

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 92-2111-M-034-001-AP1

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：張忍成

共同主持人：劉清煌, 楊明仁

計畫參與人員：協同研究人員-鄒曉蕾

一、中文摘要

本計畫最終目的是預定利用 BDA (Bogus Data Assimilation) 方法同化雷達資料，改進初始場而使對颱風預報能有更精確、更好的結果，以減輕颱風對台灣所造成的災害損失。本研究是先利用 BDA 方法在 EC 分析場中植入一颱風渦旋以得一新初始場，比較新初始場與原初始場的不同，驗證此方法是否對後續研究計畫中同化雷達資料能有所助益。故經個別模擬後分別比較兩者所模擬出的雷達回波與實際觀測之不同。新初始場的結果其渦旋中心與原分析資料相同，且改進的溫度、水氣、風場和氣壓等方面。經植入渦旋之後模擬的結果其各項參數也較未經植入者來的好，而其軌跡並與中央氣象局的分析最佳路徑相近。經 30 分鐘後模擬的雷達回波其 30dbz 以上之範圍已有呈似約半徑 150 公里的圓形，最大回波值為 50dbz 也與觀測相同。

關鍵詞：BDA (Bogus Data Assimilation) 、MM5 伴隨模式系統、EC

Abstract

The ultimate goal of this project is to incorporate the Radar observation with the Bogus Data Assimilation (BDA) scheme (Zou and Xiao, 2000) to construct a hopefully better initial typhoon vortex for the use of a numerical weather prediction (NWP) model (MM5) to provide improved typhoon forecasts, which in turns to mitigate the

impact caused by any impinging typhoons near Taiwan area. As the first step, the BDA scheme was applied with the use of the ECMWF advanced analysis to generate a new model initial field. The case shown here is Typhoon Nari (2001) on September 15 at 18 UTC. There are 31 σ -levels used in the model, and its horizontal resolution is 20 km. The differences of initial analyses between with and without the bogus vortex were compared, and so did the associated short-term simulated radar reflections with respect to the observation.

It is noted that we had resolved the displacement issue of typhoon center from our previous assimilation experiment. The BDA scheme did successfully give a more realistic typhoon vortex as observed from its modified fields of temperature, water vapor, pressure and winds. A 24-hour simulation showed a moving track that is very close to the best track data given by the Central Weather Bureau. The 30-minute simulated radar echo with intensity larger than 30 dbz covered a largely circular area with a radius of 150 km. The largest echo is about 50 dbz, which is very close to the observed value.

Keywords: BDA (Bogus Data Assimilation) 、MM5、EC

二、緣由與目的

颱風挾帶而來的持續豪大雨、強風、暴潮所釀成的災害（如淹水、土石流、坍

方、海水倒灌等)為台灣地區四大天氣相關自然災害之首!如民國 85 年的賀伯颱風,民國 87 年的瑞伯颱風與芭比絲颱風、89 年的象神颱風、90 年的桃芝及納莉颱風,持續甚或破紀錄的強降水,均造成水患或土石流來重創台灣,尤其是賀伯颱風,雖然中央氣象局有相當不錯的路徑預報,但因雨量過大及防災體系運作並未落實,使台灣承受了近二十年來最大的天然災害(超過五百億台幣的直接損失)。足見颱風相關議題研究之重要性與急迫性。

然而,颱風所帶來的雨量亦是台灣(尤其其中南部)地區最重要的水資源之一。如民國 82 年,颱風過門不入,未帶來足夠降水,使得全省水庫水量持續下降,造成缺水及限水的問題,從而嚴重影響農耕及經濟民生;而 91 年台灣地區旱象則是靠納克利及雷馬遜颱風所帶來的豐沛雨量才告解除。另一方面,颱風近台對台灣的影響尚有所謂「颱風假期」對經濟面之重大衝擊,如民國 84 年 9 月 22 日掠過恆春半島外海的賴恩颱風,因為路徑預報的些微誤差以及暴風半徑的減小,使台灣大部分地區民眾度過一個少風、少雨的颱風假日,也使國家損失一天的經濟生產(近百億台幣損失);而記憶猶新者,如去(91)年的辛樂克颱風。

綜言之,颱風相關議題主要在於準確的路徑以及風雨分布預報。其中,後者的準確與否更依存於前者。就現狀況而言,路徑預報能力雖不亞於國際水準,且逐年提升中,但因台灣幅員狹小,稍有閃失,往往影響甚鉅,故社會大眾對預報準確度的要求極苛,似乎猶嫌不足!至於就風雨分布預報而言,則恐怕離滿意尚遠,尤其是所謂的定量降水預測。雖然如此,0-3 小時之即時警報,概可由雷達回波或衛星資料外延推估之,唯僅適用於系統已然存在者;而 12 小時以上之短時預報,除以動力模式預報外,或可另由統計類比法得之,因其與台灣之特殊地形分布有極大相關;至於 3-12 小時者,因如雷達觀測之外延已喪失其可用性,而模式則或仍在動力調整階段,為目前技術亟待突破之空窗區!

除模式的不臻完善外,如物理參數化過程、氣旋與大尺度環境流交互作用、氣

旋與地形交互作用、海氣交互作用等(包括人工渦漩植入技術),造成預報困難的主因在資料不足!由於熱帶系統孕育於缺乏傳統探空觀測之廣大洋面,大尺度駛流場已難正確描述,遑論真實颱風渦漩環流結構。欲有所突破,非廣用大量之非傳統資料不可。原則上,對可用資料的基本需求,就路徑言,除要求能正確描述大尺度背景場外,針對人工渦漩植入方式,則尚需颱風中心位置、強度及大小等參數;至於風雨分布,除上述外,恐需有更詳盡且接近真實的初始颱風內部結構之描述不可。是以,欲提昇模式之預報準確度,其有效解決方案,除持續進行模式本身之改進外,不外乎著眼於可用觀測資料之增加,如衛星(含 ROCSAT-3/COSMIC 者)、雷達、Dropsonde、Aerosonde 等觀測,並積極致力於同化資料技術之改善,使最佳利用所有觀測資訊,改善模式初始分析!

基於台灣地區都卜勒雷達網連已然完成,且已針對過去數個侵台颱風個案進行資料之蒐集並做實際應用。這些大量的降水回波及徑向風場資訊,除用以分析系統結構或印證動力模式的模擬與預報結果是否正確外,若能將此高時空解析(水平約為 1~2 公里且約每 6 分鐘一筆)的雷達資料納入入模式初始分析中,當不失為一可改善模式颱風初始渦漩分析,連帶增進吾人對颱風環流結構之了解的可行方案。由於此時颱風業已迫近本島,因而除探究此加強分析對颱風移動路徑之可能影響外,其對 24 小時內(尤其 3-12 小時者)的風雨分布預報可否有所改善,將更是我們所欲嘗試探尋的進一步目標。所以,簡言之,本計畫擬應用 Adjoint 技術來進行直接同化雷達觀測資料於臨台颱風個案之可行性測試,期在將此高時空解析資料(如降水回波或徑向風場等)以四維變分同化方式直接納入模式中,取得一同時滿足模式方程又能更趨近真實颱風結構之初始場,並進一步了解其對提昇模式預報能力之可能影響。

根據本人目前私人聯繫下的了解,美國 FSU 的 Xiaolei Zou 曾在其所率先提出的四維變分颱風虛擬渦漩植入法(Zou and Xiao, 2000: Bogus Data Assimilation

Scheme，簡稱 BDA 法)的架構下，嘗試同化雷達觀測。但或許是所用資料量尚不足之故，其成效似乎不顯：除前 6-12 小時外，其將雷達回波植入以改善初始分析，對 12 小時以上之預報結果幾無影響；至於觀測徑向風場則對模式初始分析並無幫助，概因初始差異過大以致根本無法納入分析所致。無論如何，其先驅結果尚稱令人鼓舞。緣此，做為本研究的第一步，我們將首由嘗試同化雷達回波資料下手，並將目標著眼在其對 3-12 小時之風雨分布預報是否可有正面之影響？更確切而言，我們的階段性科學目的主在：(1) 探究應用 BDA 法(或其類似修正)於近台颱風個案所能得到颱風渦旋結構相對於雷達(或其他高解析)觀測的情形？(2) 了解 BDA 法在加入降低水平解析之雷達觀測進行同化後，模式初始渦旋的改變情形？(3) 在(2)基礎上進行預報實驗，以了解模式 3-12 小時(或更長)預報的降水分布結果。

原則上，本計畫主要工作重點在於颱風初始渦旋的資料同化上，將與子計畫十與子計畫十一緊密結合。雷達資料的使用與比對將來自於後者；而同化後的結果，將供子計畫十做更進一步的模擬或後預報實驗使用。另外，同化結果亦將可與子計畫八利用三維變分同化而得者相互比較。

三、結果與討論

為期能產生一更趨近於真實的模式初始颱風雨帶暨環流結構，並進一步希望能對技術亟待突破的 3-12 小時降水分布(或定量降水)之預報能力或有所助益，本研究提案擬使用 MM5 伴隨模式系統(Zou et al., 1997)，由 Nari (2001) 颱風個案著手，利用所謂的「四維變分」同化技術，以能植入合理颱風初始渦旋結構(含非軸對稱分量)且配合模式動力的 BDA(Bogus Data Assimilation)方法(Zou and Xiao, 2000)為基礎，再結合可用之雷達觀測或其他資訊，來進行資料同化實驗。基於我們有納莉颱風(2001)侵台期間還算詳盡的雷達資料，而其極其緩慢的移動速度，以及破紀錄的持續強降水，幾乎造成全台(尤其是北台灣地區)相當嚴重的災情(見

整合計畫說明)，遂成為我們首要探究的對象。

本研究是以納莉颱風(2001)侵台期間之 9 月 15 日 1800 為資料同化與模擬的初始時間，同化模擬的資料則使用 EC 資料。在使用 BDA 法同化之前由 EC 的資料得知在 9 月 15 日 1800 時(圖一)在臺灣東北外海上有一氣旋，其中心位置位於 25.75°N、123.7°E。中心海平面氣壓為 994.24hPa。再繪製 25.75°N 的垂直剖面(圖二)可見在氣旋中心的氣壓於同一 σ 面有明顯下降，而其垂直風場則有明顯的低層輻合，而高層輻散則較不明顯，溫度剖面(圖三)上海平面溫度為 26.167°C，暖心結構只在低層明顯而中層則不顯著。

將同一時間的 EC 資料經過 BDA 法同化後(圖四)氣旋中心位置在 25.75°N、123.7°E，中心氣壓 994.24hPa 皆與未使用 BDA 法的資料相同。但同化後的風速則明顯增加且垂直風場(圖五)上也加強了低層輻合，此外高層輻散也相對明顯。溫度剖面(圖六)上同化後海平面溫度增為 27.926°C，同時也使暖心結構在中低層有明顯的呈現，同時也加強的低層的水氣結構。

分別將未使用 BDA 法及使用 BDA 法後的資料放入 MM5 伴隨模式系統模擬，未使用 BDA 法所模擬的結果(圖七)可見在颱風中心海平面氣壓始終無法達到 Nari 颱風的水準而其海平面氣壓約在 990hPa(模擬 8 小時後)。再觀察 $\sigma=0.94$ 面(約距海平面 420 公尺)所模擬的雷達回波(圖八)，約在模擬開始 150 分鐘後有完整的同心圓颱風眼結構，其最大的回波值為 50dbz、風速最大值為 25m/s。而經 BDA 法再模擬之結果(圖九)，颱風中心海平面氣壓在模擬 30 分鐘及達到 Nari 颱風的水準約 970hPa，且最低時曾達 965hPa。同樣觀察 $\sigma=0.94$ 面所模擬的雷達回波(圖十)在 30 分鐘後雷達回波其 30dbz 以上之範圍已有呈似約半徑 150 公里的圓形，最大回波值為 50dbz 與觀測相同。在 180 分鐘後(圖十一)有完整的同心圓颱風眼結構出現，且在颱風眼結構中的回波值也達 30~40dbz 而最大回波值為 55dbz、風速則達 35~40m/s。

此外再觀察其模擬颱風眼結構之雷達

回波的移動(圖十二),從台灣東北部外海移至東北角時無論是否有使用 BDA 法其颱風眼軌跡與中央氣象局公佈的路徑並無太大差別。唯有時間上的不同,有使用 BDA 法的移動較慢。而移入陸地後兩方面的模擬結果皆相同,中心結構逐漸消失。接續吾人使用渦度來觀察皆可見有一渦度中心沿東岸向南移動,唯一差別為沒使用 BDA 法的是向南移動後再向東一出;而使用 BDA 法則是向西移動,其移動軌跡與中央氣象局的路徑較相近。

四、參考文獻

Anthes, R. A., 1982: *Tropical Cyclone - Their Evolution, Structure and Effects*. Amer. Meteor. Soc., 208 pp.

Blackadar, A. K., 1979: High resolution models of the planetary boundary layer. *Advances in Environmental Science and Engineering*, Vol. 1, Pfafflin and Zeigler, Eds., Gordon and Breach, 50-58.

Dudhia, J., 1993: A nonhydrostatic version of Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation tests and simulation of an Atlantic cyclone and cold front. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 1493-1513.

Dye, J. E., C. A. Knight, V. Toutenhoofd and T. W. Cannon, 1974: The mechanism of precipitation in Northeastern Colorado cumulus III. Coordinated microphysical and radar observations and summary. *J. Atmos. Sci.*, 31, 2152-2159.

Fovell, R. G., and Y. Ogura, 1988: Numerical simulation of a midlatitude squall line in two dimensions. *J. Atmos. Sci.*, 45, 3846-3879.

Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR mesoscale model(MM5). NCAR Tech.

Note, NCAR/TN-398+STR, National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO, 138 pp.

Kurihara, Y., M. A. Bender, and R. J. Ross, 1993: An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2030-2045.

Marshall, J. S. and W. McK. Palmer, 1948: The distribution of raindrops with size. *J. Meteor.*, 5, 165-166.

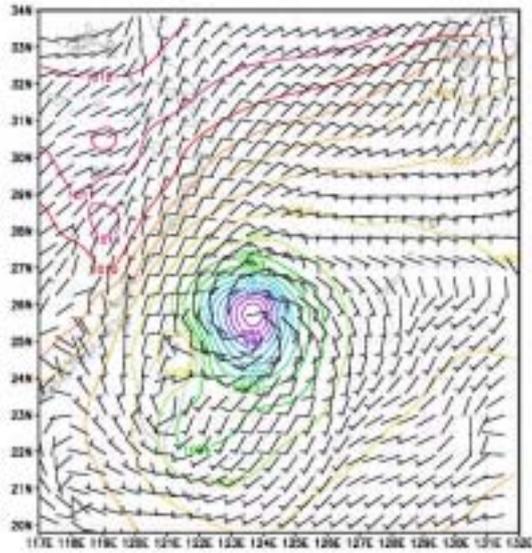
Sun, J and A. Crook, 1994: Wind and thermodynamic retrieval from single-Doppler Measurements of a gust front observed during Phoenix II. *Mon. Wea. Rev.*, 122, 1075-1091.

Wu, C.-C., K.-H. Chou, Y.-H. Kuo, and W.-P. Huang, 2001: Observing system simulation experiments for tropical cyclone initialization based on four-dimensional variational data assimilation. In *Proceedings of Conference on Weather Analysis and Forecasting 2001*, 29-34.

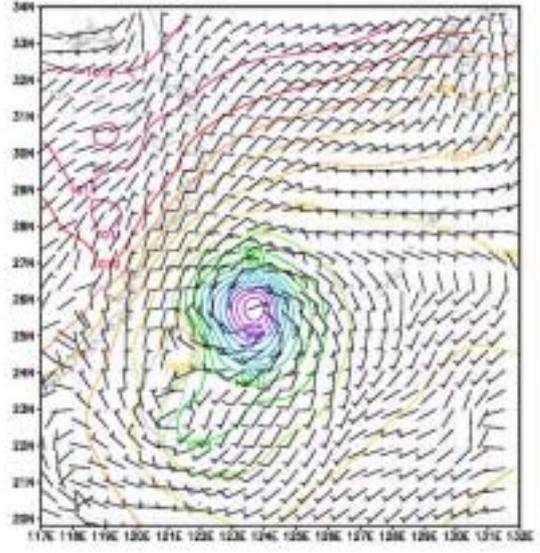
Xiao, Q., X. Zou, and B. Wang, 2000: Initialization and simulation of a landfalling hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2252-2269.

[1] Zou, X. and Q. Xiao, 2000: Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *J. Atmos. Sci.*, 57, 836-860.

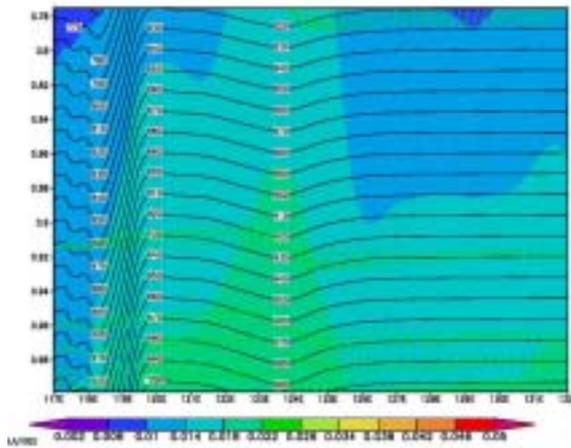
圖表



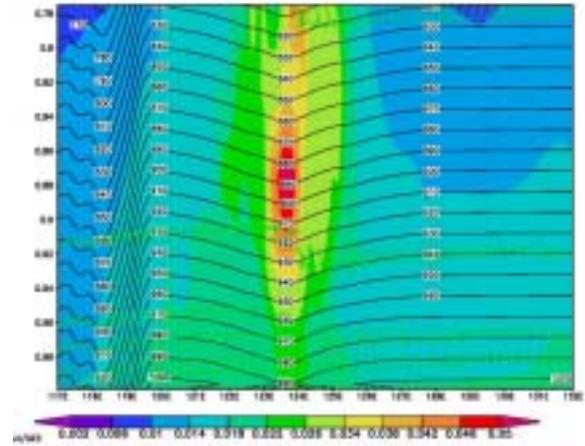
圖一：2001年9月15日1800EC海平面氣壓(hPa)



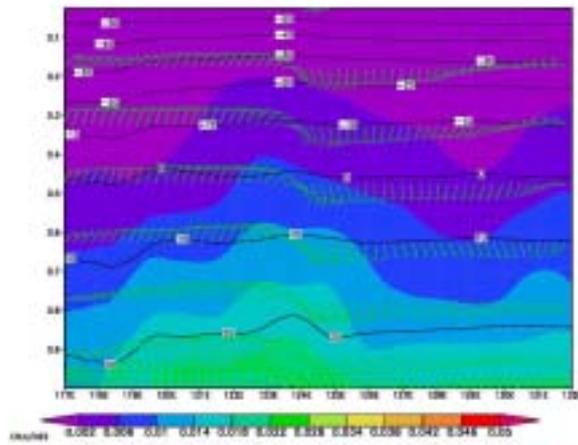
圖四：2001年9月15日1800經BDA法之海平面氣壓(hPa)



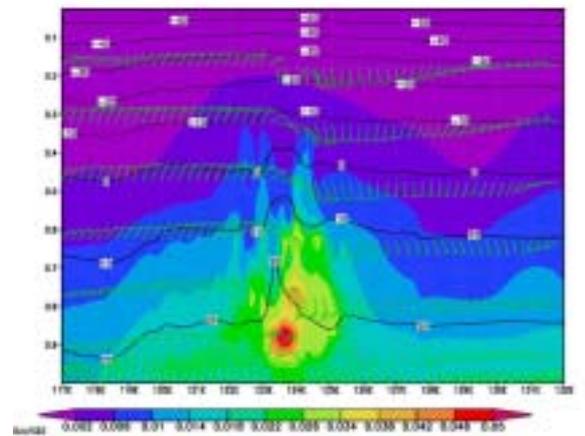
圖二：25.75°N垂直剖面，等值線為氣壓(hPa)，陰影為混合比(kg/kg)



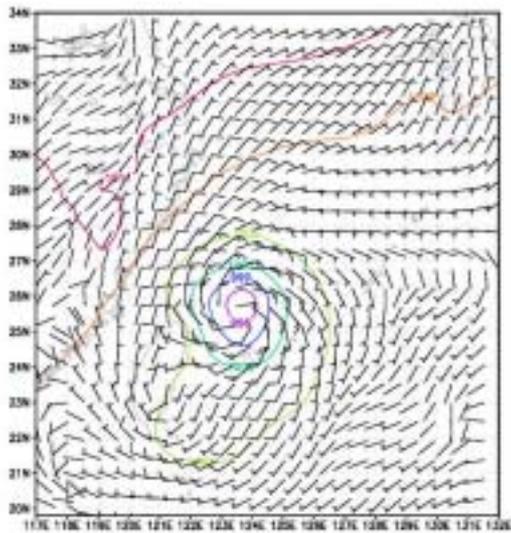
圖五：經BDA法25.75°N垂直剖面，等值線為氣壓(hPa)，陰影為混合比(kg/kg)



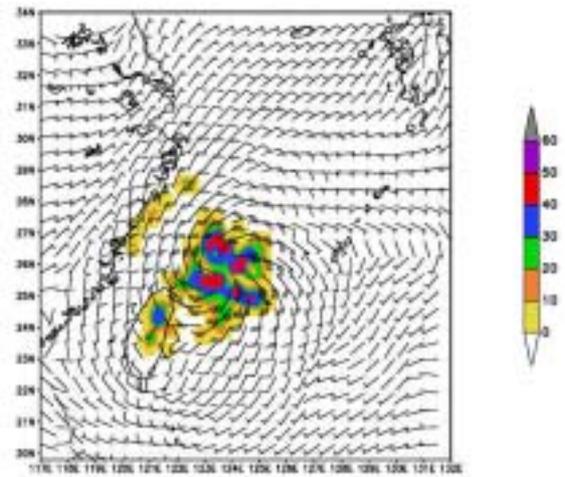
圖三：25.75°N垂直剖面，等值線為溫度(°C)，陰影為混合比(kg/kg)



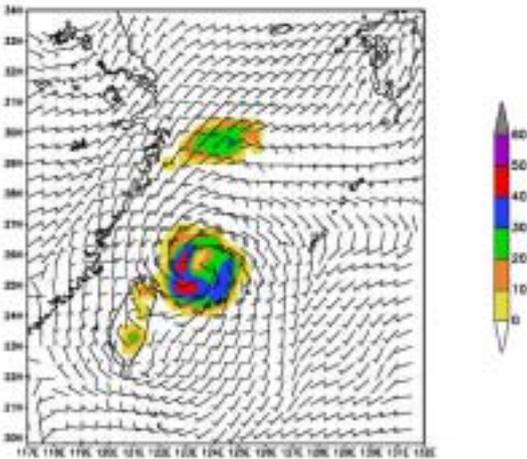
圖六：經BDA法25.75°N垂直剖面，等值線為溫度(°C)，陰影為混合比(kg/kg)



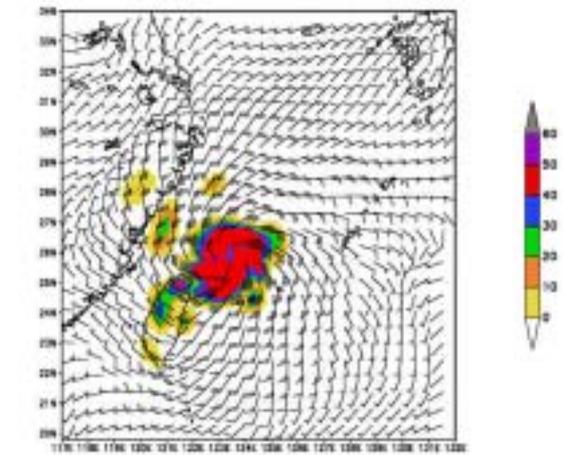
圖七：模擬之 2001 年 9 月 15 日 1800 海平面氣壓(hPa)



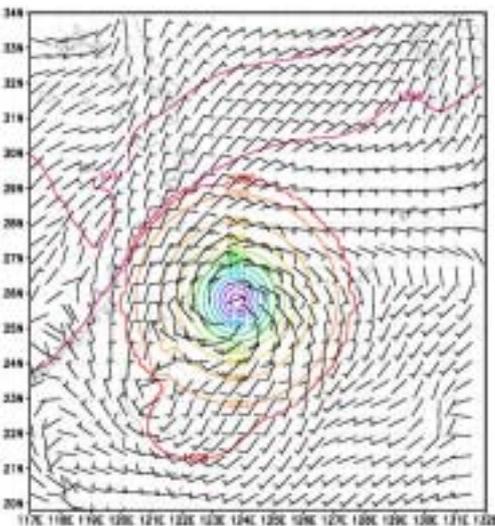
圖十：經 BDA 法模擬之 30 分鐘後雷達回波圖(dbz)



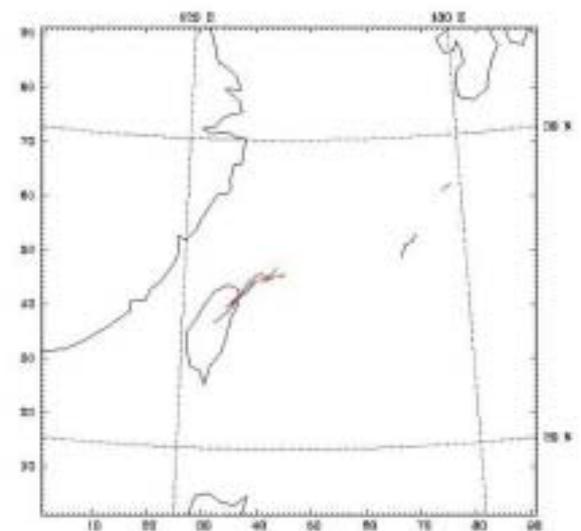
圖八：模擬之 150 分鐘後雷達回波圖 (dbz)



圖十一：經 BDA 法模擬之 180 分鐘後雷達回波圖(dbz)



圖九：經 BDA 法模擬之 2001 年 9 月 15 日 1800 海平面氣壓(hPa)



圖十二：CWB(藍色)、JTD(紅色)、GTW(橘色)、經 BDA 法模擬(黑色)的路徑軌跡