

## 継続的な森林調査法に関する研究 (I)

### —地上調査法の比較—

吉田茂二郎

(森林資源学講座)

平成2年8月3日受理

## Studiis on Continuous Forest Inventory System (I) —Comparison of Survery-methods on the Ground—

Shigejiro YOSHIDA

(Laboratory of Resources)

### 結 言

近年、国家および地球規模での森林資源の把握が大きな問題になっている。これまで、日本では森林調査簿のように全ての林分について各種のデータが存在し、定期的にそのデータの更新が行われ、それを集計することによって全体の森林資源の把握を行ってきた。しかし、これらのデータには、現地の直接測定で得られたものとともに、目測等の間接測定によって得られたデータも含まれており、正確な森林資源の把握が緊急の課題となっている今日では、統一的手法による実測の調査データを基礎にした継続的な森林資源把握のための調査体系が必要であると考えられる。

これまでは諸外国も同様の状態であったが、近年、森林資源の把握が問題になり、森林資源(現存量と変化量)の把握を正確に行うための新しい継続的な森林調査法(Continuous Forest Inventory System, 以下CFIシステムと記す)を採用するようになった。

本研究は、国家および地球規模での森林資源の現存量と変化量の把握を前提に、広域を対象とした新しいCFIシステムを確立することを目的としている。今回は、その第一段階として、地上調査の際に設定する調査プロットの種類について、現存量把握の精度の面から検討を行った。

本研究は、昭和63年度文部省科学研究費補助金(研究課題番号: 63760123)により行ったものである。

### 研究対象林分と分析の方法

#### 1. 研究対象林分

研究対象林分は、鹿児島大学農学部高隈演習林17

林班わ小班、面積2.84ha、林齢64年生のスギ人工林である。実際に利用したのは、この林分全体の1981年(林齢55年時)の測定資料である。1981年当時の調査は、対象林分を10m×10mの小プロットに区分し、各小プロットごとに巻尺を用いて全林木の立木位置を測定し、直径は直径テープを用いて0.10cm単位で、樹高はブルーメライス測高器を用いて0.5m単位で毎木測定を行っている。対象林分は、立地環境を反映して、成育状態に非常に差があり、対象林分内北部の山頂緩斜面付近は平均樹高が10m程度でうっぺいしていない状態であるのに対して、斜面下部の堆積面では30mに達し、完全にうっぺいしている状態であった。Table 1に研究対象林分の林分構造を示す。

Table 1. Stand-structure of study stand  
表-1 試験地の林分構造

total area 総面積 (ha)	average of d.b.h. 平均直径 (cm)	average of tree height 平均樹高 (m)	total number of stems 総本数 (本)	total volume 総材積 (m <sup>3</sup> )
2.84	23.5	12.2	3452	1057
coefficient of variance 変動係数				
	0.27	0.28		

#### 2. 分析の方法

分析の対象とした調査プロット法は、ポイントサンプリング、ラインサンプリング、円形プロット法および2重円プロット法の4種類である。以下に、各方法の概略を示す。

##### a) ポイントサンプリング<sup>3)</sup>

ビッターリッヒ考案による方法で、林内の任意の点における各林木の拡大胸高断面積の平均の重なり数から総胸高断面積を推定するもので、他の林分要

素の推定の場合はサンプル木が各林木の大きさ（胸高断面積）に比例した重みを持つことになる。今回は断面積定数（ $k$ ）として4を採用した。

#### b) ラインサンプリング

ストランド考案による方法で、林内に基準ラインを設定し、そのラインと直角方向にピッターリッヒ法を行うもので、サンプル木は各林木の直径の大きさに比例した重みを持つことになる。今回は断面積定数は4を、ライン長は $5\pi$ を採用した。

#### c) 円形プロット法

通常の円形プロット法で、各林木の大きさに関わらず、抽出されたサンプル木が同じ重みを持つもので、今回は円の面積として0.02haを採用した。

#### d) 2重円プロット法<sup>1)</sup>

2つの大きさの異なる同心の円形プロットを利用するもので、大きな林木は大きな円形プロットで、小さい林木は小さい円形プロットで測定を行い、2つのプロットの値を統合して全体を推定する方法である。通常の円形プロット法の、林木の大きさに関わらず同じ重みを持つサンプル木が持つ欠点を除こうとした方法で、スイスのCFIシステムに利用されている。今回は、日本の森林状況にあわせて、 $DBH \geq 36\text{cm}$ の林木については0.03haを、それ以外の林木については円形プロット法より小さい0.015haを採用した。

## 解析の方法

### 1. プロットの設定

Fig. 1に対象地の地形および設定したプロットの位置を示す。15個のプロットを、対象林分全体にポイントおよびラインサンプリングでの林縁効果を考慮しながらほぼシステムティックに配置した。Fig. 1に示した各点を中心に、ポイントサンプリング、円形プロットおよび2重円プロットの各法を実施した。一方、ラインサンプリングについては、基本ラインの中間点がこの点に一致し、かつ南北方向にラインを設定した。

標本木の抽出は、すべて前述の資料の位置図および各林木の測定データをもとに、机上で行った。

### 2. 特性値の計算方法<sup>2)</sup>

各方法の推定値の計算方法を次に示す。

#### a) ポイントサンプリング

$$\text{平均直径 } (\bar{d}) = \left( \sum_{i=1}^n d_i / g_i \right) / \sum_{i=1}^n (1/g_i)$$

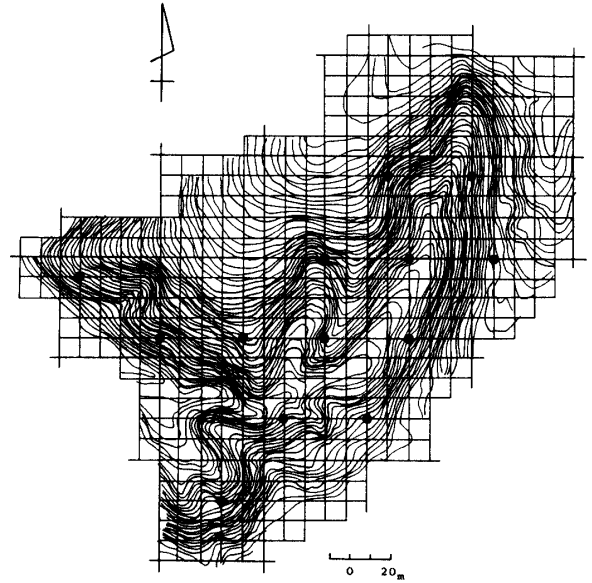


Fig. 1. Topographical contour map of the study area and the location of the sample-plots.

(● denotes center of the sample-plots)

図-1 対象地の地形と標本プロットの位置。

(●は標本プロットの中心を示す)

$$\text{平均樹高 } (\bar{h}) = \sum_{i=1}^n (h_i / g_i) / \sum_{i=1}^n (1/g_i)$$

$$\text{ha当り本数 } (N) = k \cdot \sum_{i=1}^n (1/g_i)$$

$$\text{ha当り断面積 } (B) = k \cdot n$$

$$\text{ha当り材積 } (V) = k \cdot \sum_{i=1}^n (v_i / g_i)$$

ただし、 $k$  : 断面積定数

$n$  : カウント本数

$d_i$  : カウント木  $i$  の直径 (cm)

$g_i$  : カウント木  $i$  の胸高断面積 ( $\text{m}^2$ )

$h_i$  : カウント木  $i$  の樹高 (m)

$v_i$  : カウント木  $i$  の材積 ( $\text{m}^3$ )

#### b) ラインサンプリング

$$\text{平均直径 } (\bar{d}) = n / \sum_{i=1}^n (1/d_i)$$

$$\text{平均樹高 } (\bar{h}) = \sum_{i=1}^n (h_i / d_i) / \sum_{i=1}^n (1/d_i)$$

$$\text{ha当り本数 } (N) = (2\sqrt{k} \cdot 100^2 / l) \sum_{i=1}^n (1/d_i)$$

$$\text{ha当り断面積 } (B) = (\pi \sqrt{k} / 2l) \left( \sum_{i=1}^n d_i \right)$$

$$\text{ha 当り材積 (V)} = (2\sqrt{k} \cdot 100^2 / l) \sum_{i=1}^n (v_i / d_i)$$

ただし、 k : 断面積定数  
 n : カウント本数  
 l : ライン長 (m)  
 d<sub>i</sub> : カウント木 i の直径 (cm)  
 h<sub>i</sub> : カウント木 i の樹高 (m)  
 v<sub>i</sub> : カウント木 i の材積 (m<sup>3</sup>)

c) 円形プロット法

$$\text{平均直径 } (\bar{d}) = \sum_{i=1}^n d_i / n$$

$$\text{平均樹高 } (\bar{h}) = \sum_{i=1}^n h_i / n$$

$$\text{ha 当り本数 (N)} = n / a$$

$$\text{ha 当り胸高断面積 (B)} = (\sum_{i=1}^n g_i) / a$$

$$\text{ha 当り材積 (V)} = (\sum_{i=1}^n v_i) / a$$

ただし、 a : プロット面積 (ha)  
 n : カウント本数  
 d<sub>i</sub> : カウント木 i の直径 (cm)  
 h<sub>i</sub> : カウント木 i の樹高 (m)  
 g<sub>i</sub> : カウント木 i の胸高断面積 (m<sup>2</sup>)  
 v<sub>i</sub> : カウント木 i の材積 (m<sup>3</sup>)

d) 2重円プロット法

$$\text{ha 当り本数 (N)} = n_1 / a_1 + n_2 / a_2$$

$$\text{平均直径 } (\bar{d}) = (\sum_{i=1}^{n_1} d_i / a_1 + \sum_{j=1}^{n_2} d_j / a_2) / N$$

$$\text{平均樹高 } (\bar{h}) = (\sum_{i=1}^{n_1} h_i / a_1 + \sum_{j=1}^{n_2} h_j / a_2) / N$$

$$\text{ha 当り断面積 (B)} = (\sum_{i=1}^{n_1} g_i / a_1 + \sum_{j=1}^{n_2} g_j / a_2)$$

$$\text{ha 当り材積 (V)} = (\sum_{i=1}^{n_1} v_i / a_1 + \sum_{j=1}^{n_2} v_j / a_2)$$

ただし、 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub> : 小円, 大円それぞれのプロット面積 (ha)

n<sub>1</sub>, n<sub>2</sub> : 小円, 大円それぞれのカウント本数  
 d<sub>i</sub>, d<sub>j</sub> : 小円, 大円それぞれのカウント木 i, j の直径 (cm)  
 g<sub>i</sub>, g<sub>j</sub> : 小円, 大円それぞれのカウント木 i, j の胸高断面積 (m<sup>2</sup>)

h<sub>i</sub>, h<sub>j</sub> : 小円, 大円それぞれのカウント木 i, j の樹高 (m)  
 v<sub>i</sub>, v<sub>j</sub> : 小円, 大円それぞれのカウント木 i, j の材積 (m<sup>3</sup>)

3. 全体の推定および標準誤差の計算方法  
 直径と樹高の全体推定値は次式で計算した<sup>2)</sup>.

$$\text{平均 } (\bar{D}) = \sum_{i=1}^m \bar{x}_i \cdot f_i / F$$

ただし、 m : 標本点数  
 F : 標本点ごとの ha 当り本数推定値の

$$\text{合計 } \left( \sum_{i=1}^m f_i \right)$$

f<sub>i</sub> : 標本点 i の ha 当り本数の推定値  
 x<sub>i</sub> : 標本点 i の平均直径または平均樹高の推定値

ha 当り本数, 同断面積および同材積についての分散 (S<sub>x</sub><sup>2</sup>) は次式で計算を行った。

$$S_x^2 = 1 / (m - 1) \left\{ \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left( \sum_{i=1}^m x_i \right)^2 / m \right\}$$

ただし、 m : 標本点数  
 x<sub>i</sub> : 標本点 i の ha 当り本数または断面積または材積の推定値

一方、平均直径と平均樹高の分散については、比の分散 (S<sub>z</sub><sup>2</sup>) を用いて次式で計算を行った。

$$S_z^2 = \left\{ \sum_{i=1}^m (y_i^2) + \bar{Z}^2 \sum_{i=1}^m (f_i^2) - 2 \bar{Z} \sum_{i=1}^m (y_i \cdot f_i) \right\} / \{m(m-1) \cdot F^2\}$$

ただし、 f<sub>i</sub> : 標本点 i の ha 当り本数の推定値  
 F : 全体の ha 当り本数の推定値  
 y<sub>i</sub> : (標本点 i の平均直径または平均樹高の推定値) × (標本点 i の ha 当り本数の推定値)  
 Z : 全体の平均直径または平均樹高の推定値

また、標準誤差 (S<sub>z</sub>) は次式で計算を行った。

$$S_z = S_x \cdot \sqrt{1 - m/N} / \sqrt{m}$$

ただし、 N : 母集団のプロット数

信頼区間は、次のように求めた。

$$\bar{Z} \pm t \cdot S_z$$

ただし、 t : t 表の値 (df = m - 1, 危険率 5%)  
 今回の分析では、抽出率 (m/N = 15/313 = 0.048) が 5% 以下なので、母集団補正項を 1 として計算を

行った。

### 結果と考察

前述の計算方法にしたがって全体の推定値および標本抽出誤差率の計算を行った。ただし、 $t$ の値は自由度 ( $df=m-1$ ) が14, 危険率( $\alpha$ )=0.025の2.145を用いた。各方法別の全体の推定値および95%の信頼区間をTable 2に, 標本抽出誤差をTable 3に示す。

全方法とも, 比較的よい推定を行っているが, ポイントサンプリングが総材積の推定を除くすべての推定で標本抽出誤差率が大きく, 他の3方法より劣っているように思われる。特に, 本数推定の抽出誤差

率が他の方法とはかなりの差があった。2重円プロット法は材積の推定において標本抽出誤差が大きくなっているが, これは測定本数がポイントサンプリングを除く2法に比べかなり少ないため (Table 3) で, 大小円の半径の組合せおよび大円での測定対象 (直径36cm以上) の設定に問題があったのではないかと思われる。他の2方法については, どの推定でもほぼ同じような結果であるが, 他の条件下 (たとえば本林分より老齢の場合) では, 円形プロット法の精度は, ラインサンプリングより劣ることが考えられる。したがって, ラインサンプリングが現存量の把握という点では良いと思われる。

Table 2. Estimators and its 95% confidence intervals

表-2 全体の推定値と95%の信頼区間

methods 測定方法	average of d.b.h. 平均直径 (cm)	average of tree height 平均樹高 (m)	total number of stems 総本数 (本)	total volume 総材積 (m <sup>3</sup> )	remark 備考
all measurement	23.5	12.2	3452	1057	
point sampling	23.0±2.30	12.4±1.66	3627±983	1093±245.9	k=4
line sampling	23.6±1.93	12.4±1.49	3385±729	1049±210.2	k=4, l=5π
circle method-a*	23.6±2.02	12.5±1.56	3399±708	1099±240.1	0.02ha
circle method-b**	23.6±2.06	12.6±1.58	3452±801	1097±275.6	d.b.h. 4-36cm : 0.015ha 36m - : 0.03ha

\* : circle plot method with constant radius

\*\* : circle plot method with two different radii

Table 3. Comparison of sampling error (%)

表-3 標本抽出誤差率 (%) の比較

methods 測定方法	average of d.b.h. 平均直径 (cm)	average of tree height 平均樹高 (m)	total number of stems 総本数 (本)	total volume 総材積 (m <sup>3</sup> )	number of surveyed-stems per plot プロット当りの調査平均本数
point sampling	10.0	13.4	27.1	22.5	15
line sampling	8.2	12.0	21.5	20.0	24
circle method-a*	8.6	12.4	20.8	21.8	24
circle method-b**	8.7	12.6	23.2	25.1	19

\* : circle plot method with constant radius

\*\* : circle plot method with two different radii

CFIシステムにおける地上プロットの種類についてスイスのCFIシステムに関する一連の研究<sup>1)</sup>がある。その結果をTable 4に示す。スイスの森林蓄積(CFIシステムの結果, 全国森林のha当り平均材積は330m<sup>3</sup>/haと推定)を考慮して, かなり大きなプロットを想定し比較検討が行われている。これによれば, 標本抽出誤差率, 調査人数および調査時間の点で2重円プロット法がすぐれており, スイスCFIシステムでは2重円プロット法が採用されている。しかし現在

の日本のように若齢林分の多い森林状態および厳しい地形状態を考えると, 日本の現実に即した大きさがあるように思われる。そこで, 今回のようなプロットを設定し, 現存量の推定精度だけを問題に分析を行ったが, 最終的には継続的な森林調査で必要な成長量の推定精度および調査行程も考慮する必要があり, それらを総合的に判断してどの方法が良いかを判定する予定である。

Table 4. Comparison of Survey-methods of sampling in Swiss CFI-system  
表-4 スイスCFIシステムにおける比較

method	sampling error (%)		number of surveyors	survey time per plot (min.)	number of surveyed-stems per plot	remark
	number of stems	total volume				
測定方法	標本抽出誤差率(%)		測定者	プロットあたりの調査時間	プロットあたりの調査本数	備考
	本数	材積				
point sampling	27.2	18.5	2	14.2	6.1	k=4
line sampling	19.4	17.4	2	28.6	9.3	k=4, l=20m
circle method-a*	18.3	18.7	3	21.9	10.5	0.03ha
circle method-b**	18.2	16.9	2	14.2	9.2	d.b.h. 4-36cm : 0.02ha 36cm - : 0.05ha

\* : circle plot method with constant radius

\*\* : circle plot method with two different radii

謝 辞

本研究を進めるにあたり, 旧林学科森林経理学研究室の中村英俊(現大分県庁勤務)およびの場吉郎(現鹿児島県庁勤務)の両君には, 資料の整理計算の段階で協力をしていただいた。ここに記し, 心から感謝します。

引用文献

- 1) Mahrer F. (1983) : Das Landesforstinventar der Schweiz. Reports of Swiss Federal Institute of Forestry Research 247
- 2) Nishizawa M. (1978) : Estimation Methods of Stand Composition by Plotless Sampling. IUFRO Proceeding 1-6
- 3) 大隅眞一 (1987) : 森林計測学講義 p. 287 養賢堂 東京

---

## Summary

The aim of this study is to establish a nation-wide continuous forest inventory system, and this paper describes a comparison among the four survey-methods of sampling on the ground (point sampling, line sampling, circle plot method with constant radius, and circle plot method with two different radii) carried out on the basis of the sampling errors of present value estimation.

In case of point sampling, d.b.h. and tree height of the counted trees by basal area factor( $k=4$ ) were measured. In line sampling, the line of the length 15m was located and the measurement of the counted-trees by  $k=4$  was conducted the same as in point sampling. In circle plot method with constant radius, the plot area was fixed on 0.02ha and in circle plot method with two different radii, they were fixed on 0.15 and 0.03ha, respectively.

Each method was carried out in Sugi(*Cryptomeria japonica*) stand of 55 years old, of Kagoshima university forest in Kagoshima pref., Japan(Table 1). Fifteen points were located systematically in this stand, and at each point each sampling method was conducted(Fig. 1).

The estimators and its confidence-intervals of average of d.b.h., average of tree height, total basal area and total volume by each method were denoted in Table 2, and its sampling errors were denoted in Table 3.

According to the Table 3, point sampling denotes relatively high percentage of sampling error in all the estimations except the total volume one. Circle plot method with two different radii, denotes higher sampling error in the volume-estimation. In this paper, Line sampling seems to be more useful.

In Switzerland, the same comparison was conducted and its result is denoted in Table 4. The sampling methods, supplied with larger plot area than in this study, were tested.

Based upon this result, the circle plot method with two different radii has been adopted in Swiss CFI system. As you know, the condition of forest resources in Switzerland is the best in the world. It may be troublesome, if not impossible, to adopt the same plot-area and method conducted in Swiss directly in Japan.

In the next paper, based on the sampling error of change estimation and the sampling efficiencies (inevitable time-loss or number of surveyors e.t.c), a comparison among the above four survey-methods of sampling on the ground is going to be conducted.