

途上国における水環境管理支援システムの構築 ～ケニア国ナクル地域における環境管理能力向上プロジェクトを通じた取り組み～

DEVELOPMENT OF SUPPORT SYSTEM FOR WATER ENVIRONMENTAL MANAGEMENT IN DEVELOPING COUNTRIES THROUGH NAKURU ENVIRONMENT MANAGEMENT PROJECT

檜枝俊輔 *・氏家寿之 *

Shunsuke HIEDA and Toshiyuki UJIE

The aim of this report is to introduce the Support System for Water Environmental Management in Developing Countries which was developed through the Nakuru Environmental Management Project (NEMP), a technical cooperation project of the Japan International Cooperation Agency (JICA). The authors were dispatched as JICA experts and developed a GIS database system with hydrological and water pollution analysis functions for environmental institutions in the Nakuru area of Kenya in order to support water environment management activities and decision-making necessary for the effective management of the Lake Nakuru watershed.

Keywords : water environmental management, GIS, database system, hydrological and water pollution analysis, capacity development

1. はじめに

ナクル市はナイロビから約 160km 北西に位置する人口約 40 万人を有するケニア第 4 の都市である。1963 年のケニアの独立以降、大規模プランテーションの衰退により周辺地域の農村人口が移入し、それに伴い市街地の面積は過去 30 年間で 89km² から 290km² に急増し、バッテリー、皮革なめし、繊維、食料品加工、蚊取線香（除虫菊）などの工場が集積したため、慢性的な水不足や未処理の生活排水・産業廃水による水質汚濁が深刻化している。

ナクル市の南部に位置するナクル湖はフラミンゴの生息地として世界的に有名であり、湖およびその周辺に多様な野生生物が生息している。1986 年には、湖と湖周辺の地域 188km² がナクル湖国立公園として指定を受けてケニア野生生物公社（KWS）により管理されている。また、1990 年にラムサール条約登録湿地に指定され、現在は世界遺産の暫定リストにも挙げられており、ケニアでも有数の来園者数を誇る国立公園となっている。

しかし、ナクル湖は集水域の中で最も標高が低く、流れ出る川が無い閉鎖湖である。したがって、湖はナクル市の汚染や集水域における土地利用の変化、そしてその結果として生じる水量の変化や侵食の影響を受けやすく、同集水域の適切な環境管理が喫緊の課題となっている。

かかる状況のもと、国際協力機構（JICA）技術協力

プロジェクト「ケニア国ナクル地域における環境管理能力向上プロジェクト（NEMP）」¹⁾ は、ケニア政府からの要請を受け、ナクル市の水環境管理能力を向上させることを目的として、2005 年 2 月～2009 年 7 月の 53 ヶ月間に渡り実施された。プロジェクトでは、①水質モニタリング、②水環境管理、③主要関連機関の協調、④教育・啓発活動、の 4 つの成果の達成を目指した活動が実施された。本稿

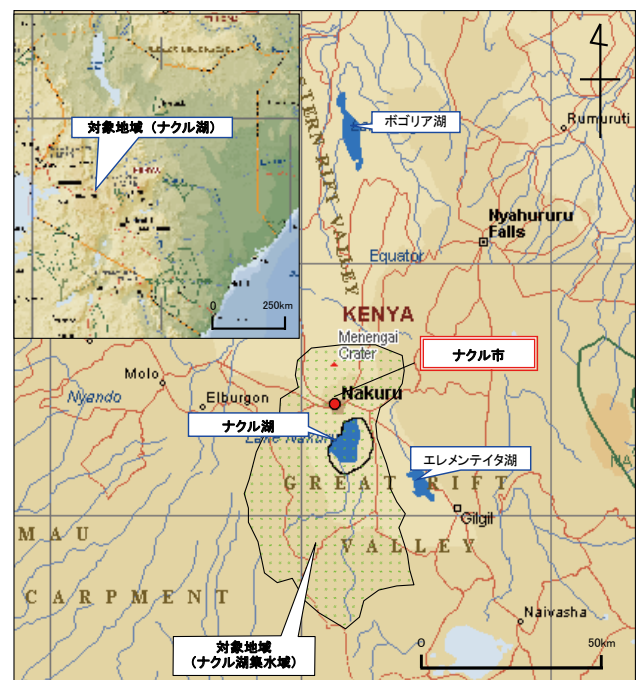


図-1 プロジェクト地域（ナクル湖集水域）

* コンサルタント海外事業本部 環境事業部 環境技術部

では、本プロジェクトを通じて構築したナクル市および関連機関職員のための水環境管理支援システムの概要を紹介する。

2. NEMP 実施機関および協力機関のナクル湖集水域の水環境管理に関する取組み

NEMP のケニア側実施機関は、ナクル市環境局汚染管理課 (MCN/PCS) で、主要な協力機関としてナクル上下水道会社水質試験所 (NAWASSCO/WQTL)、ケニア野生生物公社 (KWS) がプロジェクトに参加した。各機関の水環境問題に関する取組みは表-1 に示すとおりで、OJT および Off-JT を通じて、これらの取組みに対する能力向上を図った。

表-1 NEMP 関連機関によるナクル湖集水域における水環境管理に関する取組み

関連機関	NEMP における水環境管理の取組み
MCN/PCS	<ul style="list-style-type: none"> - 工場・企業に対する汚染管理 (廃水モニタリング、査察、環境監査) - 環境影響評価のレビュー - 市内汚染パトロール・改善指導
NAWASSCO/WQTL	<ul style="list-style-type: none"> - 水質分析 - 上水および下水道水質モニタリング
KWS	<ul style="list-style-type: none"> - ナクル湖および流入河川水質モニタリング
共通	<ul style="list-style-type: none"> - 市民への普及啓発 (小学生を対象とした環境教育プログラム、環境状況報告書の作成・公開) - 集水域における持続的な水環境保全プログラムの実施に向けた関係者の連携体制の構築

3. 水環境管理支援システム構築の必要性

途上国の環境管理においては、本来業務に対するスタッフの能力・経験不足、人員不足、予算不足のみならず、頻繁な人事異動に伴う不十分な引継ぎ、データの非共有、ずさんなデータ管理、データに基づかない感覚的な汚染管理の方向性の決定、といった組織・体制面、政策決定面の問題が見られる場合が多い。このことは、仮に必要な要素技術に関して経験を積み、能力が向上したとしても、これらの外部要因により、プロジェクト終了後は、適切かつ持続的な活動が担保できない可能性があることを示している。

MCN/PCS においても、職員の大半が出向者で占められ、彼らの交代に伴い業務の遂行が断続的になっていたこと、収集した情報のほとんどがデジタル化・データベース化されてないこと、担当者間、関連機関間のデータ・情報の非共有などの問題を抱えていた。したがって NEMP においては、本来業務に関する技術的な能力向上に加えて、環境情報の「データベース化」、関係機関の水環境管理業務の「システム化」を行うことにより、組織・体制面の問題への対応を図った。さらに、同地域における持続的な水環境

保全プログラムの実施に向けた関係者の連携体制の構築のためのツールとして、データベース化した情報を基に水文・汚濁負荷解析を行い水資源管理・汚濁負荷削減の方向性を検討できるモジュールを整備した。プロジェクト活動における水環境管理支援システムの位置付けと能力向上のアプローチ²⁾を図-2 に示す。

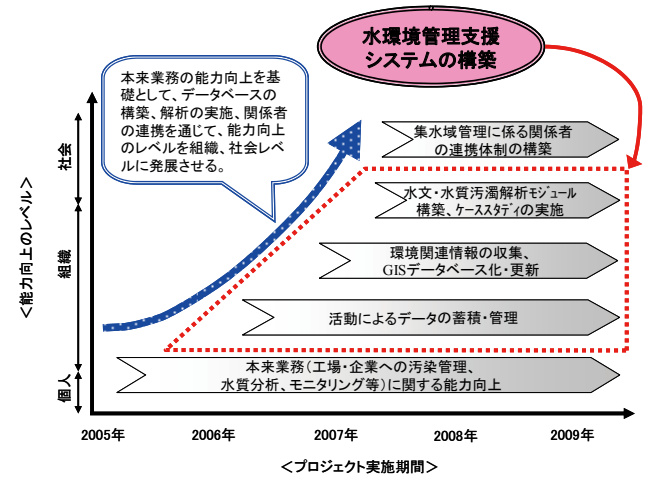


図-2 プロジェクト活動における水環境管理システムの位置付けと能力向上のアプローチ

4. NEMP 水環境管理支援システムの概要

(1) システムの構成

NEMP 水環境管理支援システムは、表-2 に示すとおり、1)MCN/PCS 業務管理データベース、2)ナクル湖集水域環境 GIS データベース、3)水文・水質汚濁解析モジュールの3つから構成される。以下に、各システムの概要を示す。

表-2 NEMP 水環境管理支援システムの構成

システム	概要
MCN/PCS 業務管理データベース	主業務である工場・企業に対する汚染管理活動を中心に日常業務が適切に実施されるようにデータベースを構築し、マニュアルを作成
ナクル湖集水域環境 GIS データベース	ナクル湖集水域における環境関連機関の協力を得て、同集水域の環境関連の情報を GIS データベースとして、一つのプラットフォームに一元化したもの
水文・水質汚濁解析モジュール	環境情報の管理や水環境保全のための対応策の検討を行うために、上記のナクル湖集水域 GIS データベースに水文解析、水質汚濁解析機能をモジュールとして付加

(2) MCN/PCS 業務管理データベース

MCN/PCS 業務管理データベースは、PCS 職員の日常的な業務である汚染管理、法令順守のための査察、環境監査、住民への普及啓発等の環境管理活動を実施・記録し、活動報告を計画通りに提出することを目的として構築し

た。併せて、職員が水質モニタリング・データベース（工場廃水データベース）等を適切に管理するために、データベース・サーバーの構成、データベースの操作方法、データ管理の役割の明記、データの信頼性確保のためのチェック体制、定期的バックアップ（月 1 回）の方法等を示した各種マニュアルを整備した。作成された PCS のデータベースの構成は、図-3 に示すとおりである。

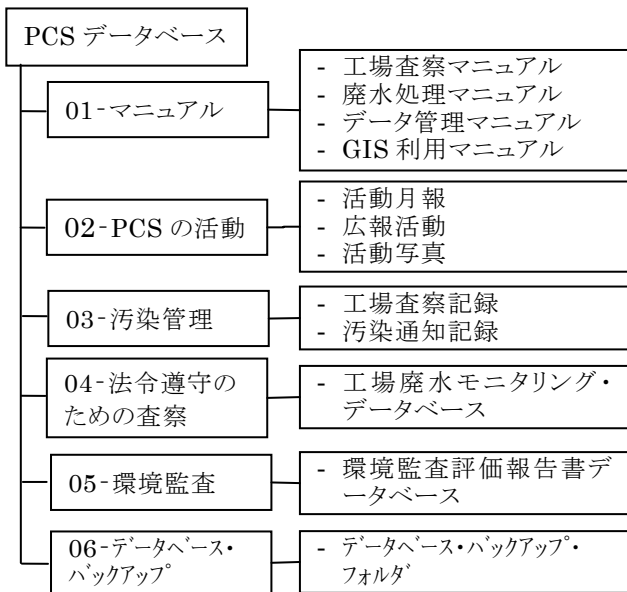


図-3 MCN/PCS業務管理データベースの構成

(3) ナクル湖集水域環境 GIS データベース

ナクル湖集水域環境 GIS データベースは、NEMP 関連機関に加えて、同集水域の流域の一つである Njoro 川流域で SUMAWA プロジェクト*1 を実施しているエガートン大学の協力を得て、環境関連の情報を GIS データベースとして一元化し、相互に活用しあうものとして構築した。構築したデータベースは表-3 に示すとおりで、①自然・社会情報、② NEMP 関連機関による水質・工場廃水モニタリングデータ、③工場等の水質汚染源情報、査察記録、④不法投棄、汚水の垂れ流し等の汚染の位置、といった環境情報の管理が可能となった。とくに、(2) で示した MCN/PCS 業務管理データベースのうち、工場廃水モニタリング・データベースは、同環境 GIS データベースとリンクしており、GIS 画面上から工場を選択するとデータへのアクセスや編集が可能となっている。

*1 米国国際開発庁の資金援助で実施した流域管理プロジェクト。自然、家畜、人間活動の持続的な共存を目指して、エガートン大学に水文、生態学、住民参加、社会経済の研究支援を実施した。

*2 SHER (Similar Hydrologic Element Response) モデルは虫明元東京大学生産技術研究所教授の指導の下にヘーラト教授（当時当社所属、元東京大学生産技術研究所）が中心となって開発したモデルである。

(4) 水文・水質汚濁解析モジュール

水文・水質解析モジュールは、ナクル湖集水域における水環境管理のために必要な対策を定量的に検討するために開発したシステムで、図-4 に示すとおり前述のナクル湖集水域環境情報 GIS データベースに付加した。同モジュールは、表-4 に示すとおりナクル湖に流入する現況および将来の汚濁負荷量、水質および河川流量、湖水位が計算出来る機能を有し、その計算結果は、汚染管理や水資源管理等のナクル湖集水域の水環境管理に係る計画策定、モニタリング、管理、政策決定のための基礎情報として活用可能である。

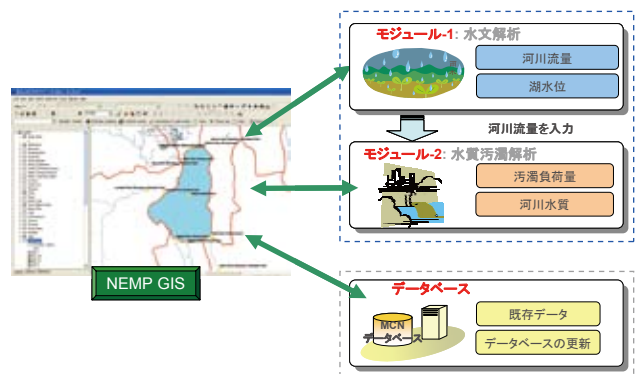


図-4 水文・水質解析モジュールの構成

表-4 水文・水質解析モジュールの機能

モジュール		機能
水文解析	河川流量	社団法人雨水貯留浸透技術協会により公開されている水循環解析モデル (SHER モデル*2) 3) を使用
	湖水位	河川流量、雨量、蒸発散、ナクル湖地形データより計算 (参考扱い)
水質汚濁解析	汚濁負荷量	人口、畜産、ノンポイントソース等の汚濁負荷原単位、下水処理施設および工場廃水モニタリングデータより、セクターごとに計算
	河川水質	河川流量と汚濁負荷量、流達率、自浄作用を考慮して計算

また、モジュールの開発にあたっては、GIS やシミュレーションに馴染みが薄い行政担当者でも使い易いツールとするために、ボタン操作で条件設定や計算結果表示等が出来るように、Arc GIS に対応したインターフェイスの設計・整備を行った (図-5 参照)。

表-3 構築した GIS データベースの構成

項目	縮尺 1:10,000 ナクル市内	縮尺 1:50,000 ナクル湖流域	統計データ
GIS フォーマット (ポイント、ライン、ポリゴンデータ)	<ul style="list-style-type: none"> 行政界 道路 河川 等高線 汚染源データ 上水・下水管 	<ul style="list-style-type: none"> 行政界 流域界 道路 河川 等高線 地質データ 土壌データ 土地利用 / 土地被覆、植生 	データ形式：マイクロソフト Excel, Access <ul style="list-style-type: none"> 気象データ 過去 15 年間の雨量、蒸発散量、気温、湿度、放射量 水質、廃水モニタリングデータ 社会経済データ 過去 10 年間の人口、家族数および成長率
ラスターデータ	<ul style="list-style-type: none"> 地籍図 - 3 図郭 (ナクル市内) IKONOS 衛星画像 (2008 年 2 月撮影) 	<ul style="list-style-type: none"> 地形図 ASTER 衛星画像 (2003 年撮影) 	

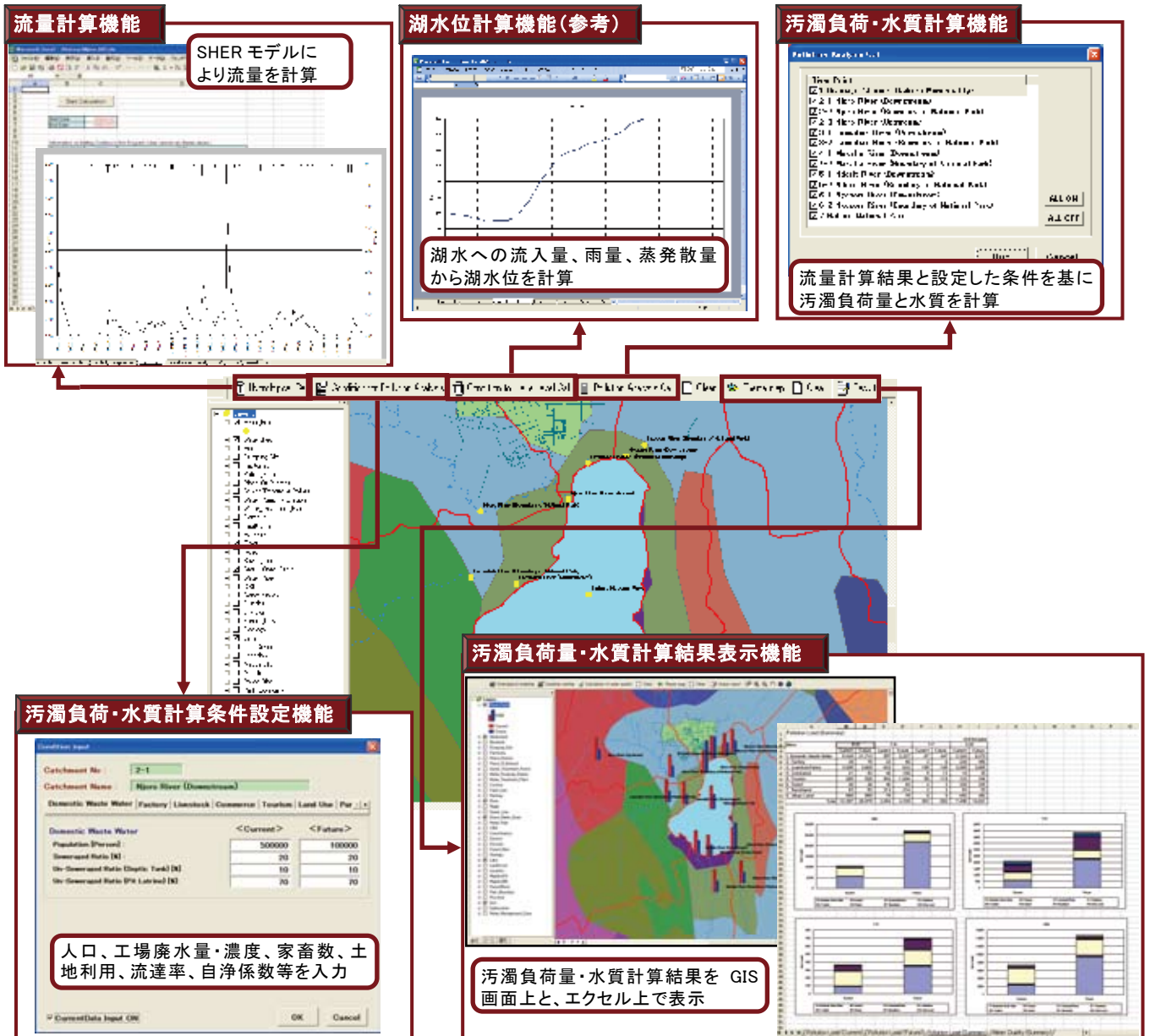


図-5 水文・水質モジュールの機能概要

5. 水文・水質汚濁解析モジュールを用いた水質汚濁負荷解析のケース・スタディ

(1) ナクル湖に流入する汚染経路

ナクル湖集水域には様々な汚染源があり、有機汚濁としては、生活排水、工場廃水、畜産排水、農業排水があり、重金属汚染は、工場廃水、廃棄物処分場からの浸出水、その他の汚染として農薬汚染がある。とくに有機汚濁については、人口増加や都市化が進んでいるナクル市街地および Njoro 川流域で年々増加している。同地域における汚染源からナクル湖に到達する水質汚染経路の概念は、図-6 に示すとおりである。

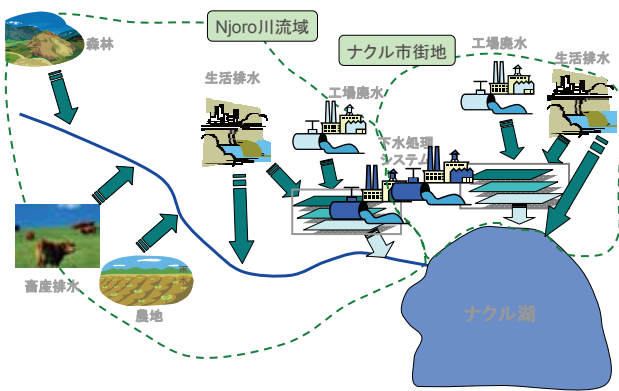


図-6 ナクル市街地およびNjoro川流域における汚染経路の概念

(2) ナクル湖に流入する汚濁負荷量の試算

図-7は、ナクル湖集水域の汚濁負荷量(BOD)について、2008年の汚濁源別の割合を示したものである。汚濁負荷量のうち、約4割が自然負荷（国立公園に生息する動物の糞尿を含む）、約6割が人為負荷と見積もられ、生活排水が約42%を占めている。これは、ナクル市の人口の約8割が下水道に接続していない事によるものであり、生活排水および市街地からの汚濁負荷は、人口増加および市街地の拡大によってさらに増加すると考えられる。

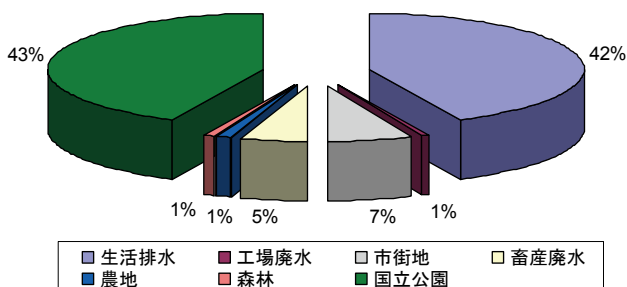


図-7 ナクル湖集水域の汚濁源別汚濁負荷量 (BOD、2008年)

図-8は、2008年および2020年（将来）における、ナクル湖に到達する汚濁負荷量 (BOD) について、流域別に示したものである。ここに示す2020年の汚濁負荷量は新たな対策を実施しない場合であり、排水路を経由して湖に到達するナクル市および Njoro 川流域からの汚濁負荷が増加することが分かる。これは、主に人口増加に伴う生活排水の負荷量の増加によるもので、とくに、ナクル市街地（排水路）からの汚濁負荷は、2020年には全体の50%以上になると予測される。

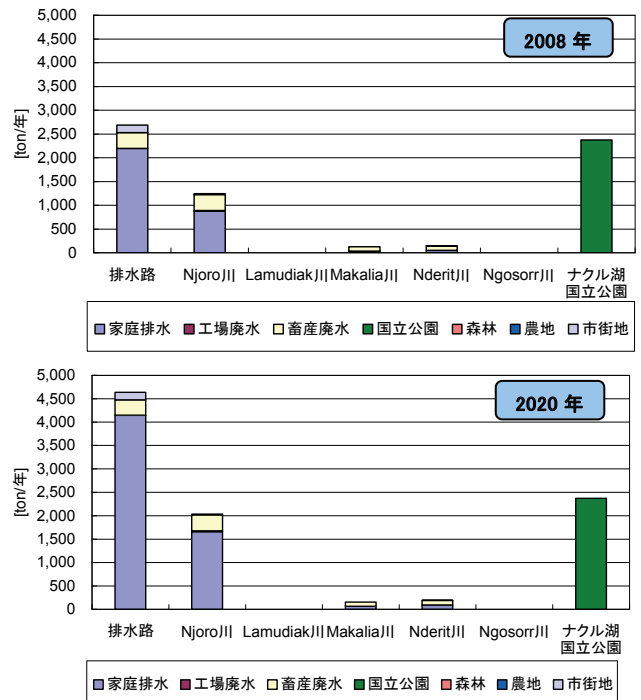


図-8 流域別の汚濁負荷量 (BOD、2008年および2020年)

(3) ナクル市街地からの汚濁負荷削減のケース・スタディ

上述のとおり、ナクル市域からの汚濁負荷量は全体の約50%に達すると見積もられることから、ナクル市域に焦点を当てて汚染管理に必要な対策の検討を行った。図-9に示すとおり、将来（2020年）においても汚濁負荷量を現状のレベルに維持するためには、以下の対策が必要となることが明らかとなった。

- ・ 下水道ネットワークの拡張、漏水箇所の補修、下水道接続人口の増加（下水接続率を20%から40%に向上）
- ・ 雨水貯留池^{*3}の適切な管理による市街地からのごみや汚水の湖への直接流入の回避（市街地からの汚濁負荷を30%削減）

*3 雨水貯留池は、下水処理場内に土砂や油、無機物、固形廃棄物が市内の排水路を通じてナクル湖に流入することを防ぐために設置されている。貯留池の水は下水処理場で処理されることとなっているが、貯留池に流入・堆積した土砂や固形廃棄物などにより、市街地からの雨水排水は、貯留池から越流して直接湖まで到達する問題が生じている。

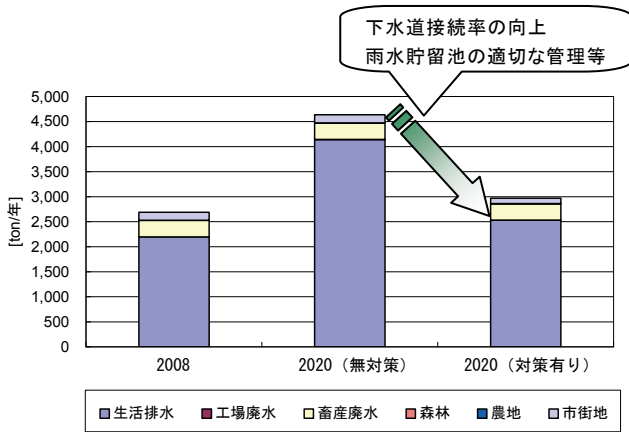


図-9 ナクル市の将来汚濁負荷量の推定 (BOD)

6. 水環境管理システムの活用を通じた水環境管理能力の向上

(1) MCN/PCS 業務管理データベースの構築を通じた水環境能力の向上

MCN/PCS の職員は、プロジェクトの開始当初は、執務室が与えられておらず、市内の汚染パトロールのみが主な職務で、効果的な業務の実施が困難な状態であった。その後、オフィス機器の整備や勤務時間管理、業務所掌の整備、報告書の作成、書類の保管、コンピューターの使用方法といった業務の実施体制を構築し、OJT による指導が本格的に開始された。データベースの構築にあたっては、パソコンの電源を入れるところから、フォルダの整理・共有、文書・表計算ソフトの使用法といった初歩的なところから指導を行った。

データベースの活用を通じた能力向上の例として、工場廃水管理に関して、まず、廃水モニタリングデータを蓄積したことにより排水基準を超過する工場の抽出が可能となり、さらに経時的なデータを蓄積した事により恒常的に排水基準を満たしていない工場を抽出する事が可能となった。これにより、これまで工場に対しては口頭での汚染改善指導に留まっていたのが、2007年に7工場に対して、2008年には3工場に対して、廃水処理の改善命令をする法的措置を取るまでに至ることができた。また、これらの工場廃水管理に係る一連の活動を体系化するために、専門家とケニア側共同で、「排水基準遵守のための査察マニュアル」、「工業排水処理計画のための技術ガイドライン」を策定し、策定後は、OJT によるトレーニングを経てケニア側自身で同マニュアル、ガイドラインに基づいた工場廃水管理を実施するまでに至っている。

また、関連機関においても、上水道および下水道の管理責任を持つ NAWASSCO は、上水道において飲料水として許容できる水質を維持することや、下水処理場の処理プロセスの有効性を評価するために、モニタリングデータを

用いており、KWS は、野生生物の生息地を維持するための適切な水質レベルを検討するための基礎データとして蓄積している。

(2) ナクル湖集水域環境 GIS データベースの構築を通じた水環境能力の向上

ナクル湖集水域環境 GIS データベースを構築したことにより環境情報が整理されたが、このデータベースを活用して、環境状況報告書を作成した。同報告書は表-5 に示すとおり構成となっているが、環境行政上の執務参考資料として活用されるとともに、ナクル地域の水質モニタリングデータを中心とした環境に係る情報公開にも活用された。さらに、水や環境に関する市民や関係者の意識向上に資するため、プロジェクトが開催したセミナーの参加者や関係者への配布、国立図書館ナクル支所の環境情報センターでの配布、MCN のウェブサイトによる公表を行った。

表-5 環境状況報告書の構成

章番号	構成内容
1: 導入	歴史的背景を含むナクル市の概説、ナクル湖の環境に係る記載
2: 社会 経済状況	社会および経済状況（土地利用、人口、貧困、社会設備、産業、都市計画等）
3: 自然 状況	地理的状況、土壌、地質、気候、水文およびナクル湖および周囲の自然環境
4: 環境 状況	水質（上下水、雨水排水路、工場廃水、ナクル湖、Njoro 川）、水質モニタリング担当組織およびその活動、水質汚染経路および負荷量、廃棄物（現在の固形廃棄物回収および処理）、大気質の現況等
5: MCN による環境 管理	環境部の組織体系、環境法および規制、MCN の汚染管理活動、ケニア国における環境影響評価および環境監査システム、MCN の環境影響評価および環境監査における活動、環境教育、情報公開
6: 結論	MCN、NAWASSCO、KWS による主要な達成事項および今後の展望

(3) 水文・水質汚濁解析モジュールによるケース・スタディの結果の活用

第5章で紹介したナクル湖集水域における水質汚濁負荷解析のケース・スタディの検討結果については、本プロジェクトのセミナーにおいて、プロジェクトの成果の一つとして紹介した。本セミナーは、関係政府機関を始め、学術関係者、NGO、CBO やドナー関係者を招待し、現地視察、プロジェクト関係機関および他機関によるナクル湖集水域の環境管理に関する活動の紹介、ケース・スタディの検討結果の紹介を踏まえて、ナクル湖集水域の環境管理におけ

る必要な対策の検討や関係者間での連携体制の強化のためのグループディスカッションを行った。汚染対策においては、本ケース・スタディで提言した下水接続率の向上、雨水貯留池の適切な管理による市街地からのごみや汚水の湖への直接流入の回避に加えて、ケニア側からも処理機能を有したコミュニティー・トイレの設置の推進、ナクル市職員による清掃キャンペーンの実施とともに情報の共有、活動の連携が提言された。また、セミナーの最後には、今後のナクル湖集水域の環境管理に係る対策を実行するための「ナクル湖集水域の環境管理に関するナクル宣言」が、参加者全員が署名の上、採択された（図-10 参照）。



図-10 ナクル湖集水域の環境管理に関するナクル宣言

7. おわりに

本プロジェクトにおいて水環境管理支援システムとして整備した MCN/PCS 業務管理データベース、ナクル湖集水域環境 GIS データベース、水文・水質汚濁解析モジュールの活用により、法的措置まで踏み込んだ工場廃水改善指導、環境情報の一元化、環境状況報告書の公開、水質汚濁負荷解析結果を活用した汚濁負荷削減計画の提言、関連機関との連携といった水環境管理に関する活動が促進された。これより、個々の行政・技術能力のみならず、関係者の協調関係が構築されたことにより、プロジェクト目標で

ある「ナクル市の水分野を中心とした環境管理能力」の達成に寄与できたと考える。

プロジェクト終了後に、ケニア側自身で同システムを引き続き活用して、プロジェクトの上位目標である「ナクル湖集水域地域における環境管理能力の向上」を実現するためには、①構築したデータベース、モジュールの管理・更新を基本として、② MCN/PCS の技術的持続性の確保のための新規職員に対するマニュアルやガイドラインを用いた内部 OJT を通じた活動の強化、③関係者間のさらなる協調体制の強化・発展のためのコアとなる機関の設置、④ナクル湖集水域の環境管理に係る宣言の実現に向け本プロジェクトで提案した活動の実施が望まれる。

最後に、今回構築した水環境管理支援システムは、行政担当者が、これまで行ってきた業務の成果をデータベース化することにより、工場廃水指導に係る行政執行能力を向上させることや、データベースを他機関の情報と合わせて一元化・共有を図り、さらに水環境保全のための対応策を定量的に検討し、その対応策の実施に向けて連携を構築する際の触媒的なツールとして、有用であることが確認された。

これらの活動を通じて、能力向上のレベルが個人、組織・制度、そして社会へと広がっていった点においても有用なツールであり、このアプローチは、同様の問題を抱える他の途上国においても活用可能であると考えられる。

謝辞：本稿の掲載および情報の使用についてご許可頂いた国際協力機構（JICA）関係者各位、ケニア国側のプロジェクト関係者各位、執筆に当たりご指導頂いた関係者各位にここに深謝の意を表す。

参考文献

- 1) Japan International Cooperation Agency (JICA), Municipal Council of Nakuru, Republic of Kenya: Project for Improvement of Environmental Management Capacity in Nakuru Municipality and the Surrounding Areas (Nakuru Environmental Management Project: NEMP), 2009.
- 2) 独立行政法人 国際協力機構 援助アプローチ・戦略タスクフォース、キャパシティ・ディベロップメントハンドブック (JICA 事業の有効性と持続性を高めるために)、2004.
- 3) SHER モデルユーザーズマニュアル、社団法人雨水貯留浸透技術協会、2002.

