

衛星資料在低雲及霧區之偵測與分析

陳萬金¹ 黃清順²

¹中正理工學院應用物理所 ²空軍氣象中心

摘要

本文運用1998~1999兩年高解衛星(AVHRR)資料配合地面測站觀測報告,藉以解析霧區的分佈。研究動機在於霧區所產生的低能見度對飛航安全影響甚劇,而目前對霧區的測報僅能依靠為數不多的測站資料,在廣大無測站地區即無法據以測報,衛星影像正可補此一不足,而良好的預報及預警,更有助於飛航安全的提升。本研究採用Eyre(1984)所提的理論,針對不同頻道(3.7 μm 、11 μm)對霧區之放射率有所差異,而對陸地與廣大海面則無此效應,故可藉此偵測出霧區。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,經由輻射傳遞理論推導得之其差異約在1~5K,配合台灣地區霧的發展形成高度,採用適當的閾值,將中高雲部份濾除。結果顯示衛星分析與地面測站報告中之霧區已能大致吻合。

關鍵詞: AVHRR、輻射傳遞理論

一. 前言:

濃霧對陸上交通、航海、航空都有很大的影響,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,飛機要停止起降,以策安全。以今年(89年)3月13日起連續數日所發生的濃霧,導致陸海空交通大受影響,不少機場關閉許多航班因而延誤,且高速公路亦發生數起交通事故。

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,能見度的良窳對飛行訓練及任務執行有顯著的影響,霧與低雲是直接影響能見度的天氣因子。故對霧與低雲研究是一件相當重要的事情。

傳統上對霧區的觀測,一般僅有目視及能見度儀據以觀測霧區,僅有少數點狀的陸地測站,而廣大的海洋地區更是稀少,對霧區僅能給予即時的觀測,無法作較長時間的預報。衛星資料由於具備了觀測面積廣及觀測資料較一致性的特徵,所以能提供全面性的天氣狀況、海面資料及地面資料,對於天氣系統之分析、掌握及預報皆有莫大的幫助。本研究是運用衛星資料偵測霧區,配合台灣地區密集的地面測站加以驗證。

二. 基礎理論:

王寶貴研究認為霧與雲有些特徵上的不同。首先霧比雲乾,一般而言霧的水含量僅在0.1g/m³左右,除非是很濃的霧,水含量會比較多外,一般比晴天的雲之水含量在0.4g/m³要小許多。其次霧滴典型大小是1 μm (分佈範圍約0.5 μm ~40 μm),雲滴則為10 μm (10 μm ~100 μm 左右),因此霧滴一般小於雲滴。根據米氏散射原理,圖1表示折射率 $m=1.5$ 時削弱效率因子 Q 的計算結果隨尺度參數 x 的變化。在 $x=4$ 處,即波長為粒子半徑的3/2時,可以看出強烈的散射發生。因為霧滴之大小比雲滴更接近可見光的波長最強烈的散射區域,可知霧對可見光的散射能力超過雲滴,故霧不必太濃看起來便是「霧茫茫」。

運用衛星資料對霧及低雲的偵測,最早由Eyre(1984)所提出,其所採用為NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)的AVHRR衛星資料,AVHRR共有三個頻道為紅外窗區,其中心頻

道分別為3.7 μm 、11 μm 及12 μm 頻道。Hunt(1972)的研究顯示,在霧區其放射率會因不同的波長而有所改變,例如在11 μm 頻道霧區放射率近似於黑體,亦即其放射率趨近於1,但在3.7 μm 頻道霧區放射率僅有0.8~0.9。由於此種性質並不存在陸表或洋面,所以可藉由兩頻道在霧區因不同放射率所產生的亮度溫度差分辨出霧區及其他區域,此後亦有不少學者用此方式加以偵測霧區,如Turner等人(1986)、Thomas(1997)及Anthis and Cracknell(1999)。但此種方法僅適用於夜間對霧區的偵測,因為在白天3.7 μm 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。

三、結果與分析

低雲和霧區的判別方法主要是利用3.7 μm 及11 μm 的亮度溫度差 ΔT ,會影響兩頻道溫度差的主要因素有放射率、透射率及低雲和霧遮蔽部份視場的大小,為了解這些因素對兩頻道溫度差所造成影響的大小,分別使用台灣地區氣候探空平均統計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、透射率及部份視場遮蔽對3.7 μm 、11 μm 頻道所造成的影響。

影響因子分析:

針對影響3.7 μm 、11 μm 頻道溫度差的因素,如放射率不同、霧區所佔衛星視場範圍大小及水汽之影響,加以分析

a. 放射率不同之影響

首先針對Eyre(1984)所提的理論,在霧區3.7 μm 、11 μm 紅外頻道的放射率差異,對其亮度溫度影響。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_v ，可由霧的放射率 ϵ_v ，和 Plank 函數乘積求得

$$I_v = \epsilon_v B(T_B) \quad (1)$$

，而(1)式經由 Plank 定律可得

$$T_B(v) = \frac{C_2 v}{\ln(1 + C_1 v^3 \epsilon / I_v)} \quad (2)$$

，由(2)式可求得各頻道的亮度溫度，其結果如圖 2 為霧區中 3.7 和 11 μm 兩頻道由於放射率不同所造成亮度溫度差異的分佈圖，顯示放射率對霧區影響隨放射率的差值變大而加強，同時亦受霧區表面亮度溫度增加而變大，其受放射率差異的影響約 2~5 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霧區的情形，在此假設地表的溫度為 300 K，霧區低雲發展高度 1Km，其溫度為 290K 的情況下，圖 3 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($T_{11\mu\text{m}} - T_{3.7\mu\text{m}}$)，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 0.1~5K

C. 水汽之影響

運用民國 45 年~70 年台灣北、中、南地區探空測站 1~12 月之平均探空資料，其測站分別為桃園、馬公及東港，試著瞭解台灣地區逐月探空的水汽總含量及在此大氣環境之下，經由 Lowtran 7 模式模擬，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。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。

以桃園地區之水汽逐月分布(圖 4B)，可以看出水汽於夏季 7~9 月總含量最多，在 11~1 月及 2~4 月分別為冬季及春季水汽含量較小，圖 4A 為兩頻道溫度差與圖 4B 相互比較，可知 11 μm 頻道較 3.7 μm 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)其差值僅為 -0.17~0.4K 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。

1998 年 3 月 19 日 2 時 26 分 26 秒之 AVHRR 衛星所經台灣地區之雲圖，如圖 5 為 3.7 μm 紅外頻道衛星雲圖，圖 6 為運用 3.7 μm 、11 μm 不同頻道特性之方法偵測霧區，不論由 3.7 μm 或 11 μm 紅外頻道衛星雲圖，都無法單獨運用而有效的分辨出霧區，所能觀測僅為不同高度之雲層籠罩台灣四週。運用 3.7 μm 、11 μm 不同頻道特性之方法偵測霧區，配合最接近時間的地面測站正點資料

如表 1，衛星所偵測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、屏南、台東有中高層雲所覆蓋，因紅外線雲圖無法穿透雲層，觀看中高雲下之天氣現象，故不討論其結果，花蓮測站能見度為 9999 呎(能見度良好)，雲幕 5000 呎無霧之區域與衛星所顯示部分點狀區域有霧情形不符，可能因部分中高雲無法有效濾除，所導致誤判產生。

AVHRR 衛星資料對霧區的偵測，分析其結果如表 2 所示，衛星所偵測霧區與地面測站相互驗證，初步結果正確率達 89.47%，可見此法大抵已能有效偵測霧區，但尚需增加個案數目，加以討論。

造成霧區偵測之誤差，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 μm 、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，故紅外線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

本文運用 1998~1999 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，經由輻射傳遞理論推導得之其差異約在 1~5K。結果顯示衛星分析與地面測站報告中之霧區已能吻合。

由民國 45 年~70 年台灣地區探空測站分析水汽對霧區偵測在春、冬季影響效應遠小於放射率之差異，可以忽略。

未來仍需增加研究個案數量，並考量各項影響因子所產生的誤差，以期能更精確偵測低雲與霧區，並能進一步定量分析低雲及霧區所產生低能見度與兩頻道溫度差的關係，以便未來直接運用衛星資料，即可獲得測站或無測站地區能見度的良窳，並將人為觀測的誤差與不一致減至最低。此外尚須對霧的生成與發展的物理機制及影響因子，諸如：風速、風向、溫度、相對濕度及凝結核等方面，加以研究探討，以建立數值模式，提供預報使用。最後希望將此研究成果，能於後續規劃在線上作業，以策進現行作業之成效。

參考文獻

1. Gurka, J. J. "The Role of Inward Mixing in the

Dissipation of Fog and Stratus." Monthly Weather Review, 106,1633-1635(1978).

2. 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).

3. Gerber H. E., " Microstructure of a radiation fog." J. atmos. Sci. 38, 454-458(1981).

4. 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)

5. 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 (1973).

6. 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)

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. A. I. Anthis 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, 1107-1124 (1999, vol. 20, No. 6)

9. Thomas F. Lee, F. Joseph Turk, and Kim Richardson, " Stratus and Fog Products Using GOES-8-9 3.9- μ m Data." Weather And Forecasting, 664-677(1997).

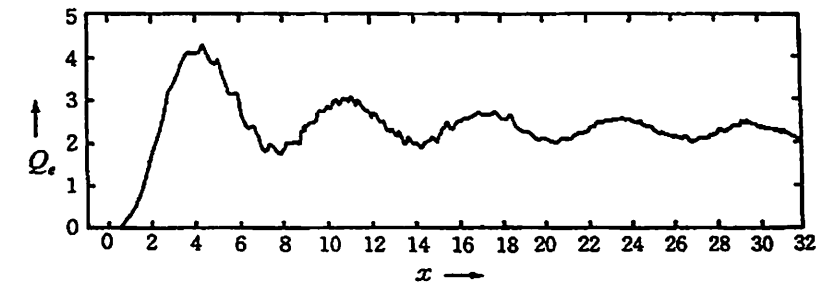


圖1. 米氏散射的削弱效率因子 Q_e ($m = 1.50$ 時)隨尺寸參數 x 的變化。

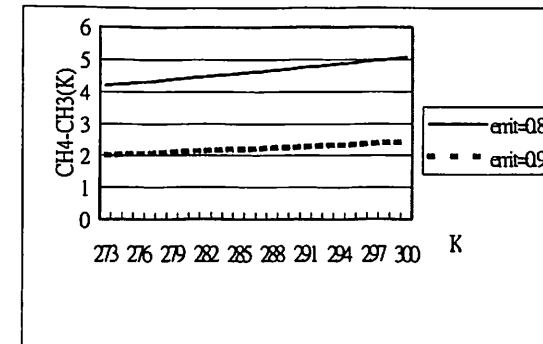


圖2 霧區中 3.7 和 11 μ m 兩頻道由於放射率不同所造成亮度溫度差異的分佈圖。圖中 11 μ m 頻道的放射率為 1.0，實線為 3.7 μ m 頻道的放射率為 0.8 時兩頻道的亮度溫度差值；虛線為 3.7 μ m 頻道的放射率為 0.9 時兩頻道的亮度溫度差值

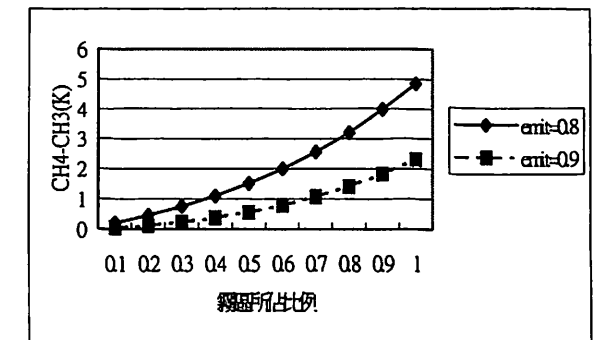


圖3 視場內霧區所佔比例與 3.7 及 11 μ m 兩頻道亮度溫度分佈圖。圖中 11 μ m 頻道的放射率為 1.0，實線為 3.7 μ m 頻道的放射率為 0.8 時兩頻道的亮度溫度差值；虛線為 3.7 μ m 頻道的放射率為 0.9 時兩頻道的亮度溫度差值

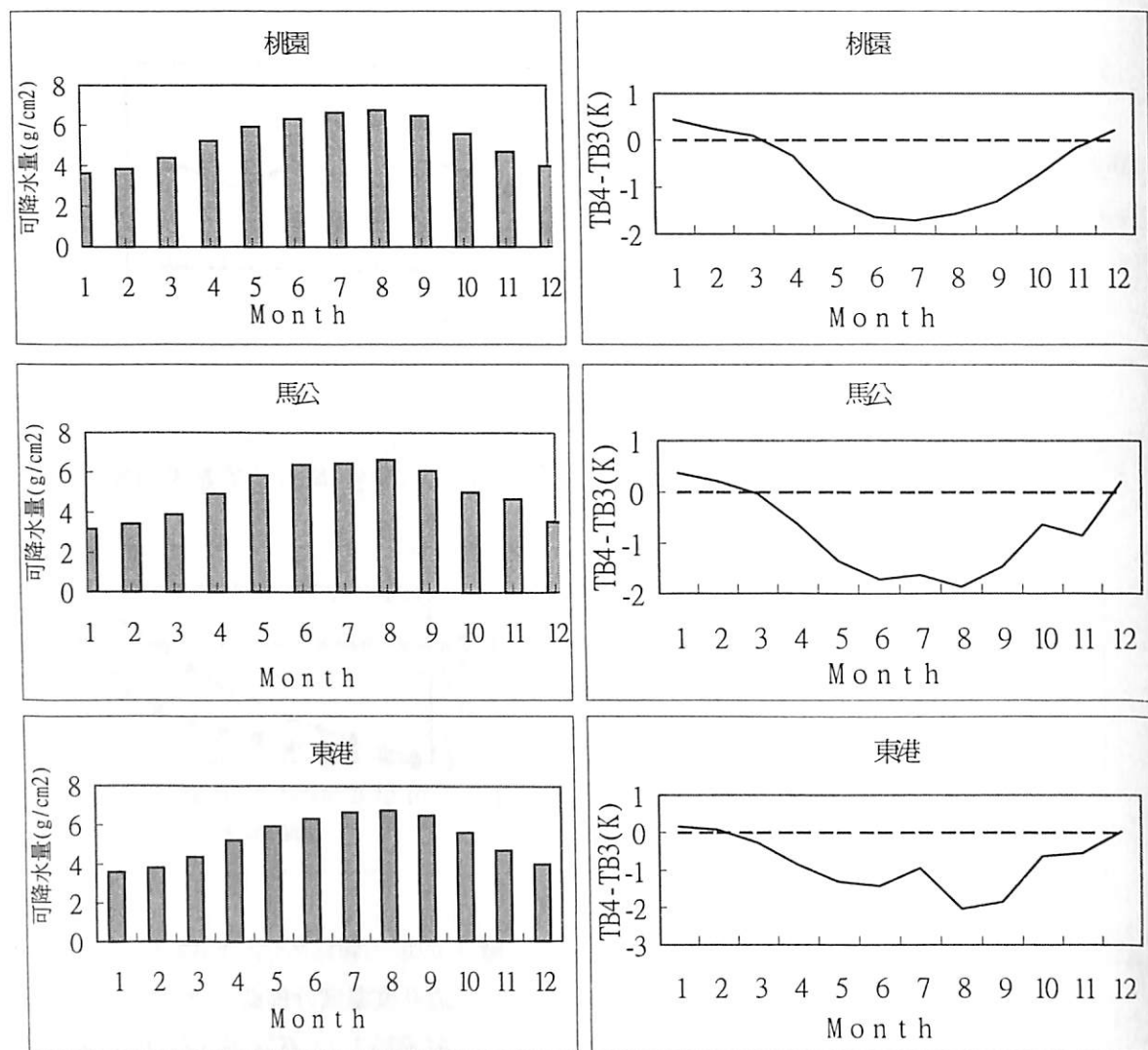


圖 4. (A)使用 1956~1981 年桃園地區之氣候統計探空值所計算之逐月可降水量分布圖。(B)使用 Lowtran 7 大氣模式所計算之 AVHRR 3.7 μm (TB₃)和 11 μm (TB₄)亮度溫度差逐月分布圖。(C)同(A), 但為馬公地區。(D)同(B), 但為馬公地區。(E) 同(A), 但為東港地區。(F)同(B), 但為東港地區

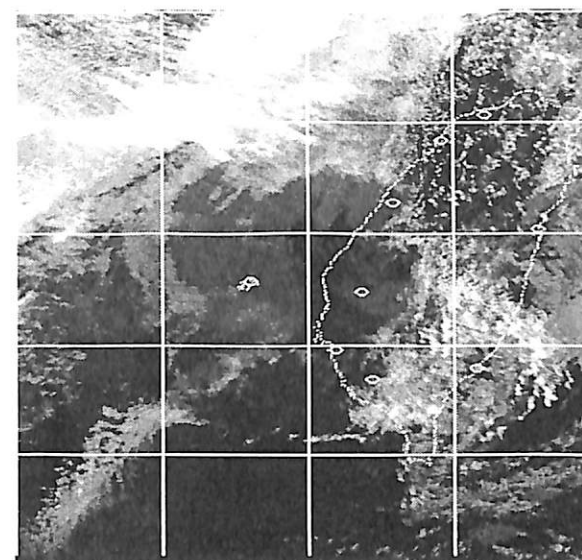


圖 5 1998年3月19日2時 AVHRR 3.7 μm 紅外頻道衛星雲圖

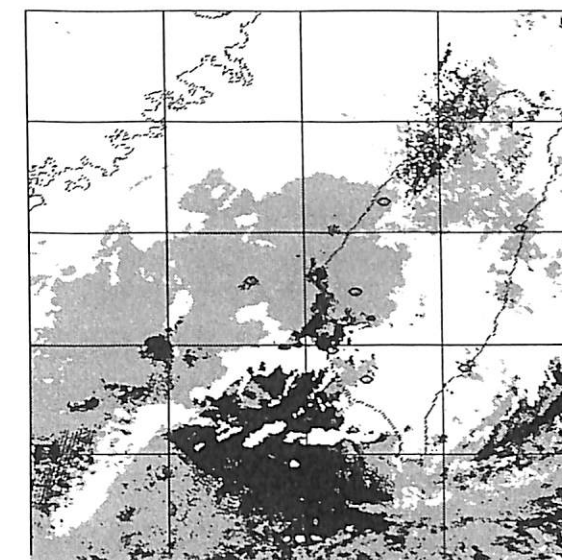


圖 6 1998年3月19日2時兩頻道方法所得霧區，圖中灰色代表低雲及霧區，白色區域代表中高雲。

表 1 87年3月19日02時地面測站正點天氣

測站	能見度	風向風速	雲量	溫度°C	露點°C	雲高	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
屏東	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 個案之正點天氣與衛星偵測結果驗證表

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