

中 華 民 國 氣 象 學 會
「大氣科學」第二十六期第一號抽印本，95—108頁

Reprinted from Atmospheric Sciences, Vol. 26, No. 1. Page 95—108
The Meteorological Society of the Republic of China

一個地表過程 / 亮溫模組
對土壤參數靈敏度的研究

劉 說 安

國立中央大學太空及遙測研究中心

中 華 民 國 八 十 七 年 三 月
Taipei, Taiwan, Republic of China, March 1998

一個地表過程/亮溫模組 對土壤參數靈敏度的研究

劉說安

國立中央大學太空及遙測研究中心

(中華民國八十六年五月六日收稿；中華民國八十七年三月十六日定稿)

摘 要

土壤含水率除了藉由控制地表與大氣間能量、水份的交換，而影響大氣環流，同時藉由決定土壤的介電係數，而影響地表輻射係數及亮溫。因此，對大氣層具有高穿透性的微波，在遙測學界被用來測量地表亮溫，估計地表濕度。

在本文中，我們首先介紹一個適用於草原及裸露地的地表過程/亮溫(Land-Surface Process/Radiobrightness; LSP/R)模組，這個 LSP/R 模組由兩個模式組成：一個處理土壤、植物中及地表、大氣間能量及水份傳遞交換的地表過程(LSP)模式及一個估計地表亮溫的輻射(R)模式。LSP 模式估計土壤、植物之溫、濕剖面。也就是說，LSP/R 模組結合了衛星量測之地表亮溫與一些主宰陸空能量、水份傳遞交換的溫、濕參數。因此，這類的模組可以被用來研究微波遙測土壤含水率。之後，我們接著探討土壤參數對 LSP/R 模組在沒有植被時的影響，所要探討的土壤參數為飽和水頭傳導係數(hydraulic conductivity)，反射率(albedo)，以及孔隙率(porosity)。我們的作法是先假設植被覆蓋率為 0%，之後利用 LSP/R 模組做一系列為期兩週的乾化(dry-down)模擬，土壤初始含水率均設為 45%(以體積比計)，在每一次模擬中僅改變一種土壤參數。乾化模擬結果發現：

- (1) 當土壤反射率由 30%改變為 10%時，白天由於日曬效應，溫差近 2 度，而濕度差由第一天的 1%劇增到第十四天的 8%，19.35 GHz 水平極化亮溫差異更為明顯，由第一天的 2 度增到第十四天的 18 度。
- (2) 當飽和水頭傳導係數由 2.054×10^{-7} m/s 改變為 4.054×10^{-7} m/s 時，在二週後地表溫度並無明顯差異，然而濕度差異超過 8%，而且 19 GHz 水平極化亮溫相差超過 20 度。
- (3) 孔隙率設定為 48.1%、53.1%及 60.1%時，LSP/R 模組的乾化模擬結果並無明顯差異。

本研究顯示，飽和水頭係數及土壤反射率顯著地影響 LSP/R 模組，然而孔隙率對模組影響較微小。此外，藉由亮溫對地表參數的靈敏度，我們可以用 LSP/R 模組去萃取地表參數。

關鍵詞：地表過程、亮溫、土壤含水率

一、前言

微波遙測技術發展迄今數十年，應用範圍極為廣泛，包含了大氣、海洋、水文、農業、森林及地質等等，隨著科技日新月異，該技術之應用與科學研究更成等比級數成長。其中，結合地表過程與微波輻射理論去研究遙測地表即為一例，在這方面的研究中，以 England(1990)為最早文獻之一，該研究處理地表與大氣間交互作用，解決土壤內一維熱傳問題，但忽略水份傳遞之影響，去探討裸露地"一日的"(diurnal)亮溫特性，有效地詮釋並區分凍土與非凍土特性。

就地表過程模式而言，Dickinson et al. (1986)的 Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) 及 Sellers et al. (1986) 的 Simple Biosphere Model (SiB)為兩大主流。這兩個模式對處理控制地表及大氣間交互作用的土壤、植物參數，均採高度地參數化，藉以節省計算時間，以符合數值預報模式的要求。由於對地表隨著時空性質改變而影響環流知識的增長，Sellers et al. (1996a)發展了第二代的 SiB (SiB2)，訴求在於增加模式的真實性，以改進處理一些具有長時間特性過程的能力，諸如 CO₂ 循環及大尺度水文學等。此外，由於應用遙測技術萃取地表參數能力的進步，光學遙測所得之 FPAR (Fraction of Photosynthetically Active Radiation)，LAI (Leaf Area Index)，及植被綠化部份(canopy greenness fraction)，已被結合到地表過程模式 SiB2 (Sellers et al. 1996b)，目的在於隨時掌握地表變化，更新相關參數，增進模式預報能力。然而，光學波段訊號無法穿透雲層、雨滴，也無法穿透植被，因此，光學遙測地表不僅受限於天候影響，並且也無法偵測為植

被所覆著的土壤溫、濕度及其特性。相反地，微波對雲層具有相當高的穿透能力，對降雨及植被也有某些程度的穿透能力，因此，微波遙測技術應是目前最適合用來全天候地觀測地表特性(Ulaby, 1981)。

為了推展微波遙測地表之技術，我們首先探討季節性對裸露地區溫度及亮溫的影響(Liou and England, 1996)，爾後，持續不斷地改進對地表過程與輻射處理，而有一系列的 LSP/R 模組(Liou and England, 1998a, 1998b; Liou et al., 1998c)，這些模組均由兩個模式組成，一個處理地表能量及水傳的模式及一個估計亮溫的模式。最早期的 LSP/R 模組只適用於裸露、不結凍的地區(Liou and England, 1998a)。之後，我們改進模組，使它能處理土壤的冰凍限象(Liou and England, 1998b)。之後，我們進一步地在邊界層加上植被，並且驗證 LSP/R 模組(Liou et al. 1998c)，大大地提昇了這個 LSP/R 模組的實用價值，例如，我們利用 LSP/R 模組，探討比例化(scaling)對混合像元亮溫詮釋的影響(Liou et al., 1998d)，研究步驟如下：

- (1) 將裸露地(0%植被)及 100%植被覆蓋區視為草原地區兩種極端的地表類型，分別進行為期兩個月的乾化模擬(初始濕度剖面設為 45%)，求出植物、土壤之溫、濕剖面及地表亮溫。
- (2) 由(1)中所得之亮溫，依面積比重，決定 25%、50%及 75%植被覆蓋像元中的亮溫。這些像元被定義為拼裝像元(tiled pixel)。
- (3) 假設拼裝像元之植物生物質量(biomass)，均勻地分佈在整個像元中，這些像元被定義

為均勻像元(homogeneous pixel)，然後分別對 25%、50%及 75%植被同樣地進行 2 個月的乾化模擬，求出均勻像元中植物、土壤的溫、濕剖面及亮溫。

- (4) 比較拼裝像元及均勻像元中水平極化、入射角 53 度 19.35 及 1.4 GHz 亮溫。這個研究頗有震撼性的發現，19.35 GHz 均勻像元亮溫在 60 天乾化過程的一開始，高於拼裝像元亮溫幾近 50 度，在乾化過程第 60 天則高出近 40 度。突顯出，利用微波輻射偵測地表特性時，如何處理像元中不同物種的比例化是一個極為重要的課題。

此外，我們結合 LSP/R 模組與類神經網路去萃取地表參數（土壤及植被之溫、濕）(Liou et al, 1998e)，該研究發現縱使強迫加入均差為 2 K 的雜訊到亮溫，一組六波道（1.4，19 及 37 GHz 水平及垂直極化亮溫）的微波輻射資料，可以估得良好的萃取值，按比較萃取值與參考值求得之均差值，對土壤溫度為 1.1K，對土壤含水率為 0.8%，對植被溫度為 1.2K，及對植被含水率為 0.1Kg/m²。由於在輻射量測估計地表參數中，利用上述六波道去萃取地表參數，並非有絕對的必要性，我們已另行研究減少觀測的波道數及改變頻率的可行性，俾使研究成果更實際更能提供未來被動式微波遙測地表衛星規劃與設計之參考。

為了驗證改良 LSP/R 模組，美國密西根大學做了一系列的 Radiobrightness Energy Balance Experiments (REBEX)。硬體設備包含了一套 Tower Mounted Radiometer System (TMRS)，一個 Micro-Meteorological Station (MMS)，及一組 Command and Data Management System (CDMS)。TMRS 包含了微波輻射計，紅外線輻射計，及一個觀測實驗地

的錄影機。所選的頻率為 Special Sensor Microwave/Imager (SSM/I) 的 19.35，37，及 85.5 GHz，其中，在 19.35 及 37 GHz 的輻射計為雙極化(水平及垂直)，在 85.5 GHz 的輻射計為單極化，但是可以被旋轉來測另一極化亮溫。MMS 測量風速、風向、空氣溫濕度、Bowen ratio、降雨、向上及向下短波輻射、淨輻射、土壤溫濕度及植物或雪堆中溫度。蒐集的資料經由導線送到 CDMS。REBEX 為一系列自動化觀測實驗，在遠處可以連接到 COMS 中的電腦，直接抓取資料，做系統處理及儀器較正。截至目前為止，完成的 REBEX 系列實驗包含了(1)1992 年七月間在密西根大學植物園的草坪上所做的 REBEX-A (Ed, 1996a)，(2)1992-1993 年秋天到冬天間，在美國 South Dakota 州 Sioux Falls 市附近草原上所做的 REBEX-1 (Galantowicz, 1995)，(3)1994-1995 間在阿拉斯加 North Slope 的苔原上，為持一年的 REBEX-3 (Ed, 1996b)，以及(4)1996 年六月到九月間在 REBEX-1 實驗處，密西根大學與加拿大的 Atmospheric Environment Service 合作，進行為期四個月的 REBEX-4，實驗期間同時觀察裸露地及濃密草原區。截至本研究完成前，REBEX-4 資料尚未處理完畢。

LSP/R 模組的發展可幫助我們解讀衛星遙測所得之地表亮溫，進而發展亮溫萃取地表參數的技術。雖然我們持續地發展與驗證 LSP/R 模組應用性，但是對該模組靈敏度的探討卻從未有詳細的報告；又及，鑑於結合地表過程與輻射理論去探討微波遙測地表仍屬先進技術，因此，我們藉本文簡介 LSP/R 模組之發展及其應用於遙測地表，並探討該模組在裸露地情況下的靈敏度，期望能讓被動式微波遙測之應用在台灣生根。至於該模組在有植被的情

沉下對植物及土壤參數的靈敏度，則另行撰文探討 (Liou and England, 1998f)。

二、LSP/R 模組

LSP/R 模組之 LSP 模式，在沒有植被時，模擬非飽和土壤中熱量及水量的傳播及地表與大氣的交互作用，並估計土壤的溫、濕剖面。為求得土壤之溫、濕剖面，LSP 模式解決了一維形式的能量及水份藕合傳播方程式。這組方程式為

$$\frac{\partial X_h}{\partial t} = -\nabla \cdot \overline{Q_h} \quad (1)$$

$$\frac{\partial X_m}{\partial t} = -\nabla \cdot \overline{Q_m} \quad (2)$$

其中， X_h 代表單位體積內總熱含量， J/m^3 ； X_m 代表單位體積內總水含量， kg/m^3 ； t 是時間， s ； $\overline{Q_h}$ 是向量形式的熱通量密度， $J/m^2 \cdot s$ ；及 $\overline{Q_m}$ 代表向量形式的水通量密度， $kg/m^2 \cdot s$ 。由於熱傳係數、熱含量、液態水及水汽傳播係數、水頭傳導係數及水保持性(water retention)，均為土壤溫、濕度的函數，因此(1)及(2)為一組高度非線性方程組，只能靠數值方法求解。這個數值方法、求解時的邊界條件，以及土壤構成要素的關係式(constitutive relations)，在 Liou and England (1998a, 1998b)中已詳細的討論。

若有植被時，為求得植物的溫、濕度，我們解決一個類似於(1)及(2)的能量及水傳藕合方程組，只是我們需要用植物參數取代(1)及(2)中相對應的土壤參數，同時，新方程組中也包含了處理藉由植物的根汲取水份、能量的過

程，求解方法在 Liou et al. (1998c)中已有詳述。

在裸露或貧瘠地區，R 模式處理來自土壤的微波輻射，估計地表亮溫。地表亮溫為

$$T_b(t) = e \cdot T_{eff}(t) \quad (3)$$

其中 $e = 1 - R$ 為地表的 Fresnel 輻射係數(Liou and England, 1996)。R 為地表反射係數，以式子可表示為

$$R = \begin{cases} \left| \frac{\eta_a \cos \theta_a - \eta_g \cos \theta_g}{\eta_a \cos \theta_a + \eta_g \cos \theta_g} \right|^2 & \text{水平極化} \\ \left| \frac{\eta_g \cos \theta_a - \eta_a \cos \theta_g}{\eta_g \cos \theta_a + \eta_a \cos \theta_g} \right|^2 & \text{垂直極化} \end{cases} \quad (4)$$

其中 η_g (η_a) 為地表(空氣)的本質阻抗(intrinsic impedance)， θ_a 為入射角，及 θ_g 為傳送角度(transmission angle)。本質阻抗在非磁性物質中等於介電係數的開根號分之一。一般而言，土壤成份為乾土壤、空氣、液態水及束縛水(bound water)，而結凍時則含有冰，因此本文引用 Liou and England (1996)之土壤介電係數示

$$\epsilon^a = \theta_s \epsilon_s^a + \theta_a \epsilon_a^a + \theta_{fw} \epsilon_{fw}^a + \theta_{bw} \epsilon_{bw}^a + \theta_i \epsilon_i^a \quad (5)$$

其中， α 代表一個形狀參數(shape factor)， θ 代表含水率，及其他下標 s, a, fw, bw 及 i 分別代表乾土壤、空氣、液態水、束縛水及冰。 $\alpha, \epsilon_s, \theta_{bw}$ 及 ϵ_{bw} 在 Liou and England (1996) 中已詳述。至於水及冰的介電係數為

$$\epsilon_{fw/i} = \epsilon_{w\infty/i\infty} + \frac{\epsilon_{w0/i0} - \epsilon_{w\infty/i\infty}}{1 + j2\pi f \tau_{w/i}} \quad (6)$$

其中 $\epsilon_{w0/i0}$ 為水/冰的靜介電係數， $\epsilon_{w\infty/i\infty}$ 為高頻時 $\epsilon_{fw/i}$ 的極限， $\tau_{w/i}$ 為水/冰鬆弛時間

(relaxation time)，及 f 為頻率。

地表有效輻射溫度為

$$T_{\text{eff}}(t) = \kappa_e \cdot \sec \theta_g \int_0^\infty e^{\kappa_e \sec \theta_g z} T_g(z, t) dz \tag{7}$$

其中 κ_e 為土壤中訊號的衰減，及 $T_g(z, t)$ 為土壤在深度 z 處的溫度。由於在微波波段的 κ_e 值很大，我們可以利用部分積分(integration by parts)推得 $T_{\text{eff}}(t)$ 的第一階近似式(frist order approximation)

$$T_{\text{eff}}(t) = T_g(0, t) + \frac{1}{\kappa_e \sec \theta_g} \cdot \left(\frac{\partial T_g(z, t)}{\partial z} \right)_{z=0} \tag{8}$$

若有植被時，R 模式則需同時處理來自土壤及植物中的微波輻射，及植物的吸收效應

。這個 R 模式源自 England and Galantowicz (1995)。此時，地表亮溫為

$$T_b = T_{s,e}(1 - R_p(\mu))e^{-\tau_0/\mu} + T_{c,e}(1 - e^{-\tau_0/\mu})(1 + R_p(\mu))e^{-\tau_0/\mu} \tag{9}$$

其中， $T_{s,e}$ 為土壤的有效輻射溫度(即 T_{eff})， $R_p(\mu)$ 為 p 極化的 Fresnel 反射係數； τ_0 為植物的光程(optical depth)； μ 是 SSM/I 天頂入射角度 53° 的餘引函數；以及 $T_{c,e}$ 為植物的有效輻射溫度。

本研究目的在探討土壤參數，對於裸露地或貧瘠區 LSP/R 模組的影響，因此，我們用方程組(1)及(2)求土壤溫、濕剖面，用方程式(3)求地表亮溫，對模組進行一系列為期兩週的乾化模擬。

三、乾化模擬

首先，我們以用來驗證 LSP/R 模組實驗地的土壤參數(如表一)，做一個乾化模擬，預估一組土壤溫、濕剖面做為參考比較用(該地區土壤為 silty clay loam)。之後，進行六次乾化模擬，在每一個模擬中只改變一個參數，其餘參數則固定。表二中列出六組乾化模擬中所改變的參數及其值。我們選取一些較合理的參數值，目的在使本研究的結果與發現更具意義。

表一 驗證 LSP/R 模組實驗地的土壤參數值。

Saturated Hydraulic Conductivity	2.054 E-7 m/s
Porosity	53.1 %
Albedo	20%*

* 實驗地為濃密的植被所覆蓋，20 % 為一個假設值。

表二 六組乾化模擬中所用的參數及其值。

乾化模擬次別	改變參數及其值
1	Albedo=10%
2	Albedo=30%
3	Saturated Hydraulic conductivity=1.054 E-7 m/s
4	Saturated Hydraulic conductivity=4.054 E-7 m/s
5	Porosity=48.1%
6	Porosity=60.1%

圖 1 是為期兩週乾化過程中土壤的(a)溫、(b)濕度剖面。初始濕度為 45%，初始溫度剖面則取自 Liou and England (1996)，取法在 Liou and England (1998a)中已詳述。整體而言，圖 1 結果相當合理。由圖 1(a)，我們察覺到：(1)由於太陽輻射與日俱增，土壤溫度隨時間而增高，這可以從像耳垂般區線往下傳播得到證實，(2)雖然土壤深處較不受每日天氣的影響，然而接近地表處的土壤，溫度深深地受到每日天氣變化的影響。圖 1(b)則說明了：(1)隨著時間，較乾的等濕線持續出現，顯示土壤濕度如預期般地減低，(2)接近地表處，土壤與天氣變化緊密結合在一起，所以等濕線出現的頻率較深處高出甚多。

圖 2 是六組乾化模擬與參考模擬的土壤表面溫度：(a)為三種反射率模擬結果，(b)為三種飽和水頭傳導係數模擬結果，及(c)為三種土壤孔隙率模擬結果。圖 2(a)顯示，反射率 10% 及 30%結果在白天的溫差近 2 度，也就是，反射率降低 1%，地表溫度約增加 0.1 度，這是因為土壤吸收太陽輻射乃隨著反射率減低而遞增。圖 2(b)及(c)則說明了，飽和水頭傳導係數及

孔隙率對土壤溫度變化的影響相當微小，這是因為在吸收的太陽輻射相等情況下，土壤溫度改變主要靠熱傳導，而不同的水頭傳導係數及孔隙率對熱傳導影響較不顯著，因此，圖(b)及(c)中，兩組的三條表面溫度曲線幾乎重疊。

圖 3 是六組乾化過程的地表濕度與參考模擬結果的比較，如圖 2，(a)為三種反射率模擬結果，(b)為三種飽和水頭傳導係數的結果，(c)為三種孔隙率的結果。圖 3(a)表現出：(1)地表濕度因為白天日曬而散失水份，在晚間則因凝結及由含水率較高的土壤深處得到補給而增加濕度，(2)反射率 10%及 30%的表面濕度差由第一天的 1%增加到第十四天的 8%，顯示土壤吸收的太陽輻射主宰水份的散失，以及(3)表面濕度呈現以天為週期的振盪，且週期振幅因為土壤熱慣性(thermal inertia)隨著日子的遞減而與日俱增—由第一天的 2%到最後一天的 8%(以反射率 10%為例)。與圖 3(a)比較，圖 3(b)中三條區線仍然呈現以天為週期的振盪，且週期振幅與日俱增，然而他們之間的差異性較大，也就是，在所使用的飽和水頭傳導係數變化範圍內，對表面濕度的影響大於土壤反射率(註：在

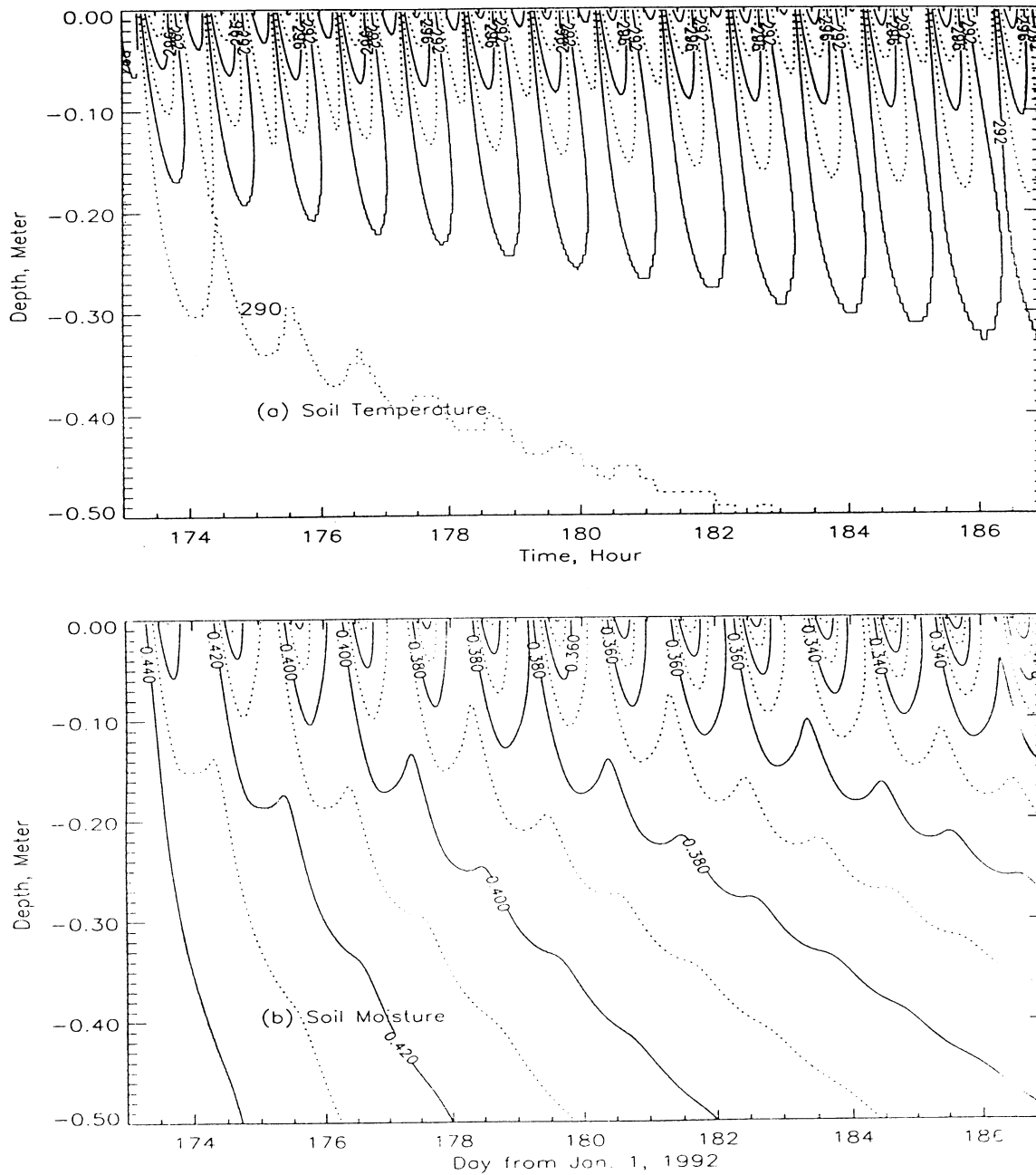


圖1 十四天參考乾化模擬的土壤溫、濕剖面。土壤的反射率為20%，飽和水頭傳導係數為 $2E-7$ m/s，孔隙率為53.1%。

飽和水頭傳導係數較大時，結果則剛好相反)。圖 3(c)則顯示了孔隙率對表面濕度的影響更小了。

圖 4 是三種反射率(10%，20%及30%)在(a)19.35，(b)37及(c)85.5GHz的水平極化亮溫。由圖(a)我們觀察到：(1)亮溫呈現以日為週期

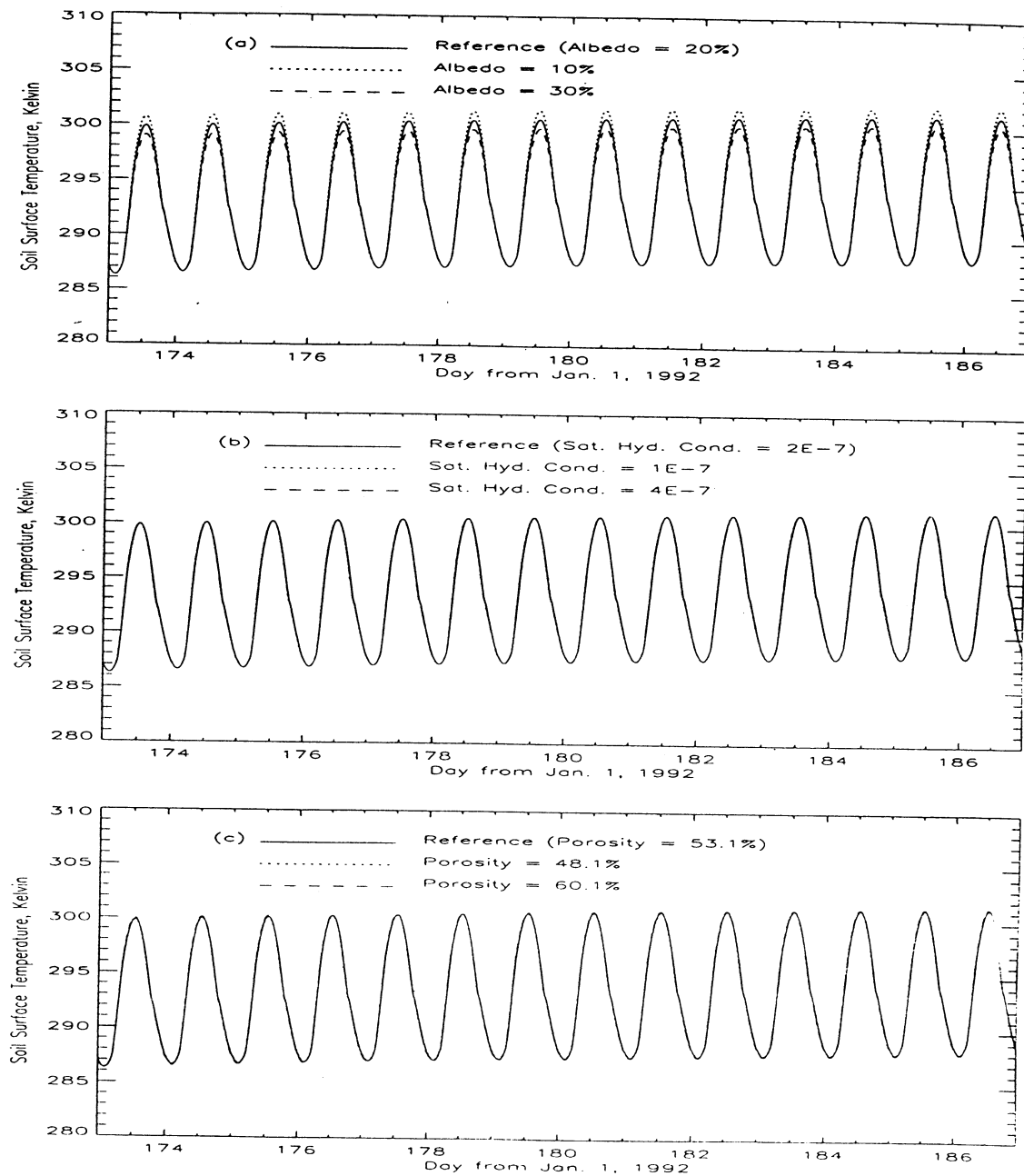


圖2 (a)三種反射率,(b)三種飽和水頭傳導係數及(c)三種孔隙率二週乾化模擬中土壤最近地表5毫米的溫度。

的振盪，振幅與日俱增，由第一天的 3 度到第十四天的 10 度(20%)，(2)由於土壤持續的失去水份(乾化過程)，土壤的 Fresnel 輻射係數與日俱增，因此，亮溫隨著日子而遞增—第一天約為 123 度，第十四天約為 145 度(20%)，及(3)

因為含水率主宰土壤的輻射係數，圖 3(a)中反射率 10%及 30%的表面濕度差異與日俱增，所以，他們的亮溫差則由第一天的 2 度，劇增到第十四天的 18 度。比較圖 4(b)及(c)及圖 4(a)，顯示三組三條曲線圖型類似，最主要不同處是

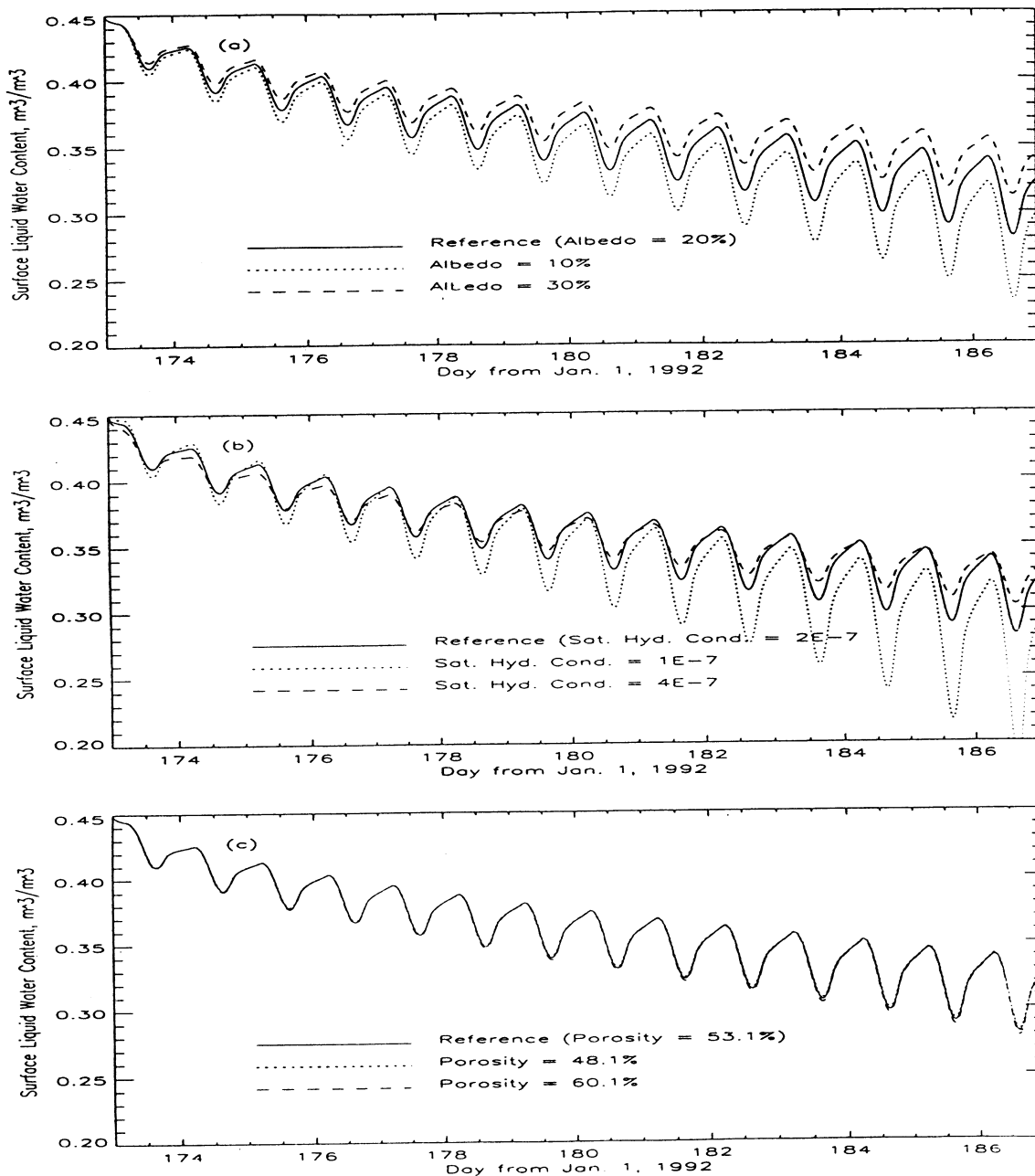


圖3 (a)三種反射率, (b)三種飽和水頭傳導係數, 及(c)三種孔隙率二週乾化模擬中土壤最近地表5毫米的濕度。

由於 Debye relaxation 效應, 使得 Fresnel 輻射係數隨頻率的增加而增高(Liou and England, 1996, 1998a), 因此, 85.5 GHz 亮溫比 19.35 GHz 亮溫約高出 40~45 度。

另外, 比較圖 3 及圖 4 顯示十四天的乾化過程使地表濕度降低約 10~15%時, 三種 SSM/I 頻率的水平極化亮溫則增加約 20~30 度, 相當於每當濕度降低 1%, SSM/I 亮溫增加

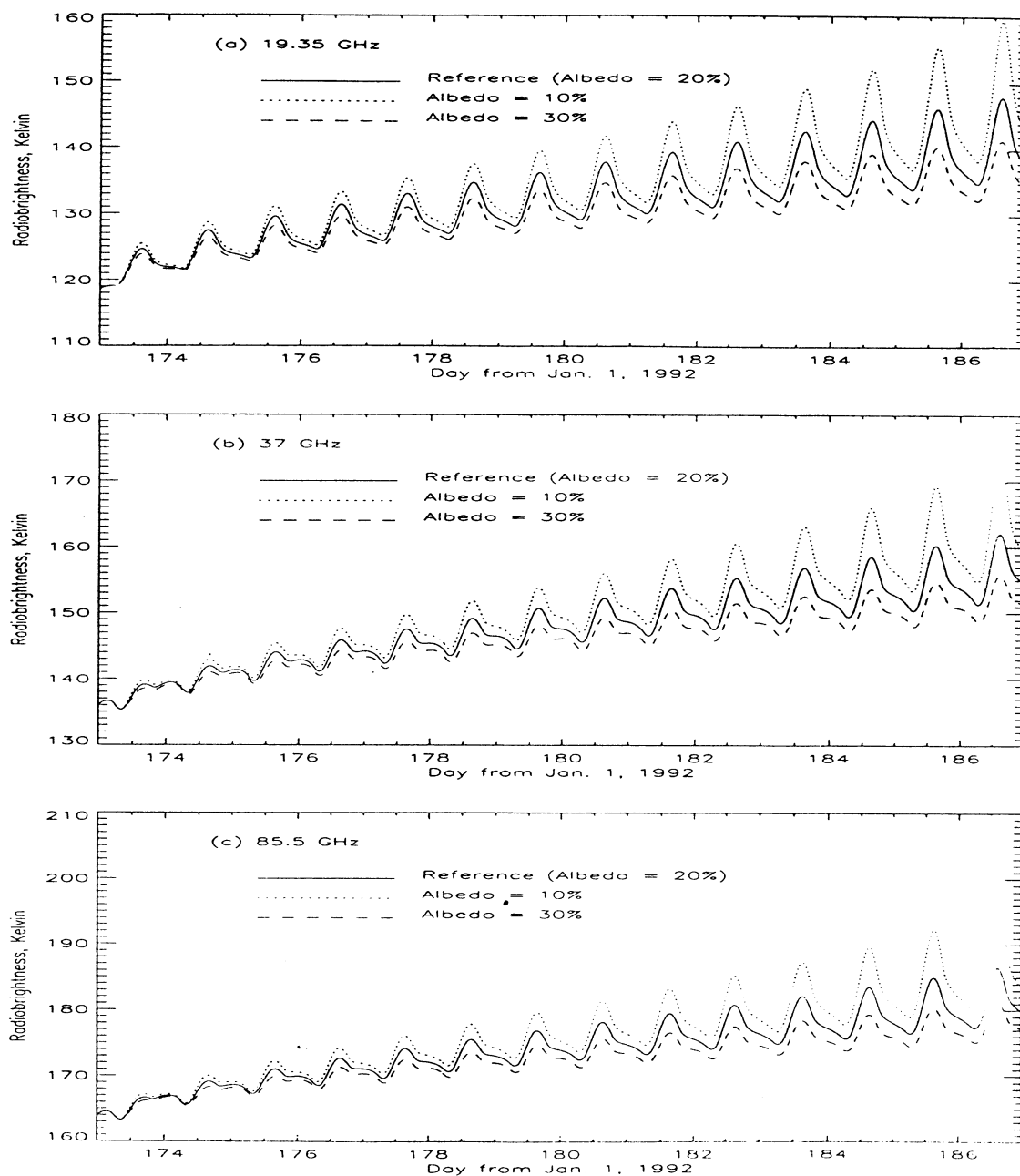


圖4 三種反射率二週乾化模擬的(a)19.35, (b)37, 及(c)85.5 GHz水平極化亮溫。

約 1~2 度。這個結果肯定 SSM/I 之應用於偵測裸露地或貧瘠地區的土壤含水率。

圖 5 是三種飽和水頭傳導係數($1E-7$, $2E-7$, 及 $4E-7$ m/s)在(a)19.35, (b)37, 及

(c)85.5 GHz 的水平極化亮溫。比較圖 4 與圖 5, 雖然飽和水頭傳導係數對溫度的影響較小, 但是, 係數為 $2E-7$ 及 $4E-7$ 的兩次模擬, 第十四天 19.35 GHz 的亮溫差超過 20 度。

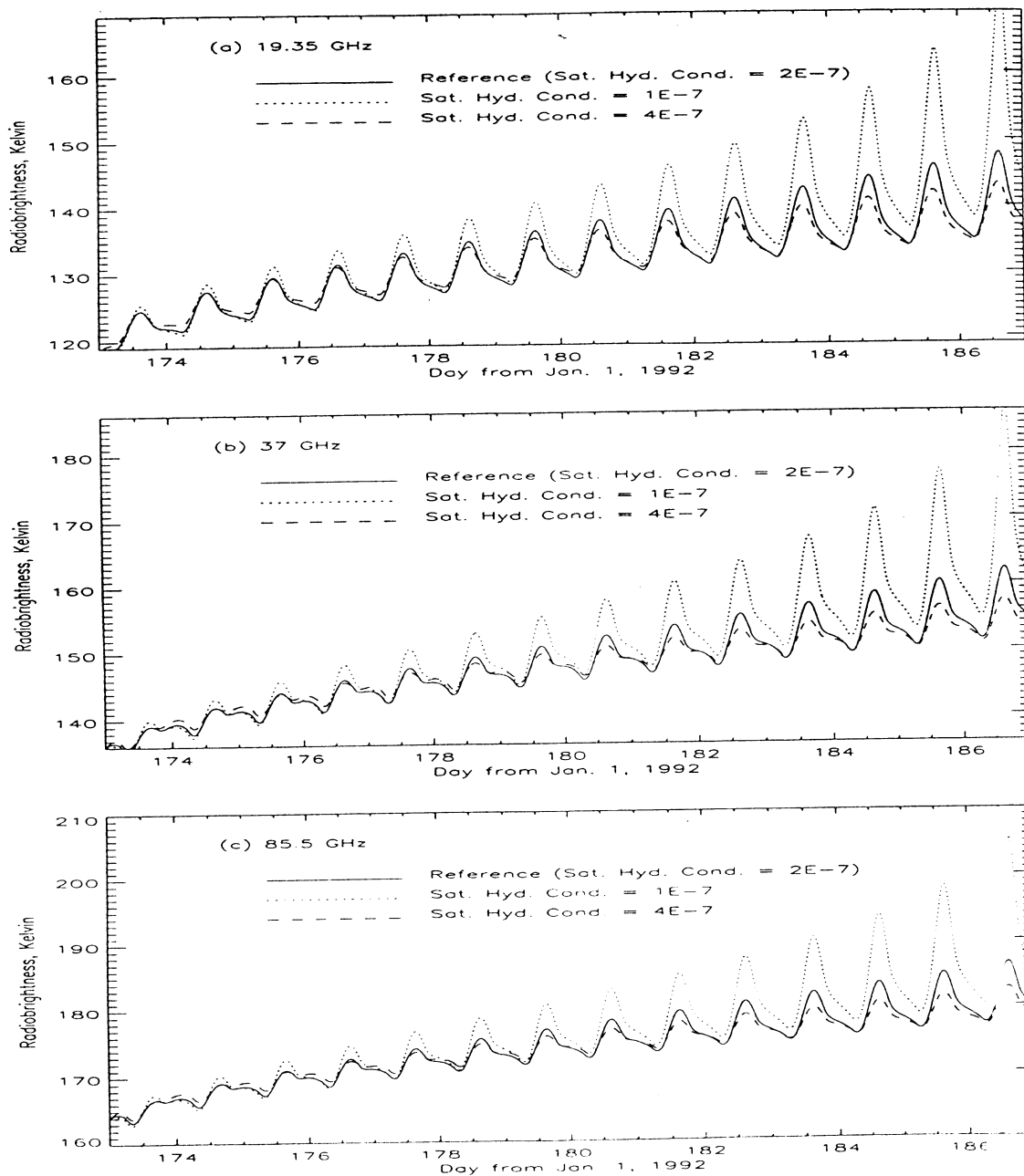


圖 5 三種飽和水頭傳導係數二週乾化模擬的(a)19.35，(b)37，及(c)85.5 GHz 水平極化亮溫。

由於孔隙率對土壤溫、濕度的影響，較反射率及飽和水頭傳導係數小得甚多，因此，對亮溫的影響也相當小，本研究並沒有展示相關的地表亮溫。

四、結 論

本文利用一個適用於貧瘠地及草原的地表過程/亮溫(LSP/R)模組，就土壤參數對該模組在沒有植被時的影響進行研究。結果顯示在三

種探討的參數中，以主宰土壤如何吸收太陽輻射的反射率及控制土壤水份傳播的飽和水頭傳導係數影響 LSP/R 模組最大，而孔隙率對 LSP/R 模組影響最小。由參考乾化模擬結果發現，當反射率每減 1% 時，地表溫度約增加 0.1 度，而在乾化模擬的第十四天，相對於反射率每降低 1% 時，地表濕度約減低 0.8%。此外，在十四天的乾化過程中，參考模擬的地表濕度約由 43% 減低到 30%，變化約 13%，同期間三種 SSM/I 頻率水平極化亮溫的升高均超過 20~30 度，顯示我們可以利用 SSM/I 亮溫萃取裸露地區土壤濕度。

微波遙測應用在諸多先進國家已是司空見慣，作者在近年來發展出一系列 LSP/R 模組，並陸續在國際期刊雜誌發表，本文特別簡介最新版的 LSP/R 模組，並就該模組在「沒有植被」的特例下對模式敏感度探討，期望能達到研究本土化的目標，更希望能拋磚引玉吸引更多一起來探究遙測的奧妙。

誌 謝

本研究在國科會專題研究計畫 NSC86-2111-M-008-035-T 及 NSC87-2111-M-008-021 協助下完成，作者特此申謝。並感謝審查委員們與主編提供寶貴意見。

參考文獻：

- Dickinson, R. E., Ann Henderson-Sellers, P. J. Kennedy, and W. F. Wilson, 1986: Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR Community Climate Model, Tech. Note NCAR/TN--275+STR, Natl. Cent. for Atm. Res., Boulder, Colo.
- England, A. W., 1990: Radiobrightness of diurnally heated, freezing soil, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **28**, 464-476.
- England, A. W., and J. F. Galantowicz, 1995: Observed and modeled radiobrightness of prairie grass in early fall, *Proc. IGARSS'95 Symp.*, Florence.
- Galantowicz, J. F., (A. W. England, Principal Investigator), 1995: Field data report for the First Radiobrightness Energy Balance Experiment (REBEX--1), October 1992 -- April 1993, Sioux Falls, South Dakota, UM Radiation Laboratory Technical Report RL-913.
- Kim, E. J., and A. W. England, 1996a: Field data report for Radiobrightness Energy Balance Experiment 0 (REBEX--0), August, 1992 - - September, 1993: UM Matthaei Botanical Gardens, UM Radiation Laboratory Technical Report RL-916.
- Kim, E. J., (A. W. England, Principal Investigator), 1996b: Field data report for the Third Radiobrightness Energy Balance Experiment (REBEX--3), September 1994 -- September 1995, wet acidic tundra on the Alaskan North Slope, UM Radiation Laboratory Technical Report RL-918.
- Liou, Yuei-An, and A. W. England, 1996: Annual temperature and radiobrightness signatures for bare soils, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **34**, 981--990.
- Liou, Yuei-An, and A. W. England, 1998a: A land surface process/radiobrightness model with coupled heat and moisture transport in soil, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, **36**, 273-286.
- Liou, Yuei-An, and A. W. England, 1998b: A land surface process/radiobrightness model with coupled heat and moisture transport for freezing soils, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing* **36**, 669-677.
- Liou, Yuei-An, J. Galantowicz, and A. W. England, 1998c: A land surface process/radiobrightness model with coupled heat and moisture transport for prairie grassland *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, (in press)

- Liou, Yuei-An, E. J. Kim, and A. W. England, 1998d: Radiobrightness of prairie soil and grassland during dry-down simulations, *Radio Sci*, **33**, 259-265.
- Liou, Yuei-An, Y. C. Tzeng, and K. S. Chen, 1998e: A neural network approach to radiometric sensing of land surface parameters, *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, (in press)
- Liou, Yuei-An, and A. W. England, 1998f: Sensitivity of a land-surface process/radiobrightness model of prairie grassland to variations in soil and vegetation parameters, in preparation for *Trans. Geosci. Remote Sensing*.
- Sellers, P. J., Y. Mintz, Y. C. Sud, and A. Dalcher, 1986: A simple biosphere model (SiB) for use within general circulation models, *J. Atm. Sci.*, **43**, 505-31.
- Sellers, P. J., D. A. Randall, G. J. Collatz, J. A. Berry, C. B. Field, D. A. Dazlich, C. Zhang, G. D. Collelo, and L. Bounoua, 1996a: A revised land surface parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part I: Model Formulation," *J. Climate*, **9**, 676-705.
- Sellers, P. J., S. O. Los, C. J. Tucker, C. O. Justice, D. A. Dazlich, G. J. Collatz, and D. A. Randall, 1996b: A revised land surface parameterization (SiB2) for Atmospheric GCMs. Part II: The generation of global fields of terrestrial biophysical parameters from satellite data, *J. Climate*, **9**, 706-737.
- Ulaby, F. T., R. K. Moore and A. K. Fung, 1981: *Microwave Remote Sensing, Active and Passive*, Vol. I, Artech House, Norwood, MA.

A Study of Land-Surface Process/Radiobrightness Model Sensitivity to Soil Parameters

Yuei-An Liou

Center for Space and Remote Sensing Research, National Central University

(Manuscript received 6 May 1997 , in final form 16 March 1998)

ABSTRACT

A Land-Surface Process/Radiobrightness (LSP/R) model is presented. Also, its sensitivity to soil parameters when vegetation is absent is investigated. The LSP/R model consists of two modules, an LSP module and an R module. The LSP module manages energy and moisture transport between land and atmosphere to compute temperature and moisture profiles of the soil and vegetation. The R module handles radiative transfer within vegetation, if any, and predicts terrain radiobrightness. The soil parameters of interest include albedo, saturated hydraulic conductivity, and porosity whose values are assigned to be 20%, $2.054\text{E-}7$ m/s, and 53.1%, respectively, for a 2-week dry-down simulation (a reference run). Two other appropriate values for each parameter are subsequently chosen to repeat the 2-week dry-down simulation. The LSP/R model is found to be very sensitive to soil albedo and saturated hydraulic conductivity, but not to porosity. For example, the uppermost 5 mm soil is warmer by about 2 degrees for the simulation with an albedo of 10% than for the simulation with an albedo of 30%. The difference in soil moisture between the two simulations increases from about 1% on day 1 to about 8% on day 14, and the corresponding difference in horizontally-polarized 19.35 GHz brightness increases from 2 degrees to about 18 degrees.

Key words : Land-Surface process, Radiobrightness, Soil moisture.