

論文の内容の要旨

論文題目 統計解析による日本の植生への気候変化の影響評価

氏名 清水 庸

気候変化が陸上生態系に及ぼす影響を考える場合、生態系は複雑なシステムであるため、その系全体を把握することは困難である。そこで、観測の結果やモデルに基づく推定から把握可能な生態系のさまざまな側面を生態系の指標として利用することになる。本研究では陸上生態系の構成要素である植生をとりあげる。植生とは、ある地域を覆っている植物体の総称と定義され、その状況、種類や分布がその地域における生態系の状態を示すことになる。具体的には、植物季節と植生分布の変化に着目し、気候変化が日本の植生に及ぼす影響を統計解析によって評価した。

本研究は二部構成からなり、第 I 部では植物季節の変化を対象とした。植物季節の変化は植物・植生が示す変化のなかで初期に現れ、気温条件の変化に対応していることが知られており、長期間の変化における系統的傾向を調べることは、気候変化の影響を知るためには不可欠である。そしてその変化傾向における地域的差異に注視する必要がある。そこで、第 1 章において植物季節の年次間の変化と日単位の気温条件との統計的関連性を解析し、第 2 章では植物季節の時系列変化の傾向を解析した。第 II 部では植生分布の変化を対象とした。植生分布の変化は、植物のみならず、微生物、昆虫そして大型の哺乳類まで、生物の生息地の根底からの改変に繋がり、生態系への最も深刻な影響と位置づけられる。既往の研究では、複数の植生帯そして各植生帯を構成する植物群落・群集タイプを対象として、気候変化時の植生分布への影響を評価した研究例は見られず、また実地踏査により、積雪深の条件が植生分布に影響を及ぼすことが指摘されている

が、気候変化時の積雪深データの不足から、積雪深の変化も含め、気候変化時の影響評価を行った研究例は少ない。そこで、第1章において気候変化時での植生分布の変化を予測するために、植生分布と気候条件間の統計的関連性の解析を行い、第2章では積雪深推定モデルを作成し、地域気候モデル（Regional Climate Model, RCM）の2031年～2050年時点と2081年～2100年時点における気温・降水量データをもとに、積雪深予測データを作成した。第3章では、気候変化時の植生の潜在的分布を予測し、それらの変化傾向をまとめ、気候変化が植生分布に及ぼす影響を評価した。第I部と第II部の結果は、以下のように要約される。

第I部では、日本全国において観測された40年間における16種類の植物季節について、日単位の気温偏差データによって、植物季節の年次間の変化を説明できること、そして植物季節の年次間の変化に対応する「気温の影響期間」および気温変化に関する感度について、植物季節間での類似性を示した。気温の影響期間に関して、ウメの開花やイチョウの発芽などの冬季・春季の植物季節については33～56日間であり、イチョウ・カエデの葉の色づきや落葉からなる秋季の植物季節については、春のものと比較すると同程度もしくは短かった。気温に対する植物季節の変化の感度について、木本種の開花・発芽からなる春の植物季節については3～4日程度であり、秋季の植物季節については5日程度であった。しかし冬から春のはじめに観測されるツバキやウメの開花は約10日であり、感度が高かった。1961年～2004年における植物季節の時系列変化の傾向について、植物季節の観測日と観測年次の関連性から、気温上昇の傾向に同調するように、春の植物季節は早くなる傾向が見られるものが多く、秋に観測される葉の色づきや落葉については遅れの傾向が見られ、春の植物季節の早まりよりも、その傾向は顕著であった。主成分分析を利用して、ウメの開花日に関する時系列変化の傾向を解析した結果、各観測所における開花日の時系列変化傾向には共通性があり、開花日の早まりが主要な変化傾向であるが、1980年代の半ば以後、九州地方および紀伊半島など、相対的に温暖な地域において、休眠解除の遅れに関わると考えられる開花日の遅れが見られた。また、緯度36度以北の寒冷な地域に位置する観測所では、1970年代や1980年代と比較して、近年の開花日が早くなる場所が多く、開花日の時系列変化傾向における地域的な特徴を示していた。

第II部では、気候変化時における植生の潜在的分布の変化を予測するため、国内に残存する自然植生の59%が分布する北海道の自然植生を対象として、高山帯植生、亜高山帯植生そしてブナクラス域植生の植生帯の分布、そして各植生帯を構成する植物群落・群集の分布と気候条件との関連性を判別分析およびCART（Classification and Regression Trees）分析の2つの手法を使用して解析した。気候条件との関連性において、植生帯タイプと植物群落・群集タイプを比較すると、夏季積算最高気温や秋季積算最高気温などの暖かさを示す気温条件の違いが各植生帯の分布を特徴づけており、一方、植物群落・群集タイプを対象とした場合、暖かさを示す気温条件と

比較すると局所的に変化する最深積雪深や最寒月最低気温の寄与が大きく、また秋季積算最高気温や秋季降水量による秋季の気候条件も加わり、秋季から冬季における気候条件がこれらの植生タイプの分布を特徴づけていた。2種類の手法の比較において、CART分析の結果は植生のタイプを分類するために適した気候条件およびその閾値の選択が地域ごとに行われるため、植生タイプの分類精度が高かった。したがって、気候変化時における植生の潜在的分布の予測には、CART分析の結果を利用した。

第2章では、1980年～2000年に気象観測所にて観測された日単位の気温・降水量データを利用して、日単位の積雪深を推定する簡易モデルを作成した。モデルには積雪層の密度変化や融解水量の推定などの複数のパラメータを含む。そこで、対象とする期間において平均的な積雪深を記録した1987年～1988年寒候期のデータを使って、パラメータの設定を行い、それらのパラメータを他の寒候期データに適用した。その結果、日単位積雪深の平均絶対誤差 MAE (Mean Absolute Error) の平均値と標準偏差は 9.8 ± 2.1 cm であった。最深積雪深に応じて誤差は変化する傾向を示すが、その誤差は最深積雪深に対して 12%と安定していた。このモデルに、温室効果ガス排出シナリオ SRES-A2 にもとづく地域気候モデル (RCM) のデータの日単位気温と降水量データを適用した。RCM データは解像度が 20km 格子であり、再現結果として 1981年～2000年 (以後 1981s と表記) のデータ、予測結果として、2031年～2050年そして 2081年～2100年 (以後、2031s と 2081s と表記) の各 20年間の 3期分のデータがある。そこで、1981s 時点のデータによって推定した最深積雪深の平均値を基準として、両時点における最深積雪深の平均値の変化量を求め、それらの変化量を最深積雪深の観測値から作成されている平年値メッシュデータに加算することによって、気候変化時の最深積雪深データを作成した。最深積雪深の変化量について、2031s 時点では、1981s 時点と比較して、平均値と標準偏差は 6.8 ± 26.3 cm であり、地域によって増減双方の傾向が見られ、2081s 時点では減少傾向が明瞭であり、平均値と標準偏差は -25.3 ± 15.9 cm であった。

第3章では、気候変化時の3つの植生帯タイプと各植生帯における植物群落・群集タイプの潜在的分布を予測した。2031s および 2081s 時点ともに、ブナクラス域植生の潜在的分布域の拡大に伴う、亜高山帯植生域の減少、および亜高山帯植生域の変化に伴う、高山帯植生域の減少傾向が示された。亜高山帯植生の場合、残存する割合は 2031s 時点において現況の 27.9%、2081s 時点では 14.6% であり、高山帯植生の場合、それぞれ 22.7% と 18.8% であった。高山帯植生の場合、亜高山帯植生とブナクラス域植生の双方の変化の影響を受けるが、植生帯の垂直分布として隣接する亜高山帯植生域への変化が多かった。またブナクラス域植生の潜在的分布へと変化する割合は、2つの時点において 16.0% から 24.5% に増加しており、これらは知床半島、アポイ岳そして渡島半島の駒ヶ岳において見られた。これらの地域は、気候変化の影響を特に受けやすい可

能性がある。高山帯植生の高山低木林・風衝草原そして雪田植生の2つの植物群落の場合、他の植生帯の潜在的分布域に変化したところが多く、残存したところは、大雪山や知床半島など、北海道内において高山帯植生がまとまって分布する地域であった。亜高山帯植生の植物群落・群集タイプの場合、常緑針葉樹の潜在的分布域として残存するものは少なく、2つの時点において、現況の2.6%以下であり、ダケカンバ群落からなる落葉広葉樹の潜在的分布域へと変化する傾向が見られた。落葉広葉樹の場合、常緑針葉樹と比較して残存する割合は高く、18.8%~37.7%であった。ブナクラス域植生の落葉広葉樹林と針広混交林の2つの植物群落・群集タイプの場合、ほぼ全ての落葉広葉樹林が残存する一方、針広混交林として残存するものは少なく、針広混交林から常緑針葉樹のトドマツが衰退し、ミズナラを中心とする落葉広葉樹への変化する可能性がある。本研究では気候変化時の植生帯と植物群落・群集ごとの潜在的分布と残存の割合を示し、高山帯植生と亜高山帯植生の場合、残存割合は現況の40%以下と低く、気候変化の影響を強く受ける可能性を示した。