

應用數值地形資料推導福山地區森林生育地因子*

謝漢欽^{1,2)}

摘要

本研究旨在應用網格式地理資訊技術,將福山地區的數值地形資料應用於森林生育地因子的推導。所推導的森林生育地因子皆與地形和位置有關,推導的因子包括溫度指數、合成水分指數、全天空光空域及全年直射光空域。求算的過程因考慮到能與遙測影像及地理資訊的整合,其演算方法已經過合理改良,可對未來大面積的生態監測及生態模式的綜合分析,提供有利的資訊。

關鍵詞: 數值地形、森林生育地因子、地理資訊系統、全天空光空域、直射光空域。

謝漢欽 1997 應用數值地形資料推導福山地區森林生育地因子。台灣林業科學 12(1): 1-14。

Applying a Digital Terrain Model to Derive Forest Habitat Factors— A Geographic Information System Approach

Han-Ching Hsieh^{1,2)}

【 Summary 】

The objective of this study was to apply the technique of raster geographic information system to derive forest habitat factors from digital elevation data of the Fushan area. The derived factors associated with the influences of terrain and spatial distribution included the temperature index, synthetic moisture gradient, whole light sky space, and direct light sky space. The purpose was to be able to integrate these factors into remote sensing and geographic information system data, so the algorithm of each model was modified so as to be able to be used by geographic information system. The results of the study are suitable for utilization large-scale ecological monitoring and detection, and can be used as major variables in the analyses of ecological quantitative models.

Key words : digital terrain model, forest habitat factor, geographic information system, whole light sky space, direct light sky space.

Hsieh, H. C. 1997. Applying a digital terrain model to derive forest habitat factors - a geographic information system approach. Taiwan J. For. Sci. 12(1): 1-14.

1) 台灣省林業試驗所森林經營系, 台北市南海路53號 Division of Forest Management, Taiwan Forestry Research Institute, 53 Nan-Hai Rd., Taipei, Taiwan, ROC.

2) 通訊作者 Corresponding author

1995年12月送審 1996年1月通過 Received December 1995, Accepted January 1996.

* 本研究承國科會專題研究計畫(NSC84-2321-B-054-009)經費補助, 特予致謝。

一、緒言

近年來台灣的森林經營趨勢，已著重在森林生態系經營，擬採用符合生態法則的方式，維持森林生態系健全之多目標利用。其中對於森林資源的監測則應注重隨時間變動的大尺度（large scale）生態度量變化之監測（鄭祈全、謝漢欽，1993）。有關大面積的森林植生健康狀況的監測，可以引用多期遙測資料與地理資訊系統

（geographic information system; GIS）行定量的變遷分析，其他與植生生長狀況相關的生育地因子多需靠地面的樣區調查。由於樣區調查方式頗為費工、費時，尤在大面積且地形起伏甚劇的林地進行時，樣區的位置、數量及分佈是否具有代表性，經常是要將調查結果擴展成地理資訊系統之主題層（涵蓋全面積）時，所面臨的一項難題。數值地形（digital terrain model, DTM）資料在GIS的應用目前已日漸廣泛，除可推導全面積的等高線、坡度、坡向、水系流向（量）及集水區的劃分外（鄭祈全，1993）。也由於森林諸多的生育地因子與地形及位置因子息息相關，如能配合數值地形資料與進行遙測研究時的一些成果，則可推導出一些合用於GIS模式分析的生態因子主題層。本研究推導的森林生育地因子皆與地形位置相關的因子，其項目包括溫度指數、水分指數、全天空光空域及全年直射光空域，求算的過程因考慮到能與遙測衛星影像及地理資訊系統整合，其演算方法已經過合理改良。本報告的供試區選擇在本省的全球環境變遷（global change）長期生態系研究試驗站之一的林業試驗所福山分所轄區，希望研究成果能有助於提供該區的植生健康狀況監測及生態模式分析。

二、材料與方法

（一）供試材料

1. 數值地形資料

本項資料由農航所製作，解析度 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ ，範圍涵蓋福山地區約 $350\text{ 像元 (pixel)} \times 350\text{ 像元}$ 的大小。本資料由林務局農航所製作，從中央大學遙測中心申請購得。

2. 等高線地形圖

本圖包涵福山地區 $1,000\text{ m}$ 以下之區域，比例尺為五千分之一。本圖由農航所繪製，福山分所提供。本資料經數化，加入斷線和山脊點，內插成數值地形資料，以彌補第 1 項資料之不足。

3. 地理資訊

福山分所地理資訊圖層，包括了林道、水系、行政區界及集水區區劃分界等，由林試所森林規劃研究室建立。

4. 使用的硬體與軟體

(1) 遙測數位影像處理及分析系統

採用地球資源資料分析系統 ERDAS (Earth Resource Data Analysis System) 7.5 版。

(2) 地理資訊系統

採用 PC ARC/INFO 3.4D 版地理資訊系統。

(3) 地理資訊查詢系統

ARC/VIEW 2.0 版地理資訊查詢系統。

(4) 自行研發的程式

程式以 C 程式語言撰寫，包括計算太陽入射幾何、地形完全遮陰區、天空光比例因子、地形結構因子及多層影像取樣等程式。

(5) 統計套裝軟體

本研究之統計分析採用賽士公司 SAS 統計套裝軟體。該軟體由農林廳租用並分配給本所使用，使用的版本為 6.08 版可於 MS Windows 上執行。

（二）研究方法

1. 地形資料的前期處理

(1) 數值地形資料

由農航所製作的數值地形（DTM）資料，係由航照立體對在高精度航測立體解析儀下，等間格取樣的高程資料，其精度為 $40\text{ m} \times 40\text{ m}$ ，為了適用於網格式地理資訊系統分析之用，將其向量資料（具地理座標及高程值）轉成影像格式儲存，並依雙線性內插法（bilinear resampling）內插成 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 大小的像元；目的在於可與 SPOT HRV 影像（具 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 空間解析度）套疊分析。轉成後的影像應用此數值地形影像進一步處理前，可對 DTM 行高斯平滑化（Gaussian Smoothing）處理，以去除誤差。

(2) 由等高線圖產生數值地形資料

研究使用的等高線圖，比例尺為 $1 : 5,000$ ，由農航所特地為福山分所製作，本圖包涵福山地

區海拔 1,000 m 以下之地區。首先將本等高線圖置於數化版上，每隔 20 m 高程距數化一等高線（使其具有 40 m 的精度），數化點の間隔視等高線彎曲程度而定，並維持在 100 m × 100 m 內至少有 50 個平均分布的數化點。之後，在平緩地形處增加輔助點，地形起伏大的地方加入斷線和山脊點。依輸出的高程點數化檔轉算成 DTM 影像，先設定輸出影像為 20 m × 20 m 像元大小，以 50 m × 50 m 為計算單元（block），以 3 × 3 小視窗決定像元高程值，其尋找半徑設為 50 m，選擇 (1-Q)/Q 的距離加權指數，進行高程值內插，其中 $Q = D/S$ ，式中 D 表示距離，S 表示尋找半徑。產生的 DTM 影像與 1 項產生的數值地形影像接合，可彌補前項資料之不足，並作為本研究進行生育地因子分析的數值地形資料。

2. 溫度指數的求算

(1) 溫度指數模式

在森林生態學上，溫度對林木的生育及分布影響至鉅，依溫度指數可以區分植被（蘇鴻傑，1988；周昌弘，1990）。溫度指數與海拔高度有一線性關係，可由各地的氣象資料求出適合本省林型的迴歸模式，其迴歸方程式如 1 式。

$$y = 210.3666 - 0.0543x \dots\dots\dots(1)$$

其中 y = 溫度指數
x = 海拔高度

3. 合成水份指數的求算

(1) 水分梯度模式

① 方位水分梯度

有關生育地水分梯度模式種類很多，最常用的可以簡單的方位區分作為指標，代表性指標如 Day and Monk 於 1974 年推出的模式，依方位區隔以北半球而言西面向最乾燥，東北向最濕，故可給與 1（最乾）至 16（最濕）之相對等級值，以圖表示如 Fig. 1（蘇鴻傑，1987）。本模式只考慮方位因子，且在樣區調查時為求方便只簡單分成 16 個方位。如改用 DTM 來求算坡向，其精度可算到以度為單位（0° -360°），得到較為連續的值。

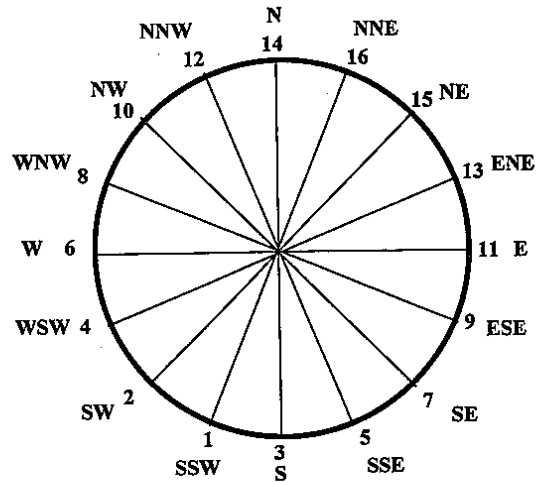


Fig. 1. The Day & Monk model for moisture gradient calculated by aspect. (Su, 1987)

② 合成水份梯度

此外，影響生育地水份梯度者，並非僅方位一因子，尚須考慮到海拔高度、坡度、土壤物理性質及排水等因素，其中地形尤為相關因子，故以方位表示水分指數，常須合併其他因子加以評估，作成合成指數。有例可尋者如 1996 年 Buell 等將海拔高度加以評估，其劃分等級以圖表示如 Fig. 2，以 100 m 等高線為一區間，不同方位各給予不同之海拔方位指數，其指數由 1（最濕）至 10（最乾）。1960 年 Whittaker 則採用 16 個方位如 Fig. 3 加以評定，然位於山坡下側及溪谷者不計其方位，深谷而面臨溪水者其值為 1，淺谷而無水者其值為 2，隱蔽之山坡下側設定值為 3，其餘地形位置則依其方位等級，由東北至西南給予 4-10 之值，稱之為水分梯度級（moisture gradient class），此級值與水份之含量呈負相關（蘇鴻傑，1987）。本模式改由 DTM 來推算時，可先算出坡向並用原有高程值，依 0° -360° 及合理高程值域算出更精確的分級結果。

(2) 合成水份指數演算

由於改用 DTM 資料配合地理資訊系統進行計算，較具彈性，本研究綜合上述三種模式，改進演算方式，得到合理的合成水份指數影像。首先求算方位水份指數，再配合經合理分級的海拔水份指數，兩者合成水份指數影像。

太陽輻射不僅為一切生物能量之來源, 且控制生育地之大氣候及局部氣候。影響輻射的因子至為複雜, 包括緯度、日照度(季節)、方位、坡度、地形遮蔽、瞬間天氣狀況及大氣層本身特性。森林之發育及生長期極長, 故評估林地之輻射環境, 宜以長期累積效應為佳, 因氣候因子之變化以一年為週期, 因此太陽輻射之觀測亦以經年累積量為評估基礎。在緯度相近之地區, 輻射量之差異實由方位、坡度及附近地形遮蔽所引起。到達地面之輻射量, 可分為直射光 (direct light) 及漫射光 (diffuse light) 兩種, 此兩種光之比例, 隨生育地之位置而異, 1952 年鈴木時夫指出, 直射光或漫射光之盛行程度, 與生育地之森林組成及數冠形態有關, 直射光及漫射光之相對數量, 可能有顯著之生態意義 (蘇鴻傑, 1987)。

(2) 全天光空域的樣區調查法

因緯度差異不大造成之生育時間之輻射量變化, 可用附近地形地物之遮蔽率作長期累積效應之評估, 鈴木時夫採觀察樣區四周之十二個固定方位角, 並計算遮蔽物之高度角 (altitude angle), 高度角可以依附近之山脊為準, 測定方位角及高度角 (夏禹九、王文賢, 1985), 然後以製圖方式, 求出受屏蔽之天空範圍大小, 以表示輻射估值。計算方法可以用 Fig. 4 來說明: 設以一圓表示樣區所在地平面四周所見之天空範圍, 圓心為樣區天頂 (zenith) 所在, 圓周代表地平線, 圓之半徑即為地平線至天頂之 90° 仰角空間。在不同方位測出山脊之高度角, 以點表示於圓內, 連接此點所形成之多邊形, 即未受遮蔽之空域大小, 在此空域範圍, 直射光及漫射光均可進入, 故稱之為全天光空域 (whole light sky space, WLS)。在平地無任何遮蔽物時, 其大小為整個圓之面積, 若在附近有高山之山脊阻擋時, 全天光空域之面積表示即為圓之面積減去被遮蔽物之面積與整個圓面積百分比。

(3) 全天空光域的數值地形演算

① 散射貢獻量模式

要以 DTM 資料來求取福山地區每 20 m × 20 m 為一樣區的全天空光空域, 先討論天空光的輻射模式。當考慮到所在像元之半球散射輻射量時, 其模式如 5 式。

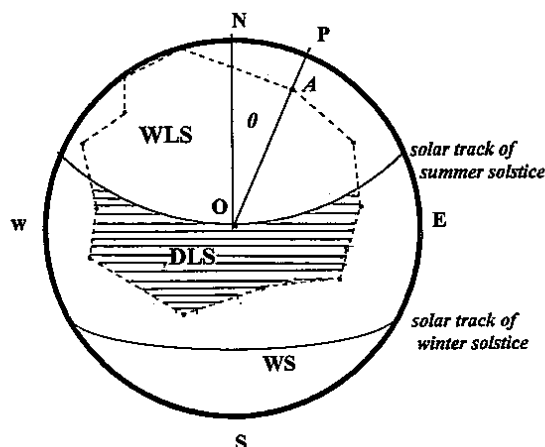


Fig. 4. This picture shows how to evaluate the radiation in a northwestern aspect. In the picture O is the central position of sampling plot. The distance between O and A stands for an angle of elevation. The distance between O and P stands for 90 degree zenith angle of horizon. The dotted lines form a polygon that stands for the WLS. The area shaded with horizontal lines stands for DLS. (Su, 1987)

$$H = \int_{\phi=0}^{2\pi} \int_{\theta=0}^{\pi/2} L(\theta, \phi) \cos I \sin \theta \, d\theta \, d\phi \dots\dots\dots (5)$$

其中, $L(\theta, \phi)$ 為 (θ, ϕ) 方向的太陽向下散射輻射量

- θS : 太陽天頂角
- θO : 太陽高度角, $\theta O = (\pi / 2) - \theta S$
- θ : 天頂角
- φ : 方位角
- e : 坡度角
- I : 坡度入射天頂角, 當 $e > 90^\circ$ 時, $L(\theta, \phi) = 0$

由於天空光即半球散射光貢獻量 (謝漢欽, 1992; Dozier, 1990), 其向下散射為均向, 故能求取半球之散射入射量比例, 即能求得所在位置的全天空光域比例。由於用第 5 式計算天空光過於繁瑣, 以 DTM 來求算時, 可化繁為簡如下節所示。

② DTM 求算法

當瞭解上述天空光輻射模式後, 我們可以用 DTM 求取像元位置的半球天空比例計算全天空光比例因子 (skyview factor), 將天空光效應以 6 式表示。

$$H = \pi Ld vd \dots\dots\dots(6)$$

其中， Ld π ：水平面平均向下散射
 vd ：受地形影響的半球天空光可見率
 ($0 \leq vd \leq 1$)，稱其為天空光比例因子。 vd 可依一近似值求得，如下式：

$$vd \approx \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} [\cos e \sin H\phi + \sin e \cos(\phi - a) \times (H\phi - \sin H\phi \cos H\phi)] d\theta \dots\dots\dots(7)$$

其中， e ：坡度
 $H\phi$ ：坡度天頂角（水平角），其在地形剖面之表示如 Fig. 5
 ϕ ：太陽入射方位角
 a ：坡向方位角

為減化 7 式，我們可以依 $H\phi$ 之地形幾何式 8 式，求算某一坡度像元之 16 個方位 (ϕ) 的 $H\phi$ ，以其比率，簡單求得 vd 值。

$$H\phi = \arctan[1 / \tan e \cos(\phi - a)] \dots\dots\dots(8)$$

其中， e 、 ϕ 、 a 同 7 式。

vd 值求算的條件：

當 $\cos(\phi - a) < 0$ 時， $H\phi$ 由 8 式求得。

$\cos(\phi - a) > 0$ 時， $H\phi > \pi/2$ ，以半球貢獻求之，以 $\pi/2$ 計算之。

5. 直射光空域的求算

(1) 直射光空域的樣區調查法

某一生育地樣區的直射光量的評估，可觀察直射光空域 (direct light sky space, DLS)，其範圍為由樣區可直接看到太陽在空中運行之天域大小，當無任何遮蔽時，其天域相當於夏至及冬至兩天，太陽在天空運行軌跡線所夾之天空域的面

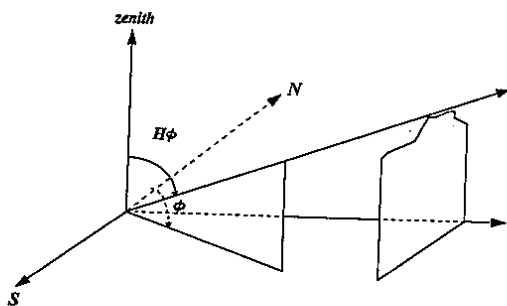


Fig. 5. The zenith angle of a slope surface. (Hsieh, 1995)

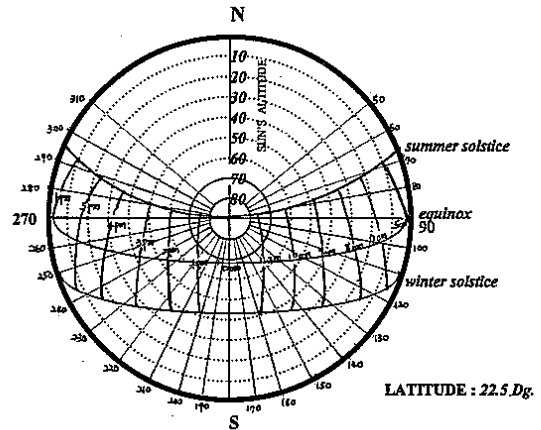


Fig. 6. The sky trace of sun at latitude 22.5 degree. (Hsia, 1985)

積，以圖表示如 Fig. 6。太陽全年之軌跡，即在夏至及冬至移動，此二軌跡可由天文計算求得 (夏禹九、王文賢，1985) 並畫在如天空光域的圖中，依此可求出此出空域未被地形遮蔽之面積，用其代表直射光空域 (蘇鴻傑，1987)。

(2) 應用數值地形求算直射光空域的方法

鑑於直射光空域，在樣區調查計算過程中，特別強調太陽方位角及高度角在不同日期時間和不同季節中有規律的變化，在山區地形起伏時尚應考慮到地形的遮蔽效應，應用數值地形資料亦可模擬這些影響因素。綜合言之，直射光空域的計算是全年太陽直接輻射時間的累積總和，扣除其被地形遮陰的時間，而地形遮陰區除受地形影響外，亦隨太陽方位及高度角而有規律地變化。本研究先行計算全域的遮陰及直射光比例，然後合成兩者可決定某一日期時間的直射光比例。

① 完全遮陰區的求取

完全遮陰像元的決定，乃依感測當時太陽方位角，太陽高度由 DTM 依剖面掃描法推算 (Stefanovic, 1985)，其計算原理配合 Fig. 7 說明之。該圖表示從某一 DTM 掃描剖面與一定太陽入射角產生之地形遮陰區，遮陰區如圖中之橫線區，該遮陰區為 DTM 剖面不受太陽直接入射的區域。圖中橫軸之刻度為 DTM 像元之寬度，箭頭表示掃描方向，觀察者的方向為側視方向。遮陰區的像元可依掃描線方向前進，以下列合理演算法求得：

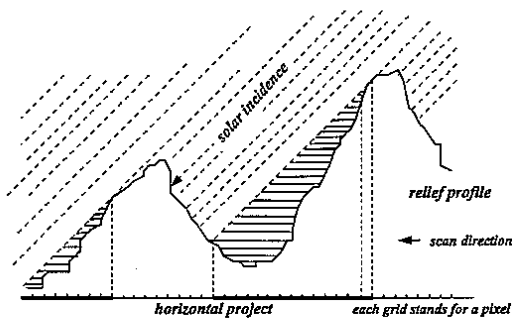


Fig. 7. This picture shows the method of scanning DEM profile. Using this method to determine the cast-shadowed pixels. The horizontal shaded lines stand for cast-shadowed area. (Hsieh, 1992)

- a. 先以試區的經度、緯度、日期及時間決定太陽方位角及高度角。
- b. 將 DTM 影像旋轉負太陽方位角的角度量，使 DTM 正北方與太陽方位角入射線平行。本項調整方式，可確保剖面掃描法的正確度。
- c. 先行掃描第一條線，其減少的高度可依 9 式求得。

$$P \times \text{cosec } a \times \tan h = z \dots\dots\dots (9)$$

其中， z : 減少的高程值
 p : 像元之間隔長
 a : 太陽方向角
 h : 太陽高度

- d. 如果第二條掃描線，像元高程值低於 c 步驟求算的高程，則該像元為遮陰像元（即該像元屬於遮陰區），定該像元的太陽直接入射值為零。
- e. 當相鄰兩條掃描線相互高程比較時，取其兩者最高之高程為下一次高程比較之依據（即仍保留最高之剖面於當次掃描）。而第二條掃描線之高程則依 9 式求得之 Z，減去該值與第三條掃描線相比較。
- f. 將遮陰區影像旋轉正太陽方位角的角度值。

由於福山地面積涵蓋範圍不大，經緯度僅些微不同，對於太陽高度及方位角影響甚小，本研究以福山地區中心經緯度（22° 45'00"N，120° 45'00"E）輸入自行撰寫的程式（謝漢欽，1992），可求算某一特定日期、時間的太陽參數

（含太陽高度角及方位角），代到演算步驟 a 求算當時的太陽遮陰區（曾忠一；1988，1989）。本演算法係將謝漢欽 1992 一文的方法，再加改良。

②太陽直接入射比例的求取

(a)斜坡面輻射模式

山區地形起伏，由 DTM 網格連接而成的地形表面，每一像元成一斜坡面，當太陽直接入射時，每一斜坡面的輻射值以 10 式表示如下：

$$dE_{ie} = E_i \times \cos i$$

$$= E_i (\cos g \cos e + \sin g \sin e \cos(a - a')) \quad (10)$$

其中， dE_{ie}：達到坡度為 e 之表面之太陽直接入射輻射量

- E_i：太陽入射之輻射強度
- e：坡度
- i：斜面太陽入射角
- g：太陽天頂角
- a：太陽方位角
- a'：坡度方位角

上述參數以圖示表示如 Fig. 8。

(b)DTM 演算法

同完全遮陰區的求算，先輸入福山地區經緯度、太陽入射日期（月、日）、時間（時、分、秒）代入自行開發的程式（謝漢欽，1992），可求得相關的太陽參數，求得的參數含太陽與地球

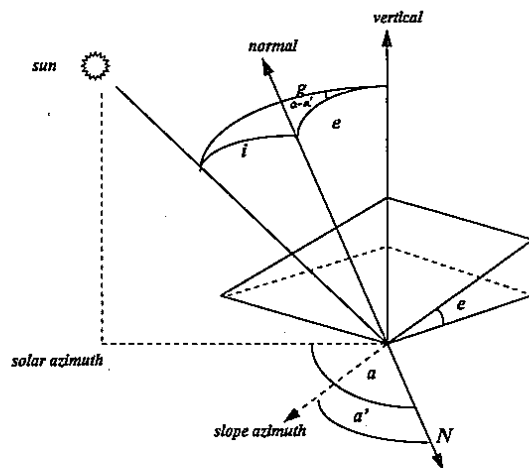


Fig. 8. This picture shows the geometric relationships of solar incidental parameters on a titled surface. (Hsieh, 1992)

離(公里)、太陽常數(卡/平方公分、分),當日的日出日沒時間(時、分)、全日照時間、整日水平面太陽直接入射量、太陽天頂角、高度角及方位角等。將太陽直接入射量 E_i 設定為 100 之相對單位,由 DTM 算出所在像元之坡度及坡向依太陽天頂角、高度角及方位角代入 10 式可求得全區每一像元的太陽直接入射比例。

③直射光空域的數值地形演算法

(a)依據的原理

直射光空域的樣區調查法中,整年裏太陽在空中運行軌線有一定的漸變對稱的規律性(如 Fig. 6),同時尚要考慮到地形的遮蔽效應(如 Fig. 7)。依此,在樣區調查法中需作圖,然後計算兩者的交集面積比例。這種方式如以 DTM 求取則計算不易且繁瑣。由於一定時間的太陽遮陰區與直射入射比例,已知前述可以求得,所以日平均、季平均直射光空域亦可循一定規律來估算。

(b)演算的方法

本演算方法考慮到影響直射光域的因子、緯

度、日照長度(季節)、地形因子(坡度、坡向、遮陰區)。演算方法如下:

- a. 為求算代表四季的春分(3月21日)、夏至(6月21日)、秋分(9月23日)及冬至(12月22日)四時的平均直射光空域,首先求出每一日期的日出日沒時間,然後每隔2小時,求算當時的太陽入射比例及完全遮陰區,將兩者影像合成。合成時,遮陰區的像元值設定為零,入射比例以100單位計算(0-100)。由於季節日不同,日照長度不同,在夏至可得7個時間的直射光空域影像,其他三個季節日則可得6個時間的直射光空域影像。各季代表日直射光空域影像總和個別除以時間個數可得日平均直射光空域影像。Table 1 顯示四個季節日的日出日沒時間、太陽參數及所選取時段的时间。
- b. 求算全年平均直射光空域相對比例,可將四個季節日的直射光空域影像之總和除以4求得。

Table 1. The time of sunrise and sunset for the vernal equinox, summer solstice, autumnal equinox and winter solstice. Sampled time intervals, related sun elevations and azimuths are also listed in the table.

Day of season	Sunrise (hr.min.)	Sunset (hr.min.)	Sampling time intervals (hr.)						
			07:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	18:00
Vernal equinox	06:01	17:59	14.3	41.5	63.2	62.5	39.4	12.5	
			96.8	112.4	148.0	217.2	249.2	264.2	
Summer solstice	05:18	18:42	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00
			8.5	34.9	62.1	89.2	62.8	35.6	9.2
Autumnal equinox	06:02	17:58	07:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	
			10.9	37.8	60.7	63.4	42.4	15.8	
Winter solstice	06:42	17:18	07:00	09:00	11:00	13:00	15:00	17:00	
			2.8	25.6	41.2	41.9	27.2	4.7	
			116.9	132.8	160.1	197.1	225.6	242.1	

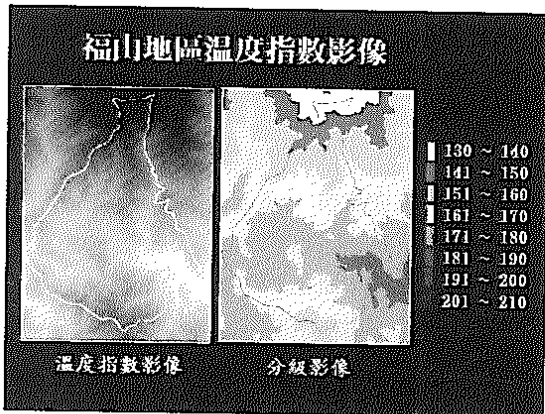


Fig. 9. (a)Left image shows the temperature index in Fu-Shan.
(b)Right image shows its classification map.

三、結果

(一) 溫度指數影像及分級圖

福山分所轄區面積達 1,098 ha，數值地形影大小為 250 × 311 像元，海拔分布從 300 m 至 1,400 m，將 20 m × 20 m 數值高程像元代入 1 式可求算出每一像元的溫度指數如 Fig. 9(a) 其中灰度值愈亮的部分溫度指數愈高，Fig. 9(b)為溫度指數分級影像，本圖依其值域在網格式地理資訊系統上，每隔 10 單位劃分一級共分成 8 級，其中白色部分所在的海拔高度高於 1,200 m。

(二) 方位水份指標影像

經由 2 式的方位指數演算及值域延展，求算的方位水份指標影像如 Fig. 10 其灰度值愈高的部分表示濕度愈高。

(三) 海拔水份指數影像

經由 3 式的海拔水份指數演算及值域延展，輸出影像如 Fig. 11(a)，分級圖如 Fig. 11(b)所示；分級圖以每 20 單位為一級，白色區域相對最為乾燥，深藍色區位於出水口相對最濕。

(四) 合成水份指數影像

經由 4 式的合成水份指數演算及值域延展，輸出影像如 Fig. 12(a)，其灰度值愈高表示愈濕，Fig. 12(b) 顯示其分級影像，每 10 個相對單元分一級，共分 10 級，其中白色部分相對最乾，紅色部份相對最濕。

(五) DTM 求算法所得之天空光比例因子影

像

Fig. 13(a) 為以 DTM 求得福山地區天空光比例因子影像，其值已延展成 0-10 之範圍，其灰度值愈高者天空光比例愈大，在稜線及開闢地其值都大，Fig. 13(b)為 Fig. 13(a)之分級影像，以其直方圖 (histogram) 範圍，依聚集分類法 (clustering) 分為 6 級顯示，每一級值用聚集組平均值表示。



Fig. 10. The image of moisture index derived with aspect.

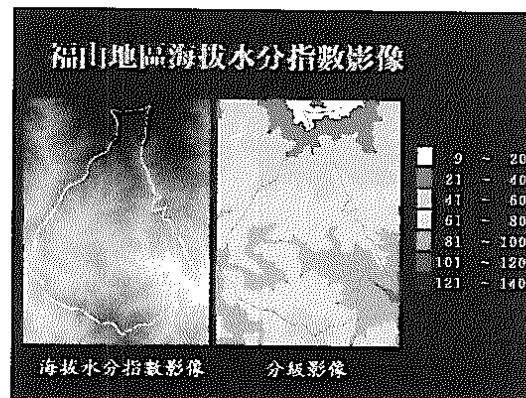


Fig. 11. (a)Left image shows the moisture index derived with elevation.
(b)Right image shows its classification map.

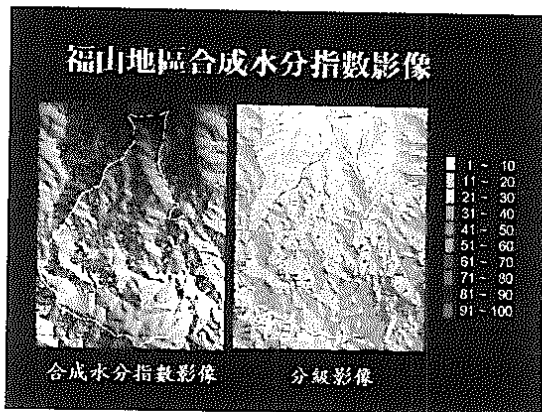


Fig. 12. (a)Left image shows the synthetic moisture index derived with aspect and elevation. (b)Right image shows its classification map.

(六) 完全遮陰區求取的例子

Fig. 14 為依照 DTM 完全遮陰區求取之演算程序求得之冬至 (12月22日) 早上七時零分試區的遮陰狀況，圖中全黑色部分代表完全遮陰區，其餘部分表示太陽直接入射比例 (因坡度及坡向有不等之值)。

(七) 由 DTM 求算某一時間的太陽直接入射參數的例子

Table 2 為依據福山地區之經緯度，並選定秋分 (9月23日) 早上 (9時0分)，輸入筆者設計的程式，求得之太陽直接入射之各項參數。

(八) 全年平均直射光空域影像

Fig. 15 顯示依全年平均直射光空域演算法計

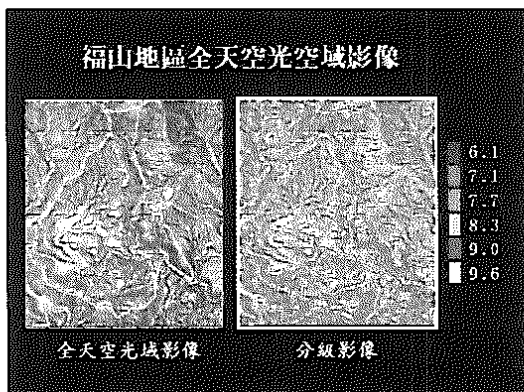


Fig. 13. (a)Left image shows the whole light sky space in Fu-Shan. (b)Right image shows its classification map.

算而得之福山地區直射光空域影像，左邊四個影像分別是四個季節日日平均直射光空域影像，其中由於地形遮蔽效應及太陽角度的影響，在冬季 (12月22日) 直接入射區域較小有些區域並無直射光射入。在夏季 (6月21日) 全區幾乎都有直射光射入，其值也較高。春分及秋分則呈一致的結果，顯現年變化具有對稱規律性。右影像則為全年平均直射光空域影像，其灰度值愈高者代表直射光空域愈大，Fig. 16 則為三個季節日組合影像 (左圖) 及全年直射光分級影像 (右圖)。

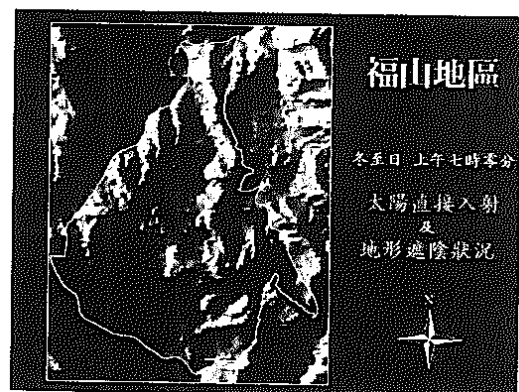


Fig. 14. This picture presents solar direct incidental and cast-shadowed areas in the time at 7 AM of winter solstice(12/22).

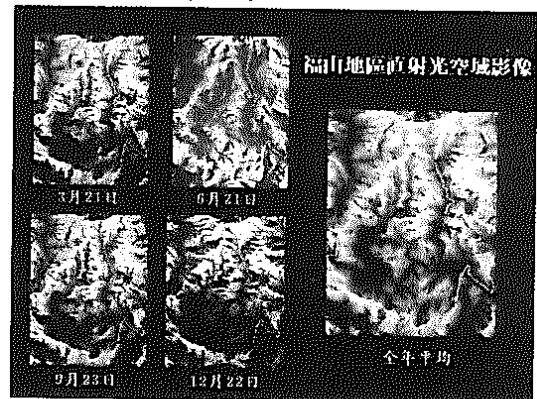


Fig. 15. In the left portion of this picture there are four images, each from left to right and from top to bottom shows the mean direct light sky space of the day of vernal equinox, summer solstice, autumnal equinox and winter solstice. The right image shows the mean direct light sky space of entire year run. The darker pixels mean their MDLS are lower than the brighter ones.

Table 2. The sun parameters of autumnal equinox at 9:00 AM in the Fu-Shan area.

Latitude of area	22° 45"00"
Longitude of area	120° 45"00"
Date/time	September 23/09:00:00
Distance between sun and earth	1.499 E+8 km
Solar constant	1.960 cal/cm min
Sunrise time	06:02
Sunset time	17:58
Sunshine time for the day	11 hr, 57 min
Solar insolation on horizontal plane for the day	2009.893 cal cm day
Sun elevation	37.896°
Sun azimuth	110.523°
Sun zenith	52.104°

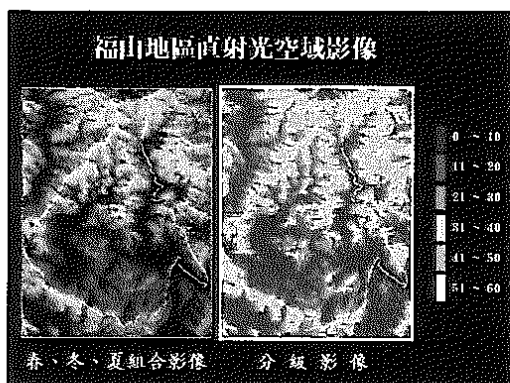


Fig. 16. (a) Left image shows the RGB composite image of three season days (vernal equinox, winter solstice and summer solstice). (b) Right image shows a classification map of the mean direct light sky space of the whole year.

四、討論

(一) 本研究之數值地形資料來自於農航所提供的 40 m × 40 m 精度的向量資料，在 1,000 公尺以下地區，因農航所重新為本所製作等高線，為提高其正確性，採用數化等高線方式每隔 20 m 數化一條，並加入斷線、山脊點及輔助線，以增加經合理內插處理產生的 DTM 之精度。上述經內插後產生 20 m × 20 m 像元大小的福山地區 DTM，可與相關的 SPOT 衛星影像及其他地理資訊主題套疊分析。用高斯平

滑化進行的前期處理，可免除經內插後產生不連續之突高或突低之誤差。

- (二) 本研究溫度指數的求算較為容易，只需將高程值代入直線迴歸式即可求得。1 式為一具有代表全島林型的迴歸式。福山地區海拔分佈範圍從 300 m 至 1400 m，林相幾為天然闊葉林林型，若能在試驗地，做長期調查，尋得足以代表本區的溫度指數迴歸式，則輸出指數值將更適於本區之生態分析。
- (三) 合理的水分梯度模式應考慮到所在位置的方位、海拔高、局部區域地形與距河流距離等。由 DTM 推算時，每一像元即代表一個樣區，全區依像元數目共計 250 × 311 個像元。在模式推演上，可將方位區隔劃分得更細 (0° -360°)，在海拔影響模式中，可針對試區高程的分布狀況，修改原來樣區模式，使輸出之連續性值域較為合理。將方位與海拔影響模式加以合成可得合成水分指數影像。而有關地形影響多為描述性因子及具空間特性分布之影響。未來之分析可配合地理資訊層之套疊及網格式運算之分析。此外水分梯度亦與入射輻射量及地形遮陰效應相關，該等因子本研究中亦陸續導出，可供往後進一步的水分梯度分析。
- (四) 本研究的全天空光域的數值地形演算，不

需經由繁複的製圖求取面積比例，而能快速算出大面積涵蓋全面的天空光空域影像，其原理乃依半球天空光在地形遮蔽下的入射比例，在演算方面可依據平均 16 個方位（樣區調查只有 12 個）的遮蔽率代入簡化的模式計算，可快速求得結果，足以節省電腦運算的時間。

(五) 全年直射光空域的計算，以往的樣區調查是較為複雜的程序，因須考慮遮陰比例及太陽全年軌跡，在製圖求取面積比例比全天空光空域難，如用 DTM 依此計算，則每一像元代表一樣區，則本試區共有 77,750 個樣區，計算愈形不易。所以有關本因子的求算，在相關報告中並無出現（Dozier, 1990；陳朝圳，1993）。由於本研究中相關的太陽參數、某時的地形遮陰區及直接太陽入射比例、皆可由 DTM 導出。當考慮量太陽軌跡在全年具有規律

的漸變特性，依特定季節日，以定時段取樣，可算出日、季及全年平均直射光入射比例。本輸出結果為一估測值，若為求取更精確值，可增加特定時日數及日時段的取樣率。在生態意義上，在同一幅照條件下，一般認為直射光之入射影響應大於天空光的貢獻量，其對於生育地的乾、溼及植物生長亦是一具關鍵影響的因子。在往後的綜合分析時，可將此一重要變數代入生態模式中加以分析。

(六) 影響生育地林木生長和植群分布之環境因子，彼此之間常有顯著之相關性，且係以某種有次序的系統方式，影響到植群社會之結構，可用環境之層級系統觀念（hierarchical system of environment）來解釋。其中環境因子雖多，卻可抽出少數幾個代表性之因子，將其歸類成如 Fig. 17 中所示各大項，彼此之間互有關係，之間

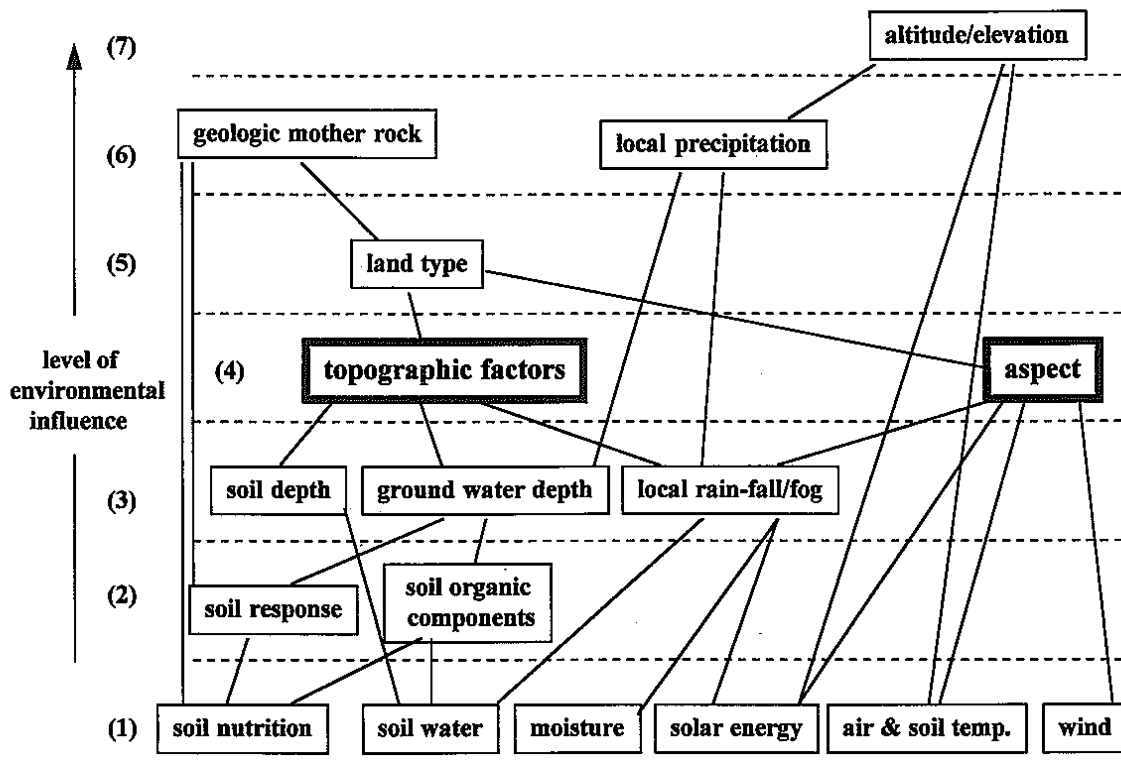


Fig. 17. This graph shows the hierarchical system of environment. The topographic and aspect factors in the central positions of this graph could be used to explain the most variations of plant distribution.(Su, 1987)

並有綜合效應，求出它們之間的合成環境指數 (synthetic environmental index) 亦有利於綜合效應之解釋。而居於中層次之因子有二，即地形位置 (topographic position) 及方位 (aspect)，此二因子受高層次因子之影響，而本身則產生許多局部環境之差異，故可解釋大部分植物之地方性變化 (蘇鴻傑, 1987)。因此本研究應用 DTM 求取與地形位置、方位、海拔高、緯度及日照項相關之合成指數，其在森林生育因子上應十分重要，可由生態模式分析，獲得驗證。而其他各項因子則有賴於地面測站或實地調查資料，將之建立成地理資訊主題層—如雨量、風速、水文、土壤、地質圖等。應用 DTM 亦可進行試區之集水區劃分，河川流量分析 (鄭祈全, 1993)；此外於土壤調查時由 DTM 衍生之地形資訊亦可輔助地形剖面及地勢單元之界定 (Reybold et al., 1987)。有關植生生物量的估測則可賴於資源衛星資訊 (謝漢欽、鄭祈全, 1995)。在此等資訊容易取得之前題下，未來的生態指標應予綜合分析，其對大面積生育地的生態地位級分類及植群分布圖的製作會有相當的正面效益。

五、結論

- (一) 本研究使用的 DTM 係經前期處理，足可提高其精確度，並可免除誤差。
- (二) 研究中依 DTM 推導的森林生育地因子皆與地形及位置相關，共得四個福山試區的生育地因子，其中溫度指數係一與海拔高度呈線性相關的迴歸式。水分指數係考慮到海拔和方位變化的合成指數，有別於以往樣區調查的方式，其方位劃分及相對值域已獲合理改良。全天空光空域係經簡化的半球散射輻射貢獻式，本演算同時考慮 16 個方位的綜合遮蔽率，並可快速計算而得；其結果適用於地理資訊系統的大面積推導。關於直射光空域的推導，已同時考慮到經緯度、日照季節及時間與地形遮陰

諸因子，諸因子會隨時間變化，故依循一定的太陽參數變化，設定取樣季節日及分隔時段，求得全年平均直射光入射比例。此四個因子，皆可由 DTM 自動產生，可取代以往樣區調查時，須費時、費力之缺點。

- (三) 本研究產生的生育地因子指數，可與資源衛星資訊及地理資訊系統整合應用。如善用地理資訊系統的分析功能，未來可應用於大面積的生育地生態地位分級、輔助植群分布圖的製作、森林生長量估測，協助森林火災敏感地之分析，及生態模式的綜合分析。

謝誌

本研究承國科會研究計畫 (NSC 84-2321-B-054-009) 資助，農航所及中央大學遙測中心提供數值地形資料，謹此一併致謝。

引用文獻

- 周昌弘 1990 植物生態學。聯經出版事業公司。58-59 頁。
- 夏禹九、王文賢 1985 坡地日輻射潛能的計算。林業試驗所試驗簡報第 001 號，1-5 頁。
- 陳朝圳 1993 地理資訊系統在森林經營管理上之應用—以自然保護區為例。中興大學森林學研究所博士論文。128-138 頁。
- 曾忠一 1988 大氣輻射學。聯經出版事業公司。63-104 頁。
- 曾忠一 1989 大氣衛星遙測學。渤海堂文化事業有限公司。544-549 頁。
- 鄭祈全、謝漢欽 1993 赴美研習「森林生態系統經營」報告。台灣省林業試驗所編印。
- 鄭祈全 1993 數值地形資料應用於集水區區劃和河川網路分析之研究。林業試驗所研究報告季刊 8(4): 331-343。
- 謝漢欽、鄭祈全 1995 福山地區 SPOT 多期影植生綠度分析。林業試驗所研究報告季刊 10(1): 105-120。

- 謝漢欽 1992 多譜掃描資訊於柳杉林分樹冠郁閉度及材積推估功效上之研究。台灣大學森林學系研究所博士論文。
- 蘇鴻傑 1987 森林生育因子及其定量評估。中華林學季刊 20(1): 1-14。
- 蘇鴻傑 1989 台灣之生態系及其保育—初評保護區系統。台灣省林業試驗所主辦「生態原則下的森林經營」研究會論文集。165-176頁。
- Bushnell, R. H.** 1982. A solution for sunrise and sunset hour angles on a tilted surface without a singularity at zero azimuth. *Solar Energy* 28: 357-357.
- Butera, F., R. Festa, and C. F. Ratto.** 1982. Calculation of the monthly average of hourly and daily beam insulations on titled surfaces. *Solar Energy* 28: 547-550.
- Dozier, J.** 1990. Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling for digital elevation data *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 28: 963-969.
- Kaufman, M. R., and J. D. Weatherred.** 1982. Determination of potential direct beam solar irradiance. *USDA Forest Service Research Paper RM-242.* p.1-16.
- Lloyd, W. S.** 1976. Algorithm for solar radiation on mountain slopes. *Water Resources Research.* 12: 108-112.
- Reybold, W. U., and G. W. Peterson.** 1987. Soil survey techniques. *Soil Science Society of America.* p.77-89.
- Stefanovic, D., and G. Wiersema.** 1985. Insolation from digital elevation models for mountain habitat evaluation. *ITC Journal* 3: 177-186.
- Seamuller, W. W.** 1989. The extraction of ordered vector drainage networks from elevation data. *Computer vision, Graphic at Image Proccession.* 47: 45-58.
- Teillet, P. M.** 1982. On the slope aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing.* p.84-106.