

## 部分調査法による林分胸高断面積と幹数密度の推定 — 広葉樹高齢天然林の事例 —

國崎貴嗣\*・安藤亮太\*\*・佐藤和樹\*\*\*

Estimating the basal area and tree density of a mature hardwood natural forest by using  
inventory methods with sample plot

Takashi KUNISAKI, Ryota ANDO and Kazuki SATO

### 1. はじめに

持続可能な森林経営を推進するためには、森林の機能別に目標林分を設定し、それに応じた森林施業計画を樹立する必要がある（藤森，2003；今田，2005）。そして、森林施業計画を適正に樹立するにあたり、経営対象森林内の各林分の構成値（幹数密度、林分胸高断面積、林分材積など）を正確に把握することが求められる（井上，1974；西沢，1979）。円錐型の樹冠を持ち、樹幹が通直な針葉樹の林分では樹高を正確に測定できるため、胸高直径と樹高の二変数材積式を用いることで、林分材積を正確に推定できる。このため、針葉樹林の施業計画を樹立する際には、丸太材積に密接に関連する林分材積が最も重要な林分構成値となる。一方、楕円体型の樹冠を持ち、樹幹が必ずしも通直ではない広葉樹の林分では、測桿（メジャーポール）を利用できる若齢林を除き、樹高を正確に測定するのは困難である。そのため、広葉樹林の施業計画を樹立する際には、胸高直径データのみから計算できる林分胸高断面積と幹数密度がより重要な林分構成値となる。

林分胸高断面積や幹数密度を正確に把握するための調査法として、古くから全林調査法や部分調査法が適用されてきた（中山，1957）。全林調査法とは、対象林分全体において毎木調査（胸高直径の全木測定）をおこなう調査法であり、正確な推定値が得られる（嶺，1952）。その反面、部分調査法に比べて調査範囲が広いこと、調査労力が大きくなる可能性がある。一方、

---

Received December 25, 2007

Accepted February 13, 2008

\* 岩手大学環境科学系

\*\* 岩手大学農学部農林環境科学科森林科学講座

\*\*\* (株) アボックス

部分調査法とは、対象林分の一部を調査することで、調査労力を減らしながら林分構成値を推定できるとされている方法である。対象林分の平均的な地点に標準地を設定する標準地法と、対象林分から無作為に標本地を抽出する標本調査法がある(中山, 1957)。標準地法では、平均的な地点を特定できれば、調査労力を減らしつつ、極めて正確な推定値を得られる。その反面、特定に失敗すれば、推定値の正確度は低くなる。加えて、推定値の精度(信頼区間)を評価できない(山田・村松, 1963)。これに対し、標本調査法では、無作為に標本地を抽出するため、推定値の精度が評価できる。しかし、無作為標本抽出と標本地到達のための測量など、全林調査法や標準地法では不要な作業を要するため、必ずしも調査労力を減らせるとは限らない(木梨, 1978)。このように、どの調査法が最適であるかは一因的に決められず、林分構成値の種類と数、推定値に求められる正確度、対象林分の面積・地形・林分構造、調査員の習熟度・人数によって適用する調査法を変更せざるを得ない(松下・林, 1955; 上野・新井, 1991)。

これまで、サイズが比較的均質な針葉樹人工林を対象に、部分調査法による推定値の正確度・精度の検証がおこなわれてきた(例えば、西川ら, 1971; 増谷, 1988; NAKAJIMA *et al.*, 1995)。しかし、L字型の胸高直径分布を示し、サイズ不均質性が高い広葉樹高齢天然林を対象とした研究は見当たらない。また、持続可能な森林経営のために森林管理技術者(林業従事者)の業務は多様化する一方で、その人数は減少しつつある(農林水産省統計情報部, 2003)。このため、従来から推奨されている、調査者2名と記録者1名の3名体制(中山, 1957)ではなく、1~2名という少人数で広葉樹高齢天然林の林分胸高断面積や幹数密度を正確に推定できる調査法を探求することも今日的に重要である。

2002~2007年に、ある広葉樹高齢天然林(林分面積3.18ha)にて全林調査法、部分調査法が実施された。この部分調査法は、林分構成値の正確な推定を目的として実施された訳ではないが、同一林分を対象に実施された貴重な調査事例である。このデータを用いて、3ha以下の広葉樹高齢天然林の林分胸高断面積や幹数密度を推定するための、1~2名体制での実用的な調査法を考察するのが本研究の目的である。

表-1. コナラ高齢天然林(滝沢林分)の林分構成値

林齢 <sup>a</sup> (年)	林分胸高断面積 <sup>b</sup> (m <sup>2</sup> /ha)	本数密度 <sup>b</sup> (本/ha)	上層木樹高 <sup>c</sup> (m)	優占種 <sup>d</sup>
108	33.7	833	25~30	コナラ, ホオノキ, アカマツ, カスミザクラ

<sup>a</sup>森林調査簿からの推定値。 <sup>b</sup>2007年の全林調査結果(胸高直径3cm以上)。

<sup>c</sup>2002年と2003年の標準地での調査結果。 <sup>d</sup>2007年の杉田らの調査結果(田中ら, 2007)。

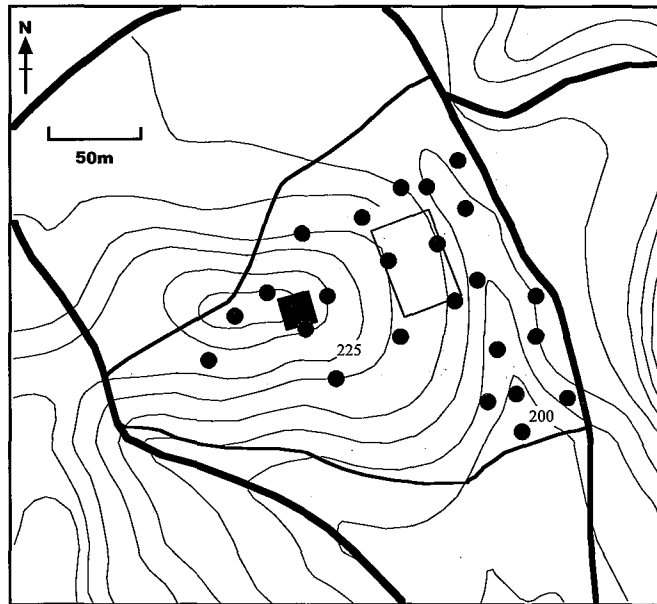


図-1. コナラ高齢天然林（滝沢林分）の地形と標準地の位置

極細線は等高線を，中太線は滝沢林分の境界を，極太線は林道を示す。また，数字は標高（m）を示す。□は0.20ha標準地を，■は0.04ha標準地を，●は計0.24haの円形標準地を示す。

## II. 調査地，資料と方法

### 1. 調査地

調査地は，岩手大学農学部附属フィールドサイエンス教育研究センター滝沢演習林内のコナラを優占種とする広葉樹高齢天然林（以下，滝沢林分とする）である（図-1，図-2，表-1）。滝沢林分の面積は3.18ha，標高は200～235m，傾斜は0～22度と緩やかな丘陵林である。滝沢林分に隣接する疎開地（標高210m）における気象観測資料（1983～2003年）によれば，年平均気温9.2℃，暖かさの指数76.7，年平均降水量1,219mmである。最深積雪深は40cm程度であり，少雪地域に相当する。滝沢林分は通称「不伐の森」と呼ばれ，滝沢演習林創設以来，育林作業は実施されていない。森林調査簿によれば，林齢は108年前後である。少なくとも2002年以降，目立った気象害や病虫獣害は発生しておらず，林相は変化していない。また，林床のごく一部の範囲にスズタケが繁茂しているものの，全体的にはクマイザサやオクミヤコザサが疎に分布している程度であり，ササ類の密度は低い。このように，傾斜は緩やかであり，ササ類の密度も低いため，林内は歩きやすい状態である。

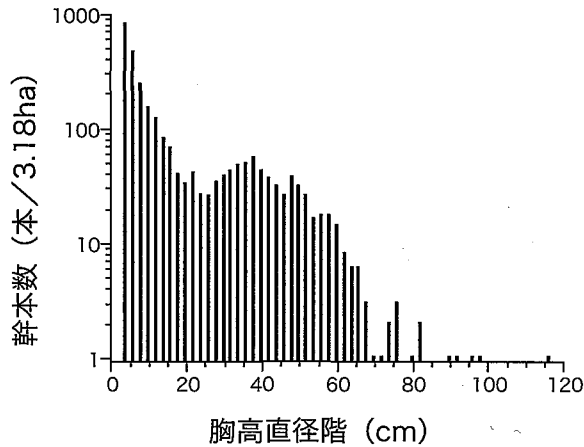


図-2. コナラ高齢天然林（滝沢林分）の胸高直径分布。

## 2. 調査方法

滝沢林分において、以下の全林調査法、部分調査法を実施した。なお、標準地法を除く調査では樹種を判定していない。

### 1) 全林調査法

2007年9月、学生実習を利用して、全林調査した。胸高直径3 cm以上のすべての生立木について、地上高1.3mの胸高直径を輪尺または直径巻尺で測定した。このデータから、林分胸高断面積と幹数密度を推定した。

### 2) 標準地法

異なる時期に異なる面積の標準地を設置した。

2002年9月、学生実習を利用して、滝沢林分内の平坦地（沢の西側部分、図-1）に40m×50m（0.20ha）の標準地1個を設置した。標準地内の胸高直径3 cm以上の生立木について、地上高1.3mの胸高直径を直径巻尺で測定した。

2003年9月、滝沢林分内の丘陵部（標高230m付近、図-1）に20m×20m（0.04ha）の標準地1個を設置した。標準地内の胸高直径3 cm以上の生立木について、地上高1.3mの胸高直径を直径巻尺で測定した。

2006年10月、滝沢林分内の全域（図-1）に散らばるように0.01haの円形標準地を計24個（計0.24ha）設置した。標準地内の胸高直径3 cm以上の生立木について、地上高1.3mの胸高直径を直径巻尺で測定した。

2007年7月、森林総合研究所東北支所の杉田久志氏の研究グループにより、滝沢林分の丘陵部を中心として100m×100m（1.00ha）の標準地1個が設置された。標準地内の胸高直径2 cm以上の生立木について、地上高1.3mの胸高周囲長がスチール巻尺で測定された。なお、この

標準地は隣接する小班を一部含むように設置された。

以上のデータから、標準地ごとに林分胸高断面積と幹数密度を推定した。

### 3) プロット法

2007年9月、学生実習を利用して、プロット法により調査した。調査を5班体制で実施したので、プロット法の繰り返しは5回である。無作為標本抽出として、系統的抽出法に準じた方法を採用した。手順は以下の通りである。班ごとに無作為に出発点を決め、20~30m間隔でジグザクに移動し、標本点を20個ずつ抽出した。標本点が特定の範囲に偏らないように、また林縁付近から標本点を抽出しないようにした。標本点を中心として0.01ha円形プロットを設定し、プロット内の胸高直径3cm以上の生立木について、地上高1.3mの胸高直径を直径巻尺で測定した。以上のデータから、班ごとに林分胸高断面積と幹数密度の信頼区間を推定した。

### 4) ビッターリッヒ法

2007年9月、学生実習を利用して、ビッターリッヒ法により調査した。調査を5班体制で実施したので、ビッターリッヒ法の繰り返しも5回である。手順は以下の通りである。プロット法と同じ標本点を利用し、標本点を中心としてビッターリッヒ法を実施した。シュピーゲルレラスコープを利用することで傾斜角を自動的に補正した。視準者が断面積定数2.25により周囲木の胸高を視準し、スリット幅をはみ出して見えた立木を1、スリット幅と同じ幅に見えた立木を0.5とカウントした。他の立木の背後にある視準不能木については、視準者から視準不能木までの水平距離を保ったまま、補助者が視準不能木の胸高直径と同じ幅を輪尺で示しながら移動することで、判定した。ビッターリッヒ法により、任意の標本点におけるカウント総数に断面積定数2.25を乗じることで、その地点での林分胸高断面積の推定値が得られる。これにより、班ごとに林分胸高断面積の信頼区間を推定した。なお、ビッターリッヒ法では幹数密度を推定できない。

### 5) 幹距法

2007年9月、学生実習を利用して、幹距法（大隅，1987）により調査した。調査を5班体制で実施したので、幹距法の繰り返しも5回である。手順は以下の通りである。プロット法と同じ標本点を利用し、標本点を中心として幹距法を実施した。中心から第3~6至近木までの水平距離を測定し、(1)式により、その地点での第3~6至近木に基づく幹数密度を推定した。

$$Z = \frac{10000}{\pi a_i^2} (i - 0.5) \quad (1)$$

ここで、 $Z$ : ha当たり幹数密度 (本/ha)、 $i$ : 第 $i$ 至近木の $i$ 、 $a_i$ : 中心から第 $i$ 至近木までの水平距離 (m) である。そして、班ごと、第3~6至近木ごとに幹数密度の信頼区間を推定した。なお、幹距法では林分胸高断面積を推定できない。

### 3. 解析方法

全林調査法の推定値を真値とし、部分調査法による推定値との誤差を調べた。一般に、誤差の大きさを表す概念として、正確度と精度がある（南雲・箕輪，1990）。正確度とは真値と点推定値（標準地やプロットの算術平均値）との差を意味し、(2)式のような誤差率で表現される。

$$E = \frac{\bar{x} - \mu}{\mu} \times 100 \quad (2)$$

ここで、 $E$ ：誤差率（%）， $\mu$ ：真値， $\bar{x}$ ：点推定値である。一方、精度とは推定値のちらばりを意味し、推定値の変動係数で表現される。そこで、本研究では、以下のように各部分調査法の誤差の大きさを評価した。

標準地法については、精度を評価できないため、誤差率の絶対値の大きさを調べた。

プロット法、ビッターリッヒ法および幹距法については、まず信頼区間（信頼度95%）が真値を含むかどうかを調べた。次に、誤差率の絶対値の大きさを調べた。さらに、変動係数を(3)式に代入して抽出すべき標本の大きさを求め、標本点が20個で十分であるかを評価した。

$$n \geq \left( \frac{tc}{e} \right)^2 \quad (3)$$

ここで、 $n$ ：抽出すべき標本の大きさ（個）， $t$ ： $\alpha = 0.05$ で自由度 $n - 1$ のときの $t$ 分布の値， $c$ ：変動係数（%）， $e$ ：目標精度（%）である。大隅（1987）を参考に目標精度 $e$ を10%とした。 $t$ は2前後の値， $e$ は10であるため、(3)式から明らかなように、抽出すべき標本の大きさは変動係数 $c$ に強く影響される指標である。

## III. 結 果

標準地法による林分胸高断面積と幹数密度の推定値と誤差率を表-2に示す。面積が最も小さな0.04ha標準地における誤差率は、林分胸高断面積、幹数密度とも30%以上と極めて高かつ

表-2. 標準地法による推定値と誤差の大きさ

林分構成値	0.04ha (2003年)	0.20ha (2002年)	0.24ha (2006年)	1.00ha (2007年)
林分胸高断面積 (m <sup>2</sup> /ha) [真値=33.7]	44.4 (31.8%)	22.3 (-33.8%)	38.9 (15.5%)	36.6 (8.6%)
本数密度 (本/ha) [真値=833]	1,300 (56.1%)	690 (-17.2%)	1,017 (22.0%)	1,141 (37.0%)

表中の ( ) は誤差率

表-3. プロット法による推定値と誤差の大きさ

林分構成値	班	信頼区間	点推定値	抽出すべき標本の大きさ (個)
林分胸高断面積 (m <sup>2</sup> /ha) [真値=33.7]	1	40.7-70.4	55.4 (64.4%)	134
	2	43.1-61.9	52.5 (55.8%)	63
	3	32.0-54.7○	43.4 (28.8%)	131
	4	33.5-49.4○	41.4 (22.8%)	71
	5	42.7-61.0	51.8 (53.7%)	61
本数密度 (本/ha) [真値=833]	1	1,018-1,422	1,220 (46.5%)	54
	2	1,068-1,502	1,285 (54.3%)	56
	3	932-1,208	1,070 (28.5%)	34
	4	824-1,206○	1,015 (21.8%)	69
	5	861-1,169	1,015 (21.8%)	46

表中の ( ) は誤差率。また、表中の○は区間推定値が真値を含むことを示す。

た。面積0.20ha以上の標準地では、誤差率の絶対値が林分胸高断面積か幹数密度の一方で20%を下回るものの、他方の林分構成値のそれが20%以上と高かった。

プロット法による林分胸高断面積と幹数密度の推定値と誤差率、および抽出すべき標本の大きさを表-3に示す。信頼区間が真値を含んでいたのは、林分胸高断面積では2例、幹数密度では1例と少なかった。また、点推定値の誤差率は、いずれの場合も20%以上と高かった。抽出すべき標本の大きさは最低でも34個以上であり、実際に抽出した20個を大きく上回った。

ビッターリッヒ法による林分胸高断面積の推定値と誤差率、および抽出すべき標本の大きさを表-4に示す。信頼区間が真値を含んでいたのは1例のみであった。ただし、点推定値の誤差率の絶対値は、5例中3例で20%を下回った。抽出すべき標本の大きさも17~26個以上であり、実際に抽出した20個に近かった。

幹距法による幹数密度の推定値と誤差率、および抽出すべき標本の大きさを表-5, 6, 7, 8に示す。信頼区間が真値を含んでいたのは、第3, 第4至近木で1例のみであり、第5至近木も2例と少なかった。一方、第6至近木では5例中3例で真値を含んだ。また、点推定値の誤差率の絶対値が20%を下回る事例は、第3, 第5, 第6至近木で1例ずつのみであった。抽出すべき標本の大きさは最低でも36個(表-8)以上であり、実際に抽出した20個を大きく上回った。

表-4. ビッターリッヒ法による推定値と誤差の大きさ

林分構成値	班	信頼区間	点推定値	抽出すべき 標本の大きさ (個)
林分胸高断面積 (m <sup>2</sup> /ha) [真値=33.7]	1	35.1-42.3	38.7 (14.8%)	18
	2	40.6-48.6	44.6 (32.4%)	17
	3	37.4-47.4	42.5 (26.2%)	26
	4	26.5-32.4	29.4 (-12.7%)	20
	5	29.2-36.2○	32.7 (-3.0%)	23

表中の ( ) は誤差率。また、表中の○は区間推定値が真値を含むことを示す。

表-5. 幹距法 (第3至近木) による推定値と誤差の大きさ

林分構成値	班	信頼区間	点推定値	抽出すべき 標本の大きさ (個)
本数密度 (本/ha) [真値=833]	1	899-1,692	1,295 (55.5%)	167
	2	1,070-1,700	1,385 (66.2%)	93
	3	921-1,463	1,192 (43.0%)	94
	4	556-1,325○	940 (12.8%)	297
	5	844-1,370	1,107 (32.9%)	102

表中の ( ) は誤差率。また、表中の○は区間推定値が真値を含むことを示す。

表-6. 幹距法 (第4至近木) による推定値と誤差の大きさ

林分構成値	班	信頼区間	点推定値	抽出すべき 標本の大きさ (個)
本数密度 (本/ha) [真値=833]	1	962-1,632	1,297 (55.6%)	120
	2	1,116-1,614	1,365 (63.9%)	61
	3	962-1,340	1,151 (38.2%)	50
	4	695-1,606○	1,150 (38.1%)	278
	5	919-1,312	1,115 (33.8%)	57

表中の ( ) は誤差率。また、表中の○は区間推定値が真値を含むことを示す。



表一七．幹距法（第5至近木）による推定値と誤差の大きさ

林分構成値	班	信頼区間	点推定値	抽出すべき 標本の大きさ (個)
本数密度 (本/ha) [真値=833]	1	833-1,430○	1,131 (35.7%)	125
	2	1,244-1,801	1,523 (82.7%)	62
	3	933-1,422	1,177 (41.3%)	79
	4	755-1,209○	982 (17.9%)	97
	5	883-1,188	1,036 (24.3%)	41

表中の ( ) は誤差率。また、表中の○は区間推定値が真値を含むことを示す。

表一八．幹距法（第6至近木）による推定値と誤差の大きさ

林分構成値	班	信頼区間	点推定値	抽出すべき 標本の大きさ (個)
本数密度 (本/ha) [真値=833]	1	817-1,271○	1,044 (25.3%)	96
	2	1,274-1,841	1,557 (86.9%)	61
	3	894-1,309	1,102 (32.2%)	65
	4	807-1,205○	1,006 (20.7%)	72
	5	814-1,073	944 (13.2%)	36

表中の ( ) は誤差率。また、表中の○は区間推定値が真値を含むことを示す。

## IV. 考 察

### 1. 標準地法

0.20ha以上の面積では、0.04haと比べて、いずれかの林分構成値で誤差率が低くなる傾向があった。しかし、林分胸高断面積と幹数密度の両方で誤差率が低くなる例はなかった。標準地法については、平均的な地点を特定できれば、調査労力を減らしつつ、正確な推定値を得られる。しかし、傾斜の緩やかな丘陵林とはいえ、今回のように林分面積が3.18haもあれば、平均的な地点を特定するのは、よほどの調査熟練者でなければ困難である。

杉田ら(1984)は、1.16haのスギ人工林で尾根部、谷部を含めて0.05ha帯状標準地を複数設置することで、標準地法の誤差率が10%未満になることを報告している。このように、比較的小さな標準地を林分内に多数設置することで、正確な推定値を得られる可能性はある(嶺,

1952; 山田・村松, 1963)。しかし, 0.01ha標準地を全域に24個分散させて設置した場合でも, 誤差率は20%前後であり, 決して低いとは言えない。誤差率を10%未満にするには, さらに多くの標準地を設置するか, もしくは標準地1つの面積をより大きくする必要がある。

幹数密度の誤差率は高かったものの, 1.00ha標準地における林分胸高断面積の誤差率は10%未満と良好であった。このように, 1つの標準地の面積を大きくすることで誤差率を低下させることは可能である。しかし, 標準地面積を大きくすれば, それだけ測量に時間を要する。

## 2. プロット法

信頼区間が真値を含む例もあるものの, 誤差率がいずれも20%以上であり, 正確度は高くなかった。針葉樹人工林や広葉樹天然林を対象とした調査結果では, 林相に関係なく, プロット面積が小さいほど推定値の変動係数は大きくなる(木梨, 1978)。特に, プロット面積が0.10ha未満の場合, 推定値の変動係数が顕著に大きくなる(西沢, 1969)。また, 伊藤ら(1993)は, 針広混交天然林を対象に, 林幹数密度と林冠被覆率の推定値に及ぼすプロット面積の影響を調べ, プロット面積が小さいほど, 推定値の分散が増大することを明らかにした。伊藤ら(1993)と全く同様の結果が, ミズナラ高齢天然林を対象とした研究でも確認されている(國崎ら, 未発表)。これらのことから, 標本の大きさを増やさずに推定値の正確度を高めるためには, プロット面積を0.01haよりも大きくする必要がある。

抽出すべき標本の大きさは最低でも34個以上となり, 精度も高くなかった。このことから, 0.01haプロットを用いる場合には, 標本の大きさを20個よりも明らかに大きくする必要がある。具体的には, 予備調査として, 小さな標準地を複数設置する標準地法により変動係数を推定し, その値を基に, 抽出すべき標本の大きさを決定する必要がある。

## 3. ビッターリッヒ法

信頼区間が真値を含む例は1例と少ないものの, 誤差率が20%未満となった事例は5例中3例あった。また, 抽出すべき標本の大きさも17~26個と, 今回採用した20個に近い値であった。これらのことから, 林分胸高断面積のみを推定する場合には, ビッターリッヒ法が有効である可能性が高い。

ただし, ビッターリッヒ法の正確度を高めるためには, 次の6点に注意が必要である。

まず, 標本の大きさを断面積定数に比例させることである(大隅, 1987)。ビッターリッヒ法では, 断面積定数が大きいほど視準域が狭いため, 視準対象木が少なくなる。このため, 抽出すべき標本の大きさに断面積定数を乗じた個数以上の標本点を抽出するのが望ましい。

次に, レラスコープを利用することである。これは, 傾斜角を自動的に補正し, 迅速に視準するために不可欠である。

3つめに, 断面積定数を適正に選ぶことである(大隅, 1987)。カウント数が10~20になる断面積定数を採用すると正確度が高まることが, 経験的に知られている(大隅, 1987)。本研究では, 予備調査で5箇所視準し, 断面積定数2.25が1, 4よりも適していることを確認した

上で採用した。予備調査により断面積定数を決定する必要がある。

4つめに、林縁付近から標本点を抽出した場合に補正することである（大隅，1987）。本研究では、林縁付近から標本点を抽出しなかったが、これでは厳密には無作為標本抽出とは言えない。林縁付近から標本点を抽出した場合には、林縁側を視準せずに林内のみ視準し、視準した範囲内でカウント数を割り引く必要がある（例えば、180度の範囲のみ視準したら、カウント数に $360/180=2$ を乗ずる）。

5つめに、スリット幅と同じに見える視準木を補足調査することである。本研究では、スリット幅と同じに見える視準木についてはそのまま0.5とカウントした。しかし、人間の視覚には限界があるため、明らかにみ出して見える場合と明らかにスリット幅より狭く見える場合を除いて、判断が不正確である。このため、スリット幅とほぼ同じに見える視準木については、視準木までの水平距離と胸高直径を測定し、判別式（大隅，1987）によりカウント値を決定する必要がある。

6つめに、他の立木の背後にある視準不能木を必ず視準することである。本研究では、補助者が輪尺を使うことで視準不能木を解消するように努めた。このため、ビッターリッヒ法は2名体制でおこなう必要がある。

#### 4. 幹距法

信頼区間が真値を含む例はあるものの、誤差率がほとんどの例で20%以上であり、正確度は高くなかった。またプロット法と比較して、精度の極めて悪い例が多かった。具体的には、幹数密度推定における抽出すべき標本の大きさの最大値が、プロット法では69個以上であるのに対し、幹距法では297個以上であった。滝沢林分を含め、広葉樹天然林には萌芽個体が多数生立する。萌芽個体の局所的な分布の違いにより、標本点ごとの推定値が極端に異なり、その結果、精度が悪くなると考えられる。このことから、広葉樹天然林を対象に幹距法の精度を改善するには、採用する至近木の値 $i$ を6よりも大きくする必要がある。しかし、それに伴い、第 $i$ 至近木を特定し、水平距離を測定するための労力が増大する。

#### 5. 1～2名体制による実用的な調査法

森林施業計画では、小班林分の林分構成値を正確に把握することが求められる。このため、推定値の正確度が高い調査法であることが必要条件となる（西沢，1979）。正確度が高い調査法が複数あれば、その中から、調査労力の最も少ない調査法を選べば良い。

部分調査法による推定値の正確度は、ビッターリッヒ法を除けば、高いとは言えなかった。標準地法、プロット法、幹距法における推定値の正確度を高めるためには、標準地やプロット1つ当たりの面積を大きくするか、あるいは標本の大きさを大幅に増やす必要があり、いずれにしても本研究で採用した調査よりも多大な労力が必要になる。一般に、プロット法や幹距法などの標本調査法における標本の大きさは、信頼区間の適切な推定のため、50以上であることが望ましいとされている（西沢，1969）。これは調査面積を大幅に増やすことにつながる。す

なわち、プロット面積が0.01haであれば調査面積は最低0.50haで済むが、正確度の向上のためにプロット面積を0.02haにすれば、調査面積は最低でも1.00haに達する。そのため、3ha以下の広葉樹高齢天然林の林分構成値を推定する際、果たして部分調査法の採用に利点があるのか疑わしい。つまり、全林調査法が林分全体を毎木調査し、測量をしない調査法であるのに対し、部分調査法は毎木調査を一部の範囲に限定できるものの、測量も必要な調査法である。測量に要する労力が、標準地やプロットの外側における毎木調査に要する労力と同じか、より大きくなれば、もはや部分調査法を採用する意味はない。

一方、ピッターリッヒ法では前述の注意点を踏まえれば、正確な推定値が得られると期待される。しかし、ピッターリッヒ法では、カウント木の胸高直径を測定しておかなければ、幹数密度を推定することはできない(大友, 1971)。

本研究では、調査事例が少なすぎるため、3ha以下の広葉樹高齢天然林の林分胸高断面積と幹数密度を、1~2名体制で正確に推定するための最適な調査法を明らかにすることはできなかった。ただ、滝沢林分のように、幹数密度が1,000本/ha未満で、林内も歩行しやすい場合には、部分調査法よりも全林調査法が実用的な調査法である可能性が高い。一般に、歩行しやすい林分の毎木調査では、記録者が別にいれば、測定者1名で255~650本/時のペースで胸高直径を測定できる(中山, 1957)。また、筆頭著者の場合、幹数密度が1,000~3,000本/haの歩行しやすい人工林の毎木調査では、直径巻尺により0.1cm単位で測定し、自ら記録者を兼ねる場合でも、180~230本/時のペースで胸高直径を測定できる(國崎, 未発表)。これらのことから、測定者1名、記録者1名の2名体制で輪尺を山側一方差しで使用するならば、樹種判定しなければ500本/時以上のペースで測定できるであろう。滝沢林分の立木本数は2,650本/3.18haなので、上記の値であれば、5.3時間以内に全林調査を終了できる。休憩・昼食時間を考慮しても、1日あれば調査終了できる。また、仮に1名体制の場合でも、データロガー付きのデジタル輪尺(最大8,000本の胸高直径データを記録可能)を使用すれば、500本/時以上のペースで測定できるであろう。しかし、これらは、あくまでも机上の計算に基づく調査工期であるため、今後は実際に1~2名体制における毎木調査の工期を明らかにした上で、全林調査法の有効性を議論する必要がある。

本研究を遂行するにあたり、森林総合研究所東北支所の杉田久志博士から固定標準地の林分構成値を教えて頂いた。また、岩手大学農学部森林科学講座の2000年度入学生および2005年度入学生で森林調査・計画実習を履修した学生諸氏には、全林調査と部分調査(0.2ha標準地、プロット法、ポイント法、幹距法)の遂行にあたり、多大なるご協力を頂いた。ここに記して深甚の謝意を表する。

## 引用文献

- 藤森隆郎 (2003) 新たな森林管理. 428pp, 全国林業改良普及協会, 東京.
- 今田盛生 編著 (2005) 森林組織計画. 258pp, 九州大学出版会, 福岡.
- 井上由扶 (1974) 森林経理学. 298pp, 地球社, 東京.
- 伊藤 哲・寺岡行雄・荒上和利 (1993) 現地調査と航空写真判読による森林動態指標の比較.  
日林論 104 : 269-270.
- 木梨謙吉 (1977) 森林調査詳説. 660pp, 農林出版, 東京.
- 増谷利博 (1988) クロマツ海岸林の直径分布推定のためのプロットサイズの最適化. 日林九支  
研論 41 : 33-34.
- 松下嘉米男・林知己夫 (1955) 森林調査の実際. 298pp, 産業図書, 東京.
- 嶺一三 (1952) 測樹. 150pp, 朝倉書店, 東京.
- 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 測樹学. 243pp, 地球社, 東京.
- NAKAJIMA NY., YOSHIDA, S. and IMANAGA, M. (1995) Comparison among four ground-  
survey methods as a continuous forest inventory system for forest management. J.  
Jpn. For. Soc. 77: 573-580.
- 中山博一 (1957) 林木材積測定学. 280pp, 金原出版, 東京.
- 西川匡英・大友栄松・樋渡ミヨ子・神戸喜久 (1971) プロットサンプリングとプロットレスサ  
ンプリングの精度比較. 林試研報 242 : 103-114.
- 西沢正久 (1969) 森林測定法. 302pp, 地球出版, 東京.
- 西沢正久 (1979) 林業経営情報源としての森林調査のあり方について. 林業技術 449 : 2-6.
- 農林水産省統計情報部 (2003) 林業センサス累計統計書 (昭和35年~平成12年). 321pp, 農  
林統計協会, 東京.
- 大隅眞一 編 (1987) 森林計測学講義. 287pp, 養賢堂, 東京.
- 大友栄松 (1971) 森林調査におけるプロットレスサンプリングの理論的研究. 林試研報 241 :  
31-164.
- 杉田久志・高橋良一・南野栄助・高橋健保・下川原秀昭・水無武範 (1984) 標準地調査法によ  
る林分調査. I 傾斜地のスギ人工林の場合. 岩大演業務資料 6 : 29-39.
- 上野洋二郎・新井雅夫 (1991) 森林施業地域におけるサンプリングのあり方. 東農工大演報  
29 : 91-101.
- 山田茂夫・村松保男 (1963) 例解 測樹の実務. 249pp, 地球出版, 東京.

## 要 旨

3ha以下の広葉樹高齢天然林の林分胸高断面積や幹数密度を正確に推定できる、1～2名体制での実用的な調査法を明らかにするため、部分調査法（標準地法、プロット法、ピッターリッヒ法、幹距法）と全林毎木調査の推定値を比較した。部分調査法による推定値の正確度は、ピッターリッヒ法を除けば、高いとは言えなかった。標準地法、プロット法、幹距法における推定値の正確度を高めるためには、標準地やプロット1つ当たりの面積を大きくするか、あるいは標本の大きさを大幅に増やす必要があり、いずれにしても本研究で採用した調査よりも多大な労力が必要になる。むしろ、対象林分のように、幹数密度が1,000本/ha未満で、林内も歩行しやすい場合には、部分調査法よりも全林毎木調査が実用的である可能性が高い。