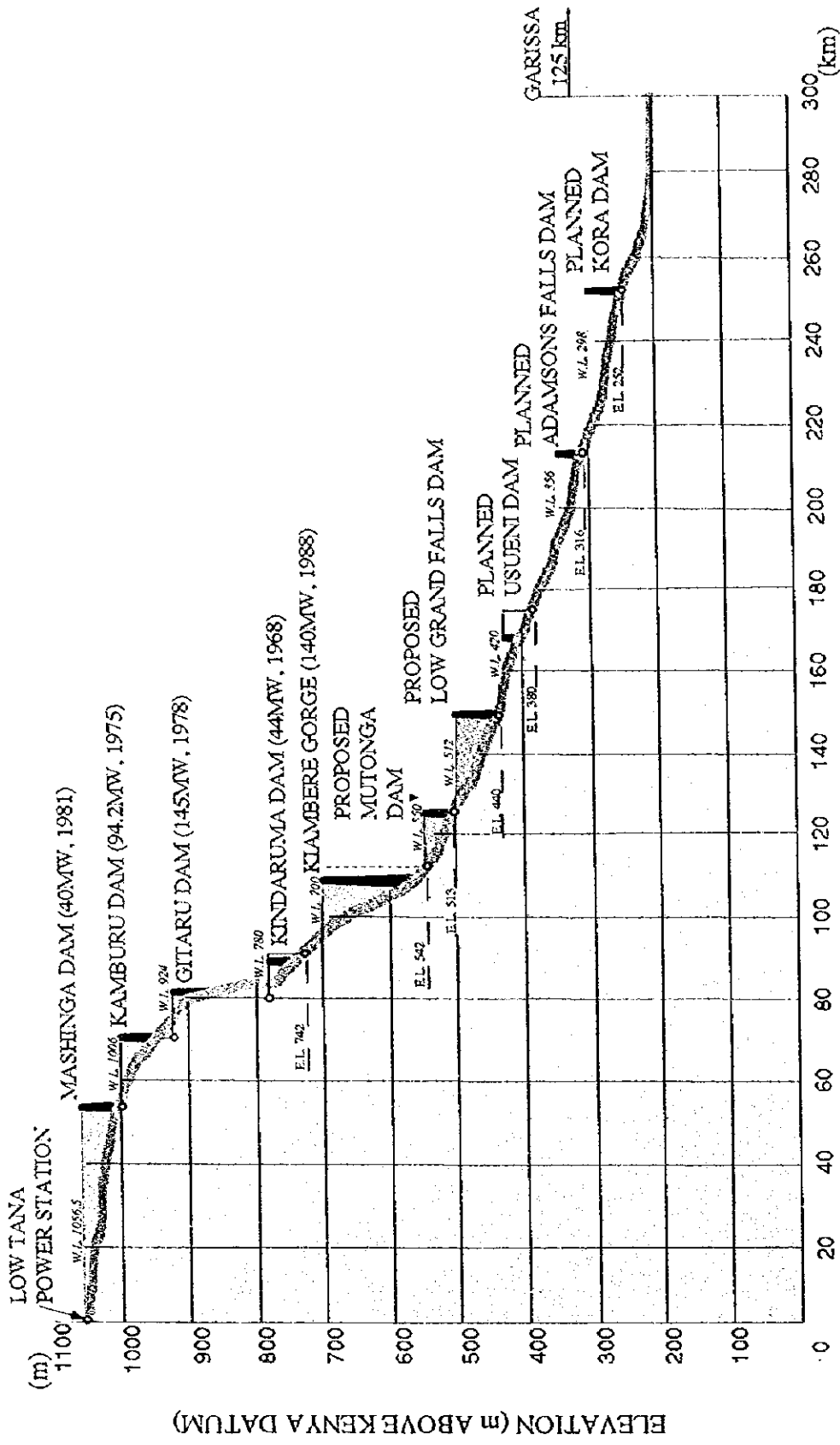
LEGEND

-  Kestivat
-  National Park or Reserve
-  Lake
-  Flood Prone Area
-  Road
-  Malindi
-  Town



MOMBASA

計画位置図



DISTANCE (km FROM LOW TANA POWER STATION)



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY
REPUBLIC OF KENYA
MUTONGA/GRAND FALLS HYDROPOWER PROJECT

グランドフォールズダム計画地点
より約4km上流の滝

写真1



Riverine Forest, Hewani East



Mangrove Swamps at Kipini

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

REPUBLIC OF KENYA

MUTONGA/GRAND FALLS HYDROPOWER PROJECT

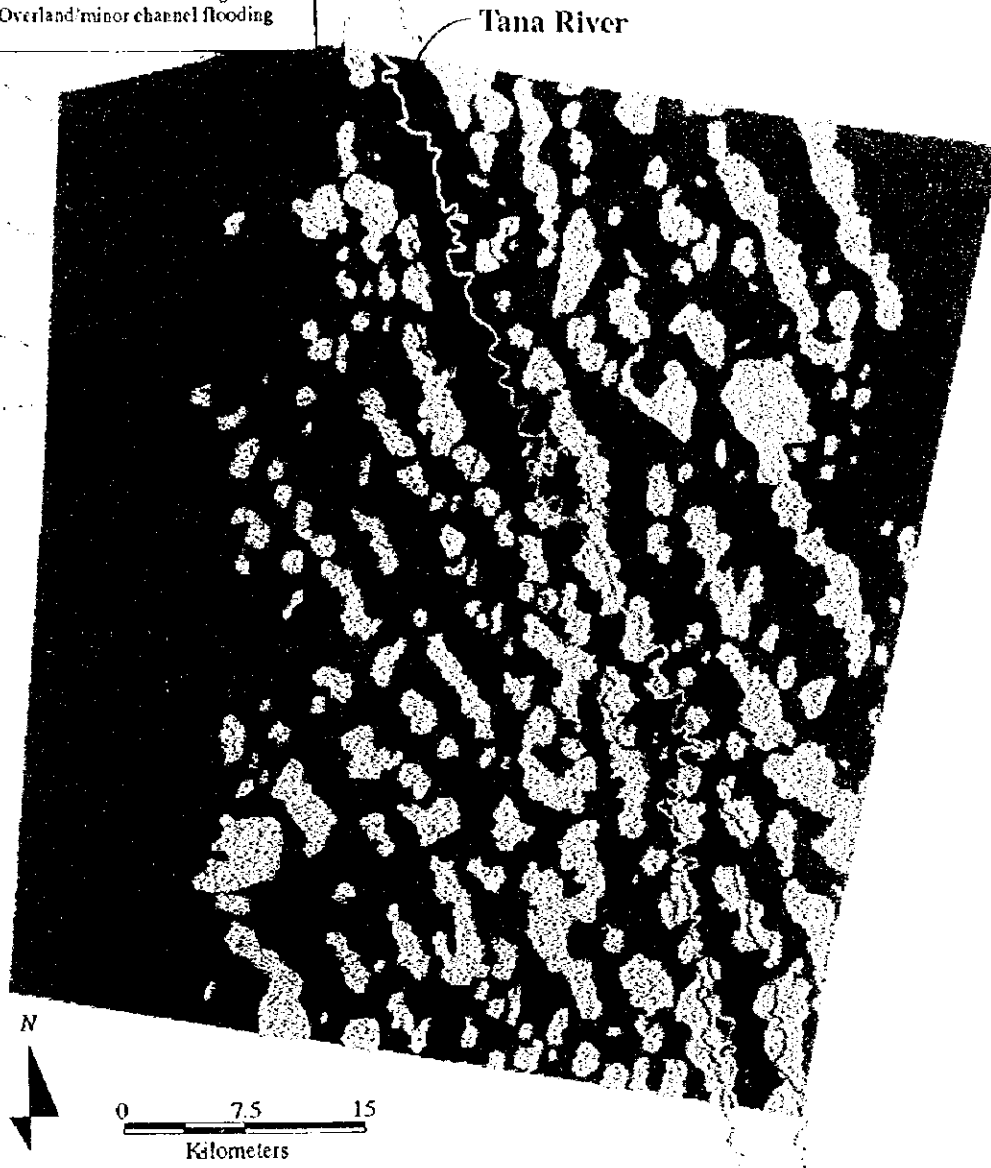
タナ川河岸の森林およびタナデルタの
マングローブ湿原

写真 2

Interpreted Spot satellite image : Tana River Floodplain near Hola, 6 May 1995

Flood Categories:
Tana River Floodplain, 1995

- Dry land (floodplain & hinterland)
- Tana River channel
- ☼ Cloud & cloud-shadow
- Main river channel flooding
- Overland/minor channel flooding



JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY

REPUBLIC OF KENYA

MUTONGA/GRAND FALLS HYDROPOWER PROJECT

衛星画像による洪水状況
(タナ川氾濫原近くのホラ
1995年5月6日)

計画の基本諸元

低グラントフォールズ計画

ムトンガ計画

1. 水文及び貯水池

- 流域面積	17,234 km ²	15,365 km ²
- 年間平均流量	173 m ³ /sec	157 m ³ /sec
- 常時満水位(FSL)	EL. 512.0 m	EL. 550.0 m
- 最低運転水位(MOL)	EL. 491.4 m	EL. 538.5 m
- 総貯水池容量	12.61 億 m ³	1.32 億 m ³
- 有効貯水池容量	9.55 億 m ³	8.5 千万 m ³
- ダム設計洪水	5,400 m ³ /sec	4,000 m ³ /sec
- 異常洪水	12,800 m ³ /sec	10,900 m ³ /sec
- 仮排水路設計洪水	2,800 m ³ /sec	1,600 m ³ /sec

2. 出力

- 設備容量	140 MW (70 MW x 2 台)	60 MW (30 MW x 2 台)
- 最大使用水量	227.6 m ³ /sec	175.0 m ³ /sec
- 有効水頭	69 m	39 m
- 保障出力	134 MW	58 MW
- 年間発生電力量	715 GWh/年	337 GWh/年

3. 主要構造物

(1) 仮排水路

- 仮排水路トンネル	2 条 x 内径10.5 m x 長さ630m 及び760 m	1 条 x 内径10.5 m x 660 m
------------	------------------------------------	------------------------

(2) 主ダム

- ダム型式	複合ダム(コンクリート及 ロックフィルダム)	コンクリートダム
- ダムの天端高さ	EL. 516.5 m	EL. 555.0 m
- ダム高さ	90 m	60 m
- ダム堤体積		
コンクリートダム	1,200,000 m ³	420,000 m ³
ロックフィルダム	2,900,000 m ³	-

(3) 洪水吐き

- 型式	ゲート式	ゲート式
- 水門	6 門 x 幅15.0 m x 高さ15.5 m	4 門 x 幅17.5 m x 高さ16.0 m
- 減勢工	水没式バケット型	減勢池

低グランドフォールズ計画

ムトンガ計画

(4) 人工洪水/土砂放流設備		
- 本数	2 条	2 条
- 型式	鉄管路, 幅5.0m x 高さ5.0 m	鉄管路, 幅5.0m x 高さ5.0 m
- 水門	高压ローラーゲートと予備ゲート	高压ローラーゲート、下流ラジアルゲートと予備ゲート
(5) 水路		
- ゲート型式	選択取水ゲート	スルースゲート
- 鉄管の内径	内径5.4 m x 長さ90 m	内径4.7 m x 59 m
(6) 発電所		
- 型式	地上式	地上式
- 寸法	幅32mx長さ60mx高さ50m	幅30mx長さ49m高さ44m
(7) 発電設備		
- 最大使用水量	227.6 m ³ /sec	175.0 m ³ /sec
- 有効落差	69 m	39 m
- 水車	フランス型	フランス型
- 発電機	3相準傘型軸同期、 静止励磁型	3相準傘型軸同期、 静止励磁型
- 台数	2 台	2 台
- 定格出力	2x70,000 kW	2x30,000 kW
(8) 送電線		
- 電圧	220 kV 2 回線45km	220 kV 2 回線4 km
- 電線のサイズ	Canary (ACSR 460 mm ²)	Canary (ACSR 460 mm ²)
4. 建設期間		
- 設計及び入札	3 年	1 年 (低グランドフォールズ工事期間中)
- 本体工事	5 年	4.5年 (低グランドフォールズと半年オーバーラップ)
低グランドフォールズ及びムトンガ		12 年
5. 建設工事費		
(US\$ 百万、1997年6月基準)		
- 建設工事費 (物価上昇による予備費を除く)	381.6	184.3
合計		565.9
(低グランドフォールズ及びムトンガ)		
- 建設工事費 (物価上昇による予備費を含む)	444.5	234.9
合計		679.4
(低グランドフォールズ及びムトンガ)		

ケニア共和国

ムトンガ／グランドフォールズ水力発電計画調査

最終報告書

目 次

第 1 章	序 論	Page
1.1	調査の背景	1 - 1
1.2	調査の目的	1 - 2
1.3	調査の進捗	1 - 3
第 2 章	社会経済	
2.1	社会経済の現況	2 - 1
2.1.1	地理	2 - 1
2.1.2	行政区分	2 - 1
2.1.3	人口	2 - 1
2.1.4	労働力と雇用	2 - 2
2.1.5	経済状況及び国内総生産	2 - 3
2.1.6	社会基盤	2 - 6
2.1.7	家庭収入と支出	2 - 7
2.1.8	国際交易	2 - 9
2.1.9	消費者物価	2 - 9
2.1.10	開発のための政府財政	2 - 10
2.2	人口の趨勢	2 - 12
2.2.1	人口	2 - 12
2.2.2	労働力	2 - 13
2.3	経済開発計画	2 - 13
2.3.1	国家開発計画	2 - 13
2.3.2	州別開発計画	2 - 15
2.3.3	観光	2 - 16
第 3 章	計画地域の一般条件	
3.1	位置及び地形	3 - 1
3.2	気象、水文	3 - 1
3.2.1	気象	3 - 1

3.2.2	水文	3 - 2
3.2.3	流送土砂	3 - 7
3.3	地質	3 - 8
3.3.1	広域地質 (タナ川流域の地質)	3 - 8
3.3.2	貯水池域の地質	3 - 9
3.3.3	プロジェクト地域の地質	3 - 9
3.3.4	地震及びその危険度	3 - 13
3.4	建設材料	3 - 14
3.4.1	序文	3 - 14
3.4.2	ムトンガ計画	3 - 14
3.4.3	グラウンドフォールズ計画	3 - 16

第4章 環境評価要約

4.1	序	4 - 1
4.1.1	タナ川	4 - 1
4.1.2	環境評価の背景	4 - 1
4.1.3	既存貯水池かの教訓	4 - 2
4.2	貯水池人口と移転地	4 - 4
4.2.1	貯水池影響を受ける家屋と人口	4 - 4
4.2.2	特別管理地域(SMZ)	4 - 5
4.2.3	移転可能地域	4 - 6
4.2.4	移転	4 - 8
4.2.5	移転に係る勧告	4 - 8
4.2.6	緩和措置	4 - 9
4.3	貯水池の環境	4 - 10
4.3.1	自然資源	4 - 10
4.3.2	堆砂	4 - 11
4.3.3	水質と汚染	4 - 12
4.3.4	水質および栄養分と土粒子の排出	4 - 12
4.3.5	湛水所要時間	4 - 34
4.4	下流人口と環境	4 - 35
4.4.1	人口数と予測	4 - 35
4.4.2	下流環境	4 - 37
4.4.3	下流生産系	4 - 53
4.4.4	下流システムの経済価値	4 - 54
4.4.5	協会・団体・地域の意見	4 - 55
4.5	洪水と砂の放流	4 - 57
4.5.1	文献のレビュー	4 - 57
4.5.2	洪水パターンと‘通常’洪水	4 - 59
4.5.3	衛生画像による洪水状況	4 - 71
4.5.4	洪水及び土砂放流	4 - 74
4.5.5	最適貯水池運用	4 - 78

4.5.6	管理・運用に当たっての必要事項	4 - 79
4.6	下流河川地形	4 - 80
4.7	送電システム	4 - 81
4.8	管理	4 - 81
4.8.1	環境モニタリング及び評価システム	4 - 81
4.8.2	制度上の要請	4 - 82
4.8.3	提言	4 - 83
4.9	追加調査	4 - 84
4.9.1	背景	4 - 84
4.9.2	目的	4 - 85
4.9.3	作業範囲	4 - 86

第5章 水資源調査

5.1	はじめに	5 - 1
5.2	電力市場調査	5 - 1
5.2.1	ケニアの電力部内の概要	5 - 1
5.2.2	既設および計画中の発電設備	5 - 2
5.2.3	既設送の送電配電システム	5 - 2
5.2.4	電力市場	5 - 3
5.2.5	電力需要予測	5 - 7
5.2.6	送電系統	5 - 11
5.2.7	電力潮流解析	5 - 14
5.3	灌漑調査	5 - 15
5.3.1	農業分野	5 - 15
5.3.2	既存灌漑計画	5 - 16
5.3.3	提案された灌漑計画	5 - 19
5.3.4	水需要	5 - 20
5.4	家庭用及び工業用給水調査	5 - 20
5.4.1	給水分野	5 - 20
5.4.2	水需要予測	5 - 21
5.4.3	給水	5 - 22

第6章 最適開発計画案

6.1	まえがき	6 - 1
6.2	貯水池運用	6 - 2
6.2.1	シミュレーションモデル	6 - 2
6.2.2	シミュレーションモデルの条件と仮定	6 - 3
6.2.3	最適貯水池運用操作	6 - 5
6.3	最適開発計画の検討	6 - 7
6.3.1	最適開発計画	6 - 7
6.3.2	灌漑便益を考慮した最適開発計画	6 - 12

6.3.3	水供給を考慮した最適開発計画	6 - 16
6.3.4	人工洪水	6 - 17
6.3.5	貯水位及び洪水流出	6 - 19
6.3.6	最適開発計画	6 - 21
6.4	開発計画の比較検討	6 - 22
6.4.1	貯水池水位	6 - 22
6.4.2	ダム比較案	6 - 23
6.5	最適設備容量	6 - 26
6.5.1	貯水池運用操作	6 - 26
6.5.2	電力便益と建設工事費	6 - 27
6.5.3	最適設備容量	6 - 27

第7章 予備設計

7.1	まえがき	7 - 1
7.2	低グラウンドフォールズ計画	7 - 1
7.2.1	仮排水路	7 - 1
7.2.2	主ダム	7 - 1
7.2.3	水路	7 - 4
7.2.4	発電所	7 - 4
7.2.5	プロジェクト道路	7 - 4
7.2.6	水門・鉄管	7 - 5
7.2.7	発電機器	7 - 6
7.2.8	送電線及び変電所	7 - 7
7.3	ムトンガ計画	7 - 8
7.3.1	仮排水路	7 - 8
7.3.2	主ダム	7 - 8
7.3.3	水路	7 - 9
7.3.4	発電所	7 - 10
7.3.5	プロジェクト道路	7 - 10
7.3.6	水門・鉄管	7 - 10
7.3.7	発電機器	7 - 11

第8章 工事実施計画と工事費の算定

8.1	工事実施計画と工事工程	8 - 1
8.1.1	序章	8 - 1
8.1.2	低グラウンドフォールズ工事実施計画	8 - 1
8.1.3	ムトンガ工事実施計画	8 - 7
8.1.4	工事工程	8 - 10
8.2	工事費の算定	8 - 11
8.2.1	序	8 - 11

8.2.2	仮設工事費	8 - 12
8.2.3	土木工事費	8 - 12
8.2.4	水門・鉄管工事費	8 - 13
8.2.5	発電設備工事	8 - 13
8.2.6	送電線および変電設備等工事費	8 - 13
8.2.7	土地収用費	8 - 14
8.2.8	実施機関の工事経費	8 - 14
8.2.9	技術管理費	8 - 14
8.2.10	予備費	8 - 14
8.2.11	工事費	8 - 14
8.2.12	工事費の年次別支出	8 - 15

第9章 プロジェクトの評価

9.1	緒論	9 - 1
9.2	経済評価	9 - 1
9.2.1	プロジェクトの経済的費用と経済的便益	9 - 1
9.2.2	経済評価	9 - 2
9.2.3	感度分析	9 - 3
9.2.4	最適投入時期	9 - 5
9.3	財務評価	9 - 6
9.3.1	財務評価	9 - 6
9.3.2	FIRRの感度分析	9 - 8
9.3.3	ローンの償還可能性	9 - 8

第10章 追加環境調査

付 表

	頁
表 2.1.1 所得層別消費者物価指数及びインフレ率.....	T-1
表 2.1.2 為替交換率 (中値)	T-1
表 2.2.1 想定人口増加率 (2010年 - 2020年)	T-2
表 2.2.2 人口予測 (1995年 - 2020年)	T-3
表 3.2.1 ムトンガダムサイトにおける月平均流量.....	T-4
表 3.2.2 グランドフォールズダムサイトにおける月平均流量.....	T-4
表 3.3.1 グランドフォールズダムサイト基礎の岩盤風化度.....	T-5
表 3.3.2 グランドフォールズダムサイトの表土の深さ.....	T-5
表 3.3.3 低透水性岩盤の深さ	T-6
表 4.2.1 ムトンガ貯水池により影響を受ける人口と家屋.....	T-7
表 4.2.2 低グランドフォールズガ貯水池により影響を受ける人口と家屋.....	T-8
表 5.2.1 既存および計画中の発電所 (1/2).....	T-9
表 5.2.1 既存および計画中の発電所 (2/2).....	T-10
表 5.2.2 運転中の変圧器および合計設備容量.....	T-11
表 5.2.3 既存送電線.....	T-12
表 5.2.4 既存配電線.....	T-12
表 5.2.5 電力供給の合計と KPLC の販売電力.....	T-13
表 5.2.6 カテゴリー及び地区別電力需要(1979-1992/93) (1/2).....	T-14
表 5.2.6 カテゴリー及び地区別電力需要 (1979-1992/93) (2/2).....	T-15
表 5.2.7 地区及び国全体の電力需要予測 (基準ケース).....	T-16
表 5.2.8 地区及び国全体の電力需要予測 (低成長ケース).....	T-17
表 5.2.9 地区及び国全体の電力需要予測 (高成長ケース).....	T-18
表 5.2.10 各変電所における電力需要予測 (基準ケース).....	T-19
表 5.3.1 地域別国内総生産	T-20
表 5.3.2 輸出品の合計.....	T-21
表 5.3.3 1992年の県別作物生産高	T-22

表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (1/10).....	T-23
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (2/10).....	T-24
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (3/10).....	T-25
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (4/10).....	T-26
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (5/10).....	T-27
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (6/10).....	T-28
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (7/10).....	T-29
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (8/10).....	T-30
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (9/10).....	T-31
表 5.3.4	タナ川流域内灌漑計画のリスト (10/10).....	T-32
表 5.3.5	各分割流域における水取水量.....	T-33
表 5.3.6	流量の指標.....	T-34
表 5.3.7	作物の水必要量.....	T-35
表 5.3.8	1995年の各分割流域における月別灌漑需要量.....	T-36
表 5.3.9	2005年の各分割流域における月別灌漑需要量.....	T-37
表 5.3.10	2020年の各分割流域における月別灌漑需要量.....	T-38
表 5.4.1	都市／工業用水の水需要の予測 (1/3).....	T-39
表 5.4.2	都市／工業用水の水需要の予測 (2/3).....	T-40
表 5.4.3	都市／工業用水の水需要の予測 (3/3).....	T-41
表 6.2.1	タナ川主要水力発電所の基本諸元.....	T-42
表 6.3.1	開発計画案の比較.....	T-43
表 6.3.2	ムトンガダムサイトにおける月平均流量 (1947年－1995年).....	T-44
表 6.3.3	グランドフォールズダムサイトにおける月平均流量 (1947年－1995年).....	T-45
表 6.3.4	4F13における月平均流量 (グランドフォールズ計画がなく2020年の水需要を控除した場合).....	T-46
表 6.3.5	4F13における月平均流量 (低GF計画があり、灌漑への水供給を考慮し2020年の水需要を控除した場合)....	T-47
表 6.3.6	4F13における月平均流量 (高GF計画があり、灌漑への水供給を考慮し2020年の水需要を控除した場合)....	T-48

表 6.3.7	灌漑計画リスト	T-49
表 6.3.8	各灌漑計画におけるポンプの必要エンジン出力.....	T-50
表 6.3.9	小規模ポンプ灌漑計画の費用見積	T-51
表 6.4.1	ムトンガダムのダムタイプ比較検討案の建設工事費.....	T-52
表 6.4.2	低グラウンドフォールズダムのダム軸とダムタイプの検討案の建設工事費	T-53
表 6.5.1	ムトンガダムの設備容量検討案の建設工事費.....	T-54
表 6.5.2	低グラウンドフォールズダムの設備容量検討案の建設工事費.....	T-55
表 8.1	作業可能日 (低グラウンドフォールズおよびムトンガ).....	T-56
表 8.2	主要建設機械	T-57
表 8.3	労務費 (労務賃金).....	T-58
表 8.4	建設資材費	T-59
表 8.5	機械費	T-60
表 8.6	低グラウンドフォールズ及びムトンガ計画の工事費概要.....	T-61
表 8.7	低グラウンドフォールズ計画の工事費概要.....	T-62
表 8.8	ムトンガ計画の工事費概要	T-63
表 8.9	低グラウンドフォールズ計画の工事費.....	T-64
表 8.10	ムトンガ計画の工事費	T-65
表 8.11	低グラウンドフォールズ計画の工事費の年次別支出.....	T-66
表 8.12	ムトンガ計画の工事費の年次別支出.....	T-67
表 8.13	低グラウンドフォールズ計画の工事費の詳細 (1/3).....	T-68
表 8.13	低グラウンドフォールズ計画の工事費の詳細 (2/3).....	T-69
表 8.13	低グラウンドフォールズ計画の工事費の詳細 (3/3).....	T-70
表 8.14	ムトンガ計画の工事費の詳細 (1/3).....	T-71
表 8.14	ムトンガ計画の工事費の詳細 (2/3).....	T-71
表 8.14	ムトンガ計画の工事費の詳細 (3/3).....	T-73
表 9.2.1	工事費の年次別支出	T-74
表 9.2.2	経済的内部収益率の計算	T-75
表 9.2.3	経済的内部収益率の計算 (人工洪水放流を考慮した場合).....	T-76

表 9.2.4	発電の季節変化 (1).....	T-77
表 9.2.4	発電の季節変化 (2).....	T-78
表 9.2.4	発電の季節変化 (3).....	T-79
表 9.2.5	既存及び計画中の水力発電所のデータ.....	T-80
表 9.2.6	既存及び計画中の火力および地熱発電所のデータ.....	T-81
表 9.2.7	候補の火力および地熱発電所のデータ.....	T-82
表 9.2.8	最適投入時期検討結果による投入計画.....	T-83
表 9.2.9	最適投入時期検討結果による電力のバランス.....	T-84
表 9.2.10	最適投入時期検討結果による電力量のバランス.....	T-85
表 9.3.1	価格変動を含む財務費用の年次別支出.....	T-86
表 9.3.2	財務分析のパラメータ.....	T-87
表 9.3.3	財務的内部収益率の計算.....	T-88
表 9.3.4	ムトンガ/グランドフォールズ水力発電プロジェクトのローン償還計画.....	T-89

付 図

	Page
図 1.1	全体作業工程 F-1
図 2.1.1	1986年における行政区分 F-2
図 2.1.2	1990年における県別人口密度 F-3
図 2.1.3	1989年における県別一人当たりの国内総生産 F-4
図 3.2.1	計画流域内の等雨量線図 F-5
図 3.2.2	流出解析のための分割流域 F-6
図 3.2.3	日流量流況図の観測値と計算値の比較(1/2) F-7
図 3.2.3	日流量流況図の観測値と計算値の比較(2/2) F-8
図 3.2.4	SGS 4ED3における日流量ハイドログラフ(1/3) F-9
図 3.2.4	SGS 4ED3における日流量ハイドログラフ(2/3) F-10
図 3.2.4	SGS 4ED3における日流量ハイドログラフ(3/3) F-11
図 3.2.5	SGS 4ED3における日流量流況図 F-12
図 3.2.6	SGS 4F13における日流量ハイドログラフの観測値と計算値の比較 (1/3) F-13
図 3.2.6	SGS 4F13における日流量ハイドログラフの観測値と計算値の比較 (2/3) F-14
図 3.2.6	SGS 4F13における日流量ハイドログラフの観測値と計算値の比較 (3/3) F-15
図 3.2.7	SGS 4F13における日流量流況図の観測値と計算値の比較 F-16
図 3.2.8	貯留関数モデルに使用した計画流域内のシミュレーションモデル F-17
図 3.2.9	ムトンガとグランドフォールズダム地点の洪水ハイドログラフ (上流の貯水池がない場合) F-18
図 3.2.10	ムトンガとグランドフォールズダム地点の洪水ハイドログラフ (上流の貯水池がある場合) F-19
図 3.2.11	キャンベレダム下流地点における浮遊砂量一流量曲線 F-20
図 3.2.12	ムトンガ川のSGS 4EA7における浮遊砂量一流量曲線 F-21
図 3.2.13	カジタ川のSGS 4F19における浮遊砂量一流量曲線 F-22
図 3.2.14	グランドフォールズ地点SGS 4F13における浮遊砂量一流量曲線 F-23
図 3.2.15	各ダムと観測地点における年間堆砂量 F-24
図 3.3.1	ケニアの地質 F-25
図 3.3.2	貯水池内地質 F-26
図 3.3.3	ムトンガ計画の地質調査の位置及び地質平面図 F-27
図 3.3.4	ムトンガ計画のダム軸沿いの地質縦断面図 F-28
図 3.3.5	低グランドフォールズ計画地質調査の位置及び地質平面図 F-29
図 3.3.6	低グランドフォールズ計画：ダム軸沿い(E-F-G)の地質縦断面図(1/3) F-30
図 3.3.6	低グランドフォールズ計画：ダム軸沿い(E-F-G)の地質縦断面図(2/3) F-31

図 3.3.6	低グラントフォールズ計画：ダム軸沿い(E-F-G)の地質縦断面図(3/3)……………	F-32
図 3.4.1	ムトンガダムの材料調査図……………	F-33
図 3.4.2	グラントフォールズダムの材料調査図……………	F-34
図 3.4.3	砂の粒度分布図(ムトンガダム)……………	F-35
図 3.4.4	アルカリ骨材化学反応試験結果(ムトンガダム)……………	F-36
図 3.4.5	砂の粒度分布図(グラントフォールズダム)……………	F-37
図 3.4.6	アルカリ骨材化学反応試験結果(グラントフォールズダム)……………	F-38
図 4.2.1	ムトンガ/低グラントフォールズ貯水池の位置する行政区……………	F-39
図 4.2.2	ムトンガ/低グラントフォールズ貯水池の位置する小行政区……………	F-40
図 4.2.3	調査地域の人口密度……………	F-41
図 4.2.4	ムトンガ貯水池の影響を受ける村落……………	F-42
図 4.2.5	低グラントフォールズ貯水池の影響を受ける村落……………	F-43
図 4.2.6	低グラントフォールズ貯水池の影響を受ける村落地域と3kmの境界線 (SMZと緩衝帯を含む)……………	F-44
図 4.2.7	ムトンガ貯水池の影響を受ける村落地域と3kmの境界線(SMZと緩衝帯を含む)	F-45
図 4.2.8	ムトンガ及びグラントフォールズ両貯水池における特別管理地域(SMZ)……………	F-46
図 4.3.1	ムトンガ貯水池でのモデル化のための区分……………	F-47
図 4.3.2	ムトンガ貯水池の縦断面図……………	F-48
図 4.3.3	低グラントフォールズ貯水池のモデル化のための区分……………	F-49
図 4.3.4	低グラントフォールズ貯水池の縦断面図……………	F-50
図 4.3.5	異なった4操作基準による、グラントフォールズ(LGF)貯水池湛水の確率……………	F-51
図 4.5.1	タナ川下流域水位観測所の位置……………	F-52
図 4.5.2	ガリッサにおける平均日流量：1960年 - 1969年……………	F-53
図 4.5.3	ガリッサにおける500m ³ /秒以上の洪水パターン：1860年 - 1993年……………	F-54
図 4.5.4	洪水頻度図：ガリッサにおける季節最大……………	F-55
図 4.5.5	洪水頻度図：ガリッサにおける年間最大……………	F-56
図 4.5.6	洪水事例解析により確認された洪水タイプ……………	F-57
図 4.5.7	解析した洪水事例の分布……………	F-58
図 4.5.8	中間タイプ事例の洪水ハイドログラフ(1/2)……………	F-59
図 4.5.8	中間タイプ事例の洪水ハイドログラフ(2/2)……………	F-60
図 4.5.9	ガリッサにおける「通常」洪水と関連したグラントフォールズおけ 洪水ハイドログラフ……………	F-61
図 4.5.10	ガリッサ下流の流量減衰を示す洪水ハイドログラフ (A：77年4月22日 - 77年5月19日、およびB：79年4月1日 - 79年5月4日)……………	F-62
図 4.5.11	タイプA、C、Dの洪水事例に先立つ雨量解析のために 使用した降水観測所の位置……………	F-63
図 4.5.12	共通洪水事例が続く間の(A)合計雨量と(B)平均日雨量の範囲……………	F-64
図 4.5.13	タイプA、C、D洪水の事例が続く間の雨量および流量のプロット(1/3)……………	F-65

図 4.5.13	タイプA、C、D洪水の事例が続く間の雨量および流量のプロット(2/3)	F-66
図 4.5.13	タイプA、C、D洪水の事例が続く間の雨量および流量のプロット(3/3)	F-67
図 4.5.14	降雨分布の変動が洪水パターンに及ぼす影響	F-68
図 4.5.15	ニエンベレヒルズとガリッサとの間のタナ集水地点における年間平均降雨.....	F-69
図 4.5.16	洪水解析を行った高解像度衛星イメージデータ (SPOT) の位置 および利用可能な範囲を示すタナ盆地図	F-70
図 4.5.17	平均日：4G1、ガリッサ - 1995年4-5月	F-71
図 4.5.18	主タナ川流路およびガリッサとブラの間のlaghas衛星イメージにより 1995年5月6日にカバーされた地域の概要を含む	F-72
図 4.5.19	解釈を行ったSPOT衛星イメージの対象カテゴリー：タナ川 ホラ近くの氾濫原、1995年5月6日	F-73
図 4.5.20	平均日流出、4G1、ガリッサ、1990年4-5月	F-74
図 4.5.21	解釈を行ったSPOT衛星イメージの対象カテゴリータナデルタ、1995年5月.....	F-75
図 4.5.22	既存の上流貯水池を有している場合 (1995年のシチュエーション)、 自然環境下 (1966年のシチュエーション) でガリッサで起きた洪水 継続期間別の頻度	F-76
図 4.5.23	ガリッサの洪水継続期間 (500m ³ /秒以上の洪水が起こった日数)、 総洪水量 (100万m ³)、1995年のシチュエーションからの概算	F-77
図 5.2.1	既存発電設備の位置	F-78
図 5.2.2	既存電力設備の系統図	F-79
図 5.2.3	負荷変動パターン	F-80
図 5.2.4	電力量需要予測	F-81
図 5.2.5	電力需要予測	F-82
図 5.2.6	プロジェクト内220kV送電線	F-83
図 5.2.7	2008年の電力系統図	F-84
図 5.2.8	2012年の電力系統図	F-85
図 5.2.9	2008年の潮流解析結果	F-86
図 5.2.10	2012年の潮流解析結果	F-87
図 5.3.1	地域別及び産業別国内総生産	F-88
図 5.3.2	タナ川流域内の県	F-89
図 5.3.3	水文観測所の位置図	F-90
図 5.4.1	ナイロビ市の都市用水の需要予測	F-91
図 6.1.1	タナ川の水力発電所	F-92
図 6.1.2	ムトンガ・低グラントフォールズ・高グラントフォールズダムの貯水池規模 ..	F-93
図 6.2.1	タナ川上流域の流域モデル	F-94
図 6.2.2	貯水池運用操作シミュレーションモデル	F-95
図 6.2.3	貯水池運用操作の流れ図	F-96
図 6.2.4	発電流量と電力計算の流れ図	F-97

図 6.2.5	貯水池運用操作ルールカーブ(1)	F-98
図 6.2.6	貯水池運用操作ルールカーブ(2)	F-99
図 6.2.7	貯水容量と面積のカーブ(1)(マシンガ及びキャンブル)	F-100
図 6.2.8	貯水容量と面積のカーブ(2)(キャンベレ及びキムトンガ)	F-101
図 6.2.9	貯水容量と面積のカーブ(3)(グランドフォールズ)	F-102
図 6.2.10	マシンガからキンダルマダムまでのシミュレーション結果	F-103
図 6.2.11	キャンベレダムのシミュレーション結果	F-104
図 6.2.12	既存ダムのシミュレーション結果	F-105
図 6.2.13	ムトンガダムのシミュレーション結果	F-106
図 6.2.14	低グランドフォールズダムのシミュレーション結果	F-107
図 6.2.15	高グランドフォールズダムのシミュレーション結果	F-108
図 6.2.16	タナ川全発電所のシミュレーション結果 (マシンガダムから低グランドフォールズダム)	F-109
図 6.3.1	ムトンガダムのレイアウト図	F-110
図 6.3.2	低グランドフォールズダムのレイアウト図	F-111
図 6.3.3	高グランドフォールズダムのレイアウト図	F-112
図 6.3.4	フィルタイプダム標準断面図	F-113
図 6.3.5	ムトンガダムの工程表	F-114
図 6.3.6	低グランドフォールズダムの工程表	F-115
図 6.3.7	低グランドフォールズダムとムトンガダムの工程表	F-116
図 6.3.8	高グランドフォールズダムの工程表	F-117
図 6.3.9	低地作物の灌漑ポテンシャル	F-118
図 6.3.10	高地作物の灌漑ポテンシャル	F-119
図 6.3.11	タナ川下流域の流域モデル	F-120
図 6.3.12	低グランドフォールズダム発電操作による貯水池水位	F-121
図 6.3.13	低グランドフォールズダム発電操作による流出量	F-122
図 6.3.14	低グランドフォールズダム灌漑操作による貯水池水位	F-123
図 6.3.15	低グランドフォールズダム灌漑操作による流出量	F-124
図 6.3.16	低グランドフォールズダム洪水操作による貯水池水位	F-125
図 6.3.17	低グランドフォールズダム洪水操作による流出量	F-126
図 6.3.18	高グランドフォールズダム発電操作による貯水池水位	F-127
図 6.3.19	高グランドフォールズダム発電操作による流出量	F-128
図 6.3.20	高グランドフォールズダム灌漑操作による貯水池水位	F-129
図 6.3.21	高グランドフォールズダム灌漑操作による流出量	F-130
図 6.3.22	高グランドフォールズダム洪水操作による貯水池水位	F-131
図 6.3.23	高グランドフォールズダム洪水操作による流出量	F-132
図 6.4.1	表面遮水壁ダム・ロックフィルダム・コンクリートダムの標準断面図	F-133
図 6.4.2	ムトンガダムレイアウト図(コンクリートダムタイプ)	F-134

図 6.4.3	グラントフォールズダムサイトのダム軸	F-135
図 6.4.4	低グラントフォールズダムレイアウト図 ケース-1 (表面遮水壁ダム、上流ダム軸)	F-136
図 6.4.5	低グラントフォールズダムレイアウト図 ケース-2 (ロックフィルダム、中流ダム軸)	F-137
図 6.4.6	低グラントフォールズダムレイアウト図 ケース-3 (複合ダム、中流ダム軸)	F-138
図 6.4.7	低グラントフォールズダムレイアウト図 ケース-4 (ロックフィルダム、下流ダム軸)	F-139
図 6.4.8	低グラントフォールズダムレイアウト図 ケース-5 (複合ダム、下流ダム軸)	F-140
図 6.5.1	ムトンガダム及びグラントフォールズサイトの流量と放水位との関係	F-141
図 7.1	低グラントフォールズダムの10,000年確率洪水時の洪水追跡結果	F-142
図 7.2	ムトンガダムの10,000年確率洪水時の洪水追跡結果	F-143
図 8.1	工事工程表	F-144
図 9.3.1	最適投入時期検討結果による電力のバランス	F-145
図 9.3.2	最適投入時期検討結果による電力量のバランス	F-146
図 10.1	追加環境調査の工程	F-147

図 面

	<u>Page</u>
図面-01	計画地域近傍図 D-1
図面-02	計画の一般配置図 D-2
図面-03	低グラウンドフォールズダム、一般平面図 D-3
図面-04	低グラウンドフォールズダム、上流図面及び標準断面図 D-4
図面-05	低グラウンドフォールズダム、コンクリートダムとロックフィルダムの断面図 D-5
図面-06	低グラウンドフォールズダム、人工洪水と土砂放流設備及び発電所 D-6
図面-07	低グラウンドフォールズダム、発電所 D-7
図面-08	ムトンガダム、一般平面図 D-8
図面-09	ムトンガダム、上流図面及び標準断面図 D-9
図面-10	ムトンガダム、人工洪水と土砂放流設備及び発電所 D-10
図面-11	ムトンガダム、発電所 D-11
図面-12	単線結線図 D-12

略号

(1) ケニア国内機関

GOK	:	Government of Kenya
MOE	:	Ministry of Energy
TARDA	:	Tana and Athi Rivers Development Authority
KPC	:	Kenya Power Co., Ltd.
KPLC	:	Kenya Power & Lighting Co., Ltd.
MOWD	:	Ministry of Water Development
MOALD	:	Ministry of Agriculture and Livestock Development
NWCPC	:	National Water Conservation & Pipeline Corporation
TRDC	:	Tana River Development Co., Ltd.
WWF	:	World Wide Fund for Nature
KWS	:	Kenya Wildlife Service
NIB	:	National Irrigation Board

(2) 海外機関

GOJ	:	Government of Japan
JICA	:	Japan International Cooperation Agency
WB	:	World Bank
UNDP	:	United Nation Development Program
IUCN	:	International Environmental Organizations

(3) 計量単位

<u>長さ</u>		<u>電気</u>	
mm	= millimeter	V	= Volt
cm	= centimeter	kW	= kilowatt
m	= meter	MW	= Megawatt
km	= kilometer	kWh	= kilowatt hour
		MWh	= Megawatt hour
		GWh	= Gigawatt hour
<u>面積</u>		<u>貨幣</u>	
km ²	= square kilometer	KShs.	= Kenya Shilling
		K.£	= Kenya Pound
		US\$	= US dollar
		US¢	= US cent
		¥	= Japanese Yen
<u>体積</u>			
MCM	= million cubic meter		
m ³	= cubic meter		

重量

kg = kilogram
ton = metric ton

時間

sec, s = second
min = minute
hr = hour
yr = year

その他

% = per cent
° = degree
' = minute
" = second
m³/s = cubic meter per second
ppm = parts per million
°C = degree centigrade
BOD = biochemical oxygen demand
COD = chemical oxygen demand
DO = dissolved oxygen
pH = exponent of hydrogen ion concentration
TDS = total dissolved solids
SS = suspended solids

(4) 経済・財務

EIRR : Economic Internal Rate of Return
FIRR : Financial Internal Rate of Return
FC : Foreign Currency
LC : Local Currency
GDP : Gross Domestic Product
GNP : Gross National Product
GRDP : Gross Regional Domestic Product
OMR : Operation, Maintenance and Replacement
LS : Lump Sum

(5) 標高

EL. : Elevation above mean sea level
FWL : Flood water level
HWL : High water level
LWL : Low water level

(6) 為替レート (as of June 1997)

US\$ 1.00 = KShs. 54 = J. Yen 120
K.£ = KShs. 20

本 文

第1章 序 論

1.1 調査の背景

タナ川は、ケニア国最大の河川でありまた最も重要な河川である。タナ川の流域面積は100,000 km² (ケニア国土面積の18%を占める) であり、標高3,999mのオルドリニオ山をもつケニア高地とインド洋の間を流れ、河川長は約1,000 kmである。ムトンガ/グランドフォールズ水力発電計画は、既存キャンベレ計画の下流25kmから50kmに位置しケニア国の首都ナイロビから約150km北東へに位置する。

タナ川流域は、ケニア国の合計8州の内、中央、海岸、東部、北西部の4州を網羅している。1989年の人口調査によれば、4州の合計人口は9,086,000人であり、ケニア国全体の42.4%を占めている。タナ川上流域は、ナイロビ州に接している。首都ナイロビの人口は10,411,000人に達し、ケニア国の48.5%にあたる。

タナ川は年間37.4億m³の流量を流出し、ケニア国に於ける年間流出量の約19.1%を占める。タナ川流域の水は都市用水及灌漑用水に利用され、年間1.75億m³を都市用水に23億m³を灌漑用水に供給しており、ケニア全体の各々29%と19%を占める。

タナ川での水力発電開発は、1968年に完成したキンダルマ発電所(設備容量44 MW)より開始し、他4箇所の発電所、カンブル(94.2MW、1975年完成)、ギタル(145 MW、1978年完成)、マシंगा(40 MW、1981年完成)、キャンベレ(140 MW、1988年完成)ダム・発電所が建設されている。また、比較的小規模の発電所ワンジイ(7.4 MW)及タナ(14.4MW)がタナ川上流の支流で開発されている。同流域内の既存水力発電所の総発電設備容量は489 MWに達しており、1996年のケニア電力系統内の総発電設備容量の内60%を占める。年間発生電力量は1996年に於いて最小年間発生電力量レベルで2,800 GWhを供給し、また年間合計で2,977 GWhに達している。

本計画はキャンベレダム渓谷の下流における水力発電ポテンシャルを開発することを目的としたものである。これ迄種々の調査が行われており、次の調査がある。

- キャンベレ開発計画フィージビリティ調査(1980年)：
キャンベレ計画のフィージビリティ調査時、ムトンガ/グランドフォールズ水力発電開発計画の調査が実施された。プロジェクトの諸元はこの調査を基にしている。
- 全国電力開発計画(1987年及び1992年、国連開発計画/世界銀行)：
電力開発に観点から、三つの計画が検討された。即ちムトンガ計画(60MW、満水位550m)、低グランドフォールズ計画(140MW、満水位512m)、高グランドフォールズ計画(180MW、満水位550m)である。またムトンガ計画と低グランドフォールズ計画単独、またムトンガ計画+低グランドフォールズ計画、また高グランドフォールズ計画の組み合わせも考えられた。
- 全国水資源基本計画調査(1992年、JICA)：
ムトンガ計画と低グランドフォールズ計画が有望な開発案件として報告されている。また灌漑開発計画25,000haがプロジェクト下流域で提案されている。

これまで提案されている開発計画案の諸元を以下の表に示す。

項目	単位	ムトンガ	低グランドフォールズ	高グランドフォールズ
貯水位				
満水位(FSL)	m	550	512	550
最低運転水位(MOL)	m	535	500	535
有効貯水量	10 ⁶ m ³	62.6	701	1,925
放水位				
最低放水位	m	511.7	443.0	443.0
平均放水位	m	513.0	443.8	443.8
水頭				
総水頭	m	37.0	68.2	106.2
定格水頭	m	35.2	64.8	101.0
設備容量	MW	2 x 30	2 x 60	3 x 60
保障出力	MW	40.8	88.3	141.4
保障電力量	GWh	219	535	692
年間発生電力量	GWh	285	620	802

資料：Kiambere Feasibility Study (EPDC, 1980), Kenya National Power Development Plan (Acres, 1986)

1.2 調査の目的

ケニア国政府は、自国のエネルギー及水資源開発政策即ち自国内のエネルギー資源開発及主要食糧作物の自給達成の観点から、ムトンガ/グランドフォールズ水力発電計画を開発することを考え、日本政府に実施可能性調査の為の技術協力を要請した。

ケニア政府の要請に応え、日本政府は1993年8月に国際協力事業団の職員より構成されたミッションをケニアに派遣し、相手方機関であるタナ・アテイ川開発公団 (TARDA) と、調査の作業範囲 (Scope of Works) を討議した。作業範囲指示書は、水力発電エネルギーの開発と灌漑及上水用水への水供給更に洪水調節に貢献することを考慮し、以下の4開発計画案を比較検討することを計画した。

- ムトンガダム単独開発
- 低グランドフォールズダムの単独開発
- ムトンガダムと低グランドフォールズダムの両ダムの開発
- 高グランドフォールズダムの単独開発

また、調査は次の3ステージに分けられた。

- ステージ1： 初期環境影響評価
- ステージ2： 代替案選定/プレフィージビリティ調査
- ステージ3： 選定された最適案に対するフィージビリティ調査

本調査の目的は、ムトンガ/グランドフォールズ水力発電計画の技術的/経済的に最適な開発計画案を策定することである。また調査の目的はダム建設による影響だけでなく下流環境への影響を含み広義の環境影響を調査することである。

1.3 調査の進捗

図1.1に調査の全体工程を示す。ステージ1調査は1994年2月に調査団をケニア国に派遣することにより開始し、初期環境影響評価を実施し1994年8月に初期環境影響評価報告書を提出した。第1回ワークショップを1994年9月13日から16日までエンブで開催し、TARDA、KPLC、JICA、世界銀行とケニア側関係機関及び県開発委員会（エンブ、タラカーニイティ、タナ川、ムインギ）、国際環境団体（IUCN、WWF）及び調査団の出席のもと行われた。第1回ワークショップは、初期環境影響評価報告書結果につき討議し追加環境調査の必要性につき結論づけられた。

ステージ2調査は、ステージ1調査終了後、直ちに1994年9月に開始し、計画案選定を目的として次の検討を行った。

- 第1回ワークショップの議論結果を考慮し、貯水池内の移転、水質と漁業、農業生産システム、河道森林帯、マングローブ林と下流域流況を含む環境影響調査
- 社会・経済調査、地質調査と電力調査を含む測量と調査
- 比較計画案の経済的有効性の比較検討のための技術的・経済的検討
- 技術的・経済的検討および環境影響評価に基づく最適計画案の選定

進捗報告書(1)は、代替案選定/プレフィージビリティ調査の結果、技術・経済・環境の観点から、低グランドフォールズダムとムトンガダムの両ダムの開発を、最適開発計画として選定した。第2回ワークショップを1995年3月20日から22日までナイロビで開催し、第1回ワークショップに参加した組織と一般公募者の出席のもと、プレフィージビリティ調査の結果につき討議した。

ステージ3調査は1995年4月に開始した。ステージ3調査はパート1及パート2の二つのパートに分かれ実施された。パート1調査は地形測量、地質調査、送電線調査および規模の最適化検討からなっていた。またパート2調査は予備設計、工事工程及工事費算定およびプロジェクト評価から成っていた。

ステージ3調査はパート1において、地形図作成、ボーリング調査、物理探査、建設材料調査などの現地調査を1995年6月から9月まで実施した。水文解析はフィージビリティ調査レベルに見直された。調査検討結果は中間報告書(1995年3月)と進捗報告書(2)(1996年11月)に纏められ提出され、1997年6月13日から17日に開催されたステアリングコミッテで説明討議され了承された。

ステージ3パート2調査は1997年7月に開始され、フィージビリティレベルの予備設計を実施し、工事工程と建設費を算定し、経済・財務評価を行った。環境評価を含むプロジェクト全体の評価を最終的に実施し、1997年10月に最終報告書(案)を提出した。

第3回ワークショップを1998年1月26日から29日迄ナイロビ市で開催し、公的招待者と一般公募者合計188名が参加した。最終報告書(案)におけるステージ3の検討結果につき、JICA調査団より報告され、技術・上流環境・下流環境に関しグループ討論をした。一般とグループ討論の結果と第3回ワークショップの推奨がワークショップ協議録にまとめられた。

ステアリングコミッティが1998年1月20日と21日及び2月2日と3日に開かれ、最終報告書(案)のステージ3・パート2の検討結果がJICA調査団より説明され議論された。議事録がステアリングコミッティとJICA調査団の間で2月4日署名された。

第2章 社会経済

2.1 社会経済の現況

2.1.1 地理

ケニアの国土の総面積は581,787km²で、そのうち467,875km²(総面積の80%)が居住可能地域、102,682km²(18%)が居住不能地域となっており、残りの11,230km²(2%)が河川・湖沼等の水域面積となっている。居住可能地域のうち都市部は国土全体のわずか1%、4,574 km²である。

タナ川流域はケニアの東部に位置し、中央州、海岸州、東部州及び北西州からなっている。流域は赤道直下ないしはこれに隣接しており、東経36°18'から40°42'、北緯0°32'から南緯3°20'にわたって広がっている。アフリカ大陸で2番目に高い標高5,199mのケニア山はこの流域内に位置しており、タナ川はこのケニア山に発している。流域はケニア全土の19.5%、約100,000 km²の面積を有する。

2.1.2 行政区分

ケニアはナイロビ州、セントラル州、イースタン州、ノース・イースタン州、ニャンザ州、リフト・バレー州、ウェスタン州、コースト州の8州からなる。これらの州は1990年時点で41の県(ディストリクト)に分割されている。そのうちのいくつかについてはさらにいくつかに分割されて新しい県となる予定となっているが、1994年時点ではまだ公示されるに至っていない。県はさらに郡(ディビジョン)に区分されており、これが行政区分の最小単位となっている。行政区界の現状については図2.1.1に示した通りである。

2.1.3 人口

1989年人口センサスの結果によれば、ケニアの総人口は2,100万人、km²当りの人口密度は37人、総所帯数は435万3,000所帯となっている。一方、図2.1.2に示したとおり、タナ川流域の人口は同センサスによれば500万人、km²当りの人口密度44人、総所帯数97万所帯となっている。下表は所帯当り平均構成員数を付してこれを要約したものである。

ケニア全土

摘要	単位	ナイロビ州	セントラル州	コースト州	イースタン州	ノース・イースタン州	ニャンザ州	リフト・バレー州	ウェスタン州	計
人口	千人	1,325	3,117	1,829	3,769	371	3,507	4,982	2,544	21,444
人口密度	人/km ²	1,911	235	22	24	3	280	27	307	37
所帯規模	人/所帯	3.46	4.69	5.07	5.56	5.30	5.00	4.88	5.35	4.93

出典:1989年人口センサス。

タナ川流域

摘要	単位	セントラル州	コースト州	イースタン州	ノース・イースタン州	計
人口	千人	2,379	162	2,344	60	4,945
人口密度	人/km ²	241	4	47	5	44
所帯規模	人/所帯	4.73	5.59	5.51	4.93	5.10

出典:1989年人口センサス。

2.1.4 労働力と雇用

下表は、ケニア全土における1960年度、1979年度、1989年度の15歳以上の人口、すなわち経済活動可能人口を州別に示したものである。

州別	経済活動可能人口(人)			年平均増加率(%)		
	1969年度	1979年度	1989年度	1969-1979	1979-1989	1969-1989
ナイロビ	332,866	546,696	909,185	5.09	5.22	5.15
セントラル	819,290	1,141,936	1,653,297	3.38	3.77	3.57
コースト	539,277	752,487	1,011,109	3.39	3.00	3.19
イースタン	972,598	1,376,135	1,911,125	3.53	3.34	3.44
ノース・イースタン	132,750	202,615	194,700	4.32	-0.40	1.93
ニャンザ	1,063,926	1,348,396	1,752,937	2.40	2.66	2.53
リフト・バレー	1,155,204	1,652,161	2,509,881	3.64	4.27	3.96
ウェスタン	633,839	896,628	1,240,517	3.53	3.30	3.41
計	5,649,750	7,917,054	11,182,751	3.43	3.51	3.47

出典: Statistical Abstract 1991.

一方、近代的職業分野についている1982年以降の9年年間における実際の労働人口(給与所得人口)は下表に示す通りとなっている。

州別	実際の労働人口(人)			年平均増加率(%)
	1982	1989	1990	
ナイロビ	291,327	361,767	370,378	3.05
セントラル	156,409	195,554	203,210	3.33
コースト	142,621	170,147	177,648	2.78
イースタン	84,514	111,513	118,274	4.29
ノース・イースタン	9,325	12,158	12,494	3.72
ニャンザ	84,517	131,944	138,344	6.35
リフト・バレー	226,372	290,978	300,798	3.62
ウェスタン	54,305	81,626	92,402	6.87
計	1,049,390	1,355,507	1,413,548	3.79

出典: Statistical Abstract 1991

上記の実際の労働人口に関しては同じ時期における市街地(「アーバンセンター」と称する)別のデータもそろっている。これと上記のデータとを比較することによって市街地化の度合を明らかにすることができる。下表はアーバンセンター別の労働人口と上記の人口とを比較した場合の市街地化の度合を示したものである。

州別	市街地(アーバンセンター)別実労働人口			市街地化の度合(%)		
	1982	1989	1990	1982	1989	1990
ナイロビ	291,327	361,767	379,378	100.00	100.00	100.00
セントラル	40,404	46,677	49,420	25.83	23.87	24.32
コースト	106,548	134,382	138,566	74.71	78.98	78.00
イースタン	20,020	33,959	34,950	23.69	30.45	29.55
ノース・イースタン	0	0	0	0.00	0.00	0.00
ニャンザ	23,567	41,417	43,686	27.88	31.39	31.58
リフト・バレー	63,078	80,192	83,595	27.86	27.56	27.79
ウェスタン	8,218	13,104	13,581	15.13	16.05	14.70
計	553,162	711,498	734,176	52.71	52.49	51.94

出典: Statistical Abstract 1991.

上記の表に示したとおり、ナイロビ州における労働人口はすべて市街地労働人口と分類されているが、ノース・イースタン州の労働人口には市街地労働人口はひとりもない。コースト州では、1989年においては、給与所得人口の約80%が市街地での労働に従事している。これは同国第2の商

業都市モンバサが大きく影響していることを反映していると考えられる。

ここで、小売商のような自営業者は上記の実労働人口(給与所得雇用人口)に含まれているが、農業などの家内労働者を含む非給与労働人口は上記には含まれていない。

中央統計局発行の経済資料「Economic Survey 1991」によれば、所帯主の50%は農業に従事しており、20%が正規の給与労働、10%が一時雇用、10%が商業・交易業務に従事している。下表に従事労働種類別労働人口を示す。

労働種類別	1992年現在 (%)		
	ケニア全土	農山村部	市街地(アーバンセンター)
農業	50	63	4
牧畜	2	2	1
正規給与所得人口	22	14	55
一時雇用人口	11	9	15
商業/交易	11	8	20
家事労働	2	2	2
学生	0	0	0
不明	2	2	3
計	100	100	100

出典：Economic Survey 1994.

2.1.5 経済状況及び国内総生産

経済資料によれば、ケニアにおける1996年度の国内総生産(GRDP)は時価で218億6,600万ケニアポンド(K.S. 21,866百万)となっており、1992年以降の年平均伸び率は18%となっている。

これを産業別にみると、GRDPに占める割合のもっとも高いのは農業で時価で28%、1982年価格で25%となっている。2番目に高い割合を示しているのが商業/レストラン業/ホテル業で、その割合は時価では19%であるが、1982年価格では13%にとどまっている。3番目に高い割合を示しているのは製造業で時価では10%、1982年価格では13%となっている。つまり商業/レストラン業/ホテル業と製造業とでは、時価と1982年価格で、そのシェア率が逆転している。

伸び率で見ると時価では農業が年平均で20%、商業/レストラン業/ホテル業が29%、製造業及び電力がそれぞれ20%伸びを示し、1982年価格ではそれぞれ2%、6%、3%、2%となっていて、商業/レストラン業/ホテル業の伸びがもっとも高い。同国の観光立国の性格をよく表している。

州別のGRDPは既存の統計資料からは入手できない。しかし1992年度のJICA調査

「全国水資源基本計画調査」では図2.1.3に示すような、1989年時点の州別一人当たりGRDPを推定している。これによるとタナ川流域の一人当たりGRDPはゼロから100米ドルの範囲となっていて、同地域はケニア全土でも、もっともGRDPの低い地域となっている。

すでに述べたように、ケニア全土の所帯主の50%以上が農業に従事している。上記のGRDPの状況はまさにこの状況を反映していると考えられる。

統計資料によると、ケニア全土の土地利用状況は下表の通りとなっている。

州別	1987年現在(ha)								
	穀類	一時的 農園作 物	一時的 飼料	その他 の 一時的 作物	一時的 休耕地	恒常的 農園作 物	果樹	非耕地/ 放牧地	計
ナイロビ	101	1	1	0	314	755	0	1,348	2,520
セントラル	2,141	78	1,503	1,901	7,527	41,174	55	106,066	160,445
コースト	44	0	22	43	14	50,632	187	8,798	59,740
イースタン	8,907	0	298	0	4,087	14,847	20	66,912	95,071
ノース・イースタン	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ニヤンザ	250	6,299	0	190	566	2,909	0	12,952	23,166
リフト・バレー	164,042	13,646	14,255	1,142	7,045	26,966	524	372,219	599,839
ウェスタン	0	6,789	0	0	0	0	0	0	6,789
計	175,485	26,813	16,079	3,276	19,553	137,283	786	568,295	947,570
利用割合(%)	18.52	2.83	1.70	0.35	2.06	14.49	0.08	59.97	100.00

出典：Statistical Abstract 1991.

1987年時点では上表に示す合計947,570haが農地であるが、そのうちの60%が耕作されておらず、草地/放牧地として利用されている。この草地/放牧地として利用されている地域のほとんどはリフト・バレー州(65.5%)、セントラル州(18.7%)、イースタン州(11.8%)に集中している。この後者の2州はタナ川流域に属している。

穀類作付け地域及び恒常的農園作物作付け地域がそれぞれ2位及び3位の土地利用地域となっていて、各々18.5%、14.5%の利用率を示している。しかし小麦、トウモロコシ、イネ等に代表される穀類の収量は、それぞれ1990年時点の78,000トンから1993年時点の73,000トンに、52万8,000トンから24万2,000トンに、また19,000トンから11,000トンにと、1990年時点から1993年時点までの3年間は低下してきている。

現在ケニアでは、ムエア(5,820ha)、アヘロ(827ha)、タナ川(867ha)、ベルケラ(237ha)、ブニヤラ(213ha)、西カノ(475ha)、ブラ(2,454ha)等、いくつかの組織的な灌漑開発事業を進めている。

このうちの上位2つの事業、ムエアとブラはタナ川流域に属する事業である。主な作付け作物はムエアではイネ、ブラでは綿花となっている。

下表はケニアにおける産業別の企業数と雇用人数を示したものである。

産業別	1990年現在	
	企業数	雇用人数
農林業	2,658	239,600
鉱工業	46	8,625
製造業	2,002	187,203
電力及び水	106	10,440
建設業	1,388	46,718
卸し小売業/交易/商業	7,033	113,966
運輸/通信	1,193	72,719
金融業	2,933	64,674
地域社会/個人サービス業	5,793	329,125
計	23,152	1,073,070

出典：Statistical Abstract 1991.

上表によれば卸し小売業/交易/商業の企業数が多いが、そのうちの23%は雇用人数がゼロ、また36%がひとりから4人までの雇用人数を有するに過ぎない現状である。これは企業の60%までが

小売業などの小規模な企業に過ぎないことを意味している。

一方、統計資料の示すところによれば、農林業の25%が50人以上の雇用人数を抱えており、12%が20人から49人までの雇用人数を擁している。つまり農林業においては企業の37%が中規模から大規模の企業ということである。一方、雇用人数ゼロから4人までの小規模企業は42%となっている。小規模企業の本数は中規模・大規模企業の本数よりも若干多いが、中規模・大規模企業のスケールメリットによる繁忙期の一時雇用等を考えると、中規模・大規模企業の労働市況は小規模企業のそれに匹敵するものと考えられる。

製造業の企業数は、上表によれば第5位となっているが、その雇用人数は第3位となっている。企業の30%は50人以上の雇用人数を抱えており、16%は20人から49人までの雇用人数を擁している。企業のおよ半数は中規模・大規模企業ということになる。

全企業中の製造業における企業数、雇用人数、生産性、生産高の量的指数について下表に要約した。

摘要	1990年現在	年平均増加率(%) (1986 - 1990)
企業数	612	0.12
雇用人数	166,777	2.40
投資額(K.¥'000)	6,054,381	20.79
生産高(K.¥'000)	6,887,248	19.79
付加価値(K.¥'000)	832,867	13.57
生産高の量的指数(%) (1989 - 1993)	3.03	-

出典：Statistical Abstract 1991.

企業数の伸びはさほどではないが、雇用人数は上表に見るとおり1986年から1990年までの5年間、着実に伸びてきており、付加価値も高いことを示している。また生産高も1986年から1990年までの5年間、コンスタントに伸びてきている。このことは付加価値もまた1993年までコンスタントに伸びてきていることを意味している。

統計資料によれば、製造業は25種類に分類されているが、その内容は、精肉・酪農製品製造業、野菜・魚類・油脂類等の缶詰業、穀類精製業、製パン業、砂糖等甘味料製造業、補助食品製造業、アルコール・タバコ業、繊維製品製造業、衣料品製造業、皮革製品・履き物製造業、材木・コルク製造業、家具等耐久製品製造業、製紙・紙製品製造業、印刷出版業、化学製品製造業、石油・その他の化学製品製造業、ゴム製品製造業、プラスチック製品製造業、陶磁器・ガラス製品製造業、非鉄金属製品製造業、鉄製品製造業、非電化機器製造業、電化機器製造業、輸送機器製造業、その他製品製造業となっている。

上記のうち、精肉・酪農製品製造業、化学製品製造業、ゴム製品製造業、プラスチック製品製造業、非鉄金属製品製造業、非電化機器製造業、電化機器製造業、輸送機器製造業などいくつかの分野ではそれぞれ-28%、-11%、-39%、-23%、-22%、-16%、-21%とその生産高が1986年以降1990年までの期間で低下している。しかし、雇用人数は企業数に対応していない。逆に投資額、生産額は高くなってきている。このことからこの数年企業が次第に大規模化してきていることがわかる。

下表に主な製造品目の生産高及び消費高を示す。

製造品目	単位	1984		1990		1993		年平均増加率(%)	
		生産高	消費高	生産高	消費高	生産高	消費高	生産高	消費高
消費物資									
タバコ・葉巻	Mill.sticks	5,391	5,052	6,648	6,187	7,266	-	3.37	3.44
ビール	Mill.ltrs.	230	230	331	325	349	-	4.74	5.93
塗料	1,000 ltrs.	5,597	4,724	9,319	5,506	1)	-	8.87	3.90
アルコール類	1,000 ltrs.	530	653	1,193	1,711	2,259	-	17.48	17.41
石鹸	Tons	28,339	15,266	37,202	41,067	-	-	4.64	17.93
水性塗料	1,000 ltrs.	293	302	368	366	-	-	3.87	3.26
基幹食糧									
油脂類	1,000 tons	49	-	112	-	-	-	14.77	-
ジャム・マーマレード	Tons	819	-	1,125	-	-	-	5.43	-
精製塩	Tons	58,352	-	78,158	-	-	-	4.99	-
特定工業製品									
綿布	1,000 kg	1,686	-	2,873	-	-	-	9.29	-
毛布	1,000 units	2,253	-	31,421	-	-	-	55.15	-
セメント	1,000 tons	1,135	532	1,512	1,182	1,416	894	2.49	5.95

(注) 1)1990年値は1988年のもの。

-:データなし。

出典: Statistical Abstract 1991, Economic Survey 1994, Monthly Statistical Bulletin Jan.-Mar. 1994.

上表で各種の生産高ならびに消費高が上昇してきているということは、商業活動の活発化とあいまって、人々のライフスタイルと質が変化してきていることを表していると考えられる。さらにセメントの生産高と消費高の上昇は人々のライフスタイルの変化を反映して建設業が活発化し、都市化が進んでいることを意味すると考えられる。

2.1.6 社会基盤

1990年現在ナイロビ州を除くケニア全土にわたって、特殊目的の道路も含め総延長74,556kmの道路が整備されている。現調査時点、ナイロビ州における道路データは入手できなかった。上記道路は特殊目的の道路以外の一般道路は6等級に分類されており、その総延長は59,183kmとなっている。下表はこれを要約したものである。

州別	一般道路						1990年現在 (km)		特殊目的 計の道路	総計
	クラスA	クラスB	クラスC	クラスD	クラスE	分類不能	計			
ナイロビ州	(データ入手不能)									
セントラル州	290	182	1,043	1,834	3,114	416	6,879	1,866	8,745	
コースト州	446	752	562	1,147	3,638	29	6,574	1,721	8,295	
イースタン州	636	733	1,061	1,588	5,870	2,035	11,923	3,422	15,345	
ノース・イースタン州	201	586	534	767	4,412	0	6,500	1,005	7,505	
ニャンザ州	217	151	831	1,880	2,474	316	5,869	1,352	7,221	
リフト・バレー州	1,185	833	3,316	4,066	7,819	563	17,782	5,170	22,952	
ウェスタン州	211	193	738	847	1,624	43	3,656	837	4,493	
計	3,186	3,430	8,085	12,129	28,951	3,402	59,183	15,373	74,556	

出典: 全国水資源、基本計画調査 1992, JICA.

統計資料によれば、ケニアには総延長2,758kmの鉄道があり、そのうち1,919kmが公共鉄道、839kmが私鉄もしくは引込線となっている。ケニアの代表的な海港はモンバサ港であるが、他にもインド洋に面した海岸線に沿って多くの小規模な海港が、漁港がある。これらの海港には登録汽船が1,725隻、帆船が101隻あり、これらの船舶の登録総トン数は618万4,000トンとなっている。また、ケニアにはナイロビ空港及びモイ国際空港という2つの国際空港があり、ナイロビにはもう一カ所ウィルソン空港という国内空港がある。このウィルソン国内空港は通常、ナイロビキスム間、ナイロビガリッサ間、ナイロビマリンディ間の国内便に利用するほか、観光フライトに利用され

ている。つまりこれらの3つの都市にも航空機発着施設(小規模な国内空港)があり、旅行客の便に供されているということである。

1990年現在、1,783カ所の公共サービスセンターがあるが、そのうちの999カ所もしくは56%に上水網が整備されている。これらの公共サービスセンターの内訳はアーバンセンターが102カ所、農山村センターが139カ所、マーケットセンターが279カ所、地域センターが479カ所となっている。それらの5%、89カ所に住民の共同水供給施設があり、その維持管理形態は地域社会組織によるもの、個人によるもの、非政府機関によるもの、地域の行政当局によるもの、MOWDによるもの、NWPCによるもの、国際援助機関によるもの等、様々な形態がある

全公共サービスセンターの21%、377カ所のサービスセンターには下水道網が完備しており、一方704カ所、40%のサービスセンターはゴミ収集システムが整備されている。

1973年に地方電化計画が策定された。これは農山村部に電力供給サービスの拡大を図ろうとの政府の政策によるものである。この計画を推進するため、計画推進責任機関としていくつかの組織が関わることになった。たとえばMOEは行政面での政策推進に責任を有し、KPLCはその実施に責任を有する。また地域電化技術委員会は管理面に責任を有し、DDCは電化個所の特定と住民教化に責任を有する。1980年代初頭、すべての州政府庁舎本庁はこの計画によって電化が完了した。

1990年、ケニア全土の24万6,000人の需要家がKPLCによって電力供給サービスを受けるに至った。これらの需要家のうち、24万人、98%の需要家が一般所帯もしくは小規模な非一般所帯からなり、一般所帯は約20万人となっている。総所帯数は470万所帯、2,439万6,000人なので、同年時点の電化率は4.3%ということになる。

既述したように、観光はケニア経済にとって重要な産業分野となっている。観光客に対する主要な施設はロジやキャンピング施設を含むホテル・宿泊施設であろう。統計資料によれば、1983年時点で4,500室であった客室数は年々2.6%の伸びで推移、1990年時点には5,600室となった。また1983年時点で8,500台であったベッド数は年々2.4%で推移し、1990年時点には10,600台となった。いずれも着実な伸びを示している。それぞれの平均利用率は53%及び44%となっている。

ケニア政府は象、野牛、キリン等、19種類の野生生物の生体数の記録をとっている。これらの野生生物はいくつかの国立公園、猟鳥獣保護区、博物館、爬虫類公園等で見ることができる。これらの施設はケニア全土で37カ所を数える。

2.1.7 家庭収入と支出

下表は1982年から1984年にかけて中央統計局が行った「農山村部ならびに都市部の家計調査」の結果を要約したものである。これ以後1994年時点までこの種の調査は行われていない。

収入別所帯分類	1983年現在 (K.Shs/月)		
	収入	支出	差額
低所得層	912	1,034	-122
中所得層	3,604	3,677	-73
高所得層	13,822	8,964	4,858
平均	1,931	2,068	-137

出典：全国水資源、基本計画調査 1992, JICA.

上表では、すべての所帯はそれぞれ異なる所得の額ごとに3つの所得層、すなわち低所得層、中所得層、高所得層に分類されている。それぞれの所得層は低所得層の所得範囲が2,000ケニアシリング以下、中所得層が2,000ケニアシリングから7,999ケニアシリングまでの範囲、高所得層が8,000ケニアシリング以上となっている。

上表に見る限り、調査時点においては高所得層の所帯だけが余裕のある暮らしができたかに見えるが、これは1983年価格での金額表示であるため1994年時点の現状には適用しがたい。そこで以下に、公示されている現時点の最低賃金に基づいて現状の検討を行うこととした。

2.1.3章及び2.1.4章で述べたように、1989年時点の総所帯数と経済活動可能人口はそれぞれ435万3,000所帯、1,118万3,000人となっている。このことは1所帯当たり2.7人が正規の、もしくは一時的な給与所得者となり得ることを意味している。

さらにまた、1990年時点の都市部の実労働人口は73万4,000人と推定されている。したがって、1990年時点の経済活動可能人口を1989年時点のそれと同じと仮定した場合、残りの就労可能人口1,044万9,000人は農山村部に居住するものと想定し得る。

一方、統計資料「Economic Survey 1994」は農山村部農業従事者の基本最低賃金と都市部の月当たり最低賃金について報告している。これらの最低賃金の要約したものを下表に示す。

	(K.Shs/月)		
賃金額	1991	1992	1993
農山村部農業従事者	647	716	941
都市部の給与所得者	1,199	1,343	1,760

出典：Economic Survey 1994.

上記の額を用いて1991年時点、1992年時点、1993年時点の農山村部、都市部を一括した賃金の加重平均を求めると、それぞれ一人当たりK.Shs. 684、K.Shs. 757、K.Shs. 995ということになる。したがって、1所帯当たりの収入(所得)は1991年時点でK.Shs. 1,847、1992年時点でK.Shs. 2,044、1993年時点でK.Shs. 2,687ということになる。つまり、1983年時点の1所帯当たりの所得額K.Shs. 1,931は1993年時点ではK.Shs. 2,687に相当することになる。

上述の「Economic Survey 1994」はまた、1993年時点の賃金総支給額について34億9,660万ケニアポンド(K.£.3,496.6百万)、同年の実労働人口が147万5,000人と報告している。つまり一人当たりの賃金受給額はK.Shs. 3,951ということになる。この額だけをみると上述の公示されている最低賃金をはるかに上回っているかにみえるが、これには住宅手当その他の現物支給なども含まれているのである。

参考までに1992年実施のJICAの調査「全国水資源基本計画調査」にしたがって、新規に家屋を建築する場合の工事費を下記のように推定した。

摘要	1991年現在		
	ケニア全土の平均		
	耐久家屋	半耐久家屋	簡易家屋
平均床面積 (m ²)	81	53	28
単位工事費 (K.Shs./m ²)	5,533	2,542	903
総工事費 (K.Shs.)	448,173	134,726	25,284

出典：全国水資源、基本計画調査 1992, JICA.

次項以下で述べるように1991年以降、同国の物価変動はかなり高率で推移した。この物価変動率を適用して1993年時点の家屋建設費を推定したところ、耐久家屋の場合でK. Shs. 834, 274、半耐久家屋の場合でK. Shs. 250, 792簡易家屋の場合で K. Shs. 47, 066となった。この費用は給与所得者の所得の水準を考えるとときわめて高いということができよう。給与所得者にとって住宅手当は大いに暮しの助けになっているということである。

2.1.8 国際交易

国際収支に関しては経常勘定は通常、国際交易(外国貿易)に代表される商業活動とこれに伴う役務の授受の2つに分類される。ケニアにおいては国際収支は1989年以降1996年までの期間、常に赤字を記録している。しかしながら、その年平均成長率を見ると輸出額が28%で推移、輸入額が20%で推移しており、輸出額の方が成長率が大い。統計資料に見る限り、観光産業の振興が輸出額増大に大きな役割を果たしていることがわかる。1989年から1996年までの8年間のケニアの輸出入の状況を下表に示す。

(K.£.百万)									
輸出入	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	年平均成長率 (%)
輸出額	1,000	1,232	1,534	1,708	3,625	4,171	4,656	5,696	28.21
輸入額	2,239	2,546	2,646	2,955	5,056	5,556	7,495	8,144	20.26
収支	-1,239	-1,314	-1,112	-1,247	-1,431	-1,385	-2,839	-2,448	-

出典：Economic Survey 1994, 1997.

統計資料によれば、貿易品目中、1989年以降飲食品が50%以上を占めていてこれがトップであり、2番目が工業製品(飲食品以外)で約20%となっている。3番目が燃料・潤滑油等で同年以降約10%を占めている。主な輸出品目はコーヒー、紅茶、ソーダ灰(工業用炭酸ソーダ)、フルオライト、園芸品等となっている。

上述のように、国際貿易の観点から見るとコーヒーや紅茶に代表される飲食品が輸出額の50%以上を占めている。一方、国際収支の観点から見ると観光産業分野の活動も侮りがたい額を占めている。以上の観点から見た場合、ケニアは農業立国であると同時に観光立国でもあるということができ。また近年、製造業の伸びにも著しいものがある。

一方、輸入においては、1989年時点で34%を占めていた工業製品(飲食品以外)が1993年時点には40%に達していて、これが最大の輸入品目となっている。2番目が燃料・潤滑油等で1989年時点で15%であったものが1993年時点には25%に達している。さらに、3番目は機械類及びその他の資本財であるが、これは1989年時点に21%であったものが1993年時点には15%にまで落ち込んできた。飲食品についてはおおむね5~6%で推移している。

2.1.9 消費者物価

(1) 消費者物価指数及びインフレ率

表2.1.1はインフレ率とともに、ケニア全土の消費者物価指数を所得層別に示したものである。下表にインフレ率の要約したものを示す。

年	対前年変動率 (%)															
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994.3	1995	1996
インフレ率	12.12	21.54	12.30	9.88	12.61	4.73	8.71	12.34	13.46	15.68	19.62	27.50	46.00	53.91	1.6	9.0

出典：表 2.1.1 参照。

1981年以降の年平均インフレ率は18.40%の高率で上昇してきている。特に1991年以降はそれまでの年度に比較して深刻ともいえるほどの上昇カーブを示している。これはケニアの国民に対し、大きくその暮らしを圧迫しているのではないかと推定される。

(2) 為替交換レート

ケニア通貨(K. Shs.)の為替交換率は1990年以降、対米ドル、対日本円とも1970年代、1980年代に比較して大きく変動している。表2.1.2に示すように、対米ドルで見ると、1990年12月時点で1米ドル当りK. Shs. 24,084であったものが、1993年12月にはK. Shs. 68,163にまで落ち込んでいる。

対日本円で見ると、対米ドルにおけるよりもさらに大きく変動している。すなわち、同じ時期、すなわち1990年12月時点で100円当りK. Shs. 17,860であったものが1994年3月時点にはK. Shs. 63,030にまで落ち込んでいる。

しかしながら、ケニア通貨は対米ドル、対日本円とも、それぞれ1994年1月から同年9月までに、及び1994年4月から同年9月までに、ある程度その価値を回復して、1997年7月時点では対米ドル、対日本円はそれぞれ、K. Shs. 57,400、K. Shs. 49,800となっており、この2～3年はおおむね対米ドルK. Shs. 55,000前後、及び対日本円K. Shs. 50,000前後で安定している。

2.1.10 開発のための政府財政

(1) 政府予算の経過

下表は1972年以降の20年間の政府予算の経過を要約したものである。

	(K.£ 百万)				
歳入/歳出	1972/73	1982/83	1988/89	1992/93	年平均成長率 (%)
経常歳入	153.61	832.12	1,918.55	3,263.46	16.51
GDPに対するシェア率(%) (時価)	19.53	23.00	25.38	24.32	-
経常歳出	109.29	875.87	1,967.24	3,504.68	18.93
GDPに対するシェア率(%) (時価)	16.77	24.21	26.02	26.11	-
経常収支	44.32	-43.75	-48.69	-241.22	-
外債	2.50	56.30	186.65	513.40	30.50
開発支出	48.45	172.78	480.66	908.40	15.78
GDPに対するシェア率(%) (時価)	6.21	4.78	6.36	6.77	-
収支総額	-25.33	-160.23	-342.70	-636.23	17.49
債務に対する資金繰り					
外国借入(ネット)	9.27	91.27	200.00	177.25	15.90
内国借入(ネット)	19.42	245.60	88.00	795.00	20.39
残高	3.36	176.64	-54.70	336.02	25.89
GDP(時価)	733.21	3,420.28	7,559.61	13,420.79	15.65

出典：National Development Plan 1994-1996.

西暦2000年まで継続可能な経済開発における財政政策の役割については新規経済成長政策に関する

る1986年度年頭教書第1号で明らかにされている。そこではまず、燃料のインフレーション傾向に対応しなければならない予算の拡大の可能性を考慮した財政政策の継続の可能性について懸念があることが表明されている。2番目に、代替輸入が輸出主導の成長に道を開いているにもかかわらず、民間セクターが拡大したことで有頂天になりすぎている傾向があることが表明されている。同教書はまた、構造的な調整計画(SAPs = Structural Adjustment Programs)というものを策定している。そして、経済的な新しいアプローチは財政赤字を処理できる水準にまで管理できるものでなければならず、通貨供給で著しく増大した経済のアンバランスを抑えるものでなければならぬとしている。しかし、主な財政指標のほとんどは頻出する政府歳出超過をごく一部しか抑えることができていないことを示しているとも述べている。

実際、上表に示すとおり、経常歳入は1972/73会計年度の1億5,400万ケニアポンド(K.£. 154百万)から1992/93会計年度の32億6,300万ケニアポンド(K.£. 3,263百万)まで、年平均16.5%の成長率で推移してきている一方、経常歳出は1972/73会計年度の1億900万ケニアポンド(K.£. 109百万)から1992/93会計年度の35億500万ケニアポンド(K.£. 3,505百万)にと、年平均18.9%の成長率で推移してきている。ケニア政府当局はこの状況を分析し、歳出の主な要因は一般的に、教育、保健衛生等、国民生活の根幹的なサービスに対する支出と、現行の国家開発計画(National Development Plan)でのインフレーションによる圧迫の増大に対応して、その他のサービスの実備を維持する必要によるものであると結論している。

上述の1972/73会計年度、1982/83会計年度、1988/89会計年度、1992/93会計年度における総歳出額に占める開発のための支出の割合はそれぞれ、30.7%、16.5%、19.6%、20.6%となっている。

水資源開発関係の開発支出は(1)上水(水供給)、(2)下水、(3)灌漑、(4)畜産、(5)水力発電、(6)洪水防衛の6項目からなる。これらの支出の開発支出総額に対する割合は前述の1992年実施の「JICA, 全国水資源基本計画調査」によると、1986/87会計年度から1990/91会計年度までの合計でそれぞれ、38.8%、3.6%、10.0%、0.0%、47.4%、0.2%となっている。この数字に見る限り、ケニアにおいては水力発電に対してもっとも多くの開発予算をつぎ込んでいることがわかる。

2.2 人口の趨勢

2.2.1 人口

(1) 州別人口

1969年度、1979年度、1989年度の人口センサスによれば、ケニア全土の州別人口は下表の通りとなっている。

州別	面積(km ²)	人口分布					
		1969年センサス		1979年センサス		1989年センサス	
		人口	(%)	人口	(%)	人口	(%)
ナイロビ州	693	509,286	4.65	827,775	5.40	1,324,570	6.18
セントラル州	13,236	1,675,647	15.31	2,345,833	15.31	3,116,703	14.53
コースト州	84,113	944,082	8.63	1,342,794	8.76	1,829,191	8.53
イースタン州	154,354	1,907,301	17.43	2,719,851	17.75	3,768,677	17.57
ノース・イースタン州	126,186	245,757	2.25	373,787	2.44	371,391	1.73
ニャンザ州	12,507	2,122,045	19.39	2,643,956	17.25	3,507,162	16.36
リフト・バレー州	182,413	2,210,289	20.20	3,240,412	21.14	4,981,613	23.23
ウェスタン州	8,285	1,328,298	12.14	1,832,663	11.95	2,544,329	11.87
計	581,787	10,942,705	100.00	15,327,071	100.00	21,443,636	100.00

出典：Population Census 1969, 1979, 1989.

(2) 人口成長率

上記1969年度、1979年度、1989年度の人口センサスによれば、上表に示すとおり、ケニア全土の人口は1969年の1,100万人から1979年の1,500万人を通じて1989年の2,100万人へと伸びてきている。その伸び率は1969年から1979年までが年当たり3.43%、1979年から1989年までが3.42%、1969年から1989年までが3.42%となっている。

一方、タナ川流域に関連する州別の人口の伸び率は下表の通りとなっている。

州別	年平均伸び率 (%)		
	年平均伸び率		
	1969 - 1979	1979 - 1989	1969 - 1989
セントラル州	3.42	2.88	3.15
コースト州	3.59	3.14	3.36
イースタン州	3.61	3.32	3.46
ノース・イースタン州	4.28	-0.06	2.09
州			

出典：Population Census 1969, 1979, 1989.

上表に見るとおり、タナ川流域の人口増加率は1969年から1979年までの10年間よりも1979年から1989年までの10年間までの方が小さくなっている。

(3) 人口予測

1992年に実施したJICAの調査「全国水資源基本計画調査」では、その調査の過程で、西暦2010年までの人口予測を行っている。この予測結果に基づいて、外挿法により、2010年から2020年までの人口予測を行った。結果は表2.2.1に示す通りである。

さらに続けて、表2.2.2に示すような都市部と農山村別の人口の予測を行った。要約したものを下表に示す。ここで、2010年までの値は前記1992年のJICA予測から引用したものである。

州別	1995	2000	2005	2010	2015	2020
ナイロビ州	1,780	2,260	2,785	3,465	4,333	5,416
セントラル州	3,696	4,178	4,678	5,249	5,892	6,616
コースト州	2,274	2,631	2,993	3,390	3,885	4,446
イースタン州	4,629	5,328	6,037	6,813	7,782	8,876
ノース・イースタン州	424	514	597	697	813	950
ニャンザ州	4,064	4,517	5,008	5,577	6,170	6,836
リフト・バレー州	6,345	7,628	9,007	10,532	12,513	14,843
ウェスタン州	3,177	3,656	4,105	4,582	5,208	5,906
計	26,389	30,712	35,210	40,305	46,469	53,541

出典：2010年までは全国水資源、基本計画調査 1992。

2.2.2 労働力

ケニアの国家開発計画「The National Development Plan 1994 - 1996」は下表のような労働人口の予測を行っている。

摘要	1990	1993	1996
総人口	22,777	24,968	27,176
経済活動可能人口	11,347	12,825	14,496
その他	11,430	12,143	12,680
雇予測			
就業率(%)	82.72	81.09	79.12
労働力	9,386	10,400	11,469
雇用期待人口(悲観的予測)	7,722	8,523	9,471
雇用期待人口(楽観的予測)	7,825	8,657	9,660

出典：National Development Plan 1994-1996.

上表によれば1990年、1993年、1996年の失業率はそれぞれ16.6%から17.7%、16.8%から18.1%、15.8%から17.4%ということになる。雇用期待人口の悲観的シナリオと楽観的シナリオとの差は都市部の一時雇用状況に基づくものである。これらの値を用いて外挿法により本件プロジェクトの2020年時点労働力を推定した。その結果、2020年時点の経済活動可能人口と労働人口はそれぞれ3,861万1,000人及び2,895万5,000人となった。また、悲観的雇用期待人口及び楽観的雇用期待人口はそれぞれ2,208万1,000人、2,326万1,000人となった。したがって2020年時点の失業率は19.7%と23.7%の範囲ということになった。つまり、都市部の雇用が労働人口に追いついて高率で推移するとは期待できないということである。

2.3 経済開発計画

2.3.1 国家開発計画

第七次国家開発計画「The 7th National Development Plan」は1994年7月からスタートしたが、その内容は、1994年から1996年までの3年間に予測した同国の経済発展を達成しようと企図したものであり、さらには、1994/95会計年度から1996/97会計年度までの国家の投資計画を実現しようとしたものである。計画は1997年6月で完了することとなっている。

この第七次国家開発計画の全体テーマは「継続維持可能な開発のための資源の流通」ということで

あり、それは国家の財政資源、人的資源、天然資源について継続維持可能な開発を図り、1992年6月にブラジルで開催された地球サミットで採択の「環境と開発のためのリオ宣言」すなわち「アジェンダ21」に沿った形で現在ならびに将来の世代の権益を守ろうとの主旨でケニア政府議会がコミットしたものである。それはおおむね以下のような内容となっている。

(1) 国家開発計画の大綱

主要な環境と開発の問題に取り組むため、また継続維持可能な開発への移行に着手するため、ケニア政府は以下のような規範を設定する。すなわち、

- (i) 公正でかつ継続維持可能な開発の方式を確立する。
- (ii) 大多数の人々の必要と希望とに合致する成長を継続維持する。
- (iii) 農山村部ならびに都市部に広がっている貧困を低減する。
- (iv) 人口の増加率及び地域分布の偏向を是正する。
- (v) 国民の保健衛生、環境衛生を改良する。
- (vi) 特に貧困層に対しては住居と各種公共サービスの提供を行う。
- (vii) 環境及び天然資源の基盤を強化し保全する。
- (viii) エネルギーの有効利用ならびに、新規の、また再生し得る資源の利用の拡大を図る。
- (ix) 継続維持可能な工業生産性を確実なものとし、環境にやさしい技術の利用を図る。
- (x) 国家ならびに地域の継続維持可能な開発計画立案ならびに管理の能力を改善する。
- (xi) 継続維持可能な開発を支援するための国際協力ならびに計画を強化する。

(2) 開発計画の目標

上述の規範に基づき、ケニア政府は国家開発計画を公布する。その内容は1994年から1996年までに以下の3項目の基本目標に集約される。すなわち、

- (i) 自信をもって経済成長の更新を果たす。
- (ii) ケニア国民大多数の健康、所得、生活条件の改善を図る。
- (iii) 継続維持可能な開発を支援するための主要な経済政策、セクター別政策を確立する。

上記に基づいて、国家開発計画では以下の個別目標を設定した。

経済成長

第六次国家開発計画「The 6th National Development Plan」では1989年から1993年までの年平均経済成長率を5.4%として策定されたが、1988年から1992年までの4年間における実際の年平均経済成長率は3.1%にとどまった。1989年半ばのコーヒーの国際価格の大暴落及び1991年11月の援助国による緊急援助の停止が経済成長率が低率にとどまった主な要因となっている。本計画ではこれらのマイナス要因による影響が徐々に払拭されつつあることを指摘しており、したがってわが国はこれからの期間、徐々に経済復興を期待することができるものとしている。

雇用の創出

ケニアの人口は1993年時点の推定人口2,500万人から2000年までには3,100万人にまで伸びるものと想定されている。この人口増加率により、労働人口は1993年時点の1,040万人から1996年時点には1,150万人にまで膨らむものと思われる。一方、雇用人口の総数(都市部と農山村部)は1993年時点の850万人～870万人から1996年には950万人～970万人程度になるものと期待されている。つまり、失業率が1993年時点の16.8%～18.1%水準(170万人～190万人)から1996年時点には15.8%～17.4%水準(180万人～200万人)にと、わずかながら低下するということである。本計画ではこの期待値は手堅いところであり、したがって1996年までにはさほど深刻な失業問題が起こることはない

だろうとしている。

国内総生産

1986年、ケニア政府は経済成長の更新に関する行政面からの関与をうたった「1986年第1号年頭教書」を公表した。本計画では、この教書が1988年から2000年までの実質国内総生産(real GDP)5.9%の年平均成長率を目標としていることを指摘している。これは当該期間の雇用人口の伸びについて年当り3.4%の目標が達成され、それによって同期間中のひとり当りの所得の伸び率年当り1.8%が実現できたら、ということを経済的な条件としたものであった。しかしながら、1989年以降今日まで、わが国はその目標の急激な減速を余儀なくされているところである。

上述の教書に基いて、また国内総生産の成長率に減速を来しているいくつかの要因を考慮して、政府は下表に示す国内総生産の伸びを設定した。

	(K.£ 百万)			
産業別	1993	1994	1995	1996
伝統的経済活動	450.8	462.6	474.2	485.1
農業	2,308.2	2,346.0	2,497.0	2,625.5
産業	1,684.1	1,715.9	1,803.8	1,932.6
サービス業	3,009.0	3,122.7	3,255.1	3,436.6
政府活動	1,394.7	1,445.1	1,498.1	1,534.3
GRDP総額	8,846.8	9,092.2	9,228.1	10,014.1
対前年成長率(%)	0.8	2.8	4.8	5.1

出典：National Development Plan 1994 - 1996.

2.3.2 州別開発計画

ケニア政府は副大統領府農山村開発計画局及び国家開発企画省主導のもと、上述の第七次国家開発計画に対応するものとして各地域の開発計画を策定するため、各州に地域開発委員会を設置した。

そして各州に属する全41地域がそれぞれ独自の開発計画「District Development Plan 1994 - 1996」を策定した。そのうちの14地域、すなわちセントラル州に属するキアンブ(Kiambu)、キリニャガ(Kirinyaga)、ムランガ(Muranga)、ニヤンダルア(Nyandarua)、ニェリ(Nyeri)、コースト州に属するキリフィ(Kilifi)、ラム(Lamu)、タナ・リバー(Tana River)、イースタン州に属するエンブ(Embu)、イシオロ(Isiolo)、キトゥイ(Kitui)、マチャコス(Machakos)、メル(Meru)、及びノース・イースタン州に属するガリッサ(Garissa)がタナ川流域に含まれる地域である。これらのうち今次調査では13地域の開発計画を入手することができた。ニヤンダルア地域のものだけは入手できなかった。

以上の地域開発計画によれば、これらの地域の地方行政当局は(1)適切な水供給、(2)土地の低生産性、(3)環境の劣化、(4)劣悪な交通連絡網、(5)農産品の罹病率の高さ、(6)劣悪な市場条件、(7)農家の資金供与機関への接触条件の劣悪さ、(8)劣悪な電力供給状況、(9)劣悪な教育環境等々、多くの問題に直面していることを認識している。

これらの地域の地域開発計画では、国家開発計画に沿った上で各地域の特性を顧慮して、上述の諸問題を解決するための政策と戦略を設定している。

2.3.3 観光

論理的には、本件プロジェクトは観光活動を活性化する潜在性を秘めている。しかし、実際問題として、この地域の劣悪な、また不適切な社会基盤のゆえにアクセスが困難となっている。当該地域は地理的にはいくつかの国立公園や猟鳥獣保護区に近接しており、貯水池やダム周辺の景観を楽しんだり、考古学的な、また歴史や文化的な興味を満たすこともできるし、気候も集落間の交流に適している。内陸漁業やワニの養殖、スポーツ施設の開発を行うことによって、安全面での完備を含む社会基盤を整備すれば、当該地域が観光客の周遊地点になることは疑いのないところであろう。

第3章 計画地域の一般条件

3.1 位置及び地形

ケニア最大の河川であるタナ川は、ケニア山とニャンダルア山脈を源としている。その集水域は10万km²に及び、延長は標高3,999mのオルドリントン山を頂に持つケニア高地からインド洋に至る約1,000kmである。

流域は地形的に以下の地域に分けられる。

- カンブル上流で標高1,000m以上の上流域 (9,520 km²)
- カンブル、コラ急流間で標高200mから1,000mの中流域 (15,700 km²)
- コラ急流より下流で標高200m以下の下流域 (70,000 km²)

ムトンガ/グランドフォールズ水力発電計画は、既存キャンベレ発電所の下流25km及び50kmに、またナイロビの北東約150kmに位置している。ムトンガダム地点は、タナ川とその最大支川であるムトンガ川の合流点の直下流にある。両河岸は30度から40度の急勾配で、地盤は河床から約20mの高さにある。急傾斜の端からは比較的平らな地形が広がっている。

グランドフォールズダム地点は、グランドフォールズ急流の約4km下流にある。河岸は急傾斜で、上方では緩傾斜となっている。標高の高い平坦地は左岸に広がっている。

タナ川はグランドフォールズから100km流下し、コラ急流に至る。グランドフォールズダム地点の河床標高は約450m、コラ急流では約200mであり、2地点間では約250mの水頭差を生じる。その後河川は広大な沖積氾濫原を通過して、約700kmを流下した後インド洋に至る。わずか100m程の川幅の主河道は、氾濫原を曲がりくねりながら3、4kmの川幅となって流下する。

貯水池区域と下流側コリドールは、1:1,000,000及び1:500,000縮尺の航空地図と1:250,000及び1:50,000縮尺の地形図によってカバーされている。航空写真は、面積1,300km²のタナ三角州地帯に対しては1:25,000縮尺の、また300km²の貯水池区域には1:20,000縮尺のものが作成されている。計画の構造物及び貯水池の詳細な地形情報を得るため、1:1,000及び1:5,000縮尺の地形図が新たに作成された。ダムの縦断図と横断図及び河川横断図もまた作成された。

3.2 気象、水文

3.2.1 気象

総集水面積約100,000km²のタナ川流域は、ケニア山とニャンダルア山脈を源とし、約1,000kmを流下してインド洋に至る。タナ流域の年間降雨量は、ケニア山周辺の山岳地帯では2,000mmを超え、タナ本流の下流域に位置するガリッサ付近では300mm以下と極めて少なくなる。

計画対象集水域内の年降雨量の分布は、同域内及び周辺の160箇所及び雨量観測所における長期平均年降雨量から確定された。計画対象集水域内の年降雨量の等雨量線図を図3.2.1に示す。この図から、2000mm以上の高い年降雨量は計画対象集水域の北方及び西方域で記録されていることがわかる。既存マシガダム下流の右岸側においては、タナ本流に向かって高度が下り、年降雨量は800mm以下となる。

計画対象集水域内の支川は、流域年降水量と地理的な位置から2つのタイプに分けられる。すなわち四季を通して表流水が存在する恒久河川と雨季間のみ表流水が存在する季節河川である。季節河川は、図3.2.1に示すとおり、年降水量が1,000mm以下となるマシングダムの下流域の右岸側において現れる。これらの季節河川で乾期には表流水は見られない。

3.2.2 水文

(1) 長期自然日流出量の算出

流域降雨量

これ迄計画対象集水域内の水位観測所内で観測された流量データは上流ダム完成後、それらの貯水池に人工操作による影響を受けるため、本低水解析は、上流の既存5ダムのみならず、計画のムトンガ及びグランドフォールズダム地点における長期自然日流量の算定を主目的として行われた。同流出解析では、下流域における環境改善を目的とする人工洪水の検討に必要な基礎水文資料の作成、並びに計画ダムの最適な貯水容量を正確に算出するため、低水解析は日単位で行われた。

計画対象集水域に関わる既存の気象水文データの観測期間及び精度を考慮し、既存及び計画ダム地点における長期平均日流量の算出を目的とした低水解析では、降雨データに対する回帰分析により得られた日降雨データから日流量データを算定するため、各々の分割小流域に流出モデルを適用した。本低水解析では、日本のみならずこれまで他国の水資源開発プロジェクトで多用されているタンクモデルを採用し、日雨量データに基づく日流量の算出を行なった。この手法により、計画ダム地点における長期間の日流量データは、タンクモデルによるシミュレーションを通して得られた各々の分割小流域の値を集計することにより求められた。

低水解析を一貫して行うため、既存ダム地点と主要水位観測所の位置を考慮して、17,234km²の計画対象集水域は14の小流域に分割された。

図3.2.2に分割小流域を示す。14個の分割小流域のうち4CA2、4CB4、4BE2、4DD1、4EA7及び4F19の各小流域に対して水位観測所が設置されている。これらの分割流域は“観測小流域”と類別され、他の8個の分割小流域は“未観測小流域”として分類された。

154個所の観測所における日降雨データの利用可能期間を考慮し、1957年から1990年までの34年間の日流出データを得るため、タンクモデルを用いたシミュレーションが行われた。

1957年から1990年までの34年間の計画対象集水域の流域平均日降雨量を算定するため、全計画対象集水域に対しティーセン法による多角形が作成された。同ティーセン法の適用による1957年から1990年までの域内年平均日降雨量の算定結果から、面積17,234km²の計画集水域に対する域内平均降雨量は1,249mm/年と算定された。各小流域を含む流域平均年降雨量の算定結果は以下に示すとおりである。

No.	流域分割名	集水面積 (km ²)	適用された 雨量観測所数	流域平均年降雨量 (mm/年)
1	4BE2	3,672	58	1,477.3
2	4CB4	316	12	1,835.8
3	4CA2	518	16	1,619.8
4	MASI-RL	2,829	22	967.9
5	4DD1	1,961	24	1,494.4
6	KAMB-RL	224	4	704.0
7	GITA-RL	147	5	773.4
8	KIND-RL	140	5	707.2
9	KIAM-RL	2,168	10	767.1
10	MUTO-L	1,045	18	1,063.2
11	MUTO-R	465	6	802.5
12	4EA7	1,880	24	1,605.3
13	GRAF-RL	196	4	855.8
14	4F19	1,673	25	1,380.2
合計	グランドフォールズ流域	17,234	154	1,249

観測分割流域の長期日流出量

各分割小流域の流域特性及び流域平均降雨量と年流出高の整合性に関する比較・検計結果に基づき、SGS 4CA、4CB4、4BE2、4DD1、4EA7、4F19及び4ED3の7箇所の水位観測所が、本低水解析に適用されるべき主要水位観測所として選定された。

本低水流出解析では各14個の分割小流域の各々に対してタンクモデルを構築した。これら14個の分割流域の内、6個の分割小流域（4CA2、4CB4、4BE2、4DD1、4EA7及び4F19）は、上述した様に、タンクモデルに用いる流量データが利用可能である観測分割小流域として分類された。これら分割小流域における流量データの利用可能性を考慮し分割小流域に対するタンクモデルのパラメーターは以下の方式により決定された。

- ステップ-1 日雨量及び日流量の相方が観測されている期間に対し、平均日流量の観測値とタンクモデルによる計算値が一致する場合のタンクパラメーターを見出すため、タンクモデル法による試算を行う。同試算により、6個所の観測分割小流域の各々に対するタンクパラメーターを決定し、それらのパラメーターにより設定されたタンクモデルに1957年から1990年の日雨量を適用し、これら6個所の観測分割小流域の長期日流出量を算定する。
- ステップ-2 SGS 4ED3の上流に位置する2個所の未観測分割小流域MASI-RL及びKAMB-RLのタンクパラメーターを決定する。上記ステップと同様これら2個所の未観測分割小流域の日流出量を算定する。
- ステップ-3 SGS 4ED3の下流に位置する6個所の未観測分割流域のタンクパラメーターを決定し、これら6個所の未観測分割流域の長期日流量を算定する。さらにこれら14の分割小流域の長期日流出量を集計して、ムトンガ及びグランドフォールズダムにおける長期日流出量を算定する。

上記ステップ-1のトライアル計算により、SGS 4ED3を含む7個所の水位観測所の各々について、平均日流量の観測値とタンクモデルによる計算値が最も合致するタンクパラメーターの組合わせが選定され、1957年から1990年間の欠測期間の日流量データが算出された。このようにして得られた7個所の水位観測所の長期日流出量に対する流況曲線を図3.2.3に示す。その結果、1957年から1990年間の各観測分割小流域の長期平均流出量は、以下の表のように算定された。

分割 流域名	集水面積 (km ²)	流域内 平均降雨量 (mm/year)	1957 - 1990年 間 平均流量 (m ³ /sec)	流出係数 (%)
4CA2	518	1,620	8.79	33.1
4CB4	316	1,836	7.11	38.8
4BE2	3,672	1,477	64.37	37.5
4DD1	1,961	1,494	26.60	28.7
4EA7	1,880	1,605	28.85	29.0
4F19	1,673	1,380	15.67	21.0
(Total)	10,020			
SGS 4ED3	9,520	1,351	118.11	29.0

未観測分割流域の長期日平均流量

上述したとおり、4CA2、4CB4、4BE2、4DD1、MASL-RL及びKAMB-RLの6つの分割小流域からなるSGS 4ED3（カンプルダム下流地点）の長期日流量は、タンクモデルによって算定された。これら6つの分割小流域のうち、MASL-RL及びKAMB-RLの分割小流域は未観測小流域である。一方、観測済である他の4つの分割小流域における日流量は、上述した通りSGS 4ED3と同様、タンクモデル法で算定されている。これら未観測の2つの分割小流域の流量は、SGS 4ED3の流量と未観測の4つの分割小流域の流出量の和との差に相当する。未観測分割小流域のMASI-RLとKAMB-RLに対して、SGS 4ED3の日流出量データとSGS 4ED3を構成する6つの分割流域における日流出量の合計が合致するタンクパラメーターを見出すため、タンクモデル法によるトライアル計算が実施された。トライアル計算の結果、2つの未観測分割流域のタンクパラメーターは、図3.2.4と図3.2.5のハイドログラフと流況図が示す様に、6つの分割小流域の流量を合計した長期日平均流量がSGS 4ED3での観測値とよく一致する様に設定された。

既存ダム及びムトンガ、グランドフォールズダム地点の長期日流出量

タナ川本流上の4ED3及び4F13（グランドフォールズダム地点）の2箇所の水位観測所間の集水域には、6つの未観測分割小流域がある。上記の未観測分割小流域に対する低水解析と同様、グランドフォールズダムサイトの集水面積を構成する小流域の合成日流量データが、SGS 4F13において自然流量が観測された1963年から1968年の期間の低水流量と正確に一致するよう、それら6つの未観測分割流域のタンクパラメーターが決定された。トライアル計算を通じて算定された4F13における合成日流量及び観測日流量の一致を図3.2.6及び図3.2.7に示す。算出された1957年から1990年間の長期平均流量を、同期間の平均日流出係数とともに以下にまとめる。

No.	分割流域名	集水面積 (km ²)	1957-1990年間の 流域平均降雨量 (mm/年)	1957-1990年間の 平均流量 (m ³ /秒)	流出係数 (%)
1	GITA-RL	147	773	0.23	6.4
2	KIND-RL	140	707	0.20	6.3
3	KIAM-RL	2,168	767	3.21	6.1
4	MUTO-L	1,045	1,063	5.33	15.2
5	MUTO-R	465	803	1.17	10.0
6	GRAF-RL	196	856	0.55	10.3
	Total	4,161	848	10.69	9.6

タナ川本流の既存ダム地点及び計画のムトンガ、グランドフォールズダム地点の長期平均日流量データは、上流の分割流域のデータを合計して求められた。算定されたこれら計画ダムサイトにおける平均月流量を表3.2.1及び表3.2.2に示す。またその算定結果を以下に示す。

No.	ダム名	既存/計画	集水面積 (km ²)	平均流量 (1957-1990年) (m ³ /sec)
1)	マシंगा	既存	7,335	91.28
2)	カムブル	既存	9,667	118.03
3)	ジタル	既存	9,520	118.26
4)	キングルマ	既存	9,807	118.46
5)	キアムベレ	既存	11,975	121.67
6)	ムトンガ	計画	15,365	157.02
7)	グランドフォールズ	計画	17,234	173.24

上表のとおり、1957年から1990年のムトンガ及びグランドフォールズダム地点の平均流量は、157.02 m³/sec及び173.24 m³/secと算定される。

(2) 洪水解析

SGS 4ED3において記録された年最大流量に対する頻度解析

グランドフォールズダム地点の既設水位観測所(SGS 4F13)の洪水記録は、上流の5個のダムに対する貯水池操作により、自然流況下でのピーク流量を示していないと判断される。このため、ダム地点の確率洪水は、計画集水域内の他の水位観測所における頻度解析の結果を基に検討した。水位観測期間に上流のダムに影響を受けていないこと、並びに、グランドフォールズダム地点の集水面積17,234km²に出来る限り近い集水面積を有すること、の二つの条件を水位観測所 4ED3を同頻度解析の対象水位観測所として選定した。頻度解析はSGS 4ED3における年最大流量に対して、以下の方法を適用して行われた。

- i) ガンベル法
- ii) ログ・ピアソンⅢ型
- iii) 岩井法

上記手法によって得られた頻度解析の結果に基づき、集水面積9,520km²のSGS 4ED3における50年及び10,000年確率洪水流量は、2,150m³/sec及び6,650m³/secと決定された。

算出されたSGS 4ED3における確率洪水流量は、クリーガーの公式を用いてグランドフォールズダム計画地点の確率洪水流量に変換された。

各確率年毎の確率洪水流量は、上記頻度解析結果に基づきSGS 4ED3の集水域に対して得られたクリーガーのC値及びSGS 4F13の集水面積をクリーガーの公式に適用し、以下に示すとおり算出された：

確率年 (年)	SGS 4ED3 (C.A.=9,520 km ²)		SGS 4F13 (C.A.=17,234 km ²)
	確率洪水流量 (m ³ /sec)	クリーガーのC値	確率洪水流量 (m ³ /sec)
1.01	150	0.82	190
2	607	3.30	750
5	1,038	5.65	1,280
20	1,629	8.87	2,010
50	2,144	11.67	2,640
100	2,578	14.03	3,180
200	3,052	16.61	3,760
500	3,748	20.40	4,620
1,000	4,331	23.58	5,340
10,000	6,654	36.22	8,200

貯留関数モデルによる洪水解析

ムトンガ及びグランドフォールズダム計画地点の洪水ハイドログラフは、貯留関数法により算出された。計画地点の貯留関数モデルのパラメーターを決めるための試算の結果、SGS 4ED3、4ED7及び4F19の三箇所の水位観測所において洪水記録が利用可能である1967年洪水が対象洪水として選定された。1967年洪水から得られたパラメーターは、集水域において歴史的な大洪水を引き起こした10月2日から11月30日までの1961年洪水の降雨記録に適用された。計画地域内の主要洪水に対応する降雨記録から、計画降雨の継続時間は60日と設定された。計画集水域のシミュレーションモデルを図3.2.8に示す。各パラメーターは、貯留関数法によって得られた洪水ハイドログラフの波形やピーク流量が観測されたハイドログラフのそれらと一致するよう、試算を行い、決定された。同貯留関数法によるシミュレーションは以下の2ケースについて行われた。

- ケース1: マシンガ及びキアンベレ貯水池を考慮したシミュレーション
- ケース2: マシンガ及びキアンベレ貯水池を考慮しないシミュレーション

前述の貯留関数法によって得られたSGS 4ED3及びムトンガ、グランドフォールズダム計画地点の洪水ハイドログラフを、図3.2.9及び図3.2.10に示す。上流の貯水池を考慮した場合の洪水波形は図3.2.9に示されており、一方それらの洪水貯留効果を考慮しない場合の洪水波形は図3.2.10で描かれている。ムトンガ、グランドフォールズダム計画地点のピーク洪水流量は、以下に示すとおり、上記2ケースにおける様々な確率年に対して算定された。

確率年 (年)	(単位: m ³ /秒)			
	ケース1: マシンガ及びキアンベレ 貯水池を考慮しない場合		ケース2: マシンガ及びキアンベレ 貯水池を考慮した場合	
	ムトンガダム	グランドフォールズダム	ムトンガダム	グランドフォールズダム
50	2,400	2,800	1,600	2,000
200	4,000	4,500	2,600	3,100
10,000	10,900	12,800	8,900	10,800

上流の貯水池を考慮しない場合の貯留関数法によって算出された50年及び100確率洪水流量は、クリーガーのC値によってSGS 4ED3から換算された値にほぼ匹敵している。また、貯留関数法によって算定された10,000確率洪水流量は、SGS 4ED3から換算された値と比較し、十分な余裕を持っている。

3.2.3 流送土砂

(1) 一般

タナ川流域における傾斜地のほとんどは、表土の浸食を受けやすい。年降水量が1,500mm/年を超えるケニア山周辺の高山地帯では、かなり高い土砂流送の発生が予想される。緩やかな傾斜地では、水田耕作が行われている。さらにタナ川上流域では新たな灌漑プロジェクトが計画されている。灌漑された水田は、浸食土砂の川への流入を抑制する効果がある。一方、堆砂流入量は流域内の開発によって増大する。従って堆砂流入量調査は、将来の土地利用の拡大による堆砂流入量の増大を考慮して実施する必要がある。

ムトンガ、グランドフォールズ水力発電計画は、貯水池式発電プロジェクトとして計画されており、本堆砂流入量沈砂調査は最終的に、計画の貯水池に流入する土砂量と貯水池内の堆積土砂量を決定することを目的としている。本堆砂流入量調査は浮遊土砂の測定結果に基づいて実施された。浮遊土砂解析のための河川水の採集は、キングルマダム下流地点、キアンベレ下流地点、ムトンガ川のSGS(流量観測所)4EA7、カジタ川のSGS 4F19、グランドフォールズダム地点のSGS 4F13、及びガリッサ市のSGS 4G1の6地点において実施された。更に、過去の流送土砂のデータはMOKDより入手した。これらの浮遊土砂データは、ダム計画地点における堆砂流入の予測に用いられた。

(2) 浮遊土砂の発生

流送土砂は大きく浮遊土砂と河床土砂に分けられる。通常、流水中に含まれる浮遊土砂は土砂測定によって計量できるが、自然河川における河床土砂は正確に測定することが困難である。通常、河床土砂量、浮遊土砂量の10%から20%に相当するものと仮定される。計画貯水池の耐用年数を安全側に見積るため、ムトンガ、グランドフォールズ計画では20%の比率を採用した。流入土砂の単位重量は1.4t/m³とした。

浮遊土砂の測定結果を基に、キアンベレダム下流地点のSGS 4EA7、SGS 4F19及びSGS 4F13における浮遊砂量と流量の関係を示す二種類の回帰式、即ち、平均的及び採用の回帰式を求め、これらを浮遊砂量-流量曲線を両対数表にプロットした。各曲線を図3.2.11から図3.2.14に示す。平均回帰式は測定された浮流土砂データの全てに基づいて設定された。ダムに対し安全側の堆砂流入量の算定を行うため、採用の浮遊砂量-流量曲線は、平均的浮遊砂量-流量曲線から大きく逸脱する不確定なデータを除した残りのデータに基づき求めた。

ムトンガ及びカジタ川の一連の日流量とキアンベレダムからの算定日流量を上記の回帰式に適用し、浮遊土砂量を算定した。浮遊及び河床土砂量の算定結果は以下のとおりである。

(単位:百万 m³/年)

分類	キアンベレ	ムトンガ	カシタ	合計	4F13 (GF)
浮遊土砂	0.09	1.32	0.79	2.20	2.00
河床土砂	0.00	0.26	0.16	0.42	0.40
合計	0.09	1.58	0.95	2.62	2.40

上表からわかるとおり、キアンベレダム、ムトンガ及びカジタ川からの流送土砂量の合計は、2.62百万m³/年と算定された。一方、SGS 4F13における流送土砂量は、2.4百万m³/年であった。

これらの流送土砂量の割合は、かなりの程度で類似している。従って、より安全な貯水池耐用年数を確保するため、高い方の値である2.62百万m³/年を計画ダムに対する設計値として採用した。

(3) 計画貯水池における土砂堆積

キャンベル水力発電開発プロジェクトの詳細設計段階において、50年堆砂量に匹敵する55百万m³が同貯水池の計画に採用された。一方、日本の設計規格では、ダム本体あるいはその付帯施設に排砂施設が備わっていない場合、貯水池耐用年数は100年と明記されている。この調査においては、計画貯水池における堆砂量は、排砂施設を設置するものとして、50年の貯水池耐用年数を用いて算出された。計画貯水池流入土砂に対する捕獲率、即ち沈砂効果は、以下に示すブルネイの曲線に基づいて決定された。

貯水池	流入土砂に対する捕獲効率
ムトンガ貯水池	66 %
低グランドフォール貯水池	92 %
高グランドフォール貯水池	98 %

算出された計画貯水池内の堆砂量は図3.2.15のとおりであり、その要約を以下に記す。

ダム名	流入堆砂量 (百万 m ³ /年)	捕獲率 (%)	堆砂量			
			年間堆砂量 (百万 m ³ /年)	50年間の 堆砂量 (百万 m ³)	堆砂標高 (El m)	堆砂の流出 (百万 m ³ /年)
ムトンガダム	1.67	66	1.10	55	540.35	0.57
低グランドフォールダム	1.52	92	1.40	70	477.79	0.12
高グランドフォールダム	2.62	98	2.57	128	482.53	0.05

3.3 地質

3.3.1 広域地質（タナ川流域の地質）

タナ川流域は、地形上、西から東へと、アベデール山地東麓斜面とケニア山南東麓斜面、ケニア地域の最古の基盤を成す先カンブリア紀のベースメントシステムからなるベネプレーン、第三紀—第四紀堆積層からなる地域などの三地域に区分される。

アベデール山地東麓斜面とケニア山南東麓斜面は、この地域の基盤岩（ケニアベースメントシステム）をおおう火山起源の地層から成っている。この火山性地層は、ケニア山及びアベデール山地起源の玄武岩、フォノライト（響岩、カスミ石閃長岩）火山角レキ岩、凝灰岩などから成る。

ケニア山は、第三紀末中新世—鮮新世から第四紀前期の更新世にかけて火山活動（噴火）があったと推定されており、第四紀完新世（現世）にもその火山活動があったという証拠は確認されていない。

タナ川の中流域では、タナ川は、ケニア地域の最古の基盤を成す先カンブリア紀の、主に変成度の高い片麻岩から成る丘陵地帯（テライン、ベネプレーン）を流下している。数種類の貫入岩類（主に花崗岩）が片麻岩中にみられる。

タナ川の下流域では、タナ川は、第三紀—第四紀の堆積岩または堆積層から成る比較的平坦な地

域を流下している。タナ川は、その流路に沿って自然堤防や窪地を持つ氾濫原を形成している。自然堤防は一般に上面は平坦でその高さはタナ川の洪水水位とはほぼ等しく、窪地は自然堤防の外側に広がっており、時々氾濫する。タナ川はインド洋への河口付近で三角州（現世の堆積層）を形成している。この三角州地帯ではタナ川は現在まで時々その流路を変えている。図3.3.1はケニア国内の地質を表わす。

3.3.2 貯水池域の地質

ムトンガ及びグランドフォールズの貯水域は、タナ川の中流域に位置している。両貯水域はいずれも、ケニア地域の最古の基盤を成す先カンブリア紀の変成度の高い片麻岩から成っている。片麻岩（変成岩）はこの地域では、その起源である堆積岩の様々な性状を反映し花崗片麻岩、半泥質縞状片麻岩、黒雲母リッチ（含有量が高い）片麻岩、泥質—苦鉄質（有色鉱物含有量が高い）片麻岩、半珪長岩質片麻岩、角閃石斜長石片麻岩など、非常に変化に富んだ岩相を呈している。

当地域には、二つの顕著な山脈（モノドノック）が分布する。それらは(a)キジェゲフォレスト—キエレラフォレスト（南北方向に走る）、(b)ギキンゴフォレスト—ムテワフォレスト—カムウオンゲーキウガームモニフォレスト（北北東—南南西方向に走る）、の二つである。これらの山脈は、他の片麻岩よりも比較的風化に対して強い（風化し難い）花崗片麻岩主体の地層から成っている。タナ川は、グランドフォールズまでは、これら二つの山脈の間を南から北の方向へと流れている。この滝の下流では、タナ川は流路を東方へと変え、前記後者の山脈(b)を切って流れている。これら二つの山脈の間の地域は、半泥質縞状片麻岩、黒雲母リッチ（含有量が高い）片麻岩、泥質—苦鉄質（有色鉱物含有量が高い）片麻岩などの風化に対して弱い岩石が主体の地層から成っている。（図3.3.2参照。）

タナ川及びその支流の流路は、一般に、ケニア山の斜面及びケニアベースメントシステムの地質構造、すなわち当地域全体に顕著な南北方向、南東—北西方向などの片麻岩層の走向に支配されている。

ケニア山を起源とする第三紀または第三紀以後の玄武岩溶岩が、ムトンガダムサイトの北約1.5kmにある長く狭い尾根の上に分布している。この溶岩流はタナ川の水位よりも約130m高い所に分布しており、それより低い部分では溶岩流露頭分布は確認されていない。

貯水池域は、主に砂質レキ、シルト質砂、シルト質粘土及び粘土質シルトなどから成る、層厚の薄い残留堆積層に覆われている。砂質の堆積層はカラング、カムラ、コンユなどの雨季以外は流水の無い河川に分布する。

注目すべき断層構造は、貯水池域には分布しない。

3.3.3 プロジェクト地域の地質

(1) ムトンガダム地点

ダムサイト

ムトンガダム地点はキアンベレダム地点から約37km下流に位置している。地質は、ケニアベースメントシステムの片麻岩と、花崗岩の貫入岩とから成る。ダム・タイプは、ロックフィル

ダム又はコンクリート重力式ダムが考えられている。

表層の地質は、残留堆積層と沖積層である。沖積層は、タナ川の兩岸沿い及びダム地点周辺の雨季のみ流水の有る幾つかの河川の河床に分布する。

基盤岩は、始世界のケニアベースメントシステムの苦鉄質（有色鉱物含有量が高い）一半珪長岩質片麻岩、花崗片麻岩から成り、それらは花崗岩、巨晶花崗岩などの小貫入を伴っている。苦鉄質片麻岩が当ダム地点では他の片麻岩より優越である。

一般に苦鉄質片麻岩は、半珪長岩質片麻岩や花崗片麻岩よりも風化が顕著で、弱化する。ボーリング調査結果によれば、基盤岩は深度およそ数メートルから最大15mくらいまでの典型的な風化を呈している。

片麻岩は、一般にN20-40°E/60-80°NWの片理構造を持っている。主要なジョイントもまた、片理構造とほぼ同様の方向と傾斜を呈している。ダムサイト地域には、顕著な断層構造の存在は確認されていない。

河床から約10mの高さまでは、兩岸共に一般に傾斜40-60度と非常に急な斜面である。左岸の上半部は、傾斜20-30度と比較的緩い斜面であり、中一強風化片麻岩がまれに露頭する。右岸は緩傾斜の丘陵から成っており、岩盤露頭は左岸と比較すると少ない。中一弱風化及び新鮮で堅硬な片麻岩は、タナ川河床付近兩岸急斜面に露頭している。河床堆積層は、右岸に狭く分布する。その層厚は、薄く最大数メートルであると推定される。

新たに選定されたダム軸について、弾性波探査が1995年に行われた。ダム軸上において、弾性波速度2.8-3.0km/sec（CM-CH-Bクラス岩盤）ゾーンの表面の深度は左岸アバットで10-12m、右岸アバットでは10-13mである。これらの深度よりも深い部分では透水性は非常に低いが、ダム基礎に関する基礎処理工は必要である。

地質図は、図3.3.3に、またダム軸沿いの地質断面図は図3.3.4に示す。地質調査結果から判断して、両者ロックフィルダム及びコンクリート重力式ダムの建設は、今回選定されたダム軸で可能である。

洪水吐き

洪水吐きの位置は、ロックフィルダムの場合はダムサイト左岸の丘の後方に想定されている。基礎岩盤は、苦鉄質片麻岩と幾つかの花崗岩貫入岩とから成り、いずれも洪水吐き基礎として良好な状況である。洪水吐き予定地付近には、層厚の厚い表層堆積層は存在しない。3孔の調査ボーリング及び弾性波探査結果によると、風化はこの付近では14.35-19.00mと非常に深部まで達している。ロックフィルダムの洪水吐き建設では、このような深い掘削が必要となるであろう。洪水吐き建設にあたっては、基礎処理工としてカーテングラウト及びコンソリデーショングラウトが必要となる。

仮排水路トンネル

仮排水路トンネルは、左右どちらの岸でも建設可能である。トンネルの長さは約600mと推定される。計画トンネルルート沿いの岩盤は、左右兩岸共に一般に良好な岩質の苦鉄質片麻岩であると推定される。顕著な断層はこの地域には確認されていない。トンネルの入口と出口付近は中一強

風化岩から成っている。ゆえにそれらの部分では、比較的密なトンネル支保工が必要となるであろう。弾性波探査結果によると、仮排水路トンネルルート沿いの弾性波速度は、そのほとんどの部分で3km/sec以上を呈しており、岩盤等級CM-CH-Bクラスの岩盤から成っていると推定する。

発電所及び導水路

ロックフィルダムにおける発電所は、地質状況から見て左右どちらの岸でも建設可能である。発電所予定地点は、川に近いため強風化岩は薄く存在するのみである。ゆえに基礎掘削は、一般に良好な岩盤中での掘削となると推定される。

ロックフィルダムの場合、貯水池から発電所までの長さ300-500mの導水トンネルが必要となる。深部よりも風化の影響が強い浅い岩盤中でのトンネル掘削となるため、仮排水路トンネルよりも多量のトンネル支保工が必要であろう。

(2) グランドフォールズダム地点

ダムサイト

グランドフォールズダムサイトはムトンガダムサイトの下流約25kmに位置している。ダムタイプは、ロックフィルタイプダムと、ロックフィルダム（右岸側）とコンクリート重力式ダム（河床部）による複合ダムの2種が想定されている。ダム軸は、A-B-C, D-B-C, E-F-Gの3軸が比較案として選定されている。各ダム軸の位置は、地質状況と共に図3.3.5に示す。ダム軸E-F-Gの地質断面図は、図3.3.6に示す。

ダムサイトの表層地層は、主に通常1-2mと薄い層厚の残留堆積層から成っている。沖積層は、タナ川及びダムサイト周辺の雨季にしか流水のない小河川の河床部に沿って比較的小規模に狭く分布する。

基盤岩は、始世界ケニアベースメントシステムの変成岩である片麻岩と、花崗岩の貫入岩とから成る。主要な岩石は、通常片理構造の良く発達した苦鉄質片麻岩である。部分的に花崗片麻岩、半珪長岩質片麻岩なども分布する。花崗片麻岩は苦鉄質片麻岩よりも片理構造は顕著ではない。

基盤岩は、一般に深部まで風化の影響を受けている。苦鉄質片麻岩は、花崗片麻岩や半珪長岩質片麻岩などよりも風化の影響が強く見られる。ボーリング調査結果によれば、基盤岩は深度およそ数メートルから最大18mくらいまでの典型的な風化を呈している。一般に、尾根や丘状の地形を呈する所は花崗片麻岩や半珪長岩質片麻岩などから成り、比較的広く平坦な地形を呈する所及び緩斜面は苦鉄質片麻岩から成っている。

片麻岩の片理構造は、その走向は一貫して北-北東 / 南-南西、また傾斜は一般に西-北西方向へ急傾斜を呈している。主要な亀裂の方向もまた一般に片理構造と同様である。他に、タナ川の流向とほぼ同じ東-西方向の走向で、ほとんど垂直な傾斜を呈する亀裂もあり、それらはタナ川の両岸沿いに分布する露頭で観察できる。当サイト地域では顕著な断層構造は確認できなかった。

左岸の上半部は、比較的急斜面で20-30度の傾斜を呈しており、そこでは、片麻岩（中-強風化岩）が広く露頭している。中-弱風化の片麻岩は、河床部両岸沿いに良好な露頭が見られる。河床堆積層は比較的薄く、最大数メートルであろう。右岸は左岸より露頭の少ない緩い斜面の丘

から成っている。

各調査ボーリング孔で確認された、各比較ダム軸の左右両岸における中一弱風化岩表面の深度を表3.3.1に示す。中一弱風化の岩盤より上部は、中一強風化岩から成っている。中一弱風化の岩盤は、ロックフィルダムのコアゾーン及びコンクリート重力式ダムの基礎として妥当である。調査結果によると、左岸アバットでは3—9 m、右岸アバットでは5—15 m、部分的にはこれ以上の掘削が必要となろう。河床部の掘削深度は、一般に2—5 m程度と推定される。

弾性波探査が各比較ダムサイトについて1995年に行われた。各比較ダムサイトにおける、弾性波速度2.8-3.0km/sec (CM—CH—Bクラス岩盤)のゾーンの深度は、表3.3.2に示す。地質断面図に示した弾性波探査結果では、幾つかの低速度帯が見られる。これらの低速度帯は、何らかの破碎帯を持つ断層構造の存在を示唆している。しかし、現地及びボーリングコアで観察できるそれら断層構造の破碎帯は、通常の岩盤の状況と比較すると亀裂を多く持ち脆弱ではあるが、ほとんどが厚い粘土層を持たず、一般に再固結した状況を呈し堅硬で良好な状態である。

ムトンガダムサイトにて行われた(1979年)岩盤のコアサンプルにおける室内試験結果によると、片麻岩の圧縮強度は650-1,000kgf/cm²となっている。ムトンガダムサイトの岩盤は、ほとんどがグランドフォールズの岩盤と同様のケニアベースメントシステムの片麻岩である。ダムサイトの基礎岩盤は硬岩—中硬岩であり、その中一弱風化岩盤および新鮮な岩盤(CM—CH—B)の物性は、堤高の高いフィルタイプ及びコンクリート重力式ダム両者の基礎として妥当であると言える。

透水試験結果による、各比較ダム軸の両アバットにおける10ルジオン以上又は透水係数 1.0×10^{-4} cm/sec以上の高透水性岩盤の深度は、表3.3.3に示した通りである。これらの深度より深いゾーンでは透水性は非常に低く、ほとんど不透水であることを示している。基礎処理工(カーテングラウト)は、少なくとも上記の深度までは必要であろう。

仮排水路トンネル

仮排水路トンネルは、左岸ボーリングNo. G95-3及びNo. G95-7付近、又は右岸No. 94-2及びNo. G95-10付近に計画されている。地表近くのおよそ深度3—7 mまでのゾーンは、残留堆積層及び強風化岩盤から成っている。

左岸では、トンネルの深度(天場)はおよそ20—30 mであり、No. G95-7付近の区間では10 m以上の厚さの中一弱風化岩盤がトンネル上部を覆うことになる。弾性波探査結果では、弾性波速度2.8km/sec以上の岩盤(CM—CH—Bクラス岩盤)の深度は左岸では深度10—20 m以深にあるが、右岸では非常に深く、深度15—30 m以深である。地質状況に関しては、左岸の状態のほうが右岸の状態よりも仮排水路トンネル建設に関して有利であろう。

洪水吐き

ロックフィルタイプダムにおける洪水吐きはダムの北側、左岸に計画されている。左岸の各ボーリング孔観察から、中一弱風化岩盤表面の深度は1.5—9 mと推定される。この深度より深いところの中一弱風化岩盤及び新鮮岩は、洪水吐き基礎として妥当な状況であろう。

発電所及び導水路

ロックフィルダムにおける発電所は、多少の深い明かり掘削は必要ではあるが、地質状況から見て左右どちらの岸でも建設可能である。発電所予定地点は、河に近い場合強風化岩は薄く存在するのみである。ゆえに基礎掘削は、一般に良好な岩盤中での掘削となると推定される。

ロックフィルダムの場合、貯水池から発電所までの長さ300-500mの導水トンネルが必要となる。もしトンネルが仮排水路トンネルよりも浅い所に計画される場合、深部よりも風化の影響が強い浅い岩盤中でのトンネル掘削となるため、仮排水路トンネルよりも多量のトンネル支保工が必要であろう。できるかぎり深部におけるトンネル計画が望まれる。

3.3.4 地震及びその危険度

(1) ダム設計震度

ムトンガ / グランドフォールズ計画におけるダムに関する設計震度は、グランドフォールズダム地点からおよそ500kmの範囲内に1906年から1994年にわたって起きた地震データを使用して、100年及び200年回帰確率による最大可能地震加速度の推定（コーネルの方法）、及び当地域内に将来起こると思われる最大の地震を想定する事により推定した。地震のデータは、プリティッシュ・ジオロジカル・サーヴェイ（エジンバラ、U.K.）から得た。

コーネルの方法によると、100年回帰確率では0.01g、200年回帰確率では0.03gが、また当地域内に将来起こると思われる最大の地震の想定によれば、0.023g - 0.070gなどが設計震度として当プロジェクトに適用できることになる。

ローブキン（1971）によれば、当プロジェクト地点はケニアの地震帯において最も低いゾーンである“地震帯V”の地域に相当する。ムトンガダムの上流に位置するキアンベレダムは、震度帯VとIVとの境界付近に位置しており、その設計震度は100年回帰確率における0.12gが適用されている。当プロジェクトに関しては、各サイトの震度帯図における位置関係を考慮すると、キアンベレダムよりも低い設計震度が適用できると考える。以上を総合して、ムトンガ / グランドフォールズ計画における設計震度は0.10gが妥当であると考えられる。

(2) 貯水池に起因する地震 (RIS)

いくつかの例によれば、インドのコイナダム、アメリカのフーバーダムのように、水深100mを超える貯水池において、初期湛水時にマグニチュードは5.0から6.5の地震が発生することがある。

高さ130mの高グランドフォールズダムは深さ100m以上の貯水池を持ち、貯水池の初期湛水時に地震を誘発する可能性もある。

ダムサイトは、ケニアでも最も地震の少ない地域に位置し、過去の地震の震央近くにはない。しかし、貯水池に起因する地震は、歴史的に比較的地震の少ない地域でも発生し得る。

西方の地震多発地帯であるリフトバレーでは、大きな地震の大部分（67%）はマグニチュード4程度である。マグニチュード6の強い地震が5%程度あり、これが実際上最強地震を代表している。但し例外的にマグニチュード9が1回、マグニチュード7が3回記録されている。2番目に強いグループであるマグニチュード5の地震は22%を占め、これを低地震帯において貯水池に起因する

地震の大きさとして仮定するのは妥当と考えられる。

マグニチュード5の地震がダムサイトから3kmの距離で10kmの深度に発生した場合、ダムに影響するピーク加速度は、コーネル式によると215galと見積られる。ピーク加速度が作用するのは、1秒の何分の一かの時間であり、ダム堤体に対し実質的な損害を与えるものではない。ダムに影響を与えるものは、例えばピークの1/3というような低いレベルの長期間持続する加速度である。従って、215galのピーク加速度を待つ地震は0.10gの設計震度によるダムに被害を与えることはないであろう。

ムトンガ/低ランドフォールズ・ダムの貯水池の深度は、最大70—80mである。ゆえに、貯水に起因する地震の起きる可能性は高ランドフォールズダムよりは少ない。結論として、当プロジェクトにおいては、貯水池に起因する地震に関する特別な考慮は必要ないと考えられ、設計震度0.10gにより充分対応できる。

3.4 建設材料

3.4.1 序文

ロックフィルダム及びコンクリートダムの建設材料は、計画地内の土取場及び採石場より供給される。

材料調査は、1979年及び1980年にキャンベレ計画のフィージビリティ調査の一環として、英国のコンサルタント会社Engineering and Power Development Consultants(EPDC)により実施され、いくつかの追加調査が1986年及び1987年に国連開発計画と世界銀行により行われた。また1994年及び1995年には、ロックフィルダムのための材料及びコンクリートダムや関連のコンクリート施設のための骨材の、供給能力と適性を把握するため、建設材料調査が実施された。

主としてタナ川右岸側から流れる季節河川には、多くの河床堆積物がある。過去の調査で遮水コア材料に適するとされた片麻岩及び花崗岩質母岩の残積土は、タナ川両岸において広く分布する。採石場はムトンガ、低ランドフォールズ双方のダム地点から近いところに位置している。十分な品質を有する片麻岩及び花崗岩が、ロックフィルダムやコンクリート骨材の材料として利用可能である。

ムトンガダム及び低ランドフォールズダムのための土取場及び採石場位置を、図3.4.1及び3.4.2に示す。

3.4.2 ムトンガ計画

(1) ロックフィル材料

ロックフィルダムとコンクリートダムは、ムトンガプロジェクトの比較案として考えられている。ロックフィルダムの場合、必要材料量は、遮水コア材料が171,000m³、フィルター材及び排水材が81,500m³、内側シェル（風化材料）が49,200m³、外側シェル（非風化材料）が508,000m³と見積もられる。

図3.4.1に示すとおり、遮水コア材料に対し3箇所の土取場（MC-1からMC-3）、タナ川流域の河

床堆積物の5箇所の採集場 (MS-1からMS-10) 、そしてフィルター材、岩石材料及びコンクリート骨材に対し1箇所の採石場が、計画ダム地点から5キロ以内に位置している。

コア材料

コア材料の可能量はMC-1で18,500m³、MC-2で96,000m³、MC-3で152,000m³の合計266,500m³である。これら3つの土取場の残積土は、遮水コア材料として適切な品質を保持している。しかし層厚は総じて薄い。このことは、EPDC (1980) 及び国連/世銀 (1987) の調査報告書において既に指摘されていた。最適含水比で98%最大乾燥密度に締め固められた供試体による透水試験の結果より、MC-1~MC-3から得られたコア材は、十分な水密性を保証する10⁻⁸cm/sec以下という低い透水性を示した。また3軸試験より、これらの材料の内部摩擦角は28.5° から33.5° (平均30.7°)、また粘着力は平均で1.0t/m²という結果を得ている。

フィルター材及び排水材

若干の砂利と玉石を含む砂から成る河床堆積物は、図3.4.1に示す様に、タナ川右岸の4つの季節河川にあるMS-1からMS-10の土取場より採取することができる。土取場よりフィルター材として採取された10サンプルの試験結果から、フィルター材としての基準を満足する150,000m³という十分な量の砂及び砂利材が利用可能であることが確認された。フィルター層と岩石層の間には、採石場の岩石から成るより粗いフィルター層を、融合部として設けなければならない。

ロック材

風化岩ならびに新鮮な花崗貫入岩、花崗片麻岩、苦鉄質と半苦鉄質片麻岩は洪水吐き、仮排水路トンネル、ダム基礎の掘削からロック材として採取される。これらの掘削材の内、風化岩はロックフィルの内部シェルに使用される。新鮮岩は1,000,000m³以上の量で、トンネルと洪水吐きの掘削から採取され、ロックフィルダムの外部シェルとして、またコンクリート骨材として使用される。

ボーリング調査がダムサイト南約1kmの位置にある小さな丘で、ロック材の品質と量を確認するために実施された。ボーリング調査と比重、吸水試験、耐久性試験を含む室内試験の結果、新鮮岩はロックフィルゾーンに使用するために、十分な強度を持つことが明らかになった。

(2) コンクリート骨材

細骨材

細骨材の必要量は、コンクリート重力式ダムの場合、約130,000m³と見積もられる。季節河川に分布する河床堆積物 (MS-1からMS-10) は、コンクリートの細骨材として利用可能である。自然の川砂中の粗骨材は、図3.4.3に示すとおり、10mm以上の直径である。粗い粒子のふるい分けにより、粒土分布曲線は所定の限界値内に納まる。室内試験より、河床堆積物が粒土分布、比重、吸着性、安定度及び強度において、コンクリート骨材として十分な品質を有することが明らかとなった。アルカリ化学試験では、図3.4.4に示すとおり、砂材が無害であることが示された。

粗骨材

粗骨材の必要量は、コンクリートダム及び関連施設に対し約290,000m³と見積もられる。計画地近辺にめぼしい砂利堆積地は見当たらない。砂利の存在が認められるのは季節河川のみである。

これらの場所における砂利の量は、十分なものではない。従って粗骨材は採石場からの材料を用い、砕石プラントにより生産するものとする。これらの材料は、物理的にまた化学的にコンクリート骨材として十分な品質を有する。

3.4.3 グランドフォールズ計画

(1) ロックフィル材

グランドフォールズダムの比較案としては、ロックフィルダム、表面遮水壁ダム、ロックフィルダムとコンクリートダムの複合ダム、及びコンクリート重力式ダムが検討される。ロックフィルダムの場合、高ダムあるいは低ダム計画に対する建設材料の必要量は、以下に示すとおりである。

材料	必要量 (m ³)	
	低ダム	高ダム
遮水コア材	860,000	2,900,000
フィルター材及び排水材	373,000	1,180,000
内側シェル(風化岩石材)	292,000	650,000
外側シェル(非風化岩石材)	3,850,000	17,400,000

複合ダムの場合、ロックフィルダムに対し最大で430,000m³のコア材、190,000m³のフィルター材と排水材、及び2,130,000m³のロック材が必要となる。さらに、表面遮水壁ダムは、96,000m³のフィルター材と4,800,000m³のロック材を必要とする。現場調査と過去の調査の再確認から、計画ダム地点から10km以内に、遮水材のための4箇所の土取場(GC-1からGC-4)、河床堆積物の2箇所の土取場(GS-1からGS-2)、及びフィルター材、岩石材、コンクリート骨材のための1箇所の砕石場が確認されている。これらを図3.4.2に示す。

遮水コア材料

計画ダム地点の上流域近辺には、残積土が広く分布している。コア材の土取場として期待される4箇所の土取場は、計画ダム地点の上流に位置する。利用可能量はGC-1で1,350,000m³、GC-2で1,000,000m³、GC-3で480,000m³、そしてGC-4で800,000m³の合計3,630,000m³と見積られる。これらの土取場の欠点は、遮水コア材料に適する層の厚さが、せいぜい1m程度と薄いことである。従って土取場は、環境や景観の問題を避けるため、貯水池内に選定すべきである。

材料調査は、1994年から1995年の期間に、選定された4箇所の土取場において、62箇所の試掘坑と30箇所のオーガボーリングにより実施された。室内試験結果より、土取場GC-1からGC-4の残積土は、十分なせん断強度とトラフィカビリティー、そして良好な変形特性と締め固め後の不透水性を有し、遮水コア材料として十分な性質を持つことが明らかとなった。コア材は10⁻⁸cm/秒という低い透水性を有し、内部摩擦角は26.5°から35.0°(平均30.8°)、粘着力は平均0.5t/m²であった。

フィルター材及び排水材

若干の砂利と玉石を含む砂から成る河床堆積物は、図3.4.2に示すとおり、ダム地点から経済的な範囲にあるウンゴル及びカラングの2つの季節河川沿いのGS-1、GS-2より採取することができる。GS-1及びGS-2における利用可能量は、各々330,000m³以上と見積られる。

GS-1及びGS-2の河床堆積物の粒土分布曲線を図3.4.5に示す。GC-1からGC-4のコア材の粒土分布と比較し、GS-1とGS-2の砂及び砂利材は、フィルター材としての基準を満足している。加えて、比重試験、吸着性試験、硫酸ナトリウム安定度試験の結果より、GS-1とGS-2の土取場からのすべての砂及び砂利材は、コア材に対して十分な安全性を持つフィルター材として利用可能であると考えられる。

ロック材

ダム及び関連施設に使用する風化岩石ならびに新鮮岩は、様々な明かり掘削とトンネル掘削から採取可能である。これらに加え、外側シェルのための岩石採取場と、コンクリートのための粗骨材採取場が必要となる。タナ川の右岸に位置するチアンベル及びカムウォング丘陵は、主として花崗岩質片麻岩より成っており、これは岩石材として適切な品質を有する。ダムの右側アバット付近の小さな丘の頂上に、ボーリング孔GQ95-1が掘られた。このGQ95-1で確認された岩石は、花崗片麻岩と珪長片麻岩である。岩石状態から岩石材として十分使用可能であると判断される。この丘から採取可能な岩石量は6,000,000m³かあるいはそれ以上と見積もられる。

ダム地点のGQ95-1、G95-8及びG95-10から採取した岩石の室内試験より、ダムの右側アバットにおける非風化岩は、ロック材として十分な強度と比重、及び安定性と耐久性を持つことが確認された。ダム及び洪水吐きの掘削から生じる風化岩石材は、内側シェル層あるいは融合部において使用可能である。

(2) コンクリート骨材

細骨材

複合ダムの場合、コンクリート重力ダムと関連施設の建設に320,000m³の細骨材が必要となる。ウンゴル川及びカラング川（GS-1及びGS-2）に分布するダムフィルター材のための河床堆積物は、細骨材として利用可能である。自然の川砂は図3.4.5より分かるように直径10mm以上の粗骨材を含む。ふるい分けにより粒土分布を改善し、細骨材を所定の粒土分布範囲内に収めることが可能である。河床堆積物の室内試験より、比重や吸着性及び耐久性という物理的、化学的特性は、すべて許容範囲内にあることが明らかとなった。アルカリ化学試験では、図3.4.6に示すとおり、砂材が無害であることが示された。

粗骨材

コンクリートダムの建設に、約750,000m³の粗骨材が必要となる。計画地域近辺に砂利堆積物の分布は確認されていない。砂利が確認されているのは、季節河川においてのみである。季節河川における堆積物の利用可能量は必要量に満たない。従って、粗骨材は採石場からの材料を用い、砕石プラントにより生産するものとする。これらの材料は、物理的にまた化学的にコンクリート骨材として十分な品質を有する。

