

WRF 模式於大氣導管現象之研究

陳啓南¹ 朱昌敏¹ 呂芳川² 陳文定³

¹ 國防大學中正理工學院 ² 南榮技術學院 ³ 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15、5、1.67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。研究過程中，以地理資訊系統為分析工具整合大氣環境資料，計算大氣折射率與顯示雷達射線軌跡，並以美軍AREPS軟體進行大氣導管計算驗證。

由WRF模式模擬結果顯示，此期台灣地區於太平洋高壓脊籠罩天氣型態下，因夜間高壓環流東退，外圍回流致使南方水氣北移，為台灣北部與台灣海峽低層帶來暖濕水氣，因五分山附近為相對乾熱空氣，造成大氣折射指數梯度變化大，乃為影響電磁波傳播主要因素，進而導致雷達異常回波。研究成果進而說明可藉由高解析度之模式預報資料，提供大氣折射指數分布狀況，俾利雷達守視人員採取相對因應策略。

關鍵字：WRF模式、AREPS、大氣導管、地理資訊系統

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(如圖1)，7月3日20時起於台灣北部山區出現降水回波，7月4日00時至06時於台灣西北隅距五分山雷達站100-180公里，高度2000-8000公尺間出現明顯降水回波(達45dBz、如圖2)，此狀況持續至7月4日14時，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(如圖3-5)分析得知，台灣北部地區晴朗薄雲，大氣中無明顯水氣聚積，由此可以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。

為進一步了解台北五分山氣象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，輸入NCAR FNL 1度網格分析場資料，於台灣鄰近區域分別採用15、5、1.67公里網格對大氣導管進行分析，並探討雷達回波異常發生原因。研究過程中，以美軍AREPS軟體進行大氣導管計算驗證，並以地理資訊系統為分析工具整合大氣環境資料，計算大氣折射率與顯示雷達射線軌跡。

二、大氣折射效應介紹

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，Debye (1929) 的理論已經用大氣壓力、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，修正折射指數 M 是將地球曲率半徑代入計算，其與無線電折射指數 N 的關係為

$$M = N + \frac{z}{10^{-6} r_e} \approx N + 0.157z \quad (2)$$

其中 r_e 地球半徑， z 高度(公尺)

依據折射指數垂直梯度又可將折射狀況分為次折射、正常、超折射及陷捕等四種(如表一)，非標準傳播機制電磁波傳播路徑如圖5.。根據(2)式，當 $dM/dh \leq 0$ (即 $dN/dh \leq -157 N/Km$) 時，由於電波射線之曲率將大於地球表面之曲率，電波將會向地球表面彎折而被陷捕(Trap)，即表示當我們的大氣環境存在有某層狀結構，其大氣折射指數的垂直梯度值小於-157N/km時電磁波在此種層狀結構中的

傳播將發生異常現象，亦即電磁波在垂直方向的傳播將彼此層狀結構所局限而無法逸出，而造成異常的傳播現象。這種結構宛如波導管(Waveguide)，會使低仰角的電波侷限在此種結構中，造成電波的異常傳播，此種的結構體特稱為大氣導管(Atmospheric Duct)。

表1. 大氣導管分類表

| 類型 | $dN/dH(N/Km)$ | $dM/dH(M/Km)$ |
|-----|-------------------------|-----------------------|
| 陷捕 | $dN/dH \leq -157$ | $-157 < dM/dH \leq 0$ |
| 超折射 | $-157 < dN/dH \leq -79$ | $0 < dM/dH \leq 79$ |
| 正常 | $-79 < dN/dH \leq 0$ | $79 < dM/dH \leq 157$ |
| 次折射 | $dN/dH > 0$ | $dM/dH > 157$ |

摘自Patterson et. al (1994)

在低對流層電磁波輻射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公尺山上的都卜勒雷達回波顯示11000公尺高度有雷雨胞，其徑向風場高達18 m/s，此回波持續在雷達仰角3.5°以下。

朱等(1994)利用1961年至1980年板橋探空資料計算及海洋研究船實驗結果，台灣海峽北部地區蒸發導管高度變化大，約在50-250公尺間，但在東部海面卻只有3至60公尺，可以知道大氣導管與地理位置與天氣系統型態有密切關係；呂等（1998）針對台灣地區大氣導管的季節、日夜間變化方面之統計特性，以及丁等（1994）對不同季節、不同天氣系統的大氣導管特性作相關研究，黃等(2003)及黃(2004)針對大陸冷高壓不同出海路徑，統計大氣導管發生高度、位置等特性，並進一步探討因大氣導管造成之角度、高度與距離、誤差。呂等(2004)於台灣東南海域進行海上蒸發導管實驗發現，於強烈太平洋高壓籠罩之天氣系統，天空晴朗無雲、風速小之狀況下，海面上之導管高度達到120公尺，使得船艦及反潛機雷達回波範圍更為擴大。

傳統大氣折射指數計算，均為利用探空氣球釋放，藉探空儀量測所得的壓力、溫度及溼度等氣象因子，再加以推算大氣折射指數隨高度變化與分布況，Babin (1995)發表綜觀天氣個案及直昇機觀測探討大氣次折射狀況，但前述氣象資料獲得方法則為昂貴、小區域且時間短暫，對於海面或探空氣球施放以外時間，瞬息萬變的大氣狀況則顯得無法有效掌握，區域大氣導管特性對電磁波影響探討則受影響。

三、研究內容與方法

本研究採用 WRF 氣象模式，針對積雲、微物理參數、垂直層數等進行設定，利用壓力、溫度及水氣壓等輸出資料計算修正射指數 M 之垂直梯度(dM/dH)，從而判別大氣導管層之特性。

(一)天氣概述

依據日本氣象廳綜觀天氣圖(如圖7)，7月3日1200Z，副熱帶太平洋高壓勢力地面位於本省北部；850hPa之1500m等高線位於大陸沿海1530m等高線位於台灣東南部外海；700hPa 之3150m等高線位於大陸東南部，3180m等高線位於本省東部。7月4日00Z，副熱帶太平洋高壓勢力地面位於海峽附近；850hPa之1500m等高線位於大陸沿海，1530m等高線東退至日本南方海面(等高線變疏)；700hPa之3150m等高線位於大陸沿海，3180m等高線東退至日本南方海面(等高線變疏)。7月4日00Z，副熱帶太平洋高壓勢力地面位於海峽附近，850hPa之1500m等高線位於大陸沿海，1530m等高線東退至日本南方海面(等高線變疏)；700hPa之3150m等高線位於大陸沿海，3180m等高線東退至日本南方海面(等高線變疏)；925hpa溼度場東移，高壓西伸；850hpa本省上空溼度場不明顯，高壓勢力西伸，溫度場則22度區域範圍縮小，海峽附近風力增強。

(二)雷達回波資料解算

五分山採用美國NEXRAD WRS-88D雷達，其原始資料先以Unidata之IDV(Integrated Data Viewer)檢核原始資料位置無誤，並分別判讀雷達各掃描仰角量測所得回波位置，從資料檢核中可以得知，於回波異常個案發生期間，五分山雷達最低兩個掃描角度(0.5、1.5度)有回波值，從圖面估算距離約100至180公里，以五分山雷達站地形高度約766公尺，可以推論導致異常回波發生之大氣導管高應低於1100公尺，亦即導管層將會位於1100公尺以下之大氣環境中。再利用NASA TRMM Satellite Validation Office所提供之Radar Software Library轉換為通用格式(Universal Format)，以Python語言設計程式，將UF轉換為文字檔，以五分山雷達為中心，利用大地座標正算公式賦予每一雷達波段空間座標，以利氣象資料與空間資訊進行整合。

(三)模式參數設定

本研究為求得模式對於水氣變化有最佳效果，於最高大氣壓力100mb以下設定51層，其中近地面(2000m以下)約20層，採用巢狀結構分別為15Km、5Km及1.67Km，針對微物理及積雲進行設定，其中微物理參數mp_physics=4(WSM 5-class scheme)、積雲參數cu_physic=1(YSU scheme)表現較佳。為了解

導管個案發生當時大氣折射狀況，因預判發生影響高度應為五分身雷達高度(766m，模式五公里網格地形高度僅為236m)附近，故繪製975、950、925、900mb之dM/dH橫剖面(如圖8)，為模擬五分山雷達東位置，茲以五分山為中心求得縱剖面(如圖9)。

(四)射線軌跡模擬

採用地理資訊系統整合雷達回波及WRF模式模擬所得大氣環境，依據美軍折射預報系統(EREPS, Engineer Refractive Effect Prediction System)雷達射線軌跡理論(如圖10)，該理論係依照小角近似斯奈耳定律(Small angle approximation Snell's Law)，並假設雷達波到達地面時入射角等於反射角進行軌跡模擬，本研究中假定 r' 可由解算雷達回波長度(1km)求得，設定為已知條件並據以求得 h' 及 α' 。由模擬結果可以發現，於當時大氣環境部分雷達波受到大氣折射因素影響，射線軌跡往下行進到達海面，遂以造成假回波現象(如圖11)。

四、結果與展望

經由採用氣象模式針對五分山雷達異常回波個案之研究，更進一步了解大氣環境對電磁波傳播之影響，可獲致以下成果與建議：

- (一) 特定大氣環境條件下將會生成大氣導管，對電磁波之傳播將造成影響，甚或造成雷達守視人員對天氣現象之誤判。
- (二) 形成導管主要因素為水氣梯度變化明顯處，本次造成五分山雷達回波異常原因，乃由於985–950 mb存在有明顯之大氣導管層，造成雷達波未依理論路徑前進，實際上則向下到達海面造成假回波。
- (三) 由WRF模式模擬結果顯示，水氣主要來源應為高壓回流，南方水氣北移，於夜間為台灣北部台灣海峽低層帶來暖濕水氣，因五分山附近為相對乾熱空氣，造成大氣折射指數梯度變化大，進而導致雷達異常回波。
- (四) 傳統大氣導管研究係採用探空資料為大氣環境之參考，本個案發生最明顯時間為夜間(00-06時)，然台灣地區則於08時及20時方有探空資料，且探空資料僅代表單點，故氣象模式的採用對於實際觀測資料於空間及時間之不足有莫大助益。
- (五) 廉續分析比較回波異常個案，了解各雷達站易造成影響空域範圍內之天氣型態與大氣環境，並建立預報制度，俾利守視人員及早因應。
- (六) 地理資訊系統可以運用於整合與管理氣象資料，重建大氣環境模型，更有利於空間資訊(含氣象場)之分析與運用。

參考資料

- Bean, B. R., and E. J. Dutton, Radio Meteorology, 1966 : US Dept. of Commerce, NBS Mono. 92 pp.431.,
- Blake, L. V., 1986 : Radar Range-Performance Analysis, Artech House Inc., pp.443.
- 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, TD2648, NRAD, U.S. Navy, May
- Steven M. Babin, George S. Young, and James A. Carton, 1997: "A New Model of Oceanic Evaporation Duct," American Meteorological Society, Vol.36, pp.1 .
- 丁玗、呂芳川、朱延祥、江火明、張石軍, 1994：“不同天氣系統內大氣導管特性之研究”，中央氣象局天氣分析與預報研討會，第493-501頁。
- 許舜清、朱延祥、呂芳川、江火明、蘇秋展、洪忠和，1996：“台灣北部大氣折射率的統計特性分析”，中央氣象局天氣分析與預報研討會，第518-527頁。
- 呂芳川、朱延祥、江火明、陳曉華、郭漱冷、洪忠和，1998：“台灣海域大氣導管效應與雷達傳播”，國防科技學術合作技術報告，第44-50頁。
- 呂芳川、朱延祥 2004：台灣局部區域蒸發導管效應實驗(II)實驗與驗證，國防科技學術合作協調小組研究計畫成果報告，NSC-93-2623-7-014-24。
- 黃崇展、呂芳川、陳啓南、陳文定、鄭竹齋，2003：台灣海峽北部導管現象預報之個案研究，波譜模式發展與應用研討會，台灣中壢，2003、12、22-23。
- 黃崇展，2004：大氣導管效應影響雷達偵蒐定位之個案研究，國防大學中正理工學院碩士論文。

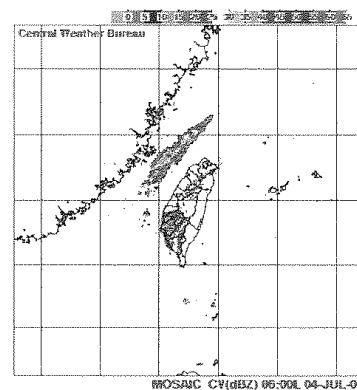


圖 1. 2003 年 7 月 4 日 0600L 時台灣地區雷達回波合成圖

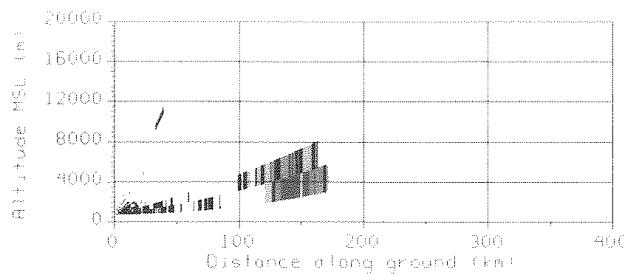


圖 2. 2003 年 7 月 4 日 0600L 五分山雷達回波縱剖面圖(方位角 283 度)

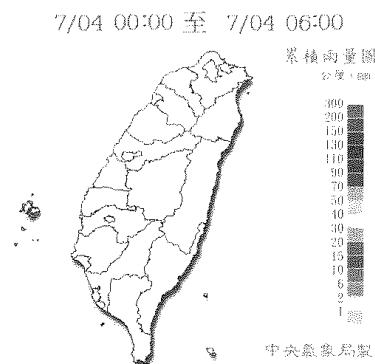


圖 3. 2003 年 7 月 4 日 00 時至 06 時台灣地區累積雨量圖

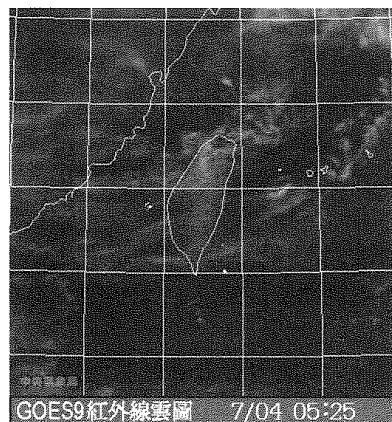


圖 4. 2003 年 7 月 4 日 0525L 時台灣地區紅外線雲圖

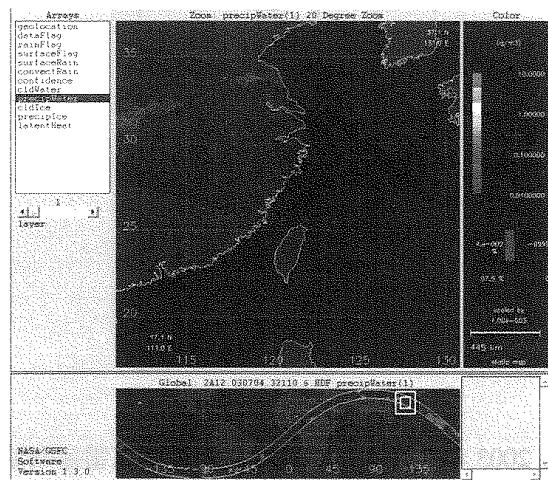


圖 5. 2003 年 7 月 4 日 0250Z 時 TRMM 衛星 PR 資料

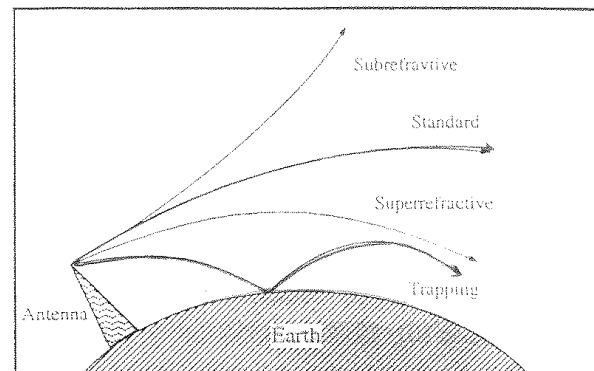
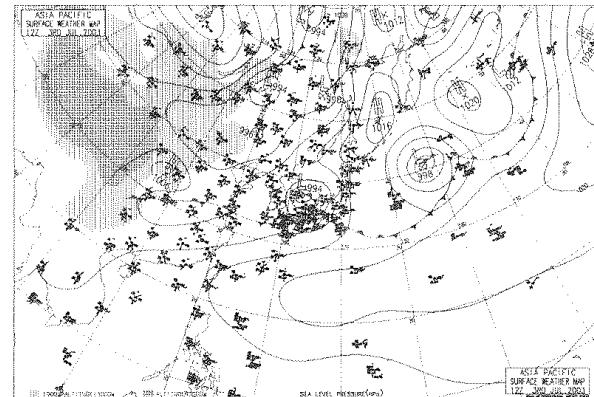
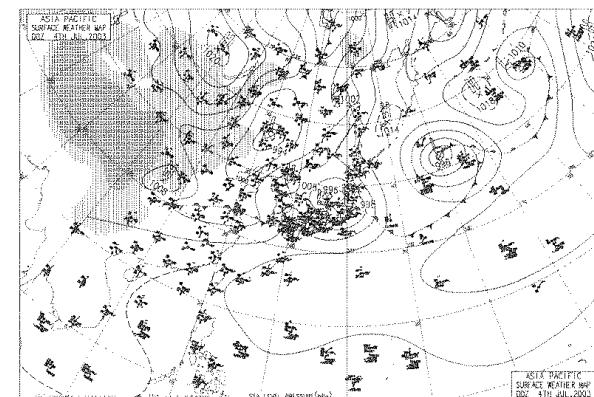


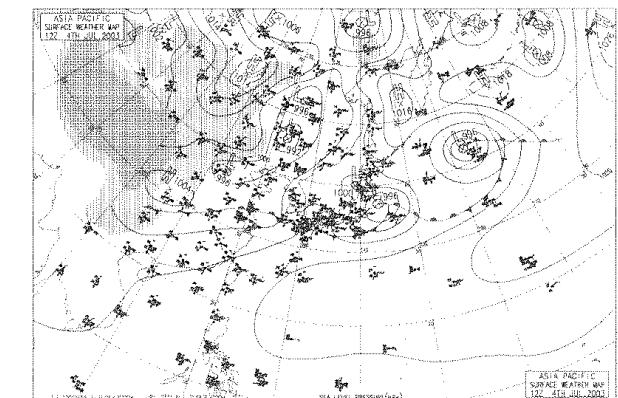
圖 6. 電磁波非正常傳播路徑示意圖(摘自 Patterson et al (1994))



(a)2003 年 7 月 3 日 12Z



(b)2003 年 7 月 4 日 00Z



(c)2003 年 7 月 4 日 12Z

圖 7. 雷達回波異常個案發生期間地面天氣圖

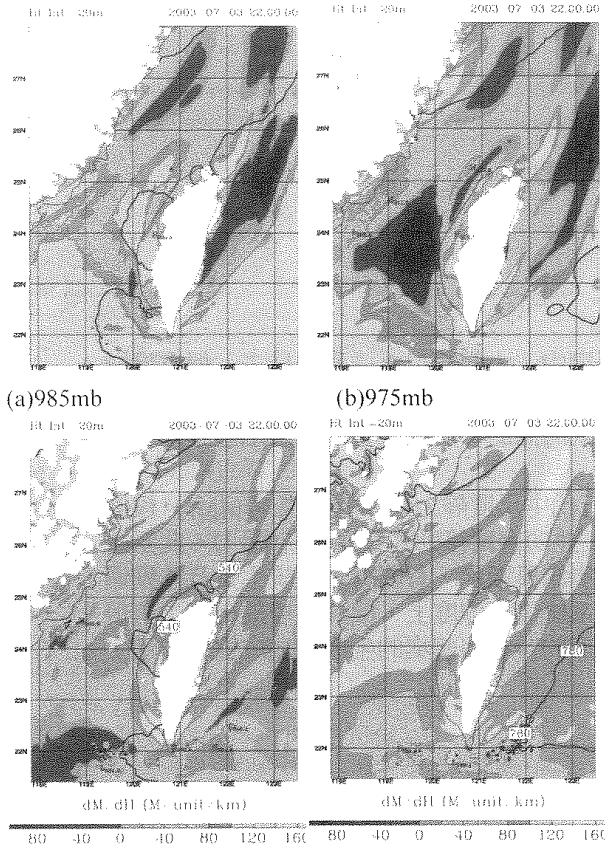
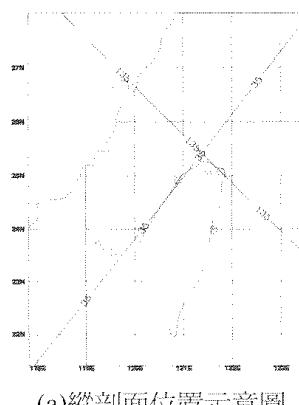
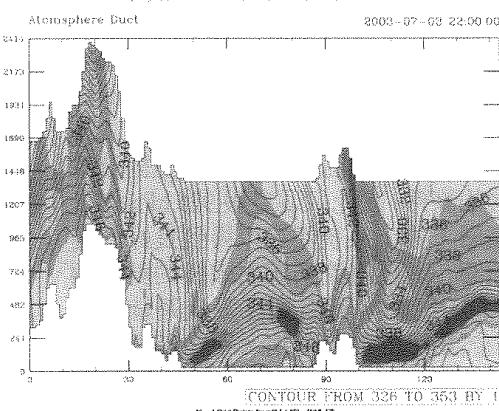


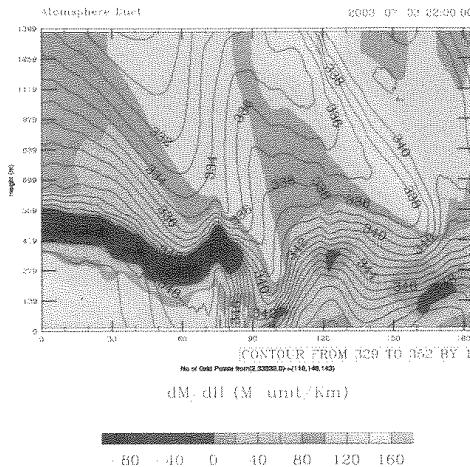
圖 8. 2003 年 7 月 4 日 06L 時不同高度大氣導管分布情形



(a) 縱剖面位置示意圖



(b) 135 度縱剖面



(c) 35 度縱剖面

圖 9. 2003 年 7 月 4 日 06L 時台灣北部地區大氣導管分布情形縱剖面圖

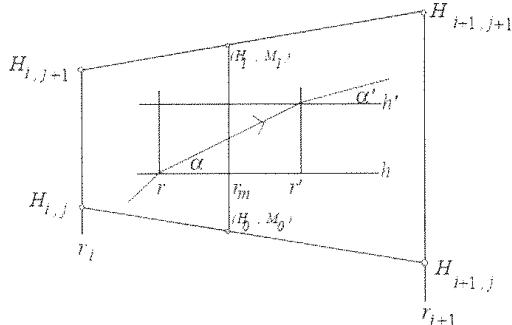
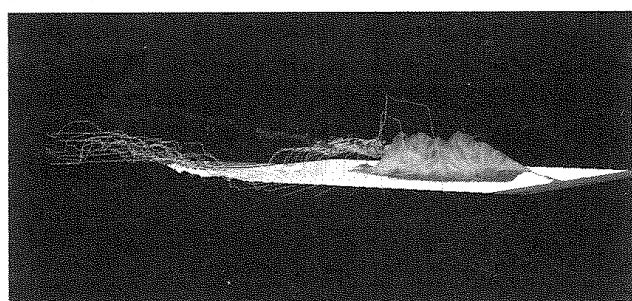


圖 10. 美軍 EREPS 射線軌跡計算示意圖



(a) 3D 顯示射線軌跡。



(b) 紅色射線軌跡代表高度越高，綠色則表示接近海平面(<30 公尺)。

圖 11. 大氣導管狀況下，雷達射線軌跡模擬圖