

雷達三維變分資料同化對模擬之影響

林欣弘 林沛練

國立中央大學大氣物理研究所

摘要

本研究使用美國國家大氣研究中心(NCAR)所發展之三維資料同化系統，將中大雷達所觀測之雷達徑向風場資料加入修正模式初始場，並探討模式在台灣區域模擬加入雷達資料模擬修正的影響。

研究中尺度電暴個案系統未到達台灣之前，將雷達已觀測到海上的雷達徑向風與回波資料加入同化，討論初始場調整前後的模擬結果差異。由於雷達擁有高時間解析度，因此透過雷達徑向風變分同化的過程，可修正模式初始場，並模擬出中小尺度的對流系統。

關鍵詞：變分，資料同化，雷達徑向風

一、前言

在天氣系統的數值模擬過程中，常受限於初始場的準確性，對中小尺度天氣系統的模擬仍無法完整的掌控其預報能力，因此可利用區域觀測資料修正模式初始場，來改善模式模擬能力。其中利用變分法同化觀測資料來修正初始場為重要的方法之一，而雷達觀測資料亦可加入變分同化過程之中，Sun and Crook(1997)利用變分法將雷達徑向風與回波以四維資料同化加入雲模式中，討論資料同化對模擬的影響。Xiao et al. (2003)利用 NCAR 發展的三維資料同化系統將雷達徑向風加入修正模式初始場，結果對劇烈降水的鋒面個案，在前六個小時有不錯的改善結果。由於雷達擁有很好的空間與時間解析度，在台灣完整的雷達網聯之下，對台灣地區的模擬有很好的改善空間，尤其對於海上移入台灣的天氣系統或侵台颱風，能在系統

尚未到達台灣之前，將觀測資料加入資料同化中，來改善模式預報天氣系統的準確度。

二、研究方法

為改善因初始場解析度所造成的誤差，因此採用三維變分資料同化(Three-Dimensional Variational Data Assimilation)方式，將模式初始場修正至最接近實際天氣情形。資料同化系統使用美國國家大氣研究中心(NCAR)配合中尺度氣象模式 MM5 所發展的同化系統。

三維變分資料同化是採用疊代法解已給定的代價函數 $J(x)$ 以求得與實際大氣狀況最接近的最佳估計。將代價函數簡化如下式， J^b 與 J^o 分別代表背景場(初始場或前次預報場)與觀測資料的代價函數，求得 J^b 與 J^o 總合的最小化時，代表已調整至最佳的實際大氣狀況。

$$J(\mathbf{x}) = J^b + J^o = \frac{1}{2}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b)^T \mathbf{B}^{-1}(\mathbf{x} - \mathbf{x}^b) + \frac{1}{2}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o)^T (\mathbf{E} + \mathbf{F})^{-1}(\mathbf{y} - \mathbf{y}^o).$$

以三維變分同化可以很容易的將觀測資料直接做同化的動作，並不需要提前做氣象場的反演，且觀測的氣象變數並不需要跟預報場相同，可以透過變數轉換的過程將觀測資料加入同化，例如可將雷達徑向風場做資料同化，雖然預報模式並不預報徑向風場，但是可以透過預報的三維風場轉換成徑向風場，再與雷達觀測的徑向風場做價值函數的最佳調整。

在雷達徑向風與三維風的轉換運算子，如下式：

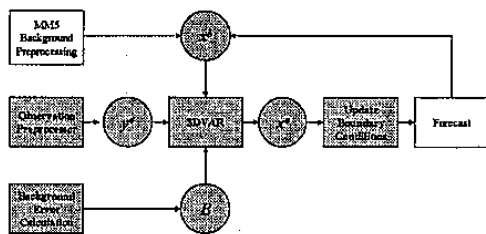
$$V_{r,i} = u \frac{x - x_i}{r_i} + v \frac{y - y_i}{r_i} + (w - V_{Tm}) \frac{z - z_i}{r_i}$$

其中的 V_{Tm} 為雨滴終端速度，在三維變分中是採用 Sun and Crook (1997) 的運算式，如下：

$$V_{Tm} = 5.40a(\rho q_r)^{0.125} \quad a = (p_0 / \bar{p})^{0.4}$$

上式為雨水水含量及壓力的關係式。

而在雷達回波的同化過程中可假設雨滴粒徑分布為 gamma 分布，求得雨水含量，甚至估計熱力場的變化量。

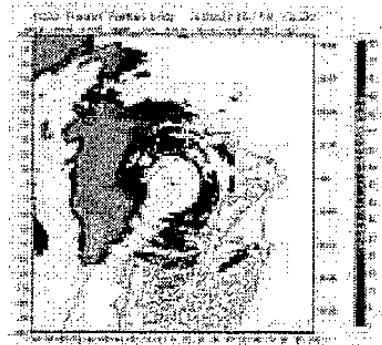


圖一、MM5 資料同化流程。

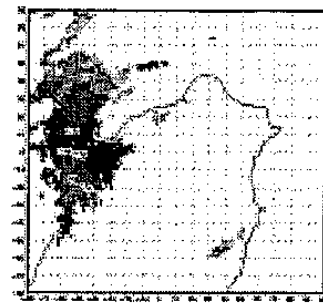
然而三維變分資料同化不包含時間上的同化調整過程，但是仍可透過

即時更新觀測資料的做法，將最新的觀測資料加入預報模式中，調整預報場符合實際的天氣。圖一為中尺度數值模式 MM5 加入三維資料同化的流程。

本研究使用中大雷達的徑向風場做三維資料同化，選取個案為 2002 年 12 月 19 日的電報個案，將 MM5 初始場經過雷達徑向風同化，調整初始場之後，再由 MM5 模擬其結果。圖二、三分別為 GTM12:30 的雷達回波與徑向速度。



圖二、4.5 公里高之雷達回波。



圖三、2 公里高之徑向速度。

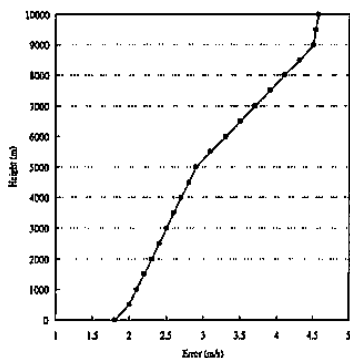
三、結果討論

a. 資料同化

在雷達徑向風資料同化部份，選取模式初始場時間 2002 年 12 月 19 日 12:00Z，當時電暴對流系統正接近台灣，中大雷達可以觀測到明顯的對流結構。模擬初始場使用 ECMWF 資料，模擬網格設定在兩層巢狀網格第

二層做資料同化，網格解析度為 3 公里。同化的雷達徑向風資料水平解析度為 1 公里(圖三)，垂直由地面至 5 公里，解析度為 0.5 公里，並已將地形與海浪回波等雜訊去除。

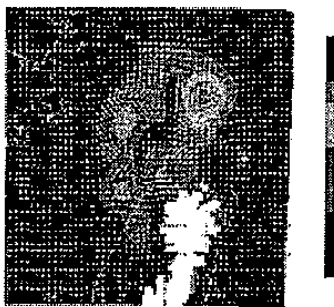
在做變分資料同化時，必須給定觀測誤差，作為觀測場與初始場間調整的依據。在中大雷達資料中，尚未針對雷達資料做誤差統計，因此在本篇研究中，雷達徑向風統計誤差量以人為方式給定，假定所有資料誤差只隨高度變化，設定誤差值如圖四。



圖四、雷達徑向風觀測誤差。

此外雷達回波對於資料同化亦有影響，因此為探討雷達回波反演雨滴終端速度對資料同化的影響程度，將雷達回波以下關係式求得雨水含水量 q_r ，並將雨水含量放入模式初始場中。

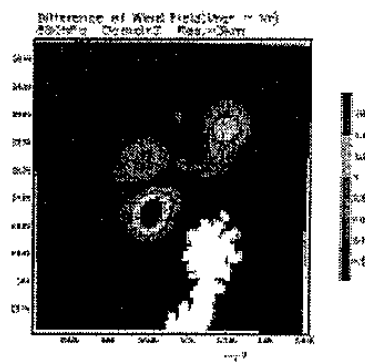
$$Z = 2.04 \times 10^4 (\rho q_r)^{1.75}$$



圖五、850hPa 風場增量。

徑向風資料同化結果，在不含雷達回波反演雨水含量的情況下，物理場中，以風場改變的增量最大，各高度層增量約在 5~10m/s，圖四為 850hPa 的風場增量，而溫度場與相對溼度場的增量很小，溫度變化量約在 $10^{-1} \sim 10^{-2} \text{ } ^\circ\text{C}$ ，溼度變化約在 0.1%。

比較同化過程中，初始場雨水含量對同化結果的影響，分別將包含與不包含雨水含量的同化結果相減，水平風最大風速差約 1~1.5m/s 左右，圖五為 850hPa 的水平風差異量，垂直速度最大差異在 500hPa 處僅僅只有 0.1m/s 左右，高度越低垂直速度改變越小。

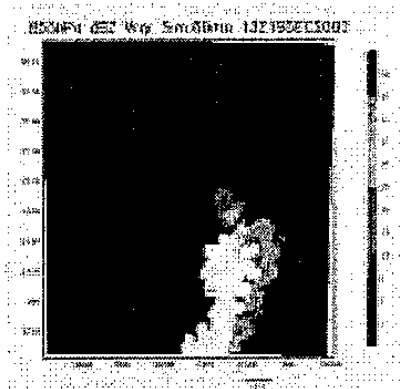


圖六、850hPa 水平風場差異量。

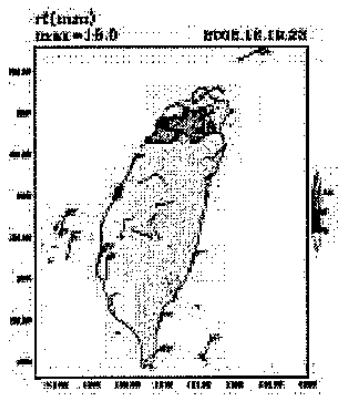
b. 模擬結果

經過雷達徑向風同化與初始場加入雨水含量的模式模擬結果，圖七為 850hPa 的模擬之雷達回波，比實際雷達觀測得之回波值較弱，模擬之降雨也非常小，但在降雨系統移動路徑比較上，則非常的相近。

圖八為降雨系統移入台灣後一小時的降雨分布，由於降雨系統朝東北方移動，因此累積降雨也呈東北-西南走向，在模式模擬的系統移動亦是朝東北方移動，且在不到兩個小時之內由台灣東北角移出。



圖七、模式模擬一小時之 850hPa 回波。



圖八、降雨系統移入台灣後之時雨量。

在徑向風同化與初始場雨水含量對模擬影響上的比較，做了幾個敏感度測試。結果顯示，對於此小尺度對流個案而言，當不加入雷達徑向風同化，無法模擬出此對流系統，因此在系統未移入台灣陸地時加入風場的動力調整，可以改善系統移入台灣陸地的模擬結果。另外初始場加入雷達回波反演的雨水含量時，對模擬前幾個小時的結果亦有改善，使得模擬對流變強。由於本研究只單純針對雷達觀測資料對模擬的影響，因此未加入其他熱力場或水氣場的調整，對此個案的模擬，在台灣西北部溼度有偏乾的結果，降水系統的模擬也明顯弱了許多。

四、結論

本研究利用 NCAR 所發展之三維變分資料同化系統，針對台灣地區小尺度電暴對流系統個案做模擬，討論雷達資料同化對台灣地區降水系統模擬的影響。研究顯示雷達徑向風的同化過程中，需要雷達回波場來修正模式計算徑向風時，忽略降水垂直運動的誤差，因此只同化徑向風場來調整模式初始場是不足夠的，尤其是在劇烈降水區域，誤差會更大，因此未來做雷達資料同化時，必須同時同化雷達回波資料。

在模擬的結果中顯示，只單純調整模式動力場可以改善模式對中小尺度對流系統的模擬能力，但不能完全支持對流系統的發展與維持，尤其是忽略熱力場與水氣場的實際差異在模式中影響。因此模擬的過程，可能在模式物理平衡的調整中，會使模擬對流強度變弱。此外初始場加入雷達回波反演的雨水含量，不僅改善資料同化時的誤差，亦可改善模式前幾個小時的模擬結果。

參考文獻

- Sun, J. and N. A. Crook, 1997: Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I: Model development and simulated data experiments. *J. Atmos. Sci.*, **54**, 1642-1661.
- Xiao, Q., Y.-H. Kuo, J. Sun, W.-C. Lee, E. Lim, Y.-R. Guo, D. M. Barker: Assimilation of Doppler radar observations with a Regional 3D-Var system: Impact of Doppler velocities on forecasts of a heavy rainfall case. Submitted to *Mon. Wea. Rev.* August 25, 2003.