

台灣北部雙都卜勒氣象雷達作業初步分析

計畫主持人：周勝次、周仲島

摘要

都卜勒氣象雷達的發展是近年來雷達氣象學突破的主要原因，其作業對於中小尺度天氣系統之降水回波資料的觀測特別有利，亦可獲得相對於雷達的風場分量資料。另一方面，雙都卜勒或多都卜勒雷達的作業，可求出真確的三維風場，近而反求出氣壓場及溫度場，因此都卜勒氣象雷達將是未來氣象觀測與應用之主流。

分析結果顯示；台灣北部五分山與中正機場雷達站相距約60公里，符合65公里範圍內，適合建立雙都卜勒雷達作業，然而由於兩雷達觀測重點的不同，其型式亦有所不同，在安排雙都卜勒雷達作業於即時作業系統上會有甚大之困難，因此未來兩座雷達祇能做單都卜勒雷達作業，再依其各別觀測資料做一些事後之診斷分析。

一、前言

交通部中央氣象局原籌劃在台灣北部七星山巔增設之氣象雷達站，因站址在陽明山國家公園內，受到景觀必須維持及不得增闢道路等種種限制，僅能另擇於台北縣瑞芳鎮五分山巔設站，預定於民國八十三年九月架設一S頻帶都卜勒氣象雷達，以彌補台灣北部及鄰近海域劇烈天氣現象，如颱風、豪雨等之監測工作。

自從都卜勒氣象雷達於近些年發展成功後，雷達氣象學即有了突破性之進展，科學家們不但可以掌握到中小尺度的天氣系統之降水回波資料，更可獲得相對於雷達的風場分量，因此都卜勒氣象雷達已成為現階段及未來應用之主流。最近有一些氣象學者，進一步利用雙都卜勒或多都卜勒雷達觀測，求出較真確的三維風場，從而對中小尺度天氣系統的動力特性有了逐漸之瞭解。另一方面，由於從三維風場可以在某些假定下反求出氣壓場及溫度場 (Tzvi Gal-Chen, 1978)，則中小尺度天氣系統之熱力特性也可加以揣度，促進了中小尺度氣象學的發展。因此，雙都卜勒或多都卜勒氣象雷達觀測應用，已受到國際之重視。

交通部民用航空局基於飛航氣象安全之需要，早於民國七十六年四月，在中正國際機場架設有一C頻帶都卜勒氣象雷達，該一雷達雖屬早期產品，性能不盡完善，惟多年來其對飛航安全之促進仍受相當程度之肯定。由於中央氣象局五分山氣象雷達站離中正機場約60公里，除了可以相互彌補涵蓋兩

雷達各自之觀測死角外，當可進行即時或離線之雙都卜勒雷達分析作業，因此備受國內氣象界之關注，同時亦為本研究之誘因。

二、雙都卜勒氣象雷達三維風場的計算原理

自由大氣中任一空氣質點 (air particle) 的運動速度 \vec{v} ，可以下式表示，即：

$$\vec{v} = i\hat{u} + j\hat{v} + k\hat{w}$$

式中 i , j 及 k 分別為卡氏 (cartesian) 垂直座標 X, Y, Z 軸上的單位向量， X 向正東為正， Y 向 (真) 正北為正， Z 向天頂為正，反之均為負， u, v, w ，則分別表示 \vec{v} 在 X, Y, Z 向的分量，均為純量。

就上式中 u, v, w ，三個變數而言，若要求得其解析解，就必須要有三個聯立方程式。而單一都卜勒氣象雷達可測得水汽或雲雨滴等較大空氣質點的徑向速度，僅代表了一個方程式。雙都卜勒氣象雷達作業則可獲得兩個方程式，仍無法求出 u, v, w ，之值。因此，必須另外選用一個方程式，以資配合。如此一來，即牽涉到假設 (synthesis) 的問題。一般均採用非彈性連續方程式 (Anelastic continuity equation)，以滿足求解之需求。

在卡式座標系中，上述三個方程式之相互關係

可以下列兩類方程式表示：

1、徑向速度方程

$$\frac{u(X-X_i)}{R_i} + \frac{v(Y-Y_i)}{R_i} + \frac{w(Z-Z_i)}{R_i} = V_i(i=1,2)$$

式中 i：雙都卜勒氣象雷達之雷達編號

X_i, Y_i, Z_i ：都卜勒氣象雷達位置座標

R_i ：空氣質點與各雷達之距離， $R_i = [(X-X_i)^2 + (Y-Y_i)^2 + (Z-Z_i)^2]^{1/2}$

V_i ：各雷達所測得空氣質點之徑向速度

2、非彈性連續方程

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} - Kw = 0$$

式中 w：大氣的垂直速度

$$K = -\frac{\partial}{\partial z} (\ln \rho) = 0.1 \text{ km}^{-1}$$

當以都卜勒氣象雷達量測垂直運動W分量部分時，應考量到雨滴的終端速度 V_T ：則 $w = WA + V_T$ 或 $WA = w - V_T$ 。在實際計算時必須先求出 V_T 的大小，一般常以1973年Atlas et al.之經驗式 $V_T = 2.65z^{0.14} (\frac{1}{\rho})^{0.4}$ 即可求得。式中 z 為雨滴對雷達電磁波的反射率，其單位為 $\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$ ， ρ 為雷達所在位置的空氣密度， ρ' 則為求算高度處的空氣密度。

利用上述的理論基礎，我們可以相當精確地計算出實際風場結構，再由風場資料反求而得氣壓場與溫度場 (Tzvi Gal-Chen, 1978) 情形，則我們可以增進對重要天氣系統來襲前後乃至整個生命史中動力及熱力過程之瞭解，從而改進未來極短時間內天氣預報的能力和精確度。

外，一般冷鋒之走向則介上述兩種走向之間。

從事雙都卜勒氣象雷達作業設計時，一般均會考慮到兩座雷達間基線 (baseline) 的長度及走向。在基線長度方面，因涉及解析度的大小，一般以35公里至65公里對中小尺度天氣系統較為適當，當然基線愈長涵蓋範圍較大，但相對地解析度較差。在基線走向方面，由於沿著基線方向之解析度較差，如圖一所示，一般均採與冷鋒平行之走向設置，對於至少包含乙座移動式雷達之雙都卜勒雷達作業較易安排外，如兩座雷達位置均已固定，則資料解析良窳區亦即固定。

以民用航空局中正國際機場之都卜勒氣象雷達，與中央氣象局五分山之都卜勒氣象雷達而言，兩者相距約60公里，所連成之基線走向為東北東—西南西，與東西向夾角僅約 2.5度，倘若執行雙都卜勒雷達作業，其最佳作業區如圖二所示。

(二) 雙都卜勒氣象雷達作業程序

進行雙都卜勒氣象雷達作業，在過程上有下列幾個重要步驟，即：

- 1、設定掃瞄策略。
- 2、檢查及剔除錯誤資料，即偵錯及除錯。
- 3、內插資料至處理範圍中各個網格點上。
- 4、以向上或向下積分方法求算出 u, v, w 。
- 5、以變分法調整 u, v, w 值，使符合連續方程及上、下邊界條件。
- 6、檢查印證所獲結果是否符合動力關係及原理。
- 7、顯示或列印。

由以上之步驟可知，雙都卜勒雷達作業在理論上非常簡單，惟為求所得風場資料之精確，處理技術上卻相當繁複且不可不愼。因為一旦處理不夠嚴謹，則資料誤差即可能大到不堪使用的程度。此外，上述作業步驟中除了第6項之檢查與印證外，其他步驟雖均經嚴謹的軟體處理，卻仍未能獲得合乎理想的結果，則誤差的來源即可能出自資料收集或傳輸過程中。有關各種誤差的來源將於下一節中另予分析外，在此則針對足以影響資料收集品質之掃瞄策略做進一步的探討。

雙都卜勒雷達作業的掃瞄策略不外下列三種：

- 1、全空域掃瞄 (Volume Scan)：由於作業性氣象雷達重在對雷達四週天氣現象之監視 (Surveillance)，所以在設計上常維持雷達天線做360度旋轉，而仰角由下而上或由上而下，整

三、雙都卜勒氣象雷達作業設計及程序

(一) 雙都卜勒氣象雷達作業設計

在北半球中緯度鋒面系統中，除了滯留鋒常呈東西走向，而極活躍冷鋒常呈北北東—南南西走向

個掃瞄過程呈螺旋狀，稱為螺旋狀掃瞄 (Spiral Scan)。亦因螺旋狀掃瞄所獲資料近於整個空域，又稱作全空域掃瞄。在雙都卜勒作業時，兩座鄰近之雷達於其各自之掃瞄週期內或其前後週期中所獲資料，依照時間加以整合，可以獲得較精確的三度空間資料。此種作業方式對作業單位而言，執行起來最方便，但是所得結果之綜合性誤差最大。其中除了資料之隨機誤差外，其他之不利因素如下：

- (1) 由於兩座雷達之天線轉速不同，或天線轉速雖同卻不同步，以致無法於同一時間對空域中的同一點進行觀測，則同一點上資料即有了時間差，此程度仍然非常有限。
- (2) 中小尺度對流系統的動力結構演變迅速，倘執行全空域掃瞄所費的時間太長，即常無法加以掌握，而引致了天氣系統觀測上的演進誤差 (Evaluation error)。因此，全空域掃瞄對鋒面等較大尺度天氣系統而言，不失為方便而有力之觀測方式，但對較小尺度之天氣系統來說，即常無法滿足觀測需求。

2、部分空域掃瞄 (Sector Volume Scan 或簡稱 Sector Scan) :

為了加強對小範圍天氣系統的觀測，減少前述之演進誤差，有些供研究用或少部分已作業化的都卜勒氣象雷達，除了有全空域掃瞄之功能外，並具有象限掃瞄 (Sector Scan) 之功能。如兩座鄰近的都卜勒氣象雷達，同時對同一天氣系統就其對應之象限，依設定之各仰角往復掃瞄，即為部分空域掃瞄。又因雷達天線由上而下或由下而上往復擺動，依其掃瞄動作又稱作瑞斯特式掃描 (Raster Scan)。比較起來，部分空域掃瞄約可在較短之二或三分鐘內完成，所以對同一點回波之資料時間差比全空域掃瞄要小許多，經過時空調整轉換後，誤差就可顯著地減少。但是，根據過去美國所進行實驗得知，中小尺度天氣系統之演進在一、二分鐘內可以有極大的變化。因此，以現有之部分空域掃瞄方式，仍難完全滿足觀測需求，是以亦促進了高轉速全空域掃瞄雷達之設計與發展。

3、同平面掃瞄 (Coplane Scan) :

即兩雷達同時做部分空域掃瞄時，以操控軟體對兩雷達仰角之改變及掃瞄之時間加以控制，務期兩雷達同時在同一個斜面上掃瞄，如圖三所示，使所獲同一點之資料時間差更加減少。但是，此程掃瞄方式所涉及雷達硬體與軟體配合的技術層面及花

費均高，另外在資料處理上因需多一次的內插，耗費時間較多，因此亦非絕無缺點。

四、雙都卜勒氣象雷達風場計算主要誤差來源

根據Richard J. Doviak (1975) 及 L. J. Miller (1974) 分析，利用雙都卜勒氣象雷達資料求算風場，其主要誤差來源有下列二方面：

(一) 資料收集方面：

根據兩雷達所測得之徑向風速及數學方程式求算實際風場，如果所測徑向風速有誤差，則所求得風場三分量 u, v, w 就必然有誤差。因此，收集之原始徑向風速場資料之正確性，對風場計算結果影響甚鉅。而影響資料收集品質之因素大致可以分為下述三種：

1、機器特性及小尺度亂流

可以下式表示，即：

$$\sigma^2(\overline{VR}) = \frac{\lambda \sigma^2}{4NT} \left(1 + \frac{1.6}{SNR} + \frac{3}{SNR^2} \right)$$

式中 σ^2 : 變異數 (Variance)

\overline{VR} : 徑向速度 (radial velocity)

λ : 雷達波長 (wave length)

N : 時間序列取樣數 (number of time series sample)

T : 脈間 (pulse repetition period)

SNR : 信號雜訊比 (signal - to - noise ratio)

式子左邊即指徑向速度的變異數，其與式子右邊之波長、取樣數、脈間之長短等有密切相關，而信號雜訊比有關數值之變異數，則又源自雷達波束寬 (radar beam width)、風切 (wind shear)、亂流 (turbulence) 及雨滴之終端速度 (terminal velocity) 等。 NT 之乘積又稱作駐留時間 (dwell time)，於此附帶一提。

2、兩個雷達之距離及分析點位置

可以下列L.J. Miller 與R. G. Strauch (1974) 之二個方程式表示，即：

$$\sigma^2(Vr) = \left[\frac{R1^2 (s+d)^2 + R2^2 (s-d)^2}{9 r^2 d^2} \right] \sigma^2(\overline{VR})$$

$$\sigma^2(Vs) = \sigma^2(\overline{VR}) \left[\frac{R1^2 + R2^2}{9 d^2} \right]$$

二式中 σ^2 ：變異數 (Variance)

Vr：實際風速 V 在 r 方向之分量

Vs：實際風速 V 在 s 方向之分量

2 d：兩個雷達之距離

r：分析點在垂直於雙都卜勒雷達基線 r 方向之座標值

s：分析點在沿著雙都卜勒雷達基線 s 方向之座標值

R1：分析點距第一座雷達天線之距離

R2：分析點距第二座雷達天線之距離

如上二式係根據同平面掃瞄所用橫軸圓柱座標，如圖四所導出。圖五 (a) 及五 (b) 分別表示 Vr 及 Vs 變異數與 \overline{VR} 變異數比率之等值曲線圖，而圖五 (c) 則為 Vr 與 Vs 變異數之和與 \overline{VR} 變異數比率之等值曲線圖。

如欲以卡氏座標表示，則可以下列近似式估算，即：

$$\sigma^2(u) = \frac{4}{9} \sigma^2(Vr) \cos^2 \alpha + \sigma^2(u_h) \sin^2 \alpha$$

$$\sigma^2(v) = \frac{4}{9} \sigma^2(Vs)$$

$$\sigma^2(w) = \sigma^2(Vr) \sin^2 \alpha + \sigma^2(u_h) \cos^2 \alpha$$

上列式中 u, v 即卡氏座標之風速水平分量，w 為垂直分量。α 為同平面之傾斜角度，參見圖四，亦即非常接近兩雷達之仰角。u_h 為垂直於同平面之速度分量。

由於一般作業時之要求標準為 $\sigma^2(Vr) + \sigma^2(Vs) \leq 16/9 \sigma^2(\overline{VR})$ ，因此任何一組都卜勒氣象雷達，只要確知其相隔之距離，則其有效的風場觀測範圍即可確定。根據此原理，台灣北部兩座固定位置之都卜勒氣象雷達的最佳偵測區域如圖二所示，至於是否能配合天氣系統之走向而更符理想，則相信會有不同之意見，惟整體而言，仍應屬差強人意才是。

3、掃瞄策略

在上一章節中所述掃瞄策略之適當與否，將直接影響到資料收集與計算風場之精確度，於此不再贅述。

(二) 計算誤差

在計算誤差上有下列三種導因，即：

- 1、資料內插轉換之誤差：都卜勒氣象雷達原始觀測資料係屬極座標資料，而氣象上分析風場則常用卡氏座標及網格法，亦即是原始資料必須經過內插方式轉換算到各網格點上再進行處理，而內插方法有多種，其優劣足以影響網格值之正確性與誤差大小，更進而影響整個風場及其他導算因子之正確性。
 - 2、利用連續方程式求算垂直速度，會有誤差累積加大的現象，因為在計算過程中係由某一層推算次一層之情形，然後利用其結果再繼續推算再次一層之情形，如此層層推算，只要其中某一層出現了小小誤差，就會將誤差累積而逐步擴大，以致超出可容許之誤差程度。
 - 3、利用回波強度估算雨滴終端速度經常會產生誤差，以致大氣之垂直速度之推算亦常有誤差。因為雨滴之實際降落速度為雨滴終端速度與大氣垂直速度之和，除了雨滴之降落速度得以實量外，一般對雨滴終端速度係以過去 Gunn 及 Kinzer (1949) 之海平面經驗量測結果為依據。另根據 Foote 及 du Toit (1969) 以各定壓面之溫壓假設所獲空氣密度推算，而假設溫壓部分常因時空之不同會出現誤差，從而使估算之雨滴終端速度及至大氣垂直速度出現誤差。
- 另外，徑向風場之隨機誤差亦較難控制，惟通常若波束寬 (Beam width) 小於 1° ，且 \overline{VR} 為一平均值，則其變異數 $\sigma^2(\overline{VR})$ 或稱誤差就會比較小，約在可允許的 1 m/s 範圍之內。雖然民航局中正機場之都卜勒氣象雷達與中央氣象局未來在五分山架用之都卜勒氣

象雷達之波束寬均在 1° 左右，皆為現階段最先進的都卜勒氣象雷達系統，但是對有些天氣系統而言，其變異數將仍甚顯著，在應用上或在研究時仍應特別注意。至於計算的誤差則可利用控制方法使其減至最小程度，如 P.S. Ray 等 (1980) 使用變分法來調整計算的風場而使誤差減小即為一例。但是，各種方法過程中皆或多或少含有一些假設，因此所得結果至今仍無法達到完全令人滿意的程度。

五、雙都卜勒氣象雷達技術應用之回顧與前瞻

能夠完全掌握氣流之行徑與變化，一直是氣象學家追求的夢想，也是努力的目標。都卜勒雷達問世雖久，惟徑用之於氣象作業之時日仍短，氣象學家咸盼能藉此等先進觀測工具，進一步了解中小尺度天氣系統之動力結構。首先，於1969年由L. Armijo 導出以雙都卜勒雷達資料求算三維風場之理論架構。1970年 R. M Lhermitte 隨即利用雙都卜勒雷達觀測雷雨，並得到其環流結構。1974年L. J. Miller與R. G. Strauch 並以同平面掃描方式有效地偵測出鋒後之氣流狀況，如圖六所示，其中(a)圖分別顯示300及700公尺高度之水平氣流情形，而(b)圖為垂直剖面情形。由於各圖均已減除掉環場之平均氣流，因此已對較小尺度且變化迅速之氣流行徑掌握到相當程度，惟兩位報告中除詳細討論了如何利用雙都卜勒雷達資料求算三維風場外，並對各種可能產生誤差之情形亦做了詳細敘述。其後，雙都卜勒氣象雷達測風技術，在中小尺度天氣系統研究領域中，逐漸變成為最重要的角色，如1977年Brands 主持之雷雨觀測計畫即屬之。1978年Tzi Gal-Chen 不但利用雙都卜勒氣象雷達求算三維風場，並進一步反求氣壓場與位溫場。換言之，除了中小尺度之動力結構外，其他物理場亦在導算分析之列。另外，針對雙都卜勒氣象雷達作業技術性探討，以及誤差分析之學者專家亦不少，如Dovial等人於1976及1980年之報告，又如美國氣象研究單位 R.E.Carbone等人於1980年對都卜勒雷達技術之探討，並對其單、雙及多都卜勒雷達作業功效之優劣做了比較分析。其他於90年代前，陸陸續續地有許多學者利用雙都卜勒雷達技術，針對雷雨、龍捲風乃至雲模式、雲發展等從事研究，如1985年之K. P. Knupp等。在下爆氣流 (Downburst) 方面，有Frank, Y-G Lin 及Robert G. Hughes 等進行之研究，以及1985年Frank Roux對 颶線 (Squall line) 所做研究。圖七 ~ 十 即為上述諸研究之代表性結果。1987年5-6月，中美合作在台舉行之「台灣地區中尺度實驗 (TAMEX)」，在設

計及執行上即充份考量到雙都卜勒氣象雷達作業，廣為觀測並收集資料，以利中尺度對流系統動力結構方面的研究，我們由國內1988年鄧仁星及葉青青兩人在這方面之碩士論文可以看出成效不錯，後者係國內利用民航局中正國際機場都卜勒氣象雷達 TAMEX期間資料做雙都卜勒雷達分析具有成果之第一人，殊值欣慰，其結果請參見圖十一 ~ 十二。

回顧雙都卜勒氣象雷達技術之發展，從1969年建立理論開始，歷經二十年，期間透過多次實驗計畫及相關學術研究，累積了許多寶貴的經驗，並獲致相當的成果。到如今，雙都卜勒或多都卜勒雷達技術已廣受重視，其在氣象作業方面之實際應用，亦已臻至成熟階段。

吾人皆知，美國洛磯山脈以東之大平原地區，因常於夏半年中受南方之墨西哥灣暖氣團豐沛水汽之供應，一遇氣象動力或熱力因素引發之不穩定情況，即易產生劇烈雷暴及龍捲風現象，每每肆虐數州造成損失，美國氣象作業界自1979年開始全面規劃汰換老舊氣象雷達網站時，即提出了新一代雷達 (Next Generation Radar; NEXRAD) 計畫，預計於1992年之稍後全面更新為都卜勒氣象雷達作業網。另外，歐洲之英、法及亞洲之日、韓等國，皆順應此一新趨勢，積極推展相關技術之應用而蔚為一般潮流，我國近些年來亦密切注意到此種趨勢與潮流，並且不落人後地朝此方面發展。

六、台灣北部雙都卜勒氣象雷達作業效益評估

由前面之分析可知，雙都卜勒雷達作業，不僅可以求得三維風場情況，從而反求氣壓場及溫度場，而且在必要時可以針對中小尺度天氣系統做連續之監測與計算分析工作，將可大幅度地改進以往綜觀尺度氣象資訊對中小尺度系統在時空解析上之不足。換言之，氣象觀測所重視之時間上連續性及空間上解析度，因雙都卜勒氣象雷達作業之付諸實現，而能獲得大幅度改進。又從另外的角度來看，中小尺度氣象學理之建立及印證，亦將隨雙都卜勒或多都卜勒氣象雷達作業之來臨而突飛猛進，庶為氣象界乃至全民之福。

倘若台灣北部中央氣象局五分山氣象雷達站建立之同時，能夠優先考慮與中正機場之都卜勒氣象雷達結合作業，則可以達到下述直接及間接效益：

(一) 實際作業方面：從已發表之各種文獻證明，雙都卜勒雷達作業，可以改進許多觀測、預報乃至警報效果，例如：1、在颱風監測上，可以提供風

場資料，除便利颱風中心定位之時效性外，更增加了定位之精確度，尤其是登陸後之颱風，降水回波受地形效應之影響，難以據以定位時，風場資料即成為有力工具。2、在中小尺度天氣系統之監測上，由發展、演變到消散之整個過程之動力及熱力結構，得以充分瞭解，對於豪雨之預報及預警工作將增進能力。3、對於鋒面系統與地形交互作用所產生之細微變化，亦能充分掌握，有利於降水預報準確率之提升。4、對於危害民航安全之風切與亂流等，亦能因風場之更加明確，而獲得顯著之偵測效果。

(二) 研究發展方面：可以直接提供我國氣象學者對中小尺度環流研究所需資料，將使我國科學家在相關領域中逐步居於領先地位，確立我國氣象學術水準。

七、結論與建議

綜合以上之分析，可以獲致下列結論：

(一) 雙都卜勒氣象雷達作業，對於中小尺度天氣系統發展與變化之監測特別有利，但是由於需要大量密集之資料，兩雷達間之距離約限於65公里範圍內，台灣北部五分山與中正國際機場雷達相距約60公里，非常適於從事雙都卜勒雷達觀測。至於台灣其他地區，則因軍民既有之雷達或相距過遠，或屬傳統式（即非都卜勒式雷達），尚難安排執行雙都卜勒雷達作業。

(二) 台灣北部雖設置兩種都卜勒氣象雷達，具距離恰合於雙都卜勒作業需求，但由於觀測重點之不同，其型式有所不同，在安排即時作業系統上可能會遭遇甚大困難，技術上之問題亦有待一一克服，因此可以預期的是，中央氣象局五分山都卜勒氣象雷達建置完成啓用後，與民用航空局中正機場雷達將各自維持單都卜勒雷達作業，對於中小尺度特殊天氣系統個案，僅能善用兩雷達之資料做一些事後之診斷分析，至少可增進對中小尺度系統及地形效應之瞭解，從而改進未來豪雨現象之預報。

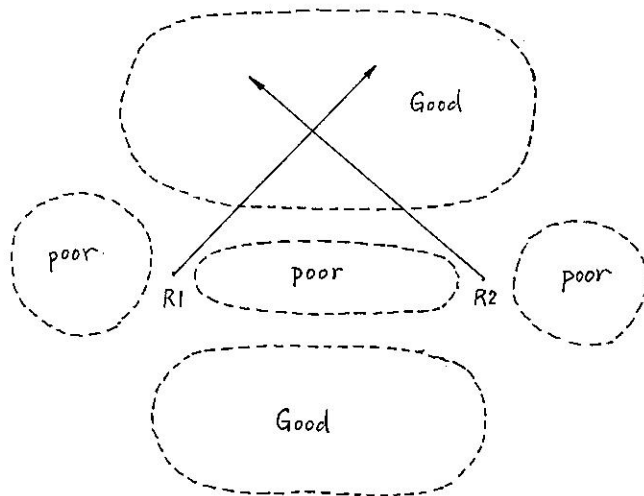
經由本研究，除了瞭解到雙都卜勒氣象雷達作業之一些安排上的考量外，硬體與軟體之配合亦至關重要，因有以下之建議：

(一) 都卜勒氣象雷達為未來雷達氣象應用潮流，我國自應加以重視，惟因國內迄今僅有軍民各一座，氣象學術及作業界瞭解人士仍不多，亟待加速此

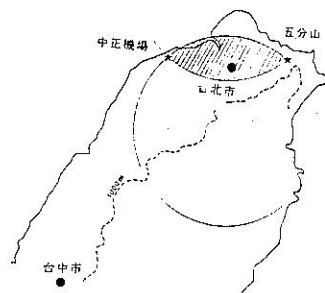
方面人才之培育，增加應用知識之深廣度，庶可配合其他方面之進步，加速我國雷達氣象學之突飛猛進。

(二) 各作業單位間必須摒棄競爭心理，達成共識，同心協力致力於改善整體作業環境，善用國內有限資源。

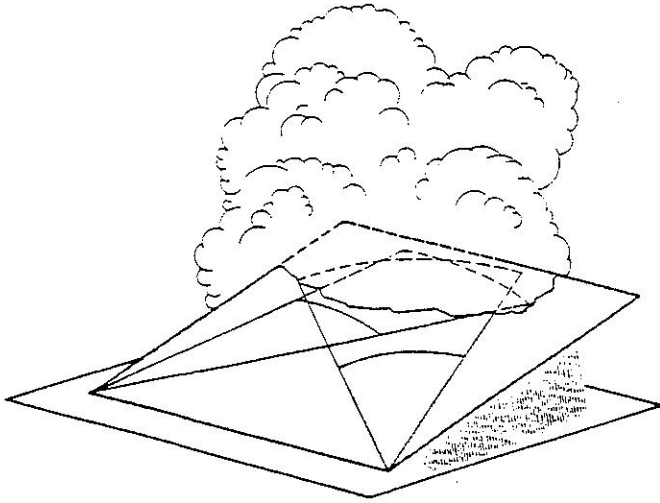
(三) 台灣地區各地地形對中小尺度系統之效益尚未能完全明瞭，雙都卜勒雷達作業之應用仍宜積極籌劃辦理。在方法上，因現有傳統式氣象雷達勢將逐步汰換為都卜勒式，為配合雙都卜勒作業雷達距離之限制，建議考量採購車載移動式都卜勒雷達做機動性運用。



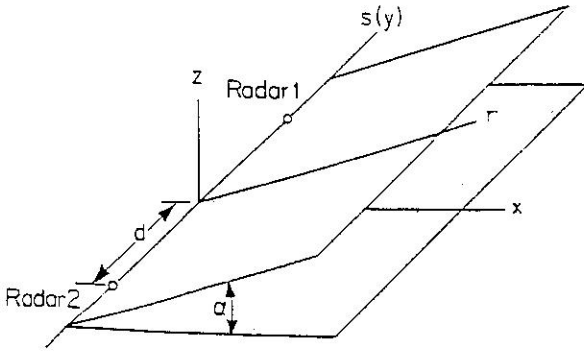
圖一、雙都卜勒氣象雷達作業資料良窳區示意圖



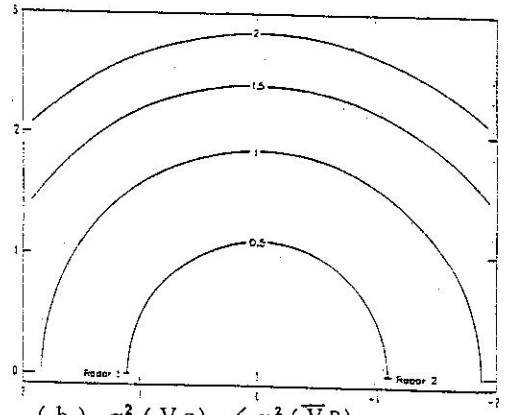
圖二、台灣北部雙都卜勒氣象雷達最佳作業區（斜線區除外）示意圖，虛線為1000公尺等高線。



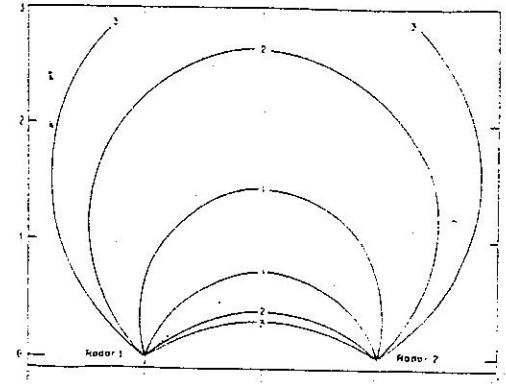
圖三、同面掃描方式示意圖



圖四、同面掃描使用的橫軸圓柱座標



(b) $\sigma^2(V_s) / \sigma^2(\bar{V}_R)$



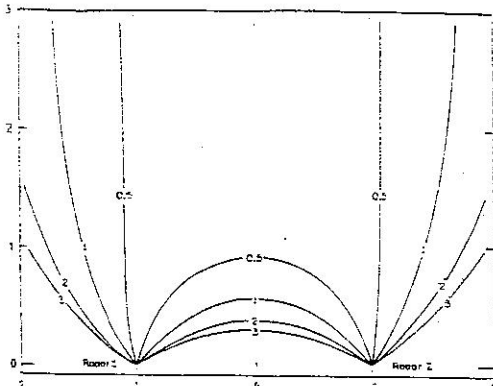
(c) $[\sigma^2(V_r) + \sigma^2(V_s)] / \sigma^2(\bar{V}_R)$

圖五、由同面掃描方式，求 V_r , V_s 其各別及總和變異數相對於徑向速度 V_R 變異數的曲線

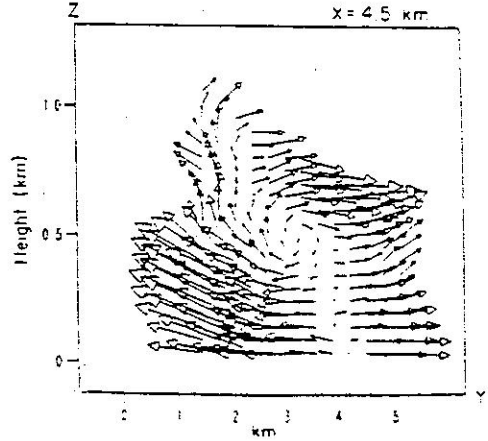
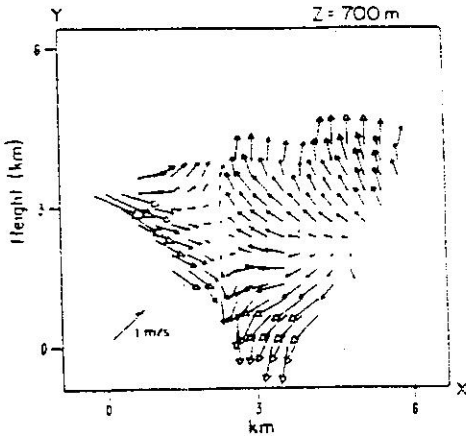
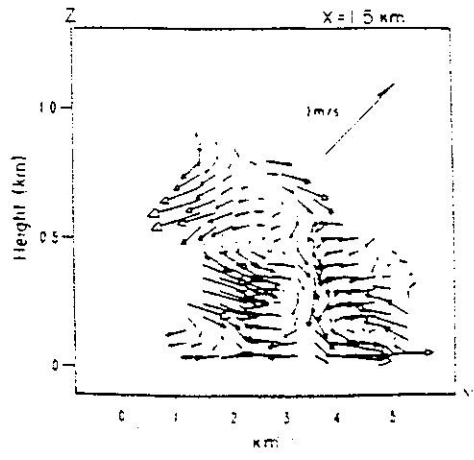
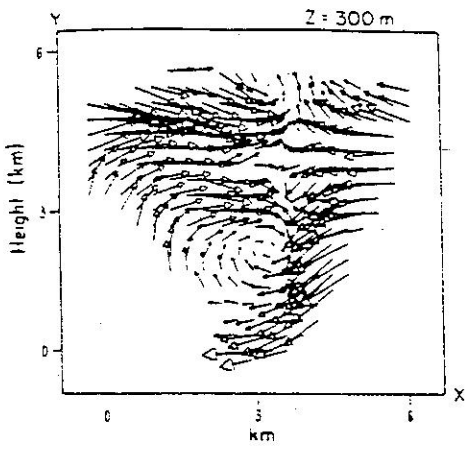
(a) $\sigma^2(V_r) / \sigma^2(\bar{V}_R)$

(b) $\sigma^2(V_s) / \sigma^2(\bar{V}_R)$

(c) $[\sigma^2(V_r) + \sigma^2(V_s)] / \sigma^2(\bar{V}_R)$



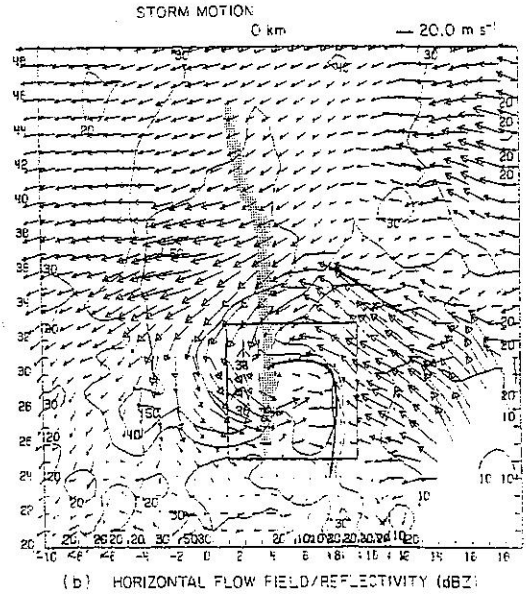
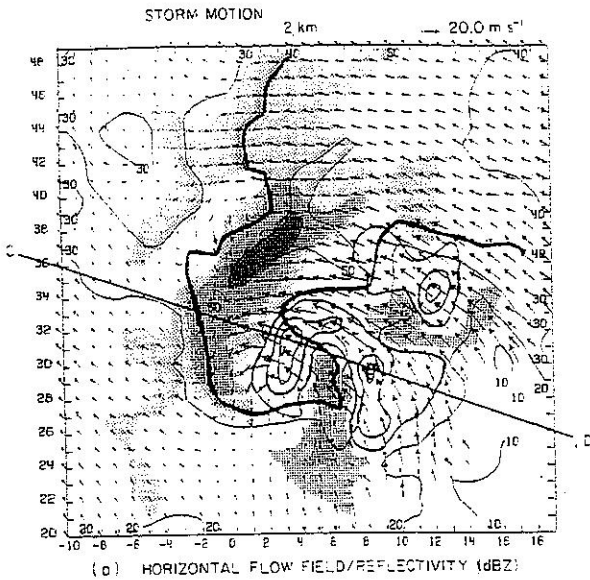
(a) $\sigma^2(V_r) / \sigma^2(\bar{V}_R)$



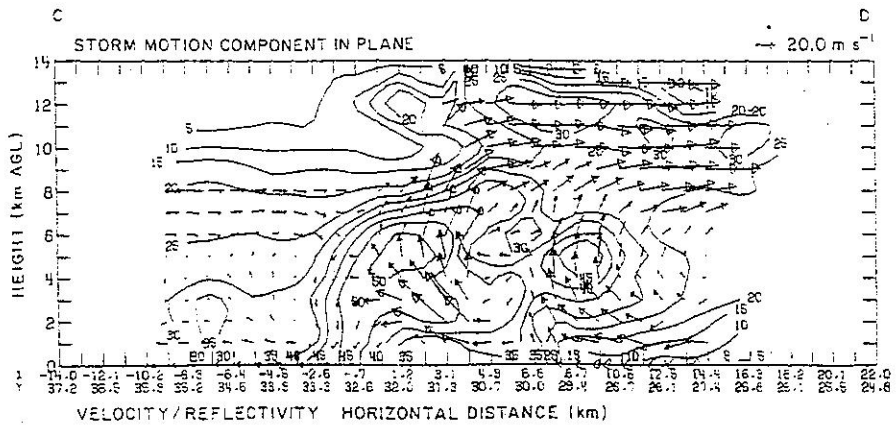
a、水平面

b、垂直剖面

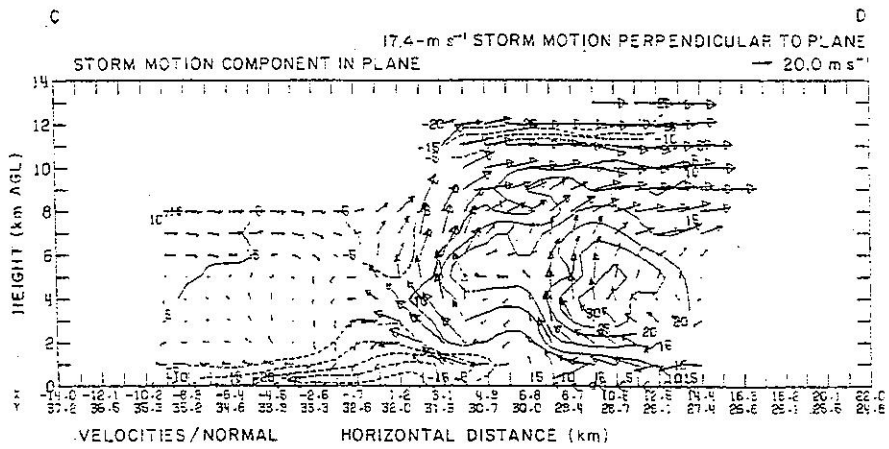
圖六、鋒面附近氣流動力結構 (L. J. MILLER et. al. 1974)



圖七、強烈雷雨的回波場(細實線)及其相對的風場(粗線為40dBZ區的等值線,次粗實線為上升氣流等值線,陰影區為下降氣流區) (RAY et al., 1981)

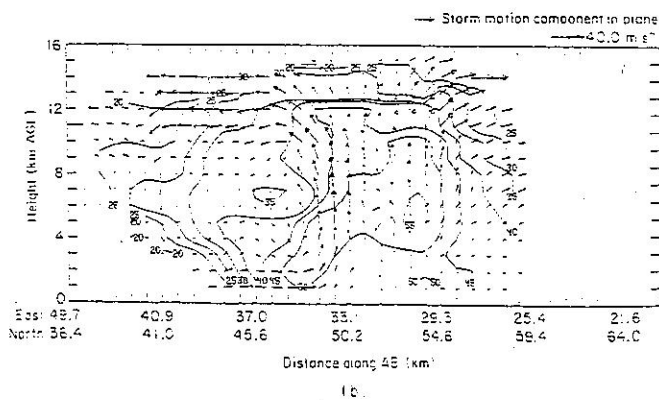
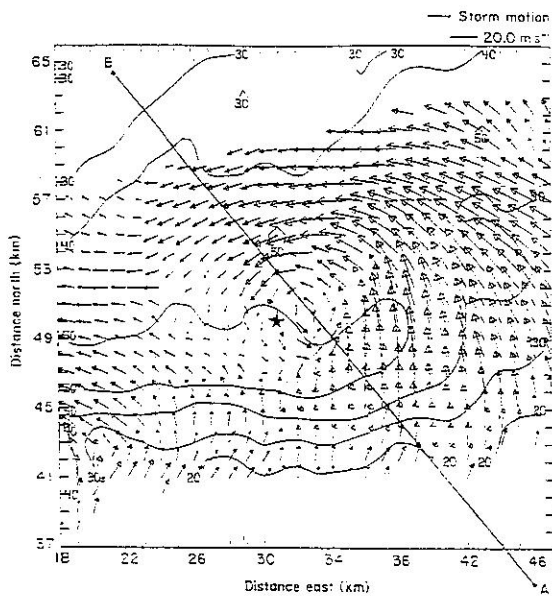


(c)



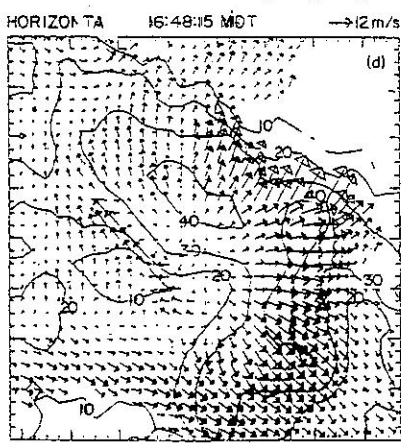
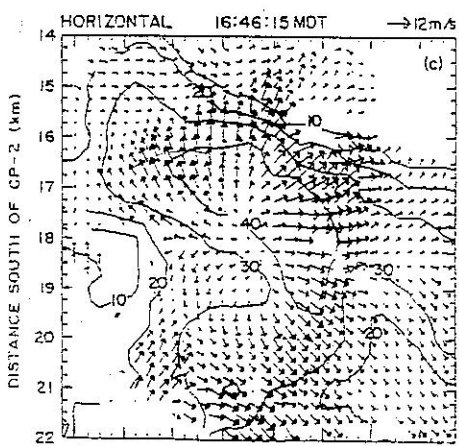
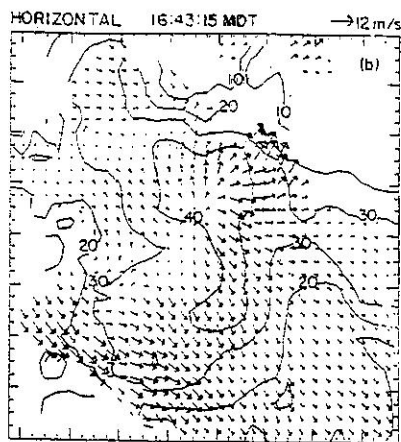
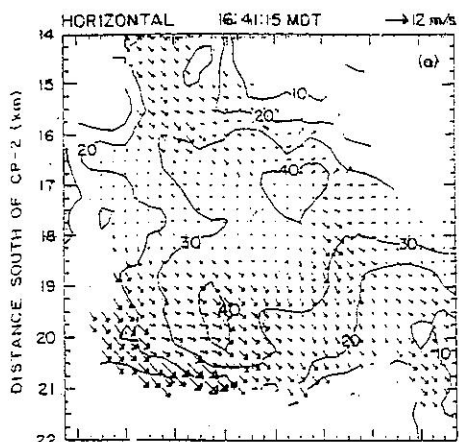
(d)

圖八、如圖六的雷雨，是圖六 CD切面垂直剖面圖
 (c) 配合回波曲線 (d) 風場等值線
 實線表進入CD切面，虛線表離開CD切面。
 (RAY et al., 1981)



(c)

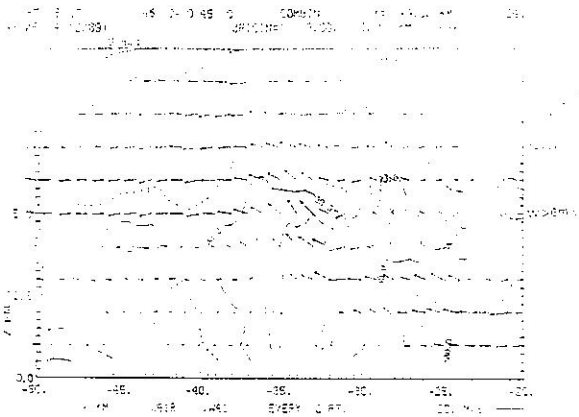
圖九、有龍捲風雷雨的 (a) 水平氣流結構，等值線是回波場 (b) A B切面的垂直剖面圖 (Albert et al. 1979)



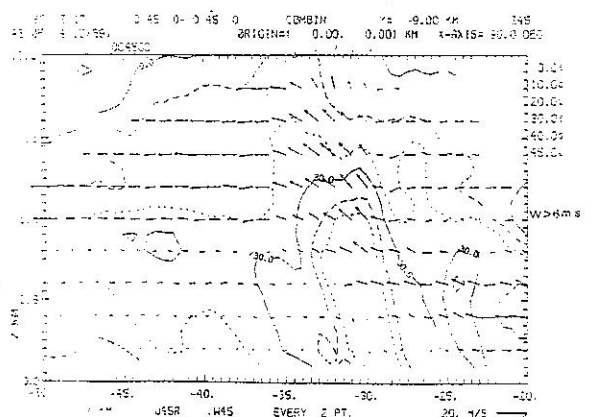
DISTANCE WEST OF CP-2 (km)

DISTANCE WEST OF CP-2 (km)

圖十、下爆氣流，不同時間，氣流結構演變情形，此由雙都卜勒雷達求得風場

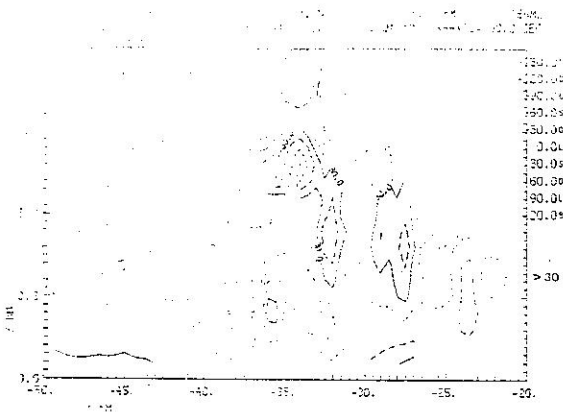


(a)

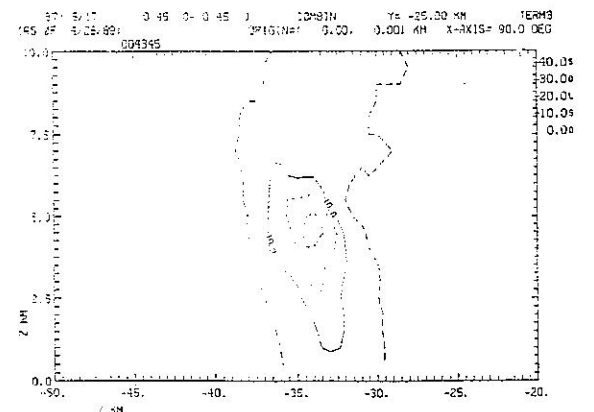


(b)

圖十一、TAMEX 期間 IOP#2, 5月16、17日颱風線過境
兩個不同時間某一對流胞, 其垂直面的回
波及垂直速度場結構圖 (由雙都卜勒雷達
資料求得)



(a)



(b)

圖十二、同圖十一的個案 (a) 是熱浮力 (b) 載
入浮力 (Loading)