

CAA都卜勒雷達回波在山區的遮蔽

陶家瑞

鳳雷

楊景春

空軍通信電子學校

摘要

本研究使用民航局中正氣象台(CAA)之C波都卜勒雷達回波資料及氣象局板橋站探空資料。分析1990年8月19日查楊希颱風登陸期間大氣折射指數及波束路徑與氣象雷達所常用4/3地球半徑曲率的波束路徑之比較，結果顯示其差異非常的小。並利用颱風登陸期間回波資料分析不同仰角下受到山脈阻擋的地形遮蔽(Shielding)。

壹、前言

利用氣象雷達回波進行降水估計最大優點在於它能夠從單一地點測量到具有很好空間及時間解析度的大範圍即時降水資料，並且有能力解析天氣系統的三維降水回波結構。這些龐大的回波資料對於系統之降水具有很好的定量描述，但由於台灣複雜的地形，在運用時面臨許多困難。

英國學者Hill, Browning和Bader(1981)分析了八個鋒面個案，以澄清鋒面經過中高度山脈時降水被加強的機制及結構。結果顯示地形雨的產生與Bergeron(1965)的Seeder-feeder 機制一致，即雲滴從已存在的高層雲(Seeder)灑下至在山上形成的低層雲(feeder)中。根據此機制，低雲氣流爬升速率可以補充低層雲的水汽含量並可決定地形增強作用的量。最大地形雨將生於具有強勁且飽和的低層氣流之鋒面和暖區降水的位置。分析結果也顯示地形增強作用與低層風速關係密切，最大的降水地方。雷達觀測顯示80%的增強作用發生在最低1.5公里。

地形對降水之影響是如此的重要，而雷達又是中範圍降水觀測的最佳工具，在台灣地區多山的環境下瞭解波束遭受地形阻擋、遮蔽的效應，相信對將來用雷達在山區做降水估計時有非常大的幫助。

貳、資料來源與處理

本文所使用資料時間範圍為1990年8月18日至1990年8月20日之深空資料與中正氣象台都卜勒雷達回波強度資料二部份。探空資料取自TATEX(台灣地區颱風實驗)國內IOP-1磁帶資料。周、洪與鄧(1990)曾對CAA都卜勒雷達在TAMEX觀測期間的資料特性和處理程序有過深入的探討。

民航局CAA都卜勒氣象雷達共儲存三種不同的原始資料，包括降水回波強度、徑向速度和波譜寬度。這些資料都是透過雷達波束以固定仰角、作360°掃描所得到的圓錐面資料。不同仰角的圓錐面資料構成一組完整的體積掃描(Volume Scan)。YANCY颱風期間一組體積掃描從0.5°至19.5°。共有20層不等間距的圓錐面資料。各層仰角度數及距離與高度之關係如圖2.1。CAA都卜勒雷達最大掃描

半徑是120公里，系統最小取樣單元 (range bin) 之間距為83.3公尺。但為了節省電腦儲存空間，透過前置處理器累積回波強度予以12點平均 (Ericsson Radio Systems AB, 1987)，使得儲存磁帶上的資料單元 (gate) 變為1公里。在電腦的資料儲存上是以一個位元組 (byte; 8 bits) 儲存一筆徑向風速或回波強度之資料。由於每個位元組只能儲存256個整數，因此使得回波強度儲存的精確度為降至0.4375dBZ，儲存範圍-40至72dBZ之間；徑向速度精確度為0.375m/s，範圍在-48至48m/s之間。

CAA雷達具有消除地面回波的功能，對每一取樣單元 (range bin) 之回波強度值均予監測，當發生溢位時其數值均予剔除並計錄為無觀測值 (NO measurement)。在計算資料單元 (gate) 時，若無資料個數超過某一個設定值 X ($4 \leq X \leq 11$) 則資料單元也將標示成無觀測值。在上述情況下，反射率因子 (Reflectivity factor) 計算時步驟如下：

- (1) 回波強度值為無觀測或0者不計算反射率因子。
- (2) 使用前置處理器 (preprocessor) 記憶體內預存的dBm/dBz校驗曲線換接收功率 (power return) 至相當反射率因子 (equivalent reflectivity factor)。
- (3) 使用距離平方 R 反比之關係來修正反射率因子在距離上的衰減。
- (4) 大氣衰減作用之修正。
- (5) 使用逐步衰減器 (step attenuatio) 修正前方回波衰減作用。

經過前置處理後的反射率因子已剔除了地面雜波並完成距離修正，大氣衰減修正及前方回波修正。但是受到阻礙物遮蔽的回波則依然存在，必須以人工方式剔除以避免錯誤的資料影響降水的估計。

參、傳遞路徑與地形遮蔽

(一) 電磁波路徑

在真空中電磁波將以直線前進，而在層化的大氣中電達的電磁波束的路徑將受到大氣折射指數 n (refractive index) 垂直向變化的影響。當折射指數 $n(h)$ 隨高度 h 之變化 (dn/dh) 很小時，Hartree et al. (1946) 導出了層化大氣下電磁波傳遞路徑的方程式如下：

$$\frac{d^2h}{ds^2} - \left(\frac{2}{R+h} + \frac{1}{h} \frac{dn}{dh} \right) \left(\frac{dh}{ds} \right)^2 - \left(\frac{1}{R+h} + \frac{1}{n} \frac{dn}{dh} \right) = 0 \quad (1)$$

其中 S 地球表面上大圓之弧長， $h(s)$ 為距離 S 處與地表之間的高度， R 為地球半徑，折射指數 n 為氣壓 P 、水氣壓 P_w 、溫度 T 之函數。 N 為電磁波折射率 (Radiorefractivity)：

$$N = (n-1)10^5 = (77.6/T)(P+4810P_w/T) \quad (2)$$

在低仰角時，波束近似與地表平行， $(dh/ds) \ll 1$ 。若將波束限制在10或20公里內則 $h \ll R$ ，又 $dn \sim 1$ 則方程式(1)可簡化成：

$$\frac{d^2h}{ds^2} = \frac{1}{a} + \frac{dn}{dh} \quad (3)$$

若使用典型的折射指數垂直梯度 $dn/dh = -(1.4/R)$ ，就可得到所謂的有效地球半徑 (effective radius of earth)： $R_e = (4/3)R$ 。不同仰角 θ 的 $4/3$ 地球半徑曲率路徑式如下：

$$h = S \tan \theta + (S/\cos \theta)^2 / 17000 \quad (4)$$

在楊希鵬風登陸台灣北部地區前後探空資料，可以求得大氣溫度、濕度的垂直分佈。將這些資料代入(1)式可求得 S 及 h 的數值解 (鄧，1992曾對數值解與解析的結果比較，確定數值解的可靠性)。

圖3.1, 3.3為8月18日1800UTC及8月19日0000UTC探空資料。圖3.2, 3.4為對應3.1, 3.3時間之電磁波傳遞路徑。實線為利用板橋探空之氣壓、溫度、濕度資料計算折射指數垂直梯度代入方程式(1)所得之路徑，虛線為(4)式所計算之路徑。結果顯示用 $4/3$ 地球曲率公式所計算出的路徑與實際的路徑非常接近。(4)式有些許高估，偏差主要在於低層仰角，誤差範圍在100km處均保持在100公里內。在8月19日0000UTC時(1)式及(4)式的結果幾乎相等。在高仰角時，使用 $4/3$ 地球半徑曲率之

均有非常好的表現。

由於單點之探空資料並不能代表雷達觀測範圍內之所有大氣之秉性，所以實際電磁波束路徑與數值解仍會有所差異。若將颱風範圍之大氣垂直結構與探空之高數值的相對濕度及近似濕絕熱遞減率之溫度垂直剖面相似，則 $4/3$ 地球半徑曲率公式將有很好的推估，僅具有輕微的系統性高估。

(二) 地形遮蔽之去除

因為地球曲率的關係，雷達所能觀測的最低高度會距離的平方增加。假如降水的強度或降水本身的特性隨高度而變化，雷達所觀測之高層降水回波就無法表示地面降水強度，在距離雷達愈遠這現象嚴重。為了要估計地面降水，雷達一般都盡可能的保持在最低的仰角，以避免降水率垂直方向上變動。

台灣地區由於多山，雷達在低仰角掃描時，電磁波將遭受山脈的阻擋。在該處地面將反射較強的能量而造成定性強回波 (permanent echoes) 或稱為地形雜波 (ground clutter)，CAA都卜勒雷達具有消除這些雜波的功能。若電磁波束只有部份主波脈或副波脈被地形所阻擋，則在山後地區由於僅有部份能量照射至降水粒子，雷達所收到的回波將比實際的還低。這現象就是地形遮蔽 (shielding)，可參考Browning and Collier (1989) 的示意圖 (圖3.5a)，此種現象會造成嚴重的降水低估。

CAA雷達雖然具備去除地面雜波的功能，但仍然無法將減弱的回波修正回實際回波。為了去除這些不好的資料本文分析楊希鵬風登陸期間8月19日1205LST與8月19日1405LST的低層回波共4200個波束，並標示出最低5層仰角各個波束受地形遮蔽所引起回波衰減的起點，在標示這些受地形遮蔽的波束 (beam) 時，使用地形資料作為輔助判斷 (地形資料為水平 $1\text{km} \times 1\text{km}$ ，垂直100m解析度之網格點資料)。分析步驟首先將RHI與地形資料結合並依循下列判斷準則：

- (1) 回波波束完全照射至地形線之下，回波強度在通過地形線後迅速減弱或變成無觀測資料，則

在地形前緣處靠近雷達側標示為遮蔽起始位置 (圖3.5b)。

- (2) 回波波束部份穿越地形線，回波減弱5dBZ以上時，亦將該點標示成遮蔽起始位置 (如圖3.5b)。

- (3) 0.5° 1.0° 仰角在配合地形資料後，雖然沒有遭遇(1)及(2)的情形，但觀測結果常有非常明顯回波強度衰減的現象。當超過5個不同時間掃描體積的同一方位角波束均有此現象時，則將遮蔽起始位置標示於距CAA雷達站1km處。(如圖3.5c)

經由上述判斷準則所分析之結果如圖3.6a-3.6e。從圖3.6a及3.6b可看出 0.5° 及 1.0° 仰角在陸地上的資料均受到污染。 0.5° 仰角可使用的資料在海洋地區也非常的少。由於地形資料的解析度在水平方向為 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 垂直向為100公尺，無法用地形解析出回波衰減的地方。這個現象可能是因為CAA雷達的天線高度較低，低層仰角回波受附近地形地物影響的結果。也可能是天氣系統本身的特性，如近地層的強烈風切可能會造成水滴破碎而使得低層回波值陡降。但因為在這些地區不同時間均存在非常明顯的減弱現象所以也將之標示出來，供研究人員參考。

圖3.6c及3.6d分為 1.5° 及 2.0° 仰角受地形影響之結果。 1.5° 仰角在CAA東北方受到40公里處大屯山系 (高度大於800公尺) 及20公里附近的觀音山 (高度小於500公尺) 的影響，有少許資料被污染。 1.5° 及 2.0° 從東南方至南方均受到中央山脈的影響。陸地上僅有西部地方具有可靠的低仰角資料。

圖3.6e則為 3.0° 仰角的資料，從圖中可看出 3.0° 仰角只有在正南方70公里處受到3000公尺以上的高山的少許影響。因此 3.0° 仰角是使用CAA雷達觀測山區對流系統可得之低仰角最佳PPI資料。

在所有分析時間中方位角 160° 附近 (i.e., CAA雷達第190波束至195波束) 在 1.5° 及 2.0° 仰角之回波強度均有非常顯著之衰減現象，如圖3.5d

82年12月

陶家瑞 鳳雷

楊景春

。這些波束之衰減位置起點非常靠近雷達，並且無法從地形資料中解析到遮蔽之現象。由於位置固定所以猜測它是附近建築物所造成之遮蔽結果。

被地形遮蔽地區的回波具有非常明顯的衰減，但同一區的經向風場資料仍可有很大的徑向速度。所以去除 $-0.7\text{m/s} < V_r < 0.7\text{m/s}$ 的徑向速度及回波場，並不能真正將這些雜波去除反而增加了零值區附近的資料遺失。

本文對遮蔽雜波的處理是以主觀分析方法，將超過地形標示位置的回波資料及不明原因造成之回波強度迅速衰減的資料分別予以去除。這個去除動作雖然會失去一小部份可能正確的資料，但對低層回波全體的正確性則提高了不少信心。

肆、結論與建議

台灣地區由於山脈高聳使得CAA 都卜勒雷達在低層掃描時，會因為山脈阻礙部份波束之能量而造成回波有明顯降低的現象。此外即使波束主瓣完全被山脈所阻擋，雷達天線仍可數到副瓣的能量。因此即使在山脈內依然有回波資料，這將造成製作CAPPI圖時，垂直向內插後低層存有異常的弱回波。若無法有效的去除這些受污染的回波，將使低層資料的可信度大為降低。

使用雷達估計降水是一門相當困難的學問，它必須具備雷達氣象學的知識，同時必須對所要估計的降水系統有非常深入的了解。包括運動場結構、雲物理過程、降水過程以及水滴譜分佈演變的過程。

由於雨滴譜與降水的過程息息相關，若國內能及早建立台灣地區各種不同降水型態的雨滴譜資料，對於使用回波來估計降水將有莫大幫助。同時尋找最低層回波不正常降低的修正方法，將使低層具有更多的可用回波資料。如此，因回波強度垂直變動所引起地面降水估計之誤差將減至最低。

參考文獻

- 周仲島，洪景山，鄧秀明，1990：梅雨鋒面對流雨帶雙都卜勒雷達分析。大氣科學，18-3, 239~264。
- 鄧秀明，1992：梅雨鋒面對流雨帶之中尺度動力與熱力結構演變：TAMEX 個案研究。台灣大學大氣科學系博士論文，台北，台灣。
- Bergeron, T., 1965: On the low-level redistribution of atmospheric water caused by orography, Supp. Proc. Int. Conf. Cloud Phys. Tokyo, May 1965, 96-100.
- Browning, K.A., and F.F. Hill, 1981: Orographic Rain. Weather, 36, 326-329.
- Browning, K.A., and C.G. Collier, 1989: Nowcasting of Precipitation systems. Rev. of Geophy., 27, 345-370.
- Ericsson Radio System AB., 1987: Weather Radar Data Processor Operators Handbook. 131pp.
- Hartree, D.R., Michel, J.G.L., and Nicolson, P., 1946 Practical methods for the solution of the equation of tropospheric refraction. Meteorological factors in radio wave propagation. Physcal Society, London pp. 127-168.

WAVE PROPAGATION PATH ($R=4a/3$)

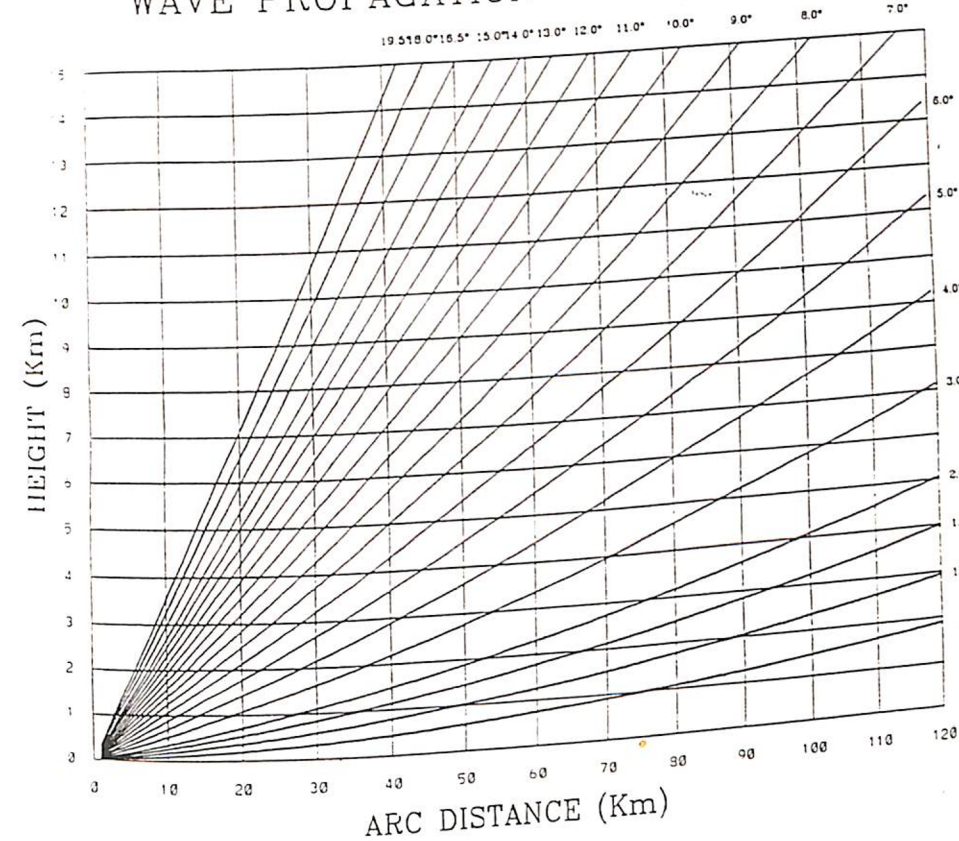


圖2.1 4/3地球半徑曲率公式所計算楊希臨風期間20層掃描仰角的距離與波束距地高度之關係，橫坐標為大圓弧長、縱坐標為波束距地表高度。仰角之度數列於波束之末端。

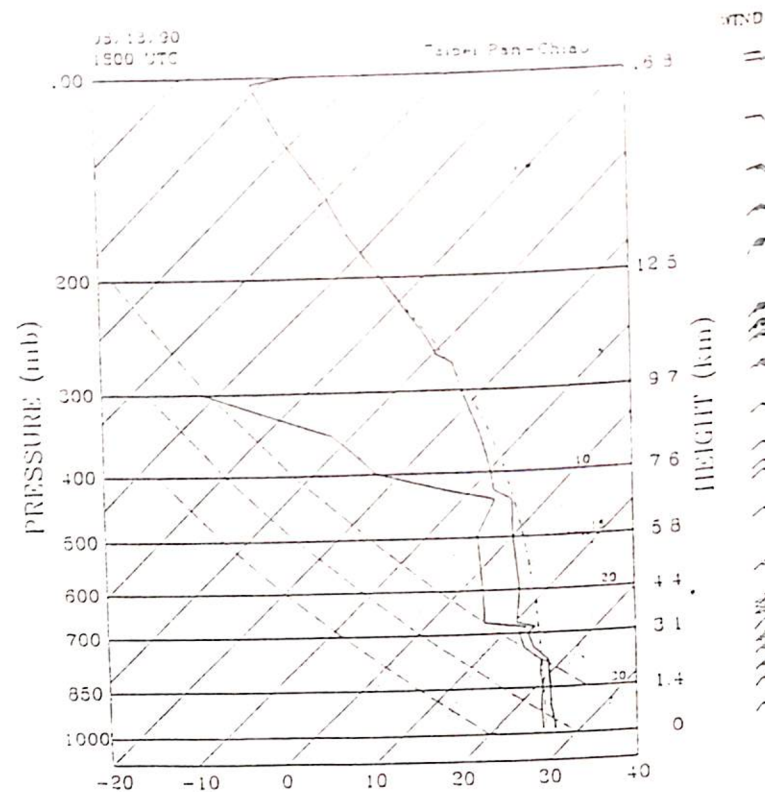


圖3.1 1990年8月18日1800UTC楊希颱風登陸前板橋測站探空圖。

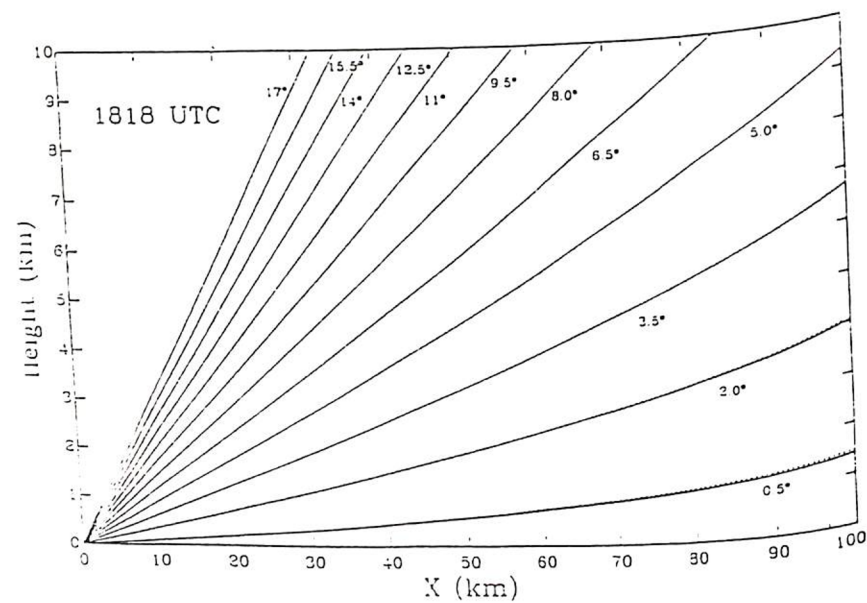


圖3.2 1990年8月18日1800UTC板橋探空資料計算方程式(1)之電磁波路徑之距離與高度(虛線)。實線旁的數字代表雷達所抬仰角角度。

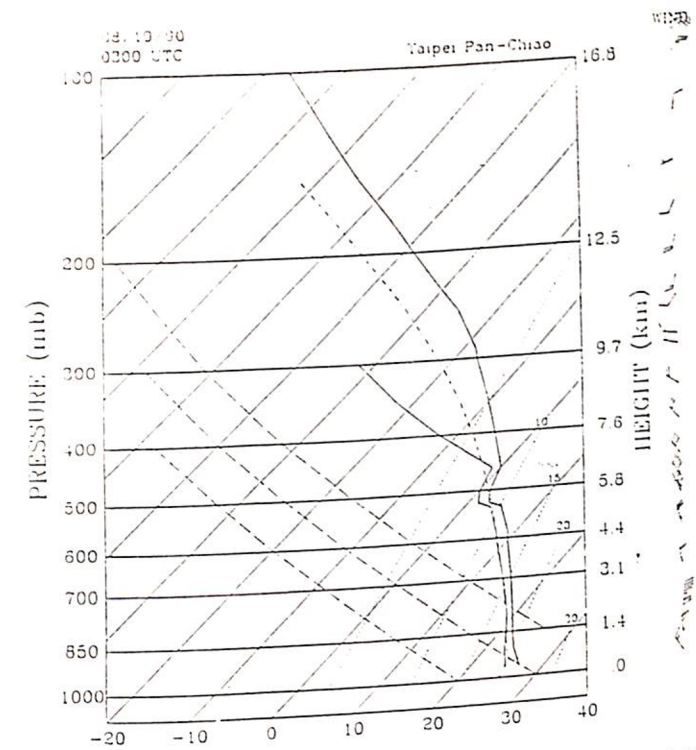


圖3.3 1990年8月19日0300UTC 楊希颱風登陸後板橋測站探空圖。

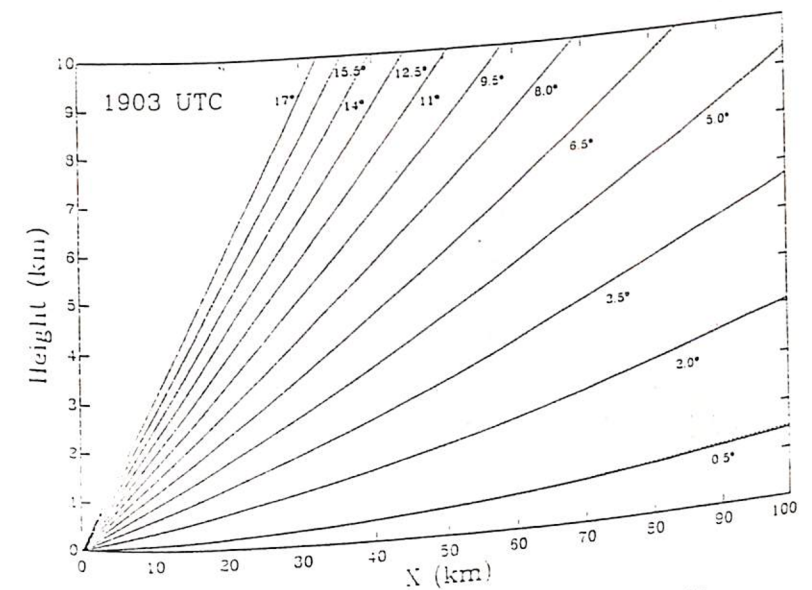


圖3.4 1990年8月19日0300UTC 板橋探空資料計算方程式(1)之電磁波路徑之距離與高度(虛線)。實線旁的數字代表雷達所抬仰角角度。

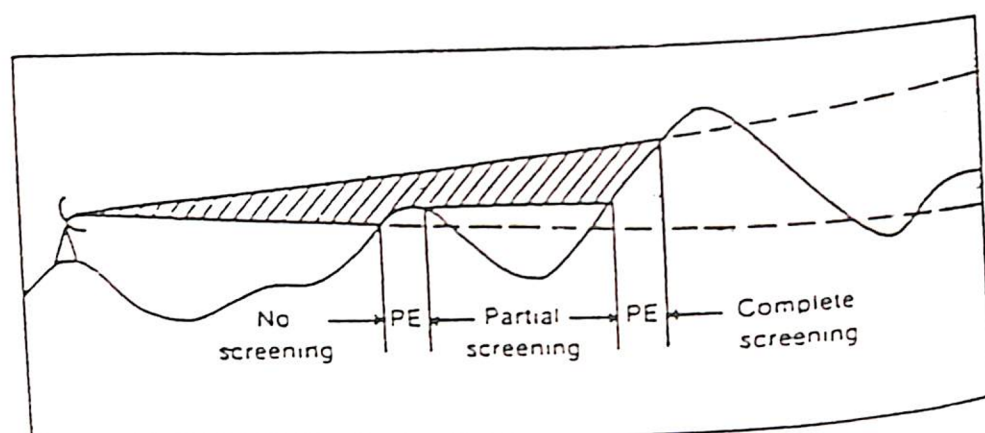


圖3.5a 恒定回波 (Permanent echoes, PE) 及雷達波束被山脈遮蔽 (Screening) 示意圖。

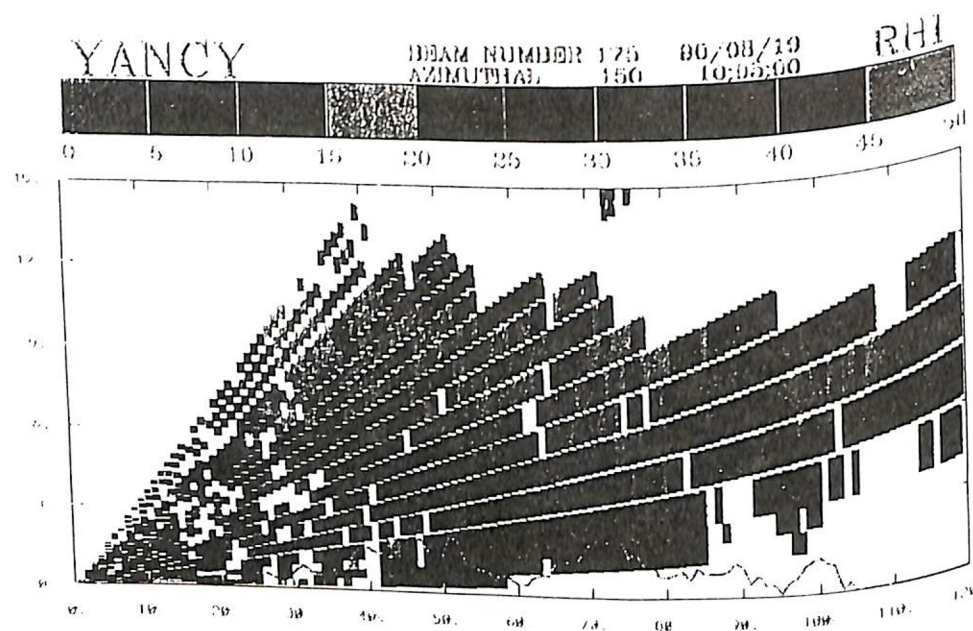


圖3.5b CAA都卜勒雷達方位角150° (175beam) 之回波被山脈阻擋之分析圖。

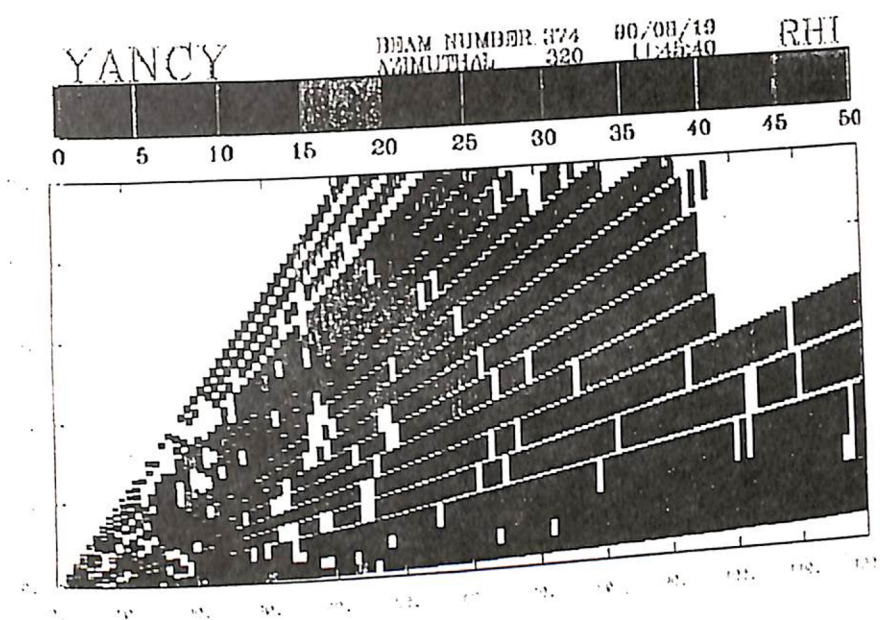


圖3.5c CAA都卜勒雷達方位角320° (375beam) 在地形無法解析的情況下之回波衰減現象。

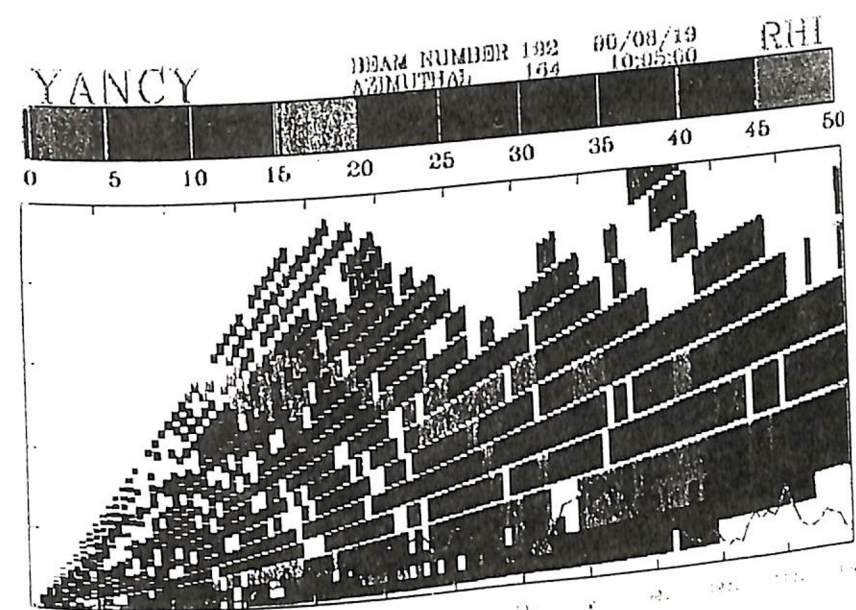


圖3.5d CAA都卜勒雷達方位角164° (192beam) 1.5°及2.0°回波衰減情況。

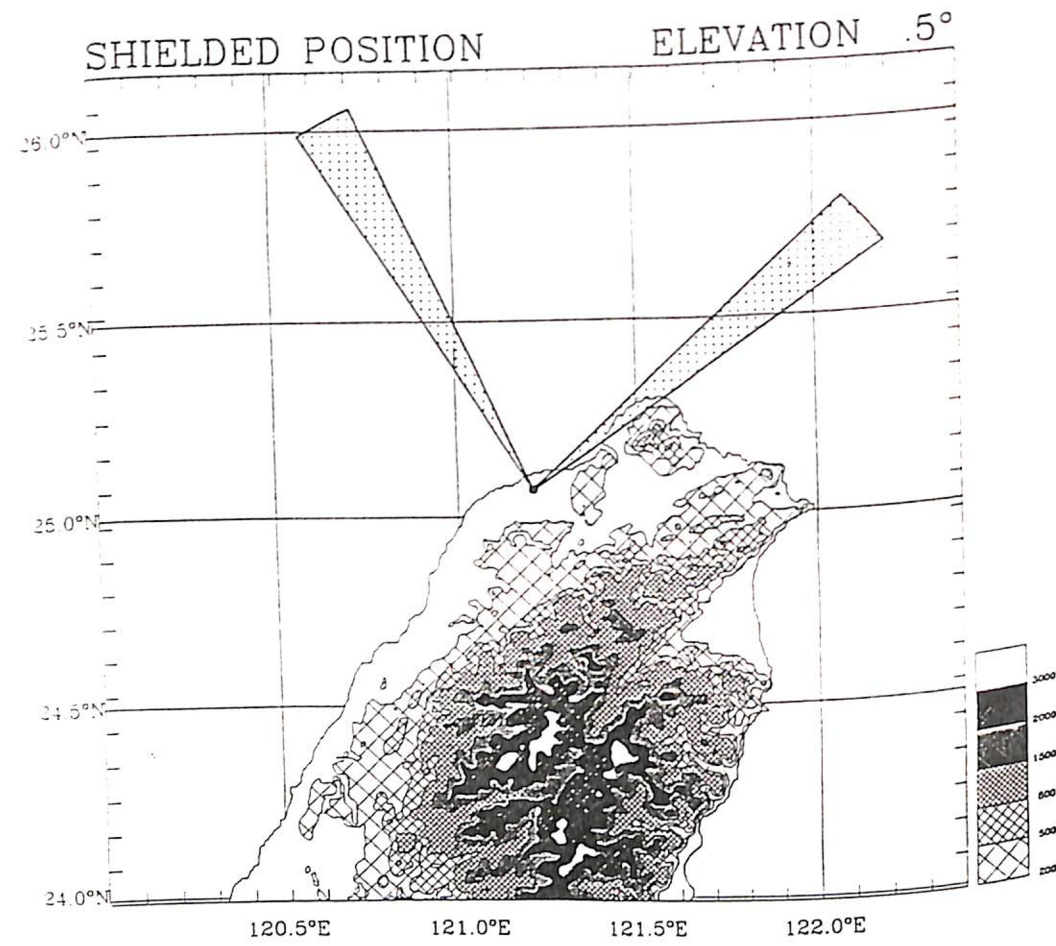


圖3.6a 1990年楊希颱風個案0.5°仰角地形遮蔽
位置標示圖，粗實線所圍陰影面積為被地
形遮蔽造成明顯衰減之區域。

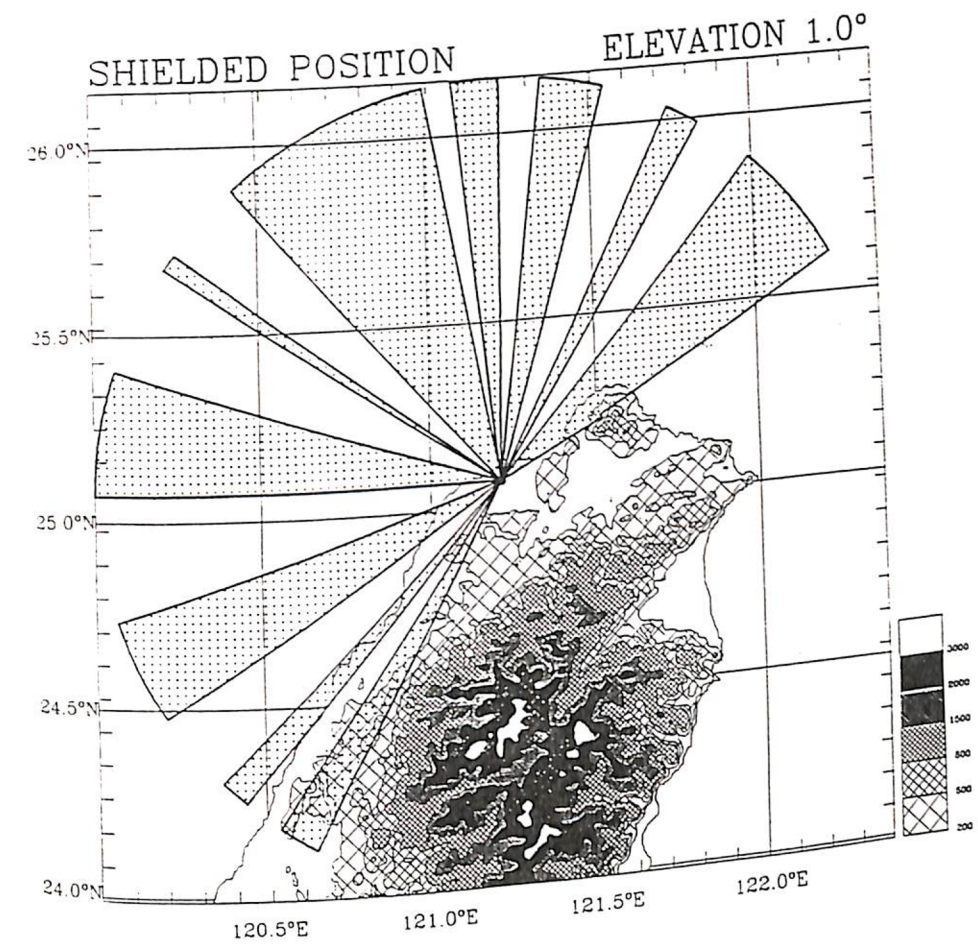


圖3.6b 1990年楊希颱風個案1.0°仰角地形遮蔽
位置標示圖，粗實線所圍陰影面積為未被
地形遮蔽造成明顯衰減之區域。

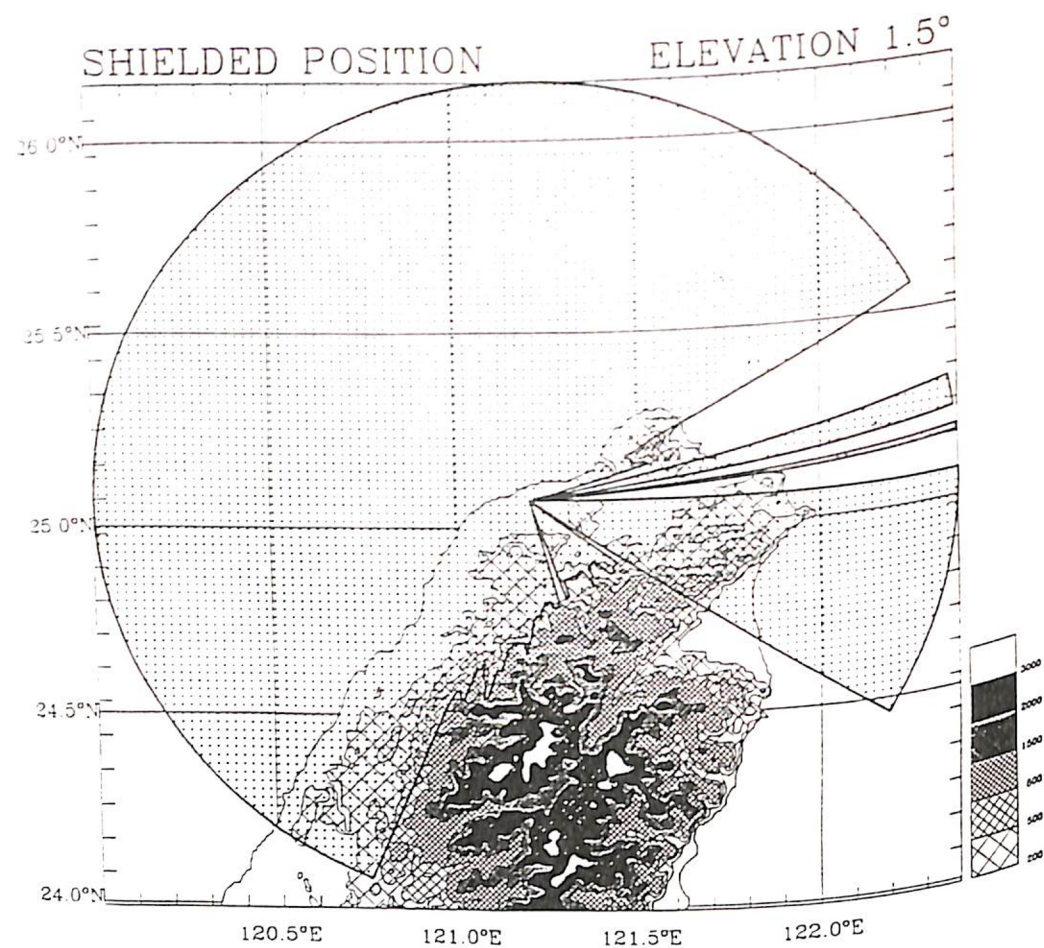


圖3.6c 1990年楊希颱風個案1.5°仰角地形遮蔽
位置標示圖，粗實線所圍陰影面積為未被
地形遮蔽造成明顯衰減之區域。

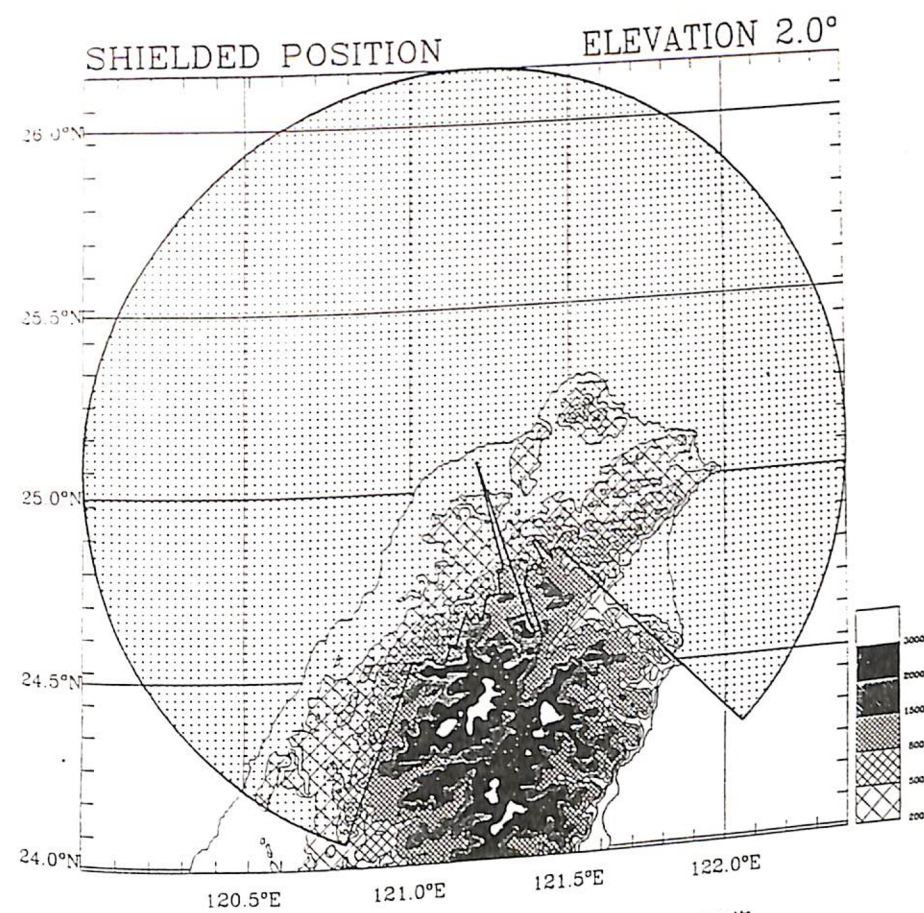


圖3.6d 1990年楊希颱風個案2.0°仰角地形遮蔽
位置標示圖，粗實線所圍陰影面積為未被
地形遮蔽造成明顯衰減之區域。

82年12月

陶家瑞

鳳雷

楊景春

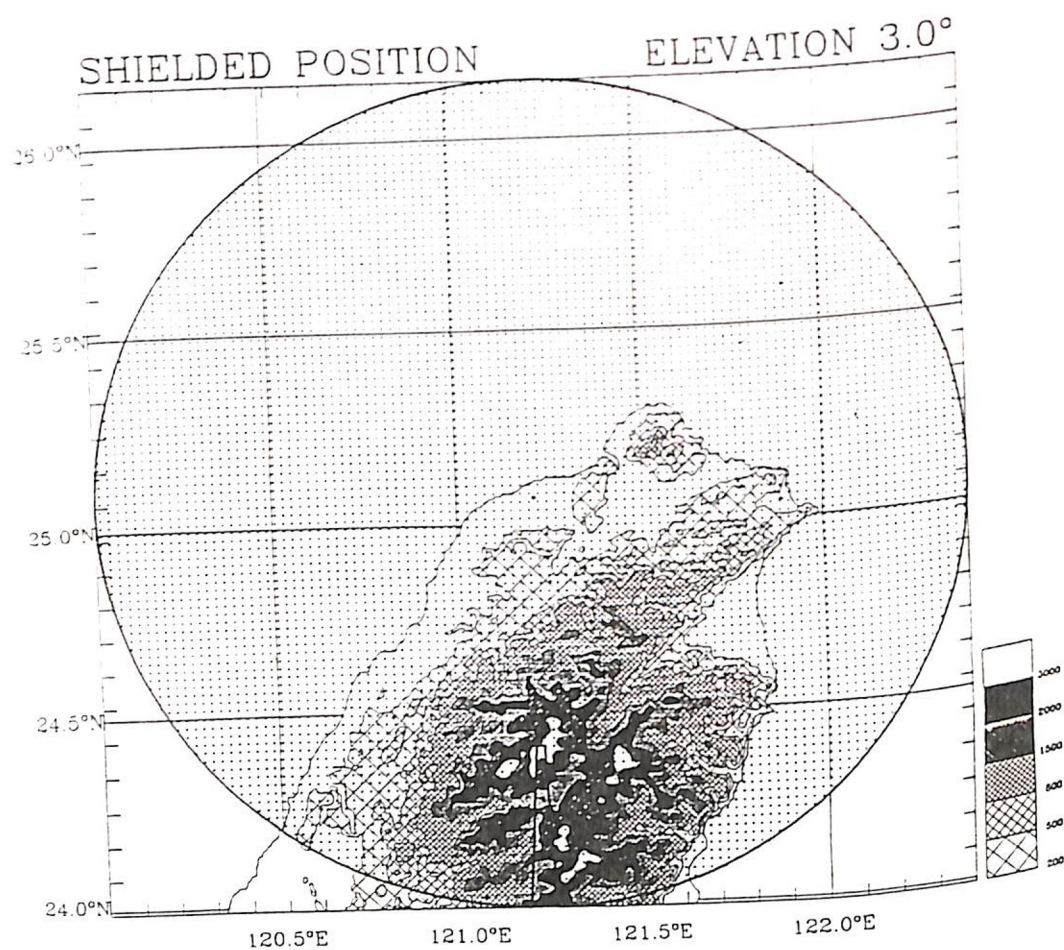


圖3.6e 1990年楊希颱風個案3.0°仰角地形遮蔽