

## 強烈颱風碧利斯(BILIS, 2000)接近臺灣東南海域 之中尺度環流特徵

張茂興<sup>1</sup>、劉仲潤<sup>1</sup>、何台華<sup>2</sup>、魏志憲<sup>1</sup>、汪建良<sup>1</sup>

1 國防大學中正理工學院應用物理系

2 龍華科技大學通識教育中心

### 摘 要

本文利用空軍綠島雷達站之 C 波段都卜勒氣象雷達觀測資料，分析 2000 年 8 月 22 日強烈颱風碧利斯(BILIS)在開闊洋面上與接近臺灣陸地時之水平與垂直雨帶變化、以及徑向風場特徵。

當碧利斯颱風在開闊洋面時(約距綠島雷達 240~320 km)，中心區域出現雙眼牆現象，其外圍雨帶前緣之胞狀對流區域在海岸山脈的地形抬昇下，發展高度和回波強度皆大於中心眼牆，與開闊大西洋上所觀測的颶風呈現不同的類型。當颱風距離綠島雷達約 200 km 時，遠距外圍雨帶逐漸與外圍雨帶及地形繞流的對流結合，造成颱風行進方向的第二象限之對流組織持續發展，促使外圍雨帶與中心眼牆開始增強。

當颱風逐漸接近臺灣東南海域時(距離綠島雷達 100 km 以內)，位於第一、二象限的外圍雨帶開始受到東部海岸山脈的地形阻擋，部份外圍雨帶移入眼牆區域，中心眼牆的回波開始增強，強度逐漸大於外圍雨帶。當颱風更接近臺灣東南海域時，在地形繞流氣流與外圍雨帶接觸的區域，形成局部的氣流合流現象，在颱風移行方向的第二、三象限衍生大範圍的回波區。由垂直徑向風場分析，在 1.5 公里高度層以下，颱風逐漸接近台灣山脈地形，風速最大值開始往第二、三象限調整，在 2.0 公里高度以上，風速最大值則仍維持於第一象限處。

關鍵詞：颱風外圍雨帶，雙眼牆，合流。

### 一、前言

碧利斯颱風(Bilis, 2000)為繼奧托颱風(Otto, 1998)後第二個嚴重摧毀綠島雷達罩之颱風，不僅造成台灣東南海域氣象觀測作業延宕，也讓我們思考，由台灣東南海域移近的颱風，其行經路徑與台灣東南地形之間存在著何種關係，颱風內部環流與風場結構有無重大改變。本文將以地形對環流結構所產生的影響為主軸，主要利用空軍綠島氣象雷達資料，就下列方向進行研究與討論：

1. 當颱風中心距離綠島雷達 240~320 km 的開闊洋面上，其環流結構、遠距外圍雨帶演變、眼牆結構特徵等，與 Willoughby et al.(1984)

及 Marks and Houze (1987)在大西洋上所觀測的颶風結構異同作比較分析。

2. 在颱風環流結構受到中央山脈阻擋後，中心眼牆區域及外圍雨帶因地形影響，促使回波強度改變的演變過程。
3. 探討在中央山脈與海岸山脈地形主導下，促使颱風環流及最大風速區改變的可能機制，了解不同高度的水平徑向風場分佈。

### 二、資料來源

本文利用空軍綠島 C 波段都卜勒氣象雷達，針對 2000 年 8 月 22 日侵襲台灣的碧利斯強烈颱風個案進行研析。由於綠島雷達資

料格式較為特殊，必須運用轉換軟體，將資料解壓縮轉變為普遍性格式 (universal format; UF) 後，才能再加以處理。本研究利用美國國家大氣研究中心 (National Center for Atmospheric Research; NCAR) 研發的 SOLO II 及 CEDRIC (Custom Editing and Display of Reduced Information in Cartesian Space) 等軟體來分析碧利斯颱風的雨帶、眼牆特徵與結構，且能快速修正徑向風場速度嚴重的摺錯問題。空軍綠島 DWSR-92C 都卜勒氣象雷達屬波長 5 cm 的 C 波段，位於東經 121.4 度、北緯 22.3 度，海拔高度 284 m，此雷達具有雙脈波來復頻 (Dual PRF, 3:2 或 4:3) 功能，可交互發射不同頻率的電磁波來進行掃描，使最大可辨識速度 (Maximum Unambiguous Velocity)  $\pm 15.63$  m/s 增為原來的 2 倍或 3 倍，達  $\pm 31.3$  m/s 或  $\pm 46.9$  m/s。雷達的單次體積掃描 (volume scan)，一般由低仰角至高仰角採順時鐘方向進行掃描，分為都卜勒模式及非都卜勒模式兩種方式，但無法在一個體積掃描中交替使用，掃描策略的訂定依實際天氣狀況與觀測需求可隨時更改。

在碧利斯颱風來襲的觀測期間，每小時進行 3 次觀測，雷達掃描策略說明如下：

- (一) 當颱風中心距離雷達站 240 km 以上時，於每小時 00、20、40 分執行非都卜勒模式 480 km 平面位置顯示 (PPI) 體積掃描，其掃描仰角有 0.3、0.5、1.0、2.4、4.0 度共計五層；另外於 30 分將掃描模式切換成都卜勒模式，進行 120 km 平面位置顯示 (PPI) 體積掃描，掃描仰角從 0.5、1.0、1.7、2.0、2.6、3.6、4.8、6.0、7.5、9.5 與 12.5 度，共計十一層。
- (二) 當颱風中心距雷達站 240 km 與 120 km 之間時，以執行非都卜勒模式 240 km 平面位置顯示體積掃描為主，每小時

00、20、40 分各掃描乙次，其掃描仰角 0.3、0.5、1.0、2.4、4.0 度共計五層。

- (三) 當颱風進入雷達半徑 120 km 之內時，每小時的 00、15、30、45 分則以都卜勒模式 120 km 半徑平面位置體積掃描，以獲取速度場資料，掃描仰角 0.5、1.0、1.7、2.0、2.6、3.6、4.8、6.0、7.5、9.5、12.5 度，共計十一層。

- (四) 不同掃描策略之參數資料，如下列所示：  
掃描半徑 (公里)

120	240	480
距離解析度 (公尺)		
500	1000	2000
水平及垂直角度解析度 (度)		
1°	1°	1°
取樣 (Sample)		
64	32	32
天線旋轉速度 (度/秒)		
10	6	6
最大可測徑向速度 (m/s)		
$\pm 15.63$	$\pm 3.3$	$\pm 3.3$
波長 ( $\mu$ s)		
0.8	2.0	2.0
來復頻 (PRF)		
1180	250	250

### 三、颱風環流之中尺度特徵

Black and Willoughby (1992) 分析颶風 Gilbert (1988) 時指出，螺旋雨帶通常會存在內眼牆周圍，因而形成部份或完整的對流圈，而且此對流圈通常含有一結構良好的風速極大值，此種內與外的對流圈的型態，稱為同心圓眼牆或雙眼牆颶風。由碧利斯颱風在開闊洋面的非都卜勒模式平面位置指示 (non-Doppler mode plane position indicator; 簡稱 PPI) 雷達回波演變圖來看，中尺度的降水特徵類型分為：外圍雨帶前緣

之胞狀對流(cellular convection)區域(本文稱之為遠距外圍雨帶 farther outer rainband)、外圍雨帶(outer rainband)區域及中心區域(core area)等三部份。遠距外圍雨帶、外圍雨帶及中心區域均屬於對流區域，無明顯的層狀(stratiform)降水區域。

### (一) 開闊洋面上的颱風環流結構特徵

當颱風從開闊洋面上向台灣移近的過程中，必須面對的就是中央山脈與海岸山脈的天然屏障，其外圍雨帶與眼牆的演變，均因相對於中央山脈與海岸山脈的距離不同而有所改變。本文將針對碧利斯颱風中心在距離綠島雷達約 240~480 km 與 120~240 km 時以非都卜勒模式 PPI 平面位置指示，以及在 120 km 內以都卜勒模式平面位置指示，分為三個階段，針對遠距外圍雨帶、外圍雨帶及眼牆等三個部份，探討水平回波場、垂直剖面回波場、徑向風場分佈特徵以及降雨的分佈情形，期能了解在地形影響下，由東南侵台的氣旋環流中尺度之特徵、演變過程與垂直徑向風場之分佈變化。圖 1 為 2000 年 8 月 22 日 0240UTC 之 480 km 非都卜勒模式 PPI 圖，碧利斯颱風中心在距離綠島雷達約 320 km 時，發現該颱風以雙眼牆類型出現，雖然此時中心風速已達 50 m/sec 以上，但是第一眼牆(inner eyewall)、第二眼牆(outer eyewall)皆為 C 字型態，開闊洋面上的外圍雨帶在其行進方向右側，出現較強之線狀對流回波反應，這樣的分佈型態與 Hor et al.(2005)分析 1998 年 8 月 4 日奧托(Otto, 1998)颱風相似，但是生命期僅維持約 1 小時。

#### 1. 非都卜勒模式平面位置顯示

圖 2 為 2000 年 8 月 22 日 0500UTC 之 240 km 非都卜勒模式 PPI 圖，颱風中心距離綠島雷達 100~200 km，其遠距外圍雨帶開始接觸到山脈地形時，以中心區域為原點 A，對遠距外圍雨帶 B，作垂直剖面示意圖，當颱風位於開闊洋面上時，強回波區域落在行

進方向第一象限處，遠距外圍雨帶呈線性對流狀(linear convection)，回波強度大於 45 dBZ，其次為外圍雨帶，回波強度約為 30 dBZ，中心區域為雙眼牆結構，第一、二眼牆均呈 C 字型。圖 3 由 2000 年 8 月 22 日 0500UTC，針對颱風移行方向 A 至 B 作垂直剖面分析，強回波區域落在遠距外圍雨帶及外圍雨帶，回波強度大於 45 dBZ，其次則為中心區域，回波強度約為 30 dBZ。

### 2. 降水回波分析

於 2000 年 8 月 22 日 0540UTC 之 240 km 非都卜勒模式 PPI 圖顯示，颱風中心距離綠島雷達 120 km 以內的範圍，此時遠距外圍雨帶已逐漸受到海岸山脈地形阻擋，在颱風移行方向之第二象限外圍雨帶回波強度達 45 dBZ 以上，大於遠距外圍雨帶，而第三象限之第二眼牆回波也開始增強，可達 45 dBZ，大於外圍雨帶及第一眼牆。以 2000 年 8 月 22 日 0900UTC 中尺度主觀地面分析圖(未附圖)，說明當氣旋環流逐漸進入台灣東南海域時，遠距外圍環流繞過中央山脈經過台灣海峽繞行恆春半島，產生地形繞流的角隅效應(大武地區出現偏南風系)，與第二眼牆與海岸山脈、中央山脈南段地形間形成管道效應，在颱風移行之第二、三象限處匯流輻合，造成該區域回波逐漸加強。此時碧利斯颱風個案在外圍環流開始受到東部地形影響時，所呈現的降水回波型態與 Marks and Houze (1987)及 Willoughby et al.(1984)在大西洋開闊洋面上所觀測到的颶風類型相似。

### (二) 地形影響下的颱風外圍雨帶與眼牆變化特徵

圖 4 為 2000 年 8 月 22 日 0700UTC 與 0800UTC 的兩個時間序列 CAPPI 圖，對應到颱風中心和旭海測站間垂直剖面圖，此時颱風中心距離綠島雷達 120~100 km 的範圍，顯示旭海東邊海域之外圍雨帶在第二眼牆與山脈地形間，常伴隨有強對流回波，且

時有比第二眼牆活躍的情形。颱風中心距離綠島雷達如此近的範圍時，外圍雨帶在第二眼牆與地形的範圍間，受到明顯的加強作用。

### 1. 都卜勒模式 PPI 與 CAPPI 分析

當颱風外圍環流受到東北至西南走向的中央山脈地形影響，引發地形繞流現象，這樣的情況會造成在恆春半島東方海域、台灣東南部山脈地形與颱風眼牆之間，促使氣流在其中的風速增強。當颱風移近距離綠島雷達約 80 km 距離時(如圖 5.之 2000 年 8 月 22 日 1015UTC 與 1030UTC 之 120 km 都卜勒模式 PPI 圖與垂直剖面圖)，颱風外圍雨帶開始接觸到海岸山脈，由垂直剖面分析，外圍雨帶強對流回波達 35 dBZ，大於中心區域。但當 2000 年 8 月 22 日 1100UTC~1145UTC 之 120 km 都卜勒模式 PPI 圖與垂直剖面圖(圖 6.)說明，在外圍雨帶受到山脈地形影響時，第一眼牆中心區域回波開始明顯增強(可達 45 dBZ)，大於第二眼牆及外圍雨帶，第一、二眼牆也發展成為封閉性的回波結構。碧利斯颱風在外圍雨帶受到山脈地形阻擋影響時，第二眼牆與東部海岸山脈的區域，即行進方向的第二象限，回波明顯增強、面積範圍擴大；在綠島雷達遭摧毀前之最後資料時間(2000 年 8 月 22 日 1145UTC)，第二眼牆的降水回波與恆春半島附近所產生之降水回波，產生匯流輻合現象，在第二象限附近衍生出大面積的回波區。Black and Willoughby (1992) 分析 Hurricane Gilbert(1988)時，發現颶風雙眼牆在發展期間會經歷強度上的改變，因為外圍雨帶的移入形成外眼牆收縮增強，而導致內眼牆的消散，使得颱風強度逐漸改變，而當外眼牆逐漸內縮而取代內眼牆，最後形成單一眼牆時，眼牆回波強度會大於雙眼牆強度。此個案也有外圍雨帶移入形成外眼牆收縮增強的現象，但因雷達受損而無法進一步持續觀察。

### 2. 都卜勒徑向風場分析

根據 2000 年 8 月 22 日 1100UTC 之垂直徑向風場分析，在 1.5 km 高度層之最大風速值(約 56 m/sec)位於第一象限的第一、二眼牆位置，而第二、三象限的最大風速值則為 52 m/sec，顯示第二、三象限的外圍雨帶在受到中央山脈地形阻擋時，風速有加強作用，與第一象限的數值相當。而在 2.0 km 高度層以上時，第一象限風速值達 60~64 m/sec，而第二、三象限則降為 52~44 m/sec，差值迅速擴大。

## 四、結論

由王時鼎等(1998)對於從 1897~1996 年登陸台灣的颱風做地點統計，由東方移近台灣的颱風，在總數 171 個中佔有 144 個(約 84.2% 強)，其中由台灣東南部侵台颱風達 80 個(約 46.8%)，也就是說過去近百年來侵台颱風，有近半數以上是由台灣東南方登陸，這樣的數字突顯出空軍綠島雷達所扮演的重要角色。Kuo et al. (1999)認為對於台灣東部地形坡度大，當颱風接近時，其移動路徑與伴隨的環流，均受到地形的影響，在山脈對風場的阻擋以及地形坡度的舉升下，相似的颱風路徑也伴隨著相似的風雨分佈。本文則以臺灣東部機場飛安為著眼，以空軍綠島雷達資料為基礎，探討朝西北方向移入臺灣東南陸地之颱風，地形作用與距離之間的關聯。初步的結論歸納如下：

- (一) 在颱風距離綠島雷達約 240~320 km 的開闊洋面時，強對流回波發生在外圍雨帶區域，其強度大於眼牆中心區域，主因為遠距外圍雨帶受到山脈地形舉升作用，使得台灣東部局部地區出現強降水。
- (二) 在颱風距離綠島雷達 100~120 km 的範圍內，山脈與眼牆間引發外圍雨帶管道效應，出現明顯的匯流現象，促使第二

象限回波明顯加強，中心眼牆區域的回波逐漸大於外圍雨帶。

(三) 在颱風距離綠島雷達 60~80 km 的範圍內，在台灣東部地形影響下，眼牆中心區域逐漸增強為強對流回波，而外圍雨帶則減弱為層狀回波。最後，眼牆、外圍雨帶與地形繞流的回波形成匯流，使得眼牆回波更加加強，恆春半島東邊區域降水劇增。

爾後對於具有相似路徑的颱風，其眼牆與外圍環流受地形作用下，各高度層的風速分佈、降水回波型態特徵等，本研究能提供較可靠的科學依據。特別對於東部各機場颱風警報期間的地面降水強度和風力評估，獲得重要參考資料。

### 參考文獻

- 王時鼎、謝信良、鄭明典、葉天降，1998：侵台颱風流型與颱風路徑走向間之關係研究，天氣分析與預報研討會論文彙編，台北市，268-275。
- Black, M. L. and Willoughby, H. E., 1992: The Concentric Eyewall Cycle of Hurricane Gilbert. *Mon. Wea. Rev.*, 120, 945-947.
- Hor, T.-H., Wei, C.-H., and Chang, M.-H., 2005: Doppler Radar Analysis of Typhoon Otto (1998) - Characteristics of Eyewall and Rainbands with and without the Influence of Taiwan Orography. *J. Meteor. Soc. Japan*.
- Kuo, H.-C., and Williams, R. T., and Chen, J.-H., 1999: A Possible Mechanism for the Eye Rotation of Typhoon Herb. *J. Atmos. Sci.*, 56, 1659-1673.
- Marks, F. Jr. and Houze, R. A. Jr., 1987: Inner Core Structure of Hurricane Alicia from Airborne Doppler Radar Observations. *J. Atmos. Sci.*, 44, 1296-1317.
- Willoughby, H. E., Marks, F. D., and Feinberg, R. J., 1984: Stationary and Moving Convective Bands in Hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, 41, 3189-3211.

### 2000 AUG 22 02:40UTC GRI 1° PPI

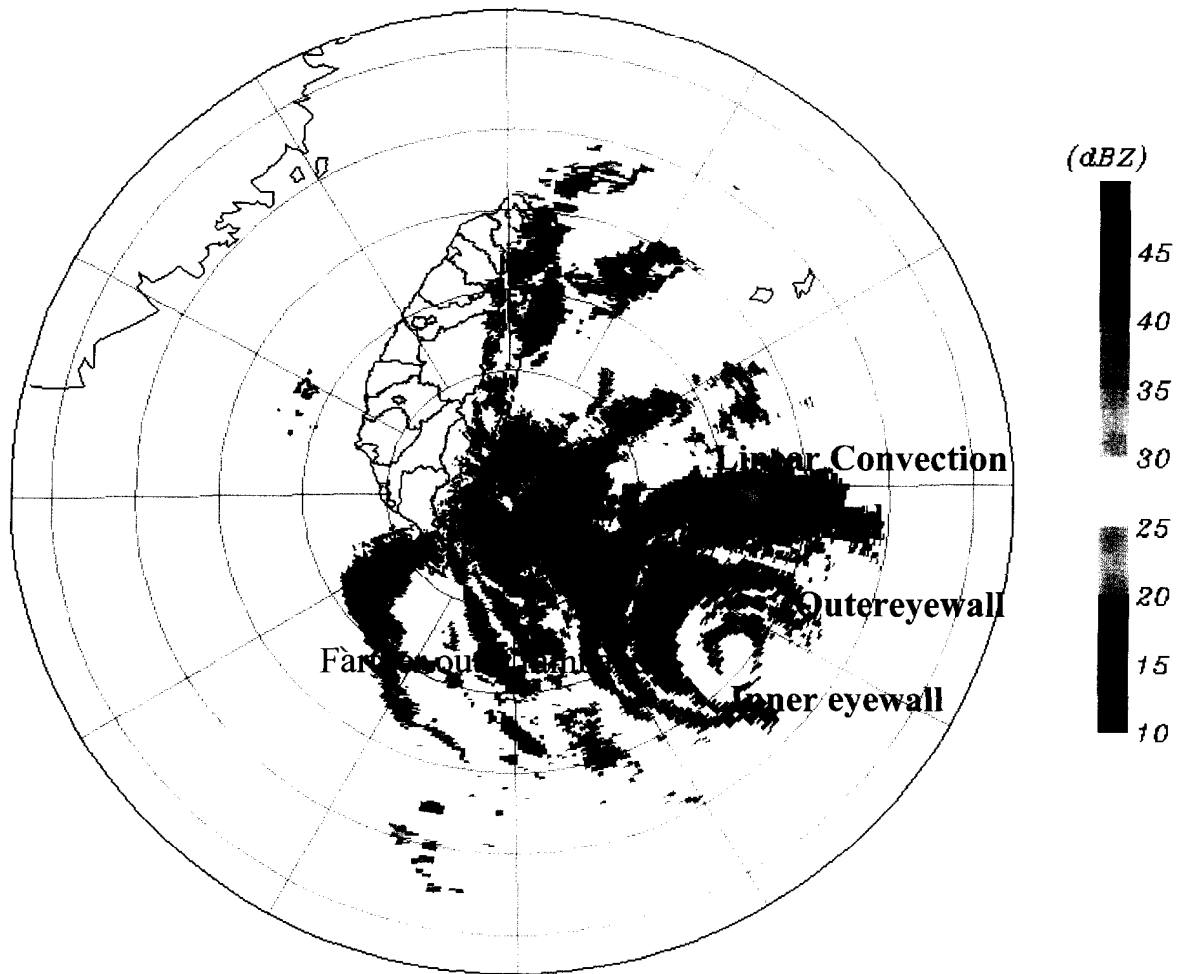
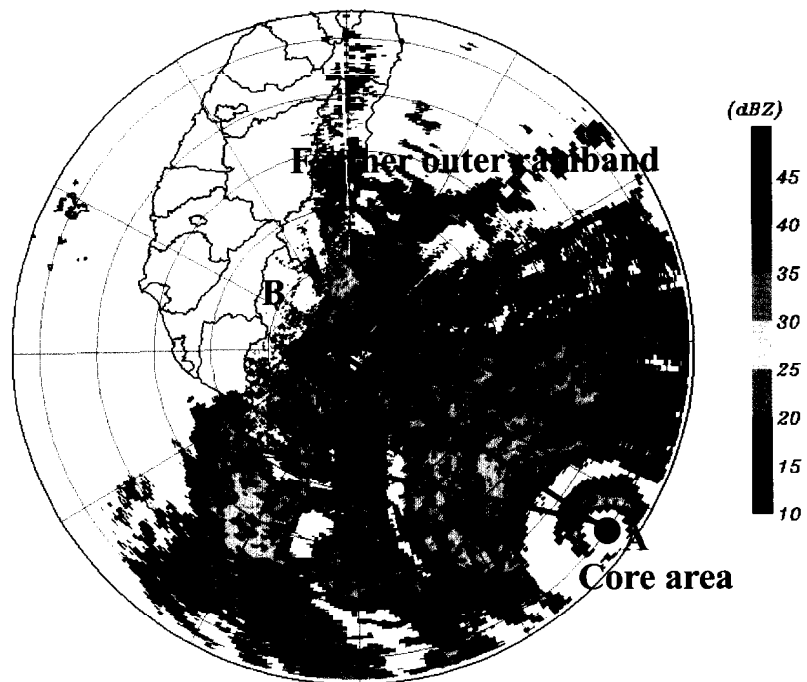


圖 1. 2000 年 8 月 22 日 0240UTC 碧利斯(Bilis)颱風之 480 公里半徑 PPI 回波圖。此圖以綠島雷達為中心，最內圈半徑 80 公里，最外圈為 480 公里

2000 AUG 22 05:00UTC GRI 1° PPI



GrADS: COLA/TCFS

2005-02-01-09-45

圖 2. 2000 年 8 月 22 日 0500UTC 碧利斯(Bilis)颱風之 240 公里半徑 PPI 回波圖。此圖以綠島雷達為中心，最內圈半徑 40 公里，最外圈為 240 公里。以颱風中心 A 為原點，分別對遠距外圍雨帶 A-B 及 A-C 作垂直剖面示意圖（如圖 3. 所示）

2000 AUG 22 05:00 UTC azimuth=300°

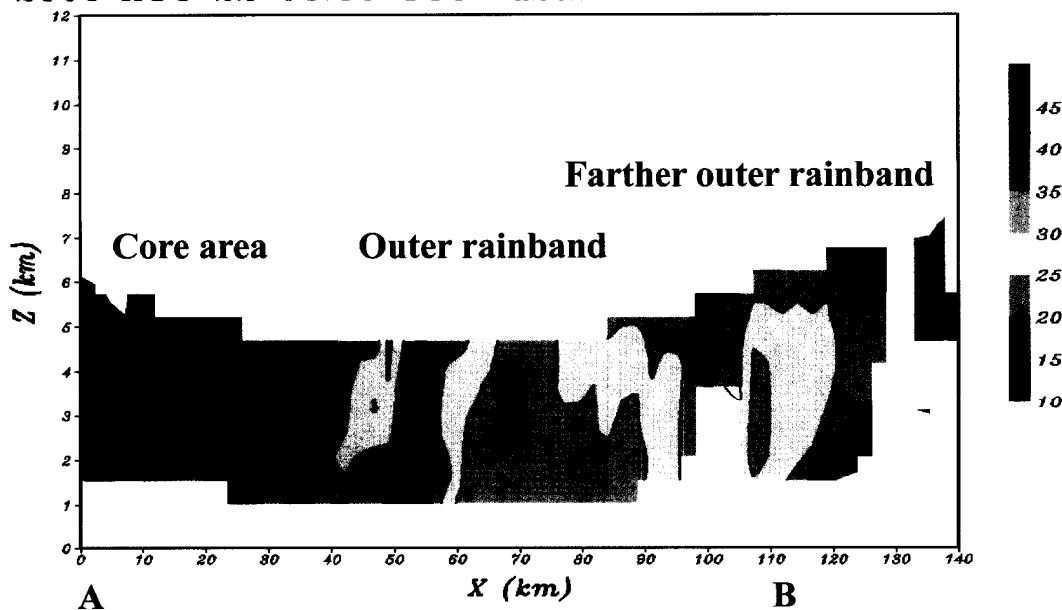


圖 3. 2000 年 8 月 22 日 0500UTC 在圖 2. 中 A-B 兩點間之垂直剖面圖。

### Non-Doppler mode cross section

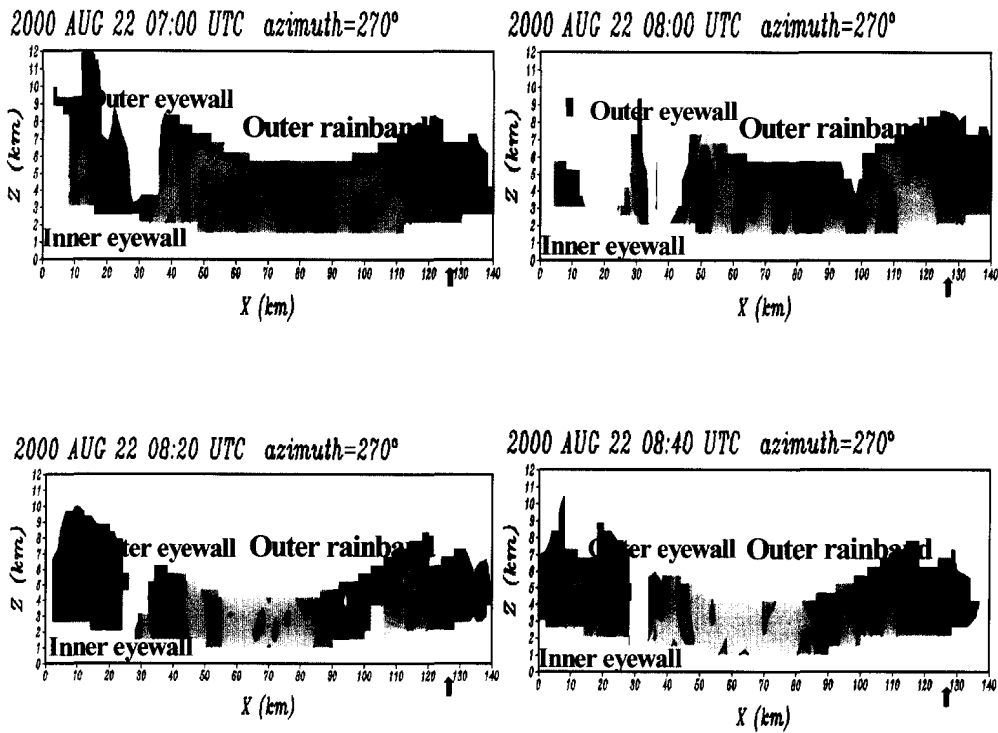


圖 4. 2000 年 8 月 22 日 0700UTC~0840UTC 碧利斯(Bilis)颱風的垂直剖面圖。紅色箭頭所指為旭海測站位置，外圍雨帶位於第二眼牆與山脈地形之間，逐漸與第二眼牆匯流，形成較大範圍的回波區。

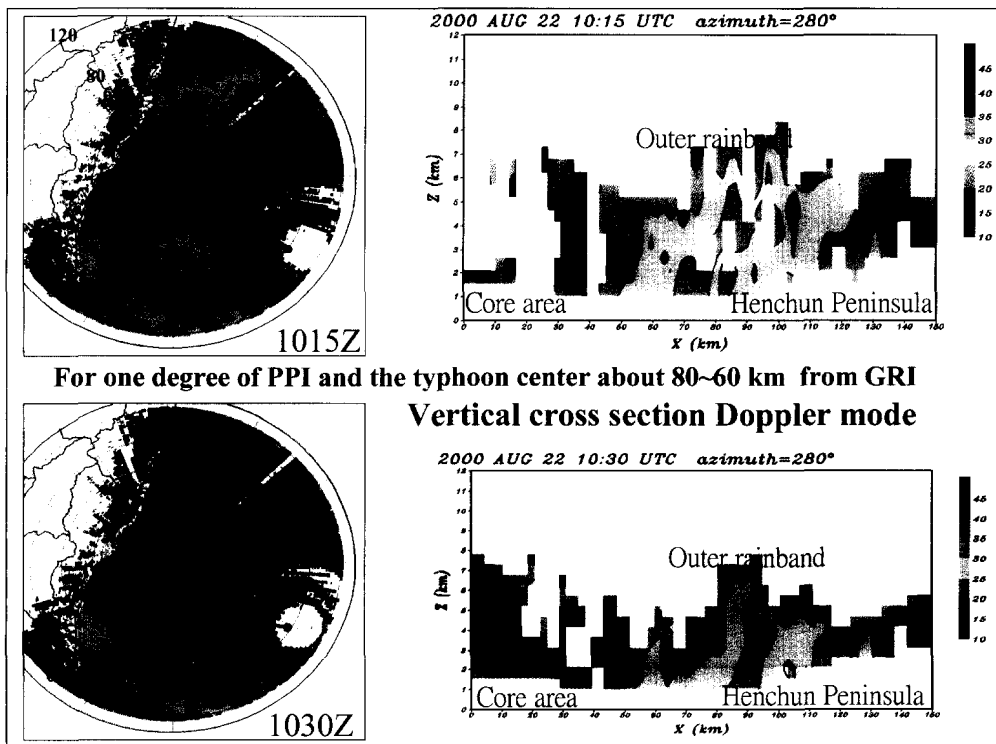


圖 5. 2000 年 8 月 22 日 1015UTC~1030UTC 碧利斯(Bilis)颱風在 120 公里半徑之 PPI 回波圖及垂直剖面圖。



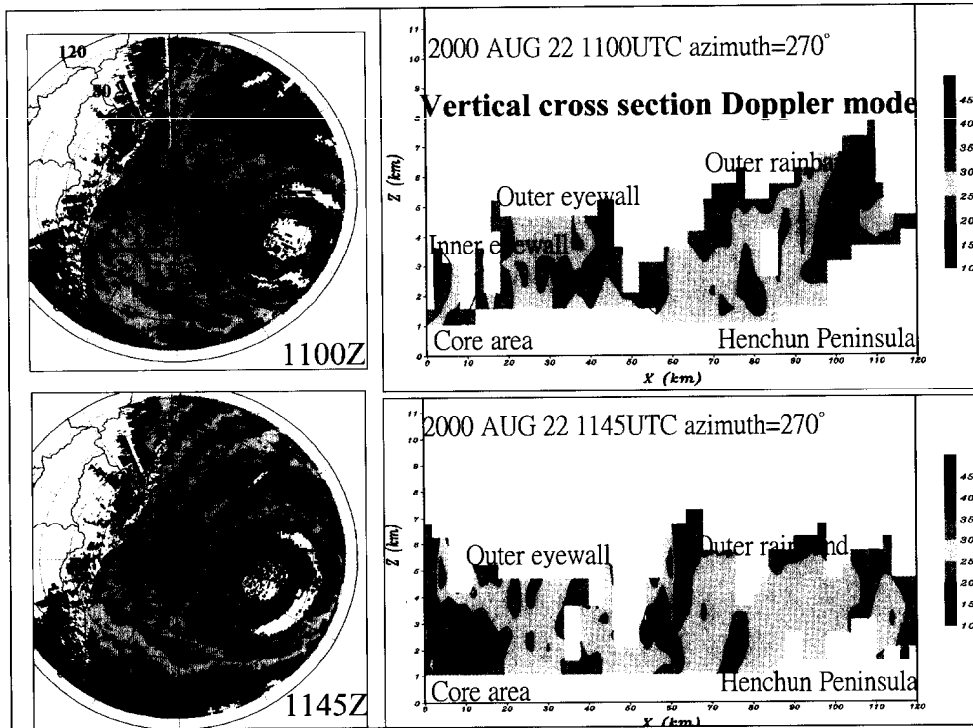


圖 6. 2000 年 8 月 22 日 1100UTC 與 1145UTC 碧利斯(Bilis)颱風在 120 公里半徑之 PPI 回波圖及垂直剖面圖。