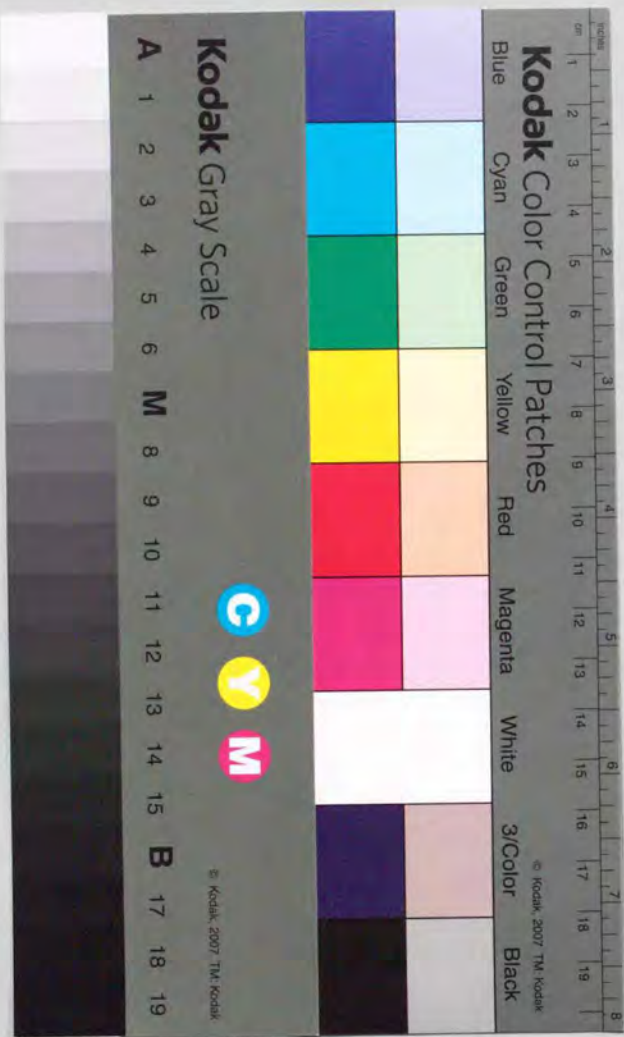


衛星データを用いた地球生物圏の
生態気候区分およびその監視に
関する研究

本 多 嘉 明



①

衛星データを用いた地球生物圏の 生態気候区分およびその監視 に関する研究

A Study on Ecological-Climatological Zoning and Monitoring
of Global Biosphere Using Satellite Data

平成3年

本 多 嘉 明

目 次

第 1 章	概 説	1
1 - 1	研究の背景	1
1 - 1 - 1	地球環境に関する背景	1
1 - 1 - 2	衛星データ利用に関する背景	4
1 - 1 - 3	植生生態学に関する背景	6
1 - 2	本研究の目的	8
1 - 3	研究の流れ	9
第 2 章	従来の植生分類と本研究の特色	12
2 - 1	概 説	12
2 - 2	従来の区分のレビュー	12
2 - 2 - 1	従来の植生図	12
2 - 2 - 2	従来の気候区分	24
2 - 3	本研究の特徴	33
第 3 章	地球生物圏監視に利用可能なデータ	35
3 - 1	地球観測衛星のデータ	35
3 - 1 - 1	地球観測衛星の概要	35

3-1-2	主な地球観測衛星	37
3-1-3	地球観測に適した衛星データの選定	44
3-1-4	世界植生指標	46

(GVI:Global Vegetation Index) について

3-2	その他のデータ	51
3-2-1	衛星データに対する補足的データの必要性	51
3-2-2	グローバルスケールデータの現状	51

第4章 植生季節変動パターンによる植生分類 55

4-1	植生分類の問題点	55
4-1-1	既存の現地調査による方法の限界	55
4-1-2	衛星データによる植生分類	57

4-2	植生季節変動パターン	62
4-2-1	植生季節変動パターンによる植生分類法	62
4-2-3	分類精度の向上	75

4-3	植生季節変動パターンによる植生区分の定義	77
-----	----------------------	----

第5章 植生分類結果とその考察 79

5-1	植生分類結果	79
5-2	既存の植生図等との比較	103
5-2-1	ブラジルの植生図との比較	103
5-2-2	モンゴルの植生図との比較	106

5-2-3	E. Matthews の植生図との比較	108
-------	----------------------	-----

第6章 植生指標の変動と気候変動との関連 110

6-1	植生指標の変動と異常気象	110
6-2	エルニーニョと二酸化炭素濃度の変動	115

第7章 生態気候区分の概念 121

7-1	環境と植物	121
7-2	生態気候区分	124

第8章 結論 133

参考文献

第 1 章 概説

1-1 研究の背景

1-1-1 地球環境に関する背景

産業革命以来、人間活動の拡大や人口の増加は地球の環境にとって負担となり、第2次大戦後は急激に大きな負担となった。そして先進諸国で環境問題が自国の問題として盛んに論じられるようになったのは1960年代後半からである。このような流れの中、1972年には地球規模の国際会議「国連人間環境会議」(UN Conference on Human Environment)がスウェーデンのストックホルムで国連によってはじめて開かれた。^{1) 4)} その約10年後、1982年の後半から1984年にかけてアフリカ大陸を見舞った大干ばつは約30万人の餓死者を出し、当時発生していた大規模なエルニーニョとの関連が注目された。これを契機に地球環境問題に対する世界的な関心が高まり、現在に至っている。¹⁾

地球が誕生してから46億年という長い時間を経て、生態系は現在のバランスのとれたシステムになった。しかしこの僅か200年の間にバランスのとれた生態系に人間活動という要因が肥大化して加わり、熱帯林の減少・砂漠化の進行・野生生物種の減少等が問題となった。⁶⁾ この他にも地球環境問題は様々な局面で顕在化しているが、図1-1に示すように個々の問題が単独で存在するものではない。たとえば、オゾン層を破壊するフロンガスはそれ自体が地球温暖化をもたらす物質でもある。森林の減少は野生生物種の減少をもたらすだけでなく、二酸化炭素の吸収の減少を引き起こし温暖化に拍車をかける。温暖化が進むと気候変化に植物の変化が追従できなくなり、降水パターンが変化して森林の弱体化や砂漠化が進行する。この他にも地球環境問題は人口爆発と深く関わっている。1987年には世界人口は50億人を越えた。その人口の重みは全人口の4分の3を抱える開発途上国に重くのしかかり、その過剰な人口を養うために過剰耕作や過放牧が行われ土壌流出・砂漠化・森林の減少など自然破壊がますます進んでいる。

このように地球環境問題は様々な要因が相互に絡まりながら発生する。さらに、長い時間をかけて影響が現れるという一般的な特徴があり、生態系のバランスが

一度損なわれるとその回復は著しく困難である。これらのことを踏まえ1983年にはアメリカのNASAが複合的な相互作用のシステムとして地球を理解することを目的とした地球システム科学(Earth System Science)を提案した。また、世界の環境を観測・監視する努力が国連環境計画(UNEP: UN Environmental Program)や国連食糧農業機構(FAO: Food and Agricultural Organization)などで続けられている。^{8) 7) 32) 33)} これらの努力は表1-1にあるように国際会議を通じて1988年以降だけでも数多くなされている。⁶⁾ 今までに集められた統計資料や観測点での観測値は各地での地球環境破壊の現状を示してはいるが、地球環境の複雑なシステムを明きらかにするまでには至っていない。フロンガス全廃を始め様々な排出物規制²¹⁾のような各論もさることながら、我々は地球環境そのものを継続的に観測・監視し地球生態系の仕組みを解明する必要がある。最後に平成2年度環境白書にあった一文「地球的規模で考え、足元から行動を」(Thinking globally, act locally)は正に人類に求められるものである。⁶⁾

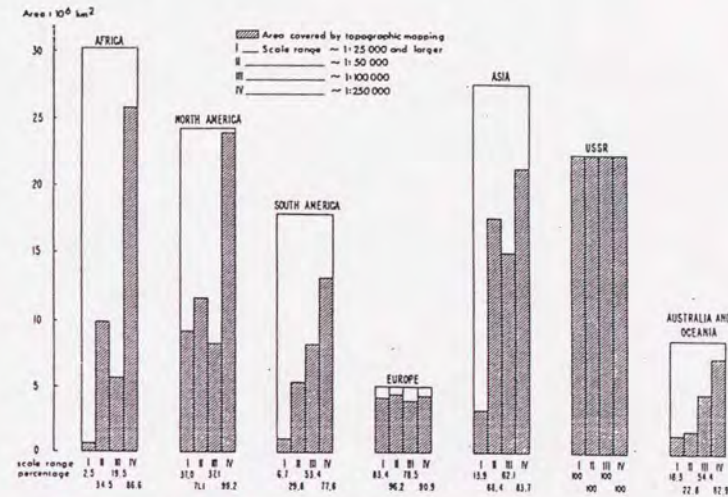
表 1-1 地球環境問題に関する主な国際会議

年 次	期 間	会 場	主 催 者	内 容	行
1986年	2月14-18日	UNEP/管理理事会特別会合 (ナイロビ)	UNEP	1986-1988年の活動計画を決定	行
5月29-31日	5月29-31日	東京会議 (東京)	UNEP	世界環境の日に関する活動計画を決定	行
6月8-17日	6月8-17日	WMO/気候大会 (モントリオール)	WMO	気候変動に関する国際条約を採択	行
6月	6月	第1回世界環境会議 (モントリオール)	UNEP	世界環境の日に関する活動計画を決定	行
6月28-29日	6月28-29日	第1回世界環境会議 (モントリオール)	UNEP	世界環境の日に関する活動計画を決定	行
11月7-10日	11月7-10日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行
11月9-11日	11月9-11日	IPCC 第1回会合 (ジェネーブ)	WMO	気候変動に関する国際条約を採択	行
1989年	2月3-7日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行
3月10-11日	3月10-11日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行
3月20-22日	3月20-22日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行
4月20-25日	4月20-25日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行
5月2-5日	5月2-5日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行
5月3-4日	5月3-4日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行
5月7日	5月7日	「気候変動に関する国際条約」の採択 (モントリオール)	UNEP	気候変動に関する国際条約を採択	行

出典：平成2年度 環境白書

1-1-2 衛星データ利用に関する背景

地球環境の現状と仕組みを明らかにすることが人類に課せられた急務である。世界各国は自国の国土に関する調査をしており様々な地図を作成している。しかしながら図1-2に示すように10万分の1程度の地形図でさえ全陸地の50%以下しか作成されていないのが現状である。¹²⁾また、国によって地球の定義形状、座標系、地図縮尺、地図仕様が異なるために同じ仕様のグローバルスケールの地図に再構成することも困難である。



出典：国連、World Cartography Volume XX、1990

図 1-2 地形図作成状況

一方、1972年のLANDSATの運用から人類は「宇宙から地球を観測する」という今までにない新しい観測視点を得ることになった。それから約18年たった現在はLANDSAT、SPOT、NOAA、MOS-1など数多くの地球観測衛星が各国から打ち上げられ運用されており、衛星データの種類が豊富になり蓄積も増えた。衛星によるリモートセンシングはますます実用化の一途をたどっている。この衛星データを環境問題に応用する場合、衛星データは3つの有利な特徴(広域性・周期性・均

質性)を持っている。以下に3つの特徴を簡単に説明する。

- 1) 広域性とは地上や航空機などからの観測とは違い、衛星の種類に応じ百数十キロ四方から半球に至るまでの広範囲のデータが一度に得られる利点である。
- 2) 周期性とは衛星の回帰日数毎に周期的なデータが取得できるため、時系列で環境などの変化が調べられる利点である。
- 3) 均質性とは衛星のデータは同じセンサー・同じ解像力で地球全体を観測するため、地球全域から等質のデータが得られ、10年、20年経ってもセンサーが同じであれば時間的にも等質のデータが得られる利点である。

以上の特徴からしてグローバルな地球環境を統一尺度で観測するためには衛星データを利用するのが最も合理的である。^{32) 53)}

衛星データには衛星に搭載されているセンサーによって色々な特徴がある。詳しくは第3章において述べるが、衛星搭載センサーを観測の分解能と観測周期に着目すると次の2つにまとめることができる。

- ① 広域低分解能高頻度センサー
分解能は低い観測周期が短い
- ② 狭域高分解能低頻度センサー
分解能は高い観測周期が長い

地表面の状況を観測するには雲量が比較的少ないかあるいは雲の影響を受けていないデータを得る必要がある。そのためには観測周期ができるだけ短い方が有利である。また、グローバルスケールで観測を実施するとデータ量も相当なものとなる。分解能があまり高いとデータ量が多くなりすぎ、処理が物理的に困難になる。しかも、環境変化をモニタリングするためには時系列で調査しなければならないから、全球レベルのデータが時期を違えて複数必要になる。以上の

ことから、①広域低分解能高頻度センサーの方が②狭域高分解能低頻度センサーよりグローバルな環境変化の調査には向いている。①広域低分解能高頻度センサーにもいろいろあるが植生を観測するにはアメリカの気象衛星NOAAが観測頻度4~6回/日・分解能1.1kmの点から最も有望である。⁵⁵⁾

1-1-3 植生生態学に関する背景

生態学とは普通、生物の個体または集団とそれを取り巻く環境との関係を扱う生物学の一分野と定義される。すなわち、生態学は生物の生活活動をその周囲の環境との相互関係においてとらえている。すなわち、植物においては1年間のうちいつ葉をつけ、落葉するかなどの植物の生活活動を観察することも植物生態学の一部である。⁹⁾

一方、環境について考察すると、生物をとりまく外界の事物の中でその生物の生活に影響を与えるもの全てを環境という。生物は周囲の環境とエネルギーや物質のやりとりをしながら刺激を受けて生活しており、環境と様々な形で関連している。この生物と環境の関係は相互的に成り立っている。生物は環境から絶えず影響され、一方で生物は生活することを通して環境に影響を与えている。環境が生物に及ぼすものを作用(action)あるいは環境作用、生物が環境にもたらすものを反作用(reaction)あるいは環境形成作用と呼ぶ。これらのうち生物が環境から受ける作用の諸性質を環境要因(environmental factor)といい、表1-2のように整理される。⁹⁾

表1-2 環境要因

無機的環境	{	①光要因	-----	光の量、質など
		②温度要因	-----	気温、地温、水温など
		③大気要因	-----	大気の化学的組成、風など
		④水分要因	-----	降水、蒸発散、湿度など
		⑤土壌要因	-----	土壌の物理的・化学的性質など
有機的環境	——	⑥生物的要因	-----	同種および異種生物間の諸関係

これら環境要因は場所や時間によっても変化し、生物の生育段階によっても必要とする条件が異なる。したがって、環境要因が生物、特に集団としての生物に及ぼす影響は単純ではなく、極めて複雑なものとなる。

このような環境要因を測定するには大別して物理化学的測器を用いる方法・生物指標を用いる方法の2つの方法がある。⁹⁾さらに、生物指標は植物指標と動物指標の2つからなる。2者の違いは、高等植物は動物とは違い、その生活場所を自由に移動できない。すなわち、植物はおかれた環境条件の影響を受けて生育不全や生活様式を変化させ、その環境に適応する。したがって、植物を利用した植物指標の方が長い時間の間に起きる環境要因の変化を測定するためには有効と考えられる。また、衛星から観測するにしても動物の状態を把握することは不可能である。このような理由から衛星から生物指標として利用できるのは植生指標のみである。ここで環境要因測定法として物理化学的測器を用いる方法・生物指標を用いる方法の特徴を表1-3にまとめる。

このように全地球の複雑な環境を把握するには植物指標による環境評価の方が望ましく、植物指標を利用した評価によって問題を絞り込み、物理化学的測定を行うのが最も合理的である。

表1-3 環境要因測定法の特徴

方 法	長 所	短 所
物理化学的測器 を用いる方法	再現生や 精度が高い	地点データ、離散データ 複雑な要因は測定できない
生物指標 を用いる方法	多数の要因が複合して いるものも測定できる	精度が低い 数量化が困難

前節でも述べたように人間は生活の必要から地球上の自然を著しく破壊し、都市・工場・農地・植林などとした。その結果として植生や植物の分布が変化した。この人間の直接の働きかけ以外に植生分布は地勢(Raunkiaer:1937, Richards:1940, Donserneau:1951, Fosberg:1961, Ellenberg and Mueller-Dombois:1967, Kuchle

r:1967, Braun-Blanquet:1965)と植物の種類(Braun-Blanquet:1965)と地域特有の群落(Brunig:1970, de Rosqyro:1974)と気候(Köppen:1931, Holdridge, 1974)によっても決定されている。すなわち現在の植生分布は現時点での地球環境をよく表し、植生分布図や植生区分図は地球環境を表したものである。この意味において地球環境を把握するために植生分布図や植生区分図は極めて有効なものである。しかし第2章でも後にふれるが、統一のとれた分類定義に基づいて全世界の植生を分類した植生分類図は一つも存在しないのが現状である。植生分類図という形ではなく植生に着目したKöppenの気候区分があるぐらいである。

1-2 本研究の目的

地球環境の変化を監視する場合、地球全体を一つにしてその変化を調べると種雑多のものが混ざり合い、変化しているのかしていないのかが良く分からない。そこで地球上を似たもの同士がある場所毎に区切り、そのゾーン毎に変化を調査する必要がある。¹⁰⁾そのゾーンとして挙げられるものが第2章で述べる植生区分であり気候区分である。しかしながら、これら従来の区分にはいくつかの問題があり必ずしも適当なゾーンとはいえない。今までの気候区分に生態学的とりわけ植物生態学的考え方に基づいた実際の植生分布を加味した区分が必要になる。そのような新しい区分を生態気候区分と名付け、本研究ではその基礎となる植物生態学的考えに基づいた植生区分を中心に論じる。そこで目的を次のように定める。

目 的

衛星データを用いることによりグローバルスケールで統一のとれた定量的な植生分類定義に基づいた植生区分を提案し、その区分を利用した世界植生分類図を作成し、世界植生環境のモニタリングを行い、さらに生態気候学的な考察を行うことを目的とする。

本研究は上記の目的を達成するにあたり、具体的には次のことを明らかにする。

- ① NOAA グローバル植生指標 (GVI, Global Vegetation Index) データを用いた定量的植生分類の定義
- ② 世界植生分類図の作成と検証
- ③ 植生指標の変動と気候変動との関連
- ④ 生態気候区分図 (Eco-Climate map) の概念

1-3 研究の流れ

本論文は次の7章から構成されている。

- 第1章 概説
- 第2章 従来の植生分類と本研究の特色
- 第3章 地球生物圏監視に利用可能なデータ
- 第4章 植生季節変動パターンによる植生分類
- 第5章 植生分類結果とその考察
- 第6章 植生指標の変動と気候変動との関連
- 第7章 生態気候区分図の概念
- 第8章 結論

ここで本論文の流れを簡単に章毎に説明する。

第1章「概説」では研究の背景、研究の目的、研究の流れを述べる。

第2章「本研究の特色」では既存の世界植生図や気候区分の概念と特徴を列挙し、既成の方法論の問題点を明らかにする。その上で本研究の特色を明らかにする。

第3章「地球生物圏監視に利用可能なデータ」では第2章で取り上げた従来の植生分類や区分の問題は、おもに次の3点になる。観測精度の不均一あるいは分

類定義が不統一・観測点の分布が疎ら・植生分類図や区分図作成のために用いられたデータが古いの3点である。これらの問題点を克服するために、衛星データ・気象情報(世界2344観測点)をはじめとするデジタル情報やその他のアナログデータをデジタル化したものを整理する。

また、このようなデータを整理する過程で問題になった点をまとめて今後のデータ作成等の参考となるようにする。

第4章「植生季節変動パターンによる植生区分」では既存の植生分類法の主眼が植生学的野外調査に置かれているのに対し、衛星データが持っている有利な点をあげる。しかし、衛星データを利用した既存の植生分類にもさまざまな問題点がある。これらの克服も考慮した新しい植生分類法「植生季節変動パターンによる植生分類法」を提案する。

第5章「植生分類結果とその考察」では第4章で提案した新しい植生分類法の結果を報告し、次の3つの植生図と比較することにより考察を加える。モンゴルの植生図・ブラジルの植生図・世界植生図(E. Matthews)である。分類結果の報告は1983年から1987年までの各年の世界植生図と大陸別・主要告別の植生カテゴリー毎の面積の一覧をもってする。

第6章「植生指標の変動と気候変動との関連」では1982年4月から1988年10月までの植生指標の変動と気候の変動との関連について考察する。特に、アマゾンの熱帯林の活動とエルニーニョ現象・CO₂濃度との関連を示すデータが世界ではじめて得られた。

第7章「生態気候区分図の概念」では従来の気候区分に実際の植生分布の状況を加味した新しい生態気候区分図を作成するのに必要な情報を整理し、オーストラリアにおいて実際に生態気候区分図を作成する。たとえば、必要とする情報には植物の生育を左右する気候の条件などが含まれる。気候の条件はKoppenなどがヨーロッパ中心で整理したのに対し、第5章で作成した植生図を基に世界2344カ所の気象観測点で得られた気候情報を整理し作成したものでより実際の状況

に適合したものである。

第8章は結論を述べる。

第2章 従来の植生分類と本研究の特色

2-1 概説

世界環境問題が騒がれはじめて約10年が経過しようとしているが、現在のところ正確に世界の森林や砂漠などがどれだけあるのか明らかになっていない。既存の植生図やFAOの統計から森林や耕地などそれぞれの面積を求めることができる。²⁹⁾しかし、植生図は永い年月をかけて作成されているから現実の植生と同じではないし、FAOの統計は各国から自国の基準に基づいた申告によって作成されているから共通の基準に基づいて作られたものではない。すなわち、世界全体で規格が統一された地表面のデータはほとんど作成されていない。¹²⁾しかも植生図や統計の更新は困難であり、更新から更新までの期間が永くなる。したがって、統一された尺度を用いた定量的な分類に基づき作成された植生区分が必要になる。そのような新しい概念の区分を衛星データを用いて提案するにあたり、本章では地球環境を示す既存の地図のうち、植生図と気候区分について簡単な説明をした後にそれぞれの問題点を考慮した本研究の特色を述べる。ただし、世界全体の植生図は詳細なものはなく、地域毎に植物生態学者や植物社会学者が作成したものを一定の基準の元に再編成しモザイクして作成したものしかない。²⁶⁾

2-2 従来の区分のレビュー

2-2-1 従来の植生図

限られた地域の植生図を作成するのと違って広い地域の植生図あるいは植生区分図を作成する場合、区分を決定する分類の定義が問題となる。たとえば、昭和58年から62年度に実施されたわが国の第3回自然環境保全基礎調査(緑の国勢調査)における5万分の1の現存植生図は次のようにして作成された。環境庁から委託を受けた各都道府県において植物生態学、植物社会学などの専門家が既存の植生図等の資料を参考にしながら現地において植生の状況を調査し植生調査表(図2-1参照)を作成し現存植生図を作成した。¹³⁾この時、植生調査表の作成には明確な規定はなく、担当者に負うところが大きい。すなわち、日本のように小さな島国ですら調査担当者の違いから植生の分類基準が統一されていない。

植生調査表

(種名調査) No. _____ 凡例名(群集名) _____

(樹高測定位置) 大野原(12) 伴名 ハナツのヤマキ林 (調査地) テマキ原道

調査地 長野県 大村 郡 東木 町 ハナツ

(地形) 山頂・尾根・(斜面) 上・中・下・谷・分岐路 (位置) 道・河・池
 (土質) 砂状・石炭・頁岩・硬質・軟弱・アト・グライ・ (日陰) 陽・半影 陰
 アト・グライ・河床・河沿・河底面・河床底面 (傾斜) 上流・下流・中央 (土壌) 乾・湿・沼澤
 (高さ) (長さ) (幅) (傾斜) (面積) (容積)
 I 高木層 14 ~ 20 40~60 (備考)
 II 亜高木層 8 ~ 20 10~20 (出現数) 26
 III 低木層 2 ~ 10
 IV 草本層 47 ~ 10
 V コケ層 ~
 月 日 調査者

S.L.O.S.V.	S.P.P.	S.L.O.S.V.	S.P.P.	S.L.O.S.V.	S.P.P.
I 30	ヤマキ	II 12	ヤマニツマイ	IV 1	モミジノサ
12	ホリハフ"	12	シタキ	+	シロクモシダ"
33	ミズギ	+ 12	ウリノキ	+	ミヅギノキ
		+ 12	アカコナギ"	+ 12	ヤマアラシギ
		+ 12	ヘイワナギ"	+	イズミヤ
		12	ヤマジノギ	+	カメ
		+	ミズギ	12 12	オオバコノミ
II 22	ヤマニツマイ			+	シロクモシダ"
+	イズミヤ			+	シラネンゴ
+	ベアソバキ			+	クワジノギ
11	イタヤコナギ"			12 +	イナモミギ
12	シタキ			+	アナンブ
+	カメ			+	ヤマキ
11	イヌカシ			(+)	スバテアギ"
+	エゴノキ				
+	ホリハフ"				

図 2 - 1 緑の国勢調査 植生調査表記入例

たとえ一人の研究者を中心としてなるべく分類基準を変えないで調査しても調査期間が長くなりすぎ、初期に調査したものと調査終了時とは時間的に隔たりがありすぎる。

したがって、ローカルな植生調査を同時に並行して行い広範囲の植生調査としてまとめあげるのが一般的である。そこで本節では以下にローカルな植生調査方法とローカルな植生調査結果をグローバルスケールに編成したElaine Matthewsの植生分類のデータベースを簡単に説明し、その問題点を整理する。

1) ローカルな植生図作成

全く既成の植生図がない地域で新しく植生図を作成する場合、図 2-2 に示すように標本調査による現地調査の結果からその調査地点の植物群系を決定する。複数の調査地点から得られた調査結果と航空写真等の 2 次資料や土壌等の環境制限要因を表した地図等を参考にしながら植物群系の境界線を引く。

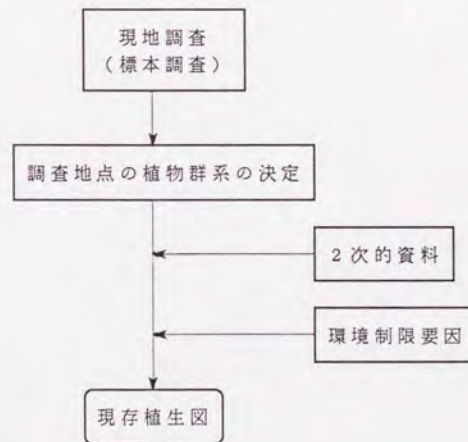


図 2 - 2 ローカルな（現存）植生図の作成

このように全く既存の植生図がない場合は現地調査に大きなウェイトがかかる。

現地調査はそれ自体に非常な労力と時間を必要とするため調査の範囲や精度に多くの制限がある。また、標本調査の標本の抽出方法だけでも図2-3に示すように主なものだけでも9種類もある。この標本抽出の仕方が違うだけで調査結果が大きく異なることがある。そのため、調査区域の生態学的特徴を考慮した上で標本抽出法が選ばなければならない。^{3) 9)}

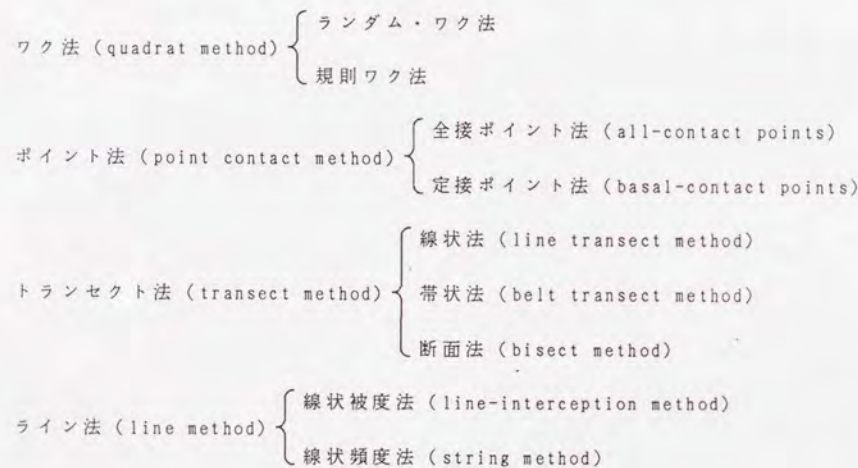


図2-3 標本調査の方法

さらに、現地調査の次段階での植物群系の分類基準がほとんど把握しきれないほど多く存在している。個々の植物の名称は学術名によって全世界共通のものがあり、どこの地域の研究者でも植物の個体の判別は共通である。しかし個体の集合体である植物群落の定義は研究の目的や植物群落の生息している地域の特性によって異なったものとなってくる。たとえば、表2-1に示すように代表的な分類体系だけでもDrudeの森林、低木林、草原という基本的な植生類型に着目したものの、Warmingが生育地の環境に適応した生態群から形成されるという考えに基づい

た体系、Brockmann-JeroschおよびRubelがつくった相観を基本にして一部環境条件を加味した体系などがある。²⁾

現在、利用されているほとんどの植物群系の体系は、分類の目的、対象地域、研究目的に合わせて前述の3つの植物群体系を改良あるいは細分化したものである。このほかに1960年代にはFosbergによって植生を被度によって密生植生、散開植生、疎生植生に分類し、それぞれをさらに細分化する方法が提案されたが植物生態学の中では余り一般的なものはされていない。植物生態学における植生分類は植物組成を基本に環境条件を加味して行われるのが一般的である。

表2-1 植物群系の主な体系

Drude の体系	Warming の体系	Brockman-Jerosch & Rubel の体系
森林群系群	水生植物群落	樹林
低木林群系群	乾生植物群落	熱帯多雨樹林
大型広葉草原	塩生植物群落	照葉樹林
苔-地衣群系群	中生植物群落	硬葉樹林
		シャクナゲ樹林
		夏緑樹林
		雨緑樹林
		針葉樹林
		草原
		陸上草原
		水生草原
		荒原（砂漠）
		植物プランクトン 及び土壌微植物群

以上からグローバルな植生分類に応用する場合、ローカルな植生分類方法には次のような問題点がある。

- ① 現地調査には非常な労力と時間がかかる。
- ② 植生群系の分類定義が地域毎あるいは研究者毎によって異なる。
- ③ 植生図は現地調査の結果（点データ）から作成される。すなわち、点データの結果を面の情報に推定することによって押し広げている。

2) グローバルな植生図

全地球の植生分布を植生の現地調査によって調査することは労力の点からしてとうてい不可能である。気候の条件や土壌の条件から植生群系を判定するモデルを利用した方法もあるが、分類精度に問題がある。¹⁹⁾このようなモデルによるものよりも、一般的なものには既に地域毎あるいは国毎に現地調査を元にして作成された植生図を統一して全地球の植生図を作成する方法である。ここでは最も新しい全球の植生分布図（E. Matthews）について簡単に説明し、その問題点を整理する。

1982年、Elaine Matthewsは図2-4に示すようにして全球の植生図を作成した。1960年から1979年までに作成された50万分の1縮尺から2千万分の1縮尺の地図を中心とした既存資料を収集した。^{20) 21)}このとき集められ実際に植生図作成に利用された資料は表2-2に示される88件であった。この88件の資料から世界植生図を再編成するのに用いられた植生分類統一の方法は国連教育科学文化機関（UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization）が1973年に提案した方法である^{14) 27)}。たとえば、この方法では、図2-5に示すようにclosed forest（密生樹林）はクラス1、evergreen forest（常緑樹林）はクラス1.A、Tropical evergreen forest（熱帯林）はクラス1.A.1と他の植生分類をUNESCOの分類基準に翻訳出来るようになっていいる。このようにして作成された世界植生図を図2-6に示す。^{25) 26)}

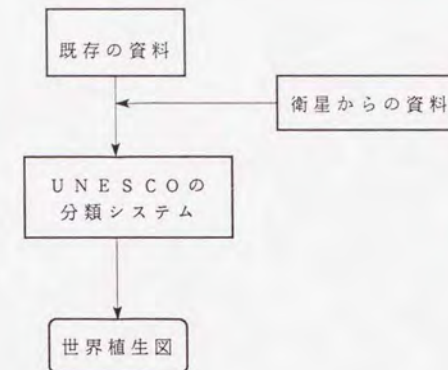


図2-4 Elaine Matthewsの世界植生図作成フロー

ただし、図2-4にあるように既存の資料から十分なデータが得られない場合には、NASAのGoddard Institute for Space Scienceが作成したLANDSAT画像によって補った。

Formation→
Class

1. CLOSED FOREST

Formation→
Subclass

A. EVERGREEN

B. DECIDUOUS

C. XEROMORPHIC

1. tropical
ombrophilous
2. tropical/
subtropical
seasonal
3. tropical/
subtropical
semi-deciduous
4. subtropical
ombrophilous
5. mangrove
6. temperate/
subpolar
ombrophilous
7. temperate
seasonal
broadleaved/
summer rain
8. winter rain
sclerophyllous
9. tropical/
subtropical
needleleaved
10. temperate/
subpolar
needleleaved

1. tropical/
subtropical
2. cold-deciduous
with evergreens
3. cold-deciduous
without
evergreens

1. sclerophyllous
2. thorn
3. succulent

Formation
Group→

出典：E. Matthews, Global Vegetation & Land Use: New High-resolution D.B.
for Climate Study, JOURNAL OF CLIMATE AND APPLIED METEOROLOGY, VOL.22, 1983

図2-5 UNESCO 植生分類システムの一部

表2-2 E. Matthewsの利用した資料

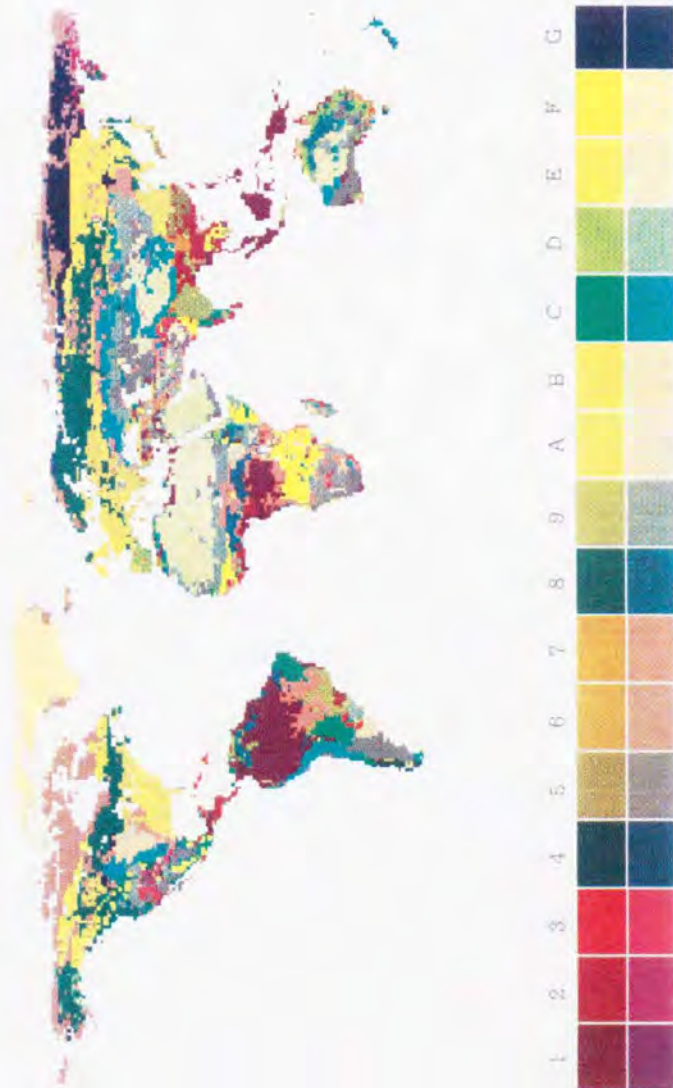
- A Concise Atlas Geography of Ceylon*, 1971: No editor given. No place of publication given. Atlas and Maps Industries.
- An Agricultural Atlas of England and Wales*, 1976: Edited by J. T. Coppock. London, Faber and Faber, Ltd.
- An Agricultural Atlas of Nigeria*, 1979: No editor given. Oxford, Oxford University Press.
- An Agricultural Atlas of Scotland*, 1976: Edited by J. T. Coppock. Edinburgh, John Donald Publishers, Ltd.
- An Agroclimatology Atlas of the Northern States of Nigeria*, 1972: Edited by Jan M. Kowal and Danuta T. Knaab. Zaria, Nigeria, Ahmadu Bello University Press.
- Atlas de Belgique*, 1972: Prepared by the Comité National de Géographie. Commission de l'Atlas. Brussels, Palais des Académies.
- Atlas de Côte d'Ivoire*, 1971: Prepared and published by the Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer, Paris.
- Atlas de Haute-Volta*, 1975: Edited by Mann Terrible. Ouagadougou, Upper Volta, Centre Voltaïque de la Recherche Scientifique.
- Atlas de la República de Chile*, 1972: Prepared by the Instituto Geográfico Militar and the CIA. Buenos Aires, no publisher given.
- Atlas de la République Populaire du Congo*, 1977: Edited by Pierre Vennetier. Paris, Éditions Jeune Afrique.
- Atlas de la Suisse*, 1978: Edited by Eduard Imhof. Wabern-Berne, Conseil Fédéral Suisse.
- Atlas de Madagascar*, 1971: Prepared by l'Association des Géographes de Madagascar. Tananarive, Madagascar, Bureau pour le Développement de la Production Agricole.
- Atlas de Venezuela*, 1969: Prepared by the Dirección de Cartografía Nacional. Place of publication not given. Ministerio de Obras Públicas.
- Atlas der Deutschen Agrarlandschaft*, 1971: No editor given. Wiesbaden, Franz Steiner Verlag.
- Atlas der Republik Österreich*, 1980: Edited by Hans Bobek. Vienna, Freytag-Berndt und Artnia.
- Atlas du Cameroun*, 1971: Prepared by the Institut de Recherches Scientifiques du Cameroun. No place of publication given. no publisher given.
- Atlas Estadístico de Costa Rica*, 1953: Prepared by the Ministerio de Economía y Hacienda. Dirección General de Estadística y Censos. San José, Costa Rica, Casa Gráfica LTDA.
- Atlas Nacional de Cuba*, 1970: Prepared by Academia de Ciencias de Cuba y Academia de Ciencias de la URSS. Havana, Cuba. Main Administration of Geodesy and Cartography of the USSR Council of Ministers.
- Atlas Nacional de Guatemala*, 1972: Prepared by the Instituto Geográfico Nacional, Guatemala. Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas.
- Atlas Nacional do Brasil*, 1966: Edited by E. Estática. Place of publication not given. Instituto Brasileiro de Geografia.
- Atlas of Afghanistan*, 1973: Prepared and published by Sahab Geographic and Drafting Institute. Tehran, Iran.
- Atlas of Alberta*, 1969: Prepared by the Government of Alberta and the University of Alberta. Edmonton, University of Alberta Press.
- Atlas of Australian Resources*, 1973: Edited by T. W. Plumb. Canberra, Division of National Mapping, Department of Minerals and Energy.
- Atlas of Britain and Northern Ireland*, 1963: Edited by G. E. Blackman, A. A. L. Caesar, C. F. W. R. Gullick, J. A. Steers, G. D. N. Worswick. Oxford, Clarendon Press.
- Atlas of China*, 1973: Edited by Chiao-min Hsueh and Christopher Salter. New York, McGraw-Hill Inc.
- Atlas of Ethiopia*, 1970: Prepared by the Department of Geography, Haile Selassie University under the direction of Mesfin Wolde-Manam. Addis Ababa, Ethiopia, no publisher given.
- Atlas of Finland*, 1960: Edited by Leo Aano. Helsinki, The Geographical Society of Finland.
- Atlas of Forest Resources of India*, 1976: Prepared by the National Atlas Organization, Department of Science and Technology. Calcutta, Government of India.
- Atlas of Ireland*, 1979: Prepared under the direction of the Irish National Board for Geography. Dublin, Royal Irish Academy.
- Atlas of Israel*, 1970: No editor given. Amsterdam, Survey of Israel, Ministry of Labor, Jerusalem, and Elsevier Publishing Company.
- Atlas Nacional de España*, 1965: Prepared and published by the Instituto Geográfico y Catastral, Madrid.
- Atlas of Japan*, 1974: Physical, Economic and Social. Prepared and published by the International Society for Educational Information, Tokyo.
- Atlas of Oregon*, 1978: Edited by William G. Loy. Eugene, Oregon, University of Oregon Books.
- Atlas of Physical, Economic and Social Resources of the Lower Mekong Basin*, 1968: Prepared by the Engineer Agency for Resources Inventories and the Tennessee Valley Authority for the Committee for Coordinated Investigations of the Lower Mekong Basin. No place of publication given. United Nations Economic Commission for Asia and the Far East.
- Atlas of Saskatchewan*, 1969: Edited by J. Howard Richards and K. I. Fung. Saskatoon, University of Saskatchewan.
- Atlas of Social and Economic Regions of Europe*, 1964: Edited by Ludwig Neundorfer. Baden-Baden, Nomos Verlagsgesellschaft m.b.H. and Co., KG.
- Atlas of South-East Asia*, 1964: Maps produced by Djambatan. Amsterdam, no publisher given.
- Atlas of Tanzania*, 1967: Prepared by the Surveys and Mapping Division, Ministry of Lands, Settlement and Water Development. Dar-es-Salaam, Tanzania, no publisher given.
- Atlas of the Danubian Countries*, 1978: Edited by Joseph Breu. Vienna, Österreichisches Ost- und Südosteuropainstitut.
- Atlas of the Netherlands*, 1963-1977: Compiled by the Foundation for the Scientific Atlas of the Netherlands. The Hague, Government Printing and Publishing Office.
- Atlas of the Pacific Northwest*, 1973: Edited by Richard M. Highsmith, Jr., and Robert Bard. Corvallis, Oregon State University Press.
- Atlas of the Prairie Provinces*, 1971: Edited by Thomas R. Weir and Geoffrey Matthews. Toronto, Oxford University Press.
- Atlas of the Union of South Africa*, 1960: Edited by A. M. Talbot and W. J. Talbot. Pretoria, South Africa, The Government Printer.
- Atlas of Uganda*, 1967: Prepared by the Department of Lands and Surveys. Uganda, no publisher given.
- Atlas Pratique du Tchad*, 1972: Prepared by the Institut National Tchadien pour les Sciences Humaines. Paris, L'Institut Géographique National.
- Carte du Tapis Végétal de la Région Méditerranéenne*, 1968: Prepared and published by FAO/UNESCO. Paris, UNESCO.
- 1974 Census of Agriculture*, 1978: Prepared and published by the Agriculture Division, Bureau of the Census, U.S. Department of Commerce. Vol. 4, Part 1, Special Reports and Graphic Summary. Washington, DC.
- Descriptive Atlas of New Zealand*, 1960: Edited by A. H. McIntock and R. E. Owen. Wellington, New Zealand, Government Printer.
- Economic and Social Atlas of Greece*, 1963: Edited by Bernard Kayser, Kenneth Thompson, Roger Vaternelle, and Basil Coukis. Athens, National Statistical Service of Greece.

出典：E. Matthews, Global Vegetation & Land Use: New High-resolution D.B.
for Climate Study, JOURNAL OF CLIMATE AND APPLIED METEOROLOGY, VOL.22, 1983

表 2-2 E. Matthews の利用した資料 (つづき)

- Economic Atlas of Ontario*, 1969: Edited by W. G. Dean and G. J. Matthews. Toronto, University of Toronto Press.
- Fiziko-geograficheski Atlas Mira*, 1964: Edited by I. P. Gerasimov. Moscow, Akademia Nauk SSSR i Glavnoe Upravlenie Geodezii i Karografi GOK SSSR.
- Grand Atlas de la France*, 1969: Prepared by Rene Hardy and L'Institut Geographique National. Paris, Selection du Reader's Digest, S.A.
- International Atlas of West Africa*, no date given: Prepared by the Department of Geography of the Fundamental Institute of Black Africa, Dakar, Senegal, no publisher given.
- Irrigation Atlas of India*, 1972: Edited by S. P. Chatterjee. Calcutta, Government of India.
- Land Use Map of Iran*, 1966: Prepared and published by Sahab Geographic and Drafting Institute. Tehran, Iran.
- Liberia in Maps*, 1972: Edited by Stefan Von Grzelinski. New York, Africana Publishing Corporation.
- Malawi in Maps*, 1972: Edited by S. S. Agnew and Michael Stubbs. New York, Africana Publishing Corporation.
- Map of Ecuador*, 1973: Prepared by the Central Intelligence Agency. No place of publication given, no publisher given.
- Map of Guatemala*, 1972: Prepared by the Central Intelligence Agency. No place of publication given, no publisher given.
- Map of Guyana*, 1973: Prepared by the Central Intelligence Agency. No place of publication given, no publisher given.
- Map of Venezuela*, 1972: Prepared by the Central Intelligence Agency. No place of publication given, no publisher given.
- Mapa Ecologico*, 1969: Republica de Costa Rica. Prepared by Joseph A. Tosi, Jr. San Jose, Costa Rica, Centro Cientifico Tropical.
- National Atlas of Canada*, 1973: Prepared by the Surveys and Mapping Branch of the Department of Energy, Mines and Resources. Ottawa, no publisher given.
- National Atlas of India*, 1977: Prepared by the National Atlas Organization, Department of Science and Technology, Calcutta, Government of India.
- National Atlas of Jamaica*, 1971: Prepared by the Town Planning Department, Kingston, Jamaica, Ministry of Finance and Planning.
- National Atlas of Kenya*, 1970: Prepared by the Survey of Kenya, Nairobi, Kenya, no publisher given.
- National Atlas of the United States*, 1970: Washington, D.C., U.S. Department of the Interior.
- New Zealand Atlas*, 1976: Edited by Ian Wards and A. R. Shearer. Wellington, New Zealand, The Government Printer.
- Oxford Regional Economic Atlas*, 1965: Prepared by P. H. Ady and the cartographic department of the Clarendon Press, Oxford, Clarendon Press.
- Potential Natural Vegetation of the Conterminous United States*, 1964: Prepared by A. W. Kuchler. American Geographical Society Special Publication No. 36, New York, American Geographical Society.
- Resources Atlas Project-Thailand*, 1969: Prepared by the Department of the Army Engineer Agency for Resources Inventories and Applied Scientific Research Corporation of Thailand, Bangkok, no publisher given.
- Rhodesia—Its Natural Resources and Economic Development*, 1965: No editor given. Salisbury, Rhodesia, M. O. Collins, Ltd.
- Sierre Leone in Maps*, 1976: Edited by John I. Clarke. London, University of London Press.
- Survey of Pine Forests Honduras*, 1968: Prepared and published by the U.S. Development Program, FAO, Rome.
- Tanzania in Maps*, 1971: Edited by L. Berry. London, University of London Press.
- The Atlas of Africa*, 1973: Edited by Regine van Chi-Bonnardel. Paris, Editions Jeune Afrique.
- The Central and Southern State Lands, Botswana*, 1972: By A. Blair Rains and A. M. Yalala. Land Resource Study No. 11, Surrey, England, Land Resources Division, Directorate of Overseas Surveys.
- The Land Resources of Lesotho*, 1968: By M. G. Bawden and D. M. Carroll. Land Resource Study No. 3, Surrey, England, Land Resources Division, Directorate of Overseas Surveys.
- The Land Resources of North East Nigeria*, 1972: By P. J. Aitchison, M. G. Bawden, D. M. Carroll, P. E. Giove, K. Klinkenberg, P. N. de Leeuw, and P. Tuley. Land Resource Study No. 9, Surrey, England, Land Resources Division, Directorate of Overseas Surveys.
- The Land Resources of Southern Sandauna and Southern Adamawa Provinces, Northern Nigeria*, 1966: By M. G. Bawden and P. Tuley. Land Resource Study No. 2, Surrey, England, Land Resources Division, Directorate of Overseas Surveys.
- The Northern State Lands, Botswana*, 1968: By A. Blair Rains and A. D. McKay. Land Resource Study No. 5, Surrey, England, Land Resources Division, Directorate of Overseas Surveys.
- The Philippine Atlas*, 1975: Prepared and published by the Fund for Assistance to Private Education, Manila, Philippines.
- The Physical Map and the Economic Map of the Socialist Republic of Romania*, 1966: Prepared by Alexandru Rosu. Bucharest, Mendiante Publishing House.
- Tropical Africa: An Atlas for Rural Development*, 1972: Edited by H. R. J. Davies. Cardiff, University of Wales Press.
- Vegetationskarte von Sudamerika*, 1972: Prepared by Kurt Hueck and Paul Seibert. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag.
- World Atlas of Agriculture*, 1969: Prepared by the Committee for the World Atlas of Agriculture, Novara, Italy, Istituto Geografico de Agostini.
- Zambia in Maps*, 1972: Edited by D. Hywel Davies. New York, Africana Publishing Corporation.
- Zentralamerika—Karten zur Bevölkerungs und Wirtschaftsstruktur*, 1975: Prepared by H. Nuhn, P. Kneig, and W. Schlik. Hamburg, Geographischen Regionalforschung in Lateinamerika.

出典: E. Matthews, Global Vegetation & Land Use: New High-resolution D.B.
for Climate Study, JOURNAL OF CLIMATE AND APPLIED METEOROLOGY, VOL 22, 1983



(凡例の説明は次のページにある)

図 2-6 E. Matthews の世界植生図

Map symbol	UNESCO code	Area (10 ⁶ km ²)	Description
1	1.A.1, 1.A.5	12.29	tropical evergreen rainforest, mangrove forest
2	1.A.2, 1.A.3	3.29	tropical/subtropical evergreen seasonal broad-leaved forest
3	1.A.4	0.19	subtropical evergreen rainforest
4	1.A.6	0.39	temperate/subpolar evergreen rainforest
5	1.A.7	0.81	temperate evergreen seasonal broadleaved forest, summer rain
6	1.A.8	0.47	evergreen broadleaved sclerophyllous forest, winter rain
7	1.A.9	0.49	tropical/subtropical evergreen needleleaved forest
8	1.A.10	9.29	temperate/subpolar evergreen needleleaved forest
9	1.B.1	2.88	tropical/subtropical drought-deciduous forest
A	1.B.2	5.18	cold-deciduous forest, with evergreens
B	1.B.3	3.99	cold-deciduous forest, without evergreens
C	1.C. 2.C	2.68	xeromorphic forest/woodland
D	2.A.1	1.71	evergreen broadleaved sclerophyllous woodland
E	2.A.2	2.51	evergreen needleleaved woodland
F	2.B.1	3.70	tropical/subtropical drought-deciduous woodland
G	2.B.2, 2.B.3	2.50	cold-deciduous woodland
H	3.A.1, 4.A.1, 4.A.2, 4.A.3	1.30	evergreen broadleaved shrubland/thicket, evergreen dwarf shrubland
I	3.A.2	0.67	evergreen needleleaved or microphyllous shrubland/thicket
J	3.B.1, 3.B.2, 4.B.1, 4.B.2	0.83	drought-deciduous shrubland/thicket
K	3.B.3, 4.B.3	0.46	cold-deciduous subalpine/subpolar shrubland, cold-deciduous dwarf shrubland
L	3.C, 4.C	8.86	xeromorphic shrubland/dwarf shrubland
M	4.D, 4.E, 5.C.8	7.34	arctic/alpine tundra, mossy bog
N	5.A.1, 5.B.1, 5.C.1	6.46	tall/medium/short grassland with 10-40% woody tree cover
O	5.A.2, 5.A.4, 5.B.2, 5.B.4, 5.C.2, 5.C.4	3.66	tall/medium/short grassland with <10% woody tree cover or tuft-plant cover
P	5.A.3, 5.B.3, 5.C.3	9.34	tall/medium/short grassland with shrub cover
Q	5.A.5	0.81	tall grassland, no woody cover
R	5.B.5	0.78	medium grassland, no woody cover
S	5.C.5, 5.C.6, 5.C.7	6.10	meadow, short grassland, no woody cover
T	5.D	0.28	forb formations
U	6*	15.57	desert
Y	7*	2.44	ice
W	9*	17.56	cultivation

* Not included in UNESCO classification.

図 2-6 E. Matthewsの世界植生図 (つづき)

出典: E. Matthews, Global Vegetation & Land Use: New High-resolution D.B. for Climate Study, JOURNAL OF CLIMATE AND APPLIED METEOROLOGY, VOL.22, 1983

以上のようなグローバルな植生分類の問題点を以下にまとめる。

- ① 基礎となる資料が1960年から1979年と約19年間にわたるもので、完成した植生図が必ずしも現在の地球上の植生と一致しているとは限らない。
- ② 複数の分類定義で分類された資料から統一された植生分類にしたときの誤分類が問題となる。
- ③ 既存の植生図など基礎となる資料自身の分類精度の問題が解らない。
- ④ 解像度1度は粗すぎる。

2-2-2 従来の気候区分

気候学の視点から地球上を区分し環境の状況を示したものに気候区分がある。グローバルな気候区分にはKöppenの分類による気候区分、Flohnの気候区分、Alissowの気候区分、M. I. Budykoの気候区分、Thornthwaiteの気候区分が一般に良く用いられている。¹¹⁾本項ではこれらのうち最も良く用いられているKöppenの分類による気候区分、Alissowの気候区分、Thornthwaiteの気候区分について簡単な説明を行った上でそれぞれの利点・欠点を整理した。

1) Köppenの分類による気候区分 (1936)

この気候区分は世界の植生分布に合うように行った気候分類を用いた気候区分で最も一般的に良く知られているものである。まず、樹木気候A、C、D、無樹木気候B、Eに区分した。これらのそれぞれの意味を簡単に示すと次のとおりである。

高木が育つ → A (熱帯)、C (温帯)、D (冷帯)
 高木が育たない → E (寒冷のため)、B (乾燥のため)

これらの区分の基準は次のようになる。Aとは最寒月の月平均気温が18℃以上、Cとは最寒月の月平均気温が-3℃以上で18℃以下、Dとは最寒月の月平均気温が-3℃以下で最暖月の月平均気温が10℃以上、Eとは最暖月の月平均気温が10℃以下とする。さらに、これをf、w、sに細かく分類する。f (f-

ehlt) は1年中、降雨があってひどい乾季がないことを意味する。w (winter) は夏に雨期で、冬に乾燥することを意味する。s (sommer) は冬に雨期で、夏に乾燥すること意味する。

B については乾燥限界線上の年降水量と年平均気温との関係式 (2-1) を与えて P を求め、その値より年降水量が大きければ湿潤気候、小さければ乾燥気候とした。

$$\frac{P}{t + \alpha} = 20 \quad \dots \dots (2-1)$$

ただし、 α の値は f の地域では 7
w の地域では 14
s の地域では 0

E については最暖月の月平均気温が 0℃とした。さらにこれを最暖月の月平均気温が 0～10℃を ET、最暖月の月平均気温が 0℃以下を EF に区分した。

以上の組み合わせによって実際に分布する主な気候は次の 11 となる。

- | | |
|---------------|-----------------------|
| A f : 熱帯雨林気候 | C s : 温帯冬雨気候 (地中海式気候) |
| A w : 熱帯サバナ気候 | D f : 冷帯多雨気候 |
| B S : 草原気候 | D w : 冷帯夏雨気候 |
| B W : 砂漠気候 | E T : ツンドラ気候 |
| C f : 温帯多雨気候 | E f : 氷雪気候 (永久凍結気候) |
| C w : 温帯夏雨気候 | |

さらに、C と D の気候は気温の状態によって a、b、c、d の文字をつけて細分類してある。すなわち、a は最暖月の平均気温は 22℃以上、b は最暖月の月平均気温は 22℃以下で月平均気温 10℃以上が 5 カ月以上、c は月平均気温 10℃以上の月が 1～4 カ月、d は最寒月の月平均気温が -3.8℃以下

このようにして定められた Köppen の分類による気候区分図を図 2-7 に示す。

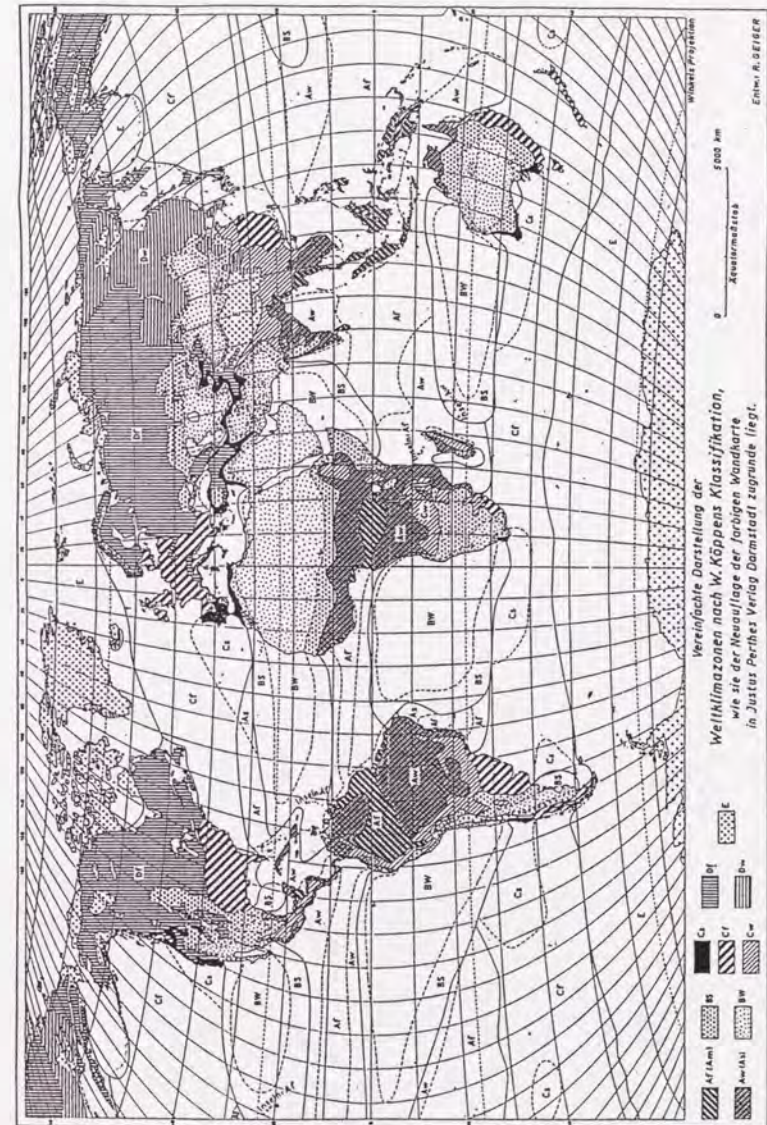


図 2-7 Köppen の分類による気候区分図

以上、簡単な説明をしたKöppenの分類による気候区分の境界数値は現実の植生分布と合致するように定められたものである。以下に簡単に問題点を述べる。

- ①境界設定に考慮された植生分布はヨーロッパ中心であった。したがってこれを全世界に押し広げると実際の植生分布とは異なった境界が定められる箇所もある。
- ②これらの区分の境界は気象観測点の気象観測値から引かれたものであり、点データを面に押し広げた形になっている。
- ③点データを面データに押し広げる際、高度条件は加味されなかった。

2) Alissowの気候区分(1954)

地球上の大気が緯度によって4つの気団に分類できることに着目し、その季節変化から世界を7つの気候区に区分したものである。その4つの気団とは次のものである。

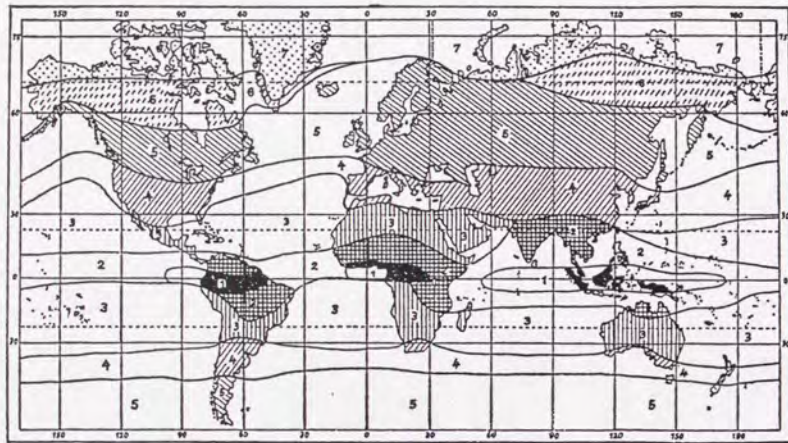
- ①赤道気団地帯
- ②熱帯気団地帯
- ③中緯度気団地帯
- ④北(南)極気団地帯

大気の大循環によって上記の各気団の境界には前線があるが、前線は季節によって南北に移動する。したがって、たとえば夏にも冬にも赤道気団で覆われる地域、夏は赤道気団が覆い冬は熱帯気団が覆う地域のように季節変動の影響を受ける7つの地帯に区分できる。

この7地帯をさらに大陸のと海洋の2つに区別し、大気大循環によって東岸型と西岸型に、地形によって平地型と山地型に区別される。この結果最終的には表2-3と図2-8のようになる。

表2-3 Alissowの気候区分

気 候 帯	気 団		細 分
	夏	冬	
赤道気団地帯	赤道気団	赤道気団	赤道大陸性気候 赤道海洋性気候
赤道季節風地帯	赤道気団	熱帯気団	大陸性季節風気候 海洋性季節風気候 西岸性季節風気候 東岸性季節風気候
熱帯気団地帯	熱帯気団	熱帯気団	熱帯大陸性気候 熱帯海洋性気候 海洋性高気圧の東縁気 海洋性高気圧の西縁気
亜熱帯地帯	熱帯気団	寒帯気団	亜熱帯大陸性気候 亜熱帯海洋性気候 亜熱帯西岸気候 亜熱帯東岸気候
中緯度気団地帯	寒帯気団	寒帯気団	中緯度大陸性気候 中緯度海洋性気候 中緯度西岸海洋性気候 中緯度東岸季節風気候
亜極地帯	寒帯気団	極気団	亜極大陸性気候 亜極海洋性気候
極気団地帯	極気団	極気団	北極気候 南極気候



1: 赤道気団地帯 2: 赤道季節風地帯 3: 熱帯気団地帯 4: 亜熱帯気団地帯
5: 中緯度気団地帯 6: 亜極気団地帯 7: 極気団地帯

図 2-8 Alissow の気候区分

出典: 吉野正敏、気候学、大明堂、昭和 53 年

以上の Alissow の気候区分は先の述べた Köppen の分類による気候区分とは違い気象の成因に着目している点でユニークであるが、その問題点を次にまとめる。

- ①大陸の東西の気候差が表現されない。すなわち、大陸の東西で異なる植生の状況などの環境の違いは表現されない。
- ②前線帯の認定自身が困難である。

3) Thornthwaite の気候区分 (1948)

この区分は水収支の立場から気候分類を試みたものである。まず、蒸発散位 (potential evapotranspiration) という概念を提案した。蒸発散位とは「広域における土壌面や植生からの蒸発と発散の全てを合計した蒸発散の量が、水が十分に供給されているときにどれだけあるかという量」である。これを最大可能蒸発散量ということもある。月の蒸発散位は計算図表を用いて簡単に求めることができる。

この蒸発散位と降水量の組み合わせから気候区分を行ったもので、両者の関係より次の 3 つの状態に分けることができる。

蒸発散位 = 降水量 水分は過剰でもなく不足でもない。

蒸発散位 < 降水量 余剰の水分は一部土壌水分となり、あとは過剰となる。

蒸発散位 > 降水量 土壌水分がなくなれば水分不足となる。

さらに、この蒸発散位と降水量より月毎の水過剰量、水分不足量をもとめ年間の合計値を求めてそれぞれ s 、 d とする。また年間の蒸発散位の合計値を n とする。これら s 、 d 、 n より湿潤係数 I_h 、乾燥係数 I_s 、湿潤指数 I_m をそれぞれ式 2-2、式 2-3、式 2-4 によって求める。この 3 つの係数によって世界気候区分が行われる。

$$\text{湿潤係数 } I_h = \frac{s}{n} \times 100 \quad \dots\dots (2-2)$$

$$\text{乾燥係数 } I_s = \frac{d}{n} \times 100 \quad \dots\dots (2-3)$$

$$\text{湿潤指数 } I_m = \frac{100s - 60d}{n} = I_h - (0.6) I_s \quad \dots\dots (2-4)$$

世界気候分類の区分は次のようにして行う。

① 湿潤指数 I_m による区分

I_m	区分
1000 以上	A 完湿潤
800 ~ 1000	B ₄ 湿潤
600 ~ 800	B ₃ 湿潤
400 ~ 600	B ₂ 湿潤
200 ~ 400	B ₁ 湿潤
0 ~ 200	C ₂ 亜湿潤
-200 ~ 0	C ₁ 亜乾燥
-400 ~ -200	D 半乾燥
-600 ~ -400	E 乾燥

② 蒸発散位の年合計値 n による区分

n	区分
1140 以上	A' 熱帯
1140 ~ 997	B ₄ ' 温帯
997 ~ 855	B ₃ ' 温帯
855 ~ 712	B ₂ ' 温帯
712 ~ 570	B ₁ ' 温帯
570 ~ 427	C ₂ ' 冷帯
427 ~ 285	C ₁ ' 冷帯
285 ~ 142	D' ツンドラ
142 以下	E' 氷雪

③ 湿潤係数または乾燥係数による区分

I_a 乾燥係数	区分
0 ~ 16.7	r 水分不足量が少ないかあるいはない
16.7 ~ 33.3	s 夏の水分不足が中程度
16.7 ~ 33.3	w 冬の水分不足が中程度
33.3 以上	s ₂ 夏の水分不足が明きらか
33.3 以上	w ₂ 冬の水分不足が明きらか

I_h 湿潤係数	区分
0 ~ 10	d 水過剰が少ないかあるいはない
10 ~ 20	s 夏の水過剰が中程度
10 ~ 20	w 冬の水過剰が中程度
20 以上	s ₂ 夏の水過剰が明きらか
20 以上	w ₂ 冬の水過剰が明きらか

④ 夏3カ月間の蒸発散位の合計量の年の合計量に対する%による区分

蒸発散位の合計値	区分	蒸発散位の合計値	区分
48.0% 以下	a'	61.7 ~ 68.0	b ₁ '
48.1 ~ 51.9	b ₄ '	68.1 ~ 76.3	c ₂ '
52.0 ~ 56.4	b ₃ '	76.4 ~ 88.0	c ₁ '
56.5 ~ 61.6	b ₂ '	88.0 以上	d'

以上のThornthwaiteの気候区分では、従来の温度帯（熱帯、温帯、寒帯など）をもって第1次気候地域とするのと異なり、蒸発散位という新しい気候要素に基づいて水収支に着目して第1次気候地域を階層的に設定した。従来のものが乾燥限界や気候の湿潤度・乾燥度を経験的にとらえてきたのと違い、科学的に求める手始めとなった。しかし、次のような問題点がある。

- ① 区分を決定する全ての係数を求めるために気象観測値を用いており、これは気象観測点の点データである。したがって点データを面に押し広げることにより区分を作成している。
- ② 蒸発散位は土壌、水、植生を理想の状態と仮定しているため、必ずしも現実の

地表面の状況（環境）を反映しているとはいえない。

以上の1)から3)の気候区分の問題点をまとめると次の2点になる。

- ① 設定された分類の定義が実際の地表面の状況と合っていないところが生じる。
- ② 区分をもうけるために使用する分類のデータが気象観測点から得られた点データであるので、観測値のない地域は区分をする者の経験によって処理されることが多い。したがって、観測点以外では実際の状況が反映されているとは限らない。

2-3 本研究の特徴

地球環境を表現するという視点から従来の研究、植生図と気候区分にはそれぞれ次のような問題点があった。

○ 植生図

- ① 植生図作成に時間がかかりすぎる。
- ② 植生図の更新がなかなかできない。
- ③ 点（調査地点）データから面の情報をつくるため、必ずしも地表面の状況を表しているとは限らない。
- ④ 植生の分類定義が千差万別で統一するのが困難である。

○ 気候区分

- ① 点（調査地点）データから面の情報をつくるため、必ずしも地表面の状況を表しているとは限らない。
- ② 区分が植生など地表の状況と完全には一致していない。
- ③ 区分の更新がなかなかできない。

本研究では地球環境の現状を把握する上で従来の研究が抱えていた以上のような問題点を解決した。多時期の衛星のデータを利用することにより植生の活動の季節変動を全球で解析し、その植生季節変動パターンによってグローバルな植生

分類を行った。これにより共通の基準で定量的に植生が分類できた。さらに、植生活動の状況から分類しているため年毎に起きる異常気象等の環境要因の変化をも観測することが出来た。以下に、本研究の特徴をまとめる。

- ① 植生の活動の季節変動によるパターンを基準に定量的かつ植物生態学的に意味のある分類区分を定義する。
- ② 衛星データを用いて統一された基準で全世界の植生分布を明らかにする。
- ③ 世界植生の区分および地域毎の面積を明らかにする。
- ④ 年間の植生の活動から植生分類を行うため、1983年から1987年まで異なった分類結果を得ることができる。すなわち、植生区分図の更新ができる。年毎の分類結果の差から生態気候学的な考察ができる。

第 3 章 地球生物圏監視に利用可能なデータ

3-1 地球観測衛星のデータ

3-1-1 地球観測衛星の概要

地球観測衛星は、地球大気、地球表面など地球環境の観測を目的とする衛星で、1972年にLANDSATが打ち上げられてから本格的に利用されるようになった。その後、約18年間のリモートセンシングの動きを1970年代と1980年代について次に簡単にまとめる。

1970年代

この10年はリモートセンシング技術の実験開発の時代であった。リモートセンシングは何に役に立つのかの事例研究が数多く行われ、実用的に利用できるのはどの分野かの模索が行われた。日本でも実用化が大きな目標であった。その中でも最も先駆的なものはアメリカで1978年に打ち上げられたSEASATであった。このSEASATは世界で初めての合成開口レーダー(SAR:synthetic aperture radar)を搭載した。この合成開口レーダーは昼夜を問わず地表の観測ができたり雲があっても地表面が観測できるなどの特色を持つ時代の先駆的センサーであった。

1980年代

LANDSATのTM(thematic mapper)およびSPOTのHRV(high resolution visible)の高分解能センサーが実用化されると、リモートセンシングが商業化されるようになった。継続してデータが供給されることが約束されると同時にデータの価格がそれまでの実験段階とことなり高くなった。日本およびインド等も独自の衛星を実験的に打ち上げるようになり衛星およびデータは多様化の様相を示した。高分解能のデータが商品として取り引きされるようになったのとは異なり、気象衛星NOAAやNIMBUSの低分解能高頻度型のデータがグローバルな地球環境の現象観測・監視に役立つことが注目されるようになった。一方でSPOTのステレオセンサー

が等高線地形図の作成に応用可能であることが示され、宇宙から地形の3次元計測への道が開発された。また、従来の地図づくりに大変な労力を要していたのに対し、スウェーデン宇宙事業団がSPOT画像を用いて一年間で全フィリピンの土地利用図を作成するなどして、ステレオセンサーが短期間で地図を作る(rapid mapping)のに有効であることを示した。このことはリモートセンシングが実業の世界でも利用可能であることを証明した。

1990年代にはいるとグローバルな地球環境の観測網がさらに推進され、1983年のアフリカの大干ばつ以来干ばつの早期警告、熱帯林の破壊速度の観測、砂漠化変動調査など長期にわたる時系列調査が国際地球圏生物圏計画(IGBP:International Geosphere-Biosphere Program)や国際宇宙年(1992年, ISY:International Space Year)のプロジェクトとして推進されている。たとえば、海面温度、海洋生産性、極氷、オゾン等地球規模の現象に影響する要因の調査が重点的な観測の対象となっている。

その一方で分解能がさらに高くなりリモートセンシングの商業化が一層進行する。LANDSATのTMは30mから15mに解像力が向上し、1995年に日本が打ち上げるADEOSの高性能可視近赤外放射計(AVNIR:advanced visible and near infrared radiometer)では8mのステレオ画像(B/H比=0.5)が得られるようになる。SPOTやLANDSATはデータの価格はより高価になり商業ベースとなる。たとえば、土地利用図作成など数年毎に更新される国家的事業に利用されるようになる。平成3年度から国土庁は国土数値情報のうち土地利用データベースを衛星画像を用いて行うことにほぼ決定したことは、リモートセンシングが調査研究の段階から業務作業レベルに達したものである。また、環境庁が緑の国勢調査に衛星画像を用いることにしたのも同じことである。⁹⁾

さらに、20世紀末には極軌道プラットフォームが運用を開始し、長期でかつ安定した地球観測体制が敷かれるようになる。極軌道プラットフォーム時代には多様なセンサーが作動するようになり、一元的なデータ収集が可能となる。従来の地球観測センサーのほか、温室効果ガスの測定や、世界DTMの作成など新しい試みが試されるであろう。このように地球環境時代を迎えてリモートセンシングは

ますます重要視される。

3-1-2 主な地球観測衛星

地球観測衛星には米国のLANDSATやNOAAをはじめ、わが国のMOS-1（海洋観測衛星1号）、フランスのSPOTなど様々なものがある。表3-1にあるように搭載されているセンサーや軌道、周期などにそれぞれ特徴があり、一概にどの地球観測衛星が優れているとはいえない。したがって対象となる問題の種類によって適している地球観測衛星をその都度選定する必要が生じる。

表 3-1 地球観測衛星一覧

衛星名	軌道要素	搭載センサー	
		主搭載センサー名	センサーの主要観測諸元
Landsat-1 " -2 (1975) (米)	太陽同期軌道 高度：約 915 km 傾斜角：約 99° 回帰日数：18 日	MSS (Multispectral Scanner System)	可視近赤外 4 バンド 分解能：80 m 観測幅：185 km
		RBV (Return Beam Vidicon Camera)	可視近赤外 3 バンド 分解能：80 m 観測幅：185 km
Landsat-3 (1978) (米)	同上	MSS (Multispectral Scanner System)	可視近赤外 4 バンド、熱赤外 1 バンド 分解能：80 m (可視近赤外), 240 m (熱赤外) 観測幅：185 km
		RBV (Return Beam Vidicon Camera)	可視近赤外 1 バンド (モノクロ) 分解能：40 m 観測幅：98 km×2
Landsat-4 " -5 (1984) (米)	太陽同期軌道 高度：約 705 km 傾斜角：約 98° 回帰日数：約 2 日 (観測周期：16 日)	TM (Thematic Mapper)	可視近赤外 4 バンド、中近赤外 2 バンド、熱赤外 1 バンド 分解能：30 m (可視近・中近赤外), 120 m (熱赤外) 観測幅：185 km
		MSS (Multispectral Scanner System)	可視近赤外 4 バンド 分解能：80 m 観測幅：185 km
SPOT-1 " -2 " -3 (1989) (フランス)	太陽同期軌道 高度：約 832 km 傾斜角：約 99° 回帰日数：約 5 日 (観測周期：26 日)	HRV (High Resolution Visible Range Instruments)	可視近赤外 4 バンド (内 1 バンドはモノクロ) 分解能：20 m (モノクロは 10 m) 観測幅：60 km×2 オフナディア角：+25°～-26°

出典：日本リモートセンシング研究会、「リモートセンシング用語辞典」

1989年出版、共立出版株式会社

表 3-1 地球観測衛星一覧 (つづき)

衛星名	軌道要素	搭載センサー	センサーの主要観測諸元
MOS-1 (1987) (日)	太陽同期軌道 高度: 約 909 km 傾斜角: 約 99° 回帰日数: 17 日	MESSR (可視近赤外放射計)	可視近赤外 4 バンド 分解能 : 50 m 観測幅 : 100 km×2
		VTIR (可視熱赤外放射計)	可視 1 バンド, 熱赤外 3 バンド 分解能 : 0.9 km(可視), 2.7 km(熱赤外) 観測幅 : 1500 km
		MSR (マイクロ波放射計)	周波数 : 23.8 GHz, 31.4 GHz 分解能 : 31 km(23.8 GHz), 22 km(31.4 GHz) 観測幅 : 317 km
IRS (1987) (インド)	太陽同期軌道 高度: 904 km 傾斜角: 約 99° 回帰日数: 22 日	LISS-1 (Linear Imaging Scanning System)	可視近赤外 4 バンド 分解能 : 73 m 観測幅 : 146 km
		LISS-II	可視近赤外 4 バンド 分解能 : 36.5 m 観測幅 : 73 km×2
SEASAT-1 (1978) (米)	太陽非同期軌道 高度: 約 790 km 傾斜角: 108°	SMMR (Scanning Multichannel Microwave Radiometer)	周波数 : 6.6~37.0 GHz, 5 バンド 分解能 : 121×79 km ² (6.6 GHz)~21×14 km ² (37.0 GHz) 観測幅 : 660 km
		ALT (Radar Altimeter)	周波数 : 13.5 GHz 分解能 : フットプリント 2~12 km 高度分解能 2 cm

出典: 日本リモートセンシング研究会、「リモートセンシング用語辞典」

1989 年出版、共立出版株式会社

表 3-1 地球観測衛星一覧 (つづき)

衛星名	軌道要素	搭載センサー	センサーの主要観測諸元
		主搭載センサー名	
		SASS (Microwave Scatterometer)	周波数 : 14.595 GHz 分解能 : 50 km 観測幅 : 1500 km
		SAR (Synthetic Aperture Radar)	L バンド, HH 偏波, オフナディア角約 20° 分解能 : 25 m(4 ルック) 観測幅 : 100 km
		VIRR (Visible Infrared Radiometer)	可視・赤外各 1 バンド 分解能 : 2 km(可視), 4 km(赤外) 観測幅 : 2280 km
TIROS-N/ NOAA シリーズ ・ATN/NOAA シリーズ (1973) (1992) (米)	太陽同期軌道 高度: 833 km または 870 km 傾斜角: 98.7°	AVHRR/2 (Advanced Very-High Resolution Radiometer)	可視近赤外 2 バンド, 熱赤外 2 バンドまたは 3 バンド 分解能 : 1.1 km(HRPT), 4 km(APT, 2 バンド選択) 観測幅 : 約 3000 km
		TOVS-HIRS/2 (TIROS Operational Vertical Sounder-High Resolution Infrared Radiation Sounder)	赤外 20 チャンネル 分解能 : 20 km 温度垂直分布, 水蒸気量, O ₃ 量
		TOVS-SSU (Stratospheric Sounding Unit)	15 μm 帯 3 チャンネル 分解能 : 147 km 温度垂直分布
		TOVS-MSU (Microwave Sounding Unit)	50 GHz 帯 4 チャンネル 分解能 : 110 km 温度垂直分布 (全天候)

出典: 日本リモートセンシング研究会、「リモートセンシング用語辞典」

1989 年出版、共立出版株式会社

表 3-1 地球観測衛星一覧 (つづき)

衛星名	軌道要素	搭載センサー	
		主搭載センサー名	センサーの主要観測諸元
Landsat-6 n-7 (1990) (1993) (米)	太陽同期軌道 高度: 約 705 km 傾斜角: 約 98° 回帰日数: 約 2 日 (観測周期 16 日)	ERBE(固定) (Earth Radiation Budget Experiment)	0.2~5 μm , 0.2~50 μm 各 2 チャンネル FOV: 全球および地球中心角 10°
		ERBE(走査)	0.2~5 μm , 0.2~50 μm , 5~50 μm 分解能 (IFOV): 3°×4.5°
		ETM (Enhanced Thematic Mapper)	可視近赤外 5 バンド (内 1 バンドはモノクロ), 中近赤外 2 バンド, 熱赤外 1 バンド 分解能 : 30 m (可視近-中近赤外), 120 m (熱赤外), 15 m (モノクロ) 観測幅 : 185 km
SPOT-4 n-5 (1992) (1993) (フランス)	太陽同期軌道 高度: 約 832 km 傾斜角: 約 99° 回帰日数: 約 5 日 (観測周期 26 日)	HRVIR (High Resolution Visible Range Instruments)	可視近赤外 3 バンド, 中近赤外域 1 バンド 分解能 : 20 m (可視近赤外 1 バンド 10 m) 観測幅 : 60 km×2 (電子走査式) オフナディア視: 26°~26°
		VEGETATION	可視近赤外 4 バンド, 中近赤外 1 バンド 分解能 : 1 km または 4 km 観測幅 : 2,200 km (電子走査式)
		RA (Radar Altimeter) NACAT (NASA Scatterometer)	周波数 : 13.5 GHz 高度分解能 : 2 cm 周波数 : 13.996 GHz 分解能 : 50 km (セルサイズは 25 km) 観測幅 : 600 km×2 測定範囲 : 3~30 m/s (ハードウェアとしては 100 m/s まで可)
NROSS (計画中止) (米)	太陽同期軌道 高度: 815 km 傾斜角: 98.7°		

出典: 日本リモートセンシング研究会、「リモートセンシング用語辞典」

1989 年出版、共立出版株式会社

表 3-1 地球観測衛星一覧 (つづき)

衛星名	軌道要素	搭載センサー	
		主搭載センサー名	センサーの主要観測諸元
ERS-1 (1991) (日)	太陽同期軌道 高度: 約 560~570 km 傾斜角: 約 98°	SSM/I (Special Sensor Microwave Imaging)	周波数 : 19.35, 22.235, 37.0, 85.5 GHz 分解能 : 70 km×45 km (19.35 GHz) 60 km×40 km (22.235 GHz) 38 km×30 km (37.0 GHz) 16 km×14 km (85.5 GHz) 観測幅 : 1394 km
		LFMR (Low Frequency Microwave Radiometer)	周波数 : 5.2 および 10.4 GHz 分解能 : 15 km×25 km (5.2 GHz), 8 km×13 km (10.4 GHz) 観測幅 : 1400 km
		光学センサー 合成開口レーダー	可視近赤外 3 バンド, 中近赤外 4 バンド (うち 1 バンドで立体視) 分解能 : 18 m (可視近赤外, 中近赤外) 観測幅 : 75 km 立体視 (可視近赤外のうち 1 バンド) L バンド, II-H 偏波, オフナディア角 35° 分解能 : 18 m×18 m (3 ルック) 観測幅 : 75 km
POP (NASA/EOS) (1994) (米)	太陽同期軌道 高度: 700 km 傾斜角: 98.3°	MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectrometer)	可視赤外域 分解能 : 0.5~1 km 観測幅 : 1780 km
		HIRIS (High Resolution Imaging Spectrometer)	可視赤外域 分解能 : 30 m×30 m 観測幅 : 30 km

出典: 日本リモートセンシング研究会、「リモートセンシング用語辞典」

1989 年出版、共立出版株式会社

表 3-1 地球観測衛星一覧 (つづき)

衛星名	軌道要素	搭載センサー	センサーの主要観測諸元
		主搭載センサー名	
		HMMR (High Resolution Multi-Frequency Microwave Radiometer)	周波数 : 1~91 GHz 分解能 : 2.5 km 観測幅 : 1500 km
		LASA (Laser Atmospheric Sounder & Altimeter)	可視・赤外 DIAL および後方散乱 分解能 : 100 km × 100 km 観測幅 : 100~200 km
		SAR (Synthetic Aperture Radar)	多周波, 多偏波, 多オフナディア角 分解能 : 25 m~500 m 観測幅 : 50 km~700 km
		ALT (Altimeter)	SEASAT 極性能 高度分解能 : 2 cm 降雨検知器を含む
		NSCAT (NASA Scatterometer)	NROSS 用センサーのコピー 6 本アンテナ 観測幅 : 1500 km
		上層大気風センサー	可視・赤外ドップラー周縁走査
		上層大気組成センサー	紫外・可視・赤外・マイクロ波周縁走査
		対流圏風センサー	ドップラーライダー 垂直分解能 : 1 km 観測幅 : 3000 km

出典: 日本リモモセトセンシング研究会、「リモモセトセンシング用語辞典」

1989年出版、共立出版株式会社

3-1-3 地球観測に適した衛星データの選定

前節において列挙したように地球観測衛星にはさまざまな種類がある。これらの中からグローバルスケールの陸域植生観測に最も適したものを選ぶ必要がある。ここでは個々の地球観測衛星の特徴に注目するのではなく、搭載されているセンサーを機能別に①から④まで4つに分類し、これを考慮しグローバルスケールの陸域植生観測に適した地球観測衛星を選定する。

① 広域低分解能高頻度センサー

静止気象衛星「ひまわり」(GMS, 分解能: 4 km)、軌道気象衛星 NOAA AVHRR (分解能: 1.1 km) のように、低分解能だが広域をカバーし一日に数回以上の頻度で同一場所を観測するセンサーをいう。気象や海象などの動態監視のみでなく、雲のない週間単位のモザイク陸域画像の作成などに役に立ちいわゆる“グローバルな地球環境調査”にきわめて重要な役割を果たすものと見直されている。

② 狭域高分解能低頻度センサー

LANDSAT TM、SPOT HRV のように 10~30 m と高分解能だが約2週間に一度と低頻度の観測をするセンサーである。雲のない画像が取得される確率がきわめて小さいのと、データ購入価格が高いのが欠点である。長所は長い期間にわたってデータ提供のサービスを行うことであり、環境変化調査に利用できる。また SPOT のステレオ画像のように地形図の作成が可能であることは画期的な技術といえる。

③ 狭域中高分解能多スペクトルセンサー

マルチスペクトル情報を取得して、海色や岩質区分を調べようとするもので、NIMBUSの海岸海色センサー(CZCS: Coastal Zone Color Scanner)、J-ERSの工学センサー(OPS: Optical Sensor)、ADEOSの海色海温センサー(OCTS: Ocean Color & Temperature Scanner)などはこの例である。将来、28~256バンドのイメージングスペクトロメーターは究極のスペクトル情報取得センサーとなり得る。³⁴⁾

④ マイクロ波センサー

SEASATのSAR、E-ERSおよびJ-ERSのSAR、MOS-1のマイクロ波走査放射計(MSR;

Microwave Scanning Radiometer) NIMBUSのマイクロ波放射計 (SMMR; Scanning Multichannel Microwave Radiometer) のようにマイクロ波を用いて海象、植生、降雨等を雲の存在の障害を受けずに調査するセンサーである。今後益々技術開発が進むものと期待される。

以上①から④まで機能を考慮すると陸域の植生を観測するためには①広域低分解能高頻度センサー、②狭域高分解能低頻度センサー、④マイクロ波センサーの3つのセンサーが考えられる。さらに、グローバルスケールの観測に適用することを念頭におくと、②狭域高分解能低頻度センサーは地域を限定して詳しく観測するには適しているが、雲のないデータを得られる確率がきわめて低く、処理するデータ量が膨大となり過ぎるなどの問題点がある。⁴⁵⁾④マイクロ波センサーは雲の影響を受けないデータが得られるが、植生との関係が研究されている段階であり、データの蓄積も日が浅いなどの問題点がある。³⁸⁾³⁹⁾⁴⁰⁾⁴¹⁾⁴²⁾したがって、グローバルスケールの陸域植生観測にもっとも適したものは①広域低分解能高頻度センサーということになる。しかし、このタイプのセンサーを持つ地球観測衛星の中にはわが国の静止気象衛星ひまわりの可視・赤外走査放射計 (VISSR; Visible and Infra-red spin scan radiometer) が近赤外バンドを有しておらず可視光と熱赤外バンドのみを有しており、植生観測に適していないものもある。

その点、アメリカ大洋大気庁の気象衛星NOAAは、改良型高分解能放射計 (AVHRR; Advanced Very High Resolution Radiometer) に5バンドを有する。⁵⁵⁾その第1バンドと第2バンドがそれぞれ可視域 (赤バンド) と近赤外に相当し、このため植生の活力を知る正規化植生指標 (NVI; Normalized Vegetation Index) が容易に求めることが出来る。⁵⁴⁾⁴³⁾⁴²⁾さらに、NOAAは極軌道を取るにも関わらず地上の同一地点を1日に4回から6回観測するため雲のない画像を得る確率が非常に高い。また、アメリカ大洋大気庁は単にNOAAの改良型高解像度放射計 (AVHRR; の生データを販売するだけでなく2次的な処理を施したデータを数種販売しており、その中にはグローバルスケールのデータセットも含まれている。¹³⁾NOAAから得られるデータについて詳しくは3-1-4で述べる。

以上、グローバルスケールの陸域植生観測にもっとも適した地球観測衛星は気象衛星NOAAということになる。

3-1-4 世界植生指標 (GVI; Global Vegetation Index) について

一般に衛星のデータを利用した植生の観測は、衛星データ単独では行われず、ランドトゥールズを基にしてデータの解析が行われる。具体的には衛星から得られたマルチバンドのデジタルデータを多変量解析によって解析する。⁴⁹⁾あるいは人間の目で見えて解るアナログのかたち、すなわち画像にして人間が判読する方法が取られる。³⁵⁾³⁶⁾³⁷⁾

ここで、緑色の葉が示す分光反射率の特徴に着目すると、葉の成長期にはクロロフィルが形成される段階であり若い葉には赤帯域の吸収がないが、葉の成長が進むと赤帯域における吸収が進む。図3-1にあるように成熟しきった葉では約0.68マイクロメートルにおいて最大吸収、約0.55マイクロメートルで可視部最高の反射率を示す。葉の成熟とともに葉は暗緑色になり、緑帯域の反射率が下がり近赤外帯域の反射率が増加する。⁷²⁾これらの特色は光合成を行うクロロフィル自身が示す反射特性と考えてよい。この特徴をうまく利用すれば、植生の状況をうまく把握することが出来る。この特徴を利用したものの中に正規化植生指標、NVI (Normalized Vegetation Index) がある。⁴⁷⁾⁵⁴⁾⁵⁹⁾

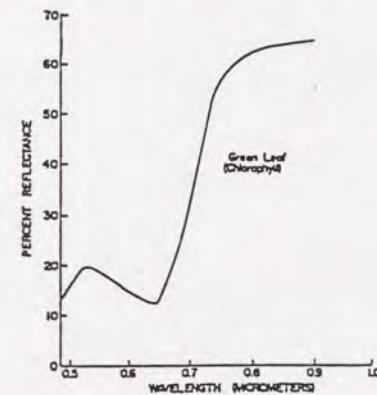


図3-1 緑色の葉の反射率特性

出典：李、安田、江森、Vegetation Indexによる中国主要農業地域の植生調査、日本写真測量学会昭和63年度年次講演発表論文集

このNVIは地球観測衛星のデータを使って、簡易な計算でグローバルな植生の状況を把握することを目的として考案されたもので式で示すと次のようになる。

$$NVI = \frac{NRI - VIS}{NRI + VIS}$$

NRI : 近赤外域の値

VIS : 可視域の値

先に選定したNOAAのAVHRRは、表3-2のような構成になっており、ITOS/NOAA衛星シリーズに搭載された高分解能放射計(VHRR)の改良型である。可視2バンドと赤外3バンドの計5バンドで構成されている。可視バンドで観測されるのは主に太陽光の地表対象物による反射光であり、夜間軌道では観測されない。バンド2では、水領域で吸収が多いため水域と陸域などの区別が容易にできる。赤外バンドで観測できるのは主に地表面からの赤外熱放射の放射量であり、地表面の温度分布を求めるのに利用できる。また、バンド3の使用波長が大気窓と呼ばれている波長帯に位置し、バンド4とバンド5に比べて大気中の水蒸気の影響が大きい。また、バンド3は昼間の利用が難しい。バンド4とバンド5は大気中の水蒸気による減衰が大きい、太陽光の反射光による影響が少なく、精度の良い地表面温度の観測ができる。AVHRRの走査方向は衛星の進行方向に垂直であり、衛星直下から-55.4度から+55.4度までの範囲を2048点で走査している。図3-2に示すように局軌道であり、走査幅は地上で約2930kmに相当し、地上分解能は衛星直下で約1.1kmである。^{55) 56)}

また、バンド1とバンド2よりNVIが計算され、雲や水では負の値になり、裸地では0~0.1の値を示す。NVIは0.1~0.6で植生と密接な関係があり、植生の密度(クロロフィルの密度)が増すにつれ大きな値を取るといわれている。⁵⁴⁾

表3-2 NOAA AVHRRセンサーの特性

バンド	波長帯域 (マイクロメートル)	分解能 (km)	観測対象
1	0.58~0.68	1.1	雪氷分布、濁水分布
2	0.73~1.10	1.1	水陸境界、植生分布
3	3.55~3.93	1.1	夜間における温度分布
4	10.5~11.5	1.1	温度分布
5	11.5~12.5	1.1	温度分布

さらに、1982年4月以降、NOAAではこのようにして得られたNVIを基に世界中の1週間毎の世界中の植生の活力を示した世界植生指標(Global Vegetation Index : 以後GVIとよぶ)をボーラ・ステレオ画像データの形で編集作成している。編集作成の過程は図3-3に示すように半ばまで衛星上で行われ、その後を地上局で行っている。⁵⁴⁾

NVIは-1.0から1.0の実数値で得られるが、世界植生指標では次の式3-1で整数値(0から255)にしている。

$$\text{整数値の植生指標} = \text{INT} (240 - (NVI + 0.05) \times 350)$$

----- 3-1

この画像データは暗いところほど植生の密度が濃いように作られ、解像度は赤道付近で約15km、高緯度地域で約30kmとなっている。図3-3は1983年の1月と7月のGVI画像を示しており、1月には南半球の植生が豊かなのに対

し7月では北半球の植生が豊かになっている。このようにGVIは植生の季節変動を明らかに出来る。

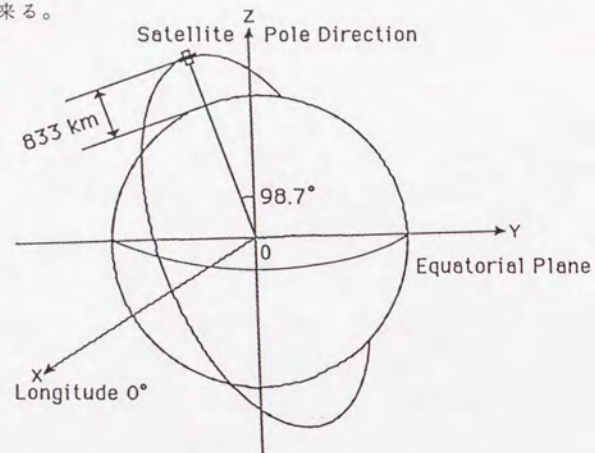


図3-2 気象衛星NOAAの軌道と地上走査

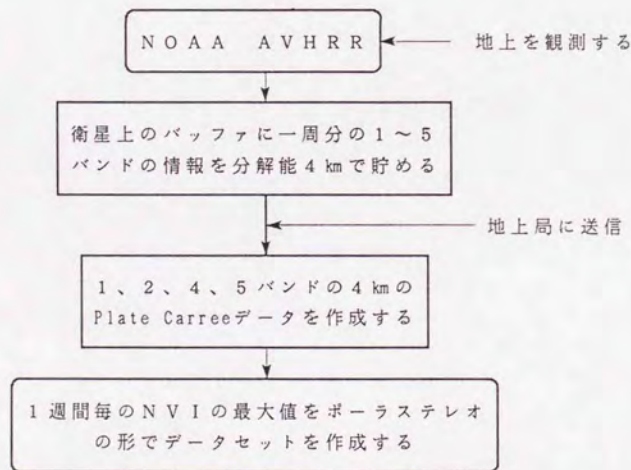


図3-3 GVIの編集過程

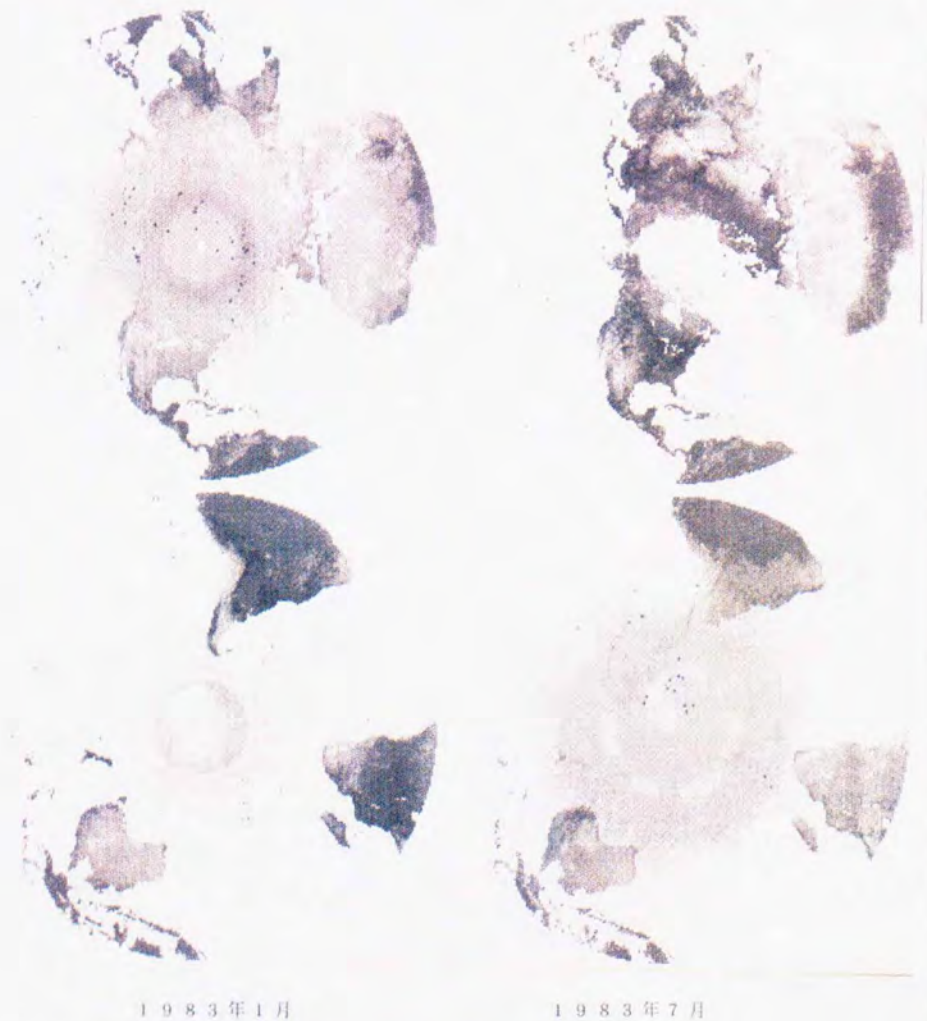


図3-4 世界植生指標(GVI)

注) 左右画像とも1カ月間の最大NVI画像を作成し、雲の影響を除去してある。

3-2 その他のデータ

3-2-1 衛星データに対する補足的データの必要性

衛星から得られるデータは、広域性・周期性・均質性などの素晴らしい性質を兼ね備えた新しい視点を人類に与えた。しかしながら、これはあくまでも地球の表面を真上からみたものであるから、高さのように衛星データのみでは判別できないこともたくさんある。また、たとえ判別できたとしても衛星データ以外のデータと併せて使うことにより、より詳しい情報が得られたり人間に取って理解し易い答えを導き出すことができる。たとえば、世界全体の衛星画像を1枚にモザイクしたのを見た場合、国境線や海岸線を重ね合わせることによって見たい箇所を容易に捜せるようになる。あるいは、地上で調査された結果を衛星データ解析の手助けとして利用することもできる。

特に環境の問題を取り扱うとき、既存の環境要因（光要因・温度要因・大気要因・水分要因・土壌要因や生物的要因）の資料があると衛星データの解析にも役立つ。

3-2-2 グローバルスケールデータの現状

衛星のデータ以外にもグローバルスケールのデータは、すでに世界中の諸機関において作成されている。そのうちデジタルデータになっているものの一部を表3-3に整理する。

表3-3から解るように米国においてグローバルスケールデータ作成が意欲的に行われている。しかしながら、解像度の点などでなかなか満足なデータが作成されていないのが現状である。したがって、今後、国際機関が中心となってこのようなデータベースの充実が望まれるところである。^{8) 9) 10) 11) 12)}

表3-3に列挙した衛星データ以外のグローバルスケールデータと衛星データとを併用するためには衛星データの解像度を損なうことのないデータを利用しなければならない。今回の研究で用いるグローバルリモートセンシングデータ（GV1）の解像度は約20km程度であるから、6.88分程度の解像度は確保する必要がある。よって5分メッシュ程度のグリッドデータであれば十分である。

したがって、表3-3からであれば、ETOPO5 World Data Bank II、UNEPの世界土壌図³⁰⁾は十分その条件を満足することになる。

表3-3 グローバルスケールデータ

1) FGGE LEVEL II-C 降水量、積雪データ 2) 1978年12月1日-1979年11月30日 3) 約30,000地点の日降水量、積雪量 4) World Data Center-A, NOAA(USA)
1) SDデータ（全球のオリジナル観測データ） 2) 00Z, 12Zの地上気象、高層気象等 3) 全球の1度メッシュ 4) 気象庁数値予報課
1) 高層気象客観解析データ 2) 地上-対流圏全層の指定面における気温、露点、風ベクトル等 3) 2.5度メッシュ 4) 気象庁数値予報課
1) 世界気象データ 2) 気圧、気温、蒸気圧、湿度、風速、雲量、降水量の日、半旬、月データ 3) 2,344地点 4) 気象庁統計室気候調査室
1) 南半球、北半球、大気気候地の格子点データ 2) 等圧面高度、海面気圧、露点温度等 3) 5度メッシュ 4) NCAR (National Center for Atmospheric Research)

注)

- | | |
|-----------|------------|
| 1) データ名 | 3) データの解像度 |
| 2) データの内容 | 4) データの出所 |

表 3 - 3 グローバルスケールデータ (つづき)

1) 世界地上月別データ 2) 月平均気圧、気温、降水量 3) 1, 0 0 0 地点 4) NCAR (National Center for Atmospheric Research)
1) 北半球成層圏、気候値の月別格子点データ 2) 等圧面高度、気温など 3) 北半球 5 度メッシュ 4) NCAR (National Center for Atmospheric Research)
1) 植生分布の格子点データ 2) 原植生の分類、耕作の度合 3) 1 度メッシュ 4) NCAR (National Center for Atmospheric Research)
1) 土壌、植生分布の格子点データ 2) 土壌分類、植生分類 3) 1 度メッシュ 4) NCAR (National Center for Atmospheric Research)
1) 世界土壌データベース 2) 土壌分類 3) 2 分メッシュ 4) UNEP/GRID

注)

- | | |
|-----------|------------|
| 1) データ名 | 3) データの解像度 |
| 2) データの内容 | 4) データの出所 |

表 3 - 3 グローバルスケールデータ (つづき)

1) 陸面の標高データ 2) 標高 3) 1 0 分メッシュ 4) NCAR (National Center for Atmospheric Research)
1) World Data Bank II 2) 海岸線、国境線、河川等 3) 1 0 0 万分の 1 対応 4) アメリカ合衆国 CIA
1) 世界標高水深データ (ETOPO5) 2) 標高及び水深 3) 5 分メッシュ 4) NOAA, NESDIS, NGDC (National Geophysical Data Center)

注)

- | | |
|-----------|------------|
| 1) データ名 | 3) データの解像度 |
| 2) データの内容 | 4) データの出所 |

第 4 章 植生季節変動パターンによる植生分類

4-1 植生分類の問題点

4-1-1 既存の現地調査による方法の限界

第 2 章でも述べたように現地調査による植生分類は現地調査自身に大変な労力と時間がかかり、調査の範囲及び内容に制限が生じる。そのため広大な面積の植生調査を行う場合は 2 次的な資料（航空写真・衛星画像・既存植生図など）を参考にしながら植生区分図を作成することになる。¹⁴⁾ また、現地調査はいわば現地の植物組成から定性的に植生の区分を決定しているもので、そのことによる間違いが生じることもある。たとえば、その地域を本当に代表する標本が抽出されなかった場合は決定された区分自体が全く間違っただけのものとなる可能性もある。したがって、現地調査は植物生態学や植物社会学の専門家で現地の植生を熟知している者が担当しなければならない。^{3) 13)}

以上のことから次の 3 点が大きな問題となる。

- ① 点（調査地点）データから面の情報をつくるため、必ずしも地表面の状況を表しているとは限らない。
- ② 区分の定義が対象地域全体で一致しない。
- ③ 調査に時間および労力がかかるため区分の更新がなかなかできない。

② 区分の定義の問題を解決するために最初から世界の他の地域の分類定義に合わせて区分しようとしても、植生の種類組成から定性的に区分を定義すると、結局、同じ定義によって区分できなくなる。このことは F A O が 1989 年に発行した Classification and Mapping of Vegetation Types in Tropical Asia で実施された植生区分でも問題となっている。この調査で用いる分類定義は U N E S C O が策定したものになるべく一致させようとしたが、定性的な分類定義では U N E S C O のものと完全に一致できなかった。したがって、F A O が西アフリカの Cameroon, Togo で 1980 年に実施した森林調査の結果などと簡単に比較ができない。U N E S C O の分類定義と F A O の Classification and Mapping of Veget-

ation Types in Tropical Asia の分類定義の違いを表 4-1 に示す。

表 4-1 FAO Eco-Floristic Zone と UNESCO's Types の比較

Main vegetation types Identification event at a small scale	Possible subdivision Recognizable at a large scale	Remote Sensing Satellite [S.L.A.R.]	Interpretation Aerial photo Ground only	Corresponding UNESCO's types (UNESCO, 1973)
ECO-FLORISTIC ZONE Id Dense moist evergreen forest High thicket Discontinuous thicket Fern-land	Low moist evergreen forest Areas of shifting cultivation	x x	x x x x	I A 1 a V D 1 b
ECO-FLORISTIC ZONE IId Dense moist evergreen forest High thicket Savannas	Low evergreen forest Areas of shifting cultivation	 x	x x x x	I A 1 b III B 1 V B 2
ECO-FLORISTIC ZONE III Dense moist evergreen forest High thicket Savanna woodland	Low semi-deciduous forest Areas of shifting cultivation	x x	x x x x	I A 2 III B 1 V A 1 a
ECO-FLORISTIC ZONE IV Dense deciduous forest Scrub woodland Discontinuous thicket Tree savanna	Locally semi-deciduous Areas of shifting cultivation	x x x x	x x x x	I B 1 a III B 1 III B 1 V A 2
ECO-FLORISTIC ZONE IW ₂ Almost evergreen low forest Scrub woodland Discontinuous thorny thicket Tree savanna	 Areas of shifting cultivation	 x	x x x x	III A 1 d V A 2
ECO-FLORISTIC ZONE VIIId Montane evergreen forest Closed montane thicket Savannas	 Areas of shifting cultivation	x x	x x x x	I A 1 c III A 2 b V B
MAINLY AND MAIN EDAPHIC VEGETATION TYPES				
Mangroves			x	I A 5
Flooded grasslands (in zone IV)			x	V E 1
Acacia plantifrons communities (in zone IVb)			x	
MAIN LAND USES				
co-floristic zone I : Rubber		x	x	x
Coconut trees		x	x	x
Tea		x	x	x
Paddy		x	x	x
co-floristic zone III and IV : Millets		x	x	x
Spices		x	x	x
Paddy		x	x	x
co-floristic zone II and VIII :		x	x	x

出典：F A O (U N)

Classification and Mapping of Vegetation Types in Tropical Asia, 1989

表4-1の左の区分(Eco-Floristic Zone)と右の区分(UNESCO's Types)が一致していないことが良く分かる。¹⁴⁾このように定性的な分類定義に従うと定義の統一を配慮しながらも、統一できない。統一できない理由には主に2つある。一つは地域によって生息している植物の種類が違ったものであることともう一つは定性的に区分を決定する専門家が同じ尺度で決定を行えない点である。

以上のことよりグローバルな統一定義を作成するためには従来の植生種類組成による定性的な分類定義では不可能であり、計算機でも簡単に扱えるような定量的な分類による植生区分定義が必要になる。

また、現地調査と既存資料が中心の従来の方法ではなく植生図の更新ができるだけ早く行えるように衛星データを中心にした分類による区分定義が望まれる。

4-1-2 衛星データによる植生分類

既存の植生を中心とした土地被覆分類は、統計数学的手法を用いたり正規化植生指標等を用いて機械的に一定の数値で区切る方法が一般的であった。⁴⁵⁾⁴⁶⁾

前者の代表的なもの、主成分分析は一時期のマルチスペクトルデータを多次元データと考え特徴軸を求める方法である。すなわち原データを線形結合によって定義される変量が互いに独立かつ変量の分散が最大となるような結合の係数を求める方法である。したがってまったく現象の意味を考慮しない統計数学的手法である。すなわち、分類後に意味付けをする。

後者の方法は、一般にレベルスライスと呼ばれ原データの変換による画像強調の手法の一つである。⁵²⁾連続的に変化するデータ値を適当に区切り離散的なデータ値で画像表現する。きわめて簡単な手法であるので得られたデータを即時にみるのにはたいへん便利な手法である。

ここでは、マルチスペクトルデータを用いた植生分類と時系列データを用いた植生分類を紹介する。

1) マルチスペクトルデータを用いた植生分類

マルチスペクトルデータを用いた植生分類とはマルチスペクトル解析による土地被覆分類の一部と考えられる。複数の波長帯域に分けて撮影したマルチスペクトル画像を用いて判読や分類を行う方法である。分類の原理は分光分析である。

分析しようとしている資料によって吸収された、放射エネルギーの波長帯域を光度測定によって測る。用いる波長帯域は可視光だけにとどまらず紫外線、赤外線、X線などでもよい。しかし化学実験などとは違い純粋な資料の測定を行うのではないことや入射光、大気条件などの環境条件が一定でないために統計的手法が用いられることが多い。主に用いられる統計的手法には主成分分析、判別分析、クラスタ分析、最尤法などがある。一般にマルチスペクトル画像の分割波長帯域の数が多いほど、情報量が多くなる。しかしそれぞれの波長帯域の情報が独立な情報でないこともあるので、分析対象の分光特性に合わせて必要最小限のバンドでもっとも信頼のおける情報を得られるようにする必要がある。⁴⁶⁾

最も一般的なマルチスペクトルデータを提供する衛星はフランスのSPOTおよびアメリカのLANDSATである。それぞれマルチスペクトルのセンサを搭載しており、その特性は表4-2に示すと通りである。

表4-2 SPOTとLANDSATのマルチスペクトルセンサの諸元

衛 星	S P O T	L A N D S A T
センサ	R V マルチスペクトルモード	T M
観測幅	6 0 km	1 8 5 km
地上分解能	2 0 m × 2 0 m	3 0 m × 3 0 m (ch 1, 5, 7) 1 2 0 m × 1 2 0 m (ch 6)
スペクトル 波長帯域 単位: μ m	0. 5 0 ~ 0. 5 9 0. 6 1 ~ 0. 6 8 0. 7 9 ~ 0. 8 9	0. 4 5 ~ 0. 5 2 0. 5 2 ~ 0. 6 0 0. 6 3 ~ 0. 6 9 0. 7 6 ~ 0. 9 0 1. 5 5 ~ 1. 7 5 1 0. 4 0 ~ 1 2. 5 0 2. 0 8 ~ 2. 3 5

これらSPOTおよびLANDSATのマルチスペクトルデータを用いた土地被覆分類の分類結果の例として1987年に東海大学情報技術センターの山口が行った分類結果を表4-3に整理した。

表4-3 マルチスペクトルデータによる土地被覆分類結果の例

分類対象データ	SPOT HRV	LANDSAT 5号 TM
観測日	1986年6月9日	1984年11月4日
テストサイトデータ	テストサイトエリアは平塚から東海大学湘南校舎にかかる幅2km長さ10kmの範囲に設定されている 基本データは地上解像度20m×20mのUTM座標系で示された土地被覆・利用コードデータである。コードは46項目である。	
利用チャンネル	1, 2, 3	1, 2, 3, 4, 5, 7
平均分類精度	58%	61%

このように分類精度は分割波長帯域の多い方が高くなっており、高い分類精度を得るためにはより多くの情報が必要であることが分かる。⁵⁸⁾しかし、分割波長帯域の数を増やすことにより1シーンありのデータ量が多くなる。しかも植生の変化に注目して分類する場合、当然複数のシーンのデータを扱わなければならない。しかしそれだけデータ量が増え多時期のデータを扱うことが困難になる。⁴⁴⁾

一時期のデータを基に植生の分類をするのには分類対象データの取得時期が問題となる。すなわち、緑色の葉が繁る時期か枯れている時期かでは全く解析法が異なる。したがって、分類作業の度にグラントゥルスデータが必要となり作業

が煩雑になる。

このようにデータ量が膨大、作業が煩雑などの問題点からマルチスペクトルデータを用いてグローバルスケールの土地被覆分類をすることは非常に困難である。

2) 時系列データを用いた植生分類

時系列のデータを用いることにより分類結果に植物生態学的な意味をもたせたり、1シーンからではどうも判定できない積雪の影響などを調べる試みがある。ここでは本研究と同じくNOAA GVIデータを用いて梶原が試みたアジア全土の土地被覆分類をした研究事例を紹介する。

建石⁶⁰⁾はNOAA GVI画像を用いてどの程度まで土地被覆をグローバルに把握できるかアジア全域を対象として1983年1年間の12カ月のGVI画像すなわち時系列データのクラスタ分析を行い、既存の土地被覆データ⁷⁰⁾、気候区分と比較検討した。その結果、表4-4のように7グループに大別できた。その分布状況は図4-1に示すとおりである。

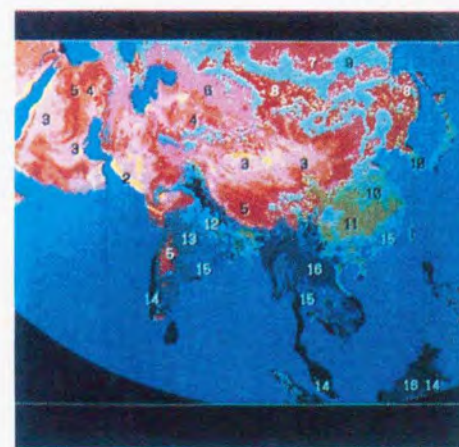


図4-1 NOAA GVI画像のクラスタ分析結果

出典：建石、梶原、小田島、NOAA GVI画像によるアジア全域の土地被覆調査、文部省重点領域研究「衛星による地球環境の解明」地球環境ニュースレターNO.2、1989年

表 4-4 12カ月NVIのクラスタ分析結果（アジアにおける）

グループ NO.	クラス NO.	特 徴
1	1～5	クラスタNO.が大きくなるにつれてアラビア半島、タクラマカン、ゴビなどの砂漠の中心からその周辺部へと分布する。砂漠とはほぼ分布が一致するのはNO.4までのクラスタでNO.5のクラスタは砂漠周辺のステップ地域となっていてところもある。
2	6	周辺のステップ地域と良く対応する。NO.5のクラスタの外側にある。
3	7～9	ステップ地域の周囲や損北部に広く分布する。代表的な分布地域は中国北部からソ連にかけてである。植生は常緑針葉樹、落葉針葉樹、落葉広葉樹などの分布にあたるが対応は余りよくない。
4	10, 11	西日本、中国の東部に位置しクラスタNO.11は中国の米作地域とはほぼ一致する。
5	12	分布域はインド北部で、インダス川流域及びガンジス川上流域に位置する。この地域は小麦などの集約的な耕作地域である。
6	13	インド中部、インドシナ半島の内陸部などにクラスタNO.15に囲まれるように分布する。植生的には熱帯の灌木分布とはほぼ一致する。
7	14～16	インドや東南アジアにわたって広く分布する。植生分布図と比較するとクラスタNO.15は乾季に落葉する樹木の分布とはほぼ一致し、クラスタNO.14, 16は常緑広葉樹の分布に対応する。

出典：建石、梶原、小田島、NOAA GVI画像によるアジア全域の土地被覆調査、文部省重点領域研究「衛星による地球環境の解明」地球環境ニュースレターNO.2、1989年

このようにマルチスペクトルデータでない情報からでも複数の時期のデータとして扱うことにより土地被覆分類ができる。しかし、クラスタ分析のように統計数学的手法による分類では次のような問題点がある。

- ① 雲などのノイズ成分による誤分類がおきる（定性的分類）。
- ② 得られた結果の意味を判断するのに既存の植生分類図に頼る必要がある。
- ③ 得られた結果のグループが必ずしも植生学的に意味があるとはいえない。
- ④ 現在一番問題になっている熱帯林の識別ができていない。

4-2 植生季節変動パターン

4-2-1 植生季節変動パターンによる植生分類法

世界の基本的な植生型は第一に気候に支配されて成立する。気温と降水量の相違が樹林や草原などの違いをもたらし、それに加えて各種の要因が加わって多様な植生の変化をもたらしている。つまり土壌と並んで気候は地圏の地球生物環境を決定する最も重要なもののひとつである。その気候の分類はKoppenの気候区分、フローンの気候区分、アリソフの気候区分、ブディコの気候区分がよく知られ、世界の気候区分が試みられている。これらはいずれも一長一短があり、どれが最良ということとはできない。利用する目的に応じて最適のものを選ぶ必要がある。その意味において、これらの気候区分を作成するの考え方を整理しておく必要がある。主なものをまとめると次の4つになる。¹¹⁾

- ① 気候の成因による方法
- ② 気候指数または気候要素の特性や階級による方法
- ③ 植生による方法
- ④ 自然現象による方法（植生以外の自然特性を利用したもの）

現在、最も一般的なかつ有効な気候区分であるKoppenの気候区分は③植生による方法を利用しており、植生との関係がより密接であるといえる。1931年、Koppenは気象データよりむしろ植生型に重点をおいて世界の気候区分を行い高い

評価を得た。彼は地球上の陸地を高温から低温にむかってA、C、D、Eの4地帯に区分し、そのうちA、C、Dを樹林気候、Eを森林限界を越えた寒冷気候とした。そしてBは降水の少ない乾燥気候で草原と荒原(砂漠)の気候に分けており、この区分は植生学的に見てもたいへん意味がある。特にBrockman-Jerosch & Rubelの植物群系の体系と一致する点が多い。しかし、先進国はともかくとして世界各地の気象観測のデータが十分揃っているわけでもなく、基にした植生分布の資料自体がヨーロッパのものに基準をおいたものでどれだけ信頼できるかの問題がある。

4-1の既存の土地被覆分類では、単に統計数学的な考えに基づくものや機械的に判別するだけで植物生態学の方面から植物の営みをまったく無視した方法であると非難されてきた。そこで現在得られる時系列の衛星データ(NOAA GV1)を用いて新しい植生分類法を提案する必要がある。

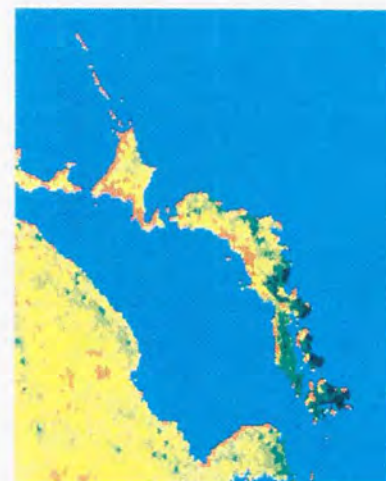
本研究では植物生態学でとられている分類方法を参考に全く新しい植物生態学的配慮をした定量的な分類方法を提案する。まず、植物生態学において実際に植生型を分類する方法は大別して次の2つである。(2) (3) (9)

① 種類組成を基準とする方法

② 優占種の生活形を基準にする方法

① 種類組成を基準とする方法は植生の種類を現地の綿密な調査によって調べる必要があり、地球全体のようなグローバルな分類をする際には適さない。② 優占種の生活形を基準にする方法はグローバルな植生分布を調べるときよく用いられる。また、一年を通じていつ葉を出し、どれぐらいの期間緑色の葉が繁っており、いつ葉が枯れるかのような植生の状態の変化、すなわち植物の生活活動は先述のNOAA-GV1データから知ることができる。NOAA GV1データがとらえた植生の生活活動の変化を具体的に図4-2と図4-3に示す。

ただし、専門家(植物生態学者)による①種類組成を基準とする方法はリモートセンシングによる土地被覆分類結果のキャリブレーションデータ作成にきわめて有効である。



1986年4月



1986年10月



1986年1月



1986年7月

図4-2 日本周辺の植生の生活活動の季節変化



1987年1月



1987年4月

図4-3 世界の植生の生活活動の季節変化



1987年7月



1987年10月

図4-3 世界の植生の生活活動の季節変化

本研究で提案する方法は1年間の時系列NVIデータ（GVIデータ）を用いることにより対象地域の優占種の生活形を判定し、その生活形に基づいて植生を分類するまったく新しい考えによるものである。大略は図4-4に示すフローチャートの通りであり、新しい分類方法をフローチャートの流れに沿って説明する。

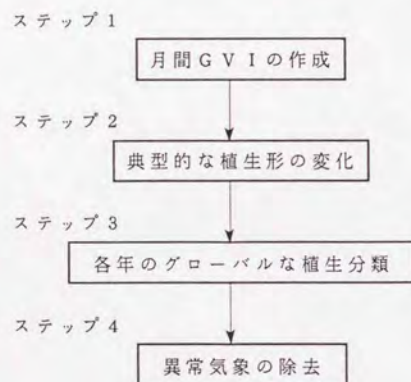


図4-4 フローチャート

ステップ1 月間GVIデータの作成

一週間毎にあるGVIデータを一月毎のデータにまとめる。雲の影響を取り除くためにはほぼ4週間毎のNVIの最大値をひと月のデータとする。特に、赤道付近では長期間わたり雲が存在する地域があり1週間のNVIの最大値では雲の影響を取り除ききれないためである。

ステップ2 典型的な植生型の変化

植生型によって固有のNVIの季節変動がある。1983年から1987年までの5年間の月間GVIデータの中から世界気象情報の2344ヵ所の観測点に一致した地点の植生変化をもとめる。つぎに次式によって求められる植生安定指数を利用し安定した植生変化をしている地点を選び出す。

植生安定指数 =

$$\sum_{Y=1983}^{1987} \left(\sum_{M=1}^{12} (Y \text{ 年 } M \text{ 月の } NVI - 5 \text{ 年間の } M \text{ 月の平均 } NVI)^2 \right)$$

その後、植生型によって決まる典型的な植生季節変動パターンを求める。パターンは熱帯林、常緑樹、落葉樹、ツンドラ、草原、半砂漠（ほぼ無植生）、砂漠（無植生）の7つがある。図4-5には、植生型毎に典型的な植生季節変動パターンを示す。

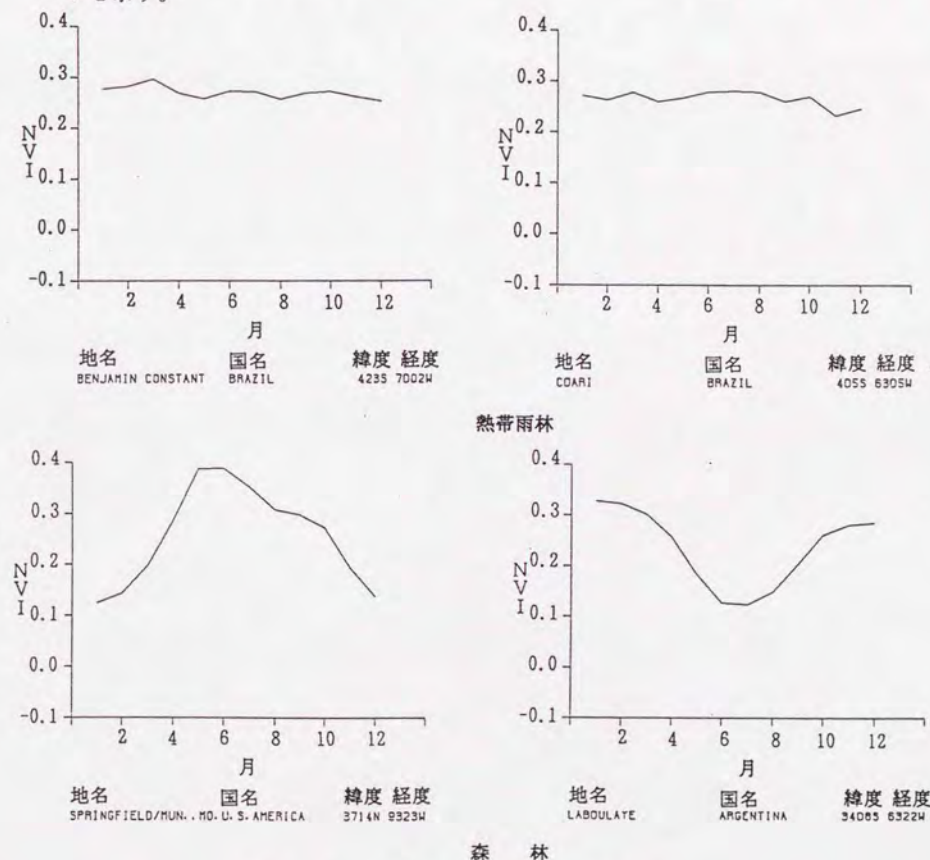
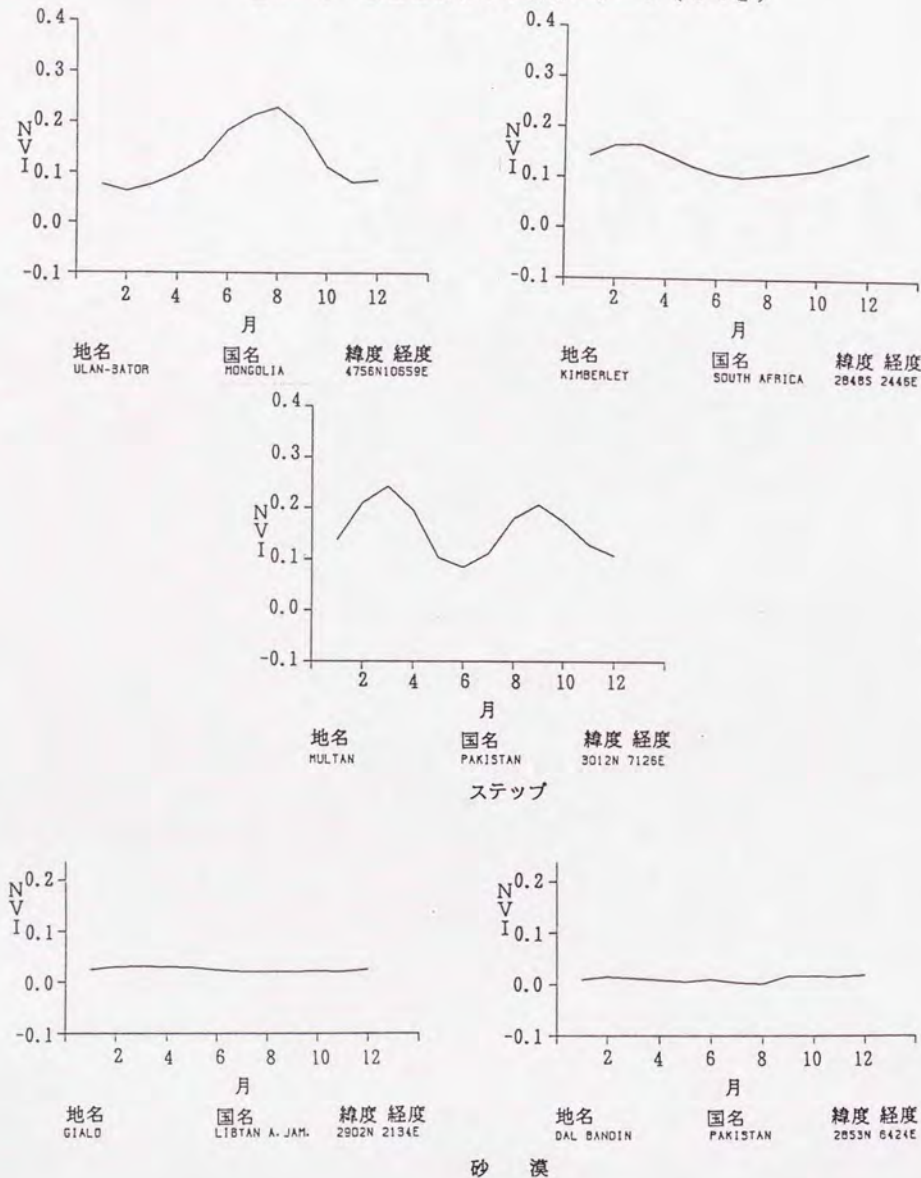


図4-5 植生型別NVI変動パターン

図4-5 植生型別 N V I 変動パターン (つづき)



ステップ3 各年のグローバルな植生型分類

1983年から1987年までの5ヵ年の月間G V Iデータに対し、ピクセル毎に植生季節変動パターンを調べ、植生型の分類を行う。植生分類はピクセル毎の植生季節変動パターンのN V Iのピークを用いて基準化を行いステップ2で求めた典型的な植生季節変動パターンとの距離を求める。基準化の意味は北半球と南半球による植生季節変動パターンのずれを補正するためである。距離は次式によって求められる。

距離²=

$$\sum_{M=1}^{12} (\text{分類対象ピクセルのM月のN V I} - \text{植生季節変動パターンのM月のN V I})^2$$

それぞれのピクセルは最も距離の近い植生季節変動パターンに分類される。さらに、世界デジタル地形情報と照らし合わせて標高3000m以上の高山で砂漠の植生季節変動パターンを持つ地域は高山性砂漠と分類する。これはそこが無植生地帯である大部分の要因が標高が高いということに起因するからである。

ステップ4 異常気象の影響除去

異常気象のように気象条件が悪いときには本来の植生季節変動パターンを取らない地域が出来る。土地被覆を分類するという意味において森林であるところが植生季節変動パターンが正常でないからといって森林と分類されないのは環境監視の上で意味があるが、土地被覆分類の点で良くない。そこで、世界気象情報を用いて異常気象を示している観測点が多い1983年、1984年を除き、後の1985年、1986年、1987年の3年間のG V Iデータより3年間の月別平均G V Iデータを作成する。この平均G V Iデータを用いて植生分布図を作成する。

ところで、異常気象とは気象庁の「異常気象レポート84」によれば次の2つの場合と定義されている。

①それぞれの地点で月平均気温や月降水量が過去30年間あるいはそれ以上にわ

たって観測されなかったほど平年値から偏った場合

②月平均気温が正規分布する場合は、平年値からの偏差値が標準偏差値の2倍以上偏った場合である。

入手可能な平年値の情報は1931年から1960年のものであり、最高値と最小値が記録されている。したがって、異常気象かそうでないかの判断は①の場合に当てはまるかそうでないかによって行った。

ステップ2によって求めた植生季節変動パターンを一つにまとめて図4-6によって示す。熱帯林を示すと考えられるパターンは年間を通じてNVIがおおよそ0.3前後ではば一定である。常緑樹はほぼ熱帯林と同じパターンを示すが、冬季にNVIの値がやや下がり平たい丘の形に似ている。落葉樹のパターンと考えられるものはピークが約0.4と高いNVIの一山を示している。ツンドラのNVIの変化パターンは非常に鋭いピークを持っている。草原地帯のものと考えられるものはNVIのピークが0.2程度である。しかし、草原の植生季節変動パターンはピークが1つのもの2つのもの余りはっきりしないものと単純ではない。砂漠地帯のパターンと考えられるものはNVIがきわめて低いところで一定である。

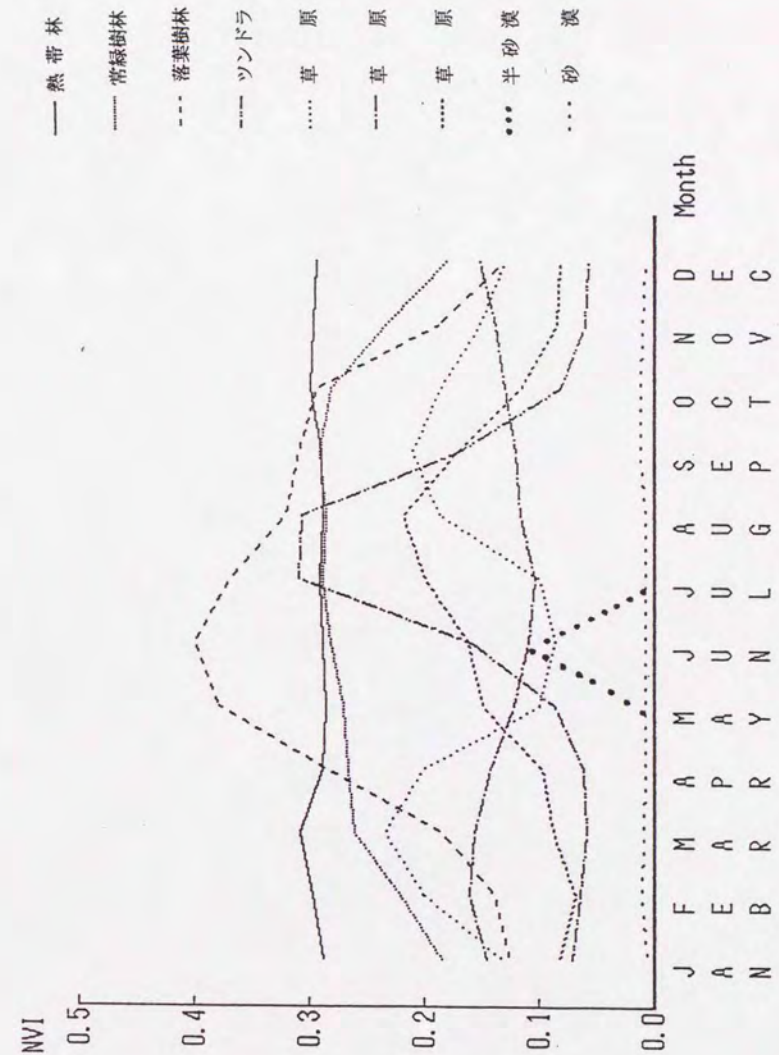


図4-6 植生季節変動パターン

4-2-2 植生季節変動パターンのノイズ成分

NOAA GVIデータは1週間毎のNVIの最大値をとることによって、雲の影響を画像データから取り除いている。しかし、図4-7からも分かるように1週間の最大値をとるだけでは完全に雲の影響を取り除けず、雲以外にも様々なノイズを画像データ上に含むことが分かる。また、海上は雲と海面のNVI値の違いから斑模様になっており、無植生の陸地と海上との区別がつかない。



1987年2月中旬

図4-7 GVI生データ

そこで、陸地と海洋との区別をつけるために先述の世界デジタル地形情報ETOPO5によって海面と陸地の区別をつけた。すなわち、ETOPO5では海洋部は水深が記録されているため負の値を持つ部分を海面あるいは水面としてと区別できる。

また、1週間のNVI最大値では雲の影響を沢山受けているため本研究では1月間のNVI最大値を求めることにより、なるべく雲の影響を取り除くように配慮した。ところが図4-8はタイ南部の月間NVI最大値をグラフにしたものである。この図から分かるように6月付近でNVI値が極端に低く、明らかに雲の影響が残ることがわかる。このように1カ月以上雲の存在がつづく地域も実際にはあり、分類上、支障を来す恐れがある。

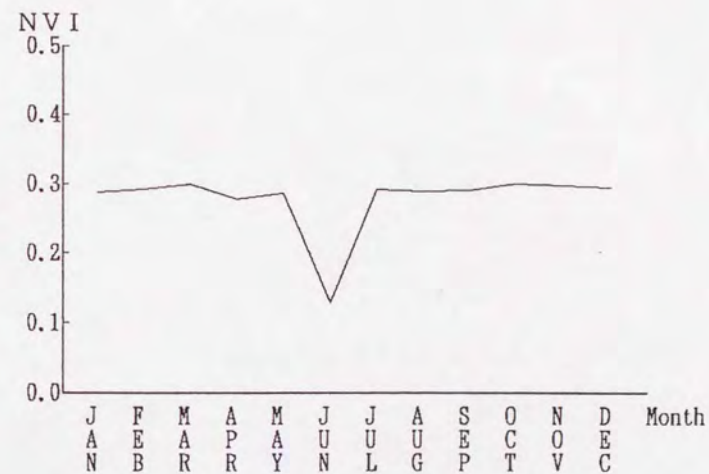


図4-8 タイ南部のNVI変化(雲の影響を受けたもの)

4-2-3 分類精度の向上

植生の生活活動のパターンからだけでは判断できない地域がある。一つは標高による影響である。もう一つは低緯度地域に長く居座る雲の影響である。

1) 標高の考慮

植生があるところでは、その植生の生活活動は周辺の環境要因（光・水分・土壌・温度・大気・生物）によって決定されている。しかし3000mを越える高地では、標高が高いという位置的な要因のために植生が育たない。本研究でいう植生型の中にはこのように標高の影響による植生型が区別されていない。そこで世界デジタル地形情報ETOPO5を利用して3000m以上の高地における無植生地帯を区別する必要がある。高地でなくその他の環境条件たとえば水分が少なく乾燥のために無植生の地域は気候の変化や灌がいによって植生が生じる可能性がある。また、砂漠の中には1年を通して雪水に覆われた部分も含まれているが、雪水に覆われた地域も年によって変化する可能性もあり、地球温暖化の影響によって雪水に覆われる地域が変化する可能性もある。

そこで、本研究では3000m以上の高地における無植生地帯を高山性砂漠と名付けて他の無植生地帯とは区別した。

2) 低緯度地域の雲の影響

前節で図4-8に示したような雲の影響による植生季節変動パターンから雲の影響を取り除くために図4-9のフローチャートに示すような処理を行った。画素全体に雲がある場合はNVI値が負の値をとるため容易に雲の影響であることが分かるが、一画素中の部分的な雲の影響は画素のほかの部分との平均値として現れるため雲の影響であるのかないのかの区別が難しい。一画素中に含まれる雲の割合が少なければ本研究で提案した植生季節変動パターンによるパターン分類では影響を受けない。したがって、一画素中に含まれる雲の割合が高い場合だけの処理を考えれば良い。雲が多いと判断された場合は、雲の多かった月の前後の月のNVIの値の平均値をその月のNVIの値とする。

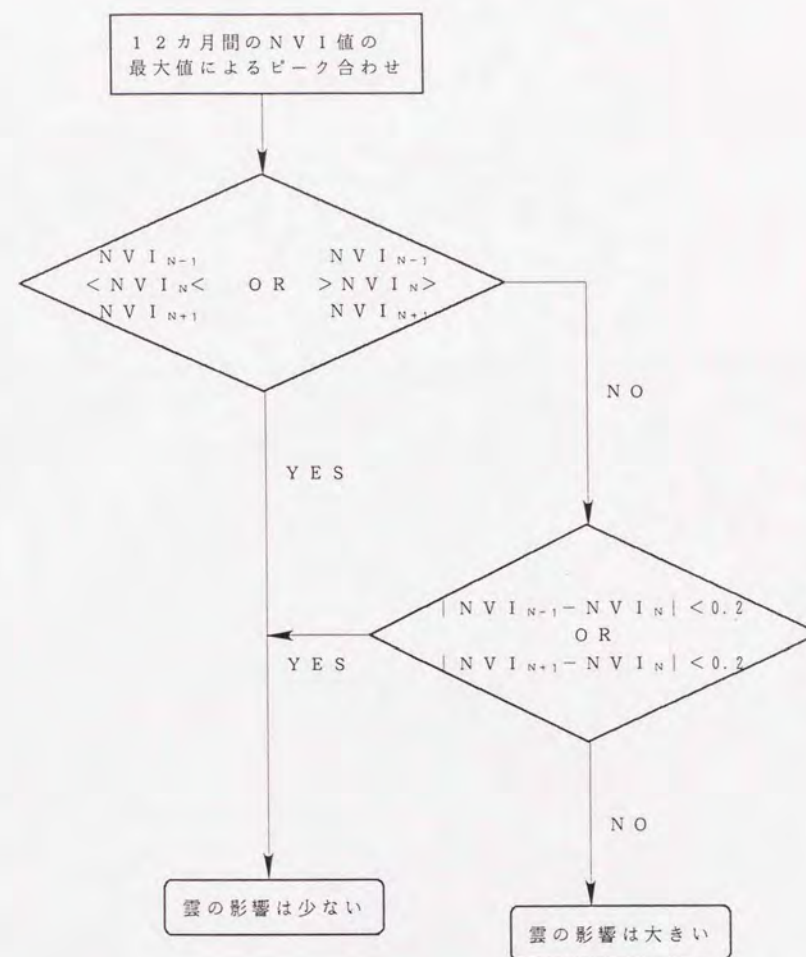


図4-9 雲の影響判断フロー

4-3 植生季節変動パターンによる植生区分の定義

いままで述べたような背景から本研究では図4-10および表4-5に示すような8つの植生区分とその定義を植生指標をもとに定めた。

熱帯林とは年間を通じてほとんど一定の高い植生指標(NVI)を示すパターンを有する地域をいう。常緑樹は冬季にやや低いNVIを示す。落葉樹は夏期にきわめて高いピークのNVIを示すが冬季には非常に小さいNVIを示す。草原は農地を含み、いろいろなパターンを示すがNVIのピーク値は樹林ほど高くない。

砂漠はほとんどゼロであり、半砂漠は夏期にわずかだがNVIの値を有する。砂漠は植生のほとんどないところであるので積雪や氷河を含む。地形標高が3000m以上は高山性砂漠(アルペン砂漠)と定義しいわゆる砂漠と区別した。

表4-5 植生区分の定義

タイプ	定義
熱帯林	一年を通じて高いNVIを示す
常緑樹林	一年を通じて高いNVIを示すが、冬季のみNVIが多少下がる
落葉樹林	夏期のみに非常に高いNVIを示す
ツンドラ	冬季には非常に低いNVIを示すが夏期には中程度のNVIを示す
草原	夏期に中程度のNVIを示す
半砂漠	低いNVIを短期間だけ示す
砂漠	一年を通じてNVIがほとんどない
高山性砂漠	一年を通じてNVIがほとんどなく標高が3000mを超える

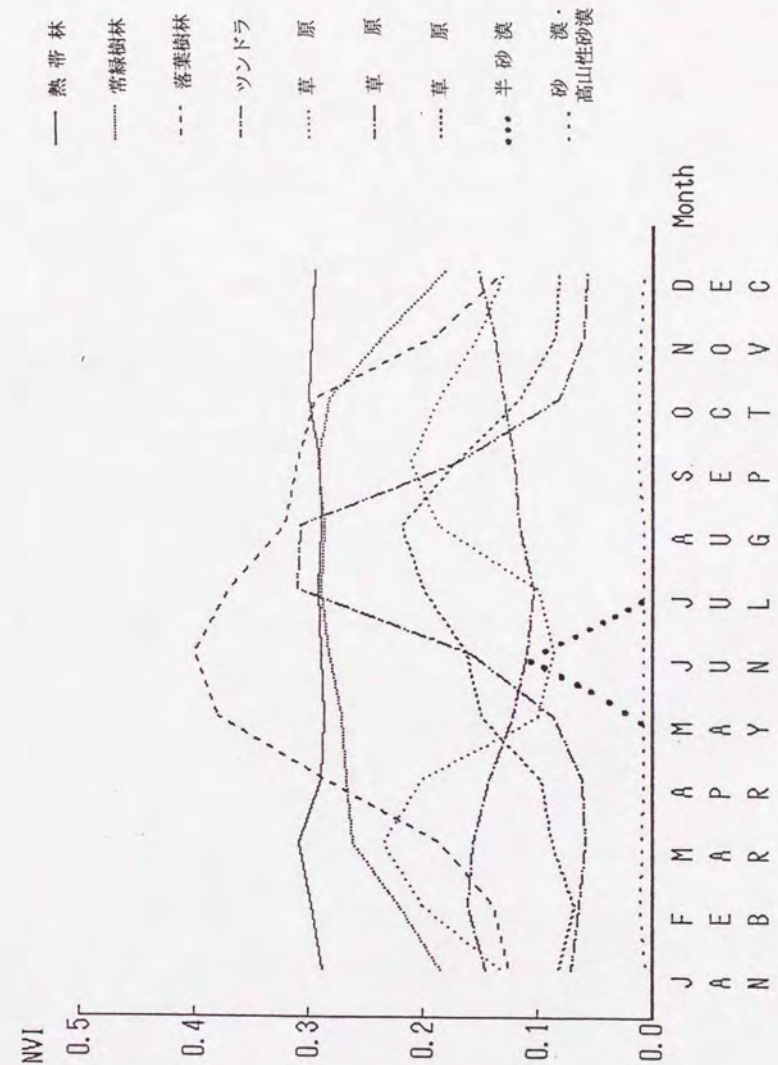


図4-10 植生区分と植生季節指標パターン

5-1 植生分類結果

第4章「植生季節変動パターンによる植生分類」において定義した植生季節変動パターンによる植生区分の結果を報告する。NOAA GVIデータは1982年4月から1988年10月までを入手したが、本研究で提案した分類手法では1月から12月までのデータを必要とするため1983年から1987年までの5年間の植生分類を行い植生区分図を作成した。また、1983年から1984年の2年間はアフリカで約30万人の餓死者を出すなどして、世界中のいたるところで異常気象の影響がでた。本研究の新しい植生分類は植物の生活活動をNVIの季節変化パターンでとらえ、そのパターンを基に分類を行ったものである。したがって、植物の生活活動が異常気象の影響を大きく受けている1983年及び1984年のデータは植生区分には不適格である。そこで1985年から1987年までの3年間の月毎平均データを作成し植生区分図を作成した。これらの結果を図5-1に示す。図5-2には、特に3年間の月毎平均データから作成した植生図の地域別植生図（北米、南米、アジア・オセアニア、ヨーロッパ、アフリカ）を示す。

さらに、本研究で作成した植生区分図よりそれぞれの大陸別植生毎の面積を求め表5-1に示す。この時、1983年と1984年の結果を他の3年と比べると明らかに熱帯林、常緑樹林の面積が小さいことが分かる。これは83年、84年の2年間では植生の生活活動が異常であった地域が多くあったためと考えられる。84年と85年の南米の熱帯林とアフリカの熱帯林を見比べると植生区分図からも明らかに差があることが分かる。このことについては第6章で詳しく考察する。3年間の月毎平均データから作成した植生図の植生比率を全世界で熱帯林・常緑樹・落葉樹をまとめて森林として見ると約34%、ツンドラ・草原をまとめて草原とすると約33%、半砂漠・高山性砂漠・砂漠をまとめて砂漠とすると約33%となり、それぞれ3分の1づつとなる。今後、このバランスにどのような変化が生じるか非常に興味深い。また、3年間の月毎平均データから作成した植生図からは主要63カ国の植生型別面積比の一覧を表5-2に示す。

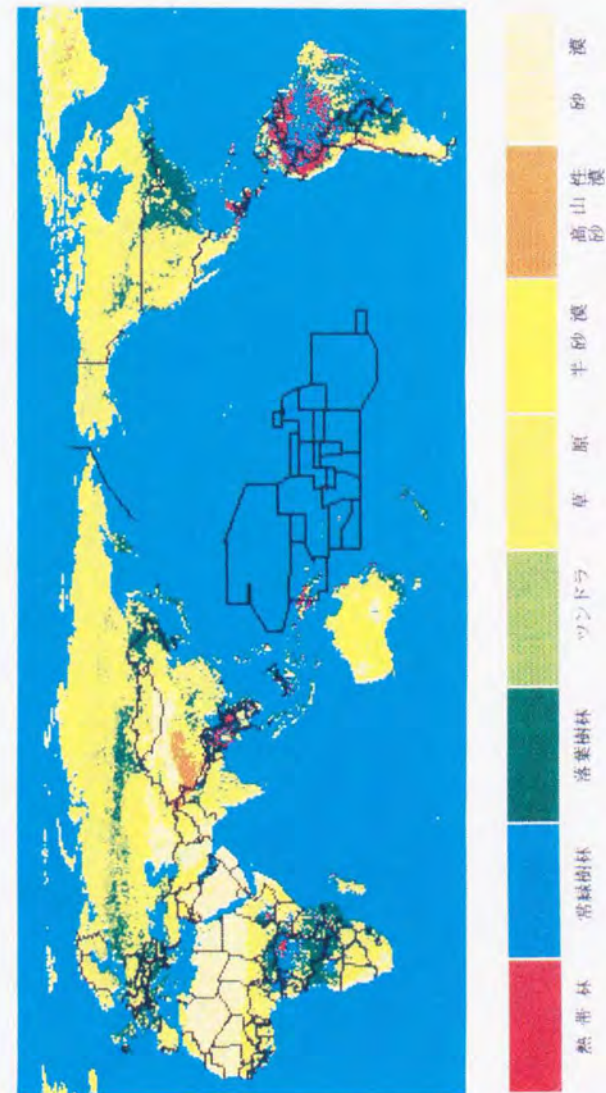


図 5-1 1983-1987 年世界植生分類図

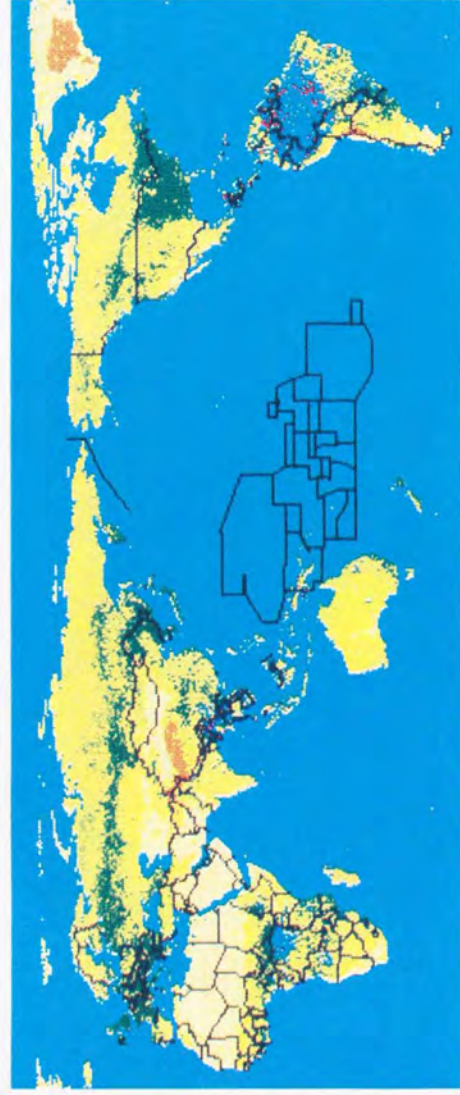


図5-1 1984年世界植生分類図

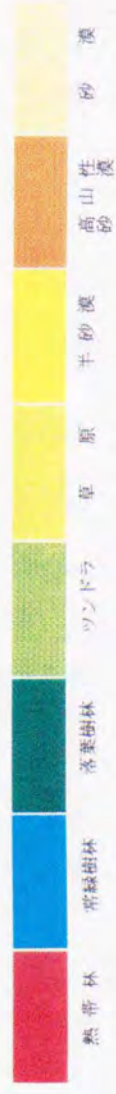
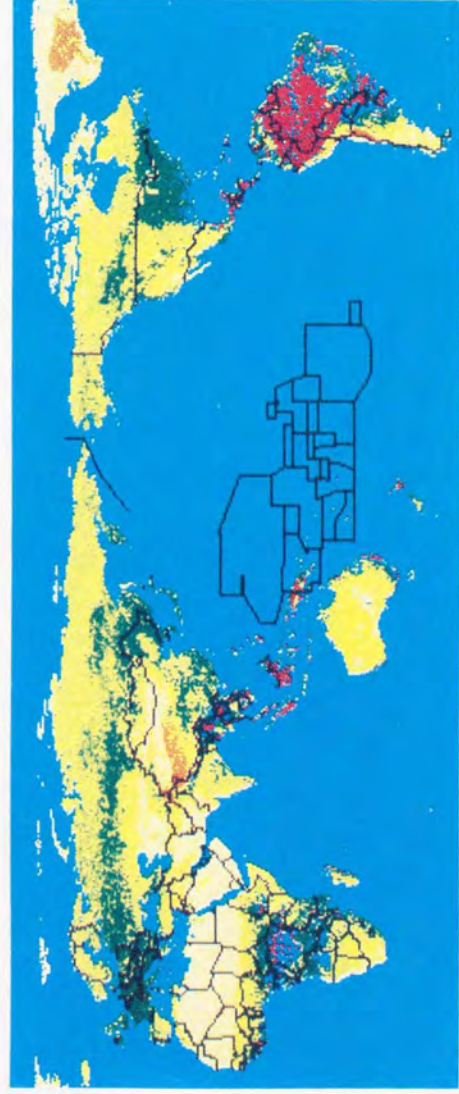


図5-1 1985年世界植生分類図

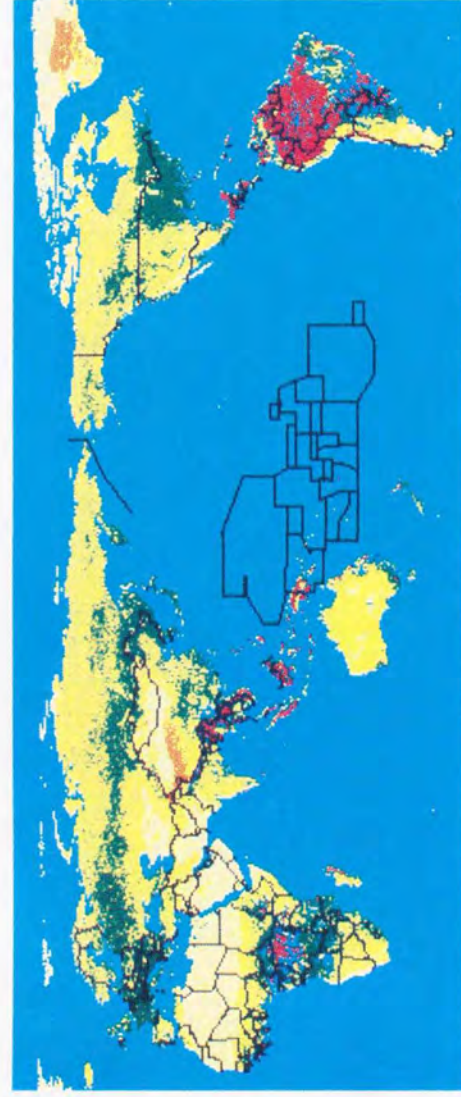


図5-1 1986年世界植生分類図

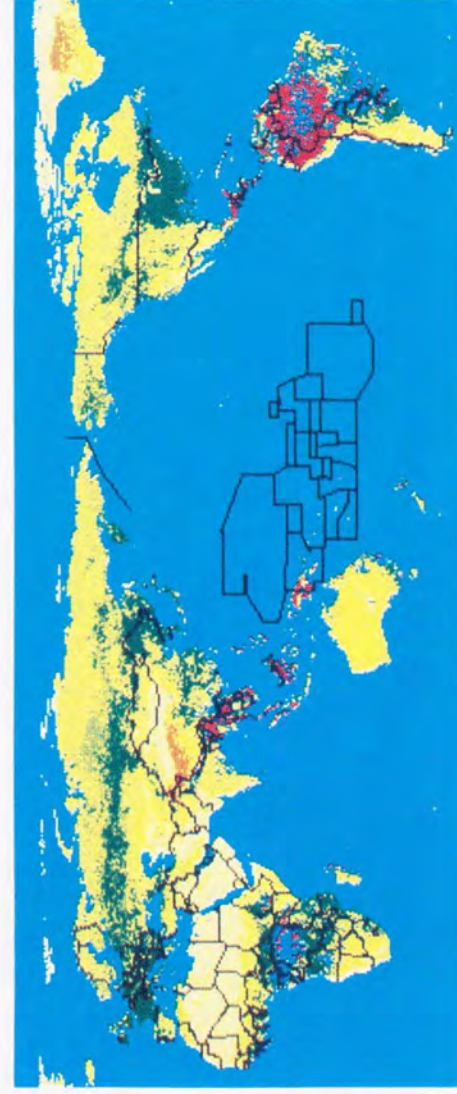


図5-1 1987年世界植生分類図

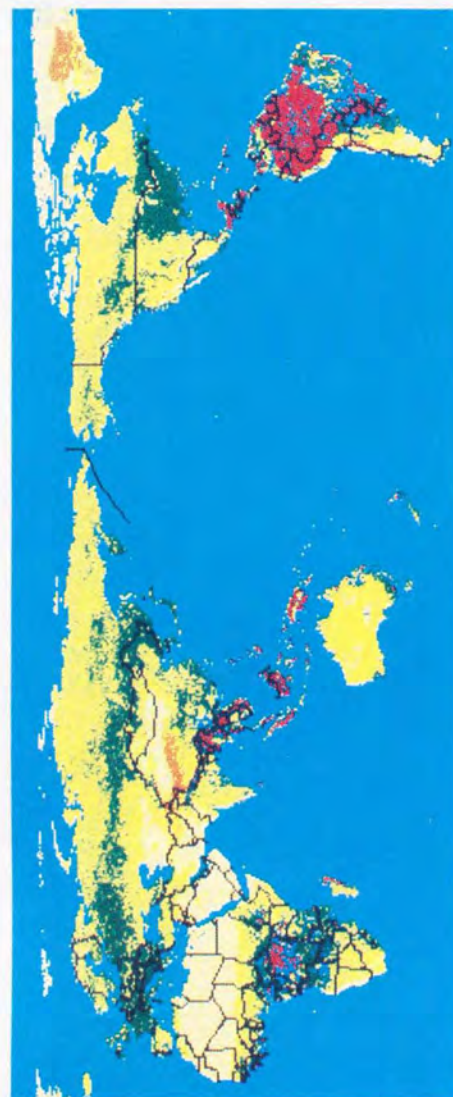


図5-1 世界植生分類図（1985年～1987年平均値）

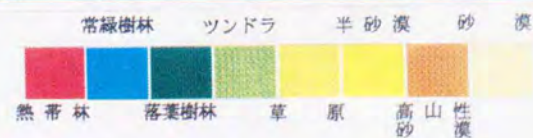
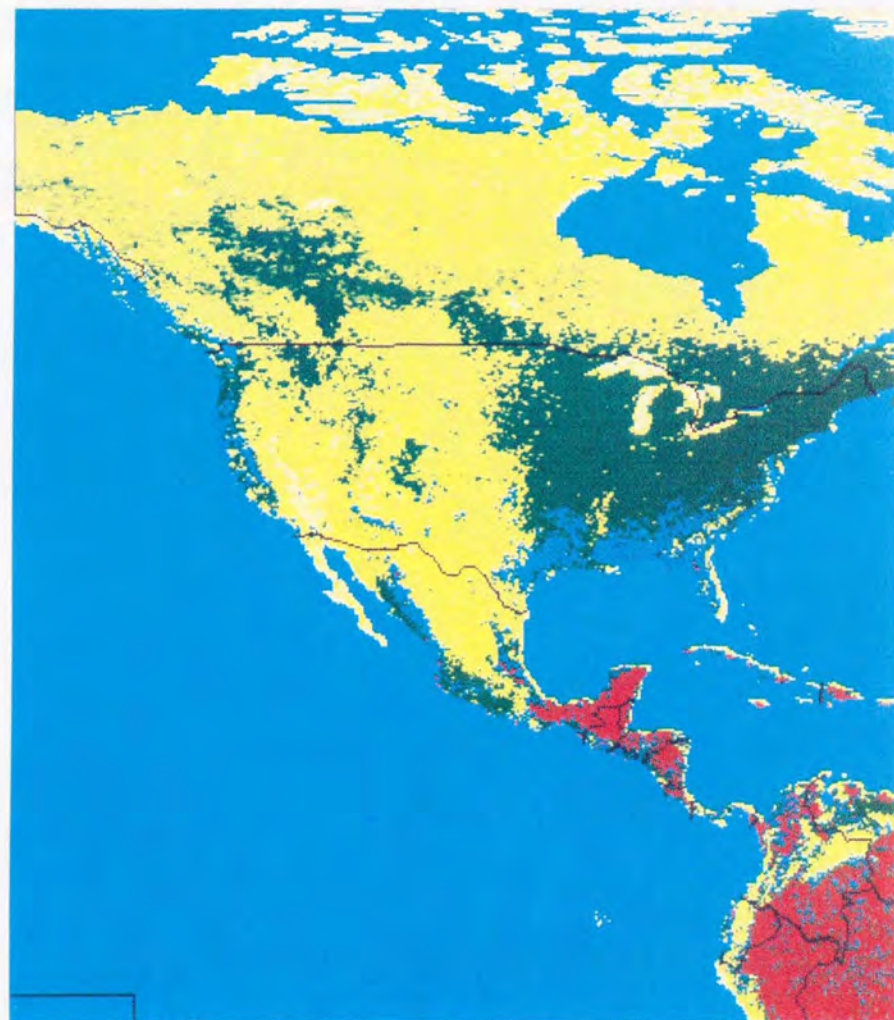


図5-2 北米植生図（1985年～1987年平均値）

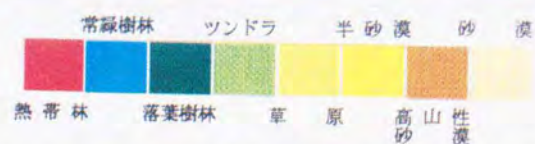


図5-2 南米植生図（1985年～1987年平均値）

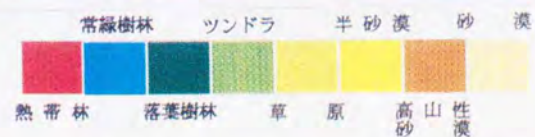
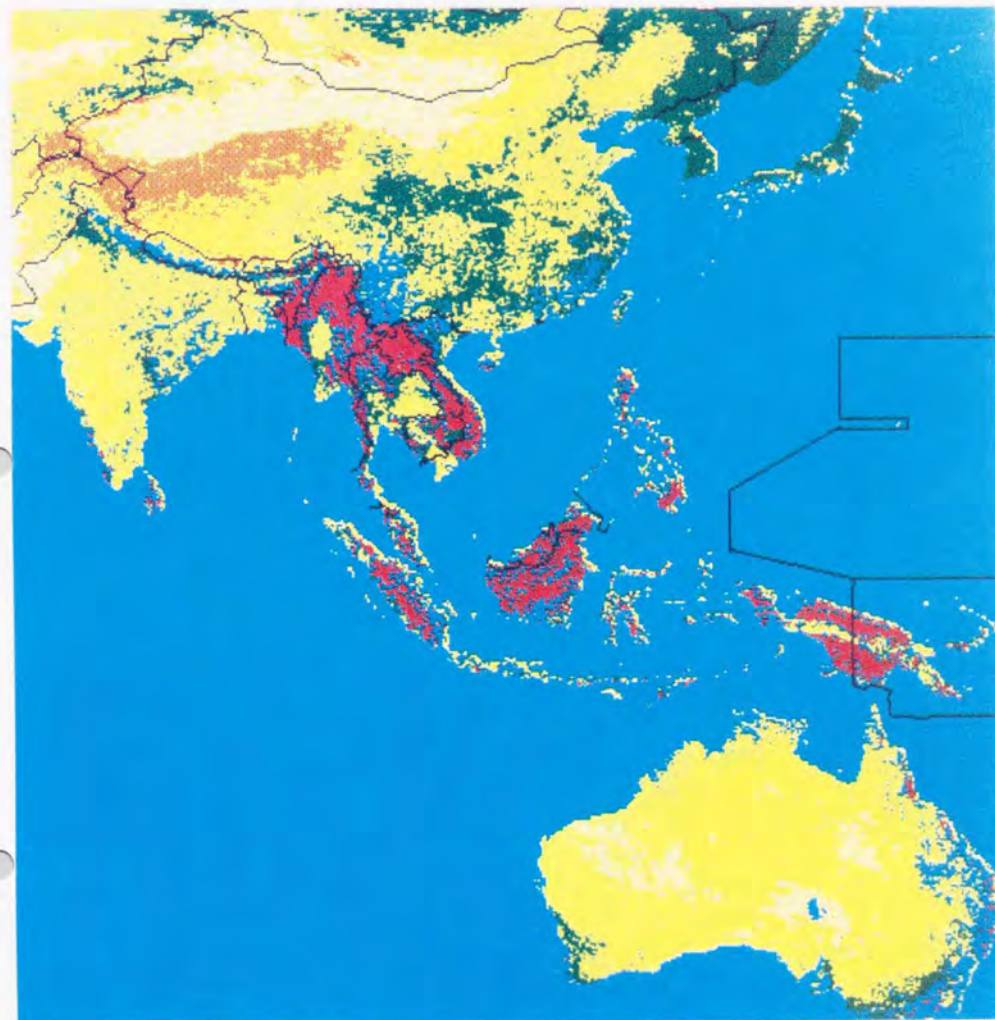


図5-2 アジア・オセアニア植生図（1985年～1987年平均値）

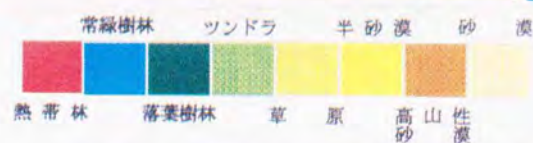


図5-2 ユーロッパ植生図（1985年～1987年平均値）

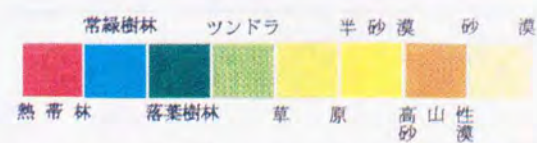
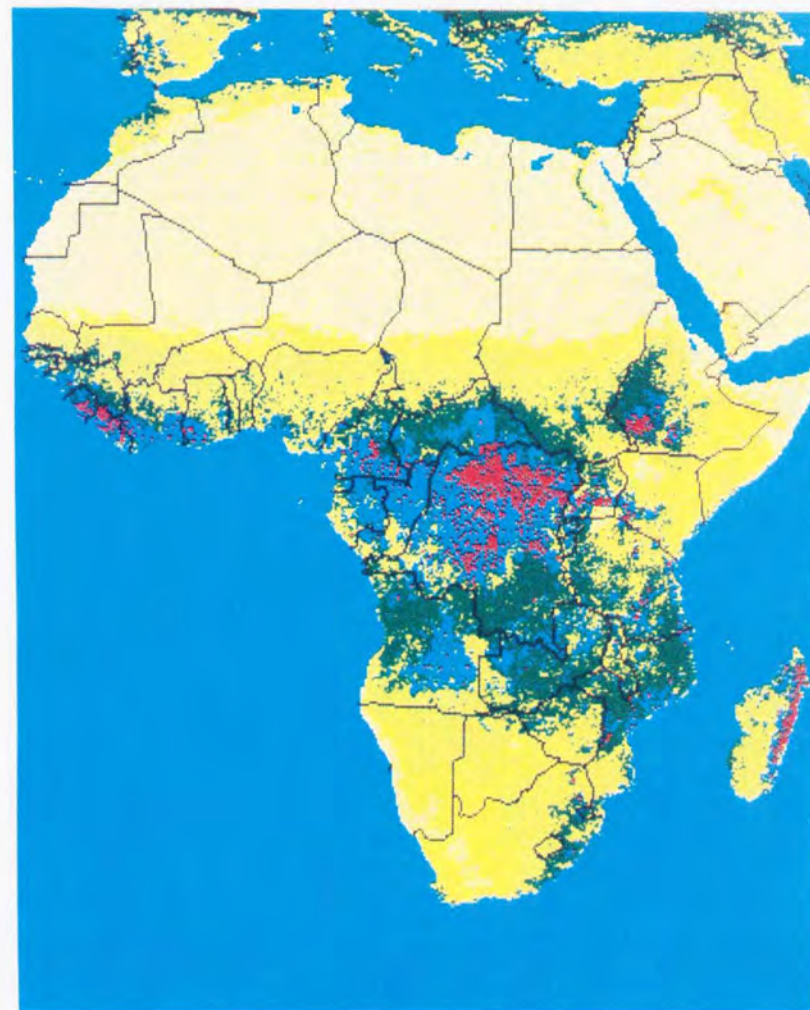


図5-2 アフリカ植生図（1985年～1987年平均値）

表5-1 1983年世界植生面積表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠	合計
アジア 欧州	680. 1.23	2440. 4.42	5533. 11.83	2293. 4.15	24212. 43.84	9413. 17.05	1502. 2.72	8153. 14.76	55226.
オセア ニア	155. 1.83	937. 11.01	633. 7.44	0. 0.00	2337. 27.47	3654. 42.96	1. 0.01	790. 9.28	8507.
北米	358. 1.48	1261. 5.20	4513. 18.61	356. 1.47	10688. 44.07	6129. 25.27	10. 0.04	937. 3.87	24253.
南米	2502. 14.48	6726. 38.94	2486. 14.39	0. 0.00	3499. 20.25	1053. 6.10	308. 1.79	700. 4.05	17274.
アフリカ	195. 0.67	2589. 8.87	4016. 13.75	0. 0.00	8346. 28.58	3312. 11.34	4. 0.01	10742. 36.78	29204.
合計	3890. 2.89	13953. 10.38	18181. 13.52	2649. 1.97	49082. 36.50	23563. 17.52	1824. 1.36	21323. 15.86	134465.

上段：×1000平方キロメートル 下段：パーセント

表5-1 1984年世界植生面積表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠	合計
アジア 欧州	191. 0.35	1945. 3.52	9096. 16.47	2641. 4.78	23065. 41.76	7939. 14.38	1335. 2.42	9014. 16.32	55226.
オセア ニア	17. 0.20	555. 6.52	286. 3.36	0. 0.00	3114. 36.60	4052. 47.63	2. 0.02	482. 5.67	8507.
北米	110. 0.45	830. 3.42	5727. 23.61	530. 2.19	10725. 44.22	4347. 17.93	7. 0.03	1975. 8.14	24253.
南米	668. 3.86	7222. 41.81	1786. 10.34	0. 0.00	5255. 30.42	1333. 7.72	332. 1.92	679. 3.93	17274.
アフリカ	15. 0.05	1568. 5.37	2605. 8.92	0. 0.00	9948. 34.06	3482. 11.92	3. 0.01	11583. 39.66	29204.
合計	1001. 0.74	12119. 9.01	19499. 14.50	3171. 2.36	52107. 38.75	21154. 15.73	1679. 1.25	23734. 17.65	134465.

上段：×1000平方キロメートル 下段：パーセント

表 5 - 1 1 9 8 5 年世界植生面積表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠	合計
アジア 欧州	1096. 1.98	1965. 3.56	12006. 21.74	3300. 5.97	19684. 35.64	7476. 13.54	1351. 2.45	8350. 15.12	55226.
オセア ニア	374. 4.39	879. 10.33	423. 4.98	0. 0.00	1824. 21.45	3974. 46.72	0. 0.00	1032. 12.13	8507.
北米	475. 1.96	1409. 5.81	6052. 24.95	628. 2.59	9556. 39.40	4259. 17.56	9. 0.04	1865. 7.69	24253.
南米	5841. 33.81	5297. 30.66	1692. 9.79	0. 0.00	2371. 13.73	1033. 5.98	313. 1.81	728. 4.22	17274.
アフ リカ	557. 1.91	3542. 12.13	4291. 14.69	0. 0.00	7406. 25.36	3229. 11.06	3. 0.01	10176. 34.84	29204.
合計	8341. 6.20	13091. 9.74	24464. 18.19	3928. 2.92	40842. 30.37	19971. 14.85	1676. 1.25	22151. 16.47	134465.

上段：× 1 0 0 0 平方キロメートル 下段：パーセント

表 5 - 1 1 9 8 6 年世界植生面積表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠	合計
アジア 欧州	1435. 2.60	2355. 4.26	11772. 21.32	2727. 4.94	19813. 35.88	7214. 13.06	1219. 2.21	8691. 15.74	55226.
オセア ニア	348. 4.09	836. 9.83	436. 5.13	0. 0.00	1635. 19.22	4383. 51.52	0. 0.00	869. 10.21	8507.
北米	504. 2.08	1499. 6.18	6035. 24.88	537. 2.21	9876. 40.72	4044. 16.67	6. 0.02	1753. 7.23	24253.
南米	5983. 34.63	4993. 28.90	1565. 9.06	0. 0.00	2613. 15.13	1039. 6.02	281. 1.63	801. 4.63	17274.
アフ リカ	676. 2.31	3579. 12.25	4297. 14.71	0. 0.00	7286. 24.95	3033. 10.38	4. 0.01	10331. 35.37	29204.
合計	8946. 6.65	13261. 9.86	24105. 17.93	3264. 2.43	41223. 30.66	19712. 14.66	1509. 1.12	22444. 16.69	134465.

上段：× 1 0 0 0 平方キロメートル 下段：パーセント

表 5 - 1 1 9 8 7 年世界植生面積表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠	合計
アジア 欧州	1273. 2.31	2623. 4.75	11139. 20.17	3438. 6.23	20956. 37.94	6756. 12.23	1127. 2.04	7915. 14.33	55226.
オセア ニア	326. 3.83	844. 9.92	294. 3.45	0. 0.00	2094. 24.61	4494. 52.83	0. 0.00	455. 5.35	8507.
北米	462. 1.90	1569. 6.47	6111. 25.20	862. 3.55	9997. 41.22	4139. 17.06	4. 0.02	1110. 4.57	24253.
南米	4177. 24.18	6165. 35.69	1923. 11.13	0. 0.00	2890. 16.73	1293. 7.48	242. 1.40	584. 3.38	17274.
アフ リカ	416. 1.42	3262. 11.17	4529. 15.51	0. 0.00	7247. 24.82	3561. 12.19	3. 0.01	10185. 34.88	29204.
合計	6654. 4.95	14463. 10.76	23997. 17.85	4300. 3.20	43184. 32.12	20243. 15.05	1375. 1.02	20249. 15.06	134465.

上段：× 1 0 0 0 平方キロメートル 下段：パーセント

表 5 - 1 世界植生面積表（1 9 8 5 年から 1 9 8 7 年までの平均値）

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠	合計
アジア 欧州	1268. 2.30	2314. 4.19	11639. 21.08	3155. 5.71	20151. 36.49	7149. 12.94	1232. 2.23	8319. 15.06	55226.
オセア ニア	349. 4.10	853. 10.03	384. 4.52	0. 0.00	1851. 21.76	4284. 50.36	0. 0.00	785. 9.23	8507.
北米	480. 1.98	1492. 6.15	6066. 25.01	676. 2.78	9810. 40.45	4147. 17.10	6. 0.03	1576. 6.50	24253.
南米	5334. 30.87	5485. 31.75	1727. 9.99	0. 0.00	2625. 15.20	1122. 6.49	279. 1.61	704. 4.08	17274.
アフ リカ	550. 1.88	3461. 11.85	4372. 14.97	0. 0.00	7313. 25.04	3274. 11.21	3. 0.01	10231. 35.03	29204.
合計	7981. 5.94	13605. 10.12	24188. 17.99	3831. 2.85	41750. 31.05	19976. 14.86	1520. 1.13	21615. 16.07	134465.

上段：× 1 0 0 0 平方キロメートル 下段：パーセント

表 5 - 2 主要国別植生型別面積比率表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠
AUSTRIA	0.00	0.00	73.62	0.00	25.01	1.18	0.00	0.20
BELGIUM-LUX	0.00	0.00	89.95	0.00	10.05	0.00	0.00	0.00
FRANCE	0.00	3.61	85.77	0.00	10.36	0.20	0.00	0.06
GERMAN DR	0.00	0.00	51.99	4.55	43.25	0.21	0.00	0.00
GERMANY FR	0.00	0.00	85.88	0.52	13.56	0.03	0.00	0.00
NETHERLANDS	0.00	0.00	87.11	0.00	12.89	0.00	0.00	0.00
NORWAY	0.00	0.00	4.07	19.88	63.64	11.67	0.00	0.75
SWEDEN	0.00	0.00	10.80	19.31	66.56	2.54	0.00	0.79
SWITZERLAND	0.00	0.00	62.45	0.00	31.95	4.91	0.00	0.69
USSR	0.00	0.00	23.62	12.72	45.64	12.25	0.35	5.42
CHINA	0.27	3.50	24.41	0.00	33.87	15.59	9.66	12.70
MONGOLIA	0.00	0.00	8.97	0.00	36.59	22.39	0.93	31.12
PAKISTAN	0.00	0.27	1.92	0.00	28.08	23.05	4.36	42.32
AFGANISTAN	0.00	0.03	0.13	0.00	11.06	47.72	4.49	36.56
IRAN	0.00	0.01	1.56	0.00	11.12	30.20	0.88	56.23
IRAQ	0.00	0.00	0.20	0.00	14.73	31.11	0.00	53.95
TURKEY	0.00	0.36	7.57	0.00	73.45	18.41	0.00	0.20
JAPAN	0.00	11.11	69.72	0.00	13.09	3.04	0.00	2.32
USA	0.04	8.61	36.37	2.89	35.49	13.52	0.04	3.04
CANADA	0.00	0.02	17.54	3.51	51.00	19.65	0.02	8.27
MOROCCO	0.00	0.84	2.95	0.00	19.13	22.86	0.84	53.38
MALI	0.00	0.00	2.14	0.00	21.94	10.34	0.00	65.58
KENYA	1.80	10.11	5.21	0.00	44.19	31.95	0.00	6.75
MOZAMBIQUE	1.11	24.76	45.83	0.00	27.80	0.44	0.00	0.06
BOTSWANA	0.00	0.44	0.60	0.00	47.87	49.35	0.00	1.73
NIGER	0.00	0.00	0.00	0.00	2.35	21.61	0.00	76.04
SENEGAL	0.00	0.00	16.00	0.00	65.57	15.37	0.00	3.05
SUDAN	0.03	0.50	15.61	0.00	26.53	12.52	0.00	44.80

単位：%

- 97 -

表 5 - 2 主要国別植生型別面積比率表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	高山性砂漠	砂漠
TANZANIA	1.62	14.26	47.57	0.00	35.85	0.56	0.00	0.13
ZAMBIA	0.08	22.08	42.63	0.00	35.00	0.19	0.00	0.02
ZIMBABWE	0.54	6.43	14.72	0.00	76.96	1.35	0.00	0.00
SUDI ARABIA	0.26	1.59	5.56	0.00	1.76	6.27	0.15	84.41
INDIA	2.17	7.59	7.25	0.00	62.32	14.05	2.30	4.32
BANGLADESH	16.21	21.45	8.84	0.00	52.43	1.08	0.00	0.00
BURMA	36.17	31.39	15.61	0.00	16.14	0.64	0.00	0.05
THAILAND	10.93	26.54	22.17	0.00	37.86	1.57	0.00	0.94
MALAYSIA	42.69	43.98	6.12	0.00	4.50	0.97	0.00	1.73
INDONESIA	31.20	42.21	8.13	0.00	14.92	2.43	0.00	1.10
VIET NAM	18.04	35.76	18.70	0.00	21.91	2.41	0.00	3.18
LAOS	61.71	32.16	4.80	0.00	1.32	0.00	0.00	0.00
CAMBODIA	26.41	34.27	14.17	0.00	24.36	0.73	0.00	0.07
AUSTRALIA	0.80	7.38	3.05	0.00	21.11	57.77	0.00	9.90
MEXICO	8.90	18.99	13.81	0.00	33.22	19.20	0.00	5.87
BRAZIL	36.04	40.74	10.85	0.00	11.15	0.48	0.00	0.76
ARGENTINA	2.25	21.51	13.91	0.00	22.40	22.47	1.93	15.53
CHILE	0.20	4.83	14.22	0.00	17.41	19.03	29.83	14.48
PERU	46.12	14.35	3.00	0.00	24.05	9.34	0.60	2.55
COLOMBIA	39.28	34.13	5.97	0.00	19.34	1.10	0.00	0.18
VENEZUELA	43.36	23.28	13.47	0.00	17.12	2.19	0.00	0.57
ECUADOR	39.17	20.42	7.82	0.00	29.27	3.25	0.00	0.07
BOLIBIA	35.11	29.83	7.44	0.00	12.42	11.82	3.38	0.00
PARAGUAY	31.77	56.76	6.30	0.00	5.17	0.00	0.00	0.00
SOUTH AFRICA	0.36	3.74	10.25	0.00	43.52	31.41	0.00	10.72

単位：%

- 98 -

以上のように本研究の定義した分類方法による世界の植生分布が明らかになったのは初めてのことであり、共通の定量的な定義による植生区分ごとの面積が明らかになったことも世界で初めてのことである。

世界デジタル地形情報ETOPOSを利用して植生区分図に陰影をつけたもの（シェイディング処理）を作成した。この画像は植生と地形の関係を見るのに有効である。たとえば、図5-3に示すようにオーストラリアでは大分水嶺を境界にして植生型が全く変わることやヒマラヤ山脈の南側の麓に常緑樹林が帯状に広がっているのが良く分かる。



図5-3 北アメリカ植生区分陰影図



図5-3 南アメリカ植生区分陰影図



図5-3 アジア植生区分陰影図



図 5 - 3 オーストラリア植生区分陰影図



図 5 - 3 ヨーロッパ植生区分陰影図



図 5 - 3 アフリカ植生区分陰影図

5-2 既存の植生図等との比較

5-2-1 ブラジルの植生図との比較

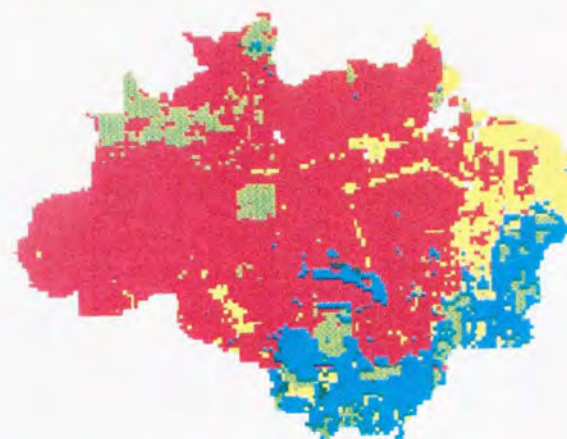
新しい植生分類で作成した植生図と既存の植生分布図とを比較し、新しく作成した植生図の有効性を確かめる必要がある。今回は特に南米ブラジルのアマゾンに注目する。その理由を以下に簡潔に述べる。

アマゾンでは、今、熱帯林が広大な範囲で失われつつある。その原因は、木材の伐採、焼畑、牧場造成、道路・鉄道建設、ダム建設、鉱山建設などによるものである。アマゾンには600万平方キロメートルの熱帯林が存在しているといわれているが、その壮大な外観に関わらず、それを支える表土はきわめて薄く、土壤中の有機物も決して多くない。したがって、熱帯林は環境条件の変化にきわめて敏感であり、脆弱な生態系である。その反面、熱帯林は遺伝子の宝庫、医薬・工業原料の供給源、大気中二酸化炭素濃度の調節（地球温暖化の歯止め）など人類にとってなくてはならないものである。¹⁾¹⁶⁾

したがって、現在、地球上でアマゾンの熱帯林はもっとも厳しく監視されなくてはならない植生である。この意味から新しい分類法の適用により常にアマゾンの植生の監視を続けていく必要がある。

既存のアマゾンの植生図は、1989年出版のブラジル地理統計局（IBGE）の作成したA0版の大きさのものである。この植生図から6分メッシュでデジタルのグリッドデータを作成し、新しい分類方法による植生図と比較した。このとき、新しい分類方法による植生図と比較するために、土地の高低や植物の種類で細かく36種に分類されていたものを熱帯林、常緑樹林、落葉樹林、サバンナ、2次植生の5種にまとめた。⁷³⁾この既存アマゾン植生図と新しい植生区分図（南米）を図5-4に示す。新しい植生区分図のカテゴリー（熱帯林・常緑樹・落葉樹・草原・半砂漠）と既存植生のカテゴリー（熱帯林、常緑樹林、落葉樹林、サバンナ、2次植生）の面積比率を表5-3に示す。得られた結果と既存の植生図の面積比のもっとも違うものは半砂漠（新植生区分図）と2次植生（既存植生図）である。2次植生とはブラジル政府の植生図の定義では、森林や草原を開拓して農耕地にしたものである。ブラジルでの農耕地には様々な形のものがあるが、コーヒ園などは常緑の木が連なっており必ずしも半砂漠とはいえない。そこで既存の植生図で2次植生とされている地域が本研究の定義ではどのような内訳で分類

れるか調べた結果を表5-4に示す。



ブラジル政府作成の植生図



植生季節変動パターンによる植生分類

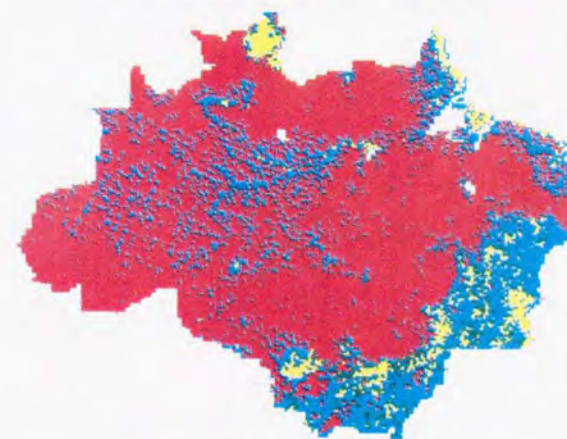


図5-4 アマゾン植生区分図比較

表 5 - 3 アマゾン新旧植生図カテゴリー別面積比率

植生季節変動パターンによる植生分類					
面積比率 (%)	熱帯林	常緑樹	落葉樹	草 原	半砂漠
	66.01	27.25	1.61	4.86	0.27
	66.00	13.44	0.45	9.59	10.52
	熱帯林	常緑樹林	落葉樹林	サバンナ	2 次植生
ブラジル政府作成の植生図					

表 5 - 4 2 次植生内 植生分類結果

植生季節変動パターンによる植生分類					
2 次植生	熱帯林	常緑樹	落葉樹	草 原	半砂漠
	33.40	57.08	1.08	6.22	1.22

2 次植生がこのような比率で植生活動パターンを示しているので、2 次植生を表 5 - 4 にあるような比率で再配分して表 5 - 5 のような結果を得た。表 5 - 5 に示すように熱帯林と常緑樹林を足しあわせた比率はほぼ同じであることが分かる。すなわち、本論文の結果は約 93% と約 90% とほぼ同じ値である。このこ

とから、熱帯地位域における森林の監視に本研究の方法が有効であると考えられる。

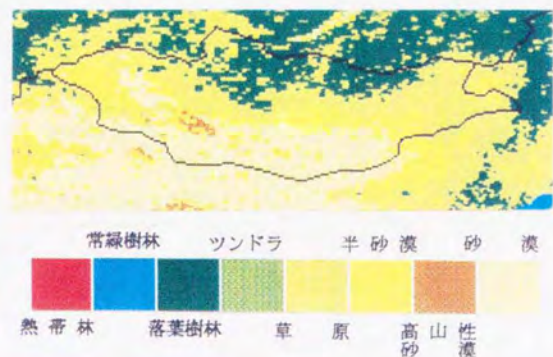
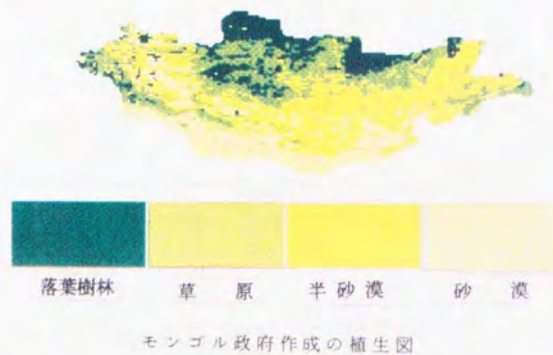
表 5 - 5 アマゾン新旧植生図カテゴリー別面積比率

植生季節変動パターンによる植生分類					
面積比率 (%)	熱帯林	常緑樹	落葉樹	草 原	半砂漠
	66.01	27.25	1.61	4.86	0.27
	69.51	19.44	0.55	10.24	0.13
	熱帯林	常緑樹林	落葉樹林	サバンナ	2 次植生
ブラジル政府作成の植生図					

5 - 2 - 2 モンゴルの植生図との比較

モンゴルはアジア大陸の中央に位置し、北はソ連、南・東・西部は中国に接する高原で、南部はゴビ砂漠がある。乾燥小雨量の内陸性気候の国である。特に南から北に上るにしたがって砂漠、草原、森林と植生が変化し、無植生地帯から植生地帯へ変化する地域の考察にちょうど良い地域である。

モンゴル政府が作成した植生分布図をデジタル化した図と本研究で作成したモンゴルの植生区分図を図 5 - 5 に示す。図 5 - 5 から分かるように両者はほとんど同じ植生分布になっている。このときの植生型別面積比率を表 5 - 6 に示す。



植生季節変動パターンによる植生分類

図5-5 モンゴル植生区分図比較

表5-6 モンゴル新旧植生図カテゴリー別面積比率

植生季節変動パターンによる植生分類				
	落葉樹	草原	半砂漠	高山性砂漠
面積比率 (%)	8.97	36.59	22.39	(0.98) (31.12) 32.00
	11.24	30.52	32.48	25.76
	森林	草原	ステップ	砂漠
モンゴル政府作成の植生図				

モンゴル政府作成の植生図の森林と草原の区別は明確ではなく林地と草本類が混在している植生が多い。⁷⁴⁾したがって、森林と草原を足しあわせた値でみると本研究による比率が約45%であるのに対し、モンゴル政府のものは約42%とほぼ同じ値になった。一方で、ここでは半砂漠と砂漠の境界が明確になり難いことが分かった。

5-2-3 E. Matthewsの植生図との比較

E. Matthewsの植生図については第2章「従来の植生分類と本研究の特色」で詳しく説明したので、ここでは比較の結果だけを紹介する。E. Matthewsの植生図を本研究に比較できるように再区分した図を図5-6に示す。また、それぞれの面積比率の比較をしたものを表5-7に示す。本研究で得た熱帯林・常緑樹・落葉樹をあわせた値が約34%に対しE. Matthewsの分類では森林が約30%とE. Matthewsのものの解像度を考えるとほぼ同じ数字と考えられる。そのほかのカテゴリに対しても、両者は良く似た傾向を示している。

表5-7 世界新旧植生図カテゴリー別面積比率

植生季節変動パターンによる植生分類							
面積比率 (%)	熱帯林	常緑樹	落葉樹	ツンドラ	草原	半砂漠	砂漠
	5.94	10.12	17.99	2.85	31.05	14.86	17.2
	9.29	20.39		5.51	30.06	9.13	25.62
	熱帯林	森林		ツンドラ	草原	ステップ	砂漠

E. Matthewsの植生図

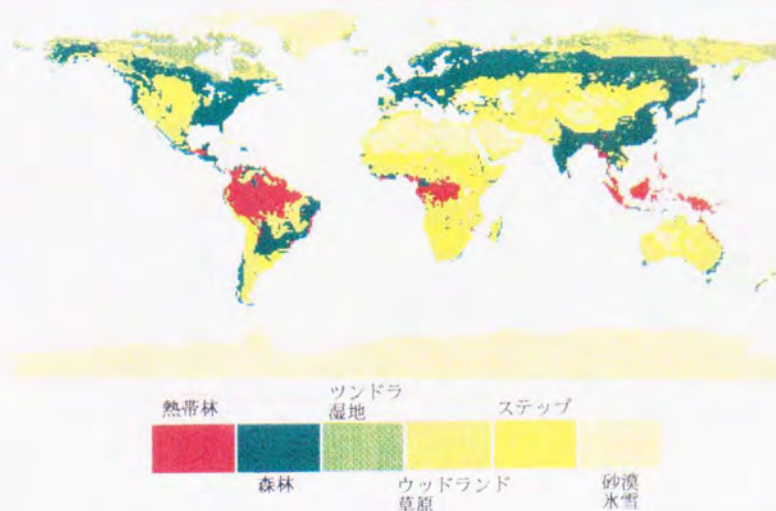


図5-6 E. Matthewsの植生図

第6章 植生指標の変動と気候変動との関連

6-1 植生指標の変動と異常気象

1963年1月、世界各地に寒波・豪雪などの異常気象が発生し大きな問題となった。ところが1980年代に入り1963年のときよりも大規模な世界的異常気象が発生しにわかに異常気象に対する関心が高まった。その背景には今世紀最大といわれる1982年のエルチチョン火山噴火と赤道東太平洋の水温が異常上昇するエルニーニョ現象が1982年から発生したことがある。1982年後半から1983年にかけてだけでも図6-1に示すように多くの異常気象が発生している。⁹⁾



図6-1 1982～1983年に発生した異常気象

出典：大蔵省印刷局 知っておきたい異常気象

この時の異常気象の特徴は低緯度地方では干ばつや大雨などの降水量の異常、中緯度地方では暖冬や熱波など気温の異常が著しいことであった。たとえば、平

年なら雨の多いインド東部からインドネシアおよびオーストラリアの干ばつ、逆に平年には雨の少ない南米エクアドルなど乾燥地帯の大旱洪水などがある。また、1982年の後半から1984年にかけてアフリカのサヘル地方を中心とした干ばつは今世紀最悪といわれ、数百万人の人々が飢餓に苦しみ約30万人の餓死者を出した。⁵⁾

このような異常気象の場合、植生の生活活動も異常を示すと考えられる。そこで大陸毎に累積NVI（正規化植生指標）を月毎に求めてその月変動を図6-2に示す。なお、累積NVIはNVIの値が0.1以下のものは考慮しないようにして求めた。すなわち、NVIが0.1以上の地域の平均NVIを求め、その値に面積（NVIが0.1以上の）を乗じたものである。

また、表6-1には各年年の平均累積NVIを大陸毎に求めたものを示す。平均累積NVIとはそれぞれの年の月累積NVIを足し合わせて12で割ったものである。

表6-1 年平均大陸累積NVI

大 陸	1983	1984	1985	1986	1987
アジア欧州	5131652	5038578	5663823	5721458	5861486
北米	1055174	923612	967184	972620	1086781
南米	2535942	2503999	2828712	2883946	2976248
アフリカ	3864599	3508985	4331415	4241254	4061363
合計	3051980	2725172	3449987	3497512	3405092
合 計	15639348	14700348	17241120	17316790	17390971

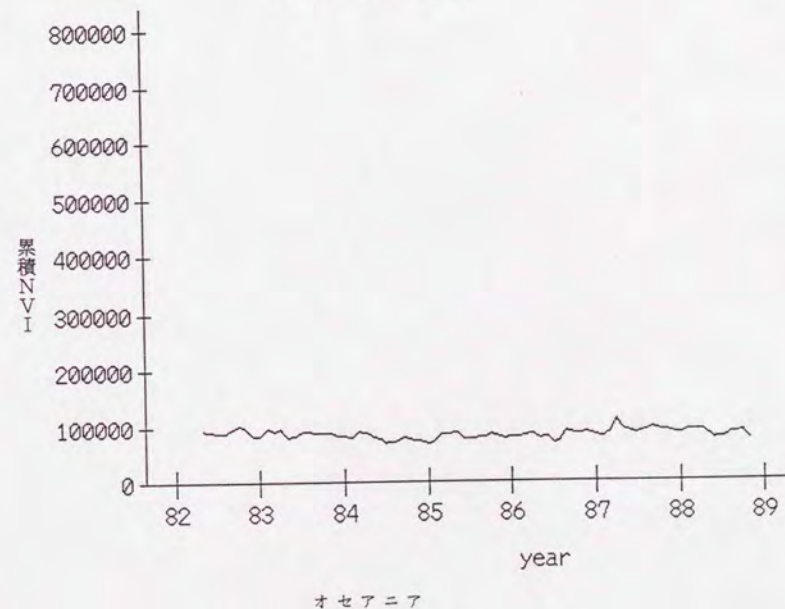
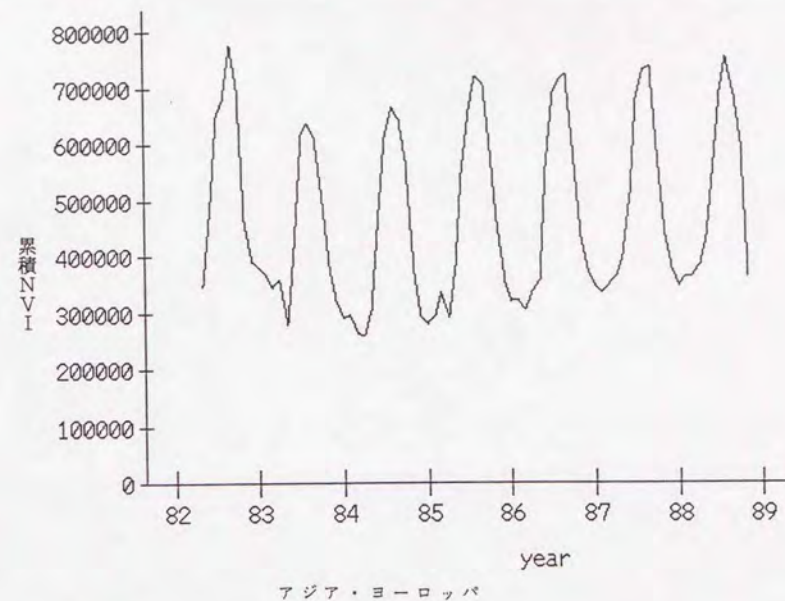
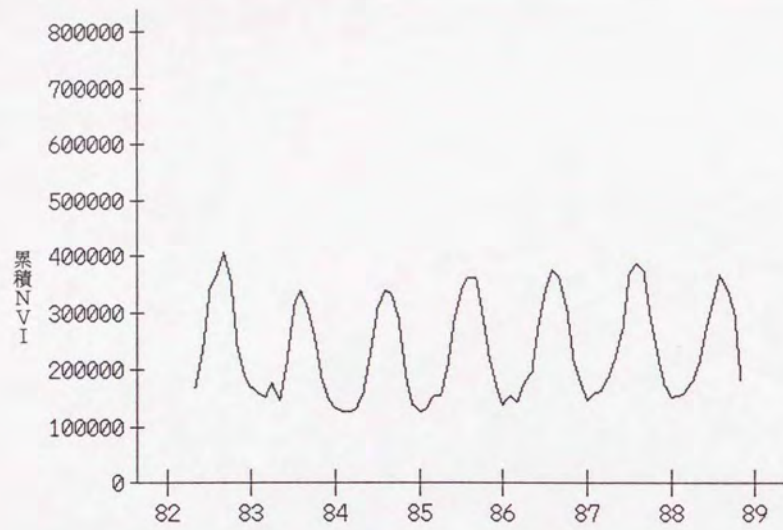
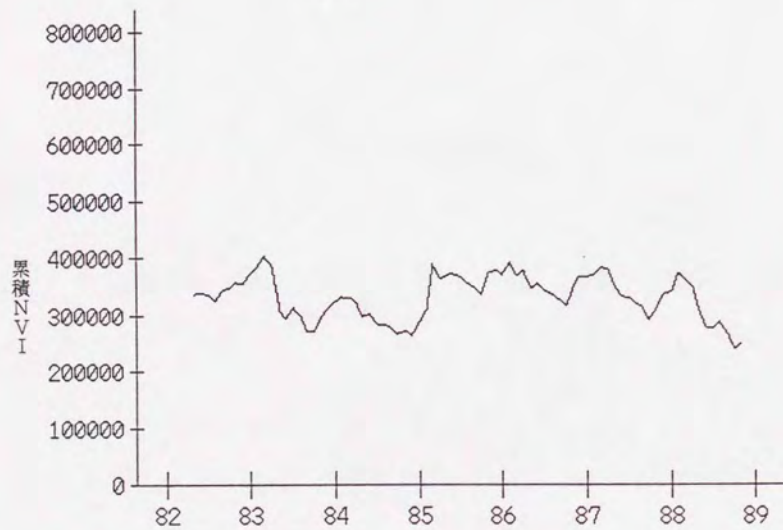


図6-2 累積NVIの月変動

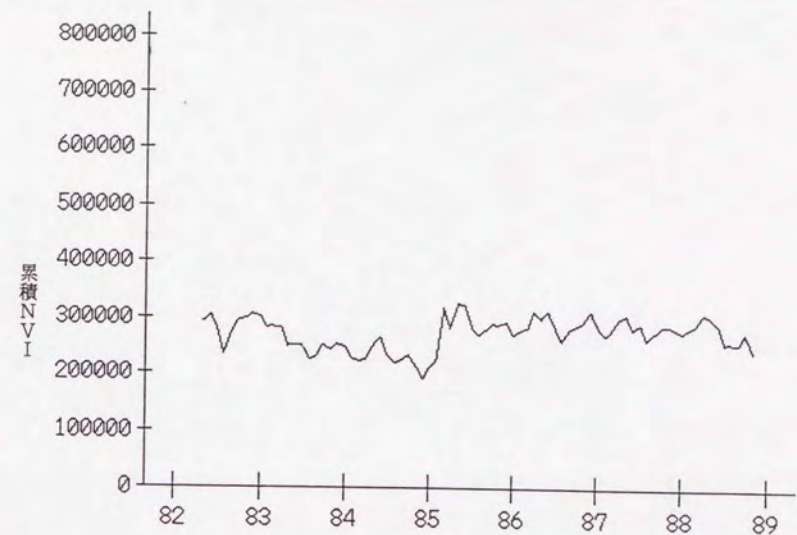


北米

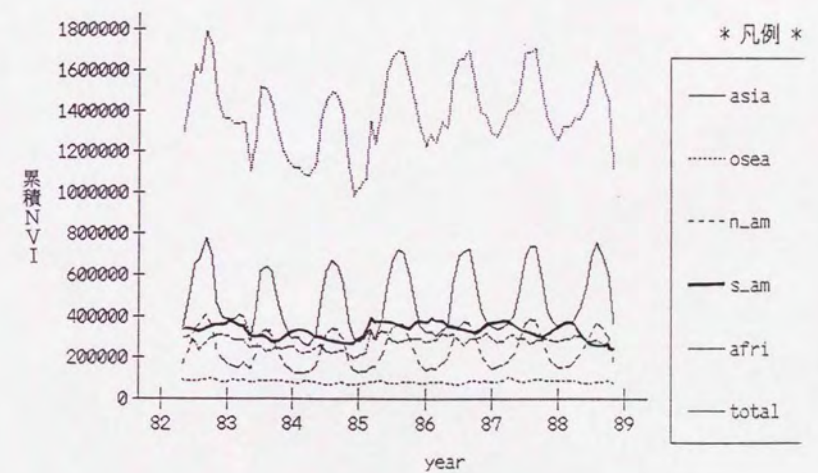


南米

図 6 - 2 累積 N V I の月変動 (つづき)



アフリカ



世界全体

図 6 - 2 累積 N V I の月変動 (つづき)

以上、表6-1および図6-2で明らかに以上気象が多発した1983年および1984年では累積NVIの値が他の年に比べて明らかに小さいことが分かる。さらに、毎年同じような季節変動をしているもののその総量が小さいことも明らかである。植生指標の変動と異常気象とが密接な関係にある。NVIが緑色の葉の密度(クロロフィルの密度)を示すものである。以上のことから穀物等の農産物の収穫量と植生指標の変動が密接な関係にあるものと考えられ、今後は穀物生産量を植生指標から予測する方法の研究が望まれる。(57) (59)

6-2 エルニーニョと二酸化炭素濃度の変動

人間活動によるCO₂濃度の増加が危惧されている。²²⁾大気中のCO₂濃度の変動が図6-3に示すようにエルニーニョ現象と深く関わっていることは既に知られていることである。図6-3は1958年から1988年にかけてハワイのマウナロアと南極点の大気中のCO₂濃度の平均値をグローバルな大気中のCO₂濃度と考えて、Keeling et al.⁷³⁾が年変動と季節変動を差し引いて作成したものである。したがって、大気中のCO₂濃度の異常値の変動を示している。この図から分かるようにエルニーニョ現象が強いと大気中CO₂濃度の負の値が強くなっている。この負の異常値については赤道海域中東部における湧昇流によるCO₂の大気への放出量がエルニーニョ現象にともなって小さくなることに起因すると考えられてきた。すなわち、エルニーニョ現象と大気中のCO₂濃度との関連性のみで今日まで考えられてきた。

赤道海域中東部における表層水のCO₂の分圧は、その直上の大気中のCO₂分圧よりも高い。したがって海水から大気へCO₂が放出されることになる。^{10) (23)}したがってエルニーニョ現象が発生する場合は赤道海域中東部において水温の高い表面水が湧昇流を押さえ込み、それにともなって海水から大気へのCO₂の放出量が小さくなると考えられた。^{23) (24)}このことは大気中のCO₂の炭素安定同位体組成($\delta^{13}C$)から確認できる。

Keeling et al.⁷³⁾は1977年から1988年にかけて測定されたハワイのマウナロアと南極点の大気中のCO₂の $\delta^{13}C$ 月平均値について、平年の季節変動分を差し引いた $\delta^{13}C$ 値を計算している。図6-4にはその $\delta^{13}C$ 値の変動値を表

している。図6-3と図6-4を重ねたものを図6-5に示すと、エルニーニョ現象が現れると大気中のCO₂濃度の異常値が負になると $\delta^{13}C$ 値が大きくなっていくことが分かる。

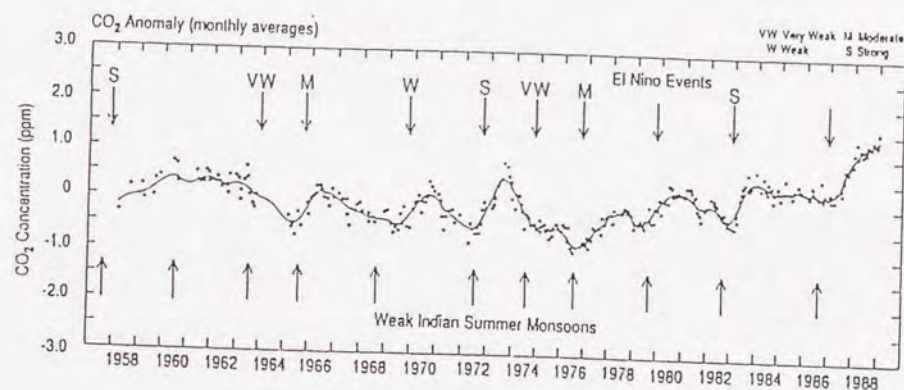


図6-3 CO₂濃度の異常値の変動

出典: Keeling et al., 1989

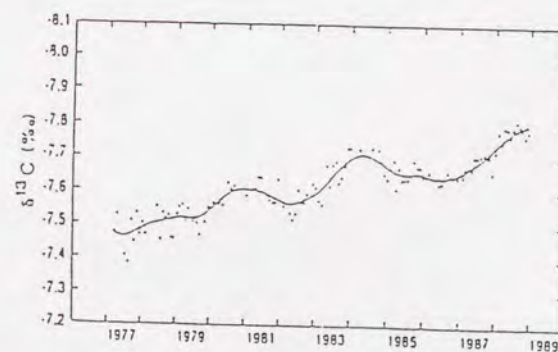


図6-4 $\delta^{13}C$ の濃度の変動

出典: Keeling et al., 1989

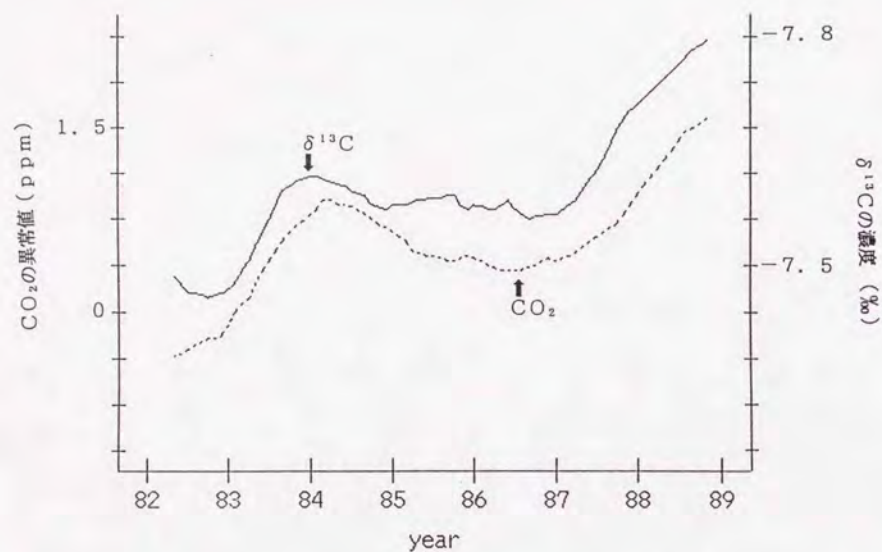


図6-5 CO₂濃度の異常値とδ¹³C濃度の変動

しかし湧昇流から大気へ放出されるCO₂のδ¹³C値は大気中のCO₂のδ¹³C値とはほぼ等しい。したがって、大気CO₂濃度の異常が湧昇流に伴う海水から大気へCO₂の放出量の変動では説明がつかない。²⁵⁾

一方で図6-6にあるように本研究の定義に基づく南米の植生図を見ると、1984年と1985年では熱帯林と判定された地域の面積が大きく違う。実際に植生別の面積比率を両年で計算してみると表6-2のようになる。

表6-2 ブラジルの植生別面積比較表

	熱帯林	常緑樹	落葉樹	草原	半砂漠	砂漠
1984年	4.13	53.09	11.23	29.90	1.08	0.57
1985年	41.15	37.98	10.78	8.90	0.50	0.70

単位：%

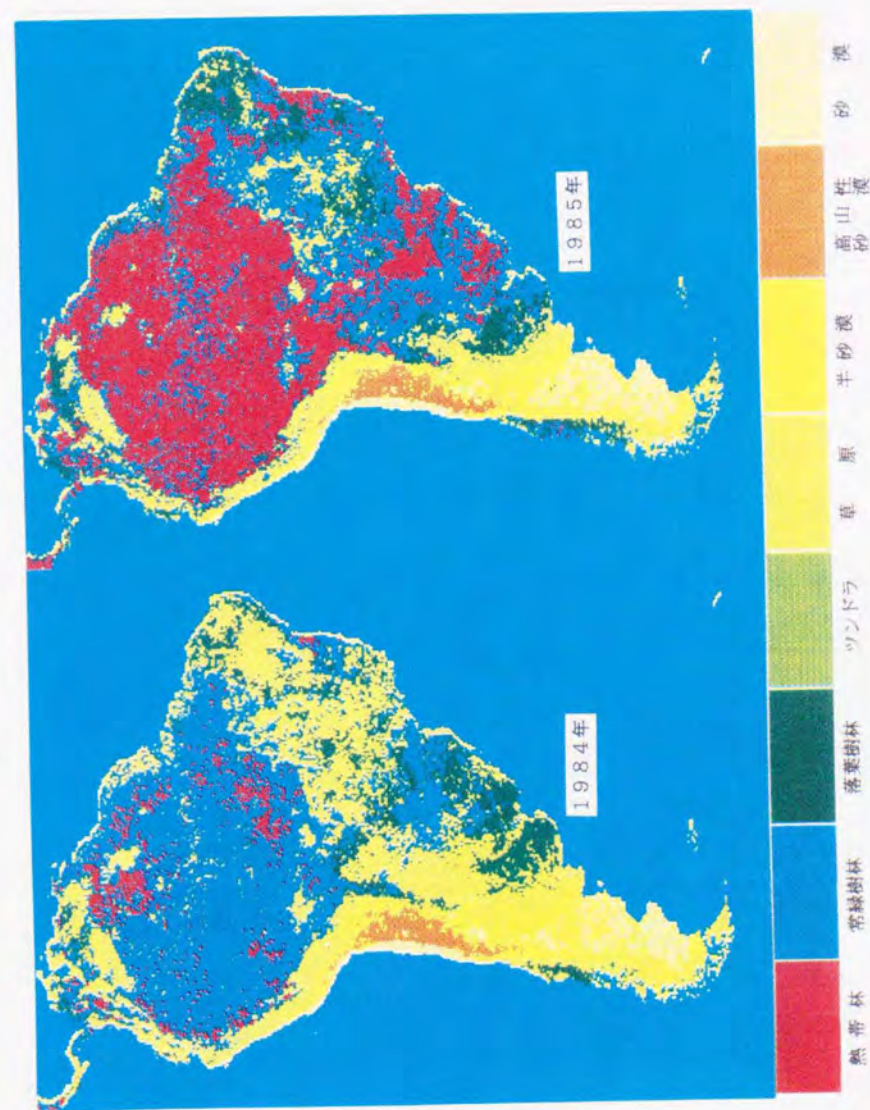


図6-6 1984年と1985年の南米の植生図比較

1984年は今世紀最大といわれたエルニーニョ現象が終了した年であり、この1984年と1985年のアマゾンの植生の生活活動の違いとエルニーニョ現象やCO₂濃度との関係がたいへん深いと考えられる。²⁵⁾

そこで、アマゾンの平均NVIの月変動から平年の季節変動分を差し引いてNVIの月異常値を求め、大気中のCO₂濃度との相関係数を求めた。相関係数は $r = -0.701$ と逆相関の高い値を示しアマゾンの植生の活動と大気中のCO₂濃度との関連が非常に深いことを示した。すなわち、アマゾンの植生の活動が活発になると大気中のCO₂濃度が低くなる。このような両者の逆相関の様子を図6-7に示す。

このように陸域の植生の活動が大気中のCO₂濃度と深くかかわり合っていることを世界で初めて定性的に示す一事例を発見した。今後は全陸地の植生の活動と比べることにより定量的な関係をも発見する必要がある。

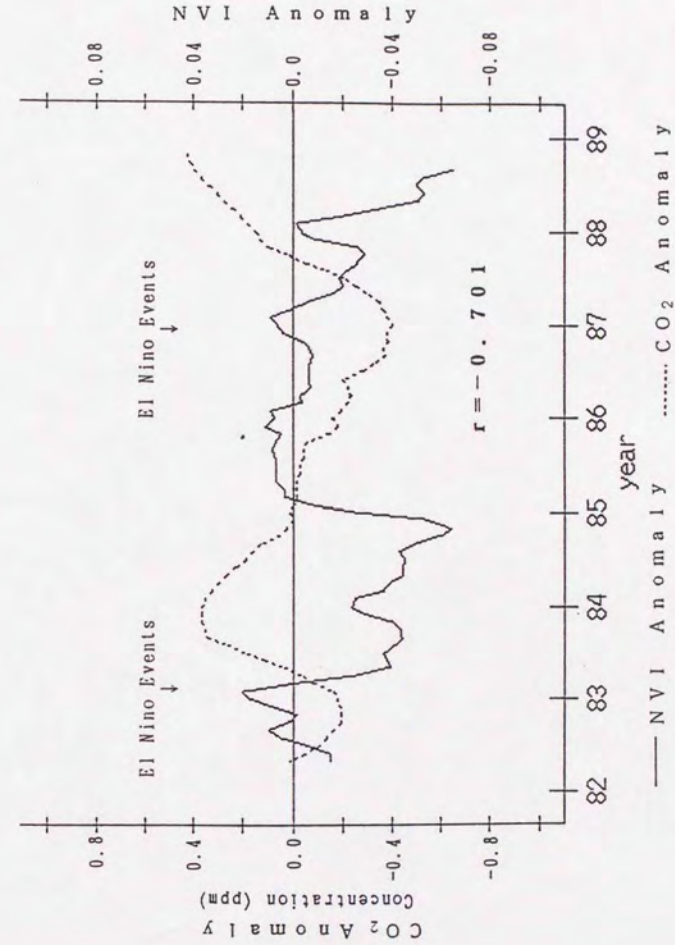


図6-7 アマゾンのNVIの異常値と大気中CO₂濃度の異常値

7-1 環境と植物

現在では地球環境の問題に非常な関心が集まっている。しかし全世界で統一のとれた地球環境監視体制が整っているとはいえず、現在整備中ということになる。データ整備が出来上がった後、どのように解析し地球環境を説明することが問題になる。地球環境変動の現状を把握するためには地球全体を一つと考えるより、地球上を類似した環境の性質を示す地域にゾーニングする必要がある。ゾーン毎に地球環境変動を監視して初めて環境の変化が把握できる。⁸⁾

たとえば、既存の地球上を環境条件に着目してゾーニングしたものとして気候区分が挙げられるが、気候区分は点データから作成されたものであり、必ずしも実際の環境条件を基にして区分したという点では正しい区分であるとは限らない。そこで、衛星データのように面的な情報を利用した新しい区分があってもしかるべきである。衛星データをどのようにゾーニングに反映させるかが問題であるが、基本的には既存の気候区分に衛星データから得られた植物生態学的情報を加味して改良したものとし、これを生態気候区分とする。

生物をとりまく外界の事物の中でその生物の生活に影響を与えるもの全てが環境である。その環境を作る環境要因は表7-1の通りであり、植物とその環境要因とのかわり合いは図7-1に示すとおりである。⁹⁾

表7-1 環境要因

無機的環境	{	①光要因	-----	光の量、質など
		②温度要因	-----	気温、地温、水温など
		③大気要因	-----	大気の化学的組成、風など
		④水分要因	-----	降水、蒸発散、湿度など
		⑤土壌要因	-----	土壌の物理的・化学的性質など
有機的環境	——	⑥生物的要因	-----	同種および異種生物間の諸関係

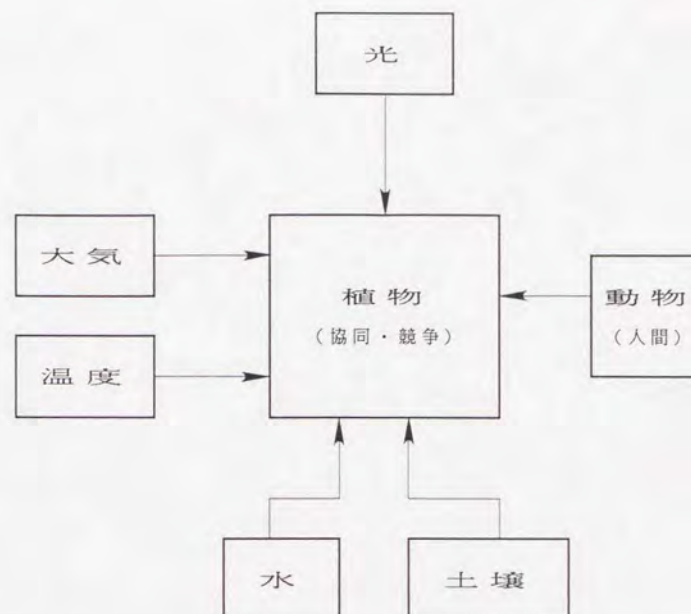


図7-1 植物を取り巻く環境

これら環境要因は場所や時間によっても変化し、生物の生育段階によっても必要とする条件が異なる。したがって、環境要因が生物、特に集団としての生物に及ぼす影響は単純ではなく、極めて複雑なものとなる。

しかし、植物が生活するには同時に多くの環境要因が関与している。そのうちの1つの環境要因がその他の要因と比較して過小か過剰であり、しかも植物の生理作用や生活を制限する主な要因となる。これは制限要因⁹⁾ (limiting factors) と呼ばれる。たとえば、土壌中の窒素が不足しているとたとえ他の栄養素を増やしても植物は成長しない。Liebigは最小量の法則 (law of minimum) ⁹⁾ で「植物の成長は相対的に最小量で存在する養分によって支配される」といっている。この最小量の法則は無機養分を対象としたものであるが、光の強度、大気中のCO

CO₂濃度、土壌水分などが植物の成長や光合成作用の最小要因となり易い。ところが、ある環境要因の不足を別の環境要因が補償することもあり、最小量の法則だけで決定されないという問題もある。たとえば、弱い光の条件下でも光合成作用の制限がCO₂濃度の上昇により緩和される例がある。このように他の環境要因による補完的な働きがみられる場合もあり、環境要因の作用はかなり複雑で一概にはいえない。

また、植物の生活現象はある環境要因の不足によるだけでなく、過剰によっても制限される。たとえば、温度、水分などが過剰に供給されれば植物の生育が阻害される。一般には一つの環境要因の供給量と植物の成長や生理作用は図7-2のような関係にある。

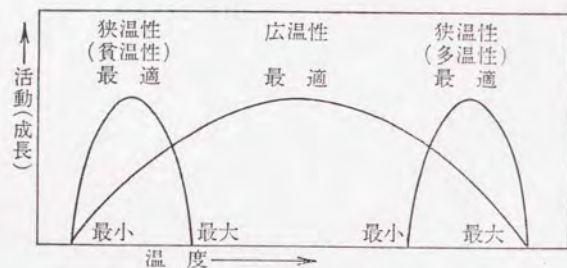


図7-2 耐性の範囲と最適域

出典：(Ruttner, 1950)

図7-2の曲線は最適曲線と呼ばれ、山の部分が最適域、左右の両端がそれぞれ最大域と最小域で耐性の限界を表している。ところが、耐性の範囲は植物の種類によって異なる。たとえば、温度条件に関してある植物は広温性を示し、他のものは狭温性を示すものもある。狭温性の植物は僅かな温度差で生活活動を阻害されることになる。すなわち、全ての要因に対し広い耐性範囲を持つ生物がもっとも広く分布していると考えられる。

7-2 生態気候区分

人間の活動が地球環境にどのような影響を及ぼしているかを感度よく観測するためには類似の環境を示しているゾーン毎に変化を調べる必要がある。このゾーンを生態気候区分と呼ぶ。特に、人間活動の影響を調べるための生態気候区分を定義するには2つの視点がある。

① 人間活動の影響を受けていない状況を示したもの

(このことにより人間活動のために起きる環境の変化を監視できる)

② 現在の状況を表しているもの

(このことにより現状把握がより現実に近いものとなる)

たとえば、①人間活動の影響を受けていない状況を示したものは植生図で言う自然植生図にあたり、②現在の状況を表しているものは現存植生図にあたる。②の現状を表すものは第4章「植生季節変動パターン」において定義された植生分類図によって示すことができる。

そこで①人間活動の影響を受けていない状況を示すゾーニング方法を提案しなければならない。このゾーニング方法で用いるゾーンは利用できる気象情報の粗さと現状を表す②の分類項目から森林ゾーン・草原ゾーン・乾燥草原ゾーン・砂漠ゾーンの4種類とする。ゾーンを決定する項目は次の4項目とする。

A) 気温による限界

本論文で作成した衛星データを用いた世界植生図における熱帯林・常緑樹林・落葉樹林の地域では最も寒い月の平均気温は-4度を下回るものがない。また、気温による森林限界はWhittakerが年平均気温で-5度としている。¹⁾

B) 乾燥指数による限界

Koppenが乾燥限界を示す式として用いた式と類似のものでMartonneの乾燥指数(AI)がある。

$$AI = \frac{P}{T + 10}$$

ここでPは年降水量(mm)、Tは月平均気温(摂氏)が正の月の月平均気温を合計して12で割ったものである。AIの値は次のように植生に対する乾燥の状態を示す。

$AI \leq 5$	砂漠状態
$5 < AI \leq 10$	半砂漠状態
$10 < AI \leq 30$	草原状態
$30 < AI$	森林状態

C) 地形情報

第4章「植生季節変動パターンによる植生分類」で述べたように標高による森林限界は3000mである。3000m以上の高地には森林は存在しない。

D) 特殊な条件の考慮

A)～C)で把握できないものを補足する。たとえば、人工衛星による植生図からの補足情報などである。

A)～D)の項目を図7-3に示すように組み合わせて森林ゾーン・草原ゾーン・乾燥草原ゾーン・砂漠ゾーンにゾーンニングする。また、A)気温による限界とB)乾燥指数による限界を求めるためには月平均気温および月降雨量が面的なデータとして必要である。そこで1950年から1980年までの気象観測点1500点のデータを基に文部省重点領域研究「衛星による地球環境の解明」のBグループによって作成され世界月別温度分布図と世界月別降水分布図を利用する。1月の世界月別温度分布図と世界月別降水分布図の例をそれぞれ図7-4と図7-5に示す。また、地形情報としては世界地形情報(ETOPO5)を利用する。

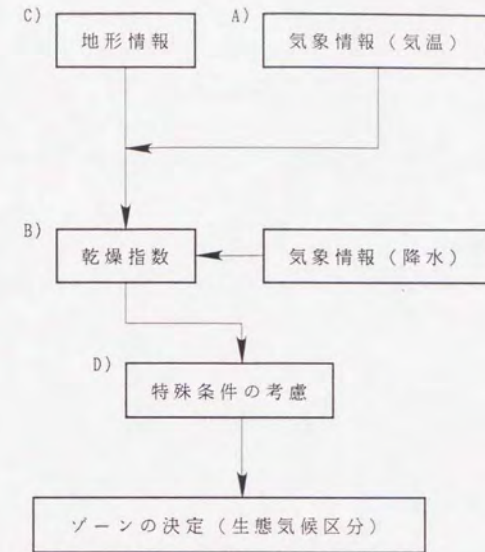


図7-3 生態気候区分ゾーンニング

まず、標高と気温による森林限界より植生が生息できない地域を除き、そのあと乾燥の状況からどのような植生帯が生息可能なのかを判定する。最後に塩害などの特殊な要因を考慮してゾーンを決定する。

MEAN MONTHLY TEMPERATURE (C)

JANUARY

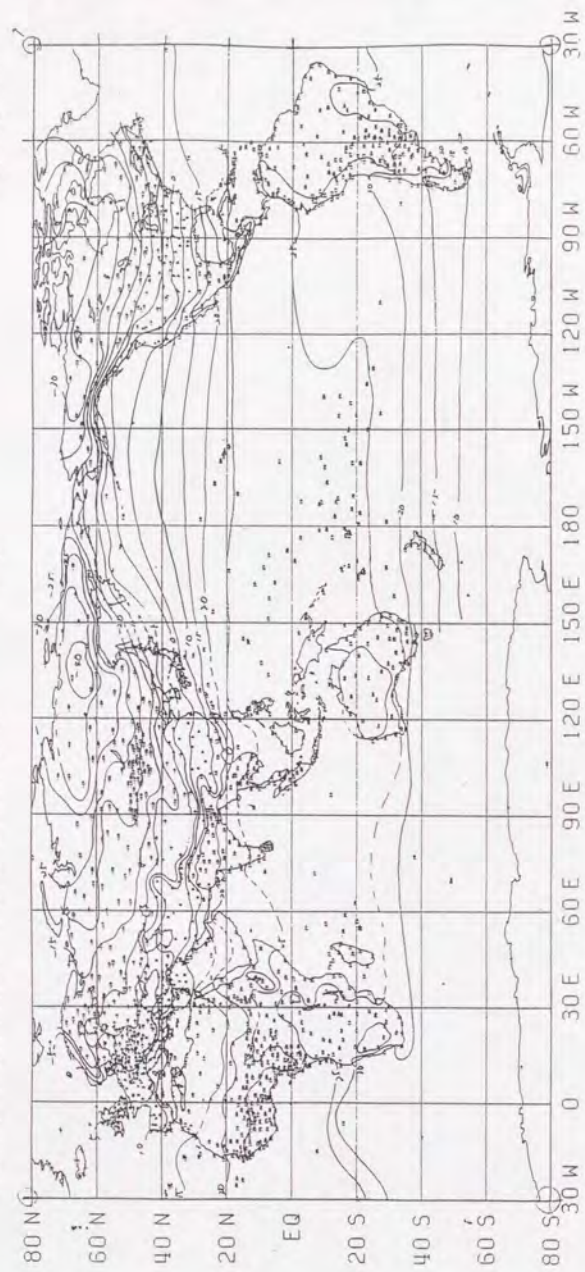


图 7-4 世界月别温度分布图 (1月)

MEAN MONTHLY PRECIPITATION (10MM)

JANUARY

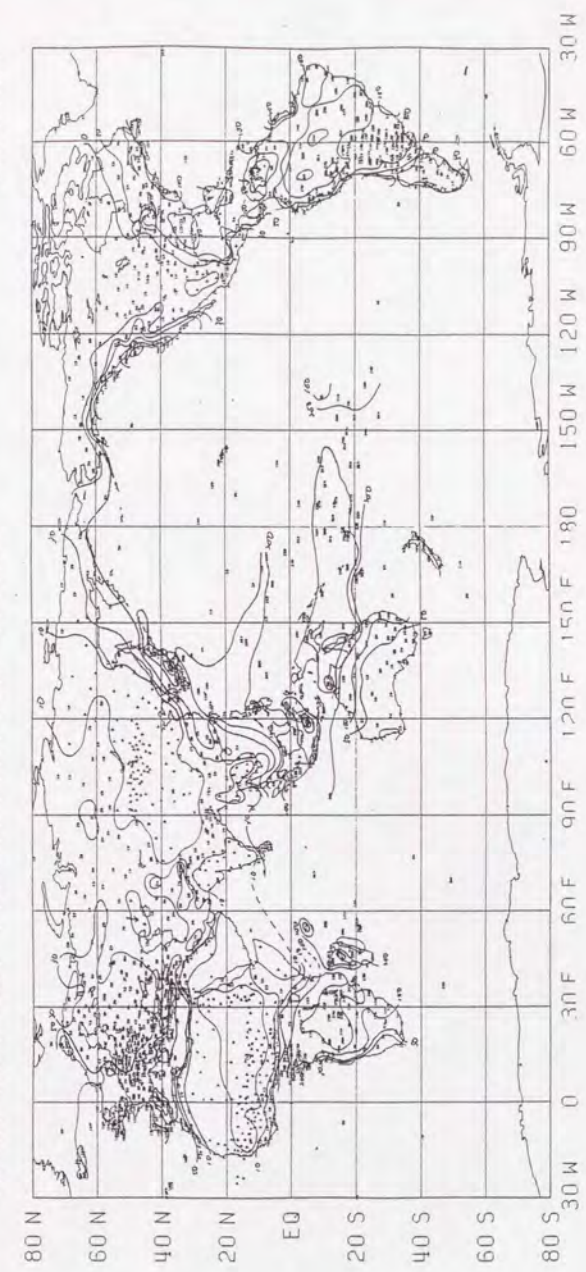


图 7-5 世界月别降水分布图 (1月)

次に、実際にテストエリアをオーストラリアに選定し生態気候区分図を作成する。オーストラリアを選定した理由は次の3点である。

- 1) オーストラリアは一つの島としてまとまった面積を持っている。
- 2) 熱帯林から砂漠まで、マングローブ林から高山植物まで豊富な植生を有している。
- 3) 人間活動の影響を受けるようになってからの歴史が短く、人間活動の影響が単純である。

オーストラリアの特殊な条件を考慮しないで作成した生態気候区分図を図7-6に示す。同地域の植生季節変動パターンによる植生分類結果を図7-7に示す。植生の現状を示す図7-7には砂漠があるのに生態気候区分図には砂漠が存在しない。気温と降水の条件だけから判定するとオーストラリアには砂漠になる地域はないが、土壌の塩害による特殊な要因によって砂漠が存在する。そこで、現存植生図の砂漠を参照して生態気候区分図に砂漠地域を加えたものを図7-8に示す。

作成したオーストラリアの生態気候区分図を考察する。図7-7（現存植生を示すもの）と図7-8の生態気候区分を比較すると生態気候区分の森林部分が多いことが解る。オーストラリアの北部では耕作、家畜などの影響により気象の環境要因が許す植生よりも遙かに少ない植生しかない。特に、オーストラリアでは草原や林に人為的に火が付けられることがある。この火は焼き畑の他に雷などによる自然発生の山火事等の被害を最小限にするためによく行われている。これをファイアマネジメントと呼ぶ。このようにみるとオーストラリアでは北部から東側における地域で自然に対する人間の影響が大きくでていることが解る。

今後、生態気候区分には土壌の情報を組み入れる必要がある。たとえば、塩害による砂漠などは気象情報からだけでは判定できない。しかしながら土壌の種類と植生の関係を明らかにした情報（データベース）がないとゾーンニングに役立てることは難しい。

以上の点でオーストラリアでの生態気候区分は試行的なものであるが、人間活動の影響がでていることを明らかにできた。

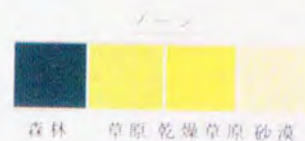


図7-6 オーストラリア生態気候区分図

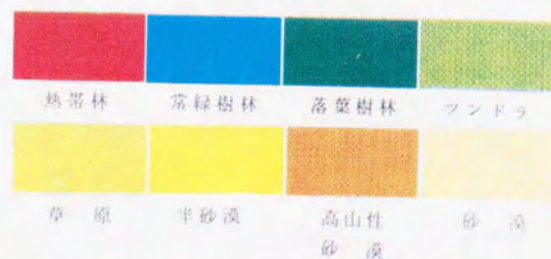


図7-7 オーストラリア現存植生図
(植生季節変動パターンによる植生分類を用いた。)

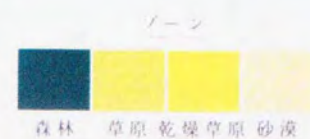


図7-8 オーストラリア生態気候区分図(補足版)

第8章 結論

結論を述べるにあたり本論文の目的をここでもう一度確認する。

目 的

衛星データを用いることによりグローバルスケールで統一のとれた定量的な植生分類定義に基づいた植生区分を提案し、その区分を利用した世界植生分類図を作成し、世界植生環境のモニタリングを行い、さらに生態気候学的な考察を行うことを目的とする。

本研究は上記の目的を達成するにあたり、具体的には次のことを明らかにする。

- ① NOAA グローバル植生指標 (GVI, Global Vegetation Index) データを用いた定量的植生分類の定義
- ② 世界植生分類図の作成と検証
- ③ 植生指標の変動と気候変動との関連
- ④ 生態気候区分図 (Eco-Climate map) の概念

以上の4点について具体的に成果を整理すると

① NOAA グローバル植生指標 (GVI, Global Vegetation Index) データを用いた定量的植生分類の定義は第4章「植生季節変動パターンによる植生区分」において全く新しい植生分類法「植生季節変動パターンによる植生分類法」を提案することができた。

② 世界植生分類図の作成と検証は第5章「植生分類結果とその考察」において1983年から1987年までの植生図と地域ごとに植生タイプ別の面積を求めた。さらに、現地調査を中心にして作成された既存の植生図と比較した。その結果、既存のものと大きくは違わないが、より新しい情報を得ることができた。また、本研究の定義に従った植生図は更新が容易にできることも5年間の植生図作成が

ら証明できた。

③ 植生指標の変動と気候変動との関連は第6章「植生指標の変動と気候変動との関連」において1982年4月から1988年10月までの植生指標の変動と気候の変動との関連について考察する。特に、アマゾンの熱帯林の活動とエルニーニョ現象・CO₂濃度との関連を示すデータが世界ではじめて得られた。

④ 生態気候区分図 (Eco-Climate map) の概念は第7章「生態気候区分図の概念」において今までの気候区分に衛星データを利用して植物生態学的な配慮を加味し新しい区分図の概念を示唆できた。

以上のように本研究では当初の目的を達成できた。

< 参考文献 >

- 1)石弘之、地球環境報告、岩波書店、1988年、pp1-iv、pp88-103
- 2)吉岡邦二、植物地理学 一生態学講座 12一、共立出版 昭和48年 pp46-72
- 3)沼田真、篠崎吉朗、植物生態学(1) 一生態学大系 第1巻一、古今書院、pp40-121
- 4)Earth System Sciences Committee NASA, Earth System Science, 1988, pp23-27
- 5)朝倉正、知っておきたい異常気象、大蔵省印刷局、1987年、pp4-7
- 6)環境庁、環境白書 平成2年版 総説、1990年、pp56-72
- 7)環境庁、環境白書 平成2年版 各論、1990年、pp235-240
- 8)UNESCO, Man and the Biosphere (MAB) Programme, 1989, pp25-31
- 9)岩城英夫、生態学概論、日本放送出版協会、昭和61年、pp10-15, pp80-87, pp102-109, pp224-225
- 10)奈須紀幸、大気と海洋、日本放送協会出版、昭和61年、pp63-73
- 11)吉野正敏、大気学 一自然地理学講座 2一、大明堂、昭和53年、pp15-36, pp301-311
- 12)UNITED NATIONS, WORLD CARTOGRAPHY Volume XX, 1990, pp1-16

- 13)財団法人 日本野生生物研究センター、第3回自然環境保全基礎調査磁気データファイルの概要、平成元年、pp4-9, pp34-53
- 14)Food and Agriculture Organization of the United Nations, Classification and Mapping of Vegetation Types in Tropical Asia, 1989, pp3-51
- 15)E.O.Box Macroclimate and plant forms an introduction to predictive modeling in phytogeography, DR W. JUNK PUBLISHERS, 1981, pp11-19, pp27-32
- 16)吉良竜夫、"アジアの熱帯林の位置づけ"、海外学術調査コロキウム「アジアの熱帯林」、1986年、pp8-31
- 17)宮脇 昭、"植生"、海外学術調査コロキウム「アジアの熱帯林」、1986年、pp32-53
- 18)堀田 満、"種多様性"、海外学術調査コロキウム「アジアの熱帯林」、1986年、pp54-60
- 20)Kazue Fujiwara, "Aims and Methods of Phytosociology or "Vegetation Science" , Papers on Plant Ecology and Taxonomy to the Memory of Dr.Satoshi Nakanishi, 1987, pp607-628
- 21)忠鉢 繁、"南極オゾンホール フロンによるオゾン層破壊"、現代化学9月 東京化学同人、1989年、pp28-33
- 22)鈴木基之、"二酸化炭素と人間活動"、現代化学11月 東京化学同人、1989年、pp14-17
- 23)角皆静夫、"大気-海洋間の二酸化炭素の交換"、現代化学11月 東京化学

同人、1989年、pp18-22

24)田中正之、"二酸化炭素の変動と地球化学的循環"、現代化学11月 東京化学同人、1989年、pp23-27

25)加藤喜久雄・本多嘉明・村井俊治、"エルニーニョ・熱帯雨林生産・大気CO₂濃度の関連性について"、日本海洋学会、1990年

26)Elaine Matthews;"Global Vegetation and Land Use: New High-Resolution Data Base for Climate Studies", Journal of Climate and Applied Meteorology Vol.22, 1983, pp474-487

27)UNEP: Global Change Database, 1990, pp1-3

28)E. Matthews;"Matthews Vegetation, Land-Use, and Seasonal Albedo", UNEP Global Change Database, 1990

29)M. Wilson and A. Henderson-Sellers;"A Global Archive of Land Cover and Soils Data for Use in General Circulation Climate Models", Journal of Climatology Vol5, 1985, pp119-143

30)R. Witt;"FAO Soil Units", UNEP: Global Change Database, 1990

31)J. Ronald Eastman; IDRISI - A Grid-Based Geographic Analysis System-, Clark University, 1990, pp1-1 - 1-3

32)UNEP: Environmental Law in the United Nations Environment Programme, 1985, pp1-8

33)UNEP: 1985 ANNUAL REPORT, 1986, pp1-6, pp37-124

34)Joint Oceanographic Institutions Incorporated;"Oceanography from Space - A research Strategy for the Decade 1985-1995 -", 1984, pp8-12

35)K. Furmanczyk, J. Herbich, K. Petelski, K. Sznajderska;"Forest and anthropogenic vegetation", Polska na zdjeciach lotniczych i satelitarnych, 1988, pp44-47

36)J. B. Falinski;"Bog and forest vegetation", Polska na zdjeciach lotniczych i satelitarnych, 1988, pp30-33

37)J. B. Falinski;"Flood-plain forest and non-forest", Polska na zdjeciach lotniczych i satelitarnych, 1988, pp72-73

38)B. J. Choudhury;"Monitoring global land surface using Nimbus-7 37GHz data. Theory and examples", International Journal of Remote Sensing Vol10, 1989, pp1579-1606

39)C. O. Justice, J. R. G. Townshend and B. J. Choudhury;"Comparison of AVHRR & SMMR data for monitoring vegetation phenology on a continental scale", International Journal of Remote Sensing Vol10, 1989, pp1607-1632

40)J. R. G. Townshend, C. O. Justice and B. J. Choudhury;"A comparison of SMMR & AVHRR for continental land cover characterization", International Journal of Remote Sensing Vol10, 1989, pp1633-1642

41)S. D. Prince and B. J. Choudhury;"Interpretation of Nimbus-7 37GHz microwave brightness temperature data in semi-arid southern Africa", International Journal of Remote Sensing Vol10, 1989, pp1643-1662

42)J. M. Maslanik, J. R. Key and R. G. Barry;"Merging AVHRR and SMMR data for

remote sensing of ice and cloud in polar regions", International Journal of Remote Sensing Vol10, 1989, pp1691-1696

43) C.O. Justice, J.R.G. Townshend, B.N. Holben and C.J. Tucker; "Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data", International Journal of Remote Sensing Vol6, 1985, pp1271-1318

44) T. Lee and J.A. Richards; "A low cost classifier for multitemporal application", International Journal of Remote Sensing Vol6, 1985, pp1405-1418

45) F.S. Olesen and H. Grassl; "Cloud detection and classification over oceans at night with NOAA-7", International Journal of Remote Sensing Vol6, 1985, pp1435-1444

46) W.J. Ripple; "LANDSAT Thematic Mapper bands for characterizing fescue grass vegetation", International Journal of Remote Sensing Vol6, 1985, pp1373-1384

47) C.J. Tucker and P.J. Sellers; "Satellite remote sensing of primary production", International Journal of Remote Sensing Vol7, 1986, pp1395-1416

48) B.N. Holben; "Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data", International Journal of Remote Sensing Vol7, 1986, pp1417-1434

49) J.U. Hielkema, S.D. Prince and W.L. Astle; "Rainfall and vegetation monitoring in the Savanna Zone of the Democratic Republic of Sudan using the NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer", International Journal of Remote Sensing Vol7, 1986, pp1499-1514

50) UNEP; Desertification Control, 1981

51) B.J. Choudhury; "Monitoring regional and Global Vegetation Using Low-Resolution Satellite Data with Special Reference to the Sahel Drought", Space and Drought Management Current Event Session IV 39th IAF Congress, 1988, pp19-33

52) S. Thiruvengadachari; "National Agricultural Drought Assessment and Monitoring System in India: The Satellite Contribution", Space and Drought Management Current Event Session IV 39th IAF Congress, 1988, pp35-49

53) 科学技術庁研究開発局; アセアン諸国とのリモートセンシング技術の高度化とその応用に関する協同研究-成果報告書-, 平成元年, pp21-28

54) SDSD USA; "Global Vegetation Index User's Guide", 1986, pp1-3, pp12-16

55) 孫 衛東; "気象衛星NOAA画像の幾何学的歪補正と大気補正に関する研究", 昭和63年 東京大学博士論文(工学), pp16-21

56) Arthur Schwalb; "The TIROS-N/NOAA A-G Satellite Series", NOAA, pp20-52

57) 三菱総合研究所; "グローバルリモートセンシングによる地球環境の分析", 1990年 三菱総合研究所内部資料, pp66-84

58) 山口良二、福江潔也、下田陽久、坂田俊文; "土地被覆分類におけるSPOT-HRVデータの特性", 日本写真測量学会 年次講演発表会論分集, 1987年, pp63-68

59) 李 雲慶、安田嘉純、江森康文; "Vegetation Index による中国主要農業地域の植生調査", 日本写真測量学会 年次講演発表会論文集, 1988年, pp17

60) 建石隆太郎、梶原康司、小田島高之；" NOAA GVI画像によるアジア全域の土地被覆調査"、文部省 重点領域研究「衛星による地球環境の解明」 地球環境ニュースレター No.2、1989年、pp1-3

61) 本多嘉明、村井俊治；" GLOBAL VEGETATION INDEXを用いた大興安嶺地区山火事の回復に関する研究"、日本写真測量学会 年次学術講演会発表論文集、1989年5月、pp61~64

62) 劉会傑、本多嘉明、小井土今朝己、村井俊治；" ノア画像を用いた大興安嶺地区山火事の回復に関する研究"、写真測量とリモートセンシング、vol. 28, No. 4、1989年、pp4~12

63) 本多嘉明、村井俊治；" GLOBAL VEGETATION INDEXを用いた植生図について"、日本写真測量学会 年次学術講演会発表論文集、1989年10月、pp135~138

64) Yoshiaki Honda, Shunji Murai; "Vegetation Mapping Using Global" Vegetation Index and Weather Data; 10th ACRS, Kuala Lumpur, Malaysia, 1989年11月、ppA-2-4-1~A-2-4-6

65) 村井俊治、本多嘉明、" 衛星による地球生物環境の変動解明"、文部省科学研究費 重点領域研究 「衛星による地球環境の解明」、1990年2月、pp65~70

66) Yoshiaki Honda, Shunji Murai; " Vegetation Mapping Using Global" Vegetation Index; ISPRS Commission IV Tsukuba Japan、1990年5月、pp608~615

67) Shunji Murai, Yoshiaki Honda; "Eco-Climate Map", ISPRS Commission I、1990年6月、Manaus Brazil

68) Shunji Murai, Yoshiaki Honda; " Vegetation Mapping Using Global Vegetation Index", V International Congress of Ecology 1990、1990年8月、S2-3-04[14]

69) Shunji Murai, Yoshiaki Honda; "Global Change Monitoring of Biosphere using NOAA Vegetation Index and Geo-information", The National Biological Conference of Thailand including Asia and the Pacific Regions; Global Change: Effects on Tropical Forest, Agricultural, Urban and Industrial Ecosystems, 1990年10月

70) 本多嘉明、スーキット・ヴィセシン、村井俊治；" パソコンによる教育用地球環境データベース"、日本写真測量学会 年次学術講演会発表論文集、1990年11月 pp123~126

71) 村井俊治、本多嘉明；" 衛星による地球生物圏の変動解明"、文部省 重点領域研究「衛星による地球環境の解明」 地球環境ニュースレター No.4、1990年、pp1-5

72) 和達清夫、土屋清、安田嘉純、江森康文、飯坂譲二、長尾真；" リモートセンシング"、朝倉書店、昭和51年、pp110-117

73) Superintendencia do Desenvolvimento da Amazonia - SUDAM, Fundacao Instituto Brasileiro de Geografia e estatística - IBGE; Mapa de Vegetacao da Amazonia Legal, 1989

74)モンゴル政府；"モンゴル植生図"、1981年

75)C. D. Keeling, R. B. Bacastow, A. F. Carter, S. C. Piper, Timothy P. Whorf, Martin Heimann, Willem G. Mook and Hans Roeloffzen: "A Three-Dimensional Model of Atmospheric CO₂ Transport Based on Observed Winds", Geophysical Monograph 55 American Geophysical Union, pp165-205

