

第一章 前 言

第一節 研究動機與研究目的

1.1 研究動機

近年來由於全球性的環境自然災害頻傳，使得世界各國之農業、民生、經濟受到莫大的損失，而此引起自然環境災害的發生，莫過於人類對於地球環境的過度開發及污染物的製造。現今我們深刻的瞭解，對於我們生活的自然環境 - 地球，以往人們並沒有善加利用它，甚至使之惡化到無以復加的地步。因此現今各國在追求經濟發展的同時也開始注意到地球環境的保育與資源的合理利用。為積極有效的對環境管理，減緩環境破壞影響，惟有對於全球之環境資源做適當的調查、監測方可達成。

對於環境監測的方法，大致可分為兩大類型：

1. 物理或化學性之儀器分析

早期對於環境的監測、調查大多以此方法，即透過田野調查方式或運用長期之傳統觀測儀器架設，對於所欲研究之環境進行相關資料的收集。此種方法優點為直接可以以儀器分析方式擷取環境變化資訊並加以紀錄，實際瞭解環境的狀況及建立長期資料庫。但因需架設各種環境監測儀器，故需大量人力與物力的配合且無法對於大範圍及高密度對環境實施監測，是其缺點。

2. 遙測資料分析

隨著時代的進步，我們對於地表環境各種參數變化資訊的蒐集，可由飛行器、衛星為載台，攜帶各種不同之遙測儀器，在空中或外太空對大範圍的環境變化實施非接觸性的觀測。此種觀測方式不但可提供大範圍、高密度且連續性之影像及數據資料，更可以將此遙測所獲得資料進行各種運算，提供研究人員有效的環境監測資訊。

目前在航太遙測技術的發展應用上，科學家研究發現，使用衛星之可見光和紅外線波譜頻道的遙測感應儀器，繞極軌道衛星同一地點每天進行兩次觀測任務，地球表面 70%以上的資源、災害和環境狀況就都可以監測到。目前美國、日本、印度等國都建立了環境監測數據蒐集系統。¹

因此衛星遙測資料成為監測地表環境各種參數理想的資料來源 (Derksen et al. , 1997)，衛星遙測所提供的數據資料除了可用來監測農作物的生產情況外，同時可用來瞭解森林減少情形、估算產量、測量繪製植被分布與水系等，因此在地理資訊系統 (GIS) 的支援建立下，能夠對環境做動態監測，為環境資源的開發、規劃及合理利用提供科學上的數據。尤其是對於地表之河川、湖泊、海域等水資源的變化及沙塵暴的發生與地表植被的分布等調查，提供了更完整、快速的資訊。

地球同步衛星資料有較繞極軌道衛星資料更為廣泛對地表空間環境監測能力且可提供每小時甚至每半小時連續的衛星資料，因此成為長期環境變遷與資源調查的重要資料源。衛星影像資料對於地表環境的監測與調查應用最廣的為可見光頻道，1960年4月1日從美國佛羅里達州卡納維爾角所發射的第一枚氣象衛星 - TIROS 一號 (繞極軌道衛星)，即載有微型電視照相掃描儀，從此人類可由衛星提供的黑白可見光照片，觀測地表各種不同環境的分布情形。

地表反照率 (albedo) 為影響氣候變化的重要參數之一，地球從太陽獲得大部分的能量為電磁波譜中的可見光部分，經由不同地表特性，將此短波能量吸收並反射至大氣與太空之中。通過各種大氣環流調整、回饋過程 (feedback process)，影響地球氣候系統的變化。因此，自然環境與人類活動所造成地表環境反照率改變對於地球氣候的變化極具敏感性 (Charney et al. , 1977 ; Potter et al. , 1981 ; Li and Garand , 1994)。

對於中國大陸與台灣地區地表反照率的常態研究，一般為利用設置於氣象站的全天輻射計測量反照率，或利用繞極軌道衛星資料推估如青藏高原、西北地區、長江流域等少數地區之反照率 (方宗義等，1996；金蓮姬等，2002；陳雲浩等，2001)，但此反照率值只能代表局部特定範圍的反照率分布情形。然而今日造成大陸與台灣地區各種氣候異常現象，如乾旱、沙塵暴、水災等自然災害頻傳之際，則更需要大範圍、長期的平均地表監測資訊。

1.2 研究目的

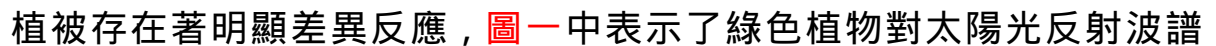
因此本研究利用地球同步衛星所具有的高空間與時間解析度的資料特性，推估中國大陸與台灣地區地表反照率，提供大範圍平均地表反照率分布的調查與監測，並且可提供各種氣候預報模式之真實地表平均反照率的物理參數資料，以增進科學界對氣候預報的能力。

本研究同時利用地面氣溫與紅外線頻道亮度溫度之溫度偏差值濾雲法濾除雲系對地表反照率污染影響，得到較完整之衛星單頻道反照率。並經由美國國家環境預報中心氣候資料庫之地表反照率氣候值與同步衛星單頻道反照率資料獲得平均地表反照率修正方程，此修正方程式建立可應用於地球同步衛星歷史資料對地表反照率推估，進而了解地表反照率長期平均之分布與變化情形。

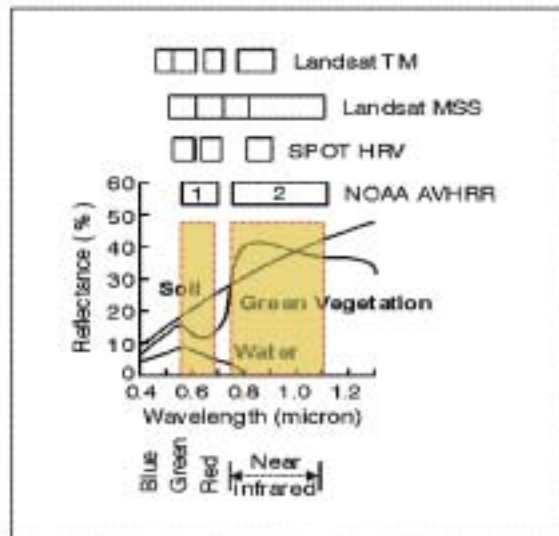
第二節 相關研究之文獻回顧

2.1 衛星各頻道資料在地表環境監測應用

利用衛星中各頻道之資料，可用來研究地表的各種地質特徵 (Colwell et al. , 1983)，在 7.0~14.0 μm 紅外線頻道中，岩石與礦物部分對熱的感應有不同反應，同時也可利用微波測量地球表面的斷層結構、火山流或沙地、礫石與冰河等沉積物。

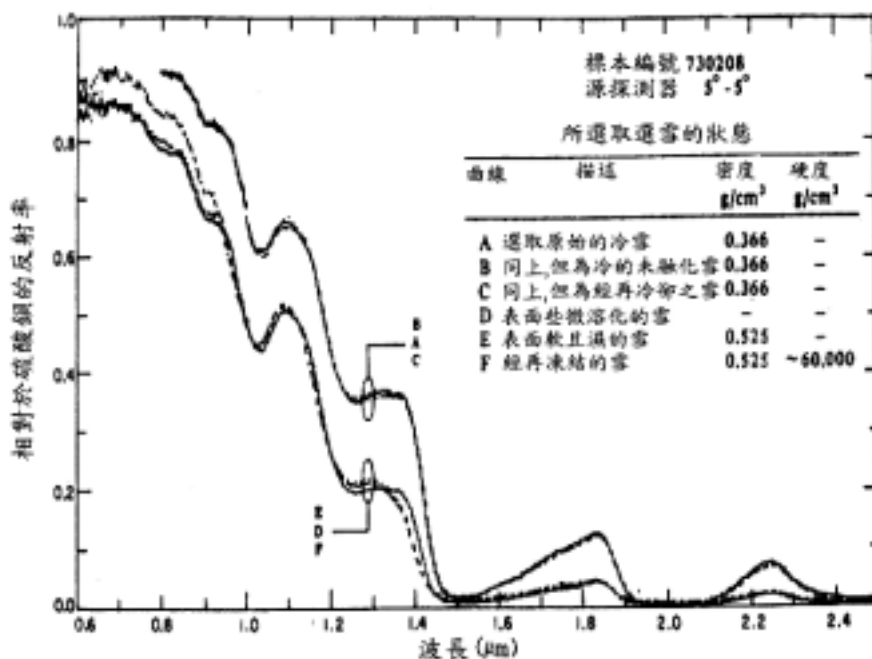
在可見光 (0.47~0.74 μm) 與近紅外線 (0.74~1.2 μm) 波段之間，植被存在著明顯差異反應，圖一中表示了綠色植物對太陽光反射波譜特徵，研究發現，綠色植物在 0.47~0.74 μm 波段的可見光區中有最大的吸收，0.7~1.3 μm 之間則反映出高反射值與低吸收情形，由這兩波段頻道對綠色植物反射值的差異，將可用來確定地表綠色植被地區的物理狀態。當綠色植物中含水量減少或發生乾旱的情形時，表面反射也隨之顯著增加。目前許多學者最常使用可見光與近紅外線頻道資料所衍生的標準化綠色植被差異指標 (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) 探討地表植被的分布情形與氣象、水文等方面應用 (Brisco & Brown , 1995 ; Tucker et al. , 1984 ; Townshend and Tucker , 1984 ; Wolter et al. , 1995 ; 王開存等 , 2003 ; 石宇虹等 , 1999 ; 陳懷亮等 , 1999)。

土壤因受有機物質、土壤組成成分、表面粗造度與乾濕不同程度的影響，在可見光與近紅外線波譜中亦有明顯的差異表現，在此兩波段間隨著土壤溼度的增加，反射率有很大的衰減 (Merritt & Hall , 1973)。



圖一 不同性質表面對各種波段波譜反射分佈

根據 O'Brien & Munis 1975 年研究發現，雪的反照率（圖二）可從可見光波段約為 100% 完全反射至近紅外線吸收波段接近零，大於 0.8 μm 的紅外線波段，新的積雪比舊積雪有更強的反照率，因而可以估計積雪的年代與條件。McGinnis et al. (1975) 研究發現，認為積雪的深度與衛星可見光亮度資料有很好的相關性。



圖二 不同積雪條件下雪的反照率隨波長變化情形（摘自 O'Brien and Munis, 1975）

2.2 地表反照率對氣候的影響

近年來許多學者研究西北非洲之沙黑爾 (Sahel) 地區調查指出，地表反照率之變化對大氣環流具有明顯之加強的作用，地表物理特徵的分布，對於輻射效應與能量收支都扮演決定性角色 (Charney , 1975 ; Budyko , 1969 ; Ellsaesser et al. , 1976 ; Berkofsky , 1976 ; Sud & Fenney , 1982 ; Dickinson , 1995 ; Lofgren , 1995)。Charney 提出了生物物理回饋機制，部分解釋沙漠邊緣地區嚴重乾旱發生的現象，並且應用模式證明高反照率之地表，可使 Sahel 等乾旱地區降水減少。

Bonfils et al. (2001) 利用數值模式模擬六千年前全新世中期 (Mid-Holocene) 北非地區沙漠地帶反照率改變與季風、氣候變化關係發現，至少有三個明顯的理由可解釋古代北非向北深入內陸增強之夏季季風雨廣泛降低沙漠區的範圍，包括出現沙漠地帶反照率相對的偏低情形、存在不穩定的環境大氣與太陽輻射增強，導致可降水量巨大的改變。

Berbet & Costa (2003) 研究北美亞馬遜 (Amazonia) 地區濫伐後熱帶雨林之地表反照率改變的季節性效應發現，通常熱帶雨林反照率在乾季 (六~十一月) 較高，雨季 (十二~五月) 時反照率較低，熱帶雨林經砍伐成為牧場後，地表反照率在乾季有減少情形。研究證實，由於熱帶地區的濫伐伴隨異常降水與不正常的地表反射之季節性變動。

地球上動植物生命依賴於各種化學元素的循環，例如氮、氧、碳和硫等氣體通過土壤、空氣、水與生物體的循環；同時也受氣候性的因子影響，例如日輻射、溫度與降水。另一方面，植物的分布、高度、反射率和水份輸送特性也對地表 - 大氣邊界過程有重大影響。這些過程決定了地球動量、熱量和水氣進入大氣的通量，地理位置和植

被的性質在數年到數十年的時期內對氣候變化做出反應（金奎譯，1986）。

普遍被認為造成氣候變化理論，主要有幾類最重要的說法。第一種為包含各種天體力學可變量的變化，這些可變量包括有：地球軌道形狀、地球自轉軸的傾斜以及由於地球和附近其他天體的相互作用而在漫長時間內使地球的歲差完全改變。詳細的計算數據說明這些改變量，可能造成地球溫度的變化（高國棟、陸渝蓉，1989；Sagan, 1979）。

另一類說法為太陽亮度變化的可能性。我們從太陽演化理論知道，幾十億年演化中太陽正逐漸變的明亮。這對最遠古的地球氣候學來說，即提出了一個問題，因為太陽在大約三、四十億年前比目前應該暗 30% 或 40%；而且甚至連同溫室效應變化在內，這種暗度足以導致全球溫度比海水的冰點要低的多。然而如，水底微波狀物的標記、海底岩漿噴發物驟然冷卻產生的枕狀火山岩以及由海藻形成的葉綠素化石等，眾多廣泛的地質數據顯示當時地球表面有充分水的存在。因此，這樣的結果可能由於，早期地球大氣環境存在某些溫室效應的氣體（氨），使地球表面溫度維持在冰點以上。

同時地球因為人類活動產生的二氧化碳（ CO_2 ）、甲烷（ CH_4 ）、一氧化二氮（ N_2O ）、臭氧（ O_3 ）、氟氯碳化物（ CFC_s ）等各種溫室效應氣體的增加，造成全球氣溫的變暖。根據美國國家海洋大氣總署（National Oceanic and Atmospheric Administration；NOAA）在位於夏威夷島的蒙納羅亞山的觀測研究指出 1958~1988 年，三十年間二氧化碳濃度就增加 36ppm（石廣玉、李昌明譯，1995）。

最後一類說法為地表反照率的變化，造成地球環境氣候的改變。這些變化最顯著的原因是大量的塵埃被送入地球大氣中；例如，1883 年位於印度尼西亞的克拉克托（Krakatoa Mt.）火山，爆發後所噴出的塵

埃進入大氣層中。雖然由地表擴散進入大氣層的塵埃促使地球變暖抑或是變冷的問題尚有爭論，但目前的統計資料顯示，那些微小的懸浮微粒緩慢的進入高層大氣，增加了地球的反照率，因而使地球變冷。新近的沉積學證據表明，過去火山灰燼微粒廣泛發生期間在時間上恰巧與冰河低溫期一致。此外，由於地表的反照率較水體反照率為大，地球的造山、造陸運動，將增加全球的反照率。

因此地表反照率的分布與變化，為影響氣候的改變的重要因素。地表反照率變化除受各種不同型態、結構之植被影響外，亦受各種不同地表特徵分布、雲區變化而有所不同。這些反照率的差異，長期而言，將影響大氣之運動與氣候變化，因此對於地表反照率環境參數的取得，有助於我們對環境變遷的監測及各種大氣變化預報模式準確率的提昇，但要直接觀測獲得全球或大範圍不同地表及植被狀況之反照率分布與變化情形非常困難。

2.3 利用衛星資料對地表環境參數的推估

傳統的地表反照率計算方法為根據實測資料結合植被特徵和土壤類型推算地表反照率。如 Kung(1964)、陳建綏(1964)、陸渝蓉(1976)等根據日射站的觀測資料並結合自然地理條件，研究地表反照率的分布特徵。但此種方法的環境代表性與地表測量的物理參數精確度都無法獲得較為正確反照資料。由於地表反照率受地球表面各種不同特徵與太陽高度角等因素影響，因此具有時間、空間差異性，故利用衛星遙測技術推估地表反照率逐漸受到重視。

目前對地表環境的太陽輻射反演估計，大部份都以繞極軌道衛星為主。反演方法分為兩大類：

1. 統計法

根據衛星某頻道之偵測值與地面單點實測資料，以統計迴歸方式，建立線性方程經驗關係式，估計實際觀測值(Hay & Hanson, 1978 ; Tarpley et al. , 1979 ; Justus et al. , 1986 ; Cano et al. , 1986 ; 金蓮姬等 , 2002)。

2. 物理輻射方程模式

根據地表-大氣系統的物理輻射傳遞方程，利用衛星資料經過太陽電磁波譜權重係數計算行星反照率並經由地表放射率、觀測角、反射陽光等訂正程序，反演地面之輻射值。(Gautier et al. , 1980 ; Dedieu et al. , 1987 ; Lucht et al. , 2000)

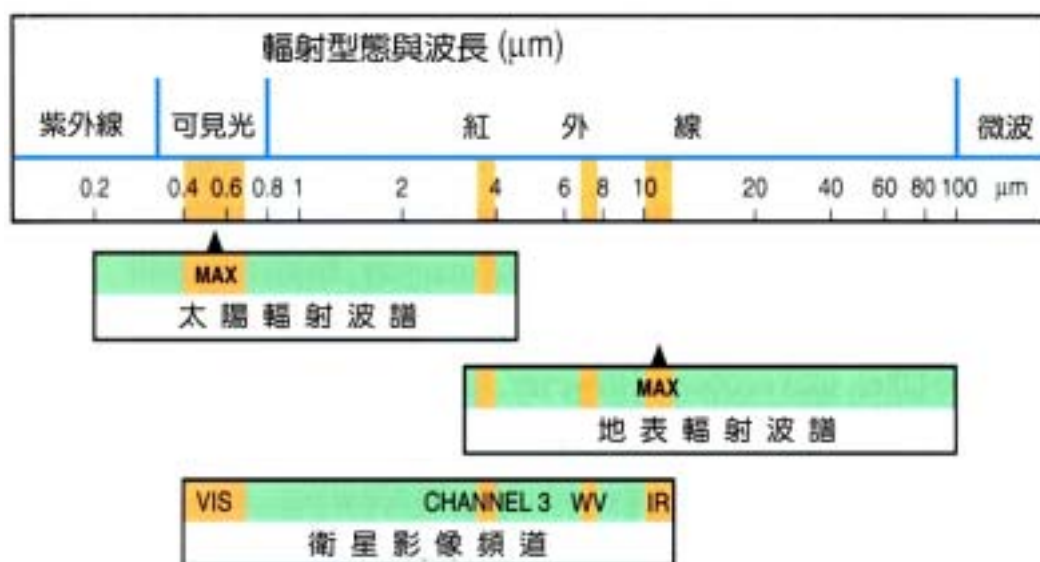
上述兩種利用衛星資料推估地表反照率的方法，比較傳統推算地表反照率方式具有許多優點，但計算推估地表反照率程序繁複，且

仍需與地表實測反照率資料取得修正經驗方程式。另外繞極軌道雖有較傳統資料可獲得更廣的空間觀測資料，但無法取得連續的長期平均資料。雲區對地表反照率資料的取得污染問題，亦需要藉由各種濾雲技術的發展，去除雲層的影響因素。

第三節 可見光與反照率

3.1 反照率定義

地球表面為一複雜遙測目標，因為地球不同性質表面都會散發不同的電磁波（圖三），地球表面發射的輻射強度的大小可經由轉換成為輻射溫度和發射率。因此不同性質的表面，有著不同的發射率並隨著波長的變化，可傳達地表上些微差異的各種訊息。



圖三 不同波長電磁波譜與衛星所使用頻道範圍（摘自 Bader et al, 1997）

反照率（albedo）名詞之字源來自拉丁文“Albus”，解釋為“白色”意思。反照率一般指天體反射太陽輻射的量，等同投射到天體上面的總輻射量之比，此即表示一物體反射太陽輻射之能力，通常以百分比表示（%）。在多數情況下只考慮太陽光譜中的可見光波段（0.4~0.7 μm ），在此波段範圍中，地表不同特性典型反照率如表一所示。由表中我們可發現通常位於大氣中的各種雲層都具有較高的反照值，其次為地表積雪、沙漠與乾燥表面，水體的反照率一般為最低。

一般所稱反射率 (reflectivity) , 乃指電磁波譜中任何單一波譜而言 , 反照率則為一物體所承受入射輻射之總量與其所反射日射之百分比差而有所不同。

在衛星各個不同性質頻道中 , 一般能直接顯示地表特性的為可見光(visible channel)頻道及近紅外線頻道波段。

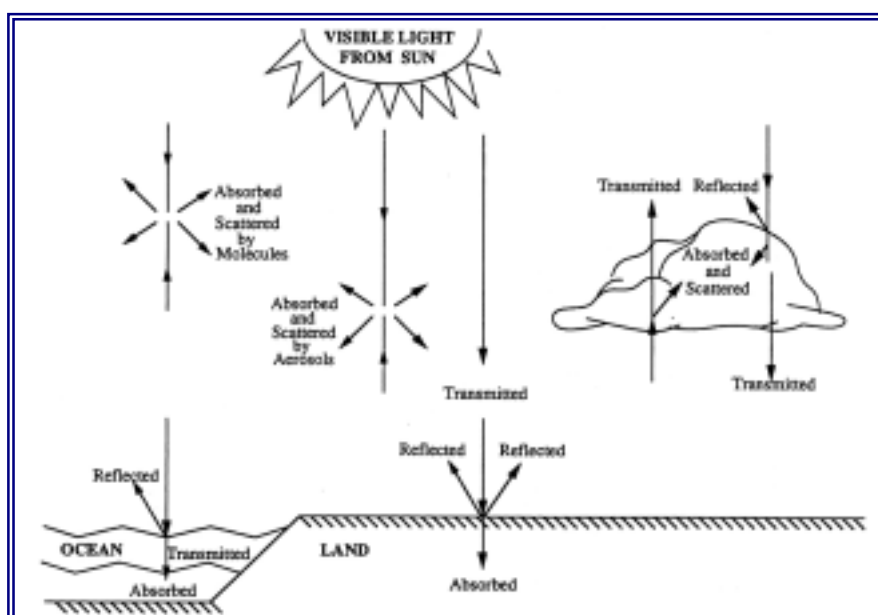
表一 可見光影像中各種特性表面典型反照率分布情形 (摘自 Conway et al , 1997)

Clouds		Surface features—bare areas/soils	
Cumulonimbus, large and tall	92	Snow, freshly fallen	75-90
Cumulonimbus, small, tops at 6 km	86	Snow, 3 to 7 days old	40-70
Cirrostratus, thick, with lower clouds	74	White Sands, New Mexico	60
Cumulus with stratocumulus	69	Sand dune, dry	35-45
Stratocumulus	68	Soil, dry light sand	25-45
Stratus, thick (0.5 km), over ocean	64	Soil, dry clay or gray	20-35
Stratocumulus masses, with cloud sheet, over ocean	60	Sand dune, wet	20-30
Stratus, thin, over ocean	42	Concrete, dry	17-20
Cirrus, alone, over land	36	Soil, moist gray	10-20
Cirrostratus, alone, over land	32	Soil, dark	5-15
Cumulus, fair weather	29	Road, blacktop	5-10
Water features		Vegetative zones	
Sunlight on Gulf of Mexico	17	Desert	25-30
Lake, Great Salt lake, Utah	9	Savanna, dry season	25-30
Ocean, Gulf of Mexico	9	Crops	15-25
Ocean, Pacific	7	Savanna, wet season	15-20
		Tundra	15-20
		Chaparral	15-20
		Meadows, green	10-20
		Forest, deciduous	10-20
		Forest, coniferous	5-15

3.2 地表反照率與行星反照率

若不考慮雲的影響，通常衛星所偵測接收到的為地面向上的反射輻射，此向上的反射輻射包括兩部分（圖四）：

- 1.大氣直接反射回太空的反射輻射。
- 2.進入大氣的太陽輻射經地面反射和大氣層因各種吸收氣體所削弱後到達大氣層頂的反射輻射。



圖四 衛星所接收太陽可見光反射輻射（摘自 Conway et al , 1997）

以上兩部分稱之為晴空行星反照率。因此，必需將大氣之吸收、散射及雲的干擾影響因子去除，修正晴空行星反照率所受大氣環境影響的部分，才可得地表反照率。

氣象衛星在可見光頻道使用之波長大致有 $0.4\sim 0.7\ \mu\text{m}$ $0.58\sim 0.68$

μm 與近紅外線之 $0.725\sim 1.1\ \mu\text{m}$ 波段。這些波段僅能代表窄波譜行星反照率，因此我們必須由單一或二個頻道之行星反照率推算寬波譜行星反照率反演地表反照率。

3.3 衛星之可見光頻道觀測原理

目前在氣象衛星上可見光頻道最常選用的波段為 0.47~0.74 μm 、0.58~0.68 μm 與部份在近紅外線波段 0.725~1.10 μm 波長的幾個頻道，衛星各波段的感應偵測儀器 (sensor) 在太空中接收來自地表、雲頂與大氣中各種吸收質點對太陽的反射輻射，如果我們忽略各表面對太陽輻射的散射部分。將這些波段所測量得到的輻射值轉換成為數據資料以圖像 (imagery) 方式呈現，就可得到可見光雲圖。如果各個反射面為同性，則衛星在可見光波段所接收得到的輻射可寫成：

$$L(\theta_s) = \rho_s / B(T_{\text{day}}) (\theta_{\text{day}}) (\theta_s) \cos \theta_{\text{day}}$$

$$= \rho_s / E(T_{\text{day}}) (\theta_{\text{day}}) (\theta_s) \cos \theta_{\text{day}}$$

$L(\theta_s)$ 為反射太陽輻射率

ρ_s 為地面反照率

θ_{day} 為太陽天頂角

θ_{day} 為太陽截面相對地球所張之立體角

$B(T_{\text{day}})$ 為太陽的輻射率

$B(T_{\text{day}}) \cos \theta_{\text{day}}$ 為投射到平行大氣層頂的輻照度

θ_s 為反射太陽輻射方向與天頂角之夾角

(θ_s) 為 θ_s 方向地面到大氣層頂的透射率

$$E(T_{\text{day}}) = B(T_{\text{day}}) \cos \theta_{\text{day}} \text{ 為太陽輻照度}$$

$$\text{可見光窗區 } (\theta_{\text{day}}) (\theta_s) < 1$$

$$\text{故 } L(\theta_s) = \rho_s \cos \theta_{\text{day}} / E(T_{\text{day}})$$

公式中可發現太陽輻射照度 $E (T_{\text{day}})$ 可以當作一常數，所以衛星觀測得到的輻射與表面反照率 α_s 及太陽天頂角 θ_{day} (或高度角 $h_s = 90^\circ - \theta_{\text{day}}$) 有關。如果太陽天頂角愈小 (高度角愈大) 則表面反照率越大，反之，太陽天頂角愈大，表面反照率越小。因此，在日出與日落時分，因太陽高度角較太陽在天頂時的高度角為小，所以即使在相同的地表性質，其反照率也因太陽高度角隨時間的變化，而有不同的反照率表現，因此我們必須修正不同時間太陽高度角之反照率。

第四節 小 結

地球同步衛星具有廣大視場、高幾何空間分辨能力與連續時間觀測地表等特性，衛星載台上攜有各種不同之遙測儀器，推估對地表之岩石、礦物與植被分布，甚至洋面上之洋流與海溫變化，都具有高解析能力，因此成為提供大範圍、長期的地表監測與調查重要資料源。

許多學者研究指出地表反照率之變化對大氣環流具有明顯之加強作用，地表物理特徵的分布，對於輻射效應與能量收支都扮演決定性角色，進而影響地球環境氣候的改變。

故利用地球同步衛星可見光頻道資料推估中國大陸與台灣地區地表大範圍、長期平均反照率分布，有助於我們對區域地表反照率分布特性與變化的調查與監測，並且可提供各種氣候預報模式之真實地表平均反照率的物理參數資料，以增進科學界對氣候變遷了解與預報能力的提昇。