

# 夏季西南氣流對氣象雷達觀測影響之個案研究

陳啓南<sup>1</sup> 朱昌敏<sup>2</sup> 呂芳川<sup>2</sup> 陳文定<sup>3</sup>

<sup>1</sup>國防大學中正理工學院國科所 <sup>2</sup>南榮技術學院資工系 <sup>3</sup>海軍大氣海洋局

## 摘要

本研究針對 2003 年 7 月 3 日五分山雷達回波異常個案，採用 WRF 模式進行大氣導管特性研究，輸入 NCAR FNL 1 度網格分析場資料，於台灣鄰近區域分別採用 45、15、5 公里網格對大氣環境進行分析，並探討雷達回波異常發生原因。模擬結果顯示：雷達站附近水氣增多，修正折射指數垂直梯度變大，而形成大氣導管（陷捕）現象。夜間因高壓迴流引進南方暖濕的水氣，且受台灣地形效應影響，致使低層水氣分別沿中央山脈東側斜坡與西側之台灣海峽，向台灣北部輸送。同時，雷達站東側水氣到達的時間較西側早。另外，台灣西側向北輸送的水氣平行於台灣海峽，致使該異常回波得以維持數小時之久。在導管特性模擬方面，雷達站東南側出現回波期間(070307Z - 070312Z)，由於地面導管高度約 21 公尺已超過雷達高度，所以雷達波應很快到達 20 公里外之海上，且進入高度約 230 公尺之導管層而形成回波。而雷達站西北側因 50 公里內均為陸地，雷達波到達地面，所以未形成回波。異常回波於雷達站西北方停留期間(070314Z - 070401Z)，五分山為超折射，台灣西北部空中導管高度變化介於 230 到 522 公尺之間，厚度變化為 185 到 350 公尺，強度則介於 4.7 到 11.2M-unit 之間。而東南側導管高度僅 230 公尺，故未對雷達波產生影響。整體而言，數值模式具有解析大氣折射現象的能力。

## 一、前言

台灣地區位於副熱帶地區又為海陸交接帶，天氣演變多樣化，大氣環境場與大陸型標準大氣有顯著差異，而大氣環境特徵與導管特性關係密切，進而影響雷達偵測效能。由中央氣象局 2003 年 7 月 3 日雷達降水回波合成圖顯示，7 月 3 日 07Z (15L) 起於台北五分山雷達站東南側海面出現降水回波，隨時間演進，降水回波由雷達站東南向西北方向移動，7 月 3 日 14 至 14Z (22L) 於台灣西北隅，距五分山雷達站 100-180 公里停留，高度 2000-8000 公尺間，降水回波強度達 45 dbz，此狀況持續至 7 月 4 日 06Z (14L)。該時間台灣地區屬於太平洋高壓脊籠罩天氣型態，由衛星雲圖、地面雨量站當日累積雨量、TRMM PR 資料分析得知，台灣北部地區晴朗薄雲，大氣中無明顯水氣聚積，由此推論當時氣象雷達因受到大氣折射影響，電磁波向下傳播到達海面形成假回波現象，以上圖未示，可參閱陳等(2005)。

大氣中，微波及厘米波長的電磁波傳播是受空氣折射指數梯度的影響，折射指數  $n$  因為非常接近 1，可以用大氣壓力、水氣壓力及溫度計算得到  $N$  (Bean and Dutton 1968)。該公式為：

$$N = (n - 1) \times 10^6 = \frac{77.6}{T} \left( p + \frac{4810e}{T} \right) \quad (1)$$

其中  $T$  (K) 空氣溫度， $p$  (hPa) 大氣壓力， $e$  (hPa) 水氣壓力，適用於無線電頻率 1 至 100 GHz 之間，修正折射率  $M$  是將地球曲率半徑代入計算，其與無線電折射率  $N$  的關係為

$$M = N + r_e / 10^6 \approx N + 0.157 z \quad (2)$$

其中  $r_e$  地球半徑， $z$  高度(公尺)

Patterson et al. (1994) 依據修正折射率在垂直方向的梯度變化，將折射狀況分為次折射 (Sub-refractive,  $dM/dH > 157 \text{ M km}^{-1}$ )、正常 (Standard,  $79 < dM/dH \leq 157 \text{ M km}^{-1}$ )、超折射 (Super-refractive,  $0 < dM/dH \leq 79 \text{ M km}^{-1}$ ) 及陷捕 (Trap,  $dM/dH \leq 0 \text{ M km}^{-1}$ ) 等四類。Babin et al. (1997) 根據導管發生的位置不同，利用  $M$  在垂直方向的梯度變化，將大氣導管分為六類，如圖 1 所示。

在低對流層，電磁波的非標準折射將影響雷達或無線電訊號傳播，導致其路徑曲率會大於地球表面曲率，電磁波會在導管層中遭到陷捕，而在水平面上傳播，由於雷達降雨量估計的發展，若不了解非正常傳播的影響，將導致預報的錯誤 (Moszkowicz et al. 1994)，Borsum (1995) 描述的個案，因非正常傳播的影響，導致從 2400 公尺的高山回波，誤認為 11000 公尺高度的雷雨胞，其徑向風場高達 18 m/s。

Turton et al. (1988) 提出五種天氣型態會產生大氣導管現象：(1) 洋面上的蒸發 (2) 反氣旋沉降 (3) 鋒面沉降 (4) 夜間地表輻射冷卻及 (5) 平流。其中之反氣旋沉降與太平洋高壓環流天氣型態有相同之處。Babin et al. (1997) 認為夏季期間之導管發展高

度通常較高，但也因地理位置、季節及日夜變化而有所差異。大氣導管的出現會造成雷達洞或通訊死角，對目標物位置產生誤判(Brooks et. al. 1999)。

Atkinson et al. (2001)利用模式探討波斯灣之海洋邊界層內(MIBL, Marine Internal Boundary Layer)，導管在強、弱風條件下的演變。模式對於導管發生、位置與地面狀況均有不錯的表現，但對導管厚度及強度的預報方面，稍嫌不足。Zhu and Atkinson (2005)利用MM5模式，對波斯灣之大氣折射氣候特性進行模擬與統計，認為大氣折射會受到海陸地域、季節及日夜變化所影響。

Haack et al.(2001)利用美國海軍COAMPS (Coupled Ocean-Atmosphere Mesoscale Prediction System)模式，對夏季期間加州海岸地區，海陸邊界層大氣折射狀況進行模擬與預報。其模擬結果顯示出模式是有能力掌握地面導管82%的正確預報率與15%的誤報率。但是，模式也顯示出海陸邊界層高度過低及導管強度過弱等現象。

由於五分山雷達回波異常期間，並非台灣地區探空觀測時段，且雷達回波主要出現於海面，為進一步了解雷達異常回波形成原因，本研究採用WRF模式進行大氣環境研究，重建個案發生期間可能之大氣環境，對大氣導管特性進行分析，並探討雷達回波異常發生原因。

## 二、資料分析與研究方法

### (一)天氣概述

根據2003年7月3日12Z之地面天氣分析圖，北方的滯留鋒面系統，位於北緯32度以北，離台灣甚遠且對台灣天氣影響不大。此時，太平洋副熱帶高壓西伸的等壓線1012 mb相交於台灣東部，屬於高壓迴流的天氣型態。地面風場以東南風和南風為主。於7月4日00Z時，副熱帶高壓西伸的等壓線1012 mb已東退約兩個經度。南風風場向量雖涵蓋整個台灣，但仍是高壓迴流的天氣型態。850 hPa等壓面上於3日12Z在台灣東部海域之1530 m等高線也於4日00Z時東退約三個經度。在台灣地區的風速有增強的趨勢，風向由原有的西南風轉為南南西風。另外，3日12Z在台灣海峽之700 hPa 3180 m等高線，也於4日00Z時東退四個經度，風速同樣有增強的趨勢，風向由原有的南風轉為東南風。由板橋探空資料來看，3日12Z時在800 hPa以上空氣很乾燥，925 hPa以下為下沉增溫，地面相對溼度較小。在4日00Z時925 hPa以下低層大氣之水氣較前12小時多，800 hPa以上之大氣也較前12小時潮濕(以上圖均未示，可參閱陳等(2005))。

### (二)雷達資料分析

以回波狀況明顯之7月3日19Z為例，在仰角0.5及1.5度中，海峽北部顯示有回波存在，回波最大強度達 45 dBZ，如圖2所示。圖中0.5度仰角的回波位置較偏北方，而1.5度仰角的回波較偏南方且較寬。由於五分山雷達掃描策略之故，下一個仰角為2.4度，僅有少量回波。由AB與AC之垂直剖面分析來看(圖未示)，AB之回波發展高度較高，約2000-8000公尺。其回波長軸方向約與北台灣西岸平行，距雷達站約120至170公里。至於AC之回波發展高度較低，約2000-6000公尺，距雷達站約100至120公里，若由圖2之強回波推估，該天氣系統的垂直發展高度應超過對流層頂。因此，在仰角2.4度時仍應有顯著回波出現，更何況該強降水回波之維持時間長達6小時之久。

### (三)模式參數設定

採用巢狀結構分別為45、15及5Km，為有效掌握近地層水氣變化狀況，垂直解析度設定35層，其中加密近地面 $\sigma=0.999, 0.995, 0.990$ ，高度約4、26、65公尺，主要嘗試了解雷達所在位置折射率變化狀況，1500m以下約17層。微物理參數mp\_physics=4(WSM 5-class scheme)、5Km以上積雲參數cu\_physic=1(YSU scheme)，5Km以下則不採用，改以非靜力模式模擬。積分時間為2003070300~2003070412Z，積分間隔分別為90、30、10秒。

## 三、實驗結果討論

圖3為五分山地面之折射率、溫度、溼度與氣壓之垂直梯度時序圖。其中，左側刻度為氣壓梯度( $\text{mb m}^{-1}$ )及折射率梯度( $\text{N-Unit m}^{-1}$ )，右側則為溫度梯度( $^{\circ}\text{C m}^{-1}$ )及水氣壓梯度( $\text{mb m}^{-1}$ )。折射率梯度介於-0.0853至-0.4406 N-unit之間、壓力梯度介於-0.1112到-0.1079  $\text{mb m}^{-1}$ 之間、溫度梯度介於0.0719至-0.0545  $^{\circ}\text{C m}^{-1}$ 之間與水氣梯度介於-0.0418至-0.438  $\text{mb m}^{-1}$ 之間。由各曲線的變動特徵來看，水氣與折射率梯度關係密切，水氣梯度對折射率梯度的影響最大，其權重約為4.1。其中，溫度權重約為-1.58、壓力權重約為0.26。

異常回波之行進方向，是由雷達站之東南方向西北方移動。亦即，雷達站東南側的回波較雷達站西北側的回波早出現。此外，雷達站西北側的回波與台灣海峽平行且維持6小時之久。藉由圖4之2003年7月3日09和18Z地面相當位溫及風場演變圖說明個案發生期間水氣的變化情形。隨著太平洋副熱帶高壓的迴流，引進西南氣流，中央山脈東側吹南風，外海處則為東南風或南風。山脈西側與台灣海峽則以西南風為主。這樣的風場分布已顯示出，南方暖濕的水氣受地形阻擋，而沿著東部山坡向北輸送。09Z時，暖濕

空氣移動至雷達站東南側及外海處。風場的分布顯示出山脈東側吹東南風，它與西側風場不同，代表著水氣有受地形阻擋平流至五分山附近。這就是為什麼在雷達站東南側先出現回波的原因。此時台灣西側海面雖有水氣，但仍距離雷達站有100公里以上，不會產生折射現象。此後，台灣海峽吹西南風且一直持續數小時不變，海峽水氣與風場分布近似維持不變，直到21Z後水氣才逐漸減少，此處僅顯示18Z水氣分布，如圖4b所示。由以上說明可以了解，東西側回波出現時間不同，是受到水氣輸送的時間先後差異所造成的。

在導管特性模擬方面，雷達站東南側出現回波期間(070307Z - 070312Z)，陷捕層高度約21公尺，強度約3 M-unit，且導管強度逐漸減弱，由於地面導管已超過雷達高度，且雷達站東南側為持續下坡之山區，所以雷達波應很快到達距離20公里之海面，進入海面上約230公尺高度之陷捕層而形成回波。而雷達站西北側因五十公里內均為陸地，雷達波到達地面，所以未形成回波。異常回波於雷達站西北方停留期間(070314Z - 070401Z)，五分山為超折射，台灣西北部海面存在有蒸發導管，空中導管高度變化介於230到522公尺之間，厚度變化為185到350公尺，強度則介於4.7到11.2M-unit之間。而東南側導管高度僅230公尺，故未對雷達波產生影響(如圖5)。整體而言，數值模式具有解析大氣折射現象的能力。

#### 四、結語與未來研究方向

本研究針對氣象雷達實際異常回波觀測個案進行探討，採用數值氣象模式建立個案發生期間之大氣環境，在模式輸出結果與天氣圖及氣象觀測資料校驗無誤後，利用輸出結果進行造成大氣折射因素進行探討，由分析過程及研究成果可以獲致以下結論：

1. 由於受到地形影響，台灣東西側水氣到達時間不同，導管位置及高度亦不相同，異常回波出現時間亦有先後時間差距。
2. 雷達站西北側長時間之異常回波，乃是因為水氣受到環境西南風及西風影響，水氣持續往台灣方向吹送所導致，且由於環境風場到達大陸武夷山區後，因氣流向西流至台灣海峽時，有偏南甚至西北之分量，所以水氣持續在台灣海峽北部累積，進而形成導管層。因此，大氣折射狀況隨著天氣型態而改變，氣象雷達必須考慮折射效應，方能獲致精確、有用之資訊。
3. 夏季高壓迴流引進西南氣流，水氣變化確實對五分山雷達站觀測結果產生影響，故對雷

達資料之應用，必須考量大氣折射所造成之效應。

4. 從雷達觀測資料與 WRF 模擬所得結果之探討分析中，可以了解到大氣折射效應之時間、高度及位置變化情形，可以合理解釋異常回波出現原因，整體而言，數值模式具有解析大氣折射現象的能力。

由於天氣型態、地形影響等科學問題，導致雷達波異常達數小時之久，本文僅論述水氣及風場對大氣折射效應之影響，而造成異常回波所隱含之氣象變化、大氣環境等問題仍需要深入探討：

1. 本次個案探討異常回波發生之原因，有效的掌握了大氣環境變化狀況；惟台灣地區地理環境及地形結構複雜，模擬所得導管地面強度偏強，導管高度偏低等現象，仍有待進一步分析與調整。
2. 個案模擬中，由折射效應平面分布狀況可以發現，台灣東南部、西南部陸地與鄰近海面，及北部海面幾乎均為正常折射狀況，其中地形及環境流場應為主要影響因素，值得在日後模式模擬中，針對上述特定區域進行更高解析度之分析與探討。
3. 為更有效掌握台灣地區大氣折射效應，可針對大氣導管個案蒐整分析，進行台灣地區氣候特性統計，與建立預報機制立，以提供雷達網架設之參考，及雷達守視人員對觀測資料之確認，並可成為日後觀測實驗之參考。
4. 由模擬結果可以了解，數值模式有能力掌握大氣導管特性及演變過程，但必強調的是，電磁波傳播仍受如地形、能量衰減等因素所影響。而五分山雷達波是否真如數值模擬及本研究之推論，電磁波直接到達海面，或經過先接觸地面後再到達海面，仍需進一步探討與分析。

#### 五、參考資料

- Bean, B. R., and E. J. Dutton, *Radio Meteorology*, 1966 : US Dept. of Commerce, NBS Mono. 92 pp.431.
- Patterson, W. L, C. P. Hattan, G. E. Lindem, R. A. Paulus, H. V. Hitney, K. D. Anderson, A. E. Barrios, 1994 : Engineer's Refractive Effect Prediction System (EREPS) Version 3.0,
- Babin, Steven M., George S. Young, and James A. Carton, 1997: "A New Model of Oceanic Evaporation Duct," *American Meteorological Society*, Vol.36, pp.1 .TD2648, NRAD, U.S. Navy, May
- Borsum, D. L., 1995: Doppler dilemma delineates danger from dirt. National Weather Service

Western Region Tech. Attachment 95-07, 7 pp.  
 Brooks, M. I., A. K. Goroch, D. P. Rogers, 1999:  
 Observations of Strong Surface Radar Ducts  
 over the Persian Gulf, *Journal of Applied  
 Meteorology*, Vol.38, September 1999,  
 1293-1310

Moszkowicz, S., G. J. Ciach, and W. F. Krajewski,  
 1994: Statistical detection of anomalous  
 propagation in radar reflectivity patterns. *J.  
 Atmos. Oceanic Technol.*, **11**, 1026-1034.

Turton, J. D., D. A. Bennetts, and S. F. G. Farmer,  
 "An introduction to radio ducting.," *Meteor.  
 Mag.* **117**, 245-254., 1988.

Atkinson, B. W., J.-G. Li, and R. S. Plant, 2001:  
 Numerical Modeling of the Propagation  
 Environment in the Atmospheric Boundary  
 Layer over the Persian Gulf, *Journal of Applied  
 Meteorology*, Vol. 40, 586-603

Haack, T. and S. D. Burk, 2001: Summertime  
 Marine Refractivity Conditions along Coastal  
 California, *J. Appl. Meteor.* **40**, 673-687.

Zhu, M. and B. W. Atkinson, 2005: Simulated  
 Climatology of Atmospheric Ducts over the  
 Persian Gulf, *Boundary-Layer Meteorology*  
 (2005) **115**: 433-452

陳啓南、朱昌敏、呂芳川、陳文定，2005：WRF  
 模式於大氣導管現象之研究，天氣分析與預  
 報研討會，167-173

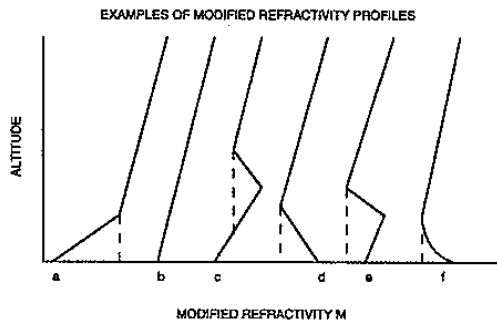


圖 1. 各種導管類型修正折射指數垂直剖面圖  
 (摘自 Babin et al. 1997)

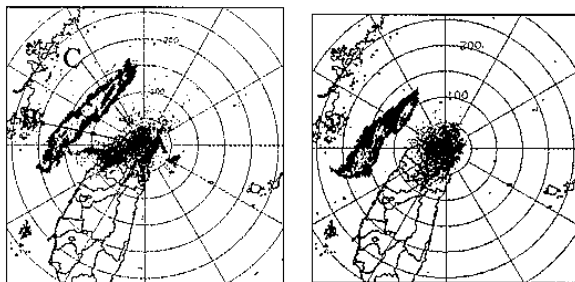


圖 2. 2003070319Z 五分山雷達回波圖，分析角度  
 左圖為 0.5 度，右圖為 1.5 度。

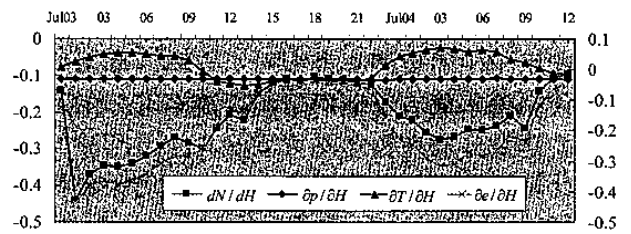


圖 3 五分山之折射率、溫度、溼度與氣壓之垂直  
 梯度時序圖

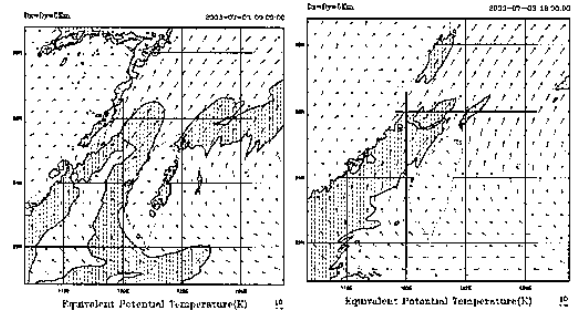


圖 4. 相當位溫及地面風場圖，左圖為 070309Z，  
 右圖為 19Z，紅色圈表雷達站，陰影區為相  
 當位溫 352-354 K

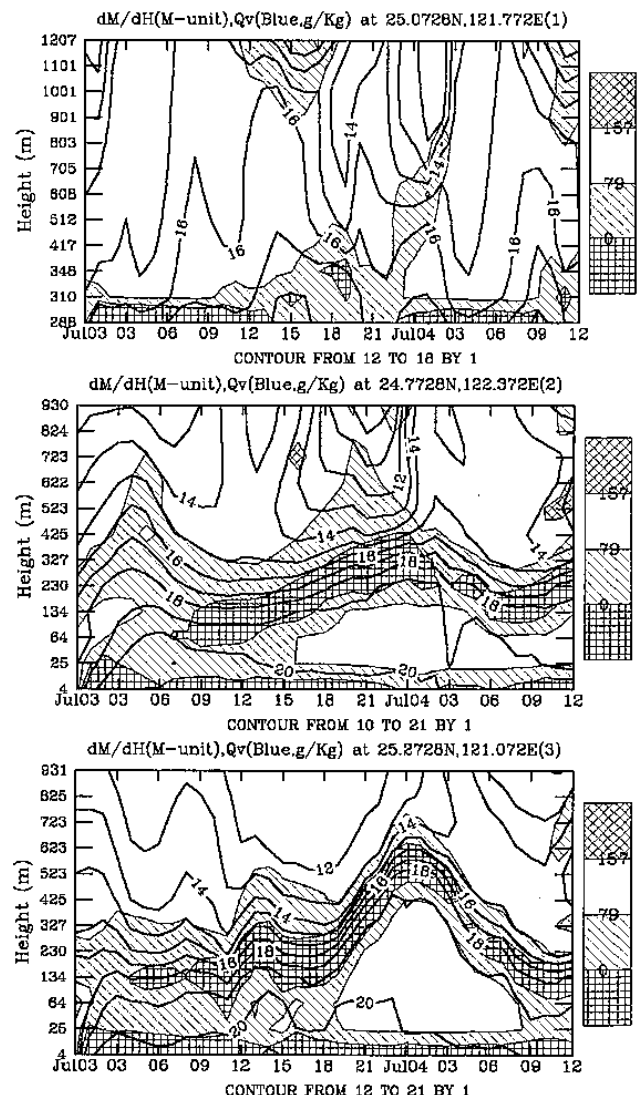


圖 5. 2003 年 7 月 3 日 00Z-7 月 4 日 12Z 大氣折  
 射效應及水氣時間演變圖，上圖為雷達站、  
 中圖為雷達站東南方海面、下圖則為西北方  
 海面