

中國文化大學

地學研究所大氣科學組

碩士學位論文

邊界層物理參數法對於瑞伯(1998)颱風數值模擬
之敏感度研究

指導教授：楊明仁 教授

學 生：黃澤山 撰

中華民國九十年六月

目 錄

目錄.....	i
表目錄.....	ii
圖目錄.....	iii
第一章 前言.....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 論文回顧.....	3
1.3 論文結構.....	5
第二章 研究方法與資料來源.....	6
2.1 邊界層參數法.....	6
2.1.1 Blackadar PBL scheme.....	6
2.1.2 MRF PBL scheme.....	7
2.1.3 Burk-Thompson PBL scheme.....	7
2.1.4 表面通量假設比較.....	8
2.2 颱風植入.....	9
2.3 降水得分計算.....	11
2.3.1 客觀分析方法.....	11
2.3.2 模式降水區域的評估.....	12
2.4 觀測資料.....	14
第三章 瑞伯颱風介紹.....	15
第四章 模式介紹與實驗設計.....	18
4.1 MM5 模式簡介.....	17
4.2 實驗設計.....	19
第五章 實驗結果與討論.....	21
5.1 颱風路徑模擬結果.....	21
5.2 颱風降水區域得分.....	22
5.3 降雨量的預報.....	24
5.4 模擬之颱風強度比較.....	25
5.5 模擬降水之水平分佈.....	26
第六章 總結.....	28
參考文獻.....	31

表目錄

表一	民國 15 年至民國 85 年颱風侵襲台灣各月次數.....	35
表二	侵台颱風數目統計表.....	35
表三	瑞伯颱風最佳路徑中心位置及其他動態資料.....	36
表四	模擬颱風與實際誤差距離.....	37
表五	不同門檻預兆平均得分.....	37
表六	不同門檻預兆偏離平均得分.....	37
表七	平均相對誤差表.....	38
表八	平均絕對誤差表.....	38

圖目錄

圖 1 颱風 bogus 資料位置圖.....	39
圖 2 颱風植入探空曲線圖.....	39
圖 3 瑞伯颱風路徑圖.....	40
圖 4 1998 年 10 月 15 日 0000UTC 紅外線雲圖.....	41
圖 5 1998 年 10 月 15 日 1200UTC 紅外線雲圖.....	41
圖 6 1998 年 10 月 16 日 0000UTC 紅外線雲圖.....	42
圖 7 1998 年 10 月 16 日 1200UTC 紅外線雲圖.....	42
圖 8 1998 年 10 月 12 日 1200UTC 500/700/850 百帕(高空圖)三層平均氣流圖	43
圖 9 1998 年 10 月 12 日 1200UTC 300/500/700 百帕(高空圖)三層平均氣流圖	43
圖 10 1959 年芙瑞達 (Freda) 颱風路徑.....	44
圖 11 台灣地區 1998 年 10 月 14 日至 16 日累積雨量圖.....	45
圖 12 1998 年 10 月 14 日 20 時至 15 日 8 時累積雨量示意圖.....	46
圖 13 1998 年 10 月 15 日 8 時至 15 日 20 時累積雨量示意圖.....	47
圖 14 1998 年 10 月 15 日 20 時至 16 日 8 時累積雨量示意圖.....	48
圖 15 1998 年 10 月 16 日 8 時至 16 日 20 時累積雨量示意圖.....	49
圖 16 模式雙層巢狀網格示意.....	50
圖 17 模擬颱風路徑.....	51
圖 18(a) 預兆得分直條(0.25mm).....	52
圖 18(b) 預兆偏離得分直條(0.25mm).....	52
圖 19(a) 預兆得分直條(2.5mm).....	53
圖 19(b) 預兆偏離得分直條(2.5mm).....	53
圖 20(a) 預兆得分直條(5mm).....	54
圖 20(b) 預兆偏離得分直條(5mm).....	54
圖 21(a) 颱風近中心最低氣壓示意圖(網格解析 45km).....	55
圖 21(b) 颱風近中心最低氣壓示意圖(網格解析 15km).....	55
圖 22(a) 中心最大風速示意圖(網格解析 45km).....	56
圖 22(b) 中心最大風速示意圖(網格解析 15km).....	56
圖 23(a) 1998 年 10 月 15 日 06Z Blackadara 模擬降水水平分佈圖.....	57
圖 23(b) 1998 年 10 月 15 日 06Z Burk-Thompson 模擬降水水平分佈圖.....	57
圖 23(c) 1998 年 10 月 15 日 06Z MRF 模擬降水水平分佈圖.....	57
圖 23(d) 1998 年 10 月 15 日 06Z NOPBL 模擬降水水平分佈圖.....	57
圖 24(a) 1998 年 10 月 15 日 12Z Blackadara 模擬降水水平分佈圖.....	58
圖 24(b) 1998 年 10 月 15 日 12Z Burk-Thompson 模擬降水水平分佈圖.....	58

圖 24(c)1998 年 10 月 15 日 12Z MRF 模擬降水水平分佈圖.....	58
圖 24(d)1998 年 10 月 15 日 12Z NOPBL 模擬降水水平分佈圖.....	58
圖 25(a)1998 年 10 月 15 日 18Z Blackadara 模擬降水水平分佈.....	59
圖 25(b)1998 年 10 月 15 日 18Z Burk-Thompson 模擬降水水平分佈.....	59
圖 25(c)1998 年 10 月 15 日 18Z MRF 模擬降水水平分佈圖.....	59
圖 25(d)1998 年 10 月 15 日 18Z NOPBL 模擬降水水平分佈圖.....	59
圖 26(a)1998 年 10 月 16 日 00Z Blackadara 模擬降水水平分佈圖.....	60
圖 26(b)1998 年 10 月 16 日 00Z Burk-Thompson 模擬降水水平分佈圖.....	60
圖 26(c)1998 年 10 月 16 日 00Z MRF 模擬降水水平分佈圖.....	60
圖 26(d)1998 年 10 月 16 日 00Z NOPBL 模擬降水水平分佈圖.....	60
圖 27(a) 1998 年 10 月 16 日 06Z Blackadara 模擬降水水平分佈圖.....	61
圖 27(b) 1998 年 10 月 16 日 06Z Burk-Thompson 模擬降水水平分佈圖.....	61
圖 27(c) 1998 年 10 月 16 日 06Z MRF 模擬降水水平分佈圖.....	61
圖 27(d) 1998 年 10 月 16 日 06Z NOPBL 模擬降水水平分佈圖.....	61

摘要

本實驗使用 Penn State / NCAR 的第五代中尺度非靜力數值模式 (MM5) 對於強烈颱風瑞伯 (ZEB) 進行 36 小時的數值模擬。本研究探討各種邊界層參數法對於颱風路徑、強度、及伴隨風雨分布之影響。對不同的邊界層參數法實驗, 分別是 Blackadar (1979), Medium-Range Forecast (MRF) (Hong and Pan 1996) 和 Burk-Thompson (1989) 及 No PBL 實驗。

實驗之模式使用雙層巢狀網格, 粗細網格解析度分別為 45km 和 15km。次網格尺度的積雲參數方法上使用 Grell(1993), 在可解析尺度的雲物理參數化方法則使用 Goddard Graupel (Tao and Simpson 1993)。, 實驗結果顯示, 在初期 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。由模式的降水區域得分與模擬降水之水平分佈來看皆有不錯的掌握能力。其中 Burk-Thompson 延續在預兆得分上的良好表現, 在此降水的水平分布上也有相當符合實際觀測的降水結果。

加入邊界層參數法將有效提高模擬颱風之強度與對降水面積之正確模擬。使用不同的邊界層參數法, 也將造成模擬出不同的颱風強度、降水面積、移動路徑等結果。

致 謝

本文之完成首先要感謝指導教授楊明仁老師的耐心指導，與不斷的鼓勵，讓原本非本科系的我能逐步完成論文。在來要感謝口試委員劉廣英院長與余嘉裕教授的指導與建議，讓我的論文有更專業與更豐富的內容。系上老師劉清煌教授、張忍城教授、曾鴻陽老師也對我的問題不吝指教。

另外要感謝涂建翊學長、蕭玲鳳學姊、陳書筠學姊、卓盈旻學姊在各方面提供指導與督促。還有董坤智、羅國誠、謝博任、許惠雯等同學互相的幫忙與激勵。這些皆是我完成論文的動力。

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。

關於颱風發展的物理過程，比較一致同意的是所謂的第二類條件性不穩定理論 (Conditional Instability of the Second Kind; CISK)。由熱帶低壓發展成具有 17 公尺/秒風速之颱風，關鍵在於颱風是一個暖心的強烈渦旋，因而具有極大的動能。颱風發展的巨大能量來自對流性積雲中大量水氣凝結釋放的潛熱。CISK 理論認為低層擾動與積雲單體風速之風具有正回饋 (positive feedback) 機制，即兩者是互相支持的。積雲單體提供熱量 (凝結潛熱) 以維持、推動和加速低層氣旋性擾動，而擾動則使低層水汽輻合進入積雲單體而加以組織，使之不斷新生和發展。當這種相互支持作用越來越明顯和加強時，可使對流中高層不斷增暖，擾動中心氣壓也不斷降低。熱帶擾動就由於第二類條件性不穩定而增強發展為颱風。

熱帶低壓能否發展成颱風，如前所述，須滿足下述四個條件。即：(一)低層要有一個原先存在的低壓擾動，颱風都是從一個原先存在的熱帶低壓擾動發展加強形成的。這實際上可歸之為原先已有低層氣旋性渦旋存在。(二)溫暖的洋面，熱帶海洋上低層大氣的溫度及溼度，主要決定於海面水溫(Sea Surface Temperature; SST)。海溫越高，則低層氣溫越高、且可容溼度亦越大、潛在不穩定越明顯。通常颱風必須形成於 SST 26~27 的暖洋面上。(三)生成位置在離赤道 3 到 5 度以外，以利於氣旋性渦旋的生成科氏效應。(四)對流層風速垂直切變小。對流層風速垂直切變的大小，決定著一個初始熱帶擾動中分散的對流凝結釋放潛熱，能不能集中一個固定的空間範圍之內。如果垂直切變小，即通風條件不良，上下層空氣相對運動很小。則凝結釋放的潛熱始終在加熱一個固定範圍內的同一氣柱，而使之很快增暖形成暖心結構，初始擾動迅速發展而形成颱風。反之，若垂直切變大，上下通風良好，潛熱將被迅速輸送出初始擾動區的上空，形成不了暖中心，也不可能成有颱風生成。

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 論文回顧

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 年的芙籬颱風(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。

李與簡(1997)研究颱風環流之數值模擬，文章中提到初始大氣的對流不穩定度極易受海氣間的交互作用而改變，故大氣不穩定度不是影響颱風能量運作的最重要因子。然而，颱風眼牆內沿空氣塊軌跡之溫壓變化並不滿足卡諾熱機，且並非所有從海洋上獲得之能量皆可用於加強系統之暖心；因此，大氣內部動力特性的改變在颱風環流增強上可能亦扮演相當關鍵的角色。其模擬結果指出，CISK 理論所提出的動力過程，可相當程度的應用於解釋颱風環流之增強過程。

1.3 論文結構：

本論文共分六章，除第一章為前言外，第二章主要闡述資料來源以及研究的方法。第三章則對颱風個案作簡介，以了解實際天氣現象，作為數值模擬之比對。第 4 章介紹所使用的 MM5 模式。第 5 章為模擬結果，以移動路徑、降水得分、中心氣壓強度等參數，來分析各種不同邊界層參數法的預報結果，對於此個案颱風模擬之比較。第 6 章為結果討論，對所模擬之結果作一綜合討論。

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 邊界層參數法

2.1.1 Blackadar 邊界層參數法(PBL scheme)

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 $Ri > 0.2$ 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 $Ri = 0$ 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， $Ri < 0$ ，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。

2.1.2 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)。其中 MRF 參數法對於邊界層

高度 h 的假設如下：
$$h = Ri_{cr} \frac{\theta_{va} |V(h)|^2}{g[\theta_v(h) - \theta_s]}$$

(1)

公式中 Ri_{cr} 為一假設常數 0.5， $V(h)$ 和 $\theta_v(h)$ 分為邊界層頂之風速與實際位溫， θ_{va} 則為最底層之實際位溫。

2.1.3 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。

2.1.4 表面通量假設比較

在表面通量假設上，MRF 法與 Blackadar 法使用幾乎相同之假設，即 C_θ C_q 其中

$$C_\theta = k^2 \left(\ln \frac{z_a}{z_0} - \Psi_m \right)^{-1} \left(\ln \frac{z_a}{z_0} - \Psi_h \right)^{-1} \quad (2)$$

$$C_q = k^2 \left(\ln \frac{z_a}{z_0} - \Psi_m \right)^{-1} \left[\ln \left(\frac{ku_* z_a}{K_a} + \frac{z_a}{z_0} \right) - \Psi_h \right]^{-1} \quad (3)$$

$$C_D = u_*^2 / V^2 \quad (4)$$

C_θ 為熱量通量的交換係數， C_q 為水氣通量的交換係數， K_a 為分子擴散率， u_* 為摩擦速度， z_a 為第一層之高度， Ψ_m 和 Ψ_h 為無因次穩定參數， z_0 為表面粗糙高度。上式中表面粗糙高度 z_0 為決定洋面上風速之重要參數，在此使用 Delsol et al. (1971) 之假定

$$z_0 = 0.032u_*^2 / g + z_{0c} \quad (5)$$

在 Burk-Thompson 法之表面通量假設上，其使用

Louis (1979) 方法假定，即 $C_\theta = C_q$ ，其中

$$C_\theta = C_N \left[1 - \frac{3bRi}{1 + 3bcC_N (-z_a Ri / z_0)^{1/2}} \right] \quad (6)$$

$$C_D = C_N \left[1 - \frac{2bRi}{1 + 3bcC_N (-z_a Ri / z_0)^{1/2}} \right] \quad (7)$$

上式中 $b = c = 5$ 為定值， C_N 為自然狀態下之熱和動量交換係數，上式中表面粗糙高度 z_0 則使用 Garratt (1977) 之假定

$$z_0 = 0.0144u_*^2 / g + z_{0c} \quad (8)$$

Bulk-Thompson 法與 MRF、Blackadar 最大不同即在於粗糙高度之設定。在具有相同之摩擦速度 u_* 時，所得到粗糙高度 z_0 小於 MRF 與 Blackadar。

2.2 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：

$$\bar{R} = R_{15} \left(1 + \frac{0.03}{fR_{15}} \right)^{1/2} \quad (9)$$

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：

$$P(r) = P_0 - \Delta P \left[1 + \alpha \left(\frac{r}{\bar{R}} \right)^2 \right]^{-1/2 \exp \left[- \left(\frac{r}{\bar{R}} \right)^2 \right]} \quad (10)$$

$$\Delta P = \frac{\bar{P} - P_c}{1 - (1 + \alpha)^{-1/2} e^{-1}} \quad (11)$$

$$P_0 = P_c + \Delta P \quad (12)$$

其中 P_0 為颱風中心氣壓， $n = 20$ 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：

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

2.3 降水得分計算

2.3.1 客觀分析方法

由於自動雨量站的空間分佈並非等同於網格點所在的地理位置，通常網格點上並沒有觀測的降雨資料，因此為了能夠對模式在網格點上的預報降雨做校驗，我們利用 Cressman (1959) 所提出的客觀分析方法，將不規則的自動雨量站降雨資料內插到水平解析度 15 公里網域的規則網格點上，代表在網格點位置的觀測降雨量，藉以與模式在網格點的降雨量做比較。計算方式如下：

$$A_k^a = \frac{\sum_{i=1}^N W_{ki} (A_i^o)}{\sum_{i=1}^N W_{ki}}, \quad \begin{cases} W = \frac{R^2 - r^2}{R^2 + r^2}, & r < R \\ W = 0 & , r \geq R \end{cases} \quad (13)$$

其中 A 為降雨量， W 為權重函數，上標 a 代表客觀分析值，上標 o 代表自動雨量站觀測值，下標 k 代表第 k 個網格點，下標 i 代表第 i 個自動雨量站， N 為自動雨量站總數（台灣全島為 343 個，此時經客觀分析後可被評估的網格點總數為

155 個), r 為自動雨量站與網格點間的距離, R 為選定的影響半徑 (在本論文中為 10 km)。

2.3.2 模式降水區域的評估

在模式降水區域評估方面, 下面式子中以 F 代表模式模擬之降水面積, O 代表經過客觀分析後之觀測降水面積, C 代表正確預報之降水面積。吾人針對 MM5 模式的 6 小時累積降水預報做校驗。

預兆得分 (Threat Score ; TS)

Anthes 在 1983 年首先提出預兆得分的方法, 用來評估模式對於降雨區域的預報能力。在本論文研究中亦使用此得分藉以瞭解 MM5 模式對台灣區域選定不同降雨量門檻的降水面積預報能力。其定義如下:

$$TS=C/(F+O-C) \quad (14)$$

所得到的分數越高(最高為 1), 表示模式對降雨面積正確的預報能力越高。在本研究中所使用的門檻值分別為: 0.25 mm、2.5 mm、5 mm、10 mm、15 mm、20 mm。

預兆偏離得分 (Bias Score ; BS)

預兆偏離得分也是由 Anthes 在 1983 年所首先提出, 用來評估模式對於降雨區域的預報能力, 在本論文研究中亦使用此得分藉以瞭解 MM5 模式在台灣區域, 選定各個不同降雨量門檻對於降雨區域預報之太大或太小之傾向。其計算方法如下:

$$BS=F/O \quad (15)$$

所得到的分數越接近 1，表示對模式降雨總面積的預報能力越高(相對而言，越遠離 1 則越差)。在本研究中所使用的門檻值分別為：0.25 mm、2.5 mm、5 mm、10 mm、15 mm、20 mm。

平均相對誤差 (Mean Error ; ME)

在本論文研究中藉由平均相對誤差來瞭解模式在台灣區域對總累積降雨量之高估或低估的情形。其計算方法如下：

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (P_m - P_o)_n \quad (16)$$

其中 P_m 與 P_o 分別為模式和客觀分析在網格點上的降雨量，N 則為在給定區域上所被校驗的網格點總數。在本研究中對六個時段的平均相對誤差做算術平均處理，探討模式在 36 小時積分期間對 155 個網格點的平均累積降雨總量之誤差情形。

平均絕對誤差 (Mean Absolute Error ; MAE)

在本論文研究中藉由平均絕對誤差來瞭解模式在台灣區域的累積降雨量之絕對誤差平均。其計算方法如下：

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (|P_m - P_o|)_n \quad (17)$$

其中 P_m 與 P_o 分別為模式和客觀分析在網格點上的降雨量，N 則為在給定區域上所被校驗的網格點總數。在本研究中對六個時段的平均絕對誤差做算術平均處理，探討模式在積分期間對網格點的平均累積降雨量之誤差情形。

平均相對誤差與平均絕對誤差之不同處在於，平均相對

誤差為校驗模式對於降雨總量的掌握能力，而平均絕對誤差則為校驗模式對於每個網格點上相對實際降雨之誤差。一般而言由於平均相對誤差有正負抵銷的效果，故其所計算出誤差數值皆小於平均絕對誤差。

2.4 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「秋颱型」，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、地表邊界層的处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)和混合相位法 (mixed-phase ; Reisner et al. 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 座標 (共 27 層)。次網格尺度的積雲參數方法上使用 Grell(1993)法，在可解析尺度的雲物理參數化方法則使用 Goddard Graupel 法 (Tao and Simpson 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。

各組模擬實驗使用不同的邊界層參數法，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，來討論模式對於邊界層參數法之敏感度情形。

第五章 實驗結果與討論

5.1 颱風路徑模擬結果

圖 17 為模擬之颱風與實際路徑比較圖，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 4 種的模擬實驗結果皆有偏向右側的現象。在各組的模擬實驗中，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。

表四為 4 組的實驗颱風路徑預報誤差表。在表中我們可以看到，模式初期，即 6 小時的模擬結果相差不大，最好的是 MRF 的 64 公里，最差的則是 Blackadar 的 89 公里。此時段中由於模式皆處於啟動的階段，故模擬結果相差不大平均只有 10~20 公里。而在接下來的時間中，不同的參數法模擬結果開始產生差異。在 12 到 24 小時的模擬中，表現最佳的參數法為 Burk-Thompson，最差的則是 NOPBL 實驗。而另兩種實驗 MRF 與 Blackadar 模擬結果相當接近。在模擬 12 小時中，表現最佳的 Burk-Thompson 實驗為誤差 84 公里，最差的 NOPBL 實驗則是 122 公里，兩者相差開始擴大為 40 公里。到了模擬 18 小時後，最好仍是 Burk-Thompson 的 155

公里與最差之 NOPBL 的 231 公里，兩者相差擴大為接近 80 公里。在模擬 24 小時後，表現最佳的 Burk-Thompson 實驗颱風移速明顯的變慢，故其與實際颱風的差異開始變大。模擬 24 小時後的結果各組的差異不大，僅為 Burk-Thompson 的 188 公里與 NOPBL 的 220 公里。在模擬第 30 小時，NOPBL 實驗的颱風模擬移速較快，故此時模擬結果反而以此實驗最佳為 202 公里。而 12 到 24 小時模擬結果較佳的 Burk-Thompson 實驗，在 24 小時到 30 小時中颱風則移速有緩慢的現象；雖然其模擬的路徑偏右的狀況最不明顯，但是受到移速的影響模擬結果變為最差的 247 公里。在最後的 36 小時模擬中，MRF 與 Blackadar 實驗由於偏右的現象明顯，故此兩組的實驗誤差接到達 317 公里與 334 公里。而 NOPBL 實驗因偏右較不明顯與颱風移速較快，其誤差僅達到 205 公里。

以 36 小時期間的平均誤差來看，4 種實驗中表現最佳為 Burk-Thompson 的 149 公里，其次為 NOPBL 的 178 公里、MRF 的 181 公里與 Blackadar 的 192 公里。在劉 (1998) 的颱風調查報告中提到，對瑞伯颱風的路徑預報最佳的為中國大陸廣州(其 24 小時路徑誤差，為 146 公里)，中央氣象局的 187 公里次之，CLIP (氣候持續法) 的 188 公里排第三，其餘的主觀(官方)預報介於 211~298 公里。

5.2 颱風降水區域得分

由 6 小時累積雨量在 0.25 mm 門檻的預兆 TS 得分直條圖 [見圖 18(a)] 來看，於 12 到 30 小時，這 4 組實驗的降

水發生的區域預報皆具有不錯的預報能力（預兆得分皆大於 0.4）。其中以 NOPBL 的預報表現較差，在第 24 小時 TS 得分低於 0.4。其餘 3 組實驗 TS 得分相差不大，其中 Blackadar 在第 12 與 18 小時的得分最高(0.8~0.85)，第 24 小時則為 Burk-Thompson 得分最高(0.87)，但總括來說差異並不明顯。在第 30 小時各組得分均下降，但除了 NOPBL 實驗外其他三組實驗仍有不錯的預報能力。第 36 小時各組的預報得分大幅下降，對於降水面積較無預報能力 (TS<0.4)。總體而言，在 12 小時到 24 小時的模擬時間中，除 NOPBL 實驗外其餘 3 組皆能掌握降水的區域預報，且差異並不大。由此可見模式中使用邊界層參數使用法能有效的提昇降水的預報情形。

由 6 小時累積雨量在 0.25 mm 門檻的預報偏離得分直條圖（見圖 18(b)）可看出，模式中在 12 到 24 小時的降水區域預報結果有相當好的預報能力，除 NOPBL 實驗外其餘 3 組實驗的預兆偏離得分皆接近 1。NOPBL 實驗除了在預兆得分上偏低外，其預報偏離得分亦表現最差。由圖 18(a)、18(b)、19(a)與 19(b)可看出，將降雨量的門檻提高，模式對於降水區域的預報能力明顯降低，且降雨預報的面積偏離程度也加大。總體而言，在降水區域的預報方面以 Burk-Thompson 方法的預報能力最好，而 NOPBL 的預報能力最差。

將各個不同門檻值的預兆得分與預兆偏離得分作 6 個時段的算數平均，分別得到表五與表六。由表五可看到 Burk-Thompson 對於降水區域的預報在 0.25 mm 門檻時表現最佳，有最高的預報能力(預兆得分平均 0.697)，NOPBL 則

預報能力最差(預兆得分平均 0.418), 而 MRF 與 Blackacar 的預報表現相近(各為 0.608 與 0.605)。隨著門檻值的提高(2.5 mm、5 mm、10 mm、15 mm 與 20 mm), 4 組實驗的預報能力皆降低, 但 Burk-Thompson 在高門檻值(2.5 mm、5 mm、10 mm)仍是各組中表現最好的實驗。由表六可看出, 在 0.25 mm 的門檻值時 NOPBL 對於降水區域面積的預報即有低估的傾向, 而 MRF 與 Blackadar 實驗對降水區域的預報雖有高估的現象但並不嚴重。表現最好的實驗為 Burk-Thompson (平均偏離得分為 1.021)。若提高門檻值, 2.5 mm 與 5 mm 門檻則以 MRF 的表現最好。但總體來看, Burk-Thompson 的方法對降水區域的預報表現最穩定, 而 NOPBL 在高門檻值上幾乎不具有預報降水區域的能力。

5.3 降雨量的預報

由表七的降雨量平均相對誤差表可看到, 4 組實驗在平均相對誤差上均為負值, 表示對降雨量的預報皆為低估。在 4 組實驗中, 表現最好的為 Burk-Thompson 的 -11.464 mm, 其次為 MRF 的 -16.556mm, 表現最差的為 NOPBL 的 -34.63 mm。由此可看出 NOPBL 實驗不管在降水面積的預報與降水量的預報上, 皆有產生過少降水的現象。但是以平均相對誤差的結果來看, 各組的降水誤差偏大, 可見 15 公里解析度的 MM5 模式並未能正確的掌握颱風的降水量。

表八為平均絕對誤差表。由表中可看出, 表現最佳的為 MRF 的 39.24 mm, 其次為 Blackadar 的 40.95 mm, 表現最差的反而是 Burk-Thompson 的 43.82 mm。由此結果看出,

個組的平均絕對誤差值差異不大，皆在 40 mm 上下，由此顯示各組實驗對於局部降水量的掌握皆不盡理想。

5.4 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四種模擬實驗的颱風強度。圖 21 (a) 與圖 21 (b) 分別為網格間距 45 km 與 15 km 的 MM5 模式所模擬出的颱風近中心氣壓時間序列圖。圖 21 (a) 指出在前 24 小時的模擬中，Burk-Thompson 的近中心氣壓最低，即此參數法模擬出的颱風強度最強。但在前 16 小時的模擬中除了 NOPBL 的中心氣壓值較高外，其他 3 種的參數法模擬的颱風氣壓差異並不大。總括來說，以 45 km 之 MM5 模式的網格解析度模擬颱風中心氣壓以 Burk-Thompson 模擬出較強的颱風，其次為 MRF，而 NOPBL 實驗則明顯的模擬出較弱的颱風。圖 21 (b) 中可看出，隨著網格解析度的提高 (15 km) 四組實驗的颱風中心氣壓也跟著降低，即代表模擬之颱風強度的增加。圖中顯示，在 16 小時前 MRF、Blackadar 與 Burk-Thompson 三組的模擬結果差異不大，但仍以 Burk-Thompson 的颱風中心氣壓值較低。在 16 小時到 36 小時的模擬中，MRF 模擬得到最低的中心氣壓。與 45 km 解析度結果比較，MRF 在此解析度 (15 公里) 模擬的颱風強度較強，其次為 Burk-Thompson，而 NOPBL 模擬出的颱風中心氣壓仍然偏高，即模擬出最弱的颱風強度。

圖 22 (a) 與圖 22 (b) 分別為網格解析度 45 km 與 15 km MM5 模式的中心最大風速時間序列圖。由圖 22 (a) 中可看

到，在前 20 小時的模擬中以 Burk-Thompson 模擬的近中心最大風速最強，其次為 MRF 與 Blackadar。在模擬 20 小時至 36 小時中，MRF 的中心風速最大，但仍與實際觀測的最大風速有一段差距，顯示在解析度 45 km 的模擬中，模擬出的颱風強度與實際仍有一段差距。在圖 22 (b) 中，前 16 小時 Burk-Thompson 仍模擬出較大的風速。而在模擬後期 (16~36 小時) 則是 MRF 模擬出最大的近中心風速。在模擬 28 小時後，由圖中可看出模式模擬的颱風中心風速已接近實際觀測值，顯示隨著解析度的提高，模式模擬的颱風強度也跟著增加。

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，Burk-Thompson 在模式初期模擬出較強的颱風環流，而模擬後期則是由 MRF 模擬出較強的颱風。NOPBL 實驗模擬出的颱風環流強度明顯弱於其他三組實驗。

5.5 模擬降水之水平分佈

圖 23 至圖 27 為每 6 小時模式模擬降水之水平分佈圖。圖 23(a)、(b)、(c) 與 (d) 分別代表四組實驗於 10 月 15 日 06Z 之模擬結果。由圖中可看出，模式在模擬初期的降水分佈對台灣地區而言產生的降水較少，皆集中在台灣北部與東北部。若與實際觀測資料比較(見圖 11)，模式並未正確模擬出台灣東部的降水，此因為模式處於初期啟動的階段，故造成此一誤差產生。圖 24(a)、(b)、(c)、(d) 為模擬 12 小時後(10 月 15 日 12Z) 之結果，可發現相較於第 6

小時模式所產生之降水已大幅增加；若與實際觀測資料比較(見圖 13)，可發現四組實驗模擬之降水分佈與實際狀況相符，皆在台灣東部與東北部產生降水。其中以 Burk-Thompson 的模擬最佳，其模擬在台灣東北部有一降水極大值分佈(圖 24(b))，與實際觀測十分吻合。圖 25(a)、(b)、(c)、(d)為模擬 18 小時(10 月 15 日 18Z)之降水分佈。由圖中看出 Blackadar、MRF 與 Burk-Thompson 此三組實驗結果之降水分佈皆與實際觀測吻合。但在 NOPBL 實驗上則發現其模擬之降水分佈有過少的現象，此結果與先前文章中之降水得分結果吻合，NOPBL 實驗在模擬 18 小時後開始有產生的降水過少的現象。圖 26(a)、(b)、(c)、(d)為模擬 24 小時(10 月 16 日 00Z)之結果。由此圖中可看到，Burk-Thompson 模擬出較強的降水區域，其次為 MRF。而 NOPBL 實驗在颱風中心附近幾乎不產生降水，其降水分佈的誤差有加大的趨勢。圖 27(a)、(b)、(c)、(d)為模擬 30 小時(10 月 16 日 06Z)之結果。若與實際觀測降水分佈比較(圖 13 與圖 14)，在實際觀測上 16 日的降水分佈是由於颱風的逐漸往北移動，降水分佈也逐漸的由集中在北部東北部，轉為在台灣的中西部一帶。受到模式中颱風移速較慢的影響，模擬颱風的降水分佈仍集中在台灣北部與東北部東部一帶，但在台灣的西部也有少量的降水分佈。此時間 NOPBL 實驗模擬之降水誤差繼續擴大，在颱風環流附近皆沒有降水產生，而台灣區域的降水也有過少的分佈，此種分佈與降水得分的結果相符合。

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。但是在實驗的路徑比較上我們可以發現，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。

在降水區域的模擬方面，實驗中除了 NOPBL 對降水區域的掌握較不理想外，其餘三種邊界層參數法的模擬在低門檻時有相當不錯的預報能力；即使提高門檻，此三種邊界層參數法對模式降水區域的掌握仍有一定的能力。在降水得分中演變的趨勢中發現，MRF 與 Blackadar 所得到的模擬結果相當接近。由此可見颱風模式所產生的降水模擬與邊界層參數法所設計之表面通量假設關係密切，由於此兩種 (MRF 與

Blackadar) 參數法之表面通量假設幾乎相同，故其得到模擬降水結果也相當接近。由此結果可知，加入邊界層參數法由於其在模式中考慮表面通量與垂直混合等過程，故改善了模式在降水面積上的掌握能力。

在模式對降水量的掌握方面，我們發現加入複雜的邊界層參數法對於降水量的預報能力增加有限，實驗中四組模擬結果的降水平均絕對誤差皆在 40 mm 上下。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。

在降水的水平分佈上，本次模擬實驗在對降水的分佈有不錯的模擬結果。由模式的降水區域得分與模擬降水之水

平分佈來看皆有不錯的掌握能力。其中 Burk-Thompson 延續在預兆得分上的良好表現，在此降水的水平分布上也有相當符合實際觀測的降水結果。而在 NOPBL 實驗上對於降水的模擬結果最差。在模式模擬之中後期，此組實驗對於颱風環流眼牆附近的強烈對流降水無法有效模擬，造成其降水預報面積分佈上產生極大誤差。由預兆得分上也顯示，NOPBL 實驗在模擬後期幾乎沒有預報能力。

綜合言之，經由以上對各種邊界層參數法的實驗中發現，加入邊界層參數法將有效提高模擬颱風之強度與對降水面積之正確模擬。使用不同的邊界層參數法，也將造成模擬出不同的颱風強度、降水面積、移動路徑等結果。因此在對颱風的模擬研究上，邊界層參數法的使用考量，將與選擇適合的雲微物理參數法一樣重要。

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：同時期侵襲台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	---	

表四：模擬颱風與實際誤差距離

參數法/模擬時間 (誤差距離 km)	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時	30 小時	36 小時
MRF	64	110	177	190	229	317
Blackadar	89	103	188	198	243	334
Burk-Thompson	73	84	155	188	247	----
NOPBL	88	122	231	220	202	205

表五：不同門檻預兆平均得分表

參數法/門檻值	0.25 mm	2.5 mm	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
MRF	0.608	0.339	0.171	0.078	0.045	0.059
Burk-Thompson	0.697	0.432	0.315	0.173	0.115	0.034
Blackadar	0.605	0.359	0.247	0.119	0.058	0.027
NOPBL	0.418	0.189	0.098	0.021	0.01	0

表六：不同門檻預兆偏離平均得分表

參數法/門檻值	0.25 mm	2.5 mm	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
MRF	1.147	1.035	1.067	2.051	0.323	0.294
Burk-Thompson	1.021	0.917	0.849	0.951	0.897	1.356
Blackadar	1.267	1.185	1.521	2.59	0.457	0.552
NOPBL	0.587	0.325	0.207	0.07	0.025	0

表七：平均相對誤差表

參數法/模擬時間	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時	30 小時	平均
MRF	-13.749	-52.82	0.271	-3.324	-13.158	-16.556
Burk-Thompson	-37.383	-48.066	7.57	15.230	5.161	-11.464
Blalckadar	-36.462	-55.45	-7.294	1.491	-10.966	-21.756
NOPBL	-36.625	-54.201	-24.948	-19.955	-37.387	-34.63

表八：平均絕對誤差表

參數法/模擬時間	6 小時	12 小時	18 小時	24 小時	30 小時	平均
MRF	33.446	54.212	35.7	27.808	43.234	39.24
Burk-Thompson	37.589	50.321	42.163	31.809	57.206	43.82
Blalckadar	37.314	56.819	41.9	28.118	40.616	40.95
NOPBL	36.741	56.088	37.435	33.862	43.918	41.61

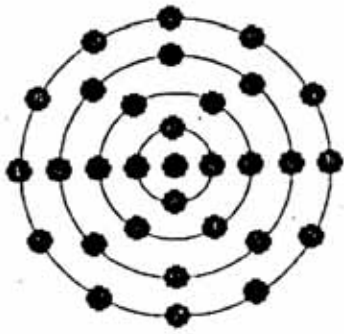


圖 1 : 颱風 bogus 資料位置圖。

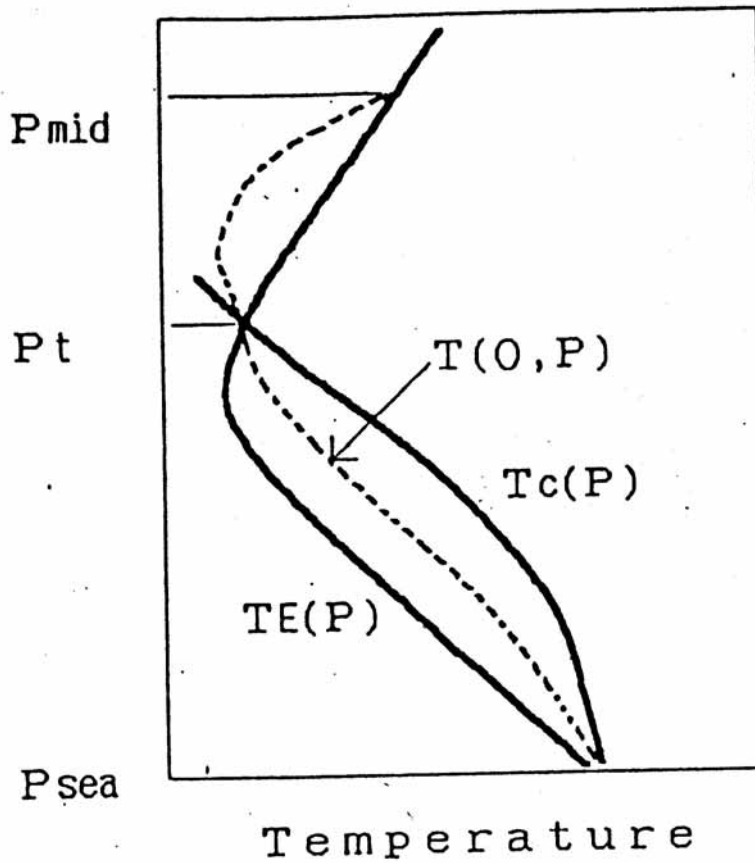


圖 2 颱風植入探空曲線圖。圖中 $TE(P)$ 為環境場探空曲線， $T_c(P)$ 為濕絕熱探空曲線， $T(O,P)$ 為模式植入之假設探空曲線。

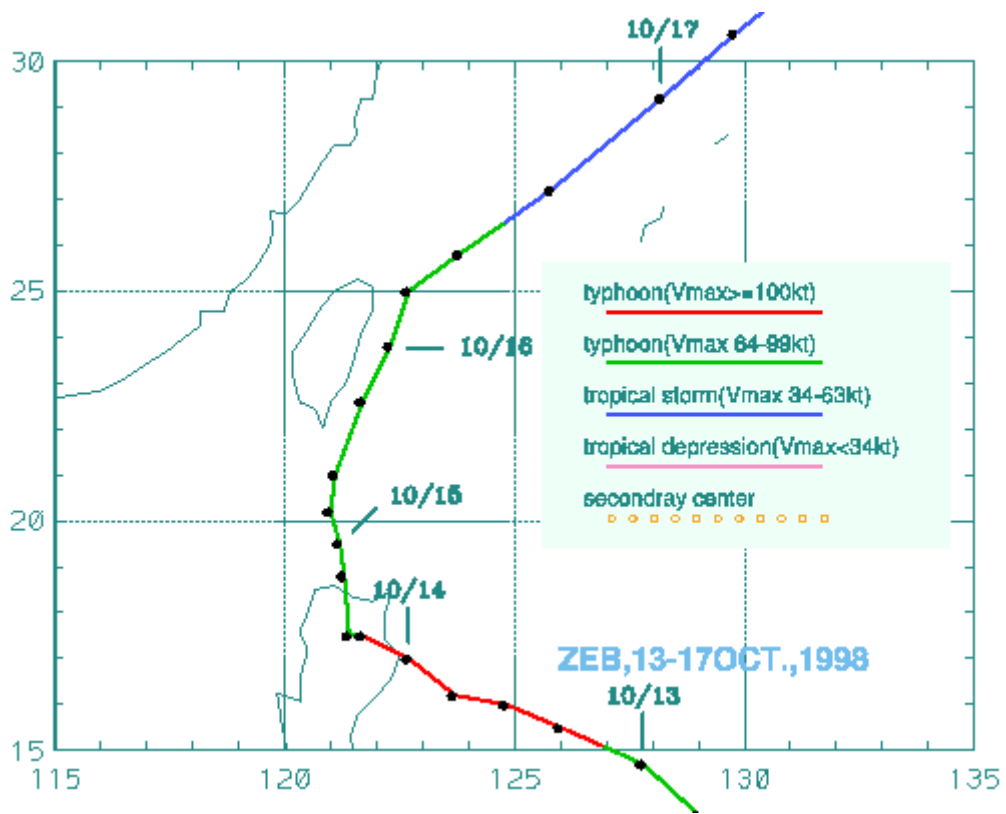


圖 3： 瑞伯颱風路徑圖。

1998-10-15_0032.IR1

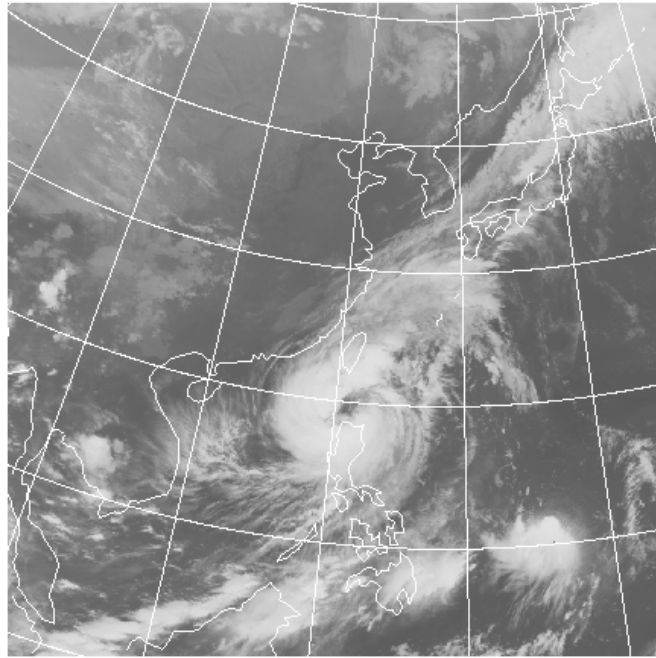


圖 4：1998 年 10 月 15 日 0000 UTC 紅外線雲圖。

1998-10-15_1239.IR1

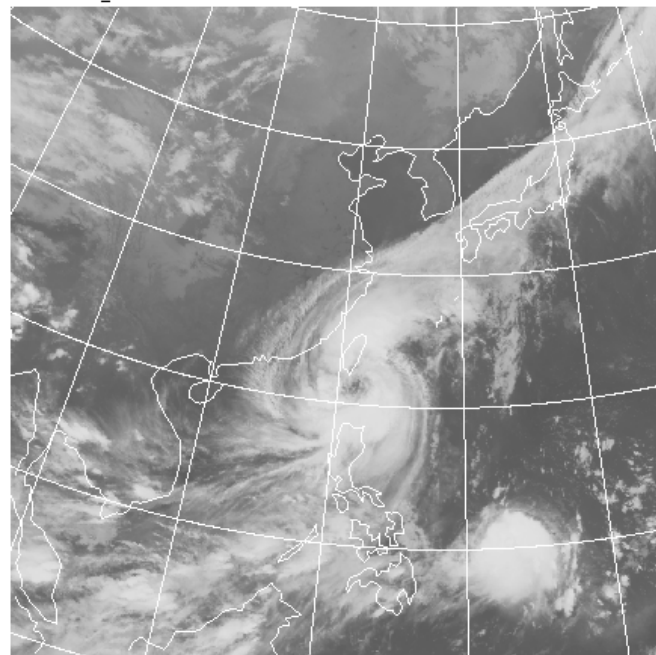


圖 5：1998 年 10 月 15 日 1200 UTC 紅外線雲圖。

1998-10-16_0032.IR1

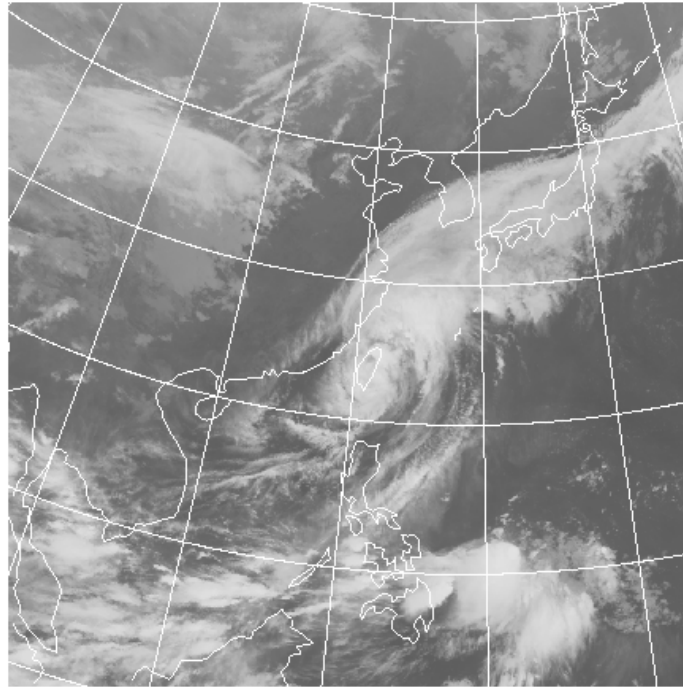


圖 6：1998 年 10 月 16 日 0000 UTC 紅外線雲圖。

1998-10-16_1233.IR1

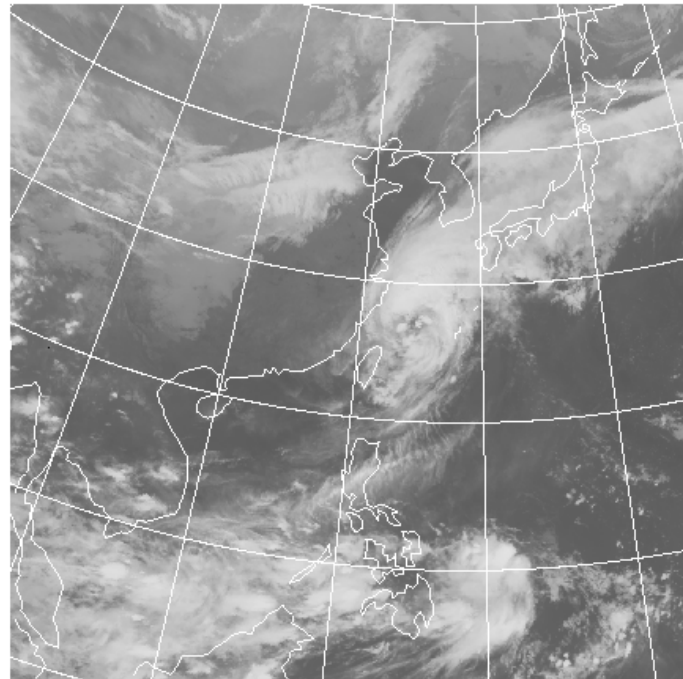


圖 7：1998 年 10 月 16 日 1200 UTC 紅外線雲圖。

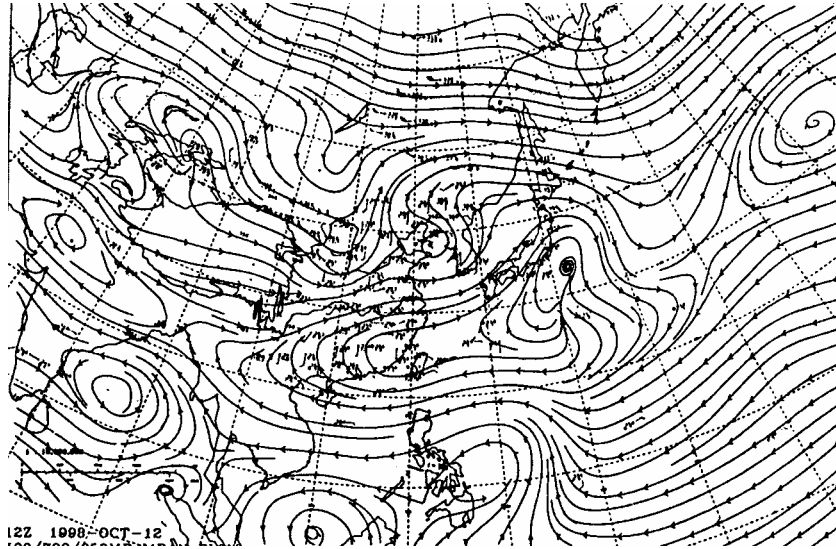


圖 8 : 1998 年 10 月 12 日 1200 UTC 500/700/850 百帕(高空圖)三層平均氣流圖。

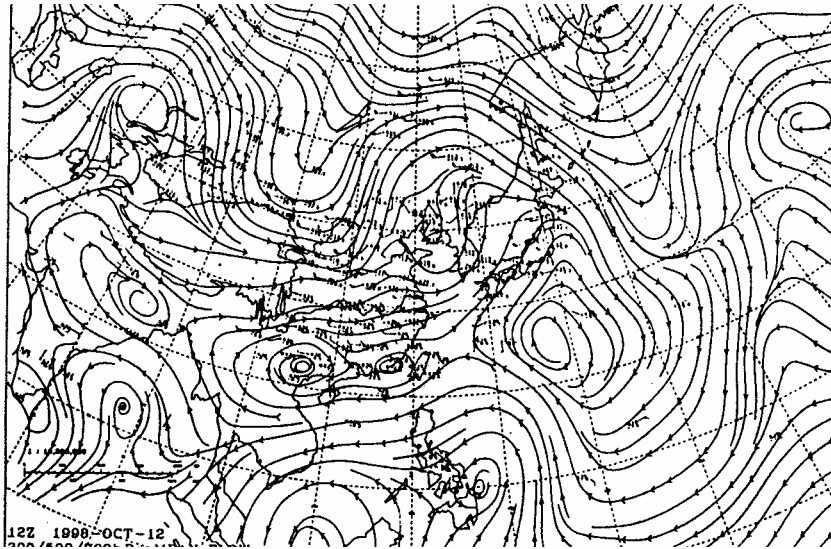


圖 9 : 1998 年 10 月 12 日 1200 UTC 300/500/700 百帕三層平均氣流圖。

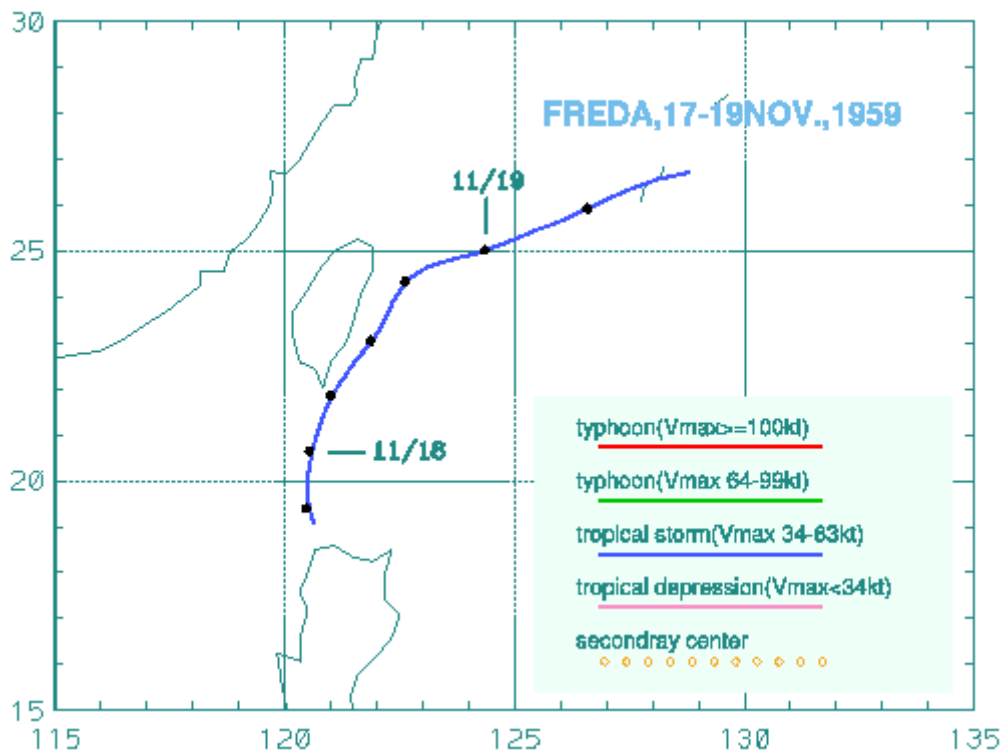


圖 10：1959 年芙瑞達（Freda）颱風路徑圖。

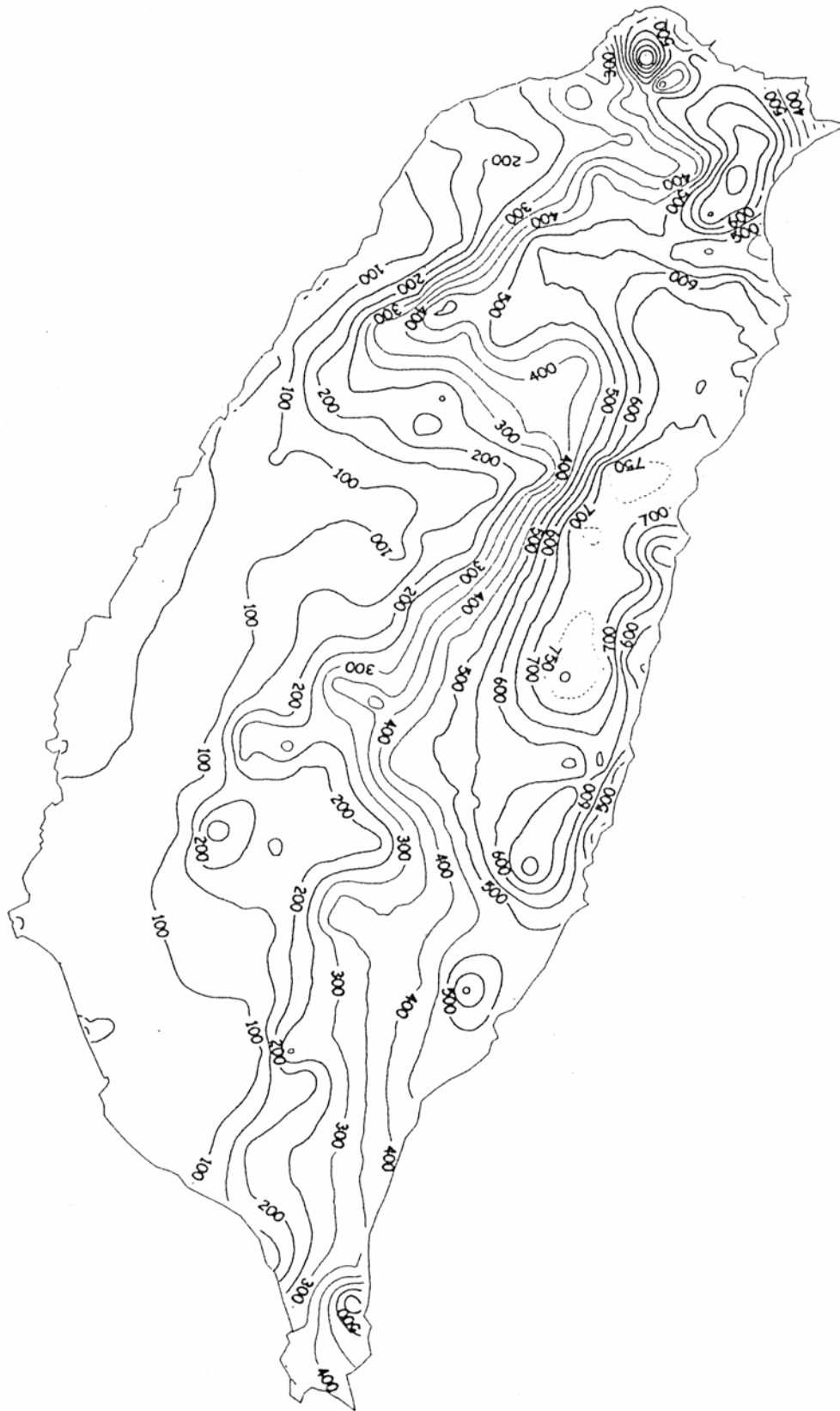


圖 11： 台灣地區 1998 年 10 月 14 日至 16 日累積雨量圖。

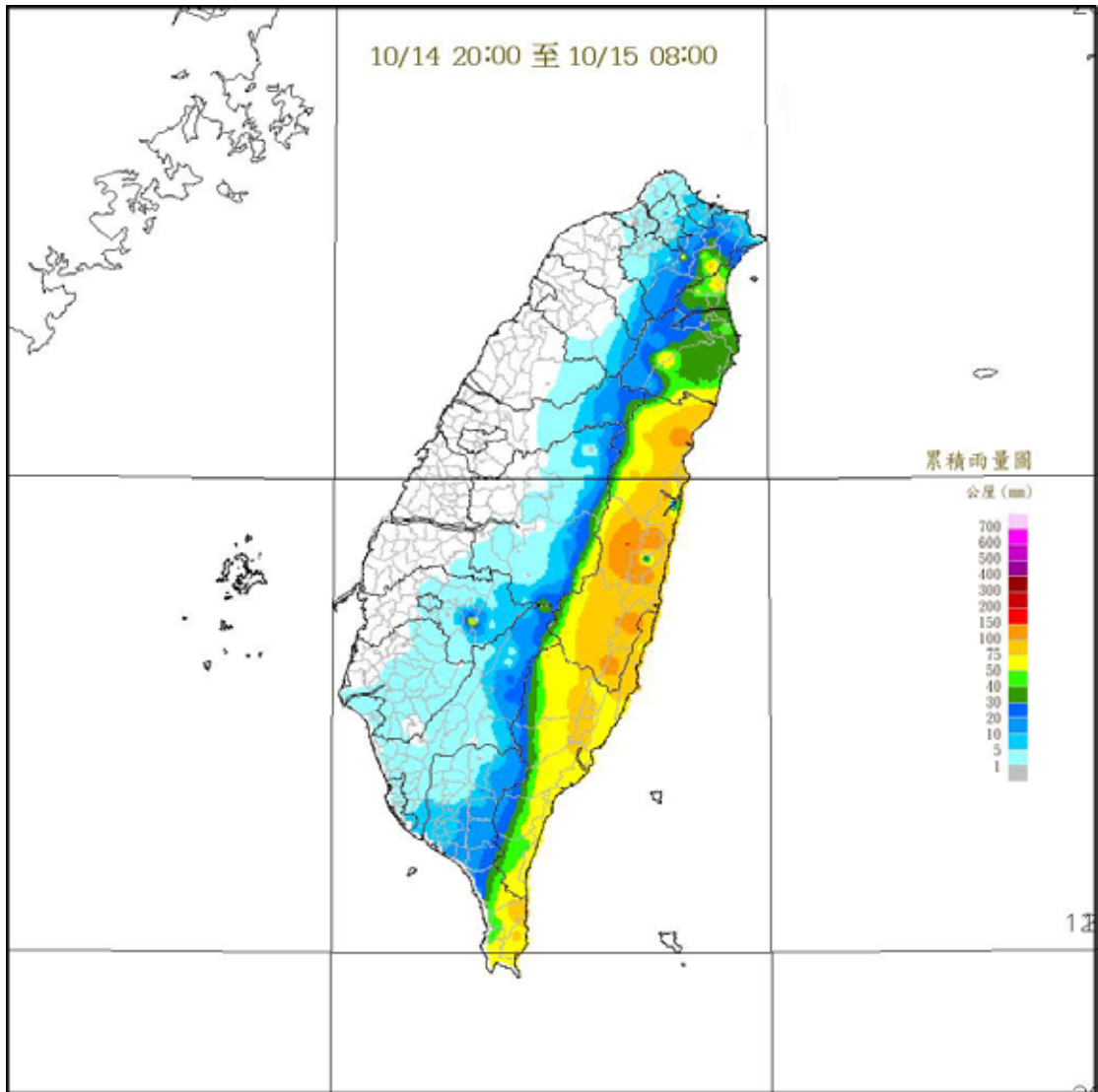


圖 12 : 1998 年 10 月 14 日 20 時至 15 日 8 時累積雨量示意圖。

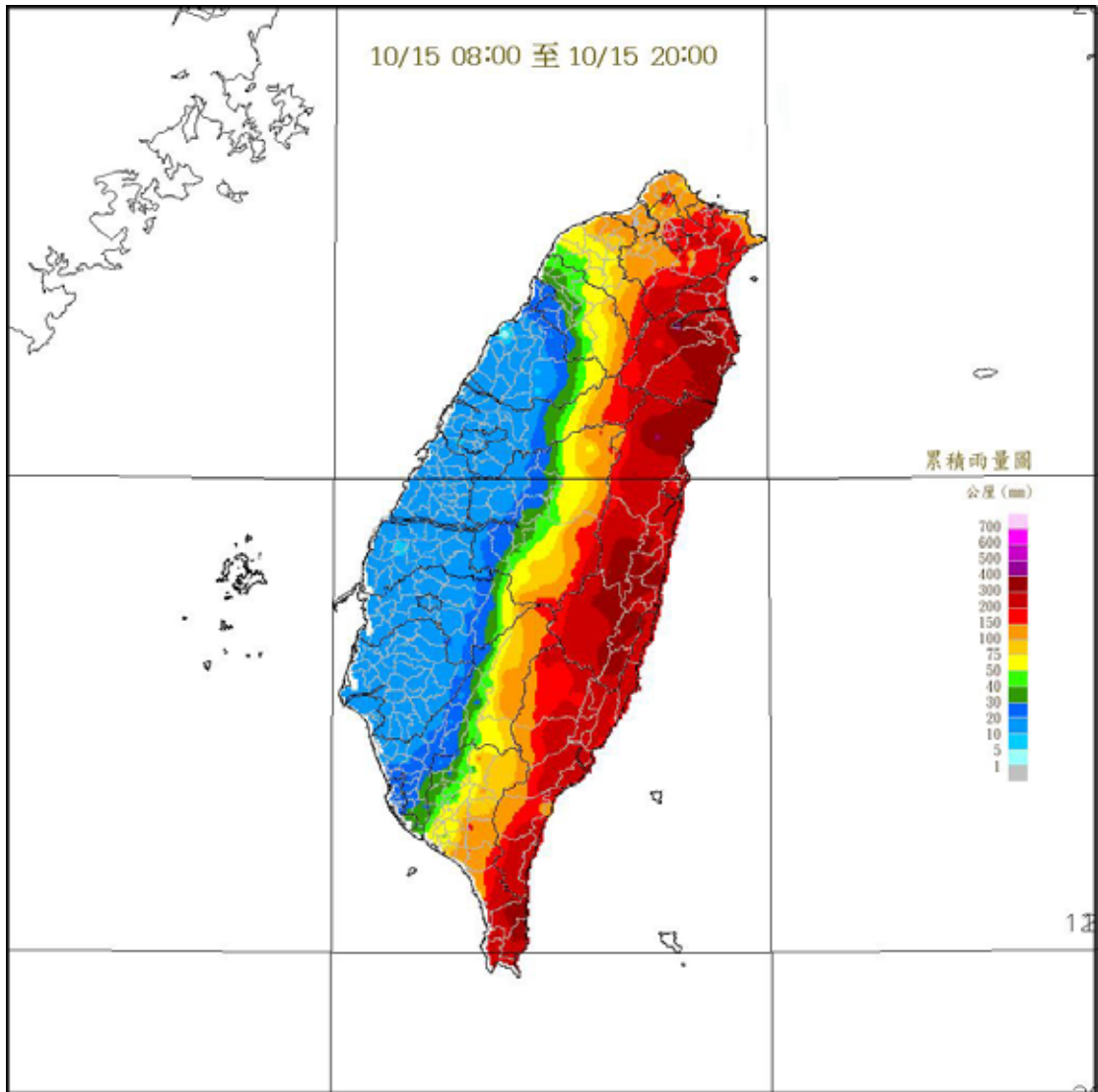


圖 13 : 1998 年 10 月 15 日 8 時至 15 日 20 時累積雨量示意圖。

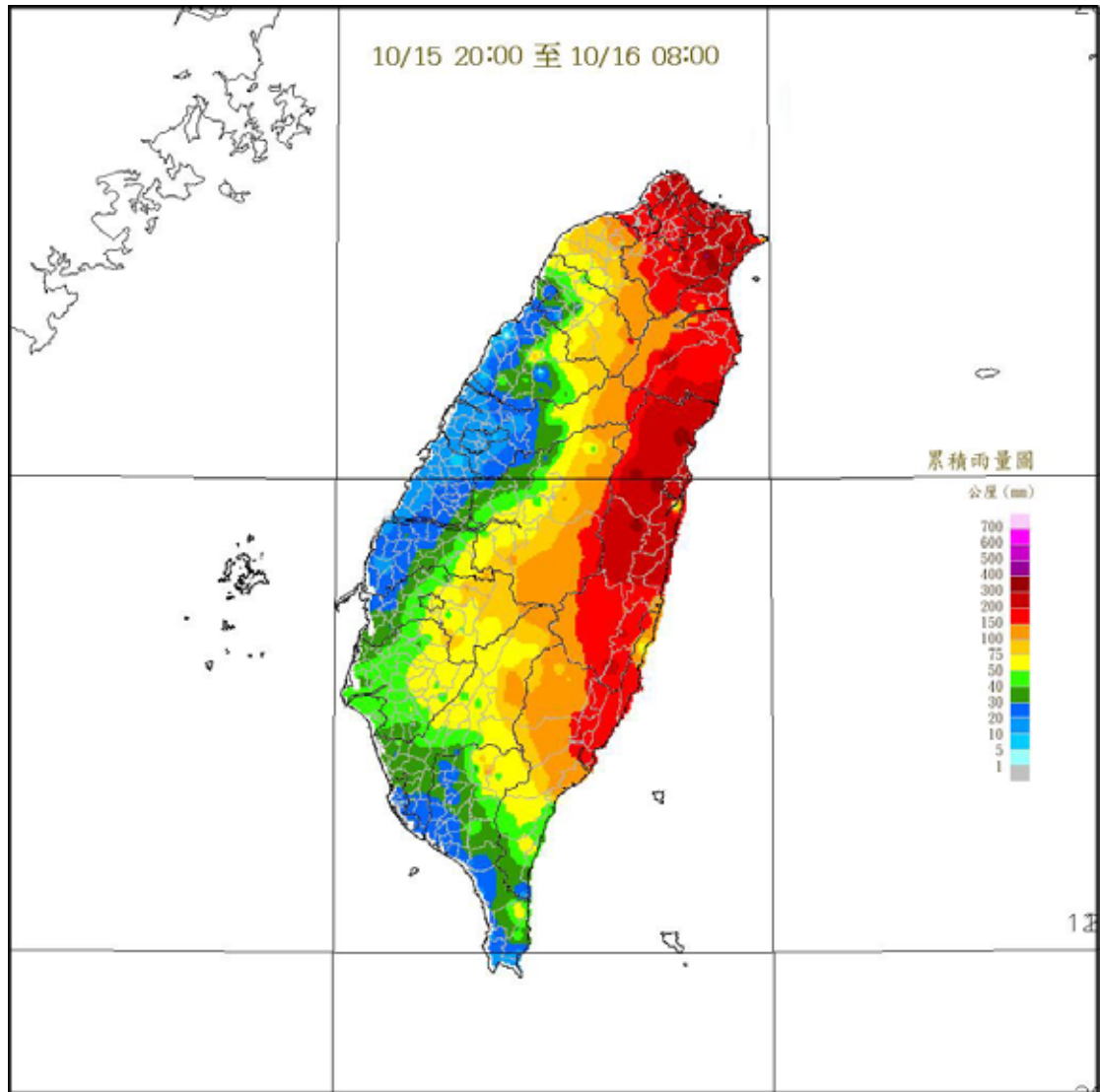


圖 14 : 1998 年 10 月 15 日 20 時至 16 日 8 時累積雨量示意圖。

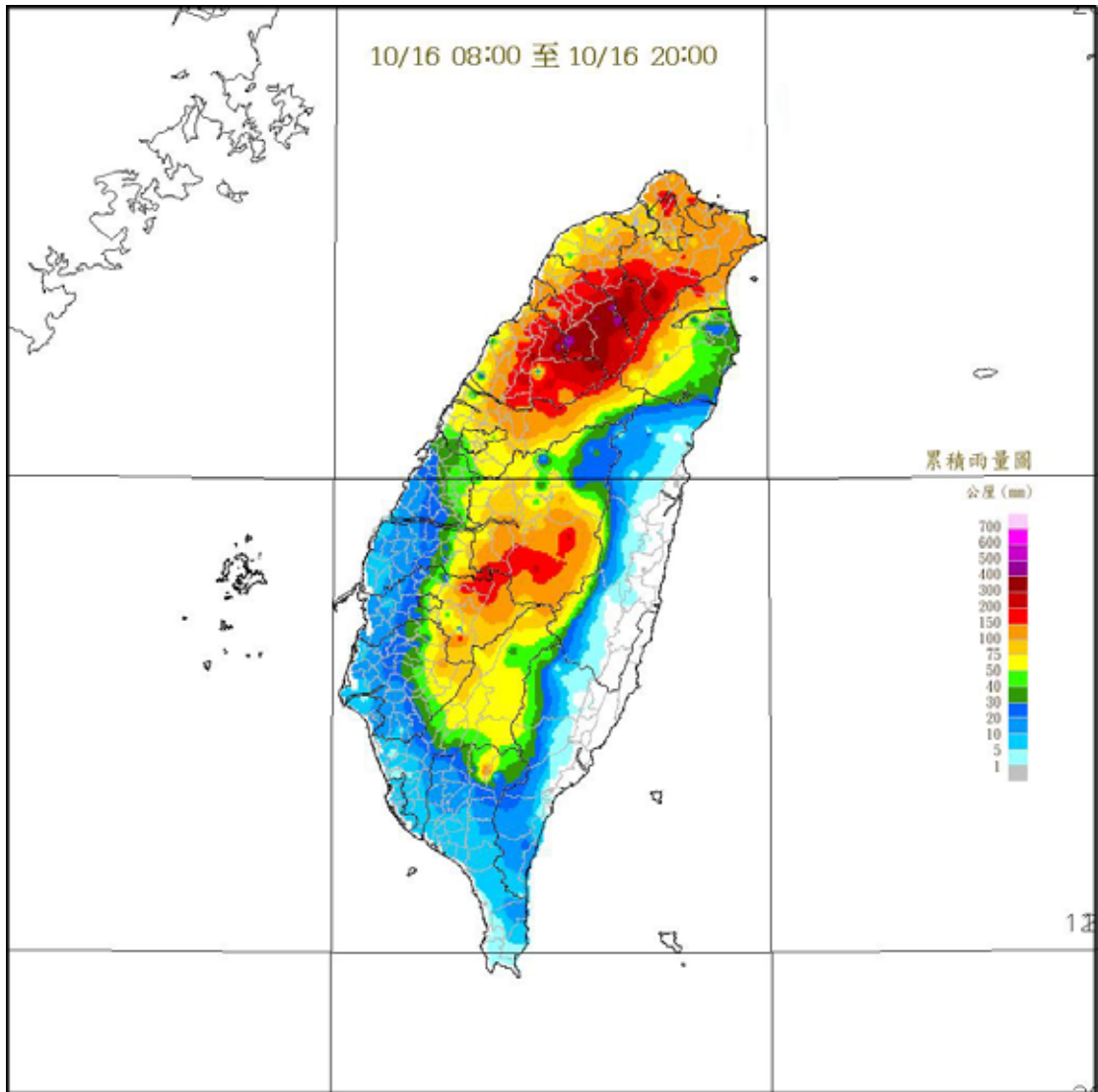


圖 15 : 1998 年 10 月 16 日 8 時至 16 日 20 時累積雨量示意圖。

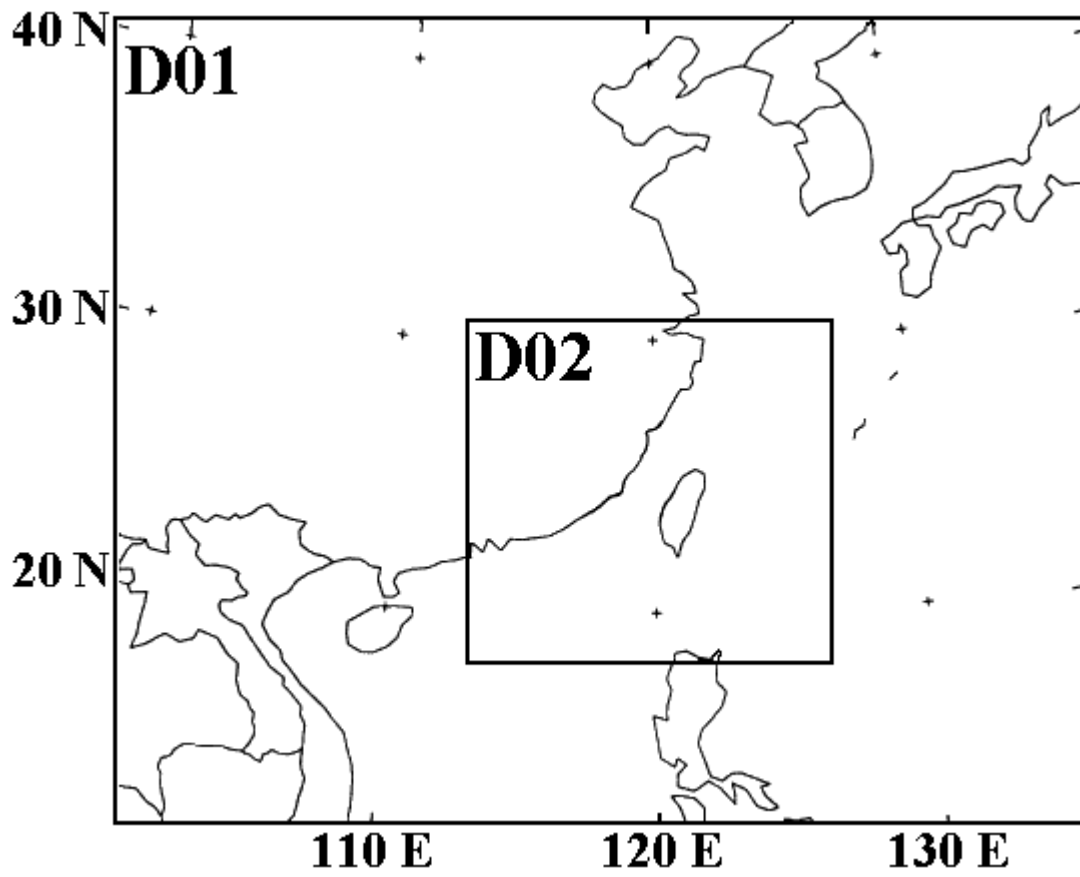


圖 16： 模式雙層巢狀網格示意圖。

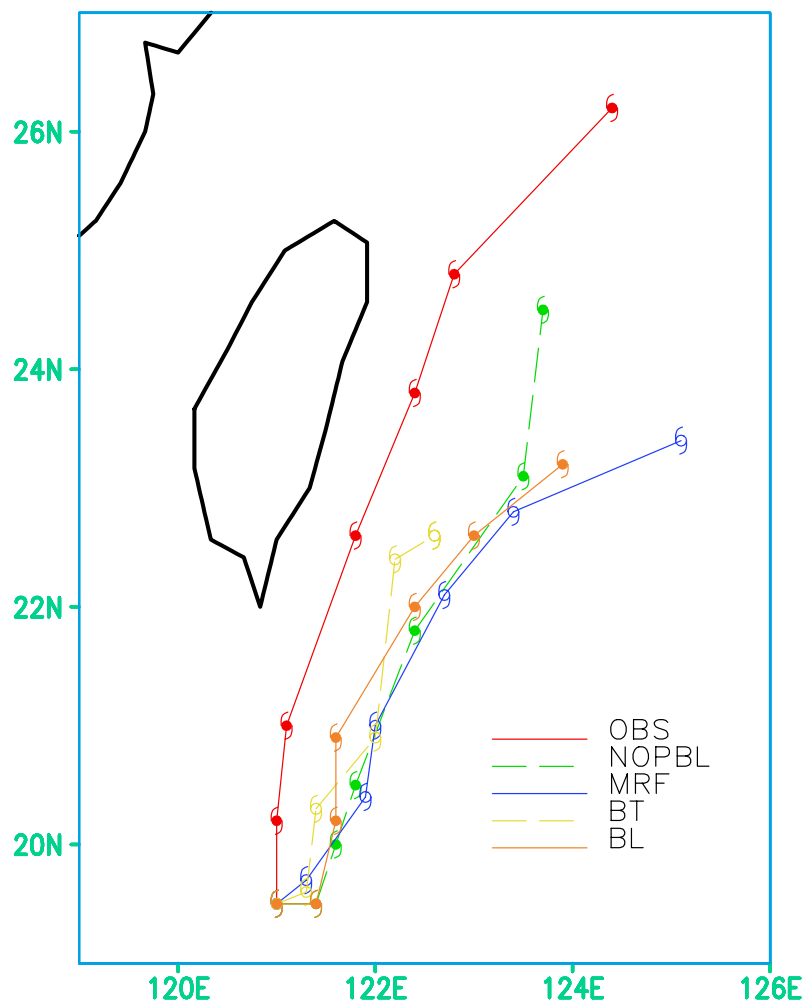


圖 17 模擬颱風路徑圖。

The threshold: 0.25 mm

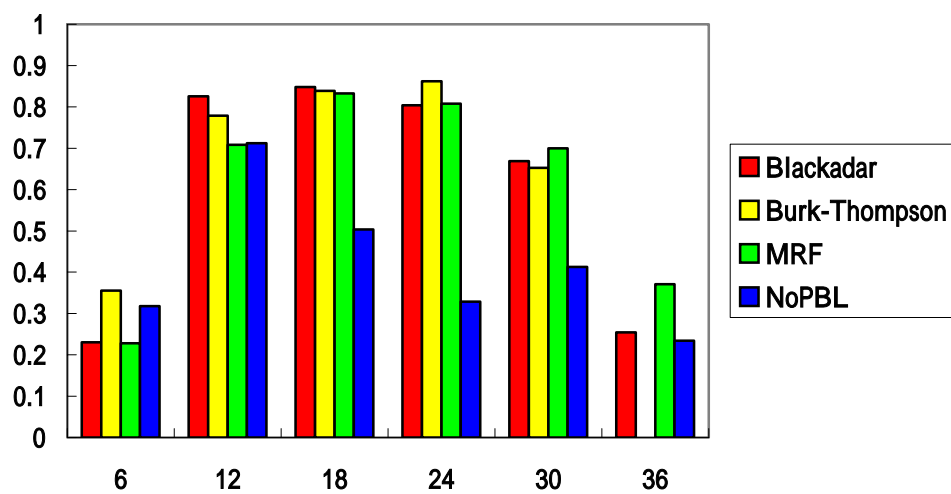


圖 18(a)：預兆得分直條圖，圖中縱座標為 TS 得分，橫座標為時間(hr)。

The threshold: 0.25 mm

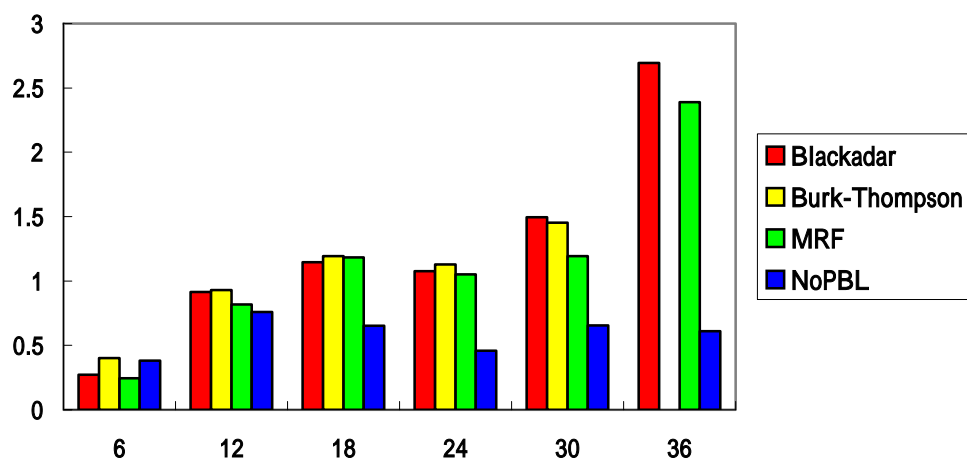


圖 18(b)：預兆偏離得分直條圖，圖中縱座標為 BS 得分，橫座標為時間(hr)。

The threshold: 2.5 mm

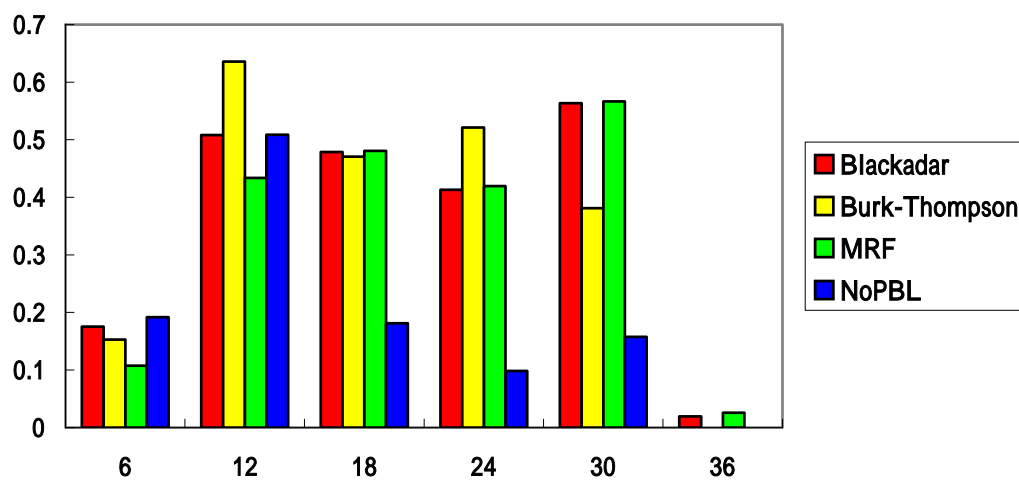


圖 19(a)：預兆得分直條圖(同圖 18，門檻值為 2.5 mm)。

The threshold: 2.5 mm

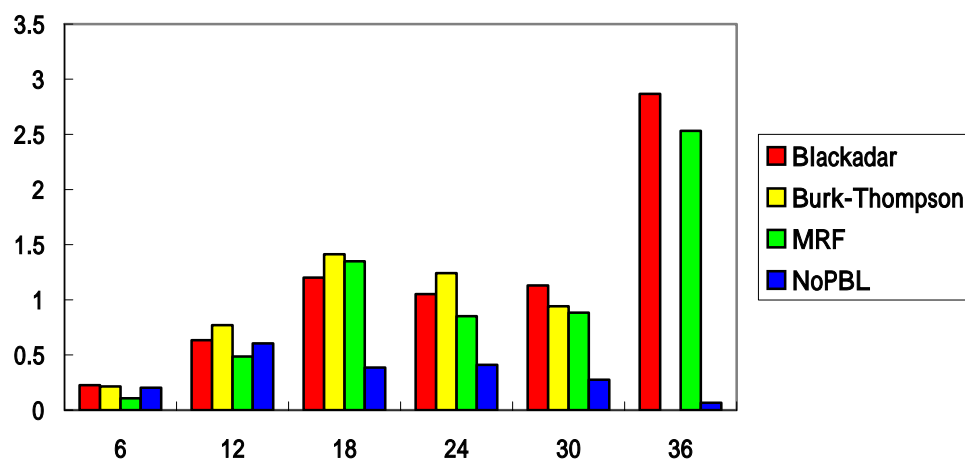


圖 19(b)：預兆偏離得分直條圖(同圖 18，門檻值為 2.5 mm)。

The threshold: 5 mm

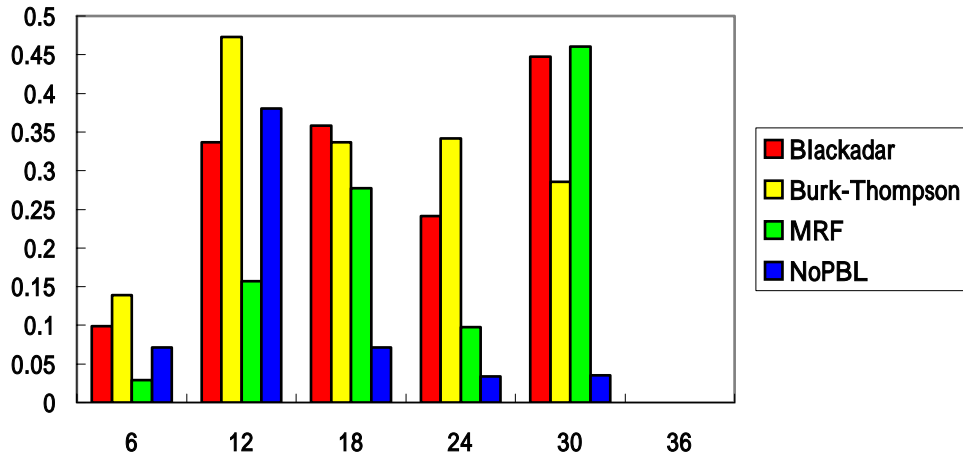


圖 20(a)：降水預兆得分直條圖(同圖 18，門檻值為 5 mm)。

The threshold: 5 mm

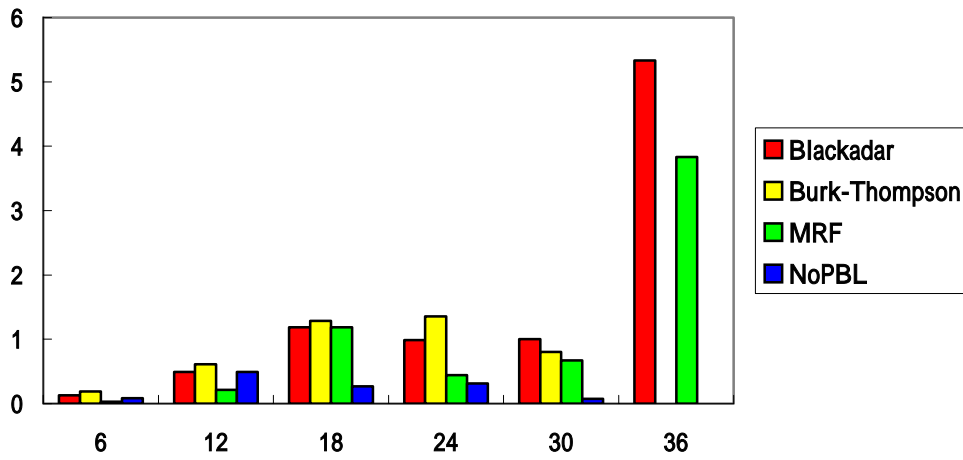


圖 20(b)：降水預兆偏離得分直條圖(同圖 18，門檻值為 5 mm)。

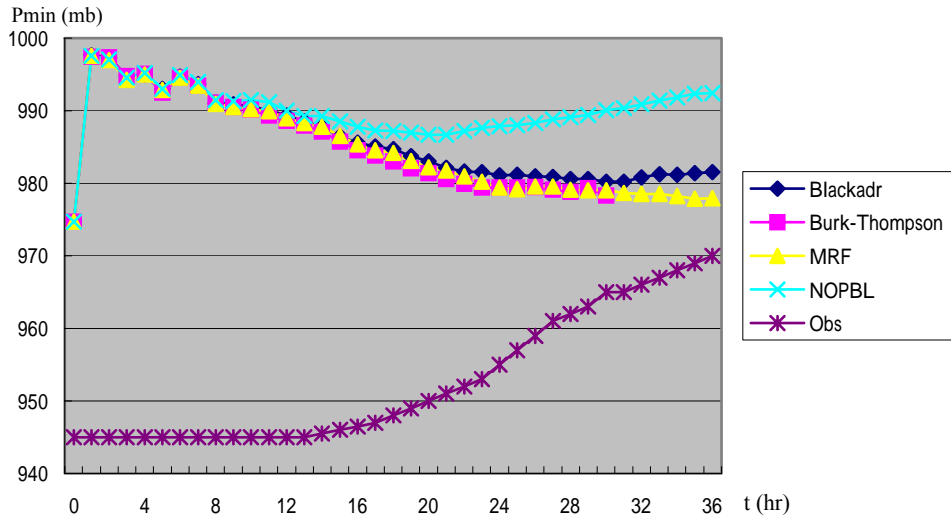


圖 21(a)：颱風近中心最低氣壓時間序列圖(網格解析度 45km)。

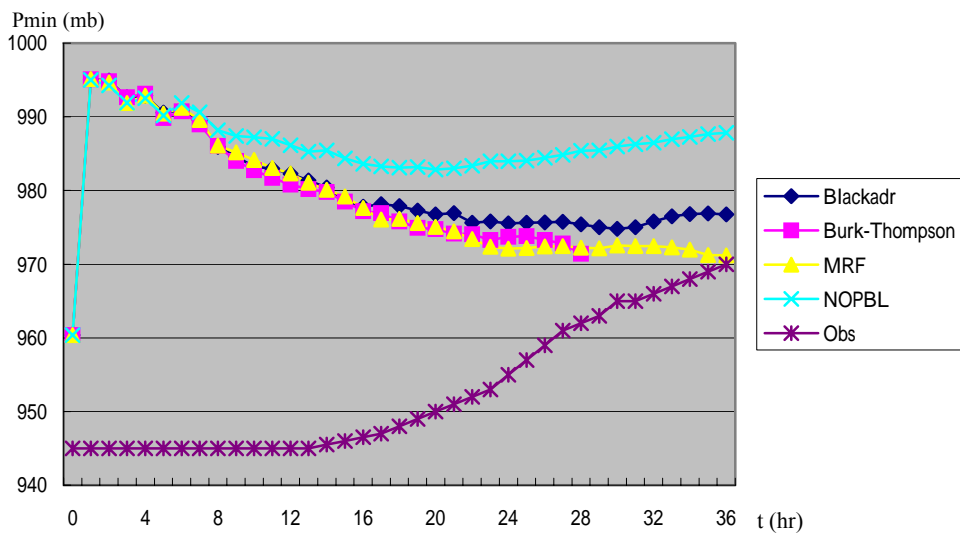


圖 21(b)：颱風近中心最低氣壓時間序列圖(網格解析度 15km)。

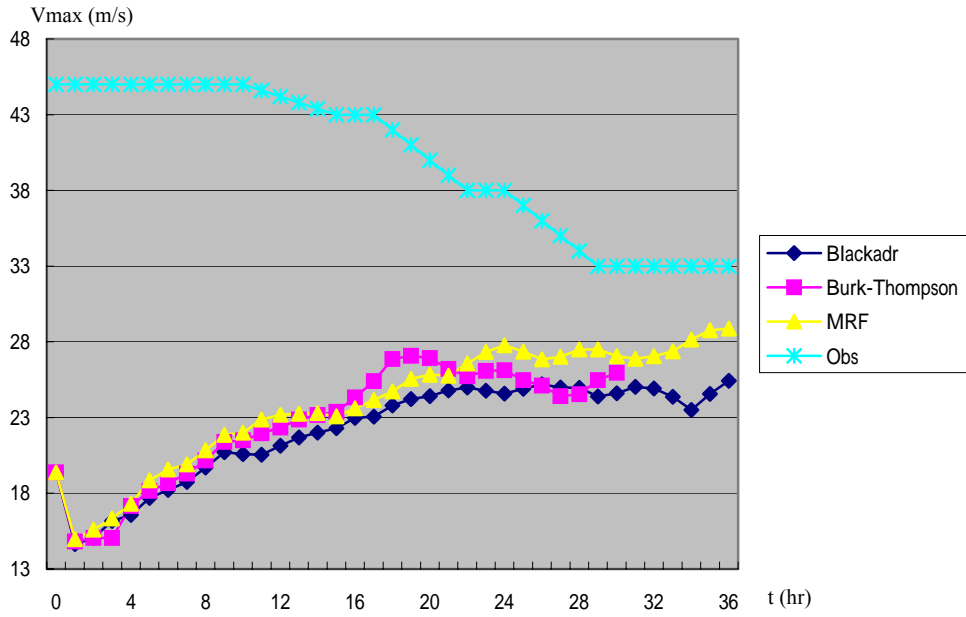


圖 22(a)：中心最大風速時間序列圖(網格解析度 45km)。

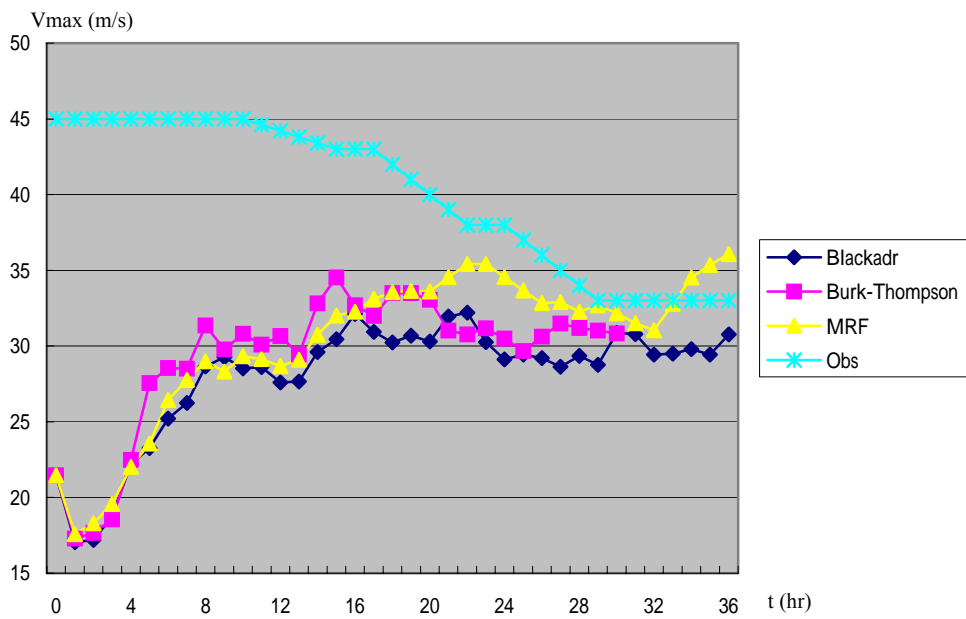
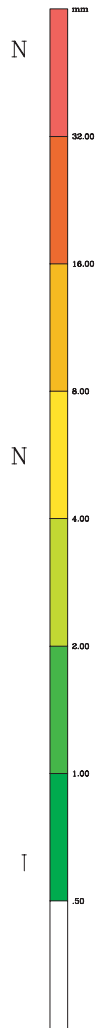
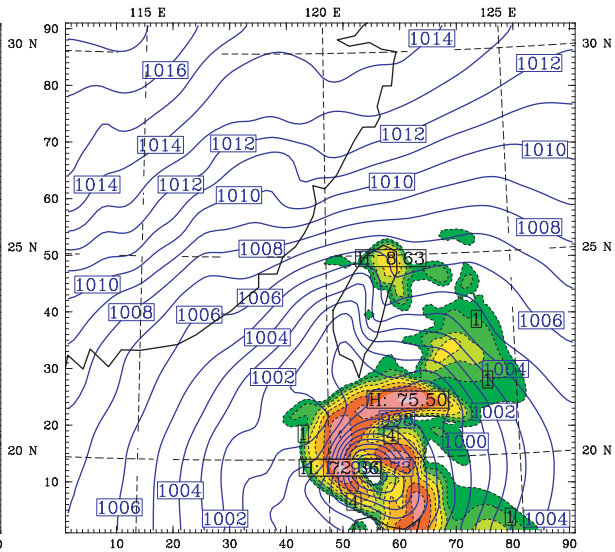
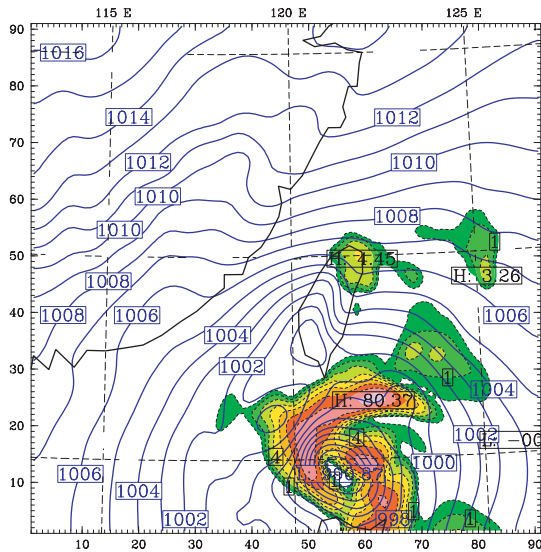


圖 22(b)：中心最大風速時間序列圖(網格解析度 15km)。

Blackadar

Burk-Thompson



MRF

NOPBL

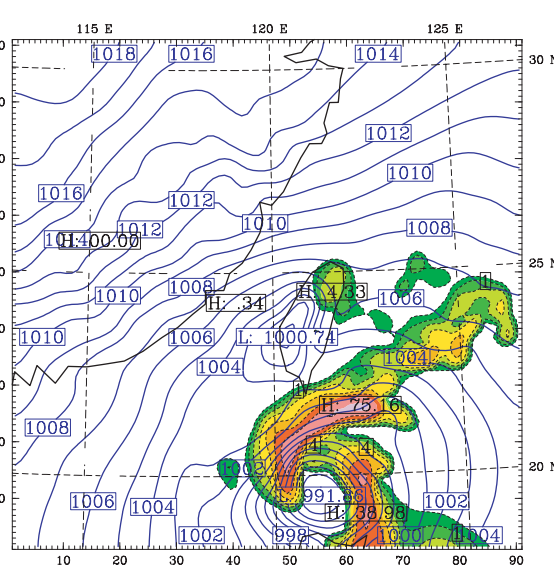
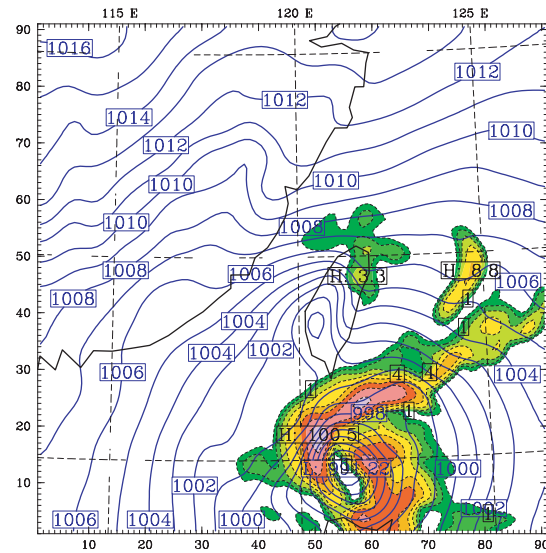
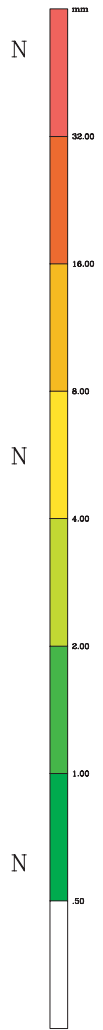
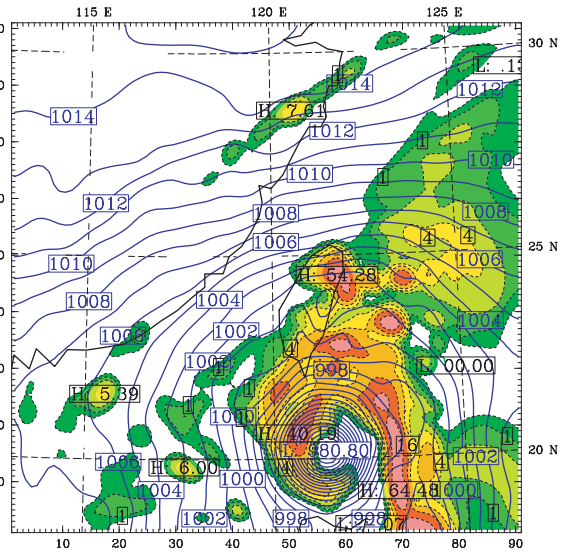
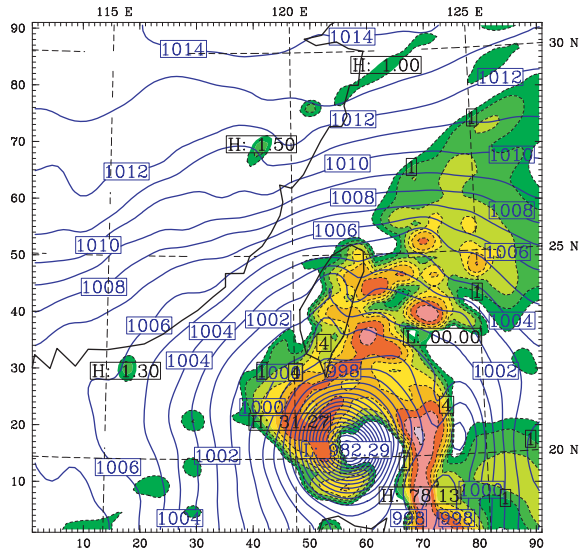


圖23; 為1998年10月15日06Z之6小時降水水平分佈; 圖中彩色區域代表累積雨量, 藍線代表海平面氣壓場。

Blackadar

Burk-Thompson



MRF

NOPBL

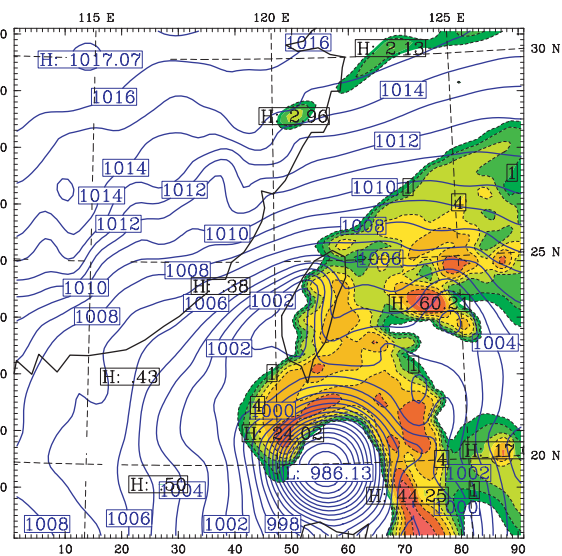
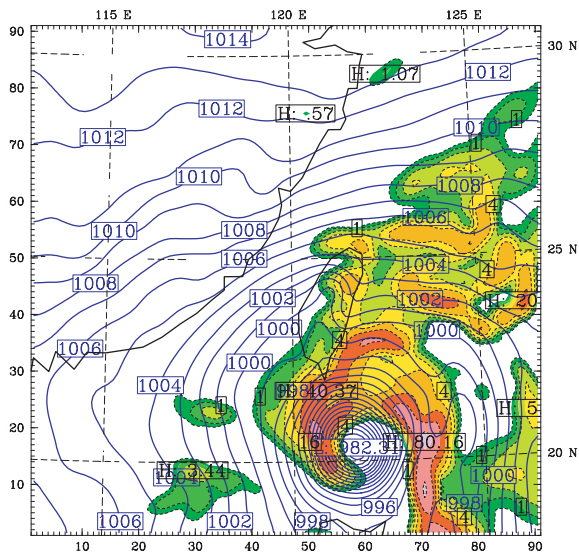
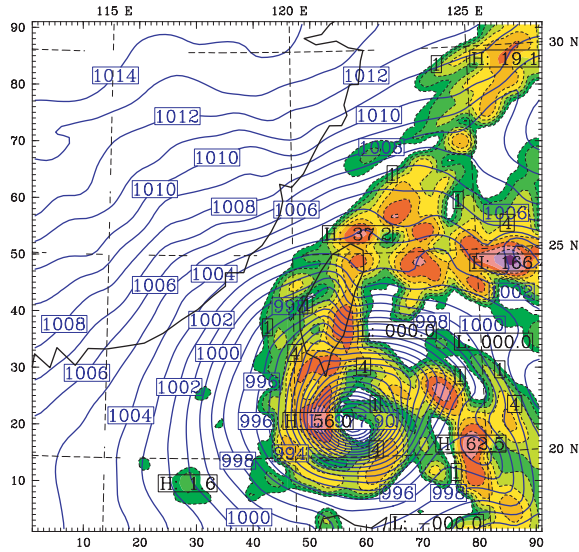
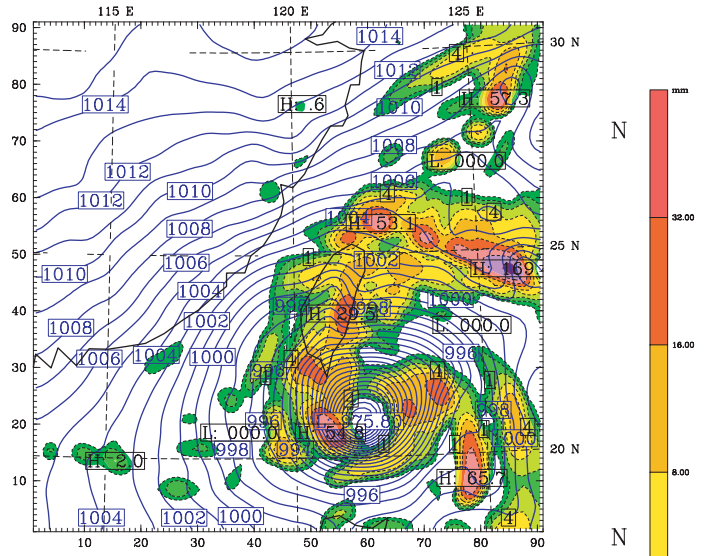


圖24; 同圖23, 時間為1998年10月15日12Z

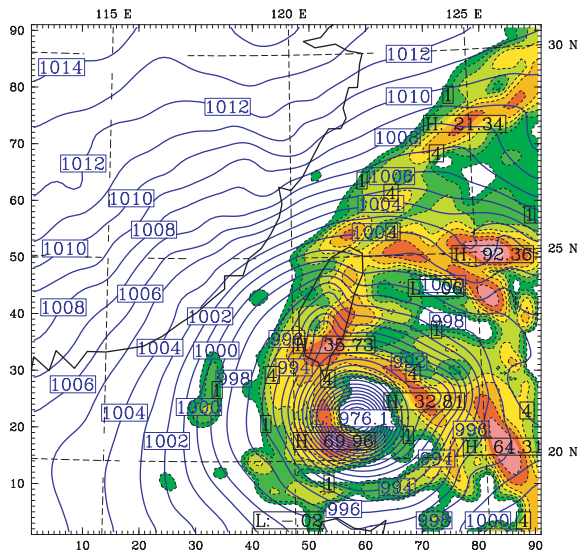
Blackadar



Burk-Thompson



MRF



NOPBL

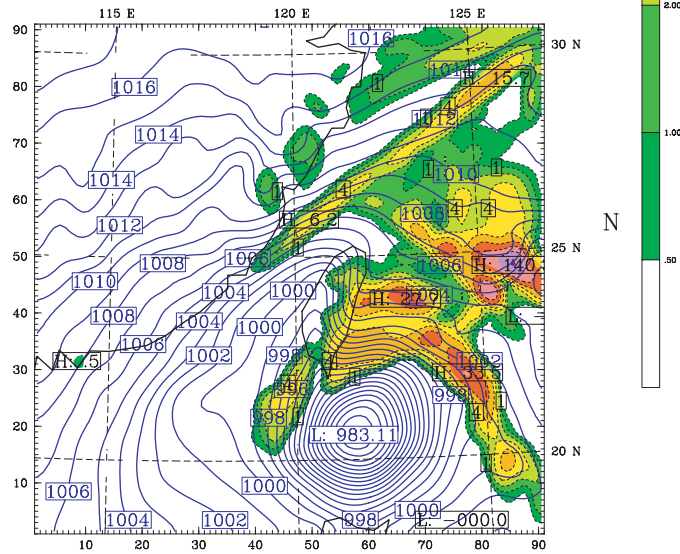
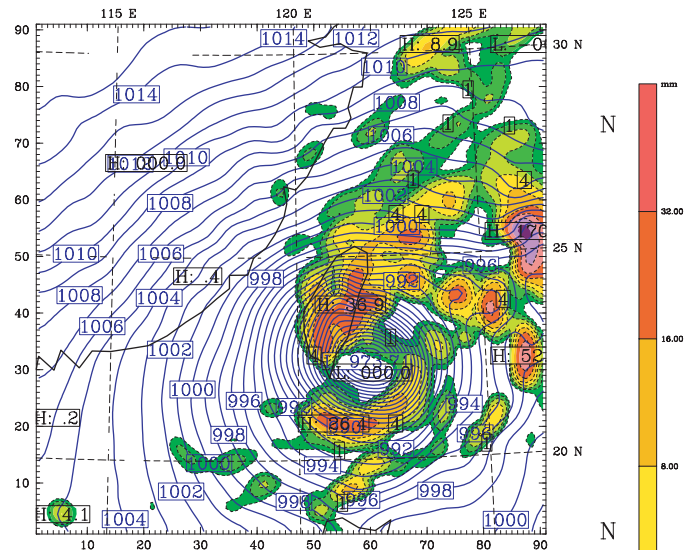
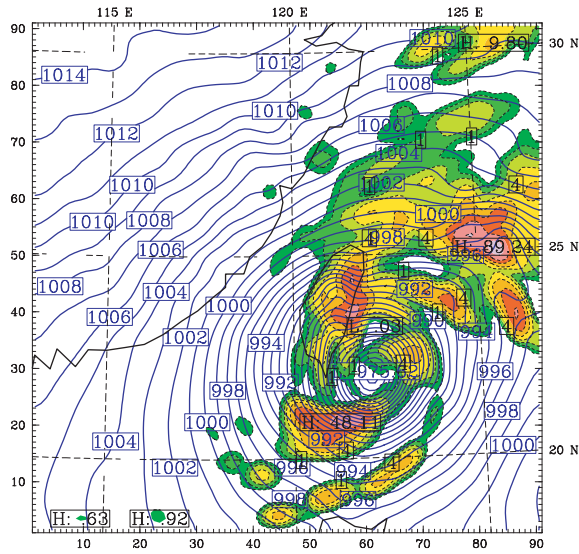


圖25; 同圖23, 時間為1998年10月15日18Z

Blackadar

Burk-Thompson



MRF

NOPBL

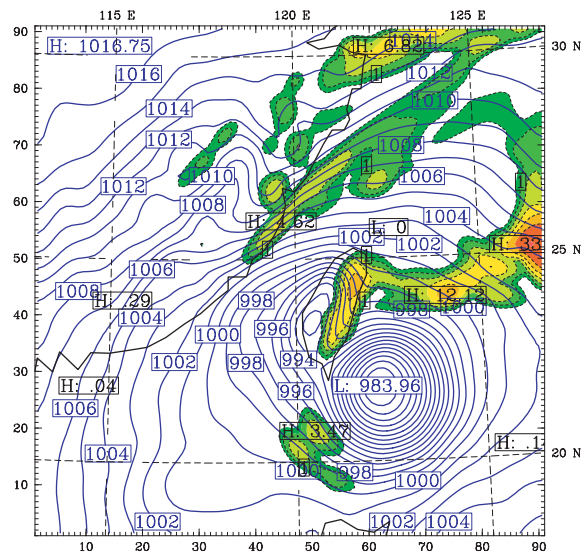
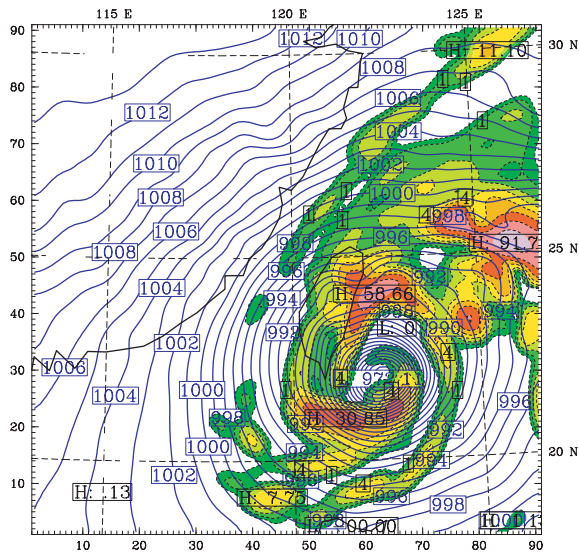


圖26; 同圖23, 時間為1998年10月16日00Z

