

衛星資料應用於夏季午後熱對流之初步分析

葉南慶¹

呂冠毅²

一般學科部軍事氣象系¹ 軍事學科部戰航管氣象組²
空軍航空技術學院

摘 要

夏季午後熱對流的發展除伴隨雷雨胞出現的雷擊閃電外，瞬間的強降水經常造成人民生命財產的損失，因此，準確預測午後熱對流的發生與否，對於民生有著高度相關，也是刻不容緩的議題；午後熱對流的發展與否跟當時大氣的熱力狀況與大氣穩定度息息相關，傳統上氣象預報人員利用每日探空氣球所觀測的溫、溼度剖面來求得大氣穩定度，作為分析預報天氣的參考，然而，探空氣球在資料量、涵蓋面積及資料即時性明顯不足。

本研究利用衛星觀測的高空間及時間解析度，以及衛星資料反演溫、溼剖面技術，將現行6個探空測站測得的點資料轉變為面資料，此外衛星掃描臺灣地區的時間較探空氣球作業時間更接近午後熱對流發生時間，故使用衛星資料可以改善探空氣球在資料量、涵蓋面積及資料即時性的不足。

藉由蒐集近年臺灣各探空測站資料，在經過資料品質管控後，與衛星通過探空測站所測得的資料進行匹配，以分析衛星觀測的系統性誤差後，利用迴歸分析校正衛星反演之溫、溼剖面，並計算各種大氣穩定指數，與真實天氣狀況驗證，找出最適合臺灣地區午後熱對流的穩定指數，最後配合水氣資訊，找出各熱力指數在臺灣地區發生午後熱對流的閾值，並以實際個案驗證測試其實用性。

關鍵字：夏季午後熱對流、探空氣球、衛星反演溫溼剖面、大氣穩定指數

一、前言

台灣位處亞熱帶，四面環海，地形海拔高度變化大，山脈以北北東—南南西方向縱貫其中，造就顯著的海陸分布與複雜之地形環境條件，反應在天氣變化上，便產生多變的樣貌，在夏季除受颱風及梅雨所帶來的強降水外，就屬午後對流為較常發生的天氣現象，除伴隨雷雨胞出現的雷擊閃電外集中在小範圍的，瞬間的強降水，常為地勢較低區域帶來不同程度的積水情形，因此夏季午後降雨所造成的生命財產損失雖不及梅雨鋒面或颱風所帶來的豪大雨，不過同樣造成交通、農作物、地質災害與人民生命財產的損失。因此，準確預測午後熱對流的發生與否，對於民生有著高度相關，也是刻不容緩的議題；而大氣的垂直熱力結構是對流發展的重要因子之一 Gentry(1950)；Frank and Smith(1968)，尤以中對流層的溼度(700~500hpa)是對流發升與否及其強弱的重要原因Burpee (1979)，而深對流發生初期，最重要的是行星邊界層中熱和溼度的改變 Sanders and

Blanchard(1993)，此外，大氣環境之溫溼度增加、自由對流層(Level of Free Convection, LFC)的高度降低及可用位能(Convective Available Potential Energy, CAPE)增加都是有利對流的發展Blanchard(1993)，因此，午後熱對流的發展與否跟當時大氣的熱力狀況與大氣穩定度息息相關，傳統上氣象預報人員利用每日探空氣球所觀測的溫、溼度剖面來求得大氣穩定度，作為分析預報天氣的參考，然而，探空氣球在資料量、涵蓋面積及資料即時性明顯不足，大多數大氣剖面的溫度探測資料係藉由氣象探空氣球取得，並在特定地點於每日00 UTC及12 UTC施放兩次，相較於台灣地區午後對流發生的時間而言資料的實用性與準確性明顯無法應付區域預報之需求。

為改善對於午後對流系統於區域預報的精確度，利用衛星觀測的高空間及時間解析度，以及衛星所搭載的紅外線之輻射強度觀測儀對大氣垂直溫、溼剖面反演技術，將可改善現行6個探空測站的資料量不足，此外，繞極軌道衛星掃描臺灣地區的時間較探空氣球作業時間更接近午後熱對流發生時間，因此藉由氣象衛星反演的大氣垂直溫、溼剖面資料所得之大

氣穩定指數，在時間及空間解析度上將可有效改善探空氣球在資料量、涵蓋面積及資料即時性的不足。

二、資料收集與處理

本研究測試大氣垂直溫、溼剖面反演所採用之低軌道氣象衛星將選用高光譜紅外線垂直探測儀 (Atmospheric InfraRed Sounder; AIRS) 的輻射強度觀測數據。AIRS 為 NASA Aqua 衛星上之一種科學酬載觀測儀器，擁有 2378 個頻道，主要於下列紅外線波段：3.74-4.61 μm 、6.20-8.22 μm 與 8.8-15.4 μm (Chahine *et al.*, 2006)。AIRS 觀測的水平解析度於星下點約為 13.5 公里，其反演之多種雲物理參數、大氣熱力參數等，不僅可監測即時天氣現象，亦能透過資料同化方式，對未來天氣進行預報，也兼具對氣候議題之各項協助 (Li *et al.*, 2005a; Li *et al.*, 2005b; Weisz *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012)。

本研究初步蒐集 2014 年 7 月 1 日至 2014 年 9 月 30 日板橋、馬公、花蓮、屏東等 4 探空測站資料，經過資料品質管控後，與衛星通過探空測站附近所測得的資料進行匹配，以分析衛星觀測的系統性誤差後，利用迴歸分析校正衛星反演之溫、溼剖面，並計算各種大氣穩定指數，與真實天氣狀況驗證，找出最適合臺灣地區午後熱對流的穩定指數，最後配合水氣資訊，找出各熱力指數在臺灣地區發生午後熱對流的閾值。

另外本研究著重於午後熱對流所發展出來的對流系統，所以我們希望在午前的天氣能保持晴空(無對流雲系)，因此依據 Henry and David (1994) 研究午後熱對流所使用的樣本為上午天空雲覆蓋量 50% 作為分界，且在利用紅外線之輻射強度觀測對大氣垂直溫溼度反演，易受限於雲分布的影響；晴空區域之大氣溫溼度垂直剖面反演，可較雲區準確。因此，使用 AIRS 的輻射強度觀測來反演大氣垂直溫溼度分佈，於溫度部分之均方根誤差 (root-mean-square error; RMSE) 可達每公里厚度層 1K 以下，相對溼度之 RMSE 可達每 2 公里厚度層 15% 以內的高品質反演成效 (Divakarla *et al.*, 2006)。

在傳統區域預報實務上有諸多判斷大氣穩定度與評估午後對流發生與否的校驗指數，近年來對流性

雷雨之預報及研究常使用包括 K 指數 (K Index)、TT 指數 (Total Totals Index)。

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700})$$

$$TTI = (T_{850} - T_{500}) + (Td_{850} - T_{500})$$

依據林 (1975) 研究指出，K 值和 TTI 指數與對流雷雨之生成極有關聯。因此本研究使用這兩種大氣穩定指數來分析、判斷對流生成與發展。

K 指數代表雷雨發生的潛勢大小，其數值分別為 850 至 500 hpa 的溫度遞減率、850 hpa 露點及 700 hpa 的飽和程度三者之關係，故當 700 hpa 的空氣越接近飽和狀態，較空氣不飽和狀態而言，更容易有對流的產生，所以當 700 hpa 的溫度露點差大時 ($T_{700} - Td_{700}$ 大)，環境較不適合對流發展，K 指數數值小，反之則 K 指數數值大，其用來預報雷雨指標如表一。

表 1. K 指數與雷雨發生機率對照表

(來源：<http://www.srh.noaa.gov/ffc/?n=gloss2>)

K 值	雷雨發生機率
<15	0%
15-20	<20%
21-25	20-40%
26-30	40-60%
31-35	60-80%
36-40	80-90%
>40	>90%

總指數包含垂直指數 (vertical Total, VT) $T_{850} - T_{500}$ 為 850 至 500 hpa 的溫度遞減率和交差指數 (Cross Total, CT) $Td_{850} - T_{500}$ 包含 850 hpa 的水氣資訊，如果 VT 為 40 就相當接近 850 至 500 hpa 的乾絕熱線，因此 VT 一般都遠小於 40，當 VT 接近 26 或大於 26，則表示在不考慮水氣的情況下，大氣穩定度將足以發展成雷雨，而 CT 大於或等於 18 時即意味有可能有對流生成，而將這兩者合併起來在預報對流雷雨上即顯得更為重要。一般而言，TTI 低於 40-45 是沒有或很少雷暴活動的指標，而值超過 55 則是相當惡劣的天氣指標，但其發生的雷雨閾值常會隨著地點改變而改變。

三、個案探討

(一) 時間解析度

本研究為減少雲層對衛星反演輻射值之影響，且衛星通過臺灣上空時間大約為0530 UTC，因此，個案需選擇無雲之天空，故本研究選取個案為104年7月2日與7月27日兩日，並比較屏東(測站代碼: 46750)探空及衛星所計算之K指數與總指數之關係；由表2可發現以屏東探空資料而言7月2日無論是K指數或總指數之值均較27日為高，但由圖1紅外線衛星雲圖顯示7月2日在屏東地區並無午後對流發生，相反的7月27日屏東探空資料顯示其K指數或總指數之值均較2日為低，由圖2紅外線衛星雲圖顯示7月27日在屏東地區確發生了午後對流，顯示探空演算之穩定指數不足以準確預報午後熱對流；另檢視衛星所反演的K指數與總指數確可發現7月27日之值均較7月2日為高，與午後熱對流的發生與理論較為吻合。進一步探討觀測時間與發生午後對流之時間，衛星觀測之時間更接近對流發生時間。

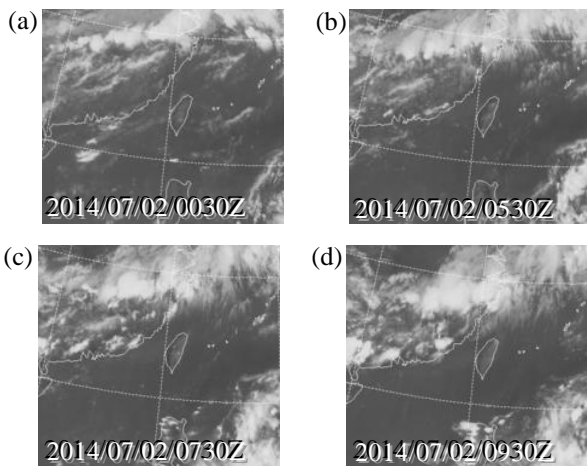


圖1. 104年7月2日紅外線衛星雲圖

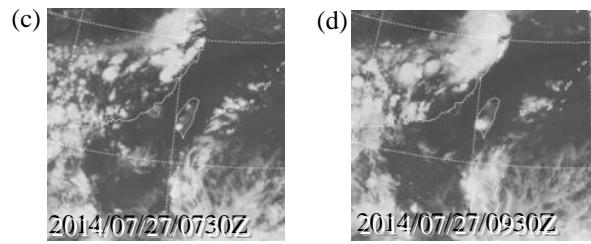
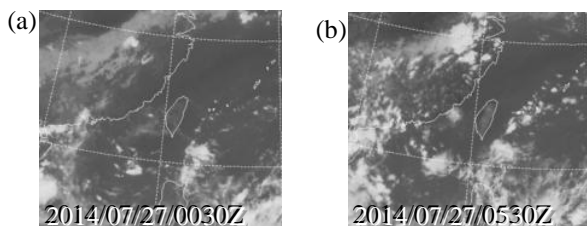


圖2. 104年7月27日紅外線衛星雲圖

表2.探空與衛星K指數與總指數比較表

日期	觀測源	KI	TTI	雷雨
07/02	探空	29	45.3	無
	衛星	15.4	29.5	
07/27	探空	27.2	41.7	有
	衛星	16.6	32.2	

(二)空間解析度

臺灣地區探空測站在分布上本島僅板橋、花蓮及屏東等三站，離島部分則有馬公及綠島，若排除外島及無固定施放之測站，全島可供使用之測站僅五處，對於小區域預報而言其資料量略顯不足，以前述個案中7月27日於高屏地區發生午後對流而言，南部地區之區域預報依屏東測站之穩定指數判斷，南部地區均為有午後雷雨之機率，但由表3至表5為當日下午之觀測資料可見恆春地區並未如屏東發生午後對流，因此如能藉由衛星資料在空間分布上的特點，將有效改善區域預報之準確率，如圖2所示AIRS L2資料在空間解析度雖然僅50Km，但確能改善現有測站分布無法有效支援區域預報之情況。

表3. 7月27日屏東機場逐時觀測資料

時間	風向	風速	雲量	天氣	雨量	溫度
1200	340	2.6	5	多雲	0	33
1300	310	3.1	4	晴	0	34
1400	320	2.6	4	晴	0	34
1500	230	5.1	7	雷雨	2.5	27
1600	250	4.1	7	雷雨	3.2	27
1700	240	2.1	7	陣雨	0.3	27

表4. 7月27日中央氣象局高雄測站逐時觀測資料

時間	風向	風速	雲量	天氣	雨量	溫度
1200	300	3.7	-	陰	0	31.6
1300	300	4	-	陰	0	32.5
1400	310	4.1	9	雷暴	0	30.9
1500	310	3.6	-	雷暴	0.5	29.6
1600	010	2.7	-	雷暴	2.5	27.3
1700	320	2.8	4	雷暴	3	28.5

表5. 7月27日中央氣象局恆春測站逐時觀測資料

時間	風向	風速	雲量	天氣	雨量	溫度
1200	060	3.6	3	晴	0	32.6
1300	030	4	3	晴	0	32.7
1400	040	3.5	3	晴	0	32.6
1500	020	4.5	3	晴	0	32.1
1600	030	2.9	2	晴	0	31.7
1700	050	2.7	2	晴	0	31.3



圖2 AIRS L2資料空間分布(解析度50X50Km)

四、結論

本文期望藉由衛星觀測資料反演之數據來改善夏季午後熱對流之預報，初步利用衛星資料彌補現行高空大氣觀測資料的不足，但由於衛星反演之資料如需應用於實務面上，尚需分析衛星觀測的系統性誤差後，利用迴歸分析校正衛星反演之溫、溼剖面，因此，本研究未來將計算各種大氣穩定指數，與真實天氣狀況驗證，找出最適合臺灣地區午後熱對流的穩定指數，最後配合水氣資訊，找出各熱力指數在臺灣地區發生午後熱對流的閾值，並以實際個案驗證測試其實用性。

致謝

感謝國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心提供「大氣水文研究資料庫」服務，使本研究得以順利進行。

參考文獻

Burpee, R. W., 1979: Peninsula-scale convergence in the South Florida sea breeze. *Mon. Wea. Rev.*, 107, 852–860.

Chahine, M. T., and co-authors(2006), AIRS: Improving weather forecasting and providing new data on greenhouse gases, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 87, 911–926.

Divakarla, M. G., C. D. Barnett, M. D. Goldberg, L.M. McMillin, E. Maddy, W. Wolf, L. Zhou, and X. Liu (2006), Validation of Atmospheric Infrared Sounder temperature and water vapor retrievals with matched radiosonde measurements and forecasts. *J. Geophys. Res.*, 111, D09S15, doi:10.1029/2005JD006116.

Gentry, R. C., 1950 : Forecasting local showers in Florida during the summer. *Mon. Wea. Rev.*, 78, 41-49.

Henry E. F. and G. B. David, 1994 : The Preconvective Environment of Summer Thunderstorms over the Florida Panhandle. *Weather and Forecasting*, 9, 316-326.

Li, J., C. Y. Liu, H.-L. Huang, T. J. Schmit, W.P. Menzel, and J. Gurka (2005a), Optimal cloud-clearing for AIRS radiances using MODIS. *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing.*, 43, 1266-1278. doi:10.1109/TGRS.2005.847795

Li, J., H.-L. Huang, C.-Y. Liu, P. Yang, T. J. Schmit et al., (2005b), Retrieval of cloud microphysical properties from MODIS and AIRS. *J. Appl. Meteorol.*, 44, 1526-1543.

Li, J., J. Li, J. Otkin, T. J. Schmit, C.-Y. Liu (2011), Warning Information in a Preconvection Environment from the Geostationary Advanced Infrared Sounding System -A Simulation Study Using the IHOP Case, *JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY*, 50, 776-783, doi:10.1175/2010JAMC2441.1

Li, J., C.-Y. Liu, P. Zhang, and T. J. Schmit (2012), Applications of Full Spatial Resolution Space-Based Advanced Infrared Soundings in the Preconvection Environment. *nglint*,

Liu, C.-Y., G.-R. Liu, T.-H. Lin, C.-C. Liu, H. Ren, and C.-C. Young (2014), Using surface station to

improve sounding retrievals from hyperspectral infrared instruments. *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing.*, 52, 6957-6963,doi:10.1109/TGRS.214.2305992

Frank, N. L., and D. L. Smith, 1968 : On the correlation of radar echoes over Florida with various meteorological parameters. *J. Appl. Meteor.*, 7, 712-714

Sanders, F., and D. O. Blanchard, 1993: The origin of a severe thunderstorm in Kansas on 10 May 1985. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 133–149.

Weisz, E., J. Li, W. P. Menzel, A. Heidinger, B. H. Kahn, and C.-Y. Liu (2007), Comparison of AIRS, MODIS, CloudSat and CALIPSO cloud top height retrievals, *Geophysical Research Letters*, **34**, L17811, doi:10.1029/2007GL030676