

區域系集預報系統研究：系集成員產生方式之評估

李志昕 洪景山

中央氣象局氣象資訊中心

(中華民國一〇二年十二月二十日收稿；中華民國一〇三年七月二十四日定稿)

摘 要

如何產生離散合理之系集預報成員，以提供足夠的預報離散，此為建立系集預報系統之首要工作。本研究將針對模式物理參數法擾動和初始條件擾動進行實驗，並分析其預報結果，找出最佳之系集成員產生方式，以建構有效的區域系集預報系統。

本研究使用 4 種不同之系集成員產生方法進行 WRF 模式預報實驗。第一組實驗參考不同之模式積雲參數法、微物理參數法、邊界層參數法以及土壤模式等，產生 40 組以物理參數化擾動為主的系集成員進行數值模式預報實驗；第二組實驗利用不同之資料同化策略，產生 10 組以初始場擾動為主之系集成員進行預報實驗；第三組實驗使用 WRF 三維變分法之隨機擾動，產生 32 組系集預報成員；第四組實驗，結合第一組和第三組實驗，使用 WRF 三維變分法產生之初始場擾動，再搭配物理參數法擾動，產生 18 組系集預報成員。透過校驗分析顯示，第四組實驗在初始場以及模式預報場皆有擾動產生，使用此一方法製造之系集預報成員，能產生最大之預報離散，且於預報可信度和預報能力皆最佳，此為本研究建議之最佳系集成員產生方式。

關鍵字：系集預報系統、預報離散

一、前言

數值天氣預報系統中無法避免的不確定性，例如：模式初始場與邊界條件的不確定性、控制方式與數值方法的不確定、次網格與參數化過程等等。再加上大氣流體本身具有之非線性過程，因此單一決定性預報實無法完全掌握預報過程中的不確定性，同時亦無法提供預報過程中的不確定性資訊，此為單一決定預報的限制，亦是不足之處。

系集預報的發展是為了彌補單一模式預報的不足，藉由多個不同的系集成員預報，期望系統能包含模式預報的不確定性，並且將不確定性量化，以提供未來的預報機率。因此欲發展系集預報系統，需產生有效且合理的系集預報成員。針對區域模式，產生系集預報成員的方法，包含藉由不同初始場產生的擾動、邊界條件差異的擾動、不同模式物理參數法產生的擾動等。

現今國際各主要的數值天氣預報中心，不論就全球模式或區域模式，莫不極力發展系集預報系統，如歐洲氣象中心(European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF)作業中心每日產生 51 個成員，解析度為 T639，垂直分層為 62 層，15 天預報的全球系集預報產品，該系集產品對於颱風路徑預報所提供之客觀的預報不確定性，在中央氣象局預報中心實際預報作業上扮演重要的角色。美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)為 T382 解析度，垂直分層為 64 層，21 個系集成員，提供 16 天的預報。在亞洲地區，日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA)的 Medium-Range Ensemble Prediction Model 採用的預報樣本 51 組，利用 T319 的全球模式預報進行

系集預報，垂直方向為 60 層，提供 11 天的預報。韓國氣象局(Korea Meteorological Administration, KMA)則利用 T213 的全球模式預報進行系集預報，垂直方向為 40 層，預報樣本 32 組。

在區域系集預報系統方面，目前各作業中心的發展都正在起步當中，除了英國和法國之外，NCEP 利用多模式的預報，發展 SREF (Short Range Ensemble Forecast)的預報技術進行區域系集及極端天氣的預報，樣本的水平解析度為 32 公里。此一系統利用 NCEP 之 ETA 和區域波譜模式，並配合 Breeding method (Toth et al., 1997)製造初始場的擾動，產生 20 組系集成員，並於 2001 年開始上線進行作業預報。Du et al. (2004)為了瞭解模式物理參數法產生的擾動對系集預報系統的影響，將模式物理參數法擾動所產生的新成員，加入原本的短期區域系集預報系統，產生 15 組系集成員，並進行預報實驗和校驗分析。研究結果發現，加入模式物理參數法的擾動之後，能提升 SREF 系統對於預報不確定性的掌握。爾後 NCEP SREF 系統持續進行更新(Du et al., 2006, 2009)，模式提高水平解析度至 16 公里，系統中改為使用由 WRF-ARW、WRF-NMM 和 NCEP 之 NMMB (Janjic et al., 2010)模式所產生之系集成員，目前系統中共有 21 組系集成員進行預報；此外，使用不同之初始場擾動產製方法，新加入重新尺度化系集轉化技術(ensemble transform with rescaling, ETR) (Wei et al., 2008)產生初始場擾動。

為了了解多重模式的系集預報結果，Zhou and Du (2010)針對霧的預報進行系集預報的研究，系集預報成員使用區域模式 WRF-NMM 和 WRF-ARW，並配合 Breeding method 產生 10 組成員。預報結果顯示，使用多重模式的系集預報結果，其機率預報可信度會優於使用單一模式產

生的系集預報結果；此外，當系集成員增加時，對於機率預報結果也會有所改善，但是其效果會隨著系集成員增加而降低。

Fujita et al. (2007)針對不同之系集成員產生方式進行實驗和分析比較，包含了物理參數法擾動、邊界條件和初始場擾動，以及兩者合併產生系集成員。而擾動初始場，是透過區域 Ensemble Kalman Filter (EnKF)產製，屬於流場相依之動力擾動。分析結果發現，僅使用物理參數法擾動，其預報之溫度和露點溫度等熱力場的離散程度，較大於僅使用初始場擾動之預報離散度；風場之離散程度則小於初始場擾動之結果。而兩者合併所產生之系集成員，能產生最大的離散程度，且能獲得最佳的預報結果。

Toth et al. (2003)、Zhou et al. (2005)及 Zhu et al. (2008)介紹系集預報各種校驗方法，包含了均分根誤差、系集離散、Histogram distribution、Continuous Ranked Probability Skill Score 和 Ranked Probability Skill Score 等，而 Zhou et al. (2005)也利用這些校驗方法，進行低層風切系集預報的校驗測試。

在國內，也有許多學者進行系集預報的研究。Yang et al. (2004)和 Chien and Jou (2004)使用 MM5 進行 2000 年至 2002 年梅雨季的降水預報研究，透過不同的積雲參數法和微物理參數法產生六組系集成員進行預報，除了計算六個成員的預報平均之外，也透過線性迴歸法，和前次梅雨季觀測比較，進行最小平方近似計算，求得各成員預報值之權重係數，並以此權重計算整體預報，而以此方法能求得較佳的預報結果。

簡等人(2005)針對 2003 年梅雨期間進行系集降水預報，使用不同模式初始場、積雲參數法和

微物理參數法，得到 17 組系集成員，進行預報。系集平均降水預報結果顯示，不論成員多寡，相對於單一之決定性預報有較佳的結果，且考慮所有變因，會得到較好的結果，而考慮的變因減少，則系集預報結果變差。在三個變因當中，以變動初始場最有利於系集降水預報，其次是積雲參數法，最後為微物理參數法。

本研究使用 WRF 模式進行預報實驗，配合不同之模式物理參數法產生模式預報過程的擾動，和使用不同資料同化策略產生初始場擾動，以及透過 WRF 三維變分法加入隨機亂數以產生初始場擾動。透過上述不同方法產生系集成員，並探討系集預報系統的預報統計特性，以了解何種系集成員產生的方法能提供最有效之系集預報成員。

二、研究方法

(一) 實驗設計

本實驗使用 WRF 模式進行實驗，水平解析度設定為 45 km，網格點數為 222 × 128，模式範圍如圖 1 所示，垂直解析度設定為 45 層，模式頂為 30 hPa，使用之 WPS 和 WRF 版本為 3.1.1 版。預報期間自 2008 年 6 月 1 日至 6 月 27 日，每天 00 UTC 和 12 UTC 進行 72 小時預報。

本研究使用 4 種方法產生系集預報成員，並進行預報實驗。第一個實驗改變模式物理參數法，藉由不同土壤模式、微物理、邊界層和積雲參數法，產生 40 組相異模式物理參數法組合的預報實驗。包括三種土壤模式，分別為 NOAH Land-Surface Model (LSM)、Rapid Update Cycle Model LSM (RUC)、Pleim-Xiu LSM (PX)；四種微物理參數法，包括 WSM3、WSM5、Thompson、

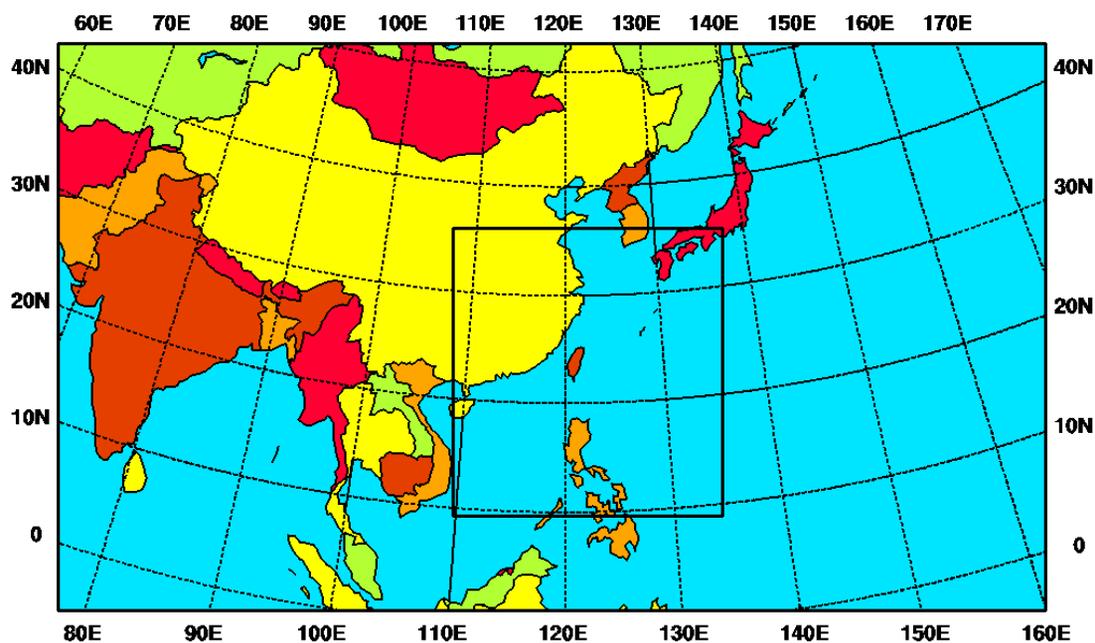


圖 1 模式的預報範圍，圖中內框為校驗範圍。

Goddard Cumulus Ensemble Model (GCE)；兩種邊界層參數法，包括 Yonsei University (YSU) 和 Mellor-Yamada-Janjic (MYJ)；以及四種積雲參數法，包括 Betts-Miller-Janjic、Grell-Devenyi ensemble (GD)、Grell-3 (G3) 和 New Kain-Fritsch (New KF)。參數法之詳細介紹詳見 WRF 使用手冊 (Skamarock et al., 2008)。此一實驗之系集成員不進行資料同化，採用之初始場和邊界條件分別為解析度 0.5° 之 NCEP 全球模式 (NCEP Global Forecast System, NCEP GFS) 分析場和預報場。以下以 Multi-Phy 簡稱此實驗，實驗設計如表 1。

第二個實驗，利用不同之初始場來源、不同之背景誤差協方差矩陣和不同資料同化策略，產生初始場和邊界條件的變化，共產生 10 組預報實驗。包含兩種初始場和邊界條件之來源，分別為 NCEP 全球模式分析場和中央氣象局全球模式分析場；兩種背景場誤差協方差矩陣，包括 NCEP

全球模式之背景誤差協方差矩陣和中央氣象局 WRF 模式計算出之背景誤差協方差矩陣；三種資料同化策略，分別為無資料同化、冷啟動法 (Cold Start)、循環更新 (full cycle)。冷啟動法之模式初始場直接由 NCEP GFS 內插而來，再進行三維變分分析；而循環更新資料同化策略使用 WRF 模式前六小時之預報場為初始猜測場。本實驗所使用之土壤模式為 NOAH LSM，微物理參數法為 GCE，邊界層參數法為 YSU PBL，積雲參數法為 New KF。以下以 Multi-IC 簡稱此實驗，實驗設計如表 2。

第三個實驗使用之模式初始場直接由 NCEP GFS 內插而來，透過 WRF 三維變分法中之初始場擾動產生模組，並使用 NCEP 全球模式之背景誤差協方差矩陣 (CV3) 控制隨機增量，加入隨機擾動，產生 32 組初始場。本實驗不進行觀測資料同化，邊界條件來自 NCEP GFS，而物理參數法

表 1 Multi-Phy 實驗之實驗設計。

實驗名稱	土壤模式	微物理參數法	邊界層參數法	積雲參數法
PH01	NOAH	WSM3	YSU	Betts-Miller
PH02	NOAH	WSM3	YSU	GD
PH03	NOAH	WSM3	YSU	G3
PH04	NOAH	WSM3	YSU	New KF
PH05	NOAH	WSM3	MYJ	Betts-Miller
PH06	NOAH	WSM3	MYJ	GD
PH07	NOAH	WSM3	MYJ	G3
PH08	NOAH	WSM3	MYJ	New KF
PH09	NOAH	WSM5	YSU	Betts-Miller
PH10	NOAH	WSM5	YSU	GD
PH 11	NOAH	WSM5	YSU	G3
PH 12	NOAH	WSM5	YSU	New KF
PH 13	NOAH	WSM5	MYJ	Betts-Miller
PH 14	NOAH	WSM5	MYJ	GD
PH 15	NOAH	WSM5	MYJ	G3
PH 16	NOAH	WSM5	MYJ	New KF
PH 17	NOAH	Thompson	YSU	Betts-Miller
PH 18	NOAH	Thompson	YSU	GD
PH 19	NOAH	Thompson	YSU	G3
PH 20	NOAH	Thompson	YSU	New KF
PH 21	NOAH	Thompson	MYJ	Betts-Miller
PH 22	NOAH	Thompson	MYJ	GD
PH 23	NOAH	Thompson	MYJ	G3
PH 24	NOAH	Thompson	MYJ	New KF
PH 25	NOAH	GCE	YSU	Betts-Miller
PH 26	NOAH	GCE	YSU	GD
PH 27	NOAH	GCE	YSU	G3
PH 28	NOAH	GCE	YSU	New KF
PH 29	NOAH	GCE	MYJ	Betts-Miller
PH 30	NOAH	GCE	MYJ	GD
PH 31	NOAH	GCE	MYJ	G3
PH 32	NOAH	GCE	MYJ	New KF
PH 33	PX	GCE	YSU	New KF
PH 34	PX	GCE	YSU	G3
PH 35	PX	GCE	MYJ	New KF
PH 36	PX	GCE	MYJ	G3
PH 37	RUC	GCE	YSU	New KF
PH 38	RUC	GCE	YSU	G3
PH 39	RUC	GCE	MYJ	New KF
PH 40	RUC	GCE	MYJ	G3

表 2 Multi-IC 實驗之實驗設計。

實驗名稱	初始場和邊界條件來源	背景誤差矩陣	資料同化策略
IC00	NCEP GFS		無進行資料同化
IC01	NCEP GFS	CV3	初始時間進行資料同化
IC02	NCEP GFS	CV3	每 6 小時 cycling run
IC03	NCEP GFS	CV5	初始時間進行資料同化
IC04	NCEP GFS	CV5	每 6 小時 cycling run
IC05	CWB GFS		無進行資料同化
IC06	CWB GFS	CV3	初始時間進行資料同化
IC07	CWB GFS	CV3	每 6 小時 cycling run
IC08	CWB GFS	CV5	初始時間進行資料同化
IC09	CWB GFS	CV5	每 6 小時 cycling run

之設定和 Multi-IC 實驗相同，以下以 VAR_PERT 簡稱此一實驗。

第四個實驗結合 Multi-Phy 和 VAR_PERT 實驗。使用同第三個實驗之初始場擾動方法和設定，產生 18 組擾動初始場，再搭配不同之物理參數法設定進行預報。本實驗亦不進行資料同化，邊界條件來自 NCEP GFS，而物理參數法之設定於接下來之研究中詳述，以 VAR+PHY 簡稱此實驗。

本研究之目的為針對各種不同的系集成員產生方式進行實驗與評估，但未能兼顧樣本數目的不同對分析結果的影響，可能因樣本數目不同而對分析結果產生影響。

(二) 校驗方法

為了找出合適的系集預報成員，須透過校驗分析來判斷此一組系集成員是否合適。進行系集預報系統之評估時，分兩個層面進行評估，第一部分是評估系集預報離散是否足夠，據以最大程

度涵蓋可能的發生機率，此時採用 Talagrand Rank Histogram 和系集離散(SPRD)。第二部分是評估系集預報系統的預報能力和可信度，採用 Continuous Ranked Probability Skill Score (CRPSS) 進行預報能力的校驗；在可信度評估上採用 Reliability diagram。以下簡介各校驗方法，詳細說明參閱李和洪(2011)。

1. Talagrand Rank Histograms (Hamill, 2001; Toth et al., 2003)

針對已知的真值而言，Talagrand Rank Histogram 能評估系集預報系統相對於該真值的離散程度之合理性，也能了解系集預報的偏差(Bias)情形。若統計結果顯示，圖形呈現 U 型分布，表示此系統離散程度不足，真值總是落於較大或是較小值的區間，預報無法涵蓋所有可能發生的機率；倘若圖形呈現 A 型分布，表示離散程度太大，系統擁有的不確定性大於真實情形；當圖形為平坦，表示此系統離散程度為合理的情形。

2. Ensemble spread (SPRD) (Toth et al., 2003; Zhu et al., 2008)

ensemble spread 和標準差所代表的意義相同，由各個成員預報值和預報平均值的差異進行平均計算，可算出系集成員的分佈程度。但是 SPRD 值沒有和真值進行比較，雖能計算出離散度，但無法得知離散度是否合理，因此透過預報平均值和真值比較，透過 Root Mean Square Error (RMSE)計算，可得知預報平均值和真值的差異。若 RMSE 和 SPRD 相等時，表示 ensemble spread 離散程度合理；當 RMSE 大於 SPRD 時，表示離散不足；當 RMSE 小於 SPRD 時，表示過度離散。

3 Continuous Ranked Probability Score (CRPS) 和 Continuous Ranked Probability Skill Score (CRPSS) (Hersbach, 2000; Toth et al., 2003)

CRPS 是由 Brier score 演變而來，能計算機率預報誤差。Brier score 的計算須先訂定一門檻值，計算預報值大於門檻值的機率和真值大於此門檻值的機率之差值。而 CRPS 值針對所有可能的門檻值(x)進行預報機率和觀測機率之差值積分。

若只求 CRPS 值，還不能得知其預報能力，只能知道機率預報誤差，若欲知預報能力，則必須有能夠比較的數值，為 Reference Continuous Ranked Probability Score ($CRPS_r$)，此值可由計算氣候值的 CRPS 值得到，亦可使用最佳的確定性預報(deterministic forecast)。經過比較之後才可知預報能力為何，稱為 Continuous Ranked Probability Skill Score (CRPSS)。若 CRPSS 值大於 0 時表示此系統具有預報能力；若 CRPSS 等值 1 時為最佳情形。

4. Reliability diagram (Hamill, 1997; Toth et al., 2003; Bröcker, 2007)

Reliability diagram 能指出預報系統的可信度。Reliability 是將預報機率和其相對應的觀測機率繪於圖上，橫軸為預報機率，縱軸為觀測頻率，若觀測頻率等於預報機率，表示此一預報系統具有可信度，則圖形應為對角線。

本研究著重在評估系集預報系統於台灣附近之綜觀天氣系統的預報能力，同時也希望盡量減少模式邊界條件的影響，因此只針對本預報實驗的特定範圍（如圖 1 之內框）進行校驗分析。本研究將針對圖 1 內框之範圍進行兩米溫度場、500 hPa 高度場、海平面氣壓場校驗分析，因此主要是反應系集預報實驗在綜觀尺度之預報離散。

(三) 使用資料

本次研究所使用的校驗真值為 ECMWF 全球模式分析場資料（解析度為 0.25 度），透過 WRF 模式初始化，將資料內插至網格點，以此資料進行校驗分析。此外，使用 2007 至 2009 年 ECMWF TIGGE (the THORPEX Interactive Grand Global Ensemble。其中 THORPEX 為 The Observing System Research and Predictability Experiment)資料（解析度為 0.5 度）的平均值，利用雙立方內插法(bicubic)將資料內插至模式 45 km 網格點中，並以此計算 CRPS_r 值，進而能得到預報能力之校驗值。

三、校驗分析與討論

(一) 系集離散度校驗

圖 2 為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗之 500 hPa 高度場於預報初始時間和預報 72

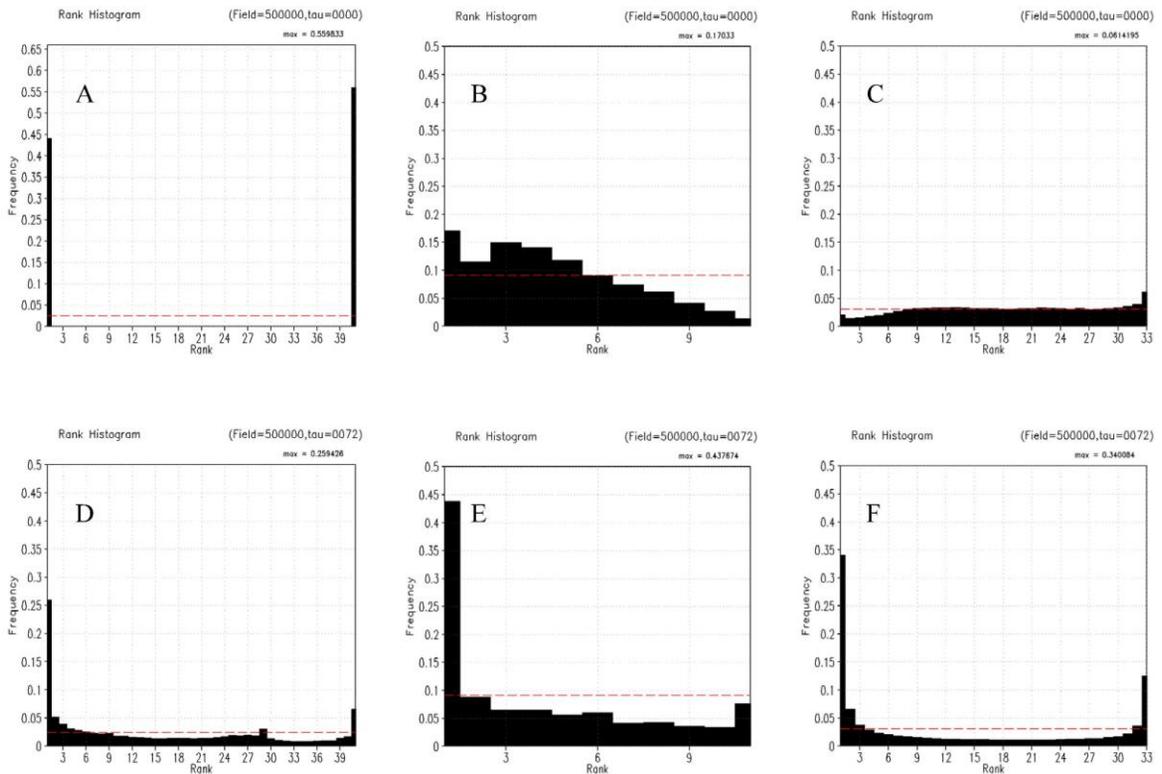


圖 2 500 hPa 高度場之 Rank Histogram 分析圖，橫軸為區間(Rank)編號，縱軸為頻率值。A 至 C 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於初始時間之 Rank Histogram 分析圖。D 至 F 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於預報第 72 小時之 Rank Histogram 分析圖。紅色虛線為理想之離散表現時，各區間的頻率值。

小時之 Rank Histogram 分析圖。若統計結果顯示，圖形呈現 U 型分布，表示此系統離散程度不足；倘若圖形呈現 A 型分布，表示離散程度太大；當圖形為平坦，表示此系統離散程度為合理的情形。由預報初始時間之分析圖顯示，VAR_PERT 實驗產生的系集預報成員之離散度較佳，而 Multi-IC 實驗產生之系集成員有偏差的情形；Multi-Phy 實驗於初始時間無擾動，主要是由於物理參數法之影響於模式積分開始才會有貢獻，初始場僅為 NCEP 分析場透過 WRF 模式初始化，因此 Multi-Phy 實驗中各個系集成員之初始場一致。三個實驗於預報 72 小時之分析結果顯示，略

呈現 U 型分布，顯示離散度不足。更進一步分析，三個實驗皆在第一區間有最大的頻率值，且在靠左的區間也有較高的頻率值，顯示真值落在較小預報值區間的機率較大，甚至比所有預報值小，表示三個實驗中，相對於 ECMWF 全球分析場皆有 500 hPa 高度預報值偏大的系統性誤差。由於 Rank Histogram 僅能依據統計結果分佈的形狀（如 U 型、A 型或平坦分佈）定性上判斷系集預報的離散程度，無法提供定量的資訊以供判斷。

為定量評估系集成員的離散程度，因此計算各個預報時間之均方根誤差(RMSE)和 SPRD 值。RMSE 和 SPRD 相等時，表示 ensemble spread

離散程度合理；當 RMSE 大於 SPRD 時，表示離散不足；當 RMSE 小於 SPRD 時，表示過度離散。圖 3 為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗之 500 hPa 高度場 RMSE 和 SPRD 的比較圖。Multi-Phy 實驗之校驗結果顯示（圖 3A），在初始時間 SPRD 值為 0，表示初始時間此實驗產生之系集成員沒有離散，而 VAR_PERT 實驗之校驗結果顯示（圖 3C），初始時間之 RMSE 和 SPRD 值相同，表示離散程度合適，此一結果和 Rank Histogram 結果一致。此外，校驗結果顯示，三個實驗於預報期間中 RMSE 皆大於 SPRD，表示預報離散度為不足。更進一步探討，三組實驗之 SPRD 值隨著預報時間增加而增加，但 RMSE 也隨預報時間而增加，且增量大於 SPRD 值，造成離散程度不足。其中又以 Multi-Phy 實驗之 SPRD 值隨著預報時間的增加幅度最大，而 VAR_PERT 實驗之 SPRD 值隨著預報時間的幅度最小，表示 Multi-Phy 實驗之系集成員在開始預報之後，其離散度增加最大，而 VAR_PERT 實驗之系集成員在開始預報之後，其 SPRD 的變化不大，也導致離散程度表現下降。以此結果反應出，Multi-Phy 實驗透過不同之物理參數法在模式積分過程中持續產生系集擾動；VAR_PERT 實驗透過 WRF 三維變分法，加入隨機擾動，產生擾動初始場，此法產生之擾動特徵為非流場相依性之擾動，因此可能無法產生有效之預報擾動，導致離散度無法隨預報時間有所增長；Multi-IC 實驗，雖然亦無加入物理參數法擾動，但由於邊界條件也會隨著初始場變化而改變，因此其離散度隨著預報時間的增量會大於 VAR_PERT 實驗之離散度。

海平面氣壓場（圖 4）和兩米溫度場（圖 5）之 Rank Histogram 校驗結果指出，於預報 72 小時，三組實驗之分析結果皆呈現 U 型分佈，顯示

為離散不足的情形，與 500 hPa 高度場之校驗結果一致。而初始時間之分析，於海平面氣壓場，VAR_PERT 和 Multi-IC 實驗於預報初始時間有較佳的離散度，Multi-Phy 實驗則無擾動；於兩米溫度場，Multi-Phy 和 VAR_PERT 實驗無擾動產生，主要是由於兩米溫度為預報導出量場，因此 WRF 3DVAR 在產生初始場擾動時，並不會有針對此場產生擾動，而 Multi-IC 實驗，其中一些系集成員之預報初始場使用循環更新資料同化策略，因此兩米溫度場會有差異產生，但是仍為離散不足的情形。更進一步分析，海平面氣壓場之預報分析，在預報 72 小時，Multi-Phy 和 VAR_PERT 實驗在靠右的區間有較高的頻率值，且在最後一個區間有最大的頻率值，表示真值落在較大預報值區間的機率較高，甚至比所有預報值大，表示相對於 ECMWF 全球分析場有海平面氣壓場預報值偏小的系統性誤差。

海平面氣壓場（圖 6）和兩米溫度場（圖 7）之 SPRD 和 RMSE 之分析結果和 500 hPa 高度場一致，三組實驗在預報時間內，大致上 RMSE 皆大於 SPRD，表示離散度不足。而 Multi-Phy 實驗之 SPRD 值，隨著預報時間增加最多，而 VAR_PERT 實驗之 SPRD 值，隨著預報時間增加其增量最小。

根據系集離散度校驗結果指出，三組實驗之預報離散度皆不足。使用模式物理參數法擾動，雖然初始時間無法有擾動產生，但是能在開始預報之後，離散度隨著預報時間增加最多；使用 WRF 三維變分法產生初始場擾動，則在模式初始場有最好的離散程度，但隨預報時間增加，離散程度隨之下降。為了能獲得更有效的系集成員，因此進行第四個預報實驗，結合 Multi-Phy 和 VAR_PERT 實驗所使用之系集成員產生方法，即

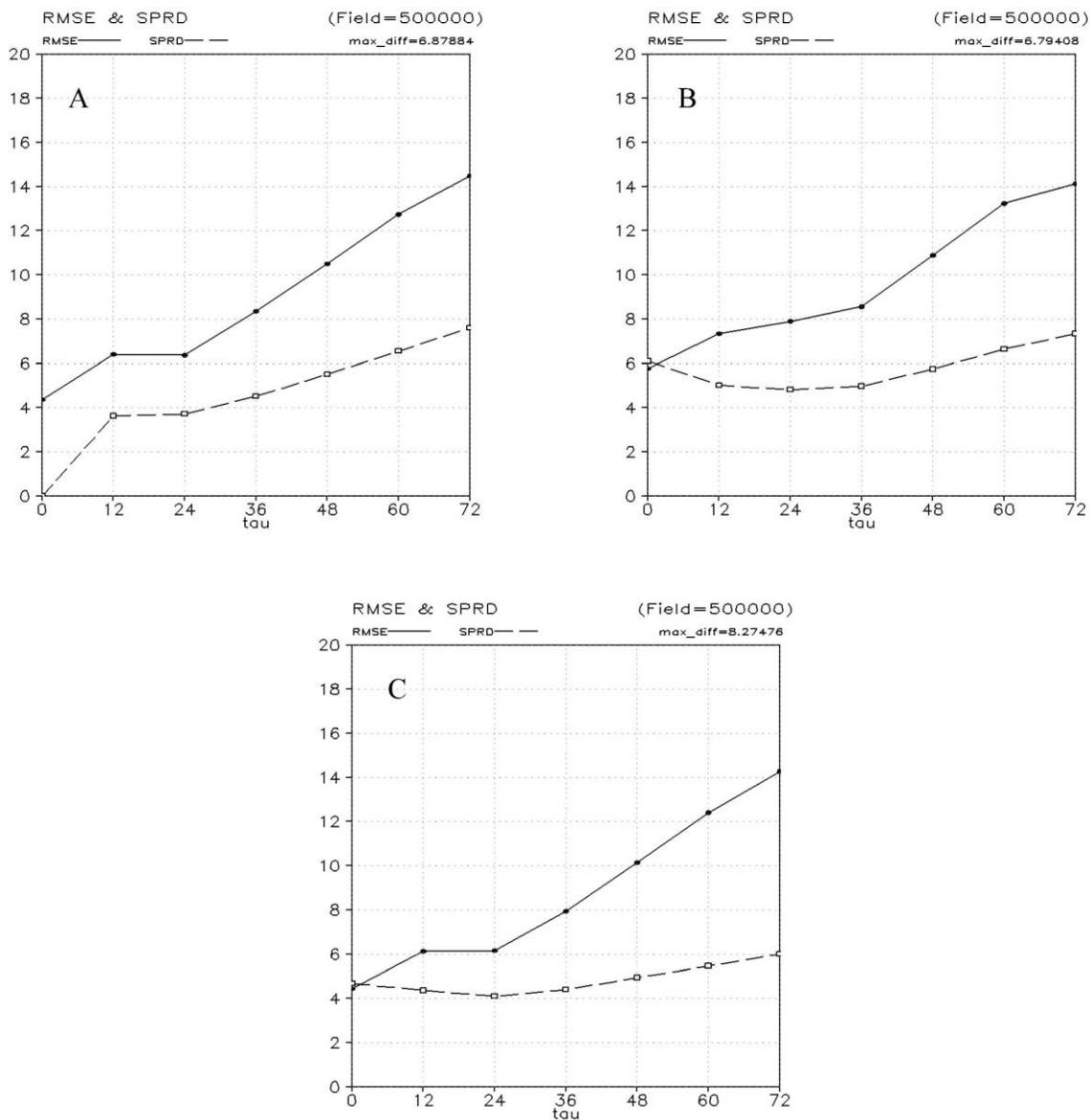


圖 3 A 至 C 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於 500 hPa 高度場之 RMSE 和 SPRD 的分析圖，橫軸為預報時間。實線為 RMSE 值，虛線為 SPRD 值。

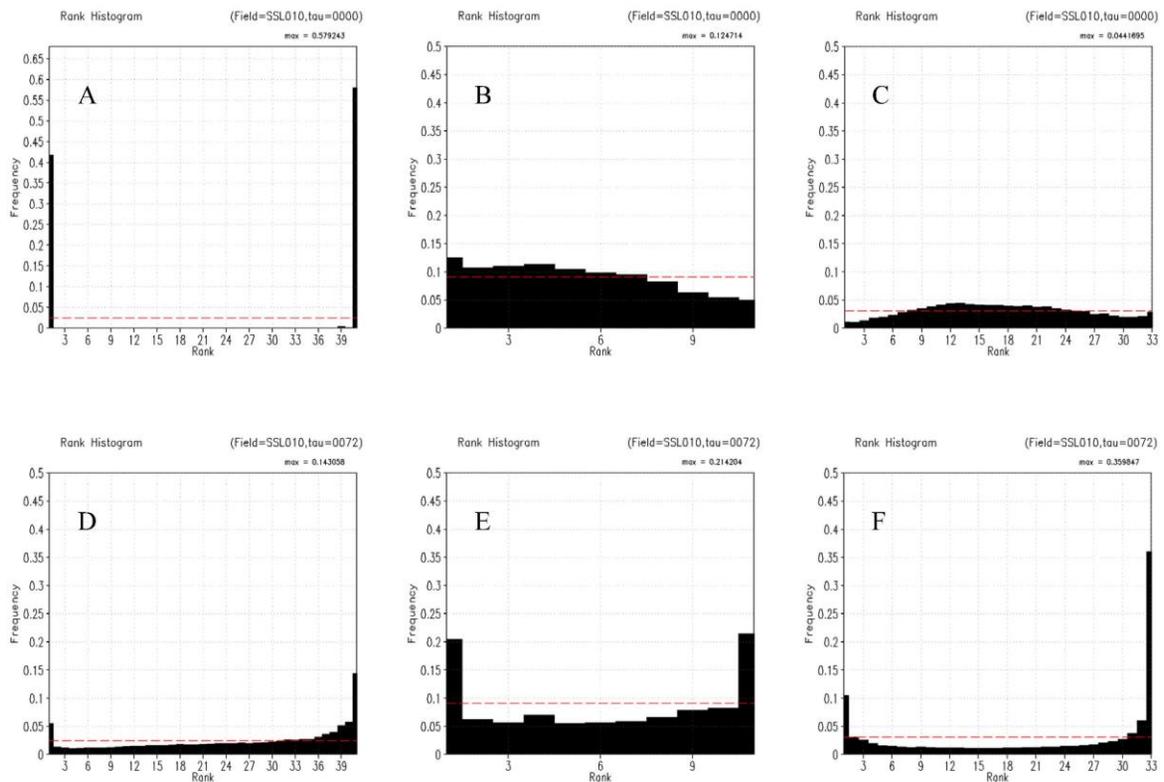


圖 4 海平面氣壓場之 Rank Histogram 分析圖，橫軸為區間(Rank)編號，縱軸為頻率值。A 至 C 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於初始時間之 Rank Histogram 分析圖。D 至 F 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於預報第 72 小時之 Rank Histogram 分析圖。紅色虛線為理想之離散表現時，各區間的頻率值。

初始場使用 WRF 3DVAR 產生擾動，產生之擾動初始場再搭配不同之物理參數法設定，藉以產生系集成員。Fujita (2007) 研究中也指出，合併初始場擾動和物理參數擾動所產生之系集成員，能產生最大的離散度。雖然本研究所使用的初始場擾動方法和 Fujita 等人所使用的有所差異，並非產生流場相依之初始場擾動，但期望透過初始場擾動和模式擾動合併，能獲得更有效的系集成員。

(二) VAR+PHY 實驗之設計

為了找出更合適之系集成員產生方法，使用初始場擾動和模式物理參數法擾動產生系集成

員，並進行預報實驗。然而進行實驗之前，需先進行模式物理參數法之選擇。

根據李和洪(2011)研究結果指出，物理參數法對於預報結果有系統性的影響，不一定需要 40 組物理參數法設定，即可達到相同程度之離散，用最少的成員產製最大的系集離散。為了找出合適之物理參數法之設定，遂針對 Multi-Phy 實驗中 40 組物理參數法設定之預報結果進行相似分析，藉以了解預報結果之相似特性，同時也能了解物理參數法對於預報結果之系統性影響，進而決定所要使用的物理參數設定。最後選出之物理參數法設定，搭配初始場擾動，進行第四組實驗。

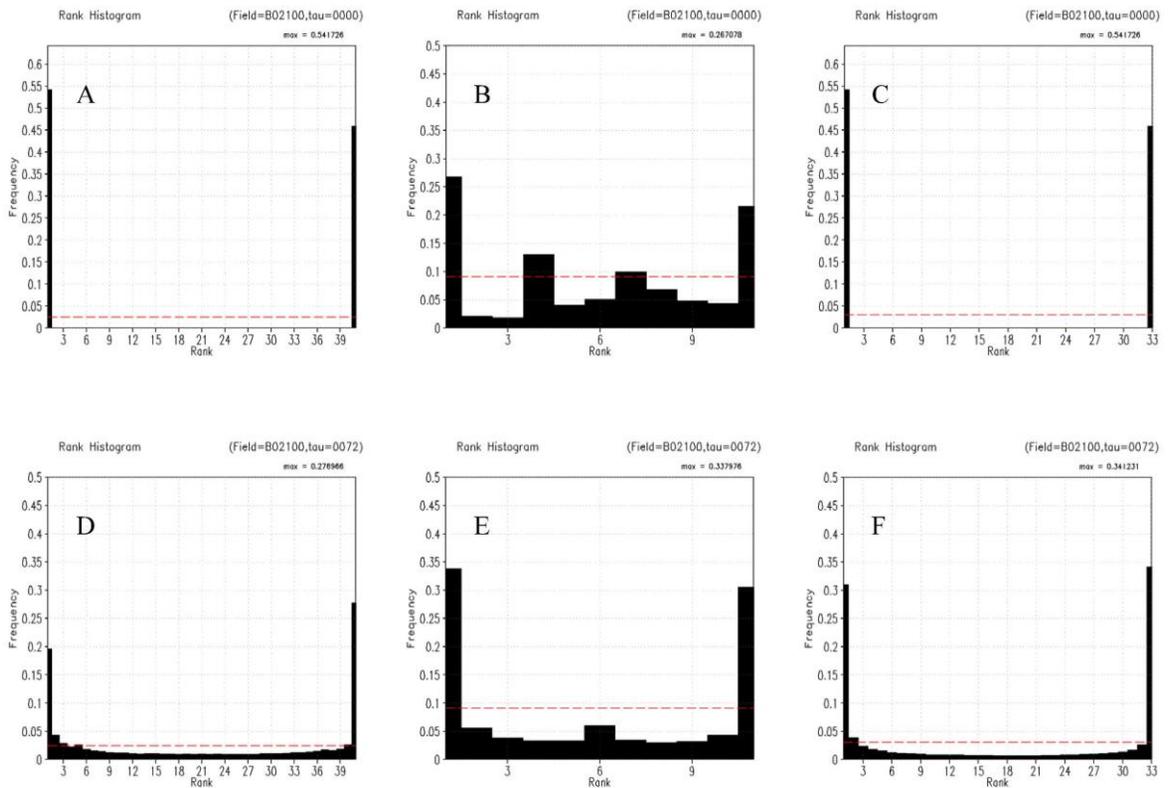


圖 5 兩米溫度場之 Rank Histogram 分析圖，橫軸為區間 (Rank) 編號，縱軸為頻率值。A 至 C 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於初始時間之 Rank Histogram 分析圖。D 至 F 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於預報第 72 小時之 Rank Histogram 分析圖。紅色虛線為理想之離散表現時，各區間的頻率值。

1. 相似成員之分析方法

Multi-Phy 實驗中，40 組系集成員使用不同之物理參數法設定，因此透過分析各成員之預報結果，了解其預報結果之相似性，即能了解物理參數法對於預報結果之系統性影響。為了了解預報結果之相似性，本研究進一步計算成員間的差異，以進行相似度的分析。

成員之間的差異計算，即針對兩系集成員計算彼此預報場之差異後再取絕對值，並進行所有時間和網格點計算結果之平均。由此可知每個系集成員之間的差異，當兩個系集成員之預報結果差異較小，即表示兩個成員之預報結果相似。但

此法仍有缺陷，有可能大部分的格點算出之差異值不大，但少數幾個格點之值卻很大，平均之後導致差異值變大，而影響到分析判斷的結果。因此，另外使用了相似度的分析，選定某一個系集成員為基準成員，並和其他系集成員之預報值進行比較，當某個系集成員預報值和基準成員之預報值最接近，則此系集成員累加一次，統計完所有時間和網格點的資料之後，即可獲得分析結果。透過此法能得知基準成員和其他系集成員之間相似度，當值越大，表示兩者之間越多相似的預報值，亦即相似度越大。由於相似度分析之分析結果中，並不包含差異的大小之訊息，因此當

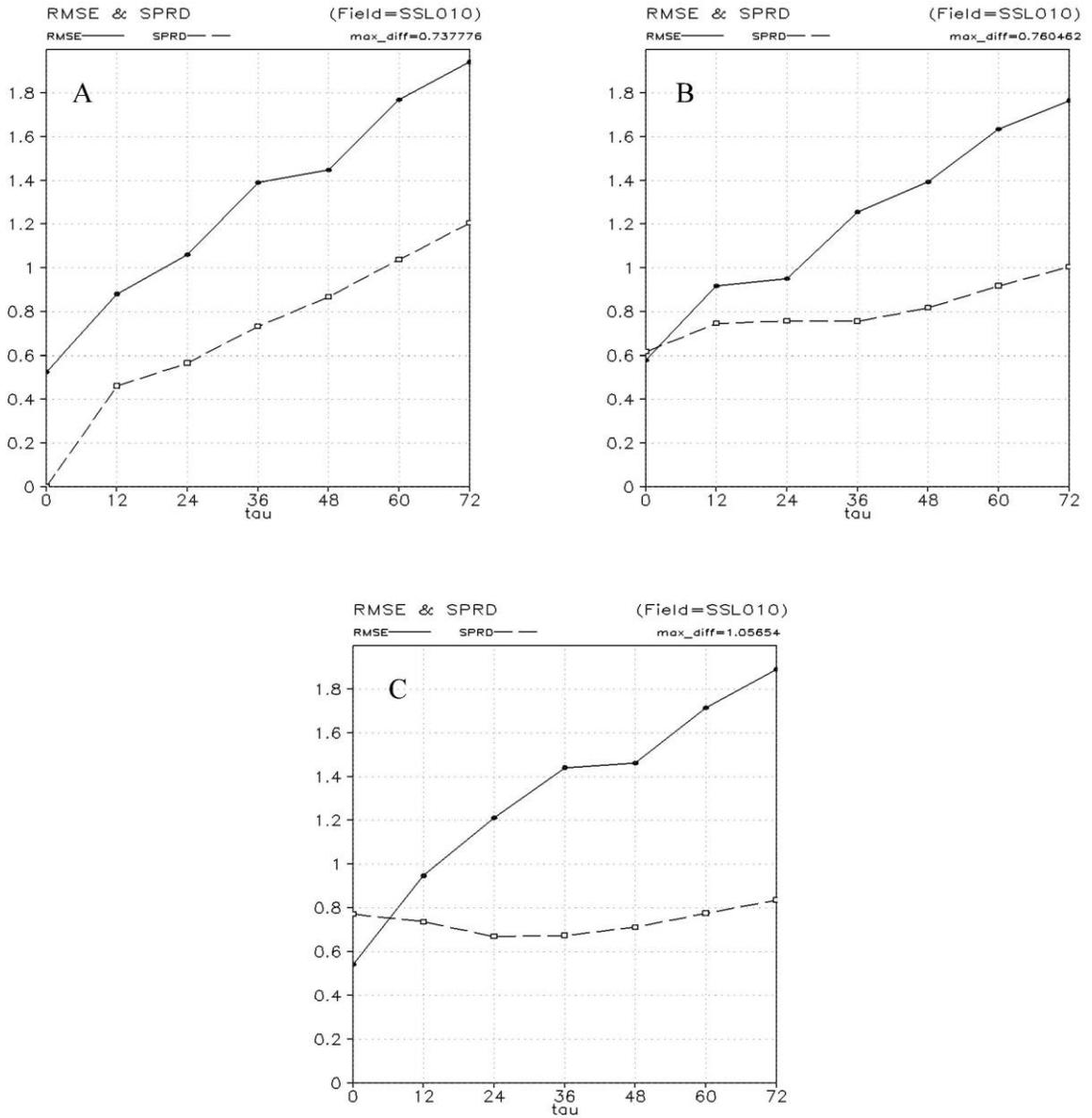


圖 6 A 至 C 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於海平面氣壓場之 RMSE 和 SPRD 的分析圖，橫軸為預報時間。實線為 RMSE 值，虛線為 SPRD 值。

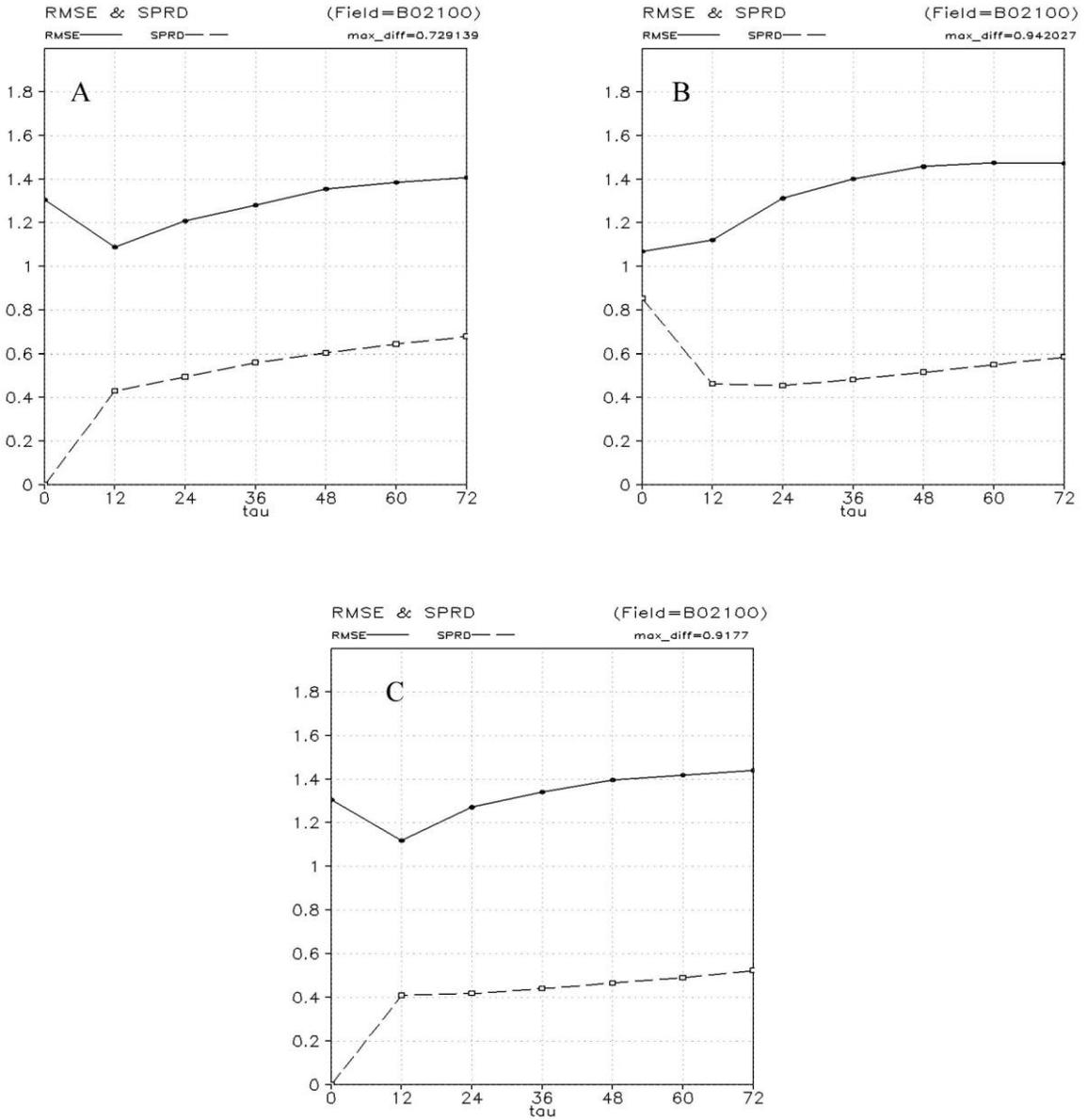


圖 7 A 至 C 分別為 Multi-Phy、Multi-IC 和 VAR_PERT 實驗於兩米溫度場之 RMSE 和 SPRD 的分析圖，橫軸為預報時間。實線為 RMSE 值，虛線為 SPRD 值。

兩種分析方法一起使用，能解決只計算成員差異所面臨的問題。

為了簡化分析結果，先不考慮土壤模式對預報結果的影響，僅針對積雲參數法、邊界層參數法和微物理參數法之設定差異進行討論，因此計算 Multi-Phy 實驗中前 32 組系集成員之間的差異和相似度，並將所有結果繪於一張圖上，如圖 8A 和 8B。以圖 8A 為例，X 和 Y 軸皆為 32 組成員，圖中每個網格上的值為每兩個系集成員之間的差異值，並以顏色來標示差異值的大小，根據訂定的顏色指出，當顏色接近藍色，表示兩者差異值較小，也表示兩者較相似；圖 8B 為相似度之分析結果，Y 軸為基準成員，X 軸為進行比較之其他系集成員，因此在相同基準成員下（固定 Y 值），即可看出其他成員和基準成員之相似度。根據所訂定的顏色指出，當顏色接近藍色，表示統計之頻率較高，亦即此一成員和基準成員之相似度較大。

2. 相似成員之分析結果

圖 8A 和 8B 分別為 500 hPa 高度場之差異值和相似度分析結果。圖中顯示有三個顏色較偏藍色的正方形區域，也就表示，這些方形區域中的系集成員彼此之間的預報差異值較小，且預報結果較為相似。以左下角之正方形區域來討論，此區域為 1、9、17、25、5、13、21、29 等八個成員彼此間的差異值和相似度之分析結果，根據每個成員之參數法的設定，發現此八個成員皆使用 Betts-Miller-Janjic 積雲參數法；此外，其它 24 個成員，和此八個成員的差異都較大（分析結果為偏紅色），且皆不是使用 Betts-Miller-Janjic 積雲參數法。根據此一結果可知，使用相同的積雲參數法，能產生相似的 500 hPa 高度場預報值；反之，使用不同的積雲參數法，500 hPa 高度場之預報結

果差異較大。因此，可推論積雲參數法對於 500 hPa 高度場的預報結果影響較大，其他兩個方形區域之分析結果也可得相同結論。不過中間的方形區域中，所包含的系集成員較多，包含了使用 Grell-Devenyi ensemble (GD) 和 Grell-3 (G3) 積雲參數法的成員，也就表示，使用 GD 和 G3 積雲參數法之系集成員，彼此間的預報差異值較小，且系集成員之預報結果相似。

由左下角的正方形區域中，可進一步發現，雖然成員皆使用相同的積雲參數法，但是由顏色來看仍有差異，也就表示除了積雲參數法之外，邊界層參數法或微物理參數法對於預報結果仍有影響。而左下角的方形區域中，仍有兩個顏色更偏於藍色的小區域，表示此區域中的系集成員，彼此之間的預報結果更為相似。取左下之小區域來討論，發現此區域中，包含了 1、9、17、25 等四個系集成員，而根據表一的設定顯示，此四個成員除了使用相同的積雲參數法，也使用了相同的邊界層參數法，因此可知，相對於微物理參數法，邊界層參數法對預報結果的影響較大。

圖 8C 和 8D 分別為兩米溫度場之差異值和相似度分析結果。圖 8C 中，根據顏色，能將圖分成四個區域，而對角線的兩個正方形區域的顏色較偏向藍色，亦即此區域中所包含的成員，彼此間的預報結果較為相似。以左下之正方形區域討論，此區域中包含的成員為，1、9、17、25、2、10、18、26、3、11、19、27、4、12、20 和 28 等 16 個系集成員，而根據表一的參數法設定指出，此 16 個成員皆使用相同的邊界層參數法，表示使用相同邊界層參數法，能得到相似的預報結果。然而，圖 8D 中，並無如此明顯的顏色區分，藍色的區域主要集中於對角線的數個小區域，不過依然可發現，對角線的兩個正方形區域的紅色

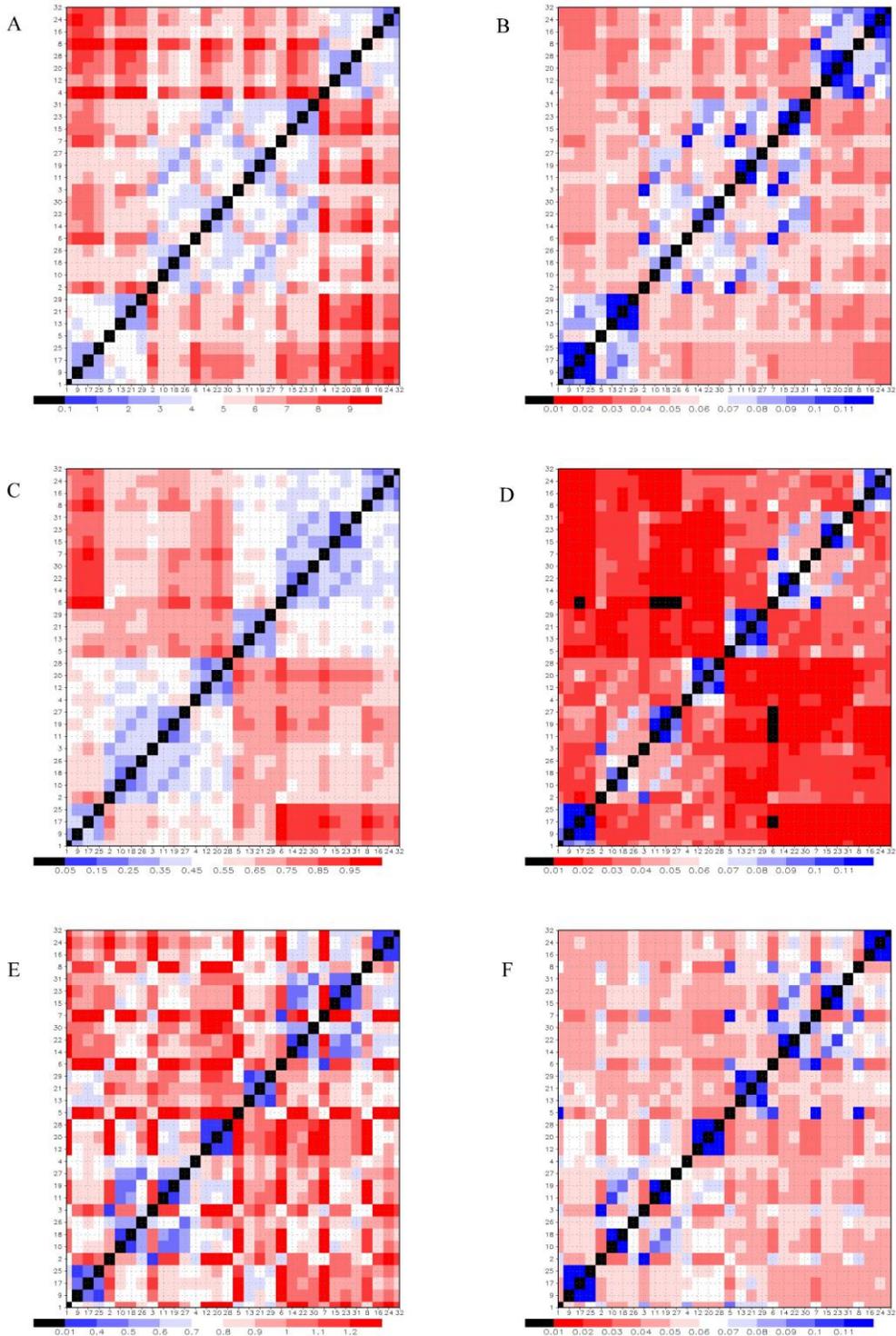


圖 8 為差異值和相似度分析結果，橫軸和縱軸皆為 32 組系集成員。A 和 B 分別為 500 hPa 高度場之差異值和相似度分析結果。C 和 D 分別為兩米溫度場之差異值和相似度分析結果。E 和 F 分別為海平面氣壓場之差異值和相似度分析結果。

較不深，表示相似度稍高。而根據圖 8D 中之左下角的小區域來分析，包含了 1、9、17、25 等四個系集成員，這四個系集成員使用相同的積雲參數法和邊界層參數法。而第 1 個成員和第 2 個成員，雖然使用相同的邊界層參數法，但是在圖 8D 中之分析顯示為紅色，表示兩者相似度不太高，意即雖然使用相同邊界層參數法，能得到較為相似的預報結果，但是若使用不同的積雲參數法，其預報結果依然有所差異。因此，根據兩張圖的分析結果顯示，對於兩米溫度場而言，邊界層參數法對預報結果的影響較大，但是積雲參數法的影響仍在，其影響力略小於邊界層參數法的影響力，而微物理參數法的影響力則最小。

圖 8E 和 8F 分別為海平面氣壓場之差異值和相似度分析結果。而兩張圖中皆顯示，藍色區域主要集中在對角線的數個小區塊，如同圖 8D 的結果，每一個小區塊中所包含的成員，使用相同的邊界層參數法和積雲參數法。因此，對於海平面氣壓場而言，積雲參數法和邊界層參數法對於預報結果的影響大概一致，且較微物理參數法的影響大。

整合三個變數場之分析結果，積雲參數法對於預報的影響最大，其次為邊界層參數法，最後是微物理參數法。此外，使用 GD 和 G3 積雲參數法，會得到相似的預報結果。因此先依不同的物理參數法分成三類，第一類為 Betts-Miller-Janjic (BM)、Grell-3 (G3) 和 Kain-Fritsch (New KF) 等 3 種積雲參數法，第 2 類為 YSU 和 MYJ 邊界層參數法，此 2 類物理參數法可以產生 6 種系集成員的組合。最後則是考慮如何在這 6 種組合中搭配適當的微物理參數法。本研究以上述 6 種參數法組合，搭配 4 種微物理參數法，包括 WSM3、WSM5、Thompson 和 GCE 參數法，並針對 64 種

組合計算其離散程度，以找出離散度最大的組合方式（如圖 9 所示）。然而，所得到的結果，其離散程度之表現皆不足夠，因此將土壤模式的差異加入分組討論。最後選出 PH01、PH05、PH11、PH15、PH33、PH35 等六個系集成員，此六個系集成員的物理參數法設定，能有最大的系集離散度。本研究並非從 40 組系集成員找出可能的組合，而是透過相似度分析，有效降低可能的組合數目，並選取離散度最大的一組。在本文的研究架構下，即能求得離散度最大的系集成員組合，不需透過重複抽樣的估計法以求得可能的成員組合。因此，VAR+PHY 實驗，由 WRF 3DVAR 產生 18 組初始場，每 3 組初始場搭配使用一種物理參數法設定，共六種物理參數法設定（各成員之參數法設定如表 3），進行預報實驗。

(三) 整合分析與討論

圖 10A 至 10C 分別為 VAR+PHY 實驗之 500 hPa 高度場、海平面氣壓場和兩米溫度場於初始時間的 Rank Histogram 分析圖。圖中顯示，500 hPa 高度場和海平面氣壓場之圖形呈現平坦，表示離散程度合理，此一實驗仍保有 VAR_PERT 實驗的優點，在初始時間有合理的離散程度；不過由於兩米溫度為預報導出量場，所以初始時間依然無擾動產生。圖 10D 至 10F 分別為 VAR+PHY 實驗之 500 hPa 高度場、海平面氣壓場和兩米溫度場於預報第 72 小時的 Rank Histogram 分析圖。分析結果顯示，500 hPa 高度場和兩米溫度場皆為離散不足的情況，但是海平面氣壓場在預報 72 小時，分析圖形呈現平坦的情況，離散程度為合理。

圖 11A 至 11C 分別為 VAR+PHY 實驗之 500 hPa 高度場、海平面氣壓場和兩米溫度場 RMSE

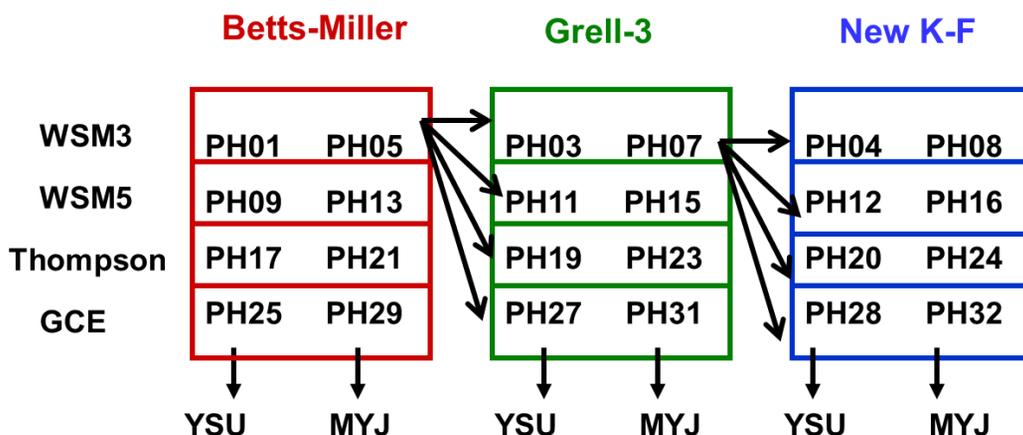


圖 9 進行最佳物理擾動設定組合選取時之示意圖，圖中 PH01 為 Multi-Phy 實驗中，第一個成員之物理參數法設定。

表 3 VAR+PHY 實驗之各成員物理參數法設計。

	土壤模式	微物理參數法	邊界層參數法	積雲參數法
VP01	NOAH	WSM3	YSU	Betts-Miller
VP02	NOAH	WSM3	MYJ	Betts-Miller
VP03	NOAH	WSM5	YSU	G3
VP04	NOAH	WSM5	MYJ	G3
VP05	PX	GCE	YSU	New KF
VP06	PX	GCE	MYJ	New KF
VP07	NOAH	WSM3	YSU	Betts-Miller
VP08	NOAH	WSM3	MYJ	Betts-Miller
VP09	NOAH	WSM5	YSU	G3
VP10	NOAH	WSM5	MYJ	G3
VP11	PX	GCE	YSU	New KF
VP12	PX	GCE	MYJ	New KF
VP13	NOAH	WSM3	YSU	Betts-Miller
VP14	NOAH	WSM3	MYJ	Betts-Miller
VP15	NOAH	WSM5	YSU	G3
VP16	NOAH	WSM5	MYJ	G3
VP17	PX	GCE	YSU	New KF
VP18	PX	GCE	MYJ	New KF

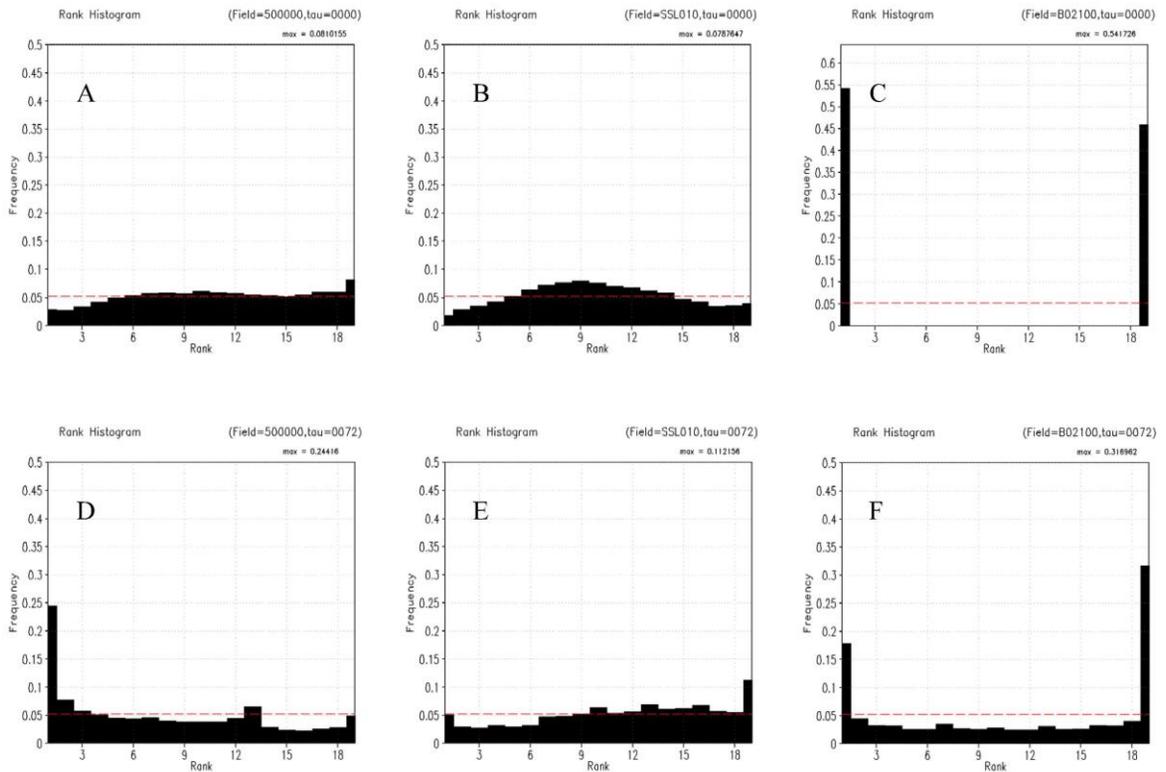


圖 10 VAR+PHY 實驗之 Rank Histogram 分析圖，橫軸為區間(Rank)編號，縱軸為頻率值。A 至 C 分別為 500 hPa 高度場、海平面氣壓場和兩米溫度場在預報初始時間的 Rank Histogram 分析圖。D 至 F 分別為 500 hPa 高度場、海平面氣壓場和兩米溫度場在預報第 72 小時的 Rank Histogram 分析圖。紅色虛線為理想之離散表現時，各區間的頻率值。

和 SPRD 分析圖。分析結果指出，500 hPa 高度場在預報 24 小時之內，RMSE 和 SPRD 差異不大，表示此實驗的 500 hPa 高度場在 24 小時內的預報離散程度較為合理，雖然之後的離散度不足，但是和其他三個實驗相比（如圖 3），此實驗之 RMSE 和 SPRD 的差異為最小，表示離散情況也最合適。而進一步比較 VAR+PHY 和 VAR_PERT 實驗之表現（圖 11A 和圖 3C），兩者之 RMSE 表現差異不大，而 VAR + PHY 實驗之 SPRD 則有明顯的增加，顯示 VAR + PHY 之離散程度的改善，主要是加入物理參數擾動後，使得系集離散度 (SPRED) 提昇所導致的結果。海平面氣壓場之分

析結果，雖然 RMSE 仍大於 SPRD，但兩者的差異小，表示海平面氣壓場在預報期間之離散情形都較為合理，而跟其他實驗相比（如圖 6），此實驗之離散情況也為最佳。兩米溫度場的分析結果指出，整個預報過程中皆為離散不足的情形，但和其他實驗相比（如圖 7），此實驗的離散度最佳。由離散度分析結果指出，VAR+PHY 實驗產生之離散程度，為四組實驗中之最佳者。此外，僅針對各組實驗之 RMSE 進行比較，VAR+PHY 實驗之 RMSE 值最低，以兩米溫度場之結果為例，VAR+PHY 實驗在預報 72 小時之 RMSE 小於 1.4°C（圖 11C），而其餘三組實驗之 RMSE 皆大

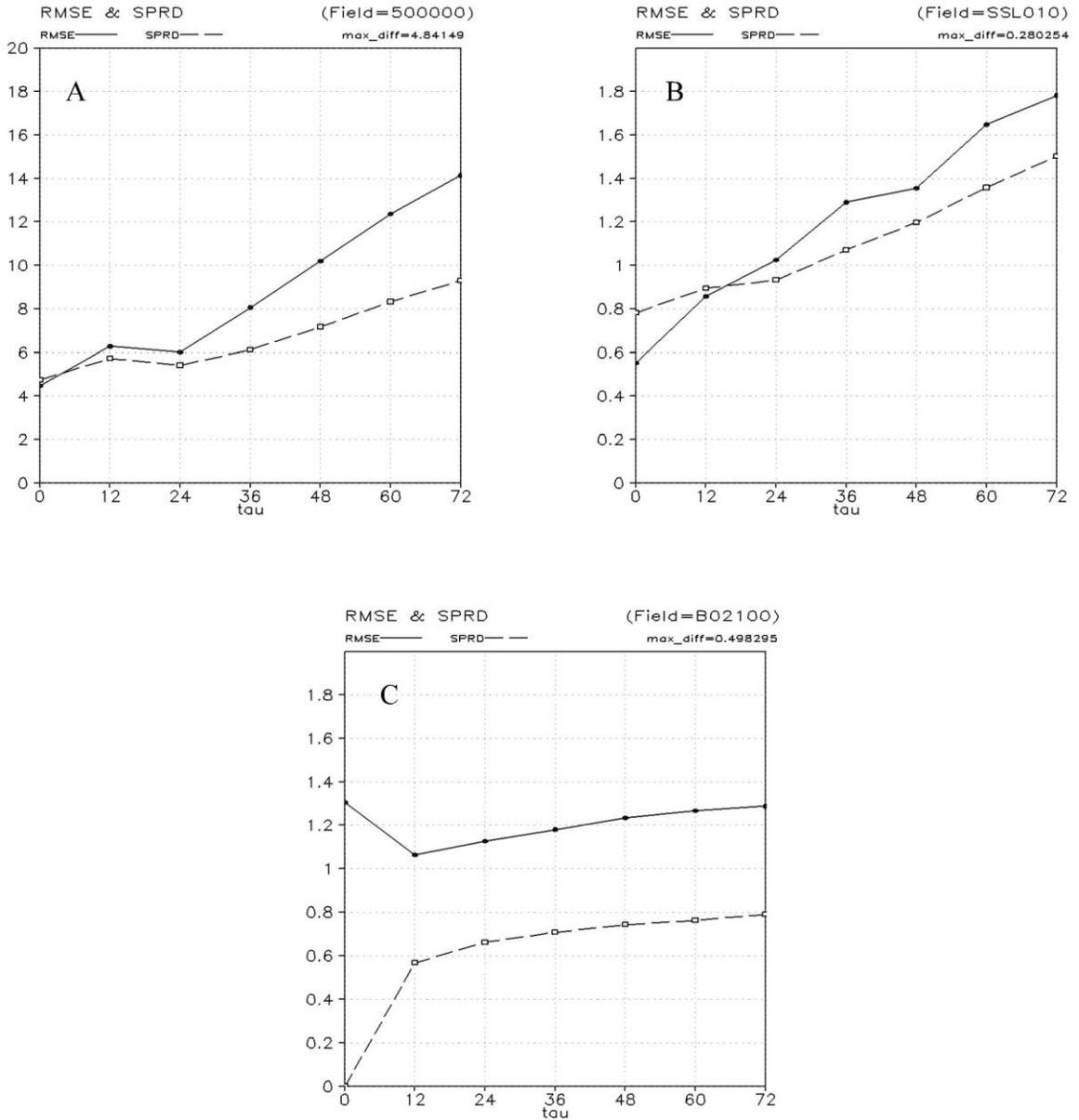


圖 11 VAR + PHY 實驗之 RMSE 和 SPRD 的比較圖，橫軸為預報時間。A 至 C 分別為 500 hPa 重力位高度場、海平面氣壓場和兩米溫度場之 RMSE 和 SPRD 的比較圖。實線為 RMSE 值，虛線為 SPRD 值。

於 1.4°C (圖 7)。VAR+PHY 不僅能獲得最合適之離散程度，亦能改善預報誤差表現。

圖 12A 至 12D 分別為 Multi-Phy 實驗、Multi-IC 實驗、VAR PERT 實驗和 VAR+PHY 實驗於 500 hPa 高度場之 Reliability 分析圖，校驗門檻值為 5820 m。根據校驗結果顯示，四組實驗之圖形皆於對角線之下，表示觀測頻率較預報機率小，因此在 500 hPa 高度場皆有預報過大的情形，而 VAR+PHY 實驗所得到之圖形較其他三組實驗更接近對角線，代表 VAR+PHY 實驗所產生之預報可信度，在 500 hPa 高度場為最佳。由於 VAR+PHY 實驗之離散程度和預報準確度皆提升，進而改善可信度表現。

圖 13A 至 13C 為四組實驗分別於 500 hPa 高度場、海平面氣壓場和兩米溫度場之 CRPSS 分析圖。圖中顯示，四組實驗之 CRPSS 值在預報時間內皆大於 0，表示四組實驗之機率預報誤差小於氣候值的誤差，表示相對於氣候場而言具有預報能力。而 VAR+PHY 實驗之 CRPSS 值，在預報時間內，大致上皆較其他三組大，由於 CRPSS 值越接近 1，則為最佳情況，因此表示 VAR+PHY 實驗之機率預報能力為最佳。

當同時考慮初始和物理擾動時，分析結果顯示，系集成員的離散程度有明顯的改善。在一個系集系統中，較合理的系集離散程度，往往代表該系統可以有較佳的機率分佈，在 Reliability 和 CRPSS 的校驗結果中，VAR+PHY 都取得最佳的預報能力可見一般。而如果系集成員有較佳的機率分佈，那意味著極端預報發生的次數和分佈也可能因而降低，因此系集平均的準確度(RMSE)有可能也因而減少，這意味著預報能力的提升。因此透過離散度分析、預報可信度以及預報能力

分析皆指出，VAR+PHY 實驗在四組實驗之中皆有最佳表現，意即透過物理參數法擾動以及初始場擾動之方法，能產生最合適之系集預報成員。

四、總結

過去的數值天氣預報，採用單一模式預報，難免有預報失準的情形。因此發展多模式預報(系集預報)，以提供預報不確定性參數，為國際發展主流。本研究主要是採用 WRF 區域模式進行實驗，使用不同之系集成員產生方式，包含物理參數法擾動、初始場擾動，以及同時使用初始場擾動和物理參數法擾動，並透過校驗系統，著重評估於台灣附近之綜觀天氣系統的預報能力，欲找出最合適之系集成員產生方式，以建立區域系集預報系統。

實驗結果指出，僅使用物理參數法擾動，未能在初始場產生擾動，但離散度隨預報時間增加最多；僅使用 WRF 三維變分法產生初始場擾動，在初始時間能有足夠的離散度，但隨預報時間增加甚少。因此，無論使用物理參數法擾動或是初始場擾動，皆未能提供離散合適之系集預報成員。然而，根據兩者之離散度特性，欲將兩個方法結合，亦即同時具有物理參數法擾動和初始場擾動，期望能同時獲得兩者之優點，進而能產生離散合適之系集預報成員。

然而根據李和洪(2011)研究結果指出，物理參數法對於預報結果有系統性的影響，不一定需要 40 組物理參數法設定，即可達到相同程度之離散，用最少的成員產製最大的系集離散。為了找出合適之物理參數法之設定，欲找出相似成員再排除，將進行 Multi-Phy 實驗中 40 組物理參數法設定分析，找出預報相似之成員，並了解物理

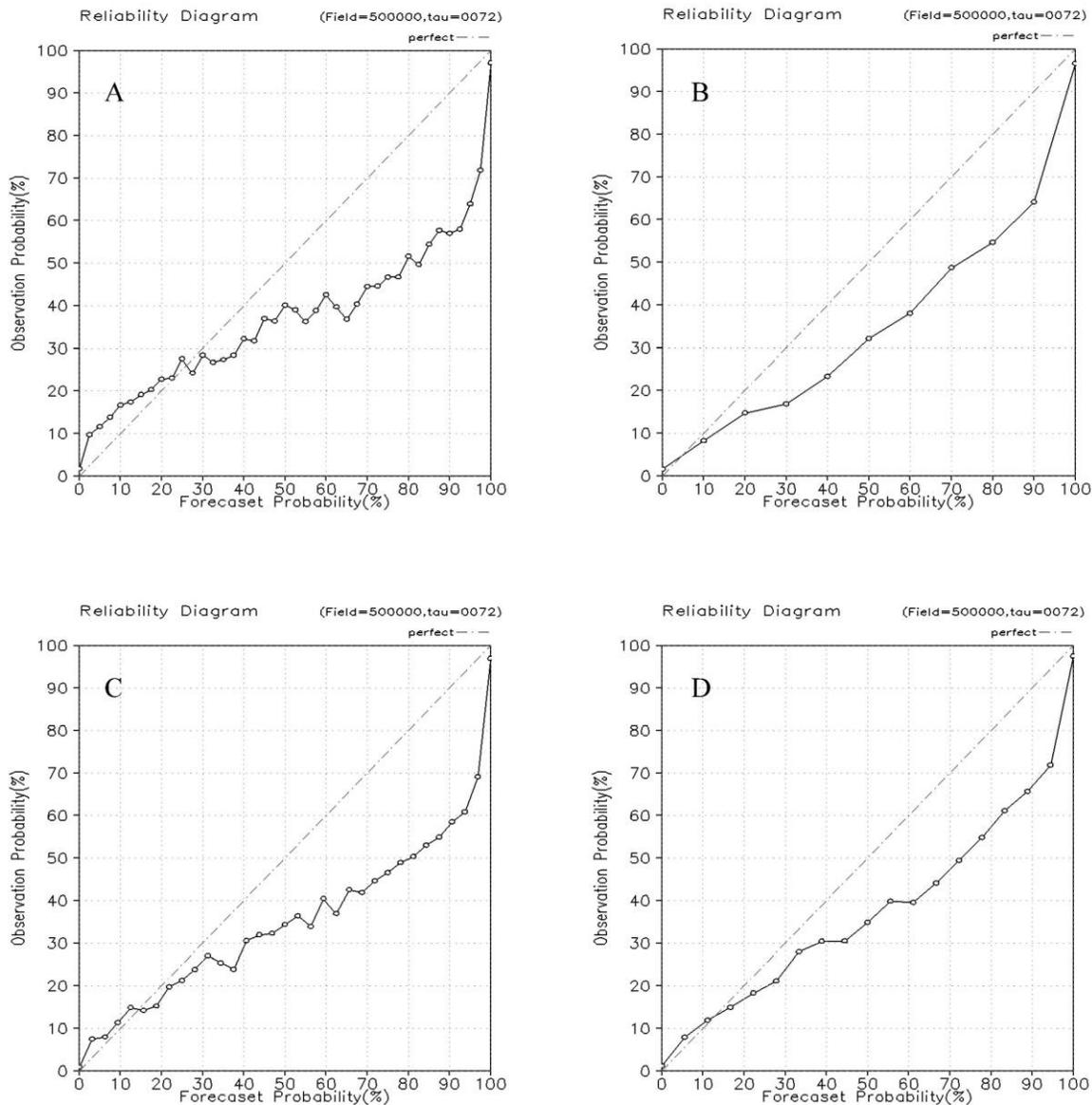


圖 12 為 500 hPa 重力位高度場之 Reliability Diagram，橫軸為預報機率，縱軸為觀測機率，門檻值為 5820 重力位公尺。A 至 D 分別為 Multi-Phy、Multi-IC、VAR PERT 和 VAR + PHY 實驗之 Reliability Diagram。兩圖中的點虛線為最佳時的分析曲線。

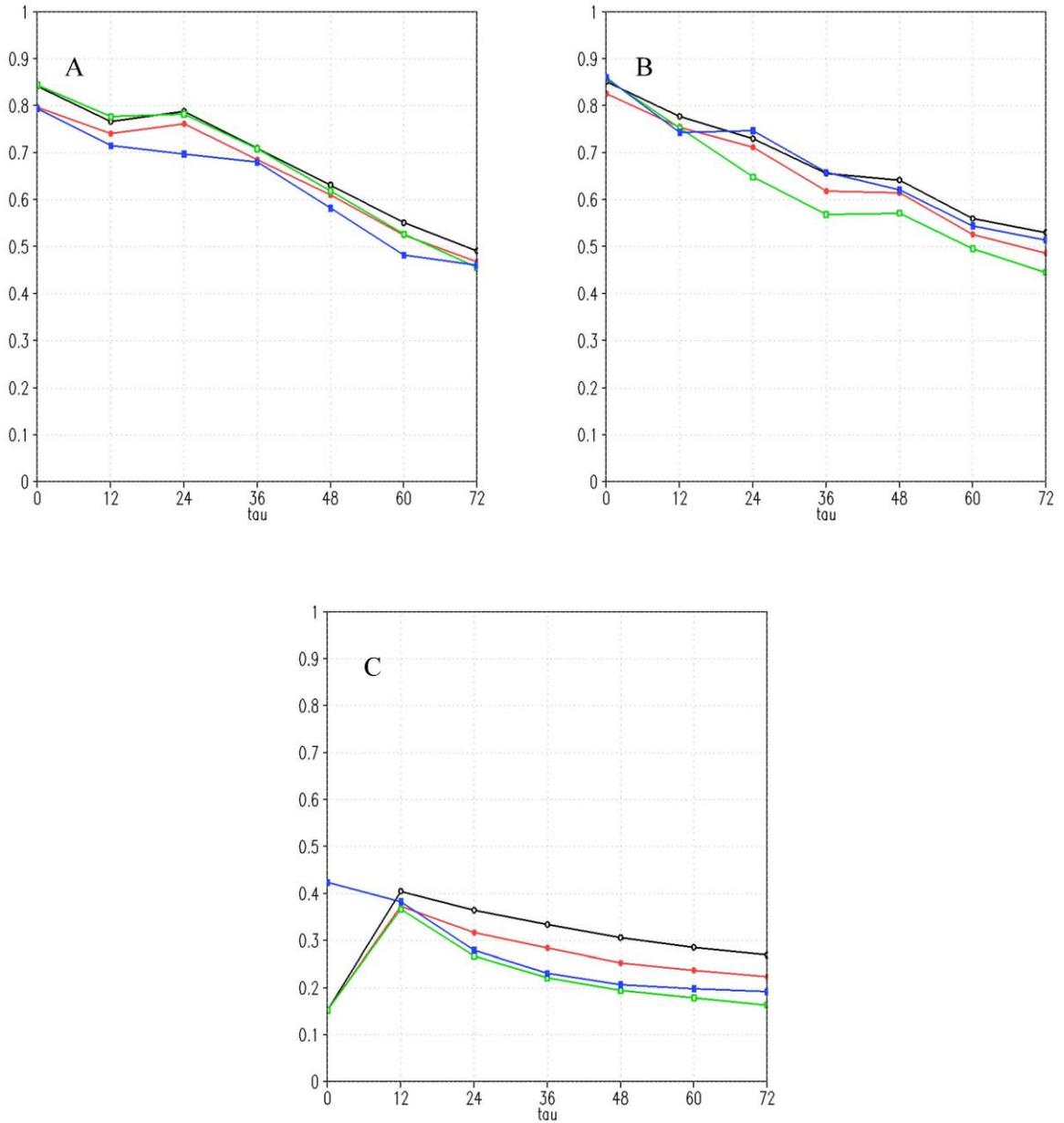


圖 13 A 至 C 分別為 500 hPa 重力位高度場、海平面氣壓場、兩米溫度場和氣候值相比的 CRPSS 值隨預報時間變化圖。紅色線為 Multi-Phy 實驗之分析結果；藍色線為 Multi-IC 實驗之分析結果；綠色線為 VAR_PERT 實驗之分析結果；黑色線為 VAR+PHY 實驗之分析結果。橫軸為預報時間。

參數法對於預報結果之系統性影響，進而決定所要使用的物理參數設定，並搭配初始場擾動，進行預報實驗。結果指出，WRF 模式 45 公里解析度下，積雲參數法對預報結果影響最大，其次為邊界層參數法，最後為微物理參數法；此外，使用 GD 和 G3 積雲參數法之成員，其預報結果相似。依此相似特性，將 40 組成員進行分組校驗，最後選出六組物理參數法設定，能獲得最佳之系集離散程度，於是以此一物理參數法擾動設定，並於初始場加入隨機擾動，進行預報實驗。實驗結果指出，此法所產生之系集成員，不僅能獲得最佳之離散度，在預報能力和預報可信度皆為最佳。本研究透過一簡單且合理的方法，於初始場加入合適之擾動，並使用合適之物理參數法擾動設定，產生最合適且最有效之系集預報成員。

本研究針對不同之系集產生方法進行評估，以期了解各種方法對於系集預報系統之貢獻，建立系集預報系統，並提供未來研究的參考依據。然而仍有其他系集成員產生方式值得評估，如透過 Ensemble Kalman Filter 產生屬於流場相依之初始場擾動，或是使用不同之資料同化策略產生之初始場擾動，並搭配物理參數法擾動，皆是未來持續研究的方向。此外，本文之研究成果不及於探討如何針對劇烈天氣現象設計系集預報系統，此亦將是未來的研究重點。

致謝

本研究在中央氣象局氣象資訊中心提供之計算支援下完成。

參考文獻

簡芳菁、柳懿秦、周仲島、林沛練、洪景山和蕭玲鳳，2005：2003 年梅雨季 MM5 系集降水預報。《大氣科學》，**33**，255-275。

洪景山、林得恩、簡芳菁、劉素屏、周仲島、林沛練、張文錦、繆璿如、陳致穎、雷銘中，2006：WRF 模式之敏感度測試，第一部分：探空測站上的校驗。《大氣科學》，**34**，241-260。

李志昕、洪景山，2011：區域系集預報系統研究：物理參數化擾動。《大氣科學》，**39**，95-116。

Bröcker, J., Leonard A. Smith, 2007: Increasing the Reliability of Reliability Diagrams. *Wea. Forecasting*, **22**, 651-661.

Candille, G., C. Côté, P. L. Houtekamer, G. Pellerin, 2007: Verification of an Ensemble Prediction System against Observations. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 2688-2699.

Chien, F. C., and B. J.-D. Jou, 2004: MM5 Ensemble Precipitation Forecasts in the Taiwan Area for Three Early Summer Convective (Mei-yu) Seasons. *Wea. Forecasting*, **19**, 735-750.

Du, J., et al, 2004: The NOAA/NWS/NCEP short range ensemble forecast (SREF) system: evaluation of an initial condition vs multi-model physics ensemble approach. *16th Conference on Numerical Weather Prediction*. Seattle, WA, Amer. Meteor. Soc.

-----, J. McQueen, G. DiMego, Z. Toth, D. Jovic, B. Zhou, and H. Chuang, 2006: New Dimension of NCEP Short-Range Ensemble Forecasting (SREF) System: Inclusion of WRF Members, Preprint, WMO Expert Team Meeting on Ensemble Prediction System, Exeter, UK, Feb. 6-10, 2006, 5 pages.

- , G. DiMego, Z. Toth, D. Jovic, B. Zhou, J. Zhu, H. Chuang, J. Wang, H. Juang, E. Rogers, and Y. Lin, 2009: NCEP short-range ensemble forecast (SREF) system upgrade in 2009. *19th Conf. on Numerical Weather Prediction and 23rd Conf. on Weather Analysis and Forecasting*, Omaha, Nebraska, Amer. Meteor. Soc., June 1-5, 2009, paper 4A.4.
- Fujita, T., D. Stenstrud, and D. C. Dowell ,2007: Surface Data Assimilation using an ensemble filter approach with initial condition and model physics uncertainties. *Mon. Wea. Rev.*, **135**, 1846-1868.
- Hamill, T. M, 2001: Interpretation of Rank Histograms for Verifying Ensemble Forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 550-560.
- , 1997: Reliability Diagrams for Multicategory Probabilistic Forecasts. *Wea. Forecasting*, **12**, 736-741.
- Hersbach, H., 2000: Decomposition of the Continuous Ranked Probability Score for Ensemble Prediction Systems. *Wea. Forecasting*, **15**, 559-570.
- Janjic, Z., Gall, R.L. 2012: Scientific documentation of the NCEP nonhydrostatic multiscale model on the B grid (NMMB). Part 1 Dynamics. NCAR Technical Note NCAR/TN-489+STR. <http://nldr.library.ucar.edu/repository/assets/technicalnotes/TECH-NOTE-000-000-000-857.pdf>
- Toth, Z., and E. Kalnay, 1997: Ensemble forecasting at NCEP and the breeding method. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 3297-3319.
- , O. Talagrand, G. Candille and Y. Zhu, 2003: Chapter 7: Probability and ensemble forecast, *Environmental Forecast Verification: A Practitioner's Guide in Atmospheric Science*, Edited by I. T. Jolliffe and D. B. Stephenson, John Wiley & Sons.
- Skamarock, W. C., Coauthors, 2008: A description of the Advanced Research WRF version 3. NCAR Tech. Note NCAR/TN-475+STR, 113 pp.
- Stensrud, David J., Jain-Wen Bao, Thomas T. Warner, 2000: Using Initial Condition and Model Physics Perturbations in Short-Range Ensemble Simulations of Mesoscale Convective System. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 2077-2107.
- Wei, M., Z. Toth, R. Wobus, and Y. Zhu, 2008: Initial perturbations based on the ensemble transform (ET) technique in the NCEP global operational forecast system. *Tellus*, **59A**, 62-79.
- Wang, W., and N. L. Seaman, 1997: A comparison study of convective parameterization schemes in a mesoscale model. *Mon. Wea. Rev.*, **125**, 252-287.
- Yang, M.-J.; B. J.-D. Jou, S. C. Wang, J. S. Hong, P. L. Lin, J. H. Teng, H. C. Lin, Hui-Chuan, 2004: Ensemble prediction of rainfall during the 2000-2002 Mei-Yu seasons: Evaluation over the Taiwan area. *J. Geophys. Res.*, **109**, D18203. doi:10.1029/2003JD004368.
- Zhou, B. , J. McQueen, J. Du, G. DiMego, Z. Toth and Y. Zhu, 2005: Ensemble forecast and

verification of low level wind shear by the NCEP SREF system. *21st Conference on Weather Analysis and Forecasting/17th Conference on Numerical Weather Prediction*. Washington, D.C., Amer. Meteor. Soc., 11B.7A

----- and J. Du, 2010: Fog prediction from a multi-model mesoscale ensemble prediction system. *Wea. Forecasting*, **25**, 303-322.

Zhu, Y. and Z. Toth, 2008: Ensemble Based Probabilistic Forecast Verification. *19th AMS conference on Probability and Statistics*. New Orleans, LA, 20-24 Jan. 2008.

The Study of Regional Ensemble Forecast: Evaluation for the performance of perturbed methods

Chih-Hsin Li and Jing-Shan Hong

Central Weather Bureau

(manuscript received 20 December 2013 ; in final form 24 July 2014)

ABSTRACT

In order to represent the forecast uncertainties, the spread-enough ensemble products from an ensemble prediction system (EPS) is of most important. The goal of this paper is to understand the role of the physics perturbation and initial perturbation to configure a robust EPS.

Four different one-month regional forecast experiments based on WRF model by using different perturbations were conducted in the paper. The first experiment with 40 members used physical perturbations, including the cumulus, microphysics, planetary boundary layer parameterization schemes, and land-surface models. The second experiment with 10 members use different data assimilation strategy. The 32 members of the third experiment were generated by adding random perturbations in the initial conditions. The last one combines the physical perturbations and random initial perturbations to get the 18 members. The results show the forth experiment have the best performance of spread and forecast skill due to the better represented perturbations both in the initial condition and through the model prediction.

Key Words: Ensemble forecast system, Spread