香港天文台
HONG KONG OBSERVATORY

Reprint 791

2008年初華南沿岸地區持續寒冷的天氣分析和預報技巧

唐宇煇、馬偉民 & 陳世倜

中國氣象學會 2008 年年會

中國， 北京，11 月 20 – 22 日

2008 年初華南沿岸地區持續寒冷的天氣分析和預報技巧

唐宇煇、馬偉民、陳世倜

（香港天文台，香港）

摘　　要

2008 年初華南沿岸地區長時間持續寒冷，陰雨的天氣引致日間氣溫不能回升。香港天文台的寒冷天氣警告更破記錄地連續生效達 26 天。本文分析了當時的氣象背景及資料，並檢視歐洲中期天氣預報中心及日本氣象廳的全球數值預報模式對掌握這次重要天氣過程的表現。結果發現，在中期預報方面，兩個中心的數值產品對預報 500 hPa 西風槽及南支槽的能力可靠，對預測地面氣壓及氣溫的變化趨勢可信度高，但在預報這次寒潮的強度出現了明顯的暖偏差。在短期預報方面，可監測郴州與香港的氣壓差變化及廣東省內的地面觀測站網路的實況資料，留意香港上游站的降溫時間及幅度，抵達本港時間一般有 6 至 10 小時的時間差。此外，一項數值模式試驗顯示區域模式加上精密的四維同化系統在區域性的氣象資料分析上具有優勢，在短期預報業務應用上有高的參考價值。

關鍵字：寒冷天氣預報，數值預報模式，四維同化系統，香港，華南沿岸地區。

1　寒冷天氣過程概況

2008 年 1 月下旬至 2 月中旬，華南沿岸地區出現了一次長時間持續寒冷的天氣過程。根據香港的實際情況，寒冷天氣一般是指市區的最低氣溫降至 12 度或以下。香港的天氣由 1 月 24 日開始持續寒冷，香港天文台在尖沙咀總部每日的最低氣溫只有 8 至 12 度（圖 1），而新界地區的氣溫更低至 6 度左右。寒冷的天氣直到 2 月 16 日才結束，共維持了 24 天，是自 1968 年以來歷時最長的寒潮。期間天文台平均最低氣溫爲 9.9 度，是自 1885 年有記錄以來同期(1 月 24 日至 2 月 13 日)第二低。天文台就這股寒潮發出的寒冷天氣警告連續生效共 594.5 小時，是自 1999 年創立寒冷天氣警告以來警告生效時間最長的記錄。

這次寒冷天氣持續時間比較長，大氣背景是由冷空氣從西伯利亞及華北地區南下爲主導，令季候風持續影響華中及華南地區。期間活躍的南支西風令南海以至印度洋的暖濕氣流擴展至上述地區，引致出現大氣上層暖濕而下層寒冷的現象，淺薄的冷氣團成功南移至華南沿岸地區，令香港出現持續陰雨及寒冷的天氣。

香港位處於珠江口東部，一般來說，淺薄的冷空氣南下過程容易受到華南的山多地勢阻撓，所以冷空氣能否到達華南沿岸地區及對其強度變化的掌握上有一定程度的困難。此外，如果陰雨天氣持續，冷空氣不受日照加熱，低溫情況將持續一段較長時間；相反，若天氣轉晴，日照會令空氣變暖，使寒冷天氣結束。

2　天氣形勢分析

2.1　高空形勢分析

冷空氣的南移，通常都是由位於北亞的 500 hPa 擾動所誘發[1]。就這次從 1 月 24 日至 2 月 16 日華南沿岸地區的寒冷天氣進行高空形勢分析，發現 500 hPa 高空圖分別在 1 月 24 日、2 月 1 日、

3 日及 10 日都有一道中緯度西風槽經過貝加爾湖（圖 2），而 1 月 23 日、29 日及 2 月 9 日則有橫槽轉豎過程（圖 3），槽後的西北風引導冷空氣從西伯利亞及華北地區南下，持續影響華中及華南地區。此外，配合低緯短波槽東傳把積聚於南嶺以北的冷空氣進一步擴展到華南沿岸地區。

研究發現影響香港的北風潮天氣主要取決於相關 850 hPa 槽的南北位置[2]。這次寒冷天氣過程期間，500 hPa 槽後的西北風大部分時間只能擴展至約北緯 30 度以北，500 hPa 及 700 hPa 的南支西風則支配約北緯 30 度以南的地區。這種 500 hPa 形勢促使在這段時間 850 hPa 在華南沿岸以北或附近維持一道呈西南至東北走向的槽。這種高空形勢配置亦顯示越過南嶺抵達華南沿岸地區的冷空氣是相當淺薄，從香港的探空站觀測資料亦顯示寒潮期間逆溫層約在 1000 m 以下。850 hPa 槽前的偏南氣流及南支西風不斷把水汽從南海以至印度洋輸送到沿岸地區，由於高空的偏南濕暖氣流遇到地面偏北冷空氣受到抬升，令香港的天氣持續陰天及有雨。如 1 月 29 日，受大氣上層的暖濕氣流及地面淺薄的冷空氣影響下，香港大帽山站（約 955 m 高）的氣溫較位於市區的天文台總部氣溫爲高（約 32 m 高）（圖 4）。

其他日子，由於有 500 hPa（或 700 hPa）低緯短波槽東傳的配合（如 2 月 3 日、12 日及 15 日），或北亞的 500 hPa 東西走向橫槽崩潰並向東南移動（如 2 月 9 日），使高空西北風擴展至華南，推動 850 hPa 槽向南移至沿岸南面，令香港天氣短暫好轉，部分時間有陽光。

2.2 地面形勢分析

地面形勢方面，由於持續受 500 hPa 西風槽所引導，相關地面高壓不斷南下補充，並維持一緊密氣壓梯度在華南沿岸地區。這段期間，香港出現偏北風的頻率高達百分之一百，遠高於同期正常的約百分之六十。在華南沿岸地區寒潮爆發前，冷空氣已積聚在南嶺以北，跟沿岸地區的溫差已達 10 度左右，顯示溫度梯度集中在沿岸地區附近。1 月 23 日，500 hPa 中緯西風槽東移出海，槽後的西北風引導小股冷空氣南下補充，並推動已積聚於南嶺以北的冷空氣擴展到沿岸地區，而香港在 1 月 24 日受到冷平流及降雨的影響下，氣溫由清晨 18 度逐步下降至傍晚 12 度，錄得的 24 小時降溫約爲 6 度（圖 5），爲這次長時間持續寒冷天氣揭開序幕。此後，北方冷空氣不斷南下補充，加上受持續的陰雨天氣影響，香港每日最低氣溫度都維持在 12 度或以下。要到 2 月 15-16 日，850 hPa 反氣旋建立在華中及華南，天氣轉晴，較長時間的日照令氣溫逐步回升，使這次影響香港的持續寒冷天氣於 2 月 17 日結束。

3 數值預報分析

在日常中期預報業務中，歐洲中期天氣預報中心（以下簡稱 ECMWF）及日本氣象廳（以下簡稱 JMA）的數值預報產品是預報員作預報結論的重要客觀依據，數值預報產品的準確度很大程度上影響業務預報準確度。在預報高空形勢方面，對 ECMWF 及 JMA 數值預報 72h 至 96h 的 500 hPa 高度場與實況分析場進行對比發現（圖略），數值預報模式對預報 500 hPa 西風槽及南支槽的能力可靠，72h 的預報已準確預報在寒潮期間經過貝加爾湖的西風槽的移動趨勢變化及橫槽轉豎過程。此外，72h 的預報地面氣壓場與實況一致，圖 6(a)及(b)分別顯示 ECMWF 及 JMA 在寒潮期間香港每日 00UTC 和 12UTC 的 24 小時氣壓變化(PC24)預測序列圖，其中模式的預測以與香港最接近的格點爲參考基準，雖然 72h 預測 PC24 的強度偏低，但基本上其趨勢變化預報與實況大致相符，顯示全球數值預

報模式對冷空氣的中期預報趨勢變化可靠。

在預報這次寒潮的強度方面，全球模式的中期預報出現了明顯的偏差。圖 7(a)顯示在寒潮持續期間(2008 年 1 月 24 日至 2 月 16 日)JMA 的全球模式在預測 72h 地面氣溫與模式相應的分析比較的平均誤差。圖中可見在華南廣泛地區出現了兩度以上的正偏差（即暖偏差）。相同情況在 ECMWF 全球模式的 850 hPa 層溫度預測中出現(圖 7(b))。圖 8(a)及(b)分別顯示 ECMWF 在 2008 年 1 月及 2 月期間香港日最低氣溫的第 3 天預測偏差序列圖，其中模式的預測以與香港最接近的格點爲參考基準。模式的預測在 1 月上、中旬與實況貼近，但於 1 月 24 日寒潮開始，模式的直接輸出明顯較實測值高，幅度達 4 度之巨(圖 8a)。暖偏差在 2 月份持續，全月的平均誤差升至+1.8 度(圖 8b)。直至 3 月中旬才始見模式的預測改善回復至寒潮前的水平(圖略)。雖然 72h 預測氣溫有明顯的暖偏差，但預測的降溫趨勢變化與實況大致相符（圖略），而天文台在業務上利用到後處理技巧如卡爾曼濾波[3]去修正模式直接輸出的系統性偏差。經過後處理的氣溫預測在寒潮初期雖未能有效減低誤差(圖 8a)，但到 2 月初開始修正後的氣溫預測已貼近實況，全月的平均誤差只有 0.5 度(圖 8b)。

另一方面，我們亦嘗試瞭解模式爲何會持續地低估了華南地區寒冷天氣的持續情況。圖 9(a)爲 JMA 於寒潮期間在 00 時的地面平均氣溫分析場，可見 0 度線的位置處於華南北部約北緯 25 度一帶。相比過去 5 年(2003-2007)同期的平均(圖 9(b))，0 度線的位置向南移動了超過 5 度北緯度。降雪的範圍亦因而比模式的氣候平均向南擴展了相當大的距離。在實況與模式的氣候平均距離大的情況下，加上缺乏地面土壤觀測資料，模式可能依靠土壤氣候資料進行分析內陸積雪範圍，因而導致預報內陸積雪出現偏差。在華南以至上游地區的積雪影響下，華南地區回暖的過程會顯著減慢。如果模式對預報積雪範圍不準確的話，有可能導致模式過快地預測地面氣溫回升的趨勢，從而未能正確預測寒潮的持續時間。

4 寒潮預報技巧

4.1 中期預報考慮（3 至 7 天）

在中期預報考慮方面，上文的分析顯示 ECMWF 及 JMA 的數值產品對預報 500 hPa 西風槽及南支槽的能力可靠，對預測地面氣壓及氣溫的變化趨勢可信度高，一些後處理技巧如線性回歸模型及卡爾曼濾波可補助修正部分模式的系統性偏差。

4.2 短期預報考慮（1 至 3 天）

在短期預報技巧方面，先決定冷空氣抵達時是濕潮或是乾潮，影響香港的北風寒潮天氣主要取決於相關的 850 hPa 槽的南北位置，而數值模式預報 850 hPa 槽位置大致可靠。在濕潮的情況下，須考慮雲量的影響及降雨時的蒸發冷卻效應。一般來說，數值模式會偏向低估降雨時的降溫幅度，經驗所得氣溫的降幅預測可較模式的預報低一至兩度。

4.3 一天以內的短期預報考慮

在一天以內的短期預報方面，當冷空氣是以北向南入侵華南時，可監測南嶺以北與香港之間的氣壓梯度作爲預報冷空氣抵港的指標。研究顯示[4]以郴州(站號 57972)與香港的氣壓差(稱ΔP972）是一個有效的短期預報指標[4]，當ΔP972 上升大於 8 hPa 時表示可能有冷空氣在 12 小時內抵港。

這次寒潮期間，由於ΔP972 部分時間已處於較高水準（≥ 10 hPa），加上抵達華南的冷空氣較爲淺薄，這時需留意ΔP972 的變化，特別是 9 小時上升 2 hPa 或以上的時候，表示可能有冷空氣補充在短時間內抵港。如 1 月 23 日下午、29 晚上午及 2 月 11 日早上，ΔP972 在 9 小時內上升 2 hPa，而冷空氣補充分別在 1 月 24 日早上、30 日中午及 2 月 11 日下午開始影響香港。

要進一步掌握淺薄的冷空氣抵達本港的時間，可以分析廣東省內的地面觀測站網路的實況資料。就分析上游站溫度變化所得，以 TC24（24 小時溫度變化）≥ 2℃ 作爲冷空氣抵達的指標，在 1 月下旬到 2 月中旬的數次寒潮爆發中，在西北向東南的擴展模式中，廣州站（站號 G1001）或常平站（站號 G1902）與香港一般有 6 至 10 小時的時間差，而東北向西南的擴展模式中，惠州站（站號 G1719）與香港一般則有約 7 小時的時間差，預報員如能把握該次寒潮爆發的擴展模式，同時對上游觀察站的 TC24、露點溫度的變化小心監測，在該次寒潮到達時間上，至少在短時預報上，能作出較準確的判斷。

5 區域數值模式在短期預報的應用

於 1 月 24 日的個案中，ECMWF 在 1 月 23 日 00 時的業務模式(T799)輸出預測香港在 24 日的氣溫會從早上約 11 度上升至下午約 17 度，並且沒有降水(圖 10)，這與實況測得日間香港在冷平流及降水的影響下，氣溫由清晨時 18 度逐步下降至下午的 12 度有實質上的差別(圖 5)。JMA 的全球模式同樣預測香港在 24 日日間氣溫上升，但在成功預測到有降水的情況下，氣溫上升的幅度較 ECMWF 爲小(圖略)，而香港天文台業務運行的區域譜模式(MPI-RSM)在 1 月 23 日 03 時同樣預測香港在 24 日日間氣溫上升。

我們嘗試應用香港天文台的區域譜模式(MPI-RSM)配以仍在試驗階段的四維同化系統，看看可否改善這個個案的短期預報。該模式由 JMA 引進，水平解析度爲 20 公里，計算區域爲 10-35 °N，100-128 °E。模式採用原始靜力平衡方程組，水平方向共有 151x145 個格點，垂直方向有 40 層。MPI-RSM 的初始場及邊界資料來自一個解析度較粗糙的 60 公里 MPI-RSM 周邊模式，而 60 公里 MPI-RSM 的邊界資料則由 JMA 的全球譜模式提供。現時天文台業務運行的 MPI-RSM 是使用三維最優內插法作爲觀測資料的分析方法，而這次數值模式試驗採用了由 JMA 引進的區域譜模式的四維同化系統[5]，四維同化系統的優點在於可同化非常規的氣象資料及根據觀測時間進行分析，使模式的初始場得以改進，從而改善模式預報準確度。而這次試驗的資料同化時窗爲 3 小時(初始時間前 3 小時內)，同化的資料除了常規的氣象資料以外，還包括一些區域資料如廣東省境內的自動氣象站資料以及通過雷達及雨量計綜合分析的 1 小時累積降水量。

在 1 月 23 日 03 時的模式試驗輸出顯示(圖 12)，應用四維同化系統分析廣東自動氣象站資料以及雷達雨量資料後，MPI-RSM 能準確模擬出香港在 24 日日間出現的降水及溫度徘徊在 12-13 度。結果顯示區域模式在短期預報業務應用上有高的參考價值。

5 總結

通過分析這次寒潮過程中全球數值預報模的表現，結果發現，在中期預報方面，ECMWF 及 JMA 的數值產品對預報 500 hPa 西風槽及南支槽的能力可靠，對預測地面氣壓及氣溫的變化趨勢可信度高，但預報這次寒潮的強度出現了明顯的暖偏差，一些後處理技巧如卡爾曼濾波可輔助修正部分模

式直接輸出的系統性偏差。

在短期預報技巧方面，先決定冷空氣抵達時是濕潮或是乾潮，如果是濕潮，須考慮雲量的影響及降雨時的蒸發冷卻效應。一般來說，數值模式會低估降雨時的降溫幅度，經驗所得氣溫的降幅預測可較模式的預報低一至兩度。在更短的一日以內預報方面，要掌握淺薄冷空氣抵達的時間，可監測ΔP972 的變化及廣東地面觀測站網路的實況資料，留意香港上游站的降溫時間及幅度，抵達本港時間一般有 6 至 10 小時的時間差，如果是日間雲量多的情況時，降溫的幅度可考慮上游站的冷平流強度及降雨對降溫的影響。在數值預報產品方面，初步研究顯示，區域模式加上緊密的四維同化系統在區域性的氣象資料分析上具有優勢，在短期預報業務應用上有高的參考價值。

致謝:感謝陸俊輝協助分析廣東省自動氣象站資料。

參考文獻

1. Malone, D.J.， Hong Kong Forecasters’ Manual, Hong Kong Observatory Technical Note (Local) No.32，1997.
2. 李國麟，陳積祥，乾與濕東北季風寒潮的相關天氣形勢，第十一次粵港澳重要天氣研討會，廣州，1996 年 12 月 17 至 19 日
3. Persson, A. O., Kalmanfiltering - A new approach to adaptive statistical interpretation of numerical meteorological forecasts, WMO Technical Document No. 421, 1991
4. Lai, S. T., Short-range forecasting of northerly surges, Hong Kong Observatory Technical Notes, 1989
5. Outline of the Operational Numerical Weather Prediction at the Japan Meteorological Agency, 2007， Japan Meteorological Agency

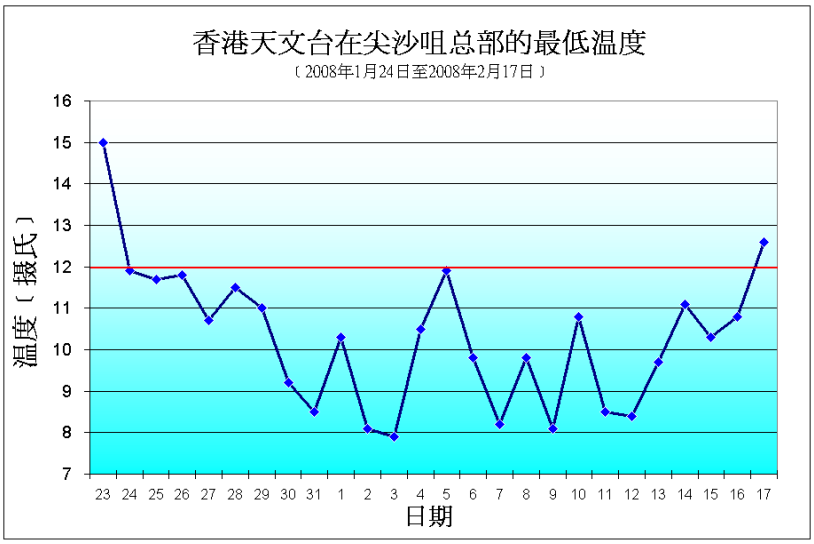


圖 1　　香港天文台在尖沙咀總部日最低氣溫，期間爲 2008 年 1 月 23 日至 2 月 17 日）

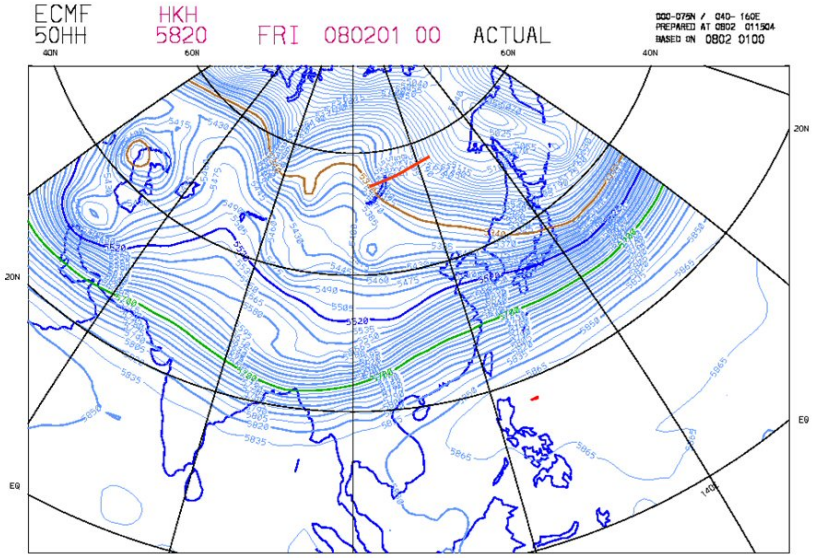
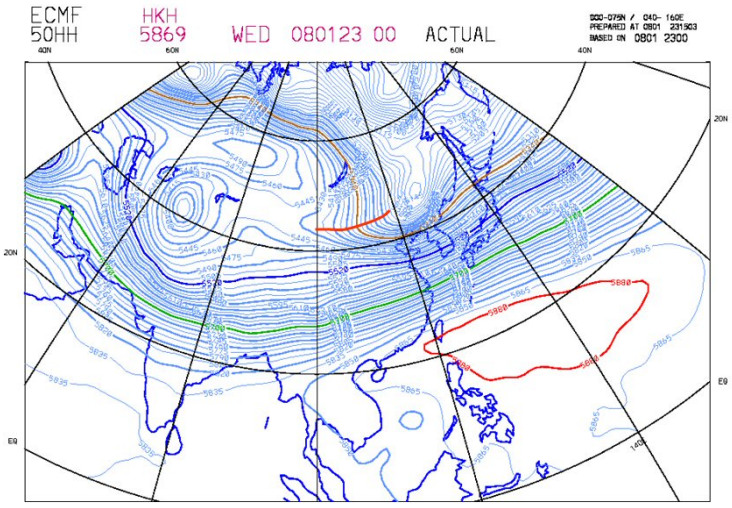
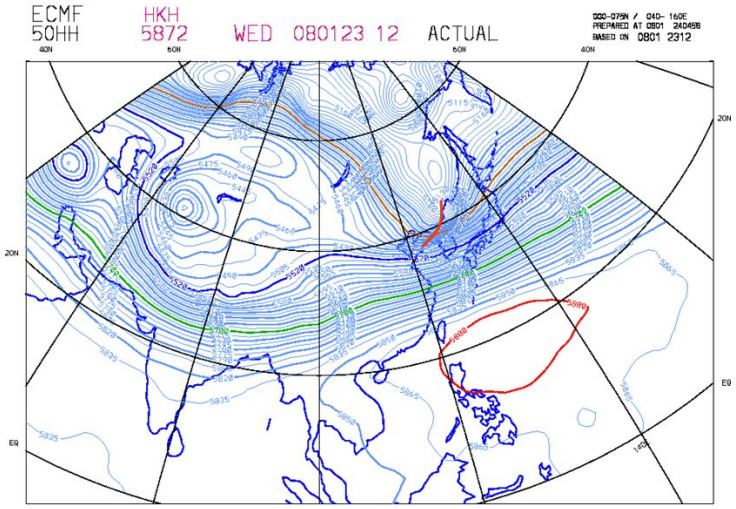


圖 2　　ECMWF 於 2 月 1 日 00 UTC 的 500 hPa 高度場實況分析



(a)



(b)

圖 3 ECMWF 於 1 月 23 日 00UTC(a) 及 12UTC(b) 的 500 hPa 高度場實況分析

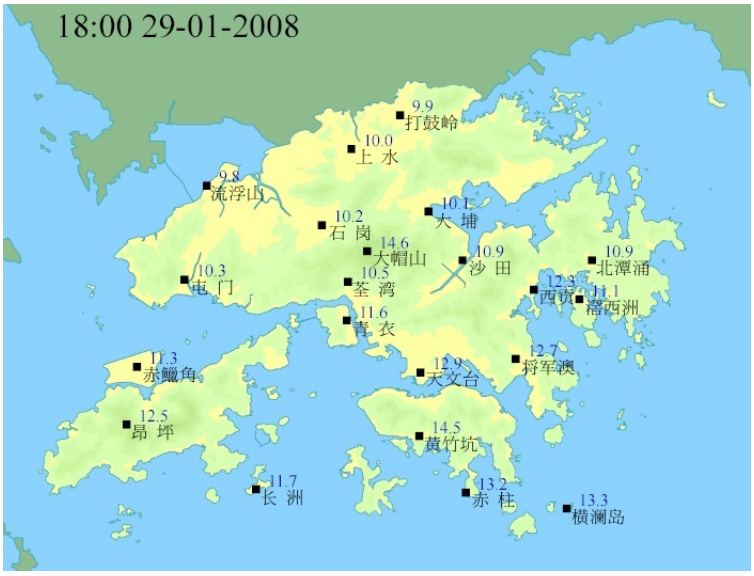


圖 4　2008 年 1 月 29 日 18 時香港各自動氣象站的觀測氣溫

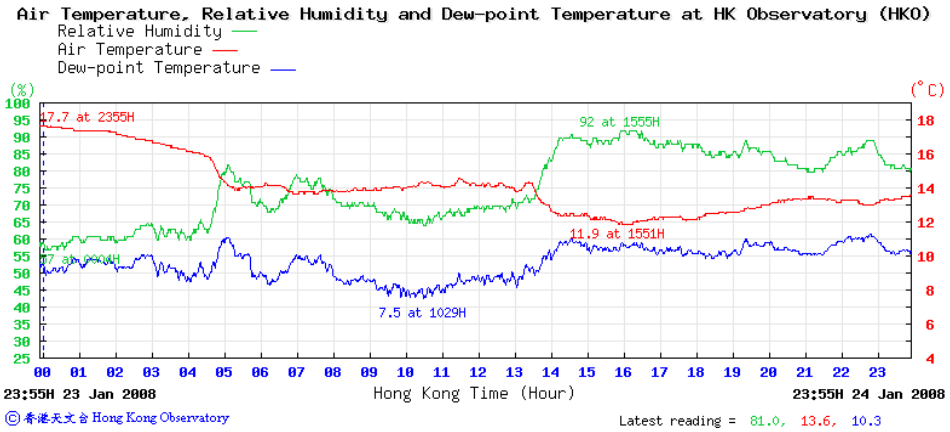
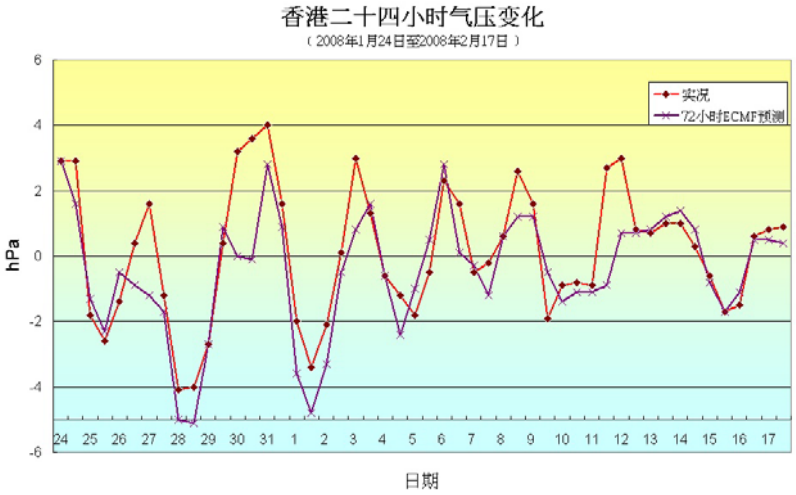
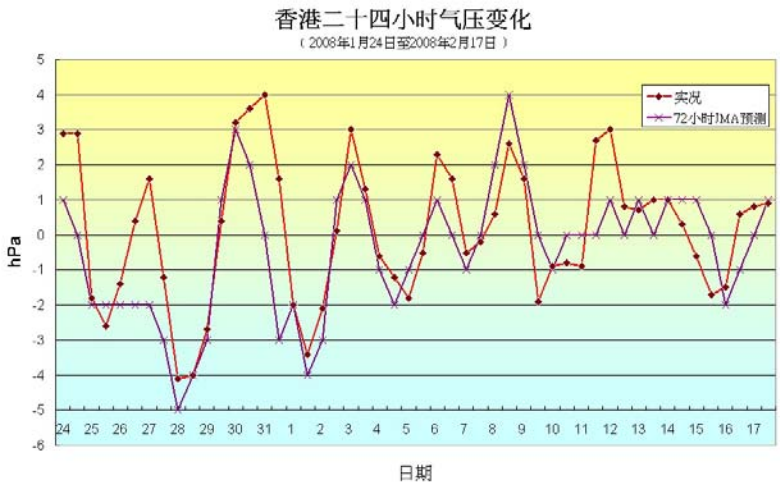


圖 5 於 2008 年 1 月 24 日香港天文台自動氣象站的觀測氣溫（紅線）、相對濕度（綠線）及露點（藍線）的時間序列

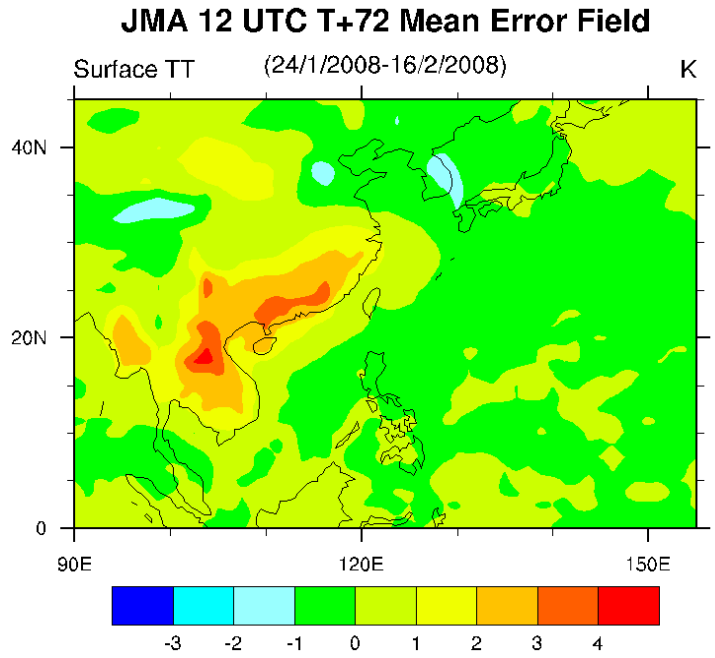


(a)

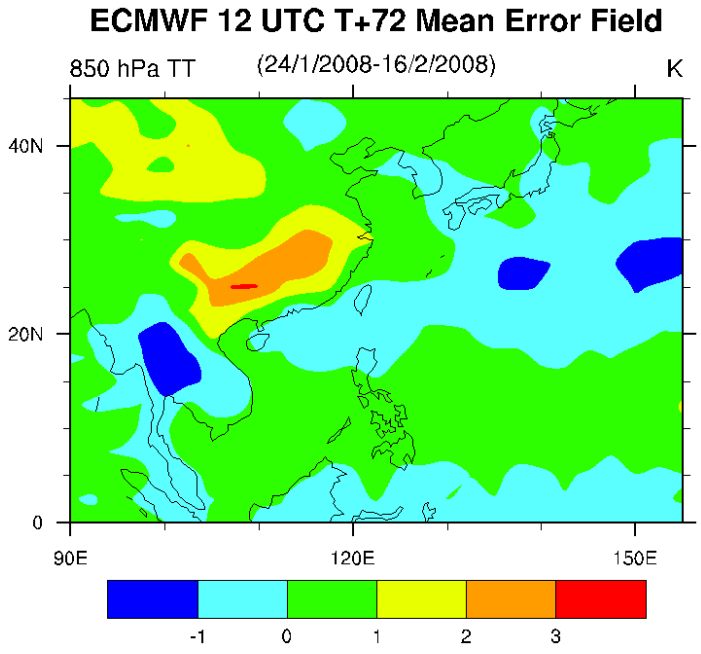


(b)

圖 6　ECMWF(a) 及 JMA(b) 的 72h 預測香港 24 小時氣壓變化
(初始時間爲每天 12 時; 期間爲 2008 年 1 月 24 日至 2 月 17 日)

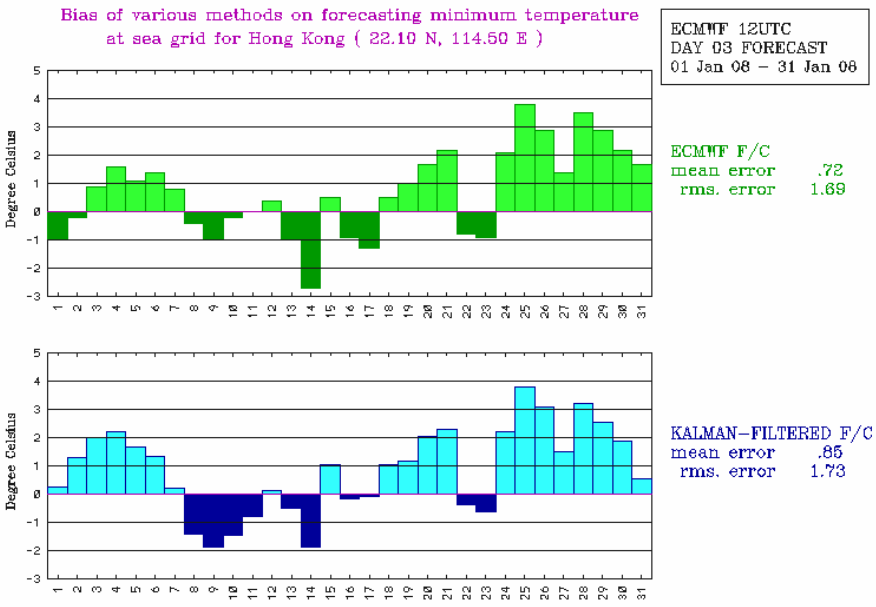


(a)

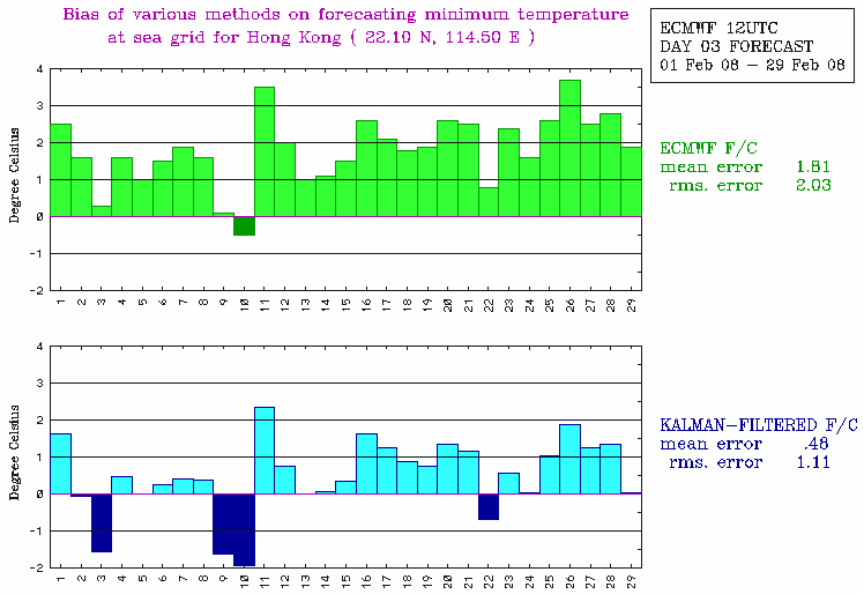


(b)

圖 7　　(a) JMA 72h 地面溫度及(b)ECMWF 72h 850hPa 層溫度預測的平均誤差場（初始時間爲每天 12 時；期間爲 2008 年 1 月 24 日至 2 月 16 日）



(a)



(b)

圖 8 ECMWF 預測香港每日最低氣溫的偏差(模式預測 – 實況觀測)，綠色是模式直接輸出，藍色是使用卡爾曼濾波修正模式的系統性偏差。(初始時間爲每天 12 時; a. 1 月份; b. 2 月份)

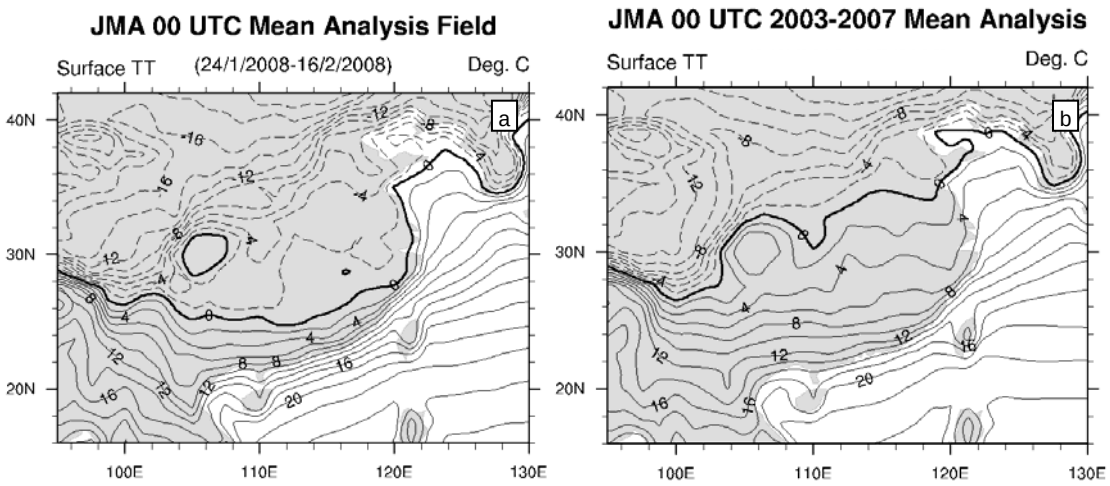


圖 9　　JMA 於 00 時地面氣溫的平均分析場

(a. 2008 年 1 月 24 日至 2 月 16 日; b. 2003 至 2007 年同期)

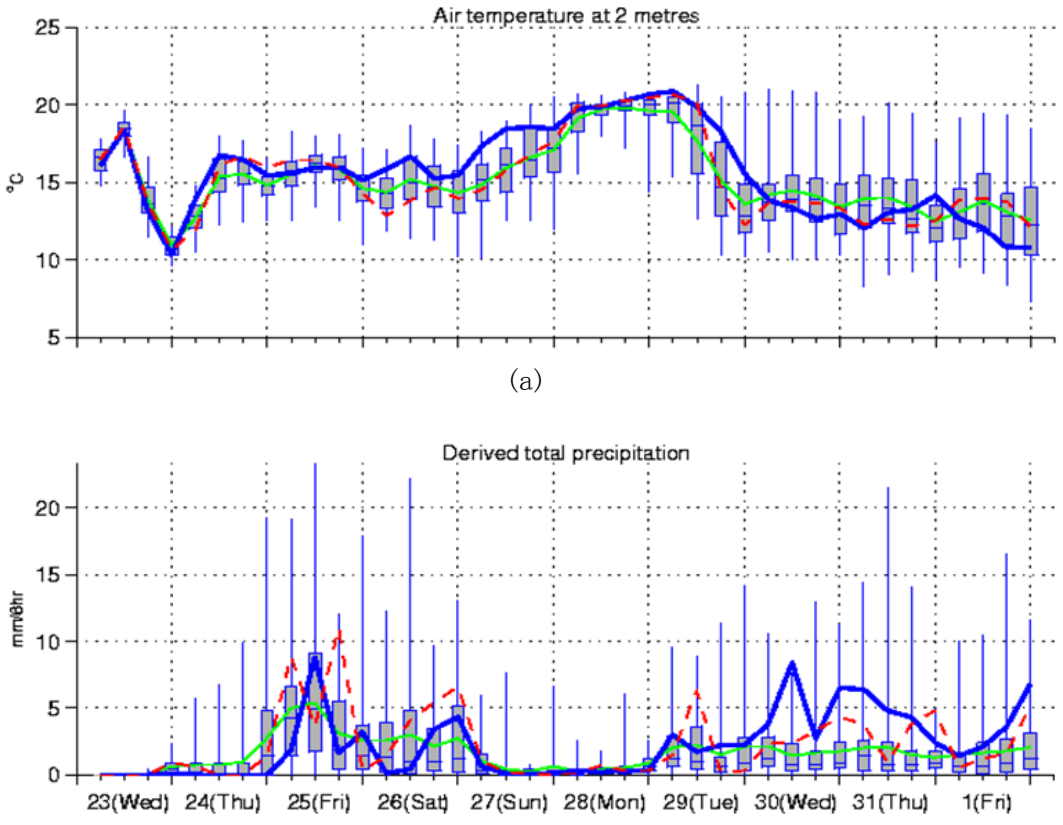


圖 10　　ECMWF 業務數值模式（T799, 藍線）輸出香港氣象要素的時間序列。(a) 爲預測地面溫度，而 (b) 爲預測 6 小時降雨量，初始時間爲 1 月 23 日 00 時。

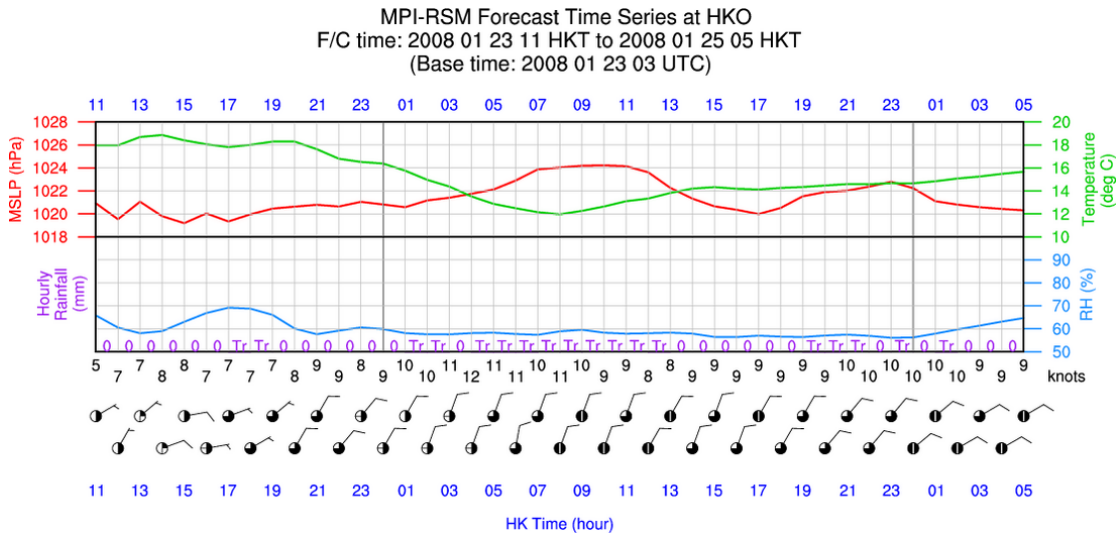


圖 11　　天文台業務區域譜模式（MPI-RSM）輸出的香港時間序列。
初始時間爲 1 月 23 日 03 時

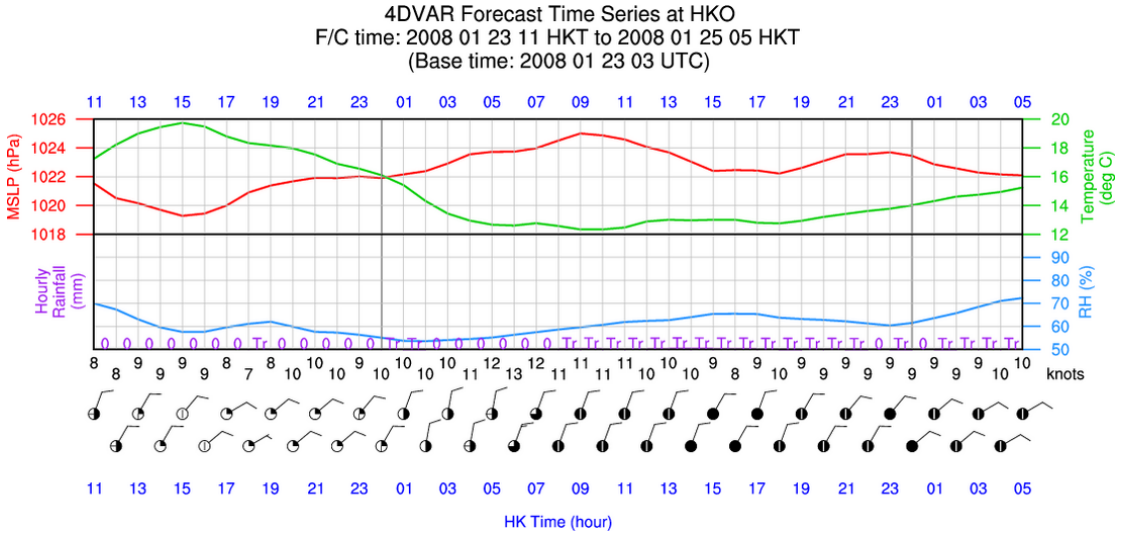


圖 12　　MPI-RSM 加四維資料同化模式試驗輸出的香港時間序列。
初始時間爲 1 月 23 日 03 時