

# 莫蘭蒂(2010)颱風發展的結構之都卜勒雷達資料分析

林曼德

空軍第九基地天氣中心

空軍氣象聯隊

## 摘要

本研究利用雙雷達風場合成，進而分析2010年莫蘭蒂颱風在海面上發展的結構變化。在眼牆附近垂直上升速度向颱風中心傾斜，傾斜的高度越高靠颱風中心下沉運動的高度越厚。在眼牆大於40dBZ的強回波區，沿颱風旋轉方向，上游區的垂直運動主要為上升運動，下游區的最大回波附近為下沉運動。以梯度風方程反演氣壓，其結果較中央氣象局低，主要是因為中央氣象局分析颱風近中心最大風速為 $20\text{ ms}^{-1}$ ，而雙都卜勒雷達合風場卻有達 $34\text{ ms}^{-1}$ ，且本次研究高度為0.5公里，在高度上亦有所差異。

關鍵字：雙雷達風場合成、氣壓

## 一、前言

颱風的發展大部份的時間發生在海上，莫蘭蒂颱風(2010)往台灣海峽移動的過程(如圖1)，本個案藉由馬公雷達和七股雷達資料對颱風在海上期間之風場結構做進一步的分析及探討。期望能夠進一步了解颱風在海上發展時，颱風風場結構的變化。在過去的研究中，Wood and Brown (1992)使用單一雷達的徑向風場，定位颱風中心，本研究亦採此方法定位颱風中心，BLACK (2002)分析颶風Jimena and Olivia為不對稱的眼牆，順著颶風環流的強回波區 (45~50 dBZ) 上游區為上升氣流，上游區為下沉氣流，Gerald M. Heymsfield et al. (2001) 分析颶風Bonnie，在眼牆位置為上升氣流內側為下沉氣流，形成次環流。本文第二節為介紹雷達資料處理方法與分析方法；第三節為颱風的結構分析；第四節為氣壓反演分析；最後為結論。

## 二、資料處理與分析方法

馬公雷達和七股雷達的相關位置(如圖 2)，雷達資料處理方法主要使用 SOLO 軟體；將馬公雷達和七股雷達的全體積掃描資料進行風場折錯(unfolded)、除錯(killed bad data)後，將資料內插到

以馬公雷達站為中心位置的座標上，颱風中心以WB92 的定位方法求出，颱風的移動速度亦以求出的颱風中心計算得知，再把兩組資料做雙都卜勒雷達風場合成，分析回波增強、減弱與上升下沉氣流的關係，並以梯度風方程計算氣壓梯度力反演地面氣壓場分布。

本文分析方法主要可分為兩個部份討論：第一部份：扣掉颱風的移動速度（以WB92颱風中心定位估算的移動速度， $2.87\text{ ms}^{-1}$ 向 $341^\circ$ 行進），即  $\vec{V}_{rel} = \vec{V}_{total} - \vec{V}_s$  ( $\vec{V}_{rel}$ : relative wind,  $\vec{V}_{total}$ : total wind,  $\vec{V}_s$ : typhoon motion)，做結構上的分析。第二部份：以梯度風方程估算各層氣壓分佈。

梯度風方程：

$$-\frac{I}{\rho} \frac{\partial P}{\partial r} = -\frac{v_t^2}{r} - fv_t$$

假設切向風與實際風場大小相同，實際確實也很相近，大部分皆相差在  $1\text{ ms}^{-1}$  以下。反演氣壓先由雙都卜勒雷達合成風場 u、v 計算切向風，並求出平均離心力及科氏力，計算出氣壓梯度力後，配合馬公探空資料，以乾空氣狀態方程式：

$$P = \rho RT$$

將馬公探空的氣壓與溫度代入計算出  $P$ ，馬公距颱風中心約 120 km 使用探空的氣壓資料，配合氣壓梯度向颱風中心趨近，以求出各層氣壓分佈。

## 三、颱風結構分析

2010 年 9 月 9 日 0854、0902、0924 與 0931 UTC 資料分析，0854、0902 UTC 在颱風中心右前方有最大風速約  $35\text{ms}^{-1}$ ，0924 與 0931 UTC 最大風速約  $37\text{ms}^{-1}$ ，風場大部份變化不大(如圖 3)。0854 UTC A 剖面與 0902 UTC A' 剖面(如圖 4) cell 的變化，在距颱風中心 25~35 km 處，低層最大降水回波達 45 dBz，在距颱風中心 21~25 km 處，最大上升運動  $6\text{ms}^{-1}$ ，上升運動最大區在 cell 的內側，高度約 3~6 km 處，上升速度場最大位置隨高度增加，垂直速度場向颱風中心傾斜，內側有下沉氣流；0902 UTC 低層最大降水回波不到 45 dBz，有減弱情況，上升運動亦隨高度增加向颱風中心傾斜，上升運動最大位置在 cell 的外側高度約 8 km 處，上升速度達  $8\text{ms}^{-1}$ ，垂直速度場最大位置隨高度增加垂直速度場向颱風中心傾斜，內側距颱風中心 20~24 公里有下沉氣流，高度 5~8 公里最大下沉氣流達  $6\text{ms}^{-1}$ 。從以上資料分析，垂直上升速度皆有向颱風中心傾斜，傾斜開始的高度越高靠颱風中心內側下沉運動的高度越厚，強度變化不大，0902 UTC 受到較強下沉運動影響，低層降水回波有減弱情況，降低至不到 45 dBz。垂直上升速度向颱風中心傾斜，在高層有最大下沉運動，垂直上升速度內側為下沉運動與 Gerald M. Heymsfield et al. (2001) 結果相近，但因下沉運動位置在對流胞附近，導致低層降水回波有減弱情況。

在 0924 UTC B、C、D 剖面(如圖 3)與 0931 UTC B'、C'、D' 剖面(如圖 4)分析 cell 的變化，回波強度無太大變化，氣流皆為外流，C、D、C'、D' 剖面眼牆皆為較微弱上升運動，但在 B 與 B' 剖面大於 45dBZ 的低層強回波區範圍有變大情況，在 0931 UTC 下沉運動位置有上移的情況，以下沉運動  $6\text{ms}^{-1}$  位置分析，高度約從 5 公里上升至 7 公里，在高度 7~9 km 有最大下沉運動，0924 UTC 下沉運動約  $10\text{ms}^{-1}$ ，0931 UTC 減弱至約  $8\text{ms}^{-1}$ ，在大於 40 dBZ 的強回波區，沿颱風旋轉方向，強回波區的上游為垂直上升運動，強回波區的下游為下沉運動，與 BLACK et al.(2002)結果相近。

## 四、氣壓反演分析

以梯度風反演氣壓梯度(如圖 5)在徑向半徑 10~40 公里，高度 3 公里以下，氣壓梯度最大，約為  $0.03\text{~}0.04 \text{ kgm}^{-2}\text{s}^{-2}$ 。由氣壓梯度反演各層氣壓場(如圖 6)，在各層氣壓皆由外向內漸減。以高度 0.5 公里反演氣壓梯度(如圖 7)分析，氣壓梯度由外向內漸增，且在 10 公里向內急增。以高度 0.5 公里反演氣壓場(如圖 8)分析，在高度 0.5 公里徑向距颱風中心 120 公里之氣壓為 949 hPa，到颱風中心降至 929 hPa，差值為 20 hPa。依中央氣象局提供 0900 UTC 颱風中心為 995 hPa，與本研究有些差異，但因中央氣象局提供近中心最大風速為  $20\text{ms}^{-1}$ ，而雙都卜勒雷達合成風場卻有達  $34\text{ms}^{-1}$ ，顯然在風速較氣象局大，且本研究高度為 0.5 公里，也造成計算颱風中心氣壓明顯較中央氣象局低。

## 五、結論

本研究利用馬公雷達資料和七股雷達資料做雙雷達風場合成，颱風結構及氣壓反演分析其結論為：

一、在眼牆附近垂直上升速度向颱風中心傾斜，傾斜的高度越高靠颱風中心下沉運動的高度越厚，強度變化不大，下沉運動的高度達到中低層，也使得眼牆低層的回波減弱。

二、在眼牆附近大於 40dBZ 的強回波區，沿颱風旋轉方向，上游區的垂直運動主要為上升運動，下游區的最大回波附近為下沉運動，下沉運動如位置較高(中高層)，並不會影響到低層的回波發展。

三、氣壓反演分析：

依中央氣象局提供 0900 UTC 颱風中心為 995 hPa，而本研究在 0924 UTC 高度 0.5 公里反演颱風中心為 929hPa，差異原因為中央氣象局提供颱風近中心最大風速為  $20\text{ms}^{-1}$ ，而雙都卜勒雷達合風場卻有達  $34\text{ms}^{-1}$ ，且在高度上亦有所差異。

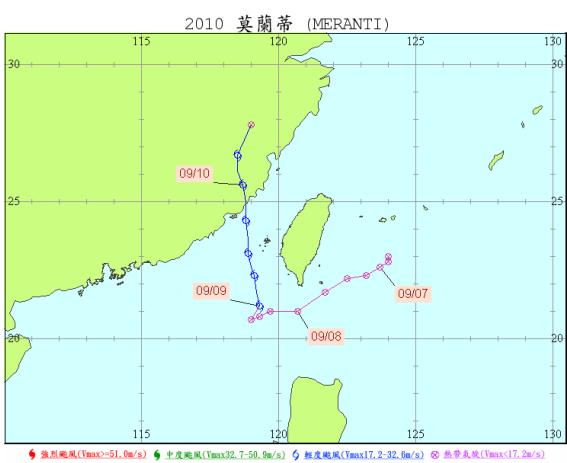


圖 1. 中央氣象局莫蘭蒂颱風路徑圖

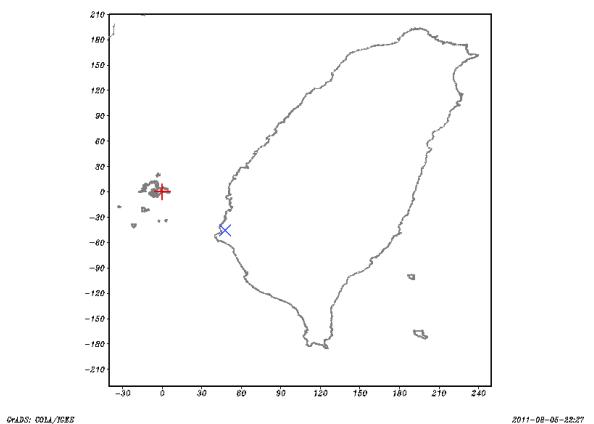


圖 2. 馬公(+)、七股(x)雷達位置圖

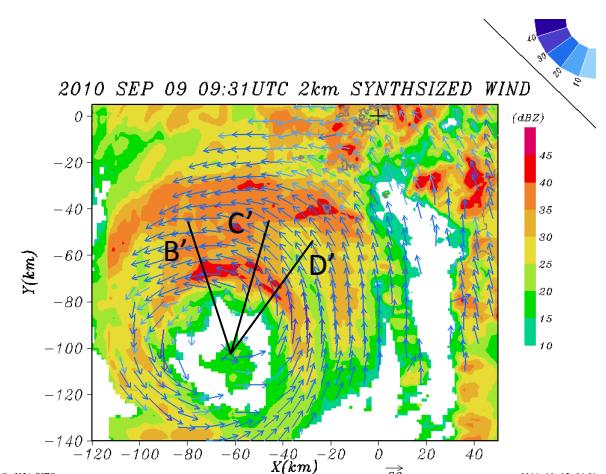
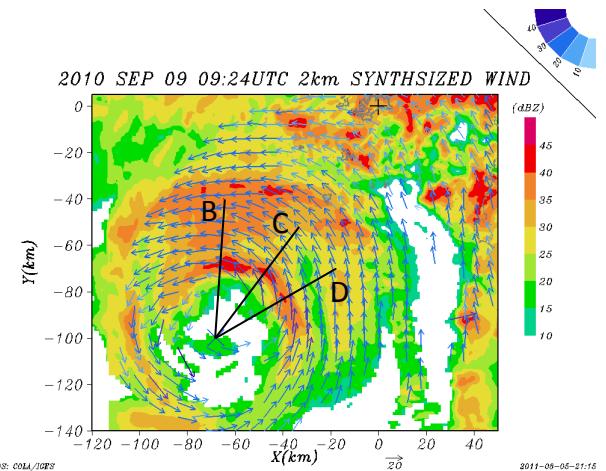
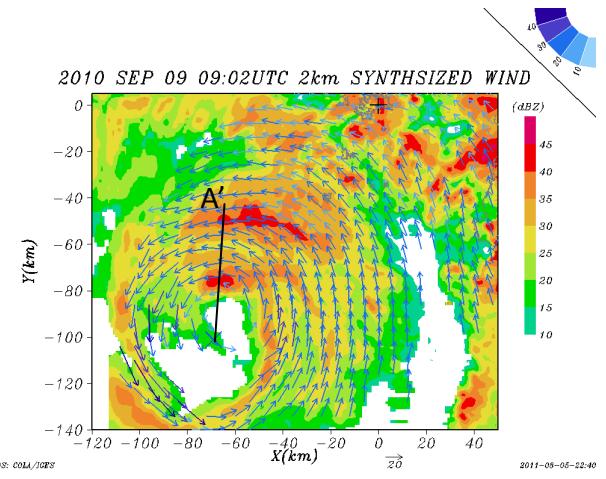
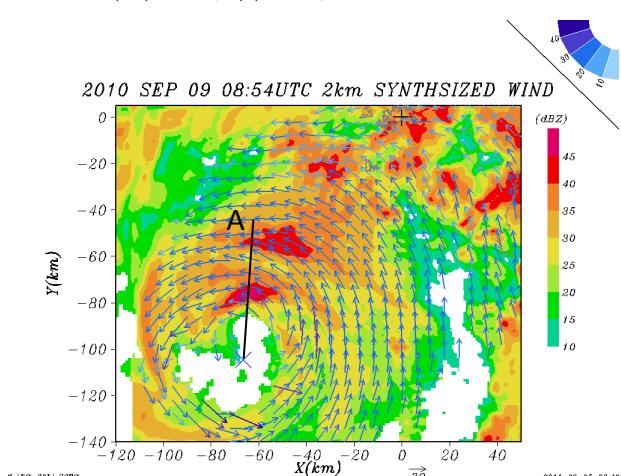


圖 3. Z=2km 雙都卜勒雷達風場合成與回波圖

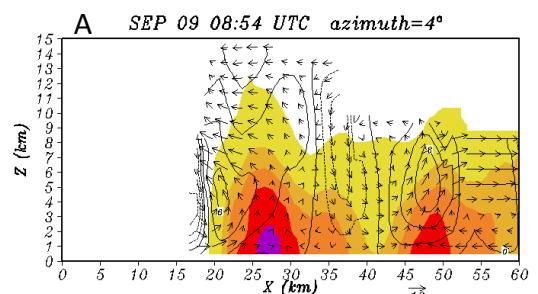


圖 4. 圖 3 剖面圖

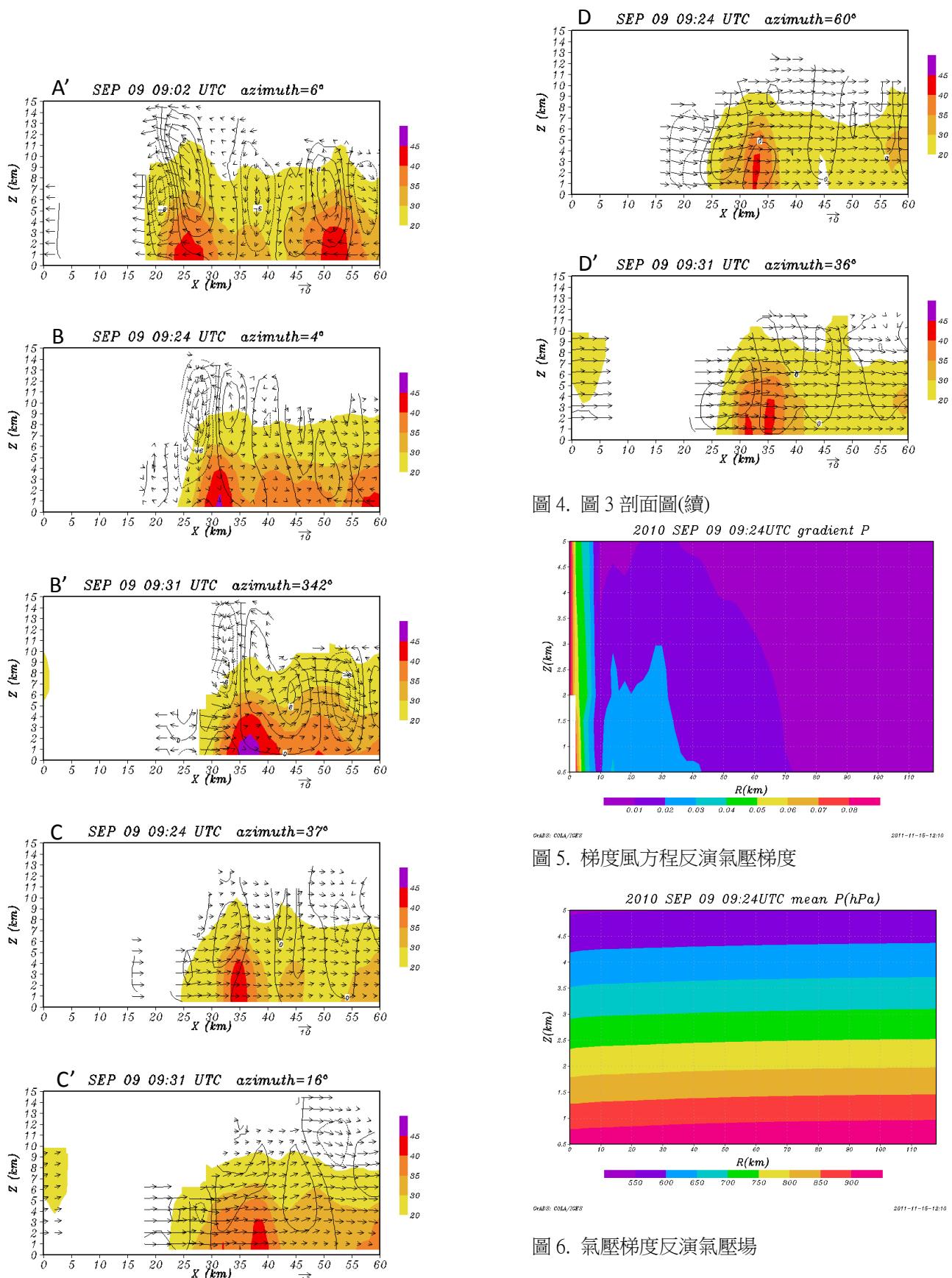


圖4. 圖3剖面圖(續)

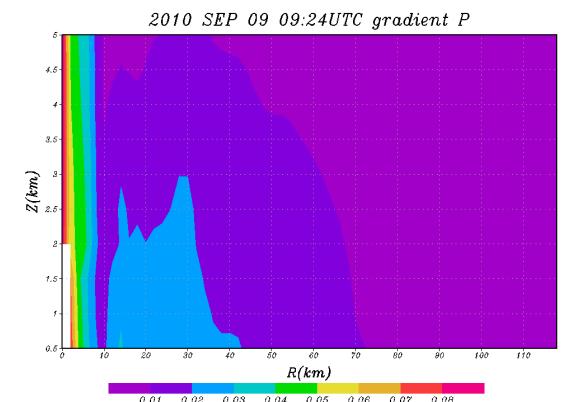


圖5. 梯度風方程反演氣壓梯度

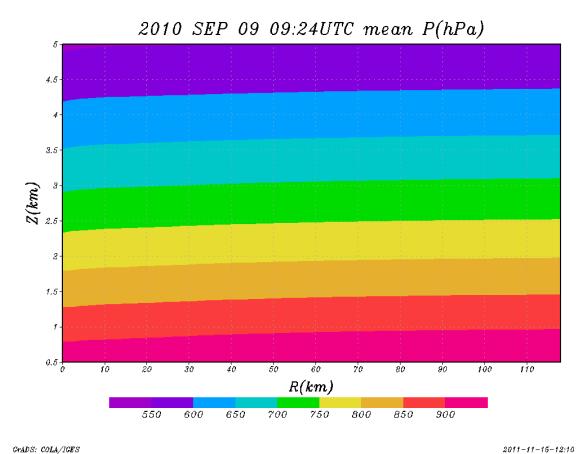


圖6. 氣壓梯度反演氣壓場

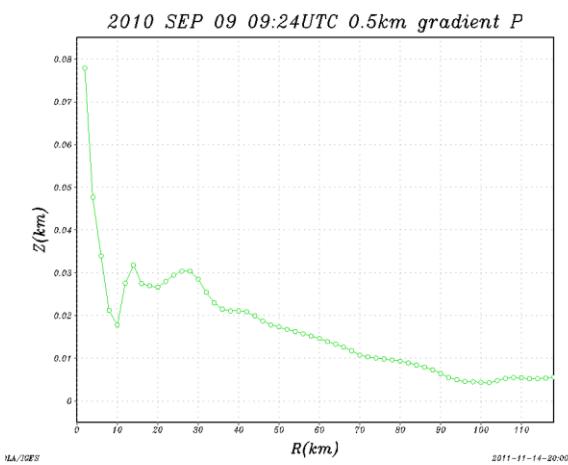


圖 7. 梯度風方程反演氣壓梯度

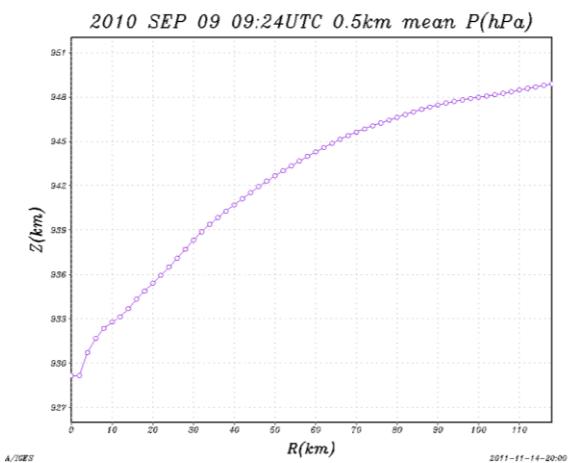


圖 8. 梯度風方程反演氣壓場

## 參考文獻

- 蔡雅婷，2006：納莉颱風登陸時的結構演化。國立中央大學碩士論文。
- EASTIN, M. D., W. M. GRAY and P. G. BLACK, 2005: Buoyancy of Convective Vertical Motions in the Inner Core of Intense Hurricanes. Part II: Case Studies., *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 209-227.
- Heymsfield, G. M., J. B. HALVERSON, J. SIMPSON, L. TIAN and T. P. BUI, 2001: ER-2 Doppler Radar Investigations of the Eyewall of Hurricane Bonnie during the Convection and Moisture Experiment-3, *Jou. of App. Met.*, **40**, 1310-1330.
- Houze, R. A., Jr., 2010: REVIEW Clouds in Tropical Cyclones., *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 293-344.
- BLACK, M. L., J. F. GAMACHE, F. D. MARKS JR., C. E. SAMSURY, and H. E. WILLOUGHBY ,

2002: Eastern Pacific Hurricanes Jimena of 1991 and Olivia of 1994: The Effect of Vertical Shear on Structure and Intensity, *Mon. Wea. Rev.*, **130**, 2291-2312.

ANTHONY, C. D. JR. AND R. A. HOUZE JR., 2005: Convective-Scale Downdrafts in the Principal Rainband of Hurricane Katrina., *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 3269-3293.

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**, 3269-3293.