

## 第4章 環境評価

### 4.1 序

#### 4.1.1 タナ川

タナ川はケニアの最大で最重要な河川である。その流域はケニア高地からインド洋にまたがり国土の約 17% (95,950km<sup>2</sup>)を占め、河川延長は水源からインド洋迄 1,000km を超える。河はコラ・ラピッド迄山間部を流下するが、その下流は広がり雨季には氾濫原となる。流域の気候と植生は多様であり、氷雪山地、高山原野・森林地から亜乾燥・乾燥平野、湿潤な河口扇状地に及ぶ。流域は三つの自然地理領域に分けられる：

- ・ カンブルより上流で標高 1,000m 以上の上流域 (9,420km<sup>2</sup>)。
- ・ カンブルからコラ・ラピッドの間で標高 200m-1,000m の中流域 (21,370km<sup>2</sup>)。
- ・ コラ・ラピッドより下流で標高 200m 以下の下流域 (65,160km<sup>2</sup>)；氾濫原はこの流域にある。

#### 4.1.2 環境評価の背景

日本国際協力事業団 (JICA) とタナ・アチ河開発公社 (TARDA) は 1993 年 8 月にタナ川の次期水力開発のフィージビリティ・スタディを行なうことに合意した。スタディの結論と勧告を導くために調査団が派遣された。

スタディではタナ川の中流域の三地点の水力開発可能性を検討した、即ちムトンガ河の合流点から 2km 下流のムトンガダム地点と、カジタ河の合流点から夫々 5km、7km 下流のグラント・フォールズダムの二箇所候補地点である。

初期環境評価結果が 1994 年 9 月にエンブ市で開かれたワークショップで報告され、そこでの結論は調査団と TARDA が取り纏めて参加者に配付された。代替案の中から最適開発案を選定するために更に検討すべき点が確認された。引き続き第二次環境評価が 1994 年 9 月から 1995 年 3 月に行なわれ、その結果は公開ワークショップで報告された。

第二次調査では、エンジニアリングと環境の両側面からの評価の結果最適開発案が示された。環境評価では、タナ川の下流域で発生する'通常'洪水を人口洪水放流によって再現出来ることが主要な関心事であった。

環境の見地からエンジニアリングの鍵となる点は、選定開発案が上述の洪水を放流する容量を持つと同時に、特に建設終了直後の貯水池湛水期間の環境への負の影響が最小であることであった。計画貯水池は、タナ川への流入水を有効に調整しうる最後の地点となると考えられる、そこで、ダムは洪水放流を適切に調整しうる貯水容量を持つ一方、湛水時と運用時に下流域に著しい損傷や回復不可能な損傷を与える程大きくないことが必要であると考えられた。

評価作業の一環として、ダム建設の影響を直接受ける貯水池とその周辺の農民、タナ川の上流の既設ダムで過去に影響を受けた人々、更には下流域の放牧民・洪水冠水農業農民・大小規模

灌漑農民へのインタビューをもとに、ビデオが作成された。

ビデオを含む評価結果は1995年3月ナイロビ市で開催したワークショップで報告された。ワークショップには、前ワークショップでの諸機関からの出席者の他、East African Wildlife Society、Green Belt Movement、NGO 評議会、CARE、その他非政府組織の環境・社会団体が参加した。調査団はムトンガと低ランド・フォールズの両貯水池を繋げて開発するのが最適であると結論づけた。この案は洪水放流を可能にする容量を持ちつつ、環境への損傷を最小とすると共に、水力開発を最適化するものである。

第二次調査において、ダム最適設計と運営方針を決定するために、タナ川環境系について第三次調査で更に評価すべき下記の主要点が明らかにされた：

- ・ 移転；貯水池地域からの移転と貯水池周辺緩衝帯のマネジメントの輪郭を示し、緩和策と補償費用を見積ること。
- ・ 水文；'通常'洪水の性状を更に明らかにする同時に、下流河床洗掘に関わる貯水池への堆砂効果と砂放流の可能性の検討をすること。
- ・ 下流河川回廊；発電損失を最小にしつつ下流への洪水放流を行なう計画を建てること、更には浮遊砂と栄養分の貯水池内での運行と下流への放出について検討すること。
- ・ 協議；評価の手順として、貯水池地域と下流回廊にあり開発の影響を受ける自治体・協会との協議を踏まえること。

#### 4.1.3 既存貯水池からの教訓

タナ川には既設の五つのダムがあるが、そこで起こった環境と社会経済への影響について文献調査を行なった。調査は、環境影響評価、緩和処置、建設後のモニタリングを、どのように行なったかを知ることにも主眼を置いた。過去の環境評価における欠点を知り、それを現行プロジェクトへ教訓として活かすことにも重点を置いた。

##### 移転者への影響

- 1) 建設されたダム地点での人口は希薄であったが、移転者はかなりの数にのぼった。マシガダムの場合には、約1,000家族、人口では4,000人乃至6,000人が移転し、キアンベレダムでは、737家族、6,500人が移転した。しかし、ダム建設に当たって、組織的移転計画はなかった。
- 2) これらダムの貯水池の影響を受ける移転人口は、アフリカの他の大規模ダムの例に較べて少ないとはいえ、建設前の検討において移転計画の必要性が強調されているべきであった。
- 3) 移転の手続きは、対象となるコミュニティが移転計画に全面的に参画し、新しい環境に自ら順応出来るようすべきである。

- 4) 移転は、移転対象地域内住民の永く培われた繋がりを断ち、生産手段を壊し、環境に対する負の影響によって価値ある資源を失わせ、さらに、緊張感・疾病率・死亡率を高めることに繋がる結果になりうるとの認識が持たれて来なかった。
- 5) 金銭補償を受けたが不法住居者となって帰って来ている人々があり、このことは移転者の土地に対する補償は代替地をもってすべきとの教訓を与えている。
- 6) 農業を主体とするコミュニティに対する金銭補償は多くの家族を結局貧困に追いやる結果となっている。
- 7) 臨機応変の処置を施すべく、移転のモニタリングと評価を継続的に行なうことが急務である。

#### 農業と食糧自給への影響

- 1) タナ川貯水池の開発による灌漑用水の補給と食糧自給への効果は殆ど認められない。
- 2) 貯水池の魚資源に対して規制・管理がなされず、土地の漁師による漁業は放任されてきた。そのため、マシंगाの魚資源の回復に困難を来し、漁業の全面禁止のような非常措置を取らざるを得なくなった。
- 3) 漁業開発は当初からプロジェクトの計画に組み込まれておくべきである。

#### 上下水への影響

- 1) 貯水池は地域の上水供給の改善に寄与していない。
- 2) ダム建設前の水質に対する記録がないので、建設後の水質が悪化したかどうかは解からない。マシंगाの化学分析の結果は、貯水池水の溶存化学成分は増加してきたが許容範囲にあることを示しているけれども、マシंगा、カンブル、キンダルマの水はどれも、尿尿汚染による多量の藻の発生によって、処置なしでは、家庭用水として不適であることが解かった。
- 3) 家庭用水としての危険性は不適切な下水処置によって増加している。

#### 水性疾病への影響

- 1) 水資源開発プロジェクトは保健問題を取り立てて考慮してこなかった。エジプトでの例のように、保健機関が詳細な保健計画を建てても、水資源開発機関はその実現に資金手当てをして来なかった。援助機関から追加資金を得ることは非常に困難で、建設を進めようとする政治的圧力は大きく抵抗出来なかった。さらに過去においては、水性疾病患者の健康管理への出費は水資源開発管理の費用とはされて来なかった。
- 2) 保健に対する悪影響の軽減はプロジェクトに伴って公衆衛生計画を建てるかどうかに係っている。廃棄物に対する教育の実行と施設の建設が水性疾病発生の仕組みを断ちきることが出来る。保健検査員が作業場の状態をチェック出来ること並びに清潔な水が人を疾病への感染から守ることが出来る。

## 植生と堆積への影響

- 1) タナ川貯水池の堆積はダムの容量と寿命を脅かして来た。
- 2) タナ川貯水池の開発ではその流域保全を含む総合水資源開発の手法を取って来なかった。
- 3) 土地侵食防止のための植林計画や河川沿いで農業活動を制限する努力はされて来なかった。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の第5章に記述している。

## 4.2 貯水池人口と移転地

貯水池の影響を受ける人口と家族数の推定のために、現地調査・1989年度国勢調査の結果と共に、中央統計局の持つ村落人口統計と地図を使用した。プロジェクト地域の人口数と密度の算出にはGISを利用した。図4.2.1に移転調査地域と行政区分を、図4.2.2に移転調査地域と小行政区分を示す。GISによる人口密度調査の結果を図4.2.3に示す。

### 4.2.1 貯水池影響を受ける家屋と人口

貯水池の直接な影響を受ける地域は、その湛水地と貯水池を取り巻く緩衝帯である。湛水域は満水位(FSL)を基に算出し、緩衝帯は満水位の外側100mの帯とし、これらの地域の住民は全て排除されるとした。緩衝帯は'重点管理地域'とされる。加えて、ダム構造体に隣接した地域が貯水池の運用管理のための家屋、事務所等として使用されるものとし、これを'運用地域'として、ダムの右岸でダムから1kmの範囲内とした。現住の住民は移転せねばならぬが、'運用地域'は、ダム運用のための特別居住区である。

100mの緩衝帯と運用地域を含むムトンガダム貯水池による影響を受ける面積は21.82km<sup>2</sup>であり、図4.2.4に示すように、18の村落が影響を受ける。表4.2.1にムトンガダム貯水池により影響を受ける人口(100m緩衝帯及び運用地域を含む)の1989国勢調査結果及び1996年の見積りを示す。

表4.2.1よりムトンガダム建設により1989年時点では、722人、127家屋、1996年では838人、140家屋が影響を受けることが分かる。また、図4.2.5に低グランドフォールズ貯水池により影響を受ける地域を示す。100mの緩衝帯と運用地域を含む影響面積は84.8km<sup>2</sup>である。表4.2.2に低グランドフォールズ貯水池により影響を受ける人口を、ムトンガダム同様に示す。これより低グランドフォールズダム建設により、1989年時点では、2,961人、490家屋、1996年では3,770人、630家屋が影響を受けることが分かる。

ムトンガ及びグランドフォールズ建設により影響を受ける地域としての検討対象地域の面積は1,656km<sup>2</sup>で、1989年度の国勢調査時の人口は59,799人となる。両貯水池の直接影響圏の面積は106km<sup>2</sup>であり、そこでの人口密度は、1989年度調査時には34.5人/km<sup>2</sup>であったが、1996年度には43.2人/km<sup>2</sup>と推定され、当スタディで移転完了年次と仮定した2005年度には57.7人/km<sup>2</sup>、人口6,125人になるであろう。貯水池と緩衝帯を併せた地域での、2010年度迄の人

人口予測結果は下表の通りである。

#### 人口

年度	低グランド・フォールズ	ムトンガ	両ダム
1989	2,961	722	3,666
1997	3,902	856	4,739
2005	5,143	1,015	6,125
2010	6,111	1,129	7,191

#### 家屋数

年度	低グランド・フォールズ	ムトンガ	両ダム
1989	490	127	613
1997	653	142	790
2005	870	159	1,017
2010	1,041	170	1,191

一方、比較的巨大な貯水池を持つ高グランド・フォールズの場合には、1989年度の人口は、1,220家屋で7,226人であり、2005年度には2,024家屋で12,073人となると推定される。

#### 4.2.2 特別管理地域 (SMZ)

貯水池とその周辺 100m 帯 (緩衝帯) の外側に '特別管理地域 (SMZ)' を置き、この地域内の土地を貯水池に対して悪影響を及ぼさぬよう管理すると共に、移転の大半をこの地域内で行なうよう提案する。図 4.2.6 に低グランドフォールズの '特別管理地域' により影響を受ける村落を示した。これによると、3km の境界に全部もしくは一部包括される村落があることが分かる。キージェジイ森林保護区に隣接する村落は、移転を貯水池と森林区の間に行なうために SMZ に含んだ。図 4.2.7 にムトンガの "特別管理地域" により影響を受ける村落地域を示した。グランド・フォールズとムトンガ貯水池の連結開発案は、図 4.2.8 見るように、SMZ を連結する。SMZ 内の人口は下表の通り算出される。

#### SMZ 人口

年度	低グランド・フォールズ	ムトンガ	両ダム
1989	16,219	4,845	19,602
1997	21,375	5,744	25,337
2000	23,707	6,123	27,897
2005	28,171	6,811	32,750
2010	33,476	7,576	38,448

## SMZ 家屋数

年度	低グラウンド・フォールズ	ムトンガ	両ダム
1989	2,821	898	3,477
1997	3,760	1,004	4,479
2000	4,187	1,047	4,979
2005	5,010	1,122	5,769
2010	5,996	1,203	6,758

一方、高グラウンド・フォールズでの SMZ では、1989 年度で 5,264 家屋 29,714 人であり、2005 年度には 8,734 家屋 49,645 人になると見込まれる。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の第 6 章に記述している。

### 4.2.3 移転可能地域

緩衝帯を含む貯水池地域の住民は移転の必要がある。移転計画は、移転費用、移転者が現状以上の生活が維持出来るための方策、移転先住民への悪影響を避けるための方策等を考慮せねばならない。さらに、効果ある移転計画を建てるためには時間と人が必要である。これらの詳細な議論が Supporting Report (2) の第 11 章に、既存のタナ川の貯水池やアフリカ他の貯水池での移転経験の紹介と共に、記述してある。

#### 移転のための必要事項

自ら希望しない移転は、移転者のみならず移転先住民の困難を招く結果となる。移転を成功させるためには以下の考慮が必要である：

- ・ 移転家族を、以前の生活と同等以上の生活を再取得出来るまで援助すべきである。
- ・ 移転先の住民を、移転者を受け入れることによる困難がないように、援助すべきである。移転先のコミュニティの社会・経済基盤は、移転前と同等以上の機能を維持出来るようにすべきである。
- ・ 移転者、受け入れ者共に、移転計画の立案・調整・施行に参加すべきである。
- ・ 地域住民の意向を尊重すべきである。

#### 移転に対する地域の意向

インタビューに対する応答者の殆どが、現住地近郊への移転を望んでいる。88%の人が、貯水池近くか近隣の村落への移転がよいとしている。殆どの人が同村で親戚の者又は同村者と共に移転したいとしている（夫々75%、22%）。86%の人が農耕と家畜の兼業を、残りが農耕のみを望んでいる。

移転については総じて賛意を示しているが、同時に、失う土地に見合った適切な補償とダムが地域に対して与える恩恵への危惧を抱いている。この危惧は、本計画地域に住む 15%の住民がマシंगाやキアンベレ等からの移転者であり、そこでの経験によっている。

### 補償に対する地域の意向

公式な質問への回答と非公式な野外調査・会見の結果によると、十分な土地と生活再建迄の資金援助を併せた補償が望まれている。金銭補償のみでは、しばしば適当な土地を購入するには不十分であるとか、家長の身勝手によって土地が購入出来ないとかの危惧が寄せられた。

### 補償費用の推定

Supporting Report (2) の第 11 章に、土地収容に係る現行法規と補償費用算出根拠を示す抜き取り調査の結果が記述してある。その中に、土地、建物・公共施設、作物、樹木、養蜂とその生産損失に必要な補償の詳細が示してある。一家屋当たりの推定補償額は以下の通り：

項目	平均価格 (KShs.)	US\$換算価格
土地 (2ha)	40,000	741
建物	52,000	963
改善	12,000	222
その他 (15%)	16,000	296
小計	120,000	2,222
生産損失補填	24,000	444
小計	144,000	2,667
予備費 (10%)	14,000	259
合計	158,000	2,926

補償費用は、土地の価値、家屋改良、移転と生活再建の費用と生産損失補填を含む。両貯水池の移転家屋数は、1,017 家屋であるので、移転総費用は 160,686,000Ksh となる。この算定では、一家屋あたり平均 2ha、合計 2,034ha の土地と仮定している。

貯水池、緩衝帯と運用域の合計面積は 10,617ha である。土地価格を 20,000Ksh/ha とすると、家屋関連土地面積を差し引いた残りの面積は 8,538ha であり、その補償価格は 171,660,000Ksh であり、補償費用の合計は 332,346,000Ksh となる。これらの値は土地の現在評価額によっているため、土地価格が将来上がれば、それに応じて増加する。移転に伴う報償費用は結局以下の通り推定される：

項目	ムトンガ	低ランド・フォールズ	両ダム
家屋 (KShs.)	25,122,000	137,460,000	160,686,000
非家屋 (KShs.)	37,280,000	134,760,000	171,660,000
合計 (KShs.)	62,402,000	272,220,000	332,346,000
US\$換算	1,156,000	5,041,000	6,155,000

一方、高いランド・フォールズの補償費用は、Ksh122,432,000 (US\$7,823,000) と見込まれる。

#### 4.2.4 移転

移転を行なう SMZ 内の人口密度の変化は以下のようである、即ち、2005 年度の推定人口を基として、移転先の人口密度は 29.9 人/km<sup>2</sup> から 34.4 人/km<sup>2</sup> に増加する。

移転対象域の大きいランド・フォールズでは、その SMZ 内の人口密度の増加が相対的に大きく、2005 年度規準で、81.9 人/km<sup>2</sup> から増加して 96.8 人/km<sup>2</sup> となる。そこで、ランド・フォールズでは、比較的人口密度の低い東側地域を SMZ に追加するか、計画されている地方給水計画に追加して、適当な土地に小規模灌漑を導入して土地の生産性を上げる処置を取る必要があるかも知れない。移転前後の SMZ 内の人口密度の変化は下表に示す通り：

項目	低ランド・ フォールズ	ムトンガ	岡ダム	高ランド・ フォールズ
移転人口 (2005)	5,143	1,015	6,125	12,073
移転家屋 (2005)	870	159	1,017	2,024
SMZ の面積 (km <sup>2</sup> )	344.0	227.6	511.0	759.8
SMZ 人口 (2005)	28,171	6,811	32,750	49,645
SMZ 家屋 (2005)	5,010	1,112	5,769	8,734
人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	81.89	29.93	64.09	65.34
合計人口	33,314	7,826	38,875	61,718
合計家屋	5,880	1,271	6,786	10,758
移転後人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	96.84	34.38	76.08	81.23
家屋用土地 (km <sup>2</sup> )	117.6	25.4	135.7	215.2

#### 4.2.5 移転に係る勧告

##### 移転計画実施に当たって推奨される方法

移転実施の失敗の多くは、計画の欠如、計画の現実性の見過ごしと優先度を置かなかつたことにある。このことを念頭において、以下の方法が推奨される：

- ・ 移転計画の企画と実施を独立したプロジェクトとして行なうこと。ケニア他での過去のプロジェクトでよく聞かれる不満は、移転手続きに十分な注意が払われず、他の業務が優先され、移転問題に対する長期的関心が払われないということである。
- ・ 移転ための、他業務に使用出来ない、独立した会計を持つこと。
- ・ 移転計画の進展とその実施を監視するにあたって、開発担当の専門家に加えて、地域のリーダーと適切な政府担当者からなる調整委員会を設けること。移転のために独立プロジェクトを実行する場合には、この委員会がプロジェクト進捗の監視と調整を行なうことになる。



## 勧告

上述の議論を踏まえて、以下を勧告する：

- ・ 移転手続きの全体を監視し、移転する側と移転を受け入れる側両者を必要に応じて援助し、政府に代わって連絡業務を行なう組織を設立すること。この組織には、出来るかぎり、それに限らぬが、地方のリーダーを参加させること。
- ・ 詳細計画作成に当たって地域住民を参加させること。グループ毎の多様な要望を知るために、出来るかぎり、個人が自分の考えを述べる機会を与えること。
- ・ 地域住民の要望に答える計画を作成すること。
- ・ 土地登録の正式手続きが完了していない場合にも、そこに居住している人はその土地に対する権利を持つことを認めること。そうしなければ、移転計画は不調に終わり社会不安や経済問題を生む結果となろう。
- ・ 土地と金銭の組み合わせで補償を行い、個人とそのコミュニティの資産の枠の中で選択が出来るようにすること。土地取得に当たっては、コミュニティが適地選定の手助けをすること。
- ・ 移転先は原則として村落に隣接した場所とすること。然し、移転先での人口は増加するであろうから、放牧活動はこの場所の外に広がることとなるかもしれない。
- ・ 担当政府機関は移転に係る手続きを始める少なくとも3-4年前には計画策定と移転の影響を受ける人々との協議を始めること。
- ・ 別の仕事を希望する人には、訓練の必要性を検討し妥当なら、訓練計画を作製・実施する。
- ・ 移転と補償に係る法制度と必要ならその改定を検討すること。

### 4.2.6 緩和措置

移転先の住民への負担を軽減し移転者との融和を促進するために、次のような緩和措置が考えられる。

- 1) 社会基盤とサービスの長期的改善計画の進展について地方の首長を援助すること。
- 2) 人口増加に応じて土地の生産性を増加させるために小規模灌漑計画を検討すること。
- 3) 地域住民への具体的な便宜供与として学校・病院・診療所等の公共施設に対して電気を送ること。
- 4) キアンブレ・ムトンガ・グランドフォールズの適当な貯水池から、移転地への管路給水を行うこと。
- 5) タナ川カクマの橋の代替が必要である。
- 6) 水と性感染の病気、特にマラリアと住血吸虫が増えるであろう。建設労働者と地域住民に対して、移動式診療所・保健教育を含む医療施設を供給すること。貯水池近傍の住民に対して、管路給水を施すと共に、マラリア蚊と住血吸虫への予防管理策の重要性を知らせること。

### 4.3 貯水池の環境

#### 4.3.1 自然資源

スタディ地域の自然資源として、そこでの動植物とその有用性について基礎資料を作成した。河川沿い生息地のかなりの面積が既存の上流ダム群によって水没してしまっているため、河川沿いの調査が取り分け重要であると考えられた。

漁業は、タナ流域の重要な資源の一つであり、又ダム建設の経済的寄与の一つとなりうるものでもある。タナ川下流と既存ダムでの魚類についてはある程度記録があったが、ケニア山とニャンベレ高地からの支流であるムトンガとカジタ川についての記録はなかったため、この河川域で予備的調査を行った。

計画貯水池は、タナ川全体の漁業を変えるかも知れない。タナ川沿いでは随所で漁業が営まれており、下流域とデルタでは主要な収入源となっている。貯水池は、(I) 氾濫原での洪水頻度が減少すること、(II) 魚類移動を阻害すること、(III) 氾濫湖に依存している河川生物が失われること、等によって魚類生態系に負の影響を与える可能性がある。タナ川下流とその上流・支流域の繋がりは全て断たれることになる。魚類によっては、成魚や稚魚の状態、河川移住によってその生育や再生を行っている。ムトンガとカジタ河への移住経路を断つことは、魚類の幾種かを激減・消滅させる結果を生む可能性がある。

植生図を作成するに当たって、最近の衛星写真を用い、航空写真で補足して、最後に現場踏査で確認した。

植物種の記録は、採集と観察によって行った、野外観察で確認出来ない種はナイロビに送って、東アフリカ植物標本室で確認した。標本区分で植物構造を決定した、樹木の場合には、樹高と樹冠の高さと広がり帯状に観測して植生相を描いた。記録した植物種のリストの中から、IUCNの危機植物資料集によって保護対象となる種を確認した。

野外調査に当たって、現地植生に詳しいタラカの専門家にインタビューした。地域にとって、食料・飼料・医療・織物材・建設材・民芸材等として重要な植物種を調査し記録した。

上記調査の詳細と他の自然資源については Supporting Report (2) の第 12 章に記述してある。

#### 自然資源の経済・社会・文化的利用

スタディ地域の植物は様々な形で地域住民に有効利用されている。樹木・灌木・葉草・草・ツタ類・蔓類の約 20% が住民の生活に幅広く寄与している。

植物は地域の重要資源であり、その地の原材料特性を支えている、即ち Supporting Report (2) の 12.6 節に詳述するように、食料・飼料・燃料。建設材・医薬品・織物材・道具・衣料材・材木等に利用されている。

## 影響可能性

貯水池によって起こる環境影響の可能性として以下の要因が挙げられる：

- ・ ダムの建設。
- ・ 貯水池による湛水と水没。
- ・ 貯水池の操作。

物理的影響は直接的には建設活動によるけれども、最も大きい影響は、湛水・水没・水位低下・下流状況の変化によって引き起こされる。詳細は、緩和策の案と共に、Supporting Report (2) の 12.7 節と 12.8 節に記述してある。

## 緩和策

- ・ 工事中乱した土地を修復すること。
- ・ 生命多様性の欠損を補うために固有樹木を植林すること。
- ・ 建設と湛水の前に、既存の自然植生の内重要なものを種苗圃に移住すれば、湛水後、再移住、乱した土地の修復、樹木再生に貢献しうる。
- ・ 路頭斜面等を階段化と植生等の土壌侵食防止策を講ずること。
- ・ 水生植物の発生を防ぐこと、特に、以前ナイバシャ湖やビクトリア湖で使われたボート類の使用はしないこと。
- ・ 水生植物の観察を行うこと。
- ・ 水性疾病の観察を行い、住血吸虫・マラリアの管理を行うこと。
- ・ 貯水池内の樹木・藪を湛水前に伐採排除すること。この作業は、貯水池の影響を受ける地域住民の建材・家具材・燃料・木炭材等としての便益供与と共に、将来の植林計画に組み入れること。
- ・ 燃料資源の損失補填のために、移転地での植林計画を建てること。
- ・ 貯水池周りでの人的活動を出来る限り排除するために緩衝帯を設けて、適当な個所に貯水池への通路を設けること。
- ・ 環境・社会・保健モニタリング計画を建てること。

### 4.3.2 堆砂

タナ川の堆砂に係る最大の関心事は、砂の貯水池内沈殿によって、貯水池容量と有功寿命が減少することである。

粗粒・中粒の砂のみならず、水溶塩分の影響によって、粘土も集塊しその一部は貯水池に沈殿する。キアンベレの記録では、泥土の 15%が貯水池に沈殿しているが、グランド・フォールズの貯水池は大きいので、沈殿比率がさらに大きくなると予想される。

貯水池下流での堆砂の影響は、直下流での洗掘の増加、加えて、砂の組成が変化し河相と特に氾濫原での生態系に影響を及ぼすことである。

雨季の終わりと洪水最頻期に試料を採取して、分析した結果、その年の堆砂量がおおよそ 5.5 百万トンと推定された。然し、この試料採取では上流域で多く生産される細粒粘土やシルトを

捕捉していないと思われる。これはある程度、河川の季節的堆積と洗掘の仕組みによる結果であらう、即ち、粗い砂はカジタとムトンガがタナ川と合流する手前の比較的流れが速い地点で堆積するが、洪水最頻期に洗掘されるであらう。

従って、実際に貯水池に堆積する砂の量は上記の量より多いであらう。堆砂量を正しく推定するためには、年間を通して、細粒分も含めた観測が必要である。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の13.1節から13.7節に記述している。

#### 4.3.3 水質と汚染

貯水池の水質、従って下流の水質は流入水の質とその貯水池内での変化による。水質管理の効果的手段は、上流域の都市と地方の土地利用に関連して流出水を管理することである。グランド・フォールズダムの水質はキアンベレ他の上流貯水池の水質より悪くなる恐れがある。ダム地点の標高は低いので気温は高く、貯水池内での水の滞留時間は長いので、生物活動は活発となる。

水質は季節によって変動する、即ち、農作業が限られ沈殿物が少なく汚染源となる物質を運ぶ洪水がない乾季には良質であるが、雨季には物理的又化学的汚染、特にムトンガ・カジタ両支流とキアンベレからの流出による生物・細菌による高度の汚染が起こる。

貯水池への流入水は磷と窒素分を含む。貯水池は徐々に富栄養化していき、それが魚の生産性を高めることに寄与する。しかし、藻類については、その発生に必要な磷分が粘土粒子に捉えられ沈殿するので、問題を引き起こすことはないであらう。

川や貯水池から取水し人が使用するには水質の問題が残る。上流域での水処理と管理の改善をすべきであり、貯水池水に依存するところではそこでの改善処置が必要である。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の13.8節に記述している。

#### 4.3.4 水質および栄養分と土粒子の排出

##### (1) はじめに

1995年、乾季の9月と11月の雨季にキャンベレ貯水池、ムトンガ・カジタ両支流およびタナ本流の水質パラメーターを決定するために、水質調査を実施した。さらに、ムトンガおよび低グランドフォール貯水池の水質、および栄養分と土砂の流出を予測するために、三次元モデルによる水理解析を実施した。ムトンガとグランドフォールズ貯水池の三次元モデルは、流況図における確率20パーセント及び確率80パーセントの河川流量をもつ、雨季と乾季の代表的な流量条件下でシミュレーションした。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の第14章に記述している。

三次元水理解析に使用したキャンベレ、ムトンガ及び低ランドフォールズダムのデータは下表に示す通りである。

三次元水理解析で使われた貯水池操作上の数値

	ムトンガ	ランドフォールズ (LGF)	キャンベレ、 1988年建設
貯水池の面積 (km <sup>2</sup> )	11	66	25
貯水池の体積 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	132	1,261	585
推定発電力 (MW)	60	120	144
常時発電力 (MW)	30.3	62.6	92
1ヶ月当りの流入			
平均 (m <sup>3</sup> /秒)	171	191	137
最大 (m <sup>3</sup> /秒)	823	861	
最小 (m <sup>3</sup> /秒)	93	93	
発電用流出			
平均 (m <sup>3</sup> /秒)	136	147	
最大 (m <sup>3</sup> /秒)	200	210	122
最小 (m <sup>3</sup> /秒)	65	75	
1ヶ月当りの放流			
平均 (m <sup>3</sup> /秒)	34	39	
最大 (m <sup>3</sup> /秒)	643	662	
最小 (m <sup>3</sup> /秒)	0	0	0
1ヶ月当りの平均蒸発量 (m <sup>3</sup> /秒)	0.78	4.74	

## (2) 貯水池の水質

貯水池の水質は、上流での汚染物質の流入と貯水池内でのプロセス双方によって決定される。上流域内の人口の増加、およびそれに付随する都市化の進行が、汚染物質レベルの増加に結び付く。貯水池が大きければ大きいほど、汚染物質の沈殿効果も大きく、貯水池内の栄養素レベルも、高いと推定される。これは活発な漁業を支えるばかりでなく、水草の生育を促進する可能性がある。

漁業面での利益の可能性に関する検討は、上流の貯水池での生産量をもとにしていた。しかし、表面積はマシガの2倍以上になる可能性があり、温度も高く栄養分も多いので、生産力はより大きくなると推定された。川の流れによって下流に流下する沈殿シルトは、川の下流や海での漁業の存続にとって必須な栄養素を含んでいる。水草が貯水池やそれに付随する水路に入ってくると、ダムの上流、下流双方での漁獲高は大幅に削減される。

### 水の供給への影響と衛生設備

湖の周囲の集落の住民は、飲料用やすべての家庭活動のために、湖から直接取水する傾向がある。タナ川のすべての貯水池の水の特性は類似しており、特に、

- ・ 混濁度は高い。
- ・ 大腸菌の数が多く、E.Coli の存在は、糞便が流入していることを示唆する。
- ・ 酸素含有量は、有機分解活動の低さを示唆する。
- ・ 工業汚染物の痕跡は見られず、有害元素の量は許容レベルであった。
- ・ マシंगा、カンブル、キンダルマの貯水池の水は人間が使うのには適さない。
- ・ 家庭用の水としての利用は危険であると判断され、適切な衛生施設がないためこの危険は増してきた。

### 富栄養化

ステージ 2 の調査で行われた上流からの汚染物質の調査は、主に農工業プロセスおよび、都市とその周辺居住地からの汚染物質による水質の悪化から生じ得る問題を指摘した。水中の溶解栄養物の増加は、富栄養化に結び付き得る。栄養物が多くなると水草の生育が早くなり、貯水池の機能が損なわれるかもしれない。水質悪化に付随する問題は、貯水池が大きくなると、水の滞留期間が長くなるので増すと推定された。洪水前の植生の除去、上流での土地利用や排水の厳格な管理、および多段階に分けての放流などが必要であり、さらなる調査と具体的な汚染レベルの監視をし、上流管理の戦略をたてることが要求される。

### 堆砂作用

貯水池に隣接する地域では、集落が増えることによる土地利用の増加が、侵食の促進に結び付くと推定された。この影響は緩衝地帯の積極的な管理、そして環境保全指向の農業システムを推進することにより、削減できる。

土砂の流出より一般的な管理は、土砂の放流あるいは転流によって可能かもしれないが、肝心な点は、上流での土地利用の管理である。より長い期間に渡って、乾季および雨季の土砂流出をサンプリングすることで、合計流出量や季節による変動が解明できるであろう。季節ごとの完全な流出、および土砂の流下傾向を知るためには、さらなる調査と全面的な監視計画が必要である。

### (3) 解析手法

現地調査で得られたデータを分析し、流出、酸素欠乏の可能性、沈澱する有機物栄養素のリサイクルの効果、および貯水池を通過する栄養素と流送土砂の流れをシミュレートする三次元的な水理モデルを使用し、提案されている貯水池の栄養状態を予測した。

貯水池の挙動を把握するために、タナ川上流のキャンベレ水力発電用貯水池の水質調査が、川の調査と同時にこなわれた。

以下のデータも、モデルの一部に含められた。

- ・ 10m 間隔の等高線に基づく、提案されている貯水池の土地の高さの数値データ、および 2m 間隔での等高線に基づく 5 千分の 1 の縮尺図 44 枚。

・ 水力発電所と貯水池が最適な状態で機能しているときの、毎日の流量予測

ステージ 2 で得られた既存の水質データが検証され、キアンベレ貯水池の水質調査の実施と、それと平行した川の水質と土砂量の調査を実施した。3 回の川の調査が、貯水池に流入する汚染物質の量を把握するためにおこなわれた。またキアンベレ貯水池の調査結果が、プロセスを評価し、モデルを設計するために使われた。

キアンベレ貯水池の地形図、ダムに関する資料、および観測された水質パターンが、モデル内での一連の区分およびさまざまな厚さの水平方向の層に基づくムトンガおよび低グランドフォールズ貯水池の、三次元モデルを設定するために使われた。ムトンガ貯水池は、8 つの要素に分けられ、そのうちの 7 つは浸水するタナ川溪谷に当たる (図 4.3.2)。ムトンガの縦断図は 9 層からなる。最も上の層の下部は FSL 放出レベルの 2m 下、548m の位置に設定された。その下の層はそれぞれ、2、2、2、2、4、4、10、20m の厚さをもつ (図 4.3.5)。

タービンへの水流は、520m と 530m (第 8 層) の間から取られる。区分の境界は現在の川の流れに直角であり、図 4.3.1 に示されているように、2 から 3km の間隔をもつ。FSL は 550m である。要素は、流れの断面が、溪谷の側面の張り出しによって狭められている場所で分割された。層と区分によって分けられたモデルの各セルの形状は、水平面の面積と区分の分割面での幅によって評価された。モデルの全体的な形状は、表面積と体積の関数を参照してチェックした (図 4.3.2)。

低グランドフォールズ貯水池は、19 の要素と 8 つの層に分割した (図 4.3.3 と図 4.3.4)。最も上の層の下部は 510m、FSL から 2m 下に設定された。その下の層の厚さはそれぞれ、2、3、5、10、20 および 25m である。タービンへの水は第 6 層の 480 から 490m の間から取水される (図 4.3.4)。

モデルは、貯水池の水質、および溶解汚染物と粒子状汚染物の沈殿と流出を予測する手段として、典型的な雨季および乾季の状態をシミュレートするように設定した。

雨季の状態は、貯水池が満水で、タービンへの取水量が最大になるように選択された (ムトンガ、低グランドフォールズでそれぞれ  $200\text{m}^3/\text{秒}$  と  $220\text{m}^3/\text{秒}$ )。これはタナ川とムトンガ川の、ほぼ 20 パーセントの流量であった。

同じ計算が、乾季に対しても、ムトンガと低グランドフォールズのダムでのタービンを通る流量を  $65\text{m}^3/\text{秒}$  および  $75\text{m}^3/\text{秒}$  と仮定して、繰り返された。確率 80 パーセントの流量状態に相当する。

貯水池での浮遊固形物の挙動の理解が、主要問題だと考えられる。光の浸透度と粒子状栄養物の移動双方をコントロールするからである。

(4) 提案されている貯水池への水、泥および汚染物の流入源

水

調整されたキャンベレ貯水池からタナ川への流出と、一年中続くムトンガ川からの流入が、ムトンガ貯水池の水と汚染物の主な源である。

ムトンガ貯水池は、タナ・ムトンガ両支川からの流入水を変えず低グランドフォールズ貯水池への流入させる。低グランドフォールズ貯水池には、ケニア山の斜面からのもう一つの流れ、カジタ川の一年中流れる水も流入する。

ムトンガ・カジタ両川からの水は、多量だが調整されているタナ川よりも、かなり激しく流入する。2つの貯水池の水質および栄養状態は、栄養物と細粒粘土の流入量、および流出率・沈殿率によって決定される。

泥（粘土）の流入

この分析で使われた粘土およびシルトの量は、1995年の乾季と雨季に行われた調査で採取された数値に基づいた。粘土およびシルト成分に対して得られた値は、過小評価のように見えるが、ピーク時である1994年11月の洪水に得られた値と合致している。上流の発生源の粘土およびシルト成分が、侵食された土壌の70%に相当する。したがって、粘土の移動メカニズムは、流域および河川系内での季節的貯蔵メカニズムであり、雨季の後半および乾季の前半に相対的に放出量が増える。

モデルで使われる流量特性が、以下の表に記されている。これらの数値は、年間の泥の量が18万トン、データが収集された期間のガリッサでの年間推定量の約3%であることを示している。

流量と泥の移動に関する統計

流域	タナ川、キアンベ レ放水路	ムトンガ川、 4EA7	カジタ川、 4F19
平均流量 (m <sup>3</sup> /秒)	111	29	16
5%確率 (m <sup>3</sup> /秒)	330	160	100
90%確率 (m <sup>3</sup> /秒)	35	10	5
1日当りの泥の平均量 (トン/日)	340	[100]	[55]
5%確率	(4000)	[550]	[350]
95%確率	50	[35]	[15]
水温 (°C)	25	21	21

90ppmに基づく推定

[40ppmに基づく推定]

キャンベレダムからの放流地点で行われた1995年のサンプリングデータの分析は、泥（細粒粘土）のみを示しており、砂やシルトはなかった。さらに泥の濃度は、65から210m<sup>3</sup>/秒、つまり170-730トン/日という放出量の3倍の変化に対して、30-40ppm程度しかなかった。

サンプルデータによれば、キャンベレ貯水池からタナ川へと流出することによる、ムトンガ貯



水池への泥の年間総流入量は、おそらく、年間 20-30 万トン（乾燥重量）の範囲にある。キャンベレ貯水池での沈殿率は、下表で示されている。

キャンベレ貯水池での泥の移動

	キングダルマ放水路		キャンベレ放水路		沈殿率 %
	1日当りの平均流出量、 m <sup>3</sup> /秒	1日当りの平均浮遊物量 トン/日	1日当りの平均流出量、 m <sup>3</sup> /秒	1日当りの平均浮遊物量 トン/日	
乾季 1995 年 9 月 7 日 から 1995 年 10 月 5 日	94	313	78 (94)	222 (267)	(15)
雨季 1995 年 10 月 29 日から 1995 年 11 月 27 日	116	406	118	341	16

(括弧内の数値は、流入量に比例して調整されている)

1995 年のムトンガ川の土砂の分析結果は、粘土を砂やシルトに分離しなかった。1995 年の調査は、25 $\mu$  よりも細かい粒子は 1%未満であることを示しているように見える。泥と粘土粒子は、10 $\mu$  未満である。通常、砂とシルトと粘土粒子の割合は、流量によって変化し、砂の量は特に大きく変動すると予想される。

しかし、粘土粒子の濃度の指標である混濁度 (NTU 単位で測られる) は、ムトンガ川では流量 83m<sup>3</sup>/秒のときに 35 のみであり、報告されている浮遊固形物は 2 万 ppm であった。これは、浮遊している泥は 40ppm のみ、つまり 1%未満であることを意味している。

ムトンガ・カジタ両支川は、ムトンガとグランドフォールズ貯水池の、ダムに比較的近い場所に流れ込み、砂の成分が沈殿してデルタをつくる。

タナ川と比べて冷たい、シルトと砂を運ぶムトンガの水は、ダムの後ろの深い部分に直接、混濁流として流れ込むので、浮遊砂は貯水池からタービンへ引き込まれやすい。カジタ川も同様である。ムトンガ川の泥、栄養物あるいは汚染物は、ムトンガ貯水池に大きな影響を与えそうもない。タービンの容量は 200m<sup>3</sup>/秒であり、ムトンガ川の確率 5 パーセントの流量よりも大きい。その結果、低グランドフォールズ貯水池は通常、ムトンガ川の栄養物と浮遊土砂をそのまま受け入れることになるだろう。

キングダルマの下流とキャンベレダムでの、1995 年の乾季と雨季の 1 ヶ月間の調査で得られた浮遊流送土砂量の観測値を分析すると、ほとんどが粘土粒子と有機物からなっており、流入する細かな土砂の平均 15 から 20%がキャンベレ貯水池に沈殿している。

純粋の蒸留水では、個々の粘土粒子 (<2 $\mu$ m) は互いに反発しあい、ほとんど沈殿しないコロイド溶液を作る。しかし溶液内に、天然の川で見られるような塩分の陽イオンが存在すると、反発力が弱まり、個々の粒子が小さなグループに固まり、有限の沈降速度をもつ小さな低密度フロックを形成する。

下表に示されている濃度は、小さなフロックが形成するのに十分な大きさであると思われる。

キャンベレダムを通る流れは、両シーズンとも一定ではない。乾季は貯水池は満杯になってお

り、雨季の流出量は、期間中に2倍になる。

緩やかに沈殿する泥のフロックの沈殿は、類似した形の貯水池における滞留期間に比例すると予想される。流量 100m<sup>3</sup>/秒および 1000m<sup>3</sup>/秒のときのキアンベレ、ムトンガおよび低グランドフォールズの平均滞留期間は以下の通りである。推定沈殿率は、貯水池の先端から他端まで流れる粘土粒子に対するものである。

キアンベレ貯水池の混濁度の観測によれば、表面水は、湖底の水と比較して透明であり、粘土粒子は貯水池内で沈降していることが示唆される。

粘土フロック（粒子群）の平均沈降速度は、キャンベレ貯水池の平均的深さ 35m、および流量 100m<sup>3</sup>/秒、68日という移動時間を使って評価することができる。粘土粒子の沈降速度は 5×10<sup>-6</sup>m/秒程度となる。完全に集塊した泥に対する典型的な値は 10<sup>-3</sup>m/秒である。

雨季（1995年11月28日）の溶解塩分（mg/l）

川と位置	タナ川、イリラ	ムトンガ川下流	カジタ川下流	グランド フォールズ
Ca	6	6	6	(11)
Mg	2	3	4	2
Na	11	14	14	12
K	3	4	5	5
Cl-	6	4	2	6
CaCO <sub>3</sub>	44	46	56	48
SO <sub>4</sub>	6	0	5	4
Fe	1	2	3	(0.03)
放出量 (m <sup>3</sup> /秒)	89	83	10	330
溶解塩分総量	73	74	89	77
移動度 (秒/cm)	100	100	115	110

貯水池での泥の推定沈殿率:キアンベレでの観測値および、  
ムトンガとグランド・フォールズへの外挿 (LGF)

項目	キアンベレ川	ムトンガ川	低グランド・ フォールズ
量 (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	585	132	1261
100m <sup>3</sup> /秒のときの滞留期間 (日数)	68	15	146
1000m <sup>3</sup> /秒のときの滞留期間 (日数)	7	1.5	14.6
100m <sup>3</sup> /秒のときの沈殿率	15%	3%	30%
1000m <sup>3</sup> /秒のときの沈殿率	1.5%	0.3%	3%

流況曲線と組み合わせた沈殿率の上記の解析結果、及び流入する水中の泥の濃度の解析によれば、毎年約4万トンの泥、つまり流入量の20%が、キャンベレ貯水池に恒常的あるいは一時的に堆砂する。粘土粒子の沈降率は確率10パーセントの流量での60%から、確率5パーセントの流量での3%まで変化する。しかし、ダム近くの深水中で沈降した泥は、タービンへの流入によって生じる乱流によって再度浮上されうる。

(5) 河水の水質

タナ川の水質のサンプリング調査は、上流、キャンベレ貯水池の下流のイリラ、ムトンガ川の下流、カジタ川の下流、およびグランドフォールズで、乾季（1995年9月26～27日）、雨季の始め（1995年10月28日～11月13日）、および雨季の中頃（1995年11月25-27日）に実施された。

乾季 1995年9月26-27日の河川調査

1995年乾季	流量 m <sup>3</sup> /秒	温度、 摂氏	DO mg/l	BOD <sub>5</sub>	DAIN mg/l	DAIP mg/l	混濁度 NTU
キャンベレ、流入 KS1 (9月27日)	80	25	9	2.0	0.0	0.02	30 (茶色)
キャンベレ、流出、KS2 (9月27日)	80	25	8.6	2.4	0.0	0.02	35 (茶色)
タナ川、イリラ (9月26日)	86	25.0	9.0	4.5	0.4	0.01	60
ムトンガ川、流入 (9月26日)	4.5	21.5	10.2	2.8	0.11	0.01	20
カジタ川、流入 (9月26日)	2	20.0	9.0	2.2	0.11	0.01	15
グランドフォールズ (9月26日)	96.4	25.0	9.0	5.0	0.02	0.01	5

雨季の始め 1995年10月28日-11月13日

キャンベレ、流入 KS1 (11月13日)	117	25.0	8.4	3.1	0.16	0.05	50 (茶色)
キャンベレ、流出、KS2 (11月13日)	100	26.0	9.3	3.5	0.16	0.5	60 (茶色)
タナ川、イリラ (10月28日)	89.4	25.0	10.3	4.5	1.67	0.01	40
ムトンガ川、流入 (10月28日)	(117)	21.0	9.4	4.3	1.58	0.01	35
カジタ川、流入 (10月28日)	10.0	23.0	8.7	4.5	1.04	0.01	32
グランドフォールズ (10月28日)	330	25.0	8.6	3.8	1.04	0.01	45

雨季 1995年11月25-27日の河川調査

キャンベレ、流入 KS1 (11月27日)	114	25.5	8.6	3	0.16	0.05	30 (茶色)
キャンベレ、流出、KS2 (11月27日)	194	25.0	9.6	3.5	0.21	0.05	30 (茶色)
タナ川、イリラ (11月25日)	198	25.0	9.2	2.0	0.41	0.03	40
ムトンガ川、流入 (11月25日)	20.5	20.8	9.8	3.6	0.11	0.01	38
カジタ川、流入 (11月25日)	11.5	24.0	9.2	2.0	0.11	0.01	33
グランドフォールズ (11月25日)	391	25.5	9.9	3.9	0.31	0.04	45

溶解酸素 (DO) 値はすべて飽和値に近く、BOD<sub>5</sub> は 2-5mg/l の範囲であった。溶解無機窒素 (DAIN) (NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>) は、乾季のキャンベレ放水口ではゼロであった。しかし同じ時に下流のイリラでは 0.4 と観測された。

葉緑素 a の測定値はないが、貯水池で観測された値により、キャンベレのタナ川下流では 1mg/m<sup>3</sup> 程度だと示唆される。

## (6) キャンベレ貯水池の調査結果

キャンベレ貯水池での調査は、1995年の9月、10月および11月に川の水質調査と同時に行われた。縦断面の温度、DO、固形物総量、葉緑素 a および BOD<sub>5</sub> の調査を実施した。

### 乾季末の調査-1995年9月27日

貯水池の水位は、FSL レベルの 6m 下であった。貯水池を通る流量は、流量前の確率 40 パーセント値近くの約 80m<sup>3</sup>/秒であった。滞留時間は約 60 日の、弱い放流時であった。貯水池は水質に関してははっきりと各層で分かれており、表面近くでは弱い (4℃) の温度勾配があった。貯水池の本体は温度一定で、約 24℃であった。調査中には、風や液による垂直方向の大きな混合はなかった。観測は日中に行われ、2m の表面層で太陽による強い加熱があった。Secchi ディスク深度は 2m 未満であった。夜間の強い冷却により不安定性が生じ、表面層と下部の混合が起こり得る。しかしそのような混合の証拠はなかった。

貯水池の入り口の表面での 21.5℃という観測値は、おそらく早朝のものである。ブランチ・プールでの水質変数の濃度から、水圧管は表面から約 40m 下の層から取水していることがわかる。しかし、ダムから 1km、深さ 75m の所で、渦を巻く下層流があった。これは、大流量のときタービンが、40m 以下のすべての層から水を引き込んでいることを示唆する。1.8m という Secchi ディスク深度は、約 2m まではかなりの光の浸透と生産性があることを示唆している。表面層は日中は酸素が過飽和の状態であった。ダム近くの湖底の層では、DO は飽和値の 60% であった。

BOD<sub>5</sub> の濃度はすべて 2-3.5ppm の間にあり、使われている検出方法の限度近い。沈殿した藻類の炭素の酸化は、BOD 値に大きく寄与するとは考えられない。理論的には、流入する 2ppm の BOD<sub>5</sub> が、DO 値を入口の 9.0mg/l から出口 7.0mg/l まで下げ得る。ダム近くの湖底層での 5.1mg/l という DO 値は、20km<sup>2</sup> という貯水池表面積を仮定すると貯水池での酸素必要量が、1g/m<sup>2</sup>/日未満という比較的小さな値であることを示している。

浮遊粘土フロックは 60 日という滞留期間で約 30m 沈殿する。これは垂直方向の乱流がなければ、5×10<sup>-6</sup>m/秒ほどの沈降速度と等価である。1 ヶ月間の流送土砂の調査によれば、タナ川で約 80-100m<sup>3</sup>/秒の流量があるとき、沈殿率は 15-20% である。

しかし 1995 年 9 月 27 日の流出水中の浮遊物濃度は取水口付近よりもやや大きく、水面下約 40m レベルからのみ取水した場合の値と一致していた。

DAIN (NO<sub>2</sub>+NO<sub>3</sub>+NH<sub>4</sub>) 濃度は貯水池中で比較的一様であり、すべての深度で 14mmol/m<sup>3</sup> (0.2mg/l) を超えるレベルであった。これは、栄養豊富だとみなすことができる。

ブランチ・プールでの観測では栄養分の値はゼロであったが、栄養分が貯水池に沈殿しているという証拠はほとんどない。より高い値が、1995 年 9 月 26 日に下流のイリラで観測された。葉緑素 a の値が、日中、5mg/m<sup>3</sup> を超えることはほとんどなかった。表面層での光の強度は、成長にとっての最適レベルを超えており、光による抑制効果があるかもしれない。ダム近くの湖底の層では、葉緑素 a の濃度は約 1mg/m<sup>3</sup> であった。

### 雨季始めの調査 (1995 年 11 月 13 日)

タナ川の流量は、1995 年 11 月 13 日の調査中はやや大きく約 115m<sup>3</sup>/秒であり、確率 50 パーセントの大きさであった。すべての水が、タービンを通して流下した。

BOD<sub>5</sub>、浮遊固形物および DAIN のパターンは乾季の調査結果に類似していた。5m 以上までおよぶ、非常に過飽和 (140%) でより厚い、富栄養型 (葉緑素 a >15mg/m<sup>3</sup>) の表面層があった。葉緑素 a の濃度は、深水でも大きかった。

### 雨季中頃の調査 (1995 年 11 月 27 日)

2 回目の雨季の調査での流入量と流出量はさらに大きく、流入量は約 200m<sup>3</sup>/秒であった。

温度、BOD<sub>5</sub> および浮遊固形物のパターンは同じであった。水圧管の入口の下の貯水池の最深部で、より大きな DO の沈下 (24%) があった。DAIN の濃度の変動は大きく、表面層では 0.03mg/l という小ささであった。しかし表面での葉緑素 a の濃度はより高く、18mg/m<sup>3</sup>であった。

#### (7) モデルの仮定条件

3次元モデルを適用する際になされた主な仮定を以下に示す。

#### 太陽放射熱

太陽放射熱は、6 時から 18 時までの平均で、1.4m Joules/m<sup>2</sup>/時、またそれ以外の時間はゼロと仮定された。この値は、赤道での理論値 600cal/cm<sup>2</sup>/日、平均透過率 0.8、および 1 日当りの平均日照時間 8 時間という前提に基づく。これは 33.5cal/m<sup>2</sup>/時に相当し、モデルで使われた藻類の最大生育にとっての最適値 17cal/m<sup>2</sup>/時の 2 倍である。

表面層の温度の日中の変動を予測するには、気候条件に関するデータは不十分であった。浮力の効果は、約 2m の温度躍層で、垂直方向の攪乱はないものとしてシミュレートされた。それ以外の形では、熱エネルギーの出入りなしで温度の異なる水が混ざることが考慮された。その結果としてこのモデルは、流入する川の加重平均に基づく流出温度を予言した。キャンベレ貯水池での観測によれば、タナ川のこの部分の水の自然な平衡温度は、年間を通じて約 25℃である。

ムトンガ川とカジタ川の水は、ケニア山上部で溶けた雪と、高く冷たい上流での雨によって供給される。その結果、ムトンガとグランドフォールズダムのすぐ上流でタナ川に合流するとき、その温度は 18-21℃程度しかない。

ムトンガ川とカジタ川からの水は表面に入ると仮定された。その水はモデルの該当する区分において、密度逆転、そして垂直方向の強い混合が起こる。その結果、温度は 25℃未満になり、水は沈みダムの正面の深みを満たす。

現実には、冷たい流入水は浸水した溪谷を密度流として流れ、その過程で上層の水を吸い込み、やや希釈された形で深みに沈む。しかし、選択的な取水により、流出水が同じ温度をもつようになることもある。

## 酸素のバランスと栄養分

川の酸素は飽和状態であると仮定された。BOD は、速く酸化する部分と遅く酸化する部分が等しく存在すると仮定された。再エアレーション率と、過飽和の際の大気への酸素の放出は、鎮静した状況に対応する 37mm/時と仮定された。沈殿した藻類の炭素は、単位面積当りのその質量に基づく水底酸素必要量を生み出すと仮定された。未処理の下水中のアンモニア性窒素という形での上流の都市汚染のためのすぐに反応する酸素の要求量は、川ですでに大部分満たされているとし、利用可能溶解無機窒素はすべて酸化窒素として存在していると仮定された。

藻類の生育は理論値に基づいており、川には、濃度  $1.0\text{mg}/\text{m}^3$  の葉緑素 a が存在するとされた。

## バクテリア

このモデルではバクテリアはシミュレートしなかった。淡水では非常に低いその死亡率についてのデータがなかったからである。しかし貯水池の混濁度と、表層での藻類生育による陰影により、貯水池の水中への光の浸透度は厳しく制限され、バクテリアが生存し、貯水池に長く滞留すれば何倍にもなることがあり得る。

## 泥フロックの沈降速度

泥粒子（粘土フロック）は、透明層の厚さの観測とキャンベレ貯水池で観測された移動時間に基づき、 $5 \times 10^{-6}\text{m}/\text{秒}$  で沈降すると仮定された。粒子は、ムトンガ貯水池で予想される低い沈降率に基づき、湖底近くでの速度が  $0.02\text{m}/\text{秒}$  未満になったときに湖底に沈殿すると仮定された。大きく、より強く完全に集塊した海の泥では、これらの値はそれぞれ、 $10^{-3}\text{m}/\text{秒}$  と  $0.3\text{m}/\text{秒}$  である。

## (8) 解析結果（雨期）

貯水池の典型的な雨季中の状態をシミュレートするモデルが設定された。ムトンガ貯水池は満水で、タナ川からの  $130\text{m}^3/\text{秒}$  とムトンガ川からの  $70\text{m}^3/\text{秒}$  の一定の流入、そしてタービンを通っての  $200\text{m}^3/\text{秒}$  の流出がある。さらにカジタ川からの  $20\text{m}^3/\text{秒}$  の流入がある低ランドフォールズ貯水池は、タービンを通して  $220\text{m}^3/\text{秒}$  を放流する。流入水の水質は観測に基づき、以下のようにした。

典型的な雨季での川の流量と含有物

	タナ川	ムトンガ川	カジタ川
流量 ( $\text{m}^3/\text{秒}$ )	130	70	20
流量のパーセント	22	27	60
水温 ( $^{\circ}\text{C}$ )	25	21	20
浮遊した泥 (ppm)	60	120	120
DO (mg/l)	8.4	9.0	8.5
速い BOD (mg/l)	1.25	2.0	2.0
遅い BOD (mg/l)	1.25	2.0	2.0
$\text{NO}_3$ (mg/l)	0.25	1.5	1.0
$\text{PO}_4$ (mg/l)	0.05	0.01	0.01
葉緑素 a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	1.0	1.0	1.0

モデルは、汚染物質が貯水池にない状態から安定状態をシミュレートするように作られた。計算は、毎日が動的平衡状態になるまで続けられた。これは、沈殿率と流出率を評価する際の補助としておこなわれた。

モデルは 100 日間分計算された。これはタナ川の水のムトンガ貯水池での 11 日間という滞留時間、およびタナ・ムトンガ両川の水の低ランド・フォールズ貯水池での 73 日間という滞留時間よりも、ずっと長い。

#### ムトンガ貯水池

DO レベルは低いと予想される真夜中の結果が、貯水池に沿った断面の形で得られた。200m<sup>3</sup>/秒という流出水は、区分 1 の第 8 層である 520-530m から取水された。流出水の水質と貯水池の沈殿率は、下表に示されている。

解析結果によれば、ムトンガ川の水は貯水池の下部に沈むか、さもなければ滞留時間が短くなる。流出水の温度は 23.6℃で、低ランドフォールズ貯水池の 25℃という自然平衡温度よりも低い。

2m の表面層は、日中は 28℃以上に上がるが、このプロセスはモデルではシミュレートされていない。しかし垂直混合に対する温度躍層の減衰効果は考えられている。

泥の 8%は貯水池で沈殿する。しかしこの値は、与えられる沈降速度と、沈殿物の臨界剪断応力に依存する。

貯水池の DO 値は、夜間で 82%の流出水がなければ、表面層では 115%以上、湖底近くでは 66%と変化する。沈殿した藻類による水底酸素要求量は、約 1.5g/m<sup>2</sup>/日のみであった。川の BOD 量が、貯水池のいずれかの部分に無気状態を作り出すという証拠はなかった。しかし、停留した無気状態の小さな部分が、ダムの下、520m の所にある水圧管の入口の下に形成される可能性はある。

ムトンガ貯水池の流出水の水質と推定沈殿率 - 雨季

	流出水	流入水	減少率
温度 (℃)	23.6		
泥の濃度 (ppm)	74.6	(81.0)	8%
DO (%)	82		
速い BOD (mg/l)	0.5	(1.5)	67%
遅い BOD (mg/l)	1.1	(1.5)	27%
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.64 [0.64]	(0.69)	10% [8]
NH <sub>4</sub> (mg/l)		ごく少量	-
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0.028	(0.036)	22%

(括弧内の数値は、流入量に基づく)

[湖底の沈殿物からの窒素の抑制されないリサイクル]

解析結果によれば、大部分が硝酸塩である利用可能溶解有機窒素総量の 90%が貯水池を通過する。残りの 10%は貯水池に沈降する。湖底の無気状態の有機沈殿物内での脱窒素プロセスによる損失が予想される。貯水池が、雨季に川が運んでくる溶解窒素 (1 日当り 11 トン) を大幅に減じることはない、モデルは示している。川の泥に付着する少量の浮遊粒子状の有機物内の

窒素は考慮されていない。

溶解燐分の 22%が、ゆっくりと腐敗する沈澱した藻類に捕獲される。これは次第に、水中へと再度無機化するだろう。しかし、粘土粒子の 85%以上が貯水池を通過するとモデルは予測している。

モデルは、2m の厚さの表面層で、連続的に 1 日に変化する藻類の生育があることを予測している。13mg/m<sup>3</sup> という葉緑素 a の値と、115% という DO 飽和値は、夜間も持続する。藻の生育は、日中の強い日光により制限され、温度躍層によって引き起こされる垂直混合の抑制によって維持される。

表面層の NO<sub>3</sub> は、局所的にそれぞれ 0.04mg/l および 0.004mg/l に落ち、局所的に栄養素が制限されることを示している。

藻類の炭素は、ダムまでの貯水池全体の湖底に沈澱し、約 1.5g/m<sup>2</sup>/日という最大水底酸素要求量を生み出すが、下部の層に深刻な酸素量の低下をもたらすほど大きくはない。

波、風による揺動、温度による不安定性および夜間の局所的な反転作用が、上部の 4 層間 (8m) の垂直混合による調節をもたらし、藻類を下方に押し下げ藻類濃度を減じる。このため、表面層での葉緑素 a と酸素飽和値は、それぞれほぼ 5mg/lm<sup>2</sup> と 100%にとどまる。静穏な状態では、実質的な Secchi ディスク深度は約 2m と予測される。

#### 低グランドフォールズ貯水池

流出水とそれに付随する浮遊物、栄養素および汚染物質が、低グランドフォールズ貯水池の上流端部に入る。流出水の水温は 25℃へと急速に上がると評価された。タナ溪谷の局所的な自然水温である。

220m<sup>3</sup>/秒という流出量は、要素 20 (要素 2 の東) の第 6 層である 480-490m から取水された。モデルは、タナ川の水の貯水池での排出時間よりも長い、100 日間分計算された。

#### 低グランドフォールズ貯水池の流出水の水質と沈澱率 - 雨季

	流出水	流入水	減少率
温度 (°C)	24.9		
泥の濃度 (ppm)	36.20	(78.7)	54%
DO (%)	71.1		
速い BOD (mg/l)	0.01	(0.64)	98%
遅い BOD (mg/l)	0.16	(1.18)	87%
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.49	(0.66)	26%
NH <sub>4</sub> (mg/l)	ごく少量		
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0.0155	(0.0264)	41%

(括弧内の数値は、流入量に基づく)

解析結果によれば、浮遊粘土粒子の流入 (1,418 トン/日) の 46%が、貯水池の広範囲に沈澱する。その部分の表面層の浮遊泥の濃度は 10ppm 未満に落ち、光の浸透度が増す。



しかし表面の葉緑素 a 濃度の最大値は、貯水池先端近くで約 5mg/m<sup>3</sup> にしかならず、貯水池の大部分の厚さ 4m の表面層では、約 2mg/m<sup>3</sup> に減少する。硝酸塩濃度は高く維持され、約 0.5mg/l である。磷分濃度は表面層では 0.001mg/l 未満である（飽和値の半分が 0.014mg/l）。藻類の生育は、過剰な光と、利用可能溶解磷分の欠如のために抑制される。しかし、垂直混合を増す風は組み込まれなかった。

DO は大部分の深さで飽和値の 70% という最低値となり、厚さ 4m の表面層で 100% の飽和値になる。水底酸素要求量は、0.3g/m<sup>3</sup>/日のみと予測される。

湖底に沈殿する藻類に取り込まれて、硝酸塩は 26%、溶解磷分は 41% が減少すると予測される。

#### (9) 解析結果 (乾季)

ムトンガ及び低グランドフォールズ貯水池の典型的な乾季中の状態をシミュレートするモデルを設定し解析した。ムトンガ貯水池は満水で、タナ川からの 47m<sup>3</sup>/秒とムトンガ川からの 18m<sup>3</sup>/秒の一定の流入、そしてタービンを通っての 65m<sup>3</sup>/秒の流出がある。さらにカジタ川からの 10m<sup>3</sup>/秒の流入がある低グランドフォールズ貯水池は、タービンを通して 75m<sup>3</sup>/秒を放出する。流入水の水質は観測に基づき、以下のようにした。

ムトンガ貯水池のモデルは 100 日間分計算された。これはタナ川の水のムトンガ貯水池での 32 日間という滞留時間よりも長い。低グランドフォールズ貯水池のモデルは 230 日間分計算された。これは、タナ・ムトンガ両川の水の低グランドフォールズ貯水池での、乾季の 224 日間という滞留時間よりも長い。

典型的な乾季での川の流量と含有物

	タナ川	ムトンガ川	カジタ川
流量 (m <sup>3</sup> /秒)	47	18	10
パーセントイル	75	80	80
水温 (°C)	25	21.5	20
浮遊した泥 (ppm)	40	40	40
DO (mg/l)	8.4	9.1	9.2
速い BOD (mg/l)	2.2	1.5	1.5
遅い BOD (mg/l)	2.2	1.5	1.5
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.4	0.1	0.1
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0.02	0.02	0.02
葉緑素 a (mg/m <sup>3</sup> )	1.0	1.0	1.0

モデルはここでも、動的平衡状態で計算された。

#### ムトンガ貯水池

三次元の定常状態の流出水の水質と沈殿率を下表に示す。ムトンガ貯水池は、タナ川の水の滞留時間が 32 日と、ほぼ 3 倍長いことを除けば、雨季の状態と同様に挙動する。

ムトンガ貯水池の流出水の水質と沈殿率 - 乾季

	流出水	流入水	減少率
温度 (°C)	24.0		-
泥の濃度 (ppm)	24.9	(40.0)	38%
DO (%)	71.0		
速い BOD (mg/l)	0.13	(2.0)	93%
遅い BOD (mg/l)	0.76	(2.0)	62%
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.25 [0.27]	(0.32)	22% [16]
NH <sub>4</sub> (mg/l)	ごく少量		
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0.01	(0.02)	50%

(括弧内の数値は、流入量に基づく)

[湖底の沈殿物からの窒素の抑制されないリサイクル]

以上の解析結果として、泥の 57%が貯水池に沈殿し、ダムに向かって泥の濃度が減少すると予測される。貯水池の DO 値は表面層では 100%を超えず、湖底の層では最小の 55%にまで下がる。

緩急の酸化 BOD 量は、それぞれ 93%と 62%減少し、水底酸素要求量は、平均、約 0.7g/m<sup>2</sup>/日となる。しかしおそらくこのモデルは、ダム近くの DO 沈下を、30%のみと過小評価している。

ムトンガ貯水池では、利用可能硝酸塩の 22%、および溶解燐分の 50%が沈降する。その多くは、川の流量が大きいときに再無機化され排出されるだろう。

有光層は深く、真夜中の表面層での最大葉緑素 a の濃度は雨季よりもかなり低く、約 5mg/m<sup>3</sup>となった。有光層に硝酸塩がないとの証拠はなかった。しかし燐分濃度は 0.001mg/l に下がり、表面層では局所的に栄養分が制限されることを示唆している。

栄養レベルは、光による抑制で制限されるようである。

#### 低グランド・フォールズ貯水池

ムトンガ貯水池モデルの放流水が、低グランドフォールズ貯水池に入る。ムトンガダムからの放流水が、低グランドフォールズの先端へ入る。ただし水温は 25°Cへと急速に上がると仮定された。タナ川渓谷の自然水温である。

低グランド・フォールズ貯水池の流出水の水質と沈殿率 - 乾季

	流出水	流入水	減少率
温度 (°C)	24.5		-
泥の濃度 (ppm)	5.6	(26.9)	79%
DO (%)	80.9 [79.3]		
速い BOD (mg/l)	ごく少量	(0.21)	100%
遅い BOD (mg/l)	0.02	(0.86)	98%
NO <sub>3</sub> (mg/l)	0.12 [0.16]	(0.23)	32%
NH <sub>4</sub> (mg/l)	ごく少量		
PO <sub>4</sub> (mg/l)	0.003	0.011	73%

Org N (mg/l)

(括弧内の数値は、流入量に基づく)

[湖底の沈殿物からの窒素の抑制されないリサイクル]

貯水池の先端に入るタナ・ムトンガ両川の水の滞留時間は、75日からほぼ225日へと増加した。225日分が計算された。

モデルによれば、浮遊砂粒子の流入量のほぼ80% (174トン/日) が、貯水池の湖底全体に均等に沈殿する。浮遊砂の濃度は貯水池全体で約5ppmであり、その結果かなりの光の浸透が起こり、水中の温度躍層はより深くかつより弱くなる。このことは、垂直混合の抑制として以外はモデル化されていない。

表面の葉緑素 a の予測濃度は低く、深さ7mの表面層で平均約0.4mg/lであった。溶解硝酸塩と燐分の濃度は、それぞれ平均0.13mg/l、0.003mg/lであった。後者の数字は栄養素の制限を示唆している。

表面層ではDOはほぼ飽和値だが、最低DO値は80%であった。

モデルは、流入する溶解硝酸塩 (0.7トン/日) の48%の減少、および流入する溶解燐酸塩 (0.05トン/日) の73%の減少を予測した。

湖底からの窒素の無制限なリサイクルにより、230日後の硝酸塩の沈殿は、1日当たり48%から32%に減少した。

#### (10) 解析結果の評価

##### 川の泥 (粘土) の量

粘土粒子および付随する有機物質の大きさは、湖の栄養状態および下流への栄養物の流出に重要な影響をもつ。浮遊砂粒子は、光の浸透に影響を及ぼし、栄養物を湖底に沈殿させる。また、緩やかに酸化する有機物を含み、時間がたつと水底酸素要求量を増加させる。モデルは、両貯水池の有光層の厚さが2-4mであるとシミュレートした。

不確定さの1つは、雨季のムトンガ・カジタ両川の、観測された粘土サイズの浮遊砂の割合であった。今回の調査は、浮遊砂の現地調査で報告されているように、雨季の粘土の割合は比較的小さいという前提に基づいている。しかし親物質の成分率はかなり異なっており、現地調査が、雨季の微粒子の割合を過小評価した可能性がある。

このモデルは、ムトンガ川の4EA7とカジタ川の4F19での、粘土成分と付随する栄養物および有機物の流量に対する近似的な相関曲線が定められれば、現実の年間水位の影響を予測することができる。

##### 洪水時

ムトンガ川からの多量の (>200m<sup>3</sup>/秒) 土、シルトおよび泥を運んだ冷たい水の洪水は、ムトンガ貯水池の湖底に直接流れ込むと思われる。洪水の水が530mにある取水口を覆った場合、タービンはより暖かくより軽いタナ川の水よりも、ムトンガの水を多く取り込むだろう。取水口の下死水域の体積は16×10<sup>6</sup>m<sup>3</sup>である。この体積は、200m<sup>3</sup>/秒で1日分に当たる。規模の小さいムトンガの洪水は、この死水域に取り込まれるだろう。タービンを通った、泥を含んだムトンガ川の冷たい水は、上部の水を取り込み湖底の軟土を侵食しながら、密度流としてグラウンドフ

オールズ貯水池を端から端まで流れる。これらの効果をシミュレートするには、一回に2、3日分しか計算できない細分化された三次元格子モデルが必要であり、今回の調査の範囲外であった。

カジタ川からの多量で冷たい土砂を含んだ流れも、同様に挙動するだろう。しかし、グランドフォールズ貯水池の490mにある取水口下の死水域の容積は、約 $260 \times 10^6 \text{m}^3$ で、ムトンガ貯水池よりもずっと大きい。この死水域は、カジタ・ムトンガ両川からのシルトと泥でふさがると思われる。より粗い砂成分は、この2つの支流の浸水した従来の溪谷に、デルタを作るだろう。

取水口近くの乱流が、死水域の細粒を浮遊状態に保つかもしれない。死水域からの排水を促すためには、より低い位置の出口を設置することが現実的かもしれない。死水域が満たされると、ムトンガ・カジタ両川の冷たい土砂を含んだ洪水の水は、貯水池の底の軟土を侵食しターピンを通して運び、貯水池から有機物の泥を放流するだろう。

洪水中の粘土と栄養物の量を評価するためのデータが現在不足しているため、この章で提示された予測は、貯水池の水質へのまれな洪水の効果を明らかにしていない。

#### 泥フロックの沈降速度

キャンベレ貯水池の比較的希薄な浮遊する泥の流量と分布の分析によれば、個々の粘土粒子が、約 $5 \times 10^{-6} \text{m}^3/\text{秒}$ と推定される非常に小さいが重要な沈降速度をもつ小さなフロックを形成するのに十分な塩分が溶解している。この値がモデルに使われ、ほぼそれにより貯水池での沈殿率が決定する。第二の要因は、浮遊物が沈殿するのを妨げる速度である。

ムトンガ貯水池での泥（粘土）の沈殿率は、既存のキャンベレ貯水池の典型的な乾季と雨季の状態で観測された沈殿率から、滞留期間の違いを考慮に入れて、おおまかに評価された。

貯水池での泥の推定沈殿率

		ムトンガ	低グランド フォールズ	組合せ
雨季	沈殿率	8%	54%	60%
	流入量 (トン/日)	1,400	1,496	1,728
	流出量 (トン/日)	1,290	690	690
乾季	沈殿率	38%	79%	86%
	流入量 (トン/日)	224	174	258
	流出量 (トン/日)	140	36	36

沈殿が可能な臨界速度は、試行錯誤により約20mm/秒であると決められた。つまり、キャンベレ貯水池で観測された値と比較して、ムトンガ貯水池で現実的な沈殿率を導くように調整された。

乾季の2つの貯水池での沈殿率は、泥の流れが一定の沈降速度をもつとモデルは仮定しているので、過大評価されているかもしれない。現実にはおそらく、浮遊フロックの衝突確率が減るので、泥の濃度が減るとともに沈降速度は減ると思われる。

モデルでは泥は、所々で急勾配の、貯水池の浸水した側面へ沈殿すると仮定された。現実には、沈殿した泥のうちかなりの量が、貯水池の底に流れるあるいは落ち込むと予想される。これにより沈殿物の厚さが増し、もし沈殿物が腐敗する有機物をかなりの割合で含んでいるとすれば、最低層での局所的な水底酸素要求量が増すだろう。

#### 藻類からの窒素のリサイクル

三次元解析では、基本的な予測テストでは、ゆっくりと沈殿する分解する藻類からの窒素のリサイクルがシミュレートされた。分解率は遅い BOD に近い、つまり  $0.046 \text{ d}^{-1}$  と仮定された。その結果生じる溶解有機窒素は  $0.046 \text{ d}^{-1}$  の割合で加水分解してアンモニアになり、それは  $0.26 \text{ d}^{-1}$  の割合で酸化してニトロ化すると仮定された。しかしこのプロセスは非常に長くかかるので、藻類はほとんどが窒素へのリサイクルをする前に湖底に沈殿する。

いったん沈殿した窒素は湖底に固定されると仮定する。したがって基本テストでは、貯水池内の窒素の最低リサイクル状態をシミュレートしたことになる。

しかしモデルによれば、最初の 2、3 年間は沈殿物の水底酸素要求量は比較的小さいので、その上の水はかなりの酸素を含み、沈殿物は低密度だと推定される。おそらく有機窒素は窒素に還元されずに、軟泥を通して上部の水に拡散されるだろう。理想的な状態では、長期的に平均すれば、湖底からの有機窒素の垂直方向の拡散率は、藻類の窒素の沈殿率とバランスすると推定される。

この理想的なリサイクル率の効果をテストするために、すべての窒素が腐敗する水底沈殿物から水中へと、可溶有機窒素という形でやがては放出されると仮定して、低グランドフォールズ貯水池のモデルが再計算された。下表に示されているように、この効果は、深水層および流出水中の硝酸塩の濃度を 26% 増加させた。[沈んでいく藻類とリサイクルされた窒素が、キャンベレ貯水池の深部の水の脱色の原因かもしれない。]透明な貯水池から出発して 230 日後、硝酸性窒素の毎日の流入の 30% のみが、低グランドフォールズ貯水池に沈降した。アンモニア性窒素と有機窒素の毎日の流出にも、少しの増加があった。

表面層での藻類の生育は、垂直混合がないため、沈殿物からの窒素のリサイクルによってほとんど影響を受けない。溶解した酸化窒素（硝酸塩）は通常、利用可能溶解無機窒素の 95% を構成する。アンモニア濃度は普通は低い。

典型的な乾季および雨季中の貯水池の硝酸沈殿率は、下表のように予測された。

貯水池の水底窒素沈殿率

	ムトンガ	低グラント フォールズ	組合せ
<b>雨季</b>	100 日	100 日	
水底でのリサイクルなし			
沈殿率	10%	26%	38%
流入 (トン/日)	11.9	12.5	13.6
流出 (トン/日)	107	8.4	8.4
水底でのリサイクルあり			
沈殿率	8%	17%	29%
流入 (トン/日)	11.9		
流出 (トン/日)	10.9		
<b>乾季</b>	100 日	230 日	
水底でのリサイクルなし			
沈殿率	22%	48%	55%
流入 (トン/日)	1.8	1.5	1.8
流出 (トン/日)	1.4	0.8	0.8
水底でのリサイクルあり			
沈殿率	17%	32%	42%
流入 (トン/日)	1.8	1.6*	1.9
流出 (トン/日)	1.5	1.1*	1.1

\* ムトンガ貯水池でのリサイクルを組み入れて調整

磷分

モデルは、利用可能溶解無機磷の推定量を使って計算された。川の中の溶解磷分の濃度は、0.01-0.05mg/l と変化した。ムトンガ川の 4EA7 での 1995 年雨季の観測によれば、粒子状磷分濃度は、すべての浮遊固形物の平均乾燥重量 12,000ppm のうち、平均約 2ppm であった。これは、磷分濃度 0.024mg/l に相当する。酸化力のある状態では粒子状磷分は粘土粒子の上に強く付着し、植物性プランクトンにとっては利用できないので、湖底の沈殿物に沈着すると仮定された。

貯水池の溶解磷分推定沈殿率 (水底でのリサイクルなし)

	ムトンガ	低グラント フォールズ	低グラントフォールズ+ ムトンガ
<b>雨季</b>			
沈殿率	22%	41%	53%
流入 (トン/日)	0.62	0.50	0.62
流出 (トン/日)	0.48	0.29	0.29
<b>乾季</b>			
沈殿率	50%	73%	82%
流入 (トン/日)	0.11	0.07	0.11
流出 (トン/日)	0.06	0.02	0.02

## 貯水池の経年変化

ムトンガ・カジタ両川からの粒子状の有機物の累積的沈殿が、両貯水池の死水域の水底酸素要求量を上げると予想される。これがDOレベルを押し下げ、ある場合には酸素欠乏状態になる。

バッチャーニ (1994) は、キンダルマ、カンブル、ジタル、マシंगाそしてキアンベレの各貯水池からの現地データを利用して、25年間でN/P比が10から100へ増大すると仮定した。これは磷による制限が増し、主な藻の種類が変化することを意味する。また、連続した各貯水池での栄養物、粘土および有機物の累積的沈殿の効果がある。しかしグランドフォールズ貯水池には、ムトンガ・カジタ両川から希釈されていない栄養物と有機物が流入する。

## 一次的産物

マブチ (1996) は、以下のプランクトンがキャンベレ貯水池で発見されたと報告した。

<i>Nitzschia</i> 種、	<i>Microcystis auriginosa</i> ,
<i>Synedra</i> 種、	<i>Melosira</i> 種、
<i>Botryococcus</i> 種、	<i>Ceratium</i> 種、
<i>Cyclotella</i> 種、	<i>Cryptomonas</i> 種、
<i>Rhodomonas</i> 種	

しかし、ケニアのどの水域でも藻類の生育率に関するデータはない。さまざまな動物プランクトンや小魚による捕食率についての情報もない。

モデルで使用した反応係数は下表に示されている。最大生産力の50%をもたらす栄養素の半飽和濃度は、以下の通りである。

硝酸塩	0.1mg/l
磷分	0.014mg/l

最大生産力をもたらす光の強度は  $17\text{cal}/\text{cm}^2/\text{時}$  であり、アフリカでは低過ぎる。植物プランクトンの死亡率は、一定値  $0.35\text{d}^{-1}$  と定められた。

表面層の葉緑素 a と DO 濃度モデルに関するモデルの予測は、これらの定数に依存する。キャンベレ貯水池で観測された状態を試行錯誤によりシミュレートすることで、これらの定数を最適化することができるだろう。

## 反応定数

BOD:率、t係数、腐敗率	0.23	4.7	0.2
速い有機窒素:率、t係数、腐敗率	0.23	4.7	0.2
硝化 AM:率、t係数	0.26	4.7	
酸化窒素の脱硝:率、t係数	0.0	4.7	
酸素交換係数 (m/時)	0.037		
再アエレーション係数と率	1.6	0.5	
硝酸塩:半飽和値、N-炭素・植物プランクトン比	0.1	0.16	
磷酸塩:半飽和値、P-炭素比	0.014	0.024	
シリカ:半飽和値、SI-炭素比	0.00	0.00	
最大生産力に対する勾配と切片の値	0.037	-1.564	
最大生産力のための光の強度 (cal/cm <sup>2</sup> /時)	17.0		
最大呼吸率 (gC/H)、呼吸パラメーター	0.02	2.2	
光の消衰係数:植物プランクトンと藻類	1.7	0.85	
植物プランクトンの死亡率	0.35		
藻類:腐敗率、腐敗の温度係数	0.046	4.7	
植物プランクトンと藻類の沈降速度 (mm/秒)	0.001	0.1	

### 日中の加熱

理論的な快晴状態での太陽光の分析によれば、光は年間を通してわずかにしか変動せず、モデルで使われた値は年間を通しての代表値である。しかし観測された雲の密度を評価することはできなかった。

モデルは、夜間の表面層の不安定性と拡大を引き起こす、表面層の日中の加熱と冷却をシミュレートすることができる。しかし、蒸発による損失も考慮しなければならないので、完全な熱のバランスを求めるにはデータは十分ではなかった。

日中の加熱は、貯水池主要部と比べて表面層の平均水温を上げる効果をもつ。これは安定な密度勾配をもたらし、有光層とそれよりもずっと大きなそれ以下の部分との間の、垂直方向の攪乱をほとんど完全に抑制する。この効果は、貯水池の上層間での垂直混合が無視できると仮定することでシミュレートされた。

### 風の効果

キンダルマ漁業基地で観測された風速は、年間を通じて平均 65 マイル/日、つまり 1.2m/秒であり、貯水池への影響はほとんどないだろう。しかし、約 5m/秒を超える値になると表面層は風下に引きずられ、湧昇流と垂直混合を引き起こす。したがってまれな強風は、正常な熱的に安定な層形成を乱し、栄養豊富な水を表面に引き出し、藻類の突然の生育をもたらし得る。モデルはこのようなまれな事象をシミュレートできる。しかし希な事象だとすれば、貯水池の栄養バランスには影響しないだろう。



## 局所的な汚染

バクテリア数が増え、地元の住民がタナ貯水池の水を飲料用に使えないという、報告されている問題は、おそらく、排出が少ない日に貯水池内に、地元（つまり上流）の都市汚染物質が沈殿することに関係している。

### (11) 結論

- 1995年乾季の9月と雨季の11月に、キャンベレ貯水池、ムトンガ・カジタ両支流とタナ本流の水質調査を行ない、三次元モデル解析によって、ムトンガとグランドフォールズ貯水池から流出する水の水質と土粒子についての解析を行なった結果、モデルでは、ムトンガの流出水が引き続きグランドフォールズ流入するとして、確率20%と80%の河川流量を雨季と乾季の代表流量とした。
- キャンベレ貯水池の観測記録の分析によると、粘土粒子の浮遊分の15～20%が、溶解自然塩分(75ppm)によって緩く集塊化し、 $5 \times 10^{-6} \text{m/sec}$ 程度の速度で貯水池に沈殿する。
- 解析の結果、粘土粒子の浮遊分の約60%が磷分と有機物の約85%を伴って、主に低グランドフォールズ貯水池に、雨季・乾季を問わず沈殿すると予想された。沈殿中の細粒分からの有機窒素の再発生の状況の下で、溶解窒素の40%が雨季に50%が乾季に貯水池内に沈殿する。もし湖底に沈殿した藻類からの有機窒素のリサイクルが加われば、沈殿率は25%と40%に低下する。
- ムトンガとカジタ川に洪水が起こるときには、洪水は低温の密度流となって湖底の軟土を侵食しつつ流下して、定量的算定は未だだが、グランドフォールズ貯水池内を多くの量の浮遊シルト・粘土が移動し、死水域に沈殿するかターピンを通過して下流に排出されると予想される。
- モデルでは、風による強い対流がなければ、溶解非有機窒素のリサイクルが貯水池の下層で起こっても、表層での藻類生育に与える影響は少ないと予想された。
- 湖底の沈殿物に捉えられた磷分のリサイクルは容易ではなく、光合成帯での直物性プランクトンの発生には寄与しない。モデルでは、流入する比較的少ない量の磷分の内95%が貯水池の捕捉され、窒素分不足によって表層での藻類の発生は押さえられると予想された。
- モデルでは、2～4m深度の光合成帯が発生し、そこでの葉緑素-a濃度が光の浸透度と栄養分の水平浸透度によって5～15mg/m<sup>3</sup>に変化すると予想された。モデルでは又両貯水池の底部で中程度の溶存酸素不足が起こり、それは湖底の酸素要求量を上げる沈殿有機物の集積によって時間と共に強まると予想された。
- モデルによる予想は、タナ川貯水池特有の藻の種類と生育条件の違いの影響を受けるので、さらに調査し、モデルの係数を既存キャンベレ貯水池でのシミュレーションによって決定すべきである。
- ムトンガ・カジタ川での浮遊土、有機物、単体・溶存栄養分と流量の相関を求める必要が

ある。又、モデルによって、太陽熱と風の影響を加味しつつ、長期解析をおこなうためには、日水文資料とそれに関連した沈殿・汚染負荷の記録が必要である。

- ・ 細分化した計算格子での三次元モデルを用いて、ムトンガとカジタ川からグランドフォールズ貯水池を通る沈殿物を含んだ洪水の挙動の詳細解析が必要である。

#### 4.3.5 湛水所要時間

貯水池の湛水に必要な時間はその時の雨量による。湛水所要時間をグランド・フォールズでの日流量と貯水池運用の以下の組み合わせの放流ルールで推定した。

1.	最小下流環境維持放流量	30m <sup>3</sup> /s
	貯水池からの追加放流量	なし
	貯水池湛水に使用した流量	100%
2.	最小下流環境維持放流量	50m <sup>3</sup> /s
	貯水池からの追加放流量	なし
	貯水池湛水に使用した流量	100%
3.	最小下流環境維持放流量	30m <sup>3</sup> /s
	貯水池からの追加放流量	流入量の25%
	貯水池湛水に使用した流量	100%
4.	最小下流環境維持放流量	50m <sup>3</sup> /s
	貯水池からの追加放流量	流入量の25%
	貯水池湛水に使用した流量	75%

グランドフォールズにおける日流量を使用して、シミュレーションを実施した。上記の放流ルールに基づいて貯水池の湛水時間を算定した。蒸発による損失は、マリマニメッチ観測所の月間平均蒸発記録を使用した。各シミュレーションを1,000回実施し、その結果得られた湛水期間を求めると以下の通りである。また図4.3.5は低グランドフォールズ貯水池の湛水可能性を各操作基準について示している。

ルール	70%確率	平均時間	最小時間	最大時間
1	153 (5.1箇月)	121	22	300
2	205 (6.8箇月)	161	31	379
3	184 (6.1箇月)	143	22	443
4	248 (8.2箇月)	191	31	577

ルール	平均時間	最小時間	最大時間
1	15	1	46
2	18	1	97
3	20	1	61
4	25	2	126

C:高ランド・フォールズ				(日)
ルール	70%確率	平均時間	最小時間	最大時間
1	632 (21 箇月)	516	221	996
2	743 (25 箇月)	615	236	1,286
3	811 (27 箇月)	698	332	1,240
4	895 (33 箇月)	823	380	1,625

ムトンガの湛水時間は平均 15-25 日と比較的短い。

低ランド・フォールズの湛水時間は平均 121-191 日、最大では 577 日とかなり長い。平均ではなく 70%の確率とすると、153 日 (5.1 箇月)-248 日(8.2 箇月)となる。

一方、高ランド・フォールズの場合には、最小でも 220 日であり、70%確率では 632 日(21 箇月)から 895 日(33 箇月)、最大では 1,635 日(54 箇月又は 4 年半)かかる。このように長い時間がかかれば、上流や雨の状況に関わらず、2-3 年の長い渇水が下流で起こったと同じ状況になる。

#### 下流の水利用への影響

ムトンガでは下流系への有意な影響はない。

それに較べて、低ランドフォールズでは下流の水利用への影響は大きい。30 - 50m<sup>3</sup>/s の放流はランドフォールズ月平均流量よりかなり低い。放流を最大とするルール、即ち 50m<sup>3</sup>/s に流入量の 25%を加算する場合は、70%確率で 8.2%箇月であるが、下流である年に厳しい乾季渇水が起こった状況、即ち、下流の酸い利用者が湛水時間中渇水状態に置かれるに等しい。

#### 緩和策

渇水救済・食糧援助以外に緩和策はない。下流域は今、自然渇水と上流既設ダムの湛水によって引き起こされた疑似渇水による過去の低水期の影響から回復しようとしているところであると思われる。

この渇水期間は乾季の放牧を氾濫原の洪水に頼っている放牧民に与える影響が大きい。これがなければ、放牧民とその家畜は放牧適地を求めて長距離の移動を強いられる。渇水避難場所は現在タナデルタであり、既に安全問題が厳しい地域での放牧圧力と社会的緊張を大きく高める結果になると思われる。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の 16.2 節に記述している。

#### 4.4 下流人口と環境

##### 4.4.1 人口数と予測

ランドフォールズの直下流でタナ川はタラカ〜ニチ地区を流れる、そこではメルー・タラカ部族が牧畜と小規模灌漑を行なっている。そこからタナ川は南に向かってムインギ地区の境界を走る。そしてタナ下流流域に入るまで、ボランとソマリ部族が河沿いに混在するイシオロ地

区に接する。イシオロ地区では、タナ川はガルバトゥラ地区の近くを流れるが、そこにタナ川から離れて生活条件が整い安全であるキナ市を中心として 1996 年推定で約 15,000 人が住んでいる。面積比で見るとイシオロ地区の住民は 9,600 人であるが、広い地域で住民の生活は多かれ少なかれ乾季にはタナ川に依存している。

タナ川下流流域の殆どはタナ川・ガリッサの二つの地区に属する。ガリッサ地区はタナ流域を越えて広がるけれども、この地区の住民は、特に乾季には、全て河と河川沿いの氾濫原に依存している。二つの地区の 1996 年推定人口は、キリヒとラムーのタナ流域部を加えると、350,000 人であり、プロジェクトの完成時(2005 年)には 452,000 人増加しよう。ガリッサの主要部族は、国勢調査にはオガデンとあるソマリ系であり、タナ川の主要部族はオーマとポコモである。この地域の人口予測と部族は下表の通りである。

地区	(人)		
	1989 国勢調査	1996 予測	2005 予測
ガリッサ	134,597	138,759	144,300
タナ川	137,987	182,705	262,118
ラムー	7,020	11,140	20,169
キリヒ	13,608	17,931	25,565
合計	293,212	350,535	452,152

部族	(%)	
	タナ川地区	ガリッサ地区
ソマリ	1	84
ポコモ	37	<1
オーマ	33	<1
デゴディア	<1	3

国勢調査での部族分類は例えばオーマとワーダイを区別せず経済的活動区分によっており、上表は実情を単純化して示すものである。しかし、計画貯水池下流でタナ川に多少とも依存している人口のおおよその分類を下表のように示すことが出来る。

(人)

地区	主部族	1989 国勢調査	人口予測			タナ川 依存度(%)	2005タナ 川 依存人口
			1996	2000	2005		
タラカーニ ティ・タラ カ	メルー・ タラカ	74,929	91,500	102,600	118,400	50	59,200
ムインギ・ キュソ	カンバ	103,325	126,800	142,600	165,100	20	33,000
イシオロ・ ガルバテユ ラ	ボラン	11,188	15,400	18,400	23,100	50	11,600
ガリッサ	ソマリ	134,579	138,700	141,200	144,300	100	144,300
タナ川	ポコモ・ オーマ	137,696	182,300	214,000	261,600	100	261,600
ラム	ラム	7,020	11,100	14,500	20,200	100	20,200
キリビ	オーマ	13,608	17,900	21,000	25,600	100	25,600
合計		386,680	483,100	551,800	653,600		555,500

プロジェクトの完成まじかの2005年には、タナ川に依存する下流域の人口は555,000人になると予測される。Supporting Report (2) の第15章に社会経済圏による分類が詳細記述してある。

#### 4.4.2 下流環境

##### (1) 氾濫原草地

タナ川氾濫原とデルタでは氾濫原草地が大きな範囲を占めており、上流でのダム建設による負の影響を最も受けそうな生息地であると推定される。氾濫原草地はタナ川のほとんどの地域の多数の家畜の乾期放牧としての生命線であり、これらの草地に対する影響はかなり大であると考えられる。これらの草地に関する詳細情報は少ないが、他地域からの研究によっていくつかの重要な側面が明らかになっている。

アフリカ全土にわたって、氾濫原草地は多くの家畜と野生草食動物を維持している。その貢献の主な要因は氾濫原の草地の質の良さであるが、定常状態における氾濫原草地の最も印象的な面は、その体系の中で物理的部分と生物的部分が密接に結びついていることである。この結び付きが氾濫原の生態系と相俟って高い保持力となる。氾濫原の生態系を形成する人と物理的・生物学的活動の伝統的統合は、微生物、植物、動物がそこでのみ発生する環境条件に順応することにより始めて成り立っている。

タナ川氾濫原の場合、年2回発生する洪水が重要な要素となっている。

洪水の発生頻度が限度以下に減少した場合、氾濫原草地群特有の植物種は必然的に、隣接する非氾濫原草地に変化していく。氾濫原草地の植物種は天然蛋白質分が比較的多く良質である。さらに、乾燥しても味がよいが、非氾濫原の草は乾燥すると味が落ちる。従って、草の生産性が同程度であっても、氾濫原種は草食動物にとって常により魅力的であり、より高い牧養力を持つことになる。

従って、洪水の減少は草地種の構成に変化をもたらすと見られている。この結果、これは家畜（および野生動物）の牧養力の減少につながるのである。家畜は下流体系の多くにとって重要な経済的かつ文化的要素であり、このような影響は意義があり計り知れない。

## (2) 河川沿いの森林

ガリッサとデルタとの間で、タナ川は、その土壌と排水・地下水条件によって河川両岸の上昇地盤や旧タナ川沿いの両岸に限定して、河川沿いに点在する森林を維持している。潜在蒸発量は雨量をはるかに超えており、これらの森林は、それがなければ乾燥地であるが、タナ川からの地下水供給の恩恵に与って存在している。30 m にも成長する河川沿いの森林は半落葉種の常緑樹木で覆われており、隣接する地下水によって広大な広がりを見せている。周囲の植生は乾燥森林地帯及び森林草地（サバンナ）として分類されている。

これらの森林は希少かつ固有の植物種をもつばかりでなく、特有で絶滅に瀕している霊長亜種 2 種にとって生息地となっているので、保存の点でも非常に重要であると見られている。しかし、急速な人口増加によって高まった土地需要に伴い、これらの森林は徐々に減少の一途を辿っている。さらにブラ・ホラ灌漑計画において適切な企画実施が欠如していたために、森林面積が大幅に失われてしまった。生物の多様性を保存するためにも、現在コラ下流の一部の地域が国立公園・保護区として保護されている。この河川に沿って点在する最適な状態の残存森林を保存するために、1976 年に国立タナ川霊長類保存地区（TRPNR）が設立された。

タナ川下流沿いの森林はその保存の重要性ゆえに詳細研究の対象となっており、中でも TRPNR に関するスタディに最も強い関心が寄せられている。スタディは全て、川相が森林の存続にとって重要であることを示している。森林の再生は河川を溢流する洪水によっており、その成長と生物気候学は河川水位の上昇と下降に密接に関連している。自然人の再生は、通常ガリッサ地点で 500 m<sup>3</sup>/秒を超えるときに発生する溢流洪水に全面的に依存している（500 m<sup>3</sup>/秒は通常洪水が発生する境界である）。

### 森林に生息する霊長類及び希少植物種

タナ川森林は絶滅危機のタナ川レッドコロブス (*Colobus badius rufomitratu*s) およびタナ川カンムリマンガベイ (*Cercocebus galeritus galeritus*) にとって唯一の生息地であるために、国家・地域・地球規模的に重要である。タナ川河川森林の固有な生物多様性を保存する目的で、全面積 169 km<sup>2</sup> を有する TRPNR が 1976 年に設立された。

これらの森林に含まれる他の霊長類は sykes monkey (*Cercopithecus mitis albotorguatus*)、ザンジバルガラゴ (*Galago zanzibaricus*)、ベルベットモンキー (*Cercopithecus althiops*)

pygerythrus)、イエローヒヒ (*Papio cynocephalus cynocephalus*)、ガーネットガラゴ (*Otolocur garnettis*) およびセネガルガラゴ (*Galago senegalensis*) である。

これらの絶滅危機に瀕した霊長類種は、それらの食料及び特殊生息構造の維持のためにも、これら河川森林で数多く見られる特定森林樹木種に依存している点に注目すべきである。従って、これらの森林樹木種の維持は霊長類そのものと同様に重要となる。

さらに、これまで少なくとも 5 種の種が希少として確認され、3 種が絶滅危機として分類されている。

小規模な保護地域と合わせて、氾濫原森林を減少又は衰退させてきた要因は、これら森林の長期保存を危機にさらしている。霊長類の保護は、良質の生息地、高さが 10 m 以上の樹葉の天蓋閉域および多様な食料源に依存している。レッドコロブスは特に森林の構造特徴に大きな関連性と依存性を示しており、天蓋閉域のあるそそり立つ森林を好む（地上に降りてこない）。これらの森林は、*Ficus sycomorus*、*Pachystela msolo*、*Sorindeia madagascariensis*、*Diospyros mespiliformis*、*Garcinia livingstonei*、*Mimusops fruticosa* および *Acacia robusta* に占有されている。高度マンガベイ群も同様な森林構造に関連しており、コロブスが満足するような森林の保護もマンガベイの保存を促進することをうかがわせる。霊長類全ては点在する森林内部の方を好み、森林地域を削減することに対しても非常に敏感である。

河川森林に生息するある種の希少・絶滅危機植物種

希少	絶滅危機	不連続分布
<i>Acalypha echinis</i>	<i>Coffea sessiliflora. sessiliflora</i>	<i>Diospyros kabuyana</i>
<i>Alafia microstylis</i>	<i>Cynometra lukei</i>	<i>Pachystela msolo</i>
<i>Anisocycla blepharosepala. tanzaniensis</i>	<i>Pavetta sphaerobotrys. tanaica</i>	<i>Populus ilicifolia</i>
<i>Oxystigma msoo</i>		
<i>Uncaria africana africana</i>		

保存地域から上流に向かって、霊長類にとって重要な食料源の損失と森林構造の全体的な衰退が見られる。これらの変化は、乾燥が進む環境と相俟って、種が豊富な海岸植物相がますます遠のくことで説明がつく。この地域の森林は、保存地域内の森林に関連して種の多様性が少なく、構造が低下している。従って、1 つの森林地域の損失は必ずしも、他の地域の保存によって補われるものとは限らない。

#### 森林生息地の損失

環境変化および人間の活動はタナ河川森林の分布と生態に多大な影響を及ぼす。

主な森林の損失は農業開墾が原因である。1960 年と 1985 年の間に森林地域の 56% が、大半は農業従事者の森林開墾のために現在の保存地域内で失われたと見られている。また森林が可能な地域の再生と植民地化も、それがなければ先端森林として適している初期氾濫原地の開墾によって制限されている。遊牧民 Orma は牧草地の整備拡張のために高原植林を燃やすので、森林境界に草が浸食された。

更に、森林構成・構造に対する影響は森林生産物の使用から起こるが、必ずしもこれは森林面積の損失につながるとは限らない。一般的に燃料や薬用としての植物源の伐採は、その伐採が持久不可能なレベルまで行われなければ森林に著しい影響を及ぼさない。燃料の大半は周辺の灌木森林地から伐採されている。薬用植物はほんの少量の植物しか使用されていなく、採集頻度も少ない。最も著しい伐採活動は、カヌー・蜂の巣用の成熟木の伐採、建築目的のためのポールの除去、およびマットや屋根作りのためのヤシ葉の切り倒しである。

地域外からが多い大規模人口の移住のためブラ・ホラ灌漑計画の開発は、直接的にも伝統的放牧・農業活動に対しても地域住民に対しても劇的な影響を及ぼしている。その結果、燃料・木炭への需要が著しく増大した。今では Wema-Hewani 地区の下流森林はタナ川デルタ灌漑計画 (TDIP) の開発によって危機にさらされており、ポルダー (干拓地) の主要森林区画の完全損失が危ぶまれている。

#### 河川森林、河川放流および地下水

生態系において第一エネルギー源は水流、氾濫頻度・期間 (水期間) および伴う堆積物の増減である。これらの森林は多かれ少なかれ、氾濫と地下水に依存している (それ自体は全体的にせよ部分的にせよ氾濫によって水を補給されている)。実際に氾濫源に限られているこれらの存在はこの要件を反映している。低タナ森林の大半であるホラからガルセンにいたる地域一帯の年間平均降雨量は毎年 550 mm 以下を記録する。これらの森林を持続するために降雨だけでは十分でないのが明白である。

タナ川の例年の氾濫は主に、4 月から 6 月初旬および 11 月から 12 月までの数カ月間に発生する。タナ氾濫原の地形は川床の浸食と泥の堆積の過程から起こり、様々に変化する。川床は片方向に移動するので、その地形は廃棄 point bar 堆積物によって形成される蛇行スクロール・海嶺・隆起、および遮断されて残留蛇行湾曲となった牛角湖が特徴である。

溢水が川堤を越流すると、水流の速度は低下し浮遊物が堆積する結果となる。粗粒物が川堤近くに堆積し、続いて起こる氾濫と縦方向に作用して堤防を形成する。河川森林が進化するの、比較的粗くて水はけの良い堆積物で構成されるこれらの堤防上である。頻度の少ない氾濫期間中、水位が降下するとき粗堆積物に急激な排水が起こる。堤防から氾濫原内部の方向に、より細かい堆積物が蓄積される。これからできる土壌は水はけが悪くなる傾向にあり、長期間の氾濫にさらされ逆流沼地を形成する。これらは漁業にとって非常に重要になりうる。

自然河川流下条件のもとでは、洪水の程度と氾濫の頻度は氾濫原内では反比例する傾向にある。すなわち、自然流下では、ほとんどの氾濫源に影響を及ぼす大規模・低頻度の洪水から、氾濫原内のより低い箇所だけに影響のある小規模・高頻度の洪水へ移行する。大洪水 (「通常」氾濫以上) の要点を下記に要約した。



大規模・低頻度の洪水	牛角湖や残存堤防のように何百年間も継続する大きな特徴を持つパターンを決定する。 流量 3,500 m <sup>3</sup> /秒以上を記録した 1961 年の氾濫はコンゴ牛角湖を形成した。1969 年の氾濫 (流量 2,000 m <sup>3</sup> /秒以上) はバオモ牛角湖を形成した。過去数年の大規模洪水は排水され、バオモ湖を事実上本流に追いやってしまった。
中規模・中頻度の洪水	何十年から何百年の寿命をもつ種関連の帯状分布のような生態系構造パターンを決定する。 これらの洪水は冠水農業にとって第一に重要な点でもある。この種の農業が依存する地形の多くは、少なくとも部分的にこれらの洪水によって決定されるからである。
小規模・高頻度の洪水 (通常氾濫)	発芽や苗木の存続のような短期パターンを決定する。

氾濫原内の植物種の構成は洪水頻度と期間の変化の度合いによるが、それは氾濫と土壌通気の関連要因に対する種の反応を反映している。氾濫に適合した植物種の多くの苗木は、極度な飽和状態または低水ポテンシャル状態のいずれかの条件のもとで最適成長率を示す。

#### 森林の川流への依存度

森林依存度	水文要件
発芽	低強度・高頻度洪水:適度な土壌湿度を供給する。中規模洪水は芽生えた苗木を浸水させてしまう傾向にある。この氾濫は表土の外形を排除してしまう。
苗木の定着	乾期間に地下水が上がるが、依然として過剰洪水が先行しない。
第一生産性	沈殿物の堆積:高栄養沈殿物の季節堆積の結果として高バイオマスの生産
新河川環境の形成	高強度・低頻度洪水または中規模・低頻度の洪水は、関連 point bar 構造をもつ新しい牛角形物と川路を形成する結果となる。

タナ氾濫原の乾燥状態のもとでは、入手できる資料によると河川森林種の発芽は小規模・高頻度洪水に依存する。が、苗木の定着は乾期間に利用できる土壌中の水に依存する (低水流量による土中の圧力は最も厳しくなることが予想される)。

特別にタナ河川森林の第一生産に焦点を当てた研究はないが、同様の生態系は非常に高い率の第一生産をもつ傾向にあり、通常は大量のバイオマスを支えている。この原因の一部は上流から派生する高栄養沈殿物の季節堆積である。高地の土壌の栄養が比較的に良くない場合でも、比較的小規模の氾濫原へ定期的に流入・集中することで河川生態系の栄養源が大幅に変化する。

生態系全体ベースにおいて、低タナ河川森林の機能は外来物 (水、栄養、沈殿物) の流入にかなり依存している。同様の生態系からの情報によると、これらの流入のいずれかに及ぼす影響は第一生産を減ずるので、生態系全体にも及ぼすそうである。この後急速な生態系劣化が起こる。

#### 最近の植生変化

1994 年の第 2 期雨期の前に、TRNPR における森林地域の最後の洪水が 1990 年に発生した。この

以前の 8 回の洪水期間では効果的な氾濫が皆無であった。恐らく上流ダム建設の長期間の影響ほど過酷でないとはしても、この一連の小洪水または無洪水季節はダム建設後の典型的な現象であると考えられた。

牧草・灌木種は天蓋樹木より敏感に環境変化に反応することが認められている。特殊天蓋樹木種に関連した牧草・灌木種が分かれば、短期データをベースに連続傾向を決定するのが可能となるであろう。現在の研究に関しては、植生データは、TRPNR の点在森林内の 4 つのトランセクト（植物群落）にそって 1989 年に設置された 55 の常設標本調査区から収集された。このデータは同じ標本調査区から収集されたものより早い時期のデータと関連して分析された。

ある特殊な地区であるバオモ植物群落は特に興味深い。この一組の標本調査区は 1990 年 1 月に洪水が発生して以来、河川水を経験していない牛角湖から始まっている。この牛角湖では過去 4 年間にわたって徐々に水がなくなってきた。その水位は 1994 年 11 月には川の水位より 0.75 m 低いと推定された。この牛角湖を境とする河川森林の過去 4 年間にわたる植物の変化は、水の減少と沈殿物の堆積の消滅によるものと考えられる。

#### 解析手法

標本調査地区内で発生した各種に対して、修正 Braun-Blanquet 方法を使用した植物の地上での割合・群落数に関するデータを 1994 年 11 月に収集した。1989 年 2 月と 3 月、同年 9 月と 10 月および 1990 年 7 月の期間にわたっても同様のデータが収集された。

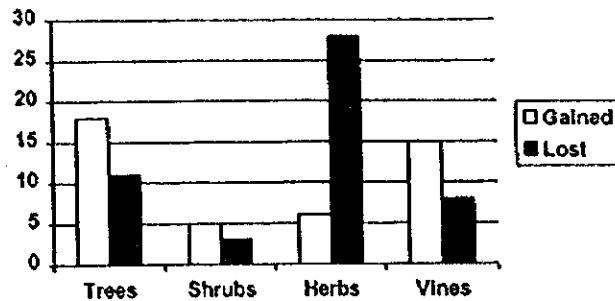
1989 年 2 月と 3 月、1994 年 11 月の間で 4 回にわたり収集された 55 の常設標本調査区からの植生データの整理は、Detrended Correspondence Analysis DCA によった。これはいかなる環境変化に関係なく、種データにおける主要変化を探索する多変数間接変化分析技術である。標本調査区は、種構成における類似点（または相違点）に基づいて減調整システムの中で配列した。標本調査区整理調整は種整理調整の平均である。この過程は 55 の標本調査地区内で発生する植物種全てを使用することで実行され、草種だけを使用して繰り返された。

#### 解析結果

ほとんどの標本調査区に関して、1989 年 2 月・3 月から 1994 年 11 月にかけて整理軸が定義する植物相空間を通して見られる移動は比較的少ない。このことは、これらの調査区で発生する植物種全て（樹木、灌木、草花、草蔦、樹蔦）を考慮に入れると、この時間間隔においてこれらの標本調査区では植物相がほとんど変化（連続）しなかったことを表している。調査区 8、9 と 10（開草地を境とするグル・ノース帯状標本地区を囲む調査区）および調査区 51 から 55（牛角湖から始まるバオモ帯状標本地区を囲む調査区）で移動パターンが見うけられる。

草種だけを使用した上記過程が繰り返されると、調査区 51 から 55 における移動は調査区 8、9 と 10 より顕著である。天蓋樹木に比べて草種は環境の変化に対する反応が速いことが既に判明している。調査区 51 から 55 に対する軌跡がより長いことは植物相構成により大きな変化があることを示唆している。初期の植生データから、1994 年 11 月にこの森林（バオモ）の草・灌木種の数はより少なかったことが明らかである。これは、同じ標本調査区からの種データの整

理がより閉じた天蓋森林に移行する傾向を連続として表した 1990 年の状態と対照を成している。下図に乾燥状態から発生したバオモ森林標本地区の最近の植生変化を示す。



植生データの分析から、バオモ森林は一般的老化が始まっているようである。

地下水源（バオモ牛角湖）から遠ざかれば遠ざかるほど、ますますこの影響が顕著となる。これは地中水利用の漸次減少の結果ではないかと見られている。1994 年 11 月のこの牛角湖の水量は 1990 年 1 月の半分以下であろうと推定された。

この森林植生が比較的短期間（4 年）で老化し始めたのは驚くべきことである。バオモ森林の連続傾向は、周辺地域によく見られるより乾燥した植生タイプに向かっている兆候が見られる。

地下水面は活発な川床から遠ざかる距離に比例してより深くなることは既知事実である。上記の結果は放流の維持減少がタナ河川森林全ての一般老化現象につながることを示唆している。

### (3) マングローブ

#### 種の構成

マングローブ生態系（植生及び動物相）は、中間最低潮と稀な春潮位の間の潮間に発生する。ほとんどのマングローブ樹木は、塩気の多い潮流状態に耐性があり適応する。

ほとんどのマングローブ樹木は海水又は淡水の側での根組織の恒久的浸水に耐えられない。潮流と浸水状態に対して十分適応しながらも、通常 48 時間以上氾濫期間が続くと樹木は枯れてしまう。従って、真のマングローブは、河川の溢水の水はけの良い沿岸際または河口付近で発生する。海水、淡水のいずれでも 2、3 日から数カ月間留まると（季節氾濫）、低湿草地（塩の強い状態）または河川（戻り水）森林が発生する。

通常マングローブは直接の波浪または浸食作用を逃れて、比較的穏やかな水際で形成される。マングローブの成長する堆積率は樹木種の根組織の成長と均衡を保たなければならない。堆積率が高い場合、根組織は覆われ森林は立ち枯れてしまう。同様に、浸食率が高い場合（例えばクリークなどに）苗木は定着できず、成長木は浸食されることがある。

マングローブ植生は主に多数の塩生植物から成る。藻類、椰子、シダの形を取った他の植生も発生することもある。密接に関連しているのが多数の塩気の多い低湿草と塩耐性灌木である。ケニアでは 8 種のマングローブ樹木種が発生する (*Sonneratia alba*, *Avicennia marina*, *Rhizophora mucronata*, *Ceriops tagal*, *Bruguiera gymnorhiza*, *Xylocarpus granatum*, *Luwnitzera race mosa* および *Heritiera litoralis* である)。

マングローブ樹木種は様々な構造により塩気に適応してきた。(塩類腺)のように塩分を排出する種 (*Avicennia* 種および *Sonneratia* 種) もあれば、乾性形態の特徴を進化させていく種もある。氾濫および層を成していない嫌気性の土壌の問題は、表土から突き出す通気性の根組織の進化によって解決されてきた。異種が様々な根組織を進化させてきた ([鉛筆]型もあれば[膝]型もあるし二次(楕円)成長を示す根さえある)。集落を成す樹木種の根組織は、強い波浪又は河川流量にもかかわらず直立する必要性を樹木に与えている(その典型が *Sonneratia* 種と *Avicennia* 種である)。

環境に対する適応性によりマングローブ樹木種は潮間地帯における成長にも適しているが、頻繁な氾濫による土壌の嫌気性状態が無くなったとき、または水・土壌の塩気が低位になったときは他の種に負けてしまう。往々にして塩分と関連ある地球上の植物は、塩田の内部によく見られる *Sueda monoica* または *Sporobolus spicatus* のような草である。土壌の塩分含有は依然としてかなり高いが有気条件が優先となる。恒久的に洪水のある地域では(淡水沼地または湿地)、根組織が約 49 時間以上の期間完全に浸水すると植物は窒息してしまうのでマングローブ種は負けてしまう。

#### タナデルタ・マングローブ生息地

タナ川デルタでは、上記条件が完全に満たされる 3 つの異なる地域がある。現在のキビニ川河口、以前のムトタナ河口とムトキリフィである。

#### キビニ

キビニにおける現在のタナ川河口は、恒久的な川流、pointbar の原因となる溢流、川堤と戻沼地組織、および流入する塩水の影響による潮の動きの相関作用によって発生する河口マングローブ植生が特徴である。この河口は前オジクreekとタナ川を結んだベラソニ水路が掘られた 1860 年代に川の主要河口となった。以前は塩分がより強かった状態の証拠が、現在の川の両側の内部にある残存植生、および Witu キビニ道方面一帯を境にした高塩分の不毛地域の存在に依然として見られる。

キビニ河口はマングローブ植生および、その植物構成と構造がケニアでは固有な関連沼地植生を含む。この河口の地形構成によって、マングローブ森林は淡水戻り沼地森林と混じった川堤に進展してきた。同時に、*Heritiera litoralis* の成長が広域にわたって発生するのはケニアでもここが唯一の地域である。また、マングローブ森林は成長樹木とうまく進化する(通常 20 m 又はそれ以上の高さに成長する)。下表に氾濫地帯と成長するマングローブ種を示す。

### 氾濫地帯とマングローブ種

潮帯	氾濫期間	種	海拔の高さ (m)
全高位潮による氾濫地	毎日 1、2 回、毎月最低 20 日の氾濫	<i>Sonneratia alba</i>	1.7 - 2.0
		<i>Avicennia marina</i>	
中位潮による氾濫地	毎月 10-19 日間の氾濫	<i>Rhizophora</i> sp.	2.0 - 2.2
通位潮による氾濫地	毎月 9 日間の氾濫	<i>Bruguiera</i> sp.	2.2 - 2.7
		<i>Ceriops tagal</i>	2.5 - 3.0
	毎月 9 日間の氾濫 (陸側)	<i>Xylocarpus granatum</i>	2.2 - 3.0 2.7 - 3.2
		<i>Avicennia marina</i>	
春潮のみによる氾濫	毎月数日間のみ の氾濫 淡水から塩気水:塩分 0-1%	<i>Lumnitzera racemosa</i>	3.7 - 4.5
		<i>Heritiera littoralis</i>	>4.5

#### ムト・タナ

この河口は砂丘形成による直接の波浪の影響を受けない。マングローブ地域は潮流による影響が大きい。川堤と戻り沼地の特記すべき形成はない。潮流の移動は時間をかけて内陸部にクリークを形成し、塩気のある草沼地地に流入し、樹木は新しく形成されたクリーク側に集落を作る。

クリーク川堤は押し進む潮流の移動によって浸食され、それを追って *Avicennia marina* が集落を形成し、しばしば広大な氾濫原低湿草地を包囲する。草地は容易にはマングローブ樹木種には侵略されず、過剰塩分を排出し堆積によって高度を維持する溢流によって維持されている。この森林の種構成はキビニ森林のそれとは大幅に異なる。ここでは *Rhizophora mucronata*、*Ceriops tagal* および *Avicennia marina* が優勢である。

さらにマングローブが陸側だけに集中しないため、マングローブ地域が氾濫原と広大な湿原（淡水・海水性のいずれか）と相関作用を起こし、この地域はケニアでも固有の氾濫原となっている。

#### ムト・キリフィ

ムト・キリフィマングローブはまた別の地形環境にある。ここでは潮流の影響を受けた低湿地と交互に起こる砂嶺は、多かれ少なかれ沿岸砂丘と並行に発生する。キビニ地域とムトタナ地域と同様に、マングローブ生態系は砂丘構造によって海の影響を受けずに済む。ここでは特に Ras Ngomeni 方面に向かってマングローブ植生が内陸原によって制限されており、他の地域と大きく異なる。

この地域の植生は、砂丘海嶺の淡水影響と以前の川の影響によってバラエティに富む種が特徴である。これらの影響はキビニ地域が川の主要河口となった後大きな変化が見られた。このことは、現在の塩分度からして予想以上に高い旧 *Avicennia* 種樹木の存在によって説明が付く。

現在植生は再び商業用塩生産の影響を受けて変化しつつある。塩田建設用に伐採されるマングローブ植生がある一方で、活発なマングローブ植生の直ぐ後ろの塩田地域で建設されているも

のもある。塩分の増加により一部の池近くの成長樹木が大量に枝枯れてしまった。

### 関連動物相

タナ川デルタのマングローブ生息物に関連した動物相もケニアにおいて、そして恐らく東アフリカ地方にとっても固有である。それは大規模野生動物、鳥類及び魚類の3つのカテゴリーに分類できる。

### **大規模野生動物**

キピニ近隣のタナ川のマングローブ・河川植生は多数のワニとカバと関連がある。氾濫が頻繁なマングローブの背後にある川の南部地域にバッファローが棲む。ワニ、カバ、バッファローはマングローブ生息に依存していないが、これらの種のマングローブ森林との関連はケニアにとって固有であり、従ってこの地域は生態系多様性に貢献している。南部氾濫原と関連のある他の大規模野生動物は非氾濫季に氾濫原に移住してくるトビとウォーターバックである。

カメはムトタナ河口のマングローブの前野沿岸で産卵することで知られている。河川堆積荷重の変化は、上記生息物の浸食可能性を含めて沿岸配列に変化をもたらすかも知れない。

### **鳥類**

デルタで最も重要な野生動物要素は鳥類である。デルタの一部はラムサール条約で保護地域候補地となっており、南部氾濫原の一部は自然保護候補地となっている。

デルタの水鳥はタナ川デルタ自然保護地区候補地にインベントリーデータを提供したと記録されている。この天然資源インベントリーデータの目的はタナデルタ湿原生態系の基本資料を提供することにあった。水鳥は湿原の健康度の指標として使用された。

乾期（1992年6月から11月）に総数40羽、雨期（1993年12月から翌年2月）には23羽の水鳥種がマングローブで観測された。マングローブ端とクリークまたは河川の間は涉水鳥にとって臨界採集生息地であった。またクリークは赤背、ペリカン長尾鶴、アフリカダーターにとって採取地でもあった。総数275の鳥類種（地上鳥を含む）が研究地域全域で記録された。このうち79種がマングローブで観測された。

さらにマングローブは他の水鳥にとってねぐらとなる。それらの鳥はアフリカダーター、首に毛が生えたコウノトリ、白面リュウキュウガモ、サギ、コウノトリ、トキなどである。水と直接的関連はないがマングローブで観測される他の種はカーミンハチクイ、マダガスカルハチクイ、ゴールデンパームハタオリドリ、喉白ハチクイ、胸黒テリムクドリなどである。またシェキコ・クリーク沿いのマングローブに沿ってゴールデンパームハタオリドリの集落巣が見られる。ミサゴがマングローブの上に留まったり飛び回る姿が観測された。

この研究が示す全体像は、マングローブを含むタナデルタの湿原生息物種全てが重要で、デルタ生物多様性を支える上で補完的役割を果たしていることを示唆する。

### **漁業**

タナデルタは淡水氾濫（氾濫原）および塩分を含んだ塩水氾濫（マングローブ）による影響下

の地域で区別でされる。両地域とも漁業にとって保護地として重要である。

マングローブは沿岸・近海漁業を支えるとともに、エビ・魚の捕獲量及び漁場に隣接するマングローブ地域との間の良好な相関関係が見られる。他のマングローブ地域（ガジ湾と Tudor クリーク）は下記事項を示した。

- ・ マングローブはケニアの漁業を支える幼魚に対して主要な保護地を供給する。
- ・ 浅瀬近海水の食料網にとって重要な他のマイナーな種に対しても主要な保護地を供給する。
- ・ マングローブは一部の生息・海外線種にも産卵地を提供する。

他の地区での研究によると、魚類とエビ類は他の近海生息地よりも生物量においてより大量に発生することが明らかになった。食料の豊富な種類及び濁った水が主な寄与要因と見られる。マングローブクリークで観測される主要魚類群には商業的重要性のある下記の種が含まれる：スカベンジャー (*Lethrinidae*)、カナフグ (*Scaridae*)、フエダイ (*Lutjanidae*)、キングフィッシュ (*Carangidae*)、ヒメジ (*Mullidae*)、バラクーダ (*Spyraenidae*)、クロハギ・一角魚 (*Acanthuridae*)、イサキ (*Haemulidae*)。さらに、*Paneaus monodon* のような商業的に重要な種を含む6種のエビがマングローブクリークで観測された。

#### 池養殖

タナデルタ内の一部のマングローブ地域は塩又はエビの生産のために池養殖に転換された。タナカワ・キリフィ地区の境界に漁面精選エビ養殖場がある。この計画には一連の池があり、その中にエビ養殖用の水がクリークからポンプで汲み上げられる。近隣のマングローブクリークから幼生が収集され、池の中に放流される。市場向けエビの捕獲は2カ月後に行われる。他の地域を池養殖に転換する追加計画が進んでいる。

#### マングローブ生態系の一次機能

マングローブ生態系の重要な機能には下記が含まれる。

- ・ 海外の保護と他の生態系の保護
- ・ 材木、腐葉土、葉、タンニンの源ともなる、樹木、底生生物などの一次資源の生産と維持
- ・ 生息物の食料の生産・補給を通して、漁業資源、蜜、大型哺乳動物といった二次・三次資源の生産と維持
- ・ 生物の多様性の維持
- ・ 酸素生産、炭素の廃棄

#### 沿岸の保護

マングローブ資源に関する沿岸保護の機能はしばしば見落とされている。マングローブは堆積物の取り込み、防風林としての役目、栄養分の吸収によって沿岸の確立に非常に重要な機能を果たす。マングローブは均衡のとれた状態においてのみ発生する。堆積・浸食率が高すぎると

マングローブは打撃を受け消滅してしまう。この力の均衡は損なわれやすいので、自然的又は人的誘因にかかわらず大きな影響はマングローブ生態系の分布と残存に多大な影響を及ぼしうる。

マングローブ生態系と珊瑚礁生態系は密接な相関関係がある。マングローブは内陸地域から発生したり海水に浮遊する堆積物と栄養物を取り込むが、それらが珊瑚礁の方角に流れていった場合、珊瑚礁は死滅してしまう（生きている珊瑚礁は弱栄養の淡水で最も生存率がよい）。代わりに珊瑚礁は強い波浪の衝撃からマングローブ生態系を保護する。

#### **一次資源の生産と維持**

マングローブ生態系は、ポール用木材、資材、薬、漁網用のフロート、タンニンなど有用な製品を生産する植物を含む一次資源の成長を供給する。それはまた、マングローブ構造に依存する動物の再生に対しても重要な投入であり、食網の重要な側面を形成する。

#### **二次・三次資源の生産と維持**

マングローブ生態系は氾濫と潮流から堆積物と栄養物を取り込み腐葉土を生産する。それは節足・底生生物によって再生され、ほとんどが有機堆積物として消費利用が可能となる。多数の微生物が有機堆積物を糧とし、その後で魚類、エビ類、節足類や他の二次動物がマングローブ資源の一部を直接・間接的に消費している。無傷で健康なマングローブ生態系だけが動物人口を支えることができるのである。

#### **生物の多様性の維持**

マングローブ生態系の生物多様性は一次、二次、さらに他の系体の生産及び他の生態系との相関関係を通して維持される。生物勾配と生息物の供給ばかりでなく珊瑚礁系との関連および内陸資源の保護によって、マングローブ資源は特別な価値が付くのである。

#### **酸素生産、炭素の廃棄**

他の森林全ての場合と同様に、マングローブ森林は酸素を生産する。他の森林と同様に機能するマングローブ森林は炭素を遮断し、空気汚染と地球温暖化の停止に貢献する。

#### **マングローブ生態系の二次機能**

##### **雇用の直接源：林業と観光事業**

マングローブは材木、ポールおよび蜜や薬のような様々な他の製品を製造するので、マングローブは通常大量に開拓されている。ケニアにおけるマングローブの開拓は地域・商業の両目的のためである。これは収穫場地、輸送セクター及び行政セクターにおいて大量の仕事を生み出す。

マングローブ資源は観光事業セクターにとって直接の雇用源になりうる。観光客は野生動物と鳥類を観察するためマングローブクリークをボートで通過する。マングローブの中に通路を開発することも可能であろう。



## 雇用の間接源:漁業と観光事業

漁業は通常マングローブクリークの近海で行うが、その中でも漁業も開発できる。前述のごとく、カキ・カニばかりでなく商業用魚類・エビ類の大部分はマングローブ生態系に直接的又は間接的に依存している。従って、本職、素人にかかわらず漁業界もまたマングローブ資源に依存しているのである。

観光事業は時にマングローブ資源に間接的に依存することがある。ミダクリークではクリーク遊覧のボートツアーが組まれる。珍しい魚類・鳥類資源をもつクリークの存在それ自体がマングローブ機能に依存している。珊瑚礁観光事業もまた間接的にマングローブ生態系に依存している。

## マングローブ資源の利用

マングローブの地域・商業利用の多くについて前項で述べてきた。下表はマングローブの直接製品の主要利用を示す。

概して主要都市センターから遠いこともあり、タナ川デルタにおける商業開発は今のところ限りがある。

## 森林及び森林資源

世界のいたるところでマングローブ森林はかなり絶滅危機に瀕しておりケニアも例外ではない。樹木種の全ては貴重なまきを含み、従って全ての種が何らかの利用に適している。これは種のはんの一部分しか商業的に価値がない地球上の原産森林の大半とは対照的である。主要製品はボールと燃料である。木造製品は *Xylocarpus granatum*、*Bruguiera gymnorhiza* のように建物の建設用、そして *Heritiera littoralis* はボートのマスト用に収穫される。

マングローブ製品の伝統的利用

種	製品	利用
<i>Avicennia marina</i>	材木	木材と燃料
	根	小さな魚の毒針を除去する
<i>Bruguiera gymnorhiza</i>	果物	目の痛みの治療薬
	材木	ボール、木材、燃料
<i>Cerioips tagal</i>	樹皮染め	漁網の保存とマット製造
	樹皮注入	出血止め
<i>Heritiera littoralis</i>	材木	ボール、木材、燃料
	材木	ボール、木材、燃料、ボート建造
<i>Lumnizara racemosa</i>	材木	燃料とフェンス製造
<i>Rhizophora mucronata</i>	樹皮染め	マット製造
	材木	ボール、木材、燃料
<i>sonneratia alba</i>	支柱の樹皮	蚊捕り
	材木	燃料、木材
	湾曲材	ボート用骨組み
<i>Xylocarpus granatum</i>	呼吸根	釣り用浮き
	材木	ボール、木材、燃料、彫り物
	樹皮	下痢、種軟膏、虫刺されの治療薬

## 魚類、節足類、エビ類

Ungwana 湾の浅瀬は、その種全てが必ずしもマングローブ資源に依存しているとは限らないが、約 25 トン/km<sup>2</sup> の海産物（主に魚類とエビ類）を含むと推定されてきた。ムトキリフィと Ngomeni からの商業捕獲はマリンディで登録されるはずであるが、同量が直接モンバサに陸揚げされている。デルタ系から来る量の正確なデータはない。

マングローブと関連のある最も直接的な量化漁業はエビ養殖事業である。生産レベルは 200kg/ha に達し、2 か月ごとに収穫をあげることができる。主な制約は養殖場のストック用種で、これは野生のものでなければならない。

## 塩田

Ngomeni からクラワまでの塩生産はその塩田の一部がマングローブ森林の内部と背後に建設されているため、デルタおよびその隣接地域と関連性がある。塩田農場が占める現在の面積は 7.9ha で、そのほんの一部しか塩製造に使われていない。製造される粗塩の推定総量は年間 70,000 トンである。

塩産業は風が運ぶ堆積物を最小限化に食い止めるマングローブの安定力に間接的に依存している。

## 野生動物と観光事業

マングローブ地帯は湿原保護区として提案されている地域に属する。この地域は豊富な鳥類と固有の植生型と勾配を持つ。大規模や青銅物は非氾濫期に資源を利用する。このマングローブ河口の全面にある塩柵は海岸のこの地域に産卵する大量のカメが集落することで知られている。現在のところ観光事業は開発されていない。保安面が改善できれば開発も可能である。

### (4) 下流保護区

ケニアの主要な開発プロジェクトにおいては、保護区的环境評価に特別の配慮が必要である。これらの地域は今まで所属してきたより大きい地域から分離された結果、地域の生態系のバランスを変えてきているので、生態系の健全性と機能を維持するためには人間の積極的関与と管理が求められている。開発プロジェクトによって加わる直接・間接の外的影響が、この管理にかかるコストを増加させている。

既存、討画合わせて以下の 8 カ所の保護区がグランドフォールズダムの影響下にある。これら保護区の各々はダムから受ける影響度がそれぞれ異なるように生態にかかる情報の詳細度は異なる。

- メル国立公園
- ビサナジ国立保護区
- コラ国立公園
- 北キツイ・ラホレ国立保護区

- ・ アラワレ国立保護区
- ・ タナ川国立霊長保護区 (TRNPR)
- ・ タナデルタ国立湿原保護区 (計画)

グランドフォールズダムの建設による下流環境への影響が及ぶ保護区は、コラ国立公園とタナ川国立霊長保護区 (TRNPR) 及びタナデルタ国立湿原保護区 (計画) であると考えられる。以下にダム建設による影響を述べる。

### コラ国立公園

総面積 1,700 km<sup>2</sup> のコラ国立公園はグランドフォールズ下流約 100 km に位置し、同公園の北境は 65 km のタナ川である。コラの西境は北キツイ国立公園に隣接しており、東境に季節性河川の Mitamisyi 川が蛇行する。南西の Kaitthango 丘が最も高く標高約 560 m で緩やかな勾配 (0.5-0.7 m/km) を描きながら公園の北東、標高約 210 m まで辿る。多数の季節性支流 (Munone、Mthonai、Mburu、Chanyigi が有名) が全体的に北方向に公園を横切って流れる。

ガリッサにおける土砂流出は最大 6,000 pp m (1日 15 万トン相当) から、最小 400 pp m まで変化する。グランドフォールズダムの建設がその貯水池により大量の土砂を堆砂させ下流の土砂流下量を低下させることになる。タナ川はコラ地域で浸食がより激しくなるであろう。土砂流下の減少は基礎岩を形成するコラ川岸の直接的影響をほとんど及ぼさないが、公園の西端と東端における河床堆積物の減少が増大するであろう。河床堆積物上の草地帯は野生平原動物および牧畜畜にとって重要な牧草資源である。この地域一帯の河床の浸食はタナ川下流の流水特徴を大きく変えるであろう。

コラ河川植生はタナ川に沿った河床堆積 (約 100m 幅) 細長い地域に集中している。通常洪水の減少は、河床堆積物内の氾濫を減少させ植生を変化させる。

コラ国立公園内の川沿いにかかなりの数のサイとワニが生息する。サイは東端と西端によく見られる。そこでは周辺平地が十分なサイを支えるのに十分な草地を支えている。飲料や水浴び用としての川水ではなく、牧草地の利用が ASAL 地域のサイにとって制限要因である。コラサイは 1982/3 年の旱魃に大きな打撃を受け飢えて壊滅に近い状態に陥った。公園の東端と西端における河床堆積物における氾濫の消失又は減少は、サイが将来旱魃に見舞われる危険性を増大させることになるであろう。サイはケニアの保護地区外ではますます希少になりつつあるので、繁殖が活発な地域でのポテンシャルの損失は細心の注意を払って評価されなければならない。

ワニはコラ国立公園内の川沿岸全域にわたりよく見られ、目に付く地域生殖サイン (一例が大量の幼形) が設置されている。これら生殖地についての詳細がほとんど入手できないが、公園内の流水地域への変更計画がワニに大きな影響を与えることはなさそうである。

### タナ川国立霊長保護区 (TRNPR)

TRNPR はタナ川のこの地域沿いの河川森林生息地が著しく減少したことにより、1960 年代は約

100 km<sup>2</sup>だったのが 1975 年には 59 km<sup>2</sup>、1980 年代には 17 km<sup>2</sup>、そして遂に今日では僅か 9.5 km<sup>2</sup> にまで減少してしまった。河川回廊森林は連続していなく、25 から 30 のまばらな点在森林で構成されており、その各々が異なる形成、成熟、再生段階にある。歴史的に見てこのつぎはぎ的森林連続段階は、氾濫原において流れを変えてきた川の水文の変化の結果であった。1960 年から 1980 年にかけて成熟森林地域が劇的に急減した。1980 年以降、成熟森林の減少ペースは落ちたが、新たに露頭した堆積物上に開拓が進んだため、通常であれば非森林パッチに進化する成熟森林への自然的移行がなかった。最近の調査によると、TRNPR 内で森林として分類された地域は 1980 年代に消失した森林形成の 3 倍近くにまで増大したとのことである (244ha 対 74ha)。最近の森林面積の増加にもかかわらず、再生途上森林の総面積は今では深刻なほど急減しており、森林の長期未来は確約されていない。

残存森林は依然として、ケニアにおいて生物学的に見て最も多様性に富む地域であることに変わりはなく、その内容は 650 以上の植物種で、内訳は 10 の希少種、5 の土地固有種、そのうち 3 種はタナ川だけに集中している。記録されている鳥類種が 262 種 (3 種の土地固有種を含む) 及びほ乳類種が 57 種で、それには希少なハンターハーテベストとケニア固有の霊長類種 3 種であるサイクマンキー (*Circopithicus mitis alboquatus*)、タナ川レッドコロブス (*Colobus badius rufomitratu*) およびカンムリマンガベイ (*Cercocebus galeritus galeritus*) が含まれる。後の 2 種は固有亜種で保護区内とその周辺の河川森林だけに限定されている。両種は 1976 年から 1985 年の 10 年間に急激な人口減少に見舞われ (1976 年は 80%減で 250 から 300 で 1985 年は 25%減で 700)、現在はそれぞれが「絶滅危機種」「危機種」と見なされている。タナ川レッドコロブスアフリカの霊長類種のなかで最も危機に瀕した種として位置づけられている。積極的な介入と管理が行われない場合、タナ川レッドコロブスは今後 200 年間以内に 90%の確率で絶滅の運命にある。

#### タナデルタ国立湿原保護区 (計画案)

1988 年タナ川デルタ地区の保護地域に対する最初の正式計画案がケニア沿岸森林調査によって行われた。保護区計画案は面積約 300 km<sup>2</sup> の湿原生息地を含むことになる。境界はタナの東地点まで北方面に進み、そこで真東に向かうとミリマニ地点でタナ川にぶつかる。タナ川の北側を通り再びリバラマで横切り、その後現在のタナ川の東側堤防に沿い、キピニでその河口付近にたどり着く。

保護区は氾濫原草地、森林地及び低木地、マングローブ森林及び砂丘など様々なタイプの湿原生息物を保護することになるであろう。予備プラント調査はデルタ地区において 300 以上のプラント種を確定した (18 の希少・危険分類群を含む) さらにデルタには豊富な野生動物が生息し、オルマ畜産業者の家畜群にとって重要な乾期牧草地となる。

デルタ地区内の開発はデルタ草地を危機にさらし、マングローブは多数の地域生息物の生活を浸食する恐れがある。同様に湿原生態系への深刻な変化は、シアロニの水量調節装置、タナデルタ灌漑プロジェクト (TDIP) の堤防、ガルセン・ラムからの新設道路および地元ポコモ農業従事者によるカロタ川ダム建設によって引き起こされる川流と灌漑の変化が原因となるであろう

う。デルタ地区は、地域住民の要件を満たすと同時に、自然生態系と湿原生態系の計り知れない経済的利点を保存できるような調整管理計画を真剣に必要としている。今後のダム開発から発生する氾濫の減少はこのような管理計画に組み込まれるように留意する必要がある、別個に押し進めるべきではない。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の第19章に記述している。

#### 4.4.3 下流生産系

下流域の生産系は多様である。最も一般的なものは、雨耕農業・洪水冠水農業・牧畜・漁業、そして最近では灌漑農業である。これらの内、雨耕農業だけが洪水との関連がないが、他は全て洪水の特性とその発生時期に密接に関連しており、洪水は雨量と河川流量の変化に応じて変化する。

海岸に沿った地域では雨量が比較的多く、雨耕農業が盛んであるが、他の地域では雨が少ないので洪水冠水農業と灌漑農業又はその混合に頼っている。雨も洪水も限られている所では、住民は賃金労働を求めて外部に移動している。ここでは、灌漑農業の労働者が減り、結果として耕作地を減らし、時には食糧危機を招いている。

タナ川下流域での牧畜の大半はタナ川、特にその洪水に多かれ少なかれ依存している。牧畜民は渇水の期間に応じて一時的か継続的か定着する。タナ川の中・下流沿いでは、牧畜民の一部は農業に変わりつつある。渇水・紛争や盗賊による脅威によって困窮している者は、農家や富裕な牧畜家や協力的な牧場に職を求めている。漁業で生計をたてる者が、牛角湖やデルタへの水を供給する洪水の頻度の減少にも関わらず、増加している。

部族は上述の生産システムの内様々な部分を自からの生産系の中に取り入れている。又、夫々の職業特性を活かして部族が協力している、ここでは、部族は経済・社会・政治の繋がりを通して複雑に関わり合っている。生産系の内、食糧に関連する部分についての詳細は Supporting Report (2)第17章に、以下の項目に分けて記述してある：

- ・ 下流の沈殿物
- ・ 下流の水と沈殿物の質
- ・ 下流の河川・デルタ・海洋漁業
- ・ 畑と樹木作物
- ・ 牧畜システム
- ・ 小規模・大規模灌漑

そして、これらのシステムに対する制約についてである。

#### 4.4.4 下流システムの経済価値

下流域の経済価値への影響度に応ずる4つのシナリオを現状をベースとして評価した<sup>(41)</sup>：

記(#1) このベースとは、第2次調査において行なった25年間の流量解析の結果として平均水文状況に応ずるものである。

##### 洪水放流：

- ・ シナリオ MR 洪水と砂を極力放流する<sup>(42)</sup>
- ・ シナリオ R 洪水と砂を放流する

##### 洪水制御：

- ・ シナリオ C 洪水を制御する
- ・ シナリオ MC 洪水と砂を極力制御する

記(#2) 計画されたダムは下流状況を改善出来ると考えられる、即ち、河川の最小流量は増加し、一方雨季において人工的に洪水を放流する事によって下流現況を改善できる。

このシナリオで評価されたシステムは以下の通り：

農業	漁業	野生生物・種	都市・地方社会基盤
牧畜	河川漁業	野生生物	水供給
洪水冠水農業	海洋漁業	保護区	道路・橋
灌漑農業	蛇養殖	森林・湖沼・湿原 ・マングローブ	

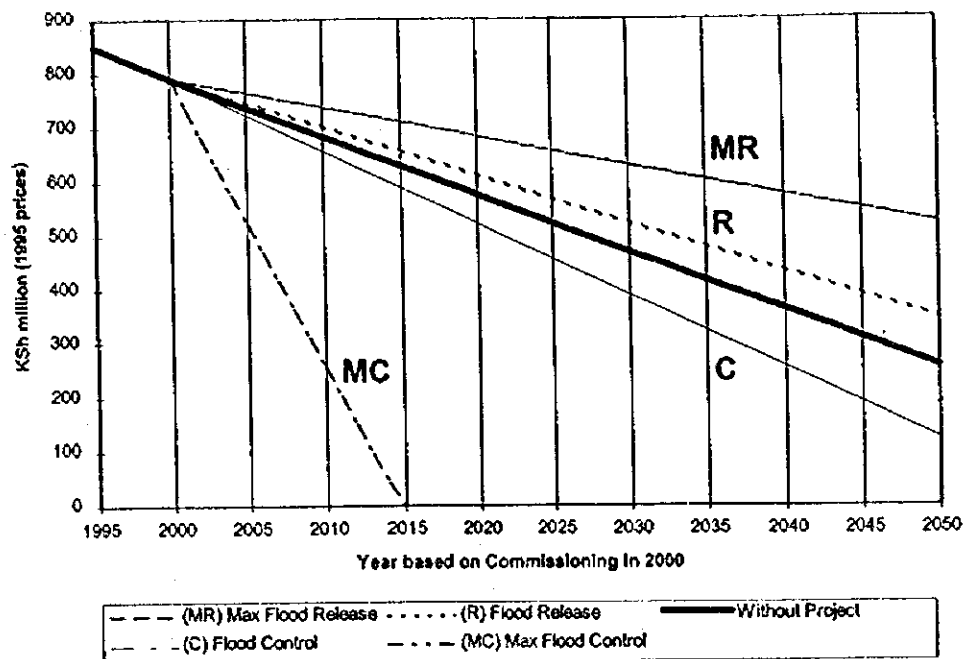
上のシナリオは下流システムを、下記のように最善から最悪に変化させる：

最善のシナリオ： 建設されたダムから洪水放流を極力行なう（これによって、タナ川の洪水流況は回復し、下流システムが改善される）

最悪のシナリオ： 建設されたダムで洪水制御を極力行なう（これによって、タナ川の洪水流況はさらに悪化し、下流システムは劣化する）

上のシナリオを現状の「計画プロジェクトが無く」既存ダム群のみの状況と比較した。タナ川の洪水流況は既存ダムによって既に影響を受けており下流の価値は低下してきていることを認識しておくべきである。

現状のままであれば、この劣化は進行し、洪水放流を伴わないで追加のダムを建設すれば、事態はさらに悪化するであろう（シナリオ C と MC の場合）。しかし、下図に模式的にみるように、洪水放流を伴うダムの追加は、現状の悪化傾向を逆転させるか（シナリオ R）、大きく改善させるか（シナリオ MR）に貢献出来よう。



洪水放流を伴うプロジェクトの建設は下流システムとその価値に好影響を与えて経済的効果をもたらすと考えられる一方、洪水制御は既に劣化しつつあり傷つき易い下流システムに大きい経済的コストをかすことになろう。

#### 緩和策

総合的にみて、タナ川の既存のダム建設は下流システムに対してコストを負わせてきており、ダム建設の追加はこの状況をさらに悪化させよう。新規のダムの建設に当たって緩和策がなく、建設後の適切な管理がなされなければ、下流の経済源は回復不可能となるまで破壊され、下流システムと住民の計り知れない社会・経済コストを強いる危険性がある。

上記調査の詳細については、Supporting Report(2)の第20章に記述している。

#### 4.4.5 協会・団体・地域の意見

スタディにおいて、洪水冠水農業・牧畜・漁業に従事している代表的な場所（ガリッサ、ホラ、ガルセン、キビニ等）の団体と住民とのインタビューを行なった。スタディでは又、政府機関・国際機関・非政府組織に対して、生産システムに係る彼らの経験と氾濫原草地・森林・デルタ草地とマングローブに関わる生態系多様性についての、専門家としての意見を求めた。

大規模洪水が過去にしばしば河道を変えてきた。この変化が耕作地と居住地を変化させ、広い

範囲に渡って河川沿いの砂洲・湿地・湖沼・旧河床にワポコモ(Wapokomo)を広げてきた。河川の動的変化は破壊的でもある一方有用でもある。前世紀からの洪水季と渇水季の繰り返しによって、ワポコモの生活の維持は困難に直面してきた。記録は、河は救済と破壊の両面を持ち、過去の洪水の欠如が牧畜民、農家と野生生物との間の摩擦を引き起こしてきたことを告げている。

地域団体は、渇水・洪水・飢饉の脅威に対して貢献するならプロジェクトを受け入れたく、相談に対して協力し、プロジェクトの管理・モニター・評価にも参加したいとしている。Supporting Report (2)の第19章に下流団体との協議の詳細が記述してある。

年2回の洪水はシルトの堆積によってデルタの生産性を高める。ダムの追加建設はシルトを減らし、生命多様性・家畜・農業の生産性を減少させる結果、この地域に慢性的飢饉と疾病の発生を招くことが予想される。下流団体の望みはプロジェクトがこのような問題を排除しかれらの福祉改善に貢献することである。

上流の既存のダム群が下流環境の洪水に及ぼす影響について様々な意見がある。地域住民は計画プロジェクトが洪水・シルト・タナ川流域の資源に対してどのような影響を与えるのか、期待される便益は何かを知りたがっている。地区の中央事務所や他の開発センターにさえ電気が来ていない。このような困難な状況であるので、地域団体は、彼らにしてみれば困難をさらに助長するかに見えるプロジェクトが果たして便益を与えてくれるかどうか疑問に思っている。地域住民の一部にとっては、問題を起こしてきたのは河道が変わってきたことであり既存のダムではない、例えば河道の変化はホラ・ブラ・タナデルタ灌漑プロジェクトに影響を与えてきており、このような変化が資源利用を困難に陥れてきた。

プロジェクトが洪水制御をするといった不必要な流言が地域住民を不安にさせていることを強調しておきたい。このことは、地域住民が初期の段階からプロジェクトに参加し、プロジェクトがどのように地域住民の生活の改善や関わりを持つかを知ることが必要であることを示している。適切な交流を行なうことが必須である、即ち、プロジェクトが洪水制御を行なうという誤った意見を排除し、プロジェクトは適切な管理の下に河川流を調整して作物生育の最も大事な時期に下流環境に必要な洪水を放流するという人を人々に知らせることである。問題は劣化しつつある下流環境の改善にとってプロジェクトは効果を持つことが適切に説明されていないことにある。地域住民がプロジェクトに参加するなら、かれらはその便益を理解し、プロジェクトを支持する意志を持つであろう。

計画されたムトンガ/グランド・フォールズ発電水力ダムに対する下流団体の教育が必要である。地域住民は洪水と下流資源の利用を非常に大切にしていることを確認すべきである、農業・放牧・漁業従事者のいずれもが洪水制御によって被害を受ける。地域住民の環境と上流ダムに対する理解を無視すべきでない。