

WRF模式降水預報影響因子之探討及評估

張美玉 陳柏榮
中央氣象局氣象資訊中心

摘 要

本研究將針對不同積雲參數化方法及不同資料同化策略此二影響因子，透過 WRF 模式 (中央氣象局現行作業區域預報模式之一) 數值模擬，進行約一個月之個案測試 (2008/06/01/00~2008/06/25/12 UTC)，探討使用不同積雲參數化方法及不同資料同化策略所產生之初始場對 WRF 模式降水預報之影響。由降水模擬結果發現 WRF 模式之積雲降水範圍及最大降水強度均大於非積雲降水。當模式水平解析度提高，積雲降水之平均總量比降低，非積雲降水平均總量比提高；而由水氣場分析可見，資料同化過程對低層之相對濕度場有偏乾之調整；GD scheme 之預報場經資料同化更新初始場過程後，在 925hpa 附近漸發展出一層近飽和層，其下層偏濕，上層偏乾，不利於中高層雲雨發展，因此降水預報趨弱。OKF scheme 由於低層並未發展成類似型態，水汽可上傳至高層，因此 OKF scheme 實驗組之非積雲降水較 GD scheme 為多。

一、前言

台灣位處東亞季風及颱風之影響地區，每逢梅雨及颱風季節，西南氣流及其伴隨之中尺度系統或颱風所引發之強降水事件，往往是各地釀災之主因。因此定量降水預報技術之提升乃氣象研究及作業單位長久以來研發及改進之要務。

數值模式之初始場乃影響數值模式預報結果之要素，而積雲參數化方則是數值模式中模擬大氣之成雲、降水及潛熱釋放等物理過程之主要機制之一。因此本研究將針對此二重要影響因子，利用 WRF 模式 (中央氣象局現行作業區域預報模式之一)，針對 2008 年 6 月，進行約一個月之個案模擬測試，探討在不同資料同化策略所產生之初始場及使用不同積雲參數化方法 - Old Kain-Fritsch scheme (Kain and Fritsch 1990, 1993；以下簡稱 OKF scheme) 及 Grell-Devenyi ensemble scheme (Grell and Devenyi, 2002；以下簡稱 GD scheme)，其對 WRF 模式降水預報之影響及效應；並評估在不同影響因子測試中，其降水預報之特性及表現。

二、模式概述及實驗設計

WRF 模式 (The Weather Research and Forecasting Model) 為美國 NCAR 發展之新一代中尺度動力模式，亦是中央氣象局目前所採用之區域預報作業模式之一。本研究之 WRF 模式採用

WRFV3.0.1.1 版本，其動力模組採 WRF-ARW；模式模擬區域包含三層巢狀網格(RC/MC/HC)，網格間距分別為 45km、15km、5km，各網域之垂直層數均為 45 層，網域分布如圖 1。模式在垂直方向採追隨地勢座標，模式之輻射、積雲、邊界層及微物理參數化方法見表 1。

為比較不同資料同化策略所產生之初始場及不同積雲參數化方法 (OKF & GD scheme) 對 WRF 模式降水預報之影響，本研究將進行八組不同之模擬測試；以相同動力模組、網域設定、輻射、邊界層、微物理參數化方法及兩種不同積雲參數化方法 (OKF & GD scheme) 之設定下，利用 NCEP (National Center for Environmental Prediction) 全球模式 (AVN) 初始場，經過四種不同資料同化策略 (見表 2) 所產生之 WRF 初始場，針對 2008 年 6 月 1 日至 6 月 25 日 (25 天)，進行每天兩次 (0000 UTC 和 1200 UTC)，每次 72 小時的預報模擬。

三、模擬結果與校驗評估

(1) 降水模擬結果與分析：

由圖 2 NOVAR-GD 組於實驗期間 0-12 小時預報時段之積雲及非積雲累積降水平均場分布發現，積雲降水分布之區域及降水最大強度均大於非積雲降水。

由表 3 八組實驗組 12 小時累積之積雲降水及非積雲降水占總降水量比率之平均值 (以下簡稱平均總量比) 可見，45 公里網域之積雲降水平均總量比約為

83%~87%，較 15 公里網域之總量比 68%~78%為高，當模式水平解析度提高，積雲降水之平均總量比降低，非積雲降水平均總量比提高；此外 GD scheme 之積雲降水平均總量比較 OKF scheme 為高，在 45 公里網域積雲降水之平均總量比約為 86%~88%，15 公里網域之平均總量比約為 75%~78%，而 OKF scheme 則分別為 83%~85%及 67%~71%。

不同的資料同化策略於不同積雲參數化方法之模式設定下所模擬之降水特性，亦有明顯的差異。對 GD scheme 而言，無論是 45 公里或 15 公里網域，4 組實驗組之平均積雲降水總量比為：
UP-GD>UPS-GD>VAR-GD>NOVAR-GD

即加入資料同化將使得模式降水預報之積雲降水比率增加，亦減弱其非積雲降水之比率；而較多次數地使用 WRF 模式預報場資料至下一個預報時間之資料同化則使此趨勢加劇。此外，對 OKF scheme 而言，則較無非常一致性的結果。

由表 4 各實驗組 4 時段(0-12,12-24,24-36,36-48)相對於 UP-GD 實驗組降水之平均百分比可見，不同的資料同化策略對 GD scheme 之降水預報有相當一致性的結果；即當 WRF 模式加入資料同化及較多次數地使用 WRF 模式預報場資料至下一個預報時間之資料同化，均將使得模式模擬之積雲降水及非積雲降水呈現減弱的趨勢，其中非積雲降水之減少率大於積雲降水減少率；當解析度增加亦會使程度加劇。比較 OKF scheme 之模擬結果則發現，當 WRF 模式只加入資料同化，模式模擬之積雲降水及非積雲降水均呈現減弱的趨勢；短期使用預報場資料更新初始場策略，模式之積雲降水及總降水均呈現減弱的趨勢，只有 45 公里網域之非積雲降水略增；當長期使用預報場資料更新初始場策略時，雖然 45 及 15 公里網域之總降水均減少，但 5 公里網域總降水及 45 公里網域之非積雲降水均略增。由表 4 之降水量分析亦發現，OKF scheme 之降水在 45 及 15 公里網域均大於 GD scheme；但在 5 公里網域卻小於 GD scheme。

(2) 定量降水預報校驗：

由圖 3 WRF 模式 45/15/5 公里網域各降水門檻之平均公正預兆得分(ETS, Equitable Threat Score,

Schaefer 1990)可見 GD scheme 在積分 12 小時有最佳 ETS 得分，此時在 45 及 15 公里網域以未加資料同化實驗組得分最佳，在 5 公里網域以只加資料同化實驗組得分最佳。在 24 及 36 小時預報校驗，未加資料同化實驗組和只加資料同化實驗組兩者得分接近，但當解析度提高，於 15 及 5 公里網域以加入資料同化實驗組得分略佳。短期使用預報場資料更新初始場策略實驗組之 ETS 得分較前二者為低，此外長期使用預報場資料更新初始場策略實驗組之 ETS 得分則除了在 5 公里網域之 36 小時及 48 小時校驗及 45 公里網域 48 小時校驗得分略佳外，其餘校驗得分均為四組中最低。

比較 OKF scheme 之平均公正預兆得分(ETS)可見 OKF scheme 在積分 24 小時有最佳 ETS 得分，此時在 45/15/5 公里網域均以只加資料同化實驗組得分最佳；在 36 小時預報校驗，未加資料同化實驗組得分最佳；短期使用預報場資料更新初始場策略實驗組在積分 12 小時有最佳 ETS 得分；此外長期使用預報場資料更新初始場策略實驗組之 ETS 得分，除了在 5 公里及 45 公里網域 48 小時校驗得分略佳外，其餘校驗得分亦均為 OKF scheme 四實驗組中最低。整體而言，OKF scheme 之平均公正預兆得分略高於 GD scheme。
(3)水氣場分析：

由圖 4 實驗期間 (2008/06/01/00~2008/06/25/12 UTC) 8 組實驗組之 850 hpa 平均相對濕度初始場與 NCEP 全球模式平均分析場比較可見 NOVAR-GD 及 NOVAR-OKF 實驗組之 850 hpa 相對濕度初始場大於其它各組。當 WRF 模式經資料同化過程後，其相對濕度較未作資料同化組為乾；而使用愈長期預報場資料更新初始場策略，模式之 850 hpa 相對濕度初始場愈乾，此與積雲降水及總降水減弱趨勢呈正相關。

由圖 5 實驗期間 (2008/06/01/00~2008/06/25/12 UTC) RC 網域 8 組實驗組之平均相對濕度初始場(於 IY=53 格點)剖面圖則進一步發現，經過資料同化過程，低層之相對濕度有作偏乾之調整；而 GD scheme 經預報場資料更新初始場過程之實驗組，在 925hpa 附近漸發展出一層近飽和層，其下偏濕，其上層偏乾，將不利於深對流發展；而長期使用預報場資料更新初始場策略之實驗組，此狀況更為明顯，由於水氣侷限

於低層，深對流不易發展，因此降水明顯偏少。比較 OKF scheme 之實驗組則發現，雖然資料同化策略對水汽有偏乾之修正，而短期使用預報場資料更新初始場進行資料同化策略之實驗組，其低層水汽亦偏乾，但由於其並未在低層形成一層近飽和層，水汽可上傳至高層；由長期使用預報場資料更新初始場策略之實驗組初始場發現其上層水汽偏多，有利於中高層雲雨之發展，因此 OKF scheme 實驗組之非積雲降水遠較 GD scheme 為多。

四、結論

由降水模擬結果發現 WRF 模式之積雲降水分布及降水最大強度均大於非積雲降水。當模式水平解析度提高，積雲降水之平均總量比降低，非積雲降水平均總量比提高；此外 GD scheme 之積雲降水平均總量比較 OKF scheme 為高；亦即 OKF scheme 之非積雲降水之降水總量比較高。

由降水量之診斷分析發現 GD scheme 實驗組之降水預報由大而小為 NOVAR-GD>VAR-GD>UPS-GD>UP-GD；即當 WRF 模式加入資料同化及較多次數地使用 WRF 模式預報場資料至下一個預報時間之資料同化，將使得模式模擬之積雲降水及非積雲降水呈現減弱的趨勢。而 OKF scheme 之長期預報場資料更新初始場策略則使 5 公里網域總降水及 45 公里網域之非積雲降水均略增。由降水量分析發現，OKF scheme 之降水在 45 及 15 公里網域均大於 GD scheme；但在 5 公里網域卻小於 GD scheme。

GD scheme 在積分 12 小時有最佳 ETS 得分，其 45 及 15 公里網域以未加資料同化實驗組得分最佳，5 公里網域則以只加資料同化實驗組得分最佳。OKF scheme 在積分 24 小時有最佳 ETS 得分，其 45/15/5 公里網域均以只加資料同化實驗組得分最佳。

由水氣場分析可見，經資料同化過程，低層之相對濕度有作偏乾之調整；GD scheme 經預報場資料更新初始場過程之實驗組，在 925hpa 附近漸發展出一層近飽和層，其下偏濕，其上層偏乾，將不利於深對流發展，因此降水漸少。OKF scheme 由於低層並未形成一層近飽和層，水汽可上傳至高層，有利於中高層雲

雨之發展，因此 OKF scheme 實驗組之非積雲降水遠較 GD scheme 為多。

參考文獻

- Grell, G. A., and D. Devenyi, 2002: A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophys. Res. Lett.*, 29(14), Article 1693.
- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1990: A one-dimensional entraining/ detraining plume model and its application in convective parameterization, *J. Atmos. Sci.*, 47, 2784–2802.
- Kain, J. S., and J. M. Fritsch, 1993: Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme, *The representation of cumulus convection in numerical models*, K. A. Emanuel and D.J. Raymond, Eds., Amer. Meteor. Soc., 246 pp.
- Schaefer, J.T., 1990: The critical success index as an indicator of warning skill. *Wea. Forecasting*, 5, 570-575.

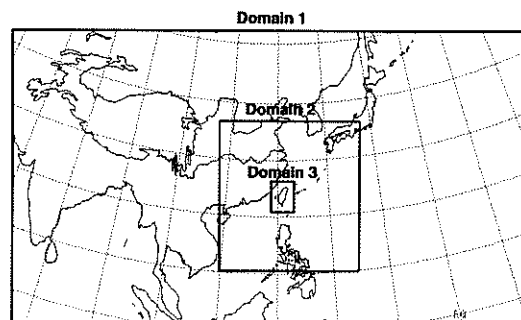


圖 1 WRF 模式網格設計。

WRF 預報模式	
架構	垂直 45 層差分模式
	解析度 45 km / 15 km / 5 km WRF-ARW 動力模組
物理	積雲參數法： Grell-Devenyi ensemble scheme old Kain-Fritsch scheme
	邊界層參數法：YSU scheme
	地表參數法：Noah LSM
	輻射參數法 短波輻射：Goddard short wave scheme 長波輻射：RRTM scheme
	微物理參數法： Goddard 3-ice graupel scheme

表 1 WRF 模式架構及物理參數法

組別	說明
NOVAR-GD	GD scheme，無資料同化
NOVAR-OKF	OKF scheme，無資料同化
VAR-GD	GD scheme，經資料同化
VAR-OKF	OKF scheme，經資料同化
UPS-GD	GD scheme，經資料同化及 short update cycle(2 次 6 小時 update cycle)
UPS-OKF	OKF scheme，經資料同化及 short update cycle(2 次 6 小時 update cycle)
UP-GD	GD scheme，經資料同化及 full update cycle
UP-OKF	OKF scheme，經資料同化及 full update cycle

表 2 實驗設計說明

圖 2 NOVAR-GD 組於實驗期間 0-12 小時預報時段，

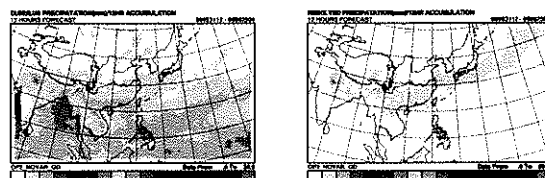
- (a) 積雲降水 12 小時之平均累積場
- (b) 非積雲降水 12 小時平均累積場

組別	Domain - 1		Domain - 2	
	RAIN-C	RAIN-NC	RAIN-C	RAIN-NC
NOVAR-GD	86.5	13.5	75.4	24.7
VAR-GD	86.6	13.4	76.1	23.9
UPS-GD	86.9	13.1	76.3	23.7
UP-GD	88.3	11.7	78.5	21.5
NOVAR-OKF	84.8	15.2	69.1	30.9
VAR-OKF	85.0	15.0	68.7	31.3
UPS-OKF	84.5	15.5	68.1	31.9
UP-OKF	83.9	16.1	70.1	29.9

表 3 八組實驗組 4 時段(0-12,12-24,24-36,36-48)之 12 小時累積積雲降水(RAIN-C)及非積雲降水(RAIN-NC)占總降水量比率之平均值

組別	RC			MC			HC
	RAIN-T	RAIN-C	RAIN-NC	RAIN-T	RAIN-C	RAIN-NC	RAIN-T
NOVAR-GD	119.3	116.9	137.3	132.9	127.7	151.9	163.3
VAR-GD	116.2	113.9	132.7	125.5	121.8	138.8	147.0
UPS-GD	114.3	112.4	128.1	121.8	118.4	134.2	134.2
UP-GD	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
NOVAR-OKF	137.0	131.6	177.3	134.1	118.5	190.8	133.5
VAR-OKF	133.4	128.5	171.0	130.0	114.1	187.8	119.4
UPS-OKF	132.0	126.2	175.4	126.1	109.5	186.7	109.7
UP-OKF	131.8	125.1	182.0	123.8	110.5	172.3	112.0

表 4 各實驗組 4 時段(0-12,12-24,24-36,36-48) 相對於 UP-GD 實驗組降水之平均百分比。其中 RAIN-C、RAIN-NC、RAIN-T 分別為 12 小時累積積雲降水、非積雲降水及總降水相對於 UP-GD 實驗組降水之平均百分比。



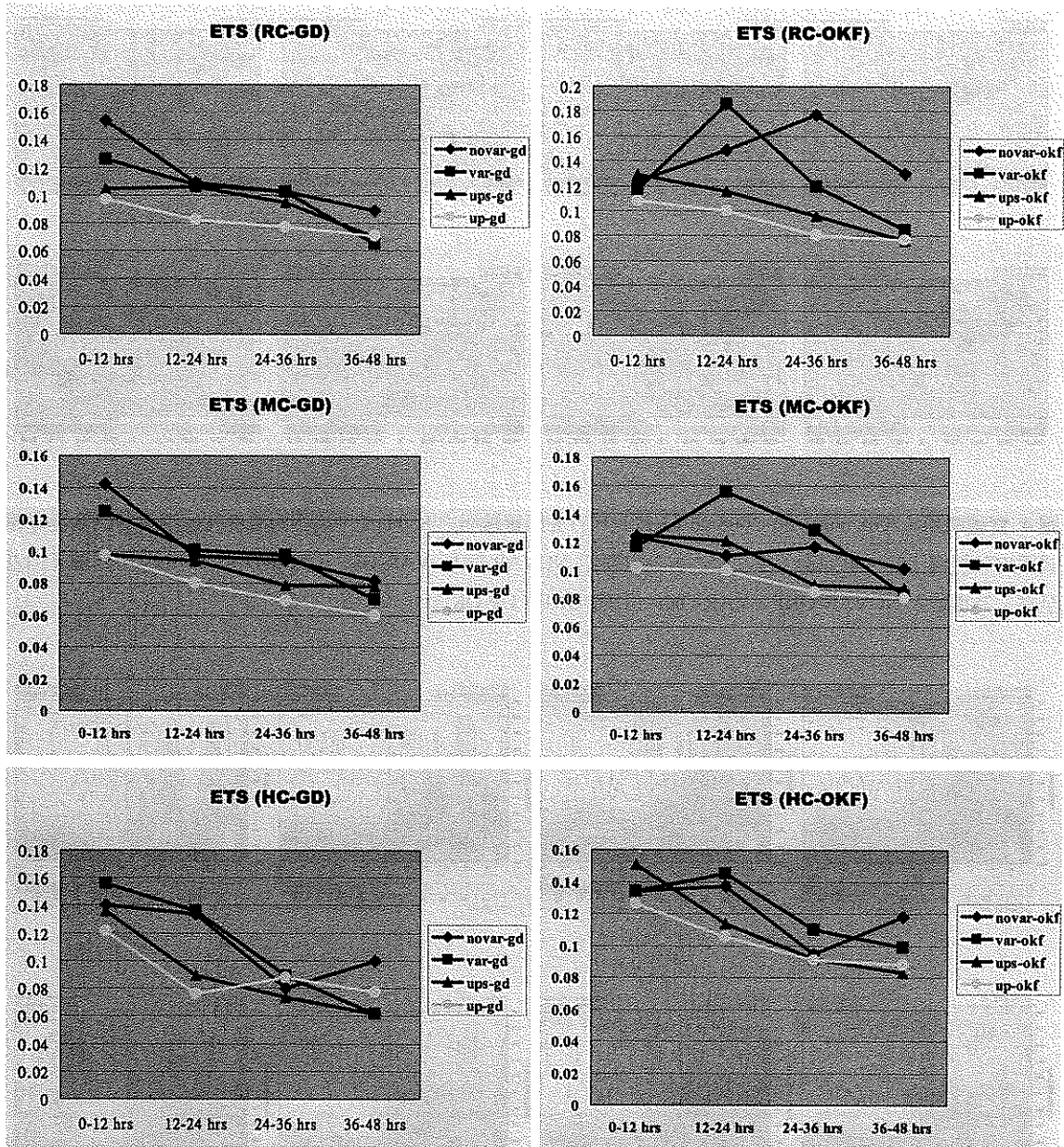


圖 3 WRF 模式 RC/MC/HC 網域各降水門檻之平均公正預兆得分(ETS, Equitable Threat Score, Schaefer 1990)

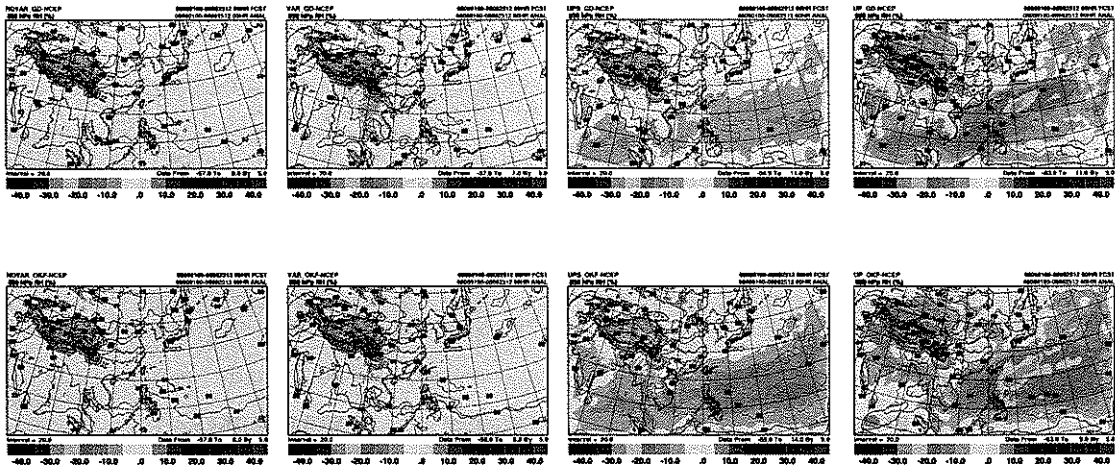


圖 4 實驗期間 (2008/06/01/00~2008/06/25/12 UTC) 8 組實驗組之 850 hpa 平均相對濕度初始場與 NCEP 全球模式平均分析場比較。上列圖 (由左至右) 為實驗組 NOVAR-GD、VAR-GD、UPS-GD、UP-GD；下列圖 (由左至右) 為實驗組 NOVAR-OKF、VAR-OKF、UPS-OKF、UP-OKF。

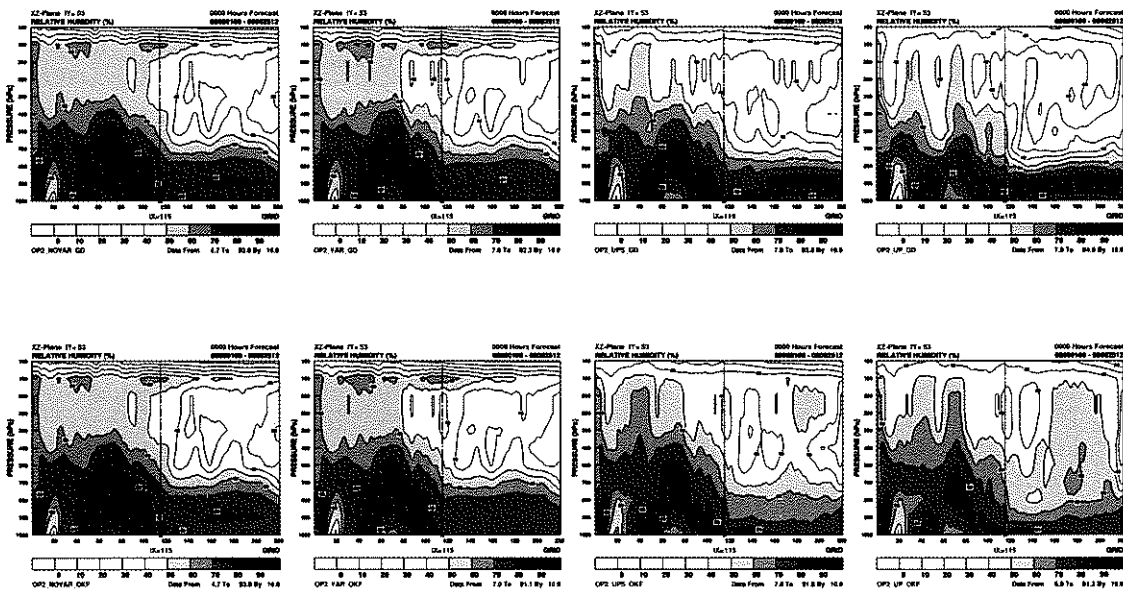


圖 5 實驗期間 (2008/06/01/00~2008/06/25/12 UTC) RC 網域 8 組實驗組之平均相對濕度初始場 (於 IY=53 格點) 剖面圖。上列圖 (由左至右) 為實驗組 NOVAR-GD、VAR-GD、UPS-GD、UP-GD；下列圖 (由左至右) 為實驗組 NOVAR-OKF、VAR-OKF、UPS-OKF、UP-OKF。