

房総南部丘陵地域における植生変遷の地理的背景

江上 邦博・内山 隆

Geographical Studies of Vegetation History in south Boso hills

Kunihiro EGAMI, Takashi UCHIYAMA

Abstract

In this paper, a topographical background of vegetation change in the Boso hills located in south Chiba is studied. Although the region includes altitudes up to about 350m above the sea level, the hills are comprised of richly steep and complicated terrains. In addition, in the narrow upper area of the hills, the vegetation spans various climactic regions in a compressed mosaic-like distribution called the 'SUNDUMARI' effect. In order to describe this phenomenon, this study used an open-source GRASS GIS (Geographic Information System) and 10m precision DEM (Digital Elevation Model) data to focus on localized climatic phenomena. This research mainly uses r.sun command in GRASS GIS packages which are able to calculate global solar radiation in this area. A comparison of the calculated results and actual measured climatic parameters is still difficult since the number of observation points are limited. Results from the preliminary study however have confirmed that solar radiation has a great impact on the vegetation.

キーワード

房総丘陵、植生の垂直分布の寸づまり、数値地図、微小気候、全天日射量解析

Key-Words

vegetation mosaic, GIS, 10m DEM, microclimate, global solar radiation

1 はじめに

我々はこれまでに、日本列島に広く分布するブナ *Fagus crenata* とスダジイ *Castanopsis sieboldii* を例として、後氷期の気候変動に対する植物の応答の結果として示される分布域の形成要因などを整理してきた。植生分布や気候などの異なる属性を持つデータと地形データとをマッチングさせる分析を行い、植生の分布や履歴についての検討を続けている。本研究論文では、房総丘陵南部に残存する冷温帯林の構成樹種を含めた植生変遷の背景について、数値情報データを用いた局所地形分析に主眼を置く。さらに共同研究の観点から堆積物資料をもとにした花粉分析学的研究も行い、結果については相互に比較検討を加えるものである^[1,2]。

今回、地理情報システム (GIS) で利用可能な高解像度数値情報を新たに入手し、統計情報処理のための環境を更新した。精度10mの標高メッシュデータの利用が可能になり、地域は限られるものの精度5mのデータも利用可能になっている。以前に比べて、格段に詳細な数値分析を行えるようになり、地形単位となる尾根・谷・斜面などの局所的な情報を面的に抽出し、特徴的な地形について検討が可能となった。

ただし、GISのデータ整備が進んできたとはいえ、その精度は環境要素の種類によりまちまちである。特に気候環境の実観測点は限られるため、近接地の実測データから理論式を用いた推定値として導出されたデータもある。この場合、局所的な環境は、平均化された

数値の中にもれてしまうことになり特徴をとらえにくくなる。今回の研究対象地域も起伏に富み、地点間の格差が大きい割には観測地点が限られる地域である。このような制限がある条件下での環境復元についても検討したい。

2 南房総地域の特徴

房総丘陵は、鋸山から元清澄山・清澄山へ続く東西方向の稜線地域を指してよぶ。稜線北側の地域は北部に向かって緩やかに標高が下がる丘陵地になっており、全体としては標高200m～300m程度の山並みがつながっている。南部には鴨川地溝帯や、いわゆる嶺岡隆起帯が存在し、東西方向の大規模な断層が発達し、主として南北向きを形成している^[9]。本研究が対象とする地域は元清澄山～清澄山周辺とする地域で、現在にいたる隆起運動と侵食活動によって複雑に入り組んだ地形が発達する。総体としては、標高は低いが険しい地形が卓越する地域である（図1）。

先の研究では、千葉県を中心とする標高差の小さな平地性の地形がもたらす植生の気候的移行地の特徴について明らかにした^[4,5]。全域的に平野・低山が多いため、気候変動による温度分布の多様性が低くなった地域であることが数値計算から示された。とりわけ北総地域は水平的には冷温帯域に移行する地域でありながら標

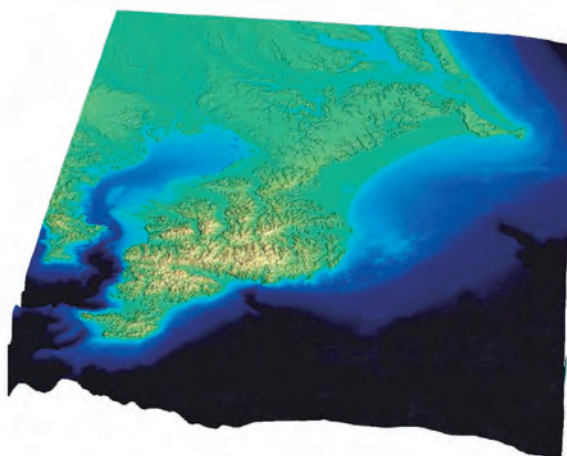


図1 千葉県周辺の3D数値標高地図
DEMデータをもとに標高に応じて色付けした。千葉県房総南部に低山性の丘陵地が広がっているのがわかる（主に黄色く色付けされた地域）。

高的に乏しい台地地形が卓越するため、気候変化が広い範囲に及ぶため、完新世の温暖化では冷温帯性樹種の生育可能地が消滅したと考えられる。したがって、比較的短期的な環境変化に対して種の存続は脆弱であり、地質年代に及ぶような長期間の種の繁栄は難しく、氷期からの遺存種の分布は限定的と考えられる^[6,7]。

一方、南部房総丘陵は、常緑広葉樹林帯に含まれるが、上部には冷温帯性樹木が孤立した分布を示している。これらの樹種は最終氷期に広く分布していた個体群の遺存と考えられてきた。この遺存的で、主要な気候的分布域とは離れた生育地をもつ個体群は、主要な分布域外において分布移動の起点となる場合、生態的適地への先駆的移動によって個体群全体を補完的に維持する点において、生態学的にはメタ個体群として位置づけられる^[8-11]。

なかでも、清澄山山系にはシイ林の他にカシ林、モミ林が多く、ツガ *Tsuga sieboldii* やヒメコマツ *Pinus parviflora* など冷温帯性樹種が分布しており、他の地域と比べ垂直分布の植生が圧縮された「寸づまり」現象として認識されてきた^[12,13]。低標高ながら複雑な地形を有する南総地域にはミクروسケールの多様な地形環境があり、気候的には暖温帯性の分布域でありながら優占林は形成されにくく、冷温帯性樹種の生存が可能であったことが推察される。これまでは地域の植生環境をより広範囲な気候帯を用いたマクロ現象として扱って議論してきたが、現実には局所的な環境の積み重ねにより環境が作られ、植生の多様さが表現されていることに気付かされる。

3 気候エンベロープモデル

植物の分布という現象を検討するにあたり、研究アプローチの方法として、生態学的要因と地史的要因が鍵になる。

生態学的要因は、種の分布に影響を与える要因について種が持つ生態的特徴から整理するものである。これには種が持つ環境への適合性、つまり気温などの周辺環境のマクروسケールのな制限要因、生育のための光環境に影響を与える地形などがある。さらには生物

間競争や共生などの種間関係が複雑に作用し植生が決まってくる。

こうした生態系の複雑な応答を、現存生物種の分布から分布域および分布変化を予想する手法として、気候エンベロープモデル（ニッチベースモデル: niche-based modelling, 生物気候モデル: bioclimatic modelling などとも呼ばれている）があり、研究ツールとしての利用が進んできている^{16, 15-17}。

他方の地史的要因では、地理的要因の歴史的变化を推定し、種分布の成因を検討するものである。隆起・侵食による種の大規模な更新や、気候変動時のレフュージアの存在など、過去の変遷履歴に影響を与える事象を扱うことが例としてあげられる。

房総丘陵では古くから「川廻し」のような人為的地形改変が行われてきている地域でもあり、地質的にも岩質が柔らかく、さらに局地的に急峻な地形は特徴的な地すべり地を形成している。特に斜面下部地域のパッチ状の複雑な植生分布の成因を、地すべり地環境に求める研究がある。つまり、度々おこる地形改変による攪乱が、植生の極相への遷移を妨げているというものである¹⁸。ただしこれは斜面上部域の「寸づまり」に見られるような異なる気候帯の植生の散在をうまく説明できるものではない。さらに、こうした攪乱現象の議論は、時間スケールとして10～100年のオーダーであり、今回対象としている植生分布の時間スケールよりも短いものとなる。

本研究の手法は、数値データを用いて植生変遷の過程や遺存分布の立地条件などを紐解くことを目的として、植生に対して主に生態学的なアプローチから分析を試みるものとなる。地史的な研究については、現在使用できる数値情報では不十分である。接峰面分析によって過去の地形の復元や、より長い時間スケールでの地すべり影響を検討している。地史的な微地形の影響は引き続き今後の研究課題とする。

4 局所分布をもたらす局地気象

本研究では当初どの環境変数を選択すればよいのが課題となった。対象地域は低山性であるため、標高

に対する気温の遞減効果を用いた説明では環境差が表現されない。モデルに植生分布の背景にある気候要素の違いを取り込むための指標が他に求められた。そこで標高差100m以下に内包される地形の険しさに注目し、気候要素の違いを介して局所的な気象現象を説明することを試みることにした。

ここで対象とする局地気象現象がもたらされる主な原因については、斜面の方位および傾斜がもたらす日射量の違い、風などの作用による温度の停滞・温室効果・すりばち効果が考えられる。加えて土壌の局地的な変化、川や池沼の影響もある。こうした環境状態を表示する様々な気候要素のなかで、現状解析可能な局所地形に由来する局地的な気象について整理する。一般に局地気象とは狭い範囲で起こる気象現象であり、微小気候、微細気候など呼ばれることもある。日本では地形が複雑であり局地的な現象を説明するうえで、以下の4区分されることが多い。

a) 大気候 (Macroclimate)

概ね200km以上の大規模スケールの気候。地球温暖化など生態学の多くでこの地球的規模の植生分布が論じられる。

b) 中気候 (Mesoclimate)

1～200km範囲の気候。

c) 小気候 (Localclimate)

10m～10km以下の狭い地域内に見られる気候。局地気象の積み重ねによって形成される小地域の気候。

d) 微気候 (Microclimate)

1cm～100mのさらに狭い範囲で起きる変化の範囲も小さい気候。微気候は局所的な地面状態の影響を強く受け、現象の時間スケールも短い。

中気候以下の気候現象を小気候あるいは局地気候とする研究もあり、気候の水平的広がりや尺度は確立されたものではない。ここで分類における空間的スケールについては、吉野による定義を参考にし、微小気候として10m～10kmをとり上げる^{19, 20}。

5 微小気候がもたらされる要因

エネルギー収支的に考えれば、日射量が地形的な微小気候を作り出す重要な要素であり、これにより、気温や湿度（蒸発量、土壌水分）などの他の要素が決まる。日射量については数値地図を用いた地形から数値的分析が可能である。基礎的なエネルギー収支について計算の元となる太陽定数は $1.367\text{KW}/\text{m}^2$ であるが、地球上の緯度により地表が受け取る単位面積あたりのエネルギーは異なってくる。この基本的な太陽入射光のエネルギーは、地表面と太陽との角度（太陽天頂角）から求めることができる。総じて入る光の全量のことを全天日射量と呼んでいる。

$$\text{全天日射量} = \text{直達光} \times \cos(\text{太陽天頂角}) \\ + \text{散乱光} + \text{反射光} \quad (1)$$

直達光は太陽から直接届く光であり地形的な要素により決まる。散乱光は、大気中の粒子による散乱であって光の進行方向はあらゆる方向へ変えられる。大気の状態により、直射光と散乱光の割合は変わってくるが、そのどちらも入射エネルギー的に無視できない重要な要素である。晴天時は直達光が最大要素となり、曇天時日射量のほとんどは散乱によるものとなる。数式に表現されている反射光の影響は他の要素に比べると十分小さい。太陽活動の影響などもあり、長期的な観測結果からは経年変化が見られるが、日本周辺における全天日射量の年間値は概ね $160\sim 170\text{W}/\text{m}^2$ 程度と太陽定数よりもかなり小さくなっている^[21]。斜面の直達光による日射量は、原理的にはその土地の緯度、日時（季節・時刻）、斜面の方位・傾斜から求められる^[19, 20]。

直達光に続くエネルギー伝搬要因である散乱光の成因には、細かくは大気分子レベルの散乱によって生じるレイリー（Rayleigh）散乱、より粒径の大きな浮遊微粒子によって生じるミー（Mie）散乱がある。ミー散乱は前方散乱が卓越するため、直達光が届かない影の部分へのエネルギー輸送は主にレイリー散乱によるものである。こうした減衰効果を受けて太陽光は地表に到達することになる^[23]。

実際の日射の散乱について、大気混濁係数または大気透過率から計算することができる。大気中微粒子

（エアロゾル）の光学的厚さは微粒子量に比例し、これに応じて減衰が生じるので、その係数は大気混濁係数と呼ばれる。混濁係数の定義には様々あるが、ここでは Linkeの混濁係数を用いることにする。Linkeの係数は大気分子のレイリー散乱による光学的厚さを示すもので、実際の大気の光学的厚さが、乾燥空気のもの何倍にあたるかを示す量である^[24, 25]。日本周辺の混濁係数の年変化については、冬季に低下し夏季に上昇するというパターンが見られる。また、火山噴火などを原因とした大気中のエアロゾル濃度の増加により極大値が観測されることもあるが、近年の観測値からは3前後の値が示されている^[26]。

地表面に届いた日射エネルギーがどの程度環境に寄与するかは、地表面の状態によって決まってくる。日射量解析からみた地表面の状態はアルベド（albedo）値によって表現される。アルベドとは、地表に入射する日射量に対して反射される日射量の割合と定義される。実際の数値は日射計の測定値から算出することができるが、地球全体としては30%程度、森林では樹種による違いおよび季節変化があるが、5%~20%程度とされる^[23]。

ここで注意したいのは、入射光とアルベド値による計算から求められるエネルギーのすべてが気候要素の



図2 本研究の対象地域

清澄山周辺を対象地域とする。比較地として約180Km北部にある阿武隈山地周辺を取り上げる。GISを用いた数値処理はすべてUTM座標系で行っている。

原因になるのではないという点である。良く茂った自然森林においては、光を有効活用する森林構造により、日射のほとんどが樹林に吸収され、地表に到達する量は樹間距離に対して指数関数的に少なくなる。この場合、樹種にもよるが樹林温度上昇に使われるエネルギーは日射量の約30%と推定されている^[27]。植物群集によって生じる気候を植物気候 (vegetation climate) と呼ぶことがある。

6 GRASS GISを用いた数値計算

微小地形の影響を分析するにあって分析環境の継続

性もあり、本研究でもこれまで通りオープンソースGISソフトウェアである GRASS GIS を利用する^[28]。使用した GRASS GIS のバージョンは6.4.3であり、解像度10mの地形ラスターデータは、国土地理院が公開しているJPGIS (GML) 形式の基盤地図情報をGeoTIFF形式に変換後に読み込んだものである^[29]。GRASS には計算目的別に多数のコマンドが用意されているが、今回は地形データなどを用いる日射量の基礎計算を r.sunパッケージを使用して行う^[30,33]。出力された結果をもとに統計・可視化などの処理を加えた。

計算対象地域としたのは清澄山周辺の森林が発達し

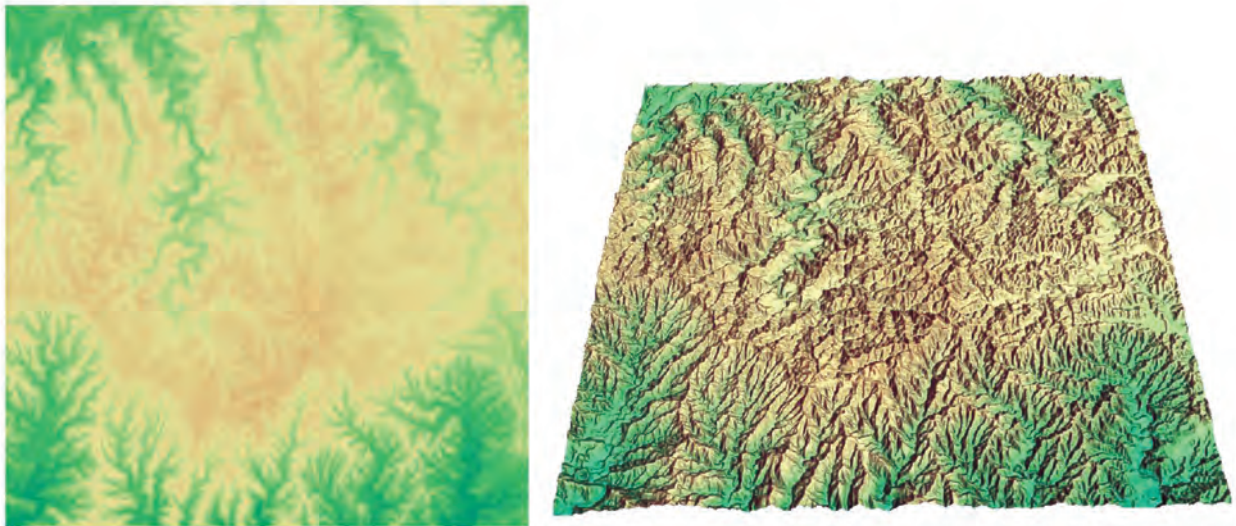


図3 房総丘陵・清澄山周辺地域

研究対象地域について図1と同じカラーパレットを用い標高を色付けした。平面図 (左) と同3D表示 (右)。清澄山周辺はこのように入り組んだ複雑な地形がみられる。

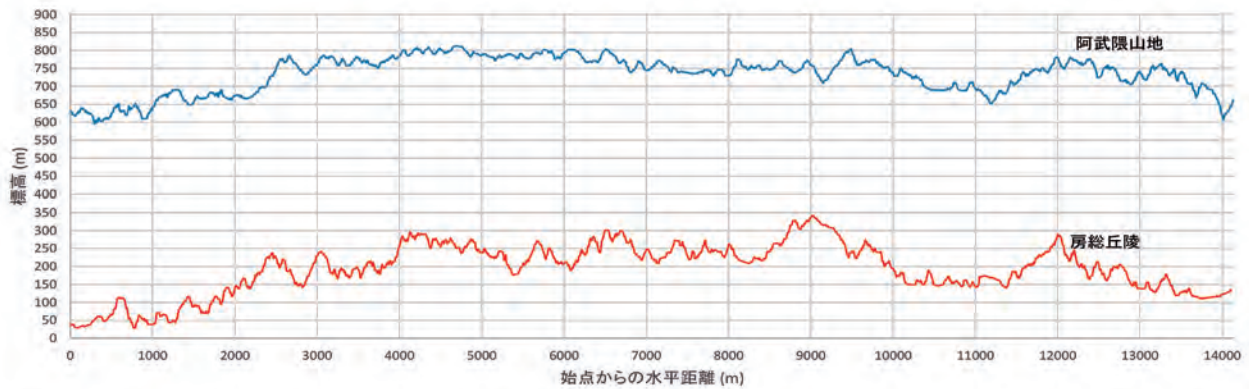


図4 房総丘陵および阿武隈山地の標高断面図

両地域の標高断面図を表したものである。阿武隈山地 (グラフ上) は台地状地形を有し、房総丘陵 (グラフ下) をおおよそ500m程度上方に嵩上げたような地形となる。房総丘陵の複雑さが際立っている。

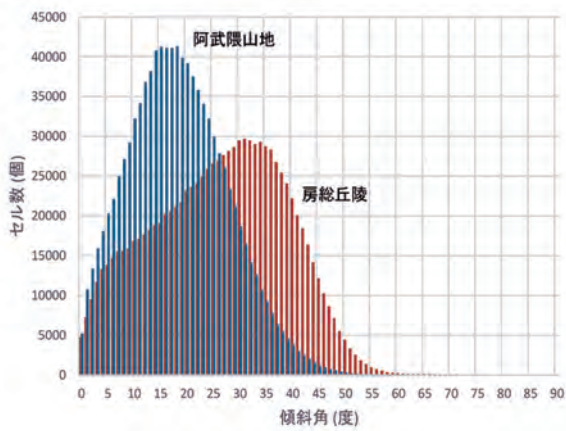


図5 斜面傾斜角分布

傾斜角度の分布を領域数（GISのラスターセルの数）で示したグラフ。研究対象地域の谷密度に相当する。房総丘陵が急傾斜を有することがわかる。

ている地域、UTM座標系でZONE: 54, X: 389400, Y: 423000（緯度経度の表現では北緯35度11分10秒、東経140度9分15秒）を中心とする10Km四方の領域である（図2）。比較対象地として186Km北方にある阿武隈山地内の同サイズ領域も用いる。この地域を選定した理由は、両地域がUTM座標系の同一ZONE上に立地し、加えて近接した地域のため、式（1）から求められる経度の違いによる日射量の差が2%程度と小さく、比較するうえで特別な注意を要しないこと。さらに地形の複雑さを要因とする効果を検証するためには、気候要素の変化が生じやすい標高差が大きい地域とではなく、領域内の標高高低差が200m前後と似通った地域との比較によって、生じる効果を抽出しやすいことからである。

図3は対象地域内のある地域を、図1と同じ色調で標高に応じて色付けたものである。図1では表現されていない細かい局所構造が示されている。10km四方の領域は、解像度10mのDEMデータでは縦・横ラスターデータの数はどちらも1000点となり、総セル数は1,000,000個（=縦1000×横1000）で十分なサンプル数を確保できる。局所構造を比較するために図4で標高断面図を示す。これは対象領域の左下（南西）から右上（北東）の頂点にかけて横断したもので、横軸は始点（南西頂点）からの距離となる。2つの対象地域の断面図比較から房総丘陵の地形の複雑さが確認できる。違いを定

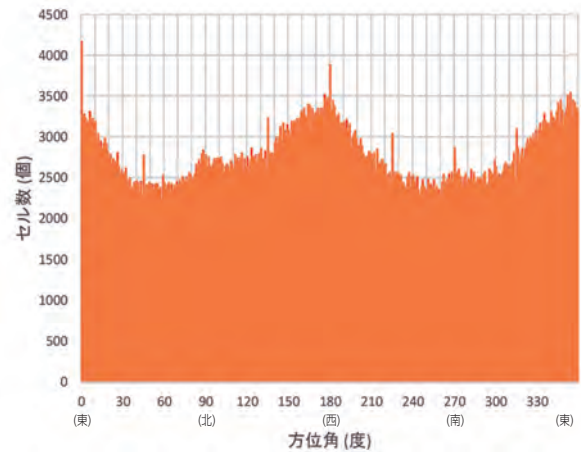


図6 斜面方位角分布

房総丘陵における斜面の方位角分布。横軸はx軸（東）との間の角度、縦軸は方位角を有するセル数。東西向き斜面が多いことが示されている。

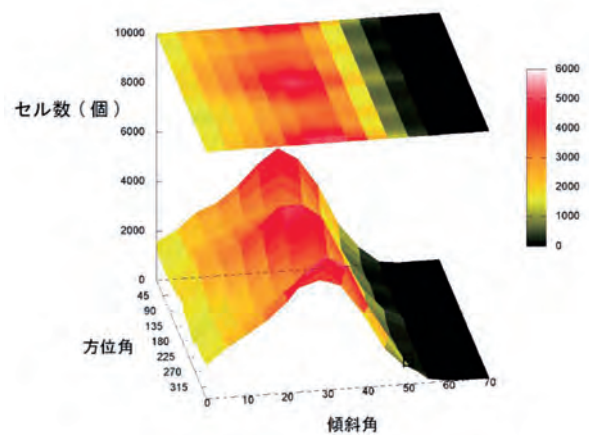


図7 斜面方位角分布

房総丘陵における斜面の傾斜角と方位角との関係をセル数で示した分布図。

量的に説明するために、傾斜角の分布（谷密度）を計算し図5に示した。横軸は数値地図のセルそれぞれの傾斜角（度）で、縦軸は傾斜角に該当するセル数（個）であり、傾斜角1度毎に分布を集計しグラフ化した。両グラフのピークを比較すると、阿武隈山地に対して房総丘陵は角度にして20度程度険しくなっている。さらにその結果として、平地から急斜面までの多様な傾斜を持つ領域が広がっていることも示されている。房総丘陵については、斜面の方位角分布についても示した（図6）。方位角はx軸（東）との間の角度であり0～360度までの数値を取る。房総丘陵は山体としては東西に

つながり南北向きの斜面が形成されているが、そこから形成されるより細かな尾根・谷などの地形要素により、東西方向の斜面方位（方位角0度および180度）をもつ領域に明確なピークが見られるようになっている。さらに斜面の傾斜角と方位角の関係も図7で示したが、これには両者に特別な関係は見られないようである。この図では統計量を確保するために傾斜角を5度毎、方位角を10度毎に再集計してある。

日射量は基本的には、この傾斜角と方位角情報に大きく依存することになる。計算量の制限から時間ステップは30分おきとし、1日の日射量をその積算値で求めた。複雑な地形による影の効果（シャドウイング）を考慮した計算も行う。実際の計算には局所条件が必要となるが、観測から得られる実測値が不足しているため、太陽高度や地形的影響以外の要素は固定したスカラー値とし、r.sunパッケージの標準値をそのまま使用する。該当地域は針葉樹（アルベド値5%~15%）・広葉樹（アルベド値15%~20%）の混交林であるので、細かくみれば表面の状態によってアルベドは異なるが、今回は単純な日射量比較にとどめ、地球全域での平均値である30%を採用した。大気混濁係数は、都市部から離れた空気がすんだ地域ではより小さい値が観測され

ることがあるが、これも標準値の3.0を用いた。現在のデータセットでは、天候の要素は考慮するのが難しいため、計算結果は一様で晴天のものである。だがこれは対象地域が範囲10kmの局所的な地域に限られているので、平均的に見ればおおむね地域内の天候は一様と考えてよく、ここでは計算結果に反映させていない。しかし考察でも議論するように、実際の天候要素を再現する上では避けて通れない部分でもあり、今後の課題である。

図8は年間日射量の変化を1日毎の積算値（Wh/m²/日）として計算し、該当するセルの数をz軸として3D表示で示したものである。同時に2次元面に投影した密度分布図も3次元図上部に示す。日射量の度数分布は100Wh毎の単位であり、1年の変化は日数（1:元旦~365:大晦日）で指定してある。太陽高度と昼間の長さの季節変化に応じて、夏季に日射量が増加し、冬季に減少することがわかる。房総丘陵地域は山体が陰しく傾斜分布が広いので、それに伴って日射量も年間を通して広い範囲をもっていることがわかる。冬季の日射量下限にピークが表現されているが、これは地形の影響から直達光が届かない領域が生じているためである。この領域のセル数を求めてみると、房総丘陵（冬

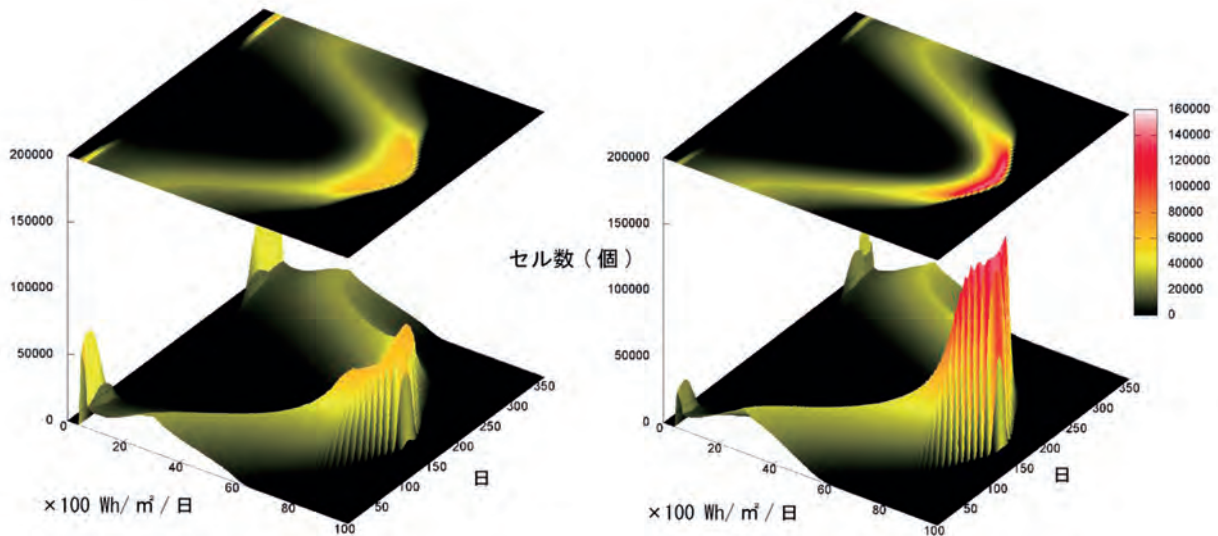


図8 年間日射量分布変化

房総丘陵（左）と阿武隈山地（右）の年間を通じて（1~365）1日あたりの総日射量の分布を示した。阿武隈山地が狭い範囲に強いピークが見られるのは、領域内の日射量分布が狭い範囲に集中していることを示している。対して房総丘陵では分布はより広がっている。冬季の低日射量領域にピークが見られるが、これは直達光が届かない領域の影響である。

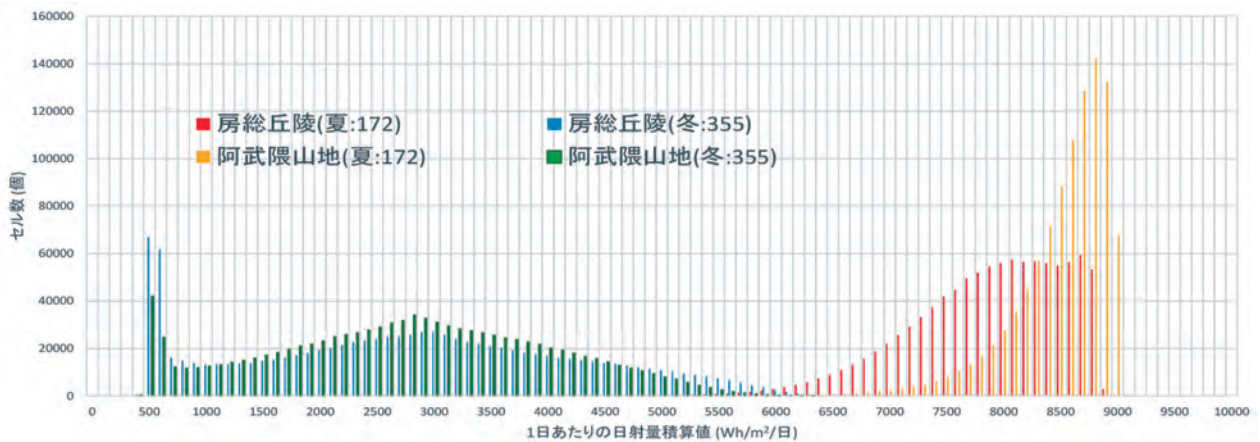


図9 夏至・冬至における日射量分布比較

房総丘陵と阿武隈山地について、夏季（172日）と冬季（355日）の日射量の分布を取り出し重ねて示した。房総丘陵における分布の広さが際立つ。

至)では103,992個と10%を超える部分が該当し、阿武隈山地（冬至）では44,327個と4%程度の領域にとどまっている。

季節差を細かく比較するために、両地域での夏至・冬至の日射量比較を図9に示す。夏至・冬至の日は年によって変動するが、ここでは夏至を172日、冬至を255日として計算した。どちらも房総丘陵地域で日射量の分布が広がっていることがわかり、エネルギー供給面からみた多様性が示されている。

7 計算結果と考察

日本周辺地域では、日射量の差は夏季よりも冬季に大きくなることが知られているが、計算結果からは冬季の差に加えて夏季においてもその差が著しいことが判明した。冬季の冷温な気候についての議論には、植物の生育を規定する温量指数とあわせて議論される「寒さの指数」がある^[34]。これは植物の生育に必要な月平均気温5℃を下回る値の累積として定義され、植生分布を考える基礎になっている。冬季に直達光が届かない影になる領域が多く分布し、冷温な気候が実現されるなかで、冬季の日射量と冷温帯性樹種とを結びつける議論には、この寒さの指数が有効であると考えている。また近年においては、夏季に残存植生の生存温度上限を超える環境が生じているとの報告が気候変動の

議論とともに増えてきた。それに対して、日射量分布が広いすそ野を有することが、日射エネルギー的にみただけの場合の冷温な避難地に相当する地域の存在を示している。こうした気候条件の多様性の違いが、房総丘陵の植生の多様性を生み出している要因の1つと推測される。同時に進めている後氷期以降の中間温帯域を中心にした花粉分析的な研究からも、針葉樹・落葉広葉樹林・照葉樹林間の種競合の履歴が確認されている^[2,8]。

本研究では、昼間の日射を主要因とするエネルギーの流れについて取り上げたが、夜間のエネルギー収支については、これが逆転し放射が卓越する。地球放射と大気放射のバランスから流れと量が決まることだが、気象条件が揃った場合、放射冷却のため地表付近の気温や植物表面の温度が数度低くなることが知られている^[35]。放射冷却を決める要素は、雲が少ない晴天・湿度が低く・風が弱い夜間・大気全層が低温であることなどがある。加えて地形の深さと形状に依存し、冷却された空気が溜まりやすい地形構造、例えば盆地では斜面で発生した冷気が盆地内に堆積する。つまり冷気を生む斜面の総面積が広く、地形大気の総容量が小さいほど大きくなることがわかっている。地表がどのような放射をするかは地表面の組成などによるが、多くの場合、黒体放射に近似した議論が現象をうまく説明している。つまり放出されるエネルギー流量は放射面の

面積に依存するので、地面の面積との関係により微地形で放射が促進され、冷却過程の緩和時間に影響を与えると考えられる。結果、環境が冷温な状態におかれる時間が長くなることになる。起伏が強調されるV字型の地形は冷えるべき大気の容量が小さく、局所的に気温低下量が大きくなる場所を作り出し、冷温な気候状態が継続的に形成されると推測される。こうした放射冷却現象が作り出す冷温な気候についての影響を明らかにするのはこれからの課題となる。

今後の研究を進めるにあたり、ローカルな日射エネルギーだけを考慮した気候復元の限界もある。曇・雨天であっても散乱光によるエネルギー入射は存在するうえ、大気を通じた熱エネルギー供給があり、特定の緯度のみの熱収支によって環境条件が決定されるものではないだろう。本研究は日射量から具体的な気温を直接再現することを目的としないが、それは現状では気候を決定づけるための隠れた変数の存在がわかっていないためである。これについては今後の研究につなげる上での基本的なアイデアを幾つか提案する。

まず、日平均気温・日最高気温・日最低気温の緯度変化の観測値からは、気温と緯度に相関があることである。特に日本列島の緯度範囲（北緯25度～北緯45度）では、地表面が受け取る日射量は低緯度から高緯度に向かって直線的に減少していると考えてよく、日平均気温、日最高気温、日最低気温の平均値は観測地点が受け取る日射量に支配される傾向が読み取れる。つまり局所環境を日射量からある程度推定することができる可能性がある。

さらに、日射量についての算定データは、近年の再生可能エネルギーブームの中、太陽光発電を導入する際の基本データの1つとして整備が進められている。たとえばNEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）が日射量データベースを公開しており、発電量の予測からパネルの設置場所を決定する際に使用されている。気温などの気候データも発電効率に影響を与えることから、合わせたデータの充実がすすんでいる。現在公開されているデータベースでは、ポイント数が少なくこのままでは微小気候分析には不

十分であるものの、天候要素データがセットで入手可能になることから、実測値と補正值を対比する際の基礎データとして用いることが可能と思われる。

8 まとめ

本研究では房総丘陵地域にみられる植生の多様さについて、局所的な地形の複雑さにその背景を求め、数値的な分析を試みたものである。局所的に大きく異なる植生環境が導出される原因について検討し、日射量を手がかりとした気候環境の復元を行った。気温などの気候要素を直接復元するには至っていないが、植生の多様性を議論する上で重要となる気候環境の複雑さの理解につなげることができた。

研究はまだ入り口に立った段階であり、多くの課題が残されている。結果も予備計算の域を出ていないという指摘もあろう。GISを用いた研究ではデータがすべてであり、局所的な現象を分析するための最小限の解像度が整ってきたと考える。だが、分析を実際に進めると精度10mの標高メッシュ情報ではまだ不十分で、必要とする局所環境が十分表現されているかという議論も出てきている。それは本研究の限界でもある。ただ一方で、少しずつではあるが着実にデータは整備されており、今後改善も見込まれる。複雑な自然現象をうまくとらえ表現する手法は限られており、そうした中での一つの試みととらえていただけたらと思う。

[謝辞]

本研究の分析環境は平成25年度千葉経済大学短期大学部学内共同研究助成費（研究代表：江上）を受けて整備されたものである。研究課題にご理解をいただき採択していただきました関係者諸氏に感謝申し上げます。英文要旨に関して、Kimiye Kawashima氏の協力を得ました。さらには共同研究を進める上で協力いただいた皆様に感謝いたします。

参考文献

- [1] 内山隆・江上邦博・齋藤崇人, 千葉県君津市久留里における完新世堆積物の花粉分析, 花粉学会 第55回大会 北海道

- 大学, (2014年9月) .
- [2] 内山隆・江上邦博, 房総丘陵における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11.35-50 (印刷中) (2015) .
- [3] 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, (2004) .
- [4] 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) .
- [5] 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) .
- [6] 原 正利, 東日本におけるブナとイヌブナの水平・垂直分布とこれを規定する環境・歴史要因, 日本生態学会第56回 岩手県立大学, (2009年3月) .
- [7] 江上邦博・内山隆, 気候変動に対する植生の応答 (その2) GISを用いた植生応答の時間空間変化に関する研究, 千葉経済大学短期大学部 研究紀要 3, 19-28 (2007) .
- [8] 内山隆, 日本の冷温帯林および中間温帯林の成立史, 植生史研究 11, 61-71 (2003) .
- [9] 内山隆・江上邦博, 気候変動に対する植物の応答 (その1), 千葉経済大学短期大学部 研究紀要 3, 9-18 (2007) .
- [10] 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) .
- [11] 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) .
- [12] 沼田真, 垂直分布帯の寸づまり現象, 朝日新聞, 1970年4月7日夕刊, (1970) .
- [13] 沼田真・岩瀬徹編, 図説日本の植生 - 垂直分布の寸づまり現象, 朝倉書店, 8-9 (1975) .
- [14] http://www.num.nagoya-u.ac.jp/outline/staff/nishida/laboratory/research/research1_1.html
- [15] Richard G. Pearson, Terence P. Dawson: Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful?, *Global Ecology & Biogeography*, 12, 361-371 (2003) .
- [16] Robert J. Hijmans, Catherine H. Graham: The ability of climate envelope models to predict the effect of climate change on species distributions, *Global Change Biology*, 12, 2272-2281 (2006) .
- [17] IPCC Working Group II: Impact, Adaptation and Vulnerability, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg2/ind-ex.php?idp=205>, (アクセス日時2014年1月31日) .
- [18] 菊池多賀夫, 地形植生誌, 東京大学出版, (2011) .
- [19] 吉野正敏ほか編, 気候学・気象学辞典, 二宮書店, (1985) .
- [20] 只木良也, 森林環境科学, 朝倉出版, (1999) .
- [21] 気象庁, 全日射量と下向き赤外放射量の経年変化, http://www.data.jma.go.jp/gmd/env/radiation/diag_rad.html, (アクセス日時2014年1月31日) .
- [22] 岡上正夫, 斜面の受ける日射量を求める簡単な一方法, 日本林学会誌, 39 (11) , 435-437 (1957) .
- [23] 近藤純正, 地表面に近い大気科学-理解と応用, 東京大学出版, (2014) .
- [24] G. Yamamoto, M. Tanaka, K. Arao: Hemispherical Distribution of Turbidity Coefficient as Estimated from Direct Solar Radiation Measurements, *Journal of the Meteorological Society in Japan*, 46, 287-300 (1968) .
- [25] Linke F. Transmissions-Koeffizient und Trübungsfaktor. *Beitr. Phys. fr. Atmos.* 10, 91-103 (1922) .
- [26] 酒井徹哉・下野正美・山下脩二, 日本における大気混濁係数の年変化および経年変化, *東北地理*, 38, 275-282 (1986) .
- [27] 羽生寿郎・中川行夫・山本良三・坂上務・矢吹万寿・堂腰純, 農業気象学, 文永堂出版, (1987) .
- [28] GRASS GIS - The World Leading Free Software GIS, <http://grass.osgeo.org/>, (アクセス日時2014年1月31日) .
- [29] 国土地理院, 基盤地図情報・「数値標高モデル」10mメッシュデータ, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>, (アクセス日時2014年1月31日) .
- [30] r.sun - Solar irradiance and irradiation model, <http://grass.osgeo.org/grass64/manuals/r.sun.html>, (アクセス日時2014年1月31日) .
- [31] Hofierka, J., Suri, M.: The solar radiation model for Open source GIS: implementation and applications. International GRASS users conference in Trento, Italy, September (2002) .
- [32] Jenco, M.: Distribution of direct solar radiation on georelief and its modelling by means of complex digital model of terrain (in Slovak) . *Geograficky casopis*, 44, 342-355(1992) .
- [33] Kasten, F.: The Linke turbidity factor based on improved values of the integral Rayleigh optical thickness. *Solar Energy*, 56, 239-244 (1996) .
- [34] 吉良竜夫, 生態学からみた自然, 河出書房新社, (1971) .
- [35] 新田尚ほか編, 気象ハンドブック, 朝倉書店, (2005) .