

臺灣地區不同天氣系統對大氣 折射效應之影響

張石軍

海軍氣象中心

丁 珽 呂芳川

中正理工學院應用物理系

摘 要

由於微波通訊技術的進步，促使大氣對流層內微波通訊頻道使用率日趨頻繁，臺灣位於副熱帶區，大氣環境受熱帶及中緯度天氣系統之影響，天氣型態變化多樣化，而不同的天氣型態直接影響電磁波的傳遞，當天氣系統中有明顯逆溫層現象存在時，此逆溫層使得大氣中的水蒸氣分佈異於常態；對於微波通訊而言，此時大氣結構之電磁材料特性類似導波管，稱之為大氣導管，若微波訊號在此種環境下傳輸，由於電磁波傳輸能量被侷限此一大氣結構內不易耗損，得以增加其傳輸距離，對於無線電地平面外之微波通訊而言，此種大氣結構便顯現出其重要性。本文主要之目的，希望以氣象因子變化的觀點來探討其對大氣折射效應之影響，藉由臺灣地區幾個典型綜觀尺度天氣型態之個案，分析在不同天氣型態下，大氣折射效應對於已知微波通訊系統在無線電地平面外訊號傳輸性能之影響評估。

一、前 言

大氣折射效應對於大氣對流層內之電磁波傳播，在傳播路徑特性上有重要之影響。近年來，由於通訊技術的進步，使用大氣中對流層作為通訊頻道媒介之機率愈來愈高，因此，如何提高對流層內無線電通訊頻道的品質，已漸漸成為研究使用高頻低層大氣通訊系統的一個重要課題，影響對流層中通訊頻道品質不外乎：大氣內組成氣體分子吸收電磁波能量所造成訊號衰減 (Attenuation)、多路徑傳播 (Multi-path Effect)、自身訊號干涉所造成訊號衰減 (Fading) 及因氣象因子變化造成大氣導管 (Atmospheric Ducts) 之大氣折射效應，其中大氣折射效應強弱與天氣變化有極密切之關係，對於高頻、小發射角度 (Narrow Beam) 之通訊系統性能，此效應則有較顯著之影響，此效應亦是本文探討之主題。目前使用對流層大氣做為通訊系統之媒介，一般多屬軍事用途及商用長途通訊用，對於低層大氣無線電通訊頻道品質，掌握大氣中氣象因子變化之重要性已漸漸為研究通訊系統之相關學者所重視，尤其是在雷達對目標之偵搜，氣象因素變化更主控著雷達系統之偵察性能。臺灣位於副熱帶區，大氣環境受熱帶及中緯度天氣系統之影響，天氣

型態變化多，對於使用大氣對流層作為通訊媒介者，掌握本地天氣型態，更是瞭解自身通訊系統性能的重要因素。

在本文中，將著重於臺灣地區不同的天氣型態與大氣折射效應間關係之探討，分析通訊系統在不同之天氣型態之性能，電磁波在對流層內傳播之基本概念及理論將分別於第二、三節中介紹；文中第四節將使用桃園 (46697) 探空站，1975 年至 1981 年間探空資料個案探討臺灣地區天氣型態與大氣折射效應間關係，並將分析所得之資料應用於已知之通訊系統。

二、背景介紹

(一)、電磁波在對流層內之傳播

電磁波在對流層內傳播，因為大氣層內水蒸氣及多種不同氣體，隨位置分布不同，促使電磁波的行進路徑有所偏折，當電磁波傳播路徑之偏折曲率半徑大於地球之曲率半徑時，電磁波的傳播能量則會侷限於一層帶狀結構之大氣內，此種大氣結構的電磁特性類似導波管 (Waveguide)，稱之為“大氣導管” (Atmospheric Ducts)。

(二)、大氣導管種類及其生成條件

大氣導管 (Atmospheric Ducts) 依生成條件、發生高度及地點之不同，可區分為高層導管 (Elevated Ducts)，地面導管 (Surface - Based Ducts) 及蒸發導管 (Evaporation Ducts) 三種，如圖 (1) 所示。高層導管的生成原因是由於大尺度天氣系統中下沉氣流所伴隨之逆溫層所造成，發生高度約在 1000 m 至 3000 m 間。小尺度地區性大氣環流所造成之逆溫層則是地面導管生成的主要原因，其生成地點為陸地地區，發生高度約為 100 m 至 700 m 間。蒸發導管則常駐於海面上，對於中、低緯度海域，一般而言，導管厚度之變化約為 10 m 至 40 m 間。台灣附近海域，依天氣型態的不同而改變，蒸發導管高度的變化約在 12 m 至 32 m 間，蒸發導管生成的主要原因是由於海水與大氣間之交互作用，促使海面上的水汽蒸發；但是因為受地球重力之影響，水蒸氣密度會隨高度而遞減，而在海面上形成一密度特性相差甚大之一層帶狀邊界層，如圖 (2) 所示，即是蒸發導管層。

三、基本理論

(一)、大氣導管厚度預測

1、折射係數與大氣導管

(主要依據 Hitney etc, 1990 理論)

大氣導管厚度之預測，是以折射係數， n (Index of Refraction)，隨高度之變化為參考， n 在大氣中可以表示成一個溫度、濕度及壓力的函數， $n = n (T, RH, P)$ ，由於 n 在大氣中的變化值很小，約為 1.0025 至 1.0040 間，為了便於觀察大氣中折射係數之變化，引進一折射參考係數 N (Refractivity)，其與折射係數 n 間之關係為：

$$N = (n - 1) * 10^6$$

當電磁波在對流層內傳播，且傳播環境場考慮是一平直 (Straight) 邊界層時，地球有效半徑 (Effect Earth Radius) 概念將被引入使用，此時，折射係數將被修正成為另一參考係數 m ：

$$m = n + z/a$$

稱之為修正折射係數 (Modified Index of Refraction)，為了便於觀察變化，如同 N ，引進另一變數 M (Modified Refractivity)：

$$M = N + 0.154 * h$$

h 是高度，單位是公里，一般而言，海面上 M 值之變化在 330 至 380 間，台灣附近海域依季節的不同，年平均變化為 340 至 390 間。

2、高層導管及地面導管厚度

(主要依據 Hitney etc., 1985 理論)

高層導管及地面導管，在物理結構上具有相類似之特性，僅發生之高度有所差異，因此導管厚度之預測，在理論大致相同，實際上，對於此二類導管高

度及厚度之預測，可由測站的高空探空資料中估算獲得，即當

$$dn/dz < -157 (N/Km)$$

時則有導管發生，再由折射係數對高度之變化來估算導管所發生之厚度。

3、蒸發導管厚度

(主要依據 Paulus, 1985 理論)

蒸發導管厚度的大小代表著導管效應強弱，導管產生的原因主要與大氣及海水間之交互作用之強弱有極密切之關係，因此理論上對於蒸發導管厚度預估，是利用微氣象學中大氣邊界層理論推算海面上方水蒸氣之分佈，進而估測折射係數隨高度之變化，藉以得知導管厚度。目前蒸發導管在厚度預測較常用的預估公式是採用 Jeske (1965) 所推導出之結果。

(二)、電磁波在大氣導管內之傳播特性

1、電磁波傳播區域

(主要依據 Bean and Dutton, 1968; Blake, 1986 理論)

電磁波在大氣中傳播如圖 (3)，其行進路徑仍屬直線，由於地球表面有曲度，因此有部分區域是電磁波以直線路徑無法到達，稱之為無線電陰影區 (Shadow Region)，理論上我們無法使用幾何光學法來分析此一區域的電磁波效應，對於電磁波在對流層內傳播區域劃分，一般以干擾區 (Interference Region)、中間介值區 (Intermediate Region) 及繞射區 (Diffraction Region)，加以區分；在理論分析上，干擾區使用幾何光學法加以分析，繞射區則使用物理光學法來分析研究，目前對於中間介值區域電磁波傳播特性，尚無可用之理論加以研究；一般較常用內差法，將鄰近干擾區及繞射區之結果內差，用來預測電磁波在此一區域的傳播特性。

2、大氣導管內之傳播模式

(主要依據 Keer, 1987 理論)

大氣導管的電磁特性類似導波管，因此對於電磁波在大氣導管內傳播特性分析，採用電磁波動方程式，利用赫茲向量位 (Hertz Vector)，使用扁平地球邊界層模式及圓柱座標系統，理論上可以計算出空間中任一點位置的電、磁場強度及高度、距離增益函數 (Height - Gain Function)，用以描述大氣導管內傳播特性之傳播係數 (Propagation Factor) 及衰減係數 (Attenuation Factor)，則可由大氣導管內每一點位置的增益函數估算而得。

四、臺灣地區天氣型態與大氣導管高度變化之關係

台灣本島，位於副熱帶區域，大氣環境受熱帶與中緯度天氣系統之影響，天氣型態多變化，如五、六月間的梅雨期、六至九月的颱風期、每年十一月到次年三月期間大陸冷高壓的週期性南下盛行東北季風，天氣型態截然不同。對於臺灣地區不同型態的天氣系統，其所對應的大氣導管特性個案分析，將說明如後：

(一)、資料選取：

採用民國64年至70年間桃園(46697)測站每日0000Z之探空資料(中央氣象局王時鼎先生提供，為經過處理校正後的資料)，資料解析度約為50mb，高度從1006mb至100mb止。也配合日本印刷天氣圖的綜觀尺度資料，做天氣型態與天氣系統分類。由於海面上氣象資料缺乏、解析度不足，對於蒸發導管之特性在此不做任何分析。

(二)、資料分析：

應用日本印刷天氣圖資料綜觀尺度的天氣型態與天氣系統分析，再配合桃園測站探空資料的垂直剖面分析，將影響台灣的天氣型態區分為西伯利亞冷高壓侵襲期、梅雨期及西太平洋高壓脊期。取民國65年2月14日至2月16日之個案資料代表西伯利亞冷高壓侵襲台灣期；取民國64年9月17日至9月19日之資料，代表西太平洋高壓脊系統侵襲台灣之個案。以M-H函數剖面分析，探討大氣折射效應的特性，以電磁波的傳播路徑(Ray Tracing)分析，探討其對通訊系統特性的影響。

(三)、分析結果說明：

西伯利亞冷高壓侵襲台灣前後，大氣折射效應的M-H特性變化圖、不同高度的通訊系統其電磁波在大氣中傳播的軌跡分析圖，詳如附圖(4)到附圖(8)所示，此期間M值平均變化在345-365間，而且M最大值發生在有高層導管產生時；比較圖(5)與圖(6)，可以明顯觀察出冷峰過境前與過境後，M-H曲線函數的變化有所不同，這表示出冷鋒前與冷鋒後有明顯的不同的物理結構；就電磁波傳播特性而言，在2月15日0000Z時，若一通訊系統位於2400m高度發射訊號，由於高層導管效應，將會在遠方產生“海市蜃樓”(Mirage)的效果，這就是說在1000Km外處依然可以接收到遠處所發射之訊號，此一現象可由圖(8)中得之。

梅雨期的現象極類似西伯利亞冷高壓，導管發生高度較低，但M值較高。西太平洋高壓脊系統，雖然是一沉降氣團，一般而言並不容易造成導管效應；在圖(10)中，造成導管效應的主要原因是由太平洋熱帶性低氣壓擾動所致；一般而言，M值平均變化在380-395，導管發生高度約1000m；西太平洋高壓脊侵襲期整個天氣系統的電磁波的

傳播特性類似前面所述，可由圖(9)到圖(12)與圖(4)到圖(8)比較得知。

五、結論與討論

由上述個案研究可知，在不同的天氣型態下，M值可以明顯看出有所變化。當乾冷的冷氣團由北方來襲時，M值明顯下降，而當暖濕的太平洋高壓來襲時，則M值有明顯上昇的現象。大氣導管形成的原因是由於大氣中溫度，濕度隨高度產生劇烈之變化造成大氣中水汽分布不均所致；因此，對於強度較強之鋒面較易產生導管效應；對於太平洋高壓的天氣系統，大氣環境中則需要有較劇烈的垂直運動才有生成大氣導管之可能，對於鋒面系統而言，大氣導管現象的生成與消退與鋒面系統的生成週期相同。但是對於太平洋高壓而言，則沒有明顯的週期性。在導管生成高度方面，西伯利亞冷高壓所導致導管高度要高於太平洋高壓所導致的導管；而導管厚度則決定於天氣系統本身強弱。由於大氣導管現象的尺度範圍屬於小尺度，而目前所能得到的資料解析度有限，故並不能確切的量化描述此種現象。此外在蒸發導管現象研究方面，亦因資料的不足而無法加以研究，實屬可惜。

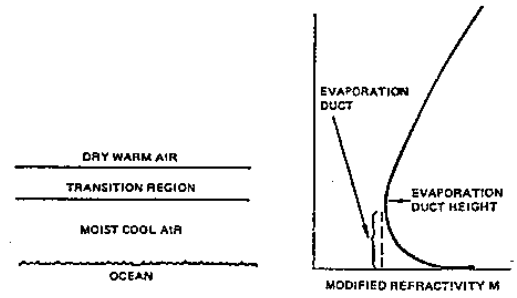
臺灣屬海島地形，離島間之通訊除短距離使用微波無線通訊外，對於長距離的離島通訊絕大部份採有線電纜通訊；若是能有計劃建立臺灣與各個離島間海域之水文及氣象觀測資料，相信利用蒸發導管做為離島間之微波通信頻道，必然指日可待。

六、參考資料

1. D.E.Kerr, Propagation of Short Radio Waves, London, U.K., Peter Peregrinus Ltd, 1987.
2. L.V.BLake, Radar Range - Performance Analysis, Artech House, INC., 1986.
3. H.D.Jeske, Die Ausbreitung elektromagnetischer Wellen im cm-bis m-band über dem Meer unter besonderer Berücksichtigung der meteorologischen Bedingungen in der maritimen Grenzschicht, Hamburger Geophysikalische Einzelschriften, Hamburg, 1965.
4. H.V.Hitney, A.E.Barrios and G.E.Lindem, Engineering's Refractive Prediction System User Manual, NOSC TD1342, 1990.
5. B.R.Bean and E.J.Dutton, Radio Meteorology, New York, Dover INC., 1968.

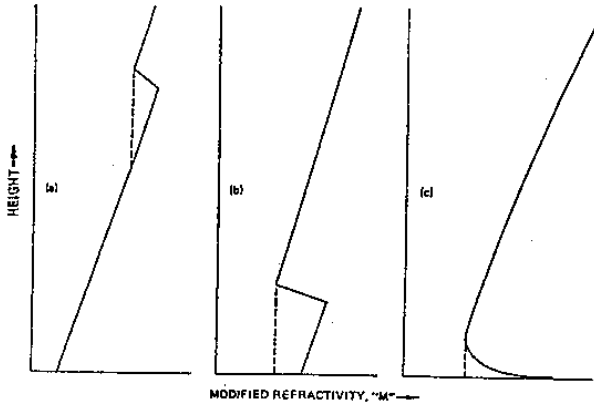
6. H.V.Hitney, J.H.Richter, R.A.Pappert, K.D.Anderson, and G.B.Baugartner, Jr, "Tropospheric Radio Propagation Assessment", Proc. IEEE, vol.73, No.2, Feb. 1985.

7. R.A.Paulus, "Practical Application of an Evaporation Duct Model", Radio Science, vol.20, No.4, PP.887-896, July-August 1985.

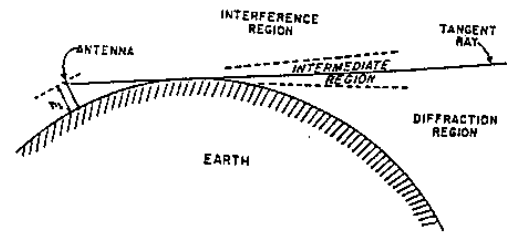


圖(2):蒸發導管對高度的剖面圖

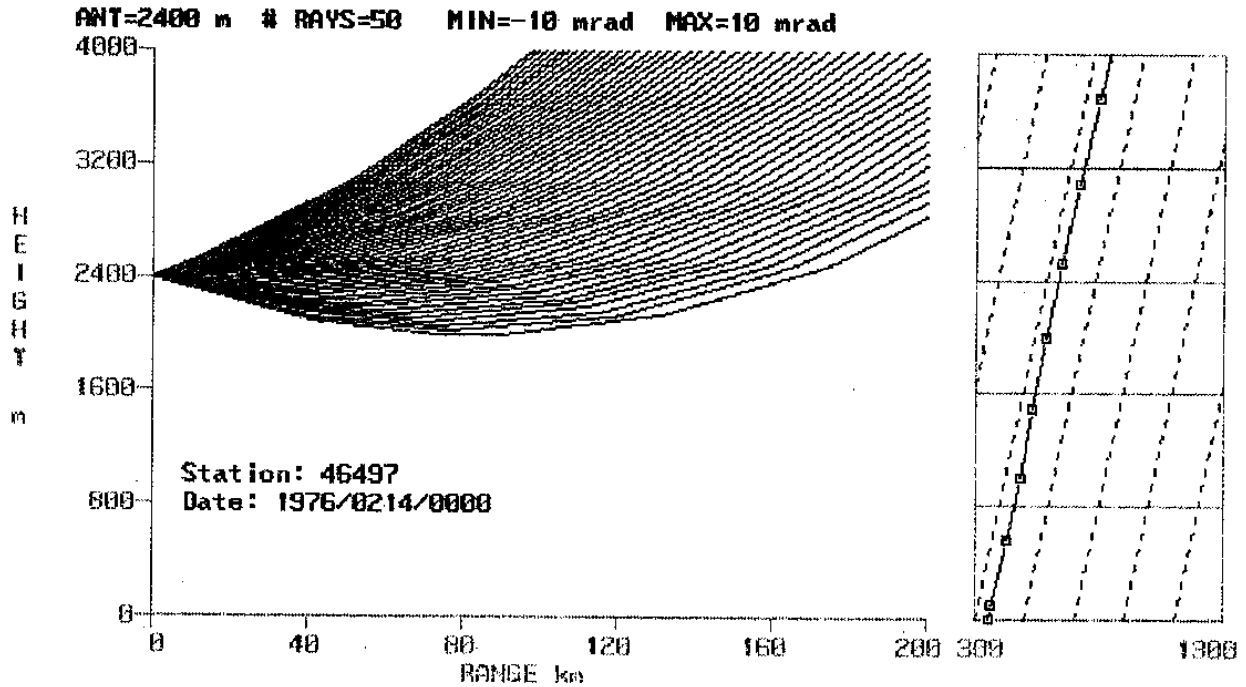
(高層導管) (地面導管) (蒸發導管)



圖(1):大氣導管對高度的剖面圖

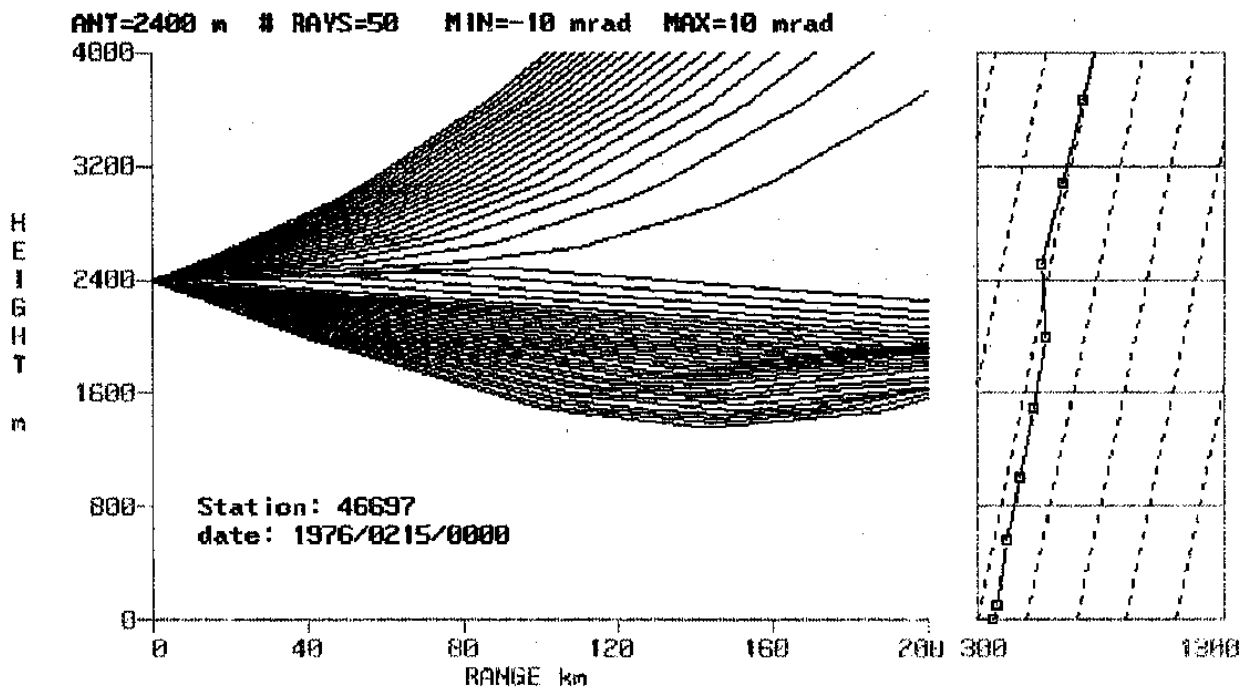


圖(3):電磁波在對流層內的傳播區域



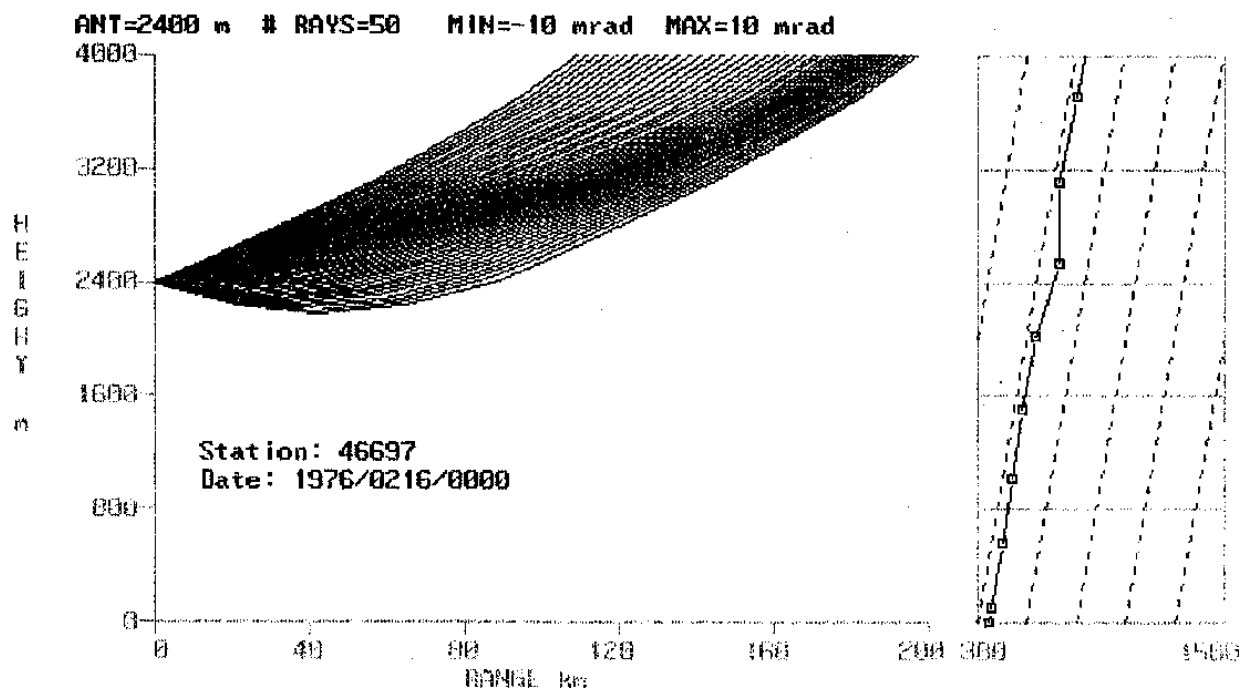
圖(4):冷鋒過境前一個位於 2400 m 高度通訊系統, 其電磁波在大氣中傳播的軌跡圖

冷鋒過境前, M-H 之變化圖



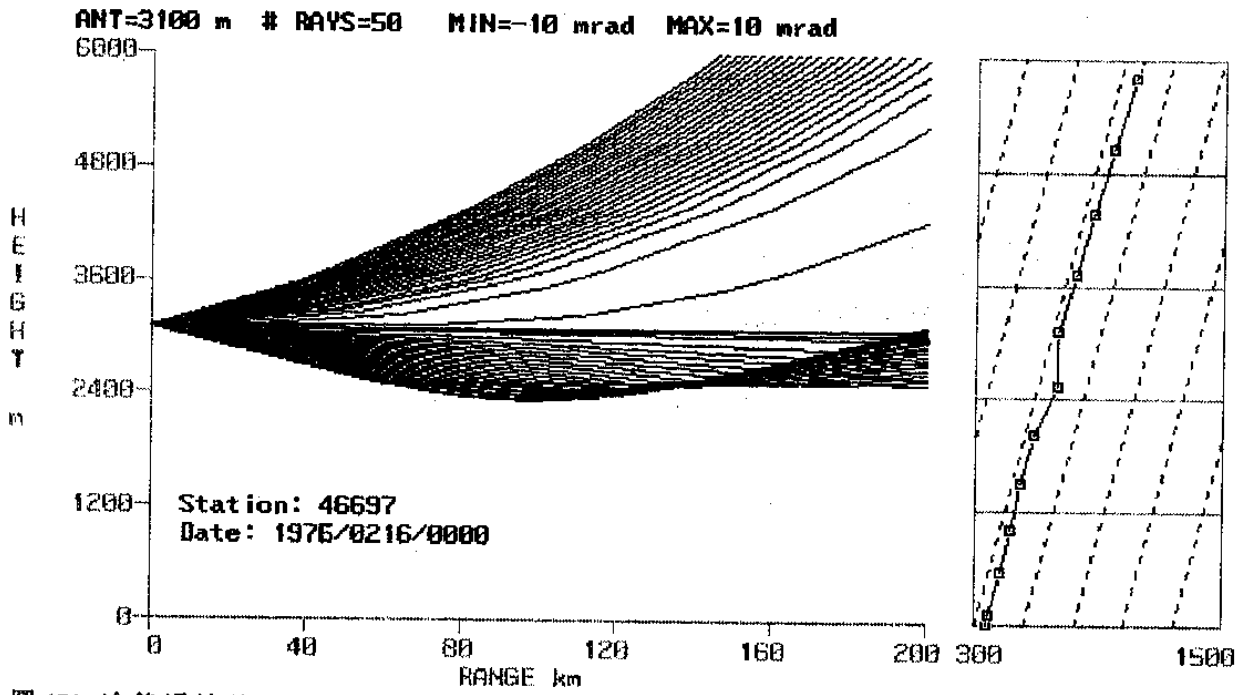
圖(5):冷鋒過境時一個位於 2400 m 高度通訊系統, 其電磁波在大氣中傳播的軌跡圖

冷鋒過境時, M-H 之變化圖

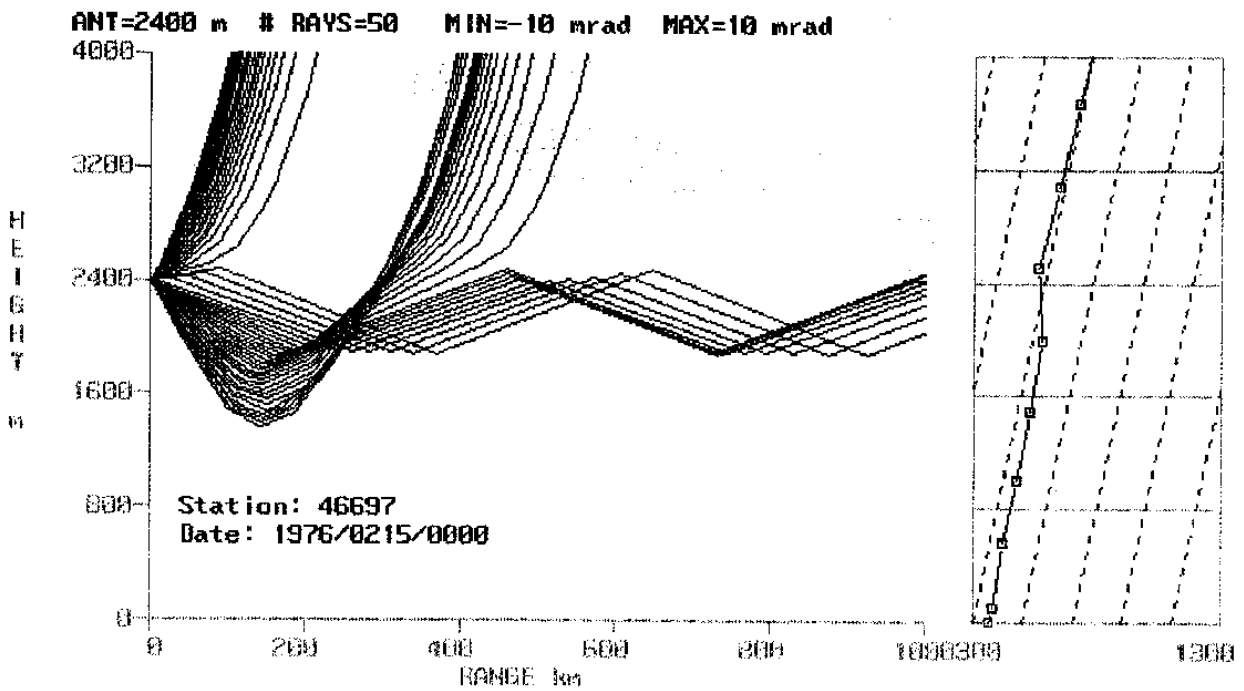


圖(6):冷鋒過境後一個位於 2400 m 高度通訊系統, 其電磁波在大氣中傳播的軌跡圖

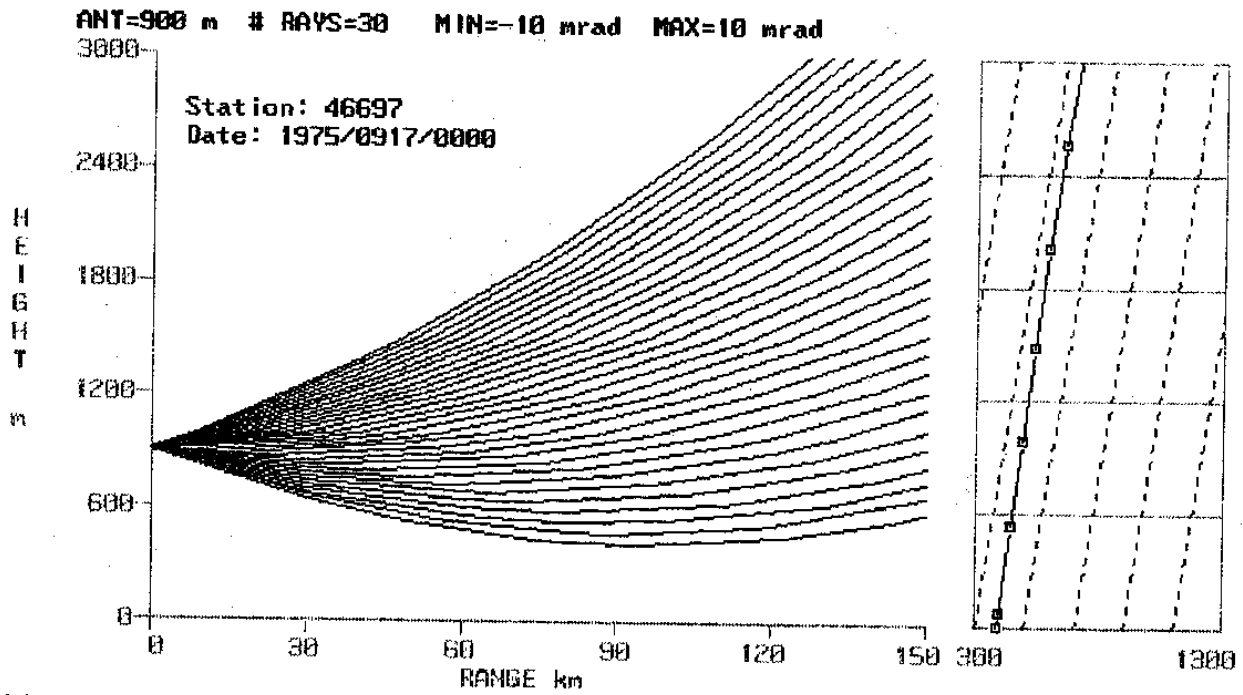
冷鋒過境後, M-H 之變化圖



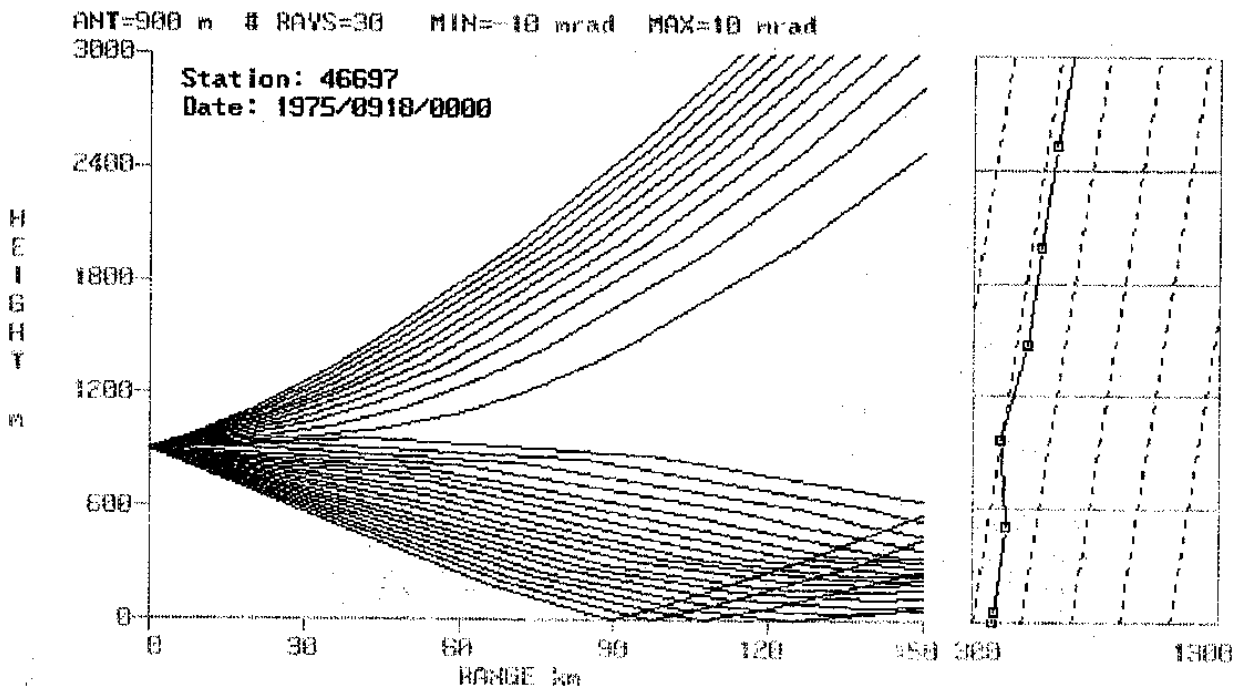
圖(7):冷鋒過境後一個位於 3100 m 高度通訊系統, 其電磁波在大氣中傳播的軌跡圖



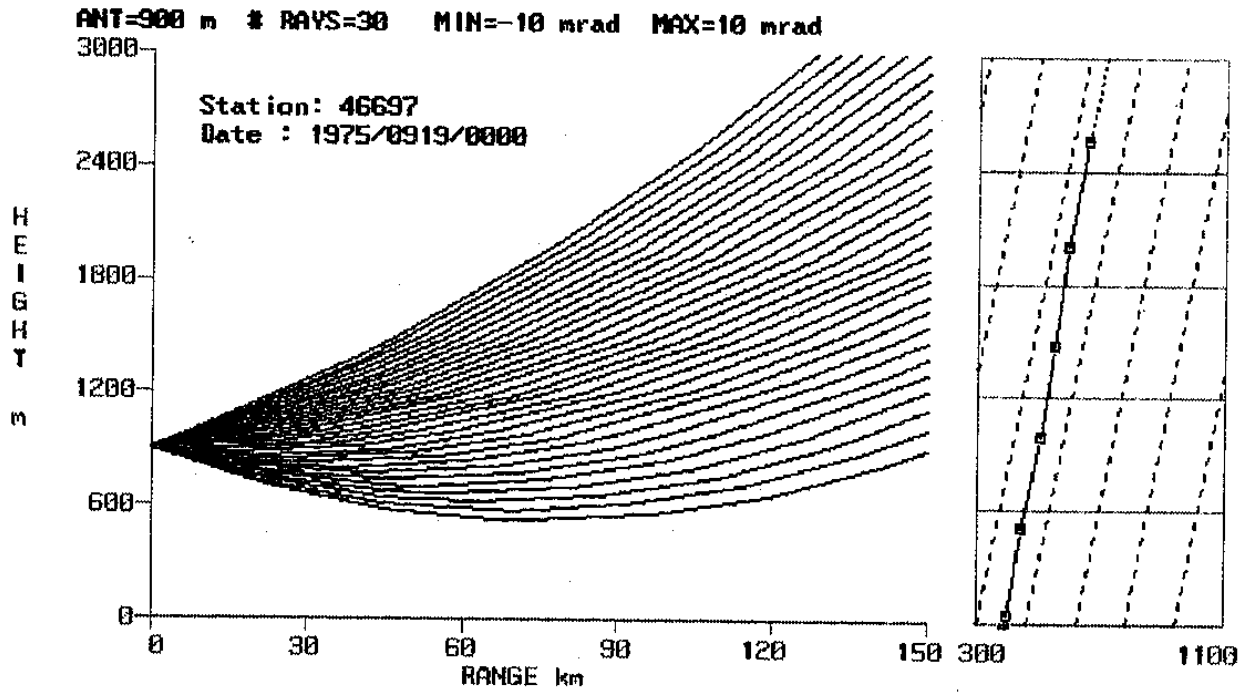
圖(8):冷鋒過境時一個位於 2400 m 高度通訊系統, 其電磁波在遠距離傳播的軌跡圖



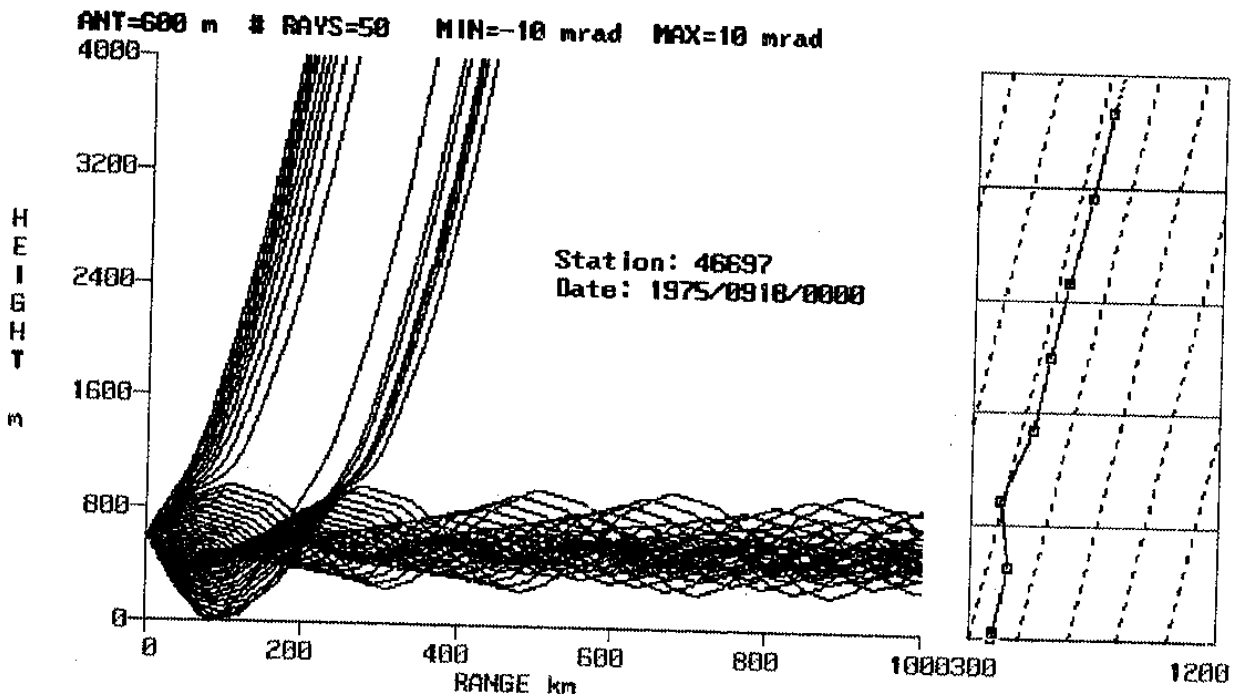
圖(9):太平洋高壓天氣型態下,一個位於 900 m 高度通訊系統,其電磁波在大氣中傳播的軌跡圖



圖(10):熱帶性低氣壓來臨時,一個位於 900 m 高度之通訊系統,其電磁波在大氣中傳播的軌跡圖



圖(11):熱帶性低氣壓過後,一個位於 900 m 高度之通訊系統,其電磁波在大氣中傳播的軌跡圖



圖(12):熱帶性低氣壓來臨時,一個位於 600 m 高度之通訊系統,其電磁波至遠處 (1000 km)傳播的軌跡圖

The Weather Pattern Effect to Atmospheric Refraction

Shih - Chun Chang

Chinese Navy Weather Center

Chueh Ting Fang-Chuan Lu

Chung-Cheng Institute of Technology

Since the behaviors of atmospheric ducts like waveguide, it is an important mechanism for tropospheric propagation. It often appears as inversion occurs. The characteristics of atmospheric ducts in Taiwan area are studied in this paper. The data are taken from 1975 to 1981 at station 46697. The relation between different weather pattern and atmospheric ducts is investigated. The main objective of this study want to obtain some information of atmospheric ducts that can provide to establish microwave communication channel for over-the-horizon communication.

