

## 気候変動に対する植生の応答(Ⅱ)

GISを用いた植生応答の時間空間変化に関する研究

江上 邦博 ・ 内山 隆

## Responses of vegetation for climatic changes (Ⅱ)

Study for natural responses and spatiotemporal changes of vegetation patterns using GIS.

Kunihiro EGAMI, Takashi UCHIYAMA

### Abstract

Today, many environmental problems are taken up frequently in news media. People's attention is focused about a scenario of a change of the near future which occurred within 50-100 years. In our study, vegetation responses for the earth environmental change for not only a short-time scale dynamics but also a long-time scale one, which around 1000-10000 yBP. In general, many fluid dynamics variables are mutually affected in the real meteorology system, so large-scale computer resources are required to compute a numerical simulation in sufficient accuracy. In this paper, in order to avoid too much complexity, we discuss a story of natural responses of vegetation that limits in the qualitative discussion range. Results of this study are, (1) geographical feature mainly an adiabatic lapse effect of temperature over the altitude brings influence on extinction of a plant community, (2) there is a time lag between the climate change and vegetation patterns change, so it makes difficult to understand of natural vegetation responses.

Key-words: 気候変動, GIS, hysteresis, 履歴現象, レフュージア

### 1. はじめに

気候変動の植生に与える影響などについて考えるうえで、地理情報システム(GIS)を始めとする統計ツールはデータに隠されている法則を導出するためのデータマイニング(Data Mining)ツールとしてきわめて有用であることがわかっている<sup>[1]</sup>。しかし、コンピュータの導入で研究対象を数値的に取り扱うことが増え、研究内容がより厳密で大規模になってくることで、これまでに使用してきたデータの利用限界が改めて浮き彫りになることも起きている。例えば、研究対象に関する観測データのサンプル数が少なく不十分であるために時間・空間的解像度を確保できず荒くなってしまったり、元になるデータが直接測定されたものではなく古い文献の記述などから推

定したデータであるために観測点の年代情報・位置情報が不正確であったりする。したがって、植生分布の変化が問題となるような数十年以上の期間にわたる気候変動を扱う場合や、周辺の植生分布を用いて数km以下の局所的な環境を扱う場合などには、研究対象について定量的な議論を行うことが難しかった。研究の対象に関するデータをどのように入手し、それをいかに利用可能な形式として整備するかが問題なのである。一方、過去100年間の地球環境の変化の記録がデータとして整備され、同時に得られたデータを基にする分析も進められており、地球の環境変動の実態が明らかになり始めている<sup>[2]</sup>。地球環境の変化と気候変動に関するさまざまなモデルが作成・検証され、変動要因の地球環境への実際の寄与率の

算定が進められている。環境科学の研究分野では、こうした準備が整い始めることで、近年になりようやく現象を科学的かつ定量的に説明できるようになったといっ

よい。  
 以上のように環境科学の学問分野全体の研究環境が徐々に変化し改善してきているとはいえ、我々がすぐに直面するのは現状で利用可能な研究資源面の限界である。利用可能になったデータをもとにし、大規模計算機を利用して広域的な気候変動を議論したり、また調査精度を高めるような大規模な現地調査を行ったりすることは困難であり、これを目的とする研究に取り組むことは難しい。そこで本研究では、GISなどから得られる基本的なルールやアイデアをもとにして、生物種周辺の地形的な環境が持つ特性がどのように気候変化に影響を与え、それが種の存続に関与するののかの検討を定性的な議論の範囲で行うことにする。合わせて植物に与える気温変化の影響に関連する知見を収集し、広く気候変動についても考察を加えることを試みる。

## 2. 植生変遷とヒステリシス現象のアナロジー

周辺環境に気温の変化が起こることは、新しく実現した気温条件に適する種の分布の拡大と、適さない種の縮小という結果に至るが、現実の植生分布の気温の増減がすなわちすぐに森林植生の変化につながるわけではない。気温変化に対して環境が適応する場合には、ある程度の時間的な「あそび」の部分を持ち、一定以上の遅れをともなって変化が実現することになる。こうした外部変化に対して系の値が異なる現象をヒステリシス(hysteresis)と呼び、系の内部構造は履歴により異なる(図1)。このようなヒステリシスを伴う履歴現象は強磁性体の物理などで見られる<sup>[3]</sup>。磁性体のヒステリシスは微小な磁気モーメント間の相互作用の結果、外部磁場との関係では不利であっても、スピン方向が一致している方がエネルギー的に有利になるという理由で生じる。ここで論じる植生分布でのヒステリシスは種間競争において生じるものであり、種の世代交代・更新時には、周辺にある樹木と同種の樹種が有利であるという環境的優位性に基づくものである。こうした反応の遅れの大きさは周辺の地形環境に大きく依存していると考えられる。気候変動が

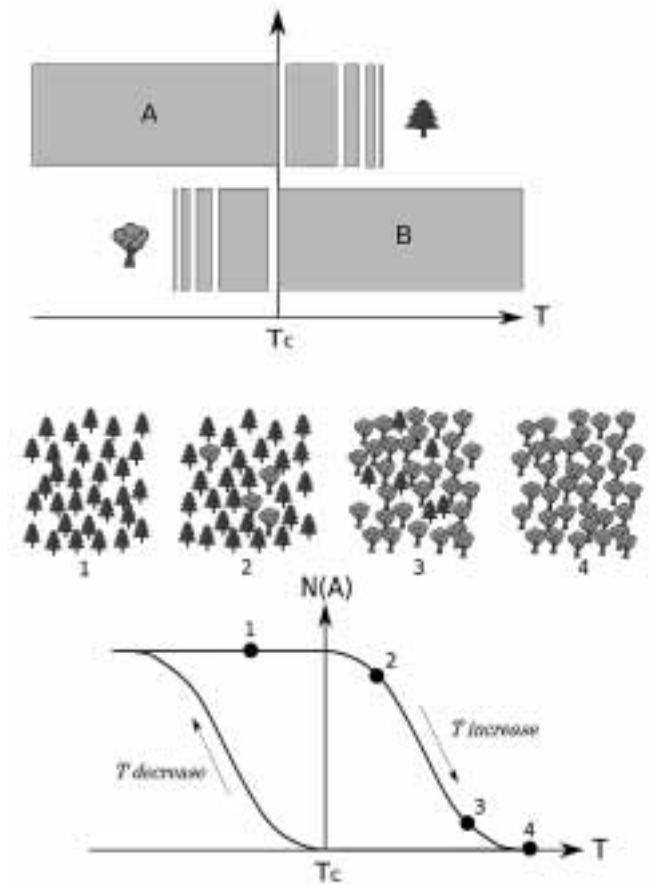


図1 植生変遷とヒステリシス現象のアナロジー  
 分布域の気温が異なるAおよびBの2種の植物の分布を考える(図上)。この2種が混在した森林では、気温Tを変化させるにしたがって森林の相観は変化していくことになる。気温変化に対して植物の応答は遅れるため、強磁性体のヒステリシス現象に似たふるまいが見られることになる(図下)。

おきた場合に、周囲に地形的な多様性があり周辺での種の多様性が維持されている場合には反応の遅れの大きさは比較的短くなる。これとは逆に、周辺の地形的環境に起伏が少なく避難場所(レフュージア)の効果が期待できない場合などでは、周辺から特定種の個体数が極端に減少してしまうことも考えられ、この場合には気候変動に対する植生の反応の遅れが特に顕著になる。

ただし、熱帯ジャングルでの生態系のように年間の気温変動差が比較的小さい地域では、周辺の地形的な多様性が明確でなくても種の多様性が維持されている。上記の議論は、温帯域のように年間の気候変動がある程度大きく、さらに地形的な影響と組み合わせられておこる効果であり、特に日本周辺のような気候帯が変化する地域で

強調され見られる現象であると考えている。こうした植生分布に与える周辺地形がもつ多様性の影響の大きさについての詳しい評価は、今後の研究課題である。ここでは地形的な多様性が植生に与える影響について確認するために、具体的な事例を取り上げ考察を行うことにする。以下の事例で使用するデータは、国土地理院が出している数値地図50mメッシュ(標高)データ、気象庁の1953年から1982年までの30年間の観測データを元にした気候(気温・降水量・積雪量など)データ、環境省自然環境局生物多様性センターの第5回自然環境保全基礎調査・植生調査データ、日本海洋データセンターによる500mメッシュ水深データである<sup>[4-7]</sup>。分析ツールとしてはGRASS GIS version 5.4を用いた<sup>[8]</sup>。

### 3. GISを活用した千葉の環境分析

地形的な起伏の大きさの効果が周辺の植生の多様性に与える影響について考える事例として、筆者らに身近な土地である千葉・房総周辺の環境を取り上げることとする。ここでの計算は現在の値を基準とした単純な環境変動モデルのもとで実行したものである<sup>[9]</sup>。

千葉県は山地が少なく、いわゆる「原生林」のイメージとはかけ離れている印象がある地域となっている<sup>[10]</sup>。こうしたイメージを裏付けるために便利な指数として正規化植生指数(*NDVI*: Normalized Difference Vegetation Index)がある<sup>[11]</sup>。*NDVI*はスペクトル別の観測データから以下の計算式で求めることができる。

$$NDVI = (I_r - R) / (I_r + R) \quad (1)$$

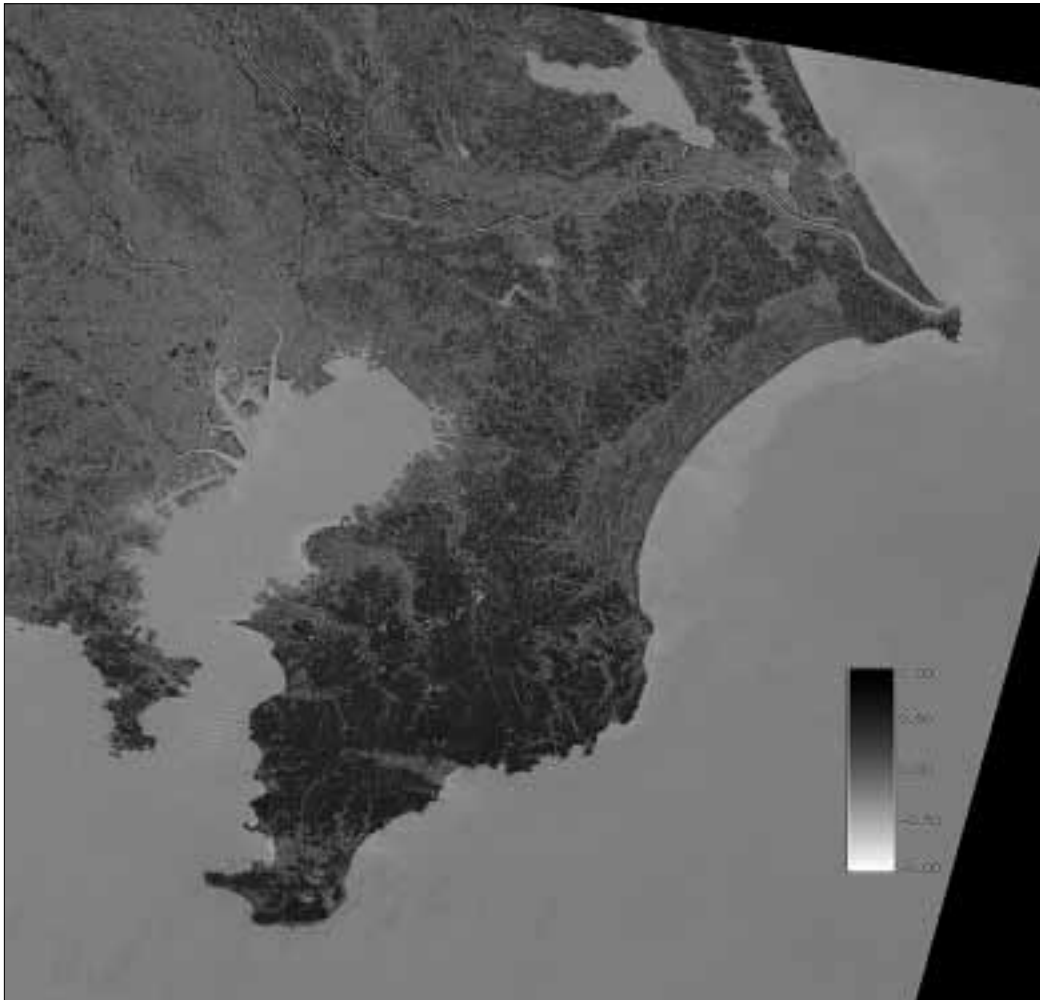


図2 千葉県の植生指数分布図

2000年4月22日にLANDSAT衛星で撮影されたマルチスペクトル画像から求めた植生指数の分布図である。この図はおおむね植物の分布状況に一致する。図では濃淡が濃いほど植物の分布密度が高いことを意味する。東京都心部と房総地域での違いが明確に現れている。山岳地の一部には雲がかかっており、その部分の指数は小さくなっている。

ここで $R$ は赤領域 (Red) の、 $I_r$ は赤外領域 (Infrared) の反射強度を示す。植生指数は、植物の葉緑素が青及び赤領域の波長の光を吸収し近赤外領域の波長の光を強く反射するスペクトル特性を持つという事実によっており、植物の葉緑素の分布を見ることができる。図2は人工衛星のマルチスペクトル観測データの画像から計算したNDVIの分布である。この図の分析からは、千葉県南部にNDVI値が大きく、植物が高密度に偏在する地域が確認できる。一方で、北部はNDVI値が相対的に小さく森林が少ないことも分かる。この原因について考えるために房総半島の標高データの分布図を示す(図3)。ここで

もNDVI値と同様に千葉県南部に比較的色の濃い部分、つまり山岳地が偏在しているのがわかる。ただし千葉県で最も高い山は千葉県南部にある愛宕山(標高408m)であり、ビルなどの構造物程度の高度しかない。標高が低いと標高に対する気温の通減率が環境に与える効果も気候帯・気候区分が変わるほど大きくはなく、そこで保存される植生の多様性も限られている。もちろん、低標高であっても、入り組んだ地形は、生育地の多様性を与えていることは十分考えられる。

一方、気候変動に従って、陸水・海水・氷床の割合が変化し、さらには海水の温度変化による膨張による海水

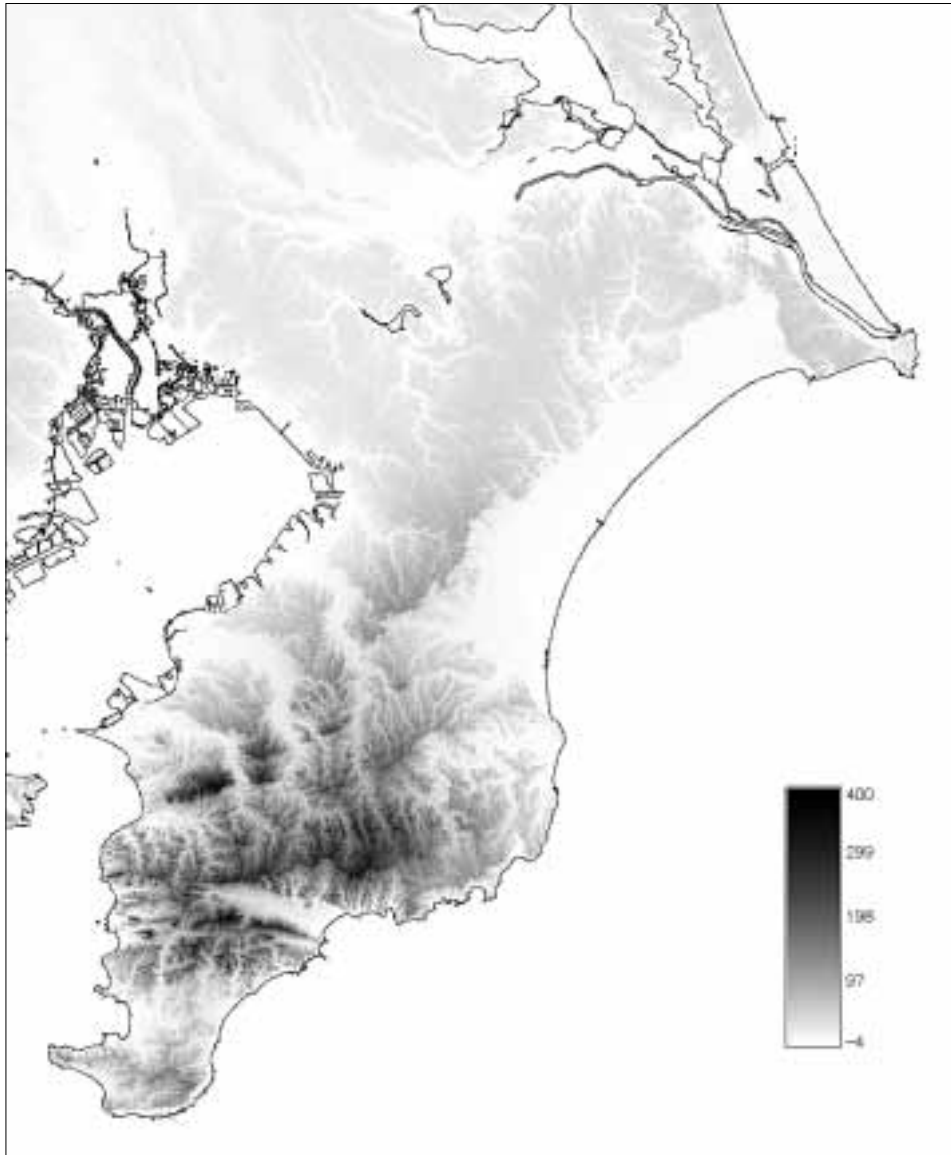


図3 千葉県の標高の分布図

国土地理院が作成した数値地図50mメッシュより千葉県周辺を切り出して作成した図である。図では標高が高い地域ほど濃淡が濃くなるように表示している。山岳地は南部に集中しており、断層の構造線も見とれる。中部から北部にかけては低い楕状地が広がる。

面が上下する現象、つまり海進・海退が起こることはよく知られている。千葉はその地形が平坦かつ低地であることと遠浅の海岸が広がっているという事実から、こうした海水面の変動の影響を受けやすい特徴を持つ土地でもある。海水面上昇により海進がおこることで、広大な地域が植物の生育できない地に変化することになる。そこで標高データと海底深度データから、過去に起きたであろう海水面の変化を再現してみると、その影響の大きさが理解できる(図4)。周辺で発掘される貝塚遺跡の分布などから、6000年ほど前に起きたとされる縄文海進(10mの海進)の結果を計算し可視化したものが図4 aである<sup>[12]</sup>。この場合、利根川と東京湾は海水面がつながり房総は1つの島状の地となってしまう、生物の移動なども影響を受けたものと思われる。こうした海岸線の変化は、海流などの変化とあいまって、地域の降雨量や気温の変動をもたらすことになる。この時期は現在より海洋性の影響を受けた気候であったと考えられる。また逆に、

図4 bに寒冷化がすすみ50mの海退がおきた場合の海岸線の計算結果を示す。これは過去の氷期の海岸線に対応する。氷河期に海退が進めば東京湾が消失し、九十九里周辺では広大な平野地が出現することになる。

#### 4. 考察

##### 1) 温度変化

気候の温暖化・寒冷化は、その原因となるもの・現れ方・環境や植生に与える影響範囲は一様ではない。また、短期的な時間スケールでは平均より暑い日や寒い日などの例外的な異常気象も起こりうる。日本周辺など温帯域において単純に気温の変化量だけを考えれば、年間の季節変動に比べ、こうした短期的な気候変化のゆらぎの大きさは相対的に小さい。しかし、比較的小さな変化であったとしても、生物種によっては個体の存続に大きな影響を与える場合もありうる。このことは気温を生物の反

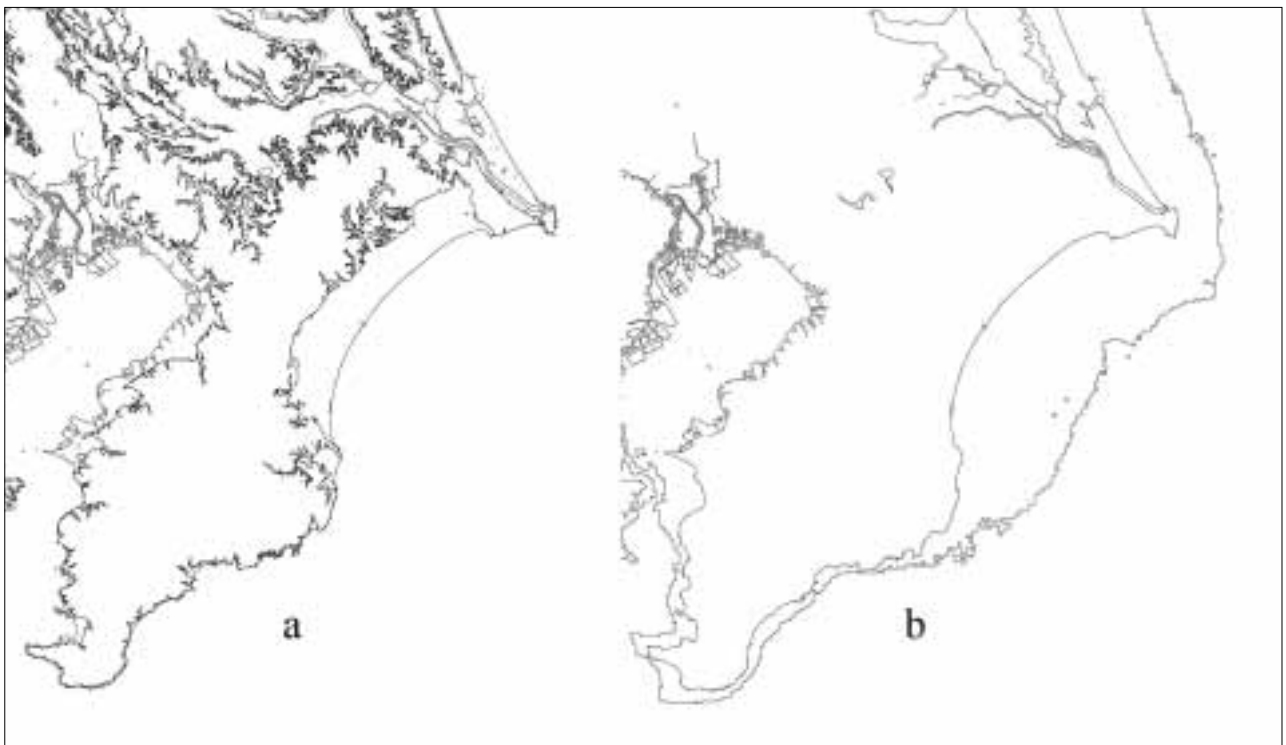


図4 千葉県周辺における海進・海退時の海岸線の変化

温暖化・寒冷化によって海水面が変化した場合の海進・海退により海岸線がどのように変化するかを示した図である。図4 aは海水面が10m上昇した場合の海岸線、図4 bは海水面が50m下降した場合の海岸線である。比較のため両図ともに現在の海拔0mの線を重ねて描画させている。海底深度のデータ(500mメッシュ)は地上標高データ(50mメッシュ)に比べると解像度が低いため、海退時の海岸線は荒くなっている。図は現在のデータを基準にしているため、過去の地形を再現するには地質的变化を考慮する必要がある。

応で表した数値で置き換えて表現するとわかりやすい。植物帯の分類を目的として定義され、植物の生育温度を基にした指標として温量指数 (*WI*: Warmth Index) および寒冷指数 (*CI*: Coldness Index) がある。この指数では、たとえば過去100年間の月平均気温が一様に0.6度上昇したと仮定すると、年間で数℃・月(最大7.2℃・月)の変化をもたらすことになる<sup>[13]</sup>。この値は分布境界域に生存する種間の長期的な競争関係を変化させ、非可逆的な変化が続いた後には、場合によっては植生分布を書き換えるのに十分な数値となる<sup>[14,15]</sup>。

さて、このような植生の応答を考える場合には、必ずしも温暖化だけが問題となるわけではない。境界域での *WI* 値の変化量で考えれば、その影響はプラス値でもマイナス値でも同じように働くことが予想される。気候の変化が個体の生存に致命的な影響を与えるものでなくても、発芽・開花・結実などの種の更新メカニズムに関わる時期の気候は長期の植生分布の変化を議論する上で重要である。このことから、気候帯で代表的な構成種となる種群には、短期的な気候変動に対してある程度の耐性を持つことが要件として必要となるともいえる。

環境の不適合が個体数の減少や群落更新時の世代交代の成否に影響を与える形で現れ、全体としてはゆるやかな分布域の後退がおこることになる。現在は20世紀後半から続く温暖化に対する植生分布変化の緩和過程が起きているものと考えられる。植生分布の変化は、それまでの環境変化の履歴の影響を受けて実現する。たとえば閉鎖林冠が形成された成熟林域に他の競合種が入り込むことは困難であるし、また周辺地域で当該種が消滅してしまった後では、仮に以前と同じ環境が回復したとしても、以前と同様の相観をもつ森林が復元されるには長い時間を要するであろう。我々の先の論文では、十分な標高を持った山岳地が、気候環境の変化に対して分布移動を必要とする種のレフュージアを提供し、周辺の環境から特定種の消滅を防ぐ働きを持つ可能性があることについて論述した<sup>[11]</sup>。このレフュージアを分布拡大の起点と仮定し、氷期以降の種の分布拡大を遺伝子分析を用いて追跡し分類した研究がある<sup>[16]</sup>。遺伝子型の違いを分類した結果、分布拡大の起点が数箇所に別れた地点から始まったことが判明しており、これまで考えられていた気候変動

に対して単純な南北方向の移動だけでは説明できない事例もあることがわかってきている。

## 2) 周辺環境

気候変化に対する応答として成立した植生は分布域および種構成において地域の環境を示すものであり、東日本・東北地方冷温帯を代表する樹種であるブナ林の分布は広域的な気温環境との対応を捉えやすい。ブナを含む自然林の多くは極相林としてではなく二次的な植生となり、地域によってはその存在が社寺林などの保護林のみに限定された分布になっている地域もある<sup>[17]</sup>。一般にブナの分布は年間降水量が一定以上の多雪地帯の分布と重なり、ブナが分布する地域を帰納的に分類し集計すると、生育適正域を気温 (*WI* 値と *CI* 値) と降水量の分布範囲として示すことができる<sup>[1,18-20]</sup>。こうした条件に合致した地域は東北・日本海側を中心として全国に広がっているが、岩手県・秋田県以南の地域では海拔0m地域においてはブナにとって気候が暖かすぎるため、南下するにしたがい分布地の標高が高くなっていく傾向が見られる。また、気温の条件面では問題ない地域であっても、降水量が不足しているために分布に適さない地域も認められる。

ここでは既にフィールド調査がなされ、試料の年代測定や花粉分析が行われている調査地のなかから、栗駒山周辺(140:48:23E, 38:54:42Nを中心とする地域)、南那須町周辺(140:02:09E, 36:40:27Nを中心とする地域)、涸沼周辺(140:12:25E, 35:41:40Nを中心とする地域)を取り上げ地形的な差異を中心に比較する(図5)。それぞれの調査地での花粉分析の結果および考察については準備中の別の論文で扱う<sup>[21]</sup>。周辺の多様性を見るために上記地点を中心とする半径30kmの領域を考え、その領域内での *WI* 値の分布について取り扱うことにする。図6は、それぞれの地点で *WI-CI* 分布を示したものである。*WI-CI* の分布のピークの場合が気候帯当該地域の代表値に対応し、分布の広がり地形的な多様性の大きさを間接的に表すものとなる。図から周辺環境が持つ多様性の大きさを分類すると、

宮城県 栗駒山周辺 > 栃木県 南那須町周辺 > 茨城県 涸沼周辺 (2) であることがわかる。これら周辺環境が持つ特徴が温度

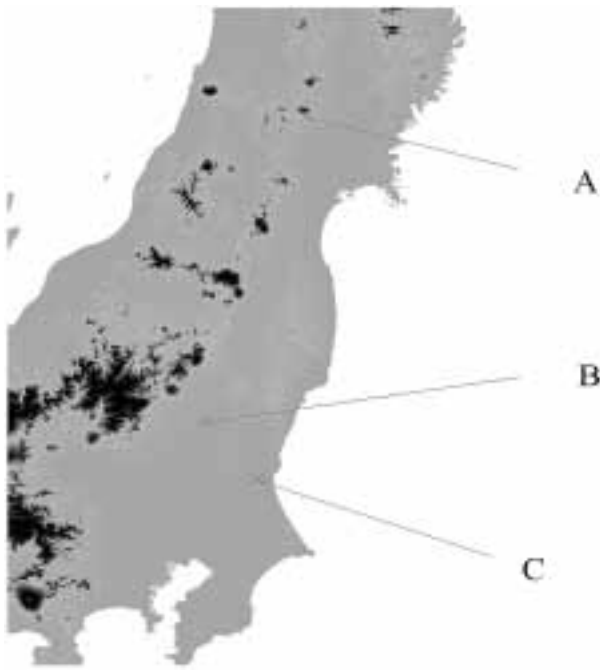


図5 周辺地形の影響を調べる3地点の位置関係  
 A:宮城県栗駒山周辺(140:48:23E, 38:54:42N)、B:栃木県南那須町周辺(140:02:09E, 36:40:27N)、C:茨城県涸沼周辺(140:12:25E, 35:41:40Nを中心とする地域)の位置関係を示す。地図中の濃淡は標高に対応する。

変化に対する植物の応答性の違いを生み出すことになる。関東地方のように平坦な地形では、WIの分布は狭い範囲に集中しており地形がもたらす多様性はきわめて限られている。これに対し1000mを超える山岳地を有する地域では、気温の標高に対する通減率の効果による気温の変動幅は5℃を超える。この地域での年間気温変化の大きさが25℃程度であることを考えれば、年間の気候変動に比べても20%以上の大きさを持ち、大きな影響を与えるこ

表1 周辺の地形が気温に及ぼす影響

3つの地点を中心に半径Rが10km, 20km, 30km, 50kmの同心円の領域を考え、その範囲内における標高の最高値と最低値を求めた。気温の通減は100mあたり0.55℃として換算したものである。世界谷内では気温通減と年間気温差の比率(=ΔTh/ΔTy)が30%を超えるのに対して、涸沼では10%程度にとどまっている。

	年間気温差 (ΔTy)	R=10 km		R=20 km		R=30 km		R=40 km		R=50 km	
		標高差 (Δh)	気温通減 (ΔTh)	標高差 (Δh)	気温通減 (ΔTh)	標高差 (Δh)	気温通減 (ΔTh)	標高差 (Δh)	気温通減 (ΔTh)	標高差 (Δh)	気温通減 (ΔTh)
世界谷地	24.8	1512	8.32	1603	8.82	1624	8.93	1624	8.93	1624	8.93
南那須町	23.6	166	0.91	510	2.81	1775	9.76	1775	9.76	2479	13.63
涸沼	22.5	44	0.24	507	2.79	862	4.74	862	4.74	862	4.74

とがわかる(表1)。この温度差により、その周辺の山岳地の山腹には標高に応じて気候帯をまたぐように気温が変化し多様性を受け入れる環境が実現することになる。

先の事例で扱った現在の千葉県の植生は、全国的に見てもブナが自生しない数少ない地域である。しかし、このことは過去にブナが存在しなかったという証拠にはならない。周辺の地形的な多様性が低い千葉県であっても、現在の気候から年平均気温が3℃程度低下すれば、周辺にブナの生育に適した気温環境が実現する<sup>[1]</sup>。事実、茨城県涸沼を対象とした調査により採取された試料の年代測定の結果から、約7000年前の花粉帯でブナおよびイヌブナの花粉が連続的に出現することが認められた。粒径が比較的大きく、特に風媒性に適する構造を持たないブナ属花粉の飛散性から判断して、過去冷温な時代にはブナ林が存在していたと考えられる。このように特に山岳地の多様な地形を持たない千葉県であっても過去の一時期に現在とは異なる気候帯のもとで、ブナを含む落葉樹を主とする森林が成立していたことが示されている<sup>[22, 23]</sup>。

### 3) レフュージアの存在とその効果

気候変動に対応し植物の生育に適した条件、もしくは適さない条件になったからといって直ぐに分布域が移動し、周辺の植生が変化するわけではない。先に述べたとおり気候の応答と植生の応答・緩和時間には差が出てくるので、自然の応答は単純な線形関係で説明できるほど単純なものではない。こうした気候の変化が起きてブナ林を含む植生が実現したとしても、千葉での例のように

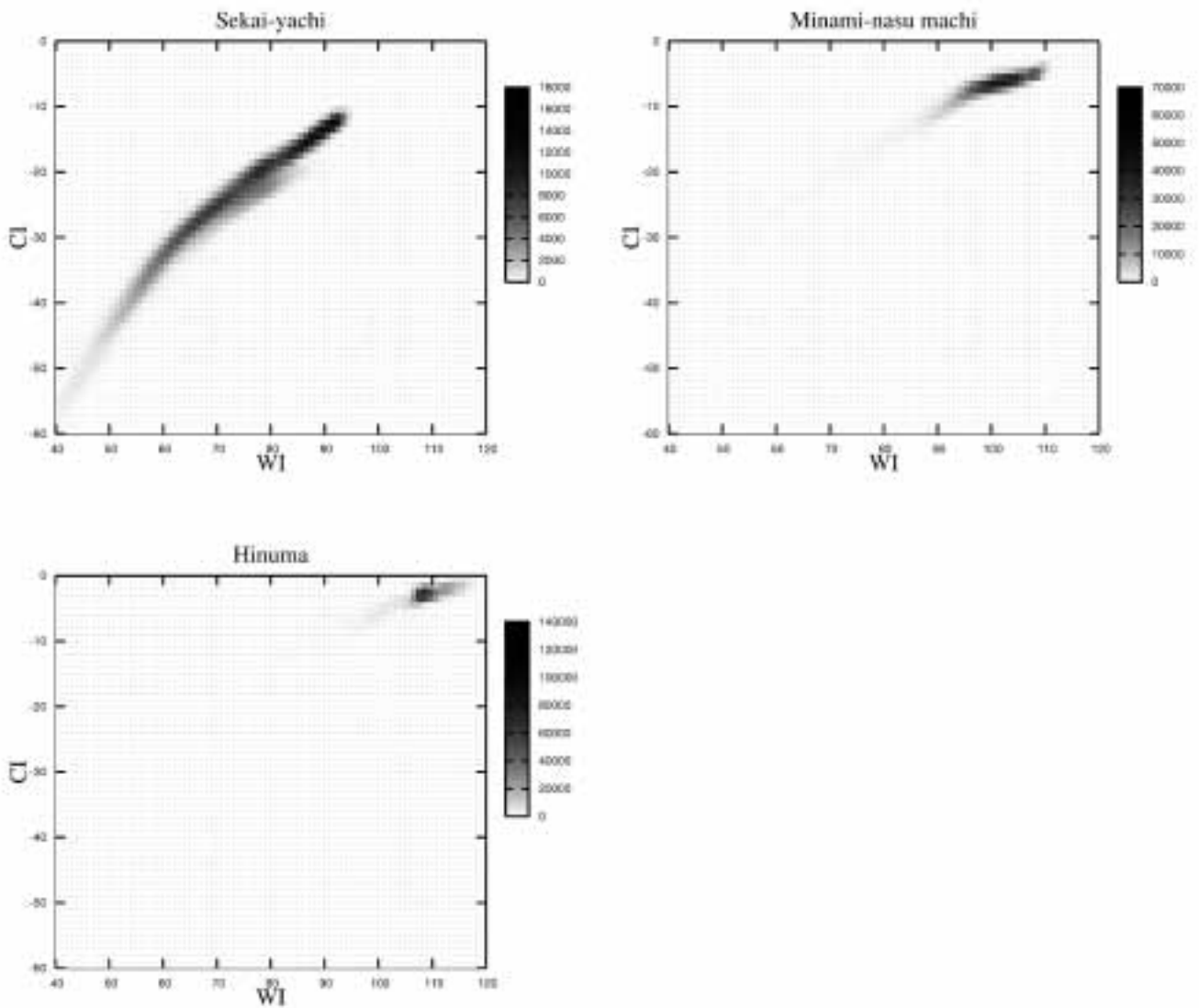


図6 周辺の地形的多様性が異なる3地点でのWI-CI分布

宮城県栗駒山周辺、栃木県南那須町周辺、茨城県涸沼周辺のWI-CI値の分布を示す。それぞれの分布に対応する地域の面積に応じて濃淡をつけて表示している。涸沼周辺の地域の分布が極めて狭い領域に集中していることがわかる。一方で、栗駒山周辺では広い範囲にWI-CI値が分散していることも見て取れる。

周辺にレフュージアが存在しない地域では、引き続き発生する地球環境変化の中で種を存続させることは難しく、消滅を結果とする。つまり、気候変化の計算結果から得られる事実は、温度変化に対する環境の激変ぶりについて、植生はこうした平野のほうがより大きな影響を受けることになるというものである。気候変動に対して、平地のように広い範囲が同じように応答するという事は、温度変化に対して水平移動方向に対する非常に早い反応が求められることになる。つまり、平地の中に存在している地点周辺では、気候変化が「遠浅の浜辺での潮の満ち引き」のように一気に起きることになる。移動手段を

持たない植物にとっては、環境変化がそのまま種の絶滅につながるような結果をもたらすこともありうる。これに対して山岳地域では、周辺にさまざまなWI,CI値をとる領域が存在しており、この領域の広い環境は変化に対して寛容であり、植生が気候変動から受ける圧力はより小さいものになると考えられる。

## 5. 気候復元時の問題点

ここまでの分析結果から、単純に気候・温度変化だけをみるのでは環境の復元は困難であるということがわかる。そこでは地理的な背景も取り入れた入れた植物の応



答を十分に考慮しなければならない。また、種によって環境変化に対する様々な応答性が異なっていること、さらに気温の変化が植生の変化に結果する時間的な遅れについても複合的に捉えて分析・復元が必要である。事実、現実の植生では、分布の境界領域を超えた気候環境地域にもサブ個体群は存在している。これまで考えられていた  $WI, CI$  の適正領域を外れる部分にブナの分布が確認されており、以前から考えられていた  $WI$  値  $45 \sim 85^{\circ}\text{C} \cdot \text{月}$  の範囲では説明がつかない<sup>[24]</sup>。これは他の種における隔離分布などにも同様の傾向として認められよう。

現実には多数の種が複雑な条件のもとに共存している事実を考えれば、境界領域の力学についても単純な2種の競合による説明では不十分であり修正が必要となる。構成している種それぞれがもつ生存条件は異なっているから、それらの境界領域での力学は複雑でユニークな景観を生み出すことになる。すなわち、気候変化に対する植生変化というものが、必ずしも1つの植生変遷のルート及びシナリオで説明できるものではないことが見えてくる。先に述べた環境変化のヒステリシス性もあわせて考えれば、たとえば気温が上昇し温暖化する場合にも、 $WI \cdot CI \cdot$  降水量などの周辺環境の影響が異なることで環境応答は1通りではなく複数ルートを複雑な変化を伴って実現されるものであることがわかる。こうした変化の多様性は研究対象をより複雑にし、本質の理解を妨げよりわかりにくくすることになる。

## 6. まとめ

本論文では、気候変動に関係するいくつかのアイデアについて定性的な議論の範囲で示した。まず、気候変動が植生に与える影響について、GISなどを用いた統計的手法を利用した研究で得られた知見を示した。そこでは千葉県のように平坦な土地では地域性が問題となり、環境変動の反応が劇的に起きることがわかった。簡単な仮定の下での比較的単純な分析ではあるが、気候変動の実態を知る上での手がかりとなる結果を得ることができた。そして、環境変化に対する植物の分布域の変化について考察し、それが、複雑な履歴現象を伴うものであることを議論した。千葉県におけるブナ林の不在からは、そうした履歴現象にはレフュージアを経由して連続性を保つ

場合とレフュージアの支えのない消滅に向かう可能性とがあることを推論した。

地球温暖化や環境問題が注目されている現在、こうした研究はある意味流行に乗ったものであるような印象を受けるかもしれない。事実、環境科学に関する研究が多くなされており、極めて多数の発表資料が用意されている。しかし実際には長期にわたる計画的な研究がなされることによって初めて定量的かつ意味のある結果を導き出せるものである。決して一過性のもではなく、継続した研究を可能とするような研究基盤の整備が必要である。

## [謝辞]

本研究は平成17年度の千葉経済大学短期大学部学内共同研究助成費(研究分担者:内山・江上)を受けて実現したものである。助成費の一部はここで報告した基礎的な研究を進める上で大きな役割を果たした。共同研究に関係された皆様にお礼申し上げます。また、本研究は平成17年に千葉経済大学・千葉県立中央博物館で開催した日本花粉学会第46回大会で得た知見とともに筆者が発表した内容を整理しまとめたものである。さらに、東京情報大学 原慶太郎氏からはLANDSAT衛星の画像の提供を受けた。この他、協力いただいた多くの方々には感謝いたします。

## [要約]

昨今、メディアで地球環境に関する問題が頻繁に取り上げられるようになり、さらには50年~100年程度の近い将来の地球環境変動の予測シナリオが注目を集めるようになってきている。我々の研究では、さらに長期間にわたる1000年~10000年程度の過去から現在までの時間スケールでの地球環境の変化を考え、植生の分布に与える影響について考察することを目的とするものである。ただし現実の地球環境では、気候の変化1つを取り上げても、多くの要素が複雑に影響を与え合った結果として実現しており、十分な精度を持つ数値シミュレーションを実行するには大規模な計算機資源が必要となる。ここでは過度の複雑さを避けるために議論を定性的な範囲にとどめ、

植生の応答の傾向について扱うことにする。本研究の成果としては、(1)周辺の地形がもたらす標高に対する気温の通減効果が植物群落の存続・絶滅に大きな影響を与えること、(2)その応答が実現する際には時間的遅れが生じ植生と気候環境とが一致しないことなどから植生応答の複雑さの一端を示した。

## 参考文献

- [1] 江上邦博・内山隆. 国土数値情報を用いた中間温帯林域における植生史研究, 千葉経済大学短期大学部 研究紀要 1, 35-53 (2005).
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), <http://www.ipcc.ch/>. IPCC第三次評価報告書～第一作業部会報告書 気候変化2001, <http://www.ipcc.ch/>.
- [3] H.E. スタンリー, 相転移と臨界現象, 東京図書株式会社, (1974).
- [4] 国土地理院, 数値地図50mメッシュ (標高), <http://www.gsi.go.jp/>.
- [5] 国土数値情報, 気候値メッシュ, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>.
- [6] 環境省 生物多様性センター, 自然環境保全基礎調査, [http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd\\_list\\_h.html](http://www.biodic.go.jp/kiso/fnd_list_h.html).
- [7] 日本海洋データセンター, J-EGG500, <http://www.jodc.go.jp/>.
- [8] GRASS GIS—The World Leading Free Software GIS, <http://grass.itc.it/>.
- [9] 江上邦博, 花粉学会設立40周年記念シンポジウム「房総の森と花粉科学」, (2005).
- [10] 貝塚爽平, 小池一之, 遠藤邦彦, 山崎晴雄, 鈴木毅彦編, 日本の地形4 関東・伊豆小笠原, 東京大学出版会, (2000).
- [11] 田中邦一, 青島正和, 山本哲司, 磯部邦昭, 衛星画像解析の基礎, 古今書院, (2003).
- [12] 鎮西清高, 海面変動, 古生物学辞典, 日本古生物学会編, 朝倉書店, (1999).
- [13] 2001年発表のIPCC第三次評価報告書では20世紀の気温上昇量を $0.6 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$ としている。2007年に発表されるIPCC第四次評価報告書 (Climate Change 2007: The Physical Science Basis) では、直近の100年間 (1906年～2005年) の気温上昇量を $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ と結論付けている。近年、気温上昇が加速していることがわかる。
- [14] 環境省地球温暖化問題検討委員会 温暖化影響評価ワーキンググループ, 地球温暖化の日本への影響2001, (2001).
- [15] 名取俊樹・大政謙次・清水庸・増沢武弘・東野外志男・野崎英吉・小川弘司・野上達也・林哲, 高山生態系の脆弱性と指標性の評価, 地球温暖化による生態圏の評価に関する研究平成13年度報告書, <http://www-lam.nles.go.jp/Impact/4/>.
- [16] Jason S. McLachlan, James S. Clark, Paul S. Manos, MOLECULAR INDICATORS OF TREE MIGRATION CAPACITY UNDER RAPID CLIMATE CHANGE, *Ecology*, **86**(8), 2088-2098 (2005)
- [17] 原正利, ブナ林の分布と生態, 林業技術, **739**, 8-13 (2003).
- [18] 原正利, 東日本太平洋側におけるブナ及びビヌブナ林の分布-八溝山地と阿武隈山地について, 第51回日本生態学会大会講演要旨集, (2004).
- [19] 八木橋勉・松井哲哉・中谷友樹・峠田宏・田中信行, ブナ林とミズナラ林の分布域の気候条件による分類, 日本生態学会誌, **53**, 85-94 (2003).
- [20] 松井哲哉・八木橋勉・中谷友樹・田中信行・峠田宏, Climatic controls on distribution of *Fagus crenata* forests in Japan, *Journal of Vegetation Science*, **1**(15), (2004).
- [21] 内山隆・江上邦博, 気候変動に対する植物の応答 (I), 千葉経済大学短期大学部 研究紀要 **3**, (印刷中).
- [22] 内山隆・江上邦博, 太平洋側ブナ自然林の花粉分析学的研究, 千葉経済大学短期大学部 初等教育科研究紀要 **26・27**, 55-72 (2004).
- [23] 内山隆・江上邦博, 茨城県沼沼周辺の植生変遷に関する花粉分析学的研究, 千葉経済大学短期大学部 研究紀要 **1**, 23-3 (2005).
- [24] 原正利, 東日本太平洋側におけるブナを含む森林群落の生態地理学的特徴, 植生学会誌, **23**, 137-152 (2006).