

精進空軍機場於午後對流預報之前兆分析

呂冠毅¹ 潘宜輝¹ 葉南慶²

¹國防大學空軍指揮參謀學院

²空軍航空技術學院一般學科部軍事氣象系

摘要

夏季午後熱對流的發展經常影響著國軍的各項演訓任務，其中，尤以軍機的起降安全有著極大的關聯，因此，準確預測午後熱對流的發生與否，對於軍事任務的遂行有著高度相關，亦是刻不容緩的議題。由於午後熱對流的發展與否與大氣的熱力狀態息息相關，現行作業上預報人員藉由前天晚上 20 時及當日早上 08 時所施放的探空氣球求得大氣穩定度，並作為預報的依據，然而，探空氣球在資料量、涵蓋面積及資料即時性確明顯不足。

本研究應用衛星觀測在空間及時間解析度上的特性，利用 NASA Aqua 衛星搭載之高光譜紅外線垂直探測儀(Atmospheric InfraRed Sounder; AIRS)反演溫、溼剖面技術，將現行 4 個探空測站所測得點的資料轉變為面的資料，此外，藉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的特點，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。

藉個案初步利用衛星資料彌補現行高空大氣觀測資料的不足，並以 AIRS 反演之溫、溼度與探空資料進行大氣穩定指數計算，經驗證實際天氣後，顯示 AIRS 反演之大氣穩定指數能提升預報之精確度，未來期望找出最適合臺灣地區午後熱對流的大氣穩定指數，並配合水氣資料，找出各穩定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以提供氣象部隊於午後對流預報之參考。

關鍵字：夏季午後熱對流、衛星觀測、大氣穩定指數、AIRS

一、前言

在軍事上氣象預測是極為重要的一環，無論在孫子兵法始計篇中提到的兵者五事中的「天者，陰陽寒暑時制也」，或是戰史中雙方將領在用兵的過程中，常有風、雨、雲、霧、酷寒、溼熱…等自然現象干擾著軍事行動，甚至造成決定戰爭勝敗的關鍵因素，因此，指揮官稍有不察，均可能在未遭遇敵人前，即初嘗敗績，甚或招致徹底失敗。而隨著文明與科學的進步，對氣象知識的了解越深入與先進的科學儀器輔助使得氣象預測進入了另一個層

次，但仍然有許多人力所不及的部分，尤其是在我們所生活的臺灣，由於地理環境的特殊性使得天氣的預測變的更加的不易，因此，在軍事運用上氣象預測的準確性遠比民生需求更加嚴格，雖然新一代兵力的整建上武器科技的進步，但在遂行軍事演訓時仍然受到氣象因素的左右，尤其是臺灣在夏季較常發生的午後熱對流的發展，除伴隨雷雨胞出現的雷擊閃電，對於國軍各軍、兵種的運動往往造成不便，如雷雨發生時所有通信及雷達等裝備未避免遭受雷擊必須進行關機程序，影響所及便是造成部隊行動的停滯或是取消，此外集

中在小範圍的瞬間強降雨，除造成地勢較低區域帶來不同程度的積水情形外，其衍生的低能見度亦影響動力機具的操作，因此，準確預測午後熱對流的發生與否，對於軍事任務的遂行有著高度相關。

而大氣的垂直熱力結構是對流發展的重要因素之一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00UTC及12UTC施放兩次，相較於臺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，以及衛星所搭載的可見光與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個探空測站測得的點資料轉變為面資料，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，且具有頻譜解析度為之高光譜觀測，已證實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)。

本研究所設計之實驗，蒐集2014年7月1日至2014年9月30日之時間範圍，板橋、馬公、花蓮、屏東等四測站之傳統探空測站資料，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。

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，且在利用可見光與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)、TTI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500hpa的溫度遞減率、850hpa露點及700hpa的飽和程度三者之關係，故當700hpa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700hpa的溫度露點差大時(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2-1。

表2-1 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)為850至500hpa的溫度遞減率和交差指數(Cross Total, CT)包含850hpa的水氣資訊，如果VT為40就相當接近850至500hpa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

3.1時間解析度

本研究為減少雲層對衛星反演輻射值之影響另衛星通過臺灣上空時間為0530Z前後，因此在個案選擇上需為天空狀況良好之天氣，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(46750)探空及衛星所計算之K指數與總指數之關係；由表2-2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2-1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2-2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與午後對流之關係呈現負相關；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，與午後對流之關係呈現正相關。深究兩者之關係在於兩者觀測時間與發生午後對流之時間，在時間解析度上衛星觀測之時間較接近對流發生時間。

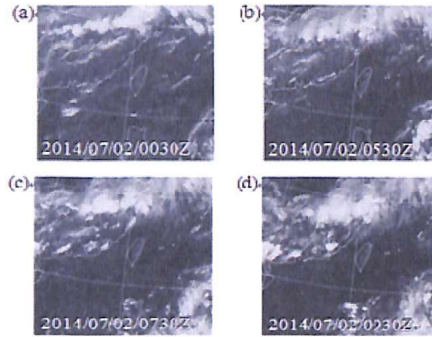


圖 2-1 104 年 7 月 2 日紅外線衛星雲圖

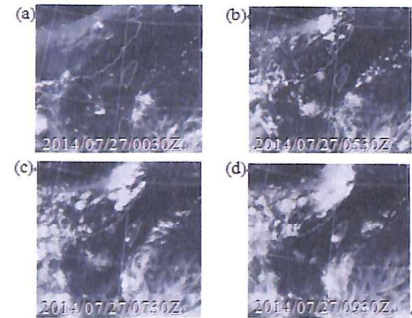


圖 2-2 104 年 7 月 27 日紅外線衛星雲圖

表 2-2 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	

3.2 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 2-3 至表 2-5 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 2-3 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 2-3 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 2-4 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 2-5 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 2-3 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，由於衛星反演之資料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，找出最適台臺灣地區於夏季午後熱對流的穩定指數，並配合水氣資料，找出各熱力指數於發生午後熱對流的閾值，並以實際個案驗證與測試其實用性，以提供氣象部隊於午後對流預報之參考。

致謝

感謝國家實驗研究院臺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。

五、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. Barnet, 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, *Int. J. Remote Sensing*, 33, 1155-1170.

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.2014.2305992

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

Summer Afternoon Thunderstorm Omen Of Analysis Under Air Force Airport Forecast

Lu Guan-Yi¹ Pan Yi-Hui¹ Yeh Nan-Ching²

¹ Air command and staff College of N.D.U.

² Department Of Military Meteorology Engineering, Air Force Institute of Technology, Taiwan

ABSTRACT

Development of summer afternoon thunderstorm often affects of military tasks. In particular, have a great impact on the military aircraft security of conventional take-off and landing. Therefore, accurate prediction afternoon thunderstorm occurs or not, to carry out military tasks with a high degree of correlation. Afternoon thunderstorm is closely linked with the atmospheric environment. Current forecasts job using radiosondes, but radiosondes in the amount of data, real-time data, covering and indeed obviously inadequate.

In this study, observation satellites in space and time resolution characteristics. Use NASA Aqua satellite carrying Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) retrieval temperature and humidity. The existing four data radiosonde stations measured points into a surface profile. The use of satellite data to improve in the amount of data, covering the area and real-time data.

Cases by the use of satellite data to make up for the current lack of upper atmospheric observations. AIRS retrieval of temperature and humidity with the radiosonde data of the atmospheric stability index calculation. Display AIRS retrieval of atmospheric stability index can improve the accuracy of forecasts.

keyword: Summer afternoon thunderstorm · Satellite observations · Atmospheric Infrared Sounder · atmospheric stability index