

都卜勒雷達對台灣地區降水系統內部風場研究

第一部分：風場型式辨識之模擬

陳 台 琦 曾 憲 瑗 林 宏 聖

中央大學大氣物理系

交通部民航局

中央氣象局科技中心

摘 要

都卜勒雷達具有傳統雷達提供回波反射率的特性，並可觀測雲內水滴對雷達的徑向速度，因此，可直接觀測雲內的氣流結構，對於中尺度 β ， γ 之研究可提供高解析度的風場資料；對於劇烈天氣，可經由氣流系統之型態辨識而提供預報資料，諸如：鋒面、噴流、雷雨中強烈上升及下降氣流等等都可由都卜勒雷達觀測之PPI、RHI顯示圖形中辨識出來。

本文假設以都卜勒雷達觀測所模擬之風場，經由等都卜勒徑向風速線分佈情形的分析，辨認天氣系統的型態、位置，並利用都卜勒雷達之實測資料作為本研究之驗證。

一、前 言

台灣地區之天氣型態具有其特殊性；夏季有熱帶性氣旋的侵襲外，且常有氣團性雷陣雨的發生。冬季則有相當頻繁的鋒面過境。春秋兩季，除鋒面過境外，常有颱風的侵擾，而這類型天氣系統所伴隨的雨胞或雨帶，常因地形的影響而異常發展，常造成嚴重的災害。而在飛航安全上，風切、下爆氣流更是潛伏殺手。

都卜勒雷達可提供徑向風場的觀測，因此，若能利用各種不同天氣系統其氣流結構的差異特性，作為對各種天氣現象之辨識，進而對其行徑作分析，將能夠提高預報作業上的準確性。

Lhermitte (1964) 提出以都卜勒雷達之RHI都卜勒風速來研判雷雨胞之上升、下降氣流之強度，進而可預測雷雨的強度；Fujita (1963), Brooks (1949) 利用簡單的非輻散組合厄肯渦旋 (non-divergent Combined Rankine vortex) 來表示中尺度氣旋，因此從都卜勒雷達PPI顯示器上應可辨認此中尺度氣旋的記號；Ray et al. (1981) 以一龍捲風涵於中尺度氣旋內作模擬；Brown and Wood (1982) 亦對中尺度氣旋作模擬，所得結果與都卜

勒雷達觀測相互印證。

而對於 meso- β 或 meso- α 尺度下限之天氣 (如範圍數百公里) 而言，而雷達掃瞄半徑僅百公里左右時，如陣風鋒面、冷鋒鋒面在雷達上的判斷，將有一風切帶的存在，在都卜勒雷達上所顯示的等風速線圖形隨著鋒面其風場形式及其走向種種不同變化亦有很多的變化。

二、風場型式

(一) 風向與風速隨高度變化。

(二) 不同走向、風場型式的風切帶。

(三) 三維數值雲模式 (Chen, 1982) 之輸出風場。

三、結果與分析

現就各種不同的氣流型態之等都卜勒徑向風速線分布圖，逐一討論：

(1) 大範圍降水，風向、風速隨高度之各種不同變化：(模擬結果與 Wood and Brown (1983) 相同)

Lhermitte and Atlas (1961) 以都卜勒雷達的資料來描述大範圍降水的風場，當雷達以PPI方式運作時，在選定之距離R處，顯示其徑向速度隨方位角改變而改變的情形，此種顯示方式稱

為速度-方位顯示 (VAD, Velocity - azimuth display)；而速度的變化則類似一個正弦函數之變化，從幾何公式來看，徑向速度為：

$$V_r = -V_h \sin(\beta_0 + \beta) \cos \alpha + W \sin \alpha \dots(1)$$

其中， α 為仰角， β_0 是風向， β 是方位角， W 是垂直風速， V_h 是水平風速，徑向速度以向著雷達為負值，離開雷達為正值。

一般以 PPI 顯示畫面來判圖，常是選擇一較大的仰角作 360° 旋轉掃瞄，由於仰角較大，隨著徑向距離增加，高度亦增加，其高度可以下面公式計算之：

$$Z = \frac{R^2}{17000} + R \sin \alpha$$

其中， R 是經向距離 (以公里計算)， α 是仰角，此時，PPI 所顯示的風並非在同一平面上，而是一由內向外愈來愈高的錐面，愈接近雷達中心其所顯示之風場是愈低層的，逐漸向外，其所顯示的風場是愈高層的風。

而使用此種 PPI-VAD 技術，最恰當的是有大片層狀降水，垂直速度遠小於水平速度，且無強烈對流性降水存在時，因此在模擬風場時，選取了較大的範圍，為 200 km × 200 km，將雷達置於範圍中心位置，而將風場沿著垂直方向做數種不同的變化，圖 1 至圖 9 顯示九種組合：

風向 風速	不隨高度變化	隨高度呈線性增加 (順轉)	隨高度增加至最大值，再減小至原值 (先順轉再逆轉)
不隨高度變化	圖 1	圖 4	圖 7
隨高度呈線性增加	圖 2	圖 5	圖 8
隨高度增加至最大值，再減至原值	圖 3	圖 6	圖 9

如圖 1 a 表示雷達錐面上的實際風場，而圖 1 b 則是都卜勒雷達所看到之徑向速度場的等值線，圖 1、2、3 之風向均不隨高度改變，而風速在圖 1 中，不隨高度改變；圖 2 則風速隨高度呈線性增加；

圖 3 則是在高度 $Z_{max}/2$ 時，風速最大，而 0、 Z_{max} 高度上，風速最小，即是噴流的型態。由圖 1a、2 a、3 a 可以看出風向均為 270°，而由於風速的變化，圖 1 b、2 b、3 b 則有很大的不同：在圖 1 b 中，風速不隨高度變化，其等都卜勒風速線呈輻射狀；圖 2 b 中，風速隨高度呈線性增加，其等都卜勒風速線呈平行直線狀；圖 3 b 中，則是兩個明顯的封閉之正負曲線中心。圖 4、5、6 風向自 180° 隨高度順轉至 270°，可清楚看出在底層的南風隨高度逐漸轉至西風，造成零都卜勒風速線呈現 S 形，而與圖 1、2、3 相似：在圖 4 b 中，是輻射狀；圖 5 b 中，有較平行的等值線；圖 6 b 中，則有兩個封閉曲線中心，顯示順轉的噴流型態。圖 7、8、9 風向自 180° 順轉至 270° 而又逆轉至 180°，可看出底層由南風轉至中層西風而又轉回高層南風的情形，而零都卜勒風速線則呈現雙 S 形，而且風速的特性與圖 1、2、3 有相似的變化。

由以上 9 個圖可看出，零都卜勒風速線是判斷風向變化最方便的指示，而正負中心則是噴流存在的指引，亦即可以由正負中心最大值位置的變化，來判斷噴流軸的移動。圖 9 c 是 TAMEX 計劃中，於 1987 年 5 月 22 日，11 時 41 分之等都卜勒徑向風速圖，為噴流之實例，類似於圖 9 b，因為其隨高度由順轉而逆轉，且有正負中心。

(2) 鋒面、陣風鋒面之風場模擬：

從 PPI 顯示可以輕易的看出鋒面的位置及其移動方向；不論是梅雨鋒面、冷鋒鋒面、中尺度陣風鋒面，只要鋒面前後有風切變化，此風切帶的位置可由等都卜勒風速線的變化來加以判斷，在這一部分的模擬是先建立一平面風場：在所設定之風切線的兩側，假設多種不同的風場方向，再計算都卜勒徑向風速的分佈；圖 10 至圖 14 是五種不同鋒面前後風場模擬的結果：圖 10 a 鋒面位置由東北 (40, 100) 走向西南 (-100, -60)，鋒面東側之風向為 170° (南南東)，鋒面西側之風向為 340° (北北西)，在圖 10 b 中，發現風切帶的位置即是等都卜勒徑向風速線最密集的位置，且零都卜勒風速線位於 260° 及 80° 呈東北西南走向，和風向垂直，或由正與負極大值之中心連線亦

可得到風向為 170° ，而鋒面西側之負極大值中心在 340° 方位，可判斷出鋒面西側的風向來自北北西。比較其他的圖，亦有同樣的情形，即鋒面右側的風向可由正負中心連線得到，風速亦取正負中心值的平均；鋒面左側的風向可由最大值中心向雷達連線得到，由此種方式可看出鋒面位置及其移動的情形，而作業上常見到的情形是鋒面後並無降水，而無回波提供鋒面後的風向。圖 15 為鋒面之實例，時間是 1987 年 5 月 17 日 09 時 52 分，仰角 1.3° ，鋒面西側風向約為 0° （北風），鋒面東側風向約為 60° （西南風）。

(3) 對流性雷雨

對流性雷雨常伴有輻合、輻散、渦旋、強烈上升或下降氣流；Brown and Wood (1982) 利用簡單的 Combined Rankine vortex 來模擬中尺度渦旋 (mesocyclone vortex) 之都卜勒記號 (Doppler signature)，即等都卜勒徑向風速線的分佈，基本上，由純旋轉 (pure rotation)、純輻散 (pure divergence) 之等都卜勒徑向風速線的組合，可以作為風暴特有的記號之即時判斷。

此一部份是利用 Chen (1982) 建立之三維數值雲模式之輸出風場作等都卜勒風速線的分佈分析：圖 16 為風暴之等都卜勒徑向風速線及錐面上真實風場的重疊圖，雷達位置在原點，而 a、b、c 圖其風暴在雷達之正北方約 100 Km 處，而 d 圖其風暴則在雷達之正南方約 100 Km 處，雷達掃描仰角各為：圖 16 a 為 1° ，圖 16 b 為 2° ，圖 16 c 為 4° ，圖 16 d 為 4° ，發現在圖 16 中並沒有 Brown and Wood (1982) 之都卜勒記號的例子，但是在圖中仍可發現類似的記號存在，在圖 16 a 中仍有兩個正負中心，只是負區被正區所包圍，而圖 16 b、16 c 中，僅有正值中心的存在，而圖 16 d 中雖然是負值中心，但均有兩個對應中心，而此結果是因為有環境風場及強烈的上升氣流所導致，對於固定於地面之雷達而言，上升氣流對徑向速度有正貢獻，而下降氣流則是負貢獻，因此，若以相對值來看此兩對應中心，仍可辨識其與 Brown and Wood (1982) 的模擬是相似的記號；圖 16 a 顯示輻合；圖 16 b 中心是輻合

，周圍是輻散；圖 16 c 則顯示輻散；而圖 16 d 雖全為負值，但仍可辨識其為輻散的記號。

圖 17 a、17 b、17 c 同圖 16 a、16 b、16 c，但風暴在雷達正北方約 54 Km 處。

圖 18 為雷達作 RHI 掃描之垂直面上風場及等都卜勒徑向風速線圖，雷達位置在原點，風暴在雷達右方約 220 Km 處，發現只有正值中心存在，但如同圖 16、圖 17 相對應的中心仍顯示高層是輻散區的記號，而較低層則顯示輻合的記號。

圖 19 為風暴的實例，照片中淺藍色的負區被黃色的正區包圍，類似於圖 16 a，照片中的下半部為一大片的負徑向速度區，顯示有西南方向而來的氣流而與南下之氣流在淺藍色負區附近相衝，而黃色等的正區以有上升氣流的存在。

四、結 論

本研究結果顯示，以模擬的方式可以幫助瞭解各種天氣之等都卜勒線的分佈，而在 TAMEX 實驗中得到印證，結果已列為民航局訓練課程的一部分，幫助氣象人員在極短時間內能夠正確判斷天氣，而作正確的描瞄方式，有助於預報與資料的收集。

誌 謝

本研究承國科會專題研究計畫 (NSC 75-0202-M008-23) 支持，國立中央大學大氣物理系提供繪圖程式，謹此誌謝。

參考文獻

1. Battan, L.J., 1973: Radar Observation of the Atmosphere. pp324.
2. Baynton, H.W., 1979: The case for Doppler Radars along our Hurricane affected coasts. Reprinted from Bulletin of the American Meteo. Soc., 60, 1014-1023.
3. Brooks, E.M., 1949: The tornado cyclone. Weatherwise, 2, 32-33.
4. Brown and L.R. Lemon, 1976: Single Doppler

- radar vortex recognition: Part II--Tornadic vortex signature. Preprints, 17th Conf. Radar Meteor., Amer. Meteor. Soc., Boston, 104-109.
5. _____ and R. Wexler, 1968: A determination of kinematic properties of a wind field using Doppler radar. *J. Appl. Meteor.*, 7, 105-113.
 6. _____ and T. Wood, 1982: Single Doppler velocity signatures as indicators of storm severity. Proceedings of the NEXRAD Doppler radar Symposium/Workshop, 164-183.
 7. Chen, C.S., 1986: A Numerical Study of a long-lived line echo to be appeared in papers in *Meteor. Res.*
 8. Chen, G.T.-J., 1978: On the mesoscale systems for the Mei-Yu regime in Taiwan. Proceedings Conference on Severe Weather in Taiwan Area, 27-28 May, 1978, Natl. Sci. Council, Taipei, 150-157.
 9. Donaldson, R.J., R.M. Dyer and M.J. Kraus, 1975: An Objective evaluation of techniques for predicting severe weather events. Preprints, 9th Conf. Severe Local Storm, Amer. Meteor. Soc., Boston, 321-326.
 10. Fujita, T., 1963: Analytical mesometeorology: A review. *Severe Local Storms, Meteor. Monogr.* 27, AMS, Boston, pp.77-125.
 11. Lhermitte, R.M., 1964: Doppler radars as severe storm sensors, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 45, 587-596.
 12. Lin, Y.J., and Wang T.C. and Lin J.H., 1985: Dynamic and Thermodynamic Properties of a squall-line Derived from Dual-Doppler wind Measurements.
 13. Mahrer, Y., and Pielke, R.A., 1977b: The effects of topography on the sea and land breezes in a two-dimensional numerical model. *Mon. Weather Rev.*, 105, 1151-1162.
 14. Ninomiya K. and Akiyama T., 1974: Band Structure of Mesoscale Echo clusters Associated with low-level jet stream. *J. Meteor. Soc.*, V52, 300-312.
 15. Ray et al., 1981: The morphology of several tornadic storm on 20 May, 1977. *J. Atmos. Sci.*, 38, 1643-1663.

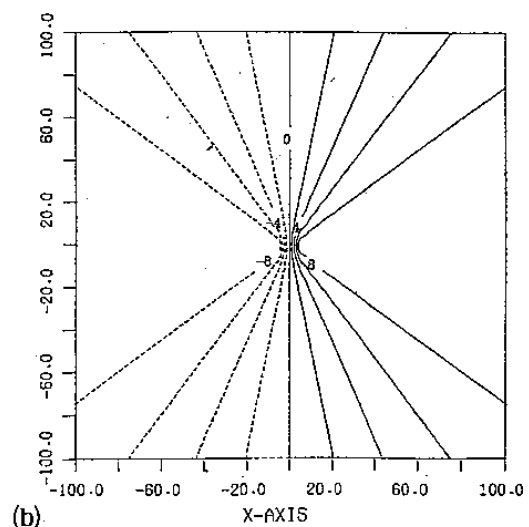
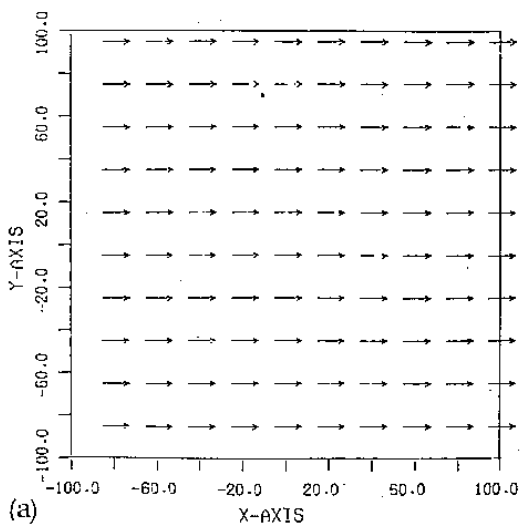


圖 1 : 風向不隨高度變化 ($= 270^\circ$) ; 風速不隨高度變化 ($= 10\text{m/sec}$)。
 (a)雷達掃瞄錐面上之實際風場, (b)等都卜勒徑向風速線圖。

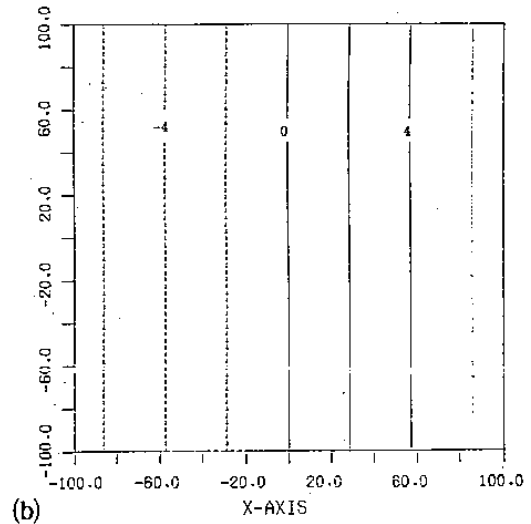
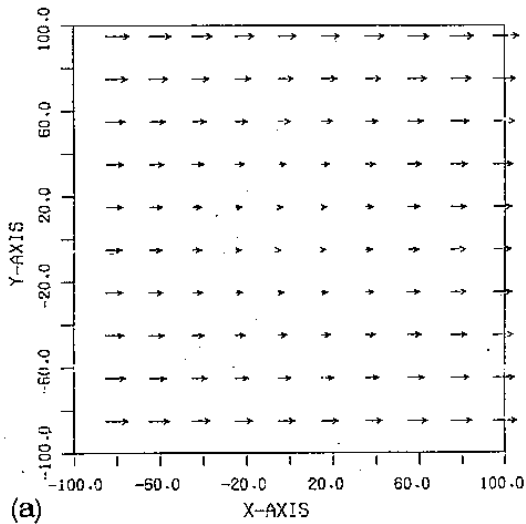


圖 2：風向不隨高度變化(= 270°)；風速隨高度呈線性增加(至 10 m / sec)。
 (a)：雷達掃瞄錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

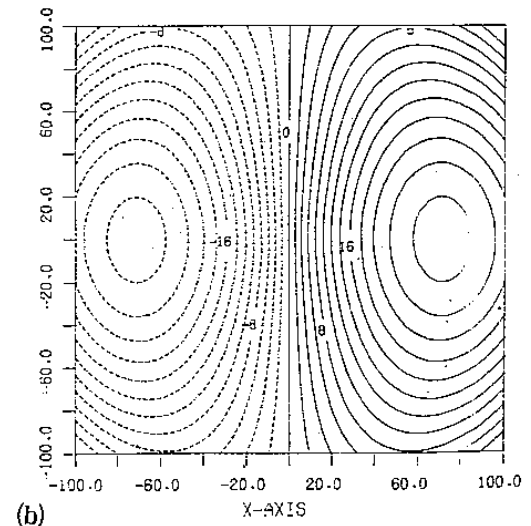
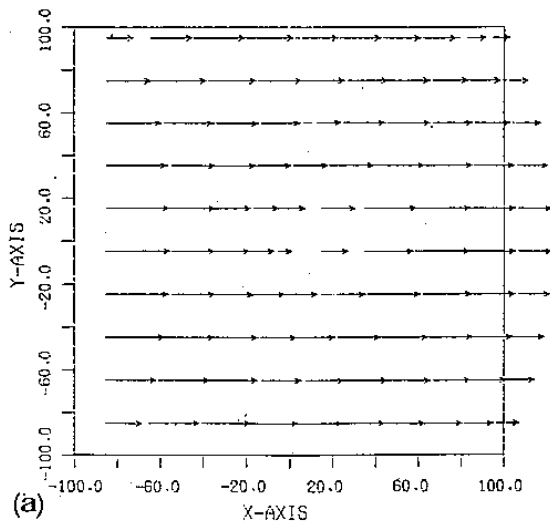


圖 3：風向不隨高度變化(= 270°)；風速隨高度增加至 10 m / sec，再隨高度減少至 0 m / sec。
 (a)：雷達掃瞄錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

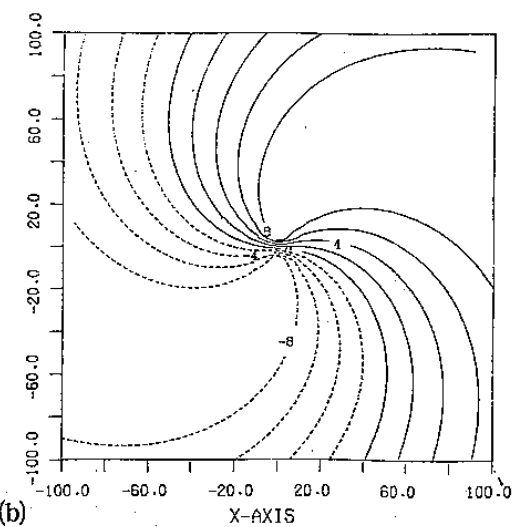
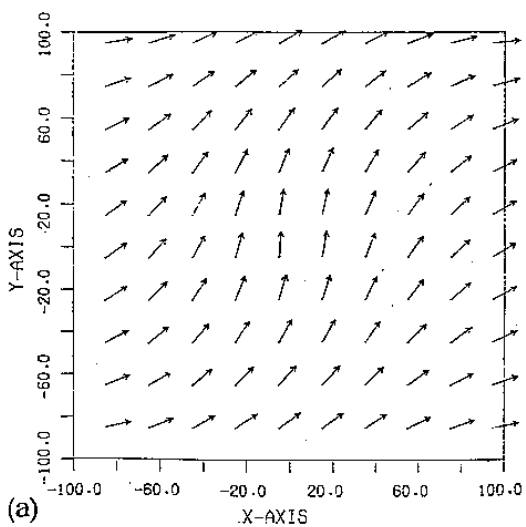


圖 4：風向由 180° 隨高度呈線性增加至 270° (即順轉)；風速不隨高度變化(= 10 m / sec)。
 (a)：雷達掃瞄錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

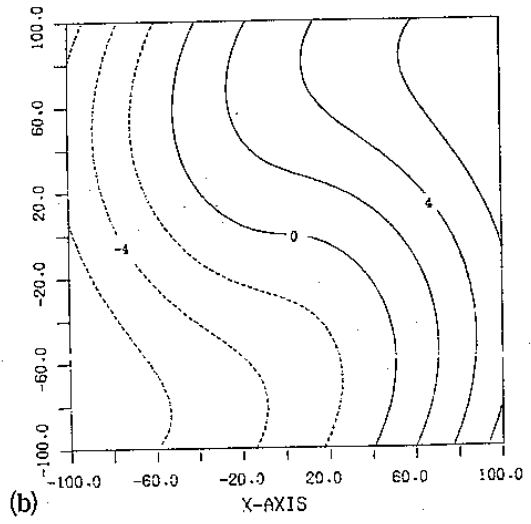
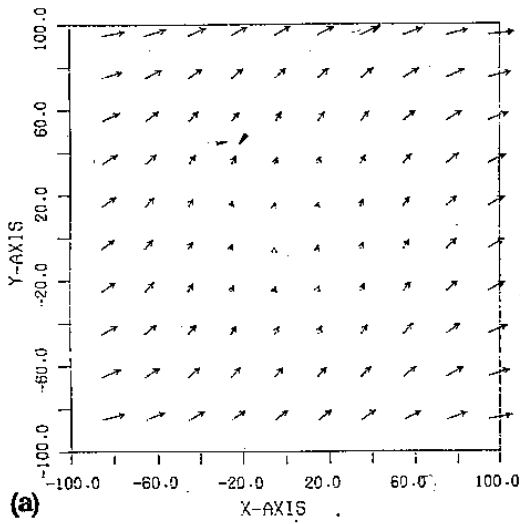


圖 5：風向由 180° 隨高度呈線性增加至 270° (即順轉)；風速隨高度呈線性增加 (至 10m/sec)。
 (a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

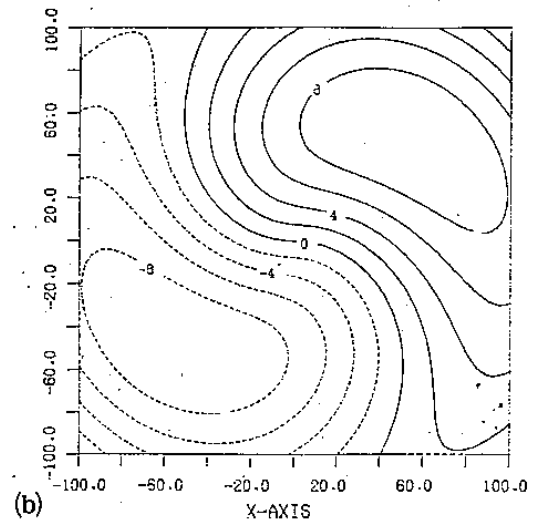
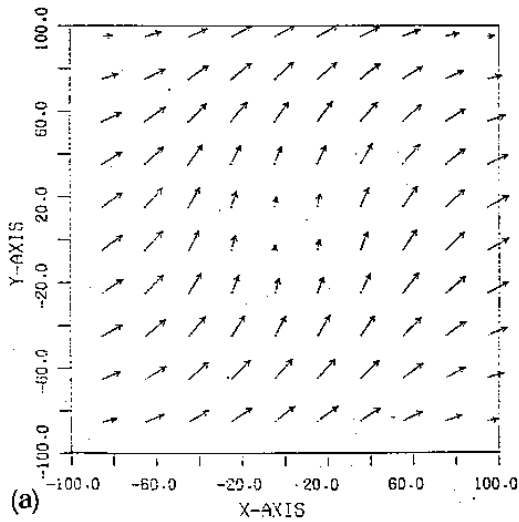


圖 6：風向由 180° 隨高度呈線性增加至 270° (即順轉)；風速隨高度增加至 10m/sec ，再隨高度減少至 0m/sec 。
 (a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

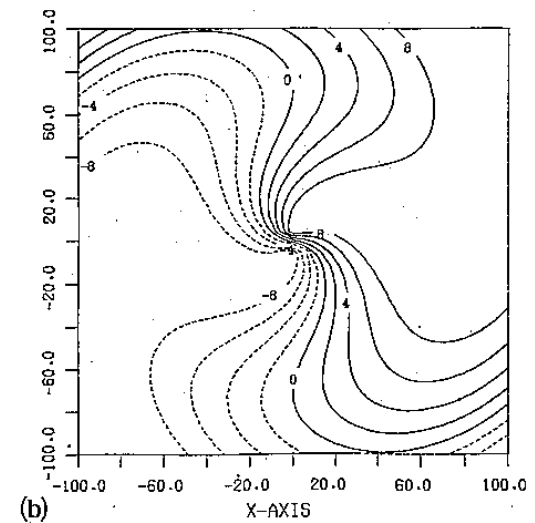
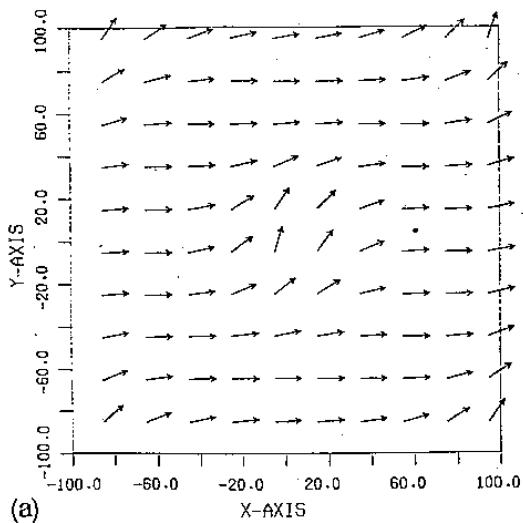


圖 7：風向由 180° 隨高度增加至 270° (即順轉)，後隨高度減至 180° (即逆轉)；風速不隨高度變化 ($= 10\text{m/sec}$)。(a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

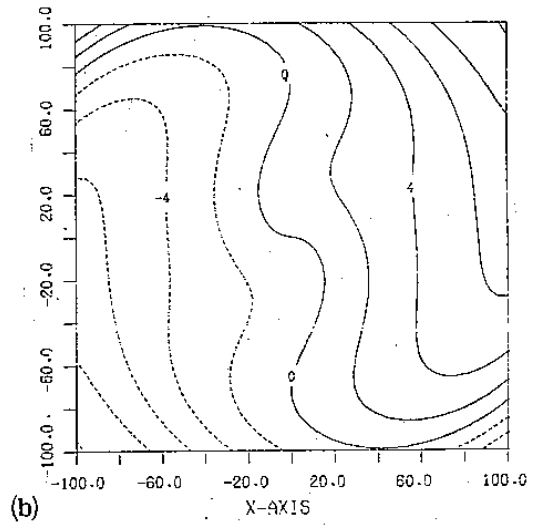
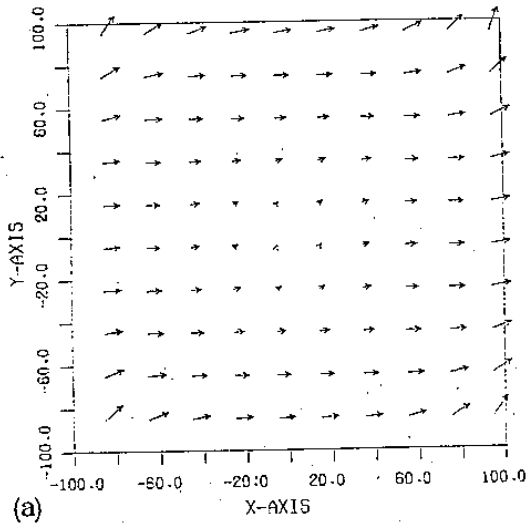


圖 8：風向由 180° 隨高度增加至 270° (即順轉)，後隨高度減至 180° (即逆轉)；風速隨高度呈線性增加 (至 10m/sec)。 (a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

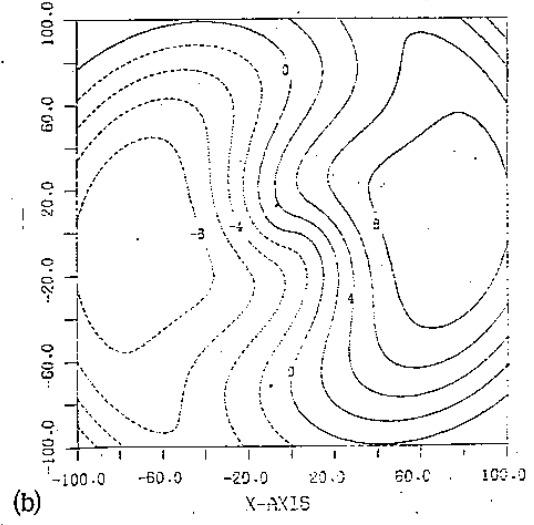
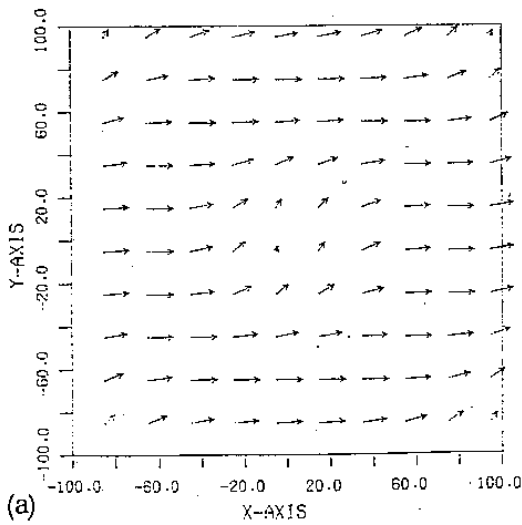


圖 9：風向由 180° 隨高度增加至 270° (即順轉)，後隨高度減至 180° (即逆轉)；風速隨高度增加至 10m/sec ，再隨高度減少至 0m/sec 。 (a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

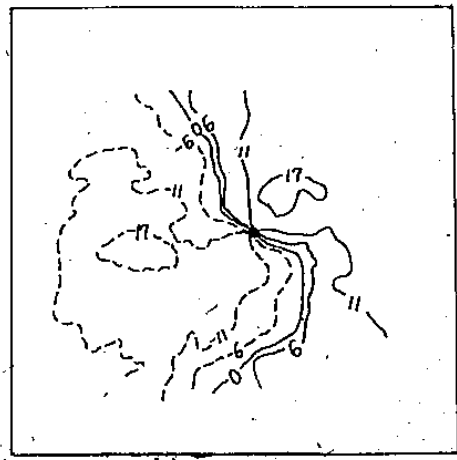
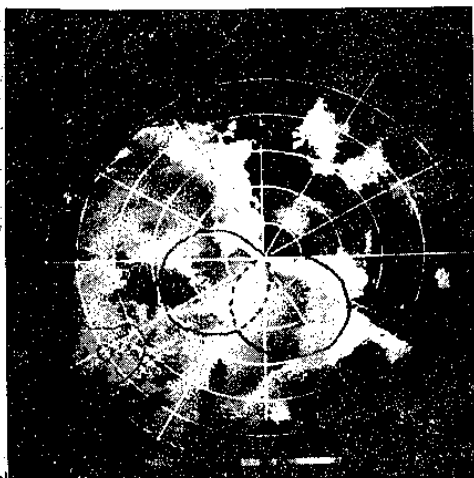


圖 9(c)：噴流實例；1987 年 5 月 22 日 11 時 41 分，仰角 3° 。 (d)：等都卜勒徑向風速線圖。

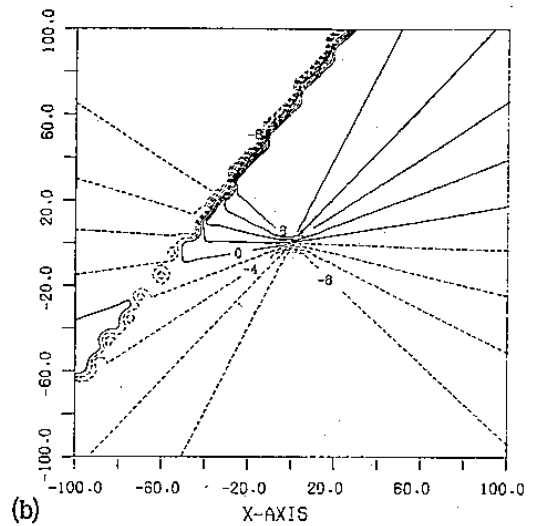
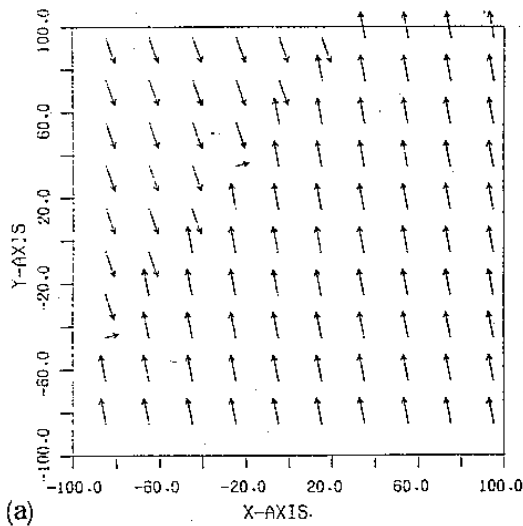


圖10：簡化的東北(40,100)西南(-100,-60)走向之鋒面，鋒面左上側風向為 340° ，右下側風向為 170° ；(雷達位置在原點)

(a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

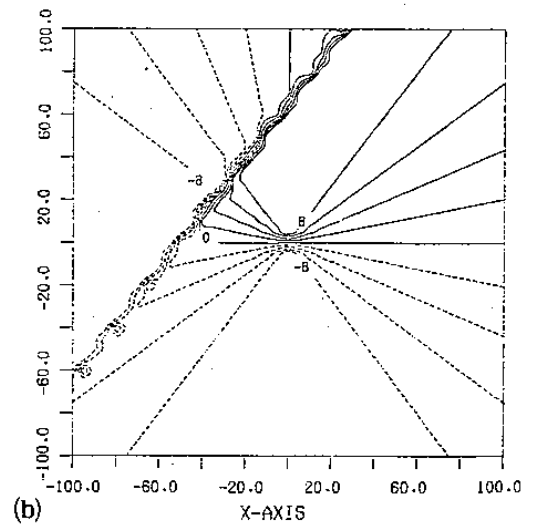
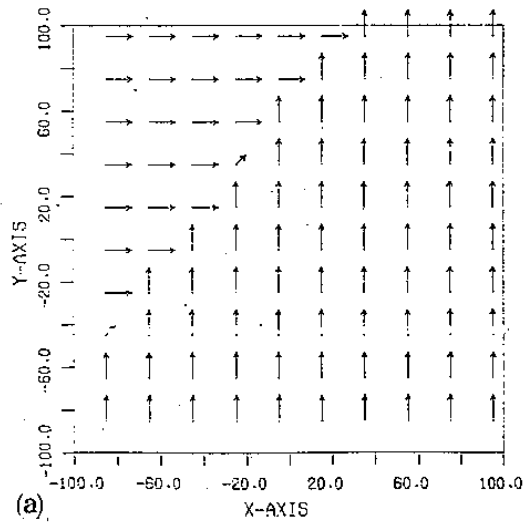


圖11：同圖10，但左上側風向為 270° ，右下側風向為 180° ；

(a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

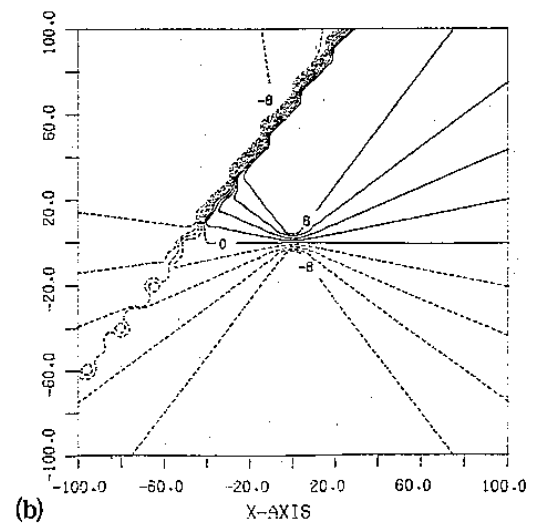
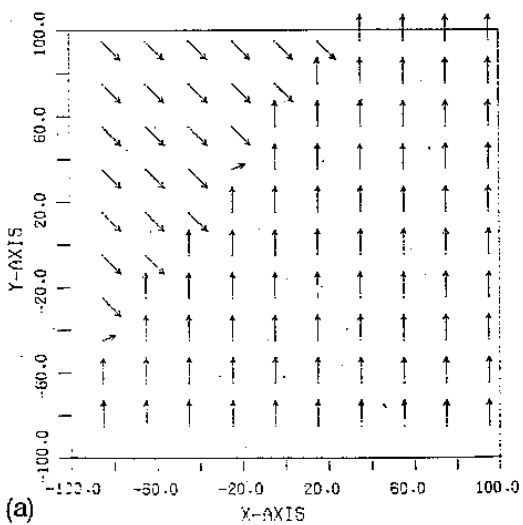


圖12：同圖10，但左上側風向為 315° ，右下側風向為 180° ；

(a)：雷達掃描錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

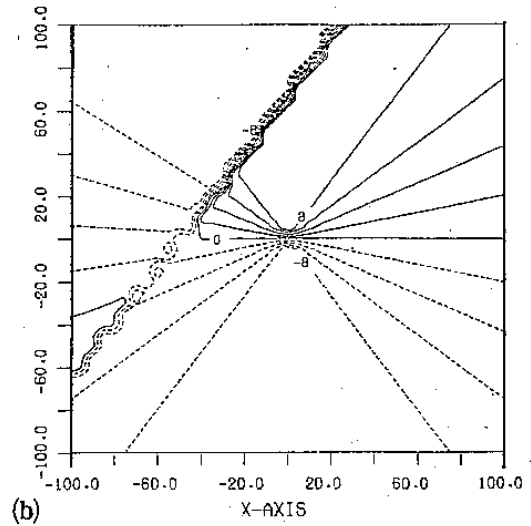
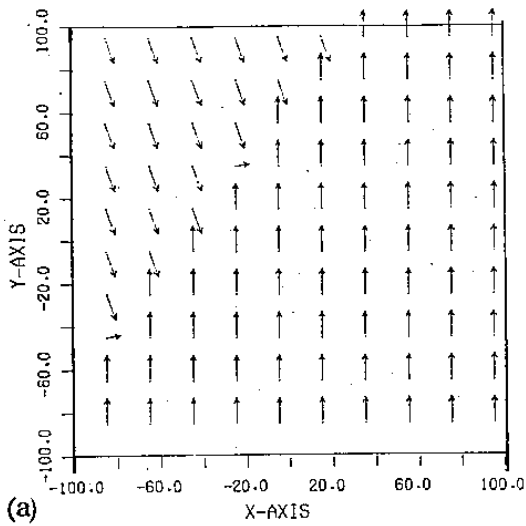


圖13：同圖10，但左上側風向為 340° ，右下側風向為 180° ；
 (a)：雷達掃瞄錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

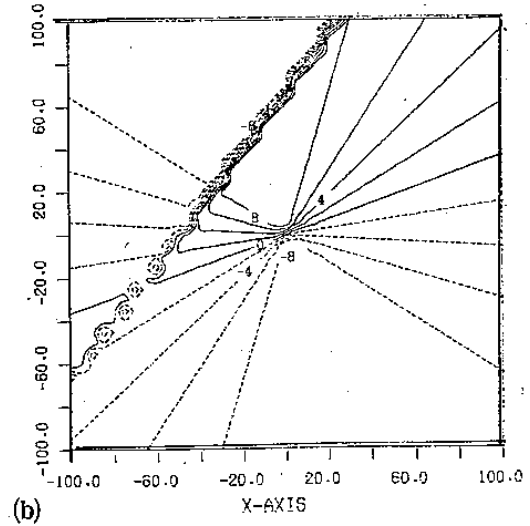
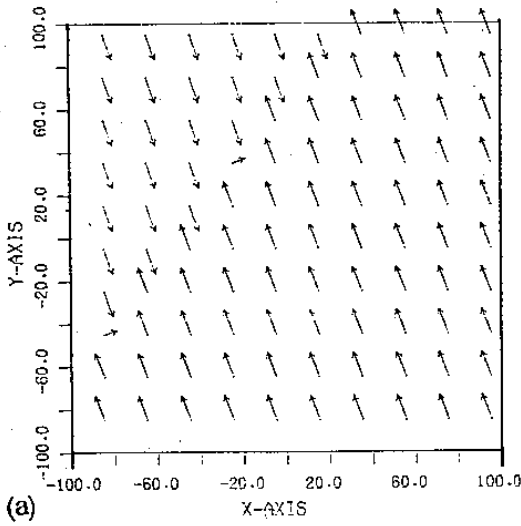


圖14：同圖10，但左上側風向為 340° ，右下側風向為 160° ；
 (a)：雷達掃瞄錐面上之實際風場，(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

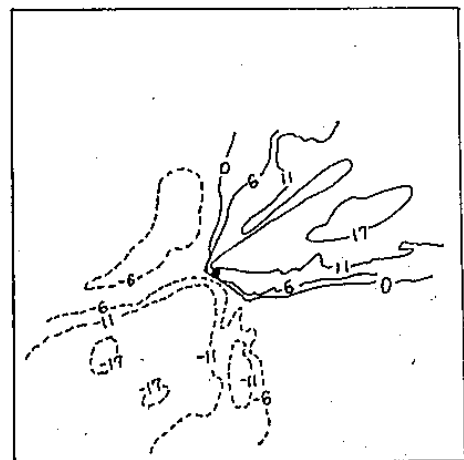


圖15(a)：鋒面實例；1987年5月17日09時52分，仰角 1.3° 。
 (b)：等都卜勒徑向風速線圖。

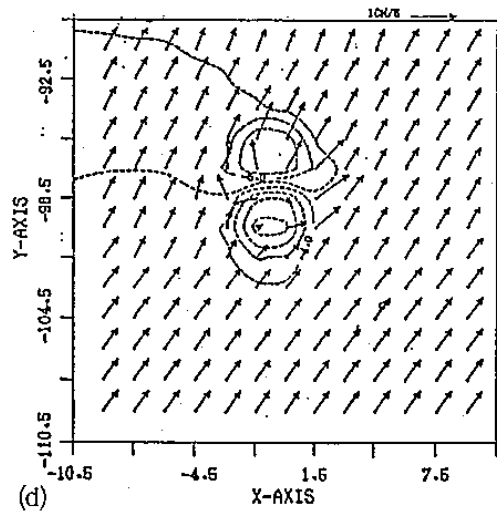
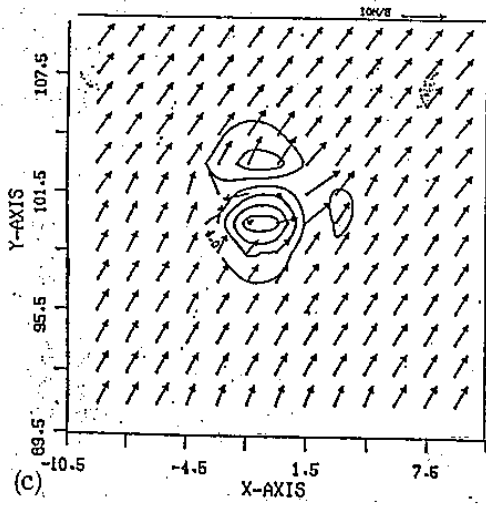
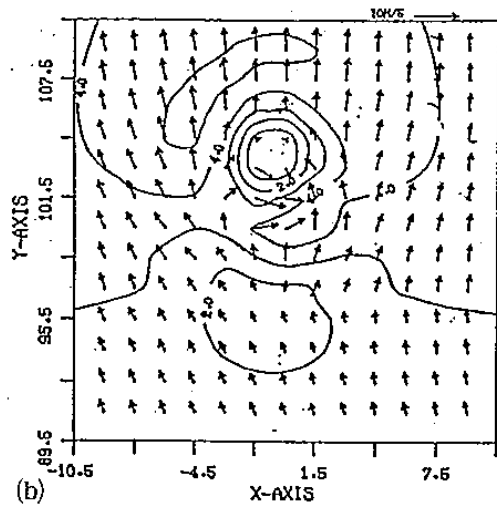
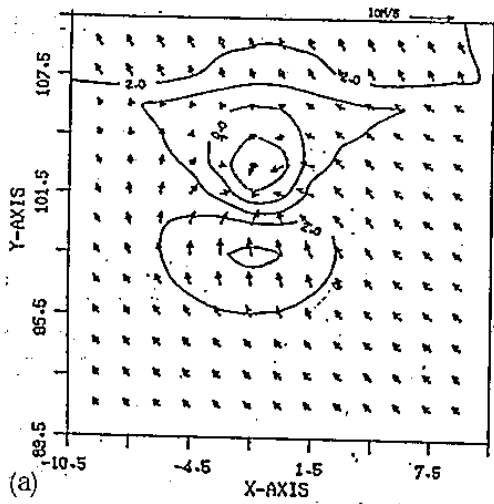


圖 16：風暴在雷達掃描面上之風場及等都卜勒徑向風速線圖；雷達位置在原點，a、b、c 圖其風暴在雷達之正北方約 100 km 處；d 圖風暴在雷達之正南方約 100 km 處；(a)仰角 1°(b)仰角 2°(c)仰角 4°(d)仰角 4°。

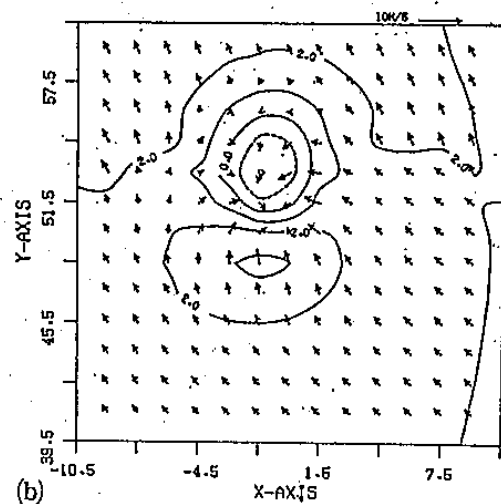
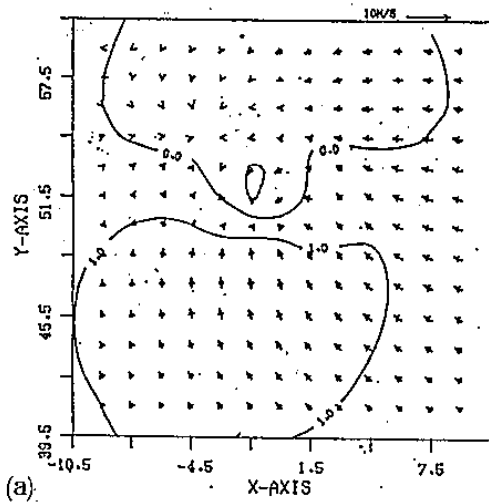


圖 17：同圖 16 之 a、b 圖，但風暴在雷達正北方約 54 km 處；(a)仰角 1°(b)仰角 2°。

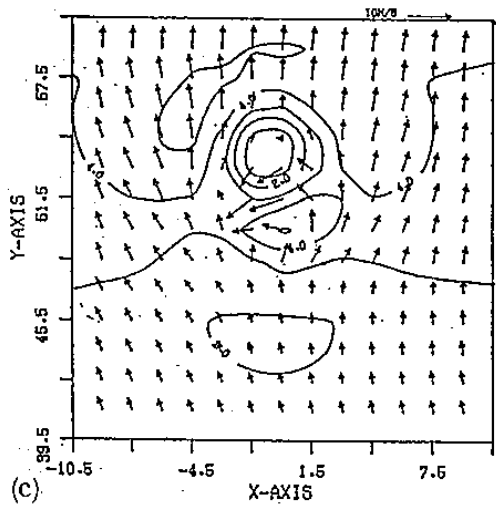


圖 17：同圖 15 之 c 圖，但風暴在雷達正北方約 54 km 處；(a)仰角 1° (b)仰角 2° (c)仰角 4°。

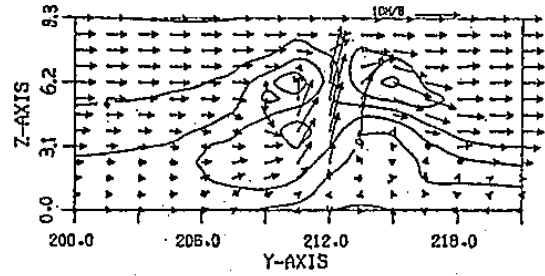
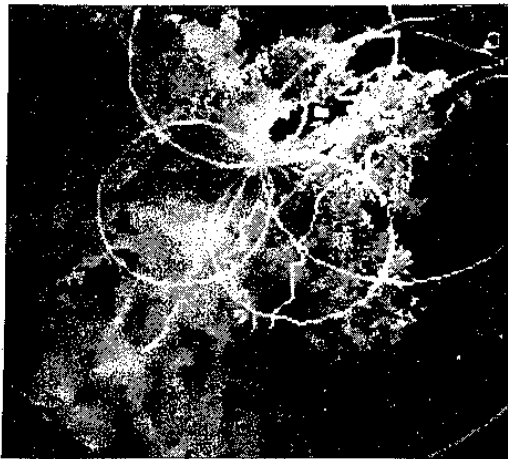
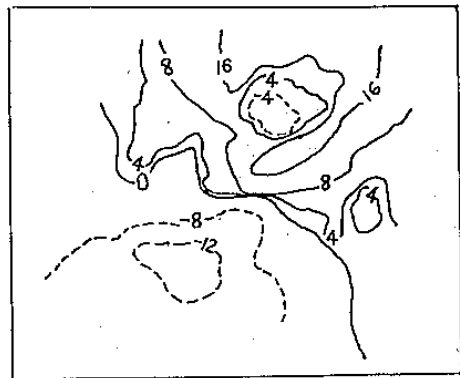


圖 18：雷達作 RHI 掃描，垂直面上之風場及等都卜勒徑向風速線圖；雷達位置在原點，風暴在雷達右方約 220 km 處。



(a)

圖 19(a)：風暴實例；仰角 1.3°。



(b)

(b)：等都卜勒徑向風速線圖。

Using Doppler Radar to analyze the air flow structure of
the precipitation weather near Taiwan area.

PART I : A simulation study for the pattern recognition
of the air flow

Tai-Chi Chen Wang
National Central University

Hsien-Yuan Tseng
Civil Aeronautics Administration M.O.C.

Hung-Sheng Lin
Central Weather Bureau

ABSTRACT

A single Doppler Radar can provide the radial velocity field and reflectivity field within a cloud, so for the first time we can observe the air flow structure of a weather system. Especially for the research of meso- β , meso- γ scale weather, the high resolution wind field observations from Doppler Radars have provided many new and important findings in last ten years. A variety of weather situations has been identified from the color monitor images of a single Doppler Radar. Such as frontal boundaries, gust front, downburst, mesocyclone, harricant, jet and wind shear, so this feature recognition ability is helpful and important to weather forecaster.

This paper is a simulation study for the pattern recognition of single Doppler Radar. A few different weather situations such as front, mesocyclone air flow pattern will be simulated by a computer program and the results can be verified by real data.

The results of this paper will help the meteorologists to identify the different weather features and help the on-site forecaster make correct decision in real time.