

空中写真による林分構造の推定に関する研究

——森林調査簿と現地調査データを組み合わせた推定方法の検討——

上 杉 基**・吉 田 茂二郎**・長 正道***・今 永 正 明****

抄 録

これまで、林分構造を推定する方法として、空中写真だけを利用したもの、さらに地上調査結果と空中写真を組み合わせた推定方法等が研究されてきた。この論文ではこれまでの林分構造を推定する場合に加えて、現存する森林調査簿のデータを利用することを補助情報と考え、それを利用して効率よく林分構造を推定する方法の検討が行われている。

研究対象地域は、鹿児島大学農学部附属高隈演習林内の伐採対象となる老齢な林分である。対象利用した資料は、写真縮尺が1/10,000のカラー写真で、1994年に撮影され、全部で11枚である。地上調査として、林齢が52年生以上で面積が1 ha以上の林分がGIS（地理情報システム）を利用してまず抽出された。その後、これらの現地調査を行い、平均直径、平均樹高、haあたり本数、haあたり材積および樹冠直径が測定され、現地調査された林分の位置は写真上に指針された。

次に、写真上で対象林分の面積測定が行われ、さらに地上調査データ、森林調査簿データおよび写真判読データから、地上における材積推定のための各測定項目間の関係が分析された。その結果、地上調査による平均直径は写真判読によるhaあたり本数と同平均樹冠直径と、また地上調査によるhaあたり材積は、地上調査における平均直径と1987年の森林調査簿の樹高と密接な関係があることが明らかにされた。

林分材積の推定のために、すべての老齢の林分を対象に写真上でhaあたり本数と平均樹冠直径が判読され、先の関係を利用して林分材積が推定された。推定された値と地上調査で得られた値を比較すると、非常に良い推定を行っていることがわかった。将来的には、森林調査簿のデータの精度が上がるようになるので、それが向上すればするほど、今回の方法の推定精度も向上すると考えられ、良い推定方法であることが示唆された。

キーワード：林分構造の推定、空中写真、現地調査、森林調査簿

はじめに

森林の経営計画を立てるためには、森林の蓄積を正確に把握する必要があり、各林分に対して地上調査を行うことができれば最良である。しかし、高隈演習林のように対象が広大となると時間的にも労力的にも困難となる。これまで、空中写真による林分構造の推定法が色々と検討されてきた。本研究の課題は、森林経営のための基礎資料を収集する場合、特に収穫対象林分の材積について、いかに簡単にかつ正確に推定する方法を見いだすことである。

目 的

空中写真による材積の推定はこれまで、空中写真からhaあたり本数、樹冠直径、樹高といった林分の諸要素を判読し、それらを利用して材積を推定する方法がとられていた。

本研究の目的は、これまでの方法に加えて、地上調査データと既存の資料である森林調査簿のデータを組み合わせた推定方法を検討することである。本報では、さらにこの方法を収穫対象林分に応用した材積推定を行っている。

* UESUGI, M., YOSHIDA, S., CHYO, M. and IMANAGA, M.: Estimation Methods for Stand-structure using Aerial-photograph — Estimation Methods combined Forest Basic-data and Ground Survey Data —

** 鹿児島大学農学部 Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto Kagoshima 890, Japan

*** 鹿児島大学農学部附属演習林

University Forests, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, 1-21-24 Korimoto Kagoshima 890, Japan

**** 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, 836 Ohtani Shizuoka 422, Japan

研究対象林分の概要と資料

1. 研究対象林分

研究対象林分は鹿児島大学高隈演習林内の普通林地で面積1 ha以上、林齢52年生以上、混交歩合7以上という条件を持つスギ、ヒノキの人工林（以後収穫対象林分と呼ぶ）である。収穫対象林分の選定にあたっては、平成3年度の本研究室の卒業論文¹⁾で高隈演習林に应用された地理情報システム（GIS kit）を利用した。なお、このGIS kitに入力されている地図情報は1987年に調整された森林調査簿によるもので、検索の際には45年生以上としている。GIS kitを利用して上記の条件で検索した収穫対象林分の推定面積は約104.13haであった（表-1）。GIS kitによって求められた面積は、入力されている地図から機械的に求められたものであり森林調査簿上の面積とは少し異なる。

2. 研究資料

収穫対象林分の面積の判読推定に用いる空中写真は、演習林が撮影計画を立て1994年5月16日に撮影されたものである。撮影の縮尺は1/20,000で、撮影高度は3,000mである。撮影方法は線上撮影で、2コース全11枚の2倍引伸ばし、つまり写真縮尺が1/10,000のカラーの空中写真である。

判読推定に必要な空中写真の写真縮尺（S）と撮影高度（ h_M ）の関係をもとめるために演習林全域から11点をとって計算したところ、

$$S = 12031.6188 - (3.4669 \cdot h_M)$$

が得られ、その相関係数は $r = -0.992$ であった。

研究の方法

1. 地上調査

空中写真による材積推定を行うにあたり、その基礎データのための地上調査を下記の方法により行った。

(1) 調査林分

収穫対象林分として林齢52年以上、林分面積1 ha以上のスギ、ヒノキ林を有意的に選定した。

(2) 調査時期

1994年8月～9月

(3) プロット調査

対象林分内ではほぼ平均と思われる地点に円形または帯線のプロットを設定し、プロット内の全立木に対し、胸高直径（D）、樹高（H）、幹曲がりの状態（St）、枝下高（Ch）等の毎木調査を行った。また、毎木調査の10本目ごとに標本木として Alti-level による樹高（H）の実測と樹冠直径（CD）の測定を行った。

なお、プロット調査箇所はすべて2倍引伸ばしの空中写真上に指針した。

その結果、調査プロット数は24箇所となった。

2. 面積の推定

(1) 対象林分

GIS kitにより検索した45年生、混交歩合7、普通林地面積1 ha以上の34小班と地上調査を行った17小班24林分で重複が5箇所あったので合計58小班である。

(2) 測定方法

空中写真を立体視し、同質の林分の外郭をデルマトグラフでなぞる。この時に尾根筋などの明らかに成長の悪い場所や混交歩合の悪い場所は除外した。こうして得ら

表-1 収穫対象林分の検索結果
(普通林地1 ha以上、林齢52年生以上、混交歩合7以上のスギ・ヒノキの小班)

林 班	樹 種	
	スギ (ha)	ヒノキ (ha)
1 - 5	3.85	20.61
6 - 8	6.39	0.00
9 - 15	14.41	5.98
16 - 20	3.62	1.48
21 - 26	36.25	0.00
27 - 30	3.86	0.00
31 - 33	5.70	1.07
34 - 37	0.91	0.00
合計 (ha)	74.99	29.14
スギ・ヒノキ合計 (ha)	104.13	

れた図形が収穫対象林分となる。つまり収穫対象林分の面積は小班の面積よりも小さい。この区画を行った図形上に点格子板を真上、左方45度、右方45度と3回置き、図形上の点を数える（線上の点は0.5でカウントする）。実際の面積の計算は次式のとおりである。

$$A = N \cdot D^2 \cdot S^2 / 10,000$$

ただし、

A：推定対象林分の地上における推定面積 (ha)

N：点格子板の点のカウント数

D：点格子板の点の間隔 (m)

S：写真縮尺の分母数

(3) 推定結果

空中写真を立体視して、全対象林分を検査した結果、収穫対象の58林分の中で既に伐採されていたり、明らかに林種の異なる林分が10箇所あった。したがって、これらを除いて林分面積の推定を行った。表-2に面積の推定結果を示す。

3. 地上調査データの分析

地上調査の行われていない26林分の材積を推定する式を得るために、地上調査を行った24林分のうち、混交歩合が6以上で円形プロット法で調査を行っている16林分について本数、樹冠直径、胸高直径、1994年の樹高、1987年の樹高（森林調査簿）の5つの因子と材積の関係について単回帰分析を行った。一変数の単回帰分析の結果では1994年の樹高（ $r=0.92$ ）と胸高直径（ $r=0.88$ ）の二つの因子が材積との相関が高かった。次に二変数の単回帰分析と三変数の単回帰分析を行った。その結果、やはり組み合わせの中に1994年の樹高か胸高直径が入った場合に相関が高くなることが分かった。しかし、1994年の樹高は空中写真からの判読が困難であり胸高直径は判読が不可能であるので直接利用することができない。そこでデータの対数値をとって同じように重回帰分析を行った。その結果、haあたり本数と樹冠直径を二変数としたときの相関係数が $r=0.59$ で、それに1987年の樹高を加えて三変数にしたときが $r=0.62$ と依然低かった。そこでhaあたり本数と樹冠直径の二変数で胸高直

径との相関を調べたところ $r=0.84$ と高いことが分かった。また、胸高直径と1987年の樹高の二変数と材積との相関も $r=0.84$ と高いことから二段階にして材積をもとめることとした。これが次項の式(1)、(2)である。

$$\text{式 (1)} \quad D = 128.66 \cdot N^{-0.3} \cdot CD^{0.59} \quad (r=0.84)$$

$$\text{式 (2)} \quad V = 10.75 \cdot D^{0.75} \cdot H_{87}^{-0.77} \quad (r=0.84)$$

ただし、

N：haあたり本数 CD：樹冠直径 (m)

H_{87} ：1987年の樹高 (m) D：胸高直径 (cm)

V：haあたり材積 (m³) r：相関係数

4. 材積の推定

(1) haあたり本数の判読

haあたりの立木本数の測定にはプロットセット板²⁾を用いた。使用法を以下に示す。

①プロットを設置しようとしている地点の写真の縮尺を次の方法で計算する。

$$\text{式 (3)} \quad 1/S = f / (H_0 - h) \cdot E$$

ただし、

S：空中写真の縮尺

H_0 ：撮影高度 (m) f：カメラの焦点距離 (mm)

h：地点の標高 (m) E：写真の伸ばし倍率

②プロットの大きさを決定し、それと①で求めた縮尺とから、プロットセット板上のプロットマークを選出し、写真の該当箇所のにのせる。このとき、プロットセット板をのせる写真は該当箇所が主点から近い方の写真にする。

(2) 樹冠直径の判読

樹冠直径の判読には樹冠直径判読板²⁾を用いた。使用法を以下に示す。

①樹冠直径を測定しようとしている立木の位置の写真の縮尺を式(3)の方法で計算する。

②立体視した写真上に樹冠直径測定板をのせ、樹冠像と各黒丸を比較させながらスライドさせ、等しい大きさになったときの測定数値を読みとる。

③次の式で縮尺換算し、樹冠判読測定を行った。

$$D = (S / 10,000) \cdot d'$$

表-2 収穫対象林分の面積推定結果

推定総面積 A (ha)	GIS 総面積 B (ha)	森林調査簿上 総面積 C (ha)	A/C (%)
118.43	158.24	188.25	62.9

ただし、

- D：推定の樹冠直径 (m)
 d'：①で得た測定数値 (m)
 S：②で算出・考察考察た写真縮尺の分母数

(3) 材積の推定

まず、地上調査の行われた16林分について先の方法でhaあたり本数と樹冠直径を測定した。ここでhaあたり本数、樹冠直径の写真判読値と胸高直径の相関について重回帰分析を行った。その結果、相関係数は $r=0.838$ となり地上調査値の場合($r=0.839$)とほぼ同じ値となったので写真判読値をそのまま使うこととした。次に、未調査林分についても写真判読をおこない、式(1)を利用して収穫対象林分の胸高直径を推定した。そしてこの胸高直径と1987年の樹高(森林調査簿)から先の式(2)を利用して収穫対象の35小班(41林分)の材積を推定した。表-3に地上調査林分について、空中写真から推定した値を示す。全体としては良い推定をあたえているが、1つの林分だけ異常に差が出ている。このプロットは地上調査では $1,116\text{m}^3/\text{ha}$ と異常に材積が高くかなり局所的な値と考えられるので1林分を除いた15林分での相関係数を再度計算した。

結果と考察

本研究では、材積の推定にあたって空中写真からの判読が困難である樹高の代わりに、既存の資料である森林調査簿の樹高を利用する方法を検討し、実際に対象林分の材積を推定した。その結果は、地上調査結果と良く合致し、妥当な推定値が得られた。表-4は、地上調査が実施された収穫対象林分の材積推定の過程と結果を示したものであり、表-5は、それ以外の収穫対象林分について示したものである。

今後、森林調査簿のデータが整備され、より現実に近い樹高値が利用できれば、この推定法によってさらに実際の値に近い材積が得られることが期待され、有効な推定方法となろう。

謝 辞

本研究をすすめるにあたり、森林調査では高隈演習林の前田利盛、井之上俊治、松元正美、野下治己、松野嘉昭の各技官の協力を受けた。またとりまとめに際し中島容子さん、ならびに研究室の学生のみなさんにもいろいろとお世話になった。ここに記し、心からの感謝の意を表します。

表-3 地上調査林分の写真による推定材積

プロット No.	地上調査 推定材積 (m^3/ha)	写 真 推定材積 (m^3/ha)
1	335.1	230.1
4	770.3	681.4
5	567.6	535.5
6	460.0	330.3
7	735.8	642.2
8	1116.6	522.4
9	613.3	563.0
10	484.3	465.3
11	502.5	507.5
12	214.3	348.1
13	467.3	419.0
15	332.0	545.0
17	387.3	416.1
18	525.8	332.6
20	603.7	681.5
22	251.5	449.7

引用文献

- 1) 下和田好浩：地理情報システム (GIS kit) の応用—高隈演習林への応用—鹿大卒論；1992年
- 2) 渡辺 宏：森林航測テキストブック，日本林業技術協会；1987年
- 3) 吉田茂二郎：森林経営計画における空中写真の応用 (I) —九州大学柏屋演習林における実験研究例一，日林九支論 31, 33-34 (1978)

Summary

In this paper, the estimation methods of the stand-structure are tested using aerial-photographs. In previous studies, the methods using aerial-photographs combined with the ground survey data were developed. In this paper, the additional data, that is the forest basic-data, is used for this estimation. The new estimation method is as follows;

(1) Data

- 1) Aerial-photographs: Photo scale is 1/10,000, and it is printed in color. These aerial-photographs were taken in 1994, and the total number is 11 sheets.

- 2) Ground survey: The stands older than 52 years and the area more than 1ha are selected using GIS (Geographic information system) of Takakuma forest of Kagoshima University forests. In these stands, the ground survey is conducted, and diameter, tree-height, number of stems per ha, stand volume per ha, and average crown diameter are measured. The points of measured stands are marked on the above aerial-photographs.

- (2) Area estimation of stands using aerial-photographs
- (3) The estimation methods: The relations are analyzed using the ground survey data, forest basic-data and photo-interpreter data; the following relations are discovered.

$$D = 128.66 \cdot N_p^{-0.3} \cdot CD_p^{0.59} \quad (r = 0.84) \quad (1)$$

$$V = 10.75 \cdot D^{0.75} \cdot H_{87}^{-0.77} \quad (r = 0.84) \quad (2)$$

D : average diameter of ground survey (cm)

N_p : number of stems per ha photo-interpreted

CD_p : average crown diameter photo-interpreted (m)

V : volume per ha of ground survey (m³)

H₈₇ : tree-height of forests basic-data in 1987

表-4 収獲対象林分の材積推定結果

林小班	haあたり判読本数	判読樹冠直径	胸高直径 (推定値)	1987年樹高	haあたり推定材積	推定林分面積	推定林分材積
32-へ	1068	1.5 m	18 cm	13 m	230.1 m ³	0.92 ha	212 m ³
22-ゆ	505	3.3	33	13	681.4	1.23	838
8-な ₄	702	3.2	30	14	535.5	0.85	455
8-な ₂	1264	2.0	20	10	330.3	2.09	690
7-い	544	3.2	32	13	642.2	1.74	1117
7-い ₁ (1)	441	2.9	32	17	522.4		
7-い ₁ (2)	485	3.3	33	17	563.0		
小班計				平均	542.7	2.69	1460
10-り (1)	732	2.8	28	14	465.3		
10-り (2)	628	2.9	29	14	507.5		
10-り (3)	680	2.0	23	14	348.1		
10-り (4)	732	2.5	26	14	419.0		
小班計				平均	435.0	19.62	8535
11-に (1)	527	2.8	30	14	545.0		
11-に (2)	737	2.5	26	14	416.1		
11-に (3)	869	2.2	23	14	332.6		
小班計				平均	431.2	7.82	3372
5-の	465	3.4	34	14	681.5	1.19	811
9-ち	859	2.6	25	12	449.7	2.23	1003
合計						40.38	18493

(4) Stand volume estimation: The Np and CDp are photo-interpreted for entire old stands, and through the above formulas the stand volumes are calculated. The estimated volume and the ground survey volume are compared, and seem to give good estimates.

In future, the more precise the forest basic-data becomes, the more precise the volume estimation will be.

Key words: Estimation of stand-structure, Aerial-photograph, Ground survey, Forest basic-data

表-5 収穫対象林分の材積推定結果

林小班	haあたり 判読本数	判読 樹冠直径	胸高直径 (推定値)	1987年 樹高	haあたり 推定材積	推定 林分面積	推定 林分材積
1-き	610	2.0 m	24 cm	17 m	315.7 m ³	0.65 ha	205 m ³
3-い	638	2.5	26	16	390.9	1.02	399
3-と	463	3.1	33	16	571.5	2.25	1286
4-は	566	2.3	26	15	408.1	1.41	575
4-に	562	3.2	31	16	532.5	5.92	3152
4-ぬ ₁	585	2.3	26	17	370.6	3.11	1153
4-わ	758	2.4	25	9	545.7	8.02	4377
4-か	483	2.6	29	15	495.9	1.02	506
6-よ	427	3.9	38	14	819.4	1.25	1024
6-ゐ	430	3.7	37	13	824.1	0.82	676
6-の	380	4.0	40	13	944.9	0.45	448
11-へ	436	2.8	31	15	544.1	1.71	930
11-り	479	3.6	35	15	679.6	1.18	802
13-れ	588	3.5	33	12	724.7	1.12	812
14-ほ	567	3.2	30	9	756.9	1.98	1499
15-へ	460	3.7	36	14	752.7	1.47	1106
17-り	670	2.0	23	9	496.6	1.58	785
17-ぬ	833	1.1	16	14	176.4	2.19	386
22-わ	373	3.9	39	19	687.0	1.89	1298
23-り	406	2.5	30	11	641.0	0.99	635
23-る	710	2.0	23	13	352.1	5.07	1785
23-あ	382	3.7	38	16	736.0	0.56	412
24-ほ	573	2.7	28	14	489.2	13.13	6423
33-ゑ	573	2.1	25	7	666.9	0.42	280
35-た	436	2.2	27	7	788.4	0.42	331
合計						59.63	31285
総計 (表-4)+(表-5)						100.01	49778