

## 春季冷高壓東移大氣導管演進之個案研究

呂芳川<sup>1</sup>、黃崇展<sup>2</sup><sup>1</sup>南榮技術學院<sup>2</sup>空軍氣象聯隊第二基地天氣中心

## 摘要

台灣位於副熱帶地區且為海陸交接地帶，於春季時，南方海面之暖、溼氣流北移，以及北方大陸冷、乾氣團週期性向東南方移動出海且變性，使大氣環境的溫度、壓力、溼度場多變化，對流層內大氣折射指數垂直方向梯度變化劇烈造成大氣導管現象。

因天氣類型受到不同氣流所主宰，在大氣環境特徵上有明顯的差異。本文以2001年2月27日至3月6日冷高壓東移期間台灣地區大氣環境場個案，結合美國海軍大氣折射預報系統(AREPS)，探討春季大陸分裂高壓由長江口東移出海過程中，各天氣類型產生之導管特徵、導管效應，亦探討導管位置與逆溫層之關係。

冷高壓東移出海演進過程中，依據天氣系統演化程序以及測站距離高壓中心的遠近，區分為鋒前、鋒後、東北季風、大陸分裂高壓在長江口出海、高壓迴流且分裂高壓移動路徑偏北，以及高壓迴流且分裂高壓移動路徑偏南等六種天氣類型。其中鋒前天氣類型在700hPa高度以下因暖、溼空氣層水汽混合均勻，不易形成低空導管，在700hPa高度以上因冷、乾空氣層之秉性不同，形成以高空導管為主的導管特性；其餘五種天氣類型均因700hPa上、下空氣層之秉性相近，不易形成導管，以低空導管為主，且各導管層高度與逆溫層高度亦大致吻合。

關鍵詞：天氣類型、折射指數、大氣導管

## 一、前言

高壓迴流的天氣型態，原本屬於冷、乾性質的大陸型氣團，當其經過廣闊且溫暖洋面，長時間與環境進行能量及質量之對流、傳導以及輻射，氣團底層受到海氣交互作用的影響，逐漸變為暖、濕氣團；而西南氣流的天氣類型，由南海一帶引進旺盛水汽，溼度亦呈現底層與高層分布的差異。此外，兩不同秉性氣團之間相互推擠造成的鋒面系統，氣團的交介面上、下亦存在溫度、壓力、溼度的差異。基於以上因素，可得知天氣系統的演進與大氣環境的溫度、壓力、溼度場的變化，確實具有密切的關係。

對流層的大氣環境溫度、壓力、溼度場的變化，為造成電磁波的傳播出現折射現象的主因。1864年Maxwell所提出的電磁理論，折射現象與介質之介電常數有關，而介電常數又與大氣折射指數(Refractive Index,  $n$ )有關。由於對流層的大氣折射指數與大氣環境的氣壓、水蒸氣壓及溫度是相關的，換而言之，對流層的大氣折射指數，則為大氣環境

的氣壓( $P$ )、水汽壓( $e$ )及溫度( $T$ )的函數。因此，電磁波在對流層的傳播，將受到大氣折射指數的空間分布而影響傳播路徑，以及受到對流層的天氣與氣候因素(如降雨與水汽)，電磁波傳播路徑產生改變，進而使超高頻(UHF, Ultra-High Frequency, 0.3~3 Giga Hz)以上的電波產生衰減效應(Attenuation Effect)，影響雷達、衛星偵測及通訊品質。既然天氣型態以及大氣環境對通訊有極大的影響，例如降水造成訊號衰減、大氣導管造成雷達洞或通訊死角，故將天氣系統影響考慮在電磁波的接收效率，實為當務之急。

當大氣的溫度與溼度在垂直方向存在異常的分布現象，導致所對應的大氣折射指數的垂直梯度偏離指數型的變化，標準的電磁波傳播模式將不再適用，而必須依據實際的大氣折射指數的垂直分布計算實際電波傳播的路徑。非標準傳播機制，表示大氣折射指數在垂直分佈上有異常的擾動情形，即折射指數垂直梯度異常改變的情況。對於一個具有乾空氣、水汽、自由電子的大氣而言，大氣折射指數 $n$ 可表示為：

$$n = 1 + \left( \frac{77.6P}{T} + \frac{375000e}{T^2} \right) \times 10^{-6} \quad (1.1)$$

所適用的電磁波頻率範圍介於1至100GHz之間，式中 $P$ 為大氣氣壓，單位是百帕(hPa)， $e$ 為大氣中的水蒸汽壓，單位亦為百帕(hPa)， $T$ 為絕對溫度，單位是K。因此吾人可以知道大氣折射指數是大氣氣壓、水蒸汽壓和絕對溫度的函數。

在實際計算數值中，發現大氣折射指數是一個非常接近於1的數值，其變動範圍主要在1.000100至1.000400之間。為了要能夠清楚地觀察到它的擾動情形，於是定義大氣折射率( $N$ , Atmospheric Refractivity)與大氣折射指數( $n$ )的關係(Beane, B. R., and E. J. Dutton, 1966)

$$N = (n-1) \times 10^6 = \frac{77.6P}{T} + \frac{375000e}{T^2} \quad (1.2)$$

另外，我們將 $N$ 參數加入考慮高度以及地球曲率的因素，則發展出一個新的折射率參數，稱作修正後的折射率( $M$ , Modified Refractivity)，定義為

$$M(h) = \left[ (n-1) + \frac{h}{R_0} \right] \times 10^6 = N(h) + \frac{h}{R_0} \times 10^6 \quad (1.3)$$

其中 $R_0$ 為地球曲率半徑， $h$ 為所在高度。將實際地球半徑(約6400公里)代入式(3)中且對 $M$ 作隨高度 $h$ 的微分，得

$$\frac{dM}{dh} = \frac{dN}{dh} + 157 \quad (1.4)$$

射線彎曲的曲率和地球表面曲率的比較結果，電磁波傳播路徑之彎折情形，將電波在大氣的折射現象分成四類(Almond, T., and Clarke, 1983)：亦即正常折射(Standard-refractive)、次折射(Sub-refractive)、超折射(Super-refractive)和陷捕(Trapping)。表1.1為非標準傳播機制下，四種電磁波傳播路徑的大氣折射率與修正後的大氣折射指數之範圍，圖1.1為非標準傳播機制下四種電磁波傳播路徑。陷捕表示當我們的大氣環境存在有某層狀結構，其內的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。當 $dM/dh \leq 0$ (即 $dN/dh \leq -157 N/Km$ )時，由於電波射線之曲

率大於地球表面之曲率，電波朝向地球表面彎折而被陷捕(Trap)，換言之，此時大氣形成導波層(Trapping Layer)導管層內射線的曲率大於地表曲率，此種現象會導致電波傳播距離遠超過正常傳播情形，在導波管傳播使電磁波有增強的趨勢，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(Blake, L. V., 1986)，此種的結構體特稱為大氣導管(Atmospheric Duct)。

圖1.2可明確地顯示大氣導管影響雷達電磁波在大氣中傳播的情形。Moszkowicz et al. (1994)指出，異常傳播效應對回波的誤判，使得定量雷達降水估計之預報產生錯誤；Borsum(1995)亦描述一個案例，在3.5度仰角之都卜勒雷達上，因異常傳播現象，2400公尺的高山回波訊號被誤認為一塊發展高度11000公尺、並以18 m/s的高速移動的雷雨雲。

關於大氣導管，因生成的位置不同可區分成三類：地面導管、空中導管、蒸發導管。在海面上的稱作蒸發導管，它與海面上的相對濕度變化有關；在陸地上，一般可分為地面導管及空中導管，此二者的發生與大氣逆溫層的產生有關聯。以下分別介紹。

## 1. 地面導管(Surface-Based Duct)

指大氣導管的底部以地表為邊界，發生的高度在數公尺至數百公尺之間，厚度在百公尺以內，甚少大於百公尺。地面導管對頻率100MHz以上電磁波之越地平面電波通訊或偵察有助益，提昇傳播的有效距離。造成的原因為氣流抬昇之後的沉降作用，如海陸風、地表的輻射逆溫層。

## 2. 空中導管(Elevated Duct)

指的是導管層的底部位於地表以上，呂等(1998)統計其發生高度主要分布範圍在1至2.5公里之間，少數可延伸至6公里，絕大部分小於4公里；厚度方面主要在百公尺以上，對特高頻(VHF)以上的波段有較大的影響，當接收機或目標物位於此導管層頂以上電磁波已大部份陷入導管中而少部份穿透

透，於是就有可能產生電波無法被接收到或無法偵測到目標物，形成雷達洞(Radar Hole)，影響著氣象雷達之偵測效能。引發空中導管的天氣條件為天氣系統所伴隨之沉降作用，例如高空沉降逆溫層、鋒面逆溫層。

### 3. 蒸發導管(Evaporation Duct)

發生於廣大洋面，因海氣交互作用使表層空氣的相對溼度(RH, Relative Humidity)達到飽和，在某一高度以上相對溼度急遽減少，使得折射指數梯度變化很大而形成導管。高度一般介於0至40公尺之間，在高緯度地區為8公尺，較低緯度為30公尺，且具有持久性質。影響頻率為3GHz以上，對遠距離通訊及偵蒐皆有影響。

在導管特性統計方面，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，此外，呂等(1998)綜合過去十多年來東亞地區地面天氣圖的演化過程，將影響台灣地區的天氣類型分為15類，針對台灣地區之年、季、月、日夜間大氣導管特性的變化情形做統計，但目前尚無學者對同一時間、不同天氣系統，以及對完整一波天氣系統演進過程之大氣導管的特性作深入探討，而導管發生的高度與距離天氣系統的遠近的關聯性，亦值得我們關注。此外，春季天氣系統移動快速，更顯得導管現象的變化多端，故研究春季的系統演進過程的導管變化，可謂具有代表意義。因此，本人針對春季的完整一波天氣系統演進過程，分析大氣導管特性的變化情形。

## 二、研究方法

美國海軍電子實驗室(NELC, Naval Electronic Laboratory Center)，於1976年著手研究大氣與海洋間微觀交互作用，對於不同頻率雷達對目標偵測性能所造成之影響，發展出所謂的大氣折射效應預報組合系統(IREPS, Integrated Refractive Effects Prediction System)，1988年美國海軍海洋系統中心(NOSC, Naval Ocean Systems Center)繼IREPS後，發展出個人電腦版的工程折射效應預報系統(EREPS, Engineer's Refractive Effects Prediction System)，Patterson et al.(1994)再利

用電磁波之傳播方程，發展出新一代的EREPS 3.0工程折射效應預報系統，針對使用電腦控制之武器或通信系統所發射之雷達電磁波受低層大氣的影響進行評估，並對隨意的干涉、繞射、對流層散射、折射、蒸發及地面導管和成層均勻大氣情況下的水氣吸收的效應進行模擬。1995年則發展出視窗版大氣折射預報系統(AREPS, Advanced Refractive Effects Prediction System)，結合視窗作業環境與特色，如操作介面改良、網路環境結合等，除保有原有功能外，並採用由美國防影像製圖局所產製之地形資料(DTED, Digital Terrain Elevation Data)，2003年12月發行AREPS 3.3 Beta版本。

本文主要運用綜觀天氣資料、探空電碼以及大氣折射預報系統(AREPS)，分析2001年2月27日至3月6日春季時期連續兩波之大陸分裂高壓由長江口東移出海之個案，研究本省各地發生大氣導管之類型、發生高度，探討以下重點：

1. 各天氣類型下，逆溫層與大氣導管之關係。
2. 在不同天氣類型之下大氣導管特性的異同。
3. 不同時間、相同天氣類型之下，比較測站距離天氣系統的遠近對發生大氣導管之高度變化情形，分析各測站所發生大氣導管屬性。
4. 各測站在同一時間、相同天氣類型之下，所發生大氣導管屬性，分析大氣導管在地區間的異同。
5. 由單一測站大氣導管之時間序列，分析在同一天氣系統之下，大氣導管的變化情形。

## 三、研究步驟

選取個案的時間為2001年2月27日0000UTC至3月6日1200UTC，以下對此個案期間所採用之天氣資料來源、資料處理的方法分別作闡述：

### 1. 資料來源與處理

包括地面與高空天氣圖、探空電碼。在傳統資料方面，利用2月27日至3月6日日本氣象廳的0000UTC與1200UTC之地面圖、850hPa高空圖、700hPa高空圖、500hPa高空圖。

在大氣垂直結構分析方面，採用2月

27日至3月6日的0000UTC與1200UTC中央氣象局之板橋(46692)、花蓮(46699)探空測站，以及空軍之馬公(46734)、屏南(46750)、綠島(46734)探空測站所觀測之探空資料。但板橋、花蓮測站於3月6日1200UTC無探空電碼。

在天氣資料處理方面，首先訂正天氣圖、針對電碼編排格式進行除錯工作、製作斜溫圖，並將測站探空電碼輸入大氣折射預報系統之中，得到大氣導管所在高度、厚度、M值分布之詳細數據資料。此外，對各高度層天氣圖中測站的風向、風速、溫度、露點等天氣資料與所取得的探空電碼交互對照，來確保資料的準確無誤。

地面與高空天氣圖主要用於瞭解綜觀天氣狀況。在地面天氣圖方面，因發現日本氣象廳原先所標示出鋒面的位置不甚精準，甚至出現漏分析的狀況，故必須依據高、低壓氣團的分布狀況、各地面測站雲量多寡、天氣現象，以及是否存在風向、風速的不連續，來判斷鋒面的位置，並將分析結果補正繪於圖上。在高空天氣圖方面，850hPa高空圖、700hPa高空圖均繪有溼度場，有助於鋒面位置的判斷，以及了解導管發生的原因。而探空電碼所繪製斜溫圖用於分析大氣的熱力、溼度垂直分布、逆溫層高度，亦為探討導管發生原因的主要工具。在大氣導管方面，大氣折射預報系統所算得之次折射、超折射、陷捕的高度、厚度等資料，為統計導管特性的依據，亦為實際計算大氣導管所造成誤差的參考。

在逐時、逐測站完成了天氣圖、斜溫圖，以及大氣導管發生次數、高度、厚度等資料的訂正與製作之後，再確認各個時間各測站所受影響的天氣類型。依據天氣類型以及大陸分裂高壓移動方向，將個案區分為六大類：1. 鋒前、2. 鋒後、3. 東北季風(即測站位於大陸分裂高壓第四象限)、4. 大陸分裂高壓由長江口出海(即大陸分裂高壓位於測站北方)、5. 高壓迴流且大陸分裂高壓通過長江口之後偏向東北方移動(即朝向日本)、6. 高壓迴流且大陸分裂高壓通過長江口之後則

以偏東方向移動(即偏向琉球群島)。

### 2. 天氣類型判別

天氣類型的判別，除了參照各高度層之綜觀天氣圖之外，並配合斜溫圖之各空層風向、風速的變化來做考量。地面天氣圖上各天氣類型分布之區域示意圖如圖3.1，各天氣類型之氣象因素特徵詳述如下：

- (1) 鋒前：測站位置落於鋒面之東方或東南方區域，西南風較為強勁。
- (2) 鋒後：測站位置落於鋒面西方或西北方區域，風向為西北風至北風，風速較鋒前天氣類型微弱。
- (3) 東北季風：測站位置落於大陸分裂高壓之第四象限區域，風向為東北風，風速轉為強勁。
- (4) 大陸分裂高壓由長江口出海：測站落於大陸分裂高壓之正南方位置，風向為東北至東風，風速甚微弱。
- (5) 高壓迴流且高壓移動路徑偏北：測站位置落於大陸分裂高壓之第三象限區域，高壓中心位於日本附近，風向為東南風。
- (6) 高壓迴流且高壓移動路徑偏南：測站位置落於大陸分裂高壓之第三象限區域，高壓位於琉球海面附近，風向為東南風。

表3.1顯示AREPS所計算地面至500hPa高度之間陷捕、超折射、次折射的運算數值結果，圖3.2為地面天氣圖、圖3.3為850hPa高空圖、圖3.4為700hPa高空圖、圖3.5為500hPa高空圖、圖3.6為斜溫圖，而圖3.7為依據表3.1資料由AREPS所繪出之測站陷捕、超折射、次折射高度的分布圖，其右方區塊靠左顯示發生大氣導管的種類(紅色代表陷捕、綠色代表超折射、藍色代表正常傳播、灰色代表次折射)以及高度，最右邊粉紅色帶狀則顯示導管的厚度。試以2001年3月3日0000UTC板橋測站之案例執行判別個案天氣類型：由圖3.2知，地面低壓中心位於東海，鋒面向西南延伸經福建省至廣東省東部，板橋測站位於鋒面東方；由圖3.4知，700hPa槽線位於江蘇省、浙江省一帶；另由圖3.6知，SFC至850hPa的風場均為西南風，風速1至22哩/時，故研判板橋測站為受西南氣流影響，為鋒前天氣類型。

由於空中導管發生高度主要分布範圍在1至2.5公里之間，少數可延伸至6公里，且絕大多數低於4公里，因此依據上述所統計之發生導管的高度，定義700hPa以下的空中導管稱為低空導管、500hPa至700hPa的空中導管稱為高空導管，而發生於地面層的導管稱為地面導管。再逐一統計各天氣類型發生地面、高空、低空導管的次數、高度、厚度等項目，求其平均值，以得到各天氣類型之導管特性。最後，比較各天氣類型之導管特性的異同、探討其導管特性的原因、同天氣類型之中測站距離天氣系統遠近對大氣導管特性的影響、大氣導管與逆溫層的關係，以及同一測站、天氣系統演進對大氣導管之變化情形。

#### 四、結果與討論

每一時間各測站所受之天氣類型統計結果如表4.1。以下說明所區分的六個天氣類型之個案，各測站分析大氣導管的結果，並探討以下主題：1.導管發生與逆溫層之關係；2.各類型個案之間大氣導管特性；3.同一時間、同一天氣類型中，各測站的導管特性比較；4.各測站大氣導管時間序列之特性。

##### 1. 天氣類型與導管特徵

依照各天氣類型在天氣圖、斜溫圖的天氣因素特徵，我們將全部個案予以區分為鋒前、鋒後、東北季風、大陸分裂高壓由長江口出海、高壓迴流且高壓移動路徑偏北、高壓迴流且高壓移動路徑偏南等六種天氣類型，再逐一記錄各天氣類型中每一個案時間、測站所發生發生陷捕、超折射高度以及厚度，得到各天氣類型發生陷捕、超折射高度、厚度。表4.2為鋒前天氣類型發生導管之高度、厚度分布情形。

##### (1) 不同天氣類型之導管特徵

為求準確掌握導管發生的特性，將傳播路徑與陷捕相似的超折射現象加入考量，分別統計各天氣類型導管的次數、平均高度、平均厚度，其結果如表4.3所示。以下分別敘述各天氣類型所發生導管的特徵：

##### a. 鋒前天氣類型

高空導管為主。因測站距離高壓中心較遠(在500hPa高空圖中位於高壓邊緣)，高壓勢力較弱使高空導管高度增加，且西南氣流所引進豐沛水汽，水汽混合層較厚，故低層之水汽混合層與高層較乾空氣交介面形成的低空導管高度較高。

##### b. 鋒後天氣類型

以低空導管為主，因底層降水，水汽分布較為均勻，故導管的數量為六天氣類型之中最少者。而鋒後500hPa高空常為槽線，高壓勢力最弱，使得高空導管高度增加，高空導管平均高度為六種天氣類型中最高。另鋒後天氣類型低空受鋒面影響，冷暖交介面較低，故低空導管高度為六種天氣類型中最低者。

##### c. 東北季風天氣類型

以低空導管為主。此時500hPa高空為高壓邊緣地帶，高壓勢力較弱，故高空導管平均高度較高。

##### d. 大陸分裂高壓由長江口出海之天氣類型

以低層導管為主。此時500hPa高壓脊位於測站正上方，高壓勢力最強，底層較濕空氣與高層乾空氣之交介面常壓至較低高度，不易形成高空導管，故發生高空導管數量為六種天氣類型中最少。

##### e. 高壓迴流且高壓移動路徑偏北之天氣類型

以低層導管為主。此時500hPa高空之高壓逐漸遠離測站，高壓勢力減弱，故導管高度增加。因分裂高壓位置偏北，其東南氣流通過廣大洋面到達測站，具豐沛水汽之混合層高度增高，故發生高空導管數量為六種天氣類型中最高。

##### f. 高壓迴流且高壓移動路徑偏南之天氣類型

以低層導管為主。此時分裂高壓距離測站距離較近，故500hPa高空之高壓勢力仍強，發生高空導管機會較低。且因分裂高壓位置偏南，其東南氣流通過廣大洋面到達測站的距離較短，氣流所攜帶水汽較少，故發生高空導管數量較路徑偏北天氣類型來得

低，而與鋒前西南氣流相當。

##### 2. 相同天氣類型之導管特徵

##### (1) 鋒前天氣類型

受到西南氣流影響，各地測站水汽量差異不大，故各測站導管高度並無因距離鋒面的遠近而影響。

##### (2) 鋒後天氣類型

在同一時間下，導管高度隨距離增加而變高。案例如3月3日1200UTC，圖4.1地面圖顯示鋒面位於本省東部外海，測站與鋒面的距離由近而遠分別為綠島、屏南、花蓮、板橋，而導管高度分別為SFC、811hPa、675至629hPa、601hPa。

##### (3) 東北季風天氣類型

a. 在同一時間之下，導管高度隨距離增加而變高。案例如3月1日1200UTC，圖4.2地面圖顯示大陸分裂高壓位於安徽省，板橋、花蓮與馬公測站距離分裂高壓中心較近，導管高度為946hPa、950hPa、771hPa、639hPa；而屏南與綠島測站距離分裂高壓中心較遠，導管高度為735hPa、748hPa、653hPa、652hPa、655hPa、656hPa，顯示高壓中心距離測站較遠，導管高度變高，且700hPa以下的沉降逆溫層高度亦有相同情形。

b. 在不同時間、相同測站之下，分裂高壓中心位置距離測站的愈遠，導管發生高度愈高：案例如2月28日1200UTC圖4.3地面圖與3月1日1200UTC圖4.2地面圖，馬公、板橋、花蓮測站距離分裂高壓中心較遠，其導管高度較3月4日0000UTC(圖4.4地面圖)分裂高壓中心距離測站近的導管高度來得高；而分裂高壓位於相同緯度時，屏東、綠島測站之導管高度3月1日0000UTC(距離測站近)較3月1日1200UTC(距離測站近)低。

##### (4) 大陸分裂高壓由長江口出海之天氣類型

低層導管高度與高壓中心距離測站的遠近之間無明顯差異。案例如3月4日1200UTC，圖4.5地面圖大陸分裂高壓位於長江口，板橋測站距離分裂高壓中心最近，無

發生陷捕或超折射(由圖4.6板橋斜溫圖知，地面至高空均受強烈高壓勢力籠罩，溼度小，不利於導管的生成)，馬公、花蓮測站距離鋒面略遠，發生陷捕或超折射高度為SFC、963hPa，屏南與綠島測站距離分裂高壓中心最遠，導管高度為SFC、757hPa、769hPa。

##### (5) 高壓迴流且高壓移動路徑偏北之天氣類型

測站距離高壓中心較遠，導管高度變高，且700hPa以下的沉降逆溫層高度亦變高。案例如3月2日1200UTC圖4.7地面圖，大陸分裂高壓位於安徽省，板橋、花蓮與馬公測站距離分裂高壓中心較近，導管高度為946hPa至771hPa；而屏南與綠島測站距離高壓中心較遠，導管高度為735hPa至748hPa；另如3月2日1200UTC，馬公、屏南測站距高壓中心較近，導管高度較高，3月3日0000UTC(如圖4.8地面天氣圖)馬公、屏南測站距高壓中心較遠，導管高度較低。

##### (6) 高壓迴流且高壓移動路徑偏南之天氣類型

測站距離鋒面遠近，與導管高度之間無明顯關聯。案例如3月5日1200UTC，圖4.9地面天氣圖中大陸分裂高壓位於琉球群島東方海面，板橋、花蓮與綠島測站距離鋒面較近，導管高度為914hPa至764hPa，屏南與馬公測站距離鋒面較遠，導管高度為SFC至808hPa；且比較3月5日0000UTC與3月6日0000UTC五個測站之導管高度，亦顯示相同情形。

##### 3. 逆溫層位置與導管高度

##### (1) 鋒前天氣類型

a. 沉降作用有利形成導管。案例如2月27日1200UTC花蓮測站686hPa、2月28日1200UTC綠島測站838hPa逆溫層，因沉降作用明顯形成導管。

b. 有沉降作用卻溼度梯度小，不易形成導管(逆溫層造成水汽梯度增大，是形成導管的主要因素)。案例如3月3日0000UTC馬公測站因650hPa逆溫層高度附近沉降作用明顯造成陷捕，但板橋、花蓮測站在650hPa逆溫層高度附近之沉降作用，因溼度梯度較

不明顯，並無形成陷捕或超折射；另如3月6日1200UTC馬公測站因668hPa逆溫層高度沉降作用，以及867hPa逆溫層之間溼度梯度變化大，造成陷捕與超折射；屏南測站逆溫層高度之沉降作用所造成的溼度梯度小，無形成陷捕與超折射。

c. 無逆溫層，只要溼度梯度大，亦會發生導管。案例如2月28日1200UTC綠島測站地面溼度大，1000hPa至925hPa之間溼度變小，水汽梯度大造成地面超折射；另如3月6日1200UTC在馬公測站717hPa溼度大，而717hPa以上溼度明顯變小，存在較大的溼度梯度，形成超折射。

### (2) 鋒後天氣類型

導管高度均與沉降逆溫層大致相配合(逆溫層因溼度梯度變化明顯，形成導管的機會較大，且沉降作用易於造成導管)。案例如2月27日1200UTC馬公測站位於987hPa、608hPa高度，以及2月28日0000UTC馬公測站位於994hPa、681hPa的逆溫層均存在沉降作用，溼度梯度大，高層存在陷捕或超折射。另如2月28日1200UTC屏南測站，因782hPa逆溫層之沉降作用，溼度梯度增大，低層存在超折射(但板橋測站在逆溫層均無發生陷捕或超折射)；3月3日1200UTC花蓮與板橋測站，700hPa以上逆溫層為高壓沉降，但因700hPa以下水汽多但梯度不足，只發生高層陷捕或超折射；屏南測站在811hPa逆溫層因溼度梯度變化明顯，造成超折射(但馬公、綠島測站的逆溫層均無發生導管)。

### (3) 東北季風天氣類型

a. 導管高度均與沉降逆溫層大致相配合。案例如2月28日1200UTC，花蓮測站796hPa逆溫層因水汽隨高度梯度變化較大，形成超折射(但馬公、板橋的逆溫層並無發生導管)。另如3月1日0000UTC馬公測站747hPa、610hPa、屏南測站875hPa、775hPa、綠島測站786hPa逆溫層，水汽梯度大而形成超折射(花蓮、板橋測站的逆溫層並無發生導管)。另如3月1日1200UTC馬公測站950hPa、946hPa、639hPa、屏南測站735hPa、655hPa、639hPa、綠島測站651hPa、652hPa逆溫層，因溼度梯度變化大而形成導管(板

橋測站771hPa高度並無逆溫，因溼度梯度大形成超折射、花蓮測站逆溫層均無導管)。另如3月4日0000UTC馬公測站931hPa、899hPa、板橋測站832hPa逆溫層、花蓮測站地面逆溫，因溼度梯度大而形成導管。

b. 地面層雖無發生逆溫，但因溼度梯度大，易形成導管。案例如3月1日0000UTC屏南、綠島測站、3月1日1200UTC綠島測站，以及3月4日0000UTC屏南、綠島測站，雖地面溫度較高，但地面層溼度梯度大，亦形成導管。

### (4) 大陸分裂高壓在長江口出海之天氣類型

a. 導管高度與沉降逆溫層大致相配合。案例如3月2日0000UTC馬公測站974hPa與694hPa、板橋測站757hPa、花蓮測站1016hPa、823hPa、屏南測站1009hPa、789hPa、713hPa逆溫層均存在導管。另如3月4日1200UTC屏南測站757hPa逆溫層形成導管(但板橋、花蓮測站之逆溫層無發生導管、馬公測站963hPa逆溫層因900hPa至700hPa之大氣極為乾燥形成超折射)。

b. 地面溼度較大，不易發生導管。案例如3月2日0000UTC馬公、屏南、綠島測站，以及3月4日1200UTC馬公、綠島測站因地面溼度梯度大而形成導管。另如3月4日1200UTC馬公與綠島測站之地面溫度均為20度，但馬公測站地面溼度大，地面發生超折射；而綠島測站地面溼度小，並無發生導管。

### (5) 高壓迴流且高壓移動路徑偏北之天氣類型

a. 導管高度與沉降逆溫層大致相配合。案例如2月27日0000UTC馬公測站902hPa、屏南測站709hPa逆溫層、2月27日1200UTC屏南測站864hPa、733hPa、綠島測站722hPa逆溫層、3月2日1200UTC馬公測站SFC、964hPa、796hPa、板橋測站799hPa至782hPa、屏南測站825hPa至809hPa、706hPa、綠島測站791hPa之逆溫層，以及3月3日0000UTC屏南測站676hPa、665hPa、綠島測站677hPa逆溫層，均存在導管(但3月2日1200UTC花蓮測站791hPa

高度並非逆溫層，因溼度梯度大而形成超折射，且3月27日0000UTC板橋、花蓮、綠島測站之逆溫層並無發生導管)。

b. 地面溼度梯度大易形成導管。案例如2月27日1200UTC綠島測站、3月3日0000UTC屏南、綠島測站。

### (6) 高壓迴流且高壓移動路徑偏南之天氣類型

a. 導管高度均與沉降逆溫層大致相配合。案例如3月5日0000UTC馬公測站855hPa、939hPa、板橋測站850hPa、花蓮測站793hPa、屏南測站824hPa、綠島測站760hPa逆溫層，與3月5日1200UTC馬公測站932hPa、698hPa、板橋測站810hPa、花蓮測站787hPa、屏南測站808hPa、綠島測站764hPa逆溫層，以及3月6日0000UTC馬公測站819hPa、板橋測站802hPa、687hPa、屏南測站773hPa、782hPa、綠島測站758hPa、750hPa逆溫層，發生陷捕或超折射(但3月6日0000UTC花蓮測站、3月6日1200UTC綠島測站之逆溫層，因水汽梯度不足無形成導管)。

b. 地面溼度梯度大易形成導管。案例如3月5日0000UTC與3月6日1200UTC綠島測站，以及3月5日1200UTC與2001年3月6日0000UTC馬公測站。

### 4. 大氣導管時間序列演變

圖4.10至圖4.14分別為2001年2月27日0000UTC至3月6日0000UTC期間板橋、花蓮、馬公、屏南與綠島測站M值隨高度變化的時序圖(3月6日1200UTC板橋測站缺資料)。以下分別敘述各測站導管高度之時間序列變化情形。

#### (1) 板橋測站

在3月5日0000UTC至2001年6日0000UTC期間(為高壓迴流且高壓路徑偏南之天氣類型)，大陸分裂高壓逐漸遠離本測站，而導管高度略為增高。

#### (2) 花蓮測站

在3月5日1200UTC至2001年3月6日0000UTC期間(為高壓迴流且高壓路徑偏南

之天氣類型)，大陸分裂高壓持續東移遠離本測站，但導管高度無明顯變化。

#### (3) 馬公測站

2月27日1200UTC至2月28日0000UTC(為鋒面天氣類型)，鋒面逐漸接近本測站，且在3月1日0000UTC至3月1日1200UTC期間(為東北季風天氣類型)，大陸分裂高壓持續東移接近本測站，導管高度均隨高壓中心與測站距離減少而有降低趨勢。

3月5日1200UTC至2001年3月6日1200UTC期間(為高壓迴流且高壓路徑偏南之天氣類型)，大陸分裂高壓持續東移遠離本測站，導管高度均隨之增高。所以，導管高度隨高壓中心與測站距離增加(減少)而有增高(降低)之趨勢。

#### (4) 屏南測站

2月27日0000UTC至2月27日1200UTC期間(為高壓迴流且高壓路徑偏北之天氣類型)，大陸分裂高壓逐漸遠離本測站，但導管高度卻降低；在2月28日0000UTC至2月28日1200UTC期間(為鋒面天氣類型)，鋒面逐漸接近，導管高度均隨高壓中心與測站距離減少而有降低趨勢；

但3月1日0000UTC至3月1日1200UTC期間(為東北季風天氣類型)，大陸分裂高壓持續東移接近本測站，導管高度卻隨距離減少而有增高趨勢。在3月2日1200UTC至2001年3月3日0000UTC(為高壓迴流且高壓路徑偏北之天氣類型)，以及2001年3月5日1200UTC至3月6日1200UTC期間(為高壓迴流且高壓路徑偏南之天氣類型)，大陸分裂高壓持續東移遠離本測站，導管高度隨距離增加而有增高趨勢。

#### (5) 綠島測站

在3月2日1200UTC至3月3日0000UTC(為高壓迴流且路徑偏北之天氣類型)，以及3月5日1200UTC至3月6日0000UTC期間(高壓迴流且路徑偏南之天氣類型)，導管高度隨距離增加而有增高趨勢。

但3月1日0000UTC至1200UTC期間東北季風天氣類型，大陸分裂高壓持續東移接近本測站，導管高度卻隨距離減少而有增高趨

勢。

### 五、結論與展望

天氣系統的演進，使得大氣環境中的溫度、壓力、溼度產生劇烈變化，當空氣中與溫度、壓力、溼度函數相關的大氣折射率N，其垂直方向梯度大於-157N/Km時，大氣導管因而產生。而造成大氣導管的因素，不外乎高層大氣沉降作用，造成底層與高層之間形成逆溫層，以及不同氣團的兩介面，隨著天氣系統的推移，因此造成了導管出現的位置、高度與厚度呈現快速的變化。

不同天氣類型，具有不同的大氣導管特性，亦即發生大氣導管的高度、厚度，與測站所受的天氣類型有密切關係：

- (1) 鋒前發生導管的機率最少，造成700hPa以上高空導管之次數最多，厚度最薄，但低空導管的高度居各大天氣類型之次。
- (2) 鋒後易出現低空導管的情況，高度最低、厚度最薄，但高空導管的高度最高。
- (3) 東北季風發生機率較高，且多為低空導管，伴隨發生地面導管的機率居六種天氣類型之冠。
- (4) 分裂高壓在長江口，易出現低空導管，且厚度最大，而出現高層導管的機會最低。
- (5) 高壓迴流因其路徑偏北，以出現低空導管為主，低空導管高度最高。
- (6) 高壓迴流且路徑偏南，出現導管機會最大，常為低空導管，而出現高空導管的機會小。

統計結果顯示，導管高度均與沉降逆溫層大致相配合。700hPa 高度以上因強烈沉降作用所形成的逆溫層，使得高層與低層大氣之水汽梯度急速增大，是促使高層導管形成的因素，但若沉降作用微弱，則無法造成水汽梯度較大的改變，無法形成導管；而700hPa高度以下，雖逆溫層是造成導管的因素，但發現溼度變化劇烈的高度，即使不是逆溫層，亦會發生導管，說明水汽梯度的劇烈變化，是決定導管生成的關鍵。換言之，逆溫層為發生導管的充要條件，而非必要條件。

此外，測站距離天氣系統的遠近，導管高度亦有變化：在同一天氣類型影響下，測站距離鋒面或高壓中心愈遠，低空導管的高

度愈高；但當受到強烈高壓勢力籠罩情況，距離的改變與導管高度的關聯不大。

未來展望方面，由於個案為春季時期，資料數量為78筆，有待未來針對不同季節、更多天氣類型進行長期的導管特性統計。此外，測站所測得之傳統探空電碼TTAA及TTBB的溫度、露點、壓力資料組數過少，常影響導管的判別，例如綠島測站近地面層資料過疏，M值在高度上的梯度的強度被平滑，以致影響導管的判別，需要以高解析探空資料來改善，以更精確的求得各天氣類型的大氣導管效應所造成之誤差值。

### 參考文獻

Bean, B. R., and E. J. Dutton, 1966: Radio Meteorology. US Dept. of Commerce, NBS Mono, 92, 431.

Almond, T., and Clarke, 1983: Consideration of the Usefulness of Microwave Propagation Prediction Methods on Air-to-Ground Paths. *Proc. IEE*, Part F, 130, 649-656.

Blake, L. V., 1986: Radar Range-Performance Analysis. Artech House Inc., 443.

Moszkowicz, S., G. J. Ciach, and W. F. Krajewski, 1994: Statistical Detection of Anomalous Propagation in Radar Reflectivity Patterns. *J. Atmos Oceanic Techno*, 11, 1026-1034.

Borsum, D. L., 1995: Doppler Delineates Danger from Dirt. National Weather Service Western Region Tech. Attachment 95-07, 7.

呂芳川、朱延祥、江火明、陳曉華、郭淑玲、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，37-48。

Patterson, W. L., C. P. Hatton, G. E. Linden, R. A. Paul's, H. V. Hitney, K. D. Anderson and A. E. Barrios, 1994: Engineer's Refractive Effects Prediction System (EREPS). *Technical Document*, Vol. 2648.

丁珏、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，493-501。

表 1.1 非標準傳播機制下電磁波傳播路徑分類表

類型	dN/dh (N/Km)	dM/dh (M/Km)
陷捕	dN/dh ≤ -157	-157 < dM/dh ≤ 157
超折射	-157 < dN/dh ≤ -79	0 < dM/dh ≤ 78
正常折射	-79 < dN/dh ≤ 0	78 < dM/dh ≤ 157
次折射	dN/dh > 0	dM/dh ≤ 157

錄自 Patterson et. al (1994)

表 3.1 板橋測站 2001 年 3 月 3 日 0000UTC 地面至 500hPa 高度之間陷捕、超折射、次折射的運算數值結果

Height(m)	M units	Pressure (hPa)	Layer
0.000	351.020	1018.0	Standard-refractive
3419.319	752.483	674.0	Standard-refractive
4095.196	840.381	619.0	Standard-refractive
4276.209	856.906	605.0	Standard-refractive
5905.539	1076.630	492.0	Standard-refractive

表 4.1 個案期間各測站所受天氣類型統計表 (英文字母 A、B、C、D、E、F 分別代表鋒前、鋒後、東北季風、大陸分裂高壓在長江口、高壓迴流且高壓移動路徑偏北、高壓迴流且高壓移動路徑偏南等天氣類型)

時間	測站	馬公	板橋	花蓮	屏南	綠島
2月27日0000UTC		E	E	E	E	E
2月27日1200UTC		B	B	A	E	E
2月28日0000UTC		B	B	A	B	A
2月28日1200UTC		C	C	C	B	A
3月01日0000UTC		C	C	C	C	C
3月01日1200UTC		C	C	C	C	C
3月02日0000UTC		D	D	D	D	D
3月02日1200UTC		E	E	E	E	E
3月03日0000UTC		A	A	A	E	E
3月03日1200UTC		B	B	B	B	B
3月04日0000UTC		C	C	C	C	C
3月04日1200UTC		D	D	D	D	D
3月05日0000UTC		F	F	F	F	F
3月05日1200UTC		F	F	F	F	F
3月06日0000UTC		F	F	F	F	F
3月06日1200UTC		A	無	無	A	F

表 4.2 鋒前天氣類型導管高度、厚度分布情形

時間	測站	陷捕氣壓值 (hPa)	超折射氣壓值 (hPa)	導管類型	高度 (m)	厚度 (m)
2001年2月27日1200UTC	板橋	無	無	無	無	無
	花蓮		686-677	高空	3303.7-3410.6	106.9
		632-624		高空	3965.0-4067.2	102.2
2月28日0000UTC	花蓮	無	無	無	無	無
	綠島		SFC-950	地面	0-319.9	319.9
2月28日1200UTC	綠島		SFC-950	地面	0-287.8	287.8
			838-828	低空	1364.0-1465.6	100.4
3月03日0000UTC	馬公	650-643		高空	3702.4-3789.0	86.6
	板橋	無	無	無	無	無
	花蓮		SFC-999	地面	0-166.9	166.9
3月06日1200UTC	馬公		SFC-987	地面	0-206.0	206.0
			867-843	低空	1315.6-1552.8	236.2
			717-710	低空	2678.1-2987.0	308.9
			668-663	高空	3486.7-3547.8	61.1
	屏南	無	無	無	無	無

表 4.3 各天氣類型發生導管之個案數目、平均高度、平均厚度

天氣類型	個案數目	導管數目		平均高度 (m)		平均厚度 (m)			
		空中導管		空中導管		地面導管			
		地面導管	空中導管	低空	高空	地面導管	空中導管		
鋒前	10	4	3	4	1785.9	3615.5	245.2	215.2	89.2
鋒後	10	3	7	5	1073.3	3885.6	180.9	82.9	150.0
東北季風	18	9	15	7	1771.8	3773.3	212.0	94.1	90.7
大陸分裂高壓在長江口出海	10	5	11	1	1542.4	3174.9	268.8	181.2	250
高壓迴流且高壓移動路徑偏北	14	4	14	4	1952.3	3366.6	247.5	112.7	132.6
高壓迴流且高壓移動路徑偏南	16	6	26	2	1781.6	3199.3	247.9	124.6	166.7

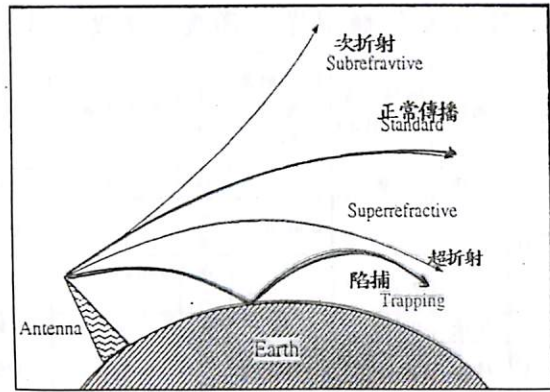


圖 1.1 非標準傳播機制下電磁波傳播路徑。  
[錄自 Patterson et. al (1994)]

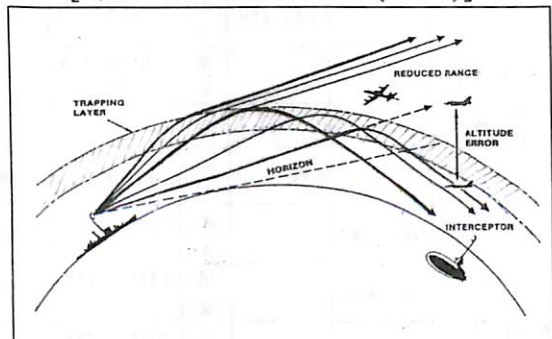


圖 1.2 大氣導管影響雷達電磁波在大氣中傳播的情形。[錄自 Patterson et. al (1994)]

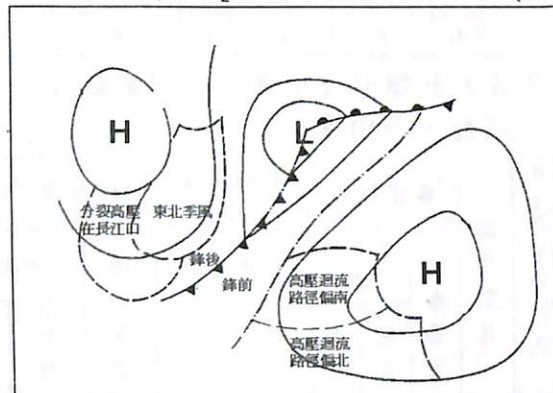


圖 3.1 各天氣類型在地面天氣圖上分布區域示意圖

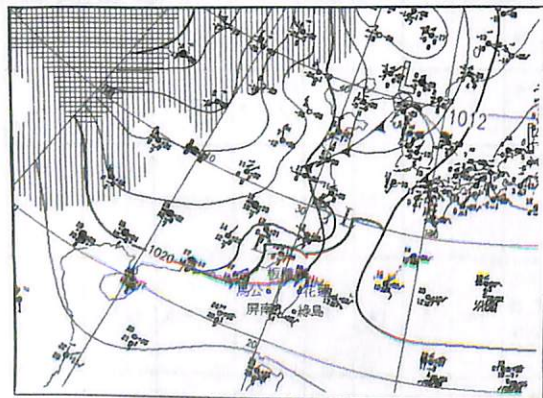


圖 3.2 板橋測站 2001年3月3日 0000UTC 地面圖

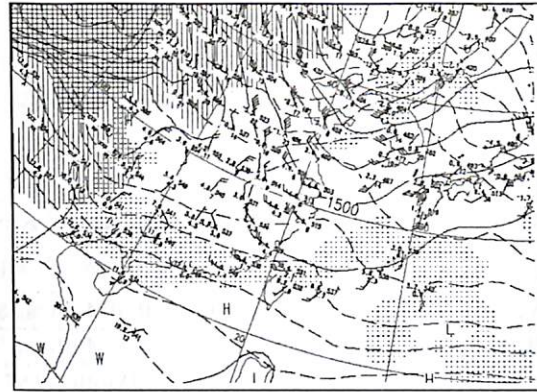


圖 3.3 2001年3月3日 0000UTC 850hPa 高空圖

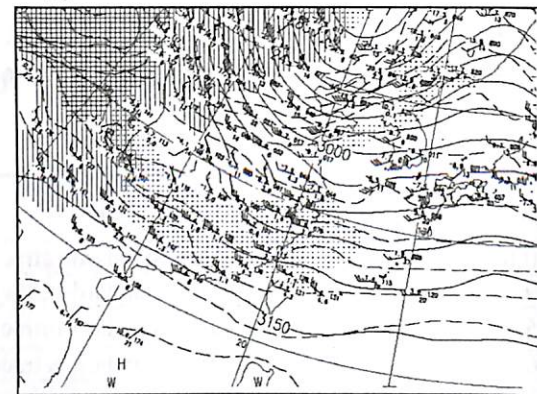


圖 3.4 2001年3月3日 0000UTC 700hPa 高空圖

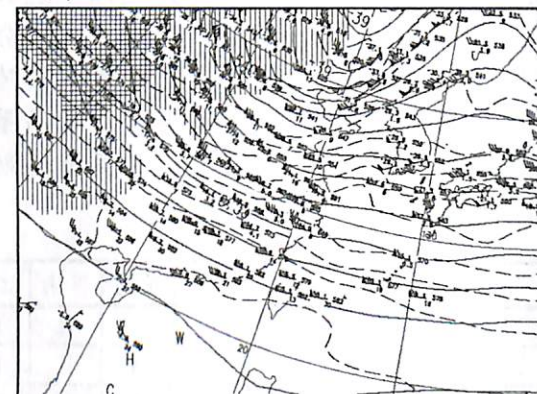


圖 3.5 2001年3月3日 0000UTC 500hPa 高空圖

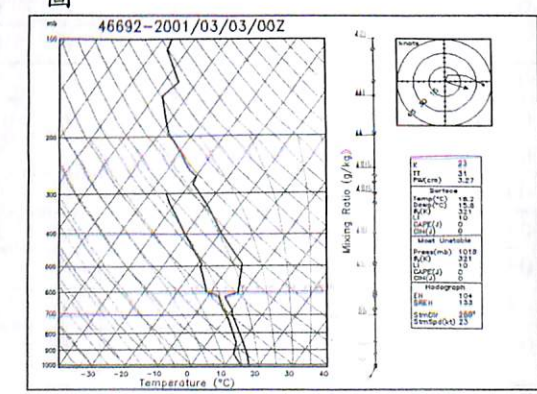


圖 3.6 板橋測站 2001年3月3日 0000UTC 斜溫圖

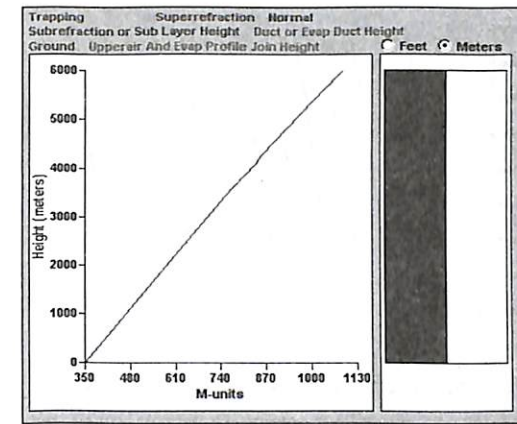


圖 3.7 板橋測站 2001年3月3日 0000UTC 導管圖

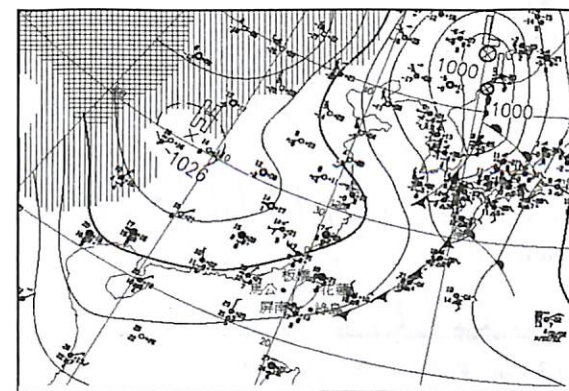


圖 4.1 2001年3月3日 1200UTC 地面天氣圖

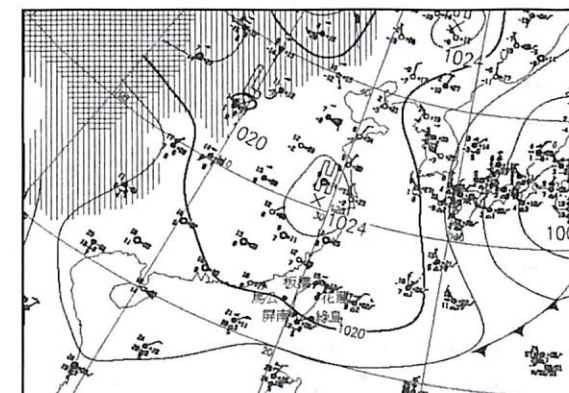


圖 4.2 2001年3月1日 1200UTC 地面天氣圖

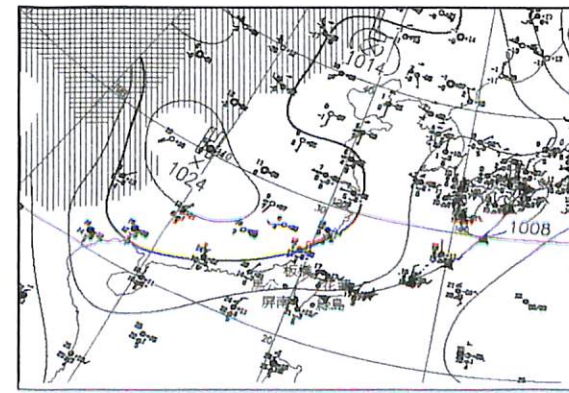


圖 4.3 2001年2月28日 1200UTC 地面天氣圖

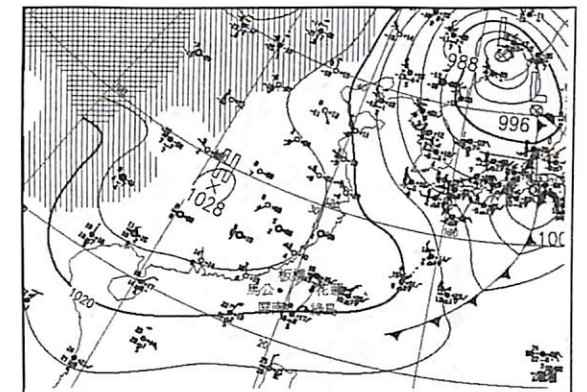


圖 4.4 2001年3月4日 0000UTC 地面天氣圖

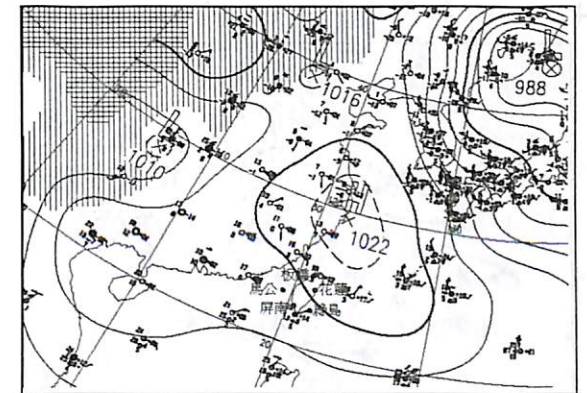


圖 4.5 2001年3月4日 0000UTC 地面天氣圖

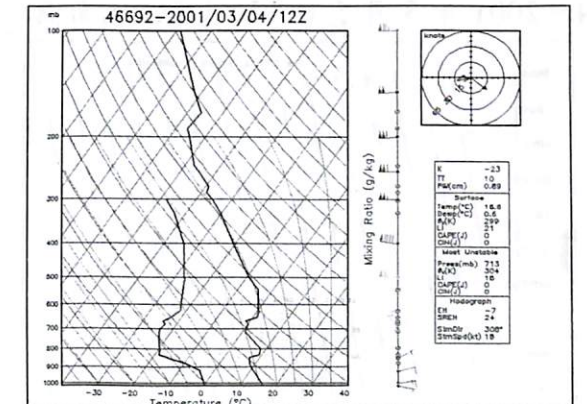


圖 4.6 2001年3月4日 0000UTC 板橋測站斜溫圖

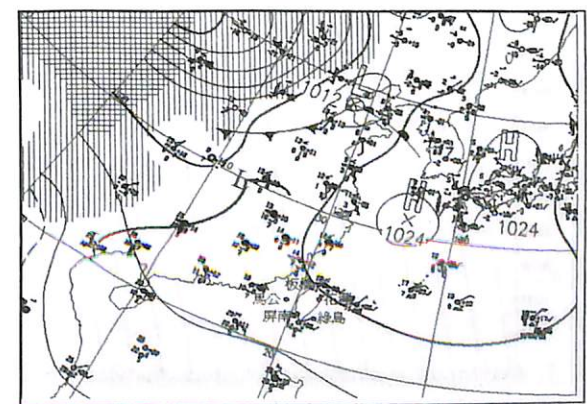


圖 4.7 2001年3月2日 1200UTC 地面圖

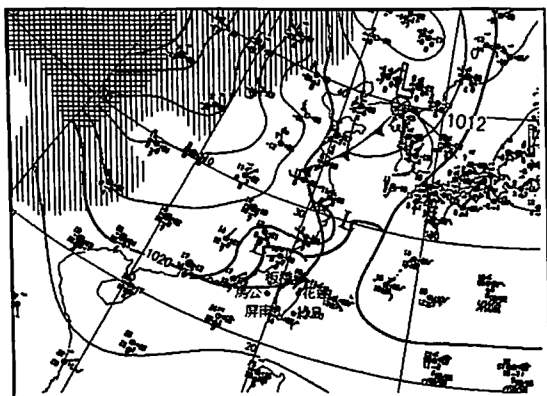


圖 4.8 2001 年 3 月 3 日 0000UTC 地面圖

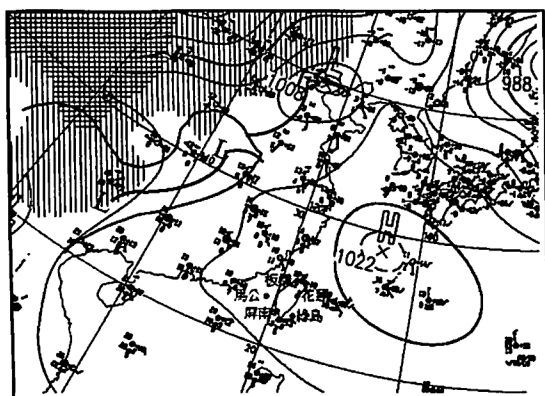


圖 4.9 2001 年 3 月 5 日 1200UTC 地面圖

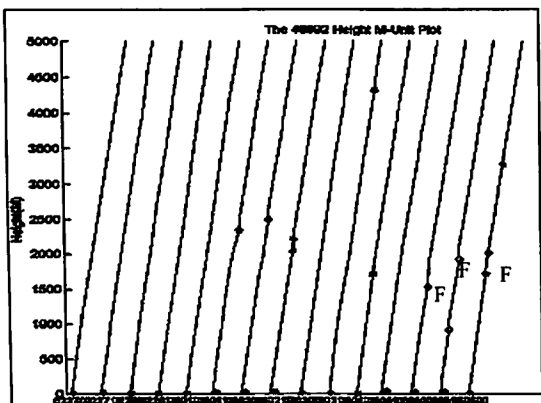


圖 4.10 板橋測站 M 值隨高度變化的時序圖

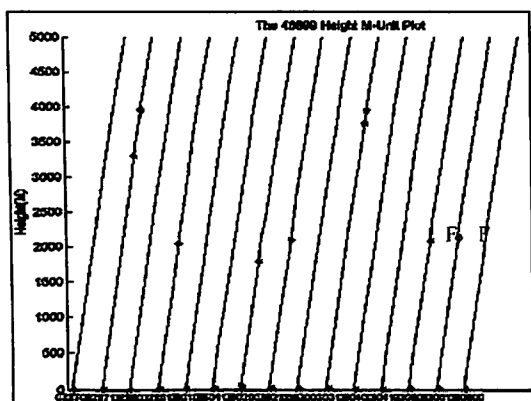


圖 4.11 花蓮測站 M 值隨高度變化的時序圖

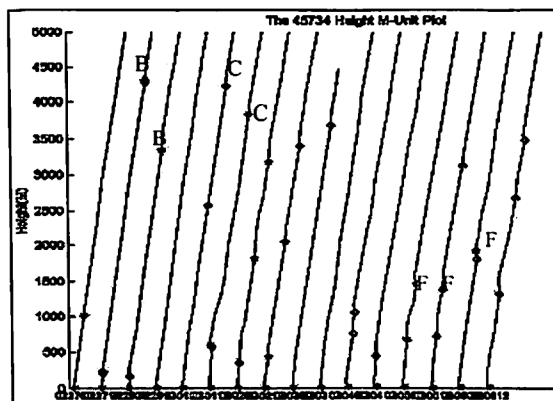


圖 4.12 馬公測站 M 值隨高度變化的時序圖

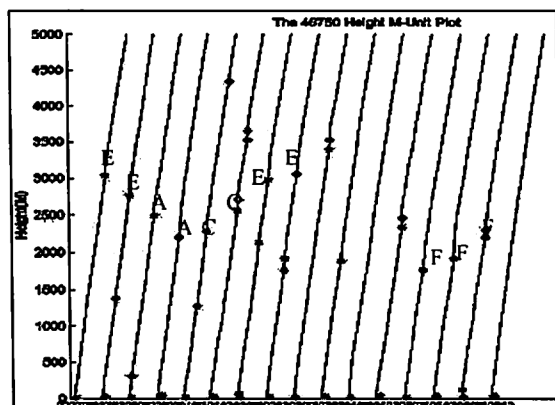


圖 4.13 屏南測站 M 值隨高度變化的時序圖

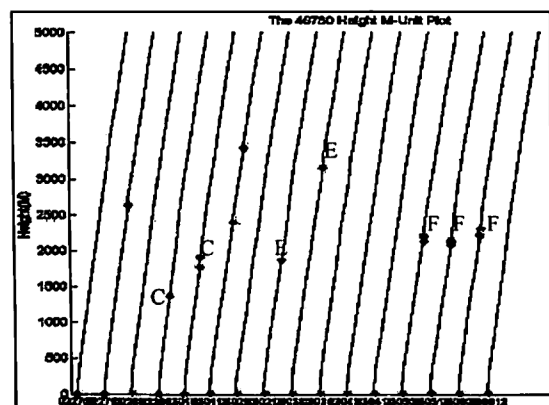


圖 4.14 綠島測站 M 值隨高度變化的時序圖