

106-1 台大地理 自然地理調查方法

題目：

暖化造成山區雲霧提升  
對於低海拔森林 NPP 的影響

研究動機：

人類文明進入 21 世紀，工業蓬勃的發展，近百年來所排放的溫室氣體，已然影響地球大氣的組成，造成全球性的溫室效應，連帶著影響地球的地貌、生態與能量供給（Camille Parmesan, 2006）。當中，能量供給在人類存活條件扮演重要的角色，因此全球暖化對於地球生態系的影響是不容忽視的。能量供給的來源，來自於植物等生產者轉化太陽的能量，透過食物鏈往消費者傳遞能量，最後傳遞至人類。透過監控能量供給來源的變化，得以讓人類在工業持續發展的同時，瞭解人類活動已然對於地球的生存環境，產生能量上面的影響。

台灣島座落於北緯 25 度，東經 121 度，是太平洋東南方的副熱帶海上島嶼。島上森林裡的植物因為濕熱的氣候，生長蓬勃旺盛，將太陽能量轉換成生質能的效率也很高。在這樣一個前提下，全球暖化對於台灣整體森林並無極端性的存亡影響（徐嘉君，2006），然而，全球暖化對於台灣的森林生態系是否會產生其他面向影響是許多人在調查的事情。

因此，本篇的研究，以台灣島東北方的棲蘭山區的低海拔霧林為研究樣區，試圖透過長期的觀測以及搜集樣區森林的淨初級生產量（Net primary production, also NPP），據此為指標，分析 NPP 的資料與氣溫長期變化的相關性，探討其中的機制與原因，回答全球暖化對地方生態能量供給的影響。

## 研究目的：

為了回答「全球暖化對於地方生態能量供給的影響」這個問題，有許多的資料分析與測量必須被完成。當中牽涉到全球暖化的氣溫趨勢，暖化對於森林降雨、雲霧帶海拔抬升的變化，以及 NPP 在前兩者變動趨勢下的波動與走向。所以首先，研究會比對雲霧下屆歷年來的海拔高度資料，比對研究樣區（台灣宜蘭縣 棲蘭山）的歷年氣溫資料，做比對找出暖化對於雲霧海拔提升的影響。

在研究的第二階段，透過其他研究紀錄的 NPP 以及實際參與 NPP 的地面搜集，瞭解 NPP 為何在生態能量來源具有代表性，以及 NPP 的搜集以及計算過程中實際受到暖化間接影響的參數是什麼。

總括性地來說，本研究目的有三：

- （一）台灣氣候暖化對於棲蘭山區雲霧海拔抬升有什麼影響？
- （二）如何在棲蘭山區進行生產者的淨初級生產量（NPP）地面搜集？
- （三）棲蘭低海拔山區淨初級生產量（NPP）與雲霧海拔抬升趨勢是否相關？

透過以上三個研究提問，能夠連鎖性地推估全球暖化在台灣島上生態能量供給的影響，進而能使此研究結果成為其他相關進階研究的基礎。

## 文獻回顧：

### （一）全球暖化在全球氣溫的實際變化

「全球暖化」特別是指靠近地表面或是海表面的全球平均氣溫隨著時間逐漸升高的現象。此現象在 20 世紀中期以後趨於明顯；直到今天，全球平均溫度和百年以前相比還是偏高。

上一個世紀(1906-2005 年)全球平均溫度的上升幅度約為一百年上升攝氏 0.74 度 ( $0.74 \pm 0.18^{\circ}\text{C}$ )。溫度變化分為明顯的兩個階段，第一階段為 10 至 40 年代，氣溫平均上升攝氏 0.35 度；第二個階段為 70 年代至今，氣溫平均上升攝氏 0.55 度。尤以最近 25 年的氣溫上升最為明顯，1906 至 2005 年這一百年中，最溫暖的 12 年，就有 11 年發生在 1980 年以後（中央氣象局，2012）。

### （二）棲蘭山區的低海拔霧林雲霧帶

霧林廣泛的定義為雲霧頻繁籠罩的森林(Hamilton et al., 1995)，大部分分布於熱帶或亞熱帶臨海的山地區域，目前全世界只有 1%的森林可以稱之為霧林，重要的山地霧林分布區域為中南美洲、東非、婆羅洲、新幾內亞等(徐嘉君，2015 引用自 Häger, 2006)。雲霧森林通常離海岸線近，海洋濕暖空氣受到地形抬升作用形成雲霧，雲霧通過與土壤及植物表面接觸形成凝結水(又稱「水平降水」，“horizontal precipitation”)增加森林可利用水的比例。

台灣具有高山且四面環海，又處於東北季風和西南季風的交界地帶，因此當由海面蒸散的水氣受到季風吹拂至山區，中高海拔的低氣溫使水氣飽和點濕度下降，因此凝結形成雲霧。在容易受到雲霧壟罩的山區則稱為雲霧帶，而處於雲霧帶之中的森林則稱作雲霧林（林務局，2015）。

棲蘭山區平均一年中有三百四十二天有起霧（賴宜鈴，2006），而一年中有雲霧的時間大約佔了 40%。雲霧出現和風向有關。濃霧和微所減少的光通量只有 5%的差異。但與晴天相比，只要雲霧出現，便會顯著減少光通量。由於光通量是森林樹木的重要限制因子，舉凡植物的生長、存活、競爭力界受其影響。因此雲霧林的雲霧發生頻率會進而影響雲霧林的林相。

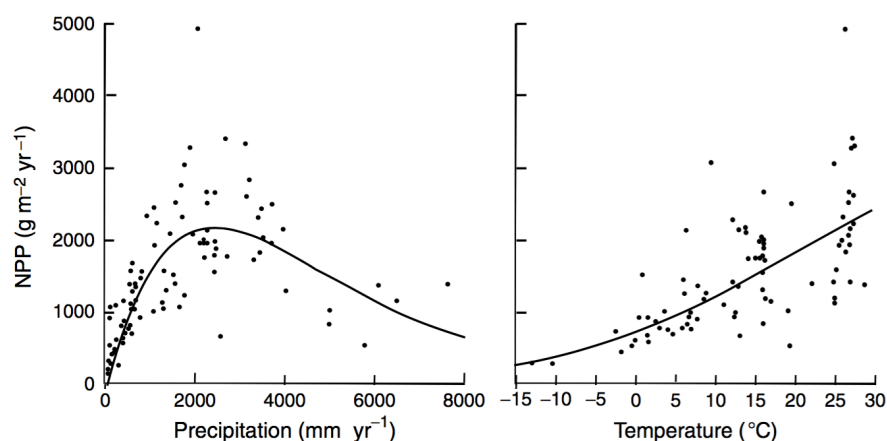
當雲霧發生時，林冠上的光量平均降低約 88%，年平均的林冠上光量變化則將低約 70%。與此同時，森林中的濕度也會受到影響。由於分布於棲蘭山區的檜木小苗，紅檜、扁柏並非極端陽性物種，低光亮環境與溼度改變可能影響檜木小苗在自然狀況下的存活率、更新以及分布（簡意婷，2008）。

### （三）生產者淨初級生產量（NPP）的計算與意義

淨初級生產力（NPP, Net primary production）是總初級生產力（GPP, Gross primary production）扣掉呼吸作用所需要消耗的能量，剩下的能量，或說是生下的生產量。其中呼吸作用消耗的能量分為三個用途：生長、維持生物體與根部主動運輸。

在三個呼吸作用當中，Maintenance Respiration 所消耗的能量，佔總呼吸作用的一半以上(Lambers et al. 2008)。隨著氣溫增加，因為蛋白質與薄膜脂質的代謝快速，因此所需的能量較高。乾旱也會造成和短期有機質的主動滲透率有關的新成代謝成本，是受到環境影響最主要的變因，也是GPP轉化成NPP的主要且關鍵變因。

在溫暖濕潤的環境下，生產者的 NPP 通常較高，當中降水與 NPP 的關係，又比溫度與 NPP 的關係來的密切(Luyssaert et al. 2007)，其變化程度如圖一。



（圖一） 溫度以及濕度對於NPP的影響

圖片來源：Plant Carbon Budgets: Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York, NY (2011)

#### (四) NPP 的地面搜集原理

NPP 無法使用 GPP 扣除 Respiratory 來測量與搜集(Waring and Schlesinger 1985)，因為呼吸作用所消耗的能量計算過於複雜難以捉摸(Lavigne et al. 1997)，因此在實際測量 NPP 的時候，我們必須直接的搜集生產者的生成與損失來測量。

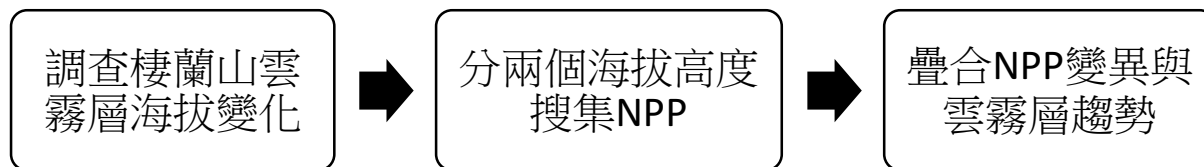
在地面搜集 NPP 時，研究者首先訂出一個研究期間，然後針對可以量化的分類分成兩個部分：生物體的增加與生物體的損失，以及這兩個類別底下的：地表上的搜集與地表下的搜集（通常是根部）。

在地表上的 NPP 地面搜集當中，在生物體的增加向度：最主要就透過量高大木本植物（胸高樹圍直徑大於 10 公分）的樹幹樹圍來瞭解植物的生成。再來是了解森林底層的植物的生成量，這在樹冠密閉的森林因為站量少，所以可略；但在樹冠開放的森林，森林底層的 NPP 甚至可能超過樹冠(Gower et al. 2001)，因此必須透過其他方式來測量生長量。

在生物量減少的向度：最主要就是透過搜集枯落葉、落花、果實的搜集來搜集生產者減少的生物量，以及草食動物的消耗與有機質的流出（例如楓糖、橡膠等樹液）。

將生物量的增加與生物量減少的兩個 NPP 地面搜集向度「相加」，及可以得到地面搜集，一期間內，一樣區森林的 NPP。

## 研究方法：



首先，我要得到台灣島上棲蘭山區的雲霧層上下界的資料。資料來源為歷年來棲蘭山上的氣象站量測地雲霧濃度，以及雲霧最高和最低出現高度。再觀察其因為全球暖化所導致的變化與趨勢。以整理雲霧層上下移動與氣溫年變化的相關性。

再者，我會在終年雲霧籠罩的海拔樣區與無法形成雲霧的海拔樣區各採一個 20 公尺乘以 20 公尺的樣區，然後實際進行 NPP 的收集，進行為期一年的地面搜集的採樣。至於 NPP 的地面搜集方法，就是將生物體的增加與生物體的損失相加，作為 NPP 的搜集總值，下面詳述搜集的方法與過程。

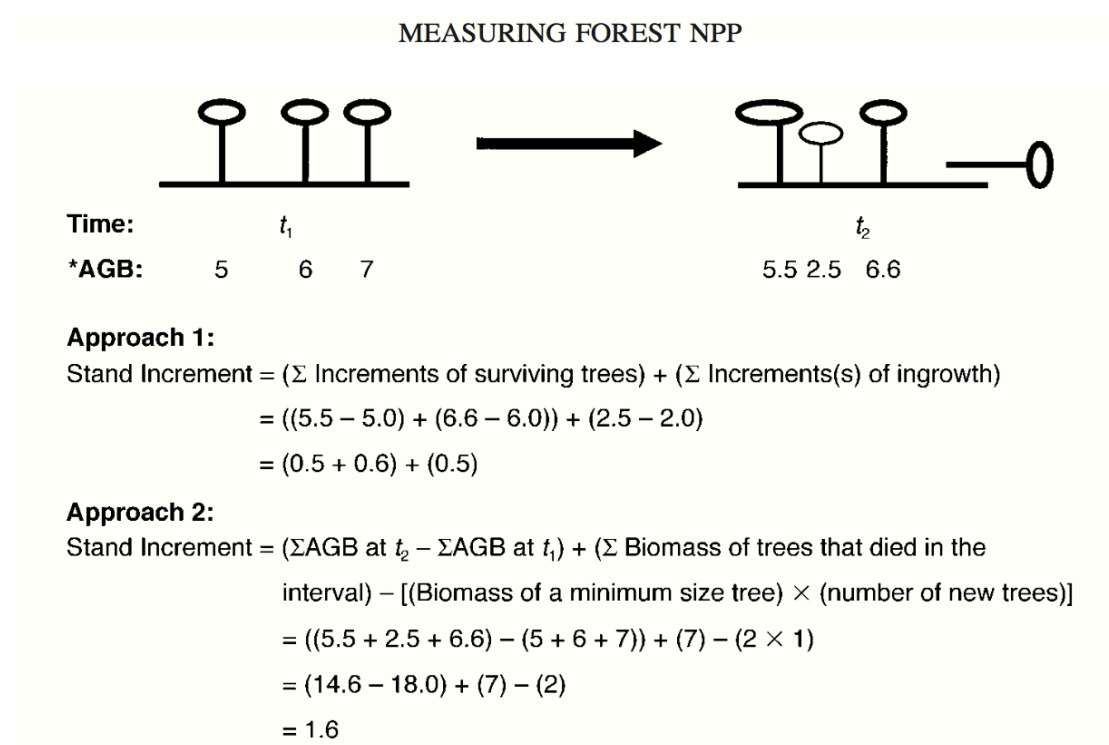
首先生物體的增加，以木本植物為調查對象，其使用方式因為設定的樣區預計是 20 公尺 乘以 20 公尺，樣區較小，因此採用（圖二）當中左側方法

（t1）。左側的計算方式，把死亡或傾倒的樹木看作為沒有增長，因此忽略不計，最主要看存活下來以及新長出來的樹木。將研究期間樹木增長的生物量（取 delta）以及新生植物量與最小胸高樹圍直徑得生物量的差（delta），來計算樣區內的木本植物生長量。

至於個別木本植物的生長量要計算計算方式，則使用樹高以及胸高樹圍作為參數，推估木本植物的乾重。其計算參數如（圖三）。把上生物體的增加做完計算以後，接著做生物體的減少，最後將兩個向度加起來則為研究樣區的 NPP。

NPP 的減少則是使用枯落物的掉落的乾重來推估。透過在樣區附設攔截網，攔截掉落的枯枝落葉，搜集過後帶到研究室，拿烘烤機烘乾，測量乾重，加上推估的新生生物體重量，則為所求的 NPP。

最後將兩個樣區測量到的 NPP 數值，搭配雲霧濃度與海拔高度資料交互的比對，分析兩者的差異。再結合一開始氣溫資料與雲霧層海拔高度的相關性資料，來探討全球暖化造成的雲霧層提升對於台灣山區 NPP 多寡的影響。



(圖二) 木本生物量增加計算方式，圖片來源：Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods. Ecological Applications(2001)

### 樹種重量與胸徑、樹高的關係

一般由胸高直徑(D)、樹高(H)與重量的關係(重量式)

$$\log W = a + b \cdot \log D + c \log H$$

式中之W：樹重量(kg)

D：胸高直徑(cm)

H：樹高(m)

例如圖6-3、表6-5：

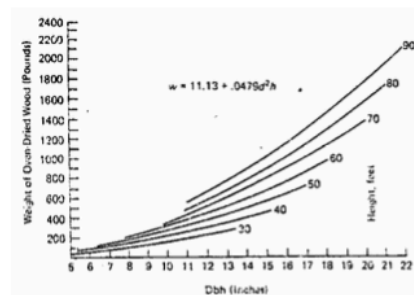


圖6-3 胸徑、樹高與重量的關係

表6-5 琉球松商業圓材重與胸高直徑(DBH)總樹高(H)的關係表

DBH (inches)	總樹高(H)(ft)					
	20	30	40	50	60	70
6	81	131	183	235	287	
8		252	344	436	528	620
10			552	696	839	983
12				1012	1220	1429

註：頂端直徑為合皮直徑3.0inches處

(圖三) 木本植物乾重推估函數，圖片來源：國立中興大學森林測計學第六章  
伐倒木測計(2005)



## 預期成果：

我預期呈現三個研究結果，以回答本研究一開始的提問「全球暖化對於地方生態能量供給的影響」。預計的三個研究結果詳述如下：

**（一）棲蘭山區的雲霧上下界移動的軌跡與數值，再輔以氣象資料佐證雲霧提升與全球暖化的關係。**

透過散佈圖以及統計學相關性檢定，分析雲霧層海拔高度以及氣溫上升的趨勢關係。並探討其相關係數以及趨勢線斜率，並透過統計檢定來判斷兩個變因的關聯性，檢定雲霧層垂直方向移動與氣溫的關係。

**（二）兩個不同海拔樣區棲蘭森林 NPP 的資料與討論。**

實際在台灣宜蘭縣棲蘭山區操作文獻當中搜集的方法，將實驗組（終年雲霧籠罩）與對照組（非終年雲霧籠罩）量測的結果記錄下來，做出為期一年的測量資料，並分析資料的波動以及變化。

**（三）利用上述兩者資料推估雲霧對於 NPP 的影響，做出全球暖化對於生態能量供給的影響。**

將第一個研究結果，以及第二個研究結果，進行交互比對，分析兩個變化的相關性，已做出全球暖化如何影響棲蘭山區的雲霧層抬升，再者，雲霧抬升如何影響棲蘭森林的生產者的淨初級生產量 NPP。最後回答來回答本提案的研究提問：全球暖化對於的低海拔森林（涵蓋雲霧層下界）NPP 的影響。

## 參考資料

Camille Parmesan (2006), Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change, *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2006. 37:637-69

徐嘉君(2006), 全球氣候變遷對台灣森林生態系的 潛在衝擊與可能的植群演變, 林業試驗所育林組林業研究專訊 Vol.16 No.3 2009

中央氣象局 (2012), 政府間氣候變遷小組第 1 工作組第 4 次評估報告常見問題

L. S. Hamilton, L. A. Bruijnzeel, F. N. Scatena (1995), Tropical Montane Cloud Forests: Science for Conservation and Management, Cambridge University Press

Chapin F.S., Matson P.A., Vitousek P.M. (2011) Plant Carbon Budgets. In: Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology. Springer, New York, NY

賴宜鈴. (2006). 光環境對臺灣棲蘭山區亞熱帶雲霧林內兩種檜木小苗生長與建立之影響. (博士), 國立臺灣大學, 台北市.

簡意婷. (2008). 棲蘭山樣區大氣沉降之 5 年研究. (碩士), 國立東華大學, 花蓮縣.

Lambers, Hans, Chapin III, F. Stuart, Pons, Thijs L.(2008) Plant Physiological Ecology, chapter 6

Luyssaert et al.(2007)CO<sub>2</sub> balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database, *Global Change Biology* (2007) 13, 2509–2537

Waring and Schlesinger(1985), Forest ecosystems: Concepts and management. Richard H. Waring and William H. Schlesinger. Academic Press, London, 340pp.

Lavigne et al. (1997), Identification and analysis of eosinophils by flow cytometry using the depolarized side scatter-saponin method

Gower et al.(2001), Net Primary Production and Carbon Allocation Patterns of Boreal Forest Ecosystems, ecological Applications,11(5), 2001, pp. 1395–1411q2001 by the Ecological Society of America

Clark, D.A., Thomlinson, J.R., Ni, J., Brown, S., Kicklighter, D.W., & Chambers, J.Q. (2001). Measuring net primary production in forests: Concepts and field methods. Ecological Applications, 11, 356-370

國立中興大學森林測計學第六章 伐倒木測計 (2005)