

中央氣象局全球預報系統 T319L40 的成效

陳建河¹ 沈彥志² 汪鳳如² 陳雯美² 馮欽賜¹

1：中央氣象局氣象資訊中心

2：中央氣象局氣象科技研究中心

摘要

目前的中央氣象局全球預報系統（簡稱 CWBGFS）T239L30（水平解析度度約 0.5 度經緯度，垂直解析度 30 層）將於近期內提升至 T319L40（水平解析度度約 0.375 度經緯度，垂直解析度 40 層），除了解析度的提高之外，還做了一些模式動力及物理上的修改，分別是水平擴散(horizontal diffusion)由 4 階改為 8 階、模式頂層的牛頓冷卻(Newtonian cooling)由 2 階改為 4 階並調整預報模式對於不穩定度發生時，減少積分時間間距的判斷標準及增強重力波拖曳(gravity wave drag)效應及其影響的高度。另外，對於植入虛擬颱風資料的方法也做了部分的改進。

於分析資料品質較佳之 post run 環境下，經過 2009 年 12 月與 2010 年 7 月各一個月的平行測試，整體 CWBGFS T319L40 執行成效相當良好，從第 5 天預報的垂直各層高度距平相關(anomal correlation)顯示，2009 年 12 月，T319L40 比 T239L30 於北半球的得分高出很多，但南半球則相差不大，而 2010 年 7 月，T319L40 幾乎是一致性地比 T239L30 來得好。綜合以上，可以了解到 T320L40 在冬半球(12 月北半球與 7 月南半球)的改進最大，尤其是以陸地範圍較大的北半球改進較多，因此相對來說，夏半球(12 月南半球與 7 月北半球)的改進則較小，倘若為夏半球且為陸地範圍較小的南半球來說，則幾乎沒有太大的改善。至於颱風路徑預報的表現，以 2008 年 JANGMI、SINLAKU 颱風、2009 年 MORAKOT 颱風、2010 年 FANAPI、MEGI 颱風、2011 年 SONGDA、MA-ON、MUIFA 颱風等共 8 個颱風個案測試顯示，72 小時路徑誤差約 215 公里而 120 小時約 344 公里，T319L40 不僅在路徑預報方面而且在強度預報上都優於 T239L40。

關鍵詞：中央氣象局全球預報系統

一、前言

目前中央氣象局作業中的全球預報作業系統（簡稱 CWB GFS），該系統的資料同化方法於 2010 年 7 月之前使用 3-D VAR 分析方法，之後便改為 GSI 分析方法。而預報模式的動力架構為三角形截斷波譜模式，於 2007 年至今，其水平解析度為 T239（0.5 度經緯網格），垂直採用 σ 座標，解析度有 30 層，使用半隱式時間積分及跳蛙法，時間積分間距為 320 秒，為使模式積分穩定分別採用四階水平擴散係數及 Robert 時間過濾方法，而模式所使用的物理參數化方法計有（1）地表通量參數化：參考 Businger et al.（1971），以相似理論經驗式估算地表通量，（2）土壤模式：參考 Mahrt and Pan（1984）發展之二層土壤模式，預報二層土壤溫度及單位體積含水量，同時預報植物表面承水量，（3）大氣垂直紊流混合參數化：考慮非局部（nonlocal）紊流通量之一階閉合邊界層參數法(Troen and Mahrt 1986)，（4）淺積雲對流參數化：採用 Li（1994）提出之方案，詳細說明及測試可參考 Li and Wang（2000），（5）積雲對流參數化：Pan and Wu（1995）的簡化 A-S 積雲對流參數法（Simplified Arakawa-Schubert scheme），（6）網格尺度降水參數化：採用 Zhao and Frederick(1997)提出之預報方案，預報雲水（雲冰），並透過雲物理過程決定降水，（7）重力波拖曳參數化：依據 Palmer et al.（1986）提

出的概念為基礎，（8）輻射參數化：短波及長波輻射模式均建立在二向式(two-stream)之計算結構，但長波方面使用 Fu et al.（1997）的二向\四向混合法以提高其精確性。關於大氣氣體吸收係數與雲光學特性的參數化乃參考 Fu and Liou（1992；1993）。

本文綜合整理該預報系統於最近的改進，包括：（1）加入減少緯度圈之東西向網格點數目（reduce Gaussian grid）選項，（2）提升預報模式的解析度，由原來的 T239L30 提高至 T319L40，時間積分間距縮減為 225 秒（3）將水平擴散(horizontal diffusion)由 4 階(4-order)改為 8 階(8-order)，（4）將模式第一層的牛頓冷卻(Newtonian cooling)由 2 階(2-order)改為 4 階，（5）調整物理過程中的重力參數化，（6）改進植入（bogus）颱風資料之技術，（7）增加颱風預報路徑的輸出。

就 CWB GFS 對於颱風的預報而言，我們發展「平衡渦旋植入」方法植入虛擬颱風渦旋，將所計算出的虛擬颱風當成觀測資料，經由 GSI 分析模組植入颱風，此方法主要是將計算颱風水平風場結構的 Ring King vortex 公式中的各個參數均能夠用實際的觀測報告來決定，同時，虛擬颱風的風場與質量場之間能夠滿足非線性平衡條件，同時質量場之間（高度場、溫度場、海平面氣象場）亦滿足靜力平衡關係，如此不僅要能夠正確地表示實際颱風的結構，而且能夠與預報模式具有一致性，

不會因為質量場與風場之間的不平衡而使模式的預報產生重力波造成產生嚴重的不穩定現象，該方法於 T239L30 已上線作業。

本文共分四節，第一節為前言，第二節介紹提高解析度之後預報系統的模擬結果與目前作業系統的比較，第三節則敘述該系統對於颱風路徑預報的結果，最後第四節為結論。

二、 模擬結果

此次更新包含了動力與物理的改進。除了作業模式 (ops) 之外，另選取了兩組實驗組：(1) 增加水平與垂直解析度，並納入重力波參數化的改進 (T319L40p)；(2) 增加解析度，且包含動力與物理的所有改進，此平行測試實驗即為此次更新欲上線的版本 (T319L40f)。有關相關的修改請參閱前言。

平行測試期間選取冬季與夏季各一個月，分別為 2009 年 12 月與 2010 年 7 月。在 post-run 的情況下進行 5 天預報，視其預報表現以評定。所使用的觀測皆與目前作業相同，包含：EC 分析場 (post run) 與 24 小時預報場 (major-run)、NOAA-15 衛星資料 (AMSUA-15)、傳統觀測資料與 GPSRO 觀測資料。預報表現將視高度距平相關 (Anomaly Correlation of Height)、溫度均方根誤差 (RMS error of temperature)、溫度平均誤差 (Mean error of temperature)、東西風場均方根誤差 (RMS error of u-wind)、東西風場平均誤差 (Mean error of u-wind) 與溫度及風場的緯向平均以判定。

(a) 高度距平相關

圖 1 為 2009 年 12 月冬季期間，高度 500mb，北半球 (圖 1a) 與南半球 (圖 1b) 的預報高度距平相關。由圖中可知，T319L40f 在北半球的表現均較作業與 T319L40p 為佳。而南半球則顯示三組實驗預報結果大致相仿，到了第五天預報還是很一致。若是僅看五天預報在垂直各層的表現時 (如圖 2)，T319L40f 在北半球垂直各層表現都一致地比其餘兩者為佳。南半球則大致與作業相仿，高層 (150mb 以上) 雖然較 T319L40p 稍差，但差距很小，幾乎可視為是不變 (neutral)。

相對地在 2010 年 7 月夏季期間的預報表現，則如圖 3。由圖可知，夏季期間不論是北半球或是南半球，T319L40f 在 500mb 的高度表現都是較佳的。若是進一步看垂直各層的表現也可看出，幾乎也是一致性地最好，只在北半球高層 (150mb 以上) 表現不若 T319L40p 來得好。綜合以上，可以了解到 T319L40f 在冬半球 (12 月北半球與 7 月南半球) 的改進最大，尤其是以陸地範圍較大的北半球改進較多，因此相對來說，夏半球 (12 月南半球與 7 月北半球) 的改進則較小，倘若為夏半球且為陸地範圍較小的南半球來說，則幾乎沒有太大的改善。

(b) 溫度均方根誤差、平均誤差與緯向平均

在溫度均方根誤差的預報表現上，與高度距平相關的表現有類似的結論。首先在 2009 年 12 月冬季期間，T319L40f 的溫度均方根誤差在北半球垂直各高度上都是最小的 (如圖 4)。而南半球基本上與其餘二實驗相仿，

但在噴流所在的高度上 (300mb 至 200mb) 則較高，近對流層頂 (100mb) 則是最低。

2010 年 7 月夏季期間，溫度均方根誤差的表現如圖 5。與高度距平相關預報表現類似，在冬半球 (即南半球) T319L40f 的表現都是較好的。而在北半球的部分，噴流區所處的位置 (250mb, 200mb) T320L40f 比起作業稍差，但是其餘部分都較好。

在溫度平均誤差方面，如圖 6 與圖 7。圖 6 為冬季期間五天預報之溫度平均誤差。可以看到在北半球低層處 (700mb 以下)，T319L40f 的表現比起 T319L40p 有較冷的溫度偏差，其餘地區則表現較作業好，但與 T319L40p 則各擅勝場。至於南半球部分，比起作業來說都有稍微較冷的偏差。但就實際狀況來說，有較冷或較暖的偏差並不代表預報表現較差，必須要與溫度的緯向平均圖一起判斷才較準確。

夏季期間的五天預報溫度平均誤差，對北半球而言，T320L40f 比起作業與 T319L40p 來得都要偏冷，而南半球則與 T319L40p 來得較一致。

圖 8 為冬、夏季期間溫度的預報與分析相差之緯向平均。由圖比對可以得知，T319L40f 改善許多對於作業來說偏暖的部分，如：冬季北極區低層、夏季南半球高緯度高層地區，部分南半球低層地區 (60 度附近)。而在近赤道區 (正負 30 度之內)，原本有部分偏暖的地區，在 T319L40f 則改變為偏冷，但偏差的溫度值並沒有太大改變，都在正負 0.5 度之間。在北半球大部分地區，都有稍微較冷的現象，尤其以高層 (100mb 以上) 現象較明顯。是故雖然溫度平均誤差看來 T319L40f 表現偏冷，但事實上是因為此版本改善了作業許多偏暖的現象而得。

(c) 東西風場均方根誤差、平均誤差與緯向平均

在東西風場的五天預報均方根誤差方面，則較為單純，如圖 9。冬季期間北半球的表現較為一致，均是 T319L40f 的誤差略小於其餘二實驗，且由低到高一致如此。而南半球則在 200mb 以下稍微偏高一點，以上偏低一點，但因為相差值很小，幾乎可視為是相同。至於夏季期間則與冬季南北表現相反，呈現北半球近乎一致，高層略小，南半球表現較佳的情況。與前述結論類似，T319L40f 對於冬半球改善較顯著。

圖 10 為五天預報之東西風場平均誤差。由圖可知，在各季節與兩半球高層 (400mb 以上)，除了在夏季期間的北半球影響程度不如其餘三者深外，T319L40f 的東西風場平均而言均明顯較小。至於低層的改進則較為不明顯，或是略為改進了 0.1m/s 左右。但是否有改善必須視緯向平均場而定。

圖 11 為冬、夏季期間東西風場的預報與分析相差之緯向平均。冬季部分，T319L40f 改善南、北半球高緯度 (80 度) 風速過小的情形，主要在中層 (500mb 至 300mb)，以及南、北半球中低緯度 (30 度) 風速過大的情形，由以高層為甚 (300mb 以上)。夏季部分也類似冬季的情況，尤其以南半球中低緯度高層 (200mb 以上) 改善最大，北半球則大致相仿。由此則可解釋東西風場平均

誤差為何在高層均有偏小的現象，因 T319L40f 改善了許多作業版本中高層風速過強的情形。

三、 颱風路徑模擬結果

利用颱風觀測報告數據，如颱風中心現在位置、中心氣壓值、近中心最大風速、七級風暴風半徑等僅有資訊，用疊代法求取 Ring King vortex 公式中之參數如近中心最大風速距離(rvm)及外圍風速曲率(b)，基本作法是以 Ring King vortex 公式計算颱風的水平風場，以此風場帶入非線性平衡方程並配合靜力方程而得到颱風中心氣壓估計值，再與實際觀測報告之颱風中心氣壓及七級風暴風半徑相比較來修正 rvm 及 b 值，經過重複的計算與比較以求得做近似之 rvm 及 b 值。如此，用來計算颱風水平風場結構的 Ring King vortex 公式中的各個參數均用實際的觀測報告來決定。最後，颱風環流的風場是由渦度場（由 Ring King vortex 決定）加上環境的渦度場與輻散場所反演的風場而得，而相對應的高度場、溫度場及海平面氣壓場則是解非線性平衡方程及靜力方程而得。

圖 12 是 2008 年 JANGMI、SINLAKU 颱風、2009 年 MORAKOT 颱風、2010 年 FANAPI、MEGI 颱風、2011 年 SONGDA、MA-ON、MUIFA 颱風等共 8 個颱風的 5 天路徑預報結果，除了 JANGMI 颱風有較大的誤差之外，其他他颱風的路徑誤差都還算小，圖 13 顯示這 8 個颱風的路徑誤差平均，72 小時路徑誤差約 215 公里而 120 小時約 344 公里。另外，以 MUIFA 為例，目前作業 (T239L30) 模式的路徑預報如圖 13(i) 所示，與 T319L40 比較(圖 12(h))相較，不僅在速度及風向上都差許多，圖 13 是兩者的路徑誤差，。

四、 結論

目前的中央氣象局全球預報系統 T239L30（水平解析度約 0.5 度經緯度，垂直解析度 30 層）將於近期內提升至 T319L40（水平解析度約 0.375 度經緯度，垂直解析度 40 層），除了解析度的提高之外，還做了一些模式動力及物理上的修改，包括：加入減少緯度圈之東西向網格點數目（reduce Gaussian grid）選項，將水平擴散(horizontal diffusion)由 4 階(4-order)改為 8 階(8-order)，將模式第一層的牛頓冷卻(Newtonian cooling)由 2 階(2-order)改為 4 階(4-order)，調整物理過程中的重力參數化，改進植入(bogus)颱風資料之技術，增加颱風預報路徑的輸出。

於 post run 的環境下，經過 2009 年 12 月與 2010 年 7 月各一個月的平行測試，整體 CWBGFS T319L40 執行成效相當良好，從第 5 天預報的垂直各層高度距平相關(anomal correlation)顯示，2009 年 12 月，T319L40 比 T239L30 於北半球的得分高出很多，但南半球則相差不大，而 2010 年 7 月，T319L40 幾乎是一致性地比 T239L30 來得好。另外，T319L40 在冬半球(12 月北半球與 7 月南半球)的改進最大，尤其是以陸地範圍較大的北半球改進較多，因此相對來說，夏半球(12 月南半球與 7 月北半球)的改進則較小，倘若為夏半球且為陸地範圍較小的南半球來說，則幾乎沒有太大的改善。至於颱風路徑

預報的表現，以 2008 年 JANGMI、SINLAKU 颱風、2009 年 MORAKOT 颱風、2010 年 FANAPI、MEGI 颱風、2011 年 SONGDA、MA-ON、MUIFA 颱風等共 8 個颱風個案測試顯示，72 小時路徑誤差約 215 公里而 120 小時約 344 公里，T319L40 不僅在路徑預報方面而且在強度預報上都優於 T239L40。

五、 參考文獻

1. 馮欽賜、陳雯美、黃曉薇和鄭明典，2003：中央氣象局全球預報系統之近況與發展－2003 年之報告。天氣分析與預報研討會，西元 2003 年 9 月 15-17 日，臺北，321-325。
2. 馮欽賜、陳雯美、和陳建河，2007：調整初始颱風渦旋背景環流對颱風路徑預報之影響。西元 2007 年大氣科學研討會，A1-4B-08 論文。
3. Arakawa, A., and M. Suarez, 1983: Vertical differencing of the primitive equations in sigma coordinates. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 34-45.
4. Businger, J. A., J. C. Wyngaard, Y. Izumi, and E. F. Bradley, 1971: Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 181-189.
5. Derber, J. C., D. F. Parrish and S. J. Lord, 1991: The new global operational analysis system at the National Meteorological Center. *Wea. and Forecasting*, **6**, 538-547.
6. Fu, Q., and K. N. Liou, 1992: On the correlated k-distribution method for radiative transfer in nonhomogeneous atmospheres. *J. Atmos. Sci.*, **49**, 2139-2156.
7. Fu, Q., and K. N. Liou, 1993: Parameterization of the radiative properties of cirrus clouds. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 2008-2025.
8. Fu, Q., K. N. Liou, M. C. Cribb, T. P. Charlock, and A. Grossman, 1997: Multiple scattering parameterization in thermal infrared radiative transfer. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 2799-2812.
9. Li, J.-L., 1994: On shallow cumulus parameterization scheme for large-scale planetary boundary layers, Ph.D. thesis, University of Wisconsin-Madison, pp203.
10. Li, J.-L. F. and F.-J. Wang, 2000: Improved shallow cumulus process in the Central Weather Bureau global forecast system。天氣分析與預報研討會（大氣部份），西元 2000 年 7 月 10-12 日，臺北，288-293。
11. Liu, Q., T. Marchok, H. L. Pan, M. Bender and S. Lord, 2000: Improvements in hurricane initialization and forecasting at NCEP with global and regional (GFDL) models. *Technical Procedures Bulletin No. 472*. Available at: <http://www.nws.noaa.gov/om/tpb>.
12. Mahrt, L., and H. -L. Pan, 1984: A two-layer model of soil hydrology. *Boundary Layer Meteorol.*, **29**, 1-20.
13. Palmer, T. N., G. Shutts, and R. Swinbank, 1986: Alleviation of a systematic westerly bias in general circulation and numerical weather prediction models through an orographic gravity wave drag

parameterization. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 112, 1001-1039.

14. Pan, and W.-S. Wu, 1995: Implementing a mass flux convective parameterization package for the NMC Medium-Range Forecast model. NMC Office Note 409, 40pp.
15. Troen, I., and L. Mahrt, 1986: A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensivity to surface evaporation. *Bound. Layer Meteor.*, **37**, 129-148.
16. Zhao, Qingyun and F. H. Carr, 1997: A Prognostic Cloud Scheme for Operational NWP Models. *Mon. Wea. Rev.*, 125, 1931-1953.
17. Zobler, L. 1986. A World Soil File for Global Climate Modelling. NASA Technical Memorandum 87802. NASA Goddard Institute for Space Studies, New York, New York, U.S.A.

六、致謝

本文在中央氣象局氣象科技研究中心支持下完成。

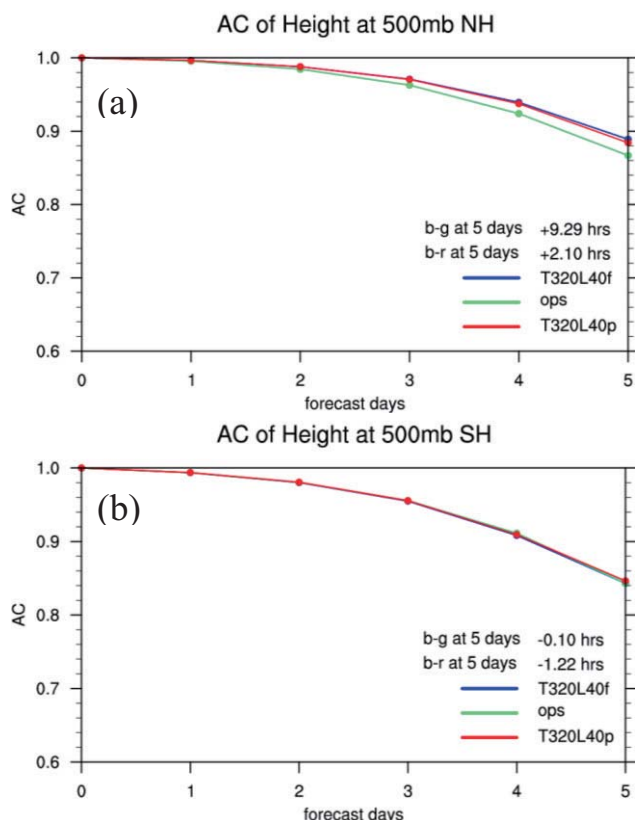


圖 1：2009 年 12 月冬季期間，高度 500mb，北半球(a)與南半球(b)的預報高度距平相關，縱軸為高度距平相關值，橫軸為預報天數。藍色線代表欲上線之版本，綠色線代表目前作業，紅色線代表提高解析度並更動物理參數化的版本。圖中並表示了藍色線實驗與綠色線實驗及藍色線實驗與綠色線實驗的實際預報差距，以小時表示，正值代表藍色線實驗較佳，負值較差。

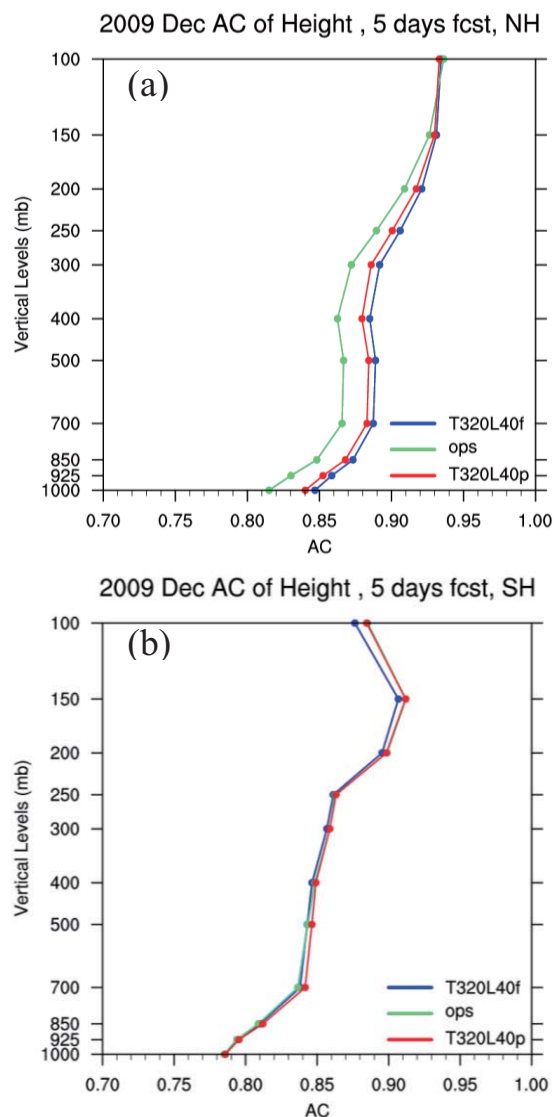
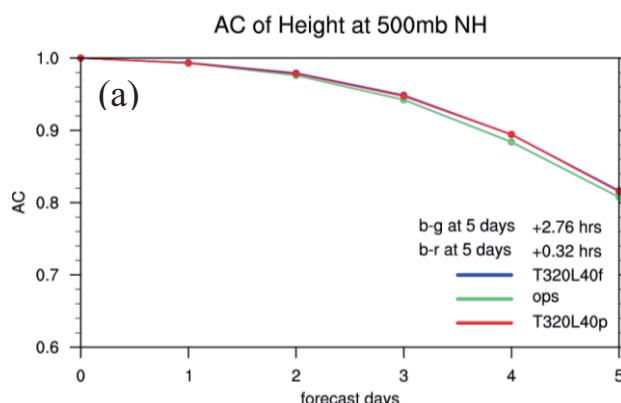


圖 2：2009 年 12 月冬季期間，各版本模式五天預報在垂直上的表現，(a)為北半球，(b)為南半球。縱軸為高度，橫軸為高度距平相關。



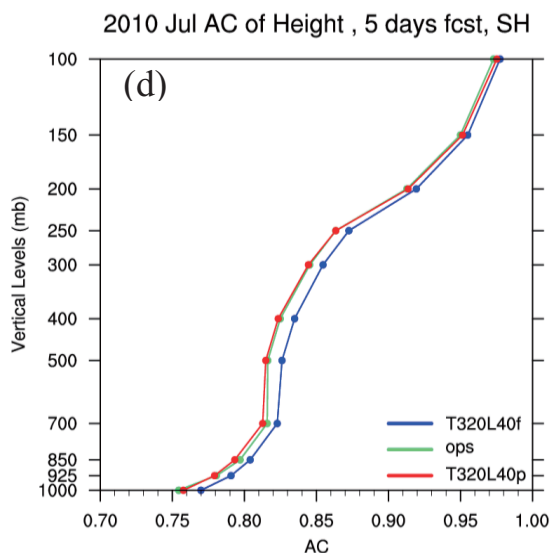
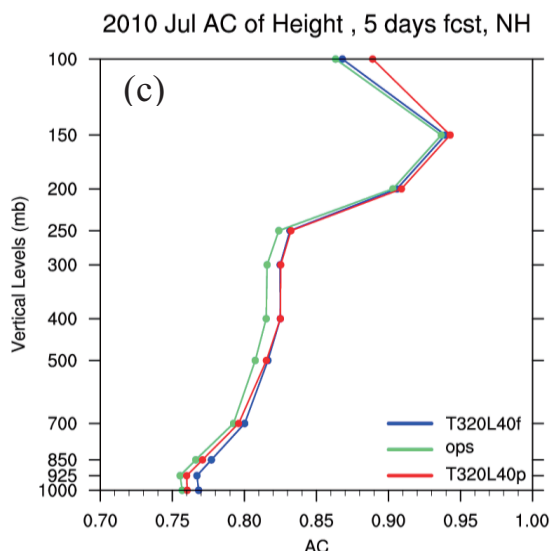
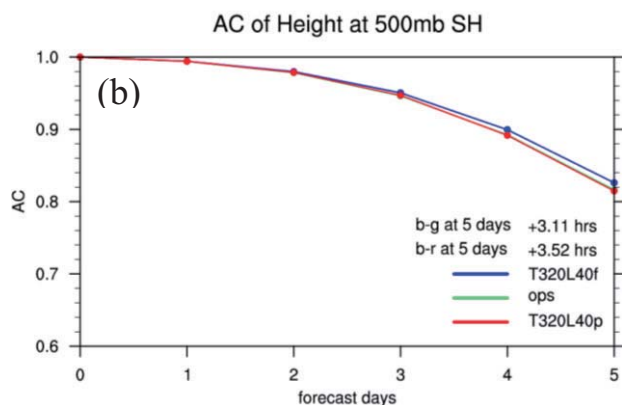


圖 3：2010 年 7 月夏季期間，高度 500mb，北半球(a)與南半球(b)的預報高度距平相關。下兩圖則是各版本模式五天預報在垂直上的表現，(c)為北半球，(d)為南半球。圖形定義如圖 1 與圖 2。

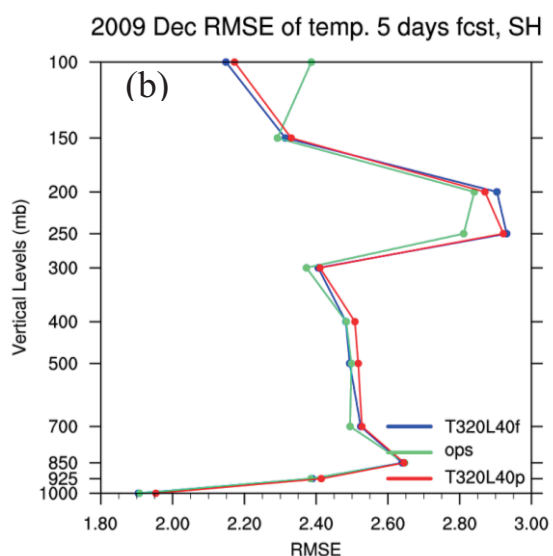
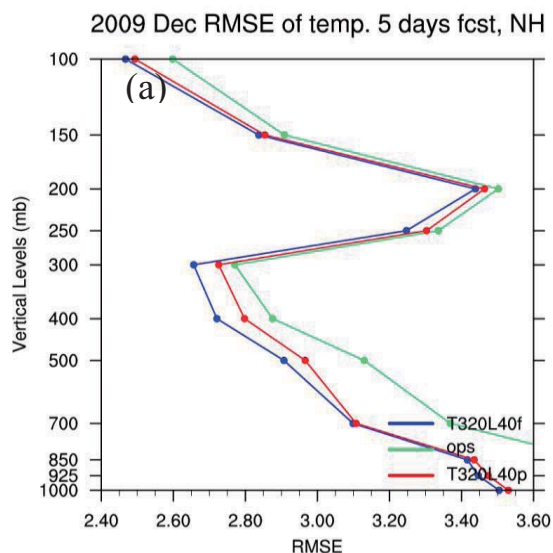
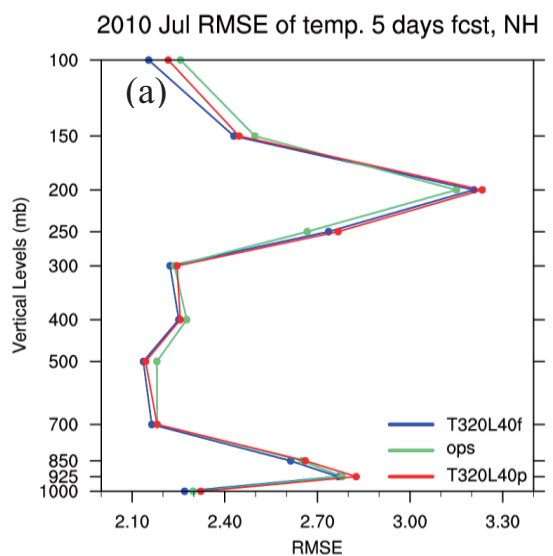


圖 4：2009 年 12 月冬季期間，各版本模式五天預報在垂直上的表現，(a)為北半球，(b)為南半球。縱軸為高度，橫軸為溫度均方根誤差。



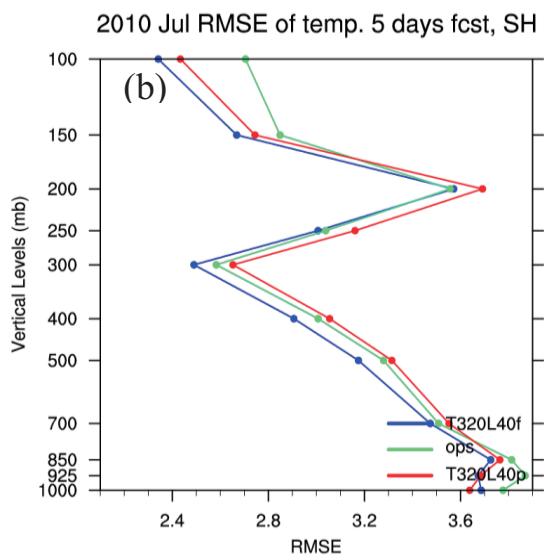


圖 5：2010 年 7 月夏季期間，各版本模式五天預報在垂直上的表現，(a)為北半球，(b)為南半球。縱軸為高度，橫軸為溫度均方根誤差。

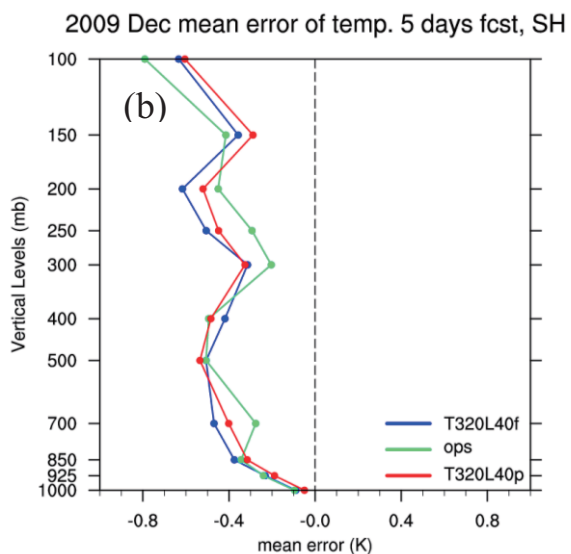
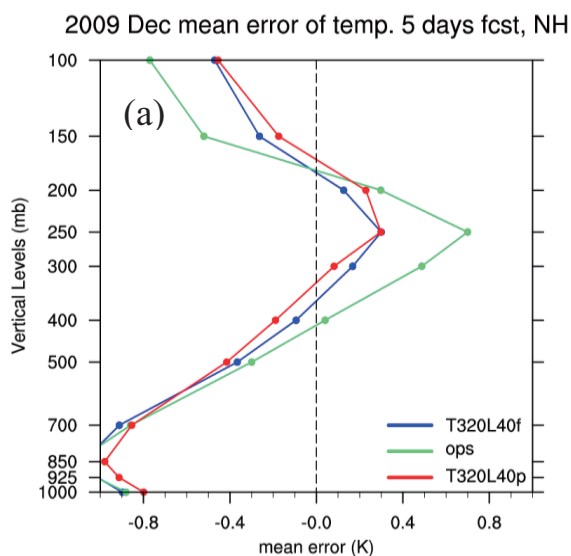


圖 6：2009 年 12 月冬季期間，各版本模式五天預報在垂直上的表現，(a)為北半球，(b)為南半球。縱軸為高度，橫軸為溫度平均誤差。

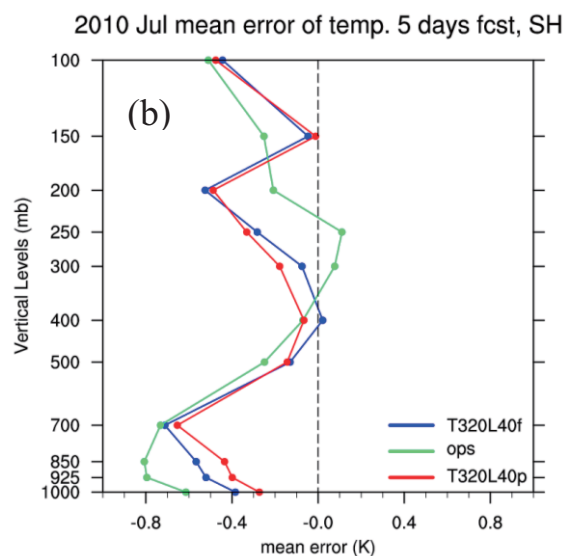
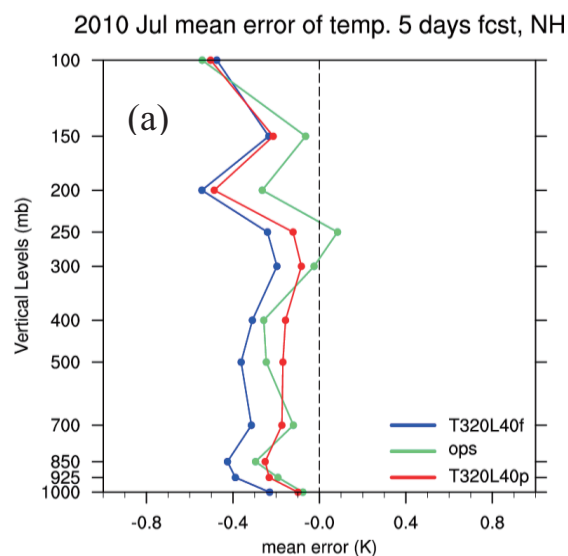
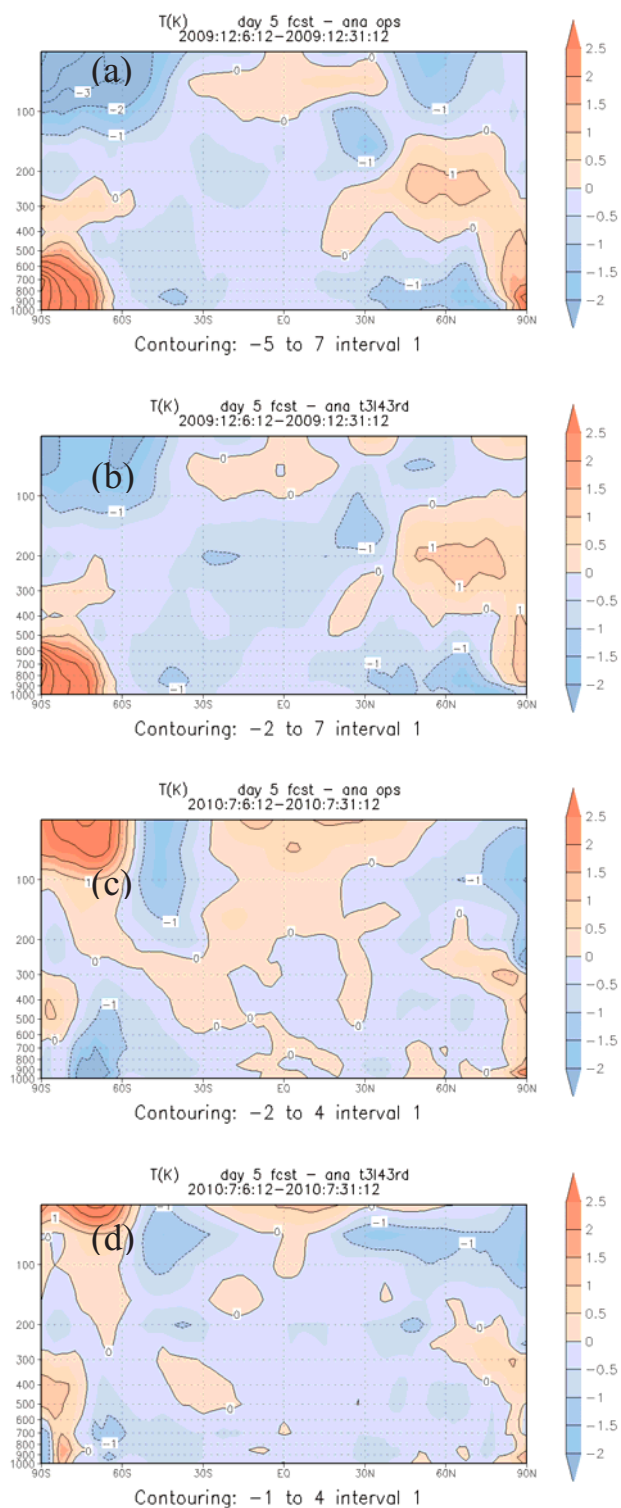
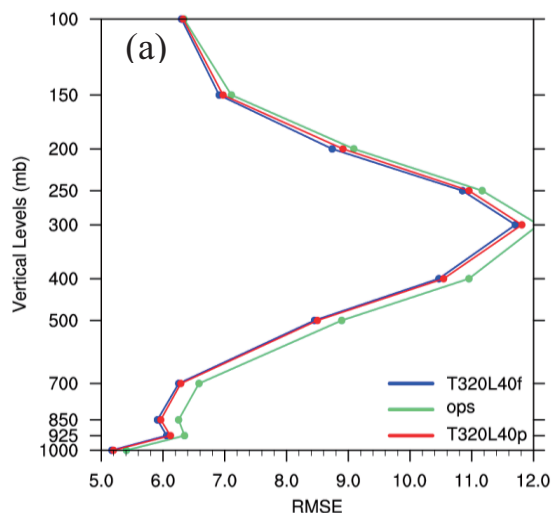


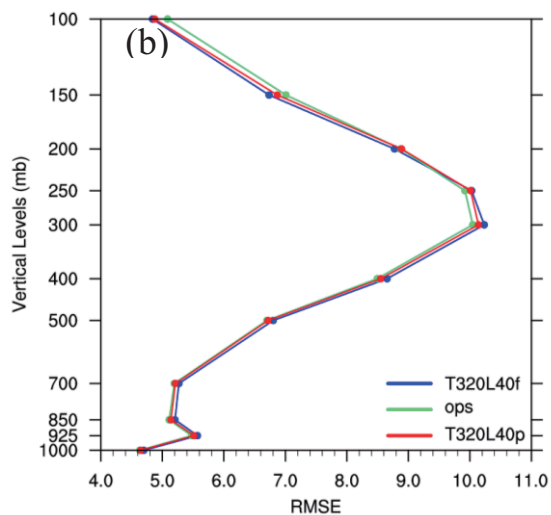
圖 7：2010 年 7 月夏季期間，各版本模式五天預報在垂直上的表現，(a)為北半球，(b)為南半球。縱軸為高度，橫軸為溫度平均誤差。



2009 Dec RMSE of u-wind 5 days fcst, NH



2009 Dec RMSE of u-wind 5 days fcst, SH



2010 Jul RMSE of u-wind 5 days fcst, NH

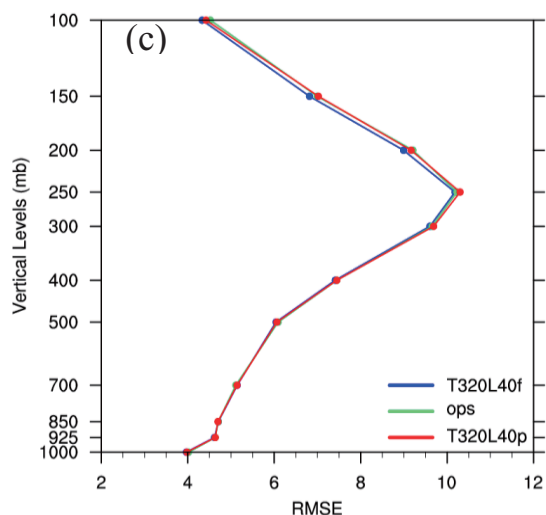


圖 8：2009 年 12 月冬季期間(a)與 2010 年 7 月夏季期間 (b)，作業(c)與 T320L40f(d)的五天溫度預報場減去分析場的月緯向平均。縱軸為高度，橫軸為緯度，紅色系代表預報比分析要暖，藍色系代表預報比分析要冷。

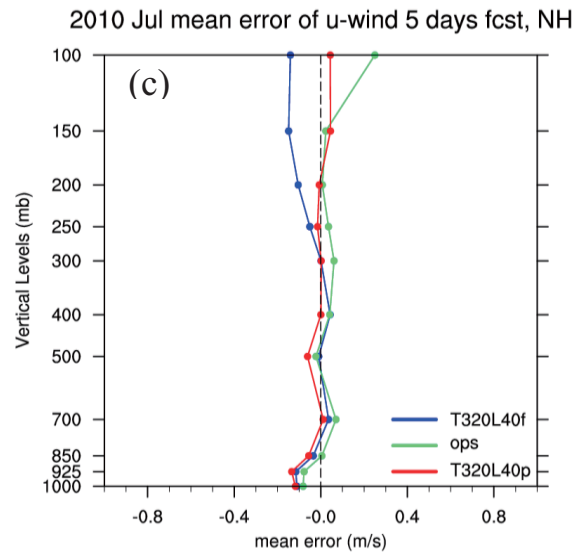
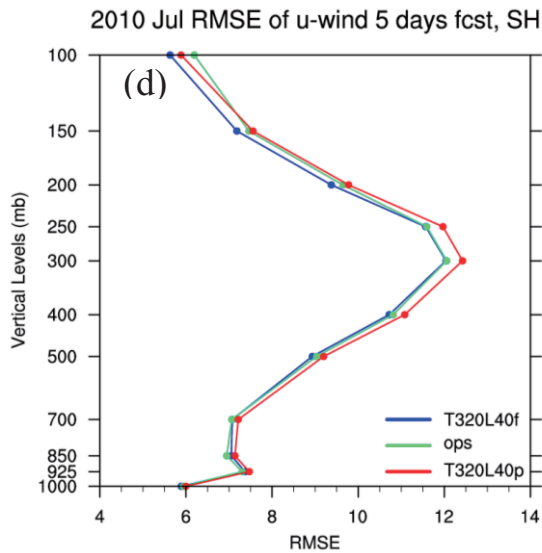


圖 9：2009 年 12 月冬季期間(a)與 2010 年 7 月夏季期間 (b)，各版本模式五天預報在垂直上的表現，(c)為北半球，(d)為南半球。縱軸為高度，橫軸為東西風場均方根誤差，單位為 m/s。

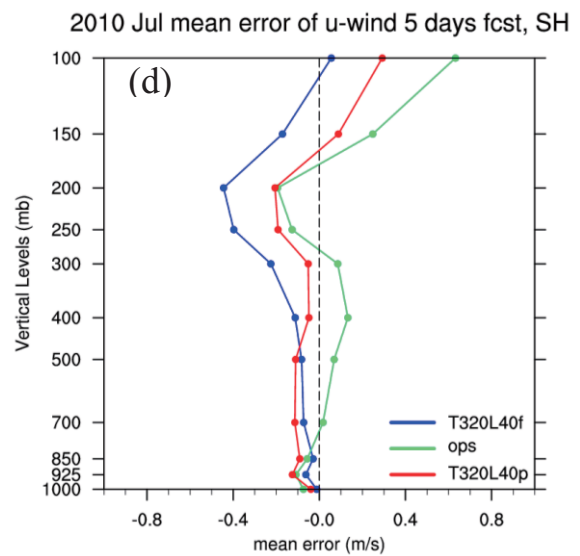
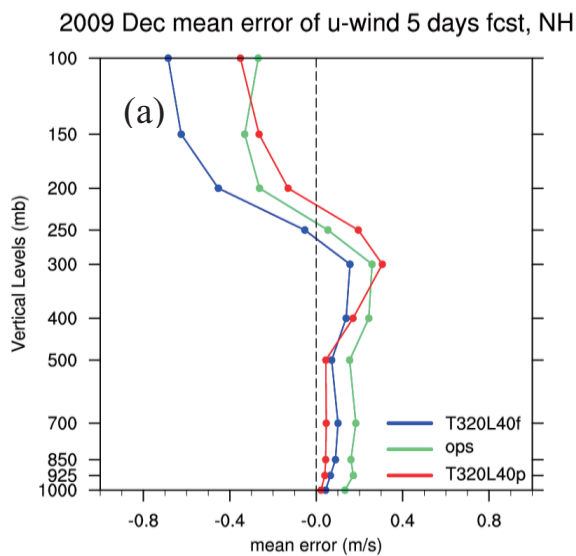
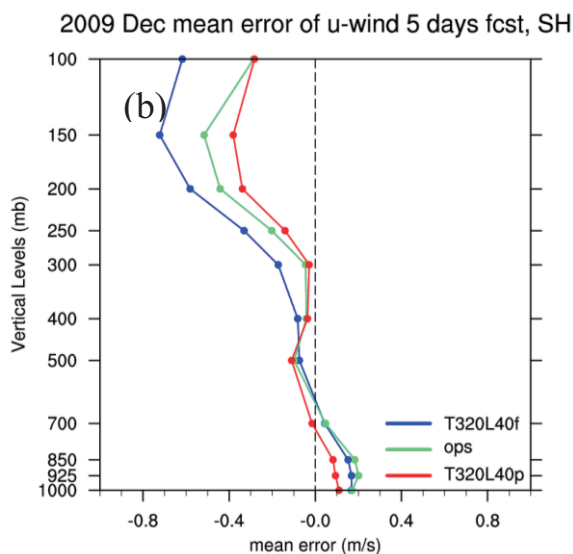


圖 10：2009 年 12 月冬季期間(a)與 2010 年 7 月夏季期間 (b)，各版本模式五天預報在垂直上的表現，(c)為北半球，(d)為南半球。縱軸為高度，橫軸為東西風場平均誤差，單位為 m/s。



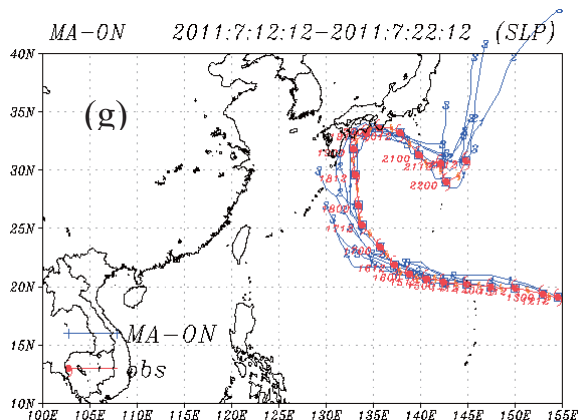
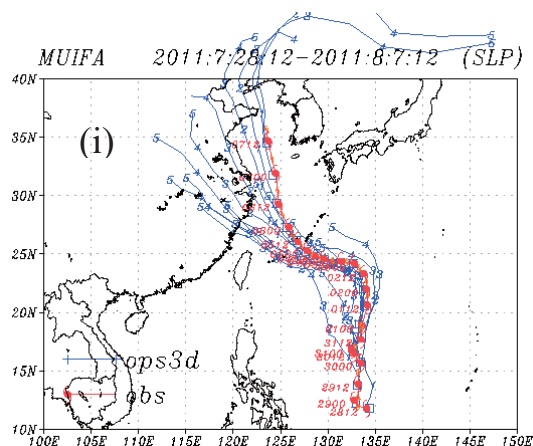
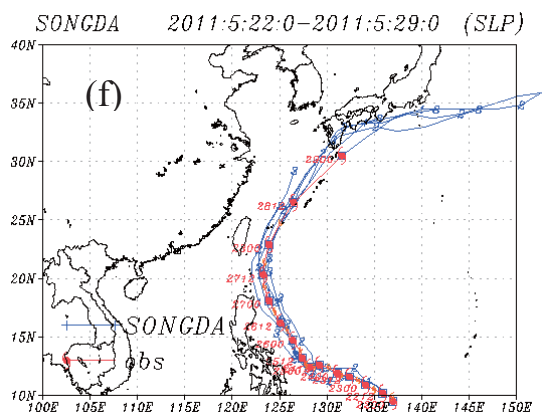
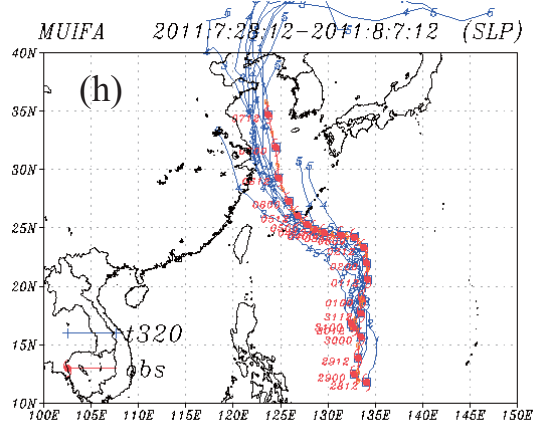
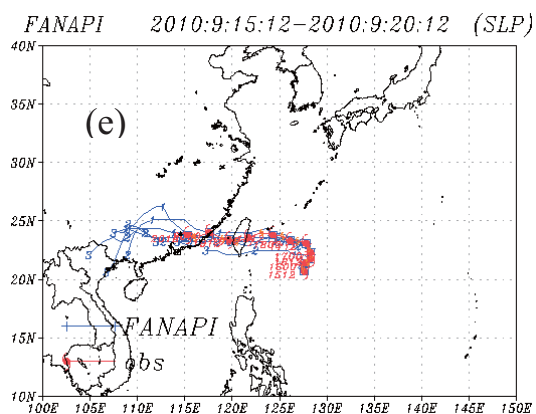
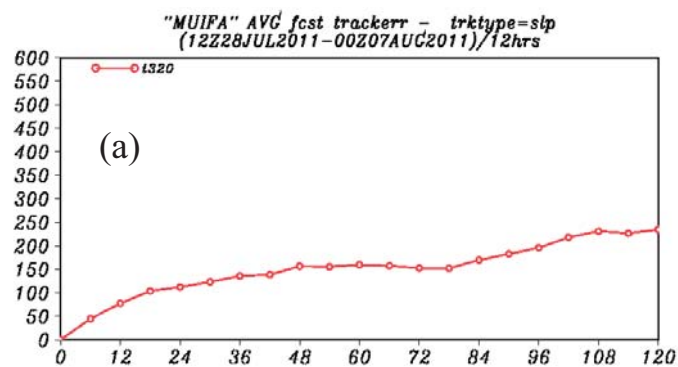


圖 12：T319L40 每天 2 次 (00Z、12Z) 的颱風路徑 5 天預報(a)2008 年 JANGMI 颱風，(b)2008 年 SINLAKU 颱風，(c)2009 年 MORAKOT 颱風，(d)2010 年 MEGI 颱風，(e)2010 年 FANAPI 颱風，(f)2011 年 SONGDA 颱風，(g)2011 年 MA-ON 颱風，(h)2011 年 MUIFA 颱風，(i) 作業模式 T239L30 對 2011 年 MUIFA 颱風的預報。



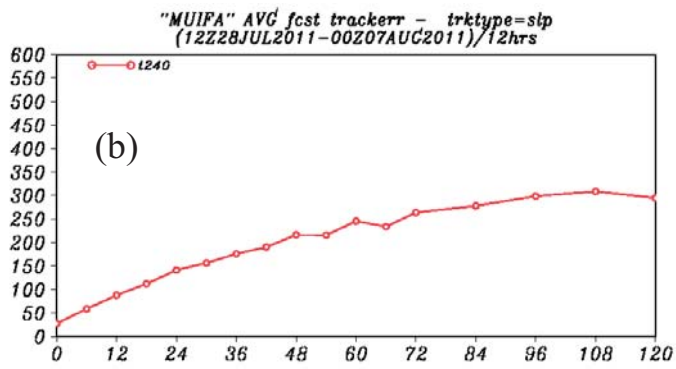


圖 13：2011 年 MUIFA 颱風每天 2 次（00Z、12Z）的 5 天路徑預報誤差(a) T319L40 模式的路徑誤差，(b) 作業模式 T239L30 的路徑誤差。

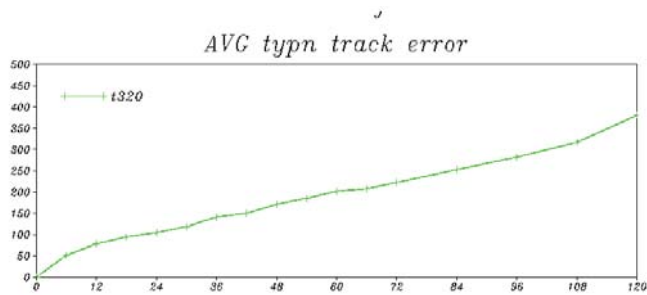


圖 14：2008 年 JANGMI、SINLAKU 颱風、2009 年 MORAKOT 颱風、2010 年 MEGI、FANAPI 颱風、2011 年 SONGDA 颱風、MA-ON、MUIFA 颱風，T319L40 每天 2 次（00Z、12Z）颱風路徑 5 天預報的平均誤差。