

樹木碳匯調查概述

邱祈榮



臺灣大學森林環境暨資源學系
臺灣大學生物多樣性研究中心



教育部氣候變遷教育推動計畫



環境部首屆環境影響評估委員
環境部抵換專案及自願減量專案審議委員



國際氣候發展智庫學會理事長



National Taiwan University
臺灣大學森林環境暨資源學系

- 可量測 Measurement
- 可報告 Reporting
- 可驗證 Verification

森林測計

森林調查技術
蓄積量與生長量

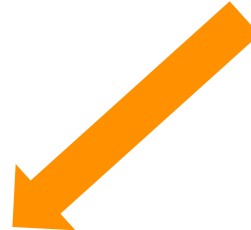
1



森林碳匯

碳儲存量與碳吸存量

2



碳權專案

查驗證機制及外加性
可交易碳量

4

碳盤查

國家清冊與組織碳盤查
查抵減查驗證機制

3

說明主題

- 單木測計 林分調查 資源調查（地景）
- 調查與監測

生物層級	空間層級	時間層級	環境層級	區域名稱
社會	地景	社會演替	緯度、海拔、氣候	生態區域單元
族群	林分	族群動態	方位、地形	地景單元
個體	單木	生活史	土壤、微環境	基地單元



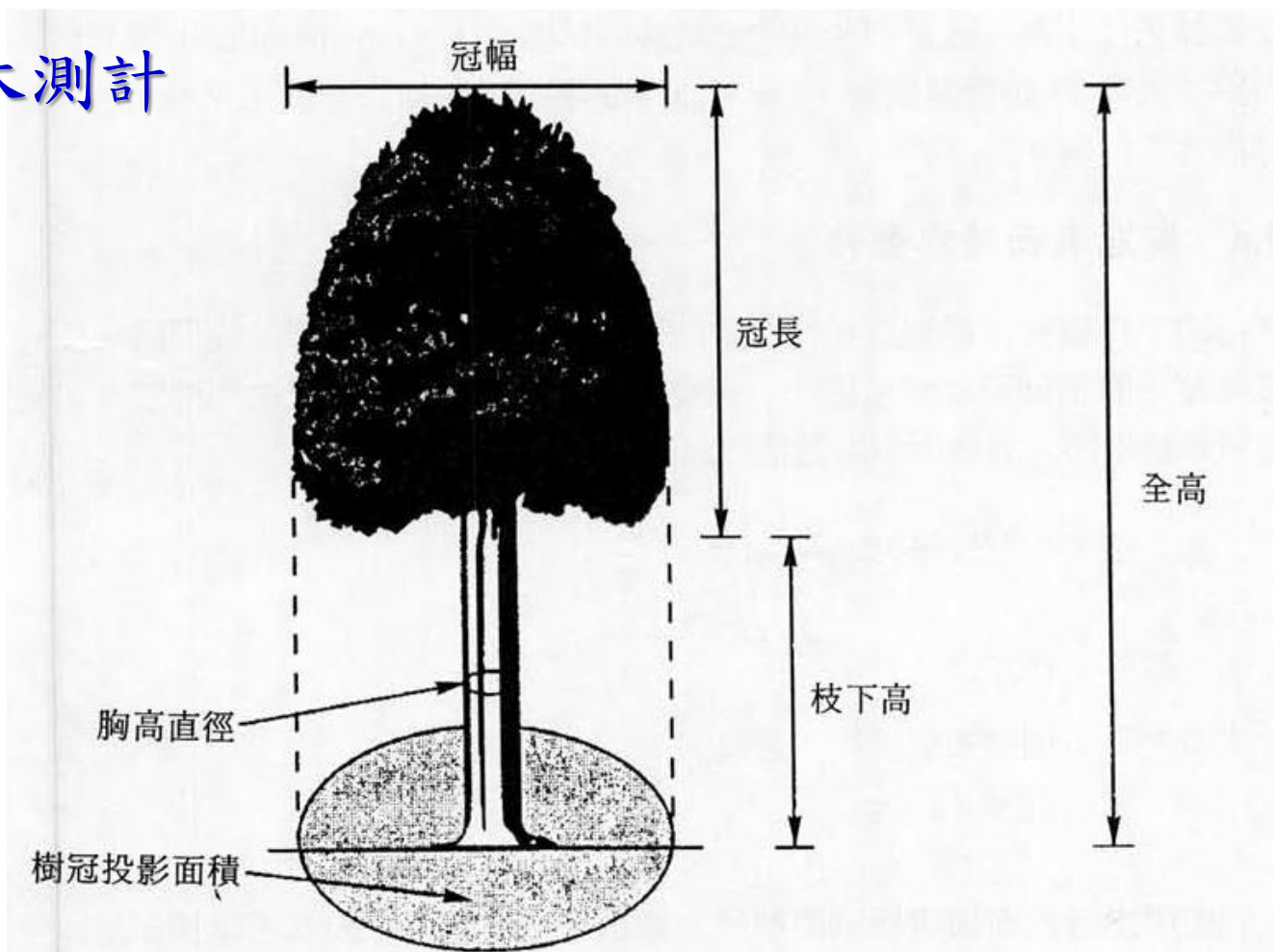
單木測計

- 形態特徵
- 物候變化
- 分類學名
- 大小樹形
- 生長變化
- 重量密度
- 含碳比例

- 伐倒木：圓材直徑、圓材長度、圓材材積、重量、樹皮材積…等。
- 立木：胸高直徑、上部直徑、樹冠直徑、樹高、立木材積、立木材積表、胸高形數、樹幹各段材積比、樹冠（冠幅、冠長、表面積）。

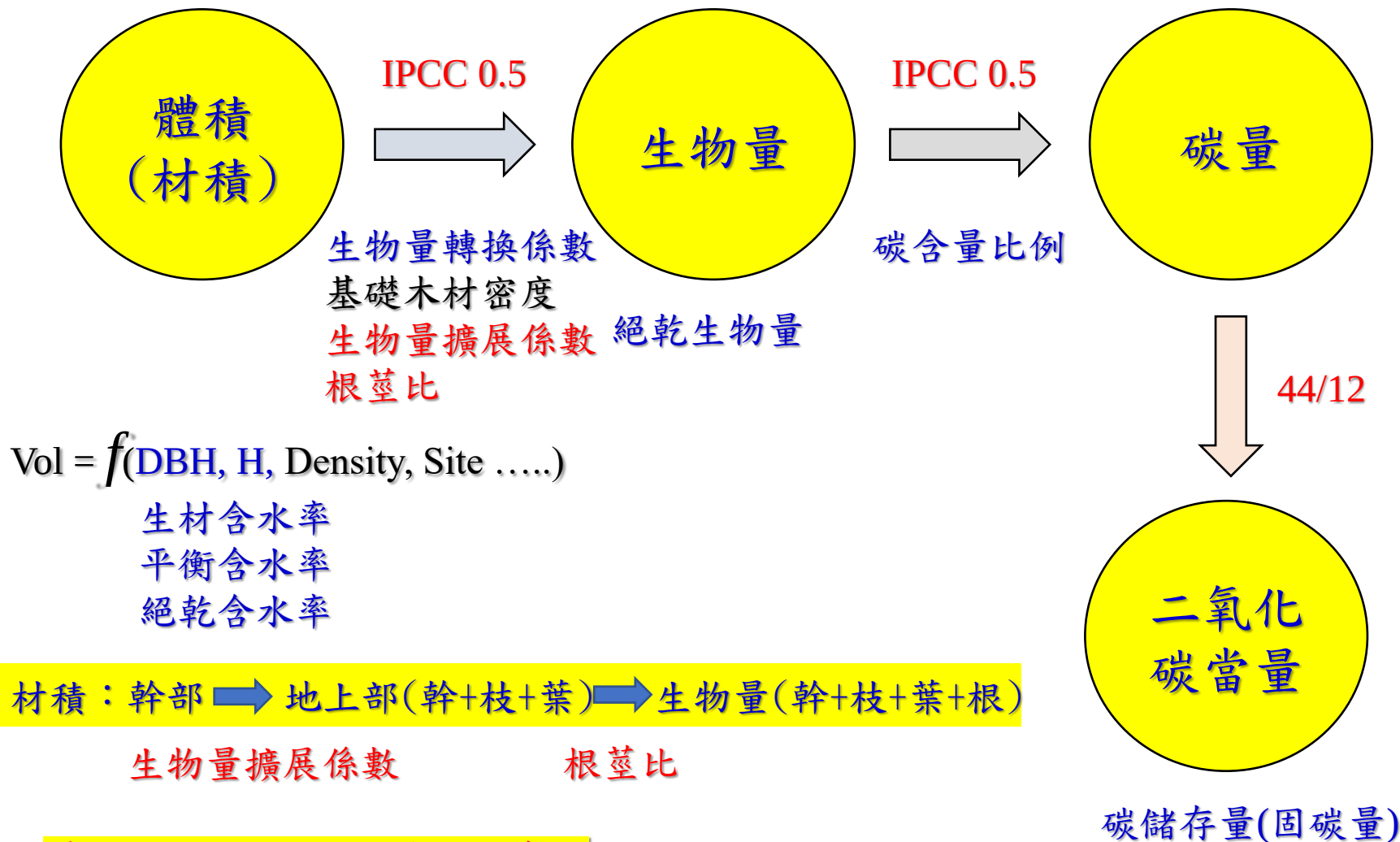


單木測計



空間維度	樹木調查項目
零度空間	樹種、樹形、形數、健康狀態、GPS座標
一度空間	胸徑、樹高、冠高
二度空間	胸高斷面積
三度空間	材積
比重	密度、生物量
碳含量	碳量

樹木碳匯計量方法：碳儲存量(總蓄積) VS 碳吸存量(生長量)



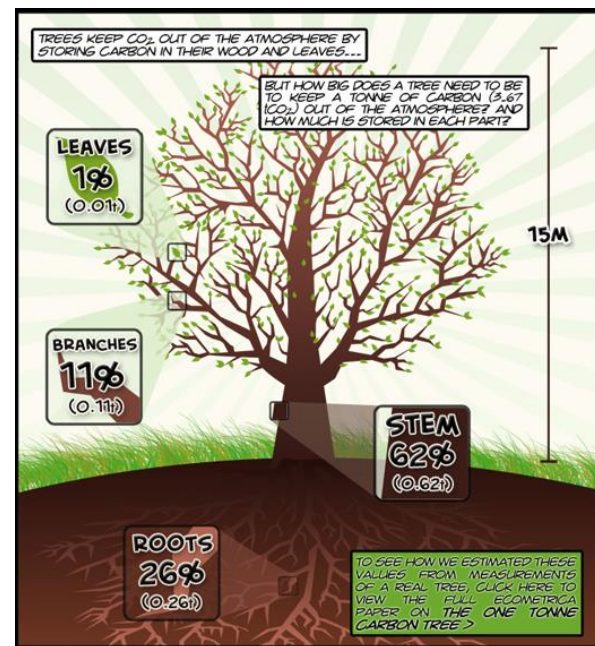
- ❖ 單期樹木總固碳量稱為碳儲存量
- ❖ 兩期碳儲存量變化量即為兩期間碳吸存量(生長量)

碳儲存量

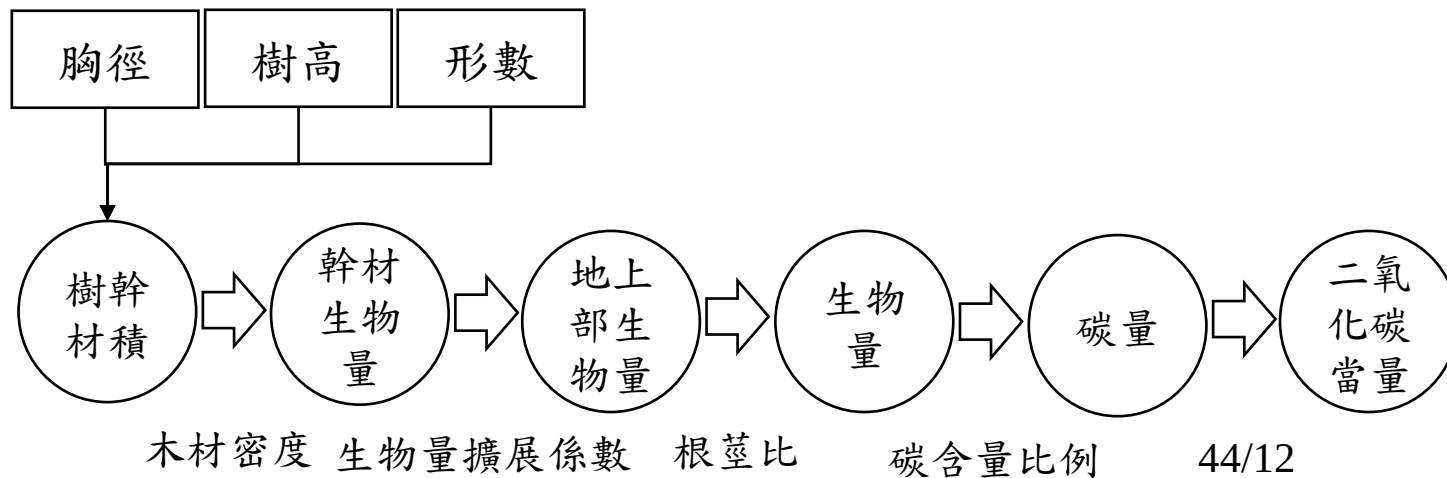
$$C = V \times D \times BEF \times (1+R) \times CF$$

C	林木每公頃碳貯量(公噸-碳)
V	每公頃林木材積(m ³ /ha)
D	基礎木材密度(公噸/m ³)
BEF	生物量擴展係數，林木生物量與地上部生物量之轉換係數
R	根莖比，全株材積與幹材材積的轉換係數，即地上部生物量與地下部生物量之比例
CF	碳含量比例，即乾物(dry matter)的碳含量轉換係數(預設值為0.5) (公噸-碳/公噸-乾物)

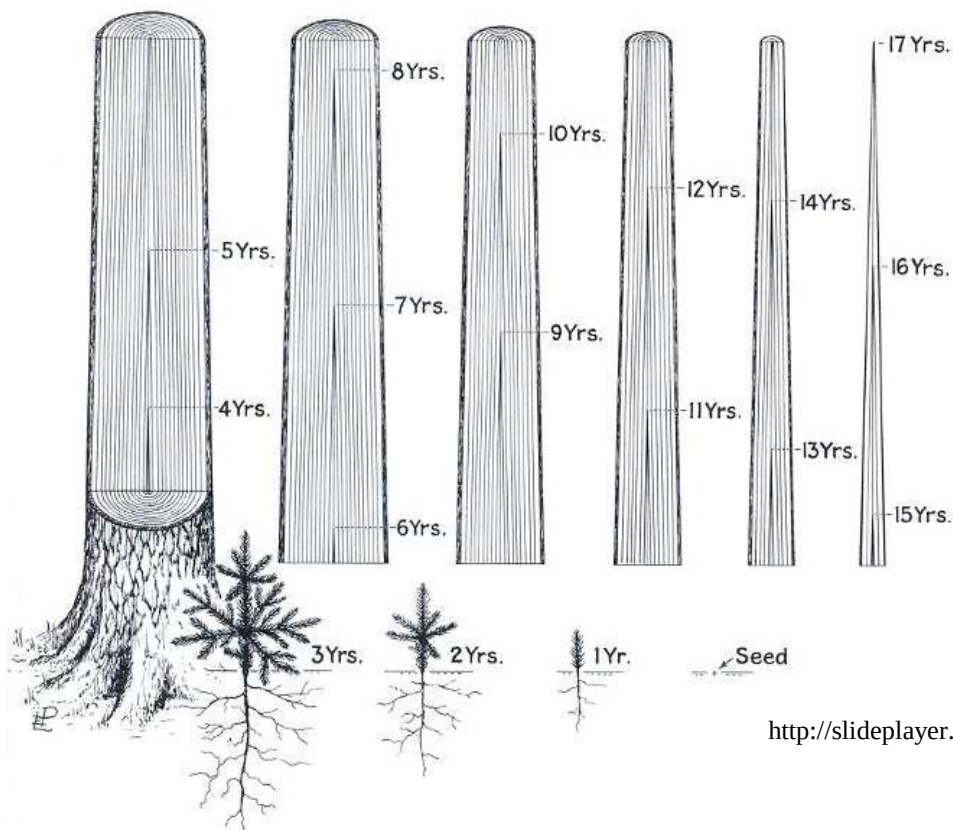
- IPCCIPCC 2006 Guidelines 中公佈「生物量轉換與擴展係數」(**BCEF**)，為了配合以材積為主要測量對象的森林調查方法，並簡便估算過程，將原來的生物量擴展係數(BEF)和基礎密度(D)合併，亦即以BCEF係數來取代BEF和D的乘積，直接將材積轉換成生物量



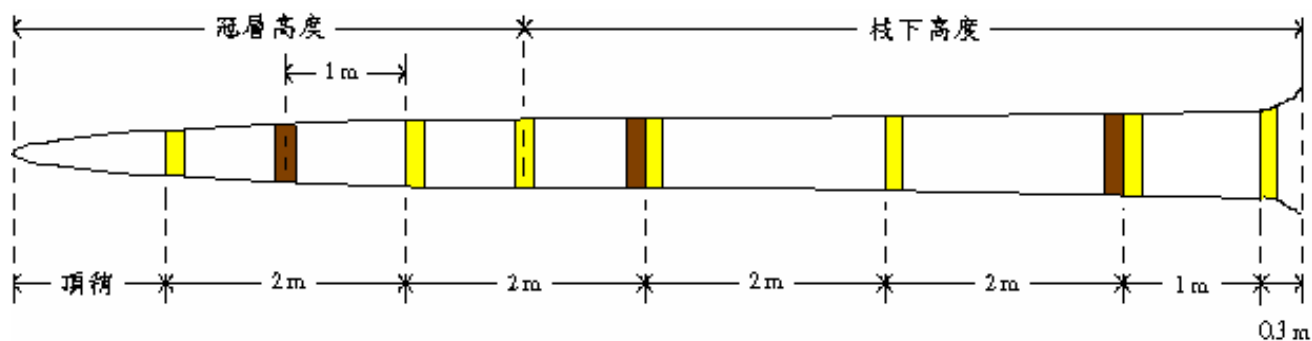
樹木碳匯估算程序



樹幹解析



<http://slideplayer.com/slide/3434034/>



■ 乾鮮比取樣圓盤厚3-5 cm

■ 樹幹解析取樣圓盤厚3 cm

倒木材積估算

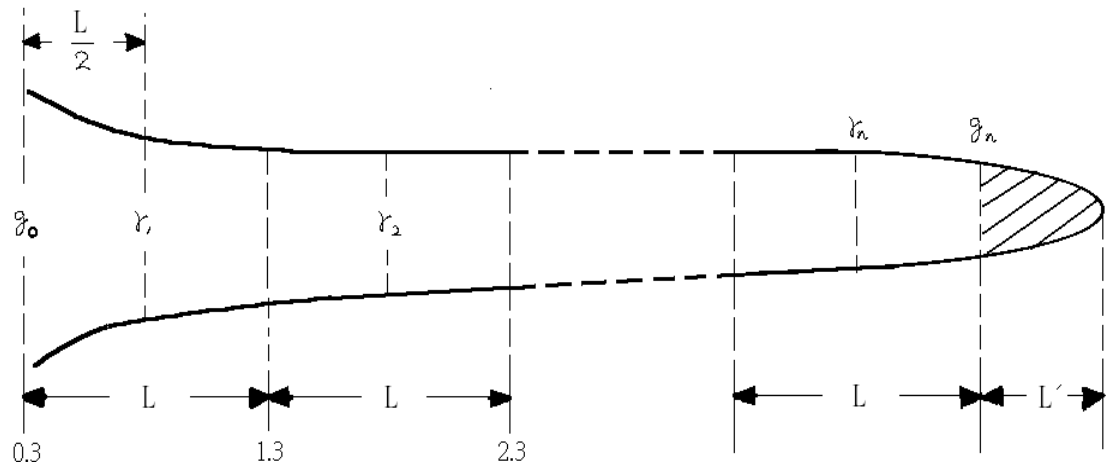
●Huber公式區分求積法

- 將全幹自根端等分成一定長度之若干個區分，測定各區分之中央斷面積 $r_1, r_2, \dots, r_{n-1}, r_n$ ，如圖所示，全材積 V 之計算如下：

$$V = (r_1 + r_2 + \dots + r_{n-1} + r_n) L + V_t$$

V_t 為梢端材積，其形狀近似圓錐體，可由下列公式計算之：

$$V_t = 1/3 \times g_n \times L'$$

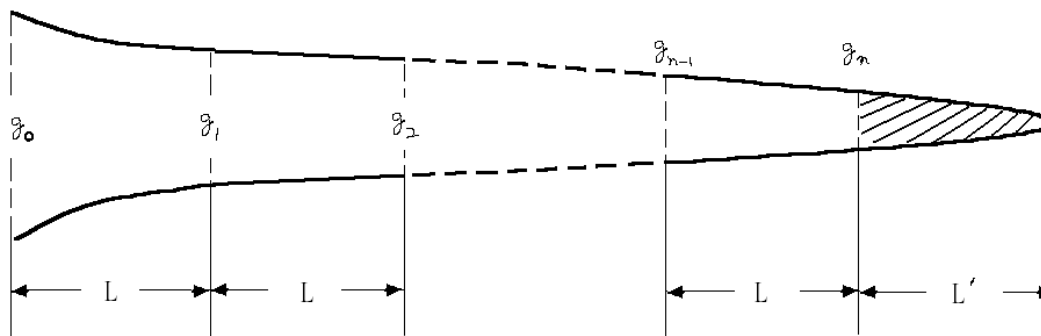


Smailian公式區分求積法

- 將全幹自根端按一定長度 L 等分，各區分之兩端斷面積為 $g_0, g_1, \dots, g_{n-1}, g_n$ ，如圖所示，全材積 V 之計算如下：

$$V = ((g_0 + g_n)/2 + g_1 + g_2 + \dots + g_{n-1}) L + V_t$$

$$V_t = 1/3 \times g_n \times L'$$



不同高度斷面圓盤

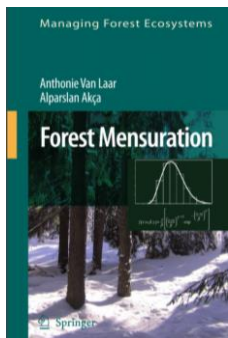
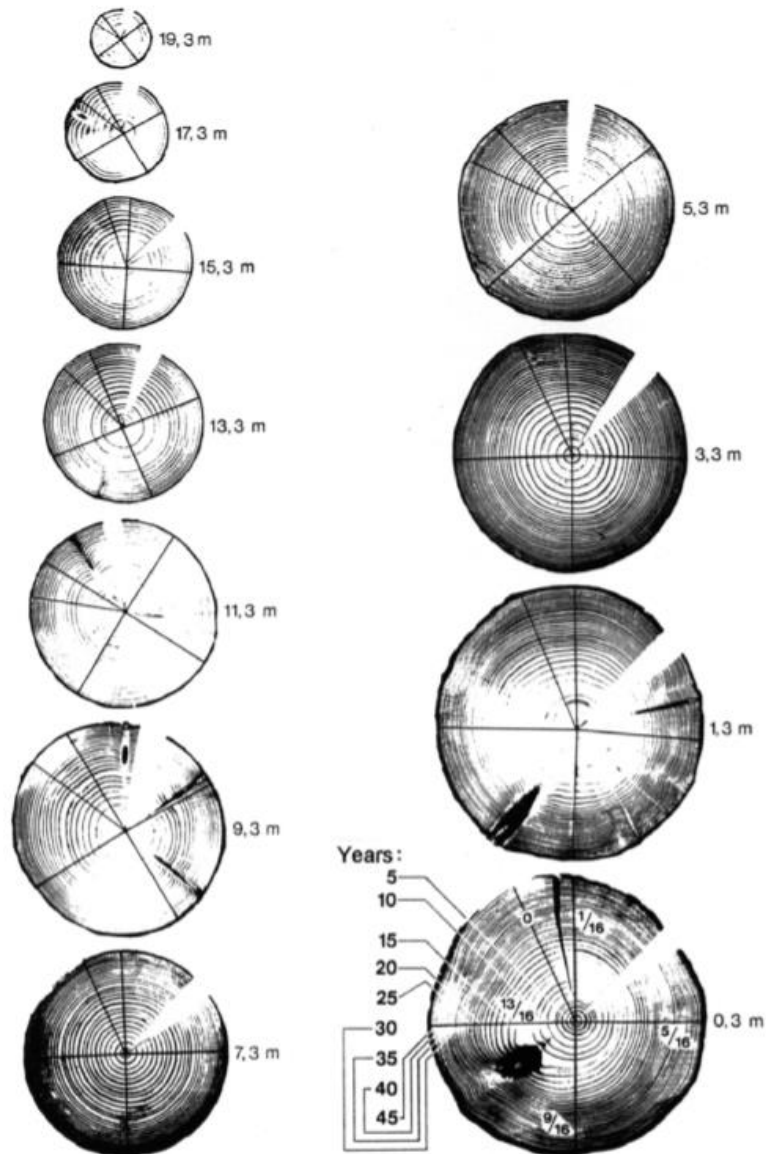


Table 9-1. Summary of diameter and height records

Disc No.	No. of rings	Disc height (m)	Under-bark diameter(cm) at age									
			5	10	15	20	25	30	35	40	45	48
1	44	0.3	0.8	4.10	8.81	12.44	14.05	15.56	17.10	18.45	19.64	19.94
2	40	1.3		1.30	7.44	11.54	13.41	14.95	16.30	17.44	18.37	18.57
3	38	3.3			4.76	9.20	11.35	13.33	14.83	15.93	16.75	16.90
4	35	5.3			1.47	6.55	9.26	11.75	13.56	14.83	15.70	15.80
5	31	7.3				2.55	6.19	9.49	12.40	13.72	14.75	14.85
6	28	9.3					3.50	7.47	10.57	12.60	13.85	14.35
7	24	11.3					0.59	4.84	8.48	11.10	12.72	13.20
8	20	13.3						1.23	4.81	8.32	10.61	11.30
9	15	15.3							1.12	5.36	8.47	9.55
10	11	17.3								1.93	5.77	7.30
11	7	19.3									2.31	4.35

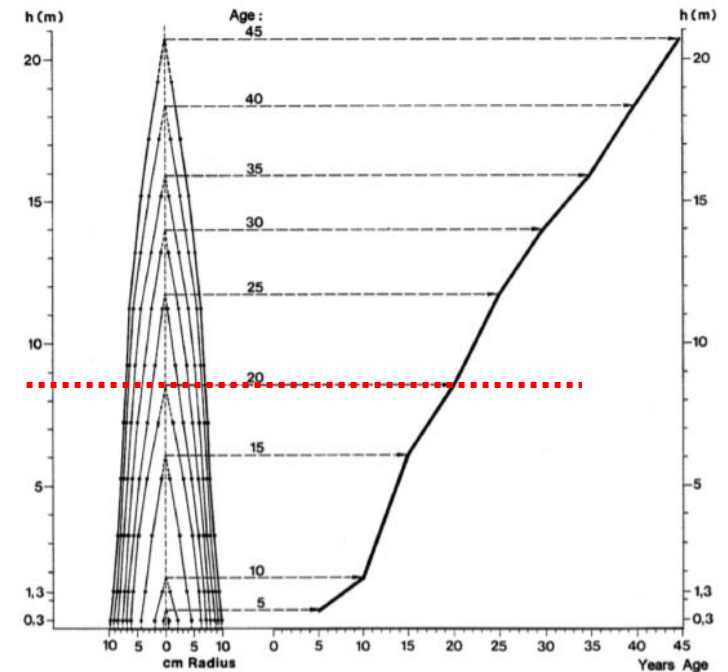


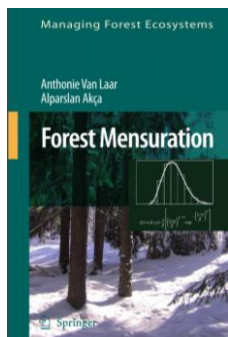
Table 9-2. Summary of growth estimates

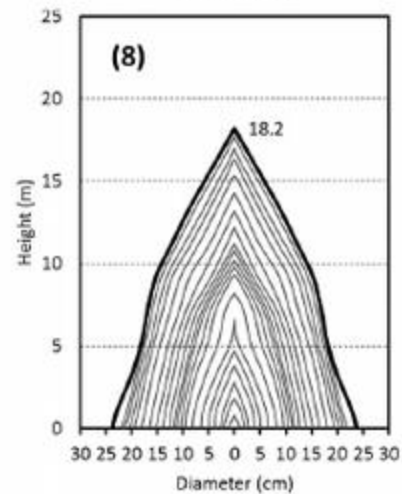
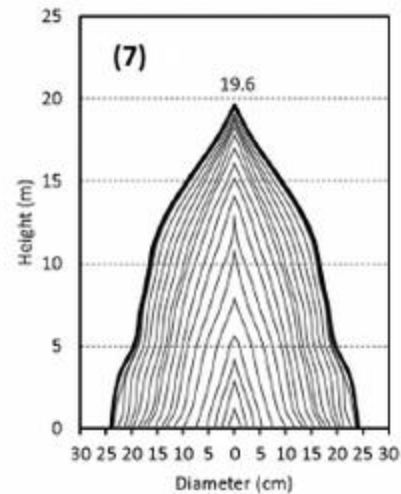
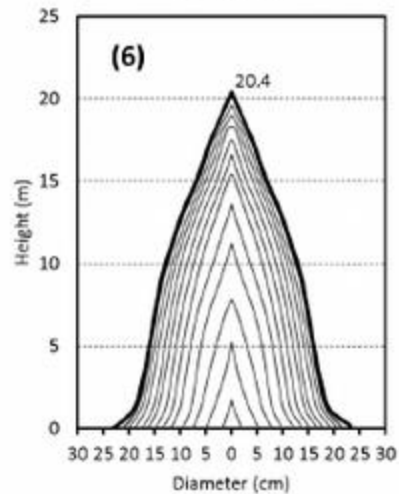
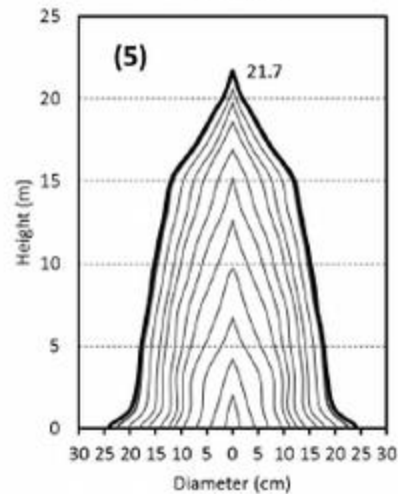
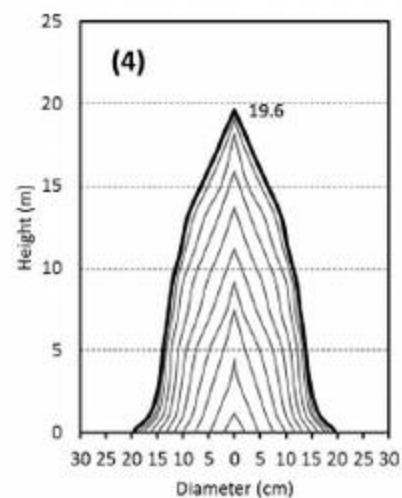
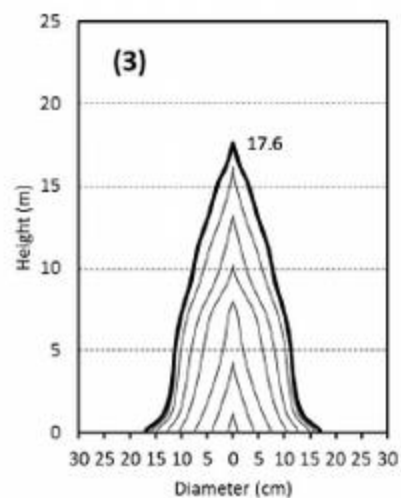
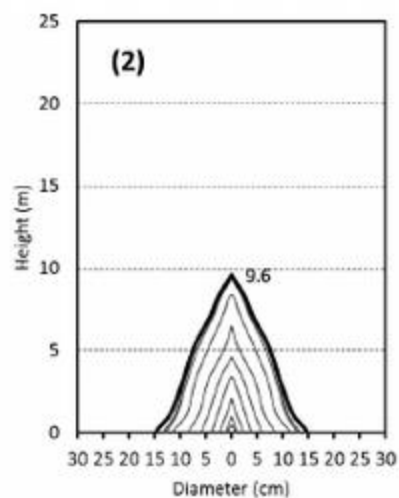
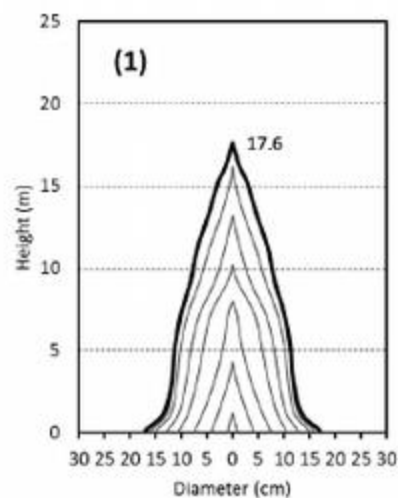
Age	dbh*	i_d	g	i_g	h	i_h	V	i_v	f	Δf	fh	Δfh	h/dbh
	(cm)	(cm)	(m ²)	(m ²)	(m)	(m)	(m ³)	(m ³)	—	—	m	m	—
10	1.30		0.0001		1.8		0.0009		5.000		9.00		—
		6.14		0.0042		4.2		0.0166		-4.322		-4.93	
15	7.44		0.0043		6.0		0.0175		0.678		4.07		81
		4.10		0.0062		2.6		0.0274		-0.181		0.20	
20	11.44		0.0105		8.6		0.0449		0.497		4.27		75
		1.87		0.0036		3.1		0.0460		0.054		2.18	
25	13.41		0.0141		11.7		0.0909		0.551		6.45		87
		1.54		0.0035		2.3		0.0109		-0.138		-0.67	
30	14.95		0.0176		14.0		0.1018		0.413		5.78		94
		1.35		0.0033		1.9		0.0645		0.087		2.17	
35	16.30		0.0209		15.9		0.1663		0.500		7.95		98
		1.14		0.0030		2.5		0.0525		-0.002		1.21	
40	17.44		0.0239		18.4		0.2188		0.498		9.16		106
		0.93		0.0026		2.2		0.0488		-0.008		0.93	
45	18.37		0.0265		20.6		0.2676		0.490		10.09		112

*dbh = under-bark diameter

Table 9-3. Absolute and relative diameter growth at different heights

Diameter growth for 5-year period												
H (m)	15–20		20–25		25–30		30–35		35–40		40–45	
	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)	(cm)	(%)
0.3	3.63	86	1.61	86	1.51	98	1.54	114	1.35	118	1.19	128
1.3	4.10	100	1.87	100	1.54	100	1.35	100	1.14	100	0.93	100
3.3	4.44	108	2.15	115	1.98	129	1.50	111	1.10	96	0.82	88
5.3	5.08	124	2.71	145	2.49	162	1.81	134	1.27	111	0.87	94
7.3			3.64	195	3.30	214	2.55	189	1.68	147	1.03	111
9.3					3.97	258	3.10	230	2.03	178	1.25	134
11.3					4.25	276	3.64	270	2.62	230	1.62	174
13.3							3.58	265	3.51	308	2.29	246
15.3									4.24	372	3.11	334
17.3											3.84	413
19.3												





材積 (Tree Volume)

胸高直徑² × 0.79 × 樹高 × 形數

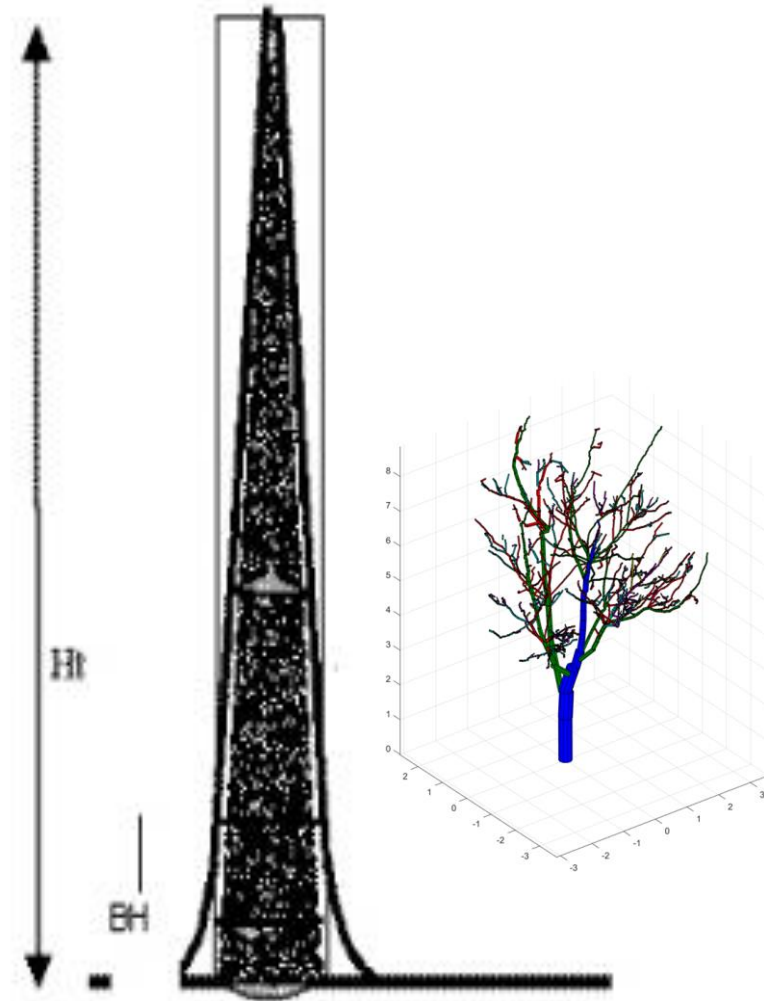
針葉樹形數0.40-0.55

闊葉樹形數0.40-0.53



胸高形數

樹木實際材積與胸高直徑為圓
配合樹高形成圓柱體的比例



材積式

IPCC以胸徑與樹高來估算

● 胸高直徑² × $\pi/4$ × 樹高 × 形數 $\pi/4 \sim 0.79$



V：材積(cm^3)

$$\begin{aligned} &\longrightarrow (51)^2 \times 0.79 \times 979 \times 0.4 \\ &= 804,655 \text{ cm}^3 \\ &= 0.8 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

樹高:347cm
胸徑:24.5cm



樹圍與胸徑量測



胸高直徑量測方法比較

項目	輪尺法	直徑捲尺法
長度限制	具有固定長度，必要時須更換不同尺寸之輪尺	較不易因樹幹橫斷面過大而有超出最大刻度之情形
操作性	操作較為簡便，只需將輪尺與樹幹相切即可測定	量測時不易將捲尺貼齊樹幹，使得量測值常較大
準確性	可避免樹幹橫斷面形狀不規則所造成之誤差，量測時可由多個面向量測再求平均	樹幹橫斷面多非正圓形，所求斷面積常較實際值為大，不如輪尺可以從數個方向測定求平均
量測時間	費時較少	費時較多



胸徑量測定位桿

為配合未來生長監測需要，本次調查需要確定在樹高1.3公尺處加以測定，正常情況下，統一規範站在樹木正南側，面對北向對樹木進行測定。為確保在位於樹木南側，可準備一支1.3公尺長的測定桿，在桿端配有15cm的橫向短桿，桿子上配有羅盤及水平儀，方便在測量時輔助尋找方向。









量測數據-胸徑

量測時先使用定位桿確定高度與方位



量測數據-胸徑

A、B：一般於平坦地形量測時的位置

C、D：當遇見分叉木(**Fork tree**)時

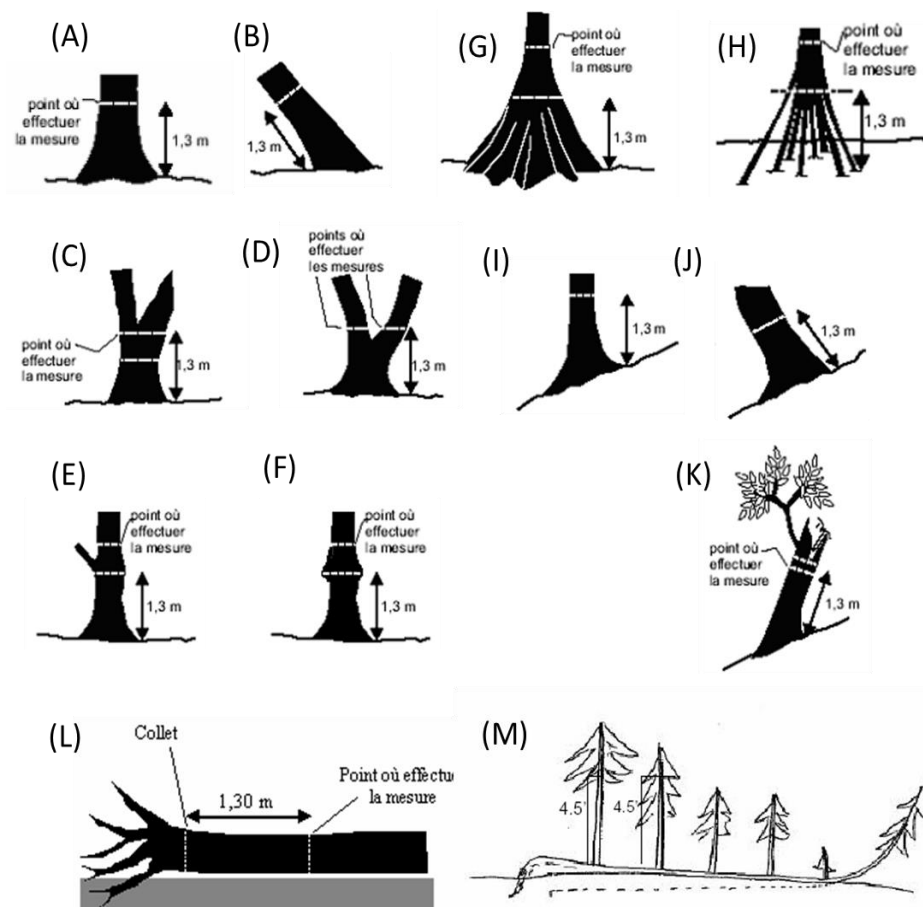
E、F：在1.3 m處有不規則樹幹型態，例如分枝造成膨大，凹陷、傷口、腫瘤突起等情形

G、H：當量測的樹木有高而隆起的根張或是板根時

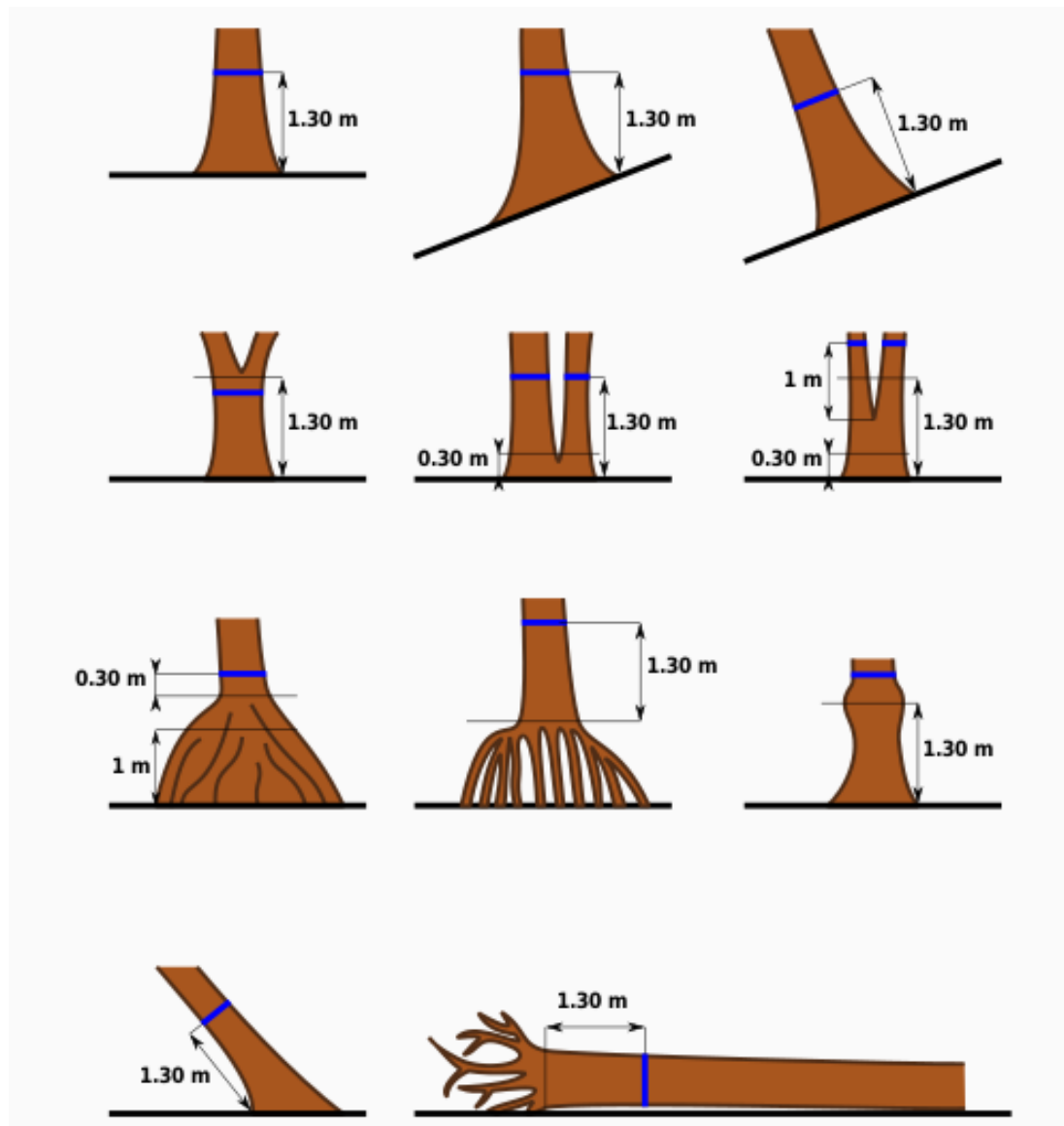
I、J、K：當樹木位於傾斜的地形上

L：當樹木可能因為風害而倒在地面時

M：當樹木倒伏過久，生成豎琴狀型態



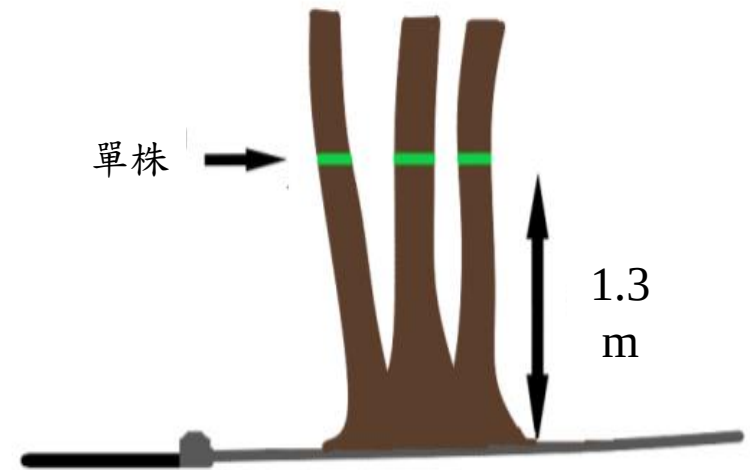
不同生長情形下胸高直徑測量位置



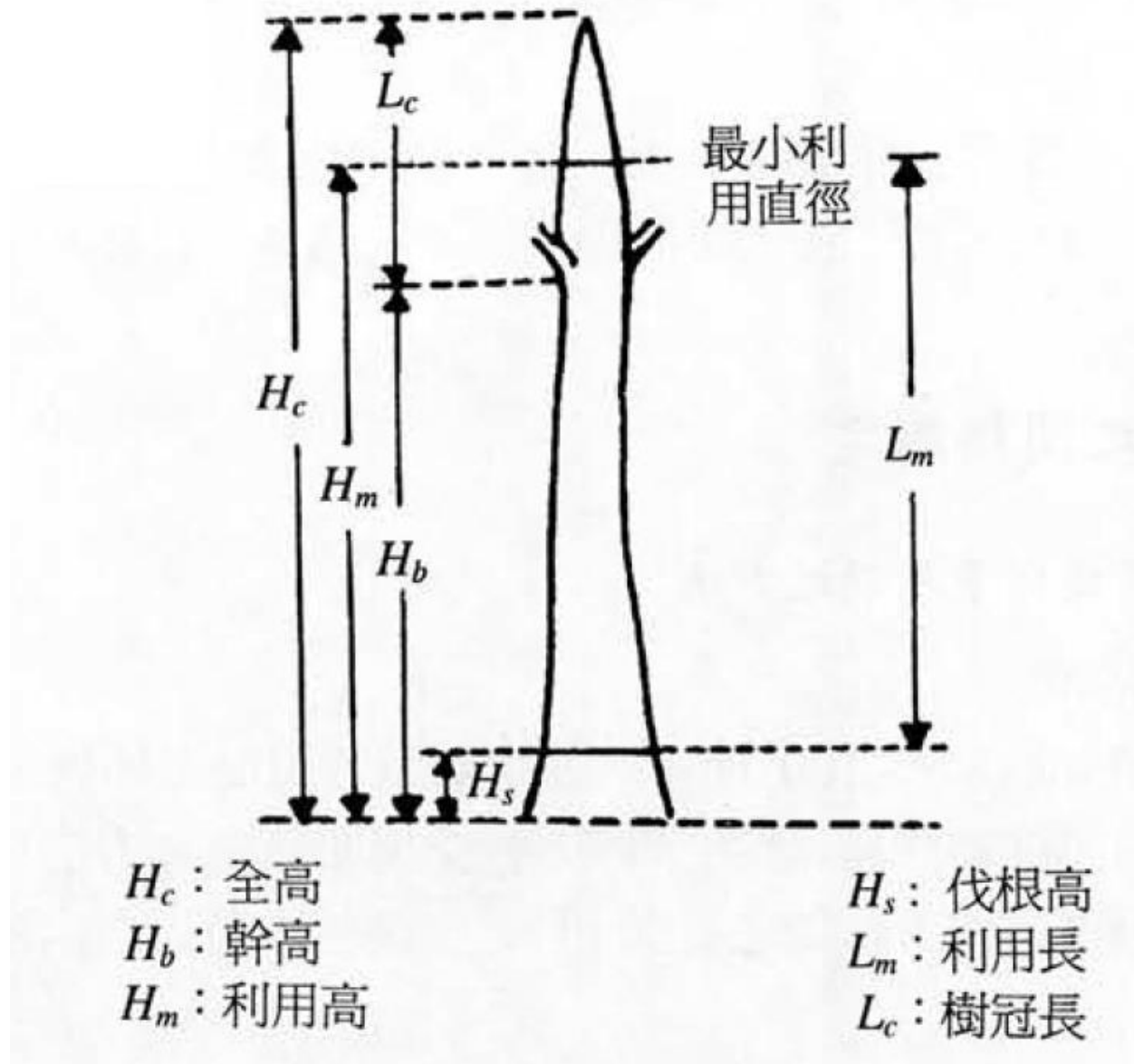
叢生多株的測量方式

1.3 m 以下分叉或叢生多株的統計方式依目的有所不同，在林業上常用的測計方式為記錄成數株林木，如左圖計算分叉木或叢生多株的狀態，其將每個單株分別測定後，先將各DBH值平方相加後，取其平均值再開平方根。計算公式如下：

$$DBH = \sqrt{(DBH_1^2 + DBH_2^2 + DBH_3^2)/3}$$



樹高及幹長之類型



A



B



C



測高桿



<http://www.wenchang.com.tw/cetacean/front/bin/ptdetail.phtml?Part=FS->



<http://e-info.org.tw/node/97579>

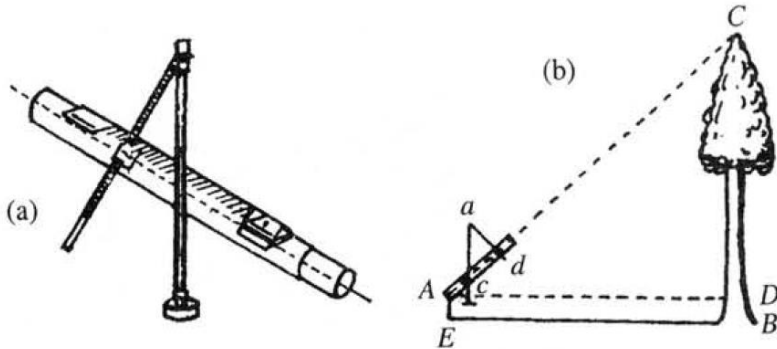


測量樹高



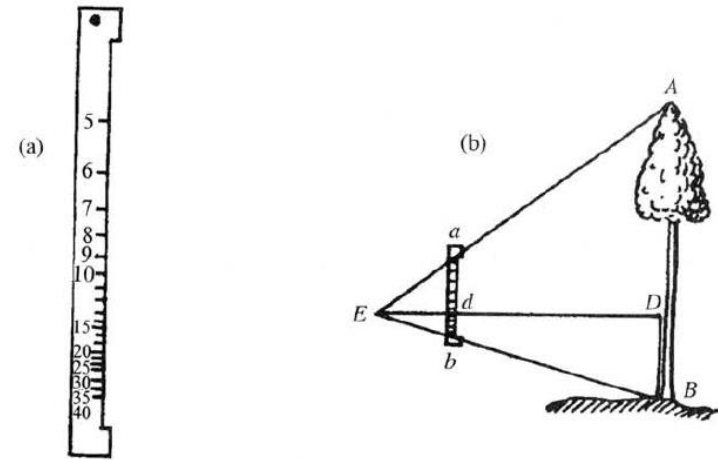
樹高之間接測定

A. 應用幾何學原理

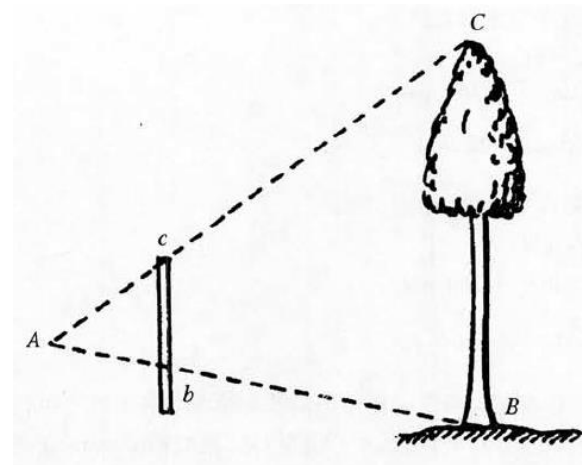


Weisse測高儀及其使用方法之圖解

- 取樹枝量臂長為 Ab ，取 $cb=Ab$ 定 b 點
- C 點透視樹梢 b 點透視立木基部
- 前後移動置 cb 完全包括樹高
- 測定從眼至樹木基部之斜距離(AB)
- 樹高(CB)等於斜距離(AB)

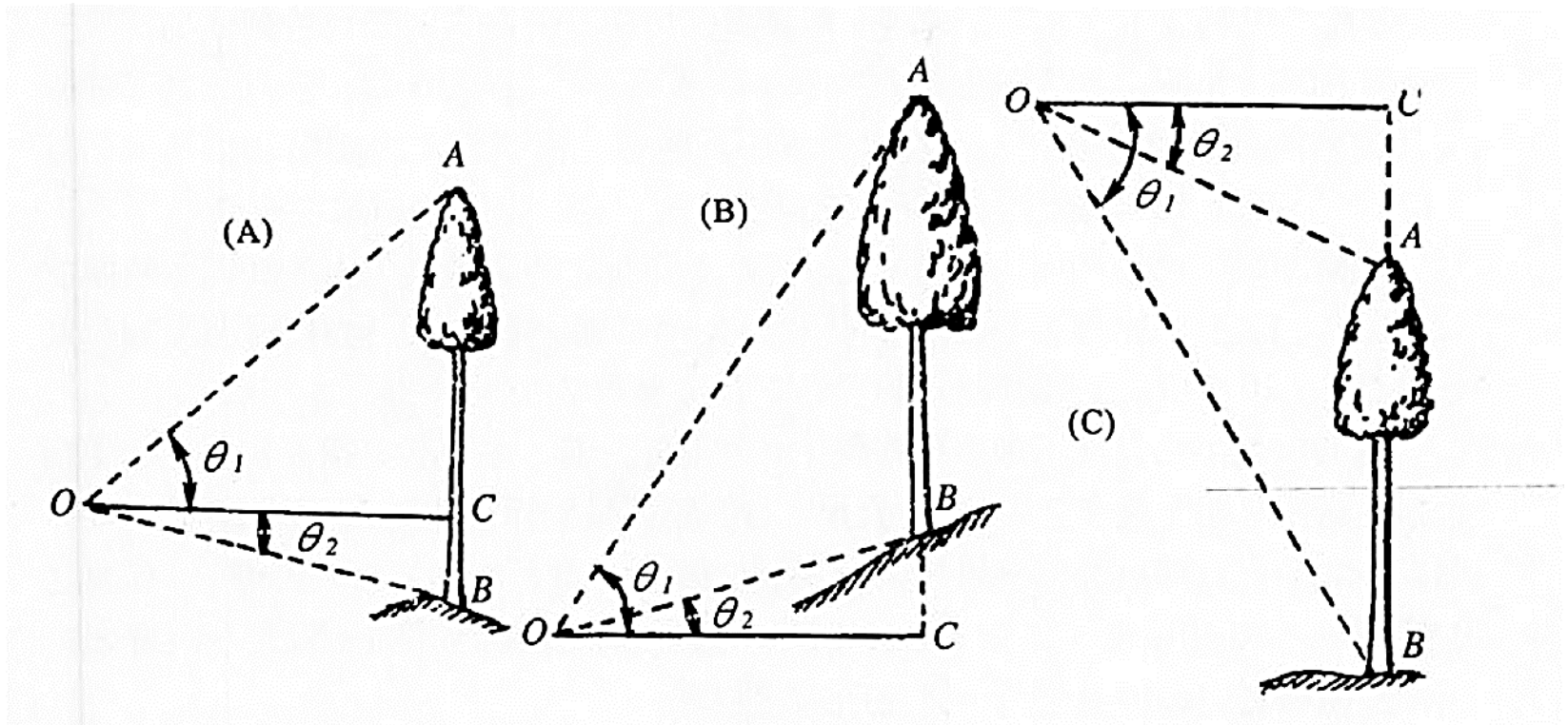


Christen測高儀及其使用方法之圖解



不用測高儀之簡易測高法圖解

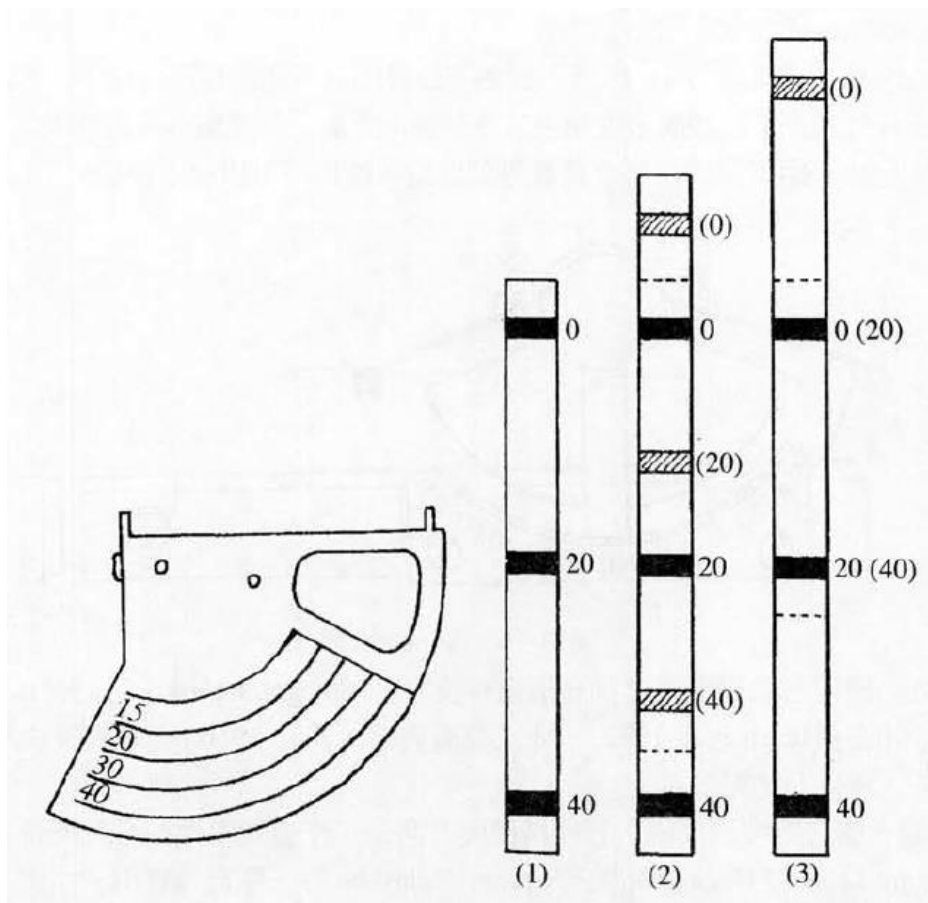
A. 應用三角學原理



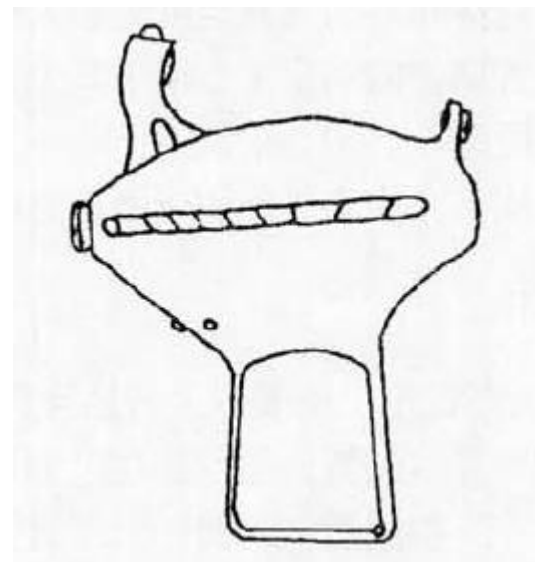
(A) 測點位置在立木頂稍與根基中間：樹高 $AB = AC + BC = OC(\tan\theta_1 + \tan\theta_2)$

(B) 測點位置在立木根基以下：樹高 $AB = AC - BC = OC(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

(C) 測點位置在立木頂稍以上：樹高 $AB = CB - CA = OC(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$



Blume-Leiss測高儀及其測定距離用標識



Haga測高儀

樹高量測方法比較



項目	測高桿法	雷射測距儀法
量測時間	直接比對樹高，量測較快速	需找尋適宜量測角度，量測時間較多
樹高量測限制	樹木樹高超過10m測桿易晃動不易量測	樹木高度不受限制
攜帶方便性	重量約2300g，攜帶較為不便	重量為205g，輕巧方便攜帶
判釋性	只需找尋樹梢及測高桿能見位置即可測量	樹冠如為鬱閉情形將難以判斷樹梢位置
操作性	量測者無法單獨，判斷樹頂位置	量測者可獨立作業
準確性	以與樹木等高方式量測，判釋不易錯誤	樹高末梢判斷不易，易生誤差



樹高量測-- 使用儀器以測高桿為主、雷射測距儀為輔

實務選用量測方法原則：

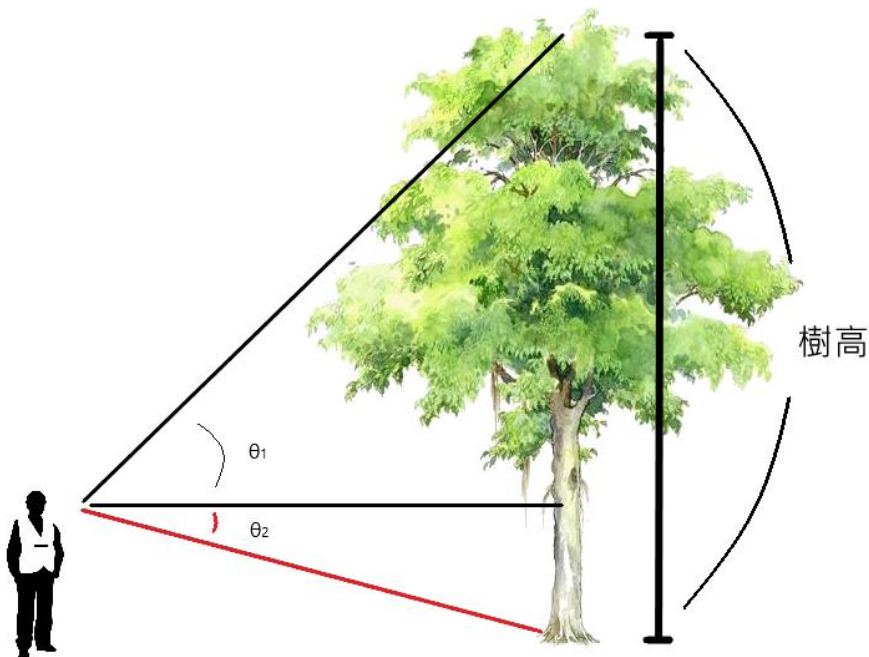
- 樹高低於10m或是樹梢頂端主幹不明顯時，為確保準確性及提高調查速度，建議以測高桿進行量測；
- 當樹木樹高高於10m且主幹樹梢明顯可視時則以雷射測距儀法作為量測方法



一般樹高儀器測定法

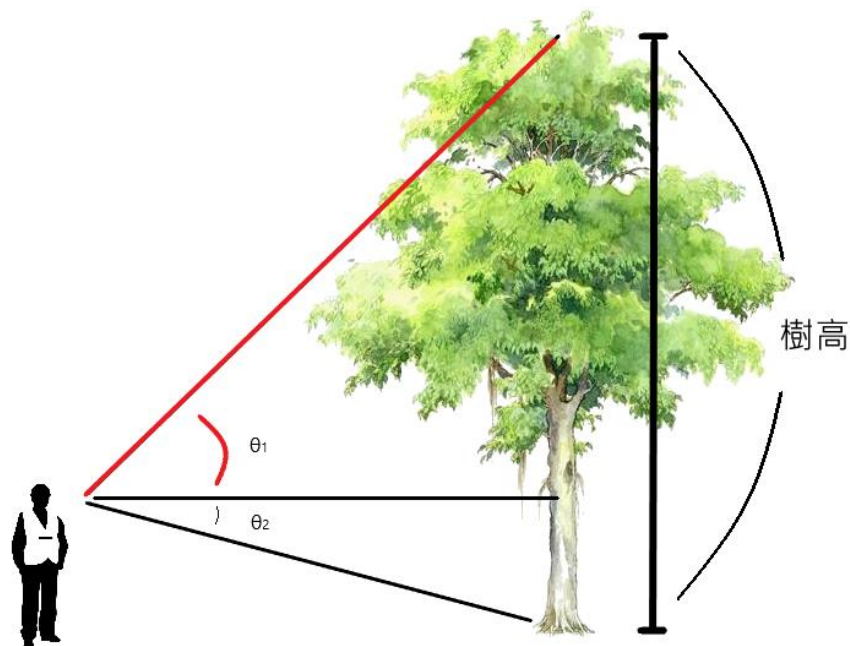
步驟1：

- 尋找距離樹木至少估計樹高以上的距離，尋求最佳之觀測方位，此時位置應可同時看見樹之最頂梢及樹之基部，以測高儀發出瞄準樹木基部，並記錄高度。
- 如為雷射測距儀雙重間接量測，則按下記錄鍵。



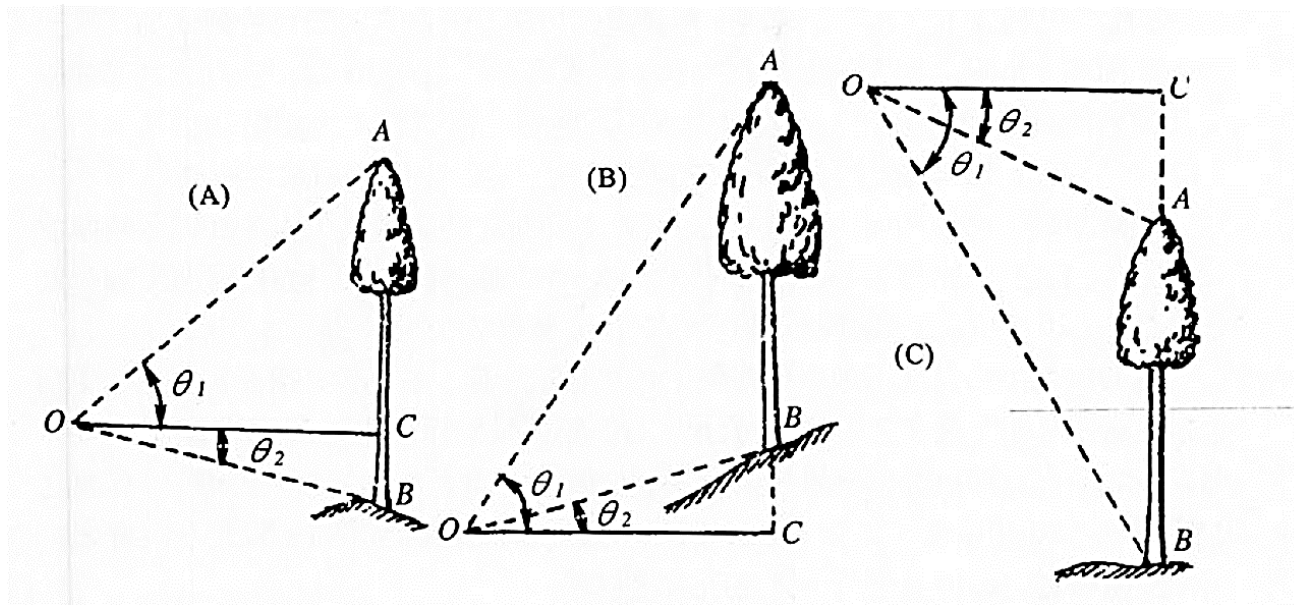
步驟2：

- 以測高儀瞄準樹木樹梢頂端位置，並加以記錄其高度。
- 樹木樹梢頂端位置常常不易觀測，必要時應該在測定前多走動選擇可以清楚確認樹木樹梢頂端位置的測定位置。
- 另測定樹高時，應依照前述測定要領進行測定。



步驟3：

- 兩次測定的高度依照兩次位置不同的計算方式計算樹高，若為雷射測距儀雙重間接量測，則運算後自動產生樹高結果。
- 如果測定結果不太理想，可重複前述操作，並將結果平均。
- 在不同面向時可能會有不同的樹高，如果差距過大宜用測高桿做量測。



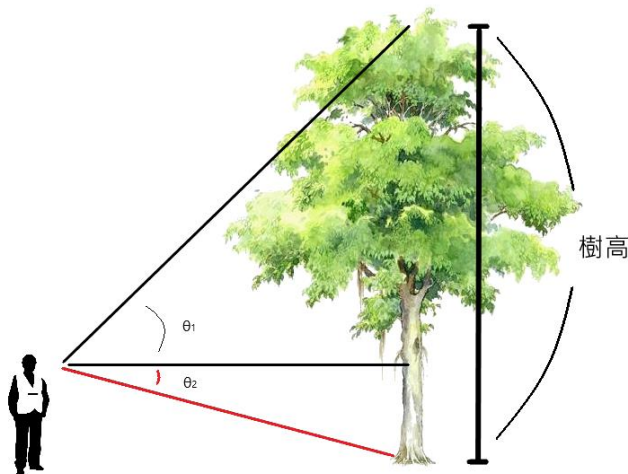
- (A) 測點位置在立木頂稍與根基中間：樹高 $AB = AC + BC = OC(\tan\theta_1 + \tan\theta_2)$
- (B) 測點位置在立木根基以下：樹高 $AB = AC - BC = OC(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$
- (C) 測點位置在立木頂稍以上：樹高 $AB = CB - CA = OC(\tan\theta_1 - \tan\theta_2)$

雷射測距儀法

- 使用雷射測距儀發出雷射光對準樹木基部與樹梢頂端分別打點記錄，透過三角函數由儀器內計算即可以得到樹高數值。
- 使用上容易遭其他樹冠遮蔽，因此在林分密度較低區域較適宜使用此法。在操作上只需一人即可完成量測及判釋樹梢頂端位置之工作。

步驟1：

尋找樹木最佳之觀測方位，此時位置應可同時看見樹之最頂梢及樹之基部，以雷射測距儀發出雷射光對準樹木基部。

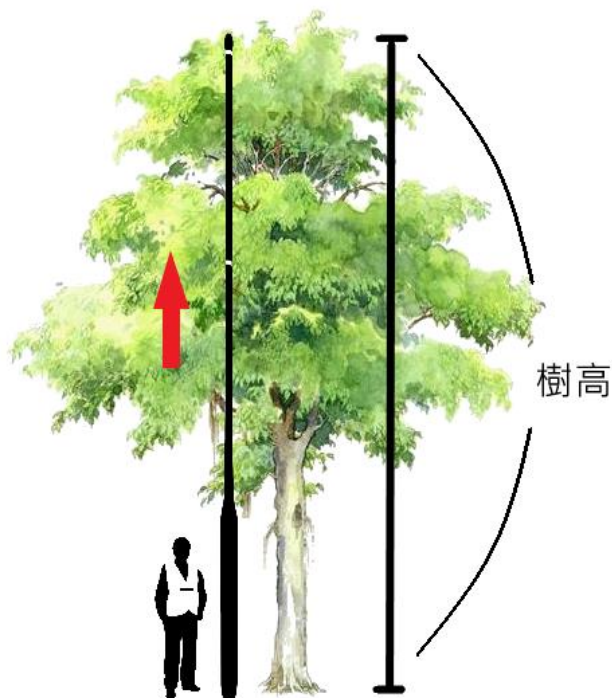


測高桿法

- 一般需有二人負責操作，一人負責操作測高桿，由另一人協助判釋測高桿之高度位置方能進行測定。
- 在操作上由記錄者擔任協助判釋判釋之工作，其測定步驟說明如下：

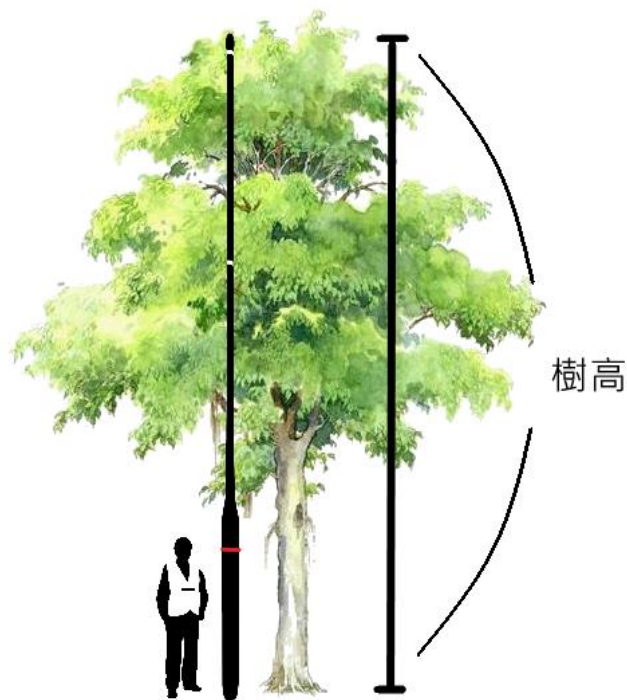
步驟1：

測高桿置於樹下定置，將測高內桿由下往上拉伸直至樹梢頂，直至樹梢頂部位置。

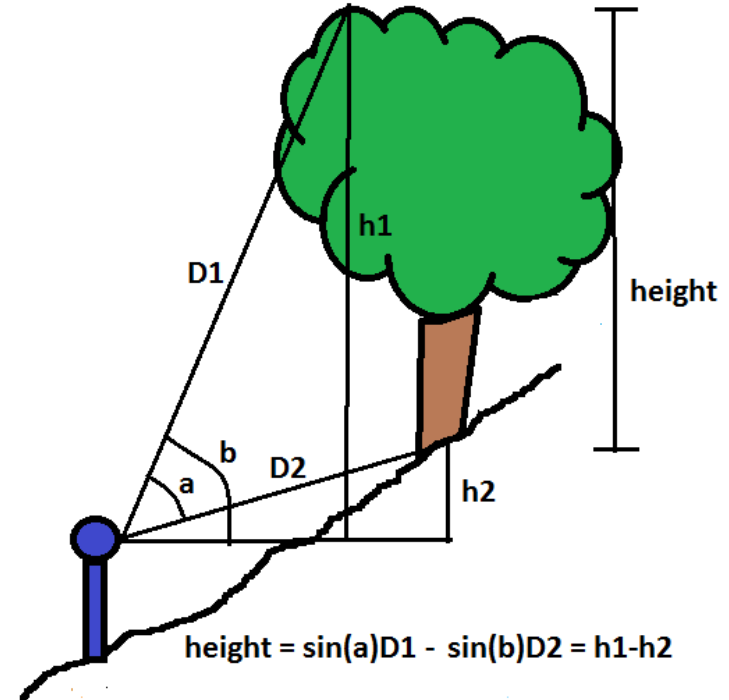
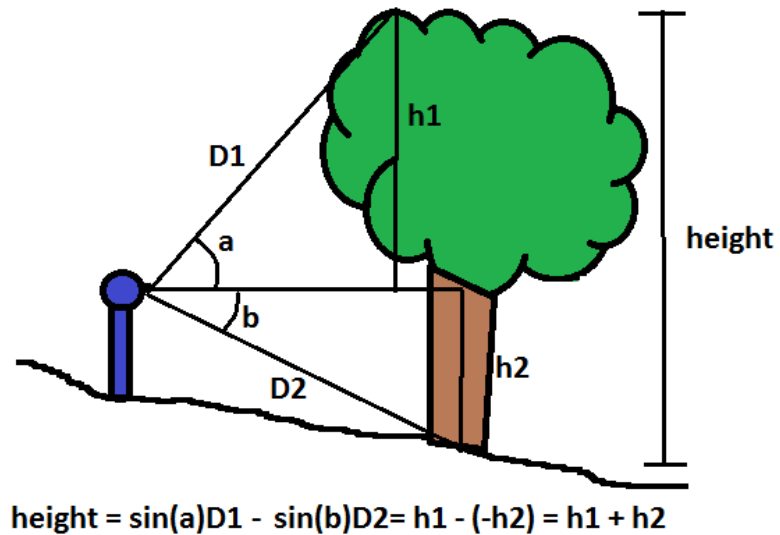


步驟2：

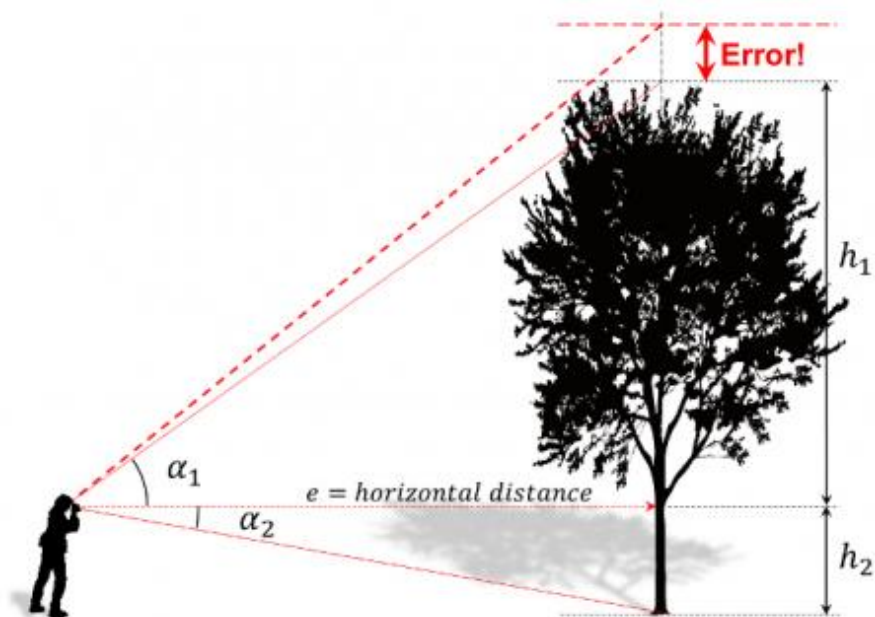
- 另一人員於開闊視野區觀看測高桿頂端位置是否達到樹梢最高點位置？當達到樹梢頂端時則停止伸長測高桿。
- 由桿上刻度讀取樹高數值，測高桿刻度單位為公分，記錄者須將單位轉換為公尺。



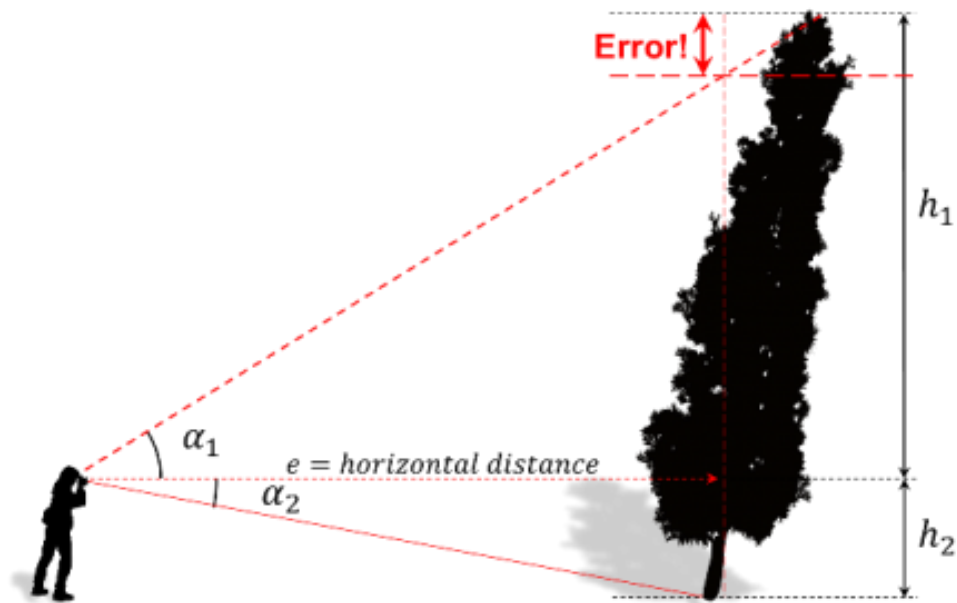
坡上及坡下應用測高儀量測要領



平頂型立木情況下對樹高的誤判



立木斜樹情況下對樹高的誤判



避免的方法，可以在距離較遠的位置比較能觀測到立木的真正頂梢進行量測，若用測高桿測定時，必須有另外的調查人員，協助判定到達頂梢。

解決之道可以可從數個方向測定，求其平均值。





- 品質保證(Quality Assurance, QA)

- 確保產生品質資料的整體管理活動系統。

- 品質控制(Quality Control, QC)

- 用於控制資料獲取過程的操作技術和活動。

- 品質評估和評價(Quality Assessment and Evaluation)

- 應用統計工具，確定與資料相關的不確定性最小化，資料具有足夠的品質以支援計畫決定。

- 量測品質目標 (Measurement Quality Objectives , MQO)

- 精確的量測品質目標 (MQO) 旨在為每個現場量測項目，提供一個檢視調查品質的機會，來確保每次野外量測努力達成的品質目標
- 這些資料品質目標是根據對林業和森林生態測量過程的瞭解，以及FIA計畫要求而制定。
- 容許誤差(Tolerance)及MQO做為調查成果檢核的標準
- 容許誤差係指調查時可以容許的誤差值，但有些項目是不容許有誤差的，例如樣區號碼及調查日期等是不容許誤差的。
- 例如：DBH調查時，一般情況是每20英吋範圍內容許 ± 0.1 英吋的誤差。
- MQO則是指有多少比例的檢核結果應符合容許誤差範圍內，例如95%或99%
- 是由容許誤差(Tolerance)及MQO兩者構成QA的評估架構。

- 採用量測品質目標（Measurement Quality Objectives, MQO）概念，訂定不同量測項目符合容許誤差比例，做為是否符合調查品質的驗收標準。
- 若設定DBH測定容許誤差為1公分，並訂驗收標準為95%時，若稽核100株樹，發現6株樹DBH誤差超過的容許誤差(0.6公分)時，代表誤差比例6%，量測品質比例為94%，於驗收標準：95%，表示調查品質未達驗收標準不符合期待，應視為驗收不通過，應採取適當措施加以補救。一般建議調查項目訂定容許誤差及驗收標準如下：

胸徑調查

容許誤差：量測容許誤差 ± 0.6 公分。

驗收標準：低於容許誤差株數比例為95%。

樹高調查

容許誤差：量測容許誤差 ± 1 公尺。

驗收標準：低於容許誤差株數比例為95%。

採用量測品質目標（Measurement Quality Objectives, MQO）概念，訂定不同量測項目符合容許誤差比例，做為是否符合調查品質的驗收標準。若設定樹高測定容許誤差為 $\pm 10\%$ ，並訂驗收標準為95%時，若稽核100株樹，發現6株樹樹高誤差超過的容許誤差時，代表誤差比例6%，量測品質比例為94%，於驗收標準：95%，表示調查品質未達驗收標準不符合期待，應視為驗收不通過，應採取適當措施加以補救。一般建議調查項目訂定容許誤差及驗收標準如下：

樹高調查

容許誤差：樹高量測值誤差不超過1公尺。

驗收標準：低於容許誤差比例為95%。

林產品(傢俱、木製品)、立木(樹)

$$\text{CO}_2\text{e} = V \times D \times \text{CF} \times (44/12)$$

CO_2e : 二氧化碳當量

V : 材積(cm^3)

D : 密度(g/cm^3)

CF : 含碳量比例(IPCC之建議係數為0.5)

44/12: 每克碳分子可轉換成44/12克之二氧化碳



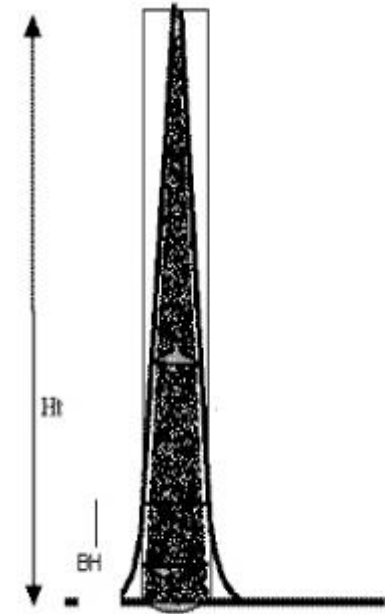


材積 (Tree Volume)

胸高直徑² × 0.79 × 樹高 × 形數

針葉樹形數: 0.40-0.55

闊葉樹形數: 0.40-0.53



Form Factor

- The standard geometric shape for the bh form factor is a cylinder of the same height as the stem and with a sectional area equal to the sectional area of the stem at bh (i.e. basal area)
- Form factor is the ratio of the volume of the stem to the volume of the cylinder



密度 Density (D)

木材單位體積之重量，單位為 g/cm^3 。

1. 氣乾密度(Density in air dry)

氣乾狀態下之單位體積重量， $D_u = W_u / V_u$ 。

D_u : 氣乾比重; W_u : 氣乾重; V_u : 氣乾體積。

2. 生材密度(Density in green)

生材狀態下之單位體積重量， $D_g = W_g / V_g$ 。

D_g : 生材比重; W_g : 生材重; V_g : 生材體積。

3. 絕乾密度(Density in oven dry)

絕乾狀態下之單位體積重量， $D_o = W_o / V_o$ 。

D_o : 絕乾比重; W_o : 絕乾重; V_o : 絕乾體積。





含水率 Moisture content (MC)

木材所含水分重量與其絕乾重之百分比，單位為%。

1.平衡含水率 Equilibrium moisture content(EMC)

木材伐採後或絕乾材，置於大氣之中，木材中之水分會漸漸流失而達到與大氣濕度平衡之狀態，即達到木材之氣乾，此時在木材利用上稱為氣乾含水率，亦為林產品與使用環境水分間的平衡。

2.生材含水率 Moisture content of green wood

細胞壁水分飽和，細胞腔或細胞間隙也有水分，立木或剛伐採時，即生材狀態。



乾量基準含水率

木材含有水分量與木材絕乾重量百分比。

$$MC = (W_u - W_o) / W_o \times 100 (\%)$$

MC: 乾量基準含水率 ; W_u : 濕重; W_o : 乾重。



臺灣常見木材之密度、含水率和碳含量

樹種名稱	學名	D g/cm ³	EMC %	CF %
針葉樹 (Softwoods)				
南方松 (South Pin)	<i>Pinus</i> spp.	0.565	12	46.45
紅檜 (Taiwan red falsecypress)	<i>Chamaecyparis formosensis</i>	0.398	11	47.49
台灣扁柏 (Taiwan Hinoki falsecypress)	<i>Chamaecyparis obtusa</i> var. <i>formosana</i>	0.440	12	47.08
福州杉 (Large-leaved China-fir)	<i>Cunninghamia lanceolata</i>	0.359	12	47.21
台灣杉 (Taiwania)	<i>Tawania cryptomerioides</i>	0.333	12	48.08
柳杉 (Cryptomeria)	<i>Cryptomeria japonica</i>	0.343	12	47.49
龍柏 (Dragon Juniper)	<i>Juniperus chinensis</i> var. <i>kaizuka</i>	0.704	13	49.08
台灣肖楠 (Taiwan incense-cedar)	<i>Calocedrus macrolepis</i> var. <i>formosana</i>	0.625	12	48.93



臺灣常見木材之密度、含水率和碳含量

樹種名稱	學名	D g/cm ³	EMC %	CF %
闊葉樹 (Hardwoods)				
台灣櫟 (Taiwan zelkova)	<i>Zelkova serrata</i>	0.855	11	46.29
柚木 (Teak)	<i>Tectona grandis</i>	0.760	13	48.12
黃連木 (Chinese Pistache)	<i>Pistacia chinensis</i>	0.838	12	45.93
泡桐 (Fortune's Paulownia)	<i>Paulownia fortunei</i>	0.245	11	45.82
印度紫檀 (Paudauk)	<i>Pterocarpus indicus</i>	0.592	11	47.97
樟木 (Camphor tree)	<i>Cinnamomum camphora</i>	0.445	10	48.66
相思樹 (Taiwan acacia)	<i>Acacia confusa</i>	0.867	11	45.83
小實孔雀豆 (Ladycoot Beadtree)	<i>Adenanthera microsperma</i>	0.798	11	45.83
臺灣白蠟樹 (Formosan ash)	<i>Fraxinus formosana</i>	0.740	10	46.30
小葉桃花心木 (Mahogany)	<i>Swietenia mahagoni</i>	0.601	11	46.58
毛柿 (Taiwan Ebony)	<i>Diospyros discolor</i>	0.845	12	43.61
杜英 (Common Elaeocarpus)	<i>Elaeocarpus decipiens</i>	0.600	11	44.84

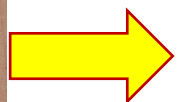


Juniperus chinensis
var. *kaizuka*
Dragon Chinese Juniper
龍柏
Cupressaceae
Taiwan Forestry Research Institute

木材標本碳量計算

龍柏標本

$$\text{CO}_2\text{e} = V \times D \times \text{CF} \times (44/12)$$


$$126 \times 0.704 \times 0.4908 \times (44/12) \\ = 159.63(\text{g})$$

CO₂e: 二氧化碳當量

V: 材積(cm³)  12×7×1.5=126 cm³

D: 密度(g/cm³)  0.704 g/cm³

MC: 含水率(%)  13%

CF: 含碳量比例(IPCC之建議係數為0.5)

44/12: 每克碳分子可轉換成44/12克之二氧化碳

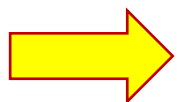


Cinnamomum camphora
Camphor Tree
樟樹
Lauraceae
Taiwan Forestry Research Institute

木材標本碳量計算

樟樹標本

$$\text{CO}_2\text{e} = V \times D \times \text{CF} \times (44/12)$$


$$126 \times 0.445 \times 0.4866 \times (44/12) \\ = 100.04(\text{g})$$

CO₂e: 二氧化碳當量

V: 材積(cm³)  12×7×1.5=126 cm³

D: 密度(g/cm³)  =0.445 g/cm³

MC: 含水率(%)  10%

CF: 含碳量比例(IPCC之建議係數為0.5)

44/12: 每克碳分子可轉換成44/12克之二氧化碳



樹木碳匯估算困難之處

- ☐ 樹高難量測且不同量測人員差異大*
- ☐ 樹種胸高形數量測難且樹樹不同**
- ☐ 主幹材積推算不易***
- ☐ 枝條材積調查不易**
- ☐ 葉部重量調查不易**
- ☐ 地下部根系重量調查不易**
- ☐ 土壤碳匯調查不易****
- ☐ 不同樹種密度不同且樹種內樹樹不同**
- ☐ 不同樹種碳含量比例且樹種內樹樹不同**

*：可以訓練改善

**：採用轉換係數

***：運用材積式推算

****：因碳吸存量低不予估算



碳匯估算困難之處

1. 樹高難量測
2. 主幹材積推算不易
3. 枝條材積調查不易
4. 葉部重量調查不易
5. 地下部調查不易
6. 土壤碳匯推算不易
7. 不同樹種密度不同
8. 不同樹種碳含量比例

碳匯估算解決之道

1. 空載光達量測樹高
2. 地面光達建立主幹材積式
3. 地面光達建立全材材積式
4. 現地生物量調查建立推算公式
5. 現地根系調查建立推算公式
6. 土壤碳匯調查
7. 加強樹種密度基礎數據
8. 加強樹種碳含量比例基礎數據



樹木碳匯估算方法

方法一：Chave et al. (2014) 提出之地上部生物量 (AGB) 估算公式：

$$AGB = 0.0673 \times (\rho \times (DBH^2) \times H)^{0.976}$$

方法二：IPCC公式

$$V = FF * (DBH/100)^2 * \pi * H$$

$$AGB = V * \rho * BEF$$

$$C = AGB * (1+R) * CF$$

C：單株儲碳量(kg)

使用數值：

FF：胸高形數(一般取0.45)

木材密度(ρ): 0.5

DBH：胸高直徑(cm)

生物量擴展係數(BEF)-人工闊葉林：1.4

H：樹高(m)

根莖比(R)-人工闊葉林：0.24

AGB：地上部生物量

碳含量(CF)-人工闊葉林：0.4691

BEF：生物量擴展係數

R：根莖比

CF：碳含量

立木碳量計算

龍柏立木

$$\text{CO}_2\text{e} = V \times D \times \text{CF} \times (44/12)$$


$$65818 \times 0.704 \times 0.4908 \times (44/12) \\ = 83,386(\text{g})$$

樹高:347cm
胸徑:24.5cm

CO₂e:二氧化碳當量

V: 材積(cm³)  (24.5)² × 0.79 × 347 × 0.4 = 65818 cm³

D: 密度(g/cm³)  0.704 g/cm³

MC: 含水率(%)  13%

CF: 含碳量比例(IPCC之建議係數為0.5)

44/12: 每克碳分子可轉換成44/12克之二氧化碳



立木碳量計算

樟樹立木

$$\text{CO}_2\text{e} = V \times D \times CF \times (44/12)$$


$$804655 \times 0.445 \times 0.4866 \times (44/12) \\ = 705,077(\text{g})$$

樹高:979cm

胸徑:51cm

CO₂e:二氧化碳當量

V: 材積(cm³)  (51)² × 0.79 × 979 × 0.4 = 804655 cm³

D: 密度(g/cm³)  0.445 g/cm³

MC: 含水率(%)  10%

CF: 含碳量比例(IPCC之建議係數為0.5)

44/12: 每克碳分子可轉換成44/12克之二氧化碳



計畫編號：108保發-10.1-保-01-06-001(40)

水土保持樹種固碳能力
與儲碳潛力計算資料庫之建置
Database for calculating the carbon
sequestration ability and potential of tree
species used in soil and water conservation

結案報告書

執行單位：國立中興大學

執行期間：中華民國108年2月20日至12月31日

計畫主持人：趙國容 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國108年12月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

水土保持樹種木材密度及碳含量資料

(以喬木及木材密度*碳含量比例排序)

排名	樹 種	密度	碳含量比例	密度*碳含量比例	排名	樹 種	密度	碳含量比例	密度*碳含量比例
1	羅望子	0.98	48.4%	0.47	21	檫	0.73	47.7%	0.35
2	象牙柿(象牙樹)	0.94	46.1%	0.43	22	革葉冬青	0.80	43.5%	0.35
3	枇杷	0.88	47.7%	0.42	23	嶺南青剛櫟	0.76	45.7%	0.35
4	黃花風鈴木	0.79	51.3%	0.40	24	水黃皮	0.70	49.5%	0.35
5	荔枝	0.85	47.4%	0.40	25	欖李	0.71	48.4%	0.34
6	銀葉樹	0.85	46.3%	0.39	26	光蠟樹	0.73	46.8%	0.34
7	阿勃勒	0.80	48.4%	0.39	27	赤皮	0.73	46.8%	0.34
8	檸檬桉	0.83	46.2%	0.38	28	槌子櫟	0.73	46.8%	0.34
9	桂花	0.84	45.3%	0.38	29	臺灣馬錢	0.69	49.4%	0.34
10	森氏櫟(赤柯)	0.80	46.8%	0.37	30	雨豆樹	0.70	48.4%	0.34
11	榔榆	0.77	48.5%	0.37	31	蘭嶼裸實	0.71	47.6%	0.34
12	山枇杷	0.78	47.7%	0.37	32	金平氏冬青	0.75	44.8%	0.34
13	豔紫荊	0.76	48.4%	0.37	33	大明橘	0.73	45.6%	0.33
14	相思樹	0.77	47.2%	0.36	34	十子木	0.72	46.2%	0.33
15	魯花樹	0.75	48.3%	0.36	35	龍眼	0.70	47.4%	0.33
16	黃花夾竹桃	0.72	49.5%	0.36	36	銀合歡	0.68	48.4%	0.33
17	栓皮櫟	0.76	46.8%	0.36	37	金龜樹	0.68	48.4%	0.33
18	檸檬	0.74	47.3%	0.35	38	細脈赤楠	0.71	46.2%	0.33
19	羊蹄甲	0.72	48.4%	0.35	39	小葉木犀	0.72	45.3%	0.33
20	青剛櫟	0.73	47.7%	0.35	40	墨點櫻桃	0.72	45.1%	0.32

位階

S 代表為種階層的平均值

G 代表為同屬中物種的平均值

F 代表為同科中屬的平均值

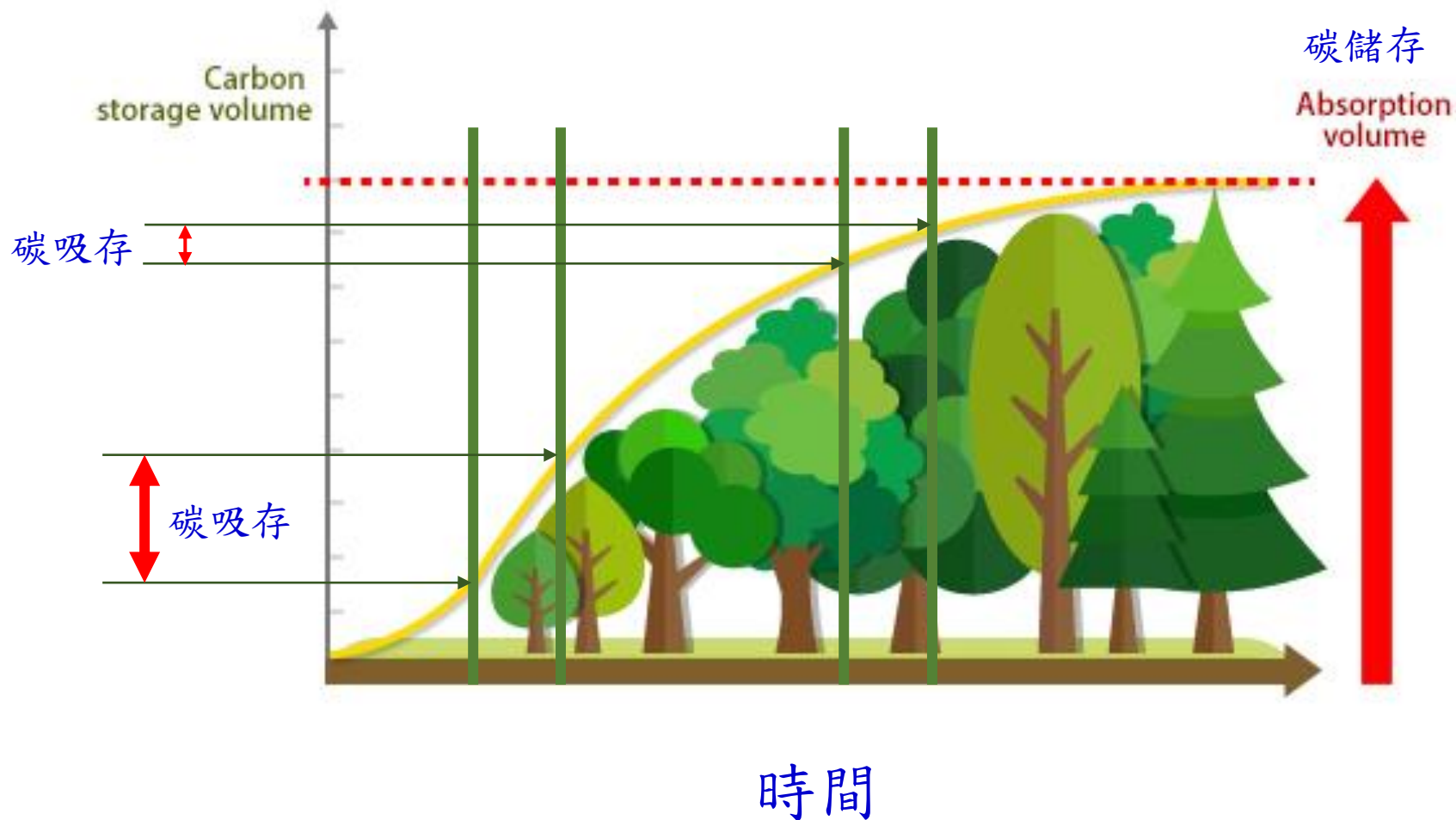
#N/A 代表數值闕如





碳儲存：特定時間之內的碳儲存總量(一般從林分建造開始累積)

碳吸存：特定時間之內的碳儲存變化量(一般以年度變化量為基準)



國立台灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

應用光達資料於溪頭柳杉人工林分調查之研究

A study on investigating *Cryptomeria japonica* stand in

Chitou using LiDAR data

張瑞文

Rui-Wen Chang

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor：Chyi-Rong Chiou, Ph.D.

中華民國 96 年 7 月

July, 2007



國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bio-Resources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

地景階層林地碳儲存量之估算-以花蓮光復鄉平地造林為例

Estimation of Carbon Storage at Landscape Level – a Case Study
of Lowland Plantation at Guangfu, Hualian.



Shen, Jou-Han

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor: Chiou, Chyi-Rong, Ph.D.

中華民國 100 年 7 月

July, 2011

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

應用地面光達掃描於林分狀況調查之探討

A Study on Measuring Stand Features from Ground-based
LiDAR Data

許 皓

Hao Hsu

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor: Chyi-Rong Chiou, Ph.D.

中華民國 102 年 7 月

July, 2013



National Taiwan University
臺灣大學森林環境暨資源學系

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

School of Forestry and Resource Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

地面光達於都市林木材積推估及修剪評估之研究

—以大安森林公園為例

Using Ground-based LiDAR Data to Estimate Tree Volume and

Evaluate Pruning on Urban Trees—Daan Forest Park

鄧翔耀

Xiang-Yao Deng

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor: Chyi-Rong Chiou, Ph.D.

中華民國 110 年 10 月

October, 2021

國立臺灣大學生物資源暨農學院森林環境暨資源學系

碩士論文

Department Institute of Forestry and Resources Conservation

College of Bioresources and Agriculture

National Taiwan University

Master Thesis

都市樹木之固碳能力推估

—以台北市大安森林公園為例

Carbon sinks potential of urban trees in Daan Park

林郁庭

Yu-Ting Lin

指導教授：邱祈榮 博士

Advisor: Chyi-Rong Chiou, Ph.D.

中華民國 111 年 7 月

July, 2022

研究報告

建立都市樹木材積式以提升碳貯存量 推估準確度—以臺北市樟樹 (*Cinnamomum camphora*) 為例

詹為巽^{1,2*} 邱祈榮³ 林俊成⁴

【摘要】都市樹木是碳貯存重要的角色之一，而樹木材積估算結果是影響碳貯存估算準確度的重要因子。本研究以臺北市常見的行道樹樟樹(*Cinnamomum camphora*)為例，使用地面光達(LiDAR)調查樟樹樣木主幹以及全株主要枝幹2種類型材積，分別建立單變數(胸徑)與雙變數(胸徑與樹高)之材積式。結果顯示各相對關係式之推估表現均相當優良，又以包含胸徑與樹高之雙變數模式預測表現更佳。經比較本研究建立之材積式，以及傳統森林常用之材積估算方法，材積估算結果具有顯著差異($F = 32.229, p < 0.01$)，顯示臺北市樟樹應使用本研究建立之材積式進行材積估算以提升準確性。另外碳貯存估算部分，本研究發現使用森林區域樹木建立之生物量擴展係數(BEF)，將會低估臺北市樟樹地上部碳貯存量，可透過估算主要枝幹碳貯存量以獲得更接近真實之樹木碳貯存量。

【關鍵詞】都市樹木、材積式、地面光達

地面光達於都市林木材積式之建構

邱祈榮¹ 鄧翔耀^{2*}

摘要

一般估算樹木的材積，常利用材積式進行推估，其過程需伐倒林木分段量測，屬破壞性調查且不但耗時費力。近來地面光達技術快速發展，利用光達點雲建立林木立體模型，進行材積估算，可避免砍伐林木，更能精確量測，可快速建立材積式。本研究旨在探討光達點雲資料在都市林木材積測計之應用，驗證 TreeQSM 演算法是否適用建立臺灣都市林木材積推估模式，及驗證準確性。結果顯示，比較現地量測、點雲人工量測與 TreeQSM 估算的胸高直徑、樹高及主幹材積皆無顯著差異，證實 TreeQSM 確可應用於都市林木材積推估，並建立配適良好的材積式，成為都市林木測計重要工具。

關鍵詞：都市林木、點雲、TreeQSM 演算法、材積式、胸高形數



研究報告

樹木胸徑調查品質評估

邱祈榮¹⁾ 黃紀晴^{2,3)}

摘 要

樹木具有多樣的生態系服務，在氣候變遷衝擊加劇以及社會對自然為本解方關注度的提升下，森林及都市林的經營管理更顯重要。然而，現地樹木調查經常受人為誤差影響，且目前臺灣缺乏對於人員調查品質與資料的檢核標準，因此需要一套管理機制進行品質控制與保證，並發展輔助工具提升量測精度。本研究設計一試驗評估調查人員量測品質表現，以盒鬚圖法篩選的離群值數量為評量依據，評估自製輔助工具—定位桿—對於胸徑量測精度的影響。同時，考量樹型、徑級兩變因進行資料分析，並提出建議設定的容許誤差範圍。研究結果顯示，離群值篩選機制可快速評估調查品質良窳，當設定MQO 90%為合格標準，本次試驗約有80%調查人員達成。以標準差與變異係數檢視胸徑量測精度，結果顯示使用定位桿有助於提升整體量測表現，而其對S型樹木可有最大提升。最後，根據實驗結果提出容許誤差設定的兩標準：一參考盒鬚圖內籬，設定中位數 ± 0.68 cm為容許誤差；二參考標準差，設定平均胸徑 ± 0.56 cm為容許誤差，作為臺灣樹木胸徑調查品質標準之參考，並使樹木調查指引與規範更加完整。

關鍵詞：樹木調查、品質控制與品質保證、胸高直徑、容許誤差。

邱祈榮、黃紀晴。2023。樹木胸徑調查品質評估。台灣林業科學38(4):303-19。



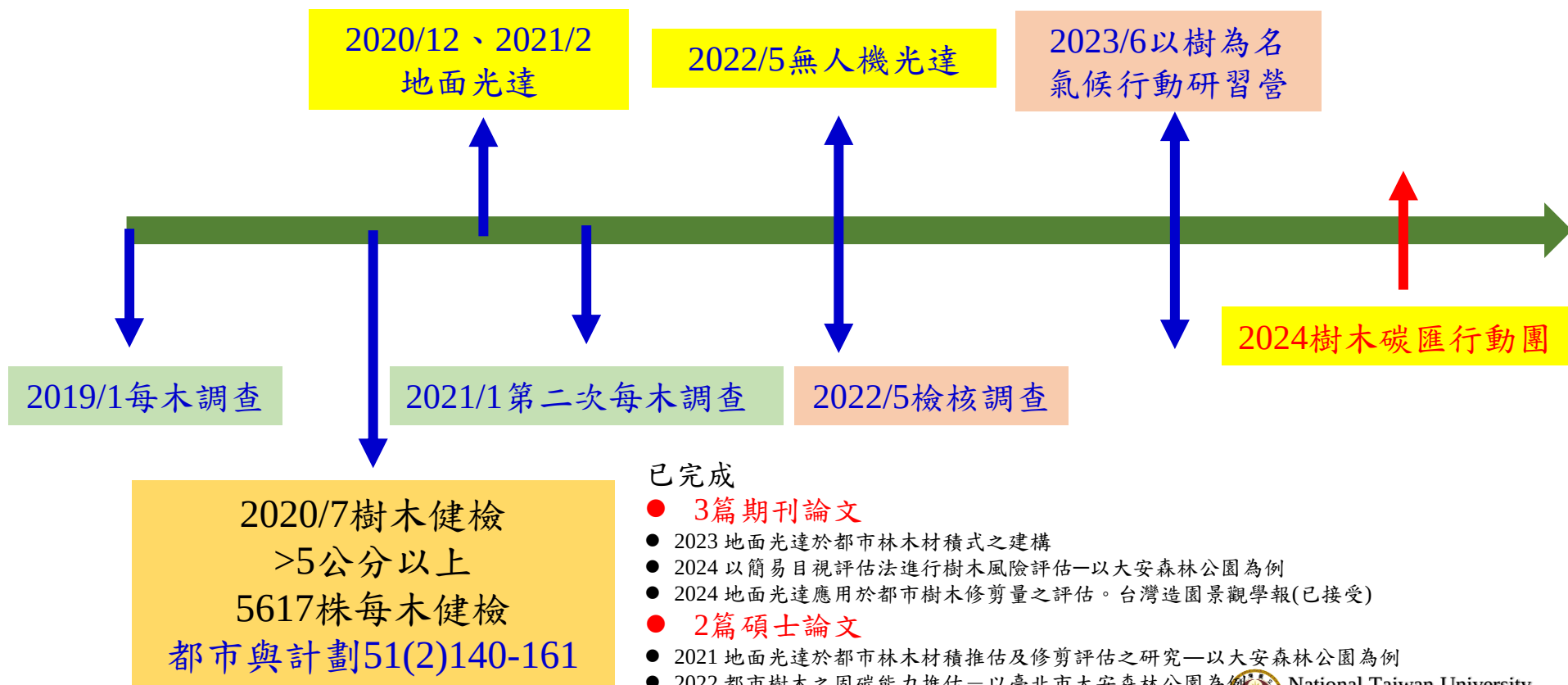
大安森林公園樹木調查：碳匯估算及健檢進展時程

2020地面光達

- ❑ 建立主幹及全材材積式
- ❑ 建立主幹及全材胸高形數
- ❑ 建立修剪量估算模式

2022無人機光達

- ❑ 建立樹高估算模式(生長監測)
- ❑ 建立空中材積估算模式



已完成

● 3篇期刊論文

- 2023 地面光達於都市林木材積式之建構
- 2024 以簡易目視評估法進行樹木風險評估—以大安森林公園為例
- 2024 地面光達應用於都市樹木修剪量之評估。台灣造園景觀學報(已接受)

● 2篇碩士論文

- 2021 地面光達於都市林木材積推估及修剪評估之研究—以大安森林公園為例
- 2022 都市樹木之固碳能力推估—以臺北市大安森林公園為例



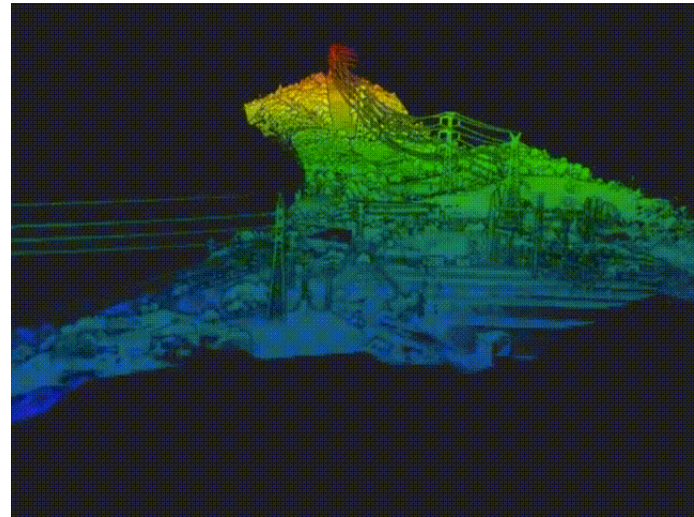
空載光達技術

- 空載光達(Airborne LiDAR)運作原理基於雷射發射器發出雷射光，雷射光射至物體表面上植如生或建物，再引起散射和反射，最後由感光器接收計算距離。
- 具有作業快速、高準確性、高密度大面積資料、環境干擾小等優點。



無人機光達

- 過去利用輕型民航機進行空載光達的作業，但由於經費過高及資料點雲密度較差，而衍生出無人機光達的替代方式。
- 利用規劃好的航程，能有效且精準地控制資料品質。

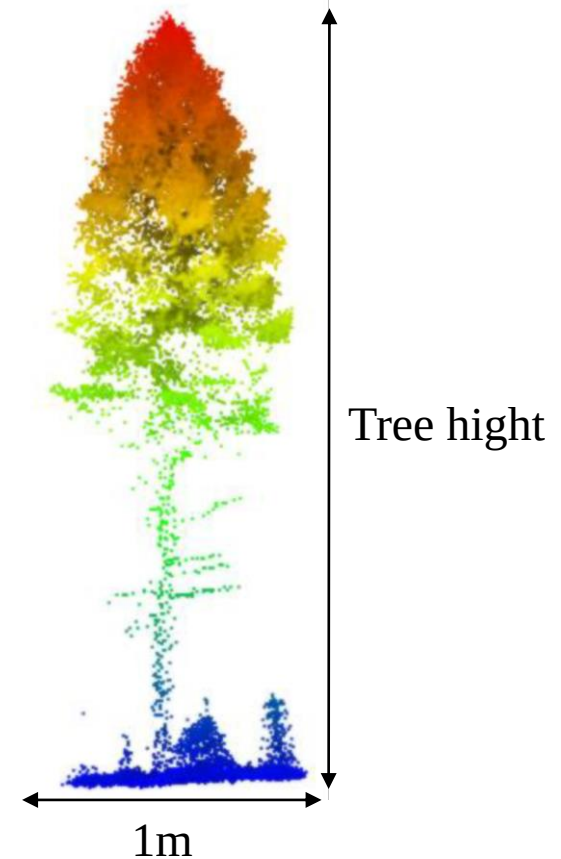


<https://www.esentra.com.tw/2021/01/dji-%E9%A6%96%E6%AC%BE%E7%84%A1%E4%BA%BA%E6%A9%9Flidar%E9%9B%B2%E5%8F%B0%E7%9B%B8%E6%A9%9F-l1-%E7%9A%847%E5%A4%A7%E5%8A%9F%E8%83%BD/>

http://www.ticgroup.com.tw/news_detail/684.html

空載光達應用

- 經由點雲分析，每 $1\text{m} \times 1\text{m}$ (即1平方米)中平均大約有590個點雲，在這些點雲中有些屬於穿越樹冠層到達底部地上的點雲，有些則屬於樹冠頂層的點雲。
- 利用空載光達進行樹高計算，在 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 的網格內計算最低與最高點之間的距離，此間距即為樹高。

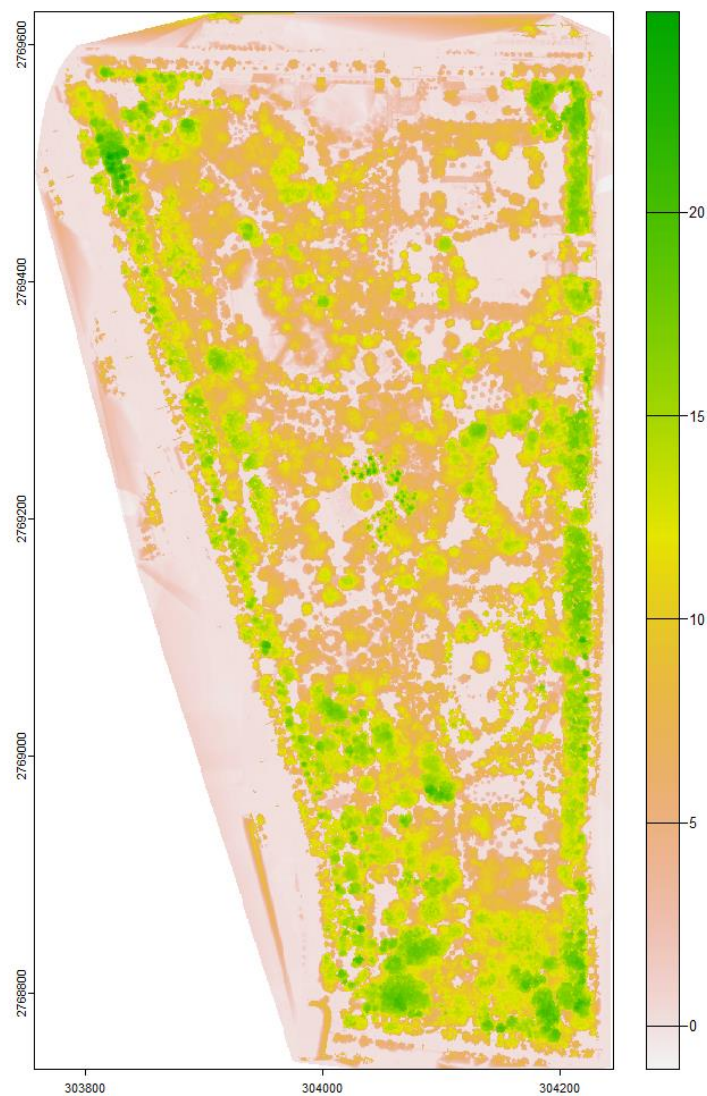


大安森林公園無人機光達點雲掃描

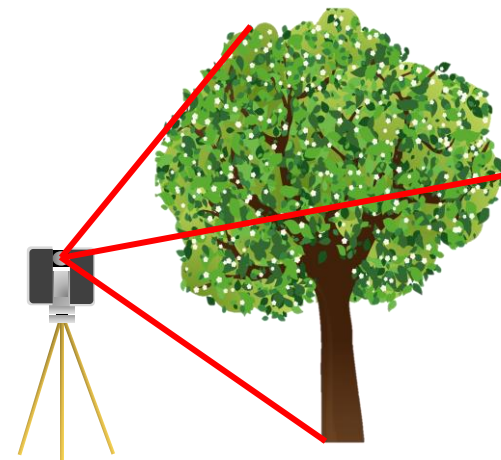
- 經由UAV空載光達掃描之影像，地形變化經由點雲渲染可視化，提供更佳的地理分析方式，經由轉換可產製地形數值模型(DEM)



大安森林公園無人機光達估算樹木高度圖



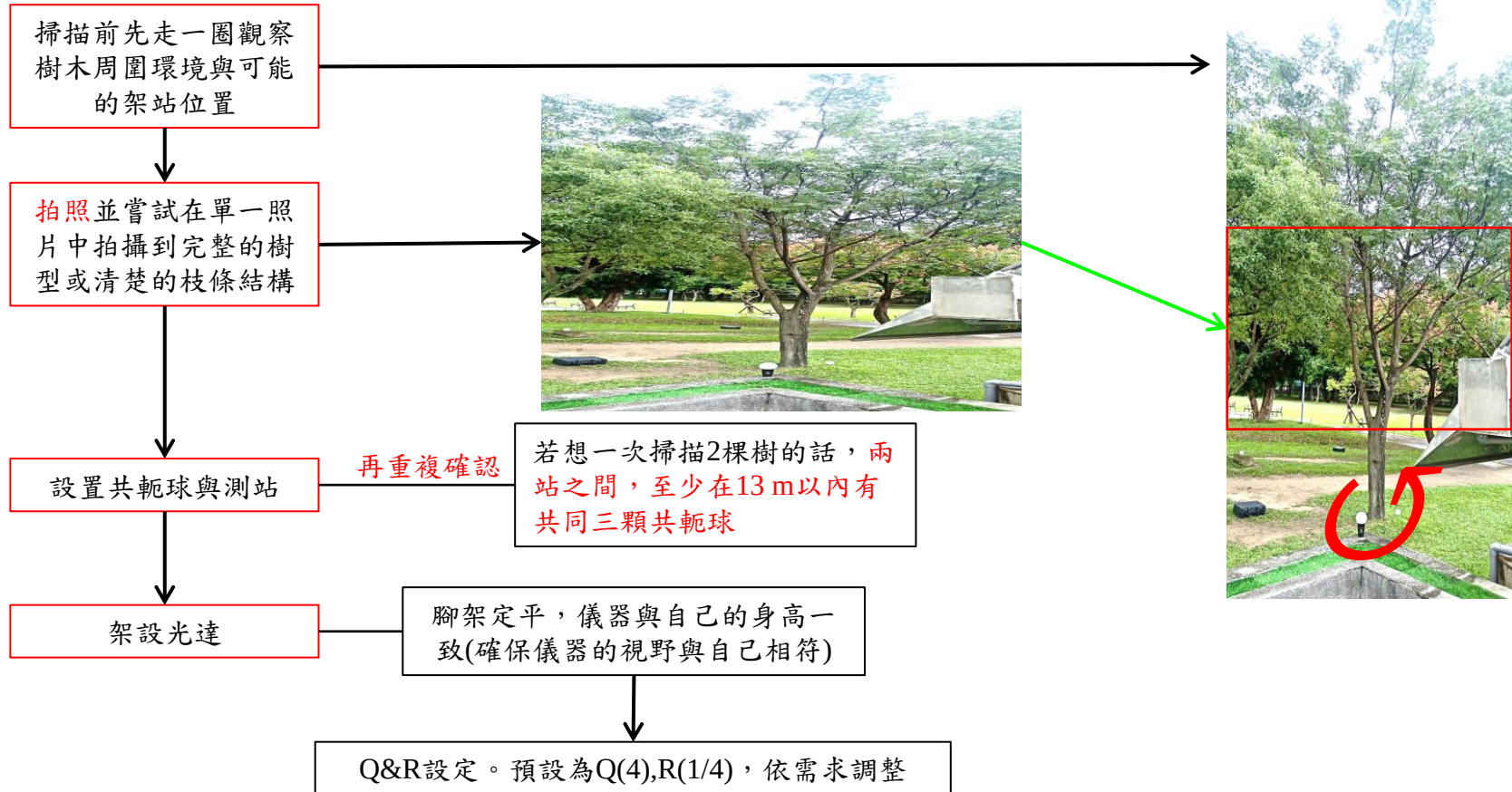
地面光達掃描 FARO Focus 120 Laser Scanner



項目	數值
精度誤差	2mm
最大測量距離圍	120m
每秒點數	976000 points/sec
地面光達性質	測站式
掃描方式	相位差
相片解析度	700W

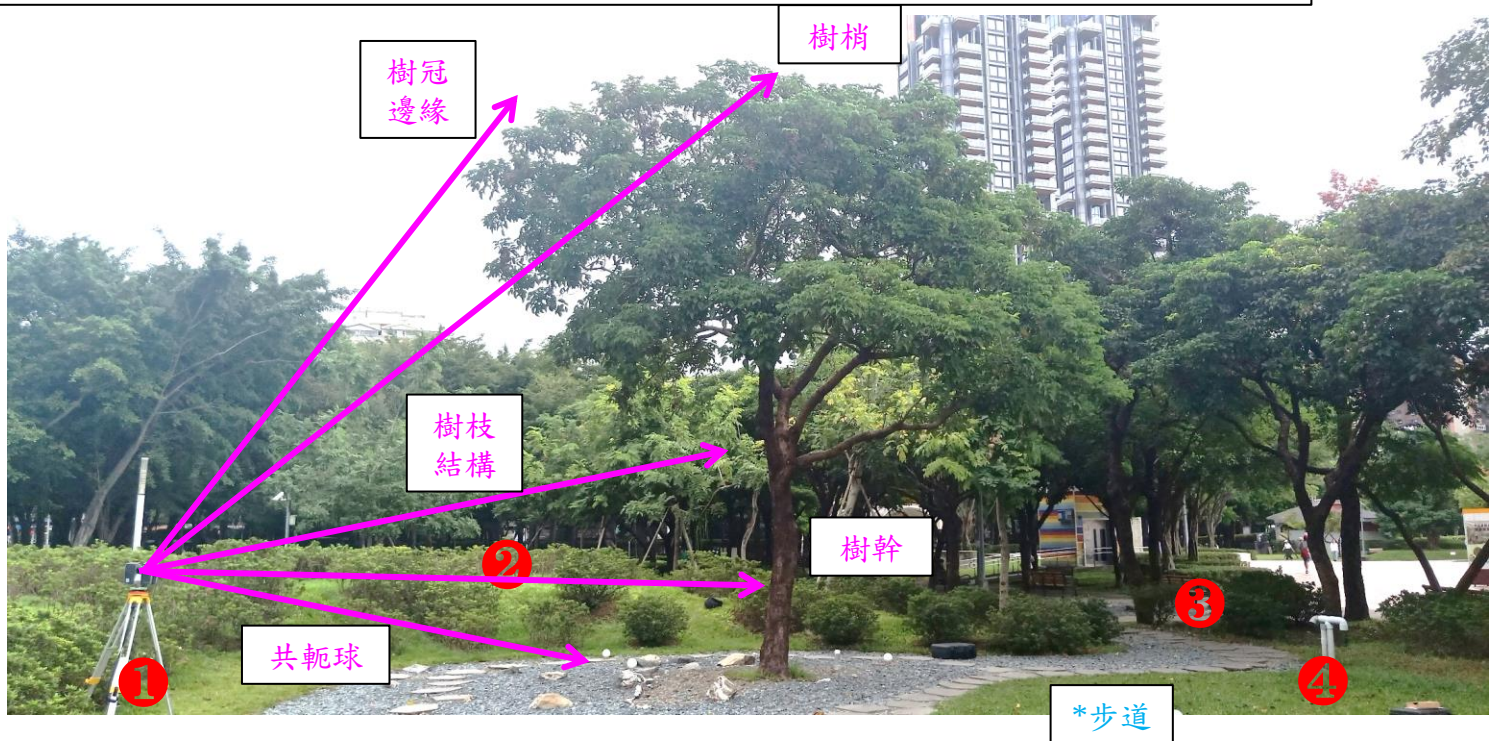
大安森林公園單木地面光達掃描SOP-外業

掃描時最重要的重點在各站間的**共軌球數量與辨識度**必須能進行拼接&**目標的所需特徵**必須被清楚的掃描

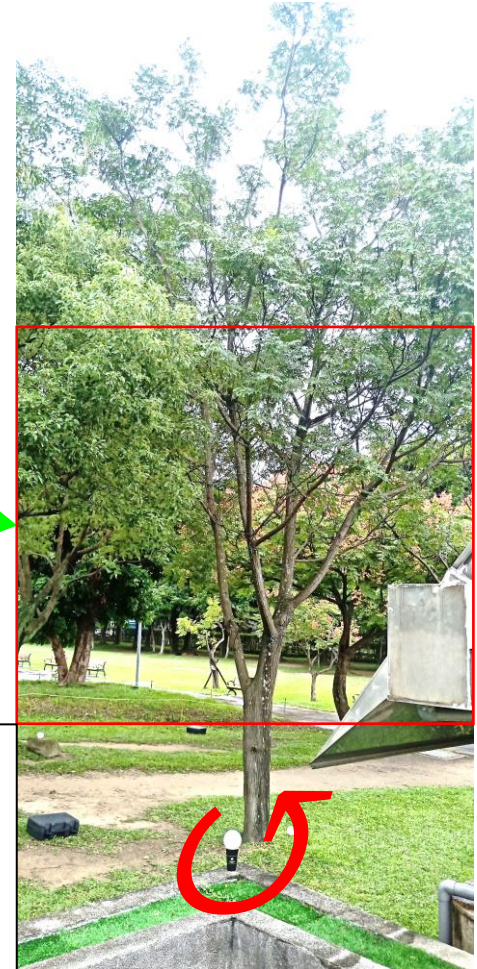


掃描前先走一圈觀察樹木周圍環境與可能的架站位置

1. 原則上一棵樹設置4個站，因應樹木大小與遮蔽的因素可能增加1-2站。
2. 測站等同視野，要看的到樹冠結構、樹枝結構、樹幹、3顆以上共軛球。
3. 走一圈時對於預設的測站位置先放置標記物
4. 有步道時，必須管制遊客，請他們盡速通過



拍照並嘗試在單一照片中拍攝到完整的樹型或清楚的枝條結構

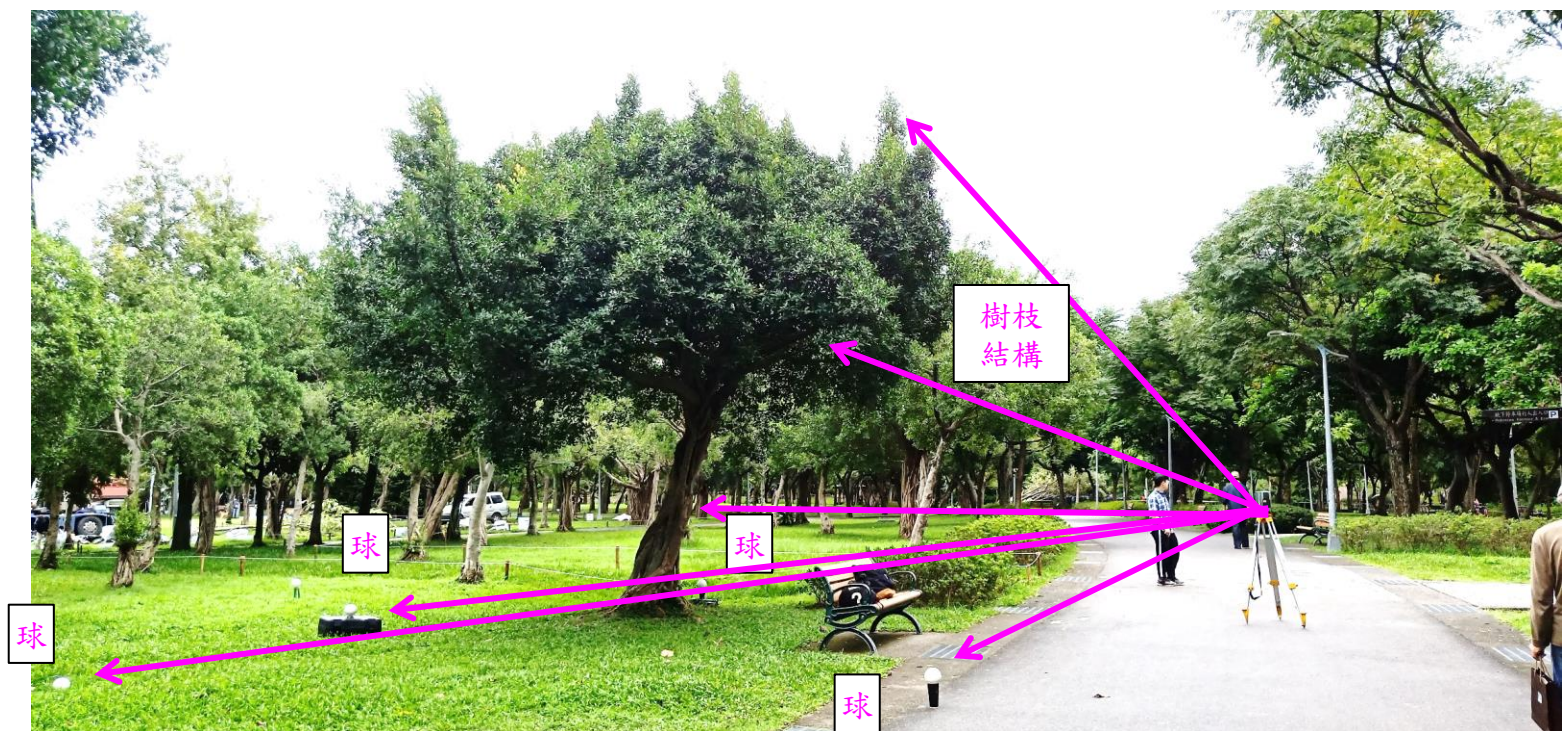


1. 先對目標樹拍照紀錄，其有助於評估要架設的測站位置。
2. 測站等同視野，要看的到樹冠結構、樹枝結構、樹幹、3顆以上共軛球。
3. 共軛球不一定放置地上，可用其他輔助物品增加高度與可見度



設置共軛球與測站

1. 測站等同視野，要看的到樹冠結構、樹枝結構、樹幹、3顆以上共軛球。
2. 共軛球不一定放置地上，可用其他輔助物品增加高度與可見度。
3. 盡量不要放置在步道上，若在步道上則需要管制一下道路。



架設光達&掃描

1.腳架定平



2.Q&R設定



1. 架腳架時即完成定平
2. 預設為Q(4),R(1/4)，依需求調整
3. 情境將影響掃描時間，需依現況選擇
4. 完成上述選擇後按start即可。

3.點選情境



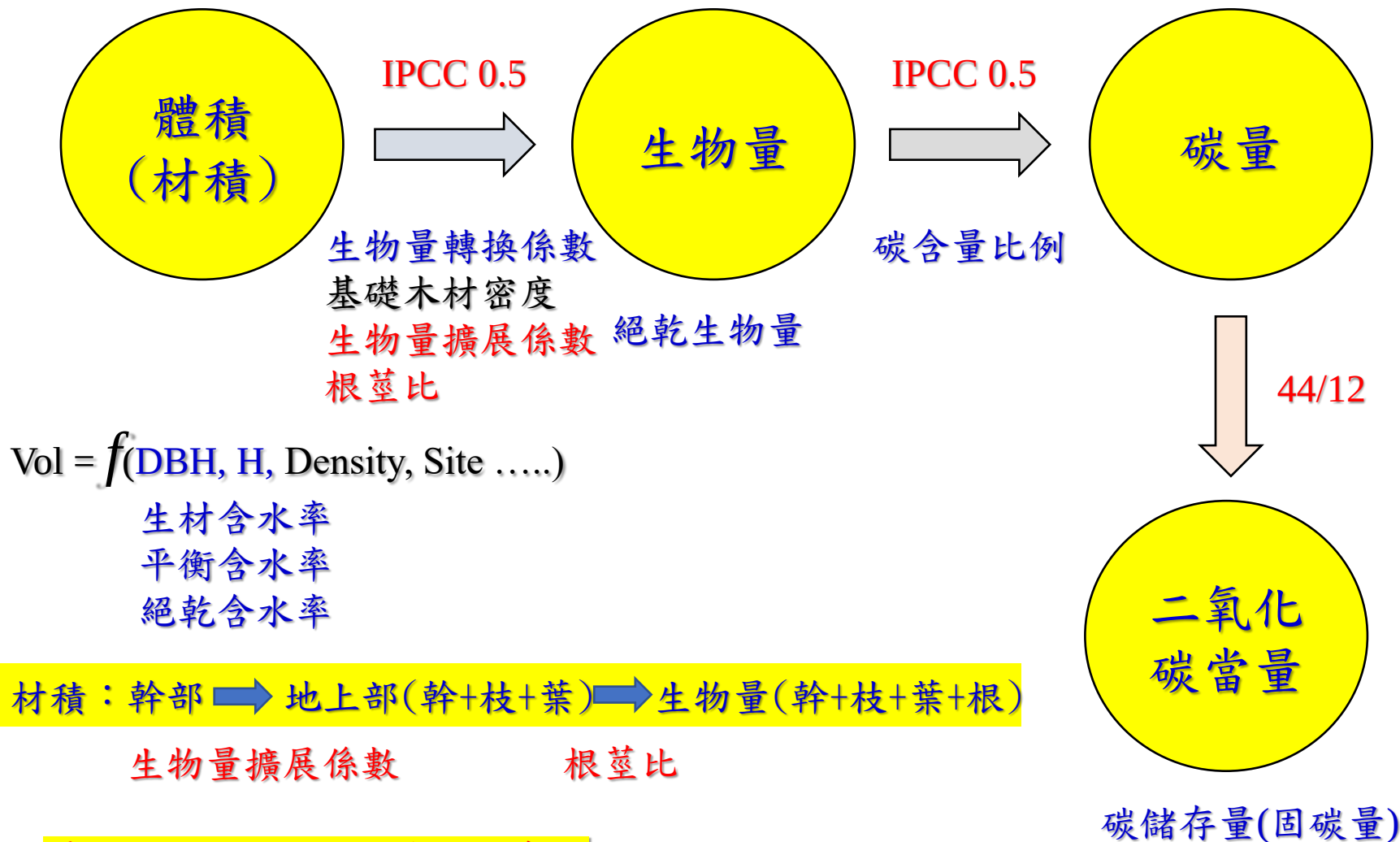
4.電子羅盤校正



5.使用光達掃描



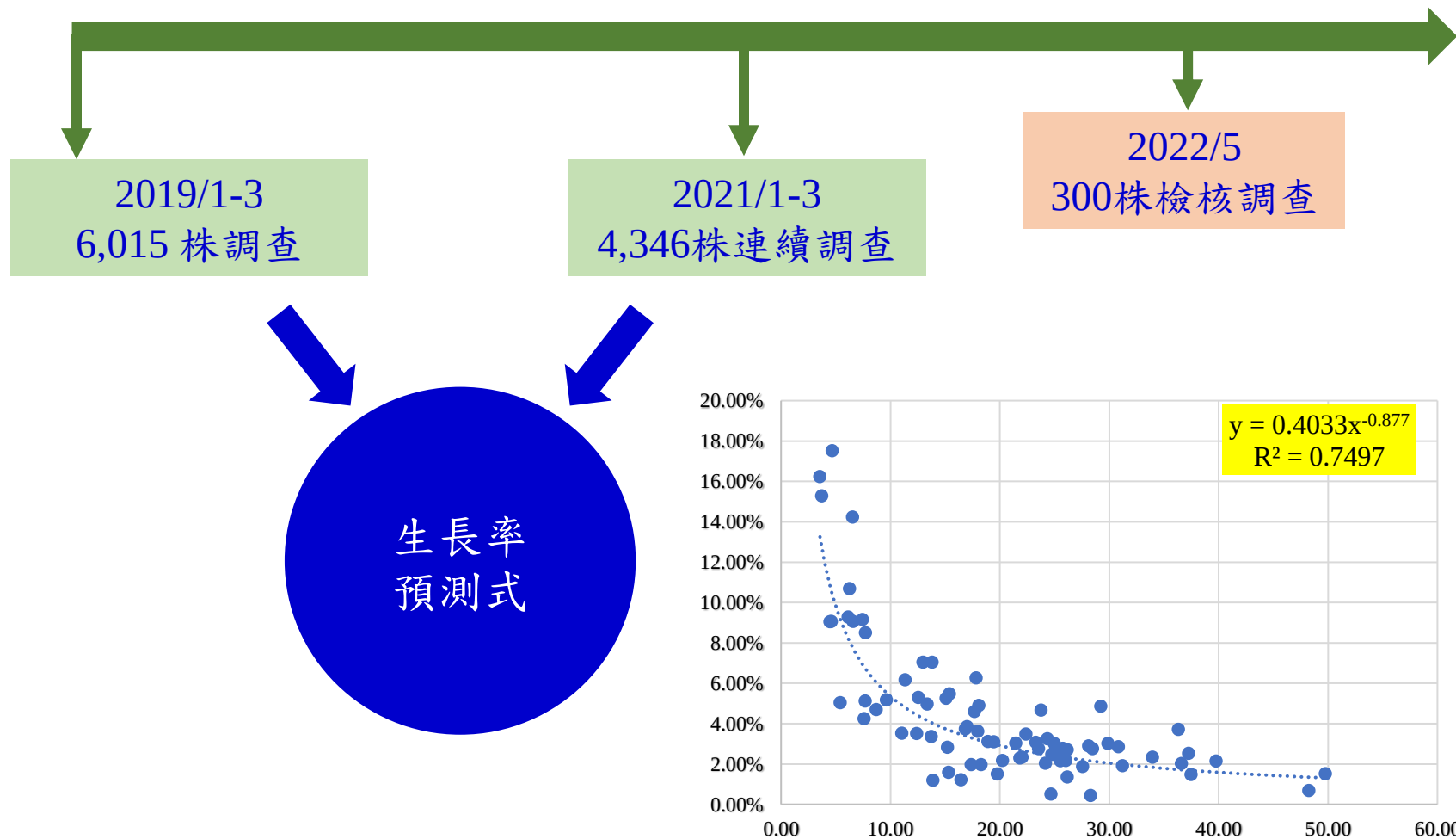
樹木碳匯計量方法：碳儲存量(總固碳量) VS 碳吸存量(生長量)



- ❖ 單期樹木總固碳量稱為碳儲存量
- ❖ 兩期碳儲存量變化量即為兩期間碳吸存量(生長量)



大安森林公園樹木調查：碳匯估算進展時程



大安森林公園碳儲存量推估結果		方法1	方法2				方法3	方法4
		-	方法2-1	方法2-2	方法2-3	方法2-4	-	-
木材密度		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	-
生物量擴展係數	幹材—地上部	-	-	1.4	2.3	-	-	-
	幹材—全株	-	2.14	-	-	-	-	-
根莖比 (R)		0.24	-	0.24 ³	0.24 ³	0.24 ³	0.24 ³	-
形數		-	0.45	0.45 ⁴	0.3997	0.8889	-	-
含碳量		0.4691	0.4691	0.4691 ⁷	0.4691 ⁷	0.4691 ⁷	0.4691 ⁷	-
2019年	幹材材積(m ³)	-	2515.03	2515.03	2233.91	-	-	-
	地上部材積(m ³)	-	-	3521.05	5137.99	4968.03	5159.64	-
	全株材積(m ³)	-	5382.17	4366.10	6371.11	6160.36	6397.96	-
	地上部生物量(ton)	1905.29	-	1760.52	2569.00	2484.02	2579.82	-
	全株生物量(ton)	2362.56	2691.09	2183.05	3185.55	3080.18	3198.98	-
	碳儲存量(ton C)	1108.28	1262.39	1024.07	1494.34	1444.91	1500.64	1707.30
	碳儲存密度(ton C/ ha)	42.74	48.69	39.49	57.63	55.73	57.87	65.84
2021年	幹材材積(m ³)	-	2663.05	2663.05	2365.38	-	-	
	地上部材積(m ³)	-	-	3728.27	5440.37	5260.40	5427.73	-
	全株材積(m ³)	-	5698.92	4623.05	6746.06	6522.90	6730.38	-
	地上部生物量(ton)	2025.29	-	1864.13	2720.18	2630.20	2713.86	-
	全株生物量(ton)	2511.35	2849.46	2311.52	3373.03	3261.45	3365.19	-
	碳儲存量(ton C)	1178.08	1336.68	1084.34	1582.29	1529.95	1578.61	1839.60
	碳儲存密度(ton C/ ha)	45.43	51.55	41.82	61.02	59.00	60.88	70.95



大安森林公園2019-2021碳吸存量推估結果

		方法1	方法2				方法3	方法4
		-	方法2-1	方法2-2	方法2-3	方法2-4	-	-
木材密度		0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	-
生物量擴展係數	幹材—地上部	-	-	1.4 ¹	2.3 ²	-	-	-
	幹材—全株	-	2.14 ³	-	-	-	-	-
根莖比 (R)		0.24 ⁴	-	0.24 ⁴	0.24 ⁴	0.24 ⁴	0.24 ⁴	-
形數		-	0.45 ⁵	0.45 ⁵	0.3997 ⁶	0.8889 ⁷	-	-
含碳量		0.4691	0.4691	0.4691	0.4691	0.4691	0.4691 ⁸	-
2019-2021年	年平均碳吸存量(ton C/ year)	34.90	37.15	30.13	43.97	42.52	38.99	66.15
	年平均碳吸存密度(ton C/ ha/ year)	1.35	1.43	1.16	1.70	1.64	1.50	2.55
	年平均二氧化碳吸存量 (ton CO ₂ e/ year)	127.97	136.20	110.49	161.23	155.90	142.95	242.55
	年平均二氧化碳吸存密度 (ton CO ₂ e/ ha/ year)	4.94	5.25	4.26	6.22	6.01	5.51	9.35

方法1：地上部生物量法；方法2：生物量擴展法；
方法3：地區性全材材積式；方法4：i-Tree Eco
建議採用專屬大安森林公園全材材積式方法2-4

- ❑ 方法2-3、2-4、3：專門適用於大安森林公園。
- ❑ 方法1：全台灣皆可泛用之推估方法。

[1] IPCC (2006) 人工闊葉林地上部擴展係數數值。

[2] 鄧翔耀 (2021) 地上部擴展係數(不含葉部)為 2.30±0.64。

[3] 林國銓 (1980) 對山黃麻生物量之研究結果，其幹材材積與全株材積之轉換係數為2.14。

[4] IPCC (2006) 人工闊葉林根莖比數值。

[5] 一般通用形數。

[6] 鄧翔耀 (2021) 主幹胸高形數。

[7] 鄧翔耀 (2021) 地上部胸高形數。

[8] 林裕仁 et al. (2002) 臺灣地區闊葉樹之碳含量平均值、IPCC (2006) 建議人工闊葉林之碳含量數值皆為0.4691。



計畫編號：108保發-10.1-保-01-06-001(40)

水土保持樹種固碳能力
與儲碳潛力計算資料庫之建置
Database for calculating the carbon
sequestration ability and potential of tree
species used in soil and water conservation

結案報告書

執行單位：國立中興大學

執行期間：中華民國108年2月20日至12月31日

計畫主持人：趙國容 副教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國108年12月

(本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考)

水土保持樹種木材密度及碳含量資料

(以喬木及木材密度*碳含量比例排序)

排名	樹種	密度	碳含量比例	密度*碳含量比例	排名	樹種	密度	碳含量比例	密度*碳含量比例
1	羅望子	0.98	48.4%	0.47	21	檫	0.73	47.7%	0.35
2	象牙柿(象牙樹)	0.94	46.1%	0.43	22	革葉冬青	0.80	43.5%	0.35
3	枇杷	0.88	47.7%	0.42	23	嶺南青剛櫟	0.76	45.7%	0.35
4	黃花風鈴木	0.79	51.3%	0.40	24	水黃皮	0.70	49.5%	0.35
5	荔枝	0.85	47.4%	0.40	25	欖李	0.71	48.4%	0.34
6	銀葉樹	0.85	46.3%	0.39	26	光蠟樹	0.73	46.8%	0.34
7	阿勃勒	0.80	48.4%	0.39	27	赤皮	0.73	46.8%	0.34
8	檸檬桉	0.83	46.2%	0.38	28	槌子櫟	0.73	46.8%	0.34
9	桂花	0.84	45.3%	0.38	29	臺灣馬錢	0.69	49.4%	0.34
10	森氏櫟(赤柯)	0.80	46.8%	0.37	30	雨豆樹	0.70	48.4%	0.34
11	榔榆	0.77	48.5%	0.37	31	蘭嶼裸實	0.71	47.6%	0.34
12	山枇杷	0.78	47.7%	0.37	32	金平氏冬青	0.75	44.8%	0.34
13	豔紫荊	0.76	48.4%	0.37	33	大明橘	0.73	45.6%	0.33
14	相思樹	0.77	47.2%	0.36	34	十子木	0.72	46.2%	0.33
15	魯花樹	0.75	48.3%	0.36	35	龍眼	0.70	47.4%	0.33
16	黃花夾竹桃	0.72	49.5%	0.36	36	銀合歡	0.68	48.4%	0.33
17	栓皮櫟	0.76	46.8%	0.36	37	金龜樹	0.68	48.4%	0.33
18	檸檬	0.74	47.3%	0.35	38	細脈赤楠	0.71	46.2%	0.33
19	羊蹄甲	0.72	48.4%	0.35	39	小葉木犀	0.72	45.3%	0.33
20	青剛櫟	0.73	47.7%	0.35	40	墨點櫻桃	0.72	45.1%	0.32

位階

S 代表為種階層的平均值

G 代表為同屬中物種的平均值

F 代表為同科中屬的平均值

#N/A 代表數值闕如



使用統一及個別樹種木材密度及碳含量進行碳儲存量及碳吸存量推估結果比較

		統一數值	樹種分類
2019年	地上部材積 (m ³)	4968.03	4968.03
	地上部生物量 (ton)	2484.02	2536.54
	碳儲存量 (ton C)	1444.91	1209.49
	碳儲存密度 (ton C/ ha)	55.73	46.65
2021年	地上部材積 (m ³)	5260.40	5260.40
	地上部生物量 (ton)	2630.20	2684.46
	碳儲存量 (ton C)	1529.95	1280.03
	碳儲存密度 (ton C/ ha)	59.00	49.37
2019-2021年	年平均碳吸存量 (ton C/ year)	42.52	35.27
	年平均碳吸存密度 (ton C/ ha/ year)	1.64	1.36
	年平均二氧化碳吸存量 (ton CO ₂ e)	155.90	129.33
	年平均二氧化碳吸存密度 (ton CO ₂ e/ ha/ year)	6.01	4.99

- 採用個別樹種木材密度及碳含量更精準估算為129.33 ton CO₂e
- 約相當於大安森林公園每年樹木碳吸存量可抵254,086度電排放量
- **電力碳排放係數為0.509 kg/度





2023大安森林公園「以樹之名」氣候行動研習營

一、計劃宗旨

以大安森林公園樹木為標的，結合愛樹護樹理念與樹木碳匯估量調查，培養理念與實務能力兼具的氣候行動公民科學家。

二、主辦單位

台北市政府工務局公園路燈工程管理處

財團法人大安森林公園之友基金會

國立台灣大學生物多樣性研究中心

三、講座：台大森林環境暨資源學系副教授、生物多樣性研究中心主任 邱祈榮



2023大安森林公園「以樹之名」氣候行動研習營

四、課程說明

- (一)6/18「愛樹三部曲」為愛樹護樹推廣課程，名額100名，歡迎有興趣民眾蒞臨聽講。
- (二)6/24、7/8及7/15「以樹之名氣候行動」為樹木調查實務、碳匯估算與應用，及調查能力檢定等專業課程，招收學員數36名。
- (三)全程參與講習且調查能力檢定通過者可獲頒證書
- (四)上課地點
 - 1.台北市立圖書館總館10樓國際會議廳(臺北市大安區建國南路2段125號)
 - 2.綠化教室：位於大安森林公園露天音樂台下方
 - 3.室外課程：大安森林公園，活動位置依授課講師指定。

五、報名注意事項

- (一)本計畫不收取課程費用，請珍惜學習資源，確認預留課程時間。
- (二)自即日起受理報名，依報名先後順序錄取，額滿截止。(額滿後列為候補)
- (三)本計畫含室內及室外課程，請自備飲水、防曬或防雨裝備。

課程表

日期	時間	主題	講 題	時間(小時)	備 註
2023/6/18 (星期日)	09:30-12:00	愛樹三部曲	知樹：樹木生態知多少	2.5	室內推廣課程 (台北市立圖書館10樓國際會議廳)
	13:30-15:00		愛樹：樹木教育愛長久	1.5	
	15:00-17:00		護樹：樹木保護面面觀	2	
2023/6/24 (星期六)	09:00-12:00	以樹之名 氣候行動	行動1：樹木保護動起來	3	室內課程(大安綠化教室)
	13:30-17:30		行動2：樹木調查實務 I：胸徑調查	4	1小時室內(大安綠化教室) 3小時室外
2023/7/8 (星期六)	09:00-12:00	以樹之名 氣候行動	行動3：樹木調查實務 II：樹高調查	3	1小時室內(大安綠化教室) 2小時室外
	13:30-17:30		行動4：樹木碳匯估算與應用	4	室內課程(大安綠化教室)
2023/7/15 (星期六)	13:30-17:30		成果驗收：調查能力檢定*	4	室外考場
總計時數				24	

*全程參與講習且調查能力檢定通過者可獲頒證書



研究報告

樹木胸徑調查品質評估

邱祈榮¹⁾ 黃紀晴^{2,3)}

摘 要

樹木具有多樣的生態系服務，在氣候變遷衝擊加劇以及社會對自然為本解方關注度的提升下，森林及都市林的經營管理更顯重要。然而，現地樹木調查經常受人為誤差影響，且目前臺灣缺乏對於人員調查品質與資料的檢核標準，因此需要一套管理機制進行品質控制與保證，並發展輔助工具提升量測精度。本研究設計一試驗評估調查人員量測品質表現，以盒鬚圖法篩選的離群值數量為評量依據，評估自製輔助工具—定位桿—對於胸徑量測精度的影響。同時，考量樹型、徑級兩變因進行資料分析，並提出建議設定的容許誤差範圍。研究結果顯示，離群值篩選機制可快速評估調查品質良窳，當設定MQO 90%為合格標準，本次試驗約有80%調查人員達成。以標準差與變異係數檢視胸徑量測精度，結果顯示使用定位桿有助於提升整體量測表現，而其對S型樹木可有最大提升。最後，根據實驗結果提出容許誤差設定的兩標準：一參考盒鬚圖內籬，設定中位數 ± 0.68 cm為容許誤差；二參考標準差，設定平均胸徑 ± 0.56 cm為容許誤差，作為臺灣樹木胸徑調查品質標準之參考，並使樹木調查指引與規範更加完整。

關鍵詞：樹木調查、品質控制與品質保證、胸高直徑、容許誤差。

邱祈榮、黃紀晴。2023。樹木胸徑調查品質評估。台灣林業科學38(4):303-19。

樹木調查檢核方式

1. 訂定容許誤差值：如胸徑0.6公分
2. 訂定量測品質目標：如90%
3. 多人量測多樹：例如30個人量測30棵樹
4. 計算每棵樹量測的平均數
5. 比對每個人相較於每棵樹的量測誤差值
6. 統計量測誤差小於容許誤差的株數與總株數比例，為量測合格比例
7. 若量測合格比例高於量測品質目標(90%)則屬合格，反之則為不合格

案例說明

1. 胸徑容許誤差0.6公分
2. 30個人量測30棵樹
3. 甲比對每木量測值與每木平均值誤差值，發現有4棵樹大於容許誤差
4. 量測合格比例 $26/30 = 86.7\% < 90\%$ 為不合格

大安森林公園樹木碳匯調查志工合格證書

- 完整20個小時講習課程
- 嚴格調查實務考核機制
 - 每人量測30株樹
 - 過半補考比率
- 國內第一張樹木調查能力合格證書
- 政府、非營利組織與學術單位共同核發
- 參與後續公民科學樹木調查

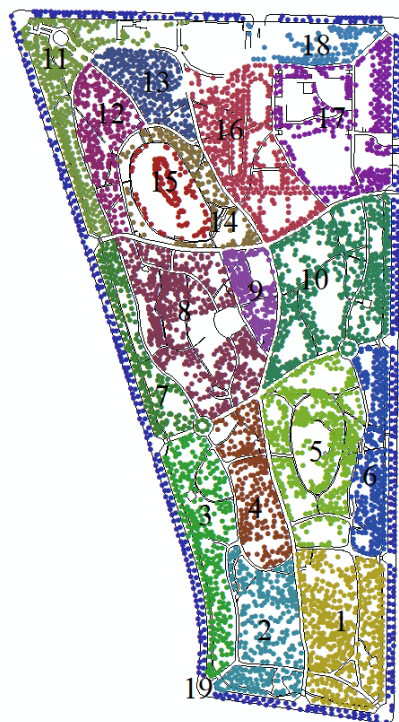


大安森林公園樹木碳匯公民科學家

一、調查期限：2024/01/01~2024/04/01

二、樹木分區規劃：

全區樹木依照道路、性質、距離劃分劃分成19個調查區域。每個調查區域由一個調查小隊認養調查：



分區號碼	樹木數量
1	438
2	269
3	295
4	216
5	485
6	291
7	190
8	476
9	216
10	525
11	334
12	223
13	212
14	122
15	132
16	390
17	295
18	101
19	587
總計	5797

- 胸徑調查小隊：2位志工組成1個胸徑調查小隊，專責胸徑量測。
- 樹高調查小隊：2位志工組成1個樹高調查小隊，專責樹高量測。
- 調查稽核小隊：2位志工組成1個調查稽核小隊，專責稽核複查胸徑與樹高。

樹木測量調查平臺

樹木外形特徵



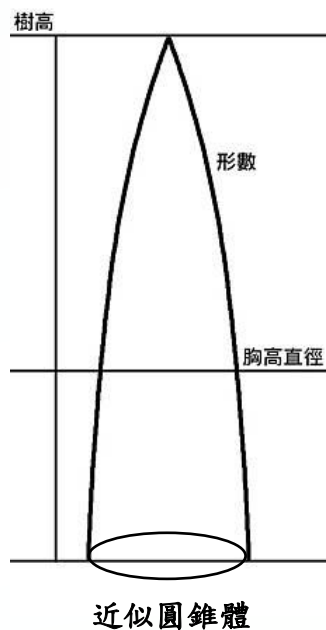
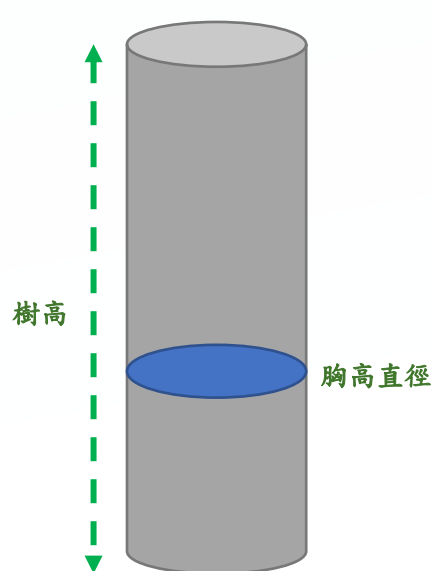
體積換算



累積CO₂換算



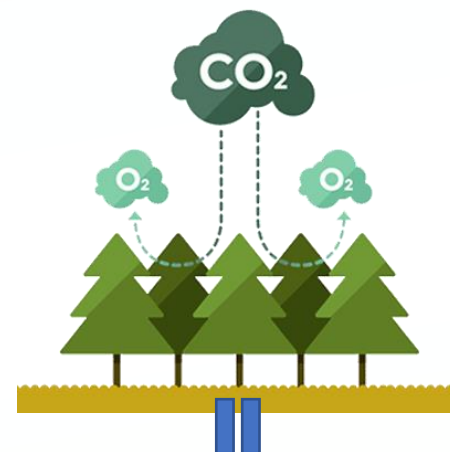
樹木碳匯



生物量



二氧化碳當量



總二氧化碳當量



中華電信樹木碳匯普查平台

- https://example.supergео.com.tw/Tree_Park/





～謝謝聆聽～敬請指教～

