

GIS を用いた環境管理計画のための地域生態環境区分

—— ラオス人民民主主義共和国における事例 ——

長 澤 良 太*

I. はじめに

地球規模での環境問題は、現在世界中の関心事のひとつにあげられている。地球温暖化、酸性雨、砂漠化といった地球環境問題は、発生メカニズムや影響の及ぶ範囲は極めて広域的である。しかしながら、問題解決のためには人間ひとりひとりの行動と国単位、地域単位での環境管理が大きな鍵を握っている。グローバルな環境を意識しながらも、ローカルなレベルの地域生態系を保全、再生する環境管理が重要な役割を果たすと考えられる。

開発と環境に関する議論は年々活発になっているが、議論の中心は「開発か、環境か」という二者択一論から、「開発と環境との共存をどう模索するか」という方向に向かっている。持続可能な開発 (Sustainable Development) という言葉の登場がその流れを象徴しており、開発途上国では特に環境に対する慎重な配慮が求められている。環境配慮は、開発行為によってもたらされる自然、社会環境へのマイナスインパクトの軽減にとどまらず、自然資源や生物多様性の保全などを含めた包括的なものであることが重要である。環境を地域社会全体の持続可能性に影響する基

本的要因と見なし、環境資源を持続可能な状態で管理、利用、保全していくことが望まれる。

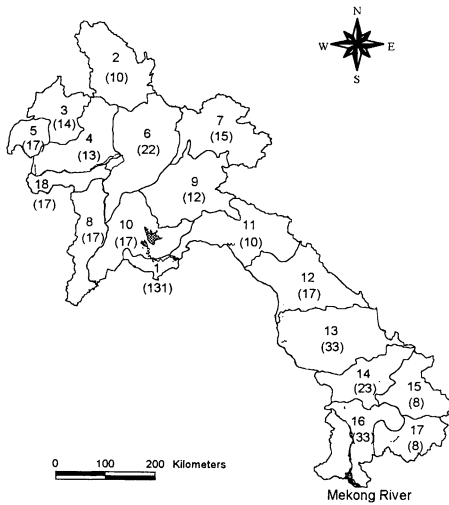
ここにおいて、環境が地域的、空間的に広がりを持つという地理学的な視点が求められる。ある等質的な地域、空間が結節して環境を構成する。地域の環境は、地形、地質、土壌、気候、動植物といったさまざまな環境要素が相互に関連しあいながら、ひとつの地域生態系 (エコシステム) をつくっている。この地域生態系を理解し、あるべき姿を将来にわたって描きながら、環境の全体像のなかで個々の開発行為がどうあるべきかを位置づける必要がある。そうした役割を果たすのが「環境管理計画」である。

本稿では、GIS (地理情報システム) を用いて、環境管理計画の立案に供する環境の空間的分布を把握する方法について議論を展開する。事例として選んだのは、ラオス人民民主主義共和国の一国全体である。その理由として、この国は開発の進む東南アジア諸国にあって、未だ人間の手に乱されていない多くの自然環境が残されており、環境管理計画の策定が急がれる国のひとつと考えたからである¹⁾。

* 鳥取大学農学部生物資源環境学科森林科学講座

II. ラオスの環境概要

ラオス人民民主主義共和国（以下、ラオスと称する）は、インドシナ半島の中央に位置する内陸国で、北は中国とミャンマー、東はベトナム、南はカンボディア、西はタイの5カ国と国境を接している。国土面積は236,800 km²、18の州から構成され（第1図参照）、人口は僅か460万人（人口密度19人/km²）である。国際河川であるメコン河が国の西側を流れており、ルアンプラバン、首都ヴィエンチャン、サバンナケット、パクセなどの主要都市は、いずれもメコン河岸に立地している。そこには、小規模ながら河岸平野が開け、この国の貴重な穀倉地帯となってい



第1図 ラオスの行政区区分図

- 1 Vientiane Municipality, 2 Phongsaly,
- 3 Luangnamtha, 4 Oudomxay, 5 Bokeo,
- 6 Luangprabang, 7 Houphan, 8 Xayabury,
- 9 Xiangkhuang, 10 Vientiane Province,
- 11 Borikhamxay, 12 Khammuane,
- 13 Savannkhet, 14 Saravane, 15 Saekong,
- 16 Champasack, 17 Attapeu,
- 18 Special Region

下段の括弧内の数値は、人口密度を表す。

る。

ラオスは、その地理的条件から森林資源、水資源に恵まれており、東南アジアの各国が熱帯林乱伐の問題を抱えるなかにあって、未だ豊かな森林が広く残されている。それだけに、この国の森林資源は、インドシナ半島、メコン河流域全体の環境保全に大きな意味を持つと考えられる。

歴史的にみると、10世紀に中国雲南省から南下したといわれるラオ族が1353年に北部のルアンプラバンにランサン王朝を建国したことに始まる。その後、長期間にわたる周辺諸国との抗争の時代を経て、1893年にフランスの植民地となった。大戦後、1953年に独立を勝ち取ったが、その後もインドシナ半島の内戦、紛争は続き、1991年のパリ和平協定によってようやく安定を取り戻すことができた。

内陸国であるラオスは、地政学的なハンディキャップに加え、植民地時代から道路などの社会基盤整備が進まず、現在でも国全体がひとつの社会経済圏を作り上げているとは言い難い。むしろ、自然条件の影響を強く受けた人間活動圏が存続している。特に、北部の山岳地域では村々は孤立し、多くの少数民族や文化、言語が残されている。このことは、自然環境特性にもとづく地域区分が、今後この国の開発計画、環境保全を考えていくうえで重要な単位となることを示唆している。

III. 地域生態環境区の設定

(1) 地域生態環境区とは

地域を構成する複数の自然環境要素から、系統的に均質（ホモジーニアス）な空間ユニットを抽出する手法はかつてから行われてい

た。主に、ヨーロッパ大陸で行われてきたランドシステム調査はその代表例である²⁾。

一方、応用的な面では、国連食糧農業機構 (FAO) が世界の開発途上各国で行なってきた土地評価 (Land Evaluation) の基礎となる Agro-ecological Zoning (AEZ) が有名である³⁾。土地資源管理のための地域区分は、その後さまざまな改良が加えられ、実務的利用が進んできた。例えば、LUC (Land Use Capability) とか LUTs (land Utilization Types) とか呼ばれているものである⁴⁾。どちらの場合も、リモートセンシングや空中写真判読の手法が体系的に組み込まれ、GIS との融合もうまく計られている。

土地は、地球表面に出現する平面あるいは 3 次元的な空間で、その存在と特徴は、土地表面に作用する上下からの物理的、化学的、生物学的現象の結果である。それ故に、地域の等質性を抽出するには、単一の指標ではなく、複数の環境要因を包括的に扱う生態学的なアプローチが大切である⁵⁾。この生態的に等質的な土地・地域ユニットに対して、ここでは地域生態環境区と定義する。

地域の生態系は、気象、地象などの自然環境要因と地表面に展開する人間活動の社会・経済環境要因が複雑に絡み合って構成されている。このため、地域を説明する要因のなかには、人間活動の影響を加味する必要がある。しかしながら、ラオスの場合、全土にわたって人口密度が極端に低く、人間活動そのものが未だ自然環境の制約を強く受けて営まれている。本稿では、地域区分の目的を環境管理計画策定のための環境単位の設定と捉えているので、自然環境要因を重点的に扱い、人文的な要因としては土地利用のみを扱った。

(2) 解析の方法

地域生態環境とそれを導き出した環境要因との因果関係、各環境要因間の相互関係を有機的、複合的に把握することを試みた。そのために、GIS と多変量解析を用いた地域区分の手法⁶⁾ を適用する。この方法の特長点は、GIS と連結した統計的手法にもとづいているため、オーバーレイのような空間解析処理で絶えず問題とされる変数を統合する際の恣意性 (解析者の主観) を排除できることである。また、変数の数が多い場合でも、要因相

第 1 表 解析に用いた空間データの諸元

主題図	情報源	所在機関	フォーマット	メディア
地形	GTOPO 30 (DTED)	USGS EROS Data Center	ラスター	ftp
地質	Digital Geological Map of East and Southeast Asia	通産省地質調査所	ベクター	CD-ROM
土壌	The Digital Soil Map of the World	FAO	ベクター	CD-ROM
年平均気温	World Water and Climate Atlas	IMII	ラスター	CD-ROM
年間降水量	World Water and Climate Atlas	IMII	ラスター	CD-ROM
植生	地球地図—インドシナ版	建設省国土地理院	ラスター	CD-ROM
土地利用	地球地図—インドシナ版	建設省国土地理院	ラスター	CD-ROM

互の因果関係を定量的に把握できる。さらに、GISを用いることで、多変量解析の結果を容易に地図表現することが可能である。

ところで、近年のグローバルデータセットの充実には目を見張るものがある。例えば、アメリカ合衆国地質調査所 EROS データセンターの標高グリッドや NOAA/AVHRR による世界土地被覆、建設省国土地理院の「地球地図」⁷⁾、さらには世界各国の非営利団体がインターネット上でさまざまな主題データを公開している⁸⁾。これらのデータは、元来地図情報に乏しい開発途上国での調査には有用で、貴重な情報源である。データ形式は必ずしも統一されていないが、GISのデータ変換機能を用いれば容易に統一規格のデータに変換し、データベース化することも可能である。

(3) ラオスの地域生態を規定する環境要因の記載

ラオスの地域生態に関わる環境要因として、標高、傾斜、土地利用、植生、地質、土壌、年間降水量、年平均気温の8つの情報を用いた。これらは、人工衛星画像の解析結果であったり、Webサイトから入手した主題情報で、いずれもGISで読み込み可能なデジタルデータである。第1表に、今回の解析に用いたデータの諸元を一覧した。

i) 地形

地形を指標する主題情報として、標高と傾斜を採用した。標高は、米国地質調査所 EROS データセンターの Web サイトからダウンロードした ARC 30 second DEM で、30 秒 (約 1 km) 分解能のグリッドデータである (第2図の1参照)。傾斜は、この標高データを用いて隣り合うグリッドから計算⁹⁾ によって求めた (第2図の2参照)。

ラオスの地形は山がちで、国土の約90%は山地、丘陵、高原で占められている。主山稜は、中国雲南高原から南下するアンナン (ルアン) 山脈で、標高2,000 m を越える山々が並走している。なかでも、北部は最高2,820 m のプー・ピアを筆頭に急峻な山岳地帯が続き、交通を完全に阻害している。河谷平野の発達も悪く、メコン河に沿った僅かな平野に、ランサン王国の古都ルアンプラバンが開けているに過ぎない。

中部から南部では、首都ヴィエンチャンあたりからタイ国境をなす国際河川メコン河に沿って河岸平野が発達する。平野の占める割合は南下するほど大きく、サバンナケット、チャンパサックでは比較的広い平野、平原が発達している。

ii) 土地利用・植生

建設省国土地理院が配布している「地球地図 CD-ROM、インドシナ半島版」に収録されている土地利用、植生データを採用した。土地利用は、Landsat TM 画像の目視判読によるもので、30秒メッシュのなかに卓越する土地利用タイプが読み取られている。森林が国土の80%を占め、焼畑耕作が森林地帯のなかに点在する¹⁰⁾。農耕地は、低地部の水田よりも山間部の傾斜地農業としての焼畑が圧倒的に多い。人口が少ないため、ラオスの土地利用分布は総じて単調である (第2図の3参照)。

一方、地球地図に収められている植生データは、筆者自らが行った NOAA/AVHRR の月最大 NDVI データを用いた画像解析にもとづいている。AVHRR の原データは、1992年4月から93年3月までの12ヶ月分の10 days NDVI で、EROS データセンターからダ

ダウンロードした1.1 km 分解能の画像データである。

ラオスの植生は、標高1,000 m を越える山岳地域で亜熱帯性の落葉樹、混交樹林が大部分の面積を占めている。また、森林植生の大半は広葉樹で、針葉樹は標高の高い部分に僅かにみられる。南部のサバンナケット平原では、比較的古い時代から森林開発など人的攪乱を受け、灌木、サバンナ林が広範囲に分布している（第2図の4参照）。

iii) 地質

我が国の通産省地質調査所がアジア各国の既存の地質図を編集して作成した東・東南アジアの数値地質図（CD-ROM）を利用した。縮尺200万分の1の精度でベクター化されたデジタルデータであるが、本研究ではこれを30秒グリッドのラスターデータに変換して用いた（第2図の5参照）。

ラオスの地質は、北部と中・南部で対照的な分布を示す。北部は、準平原化した古期山地が再隆起してできた山々で、主山稜に沿って古生代、先カンブリア紀の堆積岩類が広い範囲にわたって発達している。これに対し、中・南部では中生代の堆積岩類が優勢的で、山並みは北部ほど急峻ではない。

第四紀未固結堆積物の発達は極めて悪く、メコン河に沿う僅かな範囲にとどまっている。最南部のボラヴェン高原は、第四紀の玄武岩の貫入によってつくられた標高1,000 m 程の火山性の高原である。

iv) 土壌

FAO の The Digital Soil Map of the World を利用した。データの原典は、縮尺400万分の1の世界土壌図で、これがベクターフォーマットでデジタル化され、CD-ROM で配

布されている。地質図同様に、30秒グリッドのラスターデータに変換して用いた（第2図の6参照）。

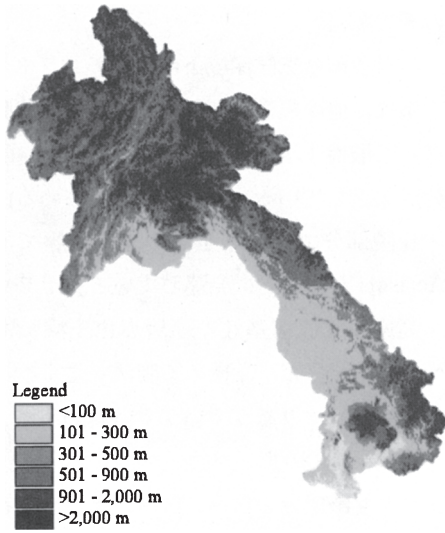
高温多雨の気候環境下において、ラオスの土壌は、他の熱帯地域の土壌と同様、溶脱の進んだ酸性土壌（pH 4.5～5.8）でリン酸成分が欠乏している。国土の大半を占める山地・丘陵部分では、粘土質の赤色土壌である Acrisols が優勢的に発達している。ボラヴェン高原には、塩基性の厚層赤色土壌である Nitosols が分布し、極めて肥沃で生産性の高い土地をつくりあげている。

沖積土壌のうち、メコン河岸の新しい沖積土はリン酸成分を含み、土壌深もあって物理性に優れている。このために、各種の換金作物の栽培に適し、ラオス国内では比較的裕福な農村地帯を構成している。しかしながら、沖積土壌であっても、その成因によって地力に大きな違いがあり、作物の枝生育に大きく影響している。

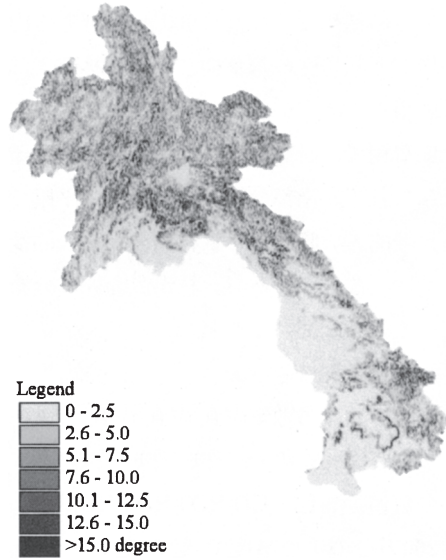
v) 気候

気候を指標する主題情報として、年間降水量と年平均気温を採用した。両者とも IIIMI（International Irrigation Management Institute）が米国ユタ州立大学と共同で作成した World Water and Climate Atlas（CD-ROM）に収められている。このデジタル気象アトラスは、世界中で50,000点を越える観測所において、1961年から90年までに観測された資料にもとづいて作成されている。

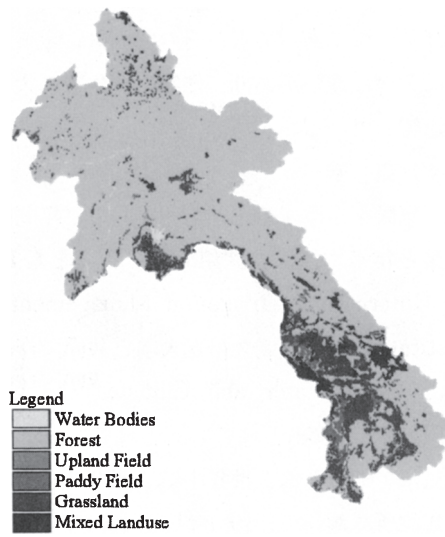
ラオスは、熱帯モンスーン気候に属し雨季（4月中旬～10月中旬）と乾季（10月中旬～4月中旬）に分かれ、年間降水量のほとんどは雨季に集中している。降水量分布は、典型的な帯状配列を示し、中部と最北部、最南部



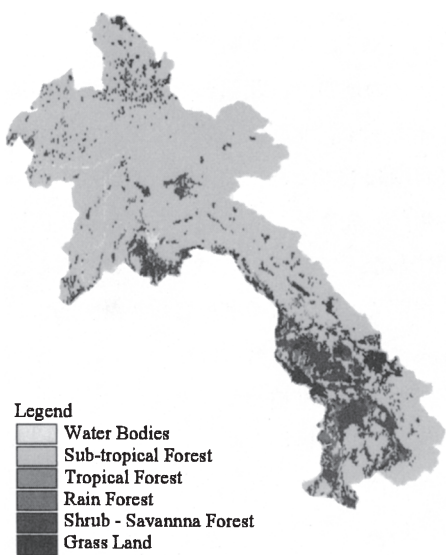
2-1 標高区分図



2-2 傾斜区分図



2-3 土地利用図



2-4 植生図

第2図 地域生態環境の要因群

ウンロードした1.1 km 分解能の画像データである。

ラオスの植生は、標高1,000 m を越える山岳地域で亜熱帯性の落葉樹、混交樹林が大部分の面積を占めている。また、森林植生の大半は広葉樹で、針葉樹は標高の高い部分に僅かにみられる。南部のサバンナケット平原では、比較的古い時代から森林開発など人的攪乱を受け、灌木、サバンナ林が広範囲に分布している（第2図の4参照）。

iii) 地質

我が国の通産省地質調査所がアジア各国の既存の地質図を編集して作成した東・東南アジアの数値地質図（CD-ROM）を利用した。縮尺200万分の1の精度でベクター化されたデジタルデータであるが、本研究ではこれを30秒グリッドのラスターデータに変換して用いた（第2図の5参照）。

ラオスの地質は、北部と中・南部で対照的な分布を示す。北部は、準平原化した古期山地が再隆起してきた山々で、主山稜に沿って古生代、先カンブリア紀の堆積岩類が広い範囲にわたって発達している。これに対し、中・南部では中生代の堆積岩類が優勢的で、山並みは北部ほど急峻ではない。

第四紀未固結堆積物の発達は極めて悪く、メコン河に沿う僅かな範囲にとどまっている。最南部のボラヴェン高原は、第四紀の玄武岩の貫入によってつくられた標高1,000 m 程の火山性の高原である。

iv) 土壌

FAO の The Digital Soil Map of the World を利用した。データの原典は、縮尺400万分の1の世界土壌図で、これがベクターフォーマットでデジタル化され、CD-ROM で配

布されている。地質図同様に、30秒グリッドのラスターデータに変換して用いた（第2図の6参照）。

高温多雨の気候環境下において、ラオスの土壌は、他の熱帯地域の土壌と同様、溶脱の進んだ酸性土壌（pH 4.5～5.8）でリン酸成分が欠乏している。国土の大半を占める山地・丘陵部分では、粘土質の赤色土壌である Acrisols が優勢的に発達している。ボラヴェン高原には、塩基性の厚層赤色土壌である Nitosols が分布し、極めて肥沃で生産性の高い土地をつくりあげている。

沖積土壌のうち、メコン河岸の新しい沖積土はリン酸成分を含み、土壌深もあって物理性に優れている。このために、各種の換金作物の栽培に適し、ラオス国内では比較的裕福な農村地帯を構成している。しかしながら、沖積土壌であっても、その成因によって地力に大きな違いがあり、作物の枝生育に大きく影響している。

v) 気候

気候を指標する主題情報として、年間降水量と年平均気温を採用した。両者とも IIMI（International Irrigation Management Institute）が米国ユタ州立大学と共同で作成した World Water and Climate Atlas（CD-ROM）に収められている。このデジタル気象アトラスは、世界中で50,000点を越える観測所において、1961年から90年までに観測された資料にもとづいて作成されている。

ラオスは、熱帯モンスーン気候に属し雨季（4月中旬～10月中旬）と乾季（10月中旬～4月中旬）に分かれ、年間降水量のほとんどは雨季に集中している。降水量分布は、典型的な帯状配列を示し、中部と最北部、最南部

第2表 各環境要因のカテゴリーの内容

環境要因	カテゴリー	メッシュ数	環境要因	カテゴリー	メッシュ数
標高	0-100 m	1,568	地質	第四紀未固結堆積物	3,012
	101-300 m	16,214		中生代堆積岩類	30,478
	301-500 m	9,197		古生代堆積岩類	27,659
	501-900 m	23,443		先カンブリア堆積岩類	3,766
	901-2,000 m	20,376		第四紀火成岩類	250
	>2,000 m	68		新生代火成岩類	2,795
	合計	70,866		時代未詳岩類	2,906
傾斜	0-2.5度	32,069	土壌	Acrisols	3,445
	2.6-5.0度	16,377		Acrisols	3,321
	5.1-7.5度	10,957		Acrisols	58,631
	7.6-10.0度	6,374		Greysols	787
	10.1-12.5度	3,038		Lithosols	1,386
	12.6-15.0度	1,240		Nitosols	2,860
	>15.0度	811		Vertisols	436
	合計	70,866		合計	70,866
土地利用	水域	651	年平均気温	<16度	196
	森林	56,999		16-20度	12,418
	畑地	185		20-24度	33,172
	水田	1,762		>24度	25,080
	草原	7,455		合計	70,866
	混合地域	3,814			
	合計	70,866			
植生	水域	544	年間降水量	>1,400 mm	7,335
	亜熱帯樹林	35,664		1,401-1,800 mm	21,902
	熱帯樹林	25,543		1,801-2,200 mm	13,786
	雨緑林	7,123		2,201-2,600 mm	11,200
	灌木、サバンナ林	1,490		2,601-3,000 mm	12,956
	草原	502		>3,000 mm	3,687
	合計	70,866		合計	70,866

で多く、その間に挟まれた部分で少ない（第2図の7参照）。両者の差は、年間総雨量で1,000 mm以上となる。降水量の少ない部分に、北部のルアンプラバン、南部のサバンナケットなどが位置し、中部のヴィエンチャン、最南部のパクセなどが多雨地域にあたる。

気温は、地形条件の差を考慮しなければ、総じて南部より北部のほうが2度程度低い。標高の高い山岳地域やボラヴェン高原では、さ

らに低温で年平均気温が20度を下回っている（第2図の8参照）。

(4) 環境要因相互の関係把握

上述の各主題データは、すべて地表空間分解能30秒（約1 km）のラスターデータに変換された。データは457ライン×516カラムの2次元配列であるが、背景部分を除いたレコード総数は70,866である。各主題は4～7のカテゴリーを持ち、それぞれのレコードの

第3表 クラメールの連関係数

	標高	傾斜	土地利用	植生	地質	土壌	雨量	気温
標高	1.000							
傾斜	0.243	1.000						
土地利用	0.274	0.163	1.000					
植生	0.236	0.133	0.352	1.000				
地質	0.223	0.138	0.176	0.159	1.000			
土壌	0.255	0.139	0.173	0.188	0.234	1.000		
雨量	0.095	0.048	0.085	0.108	0.132	0.187	1.000	
気温	0.428	0.220	0.238	0.221	0.223	0.237	0.092	1.000

分布状況は第2表に示すとおりである。

環境要因相互の連関性（結びつき）の強さを把握するために、サンプルレコードのクロス集計から求めた χ （カイ）二乗値によって、要因間のクラメール連関係数を求めた（第3表参照）。この表からは、気温と標高（0.428）、植生と土地利用（0.352）、標高と土地利用（0.274）、地質と土壌（0.234）に比較的強い結びつきが読み取れる。

(5) 多変量解析による地域生態区分

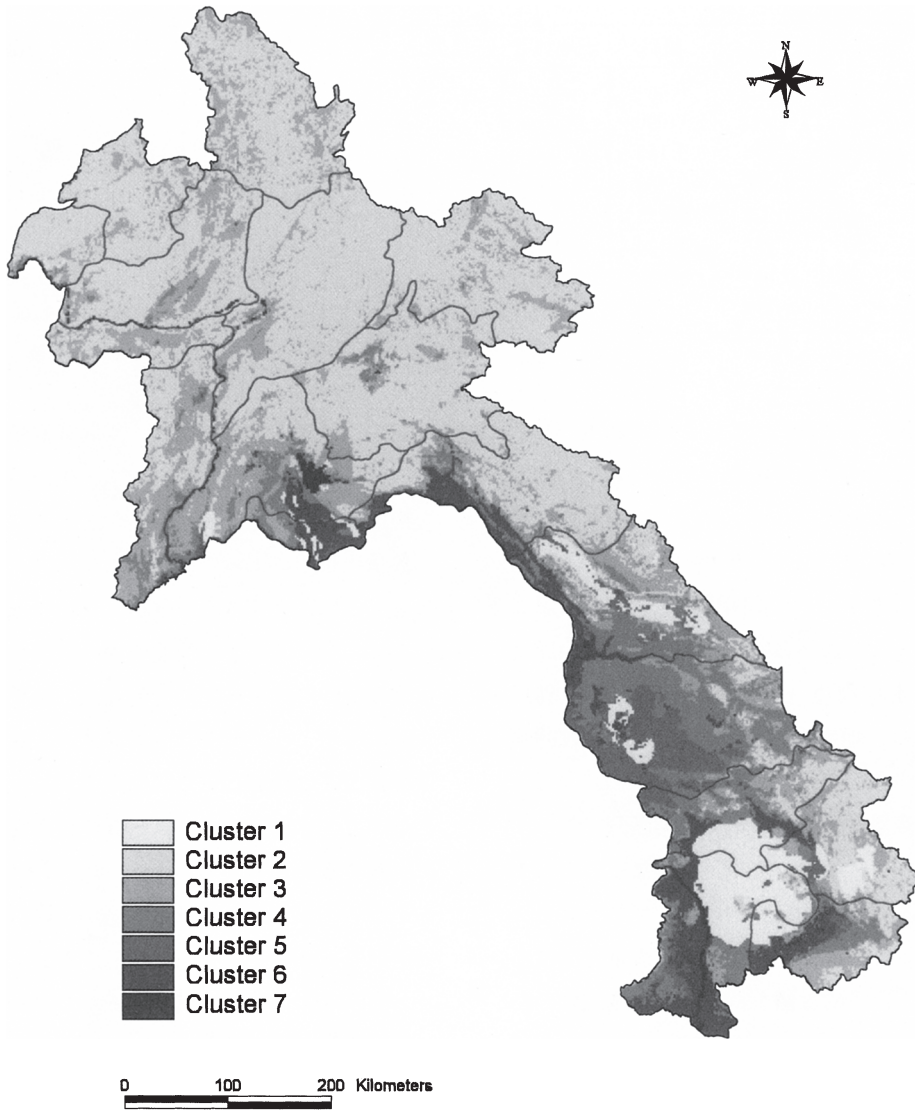
土地利用、植生、地質、土壌などの内容を記載するものは、定性的なカテゴリーデータである。一方、標高、傾斜、降水量、気温はもともと定量的な値を持つが、地域区分のためには相対的なクラスを設定してカテゴリー化するとわかり易い。ここでは、環境要因変数をすべてカテゴリーデータにして、多変量解析には数量化Ⅲ類を用いた¹¹⁾。数量化Ⅲ類とは、質的データから構成されるサンプルのカテゴリーへの反応のパターンにもとづいて、サンプルとカテゴリーの両方を数量化し、分類や図的表現を行うための統計解析手法である。この手法は、林知己夫¹²⁾によって提案され、サンプルおよびカテゴリー分類や特性を知るの役立つ。本稿では、標高、傾斜、土

地利用、植生、地質、土壌、年間降水量、年平均気温の8つの変数を用いて、生態環境区を把握するための分類を行った。

数量化Ⅲ類によって得られたサンプルスコアをもとに、クラスター分析（ウォード法）によって全グリッドを環境要因の結びつきを指標に7つのグループに分類した。結果は第3図に示すようであり、各クラスター群と各環境要因との関係を第4図に表す。これにもとづいて、7つのクラスター群の特徴を以下に記載する。

クラスター①（13,510 ha、全国土の6%）
…南部のポラヴェン高原に対応する。ポラヴェン高原は、周囲の地域とはまったく異なった環境要因を持つため、クラスター分析で明瞭に抽出された。標高は1,000 m以下、緩傾斜で、新生代火成岩類、Nitosolsの土地から成り、やや冷涼、十分な降水量で、森林～草原で覆われる地域が卓越する。南部のチャンバサック、サラヴァン、セコンの各州で優占的に分布し、中・北部には出現しない。

クラスター②（110,477 ha、全国土の47%）
…北部山岳地帯の大半、南部のヴェトナム国境に近い山岳地帯に広く分布する。500 m以上の高い標高、急勾配で、中・古生代、先カ



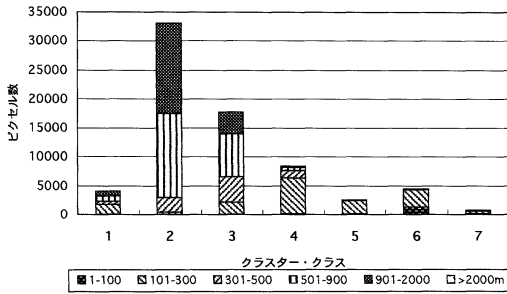
第3図 クラスタ分析による地域生態環境区分

ンブリア紀の堆積岩類、Orthic Acrisols から成ることから、山岳地域の特徴をよく表している。温帯、亜熱帯～熱帯の森林が大半の地域を覆っている。サイヤブリーを除く北部の7州（フォンサリー、ルアンナムター、ウドムサイ、ボケオ、ルアンブラバン、ファバン、シエンクアンの各州）と南部のセコン州

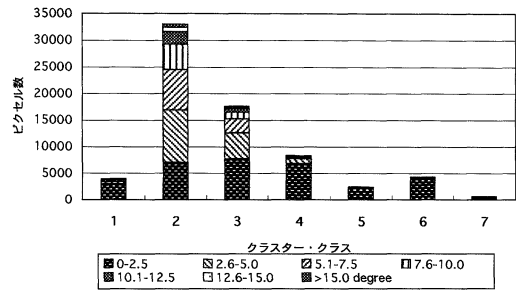
で優占的に分布する。

クラスター③（59,131 ha、全国土の25%）…クラスター②を取り囲むように分布する。標高は②よりも一段低い500 m以下で、勾配も緩傾斜となる。地質、土壌、植生、降水量の特徴は②と変わらないが、気温はより高温で、土地利用的には草原、混合地も出現して

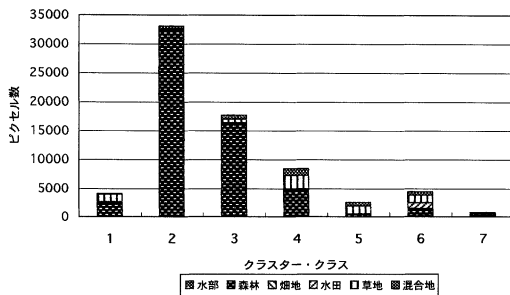
GISを用いた環境管理計画のための地域生態環境区分



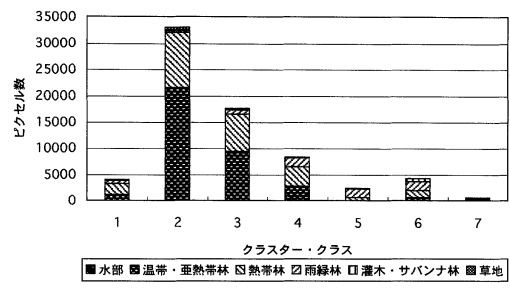
4-1 標高区分



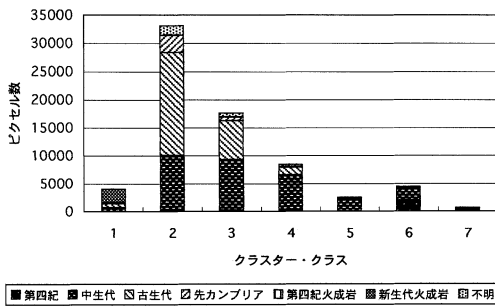
4-2 傾斜区分



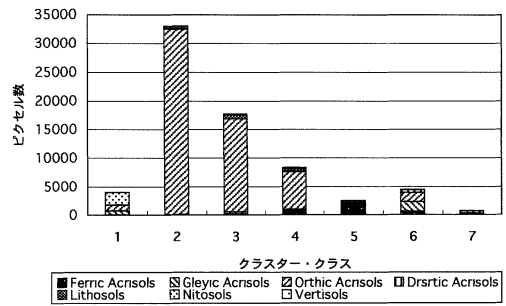
4-3 土地利用



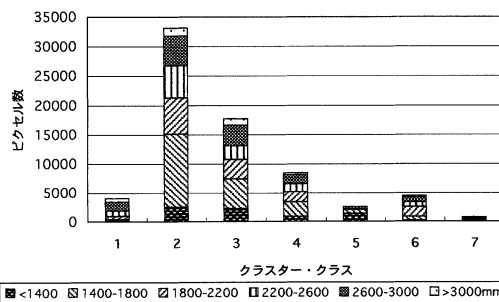
4-4 植生



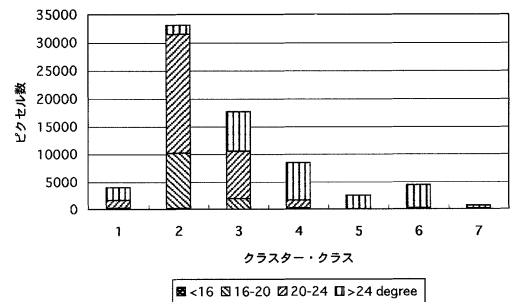
4-5 地質



4-6 土壌



4-7 年間降水量



4-8 年平均気温

第4図 各クラスター群と環境要因との関係

くる。このことから、このクラスは山麓の中
山間地帯に相当すると考えられる。北部のサイ
ヤブリー、中部のヴィエンチャンプロヴィ
ンス、カムアンの各州で優占的に分布する。

クラスター④ (28,079 ha 全国土の12%)
…中部以南に限って広く分布する。標高は、
大半が300 m 以下であるが、900 m 程度のと
ころまで分布する。傾斜は②、③の地域に比
べるとはるかに緩かで、中生代層が卓越し、
森林に代わってサバンナ・草原の占める割合
が多くなる。山岳地帯の冷涼な気候とは異な
り、年平均気温は24度以上の熱帯気候となる。
中部から南部、特にサバンナケット州に広く
分布する。山岳地帯前縁の小・中起伏丘陵地
を表したクラスと考えられる

クラスター⑤ (8,384 ha、全国土の4%)
…サバンナケット平原に相当する。サバンナ
ケット平原はラオス最大の穀倉地帯であり、
標高300 m 以下の低起伏、平坦な土地で、
Ferric Acrisols が卓越するのが特徴的である。
気温は高いが、降水量は山岳地帯に比べ
ると少ない。サバンナケット、カムアン、サ
ラバンの各州に限って分布する。

クラスター⑥ (14,873 ha、全国土の6%)
…ヴィエンチャン平野をはじめ、メコン河や
その支川であるセドン川、セコン川に沿う河
成平野の部分がこのクラスに対応する。標高
は、他のクラスと比較して最も低く、100 m
以下の土地も出現する。土壌や土地利用など
は、優占的なものが見られず混成的で、この
クラスが低地帯であることを特徴づけている。

クラスター⑦ (2,346 ha、全国土の1%)
…水域である。この国最大の内水面であるナム
グム湖(ナムグムダムによって生まれた人造湖)
や比較的河幅の広いメコン河の水面が

抽出された。

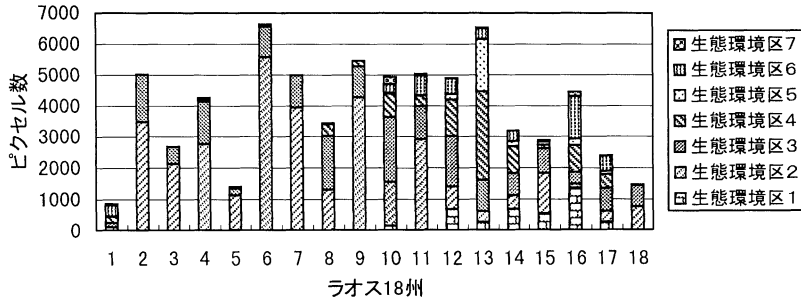
以上、クラスター分析によって7区分され
た生態環境区は、従来の生態学的知見による
ラオスの地象、気象、植生分布の特徴ともよ
く対応しており、この区分図は地域環境管理
計画を立案する土台になるものと考ええる。

IV. 地域環境管理計画への提言

1992年の国連環境開発会議(地球サミット)
で採択された「アジェンダ21」は、環境を経
済・社会発展の全体的持続可能性に影響する
基本的要因とみなした。そして、これまでの
環境管理の考え方では、自然資源、環境の持
続可能な利用、管理、保全の概念が欠けてい
ることを指摘した。持続可能な開発とは、経
済開発、自然資源の活用と環境保全の相互依
存関係である。これを実現させるためには、
自然資源、環境を長期的かつ安定的に利用し
ていく計画的視点が重要である。さらに、環
境の持つ受容力、環境スペースの認識など、
地域の環境を総体として捉える視点が求めら
れている。

以上のような点から、一国を対象とした環
境管理計画立案のためには、まず等質的な環
境空間を把握することが必要で、総体的な環
境構造を理解したうえでの計画・議論が重要
と考える。ここでは、前章でクラスター区分
された地域生態環境区毎に、ラオスの国レベ
ルでの環境管理計画の内容について提言を行
う。第5図は、GISの重ね合わせ機能を用
いて、州毎の生態環境区の面積を集計したも
のである。

長年にわたり、メコン河流域の開発と環境
問題に取り組んできた堀博氏は、ラオスを



第5図 州毎の地域生態環境区の面積

注) 1～18の州番号は、図1に対応

「水と森に支えられ、穏やかで優しい人々の住むアジアのオアシス」と形容した¹³⁾。確かに、ラオスは降雨や植生に恵まれているが、平地に乏しく、洪水が頻発したり、干ばつも度々起こるなどの問題を抱えている。このために、自国の農業、食糧生産力は低く、このままでは今後の人口の増加に対応する食糧を維持できなくなってしまう。

さらに、ラオスは焼畑やダム建設にともなう森林減少や土壌流亡といった環境問題を抱えている。ラオスの焼畑は、山岳民族の生業として行われてきた伝統的農法で、自然の生態系に融合したものである。しかしながら、一部の地域で人口の急増による過耕作が生じ、休閒期間が短縮化して森林に与える負荷が大きくなってきているのも事実である¹⁴⁾。一方、豊富な水資源を期待した国外資本によるダム開発が急増しており、地域の生態系が十分に理解されないまま工事が進む場合が多い¹⁵⁾。

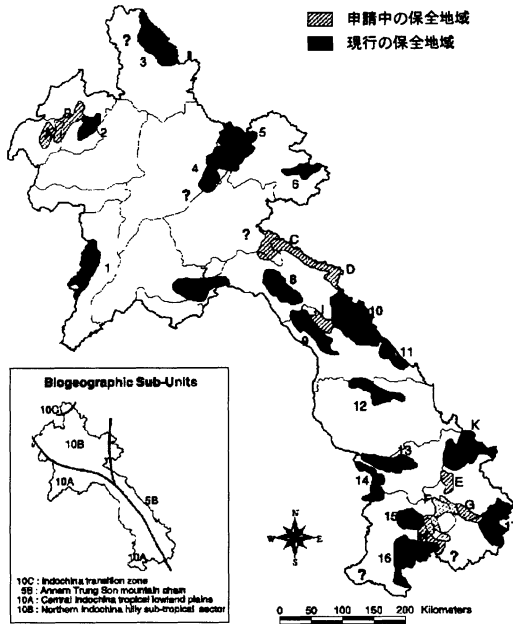
ラオスの人口は、近隣諸国と比べて著しく少ない。それでも、国内的に見ると人口密度の粗密があり、北部山岳地域で低く、メコン河の沿岸諸州で比較的高くなっている(図1参照)。環境問題は、人口問題の裏返しという見方もできるので、先に区分された地域生

態環境区分図と人口密度分布図を同時に眺めながら、環境管理計画の青写真を作るのが良い。以下に、7つの地域生態環境区分毎にこれからの環境管理計画の課題について提言する。

地域生態環境区1(クラスター①に対応) … 痩せた土壌が卓越するラオスにあって、ボラヴェン高原全体に分布する塩基性火山岩類に由来する肥沃な土壌は、この国の貴重な財産である。そこでは、商品作物としてのコーヒーが広く栽培され、同国の数少ない輸出一次産物として外貨獲得に貢献している。栽培面積は年々増加しているが、樹木の老齢化が問題となっている。肥沃な土壌を保全していくことがコーヒー栽培の安定的収穫の基盤となるので、ボラヴェン高原の樹木管理、土地保全が第一の課題である。

また、この環境区は同国南部の中心都市、パクセに近接しているにもかかわらず、豊かな自然景観、生物多様性が残されており、エコツーリズムなどの観光ポテンシャルを多く潜めている。保護、保全すべき自然環境、野生生物を体系的法整備のもとで管理していくことが提言される。

地域生態環境区2(クラスター②に対応)



第 6 図 ラオスの保全地域の分布

…国土の半分近くを占める広大な環境区で、山深い低人口密度地帯である。この環境区は、開発の進むインドシナ半島にあって未だに豊かな森を残す森林区である。山岳民族による伝統的焼畑が広く行われているが、近年人口が増加傾向にあって、休閒期間の短縮化による森林環境の破壊が危惧される。増加した人口に対する食糧の増産のためには、焼畑代替農業の導入などの対策が必要とされる。

鉱物資源開発の遅れているラオスにとって、この環境区に賦存する豊富な水資源は貴重な財産である。東南アジア最大のナムグムダム (150 MW) を始め、セセットダム (45 MW) など大小10の発電用ダムがこの環境区に立地しており、発電された電力量の80%はタイへ輸出されている。世界的な環境保全重視の潮流のなかで、大規模な水力開発は森林を消滅させ、水没住民の移転や雇用等に問題を起こ

し、生態系を破壊する危険性が大きい。ラオスのような後進開発途上国では、開発による経済成長と環境保全とのトレードオフ問題に直面せざるを得ないが、そのような場合でも環境の現況と開発による影響範囲を的確に把握したアセスメントのもとで計画が立案されるべきである。

地域生態環境区 3 (クラスター③に対応) …山麓部や谷底盆地などに広がる環境区で、低地と山地の接点をなす中山間地域である。ここで (山腹斜面) で行われる焼畑の多くは、山岳地帯で行われる伝統的焼畑とは異なり、元々低地に居住していた土地なし農民が山あいに入り込んで森を焼き、農地の開墾を行ってきた取奪的な焼畑である。したがって、こうした焼畑耕作に対しては、代替農業の育成指導を始めとした環境保全型農業の導入が急務である。しかしながら、山間部にあって、市場へのアクセス (交通事情) の悪さなど、基本的な社会基盤整備が著しく遅れており、地域総合開発的な視点からの計画が必要である。

地域生態環境区 4 (クラスター④に対応) …南部の小・中起伏山地にあって、焼畑も少なく森林環境は安定している。サバンナケット州のフォーサンヒ、チャンパサク州のセブランなど、第 6 図に示すように保全地域¹⁶⁾として指定されている貴重な自然環境、生物多様性をあり¹⁷⁾、現状維持の環境管理計画が提言される。

地域生態環境区 5 (クラスター⑤に対応) …この環境区はラオスを代表する農業地帯であるが、雨季の天水田が中心であり、生産高が稲生育期の天候に大きく左右されている。ラオス人の食生活の中心が米であること、人

口の増加に対応した食糧増産が必至であることを考慮すれば、今後も環境劣化を招かない範囲で小規模灌漑事業などの農業開発が提言される。

地域生態環境区6（クラスター⑥に対応）
…メコン河やその支川に沿う河岸低地で、洪水を繰り返し受ける地域である。土壌は肥沃であるため土地生産性は高く、豊かな農業地帯を構成している。環境区5同様に、今後も環境劣化を招かない範囲での農業開発が提言される。

地域生態環境区7（クラスター⑦に対応）
…ダムの巨大な貯水池は発電用であると同時に、地域の発展に多目的に使われる基本的な資源である。総合的な利用を考える視点が大切である。貯水池周辺地域への直接的な影響としては、ダム建設に伴う森林破壊に加え、水域の出現による新たなマラリア汚染源の拡大など、熱帯地域特有の環境問題も危惧される。

V. あとがき

地域の持続可能性とは何か、という問題に最後にふれておきたい。これまでの人間-環境系の考え方では、主体が絶えず人間の側にあって、社会的、経済的な持続可能性を評価するのが通念的であった。しかしながら、環境の側からみると、地域が生態的なバランスを維持し、人間社会と自然環境が相互共存的な均衡を保ち続けることができるような地域システムを築き上げることが大切である。自然環境の生産性復元力を越える開発によって、生態的な債務を生じさせないよう自然資源の利用を抑えなければならない。

ある時点で行われる開発は点的なものであっても、環境は面的な広がりを持った空間であり、かつ時間的なダイナミクスを有する。この意味で、地域環境を地理学的、生態学的に記載、分類しておくことは極めて意味あることである。環境現況の把握、脆弱な環境への配慮は、今後開発途上国においてますますその重要性を増してくる。しかしながら、途上国では計画の立案に必要な基礎情報が絶対的に不足しており、グローバルデータセットが広く普及することが望まれる。本稿では、グローバルデータセットをもとに、国、地域レベルの環境管理計画を支援する地域区分とその応用に関する一例が提示された。その過程で、リモートセンシングは地域の自然・人文環境に関する現況の把握や変化のモニタリングを行う際の貴重な空間情報取得ツールであり、GISは様々な空間情報をデータベース化し、解析モデルを組む際の有効な解析ツールであることが合わせて実証された。

〔謝辞〕本研究は、平成9年度、国際協力事業団企画部が組織した「メコン河流域の開発と環境」と称する研究委員会に、筆者が森林環境の専門家として参画したことに端を発している。同委員会の委員長で、ラオスへの現地調査にも同行され、いろいろとご教示いただいた堀博博士に感謝を表する次第である。解析の土台となったグローバルデータセットの数量化処理にあたっては、立命館大学大学院文学研究科地理学専攻の武田祐子さんに大変御世話になった。合わせて、感謝の意を表する。

注

- 1) ラオスでは、科学技術環境機構（Science, Technology and Environment Organization）が大統領官房（Prime Minister Office）の下にあって、同国の環境行政を担当している。1993年には、Environmental Action Planが発令されたが、環境管理の対象やその範囲を地図上で示したような計画は未だ行われていない。
- 2) Cooke, R. U. & Doornkamp, J. C.: *Geomor-*

phology in Environmental Management, Clarendon Press, Oxford, pp. 411.

- 3) FAO, Agro-ecological Zoing, Guideline, *FAO Soils Bulletin* 73, 1996, pp. 1~78.

具体的な地域調査の事例としては、①FAO: Agro-ecological assessment for national planning: the example of Kenya, *FAO Soils Bulletin* 67, 1993, pp. 1~154、②FAO: AEZ in Asia, proceeding of the regional workshop on agro-ecological zones methodology and applications., Bangkok Thailand, *World Soil Resources Report* 75, 1994などがあげられる。

- 4) Fletcher, J. R. & Gibb, R. G.: Land Resource Survey Handbook for Soil Conservation Planning in Indonesia, *Ministry of Forestry Report, Indonesia*, 1990, pp. 1~127.

Ryota Nagasawa: Monitoring and evaluation system development on Central Sumatera forest rehabilitation, *Ministry of Forestry Report, Indonesia*, 1994, pp. 1~67.

長澤良太「GISを用いた土地資源管理のためのマルチファクターマッピング」、日本写真測量学会学術講演会発表論文集、1995、169~174頁。

長澤良太「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—」、立命館地理学7、1995、1~22頁。

長澤良太「マルチファクターマップとUSLE手法を用いた土地資源管理、評価のための計画指向型土地分類」、環境情報科学論文集 (投稿中)、1999。

- 5) 武内和彦『地域の生態学』、朝倉書店、1991、254頁。

- 6) 武内和彦・恒川篤史『環境資源と情報システム』、古今書院、1994、219頁。

武内和彦・田中 学『生物資源の持続的利用 (岩波講座 地球環境学6)』、岩波書店、1998、

284頁。

- 7) 国土地理院の地球地図データは、1999年5月現在でデータの一般公開はされていない。研究機関の利用者に限って、CD-ROMによるデータを入手できる。

- 8) インターネット上で公開されている空間情報の内容とWebサイトは、下記の報告書に体系的にまとめられている。

環境庁国立環境研究所地球環境研究センター『国際研究報告・機関情報Ⅱ、CGER Report、ISSN 1341-4356、CGER-D017-'97』、1997、285頁。

- 9) ラスター型GISであるERDAS Imagine ver. 8.3のTOPOモジュールによって解析処理した。

- 10) 但し、山岳部に点在する焼畑は、耕地面積が大きいものでも数10haであり、1kmのグリッドでは適格に表現されていない。

- 11) 多変量解析の計算には、SPSS for Windows ver. 7.5及び同ソフトウェア上で作動するマクロプログラム、HAYASHIⅢを用いた。

- 12) 林知己夫『数量化の方法』、東洋経済新報社、1983、255頁。

- 13) 国際協力事業団企画部『メコン河流域開発・環境調査研究報告書』、1998、280頁。

- 14) 長澤良太 他『時系列高分解能衛星画像を用いたラオス北部の焼畑モニタリング』、写真測量とリモートセンシング37-5、1998、13~22頁。

- 15) ラオスでは、1991年森林伐採禁止令が発令されているが、ダムなどの大規模開発の工事に伴って、依然としてコンセンション (伐採許可) が政府から一部の業者に与えられている。

- 16) Ministry of Agriculture and Forestry, National Office of Forestry and Planning の内部資料による。

- 17) World Bank: *Biodiversity and Agriculture: World Bank Technical Paper*, No. 321, 1996, pp. 1~26.

Land Ecological Zoning for Environmental Resources Management Planning Using GIS

—Case Study in Laos People Democratic Republic—

NAGASAWA Ryota*

This study firstly focuses on the methodology of classifying or zoning the region from the land ecological viewpoint. It involves multi-factor mapping of topography, geology, soil, meteorology, vegetation and land use within map units that are homogeneous for these factors. The multi-variate analysis (Corresponding and Cluster analysis) in conjunction with GIS is applied to integrate various data derived from the global dataset, and classify the land in terms of environmental homogeneity. The result can be used as a base map for nation-based environmental resources management planning. Especially, this method is believed to be effective in the developing countries where there is lack in environmental information.

Laos still remains a lot of natural environment and resources. The population has been increasing in this decade, however, well managed treatment is urgently required for the sustainable development. The land ecological zoning map was shown for the purpose of making a sustainable development plan so as to be well harmonized with the environmental condition.

Seven classes were classified as a result of cluster analysis. These consist of similar plural environmental components. The land ecological zone II, characterized by the dense mountain forest, is the majority where the traditional swidden agriculture is widely distributed. So far as the population would not be increased rapidly in this class, the human activities and natural environment are well balanced under the current condition. Zone III is located at the vicinity of Zone II, where the destructive slash and burns by the lowland people are widely observed. Zone IV is rich in natural environment and wildlife, as a matter of fact, the land is widely designated as the conservation area. The large-scale development should be restricted in this zone in the future. Commercial agriculture lands are identified in zone I, V and VI, where the fertile soils are widely developed. It is recommended that a long-term program for increasing the agricultural production is considered in these zones.

* Institute of Forest Sciences, Faculty of
Agriculture, Tottori University