

# 梅雨鋒面數值模擬降水參數方法之敏感度研究

楊明仁<sup>1</sup> 簡芳菁<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中央氣象局 氣象科技研究中心

<sup>2</sup>臺灣師範大學 地球科學系

爲了增進對於梅雨鋒面降水現象的了解與預報，本研究引用高解析度非靜力 MM5 數值模式針對 1998 年 6 月 4 日的梅雨鋒面個案進行數值模擬實驗，以探討數值模式所使用之降水參數方法對於降水分佈與降水總量預報的敏感度。研究發現，模式所用之次網格降水的積雲參數方法，明顯影響到模式預報降水的分佈及其總量；在 45 公里 MM5 與 15 公里 MM5 網域上，Grell 積雲參數方法都提供最好的降水分佈及降水總量的預報。就雲微物理參數方法而言，在 45 公里 MM5 與 15 公里 MM5 網域上，詳細的冰態物理參數方法，並未顯著影響到模式預報降水的分佈。然而，考慮軟雹的冰態物理，可增加降水總量的 30%，而且較接近實際觀測降水。

## 一、前言

梅雨鋒面降水現象及其伴隨的物理過程於本質上極爲複雜，其涵蓋著不同尺度（大尺度、綜觀尺度、中尺度、及對流小尺度）間的交互作用。梅雨鋒面伴隨之豪大雨影響民眾日常生活及社會經濟活動甚巨，如今（1998）年 6 月上旬連續 10 日的梅雨滯留鋒面豪大雨，造成雲林、彰化、台南、高雄等縣嚴重災情，南投縣信義鄉發生土石流，南科學園區淹水，農業損失高達 10 億以上。因此妥善應用數值模式，提供準確及時的「定量降水預報」，減少梅雨鋒面豪大雨帶來的損失，應爲從事梅雨研究者的共同心願。

一般數值模式的預報降水，主要透過兩種物理參數方法產生：網格尺度(explicit scale) 的雲微物理參數方法(microphysics parameterization) 以及次網格尺度(subgrid scale)的積雲參數方法(cumulus parameterization)。許多研究指出(如 Kuo et al. 1996)，數值模式預報降水的型態、總量及其分佈，與模式使用的積雲參數方法密切相關。因此欲應用數值模式準確預報梅雨鋒面伴隨之豪大雨現象，除了對於梅雨鋒面相關的物理過程需有充分了解外，數值模式降水參數方法如次網格尺度的積雲參數法及網格尺度的雲物理參數法之精進，亦得共同配合，方能獲得精確的「定量降水預報」結果。

## 二、模式架構

本研究引用美國 Penn State/NCAR 中尺度模式 MM5 (Grell et al. 1994)，來進行梅雨鋒面的數值模擬實驗。所使用 MM5 預報系統的模式架構(configuration)，考慮兩個網域(domain)，水平解析度分別爲 45 及 15 公里，網格點數爲 81 × 71 與 91 × 91。垂直方向爲 sigma 座標，共有 27 層。預報時間長度爲 36 小時的預報。初始資料的來源是以中

央氣象局全球模式（解析度爲 T79）的分析場當作初始猜測值 (first guess)，再輸入觀測資料（包括傳統與非傳統）重新做客觀分析。邊界條件則使用中央氣象局全球模式的預報場。

## 三、結果與討論

### （一）積雲參數方法測試

本研究對一般使用的 4 種積雲參數方法 (Kuo, Grell, Betts-Miller, 及 Kain-Fritsch) 於 45 公里及 15 公里的 MM5 網域內進行測試比較，以分析其模式降水預報對於所使用之積雲參數方法的敏感性程度。在這組積雲參數方法測試實驗中，雲微物理參數方法固定使用 Simple Ice scheme。梅雨鋒面個案則選取 1998 年 6 月 4 日的豪雨個案（台灣地區梅雨季豪雨實驗 IOP4），以進行 4 種 scheme 的比較。圖 1 爲 1998 年 6 月 5 日 00Z (08LST) 的 IR 衛星雲圖，圖 2 爲 45 公里 MM5 網域不同 cumulus scheme 所預報（包括次網格尺度及網格解析尺度）的 6 小時累積降水（6 月 4 日 18Z 至 6 月 5 日 00Z）。比較圖 1 與圖 2，吾人看出 Grell scheme (Grell et al. 1994) 的降水預報效果最好。Betts-Miller scheme (Betts and Miller 1993) 於梅雨鋒面系統降水方面的表現與 Grell scheme 接近，但於巴士海峽及南中國海的降水則過多。Kain-Fritsch scheme (Kain and Fritsch 1993) 於鋒面降水方面的表現則與 Grell scheme、Betts-Miller scheme 相差不多，但其降水區域過於寬廣且微弱，於南海一帶尤其爲是。Kuo scheme (Kuo 1974) 是 4 種積雲參數方法中表現最差的參數化方法，其降水明顯偏弱，無法表現於台灣海峽南部有明顯組織性中尺度對流系統 (mesoscale convective system)，而且鋒面系統降水亦過於薄弱。

接著再比較這 4 種積雲參數化方法於 15 公里網格的表現情形。圖 3 爲台灣全島中央氣象局所屬

自動雨量站的6小時累積觀測降水（1998年6月5日02LST至08 LST），圖4則為所對應的15公里MM5模式所預報臺灣地區的6小時累積雨量。比較圖3與圖4，吾人可以明白得知Grell scheme表現最好；發生在高屏地區的豪雨事件(>125 mm/6h)，Grell scheme完全模擬出來，而且發生的位置以及降水總量與觀測頗為吻合。觀測的另一降水中心在台灣東北角，Grell scheme亦模擬出來，但其預報強度(87mm/6h)較觀測(125mm/6h)為弱，且預報位置（花蓮）較實際位置（宜蘭）偏南。表現次之的是Kain-Fritsch scheme，其預測的高屏地區豪雨及東北部山區豪雨，強度皆偏弱。表現再次之的是Betts-Miller scheme，預測的西南部降水移至恆春半島，且強度明顯偏弱；中部山區有微弱降水，但西部平原及東部有無雨區，此與觀測不符。表現最差的仍是Kuo scheme，其預測全省皆有降水，但強度偏弱而且缺乏組織性。西南部大雨事件Kuo scheme完全沒有預報出來，東北部大雨 Kuo scheme則預報出來，但其強度(22mm/6h)遠較實際觀測(125mm/6h)為弱。

## （二）雲微物理參數方法測試

Yang and Houze (1995)利用雲模式的數值模擬實驗指出，降水粒子的形態及冰態雲微物理過程皆可顯著影響降水之累計總量與分佈，以及降水系統內部的中尺度結構。因此，另一項影響模式預報降水的重要因素即為雲微物理參數方法(microphysics parameterization)。於這組雲物理參數方法測試實驗中，吾人於積雲參數方法則固定使用Kain-Fritsch scheme，於雲微物理參數方法方面則變動使用各種方法，依次為Warm Rain scheme, Simple Ice scheme, Mixed Phase scheme 及Goddard Graupel scheme，於45公里及15公里的MM5網域內進行測試比較。圖5為各種不同scheme於15公里MM5網域所預報的6小時累積雨量。由圖5吾人可明顯得知，各種雲物理scheme在15公里解析度下的預報降水分佈頗為類似。在降水強度方面，Goddard Graupel scheme所預報的降水強度最大，Warm Rain scheme的降水強度最小。圖6表示各種雲微物理參數方法於15公里MM5網域的網域平均6小時累積雨量的逐時變化。吾人可由圖6明白得知，Warm Rain scheme的降水總量最少，考慮冰態雲物理後(Goddard Graupel, Simple Ice, Mixed Phase)，降水總量明顯增加。降水量最多的是Goddard Graupel scheme，與 Warm Rain scheme相比而言，其總降水量增加約30%。此項研究結果與McCumber et al. (1991) 類似，亦即是考慮冰態雲微物理過程將可提昇模擬效果。於本組雲微物理方法測試實驗中，模擬效果最好的是 Goddard Graupel scheme，而其三種冰態降水粒子為雲冰、雪花及軟雹(graupel)的組合。此種組合，於McCumber et al. (1991) 文中亦指出為模擬熱帶降雨系統的最佳冰態粒子組合。因此，本研究指出

模擬梅雨鋒面及熱帶雲簇的最佳冰態降水粒子組合，為雲冰、雪花及軟雹的組合。

## 四、結論

梅雨季豪大雨影響民眾日常生活及社會經濟活動甚巨，經常造成重大災情損失，因此梅雨季豪大雨之「定量降水預報」也是氣象學術研究及預報作業上最困難及最富挑戰性的工作之一。有鑑於此，本研究引用高解析度非靜力MM5模式，針對1998年6月4日的梅雨季豪雨個案進行數值預報測試，針對積雲參數方法、及雲微物理參數方法進行敏感度測試，期能建立起預報台灣地區梅雨降水的最佳中尺度模式。重要研究結論分別敘述如下。

### 1、積雲參數方法測試：

Grell scheme對於鋒面系統降水與南海熱帶雲簇降水掌握得最好。Kain-Fritsch scheme與Betts-Miller scheme 皆能有效掌握鋒面系統性降水，但對於南海熱帶雲系的降水表現較差。Kain-Fritsch scheme傾向於產生過多寬廣的弱降水區。Kuo scheme則是表現最差，其預報降水偏弱而且缺乏組織性。

### 2、雲物理參數方法測試：

各種雲物理參數方法在45 公里解析度及15公里解析度下的預報降水分佈類似，但在強度方面有明顯差異。Warm Rain scheme 的預報降水強度最小，Simple Ice scheme 和Mixed Phase scheme 次之，Goddard Graupel scheme的預報降水強度最大，較 Warm Rain scheme增加約30%。

## 致謝

本研究在國科會計畫NSC 87-2111-M-052-005支援下完成，並感謝中央氣象局資訊中心提供CRAY YMP電腦資源。

## 參考文獻

- Betts, A. K., and M. J. Miller, 1993: The Betts-Miller scheme. *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models*, Meteor. Monogr. No. 46, Amer. Meteor. Soc., 107-121.
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1994: A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Tech Note NCAR/TN-398+STR, 138 pp
- 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*, Meteor. Monger., No. 46, Amer. Meteor. Soc., 165-177.

Kuo, H. L., 1974: Further studies of the parameterization of the influence of cumulus convection on large-scale flow. *J. Atmos. Sci.*, 31, 1232-1240.

Kuo, Y.-H., R. J. Reed, and Y. Liu: The ERICA 10P 5 Storm. Part III: Mesoscale cyclogenesis and precipitation parameterization, *Mon. Wea. Rev.*, 124, 1409-1434.

McCumber, M., W.-K. Tao, J. Simpson, R. Penc, and S.-T. Soong, 1991: Comparison of Ice-phase microphysical parameterization scheme using numerical simulation of tropical convection. *J. Appl. Meteor.*, 30, 985-1004.

Yang, M.-J., and R. A. Houze, Jr. 1995: Sensitivity of squall-line rear inflow to ice microphysics and environmental humidity. *Mon. Wea. Rev.*, 123, 3175-3193.

6-h Rainfall (98/06/05 02-08 LST)

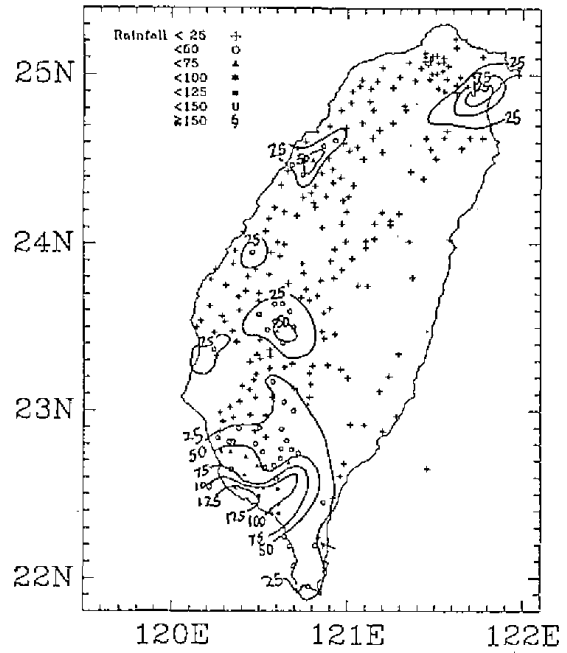


圖3：台灣全省中央氣象局所屬自動雨量站的6小時累積雨量觀測（1998年6月4日18Z至6月5日00Z，即1998年6月5日02L至08L），單位為公厘。

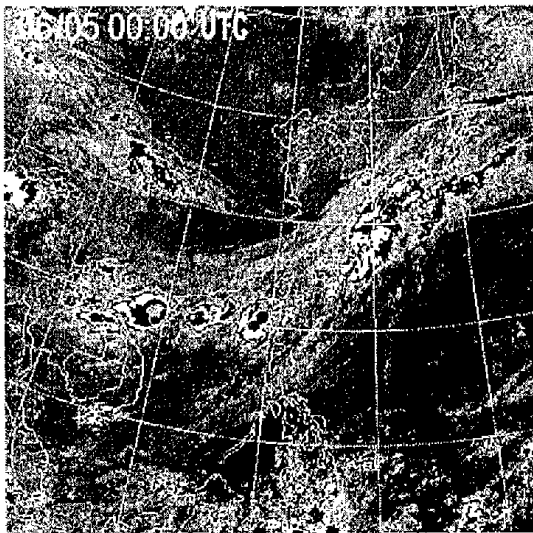


圖1: 1998年6月5日 00Z GMS 衛星紅外線雲圖。

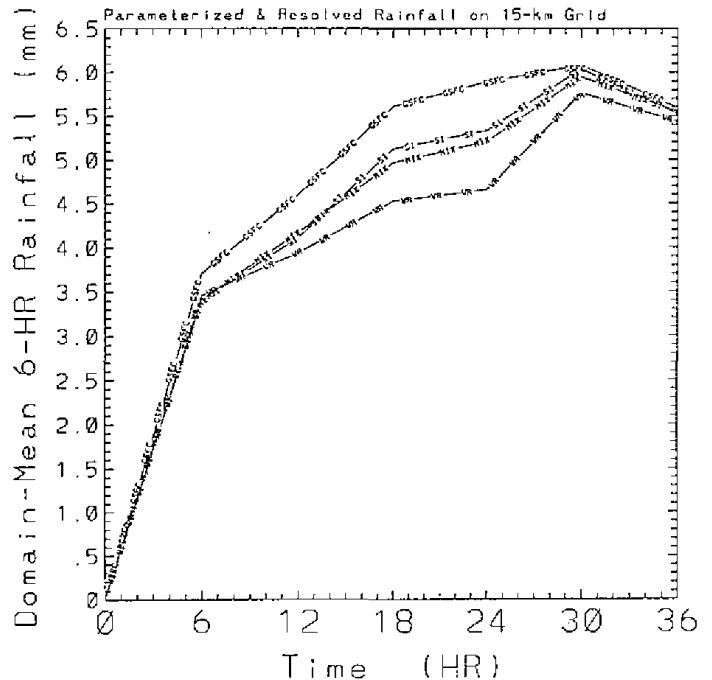
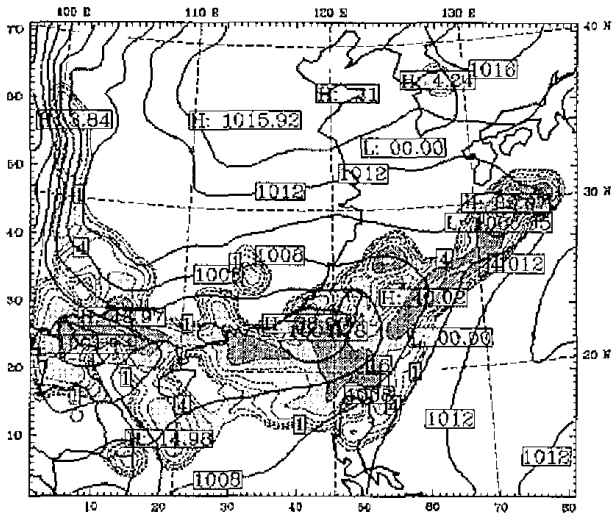
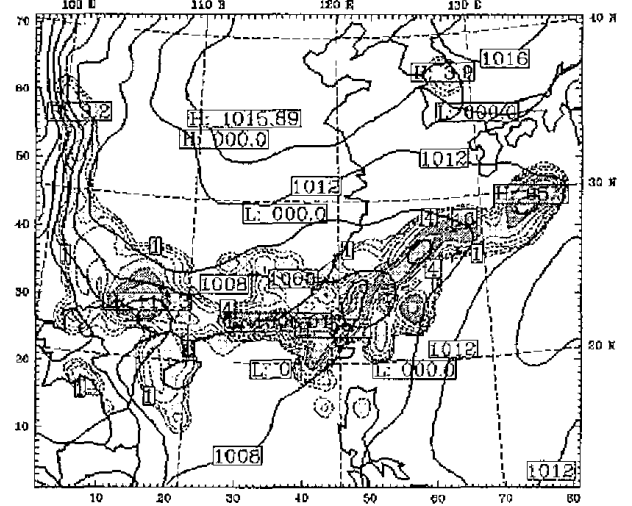


圖6：各種雲微物理參數方法於15公里MM5網域的網域平均6小時累積雨量之逐時變化圖。WR曲線為Warm Rain scheme，MIX曲線為Mixed Phase scheme，SI曲線為Simple Ice scheme，GSFC曲線為Goddard Graupel scheme。

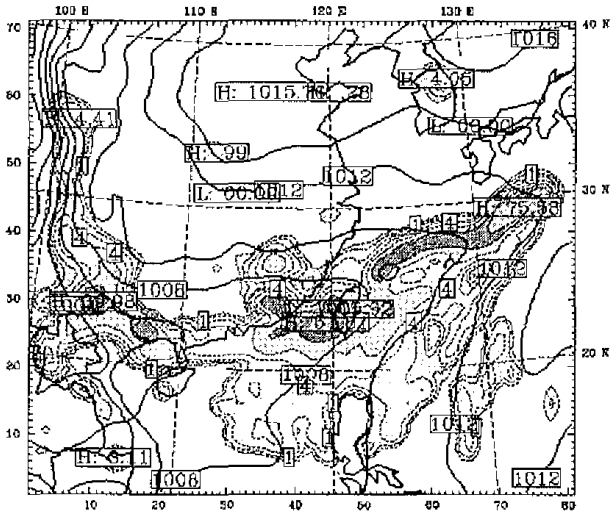
a) Betts-Miller



b) Grell



c) Kain-Fritsch



d) Kuo

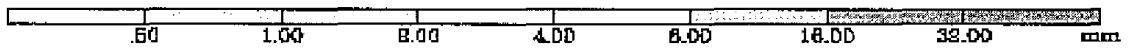
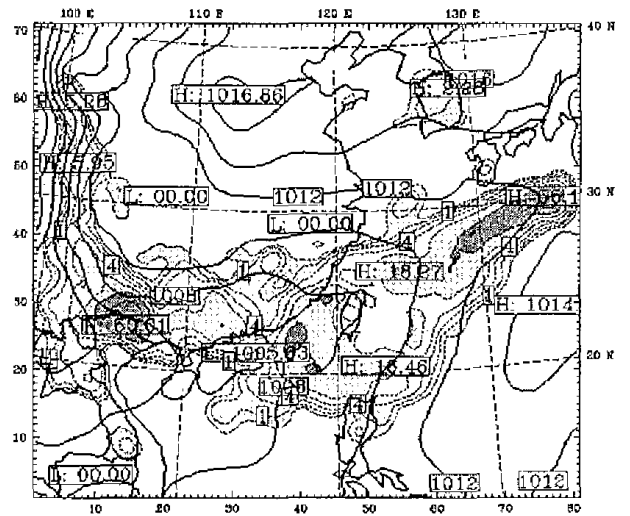
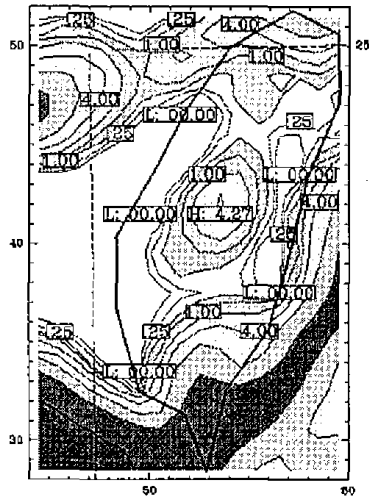
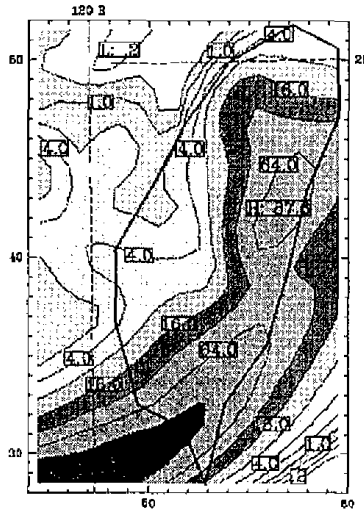


圖2: 45公里MM5模式 (a) Betts-Miller scheme, (b) Grell-scheme, (c) Kain-Fritsch scheme, 以及(d) Kuo scheme預報的6小時累積降水(1998年6月4日18Z至6月5日00Z), 單位為公厘, 強度以灰階表示。實線為海平面氣壓, 等值線間距為2 mb。

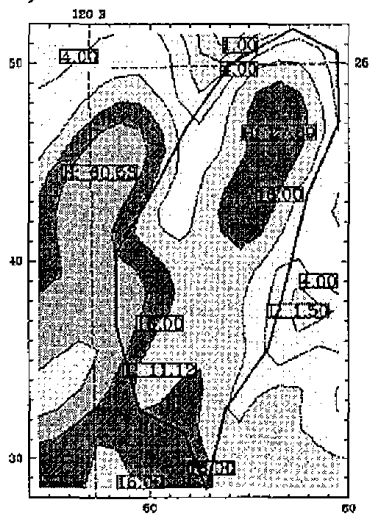
a) Betts-Miller



b) Grell



c) Kain-Fritsch



d) Kuo

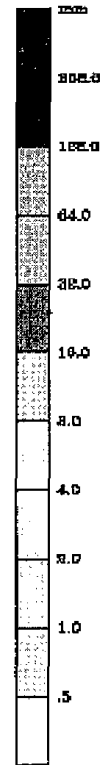
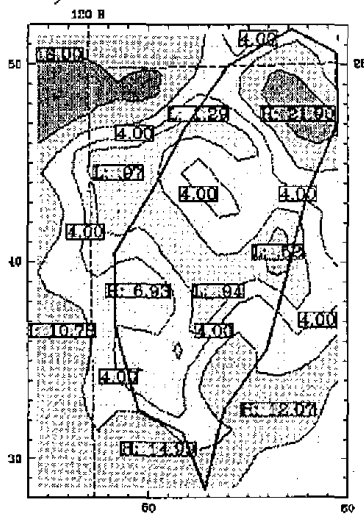


圖4: 15公里MM5模式(a) Betts-Miller scheme, (b) Grell-scheme, (c) Kain-Fritsch scheme, 以及(d) Kuo scheme預報臺灣地區的6小時累積降水(1998年6月4日18Z至6月5日00Z), 單位為公厘, 強度以灰階表示。

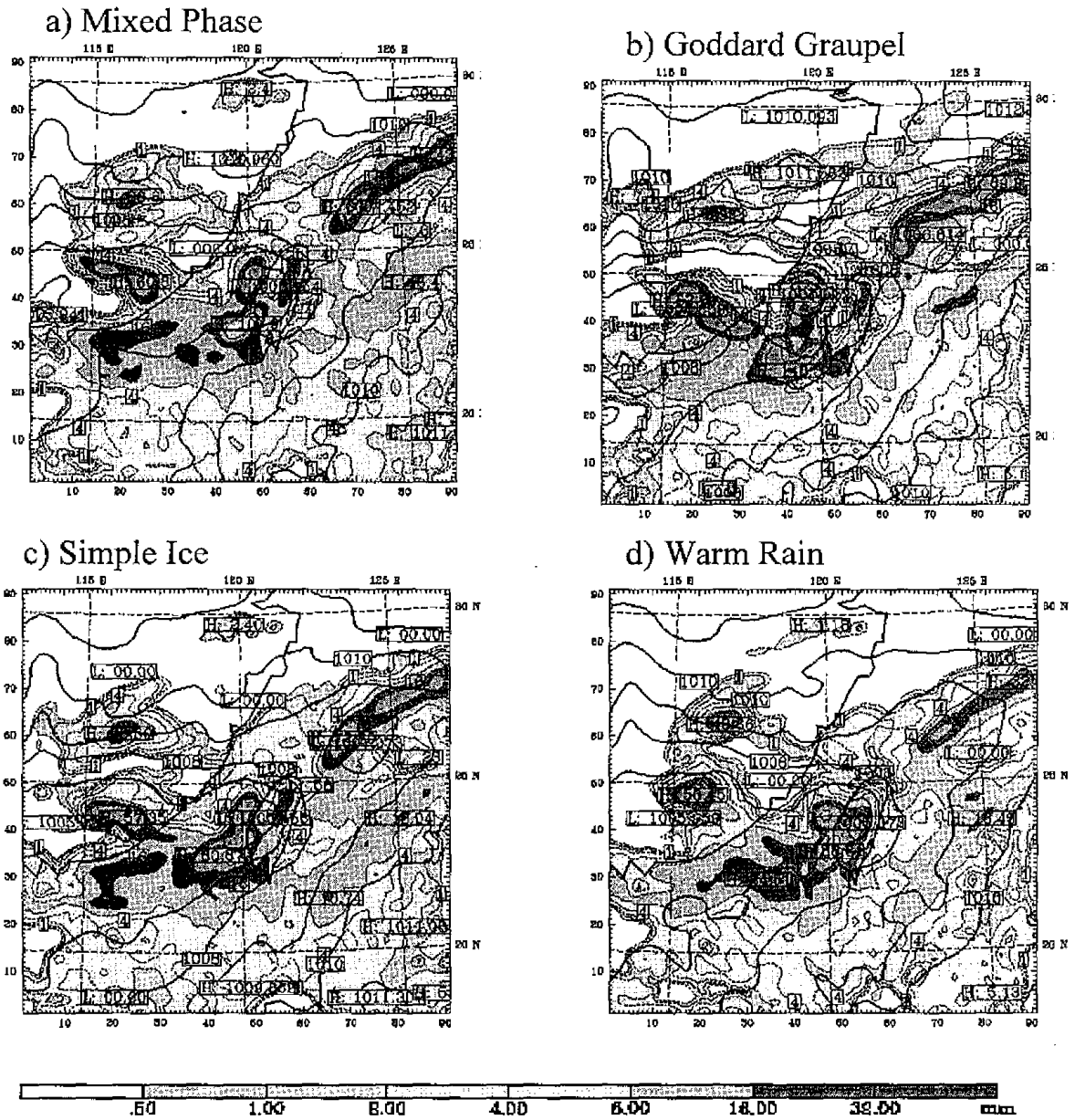


圖5: 15公里MMS模式 (a) Mixed Phase scheme , (b) Goddard Graupel scheme , (c) Simple Ice scheme , 以及 (d) Warm Rain scheme 預報的6小時累積降水(1998年6月4日18Z至6月5日00Z), 單位為公厘, 強度以灰階表示。實線為海平面氣壓, 等值線間距為2 mb。

# **Evaluation of Precipitation Parameterization in a Simulated Mei-Yu Front**

**Ming-Jen Yang**  
**Research and Development Center**  
**Central Weather Bureau**

## **Abstract**

This study is to perform a systematic evaluation of precipitation parameterization in the simulation of a Mei-Yu front occurred in 4-5 June 1996. The objective is to assess the performance of various subgrid-scale cumulus parameterization and explicit-scale microphysics schemes in the simulation of the storm using the Penn State-NCAR mesoscale model MM5 at grid resolutions of 45 and 15 km. Emphasis is placed on the intensity, distribution, and character of precipitation and on the mesoscale rain storms embedded within the synoptic-scale Mei-Yu front. The distribution and intensity of precipitation, its partitioning into grid-resolvable and subgrid-scale portions, the atmospheric thermodynamic structure in the precipitation region, and the evolution of mesoscale convective systems are found to be extremely sensitive to the choice of cumulus parameterization scheme. This is true for both the 45- and 15-km MM5. The partitioning of precipitation into the subgrid scale and resolvable scale for a given cumulus parameterization is nearly the same for both the 45- and 15-km models. The detailed ice-phase microphysics did have a significant impact on the precipitation intensity, but not on precipitation distribution, for the 15-km simulations.

Key words: numerical simulation, Mei-Yu front, cumulus parameterization, microphysics schemes.