

大氣導管伴隨梅雨鋒面的個案研究

朱昌敏¹ 陳啓南² 呂芳川¹ 汪建良³

¹南榮技術學院資工系 ²陸軍官校 ³國防大學環境資訊及工程學系

摘要

利用WRF模式探討2007年5月6日梅雨鋒面經過台灣時大氣導管之特性。6日凌晨自動雨量觀測系統在苗栗、新竹地區有大範圍之降水且3小時超過50mm。然而，當時之雷達回波資料並沒有顯示出強回波值，但衛星雲圖顯示有鋒面雲帶經過該區。初步研判這種差異可能與大氣導管特性有關。

模式之初始場取自NCAR FNL 1度網格全球分析場，並以台灣區域為中心採用45、15、5公里之巢狀網格。模擬結果顯示：五分山雷達站在鋒前有顯著的低空導管、超折射與地面導管層存在，鋒後則多為超折射與地面導管層。花蓮雷達站在鋒前與鋒後之低空不時有次折射層存在，而地面有超折射與導管層存在。七股雷達站在鋒面前後則以地面次折射層為主。墾丁雷達站在鋒面前後都處在地面超折射與導管層內，其維持的時間最長約36小時以上。此外，雷達站所在位置出現的大氣折射效應是不同的。

關鍵字：大氣導管、超折射、次折射

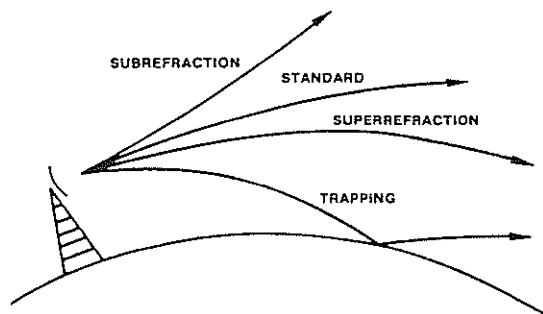
一、前言

台灣的地理位置在太平洋西側，隔著台灣海峽與中國大陸的東南方相鄰。又因四面環海且有高聳的中央山脈呈南北走向，使台灣天氣具有多變性的特徵。由於伴隨春末夏初梅雨季所帶來之豪雨常是台灣地區嚴重的災變天氣之一，氣象界與一般社會大眾都非常關切此氣象問題(陳與沈，1996)。近年來發展之短期定量降雨估計即時預警系統，即是藉由短時間之雷達觀測與應用，提供降水回波的即時觀測資料，(丘與陳，2003)，以降低豪雨所帶來的災損及提早採取應變的措施機制。然而，在雷達的觀測應用上並不是都能掌握所有的天氣系統，它是有局限性的。周與李(2000)針對五分山雷達之各種非天氣回波型態進行分類，他們認為非天氣回波有(1)地形雜波、(2)海面回波、(3)非正常傳播、(4)干擾回波及(5)不明回波等五種類型。其中，第三類型之非正常傳播則為大氣折射效應之影響。這一類型的回波深受大氣的溫度、壓力及水蒸氣壓的影響，它會隨時間與空間的變化，產生不同等級的大氣折射效應，(Patterson et al. 1994、戚 2001)。例如，鋒面前後天氣系統的差異會造成溫度、壓力及水蒸氣壓在垂直剖面上的改變，進而影響雷達波的傳播路徑。

電磁波在大氣環境中的傳播路徑，根據Patterson et al. (1994)之理論將電磁波在大氣中的折射現象分成四類：亦即正常折射($79 < dM/dH \leq 157 \text{ M km}^{-1}$)、次折射($dM/dH > 157 \text{ M km}^{-1}$)、超折射($0 < dM/dH \leq 79 \text{ M km}^{-1}$)和陷捕($dM/dH \leq 0 \text{ M km}^{-1}$)。其中， dM/dH 為修正折射率在垂直方向的梯度變化。當大氣環境處於超折射與陷捕時，雷達電磁波將會

提早向地表彎曲，無法依原先正常折射那樣到達預定的目標。在上述折射狀況下的傳播路徑可由圖 1 表示，Patterson et al. (1994)。它們的差異是藉由修正折射率在垂直方向的梯度變化來決定。隨著雷達降雨量估計技術的發展，若不了解大氣折射效應的影響，將導致預報的錯誤或是無法掌握，如Moszkowicz et al. (1994)所示。Borsum (1995)指出：因異常傳播現象導致 2400 公尺的高山回波訊號，在都卜勒雷達 3.5 度仰角以下，被誤認為一塊發展高度 11000 公尺、並以 18 m s^{-1} 的高速移動的雷雨雲。此外，朱等(2007a 和 b)亦提出大氣折射效應造成 2003 年 7 月 3 日在台灣海峽北部一個大範圍的異常回波。反之，若將此回波視為一個真實的天氣系統，則可能造成誤報率的提高且造成民眾的驚慌。所以，在雷達回波對降水預報應用的同時，應將大氣折射效應一併考量，才能做出最佳的判斷。

圖 1 電磁波傳播示意圖(摘自 Patterson et. al., 1994)



由於伴隨梅雨季之低空導管的生成環境與時間不易掌握，擬從數值模式進行環境場的重建。因此，在第二節的研究內容與方法中將說明我們使用的工具與資料。第三節之結果與討論將針對模擬結果進行討論。最後，總結將於最後一節說明。

二、研究內容與方法

依據中央氣象局 2007 年 5 月 4~7 日之紅外線衛星雲圖資料顯示：鋒面雲帶自 4 日晚上開始逐漸接近台灣本島，直到 7 日清晨才完全離開，這段間台灣地區伴隨有雷雨及豪雨之天氣出現。透過衛星與雷達回波觀測圖的分析以及全台自動雨量觀測系統的比較，發現在 6 日凌晨至中午 12 時這段期間台灣北部地區的雷達回波圖無法掌握苗栗與新竹交界處的降水系統。依據累積雨量圖的估計該區應有超過 50 毫米的強降水，然而，將近 12 小時的雷達回波圖卻沒有顯示有出超過 5dBZ 的回波。這足以影響極短期的天氣預報。造成這種異常的現象正是周與李 (2000) 提出的第三類型非正常傳播。

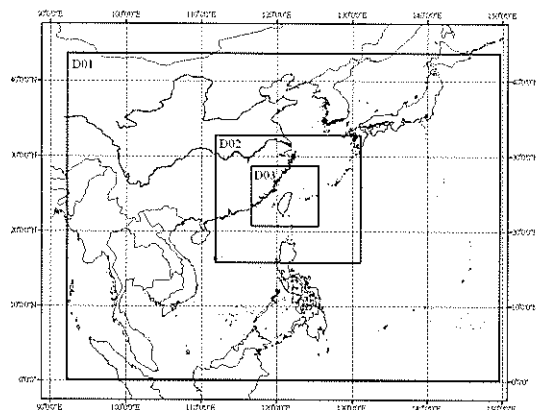


圖 2 模式之三重巢狀網格範圍

數值模式是採用美國國家大氣研究中心 (NCAR) 研發之 WRF V2.1.2 氣象模式，Skamarock et al. (2005)。模式的垂直座標是採用追隨地勢座標系統，僅固定上邊界壓力面為 50 mb。為了強化低層大氣的垂直解析能力，採用了垂直 35 層的實驗設計。1.5 公里高度以下約有 17 層。其中最靠近地表層離地面約 4 公尺高，其次離地面約 26 公尺，主要目的是要求得靠近雷達位置高度的大氣折射率垂直變化情形。地表模式採 Monin-Obukhov 參數法，邊界層是用 YSU 參數法。15 公里 (含) 以上網格解析度模擬採用靜力模組，同時使用 Kain-Fritsch (New Eta) 的積雲參數法計算水氣變數。15 公里以下的網格解析度模擬則採用非靜力模組，同時使用 WSM 5-Class 的雲微物理過程計算水相與冰相變數。為考量天氣尺度的概念，以三層巢狀網格設計，網格水平解析度分別為 45、15 與 5 公里，其相對應的範圍如圖 2 所示。此外，對於不同網格水平解析度，積分時間

分別為 90、30 與 10 秒。模擬的起始時間自 5 月 3 日 12 UTC 至 5 月 8 日 12 UTC，共積分 120 小時。模式採用 GFS 全球分析場，水平解析度為 1x1 經緯度，垂直有 28 層，時間間隔為 6 小時。

三、結果與討論

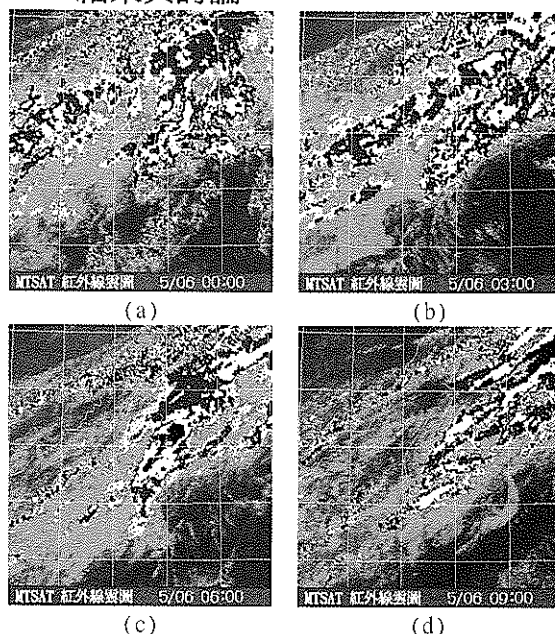


圖 3 2007 年 5 月 6 日色調強化之紅外線衛星雲圖：(a)0, (b)3, (c)6, (d)9 時

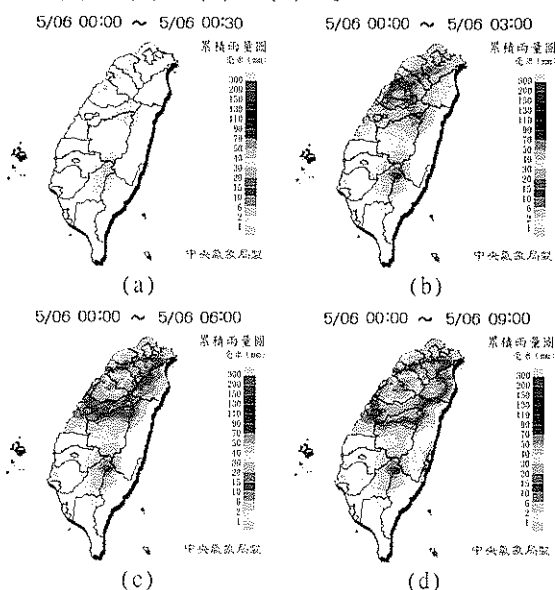


圖 4 2007 年 5 月 6 日累積雨量圖：(a)00:30, (b)03:00, (c)06:00, (d)09:00 時

2007年5月6日清晨,台灣仍處於鋒面雲帶中。透過每小時色調強化之紅外線衛星雲圖可知,於新竹苗栗交界處,鋒面雲帶中的小系統在凌晨1~2時開始發展且持續到上午9時才趨緩。圖3a~d為色調強化之紅外線衛星雲圖,但僅顯示0、3、6及9時之雲圖。相對時間的累積雨量圖可清楚看到在新竹苗栗交界處的雨量累積是相當的大,平均而言有超過50毫米,如圖4a~d之累積雨量圖所示。由圖4b和c可知,在這3小時內雨量遽增約50毫米左右,已達大雨的降水定義。

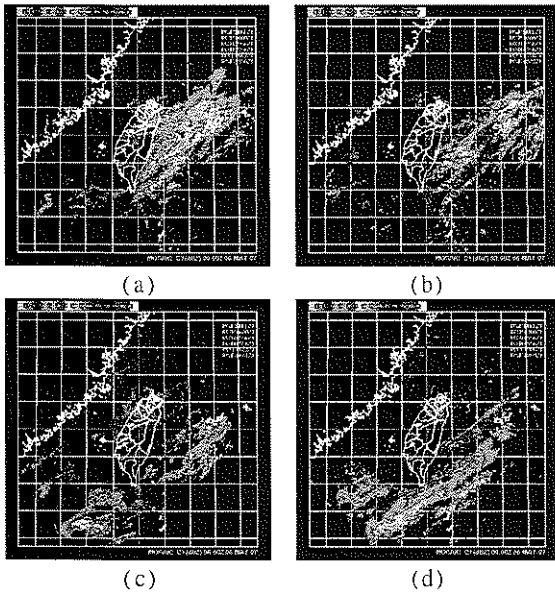


圖5 2007年5月6日雷達回波圖:(a)0,(b)3,(c)6,(d)9時

從雷達回波觀測圖的角度來看,在相對應的在新竹苗栗交界地區上空並沒有強回波的出現,如圖5a~d所示,無法提供短期預報之參考。從0~12時的回波強度值來看,北台灣的回波值均不超過5dBZ。值得注意的是在五分山雷達站四周都沒有強度超過5dBZ的回波,這樣的情況維持數小時之久。

就2007年5月6日0~12時(亦即5日16Z~6日04Z)這段期間的大氣折射效應的數值模擬來看,以五分山雷達站為例,如圖6所示。除了5日20、21及23Z的雷達站上空沒有模擬到之外,其餘時間還不錯。在5日16~19Z之間,模式的結果甚至顯示出雷達波被陷捕(導管現象)的狀況,亦即雷達無法正常觀測。其餘時間的結果為超折射現象,亦即雷達以較小的偏角向地表篤折。雖然沒有陷捕來的嚴重,仍會對雷達之觀測造成影響。由於5日00Z~6日12Z這36小時之間都是處於梅雨鋒面雲帶剛開始通過台灣,伴隨的天氣系統相當不穩定。根據模式的計算結果可知,大部分的時間都有受到陷捕與超

折射現象且多為近地層的折射,足以影響定量降水的估算。其中,在5日08~18Z這段期間即鋒面雲帶剛開始初期,有低空超折射層的出現且其厚度約為30公尺,即09~12Z。在12~18Z這段時間,超折射層與陷捕自地表向上延伸將近300公尺厚。

由水氣的垂直分布圖可知,09~12Z的低空有很明顯的水氣垂直梯度,這提供陷捕層的發展,與Patterson et al. (1994)的理論一致。此外,由圖6可知,折射層的向上抬昇與風的關係相當密切,風似乎扮演了位置出現的角色。若考量 dM/dH 、相對溼度、溫度與壓力的關係,可以發現 dM/dH 與相對溼度隨時間的變化是相近的,而與溫度、壓力的關係較不一致,如圖7所示。這樣的結果與理論是一致的。

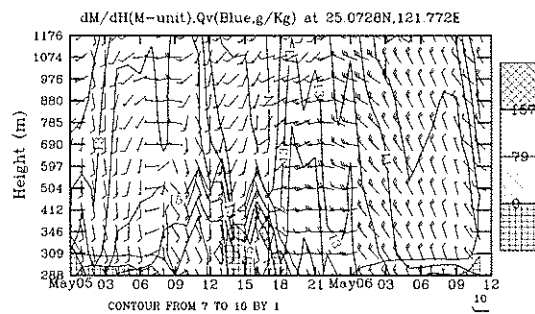


圖6 2007年5月5日00Z~6日12Z隨時間變化的大氣折射效應、水氣與垂直風場的垂直剖面分布圖,斜線區代表 dM/dH ;藍色實線代表水氣,單位為 gkg^{-1} ;風標代表風速與風向,標示如右下角,單位為kts;時間軸置於圖的下方。

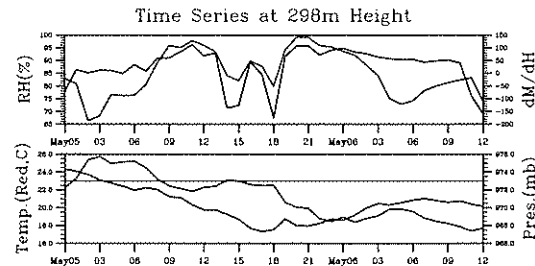


圖7 2007年5月5日00Z~6日12Z於模式298m高度上隨時間變化的 dM/dH 、相對溼度、溫度與壓力關係圖。 dM/dH 、水氣、溫度與壓力的標示在圖的左右兩側,時間軸置於圖的下方。

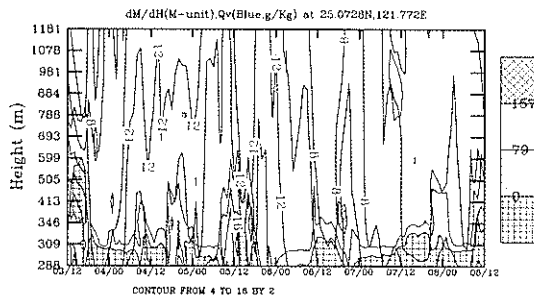
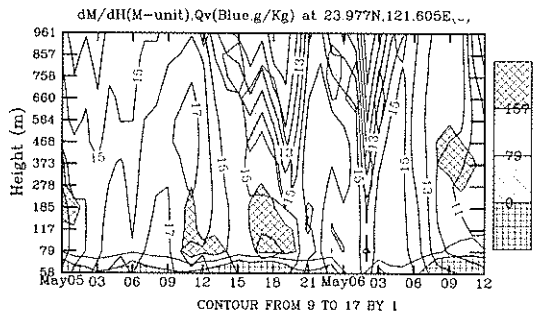
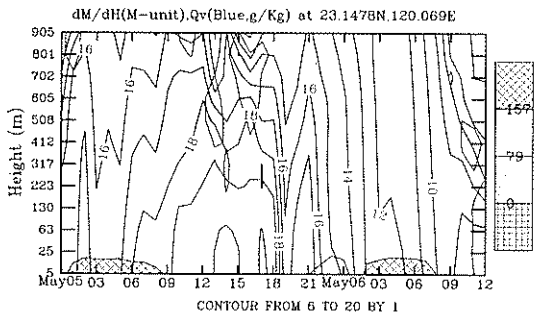


圖 8 2007 年 5 月 3 日 12Z~8 日 12Z 隨時間變化的大氣折射效應與水氣的垂直剖面分布圖，斜線區代表 dM/dH ；藍色實線代表水氣，單位為 gkg^{-1} ；時間軸置於圖的下方。

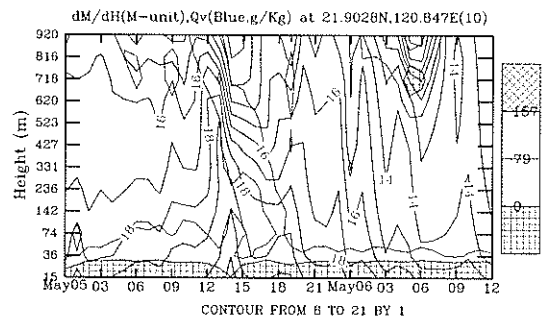
將時間尺度範圍加長(即從 5 月 3 日 12Z~8 日 12Z)，考量梅雨鋒面雲帶通過五分山雷達站時的大氣折射效應。由圖 8 可知，5 月 3 日 12~18Z 在雷達站上空 100 米處有導管層，且從雷達站地表向上延伸有 500 米厚的超折射層。若比對衛星雲圖則可發現上一波的鋒面雲帶正離開台灣本島。3 日 18Z~4 日 10Z 新一波鋒面雲帶已接近到本島，雷達站處於導管層中。4 日 12Z~5 日 00Z 鋒面雲帶籠罩全島，而雷達站亦處於導管層中。在 6 日 12~18Z 時，鋒面雲帶向東南移動且於 18Z 時雷達站上空無雲。6 日 18Z~7 日 00Z，鋒面雲帶逐漸離開本島，此時雷達站上空僅有超折射而沒有陷埔層。7 日 00Z~8 日 12Z，鋒面雲帶已離開本島，但雷達站仍處於陷埔層內無法正常運作。



(a)



(b)



(c)

圖 9 同圖 6，但無風標。(a)花蓮，(b)七股，(c)墾丁。

就 2007 年 5 月 5 日 00Z~6 日 12Z 這段期間，台灣其他雷達站的狀況又是如何呢？以中央氣象局所屬雷達站所在位置，來看相對應的模擬的結果。根據圖 9a~c 所示，花蓮與墾丁雷達站大部分時間都是處在導管層與超折射層內，雷達波很快就偏折至地表。而七股雷達站大部分的時間是處於次折射(雷達波向上偏折遠離地表)與正常情況，僅在 6 日 11Z 開始有超折射現象。整體而言，這段期間的雷達資料須作特別的處理，否則會影響定量降水預報的估算。

四、結論

本個案的選取正好位於一連串鋒面系統的中間個案，因此先前的天氣系統尚未完全脫離，下一個天氣系統緊接著過來。在這種情形下，導管層籠罩雷達站，致使多數時間的觀測值產生偏差。若要應用全島雷達站的觀測資料時，應審慎查核後再使用。

整體來看，五分山雷達站在鋒前有顯著的低空導管、超折射與地面導管層存在，鋒後則多為超折射與地面導管層存在，且導管出現的時間相當長。花蓮雷達站在鋒前與鋒後之低空不時有次折射層存在，而地面有超折射與導管層存在。七股雷達站在鋒面前後則以地面次折射層為主，沒有任何地面超折射與導管層出現。墾丁雷達站在鋒面前後都處在地面超折射與導管層內，其導管層較連續且維持的時間最長而有超過 36 小時以上。此外，雷達站所在位置出現的大氣折射效應是不同的。

參考文獻

- 陳泰然與沈里音，1996：台灣梅雨季海峽北部與鄰近地區線狀對流之環流條件，大氣科學，24，233-247。
- 丘台光與陳嘉榮，2003：短時預報系統產品校驗，天氣分析與預報研討會論文彙編，台灣台北，63-68。

- 朱昌敏、陳啓南、呂芳川、汪建良，2007：2003年7月3日台灣海峽北部異常回波之個案研究(一) 環境場分析，大氣科學，35，219-240。
- 朱昌敏、陳啓南、呂芳川、汪建良，2007：2003年7月3日台灣海峽北部異常回波之個案研究(二) 數值模擬，大氣科學，35，241-260。
- 周仲島、李文兆，2001：“台灣地區都卜勒雷達資料發展應用計畫(1)”，中央氣象局委託計畫，90頁。
- 戚啓勳，2001：大氣科學，再版，大中國圖書公司，台灣台北。
- Borsum, D. L., 1995: Doppler dilemma delineates danger from dirt, National Weather Service Western Region Tech. Attachment 95-07, 7 pp.
- Moszkowicz, S., G. J. Ciach, and W. F. Krajewski, 1994: Statistical detection of anomalous propagation in radar reflectivity patterns. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, Vol. 11, 1026 - 1034.
- Patterson, W. L., C. P. Hattan, G. E. Lindem, R. A. Paulus, H. V. Hitney, K. D. Anderson and A. E. Barrios 1994: *Engineer's Refractive Effects Prediction System (EREPS)*. Technical Document 2648
- Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang and J. G. Powers, 2005: *A Description of the Advanced Research WRF Version 2*, http://www.mmm.ucar.edu/wrf/users/docs/arw_v2.pdf

Case study on atmospheric duct associated with Mei-Yu Front

Chang-Min Chu¹, Chi-Nan Chen², Fang-Chuan Lu¹, Jian-Liang Wang³

¹Nan-Jeon Institute of Technology

²Military Academy

³National Defense University

Abstract

WRF model was used to investigate the atmospheric duct associated with the Mei-Yu Front during the period of 5 to 6 May 2007. Heavy rainfall was observed in the early morning on May 6 over the intersection of Hsinchu and Miaoli County and its accumulated rainfall within 3 hours was over 50 mm. The satellite images showed a big rainband covering the whole island but there was no radar echo over 5 dBZ in northern Taiwan. Such abnormal radar echo may be caused by the effects of atmospheric refraction.

Model's initial fields are adopted from NCAR global analysis data and nested domains are used in 45, 15, and 5 km grid boxes. Model results show some characteristics such as low-level duct, surface duct and super refraction in pre-front region and only surface ducting and super refraction in post-front region over Wufensan radar station. At Hualien radar station, a low-level sub-refraction, surface duct and super refraction can be found during this period. However, only surface sub-refraction occurs at Chigu radar station. At Kenting radar station, surface duct and super refraction exist during this period and last for more than 36 hours. Finally, the effects of atmospheric refraction are different depending on the location where the radar is.

Key word: Atmospheric duct, super refraction, sub-refraction