

気候変動によるアジア・太平洋地域の植生分布の将来予測に関する研究

大政謙次・恒川篤史

(東京大学)

町田聡・吉岡正泰

(パシフィックコンサルタンツ株式会社)

摘 要

地球温暖化によって気温や降水量などの気候条件が変化すると、植生分布にさまざまな影響を及ぼすことが考えられる。環境庁をはじめ各種研究機関では、温暖化と植生分布との関係をさまざまなモデルで表現し、将来潜在植生の予測を行ってきているが、国を越えた広域を対象に行われた研究例は少ない。

本研究では、アジア太平洋地域を対象として、年平均気温と年間降水量の2つの気候条件と植生分布との関連を記述するモデル(ロジットモデル)を作成し、現況の植生分布に対する的中率を算出することで、モデルの適応性を検証した。次に、IPCCが提供する複数の将来気候変動シナリオをインプットデータとして、温暖化影響による将来潜在植生の予測を行った。その結果、対象地域内において温暖化によって影響を受けやすいと懸念される植生を示唆することができた。

キーワード：温暖化、植生分布、アジア太平洋地域、ロジットモデル、GIS

1. はじめに

地球温暖化は、気温の上昇や降雨パターンの変化、二酸化炭素濃度の上昇などにより、植生の分布に影響を及ぼすといわれており¹⁾、気温条件と水分条件などの変化から、潜在的な植生分布の変化を予測することが可能と考えられる。

一方、アジア太平洋地域は、気温と降水量の分布が著しく異なる多様な気候帯を持ち、これらの条件に対応して植生分布も多様である。さまざまな社会経済活動により土地利用の変化が著しい当該地域において、温暖化により引き起こされる植生のポテンシャルシフトを予測することは、政策担当者、土地管理者に重要な情報を提供すると考えられる。

2. 研究の背景と目的

地球規模の気候変動が植生分布に及ぼす影響に関しては、恒川らが中国²⁾および日本³⁾を対象にして複数のモデルを用いた現況再現および将来予測に関して研究を行っている。そこでは、年平均気温と年間降水量を説明変数にした場合、線形ロジットモデルを用いたシミュレーション結果が他のモデルに比較して高い的中率を得られるという結果が得られている。

本研究は、この研究成果をベースにして、アジア・太平洋地域という広域を対象にして、同様のモデルを作成することで、現況の植生分布に対す

る的中率を算定し、モデルの適用性を検証するとともに、将来の気候変動シナリオによる予想値を与えることで、温暖化によって引き起こされる植生のポテンシャルシフトの予測可能性について検討を行ったものである。

3. モデルの構築

3.1 使用モデル

気候パラメータ(気候変数)と植生との関係を記述するモデルには、「判別分析モデル」、「ファジーモデル」、「線形多項ロジットモデル」などの適用が考えられる。しかし前述した研究の中で、線形多項ロジットモデルが他のモデルと比較して高い的中率が得られていることから、本研究では線形多項ロジットモデル(式-1)を用いてモデルを作成した。

$$P(i) = \frac{\{\exp(T \times a_i + P \times b_i + c_i)\}}{\sum_{i=1}^n \exp(T \times a_i + P \times b_i + c_i)} \quad \dots \text{式-1}$$

i：目的変数

T、P：説明変数

a_i：説明変数Tのパラメータ

b_i：説明変数Pのパラメータ

c_i：定数

P(i)：目的変数iと判別される確率

ロジットモデルは、複数の離散的でかつ悉皆的

である選択肢の一つ一つに対し、意思決定者がある効用をもっており、その効用が最大になるように選択を行うという効用最大化の理論に立脚している。なお、式中の a_i 、 b_i 、 c_i のパラメータは、最尤法を用いて推定するのが一般的である。⁴⁾⁵⁾ なお、モデルの作成にあたって用いる説明変数としては、恒川ら (1995)²⁾、(1996)³⁾ の研究に習い、年平均気温および年間降水量の2つの変数のみを採用している。当然のことながら、植生分布を予測する上での説明変数としてはこれら2つの変数が十分なものではないと考えられる。生態学的に考えれば、寒候期の気温、成長期の降水量、湿潤度などの季節変動を考慮したパラメータを用いる必要も考えられる。しかし、本研究では既往の研究成果との対比を行うこと、また気候変動による将来予測値としてGCMを用いたシミュレーションのアウトプットとして得られるデータが気温と降水量のみであるという点を考慮し、これら2つのパラメータでどこまでの予測が可能かをまず検証することとした。

3.2 使用データ

植生に関するデータセットには、UNEP/GRIDのホームページから、ホールドリッジの植生図、オルソンの植生図、マッシュューズの植生図などがダウンロード可能であるが、ホールドリッジの植生図は生物気温、年間平均降水量および潜在的蒸発散比の3つの指標より求めた植生図であり、オルソンの植生図は植生中の炭素量より求めた植生図であるため、本研究では、複数の現存植生図から作成されたといわれるマッシュューズの植生図を用いた。年平均気温および年間降水量の気象データに関しては、IIASAが1930年から1960年の気象記録より作成したデータより求めた。表-1に本研究で使用したデータを示す。

3.3 データの前処理

(1) データの切り出し

表-1 本研究で使用したデータ

項目	データ名称	出典
植生	Matthews' Global Vegetation DB for Climate Studies	GISS
気温	Temperature, Mean Monthly	IIASA Climate Database
降水量	Precipitation, Mean Monthly	IIASA Climate Database

(GISS: NASA Goddard Institute for Space Studies)
(IIASA: International Institute for Applied Systems Analysis)

入手したデータは全地球上を緯度・経度で区分したメッシュ毎の数値として記録されている。その中から、本研究の対象とするアジア太平洋地域(東経30度~180度、北緯50度~南緯50度)の切り出しを行った。

(2) メッシュサイズの統一

入手したデータは、植生データが1経緯度メッシュ、気候データ(気温・降水量)が0.5経緯度メッシュで記録されており、植生データを緯度経度0.5度メッシュに分割することで、全変数を0.5経緯度メッシュで整理した。なお、分割した4つのメッシュには、全てに元のメッシュの植生情報を付加した。

(3) 年平均気温および年間降水量データの算出

入手した月ごとのデータを、式-2、3に示す

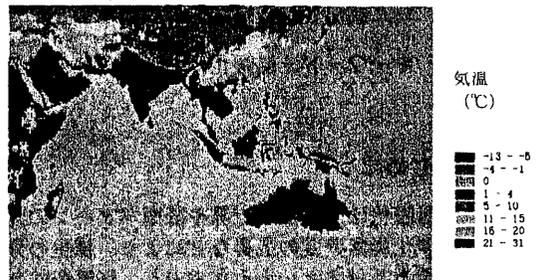


図-1 年平均気温の分布

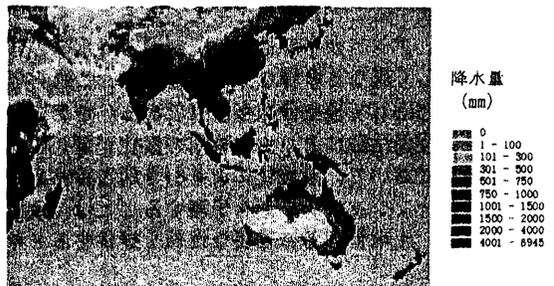


図-2 年間降水量の分布

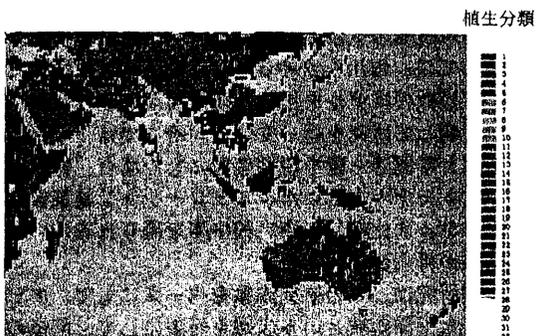


図-3 Matthewsの植生図

ように、降水量については各月の平均降水量を総和し、気温については各月の平均気温を加重平均することで、年間値を求めた。図-1に年平均気温データ、図-2に年間降水量の計算結果をランク分けし、図示する。

$$\text{年平均気温} = (1 \text{ 月平均気温} \times 31(\text{日}) + 2 \text{ 月平均気温} \times 28.25(\text{日}) + 3 \text{ 月平均気温} \times 31(\text{日}) + 4 \text{ 月平均気温} \times 30(\text{日}) + \dots + 12 \text{ 月平均気温} \times 31(\text{日})) / 365.25$$

…式-2

$$\text{年間降水量} = 1 \text{ 月平均降水量} + 2 \text{ 月平均降水量} + \dots + 12 \text{ 月平均降水量}$$

…式-3

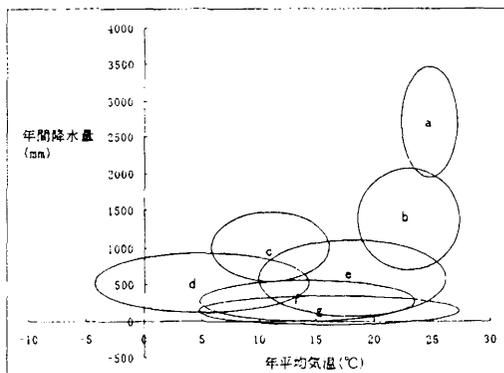


図-4 各植生分類毎の気象条件分布図

表-2 植生分類の統合

本研究で用いた植生分類	Matthewsの区分における植生番号	植生名	年平均気温の平均値および標準偏差(°C)	年間降水量の平均値および標準偏差(mm)
a	1	Tropical evergreen rainforest, mangrove forest	24.4±2.8	2642±730
	3	Subtropical evergreen rainforest		
b	2	Tropical/subtropical evergreen seasonal broadleaved forest	23.4±4.3	1334±668
	9	Tropical/subtropical drought-deciduous forest		
	15	tropical/subtropical drought-deciduous woodland		
c	4	temperate/subpolar evergreen rainforest	11.0±5.3	1036±452
	5	temperate evergreen seasonal broadleaved forest, summer rain		
	6	evergreen broadleaved sclerophyllous forest, winter rain		
	7	tropical/subtropical evergreen needleleaved forest		
	10	cold-deciduous forest, with evergreens		
	14	evergreen needleleaved woodland		
	18	evergreen needleleaved or microphyllous shrubland/thicket		
d	8	temperate/subpolar evergreen needleleaved forest	5.3±9.4	584±381
	11	cold-deciduous forest, without evergreens		
	16	cold-deciduous woodland		
	19	drought-deciduous shrubland/thicket		
	22	arctic/alpin tundra, mossy bog		
	28	meadow, short grassland, no woody cover		
e	12	Xeromorphic forest/woodland	18.1±8.3	626±403
	13	evergreen broadleaved sclerophyllous woodland		
	17	evergreen broadleaved shrubland/thicket, evergreen dwarf-shrubland		
	23	tall/medium/short grassland with 10-40% woody tree cover		
	24	tall/medium/short grassland with <10% woody tree cover or tuft-plant cover		
	26	tall grassland, no woody cover		
	27	medium grassland, no woody cover		
	29	forb formations		
f	21	Xeromorphic shrubland/dwarf shrubland	14.1±9.0	314±259
	25	tall/medium/short grassland with shrub cover		
g	30	Desert	16.2±11.5	196±202

(4) 植生分類の統合

本研究で入手したMatthewsの植生データでは、現存植生が32項目に分類されている。しかし、それらの植生分類の中には類似する気候条件のもとに生育するものも多くあり、将来予測の目的変数として取り扱うには、分類項目が細かすぎる。そこで、植生分類毎の気温・降水量の平均値、最大値、最小値、分散などの基本統計量を算出するとともに、それらを用いたクラスタリング結果などを参考に、生態学的特性の近似値を考慮しながら類似気候条件下に分布する植生を統合し、7分類に集約した。表-2に植生分類の統合結果を示し、図-3に使用した植生区分を図示する。また、図-4に各植生分類毎の年平均気温および年間降水量の平均値、標準偏差を示す。

3.4 パラメータの算出および推定植生における的中率の算定

対象地域を緯度・経度により分割した各メッシュ毎に、モデルを用いて現況を再現した「推定植生図」と、既存の植生分類図に基づく「現存植生図」とを比較することで、モデルの的中率を算定した。モデルのパラメータは最尤法を用いて算出し、パラメータをもとに各植生毎の選択確率を求め、一番高い確率をもつ植生を、推定された植生分類とする。

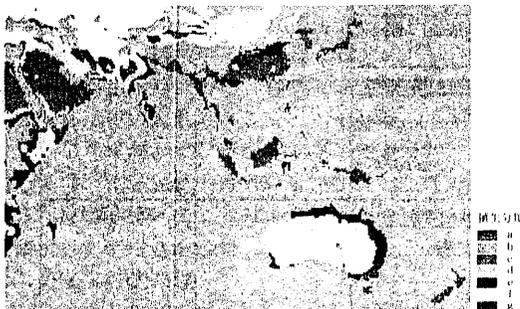


図-5 現在の植生分布



図-6 推定された植生分布

図-5、図-6に現在の植生分布を図化したものの(Matthewsの原データ)と、モデルによって推定された植生分布(現況再現の結果)を比較する。

また、表-3に各植生毎に算出されたパラメータおよび的中率を、式-4に表-3のパラメータを利用して植生(g)に判別される確率の計算式を示す。また、表-4に現存植生とモデルによって求めた推定植生との対応をクロス集計表で示す。

$$P(g) = \left\{ \begin{aligned} & \exp(T \times (0.655 \times 10^{-2}) + P \times (-0.916 \times 10^{-2}) + 0.454 \times 10^{-2}) \\ & \exp(T \times (0.0) + P \times (0.0) + 0.0) \\ & + \exp(T \times (0.014) + P \times (-0.167 \times 10^{-2}) \\ & + 0.054 \times 10^{-2}) + \dots + \exp(T \times (0.656 \\ & \times 10^{-2}) + P \times (-0.916 \times 10^{-2}) + 0.454 \times \\ & 10^{-2}) \end{aligned} \right\} \quad \dots \text{式-4}$$

表-3によると、モデルの的中率は、全体で約52.0%となっており、的中率が比較的高かったのは、植生分類(b)と(f)、逆に低かったのは(c)と(e)であった。

一方、表-4をみると、現存植生(a)から(b)へ、(e)から(f)へ、(g)から(f)への誤分類が目立つ。(a)と

表-3 植生毎にパラメータを算出した結果および現況再現率的中率

植生分類	パラメータ			的中率 (%)
	TEMP	PREC	CONST	
a	0	0	0	51.9
b	0.014	-0.167 × 10 ⁻²	0.054 × 10 ²	67.1
c	-0.603 × 10 ⁻²	-0.148 × 10 ⁻²	0.295 × 10 ²	38.8
d	-0.862 × 10 ⁻²	-0.284 × 10 ⁻²	0.393 × 10 ²	47.7
e	0.655 × 10 ⁻²	-0.372 × 10 ⁻²	0.328 × 10 ²	20.6
F	0.375 × 10 ⁻²	-0.627 × 10 ⁻²	0.483 × 10 ²	75.5
G	0.655 × 10 ⁻²	-0.916 × 10 ⁻²	0.454 × 10 ²	45.4
全体	—	—	—	52.0

表-4 現存植生と推定植生の比較

		推定植生						
		a	b	c	d	e	f	G
現存植生	a	51.9	30.9	0.6	0.1	1.8	14.6	0.0
	b	7.3	67.1	5.2	0.3	9.9	9.2	0.9
	c	2.6	5.2	38.8	15.4	18.3	19.7	0.0
	d	0.2	1.3	10.3	47.7	4.3	36.0	0.2
	e	0.2	22.9	0.7	7.9	20.6	43.9	3.8
	f	0.0	4.0	0.2	3.2	7.2	75.5	9.8
	g	0.0	0.0	0.8	14.3	0.3	39.2	45.4

(b)はともに熱帯、亜熱帯に位置する植生であり、(e)、(f)、(g)については、草地、砂漠など比較的植生の密でない地域である。これらの誤分類については、比較的類似する気候帯の植生同士のものであり、説明変数が2つしかないモデルであることを考え、やむを得ない結果であると考えられる。

4. 地球温暖化に伴う植生シフトの予測

4.1 既存の将来気候予測シナリオ

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate

表-5 IPCCが公開している気候変動シナリオ

1	Australia's Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO)	CSIRO coupled GCM
2	Deutsches Klimarechenzentrum DKRZ, Germany	ECHAM4/OPYC3
3	Hadley Centre for Climate Prediction and Research HCCPR, UK	HADCM2
4	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis (CCCma)	CGCM1
5	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory GFDL, USA	GFDL CGCM

Change: 気候変動に関する政府間パネル) は、GCM (General Circulation Model: 大循環モデル) を用いた将来気候のシミュレーション結果として、各国の研究機関が作成した気温、降水量の将来予測値の中から、1999年3月現在、5つのシナリオ (表-5) を研究者に公開している。

さらに、それぞれのシナリオには、Greenhouse Gasのみが増加するケースとGreenhouse Gasと Sulphate Aerosolの2つが増加するケースが設定されており、予測値はA: 2010年~2039年、B: 2040年~2069年、C: 2070年~2099年の3つの対象年次について求められている。

本研究では、上記シナリオの中から平均気温と降水量の両方のデータを持つ、CSIRO coupled GCM、ECHAM 4 /OPYC 3、HADCM 2 および CGCM 1 の4つのシナリオについて、Greenhouse Gasのみが増加すると仮定した場合の各予測対象年次について、研究対象地域のデータを抽出し、将来植生分布の予測を行った。表-6に各シナリオにおける対象地域内メッシュの年間降水量・年平均気温の平均値を示す。また、図-7に各予測

表-6 各シナリオにおける年間降水量・年平均気温

		予測対象年次 A (2010年~2039年)	予測対象年次 B (2040年~2069年)	予測対象年次 C (2070年~2099年)
CSIRO coupled GCM	年間降水量(mm)	715.1	717.5	730.0
	年平均気温(°C)	16.8	16.5	19.0
ECHAM4/OPYC3	年間降水量(mm)	738.2	752.4	773.6
	年平均気温(°C)	17.0	18.4	19.7
HADCM2	年間降水量(mm)	710.7	719.9	715.7
	年平均気温(°C)	16.9	17.0	19.6
CGCM1	年間降水量(mm)	680.3	676.0	725.3
	年平均気温(°C)	17.4	19.5	22.3

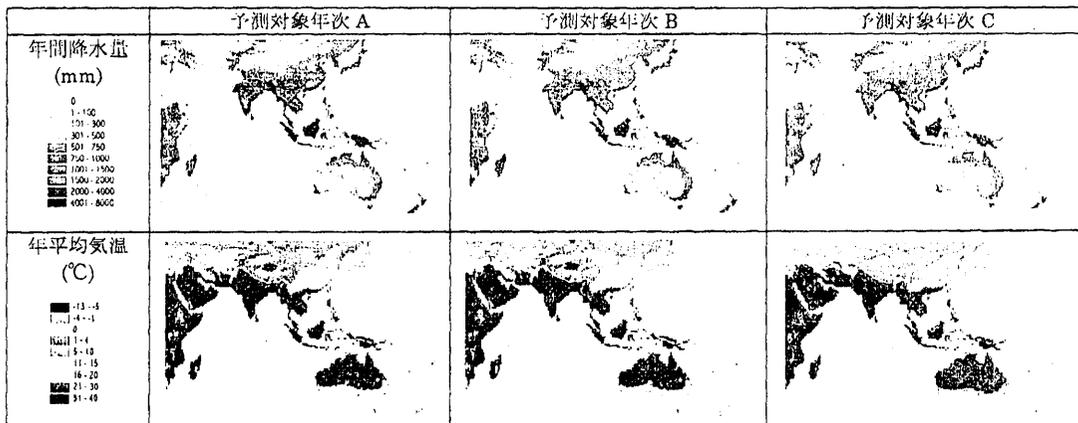


図-7 各予測対象年における年間降水量、年平均気温例 (シナリオ:CSIRO)

表一七 植生毎の変化量

年次	シナリオ：CSIRO coupled GCM							シナリオ：ECHAM4/OPYC3							シナリオ：HADCM2							シナリオ：CGCM1						
	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g
2010年～2039年																												
推定植生割合(%)	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7
将来植生割合(%)	5.5	11.9	12.5	9.7	7.6	39.7	13.0	5.7	12.5	13.5	8.8	7.9	40.9	10.8	5.1	12.7	12.6	9.3	7.9	39.4	12.9	4.8	11.6	11.1	8.0	9.4	40.2	14.8
変化量	Δ0.9	▲4.9	▲6.5	▲1.9	▲1.5	▲2.3	▲2.3	▲1.1	▲4.3	▲7.5	▲2.8	▲1.2	▲0.3	▲0.1	▲0.5	▲4.1	▲6.6	▲2.3	▲1.2	▲1.8	▲2.2	▲0.2	▲5.2	▲5.1	▲3.6	▲0.3	▲1.0	▲4.1
2040年～2069年																												
推定植生割合(%)	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7
将来植生割合(%)	5.6	11.3	12.8	9.9	7.3	38.8	14.3	5.7	16.1	12.9	6.7	6.5	37.3	14.9	5.0	12.6	12.9	9.7	7.5	38.3	14.0	4.3	15.4	9.3	6.1	9.1	38.1	17.8
変化量	▲1.0	▲5.5	▲6.8	▲1.7	▲1.8	▲2.4	▲3.6	▲1.1	▲0.7	▲6.9	▲4.9	▲2.6	▲3.9	▲4.2	▲0.4	▲4.2	▲6.9	▲1.9	▲1.6	▲2.9	▲3.3	▲0.3	▲1.4	▲3.3	▲5.5	0.0	▲3.1	▲7.1
2070年～2099年																												
推定植生割合(%)	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7	4.6	16.8	6.0	11.6	9.1	41.2	10.7
将来植生割合(%)	5.5	16.4	11.2	7.1	5.8	36.4	17.5	5.5	20.1	13.0	4.4	5.6	35.5	15.9	5.2	12.9	12.3	9.2	8.3	41.3	10.8	3.9	22.5	8.3	3.7	9.2	36.8	15.6
変化量	▲0.9	▲0.4	▲5.2	▲4.5	▲3.3	▲4.8	▲6.8	▲0.9	▲3.3	▲7.0	▲7.2	▲3.5	▲5.7	▲5.2	▲0.6	▲3.9	▲6.3	▲2.4	▲0.8	▲0.1	▲0.1	▲0.7	▲5.7	▲2.3	▲7.9	▲0.1	▲4.4	▲4.9

▲：+
△：+

表一八 植生間のシフト割合(%)

年次	シナリオ：CSIRO coupled GCM							シナリオ：ECHAM4/OPYC3							シナリオ：HADCM2							シナリオ：CGCM1								
	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g	a	b	c	d	e	f	g		
2010年～2039年																														
推定植生	90.2	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	92.5	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	87.9	0.0	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	85.0	0.4	14.6	0.0	0.0	0.0	0.0			
定植	7.8	62.8	23.2	0.0	6.3	0.0	0.0	8.7	64.1	22.9	0.0	4.4	0.0	6.3	66.6	20.8	0.0	6.3	0.0	5.3	61.2	17.2	0.0	16.0	0.3	0.0				
生	0.0	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.8	1.2	0.0	0.0	0.1	0.0	97.0	0.1	2.6	0.3	0.0				
2040年																														
推定植生	0.0	0.0	8.9	81.6	0.5	9.0	0.0	0.0	0.0	15.1	74.7	0.4	9.7	0.0	0.0	0.0	12.2	79.1	0.5	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	67.7	0.8	21.2	0.0	
定植	0.0	14.8	11.1	0.0	65.9	8.2	0.0	0.0	18.7	15.3	0.0	64.1	1.9	0.0	0.0	16.8	12.6	0.0	65.9	4.8	0.0	0.0	0.0	14.6	5.4	0.0	64.2	13.7	2.1	
生	0.0	0.0	0.3	0.6	1.3	91.3	6.5	0.0	0.1	0.2	0.3	3.2	94.1	2.1	0.0	0.1	0.0	0.2	2.0	92.1	5.5	0.0	0.1	0.0	0.3	1.6	88.2	9.8	0.0	0.0
2069年																														
推定植生	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	97.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	92.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	99.4	
定植	90.7	0.0	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	93.4	0.4	6.2	0.0	0.0	0.0	86.6	2.0	11.4	0.0	0.0	83.1	2.5	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0					
生	8.6	60.3	24.7	0.0	6.4	0.0	0.0	8.2	73.6	16.9	0.0	1.3	0.0	6.0	64.1	20.1	0.0	9.3	0.4	0.0	2.7	71.7	9.4	0.0	14.9	1.1	0.2			
2099年																														
推定植生	0.0	0.0	0.0	99.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	99.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	95.1	2.7	1.0	1.3	0.0	0.1	0.0	89.0	0.2	8.3	2.4	0.0			
定植	0.0	0.0	9.6	79.6	0.2	10.6	0.0	0.0	0.0	19.8	56.3	1.6	22.2	0.0	0.0	0.0	16.9	78.5	0.4	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	12.8	52.2	3.9	31.2	0.0	
生	0.0	12.4	10.6	0.0	64.7	12.3	0.0	0.0	32.5	14.8	0.0	48.4	4.4	0.0	0.0	14.4	13.2	0.0	57.1	14.8	0.4	0.0	27.1	2.3	0.0	45.9	20.2	4.6	0.0	
2099年																														
推定植生	0.0	0.0	0.3	1.5	0.8	87.8	9.5	0.0	1.9	0.2	0.3	4.1	81.6	11.9	0.0	1.0	0.2	1.2	1.6	87.1	8.9	0.0	1.8	0.0	0.0	3.6	77.3	17.3	0.0	
定植	92.6	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	92.2	2.2	5.6	0.0	0.0	0.0	89.2	0.0	10.8	0.0	0.0	80.5	8.9	10.7	0.0	0.0	0.0	0.0					
生	7.6	75.9	13.8	0.0	2.7	0.0	0.0	7.4	80.1	12.1	0.0	0.3	0.0	6.5	67.1	21.1	0.0	5.4	0.0	0.0	1.1	85.0	3.1	0.0	8.3	2.1	0.4			
2099年																														
推定植生	0.0	0.0	97.4	0.5	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	99.5	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.9	77.3	0.7	11.6	4.9	0.4			
定植	0.0	0.0	17.6	58.6	1.6	22.3	0.0	0.0	0.0	29.6	37.2	3.1	30.1	0.0	0.0	9.9	79.5	0.6	10.0	0.0	0.0	0.0	22.4	31.6	9.9	36.1	0.0			
生	0.0	34.0	5.4	0.0	49.9	10.7	0.0	0.0	47.7	13.3	0.0	35.9	3.1	0.0	0.0	17.6	12.3	0.0	70.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.6	11.2	6.5	0.0	
2099年																														
推定植生	0.0	1.4	0.4	0.7	1.2	79.2	17.2	0.0	4.8	0.1	0.3	4.6	75.0	15.3	0.0	0.1	0.0	0.0	2.4	97.4	0.2	0.0	7.7	0.0	0.0	5.5	73.8	13.0	0.0	
定植	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	97.7	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	7.5	89.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
生	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				

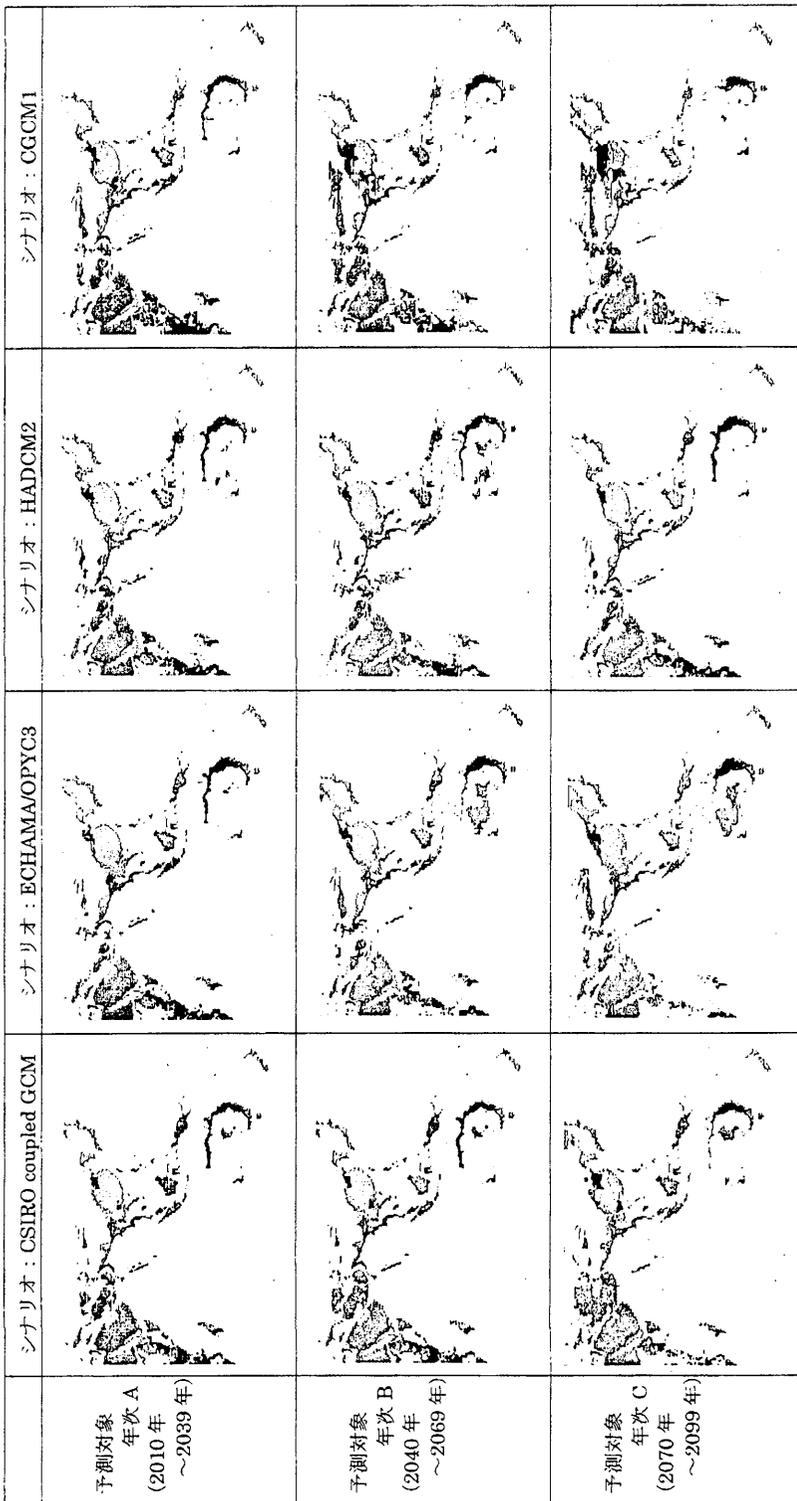


図-8 将来植生予想図 (各シナリオ)

対象年における年間降水量、年平均気温の一例を示す。

4.2 将来植生分布の予測

上記の各気候条件シナリオを用い、3.4で求めたモデルにあてはめることで、各予測対象年次における予測植生を求めた。表-7および表-8に現在の想定植生（モデルによって求めた現況植生）と予測結果との比較を示す。また、図-8に各シナリオにおける将来植生の予測結果を図化し示す。

4.3 将来植生の予測結果に対する考察

(1) シナリオ間の比較について

上記の結果を見る限りにおいて、シナリオ間で将来的な植生分布に関して顕著な相違は見られない。これは、シナリオ間で平均気温と降水量の将来予測に相違があるものの、植生境界部に現れる程度の差にすぎず、全般的な分布に影響するほどの大きな相違がないためと思われる。その中で、予測対象年次Aのシナリオ:CGCM1および予測対象年次Cのシナリオ:CGCM1における植生分類(b)(desert)の割合の増加が目立っている。この原因としては、シナリオ:CGCM1が他のシナリオと比較して年平均気温に関しては高い値を示していること、年間降水量に関しては低い値を示していることが影響を与えているものと思われる。また、予測対象年次Cのシナリオ:ECHAM4/OPYC3とシナリオ:CGCM1における植生分類(b)の割合の増加が目立っている。この原因としては、他のシナリオと比較して高温・湿潤という気象条件が影響しているものと思われる。

(2) 各シナリオにおける共通点について

植生分布域の拡大が顕著に見られるものは、植生分類(a)、(c)、(g)であり、それに対して植生分布域の縮小が顕著にみられるものは、植生分類(d)、(e)、(f)である。分布の拡大傾向が見られる植生分類(a)、(c)、(g)はいずれも中温から高温に属する植生であり、それに対して、分布の縮小傾向が見られる植生分類(d)、(f)は低温から中温に属する植生であることから、気温による影響を受け、全体的に高温に属する植生にシフトしていることが分かる。これは、各シナリオの年平均気温が約2℃～7℃上昇していることが結果に現れてきているものと思われる。また、同じ高温・湿潤に属する植生分類(b)が(a)とは異なり、予測対象年次A、Bで縮小傾向が見られる。予測対象年次Cに関しては、シナリオ:CSIRO coupled GCMおよびHADCM2で縮小傾向が見られるものの、シナリオ:ECHAM4/OPYC3およびCGCM1では拡大傾向が見られる。拡大傾向が見られる2つのシナリオの気象条

件が高温・湿潤であることから、植生分類(b)に関しては、気温と降水量のバランスが影響を与えているものと思われる。

植生分類(g)にシフトする大部分が(f)であり、砂漠への変化の可能性を秘めている植生分類といえることができる。これは、(f)に含まれている植生の年間降水量が、植物が繁栄するために最低限必要といわれている降水量に近いことが関係していると思われる。

5. おわりに

本研究では、アジア太平洋地域を対象として、年平均気温と年間降水量という2つの気候条件に関するパラメータと植生分布との関連を記述できるモデル（ロジットモデル）を作成し、地球温暖化の影響による将来潜在植生の予測を行った。その結果、将来には変貌または消滅する可能性をもつ植生分布に対して、その危険性を示唆することができた。しかしながら、本研究で利用したパラメータは2つのみであること、モデルが非常にシンプルであることなどを考慮すると、本研究の成果が十分な精度を持つものでないことに留意する必要がある。また、本研究の対象が広範囲であったため、地域特有の植生や分布域が狭い植生の影響があまり現れてこなかった。

今後、モデルで用いる環境要因、モデル自体、対象範囲などを再検討し、予測の信頼性を高める必要がある。

たとえば、本研究では環境要因として平均気温と年間降水量を用いているが、気温においては季節による温度パターンが植生に影響を与えることが考えられる。特に、冬の最低気温は植生の耐性限界と考えられており、重要な環境要因の一つである。標高、積雪、地形、地質、土壌などの環境要因についても取り込んでいくことが必要であろう。

また、本研究の環境要因は、温室効果ガス増加の影響から予測されたものであるが、温室効果ガスが植生に直接与える効果については考慮されていない。温室効果ガス増加による二酸化炭素の肥料効果などは、気温や降水量の環境要因とともに植生に対して直接的に影響を与える大きな要因であると考えられる。

一方、地理的条件と植生分布との関連性についても考えていく必要がある。植生の分布は、メッシュ同士が完全に独立したものとして無関係に決まるものでなく、メッシュ同士で相互関係を持っているものである。たとえば、隣接メッシュとの関連は強く、逆に離れたメッシュの関連は弱いと

考えられる。すなわち、同じ植生においても分布域の中心とその周辺にあるものでは、環境要因の変化による影響は異なる。そういった意味からは、個々のメッシュの独立性という前提をもつロジックモデルをベースにせず、地理的条件を付加できるモデルを使用していくことも考えるべきであろう。

また、急激な気候の変化に対して植生のシフトが急速に行なわれないことも考慮する必要がある。植物種の移動速度は各植物によって異なるが、最も移動速度の大きいものでも2000m/年程度と言われており、急激な移動を行なうことができない。すなわち、植生を構成する多くの種が、気候変化に準じて移動することができず、植物種の消滅や、さらには生態系の崩壊につながる可能性を秘めている。これらの地理的条件および時間要素を、どのような形でモデルの中に取り入れていくかが今後の課題である。

以上のように、本研究の成果を一つの足がかりとし、今後はデータの充実やモデルの再検討を行ない、さらなる高度な予測が実現されることを期待したい。

引用文献

- 1) 西岡秀三、原沢英夫 (1997) : 地球温暖化と日本、古今書院、pp. 37-103。
- 2) Atushi TSUNEKAWA, Xinshi ZHANG, Guangsheng ZHOU and Kenji OMASA (1995) : Predicting Responses to Climatic Change of the Potential Vegetation Distribution in China, 農業気象 (J. Agric. Meteorol) 51(3), pp. 245-257.
- 3) Atushi TSUNEKAWA, Xinshi ZHANG, Guangsheng ZHOU and Kenji OMASA (1996) : Climatic Change and its Impacts on the Vegetation Distribution in China, Climate Change and Plants in East Asia, Springer, pp. 67-84.
- 4) 建築・都市計画のための調査・分析方法、日本建築学会編、井上書院、pp. 224-227。
- 5) 建築・都市計画のためのモデル分析の手法、日本建築学会編、井上書院、pp. 117-119。
- 6) やさしい非集計分析、(社)交通工学研究会編、pp. 1-32。
- 7) 内嶋善兵衛 (1996) : 地球温暖化とその影響 生態系・農業・人間社会、裳華房、pp. 54-92。
- 8) <http://www.grid.unep.ch/datasets/gnv-data.html>
<http://www.cger.nies.go.jp/grid-e/grid1.html>