

衛星資料在低雲及霧區之偵測與分析

陳萬金 黃清順

中正理工學院應用物理所

摘要

本文利用1998及1999兩年AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)高解衛星資料偵測低雲與霧區，並使用地面測站觀測資料做為驗證。研究動機在於低雲及霧區所產生的低能見度對飛航安全影響甚鉅，且目前對霧區的測報相當不足，有賴其他觀測資料之彌補。高解衛星影像由於觀測面積涵蓋範圍大，且解析度良好，所以正好可補此一不足，而良好的預報及預警，更有助於飛航安全的提升。本文採用Eyre(1984)的方法，利用 $3.7\mu\text{m}$ 及 $11\mu\text{m}$ 兩頻道在霧區具有不同放射率，以及陸地與海面具黑體放射的特性，將低雲和霧區與陸地、海面區分出來。經由4個個案的分析顯示，台灣地區利用AVHRR高解衛星中不同頻道對霧區的放射率差異所造成的頻道亮度溫度差值約在 $1\sim 7\text{K}$ ，這與輻射傳遞理論推導得之結果相似。此外配合台灣地區霧的發展高度，採用適當的閾值，將中高雲部份濾除。驗證結果顯示衛星分析與地面測站報告中之低雲及霧區相當吻合，正確率高達89%。

關鍵詞：AVHRR、低雲、霧區、能見度、亮度溫度、頻道

一、前言

濃霧對陸上交通、航海及飛航的安全都有很大的影響，因此時有耳聞，高速公路因出現白茫茫一片的濃霧，能見度低、視線不佳，以致常常發生連環車禍，造成重大傷亡的慘劇。對於海上航行的船隻而言，霧是妨害航行的一件要項，諸如：迷航、擱淺、互撞、觸礁等不幸事件，往往直接或間接由於霧的緣故。又由於發生濃霧的水域多半在沿岸冷水域船隻在接近沿岸時，加上海流之偏壓作用，最後發生海難，故航行船隻應特別注意。霧對飛行安全亦有相當的影響，當機場被濃霧瀰漫時，飛機必須停止起降，以策安全。以今年(2000年)3月13日起連續數日所發生的個案為例，濃霧所造成的影響導致陸海空交通大亂，不少機場更因能見度太差而關閉，許多航班也因而嚴重延誤，且在高速公路上亦發生數起重大交通事故。此外，能見度的良窳對飛行訓練及任務執行亦有顯著的影響，低雲與霧是直接影響能見度的天氣因子。以空軍氣象聯隊為例，平日工作重點即是守視機場及訓練空域的天氣情形，其中能見度的觀測及預報即為重點之一，故對低雲與霧研究相當重視。

傳統上對霧區的觀測，一般僅有目視及能見度儀兩種方法，且僅有少數點狀的陸地測站，對廣大海洋的觀測則付之厥如。衛星資料由於具備觀測面積廣大及觀測資料一致性的特徵，所以能提供全面性的資訊，對於天氣系統之分析、掌握及預報皆有莫大的幫助。本文為國內首度嘗試利用衛星資料

偵測低雲與霧區，並以台灣地區的地面觀測資料加以驗證，期望能對低雲及霧區的偵測有所改進，並降低因低能見度所造成的災害。

二.理論基礎

利用衛星資料偵測低雲與霧首先由Eyre(1984)提出，其所使用的衛星資料為NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)AVHRR輻射資料。AVHRR有三個紅外窗區頻道，其中心頻道分別為 $3.7\mu\text{m}$ 、 $11\mu\text{m}$ 及 $12\mu\text{m}$ 頻道。Hunt(1972)的研究顯示，在低雲及霧區其放射率會因不同的波長而有所改變。例如在 $11\mu\text{m}$ 頻道低雲及霧區放射率近似於黑體，亦即其放射率趨近於1，但在 $3.7\mu\text{m}$ 頻道低雲及霧區放射率僅有 $0.8\sim 0.9$ 。由於此種輻射性質並不存在陸表或洋面，所以可藉由這兩頻道在低雲及霧區因不同放射率所產生的亮度溫度差分辨出低雲及霧區或其他區域。之後亦有不少學者運用相同輻射原理偵測低雲及霧區(Turner *et al.* (1986)、Thomas *et al.* (1997)、Anthis and Cracknell (1999))。但此種方法僅適用於夜間對低雲及霧區的偵測，因為在白天 $3.7\mu\text{m}$ 頻道不僅對霧本身粒子放射輻射能量，同時亦反射太陽的輻射能量，且較大的貢獻量來自於分子反射太陽輻射能量，故無法於白天運用之。

對某一波長為 λ 的輻射強度變化 dI_λ 一般是由發射量、散射進來、吸收量以及散射出去的輻射量所組成，其中發射量與散射進來的輻射量又成源函數(source function)，其對所量到的輻射強度有正的貢

獻，而吸收量及散射出去的輻射量則為負的貢獻，但是由於紅外線波段屬於長波輻射，其散射項可以忽略，因此可將輻射強度變化 dI_λ 簡化到只剩吸收及發射項，即 $dI_\lambda = \text{發射量} - \text{吸收量}$ 。紅外線輻射傳送方程為 (曾【1988】)：

$$I_\nu = \varepsilon B_\nu(T_s) \mathfrak{S}_\nu\left(\frac{\tau_1}{\mu}\right) - \int_0^{\tau_1} B_\nu(T') \frac{\partial \mathfrak{S}_\nu\left(\frac{\tau'}{\mu}\right)}{\partial \tau'} d\tau' \quad (1)$$

其中 ε 表示表面的放射率， $B_\nu(T)$ 則表示當溫度為 T 時的黑體輻射強度， T_s 則表示表面溫度，而 $\mathfrak{S}_\nu(\tau)$ 是透射函數，並且其定義為：

$$\mathfrak{S}_\nu(\tau) = e^{-\tau} = \exp\left(-\int_z^\infty K_\nu \rho_\nu dz'\right) \quad (2)$$

而 τ 為光學厚度 (optical depth)，定義為：

$$\tau = \int_z^\infty K_\nu \rho_\nu dz' \quad (3)$$

(1)式有明確的物理意義，第一項是代表來自表面的貢獻量，為表面溫度放射經大氣之削弱後到達衛星之能量，第二項是代表大氣層氣體的貢獻量，所以是整層大氣對每一層透射率之積分。

低雲和霧區的判別方法主要是利用 $3.7 \mu\text{m}$ 及 $11 \mu\text{m}$ 的亮度溫度差 ΔT ，當 ΔT 大於 0K 以上，代表有低雲或霧存在， ΔT 的定義如(4)式所示：

$$\Delta T = \text{TB4} - \text{TB3} \quad (4)$$

其中 TB3 及 TB4 分別代表 AVHRR 第三及第四頻道的亮度溫度值。衛星資料的處理步驟為先將數位影像資料經輻射校正轉為輻射強度，再經由 Plank 定律轉換為頻道亮度溫度。

三、結果與分析

在(4)式中會影響 ΔT 的主要因子有放射率、穿透率及低雲和霧遮蔽部份視場的大小，為了解這些因素對 ΔT 所造成影響的大小，本文使用台灣地區氣候統計探空值以及逐日探空資料，輸入大氣模式 Lowtran 7 求取在不同大氣條件下，放射率、穿透率及部份視場遮蔽對 $3.7 \mu\text{m}$ 、 $11 \mu\text{m}$ 頻道所造成的影響。

a. 放射率不同之影響

首先探討在霧區因 3.7 及 $11 \mu\text{m}$ 頻道的放射率差異，而產生之亮度溫度變化。假設輻射能的貢獻量都來自霧區表面情況時，則在熱力平衡下，衛星所接到來自於霧的輻射強度 I_ν ，可由霧的放射率 ε_ν 和 Plank 函數乘積求得

$$I_\nu = \varepsilon_\nu B(T) \quad (5)$$

，而(5)式經由 Plank 定律可得

$$T_B(\nu) = \frac{C_2 \nu}{\ln(1 + C_1 \nu^3 \varepsilon / I_\nu)} \quad (6)$$

，由(6)式可求得各頻道的亮度溫度。圖 1 為低雲及霧區中 3.7 和 $11 \mu\text{m}$ 兩頻道由於放射率不同所造成亮度溫度差異的分佈圖，顯示放射率對低雲及霧區

影響隨放射率的差值變大而加強，同時亦受低雲及霧區表面亮度溫度增加而變大，其受放射率差異的影響約 $2 \sim 5 \text{K}$ 。

b. 霧區所佔衛星視場範圍大小之影響

AVHRR 衛星的星下點解析度約 1.1Km ，若視場內僅有部分區域為低雲及霧區所遮蔽的情形，在此假設地表的溫度為 300K ，霧區低雲發展高度 1Km ，其溫度為 290K 的情況下。圖 2 為霧區所佔衛星視場範圍與兩頻道溫度差之影響，X 軸為衛星視場內霧區與晴空所佔的比例，Y 軸為兩頻道的亮度溫度差 (TB4-TB3)，視場內霧區所佔比例越高，溫度差越大，而視場所佔比例不同，導致兩頻道的亮度溫度差值約有 $0.1 \sim 5\text{K}$ 。

C. 水汽之影響

利用民國 1956~1981 年台灣北、中、南地區探空測站 1~12 月之平均探空資料，試著瞭解台灣地區逐月探空的可降水量與雙頻道之關係。台灣北、中、南測站分別為桃園、馬公及東港。此大氣環境之下，經由 Lowtran 7 模式模擬，以求得在此大氣狀況對不同頻道輻射強度受水汽之影響效應。Lowtran 7 是美國空軍地球物理實驗室所發展之軟體，考慮大氣中分子諸如氣溶膠、水汽、臭氧等稀有氣體的吸收及散射，此外光程路徑的計算中亦對大氣折射及地球曲率皆有所考量，用以計算出最接近真實的大氣輻射物理量值，如大氣的透射、單次散射、直接太陽輻射能及大氣的長波輻射量值。

圖 3A 為桃園地區可降水量逐月的分佈圖，圖中顯示可降水量在夏季 7~9 月間含量最多，在冬季 11~1 月及春季 2~4 月間含量較小。圖 3B 為兩頻道亮度溫度差逐月分佈的情形，由圖中可知 $11 \mu\text{m}$ 頻道較 $3.7 \mu\text{m}$ 頻道更易受水汽之吸收影響，故隨水汽影響增加，在夏季其差值達負值，最大為 -1.71K ，但在春、冬季(11~4 月)其差值僅在 $-0.17 \sim -0.4\text{K}$ 之間，因此假若夏季有霧區發生，受水汽負的貢獻量影響，兩頻道的差值會明顯減小，對霧區之偵測會有較大誤差。所幸較常發生霧的季節為春、冬兩季，這時水汽之影響比較小，可以忽略不計。此水汽影響效應不僅為單一桃園地區，其他地區如台灣中南部之馬公及東港亦有相同之結果。結果顯示水汽之影響效應遠小於放射率之差異，此觀點與 Ellrod(1995)論點一致。

個案分析：

在 1998 年 3 月 18 日 20 時的綜觀天氣中，地面天氣圖顯示台灣地區受變性高壓影響，地面風速微弱，配合在 850hpa 高空圖為西南氣流提供暖濕的水汽，在台灣北部地區有較高的相對濕度，顯示綜觀環境為穩定有利於霧之發展。

圖 4 為 1998 年 3 月 19 日 2 時 26 分 26 秒 AVHRR $3.7 \mu\text{m}$ 紅外頻道之衛星雲圖，圖 5 為運用 3.7 和 $11 \mu\text{m}$ 雙頻道法偵測低雲及霧區所得之結果。比較圖 4

和圖 5，可發現不論由 3.7 μm 或 11 μm 紅外頻道衛星雲圖，分辨出低雲和霧區，而只能觀測出不同高度之雲層籠罩台灣四週罷了。運用 3.7 和 11 μm 雙頻道法卻能有效偵測出低雲和霧區。表一為配合最接近衛星觀測時間的地面測站正點資料驗證的結果。由表中顯示，衛星所偵測低雲和霧區與地面測站報告相符的計有桃園、新竹、台中、馬公、嘉義五個測站資料，而台南、屏東、台東等地區因有中高層雲覆蓋，所以無法判斷其正確性。表中顯示花蓮測站為能見度 9999 呎(能見度良好)及雲幕高 5000 呎無霧區域，但這與衛星所顯示部分點狀區域有霧情形不符，其可能之原因為部份中高雲無法有效濾除，而導致誤判產生。

表二為在四個個案時間，使用衛星資料偵測低雲和霧區，並以地面測站資料驗證所得之結果。由表中顯示結果正確率高達 89%，可見此法已能有效偵測低雲和霧區，惟尚需增加研究個案，以強化研究結論。

造成低雲和霧區偵測之誤差，可能的原因如下：

1. 閾值選定的誤差

中高雲目前用監視 (Supervise) 方法，將中高雲濾除，但仍有部分的雲區無法有效濾除，而誤判為霧區或低雲。

2. 水汽的影響

大氣效應中，最主要即為水汽的吸收，而 3.7 和 11 μm 頻道皆會受其不同程度的影響，所以會造成偵測霧區之誤判。

3. 臨邊昏暗效應的誤差

當輻射計由星下點往地球邊緣掃描時，射出輻射經過的光程較長受到水汽吸收也較厲害，故紅外雲圖上的亮度也較大，尤其在地球邊緣更是如此。

4. 部分區域受卷雲影響

利用 IR 資料藉以偵測低雲和霧區，對於卷雲則無法濾除，造成卷雲下方雲層亮度溫度會降低，產生誤差。

5. 測站觀測資料誤差

測站正點資料由守視人員觀測紀錄，對能見度及雲幕高低測量，以參考單點的雲幕儀，配合目視周圍雲幕高及能見度，最後由守視人員主觀判斷，但在夜間較不易正確判斷雲幕高及能見度，故與衛星偵測霧區有所出入。

6. 量測方式所產生誤差

衛星觀測霧區之有無，其方式為由上往下偵測之，而一般傳統守視人員觀測方式為水平方向，目視霧區之有無及能見度之良窳，故有所差異。

四、結論

本文利用 1998 至 1999 兩年高解衛星(AVHRR)資料配合地面測站觀測報告，藉以解析霧區的分佈。經由個案的分析顯示，運用 AVHRR 高解衛星中不

同頻道對霧區的放射率有其差異，觀測其實際差異約 1 至 7K。而以民國 1956 年至 1981 年台灣地區探空測站分析水汽對霧區偵測之影響，在較常發生霧的春、冬兩季，這時水汽之影響其差值僅為-0.17~0.4K 之間，可以忽略不計。結果顯示衛星分析與地面測站報告中之霧區已能吻合。

未來的展望須加強對霧的生成與發展機制及影響因子，諸如：風速、風向、溫度及相對濕度等方面，加以研究探討，以建立數值模式，提供預報使用。

參考文獻

1. 曾忠一，「大氣衛星遙測學」，渤海堂文化事業公司，台北，630 頁，民國七十七年。
2. Anthis A. I. and A. P. Cracknell, "Use of satellite images for fog detection (AVHRR) and forecast of fog dissipation (METEOSAT) over lowland Thessalia, Hellas." *Int. J. Remote Sensing*, vol. 20, No. 6, 1107-1124 (1999).
3. Eyre J. R., Bownscombe J. L. and Allam R. J., "Detection of fog at night using Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) imagery." *Meteorological Magazine*, 266-271(1984).
4. Gurka, J. J. "The Role of Inward Mixing in the Dissipation of Fog and Stratus." *Monthly Weather Review*, 106, 1633-1635(1978).
5. Gurka, J. J. "Observations of advection-radiation fog formation from enhanced IR satellite imagery." *Preprints, 8th Conference on weather Forecasting and Analysis*, pp.108-14(1980).
6. Gerber H. E., "Microstructure of a radiation fog." *J. atmos. Sci.* 38, 454-458(1981).
7. Gary P. Ellrod, "Advances in the Detection and Analysis of fog at Night Using GOES Multispectral Infrared Imagery." *Weather And Forecasting*, 606-619(1995).
8. Hunt G. E., "Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infra-red thermal window wavelengths." *Quart. J. R. Met. Soc.*, 99, pp.346-369 (1972).
9. Thomas F. Lee, F. Joseph Turk, and Kim Richardson, "Stratus and Fog Products Using GOES-8-9 3.9- μm Data." *Weather And Forecasting*, 664-677(1997).
10. Turner J., Allam R. J. and Maine D. R., "A case study of the detection of fog at night using channels 3 and 4 on the Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)." *Meteorological Magazine*, 285-290(1986).

表 1 87 年 3 月 19 日 2 時地面測站之天氣概況

測站	能見度 (呎)	風向 風速	雲量	溫度 (°C)	露點 (°C)	雲高 (呎)	天氣 現象
馬祖	100	00000	8	15.1	15.1	1	雨
桃園	1200	02002	8	18.7	17.6	14	霧
新竹	1200	08001	8	18.5	17.7	6	霧
台中	1200	03005	8	18.3	17.7	6	霧
嘉義	800	07004	8	18.8	17.9	20	雨
台南	800	00000	6	20.5	19.6	30	雨
屏南	3200	00000	6	21.7	20.8	60	霧
花蓮	9999	22002	7	22.0	19.1	50	無
台東	6000	32003	8	21.2	21.2	25	雨
馬公	6000	05002	8	20.4	19.5	6	霧

表 2 4 個個案中，使用衛星資料偵測低雲和霧區並以地面測站資料做為驗證所得之結果。

個案時間	正確	錯誤
1999.3.07 02L	4	0
1999.3.07 05L	5	0
1998.3.19 02L	5	1
1998.1.08 01L	3	1
共計	17	2

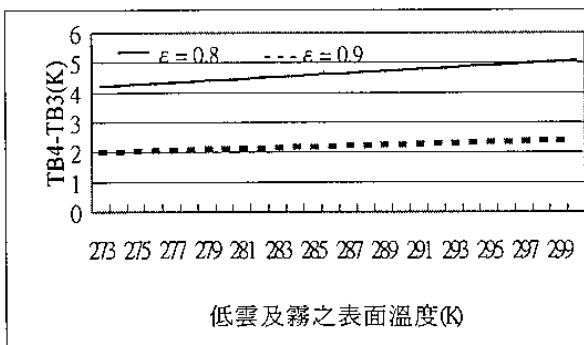


圖 1 在合理的低雲和霧表溫度範圍內，因不同表面放射率 (ϵ) 所造成 AVHRR $3.7 \mu\text{m}$ (TB_3) 和 $11 \mu\text{m}$ (TB_4) 頻道亮度溫度差異變化圖。圖中 $11 \mu\text{m}$ 頻道的放射率皆為 1.0，而實線和虛線分別為 $3.7 \mu\text{m}$ 頻道的放射率在 0.8 及 0.9 時兩頻道的亮度溫度差的分布情形。

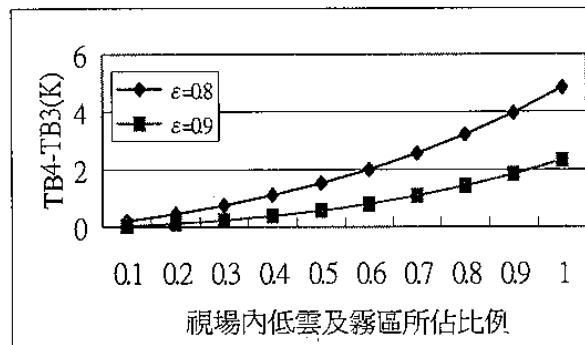
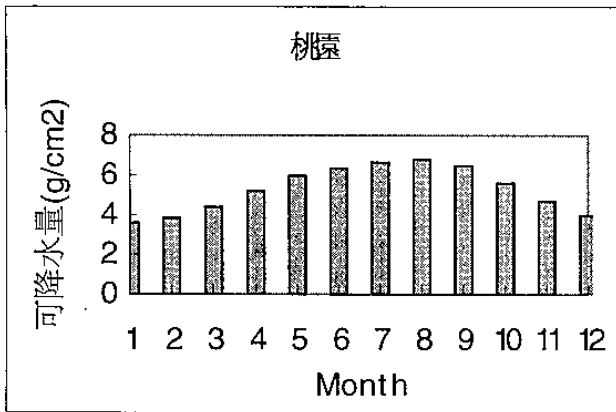


圖 2 視場內低雲和霧區所佔比例對 $3.7 \mu\text{m}$ 及 $11 \mu\text{m}$ 兩頻道所造成亮度溫度差之分佈圖。圖中 $11 \mu\text{m}$ 頻道的放射率為 1.0，而實線和虛線分別為 $3.7 \mu\text{m}$ 頻道放射率在 0.8 及 0.9 時兩頻道亮度溫度差值的分布情形。

A



B

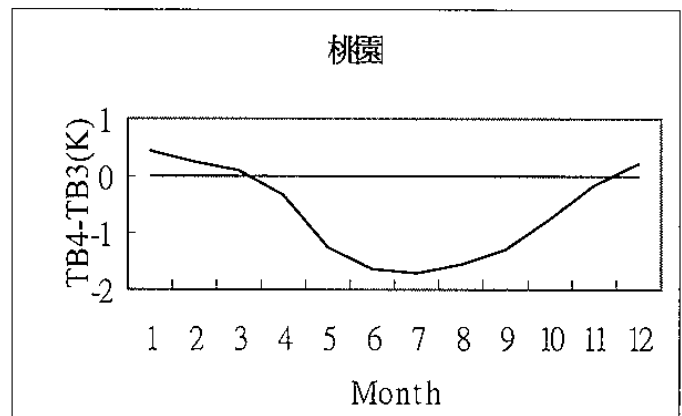


圖 3 使用 1956~1981 年桃園地區之氣候統計探空值所計算之逐月可降水量分布圖(A)以及使用 Lowtran 7 大氣模式所計算之 AVHRR 3.7 μm (TB_3)和 11 μm (TB_4)亮度溫度差逐月分布圖(B)

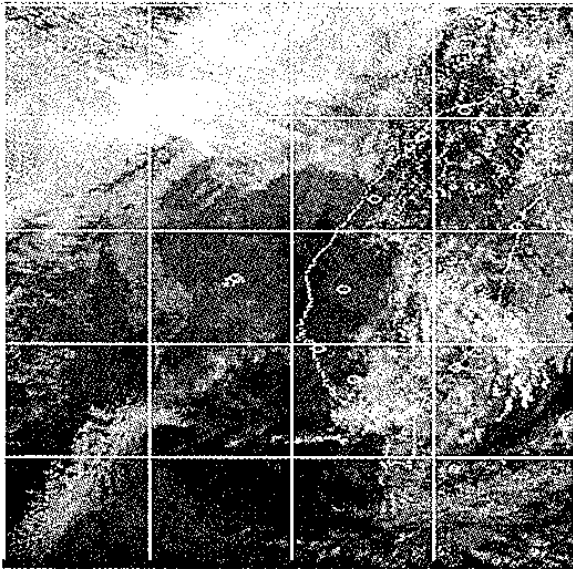


圖 4 1998 年 3 月 19 日 2 時 AVHRR 3.7 μm 紅外頻道衛星雲圖，圖中不同灰度值代表不同亮度溫度，較黑色為高溫，較白色為低溫。圖中地面測站位置亦以小圓圈標示出。

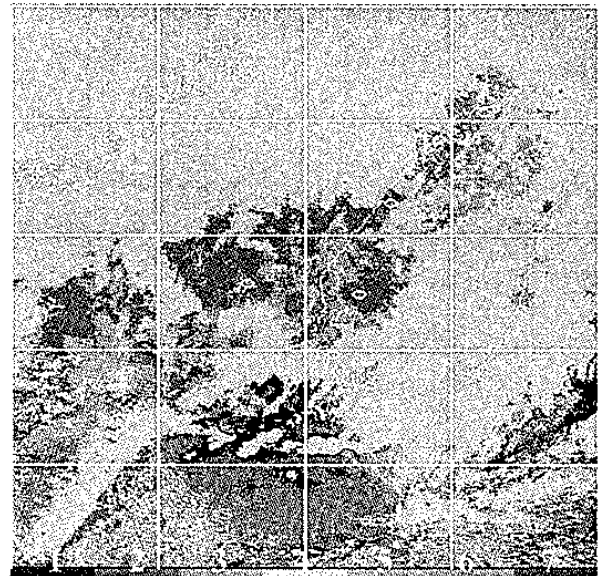


圖 5 1998 年 3 月 19 日 2 時使用兩頻道亮度溫度差方法所得之低雲及霧區分佈圖，圖中色階差異代表兩頻道的亮度溫度差，灰色區域代表中高雲。