

可見光波段中大氣效應之探討

劉崇治

空軍氣象中心

摘要

本文透過多層散射大氣輻射傳遞模式的計算，得到行星反照率與地表反照率之間的線性關係。藉由此線性關係的係數來討論大氣的效應。結果顯示，這些係數是方位角、入射光天頂角、衛星天頂角、波長以及地表特徵的函數。不同的條件下，大氣的表現是不相同的。其在物理性質上的表現亦是相當合理，此外由於該線性關係的計算不但方便、省時，也不失其準確性，因此進一步的應用是可以期待的。

一、前言

隨著氣象衛星的發展，衛星資料的應用已經愈來愈廣泛，但是由於衛星位於地表上空很高的位置，當由上往下觀測時，受到中間大氣分子及氣溶膠粒子的影響乃是可以理解的事實，因此如何正確地了解這種中間大氣所造成的影響便是非常地重要。事實上，相關的研究在國外已經有一些文獻曾經發表，例如Koepeke(1989)便曾針對可見光及近紅外光頻道做過類似深入的研究。因此我們相信，利用輻射模式為工具來探討大氣效應的方法應該是可行的，並且不同的波段，由於主要吸收氣體是不一樣的，所以大氣所造成的影響也將截然不同。

本文共分4節，下一節將就我們使用的模式與理論根據做一簡單的介紹，第二節則說明模式計算的結果，最後則對全文做一簡單的結論。

二、理論與模式

就輻射的觀點來看，一束入射光由上而下進入

大氣層頂之後，便開始受到大氣吸收及散射等削弱作用，使得能夠到達地表的輻射有所不同。假如我們以能量平衡來思考這個問題的話，不難發現大氣效應的存在及它所扮演的角色。

在晴空無雲下，考慮任意大氣氣柱，當太陽入射輻射通量 Q_t ，由上而下射入大氣層頂時，那麼部份的能量將被直接或經過多次散射後反射回外太空，一部份被大氣所吸收，只有一部份能夠到達地表。假如地球大氣系統的反照率為 δ_t ，地表的反照率為 δ_s ， Q_s 表示到達地表的輻射， Q_{abs} 為被大氣吸收的量。那麼太陽的能量收支平衡方程式可以寫成爲下式：

$$Q_t = \delta_t Q_t + Q_{abs} + Q_s(1 - \delta_s) \dots \dots \dots (1)$$

簡單的示意圖，如圖一，將(1)式稍加整理可以得到下式：

$$\delta_t = a + b \delta_s \dots \dots \dots (2)$$

其中 $a = (Q_t - Q_s - Q_{abs}) / Q_t$ ， $b = Q_s / Q_t$ ，因此我們可以說 a 代表入射光被大氣分子及氣溶膠粒子散射回外太空相對的量， b 則表示晴空無雲大氣的透射率。衛星接收到地面向上的輻射能量實際上由

二部份組成，即由大氣分子、氣溶膠作用直接反射回外太空的反射輻射與直接穿過大氣的太陽輻射經過地表反射的輻射等兩部份。

本文使用劉(1993)的模式，分別針對可見光及近紅外光頻道進行計算。此模式共分4層，因為在此我們只是要對大氣所扮演的角色做一定性上的討論，故背景大氣是使用熱帶大氣剖面，至於氣體分子及氣溶膠粒子所引起的散射，則分別考慮由較小粒子所引起的雷氏散射與由較大粒子所引起的米氏散射。我們的做法主要參考Lion(1975)的論文。另外，關於地表反照率方面，我們使用Koepke and Kriebel(1987)所建立的牧草地雙向反射函數做為下邊界，雖然地表反照率的準確與否，直接影響到本研究的精確性，但是無論如何，本文最主要的目的只是藉著簡單的理論模式推導，來了解大氣所扮演的角色，因此當不失其可用性。

三 結 果

在此，我們就方位角 20° 、 40° 、 60° 三種情況下，分別對入射光天頂角 20° 、 40° 、 60° 加以計算，並同時針對可見光及近紅外光波長做計算，得到不同方向下，係數a、b隨著衛星天頂角的變化圖，如圖2~4a、b。由圖中，我們可以很清楚的看見大氣分子和氣溶膠所造成的散射與吸收情形。

首先，當入射光天頂角較大時，被大氣分子或氣溶膠散射回外太空的相對輻射量較大，即圖2~4a中，係數a值隨入射光天頂角變大而增大。造成這個現象的原因，主要是因為輻射光束在入射光天頂角越大的情形，在所行經的光路上會遇上較多的散射粒子。同理，在圖2~4b中，則可發現b值隨入射光天頂角的增加而減少。

另外，入射光天頂角 θ_0 固定的情形下，衛星天頂角較大處，大氣的散射比較強烈，造成這樣的原因和大氣的前向散射很有關係。因為前向散射的

效果，不論 θ_0 是多少，由於散射多集中於前向(衛星天頂角較靠近 90° 方向)，後向(衛星天頂角較靠近 0° 的方向)的散射強度值則相對較小，因此係數較小值的差值自然是比較小一些。如圖2~4a，此外b係數部份，因為入射輻射行經的光路很長，透射部份已經很小，所以較小值的差值自然較小。

另外，類似Beer定律所描述，入射輻射通過吸收氣體時，其強度隨著所經過的實際光程呈指數地衰減，因此透射率並不是隨光程的增加而相對地呈線性減少，當入射光天頂角 θ_0 從 40° 增加到 60° 時，其透射率的減小比入射光天頂角 θ_0 由 20° 增加到 40° 來得大一些。最後，我們同時使用輻射模式與線性關係分別計算，發現平均而言，兩者的差可以維持在3.2%以內，如表一。這個結果證明了此種計算方式的可用性。

最後，我們比較AVHRR第一、二頻道大氣吸收及透射的情形，由於第一頻道的主要吸收氣體是氧，而第二頻道的主要吸收氣體是水汽，兩者的性質與含量不盡相同，大氣的散射及透射性質也會有所差異。在大氣散射方面，由於前向散射的效果，造成兩頻道的差異值加大。在透射率方面的表現，由於水汽含量的垂直分布遠比臭氧來得多，特別是在5km以下，甚至可以超過一百萬倍，所以第二頻道的透射率比第一頻道小很多。其次我們再來看看吸收氣體含量不同，第一、二頻道會有什麼樣的表現，如表2。由表中我們可以看出，雖然水汽對臭氧來說是一個弱吸收體，但由於水汽量大，而臭氧含量，在衛星天頂角較大處，會吸收較多的光子，所以第一頻道散射率隨衛星天頂角的增加而加大的速度比第二頻道來得迅速一些。

四 結 論

本文利用輻射傳遞模式的計算，在定性上針對可見光及近紅外光頻道大氣所造成的效應，進行討論。首先可以確定的是，利用行星反照率與地表反照率的線性關係來計算比利用模式計算來得方便，同時也不失其準確性。其次是藉由a、b係數的討論可以發現，無論大氣的散射或透射都符合物理上的理解，並且不同的頻道，大氣表現出來的特性也會因為吸收氣體種類及含量的不同而有所差異，因此我們可以說，大氣的存在確實會有遮掩的效應，不過在此必須加以宣告的是，因為本文的重點係是定性上的討論，若是想要在定量上或是進一步地應用，都必須將背景大氣實際化，結果才會更趨於真實。不過無論如何，本文所持的理論及使用的方法應屬合理而且可行的，進一步的研究與應用，應該是

參考文獻

劉崇治(1993)：氣象衛星資料資料分析，氣象出版社，北京。

Koepke, P., and A. T. Kriebel, 1987: Improvements in the shortwave cloudfree radiation budget accuracy. Part II: Experimental study of a mixed surface albedo. *J. Atmos. Sci.*, **26**, 171-191.

Lion, K. X., 1973: A numerical experiment on Chandrasekhar's discrete ordinate method for radiative transfer application to cloudy and hazy atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 1303-1326.

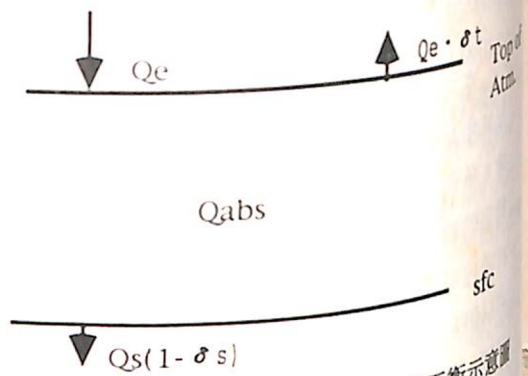
Lion, K. X., 1975: Application of the discrete ordinate method for radiative transfer to inhomogeneous aerosol atmospheres. *J. Geophys. Res.*, **80**, 3431-3440.

方	向	地表反照	輻射模式	訂正模式	誤差	
φ=20	θ=20	θ=20	0.013369	0.032936	0.031502	1.43E-3
		θ=60	0.010185	0.053632	0.051205	2.47E-3
φ=20	θ=40	θ=20	0.007957	0.037201	0.033479	3.41E-3
		θ=60	0.009230	0.010118	0.014950	4.84E-3
φ=20	θ=60	θ=20	0.006047	0.058119	0.052999	5.12E-3
		θ=60	0.010090	0.278137	0.274365	3.77E-3
φ=40	θ=20	θ=20	0.013591	0.033164	0.032182	9.81E-4
		θ=60	0.010408	0.051216	0.049262	0.95E-3
φ=40	θ=40	θ=20	0.011459	0.036564	0.036324	2.40E-4
		θ=60	0.010090	0.086809	0.084831	0.97E-3
φ=40	θ=60	θ=20	0.007639	0.051386	0.051755	3.69E-4
		θ=60	0.009453	0.206826	0.204283	2.54E-3
φ=60	θ=20	θ=20	0.013369	0.033469	0.032573	8.96E-4
		θ=60	0.010822	0.048202	0.046602	1.60E-3
φ=60	θ=40	θ=20	0.007002	0.035845	0.033944	1.90E-3
		θ=60	0.009867	0.071606	0.070124	1.48E-3
φ=60	θ=60	θ=20	0.007321	0.048556	0.049225	6.69E-4
		θ=60	0.009230	0.143962	0.142608	1.35E-3

表一 AVHRR第一頻道，輻射模式與訂正模式算結果的比較

衛星天頂範圍	第一頻道	第二頻道
0 - 20	0.00662	0.002635
40 - 60	0.08917	0.067876
60 - 80	0.39947	0.197112

表二 方位角φ為40度，入射光天頂角θ為60度時第一、第二頻道大氣散射隨衛星天頂角θ（吸收氣體含量）的改變情形



圖一 太陽光入射輻射能量收支平衡示意圖

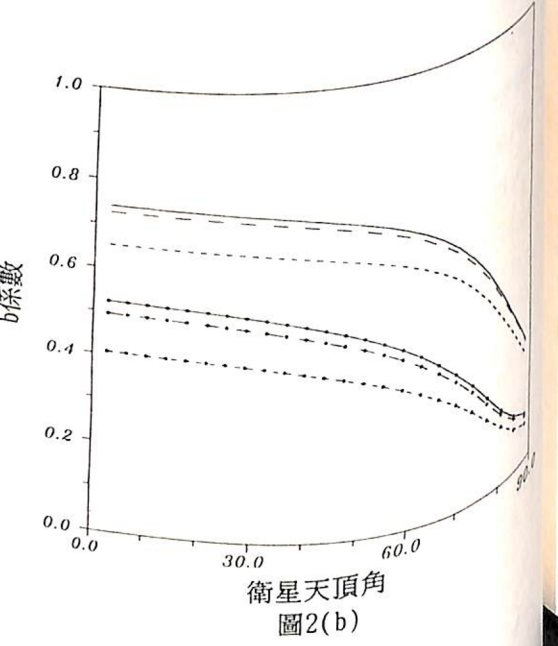
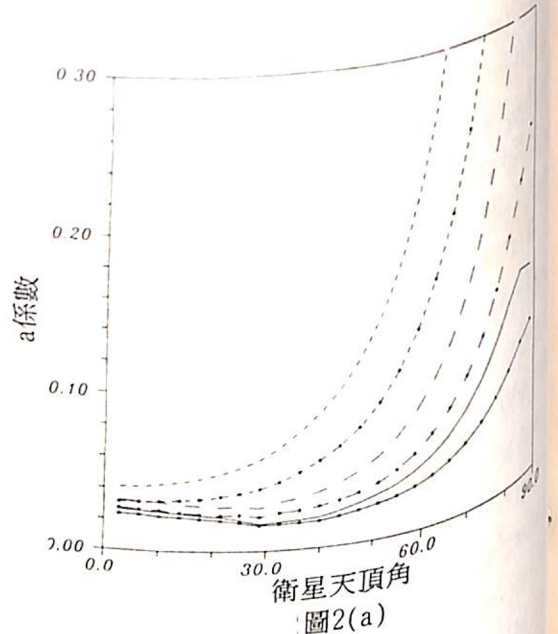


圖2 (a)表方位角20°，入射光天頂角分別為20°40°60°係數a的角度分布情形，實線表入射光天頂角20°，長虛線表40°短虛線表60°。星號為近紅外光頻道，無星號為可見光頻道，橫軸為衛星天頂角。
(b)表係數b的分別情形

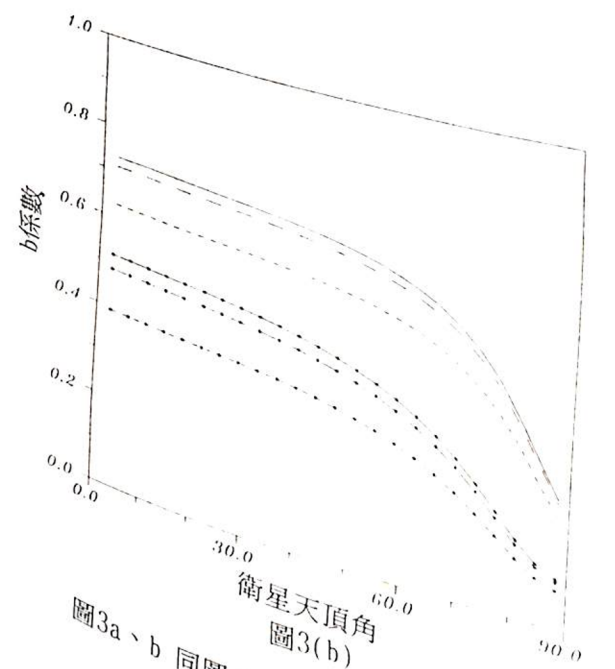
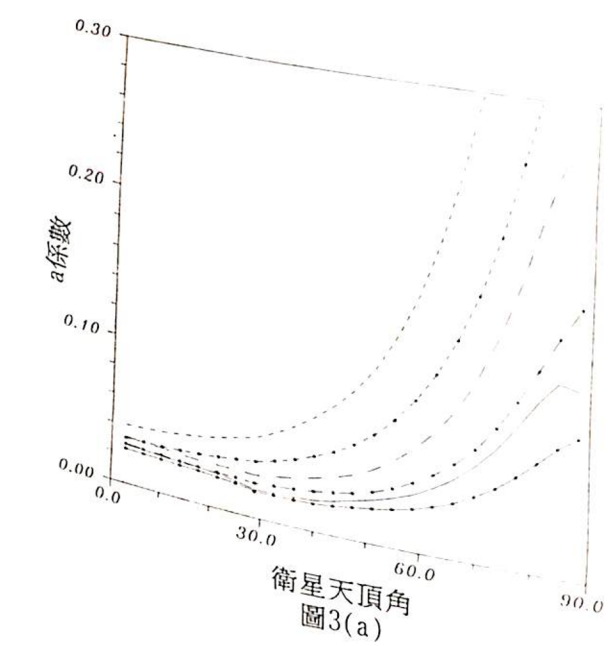


圖3a、b 同圖2，但相對方位角為40°

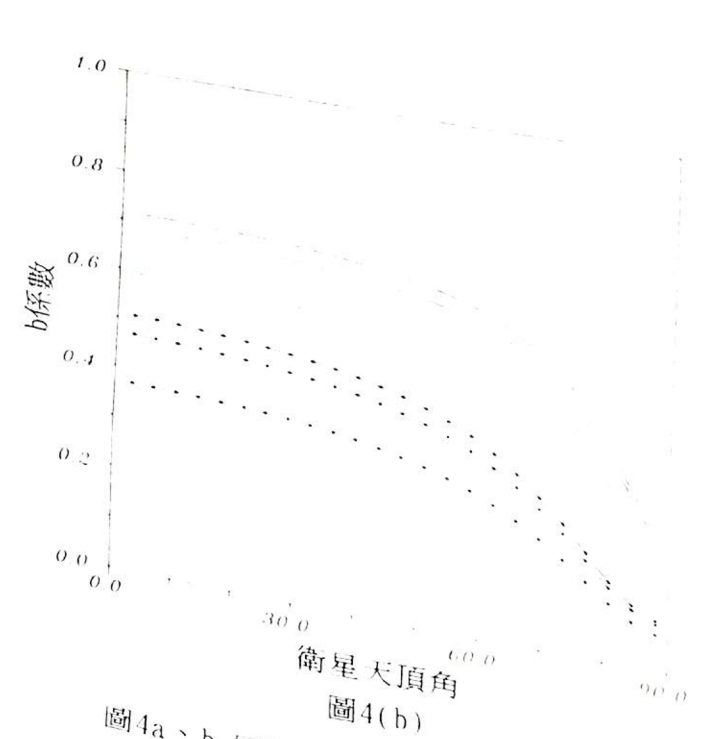
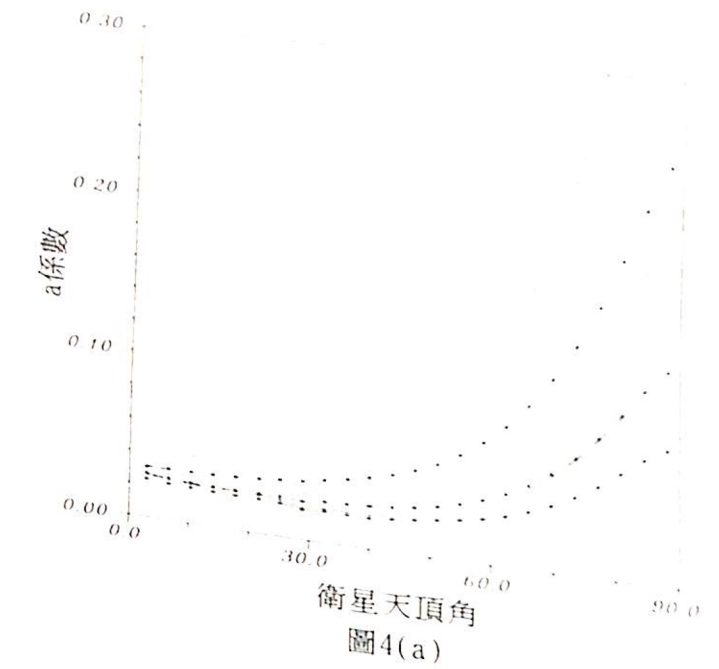


圖4a、b 同圖2，但相對方位角為60°

空軍氣象聯隊「劉衍淮博士獎學金」經費收支表

項目	日期	摘要	收入	支出	結存	得獎
20	79. 7. 25	提領三十二萬定存利息	43,829		363,829	
21	79. 12. 1	支79年(第五屆)獎學金		22,500	341,349	第七屆沈海城、曾俊傑、蔡晉東、魯仲民(一萬元、三千五百元、三千元)
22	80. 11. 15	定存之利息	2,123		345,452	
23	80. 12. 1	支80年(第八屆)獎學金		21,500	321,952	第八屆曾俊傑六千元、鄭敏璋六千元、蘇文儀三千五百元、李復國三千元、王朝廣三千元
24	81. 8. 21	定存之利息	68,372		390,324	
25	81. 12. 1	支付81年第九屆獎學金		23,900	366,424	第九屆許勝堉、馬屏龍、戴志輝各四千八百元、沈勢峰三千五百元、王朝廣三千元、謝昌源三千元
26	80. 10. 23	利息定存一年之利息	3,806		370,230	收支組：320,000元 其餘：50,230元
27	82. 12. 1	支付82年第十屆獎學金		20,000	350,230	第十屆方俊志四千元、許勝堉、戴志輝、馬屏龍、顏自雄、林得恩、呂英展各二千元、賴世運、彭權盛各一千五百元、林永盛一千元。 計支付獎學金20,000元