

# WRF 模式 Goddard 和 WSM6 微物理參數法之評估

戴俐卉 洪景山 馮欽賜  
氣象資訊中心  
中央氣象局

## 摘要

微物理參數法是高解析度模式定量降水預報最重要的參數法。WRF模式在微物理參數法上提供了多項選擇，可以讓使用者在執行預報時方便地切換組合。但在模式實際預報過程中，各項物理參數法會透過直接、間接的關係在時間積分的交疊作用下與地形、邊界產生複雜的交互作用，讓模式過程更形複雜。本研究利用WRF模式之理想化超大胞個案的模擬，探討高解析度下不同微物理參數法的影響與差異。就本局作業之Goddard微物理參數法和同為單矩(One-Moment)、5種水相粒子(雲水、雲冰、雨、雪及軟雹)之WRF-Single-Moment 6-Class總體(Bulk)微物理參數法進行比較，以對其表現特性進行分析與了解。研究顯示，WRF-Single-Moment 6-Class微物理參數法模擬超大胞過程會產生較強的降水與冷池，Goddard 微物理參數法產生的下沖流及冷池不若前者強，降水也相對較弱，分布範圍較小，但Goddard方法在積分時間過程中傾向製造較WSM6多的軟雹，會導致中層強回波，此降水不足、範圍偏小以及中層強回波的現象亦出現在幾個台灣地區實際降雨個案中。敏感度測試上，選擇軟雹(graupe)與冰雹(hail)此二種不同相態會為模擬帶來明顯的差異表現。

關鍵字：微物理參數法

## 一、前言

目前數值模式中的降水主要來自於積雲參數法與微物理參數法，而隨著模式解析度的增加，微物理參數法對於降水的模擬會益顯重要。中央氣象局的區域作業預報模式WRFV3.3.1版本中即提供了13種微物理參數法可供選擇。近年來有許多的研究在探討不同微物理參數法對台灣地區劇烈降水個案比較，以求瞭解不同微物理參數法針對實際個案預報時的差異及特性以及其預報效能。不過由於模式在實際預報過程中，各項物理參數法會透過直接、間接的關係在時間積分的交疊作用下產生複雜的影響，讓釐清模式中參數法的影響變得相對困難與複雜，因此本研究嘗試透過WRF模式中提供的理想化三度空間超大胞的模擬，探討兩個同樣單矩(One-Moment)、五種水相粒子(雲水、雲冰、雨、雪、軟雹)的微物理參數法：Goddard Bulk Microphysics Scheme(簡稱GODD)以及WRF-Single-Moment 6-Class(簡稱WSM6)在相同控制的動力與熱力環境條件下模擬超大胞系統的行為差異特性及原因。期待能透過此一系列相關實驗，更加了解在高解析度模式範圍下此兩種微物理參數法在理想狀態下的預報特性，為氣象局之下一代高解析度模式在微物理參數法的選擇上提供較佳的參考。

## 二、模式描述

### (一)微物理參數法

本實驗所使用的兩個微物理參數法，都同為單矩(One-Moment)、五個水相(雲水、雲冰、雨、雪和軟雹)的Bulk微物理參數法。兩個參數法和多數Bulk Scheme相同，其基本原理同樣都依據Rutledge and Hobbs(1984)以及Lin et al.(1983)，不過各自都經過不同的修正：GODD應用於McCumber et al. (1991)可以自行手動切換選擇軟雹(graupe)或冰雹(hail)做為第五種水相粒子。另外，在傳統的飽和調整方法(例如，Soong and Ogura, 1973; Klemp and Wilhelmson, 1978; Cotton and Tripoli, 1978; Clark, 1979; Lin et al., 1983)基礎下加入了多項修正方案，例如以質量加權混和計算冰水飽和分布以及在過飽和(未飽和)條件下，凝結(蒸發)和沉積(昇華)過程與溫度線性相關...等(Tao et al., 1989)。此外，確保所有不涉及溶化、蒸發或昇華的微物理過程都使用相同的熱力狀態計算。最後，調整所有的水相收支，使在計算中維持平衡。WSM6以Purdue-Lin基準加入了修正的冰態微物理過程，最顯著的修正為(1)假設冰核數濃度為溫度的函數；(2)假設冰晶數濃度是冰量的函數以及(3)雲冰沉降處理，並且使用與Tao et al.(2003a)相同的飽和調整以及分開處理冰及水的飽和過程，使其更貼近實際的雲冰組成(Hong and Lim,2006)。

### (二)三度空間超大胞理想化個案

WRF模式所提供的三度空間理想化超大胞個案，是在無地形單純的環境下，忽略地表通量、摩擦效應及輻射等各項物理參數法，僅使用微物理參數法以使其效應可以較清楚的被獨立出來。此一理想化個案使用一度空間的溫度及風分布作為初始及邊界條件，探空是用Weisman and Klemp(1982)劇烈風暴的樣本探空，其具有 $2200 \text{ J kg}^{-1}$ 的對流可用位能(CAPE)以及自 $850\text{hPa}$ 至高對流層的足夠濕度條件。垂直風切使用一個製造典型超大胞常用之 $1/4$ 圓的風徑分布(Weisman and Klemp,1982)，並放置一初始值為 $3\text{K}$ 的溫度熱胞於模式積分範圍的中央，作為發展初期上沖流及激發對流的條件。此外，模式的解析度設定為水平 $2\text{公里}$ 、垂直 $500\text{公尺}$ ，積分範圍水平方向有 $200\text{公里}$ 、垂直 $20\text{公里}$ 高，積分+預報 $2\text{小時}$ 。

### 三、實驗結果

兩個不同的微物理參數法之3度空間超大胞的模擬結果，前 $30\text{分鐘}$ 在相同環境的探空、風切及熱力條件主導之下結果皆十分接近，預報第 $15\text{分鐘}$ 的輸出開始看到降水現象，兩參數法的差距在 $30\text{分鐘}$ 後逐漸顯現並隨時間益見明顯。圖1-4為此兩種微物理參數法在不同高度上之水平位溫及氣壓分布隨時間的發展。由低層 $750\text{公尺}$ (圖1-2)可以看到WSM6有更為低且廣泛的位溫分布，尤其在 $t=60\text{分鐘}$ (圖2c)兩胞開始分裂之後，低位溫區較為集中在兩個分裂胞之間，而在GODD中，低位溫區則較為集中在分裂胞之後緣(圖1c)。兩組個案模擬中的分裂胞都有典型右胞較強的趨勢。不過GODD個案中，分裂胞之低壓都比WSM6個案強。推測WSM6兩胞間的下沖流傾向減弱中心低壓及將分裂胞往外推，而GODD個案中在後緣發展的下沖流則相對較能融合加強前緣的對流胞。中層( $4000\text{公尺}$ ，圖3-4)及高層( $9000\text{公尺}$ ，未放圖)的水平分布差異則不若低層明顯，此結果與Hugh Morrison and Jason Milbrandt (2011)利用不同參數法進行理想化超大胞的模擬相仿。圖3-4仍可看出發展後期有些二次的小胞環流在兩組個案左胞的前緣產生(圖3d與圖4d)，且以WSM6較明顯。此外，GODD對流胞分裂後具有較強的中層暖心(圖3c與d)，對照GODD個案具較深的分裂胞低壓結構。圖5為最大回波的水平分布圖。由圖中可見GODD個案回波大於 $40\text{dBz}$ 的分布範圍自 $t=45\text{分}$ (圖5(1)a)起都明顯大於WSM6個案(圖5(2)a)。此一分布可能與GODD中層有較多的軟雹水相粒子有關(圖8)。但冷池(位溫差距大於 $-2\text{K}$ )的範圍在GODD個案中則明顯小於WSM6，出現的時間也較晚，與圖1-2低溫分布區相符。地面冷池的強度會連帶影響兩個分裂胞以及次對流的發展與移動，而冷池的低位溫是來自高層較冷空氣被下沖流帶下，也因此可以推測WSM6會有

較強的下沉運動。此外，為了瞭解水相粒子的敏感度，亦將GODD參數法之第5種水相由軟雹(graupe)切換為冰雹(hail)進行此一超大胞模擬試驗。其結果如圖5(3)所示，超大胞之最大回波分布、強度發展以及冷池分布範圍都與以軟雹作為第5種水相粒子的兩個微物理參數法差距甚大，以冰雹模擬的個案傾向製造出更大的回波強度以及更強、範圍分布更廣大的冷池區，且強回波更為集中分布在冷池前緣，次對流胞亦沿著此區於分裂胞的內側增生，呈現線狀分布的對流排列。顯示參數法中的第5種水相粒子具有相當大的敏感度。檢視超大胞的A1、A2垂直剖面回波(圖6-7)亦可以發現，WSM6較早開始有兩胞分離的情形，而GODD分裂胞在高層的回波發展較WSM6來的強及滯留。而在B1、B2此一長軸上的垂直回波剖面圖也可以看到超大胞的發展中，WSM6方案的大回波比GODD方案更早接觸地面，而GODD的大回波高度都比WSM6來的高一些。圖8之a、b與c、d分別為 $t=60$ 及 $t=120\text{分鐘}$ 時兩個參數法之各水相粒子平均密度的垂直分布圖。圖中可以看出，GODD在積分過程中其中層都一直有明顯較多的軟雹，這反應在GODD會有較多的大回波值，而雪粒子的分布則以WSM6的發展深度較廣，垂直從第5層到第30層都有，GODD的雪相粒子則存在第6~22層之間。雪粒子因為有較軟雹慢的掉落速度，因此其對融化降溫的影響會較大，但是否能解釋WSM6較為廣大範圍的冷池來源，仍需更多證據佐證。利用不同微物理參數法模擬統計超大胞個案隨時間發展的冷池與雨量變化來看(圖9)，WSM6具有大範圍的降雨面積及較強的降水，GODD的降雨無論面積與強度都沒有WSM6來的多，而冷池的發展也相同，都是以WSM6較強較大。若將GODD第五種水相粒子換成冰雹，則可看到無論是降雨量、冷池強度和冷池面積都會變成是三者中之最大者，但是其降雨面積則仍舊較WSM6少得多，與原GODD的降雨面積差不多，顯示雖然降水變強，但因為降雨集中，所以累積的降水區並沒有增加太多。

### 四、結論

本研究利用WRF模式中的兩個物理參數法WSM6與GODD來模擬一個三度空間理想化超大胞個案，期待能在不受其他物理參數法及複雜地形影響下，了解兩個微物理參數法的差異特性。由本研究結果發現，兩個使用相同5種水相粒子的單純總體(Bulk)微物理參數法其結果甚為相近，前 $30\text{分鐘}$ 主要受到相同環境的探空、風切及初始溫度差異所主導，兩者差異甚微。接著降水過程變得重要，不同微物理參數法開始產生模擬風暴上的差異

特性。WSM6和GODD相較，前者容易有較大的降水以及較強的冷池發展。雖然GODD在水相粒子分布上有較多的軟雹，但顯然WSM6能較有效率的降水，而GODD在中高層大量的軟雹，則反映在較大的雷達回波上。另外，在GODD方案中將軟雹切換為冰雹的測試實驗，會產生極大的降水、回波以及既強又廣範的冷池範圍，但降水區域集中，其超大胞的發展及結構差異都比前述兩個使用軟雹的微物理參數法來得大，顯示出水相粒子軟雹和冰雹具有很大的敏感度。本研究旨在了解WSM6與GODD參數法之差異特性，並期待能透過理想化個案的模擬與測試，了解這些差異特性的原因與調整之可能性。但微物理參數化過程是很複雜且龐大的非線性計算，如何將測試結果應用到實際個案中仍待更多研究與測試努力。

## 五、參考文獻

- Hong, S.-Y., and J.-O. J. Lim, 2006: The WRF single-moment 6-class microphysics scheme (WSM6). *J. Korean Meteor. Soc.*, 42, 129–151.
- Morrison, H., and J. Milbrandt, 2011: Comparison of two-moment bulk microphysics schemes in idealized supercell thunderstorm simulations. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1103–1130.
- Tao, Wei-Kuo, Joanne Simpson, Michael McCumber, 1989: An Ice–Water Saturation Adjustment. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 231–235
- Weisman, M.L., and R. Rotunno, 2000: The use of vertical wind shear versus helicity in interpreting supercell dynamics. *J. Atmos. Sci.*, 57, 1452–1472.

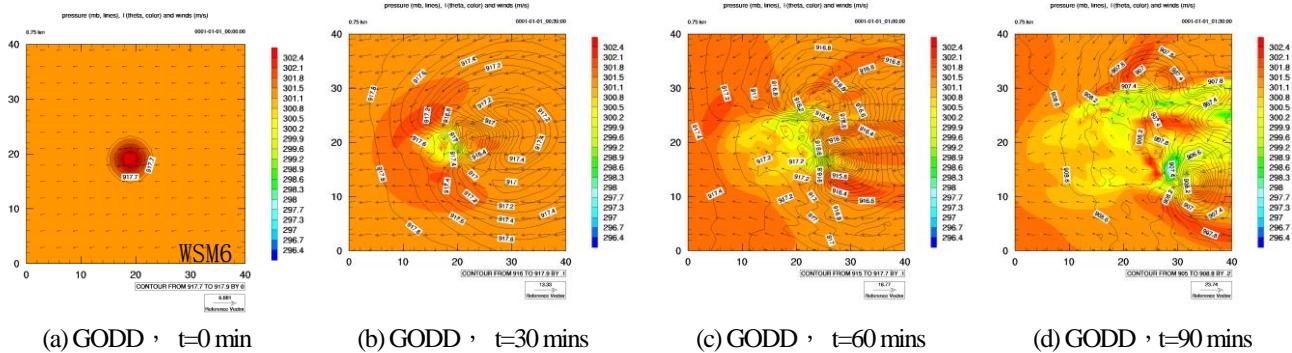


圖1：GODD 微物理參數法在 750 公尺上之水平位溫及氣壓分布隨時間的發展，其中(a) t=0mins; (b) t=30mins;(c) t=60mins; (d) t=90mins

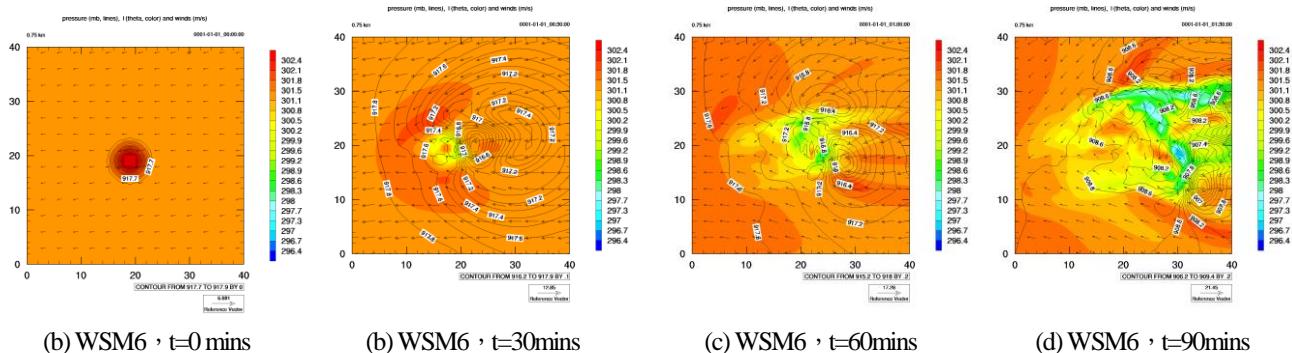


圖2：WSM6 微物理參數法在 750 公尺上之水平位溫及氣壓分布隨時間的發展，其中(a) t=0mins; (b) t=30mins;(c) t=60mins; (d) t=90mins

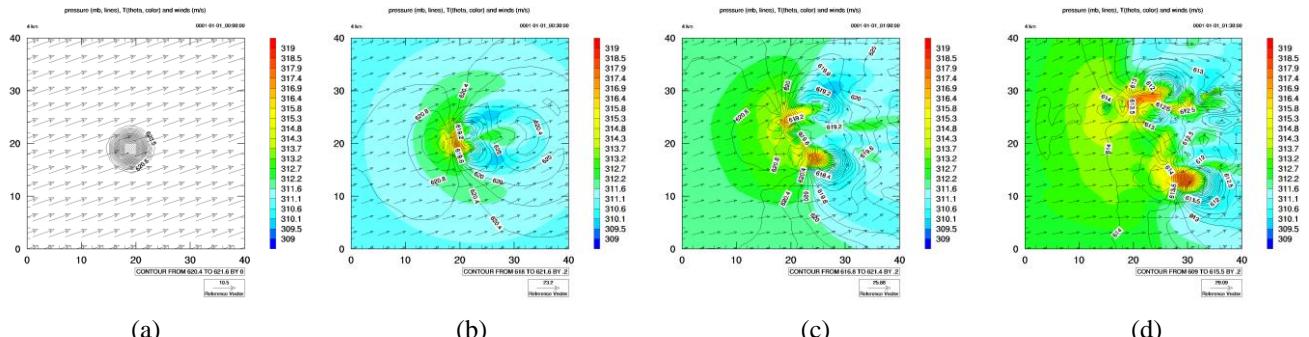


圖 3：GODD 微物理參數法在 4000 公尺上之水平位溫及氣壓分布隨時間的發展，其中(a)  $t=0\text{mins}$ ; (b)  $t=30\text{mins}$ ; (c)  $t=60\text{mins}$ ; (d)  $t=90\text{mins}$

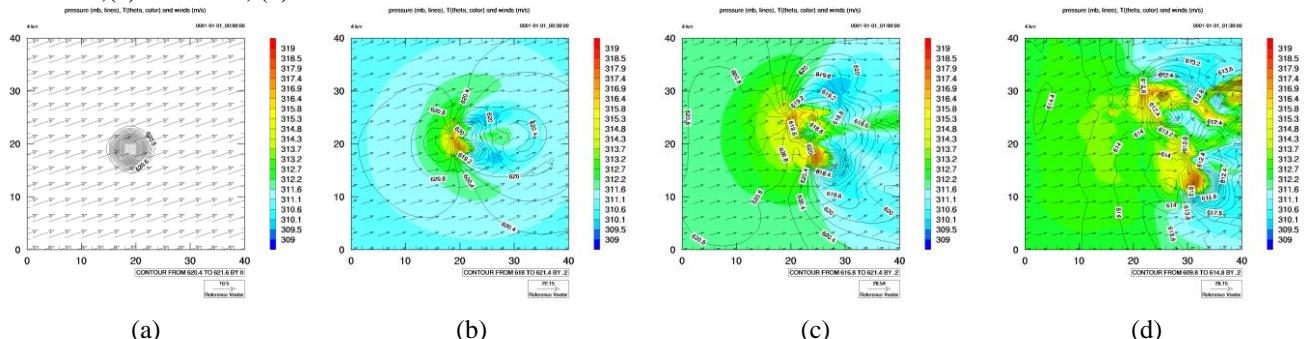


圖 4：WSM6 微物理參數法在 4000 公尺上之水平位溫及氣壓分布隨時間的發展，其中(a)  $t=0\text{mins}$ ; (b)  $t=30\text{mins}$ ; (c)  $t=60\text{mins}$ ; (d)  $t=90\text{mins}$

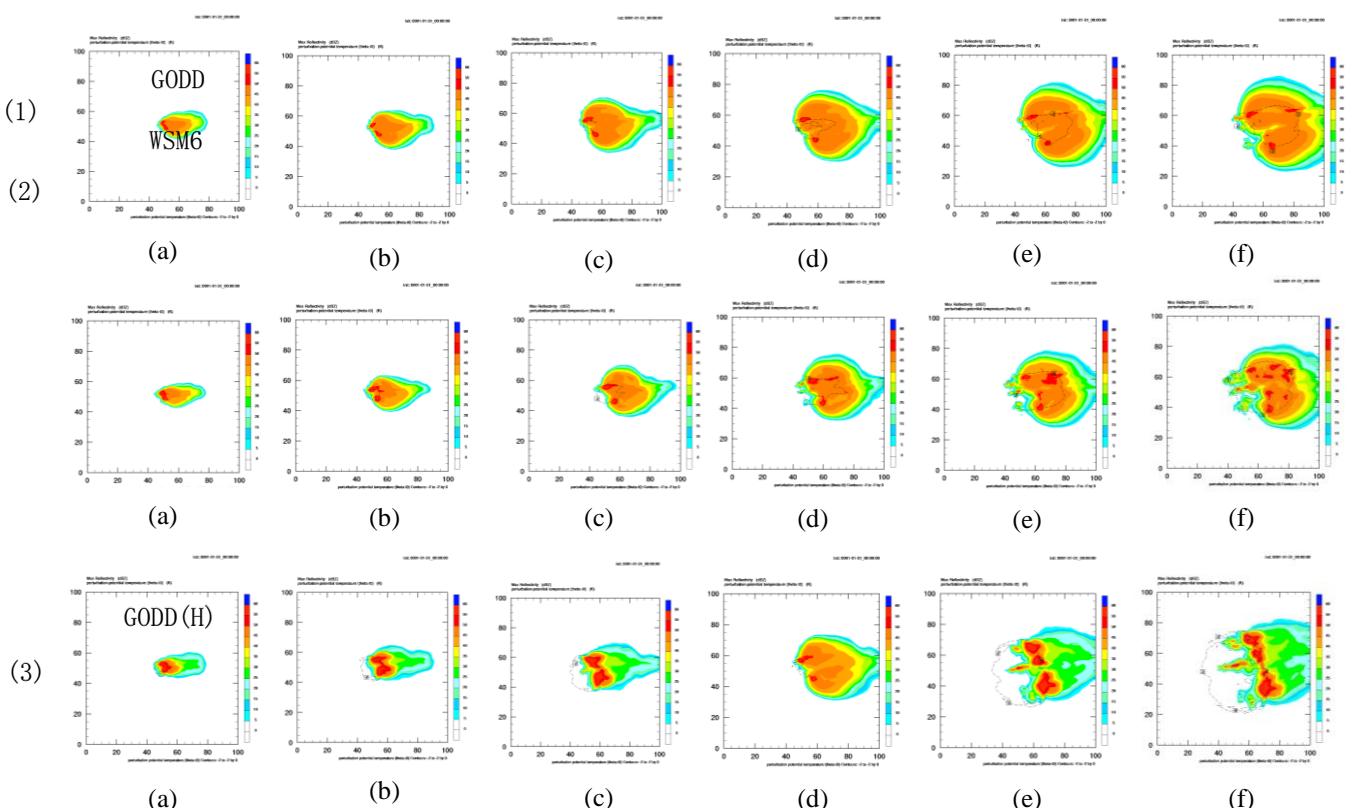


圖 5：最大雷達回波與地面冷池(位溫差距大於  $-2^\circ\text{ K}$ )位置之水平分布圖，其中(1)為 GODD 微物理參數法；(2)為 WSM6；(3)為使用 HAIL 取代 GRAUPEL 的 GODD 微物理參數法；(a)  $t=45\text{ min}$ ；(b)  $t=60\text{ min}$ ；(c)  $t=75\text{ min}$ ；(d)  $t=90\text{ min}$ ；(e)  $t=105\text{ min}$ ；(f)  $t=120\text{ min}$

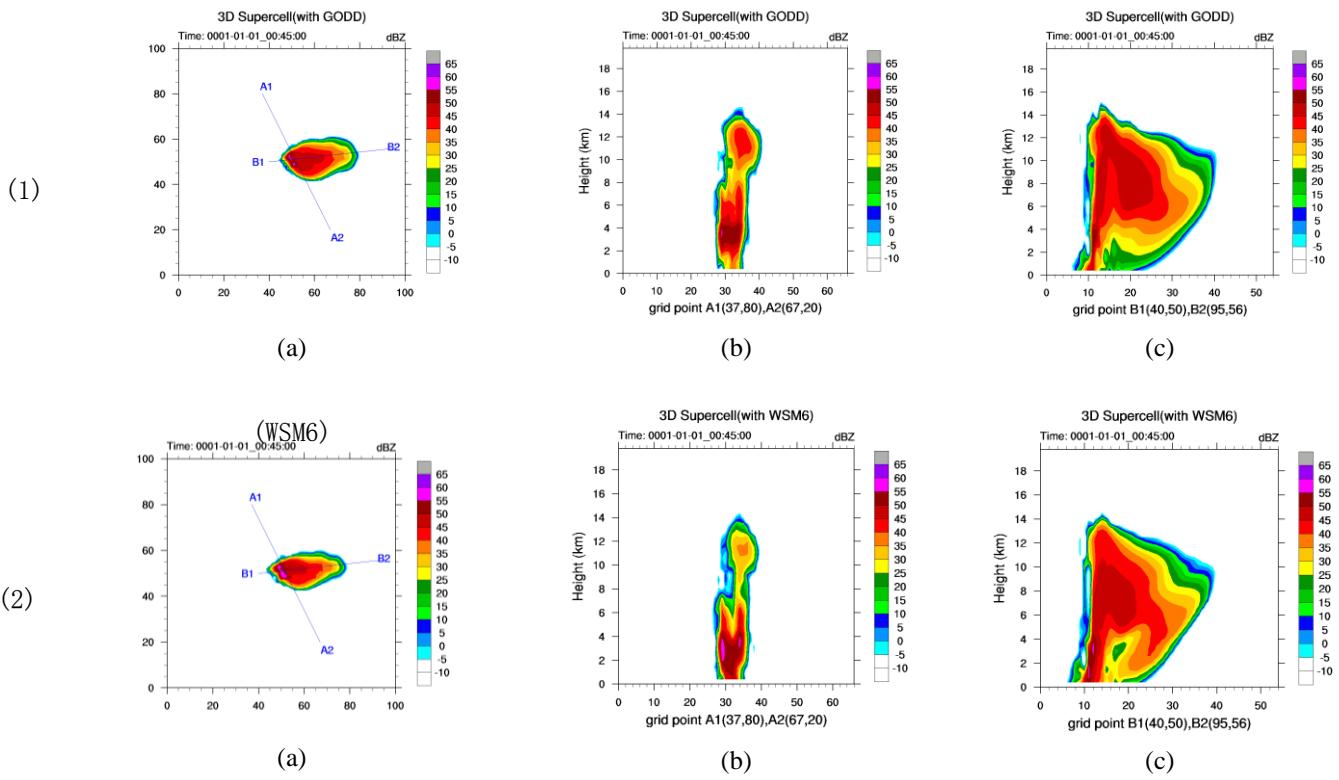


圖 6：模擬於  $t=45$  分鐘之(1)GODD 以及(2)WSM6 之(a)水平回波以及(b)A1A2 剖面與(c)B1B2 剖面之回波垂直結構分布。

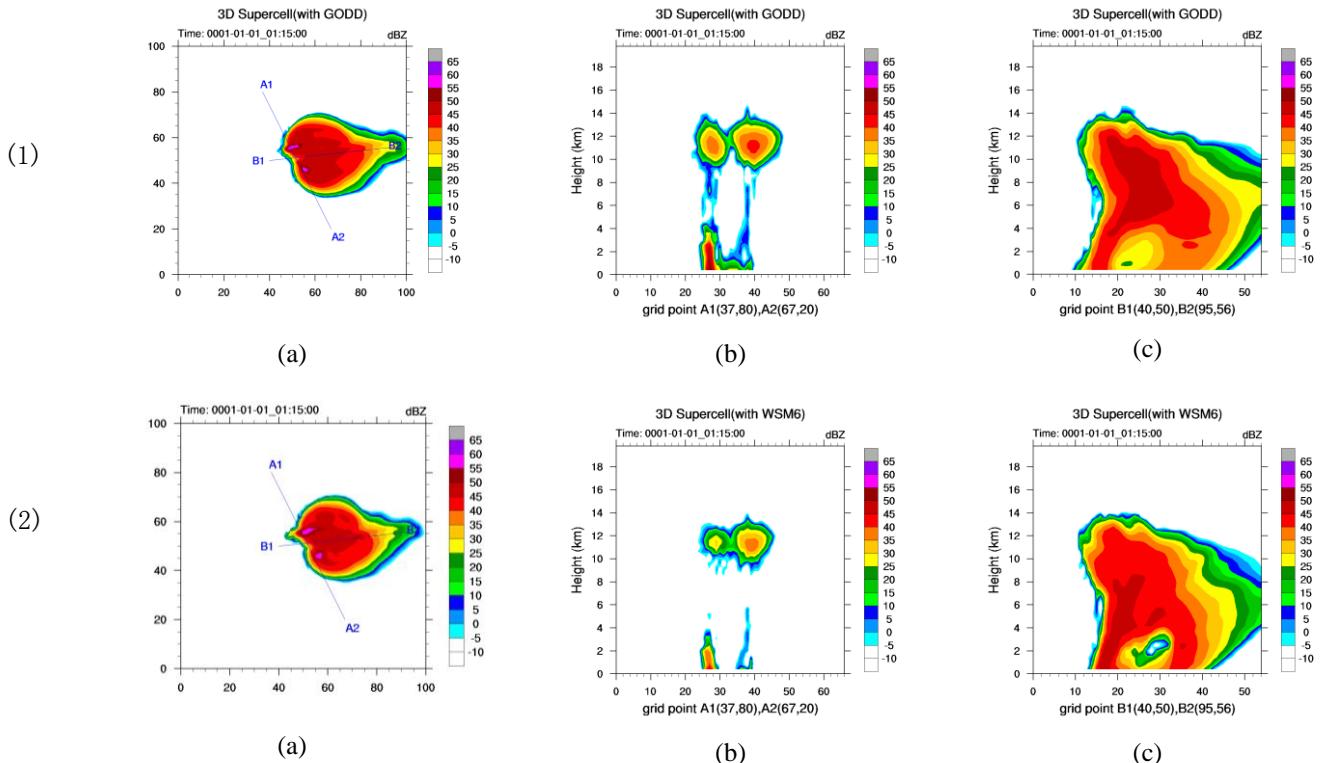


圖 7：模擬於  $t=75$  分鐘之 GODD(1)以及 WSM6(2)之(a)水平回波以及(b)A1A2 剖面與(c)B1B2 剖面之回波垂直結構分布。

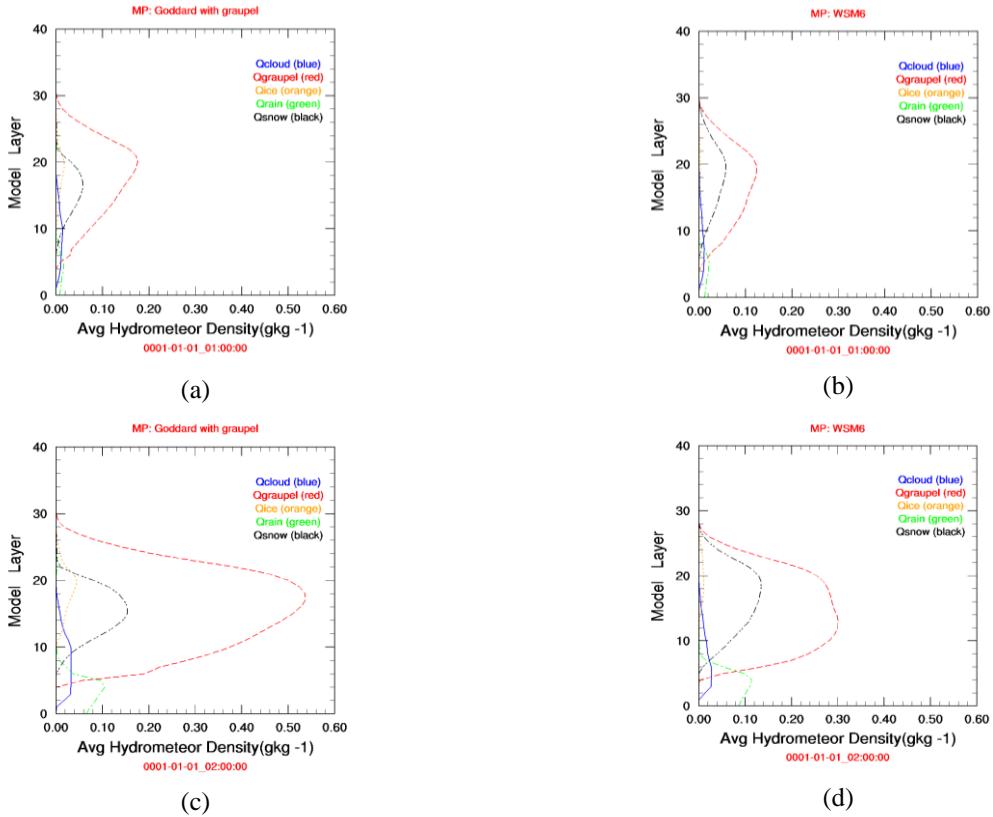


圖 8：不同物理參數法的各水相在垂直方向上的平均濃度變化，(a)  $t=60\text{min}$  時之 GODD 參數法；(b)  $t=60\text{min}$  時之 WSM6 參數法；(c)  $t=120\text{min}$  時之 GODD 參數法；(d)  $t=120\text{min}$  時之 WSM6 參數法；

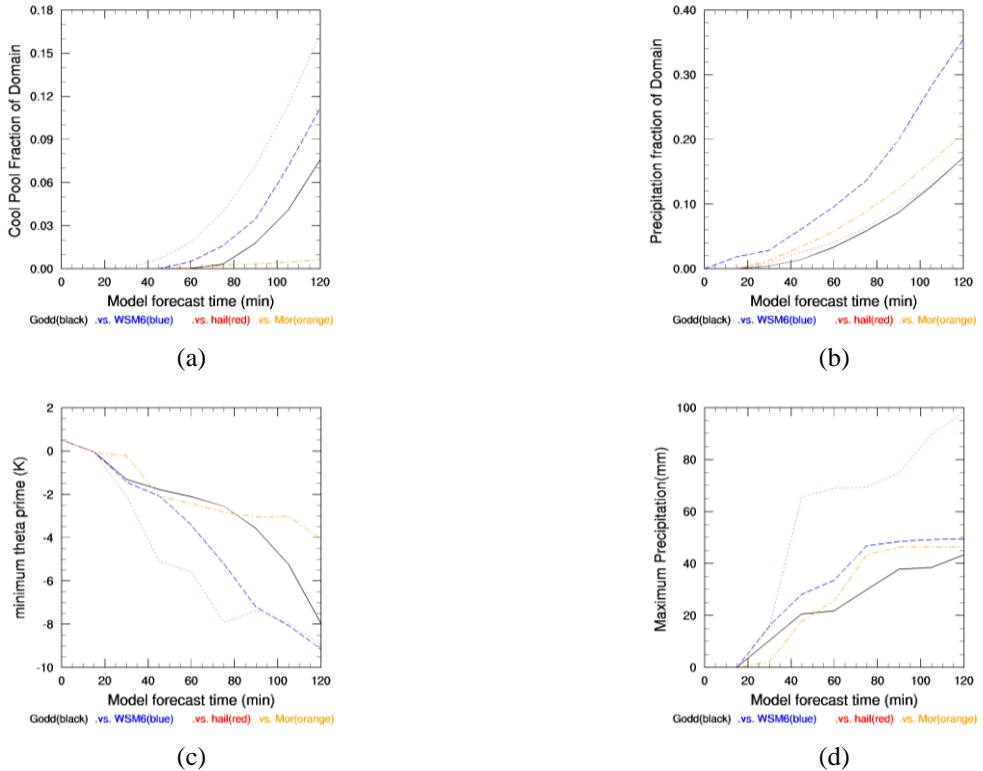


圖 9：不同物理參數法隨預報時間之積分範圍下(a)冷池比率；(b)降水比率；(c)最小位溫差；以及(d)最大降雨量。