

雙都卜勒雷達對颱風內部波型線狀回波結構分析

-麥德姆颱風個案

魏志憲、廖杞昌、陳益盛、許博翔

空軍氣象聯隊氣象中心

摘要

當颱風雨帶 (tropical cyclone rainbands) 位於熱帶氣旋內核環境之外的區域時，這些伴隨於外圍雨帶的對流胞有時可以發展成弧狀回波，觀測的結果顯示這些雨帶的降雨行為類似颱風線系統。但現階段我們對於此類颱風雨帶的特徵仍只侷限在少數幾個個案研究的結果，非常缺乏全面性或普遍性的探討。103 年 7 月 23 日麥德姆颱風中心登陸福建沿海後，外圍雨帶明顯出現波型線狀回波，由台灣海峽南側向東北方向延伸。本研究使用空軍馬公雙偏極化都卜勒氣象雷達及中央氣象局七股都卜勒氣象雷達資料，分析麥德姆颱風雨帶伴隨之波型線狀回波隨時間變化的特徵。

關鍵詞：都卜勒雷達、麥德姆颱風(2014)、波形線狀回波

一、前言

1.1 研究動機及目的

颱風外圍雨帶伴隨弧狀雨帶，其型態類似於弓狀回波(Yu et al. 2013)，系統中關於弓狀回波的研究極少，但由過去文獻中可得知波型線狀回波及伴隨之中尺度現象並非僅發生於中緯度陸地上。弓形回波所產生之劇烈天氣現象，即線狀風暴，最常見於美國大平原與中西部5~8月之暖季(John 1993；Przybylinski 1995)，歐洲地區亦偶有發生(Schmid et al. 2000；Gatzen 2004)，但這些現象在中緯度外之熱帶與副熱帶地區相關研究仍屬稀少，且過去礙於觀測資料的缺乏，對於這些系統的演變及動力過程所知有限。這些發生在熱帶或副熱帶之弓形回波與發生在中緯度地區者，其雷達回波特徵與風場結構以及系統發生之綜觀環境條件之異同，均為有趣且值得進一步探討之科學問題。

本研究特別針對麥德姆颱風在通過台灣地區時，並未造成大量災害，

反而是在其中心已接近大陸沿海，7月23日下午1530，中央氣象局發佈解除澎湖地區陸上颱風警報後，班機於西南氣流雨帶內發生空難事件，讓氣象從業人員需重視颱風外圍雨帶對飛安造成的影響。

二、綜觀天氣概述

2.1 地面天氣圖

7月23日由中央氣象局提供之地面圖(圖1)及850hPa天氣圖(圖2)顯示，麥德姆颱風為型態獨立之颱風，北側無鋒面牽引；22日原位於華北一帶之低壓，於23日時消失，並由大陸高壓取代，顯示大陸高壓勢力有增強趨勢，此一勢力代表乾冷空氣的南下，對麥德姆颱風之第1、2象限水氣供應較為不利，且大陸高壓勢力的增強，將減緩麥德姆颱風朝西北移動的速度。另一方面位於太平洋的高壓勢力亦增強，其前緣亦向西伸5個經度。由天氣圖無西南氣流或華南一帶之噴流對麥德姆颱風水氣供應的情況，另由850hPa

天氣圖分析，中南半島相對溼度場雖達 85% 以上亦有降雨，唯風向為東北風顯示未有供應水汽之情況。

2.2 地面觀測資料

馬公機場地面氣象自動觀測系統(AWOS)於 7 月 23 日從 1500 LST 至 2200 LST 時，逐分鐘天氣資料(圖 3)，圖中藍色線時間為 1530 LST，是中央氣象局解除馬公地區颱風警報時間，紅色線是 1909 LST 復興航空 ATR-500 班機失事時間。分析能見度下降、氣壓升、相對溼度升高、降雨及風場明顯的轉變，研判均為線狀回波通過馬公機場測站之時間，因此區分出四個底色為黃色區塊為我們要做分析的時間時段，由此四個黃色區塊分析，明顯可見大幅度的能見度或 RVR(跑道視程)下降，並配合降雨量(mm/min)的增加，研判能見度受到降雨的影響而迅速的降低，尤其由圖 4 中分析溫度及其溫度點差值，於第三個區段溫度露點差值最小，於 1910 LST 至 1950 LST 時數次幾近於 0，顯示在此一時段之雨勢應較其他三次為大，相對濕度

較高；其次氣溫於此四個區段時間內，均有 2~3 度不等的驟降；另外風場伴隨著風向由南南西風順時針旋轉成為西南西甚至西風的情況。由以上天氣資料分析，可得此四個時段有明顯的中尺度對流系統通過馬公機場觀測站。

此次案例依天氣資料顯示出 4 次的中尺度對流系統通過機場觀測站時間，本研究使用七股雷達掃描馬公機場上空針對第 3 個對流系統做分析。

三、 7 月 23 日 19 點 09 分 三維風場分析

第三道波型線狀回波通過馬公測站時(圖 5)，由回波場配合水平風場(如紫色虛線箭頭所示)可分析出二道線狀回波，北側回波(X:40, Y:40)位置之北邊及南邊都具有典型之氣旋及反氣旋，符合書夾渦旋型式，並在回波後緣具有後方入流，以水平風場來分析約為 2~4 m/s，此北側較小的回波具有典型弓狀回波之型態。較小的回波後方連結另一較大之線狀回波，在回

波北邊具有氣旋式環流，並在回波後緣形成入流，風速約為 10 m/s，而回波南邊無明顯的環流存在，顯示北邊有氣旋式環流，南邊無反氣旋式環流。

首先分析北邊之剖面 a-a' 做為較小之弓狀回波(圖 6)，回波後緣之氣流朝著回波方向移動(水平風速約為 8 m/s)，並有微弱的下沉運動，垂直速度 < 2 m/s，回波之前、後緣之氣流在回波最強處有風場輻合，並形成上升氣流高度達 12 公里，圖中無法分析是否具有垂直方向之繞流作用。

剖面 b-b' 為此波型線狀回波中間較接近馬公機場之位置(圖 7)，回波後緣之入流水平風速約為 10~12 m/s，回波之前、後緣之氣流與剖面相同均為吹向回波最強處，為明顯的風場輻合，輻合造成氣流上升達到 6 公里高度。分析垂直方向環流，於 5~10 公里處(距最強回波處 12 公里)為接近回波之風場，且有強烈的下沉運動，其垂直速度達到 8 m/s 並抵達地面，氣流繼續向回波移動至回波前緣(25 公里)時有上升運動，其垂直速度達 4 m/s，上升至

6 公里高度時轉為向回波後緣形成繞流現象(如綠色實線所示)。

剖面 c-c' 為此弓狀回波後段之位置(圖 8)，在回波南邊，屬於線狀回波尾端，其回波後緣之下沉氣流亦相當強烈，在水平 17 公里，高度 8 公里位置處甚至達到 10m/s 之譜，但此圖之氣流場在回波最強處僅造成輕微的上升後，持繼向東南方向移動，並未如北邊及中段在回波最強處有輻合情況產生。

由 b-b' 及 c-c' 剖面圖做綜合分析，均於回波後緣具有強烈的下沉氣流，垂直速度為 6~10 m/s，因此吾等可以合理假設在 b-c 連線處均為具有強烈下沉氣流之區域，而馬公機場正好位於此一連線的範圍內，若不注意將會對航空飛行器帶來重大影響。

由以上雙都卜勒回波場之平面風場及剖面風場配合回波位置分析，繞流現象出較易出現在線狀回波的前段及中段，向前繞流或向後繞流之方向不定，研判要視後向前的氣流與前向後的氣流比較強度後之結果決定繞流

方向；最大上升及下沉氣流均出現在回波中段位置，由此個案中發現就算是在麥德姆颱風外圍環流當中，其線狀回波內的垂直運動高度可達 10 公里，而垂直運動代表此處之氣流最紊亂，最不利於飛行器從中間通過；而後方入流(RIJ)出現在回波中段處時具有最大風速。

四、 結論

麥德姆颱風於 7 月 22 及 23 日影響台灣及澎湖地區，馬公機場於 1530 LST 解除颱風警報後至 2200 LST 有四次波型線狀回波通過，依衛星雲圖及天氣圖分析為型態獨立之颱風，其波型線狀回波屬颱風外圍環流雨帶，雖集中在第三、四象限然而並非西南氣流所造成。此四次線狀回波通過馬公地區時，均造成能見度、溫度下降、氣壓上升、雨量增加及風場轉變等天氣現象。

回波通過馬公測站時之下沉氣流、回波後方入流；強下沉氣流於線狀回波之前緣及後緣都可能出現，但下沉氣流在回波後緣出現時強度較強。下沉及上升作用造成之垂直環流於線狀回波之北端、中段及南端都可能出現，而最大 RIJ 的出現均在線狀回波中段，此結論與其他文獻相同。渦度圖顯示回波前段均為正渦度，中、後段才會出現負渦度。

由 7 月 23 日 1909 LST 之都卜勒雷達分析通過馬公機場上方之線狀回波剖面，顯示馬公機場之東北及西南方之回波後緣亦具有強烈的下沉氣流，其垂直運動速度為 6~10 m/s，而馬公機場正好位於此一範圍內。若以飛安為考量，則線狀回波進入跑道之開始與正在通過時，其內部結構前緣及回波內部具有強烈的上升氣流，而回波後緣亦有強烈之 RIJ，若 RIJ 之風向又與跑道方向呈 90 度夾角，形成側風，則側風加上強烈下沉氣流，將對飛行器將有重大影響。

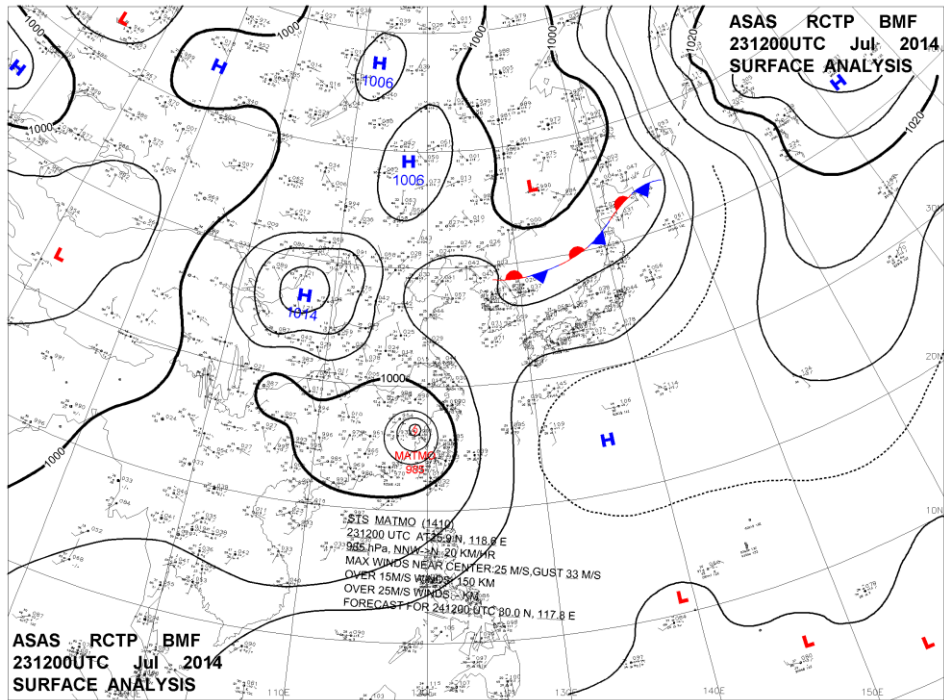


圖 1. 7 月 23 日 1200 UTC 時中央氣象局地面天氣圖。

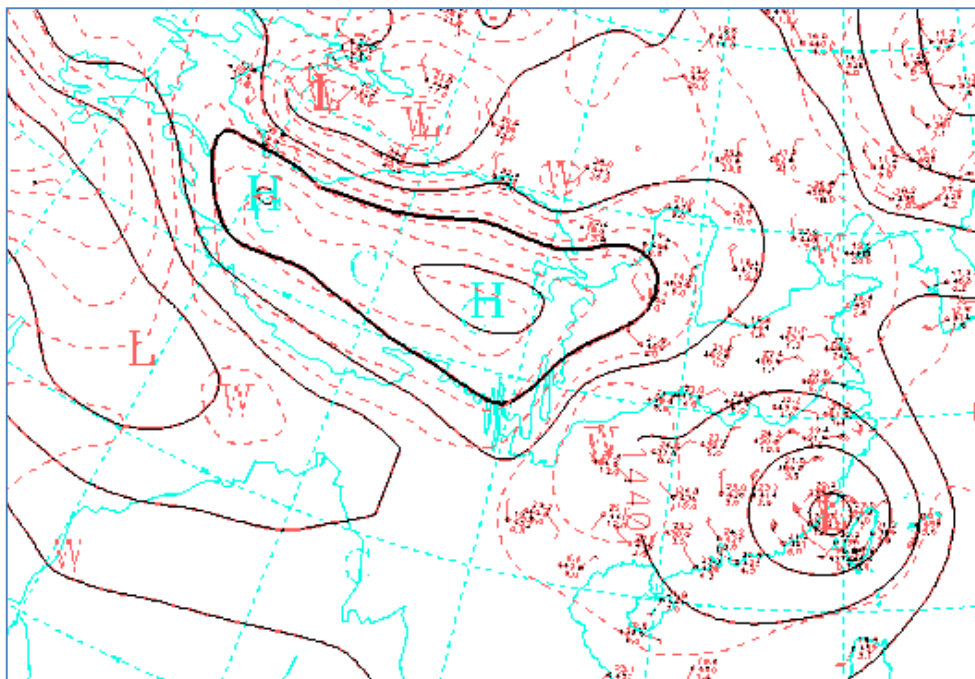


圖 2. 7 月 23 日 1200 UTC 時中央氣象局 850hPa 天氣圖。

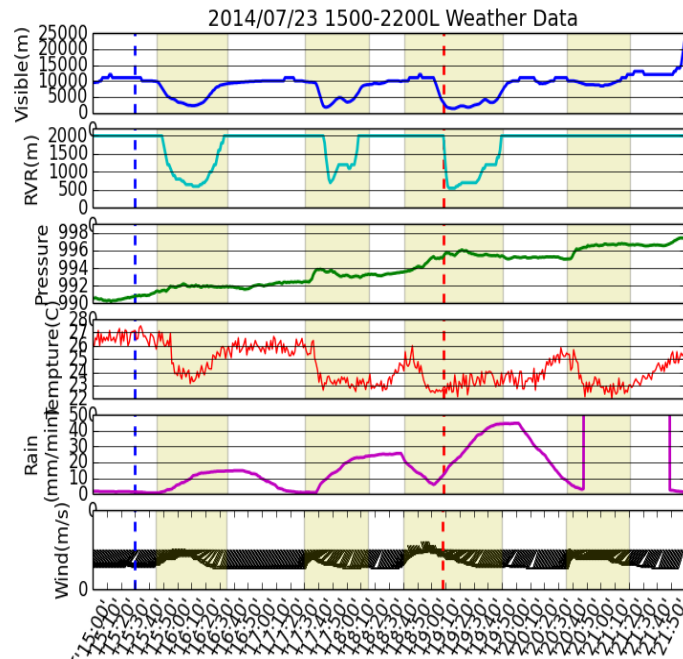


圖 3. 馬公機場 7 月 23 日 1500 至 2000 LST 時之地面觀測資料，藍色虛線為中央氣象局對馬公地區颱風警報解除時間，紅色虛線為班機失事時間，黃區塊為中尺度對流系統通過時間。

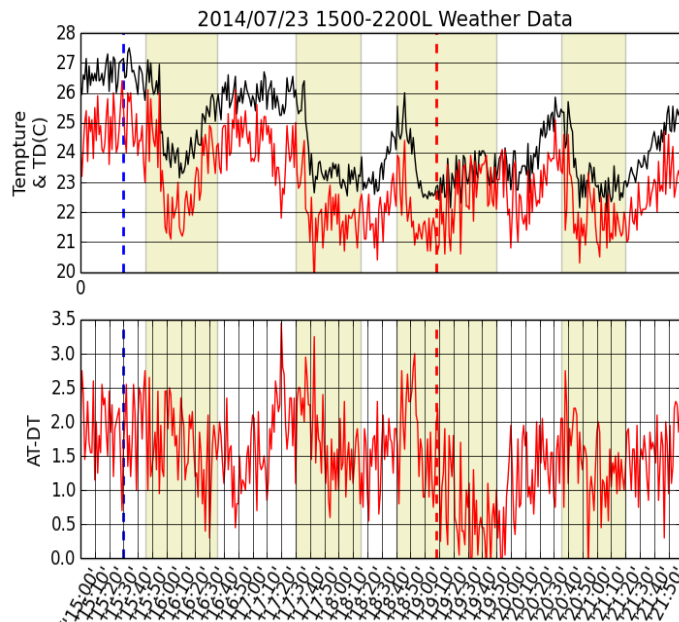


圖 4. 馬公機場 7 月 23 日 1500 至 2200 LST 時之溫度(黑色實線)、露點溫度(紅色實線)及溫度露點差(下圖)。

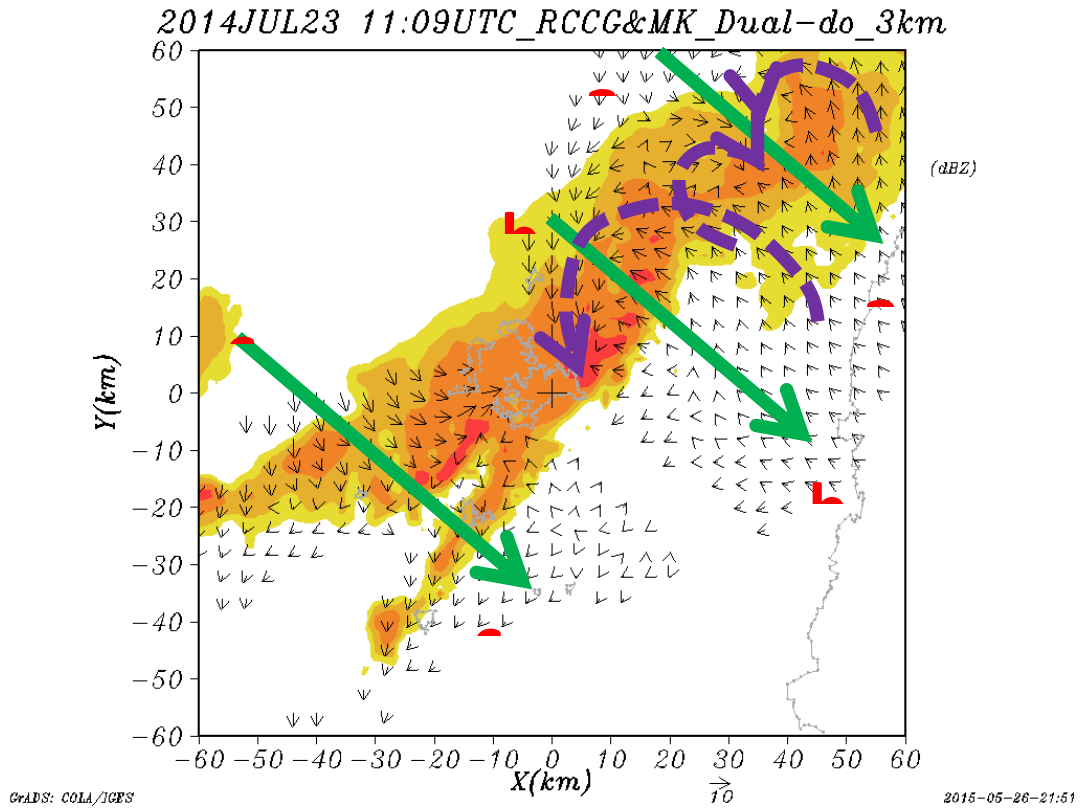


圖 5. 7 月 23 日 1909 LST，雙都卜勒 35dBz 以上回波及合成風場圖，綠實線 a-a'、b-b'及 c-c'為剖面選取範圍，紫色虛線為環流方向。

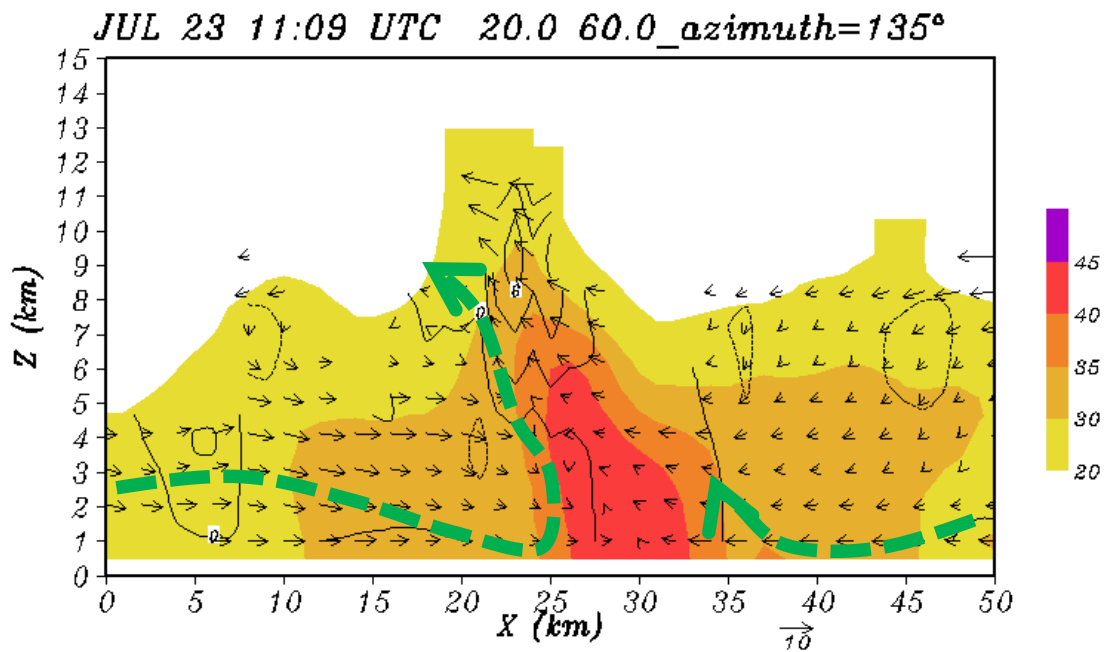


圖 6. 為剖面 a-a'。

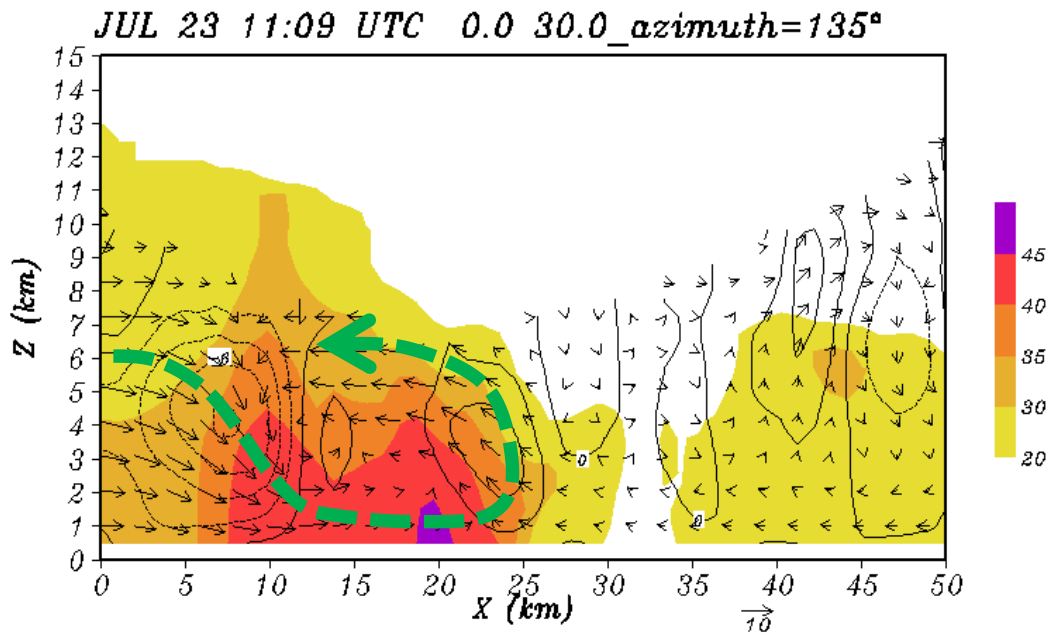


圖 7. 為剖面 b-b'。

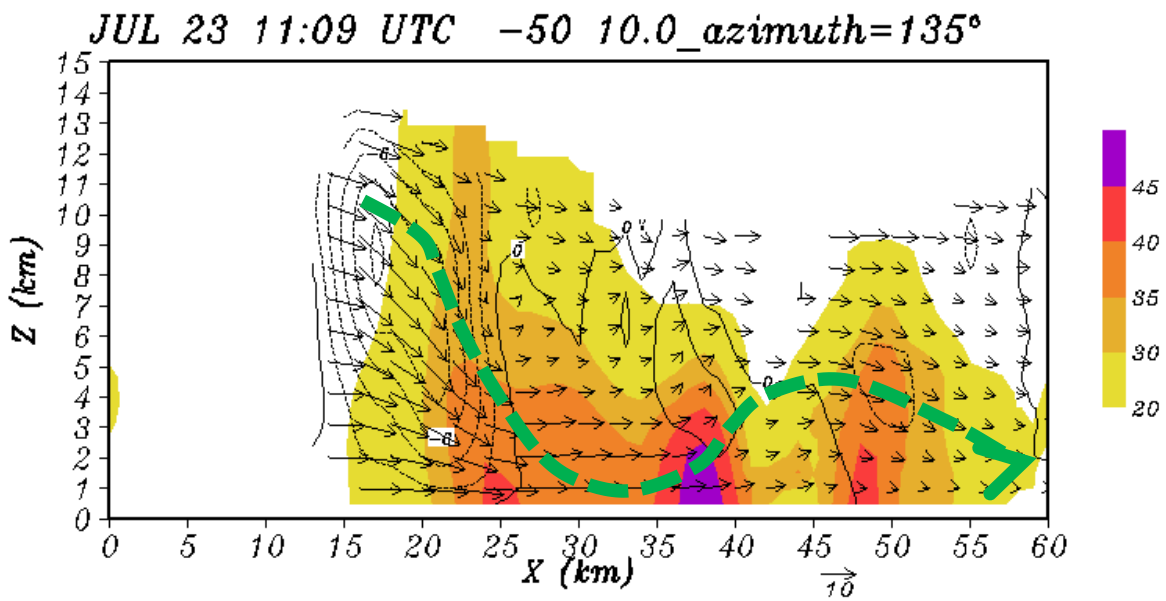


圖 8. 為剖面 c-c'。

參考文獻

Yu, C. K. and Tsai, C. L., “Structural and Surface Features of Arc-Shaped Radar Echoes along an Outer Tropical Cyclone Rainband”, *Journal of The Atmospheric Sciences*, 2013 ◦

Johns, R. H., “Meteorological conditions associated with bow echo development in convective storms. ”, *Wea. Forecasting*, 8, 294-299,1993.

Przybylinski, R. W. “The bow echo: Observations numerical simulations, and severe weather detection methods. ”, *Wea. Forecasting*, 10, 203-218.,1995

Schmid, W., H.-H. Schiesser, M. Furger, and M. Jenni, “The origin of severe winds in atornadic bow-echo storm over northern Switzerland. *Mon.* ”, *Wea. Rev.*, 128, 192-207,2000.

Gatzen,C., “ A Derecho in Europe: Berlin, 10 July 2002. ”, *Forecasting*, 19, 639-645,2004.