

氏名	中 園 悦 子
学位(専攻分野の名称)	博 士 (林学)
学位記番号	乙 第 915 号
学位授与の日付	平成 28 年 3 月 20 日
学位論文題目	空中写真に基づいた冷温帯・暖温帯境界域の自然林における 常緑広葉樹の分布変化の検出方法の開発
論文審査委員	主査 教 授・博士(理学) 武 生 雅 明 教 授・理学博士 中 村 幸 人 教 授・博士(地球環境科学) 島 田 沢 彦 農 学 博 士 田 中 信 行*

### 論文内容の要旨

地球温暖化は既に顕在化し、気温はここ 100 年の間に全球平均で約 1℃上昇したと報告されている。したがって、その影響は既に自然界にも現われていると推測される。では過去から現在にかけて、本当に植生の分布変化が起こっているのだろうか？過去から現在への植生の面的な分布変動を検出したとする研究は複数あるが、いずれも高山での森林限界線の移動、もしくは森林帯間の境界線の移動に注目しており、森林帯境界域での面的変動を十分な精度で検出した研究例はない。そこで日本の主要な植生帯である冷温帯落葉広葉樹林-暖温帯常緑広葉樹林の境界域に分布する老齢自然林を対象とし、数十年というタイムスケールでの植生の微少な面的変化の検出方法を確立することを目的とした。

1ha~20ha の森林を対象として微少な分布変化を捉える為の手法として、日本に於いては最も古いリモートセンシングデータであり、かつ解像度が高く上層木の樹冠ごとの判読が可能な空中写真を利用する方法を選んだ。空中写真を用いると常緑広葉樹の樹冠と落葉広葉樹の樹冠とを識別することが可能となる。そこで空中写真の目視判読による常緑広葉樹の樹冠の抽出を行い、その分布の変化を検出することとした。空中写真を GIS データとして使用する場合、画像の歪みを正射投影にて修正したオルソ画像を作成する必要がある。しかしオルソ化の際に面積の誤差が生じるが、誤差を推定することは難しい。また樹冠の面積の真値を地上から求めることも非常に難しい。従って、常緑広葉樹の分布変化を検出する指標として、まず面積誤差の影響しない指標を定義すること、また面積誤差について妥当な定義を行うことで面積に関連する指標を使うことを考えた。

対象地としては、森林帯の移行域に分布する人為的影

響も遷移の影響も少ない老齢な自然林である茨城県の筑波山南斜面、静岡県の函南原生林、そして鹿児島県の紫尾山山頂付近の三箇所を選んだ。また、解析対象樹種としては、年間を通じて葉が残っており樹冠の面積や個数を比較し易く、また過去から現在にかけて増加する傾向にあると考えられる常緑広葉樹を選んだ。

筑波山南斜面は、常緑広葉樹を判読するのに適した空中写真の過去のデータが複数存在しており、かつ現在の空中写真についても複数の入手が可能であった。そこでまずこの場所を研究対象地とし、二つの指標についての検討を行った。その上でそれぞれの指標の経年変化から常緑広葉樹の分布変化の検出が可能であるかどうかを確認した。

空中写真として、1961, 1975, 1986, 2003, 2005, 2008 年の 6 時期の秋~早春に撮影されたものを使用した。はじめに 2000 年代の 3 時期の画像を使用して、現在の常緑広葉樹樹冠の判読を行った。空中写真判読結果の検証を行う 1.0ha のプロットを選定し、2005 年データを中心に 2003, 2008 年データを補助として常緑広葉樹の樹冠を判読し、それを 2007 年の毎木調査データと比較した。その結果、中下層木は判読されず、上層木 17 本のうち 14 本 (82%) が判読された。次に、写真判読プロット (20.4ha) について、まず検証プロットと同様の基準で判読を行い、3 時期の樹冠分布図を、その結果を元に過去 3 時期の樹冠分布図をそれぞれ作成した。

筑波山での研究では、指標として、樹冠数と樹冠総面積を求めることとした。常緑広葉樹が隣接すると樹冠が連続して明白な境界がわからなくなるため、樹冠を区切る場所によって樹冠数が変化する。区切る場所による樹冠数の誤差を防ぐ為に、2000 年代 3 時期の画像につい

\* 森林総合研究所 研究専門員

ては、全てのポリゴンで樹冠の区切る場所を共通にしてそのポリゴンの数を樹冠数としたが、この方法では作業量が増大した。そこで1961～1986年については2005年の樹冠分布図を用いて各時期の画像上での各樹冠を特定、その在・不在情報を収集し、そこから樹冠数を算出した。

また、面積誤差については、以下のように定義した。

同一の対象を  $n$  枚の空中写真に撮影し、オルソ化した結果得られた樹冠面積がそれぞれ

$A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$  である時に、

真値  $A$  を  $A = (\sum_{k=1}^n A_k) / n, k = 1 \text{ to } n$  で近似し

$$\text{Max} (|A_k - A|),$$

をこの場合の面積誤差と定義した。また、時期の異なる画像の樹冠面積と  $A$  との差を経年変化

とし、

経年変化 > 樹冠面積

の場合、経年変化が検出されると判断した。そこで2000年代の3時期の間の面積差は画像処理による面積の誤差であると仮定し、以上の定義を用いて樹冠の面積の真値と面積誤差を求めた。結果、個々の樹冠の面積については誤差が大きすぎるために経年変化を追うことは難しいこと、しかし複数の樹冠をまとめた場合、経年変化に比べて誤差が小さくなること、誤差の原因としては空中写真の撮影の際の中心からの距離による歪みが考えられることが判った。

以上の点に留意した上でこれら二つの指標を適用したところ、常緑広葉樹の樹冠数は0.18本/年/haの割合で、樹冠総面積は調査プロットに対して0.21%/年の割合でそれぞれ直線的に増加していることがわかった。

次に、静岡県函南原生林を対象とし、過去の空中写真単独では常緑広葉樹・落葉広葉樹の判読が不可能である場合について、常緑広葉樹樹冠の分布変化を検出することが可能かどうかを検証した。解析対象として1976年、2005年のそれぞれ紅葉途中の空中写真、また2005年の判読補助として2012年の冬の空中写真を使用し、それぞれの空中写真を単画像オルソ化した。また標高600m、700m、800m付近にそれぞれ150m×150mの写真判読プロット(2.25ha)を設定し、判読プロット内の樹冠ポリゴンを作成した。2005年の空中写真では落葉広葉樹林についても樹冠ポリゴンを作成することが可能だった。そこで2005年の判読プロット内の樹冠を常緑広葉樹、落葉広葉樹、林冠ギャップの3タイプに目視判読で分類した。この判読結果について確認する為に原生林内の遊歩道周辺の樹冠を判読、分類し、その結果を現地調査と比較した。結果、常緑広葉樹は90%、落葉広

葉樹は100%の判読精度となった。

また、1976年の樹冠は、2005年の樹冠とそれぞれ対応が可能であった。そこで現在の分類結果を補助として、単独では常緑広葉樹と落葉広葉樹の分類が困難な1976年データを2005年と同様に常緑広葉樹、落葉広葉樹、林冠ギャップの3タイプに分類した。また、単画像オルソの面積誤差について検討するために、同一判読プロットに対し、同一コース内のオーバーラップする空中写真から2枚のオルソ画像を作成し、それぞれのプロットを3タイプに分類した面積を算出した。この面積の差をオルソによる面積誤差と定義し、経年変化と比較した結果、標高600m判読プロットの落葉広葉樹以外、全ての判読プロットの全てのタイプに対して経年変化 > 面積誤差が成立した。以上の結果を踏まえて3つのプロットの3タイプの面積割合の経年変化を調べたところ、林冠ギャップは全ての判読プロットで減少し、常緑広葉樹はどの判読プロットでも増加していること、また600mプロットでは落葉広葉樹がこの期間に増加することはない、常緑広葉樹だけが増加していると判断された。

以上2つの対象地で検討した手法を、空中写真の撮影頻度が少なく、常緑広葉樹の増加の幅が小さい紫尾山頂上付近の森林に適用し、このような条件下で常緑広葉樹の分布変化の検出がどこまで可能であるかの検証を行った。解析対象とした空中写真は1975年、2008年の二時期のみである。それぞれの空中写真を単画像オルソ化し、標高900～950mに判読プロットA(2.26ha)、標高950～1000mに判読プロットB(2.26ha)を設定し、判読プロット内の常緑広葉樹の樹冠ポリゴンを作成した。また、現地調査として山頂まで続く道路沿いの樹冠を判読し、その結果を立木調査の結果と比較した。その結果、常緑広葉樹の判読精度は98%となった。2008年と1975年データ上で、樹冠の対応を行うことは一部困難であり、結果指標として樹冠数が使えないこと、また現在の判読結果を過去の判読結果に適用することができないことがわかった。但し、落葉広葉樹の完全に落葉した2月に撮影されていることから1975年データ単独で樹冠総面積を目視判読することは十分に可能であると判断した。結果、常緑広葉樹の樹冠面積の増加が検出され、判読プロットに占める割合は33年間に判読プロットAで1.23倍、判読プロットBでは1.79倍になることがわかった。

以上から、1970年代のカラー空中写真と現在撮影される空中写真とを判読し、その結果を適切な指標を用いて比較することで、老齢自然林内の常緑広葉樹樹冠の分布変化を検出することが可能であることがわかった。但

し、空中写真の撮影時期や撮影された枚数、過去と現在のデータ上で樹冠の対応が可能であるかどうかによって検出可能な情報には差が生じるため、注意が必要である。また、樹冠数と樹冠総面積の二つの指標についても検討を行うことが出来た。

樹冠数は面積による誤差とは関係ないため、誤差を考慮する必要が無い。従って特に落葉広葉樹林内に進出した常緑広葉樹の小さい樹冠を検出するには適している。しかし、常緑広葉樹が連続している場合、現在と過去との間で樹冠が対応できない場合は使用できない。一方、樹冠総面積については、常緑広葉樹の判読が可能であれば樹冠の対応ができない場合でも使用可能である。但し必ず面積の誤差があるため、検出するためにはある程度の観測期間が必要になる。今回の筑波山での結果から、観測期間が5年程度では経年変化が検出されないが、10~15年程度の観測期間では経年変化が検出される可能性があることがわかった。従って、日本全体が撮影された70年代のカラー空中写真については、現在ま

での観測期間が40年間程度なので、植生分布に変化がある場合は、どちらの指標からも変化が検出されることがわかった。

日本の場合、カラーに限っても空中写真は1970年代から存在している。また国土地理院撮影の白黒空中写真の場合、1950年代後半から全国的に撮影が始まっている。このような空中写真を用いることで数十年間の樹冠の分布変化を検出可能であることが今回わかった。温暖化の検出の一番の問題が過去のデータであることを考えると、日本全土に渡って数十年間蓄積された空中写真は、数十年の植生変動を広域で捉える為の、非常に有効なデータであると考えられる。また、現在から未来にかけて、日本の森林の地上調査に対応できる詳細な情報を得る為のリモートセンシングデータと解析技術が揃いつつある現在、空中写真から得られる過去40年の森林の詳細な情報とそれらを組み合わせることで、長期に渡る単木ごとの森林の変化について観測が可能になりつつある。

#### 審査報告概要

本研究は、地球温暖化による過去から現在への気候変動に対応した植生の分布変動を、空中写真判読により検出する方法を開発し、冷温帯落葉広葉樹林-暖温帯常緑広葉樹林の境界域を対象として1960年代以降の植生変動を調べた。空中写真の撮影回数が多く、かつ落葉広葉樹が落葉する冬季の写真を含む場合には、常緑広葉樹の樹冠数と樹冠総面積の両方が求められるが、空中写真の撮影回数が少なく、過去の写真の撮影時期が冬季ではない場合にも、現在の写真判読結果を参考にして過去の写

真の樹冠を識別し、少なくとも樹冠総面積の変化を調べることが可能とした。空中写真が持つ歪みによる面積誤差を推定する方法を検討し、樹冠総面積の経年変化量と比較したところ、調査を行った3地域ではいずれも誤差よりも経年変化の方が大きく、常緑広葉樹の樹冠面積が増加傾向にあることが明らかになった。

よって、審査員一同は博士（林学）の学位を授与する価値があると判断した。