

利用衛星資料在夜間觀測低雲及輻射霧的個案研究

林旻德 賴世運 林得恩
空軍氣象聯隊氣象中心

摘 要

本文利用美國國家大氣海洋總局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, 簡稱 NOAA) 之地球同步作業環境衛星 9 號 (Geostationary Operational Environmental Satellite, 簡稱 GOES9) 之兩個紅外線頻道 $11.2\mu\text{m}$ 及 $3.7\mu\text{m}$ 資料, 進行觀測發生於夜間之低雲或濃霧 ($\text{VIS} < 1600$ 公尺) 現象。個案時間分別為發生於 2005 年 2 月 14 日 1200UTC 至 14 日 2200UTC 在台灣中北部地區及 2004 年 11 月 5 日 1700UTC 至 2200UTC 在台灣中南部地區之輻射霧的天氣。

診斷結果顯示, 由於受限於窗區特性的關係, 當以單一紅外線窗區頻道於夜間觀測時, 並無法清楚分辨出低雲或霧區的位置; 然當吾人利用兩頻道之物理特性, 在無雲遮之干擾情形下以及以 3×3 格點平均平滑處理進行 $11.2\mu\text{m}$ 及 $3.7\mu\text{m}$ 兩頻道相減技術, 發現兩者相差 2-3K (含) 之亮度溫度以上時, 經影像強化處理後, 再比對地面機場觀測資料, 則可明確顯現出低雲或濃霧區所發生位置, 有效提升現階段作業中, 地面觀測點不足之缺點。

一、前言

冬春之際是台灣地區產生霧頻率最高的季節, 而濃霧更使得能見度降低到足以影響交通安全 (航空、航海等), 尤其是中南部地區。以空中交通而言, 根據美國國家運輸安全部 NTSB 統計 1991~2001 年的 22,655 飛安事故中, 有 4,771 件約佔 21% 與天候因素有關, 而其中天候因素中能見度不佳所佔天候因素之比率達 22.9%。濃霧的發生就機場而言常危害飛航安全, 使得飛機之起降無法正常運作, 因而易造成一些可怕的空難事故。例如: 2005 年 8 月 12 日在克羅地亞中部一架匈牙利 ZLIN142 輕型客機, 因濃霧瀰漫濃見度不佳而失航墜毀, 2002 年 4 月 15 日一架中國波音 747-200 型客機在韓國釜山金海市機場附近, 亦因濃霧能見度不佳而失事, 以及我空軍某機場亦於去年 2004 年 1 月 13 日清晨因輻射濃霧造成機場關閉等

等, 因濃霧造成能見度降低而發生之失事案例不勝枚舉。此外, 能見度的良窳對我空軍飛行訓練及任務執行亦有顯著的影響, 以空軍氣象聯隊而言, 其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主要守視重點之一, 故對霧 (能見度變化) 的研究與預報則益形重視。

一般而言, 霧依其特性及生成原因大致可分為平流霧、鋒面霧、升坡霧、蒸汽霧及輻射霧, 每一種霧的生成, 其結果均造成能見度的降低。就機場而言, 常發生的又以平流霧、鋒面霧及輻射霧為主。而本文所探討的將以輻射霧為主, 其生成的環境條件為在微風 (風速 $\leq 5\text{kts}$)、晴朗的天空及充足的水汽下, 隨著夜幕低垂, 地表長波輻射的冷卻降溫, 最後使空氣中水氣凝結而成霧滴。

霧區的觀測, 傳統上一般僅以人工目視及利用能見度儀量測兩種方法, 就我空軍而言, 僅有機場之 11 個陸地測站對方圓約

10km 進行觀測，對廣大海洋的觀測則付之厥如。而衛星遙測資料由於具備廣大觀測面積及觀測資料客觀性的特徵，所以能提供測站以外的資訊，有效補足海面上資料欠缺的問題，對於霧及低雲之觀測、掌握及預報作業上，相較於傳統觀測，具有相當程度的優勢。本文嘗試利用衛星資料偵測霧區研究，期望能對夜間低雲及霧區的觀測及判別有所改進，並提升對於低能見度發生之瞭解與掌握。

國外氣象衛星遙測技術之發展與應用迄今已逾數十年之久，其中有的針對降水、海面風場、氣溶膠(er)反演、大氣穩定度...等等技術做探討研究，而利用衛星資料處理技術對低雲與霧之研究亦有不少學者從事並且也獲得不錯的結果。譬如 Gurka (1978) 即利用地球同步衛星資料於白天利用可見光雲圖對霧的消散進行研究，發現霧的消散係由其外圍邊緣較薄的區域開始，而後向內逐漸消散，主要因為不勻稱之太陽光加熱所導致。通常一般利用衛星影像資料並不易區分出霧及低雲，但分析霧及低雲之特性，譬如：霧區容易受地形高低起伏影響較低層雲不規則(Anderson 等人)，再加上低層雲一般會隨這大氣環境風場移動，但霧區較不會移動而分辨出來。另外 Parmenter 亦認為利用加強紅外線雲圖的對比效果或影像強化技術及配合衛星雲圖的動畫可分辨出霧區之範圍。除了以上直接利用衛星影處理技巧來辨別霧及低雲外，Turner 等人更進一步的研究指出，低雲及霧區對不同頻道(波長)因放射率差異，會致使亮度溫度有所不同，而亮度溫度的差值大小與測站能見度好壞做有某種程度的曲線關係，曲線大致上表現出亮度溫度差值越大則能見度越低的情況。黃(1997)即嘗試利用 Eyre 的方法，以 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) 3.7 和 11 μm 兩頻道進行台灣地

區低雲和霧區的診斷分析，結果獲得不錯的效果。Hunt (1972) 研究指出，不同的波長對霧區的放射率會有所改變，譬如在 3.7 μm 頻道對霧區放射率僅有 0.8~0.9，而 11 μm 頻道對霧區放射率卻近似於黑體，亦即其放射率趨近於 1。由於此種特性在陸表或洋面不存在，因此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。另 GARY (2004) 利用其 1995 所發表之文章，即利用 GOES 衛星資料參考 Hunt (1972) 以兩頻道 11.2 μm 及 3.9 μm 相減之方法，並配合飛機觀測資料擴大研究加州之中央峽谷夜間輻射霧水平及垂直發展之情況亦獲得良好成效。本研究即採用 GARY (1995) 的方法，捨去濃霧垂直發展之定性上水平涵蓋範圍之初步研究，利用 GOES9 之 3.7 和 11 μm 兩頻道進行台灣地區低雲或濃霧區的診斷分析。

二、資料來源與處理及輻射霧的成因

a. 資料來源與處理

本文所使用資料包括用以驗證的測站資料，為台灣地區西部軍用機場地面逐時整點觀測資料，及隸屬 NOAA 位於赤道上空東經 150 度之 GOES9 地球同步衛星 11.2 μm 及 3.7 μm 兩個紅外線頻道夜間(終昏後至始曉前)觀測資料，其資料空間解析度為 4 公里，時間解析度為 30 分鐘。為了能夠清楚顯現頻道相減(1.1 式)後之影像而濾除非必要之訊息，本文亦參考 GARY (1995) 在頻道資料相減前，先行將每一個像素之亮度溫度視為單一格點資料，並與每個格點之鄰近 8 個格點資料相加後所取得之平均值取而代之(如圖 1)，如此不但可濾除非必要影像資訊，亦可保有原來之空間解析度。

$$\Delta T = (T_{\beta 11.2} - T_{\beta 3.9}) \text{-----} 1.1$$

b. 輻射霧的成因

霧一般認為是地面所發展的層狀雲，形成的主要原因一般可分三種，其一為使溼空氣的溫度冷卻達到露點，另一個原因則是空氣內水汽增加而達飽和，再者則是兩種原因同時引起，皆有可能。王寶貫（1996）研究認為霧與雲有些特徵上的不同。一般而言，霧的水含量僅在 $0.1\text{g}/\text{m}^3$ 左右，比晴天的雲之水含量在 $0.4\text{g}/\text{m}^3$ 要小許多，除非是非常濃的霧其水含量會比較多並接近雲的水含量。霧滴粒徑典型大小是 $1\mu\text{m}$ （分佈範圍介於 $0.5\mu\text{m}\sim 40\mu\text{m}$ ），雲滴粒徑則為 $10\mu\text{m}$ （分佈範圍介於 $10\mu\text{m}\sim 100\mu\text{m}$ 左右），有此可知霧滴一般小於雲滴。

輻射霧係因夜間地表表面長波輻射而冷卻，使近地面空氣溫度下降致使水氣達到飽和而凝結成霧。一般而言當輻射冷卻愈明顯（無雲或高雲的天空型態其降溫率即愈大）、空氣中水氣愈多再配合穩定的大氣（一般而言有沈降逆溫）以及近地層的微風（ $\leq 5\text{kts}$ ）做適度的垂直混和其輻射霧的濃度愈濃。

三、個案分析與結果討論

個案一：2005 年 2 月 14 日 1200UTC 至 14 日 2200UTC

2005 年 02 月 14 日 1000UTC 至 2200UTC 台灣中南部地區即因夜間輻射冷卻降溫逐漸形成輻射霧，甚至為輻射濃霧（能見度低於 1600 公尺），使得能見度明顯下降，尤其嘉義地區於 1600UTC 能見度即開始降至 1 哩（1600 公尺）以下，其餘地區因地區特性不同能見度亦降至 3 哩以下（如圖 2）。同圖 2 時間點之 GOES9 $11.2\mu\text{m}$ 地球同步衛星影像（如圖 3）顯示，濃霧區域位於台灣中部（A 位置），其呈現不明顯之淺灰色階，台灣南部（D 位置）相對於 A 較為黑階之區域為地面觀測資料所呈現之能見度較佳

（霧較淡）的地區。另 E 區顯出更為灰階或是亮白色的區域為中央山脈山峰低溫區。圖 4 所顯示為同圖 3 時間點之 $3.7\mu\text{m}$ 紅外線衛星影像，其相較於圖 3 可發現，圖 4 之影像對於海陸溫差及陸地表面溫度之反應較為 $11.2\mu\text{m}$ 來得靈敏，譬如台灣南部沿海之灰階分佈兩者相較即有明顯不同， $3.7\mu\text{m}$ 反應出較為暗灰階，而 $11.2\mu\text{m}$ 比起圖 4 為較亮（白）些許。因此由於 $3.7\mu\text{m}$ 對於溫度的冷卻有較靈敏反應，所以針對霧區與霧區邊界之掌握應可提供較佳的表現。

圖 5 為沿著圖 3 由 B 至 C 之 $3.7\mu\text{m}$ 與 $11.2\mu\text{m}$ 紅外線亮度溫度曲線圖。圖中顯示 $3.7\mu\text{m}$ （菱形點）之亮度溫度要冷於 $11.2\mu\text{m}$ （方形點），並且中部（嘉義一帶）之濃霧區域（像素格點第 40 至 48）呈現出 $3.7\mu\text{m}$ 亮度溫度平均值 294K 與 $11.2\mu\text{m}$ 亮度溫度平均值 297K，其 ΔT 有 3K 之溫差，此值結合相對時間點之地面觀測資料能見度變化曲線圖（圖 6，長條框線時間點）發現圖 5 所呈現之兩頻道之差值相當吻合。另圖 7 所顯現為 $3.7\mu\text{m}$ 與 $11.2\mu\text{m}$ 紅外線亮度溫度差未經強化處理之衛星影像，圖中灰黑色區域（A）經與地面側站資料比對應為霧區，由於圖 7 影像並未強化處理所以事實上不易分辨出霧區位置，然如果經過適當經強化處理後可明確突顯出霧區位置（如圖 7 之 A 位置）。

由圖 7 及圖 8 結果顯示，利用 $3.7\mu\text{m}$ 與 $11.2\mu\text{m}$ 不同波長對霧區的放射率之差異，可以提供輻射濃霧區之發展掌握情況。

個案二：2004 年 11 月 05 日 1200UTC 至 05 日 2200UTC

由圖 9 之 2004 年 11 月 05 日 1200UTC 至翌日（11/06）0000UTC 地面天氣圖顯示台灣地區受微弱東北季風影響，各地天氣晴朗，入夜後中南部地區受輻射冷卻降溫影

響，溫度露點差逐漸減小（相對濕度增加）（如圖 10），能見度亦逐漸下降，由圖 11 中之能見度變化時序折線圖清楚顯示桃園、嘉義及岡山機場分別代表台灣北、中及南部地區之能見度逐時變化，圖中顯示此個案之最低能見度出現於嘉義機場，其最低值為 1600 公尺，這意味著個案二之輻射冷卻效率相較於個案一而言要來得差。

圖 12 分別顯示 11 月 05 日 1900UTC 之 $3.7\mu\text{m}$ 與 $11.2\mu\text{m}$ 紅外線雲圖，圖中 M 區顯示亮白色色階區域為反應中央山脈山峰之低溫區，由於中南部輻射霧之濃度不足，因而無法直接反應出如層狀雲系淺灰色色階，而 P 區所顯示的系較為灰階無雲之嘉南平原，同樣的圖 12A 與圖 12B 雖分別為 $3.7\mu\text{m}$ 與 $11.2\mu\text{m}$ 不同頻道之紅外線雲圖，然其兩頻道若單以肉眼目視，並無明顯差異。圖 13 為同圖 12 時間點之兩頻道相減後並做強化處理之雲圖，圖中清楚顯示出與圖 12 未經處理前之不同，其反應出霧區可能出現之位置，比對出現之色階區域與實際機場地面觀測情況雷同，反應出中南部能見度較低之霧區，另出現於中央山脈區域之色階，研判應受雲遮影響所致。由於 $3.7\mu\text{m}$ 頻道及 $11\mu\text{m}$ 頻道對霧區之放射率差異會受到霧區濃度的影響，亦即當霧愈濃時其亮度溫度差愈大，此結果也可提供吾人在判定霧的濃度上有定性的參考。圖 14 即顯示圖 13 之 GG' 間之亮度溫度差，其嘉南平原霧區差值介於 1-2K，相較於個案一之濃霧區差值大於 3K 有著不同的結果，而此結果也印證了當霧濃愈時其兩頻道相減的結果其差值愈大。

四、結語

由於傳統觀測有空間解析度不足及人為因素的干擾等影響，往往讓預報人員無法立即有效的掌握濃霧發生地區。本文透過同步

衛星資料窗區特性（波長 $3.7\mu\text{m}$ 與 $11.2\mu\text{m}$ ），再加上平滑及強化處理，可有效觀測出濃霧區所發生的位置，並及時提供了預報人員寶貴資訊及對機場能見度變化增加了預警效果。

在個案中我們發現，當發生低能見度（濃霧）區域，其天空狀不良（有雲遮）時，對於本文所使用之方法造成很大的困擾，受到雲層遮蔽的關係所顯現濃霧區域，事實上與實際將會出現很大的出入，因此在使用本文所述方法時要特別注意。從個案一與個案二之比較吾人亦得到一個結論，當輻射霧愈濃時兩頻道相減之結果其差值將愈大，這代表著可應用其差值之大小來判定測站以外之霧定性上之濃度參數依據。另此種方法受限於 $3.7\mu\text{m}$ 頻道除了對霧本身粒子放射輻射能量外，同時也反射來自太陽的輻射能量，並且較大的貢獻量來自於分子反射太陽輻射能量影響，因此無法於白天運用，而僅適用於夜間對霧區的偵測缺點。為使此方法得以更加嚴謹，其未來將針對更多個案進行探討，並且期望利用此方法應用在隸屬美國太空總署（NASA）搭載於 Terra 和 Aqua 繞極衛星衛星上的中級解析度成像分光輻射度計衛星觀測資料上，以增加時空解析度，提供更高精確的資訊以掌握天氣變化，將可有效提升對能見度變化的天氣瞭解與掌握。

參考文獻

- 黃清順，“衛星資料在低雲與霧區偵測與分析”，碩士論文，國防大學中正理工學院應用物理研究所，桃園，2000。
- 王寶貫，“雲物理學”，渤海堂文化事業公司，台北，382 頁，民國八十五年。
- Anderson, R. K., Ashman, J. P., Bittner, F., Farr, G. R., Ferguson, E. W., Oliver, V. J. and Smith, A. H., 1973: "Application of

meteorological satellite data in analysis and forecasting.”*ESSA Tech. Report 51* (Washington, D. C., Air Weather Service).

Eyre, J. R., Bowncombe J. L. and Allam R. J., 1984 : ”Detection of fog at night using Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) imagery.” *Meteorological Magazine*, 113, 266 .

Gurka, J. J., 1978:”The Role of inward mixing in the dissipation of fog and stratus.” *Mon. Wea. Rev.*, 106, 1633.

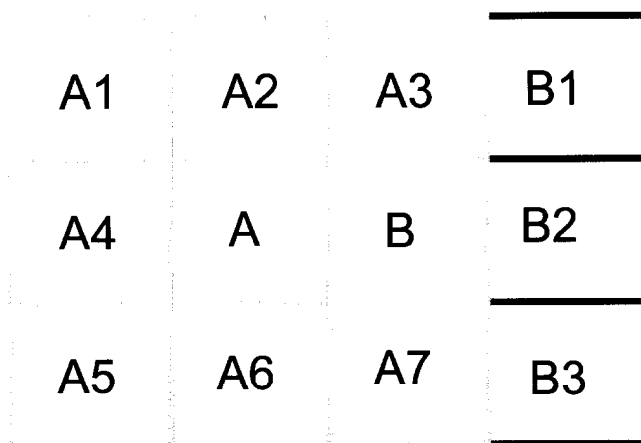
Gary P. Ellrod., 1995:Advances in the Detection and Analysis of Fog at Night Using GOES Multispectral Infrared Imagery. *Weather and Forecasting*: Vol. 10, No. 3, pp. 606–619.

Hunt, G. E., 1972:“ Radiative properties of terrestrial clouds at visible and infra-red thermal window wavelengths.” *Q. J. R. Met. Soc.*, 99, 346.

Parmenter, F. C., 1976:”Low-level moisture intrusion from infrared imagery.” *Mon. Wea. Rev.*, 104, 100.

S. Jeffrey Underwood, Gary P. Ellrod and Aaron L. Kuhnert.,2004:A Multiple-Case Analysis of Nocturnal Radiation-Fog Development in the Central Valley of California Utilizing the GOES Nighttime Fog Product. *Journal of Applied Meteorology*: Vol. 43, No. 2, pp. 297–311.

Turner, J., Allam R. J. and Maine D. R.,1986:”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*, 115, 285.



$$A = (A1 + A2 + A3 + A4 + A + B + A5 + A6 + A7) / 9$$

$$B = (A2 + A3 + B1 + A + B + B2 + A6 + A7 + B3) / 9$$

圖 1 3*3 格點資料平滑處理示意圖。

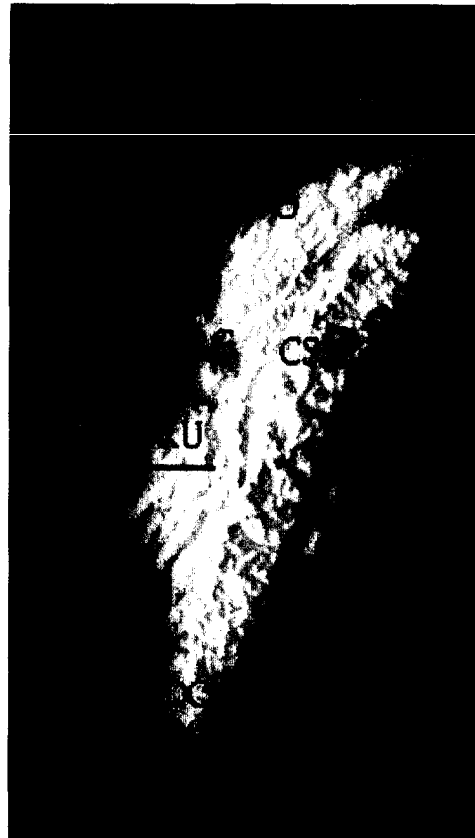


圖 2 2005 年 02 月 14 日 1800UTC 西部機場地面測站整點能見度。

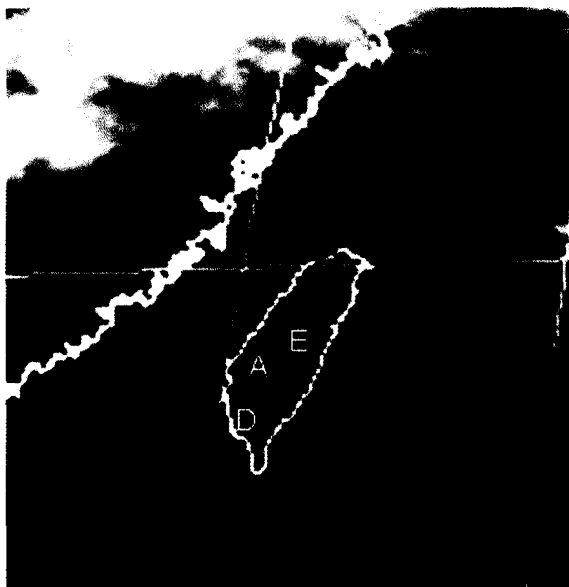


圖 3 2005 年 02 月 14 日 1800UTC
11.2 μm 地球同步衛星紅外線雲圖。

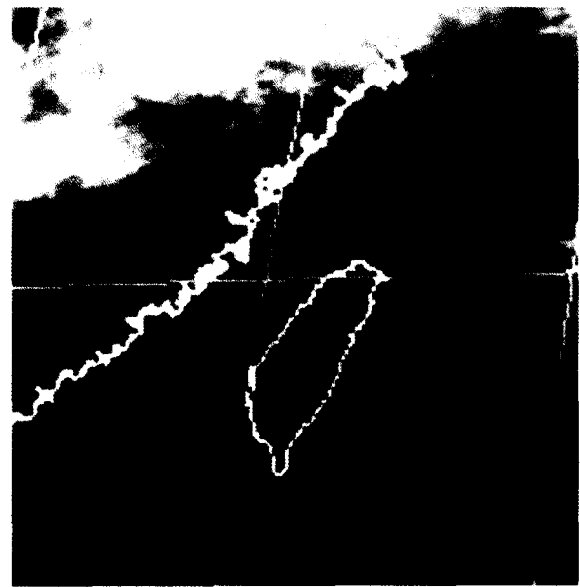


圖 4 2005 年 02 月 14 日 1800UTC
3.7 μm 地球同步衛星紅外線雲圖。

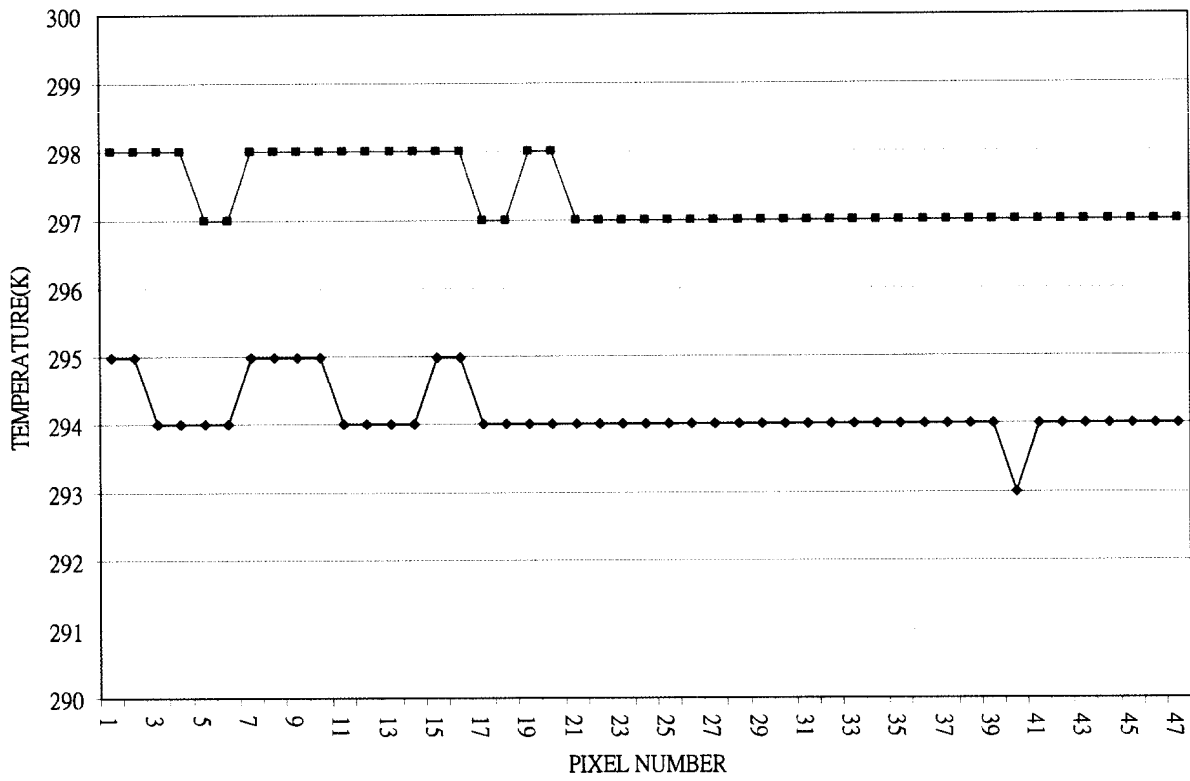


圖 5 為沿著圖 3 B-C 之 CH12 ($3.7\ \mu\text{m}$, 方形點) 與 CH8 ($11.2\ \mu\text{m}$, 菱形點) 紅外線亮度溫度差折線圖。

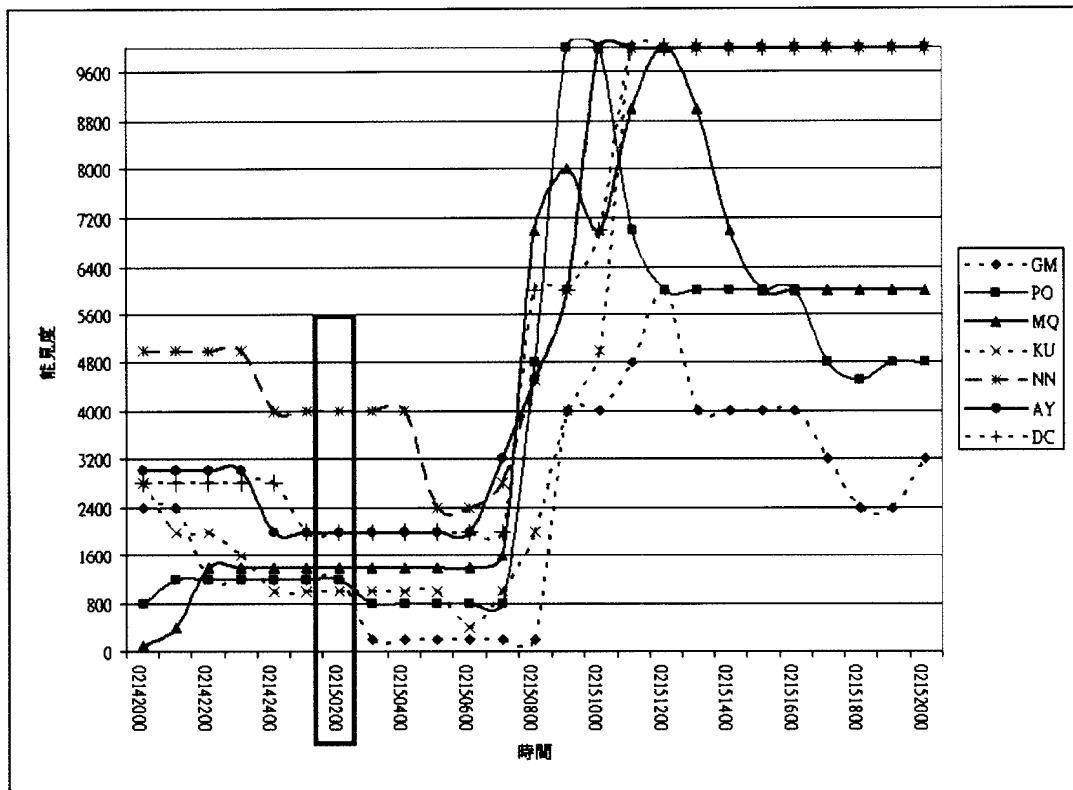


圖 6 2005 年 02 月 14 日 2000LST 至 15 日 2000LST 西部機場地面觀測站能見度變化曲線圖

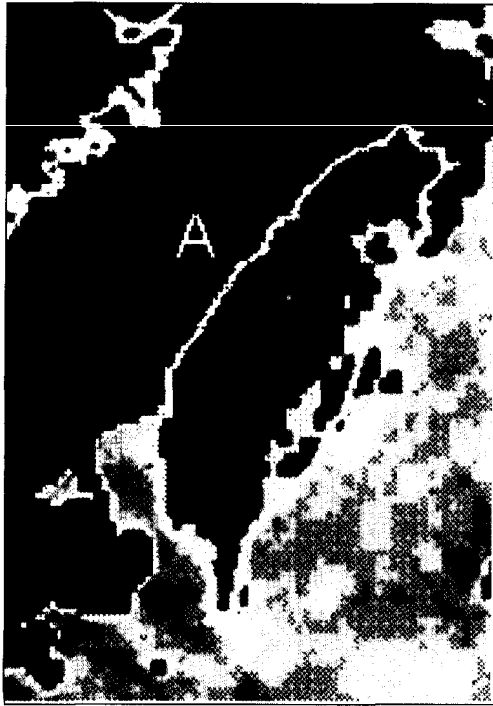


圖 7 2005年02月14日1800UTC
3.7 μm 與11.2 μm 紅外線
亮度溫度差衛星影像圖。

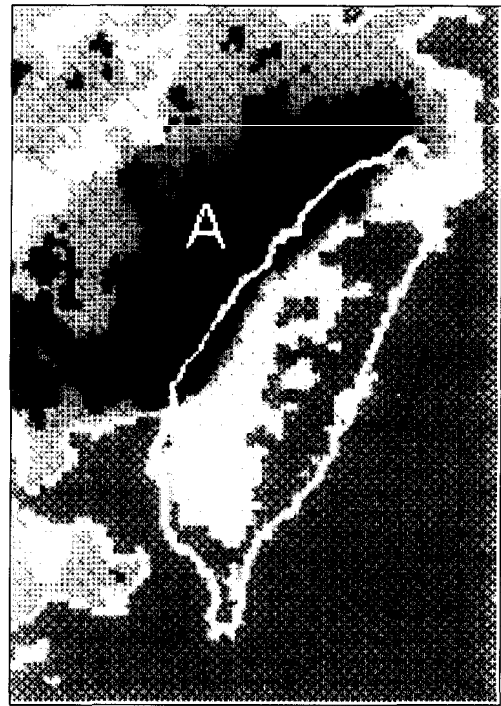


圖 8 2005年02月14日1800UTC
3.7 μm 與11.2 μm 紅外線亮
度溫度差經強化後之衛星影像圖。

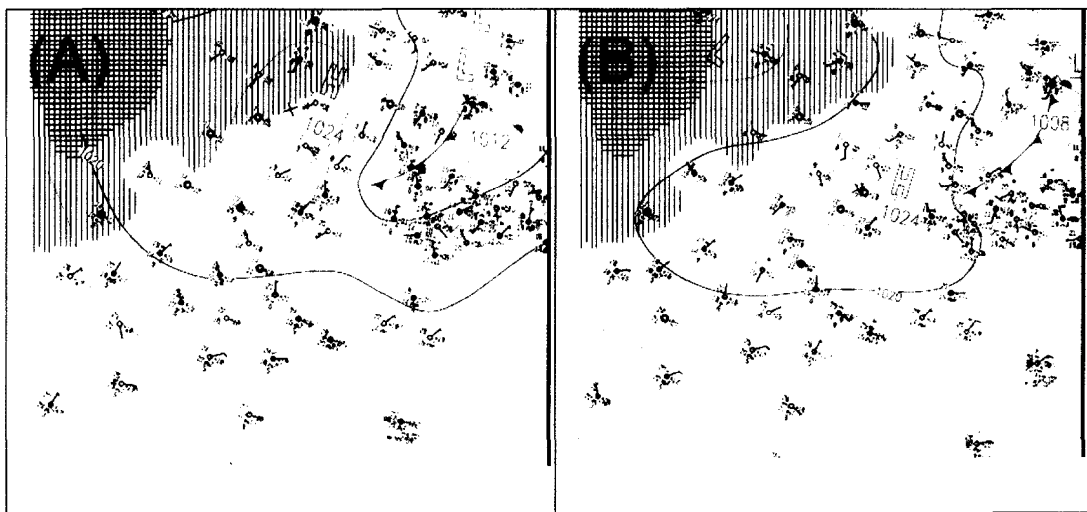


圖 9 分別為(A)2004年11月05日1200UTC地面天氣圖
(B)2004年11月06日0000UTC地面天氣圖。

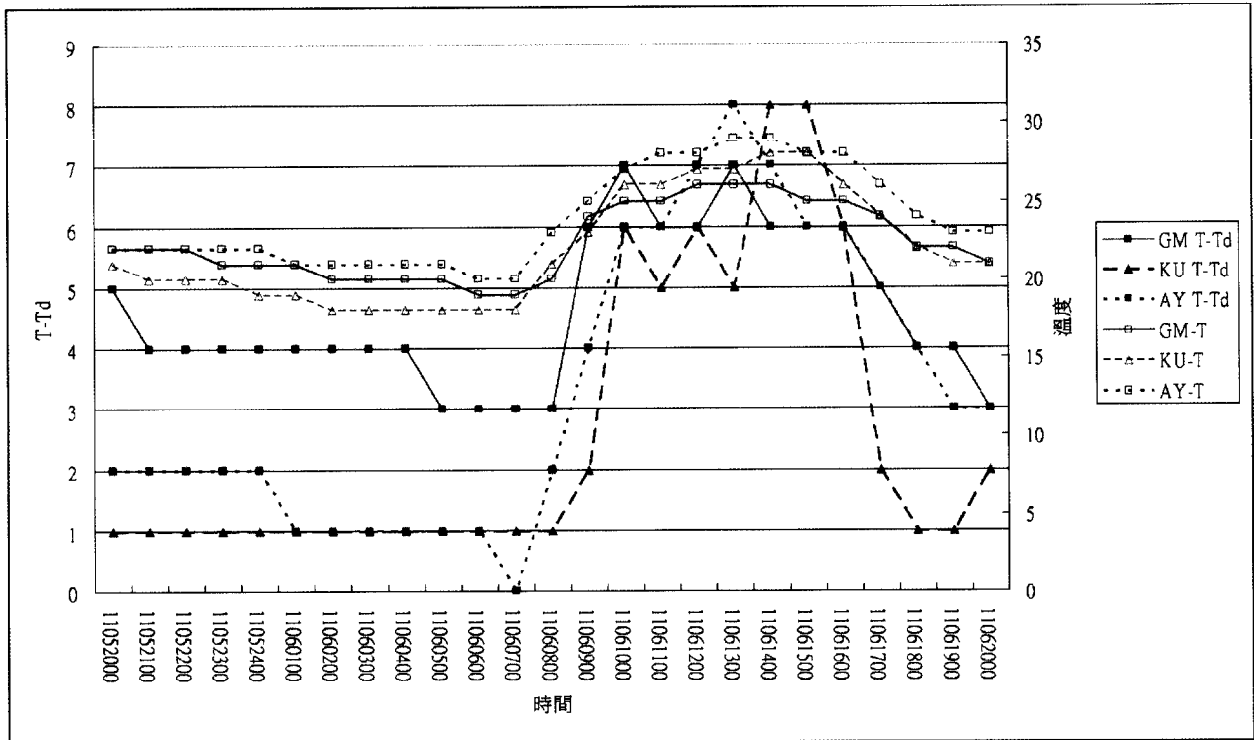


圖 10 2004 年 11 月 05 日 2000LST 至 06 日 2000LST 分別代表台灣北、中及南部地區之桃園、嘉義及岡山機場地面溫度及溫度露點差觀測資料時序折線圖。

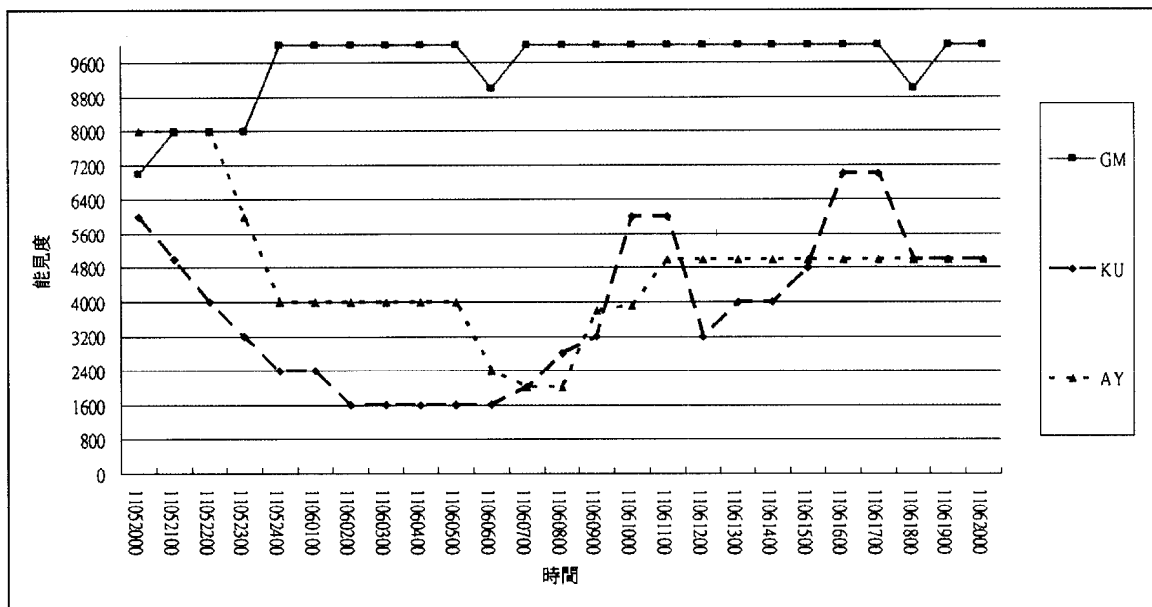


圖 11 同圖 10 之能見度變化時序折線圖。

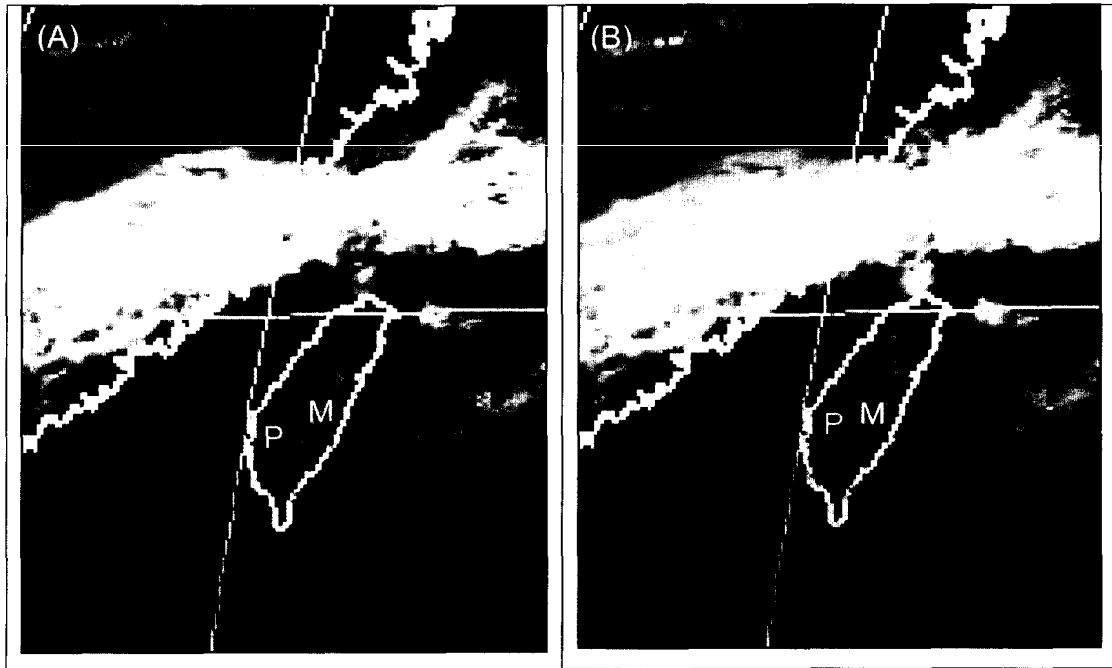


圖 12 2004 年 11 月 05 日 1900UTC
 (A) 3.7 μm (B) (11.2 μm) 地球同步衛星紅外線雲圖。



圖 13 2004 年 11 月 05 日 1900UTC
 3.7 μm 與 11.2 μm 紅外線亮度溫度
 差經強化後之衛星影像圖。

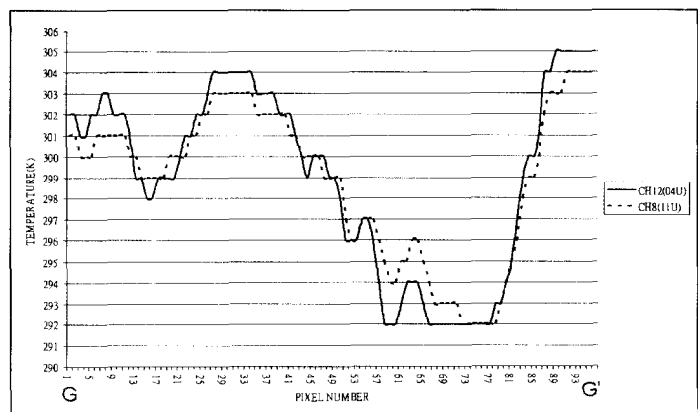


圖 14 沿著圖 13 G-G' 之 CH12 (3.7 μm, 實線) 與 CH8 (11.2 μm, 虛線) 紅外線亮度溫度差折線圖。