

雷達回波資料應用於颱風結構分析之研究

陳文恭 許皓淳

中央氣象局

摘要

每年夏秋之際常有數個颱風撲向本島，其所挾帶的強風及豪雨常造成難以估計的損失。幸而本局可以利用各種氣象觀測儀器來對颱風的行徑加以監視，提供民眾防颱的參考。而氣象雷達除了可用來監視颱風動向外，更可對於颱風眼牆與雨帶的結構變化，提供雷達範圍內觀測的即時數據資料。因此對於產生降水的颱風雨帶、眼牆以及眼的形狀，均可利用氣象雷達作更精確的分析。

本研究是利用高雄及花蓮雷達站所錄下的颱風逐時數據回波資料，對韋恩、傑魯得、琳恩、亞力士、黛特與楊希等六個不同路徑、強度的颱風，分析其眼牆與雨帶的結構如何受到台灣地形的影響而產生變化。

結果顯示：利用氣象雷達除可以清晰的觀測到颱風眼牆回波的旋轉及變化情形外，更可觀測到颱風受到地形阻隔時，雲帶的強弱與增減變化、颱風眼形狀的改變，以及眼牆隨颱風移動方向的傾斜等現象。

一、前言：

中央氣象局利用雷達進行氣象觀測已有數十年的歷史，早期台灣地區的傳統氣象雷達並未配備數據化的回波資料記錄設備，因此有關雷達在颱風預報分析作業的應用上，一直未受到重視；僅利用PPI或RHI的照片或描圖資料來作分析，無法有效掌握颱風的回波結構。現所使用的氣象雷達為美國EEC公司所製造之10CM波長（S波帶）雷達，分別為WSR / 74S（花蓮雷達站）及WSR / 81S（高雄雷達站）兩部，均已配備了數據化的回波資料記錄設備，可以提供解析度更好的資料。

颱風是台灣地區夏秋之際最重要的天氣系統，因為颱風侵襲時常伴隨強風及豪雨，對農業、漁業、民生經濟、國家經建造成相當大的影響。根據謝和陳（1986）的分析：台灣平均每年在颱風災害的損失高達新

台幣74億元左右。國內氣象作業單位及學術單位有鑑於此，近年來對於颱風的生成、發展迄於颱風路徑、強度、環流場，甚至地形、降雨量與颱風的關係提出了不少的研究報告。如王（1989）蒐集了自1949年到1988年的颱風資料，討論侵台颱風的風場特性以及在各地區所造成的最大陣風等，提出了相當有參考價值的報告。林與徐（1988）則利用高密度的雨量站資料，將不同路徑的颱風統計其降雨變化，提供預報作業實質的參考價值。至於針對颱風的個案研究，那就更不勝枚舉了。然而過去研究學者所較常利用的方法主要有綜觀天氣分析、統計方法、客觀分析及預報模式。所應用的資料除了基本的觀測資料外，比較常用的還有探空資料、海溫報告以及衛星資料。至於雷達資料的分析與應用，近年來則有張等（1988）利用花蓮雷達數據資料分析颱風的降水回波結構，李等（1988）利用都卜勒雷達資料分析颱風風場的變化情形，丘等（1991）利用雷達回波及探空資料將各種降水系統、

以及回波的特性及其動力結構加以分類，曾和陳（1991）利用都卜勒雷達探討通過台灣北部的鋒面系統等。至於許（1991）則對侵襲台灣的四個颱風，利用雷達資料詳細分析其結構，並收集雨量資料來校正雷達的降雨量估計，並已獲得相當不錯的成果。

由於雷達可以對其觀測範圍內的颱風，提供近似瞬間定性及定量的訊息，能即時顯現解析度相當高的降水結構圖，以幫助預報人員得知降水系統內的三度空間結構。同時雷達的觀測又不受時間及空間間隔的限制，可以彌補傳統觀測網的不足。因此單單應用雷達資料來分析颱風，即可使吾人對颱風的兩帶、颱風眼牆回波的旋轉及變化情形、受到地形阻隔時雲帶的強弱與增減變化、颱風眼形狀的改變，以及眼牆隨颱風移動方向的傾斜等現象有更進一步的瞭解。而雷達

二、韋恩颱風：

圖1 是六個颱風於資料分析前後的最佳路徑（Best Track），時間採用世界標準時。韋恩颱風是台灣颱風史上相當奇特的颱風：於民國75年8月18日1200 UTC在呂宋島西方生成，9月6日減弱為熱帶性低壓，期間長達20天之久。除對台灣造成嚴重災害外，並締造了三項歷史性記錄：(1)三度威脅台灣陸地及附近海域(2)二度登陸台灣(3)首次直接由濁水溪口登陸並侵襲雲林地區。韋恩颱風約在8月21日2230UTC自濁水溪口登陸，除引起沿海低窪地區的海水倒灌外，並造成嘉南地區整日豪雨不斷，損失達兩百億元的災情。由登陸前後的雷達照片判斷（王等，1990），強回波雲帶在登陸前主要發生在颱風眼的南側，然後有向西側偏移的傾向，到登陸時強回波幾乎佈滿颱風眼的西側。

圖2 所顯示的為登陸前後的四個時間回波圖。21日1802UTC（圖2a）韋恩颱風中心約在澎湖西方20公里，颱風眼呈現圓形，半徑約10公里。此時颱風的中心氣壓約為955毫巴，最大風速每秒35公尺，屬於中度颱風。其眼牆非常的明顯，至於在颱風中心的南側則有一條雲帶（Cloud Band）圍繞颱風中心旋轉，強

站觀測人員平時所能掌握的資料，除了預報中心定時所傳送的傳真天氣圖外，就是即時的雷達掃描資料。因此如何運用這些現成的資料來配合理論，而掌握颱風的結構及未來可能的發展，即是本文所將探討的重點。本研究即是從雷達站觀測人員所僅能立即掌握的雷達數據資料來分析颱風結構，以探討雷達觀測人員如何來對侵台颱風的結構，獲得進一步的瞭解。

個案選取近年來五個曾登陸台灣並造成災害的韋恩、亞力士、傑魯得、楊希及黛特颱風，以及一個雖未登陸但卻造成台北地區大水災的琳恩颱風來作颱風環流結構的分析。選擇這六個颱風個案的理由主要是這些颱風的回波相當清晰也頗具代表性，同時其中有三個颱風且有完整的定高度回波數據資料（CAPPI）可以分析其垂直結構。

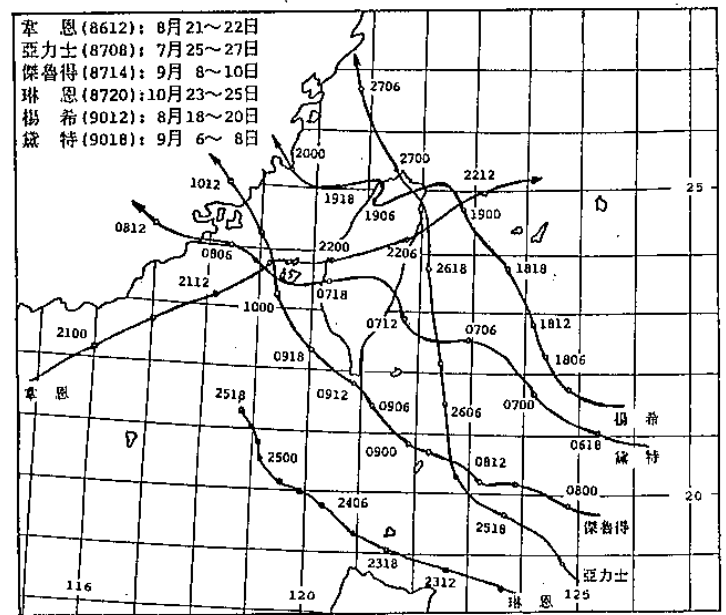


圖 1：本文所研究的六個颱風的最佳路徑。

度約45dBz。一小時後（圖2b）南側的雲帶逐漸變長並靠近颱風中心，幾乎已快成為眼牆的一部份，而圍繞中心旋轉的雲帶則比前一小時明顯。颱風登陸的瞬間（圖2c）颱風眼並未驟然縮小或變形，但圍繞中心旋轉的雲帶則受到地形影響而有明顯的變化。很顯然的，颱風眼牆強回波雲帶的分布並不對稱，強回波主要分布在颱風眼的南側。登陸後90分鐘（圖2d），颱

圖 2a CV 0202 L 8/22/1986

(DBZ)

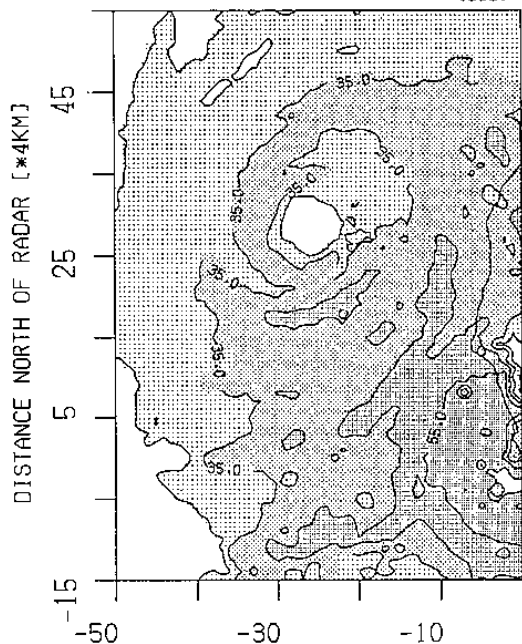


圖 2b CV 0300 L 8/22/1986

(DBZ)

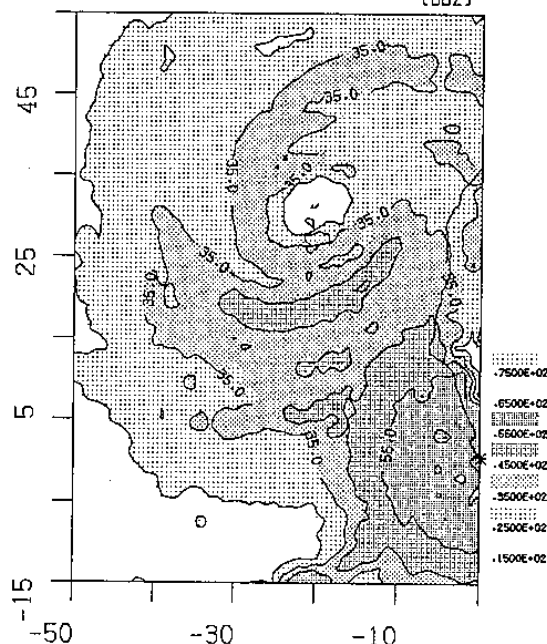


圖 2c CV 0630 L 8/22/1986

(DBZ)

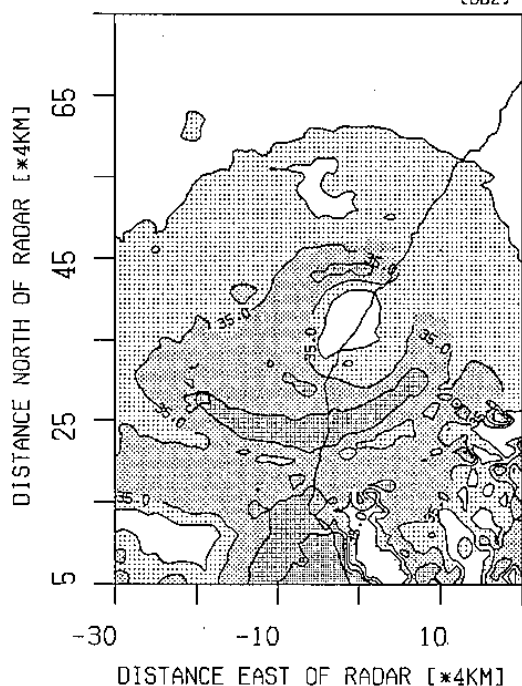


圖 2d CV 0800 L 8/22/1986

(DBZ)

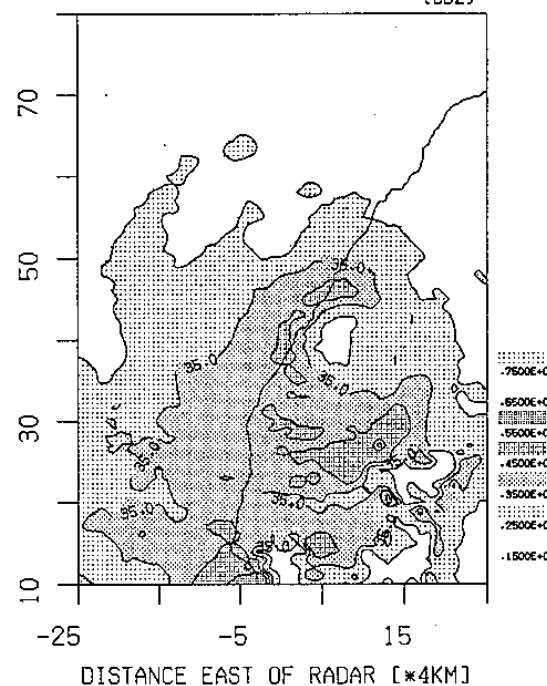


圖 2：韋恩颱風登陸前後的高雄雷達回波圖。

風眼已經縮小，同時其形狀亦被擠壓而變成橢圓型。眼牆的45dBz強回波則迅速破裂，略顯散亂，且僅分布在海岸線一帶。至於原來的完整外圍環流，也迅速減弱並且破碎。由颱風登陸後的兩小時回波資料（圖2c及圖2d），在颱風眼的南側，原有的45dBz強回波似乎是造成雲林、嘉義地區傾盆大雨、海水倒灌的原兇。

三、傑魯得颱風：

傑魯得颱風於76年9月5日0600UTC在菲律賓呂宋島東方海面生成（許，1989）。7日0000UTC於日本南方太平洋高壓增強後，使傑魯得沿著此高壓邊緣向西北方向移動並接近本島南端。傑魯得颱風的路徑

僅由恆春半島南端的巴士海峽向西北方通過，約在 9 日 1200UTC 最接近恆春半島，並未直接登陸台灣本島。圖 3a 為 9 日 0700UTC 的雷達數據回波圖，颱風中心距鵝鑾鼻約 60 公里，螺旋狀的雲帶清晰可見，在第二象限的螺旋雲帶則高達 35dBz 以上。一小時後（圖 3b），第一象限的層狀回波有破裂現象，使得颱風眼的範圍擴大了許多。愈接近陸地（圖 3c）螺旋狀雲帶更加清楚，而且有繞颱風中心逆時針旋轉的趨勢。颱風眼的形狀則逐漸受到陸地擠壓由圓形變為長橢圓形（圖 3d）。再經一個小時的發展（圖 3e），逆時針旋轉

的螺旋狀雲帶已快要包圍整個颱風眼了，此時的平均移速約每小時 10 公里。圖 3f 為 1200UTC 颱風最接近恆春半島時的回波圖，受到地形的影響使得颱風眼不再晴空無雲（15~25dBz 的回波），但仍可清楚的辨識。此時颱風的中心氣壓約為 960 毫巴，最大風速每秒 51 公尺，屬於強烈颱風。圖中可見螺旋狀雲帶不僅變厚並環繞整個颱風中心，而且在螺旋狀雲帶中有一兩個發展較激烈的對流胞，強度則超過 45dBz。進入台灣海峽南端後（圖略），由於螺旋狀雲帶受到恆春半島的地形阻擋，使得強度減弱，颱風眼也受影響而縮小。

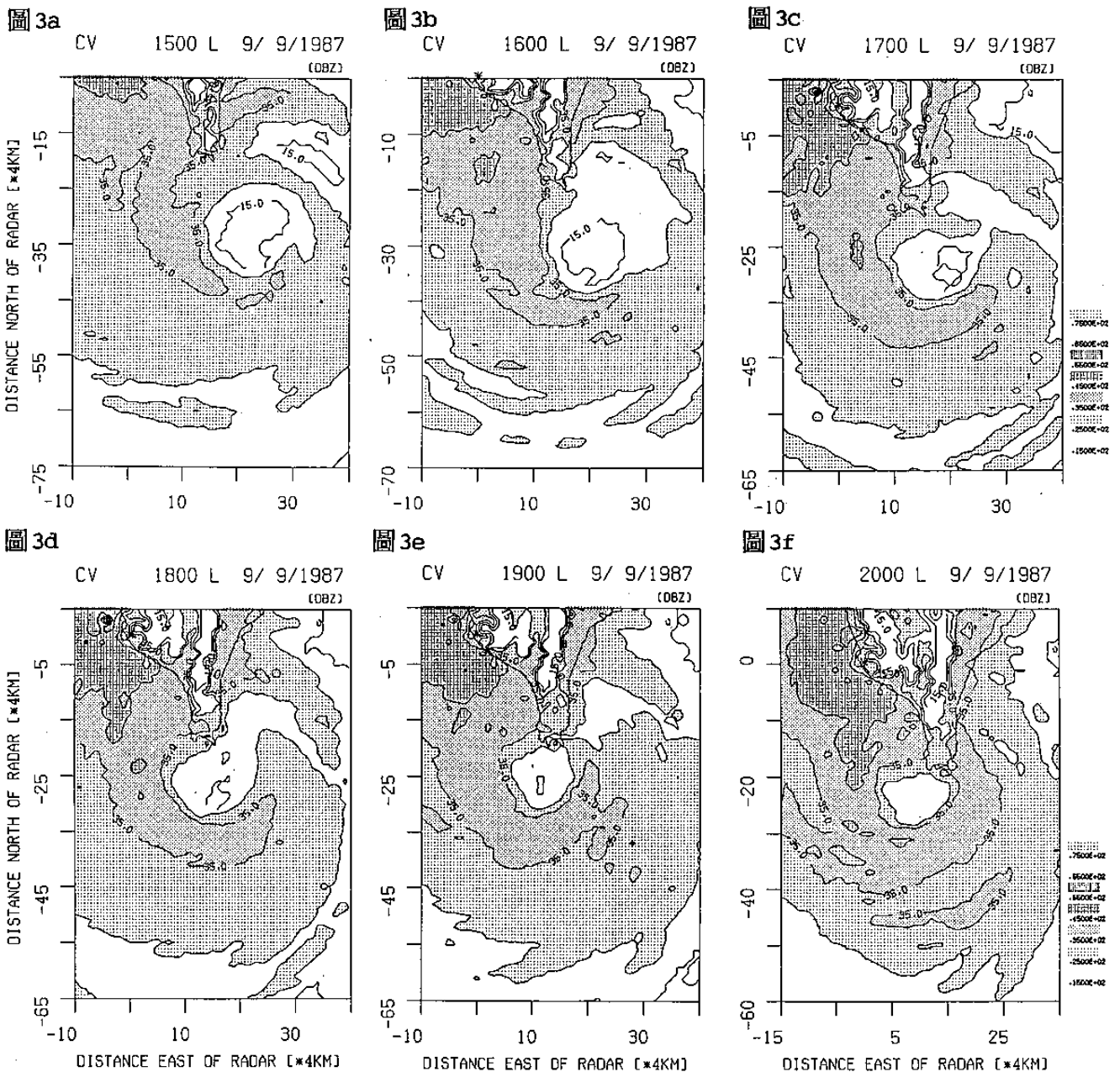


圖 3：傑魯得颱風接近恆春半島前後的高雄雷達回波圖。

四、琳恩颱風：

琳恩颱風於76年10月16日在關島東南方海面生成。琳恩颱風的中心約在24及25日兩天最接近本島，由巴士海峽通過，距恆春半島尚有兩百公里之遙，雖為中度颱風，但卻是移速最慢呈現滯留的期間，因此其環流所帶來的充沛雨量卻給台北地區造成罕見的損失。然而北部地區現在仍屬本局雷達範圍的死角，我們只能就高雄雷達站所能涵蓋的範圍內做個案的雷達分析。對高雄雷達站而言，此時的資料蒐集最為齊全。

圖4 是高雄雷達於24日0200UTC所看到的琳恩颱風環流回波。圖中所見為琳恩颱風北側環流的兩條螺旋雲帶，雲帶中也有很清晰的對流胞回波。距雷達站南方180公里的東西垂直剖面（圖4a）顯示在整片的回波中有發展較高的對流雲。距雷達站西方12公里的

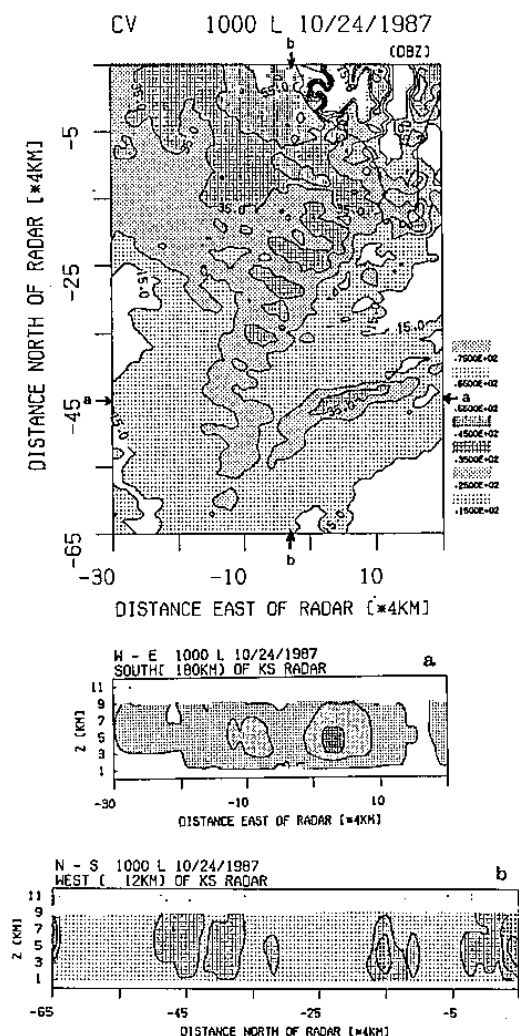


圖 4：琳恩颱風0200UTC對流雲帶的高雄雷達回波圖。
（圖中a及b為垂直剖面所切位置）

南北垂直剖面（圖4b）更加清楚的指出除螺旋雲帶所在位置外，大部份則為層狀回波。接下來的兩小時裡，北方的螺旋雲帶受到地形的破壞，已經在減弱中，而較靠南方的螺旋雲帶則正在組織。最後，南側的螺旋雲帶迅速發展成35dBz以上的雲帶，而北側則破碎得幾乎難以分辨。圖5是24日0500UTC的雷達回波，通過恆春半島的螺旋雲帶發展得相當的強烈，最大的回波值超過45dBz以上。對此螺旋雲帶分別切取東西向三個不同距離的剖面（圖5a、5b、5c），回波最強的對流胞高度約在3公里附近，而且愈往颱風中心旋轉接近，則對流胞愈有往上抬升且向前傾斜的趨勢。很顯然的愈接近颱風眼，對流胞愈容易受到較大的抬升力，使得發展的高度也逐漸上升。

（在本個案中，CAPPI受整體颱風預報作業的影響，僅錄製1~9公里的資料）。

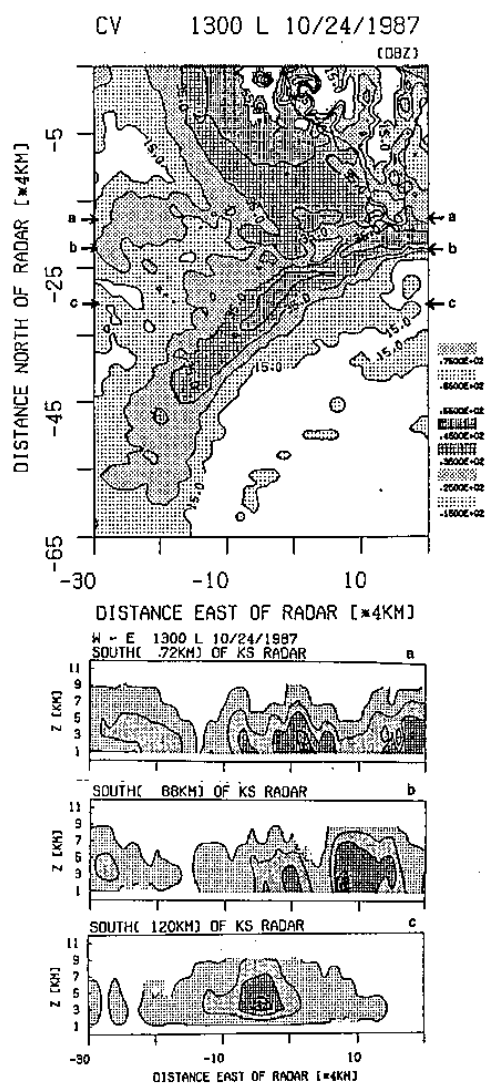


圖 5：琳恩颱風0500UTC對流雲帶的高雄雷達回波圖。
（圖中a,b,c為垂直剖面所切位置）

五、亞力士颱風：

亞力士颱風於76年7月23日在菲律賓東方海面生成，且於26-27日侵襲台灣東部及東北部，最後於28日消失在長江口附近。亞力士颱風初自台灣東側北上，在侵台初期曾於台中西方海峽中產生副中心。當颱風中心於蘇澳附近登陸時，副中心環流隨即消失，同時併入主環流系統。

圖6為亞力士颱風27日清晨兩點的雷達回波圖，颱風中心位置約在花蓮東南東方72公里的海面上，颱風眼的東側則有無雲的空隙。較強的回波落在颱風眼的西側及南側，強度約35dBz，結構看起來則相當

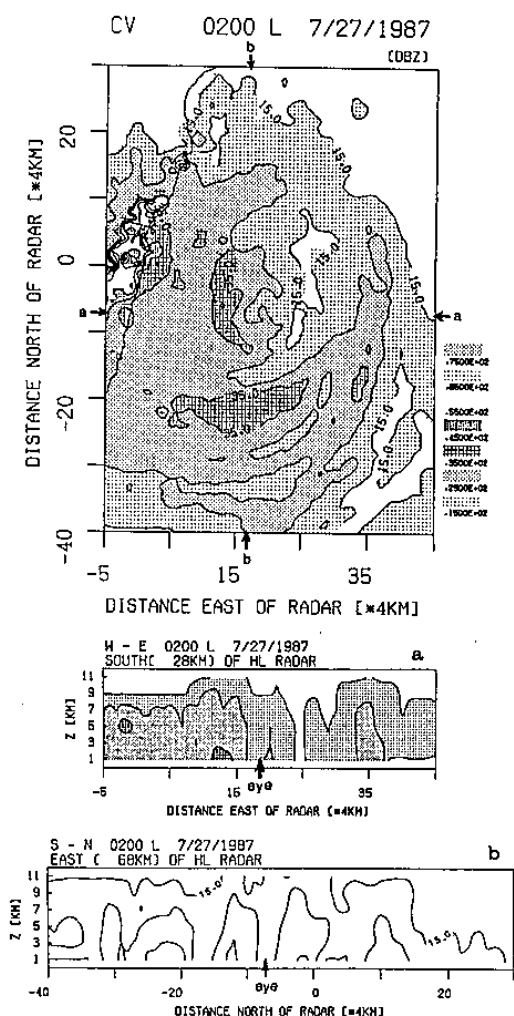


圖6：亞力士颱風1800UTC的花蓮雷達回波圖。
(圖中a及b為垂直剖面所切位置)

堅實。由東西向與南北向的垂直剖面圖(圖6a、6b)除可清晰的看到颱風眼的眼牆結構外，同時雲帶的發展也高達7-11公里，同時在颱風眼附近的眼牆有向北往上傾斜的現象(圖6b)，而此時亞力士颱風的路徑也是偏北，與琳恩颱風(圖5a-5c)雲帶中的對流胞沿前進方向傾斜的現象類似。這種傾斜現象可能是在颱風結構中，低層環流受到地形阻擋及摩擦效應，使得高層風比低層風略快所造成的。圖7(26日2130UTC)亞力士颱風正在登陸台灣東北角，螺旋狀雲帶很明顯的被地形所破壞，平均強度降低了10dBz。東西向的垂直剖面(圖7a)更可以看到颱風的高低層環流正在過山之中，所以颱風眼牆及其對流胞有向西側的山脈爬升的現象。

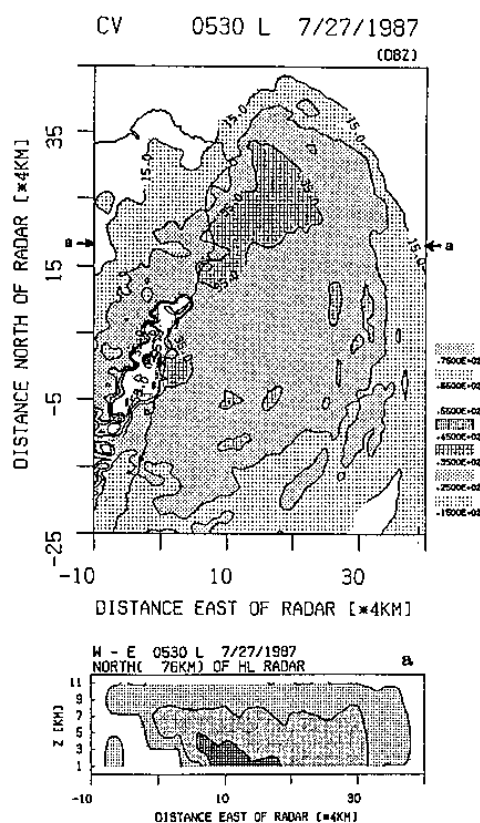


圖7：亞力士颱風2130UTC的花蓮雷達回波圖。
(圖中a為垂直剖面所切位置)

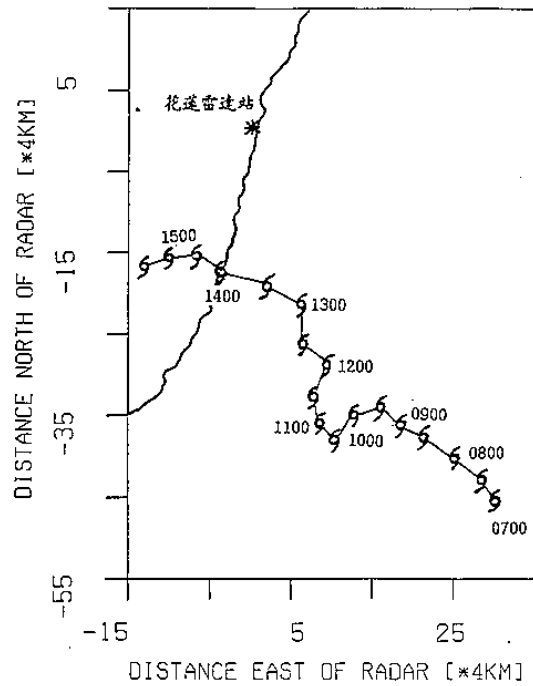
六、黛特颱風：

黛特颱風於79年9月4日在關島西方海面生成後，即以相當穩定的路徑向西北西的方向移動，直撲台

灣。約在 7 日 1355UTC 自花蓮南方的秀姑巒溪口登陸，而在 1800UTC 由虎尾溪口進入台灣海峽，最後在 8 日 0800UTC 由金門北方登陸大陸。由於黛特颱風直撲花蓮，因此花蓮雷達站掌握了這個颱風相當清晰的回波資料。由本個案的回波分析，我們將可清楚的看到颱風受中央山脈地形影響而產生的擠壓變形，以及颱風眼在尋找登陸河口時，有趣的擺動現象。

圖 8 為黛特颱風自 0700UTC - 1530UTC 每半小時觀測的雷達回波所描繪的颱風眼所在位置。黛特一直維持西北西的方向（圖 9a），但在其西北方向的主環流雲帶受到地形的阻擋而增強為 35dBz 的同時，其颱風眼的中心也受迫向西南偏移（圖 9b）約 50 公里。1100UTC（圖 9c）眼牆接觸到陸地，黛特颱風開始尋找登陸河口而呈現左右擺動、忽緩忽急的軌跡（圖 8）。登陸前（圖 9d）25 分鐘，颱風眼的中心仍很明顯的在海上，但颱風左側的眼牆已逐漸由秀姑巒溪口向西潰流。颱風登陸 5 分鐘後（圖 9e），颱風眼幾乎已全部進入秀姑巒溪，遺下層次分明的颱風右半部的雲帶結構。由圖 9d 來對照，很明顯的發現颱風在找到登陸河口時，颱風眼牆會逐步向河口潰流。這個現象在衛星雲圖上，受限於觀測時間以及俯視的角度、解析度等，因此並無法像雷達一樣的清晰。所以雷達的即

圖 8： 黛特颱風自 0700UTC - 1530UTC 每半小時一次雷達回波所觀測到的颱風眼位置



時性守視，極有助於決定颱風的登陸地點及可能發生的時間。

韋恩颱風雖也是自河口登陸，但因西部河口與平原落差不大，因此颱風眼牆的潰流現象不若黛特颱風登陸秀姑巒溪口時，海岸山脈與中央山脈的落差明顯而產生的潰流現象。顯然利用潰流現象來輔助對颱風的登陸地點的判斷僅適宜颱風自東部河口登陸時較佳。

圖 9a

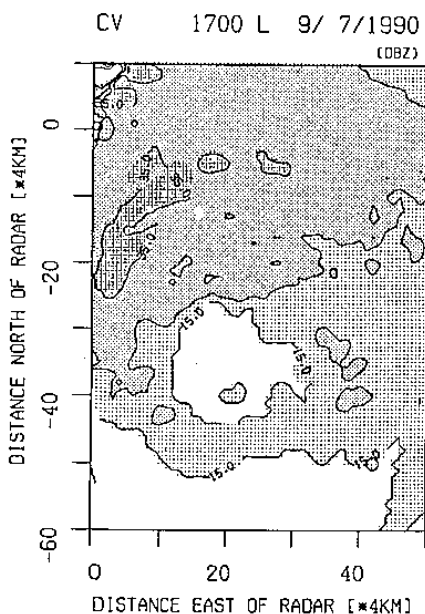


圖 9b

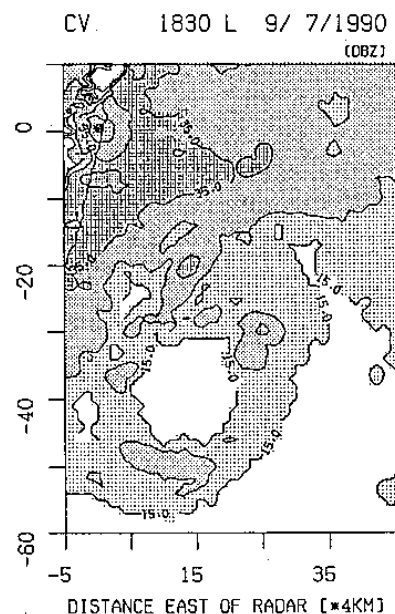


圖 9c

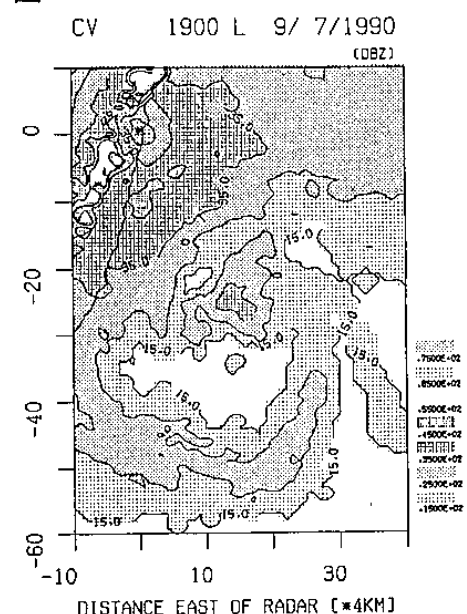


圖 9： 黛特颱風的花蓮雷達回波圖。

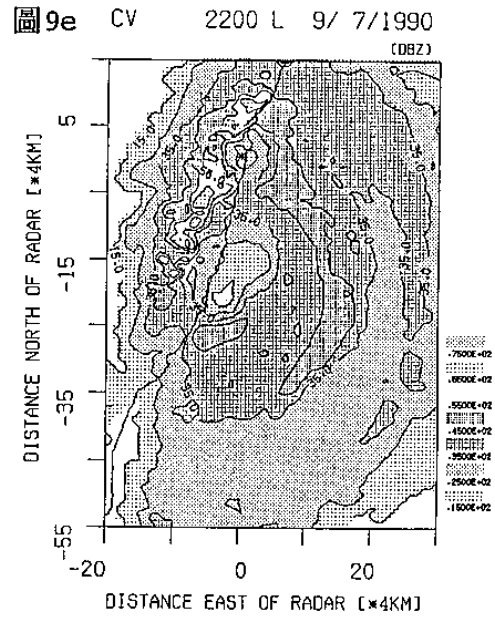
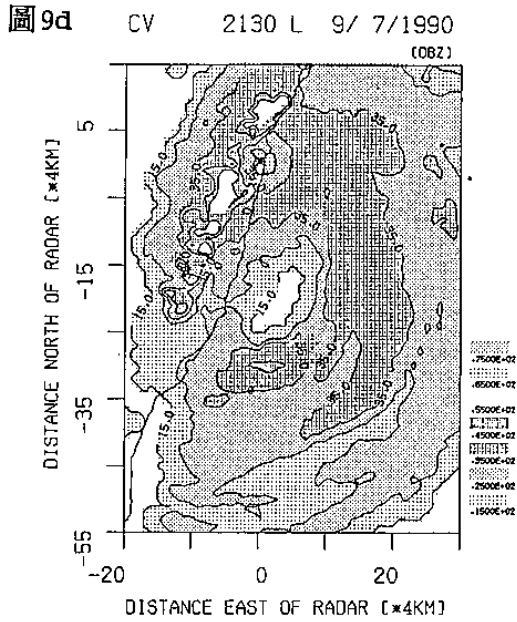


圖 9：繼續(圖9a可以清楚的看到由秀姑巒溪口向西潰流的現象)。

七、楊希颱風：

楊希颱風於79年 8 月14日在關島附近海面生成後，即以偏西方向轉偏西北西方向移動，一直到靠近台

灣東北部海域時，方才呈現左右搖擺的詭異路徑。楊希颱風約在19日0230UTC自基隆、宜蘭之間登陸，沿基隆河谷通過台北，然後在桃園、新竹間滯留達12小時，最後於1500UTC由新竹附近進入台灣海峽。

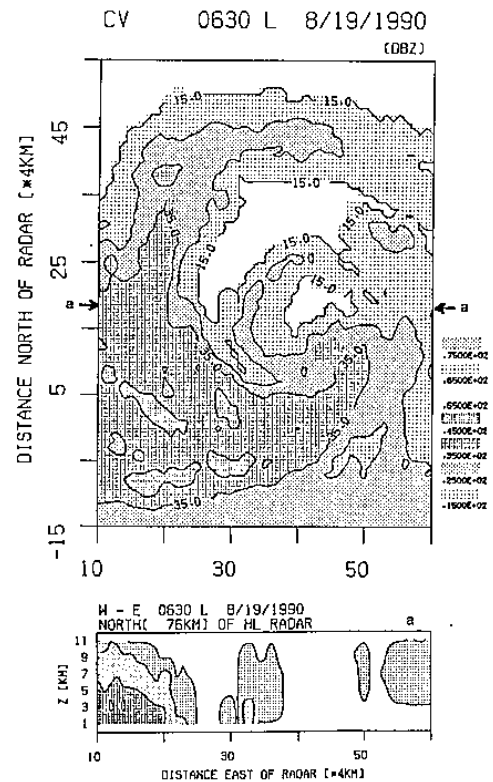
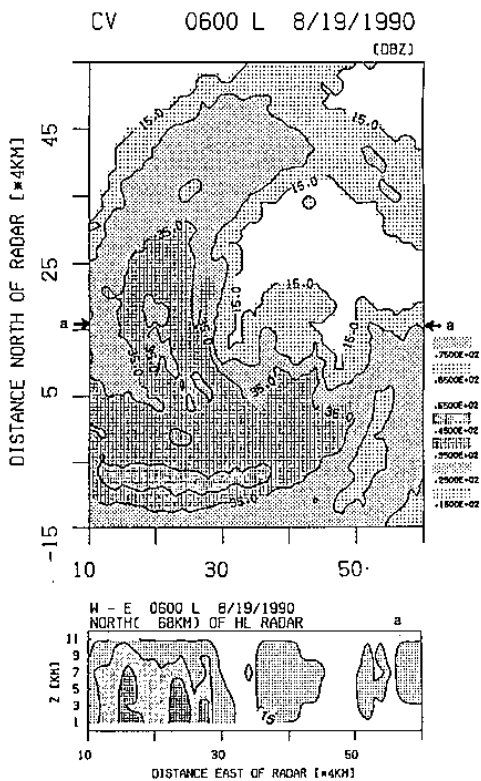


圖10：楊希颱風18日2100UTC的花蓮雷達回波圖。(圖中a為垂直剖面所切位置)

圖11：楊希颱風18日2130UTC的花蓮雷達回波圖。(圖中a為垂直剖面所切位置)

本個案將可看到颱風眼牆附近強回波帶受到地形阻擋時，在短時間內所發生的位置偏移情形。圖10楊希颱風中心距離台灣陸地大約130公里，由圖10a的東西向垂直剖面可以清楚的看到強回波雲帶位在颱風眼的西側，且呈現數條各自獨立的雲帶。半小時後（圖11）颱風眼已經變得相當明顯，眼牆也有增強的跡象，而且其西側的強回波雲帶除了增厚外（圖11a）結構也更加堅實。圖12顯示颱風更靠近台灣，中心距離台灣

陸地僅約70公里。此時颱風眼左側的眼牆逐漸受到陸地的破壞而減弱，但是原先較弱的右側雲帶則開始增強，半小時之後（圖13）其厚度大約增加達一倍。圖12a及圖13a橫座標0-10之間無回波，是因為花蓮雷達站受到雪山山脈北側阻擋而無法觀測所致。由於楊希颱風由基隆、宜蘭之間向西南方向登陸，花蓮雷達站無法觀測，所以無法看到是否有類似亞立士颱風登陸時，高層環流比低層環流略快，而產生的傾斜現象。

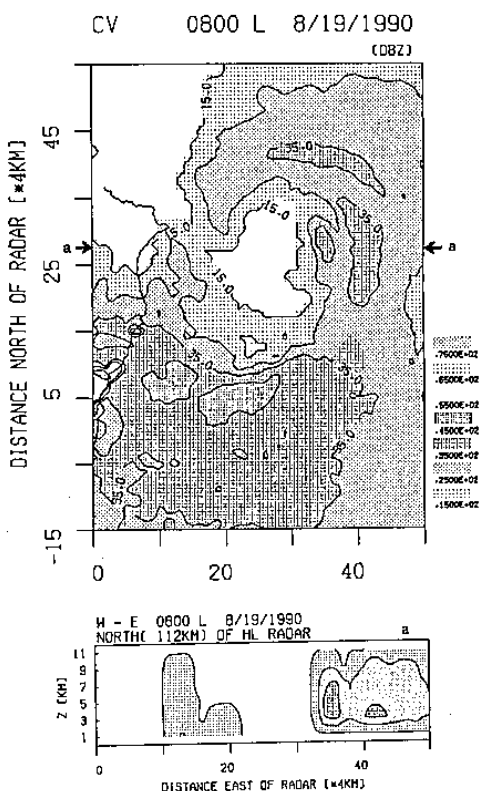


圖12：楊希颱風19日0000UTC的花蓮雷達回波圖。
(圖中a為垂直剖面所切位置)

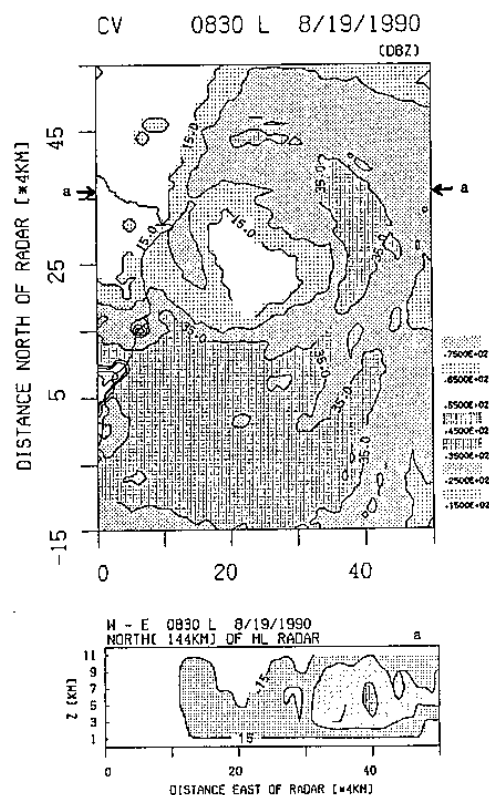


圖13：楊希颱風19日0030UTC的花蓮雷達回波圖。
(圖中a為垂直剖面所切位置)

八、結論：

颱風登陸前的路徑、強度、環流等的改變相當迅速且詭異，幸好我們可以利用雷達所具備的遙測及高解析性能，來協助預報人員對侵台的颱風結構作更完善的分析。由本研究中我們可以歸納出幾點結論：

(一) 繞颱風眼牆旋轉的雲帶在颱風登陸前後的瞬間，會受到地形影響而有明顯的變化，而且這種變化相當迅速。至於逆時針旋轉的螺旋狀雲帶與颱風眼的形

狀更容易受到陸地的擠壓而產生變形。同時，颱風眼牆強回波雲帶的分布並不對稱。

(二) 颱風的螺旋狀雲帶中會有獨立發展且較激烈的對流胞，其強度與大小可以藉由雷達來清楚的分析。

(三) 颱風眼附近的眼牆在颱風過山時會隨著整個颱風系統的移動方向，而有向上層傾斜的現象。這種傾斜現象可能是在颱風結構中，低層環流受到地形阻擋及摩擦效應，使得高層風比低層風略快所造成的。

四自東部河口登陸的颱風在登陸前會有明顯的潰流現象發生，我們可以利用雷達的即時守視，來輔助預報人員對颱風登陸地點的判斷。

參考資料：

- 王時鼎，1989：侵臺颱風風場特性及各地陣風預報研究。國科會防災科技研究報告77-58號。
- 王時鼎、丘台光、許皓淳、林宏聖、李育棋，1990：雷達氣象資料應用於即時天氣預報之研究(二)，中央氣象局研究報告第308號。
- 丘台光、陳台琦、王時鼎，1991：台灣地區春夏降水形態與局部環境條件分析之研究(一)。國科會防災科技研究報告79-42號。
- 林雨我、徐晉淮，1988：侵襲台灣颱風之降雨分佈研究。天氣分析與預報研討會，177-189頁。
- 李金萬、楊健生，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。
- 許皓淳，1989：民國七十六年颱風調查報告——侵台颱風(8714)傑魯得。氣象學報，35卷，343-358頁。
- 許皓淳，1991：雷達資料應用於颱風結構分析與降水之分析。氣象學報，37卷，128-146頁。
- 曾憲瑗、陳台琦，1991：都卜勒氣象雷達對台灣地區降水系統內部風場之分析第三部份：大範圍降水系統風場分析。國科會防災科技研究報告79-45號。
- 張隆男、陳台琦、何宏能，1988：亞力士颱風的降水回波結構。天氣分析與預報研討會，411-418頁。
- 謝信良、陳正改，1986：台灣地區氣象災害之調查研究(II)。國科會防災科技研究報告75-4號。

The Study of Constructure of Typhoon by using Radar

CHEN WIEN-CONG HSU HAO-CHUN

Central Weather Bureau

ABSTRACT

Radar could be used to detect the track of Typhoon and construction of eyewall and cloudband. At the meantime, it provides the reflectivity digital data of real time.

In this paper, we find that Radar could observe the rotation of eyewall, the structure of cloudband, the shape of eyes and the slope of eyewall by analyzing WAYNE, GERALD, LYNN, ALEX, DOT and YANCY Typhoons.