

# 不同雷達間距所做雙都普勒合成分析之比較

王 光 義

中央氣象局氣象科技研究中心

## 摘 要

本文為了解不同距離之都普勒雷達所做的雙都普勒合成分析結果有何差異，乃利用 TAMEX 期間第10個 IOP 個案的 CAA、CP4 及 TOGA 都普勒雷達資料做雙都普勒合成分析（CAA-CP4 相距約60公里；CAA-TOGA 相距約110公里）。

首先將處理後之單都普勒雷達資料，利用探空資料校驗其可靠性，再用此單都普勒雷達資料進行雙都普勒合成分析，並將分析結果加以比較。

經過雙都普勒合成分析的比較後發現，CAA 與 TOGA 雷達的距離雖然有110公里之遠；且理論上最佳之雙都普勒合成分析的雷達間距約為60公里，但 CAA-TOGA 的合成分析結果除了水平風場較 CAA-CP4 勻滑化（SMOOTHING）及垂直運動較弱外，其它如風場型態、擾動風場位置、主要氣流場特徵（中層的西北乾流）等均與 CAA-CP4 的合成分析結果相當一致，美中不足的是由於較勻滑化的結果，有些小尺度的風場擾動可能就被掩蓋掉了。

## 一、前 言

台灣地區位處亞洲大陸東南緣，因介於最大洋（太平洋）與最大陸塊（亞洲陸塊）之間，且島上地形結構異常複雜，故在冬、春季節冷暖氣團交替更迭過程中，由於地形效應，常有局部性暴雨災害發生，而此類暴雨多屬中小尺度系統，此種中小尺度系統無法由綜觀氣象站觀測網偵測出，國內外對中小尺度天氣系統的研究，雷達是最常使用的工具。因為雷達可以提供解析度相當高的降水胞結構圖，其觀測時間及間隔也較沒有先天上的限制，恰可彌補傳統氣象站時間及空間解析度不足的缺點。

TAMEX 期間，參與觀測的 CAA、CP4 及 TOGA 三座都卜勒雷達，其中 CAA 與 CP4 相距約66公里，CAA 與 TOGA 相距約110公里，利用此實驗期間觀測資料做研究者均利用 CAA-CP4 或 CP4-TOGA（間隔約40公里）的資料分析個案，研究結果亦顯示雙都卜勒合成分析對研究台灣地區災害天氣系統相當有助益。

理論上被用來做雙都卜勒合成分析的雷達，其間距在30至60公里間最恰當，其最佳分析區域即為此兩雷達連線為邊的正三角形範圍內，以此推之，此種合成分析實際用於天氣預報作業上的成效將有限（有效分析區域太小），本文即嘗試對某一個

案做不同雷達間距的合成分析，以比較其結果之差異，且本局五分山雷達站距花蓮雷達站約100公里，在花蓮雷達更新為都卜勒雷達後，與五分山雷達進行雙都卜勒合成分析，其合成分析成效如何可由CAA與TOGA之合成分析結果推知（其間距亦約為110公里）。

TAMEX 期間，第10個IOP個案恰有顯著的降水系統發生在宜蘭西南方山區，此地區恰在CAA-CP4及CAA-TOGA均可進行雙都卜勒分析的範圍內，故針對此個案分別對CAA-CP4及CAA-TOGA做合成分析並比較之。

## 二、資料來源及分析

### (1)資料來源：

TAMEX 期間總共有13個IOP ( Intensive Observation Period )，本文所用的資料取自IOP-10的觀測資料。主要是CAA、CP4及TOGA等三座都卜勒雷達資料，輔助資料有東經101-136度，北緯9-40度範圍內的探空資料及TAMEX觀測網資料（包括地面、探空、雨量站及雷達等資料項）。

### (2)資料分析：

#### (A)雷達資料處理

單都卜勒資料處理：

處理都卜勒雷達資料時，由於雷達是以體積掃描方式 ( VOLUME SCAN ) 搜集資料，而且雷達本身軟、硬體的性能，基本上亦形成其在觀測上的限制，故在處理資料時常會發生困難，例如座標的轉換、徑向風的折錯 ( folding ) 等。

本文處理CP4及TOGA雷達資料時，採用美國NCAR的CEDRIC /

SPRINT 軟體處理，CAA雷達資料則利用中大發展的程式解讀之。

CEDRIC / SPRINT 處理單都卜勒資料的步驟如下：

(a)將磁帶資料下到VAX硬碟上。

(b)內插

雷達觀測是以體積掃描方式行之，其收集的資料分布於球面座標上，必須將其自球面座標上轉換至直角座標上，以便利吾人利用，在進行座標轉換時，是以雙線性的內插方式 ( BILINEAR ) 將行經空間直角座標網格點上、下、左、右的最近四條掃描波束上最接近該網格點的八點資料值做線性內插 ( 見圖1 )。此項內插對於回波場並沒有什麼問題，但是對於風場的內插，由於有風場的折錯問題存在，故在內插之前必須先考慮其徑向風場的折錯問題，即先要做局部折錯校正 ( LOCAL UNFOLD ) 的步驟，以確定欲內插的八點資料均同處於折錯或未折錯狀態，才能進行正確的內插步驟。

(c)資料可信度的校正

主要是針對徑向風場所作，其觀測值的可信起點需滿足兩個條件；一為回波強度需在零DBZ以上，另一為速度品質參數 ( VELOCITY QUALITY PARAMETER ) 須大於60%，此參數之定義如下：

$$Q(X, Y, Z) = 1 - \text{VAR}(V_r) / \sigma_n^2$$

其中

$$\sigma_n^2 = V_m^2 / 3$$

$V_m$  是雷達的最大可測徑向風速

$VAR(V_r)$  為徑向風的變異數 ( VARIANCE )

凡是不滿足上述二項條件者，該點的風速值不採用。

(d) 徑向風的折錯校正

由於雷達的波長及脈波來復頻均有實作上的限制，故其對徑向風場的觀測有最大及最小的速限 ( 即 NYQUIST VELOCITY )，當實際徑向風速大於最大速限或小於最小速限時，會出現折錯現象 ( 參見圖 2 說明 )。所以真正的徑向風速應為

$$V = V_o + K \times V_n$$

$$K = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

其中

$V_o$  為觀測值

$V_n$  為折錯風速，即 NYQUIST VELOCITY

此項校正在 CAA 的資料處理上並不需，因其  $V_n = \pm 48 \text{ m/s}$ ，一般徑向風速沒有這麼大。

(e) 時差的校正

由於體積掃描方式的觀測對某一定點的掃描會有時間延後的情形，而在天氣系統隨時間有變的情況下，使觀測資料產生了時差上的誤差，需將網格點的資料平移至隨天氣系統移動的參考座標上；以校正因掃描時差所衍生的誤差。

(B) 雙都卜勒資料的處理：

都卜勒雷達資料分布於球面座標上，每

一觀測點之徑向風場  $V_{ri}$  與三維風場的幾何關係如圖 3 所示，以式子表示如下：

$$V_{ri} = u \sin \beta_i \cos \theta_i + v \cos \beta_i \cos \theta_i + w \sin \theta_i \quad (1)$$

其中

$i, \beta, \theta$  分別為第  $i$  個雷達、方位角及高度角

$u, v, w$  分別為質點速度的三維分量

雙都卜勒雷達的合成風場計算；由圖 3 與 (1) 式可得下式

$$u(x - x_i) + v(y - y_i) + w(Z - Z_i) = R_i V_{ri} \quad (2)$$

其中

$$R_i = [ (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (Z - Z_i)^2 ]^{1/2}$$

$$W = W_{air} + V_t$$

$$V_t = -2 \left( \frac{DZ}{10} \right) 0.11 \left( \frac{\rho(0)}{\rho(Z)} \right)^{0.4} \quad (3)$$

由 (2) 式利用兩個都卜勒雷達觀測資料解 (

$u, v$ ) 如下：

$$u = A W_{air} + B \quad (4)$$

$$v = C W_{air} + D \quad (5)$$

加上非彈性連續方程

$$\frac{\partial \rho W_{air}}{\partial Z} = -\rho \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (6)$$

由(3), (4), (5), (6)式利用變分法及上、下邊界條件之設定可解出  $u, v, W$  三維風場。

### (C)探空資料處理：

探空資料處理步驟如下：

- (1)解碼
- (2)偵錯及檢訂
- (3)內插
- (4)氣象場的一致化 (MATCH)
- (5)診斷場分析

## 三、分析結果

### (一)地形及雷達位置概述

圖 4 為宜蘭附近區域地形分布圖，由圖上可看出蘭陽平原的西北側有 2,000 公尺以下的山丘成東北—西南走向分布，南側的山丘則呈東西走向，此二山系在西南方的蘭陽溪河谷交會，故其形成一口袋形的分布，並向西南方逐漸收縮，而在此交會區的西南方則有 3,000 公尺以上的高山分布，此種地形分布在低層有較強偏東氣流的情形下，極易在山系交會處附近產生地形迫升及合流等效應，若低層大氣含有豐沛的水汽，則發生大雨的機率非常大。

CAA、CP4 及 TOGA 等三座雷達相關位置亦標示於圖上，方框區域為雙都卜勒合成分析的範圍。

### (二)綜觀天氣分析

由衛星雲圖及氣壓場、高度場的客觀分析結果顯示，台灣東南方海上形成的熱帶低壓沿著東海岸北移的過程才促成 IOP-10 暴雨個案的發展，由水汽混合比的分析發現濕舌由南向北沿著東海岸延伸至宜蘭地區，但在渦度分析圖上，台灣地區上空並無異常的渦度分布結構，配合地形圖分析可推知地形效應在本個案

的發展過程扮演著重要的角色，而在 500 mb 的氣流場分析圖上則發現在台灣上空有明顯的鞍形氣流區存在（見圖 5），有利於本地區對流系統之發展。

由地面降水資料記錄得知在 IOP-10 期間，宜蘭山區的最大降水量出現在 6 月 17 日上午 11-12 時，且該日之日降水量達 200 mm 以上。

在 17 日 00 Z 及 06 Z 的高空風資料（板橋及花蓮）顯示 06 Z 板橋的 400 mb 層（7 公里高度附近）有突顯的西北風帶，花蓮則無，且在 00 Z 時並無此現象，再配合水汽混合比分析可知在 00 Z 時，約 7 公里高度層有顯著的西北乾流由西北象限入侵本個案發展區，且其範圍並未及於花蓮地區（見圖 6）。

### (三)雷達分析

單都卜勒雷達分析：

由 CAA 的單都卜勒資料分析發現，宜蘭山區的回波強度由 17 日的 04 L 起逐漸增強，至 11-12 L 時達最大強度（40 dBZ 以上），由 CP4 1130 L 的回波回波圖（4 及 7 公里高度）可看出強回波帶（30 dBZ 以上）沿著高山帶成弧狀分布，7 公里高度回波圖更顯現出東部海上熱低壓環流狀，而徑向風圖則發現 4 公里高度的零風通線由 CP4 向東南東方延伸，就大範圍風場言有旋式氣流結構，且在 CP4 正東方約 40 公里處有小擾動存在，在 7 公里高度，零風速線沿東北—西南走向再轉成西北—東南走向分布，零值線以東均為偏東風，以西則為偏西風區（在 CP4 以北地區有偏西北風區域，以南則屬於偏西南風地區，而沿著零值線有風切線形成之條件（見圖 7）。

另由 CAA（1130 L）的 4、7、8.5

公里徑向風圖亦可看出4及7公里高度分析結果與前述CP4的分析結果一致，尤其在7公里高度上可更清楚看出零風速線分隔西北及東南氣流區形成風切線的情形，而8.5公里高度的徑向風場顯示在CAA東南方區域盛行反旋式氣流，CAA南方區域則為旋式氣流（類似CAA東南方來的東南氣流呈分流奔向東北及西南方）（見圖8）。

由CAA在1130L的回波及徑向風垂直剖面分析（見圖9）可以確認前述中層西北乾流的存在，在沿東南方（133.6度方位）的徑向風剖面圖上可看出約在6—8公里高度有正的徑向風區存在，且此正值區向東南方而降低其高度層，而相對於此正值區之回波區均有較弱之回波強度，較強之回波區（40dBZ以上）出現於距CAA60—70公里處，而此處正是西北乾流自西北方向東南方入侵（高度則向東南方逐漸下降）的前緣，故其所形成的舉升作用（配合偏東南暖濕氣流受地形抬升作用）更加強對流系統之發展。以上單都卜勒分析結果與綜觀天氣分析結果相當一致。

#### 四、雙都卜勒合成分析：

由前述單都卜勒分析的回波及徑向風資料做CAA—CP4及CAA—TOGA的雙都卜勒合成分析，時間取在1130L，CAA、CP4及TOGA三座都卜勒雷達相對位置已示如圖4，分析結果顯示均以CP4的所在位置定為座標原點，而CAA的座標為（45.2°，48.2°），TOGA的座標為（-14.7°，-41.3°），分別對CAA—CP4及CAA—TOGA分析結果取橫座標10—80，縱座標（-40—50）的區域做比較，其中TOGA的單都卜勒分析資料由於地形阻擋效應，3公里

以下高度無可用的回波及徑向風資料，故CAA—TOGA的合成分析最低層取3公里高度，而CAA—CP4合成分析的底層則為1公里高度，最高層均為12公里高度。

CAA—CP4及CAA—TOGA的合成分析結果比較（ $u$ ， $v$ ）如圖10所示（3、6、7、8、11公里高度，上圖為CAA—CP4圖，下圖為CAA—TOGA圖），3公里高度分析結果顯示在右上角吹東南風，此與板橋探空資料（圖6）相符，CAA—TOGA圖因TOGA受地形阻擋，在右下半部係沒有分析資料，但仍可看出在右下角區域如CAA—CP4分析顯示有旋式擾動風場，此擾動區域在圖7之回波場分析中相對於強回波區（40dBZ以上），即此處有較強的對流發生。且大範圍的觀點可看出受到旋式環流場所主控。

6公里高度分析結果顯示與3公里高度的風場除了右下角的擾動外，已由3公里的偏東氣流主控的情形變成由偏北氣流所主控，且在右上角風場有小擾動情形。

7公里高度分析結果可看出明顯的東北風及偏東風形成的風切線由西南延伸向東北方，CAA—CP4的分析圖在風切線附近風場很凌亂，而CAA—TOGA的分析圖則相當勻滑，由圖上亦可看出在右上角外亦為西北風，此與探空資料之西北風吻合。

8公里高度分析圖上西北風區域已不再出現，整個分析區域主要受偏東南氣流主導之反旋式風場所控制，而西邊則有西南風出現，CAA—CP4分析圖的風場比較有局部風場小擾動存在。

11公里高度分析圖主要受東南氣流主控，

CAA-CP4 的分析圖具有局部風場小擾動存在。

由以上各高度之合成分析比較可知 CAA-TOGA 的分析結果與 CAA-CP4 分析結果相當一致，但較勻滑，且除了較高層由於雷達掃描仰角有限的影響，無法獲得觀測資料做合成分析外，中低層的分析結果與探空的風資料相當吻合。且在 6 及 7 公里分析圖的右上角亦可發現如圖 9 CAA 剖面圖出現之偏西北乾流向東南方而降低其高度層之特性。

另由  $Y = -32$  公里的  $(u, w)$  風場剖面可看出在  $x = 40 - 50$  公里間有明顯的垂直運動發展至 7 公里高度左右，此與水平風場  $(u, v)$  分析結果中之旋式風場擾動位置及最大回波強度區塊位置一致，證明此處確有相當強的對流運動發生。在  $X = 25 - 35$  公里處則有微弱的下降氣流，而由此  $(u, w)$  剖面比較可發現 CAA-TOGA 的分析結果仍較為勻滑，其  $w$  值較小，但  $w$  發生區域及發展高度等特性均與 CAA-CP4 的分析結果相當一致（見圖 11）。

至於 1130 L 時 7 公里高度之東北氣流在 09 L 的分析圖上則尚未出現，而在 1316 L 的分析圖上則已扭曲變形，逐漸衰減中（見圖 12），且在 1316 L 時，分析區之氣流形態顯示該熱低壓已移至宜蘭東南方外海，即已在本分析區域之東方，暖溼之低層偏東氣流已漸消失，且此時回波資料顯示，陸上回波已逐漸消散，15 L 後降水記錄亦顯示不再繼續降水。

#### 四、結 論

以上之分析結果可看出雖然理論上，做雙都卜勒合成分析的雷達間距約在 60 公里以內最佳，但

經由 CAA-CP4（相距約 66 公里）的合成分析結果與 CAA-TOGA（相距約 110 公里）的分析結果比較後發現，除了水平風場較勻滑化（Smooth）、垂直風場較小外，分析結果相當吻合一致（風場型式、擾動位置及變化趨勢等）。而垂直速度在強度方面的差異可能也受到下邊界高度不同所引發的。但前述之差異均在可接受之範圍內，本局籌建中之五分山雷達站及未來將更新為都卜勒雷達之花蓮雷達站相距約 100 公里左右，依本研究結果顯示將可有效地進行雙都卜勒合成分析，以提供東北方近海天氣系統的詳細三維風場資料供預報參考用。對冬、春季之鋒面系統及夏季颱風的追蹤、研究相當有助益，以達到加強東半部氣象災害的預報、防範。

#### 誌 謝：

感謝中央大學大氣物理研究所提供資料磁帶及處理設備及林沛練老師的指正。

#### 附 錄：

##### 參考資料

- 一、Doppler Radar and observation  
Ricgard J. Doviak Dusan S. Zmic.
- 二、TAMEX #IOP-10 東部降水系統的研究  
王光義碩士論文。

圖 4. 宜蘭地區地形圖及雷達位置  
置與合成分析區域示意圖  
(方框為合成分析區域)

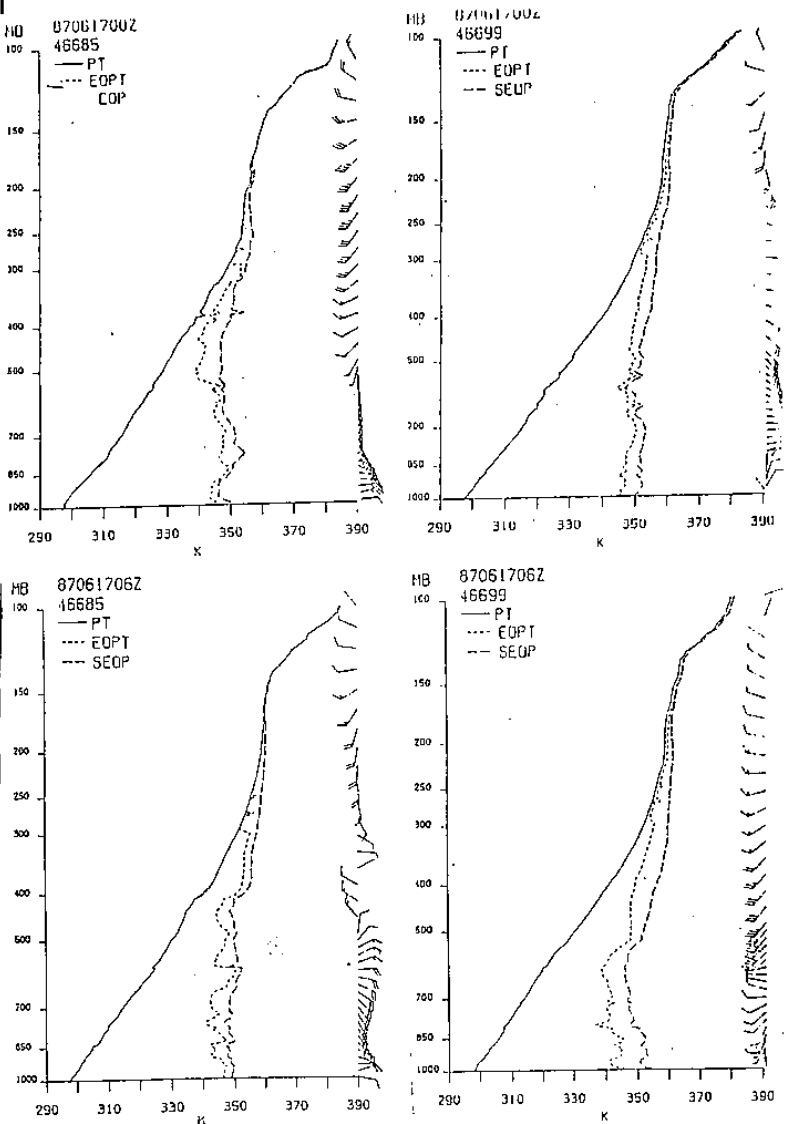
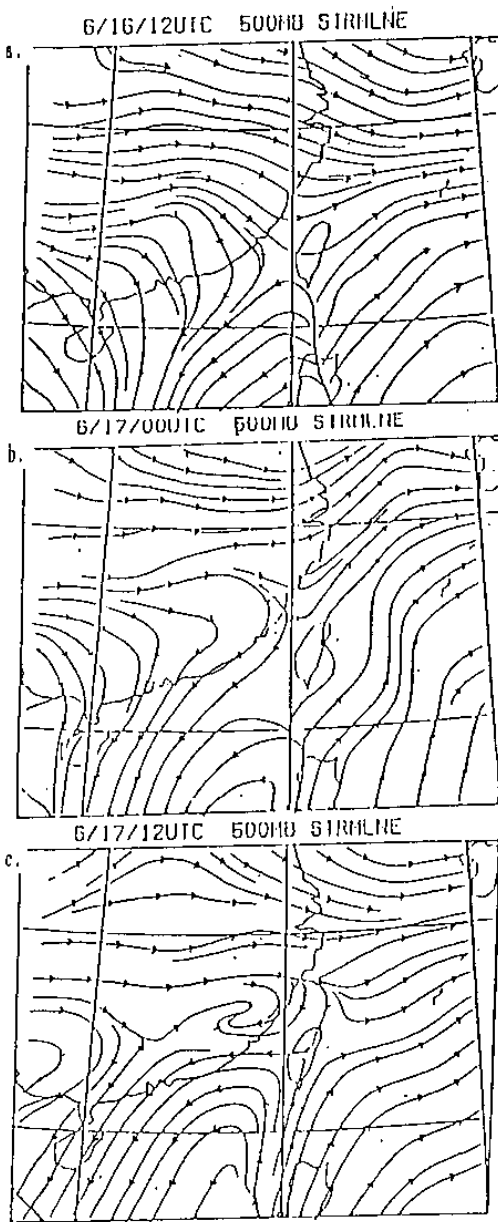
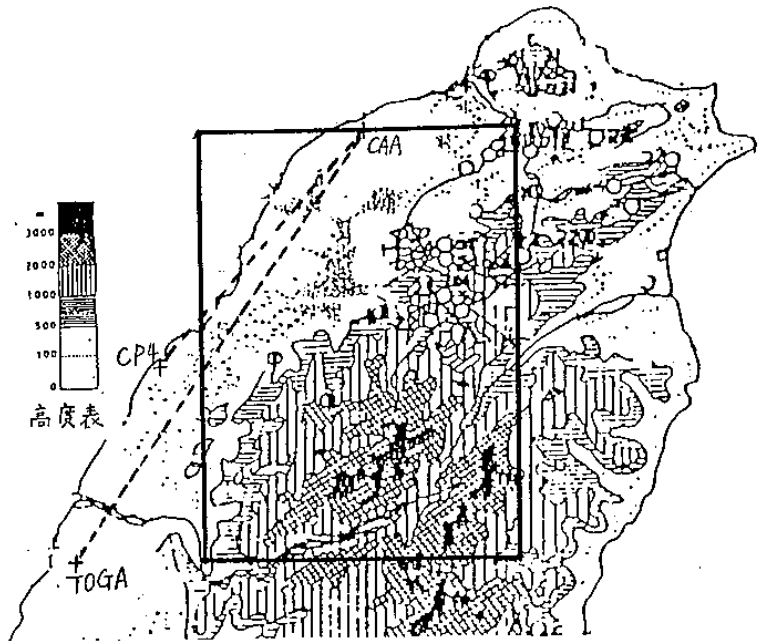


圖 5. 500 m b 氣流場分析圖 (a)為 1612 Z , (b)為 1700 Z , (c)為 1712 Z )

圖 6. 板橋、花蓮探空資料 ( 6 月 17 日 00Z 及 06Z , 46685 代表板橋 , 46699 代表花蓮 )

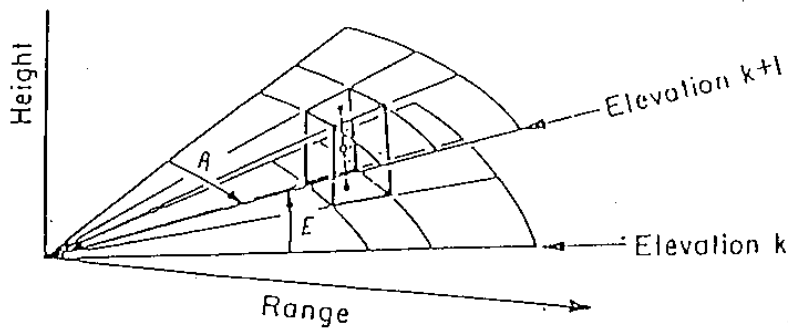


圖1. 雙線性內插示意圖

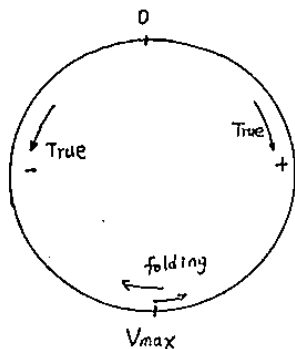


圖2. 折錯速度示意圖

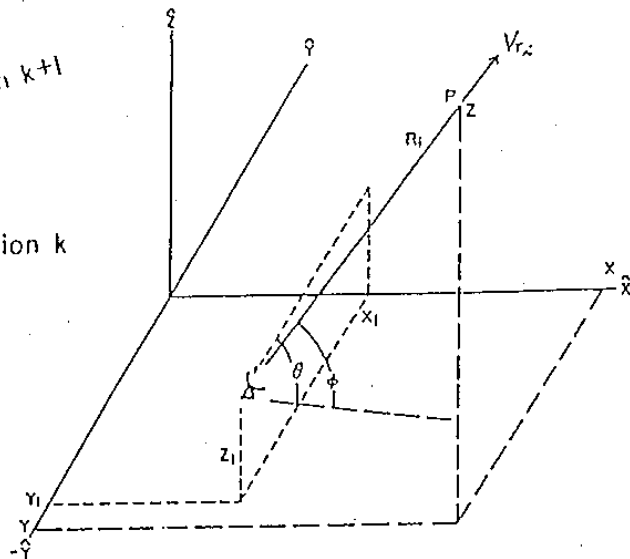
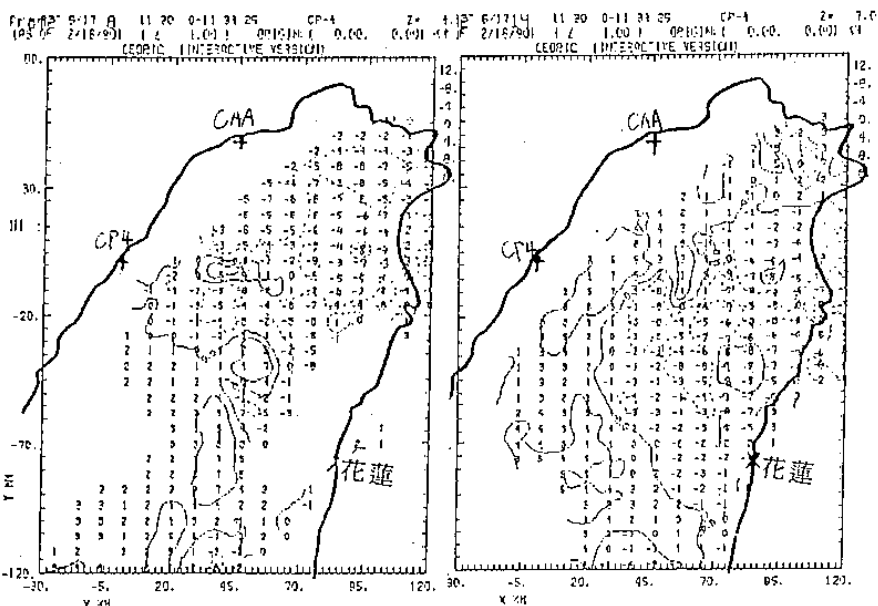
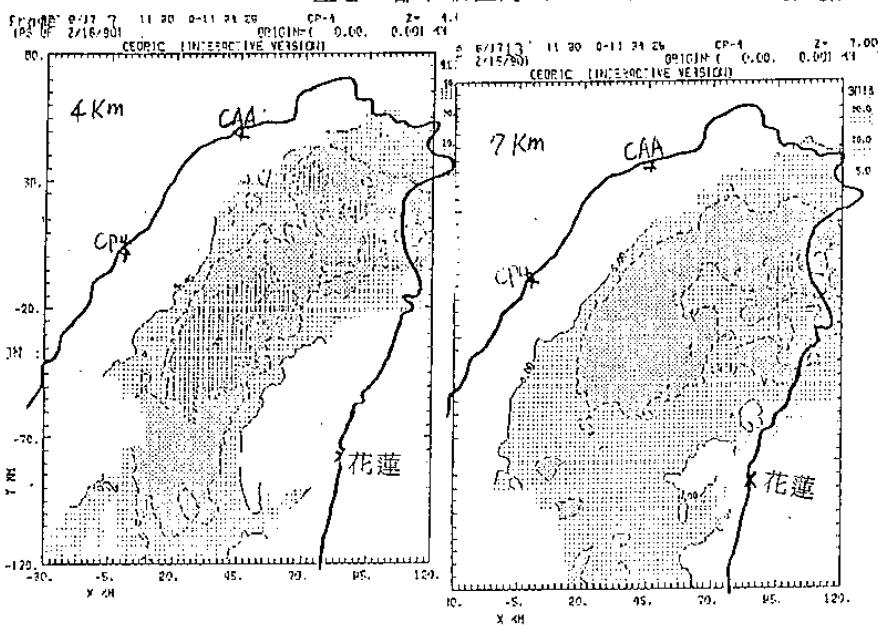


圖3. 都卜勒徑向風  $V_{ri}$  與三維風場的幾何關係



CP4 1130L的4及7公里高度回波、徑向風分析圖 續(7公里)



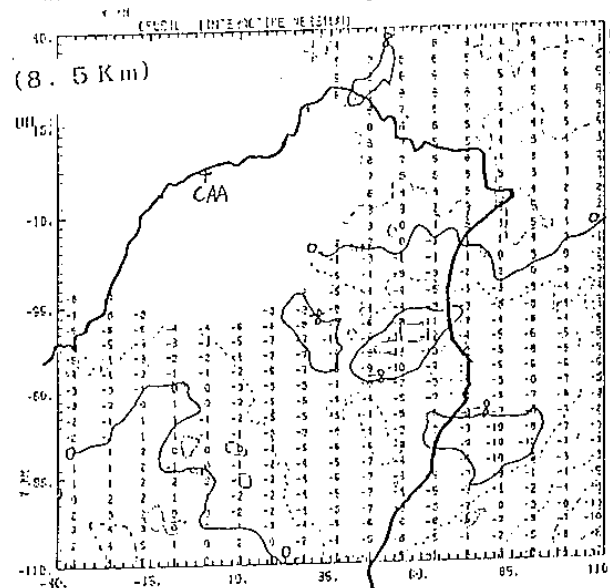
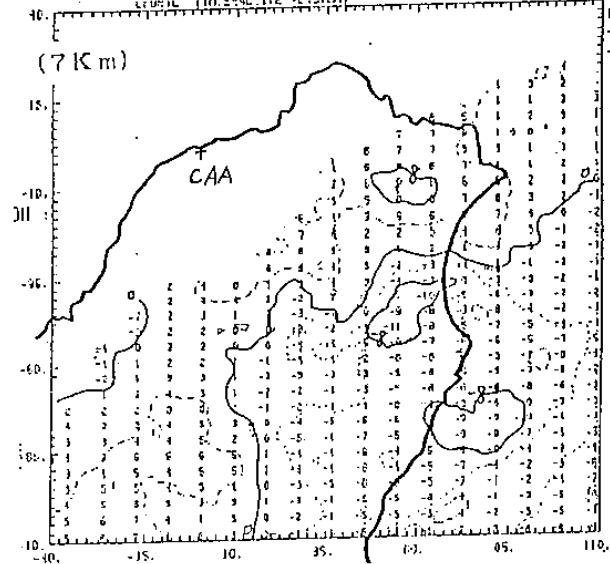
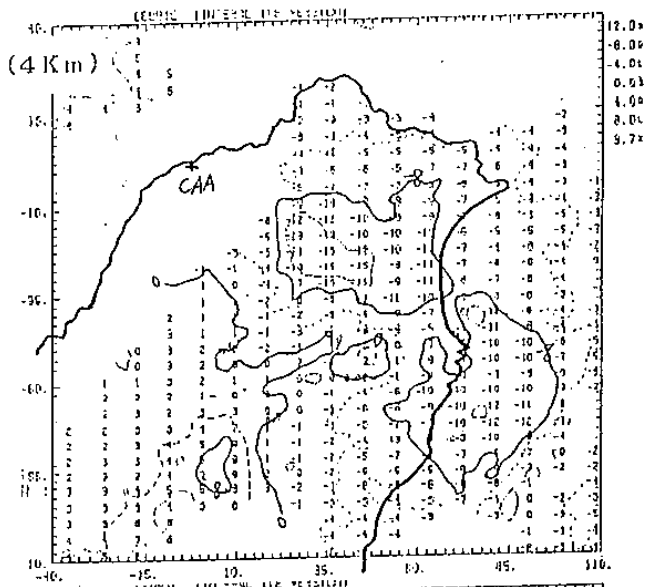
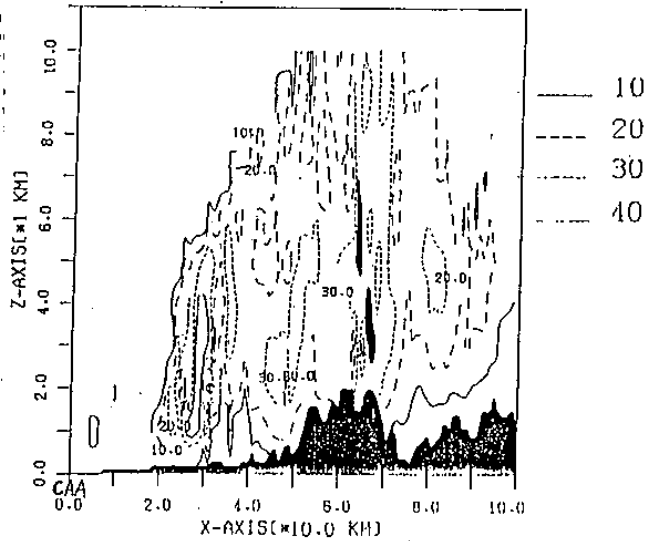


圖 8. CAA 1130L 的 4、7 及 8.5 公里高度徑向風分析圖

6/17/1987 11:30  $\alpha N.=133.6$  0BZ



6/17/1987 11:30  $\alpha N.=133.6$  VE

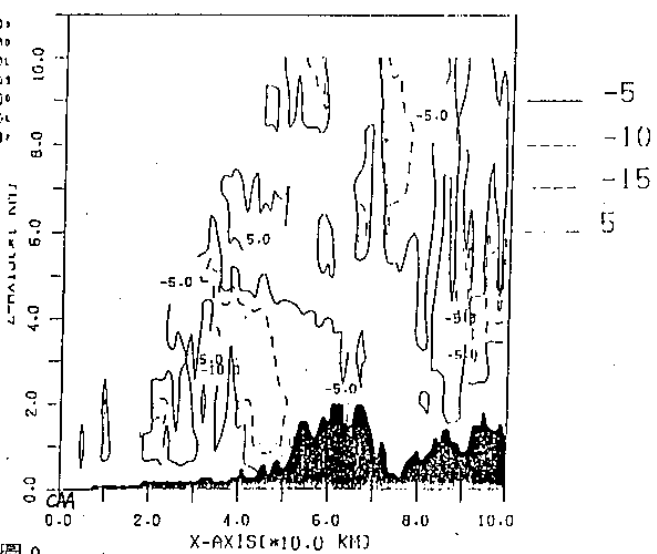


圖 9. CAA 1130L 方位角 133.6 度的回波與徑向風垂直剖面圖 (回波之黑影區表 40 dBZ 以上)

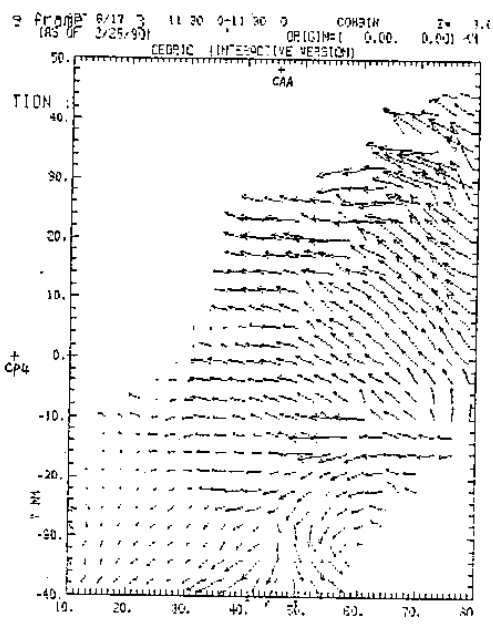
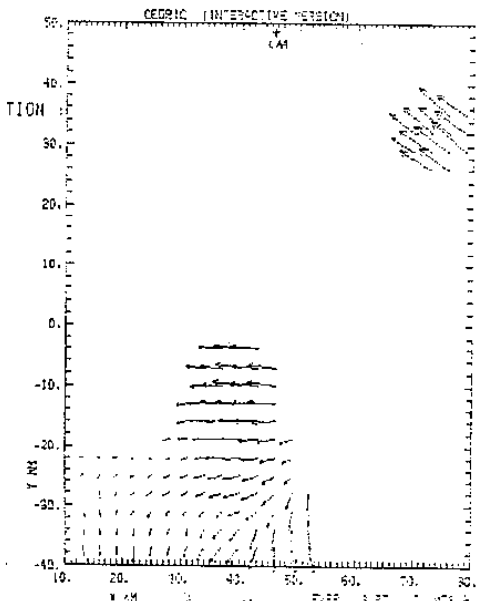


圖10. CAA-CP4及CAA-TOGA的合成風場(u,v)比較上圖為CAA-CP4合成分析圖,下圖為CAA-TOGA合成分析圖

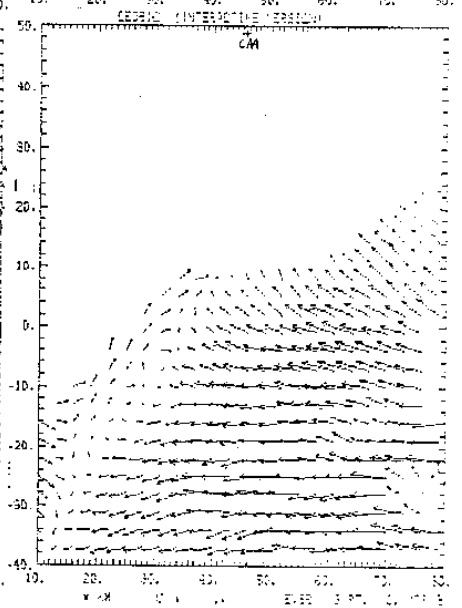
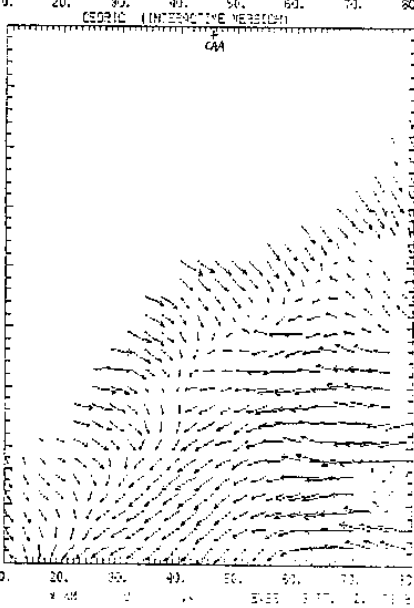
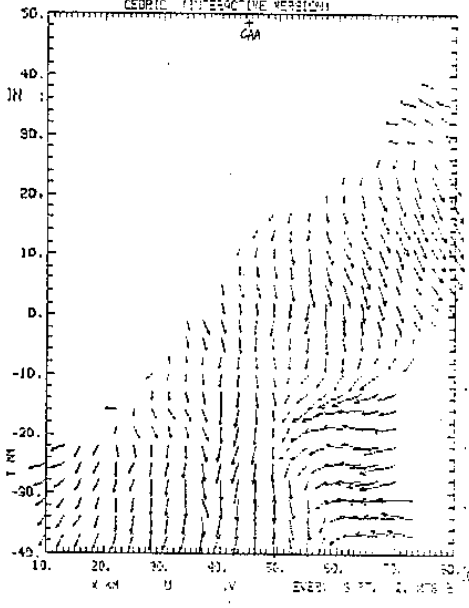
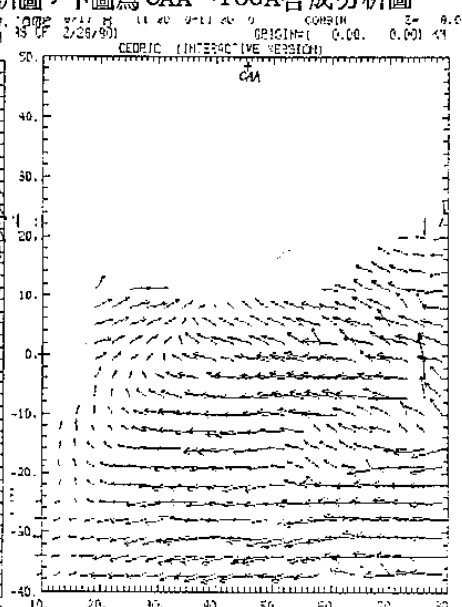
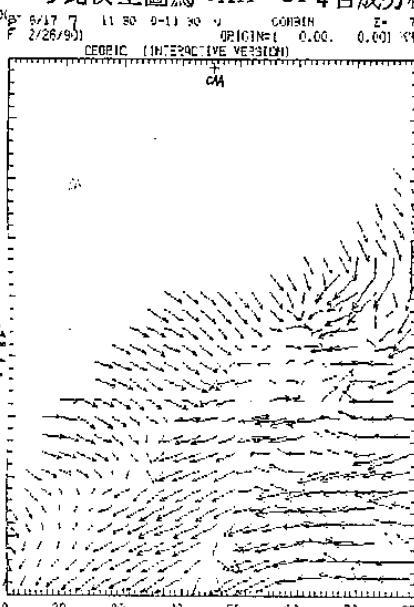
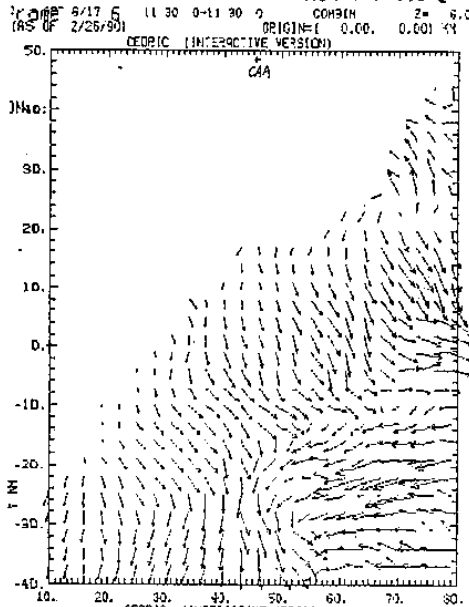


圖10. 續 (6公里高度)

圖10. 續 (7公里高度)

圖10. 續 (8公里高度)

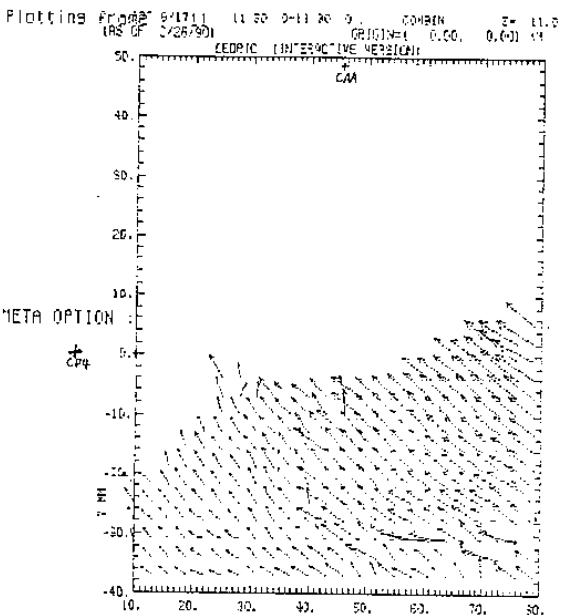
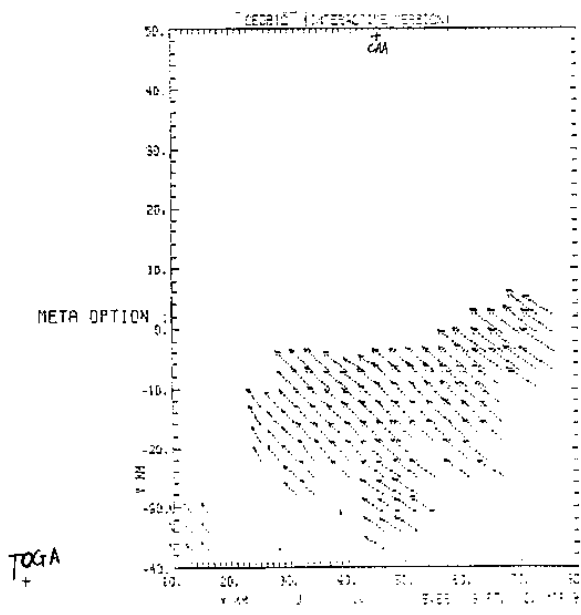


圖10. 續 ( 11 公里高度 )

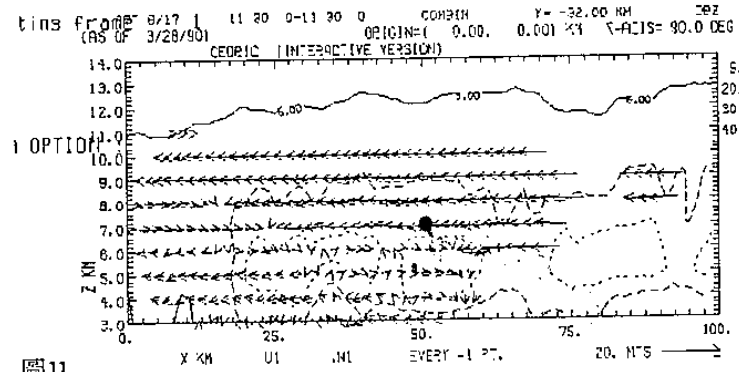
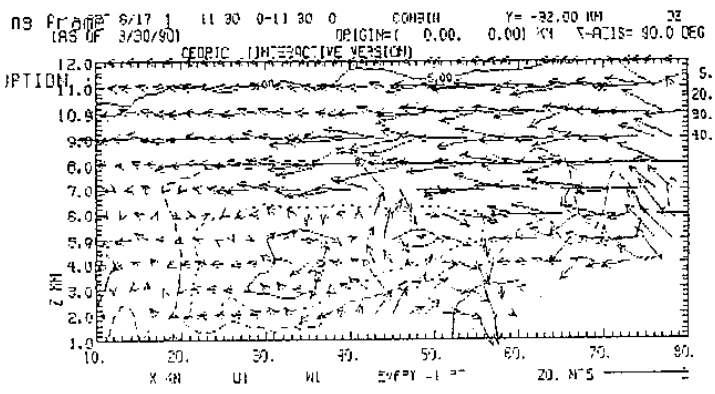
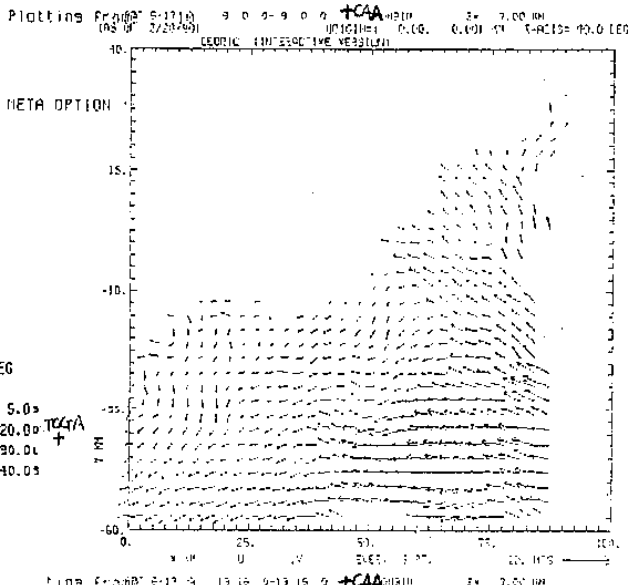


圖11. CAA-CP4及CAA-TOGA的合成風場 ( W ) 在 Y = -32 公里處之垂直剖面圖比較 ( 上圖為 CAA-CP4 圖, 下圖為 CAA-TOGA 圖 ), 等值線為回波強度。

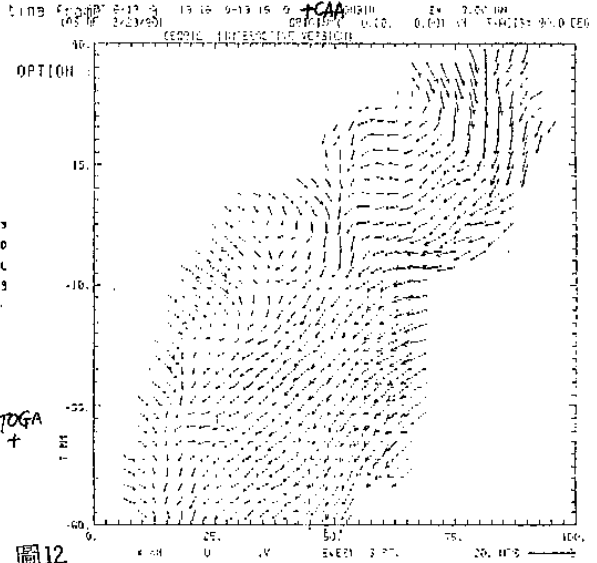


圖12. CAA-TOGA 在 09 L 及 1316 L 的水平合成風場 ( 7 公里高度 ) ( 上圖為 09 L, 下圖為 1316 L )

