

空中写真判読による紫尾山常緑広葉樹の33年間の林冠変化

Thirty-three-year changes in evergreen broad-leaved tree crowns on the Mount Shibi based on aerial photographs

中園悦子*1 ・ 田中信行*2

Etsuko NAKAZONO *1 and Nobuyuki TANAKA *2

* 1 東京大学生産技術研究所

Institute of Industrial Science, the University of Tokyo

* 2 森林総合研究所

Forestry and Forest Products Research Institute

要旨：近年、気候温暖化に伴う植物の分布変化が報告されている。温暖化の影響が現れやすいと考えられる冷温帯落葉広葉樹林と暖温帯常緑広葉樹の境界域において、常緑広葉樹の過去33年間の分布変化を抽出した。対象地は境界域に老齢天然林が残存する九州紫尾山の山頂周辺である。1975年、2008年の空中写真を単画像オルソ化し、標高900~950mに調査区A(2.26ha)、標高950~1000mに調査区B(2.26ha)を設定し、調査区内の常緑広葉樹の樹冠ポリゴンを作成し、樹冠面積を求めた。現地の道路沿いの立木調査の結果、常緑広葉樹の判読は98%の精度を示した。また常緑広葉樹の樹冠面積率は、調査区Aで1.23倍、調査区Bで1.79倍となり、両区とも増加した。このような点から、紫尾山では過去33年間に常緑広葉樹帯が上昇したことが示唆される。

キーワード：オルソ化画像・樹冠面積・植生分布変化・老齢天然林

Abstract: The changes of evergreen broad-leaved tree crowns for 33 years was observed at the boundary between warm-temperate evergreen broad-leaved forest and cool-temperate deciduous broad-leaved forest in the Mt. Shibi primary forest by using aerial photographs. Canopies of evergreen broad-leaved trees were detected for two study plots, set on 900-950 m (Plot A, 2.26ha) and 950-1000 m (Plot B, 2.26ha), based on the ortho images of aerial photographs in 1975 and 2008. It was confirmed that the accuracy of the interpretation of evergreen broad-leaved canopies was 98%.

The percentages of evergreen broad-leaved trees crown area were increased to 1.23 times in Plot A and 1.79 times in Plot B. So we concluded that in the boundary between evergreen broad-leaved forest and deciduous broad-leaved forest, distribution area of evergreen broad-leaved trees was upward shifted in 33 years.

Key-word: Ortho image, Crown area, Distribution change, Old-growth natural forests

I はじめに

地球温暖化に伴い、平均気温は世界では1880年~2012年に0.85℃上昇し(IPCC(1)),日本ではこの100年に1.14℃の割合で上昇した(気象庁(3))との報告がなされている。また、このような気候変化に伴い、過去数十年の間に自然植生の分布が変化していることが海外で報告されている(LENOIR *et al.* (4), PAULI *et al.* (9), WALTHER *et al.* (11))。このような気候変化の影響による植生の分布変化を把握するためには、森林帯の移行域で、遷移の影響の少ない遷移後期段階の老齢な自然林で起こっている微小な変化を、できるだけ広域で、

数十年の期間について把握することが必要である。

日本の場合、このような変化を把握できるデータの一つとして空中写真が挙げられる。空中写真は1940年代に米軍によって日本の各地で撮影され、以降現在に至るまで多くの空中写真が蓄積されている。特に1970年代半ば以降にカラー空中写真が全国で撮られているため、現在から約40年を遡って森林変化をカラー写真で追うことが可能である。1960年代には既に空中写真の利用が広まり、森林の判読にも使用された(日本林業技術協会(6))。樹種の判読についても多くの論文が報告されている(例えば板垣(2), 小木(7)等)。但しその多くが目視による判読を主としており、正確な判読のために

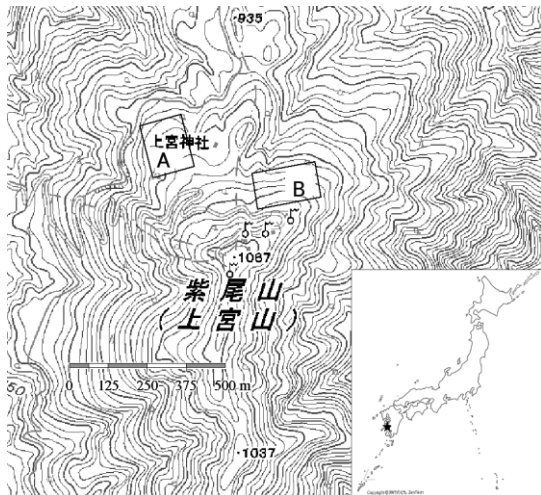


図-1. 紫尾山に設定した 2.26ha の調査区 A(標高 900~950m)と B(標高 950~1000m)
 Fig.1 Plots A (elevation: 900-950m) and B (elevation, 950-1000m), 2.26ha each, established on Mt. Shibi.

は判読技術の熟練を必要とする。特に常緑広葉樹と落葉広葉樹の分離については、自動で行うことが困難であるため目視判読を行う必要があり、広範囲の解析を行った例は多くない(奥田ら(8))。

空中写真に基づいて過去から現在の植生変化を抽出し、環境要因の変化の影響を考察した研究例としては、湿原植生を対象とした安田ら(12)の研究、亜高山帯優占種のオオシラビソを対象とした SHIMAZAKI *et al.*(10)の研究がある。一方、冷温帯落葉広葉樹林と暖温帯常緑広葉樹林の境界域における樹冠面積の変化については、静岡県函南原生林を調査地に 40 年間の面積変化が検出されている(中園ら(5))。この研究は、空中写真のオルソ画像から樹冠面積の変動が抽出可能であること、また、標高 600~800m の 3 つの調査区で常緑広葉樹の樹冠面積が増加したこと、特に低標高側(600m)では落葉広葉樹は樹冠面積に変化が無かった一方で常緑広葉樹の樹冠面積が大きく増加したことを明らかにした。このような現象が他の地域でも起こっているかを確認することが、気候変化との関連を検討するためには必要である。

そこで本論は、気候帯の移行域に成立する鹿児島県紫尾山の老齢自然林を調査地として、常緑広葉樹の樹冠面積の過去の変化を検出することを目的とする。

II 方法

1. 調査地と使用データ 調査地は鹿児島県出水市と薩摩郡さつま町の境にある紫尾山山頂(標高 1067m)付近の老齢自然林である。紫尾山は、日本のブナの南限に近く、山頂部分にはブナが優占する落葉広葉樹林が広がっており、その下方に常緑広葉樹林が広がっている。今回は老齢自然林の広がる範囲から、標高 900~950m に調査区 A(2.26ha)、標高 950~1000m に調査区 B(2.26ha)を設定した(図-1)。

常緑広葉樹と落葉広葉樹を分けるにはカラー空中写真が適している(中園ら(5))。今回、1975年2月13日と2008年3月18日の冬のカラー空中写真を使用した(表-1)。これらの空中写真から、国土地理院発行の10m解像度のDEMデータを用いて単画像オルソを作成した。使用ソフトは ERDAS Imagine13 である。

函南原生林の研究では、比較的近い時期の秋と冬のカラー空中写真があったため、落葉していない落葉広葉樹の樹冠面積を抽出することが可能であった(中園ら(5))。しかし、今回は両方も落葉広葉樹は完全に落葉しており、常緑広葉樹と落葉広葉樹の判読は可能であったが落葉広葉樹の樹冠面積を抽出することは困難であると判断したので、常緑広葉樹の樹冠に限定して判読、樹冠面積の抽出を行った。

2. 樹冠判読と面積変化 調査区内での常緑広葉樹について、その樹冠面積の変化を調べた。まず 2008 年のオルソ画像を基にして目視判読を行い、常緑広葉樹と判読した樹冠について、それぞれポリゴンを作成した。この時立体視を行い、それぞれの樹冠の区切りごとにポリゴンを作成した。ただし、小さな樹冠が集まっており、分割が難しい箇所については、まとめてポリゴン化を行った。使用したのは冬季末期の3月の画像なので、葉が残っている樹冠は常緑樹であると考えた。しかし、明らかに常緑樹の濃緑色の樹冠だけでなく、茶~濃緑のグラデーションの中に位置づけられる色調の樹冠がかなりの数存在しており、空中写真の判読だけでは茶色系の色調が常緑広葉樹であるという判断ができなかった。そこで、濃緑色の常緑広葉樹の樹冠とは別に、このような色調の樹冠を不明樹種としてポリゴンを作成した。

2008年画像の判読結果を検証する為、また不明な樹種

表-1. 判読に使用した空中写真の情報とオルソ画像作成方法

Table 1 The information of aero photo and method for orthographic images

撮影日時	撮影元	焦点距離(mm)	撮影高度(m)	単画像/ステレオ	標高データ	解像度(m)	誤差(m)
1975/02/13	国土地理院	151.73	1900	単画像オルソ	国土地理院10mメッシュDEM	0.18	<1.75
2008/03/18	SKYMAP	153.66	2530	単画像オルソ	国土地理院10mメッシュDEM	0.28	<1.75

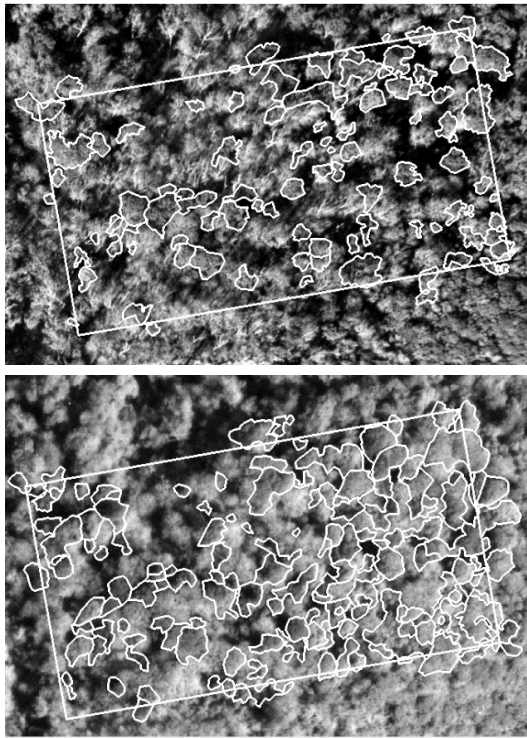


図-2. 調査区 B における 1975 年(上)と 2008 年(下)の常緑広葉樹樹冠ポリゴン

Fig.2 Crown polygons of evergreen broad-leaved trees (ETBs) in 1975 and 2008 at plot B

を確認する為に、2014 年 11 月に地上調査を行った。空中写真を元に紫尾山山頂に至る道路沿いの樹冠について常緑広葉樹を 200、落葉広葉樹を 100、不明樹種を 100、それぞれ事前に判読した。そのうち現地で確認が可能な樹冠について、判読結果と調査結果を比較することで空中写真の判読精度を求めた。なお、常緑針葉樹も数本存在したが、樹形が特徴的で常緑広葉樹とは判読時に区別できたため、今回の検証の対象には入れなかった。

次に、過去 33 年間の樹冠面積の変化を評価するため、1975 年画像についても常緑広葉樹の判読を行った。函南の研究では、過去と現在の個々の樹冠を対応させた上で、現在の画像を用いた精度の高い判読結果を過去画像の判読の参考にした(中園ら(5))。今回 1975 年と 2008 年の画像を比較したところ、解像度が異なること、幾つかの樹冠消失により、残った樹冠の相対的な位置に大きな

表-2. 空中写真判読結果と現地調査の比較

Table 2 The comparison of the aerial photo interpretation and the ground truth data

調査結果	空中写真判読(ポリゴン数)		
	常緑	落葉	不明
常緑	120	1	63
落葉		67	4

表-3. 各調査区における 2 時期の常緑広葉樹樹冠面積/樹冠面積総和/常緑広葉樹樹冠面積率

Table 3 The area of EBT crowns, all tree crowns, and areal ratio of EBT crowns to all tree crowns

	調査区		1975年	2008年
	常緑広葉樹樹冠面積 (m ²)	A	B	14,342
解析対象面積 (m ²)	A	B	25,102	25,502
	A	B	23,367	24,397
常緑広葉樹樹冠面積率 (%)	A	B	57.1	70.1
	A	B	25.8	46.3

変化があることなどから、個々の樹冠を対応させることが困難であった。しかし、1975 年画像は 2008 年画像に比べて解像度が高く、2008 年画像のような不明樹種もなかった。そこで 2008 年の判読結果を参考としなくとも 1975 年画像単独で精度の高い判読が可能であると判断し、常緑広葉樹の樹冠ポリゴンを作成した(図-2)。このような手順で 2 時期の樹冠ポリゴン図を作成し、常緑広葉樹樹冠のポリゴン面積を算出した。

III 結果

2008 年画像の判読結果と地上調査結果を比較したところ、不明樹種に分類した 67 個の樹冠のうち 63 個までがアカガシ(常緑広葉樹)だった(表-2)。そこで、不明樹種と判読したものを常緑広葉樹の判読に加えた場合常緑広葉樹冠が 187 個となり、その結果 183 個が正しく判読され精度が 98%となった。

常緑広葉樹の樹冠面積率は、斜面中腹の調査区 A が山頂に近い調査区 B より高かった(表-3)。1975 年と 2008 年の常緑広葉樹の樹冠面積率は、調査区 A で 1.23 倍(57.1%から 70.1%へ)、調査区 B で 1.79 倍(25.8%から 46.3%へ)に大きく増加した。面積算出の際、調査区の境界線上にある樹冠については 1975 年と 2008 年の両方で確認を行い、少しでも境界と重なっている常緑広葉樹樹冠についてはその樹冠面積の全てを対象を含めた。そこで、各画像について常緑広葉樹樹冠面積+落葉広葉樹と林冠ギャップを合わせた面積を解析対象面積として算出し、この面積に対する常緑広葉樹の樹冠面積率を算出した。各画像の各調査区の解析対象面積は微増したが、常緑広葉樹の樹冠面積の増加はこの差以上に大きかった(表-3)。

IV 考察

対象地は老齢自然林であり、山頂に近づくにつれて常緑広葉樹が減少し、落葉広葉樹が増加するという常緑広

葉樹林帯と落葉広葉樹林帯の移行域の様相を示している。また落葉広葉樹林の上層木の多くが極相林を形成する樹種のブナである。従ってこの森林は極相に達している可能性が高く、短期的な擾乱が起こっても気象条件に長期的な変動が無い場合、ブナ林が保たれると考えられる。しかし 1975 年と 2008 年の空中写真の判読結果から、過去 33 年間に常緑広葉樹樹冠面積率が 1.23~1.79 倍に増加していることがわかった。従って、この地域では気象変動による常緑広葉樹帯の上昇が起こっている可能性があると考えられる。

常緑広葉樹樹冠の増加は、どのように起こったのであろうか。調査区 A では 2008 年画像と 1975 年画像の間で樹冠の相対位置に大きな違いがあり、それぞれの画像上の同一の樹冠を特定することが困難な場合が多かった。そこで特に樹冠の特定が困難であった箇所について立体視を行ったところ、1975 年では落葉広葉樹の高木が占めていた場所が 2008 年には樹高が低く樹冠の小さい常緑広葉樹が集合している状態に置き換わったことがわかった。地上調査により、紫尾山頂付近の落葉広葉樹林で上層の落葉広葉樹の下層に常緑広葉樹が生育していることが確認された。33 年間に、下層の常緑広葉樹が上層木の消失に伴って入れ替わり、その際に周囲の樹冠の相対位置や形状の変化が起こったと考えられる。一方、調査区 B でも常緑広葉樹の樹冠数は増加したが、それによって他の樹冠の相対的な位置に大きな変化が起こることはなかった。また目立った落葉広葉樹の消失もなく、小さな樹冠が多数増加した箇所もなかった。函南原生林に於いて、低標高の調査地では常緑広葉樹は増加していたが、落葉広葉樹の樹冠面積には殆ど増減がなく、林冠のギャップが減少していた(中園ら(5))。調査区 B においても、林冠ギャップが減少し、常緑広葉樹樹冠が増加したと推定される。

地上調査の比較から、2008 年画像判読で不明樹種に分類された 67 個の樹冠中 63 個がアカガシであることがわかった。従って茶と濃緑の樹冠は両方とも常緑広葉樹に分類した。茶色と濃緑の樹冠が存在する理由については不明である。アカガシの葉ははじめ褐色の軟毛が密集するため開葉期には樹冠が茶色になる可能性があるが、3 月は開葉期ではない。また標高に無関係に分布しているので、原因は温度に依存するものではないと考えられる。

謝辞：本研究は、農林水産省農林水産技術会議「気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト」および環境省環境総合推進費 S-8 と S-14 の支援を受けました。ここに感謝の意を表します。また、現地

調査については森林総合研究所の松井哲哉、津山幾太郎、中尾勝洋、大橋春香の諸氏に協力頂きました。感謝の意を表します。

引用文献

- (1) IPCC (2013) Climate Change 2013: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press : 1535 pp
- (2) 板垣恒夫 (1976) 空中写真判読による天然林の類型化とその応用に関する研究. 造園雑誌 40(2) : 2-12
- (3) 気象庁 (2013) 気候変動監視レポート 2013. 気象庁, 東京 : 71pp
- (4) LENOIR, J., GeGOUT, J. C., MARQUET, P. A., de RUFFRAY, P. and BRISSE, H. (2008) A significant upward shift in plant species optimum elevation during the 20th century. *Science* 320 : 1768-1771
- (5) 中園悦子・武生雅明・田中信行・大丸裕武 (印刷中) 空中写真判読による函南原生林の 40 年間の林冠変化. 東京農業大学農学集報
- (6) 日本林業技術協会 (1964) 図説空中写真測量と森林判読. 日本林業技術協会, 東京 : 68pp
- (7) 小木和彦 (1986) 空中写真による広葉樹の樹種判読. 日本林学会北海道支部論文集 (34) : 16-18
- (8) 奥田 賢・美濃羽靖・高原 光・小椋純一 (2007) 京都市東山における過去 70 年間のシイ林の拡大過程. *森林立地* 49(1) : 19-26
- (9) PAULI, H., GOTTFRIED, M. and GRABHERR, G. (1996) Effects of Climate Change on Mountain Ecosystems- Upward shifting of Alpine plants. *World Resource Review* 8(3) : 382-390
- (10) SHIMAZAKI, M., SASAKI, T., HIKOSAKA, K. and NAKASHIZUKA, T. (2011) Environmental dependence of population dynamics and height growth of a subalpine conifer across its vertical distribution: an approach using high-resolution aerial photographs. *Global Change Biology* 17(11) : 3431-3438
- (11) WALTHER, G. R., POST, E., CONVEY, P., MENZEL, A., PARMESAN, C., BEEBEE, T. J. C., FROMENTIN, J. M., GULDBERG, O. H. and BAIRLEIN, F. (2002) Ecological responses to recent climate change. *Nature* 416 : 389-395
- (12) 安田正次・大丸裕武・沖津 進 (2007) オルソ化航空写真の年代間比較による山地湿原の植生変化の検出. *地理学評論* 80 : 842-856