



香港天文台

HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 1220

華南沿岸中尺度熱帶氣旋概率預報初探

韓穎榕¹ & 韓啓光

第30屆粵港澳氣象科技研討會

廣東省廣州市

2016年4月20-22日

¹ 香港科技大學

華南沿岸中尺度熱帶氣旋概率預報初探

韓穎瑢¹ 韓啓光²
¹ 香港科技大學 ² 香港天文台

摘要

熱帶氣旋之生消演變，取決於多尺度大氣過程之相互影響。全球以至區域模式受限於水平分辨率及數據同化方法，往往未能有效在運算中反映，致使預報員未能充分利用與之相關的不確定性資訊。華南沿岸毗鄰南海、東迎西北太平洋，每年均受一定數目的熱帶氣旋影響，隨之而來的大風及持續降雨能引致不同程度的氣象災害。要有效地作出風險評估以支援業務決策，客觀的惡劣天氣發生概率實不可缺。

香港天文台自 2013 年底開始測試一套基於動力降尺度方法的中尺度短期集合預報系統，提供一系列可能發生之天氣情景以作預報參考。本文檢視該試驗性系統對 2015 年影響本港之主要熱帶氣旋的預報表現，包括與各大全球確定性模式和集合預報系統在路徑、強度以及熱帶氣旋發生機率等方面的比對，同時就中尺度熱帶氣旋概率預報產品的開發應用作出討論。

1. 背景

熱帶氣旋之生消演變取決於多尺度大氣過程之相互影響[1]，初始條件的些微差異，對其後的強度及路徑可以有莫大的影響。全球以至區域模式受限於水平分辨率及數據同化方法，往往未能有效在運算中反映、利用與之相關的不確定性資訊[2]。華南沿岸毗鄰南海、東迎西北太平洋，每年均受一定數目的熱帶氣旋影響，隨之而來的大風及持續降雨能引致不同程度的氣象災害[3、4]。要有效地作出風險評估以支援業務決策，客觀的惡劣天氣發生概率實不可缺[5、6]。

天文台早於 2012 年開始進行對熱帶氣旋的中尺度集合預報試驗[7]，並自 2013 年底開始測試一套基於動力降尺度方法的中尺度短期集合預報系統[8]。本文檢視該試驗性系統對 2015 年影響本港之主要熱帶氣旋的預報表現，包括與各大全球確定性模式和集合預報系統在路徑、強度以及熱帶氣旋發生機率等方面的比對，同時就中尺度熱帶氣旋概率預報產品的開發應用作出討論。

2. 熱帶氣旋概述

2015 年影響本港的熱帶氣旋共 3 個，分別為熱帶風暴鯨魚(1508)、颱風蓮花(1510)和強颱風彩虹(1522)。本文將集中討論蓮花和彩虹。

蓮花在 2015 年 7 月 2 日於菲律賓以東之西北太平洋上形成，其後穩定西移並於 7 月 5 日橫過呂宋進入南海。受較弱引導氣流影響，蓮花在隨後兩天緩慢地向偏北方向漂移，逐漸增強。至 7 月 8 日，蓮花開始西折靠近廣東東部沿岸，當晚已達颱風強度。蓮花在 7 月 9 日正午時分於廣東陸豐市附近登陸，但下午繼續採取西至西南偏西路徑橫越廣東沿岸地區及迫近珠江口一帶，並在當晚於天文台總部以北約 50 公里附近掠過。天文台就蓮花發出之熱帶氣旋警告信號詳見表一。

彩虹在 2015 年 10 月 1 日於菲律賓以東海域形成及橫過呂宋，並於翌日早上進入南海。隨後數天，彩虹穩定向西北偏西移動並迅速增強，同時逐步靠近廣東沿岸，在 10 月 3 日晚上於本港之西南偏南約 320 公里附近掠過。至 10 月 4 日上午，彩虹發展為強颱風，但在當天下午於廣東湛江附近登陸並逐漸減弱，最後在 10 月 5 日下午消散。表二為天文台就彩虹所發出之熱帶氣旋警告信號。

3. 模式配置

模式採用 Weather Research and Forecast (WRF) Model[9]，版本為 3.4.1，水平分辨率 10 公里，預報範圍為 8° N 至 30° N, 100° E 至 128° E，覆蓋華南地區及南海北部(圖一)。系統 20 個成員的初始擾動及邊界條件均來自 NCEP 全球集合預報系統的輸出資料。是次試驗中起報時間一般滯後初始場約 12 小時，而預報時效為 72 小時。

物理過程方面，由於是次試驗並不考慮參數化所帶來的不確定性，各成員均以相同配置運行，其中主要利用 Kain-Fritsch 對流參數化，WDM5 雙矩量微物理方案和 MYJ 邊界層方案等。

4. 驗證結果

以下段落簡單介紹該試驗性系統對蓮花和彩虹之預報表現。

4.1 路徑預報

圖二至三為試驗性中尺度集合預報系統(右下)與主要全球集合預報系統之熱帶氣旋發生機率產品，其值代表預報時段內熱帶氣旋中心曾在該位置出現的概率。

圖二所示為 2015 年 7 月 8 日 00 UTC (即蓮花登陸前約一天) 及 12 UTC (即蓮花登陸前能供業務預報參考的最後一報) 之預報結果。其中可見，不同集合預報，雖然大致能預示蓮花路徑即將西折，惟轉向幅度存有不少分歧。除 NCEP 和試驗性系統外，各模式皆以蓮花在本港以南水域掠過為主。

圖三所示為 2015 年 10 月 2 日 00 UTC 之預報結果，即彩虹達到其最高強度前約 2 天。其中可見，試驗性系統在掌握彩虹的西北偏西路徑方面與各全球集合預報相約，模式間之差異主要在移動速度上。

圖四為路徑預報誤差，其中試驗性集合預報成員以灰階顯示，集合平均則為螢光綠色。紫、紅、藍、綠分別代表歐(ECMWF)、日(JMA)、英(EGRR/UKMO)、美(NCEP)之全球模式。從圖四可見，試驗性系統在蓮花個案中，整體表現與主要全球模式相約，24 小時路徑誤差在 100 公里以內，72 小時誤差約 200 公里，唯預報中段(即 36 至 48 小時)稍為遜色。在彩虹個案中，試驗性系統從 12 至 72 小時之誤差均在 100 公里以內，預報後段(即 48 至 72 小時)更優於各全球模式。

4.2 強度預報

圖五至六為強度預報與分析之比對，其中試驗性集合預報成員以灰階顯示，集合平均為淺綠色，各全球模式及天文台的中尺度模式則以其他顏色表示。黑色粗線為天文台最佳路徑之強度分析結果，最密為 3 小時一次。

從圖五可見，各模式對掌握蓮花近岸增強均有一定限制，是次個案中試驗性系統的強度預報表現大致與其他模式相約。值得留意，雖然 ECMWF 全球模式在 7 月 8 日 00 UTC 一報準確預測蓮花將於 9 日上午達颱風強度，其路徑仍偏南，即在本港或以南水域掠過，因而對本地天氣影響的評估造成較大誤差。

從圖六可見，試驗性系統較有效反映彩虹的強度變化，其中 10 月 2 日 00 UTC 起報之集合平均最高強度與實況(約每小時 95 海浬)相差在每小時 5 海浬以內。其他模式普遍未能捕捉彩虹在 48 小時之間，由熱帶風暴急速增強為強颱風的趨勢，強度峰值的誤差由每小時 20 至 40 海浬不等。

4.3 雨量分佈及結構

圖七至八為試驗性集合預報系統之雨量預報郵票圖(上)及對應之雷達迴波觀測(下)。從圖七可見，即使在超過 36 小時前，集合成員普遍能夠掌握蓮花在登陸後之不

對稱形態，即其抵達珠江口時，降雨區域主要集中在北半，而南半的雨帶大都已经消散。值得一提，部分成員更成功預測尾隨蓮花之窄長雨帶。至於彩虹方面，從圖八可見，由於路徑及強度預報得宜，集合成員多能預示彩虹之緊密結構及內外多重雨帶，其中不乏風眼清晰可見者。

5. 討論及展望

本文檢視一套基於動力降尺度方法的中尺度短期集合預報系統對 2015 年影響本港之主要熱帶氣旋的預報表現。準實時驗證結果表明，試驗性系統在路徑、強度及熱帶氣旋發生機率預報方面均與全球模式相約，其表現在彩虹個案尤其突出，顯示區域中尺度集合預報技術對華南沿岸熱帶氣旋預報能起正面作用。

蓮花之西折，對業務預報及預警構成一定挑戰。與主要全球確定性模式以至集合預報的偏南入海路徑相比，試驗性系統約 1 至 2 天前開始穩定地預測蓮花將以高度不對稱結構在本港北面掠過，實有相當參考價值。

熱帶氣旋之急速增強 (Rapid Intensification, 或「RI」) 為現今學術界積極研究之課題，其物理機制及預報辦法仍存不少挑戰。試驗性系統在彩虹個案中之優秀表現，顯示中尺度集合預報似乎是業務上應對熱帶氣旋強度預報問題的一個可行方案。

上文亦指出試驗性系統的一些限制。由於該系統直接對分辨率為 1 經緯度的來源數據進行動力降尺度，在熱帶氣旋的初始位置及強度方面因而有所不足，這反映在蓮花預報中段和彩虹預報初段稍大於全球模式的路徑誤差上。參考海外經驗，集合預報中的熱帶氣旋初始化問題可以透過合適的數據同化手段改善，但如何在不影響集合離散度以及天氣或中尺度流擾動結構的情況下實行仍有待研究。

隨著全球主要預報中心無論在確定性或集合預報系統的水平分辨率均逐漸趨近中尺度模式，區域預報系統的運作模式正面臨挑戰。就重要天氣過程的預報而言，中尺度集合以乎是其中一個可行出路。唯其數據輸出及運算量頗為龐大，軟、硬件配套以及產品釋用手段的開發，將成為影響區域中尺度集合預報業務化可行性的重要課題。此外，透過統計或人工智能等後處理辦法綜合、總結不同天氣情景以輔助業務預報及決策，今後將不可或缺。

鳴謝

本文作者感謝陳栢緯先生對研究項目鼎力支持，以及陳敏儀小姐和江維先生的技術協助。此外，特別鳴謝廣東省氣象局提供沿岸雷達拼圖以供參考。

參考文獻

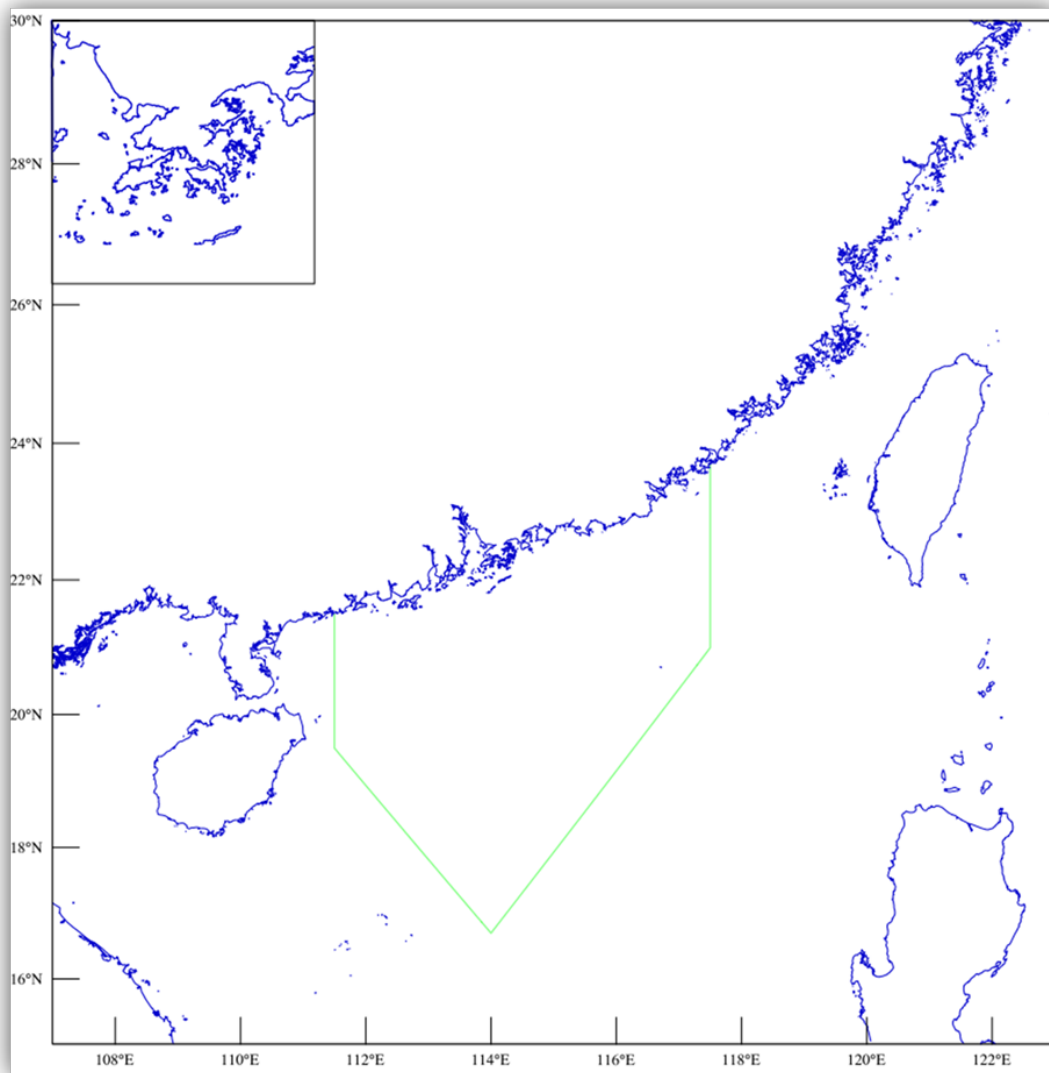
- [1] Fuqing Zhang and Dandan Tao, 2013: Effects of Vertical Wind Shear on the Predictability of Tropical Cyclones. *J. Atmos. Sci.*, **70**, 975–983.
- [2] Fuqing Zhang and Yonghui Weng, 2015: Predicting Hurricane Intensity and Associated Hazards: A Five-Year Real-Time Forecast Experiment with Assimilation of Airborne Doppler Radar Observations. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **96**, 25–33.
- [3] 韓啟光、唐宇輝， 2011: 與颱風燦都相關的一道強雨帶的中尺度分析，第二十五屆粵港澳氣象科技研討會，香港，2011年1月26-28日。
- [4] Chan, S.T., J. Davidson, P. Caroff, J. Courtney, D. Grant, K. Kato, M. Mohapatra and C.H. Qian, 2014: Track, Intensity and Structure Changes at Landfall – Forecasting Challenges. The Third International Workshop on Tropical Cyclone Landfall Processes, Jeju, Republic of Korea, 8-10 December 2014.
- [5] Edward S. Epstein, 1962: A Bayesian Approach to Decision Making in Applied Meteorology. *J. Appl. Meteor.*, **1**, 169–177.
- [6] 韓啟光、陳維洵， 2012: 聯合降雨概率於香港地區大雨預報中的應用，第二十六屆粵港澳氣象科技研討會，澳門，2012年1月17-19日。
- [7] 柯銘強、韓啟光、黃偉健， 2013: Numerical Studies on Severe Typhoon Vicente，第二十七屆粵港澳氣象科技研討會，廣東韶關，2013年1月9-10日。
- [8] 韓啟光，2015: 華南沿岸中尺度集合預報初探，第二十九屆粵港澳氣象科技研討會，澳門，2015年1月20-22日。
- [9] Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp.

表一 天文台在蓮花影響本港期間所發出之熱帶氣旋警告信號。

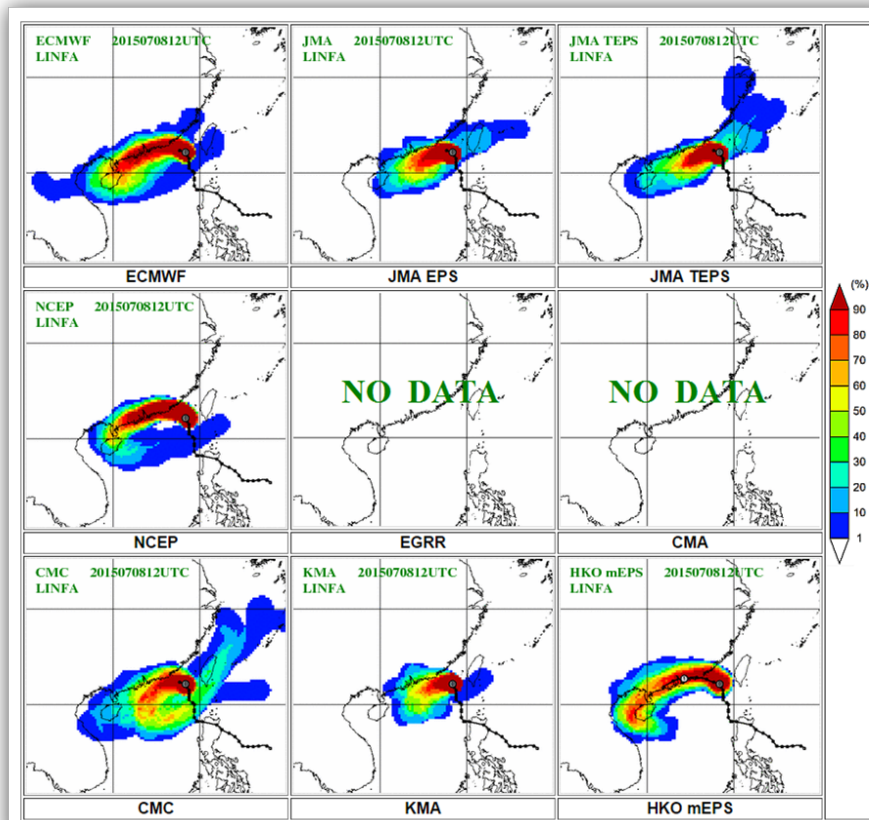
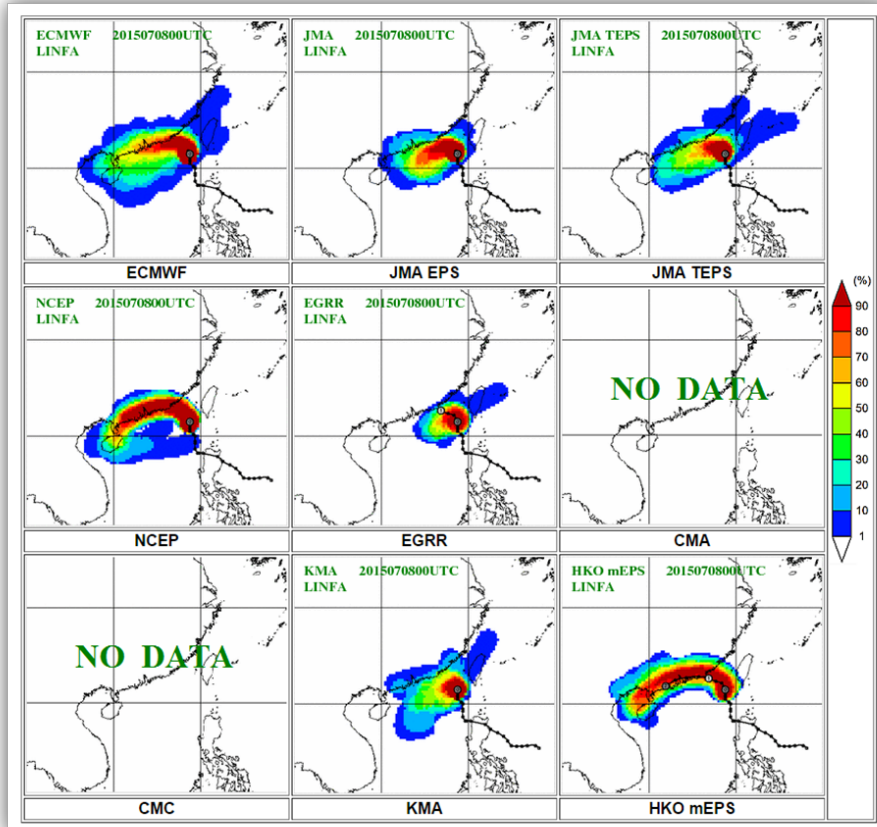
	生效時間
T1	7月8日 07:40 HKT
⊥3	7月9日 08:40 HKT
▲8 NW西北	7月9日 16:40 HKT
⊥3	7月9日 22:10 HKT
--	7月10日 05:50 HKT

表二 天文台在彩虹影響本港期間所發出之熱帶氣旋警告信號。

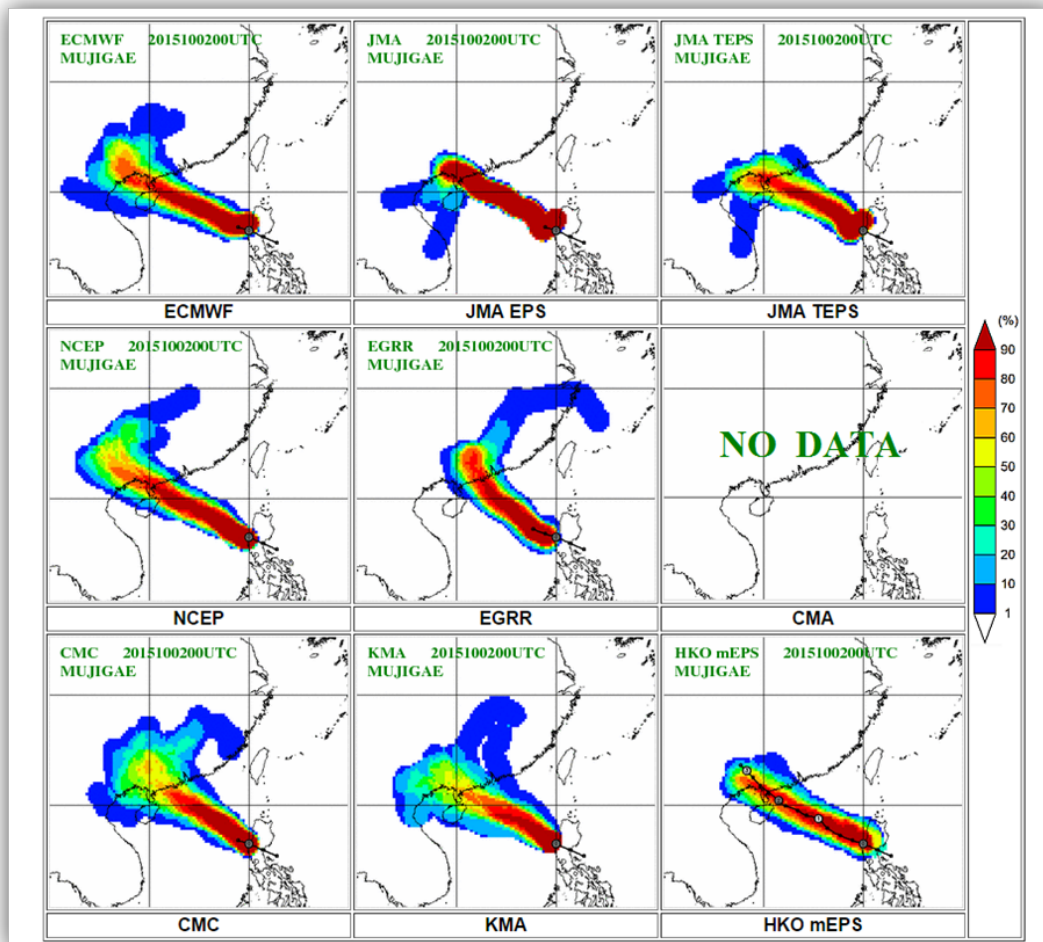
	生效時間
T1	10月2日 20:40 HKT
⊥3	10月3日 10:20 HKT
T1	10月4日 20:40 HKT
--	10月5日 05:20 HKT



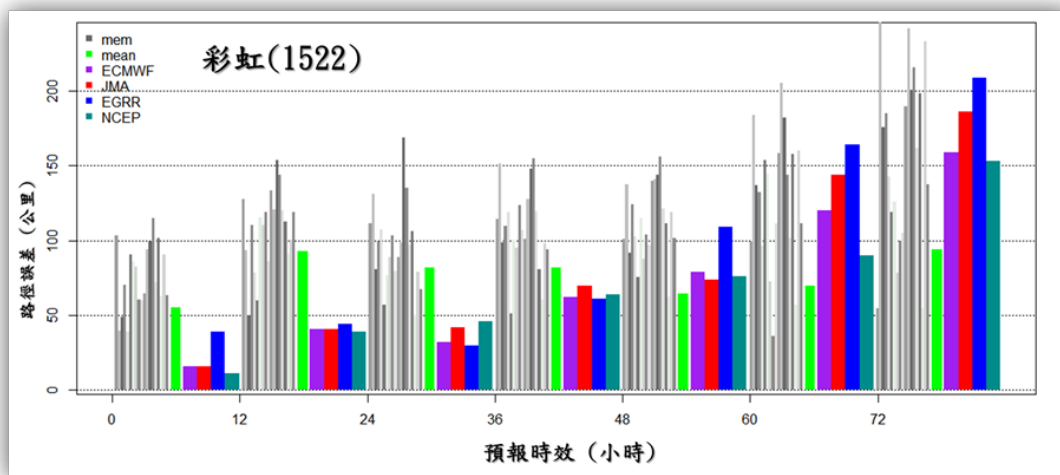
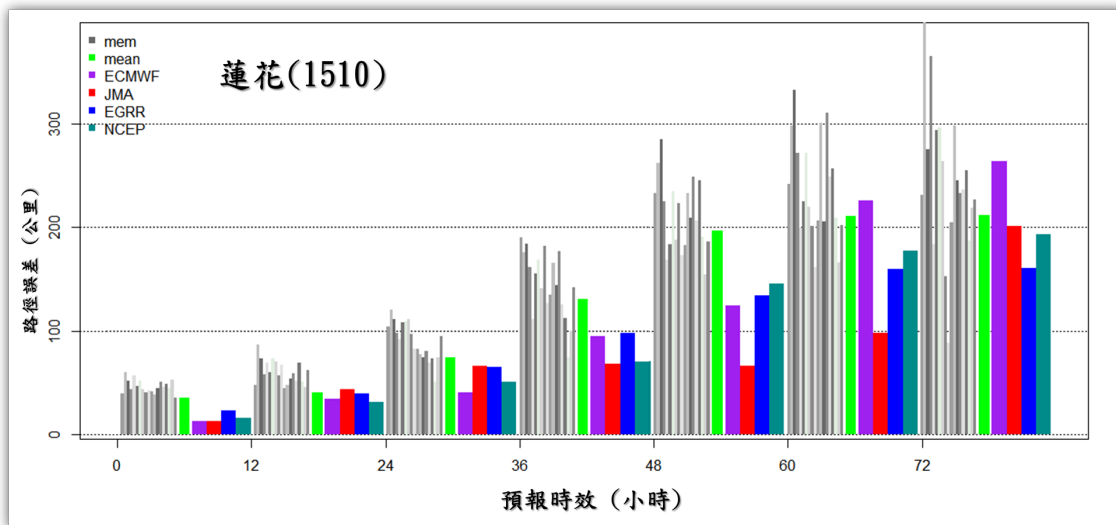
圖一 試驗性中尺度集合預報系統的配置示意圖。



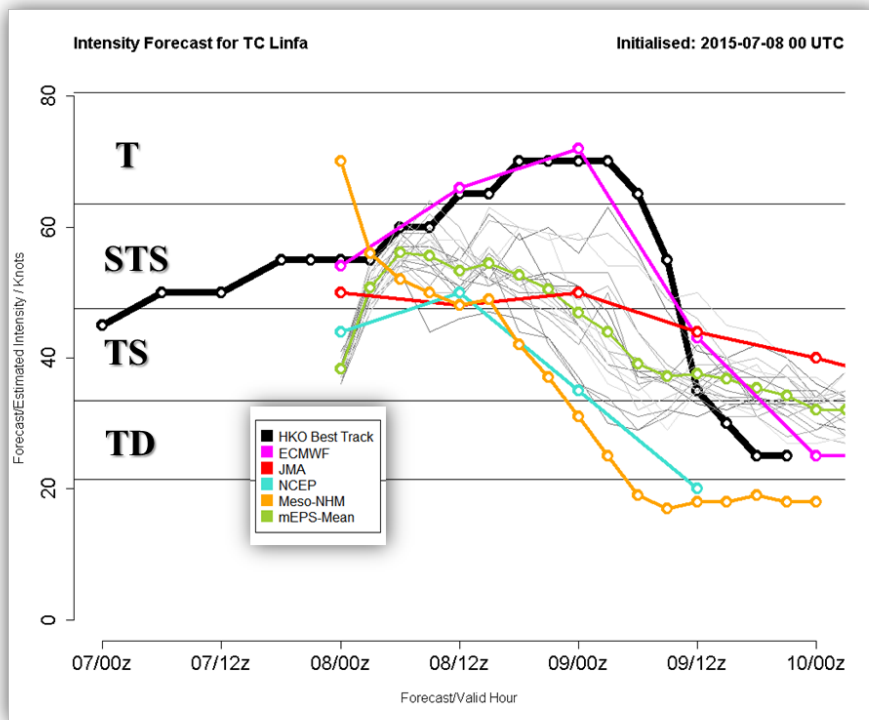
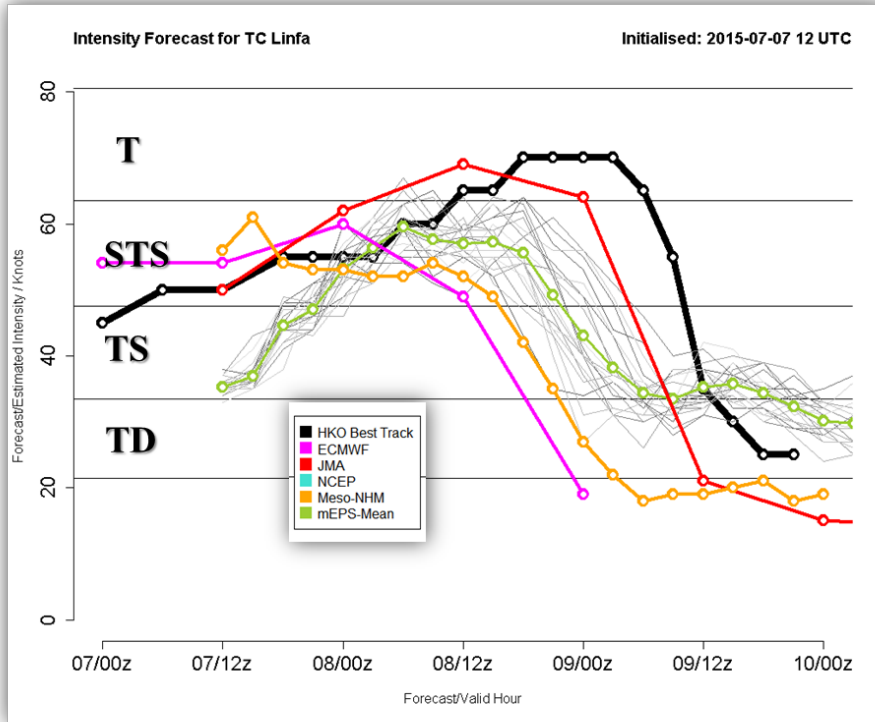
圖二 試驗性中尺度集合預報系統(右下角)與主要全球集合預報系統對蓮花之熱帶氣旋發生機率預報一覽。圖中所示之起報時間為 2015 年 7 月 8 日 00 UTC(上, 即登陸前約一天)及 12 UTC(下, 業務預報上在登陸前能參考的最後一報)。



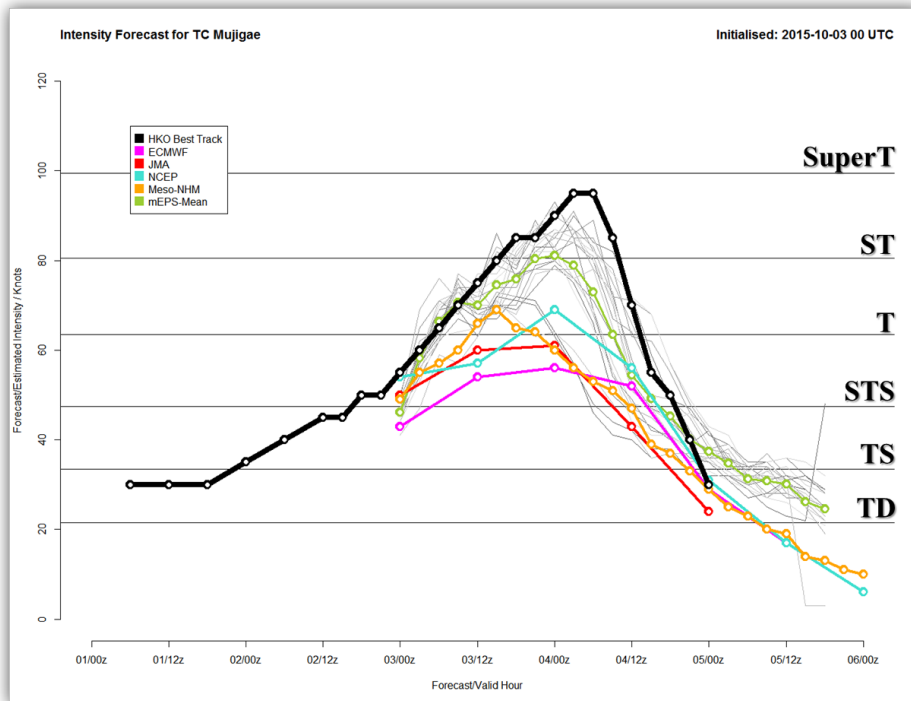
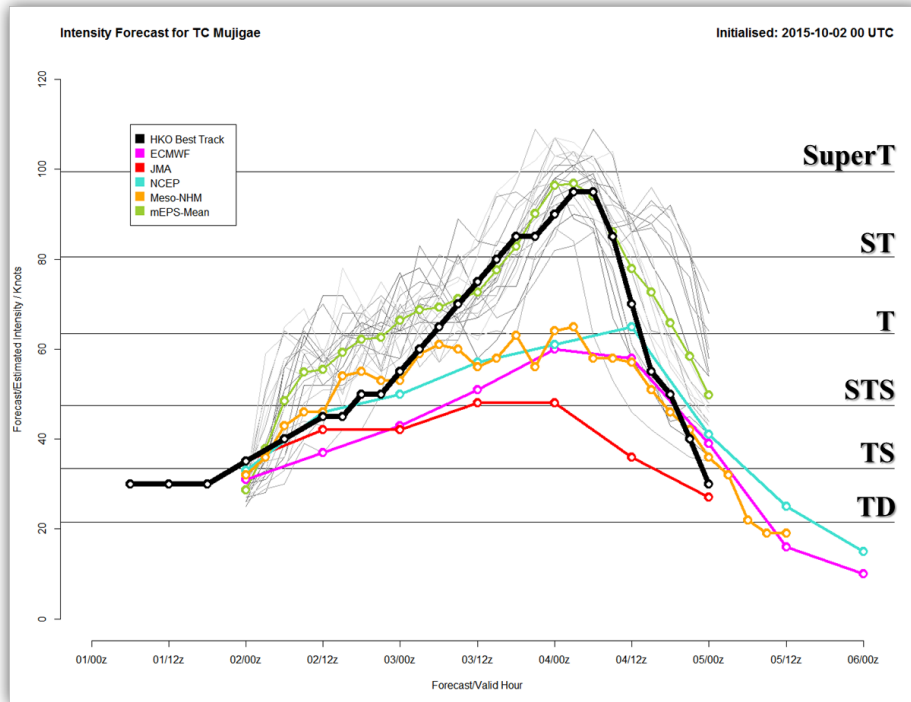
圖三 同上。個案為熱帶氣旋彩虹，起報時間為2015年10月2日00 UTC，即彩虹到達其最高強度前約2天。



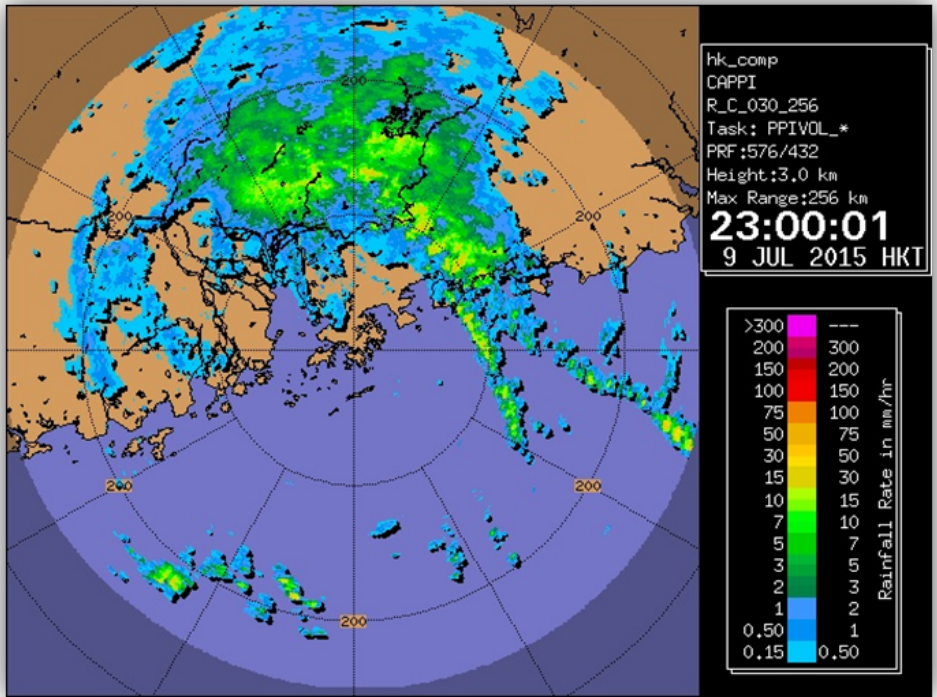
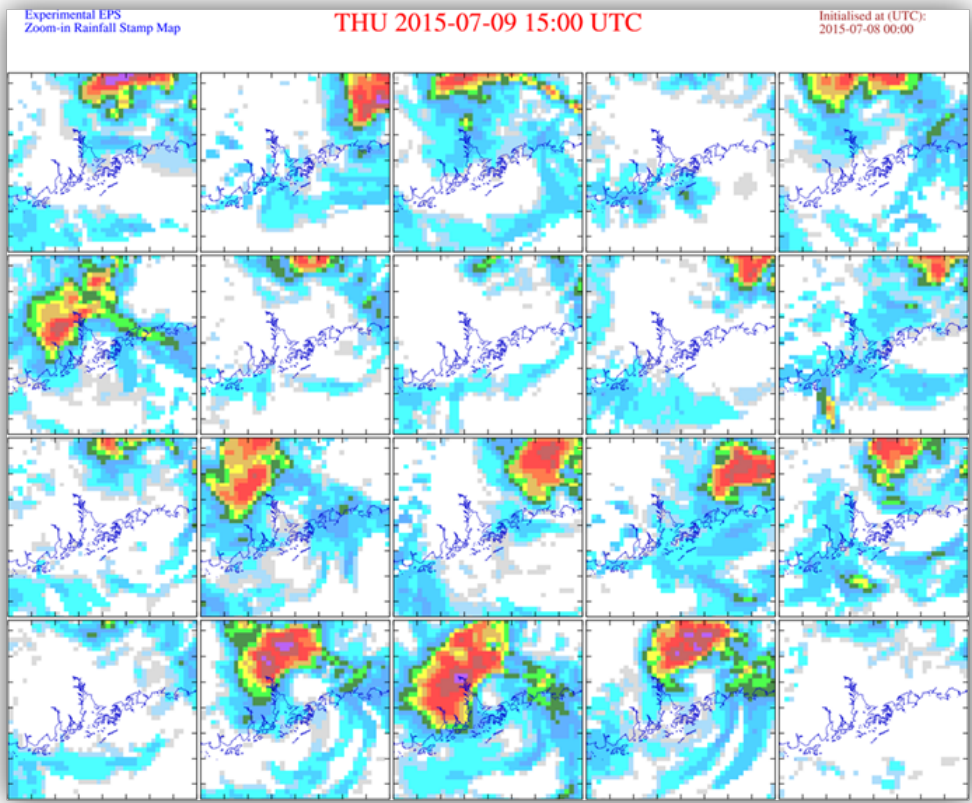
圖四 試驗性集合預報系統及主要全球模式對蓮花(上)和彩虹(下)之路徑預報誤差。其中集合預報成員以灰階顯示，集合平均為螢光綠色。紫、紅、藍、綠分別代表歐(ECMWF)、日(JMA)、英(EGRR/UKMO)、美(NCEP)全球模式。



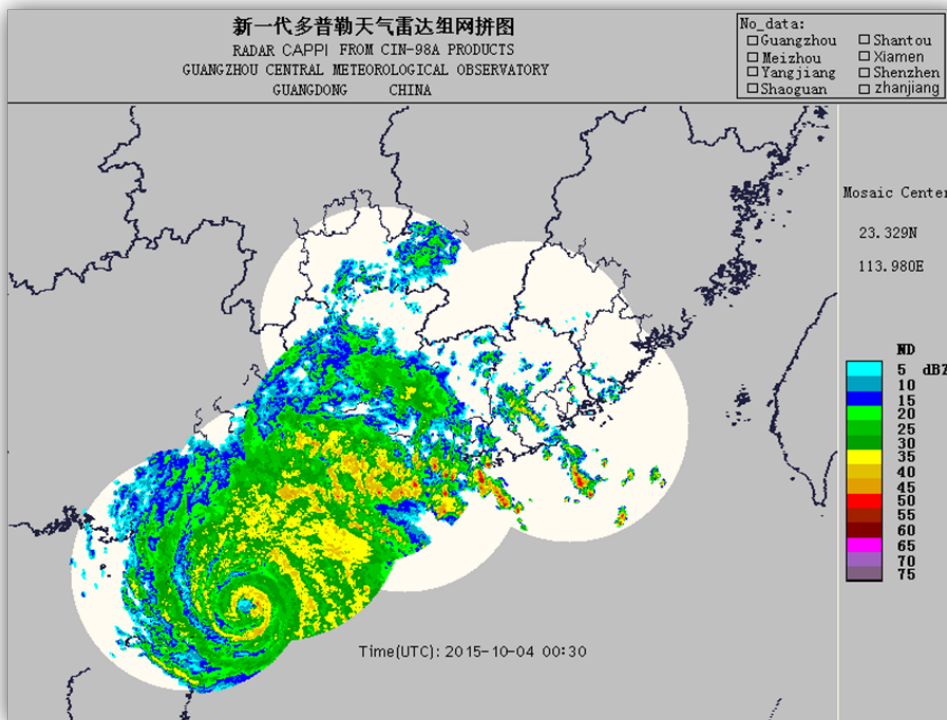
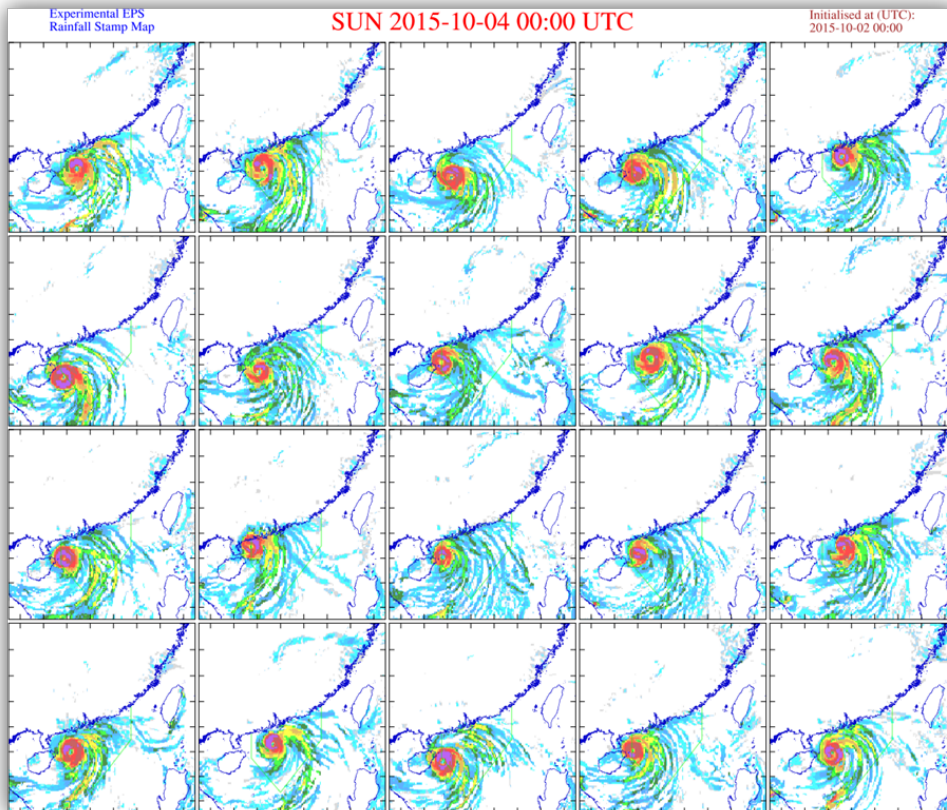
圖五 試驗性集合預報系統(灰色為各成員，淺綠色為集合平均)與主要全球模式及天文台的中尺度模式在2個不同起報時次(7月7日12 UTC, 8日00 UTC)對蓮花的強度預報。黑色為天文台最佳路徑及強度分析(最密為3小時一次)。



圖六 試驗性集合預報系統(灰色為各成員，淺綠色為集合平均)與主要全球模式及天文台的中尺度模式在2個不同起報時次(10月2日00 UTC，3日00 UTC)對彩虹的強度預報。黑色為天文台最佳路徑強度分析(最密為3小時一次)。圖中可見，彩虹在48小時之間由熱帶風暴急速增強為強颱風，中心附近最高持續風速達每小時95海浬。



圖七 蓮花之雨量預報郵票圖(上)及對應之雷達迴波觀測(下)。圖中可見，集合成員大都對蓮花在登陸後之不對稱形態有一定顯示作用，部分亦成功預測尾隨蓮花之窄長雨帶。



圖八 彩虹之大範圍雨量預報郵票圖(上)及對應之雷達迴波觀測(下)。圖中可見，雖然路徑各異，集成成員多能預示彩虹之緊密結構及內外多重雨帶，其中不乏風眼清晰可見者。