

美國國家環境預報中心短期系集預報簡介 與航空氣象之應用

楊憶婷

一、短期系集天氣預報介紹與其重要性

美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)杜鈞博士 2009 年 11 月於中央氣象局專題演講中以 2009 年造成重大災害的莫拉克颱風為例，來介紹短期系集(ensemble)天氣預報的重要性。莫拉克颱風為台灣南部地區帶來約 2000 mm/72 hr 的累積雨量，這種極端天氣現象，在數值預報作業過程中常面臨兩個問題：(1) 數值模式不一定能預報得到如此極端值，(2) 即使模式顯示出極端之雨量值，預報員不一定會採信，因此造成雨量預報偏低的現象。由 NCEP 短期系集天氣預報對於莫拉克颱風模擬，發現不只一個數值模式預報出高累積雨量值，這一跡象顯示了高累積雨量發生的可能性，增加預報員掌握極端天氣預報的信心。

天氣預報會因數值方法的近似解導致預報結果有誤差，此外各種觀測都有可能產生些許誤差，置入數值模式中的初始條件與真實大氣有所差距，造成天氣預報結果不會絕對準確。為了克服初始場微小誤差對數值天氣預報的影響，系集天氣預報的概念被提出來，利用不同的預報成員(member)結果，計算各種天氣狀況出現的可能性。例如：給予不同成員有些許差距的初始條件、不同的側邊界或地表狀態、使用不同的模式，或是不同的模式物理過程，估算對天氣預報結果的影響。而所謂「短期」系集天氣預報，應用於劇烈對流、降雨量、冬季風暴、森林大火可能性預報、航空氣象等時間尺度較短的天氣現象，對於作業單位的天氣守視和預報有莫大幫助。

二、NCEP 短期系集天氣預報發展簡介

自 1990 年代 NCEP 和歐洲中長期天氣預報中心(ECMWF)的全球尺度系集預報成功之時，杜鈞博士等人已經開始進行區域模式的短期系集天氣預報 (short-range ensemble forecasting, SREF) 的研究。1995-1996 年期間 NCEP 已經建立 SREF 雛型，隨後改進原版本成為有 10 個系集成員的系集預報模式，並且於 2000 年 4 月開始每天進行短期系集預報，但是系集天氣預報耗費電腦資源，所需計算時間長，當時只能拿來做個案分析以及對系統移動和演變進行研究。

2001 年 5 月 SREF 正式於 NCEP 上線，並且是全世界第一個用在作業單位的短期系集預報模式產生。在 2003 年，NCEP 為了提供不同模式短期系集預報的各種可能性，再加入了 Eta 區域模式的 5 個系集成員，其差異在於使用不同版本的 Kain-Fritsch scheme (對流參數化法)，以提供模式物理過程的不確定性的各種可能性。2004 年 8 月，SREF 再加入了 6 種不同的對流參數化以及提高模式解析度 (從 48 km 提高到 32 km 及 40 km)，系集預報模式能力也更加提升，預報時間由 63 小時提高到 87 小時。到了 2005 年的 12 月，再加入 6 個 WRF(weather research&forecast model)模式的系集成員，與之前不同的地方在於，其中有 3 個是使用 NCEP NMM 為核心，另外 3 個則是使用 NCAR ARW 為核心，所以目前 NCEP-SREF 共有 21 個短期系集天氣預報成員，每天 2 次預報，預報 87 小時，模式水平解析度從 32 km 到 45 km 不等，其結果可以在以下網址查詢應用：

<http://wwwt.emc.ncep.noaa.gov/mmb/SREF/SREF.html>

三、NCEP 短期系集天氣預報對於航空氣象的應用

NCEP-SREF 短期系集天氣預報目前的航空氣象產品包含積冰、亂流、噴流、雲幕高、能見度、雲量、對流 (對流的位置及移動方向)、

降水形態、地面風、風切、對流層頂高度及溫度、霧等等，其演算方法的簡介可以參考 Zhou et al. (2004)。

霧對於飛航安全來說，可以說是惡劣天氣之一，由於霧的預報不能直接由數值預報產品直接求得，目前所採用的預報技術大致區分為 MOS（模式輸出統計預報）和 ANN（類神經網路預報）兩種技術，否則只能憑藉預報員的經驗，因此霧的預報一直是很大的挑戰。霧的出現是一種高度非線性現象與隨機過程，初始條件只要有非常小的變化，便會造成模式預報結果有很大的不同。因此使用單一模式預報霧，會有很大的初始條件及模式物理過程導致的不確定性，因此本文以 NCEP-SREF 霧的預報來作一應用介紹(Du et al.,2009)。

霧的種類及形成機制大致有三類，有些是因為層雲降水，導致層雲沉降；有些是平流過程；有些是輻射冷卻。因此在系集預報中預報霧出現的可能性時，使用以下三種條件，並且只要其中一種條件成立，模式將預報有霧的形成。

1. *LWC (液態水含量) at model lowest level $\geq 0.015 \text{ gkg}^{-1}$, or*
2. *Cloud Top $\leq 400 \text{ m}$ AND Cloud Base $\leq 50 \text{ m}$, or*
3. *10 m-wind speed $\leq 2\text{ms}^{-1}$ AND 2 m-RH $\geq 90\%$*

NCEP-SREF 使用 WRF-NMM 和 WRF-ARW 兩種模式之 15km 網格解析，一共有 10 個成員測試。分別針對單一成員、單一模式系集產品和多重模式系集產品，進行預報統計 ETS¹技術得分校驗。結果顯示，使用的系集模式成員愈多，配合多變數的霧診斷預報技術和多重模式的運用，ETS 得分從 no skill 提升到具有預報技術的評分之上 (ETS>0.33)。即：

¹ $ETS = \frac{Hits - E}{Hits + Misses + FalseAlarms - E}$, $E = \frac{forecast\ numbers \times observed\ numbers}{total\ numbers\ possible}$

1. 多變數的霧診斷預報技術(ETS=0.06)大幅度改善以單一變數診斷之預報技術 (ETS 改善 205%)。
2. 使用 5 個成員之多重模式 (WRF-NMM 和 WRF-ARW) 優於單一模式 (ETS 改善 17%)。
3. 成員數提高到 10 個之多重模式之 ETS 改善 27% (ETS=0.334)。

所以提高系集預報的成員個數，有利提升預報準確度和動力模式的穩定性，針對霧的預報也有很好的改善。

四、參考資料

Zhou, Binbin et al. 2004: An Introduction to NCEP SREF Aviation Project, 11th Conference on Aviation Range and Aerospace. Oct 4-8, Hyannis, MA, Amer. Meteor. Soc.

-----, and J. Du, 2009: Fog prediction from a multi-model mesoscale ensemble prediction system. *Wea. Forecasting*, in press.