

4.5 洪水と砂の放流

4.5.1 文献のレビュー

世界の何処でも、氾濫原は高い生産性を持つと同時に潜在的に壊れやすい環境要素である、そこでは、幾つかの種の棲息適地が提供され、農耕システムは自然洪水のパターンに適合してきた。

洪水による損害を考え、河を調整する試みが為されてきた。しかし逆説的に、その試みが成功するほど損害は大きくなった、なぜなら、洪水の発生頻度の減少は耕作システムと居住パターンが危険を回避する仕組みを失わせ、一方では小規模灌漑の便益を失わせてきたからである。熱帯・亜熱帯特有の高い人工増加率が、もう洪水の危険はないものとして、氾濫原への永住を勧めてきたが、その結果百年単位の洪水が一旦起こると壊滅的損害を受けることとなった。

既存・計画貯水池管理の文献によると、洪水放流の考えを入れたケースは一、二件である。実際にそれを行なっているケースはアメリカ合衆国で一件あった。

1996年3月、アメリカ合衆国コロラド川のグレン・キャニオンダムで人工洪水放流が試験洪水として実施された。

洪水放流を計画し、実施した。	例えば、アメリカ合衆国、コロラド川、グレンキャニオンダム。1,270m ³ /秒の人工洪水放流を1996年3月に劣化した下流環境の改善のため試験洪水として実施した。 この人工洪水の目的は、浸食された砂州 (Sand bar) を再生し、在来種の魚のハビタットでもある州の裏を緩やかに流れる水路 (Backwater channel) を作り直し、グランド・キャニオンの生態系のダイナミズムを形作っている、自然のプロセスを再現することであった。
洪水放流が計画されたが、実施していない	例えばナイジェリアのソコト河。下流の洪水依存システムの便益は認識されたが、最終設計では、発電等の効果を最大にするために、洪水放流は取り入れられなかった。
洪水放流が組み入れて建設したが、機能していない	例えばジンバブエのカフェーフラット。最終設計に洪水放流が取り入れられたが、計画された放流量が充分でなく、システムは殆ど機能しなかった。
建設後洪水放流を取り入れて管理指標を変えた	例えば南アフリカのボンゴロ河。灌漑開発の失敗によって、下流への洪水放流を取り入れて管理することになった。
貯水池管理のために砂放流を取り入れた	ダムの機能維持のためには取り入れられてきたが下流の便益のための例はない。 例えば中国の三溪ダムでは、水車の保護のために、建設直後には流入砂の70%を貯水池に堆積させた後、ダム前面100m区間のみの砂を排除する。

環境に対して洪水放流を規則付けた場合の便益を評価した例はない。自然の洪水サイクルを阻害したことによる負の影響の例はあり、それらは、氾濫原の環境と自然洪水サイクルに依存するシステムにある地域を壊してきたことを示している。上流の開発の便益はしばしば下流のシステムと地域に高い社会・環境コストを負わせてきたが、この損失に対する緩和策や補填策は殆ど取られてこなかった。殆どの場合、取りうる唯一の緩和策は自然環境をある程度は再現させる洪水と砂の放流管理である。

近年、大型の開発プロジェクトが損害を起こしうることが広く認識され、主要援助機関と多くの国は、環境と社会開発への考慮がプロジェクトの明確な一部として含まれることを確実にすることを規準化するようになった。そして、援助機関とプロジェクト実施機関が環境配慮が十分に為されていることを示す直接責任を持つようになった。

環境が二律背反性を持つとの考えは開発効果には両面があることを環境専門家と技術者が認めていることに寄っている。大型水資源プロジェクトの持つ環境への厳しい負の影響が示される一方、それが環境と社会便益の両方に寄与しうることも事実である。エネルギーの需要の増加は発電設備の増加によって満たされる、水需要の増加は貯水容量の増加によって満たされる、そして、貯水池開発による水力発電は再生可能で汚染度の比較的低いエネルギーを供給する。

計画の初期に環境や社会に対する負の影響の可能性が認められたなら、それに対する緩和策を水力開発の全体計画の中で代案に求めるか追加策に求めるかを検討することが可能である。二律背反性に対する検討を早めに行なうことが、プロジェクト実現の遅れを回避させ、長い目で見れば、プロジェクトの全体費用を少なくする結果になる。環境の二律背反性はプロジェクト自身又はプロジェクトと並立して緩和策を講じることで解決出来る。

タナ川下流域の環境は、洪水と雨に寄っている生態系と生産系から成り立っている。この地域では雨が少ないので、どちらの系も年2回の洪水に大きく依存している。理屈の上では、下流環境はタナ川に計画された大規模ダムによるリスクを持つが、流域全体の適切な統合管理によって望ましくない影響を回避出来る。下流域の種々の部族は、氾濫原資源の集中的だが季節的利用によって、全体としては低い利用度に押さえつつ、種々の生産手段の組み合わせを実行している。もしダムが需要期の適切な水放流管理なしに建設されれば、それは下流生産系に負の影響を与える。

最近のスタディでは水力開発目的で設計された大型ダムは下流の生産系・収入・雇用に負の影響を与えることが示されている。これらスタディはそのようなダムは自然洪水を制限し、下記の結果を生ずることを示している：

- ・ 洪水冠水農業が激減すること
- ・ コスト高の灌漑生産に大きく依存すること
- ・ 河川沿いの牧草地と長期渇水時の牧草予備地が減ること
- ・ 漁獲量が減ること

- ・ 自然氾濫原を変化させ、移住性の鳥や野生動物の支持力を減少させ、結果として生物多様性を減少させること
- ・ 河川流況の変化によって河川漁業が変動すること、ダムが魚の殖上を妨げること、ダムに栄養分が捕捉され水質が変化すること
- ・ 流況・水質の変化と栄養分の損失によって、海岸・海洋の漁業と危機種を含む生物を減少させること

上の教訓はタナ川流域の開発には新しい手法が必要であることを示唆している、即ち、下流の住民と生態系の便益のために、洪水放流と同調させて発電を行うダムを計画することである。

毎年定期的に発生する洪水は、環境を劣化させることなく、下流地域とそこでの生産系の維持してきた。さらに、生産系は定期洪水に依存するのみならず、その生産性は水管理を改善しつつ資源開発を極力押さえることで効果を高めることが出来る。

Supporting Report (2)の第21章に更に詳細な議論が記述してあり、加えて、その付録には下流洪水に関する文献が注釈付きで紹介してある。

4.5.2 洪水パターンと“通常”洪水

(1) はじめに

タナ川下流の「通常」洪水パターンの検討に加えて、計画ダムがグランドフォールズの下流でタナ川の下流域環境に及ぼす影響を把握するために検討した。また一定の放流量を推定した上で、通常洪水のパターンを解析し、ガリッサにおける通常洪水のパターンを再現するためにグランドフォールズで必要とされる洪水放流のパターンが検討した。また雨量による洪水パターンを分析した。この調査の詳細は、Supporting Report(2)の16.1節から16.6節までに記述している。

(2) 水文データ

ガリッサ及びグランドフォールズの「通常」洪水パターンの再現のため、タナ川下流の水位観測所で測定された流量及び水位データを水資源開発省（MOWD）より収集した。それ以外の重要な水位観測所であるガルセンの水位データも収集した。水位観測所の位置は図4.5.1に示される。流量データはグランドフォールズ水位流量観測所4F13のものを収集した。更に、水位観測所4G01、4G02、4G08および4G10のデータを収集した。収集したデータの詳細は下表に示されている。

MOWD から収集した流量および水位のデータ 1995 年 7 月

水位観測所名	水位観測所番号	量水期間	水位データ収集期間
4F13	グランドフォールズ	07/62-01/81	1962 - 1993
4G01	ガリッサ	03/44 - 03/95	1933 - 1993
4G02	ガーセン	03/46 - 11/91	1950 - 1985
4G04	ホラ	MOWD から入手不能	
4G06	?	MOWD から入手不能	1966 - 1974
4G08	ナニギ	10/74 - 09/79	1973 - 1985
4G09	ヌガオ	MOWD から入手不能	1973 - 1985
4G10	サカ	02/84 - 05/85	1973 - 1985

(3) 各水位観測所の日流量

流量データが収集された 5 水位観測所において、水位から流量を得るために使用する既存の流量曲線をレビューした。次に、水文学協会の HYDATA 水文データベースおよび解析ソフトウェア上の自動修正手順を使用して、流量曲線を各流量データの期間に対して修正した。新しい HYDATA 流量を現存する MOWD 曲線および流量データと対比して表示した。各水位観測所および各流量測定期間について、新曲線と旧曲線を比較して、水位データを流量に転換するためのどの曲線を使用すべきかの決定を行った。大部分の場合において、HYDATA 流量曲線は、提供された流量データに対して、現存する MOWD の曲線よりも密接に適合するように考えられた。整合性をとるために、HYDATA 流量を、水位データの流出量への変換を目的として選ぶことを決定した。MOWD により提供された水位データは、新しい HYDATA 流量方程式を使用して流出量に変換した。

(4) 洪水パターンの検討

目的

ガリッサにおける洪水の特性を明確にするために、ガリッサにおける一連の日流量を解析した。洪水は、その継続期間、ピーク流量および総洪水量によりその特徴が明らかになった。この解析の目的はガリッサにおける「通常の」洪水の予想を行うことであった。グランドフォールズにおける一連の日流量も、ガリッサでの「通常」洪水に相当する流量パターンを推定するために解析した。この流量は、ガリッサにおける洪水パターンを推定するためにグランドフォールズで必要とされる放流量となる。

更に、ナニギおよびガルセンにおいて入手可能な一連の日流量もガリッサにおける洪水とその下流での洪水との間の関係を調べるために検証した。

1960 年から 1993 年までのガリッサにおける洪水パターン

1960 年から 1993 年までのガリッサにおける日流量を、洪水パターン再現のために検討した。河

川の流出量には季節的パターンが著しくあり、洪水は各年について明確に分けられる2雨期（最初の雨期は4月と5月で、2番目は11月と12月である）に発生している。1960年と1969年の間の日流出量の平均は図4.5.2に示される。

1960年から1993年の間に年2回、500m³/秒以上の洪水が両雨期中に発生している。その他の年の大部分では、500m³/秒以上の洪水は2雨期中の何れか一方で発生している。但し、34年中の7年についてはこの値を超えた洪水がなく、また堤防を超える洪水も多分発生していない。この記録に基づくと、500m³/秒以上の洪水が毎年最低1回発生する可能性は80%である。洪水が2雨期中の何れかで発生しない可能性はあらゆる年について0.5である。

1960年と1993年との間の洪水には集中している（図4.5.3を参照）。1960年代中には、ほとんどすべての雨期中に500m³/秒以上の洪水が発生した。これとは対照的に、1970年代の初期と中期には洪水が非常に少なかった。1973年と1978年との間の4年間は、500m³/秒以上の洪水がまったく発生していない。1970年代末の洪水多発期間以後、洪水パターンが一定しなくなった。1981年以降、500m³/秒以上の洪水は13年中の8年の1雨期に限って発生しているかまたはまったく発生していない。

最初の雨期中の洪水パターンは2番目の雨期中のものといくらか異なっている。最初の雨期中には、洪水ピークがやや高い傾向があるが、これは対象とした34年の中の22年について見られる。これは図4.5.4及び4.5.5で示した洪水頻度曲線により裏付けられるが、それは2雨期について別々に記録した洪水規模と関連した再現期間を示している。再現期間が短い場合は（2年以下、最も発生頻度が高くなる場合）、洪水ピークが最初の雨期においてより高くなる。但し、再現期間が2年以上の希にしかない事例における洪水ピークは、2番目の雨期においてより高くなる。2雨期のそれぞれで記録された最高洪水ピークは非常に類似している。約1,600m³/秒のピーク洪水が1988年4月および1961年と1984年の11月に発生している。

ガリッサにおける「通常」洪水の検討

ガリッサにおける「通常の」洪水または洪水パターンの定義を確定することが重要である。理想的には、洪水は再現期間により最も良く説明できる発生確率により定義するべきである。通常洪水は、例えば、約2年の再現期間により毎年平均1回発生するものとして選ぶことができる。

ステージ2の調査時では、「通常」洪水のガリッサにおける通常洪水パターンを、その規模と持続期間の観点から説明することを選んだ。通常の洪水の継続期間は5日間で、またその間の日平均流出量は500m³/秒以上である。これはガリッサにおいて発生する堤防を超える洪水の際に必要な流出量を示していて、かつ川の水位の変化により現在維持されている環境および経済活動を維持するのに十分な期間中、上流および下流の両者の氾濫原を洪水で浸すと見なされた。

この定義は、洪水の要件を自然のパターンよりも厳格に説明しているものの、ガリッサにおける通常洪水の査定に対する一定の制約を定めているので、取り分けて有用である。まず最初に、ガリッサにおいて堤防を超える流出による洪水があり、2番目には、氾濫原の上流および下流の両者が、定められた期間中に洪水で浸水される。

以上の検討により、これらの基準がガリッサにおける通常洪水により満たされなければならないと想定した。ステージ2調査の一環として実施した作業のレビューに引き続いて、それ以上ではガリッサで堤防を超える洪水が発生する可能性のある値として500m³/秒の流出値が確定された。この値はガリッサ水位観測所の流量曲線に加えて、RIVMORの形態モデル（デルフト、水文学協会：1994）を使用して堤防の高さと川の水位を比較したことにより確認された。またこの値が現場の記録と一致することも報告されている。

堤防を超える洪水に関連した500m³/秒の推定値の検証が、DHV（1986）により発表された水深と流路断面を比較することにより行われた。

一連の検証の結果には以下の水深と流出量が含まれる：

日付	水深 (m)	流出量 (m ³ s ⁻¹)
17/05/85	3.83	490.0
23/05/85	4.85	683.0
27/05/85	4.01	539.0

上の表は最も近い流路断面（510 kmにおいて、ガリッサは509 km）では、堤防を超える水深が約3.5 - 4.0 mであることを示している。これは、ガリッサにおいては堤防を超える洪水が約500m³/秒の流量により発生することを確認しているように考えられる。

この500m³/秒の値を考慮して、堤防を超える洪水が「通常」の現象であるかを調べるために、さらに検討を行った。洪水ピークの年間最大（各年に記録される最大洪水ピーク）は、ガリッサにおける一連の日流出量から得られ、また再現期間と対比して表示された（図4.5.7を参照）。500m³/秒かまたはそれ以上のピークを持った洪水の再現期間は約1.3年である。土手を超える洪水が平均するとほとんど毎年1回発生する可能性があることを考慮すると、この洪水パターンが普通であると説明できる。

但し、ガリッサで発生する堤防を超える洪水の範囲を推定するためには、500m³/秒の最低洪水のみでなく、日流出量がこの値以上の洪水も考慮に入れることが必要であった。このような洪水は、洪水継続期間、ピークおよび総洪水量が最大から最小までを占める際に、その中間値を示す中間洪水によって最も良く特質を明らかにすることができる。この中間値は洪水パターンを示すための適切な選択である。これは、解析した事例中の半分がそれより大きく、また半分がそれより小さいことにより証明される。更に、確率的には、再現期間が2年の中間洪水があらゆる年に発生する可能性は0.5である。平均的洪水の表示は、洪水特性の分布にゆがんだ特徴があるので不十分なものになる。その予想再現期間2.33年であり、またその規模は記録された事例の半分以上よりも大きい。

従って、「通常」洪水再現に想定した定義は以下のようになる：

ガリッサにおいて土手を超える洪水をもたらす洪水の中で中間洪水であり、川の水位の変化により現在支えられている環境および経済活動を維持するのに十分な期間を上流および下流の両者の氾濫原を洪水で浸すもの。

また、最低500m³/秒以上の日流量を持った洪水の中間値

ガリッサにおける中間洪水の推定

最低 500m³/秒以上の日流量を持った一切の洪水を明らかにするために、1963年から1993年までのガリッサにおける一連の日流出量を解析した。グランドフォールズについては同一時間の流量記録の入手可能を考慮して、開始日はその水位観測所のためのデータの入手可能性により決定した。

得られた流出量データには、ガリッサにおける洪水放流に先立つ10日を通じて流量が500m³/秒以上の一切の洪水の事例が含まれている。また洪水記録がグランドフォールズについて得られた。ガリッサにおいてデータが欠けた少数の日を満たすために線形内挿法を使用した。グランドフォールズに関する流出量データのより不完全な状態を考慮して、同じ方法により3日までの期間を満たした。単一洪水の間の日流出量が500m³/秒よりいくらか下がった場合には、かかる日を解析に含めた。解析に含めた一切の流量中の6%に限って500m³/秒以下であった。

ガリッサでの各洪水事例は、その継続期間（500m³/秒以上の流量がある日数）、ピーク流量および総洪水量に関して特質を明らかにした。調査した52の洪水特徴は下表中に要約されている：

ガリッサにおける 500m³/秒以上の洪水

	持続期間 (日)	ピーク流量 (m ³ s ⁻¹)	総洪水量 (MCM)
最大	47.0	1631.5	3208.6
75% percentile	18.0	1007.6	1043.7
中間値	6.5	784.8	394.2
25% percentile	3.0	667.8	184.7
最小	1.0	504.7	47.6

解析した52の中間洪水事例は持続期間6.5日、ピーク流量784.8m³/秒、総洪水量394.2百万m³であった。これらの特性はガリッサにおける通常洪水を表すと想定される。比較のため、平均洪水について考慮した。平均洪水は持続期間11.2日、ピーク流量841.4m³s⁻¹、総洪水量708.6百万m³である。平均洪水の特性は、洪水分布がずれた特質を持っているので、中間洪水の特性よりも大きい。平均洪水は、解析した洪水の半分以上よりも長い持続期間、高いピーク流量および大きい総洪水量を持っているので、通常洪水を代表する度合いが低い。

ガリッサにおける洪水とグランドフォールズにおける洪水の比較

ガリッサにおける中間洪水の推定後、ガリッサとグランドフォールズにおける流出量記録を、この2サイトでの洪水関係を確認するために検討した。ガリッサにおける中間洪水の推定のために解析した52洪水の中の34はこの検討に含めるのに適切であった。

両サイトにおける洪水の記録を34洪水のそれぞれについてグラフにより比較した。ガリッサにおける洪水とグランドフォールズにおける洪水の関係が一定してないことが明らかであった。洪水には4つのタイプがあるように推定され、そのそれぞれは2サイトにおける流出量の間関係を図4.5.6によりグラフで示され、かつ下表により要約される。

タイプ	特性	洪水数
A	洪水は下流に移るに連れて減衰する。ガリッサにおけるピーク流量および総洪水量はグランドフォールズのものより大幅に少ない。	11
B	タイプ A の場合よりも減衰がはるかに大きいグランドフォールズにおける集中洪水。ガリッサにおける洪水との比較は無意味に思われる。	5
C	洪水が下流に移った際に少なくなる変化。ガリッサにおける洪水はピークおよび／もしくは総洪水量においてグランドフォールズのものと同様に類似している。	11
D	洪水が下流に移った際に増大する。ガリッサのピーク流量および総洪水量はグランドフォールズのものよりはるかに大きい。	6

解析した 34 洪水中の 11 がタイプ A として、5 洪水がタイプ B として、11 洪水がタイプ C として、また 6 洪水がタイプ D として確認された。1963 年から 1993 年にわたる期間中の各洪水のタイプ分布は図 4.5.7 に示されている。タイプ B 洪水が 1960 年代および 1970 年代初期に限られているように思われることは注目に値する。1980 年代および 1990 年に明らかにその他の洪水がない。

以上より、タナ川におけるタイプ B 洪水は、洪水による河川の水位変化を示していないように考えられる。またこれらの洪水の妥当性にもいくらか疑問が残る。一例として、グランドフォールズとガリッサとの間の (1963 年 12 月の) 損失は 80% と想定された。この不確実性を考慮し、かつガリッサにおける流量が多くタイプ B 事例において $500\text{m}^3/\text{秒}$ 以下であったことを考慮して、タイプ B 洪水を事後の解析から除外した。

グランドフォールズにおける残り 30 の洪水は、その持続期間、ピーク流量および総洪水量の点において特質が明らかである。グランドフォールズとガリッサにおける洪水の間のタイムラグも想定した。

ガリッサにおいて特徴的であり、かつ中間洪水のものと相対的に類似した洪水を、それがグランドフォールズの上流での一定した洪水パターンと相関しているかを確認するために選んだ。カテゴリ A に入る 3 洪水、および C と D にそれぞれ入る 2 洪水についてはいかなる整合性もなかった。3 洪水のそれぞれの中で中間洪水に最も類似した事例を、グランドフォールズにおけるさまざまな洪水パターンを再現するために調べた。それによりガリッサにおける中間タイプの洪水が得られた。3 洪水の詳細下表に示され、また、図 4.5.8 に示される。

ガリッサにおける中間洪水に関連した洪水

タイプ および日付	グランドフォールズ				ガリッサ (中間タイプ洪水)			損失
	ピーク (m^3/s)	期間 (日数)	量 (10^6m^3)	ラグ (日数)	ピーク (m^3/s)	期間 (日数)	洪水量 (10^6m^3)	
A 26/4/79	1306.2	8	518.8	1	835.4	8	461.8	11.0%
C 9/12/82	679.1	8	358.1	2	770.9	8	374.7	-4.6%
D 28/11/82	671.9	6	243.8	2	840.0	6	322.5	-32.3%

洪水のハイドログラフは、ケース A のように減衰するか、またはケース D のように追加流出により補完されているか、あるいはケース C のようにあまり変更を受けてない。かかる 3 つの関係の定義を改善するために、各カテゴリー中の一切の洪水を解析した上で、各タイプの中間値を予想した。かかる解析の詳細は下表に示されている。

タイプ A、C、D のそれぞれにおける中間洪水の特性

タイプ	グランドフォールズ				ガリッサ (中間タイプ洪水)			損失
	ピーク (m^3s^{-1})	期間 (日数)	量 (百万 m^3)	ラグ (日数)	ピーク (m^3s^{-1})	期間 (日数)	洪水量 (百万 m^3)	
A	1460.1	10	717.3	2	1002.7	10	615.8	19.6%
C	1039.5	8	448.4	1	864.7	8	473.0	3.1%
D	671.9	8	358.1	1	840.0	8	387.3	-8.3%

ガリッサにおけるタイプ A、C、D のそれぞれの中間洪水は、ガリッサにおける「通常」洪水の中で示した全体的に中間 (または通常) の洪水よりも大きい。これは、小規模で継続期間の短いグランドフォールズでの洪水のデータが不足したため、当初の 52 事例の多くが除外されたことに起因する。

上表 (タイプ A、C、D のそれぞれにおける中間洪水) 中のデータは、カテゴリー A、C、D のそれぞれについて、ガリッサにおける通常洪水と関連した、グランドフォールズにおける洪水の予測を可能にする。これは上表の (ガリッサにおける注意案洪水に関連した洪水) で示した、1 回だけの洪水に基づいている関係に依存するよりも優れた予測であると見なされる。

ピーク流量 $784.8m^3$ /秒、持続期間 6.5 日、および総洪水量 394.2 百万 m^3 を持ったガリッサにおける「通常」洪水は、下表で示したグランドフォールズにおける洪水に対応すると想定され、また図 4.5.9 にハイドログラフを表示した。ピーク流量は 2 サイトにおけるピーク率から推定し、また流量は 2 サイト間の損失から推定した。この解析中に調べた洪水の証拠に基づくと、両サイトにおける洪水継続期間は同じように推定される。

ガリッサにおける「通常」洪水に対応するグランドフォールズにおける洪水

洪水タイプ	ピーク (m^3s^{-1})	継続期間 (日数)	洪水量 (MCM)
A	1145.8	6.5	490.3
C	943.4	6.5	406.8
D	627.7	6.5	364.0

上表で列挙した値は、ガリッサにおける通常洪水を起こすために、グランドフォールズにおいて必要とされる放流の予測であると見なすことができる。この値は、グランドフォールズにおいて必要とされる放流が、ガリッサにおける洪水応答を決定する流量であるという意味である。グランドフォールズにおいて必要とされる放流を、タイプ D 洪水に予想される放流と明確に識別しているが、後者はタイプ A 洪水の総放水量の 75% のみを条件としている。

タイプ C、D 洪水においては、グランドフォールズ下流の流量がタナ下流域集水地点からの追加流出により補完されていることは明らかである。3 タイプの各洪水の流出開始の間の相違をさらに雨量調査により調べた。

ガリッサ下流の洪水パターン

ガリッサ下流の洪水パターンの解析は、タナ川下流の水位観測所のデータが少なかったゆえ、少ない事例に基づいていた。完全な一連の日流出量データがナニギおよびガリッサ水位観測所で入手可能であった場合には事例を調査した。サカで入手可能だった一連の短い日流出量データは、他の水位観測所で解析された洪水事例と並存するデータを含んでいなかったため、本解析に含めなかった。

データ不足にかかわらず、ナニギとガリッサにおける洪水の一般的パターンを解析により、明らかにすることができた。洪水ハイドログラフは、流量がガリッサから下流に移るに連れて著しく減衰することを示している (図 4.5.10)。記録されたピーク流量および総洪水量はガリッサ下流 79 km のナニギで低くなり、またさらに 300 km 下流のガーセンではより低くなる。ガリッサとガーセンでの洪水開始の間のラグタイムは一日以下であるが、ナニギからガリッサでは最低 4 ないし 5 日になると思われる。

ナニギでの洪水放流は典型的に $400\text{--}550\text{m}^3/\text{秒}$ でピークに達してから、それに続く期間中は、グランドフォールズやガリッサ上流の洪水ピークのように急速に減退することなく、この水準を維持する。洪水の間におけるガリッサとナニギとの間の損失は 20-50% の範囲内であって平均は 37% である。ガルセンでの洪水ハイドログラフは、約 $200\text{--}300\text{m}^3/\text{秒}$ からピーク流量への極端に上昇があり、その後減衰する。ガリッサとガルセンとの間の損失は 40-70% の範囲内であって平均は 60% である。

これらの数字を考慮すると、ガリッサにおける通常または中間の洪水は、ピーク流量 $400\text{m}^3/\text{秒}$ 、および総洪水量 250 百万 m^3 の洪水を引き起こすと予想される。ガルセンでの洪水は、ピーク流量約 $200\text{m}^3/\text{秒}$ 、および予想総洪水量 150 百万 m^3 になるであろう。ガリッサでの中間タイプ洪水後の、ナニギとガルセンにおける実際の応答を調べることは、かかる事例に関する併存データが不足していたので不可能であった。

ナニギとガリッサにおける洪水のパターンは、ガリッサとグランドフォールズにおける洪水の関係により影響を受けると思われたい。ガリッサ下流での洪水減衰は、洪水が上流でタイプ A、C、D の何れに分類されるかにかかわらず類似した方法で発生するように考えられる。

(5) 雨量の洪水への影響の検討

目的

グランドフォールズとガリッサの洪水の関係が、グランドフォールズ下流のタナ川下流域での降雨による流出と関係する程度を検討するために、選定した観測所からの日雨量データを解析した。

雨量データの選択

雨量データはタナ川流域内およびその周辺の観測所で提供された。それらの大部分はグランドフォールズ上流にある流域地点の源流に位置しているか、または laghas を通じてガリッサ下流のタナに向かって排水している地区に位置している。少数の観測所に限ってはグランドフォールズとガリッサ間の河川に向かって流出している地区に位置している。日雨量データはタナ集水地点中のこの地区に存在する 14 観測所について得られ、これらの観測所は下表に列挙されており、他方、その位置は図 4.5.11 に示されている。

日雨量は以前に解析した各洪水について得た。これには各洪水の間およびそれより 10 日前の期間中の雨量が含まれている。降水観測所をその位置に従って次の 5 グループに分けた：ニアンベンヒルズ、ニアンベンフートヒルズ、グランドフォールズ下流のタナ谷、ガリッサおよびガリッサ上流のタナ。最後の 2 グループのそれぞれは降水観測所が 1 カ所のみであった。他の 3 グループでは、個々のサイトの日雨量が示され、かつそれが当該地域を代表すると見なされた。

28 事例の日雨量を調査した。これらの事例中の 2 事例に限って 5 地域全部の雨量記録を持っていた。これはガリッサの上流にあるサイトの降水観測所 9039001 のデータが入手不可能であったことに主として起因する。このサイトは解析から大体において除外した。他の 4 サイトについては、事例の半分は完全な記録を持っていたが、他方、その他はニアンベンヒルズとが洪水に関するデータだけを持っていた。

解析に使用した雨量データの詳細

Ni	UD	名前	地域	Alt (m)	Long	Lat	Period
10	8937041	Lare, Mere	NH	3796	37.93E	0.33N	1957-90
12	8937059	Maua Nyambene Hills	NH	1738	37.93E	0.23N	1959-90
13	8937060	Meru Mucii Mukuru	NH	2050	37.85E	0.18N	1960-90
24	3937086	Atheru Gaiti Coffee	NH	1410	37.97E	0.20N	1974-90
25	8937089	Kathanga primary School	NH	1935	37.98E	0.43N	1974-90
26	3937091	Akachiu Chiefs Camp	NH	1542	37.95E	0.18N	1974-90
27	8937092	Atheru Ruujine Coffee	NH	1410	37.97E	0.37N	1974-90
30	8938001	Kinna Scheme Isiolo	NF	754	38.20E	0.32N	1957-90
31	8938005	Rapsu Scheme	NF	722	38.22E	0.28N	1973-87
223	9038020	Usueni Dispensary, Kitui	ds GF	443	38.20E	0.15S	1974-87
225	3038024	Nzanzeni Primary School	ds GF	508	38.20E	0.22S	1974-87
227	9038026	Kaivirya Primary School	ds GF	607	38.15E	0.32S	1974-87
233	9039000	Garissa Met Station	Gar	138	69.63E	0.48S	1957-90
234	9039001	Garissa Balambala Plice	us Gar	205	39.07E	0.03S	1982-90

凡例 (地域) : NH - ニアンベンヒルズ、NF - ニアンベンフートヒルズ、ds GF - グランドフォールズ下流、Gar - ガリッサ、us Gar、ガリッサ上流

降雨事例解析

降雨はその期間、総雨量、平均日雨量および最大日雨量を特徴としていた。降雨は、それと相応する洪水タイプに従ってグループに分けた。

各タイプの洪水について、それぞれの地域の降雨事例の中間的な特性を想定した。中間値は、最初に、データが入手可能な4地域の洪水のみから想定した。

このような方法による降雨記録の検討により、大量の統計が得られた。各タイプの洪水が続いた間のそれぞれの集水地区の中間的特性は以下により示される。

タイプA洪水はニアンベンヒルズでの豪雨を特徴とし、その日雨量の中間値は約35 mmで、また総雨量は約200 mmである。丘陵地帯およびグランドフォールズ下流の谷間の降雨は少なく、その平均日雨量は4-8 mmで、また総雨量はニアンベンヒルズのものの15-20%である。

タイプCおよびDの洪水はタイプAと比較して、ニアンベンヒルズで50%低い中間値の雨量を持っている。日雨量も少なく、中間値は30 mm/日以下である。グランドフォールズ下流の川谷での雨量は多くて、ヒルズのものの約50%で、その日雨量は約15 mmである。ニアンベン丘陵地帯の降雨もタイプA洪水が続く間のものよりやや高く、その総雨量はヒルズ自体のものの20-30%である。

またタイプCとD洪水の降雨の間にも相違がある。タイプDが続く間には、あらゆるサイトにおいてタイプAが続く間よりも降雨が多い。グランドフォールズ下流およびニアンベン丘陵地帯における総雨量の中間値はそれぞれニアンベンヒルズにおけるものの60%と35%である。かかる洪水が続く間のこれらのサイトにおける日雨量は12-25 mmだが、ヒルズ自体では相対的に少なく、32 mmである。タイプCはタイプDが続く間のものほど極端でない降雨パターンを示しているが、それでもタイプAが続く間よりも、グランドフォールズ下流で雨量が多く、またニアンベンヒルズの底部では少ない。

タイプA、C、Dの洪水と関連する降雨の中間的な雨量の特性のこのような相違は、各タイプにおける降雨範囲（合計降雨および平均日降雨）の調査によっても確認される。図4.5.12Aは、タイプAおよびタイプC、Dの共通洪水が続く間の各地域における総降雨の範囲（最大から最小）および中間値を示している。図4.5.12Bは平均日雨量パターンを同じ方法で示している。総雨量および日雨量の双方の範囲は、ニアンベンヒルズ以外のすべての地域においてタイプAよりもタイプC、Dが続く間の方が高い。これとは対照的に、ニアンベンヒルズの平均日雨量の範囲はタイプAが続く間に著しく広く、他方、この地域の総雨量はタイプC、Dよりも広いタイプAの範囲を含んでいる。

さまざまなタイプの雨が続く間の雨量変動の一般的パターンは図4.5.13に示されているが、それはタイプA、C、Dが続く間の雨量と流量も表示している。1977年4月と5月中の雨においては（タイプA）、ニアンベンヒルズにおける雨量が200 mm以上である。丘陵地帯およびグランドフォールズの下流においては、それぞれがこのような合計の12%と19%に過ぎなかった。1977

年11月においてタイプCが続いた間には、ニアンベンヒルズの雨量は300 mm以上であった。集水地点の他の場所で降った雨に対するこの雨量の比率は、丘陵地帯で15%で、グランドフォールズ下流で28%で、またガリッサでは10%であった。ヒルズの雨量と比較すると、これらの地域での雨量は1984年11月にタイプDが続いた間においても高かった。この雨が続く間に、ニアンベンヒルズは350 mmの降雨を記録して、丘陵地帯の総雨量の15%、グランドフォールズ下流の40%、およびガリッサの26%を占めた。

洪水タイプの説明

洪水の解析は、グランドフォールズにおける洪水とガリッサでの洪水との間の関係が一定でなく、4方法中のいずれかにより変わることを示している。タイプAが続く間に、洪水はグランドフォールズよりもピークおよび総洪水量が低い下流のガリッサに移ると減衰する。これとは対照的に、タイプCの洪水ハイドログラフは、洪水の間に下流に移るので、少ししか減衰を受けないように思われる。タイプDの洪水が続く間の洪水パターンはタイプA洪水が続く間の洪水の逆であって、グランドフォールズにおいてよりもガリッサにおいて洪水ピークが高くかつ洪水量も多い。それが続く間に、大幅な減衰がグランドフォールズとガリッサの間で発生するタイプB洪水は、洪水による河川の流量変化の特徴を示しているとは思えないので詳細解析から除外した。

雨量データ分析で示した洪水解析は、タイプA、C、Dのそれぞれの洪水に応じた雨量パターンの変動を確認した。雨量の相違は、グランドフォールズとガリッサとの間でタナへの追加流出を見極める際に重要であり、またそれは洪水が両サイトの間を下流に向かって移動する際の特徴の変動に対してだけでなく、グランドフォールズダムが必要とする洪水放流量に対しても直接的な影響を与える。図4.5.14はこの相違を示している。

タイプA洪水が続く間に、グランドフォールズ下流のタナ集水地点中で最も高い土地であるニアンベンヒルズに大量の雨が降る。ニアンベンヒルズからの流出は、その大部分がウラおよびロジェベロのように一時的なlaghasと思われる、いくつかの支流を通してタナ川に運ばれる。支流を下る流量は高度が低くなる地点で追加の降雨による補給を受けられないので、流下時の損失が相対的に大きくて、タナへの流入が大幅に減少する。支流からの流入が相対的に少ないので、タナの洪水流量はガリッサに向かって下流を移動する際に減衰する。

タイプCまたはD洪水が続く間の降雨パターンは、タイプA洪水が続く間の降雨パターンと異なる。降雨は流域の広い地域に分布しているが、ニアンベンヒルズの丘陵地帯およびタナ川には大量の雨が降る。降雨分布が広いことは、より集中したタイプAの降雨よりも、ニアンベンヒルズでの降雨が少ないことを意味する。タイプC・Dでの雨はタナ下流流域の上流域内全般で降っており、降雨域と本流との距離が短いので洪水の維持、場合によっては増加に貢献する。タイプA、C、D洪水のあいだの相違はスケールに関するものと思われる。タイプC洪水が続く間に、タナ川からの損失は支流からの流入により均衡が保たれる。他方、タイプD洪水が連続する間は、流入が損失よりもはるかに大きい。一定のタイプDの洪水が続く間にも、ガリッサ及タナ上流流の延長部分における局地的な大雨がタナ川の流量をさらに補完して、グランドフォールズにおけるかなり小さな洪水により、ガリッサ地点でははるかに大きくなる可能性がある。

タナ川低地での洪水の特性に影響を与える重要な要素は、グランドフォールズ下流の流域地点の上端における降雨パターンである。下流のlaghasからの流入がさらにガリッサに向かって演じる役割はそれほど重要でないと推定される。この推定は2つの証拠により裏付けられる。その1つは、集水地点における年間平均雨量図である(図4.5.15を参照)。これはニアンベンヒルズおよびその周辺地域が最も大きな降雨地域であって、タナ川低地の流域の流域に洪水を流出していることを示している。ニアンベンヒルズの年間平均雨量は最大の年で2,400 mm以上であるが、低い丘陵地帯およびグランドフォールズ下流のタナ谷では約600 mmまで減少する。年間平均雨量はガリッサに向かった下流においてさらに300 mmまで下がる。

他の証拠はガリッサ下流の洪水パターンに関連している。ナニギとガルセンにおける洪水の解析により、低タナの流路区画における洪水の一定した減衰が明らかになった。かかる減衰パターンは、グランドフォールズとガリッサにおける洪水の間の関係がタイプA、C、Dの何れであるかにかかわらず発生する。一般的には、この流路区画におけるlaghasからの流入は、低タナの集水地点の上端における流出の変動に比べれば重要でないように思われる。

(6) 結論

- タナ川下流の洪水パターンを洪水時の河川流量と雨量の記録から分析した。ガリッサ地点で一日以上堤防を越流する流量の最確値である500m³/sを越える洪水を分析した。「通常」洪水は、その期間・最高流量・全流量の中央値で代表するのが良く、それはガリッサ地点で6.5日間・785m³/s・393MCMであった。この規模の洪水は、ガリッサ上下流で現状の環境と経済活動を維持するに十分な期間、氾濫を起こさせると見られた。
- タナ川下流の洪水は4/5月と11/12月の年二回発生する。しかし、堤防を越流する洪水は過去いつも発生してきたわけではなく、特に1970年代には両シーズン共洪水不足に悩まされた。洪水の人工放流によってガリッサでの洪水越流と上下流での氾濫を保障することは現状の改善に大きく貢献するであろう。
- グランド・フォールズ地点での洪水とガリッサ地点での洪水の起こり方は一様でなく、二地点での洪水波形を34回の洪水について比較した結果、四つのパターンがあることが解った。
- タイプAの洪水は流下と共にそのピークと量が減少し、タイプCでは殆ど変化なく、タイプDでは逆に増加する。タイプBは著しい減少を示すが、これは現流況とは異なり、記録の信頼性にも疑問があるので、以後の検討からは除外した。
- 雨を分析してみると、雨のパターンの違いがグランド・フォールズとガリッサ地点の洪水タイプの違いに対応していることが解った。タイプAでは、雨はニャンベネ高地に集中しており、降雨域である高地からタナ本流迄の距離が長く、支流を流下する間に流量損失が大きいため、グランド・フォールズ下流での流量増としての貢献が殆どなく、洪水はタナ本流の貯留効果によって減少する。タイプC・Dでの雨はタナ下流流域の上流域内全般で降っており、降雨域と本流との距離が短いので、洪水の維持、場合によっては増加に貢献する。ガリッサから下流で洪水は、徐々に減少してニヤニギからガルセンではそのピークと量は著しく

小さくなる。この傾向は洪水パターンに関係ない。タナ下流流域の上流域内の雨が洪水性状に大きく影響を与えていることを示している。

- 従って、ガリッサでの「通常」洪水を維持するために必要なグランド・フォールズでの放流と貯水量は洪水タイプによって変わることが分かった。残流域の効果が小さいタイプ A の洪水では、グランド・フォールズの必要洪水放流量は 490MCM であり、この規模の洪水放流は、下流域の水文状況によっては下流洪水規模が大きすぎる危険はあるが、少なくともグランド・フォールズへの流量のいかんにかかわらず、ガリッサ地点での「通常」洪水を保障しうる。タイプ C・D におけるように、残流域の追加流量の影響が大きい場合には、グランド・フォールズからの放流量は残流域雨量の規模に応じて 15%-17% 少なくすることが出来よう。

4.5.3 衛星画像による洪水状況

この検討の目的は「通常」洪水の評価に寄与し、かつ洪水事例が起きている間の洪水の範囲の解明することである。洪水が継続する間のタナ川の氾濫原を含んだ利用可能な記録から、適切な高解像度衛星イメージを求めて広範囲の探索を行った。2 個の高解像度衛星である地球資源探索衛星 TM と SPOT によるケニアの多くの部分のカバーが相対的に一時的でかつ不十分なものであったので、潜在的イメージにより確認した。SPOT の 2 イメージを選択したが、それは洪水事例の影響と一致したか、またはそれを示していた。その 1 つはデルタ地区を対象にした 1990 年 5 月 9 日付のもので、他の 1 つは中央氾濫原を対象にして 1995 年 5 月 6 日に撮影されていた (図 4.5.16 を参照)。利用可能なイメージ記録を通じて、地球資源探索衛星の適切なイメージが確認されなかった (すなわち、利用可能な地球資源探索衛星のイメージが洪水期間と一致しなかった)

イメージは、縮尺 1:50,000 の地形図を使用して、その形状を横メルカトル投影に修正した。当初のイメージ目視検査により、両イメージが雲及び雲影の影響を受けていることが判明した。影のスペクトル特性は、状況によっては、開放水面のそれと容易に混同されるので、この地域を自動探知するためにアルゴリズムを適用しないことを決定した。従って、雲及び雲影による影響を受けた地域を手作業で取り除いた。解析したイメージの部分の範囲内で、両イメージの約 27% は雲で覆われていた。

両イメージとも、洪水で浸された地域を植物および裸土/沼で覆われた面と一緒に確認することを必要とした。地球資源探索衛星 TM のセンサーの中赤外線バンドは、この目的のために取り分けて有用であるが、但し上記のごとく、地球資源探索衛星の適切なイメージは一切利用できなかった。従って、SPOT センサーの近赤外線バンドを使用した。湿地および水で圧された植物は赤外線反射率の減少を示したが、これはデジタルイメージの目視検査によっても明らかであった (拡大イメージのスクリーン上での目視検査による)。取り分けて、デルタシーンの場合は (1990 年イメージ)、高い樹木によりいくらか不確実性が引き起こされた。これは、多分、洪水で覆われた地面を不明瞭にしたであろうが、但し、赤外線反射の減少により、開放された地域および低い植物だけで覆われた地域では、洪水に浸された地区を明確にすることができた。

氾濫原中央（1995年イメージ）では、川に近接した狭い氾濫原地域、および水の被害を受けた後背地域の解釈に集中したが、他方、1990年デルタシーンの主要な部分（すなわちデルタをカバーする部分）も解釈した。視覚解釈（スクリーン上の詳細デジタル化を含む）はバンド1を使用して実施したが、補完的解釈にはバンド2および3を使用した。その結果得られた成果はベクトルフォーマットによる洪水影響地域図であった。デルタ図には、その地域が洪水の影響を受けていることが、さまざまな信頼水準によって分類されていることを示すための3カテゴリーが含まれている。

SPOT衛星の継続的軌道通過の間には相対的に長いインターバルがあるので、洪水期間中にイメージを得られるチャンスが生まれてくるが、但し、これらのイメージが個々の洪水のピークと一致するチャンスは少ない。実際上は、両イメージはそれぞれの洪水事例のピークに続く最適時に近いときに妥当に得られている。

ガリッサ（4G01）の流出データは、2つの洪水イメージに含まれた期間についてMOWDから得られた。これらのデータは図4.5.17および4.5.20に示されている。ガリッサ以外の氾濫原観測所からの流出データは両衛星のイメージに一致する期間について入手不可能であった。

タナ川氾濫原上の洪水：1995年5月衛星イメージ

ブラ地域からのイメージ（図4.5.19を参照）は、ガリッサでの流出が人工管理洪水放水から予想されるものに類似しているので取り分けて重要である。ブラでの洪水には主タナ川の流出、中間を流れるlaghas（季節河川）からの流出、および地表流を含めることができる。このイメージに影響する洪水は、川の主流路に隣接したタナ川の氾濫原の多くの部分を含んでいた（82%。下表を参照）。

ブラ地区からの流出データは入手可能であったが、他方、洪水がガリッサからブラに移る平均移動時間はおおよそ1日から3日である。このように小型の洪水の移動時間は相対的に速い可能性があるため、1日から1.5日の移動時間を想定した。この結果、衛星によるイメージ獲得より3日前にガリッサで洪水が発生することになった。記録されたAMとPMの流出量を使用すると、衛星イメージ上で確認された洪水は、ガリッサでの洪水量が175百万 m^3 と200百万 m^3 の間にあることを示している。

laghasの流量も衛星イメージ上で1995年5月6日に観察された洪水の一因であるものの、その量を見積もって、それが寄与する重要性を評価する手段は一切なかった。laghasの流量は図4.5.19上で、ブラで主タナ川の流路に流れ込む2大laghasの明白な洪水により知ることができる（ハマニおよびワレサ・トコチュラlaghas）。これらのすぐ北にある2本のlaghasは洪水の証拠を一切示していない。ガリッサとブラの間には、さらに3本のlaghasがあるが、その中の2本は小型でまた1本は相対的に大きい（図4.5.18を参照）。これらの中で大型laghasだけに追加の洪水量に寄与する可能性があると思われた。但し、この集水地点からの降水データか、あるいはガリッサとブラ（それらを含んで）との間の観測所からの詳細流出量観測報告がなかったため、ブラで観測された洪水がかかるlaghasからの流量を含んでいたか否かを確認できる方法がまったくなかった。

より局地的な降雨に起因する地表流も、1995年5月イメージにより観測した特徴である。これはイメージの南西部分で見ることができ(図4.5.19)、またあらゆる主流出路と関係のない相対的に浅い洪水として確認された(湿地も含まれている)。またこのイメージからは、衛星通過後にそれが発生したとしても、衛星通過の際には、この流れが主タナ川流路と合流しなかったように思われる。

洪水地域は下表により示されているが、またそれは図4.5.19で示されるように、完全なシーンのために確認された各洪水カテゴリーをカバーする土地を列挙している。図4.5.19中で、氾濫原の端に相当するラインにより示された主タナ川流路(縮尺1:50,000)の地図からデジタル化されている)は、2大laghasとの合流点の上下において、洪水の水により完全に覆われている。

解釈を行った SPOT 衛星イメージの対象カテゴリー：氾濫原 1995年5月6日(後背地およびlaghasの流れを含んだ完全なシーン)

	カバー率	ヘクタール	雲を除く カバー率	氾濫原のみの カバー率
陸地	55.1	179,167	75.73	6.08
タナ川	0.428	1,390	0.59	7.46
主流路または重要な洪水	12.23	40,013	16.92	86.46
洪水：地表流/小規模流路	4.9	15,981	6.76	-
雲および雲影	27.2	88,441	-	-
合計	100	324,992	100	100

タナデルタ上の洪水：1990年5月9日衛星イメージ

タナデルタをカバーするイメージ(図4.5.21参照)は既に一部が雲により利不明瞭になっていたが、デルタ自体の重要な部分には雲がなかった。1990年4月と5月のガリッサからの流出データは図4.5.20により示されている。衛星イメージの撮影時間は4月の大部分の期間続いた大洪水の後で(ガリッサにおける流量は500 m³/sec以上であった)あった。洪水のガリッサかガルセンへの移動について採用した期間には3日から9日の幅があつて平均は4日から5日である。従つて、5月9日に撮影したイメージは、当初の洪水から発生した可能性のある後退を除いて、前回の洪水の影響のすべてを示す筈である。大洪水が次の主要な地域で発生しているのは関心を引くことである。

- ・ タナと海岸の砂丘の間の主タナ川流路南方。この洪水の一部は主河川流路に戻り、かつキピニで流出するが、一部はムトタとナムトキリフィにあるタナの2つの古い合流点で流出する。
- ・ デルタの北および西に沿つて、ガーセン・ウイツ道路を超えて、ガルセン北方からキピニ向かつて延びている広い帯。この洪水はタナ川の以前の経路の周囲に集中して、デルタ内で洪水を制御および管理する際のその重要性を示している。

静止／開放水面に加えて、洪水を受けた土地の 3 カテゴリーが確認されている：(i) 深い洪水 (ii) 中間洪水および (iii) やや軽い洪水の地域／潜在的洪水。この最後のカテゴリーは、洪水を受けたものの、その水が茂った高い樹木により潜在的に不明瞭になっている土地も含んでいる。かかるさまざまなカテゴリーの地域は下表に示されている。雲および大洋を除いて、解析したイメージの 40%は深い洪水または中間洪水として確認された。デルタ自体内では、洪水がイメージの 50%を超えていた。これに加えて、さらに 17%がやや軽い洪水の影響を受けていた。

この原因となった事例を (図 4.5.20 を参照)、人工洪水を大幅に超える中規模洪水として分類することができる。フェーズ 2 調査により、提案する貯水池による人工洪水とこれらの洪水量が大幅に変わらないことが示された。

より総合的な一連の流出データをタナにある多くの観測所から得られないので、この洪水のどの部分がガリッサに起因し、またどの部分が laghas に起因するかを示すことはできない。1995 年イメージは laghas の流量が役割を演じ得ることを示唆しているものの、その重要性は現在入手可能な流量データからでは予測できない。

以上の詳細については、Supporting Report(2)の 16.11 節に記述している。

解析を行った SPOT 衛星イメージの対象カテゴリー、タナデルタ、1995 年 5 月 9 日

洪水カテゴリー	ヘクタール	カバー率 (%)	
		全体	雲および雲影以下
陸地	25,671	13.04	25.07
砂丘	10,445	5.30	10.20
タナ川	889	0.45	0.87
以前の河川経路	761	0.39	0.74
軽い洪水	17,948	9.11	17.53
中間洪水	11,843	6.01	11.56
深い洪水	29,190	14.82	28.50
開放水面	5,663	2.88	5.53
大洋	40,850	20.74	-
雲および雲影	53,669	27.25	-
合計	196,929	100	100.00

4.5.4 洪水及び土砂放流

タナ川下流域の生態系および生産系は、河川の氾濫と降雨量に依存している。この地域では降雨量が不足しているため、年 2 回の洪水へ依存度が非常に高い。下流域の自然環境下にあるコミュニティは、タナ川に大規模なダムを建設することにより、危険にさらされることになる。しかし、タナ河全流域の適切な統合的管理により、負の影響は緩和されるであろう。下流域の部族を異にする各コミュニティの住民は、複雑な生産方法を実施しており、氾濫原の資源を集約的、季節的に利用することを通じて、全体として人口密度の低い地帯の住民を支えている。もし、ダ

ムを建設しても、水の必要期間中の水の放流の管理が不適切であれば、下流域の生産システムに悪影響が及ぶことになるだろう。

水力発電目的で計画された大規模なダムが下流域の生産システム、収入、雇用に悪影響を及ぼすことが、最近のスタディにより明らかにされている (Roggeri 1985, Dixon 他 1990, Scudder 1991, Horowitz&Salem-Murdock 1991)。これらの研究は、大規模ダムが自然洪水を制限することになり、その結果以下のような事態が引き起こされる可能性があることを示している。

- 洪水が引いた後の洪水冠水農業が激減する。
- 費用のかかる灌漑生産に対する依存度が極度に高くなる。
- 河岸沿いの牧草の質が低下し、長い乾季期間中、家畜に食べさせる牧草の蓄えが減少する。
- 漁獲量が減少する。
- 自然氾濫原を変化させ、渡り鳥およびその他の野生生物の生活を維持する能力が減少する。その結果、生物学的多様性が失われる。
- 河川流況の、魚の回遊を妨害するダムの影響、ダムに栄養分がせき止められることによる水質の変化等のため、河岸漁業が減少する。
- 洪水の規則性の変化、栄養分の減少による水質の変化のため、生物種の絶滅の危険を含み、河口および海洋漁業、海洋生物相が衰退する。

上記の教訓は、タナ川流域開発の新しい手法の確立が急務であることを指摘するものである。河岸住民と生態系を守るためのダムを建設する必要がある。そのダムは、水力発電と同時に、洪水をコントロールし、貯水池の水の減少に合わせて水を放流するものでなければならない。

毎年、定期的にかかる洪水のために、下流域のコミュニティーとその生産システムは、環境を悪化させることなく維持されてきた (Scudder 1991)。さらに Scudder は、生産者だけではなく、その生産系もまた毎年の規則的な洪水に依存しており、それとともに、関連する相乗効果が緩やかな資源開発によって著しく高まることに注目した。その方法には、洪水制御によって、水の管理を改善することも含まれる。

このことはすでに、水力電気や洪水防衛などの多目的な目的に関する調査より認められている。タナ川のケースでは、これは洪水放流を意味し、これによって下流の洪水の規則性を改善し、既存のダム建設によって影響を受けた河川のある程度まで取り戻すことが可能になる。

(1) グランドフォールズ貯水池からの洪水放流

流量が $500\text{m}^3/\text{秒}$ 以上となる洪水を分析し、ガリッサにおける通常洪水を推定すると、総量 394MCM となる。グランドフォールズにおける類似の洪水量は、タイプ A の洪水期間中 (上流集水域における降雨がもつばらの原因となって起こる洪水、) では 490MCM 、タイプ C の洪水期間中 (グランドフォールズとガリッサの間の集水域における降雨が加わることによって起こる洪水) では 406MCM 、タイプ D の洪水期間中 (グランドフォールズより下位の集水域における激しい降雨が加わることによって起こる洪水) では 364MCM と推定されている。これらの数値

は放流を、すなわち、ガリッサにおける通常洪水を支えるためにグランドフォールズに必要とされる貯水量を示すものと推定される。

タイプ A の洪水のケースでは、支流の流入量が比較的少なく、グランドフォールズから必要とされる放流は以前の推定値より 16% 多いものと推定される。この規模の放流があれば、グランドフォールズ下流の流入量とは関係なく、ガリッサでの通常洪水が保証されるであろう。タナ河下流域の支流の比較的多量の雨水があれば、雨水が本流の流水量を補足し、ガリッサで通常洪水を起こすため、グランドフォールズからの放流を減少させることが可能になる。このような状況において、タイプ A の状況では必要とされる放流の 74-83% の推定放流があれば、降雨の範囲と程度に依存する通常洪水を維持するには十分であろう。

以上から、グランドフォールズからの洪水流の放流に対して、2つの方法が示唆される。

定型放流

その1つは、よりわかりやすい方法で、他の流入とは関係なく、ガリッサでの通常洪水を保証する洪水量を放流するものである（タイプ A 放流）。この方法では、もしグランドフォールズの下流に沿った集水域から大規模な流入が同時に起こった場合、ガリッサで必要とされる量をはるかに超える洪水が起こり、危険な事態が発生する懸念がある。

補足放流

もう一つの方法は、意図的に支流からの流入に合わせて放流する方法である。この方法ではグランドフォールズからの放流の必要量が少なくなるが、タナ河下流集水域、特にニャンベネ高地からの雨水を予想する能力が必要となる。今回は詳細な分析を行っていないが、これらの地域に降雨があつてからガリッサの流量が変化するまでには約 3-4 日の時間差が見られる。グランドフォールズの流量がガリッサに達するまでには、約 1-2 日の時間差があると考えられる。この時間差の違いから、ニャンベネ高地とその下流斜面の降雨、およびグランドフォールズの下流地域に 1-2 日前から見られた降雨を考慮するならば、この放流法は実行可能と考えられる。この方法では、関連集水域の降雨を観測する器械システムと、限界降雨値に関連して放流される量をコントロールするためのルールが必要とされる。そのようなルールに従って放流を行えば、グランドフォールズ下流域の流量が常に考慮されるので、ガリッサで異常洪水が発生することはない。

この補足放流法の利点は、最小限の放流量で下流域に洪水を起こすことができるため、発電用の貯水量を最大限にできることである。当初の概算によれば、最小で 12% の洪水量を節約でき、それを水力発電に利用することが可能になる。もし、上流域の 7 つの貯水池全体を、各季節の流量を最大限に利用できるように上流域の降雨に応じてうまく管理すれば、システム全体の発電量を増加させることができるだろう。

ガリッサでの通常洪水の頻度について付言する。500m³/秒以上の洪水が、10 年間のうちの 8 年で、2 回の雨季のうち少なくとも 1 回の雨季に起こっている。しかし、毎年、1 回の雨季にしか起こらない確率は 0.5 である。どのような方法を採用するにせよ、雨季ごとにガリッサで堤防を越流を起こすように洪水放流を行えば、季節洪水の現在のパターンを著しく改善することになるだろう。

う。

下流域が生態的、社会的システム、および生産系をタナ河の洪水の規則性に強く依存していること、それに対する既存の貯水池の影響、および計画中の貯水池が及ぼす可能性のある深刻な影響等を考慮し、スタディでは緩和策として「人工」の考え方、すなわち洪水放流を管理する方法を採用した。

下流域のシステムに関する詳細なデータが全体的に不足し、かつそれらの情報の収集には長い期間が必要とされることを考慮し、スタディは以下のアウトラインに沿って、この問題を解決する考えを採用した。

- 通常年2回、タナ河に起きる洪水は、広く認められているように、氾濫原を浸水することにより、下流域環境を維持する重要な役割を果たしている。
- ガリッサで $500\text{m}^3/\text{秒}$ 以上の氾濫の規模をもつ洪水が起これば、この地点の下流域氾濫原の浸水に貢献する。
- 1995年に起こった氾濫の分析によると（Delftシミュレーション）、ガリッサで記録された $500\text{m}^3/\text{秒}$ 以上の規模の洪水の70%は、浸水期間が5日続いている。したがって、5日間続く洪水は「通常の」洪水とみなすことができる。（図4.5.22参照）
- バリッサで5日間続く「通常の」洪水と同規模の水を人工放流する設備を、ダムに設置する計画がある。結果として、コントロールされた洪水放流を行わない場合に下流域に及ぼされる大半の悪影響を、ダムが緩和することになるだろう。

(2) 土砂放流

土砂放流

現在のタナ川水系はすでに上流のダム建設の影響を受け、土砂生産系が減少している。計画のダムの建設が行われれば、最後の2本の支流によって運搬される土砂の大半が貯水池に堆砂し、季節的に生じる laghas から流入する土砂は下流に流下することだけとなるだろう。土砂は下流域のシステムにおいて2つの役割を担っていると考えられる。1つめは構造的な役割、2つめは栄養的な役割である。

土砂の浸食および堆積作用は環境の地形の性格を変え、栄養物の運搬物は生物の生産性を高める役割を果たす。土砂の運搬に関連して起こる構造的な特徴として最も明らかなことは、氾濫原および本流水路の土手が高くなること、およびデルタとマングローブ林が海に向かって広がることである。

土砂放流の管理は洪水放流の管理より複雑である。放出のパターンは非常に多様で、流域の植生に強く依存し、植生のほうは前季の降雨状況に強く影響される。各シーズンで、最初に土砂運搬が始まるのは雨季に入った時である。従って、流量がピークに達する時期に合わせて、土砂放流を行う必要はない。

人工的に調整されていない河川の流量下では、土砂は一定の水位で流域に運搬される。流れの速

い支流から運ばれる大量の土砂は、本流の流量と掃流力が高まるまで一時的に本流水路に蓄えられる。年間を通じていえば、土砂の運搬と流入はバランスを保っている。

土砂の組成の点からは、粒の粗い土砂は流量の多いときにしか運ばれないので、一年の間にはさらに別の運搬時があることになる。この結果、流量の多い時期には、粒の粗い沈澱物の粒子の割合がもとの物質より多くなる。粒の粗い物質は、前の流量の少ない時期に一時的に蓄えられた場所から運搬されるからである。乾季には、流量が少なすぎて粗い物質を運搬することができないので、細かい粒子の割合が多くなる。しかし、長期間に渡って水系全体が運搬し堆積する粒子のバランスは、もとの浸食土砂の組成と等しくならなければならない。

どのようなシナリオの下でも、土砂の運搬は減少し、下流域の環境に大きな変化を及ぼすことははっきりと立証された。最もはっきりした変化は水路の浸食に見られ、コラでは深さ 11m までの浸食が急流の下 40 km にわたって広がっていると予測される。粒子の細かい土砂の減少の影響については、今のところ十分に評価されていない。完全な季節データがなく、したがって全体的な運搬状況ははっきり立証されていないからである。しかし、細かい土砂が失われることの影響は、水路の土砂が失われることに比べ、流域のより下流にまで及ぶようである。粘土の濃度減少の影響はデルタで最も顕著に現れる。デルタには塩分を含む水があるので、塩分が供給されて粘土が固まり、デルタの表面に堆積層が形成され、マングローブシステムの下層となる。モデルでは、集合貯水池システムが細かい粘土の粒子、会合リン酸塩、有機物を雨季では約 60%、乾季では 85% せき止めることが予測されている。

密度流の放流

貯水池モデルからは、ムトンガ川およびカジタ川の流量が高まる時、土砂を大量に含んだ低温の水が密度流として貯水池を直接通過するらしいことが推定される。ムトンガ貯水池の死水域はかなり急速にこの流れで充満し、それから密度流はタービンを通して排出され、200m³/秒の発電放流でキャンベレから放流される水と混じり合うと推定される。この流れはその後、低グランドフォールズのダムの上流に向かって流れると予想される。流出率が非常に高い時、この流れは貯水池に達し、死水域にとどまるものと予測される。同様のプロセスがカジタに関しても起こるが、総排出量はムトンガよりかなり低い。

この密度流の一部あるいは全部を底部放流設備によって、一部の土砂を下流域に放流することにより、貯水池内部に沈殿する分を減少させることは可能であろう。十分な量の情報を入手できないので、効果の上がる頻度や規模をある程度確信をもって示すことはできない。また、この底部放流設備が下流域の沈澱物の減少をどの程度まで緩和することができるかの予測も難しい。

土砂生産は一般に雨季の開始時に起こり、この時期は洪水のピーク時期と一致しないだろう。

以上の詳細については、Supporting Report(2)の第 22 章に記述している。

4.5.5 最適貯水池運用

貯水池運用を最適化することは、洪水放流に必要な貯水池容量を確保しつつ発電を最大化するこ

とである。貯水池は、年間を通して整合性ある発電を行うために、雨季の余剰水を貯留し乾季に放流出来るよう設計するが、それは年間並びに長期の変動に応じた貯水容量を確保するのに必要なコストとバランスすべきである。

‘通常’洪水を一回発生させるためにグランド・フォールズからの必要放流量は、下流の雨の貢献度によるが、年間総流量の6-8%であり、年二回では12-16%となる。

然し、この放流が全て発電損失となるのではなく、一部は水車を通して発電に貢献し、残りは放流専用設備又は、大規模洪水では、余水吐を通して放流される。実際には、補足放流が必要ない場合もあるので、発電の損失は少ないと見込まれ、既存ダムとの協調運用を行えば更に減少しよう。

従って、最適貯水池運用のためには、上流域と下流域の雨のパターンを観測して、下流便益に繋がる放流をする必要がある。長期の気象予測によって、期待される雨のパターンに合わせて雨季前の貯水池水位低下管理を改善出来よう。流量観測と合わせて雨量予測を用いれば、上流ダム群の管理を大きく改善出来、更には将来、発電系全体管理の法制度化に貢献しよう。

4.5.6 管理・運用に当たっての必要事項

システム管理の最適化は、流域内の雨を観測・予測し、それによって貯水池運用を将来に備えつつ発電便益の最大化と下流放流を両立させることである。

ムトンガ/グランド・フォールズシステムの管理を改善するには、ケニアの既存開発では考慮されて来なかったけれども、下記の二つの側面がある；

- ・ 貯水池運用の決定は、電力技術者が、流域全体のリアルタイムの観測システムの設定と運用に精通した専門家の協力を得て行うべきである。システムは、支流と本流の流量と沈殿物・上流域と下流洪水域での雨の観測と予測を含む。
- ・ 下流への洪水放流の管理・決定の手続きは、その計画と管理に下流のコミュニティの代表者が参加して行うべきである。

観測システムを有効管理するのに必要な専門技術は、毎日の放流、発電の管理に責任を持つ組織の中に作る事が出来る。代案としては、他政府組織や・大学・私企業の持つ技術を利用して独立した組織とすることも出来る。どの方法に依るにしても、必要な機器と技術は現在無いので、まずそれを具体化する必要がある。

組織を作るに当たって、多分最も大きな問題点は、自らが専門家であると思っている組織が現在持っている決定権を他の組織に移管することに合意するかどうかである。然し、通例であった発電最大化より洪水放流が強く求められている状況を考えれば、管理組織の構成は、プロジェクトの多目的性を反映させたもので、伝統的牧畜民・農耕民・漁師そして系統的灌漑組織からの代表者を含むべきである。‘保存’団体についても、KWS、NMK や国内外のNGO等が決定手続きに参画すべきである。

この様に組織構成を広げることは、その都度相談するより、洪水放流の時期と量について要望の

違いの可能性がある利用者との間を上手く纏める効果を持つことになろう。地域住民は、彼らの意見が考慮されていると考える場合には摩擦を起こすことはなく、そのためには彼ら自身の代表者が決定に至る手続きに参加しているべきである。

上流貯水池群を含む管理によってプロジェクトの便益が最大化できるが、そのためには既存の水力開発の時期に与えられた以上の決定権が必要であろう。更に、上流での利水需要が増加すれば、上流の水利用者が組織に参加すべきである。そうなれば、流域全部の関係者の意見を反映しつつ流域管理と発電と水の広域の管理が出来ることになる。

4.6 下流河川地形

計画された低ランド・フォールズとムトンガダムが下流河川地形に及ぼす影響を解析・検討した。検討では、両ダムとコラ・ラピッドの間は、その自然条件からして有為な地形変貌は起こらぬと仮定した。解析結果によると、コラ・ラピッドの下流で大きい河床低下が起こる。

建設後34年の間に、コラ・ラピッドの直下流で11mの河床低下が起こり、低下はさらに下流では減少するが40km程度に及び、以後も継続するであろう。

計画された人工洪水放流の河床低下への影響は殆ど無い。

もし、カジタ川流域の砂を貯水池を迂回して下流に放流出来れば、河床低下量は11mから9mに減少すると見込まれるが、この案の実現可能性は低い。

河床低下は兩岸を不安定にし、河川断面を変えて、兩岸の土を河に落とし込むことになろうが、解析のモデルはこの効果を考慮していない。このことは、河床低下を遅くすることになろうが、最終的には河床形状はモデルの予測と一致するであろう。

河床低下は水位低下に繋がり、河の近傍での地下水位を下げ、付近の環境に影響を与えることになろう。

河の平衡条件の変化は、その平面形にも影響を与えよう、即ち、現在の網目状の河川形状は蛇行形状に変わり、現在蛇行形状の所は曲がりが減るであろう。河岸沿いの構造物に影響を及ぼすことになろう。

結局、ランド・フォールズダムの建設は、以下の結果を生むことになろう：

- ・ コラ・ラピッドの直下流で11mの河床低下が起こり、低下はさらに下流では減少するが40km程度に及ぶ。
- ・ 結果として、水位低下が起こる。
- ・ 地下水位が低下する。
- ・ 河川平面形状が変化し、河岸の構造物に何らかの影響を与えよう。

この調査の詳細は、Supporting Report(2)の16.7節から16.10節に記述している。

4.7 送電システム

送電システムには送電線、用地、スイッチヤード、変電所及び取付道路あるいは管理道路が含まれる。送電線の主要構造物としては、電線自体と避雷針、鉄塔及び支柱がある。送電線建設に必要な用地は、電線のサイズ及び用地内の送電線の本数によるが、幅50mかそれ以上となる。

送電システムは、調査地域内の自然及び社会経済資源に影響を与える帯状施設である。一般に、自然あるいは社会文化的資源に関係する環境影響は、送電線延長の増加とともに増大し、帯状施設であるので主として用地の内側あるいはその近辺に発生する。送電線の負の影響は、主にその建設及び運転期間に生じる。こうした期間の潜在的影響については、緩和対策と共にSupporting Report (2)の第23章で述べている。キアムベレからの送電線の環境影響評価は、先のKPC送電計画の調査において検討されており、追加施設についても同様の影響があろう。

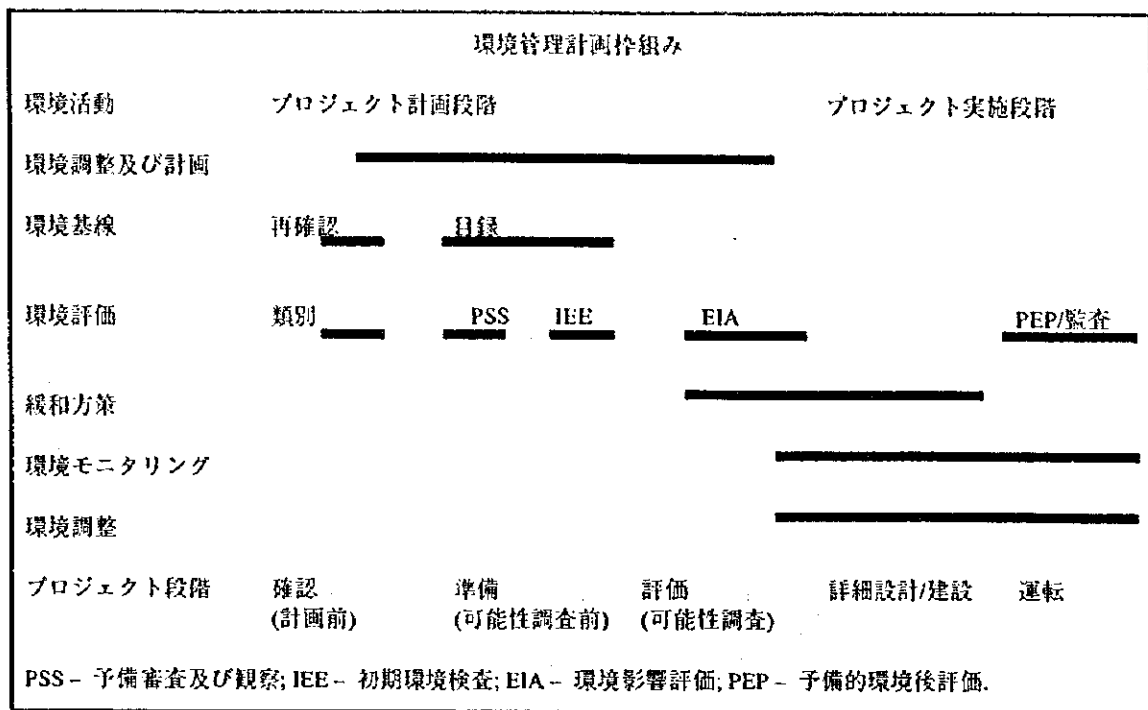
4.8 管理

4.8.1 環境モニタリング及び評価システム

環境モニタリング及び評価システム (EMES) の確立とは、貯水池運用と発電管理をしている機関やその他関連機関にモニタリング結果を報告することである。これらのデータは、プロジェクトの環境及び社会経済的影響に関する情報を与えてくれると共に、プロジェクトの耐用期間中の適切かつタイムリーな緩和対策の基礎を提供する。下図に示すように、環境モニタリングはプロジェクト実施段階の活動の重要な部分である。

モニタリングにおいては、下流のタナ峡谷及び上流の貯水池や再定住地域において発生する生物物理学的、社会経済的変化につき評価することが必要となろう。独立した生物物理学及び社会経済のモニタリング班が、地方・地域の適切な機関から任命されると思われる。

このモニタリングを有効に行なうためには、流域の現状を完全に掴むために十分な基線調査が不可欠である、即ち、本スタディでの第1-3段階での環境調査結果に加えて必要な現地調査を行ない、モニタリング要素の基線状態を決定することである。基線調査は、上・下流の数年間の記録を得るために、建設が始まる前に行われるべきである。上・下流域における状況の社会経済的、生物物理学的モニタリングを含む種々のモニタリングプログラムについては、Supporting Report (2)の第24章に詳述している。



4.8.2 制度上の要請

ムトンガ・グランドフォールズ水力発電プロジェクトの成功は、その経済的、社会的便益の見地からの堅実な評価と効率的な管理にかかっている。管理の重要な要素の一つは、環境モニタリングであり、以下の活動を伴う：

- ・ 水力発電が環境に与える影響を測定すること。
- ・ こうした環境影響を、定期的及び要求があった場合に、適切な機関へ報告すること。
- ・ こうした報告を確立された手順で行ない、適切な対応を容易にすること。
- ・ 適切な機関が定期的観察を行ない、計画で認められた条件が維持されているかどうかの確認を行なうこと。
- ・ 上記が満たされているかどうか確認すること。

モニタリングは、適切な制度を整備せねば機能しない。整備は、組織から法律やその他の規範、そして運転管理の実施や方針決定にまで至る。

制度整備においては、様々な役割を果たす機関、機関を規制する法律や行政制度、機関の機能と権限、環境モニタリングと報告手順、そして環境保護実施認可の役割、等についての十分な認識が必要である。

制度上の要請については、Supporting Report (2)の第25章で議論されている、上述の点の他、現行

制度の評価、現時点で考える制度上の要請、並びに水力発電プロジェクトの環境モニタリングの手続きに関する勧告が含まれている。

環境評価報告書は、理論的には、環境モニタリングを効果的に行なう基礎を提供するけれども、その実施においては、環境評価に携わった者とモニタリングを行なう者とが協力して作業することが望ましい。

4.8.3 提言

法的、行政的見地

- 1) 現在提案されている環境基本法が早期に承認された場合には、環境モニタリングの役割は新法の下で詳細に規定されるだろう。新法の最も注目すべき点は、国の環境機関の設立であり、この機関は、品質基準の制定や、関連する上位機関の調整の下で、環境影響評価により提案された安全対策にプロジェクトが合致しているかどうかをモニタリングする責任を持つ。
- 2) 上の環境基本法が制定されない場合、ムトンガ・グランドフォールズ水力発電計画は現行法のもとで運営されることになる。現行法には顕著な欠点があり、環境モニタリングの実施を容易にする行政上の整備が望まれる。
- 3) 行政上の整備において、環境モニタリングの主たる責任は、タナ川流域における開発計画の調整と管理を任された法的機関であるタナ・アチ河開発公社（TARDA）にあるとされよう。TARDAは環境モニタリングに対して主たる責任を持っているとはいえ、国家環境事務局（NES）や、タナ川流域の開発に利害関係のある様々な省庁、及び援助機関と緊密に協力しながら作業すべきである。
- 4) 効果的な環境モニタリングは、環境影響評価に含まれる提言に基づいて実施されねばならない。それゆえモニタリングに責任のある国家機関は、できるだけ早い時期に、計画に関する詳細な説明を受けるべきである。
- 5) 環境評価やモニタリングの実践について、法的な根拠を持たない現行法は極めて不十分である。そのため、規定された安全対策の実施において、モニタリング機関が彼らの決定を支える認可権を持たないという状況が生じる。政府は、環境安全対策の実施に関心を持つすべての関係者とともに、環境評価の手続きと環境モニタリングに法的効力を与える法令の制定にむけ、どのような方策を採ることが出来るかを検討すべきである。
- 6) 環境モニタリングの手続きを正当化する特定法がないとすれば、ムトンガ・グランドフォールズ水力発電計画への環境及び社会経済的な安全要求に従わない場合に対して、それを抑制するためにTARDAの現行の法的枠組みを意図的に活用することになるだろう。

技術的要請

制度の整備だけでは効果的な環境モニタリングを実現できない。モニタリングの手続きを実行するには、その専門知識と適切な技術的援助が必要である。これをTARDAか、KPCか、NSEか、関係各省庁か、または他の有能な組織との契約を通すのか、どこに求めるを決定せねばならない。しかし、重要なのは、それが何処にあるかということより、それが中央機関や委員会の指揮の下で確実に利用出来ることである。この担当機関は、一定の評価の下で技術的必要性を維持出来、一定の有効性を保証出来ねばならない。こうした技術的能力の評価は、極力関係者間の相談の上なされるべきである。

能力開発

環境モニタリングの任務を有効に秩序だてて遂行するために、担当機関は技術職員に対する専門訓練を行はねばならない。こうした訓練は、国内あるいは国外において実施されよう。モニタリングの手続きが、知識や経験の不足により妨げられぬようしっかりした訓練方針を確立する必要がある。

要求される専門知識には2つの段階がある。まず第一に、灌漑技術者、水文技術者、植物学者、動物学者、生態学者、環境監査役、環境経済学者、土質学者、社会学者等から有能な科学者を確保することが重要である。これらのスタッフは、水力発電計画が人間生活や動物相及び植物相に与える様々な影響を監視するために必要な科学的知識を与えてくれる。第二に、実際に水や土壌等のサンプル試験を行う資格を持った技術屋が必要である。彼らは科学機器を使用したり、資料や重要な情報を引き出す能力を持っていないなければならない。

従って、モニタリングを行いその結果を管理・評価するために必要な技術と能力の開発に、援助機関が強い関心を持つことは必然的である。

水力発電計画の持続可能な管理

水力発電計画の運営に当たっての注意深いモニタリングは、人や動植物の継続的なニーズに合った啓発的計画を促進しよう。モニタリングの成功は、管理制度の現実性と、生態系の安定をできる限り保証する適切な技術の開発にかかっている。こうした管理への取り組みが、水力発電計画の持続可能な利用を促進するであろう。

4.9 追加調査

4.9.1 背景

既存ダムによる下流域の環境への悪影響、計画される貯水池の潜在的影響、及び人口圧力や開発活動の利害紛糾に伴う影響を考慮し、社会経済学的見地も含め、タナ川氾濫原の環境の統合的かつ全般的な評価を遅滞なく実施することが重要と思われる。

第2次環境評価において下流域における生産の概略の価値が示された。現時点ですべての便益を評価することは困難であるが、タナ川がもたらす生產品や利便（あるいは環境上の便益）のおお

よその価値を定量化するという試みがなされた。その結果を1995年価格で以下に記す：

項目	年間価値 (百万Ksh/年)	摘要
農業	580	牧畜、洪水冠水農業、灌漑農業
社会資本	140	公共給水
漁業	40	淡水/塩水漁業及びエビ養殖
野生動物	260	狩猟及び森林/マングローブ利用
合計	1,020	

下流域における環境からの定量化可能な便益として、年間10億ケニアシリング（約2,000万米ドル）の便益が見込まれる。しかし、生物の多様性、独特の生態系、将来の選択、内在する実態といった価値は、目に見えないもので定量化できないため、この数値は最低限のものと考えられる。

自然状態（タナ川のダム建設以前）と現在の状態（5つの既存ダムの建設後）の洪水管理（ガリッサにて測定）を比べるため、25年間の日流出量記録を比較した。下表に示すとおり、ダムや貯水池の建設を含む上流域での社会経済開発により、年2回の自然洪水が影響を受け減少したことが、この結果から明らかである。

洪水状況	自然状態	現 状
流量 > 500 m ³ /秒の回数	87	70
流量 > 500 m ³ /秒の洪水期の回数	29	28

注：下流河川回廊の自然洪水は、ガリッサでの流量が500 m³/秒を超えると発生する

第3次環境評価は、自然発生の‘通常’洪水の特性を示すとともに、これらの洪水を計画の低グラウンド・フォールズ貯水池により人工的に発生させることが出来ることを明らかにした。この管理された洪水が、下流域の環境や生産システムに大変有益な影響を与えることが示された。さらに、こうした管理洪水がない場合、社会的、政治的及び経済的混乱により、下流域の生産価値は大きく低下することも示された。しかし、洪水低下や人工洪水の環境影響を十分に評価・定量化するのに必要な、下流域の河川回廊・氾濫原・三角州の情報は未だ充分ではない。

1995年3月の公開ワークショップにおいて参加者は、下流河川回廊と三角州沿いの氾濫原を含む下流域環境の統合的で全般的な評価を強く求めた。

4.9.2 目的

追加環境評価は、タナ川氾濫原における長期的、全般的環境管理計画の実施を目的とする。そしてそれは以下の手順を通して実現されよう。

- a) 環境評価の実施
- b) 評価結果に基づく管理計画の作成、そして
- c) 管理計画の実施

評価の目的は、上の手順の最初の段階a)を含み、自然資源や人間活動及び河川流水管理といった関係に注意を払いつつ、タナ川氾濫原及び三角州の環境評価を実施するものであり、以下の項目を含む：

1. 資料と情報の再確認及び編集
2. 自然及び環境状況の測量、調査
3. 価値、機能、過敏性、及び制約条件の確認
4. 自然資源の利用と依存の確認
5. 社会経済活動の影響の調査
6. 開発機会と制約条件の確認
7. 管理問題の確認
8. 管理方針の確立

調査地域は以下の範囲である：

- ・ 水深15mまでの三角州沖の海洋資源のみならず、すべての恒久的、季節的湿地帯及び海岸資源を含むガリッサ下流のタナ川氾濫原およびタナ三角州、そして
- ・ 流水管理（堆積物を含む）の関係から、タナ川のガリッサ上流

4.9.3 作業範囲

資料と情報の再確認及び編集

調査に関わるすべての有効な資料と情報を収集、再確認し、以下のものを編集する：

- ・ すべての資料と情報の全般的なリスト
- ・ この作業範囲であげられた項目に沿った資料及び情報の分類リスト
- ・ 分類された資料や情報の要約

自然及び状況の測量、調査

以下の項目を通して、調査地域の自然状況を調査する：

- ・ タナ川の主河道及び氾濫原を含む横断部分の地形測量の実施。測点間隔はグランドフォールズの計画ダム地点と海岸間800km区間を、河道沿いに5kmとする。

- ・ 自動観測所の設置、水位の観測及び水位-流量累加曲線の作成による、ガリッサ下流西岸の4つの主要濁れ川の流出量測定
- ・ タナ川と流域及び濁れ川における浮遊土砂の観測
- ・ タナ川及び氾濫原の水理学、形態学及び堆積のモデル
- ・ 既存の井戸や新たに掘られるボーリング孔における地下水位や水源の測定
- ・ デルタや沿岸地域における塩分濃度の検査
- ・ 遠隔画像を用いた植生及び土地利用図（縮尺 1:50,000）

生態系の価値、機能、鋭敏性及び制約条件の確認

以下の項目を通して、調査地域内の生態系の価値、機能、鋭敏性及び制約条件を確認する：

- ・ 国内外の情報に関する十分な文献調査及び解析
- ・ 動植物相の密度、多様性及び現在の利用の見地からの、淡水湿地帯資源及び海洋、間潮資源の評価
- ・ 氾濫原及びタナデルタにおける資源と流水管理との相互関係の評価

自然資源の利用と依存の確認

以下の項目を通して、人々が利用し依存する調査地域内の自然資源を確認する：

- ・ 人口統計学及び資源利用に関する十分な文献調査及び解析
- ・ 土地保有権調査
- ・ アンケート調査、関係地方の評価及び特定資源利用測量による資源利用調査
- ・ 環境及び洪水管理の観点から、洪水減少農業、灌漑、漁業及び畜産システムを含む氾濫原生産システムへの依存の評価
- ・ 氾濫原及びタナ三角州における資源利用と洪水管理の関係の評価
- ・ 氾濫原及びタナ三角州における洪水管理に関わる資源利用と生産システムに関しての、環境と実在価値を含む費用と便益の評価

社会経済活動の影響に関する調査

以下の項目を通して、調査地域における既存及び計画の人間活動と開発活動の影響を調査する：

- ・ 灌漑、エビ養殖場及び塩分抽出のための小規模開発計画や、タナデルタやブラ、ホラといった大規模灌漑計画、及びタナ川主要指定地区における影響の調査
- ・ 氾濫原及びタナデルタにおける洪水管理に対し、こうした影響がどのように関連するかについての評価
- ・ 氾濫原及びタナデルタにおける洪水管理に関わる費用と便益の評価

開発機会と制約条件の確認

以下の項目を通して、地域の開発機会と制約条件を確認する：

- ・ 観光、農業、漁業、野生動物、林業、畜産業及び工業における開発機会の調査
- ・ 氾濫原及びタナデルタにおける流水管理の開発機会の関係に関する評価

管理問題の確認

以下の項目を通して、地域での既存及び計画の開発における主要な管理問題と資源利用紛争を確認し、それらの紛争に対する解決策を提案する：

- ・ 水資源利用と保護地区の管理に関する、行政の調整手段の調査
- ・ 既存水資源利用施設の運転方法及び既存監視施設の運転と能力の調査

管理方針の確立

以下の項目を通して、氾濫原やタナデルタ及び自然資源の、生態系機能や多様性の価値及び持続可能な利用を保護するための管理方針を確立し、環境に関する脅威を緩和する：

- ・ 環境の維持・強化そして持続可能な利用に寄与する水資源利用施設（ダム及び取水施設）の運転に関する解析
- ・ 流出予報の方法論の開発、及びリアルタイム監視体制の開発
- ・ 監視と運営の予備計画の開発、及び統合管理体制を実施するための制度上の、及び訓練上の建物の要求に関する調査

第5章 水資源調査

5.1 はじめに

この章では、電力、灌漑と都市／工業用水の各々のセクターにおける現況を、タナ川の水資源の開発に関連し検討した。

電力セクターに関連し、既存及び計画中の電力設備と送電線システムは5.2章で記述されている。またこの章では、電力需要予測について検討した。電力需要予測の結果、将来の電力需要の伸びに対応するために、新規電源開発が必要となることが明らかになった。

灌漑セクターについては、過去に提案された灌漑計画と水需要につき、将来の灌漑計画のシナリオとして検討した。

タナ川上流域における都市／工業用水の需要者は、ナイロビ市と周辺地区である。ナイロビ市と周辺地区の将来における水需要は、2章において予測した人口増加を基に予測した。

5.2 電力市場調査

5.2.1 ケニアの電力部内の概要

ケニアでは次の6つの政府機関が電力産業に係っている。

- ケニア電力会社 (KPC)
- ケニア電力電灯会社 (KPLC)
- タナ川開発会社 (TRDC)
- ケリオ・バレー開発公社 (KVDA)
- タナ川、アティ川開発公社 (TARDA)
- 湖、貯水地開発公社 (LBDA)

LBDAは政府組織の地方開発省(MRD)に属し、他の5団体は電力省に属している。

TARDAと他のいくつかの組織は全国電力システムシステムの発電設備の一部を保有しているが、実際には設備の運転と維持は、合意に基づきKPLCが行っている。

KPLCは60%政府出資であり、国内の電力ネットワークを保有し、KPC、TRDC、TARDAの電力の大部分を調達し、需要家に配電している。さらに、KPLCはケニアの西部地区にあるレソス変電所を経由してウガンダから電力を輸入している。

ケニアは電力供給を次の6地区に分けている。

- 1) ナイロビ地区
- 2) 海岸地区
- 3) 中央リフトバレー地区
- 4) 西部地区
- 5) ケニア山岳地区
- 6) 北リフトバレー地区

KPLCの電力ネットワーク全体の電力売上げは、1995/96年では3,269 GWhであった。その内訳は、ナイロビ地区が最も多く1,785 GWh、続いて海岸地区が719 GWh、西部地区が311 GWh、中央リフトバレー地区が186 GWh、ケニア山岳地区が129 GWh、北リフトバレー地区が140 kWhの順であった。これは、KPLCの電力エネルギー売上げの75%以上をナイロビ地区と海岸地区で消費していることを

意味する。

一方、ケニアの水力発電ポテンシャルは主にタナ川、ビクトリア湖、エワソ・ヌギロ川（南部）、リフトおよびケリオバレー、アティ川流域に確認されており、地熱発電についてもリフトバレーに集中している。

その他の地区でもいくつかの電源が開発され、ナイロビやモンバサといった負荷の中心地へ供給するため、132kVや220kVの送電線にてネットワークに相互接続されている。

既設発電所と電力ポテンシャルサイトを図5.2.1に示す。

5.2.2 既設および計画中の発電設備

表5.2.1に示すとおり、電力システムに相互接続している発電設備の全設備容量は1996/97年度において777.6 MWであった。加えて、9MWの設備容量の独立電源、及びウガンダからの電力輸入がある。

タイプ別には、水力発電が設備容量で77%を占めており、有効設備容量の80%、1996/97年度における発電電力量の81%であった。ウガンダからの輸入電力量はケニアの全発電電力量のおよそ3.3%に相当する。1996/97年度のケニアの設備容量、有効設備容量、年間発電電力量を表5.2.1に示す。

電 源	設備容量 (MW)	有効設備容量 (MW)	年間電力量 (GWh)
水 力	601.3	571.1	3,353.6
火 力	119.0	86.0	373.7
地 熱	45.0	45.0	392.8
ディーゼル（系統連結）	12.3	12.0	9.6
ディーゼル（非連結）	9.0	-	22.0
ウガンダから輸入 （合意最大電力）	30.0	0.0	143.8
風 力	0.6	0.4	0.5
合 計	817.2	714.5	4,296.0

タルクワエル発電所に続く発電開発計画は、以下の通りである。

- 60 MWの設備容量のソンドゥ／ミリウ水力発電プロジェクト
- 64 MW北東オルカリア地熱発電プラント
- 75 MWキベブ（モンバサ）ディーゼル発電プラント

ソンドゥ／ミリウプロジェクトと北東オルカリアの詳細設計、およびその他の計画のフィージビリティスタディは既に終了している。ソンドゥ／ミリウ水力プロジェクトの資格審査及び入札手続きは1997年8月に開始している。

5.2.3 既設の送電配電システム

ケニア国内では、132kVと220kVの送電線が20の主な既設変電所を結んでいる。これらの変電所

は、図5.2.1と図5.2.2にみられる通り、それぞれの地区の電力消費センター近くにあるジュジャロード（ナイロビ地区）、キベブ（海岸地区）、レスス（西地区）変電所を含む。1993年6月30日現在の変電所設備の詳細を図5.2.2に示す。

1983年220kVの送電線がケニアに紹介され、それ以来変圧器（昇圧用及び配電用）の容量はそれ以前の低い伸び率に反して、年平均（1982年から1993年）8.9%の伸び率で増大している。

33kV/415-230Vと11kV/415-230Vの配電用変圧器は、1993年6月30日には合計1,615 MVAを記録し、1,300 MVAであった1989年以降、年平均8.9%の伸び率を示している。

ケニアでは、220 kV、132 kV、66 kV、40 kV、33 kVの送電線にて電力を供給している。送電線の総延長は1996年6月現在220 kVは877 cct-kmであり、132 kVは1,980 cct-km、66 kVは573 cct-km、40 kVは126 cct-km、33 kVは3,969 kmとなっている。これら詳細を表5.2.3に示す。

66 kVと40 kVの電圧はナイロビ地区だけのものであり、132 kVはこの国の既設送電線で主流となっている。

地方電化向けに、33 kVラインが西地区で広く運用されている。ケニアの地方電化計画の進行に沿って、132 kVと33 kVが更に増設されるはずである。

この国の配電線は、高圧11kVと低圧415/230kVで構成されている。表5.2.4には、SWER（1線式アースリターン）システムを含む既設配電網の詳細を示す。SWERは地方で使用されていたが、既に3線式に取り替えられている。

5.2.4 電力市場

(1) 発電設備

5.2.2章で説明したように、主な電源は水力と地熱により供給され、これに火力とディーゼルが続いている。これらのプラントによって供給された電力エネルギーの経年記録を表5.2.5に示すが、その概要は次の表の通りである。この表から、1986/87年度から1995/96年度における10年間の総発電電力量と総電力売上高、および最大電力需要はそれぞれ5.2%、4.8%、4.7%で増加していることが分る。

	1979	1986/87	1989/90	1992/93	1995/96	増加率 (86/87-95/96)
電力の供給 (GWh)						
水力	1,288	1,792	2,517	2,974	3,163	6.52%
火力	205	168	97	59	224	3.25%
地熱	-	374	336	272	390	0.47%
ディーゼル及びガスタービン	2	58	24	22	193	14.29%
輸入電力	160	211	174	273	149	-3.79%
供給電力量合計	1,655	2,603	3,148	3,600	4,119	5.23%
所内消費量	22	28	33	29	52	7.12%
純電力供給量 (GWh)	1,633	2,575	3,115	3,571	4,067	5.21%
送電、配電損失 (GWh)	224	347	453	566	660	7.40%
KPLC 売上合計 (GWh)	1,405	2,203	2,596	2,901	3,269	4.48%
REF 売上 (GWh)	2	25	66	104	138	20.90%
総売上高 (GWh)	1,407	2,228	2,662	3,005	3,407	4.83%
最大需要 (MW)	269	430	520	596	648	4.66%
負荷率 (%)	70.2	68.9	68.9	68.6	72.2	0.52%

(2) エネルギー消費

需要家の分類

“1996年KPLC料金体系”によると、電力需要家を次に示す11の 카테고リーに分類される。

- (i) カテゴリ-A0 : 月間使用量が7,000kWhを超えない一般家庭需要家
- (ii) カテゴリ-A2 : 月間使用量が7,000kWhを超えない家庭用以外の小規模需要家
- カテゴリ-B : 月間使用料7,000kWhを以上、100,000kWh以下の一般需要家
- (iii) カテゴリ-B0 : 240V単相2線式もしくは415V3相4線式の灌漑用ポンプ負荷
- (iv) カテゴリ-B1 : 240V単相2線式もしくは415V3相4線式の需要家
- (v) カテゴリ-B2 : 11kVもしくは33kVの需要家
- (vi) カテゴリ-B3 : 66kVもしくは132kVの需要家
- カテゴリ-C : 月間使用料100,000kWh以上の一般需要家
- (vii) カテゴリ-C1 : 415V3相4線式の需要家
- (viii) カテゴリ-C2 : 11kVもしくは33kVの需要家
- (ix) カテゴリ-C3 : 66kVもしくは132kVの需要家
- (x) カテゴリ-D0 : 一般需要家へオフピーク時の電力供給
- (xi) カテゴリ-D1 : 公共の街灯への電力供給する公共団

上記に加え、新たなエネルギー消費カテゴリー“F”がKPLCのスタッフによって定義される模様である。最新の需要家カテゴリーはKPLCによって1979年に修正された。エネルギー消費の経年傾向の解析と需要予測をするために、上記消費カテゴリーを次の3グループに分けた。

- (a) グループ-1 : 1978年以前のカテゴリー区分では、一般家庭用、小電灯用
(A+E+F) : 7,000kWh/月以下の電灯、街路灯、及びKPLCの職員用、又は現在のカテゴリーにおけるA0、A1、E、F。
- (b) グループ-2 : 1978年以前のカテゴリー区分では、7,000kWh/月以上の
(B+C) : 電灯や電力、21,000kWh/月以上の産業用、及び特別契約。
現在の区分においてはB0、B1、B2、B3、C1、C2、C3が該当する。
- (c) グループ-3 : 1978年以前の区分ではオフピーク負荷、もしくは現在のD0。

KLPCは会計年度を1986年から、1月1日から12月31日を7月1日から6月31日に変更している。需要解析と予測はこれらの変更を考慮している。

過去の電力需要

地区毎のグループ別電力需要の実績は、表5.2.6に示す。その概要は次の通り。

(単位 : Gwh)

地 区	1973	1975	1979	1985	1987/88	1992/93	1995/96	年間増加率 (%)		
								73-85	87/88- 92/93	92/93- 95/96
ナイロビ地区										
Group-1	181.	208	253	340	433	568	626	5.41	5.59	3.28
Group-2	264	300	428	614	709	856	1,067	7.30	3.85	7.62
Group-3	108	119	110	96	100	106	92	-1.04	1.11	-4.47
小 計	553	627	791	1050	1,242	1536	1,785	5.49	4.26	5.28
海岸地区										
Group-1	45	53	69	99	117	164	203	6.69	6.90	7.44
Group-2	149	180	270	337	416	487	513	7.05	3.20	1.79
Group-3	5	5	5	4	3	3	3	-2.42	0.00	-5.69
小 計	199	238	344	440	536	654	719	6.81	4.04	3.23
中央リフトバレー地区										
Group-1	15	18	24	36	41	65	67	7.67	9.86	1.27
Group-2	22	27	45	62	84	104	117	8.94	4.40	4.16
Group-3	5	6	2	1	2	2	1	-12.71	-3.58	-12.64
小 計	42	51	168	269	127	171	186	7.48	6.19	2.95
西地区										
Group-1	20	25	32	59	65	62	72	8.21	-1.07	5.04
Group-2	43	56	127	215	270	232	238	14.30	-3.02	0.91
Group-3	4	4	4	3	3	2	1	-0.24	-12.35	-4.66
小 計	67	85	163	269	338	296	311	12.37	-2.07	1.78
ケニア山岳地区										
Group-1			17	29	35	55	60	-	9.49	3.02
Group-2			18	41	58	66	68	-	2.64	0.85
Group-3			2	2	2	2	2	-	1.92	-10.07
小 計			37	72	95	123	129	-	5.34	1.65
北リフトバレー地区										
Group-1						28	35	-	-	7.96
Group-2						101	104	-	-	1.05
Group-3						1	1	-	-	-3.85
小 計						130	140	-	-	2.56
全国総計										
Group-1	260	304	395	554	690	940	1,062	6.49	6.37	4.14
Group-2	478	563	888	1,269	1,536	1,845	2,108	3.73	3.73	4.53
Group-3	121	135	123	123	110	115	100	0.91	0.91	-4.70
合 計	859	1,002	1,406	1,929	2,337	2,900	3,270	6.97	4.42	4.07

Source : KPLC Information

ケニアの電力消費の平均年間伸び率は、1973年から1985年が6.97%、1987/88から1992/93年が4.42%、1992/93年から1995/96年が4.07%であった。グループ-2の需要、すなわち大規模灌漑や産業用、商用といった需要は他の2グループを上回った。この傾向は将来も暫くは続くと思われる。

グループ-3のオフピークカテゴリーの需要は、伸びは無いが全ての地区で同等のレベルを保っている。

ナイロビ地区は国内最大の消費地帯であり、この国の総電力量の52%から56%を消費している。この地区の最大消費カテゴリーである産業用、商用といったグループ-2の需要は、1995/96年において地区の総消費量の60%を占めている。

海岸地区は国内2番目の消費地帯であり、総電力消費量の22%を占めている。

中央および北リフトバレー地区、西地区、ケニア山岳地区はエネルギー消費において発展途上地域である。

(3) 負荷変動パターン

全国における負荷変動パターンを図5.2.3に示した。この図から以下のような特徴が見られる。

- (a) 平日と日曜日とでは一日の負荷傾向の違いが明らかである。
- (b) 一日の負荷のピークは午後8時から9時頃である。
- (c) 季節による負荷傾向の変化は、特に見られない。

(4) 需要家数

1988年から1992年までの需要家数の年間増加率を以下に示す。

地区	1988	1989	1990	1991	1992	1996	平均年間増加率
ナイロビ地区	125,146	131,686	136,772	145,759	153,334	196,414	6.3%
海岸地区	43,815	44,958	47,287	49,609	51,872	61,933	4.6%
中央リフトバレー地区	14,807	15,703	16,798	18,194	19,729	26,813	9.0%
西地区	24,796	25,839	20,092	21,699	23,118	29,722	2.2%
ケニア山岳地区	15,154	16,488	17,669	18,619	20,113	27,145	8.8%
北リフトバレー地区	-	-	7,728	8,640	9,456	13,295	10.3%
R.E.F.	11,494	15,132	19,067	24,491	29,513	47,164	34.5%
計	235,212	249,806	265,413	287,012	307,135	402,536	7.9%

上記によると1988年から1996年までの需要家数の年間増加率は平均7.9%である。

(5) 電力料金の現状

月毎を基本とした現在の電力料金体制は1996年に導入された。その概要は、以下のとおりである。

- (a) カテゴリーA0 : (i) 基本料金KShs. 50.00/kWh
 (ii) *最初の50 kWhまでKShs. 140.00/kWh
 *50 kWhを越えて250 kWhまでKShs. 4.80/kWh
 *250 kWhを越えて2,700 kWhまでKShs. 5.20/kWh、
 また2,700 kWhを越えて7,000 kWhまでKShs. 10.85/kWh
- (b) カテゴリーA1 : (i) 基本料金KShs. 125.00/kWh
 (ii) 使用量に対してKShs. 5.15/kWh

- (c) カテゴリー-B0 : (i) 基本料金KShs. 500.00
(ii) 使用量に対してKShs. 4.95/kWh
- (d) カテゴリー-B1 : (i) 基本料金KShs. 500.00
(ii) 使用量に対してKShs. 4.40/kWh
(iii) 設備容量kVA当りKShs. 250/kVA/月
- (e) カテゴリー-B2 : (i) 基本料金KShs. 1,500.00
(ii) 使用量に対してKShs. 3.90/kWh
(iii) 設備容量kVA当りKShs. 160/kVA/月
- (f) カテゴリー-B3 : (i) 基本料金KShs. 7,100.00
(ii) 使用量に対してKShs. 3.70/kWh
(iii) 設備容量kVA当りKShs. 95.00/kVA/月
- (g) カテゴリー-C1 : (i) 基本料金KShs. 500.00
(ii) 使用量に対してKShs. 4.15/kWh
(iii) 設備容量kVA当りKShs. 250.00/kVA/月
- (h) カテゴリー-C2 : (i) 基本料金KShs. 1,500.00
(ii) 使用量に対してKShs. 3.75/kWh
(iii) 設備容量kVA当りKShs. 160.00/kVA/月
- (i) カテゴリー-C3 : (i) 基本料金KShs. 7,100.00
(ii) 使用量に対してKShs. 3.60/kWh
(iii) 設備容量kVA当りKShs. 95.00/kVA/月
- (j) カテゴリー-D0 : (i) 基本料金KShs. 125.00
(ii) 使用量に対してKShs. 4.35/kWh
- (k) カテゴリー-D0 : (i) 基本料金供給端子当りKShs. 200.00
(ii) 使用量に対してKShs. 4.75/kWh

5.2.5 電力需要予測

(1) はじめに

ケニアの電力需要は、Acres International Limited (Acres) により1992年に発行された“ケニア全国電力開発計画”の中で2010年まで予想されている。

今回の調査で上記の需要予測をもとに最新の電力データを使用して再度需要予測を行った。更新された需要予測は、5.2.4章(2)で述べた需要家カテゴリーのグループ-1、グループ-2およびグループ-3それぞれについて地区単位、全国単位で行った。更に、総需要は、送配電線の電力損失だけでなく運転保守の為に発電所で消費される電力も考慮されている。

(2) 電力需要予測の基本

需要予測の方法

Acresによる需要予測は、各地区毎の詳細な需要予測と総販売電力量の計量経済モデルの組合せか

らなっている。

今回の調査で行った需要予測の再分析は、Acrsによる需要予測の方法を基に見直した。国全体の需要成長の傾向を各地区、需要家カテゴリーの各グループで分析した。各電力供給地区でのカテゴリー別の需要予測は、1995/96年までの実測値をもとに再検討された。

需要成長のケース

需要成長を基準、低成長、高成長の3つのケースで想定し、需要予測を行った。

基準成長ケースでは、ケニアの経済力の進歩が、今までよりも大きな農業や工業分野の成長率の増加や、新しい資本投資による効果に影響されることを想定している。予測はやや楽天的であるが、システム開発の立案には妥当である。

低成長ケースでは、1979年から僅かながらの進歩によって続いている成長率を基本にし、売電も控えめな積算になっている。

高成長ケースでは、ケニアの経済開発計画の目標をすべて達成することを基本にしている。予測は楽天的であるが、現状を踏まえ、負荷成長を最大限考慮されている。

地区、全国予測

地区予測は、各需要家カテゴリーの電力需要から導いた。地区の最大需要は、地区負荷率が3つのケースで共通であると想定し、その負荷率を適用して予測された。

全国予測は、各地区の予測値を集計することにより行われた。国全体の必要総発電量は、送配電線の電力損失と運転保守の為に発電所で消費される電力を総販売電力量に加えることによって予測されている。

(3) 電力需要予測の結果

3つのケースによる需要予測の結果を表5.2.7から表5.2.9および図5.2.4、5.2.5に示す。表からの抜粋を以下に示す。

(a) 基準ケース：

地 区	1995/96	2000/01	2005/06	2010/11	2015/16	2019/20	年間平均成長率 (%) (1995/96- 2019/20)
販売電力量							
(GWh)							
ナイロビ	1,796.8	2,373.9	3,187.2	4,279.1	5,729.6	7,222.2	5.97
海岸	721.5	951.7	1,289.5	1,742.2	2,342.9	2,960.6	6.06
中央リフトバレー	186.5	246.5	333.6	450.8	606.7	767.3	6.07
西	312.1	411.1	557.2	752.6	1,011.5	1,277.2	6.05
ケニア山岳	131.3	174.1	235.1	317.4	427.3	540.9	6.08
北リフトバレー	139.4	183.7	248.9	336.1	451.7	570.5	6.05
計	3,287.6	4,341.0	5,851.5	7,878.2	10,569.7	13,338.7	6.01
最大負荷(MW)							
ナイロビ	356.5	471.4	638.6	863.4	1,162.8	1,471.4	6.08
海岸	140.4	185.2	251.1	339.4	456.6	577.1	6.07
中央リフトバレー	45.0	59.5	80.6	109.0	146.7	185.7	6.08
西	66.8	88.0	119.4	161.4	217.0	274.1	6.06
ケニア山岳	37.6	49.9	67.5	91.2	123.0	155.8	6.10
北リフトバレー	30.0	39.5	53.6	72.4	97.4	123.1	6.06
国全体	670.3	920.9	1,251.2	1,687.5	2,261.6	2,852.4	6.22
電力需要 (GWh)							
REF	138.5	220.8	297.3	375.0	453.1	515.9	-
送配電損失	663.5	758.6	1,024.5	1,375.5	1,837.9	2,311.0	-
所内消費	52.1	74.1	100.0	134.3	179.4	225.6	-
総発電量	4,121.9	5,364.6	7,244.8	9,727.0	12,996.6	16,341.6	5.91

(b) 低成長ケース :

地 区	1995/96	2000/01	2005/06	2010/11	2015/16	2019/20	年間平均成長率 (%) (1995/96-2019/20)
販売電力量							
(GWh)							
ナイロビ	1,796.8	2,293.6	2,992.7	3,913.3	5,112.2	6,324.9	5.38
海岸	721.5	916.2	1,203.7	1,581.4	2,072.3	2,568.3	5.43
中央リフトバレー	186.5	237.7	312.4	410.8	539.2	669.3	5.47
西	312.1	395.3	519.2	681.5	891.9	1,104.1	5.41
ケニア山岳	131.3	168.2	220.9	290.8	382.2	475.2	5.50
北リフトバレー	139.4	176.7	232.0	304.6	398.8	493.8	5.41
計	3,287.6	4,187.7	5,481.0	7,182.3	9,396.6	11,635.5	5.41
最大負荷(MW)							
ナイロビ	356.5	454.6	597.9	786.8	1,033.5	1,283.5	5.48
海岸	140.4	178.3	234.3	308.0	403.7	500.5	5.44
中央リフトバレー	45.0	57.4	75.4	99.3	130.4	161.9	5.48
西	66.8	84.7	111.3	146.1	191.3	236.9	5.41
ケニア山岳	37.6	48.2	63.4	83.5	109.9	136.8	5.53
北リフトバレー	30.0	38.0	50.0	656.6	86.0	106.5	5.42
国全体	670.3	889.8	1,175.4	1,554.6	2,020.0	2,500.5	5.64
電力需要 (GWh)							
REF	138.5	220.8	297.3	375.0	453.1	515.9	-
送配電損失	663.5	733.0	962.5	1,259.1	1,641.6	2,025.8	-
所内消費	52.1	71.6	94.0	122.9	160.3	197.8	-
総発電量	4,121.9	5,183.6	6,806.3	8,903.2	11,608.0	14,325.4	5.33

(c) 高成長ケース :

地 区	1995/96	2000/01	2005/06	2010/11	2015/16	2019/20	年間平均成長率 (%) (1995/96-2019/20)
販売電力量							
(GWh)							
ナイロビ	1,796.8	2,465.6	3,425.7	4,759.8	6,596.5	8,548.4	6.71
海岸	721.5	993.7	1,398.7	1,962.1	2,739.4	3,566.8	6.89
中央リフトバレー	186.5	256.6	359.8	503.5	701.7	912.7	6.84
西	312.1	430.1	606.7	852.2	1,190.9	1,551.4	6.91
ケニア山岳	131.3	180.4	251.6	350.7	487.4	632.9	6.77
北リフトバレー	139.4	192.0	270.6	379.9	530.6	691.0	6.90
計	3,287.6	4,518.3	6,313.0	8,808.2	12,246.5	15,903.3	6.79
最大負荷(MW)							
ナイロビ	356.5	490.6	688.5	964.1	1,344.3	1,749.1	6.85
海岸	140.4	193.4	272.4	382.3	534.0	695.5	6.90
中央リフトバレー	45.0	61.9	86.9	121.8	169.8	221.0	6.85
西	66.8	92.1	130.1	182.8	255.6	333.1	6.92
ケニア山岳	37.6	51.7	72.2	100.9	140.4	182.5	6.80
北リフトバレー	30.0	41.3	58.3	81.9	114.5	149.1	6.91
国全体	670.3	956.9	1,345.5	1,878.5	2,607.0	3,382.3	6.98
電力需要 (GWh)							
REF	138.5	220.8	297.3	375.0	453.1	515.9	-
送配電損失	663.5	788.3	1,101.8	1,531.2	2,118.6	2,740.3	-
所内消費	52.1	77.0	107.6	149.5	206.8	267.5	-
総発電量	4,121.9	5,574.1	7,791.1	10,827.9	14,981.5	19,377.3	6.66

Source : KPLC Information

基準成長ケースの需要予測結果は以下の通り。

- (1) 必要電力量と最大負荷電力は、1995/96年から2019/20年の間にそれぞれ6.0%、6.2%の年間成長率で、着実に増え続けている。
- (2) 総発電量は、国の電力需要を満たすために5.9%の年間成長率が要求される。
- (3) 必要総発電量は、2000/01年で5,364.6 GWh、2005/06年で7,244.8 GWh、2010/11年で9,727.0 GWh、2019/20年で16,341.6 GWhである。

2019/20年までの年間平均成長率は、基準ケース、低成長ケースおよび高成長ケースにおいて、送配電損失と所内電源を含めて5.9%、5.3%および6.7%になると予測され、最大需要は、基準ケース、低成長ケースおよび高成長ケースにおいて、それぞれ6.2%、5.6%および7.0%になると予測される。各ケースにおける電力量の成長傾向は、図5.2.4、5.2.5に示す。

5.2.6 送電系統

(1) 概要

グランドフォールズ発電所はキャンベレ水力発電所の北東約45 kmの位置に計画され、その総発電出力は140 MWを予定している。一方、ムトンガ発電所は、上記両発電所の間でキャンベレ発電所から20 kmの位置に予定され、計画総発電出力は60 MWである。

グランドフォールズとムトンガ発電所の発電電力は、現在のところその大部分を国内最大需要地であるナイロビ地区に送電する予定である。キャンベレ発電所からは既設の220 kV送電線が2回線あり、1回線はナイロビ地区への電力供給を行うカンブル変電所に結ばれ、もう1回線はモンバサ地区の需要をまかなうラバイ変電所に接続されている。

計画2発電所の電力は、本計画で建設される220 kV送電線(グランドフォールズ～ムトンガ～キャンベレ線)でキャンベレ発電所に送電される。さらに、キャンベレ発電所からは既設220 kV送電線にて、カンブル変電所を経由しグンドラ変電所に送電され、ナイロビ地区に供給される。また、ナイロビ近くの既設エンバカシ変電所とキャンベレ発電所間に220 kV送電線1回線を新設予定である。

KPLCはすでにキャンベレ～エンバカシ220 kV送電線の新設を、地域送電システム強化の観点から調査しており、入札可能な段階まできている。従って、上記送電線は本発電計画完成前に完工するものと考えられる。加えて、220 kV送電線がエンバカシ～ラバイ変電所間に計画されている。この送電線は、沿岸地区に建設される石油火力発電所の電力を送電することを目的としている。

(2) 送電電圧

ケニアにおける基幹送電線の標準電圧は220 kVと132 kVである。グランドフォールズ140 MW、ムトンガ60 MWで合計200 MWの発電出力を考慮し、グランドフォールズ～ムトンガ～キャンベレ送電線の電圧は220 kVを選定した。この電圧は系統安定度の向上に貢献すると共に、キャンベレ発電所の既設変電設備への接続と、グランドフォールズの下流に計画されているアダムスフォールズとコラ水力発電所の開発を容易にする。

(3) 送電設備

ケニアでの220 kV送電線用標準電線はGOAT (鋼心アルミより線: ACSR 320 mm²) とCANARY (ACSR 460

mm²)である。電線の最高許容温度75度Cに対する許容送電容量と、計画送電電力から検討し、新設送電線にはカナリーを選定した。また、1回送電線故障時の継続送電を可能とし、タナ川下流の将来開発を容易にするため、グランドフォールズ～ムトンガ～キャンベレ送電線は2回線とした。

送電線支持物は垂鉛メッキの電線垂直配列2回線鉄塔で、避雷用に架空地線は2条とする。

碍子はガラスまたは磁器製で、色は景観に配慮し青か茶色とする。

(4) 変電設備

計画変電設備を以下に示す。

- (a) グランドフォールズ発電所の屋外変電設備新設
- (b) ムトンガ発電所の屋外変電設備新設
- (c) キャンベレ発電所の既設屋外変電設備拡張

上記(a)、(b)の屋外変電設備は、それぞれの発電所の敷地内に建設される。グランドフォールズの変電設備は、ムトンガ発電所への220 kV送電線2回線分が必要である。変電所の敷地は将来の追加送電線に備えて、十分な余裕を持たすべきである。

ムトンガの屋外変電設備は、グランドフォールズからの220 kV送電線2回線分とキャンベレへの同じく2回線分の合計4回線分が必要である。

キャンベレ発電所の既設変電設備に対しては、220 kV送電線2回線分の拡張が必要である。キャンベレ発電所敷地は、本計画の拡張と他で計画されているエンバカシへの220 kV送電線に対しても十分なスペースがある。

キャンベレからの新設220 kV送電線を、ナイロビ地区のエンバカシとダンドラ変電所を結ぶ既設220 kV送電線2回線の内の1回線に接続する。受電電力の増加に伴い、これらの変電所では設備の増強が必要となる可能性もあるが、敷地のスペースには問題ない。

(5) 送電線ルート

図5.2.6にグランドフォール、キャンベレ発電所間の220 kV 2回線送電線の推奨ルートを示す。ルートは、現地踏査と5万分の1地図上での検討を通して選定した。

ルート選定に当たっては以下の点を考慮した。

- 保全地区や歴史的遺産のある地域を避ける
- 住宅地や耕作地は避ける
- 鉄塔基礎安定のため軟弱地盤の地域は避ける
- 線路の建設および保守を容易にするため既存道路近傍を選定する
- 樹木の伐採が不要な地区を選定する

選定したルートの概要を以下に示す。

グランドフォールズ～ムトンガ間

グランドフォールズからタラカ村までは、グランドフォールズ発電所の工事用道路に沿って建設される。このルートは低木に覆われたなだらかな傾斜地にあり、地質は十分な強度があるものと

考えられる。送電線亘長は約4 kmでタラカ村付近には小さな住居がある。送電線ルートはこれらの住居を避けて選定されている。

タラカ村南部からクムニヨニ村まで約17 kmのルートもまた、低木に覆われたなだらかな丘上にある。この間は村落や住居の集まったところも無く、カラング、クムラ、コニユの3河川の横断がある。川幅はそれほど広くなく、地質も良好なため標準的な設計基準が適用可能である。建設と保守を容易にするため、ルートは既存の道路に沿い、最大でもから道路から1 kmの以内に選定した。

グランドフォールズ～ムトンガ線の初期の段階では、将来のムトンガ発電所への引き込みのため、カムニヨニ村近傍に分岐用鉄塔を設置する。この分岐用鉄塔からムトンガ発電所までは、発電所の工所用道路に沿って約4 kmの亘長となる。この間の地勢も他の区間と同様である。

ムトンガ～キャンベレ間

Kamunyoni村からKatama村までの区間は、車両の通行を改善するため、拡張整備が要求されている既存の道路に沿うルートを計画する。Katama村の近くでは、ムモニ自然保護林を避けてルートを設定した。この区間は、用地幅確保のための広範囲にわたる伐採は必要ない。

Katama村と既存の道路を交差する地点の間のルートは、低木に覆われた平地の上を通す。この区間の土質は、しっかりしているので鉄塔用に特別な基礎は必要としない。

道路を交差する地点からキャンベレ発電所までの約5 kmを越えるルートは、既存の道路から離して計画せざるを得ない。しかしながら、工事、保守用に道路を建設することは難しくない。この区間は、建物の移動や環境への影響に対して特別注意することはない。タナ川の横断については、標準よりも径間が長くなるが、両岸に崖があるため標準の高さの鉄塔が適用できる。

ムトンガ～キャンベレ区間では、送電線建設にあたって、高木や密林の伐採や、建物の移動はない。ムトンガ発電所とキャンベレ発電所間の亘長は、おおよそ22 kmである。

建設工事の初期段階で、その地区の発展、農業事情、環境に対する評価を取り入れ、計画されたルートの見直しを行う。そのルートに変更が生じたら、建設資機材の数量や仕様を決定するために調査を行う。

キャンベレ～エンバカシ間

この区間は、KPLCが詳細に調査しており、“Final Report (August 1988) for the Kiambere-Nairobi 220 kV Transmission Line (Feasibility Study)”と“Report for Environmental Impact Assessment (May 1995)”の中で検討されている。また、この区間の入札仕様書がすでに準備されている。

キャンベレ～エンバカシ220 kV線の亘長は153.5 kmであり、その仕様はACSR CANARYによる1回線と2条の架空地線からなる。

キャンベレ発電所から新設される送電線は、既設のグンドラ～エンバカシ220 kV線に接続されるが、用地幅の確保が困難なために、直接エンバカシ変電所に接続しない。

もし、用地幅の問題が解決すれば、新設される220 kVキャンベレ線はエンバカシ変電所に接続されることが望ましい。

5.2.7 電力潮流解析

KPLCの電力システムの安定性を確認する為、低グラントフォールズ発電所が運転に入る2008年及びムトンガ発電所が完成する2012年の2年について電力潮流解析をピーク負荷を対象に実施した。

各変電所毎の需要予測は、第5.2.5章で述べた電力需要予測を基に、表5.2.10に示すように想定した。又、負荷力率は0.9と想定した。

2008年における電力システムは図5.2.7に示す通りである。この中では、グラントフォールズ発電所の発電電力をナイロビ地区へ送電するため、グラントフォールズで発電所からキャンベレ発電所の間には、2回線の220 kV送電線を、又、キャンベレ発電所からエンバカシ変電所の間には、1回線の220 kV送電線を考慮した。

電力潮流解析の結果を、図5.2.9に示す。解析の結果によれば、グラントフォールズ発電所の発電電力のほとんどは、キャンベレからカンブル発電所経由ダンドラ変電所までの2回線220 kV送電線と、キャンベレからエンバカシへの1回線220 kV送電線により、ナイロビ地区に運ばれる。これらの送電線の2008年のピーク負荷時の最大送電電力は1回線当りおよそ150 MVAと計算され、220 kV送電線の最大可能送電容量を充分下回っている。この解析の中で、電圧調整及び無効電力補償の目的で、100 MVARの電力用コンデンサーを考慮した。

ムトンガ発電所が完成する2012年の電力システム図は図5.2.8に示す通りである。ここでは、ナイロビ地区への送電電力の増加に見合うように、キャンベレからエンバカシ間に1回線の220 kV送電線を追加した。図5.2.10に示すように、キャンベレからナイロビ間の220 kV送電線の送電電力は1回線当り115~150 MVAの範囲と計算された。銅心アルミより線 (ACSR) のCANARYの220 kV送電線の1回線当り送電容量は約200 MVAであり、これからこれらの220 kV送電線は計算された送電電力に対し十分な送電容量を持つことが分かる。さらに、キャンベレ~ナイロビ間のこれら4本の220 kV送電線は、仮にその内の1回線が事故により使用不能になった場合でも、支障なく電力供給を続行することが可能である。このケースでの電力用コンデンサーは160 MVARである。

5.3 灌漑調査

5.3.1 農業分野

ケニアの国土面積は5,820万ヘクタールである。その約90%が“農地”で、年間降雨量によって生産能力の高い土地、中程度及び低い土地の3つに分類される。生産能力の高い土地（660万ヘクタール）及び中程度の土地（310万ヘクタール）の面積は、総農地面積の約17%である。このうちの約60%は穀物や家畜の生産地あるいは国立公園や保護地区に指定されている土地である。一方、面積4,230万ヘクタールの生産能力の低い土地は、ほとんどが家畜の放牧場として使用されているか、野生生物の生息地となっている。この“農地”はケニアの食物のほとんどを生産し、成長する農産物分野の原料の主要供給源であり、総人口の70%近くの雇用機会を生み出している。従ってケニア経済は基本的に農業の上に成り立っていると見える。

(1) 経済への貢献度

GRDP

農業分野は、1982年価格において1993年の総GRDPの25%に当たる11億ケニアポンドを生産した。総GRDPへの貢献度は、1981年の30%から1993年は25%に低下したが、表5.3.1及び図5.3.1に示すとおり、農業分野の総GRDPへの貢献度は依然高い。

雇用

1994-1996年の国家開発計画に示されるとおり、国内の総労働力の56%は農業分野に従事している。この分野は、小規模灌漑計画や排水計画の拡大により、170万人の新たな労働者を吸収する雇用機会を創出するものと期待されている。1996年までを対象とする現在の開発計画により、1,030万人の総労働力は1,200万人に達するであろう。

外国為替所得と貯蓄

表5.3.2に示す最近の統計によると、農業分野での収入は1993年で全収入の55%に当たる約20億ケニアポンドに達した。一方、国内産業への原料生産の増加により、織物等の工業製品の輸入に必要な外国為替が確保されるであろう。

食糧安全保障

現在の開発計画では、政府は、トウモロコシ、豆、野菜、きび、さとうもろこし、牛乳及び肉類の自給を目的とする食糧安全保障の達成に高い優先度を置いている。1996年までの国家食糧自給の増加目標率を以下に示す。

	1992年 生産量 (1000 tons)	1996年 需要 (1000 tons)	要求される 年増加率	年増加率 1989~1993年
トウモロコシ	2,398	3,232	8	4
麦	297	347	4	2
サトウモロコシ/キビ	199	429	21	3
米	62	99	12	8
豆	443	380		5
じゃがいも	631	650	1	5
砂糖	372	660	15	5
牛肉	228	210		1
牛乳(十億リットル)	1,826	2,451	7	2

資料元：全国水資源開発計画 1994-1996

(2) タナ川流域

行政上、タナ川流域は、図5.3.2に示すとおり、キリンヤガ、エムブ、タラカ-ニチ、及びムランガ地区の全域と、キアムブ、ニャンダルア、ニューリ、メル、イシオロ、マカコス、キツイ、ガリッサ、タナ川、キリフィ及びラム地区の一部を含んでいる。最近の穀物生産及びこの地域における作付面積を表5.3.3に示す。タナ川流域内の主要地区における農業及び家畜生産量は、下表に示すとおり、1992年の国内農業部門の総合計の16%に当たる約8.8億ケニアシリングに達した。

地区	単位：百万ケニアシリング		
	農業	畜産	算出年
エムブ	63.0	2.7	1991
ガリッサ	10.0	594.6	1992
キリンヤガ	200.0	6.0	1991
キツイ	189.7	93.4	1991
メル	1,066.4	-	1990
ムランガ	3,256.3	259.0	1992
ニューリ	284.1	1,307.3	1991
タナ川	213.6	75.0	1991
タラカ-ニチ	623.2	1.2	1992
合計	6,298.5	2,536.2	
農業と畜産の合計	8,834.8	16%	
全国農業部門(1992)	53,638.8	100%	

5.3.2 既存灌漑計画

タナ川流域は、ケニアにおいて灌漑や農業開発の可能性の最も高い地域の一つである。1992年にJICAが作成した全国水資源基本計画調査では、ケニアには47万ヘクタールの灌漑可能地があり、そのうちの13.3万ヘクタールがタナ川流域にあると記されている。13.3万ヘクタールのうち約1.9万ヘクタール(MOALD資料)は現在利用されており、85%以上がなお未開発のままである。表5.3.4に示すとおり、開発地のうち、約7,000ヘクタールは大規模に開発された商業地であり、ほとんどがコーヒー園の面積4,000ヘクタールの上流域は、小規模所有者の計画地や農地になっており、残りの約8,000ヘクタールが公共機関の監理する計画に基づき小作人によって使用されている。

小規模所有者の灌漑計画

MOALDから得た情報によると、約400の小規模所有者の灌漑計画がタナ川流域に計画されている。合計7,980ヘクタールが進行中であり、62,555ヘクタールが計画中である。タナ川流域における小規模所有者の灌漑計画は、地区毎に以下のように要約される。

地区	合計			タナ川流域内			タナ川流域外		
	No.	現在の面積 (ha)	計画の面積 (ha)	No.	現在の面積 (ha)	計画の面積 (ha)	No.	現在の面積 (ha)	計画の面積 (ha)
エムブ	54	546	3,727	54	546	3,727	0	0	0
ガリッサ	96	485	1,206	96	485	1,206	0	0	0
イシオロ	22	483	270	2	50	184	20	433	86
キリンヤガ	18	362	1,189	18	362	1,189	0	0	0
メル	181	6,565	49,049	96	4,247	32,723	85	2,318	16,326
ムランガ	23	446	3,077	23	446	3,077	0	0	0
ニェリ	49	1,890	29,349	40	1,032	11,389	9	858	17,960
タナ川	39	452	1,416	39	452	1,416	0	0	0
トラカ-ニチ	40	360	7,644	40	360	7,644	0	0	0
	522	11,589	96,927	408	7,980	62,555	114	3,609	34,372

資料元: MOALD

ほとんどの計画は、地域開発基金を通して、教会組織、NGO、CADP、干ばつ復興計画及びDanidaによって支えられている。計画の形成、調査、技術指導、技術研修ではMOALDからの援助を受けている。

計画起案のために形成された組織が援助に向けMOALDに報告を行い、初期のポンプ及びエンジンの購入による援助と同様に、計画監理、財務管理、組織会議の指揮、組織管理、穀物選定、ポンプ管理、穀物保護、肥料使用及び市場調査の範囲で、訓練が行われている。

大規模灌漑計画

ケニアにおける8つの公共灌漑計画のうち4つはタナ川流域に計画されている。ブラ、ホラ、タナデルタの3計画はタナ川の水を利用し、他のムウェア計画では、タナ川上流の3つの支流、チバ、ニャミンジ、ルムタンビの河川水が利用される。

ブラ計画

ブラ計画への資金提供は、世界銀行とケニア政府からの資金によって1977年に調印された。ホラ計画をモデルに、この計画は320人の小作人とともに1981年スタートした。当初、6,700ヘクタールの農地と4,500ヘクタールの森林に、23村5,150家族が計画されたが、最終的には3,900ヘクタールの農地と2,500ヘクタールの森林、そして3,000家族に縮小された。各家族の所有地は1.25ヘクタールで、0.5ヘクタールが綿花畑、残りが穀物畑であった。

1994年現在、綿花の不作、灌漑による水不足、そして計画地全域が、やぎの増加とともに繁殖したまぐさ科のProsopis julifloraによって覆われたため、計画は中断した。

ヘクタール当りの初期投資額は、年毎に信じがたい割合で増加し、1975年時点の3,400米ドルが最終的に41,700米ドルまで増加した。重力式取水堰の可能性調査が1995年に計画され、クウェート政府が現在その復旧への財政援助に興味を示しているとのことである。

ホラ計画

ホラ灌漑計画は、植民地時代の政府がマウマウ暴動で捕らえられた囚人を使って1956年にスタートした。計画は後に、870ヘクタールを対象とした690の小作人による借地計画として進められた。各々の借用地は1.2ヘクタールから1.6ヘクタールで、主として綿花を、また裏作としてとうもろこし、ささげ、エジプト豆、落花生及び野菜類を生産していた。タナ川における最後の洪水期間中の1989年5月に、ライニにおいて河道が取水口側からマケレ側へ移動し、そのため新たな取水口及び給水路の契約が、国家青年事業と4000万ケニアシリングで結ばれた。業務はスタートしたが、資金が枯渇した1991年11月に中止されている。1989年に降穀物生産はなく、この計画は中断した。

タナデルタ計画

タナデルタ灌漑計画は、当初1982年10月に10,000ヘクタールを対象として計画され、翌年1月に南側に更に6,800ヘクタール拡大された、大規模機械化水田プロジェクトである。(ハスコニングBV, 1982/83)

計画は、当初1985年から1992年の期間に進められる計画であったが、計画がずれ込み、現在、建設済みのひとつの干拓地で500ヘクタールのみが耕作されている。

確認した限りでは、計画は、4つの牧羊者の村（グバナルゲサ、オンコルデ、ガリリリフィ及びゴメサ）と牧羊と農業の両方を営む4つの村（ホンダラコ、キコモ、アリチ及びオドホレ）の立ち退き、再定住を強いる完全開発に向け進行中である。この計画で約20,000ヘクタールの乾期牧草地と、氾濫原の草地の23%及び河岸林の50%が消滅する。タナ川左岸には32,993ヘクタールの草地があり、計画はその48%にまたがる。ハスコニング及びムウェンジ（1982年）は、良質な水と洪水管理により、より長い放牧期間が可能であると指摘している。しかしデルタ全体で見ると計画地は、洪水時に放牧地として利用可能な20,847ヘクタールの17%に当たる3,453ヘクタール、及び洪水がない場合の75,814ヘクタールの26%に当たる19,935ヘクタールにまたがる。計画地の境界付近では、一年を通して約2,592ヘクタールが放牧地として保護される予定である。草地の消滅は残った草地に過大な負担を生じさせ、より長い放牧期間は長期の生産性に悪い影響を及ぼす。

計画は高度技術、高度管理の米作単式農法に基づいている。

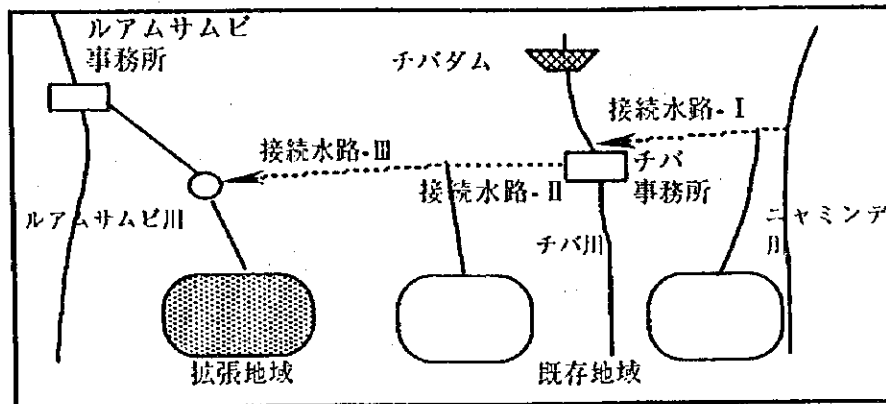
元計画は小雨においても長雨においても、100%の収穫高が得られるものとしているが、この希望的目標値は年に一度しか収穫できないことから取り下げられたものと思われる。計画では500ヘクタールの土地に対して8番目の作物が植え付けられたところである。前回の作物は、430ヘクタールに対して作付され、合計で980トンの収穫を得た。

ムウェア計画

東アフリカにおける先駆的な灌漑米作計画でありNIBによって管理されるムウェア計画は、米生産において深刻な局面に面していた。すなわち灌漑施設の劣化に伴う灌漑効果の低下と、1950年代からの灌漑面積の拡大に伴う灌漑用水の不足である。国家目標の達成に向けての方針に従い、政府は既存灌漑施設の復旧と、水資源の新たな開発による灌漑面積の更なる拡大という形を取って、ムウェア計画の推進を決定した。

復旧と拡張の面積は各々6,660ヘクタール、3,360ヘクタールである。10,020ヘクタールのうち8,440ヘクタールは水田であり、残りの1,580ヘクタールは高地農業である。米の二毛作と長雨期における高地での収穫が最近の調査（ムウェア拡張計画、NIB）によって提案されている。この計画の完成に伴い、年約72,000トンの米の収穫が期待される。

灌漑システムは以下に示すとおりかなり複雑である。



資料元：ムウェア拡張調査 1994年、NIB/日本工営

計画地内の灌漑の主水源は、ルアムサムビ川、チバ川及びニヤミンデ川からの転用水である。拡張及び復旧作業は、80億ケニアシリングの予算で1997年の始めに開始される。

5.3.3 提案された灌漑計画

前項までに記したとおり、MOALDは小規模所有者計画の62,600ヘクタールにおよぶ拡張あるいは新規建設、そして同様に更なる拡張と復旧の面積を有する4つの大規模灌漑計画を提案した。

推進計画

これらの計画の履行計画は、信頼の置ける情報や資料より以下のとおりと推定される。

小規模所有者：

幸いにして、ツナ川流域内のこれらの地区はそれぞれ独自の開発計画や行動計画を持っている。地区毎の行動計画に基づき、これらの小規模所有者灌漑計画の履行計画は、以下に示すとおり、2005年と2020年のふたつの目標年を持つ。

年	1995	2005	2020
灌漑地域	既存地域	既存地域 +行動計画地域 +計画地半分の地域	既存地域 +行動計画地域 +計画地の残りの地域

大規模計画に対しては、各々独自の推進計画が適応されるであろう。

5.3.4 水需要

既存及び提案の計画のための灌漑水需要は、以下の仮定から月単位で算出される。

- I 月単位水需要が報告書や論文から入手可能な場合は、これらのデータを使用する。
- II 民間の商業計画に対しては、水配分局（WAB）に登録された水量を使用する。表5.3.5は全タナ川流域における許可水量の要約である。月単位水需要を算出するため、許可水量は以下の仮定の基に月単位の概念量に換算される。
 - 通常の流況下での許可水は各月に配分される。
 - 洪水流下における許可水は、洪水月にのみ配分される（洪水月は年平均流量よりも大きい平均月流量を有する月として限定される。表5.3.6はツナ川流域の洪水月の指標を示す）。
- III 水需要に関する情報がない場合は、“ケニアにおける灌漑用必要水”に示される必要水を用いる。この論文は、全ケニアの灌漑必要量の算出のため、1985年にMOWDによって作成されたものである。計算は、72箇所におけるふたつの異なる典型的な収穫パターンに対して行われた。一方の収穫パターンは一年中緑草に覆われており（Type I）、もう一方は特定の作物である（Type II、作物は場所によって異なる）。表5.3.7はタナ川流域に関わる必要水のふたつのタイプを示す。図5.3.3はその位置を気象測点で示したものである。

以上の仮定を採用し、1995年、2005年及び2020年の水需要が各流域分割に対して算出された。これらを表にしたのが表5.3.8、表5.3.9及び表5.3.10である。

5.4 家庭用及び工業用給水調査

5.4.1 給水分野

現在、ケニアにおいて給水に関わる組織は以下のとおりである。

水資源開発省（MOWD）
国営水資源保護及び管路輸送組合（NWCPC）
ナイロビ市委員会
地方自治体評議会
町評議会
都市評議会
地方評議会
学校、刑務所等の機関
ケニア鉄道会社
宗教組織
独立の給水施設を持つ私企業

以上の組織のうち、全国的な給水に関わる主要組織は、MOWD及びNWCPCである。水需要の増大に対応するため、タナ川上流域から大量の水がナイロビ市に供給されている。ナイロビ市の給水に関しては、ナイロビ市委員会が担当している。

水資源開発、流域保護、水質及び汚染管理、運営維持及び主要給水システムの復旧を担当するのがMOWDである。MOWDは国、県及び地方の行政を管理している。NWCPCは州の自治体条例により

1986年に設立された。

タナ川からの給水において、最大の消費地はナイロビ市である。市の主要水資源は以下のとおりである。

水資源	(m ³ /day)	(m ³ /sec)
チャニア川(タナ流域)	177,000	2.049
サスムラダム	57,000	0.660
キクユ水源	23,000	0.266

資料元：全国水資源基本計画 1992, JICA

5.4.2 水需要予測

2010年までの家庭用水の需要は、1992年のJICA報告書“全国水資源基本計画調査”の中で算出されている。2020年までのタナ川上流域における水需要は、基本計画と同様の方法論を用いて以下のとおり算出される。家庭用水の需要は、都市においては住宅用水、地方においては非住宅用水である。後者はさらに公共用水と商用水に分けられる。水需要は2章で取り上げた人口増加と一次的に関連するため、将来の水需要は、人口増加に基づいて算出される。

(1) 住宅用水需要

住宅用水需要は、以下の公式により算出する。

$$D_{kt} = P_{kt} \times \sum_i \sum_j C_{ij} \times H_j \times UD_{ijt} / 1,000$$

- ここに、 k : 目標年
t : 需要地域 1=都市、2=地方
i : 給水栓接続状況 1=個人接続者
2=非個人接続者
j : 住宅分類 1=高級
2=中級
3=低級
D_{kt} : 需要面積tのk年における計画需要量(m³/秒)
P_{kt} : 人口
C_{ij} : 接続率(%)
H_j : 住宅種類(%)
UD_{ijt} : 単位水消費(l/c/d)

(2) 非住宅用水需要

公共用水と商用水を含む非住宅用水需要は、以下の公式により算出する。

$$I_{kt} = P_{kt} \times \sum_m N_{mt} \times UD_m / 1,000$$

- ここに、 k : 目標年
t : 需要地域 1=都市、2=地方
m : 公共使用者型 1=寄宿学校
2=昼間学校
3=病院
4=外来患者
5=行政職員
: 商用使用者型 6=ホテル
7=商店

Ikt : 需要面積 t の k 年における計画非住宅用水需要量 (m³/秒)
 Nmt : 人口に対する使用者比
 UDm : 単位水消費 (l/c/d)

(3) 牧畜、産業用水需要

牧畜用水需要は2010年後の期間に直線的に増大する。産業用水需要は2010年以降、年率2.5%で増大するものと見積もられる。

水需要は表5.4.1、5.4.2及び5.4.3に示すとおり算出される。要約を以下に示す。

	1995	2005	2020
ナイロビ	4.92	7.64	13.59
キリンヤガ	0.28	0.42	0.78
ムランガ	0.60	0.88	1.58
ニェリ	0.59	0.98	2.09
エムブ	0.27	0.42	0.80
メル	0.92	1.48	2.97
マチャコス	0.41	0.66	1.37
キアムブ	0.86	1.37	2.62
イシオロ	0.22	0.43	1.03

資料元：全国水資源基本計画1992, JICA

ナイロビ市の水需要が最大である。これらの水需要は、以下に示すような過去の調査において算出されたものである。

- 第3次ナイロビ給水計画、1986
- チュークウェル ジョージ計画のための世代及び経済調査、1984
- 全国水資源基本計画、1980
- 上流貯水池計画、1976

ナイロビ市の需要予測結果を図5.4.1に示す。

5.4.3 給水

既存給水システムの水源地は、全国的には川からの取水(43%)、地下水(31%)、ダム(20%)、湖水(10%)及びその他(3%)である。地区毎の詳細な将来計画は不明である。この調査において、増大する水需要はツナ川から供給するものとする。

将来需要に見合う以下の追加取水がこの調査において検討される。

	1995	2005	2020	需要地域
チャニア川	2.09	2.09	2.09	ナイロビ
キカ川	2.60	2.60	2.69	ナイロビ
チバ川	0.00	0.19	0.69	キリンヤガ, エムブ
チカ川	0.00	0.09	0.32	マルガ
タバ川	0.00	0.09	0.32	ムランガ
タナ	0.00	1.36	10.61	ナイロビ, ムランガ, ニェリ
エナ	0.00	0.05	0.17	エムブ
ムトンガ	0.00	0.19	0.68	エムブ, メル
カジタ	0.00	0.63	2.35	エムブ, メル

資料元：JICA調査団