

單都卜勒氣象雷達風場特徵辨識與資料應用(I) —颱風之氣旋式旋轉風場特性分析

楊健生 周鴻祺

民用航空局飛航服務總台
氣象中心中正氣象台

摘 要

單都卜勒氣象雷達所偵測之颱風氣旋式旋轉風場為三維氣流沿雷達觀測波束方向上的速度分量，因此造成都卜勒速度型態在辨認和解釋上的困難，利用基本氣流模式分析颱風水平氣流場分布，而模擬產生之單都卜勒速度型態可闡明所觀測之颱風環流重要特徵。引用颱風核心直徑與環流中心至雷達距離比值 α ，及其最大徑向速度與最大切線速度比值 $-V_r/V_t$ ，可說明軸對稱輻合、旋轉之合成氣流場及颱風中心距雷達之遠近與環流本身核心直徑大小對其所伴隨都卜勒速度型態變化之影響。而於颱風主環流區域內利用理想軸對稱旋轉輻合氣流模式，並考慮環境均勻氣流場與颱風環流本身移動等影響因素，可模擬出與實際觀測極為近似之都卜勒速度型態。

關鍵詞：都卜勒速度型態、軸對稱旋轉、切線速度、徑向速度、核心半徑

一、前 言

都卜勒氣象雷達近年來被廣泛應用於偵測各類型之中尺度天氣現象，諸如颱風、雷雨、鋒面、中尺度對流系統等，尤其對颱風登陸前後之環流特徵更提供一嶄新的觀測研究領域；由於颱風形成及發展均發生於廣大海洋上，雖有衛星雲圖資料彌補海洋上觀測網之不足，但仍受限於時空性資料解析度之限制，故而增加了都卜勒氣象雷達在偵測近陸地颱風之重要性，因此透過都卜勒雷達監控颱風之移行路徑、眼牆降水與暴風強度、中心位置及垂直風切分布等之結構變化，可對颱風登陸前後之即時預報提供潛在性的改進功能。

颱風氣旋式旋轉風場特性不僅可由單都卜勒速度型態特徵之辨識作定性分析，如Bayton(1979)

利用21個大西洋颶風之平均風場，以模擬方式推論颱風環流之單都卜勒速度場分布，Wood and Brown (1992) 則利用幾何和數學關係式，說明理想軸對稱旋轉和輻散區之單都卜勒速度型態隨雷達距離遠近的變化關係；此外並可利用單都卜勒氣象雷達數值資料導出風場運動特性參數作定量分析諸如 Donaldson and Harris (1989) 和 Donaldson (1991) 引用 VAD 技術 (Browning and Wexler, 1968) 討論氣旋式氣流之曲率 (curvature)、分流 (diffluence) 以及 down-wind shear、cross-wind shear 等運動參數，並利用徑向合流 (radial confluence) 和 PVF (Potential Vortex Fit) 兩種指數，分析理想軸對稱氣旋式渦旋之颱風外圍環流區域風場資料運動特性，而用以估計遠距離颱風之結構，和 Lee et al (1993) 發展之 GBVTD (Ground-Base Velocity Track Display)

技術，對颱風內部環流結構之切線（tangential）速度及平均徑向（mean radial）速度加以分析，而應用於颱風即時預報等等。

由於都卜勒雷達祇是偵測三維氣流沿雷達觀測波束方向上的速度分量，因此造成都卜勒速度型態在辨認和解釋上之困難，雖然目前已有一些單都卜勒雷達觀測颱風環流之實例探討（李, 1991; 李等, 1988），但均屬天氣分析之研究範疇，因此對於如何辨識颱風環流之單都卜勒速度型態以及如何正確應用於颱風之即時預報等課題，實值得進一步分析和探討，以利於實際作業上之應用與研究發展。

利用兩個基本之軸對稱旋轉和輻合所產生之都卜勒速度型態，可以表示颱風環流之氣旋式旋轉渦旋特徵（Bayton, 1979），以及伴隨對流區域內之強烈旋轉上沖流，因此本文中第二節首先說明分析模式的軸對稱旋轉與輻合之基本都卜勒速度型態；第三節則利用數種不同之旋轉、輻合之合成氣流分析模式模擬颱風環流內之氣流場變化，分析模式是由軸對稱輻散、輻合與均勻氣流所組成，並視颱風環流為近似軸對稱，模擬理想氣流的變化所產生之氣流場與單都卜勒速度型態特徵，並探討颱風移動、颱風中心距離雷達之遠近與最大風速核心半徑大小等因素對單都卜勒速度型態之影響；第四節中將以兩個實際颱風個案，考慮軸對稱旋轉和輻合、均勻環境風場與颱風移動等影響因子之合成氣流場，重新產生颱風環流內之模擬都卜勒速度型態。

二、軸對稱旋轉與軸對稱輻合

單都卜勒氣象雷達所偵測之颱風氣旋式旋轉風場為三維氣流沿雷達觀測波束方向上的速度分量，故真實環流之氣流分布較不易直接解釋，因此可藉由模擬單都卜勒速度型態特徵之辨識來闡明所觀測颱風風場資料（Baynton, 1979; Wood and Brown, 1992）。由於颱風具有二維水平面旋轉之特性，且氣流場分布極近似於軸對稱旋轉，因此可利用簡單基本氣流模式分析颱風水平渦旋氣流場分布，進而模擬出單都卜勒氣象雷達所觀

測之颱風特徵，以便對颱風環流之單都卜勒速度型態做合理且明確之辨識。

(一) 軸對稱氣流模式

Rankine(1901)發展之合成速度剖析概念模式（Rankine combine velocity profile）可用來描述軸對稱旋轉與軸對稱輻合兩基本氣流場之速度分析。假定颱風渦旋氣流場之切線分量（旋轉）與徑向分量（輻合）之核心半徑（core radius）相同，且垂直於相同之垂直軸，則氣流場之切線速度與徑向速度由氣流中心，速度分量為零處，向最大風速核心半徑呈線性遞增；而核心半徑以外，速度則隨距氣流中心之距離呈反比遞減。在 Rankine 軸對稱模式中，氣流場之切線速度 $V_t(r)$ 與徑向速度 $V_r(r)$ 分布與距氣流中心之距離 r 的關係式如（1）式所示，

$$\begin{aligned} v_r(r) &= V_r (r/R_c)^\lambda \\ v_t(r) &= V_t (r/R_c)^\lambda \end{aligned} \quad (1)$$

其中 V_r 、 V_t 分別為核心半徑 R_c 之最大徑向速度與最大切線速度（即 $r=R_c$ 時），當 $R_c > r$ 時 $\lambda = 1$ ， $R_c < r$ 時 $\lambda = -1$ 。

單都卜勒氣象雷達觀測一個渦旋環流之幾何示意圖如圖一所示，利用 Rankine 合成速度剖析模式與圖一之幾何關係，可導出於某方位角 θ_d 及該方位角上距雷達之距離 R_d 位置上的都卜勒徑向速度值 V_d 之數學關係式（Wood and Brown, 1992）

$$V_d = (r/R_c)^{\lambda-1} \times \{ V_r [(R_d - R_t) \times \cos(\theta_d - \theta_t)] / R_c \} + V_t \times R_t / R_c \times \sin(\theta_d - \theta_t) \quad (2)$$

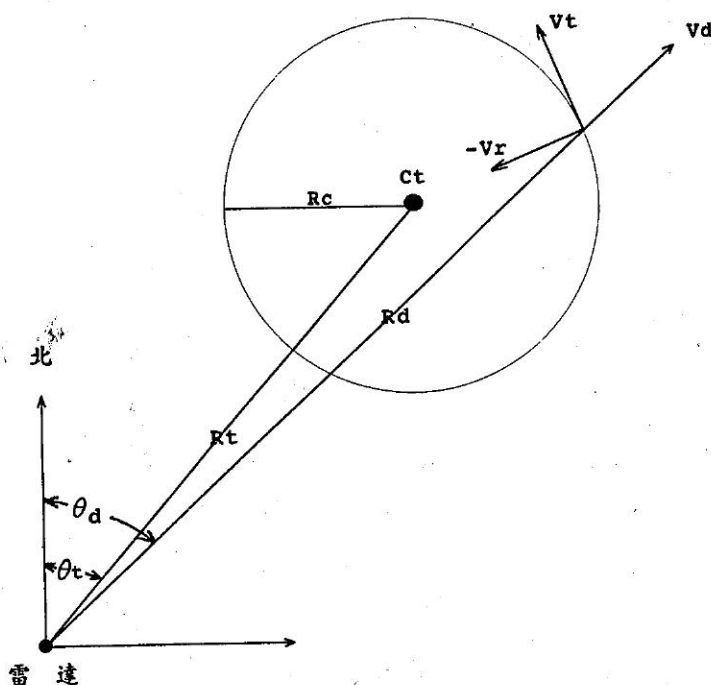
(2) 式中 R_t 與 θ_t 分別為實際渦旋中心位置距雷達之距離和雷達觀測之方位角，然而在笛卡爾水平座標上，則可利用 (2) 式求得模擬之軸對稱旋轉和輻合區域之單都卜勒徑向速度型態特徵。而氣流場之最大徑向速度與最大切線速度則可由下式決定

$$\begin{aligned} V_r &= V_m \sin \theta \\ V_t &= -V_m \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

於 (3) 式中 V_m 為兩個正、負都卜勒速度極值之平均值，即 $V_m = (V_d(\max) - V_d(\min)) / 2$ ， θ 為

為都卜勒速度型態由軸對稱的反氣旋渦旋位置逆時鐘旋轉之角度量；因此當 $\theta = 0^\circ$ 時反氣旋環流達最大 ($V_t < 0$ 、 $V_r = 0$)， $\theta = 180^\circ$ 時氣

旋環流達最大 ($V_t > 0$ 、 $V_r = 0$)；而當 $\theta = 90^\circ$ 時輻合達最大 ($V_r < 0$ 、 $V_t = 0$)， $\theta = 270^\circ$ 時則輻散達最大 ($V_r > 0$ 、 $V_t = 0$)。



圖一、單都卜勒氣象雷達於座標 (R_d, θ_d) 處所偵測之徑向風速 V_d 與實際渦旋氣流幾何示意圖，實際渦旋中心 C_t 位於座標 (R_t, θ_t) ， V_t 正值為氣旋式旋轉、 V_r 負值為輻合、 V_d 負值示渦旋氣流吹向雷達之風分量。

(二) 軸對稱旋轉和軸對稱輻合之基本都卜勒速度型態

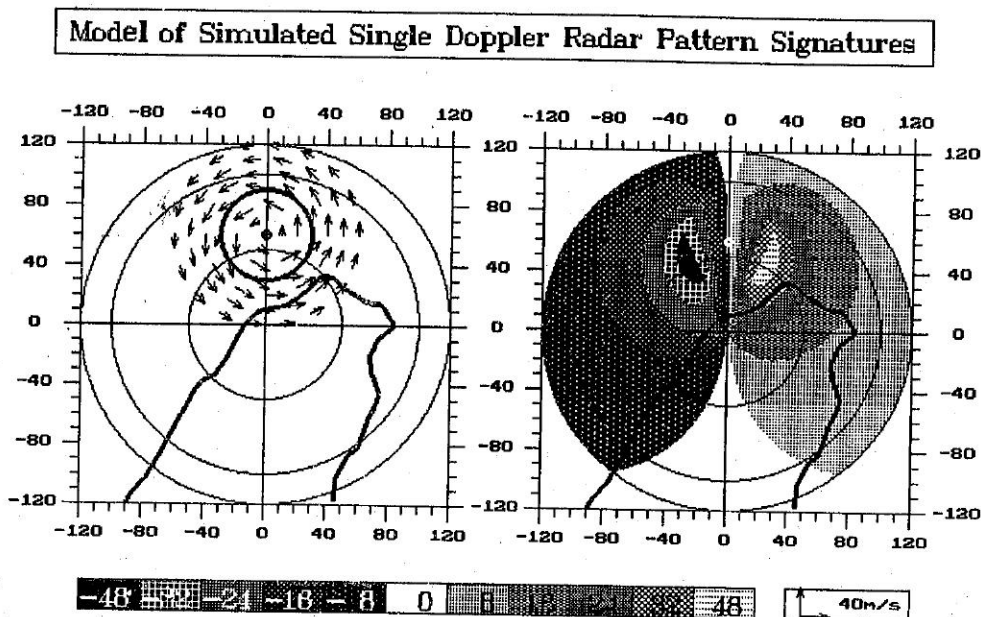
利用前一小節中 (2) 式之雷達觀測徑向速度值 V_d 數學式，並以中正國際機場都卜勒氣象雷達站為座標原點，模擬兩個基本軸對稱氣流場所產生之重要都卜勒速度型態如圖二、圖三所示。圖二中左圖為於水平面上所模擬之實際軸對稱氣旋式旋轉環流，即 $V_t > 0$ 、 $V_r = 0$ ($\theta = 180^\circ$)，右圖則為伴隨之標準單都卜勒速度型態分布，環流中心位於雷達站正北方 60 公里處，左圖中之氣流場與 Rankine 合成速度剖析一致 (參考 (1) 式)，最大風速半徑 (黑色粗圈) 為 30 公里，最大風速為 40M/S。由於單都卜勒雷達祇能觀測到沿雷達觀測波束 (radar beam) 方向上之氣流分量，右圖之

白色線代表零等速度線，此乃因沿白色線上任何一點氣流均垂直於雷達波束，使雷達觀測之徑向分量為零；在白色線右方之氣流為遠離雷達 (正值，暖色系)，左方氣流則是吹向雷達 (負值，冷色系)，由圖中都卜勒速度型態顯示具有對稱性之速度型態配置，在環流中心兩側之核心半徑上，具有一對符號相反之最大速度極值，正、負等速度線則以零速度線為軸且呈對稱性分布，而此對稱但風速值相反之最大核心值，乃實際環流最大風氣流方向適與雷達波束平行時所偵測到之極值。然而雷達觀測靜態旋轉環流時，環流中心之都卜勒速度為零，但當環流中心位於均勻氣流場內時，環流中心之都卜勒速度並不是零值，此

時中心已非落於零等速度線上。

Rankine 速度模式亦可利用於模擬軸對稱輻合氣流場，圖三為一個模擬之輻合氣流場和相對應之單都卜勒速度型態配置，與圖二相似，但 $V_t = 0$ 、 $V_r < 0$ ($\theta = 90^\circ$)。圖三中輻合氣流場顯示所有氣流向中心輻合，於核心半徑具有最大速度值，

模擬之都卜勒速度型態（右圖）顯示，正值區範圍顯著縮小，且零等速度線通過氣流中心和雷達站而呈圓形狀，零等速度線內為正速度區，最大速度值正好是零等速度圓之圓心，與正區相對應者為呈彎月形之負速度等值線，正、負極值中心正好位於沿通過輻合中心之雷達波束方向上。



圖二、利用中正國際機場都卜勒氣象雷達於水平面上所模擬之靜態軸對稱純氣旋式旋轉氣流，雷達位於座標(0,0)處，以雷達站為中心之同心圓由內外分別表示距離雷達50、100和120公里，X、Y座標軸單位為km；左圖為一假設之實際颱風純氣旋式旋轉氣流風場，即 $-v_r/v_t = 0$ ($\theta = 180^\circ$)，中心位於雷達站正北方60公里(0,60)處，最大風速40M/S，最大風直徑（黑色粗圈）為60公里，即 $\alpha=1$ ，右圖則為模擬雷達所觀測到左圖氣流分佈之都卜勒速度型態配置圖，顏色標尺單位為M/S，負值（冷色系）示氣流吹向雷達之風分量，正值（暖色系）則示風吹離雷達，白色為零等速度線。

三、都卜勒速度型態之模擬

前一節所介紹為軸對稱旋轉與輻合之基本都卜勒速度型態，由於實際大氣中之天氣現象並不是這兩種標準型態即可解釋，因此本節將進一步模擬探討軸對稱輻合與軸對稱旋轉之合成氣流場及其所伴隨都卜勒速度型態的變化，以及環境均

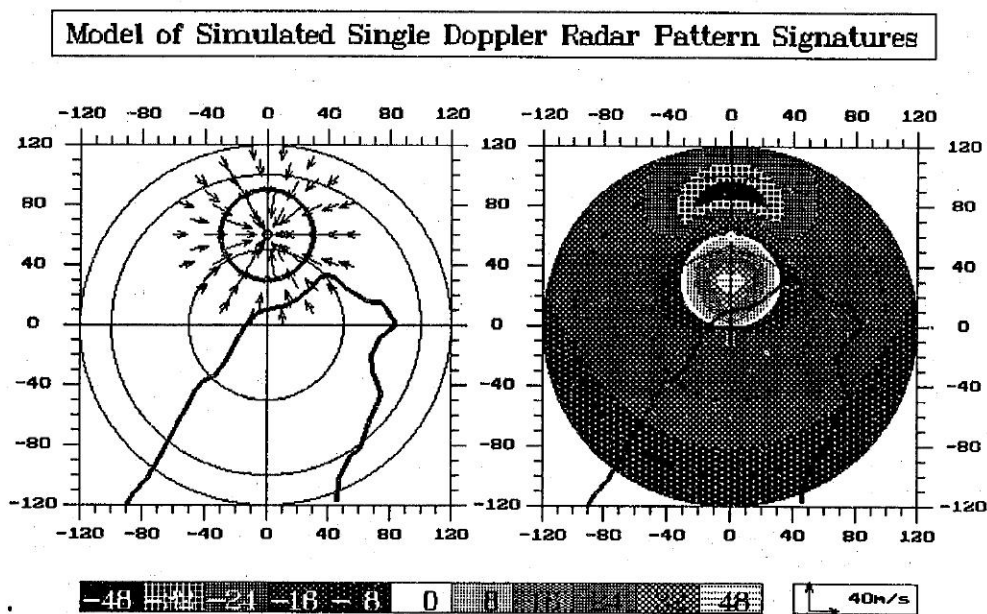
勻氣流場與系統本身移動對型態之影響，而旋轉氣流中心距雷達之遠近和氣流本身核心直徑大小對型態之影響亦是本節討論之重點。

(一)核心半徑相同的軸對稱旋轉與輻合之合成氣流場

颱風環流並非如圖二所示為單純軸對稱旋轉之都卜勒速度型態，由(3)式中可知當 $V_t > 0$ 為氣旋式旋轉， $V_r < 0$ 為輻合氣流，最簡單之旋轉輻合

為當旋轉與輻合之核心半徑相同時，輻合極值與旋轉極值之比值 ($-V_r / V_t$) 於不同情況下，則可組合成多種不同之旋轉輻合都卜勒速度型態，因此將輻合氣流加入旋轉環流內模擬所產生之合成都卜勒速度型態如圖四、圖五及圖六所示。圖四為當 $-V_r / V_t = 0.5$ 時 ($\theta = 150^\circ$) 旋轉輻合之都卜勒速度型態，與圖二比較可看出正負極值中心呈順時鐘方向之移轉，且速度型態由純旋轉之對稱狀而扭曲成不對稱狀，然零等速度線仍通過雷達站和旋轉輻合中心。而正、負極值中心之旋轉量可視為徑向速度極值與切線速度極值比值之函數，因此當軸對稱旋轉與軸對稱輻合強度相

同之旋轉輻合時 ($-V_r / V_t = 1, \theta = 135^\circ$)，如圖五所示其正、負極值中心旋轉 45° ，速度型態更具不對稱性，且正值區範圍縮小，通過雷達站和環流中心之零等速度線呈近似圓形，因此隨 $-V_r / V_t$ 的比值增加則正、負極值弦 NP 之旋轉角度亦隨之逐漸增加。圖六所示為當輻合強度為旋轉之兩倍時 ($-V_r / V_t = 2, \theta = 120^\circ$)，正值區則更進一步縮小，等速度線呈近似圓形，而近似圓形之零等速度線逐漸縮小，且順轉至雷達與環流中心之間區域內。至純輻合時 (圖三)，雷達至環流中心之距離正好是圓形零等值線之直徑。



圖三、同圖二，但為純輻合氣流，其中 $-V_r / V_t = 0$ ($\theta = 90^\circ$)、 $\alpha = 1$ 。

圖七示意圖說明核心直徑與中心至雷達之距離的比值固定下，隨 $-V_r / V_t$ 比值之變動正、負極值中心的旋轉變化關係。正、負極值中心連線 NP 隨 $-V_r / V_t$ 比值的增加逐漸呈順轉，當 $-V_r / V_t$ 趨近於無限大 (純輻合) 時，則弦 NP 順轉 90° ，且正、負極值中心 (N, P)、輻合中心 (Ct) 適與雷達站位於同一直線上。

(二) 距雷達之距離與核心直徑對型態之影響

當軸對稱旋轉中心向雷達站接近時，將造成都卜勒速度型態的扭曲，故而對於一個逐漸向雷達站逼近之颱風環流，此種情況特別重要，因此時颱風之中心與核心半徑變得更難辨識，研判之環流中心距雷達距離與真實距離有很大誤差存在。

由於颱風氣旋式氣流場之都卜勒速度型態可

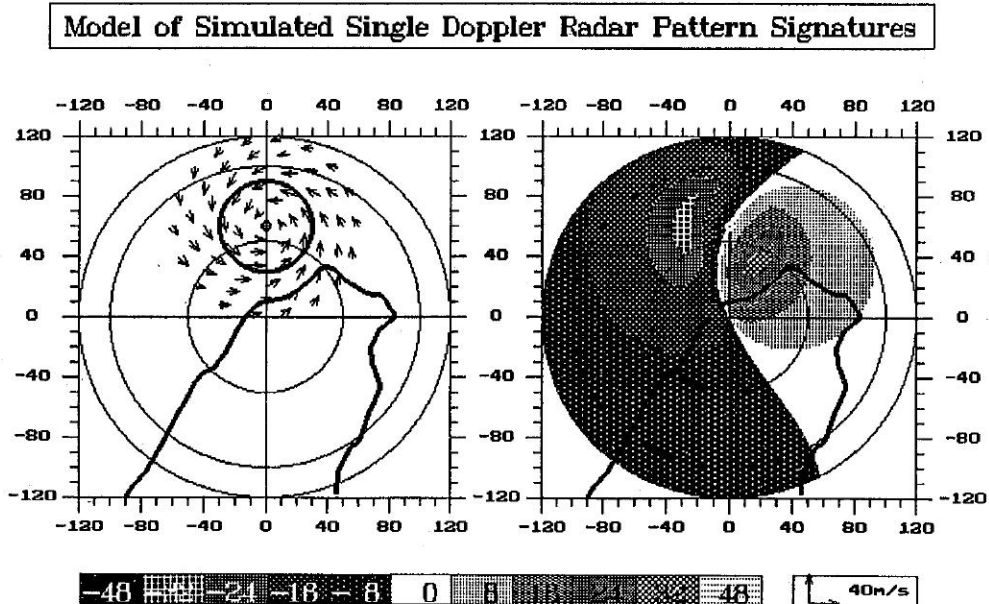
視為是核心直徑與氣旋中心距雷達之距離的函數變化關係，為便於歸類說明對都卜勒速度型態的影響，而引用一無因次比值 α ，定義如下

$\alpha = \text{最大風速核心直徑} / \text{中心至雷達之距離}$ (4)
前述之都卜勒速度型態圖（圖二～圖六）均為 $\alpha = 1$ 之情況下模擬所產生，圖八則為模擬氣旋式旋轉中心離雷達遠近對都卜勒速度型態所產生之影響。當核心直徑（ $2R_c$ ）相同時，環流中心距雷達 80 公里（ $\alpha = 0.75$ ）與 40 公里（ $\alpha = 1.5$ ）模擬雷達觀測得之都卜勒速度型態分別圖示於圖左和圖右，與圖二（ $\alpha = 1$ ）之型態比較顯示，若其環流中心離雷達愈遠，則正、負極值核心內之等速度線愈趨於平行，且呈對稱之正、負極值中心與雷達連線間之夾角越小；反之，若環流中心向雷達接近時則夾角越大且等速度線逐漸變扭曲，旋轉環流靠雷達區之等速度線逐漸向雷達輻合（圖右）。在輻合與旋轉速度比值 $-V_r / V_t$ 固定情況下，隨 α 比值變動下之都卜勒速度型態的變化

可由圖九之示意圖說明，當環流中心遠離雷達時，即 α 趨近於零時，正、負極值中心之連線 NP 通過環流中心，且其長度為核心直徑，隨環流中心的逐漸接近雷達，弦 NP 逐漸遠離真實環流中心且弦的長度減小。

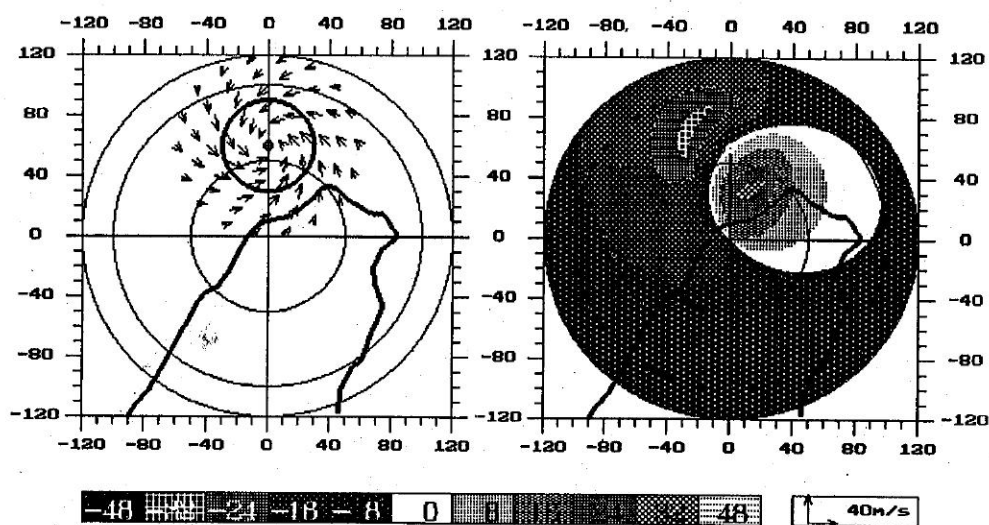
圖十則為環流中心位於相同距離但不同核心直徑情況下都卜勒速度型態之變化，其 α 值分別為 0.5（圖左）和 1.5（圖右），當核心直徑變大或變小時對都卜勒速度型態之影響與圖八之結果相類似，而隨 α 比值變動下之都卜勒速度型態變化示意圖如圖十一所示。

圖十二為當 $-V_r / V_t = 1$ 時，不同 α 比值對旋轉輻合氣流之都卜勒速度型態的影響，當 α 值逐漸增加時，即旋轉輻合中心逼近雷達，正區範圍縮小，但零等值線仍通過雷達站和環流中心，正、負極值中心逐漸向雷達站輻合，主環流之等速度輪廓線逐漸向雷達輻合。當 α 趨近於 0 時，正、負極值中心之連線逐漸趨近於旋轉輻合中心。



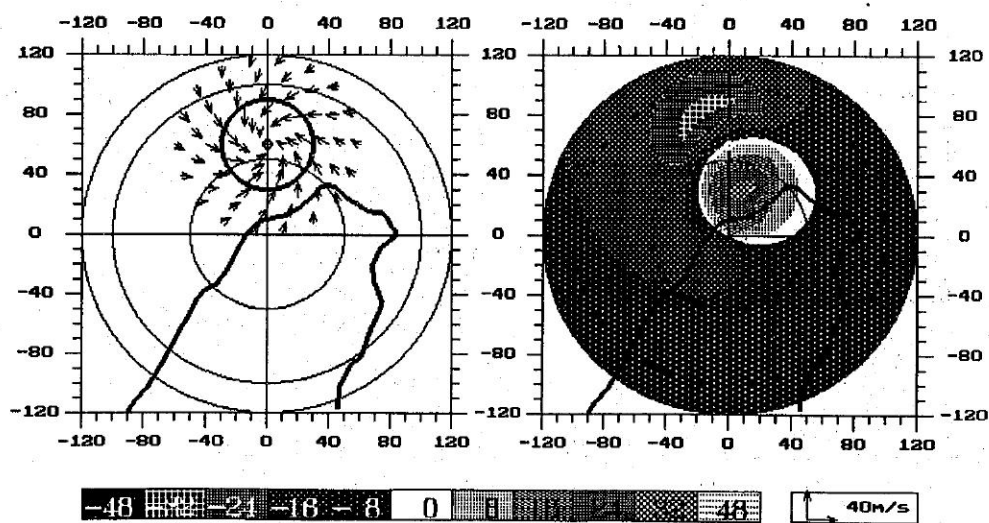
圖四、同圖二，但為輻合旋轉合成氣流， $-V_r/V_t=0.5$ （ $\theta=150^\circ$ ）、 $\alpha=1$ 。

Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures

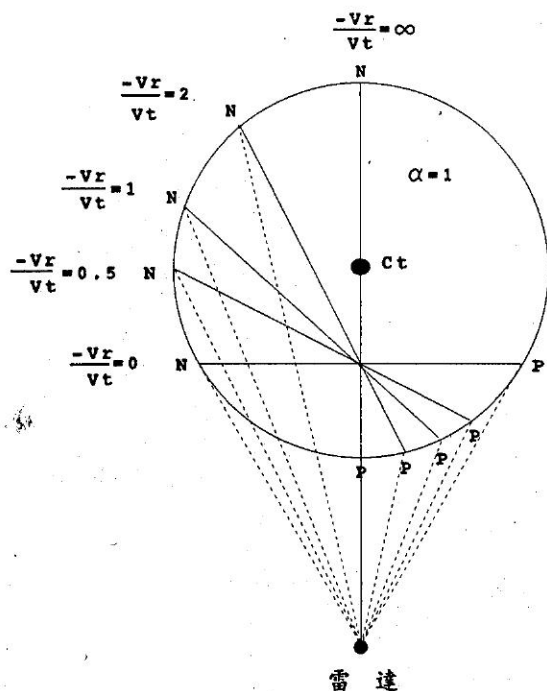


圖五、同圖二，但為輻合旋轉合成氣流， $-V_r/V_t=1$ ($\theta=135^\circ$)、 $\alpha=1$ 。

Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures

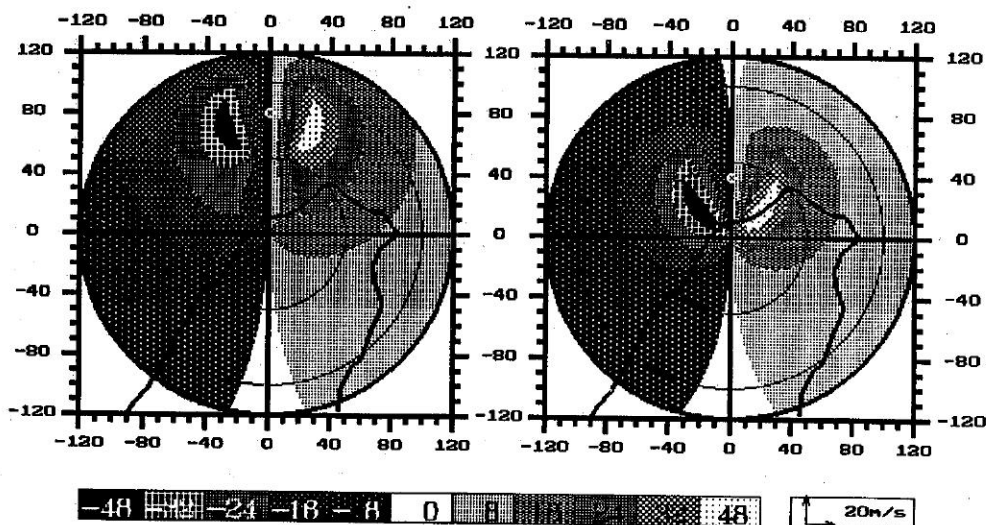


圖六、同圖二，但為輻合旋轉合成氣流， $-V_r/V_t=2$ ($\theta=120^\circ$)、 $\alpha=1$ 。

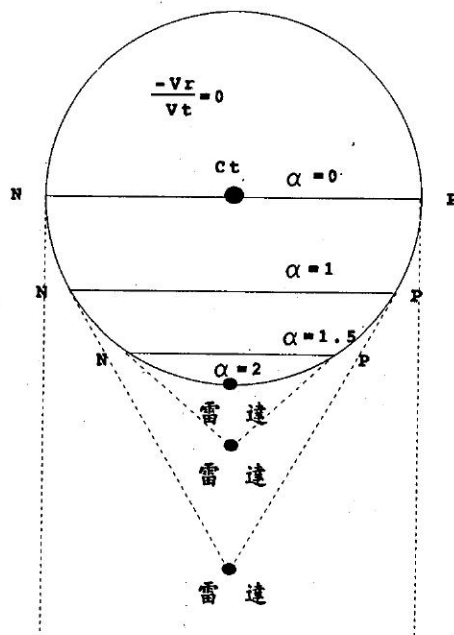


圖七、於氣旋核心直徑與環流中心 (Ct) 至雷達距離之比值固定下 ($\alpha=1$)，都卜勒速度型態隨 $-V_r/V_t$ 比值變動產生旋轉變化之示意圖，N、P 分別為負、正極值中心。

Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures

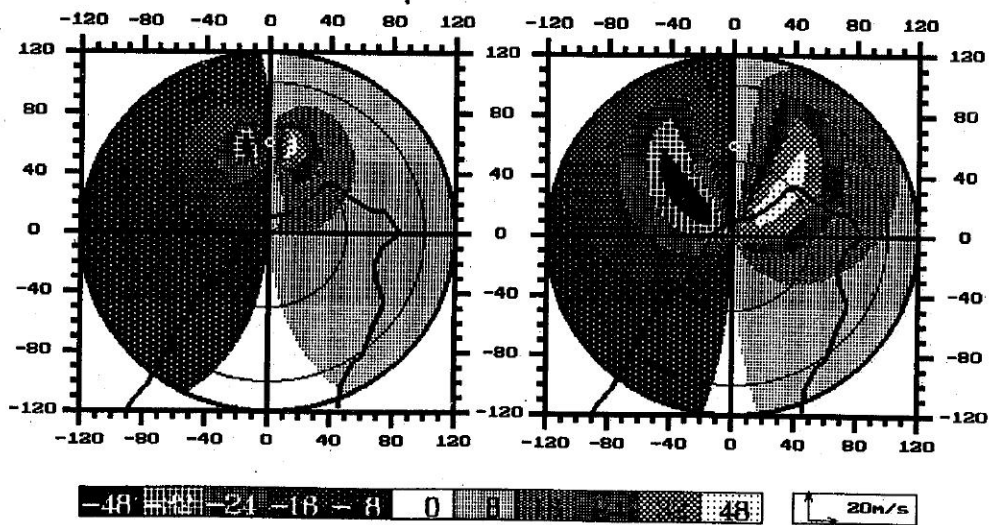


圖八、同圖二， $-V_r/V_t=0$ ($\theta=180^\circ$)；但氣旋環流中心距離不同，左圖中心距離雷達正北方 80 公里 ($\alpha=0.75$)，右圖則為 40 公里 ($\alpha=1.5$)。

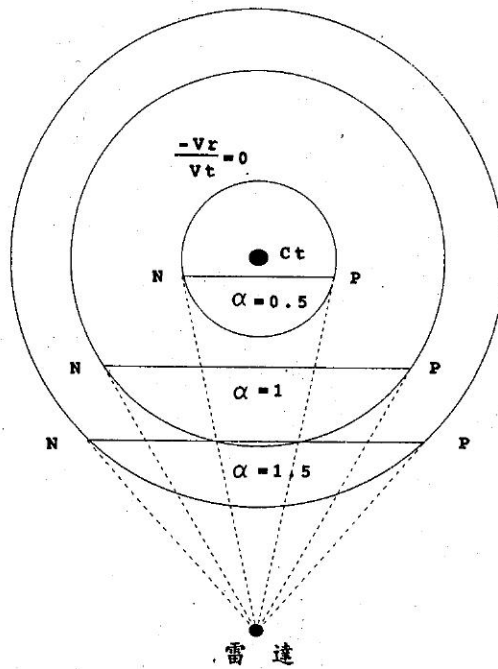


圖九、於輻合與旋轉速度比值固定下 ($-V_r/V_t=0$)，都卜勒速度型態隨環流中心距雷達之距離遠近不同(核心直徑相同)的變化關係示意圖，N、P分別為負、正極值中心。

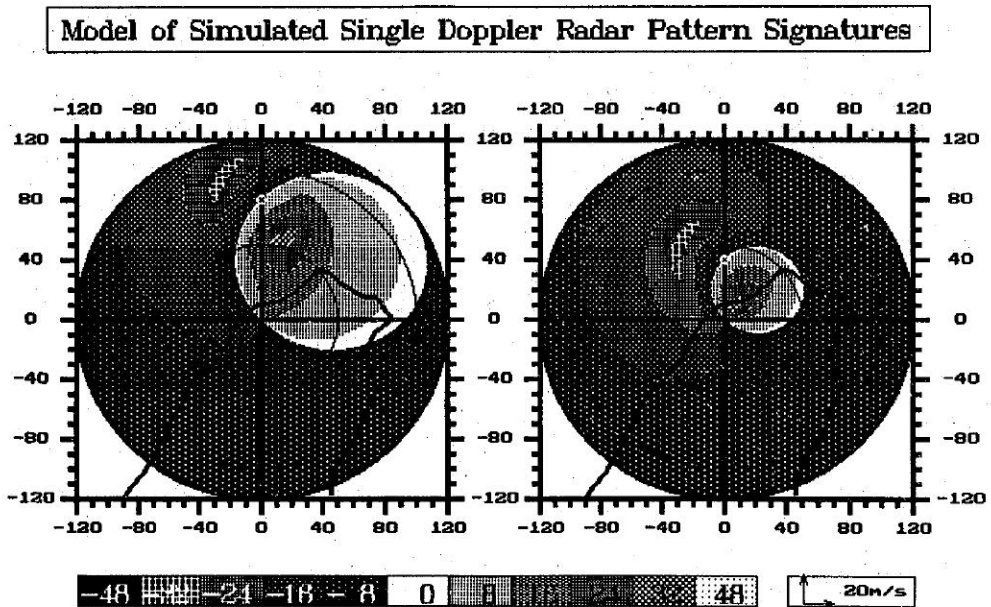
Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures



圖十、同圖二， $-V_r/V_t=0$ ($\theta=180^\circ$)；但氣旋環流直徑不同，左圖直徑為30公里 ($\alpha=0.5$)，右圖90公里 ($\alpha=1.5$)。

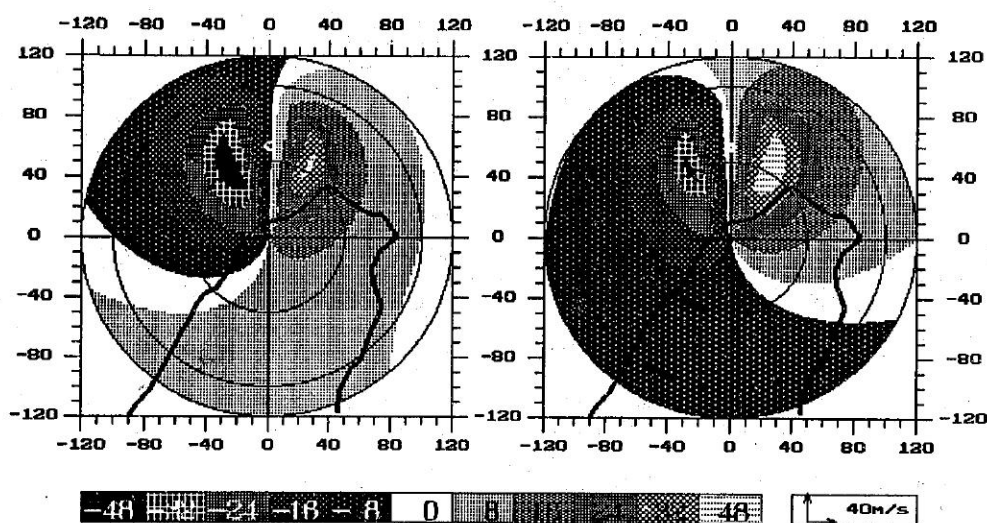


圖十一、同圖九，但為環流中心距雷達之距離相同時，速度型態隨 α 比值變動（核心直徑不同）之變化關係示意圖，N、P分別為負、正極值中心。



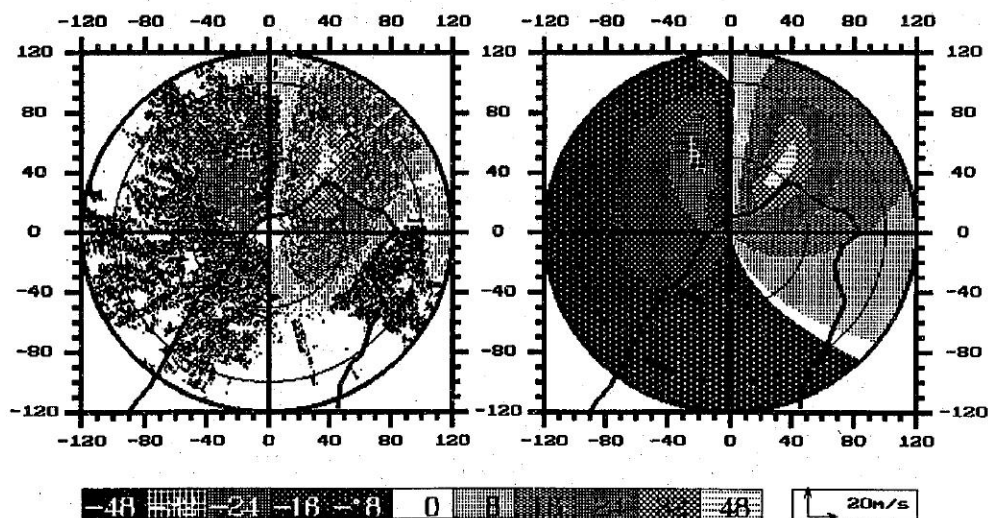
圖十二、同圖五， $-V_r/V_t = 1$ ($\theta = 135^\circ$)；但氣旋環流中心距離不同，左圖中心距離雷達正北方80公里 ($\alpha = 0.75$)，右圖則為40公里 ($\alpha = 1.5$)。

Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures



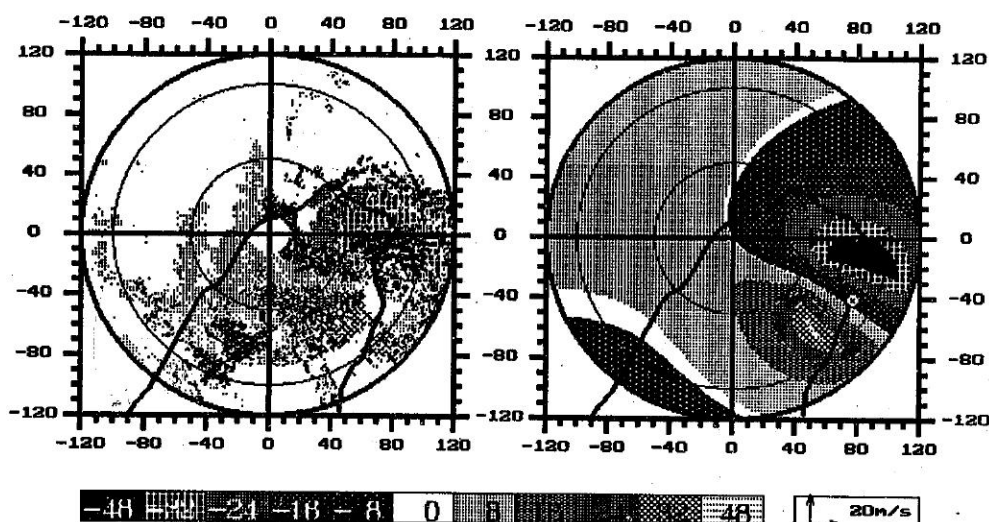
圖十三、同圖二， $-V_r/V_t=0$ ($\theta=180^\circ$)、 $\alpha=1$ ；但左圖加入環境風場，風向 050° 、風速 5M/S ，右圖加入系統移動，移動方向 330° 、移速 5M/S 。

Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures



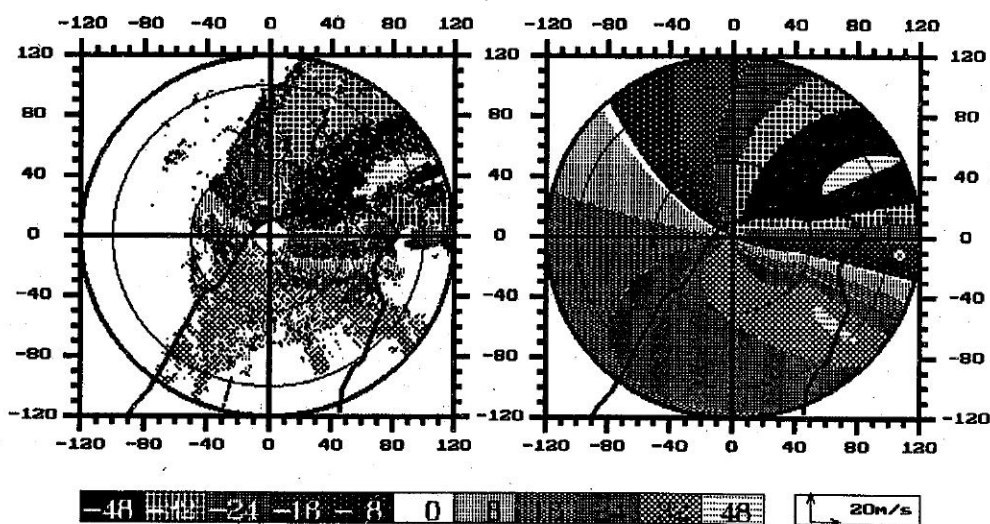
圖十四、左圖為中正機場都卜勒氣象雷達實際觀測亞力士颱風，於高度 1.5 公里之定高面都卜勒速度型態，時間為 1987 年 7 月 27 日 0917LST ；右圖則為模擬圖。

Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures



圖十五、左圖為中正機場都卜勒氣象雷達實際觀測亞力士颱風，於高度3.5公里之定高面都卜勒速度型態，時間為1987年7月27日0447LST；右圖則為模擬圖。

Model of Simulated Single Doppler Radar Pattern Signatures



圖十六、左圖為中正機場都卜勒氣象雷達實際觀測之楊希颱風，於高度3.5公里之定高面都卜勒速度型態，時間為1990年8月19日0905LST；右圖則為模擬圖。

(三)環境均勻氣流與系統移動對型態之影響

由於實際颱風是位於綜觀尺度環境中，且颱風並非靜態之氣旋式環流，因此模擬旋轉颱風之特徵時，需考慮環境均勻風場和颱風移動兩項變數。圖十三之左圖與右圖分別為利用圖二之模擬氣旋式旋轉環流在加入環境均勻氣流場和颱風移動後所產生之都卜勒速度型態，當均勻東北風，風向 050° 、風速 5M/S 加入氣旋式環流內時（圖左），氣流場受到修正且速度值改變，負值（吹向雷達分量）增加，正值（吹離雷達分量）減小，但都卜勒速度型態基本上並沒有改變。值得注意的是環流中心如第二節所述並非落於零等速度線上，而是偏向負值區（速度增加區），若環境風場增強時，正值區逐漸縮小至被負值區取代，真實中心逐漸遠離零等速度線而進入負區內。圖右所示為環流中心移動對型態之影響與圖左相類似，當環流中心以 5M/S 之速度向 330° 方向移動時，負值區縮小而正值區增加，環流中心偏向正速度區內（速度增加區）。

四、實際颱風環流之觀測都卜勒速度型態的模擬

本節將綜合前一節所描述之各理想氣流模式，及考慮系統本身大小強度和系統移動與環境均勻氣流場影響等因素，合成模擬產生一個與真實都卜勒速度觀測相似之合理型態，且說明應用此種簡單之合成模式模擬近似颱風環流之可行性。

(一)亞力士颱風

中正國際機場都卜勒氣象雷達於1987年7月27日實際觀測得亞力士颱風登陸前後之完整資料，李等（1988）曾對亞力士颱風做個案之分析研究。亞力士颱風從台灣東北部登陸後，約於0730LST從台灣北部出海，且持續向北移動；在颱風未移出都卜勒觀測範圍（120公里）之期間內，颱風正好位於雷達北方之海面上，因此颱風環流結構類似於軸對稱旋轉氣流。

圖十四之左圖為27日0917LST中正機場都卜勒雷達實際觀測到亞力士颱風環流產生之單都卜

勒速度型態，高度為1.5公里；中心位於雷達方位角 007° 距離63公里處，正、負最大徑向速度極值分別為 $+37\text{M/S}$ 和 -27M/S ，最大速度半徑約33公里。

由於亞力士颱風實際觀測之都卜勒速度型態與圖二之右圖相類似，因此颱風環流可視為近似軸對稱旋轉。實際觀測都卜勒速度極值之平均值 V_m 為 32M/S ，現假定速度極值為 $\pm 32\text{M/S}$ ，則都卜勒速度差值 $\pm 5\text{M/S}$ 代表颱風移動和環境風場在1.5公里高度之分量，因此將此分量加入軸對稱旋轉速度特徵內時，產生 $+37\text{M/S}$ 和 -27M/S 之正負極值。為了使模擬單都卜勒旋轉速度型態與實際觀測相似（圖十四左圖），必需決定最具代表性之核心半徑、最大都卜勒速度極值、輻合特徵、颱風移動和環境均勻風場等參數；最佳模擬亞力士颱風之都卜勒速度型態顯示於圖十四之右圖，模擬參數分別為旋轉型態 $\theta=180^\circ$ （ $V_t>0$ ， $V_r=0$ ）、颱風中心位於方位 007° 距雷達63KM處、最大風速 32M/S （ $V_t=32\text{M/S}$ ）、核心半徑33公里、颱風移動為方向 350° 和速度 5M/S 及環境風場為風向 260° 和風速 3M/S 。

實際觀測與模擬之速度特徵比較顯示，在颱風主環流區域內利用簡單之軸對稱旋轉理想模式可以模擬出與實際觀測極為近似之都卜勒速度型態，但在颱風環流之南台灣陸地之觀測速度特徵與模擬結果則有顯著差異，主要原因是台灣山脈地形之影響使颱風外圍之西南氣流受海峽水道（channel）效應之作用而增強，使得雷達西南方觀測之都卜勒徑向速度較模擬速度來得強，且西南氣流通過中央山脈後在背風區產生背風波（低壓），亦造成台灣東北方觀測與模擬之速度型態差異。

但當颱風位於台灣東北部海面上時，雷達受地形之影響造成東南方至南方在3.5公里高度層以下缺乏觀測資料，因此0447LST雷達觀測得未登陸前亞力士颱風於高度3.5公里之都卜勒速度型態如圖十五之左圖所示。中心位於雷達東南東方87公里處，正、負極值分別為 $+34\text{M/S}$ 和 -46M/S ，

平均值為40 M/S，最大速度核心半徑32公里，與圖十四左圖比較顯示，主要差異為正、負極值中心間之夾角減小且極值中心連線（弦NP）更接近颱風中心。在旋轉型態 $\theta=175^\circ$ 情況下，最大風速40 M/S，且颱風以7 M/S速度向 320° 方向移動時，模擬產生之都卜勒速度型態圖示於圖十五之右圖，與實際觀測之左圖比較顯示，除雷達東南方至西南方之地形效應區外，模擬與實際觀測之速度型態大致相似。

(二)楊希颱風

楊希颱風約於1990年8月19日1030LST從台灣東北部登陸，當颱風位於東北部近海時，中正機場都卜勒雷達於0905LST實際觀測得楊希颱風在高度3.5公里之都卜勒速度型態如圖十六之左圖所示，楊希颱風之環流結構相當完整，颱風中心位於雷達西方108公里之海面上，正、負最大速度值分別為+30 M/S和-52 M/S，平均值為41 M/S，其中負最大速度區出現摺返（folding）現象，最大速度核心半徑約63公里。

圖十六之右圖為相同時間模擬產生之最佳都卜勒速度型態，輸入之旋轉型態為具有微弱輻合之旋轉輻合（ $\theta=178^\circ$ ），颱風中心位於方位角 096° ，距離雷達108公里處，最大風速41 M/S，核心半徑63公里，颱風移動方向 250° 且移速5 M/S。與實際觀測之左圖比較顯示，颱風移動方向之右方速度型態相似，但移動方向左方則有顯著差異，乃因台灣之山脈地形效應所造成。

五、討 論

應用速度合成分析模式可以模擬颱風環流內之軸對稱旋轉與輻合基本氣流特徵，而於這些基本氣流之合成模式下，並考慮環境均勻風場與颱風移動等影響因素，重新模擬產生颱風環流之單都卜勒速度型態相當近似於實際都卜勒氣象雷達觀測的速度特徵。而利用核心直徑與環流中心至雷達距離比值 α ，以及最大徑向速度與最大切線速度比值 $-V_r/V_t$ ，可顯示出颱風環流之都卜勒速度型態隨颱風中心距雷達遠近、核心直徑大小、以及旋轉、輻合加權量不同，而產生都卜勒速度

型態上之差異性。

當 α 值增加或 $-V_r/V_t$ 速度比趨近於零時，最大和最小都卜勒速度極值之中心連線逐漸遠離實際颱風環流中心，且連線長度減小；在 α 值固定下，隨 $-V_r/V_t$ 速度比值變動，正、負極值中心將產生旋轉，即輻合（輻散）氣流加入純氣旋式旋轉環流中，造成都卜勒速度極值的順時鐘（逆時鐘）方向位移，且都卜勒速度型態產生扭曲變形（相對純旋轉環流而言）。當純旋轉環流逐漸變為純輻合時，正、負速度極值連線，將由垂直雷達觀測方向逐漸旋轉至平行雷達觀測方向，同時連線之中點（假中心位置）逐漸移向實際環流中心。

環境均勻風場加入軸對稱旋轉環流內時，將使都卜勒速度值改變，但並不改變都卜勒速度型態，同樣地將颱風移動加入軸對稱旋轉環流內亦產生相同的結果。當颱風環流靜止不動時，颱風中心位於零等速度線上，但當颱風位於均勻氣流場內且颱風移動時，則颱風中心並非落於零等速度線上，而是往都卜勒速度值增加區域位移。

因此透過軸對稱颱風環流之模擬結果相信可以適切地辨認和解釋單都卜勒雷達觀測颱風環流之重要特徵，如颱風中心、最大風速核心半徑和風速大小，其結果將有助於預報員使用單都卜勒氣象雷達掌握一個移近雷達站之颱風環流，並對颱風環流特徵能作更準確之即時預報。然由於單都卜勒雷達祇能偵測沿雷達觀測波束方向上之速度分量，不能完全決定真實風場特性，並且於實際大氣中大部份颱風環流即非呈軸對稱分布（Shea and Gray, 1973），尤其當颱風逼近海岸線時，氣流場受臺灣山脈地形摩擦及造成之海峽水道效應，與氣流通過山脈後之背風波使氣流產生扭曲變形等因素影響下，造成颱風於靠近陸地時之都卜勒速度型態較在空曠海面上更加不對稱，使得都卜勒雷達降水回波定義之颱風中心與風速中心有所差異。由於颱風本身不均勻對流分布及地形因素造成單都卜勒氣象雷達在觀測颱風環流時，產生較複雜的都卜勒速度型態，並增加颱風環流

特徵辨識上之困難，因此如何解決這些問題將是未來的研究課題。

致 謝

感謝中正氣象台提供雷達觀測資料，以及審查委員提供寶貴意見，謹此致謝。

參考文獻

- 李金萬、楊健生、林國平，1988：利用單一都卜勒氣象雷達觀測亞力士颱風之初步分析研究。氣象學報，34卷，216-226頁。
- 李金萬，1991：單都卜勒氣象雷達分析楊希颱風結構。天氣分析與預報研討會論文集編，227-238。
- Baynton, H.W., 1979: The case for Doppler radars along our hurricane affected coasts. Bull. Amer. Meteor. Soc., 60, 1014-1023.
- Browning, K.A., and R. Wexler, 1968: The determination of kinematic properties of a wind field using Doppler radar. J. Appl. Meteor., 7, 105-113.
- Brown, R.A., and V.T. Wood, 1991: On the interpretation of single-Doppler velocity patterns within severe thunderstorms. Wea. Forecasting, 6, 32-48.
- Donaldson, R.J., Jr. and F.I. Harris, 1989: Estimation by Doppler radar of curvature, diffluence, and shear in cyclonic flow. J. Atmos. Oceanic Technol., 6, 26-35.
- Donaldson, R.J., Jr., 1991: A proposed technique for diagnosis by radar of hurricane structure. J. Appl. Meteor., 30, 105-113.
- Lee, W.C., and J.D. Jou, and B.L. Chang, 1993: Nowcasting typhoon circulation using doppler radar the ground-base VTD (GBVTD) technique. Preprints, 26th Conf. on Radar Meteorology, Oklahoma, Amer. Meteor. Soc., 179-183.
- Rankine, W.J.M., 1901: A Manual of Applied Mechanics. 16th ed., Charles Griff and Company, 574-578.
- Shea, D. J. and W. M. Gray, 1973: The hurricanes inner core region. I. symmetric and asymmetric structure. J. Atmos. Sci., 30, 1544-1564.
- Wood, V.T. Brown, R.A., 1992: Effects of radar proximity on single-Doppler velocity signatures of axisymmetric rotation and divergence. Mon. Wea. Rev., 120, 2798-2807.

SINGLE DOPPLER VELOCITY SIGNATURES RECOGNITION AND OPERATIONAL APPLICATIONS: PART 1 Interpretation of Hurricane Circulation Patterns

Chien-sheng Yang and Hung-chi Chou
CKS Weather Station, ANWS, CAA

ABSTRACT

Single doppler radar measures only the one-dimensional radial component of three-dimensional hurricane flows; therefore, doppler velocities are difficult to interpret straightforwardly. One resorts to use the doppler velocity pattern recognition to interpret the measurements of hurricane signatures, and to simulate basic flow features by using simple analytical flow models. Two indices, the ratio of core diameter to the range of typhoon center from radar and the ratio of radial velocity to the tangential velocity, explain the variation and distortion in the doppler velocity pattern of the axisymmetric rotation and convergence region as a function of radar range and core diameter. Flow fields were constructed by using various combinations of the axisymmetric rotation, convergence, and uniform winds. The simulations reproduced the approximation feature of the actually observed single doppler velocity pattern of single doppler radar signatures within hurricane.

Keywords: Doppler velocity pattern, Axisymmetric rotation, tangential velocity, radial velocity, core radius.