

出國報告（出國類別：國際會議）

赴日本神戶參加
2019 年第 7 屆資料同化國際研討會

服務機關：交通部中央氣象局氣象資訊中心

姓名職稱：洪景山副主任、江琇瑛技士

派赴國家/地區：日本神戶

出國期間：民國 108 年 1 月 20 日至 1 月 27 日

報告日期：民國 108 年 4 月 09 日

摘要

近年來數值天氣預報技術不斷的精進，其中增加模式解析度、優化模式動力過程及物理參數化方法皆提升了模式之預報效能。此外，如何最佳化使用有限的大氣觀測資料，準確提供模式可描述當下大氣狀態之初始條件，為進一步提升模式預報能力的關鍵，亦是現今數值天氣預報研發與作業最重要的議題之一。

資料同化國際研討會 (International Symposium on Data Assimilation ; ISDA)，歷年來均輪流在世界各國舉辦，為這個領域的學界及作業單位提供一個良好的交流機會。2019 年的第 7 屆 ISDA 係於日本神戶舉辦，與會學者來自各國學術研究單位及作業機構，會議主題除主要針對資料同化在大氣科學領域的發展、先進技術及面臨之挑戰等方面交換新知，也同時探討資料同化於水文、天文及生物科學等其他領域之應用。

洪景山副主任與江琇瑛技士負責中央氣象局資料同化技術之發展，此行共發表「Impact of Surface Data Assimilation On Afternoon Thunderstorm Prediction in Taiwan」及「Application of the Multi-scale Blending Scheme on Continuous Cycling Radar Data Assimilation」2 篇論文，透過分享中央氣象局在資料同化技術之研究成果，與各國專家學者進行相關議題之討論，也瞭解各國資料同化之研究發展技術及趨勢，以期知己知彼，並展望未來。

目次

一、	目的	4
二、	過程	5
三、	心得與建議	14

一、 目的

台灣位於副熱帶地區且四面環海，在不同季節受到颱風、梅雨鋒面、西南氣流、東北季風和海陸風環流等不同天氣系統之影響，在多重尺度天氣系統交互作用影響下，此地區之天氣型態具有高度的複雜性，使得數值模式預報能力須面對相當高的挑戰。其中，短時間內產生大量降水之天氣系統，其降水強度往往超過當地的防洪設計或土地承受能力，因而可能造成超出預期之災情。因此，提升短延時、強降水事件之預警能力以減少災害的發生，為現今預報作業相當重要之需求。

然而，強降水系統具有演變快速且高度非線性之物理過程，因而局限了模式之可預報度。為提升模式針對短延時、強降雨系統之數值預報能力，中央氣象局近年建置對流尺度資料同化系統，透過滾動式同化雷達觀測資料，提供模式可描述當下大氣狀態之初始條件，進而提高模式即時預報之能力，此系統目前逐時提供0至13小時之高解析度模式預報。為進一步提升此對流尺度系統之預報能力，如何最佳化使用有限的大氣觀測資料，並提升資料同化技術，為數值預報研發與作業最重要的議題之一。

洪景山副主任與江琇瑛技士負責中央氣象局雷達資料同化系統技術之發展，此行除為瞭解相關議題的科學進展外，也會議中發表「Application of the Multi-scale Blending Scheme on Continuous Cycling Radar Data Assimilation」與「Impact of surface data assimilation on afternoon thunderstorm prediction in Taiwan」2篇論文，向國際科學家介紹臺灣在雷達資料同化的技術發展及應用成果，更期望獲得回饋，能提供未來技術發展之指引，同時提升臺灣的國際參與和能見度，更可開啟未來與國外專家學者合作的契機。

參加此次研討會，不僅可透過與會者彼此的科技交流與研討，也有助於瞭解國際間最新資料同化技術的發展，以作為中央氣象局未來科技研發與業務規劃之參考。

二、 過程

(一) 行程

洪景山副主任與江琇瑛技士（圖 1）所參加的第 7 屆資料同化研討會（ISDA2019），舉行時間為 1 月 21 日至 1 月 24 日，由 RIKEN 計算科學中心在日本神戶舉辦。RIKEN 為國立研究開發法人理化學研究所（Institute of Physical and Chemical Research，日語：理化学研究所），簡稱理研。該會議以口頭報告（ORAL）和張貼論文（POSTER）等方式（圖 2），達成相互學術研究交流及開拓視野之目的。

日期	預定停留地點	工作記要
108/1/20 (日)	臺灣-日本神戶	去程
108/1/21 (一) ~ 24 (四)	日本神戶	參加 2019 年資料同化國際研討會 與論文發表
108/1/27 (日)	日本神戶-臺灣	回程



圖 1、洪景山副主任（左）和江琇瑛技士（右）於會場合影。



圖 2、研討會會場。

(二) 研討會議題

資料同化是一種跨領域的科學，主要根據數學統計以及動力系統理論，而該技術長期以來一直應用在數值天氣預報中，發揮著至關重要的作用。近年來，資料同化技術逐漸開始廣泛地應用於其他地球物理科學，例如水文、行星及生物科學等數值模式。因此，資料同化技術面臨的挑戰也更為廣泛，包括如何更有效處理非線性和多重尺度的系統、複雜的觀測算符和非高斯的模式誤差統計特性等。本屆會議在這 4 天議程中，分別對資料同化之不同科學議題進行交流報告與討論。

- 1/21 (一) 的專題會議，報告內容包括：

- (1) 多領域的應用：

該議題主要探討不同領域之科學在資料同化應用上的問題，包括行星、海洋與水文模式，雖然與天氣數值預報較無關聯，但我們可以從不同角度看見資料同化在不同模式應用上的問題。

- (2) 觀測資料的應用：

該議題主要著重於觀測誤差的設定策略，在資料同化中，觀測資料的誤差值以及不同觀測資料的相關性，將決定觀測資料如何調整模式層場，但為簡化資料同化的計算過程，忽略不同觀測之間的相關性。但此假定對於高密度的觀測（例如衛星和雷達）並不適用，故需要研發建構不同觀測資料的相關性，據以提升資料同化效能以改善模式預報能力。

- (3) 多重尺度系統應用：

該議題主要探討如何發展多重尺度資料同化技術，以改進多重尺度天氣系統，如颱風和鋒面系統之預報能力。

- 1/22 (週二) 的專題會議，報告內容包括：

- (1) 衛星資料同化：

衛星資料能提供海洋上大範圍氣象觀測資訊，可彌補一般傳統觀測（例如探空、船舶觀測等）分布不均的缺點，此對於模式海面颱風生成和演變的預報尤其重要，故如何應用衛星資料修正模式海面上的誤差、改善模式初始場、提升熱帶氣旋的預報能力，以及得到更真實之颱風內核結構，一直是國際研究的焦點。但是，衛星資料主要為輻射量，並非我們認知的風場和溫度場等，故如何透由衛星輻射資料修正模式在海面上的風場、溫度場、濕度場或雲的分布等模式誤差，是一大挑戰。該議題針對衛星資料同化所面臨之問題，進行許多報告與交流討論，例如衛星可見光或紅外線輻射之使用策略、輻射資料的觀測誤差修正方法等。

- (2) 非線性與非高斯的模式誤差統計特性問題：

在不同資料同化方法中（例如三維變分、系集卡爾曼濾波法等），如何建立適當的模式背景誤差協方差矩陣（background error covariances），是主導資料同化效能的關鍵。不過，即使是不同的資料同化方法，對於模式誤差的特性皆建立在高斯分布的統計上。近年模式解析度愈來愈高，模式能解析的非線性特性也愈顯著，使得模式誤差統計往往呈現非高斯分布的特性，因此如果模式誤差統計仍建立在高斯分布進行同化分布，將可能無法透由觀測資料有效地修正模式誤差，有鑒於此，近年開始研發如何有效處理非高斯分布之模式誤差的資料同化方法，而在此會議中，有專家學者分別提出了不同的數學方式，以及其計算效能和對於預報之影響等。由此會議讓我們了解到資料同化技術開始邁向另一境界，打破過去教科書敘述的資料同化理論。

- 1/23 (三) 的專題會議，報告內容包括：

- (1) 耦合模式之應用：

在資料同化中，不同模式的耦合，最主要的重點為如何提供一致性的模式初始條件，包括大氣、陸地、海洋、波浪及海冰成分。在此議題中，討論了不同模式之間（例如土壤與大氣或海冰與大氣）的耦合方法以及評估其對預報的影響。

- (2) 資料同化理論與數學技術：

該議題和「非線性與非高斯的模式誤差統計特性問題」之議題所針對的重點相同，但在此議題中，則是從理論的角度，更深入地探討數值模式的非線性誤差特性對於資料同化的影響，以及未來數學技術的走向。

- 1/24 (四) 的專題會議，報告內容包括：

- (1) 對流尺度資料同化：

數值天氣預報要能掌握劇烈天氣系統的演變，模式解析度是首要關鍵，不過，單只提高模式解析度仍不能有效掌握劇烈天氣系統的結構和演變，仍需仰賴一個好的模式初始場，故如何同化局地性的觀測資料，例如雷達，是對流尺度資料同化的主要重點。雷達觀測具備高時間和空間解析度，可即時提供劇烈對流系統的降水結構，若將雷達觀測資訊進行資料同化，修正模式對於劇烈天氣系統的誤差，可更準確地預報出對流胞位置及強度，但是，要真正發揮雷達觀測的應用價值，需要面對許多挑戰。在此議題中，針對這方面主題進行報告與交流討論，例如雷達觀測的回波與徑向風如何修正模式誤差，以及如何更有效率地進行雷達資料品質控管。

(2) 大數據資料同化：

該議題主要探索使用日本最高端的超級電腦計算資源，以相位雷達觀測和 Himawari-8 衛星資料，進行 250 公尺模式解析度、30 秒資料同化更新策略之大數據資料同化的可能性。結果顯示，對於致災性劇烈天氣系統的數值預報，高解析度與快速更新同化策略是必需的，雖然現在受限於電腦計算資源，但電腦計算效能日益進步，我們也開始有能力讓模式解析度逐漸提高到 1 公里以下，屆時即時大數據資料同化將成為未來的趨勢。

(三) 參與人員發表研究成果

- 江琇瑛技士：

江琇瑛技士與洪景山副主任共同發表「Application of the Multi-scale Blending Scheme on Continuous Cycling Radar Data Assimilation」論文（圖 3 至圖 5），主要內容為應用多重尺度混合法於雷達資料同化系統，並探討對於模式定量降水預報之影響。

短延時、強降水天氣系統往往具有系統快速演變以及劇烈降水過程，故模式可預報度相當有限，而具有快速更新頻率並且伴隨高模式解析度的雷達資料同化系統，是提高短延時、強降水天氣系統之模式可預報度的重要關鍵。不過，在快速循環更新的資料同化策略中，容易累積模式的預報誤差。本研究使用中央氣象局之三維變分法（3DVAR; three-dimensional variational）與局地系集卡爾曼濾波（LETKF; Local Ensemble Transform Kalman Filter）雷達資料同化系統，探討如何透由多重尺度混合法結合全球模式和對流尺度模式分析場，抑制雷達資料同化循環更新過程所累積的模式誤差，進以提高模式定量降水預報能力。

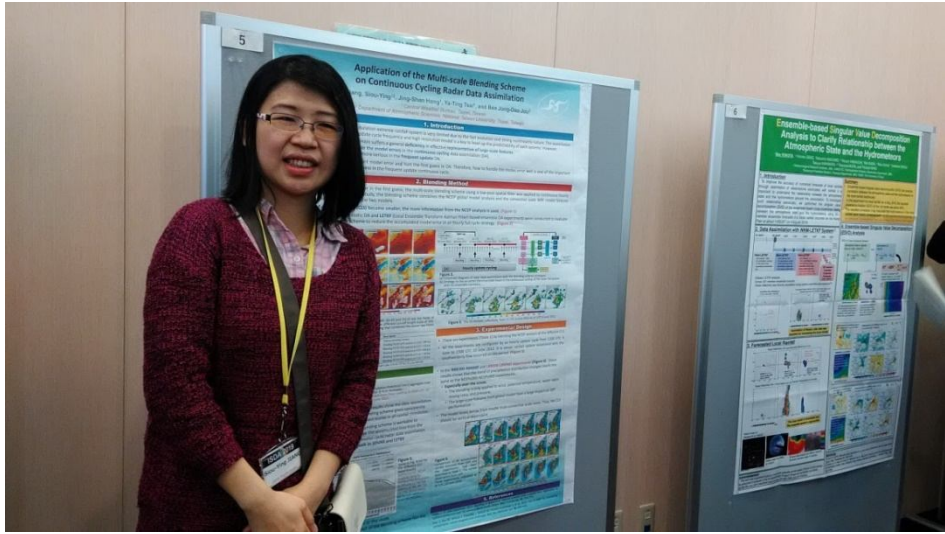


圖 3、江琇瑛技士張貼論文發表情形

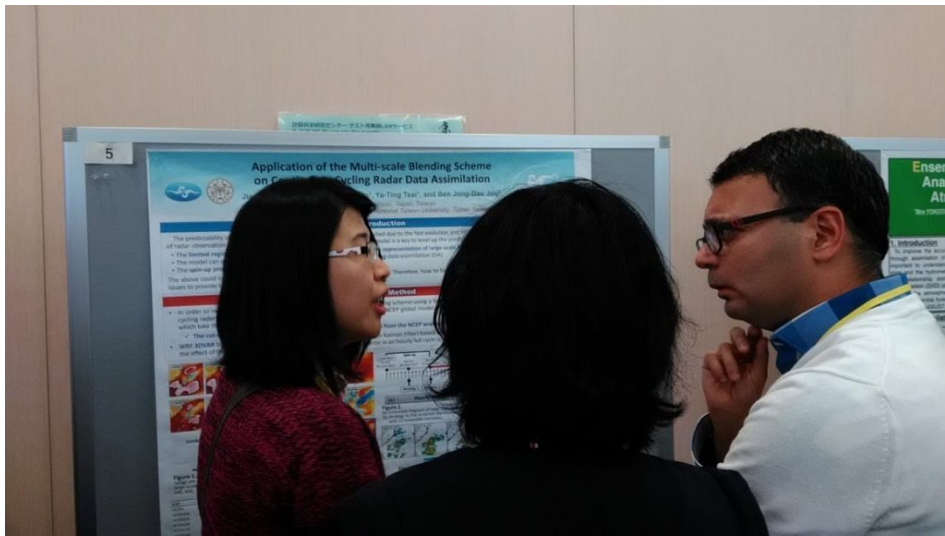


圖 4、江琇瑛技士於會中與各國與會人員交流

Application of the Multi-scale Blending Scheme on Continuous Cycling Radar Data Assimilation

Jiang, Siou-Ying^{1,2}, Jing-Shan Hong¹, Ya-Ting Tsai¹, and Ben Jong-Dao Jou²

¹ Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

² Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University, Taipei, Taiwan

1. Introduction

The predictability of the short duration extreme rainfall system is very limited due to the fast evolution and strong nonlinearity nature. The assimilation of radar observation with rapid update cycle frequency and high resolution model is a key to level up the predictability of such systems. However,

- The **limited regional** model domain suffers a general **deficiency** in effective **representation of large-scale features**.
- The model can easily **accumulate the model errors** in the **continuous cycling** data assimilation (DA).
- The **spin-up problem** becomes more serious in the **frequent update** DA.

The above could introduce significant model error and hurt the first guess in DA. Therefore, how to handle the model error well is one of the important issues to provide the reliable first guess in the frequent update continuous cycle.

2. Blending Method

In order to reduce the model error in the first guess, the multi-scale blending scheme using a low-pass spatial filter was applied to continuous hourly cycling radar DA system. In this study, the blending scheme combines the NCEP global model analysis and the convective scale WRF model forecast which take the advantage of the model.

- ✓ The **cut-off length scale (CLS)** become smaller, the more information from the NCEP analysis is used. (Figure 1)
- WRF **3DVAR** based deterministic DA and **LETKF** (Local Ensemble Transform Kalman Filter) based ensemble DA experiments were conducted to evaluate the effect of the blending scheme to reduce the accumulated model error in an hourly full cycle strategy. (Figure 2)

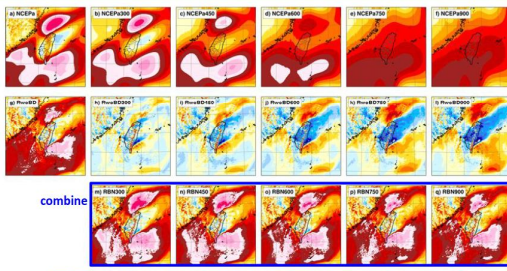


Figure 1. (a)(g) are the U-wind of NCEP GFS analysis and WRF forecast. (b)-(f) and (h)-(l) are the fields of large-scale and small-scale separated from (a) and (g) with the different cut-off length scale of 300, 340, 600, 750, and 900 km. (m)-(n) are the result after blending that combines the above two fields.

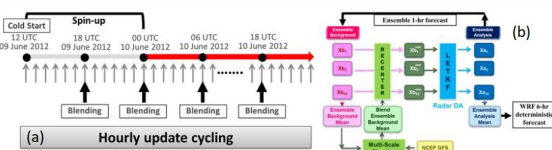


Figure 2. (a) Schematic diagram of radar data assimilation with the blending scheme strategies (b) Strategy to re-center the ensemble mean in the continuous cycling LETKF radar DA system with 32 ensemble members.

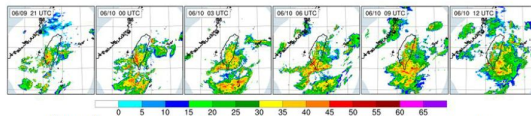


Figure 3. The 3D-MOSAIC reflectivity from 21 UTC 6 June 2012 to 12 UTC 6 June 2012.

EXP	Description	EXP	Description
NCEP _a	Without blending scheme	Rw0BD	Without blending scheme
NCEP _a 300	Initialized by NCEP GFS with CLS=300 km	RBN300/LBN300	Blending NCEP GFS analysis at CLS = 300 km
NCEP _a 450	Initialized by NCEP GFS with CLS=450 km	RBN450/LBN450	Blending NCEP GFS analysis at CLS = 450 km
NCEP _a 600	Initialized by NCEP GFS with CLS=600 km	RBN600/LBN600	Blending NCEP GFS analysis at CLS = 600 km
NCEP _a 750	Initialized by NCEP GFS with CLS=750 km	RBN750/LBN750	Blending NCEP GFS analysis at CLS = 750 km
NCEP _a 900	Initialized by NCEP GFS with CLS=900 km	RBN900/LBN900	Blending NCEP GFS analysis at CLS = 750 km

Table 1. Summary of experiments

Note: CLS: cut-off length scale, L is for LETKF, R is for 3DVAR

3. Experimental Design

- There are experiments (Table 1) by blending the NCEP analysis at the different CLS.
- All the experiments are configured by an hourly update cycle from 1200 UTC 9 June to 2300 UTC 10 June 2012. It is server rainfall system associated with the southwesterly flow occurred on this period. (Figure 3)

4. Results

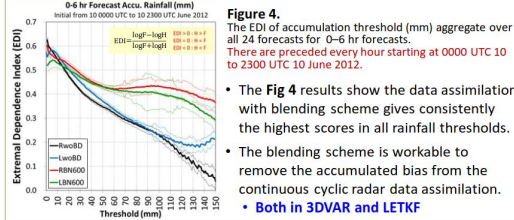


Figure 4. The EDI of accumulation threshold (mm) aggregate over all 24 forecasts for 0–6 hr forecasts. There are preceded every hour starting at 0000 UTC 10 to 2300 UTC 10 June 2012.

- The Fig 4 results show the data assimilation with blending scheme gives consistently the highest scores in all rainfall thresholds.
- The blending scheme is workable to remove the accumulated bias from the continuous cyclic radar data assimilation.
- **Both in 3DVAR and LETKF**

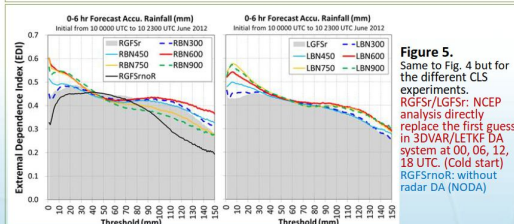


Figure 5. Same to Fig. 4 but for the different CLS experiments. RGFSr/LGFSr: NCEP analysis directly replace the first guess in 3DVAR/LETKF DA system at 00, 06, 12, 18 UTC. (Cold start) RGSr/LGSr: without radar DA (NODA)

- Only QPF over land points are evaluated in this study.
- The results (Figure 5) show the impact of the blending scheme has the consistent trend with the different CLS.
- Especially for **smaller** rainfall thresholds.

- In the **RBN300-RBN900** and **LBN300-LBN900** experiments (Figure 6), these results shows that the trend of precipitation distribution changes nearly the same as the **NCEP_a300-NCEP_a900** experiments.
- **Especially over the ocean.**
 - The blending is only applied to wind, potential temperature, water vapor mixing ratio, and pressure.
 - The large-scale features from global model have a large impact on QPF performance
- The model levels below 3-km maybe trust convective scale more. Thus, the CLS should be vertical dependent.

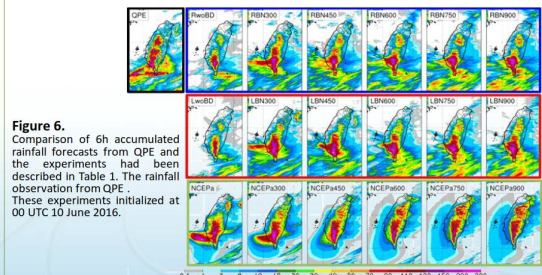


Figure 6. Comparison of 6h accumulated rainfall forecasts from QPE and the experiments had been described in Table 1. The rainfall observation from QPE. These experiments initialized at 00 UTC 10 June 2012.

5. References

Hsiao, L. F., and Coauthors, 2015: Blending of global and regional analyses with a spatial filter: Application to typhoon prediction over the western North Pacific Ocean. *Wea. Forecasting*, **30**, 754–770.
 Sun, J., Xue M., Wilson J., Zawadzki I., Ballard SP., Onville-Hoomeyer J., et al. 2014. Use of NWP for nowcasting precipitation: recent progress and challenges. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* **95**, 409–426.

圖 5、江琇瑛技士發表論文海報

- 洪景山副主任：

洪副主任發表其與陳依涵助理研究員合作之「Impact of surface data assimilation on afternoon thunderstorm prediction in Taiwan」研究論文(圖 6 與圖 7)，探討如何同化地面觀測資料以提升午後對流降水的預報能力。

臺灣地區夏季午後對流事件頻繁，此類天氣系統具有短延時、強降水的特性，其高降水強度有造成不同程度災情之可能。由於對流系統之生成及發展與近地面氣象場的特徵相關，因此，本研究期望藉由同化高時空解析度地面觀測資料，提升模式對於對流尺度系統之預報能力。

本研究使用三維變分資料同化方法，進行 10 天的午後對流預報實驗，個案研究之結果顯示，在對流生成前同化地面觀測資料，並結合循環更新的資料同化策略，可有效修正模式底層風場，顯著增強海風與地形間之交互作用，提升模式對於此個案降水位置及強度之預報能力。此外，同化雷達及地面觀測資料可進一步改善預報對流之強度，與對流系統相關之冷池及外流皆與觀測場相近。由 10 天實驗之校驗結果亦顯示，同化地面觀測資料可提升午後對流降水預報能力，並且提高模式地面風場及溫度場之預報準確度。

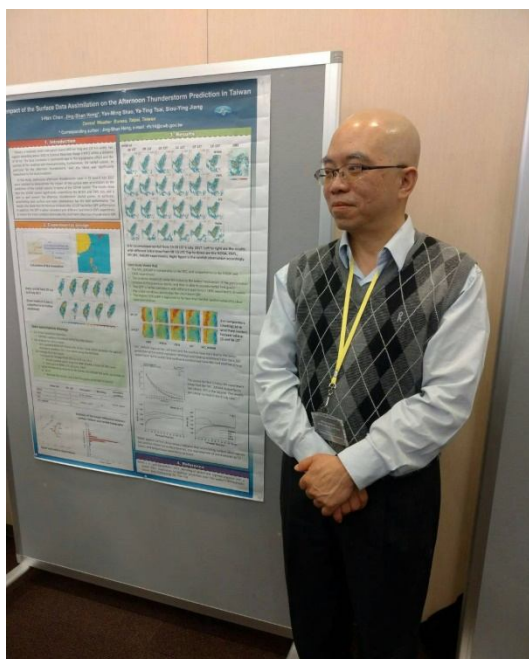


圖 6、洪景山副主任張貼論文發表情形

Impact of the Surface Data Assimilation on the Afternoon Thunderstorm Prediction in Taiwan

I-Han Chen, Jing-Shan Hong*, Yan-Ming Shao, Ya-Ting Tsai, Siou-Ying Jiang

Central Weather Bureau, Taipei, Taiwan

* Corresponding author : Jing-Shan Hong, e-mail: rfs14@cwbc.gov.tw

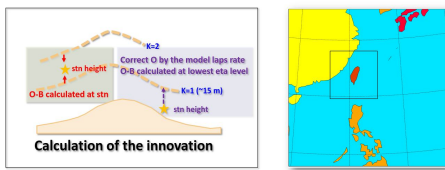


1. Introduction

Taiwan, a relatively small subtropical island (400 km long and 150 km wide), has regions extending above 3000 m [Central Mountain Range (CMR)] within a distance of 50 km. The local circulation is prominent due to the topographic effect and the contrast of the land/sea and mountain/valley. Furthermore, the rainfall system, in particular for the afternoon thunderstorm, over the island was significantly modulated by the local circulation.

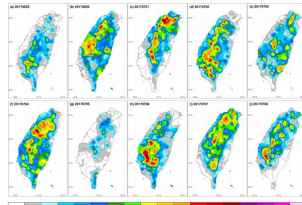
In this study, continuous afternoon thunderstorm cases in 29 June-8 July 2017 were selected to demonstrate the impact of the surface data assimilation on the prediction of the rainfall systems in terms of the 3DVAR system. The results show that the 3DVAR system significantly outperforms the NODA and CNTL run, and is able to well present the afternoon thunderstorm rainfall system. In particular, assimilating both surface and radar observations has the best performance. The results also show that the forecast initiated after 11 LST has better QPF performance. In addition, the QPF is rather consistent with different lead time in CNTL experiment. It means the initial condition dominates the short-term afternoon thunderstorm QPF.

2. Experimental design



Daily rainfall from 29 Jun to 8 July 2017

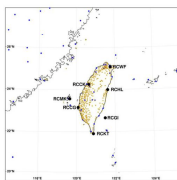
(Case results in 6 July is subjective to be further examined)



Data assimilation strategy

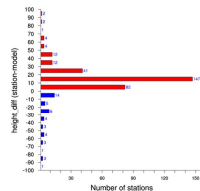
- 10-/2-km resolution domains
 - RRTMG radiation/Goddard MPS/YSU PBL/NOAH
- DA strategy for 10-km mesh:
 - 6-hr updated NCEP GFS drives the 10-km mesh which provides the lateral boundary condition for 2-km mesh using the NDOWN.
- DA strategy for 2-km mesh:
 - Full cycle for 10 days from 29 Jun to 8 July 2017
 - ✓ Hourly update cycle using the WRF 3DVAR, a total of 240 cases
 - ✓ Cold start at 0000 UTC 29 June, 2017
 - Using the Blending scheme to Re-Center the 3DVAR full cycle run (Hsiao et al. 2015)
 - ✓ Blended the 10-km and 2-km fist guess at 00/06/12/18 UTC

	Radar DA	SFC DA	First guess	Blending	Boundary condition
NODA	X	X	10 km ndown	X	
CNTL	X	X			
SFC	X	O	Update cycle	O	10 km ndown
SFC_RADAR	O	O			

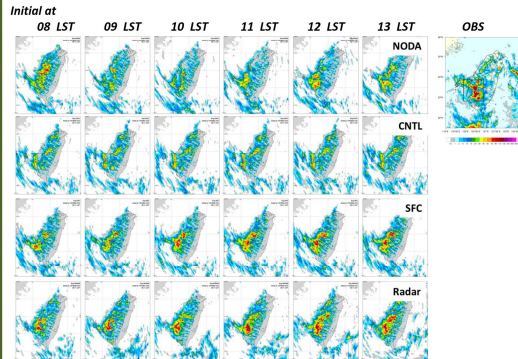


Radar and surface observations

Statistics of the height difference between surface stations and model topography



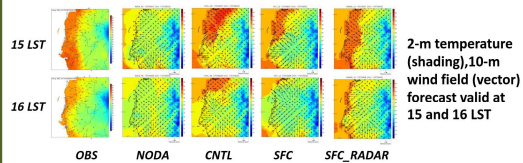
3. Results



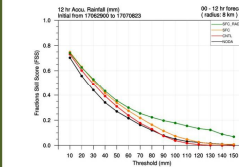
6-hr accumulated rainfall from 13-19 LST 6 July, 2017. Left to right are the results with different initial time from 08-13 LST. Top to down are the NODA, CNTL, SFC, SFC_RADAR experiments. Right figure is the rainfall observation accordingly.

Case study shows that

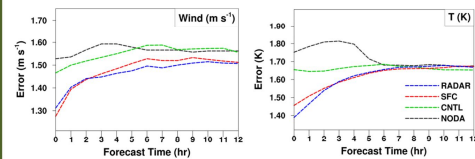
- The SFC_RADAR is comparable to the SFC, and outperforms to the NODA and CNTL experiment.
- The positive impact of radar DA is due to the better modulation of the precipitation process in the previous storm, and then is able to provide better first guess.
- The QPF is rather consistent with different lead time in CNTL experiment. It means the initial condition dominates the short-term QPF.
- The Hybrid 3DVAR is expected to further improve the performance of surface data assimilation.



SFC_RADAR capture the cold pool and the outflow boundary due to the better prediction of the storm evolution. Without assimilating additional radar data, SFC experiment fail to predict the outflow boundary and have the cool pool too strong.



FSS scores for the 10-days DA experiment show that the SFC_RADAR outperforms the others. SFC is the second. The results are similar to that in the 6 July case.



RMSE against surface observations indicates that assimilating surface observations has positive impact on surface forecast, the improvement of wind extends to 12 hours, and temperature extends to six hours.

4. Reference

Hsiao, L. F., and Co-authors, 2015: Blending of global and regional analyses with a spatial filter: Application to typhoon prediction over the western North Pacific Ocean. *Wea. Forecasting*, 30, 754-770.

圖 7、洪景山副主任發表論文海報

三、 心得與建議

致災的劇烈降水系統經由累積大量的雨量，或是短時間內產生大量的降水，往往會超過當地的防洪設計或土地承受能力，進而導致災情，嚴重影響人員生命財產安全、經濟發展及交通等。在臺灣，不同季節中存在許多不同的天氣型態，例如颱風、梅雨鋒面、西南氣流和午後對流等，皆足以引發致災性的降水事件，其中尤以短延時、強降水（例如 3 小時累積雨量達 100 mm 以上）事件最可能具威脅性。

關於短延時、強降水事件導致災害發生的嚴重性，不單只是臺灣地區的獨特現象，近年來全球各地短延時、強降水事件發生的頻率也開始有明顯增長的趨勢，使得水災發生的頻率和強度隨之增加。受限於有限的可預報度，如何強化資料同化技術進以提升對短延時、強降水天氣系統的預報能力，是非常重要的議題。透由參與本會議之機會，與來自同樣面臨颱風、劇烈降水及中小尺度天氣之自然災害的國家或相近領域專家，同聚一堂進行技術以及經驗交流，獲得未來研究上許多寶貴想法。

洪景山副主任與江琇瑛技士負責中央氣象局資料同化系統技術發展，此行除了瞭解相關議題的科學進展外，也透過論文發表向國際科學家介紹臺灣在雷達資料同化的技術發展及應用成果，故此會議也有助於增進國際對臺灣氣象作業能力的了解以及爭取與鄰國氣象單位合作交流。

臺灣無聯合國之國際連結，限縮了國家氣象單位科研人員參與國際官方氣象組織的交流活動，然臺灣氣象作業技術長期與美國接軌，在颱風數值預報、高解析度系集預報及其在定量降雨預報之應用，以及雷達資料同化等技術的發展成果，皆具國際前列之水準。近年菲、越、泰等東南亞國家之氣象機構也主動與中央氣象局洽商合作，中央氣象局亦不吝提供颱風與雷達方面的技術培訓及支援服務，因此可多藉參與此類會議讓國際了解中央氣象局之氣象作業能力，持續爭取與國際氣象單位合作交流之機會。