

# 對流尺度資料同化： 雷達回波導出水氣場之研究

林勤芳 蔡雅婷 洪景山  
中央氣象局氣象資訊中心

## 摘要

透過資料同化，雷達回波可提供模式中水相變數之初始場，如雨水、水氣等變數。本篇使用 WRF 3DVAR 三維變分同化系統(WRF 3DVAR)，同化回波導出之雨水混合比和徑向風場，並評估同化回波診斷之水氣場對模式預報的影響。另外，在短時間內同化多筆雷達資料也可能造成模式不平衡或濕度過高的情形，因此在快速同化循環實驗中測試 divergence constraint 以及於雷達資料中加入無降雨判斷對於降雨預報之影響。由六小時累積雨量預報結果顯示，同化水氣對於雨帶的位置及形狀有顯著的增進；於雷達資料中加入無降雨之判斷，也能有效降低水氣場過度預報的情況。

## 一、前言

台灣因地理位置及地形分布，深受颱風、梅雨等劇烈天氣系統影響，所以發展短期降水預報對於防災有重要助益，而雷達觀測之高時空解析度非常適用於短期天氣預報，因此希望能發展雷達資料同化系統，透過結合模式預報與雷達觀測資料，來得到一組模式初始場，以進行最佳化的預報。

雷達回波常用來提供高解析模式中雲物理過程中相關變數之初始場，如雨水、水氣等變數。本篇即使用 WRF 3DVAR 三維變分同化系統(WRF 3DVAR)，以間接同化回波的方式，分別同化由回波反演之雨水和水氣，來了解其對於降雨預報之影響，下列實驗主要著重在同化水氣場之影響。

## 二、研究方法

### (一) 水氣同化方法

本篇採用間接同化回波之方法，而非直接同化回波，主因為回波和雨水為非線性關係，然而變分同化系統中的觀測算子為線性關係，

若使用線性化觀測算子會和原先之非線性關係有很大差異，特別在背景場偏乾的時候會造成很大的線性化誤差，所以在本實驗中採用分別同化雨水混合比和水氣之方法而非直接同化雷達回波。

另外在同化水氣的部分，假設有雲的區域水氣為飽和，為雲分析中常見的方法，希望能藉此提供更良好的對流環境。此方法需要使用背景場的資訊來判斷有雲的區域，因此由背景場計算出飽和水氣的正確性與如何定義雲內的區域將為此法之不確定性。

下式為水氣場在價值函數(cost function)中之線性化觀測算子：

$$\begin{aligned} dq_v &= dRH \times q_s + RH \times dq_s \\ &\approx dRH \times q_s + C q_v dT \end{aligned}$$

透過此公式即能將水氣和控制變數 RH、T、 $P_s$  進行連結，其物理意義為水氣和雲之間的物理相位轉換，當濕度接近飽和的時候，水氣的擾動也會影響溫度和氣壓，式中的 C 為溫度的函數且為正值，所以當飽和水氣被同化時，相對濕度及溫度之分析場也有正的增量。

關於雲內區域的定義，本篇假設回波大於

30dBZ 且高度大於模式初始猜測場的舉升凝結高度(Lifting Condensation Level; LCL)為有雲區域，當滿足此條件時即同化飽和水氣，而下列實驗即針對是否同化水氣場之預報結果進行分析。

### (二) Mass divergence constraint

使用雷達資料進行快速同化循環(rapid update cycle)時，短時間內同化多筆觀測資料會造成模式動力不平衡，因此在 cost function 中加入非輻散項(non-divergent term)作為約束項，藉此來減少不平衡所造成的誤差。同時，因本實驗所使用之背景誤差，其控制變數間並無相關性，透過加入非輻散項，也能建立 UV 風場變數之間的連結。

$$J(\mathbf{x}) = \frac{1}{2} \mathbf{v}^T \mathbf{v} + \frac{1}{2} (\mathbf{d} - \mathbf{H}' \mathbf{U} \mathbf{v})^T \mathbf{R}^{-1} (\mathbf{d} - \mathbf{H}' \mathbf{U} \mathbf{v}) \\ + J_c(\mathbf{v})$$

### (三) 雷達資料判斷

先前使用之雷達資料將無降雨和缺資料皆視為缺資料，為了有效使用雷達資料所提供之資訊，於雷達資料中加入無降雨之判斷，將未被地形阻擋且回波小於 0.5dBZ 之雷達回波觀測資料區分為無降雨，能有效增加觀測雷達回波之使用率，也將於實驗中測試此資料是否能減低背景場過度預報之環境濕度。

## 三、實驗結果與討論

本研究模式網格解析度為2公里，網格點數為 $441 \times 441$ ，垂直分層為52層，邊界條件使用National Center for Environmental Prediction(NCEP)3小時預報場，研究個案為2012年6月10日00時之梅雨個案，同化之雷達資料包括徑向風及回波。

實驗依研究方法分為三組，分別測試使用上述方法對於降雨預報的影響。第一組為比較加入水氣場同化之影響，第二組為加入 divergence constraint 對於一小時同化循環實驗之影響，第三組同樣在一小時同化循環實驗中測試加入無降雨雷達資料判斷對於降雨之影響。

首先比較在冷啟動實驗中，是否同化水氣場對於降雨預報之影響，因本研究著重在短延時劇烈降雨之預報，所以只針對六小時內之降雨進行分析，由六小時累積降雨圖可發現(圖1a,b,c)，同化水氣對於預報雨帶的位置及形狀有顯著的影響，在中部及南部的降雨都與觀測之雨帶較相似。

為充分利用雷達資料高時間解析度的特性，進一步測試一小時快速同化循環實驗，實驗起始時間為6月9日21時，逐時同化雷達資料且同樣於6月10日00時開始進行六小時預報，由六小時累積降雨圖可以看出降雨有過度預報的情況(圖1a,d,e)，因為目前同化水氣方法對於水氣的處理只增不減，因此在短時間內同化多筆雷達資料時可能造成水氣過多。另一組實驗嘗試使用 divergence constraint 來減少模式不平衡所造成的擾動，不過在一小時同化循環實驗中，並未得到太顯著的效果。

在無降雨雷達資料實驗中，模式格點遇到無降雨資料時，則將水氣降低為百分之七十之飽和水氣，希望藉此能降低水氣場過度預報的情況，由圖1f 可看出降雨有明顯修正，雨帶的強度及位置皆與觀測較相似，且海面上降雨過多的情況也明顯減少，表示無降雨資料能有效降低水氣過度預報的問題。

的研究議題。

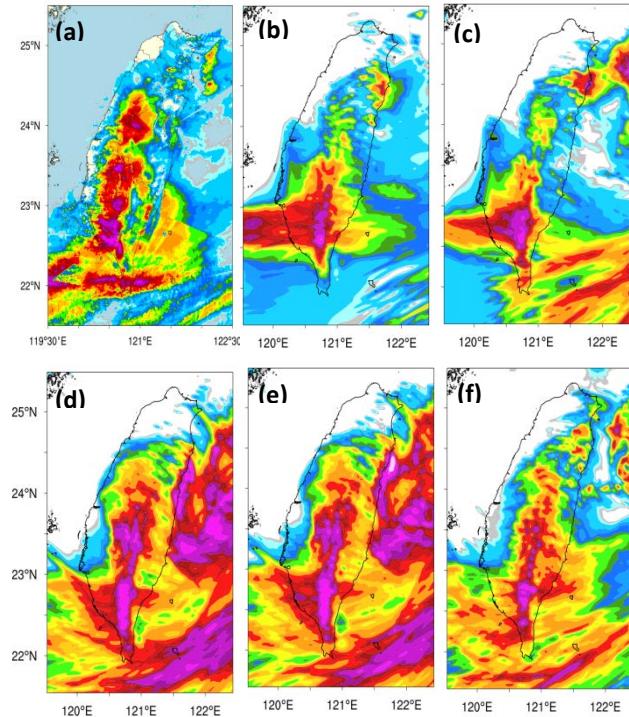


圖 1、六小時累積雨量圖。(a) QPESUMS 觀測雨量(b)未加入水氣同化方法之冷啟動實驗(c)加入水氣同化方法之冷啟動實驗 (d)加入水氣同化方法之一小時同化循環實驗(e) 加入水氣同化方法及 divergence constraint 之一小時同化循環實驗(f) 加入水氣同化方法、divergence constraint 及雷達資料判斷之一小時同化循環實驗

## 五、參考文獻

Wang, H., Sun, J., Fan, S., and Huang, X. Y.: Indirect Assimilation of Radar Reflectivity with WRF 3D-Var and Its Impact on Prediction of Four Summertime Convective Events *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 52, 889–902, 2013.

## 四、結論

由六小時累積雨量預報結果顯示，同化水氣可有效改進雨帶位置及形狀的預報；在一小時快速更新同化循環實驗中，加入雷達觀測資料無降雨之判斷，也能有效降低水氣場過度預報的情況。

未來研究將針對水氣場同化之方法進行更深入研究，目前只粗略以回波及 LCL 來做為水氣飽和之判斷，現實大氣的複雜度當然遠超於此，如何更精緻地由回波，並配合模式初始猜測場所提供的模式變數，以導出有用的水氣資訊，進而強化水氣同化的效益，此為未來