

臺灣省林業試驗所

特種研究報告

第二號

SPECIAL BULLETIN

OF

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

No. 2

闊葉樹林林相改良及迴歸方程式在
林業統計計算上之應用研究

楊寶霖

Improvement and Management of Hardwoods and
Using of Regression Analysis in Forest Statistic

by

Pao-Ling Yang

中華民國四十八年六月

臺灣省林業試驗所印行

臺灣臺北

Published by

TAIWAN FORESTRY RESEARCH INSTITUTE

Taipei, Taiwan, China

June, 1959

目 錄

引 言

第一篇 林相改良與潤葉樹林之經營.....	1
一、美國之潤葉樹林型.....	1
二、美國潤葉樹林之經營及林相改良方法.....	2
三、潤葉樹林之經營與林相改良試驗.....	5
四、對於臺灣潤葉樹林之經營及林相改良方法之建議事項.....	6
第二篇 迴歸方程式 (Regression equation) 在林業統計計算上之應用	7
一、材積表之編製研究.....	8
二、收穫表之編製.....	11
三、迴歸分析 (Regression analysis) 在林學其他學科上之應用.....	12
四、建議及改進事項.....	14
結 論.....	15
參考文獻.....	15
English Summary of Recommendation.....	16

引 言

臺灣森林資源爲其經濟上重要之一環，不僅建築、交通、造紙、以及薪炭等用材仰給自林木之生產，即保安防風及水源之涵養亦端賴乎良好之森林經營，是以林業之良窳與國民經濟息息相關，目前臺灣因人口之迅速增加，農地之需要，以及軍事上用材之殷切，臺灣林業上急待解決之問題自亦因事而需，而林業試驗工作，乃爲解決林業問題之樞紐。

筆者於民國四十五年十月至四十六年十月奉派赴美實習考察，在美時對於林業試驗工作及有關技術，取其對於臺灣林業問題之研究上或業務之發展上有參考價值者，或可資引用之方法，自會多加注意。

臺灣闊葉樹林之經營及林相改良問題，以闊葉樹林型被覆之面積較大，久爲林業家所注意而思謀改進之策。迴歸方程式之引用於林業資料計算整理方法，亦爲林業試驗研究上之所必需，茲特不揣愚陋，爰就以上所舉二端分別論述，以期方家指正之。

本文承林所長渭訪，劉主任慎孝及林業試驗所諸先進核閱，均此誌謝。

潤葉樹林林相改良及迴歸方程式在 林業統計計算上之應用研究

楊 寶 霖

第一篇 林相改良與潤葉樹林之經營

臺灣林地面積佔全島總面積之 55 %，其中潤葉樹林型被覆之面積約當林地全面積之 73 %，屬於熱帶及亞熱帶林型者有 120 萬公頃之多，在熱帶及亞熱帶之潤葉樹林型中，可利用而有經濟價值之優良樹種固多，而不能利用者頗佔甚大之比例，且潤葉樹林既經伐採如不能及時運出，經久即行腐爛，因是潤葉樹林型年來所實行之施業，概為皆伐後行人工植樹造林；所培植之樹種，在高海拔之地區多植柳杉，在低海拔則以杉木、松、樟、及相思為主要樹種，無如大面積之皆伐後林地裸露，易致表土流失，影響國土保安，同時改為大面積之同齡純林之後，易罹蟲害病害及風災，故對於天然潤葉樹林之經營方法，有重加考慮之必要，亦即除於地勢平緩之林區，或立木稀疏或無優良樹種可資利用或無良好木材產出之地可行皆伐以改變林型樹種外，餘則宜酌行林相改良及適度之擇伐，以隨其自然演變之法則，藉達育林及保護林地之雙重目的。

筆者在旅美期間，曾參觀若干潤葉樹林林相改良及經營試驗，並涉覽若干有關潤葉樹林經營之冊籍，對其方法及特殊之點頗就一得之愚，酌錄所見以為營林上之參考，在未述及臺灣潤葉樹林經營問題之先，僅就美國潤葉樹林之現況先加以敘述於後。

一、美國之潤葉樹林型

美國之潤葉樹林型在西部除 Aspen (*Populus tremuloicis* Michx) 及 Black Cotton wood (*Populus trichocarpa* torr. & Gray) 分佈於太平洋沿岸及落磯山一帶以外，其餘主要之潤葉樹林型則多分佈於東部及南方，或為純林，或與松類混交，在中南部及東部其主要分佈地區為阿布拉罕山區及山麓各州，在南部則分佈於南方河谷地帶，稱為低地潤葉樹林型，在東部之九個林區之中，則有東北雲樅及潤葉樹林區，櫟林區，南阿布拉罕山區，南方低地潤葉樹林區，以及中部潤葉樹林區等五個主要潤葉樹林區，茲分別略為介紹於次。

a. 北方潤葉樹林型：分佈於美國東北部之尖端，立地皆為深厚肥沃之壤土，排水良好，坡度中庸之地區，其中糖槭，(*Acer saccharum* Marsh.) 美洲山毛櫸 (*Fagus grandifolia* Ehrh) 及黃樺 (*Betula lutea* michx, f.) 林型為安定型 (Climax)，黃樺林型及糖槭林型為臨時林型，在生理上主為過熟及已熟之老齡天然林，林木之材質良好且其分佈之地區接近鐵路及公路，易於採伐。

b. 櫟林型：北部之賓夕凡尼亞州之南部，及南部之路易西安那及田納西州為櫟林型之林區，因樹種之不同，其立地則有宜於乾旱之山脊之砂礫地之山坡，或則為排水良好之壤土地，本林型又因其主要樹種之不同而分為以下各林型宜生於乾旱之山脊或瘠土之地者則為櫟栗 (*Quercus montana* willd) 林型 (Chestnut Oak type) 及黑櫟林型 (Scarlet Oak (*Quercus coceinea* muenc hh.) black Oak type) (*Quercus velu tina* Lam.)，此二型均為安定型 (Climax type)，宜生於排水良好之壤土立地者則為白櫟 (*Quercusa alba* L.) 黑櫟及北方紅櫟 (*Quercus borealis* michx) 林型，白櫟林型，北方紅櫟菩提樹 (*Liriodendron tulipifera*) 林型，以及北方紅櫟林型前三者為半永久型後者則為安定型，五型皆為次生林，間有自萌蘖發生者，木材可供礦柱及板材。

c. 南阿布拉罕山區，分佈於阿布拉罕山之南部山麓，本林區的面積計共六千一百萬畝，本林區內之潤葉樹林型計有山谷潤葉樹林型，分佈於潮潤及土壤深厚之壤土地帶，其主林木則為槐樹 (*Robinia pseudoacacia* L.)，北方紅櫟，黃楊，山毛榉，林型又依其主林木而分之；本林型大部為同齡之次生林，老齡林僅佔一小部份，櫟及栗林型多分佈於乾燥地區依樹種為 *Post Oak* (*Quercus stellata* Wangenh) 或 *Black Oak* 而分為九個林型，多為同齡之次生林相，此外尚有白松與潤葉樹之混交林型以及黃松與潤葉樹之混交林型等。

d. 南方低地潤葉樹林區，分佈與南方之波狀低地，佔地約 1,300 萬畝，本林區內之潤葉樹林型計有櫟及其他潤葉樹混交林型，依其所混交之為胡桃 (*Juglans* sp.) 榆樹 (*Ulmus* sp.) 等之不同而分為四個林型，次為 (*Sweet gum*) (*Liquidambar styraciflua* L.) 與其他潤葉樹混交林型，以及楊 (*populus* sp.) 林型。

e. 中部潤葉樹林區：本林區主要分為兩大林型，其一為櫟林林型，因其樹種之不同而又分為八個林型，依其林相又可分為三類一為同齡之次生林，與疏開之老齡林以及異齡之優良林相，其二則為山毛榉及糖槭林型，分為糖槭及山毛榉混交林型，與山毛榉之純林林型二種，此二林型或生於乾燥地區，或生於富含砂質壤土之立地上。

二、美國潤葉樹林之經營及林相改良方法

美國對於潤葉樹材之利用，在中部及南方，多以之供為造紙，礦柱，圍籬，或供為搬運貨物之貨架，枕木，及燃料以及供化學製品之原料，在東北方之密歇根州等地則除上述之用途外，更以之為製作傢俱之材料。對於潤葉樹林之經營，其作業法則以拿伐或擇伐作業為主茲略予介紹如下：

美國對於天然潤葉樹林常依其林分構成狀態及其林相而分為三種林分其一為幼林分 (*Young growth Stand*)，常為稚木，新生苗，及小桿材林木被覆之林分，次生林分 (*Second Growth Stand*)，林齡已達 40 年或其以上之林分，多由桿材及小製材林木所組成，老齡林分 (*Old growth Stand*) 由過熟或已熟林木構成之林分，其林相改良之方法，依其林分之構成狀態而不同，一般適用之作業法，亦因地域之不同而稍有差異，茲舉其林相改良之方法於後：

一、幼生林分 (*Young growth Stand*)：幼生林分因其株數衆多，無法逐株加以處理，通常只係依市場需要及經濟價值決定取捨之樹種，保留良種之優勢木以備伐期時收穫之，其樹種則依主要，次要及不擬保留者分為三大類，實際選定林木時仍需視 (1) 樹種及其產地，(2) 幹形及樹冠形，(3) 缺欠瑕疵之有無，(4) 大小，(5) 生長率 (6) 佔據空間之大小而定其取捨。

保留為主伐收穫之林木既經選定，進一步則為除伐不欲保留之林木，通常以生勢壓迫優良林木者先行除伐，又如目前雖無超越優良林木生長之跡象，但將來有此趨勢之劣勢木及其萌蘗，亦需立予伐除。留存之林木，依其株行距之疏密，當予修正，至清除之程度，則按各樹種之生長習性而定。

主要林木保留之株數，視主伐時欲保留之每公頃斷面積數而決定之，幼生林分之單位面積株數當較之高一倍左右，例如在主伐時每公頃保留之斷面積為 50 平方公尺時，則中央胸經平均為 50 公分之林分每公頃應有 254 株，林木 45 公分者應有 314 株，40 公分者應有 397 株 30 公分者應有 707 株，如林分之林齡在 10~15 年生時，其株數應於每公頃留存 500~1,400 為宜，既清除之林木，應防止其自根部再行萌發抽枝。

幼生林分經除伐後之處理：林相既經改良，伐除不需保留之劣勢木以後，對留存之林木及林分，仍需加以適當之處理，其處理之目的在使留存之林木正常生長，保持林相之完好，與適度之立地環境，對幼生林分之處理約可分為下述各點：

1. 打枝：在立木完好之天然更新林分，林木鮮少打枝，如欲增進林木之材質生長，打枝可一為之，性潤葉樹林木之枝條如過於粗大時常自打枝之切口腐爛以至侵及主幹，影響材質，故其技條

直徑在 1.5 公分至 2.5 公分以上者，仍以修整保留爲宜。

2. 對除伐後自遺留之根部新發生之幼苗，應隨時加以清除，保留之主要林木幼苗亦應加以整理伐除，以使林木保持其所需之株行距。

3. 除伐後根株之處理：伐除後林木殘留之根株，爲防止其繼續萌發抽枝，其根株多行藥劑處理，塗抹或噴洒藥液，或實行環剝，剝去其皮部。

4. 補植：如林分經除伐後立木度過疏，或因需要增植或改換一部份樹種時，宜行補植，以使林分之平均株行距達欲期之標準，又如欲達更換樹種之目的，並可施行間植 (interplanting)，於株行間栽植之。

二、次生林分 (Second Growth Stand)：林齡在 40 年或其以上之林分，如在幼年未能及時撫育，則此時如欲改變其林分構成，樹種，林相及株行距守勢將較爲困難，惟可視其林相及樹種之合宜與否實行疏伐或改良伐 (Thinnings and improvement cuttings)，保健及救助伐 (Sanitation and salvage cuttings) 以及解放伐 (Liberation cuttings) 茲分別述之如下：

1. 疏伐及改良伐 (Thinnings and improvement cuttings) 疏伐及改良伐如單獨實行之於次生林分，均難望其對林分林木之形質生長有所補益，故此時宜採疏伐及改良伐合併實施，其疏伐度宜視市場之需要，以及林分構成狀態而異，若缺欠木及 瑕疵木過多，仍宜按疏伐度爲適宜之調整，而不宜驟於一次伐除，在必要時雖瑕疵及缺欠木亦需保留否則鬱閉疏開，增加日晒，風災及霜害，對於陽性樹種之林分，如其下層爲優良樹種且形質良好之立木，則可採自上層疏開之砍伐，對於耐陰性樹種之林分，且下層立木之形質不完好時，宜編重於改良伐之實施，總之對於次生林之疏伐或改良伐每次之砍伐量以輕微爲宜，如一次不能改良其林相，則可分開多次實施之，各次之間隔以 10 年至 20 年爲宜。

2. 保健伐及救助伐 (Sanitation and salvage cuttings)：如林分受輕微之災害對災害木可施部份之擇伐，受嚴重災害之林分則以皆伐爲宜，然則無論部份之擇伐或皆伐，對下層之再生苗應使其有充分之生育空間，此可以間拔之方法以修正之，並需處理砍伐後之根株，以防其萌芽影響再生苗分佈之均勻，上述之方法對於被害林木之部份擇伐，或再生苗之處理在原則上均需視原來林分之構成，樹種之生活習性而定其處理之程度，在施保健伐及救助伐之林分，如被害或瑕疵木之市場銷售困難，無法償付其砍伐費用時，應分年逐次實施，以免在短期內爲龐大之開支。

3. 解放伐 Liberation：在普通之次生林分中，如有繁密之優良樹種更新之幼苗，且其上木如爲樹種不良或不堪利用之林木，或已達工藝伐期之林木，或其林木形成不整齊之林相，且其樹勢足以防碍再生苗之生長者，此時宜施行解放伐，其方法乃爲一次清除全部之上層木，以伐倒或環剝法處理之，在運輸不便或不能利用之林木林分環剝法尤爲合宜，對於更新苗如過度繁密亦宜保留其粗壯者，予以清除整理。使用解放伐，對於若干陽性樹當有顯著之成效。

三、老齡林分 (Old Growth Stand)：老齡林分之主伐作業或行皆伐後以改換樹種者均不得視爲林相改良作業，如對老齡林分行部份之擇伐，以收穫生理上成熟或過熟之林木，用於若干林型之林分，似較皆伐爲宜此時之作業宜採單株擇伐或傘伐作業，輪伐期之長短以能產生製材林木爲原則，行單株擇伐作業之林區需在交通便利易於到達之地，對於擇伐木之選擇，應分別胸經階逐階選擇之，以能育成多層林之林相，如再生之幼苗較爲耐蔭性者，可行傘伐作業，以育成二層林相，若上層之老齡林木，林相敗壞，但其林下具有繁生之幼苗時則可採皆伐作業，全部伐除上層之老齡林木。

如老齡林分混有次生林木，且若老齡林木之生勢衰弱樹型敗壞，而次生林木稀疏時，應對上層之老齡林木先行擇伐一次伐或環剝以行疏開而促進天然更新，迨數年後，已能養成優良之更新苗時，再伐除老齡林木。

上述各林分之改良方法中，對於擬清除林木，即不擬保留之超優勢木，損毀或缺欠木以及災害

木等之清除方法常依下述三種方法處理之，

1. 環剝立枯：環剝主幹近胸高或其附近部份之皮部使其逐漸枯死。
2. 伐倒：對於有經濟價值可利用林木常伐倒運搬之。
3. 藥劑處理：用藥劑處理欲清除之林木或其下木，以使其逐漸枯死，在我國稱此種藥劑為殺草劑，茲述藥劑之種類及方法如下：

a. 藥劑之種類，在美國慣用以及若干新藥劑約有下述各種：

- (1) Ammate (Ammonium sulfamate)：為黃色或白色之結晶，可用為水溶液或為油乳劑，對人畜皆無害，但如接觸過久，則浸蝕皮膚，對於金屬容器有腐蝕作用，故宜用不銹鋼或Plastic 等作成容器。
- (2) 2,4-D (2,4-Dichlorophenoxyacetic acid)：為植物荷爾蒙化合物，常成為金屬鹽類，碳氫基氮鹽 (amine salts) 以及有機鹽 (esters) 類，其中揮發性較緩之有機鹽例如 butoxy ethanol 或 Bopylene glycol butyl 對殺樹或殺草甚為有效，2,4-D 對於赤楊，槐及柳屬植物甚為有效，槲類，胡桃及楓類等用此藥鮮少效果每磅約美金 1.00~1.50 元。
- (3) 2,4,5-T (2,4,5-Trichlorophenoxyacetic acid)，亦為揮發性較緩之荷爾蒙酸有機鹽類，對於殺樹及殺草較之 2,4-D 更為有效，每磅約美金 2~3 元。
2,4-D 及 2,4,5-T 對於人畜均有害，市場出售時為濃縮之液體，可稀釋之用為油溶劑水溶劑。
- (4) 2,4,5-TP (2,4,5-Trichlorophenoxypropionic acid) 為較 2,4,5-T 更為有效之殺草劑。
- (5) Aminotriazole (3-amins, 1,2,4-triazole)，以 2 磅之藥劑溶於 100 加侖之水中，濃縮之為 6 磅重之溶液對於槲類，白蠟樹屬之植物或林木甚為有效。
- (6) 2,4-DP 之有機鹽 (2,4-Dichlorophenoxypropionic acid)：用 4 磅之 a.h.g. 噴酒樹冠最為有效。
- (7) M. C. P. (2-Methyl-4-Chlorophenoxyacetic acid)：此種藥液之有效程度不及 2,4-D 或 2,4,5-T。
- (8) Dinitao：用為殺草劑。
- (9) TCA (Sodium trichloro acetate)：為土壤毒劑。
- (10) CMU (3-cp-chlorophengl)-1,1-dimethy lurea) 為另一種土壤毒劑。

b. 處理方法：

- (1) 撒佈法 (Foliage sprays)：本法主要用於清除地被之雜草灌木，對於喬木之雜木處理則效果不大，因其不可能就龐大之樹冠撒佈均勻，雖在處理之當時，似可奏效，但不能保證其長期不再萌發新芽，對於地被物之除草工作，則屬適當，用撒佈法時藥劑可用百分之二、五至十之 2,4,5-T 之水溶液，每公頃約需 60 加侖。
- (2) 切口撒佈法：對於較大林木之清除用本法最為有效，其方法像先用斧頭切割林木近地面之根株部份做成切口，每一切口距開 15 公分然後在每一切口上撒佈 Ammate 之結晶粉粒 14~28 公分 ($\frac{1}{2}$ 至 1 壺斯) 即可殺死對於較小林木則可砍倒主幹，頂端作成 V 形切口撒佈之。
- (3) 切口灌注法 (Frill)：用斧頭或柴刀圍繞樹幹切割至木質部，然後注入藥液，如用 Ammate 時則為 2 磅之 Ammate 溶於一加侖之水中，用 2,4,5-T 時則為一加侖之藥液溶於 50 加侖之水中即可，一加侖之 2,4,5-T 之水溶液可灌注胸經 15 公分之林木 38 株，本法適用之林木，其胸經至少宜在 10 公分以上。
- (4) 塗抹法：將藥液環繞塗抹於近根部樹皮之周圍，以使藥液滲入形成層近而殺死根部系統，本法係使用 3% 之 2,4,5-T 油劑塗抹樹幹自地面向上 $\frac{2}{3}$ 公尺高之部位為止，5 公

分以下之小樹則 $\frac{1}{4}$ 公尺高度即可，多數林木或灌木均可以本法清除之，對於胡桃，山毛榉等，特別有效，藥液之數量約為 3 % 之溶液一加侖可塗抹胸徑 15 公分之林木 14 株，40 公分之林木 3 株。

(5) 根株塗佈藥物法：本法目的在摧毀其根部系統以防制其萌芽，林木胸徑在 10 公分以下者，根部削成 V 形切口，每株佈撒一湯匙 Ammate 之結晶粉末，大樹可用 2,4,5-T 3 % 油溶劑塗抹根株頂端及其周圍。

(6) 注射法 Cornell tool method: 用 Ammate 之水溶液注射於樹幹接近地面之基部，5 公分以下之林木，注射一次已足，大樹則需多次注射。

茲表示用藥劑清除林木之方法及其所用藥劑之配合於後：

方 法	藥 劑 配 合
用 2,4,5-T 撒佈法	1 加侖 2,4,5-T 加 200 加侖水
用 2,4,5-T 灌注法	1 加侖 2,4,5-T 加 50 加侖水
用 2,4,5-T 塗抹主幹法	1 加侖 2,4,5-T 加 20 加侖油
用 2,4,5-T 塗抹伐根法	同 上
用 Ammate 撒佈法	1 磅 Ammate 加 1 加侖水
用 Ammate 撒佈切口法	每切口撒佈一湯匙(約 28 公分) 之 Ammate 粉粒
用 Ammate 灌注法	2 磅 Ammate 加 1 加侖水
用 Ammate 注射法	6 磅 Ammate 加 1 加侖水
用 Ammate 撒佈伐根法	根株直徑每 5 公分撒佈一湯匙之 Ammate 粉粉

三、潤葉樹林之經營與林相改良試驗

美國之南方東南，東北，中部以及大湖區試驗場在潤葉樹林分佈之地區—阿布拉罕山區及山麓，南方窪地以及北部之湖濱平原—分別設置試驗林以為潤葉樹林之經營及林相改良試驗，茲舉述其規模較大之試驗於後以供參考。

1. 潤葉樹林之林相改良試驗：此試驗之目的在研究比較造林上及生態上之關係以獲致林分改良及森林經理上最佳之方法以改變潤葉樹林之林相，原則上乃在整理林相及調整其株行距林冠密度，其處理方法約如下述：(1) 粗放作業法除保留林分內之母樹外砍伐生理上已熟及過熟之林木，餘留林木密集之處實行疏伐，胸徑 20 公分以上之腐朽及瑕疵林木，行環剝立枯。(2) 集約作業法：除如上法砍伐已熟及過熟之林木外，並疏伐可利用之林木，伐除全部形質不良之林木，已加保留之林木，其樹冠一公尺以外空間內之雜草灌木隨時加以清除，(3) 粗放作業補植法：除施如(1)法之粗放作業外，作業後之空曠處加以補植調整後之株行距，平均以 3~5 公尺為標準；(4) 集約作業補植法，除實施集約作業法外，保留之林木並實施打枝，補植後之株行距以 2.5 公尺為標準。

2. 老齡潤葉樹林作業法與費用支付之研究：此試驗設予北部密歇根州老齡潤葉樹林林分內，其目的在研究適當之作業法以生產大經級之製材林木，其處理方法約如下述：

- (1) 大經級林木直徑級擇伐法：伐除胸徑 50 公分以上之優勢木，餘留之林分則為生長緩慢與形質低劣之林木，砍伐後未來林分之林相將更不良。
- (2) 直徑級擇伐法：伐除胸徑 30 公分以上之林木，餘留林分因小徑木過多，可能使林相疏開，同時更新幼木及自伐根萌發之幼苗將致林相為極不整齊之狀況。
- (3) 皆伐法：皆伐胸徑 10 公分以上之可利用林木，砍伐後萌發幼苗發生，早期除實施撫育外，無法再為利用砍伐。
- (4) 羣狀擇伐法：潤葉樹林之樹種常呈羣狀混交，實施羣狀擇伐乃為保留某一樹種之方法。
- (5) 砍除過熟林木及缺欠木法。

(6)改良伐：

原試驗為處理一區，只供普通觀察，每種方法並記載其作業費用，以明其得失，吾人可選定數種處理方法以為重複處理，依統計方法分析其結果為之。

3. 於清理之潤葉樹林內栽植松樹之試驗。

此試驗之目的在明瞭松樹在潤葉樹林內經除去相與競爭之潤葉樹後之生長情形，不同清理方法對於松樹生長之影響，以及死亡情形，不同清理方法所需費用對於移去斷面積數字之關係，何種方法對未來施業有效，對保留林木之傷害情形等以為經營上之參考。

其方法乃為栽植松樹於(1)不加清理之潤葉樹林內(2)用環剝及伐除方法清理之林內，(3)用伐除及以藥劑毒殺方法清理之林內以比較松樹之成活及生長情形，計分三種處理，重複三次為九小區。對於松樹之樹高直徑生長狀況以 $H_2D_2^2 - H_1D_1^2$ 表示之，式中 $H_2D_2^2$ 表示松林在若干年後之樹高與胸徑之平方之相乘 $H_1D_1^2$ 則表施測當時之數字；處理方法對於林地所致之傷害亦加以調查，以明瞭使林相敗壞之潤葉樹林改變為松林之方法。

本試驗之施測方法：各區中之松樹於前 5 年內之每年及第十年測定其胸徑，樹勢，及傷害情形，處理區之潤葉樹則第一年每三月測定一次，第二年每六個月，第三至五年每年測定之，記載其死亡及萌芽情形。

四、對於臺灣潤葉樹林之經營及林相改良方法之建議事項

對於美國潤葉樹林之經營及若干試驗方法，茲既已約略介紹上，自應擇其方法中適合臺灣潤葉樹林之林況地況者，擇要臚舉並舒陳所見，滙為下述各端，以供進一步之研究：

一、就臺灣現有之潤葉樹林型中，根據市場需要，林木之生態及生理，以及作業之難易分別選定主要，次要及不需保留之樹種，以為經營上最重要之依據。根據前林業試驗所之林型調查資料，臺灣之潤葉樹，依其分佈地點之海拔高度可分為三種潤葉樹林型：

1. 熱帶潤葉樹林型：低海拔之潤葉樹林型，在臺灣北部分佈於海拔 300 公尺以下之地帶，在臺灣南部約分佈於 600 公尺以下之地帶其主要之經濟樹種如下：

毛 柿	<i>Diospyros utilis</i> Hemsl.	大 葉 楠	<i>Machilus Kusanoi</i> Hay.
紅 厚 殼	<i>Calophyllum inophyllum</i> Linn	黃 連 木	<i>Pistacia chinensis</i> Burge
臺 東 龍 眼	<i>Pometia pinnata</i> Forst	紅 鷄 油	<i>Ulmus paruifolia</i> Jocq
江 某	<i>Schefflera octophylla</i> Harms.	白 桐	<i>Paulownia kawakamii</i> zto
黃 連 木	<i>Pistacia chinenses</i> Bunge	桃 花 心 木	
茄 冬	<i>Bischofia javanica</i> Blume	臺 灣 槲	<i>Zelkova formosana</i> Hay.
烏 柏	<i>Sapicem sebiferum</i> [L.] Roxb.	烏 心 石	<i>Michelia formosana</i> Masam.
相 思 樹	<i>Acaica confusa</i> menill		

2. 暖帶潤葉樹林型 (Subtropical. Hardwoods) 通常分佈於北部海拔 300~1,500 公尺，南部 600~2,000 公尺之地區，其主要之優勢種如下：

阿 里 山 楠	<i>Machilus arisanensis</i> Hay.	烏 心 石	<i>Michelia formosana</i> Masam.
豬 腳 楠	<i>Machilus Thunbergii</i> s. et z.		
大 葉 杜	<i>Lithocarpus Kawakamii</i> Hay.		
赤 校	<i>Costanopsis Kawakamii</i> Hay.		
長 尾 尖 錐 栗	<i>Castanopiis longicaudata</i> Kaneh et Hatus		
赤 皮	<i>Quercus gilva</i> Blume	木 荷 類	<i>Shima</i> spp.
南 投 黃 肉 楠	<i>Actinodaphne nantoensis</i> Hak.	石 櫟 類	<i>Lithocarpus</i> spp.
樟 樹	<i>Cinnamomum Camphora</i> Sieher		
烏 心 石	<i>Michelia formosana</i> Masam		

3. 溫帶潤葉樹林型 (Temperatecre Hardwoods) 在北部分佈於 1,500 公尺以上地帶，在南部分佈於 2,000 公尺以上之地帶，其主要之經濟樹種計有：

香 楠	<i>Machilus zuihoensis</i> Hay.	森 氏 櫟	<i>Quercus Morii</i> Hay.
臺灣檫樹	<i>Sassafras randaiensis</i> Rehd.	長果木薑子	<i>Litsea dolichocarpa</i> Hay.
楓 香	<i>Liquidambar formosana</i> Hance	臺灣赤楊	<i>Alnus formosana</i> Makino
大 葉 杜	<i>Litho curpus Kawakamii</i> Hay.		
昆 欄 樹	<i>Trochodendron aralisides</i> S. et Z.		
長尾尖錐栗	<i>Castanopsis longicaudata</i> Kaneh et Hatus		

上述各林型之樹種復可因地區之不同，地位及立地因子之差異，分別決定其為主要保留之樹種及次要保留之樹種以為實施林相改良時之先決條件。

二、查定各林型主要樹種之地位指數及地位級，此一工作為決定某一地區樹種取捨之張本，在調查時可就各樹種之所在地尋覓與其生長有關之立地因子，諸如坡度，坡向，土壤深度，海拔高，土壤之 pH 值，以及地被物等以決定何項立地適宜於何種樹種之生長，依此方法判出之地位級雖在無立木地，亦可決定潤葉樹種之取捨。

三、查定各林型主要樹種之生長量，生長量為決定迴歸年整理期等施業上重要因子，林木之生長可分別樹種及胸高直徑階算定，林分生長量可分別林型及地位級算定之，惟在林分地位級未盡明瞭之先可先依林分級林型查定其林分生長量。林分中某一樹種之生長情形，為決定樹種取捨標準之一，而林分生長量，則為決定作業法之重要參考。

四、潤葉樹林型作業法之研究：

臺灣潤葉樹林之作業法，多係皆伐後行人工植樹或播種造林，若依此法繼續之，則無作業法亦無作業法之研究可言，無如若干保安林或非保安林而處於險峻地勢處之森林，必不可行皆伐，或於皆伐後因地位之特殊，難免致合宜樹種之處，均宜另謀適宜之作業法以經營之，臺灣向未有就不同之潤葉樹林型尋獲適宜之作業法之試驗研究報告，以資參考，更無就同一林型，不同地位之潤葉樹林之作業方法，詳加研究故對於潤葉樹林作業法之研究實屬必要，茲試做若干建議於次，希海內先進有以正之。

- 就臺灣之熱帶、亞熱帶、及溫帶潤葉樹林型中，更可依其主要樹種及其分佈之不同而分為若干次要林型，作業法應就主次要林型分別試驗之。
- 同一林型可就其林分級或地位級之不同而決定適宜之作業法。
- 作業法可就母樹法，傘伐法，單株擇伐，羣狀擇伐，或直徑級擇伐法試驗之。
- 對不擬保留林木之處理應就伐除或藥劑處理等方法，比較其得失及其所需費用，以為經營上之參考。
- 在試驗作業法之前對更新苗木應為充分之調查。

五、潤葉樹材市場需要之調查亦為決定樹種之因子，必要時可舉行之。

第二篇 迴歸方程式 (Regression equation)

在林業統計計算上之應用

應用數學統計方法於測樹及林業計算技術上，已有若干年之歷史；昔日對於測樹技術之應用，原僅限於測定調查等野外操作之方法，對於取樣原理及取樣技術，向不顧及，至計算方法，則無論林木材積及生長量之查定，林分蓄積及生長之測算亦鮮有涉及其結果之偏差及信賴界限者，概近由於統計學之進步，統計原理及其方法被引用於試驗調查方法上，加以曲線描繪技術，以及曲線配合方法之銳意革新，諸如共線圖法 (Alinement Chart Method) 變態圖形法 (Anamorphosis) 紛被引用，凡此種種對於資料整理及統計方法上，獲益匪鮮。

迴歸方程式 (Regression equation) 應用最小二乘法 (Method of least square) 解析之以探求自變值與因變值間之迴歸關係，各因子間之顯著性，藉以明瞭各算出值之信賴程度，對於材積，蓄積及生長量之計算上，殊為便利，筆者僅就考察實習所得，擇其淺鮮易明，用途較廣之迴歸方程式，分項陳述，以供各先進之參考，文中除引述材積表，收穫表之編製實驗式外，對於迴歸方程式應用於其他方面之資料整理，亦稍加引述，蓋此種技術已不僅限於材積生長等問題，對於造林、經理、及林業上之其他問題，均可試為引用之。

一、材積表 (Volume Table) 之編製研究

材積表為算定林分蓄積及查定林木材積所必需之工具，後者結果之準確與否，端視所用材積表之差誤大小而定，今日臺灣所用之材積表係以同底面之圓柱材積，乘以平均形數而得，或分為數段原木而求其圓柱體積以為原木材積，以是而算出之林分蓄積，常有過大過小之嫌；林業試驗機構雖有造林木立木材積表之編製，欲以之求算可利用材積，仍需乘以適當之利用率，故今後對於材積表之編製，尚需林業界同仁之努力，筆者以在臺時之工作經驗，參酌在美進修之所得，略予介紹材積表編製時所宜用之計算公式，分別簡述之。

任何材積表之編製，需先為野外調查，就伐木地區調查若干伐倒木，依區分求積法取得資料，以為計算之依據，按一般書籍之介紹，每一樹種至少需有可用資料 50 株以上，始敷應用，又以求計算上時間之經濟，最多可至 300 株，每株林木需能測定其樹高或製材部份長度或原木段數帶皮或去皮胸徑，形數或形狀級等等，均視編製之目的而定，其編製時所用計算數式，則分別敘述如下：

1. 標準立木材積表 (Standard Volume Table) 公式：編製立木材積表時以能測定立木之全高，胸高直徑，算出其形數或形狀級為宜，通常常用之數式有以下二者，

A. Schumacher 氏標準立木材積表公式：

$$\log V = \log a + b \log D + c \log H$$

上式中 V = 單株立木材積

$\log V$ 則為其對數

D 表胸高帶皮直徑

$\log D$ 則為其對數

H 表立木之全高

$\log H$ 則為其對數

取得之資料可依 5 公分之胸徑級及 2 公尺之樹高級分組整理計算編製之，如欲精密算定，則可以 2 公分之胸徑級，1 公尺之樹高級編製之，至形狀因子則未另予區分，乃視同一樹高級，同一胸徑級之林木，具有相同之平均形數，或形狀級。

B. Meyer 氏之材積表公式：

$$\log V = \log a + b \log D + c \log H + d F$$

上式中 $\log V$, $\log D$, $\log H$ 所代表之數值與前式完全相同， F 則為立木之胸高形數或形狀級形數或形數可為 $\frac{1}{10}$ 至 $\frac{1}{100}$ 之區劃。

舒氏公式宜分別樹種編製，邁氏者則可合併若干樹種為一表，蓋如立木之樹高，胸徑，及形數或形狀級相同時，其材積應相等，上二式所求得之材積，為林木自伐採根際至梢端之帶皮材積，如以之求算可利用材積，仍需扣除其不能利用部份，並需另為調查統計計算之。

上二式之引用，適宜於造林木，或次生林之針葉樹，蓋老齡林或天然闊葉樹之樹高，均難以正確測定，因其變異甚大，對於以上法編製材積表，難期準確。

2. 原木材積表 (log Volume Table) 公式：

林木主幹如依一定之長度製材，則每一株材木可製成等長度之原木若干段，如能算出各段原木材積時，則全株木材積自可間接求出，此法較為實用，所算出之材積即為其可利用部份，其適用之公式如下：

A, $V = a D^2 + b D + c$

上式中 V 為一定長度之原木材積， D 為去皮之底端直徑或原木之中央直徑，如以底端直徑編製，則以後應用時應測定其底端直徑，否則需測定其中央直徑，原木較大較長時以測定中央直徑為宜。

編製時以能測定底徑或中央直徑不同之原木一百段以上為合宜，所測定之直徑需為去皮直徑。

B, 設原木為不同長度時，則需考慮原木長度之因子，以編製各長度之原木材積表，其公式可自上式變化之，即如設以 L 表示原木長度且 $a = a_0 + a_1 L$, $b = b_0 + b_1 L$, $c = c_0 + c_1 L$ 時

則 $V = (a_0 + a_1 L) D^2 + (b_0 + b_1 L) D + (c_0 + c_1 L)$

即 $V = a_0 D^2 + b_0 D + a_1 D^2 L + b_1 D L + c_1 L + c_0$

上式 a_0 以迄 c_0 各迴歸係數求出後，應測驗其顯著性以分別取捨之。

3. 地方材積表 (Local Volume Table)：亦稱直徑級材積表，適用於小面積之林分蓄積計算，應用方法簡便，惟誤差則較大，其原理乃視同一直徑級之林木，其樹高及形數依形狀級為相似之平均值，合用之公式如下：

A. $V = aD^3 + bD + c$ 公式用於地方材積表編製時， D 為胸高帶皮直徑 V 則為林木之立木材積，利用材積或製材材積。

B, 依 $V = aD^3 + bD^2 + cD + d$ 之三次式編製之可較為精確。

C. 用胸高斷面積 B 編製之公式：

$$V = b_0 + b_1 B$$

4. 形狀級材積表 (Form Class Volume Table)：形狀級材積表之編製方法，乃係美國之 Messavage 及 Girrard 二氏倡議，所引用形狀級 (Form Class) 之字義則源自歐洲，蓋林木主幹依其本身形質生長圓滿度之不同，以及幹長之關係，則其主幹自底端至梢端之各段直徑遞減之值亦各異，亦即主幹之長度較短，其底端直徑愈大時，其尖削程度亦大，此時其形狀級數直亦愈小，迨直徑變化之關係查出，各段原木之材積自可算出，是故形狀級材積表之編製，首先應編成尖削表 (Taper Table)，如合用之尖削表既經編出，則主幹各段原木之底端及頂端直徑自可算出，材積自易為矣，茲例舉編製尖削表之公式數則於下：

A. Ray, F. Bower 氏之形狀比公式：

設： $y = \frac{1}{2}$ 樹高處之去皮直徑與胸高去皮直徑之比。

$x =$ 自梢端至樹 $\frac{1}{2}$ 處之長度與至胸高之長度之比。

則 $y = a + bx + cx^2$

上式如 y 為樹幹任一處去皮直徑與去皮胸徑之比時則 x 亦為該點之長度比，如是可利用幹長之關係，求出任何一處之直徑可編成尖削表 (Taper table)

B. Schumacher 氏之尖削表編製公式，

- a. 設 x = 自幹梢至第一段原木以上任一段間之長度與自幹梢至第一段原木頂端之長度之比；

y = 該段去皮直徑與第一段原木頂端去皮直徑之比，

$$\text{則： } y = a + bx + cx^2 + dx^3$$

又如已知幹梢之去皮直徑為第一段原木頂端去皮直徑之 $\frac{1}{2}$ 時，

$$\text{則 } x=0 \text{ 時， } y=0.5 \quad x=1 \text{ 時， } y=1$$

$$x=0 \text{ 時 } y=a, a=0.5 \quad y-0.5=bx+cx^2+dx^3 \quad d=1-0.5-b-c=0.5-b-c$$

$$y-0.5=bx+cx^2+(0.5-b-c)x^3$$

$$=bx+cx^2+0.5x^3-bx^3-cx^3$$

$$y-0.5-0.5x^3=b(x-x^3)+c(x^2-x^3)$$

- b. 由上假設用雙曲線之公式表示時

$$\text{則 } y = a + \frac{x}{(c+dx)}, \quad x=0 \text{ 時 } y=0.5 \quad \text{則 } a=0.5$$

$$(y-0.5) = \frac{x}{(c+dx)} \quad \text{又 } x=1 \text{ 時 } y=1$$

$$1-0.5 = \frac{1}{c+d} \quad \text{故 } c+d \text{ 應等於 } 2$$

$$1-0.5 = \frac{x}{c+(c-d)x}$$

$$\left(\frac{x}{y-0.5} - 2x\right) = (c-1-x)$$

- c. 根據 (b) 式如 $C = b_1 + b_2D + b_3L$ ，且如 D 為立木之胸高直徑， L 為製材長度或原木段數時，則

$$\left(\frac{x}{y-0.5} - 2x\right) = b_1 + b_2D + b_3L(1-x)$$

$$\text{即 } \left(\frac{x}{y-0.5} - 2x\right) = b_1 - b_1x + b_2D - b_2Dx + b_3Lx$$

上述之公式以 Schumacher 氏之第三式在臺灣較為適用，蓋臺灣之原木製材，視胸徑及主幹長度之大小而變化之故。

尖削表之編製在原則上可混合各樹種之資料編成一表，編製材積表時，再依各樹種形狀級之變異而分別編製之，至編製尖削表以後之工作步驟可參酌上述各法準備適宜之原木材積表以資引用編製之。

5. 林分材積表 (Stand Volume Table)：大面積之森林蓄積調查，因其幅圓廣闊，欲由單木材積推算林區之林木蓄積甚為費時費力，且有因工作繁重易於計算錯誤，故常編成林分材積表，以為計算大面積林分蓄積之工具，其方法乃在求出各林型林分單位面積上之林分蓄積，對於林分之中央直徑，與林分高以及林分形質上之迴歸關係以編製之，利用空中照片調查森林蓄積時，林分材積表至為需要，此時且以樹冠幅代替胸高直徑之測算，並依林分之樹冠密度級分別計算之，茲列示若干方法如下：

- A. Schumacher 氏之林分材積表編製公式：

a. 設以 V 表單位面積林分材積之立方公尺數 $\log V$ 為其對數

D 表林分之中央直徑 $\log D$ 為其對數

H 表林分高 $\log H$ 為其對數

N 表單位面積上之林木株數 $\log N$ 為其對數時

$$\text{則 } \log V = a + b(\log D) + c(\log H) + d(\log N)$$

b. 如以 $\frac{V}{N}$ 表示該林分林木之平均材積 $\log\left(\frac{V}{N}\right)$ 爲其對數時

$$\text{則 } \log\left(\frac{V}{N}\right) = a + b(\log D) + c(\log H)$$

c. 如以 B 表示林分之平均胸高斷面積 $\log B$ 爲其對數時

$$\text{則 } \log V = a + b(\log B) + c(\log H)$$

B. R. C. Aldrich 氏以各林型林分之單位面積材積，與平均樹冠直徑，林分高及樹冠密度級之迴歸關係以編製林分材積表，依此法編製時，各林型至少需調查 200 個樣區之資料，樹冠實度則以每 5% 爲一級，如以

x_1 表林分高， x_2 表林分中央胸徑， x_3 表樹冠密度，Y 爲林分材積爲直線迴歸曲線式：

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$$

C. Samuel F. Gingrich 及 H. Arthur Meyer 氏之航空林分材積表公式：

二氏創此公式用於高原樺林型林分航空材積表之編製，此一迴歸曲線式應用七個變值計算之渠等設

X_1 表林分高 (Stand height)

X_2 表樹冠直徑 Crown Diameter

X_3 表樹冠密度百分數 (Crown-cover percent)

$X_4 = X_1X_3/100$

$X_6 = X_2X_3/100$

$X_5 = X_1X_2/100$

$X_7 = X_1X_2X_3/100$

Y：表林分材積 (Stand volume)

則

$$Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7$$

上式經計算結果，則包括桿材林木之林分材積

$$Y = b_1x_1 + b_3x_3$$

只爲製材林木之林分材積則：

$$Y = b_3x_3 + b_4x_4$$

以上所列舉之各曲線式中，Schumacher 氏各式適用於普通林分材積表之編製，後者則適用於航空測量用林分材積表之編製，在臺灣引用時，需由搜集野外資料做起，至曲線式之確定，則視其計算結果而定而非可遽然全盤引用者。

二、收穫表 (Yield Table) 之編製

收穫表乃在闡明時間，蓄積與生長量之間的關係，以推求將來之收穫量而爲營林上之參考，就時間而言，當爲林分之林齡，就蓄積而言，則舉凡與蓄積有直接或間接關係之因子，諸如各林齡之單位面積株數，胸高直徑，胸高斷面積等，均需羅致，編製收穫表之方法甚多，就其研究之對象而言，則因全齡，異齡或同齡之林分而有不同，就其資料搜集方法或調查方法論之，則因設永久樣區或臨時樣區而異其趣，唯於最後之資料整理上，則皆以尋求各因子間之迴歸或相關關係爲準，其計算方法以及迴歸數式之引用，與最後所獲致之結果甚有攸關，茲謹就在美所學與在臺之工作經驗分別舉述之，藉供國人之參考。

1. 地位指數及其曲線，編製地位指數曲線最普通習用之方法乃爲求算各林分在一定年齡時優勢木及次優勢木平均高，而爲該林分之地位指數對於曲線之繪出方法，乃在尋求樹高與林齡之迴歸關係，臺灣過去曾有柳杉林收穫表之編製，其地位指數所應用之迴歸數式爲。

$$\log Y = a + bx + c \log x$$

式中 Y 爲優勢木及次優勢木之平均高 (即地位指數)，x 爲林齡，對於上式之引用，乃在尋求林分高對於林齡之迴歸關係，至其他立地因子則未予考慮，此時如所設樣區資料不多，或樣區之分佈不均時，對於結果殊難正確，美之 Schumacher 氏，常另附以另一土壤及立地因子，以爲地

位指數曲線之描繪，其式爲：

$$\log H = K + a \left(\frac{1}{A} \right) + b(B) + c(C)$$

上式中 H 表一林分優勢木及次優勢木之平均高，log H 則爲其對數，A 爲林分之林齡，B, C, 爲其他立地因子，可爲土壤深度，方位或海拔高度等，如只有一項其他立地因子時，則上式可改爲

$$\log H = K + a \frac{1}{A} + b(B)$$

2. 單位面積（每公頃）之林木株數曲線：採用次之對數曲線式，尋求林齡與單位面積之迴歸關係，過去曾依。

$$\log Y = a + b \log x$$

式中 Y 代表單位面積之林木株數，log Y 則爲其對數，x 代表林齡，log x 則爲其對數，依上式只能求出單一曲線，對於各地位級或地位指數之單位面積林木株數，尙需依變態圖形法完成之。

又上式 a, b 兩迴歸係數如因地位級或地位指數 s 而變化時，則

$$a = a_1 + a_1 s \qquad b = b_0 + b_1 s$$

則前式可改爲 $\log Y = a_0 + a_1 s + (b_0 + b_1 s) \log x$

$$\text{亦即 } \log Y = a_0 + b_0 \log x + a_1 s + c_1 s \log x$$

除上式外，Schumacher 氏，並創設株數，對於林分胸高斷面積，及林分中優勢木及次優勢木之平均高亦即地位指數之迴歸關係曲線，以算出單位面積之林木株數，式爲：

$$\log N = b_0 + b_1 \log H + b_2 \log B$$

式中 N 爲單位面積之林木株數，H 爲優勢木及次優勢木之平均高，B 爲林分之胸高斷面積：

3. 各地位級林分之平均胸高直徑曲線：過去編製時常依 $\log D = a + b \log A$ 之一次對數曲線式，式中 D 爲林分之平均胸高直徑，A 爲林分之林齡惟本式在過去引用時，對於各地位級或各地位指數之林分平均胸徑，仍須借助其他方法完成，允非良策，似應推出 a, b, 兩係數對於地位指數之迴歸關係，或試依

$$\log D = a + b \log A + c \log H \qquad \text{或 } \log D = a + b \frac{1}{A} + c \log H$$

上二式之可否成立尙需經過若干測驗始可，式中 A 爲林分之林齡，H 爲優勢木及次優勢木之平均高。

4. 各地位級之林分胸高斷面積，通常依各林分單位面積株數乘以由各林分之平均胸徑所求出之胸高斷面積，即爲各林分之胸高斷面積，實際上是否尙需尋求其他因子之關係，尙需進一步加以研究。

5. 林木及林分材積：無論林木及林分材積，均可依 $\log V = a + b \log D + c \log H$ 式求算之，詳細之敘述已見於材積表中。

三、利用迴歸分析方法在其他方面之研究

上述之材積表及收穫表之編製方法僅係屬於林木材積及林分蓄積方面之工作，對於生長，林分組成之測算，自有其大同小異之處，又用於其他方面之研究工作，常爲多因子之迴歸方程式之分析，茲例示說明之如下：

1. 林分組成之研究：林分組成亦即單位面積之林木株數，視林分之林齡及其地位而定，而一林分之地位級通常視其優勢木及次優勢木之平均高而異，故如已知其林分之林齡，及其優勢木及次優勢木之平均高，則其株數與上二因子間之迴歸關係可依下式求出之。

設 A：林分之林齡	A ₀ 爲現在林齡	A ₁ 爲未來若干年後之林齡
N：林分之單位面積株數	N ₀ 爲現在之株數	N ₁ 爲未來之株數
H：爲優勢木及次優勢木之平均高	H ₀ 爲現在之樹高	H ₁ 爲未來之樹高

則一般之迴歸數式爲

$$\log N = a + b \frac{1}{A} + c(\log H)$$

又設林分現在所有林木之株數爲

$$\log N_0 = a + b \frac{1}{A_0} + c(\log H_0)$$

未來林分林木之株數

$$\log N_1 = a + b \frac{1}{A_1} + c(\log H_1)$$

則其若干年後株數減少之迴歸關係當爲

$$\log \frac{N_1}{N_0} = b \left(\frac{1}{A_1} - \frac{1}{A_0} \right) + c(\log \frac{H_1}{H_0})$$

上式宜於若干特殊之研究，對於一般業務上之工作，因其計算費時則不宜採用。

2. 地位指數之研究：一般之地位指數判定係依優勢木及次優勢木之平均高，或依林分單位面積上林木胸高斷面積總數決定之，但在無立木地，或皆伐地選定樹種更新時，則此二法均採用困難，G. R. Trimble 及 Sidney weitzman 氏，曾在北阿伯拉罕山區調查櫟林之地位指數，係依立地之其他因子算定，茲介紹如下：

設 Y = 地位指數之對數

X₁ = 自東南方量度之磁方面角之正弦 + 1. 爲坡向因子

X₂ : 坡面距嶺線距離之百分數

X₃ : 坡度用百分數表示之

X₄ : 土壤深度之例數

$$\text{則 } Y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4$$

上式之迴歸關係確定後，則雖在無立木地亦可查出其某樹種之地位指數，惟在編製時應就立木地先行調查，然後以所得資料，編成各因子之地位指數表，在應用時頗爲方便。

3. 計算製材效率之林木材積表，本表之目的在探求製材材積與原木之製材段數及其直徑大小之間之關係，設

V : 表每株林木材積之立方公尺數

D : 胸高直徑

L : 爲依 4 公尺長度計算之原木段數

$$\text{則 } V = b_0 + b_1D^2 + b_2L + b_3D^2L$$

如每一取樣單位合計爲 n 株之資料則

$$\sum (V = b_0(n) + b_1 \sum (D^2) + b_2 \sum (L) + b_3 \sum (D^2L))$$

又如其製材之日數爲 K，則

$$\sum \sum (V) = b_0 \sum \sum (n) + b_1 \sum \sum (D^2) + b_2 \sum \sum (L) + b_3 \sum \sum (D^2L)$$

上式經計算後，不顯著之迴歸因子可予析出，如是可求出

每日製材材積與林木之製材段數及其胸高直徑之間之關係。

4. 松及潤葉樹混交林型單位面積之立木度之研究，

本研究係調查 420 個松及潤葉樹混交林型之樣區，各樣區且爲完全立木度，以探求立木度對於林齡，優勢木平均高，及胸高斷面積之間之迴歸關係，茲設

B_s = 每單位面積之松樹斷面積總數

B_h = 每單位面積上潤葉樹斷面積總數

H_h = 松樹優勢木及次優勢木之平均高

A = 林齡

Y = 爲立木度 = 100

$$\text{則 } Y = b_1(B_p) + b_2(B_p H_p) + b_3 \left(\frac{B_p}{A} + b_4 + (B_h) + b_5 \left(\frac{B_p H_p}{A} \right) \right)$$

上式解出後，求出 b_1 以迄 b_5 之係數值，則單位面積上之立木度可依胸高斷面積總數，優勢木之平均高以及林齡決定之。

5. 南方松林樹代金對予其他因子之迴歸關係。

影響樹代金之因子甚多，本研究曾搜有關樹代金之因子經歸納之可分以下數項，(1) 林木之大小，(2) 售賣之材積總數量，及其各單位面積之砍伐數量，(3) 砍伐地點距最近公路之距離，(4) 販賣之地點，(5) 販賣時間之長短，根據上述所搜集之資料，則吾人可尋求其樹代金與其他因子間之迴歸關係，設

Y = 每立方公尺之代金

X_1 = 販賣時間之預計

X_2 = 林木之平均大小

X_3 = 每公頃之砍伐材積

X_4 = 距最近公路之距離

$$\text{則 } Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4$$

吾人由以上所示之各例，可窺知迴歸方程式引用於林學研究之梗概，並可察知其進修之途徑，以爲未來工作之參考，惟以上所舉各例，並未將其適用範圍，完全括入，僅足顯示一般之參考而已。

四、建議及改進事項

關於試驗調查技術臺灣在近年來已撮合生物統計之方法，在技術之原則上已奠定未來發展之基礎，惟臺灣年來之工作多側重於實用方法上之探討，缺乏理論上之推研，是以在已知之方法上無法擇其優劣，以求其適合臺灣之地域性，茲就若干問題試做建議如下：

1. 材積表之編製：臺灣已有若干主要之針葉樹造林木編成樹高及直徑級材積表，惟此種表列之材積，在應用時尚需扣除其不能造材部份，即所謂乘以利用率，此種利用率之推算，雖少根據有系統之調查歸納研究，故在計算時常有出入，惟材積表之工作，無論在林業經理上以及林木販賣上均爲極重要之參考資料，應早爲有系統之準備茲就管見所及，約略歸納爲以下各端：
 - a. 標準材積表之編製，臺灣宜就老齡之天然針葉樹，天然闊葉樹，以及針葉樹造林木之材積表，應用迴歸曲線式，除利用樹高及胸高直徑二因子外，並需增加形數 (Form factor) 一因子，或二個以上之因子，期能適用於同一樹種組中之任何樹種，就已知之數式中當以 Meyer 氏之 $\log V = b_0 + b_1 \log D + b_2 \log H + b_3 F$ 最爲簡便，其他尚有 $V = a + b F + CD^2 H + dFD^2 H$ ，以及 $V = a + b FD^2 H$ 二式，在應用時宜先加試驗。
 - b. 用材或製材材積表：除上述之標準立木材積表之外，用材或製材材積表亦應速於準備，在編製此種材積表之先應先根據調查決定製材原木之標準長度，瑕疵或腐朽部份扣算之方法，材積之最小計算單位，凡此種種工作，欲求其周詳完備，自亦較費時日，編製製材原木材積表，尤宜摻入形狀級 Form Class，蓋形狀級較諸形數爲易於測定之故，同一長度，同一直徑級以及同一形狀級之原木其製材材積應相等。
 - c. 地方材積表，既已編製標準立木材積表及製材材積表則各林區，或伐採列區或特定之地區，可編製適宜該地之地方材積表，假定同一直徑級具有平均之樹高及形狀因子，平均之材積則其可由地方材積表中簡易查出以備應用。
 - d. 除上述三種材積表在臺灣爲甚屬必要者外，其他則如林分材積表供照片判釋用之航空調查

材積表等，亦為逐步編製者。

2. 收穫表之編製：在臺灣已編成者為柳杉收穫表，正在編製中者則為琉球松收穫表，及杉木收穫表，唯其取樣設計方法，以及資料整理方法，尙需根據各樹種之調查資料，細加研究，因其林分構造及生態上之關係，各樹種收穫表之資料整理方法應不一致，對收穫表各要項之實驗式，應加試驗，以便應用。
3. 林木生長及林分生長之研究，關於林木生長及林分生長，應根據測樹學之理論及實驗式，探求林木生長之與樹種及直徑級之關係，林分生長與林分級及立木密度之迴歸關係，對於小徑木之長成爲大徑木時，其材積之增加情形，以及林分組成之變異等，爲森林經理上年伐量決定之重要因素。
4. 應用迴歸方程式以研究其他林業或林學上之問題，例如在造林上；種子萌芽與時間長短之關係，苗木成活率與苗齡之關係等，測樹上林齡樹高與胸徑間之關係，在林業經濟上之勞力與投資及效果之關係等，均爲今日歐美各國研究之趨勢，吾人應悉心研討之。

結 論

臺灣潤葉樹林型，被覆面積廣袤，樹種繁雜，木材利用問題，固須有待進一步之研究，對於潤葉樹林之經營，林相之改良，甚且及林地之變更利用，亦每少具體之參考資料，本文內所列之方法，係參酌美國成法，擇其華且大者，略予說明，以供臺灣林業家之採擇實行，惟其適用之範圍，適用之程度，以及對於費用之經濟與否，仍有賴試驗確證少臺灣土地利用及森林資源調查之航測資料，林型調查資料等雖非針對潤葉樹林加以研究者，但其內容凡涉及潤葉樹林之處，均足資參考，在天然潤葉樹林之經營上，對於林型之確認與區別，改良林相或變更林型抑或對於林地之改變利用等，均屬應予連續試驗觀察者，對於非經濟樹木或瑕疵樹木之清除與處理方法，其適用之季節，劑量以及效果等雖屬枝節，亦應細爲試驗觀察之。

生物統計之原理應用於林業試驗調查上，可判明所獲結果之準確性以爲推廣之依據，而迴歸分析在調查資料之整理上，尤屬淺顯易明，對於多因子之試驗調查，應用變方分析方法感覺繁重者，尤屬便當，故特在本文中略予介紹，以供方家之探討。

本文中所列之兩項問題，仍屬綱領性質，未爲進一步之探討，尙希海內先進有以正之。

參 考 文 獻

- (1) Recommended Timber Stand Improvement Practices in Northern Hardwoods-Hemlock on the Allegheny plateau A. F. Hough. 1938
- (2) Cutting Practices for the Carolinas Society of American Foresters 1945
- (3) Forest Mensuration Donald Bruce and F. X. Schumacher 1950
- (4) Forest Inventory Stephen H. Spurr 1952
- (5) Desirable Cutting Practices for North Carolina Forests N. C. Forestry association 1954
- (6) 臺灣森林資源之經理 劉廣孝 1956
- (7) 臺灣森林帶及重要樹種之分佈 林業試驗所推廣專刊第 14 號 1957

ENGLISH SUMMARY OF RECOMMENDATION

Taiwan's forest resources constitute an important aspect of its economy, not only in furnishing adequate supplies of forest products for its people, to produce fuel and for its mines, to equip its communication and transportation but also in protecting its watersheds and its rugged land free from soil erosion.

Of the total land area of Taiwan, 55.1% or 1,969,500 hectares are forested, of this, the over mature natural forests, which contain coniferous species distributed over an area of 200,000 hectares between 2,000 and 3,000 meters in elevation, are much needed for regulation of cutting and regeneration. The tropical and subtropical hardwoods which grow most low commercial species need to be improved, moreover, the main job of watershed management and the continuous inventory of timber resources should be taken in consideration.

The writer has been a trainee under a grant in aid from ICA, USA, and has studied in many forest experiment stations in USA; Some technical problem, with relation to Taiwan forest have been collected. The regulation of cutting and regeneration of natural forest, the improvement and management of tropical and subtropical hardwoods, the development of yield and growth study of major species, soil and water conservation study and watershed management problem have also been considered.

In order to make an available suggestion, the writer denotes the detail method on the point of hardwoods improvement and the advanced study of forest mensuration problems in this report.

I. IMPROVEMENT AND MANAGEMENT OF HARWOODS.

Of the total forested land of Taiwan, approximately 1,430,000 hectares are of hardwood types, which covers from lower to higher elevation, The low value commercial hardwoods occupied a larger area of space and produced timbers are easy to decay. Hence, the detail classification of forest types, the control of undesirable species, the mangement of commercial hardwoods, and the different methods of cutting practice will be a great helpful to Taiwan hardwood forest. The hardwood forest in Taiwan should be carried on a modest program of timber stand improvement which consist mostly of clasification of snperior and inferior species, removal of weed species, releasing more valuable forest growth from over story, investigation of site index of main commercial hardwood species and conversion of the non-commercial hardwood types. Some comments will be included in this recommendation.

Recommendation of management and improvement of hardwoods.

1. Advanced classification of hardwoods forest types shold be completed:

Three major forest types have been classified for Taiwan hardwoods. For calculating

of hardwood timber resources, tropical subtropical and temperate hardwood types have been classified in the project of Taiwan forest resources survey mainly on the elevation basis; But for hardwood management purpose, a more detail forest types for Taiwan hardwood should be classified.

2. Superior and inferior tree species should be acknowledged within each hardwood type, The superior tree species are suggested basing on a classification of tropical, subtropical and temperate hardwood types:

a) For tropical hardwood type: The tropical hardwoods distribute within an elevation below 600 meters, the superior species may be considered as:

<i>Paulownia kawakamii</i> Ito.	<i>Cinnamomum micranthum</i> Hay.
<i>Diospyrus utilis</i> Hemsl.	<i>Cinnamomum Camphora</i> Sieber
<i>Schefflera octophylla</i> Harms.	<i>Pistacia chinensis</i> Bunge
<i>Bischofia javanica</i> Blume	<i>Sapium sebiferum</i> (L) Roxb.
<i>Acacia confusa</i> Merrill	<i>Machilus Kusanoi</i> Hay.
<i>Ulmus parvifolia</i> . Jacq.	<i>Swietenia</i> spp.
<i>Zelkova formosana</i> Hay.	<i>Michelia formosana</i> Masam.

b) for subtropical hardwood type: The subtropical hardwoods distribute within an elevation from 600-2,000 meters. The superior species may be considered as:

<i>Machilus arisanensis</i> Hay.	<i>Lilhocarpus Kawakamii</i> Hay
<i>Machilus Thunbergii</i> s et Z.	<i>Castanopsis Kawakamii</i> Hay.
<i>Quercus gilva</i> Blume	<i>C. longicaudata</i> Kaneh et Hatus
<i>Actinodaphne nantoensis</i> Hay.	<i>Cinnamomum Camphora</i> Sibe.
other <i>Quercus</i> spp.	other <i>Lithocarpus</i> spp.
other <i>castanopsis</i> spp.	other <i>machilus</i> spp.

c) For temperate hardwood type: The temperate hardwoods distribute over an elevation of 2,000 meters, the superior species may be considered as:

<i>Trochodendron aralioides</i> S. et Z.	<i>Quercus Morii</i> Hay.
<i>Sassafras randaiensis</i> Hend.	<i>Lithocarpus Kawakamii</i> Hay.
<i>Castanopsis longicaudata</i> Kaneh. et Hatus.	<i>Litsea dolichocarpa</i> Hay.
<i>Alnus formosana</i> Makimo	

3. Site index or site class of major hardwoods should be estimated basing on topographic and soil factors: Estimating of hardwood site index or site class is the basis of choice of species for regeneration of hardwood forest, variables have a major influence on site index are estimated as: (1) aspect or compass direction faced by the plot; (2) position of the site on the slope, i. e., distance from the ridge line; (3) grade or slope percent of the land; and (4), total soil depth to rock, method should be used and the result will be served for hardwood forest improvement.

4. In order to reach the goal of timber stand improvement of hardwood forest, a minimum research work of cutting practice study should be developed as soon as possible. to encourage natural restocking of forest land, to keep species grow in a better condition, the following articles will be suggested for hardwoods studies.

a) After the major and the minor hardwoods types have been classified, the available cutting practice should be designed according to the special forest type. methods should be studied intensively.

b) The seed tree method, shelter wood method, single tree or group selection method should be practiced for different forest types, The best method should be kept in mind after a suitable method had been derived.

c) Different cutting practice and stand improvement methods should be derived for young growth, second growth or old growth stand, the stand size or crown density class also should be considered.

(1) young growth stand: Removing trees overtopping the selected crop trees, pruning should be made on well stocked stand, and treatment of stump to eliminate or reduce sprouting should be made; For under stocked stand, inter-and under planting should be operated.

(2) Second growth stand: Thinning and improvement cuttings should be practiced on a well stocked and sound stand, sanitation and salvage cuttings should be made on lightly and severely damaged stand, liberation cuttings could be operated for special forest type or species. A definite plan for stump treatment should be made for immature stands of second growth which have been clear cut.

(3) Old growth stand: The final harvesting of old growth or mature second-growth stands and their replacement by desirable young growth is not usually thought as a stand improvement operation. Partial cutting system, shelter wood method, and clear cutting should be made for certain forest type.

(4) If young growth, second growth or old growth cannot be classified or not available, using of a stand size class plus crown density class will be available.

d) Using of chemicals for controlling inferior species or removing undesirable trees should be compared with labor operation and the results should be analyzed.

(1) Ammate, 2,4-D, and 2,4,5-T are the common chemicals to be used for controlling inferior species, some research work should be designed according to their spraying method, time, quantity and their effective to different species.

(2) Method of using chemicals as foliage sprays, notches, frills, basal sprays, and stump treatment method should be compared in different stand conditions.

(3) The cost of controlling inferior species by using chemicals or by laborers should be compared on economical basis.

5. The research projects which will be carried and for finding the the optimum method of hardwoods improvement, hardwood control, forest type conversion etc should be studied intensively.

6. The hardwood timber market and their economic condition should be investigated and analyzed.

II USING OF REGRESSION ANALYSIS IN FOREST STATISTIC

In order to construct the volume and yield tables of major commercial species in Taiwan, the modern statistics techniques have been introduced and applied in forest mensuration; In fact, as Prof. F. X. Schumacher says "The mathematical statistics has widened the horizon of forest mensuration. It has not only supplied the scientific method to investigations of volume, growth, and yield, but it has also carried concepts developed in mensuration over into other branches of forestry, such as management, influences, economics, products, soils, and the range."

For the further study of advanced mensuration, in terms of regression analysis to be applied in studying volume, growth and yield of Taiwan timber, the following suggestion will be held in this report:

1. Construction of volume table should be prepared with modern statical and mathematic technique: Volume tables should be prepared for different specirs or species groups, different kinds of volume table should be used for different purposes.

a) Construction of standarad volume table: Four factors—tree height or length dbh, form factor or form class—should better be considered, Meyer's formula $\log V = a + b \log D + c \log H + d F$ will be the best formula to be used.

b) Volume should be classified into tree volume, sawlog portion, upper stem portion, pole or saw timber sizes, in case, we can get the accurate volume for different using purposes.

c) Construction of local volume table should be prepared for any special study or regional survey purpose.

2. Construction of yield table for major commercial species should be continued the method of construction of yield table should be based on a new statistic technique.

3. The growth study stand composition study and stand volume study should be developed.

4. Using the Regression analysis to the other brahch of forestry will get the experimantal analysis purpose.