

数値地理情報を用いた日本列島の潜在自然植生の推定

池 口 仁*
武 内 和 彦**

Estimation of Potential Natural Vegetation by Means of GIS

Hitoshi IKEGUCHI
Kazuhiko TAKEUCHI

摘要: 自然環境の保全のために、潜在自然植生を推定し、本来の自然植生域の分布を把握することは重要な意味を持つ。従来、潜在自然植生を推定する手法として遷移系列を用いた二次植生からの推定、自然植生と土壌断面との対応関係を用いた推定、土地利用などからの推定が用いられてきたが、客観的な推定が行われてきたとは言えない面があった。本研究では環境要因と自然植生の対応関係を統計的手法を用いてモデル化し、得られたモデルにより潜在自然植生を推定する方法を提示する。データとして国土数値情報などの数値地理情報、モデル化手法として多項ロジットを用いて、日本列島の主要な自然植生についてモデル化を行い、潜在自然植生を推定した。

1. はじめに

国土開発の進行に伴い、自然環境の破壊が進み、現在では自然の植生はほとんどみられなくなっており、国土の約16%を占めるにすぎない。自然環境を保全し、より望ましい環境を実現するためには、本来の自然植生域の分布を把握し、それがどう改変されてきたかを知ることが重要である。テュクセン (Tüxen, R., 1974)¹⁾ により定義された潜在自然植生は気候的、土地的条件において理論的に推定される自然植生であり、土地的条件を加味した点で極相 (climax) とは区別される。

テュクセンによれば、潜在自然植生は、1) 代償植生の系列による推定、2) 隣接する群落からの推定、3) 土壌断面と自然植生の対応を用いた推定、4) 土地利用などの景観的特徴を用いた推定、の方法を用いて推定され、1)~4)の方法を総合することにより、確実な推定ができるとしている。

しかし、現実には、代償植生系列のすべてが明らかになってはいない、土壌断面と自然植生との対応関係も明確でない、景観的特徴からの推定を用いると、現在の土地利用が自然環境と調和していると仮定する事になるので、土地利用と自然環境との関係を把握するために潜在自然植生を用いたときに、循環論におちいる恐れがある、などの理由で客観的な推定が行われているとはいえない。

ところで、潜在自然植生は、マクロには気温、降水量等の気候的な条件、ミクロには地形、地質、土壌、水分条件などの土地的条件に規定される。したがって、これらの環境条件と残存する自然植生の関係をモデルで表現できれば、そのモデル (環境条件-自然植生モデル) に

より、潜在自然植生が推定できるはずである。

そこで、本研究では気候的、土地的条件と残存する自然植生との対応を客観的にモデル化し、潜在自然植生を合理的に推定することを試みた。図-1に本研究における潜在自然植生の推定プロセスの概念図を示す。

2. 研究に用いたデータおよびモデル化手法

解析に用いた数値地理情報は、現存する自然植生の分布については、環境庁全国植生データを利用した。気候的条件については、気象庁作成のメッシュ気候値、土地的条件については、国土庁などによる国土数値情報である。以下にその概要を説明する。

用いた基礎データはすべて標準地域メッシュコード (JIS-C6304, 1976) に従っており、メッシュ番号にしたがって統合・データベース化が比較的容易に可能である。標準地域メッシュコードは、一定の経線、緯線によって区画されたもので、緯度によって東西方向の間隔が異なる。

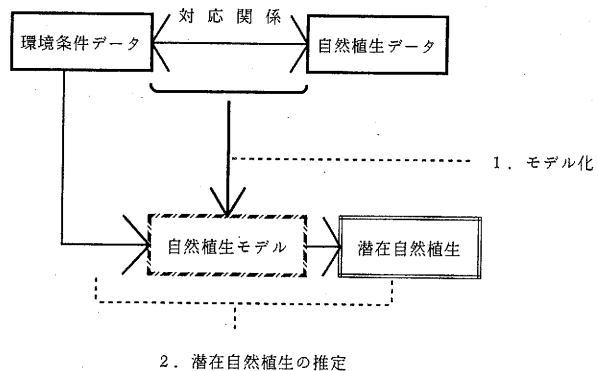


図-1 環境条件-自然植生の推定

*兵庫県立人と自然の博物館環境計画研究部 **東京大学農学部農業生物学科

り、同じ緯度においてだけ同じ面積が保証される。今回の研究には三次地域区画（以下3次メッシュと呼ぶ）を用いたが、これは1:25,000地形図を経線、緯線それぞれ10等分割した領域で、ほぼ1km²の大きさになる。（緯度間隔30″，経度間隔45″）。これによって、全国は約380,000個の3次メッシュによって区分される。

・環境庁全国植生データ

環境庁は過去4回の全国自然環境保全基礎調査を行っているが、そのうち、第1回（昭和48年度）の調査と第2回（昭和53・54年度）・第3回（昭和58-62年度）の植生調査のデータを数値化しており、第2回・第3回の調査地域を併せると日本全国をカバーしている。今回の研究に用いたのは第2回・第3回の調査のデータである。

このデータでは3次メッシュ中央部の約5haの円内で優占する植生が昭和55年度に環境庁が作成した「凡例一覧」に準拠したコード番号（以下植物群落コードと呼ぶ）で記述され、環境庁の設定した植生自然度をつけ加えられている。

植物群落コードは各都道府県別に用いられている植物群落の名称にコード番号を割り当てたもので、群団レベル、群集レベル、群落レベルの表記が共存しており、また、異なるコードを持つが、ほぼ同じ植生を表現していると思われる分類も多く存在する。

・気象庁メッシュ気候値

気象庁のメッシュ気候値は気象庁の観測データをもとに、未観測地点の気候値を地形因子などを用いて多変量解析で予測したものである。メッシュ気候値には、年平均気温、月別平均気温、年降水量、月別降水量、暖候期降水量、寒候期降水量の情報が整備されている。メッシュ気候では、直接には月別の最高気温と最低気温を算出し、両者を算術平均して月平均気温を、さらに月平均気温の算術平均により年平均気温を求めている。また、直接には月別降水量を算出しており、これを合計することにより、年降水量（1月～12月合計）、暖候期降水量（5月～9月合計）、寒候期降水量（12月～3月合計）を求めている。

・国土数値情報

国土庁などの提供する国土数値情報には、国土の自然環境に関するもののほか、行政、経済、社会、法規制などの情報がある。本研究で用いたのは、地形分類、表層地質、及び土壌であり、これらは国土庁発行の20万分の1土地分類図の中の地形分類図、表層地質図、土壌図に方眼プレートを合わせ、3次メッシュごとに卓越する項目を選んだものである。

複数の図巾から読み取られたという性格上、これらの分類を記述するコードは各都道府県によって異なっているが、ある程度の共通性は保たれている。

つぎに、環境条件—自然植生モデルに用いたモデル化

手法について説明する。用いたモデルは多項ロジットモデルである。多項ロジットモデルは非集計型モデルの一つで、主に計量経済学の分野で消費者の環境条件と購買行動とを対応づけることに用いられており¹⁰⁾、個体は、効用関数（経済学上の概念で、選択行動を決定するものになるような関数）を最大化する選択を行い、その効用関数とは、既知の環境条件で決定される関数部分と、未知の条件、あるいは個体固有の条件等に左右される確率的部分よりなるという「確率効用理論」に立脚している。

このモデルでは、要約統計量を算出しそれをもとに判別を行う正準判別分析などと異なり、本研究のようにデータ数に非常にばらつきのある場合にも対応が可能である。ロジットモデルの理論的側面については太田(1985)⁹⁾に詳しい、以下に一部を要約する。

個体が選択可能な選択肢の中から*i*という選択肢をとる確率*P_i*は、選択肢*j*の効用関数を*U_j*とすると、

$$P_i = \text{Prob}\{U_i \geq \text{Max}(U_j; j \neq i)\} \quad \dots\dots(a)$$

と表現される。この*U*を確率的に変動する部分 ϵ （観測された環境条件に規定されない部分）と、関数部分 *V* に分離できると仮定すると、式(a)は

$P_i = \text{Prob}\{V_i + \epsilon_i \geq \text{Max}(V_j + \epsilon_j; j \neq i)\}$ と表される。 ϵ の確率分布としてガンベル分布を仮定するとモデルが比較的容易に導出できる。ガンベル分布は、パラメータ ω , η を用いて、

$$F(\epsilon) = \exp(-\omega \exp(-\epsilon - \eta))$$

と表現される分布で、ガンベル分布の線形変換はガンベル分布になり、ガンベル分布関数の差はロジスティック分布になるという性質から次式のような確率関数を得る。

$$P_i = \exp(V_i) / \sum_j \exp(V_j)$$

ガンベル分布は正規分布とほぼ一致し、正規分布とのズレを無視しても実用上の問題はないとされている。

本研究では、現存する自然植生とその環境条件のデータから、各条件下における選択確率を求め、効用関数の説明変数によって定まる関数部分である一次関数（一般には、様々な関数が有り得るが、本研究では一次関数を仮定）のパラメータ θ と定数を最尤法で求めることによりモデル導出を行っている。

この方法でモデルを導出すると、モデルにおいて *i* 番目の植生が潜在自然植生である確率 *P_i* は定数を *C*, パラメータを θ , 説明変数を *x* として、つぎようになる。

$$P_i = \exp[(\sum_k \theta_{ik} \cdot x_k) + C_i] / \sum_j \exp[(\sum_k \theta_{jk} \cdot x_k) + C_j]$$

本研究においては「個体」を各3次メッシュに読み変えているが、この場合、「環境条件下の選択確率」は、野上、大場(1991)⁹⁾の「占有面積率」と対応しており、植生研究に応用することには妥当性があると思われる。

3. 環境—自然植生モデルの導出

日本列島の気候的森林帯は、高山帯、亜高山帯、冷温帯、暖温帯、亜熱帯に区分することができる。これらの森林帯は、植物社会学的にはおおむねクラス域に相当し、オーダー、群団レベルの下位単位に区分されている。

すでに述べたように、植生データは、分類の体系が統一されていない。そこで、宮脇(1983)⁷⁾の分類体系に従い、分類体系を作成した。

つぎに、この分類体系をもとに、現存する自然植生のメッシュを植生データから抽出し、得られた自然植生のメッシュを、①コケモモハイマツオーダー(高山帯・寒帯植生)、②シラビソトウヒオーダー(亜高山帯植生)、③チシマザサブナ群団Ⅰ(オオバボダイジュ・ミズナラ群落など北海道型冷温帯植生)、④チシマザサブナ群団Ⅱ(日本海型冷温帯植生)、⑤スズタケブナ群団(太平洋型冷温帯植生)、⑥シキミアカガシオーダー(内陸型暖温帯植生)、⑦イズセンリョウスタグジイ群団(沿岸型暖温帯植生)、⑧ボチョウジースタグジイ群団(亜熱帯非石灰岩地植生)、⑨ナガミボチョウジークスノハカエデ群団(亜熱帯石灰岩地植生)の9の大分類にまとめ、実際の解析処理は、この大分類に対して行った。各分類のメッシュ数を表-1に、分布状況を図-2に示す。この自然植生データに対し、環境条件として、吉良(1949)³⁾の暖かさの指数および寒さの指数、最寒月平均気温、最暖月平均気温、寒候期降水量、標高、起伏、土壌(未熟土)*、地質(石灰岩)*の10の変数と対応づけるロジットモデルを構築した(*印の変数は該当するときは1、該当しないときは0をとるダミー変数とした)。9分類を一括して取り扱うことが、使用したコンピュータの制

表-1 自然植生の分類と3次メッシュ数

Code	植物社会学的分類	特徴	メッシュ数
①	コケモモハイマツオーダー	高山草原、雪田草原など	1156
②	シラビソトウヒオーダー	亜高山針葉樹林	15341
③	チシマザサブナ群団Ⅰ	北海道型冷温帯植生	24513
④	チシマザサブナ群団Ⅱ	日本海型冷温帯植生	13539
⑤	スズタケブナ群団	太平洋型冷温帯植生	1919
⑥	シキミアカガシオーダー	内陸型暖温帯植生	1704
⑦	イズセンリョウスタグジイ群団	沿岸型暖温帯植生	604
⑧	ボチョウジースタグジイ群団	亜熱帯非石灰岩地植生	783
⑨	ナガミボチョウジークスノハカエデ群団	亜熱帯石灰岩地植生	80

約などから困難であるため、気候帯に対応する4つのモデル(Ⅰ(分類①, 分類②, 分類③-⑨), Ⅱ(分類①および分類②, 分類③, 分類④, 分類⑤, 分類⑥-⑨), Ⅲ(分類①-⑤, 分類⑥, 分類⑦, 分類⑧および分類⑨), Ⅳ(分類①-⑦, 分類⑧, 分類⑨))を構築した。得られた全モデルのパラメータおよび各自然植生の判別率を表-2に示す。パラメータが-になっている変数は、説明変数が十分な説明力を持たないか、あるいは、他の説明変数とパラレルな関係にあることにより、パラメータが定まらないために、モデルから除外されたものである。また、判別率とは、実際の分類が、モデルにより環境条件から推定された分類と一致している割合である。得られたパラメータなどから、モデルⅠでは主に温度条件と土壌条件、モデルⅡでは主に温度条件と寒候期降水量、モデルⅢでは温度条件と地形的な条件、モデルⅣでは地形的条件と地質条件が大きく影響していることがわかった。

表-2 環境条件-自然植生モデルのパラメータおよび各モデルの判別率

	自然植生	説明変数(環境条件)のパラメータ									判別率(%)		
		WI	CI	MAX	MIN	WPREC	ALT	REL	REGO	LIME	定数	植生帯別	モデル
モデルⅠ	①	-0.332	0.261	-	0.148	-0.050	-	0.824	0.798	-	9.712	28.4	84.6
	②	-0.202	0.070	-	0.038	-0.145	-	0.257	-0.402	-	8.533	64.0	
	③..⑨	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	93.8	
モデルⅡ	①..②	-0.050	0.931	-	0.071	-0.748	-	-0.161	0.339	-	-16.24	66.1	78.3
	③	0.162	0.917	-	0.047	-0.176	-	-0.600	0.718	-	-25.82	83.5	
	④	0.085	0.774	-	0.067	0.441	-	-0.297	0.671	-	-18.97	82.7	
	⑤	-0.130	-0.018	-	-0.083	-0.520	-	0.453	-0.228	-	11.64	71.8	
	⑥..⑨	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	86.8	
モデルⅢ	①..⑤	-0.726	1.810	0.413	0.052	-	-	0.605	-	7.946	-18.37	98.8	94.6
	⑥	-0.571	1.776	0.373	0.153	-	-	0.237	-	7.401	-24.09	79.3	
	⑦	-0.484	1.570	0.478	0.137	-	-	-0.010	-	5.740	-62.48	60.6	
	⑧..⑨	0	0	0	0	-	-	0	-	0	0	98.3	
モデルⅣ	①..⑦	-0.688	-	64.772	23.657	-	0.011	0.328	-	3.279	-81.63	87.2	90.7
	⑧	-0.172	-	15.603	7.921	-	0.009	-0.388	-	-3.876	-19.11	98.6	
	⑨	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	28.8	

WI: 吉良の暖かさの指数(°C・MONTH)。CI: 吉良の寒さの指数(°C・MONTH)。MAX: 最暖月平均気温(°C)。MIN: 最寒月平均気温(°C)。WPREC: 寒候期降水量(100mm)。ALT: 標高(m)。REL: 起伏量(100m)。REGO: 土壌(未熟土)*。LIME: 表層地質(石灰岩)*
(*印は該当する場合1、しない場合0をとるダミー変数)

このモデルの問題点は、①高山帯植生および⑨亜熱帯石灰岩地植生の判別率が低いことがあげられる。その原因は、①の高山帯植生の分布を規定している条件が積雪や強風、地形などさまざまであり、モデルに使用された説明変数では十分な説明力をえられなかったことが考えられる。このように、いくつかの問題が未解決ではあるが、全体的にみて、環境条件から残存している自然植生を推定するモデルとしては、精度のよいものが得られた。したがって、このモデルを代償植生地域に用いて潜在自然植生の推定を行うことが可能であると考えられる。

4. 潜在自然植生の推定

3で得られた4つの環境条件-自然植生モデルに、各説明変数が欠損値でない362,274個の3次メッシュの環境条件をあてはめることにより、そのメッシュの潜在自

然植生の推定を行った。4回の解析をまとめるため、メッシュごとに各モデルから得られた確率を、図-3のような処理で積算し、積算値が最大の自然植生を潜在自然植生とした。全判別率（使用した自然植生データのうち、もとの分類に推定された割合）は78.7%であった。推定により得られた潜在自然植生を図-4に示す。各潜在自然植生の分布をみると、③北海道型冷温帯植生が現存する自然植生にくらべ、はるかに南まで広がり、そのため、⑤太平洋型冷温帯植生の分布が非常に小さくなっていることがわかる。これは、③の分布は、地史的な条件に強く規定されており⁶⁾、それに対し、本研究の方法では、地史的条件を付加していないために起きた現象であると思われる。しかし、それ以外の植生の分布については、現存植生の分布とよく対応し、また、4モデルを統合した後の判別率は高い。したがって、このような方法で求

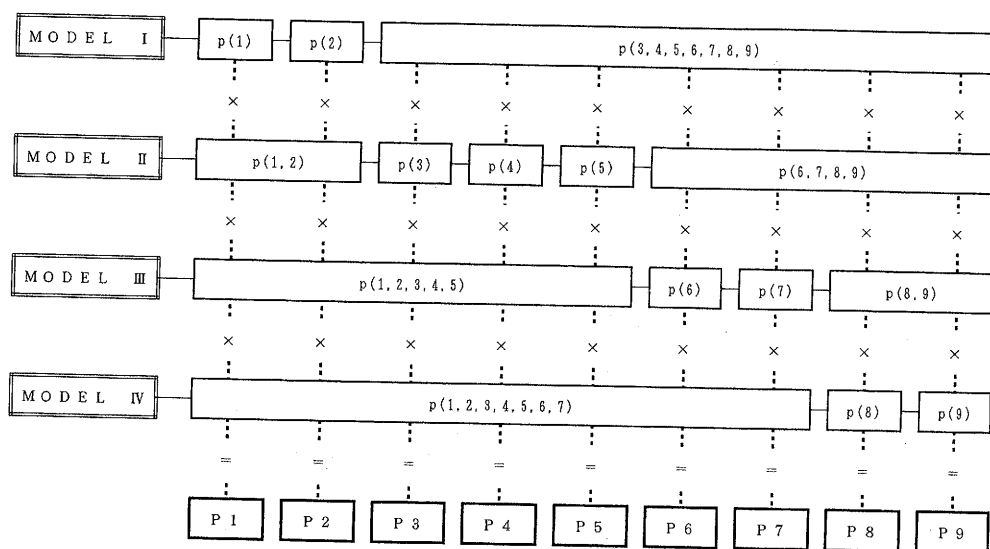


図-3 4モデルの統合作業

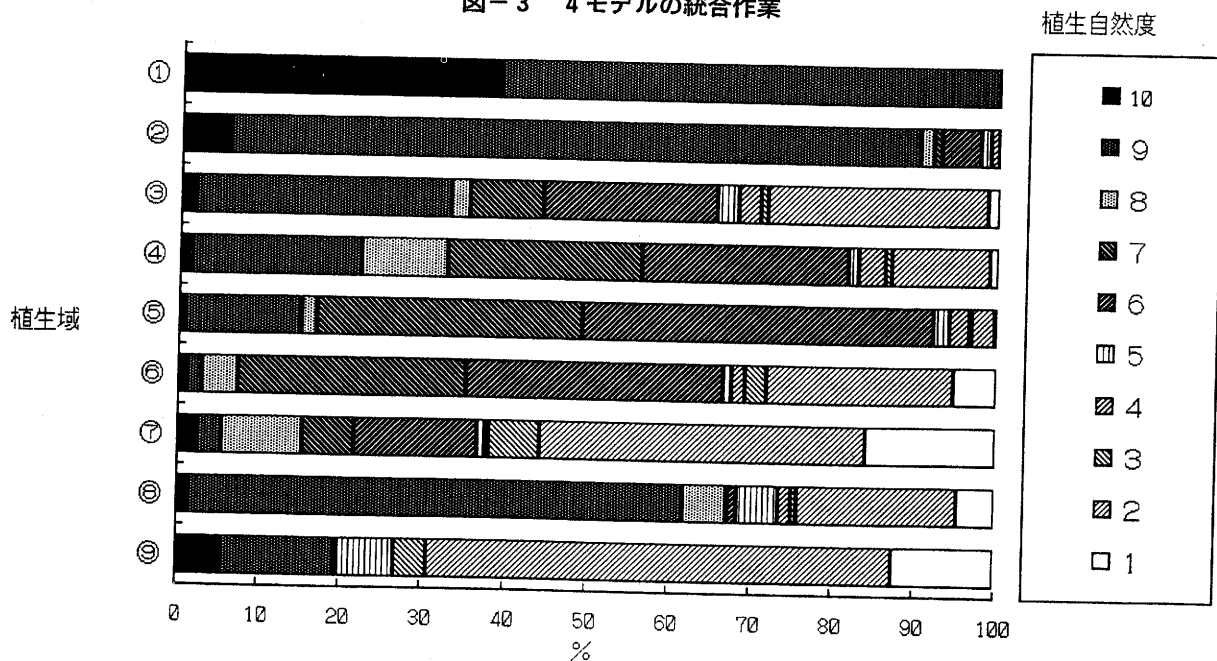


図-5 推定された潜在自然植生域ごとの植生自然度構成比

めた潜在自然植生はかなり信頼できるとおもわれる。

5. 推定された潜在自然植生の応用

図-5は4で得られた潜在自然植生の分類ごとに現存植生データの植生自然度の割合を示したものである。多くの研究で指摘されてきたように、暖温帯で植生に対する人為的影響が大きくなっていることが明らかになっている。メッシュデータを用いる利点の一つは地域別の集計が容易であることがあげられるが、従来はデータを集計する場合、都道府県などの行政単位別の形で集計されることが多く、生態系保全などの立場からは、生態的な意味をもった区分により集計を行うことが要請されている。本研究で得られた潜在自然植生を集計単位に用いることによって、より生態的な意味のある集計が可能になった。

また、地球温暖化に代表されるような大規模な環境変動が予測される場合、植生の分布域に対してどのような影響がおよぼされるか、あらかじめ予測する場合にも環境-自然植生モデルを用いた「未来の潜在自然植生」の予測も可能である。

6. おわりに

本研究の成果をまとめると以下のようになる。

- ・日本列島のスケールにおいて、数値地理情報と、統計的な手法を用いて、現存する自然植生と環境条件の対応をあらわすモデルが構築された。

- ・自然植生-環境条件モデルを代償植生地域に適用する事により、潜在自然植生を推定する新たな手法が提案され、良好な結果を得た。

- ・推定された潜在自然植生データを用いて、潜在自然植生と現存植生との関係を把握することができた。

さらに、本研究で提案された手法を用いて、より詳細な地域レベルでの潜在自然植生の推定を行い、地域的な土地利用計画に役立てることもできる。

しかし、そのためにはより精緻な自然植生および環境条件の情報が整備される必要がある。本研究では、データ収集の段階から統計解析にいたるまでの間に、データの統合、再分類を行った結果、情報量が著しく低下しており、今後の課題として、データ収集、データ整理、統

計解析、潜在自然植生の推定、地域計画への応用を総合的に考察し、実現していく事を考えている。また、モデルの構成が計算機の制約を受け、複雑になってしまった。技術的な問題も含め、より明解なモデルを構築することも、今後の課題としたい。

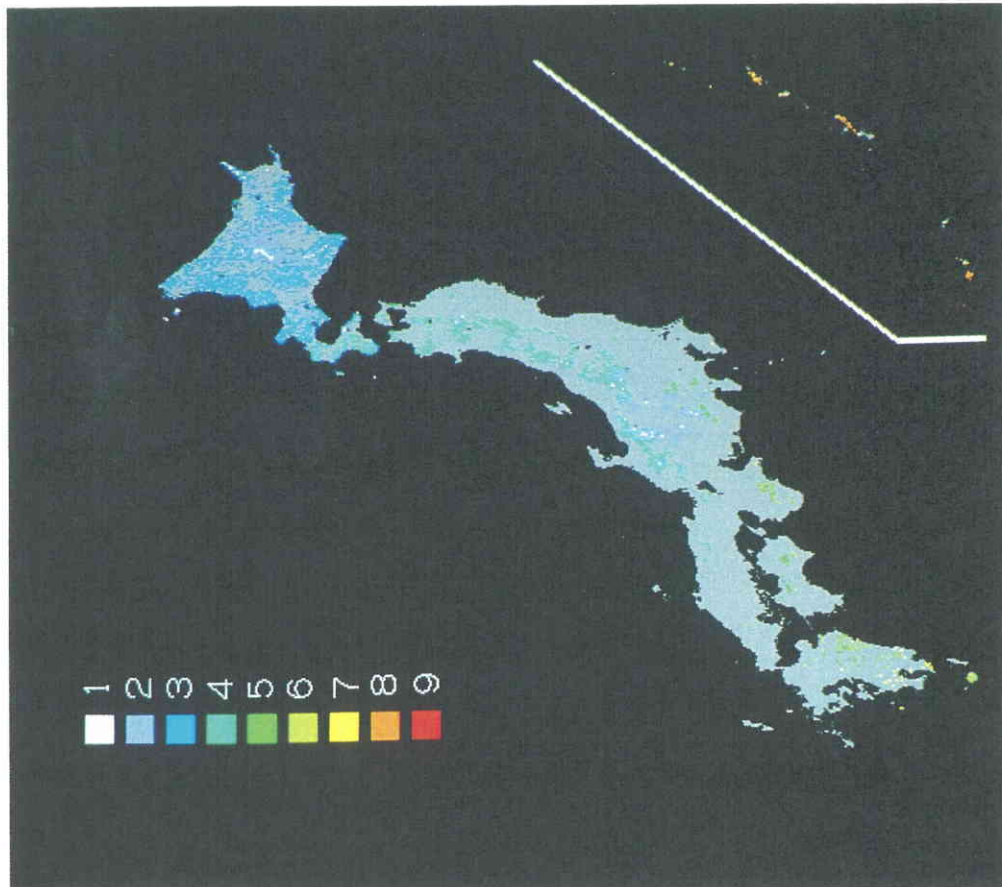
引用および参考文献

- 1) Ikeguchi, H and Takeuchi, K (1991): Potential natural vegetation mapping of Japan by means of GIS: Environmental change and GIS: International Symposium for Environmental change and GIS: 26-33.
- 2) 井手久登, 武内和彦 (1985): 「自然立地的土地利用計画」: 東京大学出版会, 東京: pp227.
- 3) 吉良竜夫 (1949): 日本の森林帯, 林業解説シリーズ17
- 4) Kira, T (1974): A climatological interpretation of Japanese vegetation zones: Vegetation science and environmental protection.: Maruzen, Tokyo: 21-30.
- 5) 吉良竜夫・四手井綱英・沼田真・依田恭二 (1976): 「日本の植生」: 科学46: 235-247.
- 6) 宮脇昭 (1977): 日本の第四紀研究-その発展と現状-: 東京大学出版会, 東京: 289-302
- 7) 宮脇昭 (編) (1983): 「改訂版日本植生便覧」: 至文堂, 東京: pp872.
- 8) 野上道男・大場秀章 (1991): 暖かさの指数からみた日本の植生. 科学61: 36-49
- 9) 太田勝敏 (1985): 「非集計行動モデルの理論展開」: 土木学会土木計画学研究会講習会テキスト: 9-23.
- 10) Theil, H. (1971): Principles of econometrics.: Wiley, N.Y.: 628-636.
- 11) テュクセン, R. (1974): 「現在の潜在自然植生とその図化」(井手久登 訳): 応用植物社会学研究 3: 51-62.
- 12) Tüxen, R. (1974): The Significance of Phytosociology for the Protection of Environment: Vegetation science and environmental protection.: Maruzen, Tokyo: 13-20.

Summary: To describe the relationship between natural vegetation types of Japanese Islands (classified into 9 major types) and its environmental factors, Logit models were constructed by the analysis on Environmental Geographic Information System (EGIS).

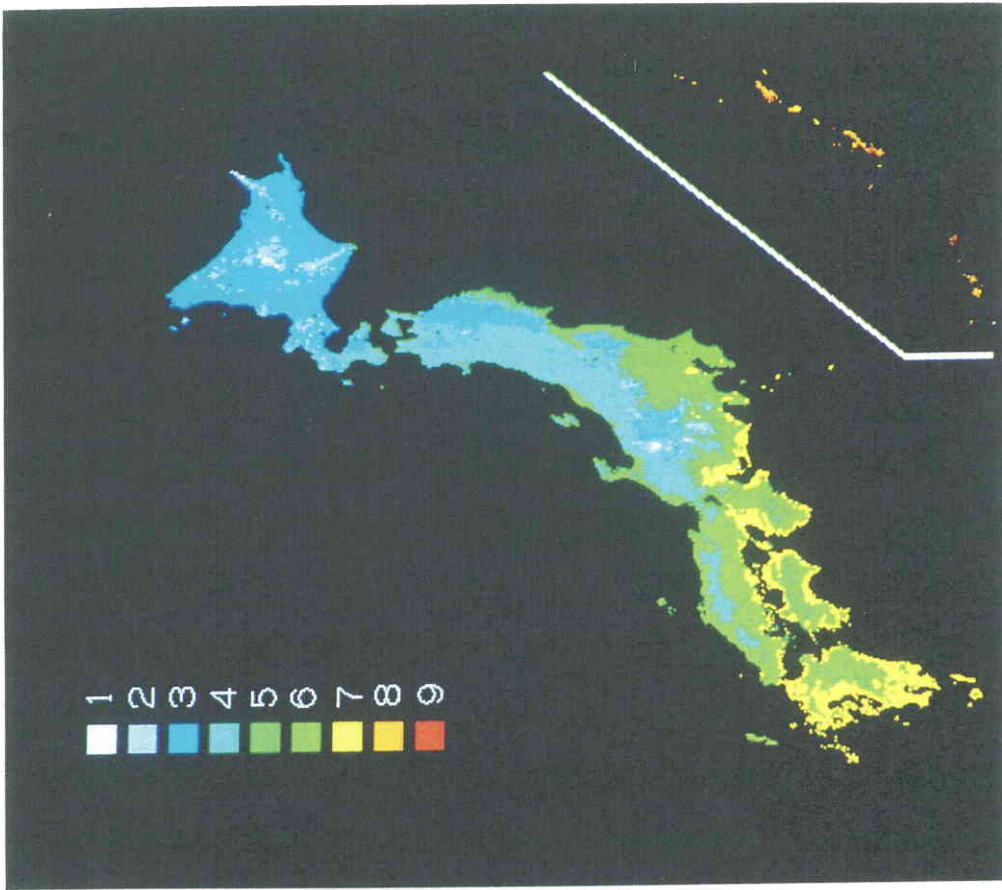
Through these Logit Models, the distributions of 9 potential natural vegetation zones in Japanese Islands were estimated, and classified into a database, which contain particular actual vegetation distribution patterns.

Using this result, human impacts on each vegetation zone were evaluated. For example, alpine vegetation zone is occupied only by natural vegetation, and on the other hand, hilly warm temperate vegetation zone is characterized by the distribution of coppice forest and urbanized land use in its actual situation. Result of Analysis suggests the necessity of reestablishing the EGIS including more detailed environmental informations.



図一 2 現存する自然植生の分布 (灰色の部分は代償植生)

- 1 : 高山帯植生
- 2 : 亜高山帯植生
- 3 : 北海道型冷温帯植生
- 4 : 日本海型冷温帯植生
- 5 : 太平洋型冷温帯植生
- 6 : 内陸型暖温帯植生
- 7 : 沿岸型暖温帯植生
- 8 : 亜熱帯非石灰岩地植生
- 9 : 亜熱帯石灰岩地植生



図一 4 推定された潜在自然植生の分布図

- 1 : 高山帯植生
- 2 : 亜高山帯植生
- 3 : 北海道型冷温帯植生
- 4 : 日本海型冷温帯植生
- 5 : 太平洋型冷温帯植生
- 6 : 内陸型暖温帯植生
- 7 : 沿岸型暖温帯植生
- 8 : 亜熱帯非石灰岩地植生
- 9 : 亜熱帯石灰岩地植生