

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

應用雷達資料進行降雨系統之辨識與平移速度估計技術研究
及其虛擬實境展示

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2211-E-002-081-

執行期間：90年08月01日至91年07月31日

計畫主持人：李天浩

共同主持人：

計畫參與人員：

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立台灣大學土木工程學系

中華民國九十一年十二月三十日

應用雷達資料進行降雨系統之辨識與平移速度估計技術研究

及其虛擬實境展示

A Study on Classification and Advection Velocity of Rainfall System with Radar Data and Virtual Reality Visualization

摘要

本研究利用 TREC 法來分析中央氣象局五分山雷達之觀測資料，並用來估計颱風降雨系統之移動速度場。本研究針對颱風降雨系統移動特性以及為了更適切地描述颱風受到地形所造成之影響而改進 TREC 法，首先將雷達影像座標系統由原來以雷達為原點之極座標系統，轉換為以颱風中心為原點之極座標系統。其中颱風中心可利用類神經網路或是利用人機介面，由雷達回波圖直接選取。再者，定義了長扁狀之弧形核胞來描述颱風降雨系統在切線方向之平移速度大於徑向方向之平移速度。本研究利用 1996 年賀伯颱風與 2001 年納莉颱風之資料進行分析，結果顯示本研究所提出之改進方法可以改善 TREC 之分析結果。

ABSTRACT

The TREC (Tracking of Radar Echo with Correlation) technique is adopted to analyze the observation data of WFS radar of Central Weather Bureau. The advection velocity field of typhoon rainfall system is estimated. To describe the motion of typhoon rainfall system under the influence of Taiwan's topography more reasonably, we transform the radar image data from polar coordinate system centered at radar to a cylindrical coordinate system with origin at typhoon center which is decided with neural network or by user from screen through a graphical user interface. Moreover, we adopt an arc-shaped grid-box with azimuthal length longer than radial length in order to reflect the fact that the tangential component of typhoon is much larger than its radial velocity. We apply the algorithm to the typhoon Herb in 1996 and Nari in 2001, and the result is shown that the advection velocity field estimate is improved.

1. 研究動機

定量降雨預報在防洪系統中佔有相當重要的地位，因為降雨預報的準確度直接影響洪水預報系統中，後續之逕流計算、水庫操作及河川演算等的準確度。台灣北部淡水河流域洪水預報系統中，定量降雨預報的方法之一是利用外延模式進行降雨量之預報(顏清連等，1998)。此外延預報模式首先利用雷達回波資料迴歸求取速度場函數模式的係數，得到降雨系統移動的速度場估計後，再將最新的雷達回波影像按照所估計得到的速度場來移動，並進行外延與預報降雨量。但是當颱風接近臺灣本島時，環流受到地形影響而不呈軸對稱時，或是在地形附近受到地形阻滯、導引或是氣流過山時，均與颱風環流速度場函數形式(Lugt, 1983)或描述梅雨的線性速度場函數(Takasao and Shiiba, 1984)不同，即無法表現出颱風環流風場之非均質性。本研究乃另嘗試採用 TREC 法(Tracking Radar Echo by Correlation, Rinehart and Garvey, 1978)來描述颱風降雨系統之移動速度場，其為一種用局部資料估計局部風場的方法，所以容許不同於全區域風場的局部風場發生，即速度場可以為非均質性，

此特性與速度場函數迴歸模式不同，因此適用於有地形影響區域風場之估計。TREC 和一般全區域降雨系統平移速度場估計的最主要差異，是全區速度場估計方法將降雨系統速度場的非均質速度，當成是不符合迴歸結果的雜訊，無法表現局部輻合或是輻散的現象。除此之外，Hilst and Russo (1960)、Kessler and Russo (1963)、Crane (1979)以及 Bjerkaas and Forsyth (1980)等利用各種雷達回波影像辨識技術，辨識的都是全區域降雨系統的平移速度場函數模式中的迴歸參數，不能表現局部區域之間速度的差異。另外，全區速度場估計方法也無法表現由外海向臺灣陸地及山區移動的降雨系統，因為到了山邊，會發生方向偏移、速度變緩，以及降雨增強等地形效應對於降雨系統的影響(顏清連等，1998)。

2. TREC 技術

TREC 法是利用時間連續的兩筆雷達回波，先將時間較早之資料切割成多個「局部區域」，稱之為核胞，並依序將每個核胞對應到時間較晚之雷達回波資料中，並設定一搜尋範圍，在此搜尋範圍內找尋所有大小相當之核胞，利用統計之方法進行逐一進行雷達回波資料比對，找出相關性最高之核胞，其所對應的平移速度作為局部速度估計值。TREC 法不須假設全區域環流風場的函數型式，為一種使用局部資料估計局部風場的方法，可以適用於有地形影響區域風場之估計。其另一優點是只須使用單一雷達之觀測資料，即可進行風場之分析，且分析範圍約可與雷達觀測範圍相同，不像利用雙雷達之風場分析，分析範圍必須在兩雷達之觀測交集範圍內。

在 Rinehart 與 Garvy 的研究(1978)當中，利用 TREC 法分析了 hailstorm 的資料。之後 Smythe and Zrnica (1983) 利用 TREC 的概念，除了利用雷達回波觀測資料之外，還利用了都卜勒模式之徑向風速觀測資料來分析邊界層附近之空氣流動。他們使用之資料為晴空資料，與 Rinehart 在 1978 年時以雹暴之資料作分析不同。Smythe 與 Zrnica 分別將利用回波與徑向風速資料兩者所得到之結果與利用雙都卜勒雷達所得到之結果資料做比較，發現利用徑向風速資料所得到之結果差異較小，即利用徑向風資料進行分析所得之結果較佳。除此之外，他們測試以不同的核胞尺寸進行分析，觀察其對結果之影響，結果發現較大的尺寸所得到之風場結果比較小尺寸所得到之結果較符合一致性。

Tuttle and Gall (1989)時，利用了晴空與降雨期間之回波資料進行分析，並且將所得到之結果以雷達之徑向風速觀測資料進行資料校核，即將 TREC 分析所得到之向量在徑向上之分量與徑向風速做比較，如相差太多即予以去除，並利用周圍之資料進行修補。而他們在 1999 年的研究中，以三場颱風案例作 TREC 分析，並與飛機空載雷達觀測資料作比對，發現 TREC 分析會低估在颱風眼牆位置處的速度。鍾和李 (2000)同樣以實際之颱風資料為例，採用以雷達為中之心極坐標系統的 PPI 資料直接進行 TREC 分析，以及先將 PPI 資料內插至卡氏座標網格上再進行 TREC 分析的結果顯示，皆無法適當表現降雨系統繞著颱風眼旋轉之運動型態與其角速度分佈，尤其在研究整個 TREC 分析結果之相關係數場之後發現，在颱風眼牆處之相關係數偏低。

除此之外，在先前提到之研究當中所使用的雷達資料，其座標系不是為以雷達為中心之極座標系統，就是先將雷達資料內插至卡氏座標系上，例如 CAPPI，再進行分析。當採用以雷達為原點之極座標系統 PPI 資料進行 TREC 分析時，因距離颱風中心遠近解析度不同，所產生的降雨系統平移速度向量場在距離雷達較近處較密，在距離雷達較遠處則較稀疏。而當採用卡氏座標系統之 CAPPI 資料進行分析時，必須先將資料由 PPI 內插成 CAPPI，造成資訊的損失。再者，當應用至颱風的實際案例時，由於颱風運動之結構是以颱風眼中心之環流運動為主，不論是利用 PPI 資料，或是 CAPPI 資料，均不易將颱風這樣的運動結

構描述出來。

本研究乃針對上述之問題提出幾個改進之方式，並仍以實際之颱風資料進行分析，以觀察其結果。

3. TREC 技術之改進

本研究應用 TREC 法估計颱風降雨系統的平移速度，並針對颱風降雨系統移動特性作以下的方法改進：

- a) 利用類神經網路自動算式，或是由雷達影像圖形介面人為判斷決定颱風中心位置。
- b) 本研究考慮為了更適切地描述 1) 颱風的雨帶結構與 2) 降雨系統之切線方向速度通常遠大於徑向風速的移動方式，故將雷達 PPI 資料由以雷達為原點的之極坐標系統，轉換為以颱風中心為原點的極坐標系統，並且利用此極坐標系統的雷達影像劃分 TREC 核胞，採用方位角方向長度比徑向長度來得長之長弧形核胞。
- c) 本研究改進以往在極座標系統中，以「方位角角度 \times 徑向距離」定義核胞尺寸之方式所造成核胞所實際涵蓋面積尺寸大小會隨距離颱風中心遠近不同而產生差異情形。如圖 1 所示，雖然核胞 A 與核胞 B 的以「方位角角度 \times 徑向距離」的定義來看，兩者的尺寸相同但是實際涵蓋面積卻不同。故在定義 TREC 核胞時改採以核胞中心線之「方向角弧長 \times 徑向距離」來定義核胞尺寸。如圖 2 所示，核胞 A 與核胞 B 雖然距離極座標原點不同，但是所涵蓋的面積相近。採用了上述之改進方法之後，TREC 分析所輸出之平移速度向量場之網格點將不再受限於所分析的資料座標系為 PPI 或是 CAPPI。因此如果 TREC 分析的結果將再植入其他之數值模式，在作 TREC 分析時，即可將輸出之網格點切割成與要植入之數值模式網格點相同，則 TREC 之輸出結果可直接植入，不需再經過內插處理。
- d) 決定搜尋範圍時，由於北半球之颱風為逆針旋轉，故在尋找核胞時，只沿逆針方向進行搜尋，一方面減少風場不一致性的發生，另外一方面可節省搜尋之時間。

本研究處理雷達回波觀測資料，分析颱風環流降雨系統平移速度的步驟如下：

- a) 將相鄰兩時間之雷達回波資料讀入，並且經過地形遮蔽效應處理後，利用類神經網路或是人機圖形介面之方式決定颱風中心之位置。
- b) 決定所需要分析之區域範圍與解析度，並切成網格。另外以先前提到新的定義核胞尺寸之方法來決定所要用來進行 TREC 分析之核胞尺寸。
- c) 要決定降雨系統之平移向量時，即依序針對每一個網格，以該網格為中心，根據所決定之核胞尺寸劃出核胞。之後在時間較晚之雷達資料中，於所對應之搜尋區域內找尋所有相同尺寸之核胞，並由其中選取相關係數最高之核胞，之後將兩核胞之中心以向量連接起來作為該區域之降雨系統之移動速度向量，如圖 3 所示。
- d) 重覆步驟 3，直到分析區域內之所有網格點之降雨系統移動速度向量被求得為止。

4. 實際案例分析

a) 賀伯颱風

本研究利用上述方法，採用 1996 年 7 月間發生於臺灣之強烈颱風賀伯之五分山雷達觀測資料進行分析。此強烈颱風為台灣帶來大量之降雨，並造成嚴重之傷害，阿里山測站於七月三十一日單日降水累計雨量達 1094.5 公厘，創歷史紀錄。其行進路徑如圖 4 所示，為由台灣之東南方之海面向西北方向進行。五分山雷達為 WSR-88D 之雷達，每一組 VS 所需要之掃瞄時間為六分鐘，因此每一組觀測資料之時間間隔為六分鐘。

此案例所分析之區域範圍為約為 350 公里 \times 350 公里，網格解析度為 10 公里 \times 10 公里。

首先利用不同之核胞尺寸進行分析，以比較其結果。本研究以三種核胞尺寸作 TREC 之分析。所選擇的核胞尺寸（方向角弧長 \times 徑向距離）分別為 20 公里 \times 10 公里（長弧形）、20 公里 \times 15 公里與 20 公里 \times 20 公里（接近方形）。搜尋範圍在方位角方向為 20 公里，在徑向為 \pm 10 公里。其中搜尋範圍的決定乃根據實測之風速，即所搜尋之範圍包含了降雨系統移動之可能範圍。分析結果如圖 5 所示。

本研究針對此案例，就以下幾點進行討論：

- 1) 風場結構：由圖中可以發現，修改後之方法可以更有效地描述颱風風場結構的非軸對稱性與局部差異。賀伯颱風之行進方向由東南向西北方前進，由圖可看出，賀伯颱風右前端之降雨系統之移動速度較後端為快，且後端在地形之背風面，速度較緩。另外在台灣島西側，由於地形的影響，可看出降雨系統移動方向與速度的改變。再者，由結果亦可看出颱風之環流速度隨著距離颱風中心增加而減弱之情形。
- 2) 颱風眼牆的速度：本研究之分析結果，與 Chung and Lee, (2000)採用以雷達為中心之卡氏坐標系統分析結果比較(如圖 6 所示)可發現，本研究在颱風眼牆處的速度估計值明顯地提升較高，可以減少低估颱風眼牆處降雨系統移動速度的機會。
- 3) 風場之一致性：本研究所得之分析結果，無經過編修，但是風場的一致性上較先前之結果好很多，平移速度場紊亂的情形大幅改善。
- 4) 相關係數場之比較：在 Chung and Lee,(2000)的研究中發現，不論核胞之尺寸為何，在颱風眼牆附近之相關係數場的值偏低，且值為 0.3~0.4 之範圍分佈相當廣。而本研究亦繪製相關係數場，如圖 5 之(b)(d)(e)所示。由圖中可發現，雖然颱風眼牆附近之相關係數較其他地方比較起來仍為相對較低，但是以量值來看卻有顯著的提昇，而且以 0.6 以上之值分佈較廣，相對係數提高了約 50%。表示以改進過後之方法確實更能夠描述颱風之環流系統之平移運動。
- 5) 核胞尺寸之影響：Smythe and Zrníc(1983)提到以兩種不同之核胞尺寸作分析與比較發現，利用較大之核胞尺寸所得之平移速度場一致性較佳。本研究之結果發現應用修改後之方式，不同之核胞尺寸所得之結果差異並不大。而且由相關係數場得知，不同之核胞尺寸對相關係數場的影響不大。

b) 納莉颱風

納莉颱風之發生期間於 2001 年 9 月 10 日至 9 月 18 日，路徑如圖 7 所示，由台灣之東北方向西南方進行。納莉颱風為中度颱風，強度不如賀伯，但其所造成的降雨量經過分析，為四百年重現期距之降雨量，對台灣北部所造成之災害更是罕見。本研究同樣以 20 公里 \times 10 公里、20 公里 \times 15 公里與 20 公里 \times 20 公里之核胞尺寸進行分析，結果如圖 8 所示。如同賀伯颱風之結果，由圖 8 可以看出納莉颱風的非軸對稱性結構，包括右前方的平移速度較快，以及平移速度隨著距離颱風眼牆增加而減弱。另外由相關係數場的分析得知，在颱風眼牆附近區域之相關係數也都在 0.6 以上，結果仍令人滿意。不過在核胞尺寸的影響方面，可以發現利用 20 公里 \times 10 公里(長弧形)核胞所得之風場中，不一致之向量比利用 20 公里 \times 20 公里核胞分析的結果來得少，但是整體的結果仍是相差不多，儘管是有差異的地方，也多在雷達回波值較低或是沒有回波值的地方，因此與過去的研究提到 TREC 對雷達回波相當敏感的結果(Tuttle and Gall, 1989)

相符合。

5. 總結與討論

本研究為了使 TREC 技術更能夠表現颱風的環流系統，以及其降雨系統之移動速度，因而改進了 TREC 方法，將分析之座標系統由原來的以雷達為原點之極座標系(PPI 資料)或卡氏座標系(CAPPI 資料)，改成以颱風中心為原點之極座標系。另外亦重新定義核胞尺寸的設定方式，並使核胞的形狀呈長弧形，與雨帶之形狀相近。另外將搜尋之範圍縮小，只沿逆時針方向尋找，以節省計算時間。而結果顯示，TREC 法經過這樣的改進，確實能夠更適用於估計颱風環流與其降雨系統之移動速度，而且結果不需經過編修，其風場一致性即有相當不錯之效果。除此之外，從風速剖面圖之比較發現，本研究所得之結果在颱風眼牆附近有相當大的改進，而且相關係數場之分析得知，本研究所得結果之相關係數場也較過去之方法所得之結果為佳，尤其過去在颱風眼牆估計得不甚理想，而在本研究之效果提升了近 50%。另外，由於座標系的重新定義，因此所得之向量場網格點，不再受到原始雷達資料座標之限制，因此若 TREC 之結果將與數值模式相結合，即可直接將數值模式之網格設定放入 TREC 分析中，不需再經過內插，可減少資訊的損失。

另外在座標轉換的過程中，本研究直接將最接近的雷達資料對應至所分析的核胞網格上，並不進行內插之動作，可以減少資訊的流失與增加運算之速度。以本研究之分析案例為例，利用一般之個人電腦約十數秒內即可完成 TREC 降雨系統移動速度場的分析，因此 TREC 適合應用於實際的洪水預警報作業系統中。

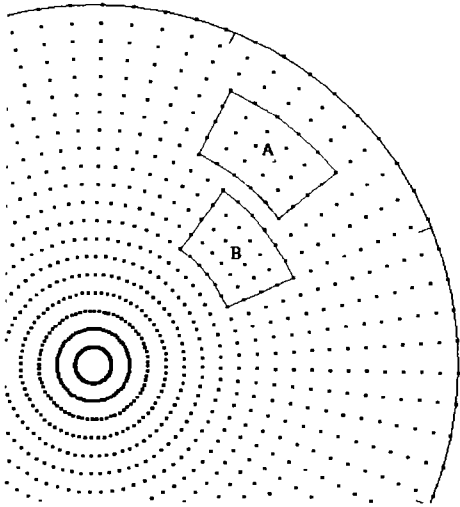


圖 1. 以「方位角×徑向距離」之定義核胞尺寸時，核胞 A 與核胞 B 所實際涵蓋面積不同之示意圖

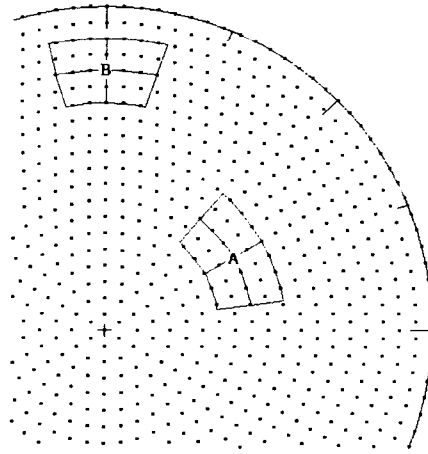


圖 2. 以「切線向距離×徑向距離」之定義核胞尺寸時，核胞 A 與核胞 B 所實際涵蓋面積接近相同示意圖

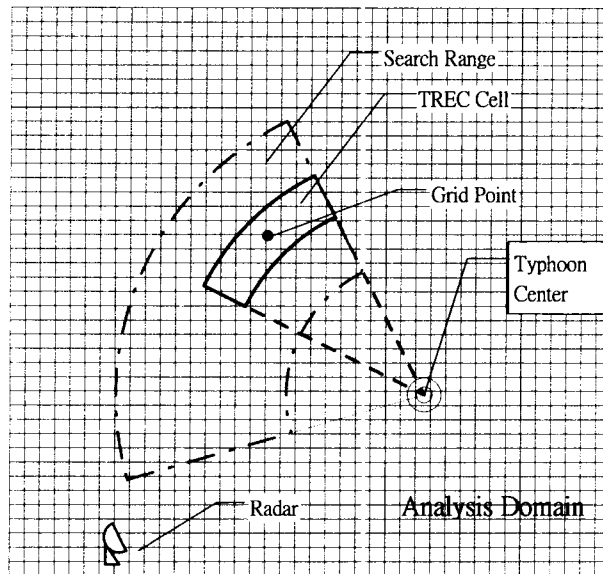


圖 3. TREC 分析示意圖

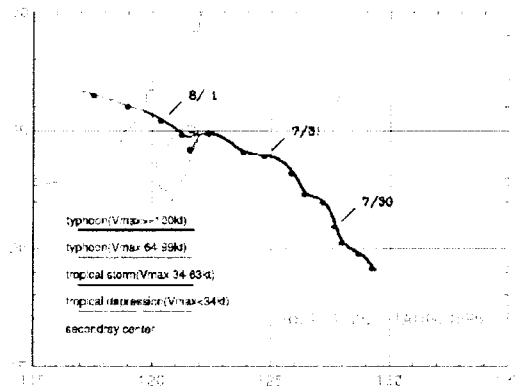
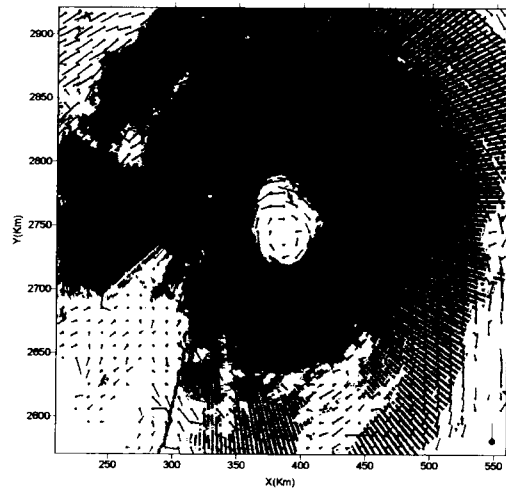
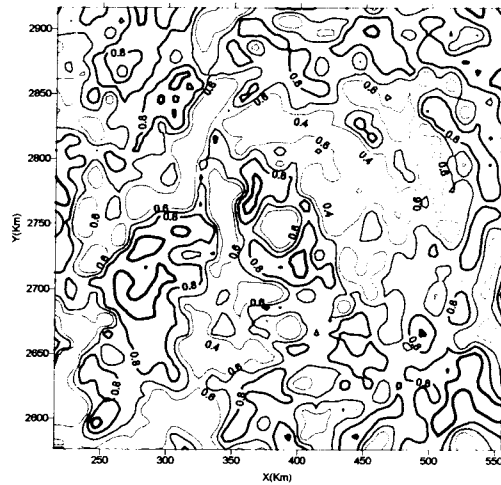


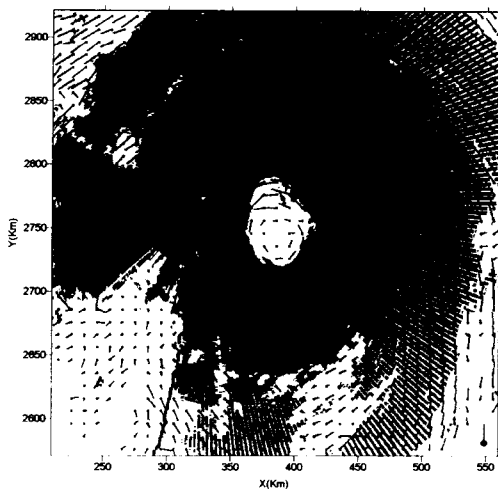
圖 4. 賀伯颱風路徑圖 (資料來源：中央氣象局)



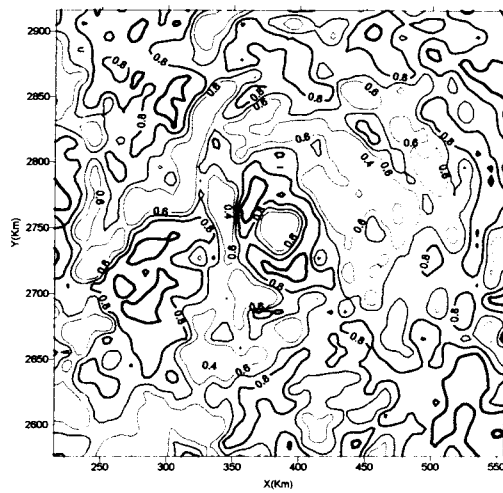
(a)



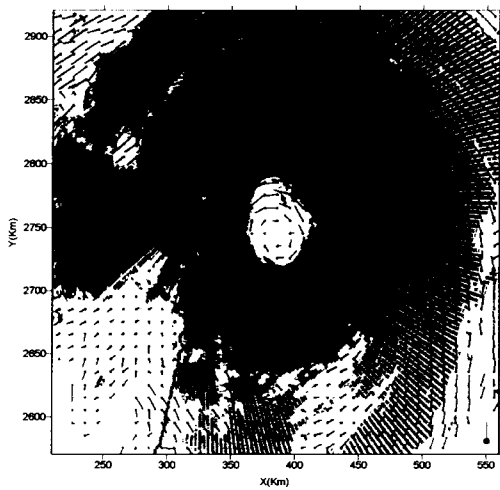
(b)



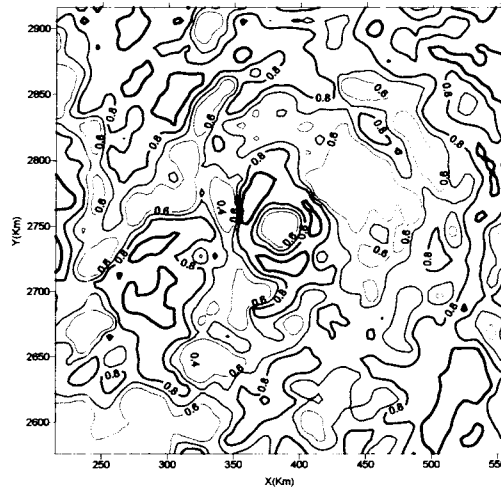
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 5. 不同尺寸核胞之 TREC 分析結果，底圖為雷達回波值，核胞尺寸分別為：
 (a)20 公里x10 公里(c) 20 公里x15 公里 (e) 20 公里x20 公里。而(b)(d)(e)分別為其
 相關係數場。相參考量為 50 公尺/秒。

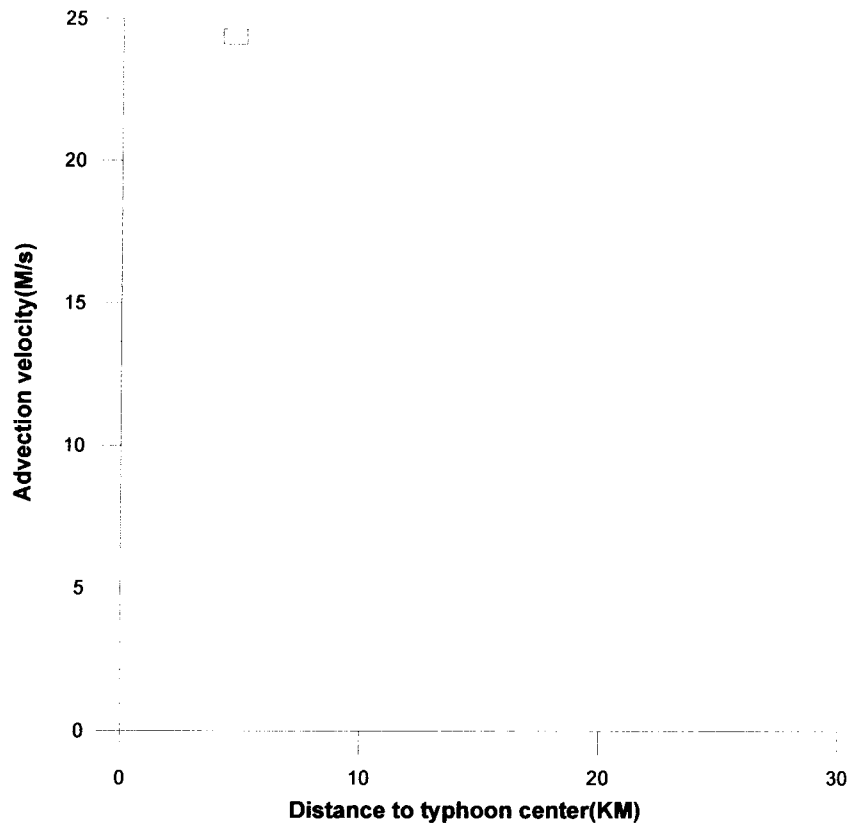


圖 6. 平均風速隨與颱風中心距離之變化圖，紅線為以颱風中心為原點之極座標之分析結果，藍線為卡氏座標系統之分析結果。

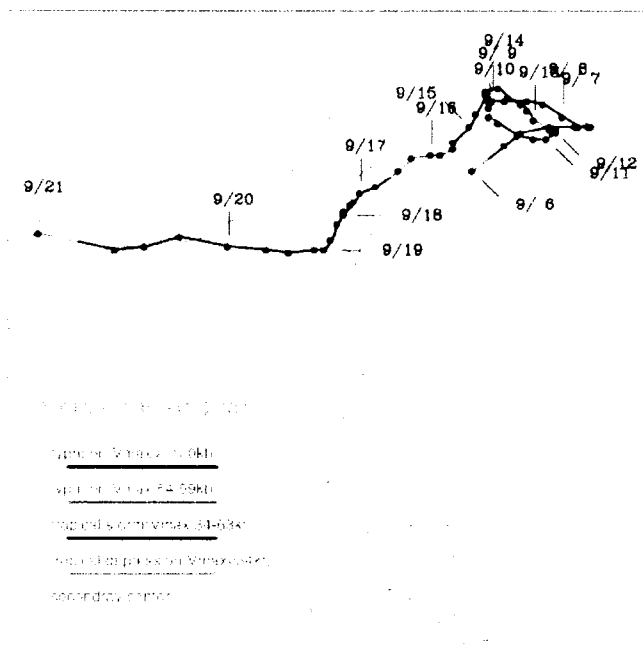


圖 7. 納莉颱風路徑圖（資料來源：中央氣象局）

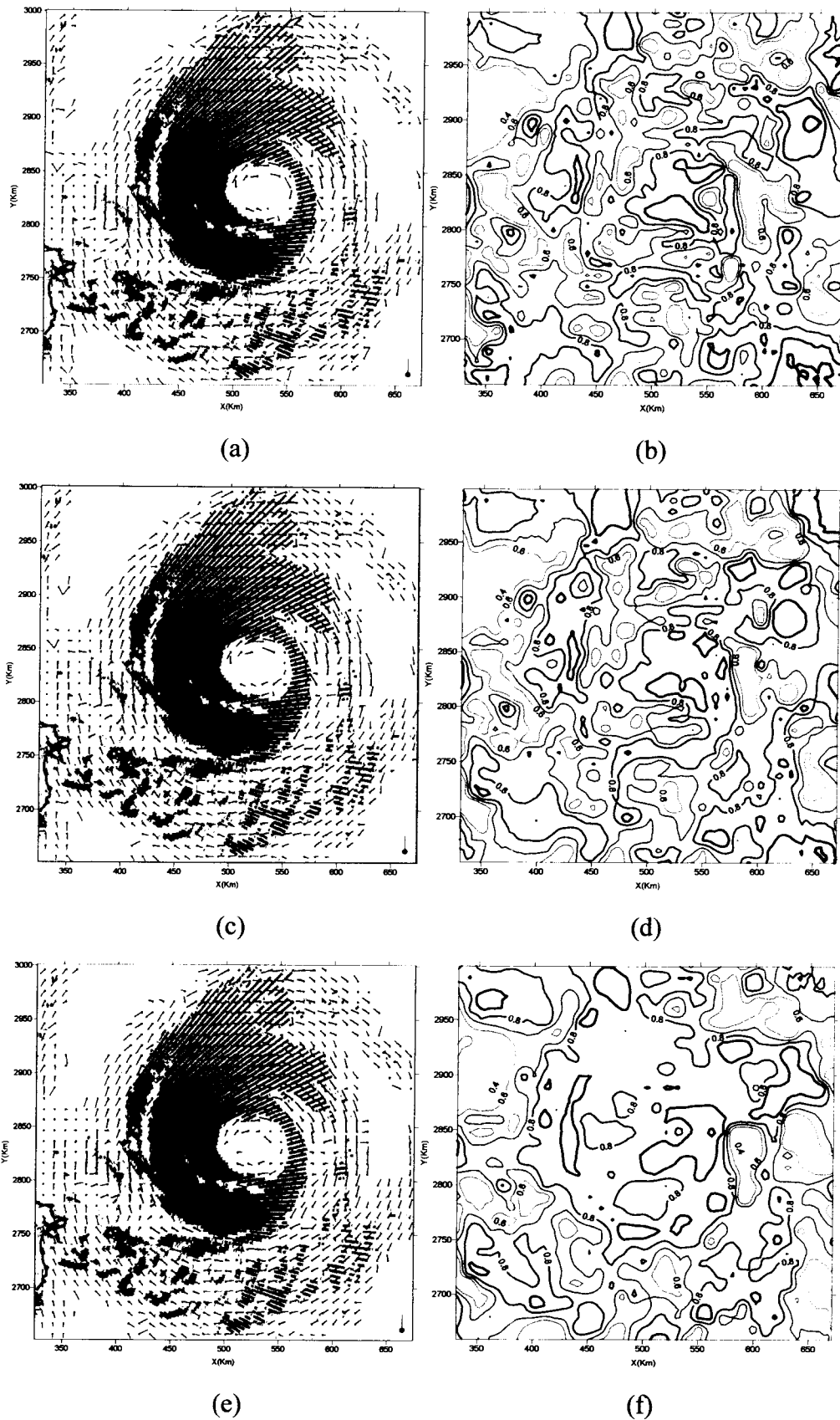
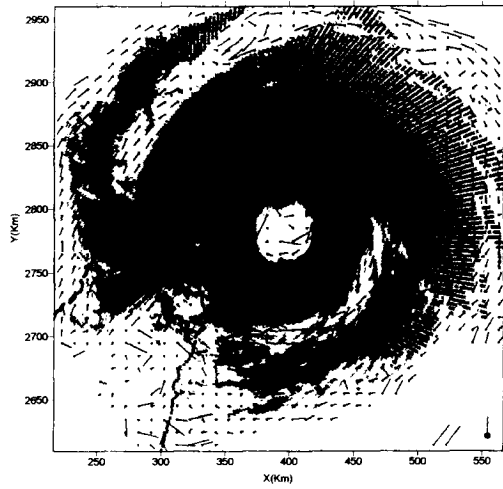
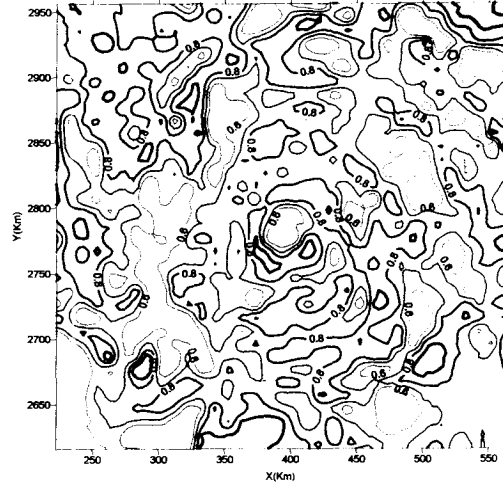


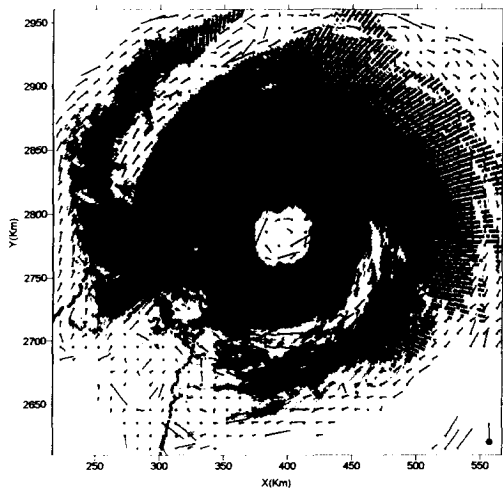
圖 8. 同圖 5，但為納莉颱風 2001/09/15 13:45 UTC 之分析結果



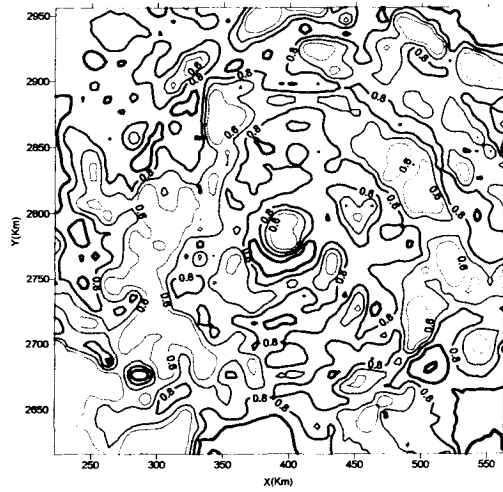
(a)



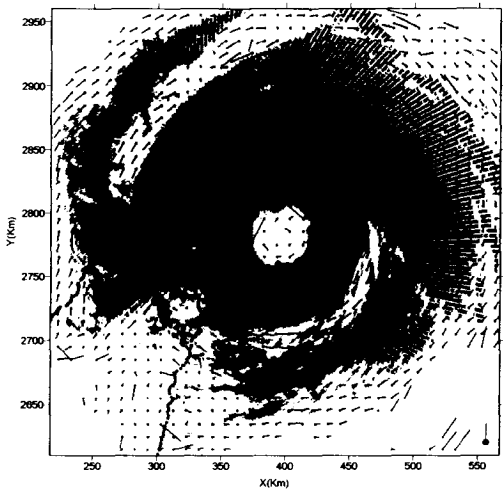
(b)



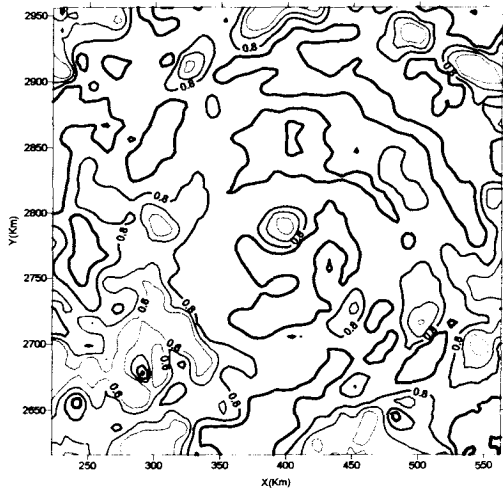
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 9. 同圖 5，但為納莉颱風 2001/09/16 08:52 UTC 之分析結果。