

利用衛星資料估算台中地區 地表熱通量及熱島效應關係之研究

張子瑩¹ 劉說安^{1,2,3} 陳奕穎³
太空科學研究所¹ 太空及遙測研究中心² 水文科學研究所³
國立中央大學

摘 要

本研究主要利用衛星上可見光、近紅外光、及熱紅外線三個波段的遙測影像資料，估算地表熱通量及蒸發散量，配合不同土地利用差異的分類，以探討台灣中部地區都市熱島效應的顯著性，以及該效應與地表熱通量間的關係。當地球的輻射能量平衡時，淨輻射通量主要供予土壤熱通量、可感熱及潛熱這三部份。如地表潮溼或有植被覆蓋時，淨輻射通量主要供給地表做為蒸發或植被蒸散的潛熱，是為蒸發控制(Evaporation controlled)。然而當地表為乾燥時，淨輻射通量則轉為輻射控制(Radiation controlled)，做為加溫地表的能量。由於都市地區中大量的人工發熱，又由於建築物、道路等分布廣，使得地表保水能力低，大部份淨輻射能將轉為加溫地表的能量，造成都市地區相較於周遭郊區的高溫化，有如一座發熱般的島嶼，產生都市熱島效應，透過本研究，能更加了解地表通量在熱島效應所扮演的角色與機制。

一、前言

台灣地區由於城市人口集中，工業發達，交通擁塞，大氣污染嚴重，且城市中的建築大多為鋼筋和混凝土建成，地表鋪設不透水的柏油路面，這些人工的建物熱傳導率高，加上建築物本身對風的阻擋或減弱作用，可使城市的年平均溫度比郊區、農村高，從而形成城市的熱島效應。

在過去研究都市的熱島效應研究，是利用溫度的等值線圖以了解都市熱島效應的規模大小，然而常以實地氣候站測量獲得單點資訊，再內插成區域性的測值，以分析熱島效應的規模大小。而都市的熱島效應研究，必須將都市的溫度與郊區的溫度進行比對，存在著測站點不足及代表性不足的情形。

近年來衛星資訊大量且豐富，透過衛星影像可以進行大範圍、對「面」的資訊進行估算，因此相當適合進行區域性熱島效應的研究。以衛星資料推估地表溫度時，主要透過溫度與植被覆蓋的關係進行都市熱島效應的估算。一般而言，植被愈茂密的地區，因受到植物蒸發散作用的影響，溫度則會偏低。然而台灣位於亞熱帶地區，夏季太陽的輻射量相當高，即使是植被茂密的地區，植被層頂溫度仍然很高，因此利用衛星估算透過植被的覆蓋程度，如標準差植被指數 (Normalized Difference Vegetation

Index, NDVI)以及葉面積指數 (Leaf Area Index, LAI)，仍存有較大的誤差。

本研究利用地表能量平衡的原理估算都市熱島效應，以可感熱通量(sensible heat fluxes)與潛熱通量(latent heat flux)推估與地表溫度的關係，希望透過本研究，了解地表熱通量在熱島效應所扮演的角色與相關性。

二、研究方法

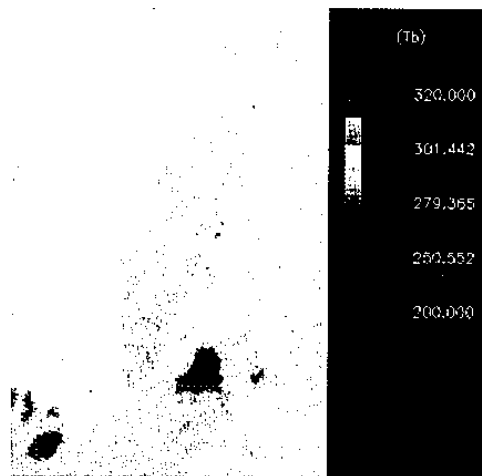
本研究利用TRMM(Tropical Rainfall Measuring Mission) 衛星影像VIRS之三個波段，進行地表熱通量的反演。TRMM衛星VIRS的頻道分布可參考表一。

表一：VIRS CHANNELS of TRMM

channel	Spectral Region	Wavelength (μm)
1	Visible (R)	0.63
2	Near Infrared (NIR)	1.60
3	Near Infrared	3.75
4	Infrared	10.8
5	Infrared	12.0
Spatial Resolution : 2.4 km		
Swath Width : 833 km		
Pixels/Scan : 261		

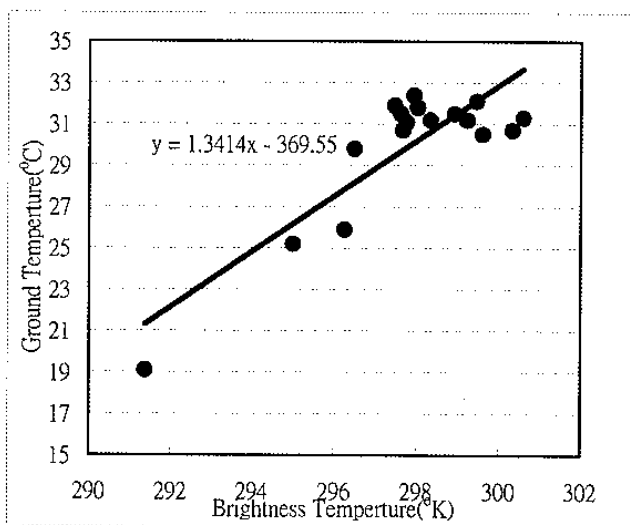
本研究主要使用三個波段，即第1可見光波段、第2紅外光波段、與第4熱紅外光波段，進行能量平衡的估算。

在地表溫度方面，主要採用第四波段熱紅外光推估地表亮溫值(如圖一)。



圖一：2003年7月10日台灣地區亮溫值

地表亮溫值反演地表溫度需透過大氣之校正，因為缺乏大氣剖面的資料，因此本研究利用2003年7月10日，時間早上九時(與TRMM衛星拍攝地表時間一致)時，以地面測站所測得溫度值，進行線性回歸後，得以反演地表溫度。



圖二：亮溫值與地表測站溫度之回歸分析

本計畫利用的輻射能量平衡原理，是忽略植物光合作用所需的能量及熱容量下，以淨輻射量扣除土壤熱通量後的輻射量，將會被利用來加熱地表(可感熱)及蒸發散地表的水分(潛熱)(式1)。

$$R_n = G_0 + H + \lambda E \dots\dots\dots(1)$$

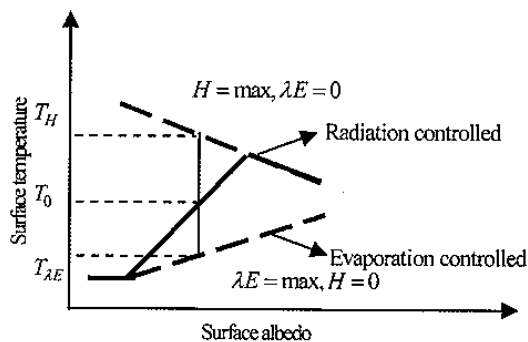
其中 R_n 為淨輻射[W/m²]， G_0 為土壤熱通量[W/

m²]， H 為可感熱通量(sensible heat flux)[W/m²]， λE 為潛熱通量(latent heat flux)[W/m²]。

而本研究將淨輻射量扣除土壤熱通量後的輻射量視為「淨可用能量」。這些淨可能用量如何分配給可感熱與潛熱時，並不是直接計算其各別的值，而是利用 2000 年 Roerink 等人建立的遙測估計熱通量方式 (S-SEBI model) 求算出可感熱與潛熱之間的蒸發散比值 (evaporative fraction) “ Λ ”來估算：

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{\lambda E + H} = \frac{\lambda E}{R_n - G_0} \dots\dots\dots(2)$$

蒸發散比值的含意可從圖三得知，即在反射率相當低時，地表溫度幾乎不隨反射率變化，這表示此時的地表為潮溼地、水面或為植被密佈區，因此能量大部分用來蒸散土壤及植被的水份，溫度變化並不明顯。隨著反射率的增加，表示土壤含水量減少，蒸發散量亦跟著減少，淨輻射量大部分則用來加熱地表，因此造成地表溫度隨反射率增加；達到某個臨界點之後，地表溫度隨反射率增加而開始降低，這是因為反射率的增加導致到達地表的淨輻射量減少，因此用來加熱地表的可用能量也相對減少，地表溫度自然降低。其中乾控制線表示所有的淨輻射能都被拿來加熱地表成為可感熱；濕控制表示所有的能量都被拿來提供地表蒸發或植物蒸散水分成為潛熱。



圖三. 地表反照率與地表溫的關係圖(Roerink et al, 2000)

因此可透過這樣的方式，只要從地表溫度與反照率的關係圖中，將乾控制與濕控制的回歸係數求得，即可定義可感熱與潛熱。

三、研究區

本研究區以台中市(圖四)為研究範圍，利用監督性

分類，分為三類，紅色代表都市地區、深綠色代表森林、淺綠色代表草地，因此可大致了解台中市地區的土地利用情形(圖五)。

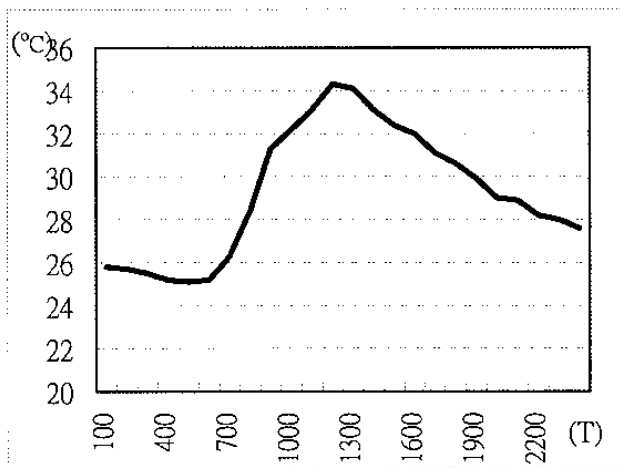


圖四：研究區 SPOT 衛星影像



圖五：研究區土地利用分類(紅色代表都市地區、深綠色代表森林、淺綠色代表草地)

本次研究影像以 2003 年 7 月 10 日為代表，衛星影像所拍攝的時間，為上午九時，此時台中市天氣晴朗，而以台中氣象站的溫度顯示，早上九時平均溫度已達到攝氏 31 度。



圖六：2003 年 7 月 10 日台中氣象站分布溫度圖

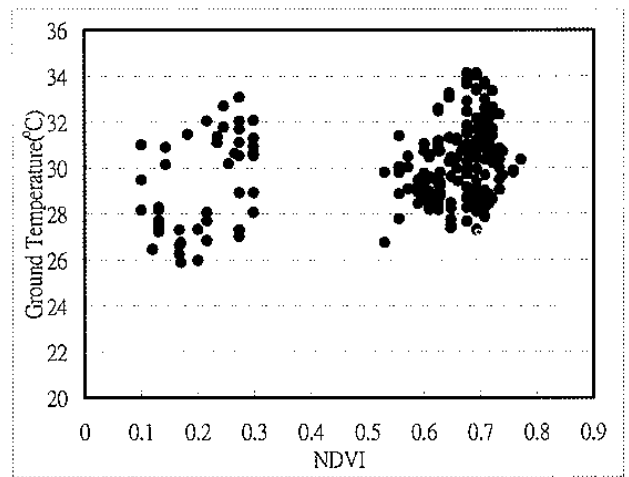
四、研究成果

(1) 估算地表溫度於植被層之關係：

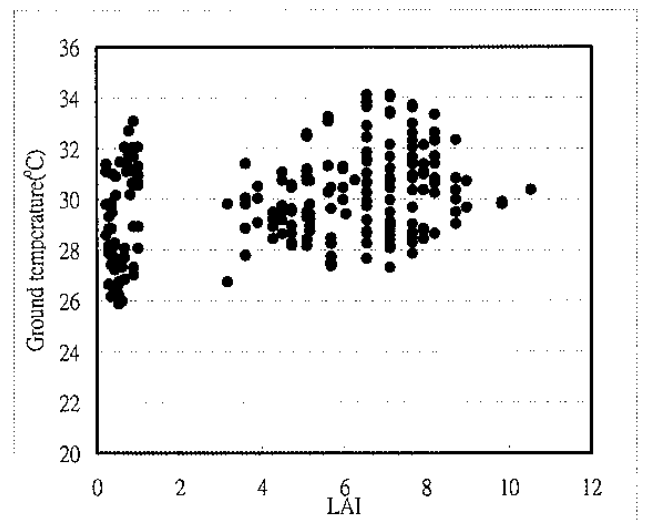
利用 TRMM 衛星上 10.8μm 波長的波段較接近地球長波輻射波長，透過回歸方程式估算地表溫度。並利用可見光與近紅外光影像，求取標準差植被指數(NDVI)與葉面積指數(LAI)，以了解兩者之間的關係。

$$NDVI = (NIR - R)/(NIR + R)...(3)$$

$$LAI = 0.2273e^{4.9721(NDVI)}(4)$$



圖七：地表溫度與 NDVI 分布圖



圖六：地表溫度與 LAI 分布圖

從地表溫度與 NDVI 及 LAI 兩項指標的相關性來看，可看出植被層的多寡在本研究區無法展現出良好的關係。

(2) 地表熱通量的估算：

利用上述的輻射量平衡原理，必須先推求淨輻射量 R_n

$$R_n = K^\downarrow - K^\uparrow + L^\downarrow - L^\uparrow \dots\dots(5)$$

$$R_n = (1 - r_0)K^\downarrow + L^\downarrow - L^\uparrow \dots\dots(6)$$

其中太陽短波入射量 K^\downarrow 與季節、所在緯度及時間有

關，一般可由此三項參數算出，本研究以測值代入。 K^\uparrow 為

$K^\downarrow \times r_0$ ， r_0 為地表反射率。 $L^\uparrow = \sigma T_0^4$ 。 L^\downarrow 來自雲層及大氣的貢獻，可利用空氣溫度、蒸氣壓估計入射長波輻射量 (Prata, 1996)：

$$L^\downarrow = e_{sky} \sigma T_a^4 \dots\dots(7)$$

$$e_{sky} = \left\{ 1 - (1 + xi) \exp \left[- (1.2 + 3xi)^{0.5} \right] \right\}$$

$$xi = 46.5 (vap / T_a)$$

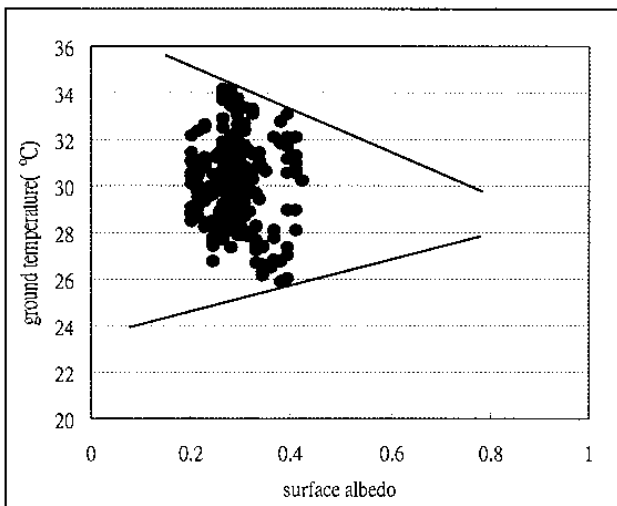
式中 e_{sky} 為大氣放射率[-]。 vap 為水汽壓[kpa]。 T_a 為氣溫

[K]。式中所需要之實際測值，則採用台中氣象站的觀測值代入。

在土壤熱通量方面，根據 Bastiaanssen 等人(1998)提出以遙測地表溫度估計 G_0 。此經驗式為地表反射率、地表溫度和 NDVI 的函數，可表示為：

$$G_0 = T_0 (0.0032 + 0.0062r_0) (1 - 0.978NDVI^4) \dots\dots(8)$$

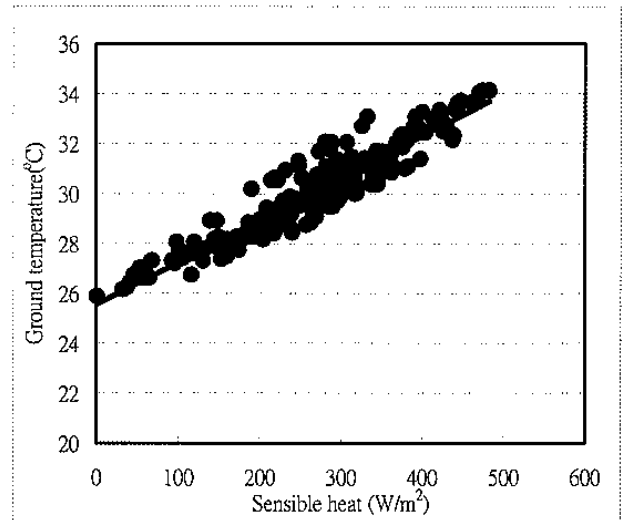
將淨輻射量扣除土壤熱通量獲得「淨可用能量」，再利用 S-SEBI 模式估算。其結果如圖七：



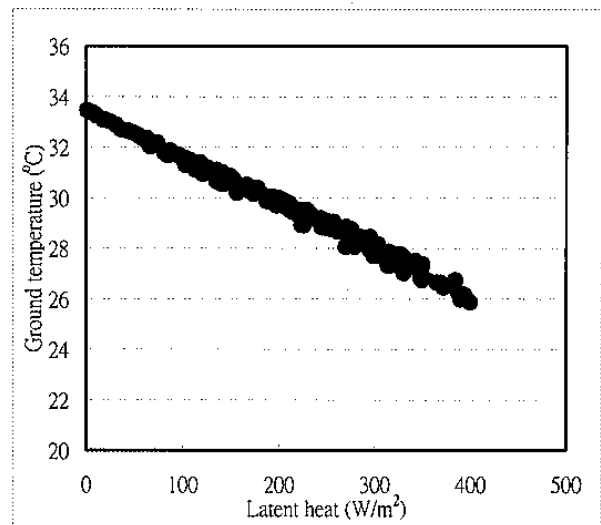
圖七：地表溫度與地表反照率分布圖

透過蒸發散比值來估算，就可求出本研究區的潛熱與可感熱。

對於求出的潛熱與可感熱，可與地表溫度進行比對，發現潛熱(即蒸發散量)愈高的地區溫度較低，而可感熱愈高區溫度則愈高。其中與溫度呈現最高相關性的為潛熱，其相關係數達到 0.9，可知蒸發散的過程，與溫度的變化最有關。



圖八：可感熱與地表反照率分布圖



圖九：潛熱與地表反照率分布圖

五、結論

本研究成果顯示，都市地區的不透水面，使得多餘的輻射能供給於加熱地表，因此可感熱值愈高，溫度就愈高。在一連串的分析裡發現，地表溫度的高低與潛熱有最顯著的關係，且相關係數達到0.9。因此將地表熱通量應用在都市熱島效應的研究上，潛熱是最可以直接考慮的因子，雖然潛熱值的大

小，與植被或水體有較大的關係，然而應用在研究亞熱帶地區夏季的都市熱島效應，只利用衛星資料反演出標準植被指數或葉面積指數而得到溫度的變化，可能略顯不足。此外，利用衛星推估潛熱值的多寡，將可配合水文模式，進一步分析水資源利用的問題。

六、參考文獻

1. 鍾譯靚，「利用衛星遙測估算蒸發散量與熱通量之研究」，國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文，2001。
2. 鍾譯靚、劉曉安、李天浩等，「利用遙測推估農作物蒸發散量之研究」，應用於水稻精準農業體系之知識與技術，65-78 頁，2002。
3. Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A., and Holtslag, A.A.M., "A remote sensing surface energy balance algorithm for land(SEBAL) 1.Formulation." *Journal of Hydrology*, Vol.212, pp.198-212,1998.
4. Daughtry, C.S.T., Kustas, W.P., Moran, M.S., Printer, P.J., Jackson, R.D., Brown, P.W., Nichols, W.D., Gay, L.W., "Spectral estimates of net radiation and soil heat flux." *Rem. Sens. Envir.*, Vol. 32, pp.111-124, 1990.
5. Kustas, W.P., and Daughtry, C.S.T., "Estimation of the soil heat flux/net radiation ratio from spectral data." *Agr. Forest Met.*, Vol. 49, pp.205-223, 1990
6. Menenti, M. and Choudhury, B.J., "Parameterization of land surface evaporation by means of location dependent potential evaporation and surface temperature range." *Proceedings of IAHS conference on Land Surface Processes*, IAHS Publ., No. 212, pp.561-568, 1993.
7. Oevelen, van, P.J., "Determination of the available energy for evapotranspiration with remote sensing." M. Sc. Thesis, Agricultural University of Wageningen, pp.68, 1991.
8. Prata, "A new long-wave formula for estimating downward clear-sky radiation at the surface." In the *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, Vol. 122, pp.1127-1151, 1996.
9. Roerink, Su, Menenti, "S-SEBI: A simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance" *Phys. Chem. Earth (B)*, Vol.25 pp.147-157,2000.