

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

颱風伴隨強風豪雨之數值系集預報技術的發展及研究

The Development and Research of Model Ensemble Forecasting
Technique for Typhoon-Associated Strong Wind and Heavy Rainfall

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC 90-2625-Z-034-002

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

整合型計畫：總計畫主持人：謝信良

子計畫主持人：楊明仁

處理方式：可立即對外提供參考

執行單位：中國文化大學大氣科學系

中華民國 91 年 10 月 30 日

摘要

本研究使用 Penn State / NCAR MM5 模式，以 1998 年 10 月 15 日至 16 日影響臺灣地區的瑞伯颱風 (ZEB) 為研究個案，使用結合各種數值模式物理參數法的系集預報技術，探討其對於颱風路徑、強度、及其伴隨風雨分布之影響。所比較的物理參數法，包括 4 組不同的積雲參數法、4 組不同的雲物理參數法及 4 組不同的邊界層參數法，共有 12 組測試實驗。各組實驗的 MM5 模式架構皆為雙層巢狀網格，粗細網格解析度分別為 45 公里和 15 公里。比較結果顯示，MM5 模式所預報之颱風路徑、中心最低氣壓、最大陣風及其降雨分布，顯著受到物理參數法的影響。然而，我們仍然需要更多的颱風內部結構的密集觀測資料及比較更多颱風個案，來驗證此系集預報測試結果。

關鍵字：MM5 模式、颱風、物理參數法、系集預報

Abstract

This ensemble-forecasting study investigates the impact of physical parameterizations on the track, central pressure, wind-gust and rainfall distributions of Typhoon Zeb (1998) which affected Taiwan in 15-16 October 1998, based on simulation experiments using the Penn State-NCAR MM5 model. The physical parameterization schemes tested included 4 cumulus parameterization schemes, 4 microphysics schemes, and 4 planetary boundary layer (PBL) schemes; totally 12 sensitivity experiments were conducted. All experiments used the same model configuration of a double-nested grid with a coarse mesh of 45-km grid size and a fine mesh of 15-km grid size. This sensitivity intercomparison showed that with different physical parameterizations, a typhoon forecast model like MM5 could have significantly different forecasts of typhoon track, central pressure, wind-gust strength, precipitation area and rainfall intensity. More intense observations of typhoon's inner structure are required and more cases need to be tested in order to verify this ensemble forecasting results.

Key words: MM5 mode, typhoon, physical parameterization, ensemble forecasting

致謝

本研究計畫由國科會計畫 NSC 90-2625- Z-034-002 資助，研究設備由中國文化大學大氣科學系提供。感謝中氣象局提供觀測資料，同時感謝研究生青麟先生及王士杰先生於繪圖製作及模擬結果分析方面的協助。

目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
致謝.....	iii
目錄.....	iv
表目錄.....	vi
圖目錄.....	vii
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 文獻回顧.....	3
第二章 研究方法與資料來源.....	5
2.1 積雲參數法.....	5
2.1.1 Anthes-Kuo Cumulus scheme.....	5
2.1.2 Betts-Miller Cumulus scheme.....	5
2.1.3 Grell Cumulus scheme.....	6
2.1.4 Kain-Fritsch Cumulus scheme.....	6
2.2 雲物理參數法.....	6
2.2.1 Warm-Rain Microphysics scheme.....	6
2.2.2 Simple Ice Microphysics scheme.....	7
2.2.3 Mixed-Phase Microphysics scheme.....	7
2.2.4 Goddard Graupel Microphysics scheme.....	7
2.3 邊界層參數法.....	7
2.3.1 Blackadar PBL scheme.....	7
2.3.2 MRF PBL scheme.....	8
2.3.3 Burk-Thompson PBL scheme.....	8

2.3.4 No PBL experiment.....	9
2.4 颱風植入.....	10
2.5 觀測資料.....	10
第三章 瑞伯颱風介紹.....	12
第四章 模式介紹與實驗設計.....	15
4.1 MM5 模式簡介.....	15
4.2 實驗設計.....	16
第五章 實驗結果與討論.....	18
5.1 颱風路徑模擬結果.....	18
5.2 降雨量的預報.....	19
5.3 模擬之颱風強度比較.....	20
第六章 總結.....	24
參考文獻.....	27

表目錄

表一 民國 15 年至民國 85 年颱風侵襲台灣各月次數.....	31
表二 侵台颱風數目統計表.....	31
表三 瑞伯颱風最佳路徑中心位置及其他動態資料.....	32
表四 實驗設計.....	33

圖目錄

圖 1 颱風 bogus 資料位置圖.....	34
圖 2 颱風植入探空曲線圖.....	34
圖 3 瑞伯颱風路徑圖.....	35
圖 4 1998 年 10 月 15 日 0000UTC 紅外線雲圖.....	36
圖 5 1998 年 10 月 15 日 1200UTC 紅外線雲圖.....	36
圖 6 1998 年 10 月 16 日 0000UTC 紅外線雲圖.....	37
圖 7 1998 年 10 月 16 日 1200UTC 紅外線雲圖.....	37
圖 8 1998 年 10 月 12 日 1200UTC 500/700/850 百帕(高空圖)三層平均氣流圖	38
圖 9 1998 年 10 月 12 日 1200UTC 300/500/700 百帕(高空圖)三層平均氣流圖	38
圖 10 1959 年芙瑞達 (Freda) 颱風路徑.....	39
圖 11 台灣地區 1998 年 10 月 14 日至 16 日累積雨量圖.....	40
圖 12 1998 年 10 月 14 日 20 時至 15 日 8 時累積雨量示意圖.....	41
圖 13 1998 年 10 月 15 日 8 時至 15 日 20 時累積雨量示意圖.....	42
圖 14 1998 年 10 月 15 日 20 時至 16 日 8 時累積雨量示意圖.....	43
圖 15 1998 年 10 月 16 日 8 時至 16 日 20 時累積雨量示意圖.....	44
圖 16 模式雙層巢狀網格示意.....	45
圖 17a 積雲參數法實驗模擬之颱風路徑圖.....	46
圖 17b 雲物理參數法實驗模擬之颱風路徑圖.....	47
圖 17c 邊界層參數法實驗模擬之颱風路徑圖.....	48
圖 18a 積雲參數法實驗模擬之網域平均累積降雨.....	49
圖 18b 雲物理參數法實驗模擬之網域平均累積降雨.....	49
圖 18c 邊界層參數法實驗模擬之網域平均累積降雨.....	50
圖 19a 積雲參數法實驗之最小海平面氣壓.....	51
圖 19b 雲物理參數法實驗之最小海平面氣壓.....	51
圖 19c 邊界層參數法實驗之最小海平面氣壓.....	52
圖 20a 積雲參數法實驗之最大水平風速.....	53
圖 20b 雲物理參數法實驗之最大水平風速.....	53
圖 20c 邊界層參數法實驗之最大水平風速.....	54

第一章 前言

1.1 研究動機

颱風是台灣地區最主要的氣象災害來源，對於人民的日常生活及生命財產的安全有重大的影響，所帶來的豐沛雨量更是台灣地區重要的水資源之一。因而如何準確掌握颱風動態、強度，以及影響程度一直是學術與作業單位極重視的問題。但由於颱風皆生成於廣大的洋面上，觀測資料十分缺乏，加上降水過程複雜，以至於精確地掌握颱風的移動路徑及其伴隨的強風豪雨分佈之能力尚待開發，致提昇颱風預報至今尚為氣象作業預報及研究工作中極為重要的項目之一。

根據民國前 15 年(1897)至民國 85 年(1996)這 100 年的資料統計，共有 348 次颱風侵襲臺灣(謝等 1998)；從表一可以看出以八月最多，次為七月及九月，所以每年七、八、九三個月為颱風侵襲臺灣最多的時期。在近 100 年內有 348 次颱風侵襲臺灣，平均每年有 3 到 4 次，但最多曾達到一年有 8 次颱風侵襲(民國 3 年)，也有二年無颱風侵襲情形(民國 30 年及 53 年)。表二可看出每年颱風侵襲台灣的次數統計情形。

本研究以 1998 年瑞伯(ZEB)颱風作為研究個案；瑞伯颱風在 1998 年 10 月 14 日至 16 日影響台灣地區，是 1998 年影響台灣最強烈的颱風，它也造成台灣地區相當嚴重的災害。因此本文以瑞伯颱風作為模擬個案，來探討模擬的颱風

路徑、強度、及伴隨風雨分布之情形，並與實際之觀測資料作分析比較。

1.2 文獻回顧

在颱風數值模擬研究方面，根據李和林(1999)對歐菲莉颱風之數值模擬所做敏感度測試結果顯示，模擬颱風對於環境初始場非常敏感。模式初始場中對颱風環流解析的些微差異，可能造成初始渦旋旋轉加速後的颱風結構有明顯不同，進而影響模擬颱風之中心強度與移動路徑。文中並指出，颱風模擬即使僅用全球模式分析場資料，模式仍有潛力產生類似的颱風結構並掌握大致的颱風渦旋運動方向。此結果除顯示初始資料的重要性外，亦隱含著只要環境流場合理，數值模式所模擬的颱風結構、移動路徑及其受地形影響的環流變化特徵亦應具相當參考價值。

喬等(1996)使用 MM5 模式來模擬黛特(Dot)颱風的路徑及其受到地形作用的影響。模擬實驗中分別測試不同的積雲參數法，並探討靜力平衡與非靜力平衡的模擬差異。結果顯示，GR (Grell 1993)與 AS (Arakawa and Schubert 1974)實驗所得的颱風移行方向大致上與觀測結果相符，但以 AK (Anthes 1977)中的颱風移動路徑則有稍微向北偏移的結果出現。在靜力平衡與非靜力平衡的比較方面，兩者模擬的颱風中心路徑非常接近，顯示非靜力平衡的物理效應並不足以造成颱風路徑的顯著差異，但是考慮非靜力作用應更有助於侵台颱風環流強度的模擬。總括來說，模擬的颱風路徑與觀測路徑比較相當合理，顯示 MM5 中尺度模式有相當潛力可以用於研究颱風的移動路徑。Anthes (1982)認為非靜力平衡作

用的重要性於接近颱風眼會更加明顯，但大部分螺旋雨帶的形成及其結構應可為靜力模式所模擬。Tripoli (1992)以非靜力平衡的數值模式以模擬熱帶氣旋，其研究建議以 10 公里或更高的水平網格解析度來模擬成熟時期熱帶氣旋的動力過程。

Braun and Tao (2000)以 Bob (1991)颱風做 72 小時模擬，其使用 MM5 模式 2.5 版對颱風做邊界層參數法的敏感度測試研究，分別使用整體氣動法 (Bulk-aerodynamic scheme) (Deardorff 1972; Grell et al. 1995)、Blackadar 邊界層參數法(1979)、Medium-Range Forecast (MRF) 邊界層參數法(Hong and Pan 1996)、及 Burk-Thompson 邊界層參數法 (1989)等四種邊界層方法方法。研究發現，若以近颱風中心最低氣壓與最大風速來定義颱風強度，則 Bulk-aerodynamic 法和 Burk-Thompson 法模擬出較強的颱風結構，而 MRF scheme 則模擬出較弱的颱風結構。在降水結構方面，發現使用不同的邊界層參數法，將模擬出不同的降水分佈。因此對颱風模擬的降水預測而言，選擇合適的邊界層參數法，和選擇合適的雲微物理參數法一樣的重要。

吳與黃(2000)以 MM5 數值模式模擬芙蘿(1990)颱風。研究中探討不同來源的初始資料，包括日本氣象廳(JMA)、美國國家環境預報中心(NCEP)及歐洲中期天氣預報中心(ECMWF)的網格分析資料，針對 1990 年的芙蘿颱風(Flo)進行數值模擬。模擬結果顯示不同初始資料與不同初始化方法所得之模擬路徑有明顯的差異性，其中採用不同初始資料及不同初始化方法，因初始場及模擬時對太平洋副高的趨勢掌握不同，導致對 Flo 颱風路徑的模擬有較大的差異。而使用

相同初始資料但採用不同初始化方法，由於初始時間採用不同的渦旋植入過程，造成颱風中心附近流場的改變，模擬的路徑亦有相當程度的差別。

第二章 研究方法與資料來源

本研究對瑞伯颱風做 36 小時之數值模擬，分別使用不同之積雲參數法、微物理參數法及邊界層參數法，來探討颱風模擬對邊界層參數法的敏感度情形。模擬實驗採用 45 公里與 15 公里之雙重巢狀網格，數值模式使用美國國家大氣科學研究中心(Nation Center for Atmospheric Research ; NCAR)與賓州州立大學(Penn State University; PSU)所合作發展出的第五代中尺度非靜力 MM5 模式。

以下將對模式中所使用之邊界層參數法、雲物理參數法、積雲參數法與颱風植入法等相關內容做一簡介，並介紹所使用之實際觀測資料。

2.1 積雲參數法(Cumulus scheme)

2.1.1 Anthes-Kuo 積雲參數法

以水氣輻合為基礎，適用於網格點大於 30 公里的解析度，傾向高估對流降雨及低估次網格降水，其明確表現加熱剖面，且溼化剖面為環境相對溼度的函數。

2.1.2 Betts-Miller 積雲參數法

基本在緩和調節一段對流後熱力學剖面的時期，適用於大於 30 公里的解析度，但沒有明確地下衝氣流(downdraft)，

因此較不適用於幾個對流過程中。細節可參閱 Betts(1986), Betts and Miller(1986), Betts and Miller(1993) and Janjic (1994)。

2.1.3 Grell 積雲參數法

以不穩定或準平衡為基礎，簡單包含上衝與下衝氣流的單雲法，適用於較小格點 10 ~ 30 公里的解析度，傾向次網格降水與對流降水的平衡，在降水中考慮切變效應。

2.1.4 Kain-Fritsch 積雲參數法

使用複雜的雲混合法計算逸入逸出現象，可預報出上衝與下衝氣流的特性，及雲與雨水的逸出，在降水中也有考慮切變效應。細節可參閱 Kain and Fritsch(1993)。

2.2 雲物理參數法(Microphysics scheme)

2.2.1 Warm Rain 雲物理參數法

考慮在雲物理過程中，水氣、雲水與雨水三者的關係，明確地表現出雲水與雨水，沒有考慮冰相過程。

2.2.2 Simple Ice 雲物理參數法

比 Warm Rain 多考慮了冰相過程，於凝結層以上 (< 0

°C) 有雪花、冰晶及水汽，凝結層以下 ($> 0^{\circ}\text{C}$) 則為雲水、雨水與水汽，在 0°C 以下無過冷水及溶冰的存在。

2.2.3 Mixed-Phase 雲物理參數法

加入了過冷水假設，且雪可緩慢溶化，在 $0^{\circ}\text{C} \sim -40^{\circ}\text{C}$ 間可以冰水共存，無軟苞 (graupel) 及霜 (rime) 過程。

2.2.4 Goddard Graupel 雲物理參數法

包括了軟苞 (graupel) 的預報方程，適用於解析小尺度之雲物理過程。細節可參閱 Lin et al. (JCAM, 1983), Tao et al. (1989, 1993)。

2.3 邊界層參數法 (PBL scheme)

2.3.1 Blackadar 邊界層參數法

Blackadar 邊界層參數法 (Blackadar 1976, 1979; Zhang and Anthes 1982; Oncley and Dudhia 1995) 考慮兩個不同的擾動混合條件，分別為穩定和自由對流條件。在穩定條件中，又以李查遜數 [Richardson number (Ri)] 來分為三個不同的穩定狀態。當 $Ri \geq 0.2$ 時，假設表面層處於非常穩定狀態；在 $0 < Ri < 0.2$ 時，假設表面層之穩定度來自於機械性的水氣擾動；而當 $Ri \leq 0$ 時，在表面層上之自由大氣混合遵循 K-theory，此時之假設類似於整體氣動

法(Bulk-aerodynamic scheme) (Deardorff 1972; Grell et al. 1995)中的情形。

在自由對流條件中， $Ri \leq 0$ ，熱、水氣和動量的垂直傳送並非由局部梯度所決定，而是由整體的溫度結構與整個混合層來決定。

2.3.2 MRF 邊界層參數法

MRF(Medium-Range Forecast)邊界層參數法 (Hong and Pan 1996) 為一使用於非局部區域之參數法，其建立於整體氣動法(Bulk-aerodynamic scheme) (Deardorff 1972; Grell et al. 1995)之基礎上。此參數法最大特點在於使用「逆梯度」(counter-gradient) 假設，並考慮大尺度渦旋之貢獻。在 MM5 模式中，使用逆梯度假設則在洋面上水氣的逆梯度項將設為 0 。

2.3.3 Burk-Thompson 邊界層參數法

Burk-Thompson 邊界層參數法 (Burk and Thompson 1989) 為使用於 Mellor-Yamada level-2.5 之閉合模式所發展之參數法。此參數法考慮亂流動能 (turbulent kinetic energy ; TKE)。此法應用於 MM5 模式時將忽略液態水之影響，而其對模式中潛熱和水氣通量上之模擬結果將優於逆梯度之假設。在對通量的假設上 Burk-Thompson 參數法接近於 local-K，但是不同於 Blackadar 和整體氣動法對自由大氣的假設。對於渦流擴散的假設，此參數法採用較複雜的代數公式來作預報。

2.3.4 No PBL experiment

本實驗則於 MM5 模式中完全不使用邊界層參數法，當然亦無地表通量。

2.4 颱風植入

在數值模式中，颱風渦旋的發展通常需要一段時間。所以在李和林(1990)的颱風模擬研究中，使用全球模式初始場所解析的颱風環流直接讓 MM5 模式積分，則積分時間必須加長，才能使 MM5 模式模擬之颱風環流強度達到一定的水準（此實驗積分時間為 60 小時）。在本研究中，為了使模擬之颱風強度接近實際值，於初始時間將在模式初始場內植入一颱風渦旋(參考 Ueno 1989)。此植入方法為在颱風中心四周，以軸對稱環流的方式，製造颱風觀測資料（圖 1）。其中觀測資料的製造，為假設颱風中心之探空曲線介於可解析之綜觀環境場探空與濕絕熱探空曲線之間(見圖 2)，並假設其處於飽和狀態。而後藉由此探空曲線將所得之溫度、溼度與風速等等資料作上述植入動作。在風場的植入方面則採用 Rankine vortex 的方式做植入。

颱風渦旋的植入層共為 5 層，分別為近地層(1000 百帕)、850、700、500、和 400 百帕。颱風的強度在 1000 百帕最強，隨著高度逐漸減弱，在 300 百帕以上就不存在颱風渦旋。

在植入之颱風半徑上，以達到風速 15 m/s 為基準半徑，來決定植入颱風之大小。公式如下：

$$\bar{R} = R_{15} \left(1 + \frac{0.03}{fR_{15}} \right)^{1/2}$$

公式中 R_{15} 為風速 15 m/s 之半徑， f 為科氏參數， \bar{R} 為植入之颱風半徑。其中若 R_{15} 超過 500 公里則以 500 公里來計算。此外，可經由 \bar{R} -circle 對靜力方程式積分得到平均海平面氣壓 \bar{p} 、重力位高度 \bar{z} 和平均溫度 \bar{T} 。

在氣壓分佈方面，為了使氣壓能夠如實際般越接近中心氣壓越低，我們使用如下公式：

$$P(r) = P_0 - \Delta P \left[1 + \alpha \left(\frac{r}{\bar{R}} \right)^2 \right]^{-1/2 \exp \left[- \left(\frac{r}{\bar{R}} \right)^2 \right]}$$

$$\Delta P = \frac{\bar{P} - P_c}{1 - (1 + \alpha)^{-1/2} e^{-1}}$$

$$P_0 = P_c + \Delta P$$

其中 P_0 為颱風中心氣壓， $\alpha = 20$ 為實驗常數， r 為颱風半徑， P_c 為平均海平面氣壓， \bar{P} 為人工分析颱風中心氣壓 P_{cm} 之平均。 P_{cm} 的定義為下：

$$P_{cm} = 0.1156Z_{700} + 642.7309 \quad (Z_{700} \text{ 為 } 700 \text{ hpa 之中心氣壓})$$

2.5 觀測資料

本論文研究使用的觀測資料包括中央氣象局 1998 年 10 月

14 日至 16 日之衛星雲圖、台灣地區雨量累積圖、高空圖、
颱風資料記錄表、氣象局逐時天氣報告一覽圖、颱風路徑
圖、及台灣地區 343 個自動雨量站觀測之雨量紀錄。

第三章 瑞伯颱風介紹

中央氣象局所發布之瑞伯颱風的移動路徑如圖 3 所示。瑞伯颱風在菲律賓東方海面形成，隨即緩慢加速向西北再轉北方向朝台灣接近，其中心於 10 月 15 日至 16 日上午從台灣東方外海約 60 至 100 公里以偏北方向進行並影響台灣，但由衛星雲圖所見其中心並未登陸本島(見圖 4 至圖 7)。

瑞伯颱風為民國 87 年在北太平洋西部發生的第 10 個颱風(表三)，也是民國 87 年入秋以來形成的第 6 個颱風，前 5 個颱風依序為編號 9805 的史特拉 (Stella)，編號 9806 的陶德 (Todd)，編號 9807 的維琪 (Vicki)，編號 9808 的瓦爾道 (Waldo)，編號 9809 的楊妮 (Yanni)。編號 9810 的瑞伯 (Zeb) 颱風為 87 年度最強的侵台颱風，而且是唯一的強烈颱風。瑞伯颱風原為位在關島西南方海面的熱帶雲簇，經不斷的對流活動生成發展，於 10 月 10 日 0600UTC 發展為熱帶性低氣壓，中心位置在北緯 10.5 度，東經 141.5 度。於 10 月 10 日 1800UTC 正式增強為輕度颱風，並經 JTWC 命名為瑞伯 (Zeb)，編號 9810；其時中心位置在北緯 10.5 度，東經 139.0 度，中心氣壓 998hPa，近中心最大風速 18 m/s，最大陣風 23 m/s，向西北西移動，時速 20 公里，七級風暴風半徑 100 公里。瑞伯颱風形成後，即以每小時 18 至 28 公里的速度以西至西北方向向巴士海峽及台灣東南部海域移動。中央氣象局於 13 日 14 時 20 分對巴士海峽及台灣東南部海域正式發布海上颱風警報，並於同日 20 時 20 分對恆春半島、蘭嶼、綠島及台東地區發布陸上颱風警報。

在劉(1998)颱風調查報告中提到，瑞伯颱風形成後，由於受到北方太平洋副高壓的影響，一直以偏西路徑（270至293度），並快速（時速20至25公里）向菲律賓前進，至12日1200 UTC後，受西北方強烈高層氣流之導流影響（參考圖8及圖9），開始偏向西北。至14日1800 UTC，再受到西風帶（Westerlies）之牽引轉向正北移動，朝向台灣本島而來。隨後至16日0000 UTC由於大陸冷高壓的不斷進迫台灣，使得瑞伯颱風中心一直未能登陸並穿越台灣，自16日00時至14時（LST），瑞伯颱風距離台灣東部海岸線最近（約60至100公里），隨後即逐漸遠離。爾後，瑞伯颱風一直能夠維持向北再轉北北東至東北方向（呈典型拋物線路徑）侵入日本。其移動路徑與1959年11月17日至19日發生的芙瑞達（Freda）颱風極相似（見圖10）。另外由圖9中可看到台灣西方高層有一反氣旋存在，在林與劉(1999)文章中提到，在西藏高壓與太平洋高壓間的高空槽將會使得颱風偏北移動。文章中也提到，瑞伯颱風受到其北方的副高脊影響往西北移動並於到達呂宋島時受地形影響而稍微減弱，後當其繞過脊線時會和進入黃海的中緯度槽線發生作用結束往北的行程而偏東北。

就瑞伯颱風侵台期間的氣壓及風雨進行分析，顯示最低氣壓及最大風力均出現在最接近颱風中心附近的成功及彭佳嶼，分別為974hPa及55m/s。就台灣各地區風雨分布比較，以北部東北部及東部之風力較大，最大陣風高達16級；在降雨量方面，亦以迎風面的北部東北部及東部雨量（尤其山區）最多，高達700公厘以上，背風面的中南部較少，（見

圖 11 至圖 15)。

瑞伯颱風因屬典型的「秋颱風」，在「共伴環流」效應下，使得侵台前三日即已在北部、東北部及東部地區下了相當巨量的豪雨，以至於在台灣地區造成相當大的災情。瑞伯颱風進入台灣東南部海面後，受到兩邊高氣壓的擠迫，故一路以偏北走向在轉北北東向日本而去，最終於 18 日 0000UTC 時成為溫帶氣旋，總計瑞伯颱風的生命期達 7 天 12 小時之久（10 日 1800UTC 至 18 日 0000UTC）。

第四章 模式介紹與實驗設計

4.1 MM5 模式簡介

本研究中所使用的數值模式為 PSU / NCAR 所發展出的第五代中尺度數值模式，簡稱為 MM5 (Fifth-generation Penn. State / NCAR Mesoscale Model)。MM5 模式最早使根據 Anthes 與 Warner 兩位學者在美國賓州州立大學所發展出的靜力模式為依據 (Anthes and Warner 1978)，目前已發展至一靜力或非靜力(可供選用)的有限區域模式 (Grell et al. 1995)。非靜力與靜力的差別在於前者增加了壓力擾動場及垂直速度場的預報。在非靜力模式中，使用可壓縮流體的連續方程式，聲波是被允許存在的，因此需要分割積分時間間隔來處理；所以壓力項，動量項以及與壓力之間的交互作用項使用較小的時間間隔，而平流項、擴散項、科氏力項及水氣過程則使用較大的時間間隔。

MM5 模式對於不同的大氣物理過程提供許多不同的選擇，包括降水的物理過程、地表能量的收支、地表邊界層的處理和大氣輻射的物理過程。對於邊界層參數法則有高解析邊界層參數法 (Blackadar 1979)、整體氣動法 (Bulk-aerodynamic scheme) (Deardorff 1972; Grell et al. 1995)、Medium-Range Forecast (MRF) 邊界層參數法 (Hong and Pan 1996) 與 Burk-Thompson 邊界層參數法 (1989) 等方法。輻射參數法使用 Dudhia (1989) 的方法以處理較複雜的大氣輻射效應。此外，次網格的積雲參數法有

Kuo (1974)、Arakawa-Schuber (1974)、Grell (1993)、Chappell (1980)、Kain and Frisch (1993)、及 Betts and Miller (1986)。可解析尺度的降水參數法(雲物理參數法)有暖降水法 (warm-rain ; Hsie and Anthes 1984)、簡單冰晶法 (simple ice ; Dudhia 1989)、混合相位法 (mixed-phase ; Reisner et al. 1993)和 Goddard Graupel 法 (goddard graupel ; Tao and Simpson 1993)。

在 MM5 模式中所採用的垂直座標定義為 $\sigma = (P_0 - P_t)(P_s - P_t)^{-1}$ ，其中 P_0 是參考氣壓， P_s 是地面氣壓， P_t 是模式上邊界的氣壓值。在非靜力模式中， P_s 與 P_t 在整個模擬的過程中是與時間無關的，因此在任一網格點上的氣壓值應為 $P = P^* \sigma + P_t + P'$ ，其中 $P^* = P_s - P_t$ ， P' 是三維的氣壓擾動量。由於假設參考氣壓是不隨時間改變的，所以此種座標系統可以完全相當於追隨地形的高度座標 (terrain-following coordinate)。

4.2 實驗設計

在實驗中所執行的非靜力 MM5 模式為 2.11 版，使用水平網格間距 45 公里與 15 公里的兩層巢狀網格，網格點數分別為 71×81 及 91×91 ，網域一 (D01) 涵蓋整個東亞地區，網域二 (D02) 涵蓋整個大陸華南地區及臺灣本島 (見圖 16)，垂直座標為 σ 座標 (共 27 層)。

本研究分為三組實驗：積雲參數法實驗、雲物理參數法實驗與邊界層參數法實驗，表 4 為三組實驗分別使用的積雲參數法、雲物理參數法與邊界層參數法。各組模擬實

驗使用不同的參數法，對瑞伯颱風個案做 36 小時之積分。再根據每小時之 MM5 模式模擬結果，以此結果針對模擬颱風之移動路徑、氣壓變化、最大風速、與 6 小時累積雨量等，與實際觀測資料做一分析比較，來討論模式對於各參數法之敏感度情形。

在積雲參數法實驗中，積雲參數法採用 Anthes-Kuo (1974)、Grell (1993)、Kain-Frisch (1993) 及 Betts-Miller (1986)；可解析尺度的雲物理參數方法皆使用簡單冰晶法 (simple ice 1989)，邊界層參數化方法則皆使用高解析邊界層參數法 (Blackadar 1979)。

在雲物理參數法實驗中，雲物理參數法採用暖降水法 (warm-rain 1984)、簡單冰晶法 (simple ice 1989)、混合相位法 (mixed-phase 1993) 和 Goddard Graupel 法 (goddard graupel 1993)；次網格尺度的積雲參數方法皆使用 Grell(1993)法，邊界層參數化方法則使用高解析邊界層參數法 (Blackadar 1979)。

在邊界層參數法實驗中，邊界層參數法採用高解析邊界層參數法 (Blackadar 1979)、Medium-Range Forecast 邊界層參數法 (MRF 1996)、Burk-Thompson 邊界層參數法 (1989)與一個沒有使用邊界層參數法的實驗(NOPBL)；次網格尺度的積雲參數方法皆使用 Grell(1993)法，在可解析尺度的雲物理參數化方法則使用 Goddard Graupel 法 (1993)。

初始場皆為中央氣象局全球模式的分析場，邊界條件則為中央氣象局全球模式的預報場，而海平面溫度在整個積分期間則維持一定。

第五章 實驗結果與討論

5.1 颱風路徑模擬結果

圖 17 為各參數法實驗模擬之颱風路徑圖，由圖中可看出模擬出的颱風移速明顯地較實際移速為慢，而且各個不同參數法實驗的模擬實驗結果皆有偏向右側的現象。

圖 17a 為積雲參數法實驗模擬之颱風路徑圖，圖中編號 1 為 Betts-Miller 實驗、編號 2 為 Grell 實驗、編號 3 為 Kain-Frisch 實驗、編號 4 為 Anthes-Kuo 實驗、編號 5 為觀測之颱風路徑。在各積雲參數法的模擬實驗中，以 Betts-Miller 實驗的颱風移速較慢，而 Anthes-Kuo 實驗在第 36 小時明顯地向右偏移。在前 18 小時，Betts-Miller 實驗、Grell 實驗與 Kain-Frisch 實驗的模擬結果相當接近。Grell 實驗在這組實驗中的模擬結果是最接近觀測的颱風路徑，不過在第 30 小時時，Anthes-Kuo 實驗的模擬結果比 Grell 實驗的模擬結果更接近觀測的颱風路徑。

圖 17b 為雲物理參數法實驗模擬之颱風路徑圖，圖中編號 1 為 Goddard-Graupel 實驗、編號 2 為 Simple-Ice 實驗、編號 3 為 Mixed-Phase 實驗、編號 4 為 Warm-Rain 實驗、編號 5 為觀測之颱風路徑。在各雲物理參數法的模擬實驗中，Goddard-Graupel 實驗與 Warm-Rain 實驗的颱風移速較慢，且 Goddard-Graupel 實驗在第 12 小時與第 36 小時有向右偏的現象。在四個雲物理參數法實驗中，以 Simple-Ice 實驗最接近觀測的颱風路徑。

圖 17c 為邊界層參數法實驗模擬之颱風路徑圖，在各個邊界層參數法的模擬實驗中，以 NOPBL 實驗的颱風移速較快，而在 MRF 與 Blackadar 組的實驗中，在前 30 小時兩者模擬結果相當接近，而第 36 小時 MRF 的模擬颱風大幅的偏向右側。在 Burk-Thompson 實驗中，前 24 小時的模擬結果是 4 種實驗中最好的，不過在第 30 小時的模擬則有速度偏慢導致模擬結果誤差變大。在 NOPBL 實驗中，前 24 小時模擬表現普通，但在後 12 小時模擬的颱風移速較快，相較於其他各組實驗偏慢的情況，在模擬 24 小時後這組實驗的結果反而有比較好的表現。

5.2 降雨量的預報

圖 18 為網域平均累積降雨量的圖表，在積雲參數法實驗中(圖 18a)，四個實驗在 36 小時的網域平均累積降雨量都沒有超過 50mm，其中以 Anthes-Kuo 實驗在各小時皆有產生較多的降雨量，而 Grell 實驗所產生的累積降雨量在前 12 個小時是最少的，不過在第 18 個小時後就有比較多的增加，在第 24 小時以後所產生的累積降雨量就與 Anthes-Kuo 實驗所產生的累積降雨量相差不多；Betts-Miller 實驗所產生的降雨量與 Kain-Frisch 實驗所產生的降雨量在各個小時皆差不多，不過在第 15 小時以後，Kain-Frisch 實驗所產生的累積降雨量比 Betts-Miller 實驗所產生的累積降雨量稍多一點。

在雲物理參數法實驗中(圖 18b)，Goddard-Graupel 實驗在各小時皆有產生較多的降雨量；Simple-Ice 實驗所產生的

累積降雨量與 Mixed-Phase 實驗所產生的累積降雨量差不多，且在 36 小時的網域平均累積降雨量都沒有超過 50mm；而 Warm-Rain 實驗所產生的累積降雨量在前 30 小時中與 Simple-Ice 實驗所產生的累積降雨量和 Mixed-Phase 實驗所產生的累積降雨量沒有明顯的差別，不過在第 30 小時以後就有明顯地增加，在 36 小時的網域平均累積降雨量與 Goddard-Graupel 實驗都有超過 50mm。

在邊界層參數法實驗中(圖 18c)，Blackadar 實驗、Burk-Thompson 實驗與 MRF 實驗在 36 小時的網域平均累積降雨量都有超過 50mm，其中以 MRF 實驗在各小時皆有產生較多的降雨量；Blackadar 實驗所產生的累積降雨量與 Burk-Thompson 實驗所產生的累積降雨量差不多，只在最後 3 小時中 Blackadar 實驗所產生的降雨量比 Burk-Thompson 實驗所產生的降雨量多；而在 36 小時的網域平均累積降雨量，Blackadar 實驗與 MRF 實驗產生差不多的累積降雨量。

5.3 模擬之颱風強度比較

對於颱風強度的定義，本研究中以近中心最低氣壓值與中心最大風速來比較模擬實驗的颱風強度。圖 19 與圖 20 分別為 15 km 的 MM5 模式在各組所模擬出的颱風近中心最低海平面氣壓值與最大水平風速圖表。以圖 19 的 a、b、c 圖概括來看，可知初始時所植入的颱風強度為了達到平衡而迅速減弱。圖 19 a 為積雲參數法實驗之最小海平面氣壓的圖表，在前 6 個小時各個實驗的最低海平面氣壓值並無

太大差別，在第 6 小時到第 24 小時間，Anthes-Kuo 實驗的最低海平面氣壓值下降的速度明顯比其他三個實驗慢，即在這段時期 Anthes-Kuo 實驗所產生的颱風強度為最弱的，而在第 12 小時後，Kain-Frisch 實驗的最低海平面氣壓值下降的速度也比 Betts-Miller 實驗與 Grell 實驗來得慢，且在第 24 小時以後產生出最弱的颱風強度，反而 Anthes-Kuo 實驗的最低海平面氣壓值一直下降，在第 36 小時時已比觀測的最低海平面氣壓值還低；而 Grell 實驗在第 21 小時到第 28 小時擁有最低的海平面氣壓值，即在這段時期 Grell 實驗所產生的颱風強度為最強的；在第 29 小時以後，Betts-Miller 實驗與 Grell 實驗的最低海平面氣壓值差距不大，Betts-Miller 實驗的最低海平面氣壓值稍微比 Grell 實驗的最低海平面氣壓值低，且在第 36 小時皆與觀測之最低海平面氣壓值很接近。

圖 19 b 為雲物理參數法實驗之近中心最低海平面氣壓值的圖表，其中 Goddard-Graupel 實驗所產生的近中心最低海平面氣壓值在各個小時皆為最低的，即 Goddard-Graupel 實驗所產生的颱風強度最強，且在第 36 小時與觀測之最低海平面氣壓值相當接近；其他三個實驗在前 12 個小時的最低海平面氣壓值並無太大差別，在第 12 小時到第 21 小時中，Warm-Rain 實驗產生較弱的颱風強度，在第 21 小時後，Warm-Rain 實驗和 Mixed-Phase 實驗的最低海平面氣壓值差距不大，只在最後 3 小時 Mixed-Phase 實驗的最低海平面氣壓值稍微比較低；在第 20 小時前，Simple-Ice 實驗的最低海平面氣壓值與 Mixed-Phase 實驗差不多，在第 20 小時後，Simple-Ice 實驗產生比 Warm-Rain 實驗和

Mixed-Phase 實驗還低的最低海平面氣壓值，但仍與 Goddard-Graupel 實驗的最低海平面氣壓值有段差距。

圖 19 c 為邊界層參數法實驗之近中心最低海平面氣壓值的圖表，在前 6 個小時各個實驗的最低海平面氣壓值並無太大差別，其中 NOPBL 實驗在第 6 小時後產生出最高的近中心最低海平面氣壓值，即 NOPBL 實驗所產生的颱風強度最弱；其他三個實驗在第 16 小時前的差距都不大，在第 16 小時後 Blackadar 實驗的最低海平面氣壓值明顯地比其餘兩個實驗高，而 Burk-Thompson 實驗在 30 個小時內所產生的近中心最低海平面氣壓值與 MRF 實驗的差距不大，在第 36 小時 MRF 實驗與觀測之最低海平面氣壓值非常地接近。

對於最大水平風速，圖 20 亦可看出初始時所植入的颱風強度為了達到平衡而迅速減弱。圖 20 a 為積雲參數法實驗之最大水平風速的圖表，在第 23 小時前，Anthes-Kuo 實驗產生出最小的最大水平風速，在第 24 小時到第 35 小時間卻產生最大的最大水平風速，且在第 26 小時後產生比觀測值還大的水平風速；Grell 實驗在模擬期間一直有相當大的水平風速，在第 24 小時到第 35 小時間雖然比 Anthes-Kuo 實驗所產生的最大水平風速小，但是卻比較接近觀測值，只在第 36 小時產生出比 Anthes-Kuo 實驗還大的水平風速；Betts-Miller 實驗與 Kain-Frisch 實驗產生出的最大水平風速在前 33 小時皆比觀測值小，在最後 3 小時卻相當接近觀測值，只是 Betts-Miller 實驗在第 36 小時又產生比觀測值低的最大水平風速。

圖 20 b 為雲物理參數法實驗之最大水平風速的圖表，

其中 Goddard-Graupel 實驗在大部分的模擬期間有最大的水平風速，且在最後 3 小時產生出比觀測值還大的水平風速；Warm-Rain 實驗剛好相反，在大部分的模擬期間有最小的水平風速；而 Mixed-Phase 實驗與 Simple-Ice 實驗在模擬期間所產生的最大水平風速很類似，在第 30 小時後皆非常接近觀測值。

圖 20 c 為邊界層參數法實驗之最大水平風速的圖表，在第 15 小時前，Burk-Thompson 實驗產生出相對於 Blackadar 實驗與 MRF 實驗較大的最大水平風速，而在第 18 小時後，是 MRF 實驗產生出較大的最大水平風速，且相當接近觀測值，只在最後 3 小時產生出比觀測值還大的水平風速；而 Blackadar 實驗在大部分的模擬期間有最小的水平風速。

總括來說，若由近中心最大氣壓與近中心最大風速來決定模擬的颱風強度來看，在積雲參數法實驗中，Betts-Miller 實驗與 Grell 實驗皆模擬出比較接近觀測的颱風強度，而 Grell 實驗模擬出比較接近觀測的颱風環流；在雲物理參數法實驗中，Goddard-Graupel 實驗模擬出比較接近觀測的颱風強度，而 Mixed-Phase 實驗與 Simple-Ice 實驗模擬出比較接近觀測的颱風環流；在邊界層參數法實驗中，MRF 實驗模擬出比較接近觀測的颱風強度，Burk-Thompson 實驗在模式初期模擬出比較接近觀測的颱風環流，而模擬後期則是由 MRF 實驗模擬出比較接近觀測的颱風環流。NOPBL 實驗模擬出的颱風環流強度明顯弱於其他三組實驗。

第六章 總結

在路徑模擬結果中，此次的 MM5 模擬實驗颱風路徑誤差與各種官方的預報結果作一比較，發現模擬之結果對於颱風路徑的掌握令人滿意。在積雲參數法實驗中，Grell 實驗模擬出比較接近觀測的颱風路徑，而 Betts-Miller 實驗明顯地緩慢許多；在雲物理參數法實驗中，Simple-Ice 實驗模擬出比較接近觀測的颱風路徑，而 Goddard-Graupel 實驗與 Warm-Rain 實驗則過慢；在邊界層參數法實驗中，NOPBL 實驗模擬出比較接近觀測的颱風路徑，我們可以發現，加入邊界層參數法對於改善路徑的預報上影響並不顯著。此結果可由不同邊界層參數法所模擬出颱風路徑相似得到，並且在模式後期沒有使用邊界層參數的 NOPBL 實驗反而有較佳的模擬結果。此原因可由邊界層的定義來說明，行星邊界層是指大氣中流場會受到地形之間交互作用直接且強烈的區域，這種交互作用的本質來自於大氣分子的黏滯性。故邊界層為近地面受到地形摩擦強烈影響的區域。然而影響颱風路徑的因素，雖有受到地形部分的影響，但實際導引颱風路徑的主因仍主要決定於綜觀系統的配置及其變化，即駛流為影響颱風移動的一個重要因素。因此在加入複雜的邊界層參數法時對於綜觀環境流場的影響有限，因而反映在對颱風路徑模擬的改善並不明顯。

在模式對降水量的掌握方面，對於積雲參數法實驗，Anthes-Kuo 實驗產生較多的降雨量，而 Grell 實驗在第 24 小時以後就與 Anthes-Kuo 實驗所產生的累積降雨量差不

多；在雲物理參數法實驗中，Goddard-Graupel 實驗產生較多的降雨量；在邊界層參數法實驗中，以 MRF 實驗產生較多的降雨量；我們發現改變不同的參數法對於降水量的預報能力增加有限，觀其主因，颱風在台灣地區所產生之降水與地形有相當大的關係，但由於模式的解析度不足，對於颱風之降水與地形的相關掌握能力有限，且模擬出之颱風強度與實際比較較弱，故在於降水總量的預報上掌握能力較差。

在模擬之颱風強度方面，實驗結果顯示，在積雲參數法實驗中，Anthes-Kuo 實驗模擬出較強的颱風結構，而 Grell 實驗模擬出比較接近觀測的颱風結構；在雲物理參數法實驗中，Goddard-Graupel 實驗模擬出較接近觀測的颱風結構，其次則為 Simple-Ice 實驗，最弱的則是 Warm-Rain 實驗；在邊界層參數法實驗中，初期 Burk-Thompson 模擬出較強的颱風結構，其次則為 MRF 與 Blackadar，最弱的則是 NOPBL。在 Braun and Tao (2000) 的颱風模擬研究中提到，由於模擬颱風的強弱決定於邊界層參數法的粗糙高度假設上，在 Burk-Thompson 的假設上若在具有相同之摩擦速度 u_* 時，所得到粗糙高度值小於 MRF 與 Blackadar。故其模擬之颱風強度大於此兩組實驗。而在本實驗中，模式後期的模擬 MRF 颱風的強度超越 Burk-Thompson，這應與本次模擬實驗中 Burk-Thompson 並未完整模擬 36 小時有關。由氣壓、風速與颱風移速來觀察，Burk-Thompson 實驗皆有在 24 小時後轉弱或停滯的現象，應是模式積分計算時產生誤差，故在模擬 30 小時後宣告結束。

綜合以上 12 組測試實驗得知，MM5 模式所預報之颱風路徑、中心最低氣壓、最大陣風及其降雨分布，顯著受到物理參數法的影響。然

而，我們仍然需要更多的颱風內部結構的密集觀測資料及比較更多颱風個案，來驗證此系集預報測試結果。

參考文獻

- 林郁偉、劉廣英，1999：台灣東方近海北上颱風之合成分析與研究。中國文化大學，碩士學位論文。
- 李清勝、林慧娟，1999：侵台歐菲莉颱風(1990)之數值模擬。大氣科學，第二十七期，第三號，235-254。
- 李清勝、簡國基，1997：颱風環流維持機制之數值模擬。大氣科學，第二十五期，第二號，147-171。
- 吳俊傑、黃葳凡，2000：芙蘿颱風(1990)的數值模擬研究：初始資料及初始化方法影響之探討。大氣科學，第二十八期，第四號，293-314。
- 喬森、黃清勇、郭英華，1996：黛特Dot颱風的MM5數值模擬。大氣科學，第二十四期，第二號，123-141。
- 謝信良，王時鼎，鄭明典，業天降：百年(1897-1997)侵台颱風路徑圖集及其應用，中央氣象局，民國八十七年。
- 劉復誠，1998：民國八十七年颱風調查報告 強烈颱風瑞伯(9810)。氣象學報，第四十二卷第四期，356-403。
- Anthes, R. A.,1977:A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model.*Mon. Wea. Rev.*,**108**,270-286
- Anthes, R. A., 1983: Regional models of the atmosphere in middle latitudes. *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 1306–1335.
- Anthes, R. A. and S. W. Chang,1978: Response of the hurricane boundary layer to changes of sea-surface temperature in numerical model. *J. Atmos. Sci.*,**35**,1240-1255.
- Arakawa, A., and W. H. Schubert, 1974: Interaction of a cumulus cloud ensemble with the large-scale environment. Part I. *J. Atmos. Sci.*,**31**, 674–701.
- Arakawa, A., 1993: Closure assumptions in the cumulus parameterization

- problem. *The Representation of Cumulus Convection in Numerical Models, Meteor. Monogr.*, No. 46, Amer. Meteor. Soc., 1–15.
- Betts A. K., and M. J. Miller, 1986: A new convective adjustment scheme. Part II: Single column tests using GATE wave, BOMEX, ATEX, and Arctic air-mass data sets. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **112**, 693–709.
- Blackadar, A. K., 1976: Modeling the nocturnal boundary layer. *Preprints, Third Symp. on Atmospheric Turbulence, Diffusion, and Air Quality*, Raleigh, Amer. Meteor. Soc., 46-49.
- Blackadar, A. K., 1979: Modeling the nocturnal boundary layer. *Preprints, Third Symp. on Atmospheric Turbulence, Diffusion, and Air Quality*, Raleigh, Amer. Meteor. Soc., 46-49 .
- Burk, S. D., and W. T. Thompson, 1989: A vertically nested regional numerical weather prediction model with second-order closure physics. *Mon. Wea. Rev.*, **117**, 2305-2324.
- Cressman, G. P., 1959: An operational objective analysis system. *Mon. Wea. Rev.*, **87**, 367-374.
- Deardorff, J. W., 1972: Parameterization of the planetary boundary layer for use in general circulation models. *Mon. Wea. Rev.*, 100, 93-106.
- Delsol, F., K. Miyakoda, and R. H. Clarke, 1971: Parameterized processes in the surface boundary layer of an atmospheric circulation model. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **97**, 181-208.
- Dudhia, J., 1989: Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *J. Atmos. Sci.*, **46**, 3077-3107.

- Garratt, J. R., 1977: Review of drag coefficients over oceans and continents. *Mon. Wea. Rev.*, **105**, 915-929
- Grell, G. A., J. Dudhia, and D. R. Stauffer, 1995: A description of the fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model. NCAR Technical Note, 122 pp.
- Grell, G. A., 1993: Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 764-787.
- Hsie, E.-Y., R. A. Anthes, and D. Keyser, 1984: Numerical simulation of frontogenesis in a moist atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **41**, 2581-2594.
- Hong, S.-H., and H.-L. Pan, 1996: Nonlocal boundary layer vertical diffusion in a medium range forecast model. *Mon. Wea. Rev.*, **124**, 2322-2339.
- 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. Monogr.*, No. 46, Amer. Meteor. Soc., 165-170.
- 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.
- Louis, J. F., 1979: A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Boundary Layer Meteor.*, **17**, 187-202.
- Oncley, S. P., and J. Dudhia, 1995: Evaluation of surface fluxes from MM5 using observations. *Mon. Wea. Rev.*, **123**, 3344-3357.
- Reisner, J., R. T. Bruintjes, and R. J. Rasmussen, 1993: Explicit forecasting of supercooled water in winter storms using the MM5 mesoscale model. *Quart.*

J. Roy. Meteor. Soc.,**124B**, 1071-1107.

Tao, W.-K., and J. Simpson, 1993: The Goddard cumulus ensemble model. Part I: Model description. *TAO*,**4**,35-72.

Tripoli, G. J.,1992: An explicit Three-dimensional nonhydrostatic numerical simulation of a tropical cyclone. *Meteorol. Atmos. Phys.*, 49, 229-254.

Ueno, Mitsuru, 1989: Operational Bogussing and Numerical Prediction of Typhoon in JMA. JMA/NPD Technical Report NO.**28**.3-11.

Zhang, D.-L., and R. A. Anthes, 1982: A high-resolution model of the planetary boundary layer-Sensitivity tests and comparisons with SESAME-79 data. *J. Appl. Meteor.*,**21**,1594-1609.

表一：民國 15 年（1897 年）至民國 85 年（1996 年）颱風侵襲臺灣各月次數

月份	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	全年
次數	2	12	26	86	108	80	27	7	348
平均	0.02	0.12	0.26	0.86	1.08	0.80	0.27	0.07	3.48
百分數	0.6	3.4	7.5	24.7	31.0	23.0	7.8	2.0	100

表二：同時期侵襲臺灣之颱風數目統計表

每年侵襲次數	無	1	2	3	4	5	6	7	8
年數	2	10	13	28	23	13	7	3	1

表三 瑞伯颱風(編號 9810)最佳路徑中心位置及其他動態資料

月	日	時 (UTC)	北緯 (度)	東經 (度)	中心 氣壓 (hpa)	近中 心最 大風 速 (m/s)	強度	颱風 進行 方向	時速 (km)	七級 風暴 風半 徑	十級 風暴 風半 徑	警報種類
10	10	06	10.5	141.5	1002	13	T.D.	W	15	---	---	
		12	10.5	140.5	1000	13	T.D.	W	15	---	---	
		18	10.5	139.0	998	18	輕	WNW	20	100	---	
10	11	00	10.6	138.0	998	18	輕	WNW	20	100	---	
		06	10.8	136.2	990	23	輕	WNW	20	100	---	
		12	10.8	134.8	980	28	輕	W	20	150	---	
		18	10.8	133.7	980	28	輕	W	20	150	---	
10	12	00	11.2	132.8	970	33	中	WNW	20	250	100	
		06	12.0	131.3	965	35	中	NW	25	300	120	
		12	12.7	130.2	965	35	中	NW	25	300	120	
		18	13.7	129.1	960	40	中	NW	25	300	120	
10	13	00	14.7	127.7	940	45	中	NW	25	350	150	
		06	15.5	126.2	930	51	強	NW	25	350	150	海上
		12	16.0	124.8	920	55	強	NW	22	350	150	海上陸上
		18	16.5	123.4	920	55	強	NW	18	350	150	海上陸上
10	14	00	17.0	122.7	920	55	強	NW	18	350	150	海上陸上
		06	17.4	121.8	930	51	強	NW	18	350	150	海上陸上
		12	17.9	121.4	945	45	中	NNW	15	350	120	海上陸上
		18	18.7	121.5	945	45	中	N	15	350	120	海上陸上
10	15	00	19.5	121.0	945	45	中	N	15	350	120	海上陸上
		06	20.2	121.0	945	45	中	NNW	15	300	120	海上陸上
		12	21.0	121.1	945	45	中	NNW	15	300	120	海上陸上
		18	22.6	121.8	948	43	中	NNE	15	300	120	海上陸上
10	16	00	23.8	122.4	955	38	中	NNE	22	300	120	海上陸上
		06	24.8	122.8	965	33	中	NNE	22	300	100	海上陸上
		12	26.2	124.4	970	33	中	NE	26	300	100	海上陸上
		18	27.7	126.5	975	30	輕	NE	28	300	---	海上
10	17	00	28.9	128.4	978	30	輕	NE	40	300	---	解除
		06	30.4	130.1	985	28	輕	NE	46	250	---	

		12	32.8	132.0	985	25	輕	NE	46	250	---	
		18	36.9	135.8	985	25	輕	NE	73	250	---	

Table4: Summary of MM5 experiments on the 45-km/15-km nested grid.

Member	Cumulus	Microphysics	PBL
Set A: Sensitivity of cumulus parameterization			
AK	Anthes-Kuo	Simple Ice	Blackadar
BM	Betts-Miller	Simple Ice	Blackadar
GR	Grell	Simple Ice	Blackadar
KF	Kain-Fritsch	Simple Ice	Blackadar
Set B: Sensitivity of microphysics parameterization			
WR	Grell	Warm-Rain	Blackadar
ICE	Grell	Simple-Ice	Blackadar
MP	Grell	Mixed-Phase	Blackadar
GG	Grell	Goddard-Graupel	Blackadar
Set C: Sensitivity of boundary-layer parameterization			
BD	Grell	Goddard-Graupel	Blackadar
BT	Grell	Goddard-Graupel	Burk-Thompson
MRF	Grell	Goddard-Graupel	MRF
No-PBL	Grell	Goddard-Graupel	No PBL

表四為三組實驗分別所使用的積雲參數法、雲物理參數法與邊界層參數法；實驗 A 組為積雲參數法實驗，實驗 B 組為雲物理參數法實驗，實驗 C 組為邊界層參數法實驗。

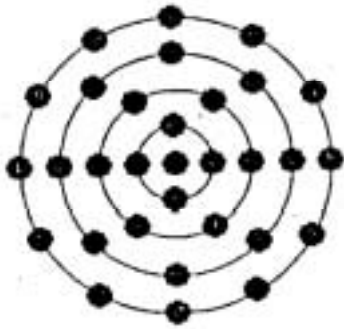


圖 1 : 颱風 bogus 資料位置圖。

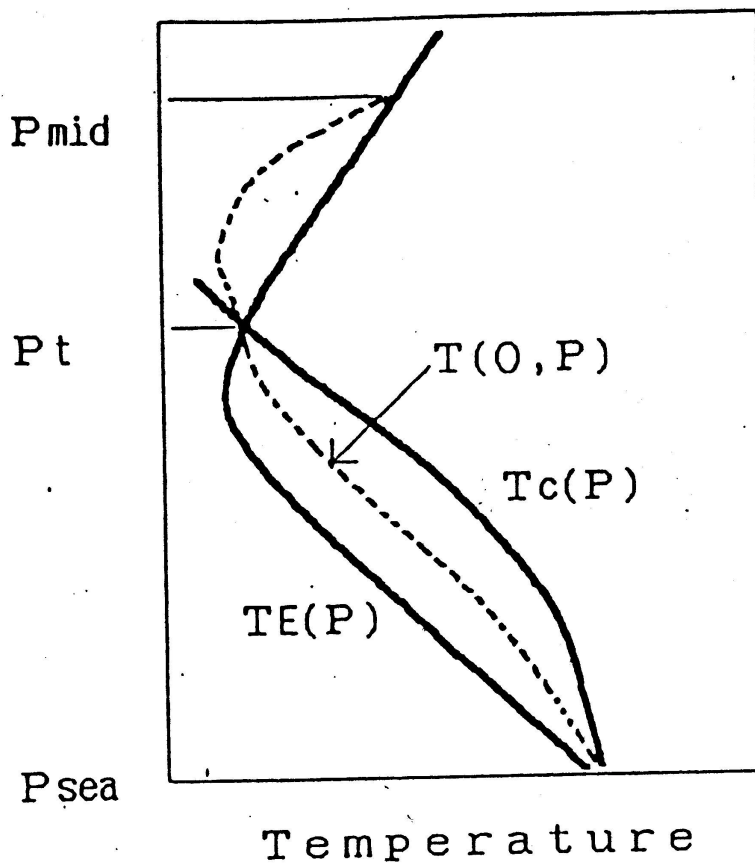


圖 2 颱風植入探空曲線圖。圖中 $TE(P)$ 為環境場探空曲線， $Tc(P)$ 為濕絕熱探空曲線， $T(O,P)$ 為模式植入之假設探空曲線。

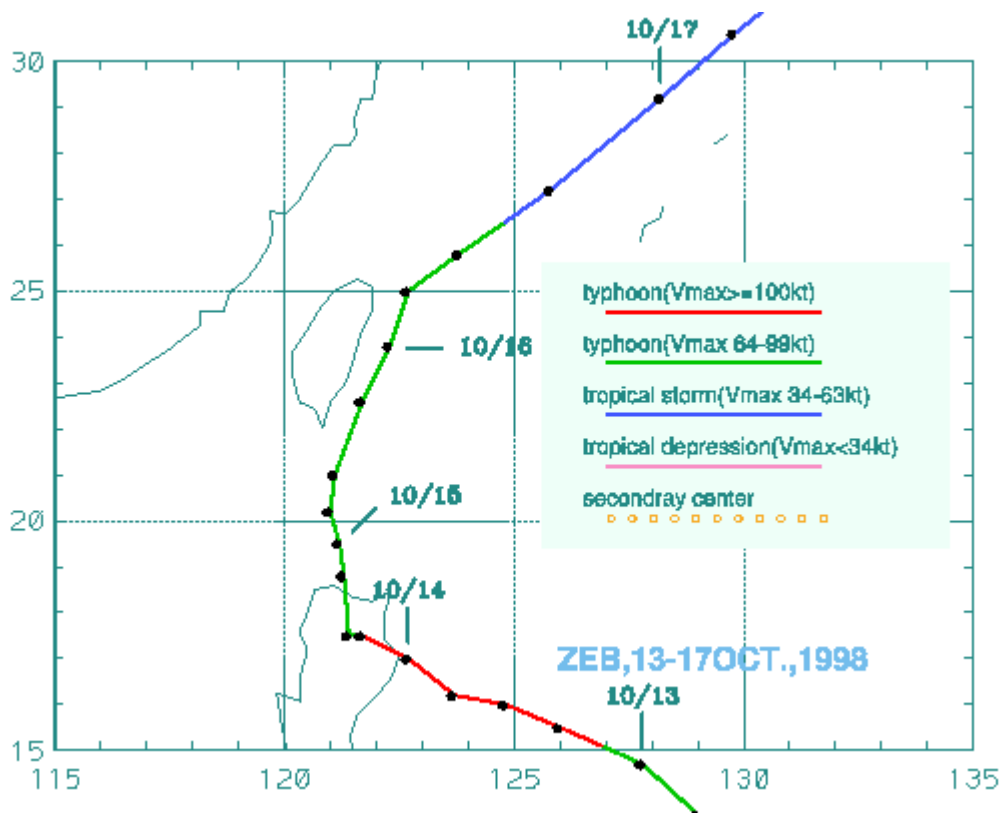


圖 3： 瑞伯颱風路徑圖。

1998-10-15_0032.IR1

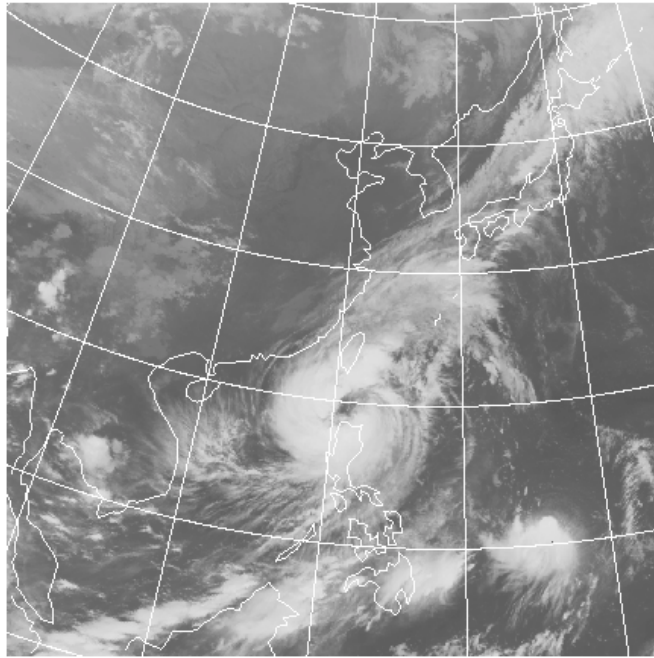


圖 4：1998 年 10 月 15 日 0000 UTC 紅外線雲圖。

1998-10-15_1239.IR1

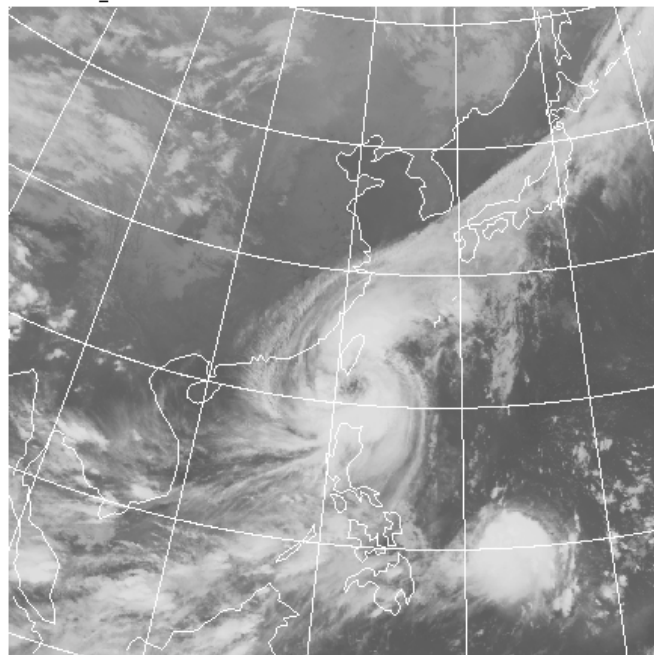


圖 5：1998 年 10 月 15 日 1200 UTC 紅外線雲圖。

1998-10-16_0032.IR1

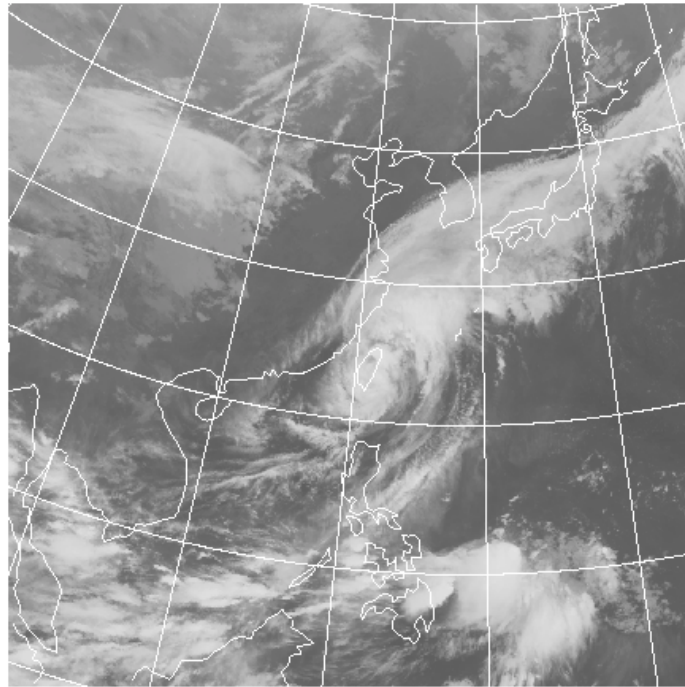


圖 6：1998 年 10 月 16 日 0000 UTC 紅外線雲圖。

1998-10-16_1233.IR1

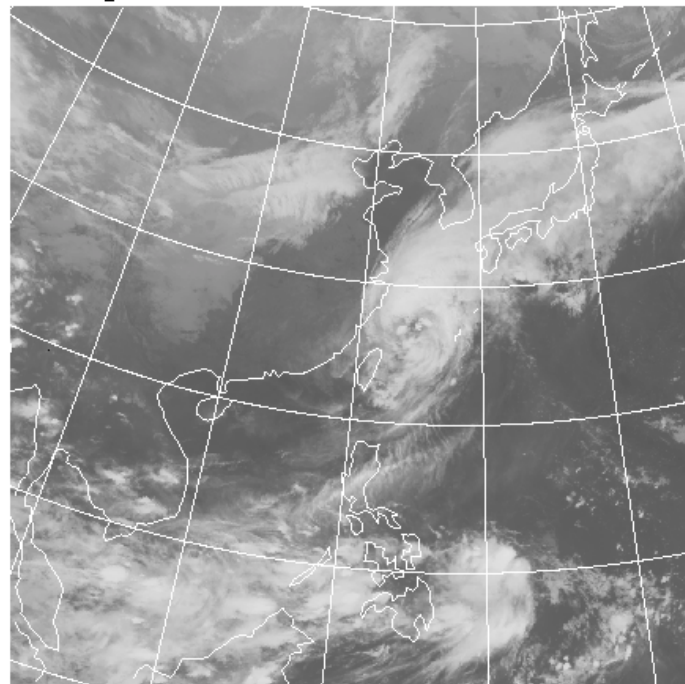


圖 7：1998 年 10 月 16 日 1200 UTC 紅外線雲圖。

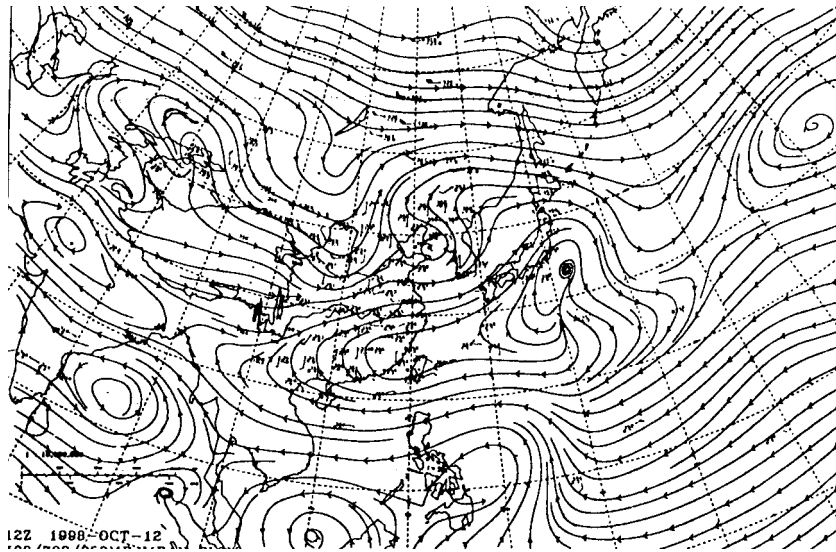


圖 8：1998 年 10 月 12 日 1200 UTC 500/700/850 百帕(高空圖)三層平均氣流圖。

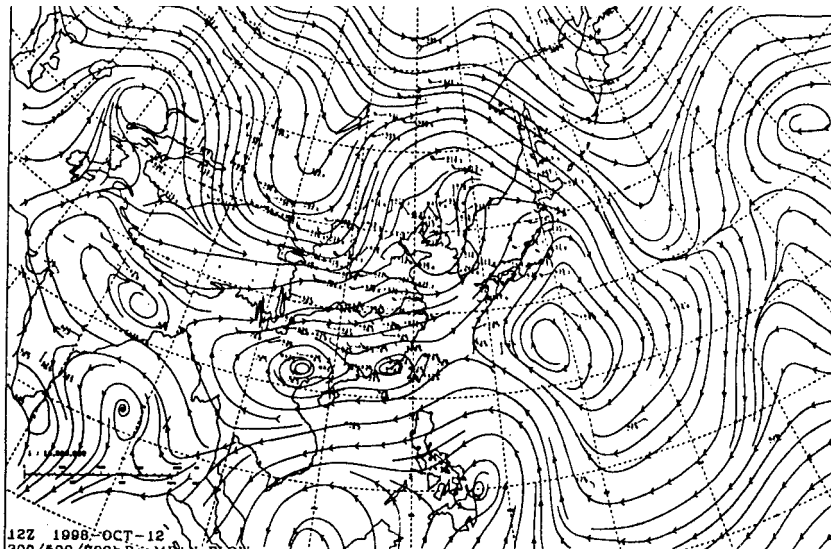


圖 9：1998 年 10 月 12 日 1200 UTC 300/500/700 百帕三層平均氣流圖。

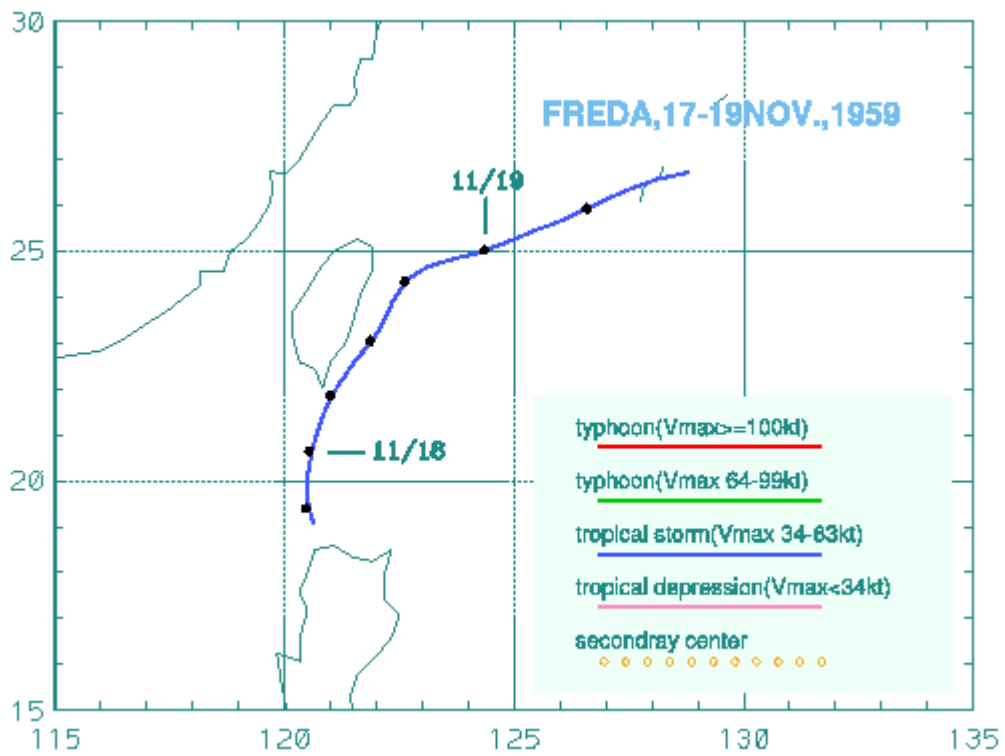


圖 10： 1959 年芙瑞達 (Freda) 颱風路徑圖。

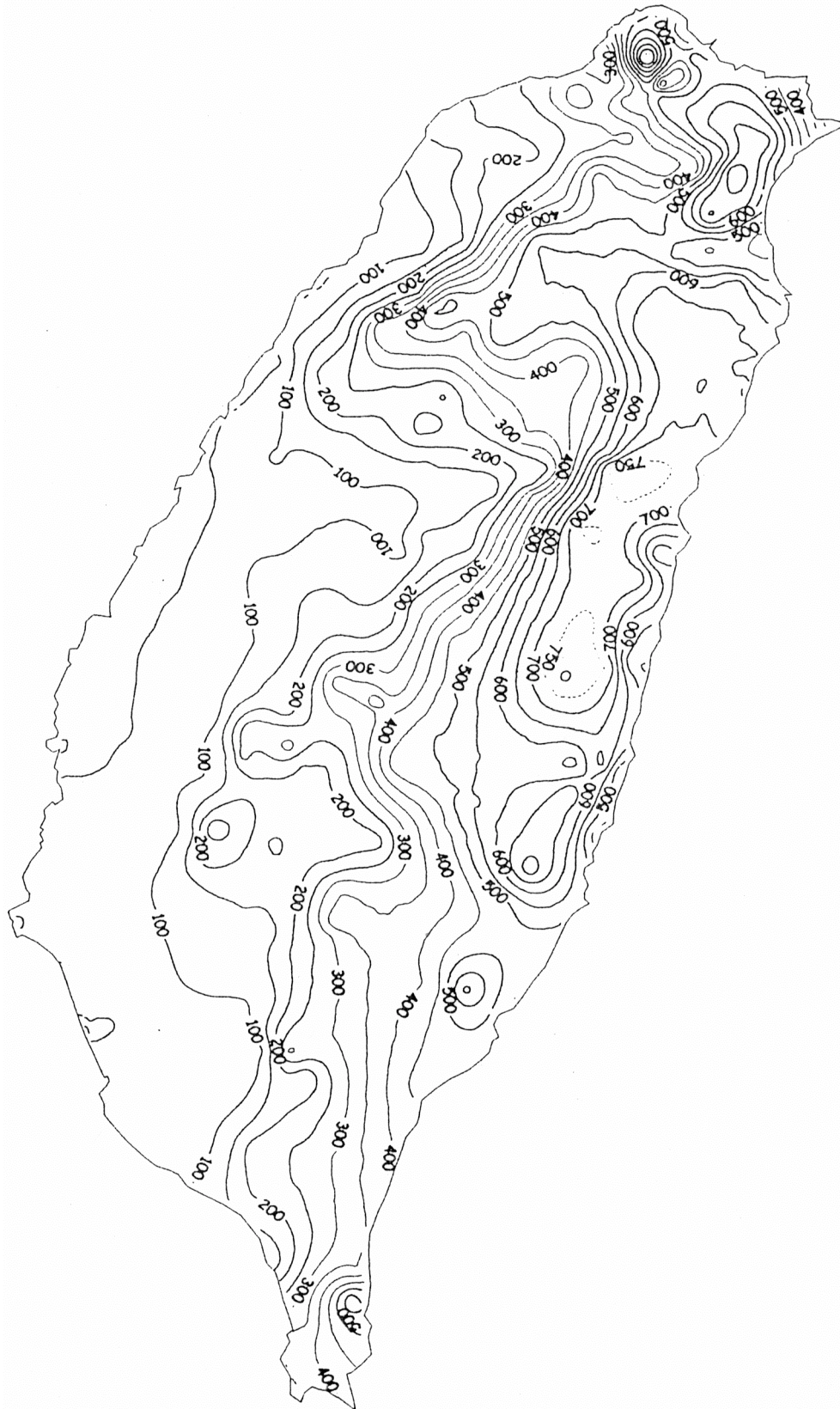


圖 11： 台灣地區 1998 年 10 月 14 日至 16 日累積雨量圖。

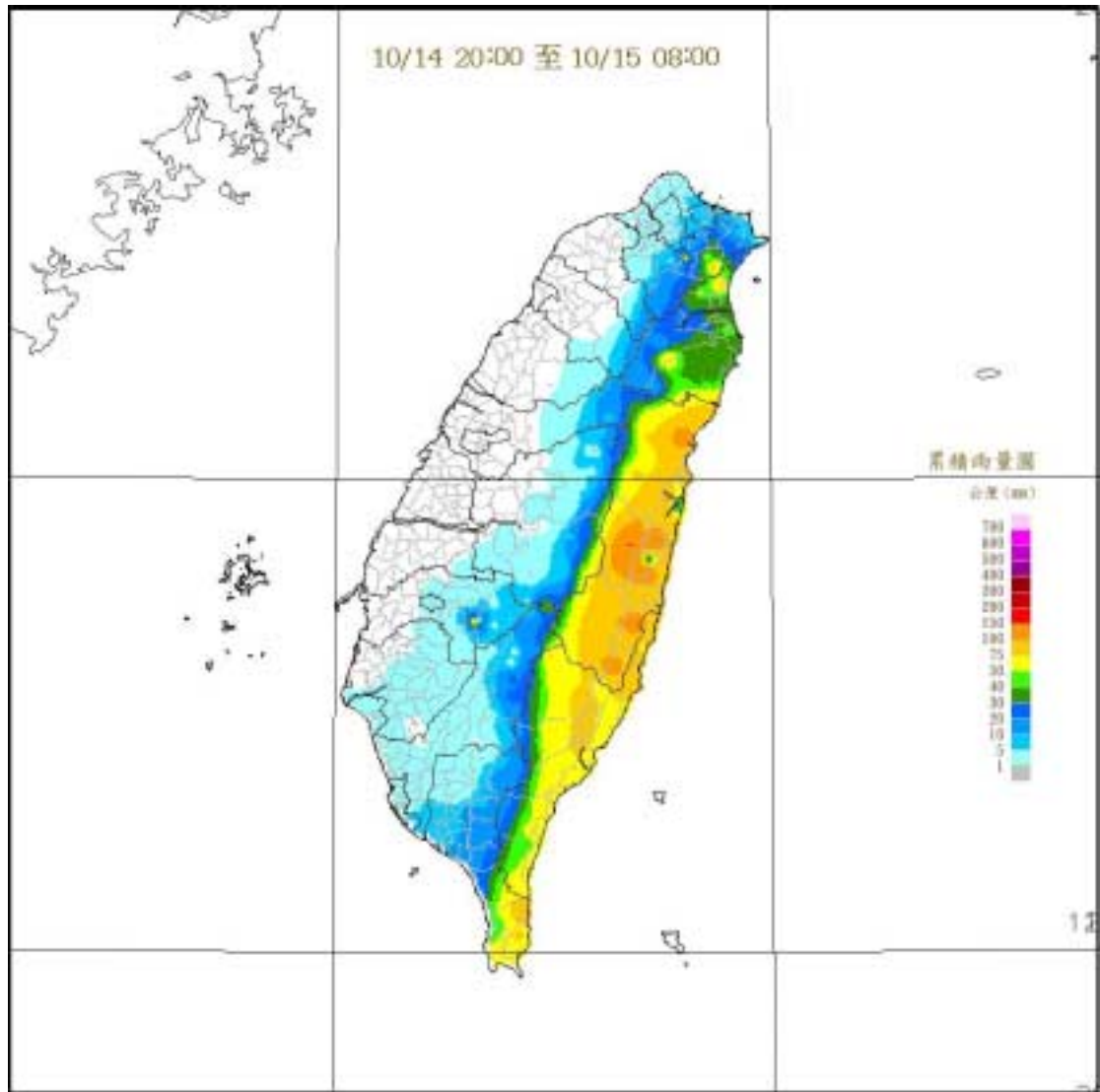


圖 12：1998 年 10 月 14 日 20 時至 15 日 8 時累積雨量示意圖。

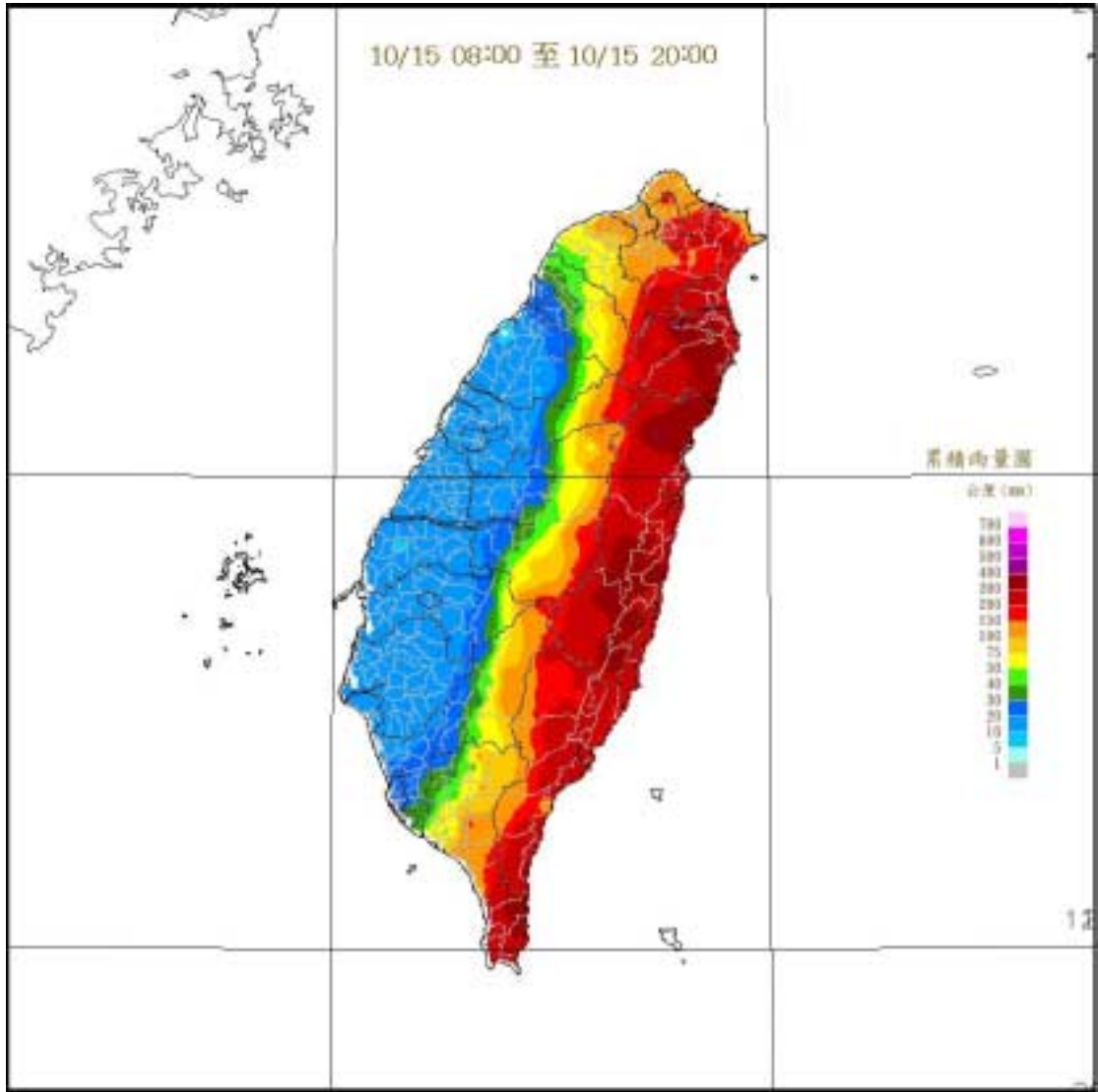


圖 13：1998 年 10 月 15 日 8 時至 15 日 20 時累積雨量示意圖。

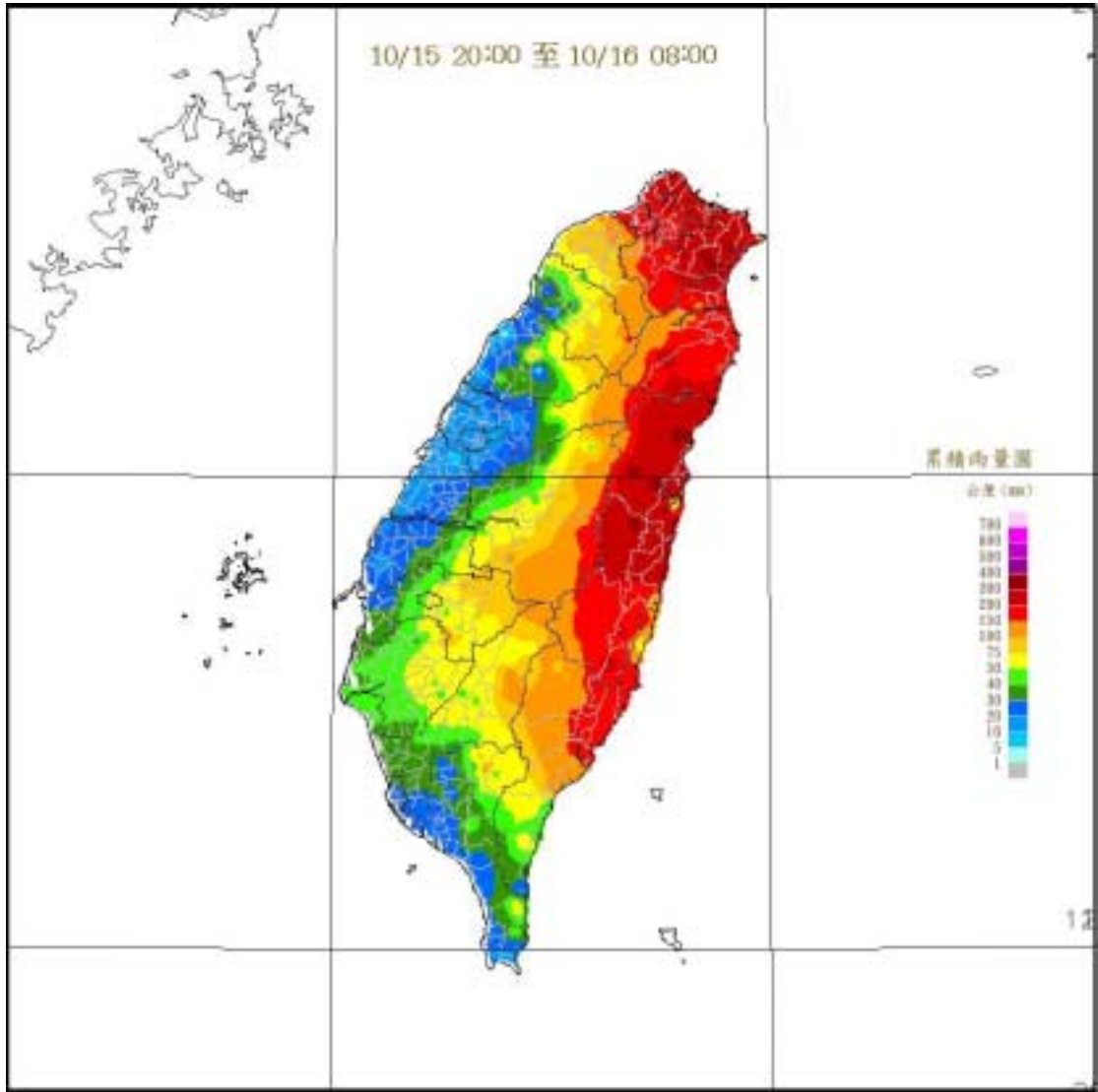


圖 14：1998 年 10 月 15 日 20 時至 16 日 8 時累積雨量示意圖。

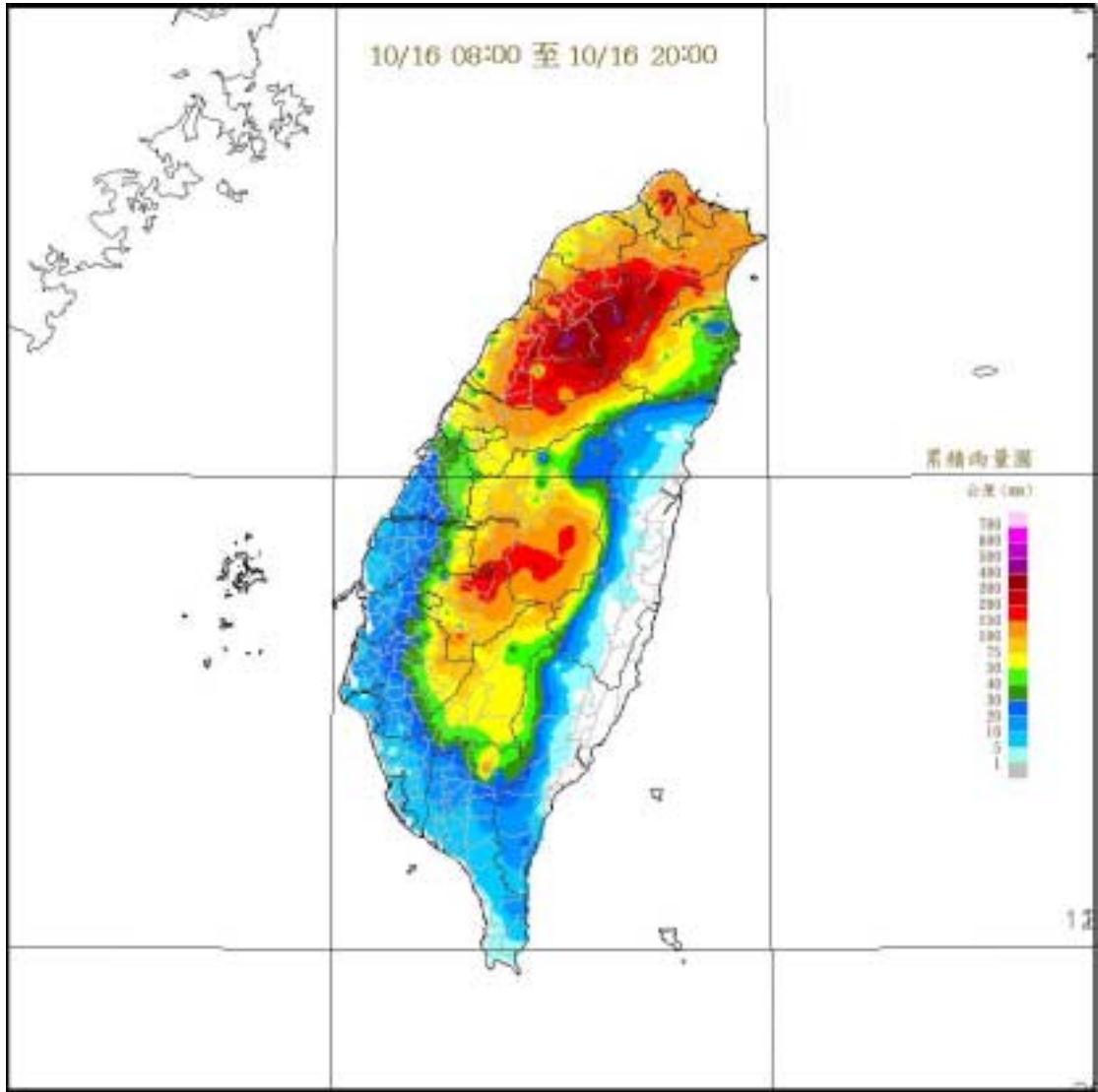


圖 15：1998 年 10 月 16 日 8 時至 16 日 20 時累積雨量示意圖。

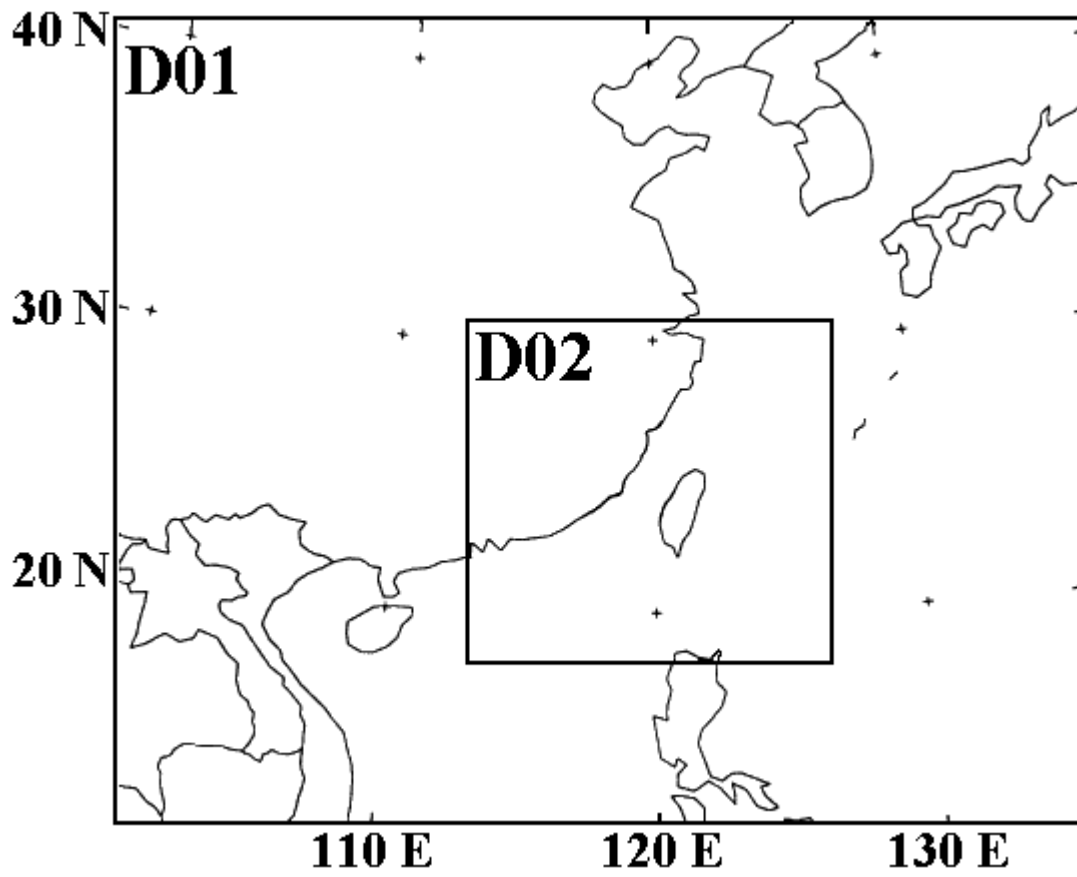


圖 16： 模式雙層巢狀網格示意圖。

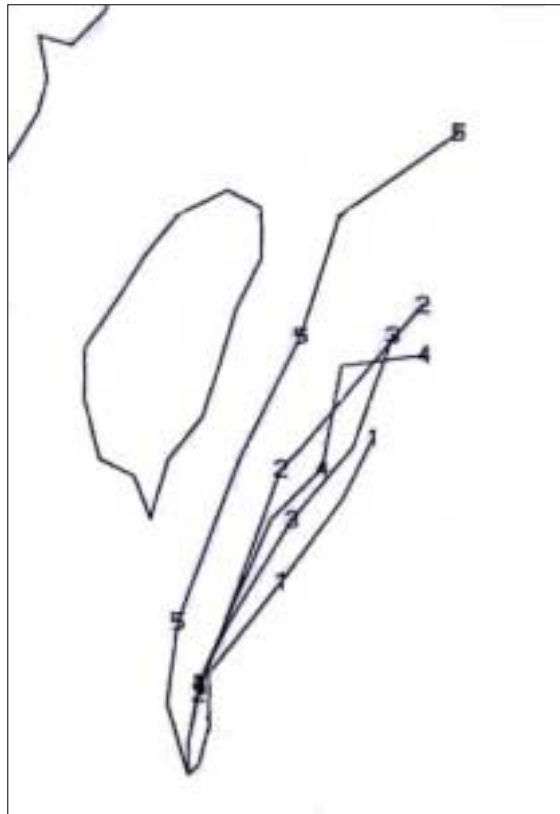


圖 17a：積雲參數法實驗模擬之颱風路徑圖。圖中各編號之線段為不同之積雲參數法實驗，1-BM、2-GR、3-KF、4-AK、5-OBS。

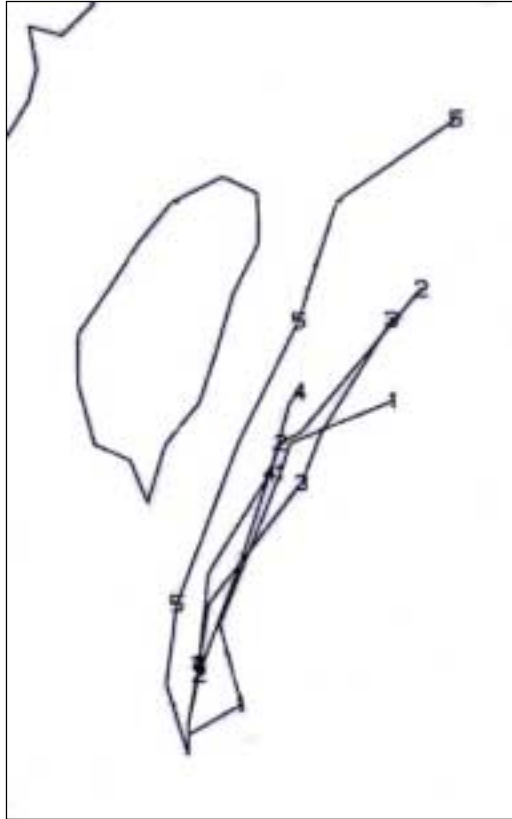


圖 17b：雲物理參數法實驗模擬之颱風路徑圖。圖中各編號之線段為不同之雲物理參數法實驗，1-GG、2-ICE、3-MP、4-WR、5-OBS。

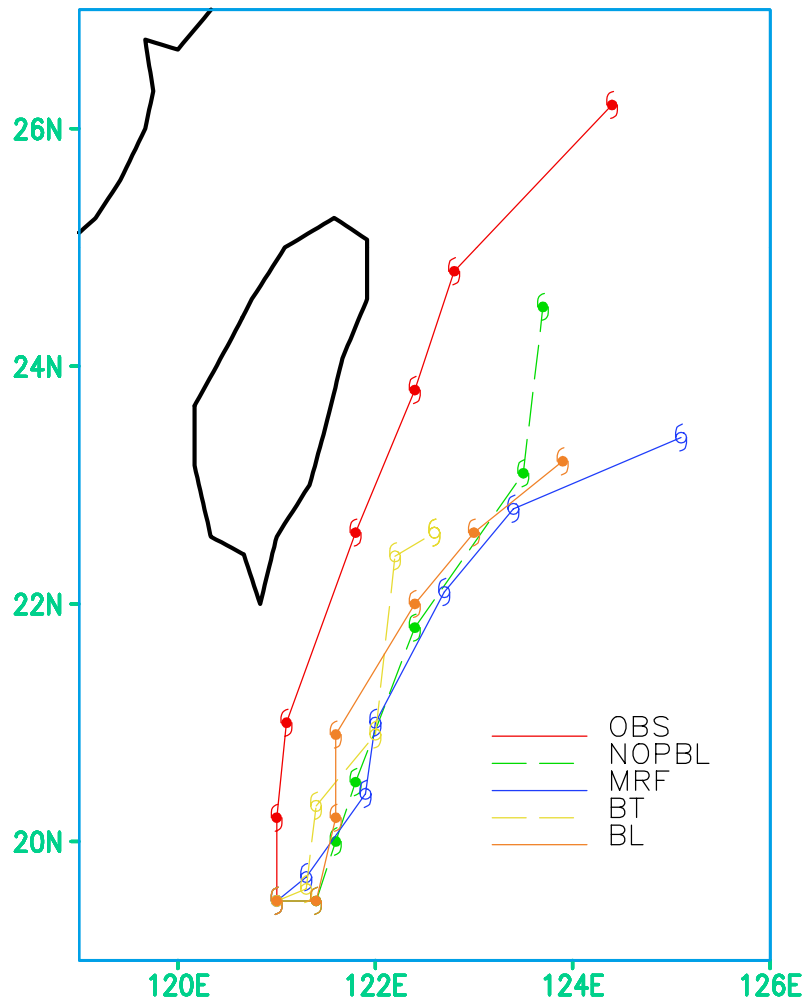


圖 17c：邊界層參數法實驗模擬之颱風路徑圖。圖中各顏色之線段為不同之邊界層參數法實驗。

Cumulus Experiment

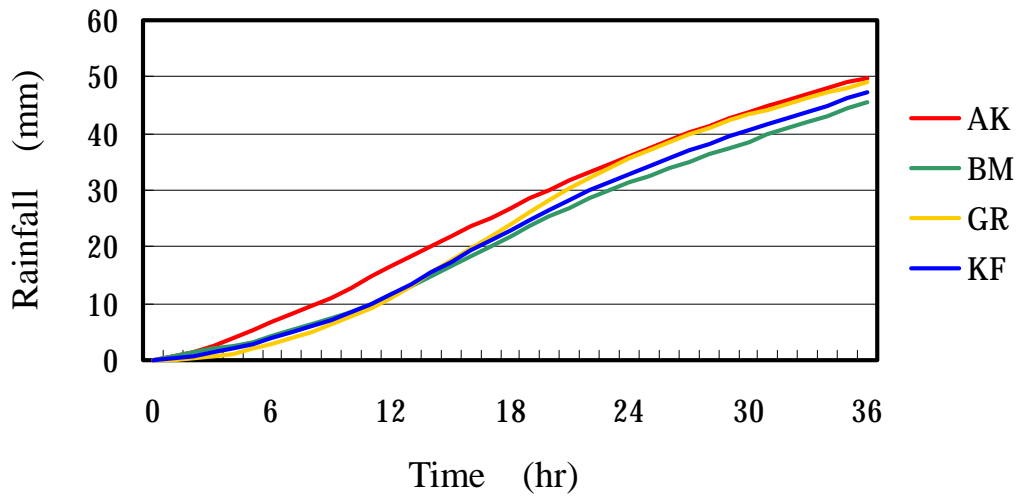


圖 18a：為積雲參數法實驗模擬之網域平均累積降雨的圖表。橫軸為模擬時間，縱軸為網域平均累積降雨量。紅線表 AK 實驗，綠線表 BM 實驗，黃線表 GR 實驗，藍線表 KF 實驗。

Microphysics Experiment

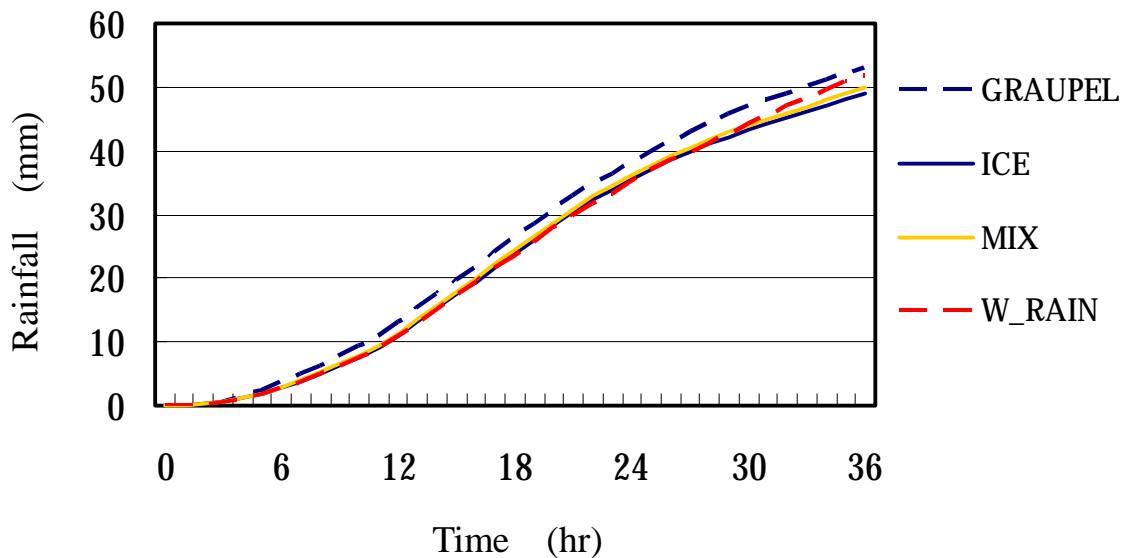


圖 18b：同圖 18a，實驗為雲物理參數法實驗。藍虛線表 GG 實驗，藍實線表 ICE 實驗，黃線表 MP 實驗，紅虛線表 WR 實驗。

Boundary-Layer Experiments

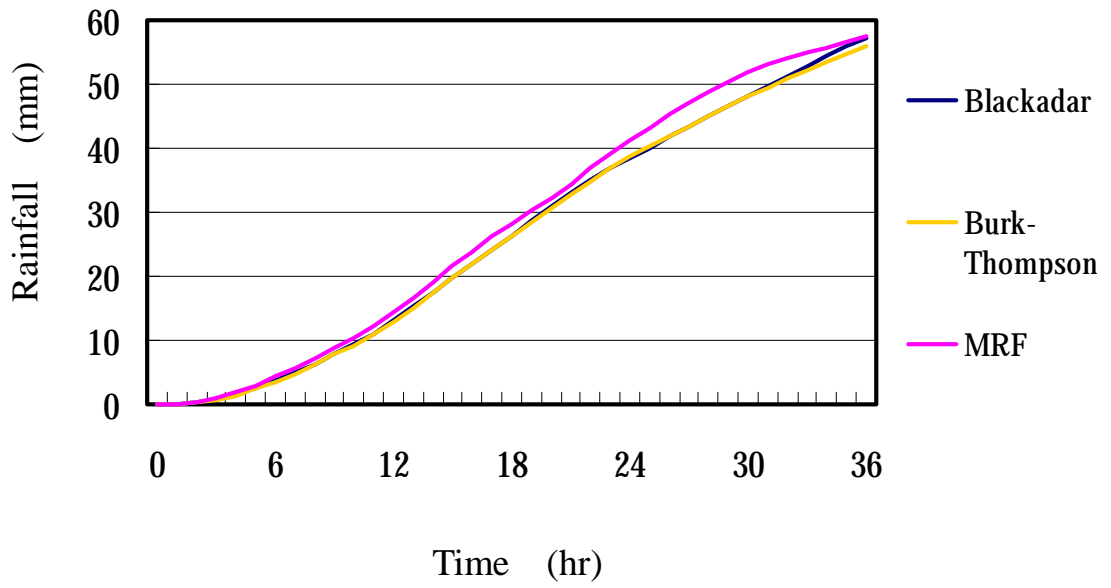


圖 18c：同圖 18a，實驗為邊界層參數法實驗。藍線表 BD 實驗，黃線表 BT 實驗，紫線表 MRF 實驗。

Cumulus Experiment

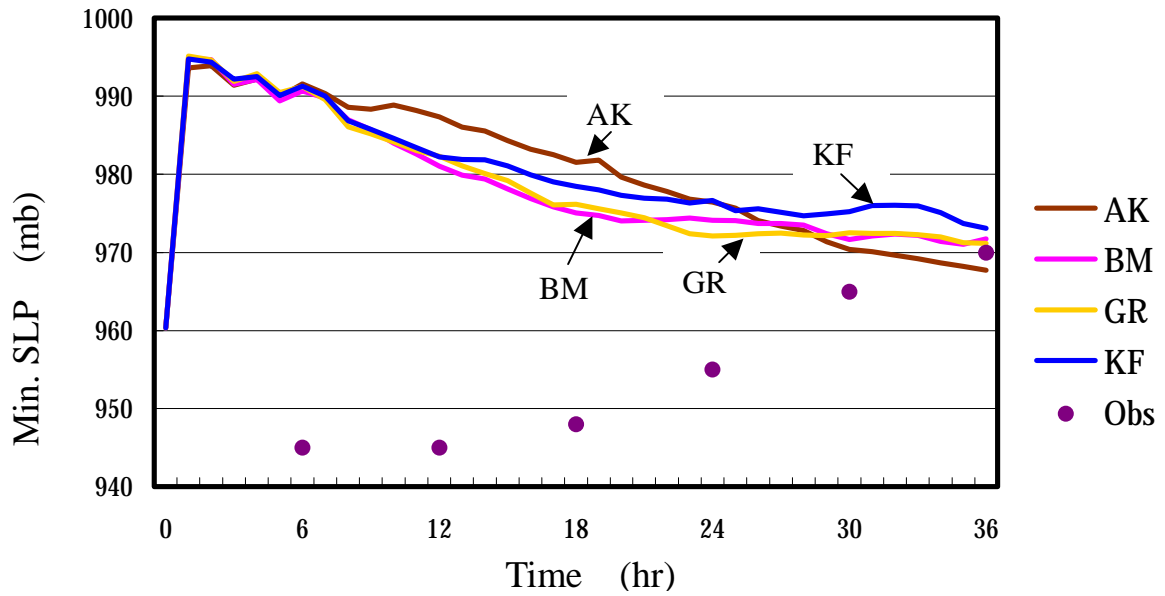


圖 19a：為積雲參數法實驗之最小海平面氣壓的圖表。橫軸為模擬時間，縱軸為最小海平面氣壓。棕線表 AK 實驗，紫線表 BM 實驗，黃線表 GR 實驗，藍線表 KF 實驗，圓點表觀測之最小海平面氣壓。

Microphysics Experiment

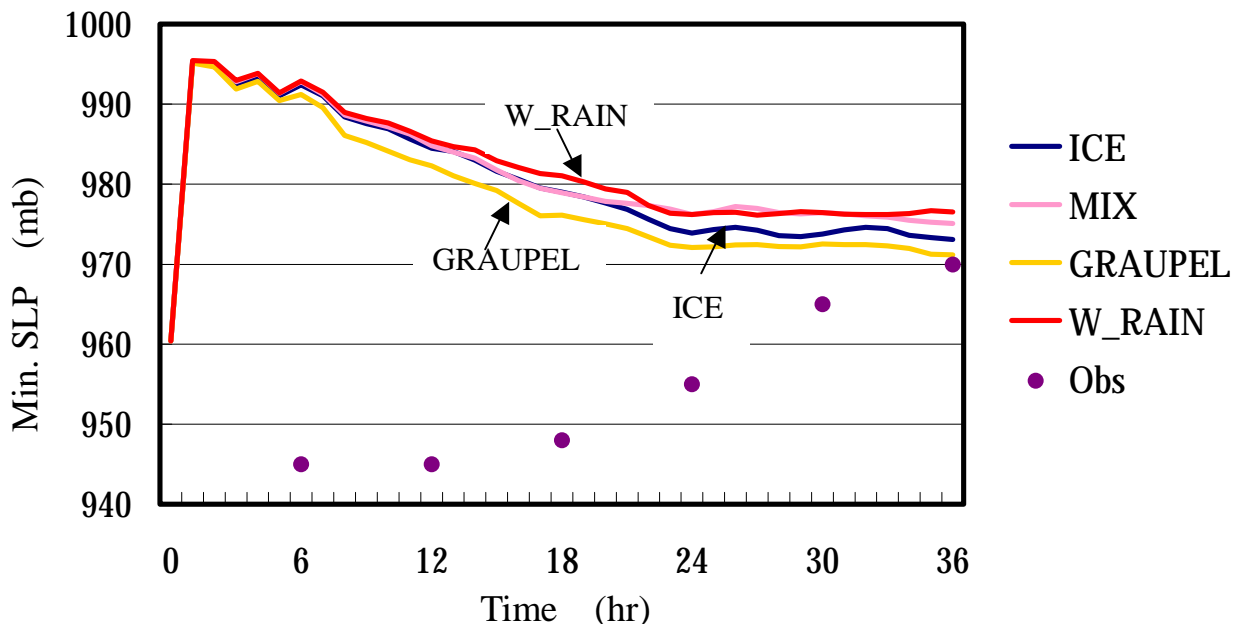


圖 19b：同圖 19a，實驗為雲物理參數法實驗。藍線表 ICE 實驗，粉紅線表 MP 實驗，黃線表 GG 實驗，紅線表 WR 實驗。

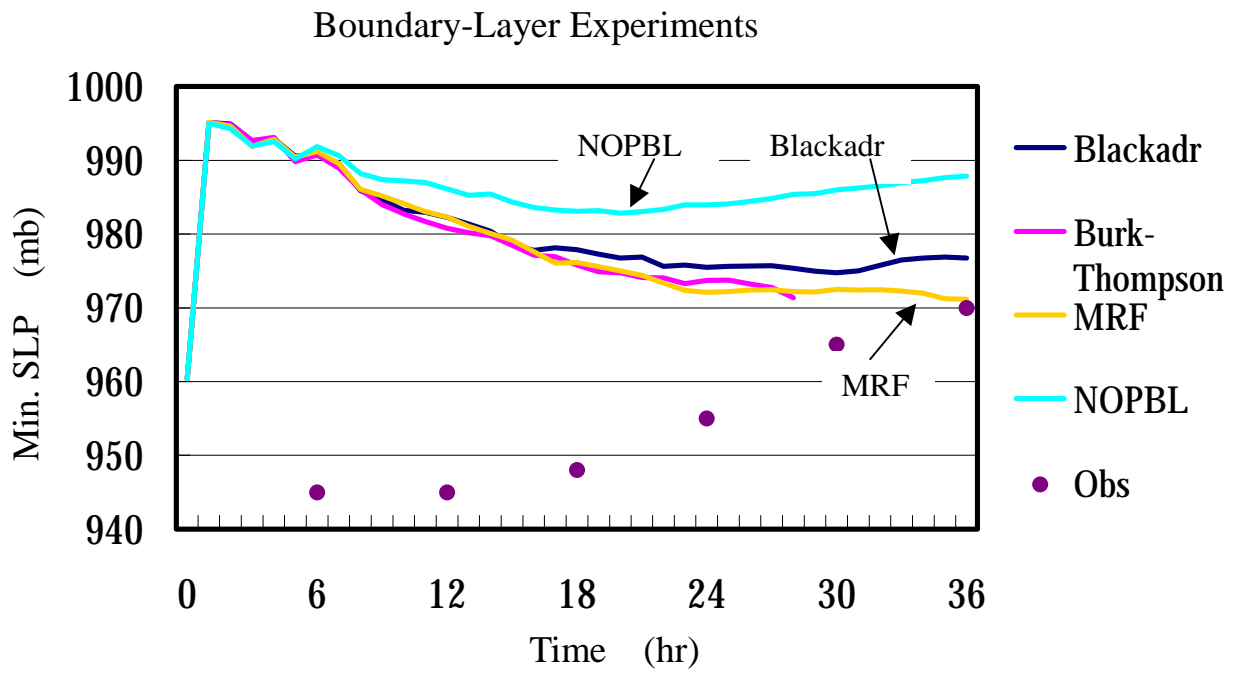


圖 19c：同圖 19a，實驗為邊界層參數法實驗。深藍線表 BD 實驗，紫線表 BT 實驗，黃線表 MRF 實驗，淺藍線表 NOPBL 實驗。

Cumulus Experiment

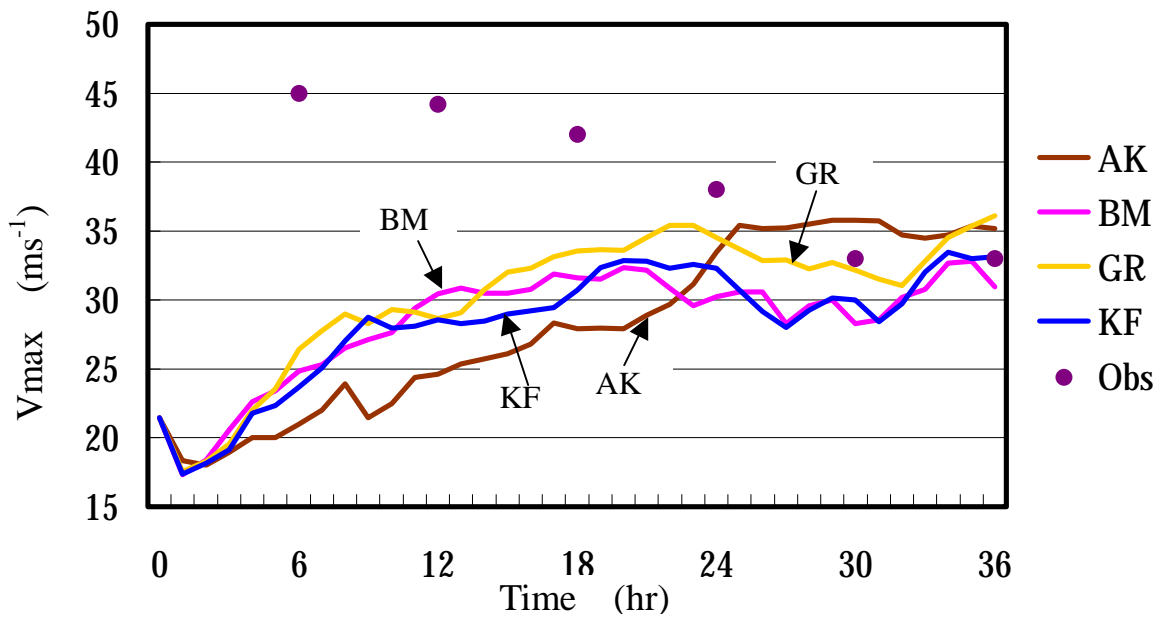


圖 20a：為積雲參數法實驗之最大水平風速的圖表。橫軸為模擬時間，縱軸為最大水平風速。棕線表 AK 實驗，紫線表 BM 實驗，黃線表 GR 實驗，藍線表 KF 實驗，圓點表觀測之最小海平面氣壓。

Microphysics Experiment

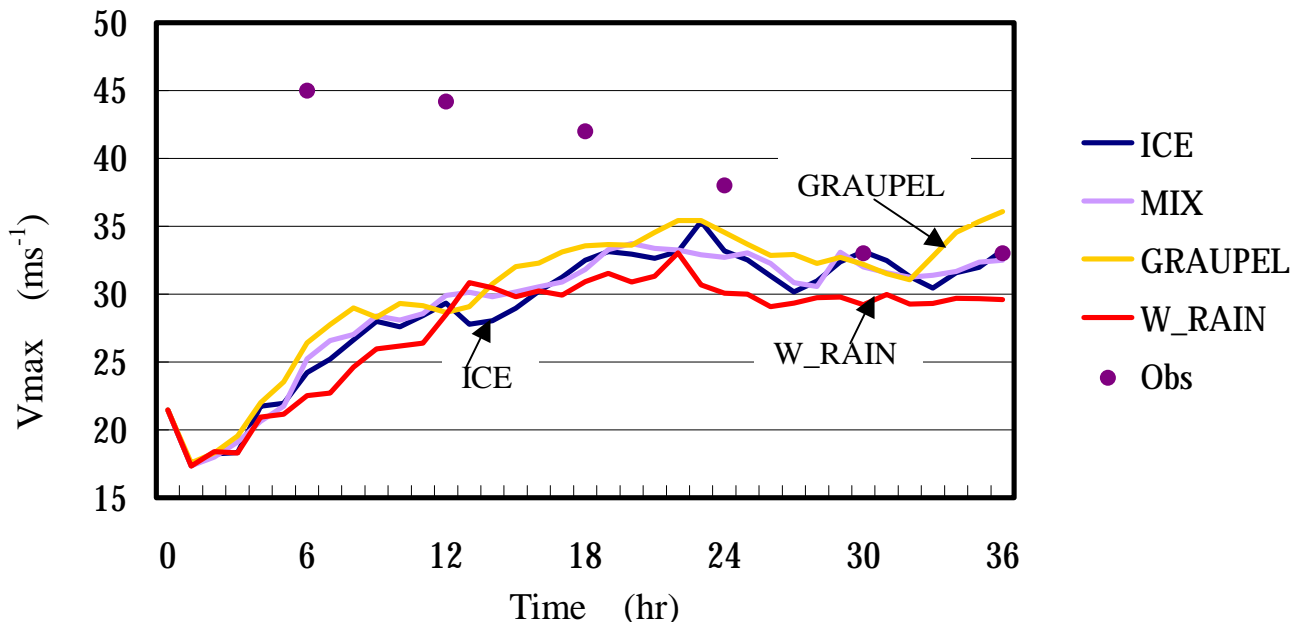


圖 20b：同圖 20a，實驗為雲物理參數法實驗。藍線表 ICE 實驗，紫線表 MP 實驗，黃線表 GG 實驗，紅線表 WR 實驗。

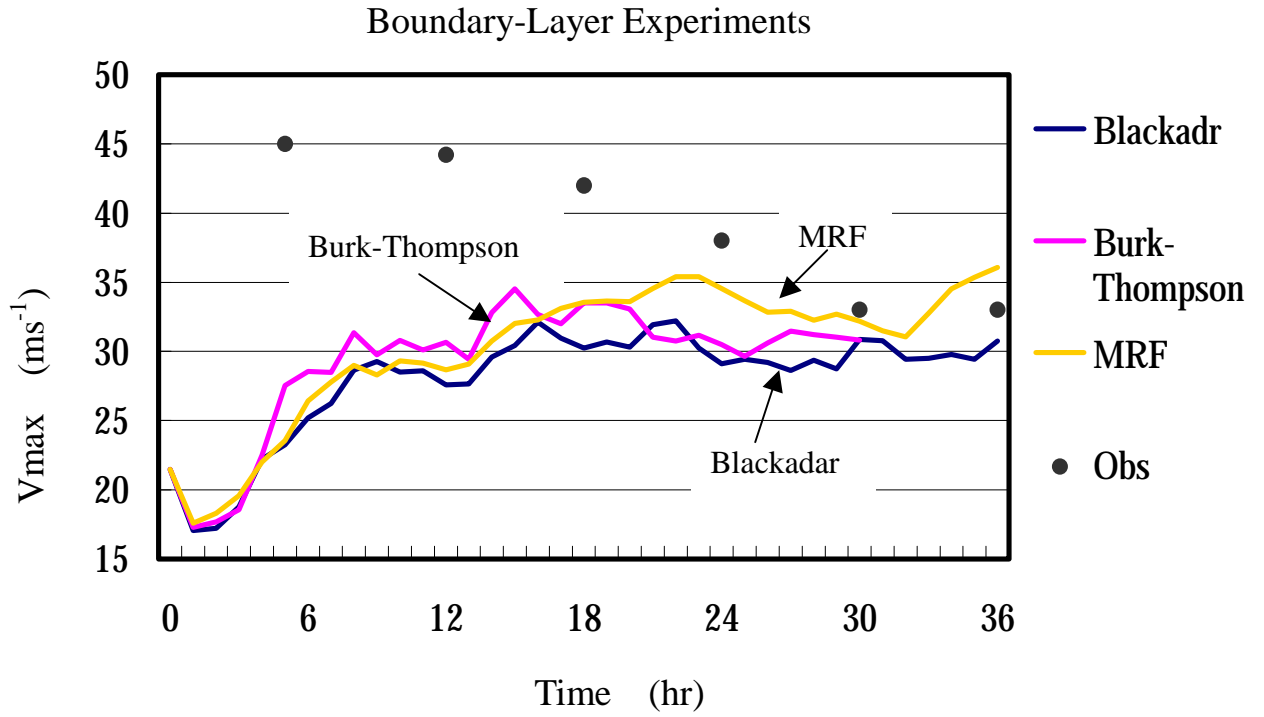


圖 20c：同圖 20a，實驗為邊界層參數法實驗。深藍線表 BD 實驗，紫線表 BT 實驗，黃線表 MRF 實驗。

