

侵台颱風鄰近中心環流結構之分析

張保亮¹ 周仲島²

¹中央氣象局五分山雷達站

²台灣大學大氣科學研究所

摘要

本文利用中正機場雷達都卜勒風場及回波場資料，分析亞力士颱風（ALEX 1987）和葛拉絲颱風（GLADYS 1994）登陸台灣北部時，中心附近環流結構的演化，並比較二者的差異。

初步結果顯示，颱風登陸位置地形高度的差異，可造成鄰近中心環流強度截然不同的變化。亞力士颱風登陸位置地勢較低且受地形影響時間較短，雖然最大風速半徑外之中對流層環流強度因受地形影響有明顯減弱情形，但是鄰近中心環流強度改變相對和緩，最大風速半徑登陸期間有縮小情形但不顯著。平均切線風速大小近地面處雖有明顯減弱現象，但中對流層處則無明顯變化，甚至有略為加強情形。葛拉絲颱風登陸位置地形高聳，受到中央山脈嚴重破壞，登陸後回波結構趨於散亂，中心附近環流變化劇烈。最大平均切線風在登陸後不到一小時由 48 ms^{-1} 減弱至 34 ms^{-1} 。最大風速半徑登陸後由 16 公里擴大至 22 公里。

一、前言

近年來，都卜勒雷達已被廣泛地應用在劇烈中尺度天氣現象的研究與預報作業上。在熱帶地區，如何有效率的使用高時空解析度之都卜勒雷達資料，以提高鄰近海岸地區颱風之監測與預報作業的準確度，是一刻不容緩的課題。

利用飛機雷達高時空解析度觀測資料，Marks and Houze (1984, 1987)，Marks et al. (1992) 與 Barnes and Stossmeister (1986) 對於海上颱風中心附近及伴隨之雨帶的風場和降水結構，提供了相當完整的描述。Lee et al. (1993) 發展機載雷達速度軌跡展示法 (Velocity Track Display: VTD)，可由飛機單向飛行獲得之雷達資料，反演出頗為合理的海上颱風中心附近中尺度環流結構。另一方面，利用海岸都卜勒雷達徑向風場資料分析颱風登陸前後鄰近中心環流的變化，近幾年也有明顯的發展。Lee et al. (1993) 及周等(1994)首先將 VTD 方法延伸，發展地面雷達速度軌跡展示法(Ground Based Velocity Track Display: GBVTD)方法，展現了利用地

面單一都卜勒雷達徑向風場資料，解析颱風鄰近中心環流中尺度結構的能力。鄧與周(1995)進一步將 GBVTD 方法概念加以延伸，發展出速度距離乘積方位展示法 (Velocity x Distance Azimuthal Display: VDAD)，不但簡化風場反演結果的詮釋，並增加可反演的範圍，對於颱風環流中尺度結構的分析更為有利。

本文利用中正機場都卜勒雷達徑向風場資料，以 VDAD 方法分析亞力士颱風 (ALEX 1987) 以及葛拉絲颱風 (GLADYS 1994) 登陸台灣北部時，中心附近環流結構的變化，並探討地形的可能影響。

二、資料與分析方法

(一) 資料

本文資料來源為中正機場都卜勒雷達資料，分析時間包括 1987 年 7 月 27 日 0502，0533，0602，0632，0917，及 0932 LST 亞力士颱風六個時間三個階段（登陸前，登陸後，及再回到海上）資料，以及 1994 年 9 月 1 日 1041，1101，1121 及 1141 LST 葛

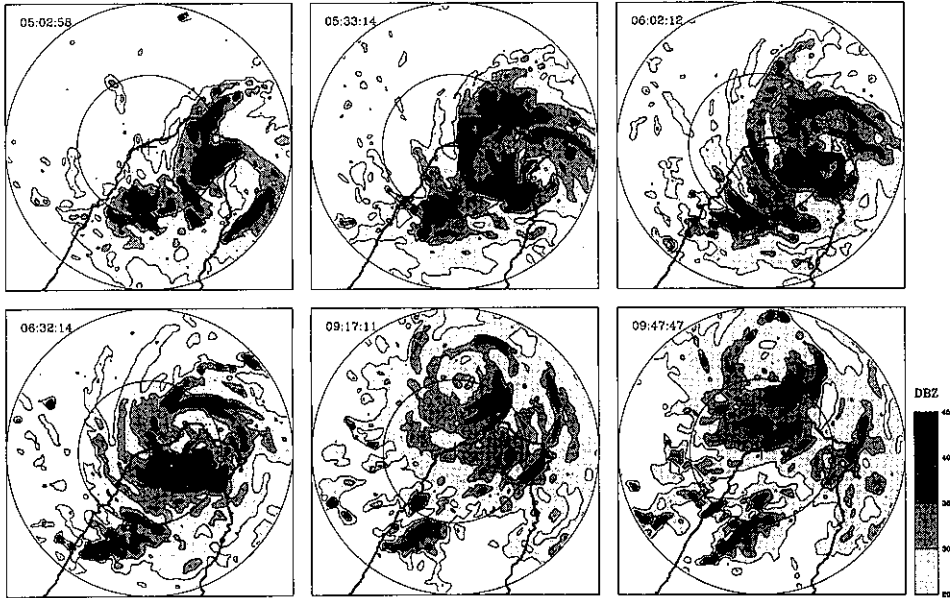


圖 1. 中正機場雷達觀測之亞力士颱風 (ALEX 1987) 登陸台灣東北部山區降水回波演化圖。

拉絲颱風剛登陸四個時間資料。

(二) 颱風中心定位

颱風中心定位對於鄰近中心環流結構的分析工作，是非常重要的。Wood and Brown (1992)提出了對於近似軸對稱環流颱風中心的定位方法。此方法對於海上的颱風有不錯的結果 (Wood 1994)。此種方法雖考慮了颱風環流徑向風速的影響，但是並未考慮平均風的效應。因此當平均風場較大時，將影響本法在中心定位的準確度。鄧與周(1995)利用速度距離乘積 ($V_r * D$)，其中 V_r 為都卜勒速度場，而 $D=R/R_d$ ， R 為雷達觀測點至雷達的距離； R_d 為颱風中心至雷達的距離。由速度距離乘積的極大與極小值對應中點，即可決定颱風中心。此種方法非常快速便於作業使用。由理想颱風模式測試結果發現，此方法較能反應出平均風的效應；但當徑向風速較大時，將產生較大誤差。

在上述兩種方法中，都隱含假設颱風環流存在一最大風速半徑，而雷達觀測之最大徑向風場極值將出現於此一半徑。然而，在實際個案中，尤其是當颱風環流非軸對稱結構明顯時，最大風速半徑的決定將產生相當大的不確定性。此時，颱風中心的定位將有較大的誤差。在此種情況下，可經由假設雷達觀測的颱風中心附近徑向風場極值主要為切線風速為前提的概念，來定位颱風中心。

另一方面，實際颱風個案中，當決定都卜勒徑向風場極值的確切位置時，可採用 Desrochers and Donaldson (1992)提出的速度權重方法，來決定極值的位置。在本文中，使用上述三種方法定位颱風中心位置，發現結果差異並不大，大都在 5 公里以內。為降低中心定位結果對環流結構反演的敏感程度，將上述三種方法求出之中心位置予以加權平均。當其中某一方法定位不易或不合理時，則以可定義之中心或臨近高度之中心取代。

(三) 資料處理

首先將不合理徑向風場資料加以濾除，經仰角及雨低終端速度校正，內差至各等高面上。先決定颱風中心，然後以中心為軸心將資料放置於個別半徑上，解析度為 1 公里。再以最小平方法求得波數三之逼近曲線，並求出切線和徑向風各分量的係數。逼近曲線是以 90 個資料點進行，當資料少於 45 點時，則不予分析，相關的處理程序可參考周等(1994)及鄧與周(1995)的說明。此外，在風場各分量的係數求出時，由於颱風環流結構包含平均風場這一項，以單一時間資料並無法同時求得平均風的大小與方向，只能求得平均風在雷達至颱風中心連線方向的分量。這種情形，對於平均切線風的求取將有影響，其誤差大小將隨分析半徑增加而增加

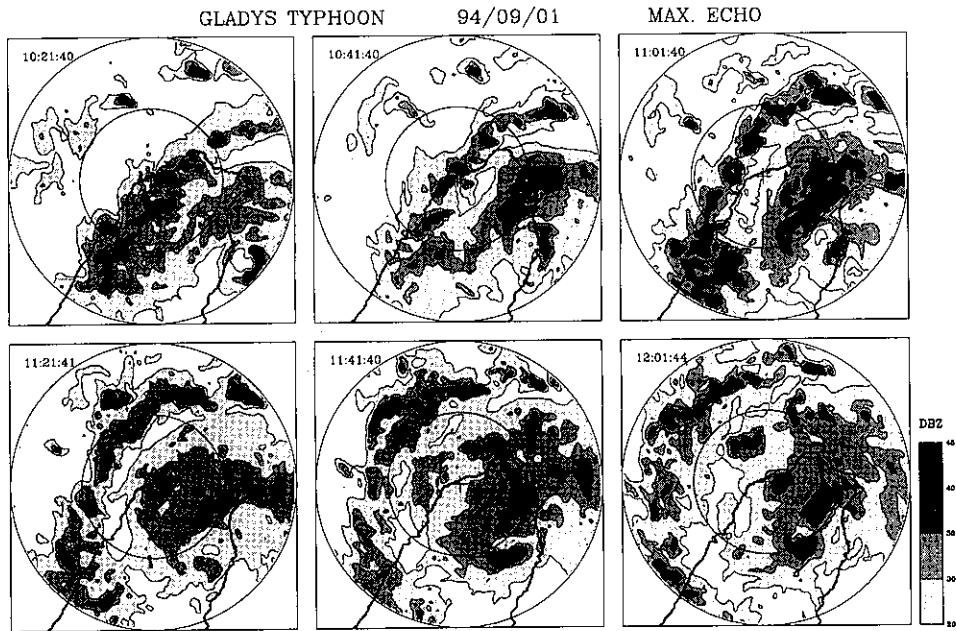


圖 2. 中正機場雷達觀測之葛拉絲颱風 (GLADYS 1994) 登陸台灣東部降水回波演化圖。

(鄧與周 1995)。以最大分析半徑小於 0.8 倍雷達至颱風中心的距離為例，當存在 5m/s 的平均風，將可導致 4m/s 的最大誤差。此種情形發生於當平均風的方向與雷達至颱風中心連線方向相互垂直的時候。因此當分析較大半徑的颱風環流時，應先估計平均風的大小和方向，最簡便的近似是利用颱風移動的速度來估計。如有探空，剖風儀或另一雷達的觀測資料，將使結果的誤差減小。

三、結果與討論

(一) 個案描述

圖 1 為 ALEX 颱風侵台時的回波分布，圖中可看出登陸前回波呈現非軸對稱的結構，眼牆位置則仍然清楚，較強回波區域位於西到西北的象限。0602LST 之後開始出現較軸對稱的回波結構，出海後回波減弱，較強回波區域則轉換至南到東南象限。侵台過程中，眼牆及低回波中心相當容易辨識，但雨帶的結構並不明顯。圖 2 為 GLADYS 颱風登陸時的回波演化，登陸過程中眼牆位置及弱回波中心並不顯著，伴隨的雨帶則較為顯著。登陸期間，回波結構持續遭到破壞，呈現較不完整的結構。

圖 3 為都卜勒速度場分布，圖中顯示登陸時 GLADYS 颱風與 ALEX 颱風速度場均呈現正負近似對稱的明顯分布。此種對稱分

布，在定性上說明了風場的渦旋特徵明顯。

(二) 颱風中心路徑

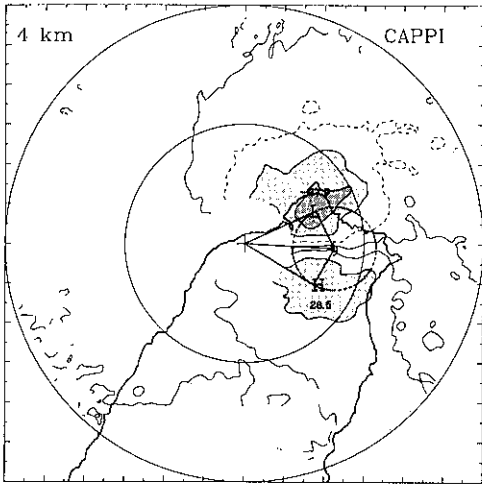
颱風中心位置及路徑如圖四所示，由圖中可看出 ALEX 颱風於 0533 前後，在宜蘭附近登陸，隨後朝西北方向移動，出海時則漸轉為北北西方向朝東海移動。GLADYS 颱風於 1041LST 之前登陸於偏南約 50 公里的高山區域，之後朝西移動，最後進入臺灣海峽。兩者路徑差異除移動方向不同外，GLADYS 移動速度遠慢於 ALEX，可能是登陸位置地勢較高環流被嚴重破壞所致。

(三) 颱風環流分析結果

(1) 徑向風場的特性

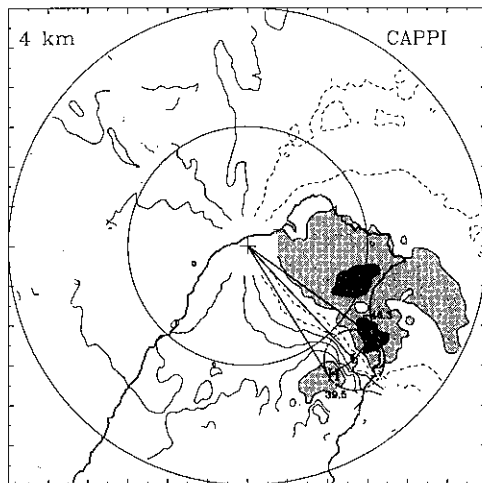
圖 5、6 為固定高度及半徑下，最佳逼近曲線與轉換後都卜勒速度場資料關係，圖 5a-d 中顯示 ALEX 颱風在登陸時，最大風速半徑附近逼近曲線對於原始資料有很高的代表性，均方差在 2.0m/s 以下，逼近曲線以波數 1 為主，其它分量則相當小。出海後，其均方差降至 0.5m/s 以下，顯示對於資料的解釋程度更為提高(圖 5d)。圖 6a-d 則為 GLADYS 颱風在登陸後之分析，由圖中亦可見，在最大風速半徑附近近似情形結果與 ALEX 颱風類似，但均方差略高。逼近曲線仍以波數 1 為主，但其它分量的振幅相對於 ALEX 颱風而言則有升高的情形。兩者間的差別在於 GLADYS 颱風強度較強以及非軸

ALEX TYPHOON 1987.07.27 0632



120x120 Km

GLADYS TYPHOON 1994.09.01 1101



120x120 Km

圖 3. (a) 中正機場雷達觀測之亞力士颱風 (ALEX 1987) 徑向風場圖。 (b) 中正機場雷達觀測之葛拉絲颱風 (GLADYS 1987) 徑向風場圖。

對稱分量明顯的緣故。整體而言，ALEX 與 GLADYS 颱風的環流結構，利用至波數 3 的逼近曲線，對於資料點的特性有很好的詮釋。

(2) 鄰近中心平均切線風演化

○ ALEX 颱風

圖 7a 顯示，ALEX 颱風尚未登陸時，有兩處最大風速區，分別以半徑 25 公里、高度 2km 以及半徑 50 公里、高度 6km 為中心，

最大數值分別為 34m/s 及 37m/s。最大風速半徑隨高度明顯傾斜，且中層最大風速值較低層為大。當颱風登陸時，仍有上述特徵，但強度稍有減弱，在半徑 50km 高度 2km 附近則有弱風速區出現(圖 7b)。半小時後，低層大風速區消失，取而代之的則為 4-6km 高度的強風速帶，低層弱風速區持續擴大(圖 7c)。到 0632 時，最大風速區則集中於半徑 23km、高度 4km 附近(圖 7d)。颱風出海後，由圖 7e 可發現與登陸時有明顯的改變，包括風速值降至 30m/s 以下，最大風速區降至低層，最大風速半徑位於半徑 25-30 公里，隨高度無明顯傾斜情形。之後最大風速半徑漸增至 30 公里附近，中高層半徑 40-50 公里處，強度則略有增強的趨勢(圖 7f)。

◎ GLADYS 颱風

由圖 8a 發現，GLADYS 颱風登陸時，大風速區位於高度 3km，約以半徑 16km 為中心，並向外擴展至 30km，最大風速值達 48m/s，另一特徵則為中層出現相對的低風速區。1101LST 時，最大風速值下降至 46 m/s，大風速區出現雙峰分布(圖 8b)。20 分鐘後，最大風速值持續下降至 40m/s，中層低風速區擴大且速值減弱至 26m/s(圖 8c)。最後分析時間則可發現，最大風速值已降至 34m/s，出現半徑增為 22km 左右。此外，中層低風速區亦持續下降至 18m/s 以下(圖 8d)。此結果顯示，中層環流受地形的影響至為顯著，此與 ALEX 颱風受地形影響程度有

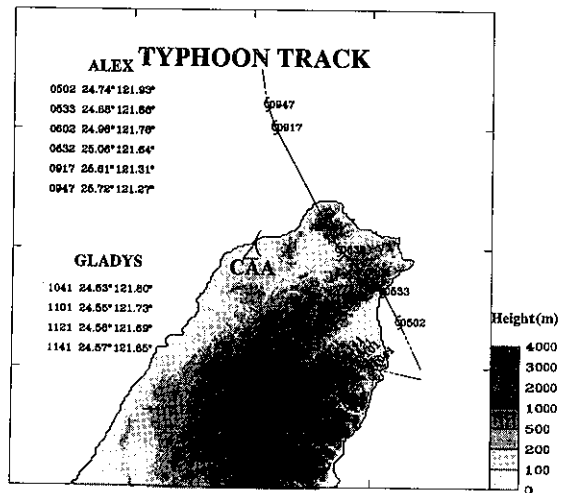


圖 4. 亞力士颱風 (ALEX 1987) 與葛拉絲颱風 (GLADYS 1994) 中心位置及路徑。

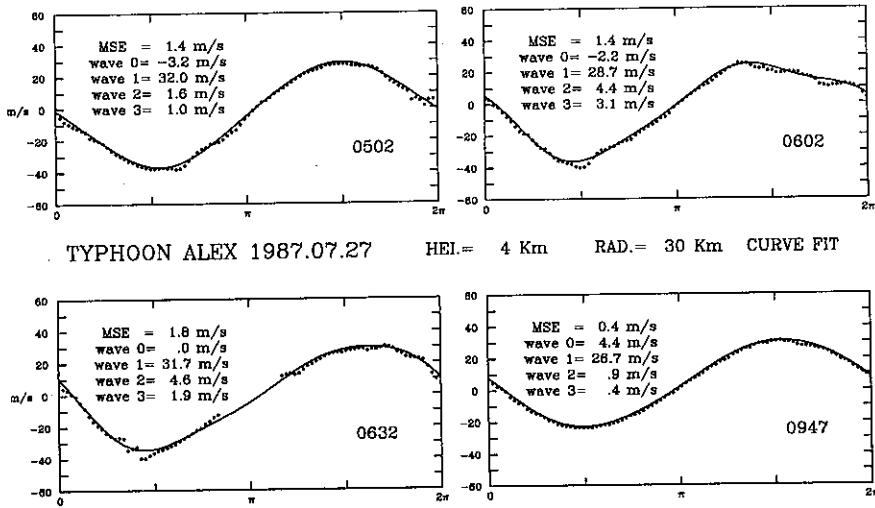


圖 5. 以富氏級數近似雷達觀測之亞力士颱風徑向風場。

明顯不同。

(3) 討論

由颱風中心定位的結果顯示，ALEX 颱風登陸前、遠離後，三種定位方法的差距微小，意謂著環流結構具有較高的軸對稱性。相對地，在地形影響下，非軸對稱分量的產生，將使中心定位產生較大的困難。此時，因地形引發的對流，將使得環流中心與弱回

波中心產生較大不一致。因此，在此種情況下，單由回波場來決定環流中心時，將可能有明顯的誤差發生。在平均環流分析方面，ALEX 登陸前(0502-0533LST)結構與海上的颱風(Marks et al. 1992)已有明顯差別，登陸後則更加顯著。低層風速受地形影響迅速減弱，中層影響較小，但最大風速半徑有減小的情形。出海後，由於地形影響減小，環流

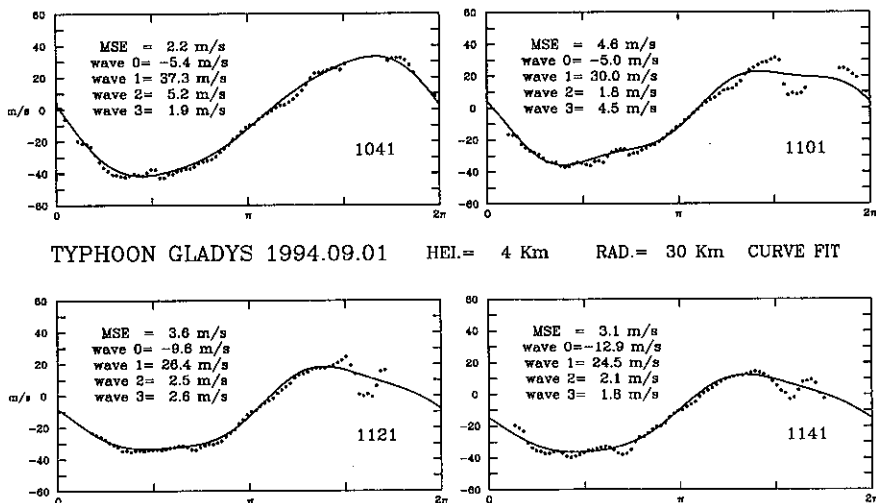


圖 6. 以富氏級數近似雷達觀測之葛拉絲颱風徑向風場。

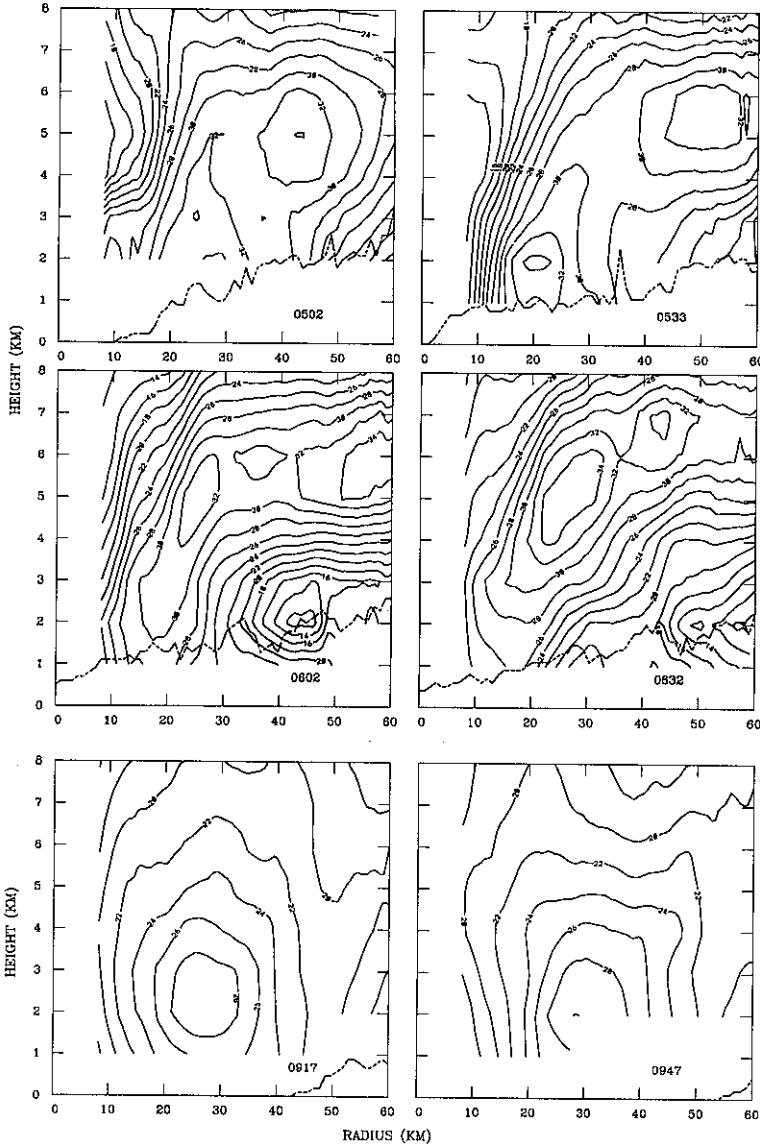


圖 7. 以速度距離乘積方位展示法反演之亞力士颱風平均切線風場分佈。

結構較類似海上颱風的結構 (Marks and Houze1987, Marks et al.1992), 最大風速區調整至邊界層頂附近的高度。最大風速區域的改變, 明顯由中低層兩個不同半徑的位置, 變成中層, 最後出海時則降至低層, 整個變化過程相當具連續性。當受地形影響時, 低層環流明顯減弱, 與受較高地形影響的區域則出現弱風速區, 但中層以上所受影響則較為微小。由此推論, 出海後環流得以快速重整, 中層環流強度的維持應扮演重要的角色。相

對地, GLADYS 颱風登陸時的變化與 ALEX 颱風有明顯差異, 由於登陸在高山區域 (約 2km), 環流受地形影響嚴重破壞。由分析中發現, 颱風登陸後, 眼牆結構持續遭到破壞, 無法清楚辨識, 風速明顯減弱, 分析時間內, 最強風速值下降達四分之一。且地形影響也減弱了中低層環流的強度。而持續往高山區域移動的結果, 在颱風出海時最強風速已不及登陸時的二分之一, 顯示環流受到中央山脈嚴重的破壞, 致使環流無法於出海後得以迅速重整。

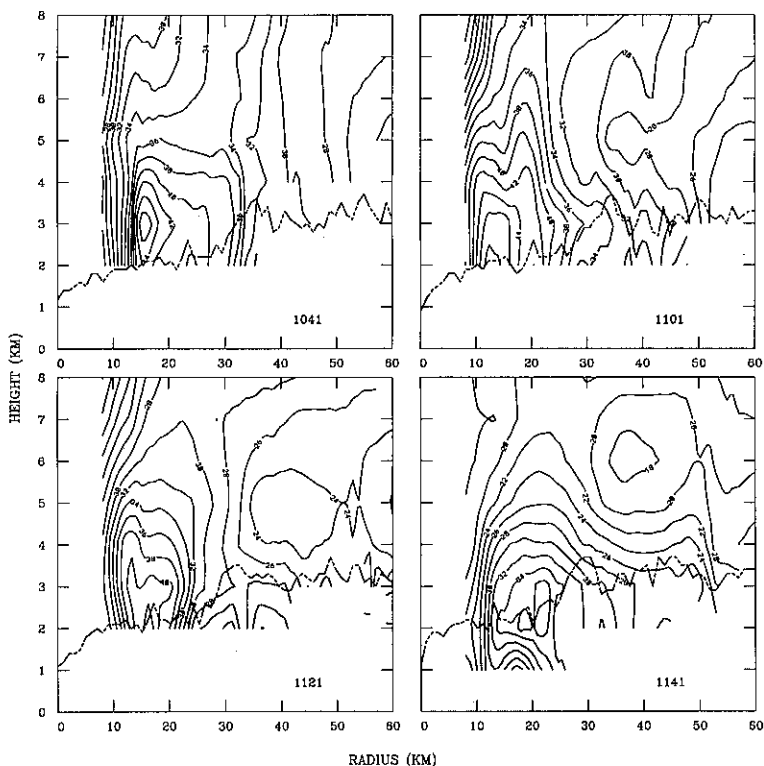


圖 8. 以速度距離乘積方位展示法反演之葛拉絲颱風平均切線風場分佈。

四、總結與建議

本文利用速度距離乘積方位展示法方法，分析 ALEX 颱風登陸前後三個階段以及 GLADYS 颱風登陸時環流的變化。由初步分析結果發現，颱風登陸位置地勢的差異及影響時間的長短，將造成環流結構截然不同的改變。ALEX 颱風登陸位置地勢較低且受地形影響時間較短，環流的改變程度較為和緩，而且影響以低層為主，中層環流強度因而可以維持，致使颱風出海後，完整的環流能夠迅速重新建立。反觀 GLADYS 颱風登陸時的變化則顯得較為劇烈。登陸過程中，回波結構趨於散亂，強度迅速減弱，導致出海後已無法建立原先完整的結構。上述結果亦顯示，颱風侵襲台時，環流結構的變化顯著，並不合適使用綜合擬雙都卜勒的分析方法 (synthetic pseudo dual-Doppler analysis) (Bluestein and Hazen 1989)。

由於本文只初步探討平均環流的變化，在未來工作方面，將針對非軸對稱環流的結構做進一步分析，配合衛星及綜觀資料的輔

助，希望可以增加颱風環流與地形間作用的了解。而在分析方法中，由於速度距離乘積方位展示法只能求出平均風的部份分量，使環流結構在解析上可能隱含著誤差。因此，為了增加反演的準確度，未來颱風侵台時，如能適時增加單點水平風場的剖面觀測(探空、剖風儀)，此問題將可獲得改善。此外，NEXRAD 雷達即將建立，觀測半徑的增加 (230KM)，將可大幅提昇本文分析方法的適用範圍。

參考文獻

- 周仲島，張保亮與李文兆，1994：都卜勒雷達在颱風環流中尺度結構分析的應用。大氣科學，22，163-187。
- 鄧秀明與周仲島，1996：鄰近雷達颱風中心定位與最大風速半徑的決定。投稿大氣科學。
- Barnes, G.M., and G.J. Stossmeister, 1986: The structure and decay of a rainband in Hurricane Irene (1981). Mon. Wea. Rev., 114, 2590-2601.
- Bluestein, H.B., and D.S. Hazen, 1989: Doppler-radar analysis of a tropical cyclone over land: Hurricane

Alicia (1983) in Oklahoma. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2594-2611.

Desrochers, P.R., and R.J. Donaldson Jr., 1992: Automatic tornado prediction with an improved mesocyclone detection algorithm. *Wea. Forecasting*, 7, 373-388.

Lee, W.-C., B.J.-D. Jou, and B.-L. Chang, 1993: Nowcasting typhoon circulation using Doppler radar: The ground-based VTD (GBVTD) technique. Preprints, 26th Int. Conf. on Radar Meteorology, Norman, OK, Amer. Meteor. Soc., 83-87.

Lee, W.-C., F.D. Marks, Jr., and R.E. Carbone, 1994: Velocity Track Display-A technique to extract real-time tropical cyclone circulations using a single airborne Doppler radar. *J. Atmos. Oceanic Tech.*, 11, 337-356.

Marks, F.D., and R.A. Houze, Jr., 1984: Airborne

Doppler radar observation in Hurricane Debby. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 65, 569-582.

Marks, F.D., and R.A. Houze, Jr., 1987: Inner core structure of Hurricane Alicia from Doppler radar observations. *J. Atmos. Sci.*, 44, 1296-1317.

Marks, F.D., R.A. Houze, Jr., and J.F. Gamache, 1992: Dual-aircraft investigation of the inner core of Hurricane Norbert. Part I: Kinematic structure. *J. Atmos. Sci.*, 49, 919-942.

Wood, V.T., 1994: A technique for detecting tropical cyclone center using a Doppler radar. *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, 11, 1207-1216.

Wood, V.T., and R.A. Brown, 1992: Effects of radar proximity on single-Doppler velocity signatures of axisymmetric rotation and divergence. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 2798-2807.

致謝：本文在國科會專題計畫經費補助支援下完成，計畫編號為：NSC85-

2111-M-002-005 AP6。