

林分材積 推定에 關한 比較研究*¹

李 鍾 樂*²

Comparative Studies on the Estimation of Stand Volume*¹

Jong Lak Lee*²

The sampling methods selected for this area was (1) Simple random sampling (2) Systematic sampling and (3) Sub-sampling. For the calculation of the number of sampling plot, 40% coefficient of variation was adapted. As a result, 57 plots each for simple random sampling and systematic sampling was calculated. In the sub-sampling method, however, total of 40 plots, which were consisted of 5 Blocks, secondary 4 major units and tertiary 2 minor units, were examined. The results obtained are summarized as follows :

1. The rate of expected error was 9.24% for simple random sampling, 8.36% for systematic sampling and 7.54% for sub-sampling, respectively.

Therefore, the sub-sampling was proved to be the most accurate method among the test.

2. The volume calculated by each sampling method was compared to the volume of all stand. The rate of expected error was also lowest in the sub-sampling (0.39%), followed by systematic sampling (4.18%) and simple random sampling (7.92%).

3. Comparing the various results and analysis of these results, the sub-sampling was regarded as the most rapid and economical method because this method had not only the least number of plots but also the least expected error among the tested sampling methods. Therefore the sub-sampling is proved to be an ideal sampling method for forest survey.

本調査地域에 適用된 標本調査法은 林分構成狀態를 考慮하여 單純無作為抽出法, 系統的抽出法 및 副次抽出法 等이었다.

標本點數의 算出을 爲하여 變異係數는 40%를 適用하였으며 그 結果 單純無作為抽出法 및 系統的抽出法에서는 共히 57個所의 標本點數를 算出하였다. 그러나 副次抽出法에서는 全林에서 1次로 5個所의 Block unit, 2次로 4個所의 Major unit, 3次로 2個所의 Minor unit를 抽出하여 所要 標本點數를 40個所로 하였다. 全林推定材積 및 全林實測材積을 求하여 比較檢討한 結果는 다음과 같다.

*¹ Received for publication on April 23, 1980

*² 慶熙大學校 産業大學 College of Industry, Kyung Hee University, Seoul, Korea

1. 標本調査方法別로 推定誤差率을 比較한 結果 單純無作爲抽出法이 9.24%, 系統的 抽出法이 8.36%, 副次抽出法이 7.54%의 順으로서 副次抽出法이 가장 높은 精度를 나타냈다.

2. 全林實測材積과 各 標本調査法에 依한 全林推定材積과의 誤差率을 比較한 結果 單純無作爲抽出法이 7.92%, 系統的抽出法이 4.18%, 副次抽出法이 0.39%의 順으로서 이때에도 亦是 副次抽出法이 가장 높은 精度를 나타냈다.

3. 以上과 같은 여러가지 結果를 綜合的으로 統計分析하여 比較檢討 해볼 때 本 調査地域에서는 副次抽出法이 가장 精度가 높은 結果를 얻었으며 標本點의 抽出 個所數도 가장 적게 利用 되었으므로 時間, 勞力 및 調査經費가 他方法에 比하여 節減될 수 있는 基礎的인 結果가 나타났다고 思料되며 森林調査法 으로는 副次抽出法이 가장 理想的인 方法으로 究明되었다.

緒 論

合理的인 林業經營의 基本要素는 무엇보다도 먼저 森林의 蓄積實態를 正確히 把握하는데 있다. 그러나 廣闊하고 險峻한 森林의 蓄積實態를 正確히 把握하는 問題는 地形條件이나 林木形狀 등이 複雜하여 매우 어려운 일이다. 從來의 標準木法이나 每木調査法 등은 經費, 時間 및 勞力 등이 너무나 많이 所要되었으며 客觀性있는 評價를 얻는다는 것은 不可能하였다. 그러므로 本研究에서는 經費와 效率의 兩面을 考慮하면서 林分의 材積을 推定하고 同時에 精度를 客觀的으로 評價할 수 있는 標本調査法에 依하여 推定材積 및 誤差率을 算出하고 또한 推定材積을 標準材積과 比較檢討하고자 하였다. 標準材積은 全林每木調査法에 依하여 算出하였다. 그 結果 가장 精度가 높고 理想的인 標本調査法을 究明코져 本研究를 試圖하였다. 林分材積을 效率的으로 推定하기 爲하여 標本調査法의 理論을 뒷받침으로 하는 理想的인 標本點의 抽出法에 對하여 많은 研究가 試圖되었는데 地形 및 林相, 標本點의 單位와 크기 등에 따라 여러가지 研究結果를 發表하였다. Madow²⁵ 및 Finney³¹는 齊林이나 平丘林地에서는 系統的抽出法이 다른 標本抽出法보다 迅速正確하다고 報告하였으며 Das²¹는 標本抽出法中 系統的抽出法과 層化抽出法 및 無作爲抽出法을 適用하여 森林蓄積을 調査한 結果 層化抽出法이 보다 適合하였다고 發表하였다. 中山²⁶은 矩形標本點 및 菱形標本點을 利用하는 것이 보다 合理的으로 材積을 推定할 수 있다고 言及하였다. 木梨^{15,16,17}은 天然林의 材積推定은 層化比例法이, 人工法에서는 等高線에 依한 層化抽出法이 보다 理想的인 結果를 가져온다고 하였다. 또

한 木梨¹⁹, 大友²⁸ 및 Walter³² 등은 航空寫眞과 標本調査法을 併用하므로써 層化比例抽出法이 單純無作爲抽出法에 比하여 精度가 높다고 밝혔으며 靑柳¹¹ 및 木梨^{20,21}은 系統的抽出法 및 格子形法에 依한 森林調査의 結果도 良好한 便이라고 밝힌 바 있다. 木梨¹⁸은 森林標本調査時 大徑木의 林分에서는 큰標本點을 適用하고 小徑木의 林分에서는 작은 標本點을 適用하는 것이 合理的이라고 提示하였다. Wilson³³, Seely²⁹ 및 石田⁸는 大面積의 闊葉樹天然林에서는 副次抽出法이 適合하고 人工造林地는 系統的抽出法이 便利하다고 報告하였다. 日本林業試驗場^{4,22,23}에서는 天城國有林에 對하여 蓄積調査를 實施한 結果 層化單純無作爲抽出法이 層化副次抽出法 보다 效率性이 良好하였다고 發表하였다. 長 및 木梨²⁴ 등은 九州大學 宮崎演習林에서 副次抽出法에 依한 蓄積調査結果 매우 높은 精度를 나타내어서 本方法이 가장 理想的의 이라고 主張하였다. 西沢 및 川端²⁷는 森林蓄積調査 結果 系統的抽出法이 매우 높은 精度를 나타냈다고 하였다. 橋本¹⁵은 面積測定의 精度를 究명한 結果 測定面積의 크기, 測定法, 測定圖形의 形狀 등 3가지 因子에 따라 變한다고 하였고 脇元³¹은 副次抽出法에 依한 蓄積推定誤差率이 매우 높은 精度를 나타냈다고 報告하였으며 高田³⁰은 系統的抽出法이 單純無作爲抽出法 보다 良好한 結果를 가져왔다고 하였다. Hush^{6,7}는 森林蓄積調査는 地上調査와 航空寫眞을 併用하는 것이 有利하다고 하였다. 金, 李⁹ 및 金¹⁰ 등은 森林標本調査法의 材積誤差率의 精度는 系統的抽出法이 層化抽出法 보다 높다고 하였다. 金^{11,12,13,14}은 標本點의 크기에 對하여 言及하였는데 最適形은 矩形標本點(0.06ha)을 適用하는 것이 좋고 또한 地上調査法中에서는 天

然闊葉樹林의 경우에는 系統的抽出法이 適合하며 標本點數가 적으면 誤差가 커질 危險性이 크다고 提示하였다.

끝으로 本研究는 1979年度 文敎部 學術研究助成費에 依하여 遂行되었으며 文敎部當局에 甚深한 感謝를 드린다.

材料 및 調查方法

1. 材料

本研究의 調查地域은 京畿道 加平邑 開谷里 山 58, 64番地에 位置한 慶熙大學校 演習林의 2林班 (20.80ha)으로서 林相은 針葉樹와 闊葉樹로 混淆林을 이루고 있으며 針葉樹는 主로 소나무 (*Pinus densiflora* Sied. et Zucc.; Japanese red pine) 이며 闊葉樹는 상수리나무 (*Quercus acutissima* Car. : Oak tree)가 主要樹種으로 되어 있다. 또한 土性은 壤土 乃至 砂壤土이며 土深이 淺이고 東南向에 位置한 緩傾斜의 森林이다. 基礎材料로서 먼저 樹高曲線式과 材積式을 算出한 後 樹高表와 材積表를 別道 作成하였는데 樹高曲線式 算出에 利用된 標本木은 소나무 50本, 상수리나무 102本이었고 材積式算出에 利用된 標本木은 소나무 137本, 상수리나무 148本이었다. 本材料로서는 實測材積과 推定材積으로 하였는데 이와같은 材積算出 材料로서는 다음과 같이 利用되었다. 實測材積은 每木法에 依한 全林材積을 標準材料로 삼았고 推定材積은 所要 plot 別 材積을 材料로 利用하였는데, 所要 plot 數는 單純無作爲抽出法 및 系統的抽出法 에서는 共히 57個所이며 副次抽出法 에서는 40個所이었다.

2. 調查方法

가. 全林每木調查法

本調查地域의 全林木에 걸쳐서 每木調查를 實施하였는데 이때 胸高直徑의 測定은 長徑과 短徑과 의 두方向을 測定하여 平均하였으며 樹高의 算出은 樹高表를 別途로 作成하여 利用하였고 또한 別途 調製된 立木幹材積表를 利用하여 全林材積算出을 合理的으로 企圖하였다.

나. 標本調查法

(1) 標本調查의 方法

標本調查의 方法은 理論的 面에서는 여러가지 方法이 있으나 本調查地域의 林分構成狀態를 考慮하여 單純無作爲抽出法 (Simple random sampling), 系統的抽出法 (Systematic sampling), 副次抽出法 (Sub-sampling) 등의 方法을 適用하였다.

(2) 標本點抽出個所數의 決定

(가) 單純無作爲抽出法 및 系統的抽出法

(i) 變異係數의 算出

變異係數 (C. V)의 算出은 調查面積인 20.80ha에서 任意로 20個所의 plots를 設定하고 本 plot (0.04ha)內에서 材積을 測定하였는데 總材積 (ΣX)은 79,5675m³이고 20個所의 自乘積 (ΣX^2)은 363,92188 이었다. 이를 利用하여 다음과 같은 計算結果를 얻을 수 있다.

$$\text{Plot 當 平均材積 } \bar{X} = \frac{\Sigma X}{n} = \frac{79,5675}{20} = 3,97838 (\text{m}^3)$$

$$S = \sqrt{\frac{\Sigma X^2 - (\Sigma X)^2/n}{n-1}} = \sqrt{\frac{363,92188 - (79,5675)^2/20}{20-1}} = 1,5790158$$

$$C \cdot V = \frac{S}{\bar{X}} \times 100 = \frac{1,5790158}{3,97838} \times 100 = 39,7 (\%)$$

算出된 結果 變異係數는 39,7%이었다. 安全度를 考慮하여 實際 標本點數의 算出에서는 40%를 適用하였다.

(ii) 標本點數의 算出

全林面積 (A) 20.80ha에 對한 plot의 抽出單位 (a)를 20m×20m (0.04ha)로 決定하였으며 確率 5%의 有意水準으로 하여 許容誤差率 (e)을 10%로 適用시켜 所要 plot 數 (n), 誤差率 (E), 抽出率 (P) 및 抽出間隔 (d)을 計算하였다. 算出 結果는 다음과 같다.

$$n \geq \frac{4C^2 A}{e^2 A + 4aC^2} = \frac{4 \times (40)^2 \times 20,80}{(10)^2 \times 20,80 + 4 \times 0,04 \times (40)^2} = 56,98 \approx 57 (\text{個所})$$

$$E = 2C \sqrt{\frac{A - an}{nA}} = 2 \times 40 \sqrt{\frac{20,80 - 0,04 \times 57}{57 \times 20,80}} = 9,99 \approx 10 (\%)$$

$$P = \frac{n}{N} \times 100 = \frac{57}{520} \times 100 = 10,96 \approx 11 (\%)$$

$$\text{但 } N = \frac{A}{a} = \frac{20,80}{0,04} = 520 (\text{個所})$$

$$d = \sqrt{\frac{A}{N}} \times 100 = \sqrt{\frac{20,80}{57}} \times 100 = 60,4 \approx 60 (\text{m})$$

抽出間隔은 60.4m 로 算出되었으나 實際 距離測定이 繁雜하므로 60m 로 定하여 이것을 基本 抽出間隔으로 하였다.

(나) 副次抽出法

本 抽出方法을 單純無作爲抽出法과 系統的抽出法보다 plot數를 적게 抽出하였는데 그 理由는 最小限度的 勞力과 經費로서 材積測定을 實施하기 爲한 試驗으로서 標本點數의 抽出個所數를 40個所로 定하였다. 本方法에서도 plot의 크기는 20m×20m (0.04ha)로 하였는데 다음과 같이 1,2,3次로 抽出하였다. 卽 1次 抽出에서는 120m×120m를 1單位로 하는 Block를 5個所로 抽出할 수 있었다. 2次 抽出에서는 1個所의 Block를 다시 40m×40m의 크기로 하여 9個所로 區劃하고 이中에서 Major unit로서 各各 4個所를 無作爲로 抽出한 結果 5個所의 Block에서는 20個所의 Major unit가 抽出되었다. 3次抽出에서는 Major unit를 다시 20m×20m의 크기로 나누어서 4個所로 區劃하였다. 本 4個所中 2個所를 無作爲로 抽出한 結果 5個所의 Block에서는 40個所의 Minor unit가 抽出되었다.

(3) Plot의 設定方法

各 Plot의 中心點은 各測點의 原點이 되며 本原點에서 對角線의 半距離 (14.14m)로 4方向을 取하고 그 終點을 測定點으로 하여 連結하였더니 plot의 크기는 20m×20m가 되었다.

材積算出 材料의 計算

合理的인 樹高算出을 企圖하고 每木調査時에 便宜를 주기 爲하여 먼저 樹高曲線式을 算出한 後 別途로 樹高表를 作成하여 利用하였다. 또한 全林材積 및 plot材積의 算出을 보다 効率的으로 기하기 爲하여 材積式을 算出한 後 立木幹材積表를 別途로 作成하여 材積算出에 利用하였다.

1. 樹高曲線式의 算出

소나무 및 상수리나무 別로 各各 樹高 曲線式을 算出하였다. 樹高曲線式의 算出에 適用된 一般式은 $H = aD^b$ (但 H : 樹高, D : 胸高直徑)이다.

(1) 소나무 樹高曲線式의 算出

本 樹高曲線式을 算出하기 爲하여 利用된 材料는 各 plot의 每木調査時 소나무와 상수리나무를 함께

하여 25本씩마다 1本씩의 標本木을 抽出하여 樹高를 測定하였는데 그中에서 소나무만을 選別한 結果 總50本이었다. 本材料를 利用하여 算出된 樹高曲線式은 $H = 1.32376D^{0.77958}$ 이며 本式의 相關係數(r_{yx})의 檢定 및 標準誤差(S_{yx})의 計算結果는 다음과 같다. $r_{yx} = 0.999727$ 이고 $S_{yx} = 0.01226$ 이다.

(2) 상수리나무樹高曲線式의 算出

各 plot의 每木調査時 상수리나무도 소나무와 함께하여 25本씩마다 1本씩의 標本木을 抽出하여 樹高를 測定하였는데 그中에서 상수리나무만을 選別한 結果 總 102本이었다. 本材料를 利用하여 算出된 樹高曲線式은 $H = 1.99682 D^{0.62328}$ 이며 本式의 相關係數의 檢定 및 標準誤差의 計算結果는 다음과 같다. 즉, $r_{yx} = 0.98481$ 이고 $S_{yx} = 0.01846$ 이다.

2. 材積式의 算出

소나무 및 상수리나무別로 各各 材積式을 算出하였다. 本材積式은 算出하기 爲하여 適用된 一般式은 $V = 10^a D^b H^c$ (但 V : 幹材積, D : 胸高直徑, H : 樹高, a, b, c : 常數)이다.

(1) 소나무 材積式의 算出

材積式算出 材料로서 伐採木 137本을 標本木으로 하여 그 材積을 實測하였는데 Huber式에 依한 區分求積法을 適用하였다. 算出된 材積式은 $V = 0.0000622D^{1.6918}H^{1.1397}$ 이며 本材積式의 標準誤差(σ_M) 및 推定誤差率(e)의 計算結果는 $\sigma_M = 0.0045083$ 이고 $e = 5.06(\%)$ 이다.

(2) 상수리나무 材積式의 算出

材積式算出 材料로서 伐採木 148本을 標本木으로 하여 소나무의 경우와 같이 그材積을 實測하였다. 算出된 材積式은 $V = 0.00005117D^{1.9301}H^{0.9219}$ 이며 本材積式의 標準誤差 및 推定誤差率의 計算結果는 $\sigma_M = 0.0056946$ 이고 $e = 10.7(\%)$ 이다.

林分材積算出 및 分析

1. 全林每木調査法

全林材積의 算出은 全調査地域(20.80ha)內에 있는 全林木에 對하여 每木調査를 實施하고 別途로 作成된 樹高表와 材積表를 利用하여 材積을 求하였다. 材積은 소나무와 상수리나무로 區分하여 各各

Table. 1. Volume of total stand measured by diameter measurement in both Japanese red pine and Oak tree.

D. B. H. Class (cm)	Japanese red pine		Oak tree		Total	
	Number	Volume (m ³)	Number	Volume (m ³)	Number	Volume (m ³)
6	355	2.8755	1,061	9.0185	1,416	11.8940
8	295	5.6935	1,550	26.3500	1,845	32.0435
10	388	12.6876	1,770	52.3920	2,158	65.0796
12	444	22.5996	1,724	81.0280	2,168	103.6276
14	502	37.4492	1,559	108.6623	2,061	146.1115
16	473	54.4423	1,150	113.1600	1,623	167.6023
18	546	83.9748	957	128.1423	1,503	212.1171
20	526	105.2000	748	132.3960	1,274	237.5960
22	414	105.2802	355	80.6915	769	185.9717
24	551	174.6670	220	63.0300	771	237.6970
26	404	157.1560	134	44.8096	538	201.9656
28	239	112.5212	63	25.8048	302	138.3260
30	188	105.7688	32	15.8336	220	121.6024
32	157	104.4050			157	104.4050
34	70	54.5510			70	54.5510
36	27	24.4323			27	24.4323
Total	5,579 (33.0%)	1,163.7040 (56.9%)	11,323 (67.0%)	881.3186 (43.1%)	16,902 (100%)	2,045.0226 (100%)

算出한 後 이를 合計하여 全林材積으로 하였는데 그 調査結果는 表1과 같다. 表1에서와 같이 全林의 總材積은 2,045.0226m³이며 이中 소나무 材積은 56.9%인 1,163.7040m³이고 상수리나무材積은 43.1%인 881.3186m³이다. ha當 全林의 平均材積은 98.3184m³이며 소나무의 平均材積은 55.9473m³이고 상수리나무의 平均材積은 42.3711m³이다. 또한 全林의 總本數는 16,902本이며 이中에 소나무는 33.0%인 5,579本이고 상수리나무는 67.0%인 11,323本이다.

2. 單純無作爲抽出法

가. Plot 의 材積測定

Plot 의 材積測定은 胸高直徑 6cm 以上の 全林木에 對하여 各 plot 別로 每木 調査를 實施하였는데 57個所의 plot 別 材積을 算出한 結果는 表2와 같다.

나. 材積推定 및 誤差率의 計算

(1) 材積推定

材積推定은 表2의 plot 材積을 利用하였는데 plot 別로 合, 自乘合을 計算한 結果의 合計만을 나타내면 表3과 같다.

plot當 平均材積(\bar{X} , \bar{Y} , \bar{Z}) 및 平均의 標準誤差($S\bar{x}$, $S\bar{y}$, $S\bar{z}$)를 求하여 材積推定直의 信賴區間을 算出하면 다음과 같다.

(가) 소나무 材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\begin{aligned} X \pm t_{0.05} \cdot S\bar{x} &= 2.4875 \pm 2.000 \times 0.216697 \\ &= 2.4875 \pm 0.4334 \text{ (m}^3\text{)} \quad (\text{但 } d \cdot f = 60, t_{0.05} \\ &= 2.000) \end{aligned}$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$\begin{aligned} 1/a (\bar{X} \pm t_{0.05} \cdot S\bar{x}) &= 1/0.04 (2.4875 \pm 2.000 \\ &\times 0.216697) = 62.1875 \pm 10.8349 \text{ (m}^3\text{)} \end{aligned}$$

(iii) 全林材積의 推定

Table 2. Volume of sampling plot measured by simple random sampling.

volume unit : m³

Series No.	Sampling plot No.	Volume of Japanese red pine	Volume of Oak tree	Volume of Japanese red pine and Oak tree
1	3	2.3010	1.0026	3.3036
2	15		2.2600	2.2600
3	16	4.5870	1.1851	5.7721
4	25	3.2111	1.4612	4.6723
5	30		2.4414	2.4414
6	32	4.2119		4.2119
7	34		3.1236	3.1236
8	35	3.1105	1.3064	4.4169
9	36	4.1717	2.7927	6.9644
10	50	4.1718		4.1718
11	55		2.1011	2.1011
12	63	3.2010	1.1103	4.3113
13	64	3.4017	2.9523	6.3540
14	66	2.6243	2.2726	4.8969
15	67	2.5129	2.2244	4.7373
16	69		1.3233	1.3233
17	75	3.2737	2.2611	5.5348
18	76	4.4515	2.0627	6.5142
19	80	2.9814	1.1210	4.1024
20	82	3.4126		3.4126
21	83	4.2727	2.5026	6.7753
22	84	4.4333		4.4333
23	86		2.2618	2.2618
24	88	4.5125	1.1106	5.6231
24	89	3.3143		3.3143
26	93		2.3826	2.3826
27	96	3.6302	1.0217	4.6519
28	102	3.0372	1.7211	4.7583
29	104	4.4528	1.6523	6.1051
30	106		3.2122	3.2122
31	107	4.7217	1.0101	5.7318
32	109	1.8020	1.2123	3.0164
33	110	3.6216	3.1726	6.7942
34	113	4.4258	1.0115	5.4373

Volume unit : m³

Series No.	Sampling Plot No.	Volum of Japanese red pine	Vloume of Oak tree	Vloume of Japanese red Pine and Oak tree
35	116	3.2716	1.4126	4.6842
36	119		2.1726	2.1726
37	121	3.2215	1.2124	4.4339
38	130	3.5063	1.1019	4.6082
39	131	2.7832	2.8030	5.5862
40	135		2.1024	2.1024
41	136	4.6454		4.6454
42	139	2.5421		2.5421
43	145		2.7216	2.7216
44	146	3.2137	1.0021	4.2158
45	153		1.1215	1.1215
46	154	3.3033	1.8926	5.1959
47	162		2.6256	2.6256
48	164	3.2114	1.4534	4.6648
49	168	2.4581	2.9877	5.4458
50	178		3.6214	3.6214
51	181	3.2123	2.4156	5.6279
52	185	3.1017	3.2117	6.3134
53	187	4.9845	2.0211	7.0056
54	195		2.1411	2.1411
55	206	4.4821	1.9142	6.3963
56	209		2.7216	2.7216
57	210		2.2046	2.2046

Table. 3. Data processing procedure for calculation of estimating volume by simple random sampling.

Volume unit : m³

Factors	X (Volume of Japanese red pine)	Y (Volume of oak tree)	Z (Volume of Japanese red pine and oak tree)	X ²	Y ²	Z ²
Total of 57 plots	141.7854	100.1339	241.9214	521.02689	227.37405	1,164.60550

$$N = (X \pm t0.05 \cdot S\bar{x}) = 520 (2.4875 \pm 2.000 \\ \times 0.216697) = 1293.5000 \pm 225.3649 (m^3)$$

(나) 상수리나무 材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\bar{Y} \pm t0.05 \cdot S\bar{y} = 1.7567 \pm 2.000 \times 0.119816 \\ = 1.7567 \pm 0.2396 (m^3)$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{Y} \pm t0.05 \cdot S\bar{y}) = 1/0.04 (1.7567 \pm 2.000 \\ \times 0.119816) = 43.9175 \pm 5.9908 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N = (\bar{Y} \pm t0.05 \cdot S\bar{y}) = 520 (1.7567 \pm 2.000 \\ = 0.119816) = 43.9175 \pm 5.9908 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N (\bar{Y} \pm t0.05 \cdot S\bar{y}) = 520 (1.7567 \pm 2.000 \\ \times 0.119816) \\ = 913.4840 \pm 124.6086 (m^3)$$

(다) 소나무 및 상수리나무 材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\bar{Z} \pm t0.05 \cdot S\bar{z} = 4.2442 \pm 2.000 \times 0.196081 \\ = 4.2442 \pm 0.3922 (m^3)$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{z} \pm t0.05 \cdot S\bar{z}) = 1/0.04 (4.2442 \pm 2.000 \\ \times 0.196081) = 106.1050 \pm 9.8040 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N (\bar{z} \pm t0.05 \cdot S\bar{z}) = 520 (4.2442 \pm 2.000 \times 0.196081) \\ = 2206.9840 \pm 203.9242 (m^3)$$

(iv) 信賴限界

$$2410.9672 \sim 2003.3060 (m^3)$$

(2) 誤差率의 計算

(가) 소나무

$$e = \frac{t0.05 \cdot S\bar{x}}{\bar{X}} \times 100 = \frac{2.000 \times 0.216697}{2.4875} \times 100 \\ = 17.42 (\%)$$

(나) 상수리나무

$$e = \frac{t0.05 \cdot S\bar{y}}{\bar{Y}} \times 100 \\ = \frac{2.000 \times 0.119816}{1.7567} \times 100 = 13.64 (\%)$$

(다) 소나무 및 상수리나무

$$e = \frac{t0.05 \cdot S\bar{z}}{\bar{z}} \times 100 = \frac{2.000 \times 0.196081}{4.2442} \times 100 \\ = 9.24 (\%)$$

3. 系統的抽出法

가. Plot 의 材積測定

所要 plot 57個所에 對하여 plot別 材積을 算出한 結果는 表 4 와 같다.

나. 材積推定 및 誤差率의 計算

(1) 材積推定

材積推定은 表 4 의 plot材積을 利用하였는데 plot別로 合, 自乘合을 計算한 結果의 合計만을 나타내면 表 5 와 같으며 이에 의하여 材積을 推定하였다.

(가) 소나무材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\bar{X} \pm t0.05 \cdot S\bar{x} = 2.4078 \pm 2.000 \times 0.212131 \\ = 2.4078 \pm 0.4243 (m^3)$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{X} \pm t0.05 \cdot S\bar{x}) = 1/0.04 (2.4078 \pm 2.000 \\ \times 0.212131) = 60.1950 \pm 10.6066 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N (\bar{X} \pm t0.05 \cdot S\bar{x}) = 520 (2.4078 \pm 2.000 \times 0.212131) \\ = 1,252.0560 \pm 220.6162 (m^3)$$

(나) 상수리나무 材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\bar{Y} \pm t0.05 \cdot S\bar{y} = 1.7068 \pm 2.000 \times 0.113246 \\ = 1.7068 \pm 0.2265 (m^3)$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{Y} \pm t0.05 \cdot S\bar{y}) = 1/0.04 (1.7068 \pm 2.000 \\ \times 0.113246) = 42.6700 \pm 5.6623 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N (\bar{Y} \pm t0.05 \cdot S\bar{y}) = 520 (1.7068 \pm 2.000 \\ \times 0.113246) = 887.5360 \pm 117.7758 (m^3)$$

(다) 소나무 및 상수리나무 材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\bar{Z} \pm t0.05 \cdot S\bar{z} = 4.0970 \pm 2.000 \times 0.171222 \\ = 4.0970 \pm 0.3424 (m^3)$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{Z} \pm t0.05 \cdot S\bar{z}) = 1/0.04 (4.0970 \pm 2.000 \\ \times 0.171222) = 102.4250 \pm 8.5611 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N (\bar{Z} \pm t0.05 \cdot S\bar{z}) = 520 (4.0970 \pm 2.000 \\ \times 0.171222) = 2130.4400 \pm 178.0709 (m^3)$$

Table. 4. Volume of sampling plot measured by systematic sampling.

Volume unit : m³

Sampling plot No.	Volume of Japanese red pine	Volume of oak tree	Volume of Japanese red pine and oak tree	Sampling plot No.	Volume of Japanese red pine	Volume of oak tree	Volume of Japanese red pine and oak tree
1	1.8020	2.1828	3.9848	30	4.2129		4.2129
2	2.6721	2.6709	5.3430	31	3.1111	1.9305	5.0416
3	3.4213	2.2222	5.6435	32	4.6273		4.6273
4	0.9828	2.0201	3.0029	33		2.7247	2.7247
5	2.7962	2.7964	4.5926	34	4.2121		4.2121
6	5.2711	0.6104	5.8815	35	1.6104	1.7612	3.3716
7	0.7133	2.1060	2.8193	36	3.0967	1.0116	4.1083
8	4.9101	3.0115	7.9216	37		2.4017	2.4017
9		2.0115	2.0115	38	3.6798	1.0116	4.6914
10	2.1798	2.6049	4.7847	39	3.2215	1.2104	4.4319
11	2.3334	2.3251	4.6585	40	3.5063	1.6214	5.1277
12		2.6124	2.6124	41		2.1717	2.1717
13	4.6943	1.0024	5.6967	42	2.7832	1.0914	3.8746
14	4.2107	0.9821	5.1928	43	2.5421	1.6951	4.2372
15	5.2106	1.1517	6.3623	44	3.2167	1.6717	4.8884
16	1.2004	2.2161	3.4165	45		2.1718	2.1718
17		3.2194	3.2194	46	2.1114	3.7413	5.8527
18	5.6755		5.6755	47	2.4581	0.6520	3.1101
19	0.6796	1.5164	2.1960	48		1.6111	1.6111
20	3.9299	1.6944	5.6243	49	3.6282	1.6000	5.2282
21		2.2716	2.2716	50		2.6143	2.6143
22	2.4745	2.3133	4.7878	51	4.2116		4.2116
23	2.6921		2.6921	52	4.0017		4.0017
24	3.1194	1.6217	4.7411	53	3.2110	1.7517	4.9627
25	3.1514	2.2135	5.3649	54		2.6214	2.6214
26	3.2117	1.7872	4.9989	55	3.1109	1.4169	4.5278
27	3.2195	1.9842	5.2037	56	3.2116	1.6154	4.8270
28	0.9273	1.5476	2.4749	57		1.3727	1.3727
29		3.1192	3.1192				

Table. 5. Data processing procedure for calculation of estimating volume by systematic sampling.

Volume unit : m³

Factors	X (Volume of Japanese red pine)	Y (Volume of oak tree)	Z (Volume of Japanese red pine and tree)	X ²	Y ²	Z ²
Total of 57 plots	137.2436	97.2866	233.5302	491.77430	212.02278	1,061.88111

(iv) 全林材積의 信賴限界
2308.5109~1952.3691 (m³)

(2) 誤差率의 計算

(가) 소나무
$$e = \frac{t_{0.05} \cdot S_{\bar{X}}}{\bar{X}} \times 100$$

$$= \frac{2.000 \times 0.212131}{2.4078} \times 100 = 17.62 (\%)$$

(나) 상수리나무
$$e = \frac{t_{0.05} \cdot S_{\bar{Y}}}{\bar{Y}} \times 100$$

$$= 2e = \frac{2.000 \times 0.113246}{1.7068} \times 100 = 13.27 (\%)$$

(다) 소나무 및 상수리나무
$$e = \frac{t_{0.05} \cdot S_{\bar{Z}}}{\bar{Z}} \times 100$$

$$= \frac{2.000 \times 0.181222}{4.0970} \times 100 = 8.36 (\%)$$

4. 副次抽出法

가. Plot 의 材積測定

所要 plot 40個所에 對하여 plot別 材積을 算出한 結果는 表6 과 같다.

나. 材積推定 및 誤差率의 計算

(1) 材積推定

推定材積은 表6 의 plot別 材積을 利用하였는데 Minor unit, Major unit, Block unit別로 合, 自乘合을 求한 結果의 合計만을 나타내면 表7 과 같다.

Plot當 平均材積(\bar{X} , \bar{Y} , \bar{Z}) 및 平均의 標準誤差($S_{\bar{X}}$, $S_{\bar{Y}}$, $S_{\bar{Z}}$)를 求하여 材積推定值의 信賴區間을 算出하면 다음과 같다.

(가) 소나무材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\bar{X} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{X}} = 2.2156 \pm 2.021 \times 0.14696 = 2.2156 \pm 0.29701 (m^3)$$

(但 d, f=40, t_{0.05}=2.021)

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{X} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{X}}) = 1/0.04 (2.2156 \pm 2.021 \times 0.14696) = 55.3900 \pm 7.4252 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N(\bar{X} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{X}}) = 520 (2.2156 \pm 2.021 \times 0.14696) = 1,152.1120 \pm 154.4432 (m^3)$$

(나) 상수리나무材積

(i) plot當 平均材積의 推定

$$\bar{Y} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{Y}} = 1.7019 \pm 2.021 \times 0.10943$$

$$= 1.7019 \pm 0.2212 (m^3)$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{Y} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{Y}}) = 1/0.04 (1.7019 \pm 2.021 \times 0.10943) = 42.5475 \pm 5.5290 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N(\bar{Y} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{Y}}) = 520 (1.7019 \pm 2.021 \times 0.10943) = 884.9880 \pm 115.0022 (m^3)$$

(다) 소나무 및 상수리나무 材積

(i) Plot當 平均材積의 推定

$$\bar{Z} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{Z}} = 3.9175 \pm 2.021 \times 0.14624 = 3.9175 \pm 0.2956 (m^3)$$

(ii) ha當 材積의 推定

$$1/a (\bar{z} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{z}}) = 1/0.04 (3.9175 \pm 2.021 \times 0.14624) = 97.9375 \pm 7.3888 (m^3)$$

(iii) 全林材積의 推定

$$N(\bar{Z} \pm t_{0.05} \cdot S_{\bar{Z}}) = 520 (3.9175 \pm 2.021 \times 0.14624) = 2,037.1000 \pm 153.6865 (m^3)$$

(iv) 全林材積의 信賴限界

$$2,190.7865 \sim 1,883.4135 (m^3)$$

(2) 誤差率의 計算

(가) 소나무
$$e = \frac{t_{0.05} \cdot S_{\bar{X}}}{\bar{X}} \times 100 = \frac{2.021 \times 0.14696}{2.2156} \times 100 = 13.41 (\%)$$

(나) 상수리나무
$$e = \frac{t_{0.05} \cdot S_{\bar{Y}}}{\bar{Y}} \times 100 = \frac{2.021 \times 0.10943}{1.7019} \times 100 = 12.99 (\%)$$

(다) 소나무 및 상수리나무

$$e = \frac{t_{0.05} \cdot S_{\bar{Z}}}{\bar{Z}} \times 100 = \frac{2.021 \times 0.14624}{3.9175} \times 100 = 7.54 (\%)$$

結果 및 考察

樹高曲線式은 $H = 1.32376D^{0.77956}$ 로서 本式의 相關係數는 $\gamma_{yx} = 0.99727$ 이며 標準誤差는 $S_{yx} = 0.01226$ 이었다. 상수리 나무의 樹高曲線式은 $H = 1.99682D^{0.62328}$ 로서 本式에 있어서 $\gamma_{yx} = 0.98481$ 이며 $S_{yx} = 0.01846$ 이었다. 소나무의 材積式은 $V = 0.0000622D^{1.6918}H^{1.1397}$ 으로 算出되었으며 本式의 標準偏差는 $\sigma = 0.0162549$ 이고 標準誤差는 $\sigma M = 0.0045083$ 이며 推定誤差率 $e = 5.06\%$ 이었다. 또한 상수리나무의 材積式은 $V = 0.00005117D^{1.9301}H^{0.9219}$

Table. 6. Volume of sampling plot measured by Sub-Sampling.

Volume unit : m³

Series No.	Samling plot No.	Volume of Japanese red pine	Volume of oak tree	Volume of Japanese red pine and oak tree
1	I - 2 - 1	4.7626		4.7626
2	2 - 4		3.3233	3.3233
3	3 - 2	2.1726	1.2717	3.4443
4	3 - 3	2.1111	2.4121	4.5232
5	4 - 1	2.1025	2.1003	4.2028
6	4 - 2	2.2246	2.1716	4.3962
7	9 - 3	3.2963	1.1156	4.4119
8	9 - 4	2.0000	2.0210	4.0210
9	II - 1 - 2	2.5963	1.9237	4.5200
10	1 - 4	1.0786	2.3103	3.3889
11	2 - 2	4.1001		4.1001
12	2 - 3	1.3840	2.1846	3.5686
13	5 - 1	2.7246	2.0121	4.7367
14	5 - 4	3.1260	2.4541	5.5801
15	7 - 1		2.1010	2.1010
16	7 - 2	3.9616		3.9616
17	III - 3 - 1	2.2462	1.4354	3.6816
18	3 - 2	2.7466	2.1023	4.8489
19	5 - 2		2.0445	2.0445
20	5 - 4	3.9536	2.8193	6.7729
21	6 - 1	3.9146		3.9146
22	6 - 4		2.1799	2.1799
23	9 - 1	4.1216		4.1216
24	9 - 3		2.2010	2.2010
25	IV - 2 - 1	3.1726	1.1111	4.2837
26	2 - 2	1.9325	2.1012	4.0337
27	5 - 1	2.9326		2.9326
28	5 - 2		2.2101	2.2101
29	6 - 2	2.7214	2.0260	4.7474
30	6 - 3	2.4687	2.4237	4.8924
31	8 - 1	3.1011	2.0112	5.1123
32	8 - 4	1.1743	1.7824	2.9567
33	V - 2 - 1	2.1761	2.1012	4.2773
34	2 - 4	2.2155	1.7246	3.9401

Volume unit : m³

Series No.	Sampling plot No.	Volume of Japanese red pine	Volume of oak tree	Volume of Japanese red pine and oak tree
35	V - 4 - 1	1.9832	2.0025	3.9857
36	4 - 3	2.7863	1.7100	4.4963
37	5 - 2	2.4512	2.2744	4.7256
38	5 - 3	1.6732	2.0011	3.6743
39	8 - 1	3.2109		3.2109
40	8 - 2		2.4126	2.4126

Table. 7. Data processing procedure for calculation of estimating volume by Sub-Sampling.

Volume unit : m³

Factors	Volume of Minor			Volume of Japanese red pine				
	X (Volume of Japanese red pine)	Y (Volume of oak tree)	Z (Volume of Japanese red pine and oak tree)	Major X	Block X	(Minor X) ²	(Major X) ²	(Block X) ²
Total of 40plots	88.6231	68.0759	156.6990	88.6231	88.6231	263.50076	403.41496	1,575.36603

Volume of oak tree					Volume of Japanese red pine and oak tree				
Major Y	Block Y	(Minor Y) ²	(Major Y) ²	(Block Y) ²	Major Z	Block Z	(Minor Z) ²	(Major Z) ²	(Block Z) ²
68.0759	68.0759	141.49298	247.44529	928.97206	156.6990	156.6990	654.18299	1,261.41780	4,917.23277

으로 算出되었으며 本式에 있어서 $\sigma=0.0180081$ 이고 $\sigma M=0.00569466$ 이며 $e=10.7\%$ 이었다.

全林每木調査法에 依하여 全林材積을 算出한 結果는 表1과 같다.

本數面에서는 상수리나무는 소나무 보다 약2.03배가 많은데 材積面에서는 소나무가 상수리나무보다 약 1.32배가 많았다. 이와같은 사실은 소나무는 比較的 大徑級이 高루 分布되어 있는데 反하여 상수리나무는 小徑級에 主로 치우쳐 있기 때문인 것으로 思料된다.

材積推定을 爲한 標本調査法으로는 林分의 構成 狀態를 考慮하여 單純無作為抽出法, 系統的抽出法, 副次抽出法 등이 適用되었다. 이와 같은 標本調査方法別로 全林材積 및 ha當材積, 推定誤差率을 比

較한 結果는 表8과 같다.

表8에서와 같이 全林推定材積과 全林實測 材積을 比較檢討해 볼 때 標本調査方法別로 推定된 全林材積 中에서 副次抽出法에 依한 推定材積이 全林實測材積과 가장 가까운 材積을 나타내었다. 또한 推定誤差率을 比較檢討해 보면 單純無作為抽出法이 9.24%, 系統的抽出法이 8.36%, 副次抽出法이 7.54%로서 副次抽出法이 가장 높은 精度를 나타내었다. 長 및 木梨²⁰⁾ 등은 九州大學 宮崎演習林에서 副次抽出法에 依한 森林調査를 實施한 結果 蓄積推定誤差率은 8.38%의 높은 精度를 나타내어서 森林調査法 中 가장 理想的인 方法이라고 主張하였는데 本 研究의 結果도 이와 같은 경향을

Table. 8. Volume difference and error percentage as influenced by each surveying method.

Surveying methods		Diameter measurement method of total stand	Simple random sampling	Systematic sampling	Sub-sampling
Items					
Total volume (m ³)	Japanese red pine and oak tree	2,045.0226	2,206.9840±203.9242	2,130.4400±178.0709	2,037.1000±153.6865
	Japanese red pine	1,163.7040	1,293.5000±225.3649	1,252.0560±220.6162	1,152.1120±154.4432
	Oak tree	881.3186	913.4840±124.6086	887.5360±117.7758	884.9880±115.0022
Volume per ha. (m ³)	Japanese red pine and oak tree	98.3184	106.1050± 9.8040	102.4250± 8.5611	97.9375± 7.3888
	Japanese red pine	55.9473	62.1875± 10.8349	60.1950± 10.6066	55.3900± 7.4252
	Oak tree	42.3711	43.9175± 5.9908	42.6700± 5.6623	42.5475± 5.5290
Error percentage of estimation (%)	Japanese red pine and oak tree		9.24	8.36	7.54
	Japanese red pine		17.42	17.62	13.41
	Oak tree		13.64	13.27	12.99

보였다. 또한 每木調査法에 의한 全林實測材積과 各 標本調査法에 의한 全林推定材積과의 誤差率을 比較分析한 結果는 表9와 같다.

表9에서와 같이 單純無作為抽出法이 7.92%, 系統的抽出法이 4.18%, 副次抽出法이 0.39%로서 이

때에도 亦是 副次抽出法이 가장 높은 精度를 나타냈을 뿐만 아니라 plot의 抽出個所數도 제일 적었기 때문에 時間, 勞力 및 經費가 他方法에 比하여 節減될 수 있으리라고 思料된다.

Table. 9. Comparison of error percentage between actually measured volume and estimated volume.

Surveying methods Error	Simple random sampling	Systematic sampling	Sub-sampling
Error percentage	$\frac{2,206.9840 - 2,045.0226}{2,045.0226} \times 100 = 7.92 (\%)$	$\frac{2,130.4400 - 2,045.0226}{2,045.0226} \times 100 = 4.18 (\%)$	$\frac{2,037.1000 - 2,045.0226}{2,045.0226} \times 100 = 0.39 (\%)$

結 論

(1) 每木調査法에 의한 全林實測材積은 總材積이 $2,045.0226\text{m}^3$ 이며 이와 가장 가까운 값을 나타낸 全林推定材積은 副次抽出法으로서 總材積은 2037.1000m^3 이었다.

(2) 標本調査方法別로 推定誤差率을 比較 檢討한 結果 單純無作為抽出法이 9.24%, 系統的抽出法이 8.36%, 副次抽出法이 7.54%의 順으로서 副次抽出法이 가장 높은 精度를 나타냈다.

(3) 全林實測材積과 各 標本調査法에 의한 全林推定材積과의 誤差率을 分析 比較해 본 結果 單純無作為抽出法이 7.92%, 系統的抽出法이 4.18%, 副次抽出法이 0.39%의 順으로서 이때에도 亦是 副次抽出法이 가장 높은 精度를 나타냈다.

(4) 以上과 같은 여러가지 結果를 綜合적으로 統計分析하여 比較檢討해 볼 때 本調査地域에서는 副次抽出法이 가장 精度가 높은 結果를 얻었으며 標本點의 抽出個所數도 가장 적게 利用되었으므로 時間, 勞力 및 調査經費가 他方法에 比하여 節減될 수 있는 基礎的인 結果가 나타났다고 思料되며 森林調査法으로는 副次抽出法이 가장 理想的인 方法으로 究明되었다.

引 用 文 獻

1. 青柳亞良汰 · 1958 · 標本抽出法による九州大學 宮崎演習來 第2次 蓄積調査報告 · 九大演習林集報 11 : 1 - 40
2. Das, A·C · 1950. Two-dimensional systematic sampling and the associated, stratified random sampling. Sankhya 10 : 16 - 27
3. Finney, D·J · 1948. Random and systematic sampling in timber surveys. Jour. For. 22 : 51 : 53.
4. Government Forest Experiment station. 1964. Canadian forest inventory methods. Dept. of for. 168 : 1 - 98
5. 橋本英明, 山本州也. 1964. ドットグリツによる面積の測定について. 日林講 演集 75 : 104 - 106.
6. Husch, B. 1963. Forest mensuration and statistics. The Ronald Press Co. New York. P. 474
7. Husch, B. 1971. Planning Forest inventory. F. A. O. Forestry and forest products studies 17 : 1 - 20.

8. 石田正次, 1964. Samplingの考へ方. 日林業技術 264: 6-64.
9. 金東春, 李興均, 1966. 標本抽出法에 依한 山林調査(其一). 林試研究報告 11: 13~32.
10. 金東春, 金泰玉, 1967. 標本抽出法에 依한 山林調査(其二). 林試研究報告 12: 1-44.
11. 金甲德, 1962. 森林蓄積調査法, 韓國林學會誌 1: 36-38
12. 金甲德, 1965. 標本點單位에 對하여 韓國林學會誌 4: 26-29
13. 金甲德, 1973. 闊葉樹林에 對한 資源調査法의 研究, 韓國林學會誌 17: 35-42
14. 金甲德, 1976. 航空寫眞을 利用한 山林資源調査法의 研究. 韓國林學會誌 30: 1-7
15. 木梨謙吉, 1952. 出水經營區における層化二段抽出法による蓄積推定(1). 日林講演集 61: 47-49
16. 木梨謙吉, 1953. 標本抽出法による人工植栽地成績調査. 日林講演集 62: 82-84.
17. 木梨謙吉, 1953. 鹿兒島縣 丁基本區 L.VIII 森林區スツ層 森林基本調査テストケス. 日林講演集 62: 68-70
18. 木梨謙吉, 1953. 標本抽出法による森林調査の研究 (モンツガ天然林の分析). 日林講演集 62: 70-73.
19. 木梨謙吉, 1952. 標本抽出法による森林蓄積調査. 日林野廳研究報告 5: 1-83
20. 木梨謙吉, 長正道, 1961. 標本抽出法による九州大學 宮崎演習林 第三次 蓄積調査報告・九大演習林集報 15: 1-50
21. Kinashi, K. K., Nishizawa, M. S. and T. S. Kitagawa. 1962. New development of sampling designs in forest inventories. Bull. of the Kyuehu univ. For. 35: 1-84.
22. 日林試驗場, 1962. 昭和 35年度 天城國有林における森林調査結果. 日林試研究報告 141: 139-151
23. 日林業試驗場, 1964. 昭和 36年度 天城國有林にちける森林調査結果. 日林試研究報告 169: 1-90.
24. 長正道, 木梨謙吉, 1963. Sub-Samplingによる. 九州大學 宮崎演習林 第六次 蓄積報告. 九大演習林集報 19: 21-64.
25. Madow, L. H. 1946. Systematic sampling relation to other sampling designs. Jour. Ame. Stat. Assoc. 41: 1-72.
26. 中山博一, 1951. 國家森林資源調査に就きて. 日林講演集 59: 53-54.
27. 西澤正久, 川端幸藏, 1962. ポイントサンプリングの利用法について—カラヌツ調査の一例. 日林講演集 73: 56-59.
28. 大友榮松, 西谷和雄, 眞邊照, 1954. 森林資源調査法の研究(第1報), 航空寫眞を利用した標本抽出調査法の研究. 日林試研究報告 114: 1-31.
29. Seely, H. E. 1961. Some investigation of forest sampling methods. For. Res. Branch. Tech. Note 111: 1-17.
30. 高田和彦, 1965. 空中寫眞利用阿賀野川 經營計劃區 資源調査について. 日林講演集 76: 66-67.
31. 脇元裕嗣, 1964. 北海道天然林における空中寫眞利用によるポイントサンプリング調査について. 日林講演集 75: 111-113.
32. Walter, T. F. 1955. Experimental design. Forest Abstract 41(1): 20-41.
33. Wilson, R. C. 1960. Surveys particularly applicable to extensive forest areas. Fifth world Forestry Congress. pp 17-20.