

地理情報システム (GIS) を用いた地域環境情報の整備 ——開発途上国におけるこれからの環境管理の考え方——

長澤 良太*

I. はじめに

1972年、ストックホルムで開催された国連人間環境会議以降、我々人類を取り巻く環境の問題を地球的規模で捉えていくこうとする機運が芽生え、その後の1989年、東京で開かれた地球環境保全に関する国際会議に至って、環境と持続可能な開発に対する行動理念が明確になってきた。これとともに、地球環境という言葉はマスコミを通じて広くゆきわたり、先進国の一員であり、いまや世界一の経済大国であるわが国は、地球環境の保全について多くの期待と責務を負っていることを認識していかねばならない。

地球的規模の環境問題と一言でいっても、その原因や現象の現れたたには国や地域の自然的・社会的特質によって大きく異なっており、その調査・解析・対策の方法についても一様ではない。この問題は、特に開発途上国において重要な課題となってくる。即ち、人口の急増、とりわけ都市地域への急激な人口集中は、それまでの人口——土地の自然生態系を容赦なく破壊し、土壤・水・森林資源等の環境劣化をもたらす。しかしながら、貧困と産業優先の経済政策は、開発行為における環境への配慮を必ずしも充分に実施していな

いのが現実である。即ち、環境の現状を把握するための基礎になるデータの信頼性、確実性が乏しいために、環境保護政策を具体的な実施に移すことができない。この点において、技術移転等の国際協力の場面も含めて日本の果たすべき役割が大きいように思われる。

適切な環境管理計画、開発行為の事前影響評価（アセスメント）や環境監視（モニタリング）を行っていくためには、正確な環境情報をデータベース化し、環境保全に重点を置いた政策決定を支援するための地域情報を整備していくことが大切である。地球的規模やある程度の広がりをもった地域的規模での環境を考える場合、従来の公害や騒音とかいった局所的な環境現象の把握とは異なり、用いられるデータの大半は空間的な属地情報であることが多い。そこで、環境の「情報」を合理的・科学的に作成、蓄積、管理していくための地理的解析ツールとして、地理情報システム (Geographic Information System, GIS) の導入が提唱される。GISとは、多種多様な空間（地図）情報をその属性情報をともにコンピュータのなかで一元的に管理し、図形や属性の特性に応じて様々な条件検索を行ったり、重ね合わせ等の空間解析をモデル化して評価図等の新たな地図情報を作成、出力するシステムである。本稿では、GISを用いて地

* 株式会社バスコインターナショナル

域環境情報システムを設計、開発していく立場から、開発途上国における今後の適切な環境管理のために必要な情報の選択、加工、解析の過程を具体的な事例をもとに述べる。

II. 環境問題の対象とスケール

環境の実態を把握しようとした場合、そのために整備する情報は対象とする現象の内容と環境単位の大きさに対応して、適切なスケールで表現されなければならない。また、データの取得方法もそれに応じて適当なツールの選択が必要とされる。第1図は、空間情報として扱われる環境現象の単位と内容をその図化スケールとともに表したものである。このなかで、地球全体や一大陸規模の環境現象を一枚の地図上で解析、表現しようとする場合は、100万分の1から1,000万分の1程度が適切なスケールとなる。森林の減少、砂漠化の進行、酸性雨の拡大などとそれに伴う土地環境の劣化の問題である。この場合、データ取得手段も NOAA AVHRR のような低分解能で広域なカバーする衛星画像が情報取得ツールの中心となろう。

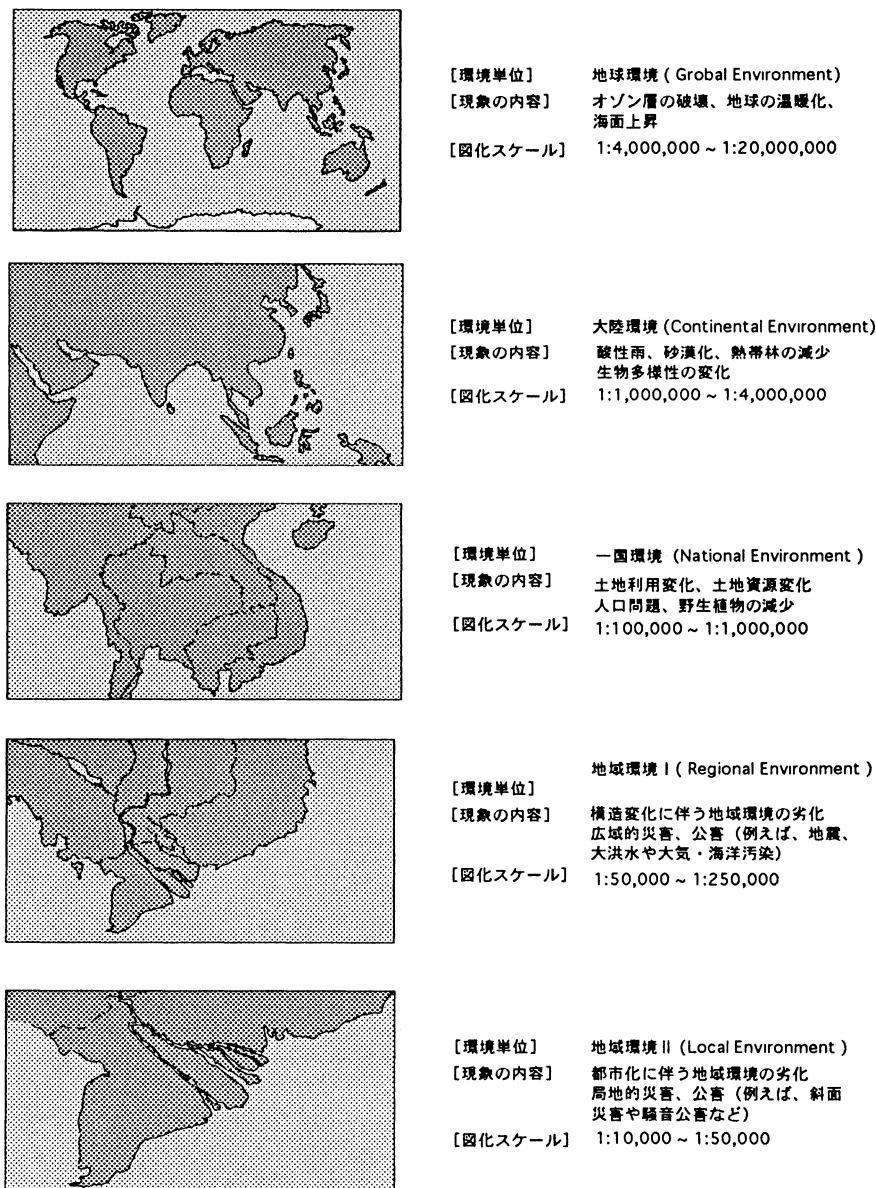
一方、地域的な現象として発生する環境現象のなかには、都市化や産業の構造変化に伴う地域環境の劣化がある。広域的あるいは局的に発生する災害や公害がこの範疇に入り、図化スケールとしては最小でも25万分の1、最適スケールとしては5万分の1の図化表現が必要とされる。したがって、調査手法も航空写真や LANDSAT TM、SPOT HRV などの高分解能衛星画像をもとに、直接現地での観察や観測を行うことになる。

ところで、開発途上国においては、環境問

題が貧困や人口問題等の現実的な国内課題と密接に結びついており、その現象は一国規模で発生している。このような地域環境の劣化が地球上の各国、各地で積み重なっていくことによって、全体としてよりグローバルな地球環境が悪化する。もちろん、先進国内の無秩序な経済活動による環境破壊もあるが、より生態学的な見地からは開発途上国のほうがより自然環境との結びつきが強い。特に、環境問題に対する最近の取り組みとして、総合的な自然の生態系を科学的に把握し、そこに加わる人間活動のインパクトを事前に予測・評価して、環境を管理していくとする傾向が一般的となってきている。こうした場合、環境管理にあたって必要とされるのは計画策定の土台となる正確な環境情報である。まず、空間地図情報として、全国をカバーする縮尺10万の1から25万の1程度の中縮尺スケールが基礎情報として要求される。この縮尺は、地域開発計画のマスタープラン立案や実際の土地利用計画の単位と対応のつくスケールである。そこで、本稿では開発途上国での環境管理への提言という観点から、このスケールを用いて環境情報をデータベース化し、それを解析することによって、環境管理計画や環境アセスメントに役立てていくツールとしての地理情報システムを検討した。

III. 環境情報管理のための GIS 利用

開発途上国における現在の環境問題や将来の開発計画の妥当性を検討するためには、その国の全土にわたって最新の国土情報（自然環境情報および社会環境情報）を把握し、即地的な問題点を予知したり、問題解決のため



第1図 環境現象の単位と図化スケール

の方策をあらかじめ考慮しておく必要がある。しかしながら、開発途上国のなかでは国土情報や統計資料が広範囲に同一精度で整備されている国は極めて少ない。特に、人間活動の地表へのインパクトの現れである土地利用と

その変化に関する情報は、環境問題を議論する際に最も重要な資料となるが、精度、表現スケール、情報の最新性から見てその整備状況には大きな問題がある。

そこで、この目的のために、開発途上国

一国全体あるいはその一部を均一の精度で、短期間に、最新の国土情報を作成、管理する手法として、人工衛星リモートセンシングとGISの技術を用いて情報を一元的に把握、管理するコンピュータ支援システムを考えた。このなかでは、合理的・科学的な情報管理を行うための様々な情報取得、処理技術が用いられているが、その中心をなすのがリモートセンシングとGISの統合化である。即ち、GISデータベースのなかの最大の情報ソースとして、高分解能の衛星画像情報を有効に利用していこうとするものであって、画像解析によって得られた空間情報をそのままGISデータベースのなかに取り込もうとするものである。人工衛星リモートセンシングの技法は、次のような利点が挙げられており、これまでに多分野でのデータ取得に応用されている。

1) 情報を広域的（最大 $185\text{ km} \times 185\text{ km}$ の範囲）を均一の精度（地表空間分解能 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 、LANDSAT TMの場合）で入手可能

2) 情報を時系列的（1972年から現在までを16日の回帰周期で同一地域を撮影、但し雲の被覆のない場合）に入手可能

3) 情報をデジタルで入手、処理できるので、GISとの直接データ交換が可能

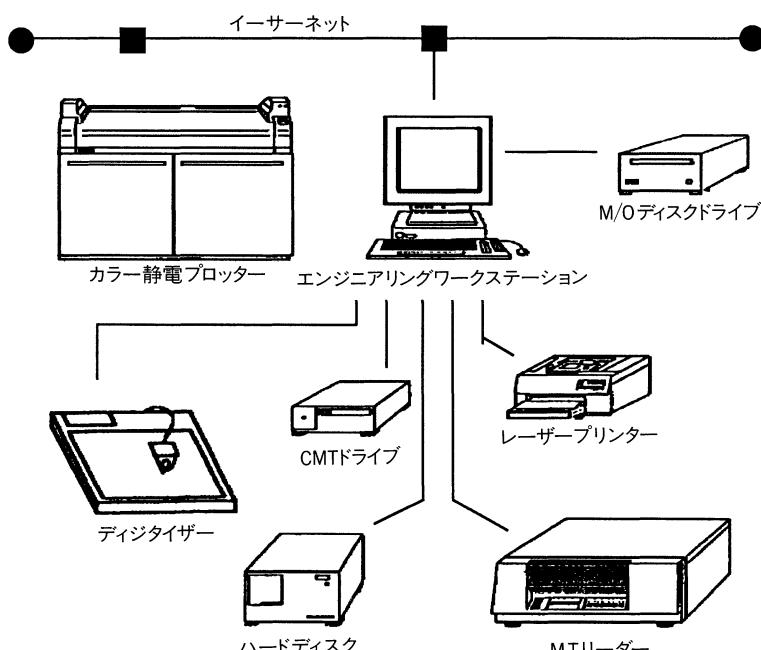
一方、GIS側ではコンピュータにより、次のような地図情報の処理が可能になる。

1) 情報の空間的な位置およびその属性を視覚的に地図表現

2) 情報の空間的、条件的検索や管理、編集

3) 情報の空間的解析、加工

これによって、開発途上国のような既往の地図情報（地形図や主題図）が乏しい場合で



第2図 GIS のハードウェア構成図

も、入力情報の制約をある程度補うことができるとともに、GIS 解析によって新たな地図情報を作り出していくことができるようになる。開発途上国では、地図情報の整備が不十分であるからこそ、国土情報管理の GIS 利用への期待が大きいとも言うこともできる。

さて、GIS をコンピュータシステムの側からみると、第 2 図に示すような構成が考えられる。近年の急速なコンピュータ分野での技術革新とダウンサイ징の波は、GIS の世界にも少なからぬ変革をもたらしている。中央処理装置は、今日、科学技術計算の分野で主流となっているエンジニアリングワークステーション (EWS) であり、GIS を支援する強力な演算能力、保存能力、表示能力を持っている。GIS データ入力装置としては、デジタイザー、MT、CMT および M/O の読み取り装置、出力装置として地図などのグラフィックデータのためにカラーの静電プロッター、属性などのテキストデータのためにレーザープリンターが接続されている。GIS のソフトウェアとしては、ベクターベースの空間解析ツールの分野で世界のシェアを大きくリードしている ARC/INFO を使用した。一方、リモートセンシングデータの画像処理とラスターベースの GIS データ処理には ERDAS IMAGINE を用いた。両者のソフトウェア間には、データの変換などを行ううえでの完全互換がサポートされている。

IV. 地域環境情報データベースの構想

昨今のコンピュータの情報処理能力が向上するに伴い、あらゆる分野でデータベースが作成され、膨大な多種多様な情報を様々な条

件に応じて短時間で検索・処理することが可能になってきた。「データベース」という用語は、一般に大量の情報を蓄積・管理するためのデータ管理システムを指す場合が多く、単なるデータの集合を意味するのではなく、それらを特定の目的を持って利用するといった利用面での機能を含んでいる。そこで、GIS におけるデータベースといった場合、様々な地図情報を一元的に管理して GIS の主たる機能である空間解析に供するデータを随時提供し、且つその解析結果を新たな地図情報としてデータベース化するものと解釈する。

地域の環境状態を自然的・社会的な諸特性と関係づけて解析し、地域の抱える環境上の問題点を明らかにしていくこうとした場合、單に環境質に関するデータのみならず、極めて多岐にわたる空間・統計情報のデータベース化が必要になってくる。それらは、まず自然環境を把握するものとして気候、植生、地形、地質、土壤、過去の自然災害状況などの環境要素、次に人間活動の様子を把握するものとして土地利用や社会基盤、人口、法規制、将来計画に関する情報であり、ディジタルデータとして作成される。第 1 表には、この目的のために必要とされる地域環境情報データベースの内容を示した。

構築されたデータベースは、国家の開発計画やセクター別の開発内容に応じて適当なかたちに加工され、実際の計画のなかで用いられていく。ここでは、データベース化されている環境資源に係わる地図情報をその利活用のかたちから 1) 環境ベースマップ、2) 環境主題マップ、3) 環境アセスメント・マネージメントマップという 3 つのステップに分けて呼んでいる。

第1表 環境情報データベースの項目一覧表

				情 報 の レ ベ ル		
大分類	中分類	小分類	細 目	第一 次	第二 次	
自然環境	大気圏	気候	気 候	気候区分図		
		生物圏	植生	植 物	植生図 自然度	
	水園		動物	主要動物	主要動物分布図	
			水域	水域分布図 水深図	河川図 流域区分 低湿分布	
	水性	底生植物	珊瑚礁、(藻場) 分布図	主用植生動物分布		
	地圏	地形	標 高	等高線	分水界	
		土壤	土 壤	土壤図	土壤水分 土壤深度	
		地質	地 質	地質図(岩相区分)	硬軟分布	
	災害	災害	災 害	災害分布図	防災地図	
社会・経済環境	文化	文化	文化財・遺跡	文化財・遺跡分布図	公共施設	
	社会活動	社会活動	土地利用	土地利用	土地所有 林班界 農用地	
			社会基盤 (インフラストラクチャー)	交通網(道路、鉄道、空港)	道路網 下水道・電線 電話・パイプライン	
	社会的境界	行政	行政界 人 口	行政界区分 センサス	人口分布 人口密度	
		規制	法規制	法規制図	自然保護区域 保全林区域 開発保護区域 環境基準区域	
	計画	計画	将来計画	基本構想図	開発計画図	
公害	公害	公害	汚 染	汚染分布図	観測局位置図	
基礎情報	測量	基準点	基準点			
	衛星 画像	衛星 情報	オリジナル画像 解析画像	フォールスカラー画像 土地被覆分類画像		

注1) ◎は メインデータ ○は 詳細補完データ △は 参考用サブデータとしてそれぞれ利用

地理情報システム（GIS）を用いた地域環境情報の整備

(階層)	主たる情報源	データ取得の方法 ^{注1)}				備考
		衛星画像	航空写真	国内調査	現地調査	
観測点、気温 降水量、湿度	既往観測資料	○		△	○	地表面温度は、衛星画像の解析により可能 雲、オゾン等の気象観測衛星も活用可能
希少種	植生図	○	○			衛星画像の解析により、縮尺 1:100,000 までの植生図の作成可能また、航空写真を利用して樹種、密度判読が可能
貴重な動物生育分布	生息分布図				○	
観測点、河川流量 表層水温、水涯線	衛星画像 地形図 低湿分布図				○	衛星画像の目視判読により、主要河川の分布及び流域界の区分が可能
底生動物分布図	△	○		○		
	衛星画像 航空写真 地形図	○	○		○	SPOT衛星の3次元標定より地形データ(DEM)の作成が可能
肥沃度、科学的 特 性	衛星画像 表層土壤図	○	△		○	衛星画像の解析より、地表（裸地）の土壤水分量の推定が可能
活断層、リニアメント 地下水位、油田 炭坑、井戸、鉱物	地質図	○			○	衛星画像の目視判読により、地質構造の解析が可能 現地での既往地質関連資料の収集が必要
洪水、山地崩壊 地すべり、土石流 火山噴火、海岸浸食	災害記録 地形図				○	衛星画像は、災害前後の地表の様子を再現可能（1972年以降）
	文化財・遺跡分布図		△		○	
	土地利用図 衛星画像 航空写真 農地図 林班図	△	○		○	衛星画像の解析により、広域な土地被服分布の解析が可能また、航空写真判読の併用により、細部の土地利用状況を予定することが可能
交通量	交通網図 地形図 衛星画像	○	△		○	衛星画像の目視判読により、主要交通網 航空写真的目視判読により、詳細な交通網図の作成が可能
民族・言語	行政界区分図 人口分布図			△ △	○ ○	行政界区分に対応した人口分布、人口密度図が有効
	各種規制区域図				○	
土地動向図	各種計画図		△		○	土地利用計画図等は、既往の土地利用図や各種主要図のGIS解析から作成が可能
	各種汚染分布図 衛星画像	○			○	衛星画像の解析により、水質源汚濁分布を解析、図化することが可能
基準点台帳 水準点台帳	資料収集 資料収集	○ ○	○ ○		○ ○	SPOT衛星の3次元標定よりDEMの自動作成
各種判読用強調画像	LANDSAT SPOT 画像解析	○ ○		○ ○		GISデータベースに直接統合が可能 画像処理システムを要する

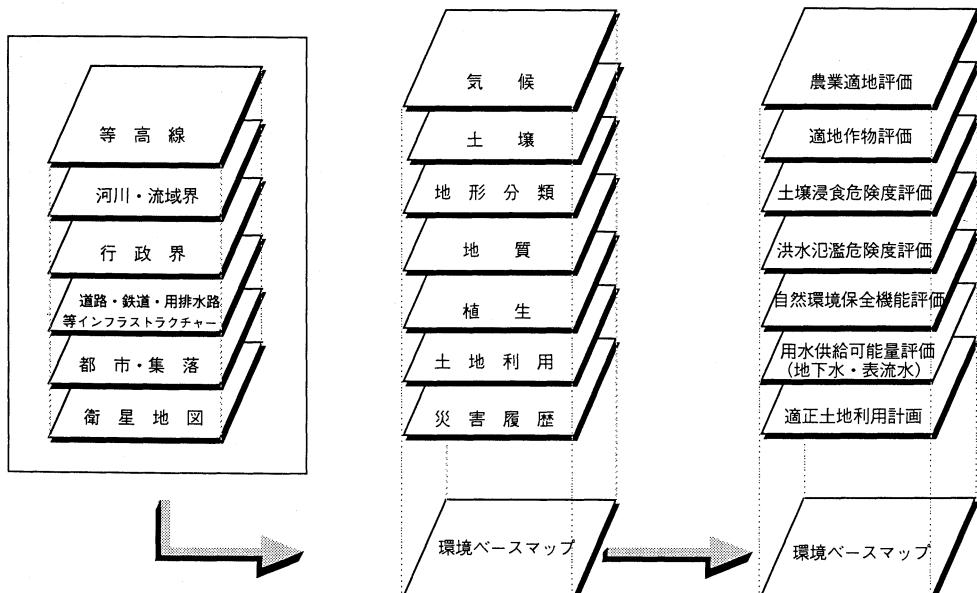
(1) 環境ベースマップ

環境ベースマップは、環境資源に関する空間情報を一元的に統括管理するため、各種多様な情報の土台として用いる基図となる。環境ベースマップの縮尺は、開発途上国の一国を対象としながらも地域的な環境現象の特性を表現できるスケールとして、ここでは10万分の1に設定した。このスケールは、SPOT衛星のステレオ画像から作成可能な DEM (Digital Elevation Model) と対応している。SPOTによる図化は、従来の航空写真測量による手法と比べてより安価にかつ高速に行える点に加え、データをすべてデジタルとして処理することができ、後の段階で GISとの統合化が容易に行えるという利点がある。また、単に地形図（線画図）としてではなく、画像をオルソフォトとして正射変換し、背景に用いることによって、写真判読的手法により利用者サイドでそれぞれの目的に応じた自

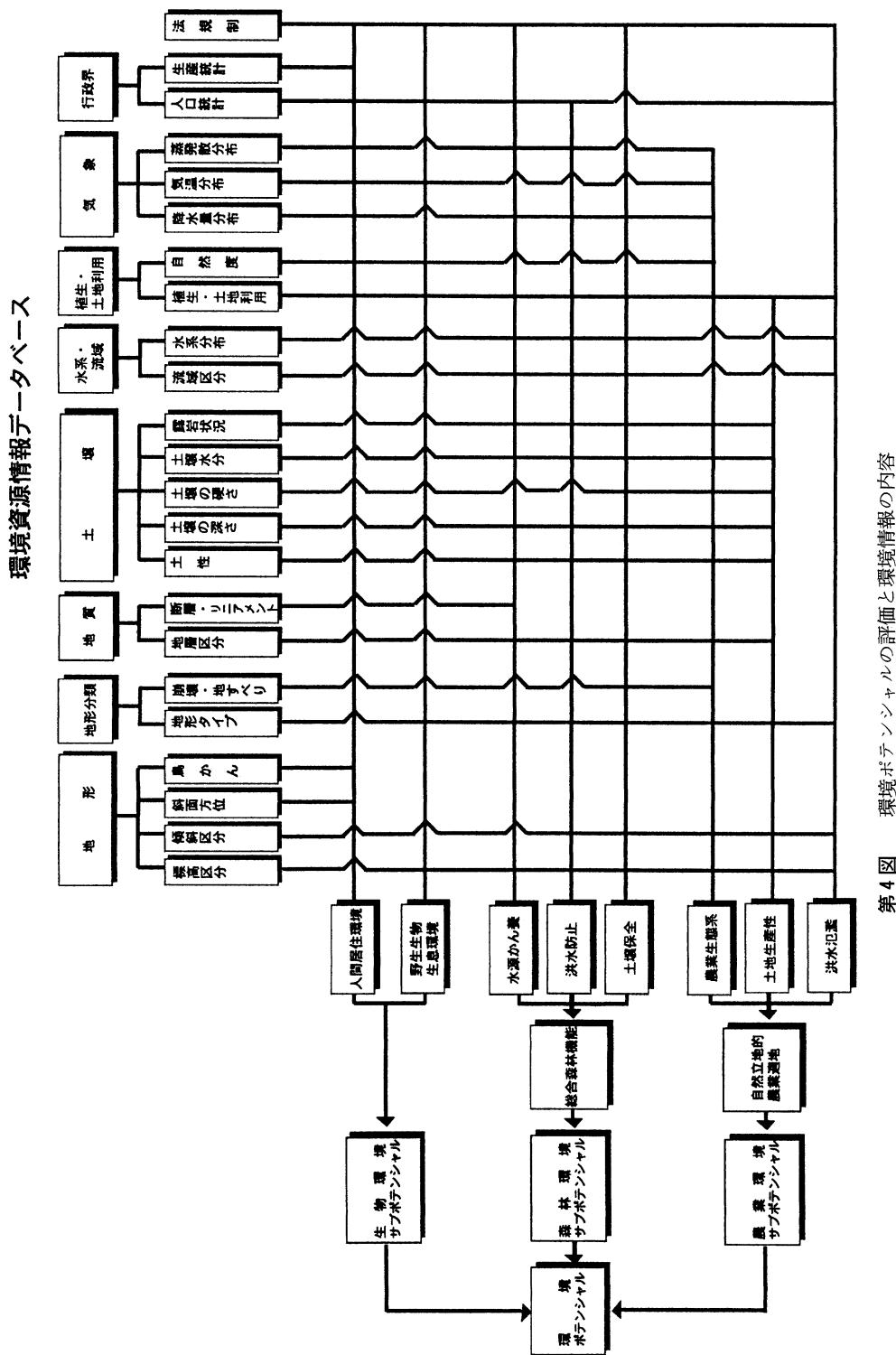
然的、社会・経済的環境情報（例えば、都市・集落の分布パターンや森林伐採の現況など）を読み取ることができるようになる。

(2) 環境主題マップ

環境ベースマップを基図として、地域の環境の特質を表現した主題図群は、第1表に示した環境情報をマルチレイヤーのかたちで表現されるデジタル地図情報である。環境主題マップには、まず自然環境を把握するものとして、気候、地形、土壤、植生などの環境要素図と、それらをもとに総合的自然環境条件を表す地域区分図がある。次に、社会・経済活動を把握するもとして、最新の土地利用現況やその時系列的モニタリングデータ、人口、産業構造、社会インフラストラクチャーの分布を表現した地図などである。利用者は、ハードコピー、デジタルデータの両者のタイプの使用が可能である。前者の場合、利用者は地図と同じような感覚でそれぞれのセク



第3図 環境情報システムにおける地図情報のレイヤー構造

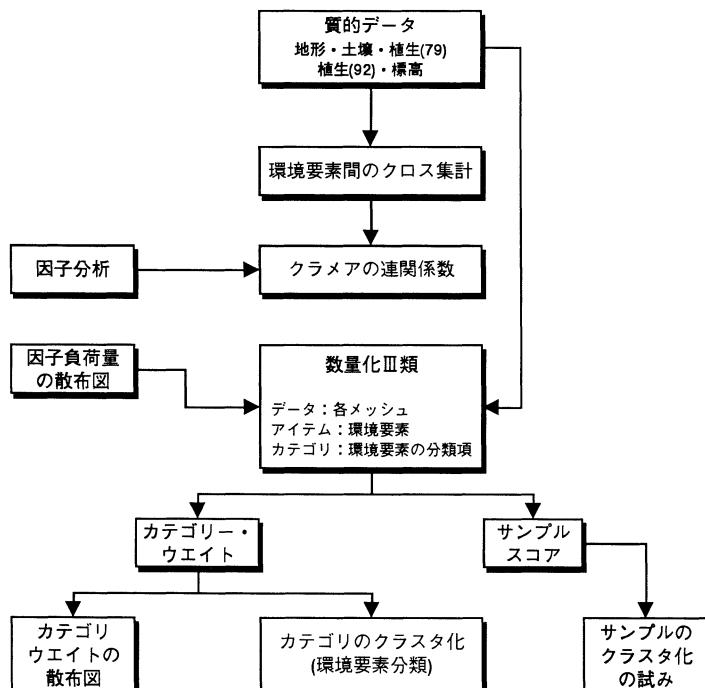


第4図 環境ポテンシャルの評価と環境情報の内容

ター、目的に応じた地域環境の情報（例えば土壤図や土地利用図）を引き出すことができ、通常の主題図として用いることができる。この場合、図面はデジタル化されているので、任意の縮尺、任意の地点での図面出力が得られるのが特徴である。一方、後者では、デジタル化された主題図情報がリレーションナルデータベースのなかに納められているので、それらの属性操作によって、利用者はより目的を絞り込んだ情報のみを抽出して地域環境を解析することができる。例えば、土壤図の場合、各土壤タイプに対応した土壤深、肥沃度、浸食耐性などの属性がデータベース化されているので、これから浸食耐性のみを取り上げて図化し、土壤浸食危険度を評価する一主題情報として利用するといった具合である。

(3) 環境アセスメント・マネージメントマップ

環境変化のアセスメント・マネージメントでは、上記のベースマップ、主題マップ群をもとに GIS の豊富なデータ加工・解析処理機能を駆使して、開発計画の実施に際して必要とされる環境への配慮、管理のための地域情報を作り出す。環境アセスメントとは、環境への影響についての詳細な検討が必要と判断される開発計画に対して、環境影響範囲の同定、変化の内容予測および評価を行うことである。また、環境マネージメントとは、アセスメントの結果にもとづいて地域環境を保全するための実務的計画である。この目的のためには、データベース化された環境資源情報をもとに、コンピュータを用いたシミュレーションやモデル解析が必要になり、環境

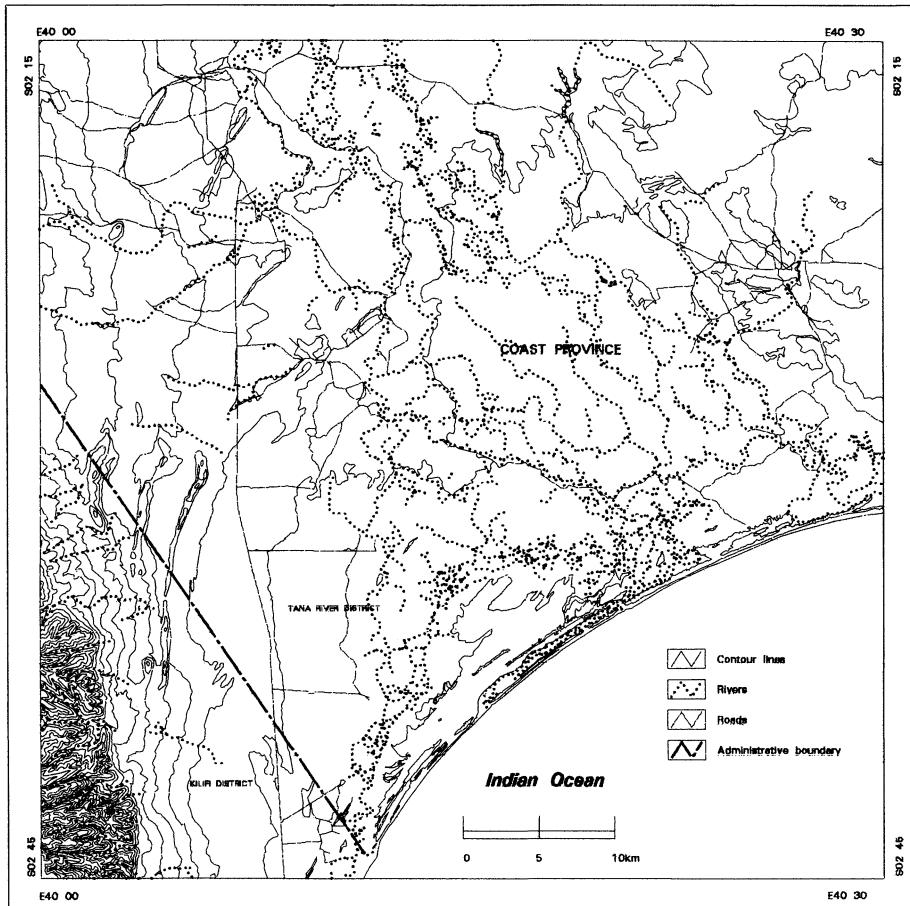


第5図 多変量解析によるデータ解析の手順

ベースマップや主題マップ群に蓄積された様々な情報にフィードバックして解析が必要である。第3図では、農業開発プロジェクトを例として、環境ベースマップをもとに主題マップの組み合わせ、重ね合わせから、環境を考慮した開発計画策定のための判断材料となる評価図を作成する課程をデータの構造とともに模式的に表現している。

V. データベースの利用方法—ケニア東部における地域環境解析の例

データベース化の意義は、そこに蓄積された情報がいかに合理的且つ効果的に実利用され、応用されるかという点につきる。ここでは、地域環境を把握するための指標として生物生息環境、森林環境、農業生産環境の3つ環境ポテンシャルを取り上げ、データベース化された複数の環境要素を評価因子として空間解析を実施した。その結果をもとに計画の担当者は、地域開発が途上国の環境に著しい



第6図 調査対象地域の概念図

影響を与えるような恐れがあるかどうかを援助プログラムの早い時期に察知することが大切で、実際の環境管理計画を総合開発計画や土地利用計画と連動させていくことが重要である。

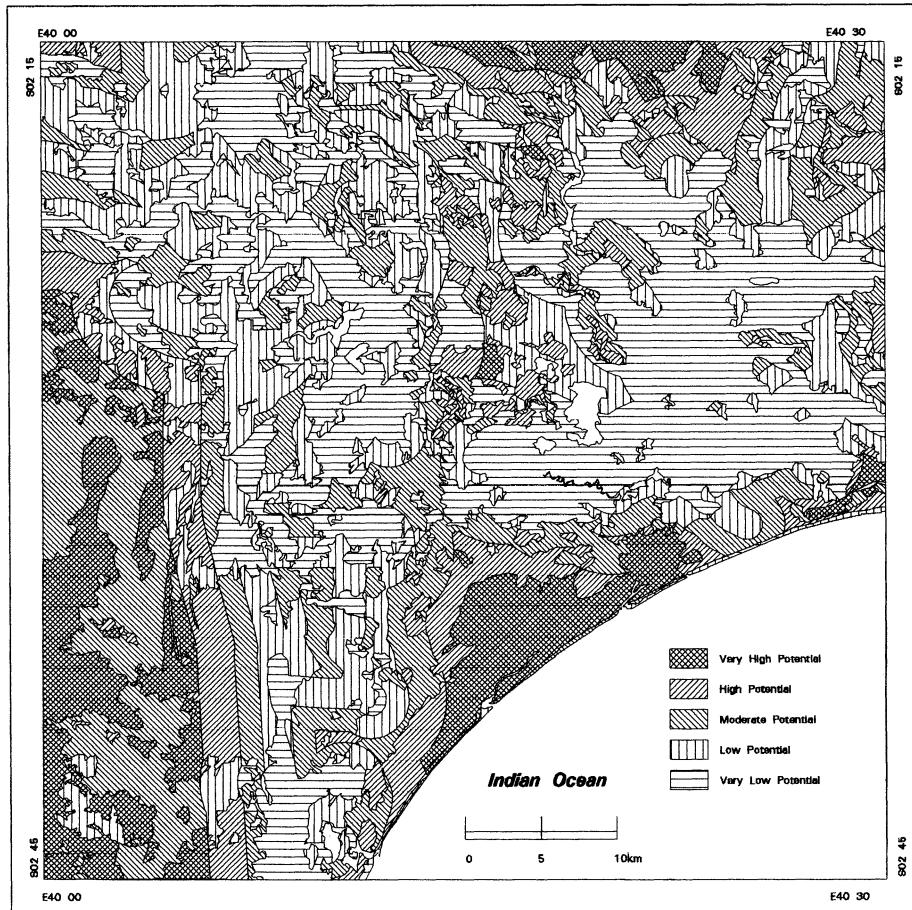
(1) 事例地域の選定

本研究では、ケニア東部に位置し、インド洋に注ぐ同国最長のタナ川（延長 700 km、流域面積 132,000 km²）の下流部デルタ地域を対象とした。この地域は、流域の総合開発を目的としたタナ川開発公社が1974年6月に発足し、流域水資源の効果的利用についての

総合的な調査が開始されて以降、下流部において灌漑によるデルタ地帯の水田開発、放牧地の高度利用等が行われてきている。このために、増大する人間活動が地域環境に大きな影響を与えており、今後の環境保全のための適性な環境管理計画の策定が期待されている地域である。

(2) 環境解析の手法と手順

この地域では、1984年に日本の技術協力によって縮尺5万分の1の地形図、地形分類図、土壤図、植生図が作成されているので、これらをベースに情報のデジタル化を行った。

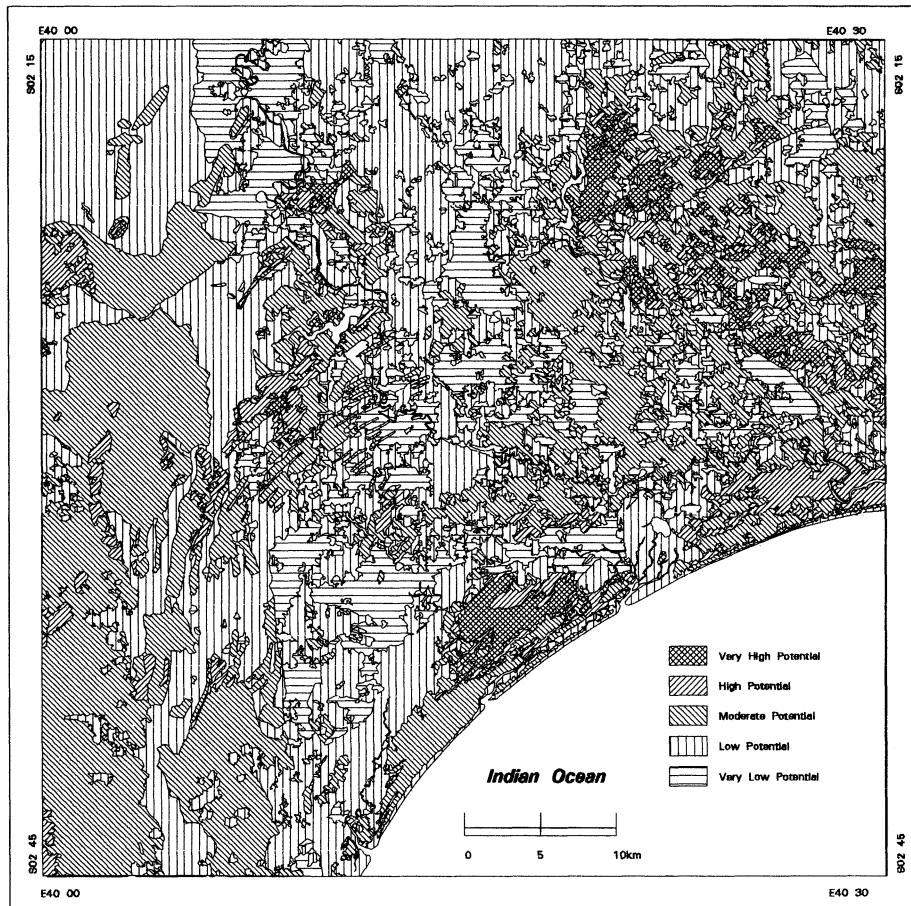


第7図 野生生物の生息ポテンシャル評価図

対象地域は縮尺 5 万分の 1 の地形図 4 図葉の範囲で、座標系としては 30 分 × 30 分（約 56 km × 55 km）の大きさに相当する。ディジタル化された地図は、データベースの中では地図間につなぎ目のないシームレスな空間情報を構築している。ここでは、4 図葉分の 5 万分の 1 の地図情報を 1 枚の 10 万分の 1 の地図として扱い、他の情報との統合化を行った。具体的には、人工衛星リモートセンシングの解析により、最新の土地被覆状況、植生指標 (Vegetation Index)、土壤水分量、地表面温度分布などの解析画像を作成し、GIS データ

ベースのなかで既往の主題図情報と重ねて用いることができるようとした。

地域環境を総合的に把握するためには、自然環境に関する主題情報のみならず、文化、社会、経済に係わる様々な空間・統計情報を整理、入力、解析する必要である。しかしながら、本事例研究の場合、対象範囲がこの地域の行政界区分からみて狭いこと、この種の情報が一般に現地の行政機関以外では入手ができないことなどから、自然環境の特性のみにもとづいた自然環境ポテンシャルの解析を行った。



第 8 図 水源かん養機能のポテンシャル評価図

環境主題情報の解析は、以下の手順によって行われた。

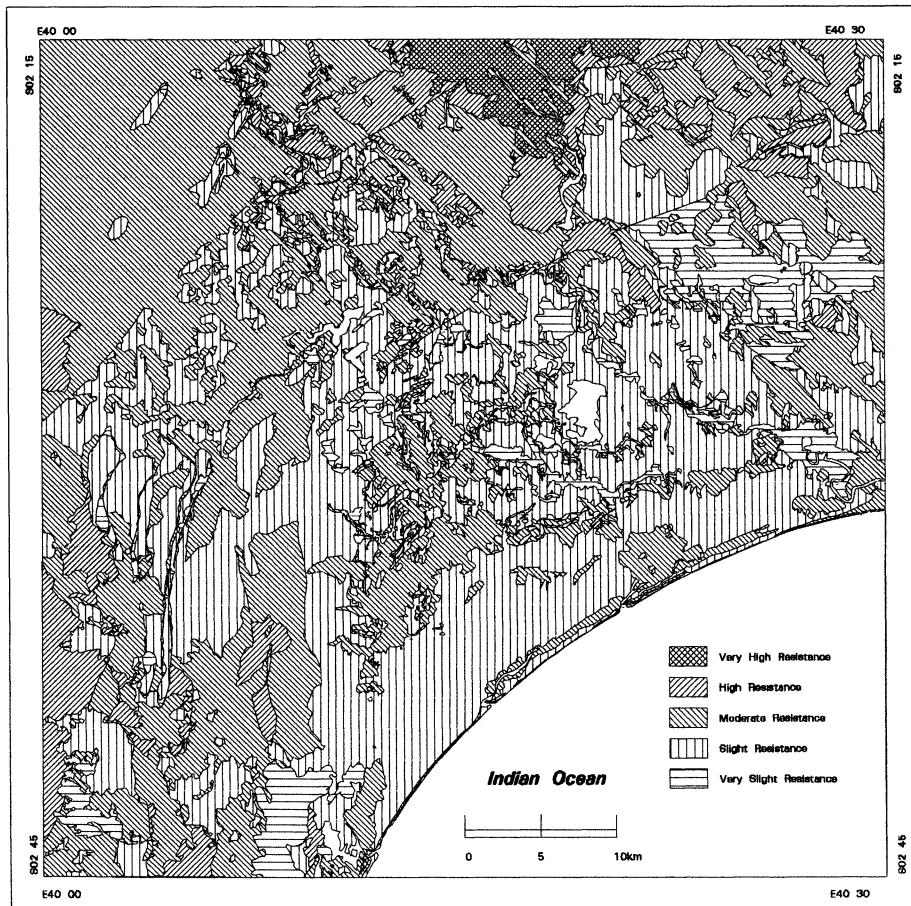
1) ベクター（ポリゴン）形式の地図データベース化

地図情報のデジタル化では、第3図に示したように主題（テーマ）別の情報は階層（レイヤー）に分けて保存される。レイヤーは、一般にポイント、ラインおよびポリゴンといった地図要素別に作成される。ここでは、地形分類や植生など殆どがポリゴンレイヤーであるが、道路、河川、等高線などのラインレイヤーも作られている。GISによる解析では、

このようなレイヤーを数種類重ね合わせ（オーバーレイ）して属性処理を行い、目的に適った評価図、解析図を作成する。

2) 経験モデルによるポリゴンデータの重ね合わせ（オーバーレイ）解析

オーバーレイ手法を用いることにより変数間の関係を分析したり、あるいは複数の変数を統合することができる。実際、オーバーレイは GIS における最も基本的な空間解析手法のひとつである。しかしながら、環境要素の数が多い場合、オーバーレイによって意味のある結果を導き出すのはかなり難しい。す



第9図 土壤侵食危険度評価図

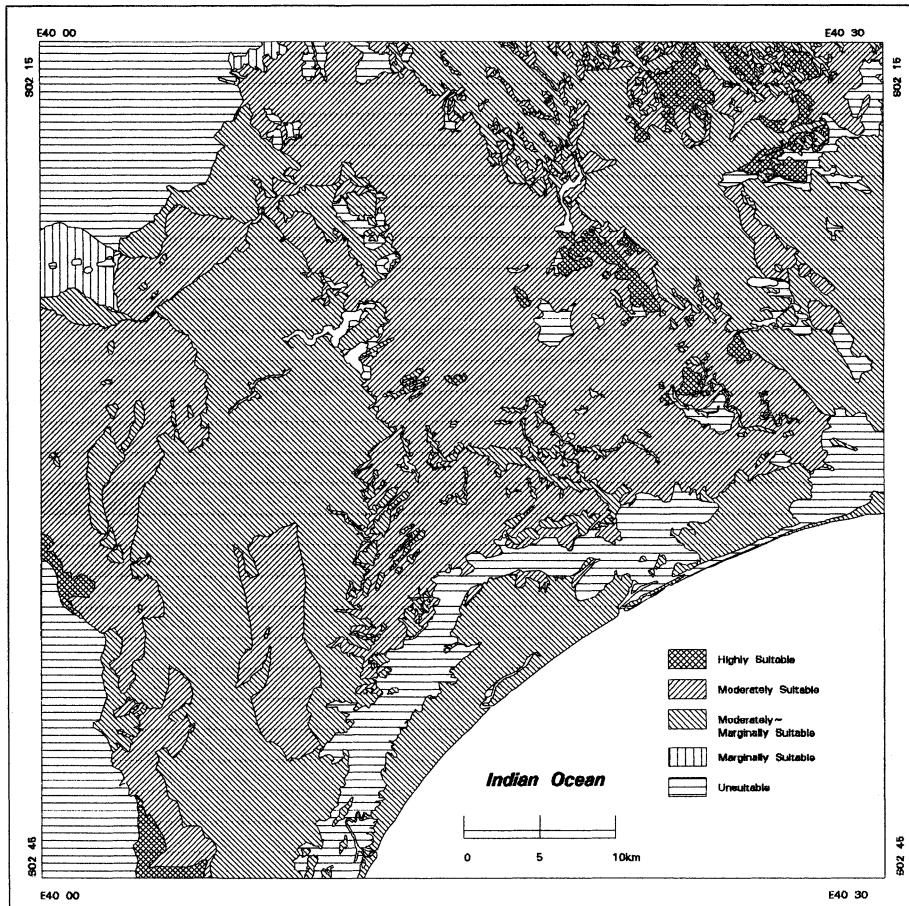
なわち、環境要素を統合化する過程から恣意性を排除することは実際には困難である場合が多い。そこで、ここでは、既往の経験な環境評価モデルを参照して、データベース化した多数の環境項目（地形、土壌、土地被覆など）のなかから複数の評価因子を試行錯誤的に組み合わせ、各要素の重み付けを行った。

地域空間全体の環境を「環境ポテンシャル」という用語で定義し、それを生物生息環境、森林環境、農業生産環境の3つのサブポテンシャルから構成される総合指標として考えた。生物生息環境は、野生生物の生息適地、森林

環境は水資源かん養と土壤浸食、農業生産環境は作物適地と洪水氾濫危険度の度合いを評価するものとした。第4図は、各サブポテンシャルの重み付け評価を行うのに用いられる環境要素情報の組み合わせを示したものである。環境主題情報のオーバーレイ評価は、各環境要素の分級基準にもとづいて行った。

3) 多変量解析手法を用いた環境要素相互間の関係把握と環境単元の設定

オーバーレイ解析に際して、環境要素間相互の因果関係をより構造的に把握するために多変量解析などの統計的手法を導入する必

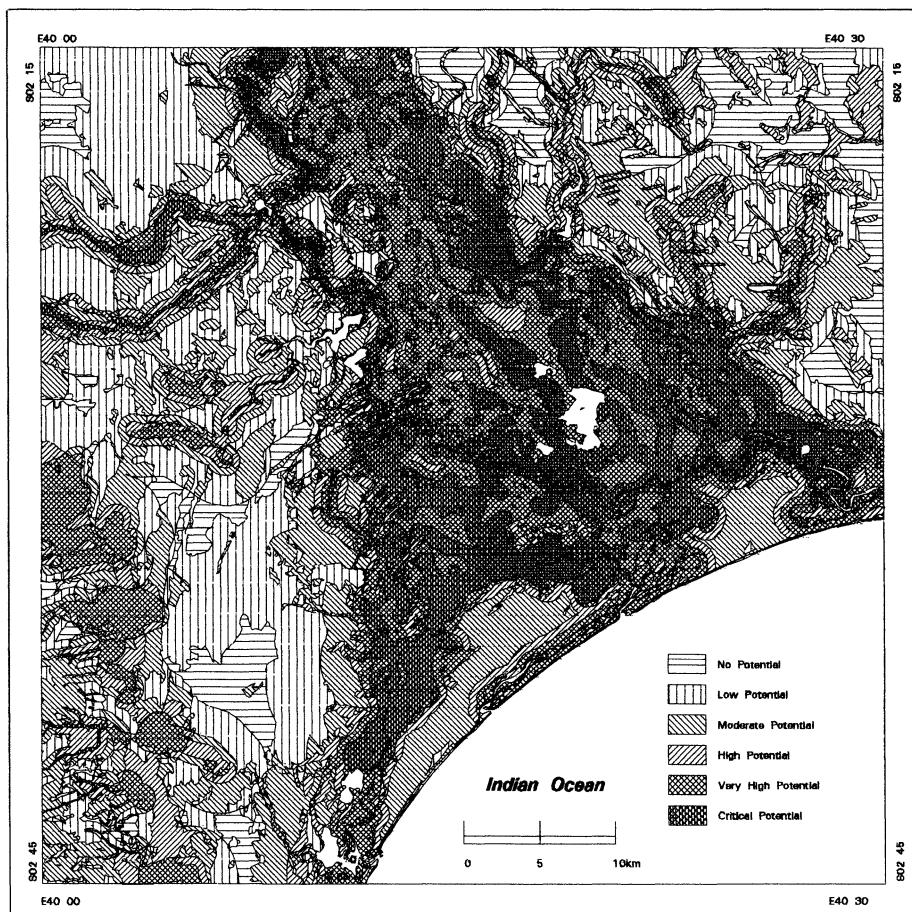


第10図 農業開発適地評価図

要がある。この目的のために、主題図のベクター／ラスター変換を行い、ポリゴンデータから自動的にメッシュデータを作成した。その結果、111カラム、112ラインの2次配列からなる12,321個のメッシュデータが得られた。用意した主題図メッシュは、地形分類図、土壤図、土地被覆図（1979年と1992年）、標高階図の5種類である。

統計的手法による解析は、1 km グリッドの各メッシュを1サンプルとみなし、地形、土壤、土地被覆、標高階などを変数、その凡例、例えば地形の場合、丘陵、段丘、氾濫平

野などをカテゴリーとして行った。次に、数量化III類・クラスター分析による環境単元の地域区分を行った。数量化III類とは、サンプルのカテゴリーへの反応のパターンにもとづいて、サンプルとカテゴリーの両方を数量化し、サンプルやカテゴリーの図的表現や分類を行うための手法である。この方法は林（1983）の数量化理論III類と呼ばれ、サンプルおよびカテゴリー分類や特性を知るために役立つ。ここでは、地形分類、土壤分類、土地被覆分類といった質的データを用いて環境単元を把握する地域区分を行った。第5図は、



第11図 洪水氾濫危険度評価図

質的データによって構成されるデータの解析フローを示したものである。

(3) 分析の結果

1) オーバーレイ手法による環境ポテンシャルの評価

第6図に対象地域の概念図と第7図から第11図までに GIS によるオーバーレイ解析によって作成された環境評価図の出力結果を示す。まず、野生生物の生息適地評価では土地利用が、水資源かん養評価の場合は地質および土地利用が、土壤浸食の危険度評価では気候帯と土地利用が、さらに作物適地評価には土壤の特性、洪水氾濫危険度評価では河川からのバッファー距離と地形要因がそれぞれ重要な因子として空間的にも評価図のなかに強く浮き出るかたちで現れているのがわかる。但し、この場合、評価因子の組み合わせやウェイトの設定については解析者の恣意性が強く反映されたものであり、計画基準や開発のストラテジーに応じてウェイトの設定変更が要求される。

2) 多変量解析手法による環境単元の設定

まず、分類（カテゴリー）数による影響を排除して、環境要素相互間の結び付きを比較

するためにクロス集計を行い、クラメールの連関係数を求め、第2表に示した。クラメールの連関係数は、下式によって表わされる。

$$V = \sqrt{\frac{\chi^2}{N(K-1)}}$$

(χ^2 : カイ2乗検定値、N: サンプル数、K: 行と行の少ない方の数)

この表からみると、地形と土壤が最も連関性が強く、次いで地形と標高の連関性が強いことがわかる。これらの間では、連関性が比較的低いのが、地形と土地被覆（1992）である。

クラメールの連関係数によって環境要素相互間の連関性の強さは把握されるが、それらのうち、どの要素が基礎的な要素であるかを調べるために因子分析を行う必要がある。ここでは、クラメールの連関係数を相関表のデータとして用い、斜交回転（コパリミン法）によって因子軸を求め、それぞれの環境要素の因子負荷量を、因子軸の座標系にプロットした（第12図参照）。この図からみると、もし環境要素が非常に多い場合は、「地形あるいは土壤」、「標高」、「土地被覆（1979）あるいは土地被覆（1992）」の3種類を、地域区

第2表 クラメールの連関係数

	地形	土壤	土地被覆(1979)	土地被覆(1992)	標高
地形	1.000	0.782	0.482	0.444	0.648
土壤	0.782	1.000	0.560	0.473	0.660
土地被覆(1979)	0.482	0.560	1.000	0.548	0.539
土地被覆(1992)	0.444	0.473	0.548	1.000	0.544
標高	0.648	0.660	0.539	0.544	1.000

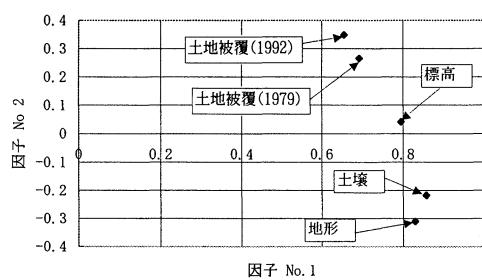
分（環境単元の設定）のための環境要素として利用して良いことがわかる。

次に、環境要素のカテゴリーについて、数量化Ⅲ類による分析を行った。カテゴリーは

コアを固有値座標にプロットすると、環境要素をいくつかのグループにまとめるができるようと思われる。しかしながら、座標系にプロットされた点の集合を、視覚によっ

第3表 クラスター分析による環境カテゴリーの分類・統合

グループ	環境項目（アイテム）	Code	環境カテゴリー
A	地形	4	Alluvial Plain
	土壤	4	eutric-Vertic Fluvisols
	土地被覆（1979年）	3	Bushland
	土地被覆（1992年）	4	Grassland
	標高	2	10–20 m
B	地形	3	Terrace
	土壤	9	orthic Solonetz
	土地被覆（1979年）	3	Bushland
	土地被覆（1992年）	3	Bushland
	標高	2	10–20 m
C	地形	4	Alluvial Plain
	土壤	3	chromic Vertisols
	土地被覆（1979年）	4	Grassland
	土地被覆（1992年）	4	Grassland
	標高	1	0–10 m
D	地形	8	Miscellaneous
	土壤	17	Water
	土地被覆（1979年）	9	Others
	土地被覆（1992年）	4	Grassland
	標高	2	10–20 m
E	地形	4	Alluvial Plain
	土壤	13	chromic Cambisols
	土地被覆（1979年）	1	Forest
	土地被覆（1992年）	4	Grassland
	標高	2	10–20 m
F	地形	1	Hill
	土壤	11	chromic Luvisols
	土地被覆（1979年）	1	Forest
	土地被覆（1992年）	1	Forest
	標高	5	100–200 m
G	地形	3	Terrace
	土壤	12	calcic Cambisols
	土地被覆（1979年）	1	Forest
	土地被覆（1992年）	1	Forest
	標高	2	10–20 m

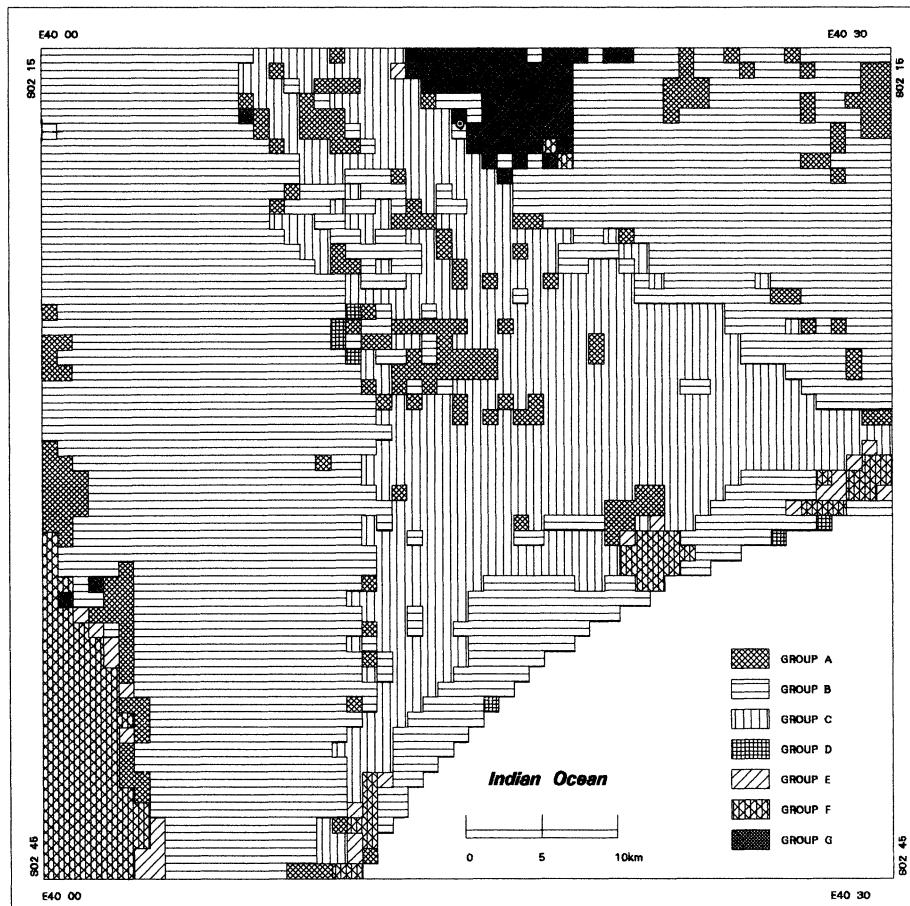


第12図 因子分析による主要環境構成要素間の座標づけ

てグループ化しようとする、どうしても主観が入らざるを得ない。そこで、数量化III類の解析結果から得られた各環境要素別のサン

プルスコアをもとにして、クラスター分析により環境要素のグループ化を試みた。

その結果、第3表に示すような環境カテゴリーの組み合わせからなる7つの地域（グループA～グループG）に区分できた。これをGISを用いて地図情報に展開すると第13図に示すような環境単元の区分図が作成され、これを環境管理計画のユニットとして用いることができるようになる。



第13図 クラスター分析による環境区分図

V. 結語にかえて

地域の環境資源に係わる情報がディジタル情報で蓄積されたデータベースにとって、ここで示された利用例は数多い事例のなかのひとつに過ぎない。また、ある目的を持った事例の必要性からみれば、このデータベースの項目にも過不足があるかもしれない。特に、今回の事例研究では、地域の社会・経済的情報についてはデータの入手制限上の都合から扱うことができなかった。これは、開発途上国の問題を扱う以上やむを得ないことであるが、地域環境を考えるうえでやはり社会・経済的な条件は無視できない。

このようななかで、自然環境条件をもとに地域の環境ポテンシャルと環境単元の設定を試みたのが本論の目的であり、そのツールとして GIS の利用が多種データの統合化に際して有効であることを示した。また、GIS のなかに多変量解析などの統計プログラムを組み込むことによって、リアルな空間情報の解析を行う際の恣意性を排除し、環境要素間の相互関係を明確に把握することができた。

開発途上国とのこれからの環境管理計画にあたっては、不足する地域の基礎情報をいかに有効に且つ効果的に使っていくかが鍵となる。これを科学的に実践していくことが、ひいては地球全体の環境保全に貢献するものと考えられる。

[付記] 本研究を進めるうえで、地図情報のデータベース化にあたり、その入力、編集、解析及び出力の各過程では非常に多くの時間と労力を要した。筆者の所属する㈱パスコインターナショナルのリモートセンシング・GIS 研究グループの研究メンバーである遠藤和志、小島由

紀子両氏には大変協力していただいた。共同研究者であることを最後に記し、感謝の意を表す。

参考文献

- 朝倉堅五・村井俊治「地球環境影響を考慮した開発プロジェクトの評価法に関する研究」、写真測量とリモートセンシング33-1、1994、4~12頁。
- 建設省国土地理院「イメージサーベイ地球をみつめる」、大蔵省印刷局、1991、298頁。
- 国際協力事業団「ケニヤ東部地区地図作成事業報告書」、1984、131頁。
- 国際協力事業団「開発調査環境配慮ガイドライン、地域総合開発編」、財日本国際協力センター、1994、148頁。
- 高橋直樹・村井俊治「リモートセンシングデータを用いた環境評価手法に関する研究」、日本写真測量学会発表論文集、1992、155~158頁。
- 武内和彦・恒川篤史 編「環境資源と情報システム」、古今書院、1994、219頁。
- 恒川篤史「環境管理のための環境情報システム（1）—「情報」が環境管理のカギを握る」、地理35-10、1990、81~87頁。
- 恒川篤史「環境管理のための環境情報システム（2）—環境情報の解析方法」、地理35-12、1990、74~81頁。
- 林知己夫「数量化の方法」、東洋経済新報社、1983、255頁。
- 原沢英夫・西岡秀三「地球環境評価のための環境情報システムに関する研究」、国立公害研究所研究報告109、1987、25~42頁。
- 安岡善文・森口祐一・田村正行「地理・画像情報による環境の解析と評価」、地学雑誌99-6、1990、85~91頁。
- FAO: A Framework for Land Evaluation, FAO Soil Bulletin 32, 1976, pp, 207.
- Michael H. & Art S.: GIS Applications in Natural Resources, GIS World Inc., 1991, pp. 379.
- UNESCO: Guidelines for Soil Survey and Land Evaluation in Ecological Research, MAB Technical Notes No. 17, 1986, pp. 124.
- Buckle C.: Landforms in Africa, an Introduction to Geomorphology, Longman, 1978, pp. 218.

Environmental Information System Development using GIS

—Its Concept and Application in the Developing Countries—

NAGASAWA Ryota*

Many human activities, such as construction, energy, water resources, or agricultural projects driven by increasing resource consumption with increasing affluence and population numbers, considerably affect the natural environment. This phenomenon has been more evident in the developing countries. Growing concern about these impacts and their immediate, as well as long-term, consequences, including risk involved with technological systems and the inherent uncertainty of any forecast, makes the prediction and analysis of environmental impacts and risks the basis for a scientific and rational management of our environment, task of increasing global importance.

The environmental data management and analysis tools are Geographic Information Systems (GIS) and satellite image processing systems, both of which allow data for given area to be combined, compared and analyzed on a geographic basis. One of the strongest and most successful application area for GIS has been believed to be in addressing problems of the environment, and the data base can support the policy and decision making for the environmental management planning.

For the purpose of assessing the environmental information system the case study was carried out in the Tana Delta Region in the Eastern Kenya. Based on the established environmental database, two different methodologies were applied in analyzing the spatial environmental structure and the causal relationships between the plural environmental factors. The first one is the spatial overlay analysis which performs the map manipulation on the basis of the defined environmental models. The second one is the multivariate analysis which is used for classifying and structuring the environmental elements such as landform, soil, elevation and land use. the quantification III and cluster analysis were applied to subdivide the study area into regions in terms of the environmental homogeneity.

By integrating the above two methods, the environmental potentiality was structurally classified and evaluated so that the urban and regional planners can objectify its reality. It is also shown that the GIS, as an analytical tool, can contribute to the better understandings of the environmental conditions in the region.

Keyword: Environment data management, GIS (Geographic Information System), Environmental structure,
Spatial overlay analysis, Multivariate analysis

* PASCO International Inc, Remote Sensing and GIS Div.