



前言

什麼是再分析(reanalysis)？

透過資料同化(Kalnay, 2003)方法，將各種異質的觀測資料，適當地同化至集合氣象知識的數值天氣預報(NWP)模式中，以推估三維空間中大氣最可能的狀態，包括風、溫度、溼度及壓力等氣象要素

應用價值：

1. 能直接用於診斷天氣，進行氣象災害情境的分類，有助於類似情境再發生時的情資研判
2. 能做為NWP模式的初始條件，提升其預報準確度
3. 能累積成再分析大數據，提供各種機器學習演算法利用，開發智慧化的氣象預報與災害預警技術

技術開發：

選用全球再分析資料為背景場，再使用區域NWP模式與資料同化方法，適當地同化臺灣本土觀測資料，尤其是富含三維空間風雨資訊的氣象雷達資料，產製臺灣的高解析度再分析資料

方法

全球再分析盤點與選用：

盤點歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)、美國國家環境預測中心(NCEP)、美國國家航空暨太空總署(NASA)及日本氣象廳(JMA)的全球再分析產品，選用最先進的ERA5 (Hersbach et al., 2020)資料

表1 現今主流的全球再分析產品

單位	名稱	年份	時間解析度	水平解析度	說明
ECMWF	ERA-20C	1900–2010	3小時	125公里	只同化地面氣壓/海面風
	ERA-40	1957–2002	6小時	125公里	同化多種原位/衛星觀測
	ERA-Interim	1979–2019	6小時	80公里	提升模式/同化/觀測/解析度
	ERA5	1950–現在	1小時	31公里	提升模式/同化/觀測/解析度
NCEP	Reanalysis 1	1948–現在	6小時	2.5°	同化多種原位/衛星觀測
	Reanalysis 2	1979–現在	6小時	2.5°	提升模式/同化/觀測
	FNL	1999–現在	6小時	1°	提升解析度
	FNL	2015–現在	6小時	0.25°	提升解析度
	CFSR	1979–現在	6小時	38公里	海氣耦合模式
NASA	MERRA-2	1980–現在	6小時	0.5°	
JMA	JRA-55	1958–現在	3小時	60公里	

NWP模式與雷達資料同化：

1. 使用天氣研究與預報(WRF; Skamarock et al., 2008)模式第4.2.1版，採用25、5及1公里三層巢狀網格
2. 使用WRF資料同化(WRFDA; Barker et al., 2012)系統第4.2.1版，採用三維變分方法，同化臺灣十座氣象雷達資料，同化變數包括徑向速度與回波所反演的雨、雪、軟雹及水氣混合比

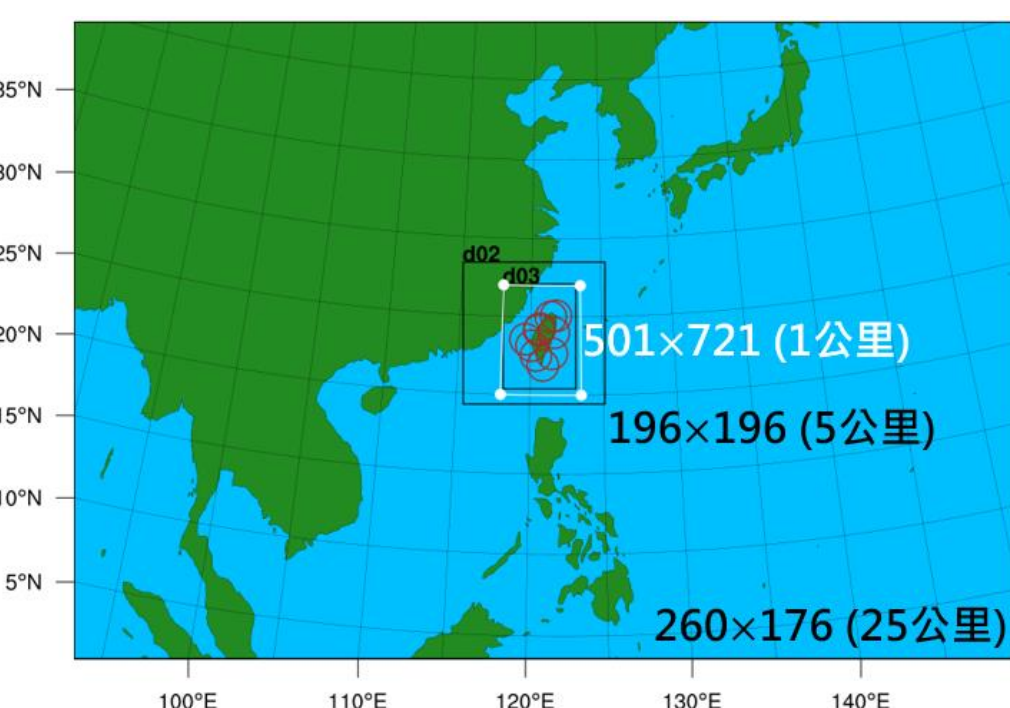


圖1 WRF模式三層巢狀網格模擬範圍，以及臺灣十座氣象雷達的100公里掃描範圍

校驗方法：

推估的大氣狀態須投影回各種異質的觀測空間，求取綜合相似度的最大化，故提出殘差指數(residual index)的計算，以評估再分析資料與整體觀測資料的相似度

1. 令 x_a 為分析變數， y_o 為觀測變數， H 為將 x_a 轉換成 y_o 的觀測算符

， N 為觀測數，則整體觀測的方均根觀測值為：

$$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N y_{o,i}^2}{N}}$$

2. 整體觀測與再分析差距的方均根殘差值為：
- $$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_o - Hx_a)_i^2}{N}}$$

3. 殘差指數(%)可定義為：
- $$\frac{\text{方均根殘差值}}{\text{方均根觀測值}} \cdot 100\%$$

成果

模式積分與雷達資料同化實驗：

1. 實驗個案為2021年6月4日臺灣北部雷雨事件，臺北市13至14時觀測到時雨量119.5毫米，以13時為分析時間
2. 進行N、R、NN、NR、RN及RR共六組模式積分與雷達資料同化策略相異的實驗

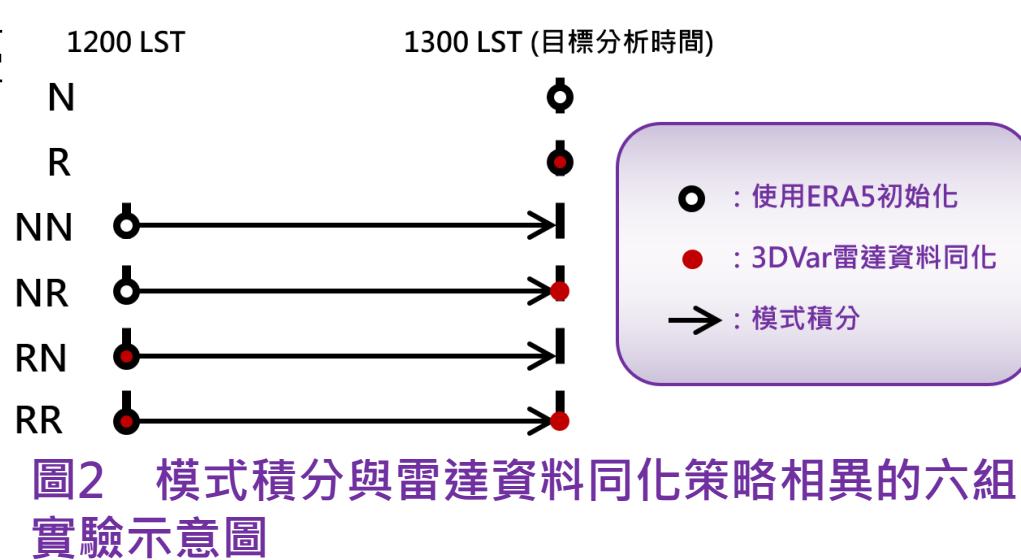


圖2 模式積分與雷達資料同化策略相異的六組實驗示意圖

3. 最大回波比較結果：(1)ERA5資料缺乏水象資訊；(2)三維變分方法能有效同化雷達資料，但缺乏流場相依的背景誤差結構；(3)模式積分能耦合動力與雲微物理，但對流初始化的位置可能偏差；(4)對流尺度的誤差可能隨模式積分變大

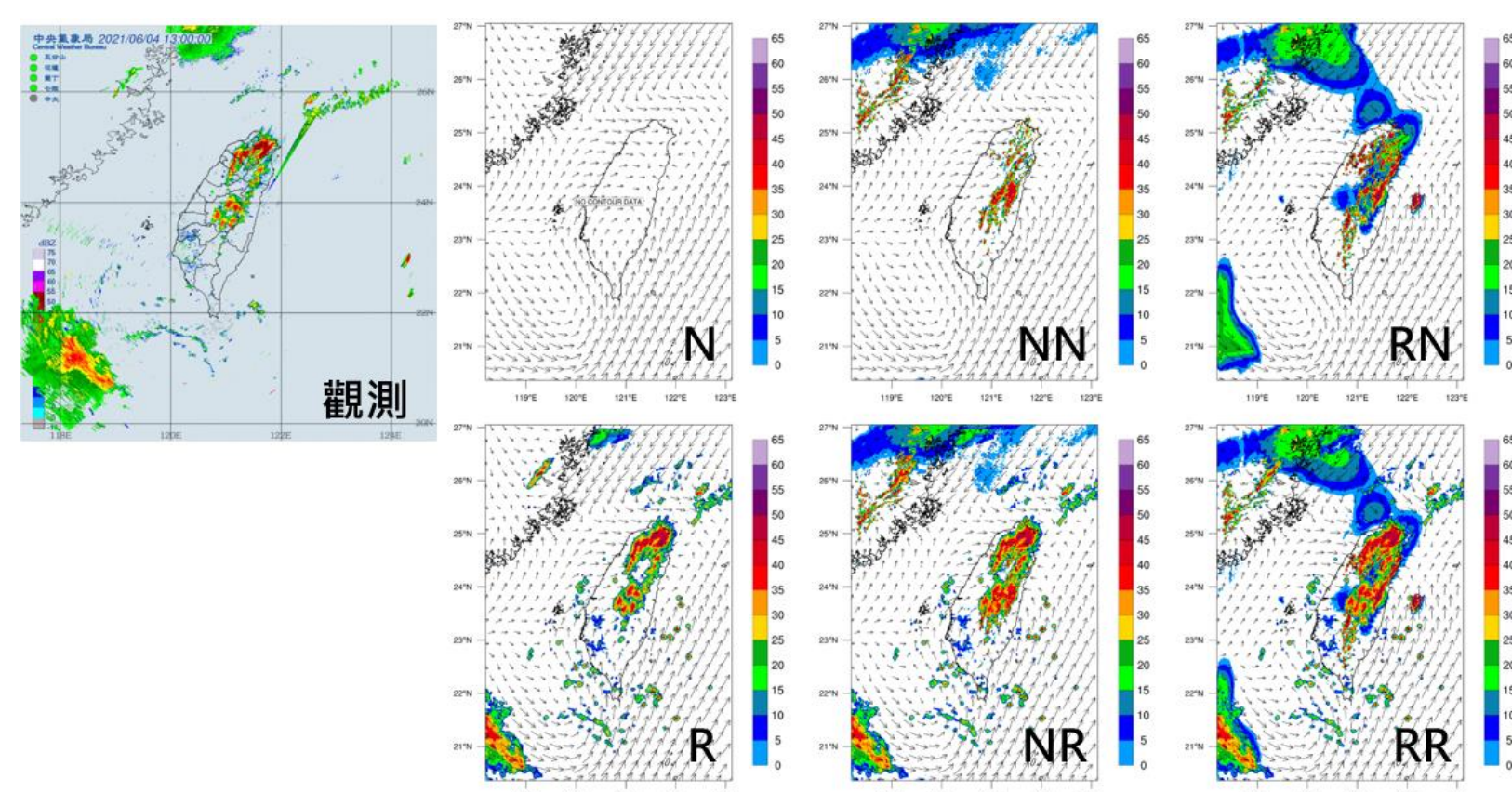


圖3 2021年6月4日13時之觀測與六組實驗分析場的最大回波(顏色；單位為dBZ)，以及六組實驗分析場的10米水平風(箭號)

4. 低層水氣與風場比較結果：(1)雷達資料同化大幅增加海洋觀測範圍的水氣；(2)模式積分小幅增加陸地範圍的水氣；(3)雷達資料同化增強了水氣與向岸風，有利於臺灣北部對流系統的發展

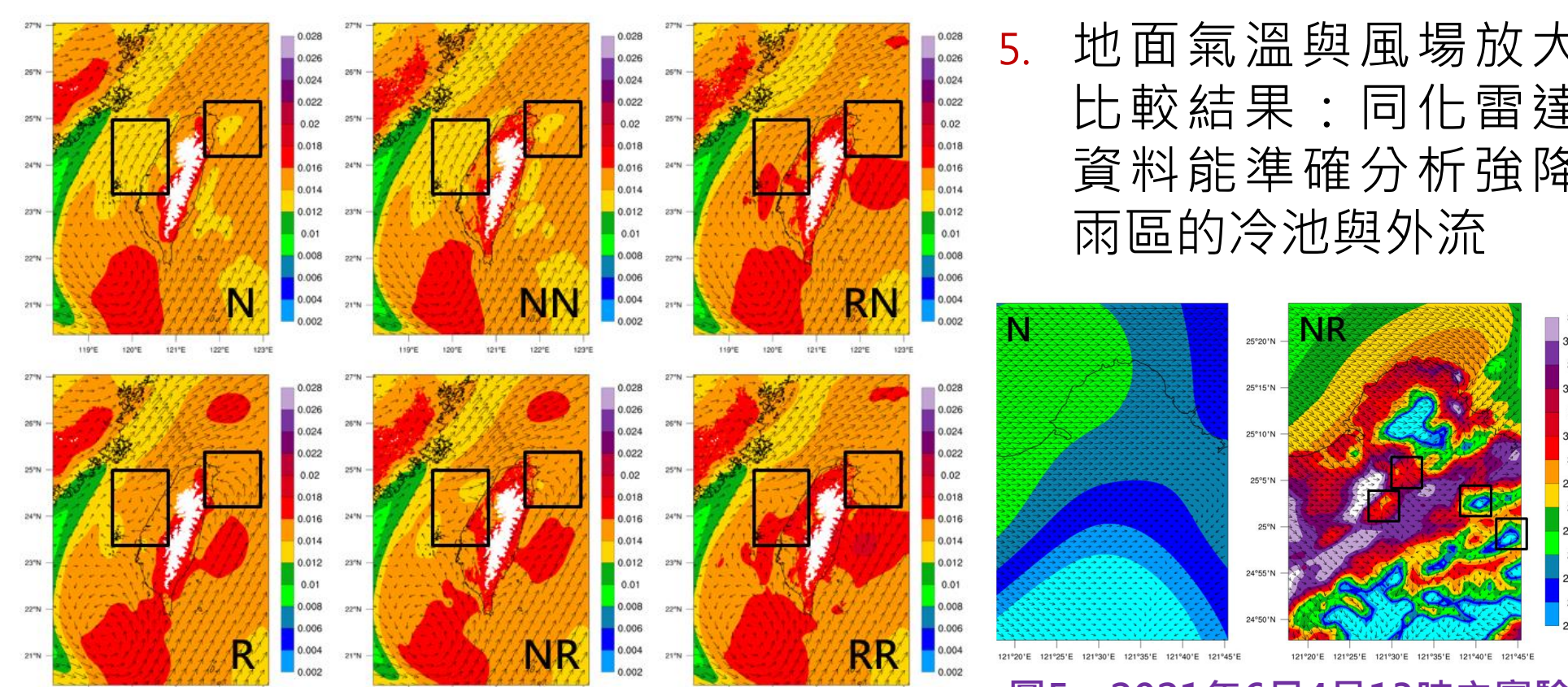


圖4 2021年6月4日13時之六組實驗分析場的850-hPa水氣混合比(顏色；單位為kg/kg)與水平風(箭號)

5. 地面氣溫與風場放大比較結果：同化雷達資料能準確分析強降雨區的冷池與外流

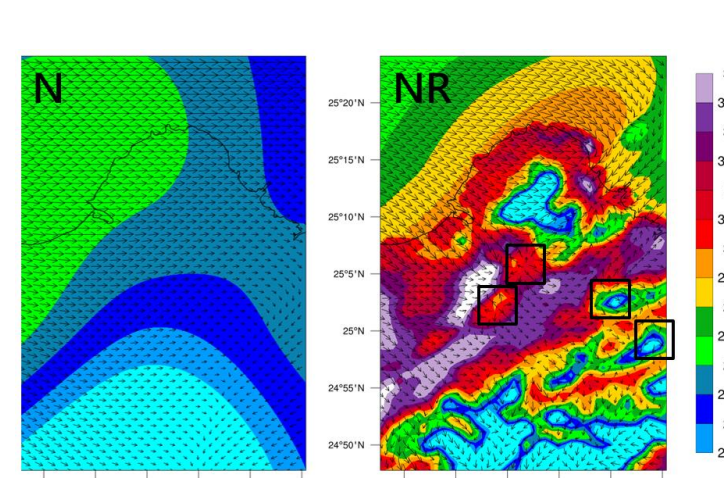


圖5 2021年6月4日13時之實驗N與NR分析場的2米氣溫(顏色；單位為°C)與10米水平風(箭號)

策略優化與多樣本校驗：

1. 增加部份循環(PC)資料同化實驗，針對2021年6月4日臺灣北部雷雨與2022年5月15日梅雨兩場事件，產製131個分析場樣本
2. 雨混合比殘差指數結果顯示，部份循環資料同化策略表現最佳

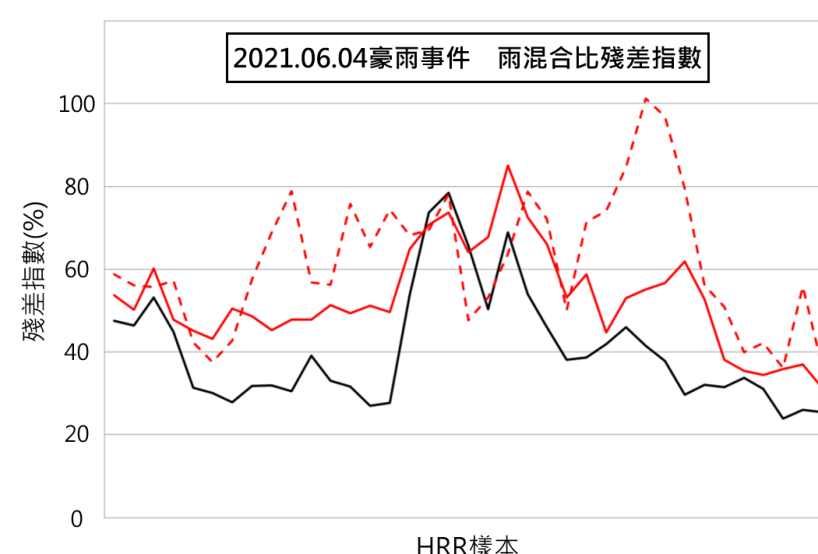


圖6 2021年6月4日臺灣北部雷雨事件所有樣本於雨混合比的殘差指數(%)，黑線、紅實線及紅虛線分別代表實驗PC、NR及NN

參考文獻

- Barker, D., Huang, X.-Y., Liu, Z., Auligné, T., Zhang, X., Rugg, S., Ajaj, R., Bourgeois, A., Bray, J., Chen, Y., Demirtas, M., Guo, Y.-R., Henderson, T., Huang, W., Lin, H.-C., Michalakes, J., Rizvi, S. and Zhang, X. (2012) The Weather Research and Forecasting Model's Community Variational/Ensemble Data Assimilation System: WRFDA. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 831–843.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., Dee, D., Diamantakis, M., Dragani, R., Flemming, J., Forbes, R., Fuentes, M., Geer, A., Haimberger, L., Healy, S., Hogan, R.J., Hólm, E., Janisková, M., Keeley, S., Laloyaux, P., Lopez, P., Lupu, C., Radnoti, G., de Rosnay, P., Rozum, I., Vamborg, F., Villaume, S. and Thépaut, J.-N. (2020) The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146, 1999–2049.
- Kalnay, E. (2003) *Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability*. New York, NY, USA: Cambridge University Press, 340 pp.
- Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D.M., Duda, M.G., Huang, X.-Y., Wang, W. and Powers, J.G. (2008) *A description of the Advanced Research WRF Version 3*. NCAR/TN-475+STR. Boulder, CO, USA: National Center for Atmospheric Research.