

Reprint 1161

華南沿岸中尺度集合預報初探

韓啟光

第二十九屆粵港澳氣象科技研討會

澳門，2015年1月20-22日

# 華南沿岸中尺度集合預報初探

韓啟光

香港天文台

## 摘要

天氣過程的演變帶有隨機性。在不全面的觀測資料及欠完美的模式方案限制下，準確預測短至中期的重要天氣事件仍存一定挑戰。集合預報技術透過考慮數值模式初始及邊界條件、以至物理過程的擾動，提供一系列可能發生之天氣變化情景，作為估算氣象要素或天氣事件出現概率的客觀基礎。本文介紹一套基於動力降度方法的試驗性中尺度短期集合預報系統的開發和應用，並利用2014年間影響本港的重要天氣個案，包括暴雨、熱帶氣旋、強烈季候風及酷熱等，檢視預報系統於華南沿岸之初步表現。本文同時就中尺度概率預報產品之發展作出討論。

## 1. 背景

天氣過程的演變帶有隨機性。在不全面的觀測資料及欠完美的模式方案限制下，準確預測短至中期的重要天氣事件仍存一定挑戰。為有效估算氣象要素或天氣事件的出現概率，世界各大主要預報中心早於上世紀90年代開始研發集合預報技術[1]，透過考慮數值模式初始及邊界條件、以至物理過程的擾動，提供一系列可能發生之天氣變化情景，作為概率估算的客觀基礎。

香港位處華南沿岸，背靠大陸、南面臨海，地理條件複雜；加上所處緯度屬亞熱帶氣候，不同季節分別受中高緯或熱帶天氣系統交替影響。即使利用全球或區域模式的高分辨率確定性預報，並參考分辨率較低的全球集合預報系統輸出，往往未必能準確反映一年之間影響本港，尺度不同，機制各異的重要天氣[2、3]。參考海外經驗[4]，透過對全球集合預報系統作動力降尺度以提升水平分辨率，似乎對掌握與中尺度系統相關的不確定性、提升區域預報效能有一定說明。

本文介紹一套基於動力降度方法的中尺度短期集合預報系統的初步試驗結果，並利用2014年間影響本港的一些重要天氣個案，包括暴雨、熱帶氣旋、強烈季候風及酷熱等，檢視預報系統於華南沿岸之初步表現，並就中尺度概率預報產品之發展作出討論。

## 2. 模式配置

模式採用Weather Research and Forecast (WRF) Model[5]，版本為3.4.1，水平分辨率10公里，預報範圍為 $8^{\circ}$  N至 $30^{\circ}$  N， $100^{\circ}$  E至 $128^{\circ}$  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。

### 3. 暴雨個案及初步驗證結果

春夏之交，冷暖氣流相匯，華南沿岸時有強對流活動發生，冷鋒前沿的飆線或雷雨帶於形成後往往採取大幅向南的移動路徑橫過沿岸地區，其實際生成時間及運動速度一般較全球以至區域中尺度模式的預報更為迅速，對業務預報構成一定挑戰[6]。

圖二為2014年4月3日一次影響廣東沿岸之暴雨個案的模式預報與雷達觀測的比對，模式起報時間同為2014年4月1日00 UTC。其中ECMWF(圖2(a))和JMA(圖2(c))的全球模式，以及天文台的中尺度模式Meso-NHM(圖2b)均預測鋒前的主要雨區在4月3日06 UTC仍位於珠三角以北，即暴雨仍未影響本港。從雷達圖像(圖二(d))可以看見，模式預示之雨帶其實在當日上午11時(即03 UTC)已抵達沿岸，珠江口以西的一段飆線更已南移入海。當日早上，天文台一度發出黃色暴雨警告。

圖三為集合預報試驗20個成員對4月3日06 UTC的雨量分佈一覽。從圖中可見，大部分成員皆成功預測一道東西走向的雨帶會影響廣東沿岸一帶，顯示強對流事件出現的置信度甚高，但不少成員的降雨位置仍較為偏北。值得留意，其中數個成員(部分以紅色方框顯示)所預報之雨帶於06 UTC已覆蓋香港及其南部水域，顯示該雨帶的移動速度有可能出現較集合平均(或中位元成員)為快的情況。這些成員所預報情境正與實況吻合。

不連貫參數(如降雨量)之空間分佈的驗證方法，在學術界仍存不同意見。為比較各模式對掌握強對流分佈的表現，本文嘗試利用2014年6至9月之模式輸出及日本氣象廳MTSAT衛星觀測資料作以格點為基礎的驗證。流程如下(圖四):

- 一) 訂定模式預報之強對流範圍(本文以每3小時10毫米之雨量為閾值)。
- 二) 訂定觀測之強對流範圍(基於衛星紅外通道亮溫之演算法，詳見文獻[7])，並插值至模式格點。
- 三) 計算研究時段內每一格點之CSI評分，方程如下:

$$CSI = \frac{\text{該格點內模式命中次數}}{\text{該格點內(模式發出強對流預報次數 + 漏報次數)}}$$

四) 對預報範圍內格點之 CSI 評分作出統計。

圖五為各模式及其成員24小時強對流預報的格點CSI統計分佈，不同顏色代表不同預報模式的表現，分佈函數越向右偏移，代表該模式越多格點出現較高的CSI評分，即該模式預報與觀測資料更為吻合。

總體來說，全球及區域確定性模式，包括ECMWF(紫色)、JMA(深紅)、NCEP(淺藍)及Meso-NHM(黃色)的漏報頻率(即CSI為0的頻率)約為0.5至0.6，反映華南地區及南海北部的對流活動在預報上存有一定難度。若以CSI值為0.2作一分界，ECMWF的“CSI值0.2或以上之出現頻率”為0.292，乃確定性模式中最高。JMA緊隨其後，頻率為0.287。

圖中三款綠色，由深至淺，分別代表集合預報經不同後處理手法的結果：“p50”、“p70”及“p90”分別為20個成員於每一格點的中位數、第70及90百分位數。可以預期，隨著百分位數增加，命中率及虛報率將相應上升，但後者上升一般較快，因此過高的百分位數反會令評分偏低。以上三者之中，表現以“p70”最佳，“CSI值0.2或以上之出現頻率”為0.292，與ECMWF剛巧相約。

另外，集合預報中20個成員(以不同灰階表示)的個別評分均較經統計後處理者為低，顯示集合預報有助提供不同天氣演變情景以提升預報技巧，結果與理論預期相乎。

#### 4. 其他重要天氣個案

以下段落簡單介紹集合預報系統及其試驗性概率預報產品於2014年一些重要天氣個案中的應用及初步表現。

##### 4.1 熱帶氣旋

颱風海鷗(1415)於2014年9月中旬吹襲廣東沿岸(圖六)。海鷗環流甚廣，烈風半徑接近400公里。天文台一度於9月15日晚上發出8號烈風或暴風

信號。

圖七為9月14日12 UTC起報之強風及烈風概率產品，深淺不一的藍色及紅色分別代表預報集合中強風或烈風的出現概率。算式如下：

$$\text{強(烈)風概率} = \frac{\text{該格點10米風速達強(烈)風程度的成員數}}{\text{集合預報總成員數}}$$

圖七(a)、(b)分別取自模式預報烈風可能開始影響及遠離本港的時間。以長洲測風站的10分鐘平均風速資料(圖八)為例，概率評估與實況相約。雖然海鷗在9月16日晚上於越南北部登陸，在其殘留於北部灣一帶的低壓區及位於中國東南部的一道高壓脊的共同影響下，廣東沿岸部分地區在17日日間仍持續受強風影響。當日本港西南部地區持續吹東南強風，高地更間中錄得烈風(圖八左下)，天文台在當日上午2時取消1號戒備信號後改發強烈季候風信號。

同於9月14日12 UTC起報的ECMWF全球模式(圖八右下)及全球集合預報均顯示強風影響範圍將於17日00 UTC或以前遠離珠江口一帶。是次個案中，強風及烈風概率產品(圖五(c)、(d))似乎能夠較有效預示風勢於海鷗遠去後仍然持續的可能性。

## 4.2 強烈季候風

2014年10月底，受一股強烈東北季候風影響，本港離岸海域持續吹偏東強風，天文台於10月27日晚上發出強烈季候風信號，生效時間超過37小時。

圖九為強風及烈風概率產品對是次個案的預報，起報時間為10月26日00 UTC。圖中自台海南下之東風前沿清晰可見，風勢增強及持續較長時間的置信度頗高，亦與其他模式及實況吻合。產品對29日00 UTC之預報顯示，風勢緩和之餘仍有一定數量成員預測強風可能於香港附近格點維持，足以反映風力預報中的不確定性及預報集合中的離散度。

### 4.3 酷熱天氣

2014年7月底，受一道高壓脊影響，廣東沿岸地區天氣持續晴朗酷熱，天文台於7月28日發出酷熱天氣警告，生效時間長達104小時，為本年最長的一次。

圖十為7月27日12 UTC起報之酷熱天氣概率產品，計算方法如下：

$$\text{酷熱天氣概率} = \frac{\text{該格點2米溫度達33°的成員數}}{\text{集合預報總成員數}}$$

圖中以不同深淺之紅色表示該格點出現酷熱天氣的概率，預報顯示珠三角一帶以及本港境內很可能於28至30日連續出現33°或以上的高溫。是次個案中，本港實測氣溫分佈在該三天皆達天文台發出酷熱天氣警告的指標。圖九右下為天文台現行支援酷熱天氣的臨近預報概率產品[8]，主要在每天上午基於統計回歸作快速更新，提供對當日下午最高氣溫預報的參考。

### 5. 討論及展望

天文台一直積極利用各主要預報中心所運行之全球集合預報產品，以支援日常預報業務運作。唯運行以全球模式為基礎的集合預報系統(例如ECMWF和JMA的全球集合預報系統等)，硬體及技術要求甚高，往往超出一般區域預報中心的規模。以動力降尺度方法運行預報範圍較小的中尺度區域集合預報，似乎是邁向高分辨率概率預報的一個可行方向。

事實上，在研究方面，早於2012年底，柯銘強等[9]已成功對強颱風韋森特(1208)的個案進行以物理過程擾動為基礎的預報實驗。結果表明，即使利用分辨率約10公里的中尺度模式，亦必須考慮預報集合中接近最大值的成員，才能有效預報強颱風中心附近為本港帶來的極端風力及降雨強度。這與是次研究尤其是暴雨方面的結果一致。

文中介紹的驗證結果主要圍繞強對流及降雨，計畫中的驗證工作將包括其他氣象要素及其出現概率，以及對模式直接輸出的概率預報作校正等。另外，如前文所述，雨量預報的空間驗證方法在學術界仍存有不少討

論空間。由於南海缺乏氣象觀測站點，利用遙感觀測資料有助從較大範圍檢視不同模式於陸地及海洋上之表現，支援模式開發及業務預報。這對一些面向專門使用者的氣象服務，如為航空界而設的航道重要天氣預警等亦有一定用途。

是次試驗主要利用水平分辨率為10公里的區域模式，一般未能有效反映廣東沿岸的複雜地勢，對預報尺度較小的天氣系統(如局部地區的雷暴和大雨)亦有一定限制。下一步工作將包括針對暴雨個案，提高模式分辨率的試驗，以測試不同模式配置捕捉中小尺度不確定性的能力。

集合預報的輸出數據量相當龐大，概率預報圖像或時間序列有助簡化資訊，支援業務預報上的一些決定。同時，列舉式的產品，如雨量或等壓線的郵票圖，則能對不同的大氣演變情景作出提示。如何設計精簡的預報產品以提高分析過程的效率，將有賴研發與應用雙方交流。

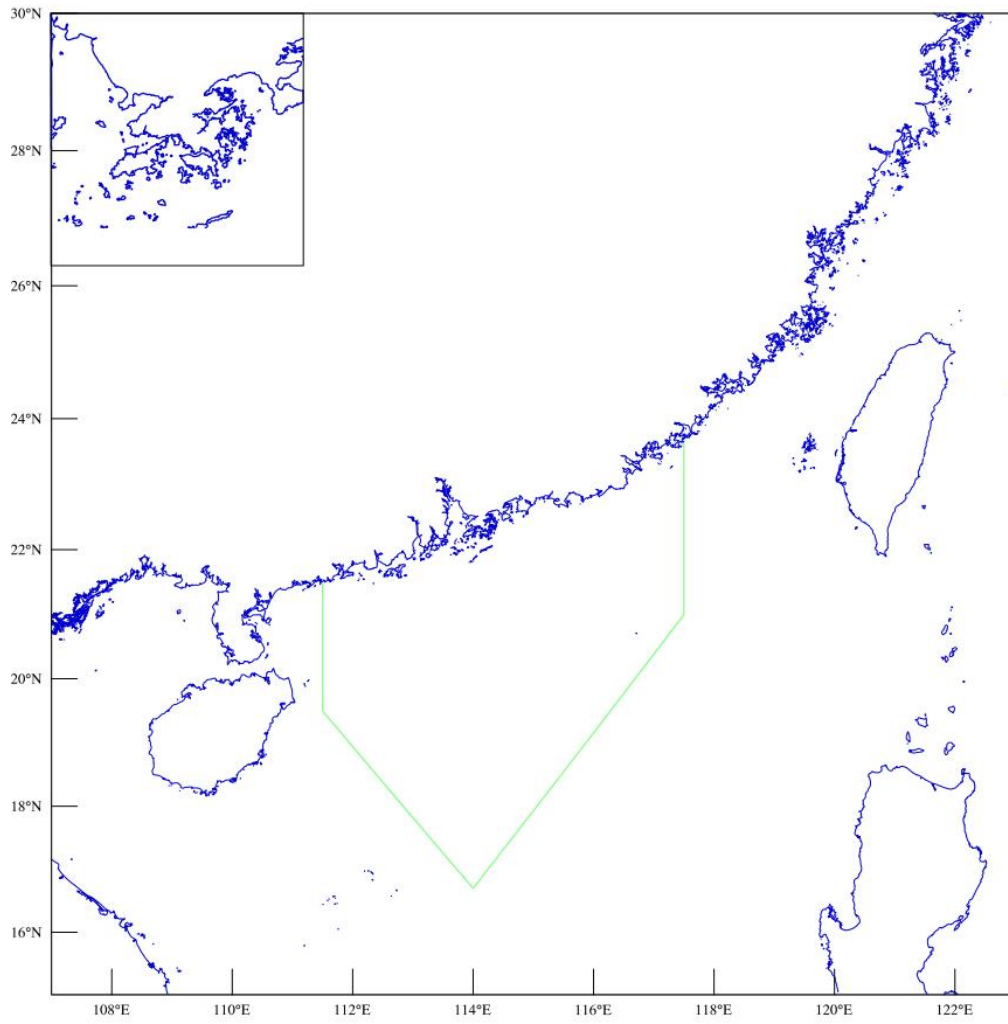
最後，在建立數值預報系統的過程中，軟件發展、客觀驗證及產品後處理三者若能緊密結合，定必相得益彰，對提升預報業務有所裨益。

## 6. 鳴謝

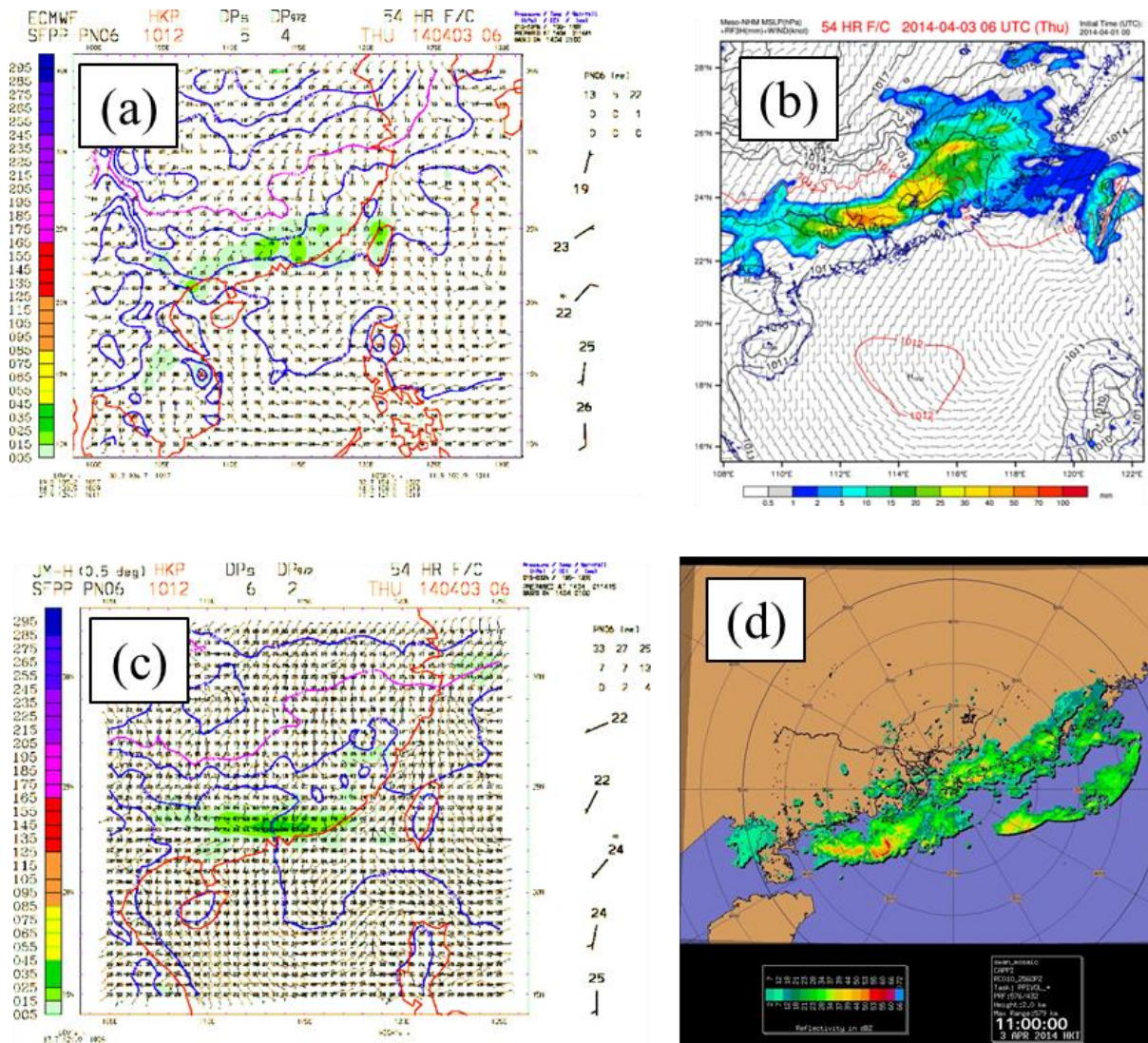
本文作者感謝陳栢緯先生對研究項目的支持，以及莊樹熙先生和葉曉輝先生的技術協助。

## 參考文獻

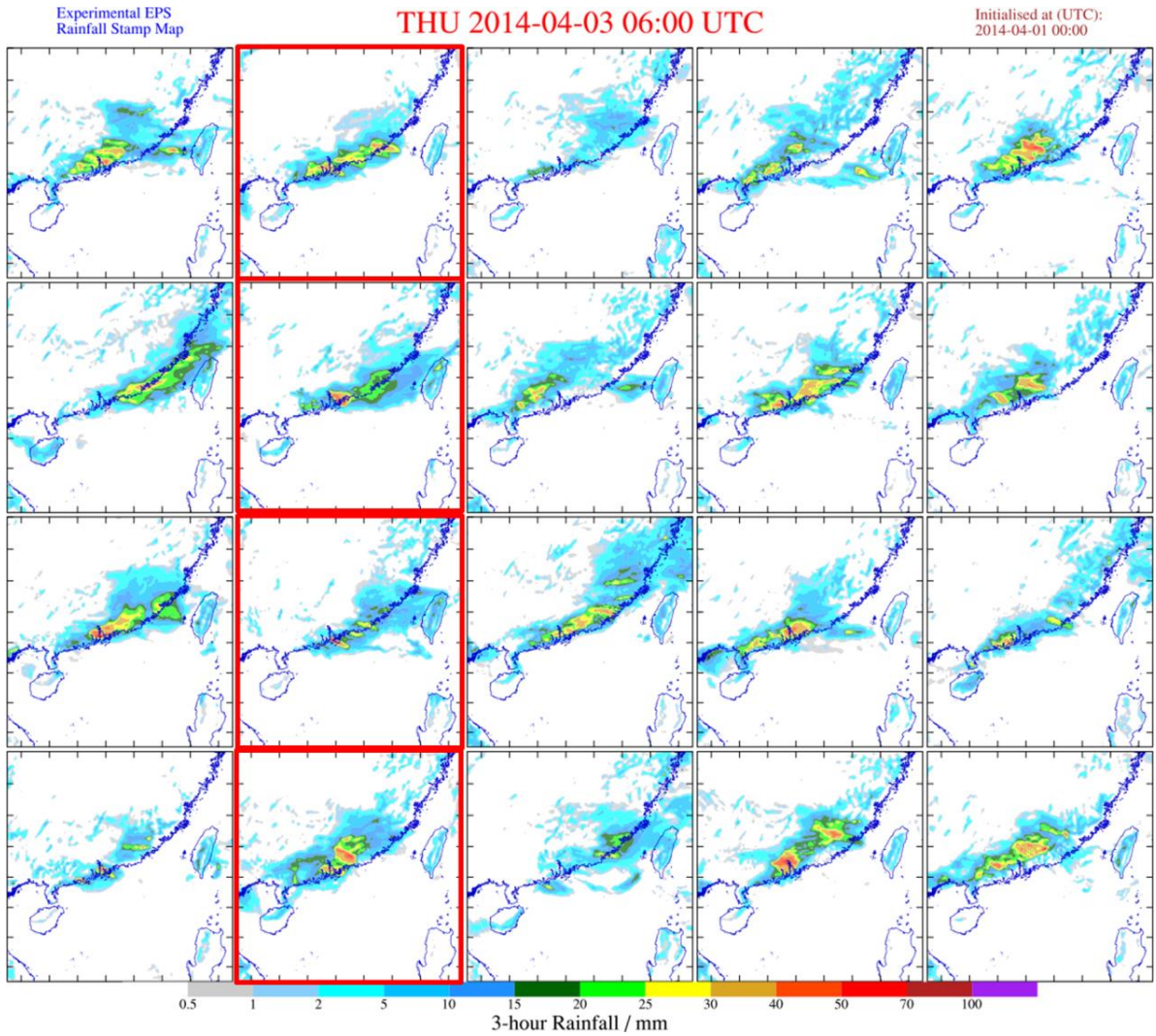
- [1] T.N. Palmer, J. Barkmeijer, R. Buizza and T. Petroliagis, 1997: The ECMWF Ensemble Prediction System. *Meteorol. Appl.* **4**, 301-304.
- [2] 韓啟光、唐宇輝， 2011: 與颱風燦都相關的一道強雨帶的中尺度分析，第二十五屆粵港澳氣象科技研討會，香港，2011年1月26-28日。
- [3] 韓啟光、陳維洵， 2012: 聯合降雨概率於香港地區大雨預報中的應用，第二十六屆粵港澳氣象科技研討會，澳門，2012年1月17-19日。
- [4] Bowler, N. E., Arribas, A., Mylne, K. R., Robertson, K. B. and Beare, S. E, 2008: The MOGREPS short-range ensemble prediction system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **134**: 703 - 722.
- [5] 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.
- [6] 楊威龍、陳傲軒、韓啟光， 2014: 華南沿岸雷暴運動向量計算初探，第二十八屆粵港澳氣象科技研討會，香港，2014年1月13-15日。
- [7] 蘇志權， 2009: 監測對流天氣的衛星產品，第二十三屆粵港澳氣象科技研討會，澳門，2009年2月18-20日。
- [8] 陳敏儀、倫兆鴻、彭志健， 2011: 酷熱天氣警告與日最高氣溫預測，第二十五屆粵港澳氣象科技研討會，香港，2011年1月26-28日。
- [9] 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。



圖一 模式預報範圍示意圖。綠線為香港飛行程報區邊界。

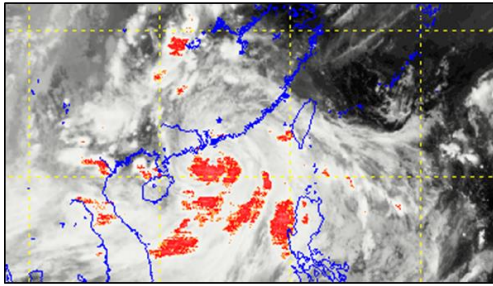


圖二 2014年4月3日早上影響本港的暴雨個案：(a)至(c)為2014年4月1日00 UTC時起報之ECMWF全球模式、天文台中尺度預報模式Meso-NHM及JMA全球模式對當日06 UTC的雨量預報。(d)為當日上午之雷達拼圖，可見雨帶於早上11時(本地時間)橫過廣東沿岸。

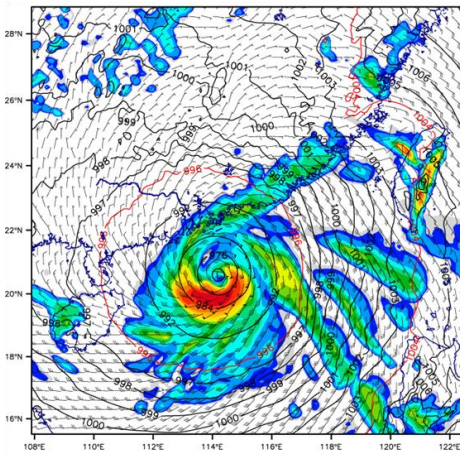


圖三 集合預報各成員對2014年4月3日06 UTC之雨量預報。起報時間為2014年4月1日00 UTC。圖中可見部分成員(紅色方框顯示)預報雨帶將於當日較早時間橫過廣東沿岸。

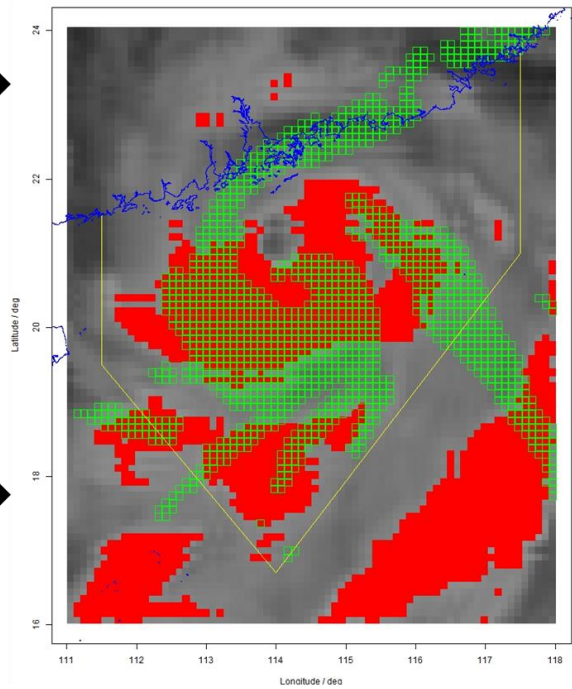
利用衛星資料估算強對流位置



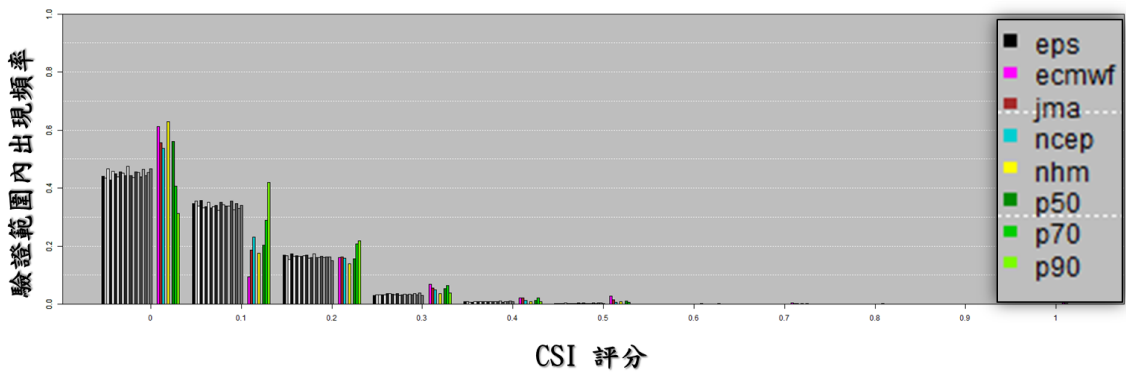
利用模式雨量估算強對流位置



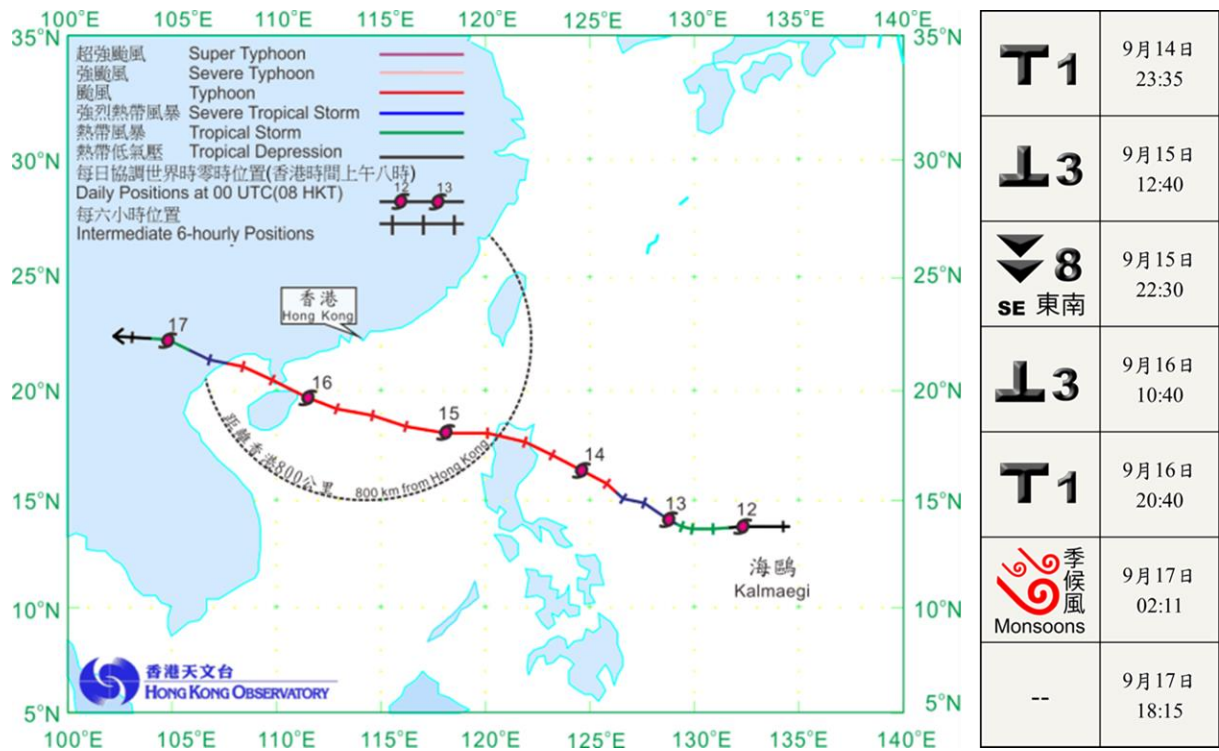
模式與觀測比對驗證



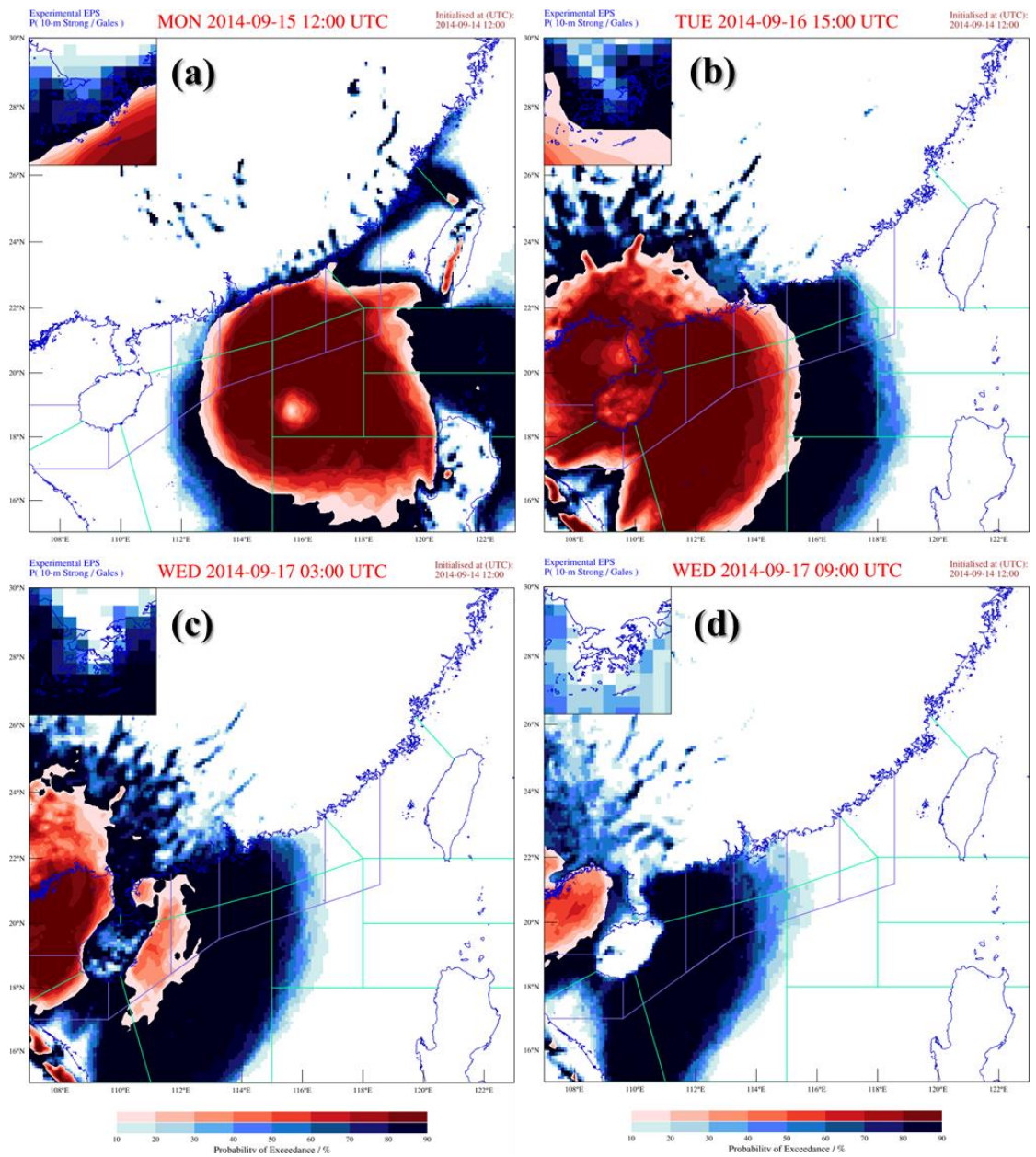
圖四 強對流預報格點驗證示意圖。



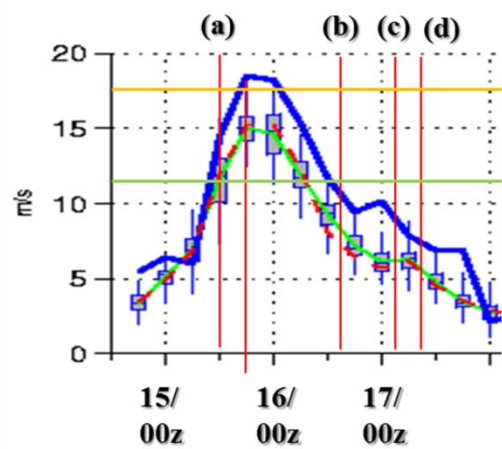
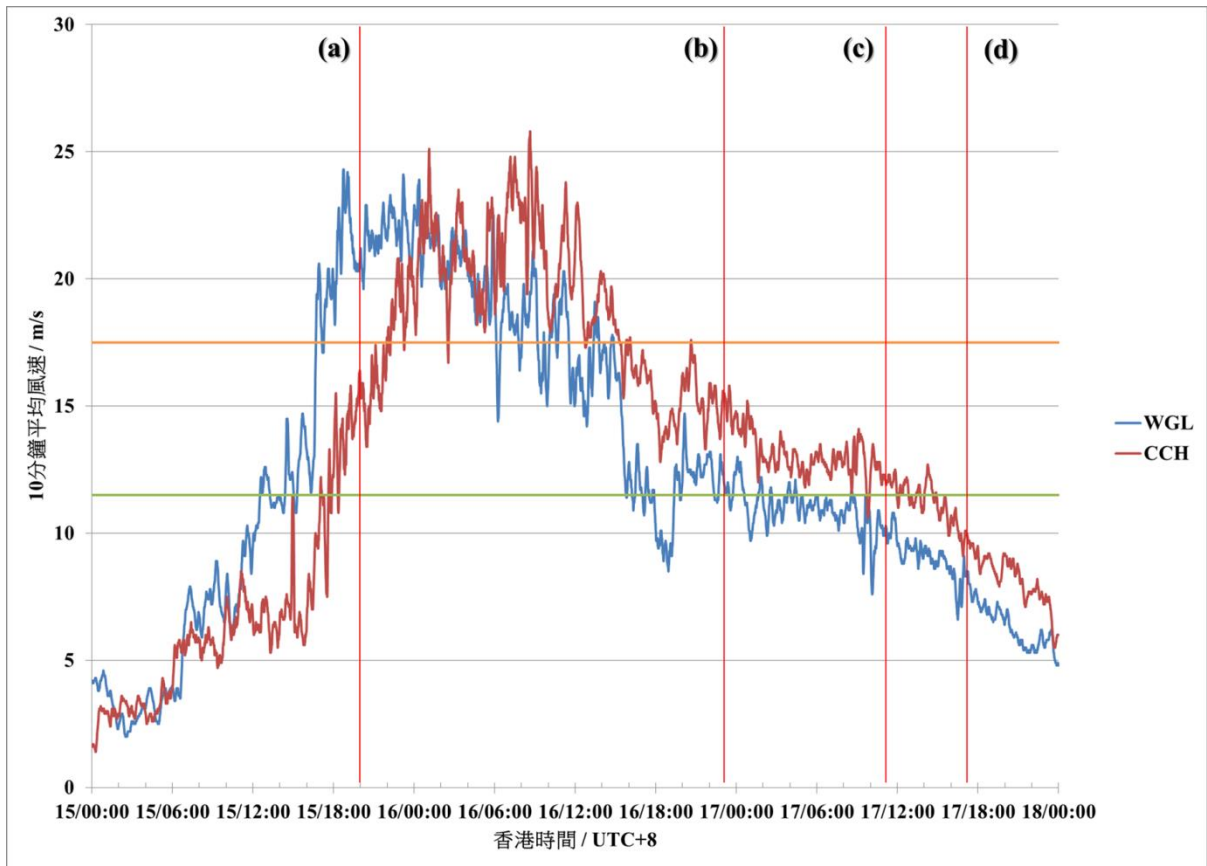
圖五 各模式利用格點驗證方法對華南及南海北部的強對流預報之 CSI 評分統計圖。



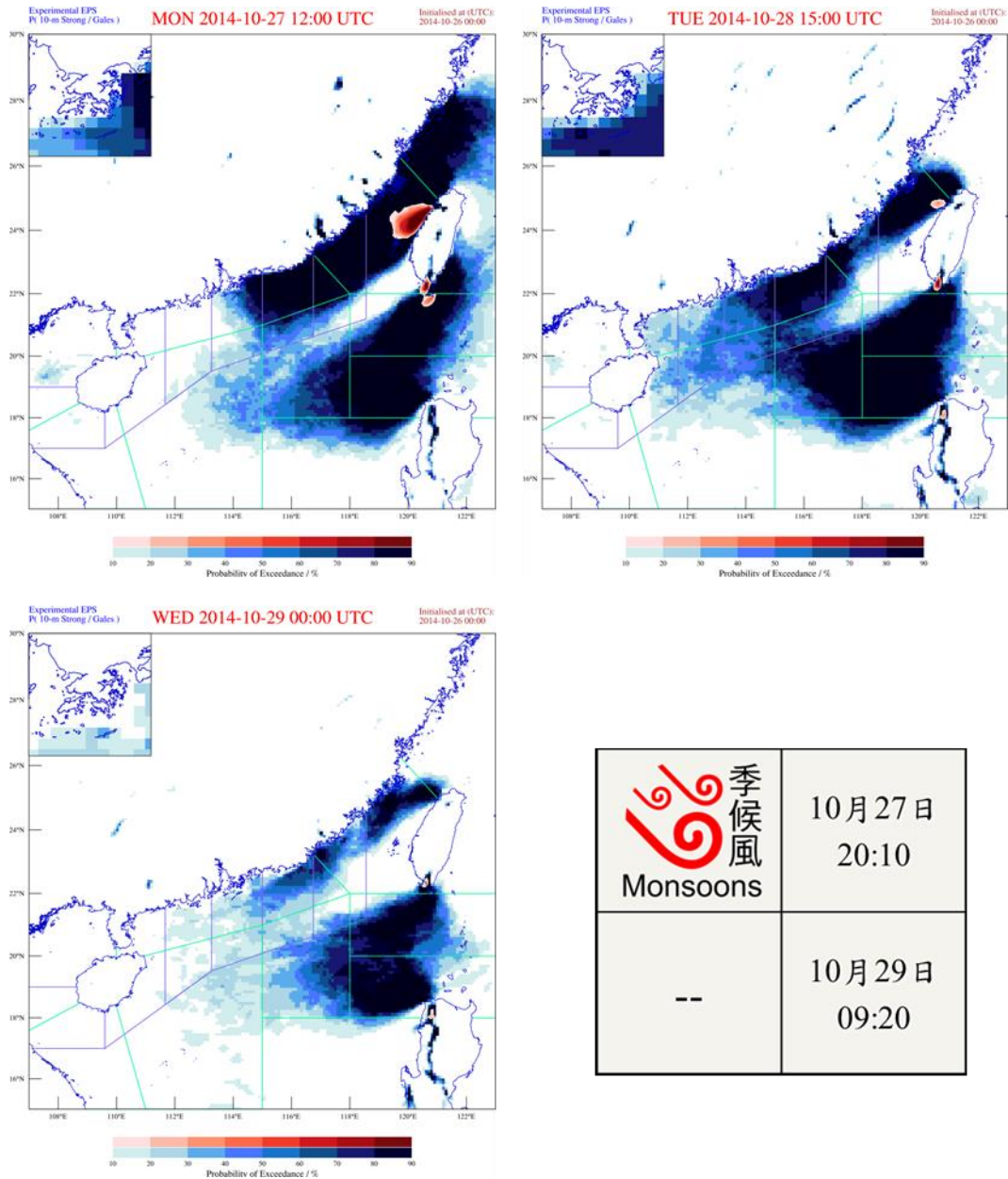
圖六 颱風海鷗(1415)移動路徑(左)及天文台所發出之相關警告訊號一覽(右)。警告生效及取消時間均為香港時間。



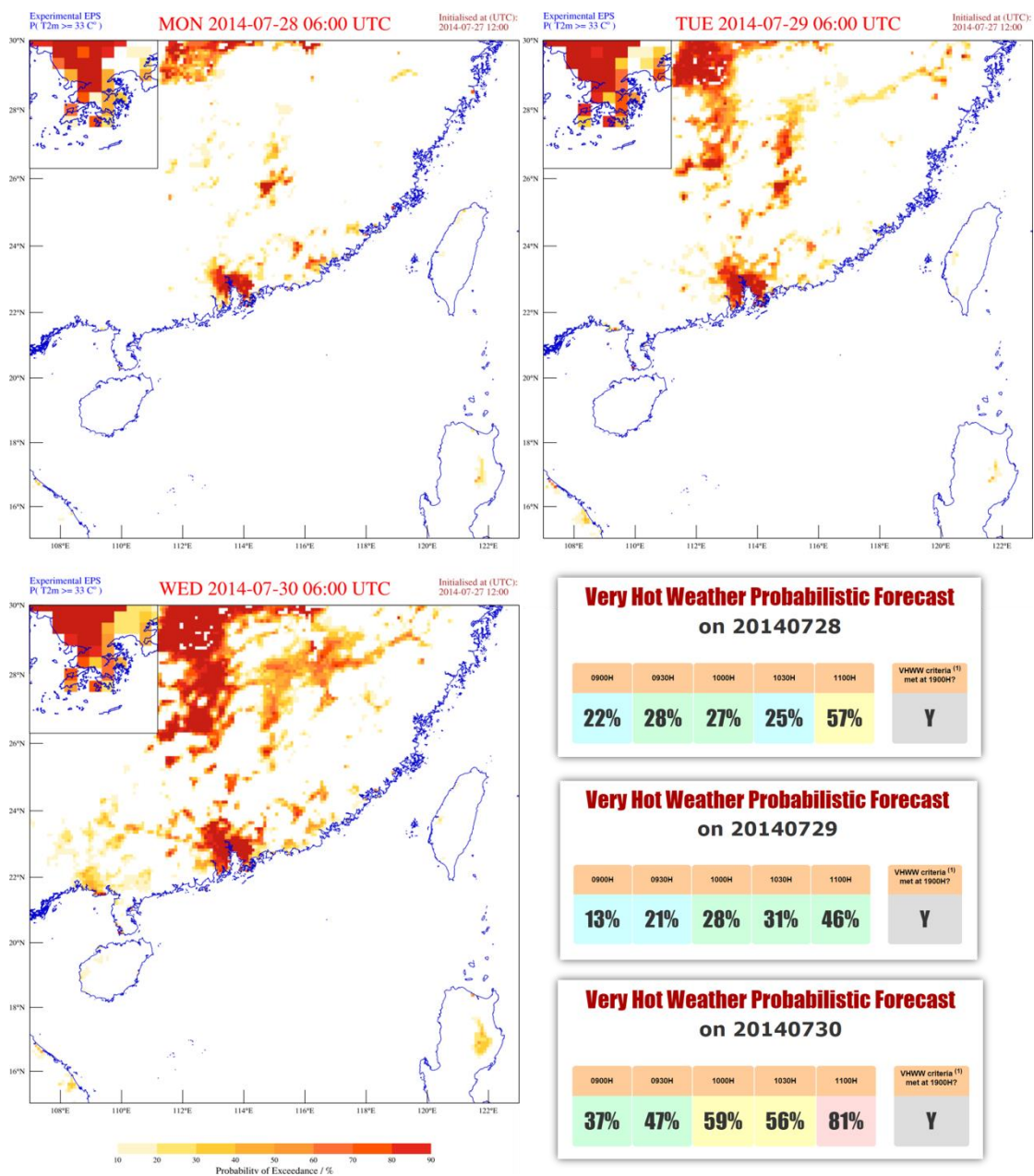
圖七 強風及烈風概率產品於颱風海鷗(1415)及隨後之強烈季候風個案中不同時段的預報。起報時間為 2014 年 9 月 14 日 12 UTC。



圖八 颱風海鷗(1415)影響本港及隨後天文台改發強烈季候風訊號期間橫瀾島(WGL)及長洲(CCH)自動氣象站所錄得的10分鐘平均風速。綠色及橙色直線分別為強風(11.5米/秒)及烈風(17.5米/秒)水平。時間(a)至(d)分別對應圖五(a)至(d)的預報時間。左下為2014年9月17日03 UTC(即時間(c))本港的風力分佈,可見本港西南部仍持續受強風影響,高地更吹烈風。右下為ECMWF全球集合預報系統對是次個案的10米風速時間序列,起報時間與圖七同為2014年9月14日12 UTC。



圖九 2014年10月一次影響本港的強烈東北季候風個案中不同時段的強風概率預報產品。右下為天文台發出及取消強烈季候風訊號的時間(香港時間)。



圖十 2014年7月底一次持續酷熱天氣個案中酷熱天氣概率產品的應用。右下為天文台現行之臨近預報概率產品對該時段的預報。