

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

台灣都市土地使用與土地覆蓋對環境乾旱之效應及其與全球環境變遷之交互影響與回應(I)

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC 96-2621-Z-034 -003 -

執行期間：96年8月1日至97年10月31日

計畫主持人：鄭祈全

共同主持人：

計畫參與人員：吳治達

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告  完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢  
 涉及專利或其他智慧財產權， 一年  二年後可公開查詢

執行單位：中國文化大學景觀學系所

## 目 錄

一、前言	1
二、研究試區與材料	2
三、研究方法	2
3.1 應用混合式分類法進行土地利用分類	3
3.2 利用SEBAL模式推估蒸發散	4
3.3 應用逐步迴歸分析以推估土地利用型對蒸發散之影響	8
3.4 利用逐步判別分析以探討空間尺度對蒸發散之影響效應	8
四、結果	8
4.1 台灣北部地區之土地利用分類	8
4.2 利用SEBAL模式推估地表參數與單日平均蒸發散量	11
4.3 土地利用型對蒸發散之影響分析	12
4.4 空間尺度對蒸發散影響效應之探討	13
五、討論	14
六、結論	15
七、參考文獻	15
八、計劃成果自評	16

## 一、前言

陸域之水循環在全球水文系統中佔有非常重要的地位，其影響遍及氣象與氣候的變化、動植物的生長分佈、人文社會的發展活動、地形構造及土壤組成的變化等層面(邱奕霖, 2005)，其中在森林集水區方面，除了其樹冠層與枝葉層具有截留降雨、減少逕流及涵養水源的功能外，森林土壤與林木體亦可透過蒸發散作用釋放出水蒸氣，進而補給大氣之水汽含量，而此過程亦為陸域水汽回歸大氣系統之主要途徑，因此，森林水文循環、大氣水汽蒸發散量、與全球水文系統的平衡三者間確實具有密切的關係。

然而自工業革命後，人類砍伐森林以開發都市及發展工業等改變土地利用型態的行為，不僅造成大氣中二氧化碳濃度劇增而加強溫室效應，更進一步亦導致全球環境變遷，使得陸地的氣候環境與水文循環產生改變，尤其在蒸發散方面，全球每年約有近70%之降雨量藉由蒸發散機制返回大氣，且在一般環境下蒸發散量幾乎等於降雨量，但由於土地利用變遷及森林覆蓋的減少，不僅使得河川流量與集水區蓄水量降低，更造成地表蒸發散回歸大氣之機制失衡，而破壞全球水循環平衡的問題，故基於蒸發散在水文循環系統中之重要性，因此在大尺度水資源管理的課題上，如何真實且有效的預報蒸發散量，並探討土地利用型態與空間尺度對蒸發散所產生之影響效應實至為重要 (Jayatilaka et al., 1998)。

傳統上蒸發散之量測主要透過地面氣象站觀測計錄、水平衡收支公式、以及藉由土壤水含量與地面資料建立折算係數等方法(邱奕霖, 2005; Penman, 1948; 林錦源, 2006)，但就以上方法而言，地面資料之調查與蒐集實為不可或缺的必要工作，然而受限於人力及物力的考量，地面資料通常只能以單點量測之形式進行調查，如此不僅無法顧及蒸發散在空間尺度上的變異性，且所得結果亦難代表大區域之蒸發散特性。近年來遙感探測(Remote sensing, RS)技術快速發展，由於衛星影像具有大尺度、多光譜、取得容易等特性，故已有許多專家學者結合數值影像處理技術以及能量平衡模式，利用衛星影像求算地表溫度、土壤含水量、淨輻射量、土壤熱通量、大氣可感熱等參數，進而推估蒸發散量，(陳朝圳等, 2006; Huete et al., 2002; Laymon et al., 1998)，因此，應用遙感技術與能量平衡模式推估蒸發散量已成為一可行的方法，然而，目前國內外學界雖然已有許多應用遙測技術進行乾旱預警和監測的相關研究和例子，但大都著重在應用遙測技術計算乾旱指標和區劃旱災範圍等，對於蒸發散量與土地利用和空間尺度間之關係探討，仍甚少見。

有鑑於此，本研究以台灣北部地區為試區，利用1995年之美國Landsat-5衛星影像為材料，應用混合式影像分類法進行土地利用分類，並配合SEBAL蒸發散模式，計算與蒸發散量有關之參數，進而推估蒸發散量，目的除了在比較各土地利用型蒸發散量之差異外，並藉由逐步迴歸分析以探討各土地利用型蒸發散的主要影響參數；其次針對兩種空間區劃尺度(台灣北部地區及其轄內的7個集水區)，透過多變量逐步判別分析，探討空間尺度對區域蒸發散之影響效應，研究

結果期能提供有關單位在進行大尺度水資源管理時之參考。

## 二、研究試區與材料

本研究以經濟部自然環境基本資料庫中水資源分區之北部地區，及其轄內的7個集水區做為研究試區，研究試區範圍如圖1。首先在北部地區方面，其涵蓋範圍包含基隆、宜蘭、台北、桃園、新竹等縣市，總面積共計約734589.7ha；至於在其轄內的7個集水區方面，第1區之範圍主要包含基隆縣、台北縣之三芝鄉、北投區、士林區及陽明山一帶，面積約55025.6ha；第2區則涵蓋台北市、台北縣之三峽鎮、烏來鄉、桃園縣復興鄉及新竹縣尖石鄉等地區，面積約268701ha；第3區以桃園縣及桃園市為主，面積約為95513.4ha；第4區則以宜蘭縣之頭城鄉及礁溪鄉為主，面積約15395.4ha；第5區則以新竹縣及新竹市一帶為主，面積約為89760.8ha；第6區涵蓋宜蘭市、宜蘭縣之羅東鄉、三星鄉、冬山鄉及大同鄉等地，面積約117519ha；第7區則以宜蘭縣南澳鄉為主，面積約92674.5ha。在研究材料方面共包括數值地形模型(Digital terrain model, DTM)與衛星資料二部分，在數值地形模型方面，本研究利用農航所製作的全台40 m×40 m解析度DTM切取試區範圍之高程資料為材料，以供蒸發散量計算之用；至於在衛星資料方面，本研究以1995年11月25日之Landsat-5主題圖測繪儀(Thematic mapper, TM)影像為材料，該影像共含7個波段，波段1~5和7為可見光及近紅外光波段，其空間解析度為30公尺，而波段6為熱紅外光，空間解析度為120公尺，在經幾何與大氣輻射校正後，切取試區範圍資料供本研究之用。



圖 1. 研究試區範圍圖

## 三、研究方法

本研究為探討土地利用型及空間尺度對區域蒸發散量之影響，故先利用混合式分類法進行台灣北部地區之土地利用型分類，並以遙測技術與SEBAL能量平衡模式估算蒸發散量後，整合兩者結果以比較不同土地利用型蒸發散量之差異，並藉由逐步迴歸分析，進而探討各利用型蒸發散量的主要影響參數；其次針對台

灣北部地區及其轄內的7個集水區等兩種空間區劃尺度，透過多變量逐步判別分析，以探討空間尺度對區域蒸發散特性之影響。

### 3.1 應用混合式分類法進行土地利用分類

本研究利用混合式分類法((Hoffer and Fleming, 1978)進行台灣北部地區衛星影像之土地利用分類，該方法之主要特點，在於其結合監督式與非監督式兩種分類程序以進行衛星影像分類，為一整合式之影像分類法，實際作法是先參考衛星影像上的土地利用資訊，由影像上選取數個區塊(Block)，且每一區塊至少需包含二種以上的土地利用型，本研究顧及光譜資訊之空間變異性，故以均勻分佈為原則，於試區之衛星影像資料上進行區塊選取，共計選取8個區塊，每區塊均包含3~4種土地利用型，有關分類組數之決定則以各區塊之土地利用型數的二倍為原則，區塊選取之空間分佈圖如圖2，之後針對每一區塊分別進行非監督分類，並根據組類間之轉換分散度 (Transformed divergence, TD)進行混淆組類的合併，TD值愈大代表兩組類愈易區分，反之則代表兩組類不易區分，最後將所有區塊的光譜特徵資料整合成單一統計特徵檔(Signature)，並參酌衛星影像所提供之土地利用資訊以及各類別間的轉換分散度值，將屬於同一種土地利用型且分散度較小的組類合併為一類並命名之，然後以此統計特徵檔進行整張影像的監督式分類。有關轉換分散度之數學式如式(1)。

$$TD = 2000[1 - \exp(-D/8)] \quad \text{值介於 } 0 \sim 2000 \quad (1)$$

$$D = \frac{1}{2} \text{tr}(\sum_i \sum_j) \sum_i^{-1} - \sum_j^{-1} + \frac{1}{2} \text{tr}[\sum_i^{-1} - \sum_j^{-1} (m_i - m_j)(m_i - m_j)^T]$$

式中

$TD$ ：轉換分散度， $D$ ：分散度

$\sum_i$ ：組類 $i$ 之共變數矩陣  $m_i$ ：組類 $i$ 之均數向量  $\text{tr}[A]$ ： $A$ 矩陣對角線元素總和

在分類結果之評估方面，本研究參考衛星資料所提供之土地利用資訊，於影像上針對各土地利用型選取檢核區(Test area)，再以整合之統計檔對各檢核區進行分類、並統計其分類混淆表及分類準確度，進而評估土地利用分類結果之正確性。

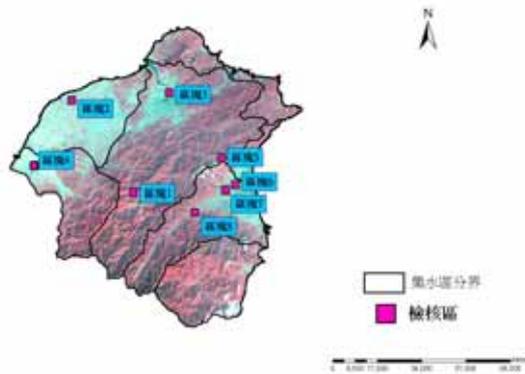


圖 2. 區塊選取之空間分佈圖

### 3.2 利用SEBAL模式推估蒸發散

SEBAL 模式(Bastiaanssen et al., 1998)係結合地表能量與太陽輻射量平衡之原理，利用數值地形模型與衛星影像之光譜資訊以反演、太陽入射角之餘弦影像(Cosine of solar incidence angle,  $\cos\theta$ )、大氣層外之單日輻射量(Twenty-four hour extraterrestrial radiation,  $Ra_{24}$ )、大氣層表面反照率(Surface albedo at the top of atmosphere,  $\alpha_{toa}$ )、地表反照率(Surface albedo,  $\alpha_0$ )、常態化差異植生指標(Normalized difference vegetation index, NDVI)、熱紅外光之地表放射率(Emissivity,  $\varepsilon_0$ )、地表溫度(Surface temperature,  $T_0$ )、一維穿透係數(Transmittance,  $\tau_{sw}$ )、大氣密度(Air density,  $p_{air}$ )、空氣阻抗熱傳導係數(Aerodynamic resistance to heat transport,  $r_{ah}$ )、大氣摩擦率(Estimating friction velocity,  $u^*$ )、動量傳輸粗糙度(Surface roughness for momentum transport,  $z_{om}$ )，並計算其相對應之淨輻射量(Net radiation,  $Rn$ )、土壤熱通量(Soil heat flux,  $G_o$ )、大氣可感熱(Sensible heat flux,  $H$ )等十五項參數後，進而推估蒸發散量。以下就各項參數之演算公式與蒸發散推估步驟加以說明。

#### 3.2.1 太陽入射角之餘弦影像

當地表為水平狀態時，太陽入射角為入射光線與垂直於地表垂線間之夾角，然現實環境中，因真實況下地表實具有高低起伏之地形差異，故需透過坡度資訊加以校正(Allen, 2003)，其數學式如式(2)。

$$\begin{aligned}
 \cos(\theta)_{adj} &= \cos(\theta)_{unadj} / \cos(slope) \\
 \cos(\theta)_{unadj} &= \sin(\delta) \sin(\lambda) \cos(s) - \sin(\delta) \cos(\lambda) \sin(s) \cos(\gamma) \\
 &+ \cos(\delta) \cos(\lambda) \cos(s) \cos(\omega) + \cos(\delta) \sin(\lambda) \sin(s) \cos(\gamma) \cos(\omega) \\
 &+ \cos(\delta) \sin(\lambda) \sin(s) \sin(\omega)
 \end{aligned} \tag{2}$$

式中

$\cos(\theta)_{adj}$ ：地形校正後之太陽入射角餘弦值

$\cos(\theta)_{unadj}$ ：地形校正前之太陽入射角餘弦值

$\cos(slope)$ ：坡度之餘弦值

$\delta$ ：地球傾斜率； $\lambda$ ：像元點位之緯度； $s$ ：像元點位之坡度

$\gamma$ ：方位角； $\omega$ ：時角

### 3.2.2 大氣層外之單日輻射量

大氣層外之單日輻射量係指單日內未經大氣穿透係數校正之日輻射量，其值與太陽到地球相對距離之倒數(Inverse relative distance Earth-Sun； $dr$ )、太陽入射角之餘弦值等參數有關(Morse et al. 2000)，其公式如式(3)。

$$Ra_{24} = Gsc \times dr \times \int_{w1}^{w2} \cos(\theta) dw \quad (3)$$

$Ra_{24}$ ：大氣圈外之單日輻射量( $W/m^2$ )

$Gsc$ ：太陽常數， $1367(W/m^2)$

$dr$ ：太陽到地球相對距離之倒數

### 3.2.3 地表反照率

地表反照率係指地表對短波輻射之反射率，其值會受環境溫度、物體特性、光線的入射及反射方向所影響。由於衛星所記錄之太陽輻射光譜會受到大氣吸收、天空漫射及路徑輻射的影響，故需利用式(4)進行大氣穿透效應校正以推求地表反照率(Morse et al. 2000)。

$$\alpha_0 = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_{path\_radiance}}{\tau_{sw}^2} \quad (4)$$
$$\alpha_{toa} = \sum [c(band) \times Radiation(band)]$$
$$\tau_{sw}^2 = (0.75 \times 2 \times 10^{-5} \times z)^2$$

式中

$\alpha_0$ ：地表反照率； $\alpha_{toa}$ ：大氣層表面反照率； $\alpha_{path\_radiance}$ ：路徑輻射

$\tau_{sw}^2$ ：二維穿透係數  $z$ ：海拔高(m)

$c(band)$ ：Landsat 5第1~5波段及第7波段輻射值之比率係數

$Radiation(band)$ ：Landsat第1~5波段及第7波段之輻射值

### 3.2.4 常態化差異植生指標

常態化差異植生指標係基於植物光合作用時吸收紅光、反射近紅外光之特性建構而成，為一具有代表植被生長勢之光譜指標，其公式如式(4) (Lillesand and Kiefer, 1994)。

$$NDVI = \frac{IRband - Rband}{IRband + Rband} \quad (5)$$

*IRband*：近紅外光波段之輻射值

*Rband*：紅外光波段之輻射值

### 3.2.5 地表溫度

地表溫度為太陽輻射入射與反射後能量平衡結果之狀態變數，由於溫度之高低會影響蒸發散量，故亦為推估蒸發散的重要因子之一。本研究依據Morse et al. (2000)報告，利用Landsat-5第6波段特性修正普朗克定律(Planck's law)所得之公式，進行地表溫度的求算，其公式如式(6)。

$$T_0 = \frac{1261}{\ln \left[ \frac{60.8}{0.00563222DN_6 + 0.1238} \right] \varepsilon_0^{0.25}} \quad (6)$$

$T_0$ ：地表溫度(K)

$DN_6$ ：Landsat-5第6波段之灰度值

$\varepsilon_0$ ：熱紅外光之地表放射率

### 3.2.6 淨輻射量

淨輻射量為所有能量通之總合，代表太陽輻射量在經過大氣吸收、散射、反射及地表反射等綜合效應後之長短波輻射能量平衡結果，其數學式如式(7) (Allen, 2003)。

$$R_n = (K_{in} - K_{out}) + (L_{in} - L_{out}) = (1 - \alpha_0)K_{in} + (L_{in} - L_{out})$$

$$K_{in} = 1367 \times \cos(\theta)_{adj} \times dr \times \tau_{sw} \quad (7)$$

$$\tau_{sw} = 0.75 \times 2 \times 10^{-5} \times z$$

$R_n$ ：淨輻射( $W/m^2$ )

$K_{in}$ ：太陽照射地面之短波輻射量( $W/m^2$ )

$K_{out}$ ：地表反射之短波輻射量( $W/m^2$ )

$L_{in}$ ：太陽照射地面之長波輻射量( $W/m^2$ )

$L_{out}$ ：地表反射之長波輻射量( $W/m^2$ )

$\cos(\theta)_{adj}$ ：地形校正後之太陽入射角餘弦值

$dr$ ：太陽到地球相對距離之倒數

$\tau_{sw}$ ：一維穿透係數  $z$ ：海拔高(m)

### 3.2.7 土壤熱通量

土壤熱通量係指加熱地下土層之能量，其值會受到土壤的熱傳導係數與土壤頂層溫度梯度所影響。土壤熱通量無法由遙測光譜資訊直接測得，但其與淨輻射量之比值卻可由地表之植生特徵(如NDVI、葉面積指數等)推求而得(Kustas, 1990)。本研究即利用NDVI與淨輻射量的關係推估土壤熱通量，公式如式(8)。

$$G_0 = 0.30(1 - 0.98NDVI^4)R_n \quad (8)$$

$G_0$ ：土壤熱通量(W/m<sup>2</sup>)

NDVI：常態化差異植生指標

$R_n$ ：淨輻射(W/m<sup>2</sup>)

### 3.2.8 大氣可感熱

淨輻射量扣除土壤熱通量後，所剩餘的能量稱為淨可用能量(Net available energy)，其中一部份成為可感熱而造成空氣溫度的變化，另一部份則成為潛熱，用以蒸發土壤層水分及植被的蒸散作用(鍾譯靚，2001)，大氣可感熱亦為本研究探討的重要參數。在一個非均質的地表狀態，大氣可感熱與大氣密度、區域溫度差值及大氣摩擦率有關，本研究以式(9)估算大氣可感熱(Morse et al., 2000)。

$$H = \frac{(1004 \times p_{air} \times dT)}{r_{ah}} \quad (9)$$
$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_{0.01}}\right)}{0.41u_*}$$
$$u_* = \frac{0.41 \times u_{200}}{\ln\left(\frac{200}{z_{0m}}\right)}$$

$H$ ：大氣可感熱(W/m<sup>2</sup>)

$p_{air}$ ：大氣密度(kg/m<sup>3</sup>)； $dT$ ：試區中最高與最低大氣溫度之差值(K)

$r_{ah}$ ：空氣阻抗熱傳導係數(s/m)； $z_2$ 及 $z_{0.01}$ ：高程值2m及0.01m

$u_*$ ：大氣摩擦率(m/s)； $u_{200}$ ：高程200m處之風速(m/s)； $z_{0m}$ ：動量傳輸粗糙度(m)

### 3.2.9 單日蒸發散量

本步驟係將推估蒸發散之所有相關參數整合，再利用公式(10)計算單日之蒸發散量(Morse et al., 2000)。

$$ET_{24} = \frac{86400\Lambda(R_{n24} - G_{024})}{\lambda} \quad (10)$$

$$\lambda = (2.501 - 0.00236 \times (T_0 - 273)) \times 10^6$$

$ET_{24}$ ：單日蒸發散量(mm/day)

$A$ ：蒸發係數

$Rn_{24}$ ：單日淨輻射量(W/m<sup>2</sup>)

$G_{024}$ ：單日土壤熱通量(W/m<sup>2</sup>)

$\Lambda$ ：水蒸發散潛熱(J/kg)

$T_0$ ：地表溫度(K)

### 3.3 應用逐步迴歸分析以推估土地利用型對蒸發散之影響

為探討土地利用型對蒸發散所造成之影響效應，首先，本研究整合土地利用分類與蒸發散量計算之結果，針對各土地利用型統計其單日平均蒸發散量，進而比較不同土地利用型蒸發散量之差異，過程中因顧及雲與陰影對地物光譜反射特性所造成的影響，故參考前人研究之建議，在利用SEBAL模式推估蒸發散量時，對於雲及陰影覆蓋之區域均加以剔除，以避免影響分析結果的可信度(Allen, 2003；Morse et al., 2000)；其次，再針對SEBAL模式中所使用之十五項與蒸發散有關之能量平衡參數進行相關分析(Correlation analysis)，並藉由參數間之相關係數(Correlation coefficient)為準則進行變數篩選，從而挑選出相關性較低之參數後，進一步結合逐步迴歸分析(Stepwise regression analysis)以探討各土地類型蒸發散量的主要影響參數。

### 3.4 利用逐步判別分析以探討空間尺度對蒸發散之影響效應

為分析空間尺度對區域蒸發散所造成的影響，本研究利用土地利用類別為應變數，而以區域蒸發散量，以及步驟3.3中相關分析所挑選出之低相關能量平衡參數做為解釋變數，針對台灣北部地區及其轄內的7個集水區兩種空間尺度進行多變量逐步判別分析(Stepwise discriminate analysis)，期探討在不同空間尺度下，用以區別土地利用型之重要判別參數為何，進而評估空間尺度之差異對區域蒸發散特性之影響效應。

## 四、結果

### 4.1 台灣北部地區之土地利用分類

本研究以混合式分類法進行台灣北部地區及其轄內 7 個集水區之土地利用分類，共計分為森林、建地、水體、耕作農地、無耕作農地、雲、陰影七大類，。圖 3 為利用 1995 年 Landsat 5 影像進行混合式分類後之台灣北部地區土地利用分類圖，而兩種空間尺度下各分區土地利用型之像元點數及面積百分比之統計如表

一及表二，首先在陰影與雲之影響方面，就北部全區而言，光陰影一項已佔總面積之 40.34%、而雲則佔 3.02%，如將兩者相加，總計共佔了整張影像的 43.06%，比例甚大，除此之外，如進一步就集水區尺度進行分析，陰影與雲對各集水區所產生之影響亦甚明顯，故在後續進行土地利用型蒸發散之分析時應將此部份扣除；至於在其它土地利用型所佔面積百分比方面，由表中可知，無論係就北部地區或集水區之尺度而言，幾乎都以森林地區所佔之面積百分比為最大，其次為耕作農地、無耕作農地及建地，而以水體為最小。

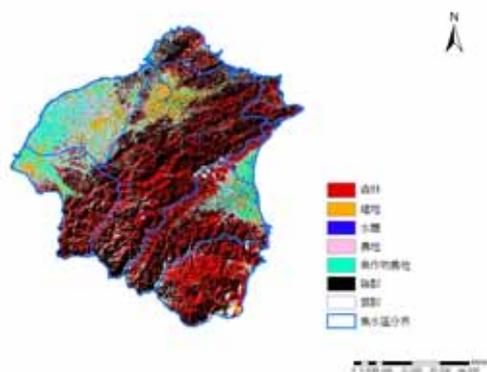


圖 3. 1995 年土地利用分類結果

表1. 1995年北部地區之土地利用面積百分比

土地利用型	像元點數	面積百分比
森林	2844976	24.21%
建地	758939	6.46%
水體	408455	3.48%
耕作農地	1268266	10.79%
無耕作農地	1372659	11.68%
陰影	4745069	40.37%
雲	354900	3.02%
總合	11753264	100%

表2. 1995年7個集水區之土地利用面積百分比

	第一區	第二區	第三區	第四區	第五區	第六區	第七區
森林	231802 (26.33%)	1032967 (24.03%)	52605 (3.44%)	69007 (28.01%)	339066 (23.61%)	519508 (27.63%)	600021 (40.47%)
建地	25566 (2.90%)	267892 (6.23%)	240528 (15.74%)	21374 (8.68%)	86279 (6.01%)	85755 (4.56%)	31545 (2.13%)
水體	28908 (3.28%)	170476 (3.97%)	61682 (4.04%)	12732 (5.17%)	15320 (1.07%)	107590 (5.72%)	11747 (0.79%)
耕作農地	87682 (9.96%)	221730 (5.16%)	537344 (35.16%)	26689 (10.83%)	196217 (13.66%)	160996 (8.56%)	37608 (2.54%)

無耕作	69340	224793	548932	63873	226582	206986	32153
農地	(7.88%)	(5.23%)	(35.92%)	(25.93%)	(15.78%)	(11.01%)	(2.17%)
陰影	429572	2263332	81247	50554	524378	728361	667625
	(48.79%)	(52.65%)	(5.32%)	(20.52%)	(36.51%)	(%)38.74	(45.02%)
雲	7507	118006	5831	2107	48303	71052	102094
	(0.85%)	(2.74%)	(0.38%)	(0.86%)	(3.36%)	(3.78%)	(6.89%)
總計	880377	4299196	1528169	246336	1436145	1880248	1482793
	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)

\*括號內之數字為面積百分比

在土地利用分類結果之檢核方面，本研究於各土地利用型中選取檢核區並計算其混淆表，進而統計各利用型之分類準確度以及整體分類準確度，結果如表3~表5。由表3可明顯地看出，組類混淆情形主要發生在建地、無耕作農地及水體三類，其中建地與無耕作農地兩類別間之光譜特性，經檢視發現其光譜值本來就較為相近，而造成水體混淆之原因推測可能是因水體上有乾涸之小沙洲，故分類時被歸為無作物農地；至於在分類準確度評估方面，由表4及表5可知各檢核區之準確度均在88%以上，而整體分類準確度亦達到93.19%，結果尚稱滿意，因此本分類結果適合用於評估後續土地利用型對蒸發散之影響效應。

表3. 檢核區之分類結果

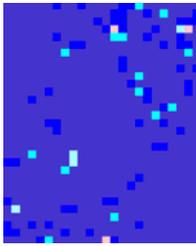
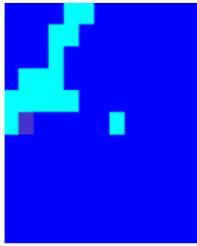
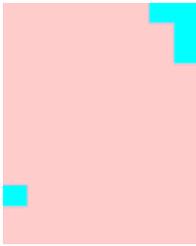
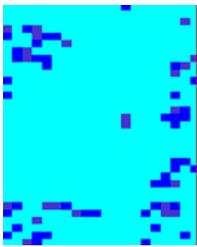
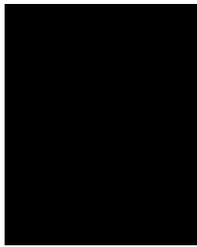
			
森林	建地	水體	耕作農地
			
無耕作農地	雲	陰影	

表4. 檢核區分類混淆表

	森林	建地	水體	耕作農地	無耕作農地	雲	陰影	列總合
森林	238	0	0	0	0	0	0	238

建地	0	659	64	3	14	0	0	744
水體	0	1	127	0	15	0	0	143
耕作 農作	0	0	0	91	0	0	0	96
無耕作 農地	0	23	42	0	593	0	0	660
雲	0	0	0	0	0	323	0	323
陰影	0	0	0	0	0	0	336	336
欄總合	238	687	233	98	622	323	336	2540
整體 準確度	$(238+659+91+593+127+323+336)/2540*100\%$ =93.19%							

單位：像元

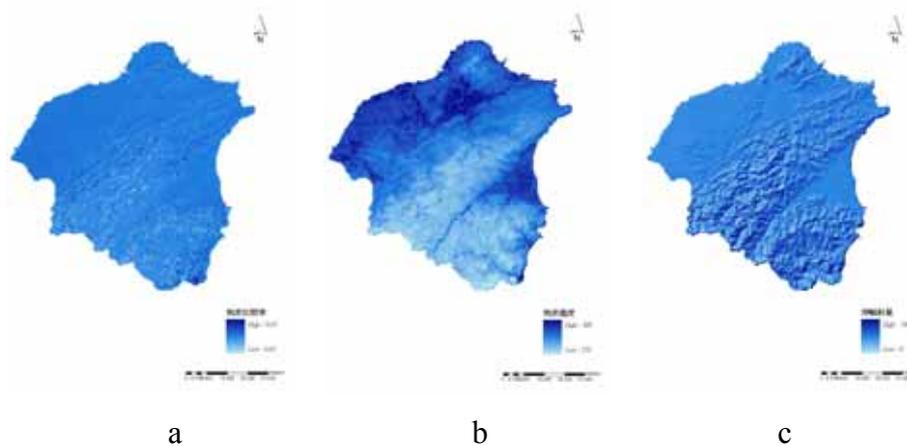
表 5. 各土地利用型之檢核區準確度及整體分類準確度

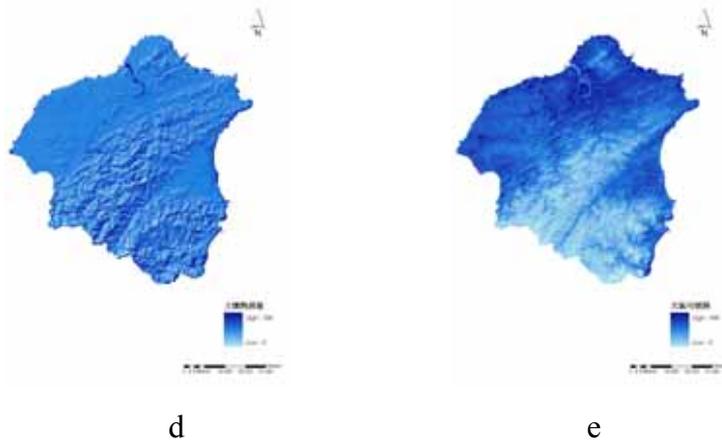
土地 利用型	森林	建地	水體	耕作 農地	無耕作 農地	雲	陰影
檢核區準確度	100	88.58	100	89.85	88.81	100	100

單位：%

#### 4.2 利用SEBAL模式推估地表參數與單日平均蒸發散量

利用SEBAL模式與Landsat-5衛星影像推估地表反照率、地表溫度、淨輻射量、土壤熱通量、大氣可感熱等參數之結果如圖4，而單日平均蒸發散量之結果如圖5。假如以森林地區為基準，將之與其它土地利用型比較，由圖4可清楚地看出森林地之土壤熱通量與淨輻射兩參數值均較其它土地利用型為高，而在可感熱、地表溫度及地表反照率三參數方面，則較其它土地利用型為低；其次，由圖5可發現，森林地之蒸發散量明顯地較其它土地利用型為高。





d

e

圖 4. 蒸發散相關參數

(a:地表反照率;b:地表溫度;c:淨輻射量;d:土壤熱通量;e 大氣可感熱)



圖 5. 1995 年台灣北部地區之單日平均蒸發散量

#### 4.3 土地利用型對蒸發散之影響分析

本研究為比較不同土地利用型之蒸發散量，故利用混合式影像分類法進行衛星影像之土地利用分類，然後再針對森林、建地、水體、耕作農地及無耕作農地五大類土地利用型，統計其平均單日蒸發散量，結果如表6。由表6可知，五種土地利用型中以森林地區之蒸發散量5.713mm為最大，其次依序為耕作農地2.159mm、水體1.854 mm、無耕作農地1.848mm，而建地1.349mm為最小。

表 6. 不同土地利用型之平均單日蒸發散量

土地 利用型	森林	建地	水體	耕作農地	無耕作農地
平均單日 蒸發散量	5.713	1.349	1.854	2.159	1.848

單位：mm/day

其次，為進一步探討各土地利用型蒸發散量之主要影響參數，故首先針對十五項能量平衡參數進行相關分析，目的在利用相關係數為門檻值，以篩選出相關

性較低之參數，由於SEBAL模式中所用到的能量參數，大多是經由衛星影像之光譜資訊推算所得，因此各參數間原本即存在著高度的相關性，故本研究在設定變數篩選之門檻值時，僅以相關係數=0.8做為參數篩選的基準，當參數之間的相關係數大於0.8時，則由其中挑選出一項與蒸發散最有關者加以保留，其餘之參數則加以剔除，結果總計共挑選出大氣層外之單日輻射量( $Ra_{24}$ )、常態化差異植生指標( $NDVI$ )、地表溫度( $T_0$ )及一維穿透係數( $\tau_{sw}$ )四項參數，之後再以五種土地利用型之蒸發散量為應變數，四項低相關之能量參數為解釋變數進行逐步迴歸分析，其結果如表7，觀察表中結果可知，除建地外，其它組類之平方係數值都在0.70以上，故所得迴歸模型確實可有效反應各土地利用型蒸發散量與能量參數間之關係，至於在各利用型蒸發量的影響參數之評估方面，由逐步迴歸分析之結果可看出，除了森林地區受到常態化差異植生指標之影響較大外，其餘土地類型均以大氣層外之全日輻射總量為最主要的影響因子，並且，雖然各組類之影響參數與參數的數目不盡相同，但大氣層外之全日輻射總量該項因子則與5大土地類型的任何一類均有密切的關係。

表 7. 逐步迴歸分析之結果

土地 利用型	平方係數( $R^2$ )	逐步迴歸模式
森林	0.70	$ET_{24} = -0.6859 + 0.7974NDVI + 0.4714 Ra_{24} - 0.5065T_0$
建地	0.49	$ET_{24} = -0.3945 + 0.3151 Ra_{24} - 0.1832 T_0$
水體	0.75	$ET_{24} = -0.2419 + 0.6985 Ra_{24} - 0.1923\tau_{sw}$
耕作農地	0.80	$ET_{24} = -0.2781 + 0.4612 Ra_{24} - 0.1568 T_0$
無耕作農地	0.81	$ET_{24} = -0.0901 + 0.6255 Ra_{24} - 0.1619 T_0 + 0.2845\tau_{sw}$

#### 4.4 空間尺度對蒸發散影響效應之探討

本研究利用相關分析所挑選出之大氣層外單日輻射量( $Ra_{24}$ )、常態化差異植生指標( $NDVI$ )、地表溫度( $T_0$ )及一維穿透係數( $\tau_{sw}$ )，再加上單日蒸發散量( $ET_{24}$ )等共五項能量參數為解釋變數，而土地利用類型為應變數進行逐步判別分析，以探討在不同空間尺度下，區別5種土地利用型所需之判別參數是否有所差異，逐步判別分析之結果如表8，由表中之結果可知，在北部全區及其轄內7個集水區兩種空間尺度之下，用來區別5種土地利用型所需要的能量參數與參數數目確實有所差異，然而無論在那一種空間尺度，常態化差異植生指標與地表溫度兩項參數均屬於重要的判別參數。

表 8. 逐步判別分析之結果

尺度		模式選入之判別參數 (按模式選入之順序排列)			
北部全區尺度		<i>NDVI</i>	$T_0$	$\tau_{sw}$	$ET_{24}$
集水區 尺度	第一區	<i>NDVI</i>	$T_0$	$\tau_{sw}$	$Ra_{24}$
	第二區	<i>NDVI</i>	$T_0$	$\tau_{sw}$	
	第三區	<i>NDVI</i>	$ET_{24}$	$T_0$	
	第四區	<i>NDVI</i>	$\tau_{sw}$	$T_0$	$ET_{24}$ $Ra_{24}$
	第五區	<i>NDVI</i>	$\tau_{sw}$	$T_0$	
	第六區	<i>NDVI</i>	$\tau_{sw}$	$T_0$	
	第七區	<i>NDVI</i>	$T_0$	$\tau_{sw}$	

## 五、討論

1. 應用 SEBAL 模式進行蒸發散分析時，衛星影像之品質實為影響分析結果的關鍵因素，台灣地區因高山林立及地形特性的影響，實不易取得百分之百無雲影的影像，針對此問題，目前相關研究均採取將雲及陰影遮蔽地區捨去不用的對策，故未來在無雲影像取得、甚至相關影像處理技術如能有所突破，則對應於用遙測技術推估蒸發散量之正確性將有莫大的助益。
2. 本研究整合遙測技術與 SEBAL 蒸發散模式，以探討土地利用型對蒸發散量所產生之影響效應，由分析結果可知，森林地區之蒸發散量明顯地較其它土地利用型為高，且此結果與前人研究(鄭皆達、夏禹九, 1988; 邱亦霖, 1995) 所得結果類似，由此可知，結合遙測衛星影像與 SEBAL 模式推估蒸發散量之作法確屬可行。
3. 本研究利用逐步迴歸分析，以探討不同土地利用型蒸發散量之影響因子，然而在 5 種土地利用型之分析結果中，僅建地一項所得之迴歸模式較不具代表性，探究其原因，可能是因為建地中主要以屋舍及道路等構造物為主要組成，而此類人工構造物之主要原料為水泥、柏油及瀝青，由於水泥及瀝青鋪面在水分蒸發散之效能上較差，因此造成統計分析時，做為應變數之蒸發散量之值甚小，而使得建地組類之迴歸統計結果不甚理想；此外如就整體之結果來說，大氣層外之全日輻射總量該項因子與所有土地類型之蒸發散量都有密切的關係，由此可知，輻射能量的供給實為影響蒸發散之最重要因子。
4. 本研究應用逐步判別分析以探討空間尺度對蒸發散之影響效應，所得之結果雖然指出，在不同空間尺度下區域蒸發散之特性確實有所差異，然而事實上分析之尺度與空間區劃系統的種類有關，因此空間區劃系統及區劃原則的不同亦可能會對區域之蒸發散造成影響，然而在本研究之中，僅針對自然環境基本資料庫中之水資源分區系統進行分析，並未比較應用不同區劃系統推估蒸發散結果之差異，故建議後續研究可朝此方向繼續深入探討。

## 六、結論

本研究以台灣北部地區及其內之 7 個集水區為試區，應用混合式分類法進行試區 Landsat-5 衛星影像之土地利用型分類，以及 SEBAL 能量平衡模式與遙測技術推估單日蒸發散量，最後整合兩者之結果以探討土地利用型以及空間尺度對區域蒸發散量之影響效應，以供未來相關單位進行水資源管理之參考。研究結果指出，在土地利用分類方面，利用檢核區檢定分類結果之分類準確度為 93.19%。而在土地利用型對蒸發散量之影響評估之結果則指出，不同土地利用型之蒸發散量確實有差異，且由大至小依序為森林地區之 5.713mm、耕作農地之 2.159mm、水體之 1.854 mm、無耕作農地 1.848mm、及建地之 1.349mm，此結果與前人研究(鄭皆達、夏禹九，1988；邱奕霖，1995)結果頗為類似，並且經由逐步判別分析之結果可知，不同土地利用型之蒸發散量之影響參數與參數的數目不盡相同，唯獨大氣層外之全日輻射總量參數與 5 種土地類型都有密切的關係；至於在空間尺度對蒸發散影響效應之逐步判別分析的結果亦指出，在台灣北部地區及其轄內 7 個集水區兩種空間尺度之下，用來區別 5 種土地類型所需要的參數與參數數目亦有所差異，僅常態化差異植生指標與地表溫度兩項參數無論在何種空間尺度下，均為重要的判別參數。由此可知，土地利用型態與蒸發散之間確實具有相關性，而分析所採用之空間尺度亦會影響區域之蒸發散特性，基於蒸發散在水循環系統中之重要性，故建議後續相關研究以及有關單位在進行大尺度水資源管理時，對於此影響效應應加以考慮。

## 七、參考文獻

- 邱奕霖，1995，地表過程蒸發散之觀測與分析。國立中央大學水文科學研究所碩士論文。
- 林錦源，2003，應用土壤含水量觀測推估蒸發散量之研究。國立成功大學水利及海洋工程學研究所碩士論文。
- 陳朝圳、吳守從、江彥鋒，2006，應用MODIS衛星影像推估台灣地區之蒸發散量。台灣林業科學21(2):249-61。
- 鄭皆達，夏禹九，1988，上游森林集水區暴雨流出的產生及其在集水區經營、工程設計上的應用。「生態原則下的森林經營」研討會論文集。
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., and Holtslag, A.A.M., 1998, A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL) 1. Formulation, Journal of Hydrology, vol. 212-213, 198-212.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., and Ferreira, L. G.(2002) Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. Remote Sensing of Environment 83: 195-213.
- Hoffer, R. M., and M. Fleming. 1978, Mapping vegetative cover by computer-aided

- analysis of satellite data. Purdue Univ., LARS Technical Report 011178.
- Jayatilaka, C. J., B. Storm, and L. B. Mudgway (1998) Simulation of water flow on irrigation bay scale with MIKE-SHE. *Journal of Hydrology* 208: 108-130.
- Kustas, W. P., Daughtry, C. S. T., 1990, Estimation of the soil heat flux/net radiation from spectral data. *Agric. For. Meteorol.* 49:205-224.
- Laymon, C., D. Quattrochi, E. Malek, L. Hipps, J. Boettinger, and G. McCurdy (1998) Remotely-sensed regional-scale evapotranspiration of a semi-arid great basin desert and its relationship to geomorphology, soils, and vegetation. *Geomorphology* 21: 329-349.
- Morse, A., T. Tasumi, G. A. Richard, and J. K. William., 2000, Application of the SEBAL methodology for estimating consumptive use of water and stream flow depletion in the bear river basin of Idaho through remote sensing. The Raytheon System's Company Earth Observation System Data and Information System Project.
- Penman, H.L., 1948, Natural evaporation from open water, Bare Soil and Grass, *Proc. R. Soc. London Ser. A*, Vol. 193, 120-145.
- R. G. Allen, A. Morse, and M. Tasumi, 2003, Application of SEBAL for Western US Water Rights Regulation and Planning, *Proceedings of the International Conference on Irrigation and Drainage, Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions*, Montpellier, France.
- T. M. Lillesand, and R. W. Kiefer, 1994, *Remote Sensing and Image Interpretation*, Third Edition, John Wiley & Sons.

## 八、計劃成果自評

本研究分三年時間應用遙測、地理資訊系統等空間資訊技術，針對台灣都市土地使用/土地覆蓋和環境乾旱與全球環境變遷間之關係，進行基礎性的監測、分析及評估。研究過程涉及遙測、地理資訊系統空間資訊技術、土地使用/土地覆蓋、全球環境變遷、統計分析和數學模式等相關理論與實務工作，其中第一年之任務主要著重於基礎資料之申購與蒐集(包括衛星影像與氣象資料申購、相關統計與圖籍資料之蒐集以及土地利用分類等工作)，工作目標已按照進度全數達成，執行成果亦已投稿並獲收錄於『第二十六屆測量及空間資訊研討會論文集』中。本年度為第二年計畫任務主要著重於土地利用行、區劃系統與空間尺度對蒸發散影響之研究，工作目標已按照進度全數達成，執行成果亦已發表在『中華林學季刊 (Quarterly Journal of Chinese Forestry) 41(2):43—51 (2008)』。本年度研究成果除了可供有關單位進行不同空間尺度之水資源管理參考之外，亦可做為後續探討河川流量模擬與環境乾旱研究之用。