

國立中央大學

水文與海洋科學研究所
碩士論文

懸浮微粒數量濃度對梅雨鋒面降水影響之敏
感度研究

研究生：陳文彬

指導教授：楊明仁 博士

中華民國 九十九 年 七 月



國立中央大學圖書館 碩博士論文電子檔授權書

本授權書所授權之論文全文電子檔(不包含紙本、詳備註 1 說明)，為本人於國立中央大學，撰寫之碩/博士學位論文。(以下請擇一勾選)

(V)同意 (立即開放)

()同意 (一年後開放)，原因是：_____

()同意 (二年後開放)，原因是：_____

()同意 (三年後開放)，原因是：_____

()不同意，原因是：_____

以非專屬、無償授權國立中央大學圖書館與國家圖書館，基於推動「資源共享、互惠合作」之理念，於回饋社會與學術研究之目的，得不限地域、時間與次數，以紙本、微縮、光碟及其它各種方法將上列論文收錄、重製、公開陳列、與發行，或再授權他人以各種方法重製與利用，並得將數位化之上列論文與論文電子檔以上載網路方式，提供讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印。

研究生簽名： 陳文彬 學號： 966205003

論文名稱： 懸浮微粒數量濃度對梅雨鋒面降水影響之敏感度研究

指導教授姓名： 楊明仁 教授

系所： 水文與海洋科學研究所 所 博士班 碩士班

日期：民國 99 年 8 月 20 日

備註：

1. 本授權書之授權範圍僅限電子檔，紙本論文部分依著作權法第 15 條第 3 款之規定，採推定原則即預設同意圖書館得公開上架閱覽，如您有申請專利或投稿等考量，不同意紙本上架陳列，須另行加填聲明書，詳細說明與紙本聲明書請至 <http://thesis.lib.ncu.edu.tw/> 下載。
2. 本授權書請填寫並親筆簽名後，裝訂於各紙本論文封面後之次頁（全文電子檔內之授權書簽名，可用電腦打字代替）。
3. 請加印一份單張之授權書，填寫並親筆簽名後，於辦理離校時交圖書館（以統一代轉寄給國家圖書館）。
4. 讀者基於個人非營利性質之線上檢索、閱覽、下載或列印上列論文，應依著作權法相關規定辦理

國立中央大學碩士班研究生

論文指導教授推薦書

水文與海洋科學 學系/研究所 陳文彬

研究生所提之論文 懸浮微粒數量濃度對梅
雨鋒面降水影響之敏感度研究 係由本人指
導撰述，同意提付審查。

指導教授 楊明仁 (簽章)

99 年 7 月 13 日

國立中央大學碩士班研究生
論文口試委員審定書

水文與海洋科學 學系/研究所 陳文彬 研究
生所提之論文 懸浮微粒數量濃度對梅雨鋒面降
水影響之敏感度研究 經本委員會審議，認定符
合碩士資格標準。

學位考試委員會召集人

委

員

陳正平

隋中興

楊明仁

陳正平

中華民國 99 年 7 月 13 日

摘 要

大氣中的懸浮微粒可以吸收水氣或其他氣體而凝結成長，稱為凝結核，能夠在成雲過程中促使雲滴生成的稱為雲凝結核，而能促使冰晶形成的則為冰核。在近年來，在雲物理過程中關於氣溶膠在雲和降水過程中的作用及影響是受到許多人的關注及討論的。

本研究利用中尺度氣象模式 MM5 進行氣溶膠的敏感度實驗。在雲微物理過程選用 CLR 參數法，此參數法是將 Chen and Liu (2004) 針對暖雲所提出的 C&L 暖雲參數法與 Reisner 2 參數法相結合。希望能瞭解懸浮微粒的數量濃度變化對於降水的影響。

本研究選定了兩個梅雨季節的降雨個案，一為 2008 年 6 月 5 日典型的鋒面降水個案，另一個為 2008 年 6 月 16 日的西南氣流降水個案，進行模擬懸浮微粒對於梅雨鋒面降水系統之敏感度實驗。將模式初始場的懸浮微粒數量濃度以 Whitby(1978)所提出的平均型背景場之懸浮微粒數量濃度為控制組，分別增加以及減少懸浮微粒之數量濃度，並比對其模式模擬結果。懸浮微粒數量濃度的變化對於個案的地面降水、雷達回波強度、水相粒子的變化都有其影響性。並對個案中系統的發展時間有顯著的影響。

The sensitivity study of the effect of number concentrations of CCN on Mei-Yu frontal rainfall

ABSTRACT

In atmosphere, suspended particulates may absorb the moisture or the other gas to condensation grow, called condensation nucleus. Cloud condensation nucleus can make cloud drops grow, and ice nucleus can make the ice crystal grow. The effect of aerosols on clouds and precipitation is a hot topic and difficult problems in cloud microphysics researches in recent years.

In this endeavor, sensitivity of cold cloud microphysical processes to aerosols has been tested. A non-hydrostatic mesoscale cloud model (MM5) has been used for this simulation. And we used CLR cloud microphysics parameter scheme which couple the warm-cloud parameterization of Chen and Liu(2004) with the ice-phase cloud parameterization of Reisner et al. (1998). In order to understand the effect of number concentration of suspended particulates.

There are two Mei-Yu front cases are chose in this study , one is on June 5, 2008, the typical Mei-Yu frontal precipitation case, and another is on June 16, 2008 southwesterly flow precipitation case. Using the average background aerosols number concentration field which proposed by Whitby(1978) to be a control run, and change the number concentration of aerosols. The simulation results indicated that different concentration of aerosols affect precipitation, radar echoes, hydrometeors' mixing ratio, and the developing time of the systems.

誌 謝

首先，感謝我的指導老師，楊明仁教授，謝謝老師在研究所這段過程給我很多指導與包容，讓我能順利完成這篇論文，同時也學到許多大氣科學領域的新知。也感謝所有修過課程的老師細心教導，給予我學習上很多珍貴的建議，使我獲益良多。此外，也感謝實驗室的啟動學長、心穎學姊、林宥丞學長、方裕仁學長、蘇炯瑞學長，謝謝學長姐們對我課業上及生活上的照顧。還有感謝實驗室的學弟妹，伊筠、登舜，一同歡笑，一起成長，有許許多多的人讓我的研究生涯裡，充滿歡笑、衷心感謝。

最後，感謝給予我無限支持的父母與家人，雖然家裡發生了許多事，但你們依舊的包容與諒解，讓我能夠放心的的學習及生活，在此將完成這份論文的喜悅與你們一同分享。

目 錄

中文提要	.....	i
英文提要	.....	ii
誌謝	.....	iii
目錄	.....	iv
表目錄	.....	v
圖目錄	.....	vi
第一章	前言	1
1.1	研究目的	1
1.2	論文結構	2
第二章	模式介紹	4
2.1	MM5 模式介紹	4
2.2	雲微物理參數化法	5
2.2.1	C&L 參數法	6
2.2.2	Reisner2 參數法	8
2.2.3	CLR 參數法	8
2.24	冰核化速率	8
第三章	個案天氣分析	10
3.1	2008 年 6 月 5 日氣象場分析(典型梅雨鋒面降水個案)	10
3.2	2008 年 6 月 16 日氣象場分析(西南氣流降水個案)	11
第四章	模式架構與實驗設計	12
4.1	模式設定	12
4.2	實驗設計	13
4.3	實驗延伸	13
第五章	結果與討論	14
5.1	2008/06/05 個案之模擬結果(典型梅雨鋒面降水個案)	14
5.2	2008/06/16 個案之模擬結果(西南氣流降水個案)	17
第六章	結論	21
參考文獻	.....	24

表目錄

表 4.1 海洋背景(clean)、平均背景(Average)和都市(Urban)型氣膠，其核模 (nucleation mode ; Nu.)、累積模 (accumulation mode ; Ac.) 和粗模 (coarse mode ; Co.)的數量、平均粒子大小和幾何寬度。(Whitby, 1978) …	27
---	----

圖目錄

- 圖 2.1: MM5 模式中各模組模擬流程圖(取自 MM5 使用者手冊).....27
- 圖 2.2: 左圖和右圖分別表示在 C&L scheme 中混合比和數量濃度所影響的物理過程。正(負)號表示對凝結過程為正(負)貢獻。
(源自 Chen and Liu, 2004)28
- 圖 2.3: CCN 活化於氣膠三模對數常態粒徑分佈概要圖。灰色區域是 CCN 被活化的數量。(Cheng, 2007a) 29
- 圖 3.1: (a) 2008 年 6 月 4 日 1800UTC 地面天氣圖; (b) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面天氣圖; (c) 2008 年 6 月 5 日 0600UTC 地面天氣圖; (d) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 地面天氣圖。..... 30
- 圖 3.2: (a) 2008 年 6 月 4 日 0000UTC 850 百帕天氣圖; (b) 2008 年 6 月 4 日 1200UTC 850 百帕天氣圖; (c) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面 850 百帕天氣圖; (d) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 850 百帕天氣圖。黑色實線為等高線, 黑色粗實線為 1500 公尺等高線, 紅色虛線為等溫線。.....31
- 圖 3.3: (a) 2008 年 6 月 4 日 0000UTC 500 百帕天氣圖; (b) 2008 年 6 月 4 日 1200UTC 500 百帕天氣圖; (c) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 500 百帕天氣圖; (d) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 500 百帕天氣圖。黑色實線為等高線, 黑色粗實線為 5700 公尺等高線, 紅色虛線為等溫線。.....32
- 圖 3.4: 中央氣象局 2008 年 6 月 4 日至 6 月 5 日紅外線色調強化圖.....33
- 圖 3.5: 2008 年 6 月 5 日 0000LST~2008 年 6 月 6 日 0000LST 24 小時地面累積雨量圖。..... 34
- 圖 3.6: (a) 2008 年 6 月 15 日 1800UTC 地面天氣圖; (b) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面天氣圖; (c) 2008 年 6 月 16 日 0600UTC 地面天氣圖; (d) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC 地面天氣圖。.....35
- 圖 3.7: (a) 2008 年 6 月 15 日 0000UTC 850 百帕天氣圖; (b) 2008 年 6 月 15 日 1200UTC 850 百帕天氣圖; (c) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面 850 百帕天氣圖; (d) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC 850 百帕天氣圖。黑色實線為等高線, 黑色粗實線為 1500 公尺等高線, 紅色虛線為等溫線。.....36

圖 3.8：(a) 2008 年 6 月 15 日 0000UTC 500 百帕天氣圖；(b) 2008 年 6 月 15 日 1200UTC 500 百帕天氣圖；(c) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 500 百帕天氣圖；(d) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC 500 百帕天氣圖。黑色實線為等高線，黑色粗實線為 5700 公尺等高線，紅色虛線為等溫線。·····	37
圖 3.9：中央氣象局 2008 年 6 月 15 日至 6 月 16 日紅外線色調強化圖·····	38
圖 3.10：2008 年 6 月 16 日 0000LST~2008 年 6 月 17 日 0000LST 24 小時地面累積雨量圖。·····	39
圖 4.1：MM5 模式巢狀網格層，網格間距：D01、D02、D03、D04 分別為 81、27、9、3 公里。·····	40
圖 5.1：(a)(模式) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面天氣圖；(b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面天氣圖；(c) (模式) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 地面天氣圖；(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 地面天氣圖。·····	41
圖 5.2：(a)(模式)2008 年 6 月 5 日 0000UTC 850 百帕高度場；(b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC850 百帕高度場；(c) (模式) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC850 百帕高度場；(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 850 百帕高度場。·····	42
圖 5.3：(a)(模式)2008 年 6 月 4 日 1200UTC 500 百帕高度場；(b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 4 日 1200UTC 500 百帕高度場；(c) (模式) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 500 百帕高度場；(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 500 百帕高度場。·····	43
圖 5.4：0605 0000UTC(a)紅外線衛星雲圖；(b)雷達回波圖；(c)CCN*0.01；(d)CCN*1；(e)CCN*100 之 1km 高度之雷達回波以及垂直雲水含量。·····	44
圖 5.5：20080605 0200UTC 850 百帕雷達回波圖(a)觀測；(b) CCN*0.01；(c) CCN*1；(d)CCN*100·····	45
圖 5.6：2008 年 6 月 5 日 0000LST~2008 年 6 月 6 日 0000LST 24 小時地面累積雨量圖。(a)中央氣象局；(b)；(c)；(d)為 CCN*0.01，CCN*1，CCN*100。·····	46
圖 5.7：D3 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累積雨量。·····	47

圖 5.8：雲水混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。·····	48
圖 5.9：雨水混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。·····	49
圖 5.10：軟雹混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。·····	50
圖 5.11：雪片混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。·····	51
圖 5.12：冰晶混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。·····	52
圖 5.13：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第三巢區域平均的垂直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。·····	53
圖 5.14：24 小時及第三巢區域之水相粒子混和比平均隨著高度的分佈。橫軸為混和比，垂直為 sigma 高度。·····	54
圖 5.15：D4 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累積雨量。·····	55
圖 5.16：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第四巢區域平均的垂直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。·····	56
圖 5.17：(a)(模式)2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面天氣圖;(b)(中央氣象局)2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面天氣圖;(c) (模式) 2008 年 6 月 16 日 0600UTC 地面天氣圖;(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 0600UTC 地面天氣圖。·····	57
圖 5.18：(a)(模式)2008 年 6 月 16 日 0000UTC 850 百帕高度場;(b)(中央氣象局)2008 年 6 月 16 日 0000UTC850 百帕高度場;(c) (模式)2008 年 6 月 16 日 1200UTC850 百帕高度場;(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC 850 百帕高度場。··	58
圖 5.19：(a)(模式)2008 年 6 月 15 日 1200UTC 500 百帕高度場;(b)(中央氣象局)2008 年 6 月 15 日 1200UTC 500 百帕高度場;(c) (模式)2008 年 6 月 16 日 0000UTC 500 百帕高度場;(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 500 百帕高度場。··	59

圖 5.20：0616 0200UTC(a)紅外線衛星雲圖;(b)雷達回波圖;(c)CCN*0.01; (d)CCN*1;(e)CCN*100 之 1km 高度雷達回波以及垂直雲水含量。.....	60
圖 5.21：20080616 0200UTC 850 百帕雷達回波圖 (a)觀測;(b)CCN*0.01; (c)CCN*1;(d) CCN*100。.....	61
圖 5.22：2008 年 6 月 16 日 0000LST~2008 年 6 月 17 日 0000LST 24 小時地面累 積雨量圖。(a)中央氣象局;(b);(c);(d)為 CCN*0.01,CCN*1,CCN*100。.....	62
圖 5.23：D3 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累 積雨量。.....	63
圖 5.24：雲水混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為 時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。.....	64
圖 5.25：雨水混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為 時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。.....	65
圖 5.26：軟雹混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為 時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。.....	66
圖 5.27：雪片混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為 時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。.....	67
圖 5.28：冰晶混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為 時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。.....	68
圖 5.29：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第三巢區域平均的垂 直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。.....	69
圖 5.30：24 小時、第三巢區域之水相粒子混和比平均隨著高度的分佈，橫 軸為混和比，垂直為 sigma 高度。.....	70
圖 5.31：D4 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累 積雨量。.....	71

圖 5.32：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第四巢區域平均的垂直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。…………… 72

第一章 前言

1.1 研究目的

降水是陸地上可用水資源的重要來源，而懸浮微粒(aerosol)的多寡對於雲和降水過程中的作用也有相當程度的影響，其為 CCN(Cloud Condensation Nuclei)以及 IN(Ice Nuclei)的重要來源。

近年來，人們越來越瞭解到懸浮微粒在各種天氣尺度現象中對雲和降水的影響。懸浮微粒作為雲凝結核(CCN)可以改變雲的微物理結構及輻射特性，進而影響到天氣變化。而懸浮微粒的多寡一方面會直接影響到太陽輻射的吸收及散射情形，另一方面，當空氣中水氣含量到達一定程度時，懸浮微粒濃度的增加會導致雲滴數濃度的增加和雲滴有效半徑的減小，造成雲光學厚度的增加，進而增加雲的反射率。同時較小的雲滴生長成雨滴需要更長的時間，抑制了從雲發展到降水的時間，使雲的生命期增加，進而使得單位時間內的降水減少 (Twomey, 1977; Liou et al., 1989; Zhang et al., 2006; Cheng et al., 2007; Muhlbauer et al., 2008)。

Kaufman and Fraser (1997) 也觀測到大量煙塵粒子使得大陸上的雲，隨著雲滴數濃度的增加而雲滴半徑亦隨著減少。Rosenfeld(1999) 利用 TRMM 衛星觀測發現了印尼地區的森林大火所產生的煙塵令雲滴個數增加，半徑減少，進而抑制了對流的發展。

Khain et al. (2008)指出，懸浮微粒的增加會使得過冷水增多以及冰晶的增加，對於上升氣流也會令其有增加的情形發生。

Wang et al. (2005)研究了CCN濃度的增加對於熱帶深對流的影響。其研究指出隨著懸浮微粒濃度的增加，雲滴濃度增加，雲滴半徑變小，雲滴譜變窄，但卻造成了降水量的增加以及雲覆蓋量的增加，但當CCN濃度持續增加時，其影響會變得越來越不顯著，表示懸浮微粒在較乾淨的背景下對於熱帶深對流的影響程度會大於在較污染的背景。

Van Den Heever et al. (2007)指出都會區的對流系統會因為CCN和GCCN(giant CCN)濃度增加而對流增強、系統發展較為迅速、並產生更多的雲水和降水，但若是只增加了CCN的濃度，地面降水反而會受到抑制，系統也會延遲發生。

綜合許多研究的結果，發現CCN對於降水的影響屬於非線性且複雜的，本研究將對於懸浮微粒之數量濃度的變化對於梅雨鋒面降水以及水相粒子的影響進行討論。

1.2 論文結構

第二章簡介 MM5 模式以及雲物理參數化方法的介紹；第三章概述本研究選取之梅雨鋒面個案及其綜觀環境分析，藉由地面天氣圖、高

空天氣圖、衛星雲圖，與地面雨量累積圖來瞭解其特徵和降雨分佈；第四章為此 MM5 模擬實驗的設定；第五章則比較梅雨鋒面綜觀尺度環境場與模式的差異並討論在不同氣膠數量濃度的實驗下，模式所表現出來的降水特徵；第六章為結論，總結說明本論文研究的初步成果。

第二章 模式介紹

本研究所使用的數值模式為中尺度氣象模式MM5(The Fifth-Generation NCAR/PSU Mesoscale Model)，並採用了CLR(C&L-Reisner2)雲微物理參數化方法；CLR微物理參數法使用了Chen and Liu(2004)的暖雲參數法，以及MM5本身微物理參數法中既有的Reisner2微物理參數法中的冰相過程；懸浮微粒的型態以及粒徑分佈則採用Whitby(1978)的結果。

2.1 MM5 模式介紹

本研究數值模擬使用第五代中尺度氣象數值模式MM5 (The Fifth-GenerationNCAR/PSU Mesoscale Model)，由美國國家科學研究中心(NCAR)和賓州州立大學(PSU)共同發展。模式最早是根據Anthes與 Warner 兩位學者在70年代所發展的靜力模式(Anthes and Warner, 1978)為基礎，經過長期研發改進，最後成為一包含非靜力過程的中尺度氣象模式。

MM5為一考慮三度空間、原始方程、靜力/非靜力的中尺度模式，使用的垂直座標為 σ 座標。由於具有多重巢狀網格功能，所以在模擬不同尺度天氣現象間的交互作用有較好的解析能力，並可加入不同地表特性來做模擬，兼具三、四維資料同化的功能，能改善中、小尺度

天氣現象的模擬及預報。

MM5模式是由不同模組組成，可分為前處理系統(pre-processing)與主模擬系統(MM5 model)。前處理系統的功能主要是建立模式初始氣象場，包含Terrain、Regrid 和Interp 此三個模組組成。模組架構如圖2.1所示。前處理系統部分首先是由Terrain模組來處理地圖投影部份，地圖投影方式包含藍伯特保角投影法(Lambert Projection)、麥卡托投影法(Mercator Projection)，和極座標投影法(Polar stereographical Projection)，並將地形、地表特徵等資料內插至設定之MM5網格內；再經由Regrid 模組加入全球觀測分析資料，內插產生網格中的初始場；最後經由Interp模組 將Terrain 與Regrid 等模組所輸出的資料(垂直為氣壓座標)內插到MM5所用的垂直 σ 座標中，即完成前處理過程。主模擬系統是將前處理系統所產生的資料輸入至模式網格系統內，再經時間積分運算進行模擬。MM5 模式針對不同大氣物理過程，如雲微物理、積雲、大氣輻射、大氣邊界層和陸地過程等物理過程，提供適當的參數法來做模擬使用。

2.2 雲微物理參數化法

目前的MM5氣象模式中，可以選用不同的雲微物理參數法，各有著不同的雲微物理過程的物理描現象述和假設條件，所以造成在數值模

式中選擇不同的微物理參數法會得到不同降水模擬結果，亦會和動力場相互影響。在本研究中MM5模式所使用雲微物理參數法為C&L-Reisner2 參數化法(簡稱為CLR參數化法)，C&L-Reisner 2 參數法則是將C&L暖雲參數法與Reisner2參數法中的冰相過程結合 (Cheng et al., 2007b)。

2.2.1 C&L 參數法

C&L參數法主要是針對暖雲過程，利用總體參數式來表示雲滴和雨滴的質量混合比和數量濃度 (Chen and Liu, 2004)，此參數法主要是建立在Chen and Lamb (1994) 的細節雲微物理模式所模擬結果經由統計、分析、迴歸而得到的總體參數法，其所著重的雲微物理過程如圖2.2所示。

此參數法中利用柯勒 (Köhler) 理論來處理氣膠活化為雲滴的過程，而最小被活化乾氣膠半徑(r_{act})和環境過飽和比(ss)間的近似關係可表示成：

$$r_{act} \propto SS^{-2/3} \quad (2.1)$$

氣膠活化成雲滴的數量，除了需要知道氣膠的粒徑分佈以外，還需要得知環境的過飽和度，Cheng et al. (2007)將MM5 的saturation adjustment 處理方法改為容許過飽和度的產生。如此一來，氣膠能被

核化成雲滴的數量可利用氣膠粒徑分佈和成分求得，如此模式即可針對不同種類的氣膠及氣膠粒徑分佈進行模擬。

在此研究中，氣膠的成分假設為硫酸銨，氣膠的粒徑分佈則採用Whitby(1978)三模對數常態分佈(tri-modal lognormal aerosol size)，可表示為：

$$n_a(r) = \sum_{i=1}^3 \frac{N_{0,i}}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left[-\frac{(\ln r - \ln \bar{r}_i)^2}{2\sigma_i^2}\right] \quad (2.2)$$

式中 n 為數量濃度方程，下標 a 為氣膠種類， i 代表三種不同的粒徑模， r 為半徑， $N_{0,i}$ 為總粒子個數， \bar{r}_i 為平均模半徑， σ_i 為模的幾何寬度。

Cheng et al. (2007)以圖2.3來解釋氣膠被核化的數量如何在積分過程中計算：假設粒徑分布不隨時間改變，由科勒曲線可得 $r_{act,now}$ (由2.1式得)為現在積分時間環境飽和比所得到的臨界半徑， $r_{act,past}$ 為過去積分時間中最小臨界半徑，當 $r_{act,past} > r_{act,now}$ ，則所有在這兩者粒徑分佈間的氣膠將被活化成雲滴或雨胚，在下一個積分時間時， $r_{act,now}$ 會變成 $r_{act,past}$ 。另一方面，當 $r_{act,past} < r_{act,now}$ 則所有氣膠可以活化者都已被活化，所以不會有新的雲滴或雨胚產生，而 $r_{act,past}$ 也不會改變。

2.2.2 Reisner2 參數法

在中尺度模式MM5 中，Reisner 2 雲微物理參數法是由Reisner 等人在1998年所提出之混合相位的雲微物理參數法，其包含了水氣、雲水、雨水、冰晶、雪花、及軟雹等六種水相粒子，

2.2.3 CLR 參數法

Cheng et al. (2007) 將Chen and Liu (2004) 針對暖雲所提出的雙變數總體水物參數法(two-moment bulk water parameterization) 放入MM5雲微物理過程中，並與Reisner2參數法結合，並將Reisner2參數法稍做修改。此方法將Fletcher(1962)所提出用來計算冰核有效核化成冰晶數量濃度的經驗式以DeMott et al.(1990)之實驗結果得出的同質凍結核化速度取代。亦將原本用來描述降雨粒子分佈的Marshall-Palmer分佈，以Ryan(2000)的粒徑分佈經驗式做取代，以避免原本容易被高估的雨滴數量。有關此新參數法稱之為C&L-Reisner 2 (後面簡稱CLR)。

2.2.4 冰核核化速率

活化是指某一均勻相態粒子受溫度、飽和比的影響下轉化為另一新相態粒子的過程，其為機率的概念，例如核化速率即在單位時間內一百個粒子中會有一個被核化的比率。MM5 中尺度氣象模式的原始Reisner 2 雲微物理參數法中(Reisner et al.1998)，使用Fletcher

在1962年所提出的自然冰核核化關係式來診斷冰晶數量，Fletcher所提出計算自然冰核有效核化成冰晶的數量的關係式，其核化後的冰晶數量只與環境溫度有關，可表示成：

$$N=n_0 \cdot \exp(\beta \cdot T) \quad (2.3)$$

其中N為冰核核化後所得到的冰晶數量濃度， β 為常數，T為過冷溫度。由(2.3)式可知自然冰核核化成冰晶的數量與過冷溫度為正相關。此公式其實是個準經驗式，係數 n_0 、 β 反映當地的冰核數量與綜合特性，其值隨地域而變。

Huffman 在1973年指出，冰核與冰晶的數量濃度其實主要是受過環境水氣飽和度所控制，根據實驗結果可將其關係表示成：

$$N=CS_i^\alpha \quad (2.4)$$

其中N為冰核核化後所得到的冰晶數量濃度，C、 α 為經驗常數， S_i 為冰的過飽和度。(2.4)式顯示冰晶數量濃度為過飽和度的函數。在此實驗中，模式利用(2.4)式來描述冰核核化速率。

第三章 個案天氣分析

台灣每年的梅雨季節天氣變化，主要是被兩個高壓系統的勢力消長所影響，分別為大陸冷高壓與太平洋副熱帶高壓。大陸高壓逐漸往北消退，而太平洋副熱帶高壓逐漸西伸或北移，在二者的交會處則易形成滯留的梅雨鋒面，再加上伴隨西南氣流而來的梅雨鋒面帶上的中尺度對流系統，常為台灣地區帶來大量降水。本研究所選定的梅雨鋒面降水個案分別為 2008 年 6 月 4 日 16UTC 至 2008 年 6 月 5 日 16UTC 間的典型梅雨鋒面降水個案以及 2008 年 6 月 15 日 16UT 至 2008 年 6 月 16 日 16UTC 間的西南氣流降水個案。

3.1 2008 年 6 月 5 日氣象場分析(典型梅雨鋒面降水個案)

由 2008 年 6 月 5 日之綜觀地面天氣圖(圖 3.1)顯示台灣海峽南部有一中尺度對流系統，其環流不斷的引入低層強勁的西南風，850 百帕高空圖(圖 3.2)亦顯示台灣西南方海面上的風場大致維持西南風，且東沙島附近的最大風速達到 15m/s 左右(圖 3.2c)，在台灣上空也存在明顯的風切(圖 3.2d)，此系統經過台灣中南部，與地形交會後在台灣中南部造成劇烈降水。

中央氣象局的紅外線衛星雲圖(圖 3.4)顯示與綜觀尺度分析場(圖 3.1~3.3)擁有一致的特徵，中尺度對流系統於 6 月 5 日 0000UTC(圖

3.4b)經由台灣南部上空，地面累積降水(圖 3.5)亦顯示 6 月 5 日的 24 小時累積雨量，降水分佈大致呈現由南向北遞減的一個特徵，台灣中部達大雨(>50mm/24hr)或豪雨(>130mm/24hr)等級，南部降水更達大豪雨(>200mm/24hr)等級。

3.2 2008 年 6 月 16 日氣象場分析(西南氣流降水個案)

由 500 百帕高空圖(圖 3.8)顯示，中國上空有槽線東移靠近華東地區，850 百帕天氣圖(圖 3.7)也顯示著台灣西南處，東沙島附近也有約 15m/s 的西南風，且因為綜觀天氣系統之壓力場的緣故，令含有豐沛水氣的西南氣流從台灣西南方海域完整的引進台灣，經由紅外線衛星雲圖(圖 3.9)可看出南海東北部的對流雲簇逐漸延伸至台灣南部上空，且雲頂發展得更高且寬廣。地面累積降水(圖 3.10)顯示著台灣西南部地區在 6 月 16 日的 24 小時累積降水達到大豪雨(>200mm/24hr)等級。

第四章 模式架構與實驗設計

4.1 模式設定

計算區域之中心位置為 24.0N、120.0E；投影方式為藍伯特保角投影法 (Lambert Projection)；巢狀網格層數共 4 層 (D1、D2、D3、D4) (圖 4.1)；水平網格點數分別為：D1：51×51、D2：52×82、D3：85×85、D4：133×91；網格間距分別為：D1：81 公里、D2：27 公里、D3：9 公里、D4：3 公里；垂直分層為 34 層：1.00，0.995，0.985，0.975，0.965，0.955，0.94，0.92，0.895，0.865，0.835，0.80，0.76，0.72，0.675，0.625，0.575，0.525，0.475，0.425，0.375，0.325，0.28，0.24，0.20，0.165，0.135，0.105，0.08，0.06，0.045，0.035，0.025，0.015，0.005 (σ 層)；積分時間步為 180 秒；

輻射參數化法為 Cloud-Radiation scheme (Dudhia 1989)，邊界層為 MRF scheme (Hong and Pan 1996)，參數化法使用積雲參數化法為 Grell scheme (Grell 1993)，在第三、第四層區域網格內部不考慮積雲參數化。模式初始場資料與邊界條件來自於美國國家環境預報中心以 EMC 模式模擬之全球分析場資料 NCEP/FNL，NCEP/FNL 的每六小時一筆的分析場網格資料。其中水平網格間距為 $1^\circ \times 1^\circ$ ，垂直方向從 10 百帕以下有 26 層，分別為 1000、970、950、925、900、850、800、750、700、650、600、550、500、450、400、350、300、250、200、150、100、

70、50、30和10百帕。

4.2 實驗設計

實驗設定為測試不同濃度的CCN個數，來比較其對梅雨鋒面降水過程的影響。模控制組實驗中式設定所使用的初始氣膠數量濃度以及粒徑分佈是根據Whitby(1978)所分析的結果而提出來的平均背景型的氣膠數量濃度(CCN);對照組實驗中則考慮0.01倍平均背景型的氣膠數量濃度(CCN×0.01)以及100倍平均背景型的氣膠數量濃度(CCN×100)。詳細氣膠粒徑分佈如表4.1。

4.3 實驗延伸

將CCN*0.01模擬實驗延伸，使其擁有與CCN*1之平均背景型的氣膠數量濃度相同的暖機條件，在模式模擬的前12個小時，使用平均背景場的氣膠數量濃度條件暖機，12小時過後，將背景場的氣膠數量濃度更改為控制組的0.01倍(reCCN*0.01)。

第五章 結果與討論

本章討論使用 MM5 模式以及 CLR 雲微物理參數化法，考慮平均背景型氣膠的數量濃度、0.01 倍以及 100 倍平均背景型的氣膠數量濃度（分別為 $CCN*1$ 、 $CCN*0.01$ 、 $CCN*100$ 三組數值模擬實驗）並加上延伸實驗(re $CCN*0.01$)，針對 2008 年 6 月 5 日典型梅雨鋒面以及 2008 年 6 月 16 日西南氣流所發生的天氣系統進行模擬結果之比較。以下是 MM5 模式模擬結果討論，部份結果會與觀測資料做比對，用來瞭解 MM5 模式模擬結果和觀測資料之間的差異；另外比較三組模擬結果間的差異，以比較使用不同氣膠濃度所造成的水相粒子及地面降水模擬間之差異。

5.1 2008/06/05 個案之模擬結果(典型梅雨鋒面降水個案)

首先，分別比較控制組實驗所模擬模式以及中央氣象局之綜觀天氣場，地面場(圖 5.1)、850 百帕高度場(圖 5.2)、500 百帕高度場(圖 5.3)和皆與中央氣象局的綜觀尺度分析場特徵十分接近，由圖 5.1 可觀察中尺度低壓系統經過台灣的位置以及時間，MM5 模式模擬與中央氣象局之結果相似。有一明顯的低壓系統從 2008/06/05 00Z UTC 在台灣上方滯留到 2008/06/05 12Z UTC。

由圖 5.4、圖 5.5 可看出在本實驗的模擬結果中，當 CCN 數量濃度

增加的情況下，此降水系統的模式模擬結果亦表現出擁有較多的垂直雲水含量，且分佈範圍也較為寬廣，但在系統的雷達回波的強度卻隨著數量濃度的增加而顯得相對較弱。圖 5.5 顯示 CCN*0.01 實驗所顯示的回波較其他兩實驗更強，而 CCN*100 實驗中所顯示的雷達回波較弱，於水平方向有較為均勻、廣泛的分佈。

圖 5.6 是三個實驗所產生的 24 小時地面累積降水的模擬結果，並與觀測資料做比較。台灣降雨主要是分佈於南部，由南部向中部遞減。台中、南投以北的降水只有 CCN*0.01 實驗模擬出來，但降水分佈稍微往西南偏移，而 CCN*1 實驗對於高屏地區的降雨量有著較相似的降水分佈，而 CCN*100 實驗之累積降水量則相較偏少。

由模式中 domain 3 之區域平均降水(圖 5.7)，可看出 CCN*0.01 之 24 小時累積雨量與 CCN*1 接近(圖 5.7a)，但是 CCN*0.01 的系統降水相較於其他兩個實驗較早開始發生且到達系統降雨強度最大值，但在系統發展的後期，降雨強度下降幅度也較大(圖 5.7b)。

我們接著分析 CCN*0.01、CCN*1、CCN*100 三個實驗於模式第三巢區域平均、2008 年 6 月 4 日 1200UTC 至 2008 年 6 月 6 日 0000UTC 間的雲水垂直剖面變化結果。當氣膠數量濃度越高的時候，其雲滴也會隨著越多(圖 5.8)，而雨水的混和比則隨著 CCN 數量濃度增多而下降(圖 5.9)。此與 Twomey 第一間接效應吻合。而氣膠數量濃度對於冰相

粒子的關係，相對而言沒有明顯的線性關係(圖 5.10~圖 5.12)。將上述之水相粒子混和比隨著時間的變化做垂直積分(圖 5.13)，可看出在 CCN*1 實驗中冰相粒子以軟雹和冰晶為主，其軟雹和冰晶的混和比都高於 CCN*0.01 以及 CCN*100 實驗，而雪片的混和比則低於 CCN*0.01 以及 CCN*100 實驗。不論是在雨滴、雪片以及軟雹中，都可以看出在 CCN*0.01 實驗中，其發生時間都較其他兩者實驗來得早，表示 CCN 數量濃度的減少在此個案有助於提早降水系統發展的時間。

將上述的雲滴、雨滴、雪片與軟雹四種水相粒子之混和比做時空中的平均，除了對第三巢區域平均以外，還對其做了 24 小時之時間平均(圖 5.14)，觀察水相粒子在其垂直分佈上之差異，其垂直分佈的狀態除了雲滴以外，並沒有太大的差異，因為粒徑小的雲滴較容易被帶到高層，可以發現在 CCN*0.01、CCN*1 實驗中，高層的雲滴含量遠小於 CCN*100，而在低層的雲滴含量差異性相對而言則較小。

觀察 reCCN*0.01 實驗之 24 小時累積雨量，其降雨強度之趨勢及數值，皆較 CCN*0.01 實驗以及 CCN*100 實驗接近控制組 CCN*1 實驗之結果，而且 reCCN*0.01 實驗中的系統降水強度之最大值和控制組相比較，亦有提早之趨勢。在水相粒子的比較方面，可看出 reCCN*0.01 實驗與 CCN*1 實驗的高度相關性，與 CCN*0.01 實驗和 CCN*1 控制組之間的差異相比之下，reCCN*0.01 實驗與 CCN*1 實驗間差異性不大。

在 domain4 觀察其系統之模式第四層網域平均累積降水(圖 5.15) 以及水相粒子垂直積分隨時間的分佈(圖 5.16)，reCCN*0.01 實驗與 CCN*1 控制組之結果依舊擁有較其他兩實驗更高的相關性，在降水強度上，reCCN*0.01 以及 CCN*0.01 皆有使系統提早發生降雨的趨勢，在暖雨(雲滴與雨滴)方面也有著前段所提及之與氣膠濃度相關之特性。在此實驗中發現，在相同的環境啟動(熱機)條件下，後來再更改氣膠數量濃度時，因為原先環境中的水氣已被附著於活化的 ccn 上形成雲滴及雨滴，後來降水系統與氣膠濃度變化之相關性也會隨之降低。

5.2 2008/06/16 個案之模擬結果(西南氣流降水個案)

分別比較 MM5 模式模擬以及中央氣象局分析之綜觀天氣場，地面場(圖 5.15)、850 百帕高度場(圖 5.16)、500 百帕高度場(圖 5.17)，其特徵都相當接近，在圖 5.18 以及圖 5.19 也表現出與上一個個案類似的特徵，在 CCN 數量濃度增加的情況下，模式模擬的結果顯示，降水系統會擁有較多、且範圍較廣的垂直雲水含量，但在雷達回波的強度卻顯得相對較弱，且 CCN*0.01 實驗所顯示的雷達回波較其他兩實驗更強，而 CCN*100 實驗中所顯示的雷達回波強度較弱，在水平方向有較為均勻、廣泛的分佈。

在 24 小時累積降水區域比較(圖 5.20)中，三組模擬實驗結果都有掌握到台灣西南部、高屏地區的強降水，但對於北部降水，掌握度顯得較差。可以看到在 $CCN*0.01$ 實驗中(圖 5.20b)，降水區域主要發生在台灣西南方的海域上， $CCN*1$ 實驗的降水區域主要是在台灣西南沿海(圖 5.20c)， $CCN*100$ 實驗的降水區域主要是在台灣南部沿海，且降水範圍較為寬廣但累積降水較少(圖 5.20d)。顯示出在此系統從台灣西南方海上向東北移動時，當 CCN 數量濃度減少時，有利於加快降水系統發展的時間，使降水時間相對提前發生。雖然 $CCN*0.01$ 與 $CCN*100$ 之 24 小時累積雨量雖然差異不大(圖 5.21a)，但 $CCN*0.01$ 的系統降水相較於其他兩實驗而言，較早開始發生降水且較快到達本身降雨強度最大值，但後期降水強度下降幅度也大(圖 5.21b)。而 $CCN*1$ 的實驗之降水強度以及累積雨量都明顯較低。

在此個案 2008 年 6 月 15 日 1200UTC 至 2008 年 6 月 17 日 0000UTC 的三組模擬實驗於模式第三巢內，包括雲滴、雨滴、雪片、軟雹、冰晶五種水相粒子混和比的區域平均進行垂直剖面分析(圖 5.22~圖 5.26)，並將其做垂直積分(圖 5.27)。當氣膠數量濃度增加時，其雲滴含量也相對增加，但是在雨水混和比的數量上， $CCN*0.01$ 實驗結果還是最高，但 $CCN*100$ 實驗結果卻大於 $CCN*1$ 實驗結果，推測是因為此西南氣流個案的降水系統具有足夠強的垂直對流以及充足的環境水氣

提供，可將大量的雲滴帶往高空，位於 $\sigma=0.2\sim 0.4$ 間的雲滴量增加有助於白吉龍-芬代生過程(Bergeron-Findeisen process)，加速冰晶成長，加強冷雨的物理過程。

在此個案亦可以看到 CCN*100 的實驗中，冰晶的數量隨著氣膠數量濃度增加而增加(圖 5.26)，並加速雲冰成長為雪片(圖 5.25)。

圖 5.28 顯示，在 $\sigma=0.4$ 層以上時，雲滴含量隨著 CCN 數量濃度增加而增多，而混和比數值隨著高層增加而遞減。但在 CCN*100 實驗中， $\sigma=0.3$ 有著一明顯的極值，顯示出高空中過多的雲滴存在，在 $\sigma=0.4$ 以下，雲滴含量雖然亦隨著 CCN 數量濃度增加而增多，但其垂直分佈結構以及含量卻無太大的差異，而這也是在水相粒子的垂直結構分佈較明顯的差異。其餘水相粒子在定性上的垂直分佈差異並不大。

在 reCCN*0.01 實驗中，domain3 的累積雨量以及降雨強度都略高於控制組 CCN*1，但與 CCN*0.01 實驗相比之下，reCCN*0.01 實驗與控制組間之差異性不大；在降雨強度之趨勢及累積降水方面，也可看出 reCCN*0.01 實驗與 CCN*1 控制組實驗之高相關性。在水相粒子的比較方面，reCCN*0.01 實驗與 CCN*1 控制組實驗間的差異性與氣膠數量濃度的變化間，其兩者間相關性不明顯。

在 domain4 中，CCN*100 實驗之累積雨量最高(圖 5.31)，這是因為在此個案中，其系統之降雨範圍較大，且受到氣膠濃度變化的影響，

氣膠數量濃度較高，造成區域平均降雨極值較低，但分佈範圍較為廣闊。在第四層區域的平均結果，導致 CCN*100 實驗之累積雨量為最高。對於大範圍的降水系統而言，因為 MM5 模式之 domain4 之水平範圍較小，且因為降水系統又受到氣膠濃度變化而改變其降水分佈位置以及降水發生時間，故模式對於降水的掌握度較低。

在兩組延伸實驗中，我們發現 CCN 數量濃度的改變雖然會對模式模擬結果造成改變，但其差異性並不大，雖然在整個 domain3 網域的平均降水依舊可看出數量濃度的減少對於降水系統的改變，但是在水相粒子水平分佈及垂直累積量的差異性並不高。猜測原因可能是因為在模式熱機過程(積分的第 0~12 小時)期間，降水系統的發展已受到初始條件之氣膠數量濃度所影響，系統內的降水粒子特性已被固定，及環境中的可用水氣已附著於活化的 CCN 上，後來再更改氣膠數量濃度，降水系統亦未有更加明顯的發展或消散，導致改變氣膠數量濃度對於後續降水系統發展的影響甚小。

第六章 結論

本論文研究利用中尺度 MM5 模式，配合 CLR 雲微物理參數法，針對梅雨鋒面季節典型鋒面降水個案及西南氣流降水個案，探討不同氣膠數量濃度對於天氣系統中雲及降水所造成的影響。主要結論如下：

- (1) CCN數量濃度的增加，將會導致大量小雲滴的生成，由於相互競爭環境中的水氣，使得形成的雲滴半徑較小，雲滴間的碰撞生成效率降低，雲滴自動轉化成雨滴的速率變慢，使得雨水推遲生成且發展受到抑制。當氣溶膠濃度降低時，大雲滴較快形成，雲滴的碰撞效率也增加，使得雨滴提前形成，並且生成的雨滴數比CCN數量濃度大時為多。
- (2) CCN數量濃度的改變對降雨產生了明顯的影響，累積降雨量隨著CCN數量濃度減少而增加，其系統發生降水時間也隨之提早，高濃度的CCN在降水生成初期表現出抑制和延緩降水的作用；在系統發展較為旺盛時期，高濃度CCN之降水強度有所增強，但累積降水量仍較低濃度CCN時為低。
- (3) 降雨分佈的範圍隨著CCN數量濃度的增加而增廣，但降水累積雨量的極值區變小，顯示降水分佈較為不集中，且在模擬雷達回波的水平分佈上，也有相似的情形。
- (4) 在第二個個案中，較多的CCN數量濃度時，會加強白吉龍-芬代生

過程，使得雪片的成長增加，但雲滴的粒徑偏小也會使得雪片與軟雹的澗化成長降低。在模擬的結果中，冰相粒子的混和比與CCN數量濃度變化間成非線性變化關係。

- (5) 在第二個個案中，因為外在環境的良好條件（強烈的西南氣流以及充沛的水氣），致使在CCN*100實驗中的雨水含量高於CCN*1，且在地面降水的模擬結果也高於CCN*1實驗。
- (6) 在延伸實驗中，雖然reCCN*0.01實驗所顯示出與控制組的的差異性不大，但在地面降水以及暖雨過程的部分依舊與氣膠濃度改變（即CCN*0.01）有相符的趨勢，未來若是改進此實驗，選取降水尺度較小、且降水時間尺度也較小的對流系統，如果模式對於此系統的移動掌握性較高，其氣膠濃度實驗之差異性可能會較為明顯。

本研究使用兩種降雨個案，考慮三種CCN數量濃度來進行模擬比較，經由研究發現，對於兩個案的降水系統而言，在中尺度下的天氣特徵，如降水系統發展時間、總累積降水量、降水系統雷達回波強度，其對於CCN數量濃度的增減，有較明顯的一致性的關係。然而CCN數量對於冰相粒子的演變過程，則沒有一致性的線性關係。綜合言之CCN數量濃度對於降水系統的影響，並非簡單的線性關係，CCN濃度的增減會對降水系統產生何種影響，原因還包括了降水系統本身之對流強度，環境

場的水氣含量，以及CCN本身粒徑的大小等，此外，模式本身在微物理參數法的計算過程不盡完善，亦有可能影響敏感性測試的比較結果。將來除了在參數法上改進其缺失之外，仍需要針對其他天氣系統，例如颱風、冬季冷鋒、夏季午後對流等之降水過程進行分類，加以做更深入的研究探討。

參考文獻

- Chen, J.-P., 1994: Theory of Deliquescence and Modified Köhler Curves. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 3505-3516.
- Chen, J.-P., and Lamb, D., 1994: Simulation of Cloud Microphysical and Chemical Processes Using a Multicomponent Framework. Part I: Description of the Microphysical Model. *J. Atmos. Sci.*, **51**, 2613-2630.
- Chen, J.-P., and Liu, S.-T., 2004: Physically based two-moment bulkwater parameterization for warm- cloud microphysics. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **130**, 51-78.
- Cheng, C.-T., Wang, W.-C., and Chen, J.-P., 2007: A modelling study of aerosol impacts on cloud radiative properties. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **133**, 283-279.
- Cheng, C.-T., Wang, W.-C., and Chen, J.-P., 2010: Simulation of the effects of increasing cloud condensation nuclei on mixed-phase clouds and precipitation of a front system. *Atmospheric Research*, **96**, 461-476
- David B. M., and Y. L. Kogan, 2008: A Bulk Parameterization of Giant CCN. *J. Atmos. Sci.*, **65**, 2458-2466.
- DeMott, P.J, and D.C. Rogers, 1990: Freezing Nucleation Rates of Dilute Solution Droplets Measured between -30° and -40°C in Laboratory Simulations of natural Clouds. *J. Atmos. Sci.*, **47**, 1056-1064.
- Fletcher. N. H., 1962: Physics of rain clouds. Cambridge University Press, p386
- Flossmann, A.I., 1998: Interaction of Aerosol Particles and Clouds, *J. Atmos. Sci.*, **55**, 879-887
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R., Stauffer, 1994 : A description of the fifth-generation Penn Stat / NCAR mesoscale model (MM5) . *NCAR Technical Note*, NCAR/TN-398+STR, pp.121
- Hobbs, P.V. and A.L. Rangno, 1996: Precipitation from a maritime cloud layer with very low droplet concentrations, *Atmospheric Research* **40**, 99-107.

- Hong, S.-Y., H.-M. H. Juang, and Q. Zhao, 1998: Implementation of prognostic cloud scheme for a regional spectral model, *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 2621-2639.
- Hong, S.-Y., J. Dudhia, and S.-H. Chen, 2004: A revised approach to ice microphysical processes for the bulk parameterization of clouds and precipitation. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 103-120.
- Kaufman, Y. J., and R. S. Fraser, 1997: The effect of smoke particles on clouds and climate forcing. *Science*, **277**, 1636-1639.
- Khain, A., A. Pokrovsky, M. Pinsky, et al., 2004: Simulation of effects of atmospheric aerosols on deep turbulent convective clouds using a spectral microphysics mixed phase cumulus cloud model. Part I: model description and possible applications. *J. Atmos. Sci.*, **61**, 2963-2982.
- Khain, A., D. Rosenfeld, A. Pokrovsky, 2005: Aerosol impact on the dynamics and microphysics of deep convective clouds. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **131**, 2639-2663
- Khain, A., N. Cohen, B. Lynn, and A. Pokrovsky, 2008: Possible Aerosol Effects on Lightning Activity and Structure of Hurricanes. *J. Atmos. Sci.*, **65**, 3652-3677
- Li Xiaowen, Wei-Kuo Tao, A. P. Khain, J. Simpson, Daniel E. Johnson. (2009) Sensitivity of a Cloud-Resolving Model to Bulk and Explicit Bin Microphysical Schemes. Part I: Cloud Microphysics and Storm Dynamics Interactions. *J. Atmos. Sci.* **66**, 3-21
- Li Xiaowen, Wei-Kuo Tao, A. P. Khain, J. Simpson, Daniel E. Johnson. (2009) Sensitivity of a Cloud-Resolving Model to Bulk and Explicit Bin Microphysical Schemes. Part II: Cloud Microphysics and Storm Dynamics Interactions. *J. Atmos. Sci.* **66**, 22-40
- Lin, Y., and B. A. Colle, 2009: The 4–5 December 2001 IMPROVE-2 Event: Observed microphysics and comparisons with the Weather Research and Forecasting model. *Mon. Wea. Rev.*, **137**, 1372-1392.
- Liou, K.N., and S.C. Ou, 1989: The role of cloud microphysical processes in

- climate: An assessment from a one-dimensional perspective, *J. Geophys. Res.*, **94**, 8599-8607
- Muhlbauer, A. and Lohmann, U. 2008: Sensitivity Studies of the Role of Aerosols in Warm-Phase Orographic Precipitation in Different Dynamical Flow Regimes. *J. Atmos. Sci.* **65**, 2522-2542
- Muhlbauer, A. and Lohmann, U. 2009: Sensitivity Studies of Aerosol–Cloud Interactions in Mixed-Phase Orographic Precipitation. *J. Atmos. Sci.* **66**, 9, 2517-2538
- Reisner, J., R. M. Rasmussen, R.T. Brientjes, 1998: Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* **124**, 1071-1107.
- Rosenfeld, D., 1999: TRMM observed first direct evidence of smoke from forest fires inhibiting rainfall. *Geophys. Res. Lett.*, **26**, 3105-3108.
- Rosenfeld, D. 2000: Suppression of rain and snow by urban and industrial air pollution. *Science*, **287**, 1793-1796.
- Ryan, Brian, F., 2000: A bulk parameterization of the ice particle size distribution and the optical properties in ice clouds, *J. Atmos. Sci.*, **57**, 1436-1451
- Tao W-K, X. Li, A. Khain, T. Matsui, S. Lang, and J. Simpson, 2007: Role of atmospheric aerosol concentration on deep convective precipitation: Cloud-resolving model simulations, *J. Geophys. Res.*, **112**, D24S18, doi:10.1029/2007JD008728.
- Thompson, G., R. M. Rasmussen, and K. Manning, 2004: Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part I: Description and sensitivity analysis. *Mon. Wea. Rev.*, **132**, 519-542.
- Twomey, S., 1977: The influence of pollution on the shortwave albedo of clouds. *J. Atmos. Sci.*, **34**, 1149-1152.
- Van Den Heever, S. and W. R. Cotton, 2007: Urban Aerosol Impacts on Downwind Convective Storms. *J. Appl. Meteor. climate.*, **46**, 828-850

Wang, C., 2005: A modeling study of the response of tropical deep convection to the increase of cloud condensation nuclei concentration: 1. Dynamics and microphysics. *J. Geophys. Res.*, **110**, D21211, 16 PP., doi: 10.1029 /2004JD005720

Williams, E., et al., 2002: Contrasting convective regimes over the Amazon: Implications for cloud electrification. *J. Geophys. Res.*, **107**, 8082, doi: 10.1029/2001JD000380

Zhang, L., D.V. Michelangeli and P.A. Taylor, 2006: Influence of aerosol concentration on precipitation formation in low-level, warm stratiform clouds. *J. Aerosol Science*, **37**, 203-217

表 4.1

Mode(factor)	Number (cm ⁻³)			Mean (μm)			Geometric width		
	Nu (×10 ³)	Ac (×10 ³)	Co	Nu (×10 ⁻³)	Ac (×10 ⁻²)	Co	Nu	Ac	Co
Clean	1.0	0.8	0.72	8.0	3.3	0.46	0.47	0.74	0.79
Average	6.4	2.3	3.20	7.5	3.8	0.51	0.53	0.69	0.77
urban	106.	32.0	5.4	7.0	2.7	0.43	0.59	0.77	0.79

海洋背景(clean)、平均背景(Average)和都市(Urban)型氣膠，其核模 (nucleation mode; Nu.)、累積模(accumulation mode; Ac.)和粗模(coarse mode; Co.) 的數量、平均粒子大小和幾何寬度。(Whitby, 1978)

圖示

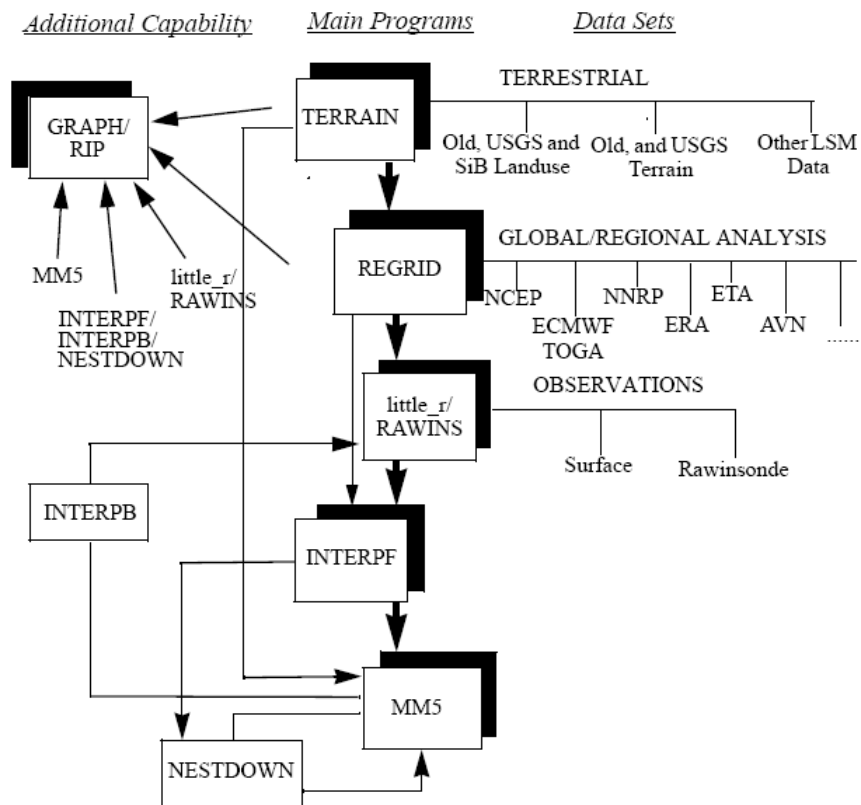


圖 2.1 : MM5 模式中各模組模擬流程圖 (取自 MM5 使用者手冊)

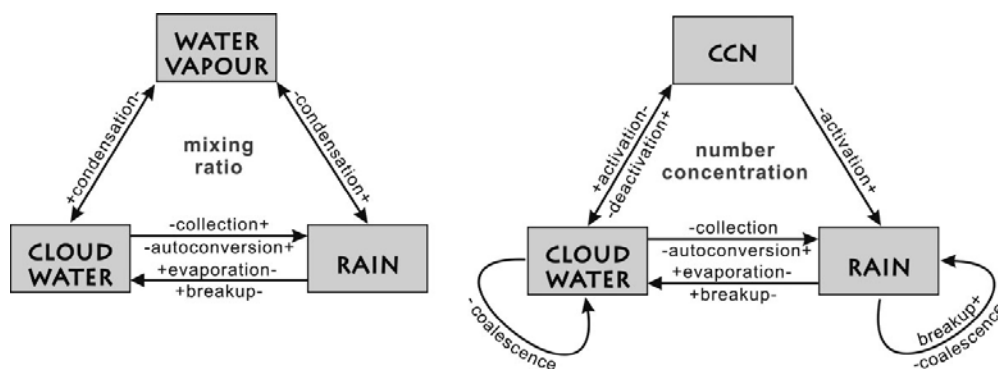


圖 2.2：左圖和右圖分別表示在C&L scheme 中混合比和數量濃度所影響的物理過程。正(負)號表示對凝結過程為正(負)貢獻。(源自Chen and Liu, 2004)

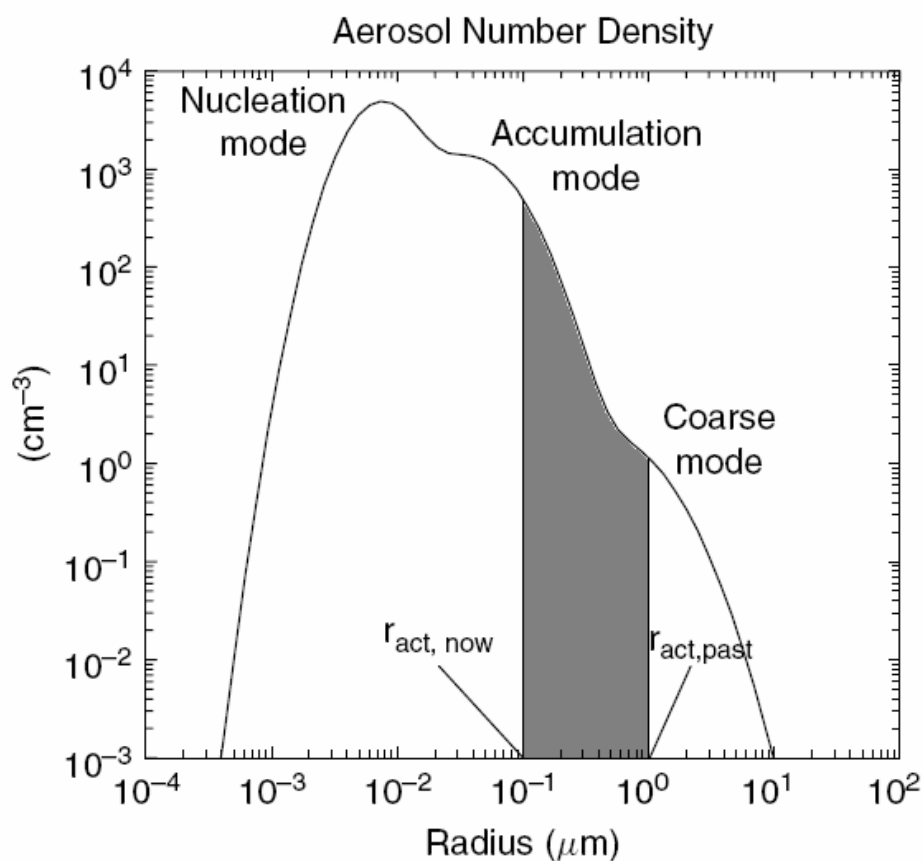
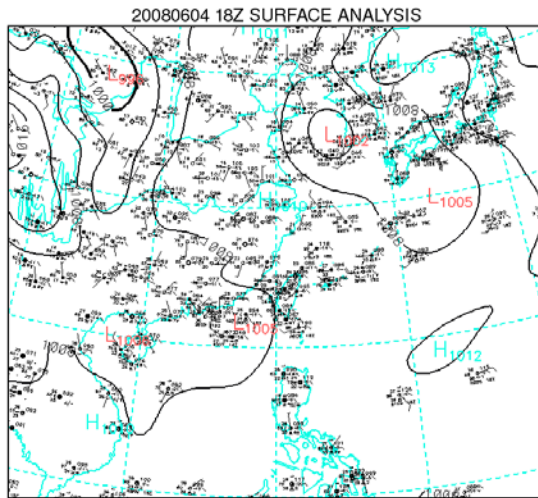
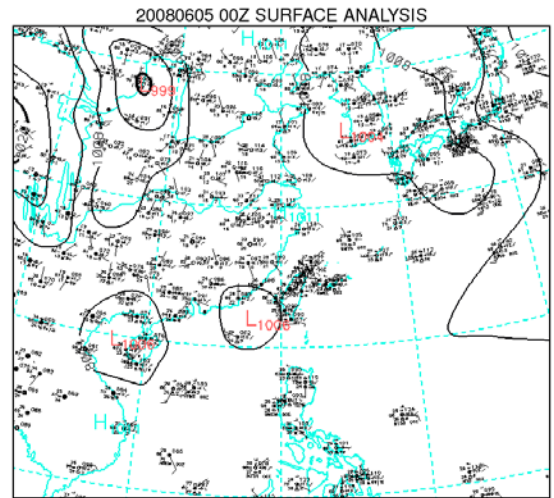


圖 2.3：CCN 活化於氣膠三模對數常態粒徑分佈概要圖。灰色區域是 CCN 被活化的數量。(Cheng, 2007)。

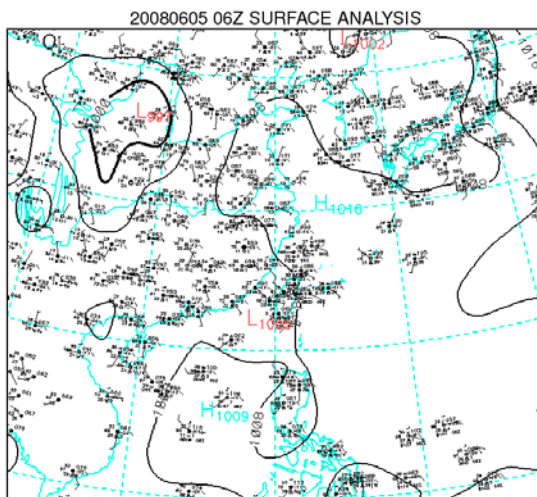
(a)



(b)



(c)



(d)

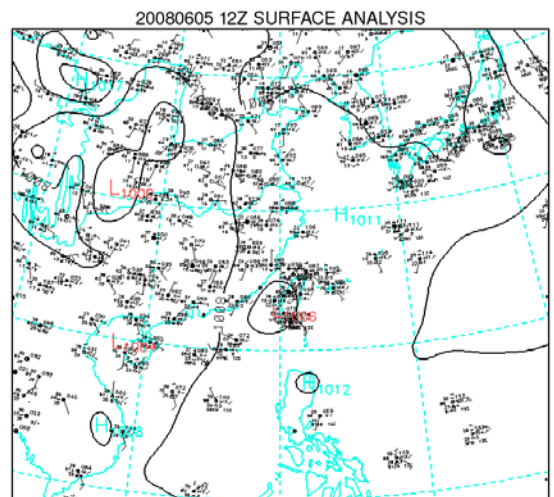
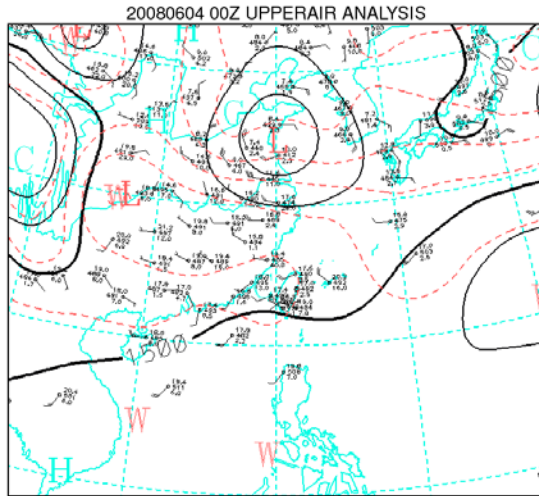
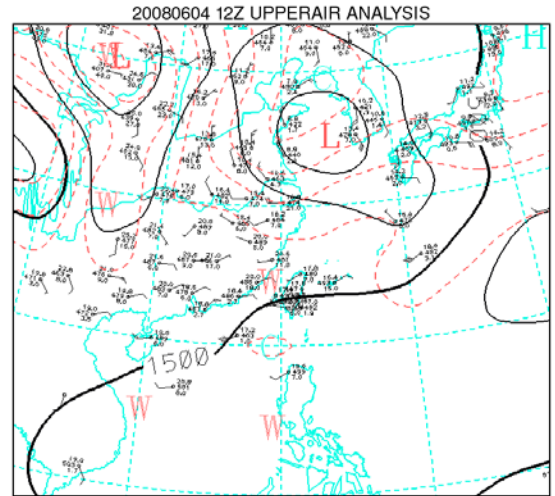


圖 3.1：(a) 2008 年 6 月 4 日 1800UTC 地面天氣圖；(b) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面天氣圖；(c) 2008 年 6 月 5 日 0600UTC 地面天氣圖；(d) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 地面天氣圖。

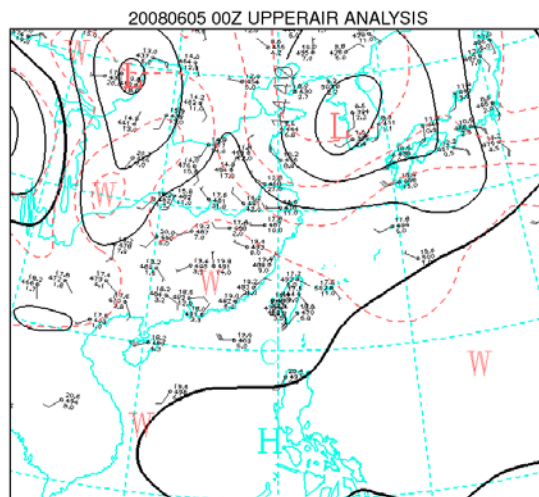
(a)



(b)



(c)



(d)

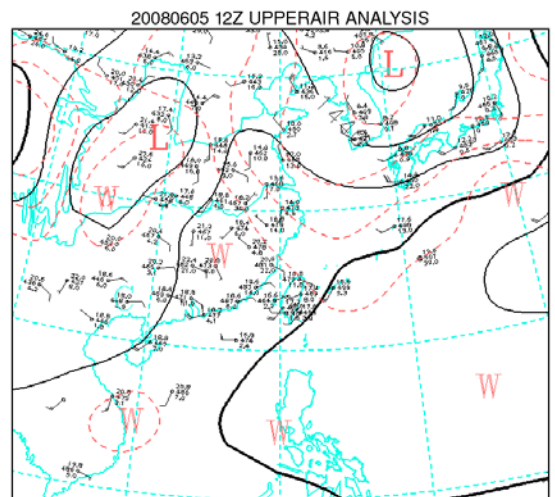
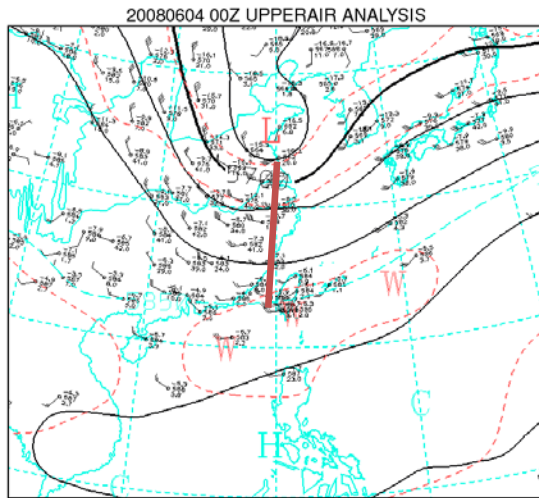
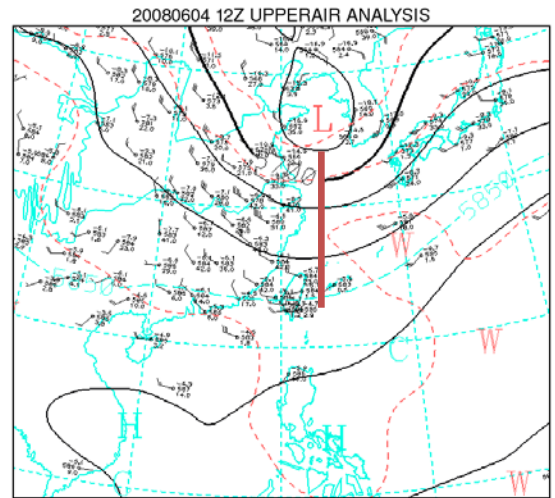


圖 3.2：(a) 2008 年 6 月 4 日 0000UTC 850 百帕天氣圖；(b) 2008 年 6 月 4 日 1200UTC850 百帕天氣圖；(c) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面 850 百帕天氣圖；(d) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC850 百帕天氣圖。黑色實線為等高線，黑色粗實線為 1500 公尺等高線，紅色虛線為等溫線。

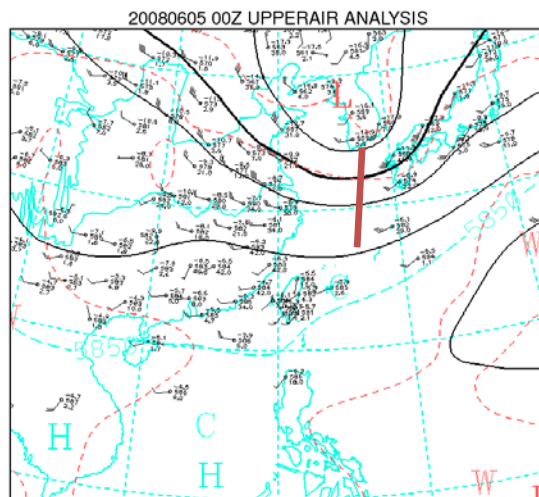
(a)



(b)



(c)



(d)

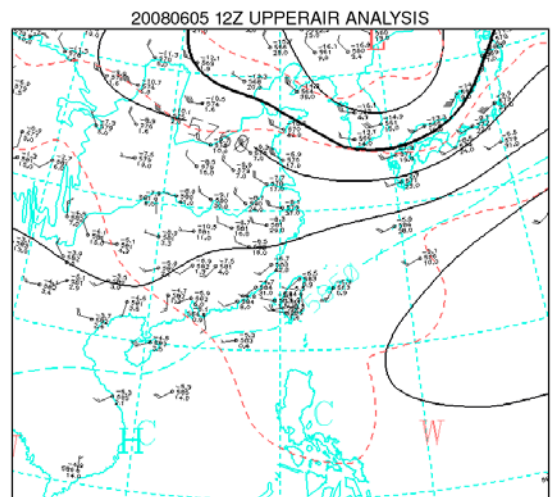
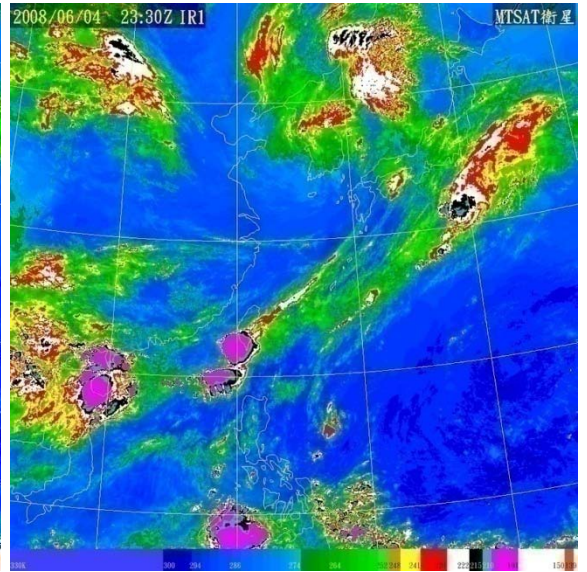
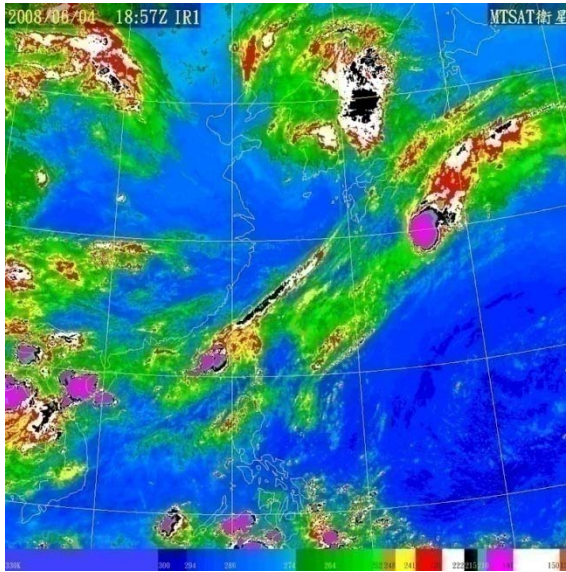


圖 3.3：(a) 2008 年 6 月 4 日 0000UTC 500 百帕天氣圖；(b) 2008 年 6 月 4 日 1200UTC 500 百帕天氣圖；(c) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 500 百帕天氣圖；(d) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 500 百帕天氣圖。黑色實線為等高線，黑色粗實線為 5700 公尺等高線，紅色虛線為等溫線。

(a) 2008/06/04/18:57 UTC

(b) 2008/06/04/23:30 UTC



(c) 2008/06/05/06:57 UTC

(d) 2008/06/05/14:57 UTC

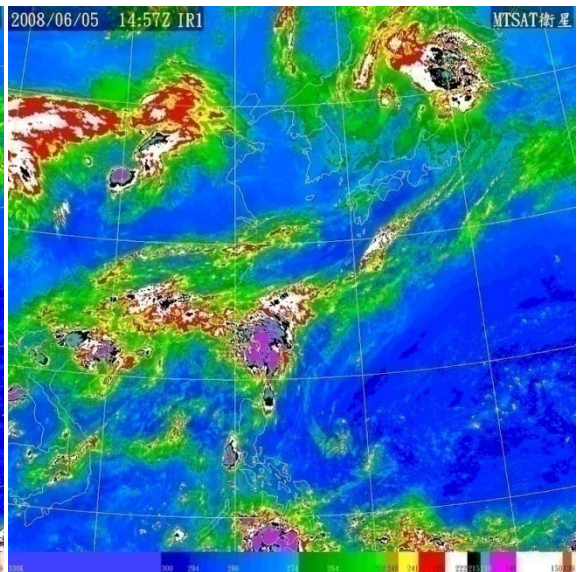
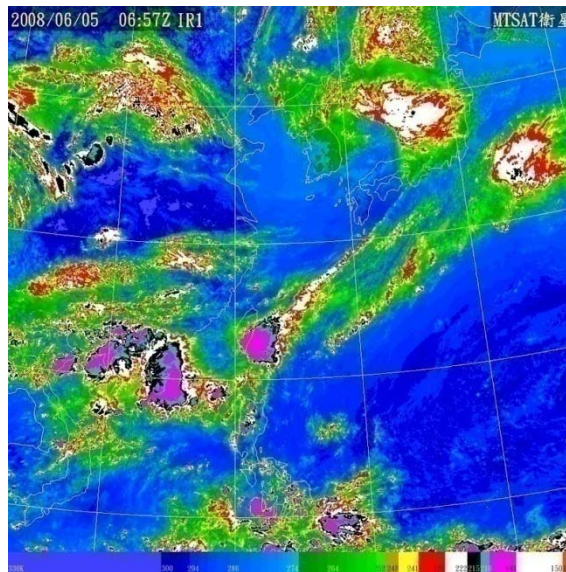


圖 3.4：中央氣象局 2008 年 6 月 4 日至 6 月 5 日紅外線色調強化圖

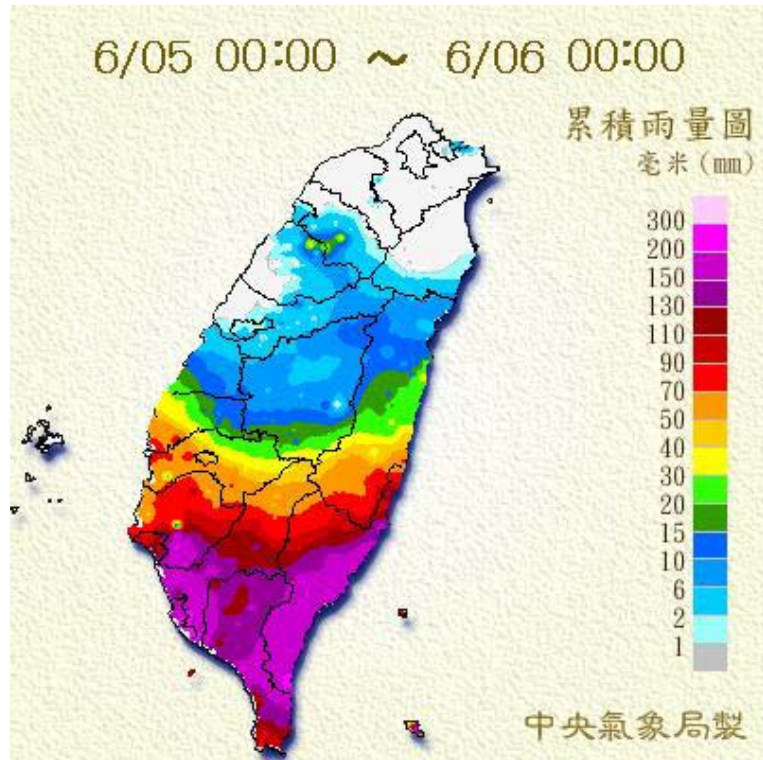
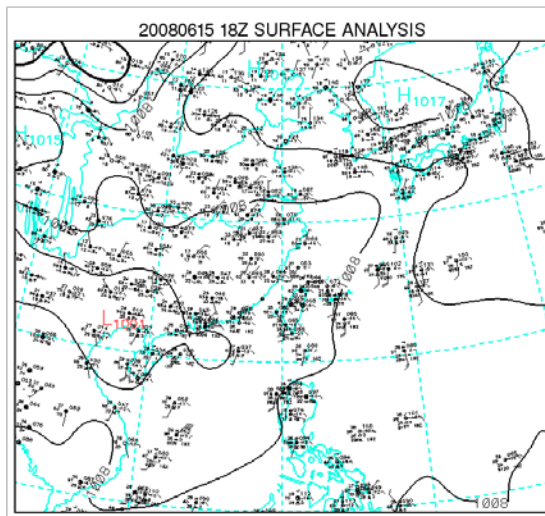
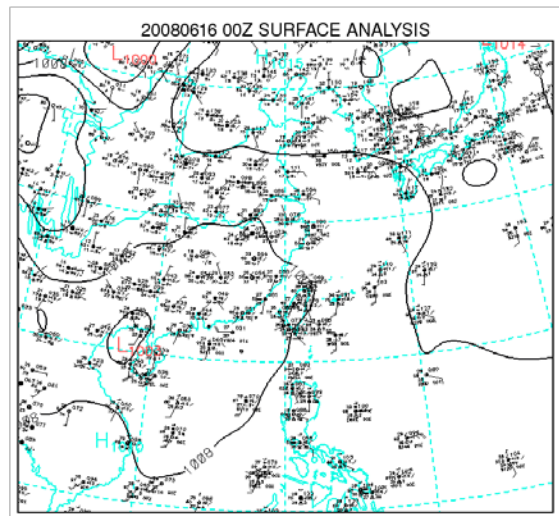


圖 3.5：2008 年 6 月 5 日 0000LST~2008 年 6 月 6 日 0000LST 24 小時
地面累積雨量圖。

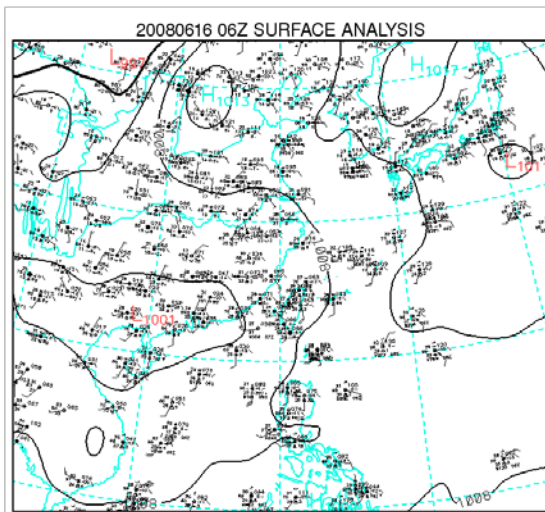
(a)



(b)



(c)



(d)

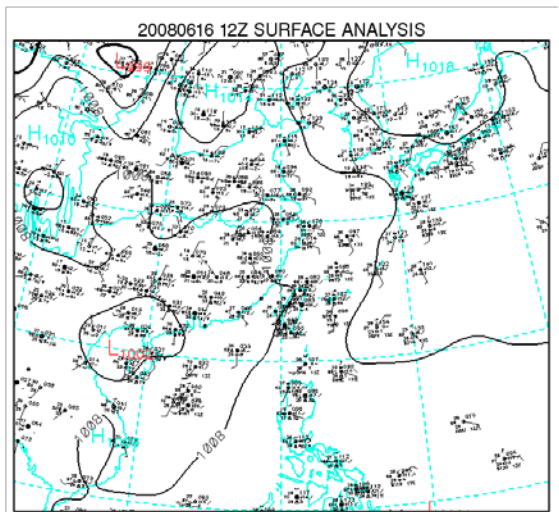
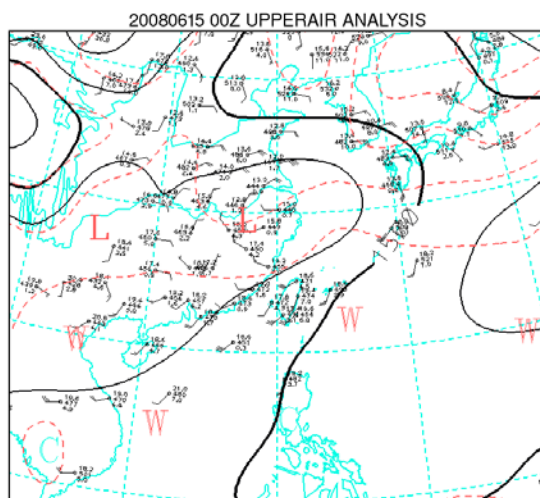
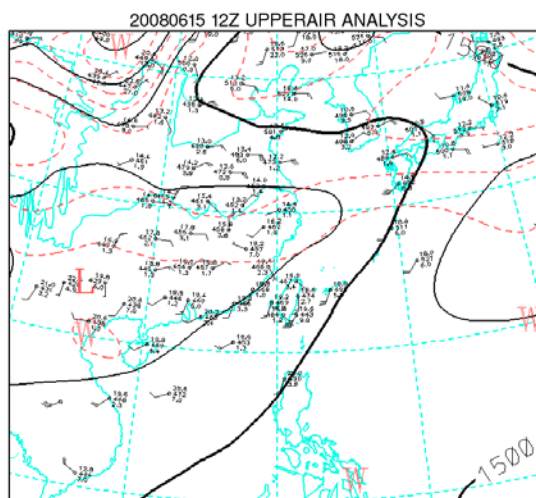


圖 3.6：(a) 2008 年 6 月 15 日 1800UTC 地面天氣圖；(b) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面天氣圖；(c) 2008 年 6 月 16 日 0600UTC 地面天氣圖；(d) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC 地面天氣圖。

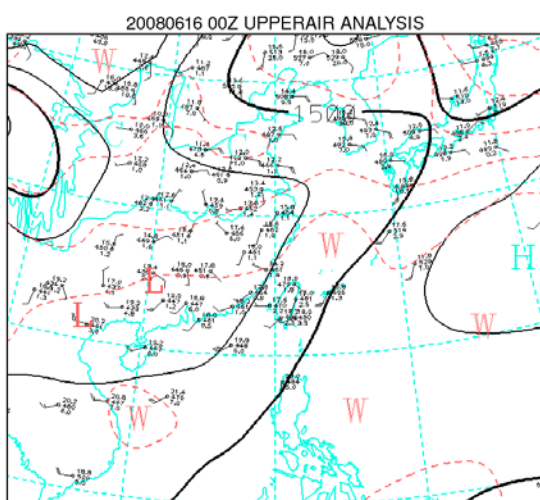
(a)



(b)



(c)



(d)

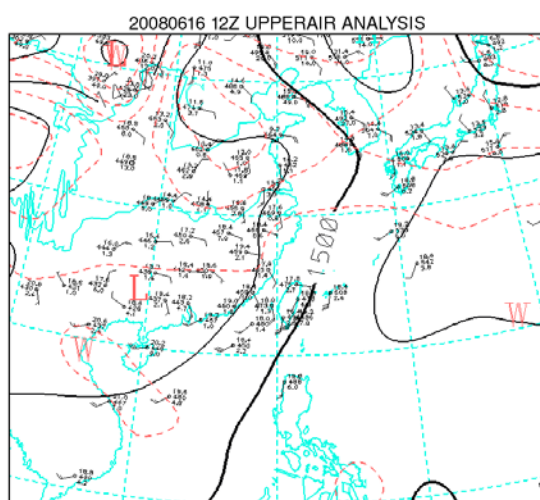
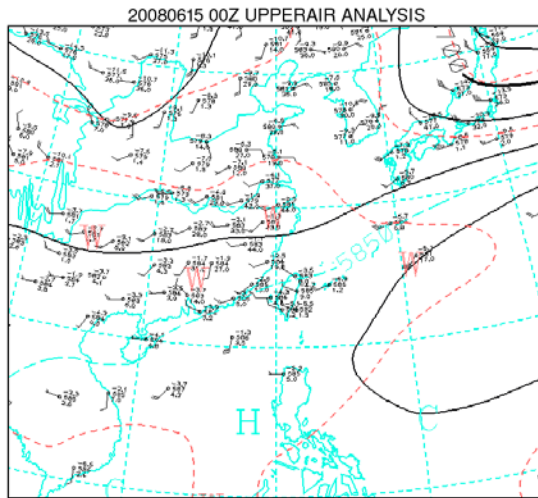
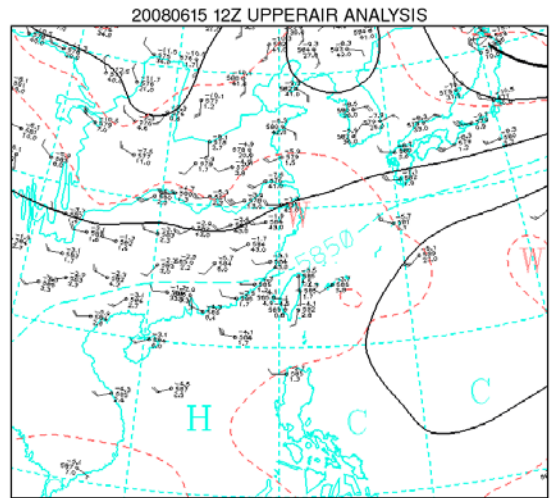


圖 3.7：(a) 2008 年 6 月 15 日 0000UTC 850 百帕天氣圖；(b) 2008 年 6 月 15 日 1200UTC 850 百帕天氣圖；(c) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面 850 百帕天氣圖；(d) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC850 百帕天氣圖。黑色實線為等高線，黑色粗實線為 1500 公尺等高線，紅色虛線為等溫線。

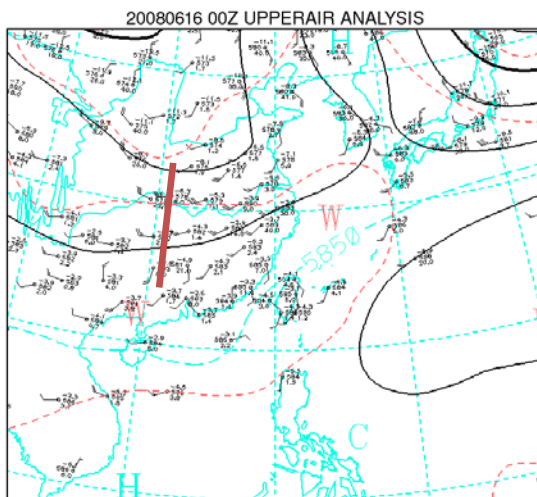
(a)



(b)



(c)



(d)

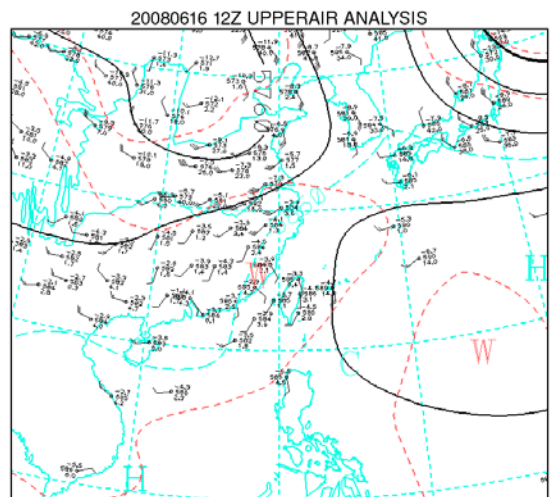
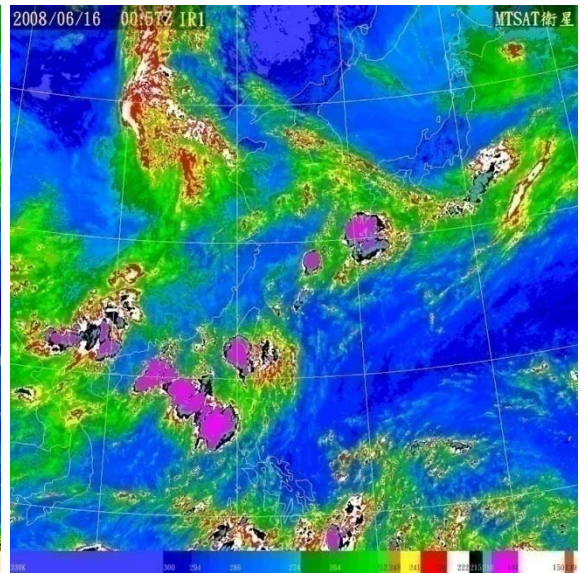
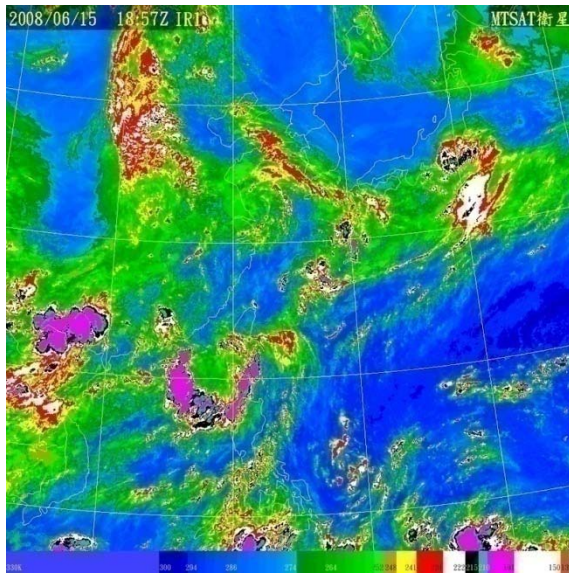


圖 3.8：(a) 2008 年 6 月 15 日 0000UTC 500 百帕天氣圖；(b) 2008 年 6 月 15 日 1200UTC 500 百帕天氣圖；(c) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 500 百帕天氣圖；(d) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC 500 百帕天氣圖。黑色實線為等高線，黑色粗實線為 5700 公尺等高線，紅色虛線為等溫線。

(a) 2008/06/15/18:57 UTC

(b) 2008/06/16/00:57 UTC



(c) 2008/06/16/05:30 UTC

(d) 2008/06/16/14:57 UTC

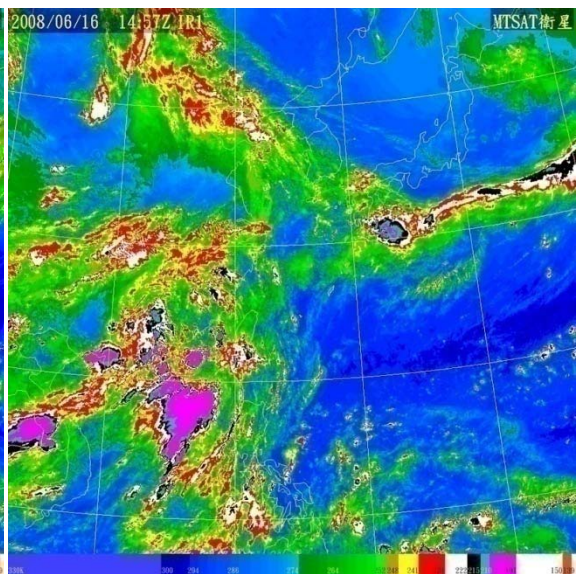
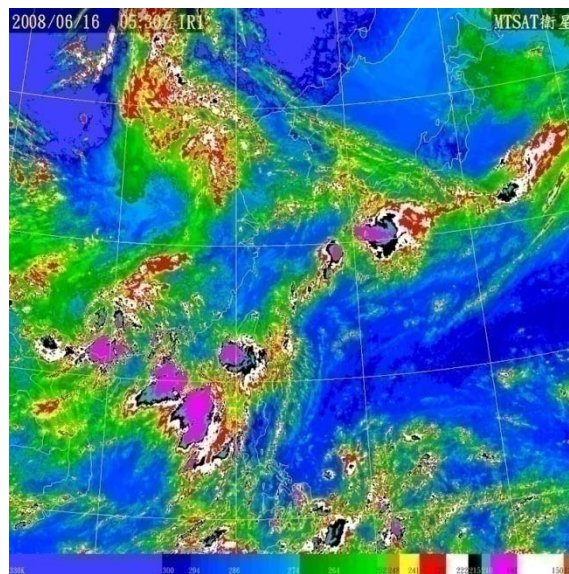


圖 3.9：中央氣象局 2008 年 6 月 15 日至 6 月 16 日紅外線色調強化圖

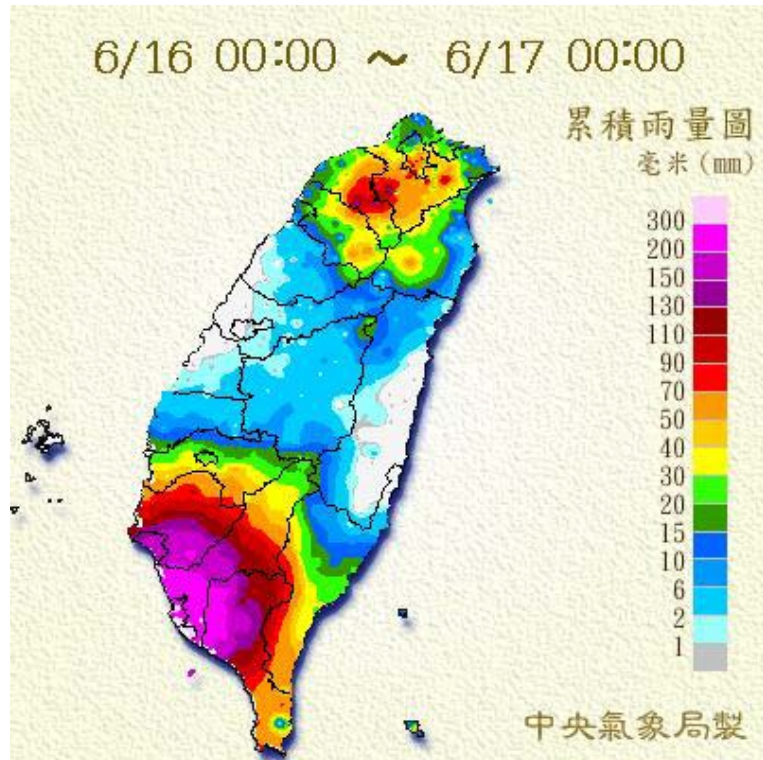


圖 3.10：2008 年 6 月 16 日 0000LST~2008 年 6 月 17 日 0000LST 24 小時地面累積雨量圖。

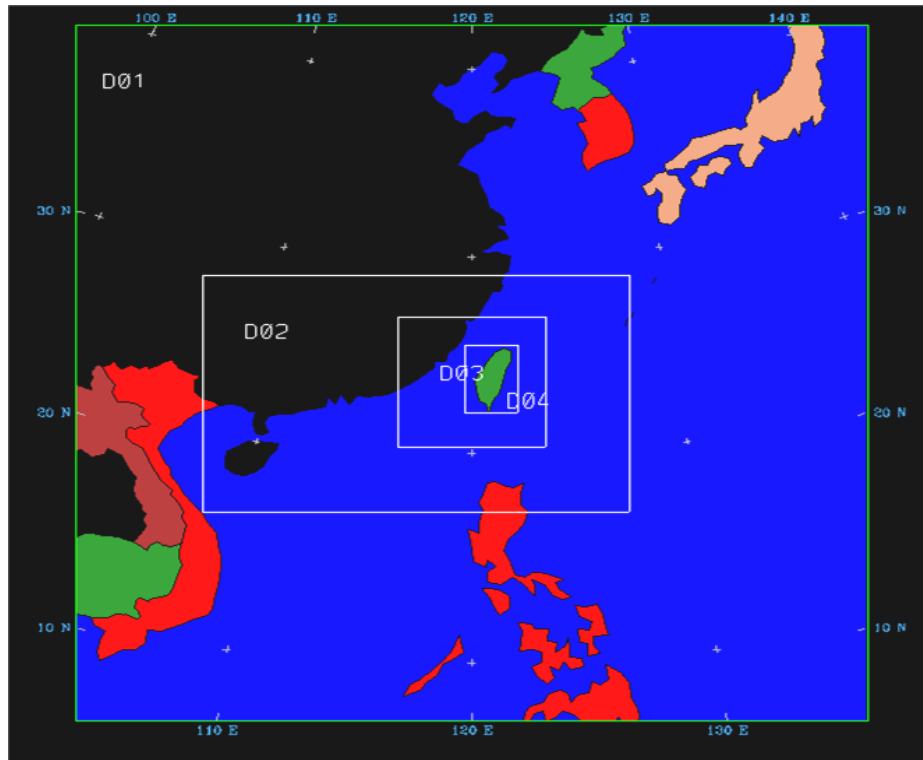
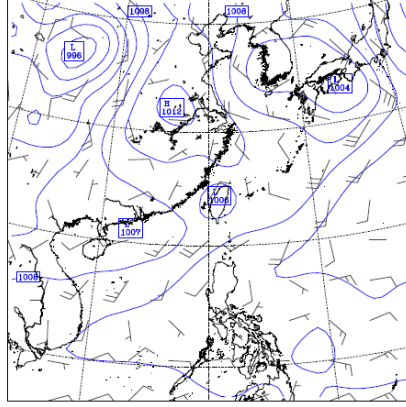


圖 4.1：MM5 模式巢狀網格層，網格間距：D01、D02、D03、D04 分別為 81、27、9、3 公里。

(a)

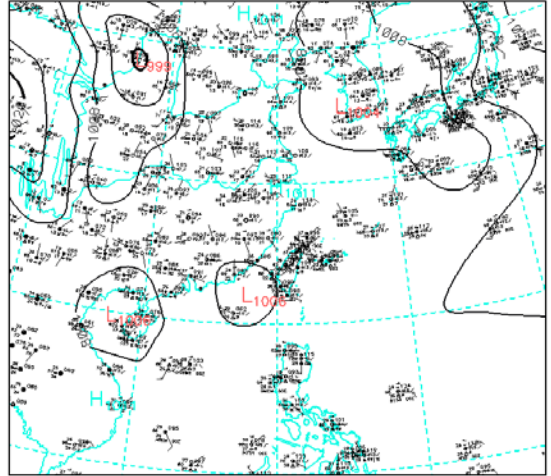
Dataset: 03t1 RIP: slp Valid: 0000 UTC Thu 05 Jun 08 Init: 0000 UTC Tue 03 Jun 08
Fcst: 48.00 h at pressure = 990 hPa str= 4
Sea-level pressure
Horizontal wind vectors



BASE VECTORS: FULL BASE = 5 m s⁻¹
CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 998.00 HIGH= 1018.0 INTERVAL= 2.000
Model info: V3.4.0 Grell MRF PH 81 km, 34 levels, 180 sec

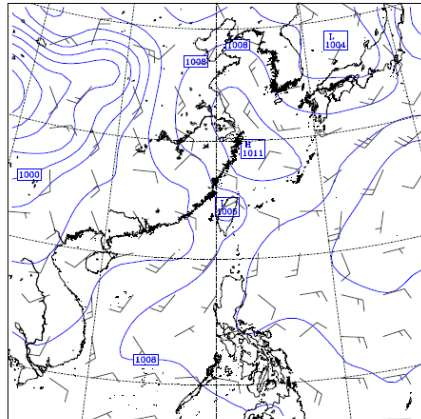
(b)

20080605 00Z SURFACE ANALYSIS



(c)

Dataset: 03t1 RIP: slp Valid: 1200 UTC Thu 05 Jun 08 Init: 0000 UTC Tue 03 Jun 08
Fcst: 60.00 h at pressure = 990 hPa str= 4
Sea-level pressure
Horizontal wind vectors



BASE VECTORS: FULL BASE = 5 m s⁻¹
CONTOURS: UNITS=hPa LOW= 998.00 HIGH= 1018.0 INTERVAL= 2.000
Model info: V3.4.0 Grell MRF PH 81 km, 34 levels, 180 sec

(d)

20080605 12Z SURFACE ANALYSIS

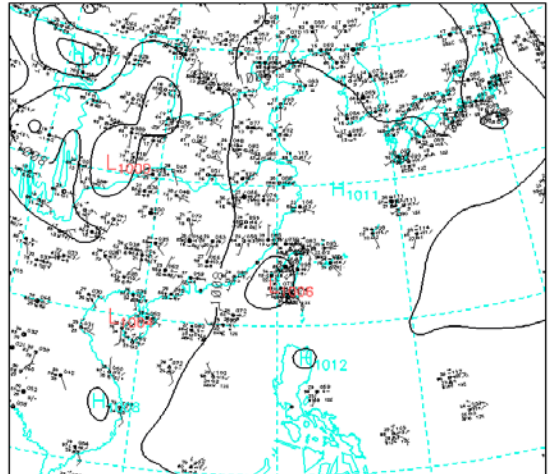
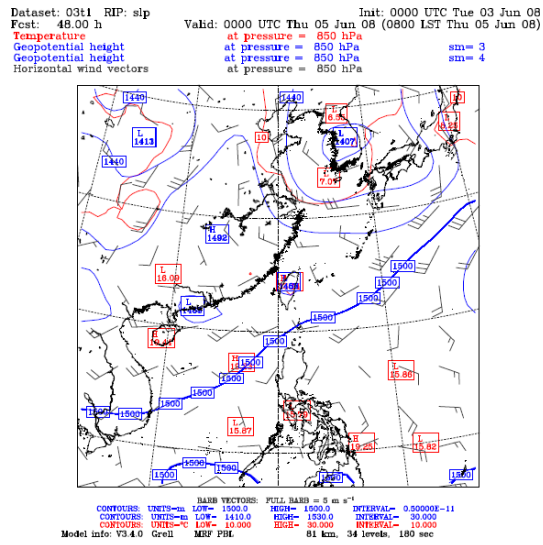
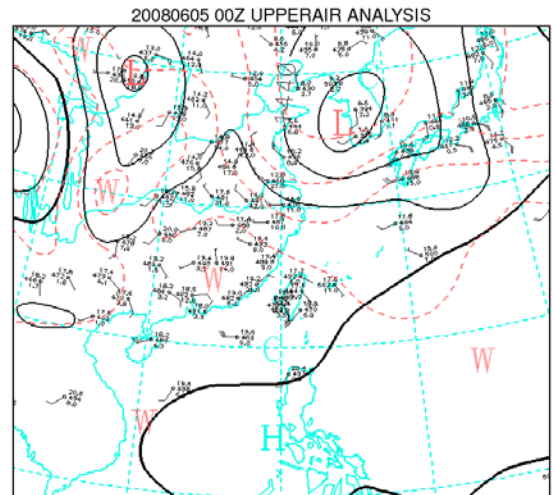


圖 5.1 : (a)(模式) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面天氣圖; (b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 地面天氣圖; (c) (模式) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 地面天氣圖; (d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 地面天氣圖。

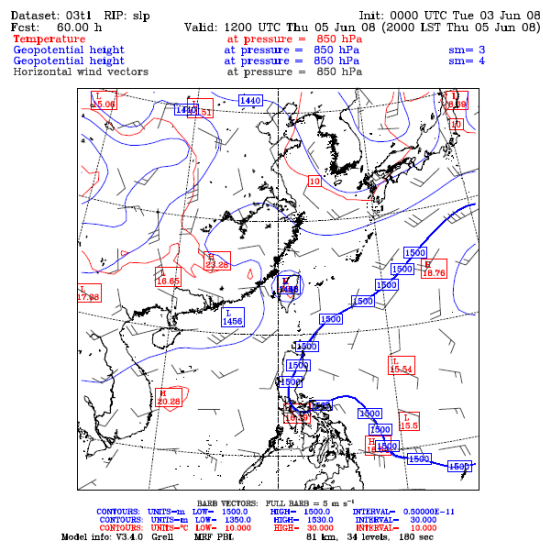
(a)



(b)



(c)



(d)

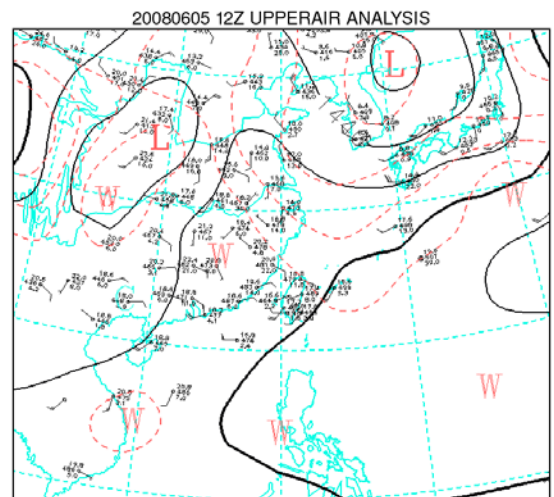
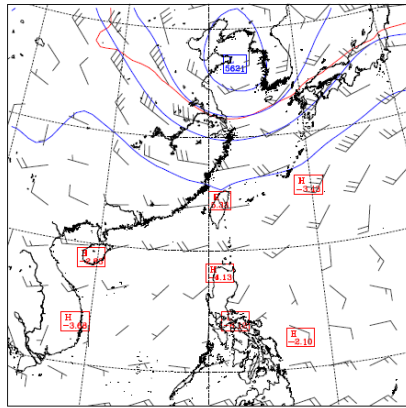


圖 5.2 : (a)(模式) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 850 百帕高度場;(b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC850 百帕高度場;(c) (模式) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC850 百帕高度場;(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 1200UTC 850 百帕高度場。

(a)

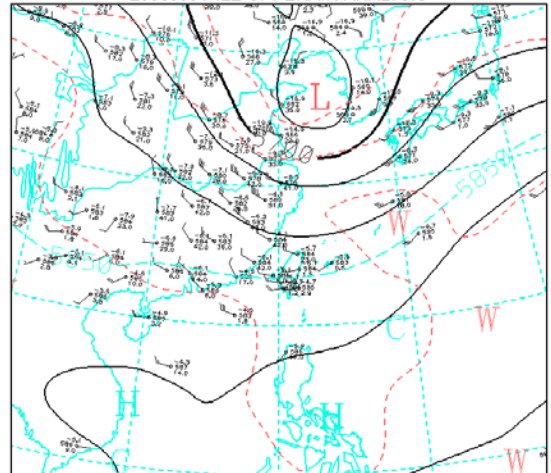
Dataset: 03t1 RIP: slp Init: 0000 UTC Tue 03 Jun 08
Fest: 36.00 h Valid: 1200 UTC Wed 04 Jun 08 (2000 LST Wed 04 Jun 08)
Temperature at pressure = 500 hPa
Geopotential height at pressure = 500 hPa sm= 4
Horizontal wind vectors at pressure = 500 hPa



CONTOURS: UNITS-m LOW= 2040.0 HIGH= 6000.0 INTERVAL= 60.000
CONTOURS: UNITS-C LOW= -10.000 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 10.000
Model info: V3.4.0 Grell MSF FUL 81 km, 34 levels, 180 sec

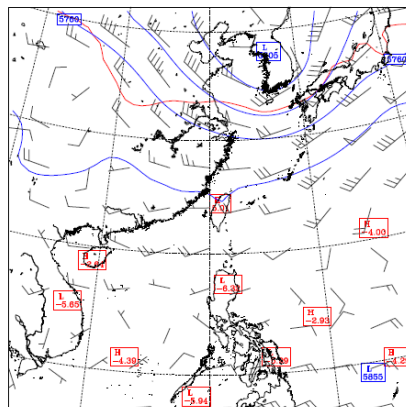
(b)

20080604 12Z UPPERAIR ANALYSIS



(c)

Dataset: 03t1 RIP: slp Init: 0000 UTC Tue 03 Jun 08
Fest: 48.00 h Valid: 0000 UTC Thu 05 Jun 08 (0800 LST Thu 05 Jun 08)
Temperature at pressure = 500 hPa
Geopotential height at pressure = 500 hPa sm= 4
Horizontal wind vectors at pressure = 500 hPa



CONTOURS: UNITS-m LOW= 2040.0 HIGH= 6000.0 INTERVAL= 60.000
CONTOURS: UNITS-C LOW= -10.000 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 10.000
Model info: V3.4.0 Grell MSF FUL 81 km, 34 levels, 180 sec

(d)

20080605 00Z UPPERAIR ANALYSIS

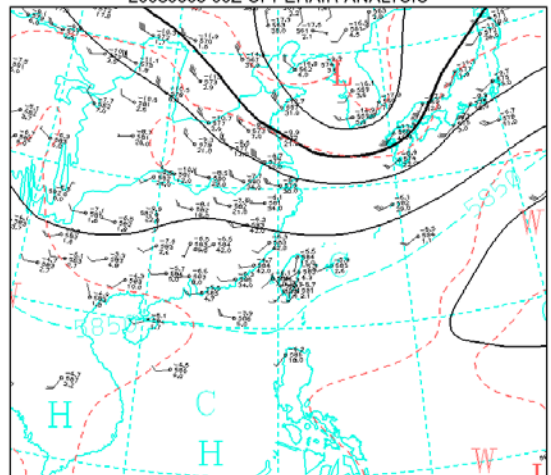
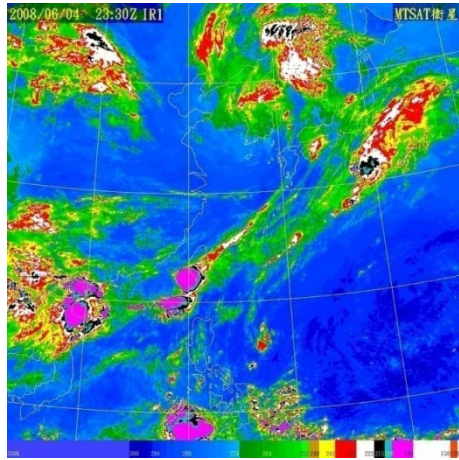
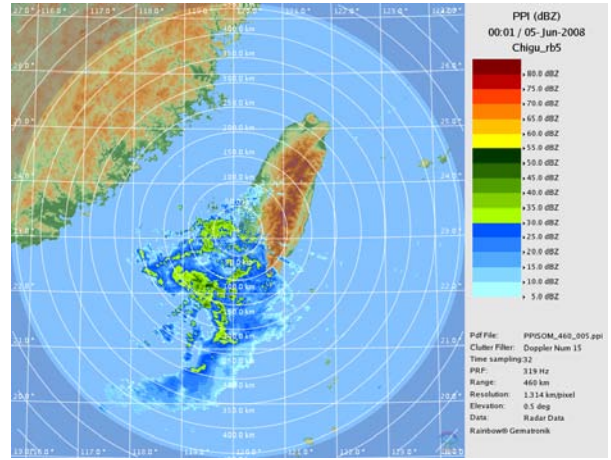


圖 5.3 : (a)(模式) 2008 年 6 月 4 日 1200UTC 500 百帕高度場;(b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 4 日 1200UTC 500 百帕高度場;(c) (模式) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 500 百帕高度場;(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 5 日 0000UTC 500 百帕高度場。

(a)紅外線衛星雲圖

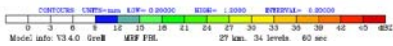
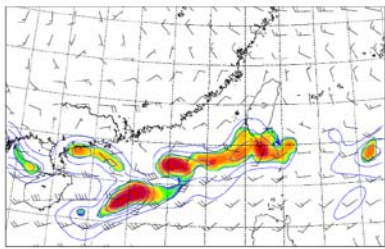


(b)雷達回波圖



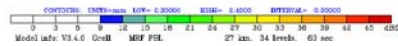
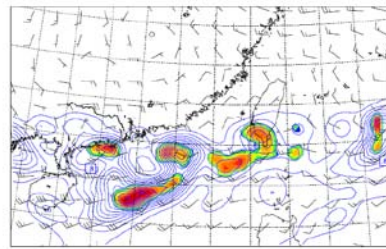
(c)CCN*0.01

Dataset: 030012 RFP: inteq Init: 0000 UTC Tue 03 Jun 06
Fcat: 48.00 h Valid: 0000 UTC Thu 05 Jun 08 (0800 LST Thu 05 Jun 08)
Reflectivity at height = 1.00 km sm= 5
Column-integ. cloud liq. water
Horizontal wind vectors at pressure = 850 hPa



(d)CCN*1

Dataset: C312 RFP: inteq Init: 0000 UTC Tue 03 Jun 06
Fcat: 48.00 h Valid: 0000 UTC Thu 05 Jun 08 (0800 LST Thu 05 Jun 08)
Reflectivity at height = 1.00 km sm= 5
Column-integ. cloud liq. water
Horizontal wind vectors at pressure = 850 hPa



(e)CCN*100

Dataset: 031002 RFP: inteq Init: 0000 UTC Tue 03 Jun 06
Fcat: 48.00 h Valid: 0000 UTC Thu 05 Jun 08 (0800 LST Thu 05 Jun 08)
Reflectivity at height = 1.00 km sm= 5
Column-integ. cloud liq. water
Horizontal wind vectors at pressure = 850 hPa

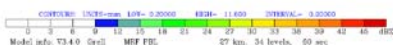
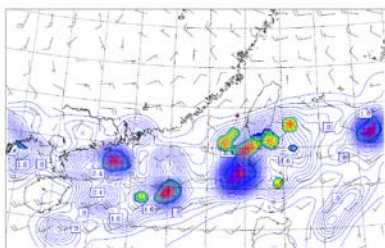
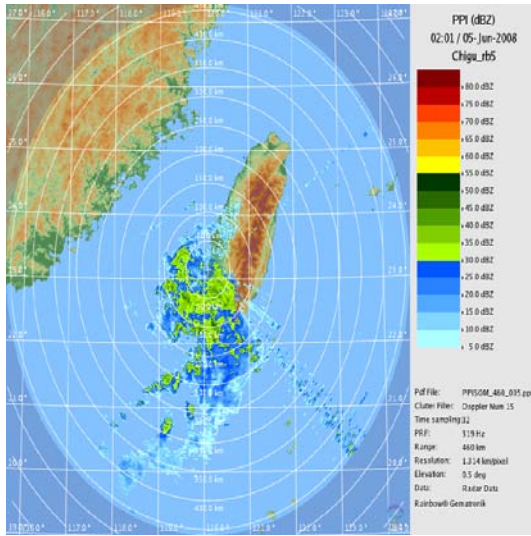
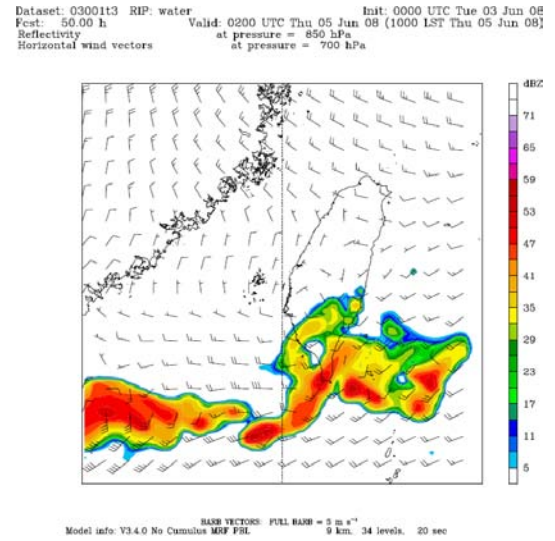


圖 5.4 : 0605 0000UTC(a)紅外線衛星雲圖;(b)雷達回波圖;(c)CCN*0.01;(d)CCN*1;(e)CCN*100 之 1km 高度之雷達回波以及垂直雲水含量。

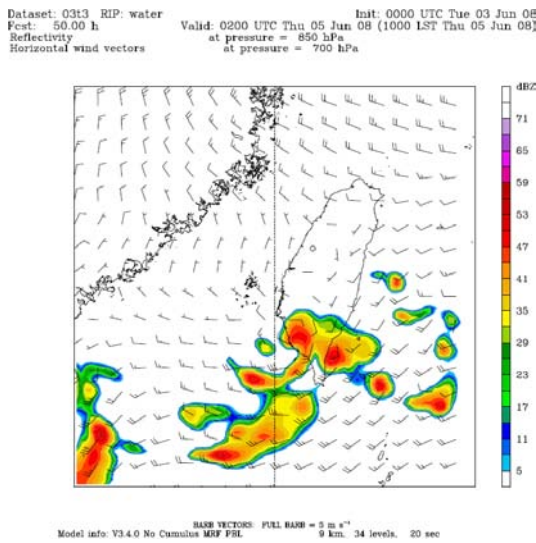
(a)雷達回波



(b)CCN*0.01



(c)CCN*1



(d)CCN*100

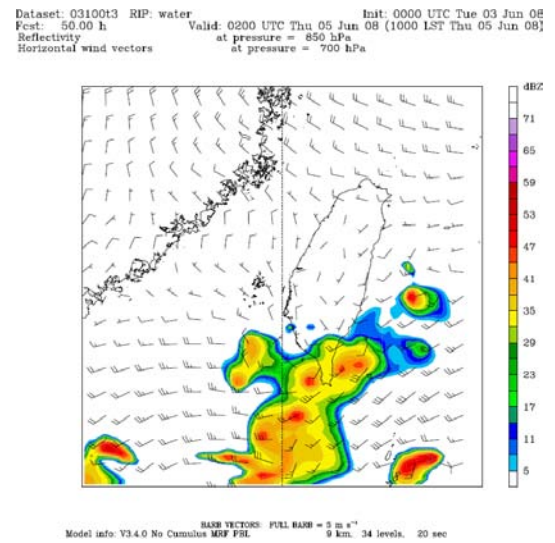
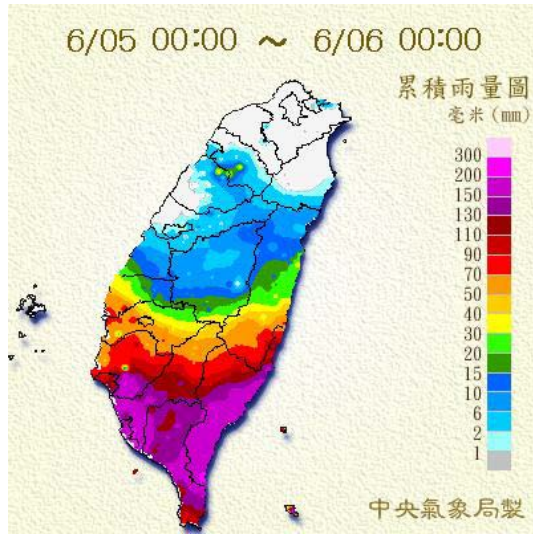
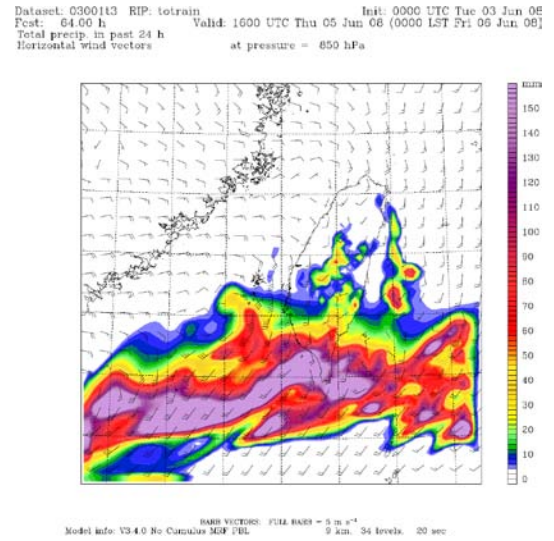


圖 5.5 : 20080605 0200UTC 850 百帕雷達回波圖，風標為 700 百帕風場。
(a)雷達觀測值;(b)CCN*0.01;(c)CCN*1;(d)CCN*100

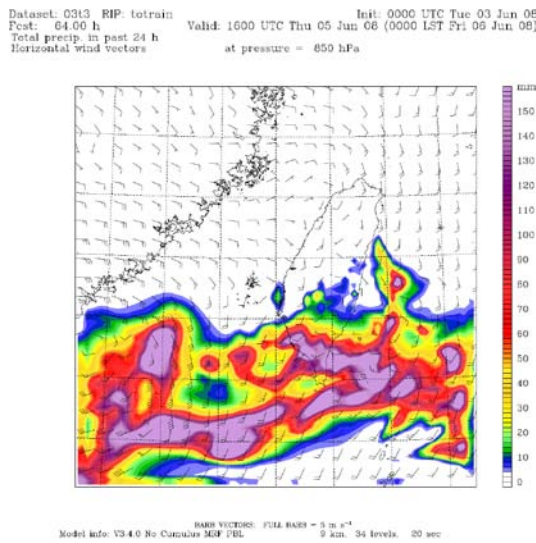
(a)



(b)CCN*0.01



(c)CCN*1



(d)CCN*100

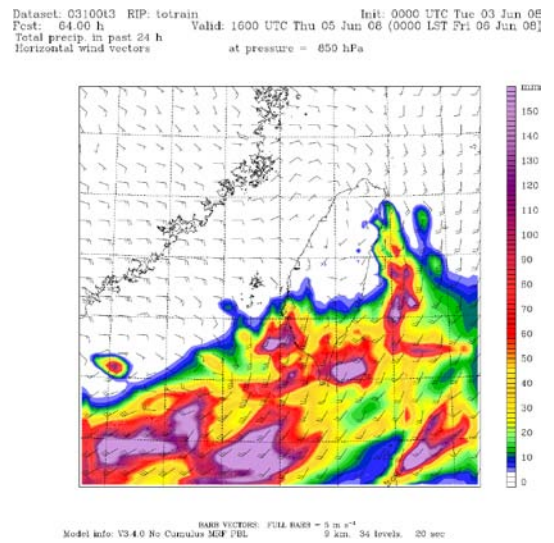
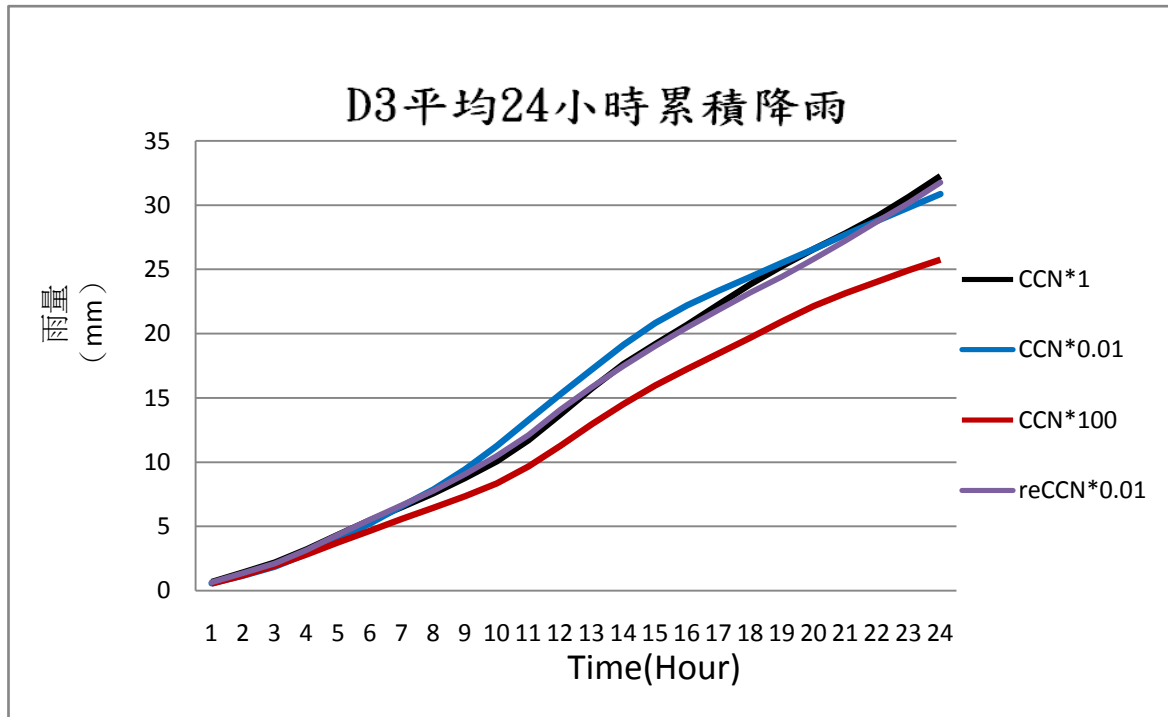


圖 5.6：2008 年 6 月 5 日 0000LST~2008 年 6 月 6 日 0000LST 24 小時地面
 累積雨量圖，風標為 850 百帕風場。(a)中央氣象局；(b)；(c)；(d)為 CCN*0.01，
 CCN*1，CCN*100。

(a)



(b)

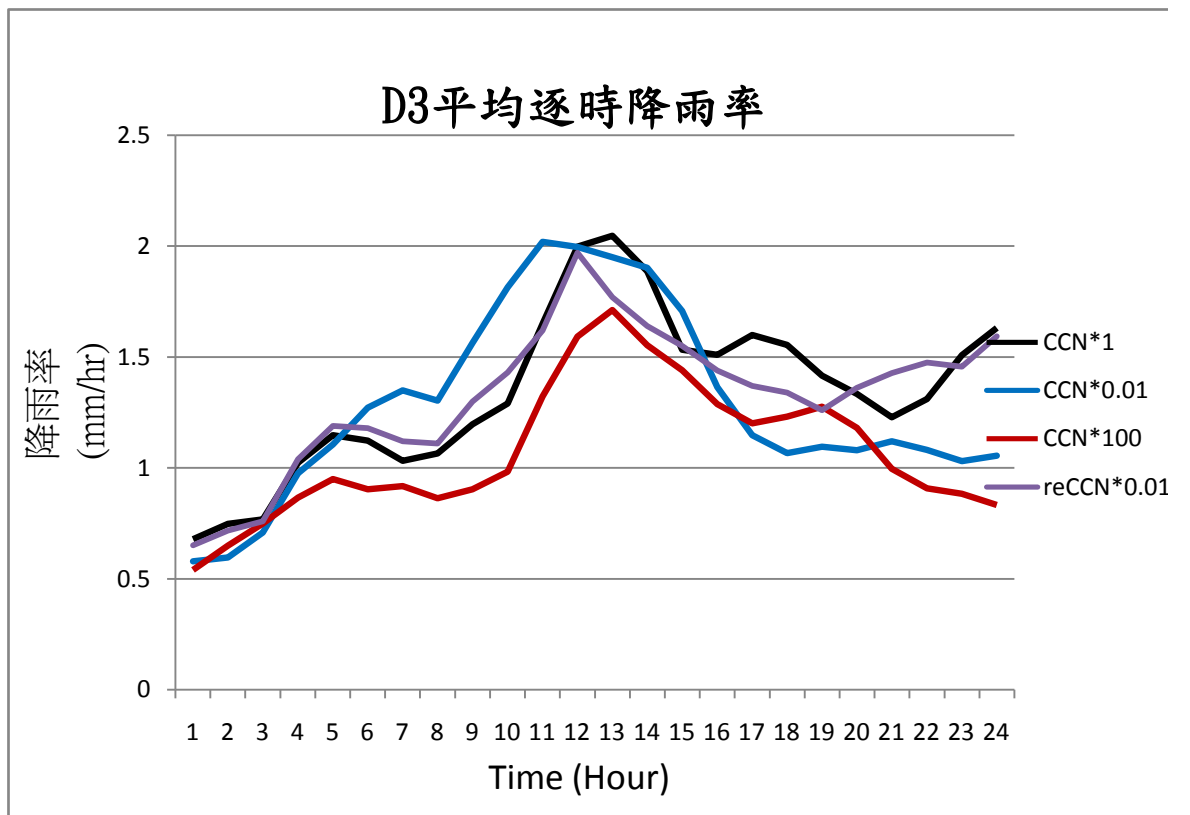
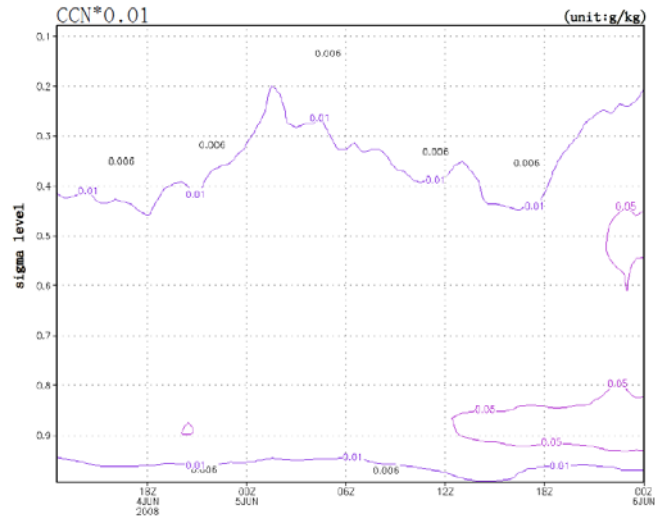
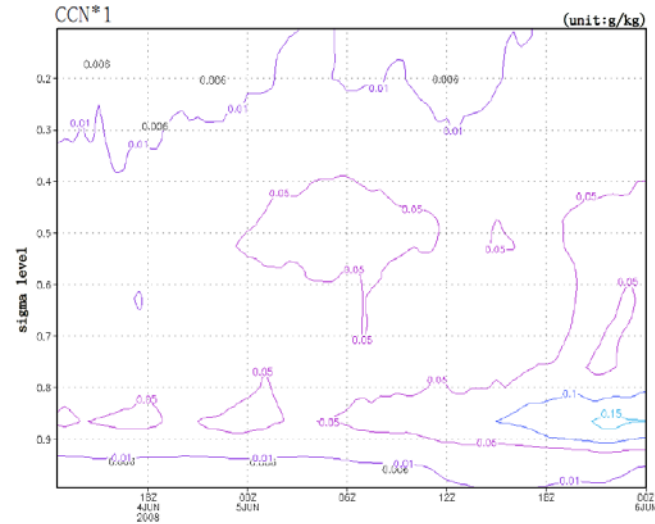


圖 5.7 : D3 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累積雨量。

(a)
CCN*0.01



(b)
CCN*1



(c)
CCN*100

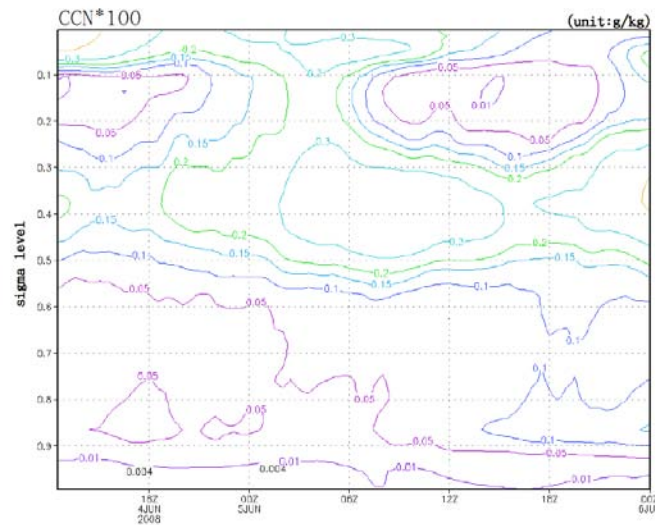
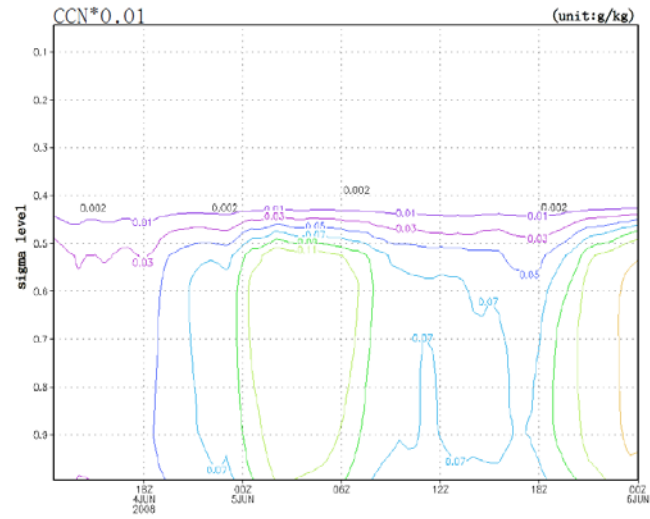
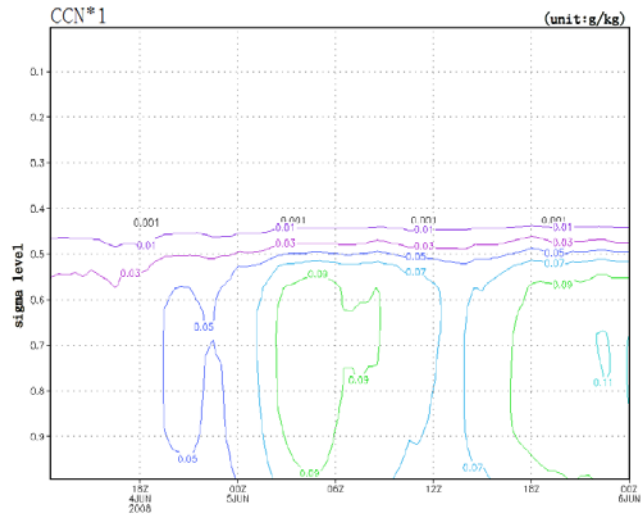


圖 5.8：雲水混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

(a)
CCN*0.01



(b)
CCN*1



(c)
CCN*100

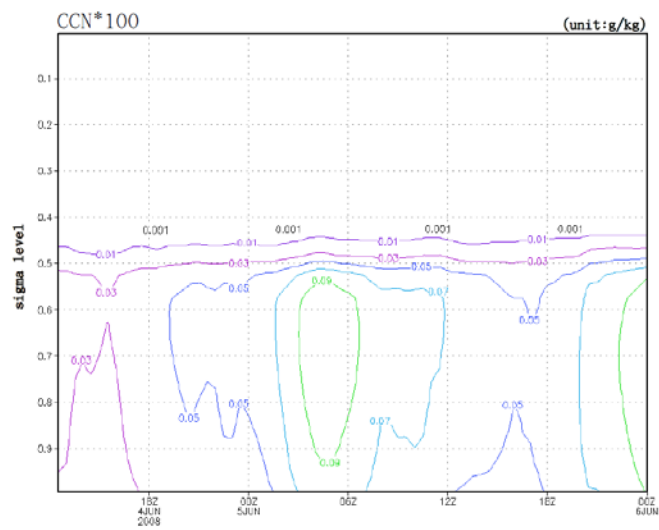
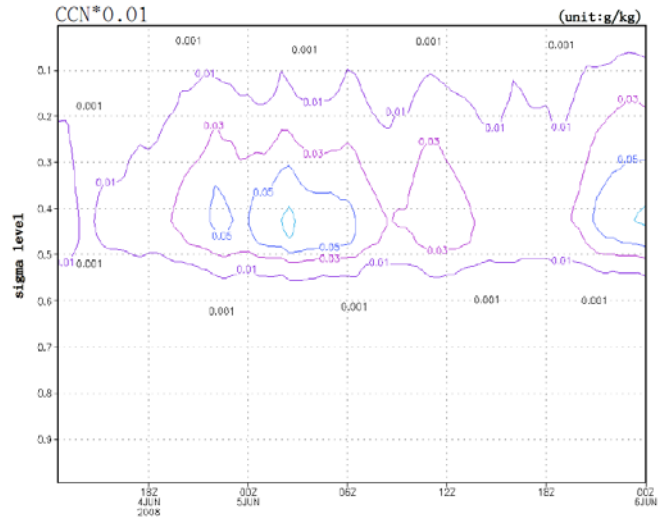
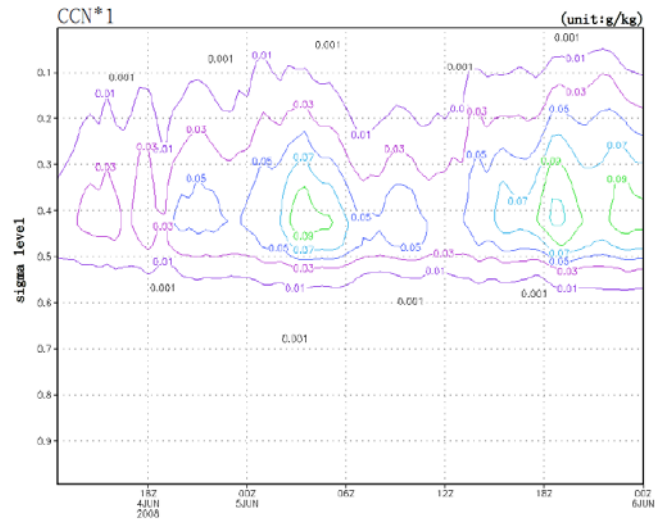


圖 5.9：雨水混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

(a)
CCN*0.01



(b)
CCN*1



(c)
CCN*100

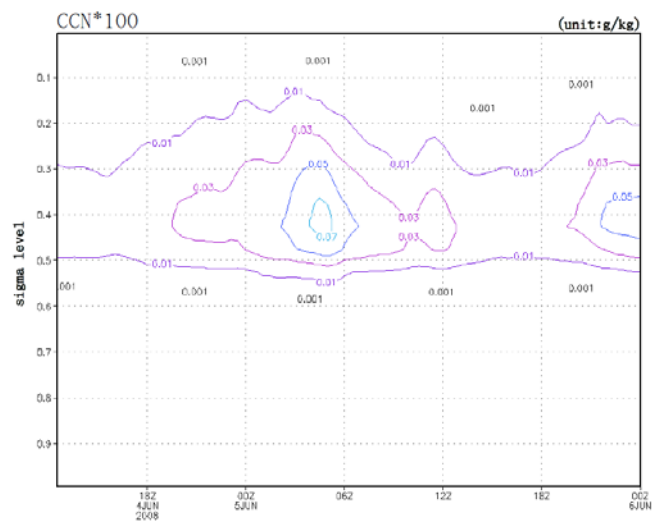
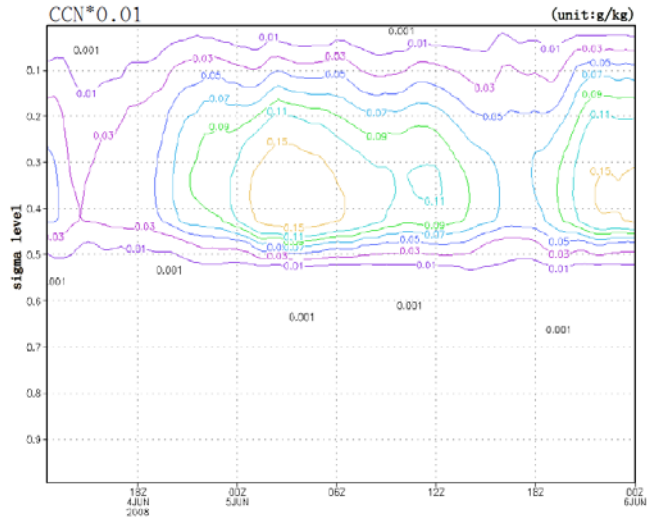
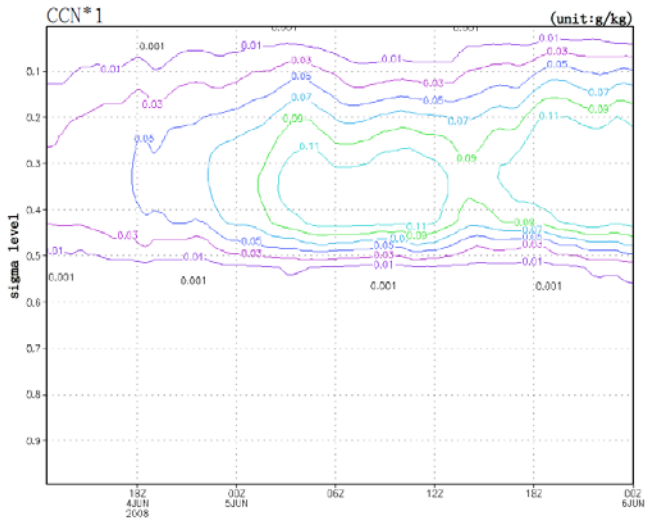


圖 5.10：軟雹混和比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

(a)
CCN*0.01



(b)
CCN*1



(c)
CCN*100

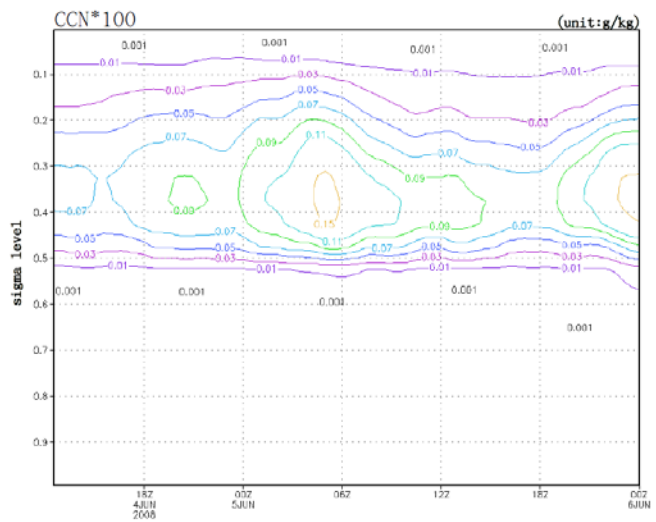
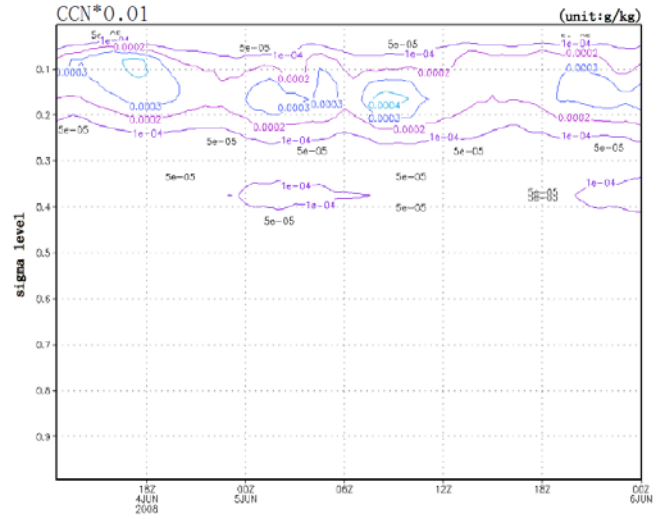
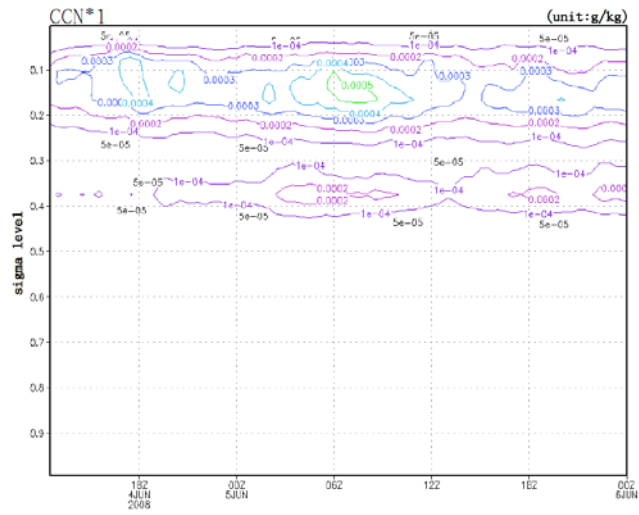


圖 5.11：雪片混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

(a)
CCN*0.01



(b)
CCN*1



(c)
CCN*100

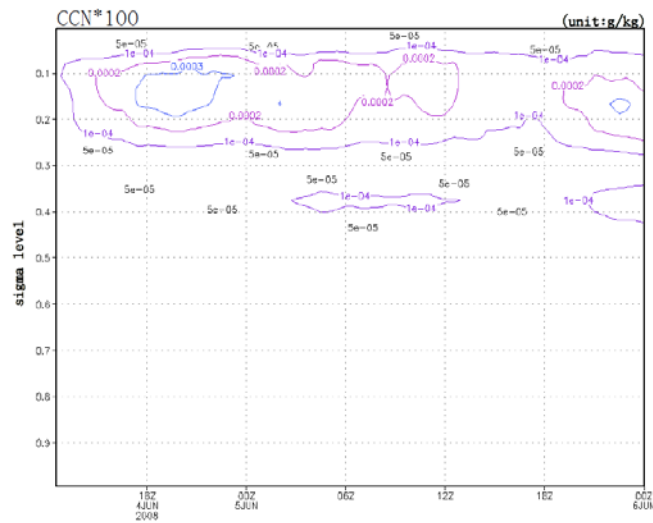
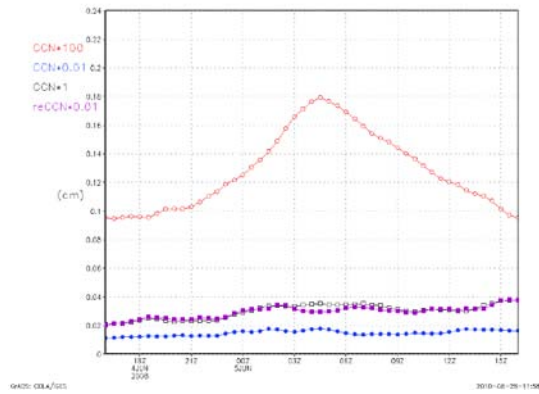
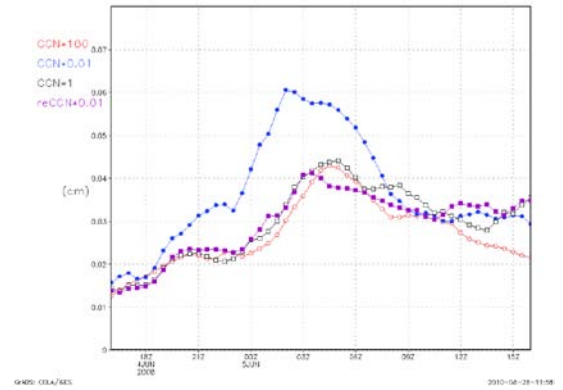


圖 5.12：冰晶混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

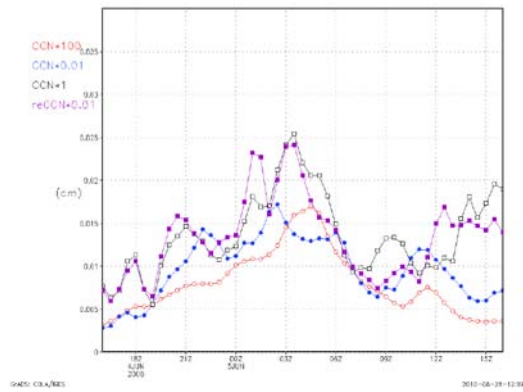
(a) cloud liquid water



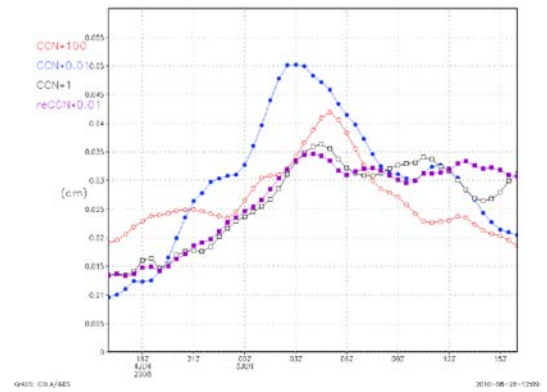
(b) rain water



(c) graupel



(d) snow



(e) ice

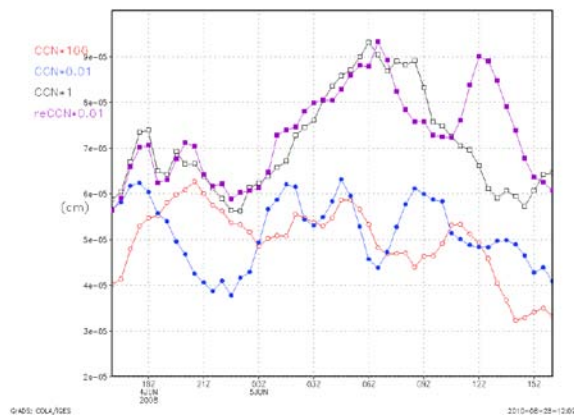
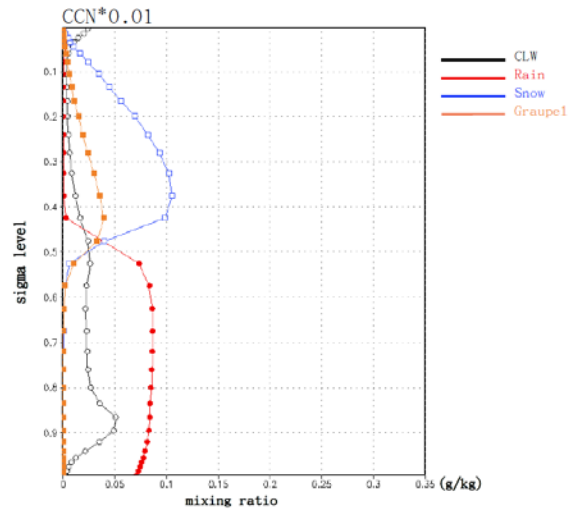


圖 5.13：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第三巢區域平均的垂直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。

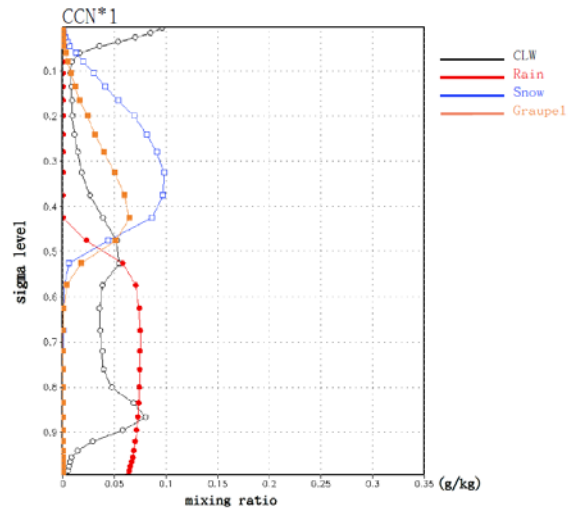
(a)

CCN*0.01



(b)

CCN*1



(c)

CCN*100

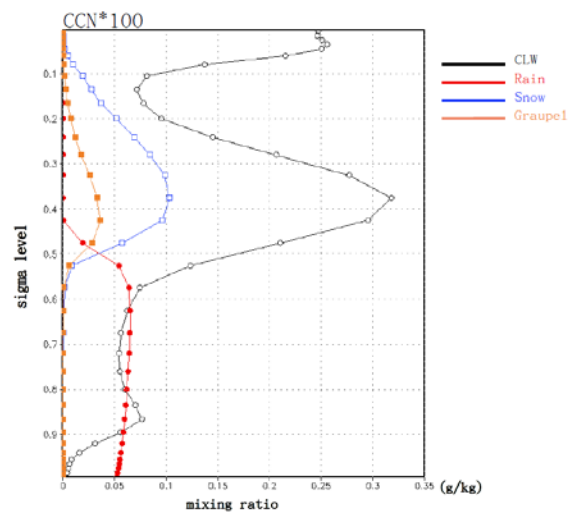
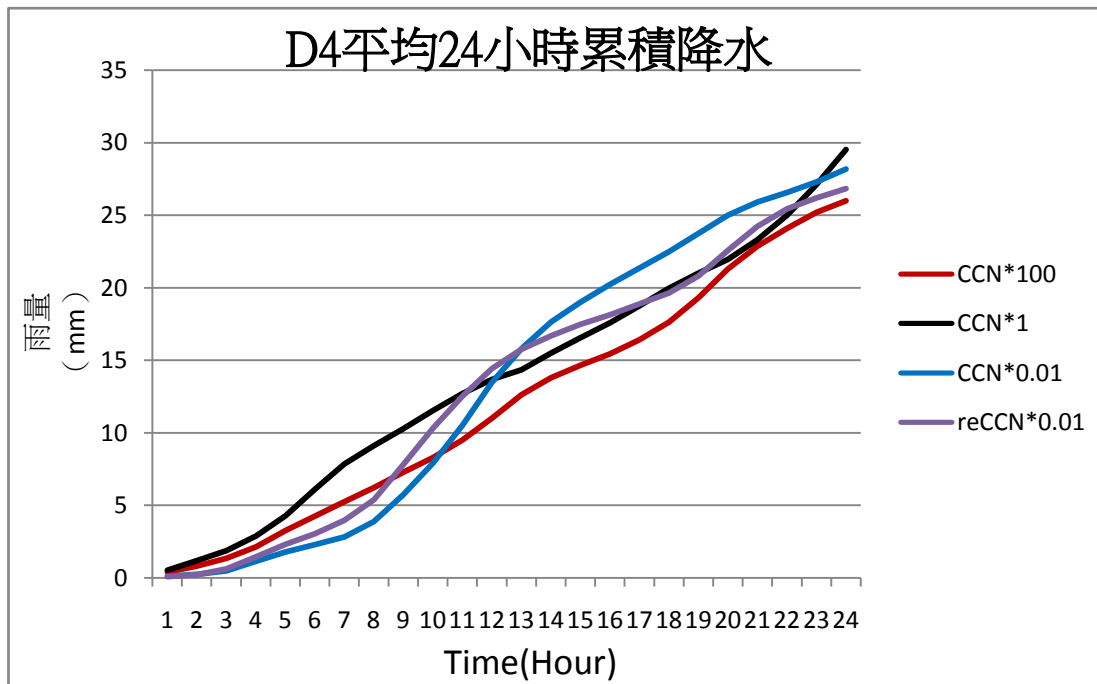


圖 5.14：24 小時及第三巢區域之水相粒子混和比平均隨著高度的分佈。橫軸為混和比，垂直為 sigma 高度。

(a)



(b)

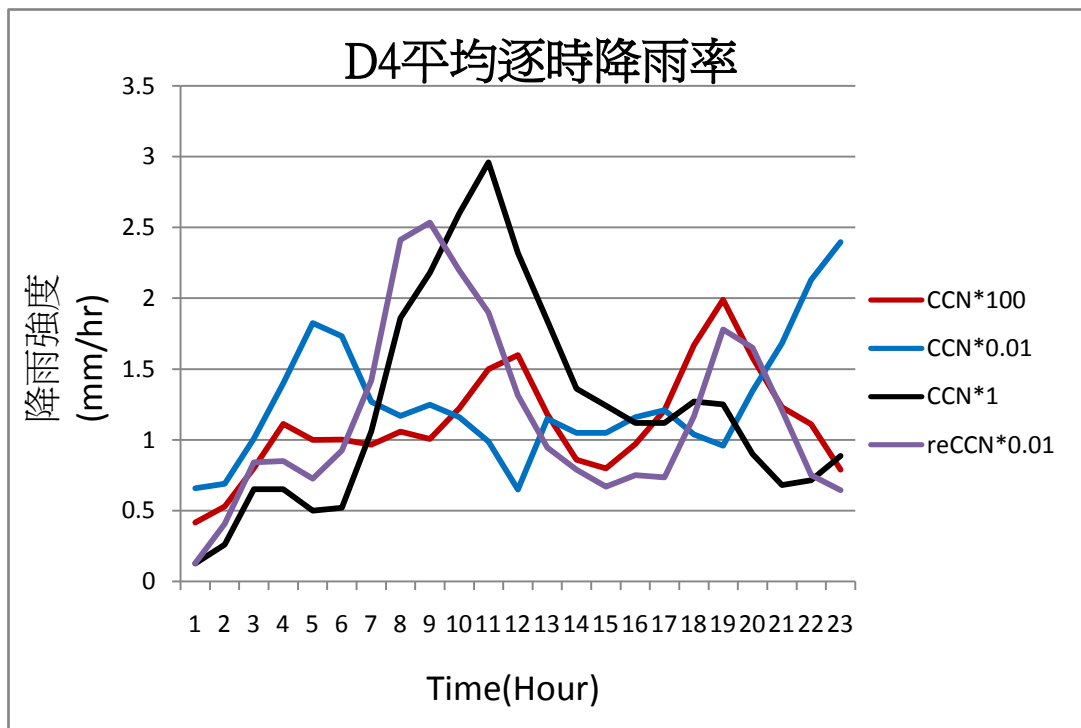
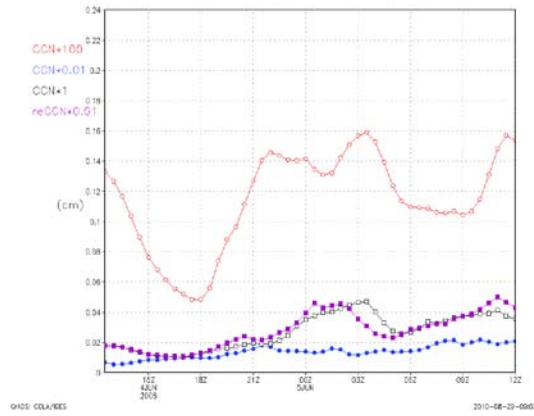
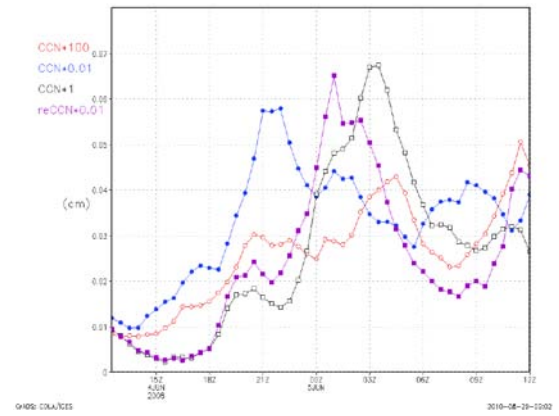


圖 5.15 : D4 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累積雨量

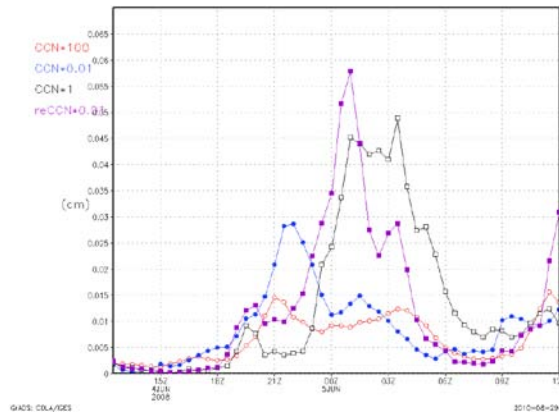
(a) cloud liquid water



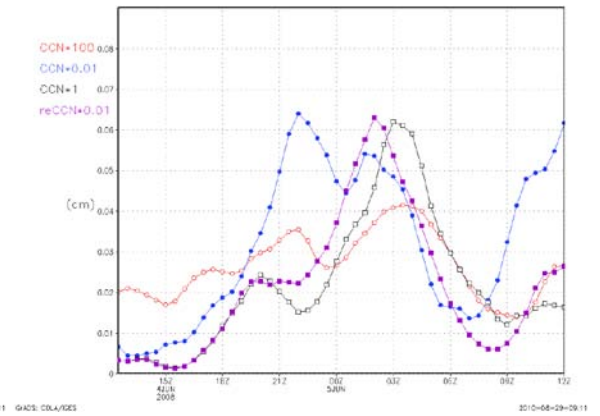
(b) rain water



(c) graupel



(d) snow



(e) ice

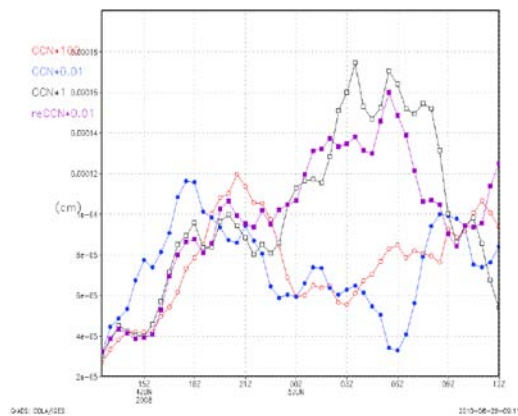
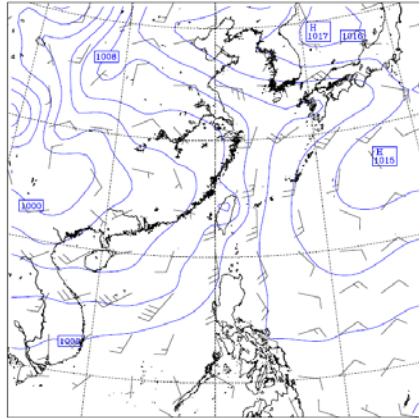


圖 5.16：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第四巢區域平均的垂直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。

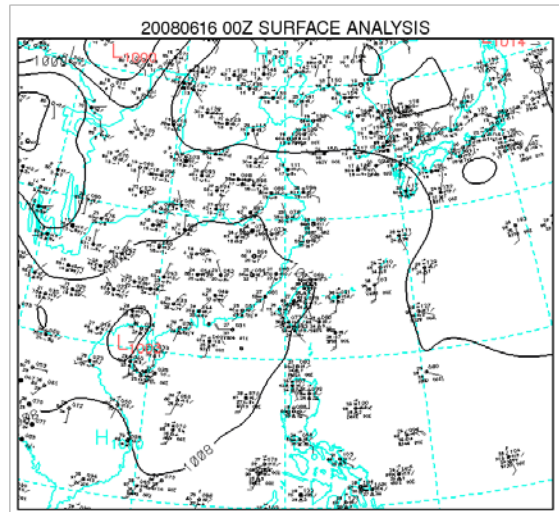
(a)

Dataset: t1 RIP: slp Init: 0000 UTC Sat 14 Jun 08
Fest: 48.00 h Valid: 0000 UTC Mon 16 Jun 08 (0800 LST Mon 16 Jun 08)
Sea-level pressure at pressure = 990 hPa sm= 4
Horizontal wind vectors



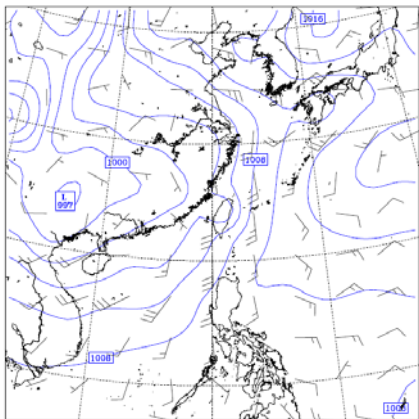
CONTOURS: UNITS=hPa L20= 994.00 L250= 1016.0 INTERVAL= 2.0000
Model info: V3.4.0 Grell MRF PBL 81 km, 34 levels, 180 sec

(b)



(c)

Dataset: t1 RIP: slp Init: 0000 UTC Sat 14 Jun 08
Fest: 54.00 h Valid: 0600 UTC Mon 16 Jun 08 (1400 LST Mon 16 Jun 08)
Sea-level pressure at pressure = 990 hPa sm= 4
Horizontal wind vectors



CONTOURS: UNITS=hPa L20= 994.00 L250= 1016.0 INTERVAL= 2.0000
Model info: V3.4.0 Grell MRF PBL 81 km, 34 levels, 180 sec

(d)

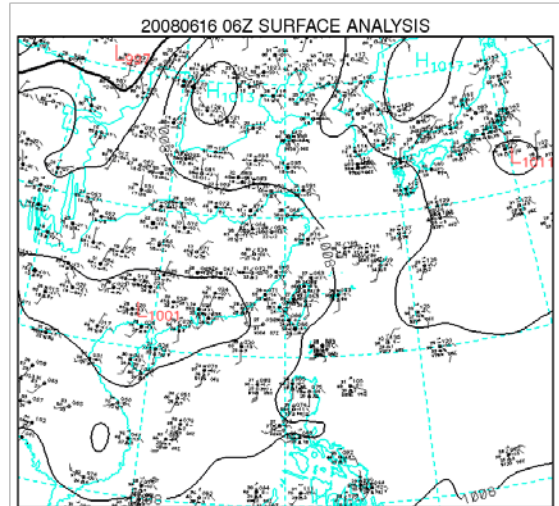
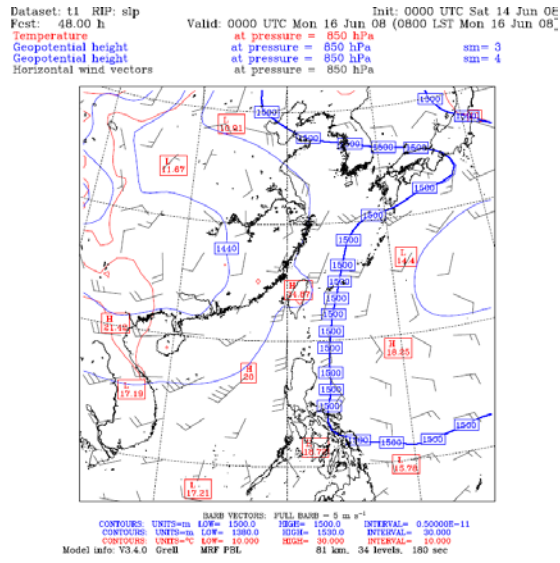
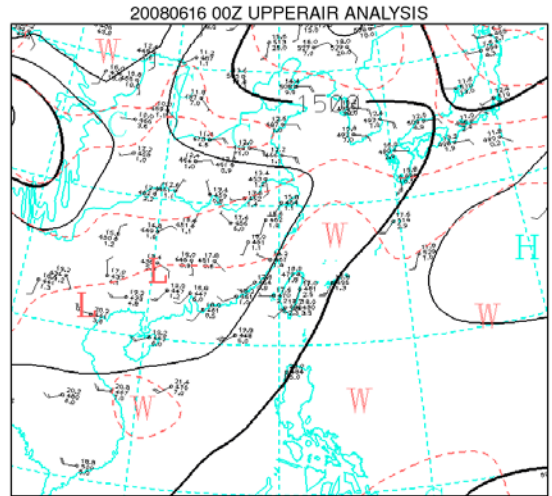


圖 5.17 : (a)(模式) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面天氣圖; (b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 地面天氣圖; (c) (模式) 2008 年 6 月 16 日 0600UTC 地面天氣圖; (d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 0600UTC 地面天氣圖。

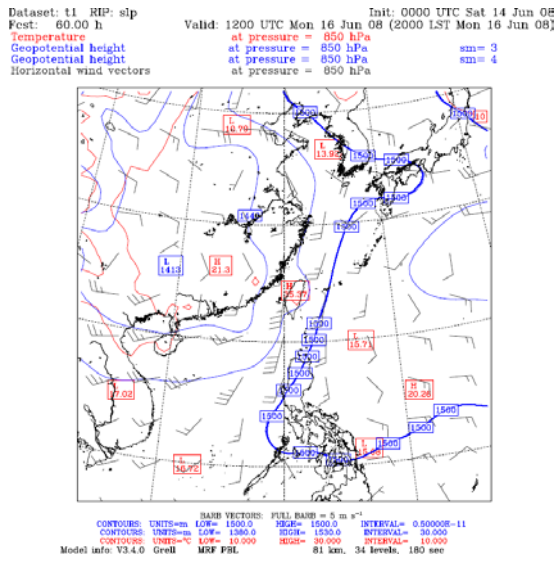
(a)



(b)



(c)



(d)

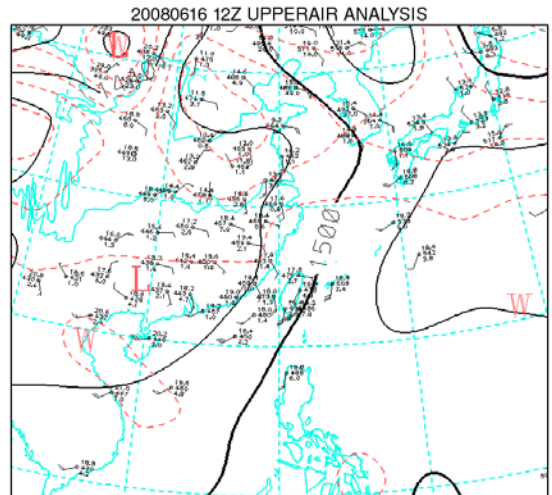
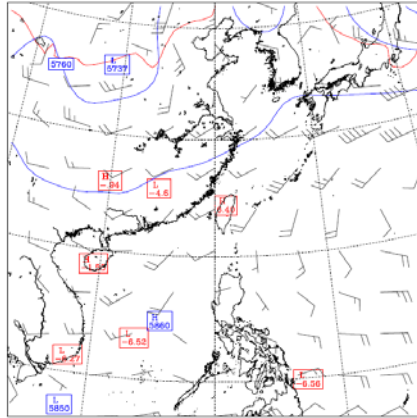


圖 5.18 : (a)(模式) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 850 百帕高度場;(b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC850 百帕高度場;(c) (模式) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC850 百帕高度場;(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 1200UTC 850 百帕高度場。

(a)

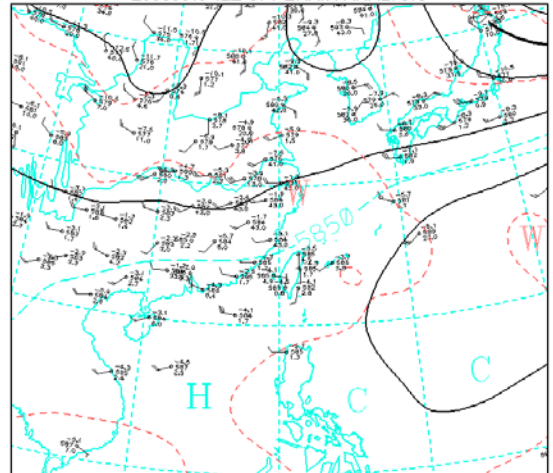
Dataset: t1 RIP: slp Init: 0000 UTC Sat 14 Jun 08
Fest: 36.00 h Valid: 1200 UTC Sun 15 Jun 08 (2000 LST Sun 15 Jun 08)
Temperature at pressure = 500 hPa
Geopotential height at pressure = 500 hPa sm= 4
Horizontal wind vectors at pressure = 500 hPa



BARB VECTORS: FULL BARB = 5 m s⁻¹
CONTOURS: UNITS=m LOW= 5640.0 HIGH= 5920.0 INTERVAL= 60.000
 UNITS=C LOW= -10.000 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 10.000
Model info: V3.4.0 Grell MRF PBL 81 km, 34 levels, 180 sec

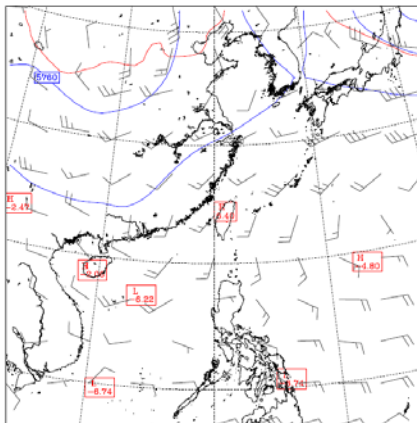
(b)

20080615 12Z UPPERAIR ANALYSIS



(c)

Dataset: t1 RIP: slp Init: 0000 UTC Sat 14 Jun 08
Fest: 48.00 h Valid: 0000 UTC Mon 16 Jun 08 (0800 LST Mon 16 Jun 08)
Temperature at pressure = 500 hPa
Geopotential height at pressure = 500 hPa sm= 4
Horizontal wind vectors at pressure = 500 hPa



BARB VECTORS: FULL BARB = 5 m s⁻¹
CONTOURS: UNITS=m LOW= 5640.0 HIGH= 5920.0 INTERVAL= 60.000
 UNITS=C LOW= -10.000 HIGH= 0.0000 INTERVAL= 10.000
Model info: V3.4.0 Grell MRF PBL 81 km, 34 levels, 180 sec

(d)

20080616 00Z UPPERAIR ANALYSIS

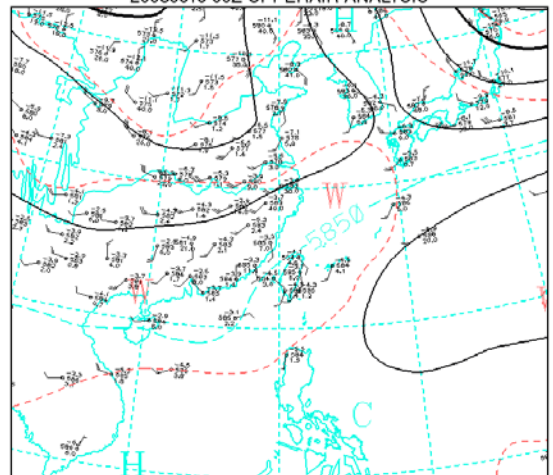
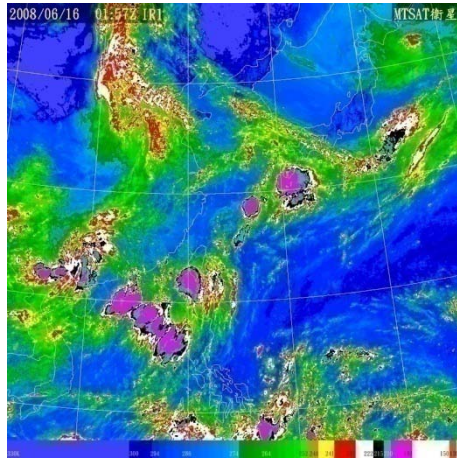
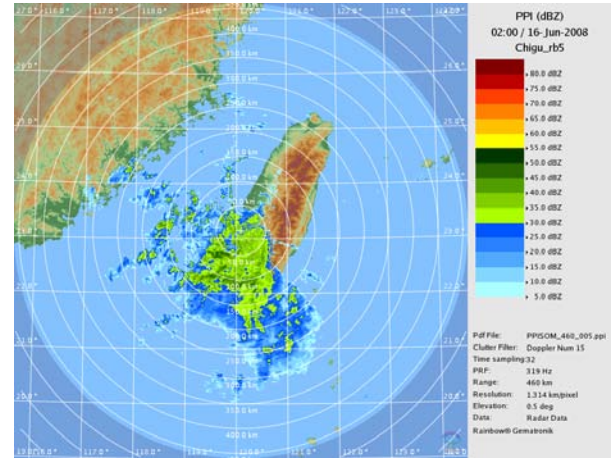


圖 5.19 : (a)(模式) 2008 年 6 月 15 日 1200UTC 500 百帕高度場;(b)(中央氣象局) 2008 年 6 月 15 日 1200UTC 500 百帕高度場;(c) (模式) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 500 百帕高度場;(d) (中央氣象局) 2008 年 6 月 16 日 0000UTC 500 百帕高度場。

(a)

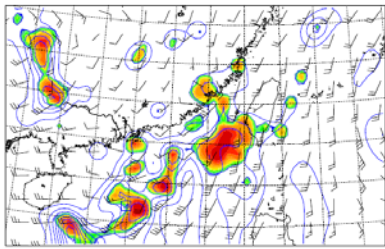


(b)



(c)CCN*0.01

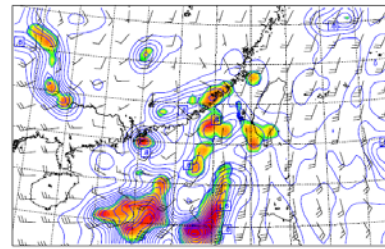
Dataset: 1300142 REP: inteq Init: 0000 UTC Sat 14 Jun 08
 Fest: 50.00 h Valid: 0200 UTC Mon 16 Jun 08 (1000 LST Mon 16 Jun 08)
 Reflectivity at height = 1.00 km
 Column-integ. cloud liq water at pressure = 850 hPa
 Horizontal wind vectors at pressure = 850 hPa



CONTOURS: LWF=mm LWF= 0.20000 MCM= 1.0000 INTERVAL= 0.20000
 Model info: V3.4.0 GrdL: MIP FFL 27 km, 34 levels, 60 sec

(d)CCN*1

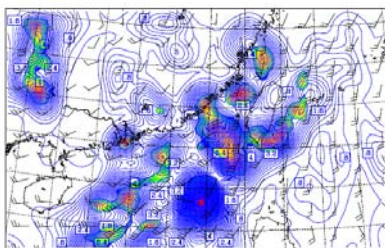
Dataset: 12 REP: inteq Init: 0000 UTC Sat 14 Jun 08
 Fest: 50.00 h Valid: 0200 UTC Mon 16 Jun 08 (1000 LST Mon 16 Jun 08)
 Reflectivity at height = 1.00 km
 Column-integ. cloud liq water at pressure = 850 hPa
 Horizontal wind vectors at pressure = 850 hPa



CONTOURS: LWF=mm LWF= 0.20000 MCM= 1.0000 INTERVAL= 0.20000
 Model info: V3.4.0 GrdL: MIP FFL 27 km, 34 levels, 60 sec

(e)CCN*100

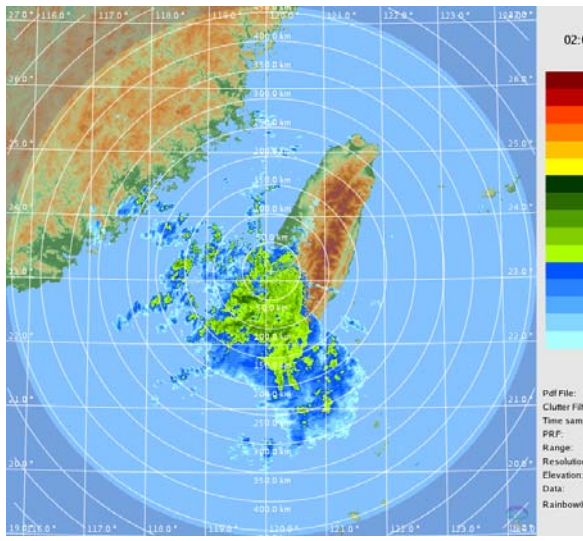
Dataset: 1310012 REP: inteq Init: 0000 UTC Sat 14 Jun 08
 Fest: 50.00 h Valid: 0200 UTC Mon 16 Jun 08 (1000 LST Mon 16 Jun 08)
 Reflectivity at height = 1.00 km
 Column-integ. cloud liq water at pressure = 850 hPa
 Horizontal wind vectors at pressure = 850 hPa



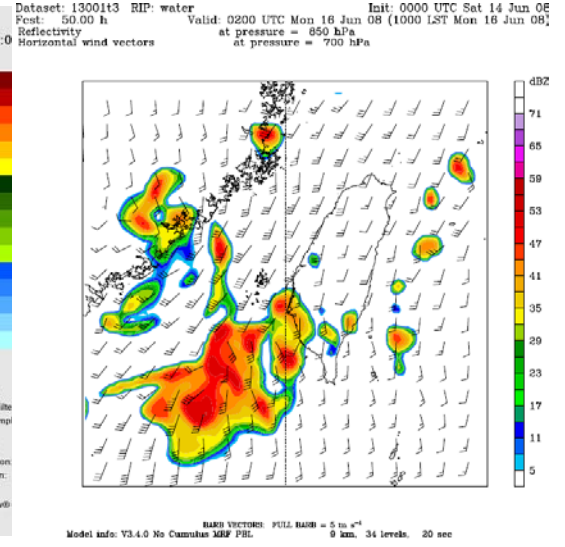
CONTOURS: LWF=mm LWF= 0.20000 MCM= 10.0000 INTERVAL= 0.20000
 Model info: V3.4.0 GrdL: MIP FFL 27 km, 34 levels, 60 sec

圖 5.20 : 0616 0200UTC(a)紅外線衛星雲圖;(b)雷達回波圖;(c)CCN*0.01;
 (d)CCN*1;(e)CCN*100 之 1km 高度雷達回波以及垂直雲水含量。

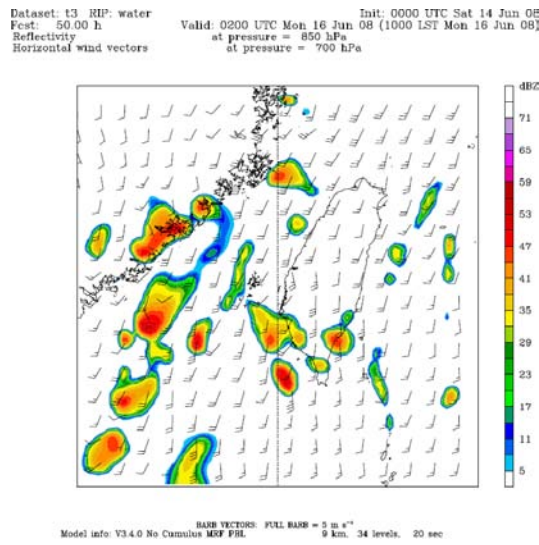
(a)



(b)CCN*0.01



(c)CCN*1



(d)CCN*100

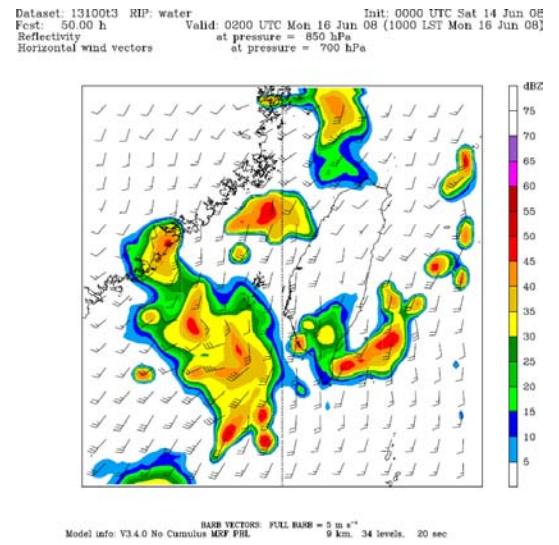
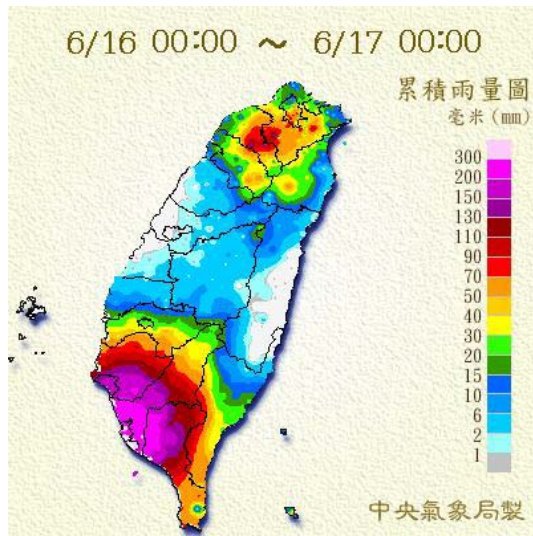
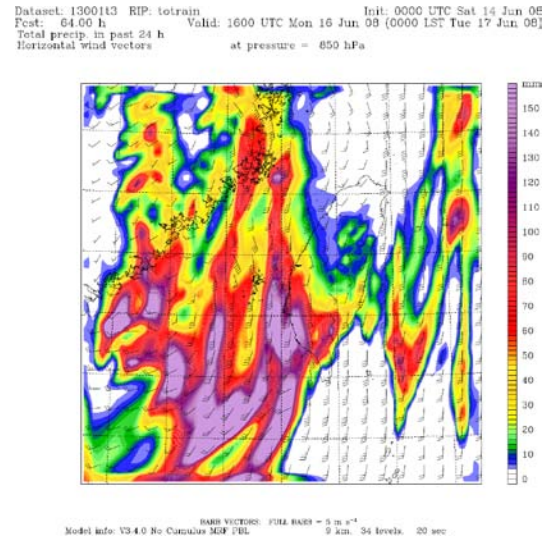


圖 5.21 : 20080616 0200UTC 850 百帕雷達回波圖，風標為 700 百帕風場。
 (a)雷達觀測值;(b)CCN*0.01;(c)CCN*1;(d) CCN*100。

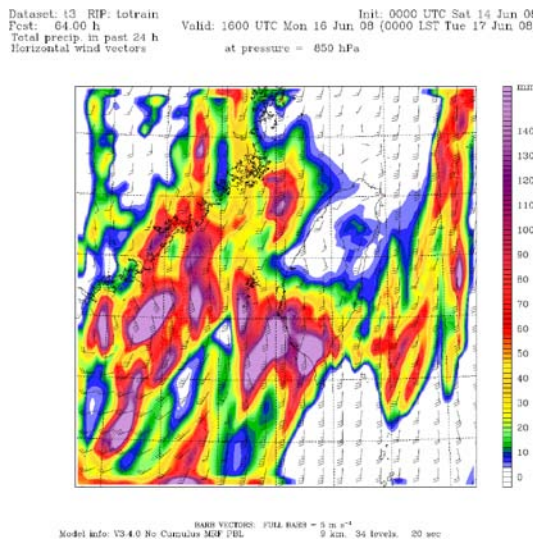
(a)



(b)CCN*0.01



(c)CCN*1



(d)CCN*100

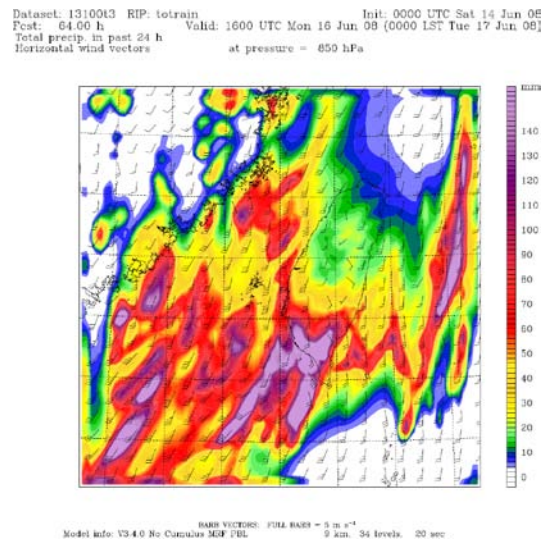
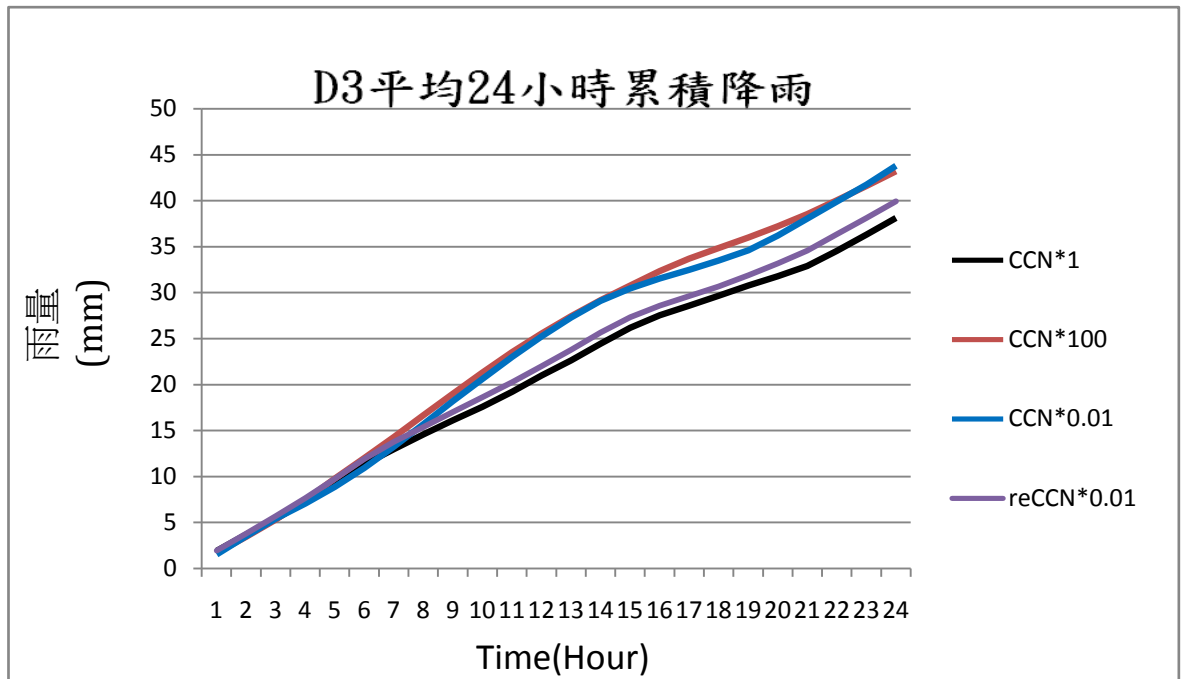


圖 5.22：2008 年 6 月 16 日 0000LST~2008 年 6 月 17 日 0000LST 24 小時地面累積雨量圖，風標為 850 百帕風場。(a)中央氣象局;(b);(c);(d)為 CCN*0.01，CCN*1，CCN*100。

(a)



(b)

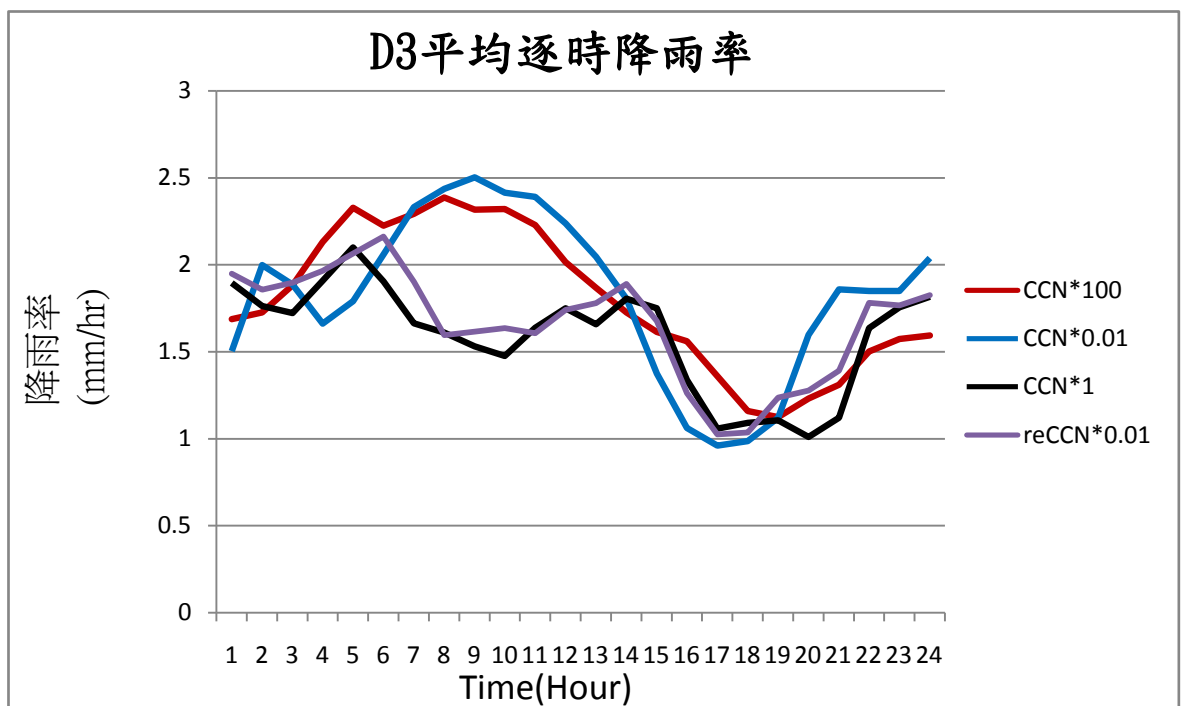
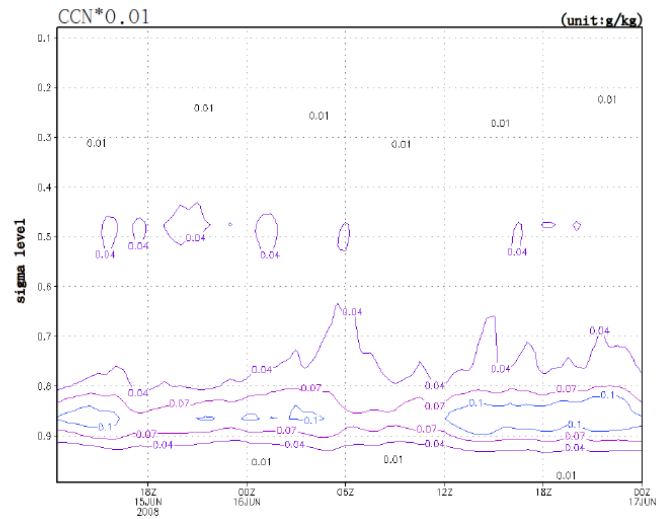


圖 5.23 : D3 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累積雨量。

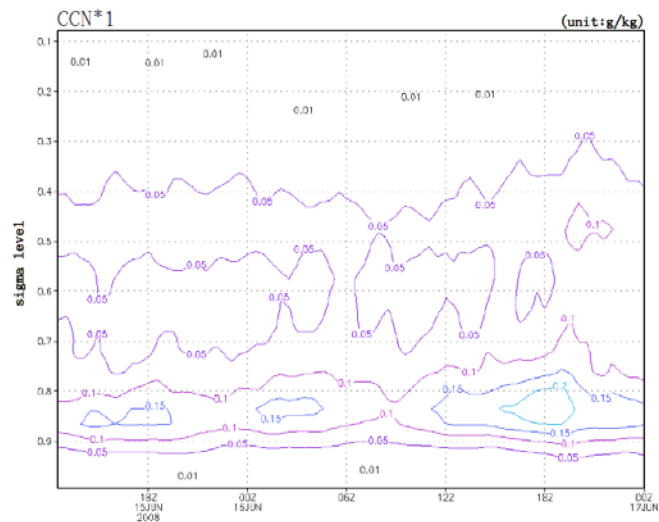
(a)

CCN*0.01



(b)

CCN*1



(c)

CCN*100

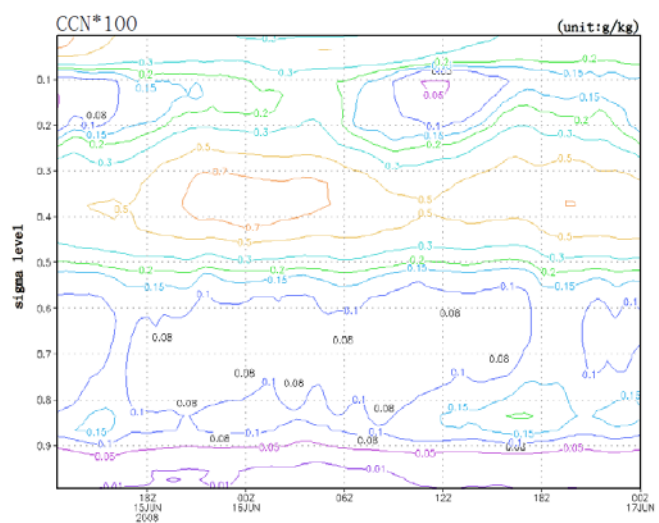
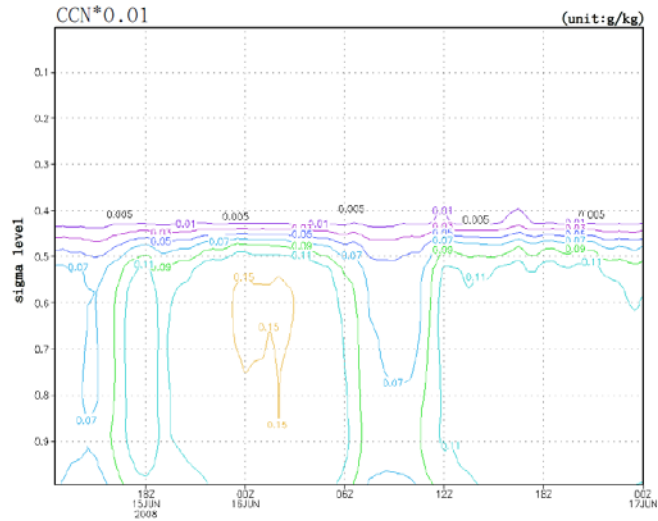


圖 5.24：雲水混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

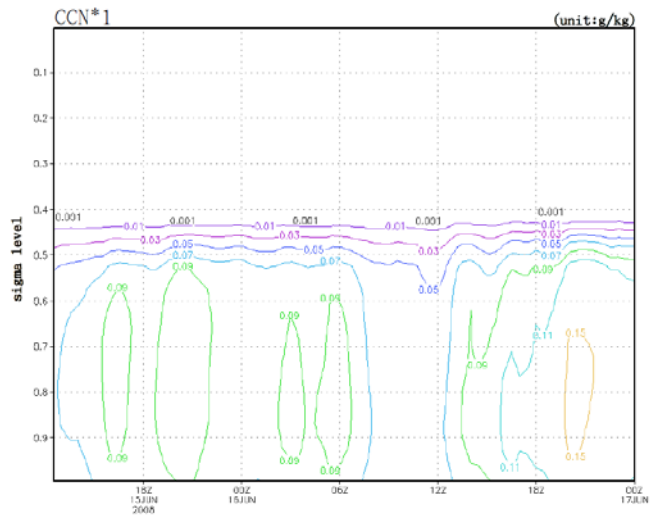
(a)

CCN*0.01



(b)

CCN*1



(c)

CCN*100

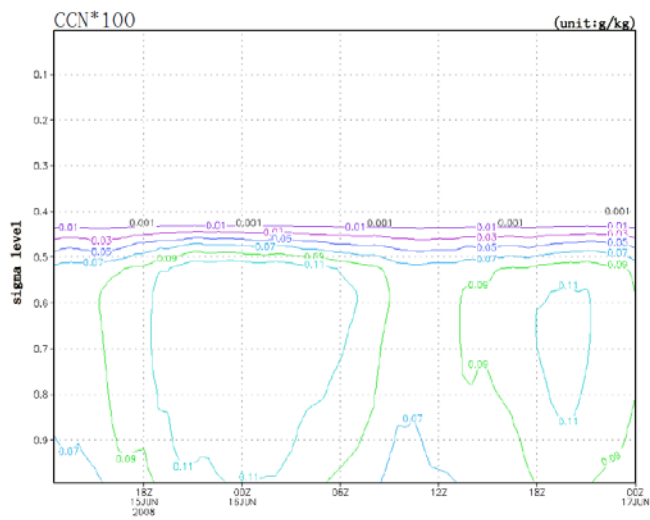
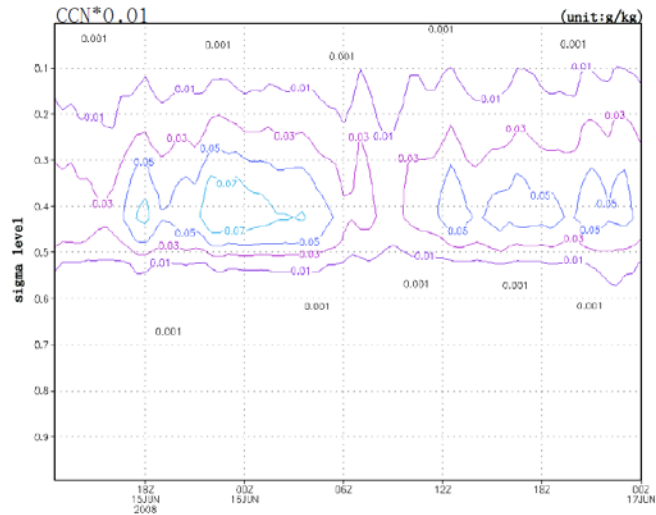


圖 5.25：雨水混和比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

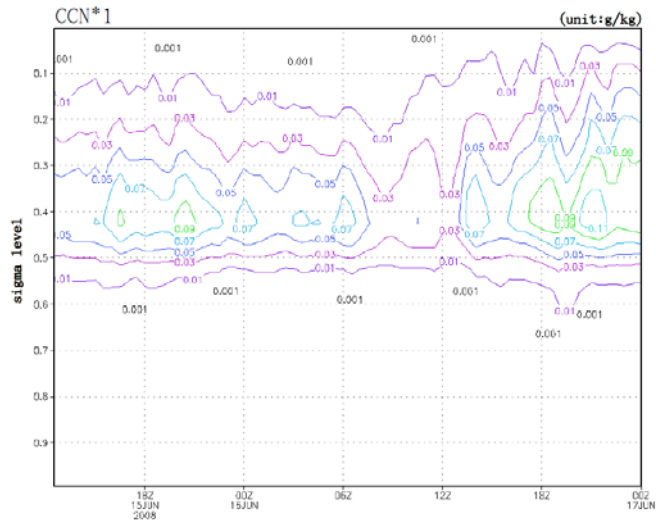
(a)

CCN*0.01



(b)

CCN*1



(c)

CCN*100

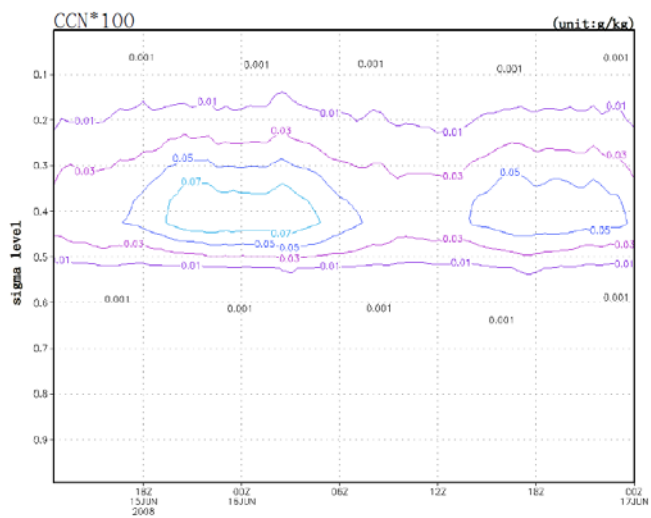
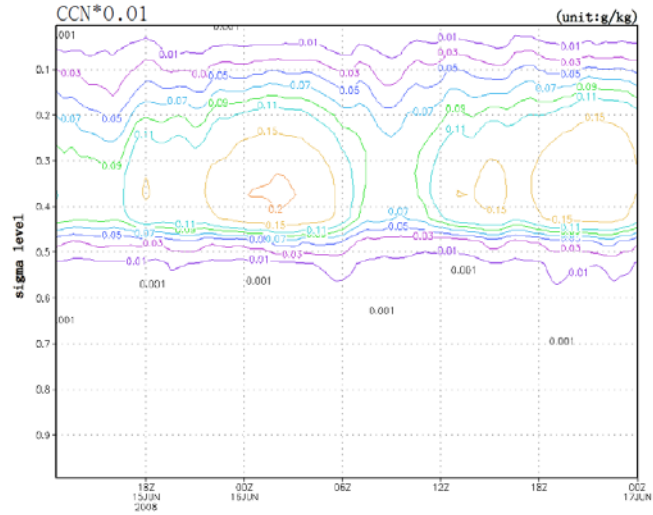
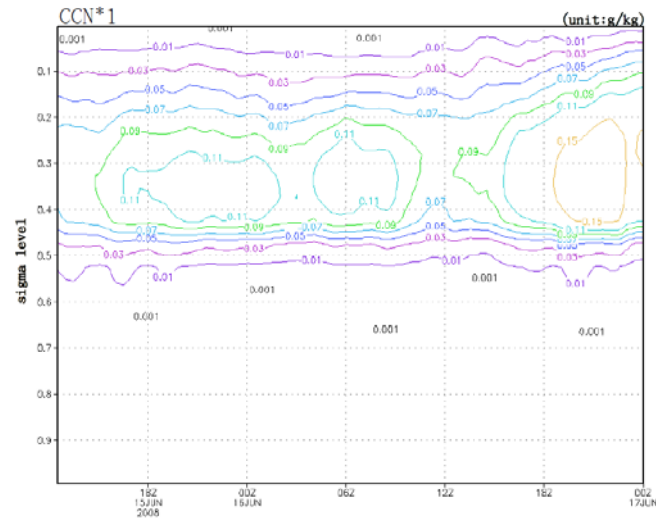


圖 5.26：軟電混和比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

(a)
CCN*0.01



(b)
CCN*1



(c)
CCN*100

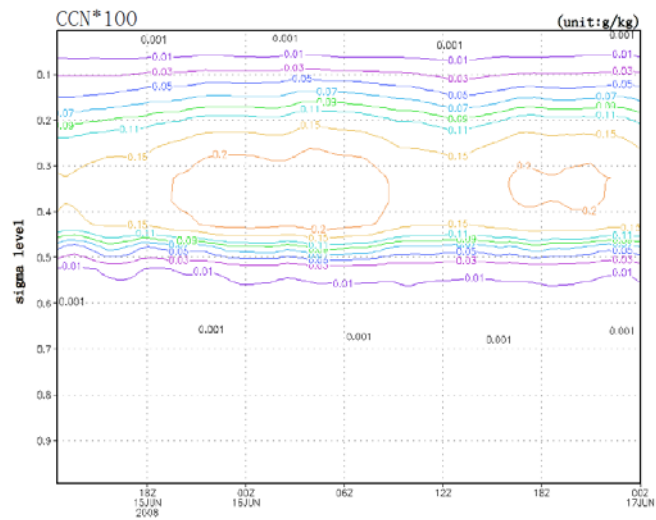
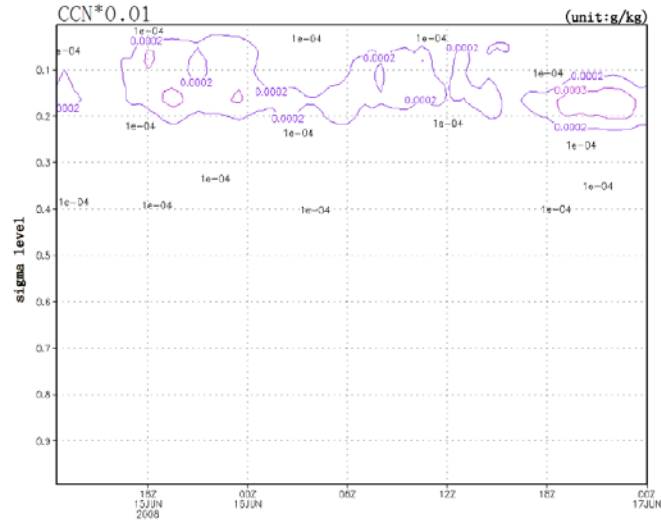


圖 5.27：雪片混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

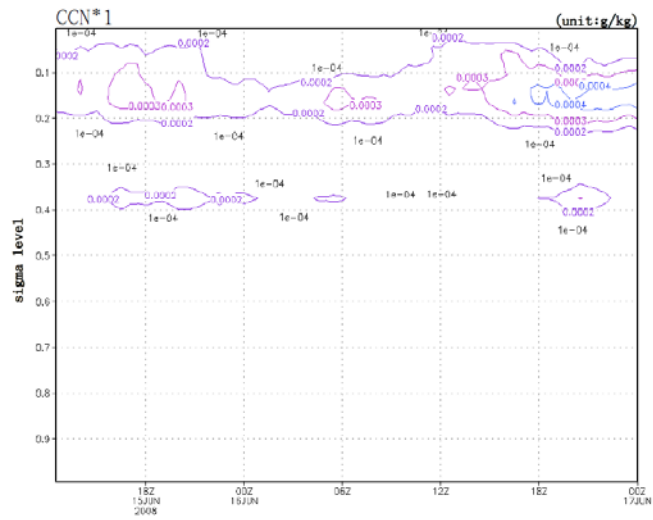
(a)

CCN*0.01



(b)

CCN*1



(c)

CCN*100

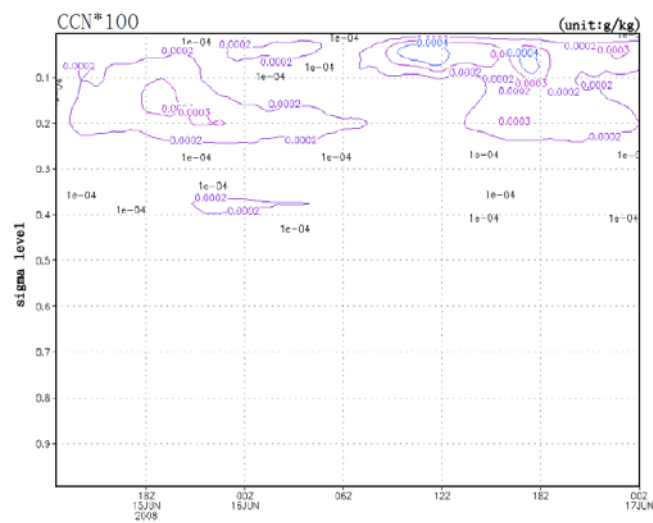
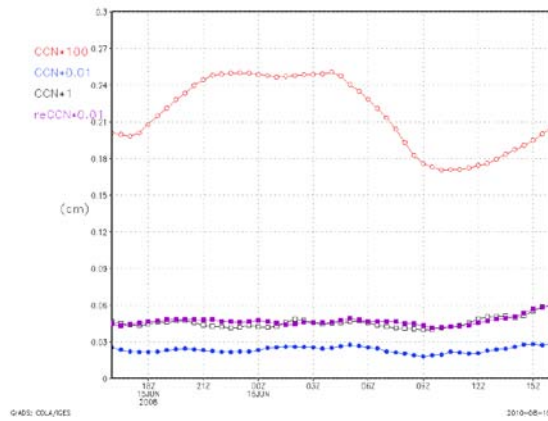
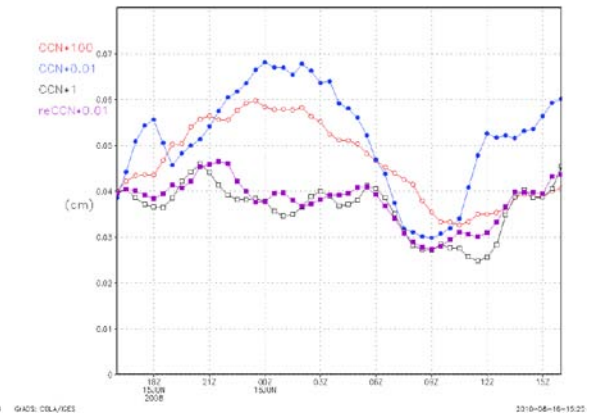


圖 5.28：冰晶混合比隨時間、高度變化之模擬結果（第三巢區域平均），橫軸為時間，縱軸為 sigma 高度，數值為混和比。

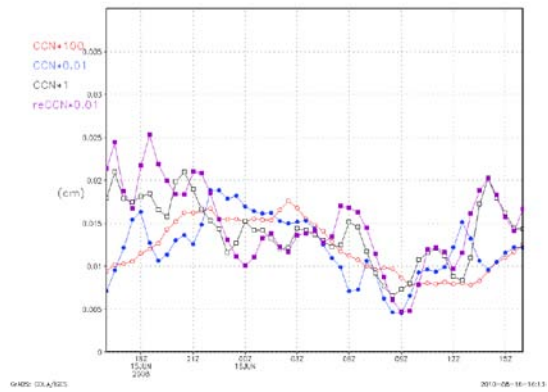
(a) cloud liquid water



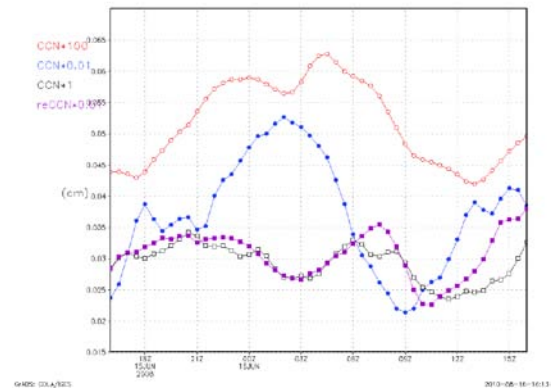
(b) rain water



(c) graupel



(d) snow



(e) ice

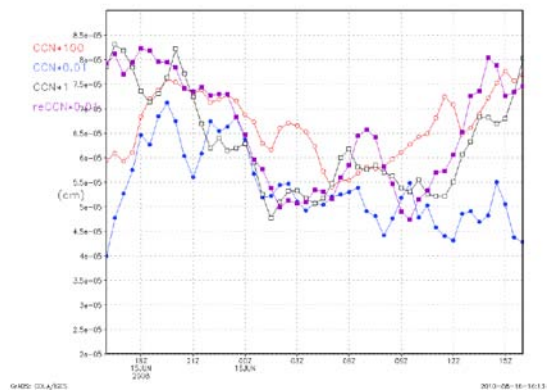
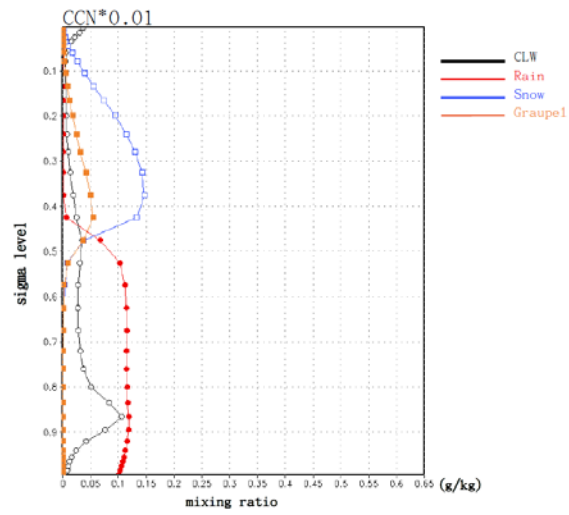


圖 5.29：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第三巢區域平均的垂直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。

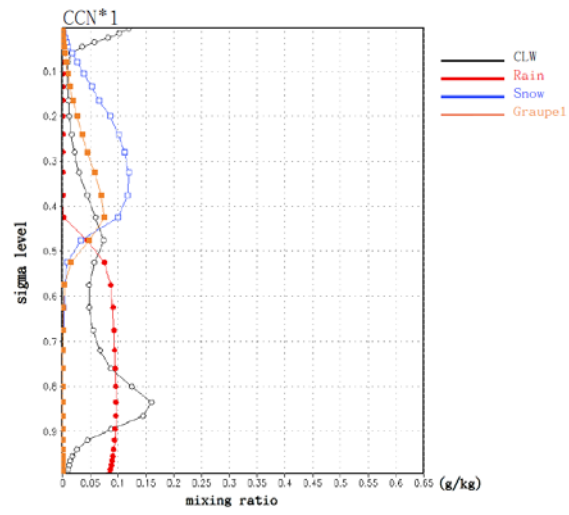
(a)

CCN*0.01



(b)

CCN*1



(c)

CCN*100

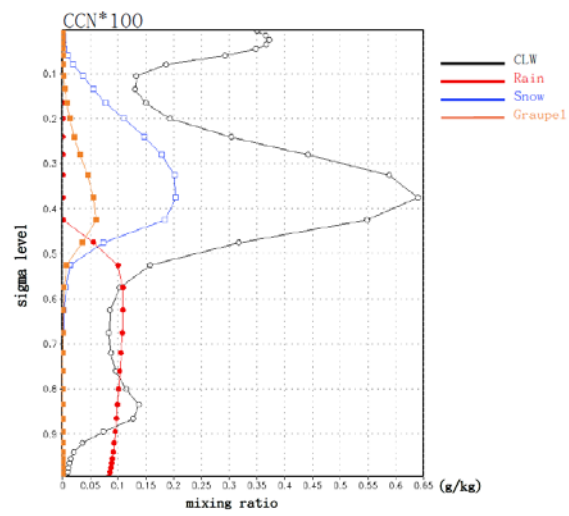
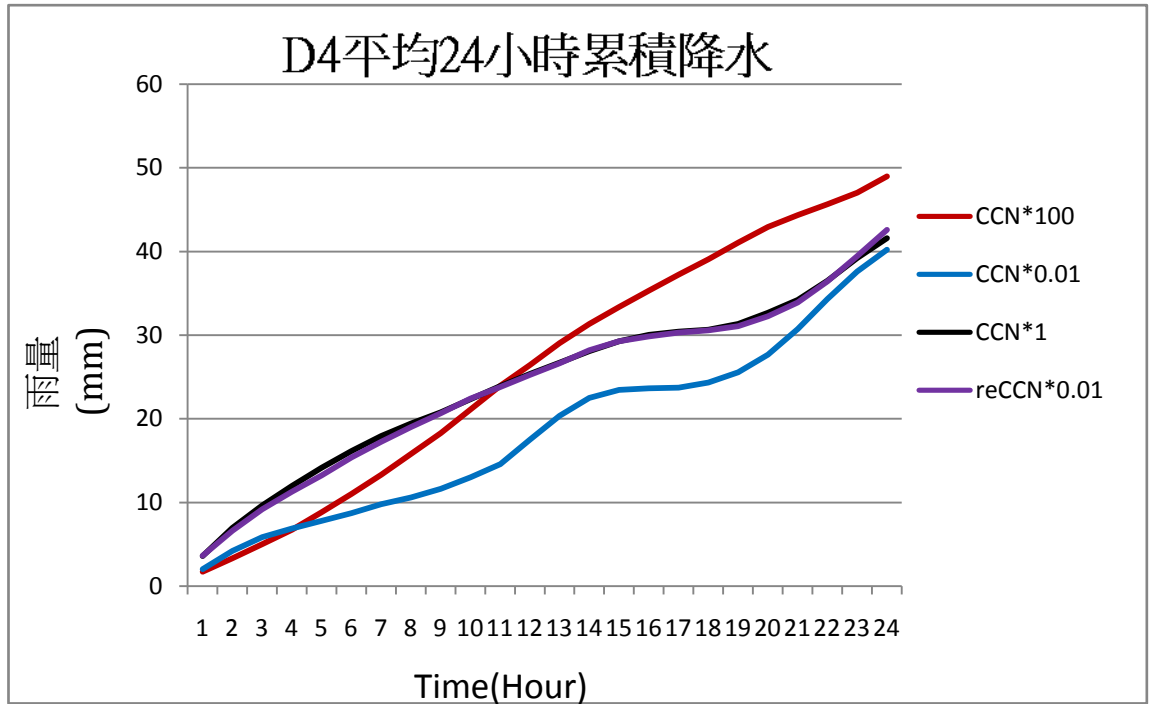


圖 5.30：24 小時、第三巢區域之水相粒子混和比平均隨著高度的分佈，橫軸為混和比，垂直為 sigma 高度。

(a)



(b)

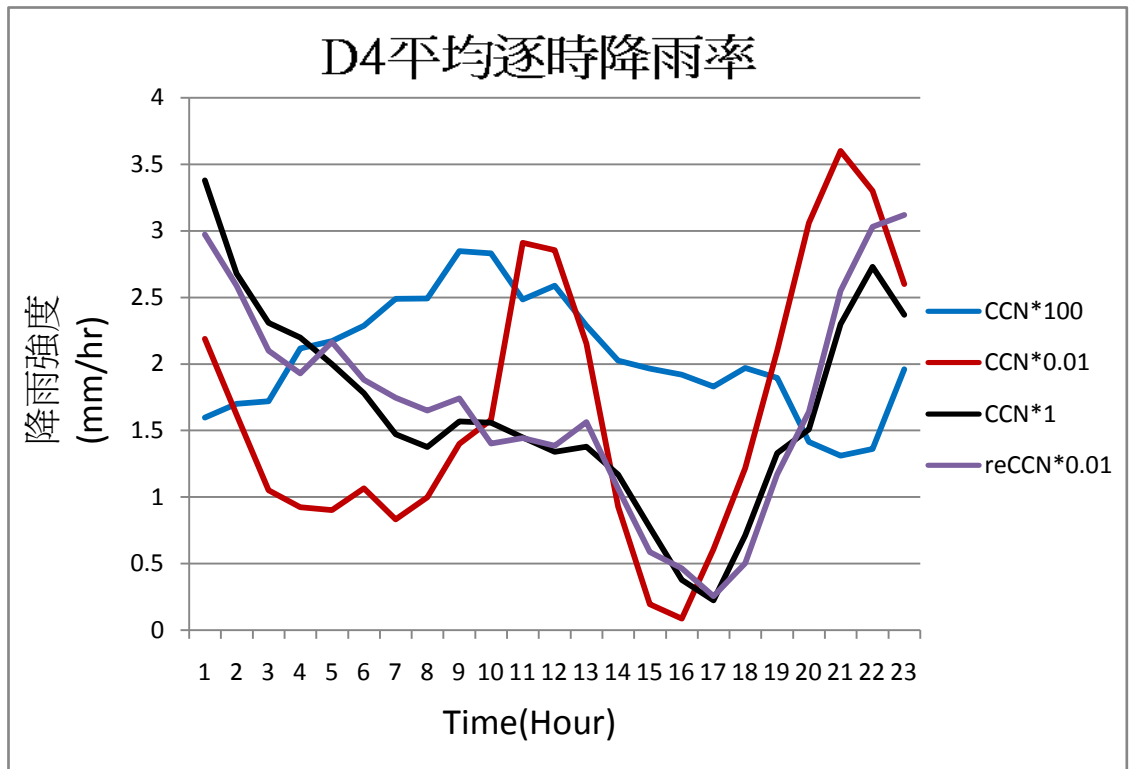
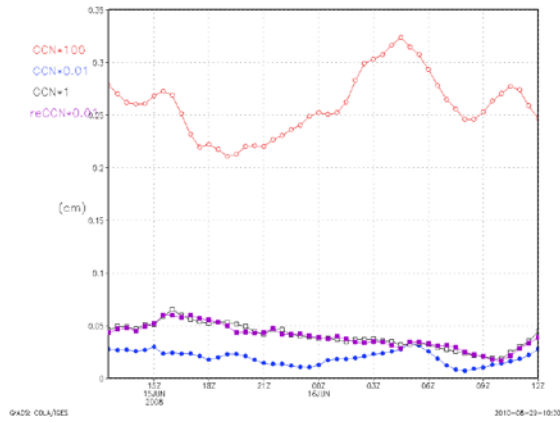
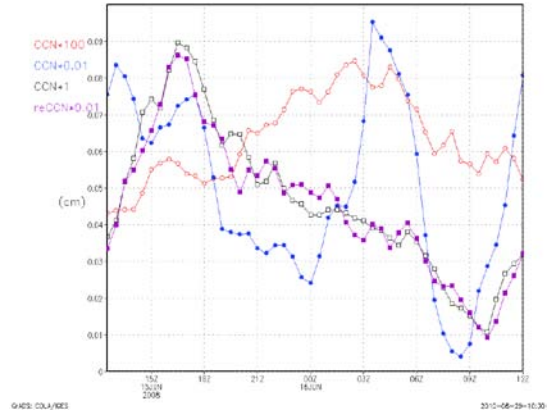


圖 5.31 : D4 平均(a)24 小時累積雨量(b)每小時累積雨量，橫軸為時間，縱軸為累積雨量

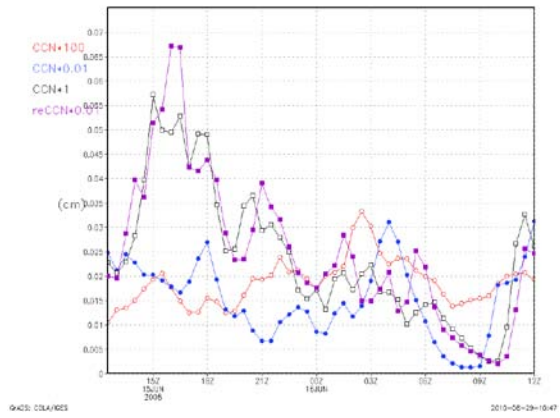
(a) cloud liquid water



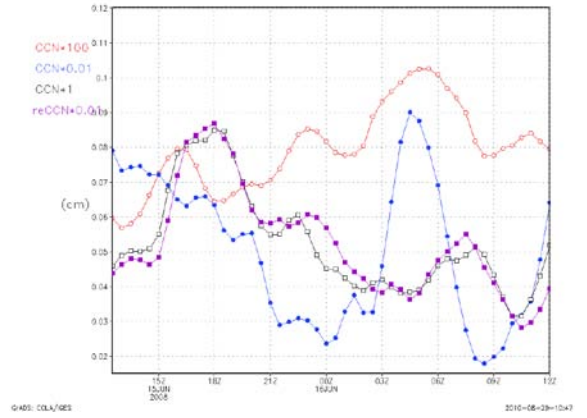
(b) rain water



(c) graupel



(d) snow



(e) ice

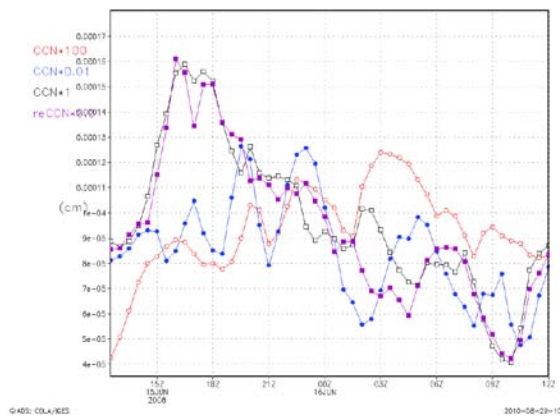


圖 5.32：(a)雲滴、(b)雨滴、(c)軟雹、(d)雪片、(e)冰晶於第四巢區域平均的垂直積分，橫軸為時間，縱軸為垂直積分量(公分)。