

國立臺灣師範大學地球科學所碩士論文

指導教授：簡芳菁 博士

蘇迪勒颱風(2015)之數值模擬與研究

**Numerical Simulation and Study
of Typhoon Soudelor(2015)**



研究生：張君瑋 撰

中華民國 106 年八月

致謝

碩士班生活終於要告一段落了，忘了怎麼開始這段大氣之旅，那就用論文紀念這段旅程。

首先感謝指導教授簡芳菁老師，常給我許多建議，也感謝玉秀、姿吟、士然、彥超、健宇、家輝、怡秀、慈瑩等學長學姊與同學，給予程式和模擬上的建議與救援，多虧了有你們，論文才能夠順利完成，能進入這個研究室，是碩班生活中最幸運的事。

進了大氣的領域，才覺得藍天白雲的天空和螢幕上的程式碼有落差，常常要用熱情去彌補，念得越多才知道自己懂得很少，沒有動力的時候謝謝家人和朋友的鼓勵。希望在碩班裡的學習與生活態度，能夠帶給我更多的改變！

高中畢業時，意志堅定選擇了冷門科系，當熱情經過了各種打擊與摧殘，但如果重頭來過，我還是會選擇一樣的路，也許這才是我能堅持下去的理由。

最後謝謝老師、家人和朋友，這些日子給的幫助和鼓勵，讓我順利完成了一個里程碑。

摘要

臺灣夏季常受到颱風侵襲，因中央山脈地勢高聳，地形因素使颱風路徑預報困難。本研究以蘇迪勒颱風(2015)進行個案研究，利用WRF模式針對蘇迪勒颱風進行數值模擬實驗，同時也使用Nguyen and Chen(2011)的颱風初始化模組(簡稱NC2011)進行模擬測試，改善颱風初始結構偏弱的狀態，並針對模擬結果進行分析。

研究結果指出NC2011方法可以加強颱風初始強度，在模式初期不論是颱風(CTL組)的水平結構和垂直結構均較未經過初始化的颱風(NCI組)完整，使颱風整體結構更接近真實颱風，且渦漩結構在海上可以維持一段時間。

本研究也針對地形高度進行敏感度測試，在颱風結構的方面，發現當地形越高，颱風環流受到破壞的程度較嚴重，出海後的中心氣壓也較高；而地形越低，颱風環流受到破壞的程度較小，出海後的中心氣壓相對較低。在颱風路徑方面，當颱風強度越強、結構越深，駛流對路徑造成的效應大於通道效應，使颱風在登陸後路徑南偏；當地形加高，通道效應大於駛流對路徑造成的效應，使颱風在登陸前路徑南偏。

關鍵字: 颱風，氣旋初始化，數值模擬，通道效應

目 錄

致謝.....	i
摘要.....	ii
第一章 前言.....	1
1.1 文獻回顧.....	1
1.2 研究動機.....	6
第二章 個案介紹和觀測資料分析.....	8
2.1 蘇迪勒介紹.....	8
2.2 觀測分析.....	9
a. 綜觀環境介紹.....	9
b. 中尺度對流分析.....	12
c. 降雨分析.....	13
2.3 衛星雲圖.....	14
2.4 小結.....	15
第三章 研究方法.....	16
3.1 模式介紹.....	16
3.2 WRF TC initialization 簡介.....	17
3.3 模式設定.....	19
3.4 實驗設計.....	19

第四章	氣旋初始化結果比較.....	22
	4.1 初始化颱風結構和強度比較.....	22
	4.2 初始化後颱風結構隨著時間的改變.....	24
	4.3 初始化颱風的降雨比較.....	25
	4.4 初始化颱風的雷達回波剖面比較.....	27
	4.5 小結.....	29
第五章	CTL 組數值模擬結果.....	31
	5.1 颱風路徑.....	31
	5.2 路徑誤差和氣壓誤差.....	32
	5.3 降雨分析.....	32
	5.4 水氣積分的輻散場.....	33
	5.5 中尺度對流分析.....	34
	5.6 中尺度對流剖面.....	36
	5.7 相對溼度剖面及位溫分布.....	38
	5.8 小結.....	39
第六章	敏感度實驗.....	40
	6.1 路徑差異分析.....	40
	6.2 中心氣壓誤差分析.....	41
	6.3 累積降水差異分析.....	42

6.4 中尺度對流剖面.....	44
6.5 駛流分析.....	46
6.6 通道效應.....	48
6.7 小結.....	49
第七章 結論與未來展望.....	51
7.1 總結.....	51
7.2 未來展望.....	55
參考文獻.....	56
附錄.....	59



圖表目錄

圖 1. 1 影響臺灣地區颱風路徑分類圖(1911—2015 年)。	60
圖 2. 1 為中央氣象局之蘇迪勒颱風路徑圖。	60
圖 2. 2 中央氣象局之地面天氣圖，2015 年 08 月 (a) 6 日 1800 UTC (b) 7 日 0600 UTC (c) 7 日 1800 UTC (d) 8 日 0600 UTC (e) 8 日 1800 UTC (f) 9 日 0600 UTC。	61
圖 2. 3 中央氣象局之 850 hPa 天氣圖，2015 年 08 月 (a) 6 日 1200 UTC (b) 7 日 0000 UTC (c) 7 日 1200 UTC (d) 8 日 0000 UTC (e) 8 日 1200 UTC (f) 9 日 0000 UTC。	64
圖 2. 4 同圖 2. 3，但為 700hPa 天氣圖。	67
圖 2. 5 同圖 2. 3，但為 500 hPa 天氣圖。	70
圖 2. 6 中央氣象局提供之雷達回波，6 小時一張，2015 年(a)8 月 5 日 2200 UTC(b)8 月 6 日 0400 UTC(c)8 月 6 日 1000 UTC(d)8 月 6 日 1600 UTC(e)8 月 6 日 2200 UTC(f)8 月 7 日 0400 UTC(g)8 月 7 日 1000 UTC(h)8 月 7 日 1600 UTC(i)8 月 7 日 2200 UTC(j)8 月 8 日 0400 UTC(k)8 月 8 日 1000 UTC(l)8 月 8 日 1600 UTC。	73
圖 2. 7 為 12 小時的累積雨量，2015 年(a)8 月 6 日 0000 UTC 至 8 月 6 日 1200 UTC (b) 8 月 6 日 1200 UTC 至 8 月 7 日 0000 UTC (c) 8 月 7 日 0000 UTC 至 8 月 7 日 1200 UTC (d) 8 月 7 日 1200 UTC 至 8 月 8 日 0000 UTC(e)8 月 8 日 0000 UTC 至 8 月 8 日 1200 UTC (f) 8 月 8 日 1200 UTC 至 8 月 9 日 0000 UTC (g) 8 月 9 日 0000 UTC 至 8 月 9 日 1200 UTC (h) 8 月 9 日 1200 UTC 至 8 月 10 日 0000 UTC。	75
圖 2. 8 為紅外線衛星雲圖 (a) 8 月 7 日 1600 UTC (b) 8 月 7 日 1900 UTC (c) 8 月 7 日 2200 UTC(d) 8 月 8 日 0100 UTC。	77
圖 3. 1 WRF 模式示意圖(取自 WRF 使用手冊)。	78
圖 3. 2 NC2011 颱風初始化方法概念圖。	78
圖 3. 3 本研究於 WRF 模式設定之兩層巢狀網格範圍。	79
圖 4. 1 為初始颱風剖面的平均氣壓與 10 m 平均風速($m s^{-1}$)，(a)NCI 組(b)CTL 組，粗線為平均氣壓，細線為 10m 平均風速($m s^{-1}$)。	80
圖 4. 2 為垂直剖面風場與垂直剖面溫度圖，(a)NCI 組(b)CTL 組，垂直方向向量為垂直風速($m s^{-1}$)，實線為南北風風速($m s^{-1}$)，色階為剖面溫度(k)。	81
圖 4. 3 為垂直剖面風場與垂直剖面水氣混合比，(a)NCI 組(b)CTL 組，	

垂直方向向量為垂直風速(m s^{-1})，實線為南北風風速(m s^{-1})，色階為剖面水氣混合比(g/kg)。.....	82
圖 4. 4 為水平雷達回波圖，(a)NCI 組(b)CTL 組，色階為雷達回波強度。.....	83
圖 4. 5 為 10m 水平風速圖(m s^{-1})，(a)NCI 組(b)CTL 組，等值線間格為 1 m s^{-1} 。.....	84
圖 4. 6 為海平面氣壓圖，(a)NCI 組(b)CTL 組，等值線間格為 1 hPa 。.....	85
圖 4. 7 為水平雷達回波圖與 1000 hPa 水平風場，(a)為 8 月 6 日 1900 UTC(b) 8 月 7 日 0400 UTC，風羽標示(長桿 10 m s^{-1} ，短桿為 5 m s^{-1})，紅線為圖 4. 2 雷達回波垂直剖面位置，色階為雷達回波強度。.....	86
圖 4. 8 為雷達回波圖剖面圖，時間同圖 4. 1，(a)剖面位置為 21.5°N (b)剖面位置為 22.5°N ，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s^{-1})，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍，色階為雷達回波強度。.....	87
圖 4. 9 為相對溼度剖面圖，時間同圖 4. 1，(a)剖面位置為 21.5°N (b)剖面位置為 22.5°N ，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s^{-1})，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍，色階為相對濕度(%)。.....	88
圖 4. 10 為 CTL 組(紅)和 NCI 組(藍)和觀測的中心氣壓誤差。.....	89
圖 4. 11 觀測累積雨量，24 小時累積雨量(mm)，(a)為 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 7 日 1800 UTC(b)為 8 月 7 日 1800 UTC 至 8 月 8 日 1800 UTC(c)為 8 月 8 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC。72 小時累積雨量(mm)，(d)為 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC。.....	90
圖 4. 12 同圖 4. 11，但為 NCI 組累積雨量。.....	91
圖 4. 13 同圖 4. 11，但為 CTL 組累積雨量。.....	92
圖 4. 14 為(a)NCI 組、(b)CTL 組雷達回波剖面，剖面時間為 8 月 7 日 1500 UTC，剖面位置為剖面 A(24.5°N)。色階為雷達回波強度，藍色實線為南風、虛線為北風，等值線相格為 5 m s^{-1} ，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s^{-1})，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍。.....	93
圖 4. 15 同圖 4. 14 圖，時間為 8 月 7 日 1800 UTC，剖面位置為剖面 B(23.8°N)。.....	94
圖 4. 16 同圖 4. 14 圖，時間為 8 月 7 日 2200 UTC，剖面位置為剖面 C(23°N)。.....	95
圖 5. 1 為 CTL 組模擬路徑(紅色線)與觀測路徑(藍色線)，模擬路徑為一小時一筆，觀測路徑為每六小時一筆。.....	96

圖 5. 2	為 CTL 組和觀測的中心氣壓誤差。.....	96
圖 5. 3	為 925 hPa 至 500 hPa 的水氣通量積分的輻散場，圖 a~圖 l， 間隔兩小時，(a)8 月 7 日 0800 UTC (b) 8 月 7 日 1000 UTC (c) 8 月 7 日 1200 UTC (d) 8 月 7 日 1400 UTC (e) 8 月 7 日 1600 UTC (f) 8 月 7 日 1800 UTC (g) 8 月 7 日 2000 UTC (h) 8 月 7 日 2200 UTC (i) 8 月 8 日 0000 UTC (j) 8 月 8 日 2000 UTC。色階為輻合輻散， 藍色為輻合、紅色為輻散，等值線為 850 hPa 重力位高度，風羽標 示為 850 hPa 風場(長桿 10 m s ⁻¹ ，短桿為 5 m s ⁻¹)。.....	97
圖 5. 4	為 CTL 組雷達回波與與 1000 hPa 水平風場，圖 a~圖 l，間隔 兩小時，(a)8 月 7 日 0800 UTC (b) 8 月 7 日 1000 UTC (c) 8 月 7 日 1200 UTC (d) 8 月 7 日 1400 UTC (e) 8 月 7 日 1600 UTC (f) 8 月 7 日 1800 UTC (g) 8 月 7 日 2000 UTC (h) 8 月 7 日 2200 UTC (i) 8 月 8 日 0000 UTC (j) 8 月 8 日 2000 UTC。色階為雷達回波強度， 藍色實線為海平面氣壓，紅線為剖面 C(23°N)、橘線為剖面 B(23.5°N)、綠線為剖面 A (24.5°N)，風羽標示(長桿 10 m s ⁻¹ ，短 桿為 5 m s ⁻¹)。.....	99
圖 5. 5	為 CTL 組雷達回波剖面，時間為 8 月 7 日 0800 UTC-8 月 8 日 0200 UTC，間隔兩小時，位置為剖面 A(24.5°N)。色階為雷達回波 強度，藍色實線為南風、藍色虛線為北風，箭頭表東西向與垂直方 向上氣流方向與強度(m s ⁻¹)，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍，	101
圖 5. 6	同圖 5.2 為剖面 B(23.8°N)。.....	103
圖 5. 7	同圖 5.2 為剖面 C(23°N)。.....	105
圖 5. 8	(a)為中央氣象局所提供臺東站之氣象要素隨著時間的演變圖， 其中粗黑線為氣壓、黑線為溫度、虛線為露點溫度(b)為 CTL 組臺 東氣象站之溫度(藍線)、氣壓(紅線)隨時間的演變圖，橫軸為時間， 縱軸為氣壓值。.....	107
圖 5. 9	為相對濕度與位溫分布(藍線)，(a)NT 組(b) HT 組(c)CTL 組 (d)ET 組，時間為 8 月 7 日 1700 UTC，剖面位置為 22.45°N，色階 為相對濕度(%)，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s ⁻¹)，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍，。.....	108
圖 6. 1	為 NT 組與 HT 組模擬路徑(紅色線)與觀測路徑(藍色線)，圖(a)NT 組(b)HT 組(c)ET 組。模擬路徑為一小時一筆，觀測路徑為每六小 時一筆。.....	109
圖 6. 2	(a) 敏感度實驗中心氣壓誤差(b)敏感度實驗路徑誤差。其中 NT 組(藍線)、HT 組(綠線)、CTL 組(紅線)、ET 組(紫線)。.....	111
圖 6. 3	為 NT 組累積雨量(m m)，(a)8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 7 日	

1800 UTC (b)8月7日 1800 UTC 至 8月8日 1800 UTC (c)8月8日 1800 UTC 至 8月9日 1800 UTC (d) 8月6日 1800 UTC 至 8月9日 1800 UTC。	112
圖 6. 4 同圖 6.3 為 HT 組累積雨量。	113
圖 6. 5 同圖 6.3 為 ET 組累積雨量。	114
圖 6. 6 為(a)NT組(b)HT組(c)CTL組(d)ET組雷達回波剖面，時間為 8月7日 1500 UTC，剖面位置為剖面 A(24.5°N)。色階為雷達回波強度，藍色實線為南風、藍色虛線為北風，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s^{-1})，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍。	115
圖 6. 7 同圖 6.6 時間為 8月7日 1800 UTC，剖面位置為剖面 B(23.8°N)。	116
圖 6. 8 同圖 6.6 時間為 8月7日 2200 UTC，剖面位置為剖面 A(24.5°N)。	117
圖 6. 9 為 8月6日 1800UTC 至 8月8日 0500 UTC，駛流和颱風每小時移動向量圖，綠色為駛流、黑色為颱風每小時移動向量，其中(a)為 NT組(b)為 HT組(c)為 CTL組(d)為 ET組。	118
圖 6. 10 同圖 6.9，時間為 8月8日 0600 UTC 至 8月9日 1700 UTC。	119
圖 6. 11 為通道效應示意圖。	119
圖 6. 12 為 ET 組減去 CTL 組對於 850hPa - 700hPa 積分的平均風速差，藍色區塊為 ET 組北風分量較強區，紅色區塊為 ET 組南風分量較強區。色階為平均風速差，單位為 m s^{-1} 。	120

第一章、前言

颱風為臺灣地區的重大天然災害之一，在Yumoto and Matsuura (2001)的研究中，指出西北太平洋每年平均有27.8個颱風生成，佔全球颱風生成數量的三分之一，且每年約有三到五個會侵襲臺灣。每到夏秋季節，颱風帶來的強風與豪雨，造成許多災害，如：強風、豪雨、土石流、洪水、山崩等，均對臺灣人民的生命安全有極大的危害。因此可知颱風預報準確度對於臺灣地區相當重要，若能提高準確度，便能預測災害嚴重地區，並提出防護措施，以減少災害的影響程度。由先前Wang and Chen (2008)的研究結果顯示，七月中至九月期間，通過臺灣之颱風頻率增加，而此期間臺灣地區的降雨，約40%為颱風造成。而臺灣地形高聳複雜，由Wu and Kuo (1999)的研究結果指出颱風和地形交互作用之下，降雨分布上受到地形的影響，使得颱風預報上的困難度增加，且颱風登陸前易受到地形的影響，路徑產生打轉或南偏的情形，使登陸位置和時間點較難掌握，增加預報的困難度。故颱風和地形的交互作用，對颱風預報來說是一個重要議題。

1.1 文獻回顧

由前言可知，颱風是變化劇烈且複雜的天氣系統，對臺灣災害的影響不能輕忽。Chien et al. (2008)針對敏督利(2004)颱風的研究指出，颱風環流所引發的豪雨，會受到不同天氣系統的交互作用而增

強。例如颱風出海後，經常引進西南氣流與颱風環流產生輻合，而加強氣流導致豪雨發生。Chien and Kuo (2011)針對莫拉克(2009)颱風研究，研究結果指出在侵臺期間因颱風緩慢移動且與西南氣流之交互作用，加強了降雨的強度。故探討颱風所造成的影響，需考量到周圍天氣系統是否會對颱風造成影響。

而颱風登陸的位置，受到地形的影響也不同，Brand and Blelloch (1974)過去研究針對 1960 到 1972 年 25 個侵臺颱風進行分析，由西進颱風的登陸位置進行分類。研究結果顯示，不同位置登陸的颱風，受到地形影響的結果不同，所造成路徑偏折的情況也不同。另外 Fang et al. (2011)針對莫拉克颱風(2009)使用 WRF 模式模擬，並以系集模擬方式分析地形對降雨的影響，研究結果顯示當臺灣地形移除後，96 小時的累積降雨量為原來的 20%，而臺灣南部地區的總降雨，僅剩下原來的 60%。

Jian and Wu (2008)針對海棠颱風(2005)，在登陸臺灣前路徑打轉使用 WRF 模式進行數值模擬進行研究。研究結果指出，颱風環流受到臺灣地形影響而造成阻塞，在地形和颱風之間，產生向南的低層噴流。而此低層噴流會影響颱風中心附近的風場，從而產生的非對稱現象，使颱風登陸前路徑南偏或打轉，此為地形對颱風產生的通道效應所導致。颱風中心附近的非對稱風場風向和颱風運動方向十分一致，

表示颱風的非對稱風場與颱風移動有很大的相關。而 Jian and Wu (2008)也進行了颱風強度與臺灣地形高度的敏感度實驗。在增強颱風強度實驗中，指出當颱風強度越強，颱風登陸前南偏的程度弱。在地形的敏感度實驗中，將臺灣地形高度降低為原來的 70%、40%、10%以及平坦陸地地形，結果顯示當高度降低為原來的 70%和高度降低為原來的 40%的颱風，有打轉的情形，但路徑南偏的程度較小；高度降低為原來的 10%和平坦陸地地形，颱風打轉情形已經消失，指出當地形高度下降時，通道效應弱，登陸前南偏的程度也減弱。由此可知，颱風登陸前的路徑偏轉和颱風本身結構和地形高度產生的影響有關。

而針對颱風靠近地形後路徑的偏折，Tang and Chan (2014)也提出當颱風靠近中央山脈後，迎風面因上升氣流會產生負渦度，而在地形背風面會產生一氣旋式環流，是因為下沉氣流所導致，而氣旋式的環流會使原本向東北方向前進的颱風路徑發生北偏，故不僅僅是通道效應會造成颱風路徑的偏折，尚有許多地形所造成的因素，會造成颱風路徑的偏折。

也由 Wu (2001)的研究中亦指出使用強度更強的颱風初始渦旋，與地形交互作用後，會產生不同路徑偏折，說明了颱風的初始場，對於後續颱風模擬的重要性。而 Lin (1993)針對颱風路徑偏折和颱風路徑是否連續討論，影響的因素包含颱風本身強度、綜觀環境場、颱

風環流與地形間之交角，故討論颱風路徑的偏折與連續，需考慮颱風本身的結構與地形對颱風所造成的影響。

因此，在數值模式的初始場，如何取得一個和觀測強度相似，且颱風結構與雨帶和實際相符的颱風渦旋，為一重要議題。藉由以上的研究可知，颱風和其他天氣系統的交互作用、臺灣地形對颱風環流引發之降雨強度、颱風移動速度、颱風登陸位置，對臺灣整體影響來說，扮演相當重要的角色。但本研究中蘇迪勒(2015)颱風，因登陸前與中心出海之後，附近無較明顯天氣系統，且未引進西南氣流，故本文針對地形對蘇迪勒颱風影響，與蘇迪勒颱風登陸前後路徑的偏折做分析。也針對獲得結構較完整的初始渦旋的部分做探討，然而因全球模式中，所提供的熱帶氣旋初始強度和結構均較弱，和觀測的實際狀態差異大，故需藉由熱帶氣旋的初始化的方法，改善颱風的強度與結構。

目前常使用的熱帶氣旋初始化方法有：(1)植入虛擬渦旋(Bogus Vortex)：以滿足梯度風關係的虛擬渦旋來替換模式的初始渦旋，作為初始條件(Davidson and Weber 2000; Zhang et al. 2010)。但此方法使用理想化方程，所以渦旋為對稱結構 (Leslie and Holland 1995; Davidson and Webber 2000; Kwon and Cheong 2010)，但主要缺點為渦旋結構不夠真實，為一簡易化的渦旋。(2)資料同化虛擬渦旋(Bogus Data Assimilation, BDA)：透過資料同化，把觀測資料

同化到區域模式的初始條件(Liu and Sashegyi 2012; Wu et al. 2006)，以改善颱風的路徑以及強度預報，透過變分資料同化來建構初始渦旋，首先使用經驗公式產生虛擬觀測值，之後使用變分資料同化(3D-VAR 或 4D-VAR)去同化虛擬渦旋或虛擬觀測資料，便可獲取較佳的初始渦旋，作為模式的初始場(Zou and Xiao 2000; Pu and Braun 2001; Xiao et al. 2006; Liou and Sashegyi 2012)，但因海面上觀測資料不易取得，透過這種方式改善初始及側邊界條件影響較有限。(3)動態初始化(Dynamical Initialization)：動態初始化方法是使用牛頓鬆弛法和短時間週期去反覆積分，而得到一個和環境場達平衡的初始渦旋(Bender et al. 1993; Kurihara et al. 1993; Hendricks et al. 2011; Zhang et al. 2011; Cha and Wang 2012)。

本文所使用的初始化方法(Nguyen and Chen 2011)(簡稱 NC2011)，即是透過模式反覆循環積分的一個動態初始化熱帶氣旋的方法，透過高解析度的中尺度模式，將渦旋在給定的環境場中，不斷反覆積分，每次積分時間為1小時，但隨著每小時的預報，颱風會偏移原本位置，需將颱風定位回初始位置，反覆進行直到颱風中心氣壓接近觀測值，才停止積分。Nguyen and Chen 2011使用NC2011方法，對莫拉克颱風(2009)、薔蜜(2008)、卡玫基(2008)進行模擬，產生的颱風渦旋結構接近實際觀測。研究結果顯示，NC2011初始化方法提

高熱帶氣旋模擬的準確度，尤其是對於颱風初始強度的模擬，而在觀測資料缺乏的海平面上，NC2011方法顯得格外重要。

1.2 研究動機

經由以上文獻回顧可知，颱風所挾帶之豪雨雖為臺灣相當重要的降水來源，但往往對臺灣造成嚴重的影響，在颱風侵臺期間，對流系統會因迎風面，而增強旺盛對流導致豪雨發生。而氣旋初始結構與強度，亦為影響模擬颱風模擬結果的重要因素之一。因氣旋初始狀態來自全球模式，結構與強度均偏弱，如果在颱風初始條件調整得與觀測接近，可以預期將會顯示較好的模擬結果。且中央山脈地形高聳，亦會對天氣系統造成影響，故本研究將調整地形高度，討論模擬結果所造成的改變。而環境場的駛流常引導著颱風移動的方向，無論海溫、大尺度的大氣環流改變，甚至太平洋副高西伸，均會影響颱風路徑，故本研究也探討駛流隨著颱風登陸前後所造成的改變(Wu et al. 2005)。

而颱風與地形的交互作用，造成颱風登陸前偏移或打轉，一直都是研究的重要議題，Jian and Wu(2008)藉由不同個案，如海棠颱風的研究分析出打轉的可能原因。而颱風和臺灣地形交互作用的影響，

除了通道效應之外，可能還有其他機制導致颱風偏移，也有待繼續研究。

本研究之研究個案蘇迪勒颱風(2015)，因強度較強，適合使用氣旋初始化方法加強初始渦結構與強度，改善來自全球模式的初始颱風強度。且較特別的一點為蘇迪勒颱風不像多數颱風，登陸前路徑產生南偏，反而是登陸後才出現路徑南偏的情形。本研究除了針對之前的研究作驗證，希望能找出其他造成颱風登陸前南偏的機制。為了更深入的了解颱風受到地形的影響，本研究使用NC2011方法對蘇迪勒颱風進行初始強度的加強，並使用WRF模式接續72小時模擬，並將模擬結果輸出進行分析工作。

本研究共分為七個章節。第一章為文獻回顧及研究動機；第二章為個案介紹和觀測分析；第三章為資料來源與研究方法，而氣旋初始化結果模擬結果將於在第四章做討論；第五章為氣旋數值模擬結果；第六章藉由改變地形高度進行敏感度實驗；最後一章為結論與未來展望。

第二章、個案介紹和觀測分析

2.1 蘇迪勒颱風(Soudelor ; 2015)

蘇迪勒颱風於 2015 年 7 月 28 日 0000 UTC 在馬紹爾群島東北方海面上生成，在 7 月 30 日 1800 UTC 增強為輕度颱風，同時在副熱帶高壓東風的引導下，蘇迪勒穩定西移往臺灣前進。蘇迪勒颱風於 8 月 2 日 2000 UTC 增強為中度颱風，8 月 3 日 2000 UTC 增強為強烈颱風，之後持續穩定的往西北方向接近台灣，因 8 月 5 日蘇迪勒颱風進入眼牆更替週期，於 5 日 1400 UTC 蘇迪勒颱風強度減弱為中度颱風，蘇迪勒最大風速每秒 48 公尺。中央氣象局於 8 月 6 日 0300 UTC 與 8 月 6 日 1800 UTC 分別發布海上、陸上颱風警報。颱風 8 月 7 日 2000 UTC 登陸於花蓮秀林鄉，8 月 8 日 0300 UTC 從雲林縣臺西鄉出海，而出海後颱風環流受到臺灣地形的破壞，迅速減弱為輕度颱風。蘇迪勒颱風是以西北方向移動通過臺灣，氣象局分類為 type-3 型颱風，蘇迪勒颱風觀測海水平最低氣壓 930 hPa、七級風半徑為 300 公里，十級風半徑 100 公里、近中心最大風速為 48 m s^{-1} 。且由中央氣象局颱風路徑圖(圖 2.1)，可看見蘇迪勒颱風登陸前穩定向西北方向移動，但於登陸後路徑南偏，此現象和多數颱風再登陸前路徑南偏不太相同，而蘇迪勒颱風出海後向西北方向移動至福建地區。

蘇迪勒颱風在臺灣東北部、西南部所引發的超大豪雨，侵臺期間

5 死 4 失蹤 185 傷，也造成 400 萬戶停電。臺灣東北角沿海出現巨浪，龍洞浮標測得浪高 17.1 公尺，刷新該浮標最大浪高紀錄。馬祖測站打破紀錄測出 15 級陣風；臺北測站最大陣風達 13 級。蘇迪勒颱風侵臺期間，臺灣多數地區淹水停電，使臺灣損失慘重。

2.2 觀測分析

本研究中觀測資料使用中央氣象局所提供的 2015 年 8 月 6 至 9 日之地面、各層高空天氣圖、雷達回波圖，而針對紅外線雲圖的部分來自日本氣象廳氣象衛星中心多功能運送衛星 MTSAT (Multi-functional Transport Satellite)。於 2015 年 8 月 6 至 9 日之累積雨量部分，取自中央氣象局的自動降雨與氣象觀測站網 (Automated Rainfall and Meteorological Telemetry System，簡稱 ARMTS) 之逐時雨量資料。

a. 綜觀環境介紹

由 8 月 6 日 1800 UTC 地面天氣圖(圖 2.2a)顯示，蘇迪勒颱風中心位於臺灣東側約 600 公里外海，中心氣壓 930 hPa，強度屬於強度颱風。太平洋高壓位於臺灣東北側外海，其南側有一熱帶低壓，同時阿留申低壓位於日本北部外海，於日本北部和東北部還有一鋒面系統。於 8 月 7 日 0600 UTC(圖 2.2b)蘇迪勒颱風和太平洋高壓西南側的熱帶低壓，相較於前 6 小時往西北方向移動，同時太平洋高壓些微向北縮退，日

本北部鋒面系統消失，僅剩日本東北部外海還存在鋒面系統。於 8 月 7 日 1800 UTC (圖 2.2c) 蘇迪勒颱風中心位於臺灣東部外海約 100 公里，中心氣壓為 930 hPa，中心氣壓在登陸前都維持 930 hPa 左右，在此時間點臺灣北部開始受到較明顯的外圍環流影響，臺灣北部、西部及南部地區風向為東北或西北風，太平洋高壓相較於前 6 小時向北退去，日本東北部鋒面系統也變得更弱，太平洋高壓西南側的熱帶低壓已發展為輕度颱風莫拉菲，中心氣壓強度為 998 hPa。而 8 月 8 日 0600 UTC (圖 2.2d) 蘇迪勒颱風中心出海，此時臺灣北部為東風，中部為西風，西南部地區為西南風，風向隨著颱風西南側環流影響而改變，中心氣壓強度減弱為 960 hPa，相較於前 6 小時減弱了 30 hPa，可見臺灣地形對颱風強度的破壞具有一定的影響力。而 8 月 8 日 1800 UTC (圖 2.2e) 與 8 月 9 日 0600 UTC (圖 2.2f) 颱風中心登陸中國福建，中心氣壓也減弱為 970 hPa 與 997 hPa，對臺灣地區影響較小。

由中央氣象局 850 hPa 天氣圖 (圖 2.3) 顯示，蘇迪勒颱風於 8 月 6 日 1200 UTC 時位於臺灣東南方外海，阿留申低壓位於日本東北側，位置相較於地面天氣圖偏西，而蘇迪勒颱風之東北方海面上有一熱帶低壓，後來會發展為熱帶低壓莫拉菲 (Molave)。蘇迪勒颱風於 8 月 7 日 1200 UTC 受地形影響越來越明顯，西側環流風速明顯較強，為 35-40 m s⁻¹ (圖 2.3c)。臺灣整體上空受颱風西側環流影響，主要為偏東北風。

於8月8日0000 UTC時(圖2.3d)，颱風中心位於臺灣上空，臺灣北部為東風，風速約為 40-45 m s⁻¹；臺灣東部亦為東風，風速約為10-15 m s⁻¹；臺灣南部為西風，風速約為35-40 m s⁻¹；中部為西北風，風速約為40-45 m s⁻¹。於 8月8日1200 UTC時蘇迪勒颱風位於外海，颱風東側環流影響臺灣西南部，但風速明顯減弱，約為25-30 m s⁻¹。於8月9日0000 UTC時，颱風登陸華南地區，強度減弱，全臺灣為西南風，且最強風速減弱至20-25 m s⁻¹(圖2.3f)。

由中央氣象局 700 hPa 的天氣圖顯示，於8月6日0000 UTC(圖2.4a)至8月7日0000 UTC(圖2.4b)，蘇迪勒東側熱帶低壓因強度較弱，到了700 hPa結構較不明顯。8月7日1200 UTC，蘇迪勒西側環流風速明顯較強，為35-40 m s⁻¹(圖2.4c)，由此可知颱風結構完整，強風速區由850 hPa延伸到 700 hPa。在700 hPa 時，除了臺灣東部風速較850 hPa略大一些，其他地區風速都比850 hPa來的弱。

由中央氣象局500 hPa的天氣圖 (圖2.5)顯示，到了500 hPa颱風結構較不明顯，且蘇迪勒東側的熱帶低壓，因強度較弱幾乎看不到結構。於8月7日1200 UTC開始受地形影響，其東北側環流風速比西側強，約為35-40 m s⁻¹(圖2.5c)，由此可知颱風結構完整，強風速區由850 hPa延伸到500 hPa。於8月8日0000 UTC時(圖2.5d)，颱風中心位於臺

灣上空，風場和850 hPa、700 hPa相似。

蘇迪勒颱風在初期和後期均受到太平洋高壓的西伸影響，於初期8月6日1800 UTC，太平洋高壓的西伸，引導蘇迪勒颱風往西北方向移動，8月7日2000 UTC颱風中心從花蓮登陸，7個小時後，於8月8日0300 UTC颱風中心於雲林出海。整體來說蘇迪勒颱風之移動路徑，主要穩定向西北移動，唯獨在登陸後向南偏折。

b. 中尺度對流分析

由中央氣象局的雷達回波在8月5日2200 UTC (圖2.6a)至 8月6日0400 UTC期間(圖2.6b)顯示，蘇迪勒颱風的外圍環流，尚未影響臺灣，颱風中心位於臺灣東部外海。由8月6日1000 UTC雷達回波圖(圖2.6c)，顯示此時颱風西側外圍環流有一波較明顯的回波影響臺灣東北部地區及東北部外海，在8月6日1600 UTC (圖2.6d)至2200 UTC (圖2.6e)，原本影響臺灣東北部地區及東北部外海的對流系統減弱。於8月7日0400 UTC 時(圖2.6f)颱風中心往西靠近臺灣，颱風西側外圍影響臺灣北部，東南部外海也出現較強回波。

在8月7日1000 UTC (圖2.6g)至1600 UTC期間 (圖2.6h)，颱風外圍環流逐漸向臺灣靠近，且北部回波範圍及強度和東南部外海回波強度皆增強。8月7日2200 UTC (圖2.6i)接近登陸時間點，颱風環流覆蓋北臺灣，颱風西側環流之對流帶自海峽上空移入臺灣西部地區，此

時臺灣南部颱風結構較鬆散。8月8日0400 UTC時(圖2.6j)，颱風眼牆結構受到地形的破壞，結構漸漸瓦解，接著繼續向西北方向移動出海。8月8日1000 UTC(圖2.6k)至1600 UTC(圖2.6l)時颱風逐漸遠離臺灣，颱風中心附近對流系統，隨著颱風遠離而離開臺灣，而當颱風中心出海後，因臺灣西南部迎風面受颱風環流影響，使雷達回波有增強的現象。

c. 降雨分析

由中央氣象局自動雨量站之觀測資料(圖2.7)，8月6日0000 UTC至1200 UTC(圖2.7a)和8月6日1200 UTC至7日0000 UTC(圖2.7b)受颱風外圍環流影響，此兩個期間12小時的累積雨量集中在臺灣北部地區。8月7日0000 UTC至1200 UTC之12小時累積雨量增大且降雨範圍也擴大(圖2.7c)。而8月7日1200 UTC至8日0000 UTC(圖2.7d)，此12小時的累積雨量比起前12小時大幅增加且降雨範圍也擴大到西北部及中南部山區，顯示此時期蘇迪勒颱風之西側外圍環流，受到中央山脈北段的阻擋，導致降雨分布集中於臺灣東北部及西南部山區。而8月8日0000 UTC至1200 UTC(圖2.7e)此期間蘇迪勒颱風的暴風圈籠罩臺灣地區，使得此12小時全臺有雨，且累積雨量主要有兩大區塊，為臺灣東北部及西南部，可以知道颱風中心此時位於臺灣中部山區，北側颱風環流受到臺灣北部山脈影響，造成舉升而產生降雨；而相同

的，南側颱風環流受到臺灣西南部山脈影響，也造成降雨。8月8日1200 UTC 至9日0000 UTC(圖2.7f)，此12小時累積雨量，多集中在臺灣西南部，因颱風中心出海，颱風南部西風環流，受中央山脈南段影響使氣流受到抬升，導致西南部地區產生降雨。8月9日0000 UTC至1200 UTC(圖2.7g)的累積雨量，因為颱風已漸漸遠離臺灣，比起前12小時更少了。而由8月9日1200 UTC至10日0000 UTC的12小時累積雨量，可知颱風低壓風圈已遠離臺灣，並無產生太多降雨(圖2.7h)。

綜合上述，蘇迪勒颱風影響臺灣期間約72小時(8月6日至9日)，全臺皆有降雨發生，但主要的兩處降雨位於臺灣東北部及西南部地區。蘇迪勒颱風為臺灣地區帶來豐沛降雨，但由於短時間內降雨強度過大，導致雨水無法宣洩，而造成淹水災情發生。由於蘇迪勒颱風出海後，沒有引進西南氣流，故西南部的降雨，多為颱風本身環流受地形抬升而產生。

2.3 衛星雲圖

由紅外線衛星雲圖顯示，當颱風中心位於臺灣東南方外海時，颱風眼清晰可見，且颱風西南側環流與南海北部上空的對流雲系發生共伴，在8月7日1600 UTC 時間點(圖2.8a)，颱風中心附近之對流系統持續發展，颱風眼依舊存在。由臺灣西方外海移登陸臺灣後，到了8

月7日1900 UTC (圖2.8b)至8月8日0100 UTC (圖2.8d)期間，颱風眼受到地形的破壞，之後颱風持續向西北移動。8月7日1900 UTC (圖2.8b)後的時間點，颱風中心出海後，漸漸遠離海北部上空的對流雲系，使得颱風結構越來越鬆散。

2.4 小結

綜合上述，蘇迪勒颱風於2015年8月6日至9日期間影響臺灣，颱風本身環流受到地形舉升，為臺灣地區帶來超大豪雨。蘇迪勒颱風出海後，只剩下外圍環流影響臺灣，並沒有引進西南氣流，故此個案在後續地形敏感度實驗的分析較為單純，可以排除其他變因，直接了解地形所造成的影響。而蘇迪勒颱風造成臺灣地區降雨主要受到颱風環流影響，降雨主要發生於臺灣東北及西南部迎風面地區。

由於蘇迪勒颱風為強烈颱風，因此在模式模擬颱風的初始時間，颱風強度往往無法接近真實颱風之強度，結構也會較真實颱風鬆散，因此若使用未經過初始化過的颱風來進行模擬，初始颱風強度不足而難以分析颱風的結構或地形造成的效應，對於中尺度系統生成及發展的機制，也較難掌握。因此本研究使用氣旋初始化技術加強颱風初始的強度，使一開始颱風的強度與結構更接近真實，並利用模擬結果作更進一步的分析探討。

第三章、研究方法

為了解氣旋初始化對蘇迪勒颱風個案之影響，本研究使用 Nguyen and Chen(2011)的颱風初始化(簡稱 NC2011)進行模擬測試，並使用 WRF(Weather Research and Forecasting)模式 V3.8 版進行後續 72 小時數值模擬。藉由模式時間和空間的高解析度，了解氣旋強度、結構的變化，並進行地形高度改變之敏感度實驗，比較颱風路徑之差別。

3.1 模式介紹

本研究使用 WRF 模式進行蘇迪勒颱風的模擬實驗。WRF 模式為一個中尺度數值天氣預報系統，可以做為數值預報以及大氣研究之用途，適合模擬中小尺度的天氣現象，可透過資料同化和各種物理參數組合去改善模擬的結果，使模擬更接近真實。而 WRF 模式由美國國家大氣研究中心(NCAR)負責技術維護和支援，本文在氣旋初始化的部分，因使用 NC2011 的颱風初始化方法，故在初始化部分使用 WRF V3.3 版；在後續 72 小時模擬，使用的是 WRF V3.8 版。

WRF 模式為完全可壓縮以及非靜力模式，時間積分使用 3 或 4 階的 Runge-Kutta scheme，在水平方向上使用 Arakawa C 網格空間，垂直方向使用會隨地形高度改變的 σ 座標，離散化為 2 至 6 階參數，邊界條件則可使用內建參數，可依需求去設定模式與使用實際觀測資

料。而在 WRF 模式上，可將物理參數做改變，如：積雲參數化、微物理參數化、輻射參數化、邊界層參數化等。在進行 WRF 模擬之前，會進行一道資料處理過程稱為 WPS(WRF Preprocessing System)，WPS 是將觀測資料、地形和地圖資訊內插至 WRF 模式的網格點上，進而產生出模式初始場，有了初始場後，再進行 WRF 模式模擬。模式結果輸出後，可以透過 RIP、GrADS、NCAR Graphic 以及 Vis5D 等繪圖軟體進行繪圖。此外，為了降低模式初始場的誤差，WRF 模式能進行資料同化，將觀測資料同化至模式初始場，進而改善初始環境狀態。WRF 模式的簡單示意圖(圖 3.1)。

3.2 WRF TC initialization 簡介

本研究使用之全球模式解析度為五十公里，如颱風是以五十公里解析度存在於模式中，會造成模式中颱風的強度偏弱，颱風的特徵因粗解析度而不明顯，而無法準確的將颱風定位。故在氣象模式模擬颱風的過程，透過氣旋初始化方法改善模式中颱風的初始場，讓颱風在模式中接近真實的狀態，提高颱風熱力、動力結構以及定位上的準確性，再進行後續的預報。而常用的颱風初始化方法有三種：(1)資料同化(Bogus Data Assimilation):在一段時間內，蒐集觀測資料(如：雷達資料、飛機觀測及衛星資料)，透過數學計算與物理調整，去改善模式初始場，進而改善預報結果。但颱風在海洋上生成與發展，因

此颱風實際觀測資料不易取得，如果使用資料同化的技術，需使用大量觀測資料，而使資料同化的效果不佳。(2)植入虛擬渦旋(TC Bogus): 利用觀測資料之實際颱風強度，將虛擬渦旋植入模式網格中，使真實強度的渦旋存在模式初始場中。但植入的颱風為理想化與簡易化的渦旋，與實際颱風環流結構不盡相同。(3)動態初始化方法(Dynamical Initialization): 透過模式短時間的反覆循環積分，進而調整模式中的颱風環流，使區域模式中的颱風強度貼近真實情形。

而 NC2011 颱風初始化方法，為一種新型的區域模式颱風初始化方法，模式以植入颱風為基礎，並透過模式短時間的反覆循環，利用實際觀測的颱風中心氣壓為目標值，將颱風不斷的加強，進而調整模式中的颱風環流，使區域模式中的颱風強度接近真實情形，其初始化方法概念圖如圖 3.2 所示。但在調整颱風的過程中，颱風會受到環境駛流的影響而移動，因此調整一段時間後，需將颱風移回實際位置，才能讓颱風在正確的環境場下，發展至接近真實的結構。NC2011 颱風初始化方法，能增強颱風中心暖心特徵，改善模式中颱風偏弱的問題，此方法需不斷重複數次，直到颱風強度與實際情形相當後，即完成颱風初始化的過程，才開始進行後續的颱風預報。在本研究中，針對蘇迪勒颱風使用 NC2011 所提出的初始化方法進行颱風初始強度的調整，且進行了 40 次的加強，此外 NC2011 初始化方法能夠將颱風本

體與環境場分離，初始化循環時只有改變颱風本體，而不改變颱風周遭的外圍環流與環境場。後續將比較區域模式使用 NC2011 颱風初始化方法前後的差異，並討論以此方法進行颱風預報的結果。

3.3 模式設定

本研究採用兩層巢狀網格進行模擬，第一、二層網格水平解析度分別為 18 公里、6 公里，垂直層為 37 σ 層。使用的網格點數分別為：第一層 301 \times 221、第二層 385 \times 337，其範圍如圖 3.3。第一層巢狀網格為較大尺度的駛流場，提供模擬颱風個案較準確的駛流風場；第二層為網格為以氣旋初始位置為中心，進行模式調整進而改善颱風強度結構，使模式中颱風強度更接近觀測。

本研究所採用的物理參數化，在微物理參數化採用 Goddard、積雲參數化採用 Grell-3、邊界層參數化採用 YSU scheme、長波參數化採用 rtm scheme、短波參數化採用 Dudhia scheme。

而模擬中選用 ECMWF 提供的 ERA-interim 再分析場資料作為 WRF 模式之初始場與邊界條件，蘇迪勒颱風個案使用的是每 6 小時一筆的資料，模擬期間為 2015 年 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC 共 72 小時，水平空間解析度為 0.5 $^{\circ}$ \times 0.5 $^{\circ}$ ，共 27 個變數，垂直層數為 37 層。

3.4 實驗設計

模式地圖使用藍伯特投影法，兩層巢狀網格設定(圖 3.3)，網格中心經度 126.8°E ，緯度 21.5°N ，Domain1(D1)水平解析度為 18 km，網格數 301×221 ；Domain2(D2) 水平解析度為 6 km，網格數 385×337 ，垂直層數共 37 層以 σ 座標表示，由底層至頂層依序為 1.0、0.994、0.983、0.968、0.950、0.930、0.908、0.882、0.853、0.821、0.788、0.752、0.715、0.677、0.637、0.597、0.557、0.517、0.477、0.438、0.401、0.365、0.332、0.302、0.274、0.248、0.224、0.201、0.179、0.158、0.138、0.118、0.098、0.078、0.058、0.038、0.018、0.0。

模式設定中，藉由改變積雲參數法、微物理過程、邊界層參數法的搭配組合，經多次實驗後，選取颱風路徑及臺灣東北部與西南部降雨模擬結果最接近觀測的參數組合，稱為控制組(Control Run)，簡稱 CTL 組，CTL 組保留完整的地形和地表狀態。

為了瞭解颱風初始化後的結構及臺灣地形對颱風結構破壞的程度，本研究設計兩部分共五組實驗(表 3.1)。將颱風未經過初始化後的模擬，稱為 NCI 組(No Cyclone Initialization)，由 NCI 組和 CTL 組做比較，分析初始化對颱風結構的影響。在前人針對海棠颱風的研究(Jian and Wu 2008)的研究中，指出颱風登陸偏轉的原因，為地形所造成的通道效應，因此為了討論地形對於颱風打轉或偏移的影響，我們以 CTL 組為基礎，設計不同的臺灣地形高度進行敏感度測試。對

於敏感度實驗的部分，無地形高度，稱為 NT(No Terrain)；地形高度為 CTL 的 0.5 倍，稱為 HT(Half Terrain)；地形高度為 CTL 的 1.5 倍，稱為 ET(Extra Terrain)。

每個個案的模擬時間和參數組合均相同，和 CTL 不同的條件和詳細的實驗設計呈現於表 3.1。



第四章、氣旋初始化結果比較

4.1 初始化颱風結構和強度比較

颱風經過初始化後，由(圖 4.1)至(圖 4.6)中，圖 a 為未經過初始化的 NCI 組颱風，圖 b 為經過初始化的 CTL 組颱風，討論颱風在初始結構上的差異。

由颱風垂直剖面的平均氣壓與最強風速圖(圖 4.1a、b)，可知 CTL 組颱風的氣壓(圖 4.1b)，明顯較 NCI 組颱風強(圖 4.1a)。CTL 組最低氣壓到達了 926 hPa，眼牆區最強平均風速 48 m s^{-1} ，而未經過初始化的 NCI 組颱風最低氣壓只有 980 hPa，眼牆區的最強平均風速 23 ms^{-1} 。而由 NCI 組可以看見東側眼牆的風速相較於西側強，而此現象和 CTL 組一致。

由溫度與風速的颱風垂直剖面(圖 4.2a、b)，可知 CTL 組颱風的南北風的風速較 NCI 組強，分布的也較為密集，且由 CTL 組的色階可看出颱風暖心結構，剖面的溫度分布也較貼近颱風真實狀況，而 NCI 組卻沒有出現暖心結構。由圖 4.2a 與 4.2b 比較，可見 NCI 組上升運動較弱，且上升氣流的強度相似；而 CTL 組則於颱風眼牆區有較強的上升運動。

由水氣混合比與風速的颱風垂直剖面(圖 4.3a、b)，CTL 組颱風水氣混合比較高的位置集中在颱風眼牆區(4.3b)，而等風速線於颱風

眼牆區較為密集，風速梯度也較 NCI 組大；而 NCI 組的颱風，水氣混合比較高的位置集中在東側颱風眼牆(圖 4.3a)。由水氣混合比和垂直風速剖面圖的分布可知，颱風經過初始化後，水氣混合比的分布更接近真實颱風，水氣混合比較高的區域集中在眼牆區，颱風結構較為對稱，水氣量也較高。

由水平雷達回波圖(圖 4.4a、b)可見，CTL 組的颱風雷達回波颱風眼和颱風眼牆清晰可見，且在眼牆區出現較強回波，颱風水平結構對稱；而 NCI 組的颱風，水平雷達回波弱，結構較不對稱，看不出颱風眼的存在，雷達回波強度不如 CTL 組密集，亦看不出颱風眼牆結構，只有在颱風東北側的外圍環流出現較強回波(圖 4.4b)，相較於觀測 NCI 組回波不夠完整。故經由颱風初始化方法，使颱風眼牆結構更完善。

由水平風速圖(圖 4.5a、b)，可知 CTL 組颱風風速較強，等風速線密集，較接近真實颱風風速分布，眼牆區的風速約達 46 m s^{-1} ；而 NCI 組的颱風，最強風速區出現在颱風東北部，風速約達 23 m s^{-1} ，且 NCI 組最牆風速區和雷達回波中回波較強區相符(圖 4.4b)，回波較強區出現最大風速，均集中於 NCI 組颱風東北側。

由海平面氣壓圖(圖 4.6a、b)可見颱風結構如同前述，可知 CTL 組的颱風，海平面氣壓線較為密集，具有較完善的水平結構，結構繁

實；而 NCI 組的颱風結構差，水平氣壓梯度小，颱風外圍氣壓值無明顯差異，主要為中心等值線密集程度的不同，NCI 組海平面氣壓線鬆散。故經過初始化後，颱風中心氣壓強度較強，等壓線也分布的較密集，且由模式中 72 小時的中心氣壓誤差(圖 4.10)，可見颱風經過初始化後，在後續模擬中也會降低模式初期的中心氣壓誤差。

4.2 初始化後颱風結構隨著時間的改變

為了探討颱風經過 NC2011 的初始化加強後，在模式初期是否會因為時間或環境而減弱，本章節將未經氣旋初始化的 NCI 組與經過初始化加強氣旋強度的 CTL 組相互比較以分析其差異。如使用植入虛擬渦旋(Bogus Vortex)進行氣旋初始化，缺點為渦旋結構會隨著時間削弱瓦解，本文希望藉由 NC2011 的初始化方法加強初始颱風結構，改善此缺點。因初始時間(8 月 6 日 1800 UTC)颱風在垂直方向上，氣流尚未出現上升或下降運動，故挑選初始時間後 1 小時的時間點(8 月 6 日 1900 UTC)，對蘇迪勒颱風中心做東西向剖面，剖面緯度為 21.5°N ；由於前 10 小時中，渦旋結構在海上可以維持一段時間，颱風中心剖面結構大同小異，故僅挑選時間較晚的 8 月 7 日 0400 UTC(模擬第 9 小時)進行比較，其剖面緯度為 22.5°N 。初始時間後的第 1 小時，颱風眼牆結構明顯，颱風眼清晰可見(圖 4.7a)。而由雷達回波剖面(圖 4.8a)、相對溼度剖面(圖 4.9a)，可見經過初始化後的颱風，在初期

結構完整。比較模擬一段時間後的雷達回波剖面(圖 4.8b)、相對溼度剖面(圖 4.9b)，顯示第 9 小時的颱風結構相較於第 1 小時而言，並無隨著時間減弱，反而更加完整。因颱風位於海面，無受到地形影響，故經過氣旋初始化後，隨著時間颱風結構依然完整，也因颱風位於海上，強度有更好的發展條件，使得颱風結構並未因為環境或者時間的因素而削弱。而由颱風相對濕度的剖面(圖 4.9)，可見颱風眼牆有較高的濕度，且東西兩側對稱，且濕度的分布並無隨著時間降低。故可以知道使用 NC2011 初始化，對於蘇迪勒颱風的初始強度的維持，並無隨著時間減弱。

4.3 初始化颱風的降雨比較

由 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 7 日 1800 UTC 觀測的 24 小時累積雨量，可知第一天降雨集中在臺灣東北部宜蘭地區(圖 4.11a)，為蘇迪勒西側外圍環流受到臺灣北部地形抬升所導致。相比 CTL 組(圖 4.13a)和 NCI 組(圖 4.12a)的第一天累積雨量，兩組均集中於臺灣北部，但 CTL 組的颱風第一天所造成的累積雨量較多，累積雨量到達 600 mm，而 NCI 第一天的累積雨量到達 300 mm。可能是 CTL 組颱風強度較強，也伴隨較多的雨量造成過度預報，因此第一天累積雨量和降雨分布，是 NCI 組較接近觀測。

由 8 月 7 日 1800 UTC 至 8 月 8 日 1800 UTC 的 24 小時累積雨量，

第二天降雨主要集中於臺灣東北部和臺灣西南部兩個區塊(圖 4.12b、圖 4.13b)，因為此段時間颱風中心經過臺東、南投與雲林地區，而臺灣東北部和西南部的累積雨量，主要是颱風環流受到地形阻擋，地形使氣流抬升、水氣輻合，而導致降雨發生。而 CTL 組和 NCI 組在東北部累積雨量最大的地方均達 700 mm，兩組均過度預報，但 CTL 組最大累積雨量達 700 mm 的區域範圍比 NCI 組大。而對於雲林地區的累積雨量，NCI 組約為 200 mm、CTL 組約為 100 mm、觀測約 80 mm，故 CTL 組在雲林地區的累積雨量和觀測約較為接近。對於臺灣西南部的降雨，NCI 組最大累積雨量到達 800 mm，而 CTL 組到達 600 mm，其西南部降雨分布也較集中和觀測較為接近。而 8 月 8 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC 為第三天的 24 小時累積雨量(圖 4.12c、圖 4.13c)，因颱風已經遠離，故兩組的累積雨量均不多。

而由 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC 的 72 小時累積雨量圖(圖 4.12 d、圖 4.13 d)分析，不論 CTL 組或 NCI 組東北部降雨均過度預報，達到 1000 mm 左右，觀測最大值約 900 mm，且強降雨範圍比觀測大。而西南部地區 CTL 組和 NCI 組累積雨量，還是稍微多於觀測，但 CTL 組的降雨分布較接近觀測，200 mm 以上降雨分布集中嘉義、臺南、高雄、屏東地區，而 NCI 組 200 mm 以上降雨分布範圍較大延伸到雲林地區，而嘉義東部地區 NCI 組的累積雨量也未達

500 mm 以上，故 NCI 組在 72 小時累積雨量分布和觀測相似的程度有一段距離。

綜合以上累積雨量分析，可知 CTL 組和 NCI 組不論在東北部或西南部降雨均過度預報(圖 4.12 d、圖 4.13 d)。在第二天的降雨，對於東北部地區的累積雨量 CTL 組比 NCI 組多，因為 CTL 組颱風經過初始化後強度增強了，所以降雨量也更多。同樣地在 72 小時降雨分布上，CTL 組的降雨分布(圖 4.13d)和觀測較相似(圖 4.11d)，在東北部出現比 NCI 組稍大的累積雨量。而在西南部，反而是 NCI 組的累積雨量和範圍較大較不集中，故蘇迪勒個案來說，藉由初始化加強颱風強度後，並沒有絕對性的增加臺灣每個地區的累積雨量。但以此個案來說，藉由初始化增強蘇迪勒颱風後，改善了降雨分布，使降雨分布的範圍更集中，但也因為加強了颱風強度，使 CTL 組東北部 72 小時累積雨量過度預報的程度比 NCI 組大。

4.4 初始化颱風的雷達回波剖面比較

氣旋初始化初期，由水平雷達回波(圖 4.7 a、b)和颱風垂直溫度和水氣混合比(圖 4.5a、b 與圖 4.6 a、b)，可知 CTL 組颱風在初期時，垂直結構及強度均比 NCI 組完整。為了更仔細探討 NCI 組及 CTL 組颱風中心位於東側海面上、颱風中心位於陸地時間點、颱風中心位於出海時間點前後，地形對於颱風結構的影響。

在 2015 年 8 月 7 日 1500 UTC 時颱風中心剖面位置為 24.5°N ，此時颱風中心還位於臺灣東側洋面上時，可見 NCI 組颱風垂直結構較弱，最強北風風速僅 20 m s^{-1} (圖 4.14a 虛線)，而 CTL 組卻高達 40 m s^{-1} (圖 4.14b 虛線)，且中央山脈迎風面 CTL 組也有較強的上升運動。

在 2015 年 8 月 7 日 1800 UTC 時颱風中心剖面位置為 23.8°N ，此時颱風中心位於臺灣陸地上方，將颱風北側環流區分為東西兩側分別討論。由 NCI 組發現北側颱風環流過山後回波明顯削弱，颱風西北側環流回波並無延續至陸地，而 NCI 組最強北風僅 40 m s^{-1} (圖 4.15a)；而 CTL 組颱風北環流過山，颱風西北側環流回波由高層延續到陸地，結構較 NCI 組完善，而在西側外海 CTL 組最強北風約 65 m s^{-1} (圖 4.15b)；在颱風的東北側環流，CTL 組有較明顯的眼牆結構(圖 4.15b)，最強南風風速高達 65 m s^{-1} ，而 NCI 組最強南風風僅 45 m s^{-1} 。

2015 年 8 月 7 日 2200 UTC 時的颱風中心剖面位置為 23°N ，此時為颱風中心出海的時間點，可見 CTL 組位於臺灣西南部迎風面有較強的上升運動，且上升運動的範圍延續到高層(圖 4.16b)。而 NCI 組在臺灣西南部的迎風面，上升運動僅延續至 500 hPa 左右，亦可比較出 NCI 組(圖 4.16a)垂直結構相較 CTL 組(圖 4.16b)鬆散。

故經過氣旋初始化後，加強颱風垂直結構，使登陸前和出海後，受到地形舉生的程度也較強。且 CTL 組在登陸期間，北側環流過山後，

雖然受到地形的影響而破壞，但整體而言 CTL 組垂直結構較 NCI 組完整。

4.5 小結

綜合以上討論，可知當氣旋使用 NC2011 初始化加強後，可以改善颱風初始的強度，使氣旋的水平與垂直結構更完整，但降雨分布僅些微的改善，使降雨分布更加集中，而對於東北部降雨過度預報的情形，並無明顯改善，因為 NCI 組本身於東北部降雨已經較觀測強，經過初始化後的 CTL 組颱風降水強度更大，很難期待能改善東北部過度預報的情形。本研究在選取控制組的過程中，經過很多測試，如：改變模式中微物理過程、積雲參數法、邊界層條件和模擬的初始時間，均未能找出對於東北部累積雨量相較於觀測沒有過度預報的組合，僅能挑選其中降水較少的當作本研究中的參數組合，故對於蘇迪勒颱風模擬而言，其東北部地區累積雨量過大的原因還需釐清。但明確的是當氣旋經過 NC2011 的初始化方法加強後，會使颱風初始結構更加完善，且不會隨著時間有結構消散或強度減弱的狀況。而當颱風中心還位於東側洋面上時，可見 NCI 組颱風垂直結構較弱，CTL 組則具有較強的上升運動；當颱風中心位於臺灣陸地上方，可見 NCI 組環流過山後回波明顯削弱，颱風西北側環流高層出現回波並無延續至陸地；而 CTL 組颱風北環流過山後結構較完整；颱風中心出海後，CTL 組於臺

灣西南部迎風面有較強的上升運動，而 NCI 組垂直結構則較鬆散。



第五章、CTL 組數值模擬結果

經由前一章節的討論，我們發現 CTL 組經過初始化的颱風，無論垂直與水平結構、暖心結構、降雨分布等現象的模擬都與觀測較相符，因此本章節將針對 CTL 組的路徑、降水分析、中尺度現象等進行更詳細的討論，了解 CTL 組和觀測的差異。

5.1 颱風路徑

在颱風路徑圖中(圖 5.1)，模擬初始時間為 2015 年 8 月 6 日 1800 UTC，觀測路徑每 6 小時一筆，唯獨在颱風登陸後，增加了 8 月 7 日 2100 UTC 的路徑位置。模擬的路徑則較為密集，每小時呈現一筆。由 2015 年 8 月 7 日 1800 UTC 的時間點，可見在登陸前模擬的颱風比觀測快了約 3 小時；但 8 月 7 日 1800 UTC 後的時間點，模擬的颱風移速變慢，觀測與 CTL 組的颱風中心均於 8 月 7 日 2000 UTC 登陸臺灣，當颱風登陸後，於 2015 年 8 月 7 日 2100 UTC 的時間點後，發現路徑南偏，CTL 組和觀測有相同現象，但南偏的程度較觀測小。而由 2015 年 8 月 8 日 0600 UTC 的時間點，發現颱風出海後，CTL 組的路徑領先觀測約 3 小時；而 2015 年 8 月 8 日 1200 UTC 後，颱風的移動速度越來越快，此時間點 CTL 組的颱風中心位置較觀測快了約 6 小時。故在 CTL 組的模擬中，颱風登陸的時間點與颱風登陸後路徑的南偏均和觀測相符，唯獨 CTL 組颱風在出海後，移動速度比觀測快。

5.2 路徑誤差和中心氣壓誤差

經過初始化方法的 CTL 組在 72 小時的模擬中，中心氣壓和觀測的誤差都維持在 15 hPa 範圍內(圖 4.10)，但大部分的時間模擬的中心氣壓值比觀測強，僅在登陸前 4 小時開始到出海的時間點(8 月 8 日 0200 UTC)，中心氣壓值較觀測高。整體而言經過氣旋初始化，加強了颱風氣壓的強度，且使颱風中心氣壓在模擬期間維持在 15 hPa 範圍內。

而在路徑誤差的方面，CTL 組在模擬開始至出海的期間，路徑誤差均維持在 100 km 以下(圖 5.2)，但出海後因颱風移動速度較快，路徑誤差逐漸上升。故在 CTL 組中，模式模擬的前 36 小時左右，路徑誤差較小，而模擬 36 小時後颱風移動速度較快，使路徑誤差增大。

由此可知，CTL 組的颱風經過初始化的增強，在模擬期間的強度與路徑均與觀測相近。尤其中心氣壓強度的方面，更大幅改善了一般颱風個案模擬初期氣壓明顯偏高之問題，使 CTL 組的颱風強度更為接近觀測。

5.3 降雨分析

由 4.3 章分析可知，觀測和 CTL 組的累積雨量(圖 4.11、圖 4.13)，於第一天累積雨量(8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 7 日 1800 UTC)均集中在臺灣北部宜蘭地區，為蘇迪勒西側外圍環流受到臺灣北部地形阻擋

所導致(圖 4.11a、圖 4.13a)，但 CTL 組第一天的累積雨量較觀測多；而第二天累積雨量(8 月 7 日 1800 UTC 至 8 月 8 日 1800 UTC)因此段時間颱風中心經過臺灣，降雨主要集中於兩個區塊為臺灣東北部和臺灣西南部(圖 4.11b、圖 4.13b)，相較於觀測 CTL 組東北部降雨過度預報，且西南部降雨分布集中和觀測接近；而第三天累積雨量(8 月 8 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC)，因颱風已經遠離，故觀測累積雨量不多(圖 4.11c、圖 4.13c)。由 72 小時觀測累積雨量分析(8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC)強降雨範圍集中於東北部與西南部地區(圖 4.11d、圖 4.13d)，CTL 組相較於觀測東北部強降雨範圍與極值較大，然而西南部地區 CTL 組的累積雨量些微大於觀測。

故蘇迪勒颱風在模擬期間造成的降雨，主要集中於東北部與西南部地區，且東北部降雨過度預報。颱風登陸前為東北部有明顯降水、颱風登陸時東北部和西南部均有降水、颱風出海後為西南部有明顯降水，颱風出海後，並沒有引進西南氣流，僅剩颱風東部外圍環流造成降雨，整體降雨分布與觀測接近。

5.4 水氣積分的輻散場

由 925 hPa-500 hPa 的水氣通量垂直積分的輻散場(圖 5.3)看到在 8 月 7 日 1000 UTC 颱風登陸前(圖 5.3b)，颱風眼牆區有明顯的水氣輻合。颱風靠近地形後於 8 月 7 日 1400 UTC(圖 5.3d)，受到地形

阻擋的影響，導致水氣在臺灣東部發生輻合。颱風於 8 月 7 日 2000 UTC(圖 5.3g)登陸，在臺灣東北部和西南部颱風環流均受到地形阻擋產生水氣輻合；而颱風出海後於 8 月 8 日 0800 UTC(圖 5.3i)，颱風東側環流受到地形的影響在臺灣西側產生水氣輻合。故不同的時間點，由於颱風所在的位置不同，導致環流的位置和地形產生交互作用不同，而在臺灣產生降雨的位置會隨颱風所在位置而改變。而和觀測的累積雨量(圖 4.8)相比，可知水氣通量積分輻合和降雨位置極為相符。故可知地形阻擋水氣分布，使水氣輻合，導致降雨集中於迎風面地區。

5.5 中尺度對流分析

因臺灣地區地形高聳，環流易受到地形破壞或受到迎風面的抬升與加強。故將模擬時間區分成颱風登陸前、颱風登陸後和颱風出海後，分析雷達回波剖面圖，探討 CTL 組颱風環流受到地形的破壞與加強。

颱風登陸前(模擬的 0-26hr):颱風登陸前的時間點，中心氣壓最低約 930 hPa 左右(圖 5.4c)，颱風眼牆結構完整。8 月 7 日 0800 UTC(15 hr)左右，颱風外圍環流已經影響到臺灣北部(圖 5.4a)，於 8 月 7 日 1200 UTC (19 hr)後颱風西側環流開始大範圍接觸臺灣東部(圖 5.4c)。在 8 月 7 日 1400 UTC (21hr)(圖 5.4d)最低海平面氣壓值為 940 hPa，可知因為颱風東部環流接觸地形受到破壞，導致中心氣壓減弱。而在同一時間點，在颱風中心東南側環流開始出現一回波較弱的缺口，為

颱風環流過山後，氣流受到地形阻擋，在臺灣東部地區產生下沉運動，導致該地區出現回波較弱的現象。而由 8 月 7 日 1600 UTC (23hr)(圖 5.4e)發生颱風中心東南側環流較弱，使雷達回波缺口更大。8 月 7 日 1800 UTC (25hr)(圖 5.4f)，颱風西側環流受到地形的阻擋，眼牆結構受到破壞。也由同一時間的海平面氣壓可知(圖 5.4f)，颱風接近登陸的時間並無出現颱風副中心低壓。

颱風登陸期間(模擬的 27-30hr): 颱風中心於 8 月 7 日 2000 UTC (27 hr) (圖 5.4g)登陸，原出現於颱風中心東南側較弱的回波缺口消失，因地形影響颱風眼牆結構，而原本為同心圓之海平面氣壓分布，形狀也變得較不規則。而於登陸前 8 月 7 日 1800UTC(25 hr) (圖 5.4f)的時間點，中心氣壓值為 940 hPa，到了 8 月 7 日 2000 UTC (27hr) (圖 5.4g)颱風登陸後，中心氣壓為值為 945 hPa，可知颱風結構受到地形破壞，隨著登陸的時間而逐漸減弱強度。

颱風出海後(模擬的 31-35hr):於 8 月 8 日 0000 UTC(31hr)(圖 5.4i)此時颱風中心氣壓值為 945 hPa，颱風出海後外圍環流雨帶和颱風眼牆結構變得鬆散，特別是在颱風中心東北部地區的雨帶。到了 8 月 8 日 0200 UTC(33hr)(圖 5.4j)的時間點，因受地形影響颱風中心東北側環流出現較弱回波缺口，在山脈西北部外海產生下沉運動，導致該地區出現回波較弱的區域，此段時間心氣壓為值為減弱為 950

hPa。出海後颱風向西北移動，且氣壓持續減弱。

5.6 中尺度對流剖面

為了討論山脈對氣流所產生的阻擋，導致降雨量的集中，故針對雷達回波的垂直結構，選取 3 個剖面分析，分別為剖面 A(24.5°N)：分析颱風北側對東北部地區造成的降雨、剖面 B(23.8°N)：為介於東北部與西南部兩強降水區所選取的剖面、剖面 C(23°N)：分析颱風北側對西南部地區造成的降雨。

颱風登陸前(模擬時間 0-26hr)：由剖面 A (24.5°N)可見於 8 月 7 日 0800 UTC(15hr) (圖 5.5a)的時間點，在中央山脈西側開始出現較強回波，表示颱風外圍環流開始影響臺灣。2 小時後颱風向西北移動，受地形影響使西側眼牆上升運動增強，於山脈上方出現較強回波(圖 5.5b)。當部分北側環流過山後於 8 月 7 日 1200 UTC(19hr)(圖 5.5c)的時間點，可見西側低層環流下沉，中高層氣流抬升，受到氣流抬升影響使得西側回波比前兩小時前(圖 5.5b)還要強，可知氣流受到地形抬升的程度加劇。同樣的 2 小時後於 8 月 7 日 1400 UTC(21hr)(圖 5.5d)，也可見颱風西側環流受到地形舉升，出現較強的上升運動。於 8 月 7 日 1800 UTC (25hr)(圖 5.5f)颱風過山後結構受到地形的破壞，上升運動減弱，使颱風西側回波減弱，在颱風北側環流受到破壞的同時，在剖面 C(圖 5.7f)位置，颱風西側環流受迎風面影響有抬升

運動，導致氣流的上升運動增強。

颱風登陸期間(模擬時間 27-30hr):當颱風登陸後，由剖面 A (24.5°N)於 8 月 7 日 2000 UTC(27hr) (圖 5.5g)發現低層輻合增強，山脈西側出現北風風速較強區。而同一時間的剖面 B(圖 5.6g)可以見到颱風受到地形的破壞，颱風眼結構變得不明顯。剖面 A(24.5°N)於 8 月 7 日 2200 UTC (29hr)可見颱風西側眼牆北風強風帶集中在低層，東側眼牆南風強風帶延續到高層(圖 5.5h)，同一時間點的剖面 C(圖 5.7h)，顯示颱風南側環流受到西部迎風面的影響，產生抬升運動導致氣流上升運動增強。

颱風出海後(模擬時間 28-35hr):颱風中心出海，颱風東側環流漸漸遠離臺灣，由剖面 C(23°N)於 8 月 7 日 2200 UTC (29hr)可見因颱風南側環流受到地形影響，發生的抬升現象延續到 8 月 8 日 0200 UTC(33hr) (圖 5.7j)依然存在。

故當颱風位於登陸前、登陸後和出海後，颱風環流受到加強或破壞的位置與程度皆不相同。當颱風登陸前，往臺灣靠近的期間，由剖面 A(24.5°N)可見北側環流受到東北部山區迎風面的影響，颱風西北側環流受到舉升，當颱風北側環流漸漸過山後，環流受到地形的破壞，故可預期蘇迪勒颱風在臺灣東北部所造成的災害，比西北部更為嚴重。當颱風登陸期間，剖面 A(24.5°N)可見颱風結構隨著登陸時間而有破

壞，且西側眼牆低層有北風強風帶。當颱風出海後，由剖面 A(24.5°N) 可見颱風西側眼牆的低層北風強風帶依然存在，東側眼牆南風強風帶延續到高層；由剖面 C(23°N) 可見南側環流受到西部迎風面影響，導致氣流上升運動增強。故在蘇迪勒侵臺時間，環流受到地形舉升範圍，為東北部與西南部，也和累積雨量集中的位置相符。

5.7 相對溼度剖面及位溫分布

由 CTL 組 8 月 7 日 1800 UTC(24hr) 剖面 C(23°N) 的雷達回波剖面，可見颱風南側環流過山後，在臺灣東側回波較弱(圖 5.7f)。故挑選位於臺灣東側且緯度接近 23°N 的測站，選出臺東站 ($22.45^{\circ}\text{N}, 121.08^{\circ}\text{E}$) 來探討蘇迪勒颱風對於臺灣東側是否產生下沉增溫的情形。由中央氣象局臺東測站氣象要素逐時變化圖(圖 5.8a)，可看見於臺灣時間 8 月 8 日 1 點時 (8 月 7 日 1900 UTC)，此時為凌晨 1 點，臺東站卻有增溫出現，故判斷為颱風環流過山後，造成的下沉增溫。因此針對 CTL 組 8 月 7 日 1700 UTC(24hr) 22.45°N 剖面，可知颱風眼牆位置相對濕度較高，但也發現在臺灣東部，有一相對濕度較低的位置(圖 5.8c)。這是因為颱風西側環流的氣流受到地形的舉升，氣流過山後，在臺灣東部下沉增溫，可看見等位溫線，在臺灣東部往下彎曲，指向位溫較低的地方(圖 5.8c)。故 CTL 組亦有臺灣東部發生下層增溫的情形，但 CTL 組登陸後颱風模擬路徑較觀測快，

所以颱風西側環流過山後，在臺灣東南部增溫的情形提前發生。

5.8 小結

由 CTL 組的路徑(圖 5.1)，可發現颱風的移動速度較觀測快，且和觀測均在登陸後路徑南偏，由 CTL 組的累積雨量圖(圖 4.13)可發現降雨集中於東北部與西南部和觀測相似(圖 4.11)，也可由 700 hPa-850 hPa 之水氣積分的輻合輻散(圖 5.3)，發現輻合的位置與降雨集中的位置相似。由水平和垂直剖面的雷達回波圖，可知颱風位於登陸前、登陸後和出海後，颱風環流受到加強或破壞的位置與程度皆不相同，迎風面會受到地形舉升，而加強上升運動，但當環流過山後，颱風垂直結構會受到地形破壞，使出海後中心氣壓值較高，迎風面抬升程度弱。在颱風出海後，南側環流受到迎風面抬升，當氣流過山後出現下沉增溫，使臺東測站氣溫上升，此現象和觀測相似。整體來說，CTL 組和觀測相似，僅累積雨量過度預報，且颱風路徑較觀測快，但在獲得 CTL 組之前的測試中，針對蘇迪勒颱風路徑過快，發現只要將初始時間延後，會改善路徑過快的問題，但因希望距離登陸時間點 24 小時以上的時間點作為初始時間，以便觀察颱風結構是否會隨著時間減弱，故在時間點的選取上並無選擇接近登陸的時間點作為初始時間。

第六章、敏感度實驗

根據觀測資料與模擬結果分析顯示，蘇迪勒颱風侵臺期間所造成的降雨，時間大約位於 2015年8月6日0000 UTC至9日0000 UTC，雨量集中在臺灣東北部和西南部迎風面地區，均為地形因素造成對氣流的阻擋。為了瞭解地形對降雨事件的影響，以及臺灣地形對颱風環流及對流系統的影響。以下將改變模擬的地形高度，進行地形敏感度測試，並針對蘇迪勒颱風對環境場之氣流與水氣分布造成的改變進行分析，也討論駛流對颱風的影響。

由CTL組數值模擬結果發現，颱風東側環流受到地形迎風面阻擋產生水氣輻合，也可由雷達回波(圖5.3)上發現回波的加強，且降雨區集中於迎風面山區，由這些現象可以知道降雨事件應與地形有所關聯。因此為了瞭解地形對降水及迎風面對流的影響，本研究藉由改變地形高度設計三組實驗(表3.1)，分別為將臺灣地區地形高度移除(NT組)、地形高度減低0.5倍(HT組)、地形高度加高為1.5倍(ET組)，藉由此實驗，討論不同地形高度下，颱風環流和其移動速度、方向與產生的對流發生的變化。

6.1 颱風路徑差異分析

由模擬(圖6.1)顯示NT組、HT組、CTL組、ET組，各組之颱風路徑中，NT組、HT組、CTL組之颱風登陸時間皆為8月7日2000 UTC，ET組

登陸時間為8月7日1900 UTC。因NT組為沒有受地形因素影響，登陸前後路徑並無明顯偏折(圖 6.1a)。而HT組為地形減半的狀態，於颱風登陸後，路徑受地形影響有些微南偏的情形(圖 6.1b)；而CTL組於颱風登陸後路徑(圖 5.1)受南偏的情形比HT組更明顯。

而加高地形高度的ET組，也因為地形的加高，使得地形所造成的通道效應加大，導致颱風在登陸前的路徑比起CTL組南偏得更加明顯，而颱風中心出海後，持續向西北移動了2小時之後，之後颱風向西移動(圖 6.1c)。由路徑差異(圖6.2b)可以看出，各組模擬在路徑誤差的趨勢相似，但四組模擬在出海8月8日0400 UTC後路徑誤差皆增大，由此可知在模式初期各組表現相似，但於模式後期，各組路徑均還有改善的空間。

6.2 中心氣壓誤差分析

各組模擬之中心氣壓與觀測的誤差呈現於圖6.2a，各組在模擬的72小時表現類似，不論地形加高或減低，中心氣壓值皆在登陸時間點(2015年8月7日2000 UTC)前開始減弱，而以完整地形高度的CTL組和加高地形的ET組，中心氣壓減弱的程度較大。到了2015年8月8日0200 UTC，CTL組和ET組中心氣壓誤差下降；而HT組和NT組氣壓誤差上升。這是因為受到地形影響的因素較小，HT組和NT組的颱風結構沒有受到太大的破壞，中心氣壓值比觀測還來的強，故中心氣壓誤差上升(圖

6.2a)。可以得知當地形越高，颱風環流受到破壞的程度較嚴重，出海後中心氣壓也較高；而地形越低，颱風環流受到破壞的程度較小，出海後中心氣壓低(圖6.2b)。

6.3 累積降水差異分析

首先分析移除地形的NT組，由8月6日1800 UTC 至7日1800 UTC 的24小時累積雨量，發現幾乎全臺有降雨發生，唯獨在臺灣西南部沿海地區沒有出現降雨(圖6.3a)，而降雨在臺東地區有150 mm，且以臺東地區為中心向外為遞減。8月7日1800 UTC至8日1800 UTC累積雨量(圖6.3b)，可看見臺灣東北部和西南部有較大累積雨量大約200 mm，而中部也有150 mm的累積雨量。8月6日1800 UTC至9日1800 UTC的累積雨量(圖6.3d)，可知氣流沒有受到地形的阻擋之下，72小時全臺累積雨量分布均勻。NT組不同於CTL組，降水分布因環流受地形的阻擋、迎風面受到氣流的抬升，導致水氣輻合使降雨集中於地形的迎風面。

由減半地形的 HT 組，在8月6日1800 UTC至7日 1800 UTC期間全臺均有降雨出現(圖6.4a)，但降雨集中於臺灣東北部，因此時颱風東側環流接近臺灣，環流受到地形的影響，使氣流舉升而導致降雨集中，最大累積雨量大約為200 mm。8月7日1800 UTC至8日1800 UTC於東北部和西南部的累積雨量(圖6.4b)大於NT組。臺灣東北部最大累積雨量

約500 mm，西南部最大累積雨量約400 mm，而中部累積雨量為100 mm 比NT組少。8月6日1800 UTC至9日 1800 UTC的72小時累積雨量(圖 6.4d)，因受到地形的阻擋而影響了降雨分布，臺灣東北部降雨來自颱風北側環流的西風受到臺灣北部地形的影響，導致降雨集中，東北部72小時最大累積雨量約為700 mm；而相同的，臺灣西南部降雨，因颱風南側環流的東風受到臺灣南部地形的影響導致降雨集中，而西南部的72小時最大累積雨量約為500 mm。而相較於NT組，HT組降水區域和CTL組相似，僅因HT組地形較低，降水的範圍較大且降雨極值較小。

最後是增高為1.5倍地形高度的 ET 組(圖 6.5)，由8月6日1800 UTC 至7日1800 UTC 的24小時累積雨量(圖 6.5a)，發現北臺灣和臺灣東部有降雨出現，最大累積雨量集中於臺灣東北部。這是因為 ET 組地形較高，環流受到地形的影響也較大，使氣流舉升的作用更強、降雨更集中。東北部最大累積雨量約600 mm，而颱風環流受到地形的阻擋，導致中部和西南部沒有降雨的出現。對於8月7日1800 UTC 至8日1800 UTC 的24小時累積雨量(圖 6.5b)，ET 組在臺灣東北部和西南部的累積雨量分布比起 NT 組與 HT 組更集中，臺灣東北部最大累積雨量約800 mm，西南部最大累積雨量約700 mm，而中部 ET 組累積雨量比起 NT 組和 HT 組更少，累積雨量減少為50 mm。由 ET 組8月6日1800 UTC 至9日1800 UTC 的72小時累積雨量(圖 6.5d)，

因受到地形的加高，而使臺灣東北部和西南部部降雨更加集中，而累積極值也增大，72 小時最大累積雨量在東北部約為 1200 mm，西南部約為 800 mm，但臺灣東北部和西南部地區相較於觀測(圖 4.11)均是過度預報。

綜合以上分析，以 72 小時累積雨量來說明，可以發現地形越高，降雨範圍越集中，降水極值也越大，相對於 CTL 組東北部降雨過度預報的行情，ET 組過度預報的情形顯得更加嚴重；而地形減半的 HT 組，在東北部地區的降雨分布雖然觀測不集中，但極值的大小和觀測較為接近，更可以確定地形因素，會導致降雨集中。

6.4 中尺度對流剖面

藉由雷達回波剖面，討論改變地形高度的敏感度實驗，對於地形所造成迎風面的加強作分析，但每個模擬在路徑上都有一些許的不同，因此在時間點的選取上，僅能找出位置較接近的時間點做相比。而對於剖面位置的分析，針對發生強降雨區域作東西向 3 個剖面，分別為稱為剖面 A(24.5°N)、剖面 B(23.8°N)、稱為剖面 C(23°N)。

以下為選取不同時間不同剖面之研究目的：選取 8 月 7 日 1500 UTC(第 22hr)剖面 A(24.5°N)，來分析颱風北側環流受到臺灣東北部地形抬升，造成東北部的強降雨；選取 8 月 7 日 1800 UTC(第 25hr)剖面 A(24.5°N)，對颱風西側環環流過山後，颱風結構破壞的程度作討論；

選取8月7日2200 UTC (第29hr) 剖面C(23°N)，分析颱風南側環流受臺灣西南部地形抬升，造成臺灣西南部的強降雨。

針對8月7日1500 UTC (第22hr) 剖面A(24.5°N)，可發現地形越高，氣流受到地形的舉升更強烈，ET組(圖6.6d)氣流舉升的強度和範圍均較CTL組(圖6.6c)大，而HT組僅能看見些微的氣流受到地形的舉升(圖6.6b)。由NT組在沒有受到地形影響下的颱風北側環流結構完整(圖6.6a)，在800 hPa左右出現北風最強風速 50 m s^{-1} ，颱風眼牆區依然出現較明顯的上升運動，低層氣流因無受到地形影響，故無抬升現象。而在有地形的CTL組和ET組，中央山脈上風速為 $40-45 \text{ m s}^{-1}$ ，但出現在中央山脈東側出現最強風速，是因為通道效應而增強了風速，故強風出現的位置較低約在900 hPa。故地形越高，氣流受到迎風面舉升的程度越強、舉升的範圍也較大。

藉由8月7日1800 UTC (第25hr)剖面A(24.5°N)，針對地形高度的改變，討論颱風西側環流過山後結構的改變。由NT組可以看見，因無受到地形的影響，西側環流結構依然完整(圖6.7a)。由HT組，因開始受到地形的影響，但地形高度不高，西側環流減弱的情形不明顯(圖6.7b)。由CTL組可以發現颱風西側環流明顯減弱，於700 hPa至500 hPa出現較弱回波，並無延續至高層(圖6.7c)。而ET組，過山後的西側颱風環流，明顯受到地形加高的破壞，且西側低層的風速為 55 m s^{-1} (圖

6.7d)，較CTL組 60 m s^{-1} 弱(圖6.7c)。故地形越高，環流過山後受到地形破壞的程度較嚴重。

針對8月7日2200 UTC (第29hr)剖面C(23°N)，分析颱風南側環流受臺灣西南部地形抬升，進而造成臺灣西南部降雨發生。由NT組可以看見 $120^\circ\text{E} \sim 121^\circ\text{E}$ 因位於水平陸地上，環境不利颱風持續增強，此位置相較於兩側還位於海面上的颱風眼牆，上升運動並未延續到上層，且西側颱風環流受到陸地的影響，環流的上升運動及回波強度也比東側弱(圖6.8a)。而在HT組此時間受到地形的影響，在地形上方出現上升運動，但上升運動大約只延續到500 hPa左右(圖6.8b)。由CTL組可以看見西側環流受到地形的影響(圖6.8c)，抬升的強度與範圍均較HT組大(圖6.8b)。由ET組(圖6.8d)可以發現上升運動的範圍較CTL組小，強度也較CTL組弱，這是因為颱風環流在登陸之後，受到地形的破壞較大，環流結構破壞得較嚴重，使颱風中心出海後，南側環流受到迎風面的舉升較弱，使ET組地形對於颱風西側環流的抬升程度與範圍較CTL組小。

6.5 駛流分析

圖6.9和圖6.10為颱風環境駛流場，定義駛流的範圍為颱風半徑300 km，層場為850 hPa、700 hPa、600 hPa、500 hPa、400 hPa，時間為1小時一筆。2015年8月7日2000 UTC 為觀測颱風登陸時間點，

在登陸期間，氣流受地形影響，使得駛流指向較不一致，但遠離臺灣後的時間點，駛流均維持在颱風移動方向的東側的現象(圖6.11)。

由海棠颱風的研究中(Jian and Wu 2008),指出不同強度的颱風，會在垂直結構上有所不同，較強的颱風有較深的垂直結構，因此駛流對路徑造成的影響會增大，地形或海陸性質差異造成的因素相對小。而在海棠颱風的模擬中，颱風剖面最強平均風速為 42 m s^{-1} ；相較於本研究CTL組中，中心氣壓在登陸前為930 hPa，颱風垂直剖面最強平均風速為 48 m s^{-1} ，本研究中颱風模擬的強度較強，導致駛流影響效應更為明顯。於8月7日2000 UTC後的時間點，駛流受到地形與海陸性質的影響，故在登陸後西側環流位於海面上使北風加強，而東側環流接近地形，南風減弱，導致向北分量的駛流減弱(圖6.10c)，使颱風在8月7日2000 UTC登陸後南偏(圖4.10b)。而於8月8日0000 UTC颱風中心出海，西側環流大範圍位於海面使北風加強，同時東側環流大範圍位於地形上方使南風減弱，導致駛流指向西南方向。

而相較於CTL組，NT組於8月7日1200 UTC (圖6.10a)、HT組於8月7日1100 UTC (圖6.10b)，東側環流開始影響臺灣，NT組雖然無受到地形影響，但因地表性質的差異，造成8月7日1200 UTC-8月7日1300 UTC期間向西北的駛流有些微減弱的情形；雖然HT組地形不高，於相同時間點向西北駛流依然有減弱的情形。NT組與HT組到了登陸的期間

(8月7日2000 UTC - 8月7日2300 UTC)，因東側環流接近陸地，西側環流位於海面上加強北風，造成向西北方向駛流隨著時間些微減弱。

而ET組，因地形較高，8月7日1900 UTC登陸後駛流向北分量些微減弱，但登陸前的時間點，颱風移動方向和駛流方向不太相同，颱風路徑在登陸前早已南偏。故僅以駛流所造成颱風路徑的偏折，討論所有的地形高度，顯得不夠完善，將由下個小節，討論當地形加高時，颱風路徑在登陸前發生南偏的現象。

6.6 通道效應

由於觀測、NT組、HT組和CTL組，颱風在登陸前路徑並沒有南偏，僅地形加高的ET組在登陸前路徑出現南偏，在此以通道效應說明ET組颱風在登陸前路徑的南偏。

由通道效應示意圖(圖6.11)，當颱風接近地形時，颱風前緣受到地形阻擋，導致北風加速，使颱風在登陸前的時間受到北風加強的影響使路徑南偏。前人針對海棠颱風的研究中(Jian and Wu 2008)，海棠颱風登陸前路徑有南偏的情形，並針對地形做敏感度測試的實驗，結果指出地形降低時，路徑南偏的程度或打轉的情形較小。

由ET組的路徑(圖6.4d)可見8月7日1600 UTC後路徑開始偏南或偏西，因此挑選登陸時間點前的4小時，由ET組減去CTL組對於850hPa - 700hPa積分的平均風速差(圖6.12)，藍色區塊為ET組北風較

強之區域，與登陸前4小時路徑圖做對應。發現ET組因地形較高，通道效應加強，使颱風在登陸前850hPa - 700hPa的平均風速北風增強，且與路徑南偏時間點相符。由此可知地形加高加強通道效應，使ET組在登陸前路徑南偏。故本研究中地形加高會加強通道效應，而前人針對海棠颱風的研究中(Jian and Wu 2008)，地形降低會使通道效應減小，可知地形與通道效應有明顯相關。

6.7 小結

在地形敏感度實驗中，地形高度越高，使降水集中、極值也越大。雖然地形高度越高，會增強迎風面舉升程度，但颱風過山後，地形對颱風眼牆的破壞程度也較嚴重，使得後來迎風面舉升程度反而較弱。地形高度亦會影響颱風路徑，在本研究中，NT組因無地形因素影響，導致颱風在登陸前後，路徑無明顯偏折；而HT組、CTL組在登陸後，西側環流位於海面上加強北風，而東側環流接近陸地，南風減弱，故向北分量的駛流減弱，使登陸後颱風路徑南偏，且CTL組因地形較高，登陸後南偏的程度也較HT組明顯；而ET組因為地形較高，颱風在登陸前受通道效應影響，使路徑南偏。故不同的地形高度，所造成路徑偏折的因素，與發生路徑偏折的時間點均不相同。相較於海棠颱風的研究中(Jian and Wu 2008)，當固定地形高度時，颱風強度越強結構越深，使駛流對路徑造成的效應大於通道效應，導致颱風在登陸後路徑

南偏；而固定颱風初始氣壓時，當地形加高，通道效應的影響大於駛流對路徑造成的效應，使颱風在登陸前路徑南偏。



第七章、結論與未來展望

7.1 總結

蘇迪勒颱風(2015)為西北行颱風，於 2015 年 8 月 6 日至 9 日期間侵襲臺灣，7 日 2000 UTC 登陸臺灣花蓮秀林鄉，在登陸後路徑南偏。而登陸後路徑南偏現象和多數颱風於登陸前受到通道效應影響使路徑南偏有所不同，如 2005 年海棠颱風，則是在登陸前路徑發生南偏。在蘇迪勒颱風的觀測累積雨量分析中，第一天的降雨多集中在東北部迎風面，颱風西北側環流與地形交互作用後使降雨分布集中；第二天的累積降雨，因颱風中心通過臺灣，主要累積雨量集中於臺灣東北部與西南部地區；第三天因颱風中心已經出海，颱風東南側環流影響臺灣西南部，使降雨集中在西南部地區。綜合蘇迪勒降雨分析，蘇迪勒颱風降雨分布主要受到地形的影響，氣流受到迎風面地形的抬升使降雨集中，且降雨集中於東北部與西南部。

由於來自初始場的颱風結構與強度和觀測不太相符，本研究針對蘇迪勒颱風進行颱風初始強度的加強。常用的颱風初始化方法有：資料同化(Bogus Data Assimilation)、植入虛擬渦旋(TC Bogus)、動態初始化方法(Dynamical Initialization)。本研究以 Nguyen and Chen(2011)所提出之氣旋初始方法，簡稱 NC2011，作為颱風初始化方法，為動態初始化方法，主要加強颱風中心暖心特徵，改善初始模

式中颱風中心氣壓值偏弱的問題，此方法由於重複數次，直到颱風強度與實際情形相當後，即完成颱風初始化的過程，才開始進行後續的颱風預報。本研究使用 WRF 模式進行數值模擬，以 NC2011 方法加強颱風初始強度，並進行後續 72 小時模擬，分析颱風初始強度與結構對模擬結果的影響。經過氣旋初始化後，渦旋結構在海上可以維持一段時間，模式初期經過氣旋初始化後的颱風(CTL 組)不論是水平結構和垂直結構均較未經過初始化的颱風(NCI 組)完整。颱風經過初使化後，CTL 組颱風的中心氣壓較 NCI 組颱風低，兩組均是東側眼牆的風速相較於西側強，且 CTL 組的颱風雷達回波颱風眼和颱風眼牆清晰可見，也具有颱風暖心結構且水氣混合比較高的位置集中在兩側颱風眼牆區分布較為對稱，而南北風的風速分布也較 NCI 組密集，故颱風經過初始化後，颱風整體結構更接近真實颱風。

且由 72 小時累積雨量結果得知，CTL 組和 NCI 組不論在東北部或西南部降雨均過度預報，NCI 組的累積雨量和範圍較大較不集中(圖 4.12d)，CTL 組些微改善臺灣西南部地區降雨(圖 4.13d)，但對於臺灣東北部地區降雨過度預報的情形並沒有改善。整體而言在 72 小時累積雨量分布上，CTL 組的降雨分布(圖 4.13d)和觀測較相似(圖 4.11d)，在東北部出現比 NCI 組稍大的累積雨量(圖 4.12d)，是因為 CTL 組颱風經過初始化後強度增強了，所以降雨量也更多。故藉由初

始化加強蘇迪勒颱風強度後，並沒有絕對性的增加臺灣每個地區的累積雨量，但確實改善了降雨分布，使降雨分布的範圍更集中。經過氣旋初始化後，加強颱風垂直結構，而在颱風登陸前和出海後，受到地形舉升的程度與範圍皆不同。且CTL組在登陸期間，北側環流過山後，雖然受到地形的影響受到破壞，但整體而言CTL組垂直結構較NCI組完整。

而CTL組颱風路徑(圖 5.1)和觀測相似，颱風登陸的時間點與颱風登陸後路徑的南偏現象均和觀測相符，唯獨CTL組颱風在出海後，移動速度上比觀測快。72小時的模擬中，颱風使用NC2011氣旋初始化，加強了颱風初始中心氣壓強度，且使颱風中心氣壓在模擬時間點維持在15 hPa範圍內(圖 4.10)。在模擬的72小時期間的累積雨量(圖 4.13b)，可發現東北部降雨過度預報，且降雨主要集中於東北部與西南部地區，而颱風登陸前主要降雨集中於東北部、颱風登陸時東北部和西南部均有降水出現、颱風出海後為西南部降水，且颱風出海後，並無引進西南流，僅剩颱風東部外圍環流造成降雨。整體而言，CTL組的颱風模擬十分接近觀測。

過去文獻中指出地形對颱風有許多影響，例如：路徑、強度、降雨和結構的破壞。因此藉由改變地形高度進行敏感度實驗，將無地形高度稱為NT(No Terrain)；地形高度為CTL的0.5倍，稱為HT(Half

Terrain)；地形高度為 CTL 的 1.5 倍，稱為 ET(Extra Terrain)，實驗結果指出地形加高會破壞颱風結構和強度，使出海後的中心氣壓較高，雷達回波結構變得鬆散。地形增高也加強通道效應，使颱風登陸前路徑南偏；地形加高亦加強迎風面舉升的程度與範圍，也使累積雨量更集中且極值增大，故地形對颱風整體的影響匪淺。

而相較於前人針對海棠颱風的研究中(Jian and Wu 2008)，指出地形降低時會使通道效應減弱，使路徑南偏的程度或打轉的情形較小。而當海棠颱風強度加強時，會使得駛流更加主導颱風路徑的移動，地形的影響程度相對較低，使颱風在登陸前路徑南偏的程度減小。在本研究中，藉由地形加高的 ET 組，顯示地形加高會加強通道效應使蘇迪勒颱風在登陸前路徑南偏。蘇迪勒颱風在本研究中 CTL 組模擬強度較海棠颱風的研究中(Jian and Wu 2008)的強度強，當颱風強度的增強，駛流會更加主導颱風路徑，因此地形影響的因素相對弱，導致颱風登陸前南偏不明顯，使得本研究中 CTL 組在登陸前路徑並無南偏。蘇迪勒颱風中心登陸後，西側環流位於臺灣海峽使北風漸漸增強，東側環流接近地形讓南風減小，導致向北分量的駛流減弱，使 CTL 組颱風在登陸後才出現南偏，此現象和觀測相符。

故氣旋初始化方法(Nguyen and Chen 2011)，使蘇迪勒颱風結構更完整，更接近真實觀測強度。本研究之地形對颱風路徑所造成的效

應，和前人針對海棠颱風的研究(Jian and Wu 2008)相符，當颱風強度越強、結構越深，駛流對路徑造成的效應大於通道效應，使颱風在登陸後路徑南偏；當地形加高，通道效應大於駛流對路徑造成的效應，使颱風在登陸前路徑南偏。如能準確了解颱風南偏的機制與時間點，將有利於後續颱風的路徑預報，提前預估災害發生範圍，以預防災害發生。

7.2 未來展望

隨著預報技術與預報模式不斷的改進，對於真實颱風之預報準確性也不斷增加，若能更深入了解地形與颱風之交互作用，有利提前研判登陸位置與路徑是否南偏，提供更充裕的時間做好災防準備。針對氣旋初始化部分，雖然颱風結構更完整也更接近真實狀況，但也因結構完整，需克服當颱風初始結構加強後，可能造成後續模擬有降水量過多的情形。而針對颱風強度、半徑大小，對臺灣地形高度產生交互作用之間的關聯，還需多加測試，例如當同一個颱風的強度到達某個程度後，在登陸前路徑將不會產生南偏，若能找出之中的關聯性，有利提供更準確的路徑預報。臺灣位於颱風影響頻繁的地區，希望本研究能夠對今後的颱風預報有所貢獻，藉由預報研判更精確的颱風路徑、降雨強度與範圍，針對防災提供更準確的資訊。

參考文獻

- Barker, D. M., W. Huang, Y.-R. Guo, and Q. N. Xiao, 2004: A Three-Dimensional (3DVAR) Data Assimilation System For Use With MM5: Implementation and Initial Results. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 897–914.
- Bender, M. A., R. J. Ross, R. E. Tuleya, and Y. Kurihara, 1993: Improvements in Tropical Cyclone Track and Intensity Forecasts Using the GFDL Initialization System. *Mon. Wea. Rev.*, 121, 2046–2061.
- Brand, S., and J. W. Blesloch, 1974: Changes in the characteristics of typhoons crossing the island of Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, 102, 708–713.
- Chien, F.-C. and H.-C. Kuo 2011: On extreme rainfall of Typhoon Morakot(2009). *J. Geophys. Res. Atmos.* 116
- Davidson, N. E., and H. C. Weber, 2000: The BMRC High-Resolution Tropical Cyclone Prediction System: TC-LAPS. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 1245.
- Fang, X., Y.-H. Kuo, and A. Wang, 2011: The impacts of Taiwan topography on the predictability of Typhoon Morakot' s record-breaking rainfall: A high-resolution ensemble simulation. *Wea. Forecasting*, 26, 613–633.
- Galarneau, T. J., Bosart, L. F. and Schumacher, R. S., 2010: Predecessor rain events ahead of tropical cyclones. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 3272–3297
- Jian, G.-J., and C.-C., Wu, 2008: A numerical study of the track deflection of super-typhoon Haitang(2005) prior to its landfall in Taiwan. *Mon. Wea. Rev.*, 136, 598–615.
- Kwon, I.-H., and H.-B. Cheong, 2010: Tropical Cyclone Initialization with a Spherical High-Order Filter and an Idealized Three-Dimensional Bogus Vortex. *Mon. Wea. Rev.*, 138, 1344–1367.
- Leslie, L. M., and G. J. Holland, 1995: On the Bogussing of Tropical Cyclones in Numerical Models: A Comparison of Vortex Profiles. *Meteor. Atmos. Phys.*, 56, 101–110.

- Lin, Y.-L., 1993: Orographic effects on airflow and mesoscale weather system over Taiwan. *Terr. Atmos. Oceanic Sci.*, 4, 381-420.
- Liou, C.-S., and K. Sashegyi, 2012: On the initialization of tropical cyclones with a three dimensional variational analysis. *Nat Hazards*, 63, 1375-1391
- Nguyen, H. V., and Y.-L. Chen, 2011: High-Resolution Initialization and Simulations of Typhoon Morakot (2009). *Mon. Wea. Rev.*, 139, 1463-1491.
- Nguyen, H. V., and Y.-L. Chen, 2014: On the Spin-up Process of a Typhoon Vortex in a Tropical Cyclone Initialization Scheme and Its Impacts on the Intensity Simulations. *Mon. Wea. Rev.* (In Review).
- Pu, Z.-X., and S. A. Braun, 2001: Evaluation of Bogus Vortex Techniques with Four-Dimensional Variational Data Assimilation. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 2023-2039.
- Tang CK, Chan JC. 2013. Idealized simulations of the effect of Taiwan and Philippines topographies on tropical cyclone tracks. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 140: 1578 - 1589, doi: 10.1002/qj.2240.
- Wang, C.-C., K. Hung-Chi, C. Yu-Han, H. Hsiao-Ling, C. Chao-Hsuan, and K. Tsuboki, 2012: Effects of Asymmetric Latent Heating on Typhoon Movement Crossing Taiwan: The Case of Morakot (2009) with Extreme Rainfall. *J. Atmos. Sci.*, 69, 3172-3196.
- Wu, C.-C., 2001: Numerical simulation of typhoon Gladys(1994) and its interaction with Taiwan terrain using the GFDL hurricane model. *Mon. Wea. Rev.*, 129, 1533-1549.
- Wu, C.-C., C. Kun-Hsuan, W. Yuqing, and K. Ying-Hwa, 2006: Tropical Cyclone Initialization and Prediction Based on Four-Dimensional Variational Data Assimilation. *J. Atmos. Sci.*, 63, 2383-2395.
- Wu, C.-C., and Y.-H. Kuo, 1999: Typhoons affecting Taiwan: current understanding and future challenges. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 80, 67-80
- Wu, L., B. Wang, and S. Geng, 2005: Growing influence of Typhoon on East Asia. *Geophys. Res. Lett.*, Vol 32, L18703, doi: 10.1029/2005GL022937.

- Xiao, Q., Y.-H. Kuo, Y. Zhang, D. M. Barker, and D.-J. Won, 2006: A Tropical Cyclone Bogus Data Assimilation Scheme in the MM5 3D-Var System and Numerical Experiments with Typhoon Rusa (2002) Near Landfall. *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 671-689.
- Zhang, S., T. Li, X. Ge, M. Peng, and N. Pan, 2011: A 3DVAR-Based Dynamical Initialization Scheme for Tropical Cyclone Predictions. *Wea. Forecasting*, 27, 473-483.
- Zou, X., and Q. Xiao, 2000: Studies on the initialization and simulation of a mature hurricane using a variational bogus data assimilation scheme. *J. Atmos. Sci.*, 57, 836 - 860.



表 3.1 本研究各組模擬之實驗設計

組別	描述	主要討論
CTL	使用 NC2011 初始化之蘇迪勒颱風最佳模擬結果	初始化後颱風結構差別
NCI	無使用 NC2011 初始化	
NT	移除臺灣地形	地形對颱風結構與路徑的影響
HT	臺灣地區的地形為 CTL 組 0.5 倍	
ET	臺灣地區的地形為 CTL 組 1.5 倍	



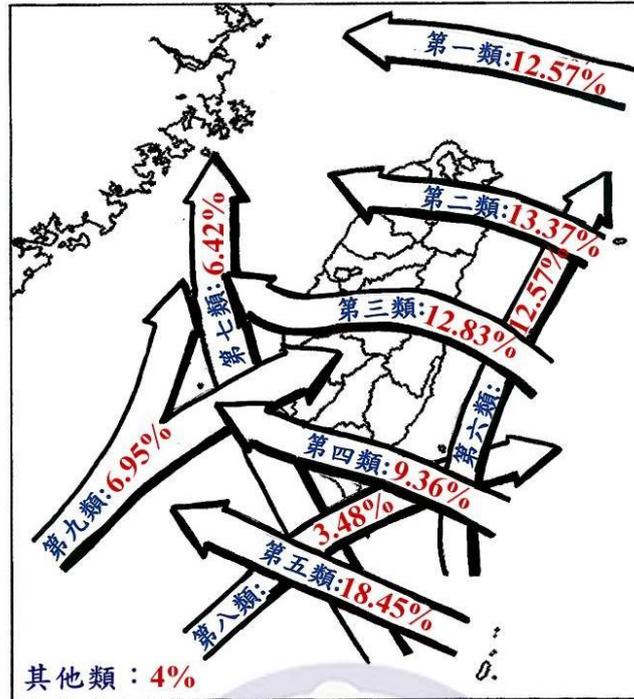


圖 1. 1 影響臺灣地區颱風路徑分類圖(1911-2015 年)。

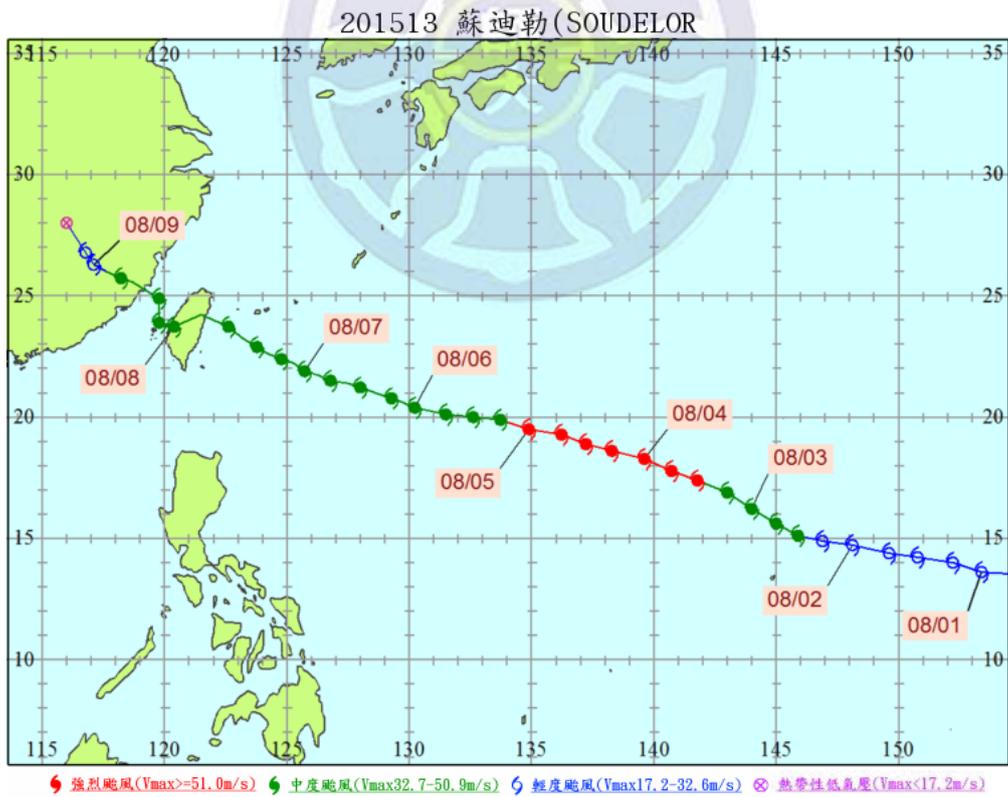
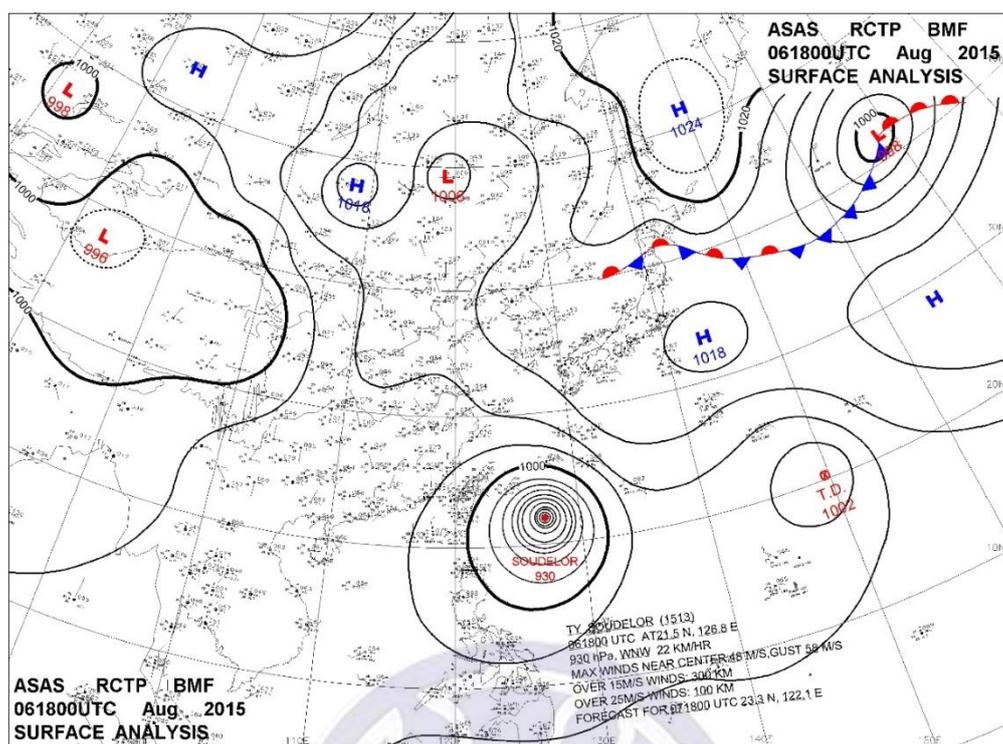


圖 2. 1 為中央氣象局之蘇迪勒颱風路徑圖。

(a) 2015 年 08 月 6 日 1800 UTC



(b) 2015 年 08 月 7 日 0600 UTC

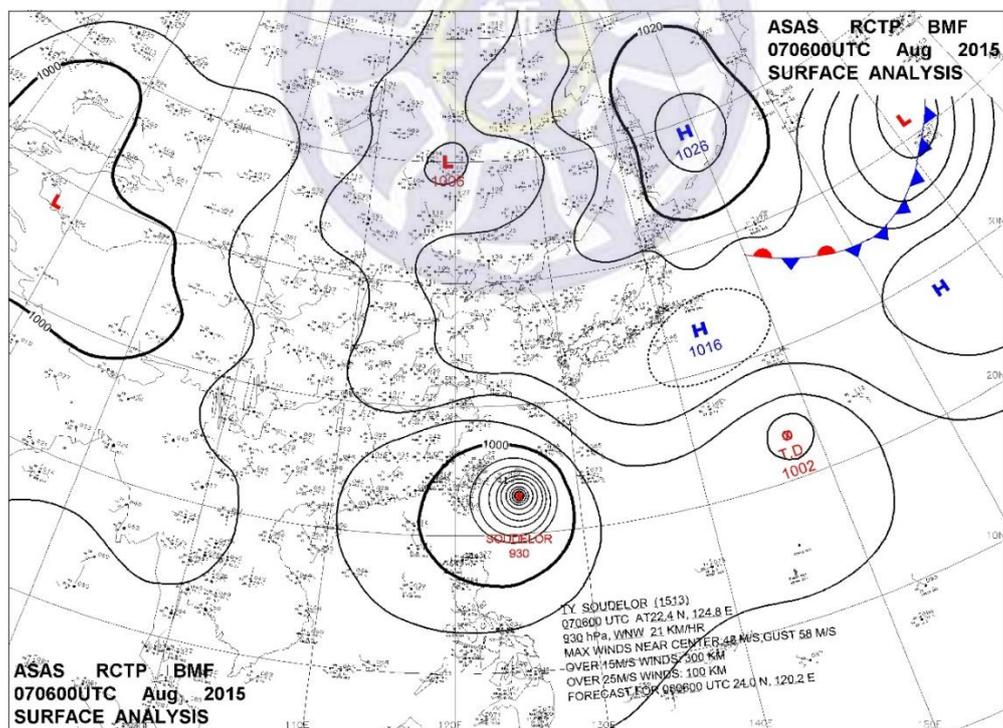
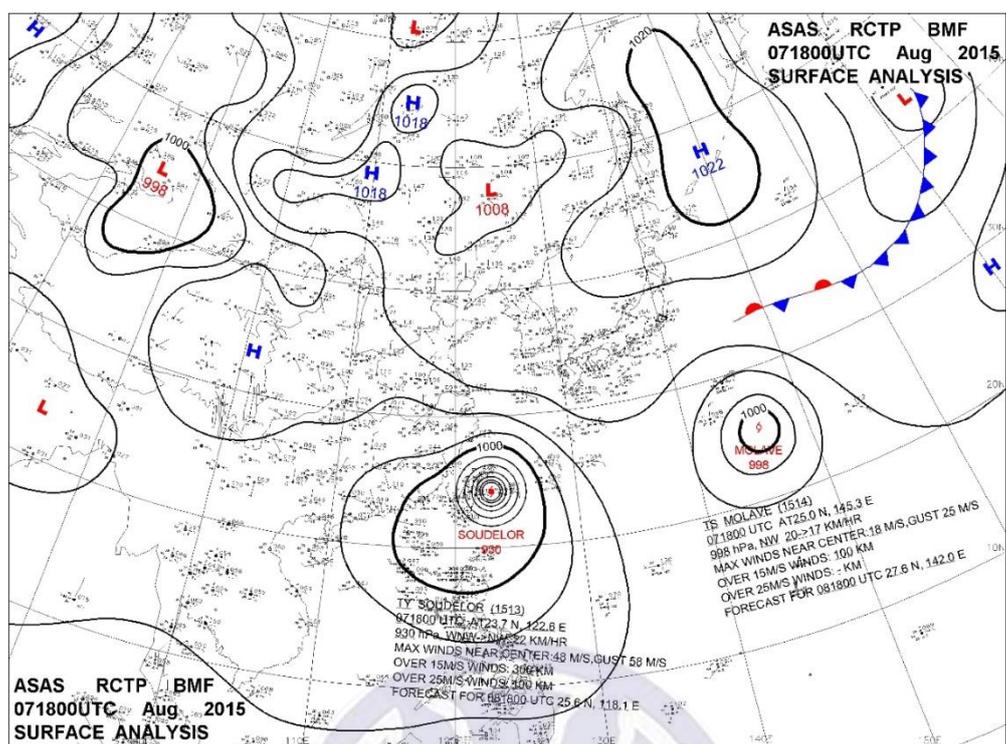


圖 2. 2 中央氣象局之地面天氣圖，2015 年 08 月 (a) 6 日 1800 UTC (b) 7 日 0600 UTC (c) 7 日 1800 UTC (d) 8 日 0600 UTC (e) 8 日 1800 UTC (f) 9 日 0600 UTC。

(c) 2015 年 08 月 7 日 1800 UTC



(d) 2015 年 08 月 8 日 0600 UTC

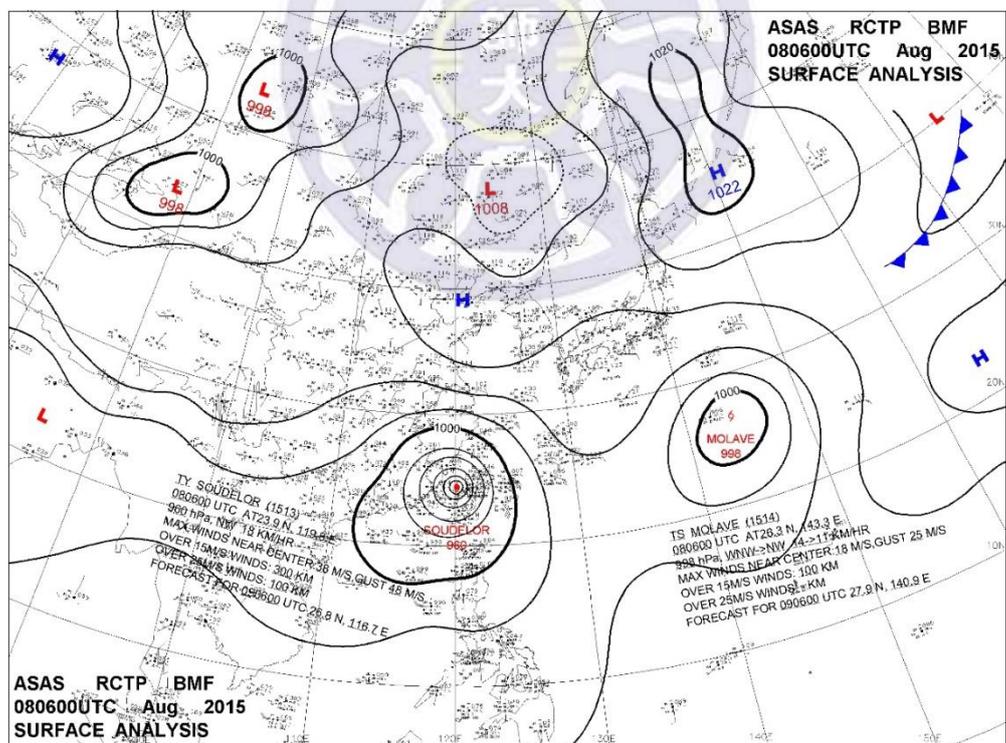
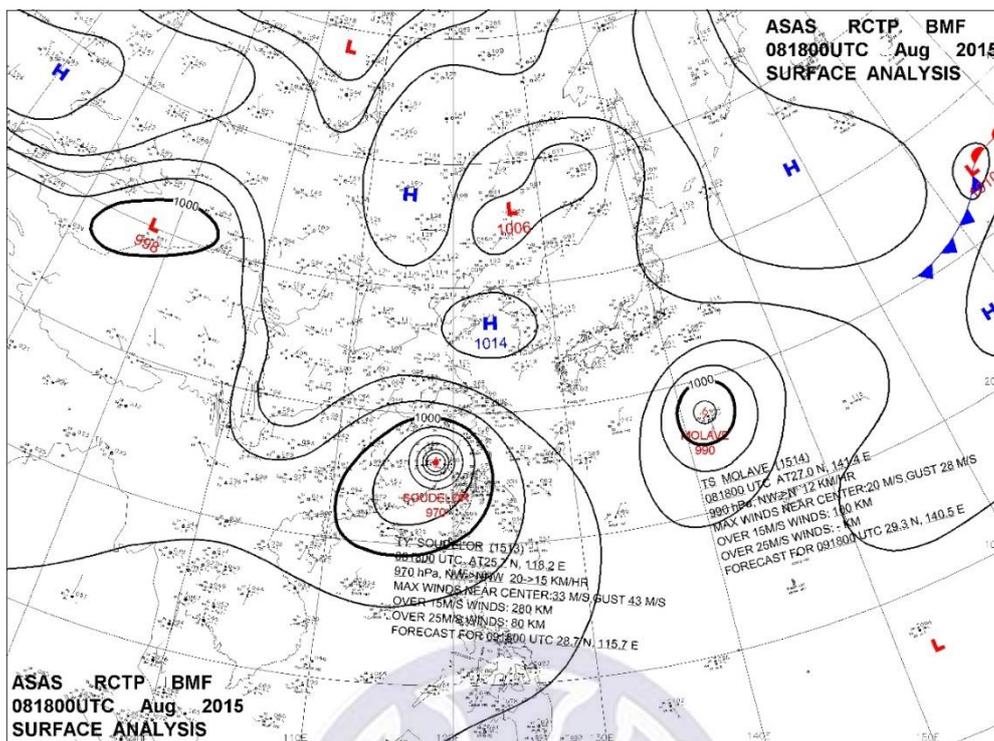


圖 2.2 (續)。

(e) 2015 年 08 月 08 日 1800 UTC



(f) 2015 年 8 月 9 日 0600 UTC

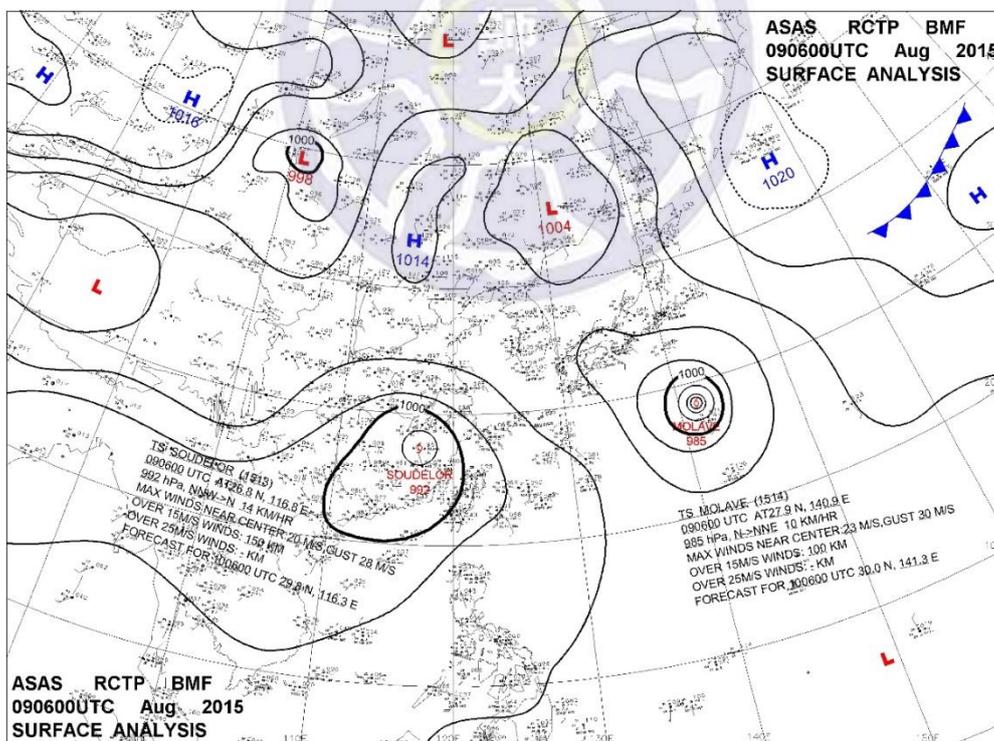
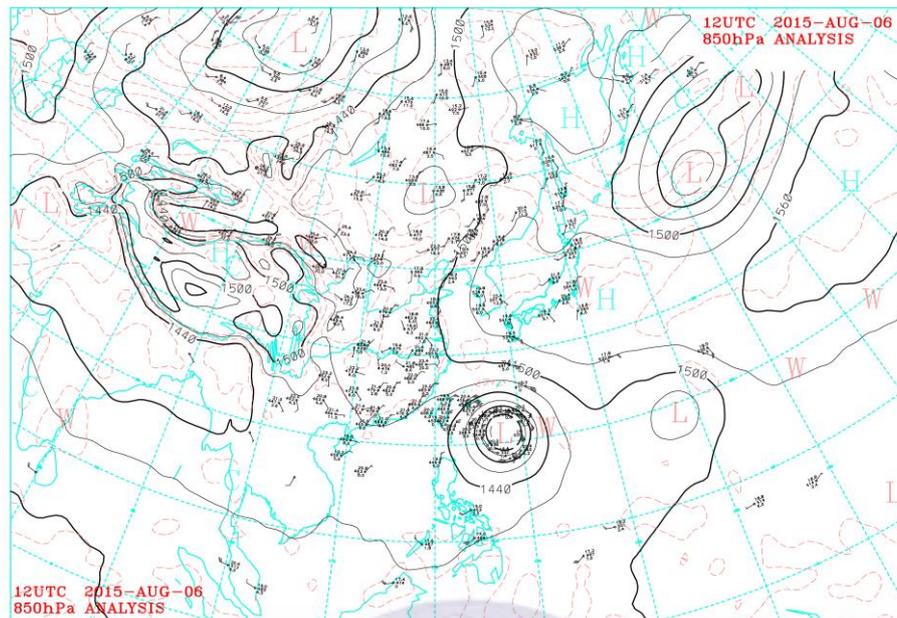


圖 2.2 (續)。

(a) 2015 年 08 月 6 日 1200 UTC



(b) 2015 年 08 月 7 日 0000 UTC

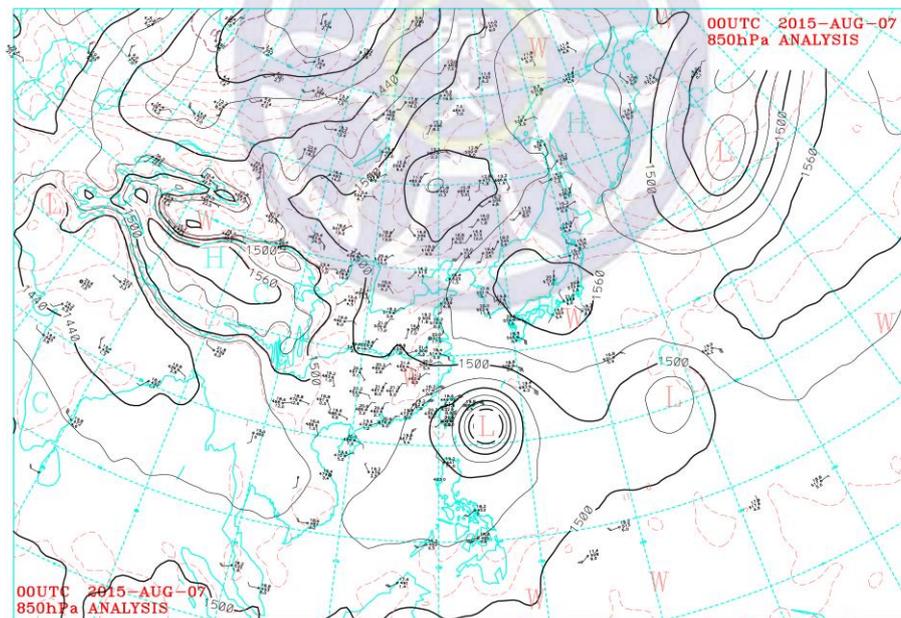
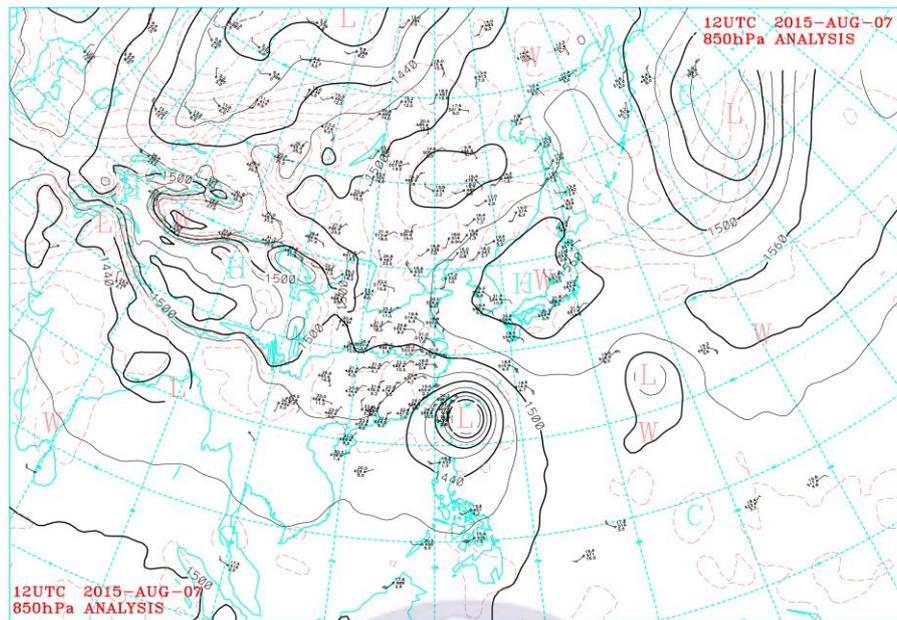


圖 2. 3 中央氣象局之 850 hPa 天氣圖，2015 年 08 月 (a) 6 日 1200 UTC (b) 7 日 0000 UTC (c) 7 日 1200 UTC (d) 8 日 0000 UTC (e) 8 日 1200 UTC (f) 9 日 0000 UTC。

(c) 2015 年 08 月 7 日 1200 UTC



(d) 2015 年 08 月 8 日 0000 UTC

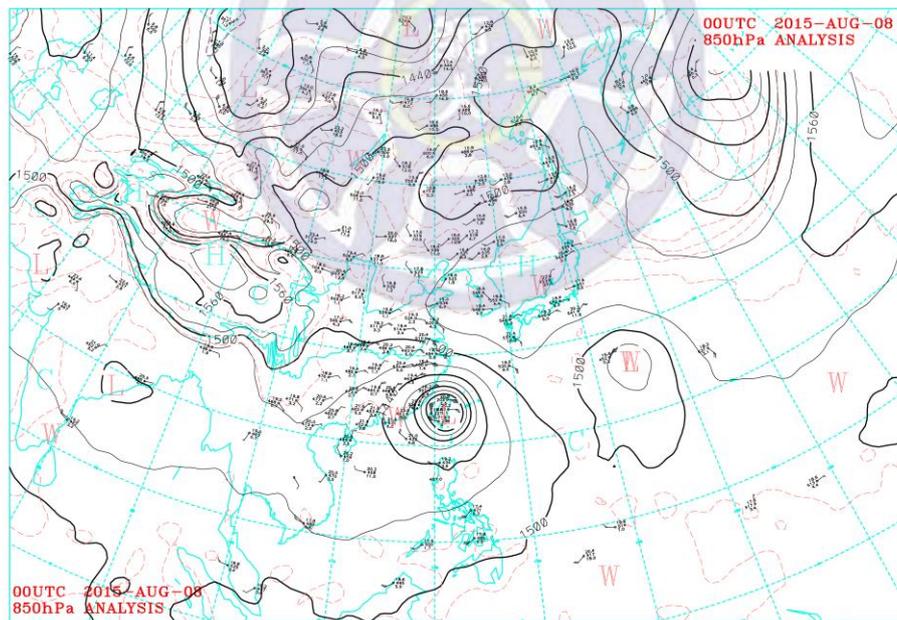
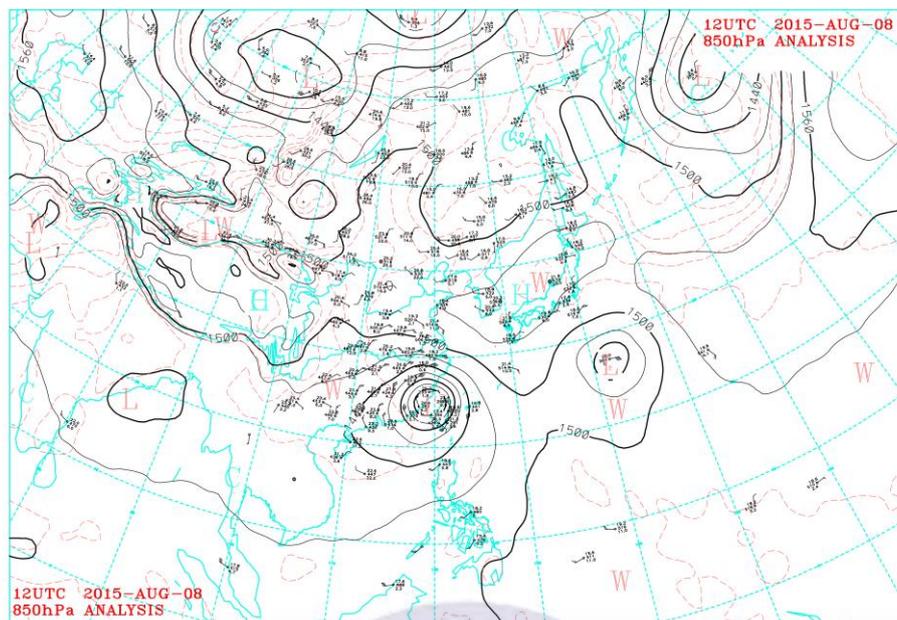


圖 2.3(續)。

(e) 2015 年 08 月 8 日 1200 UTC



(f) 2015 年 08 月 9 日 0000 UTC

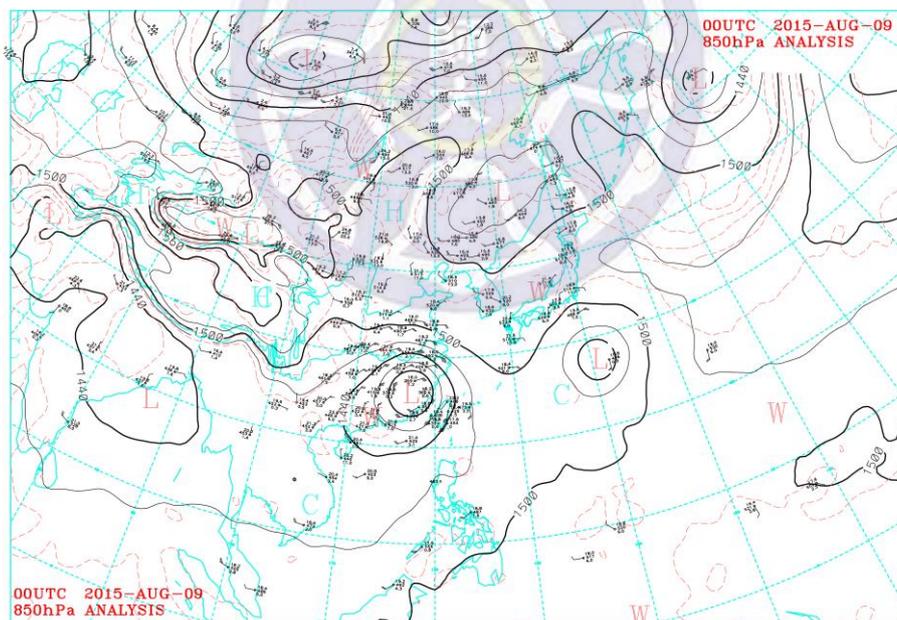
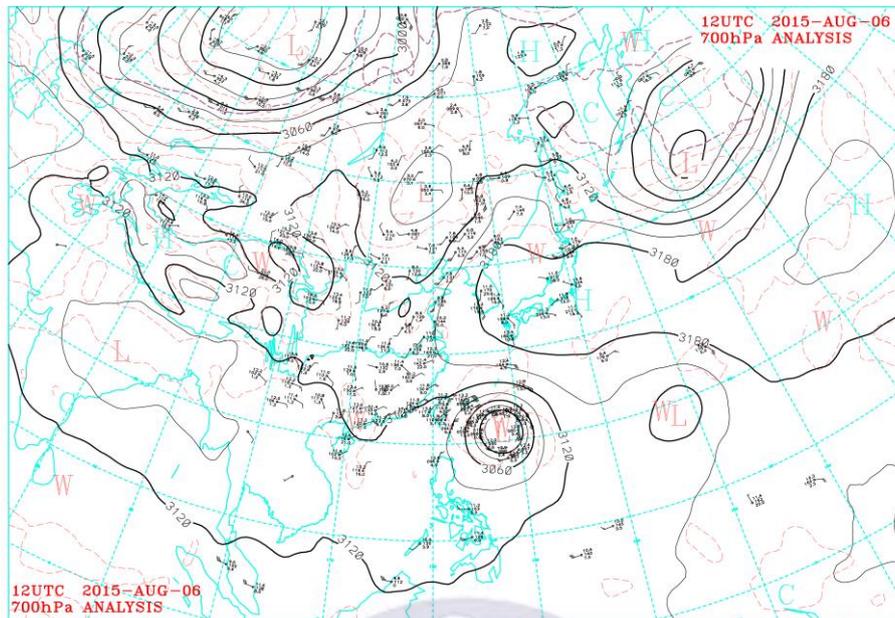


圖 2.3(續)。

(a) 2015 年 08 月 6 日 1200 UTC



(b) 2015 年 08 月 7 日 0000 UTC

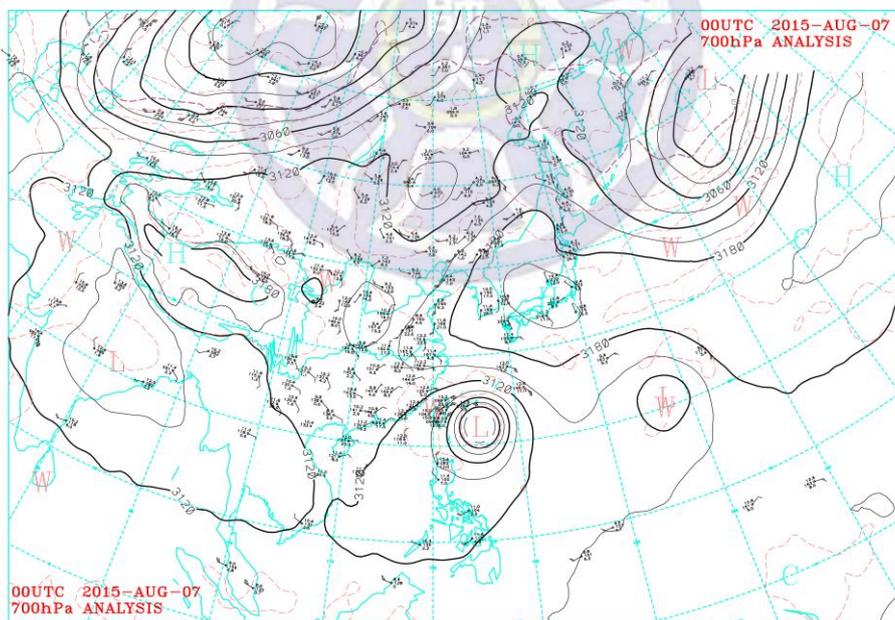
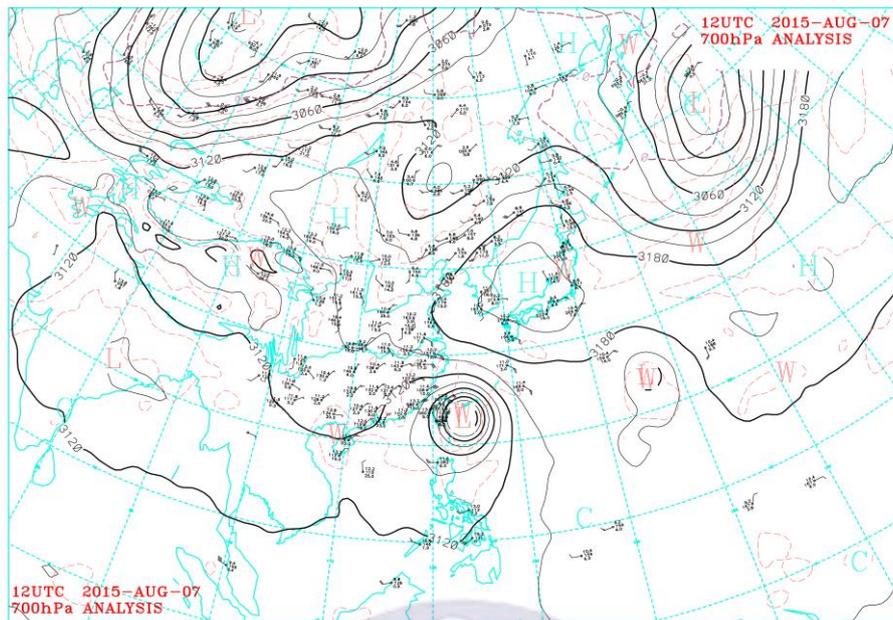


圖 2. 4 同圖 2.3，但為 700hPa 天氣圖。

(c) 2015 年 08 月 7 日 1200 UTC



(d) 2015 年 08 月 8 日 0000 UTC

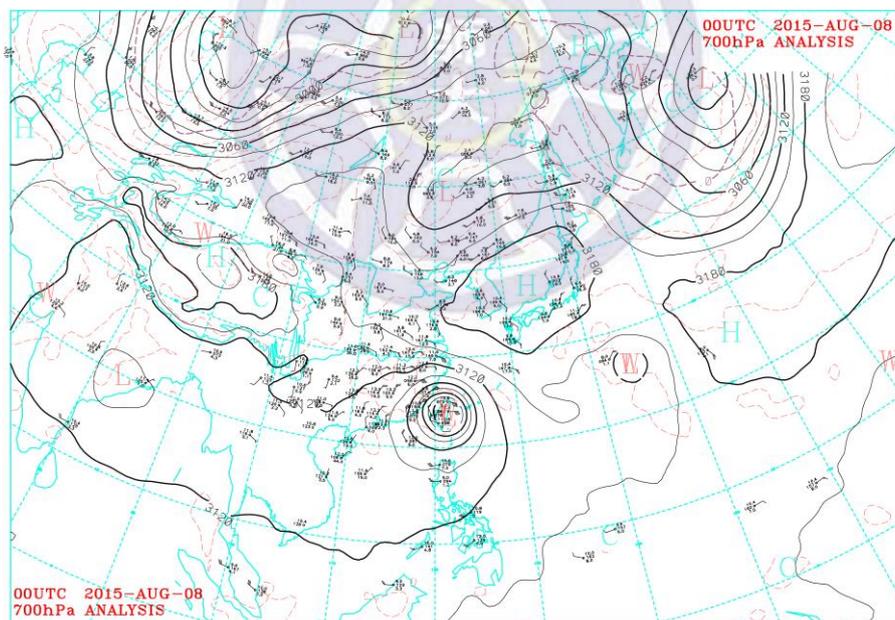
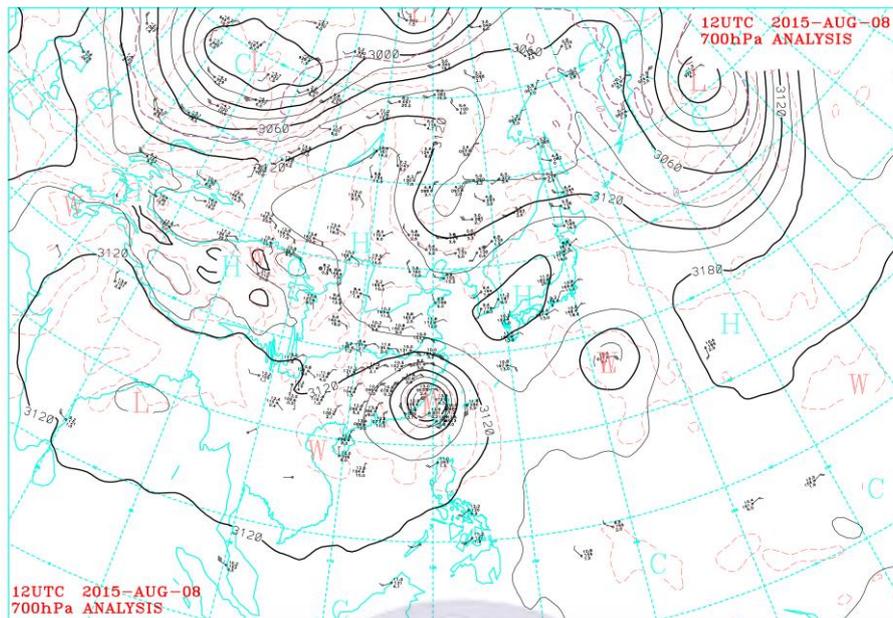


圖 2.4(續)。

(e) 2015 年 08 月 8 日 1200 UTC



(f) 2015 年 08 月 9 日 0000 UTC

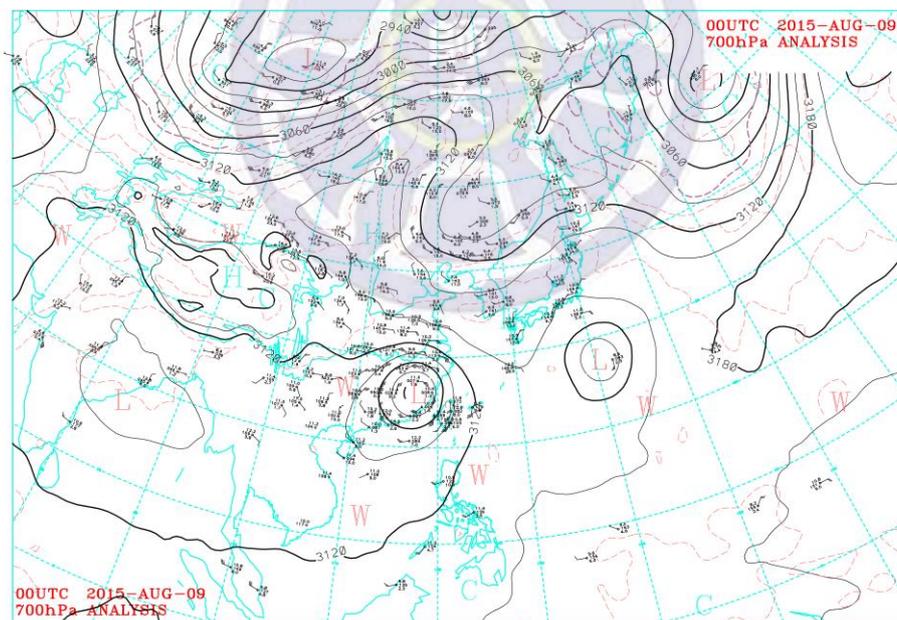
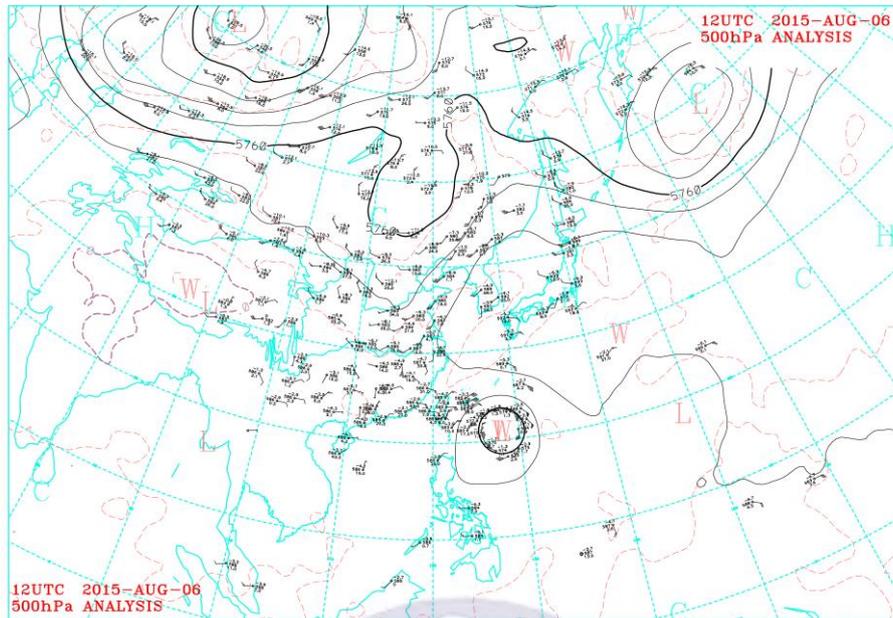


圖 2.4(續)。

(a) 2015 年 08 月 6 日 1200 UTC



(b) 2015 年 08 月 7 日 0000 UTC

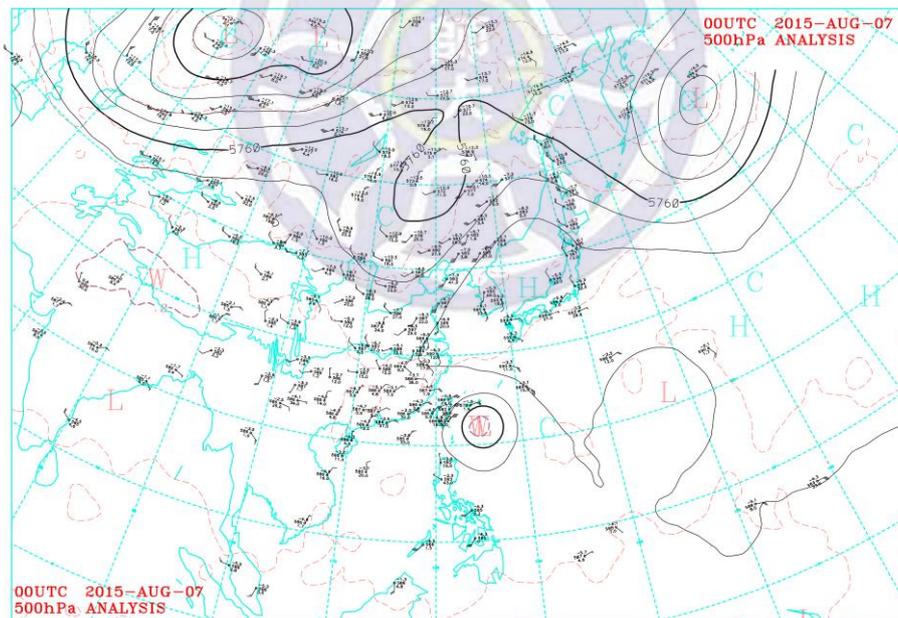
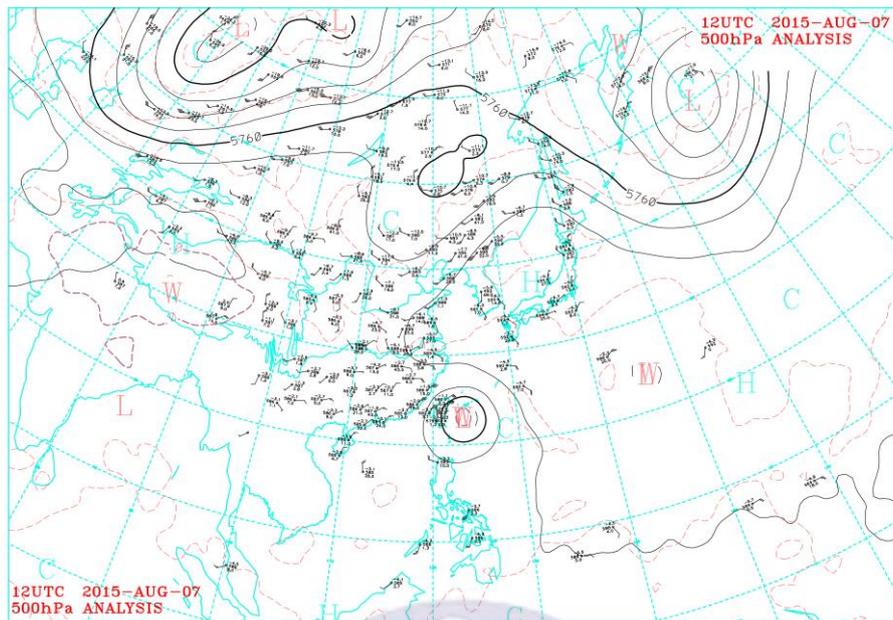


圖 2. 5 同圖 2.3，但為 500 hPa 天氣圖。

(c) 2015 年 08 月 7 日 1200 UTC



(d) 2015 年 08 月 8 日 0000 UTC

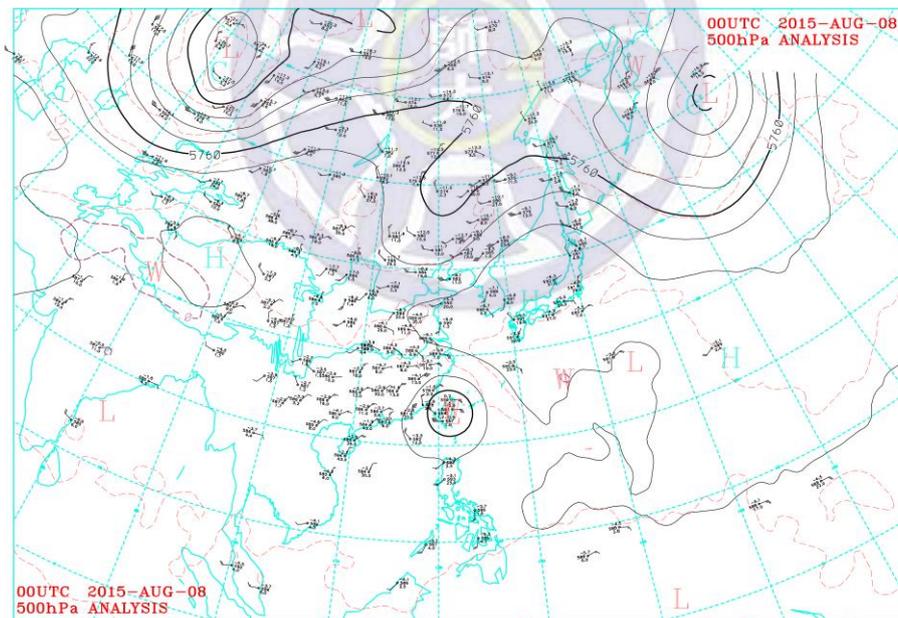
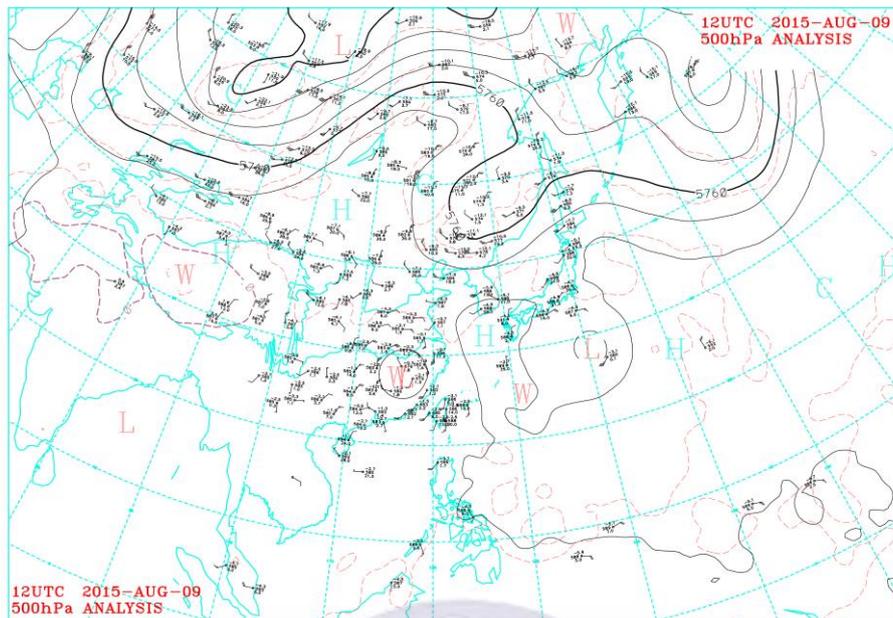


圖 2.5(續)。

(e) 2015 年 08 月 8 日 1200 UTC



(f) 2015 年 08 月 9 日 0000 UTC

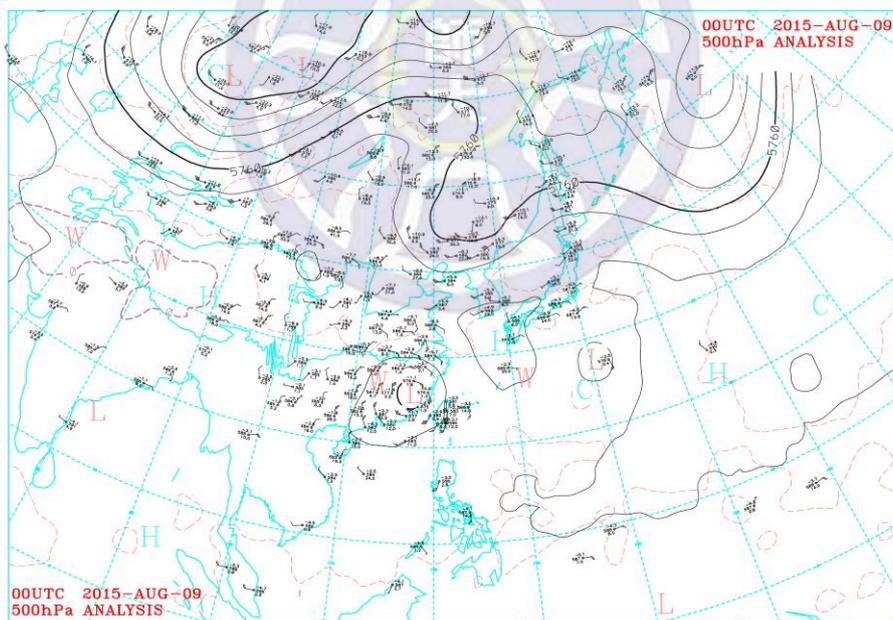
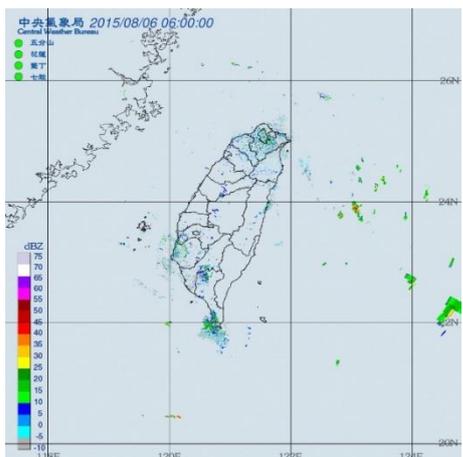
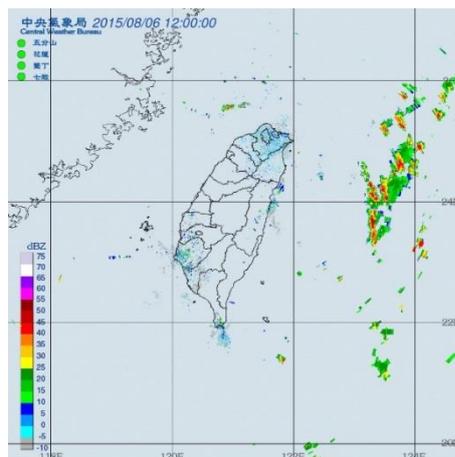


圖 2.5(續)。

(a)8月5日 2200 UTC



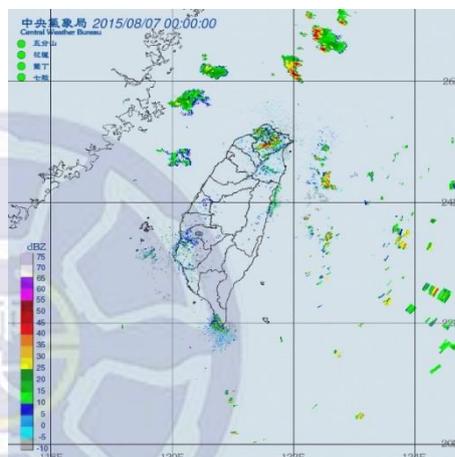
(b)8月6日 0400 UTC



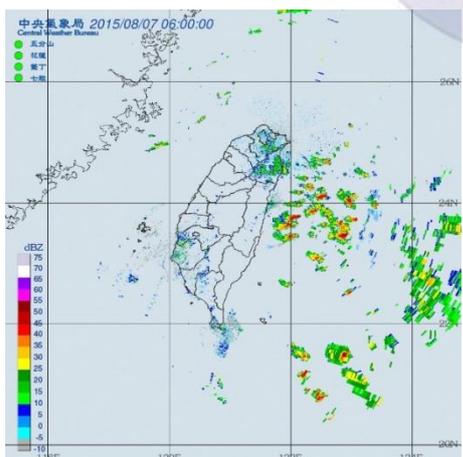
(c)8月6日 1000 UTC



(d)8月6日 1600 UTC



(e)8月6日 2200 UTC



(f)8月7日 0400 UTC

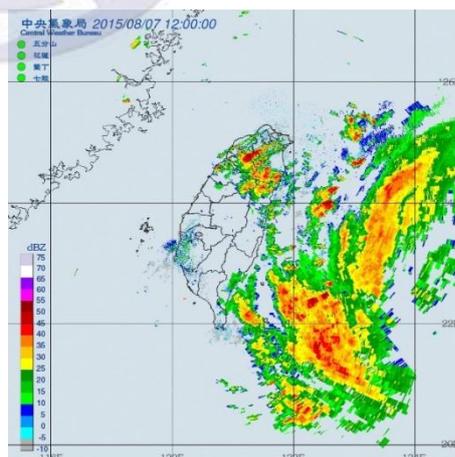
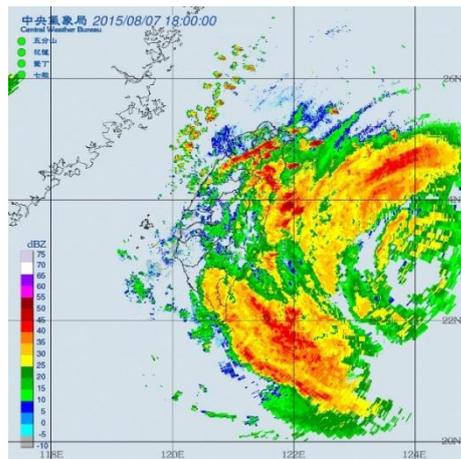
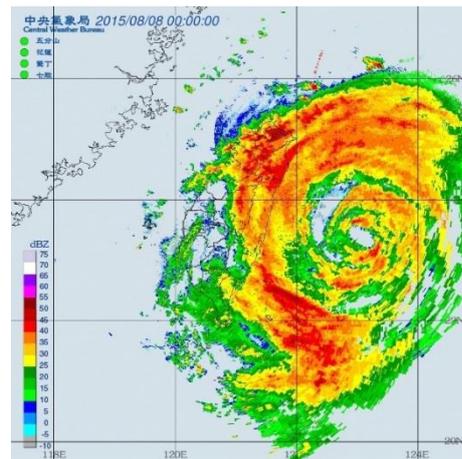


圖 2. 6 中央氣象局提供之雷達回波，6 小時一張，2015 年(a)8 月 5 日 2200 UTC(b)8 月 6 日 0400 UTC(c)8 月 6 日 1000 UTC(d)8 月 6 日 1600 UTC(e)8 月 6 日 2200 UTC(f)8 月 7 日 0400 UTC(g)8 月 7 日 1000 UTC(h)8 月 7 日 1600 UTC(i)8 月 7 日 2200 UTC(j)8 月 8 日 0400 UTC(k)8 月 8 日 1000 UTC(l)8 月 8 日 1600 UTC。

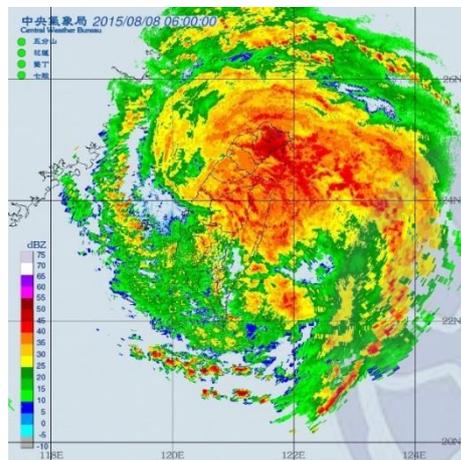
(g) 8月7日 1000 UTC



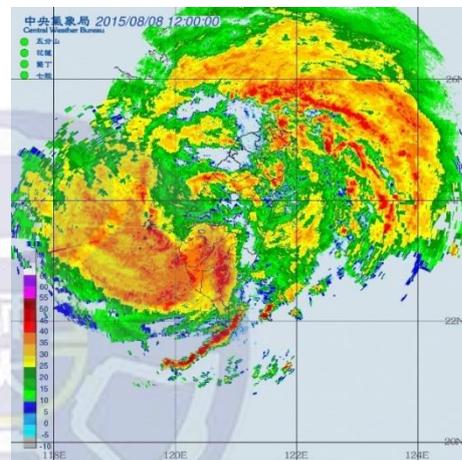
(h) 8月7日 1600 UTC



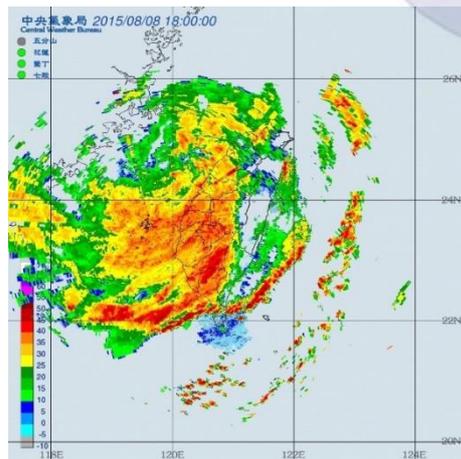
(i) 8月7日 2200 UTC



(j) 8月8日 0400 UTC



(k) 8月8日 1000 UTC



(l) 8月8日 1600 UTC

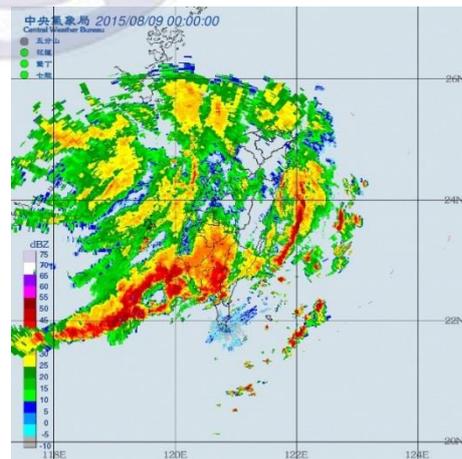
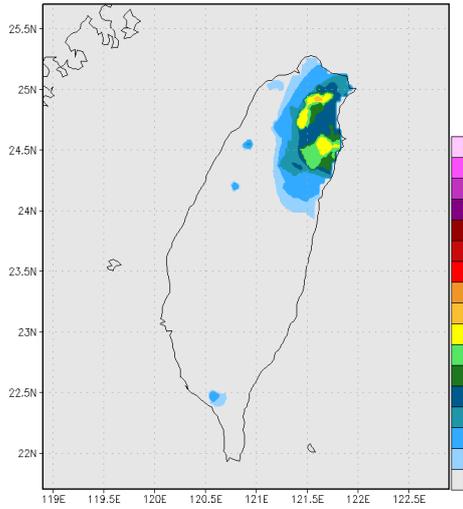


圖 2.6(續)。

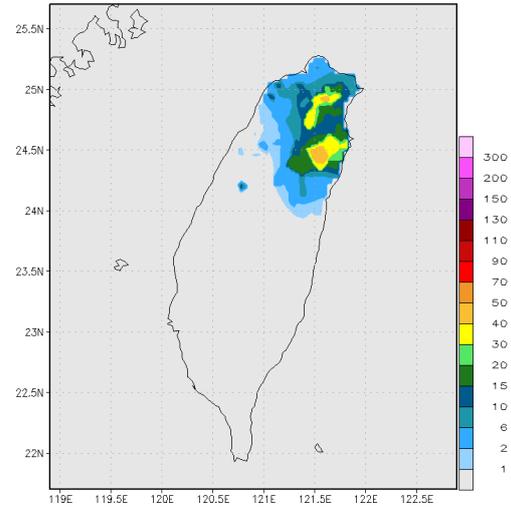
(a)

2015080600-2015080612UTC_accumulated rain



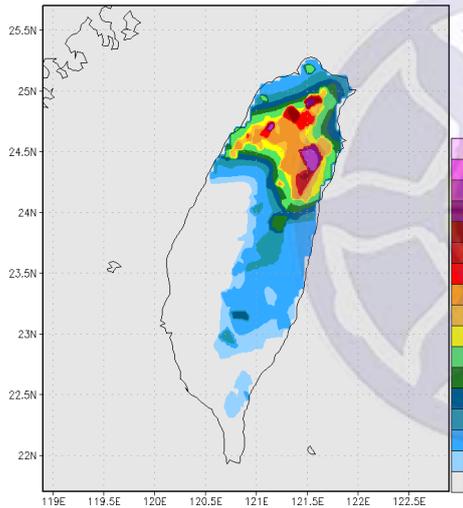
(b)

2015080612-2015080700UTC_accumulated rain



(c)

2015080700-2015080712UTC_accumulated rain



(d)

2015080712-2015080800UTC_accumulated rain

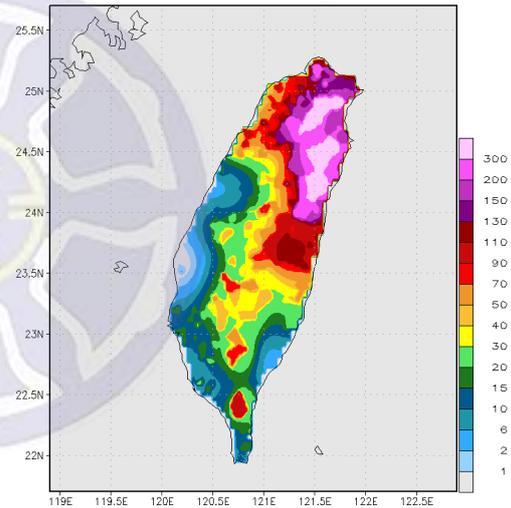
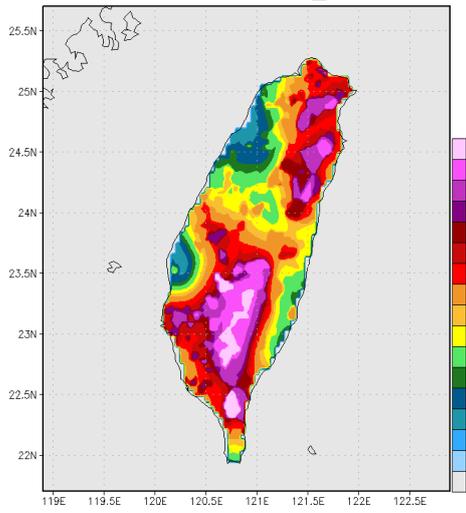


圖 2. 7 為 12 小時的累積雨量，2015 年(a)8 月 6 日 0000 UTC 至 8 月 6 日 1200 UTC (b) 8 月 6 日 1200 UTC 至 8 月 7 日 0000 UTC (c) 8 月 7 日 0000 UTC 至 8 月 7 日 1200 UTC (d) 8 月 7 日 1200 UTC 至 8 月 8 日 0000 UTC (e)8 月 8 日 0000 UTC 至 8 月 8 日 1200 UTC (f) 8 月 8 日 1200 UTC 至 8 月 9 日 0000 UTC (g) 8 月 9 日 0000 UTC 至 8 月 9 日 1200 UTC (h) 8 月 9 日 1200 UTC 至 8 月 10 日 0000 UTC。

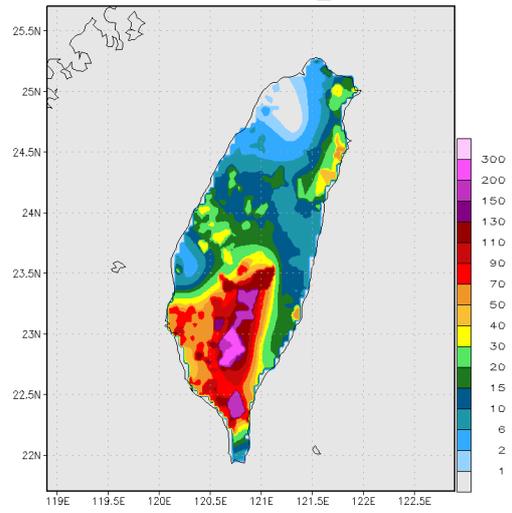
(e)

2015080800-2015080812UTC_accumulated rain



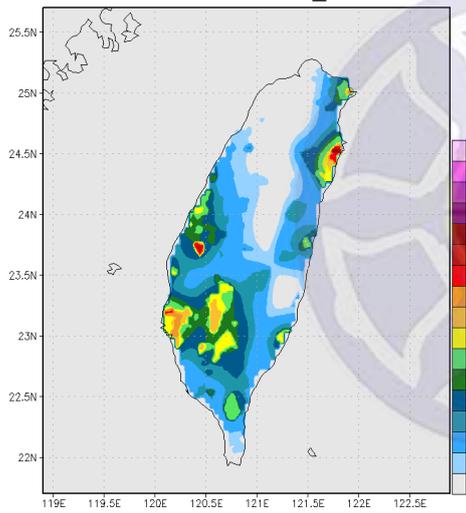
(f)

2015080812-2015080900UTC_accumulated rain



(g)

2015080900-2015080912UTC_accumulated rain



(h)

2015080912-2015081000UTC_accumulated rain

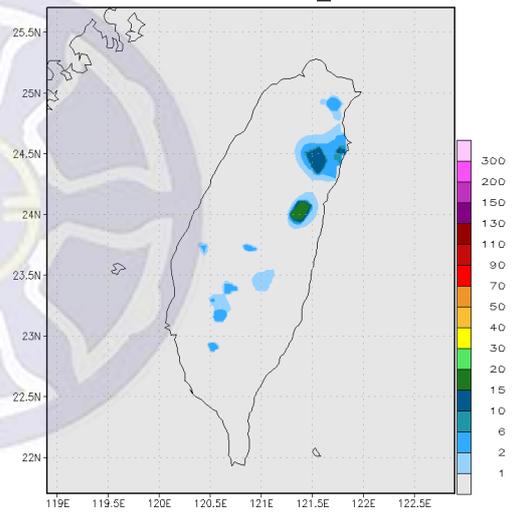
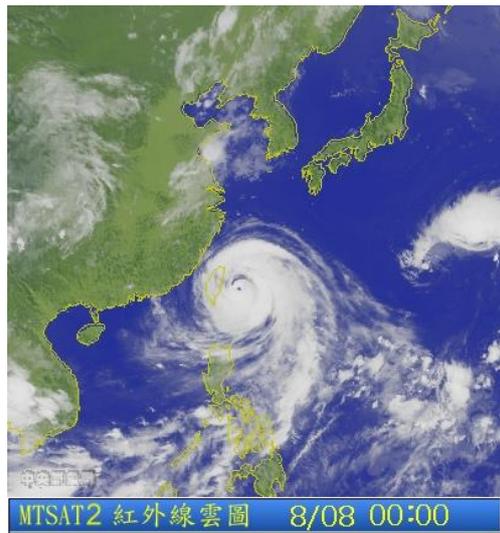


圖 2.7(續)。

(a) 8月7日 1600 UTC



(b) 8月7日 1900 UTC



(c) 8月7日 2200 UTC



(d) 8月8日 0100 UTC



圖 2. 8 為紅外線衛星雲圖 (a) 8月7日 1600 UTC (b) 8月7日 1900 UTC (c) 8月7日 2200 UTC (d) 8月8日 0100 UTC。

WRF Modeling System Flow Chart

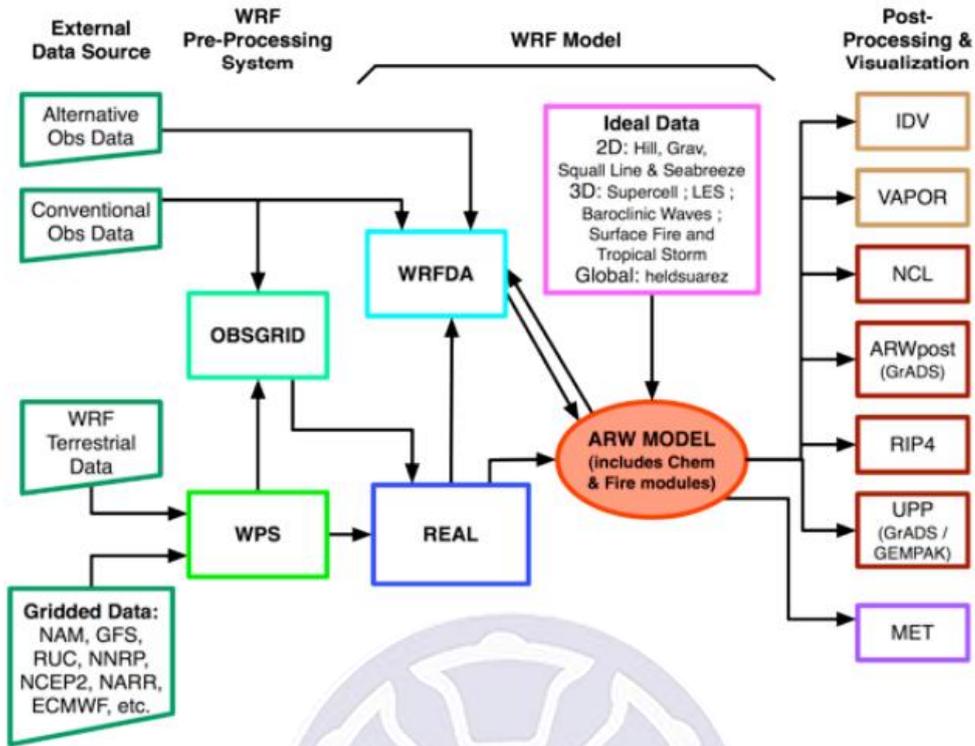


圖 3. 1 WRF 模式示意圖(取自 WRF 使用手冊)。

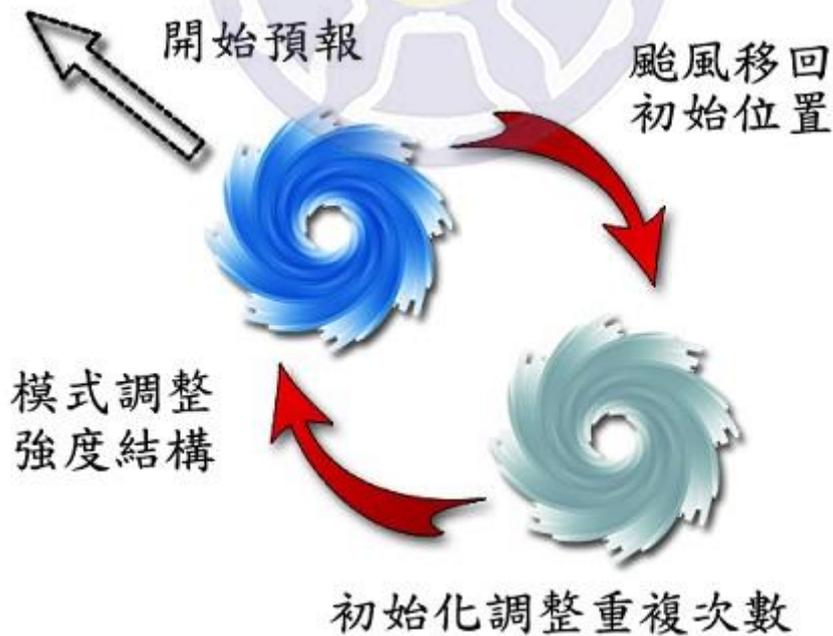


圖 3. 2 NC2011 颱風初始化方法概念圖。

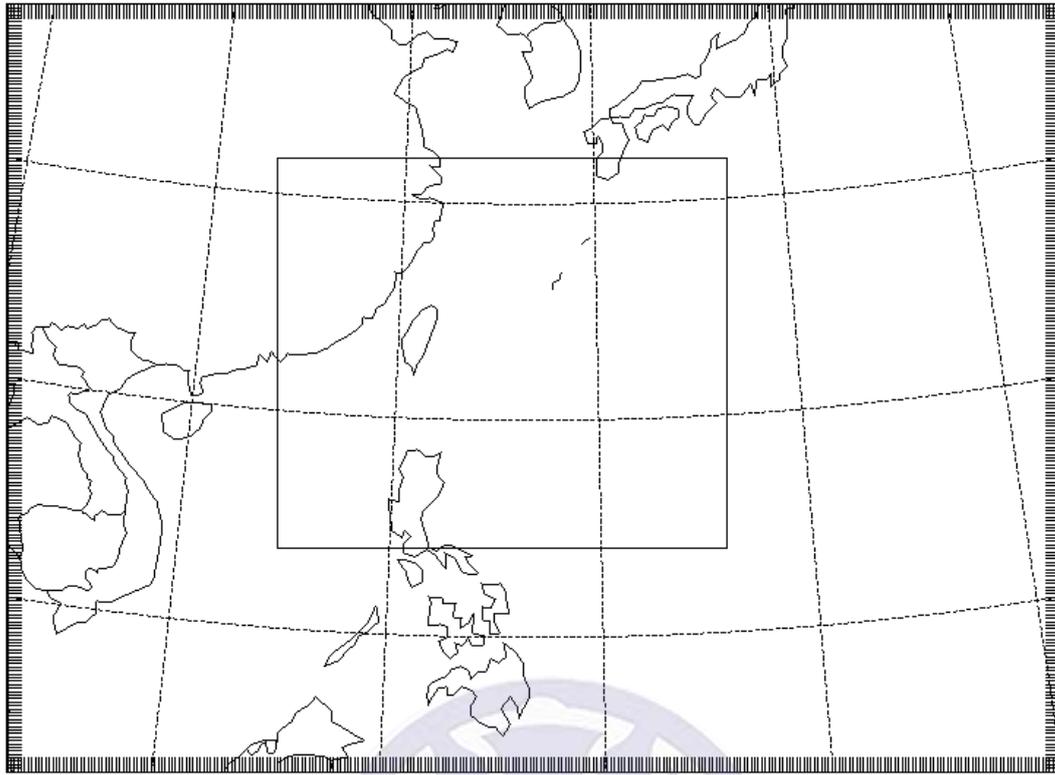
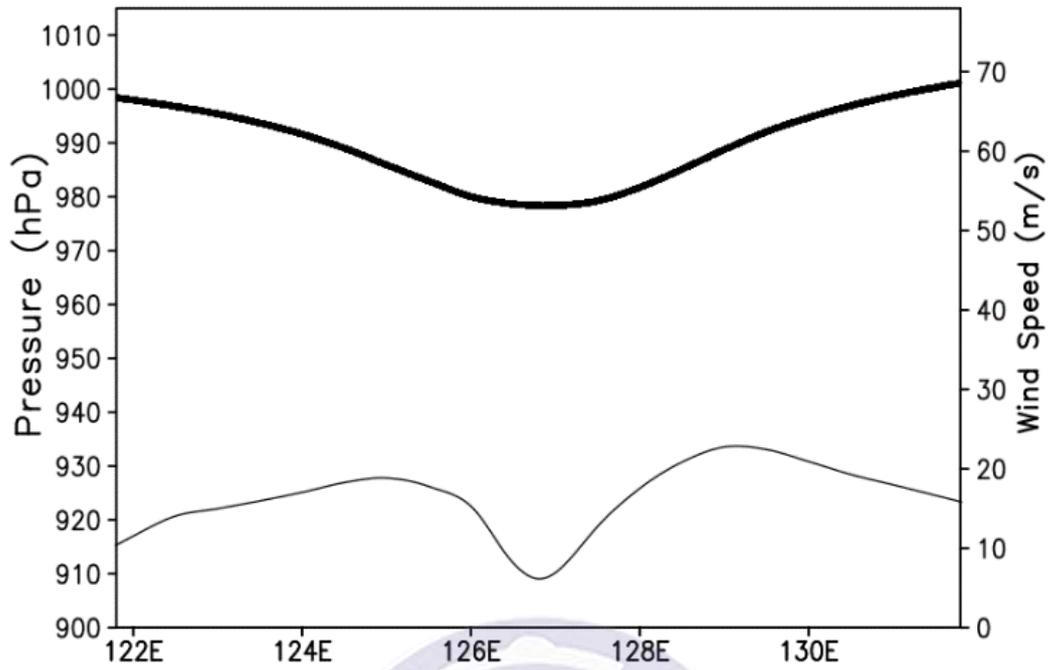


圖 3. 3 本研究於 WRF 模式設定之兩層巢狀網格範圍。

(a)



(b)

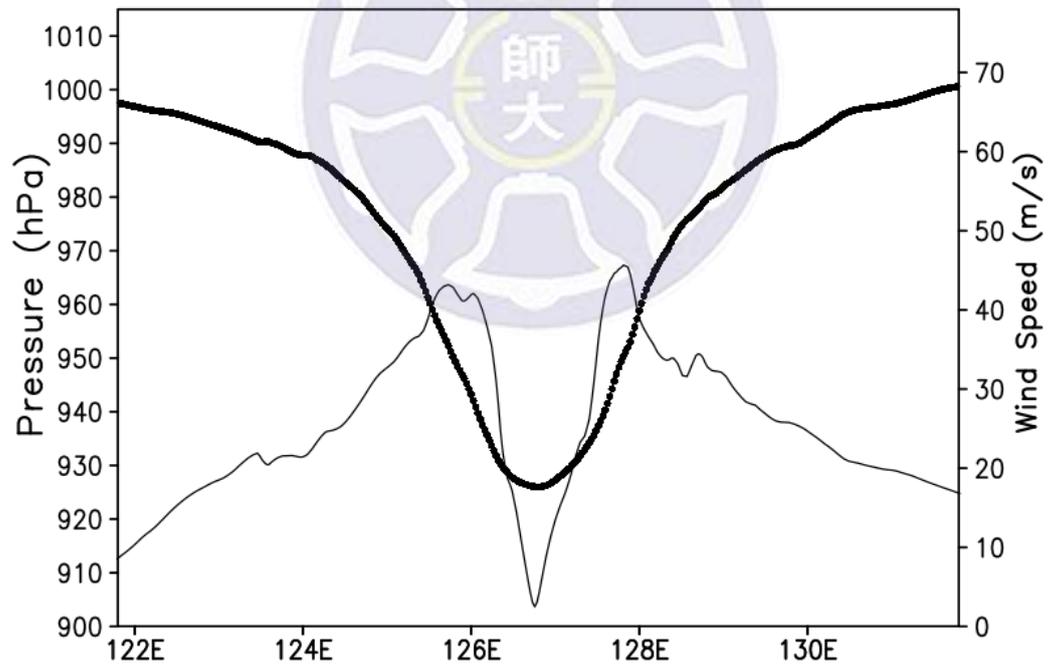
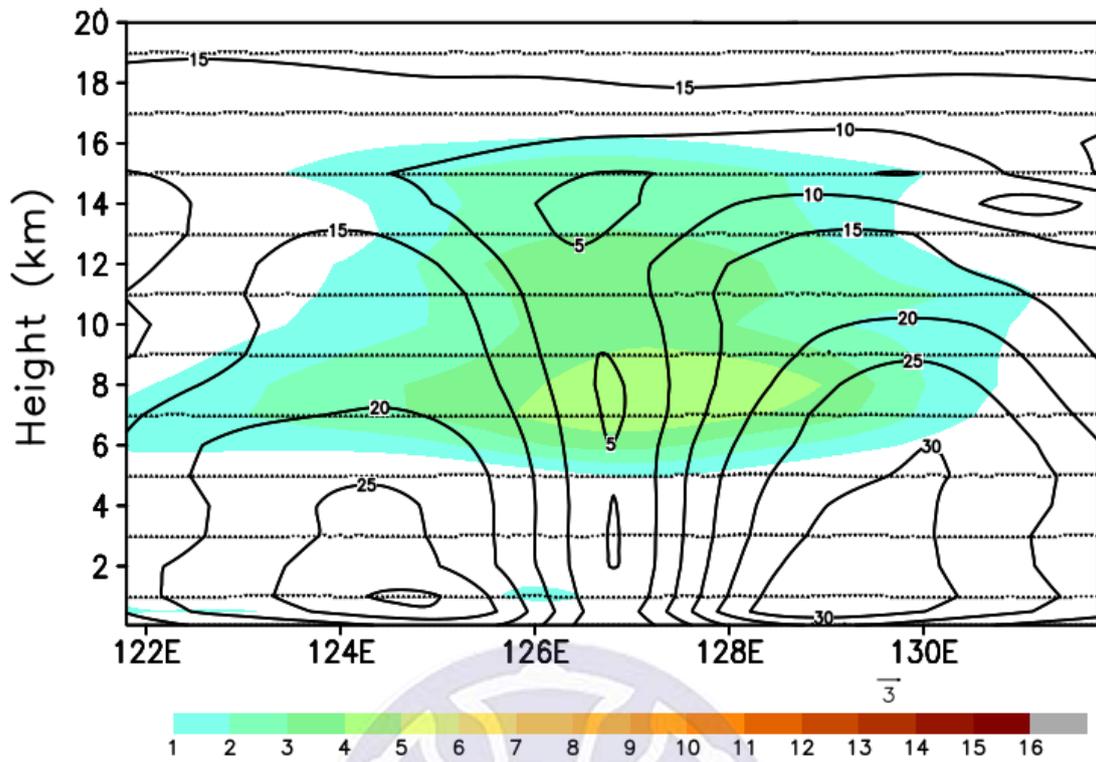


圖 4. 1 為初始颱風剖面的平均氣壓與 10 m 平均風速(m s^{-1})，(a)NCI 組(b)CTL 組，粗線為平均氣壓，細線為 10m 平均風速(m s^{-1})。

(a)



(b)

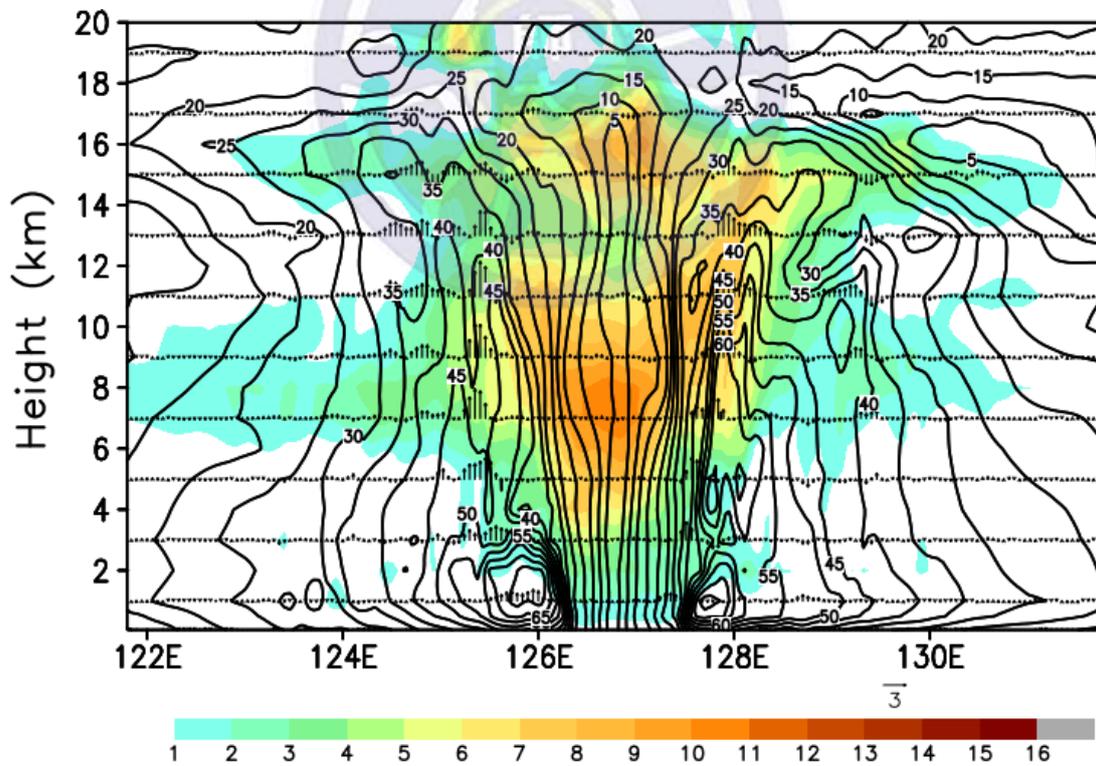
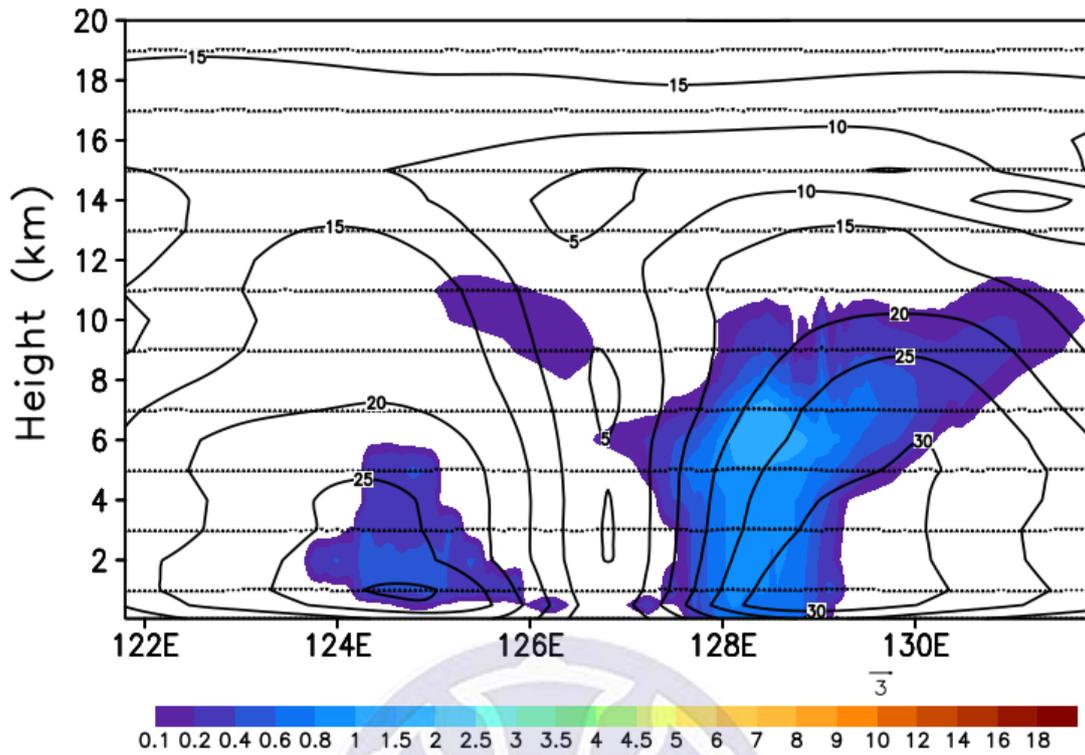


圖 4. 2 為垂直剖面風場與垂直剖面溫度圖，(a)NCI 組(b)CTL 組，垂直方向向量為垂直風速(m s^{-1})，實線為南北風風速(m s^{-1})，色階為剖面溫度(k)。

(a)



(b)

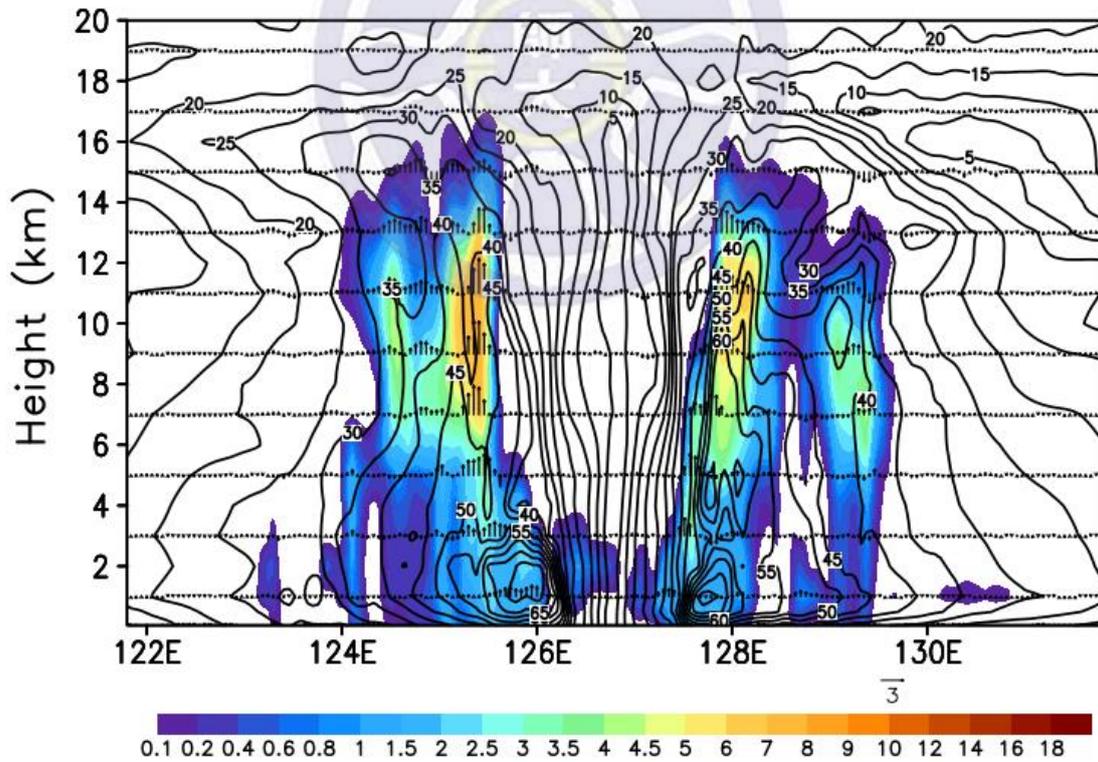
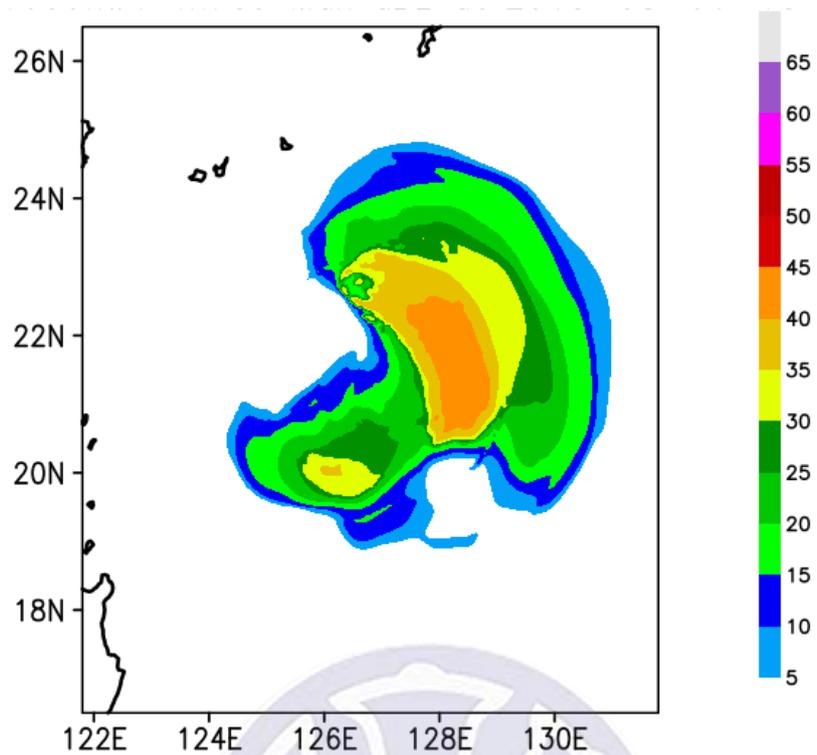


圖 4. 3 為垂直剖面風場與垂直剖面水氣混合比，(a)NCI 組(b)CTL 組，垂直方向向量為垂直風速(m s^{-1})，實線為南北風風速(m s^{-1})，色階為剖面水氣混合比(g/kg)。

(a)



(b)

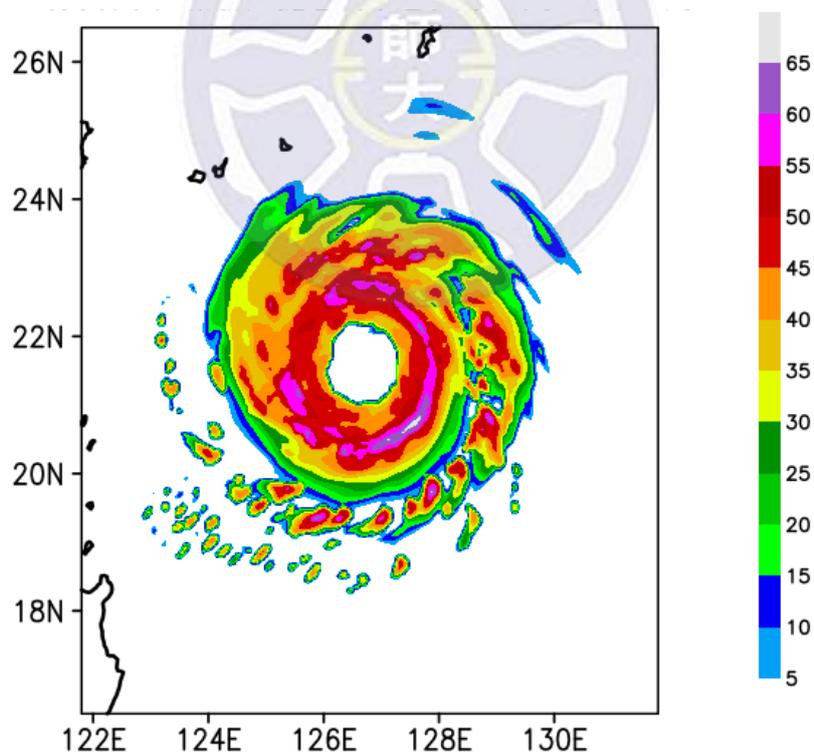
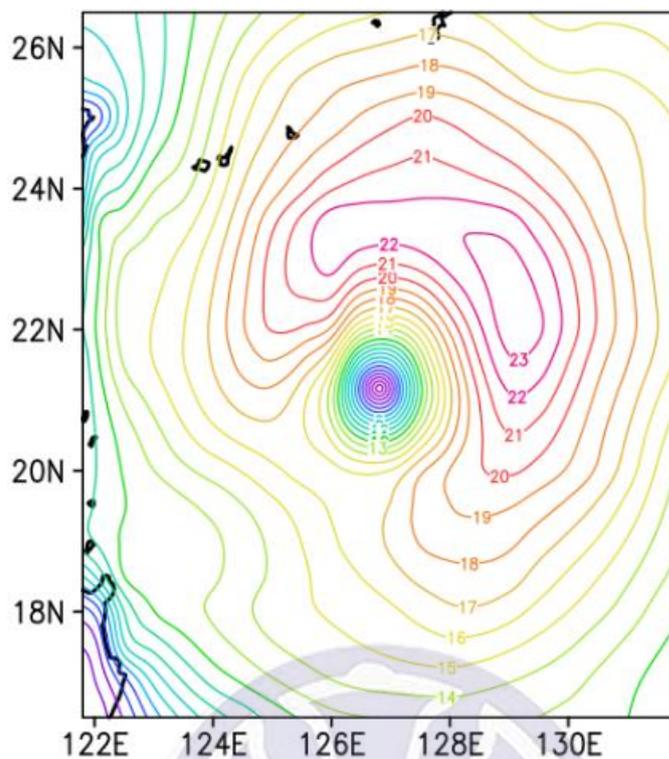


圖 4. 4 為水平雷達回波圖，(a)NCI 組(b)CTL 組，色階為雷達回波強度。

(a)



(b)

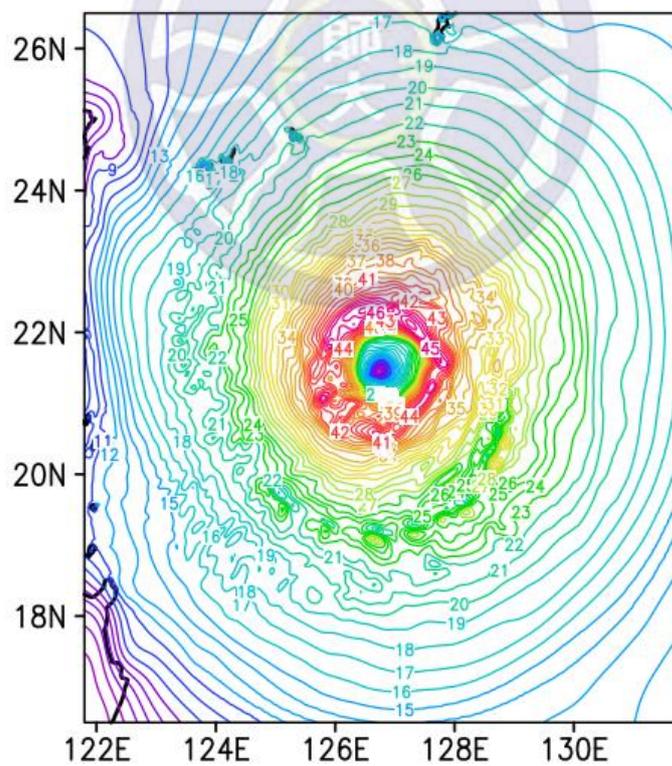
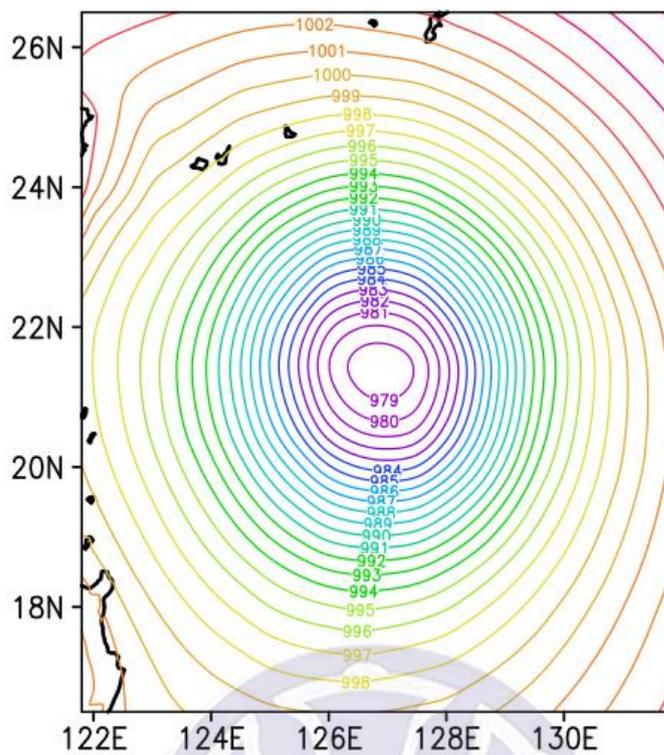


圖 4. 5 為 10m 水平風速圖(m s^{-1})，(a)NCI 組(b)CTL 組，等值線間格為 1 m s^{-1} 。

(a)



(b)

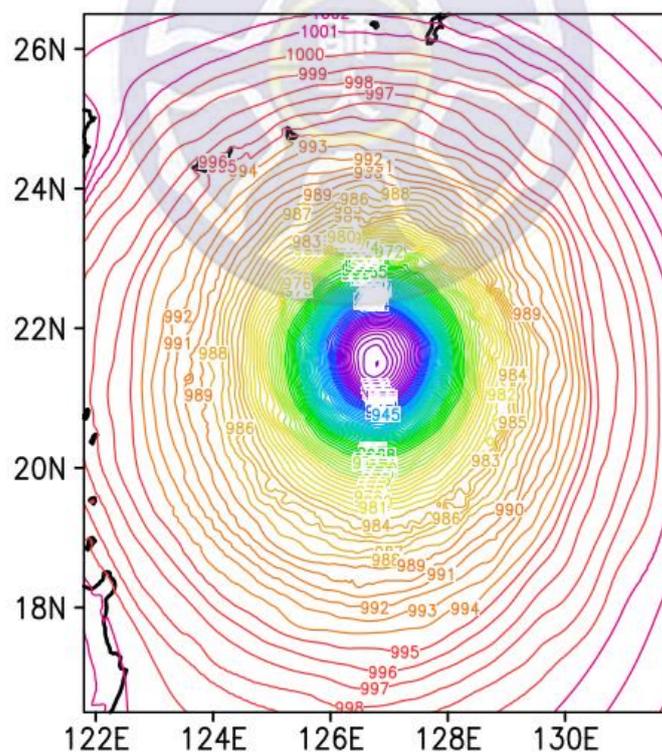
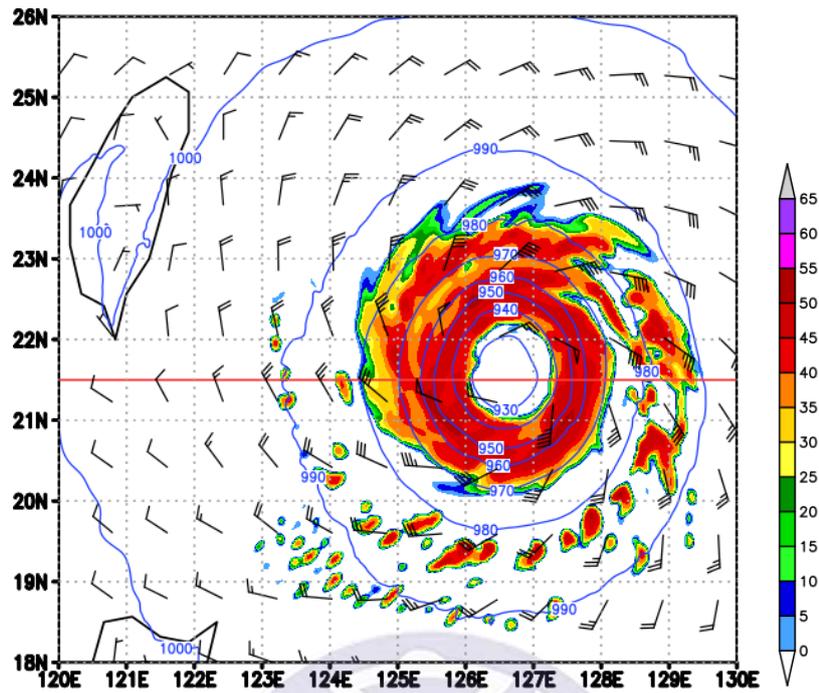


圖 4. 6 為海平面氣壓圖，(a)NCI 組(b)CTL 組，等值線間格為 1 hPa。

(a)8月6日1900 UTC



(b)8月7日0400 UTC

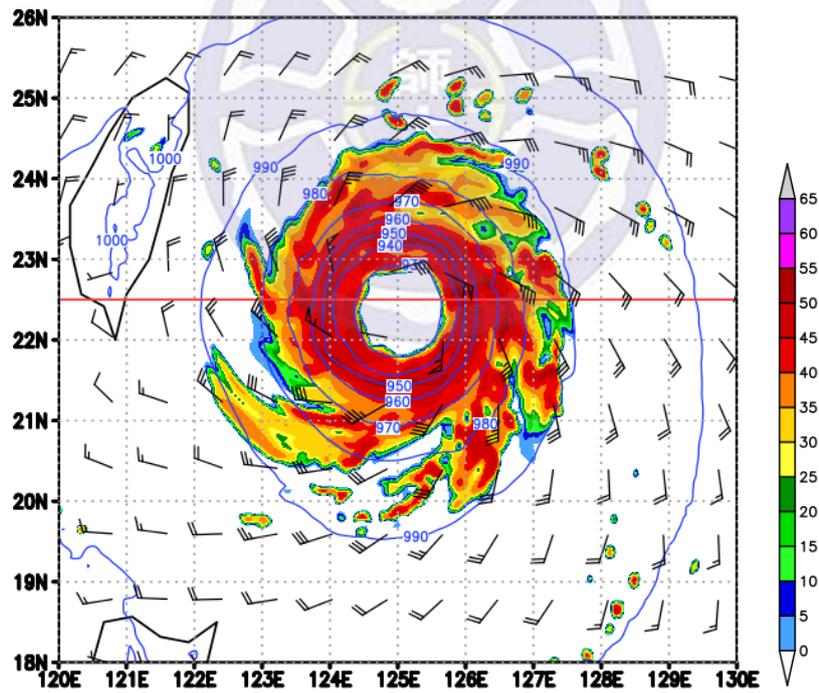
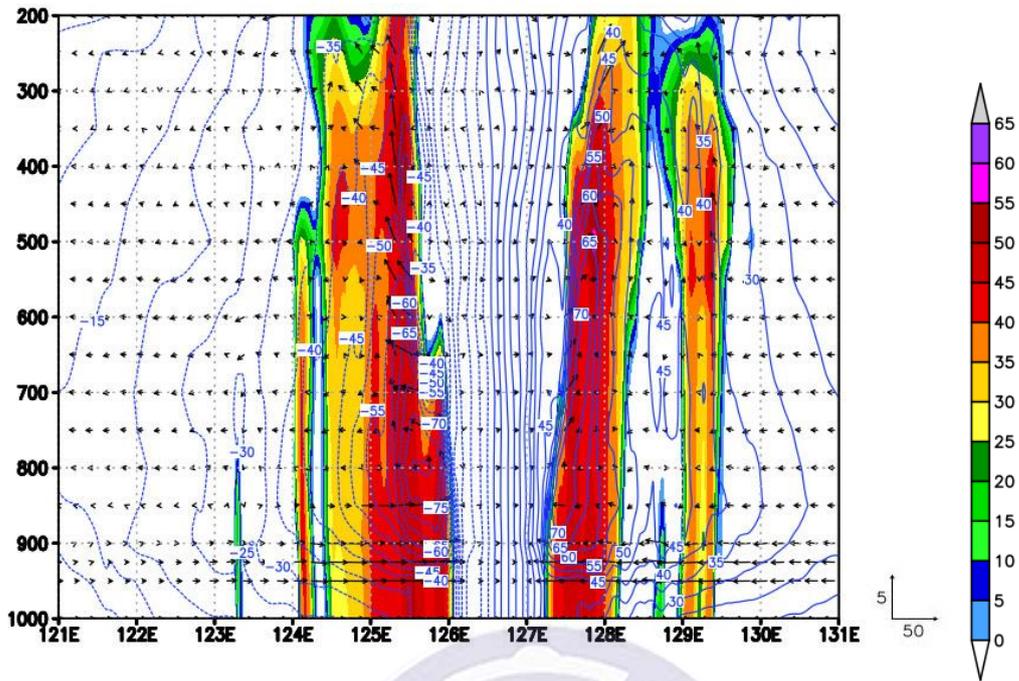


圖 4. 7 為水平雷達回波圖與 1000 hPa 水平風場，(a)為 8 月 6 日 1900 UTC(b) 8 月 7 日 0400 UTC，風羽標示(長桿 10 m s^{-1} ，短桿為 5 m s^{-1})，紅線為圖 4. 2 雷達回波垂直剖面位置，色階為雷達回波強度。

(a)8月6日1900 UTC



(b)8月7日0400 UTC

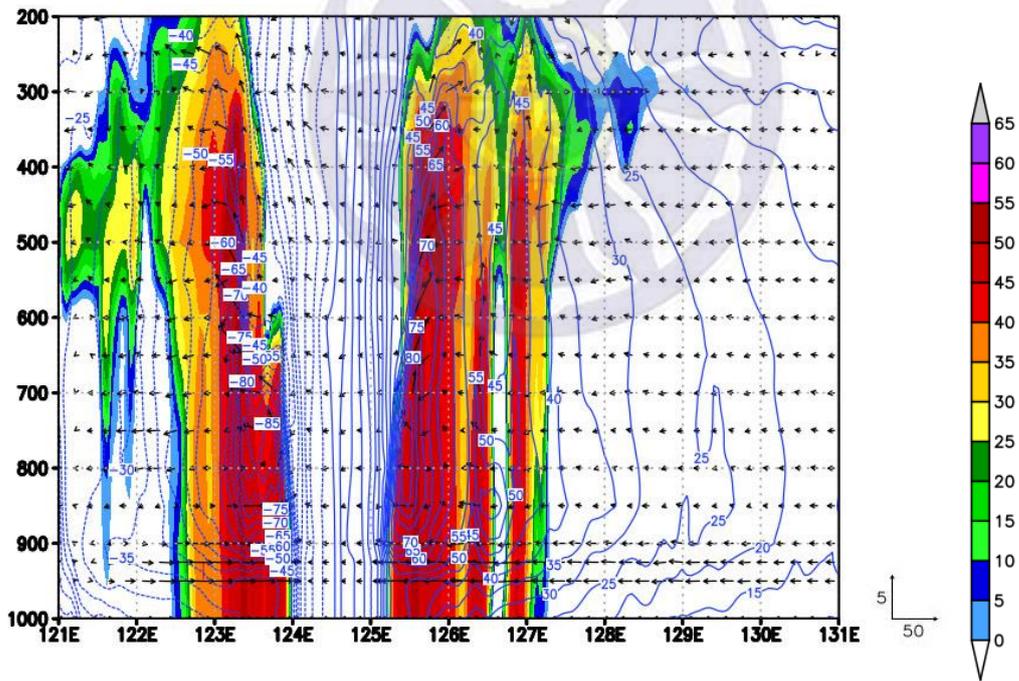
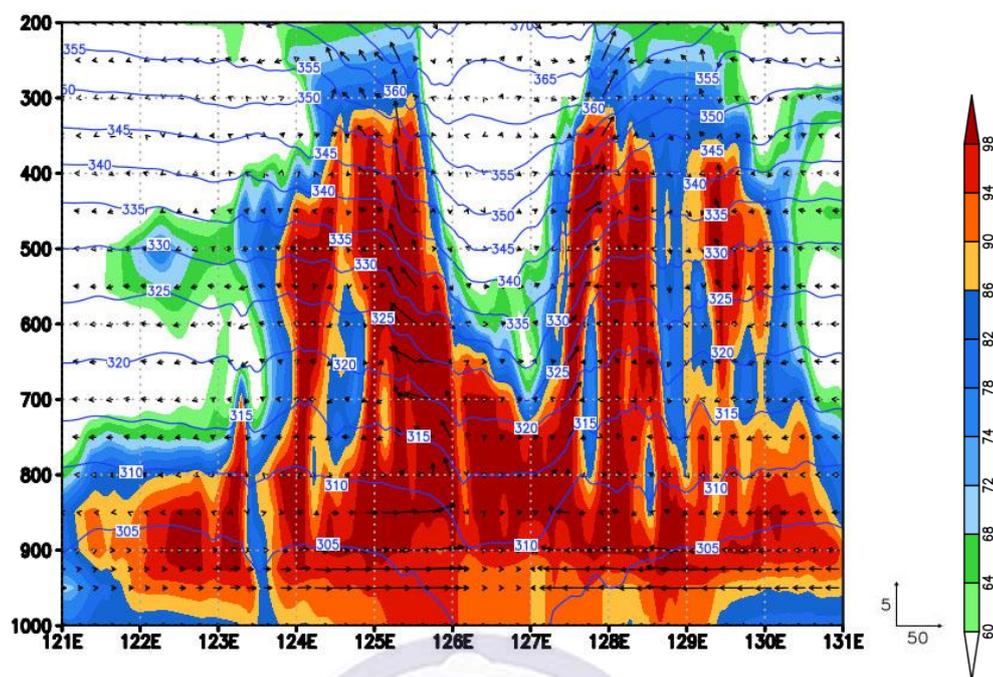


圖 4. 8 為雷達回波圖剖面圖，時間同圖 4. 1，(a)剖面位置為 21.5°N (b)剖面位置為 22.5°N ，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s^{-1})，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍，色階為雷達回波強度。

(a) 8月6日 1900 UTC



(b) 8月7日 0400 UTC

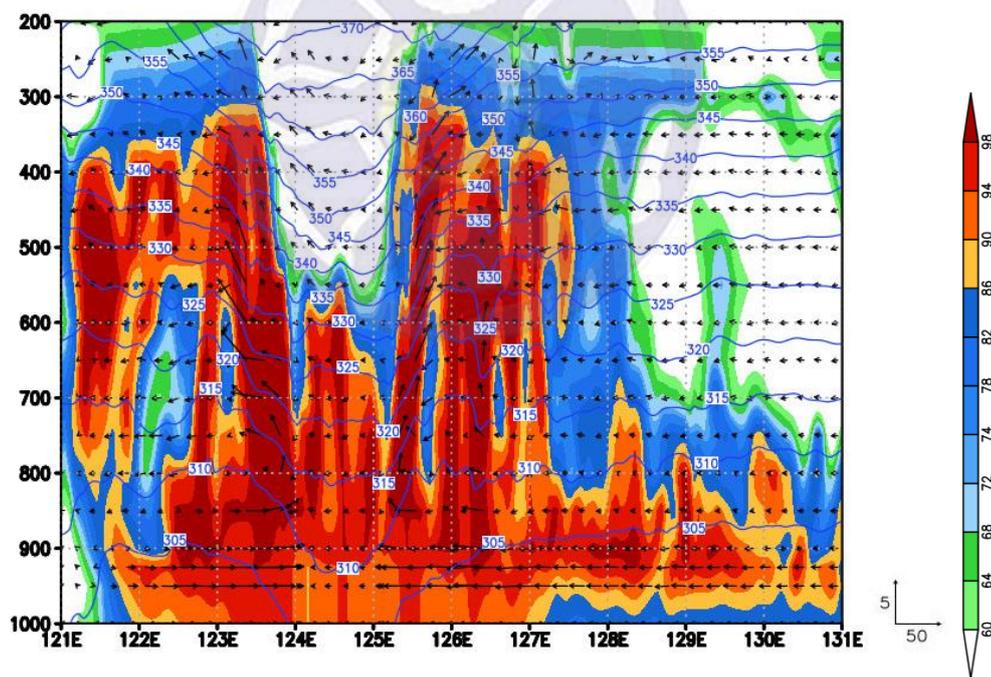


圖 4. 9 為相對溼度剖面圖，時間同圖 4. 1，(a)剖面位置為 21.5°N (b)剖面位置為 22.5°N ，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s^{-1})，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍，色階為相對溼度(%)。

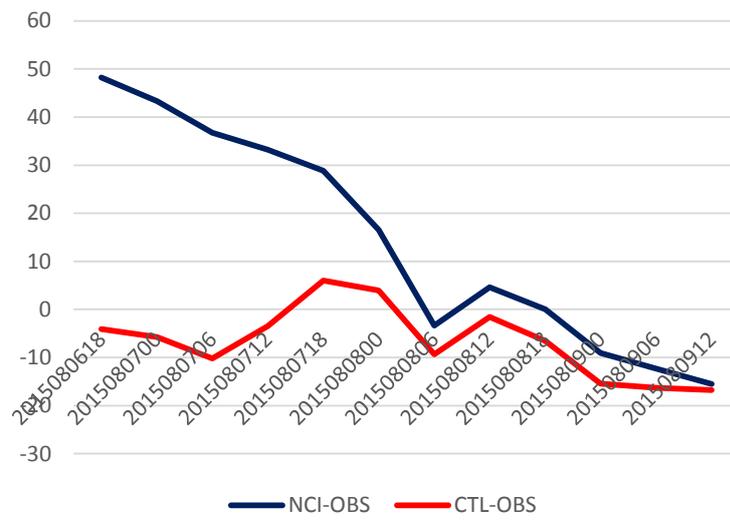
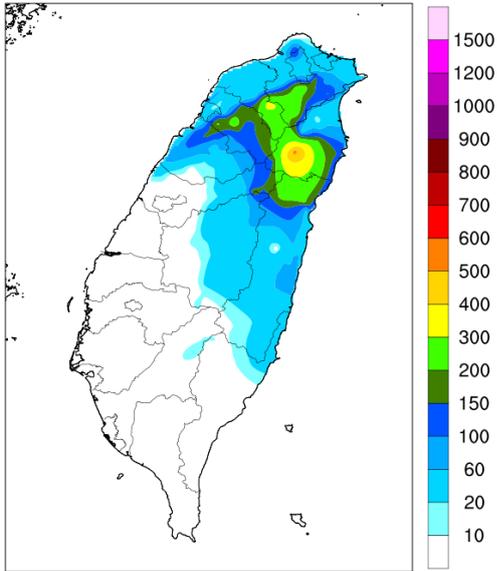


圖 4. 10 為 CTL 組(紅)和 NCI 組(藍)和觀測的中心氣壓誤差。



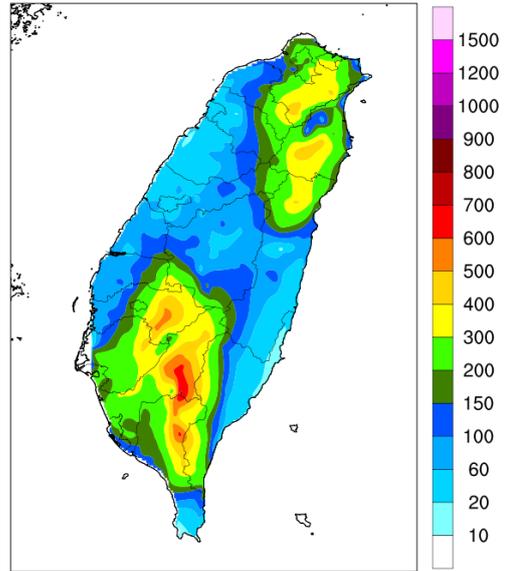
(a)

2015080618 - 080718 24h Accumulated Rainfall



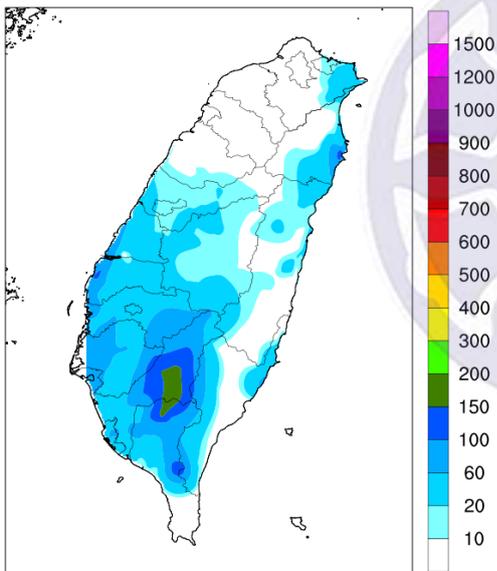
(b)

2015080718 - 080818 24h Accumulated Rainfall



(c)

2015080818 - 080918 24h Accumulated Rainfall



(d)

2015080618 - 080918 72h Accumulated Rainfall

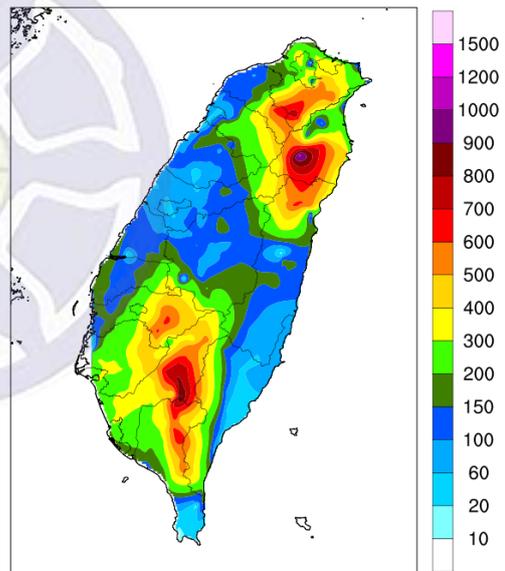
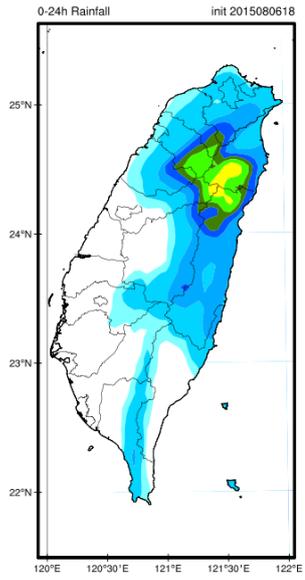


圖 4. 11 觀測累積雨量，24 小時累積雨量(m m)，(a)為 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 7 日 1800 UTC(b)為 8 月 7 日 1800 UTC 至 8 月 8 日 1800 UTC(c)為 8 月 8 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC。72 小時累積雨量(m m)，(d)為 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC。

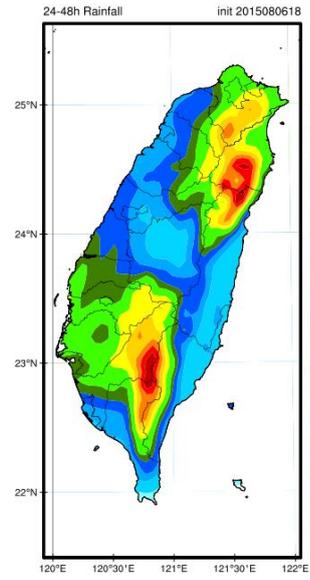
(a)

NCI 2015-08-06_18 - 2015-08-07_18 UTC



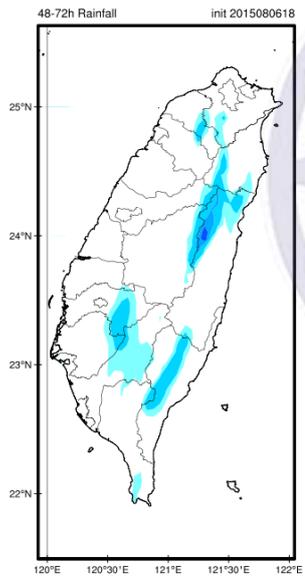
(b)

NCI 2015-08-07_18 - 2015-08-08_18 UTC



(c)

NCI 2015-08-08_18 - 2015-08-09_18 UTC



(d)

NCI 2015-08-06_18 - 2015-08-09_18 UTC

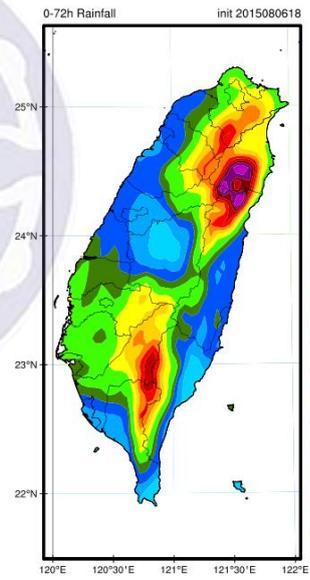
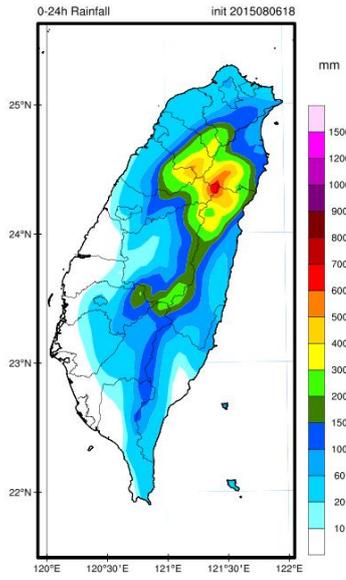


圖 4. 12 同圖 4.11，但為 NCI 組累積雨量。

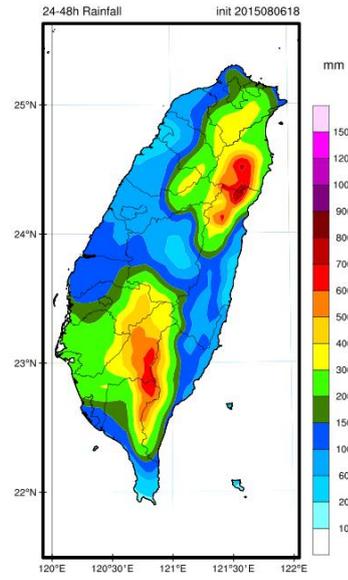
(a)

CTL 2015-08-06_18 - 2015-08-07_18 UTC



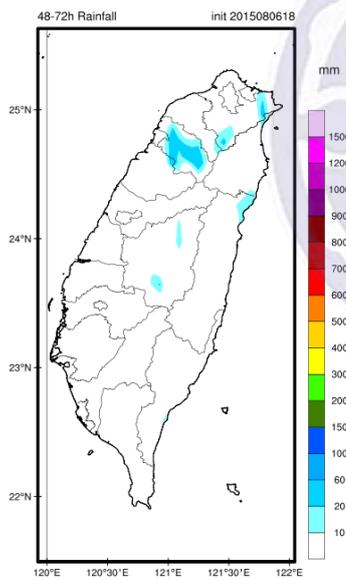
(b)

CTL 2015-08-07_18 - 2015-08-08_18 UTC



(c)

CTL 2015-08-08_18 - 2015-08-09_18 UTC



(d)

CTL 2015-08-06_18 - 2015-08-09_18 UTC

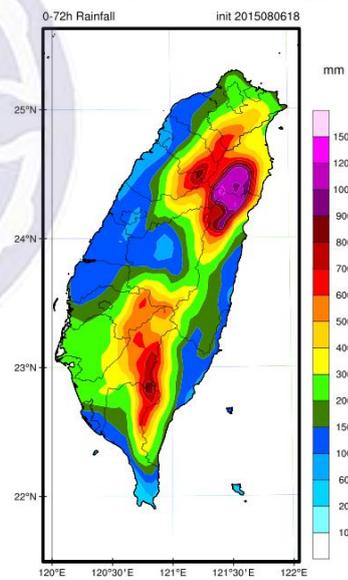
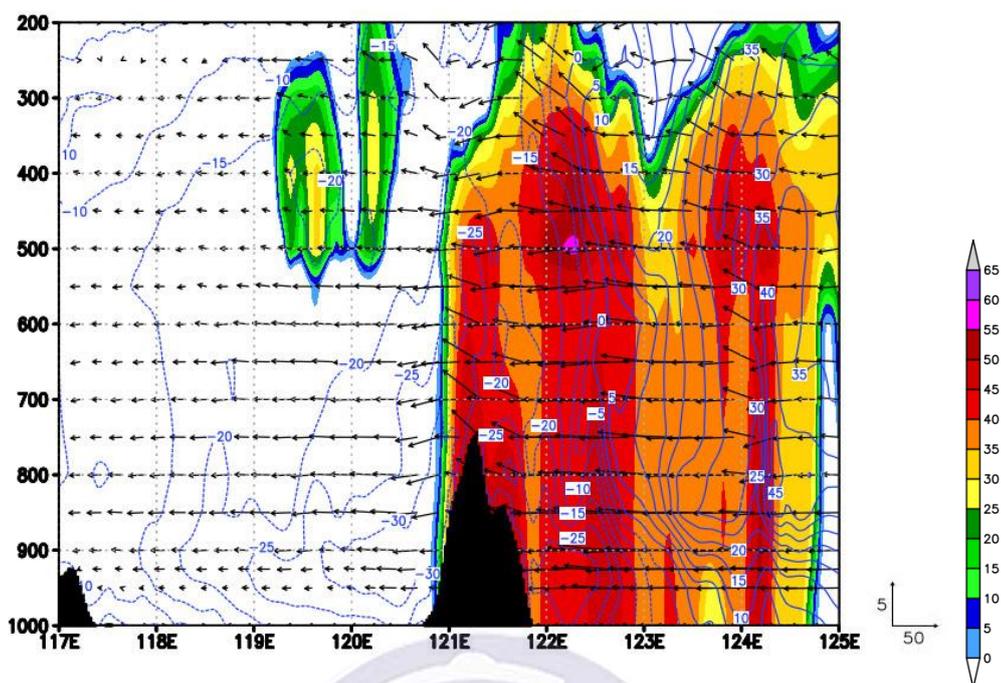


圖 4. 13 同圖 4.11，但為 CTL 組累積雨量。

(a) 8月7日 1500 UTC



(b) 8月7日 1500 UTC

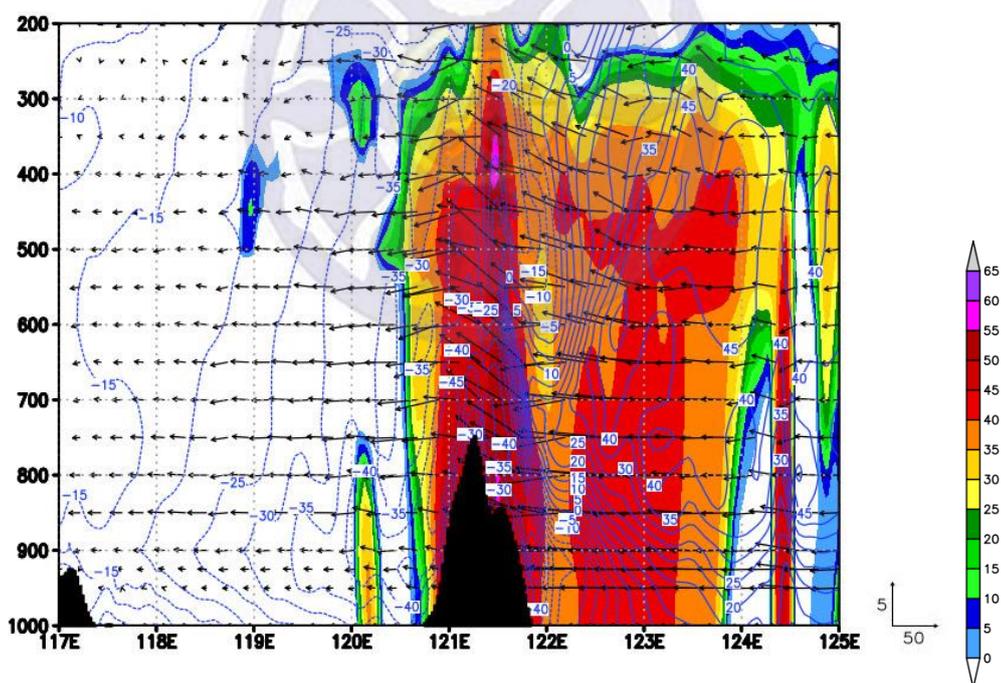
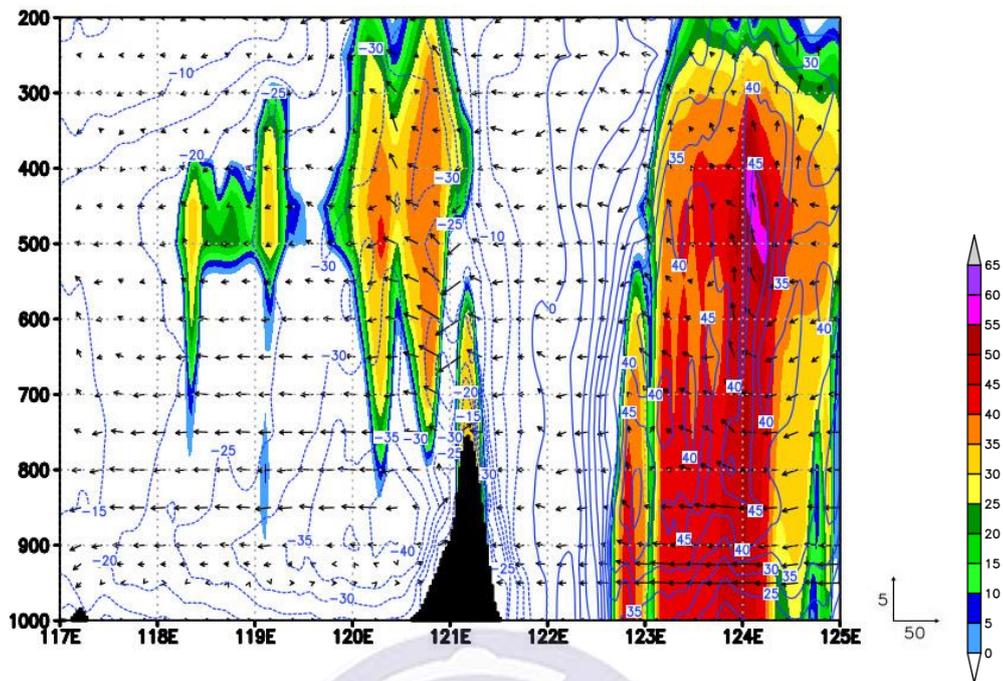


圖 4. 14 為(a)NCI組、(b)CTL組雷達回波剖面，剖面時間為8月7日1500 UTC，剖面位置為剖面A(24.5°N)。色階為雷達回波強度，藍色實線為南風、虛線為北風，等值線相格為5 m s⁻¹，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度(m s⁻¹)，其中將垂直方向氣流大小乘以10倍。

(a) 8月7日 1800 UTC



(b) 8月7日 1800 UTC

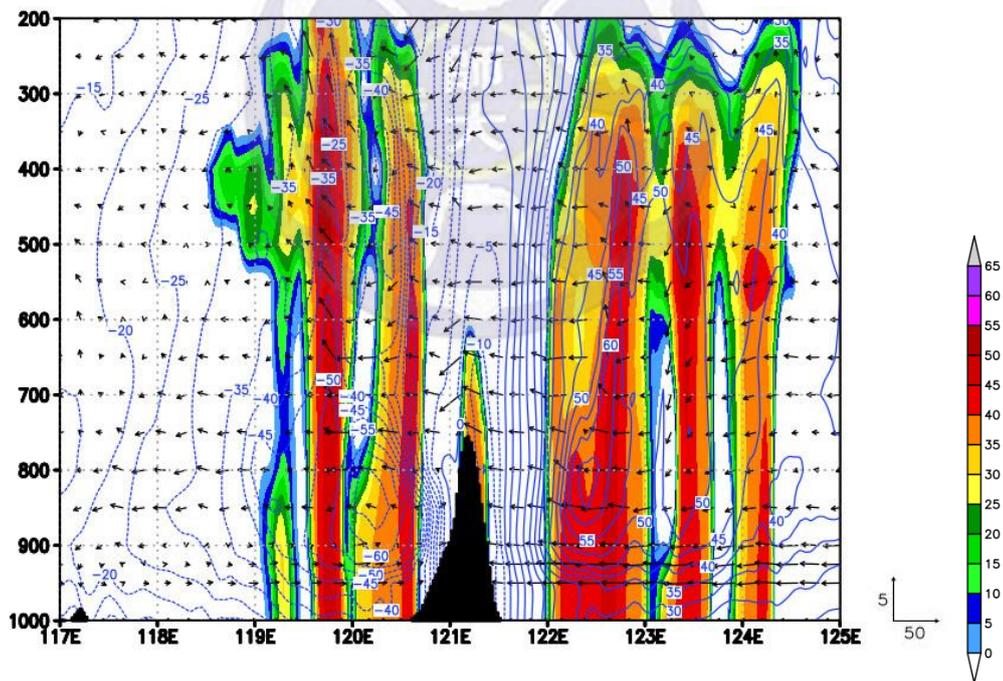
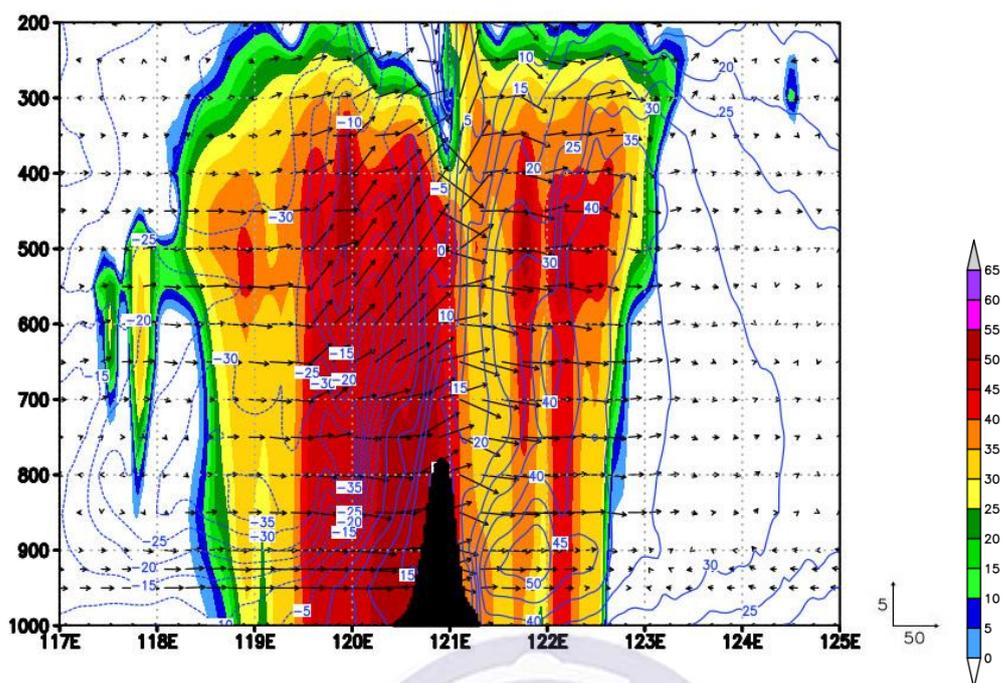


圖 4. 15 同圖 4. 14 圖，時間為 8 月 7 日 1800 UTC，剖面位置為剖面 B(23. 8°N)。

(a) 8月7日 2200 UTC



(b) 8月7日 2200 UTC

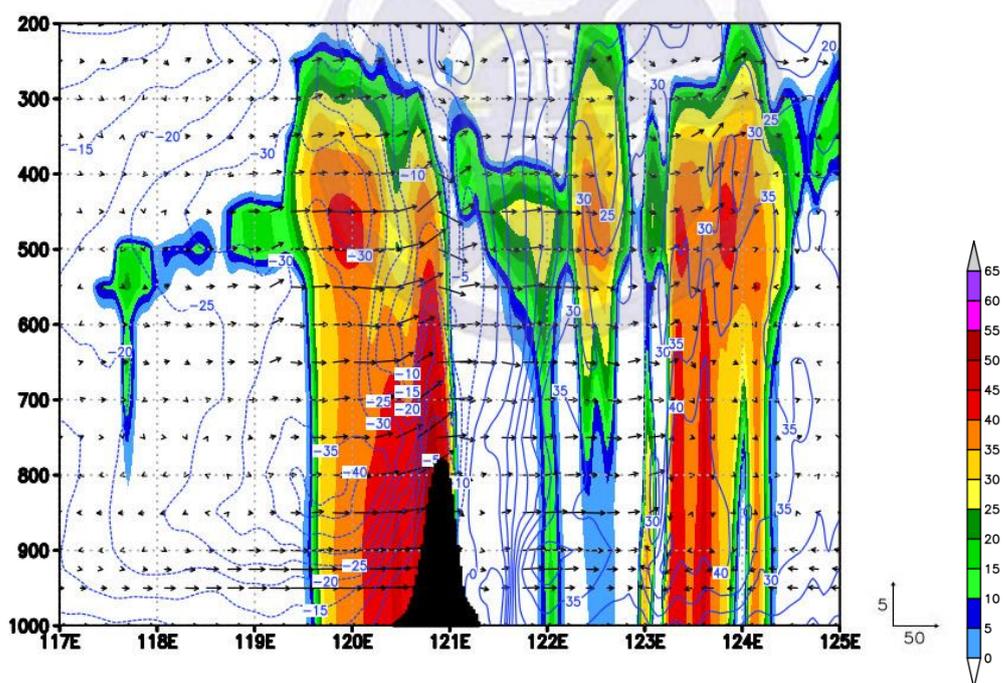


圖 4.16 同圖 4.14 圖，時間為 8 月 7 日 2200 UTC，剖面位置為剖面 C (23°N)。

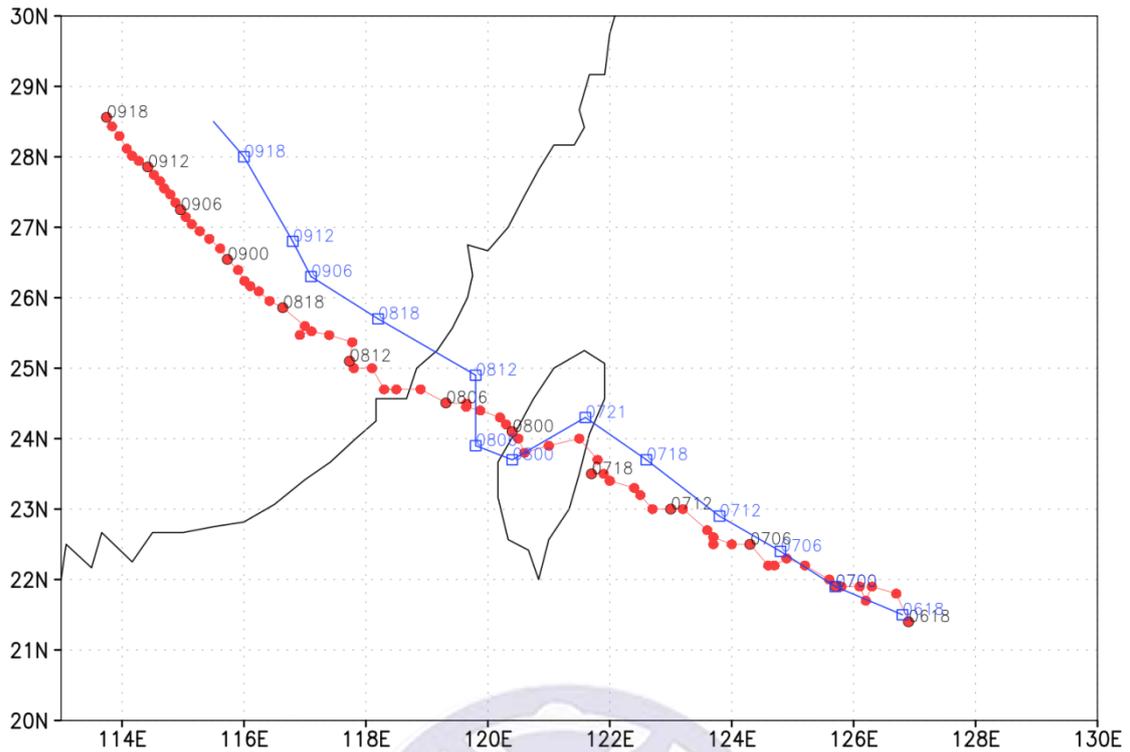


圖 5. 1 為 CTL 組模擬路徑(紅色線)與觀測路徑(藍色線)，模擬路徑為一小時一筆，觀測路徑為每六小時一筆。

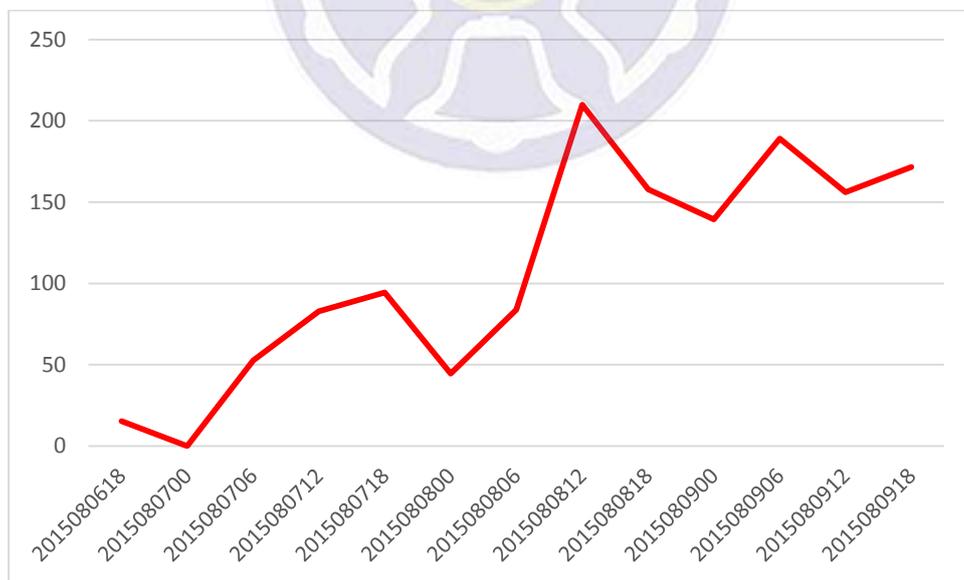
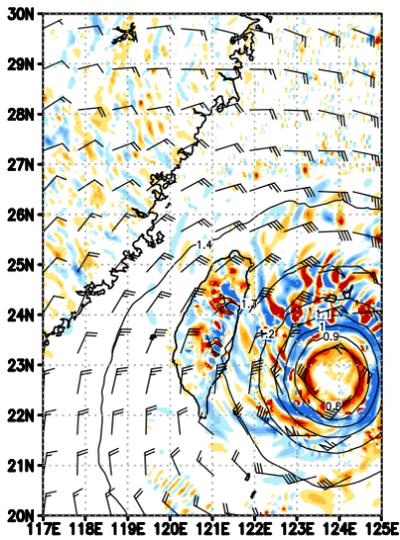
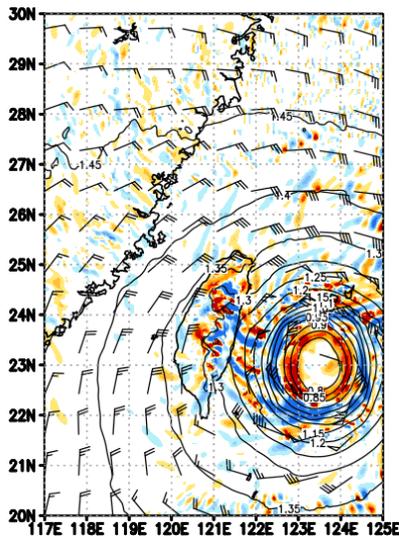


圖 5. 2 為 CTL 組和觀測的中心氣壓誤差。

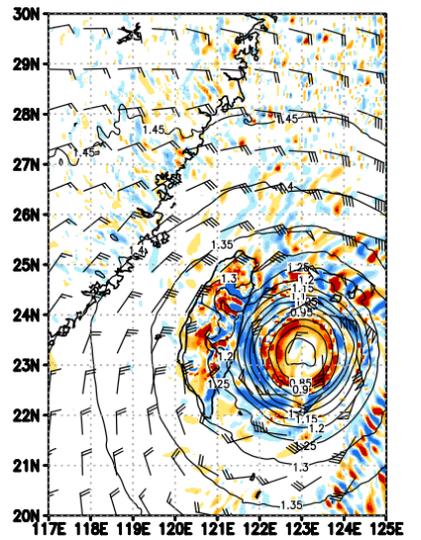
(a) 8月7日 0800 UTC



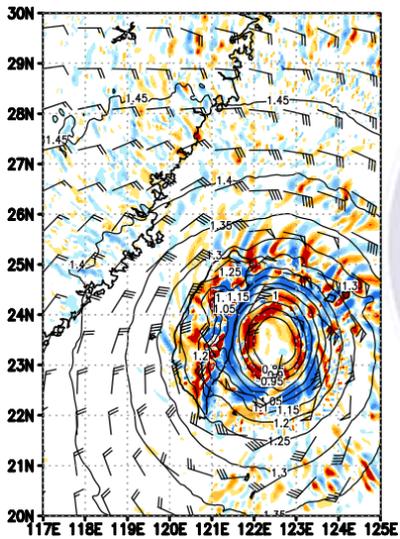
(b) 8月7日 1000 UTC



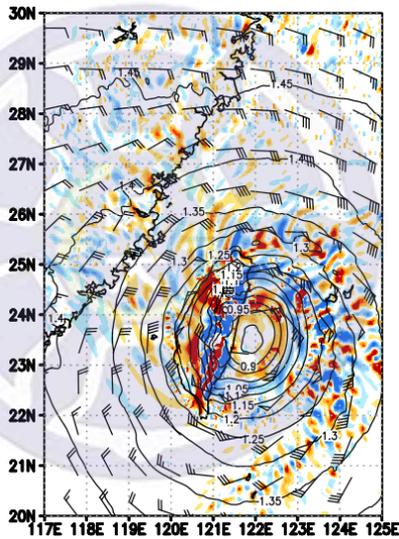
(c) 8月7日 1200 UTC



(d) 8月7日 1400 UTC



(e) 8月7日 1600 UTC



(f) 8月7日 1800 UTC

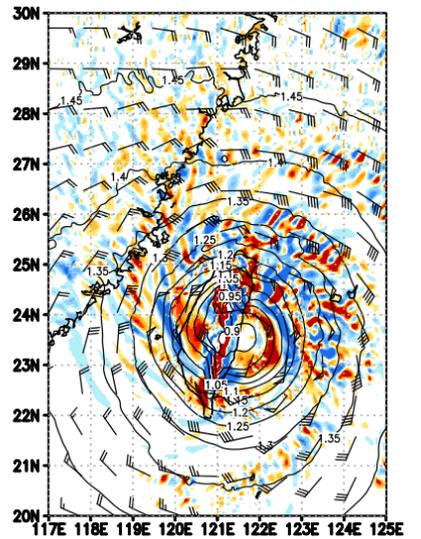
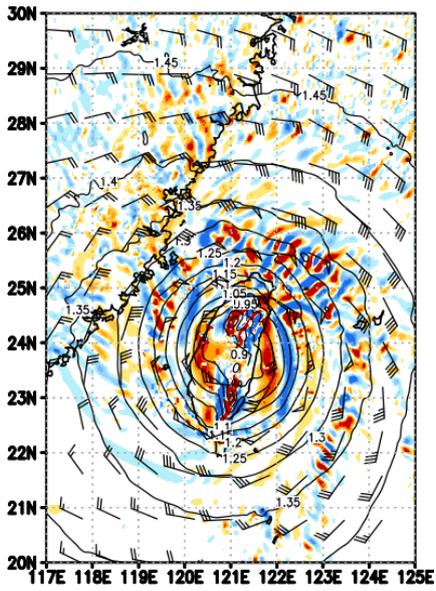
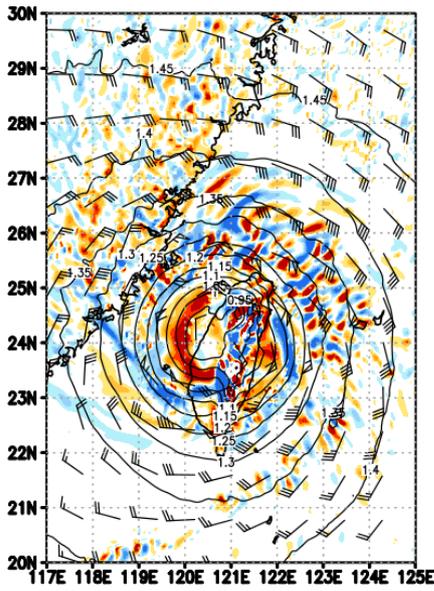


圖 5. 3 為 925 hPa 至 500 hPa 的水氣通量積分的輻散場，圖 a~圖 f，間隔兩小時，(a)8月7日 0800 UTC (b) 8月7日 1000 UTC (c) 8月7日 1200 UTC (d) 8月7日 1400 UTC (e) 8月7日 1600 UTC (f) 8月7日 1800 UTC (g) 8月7日 2000 UTC (h) 8月7日 2200 UTC (i) 8月8日 0000 UTC (j) 8月8日 2000 UTC。色階為輻合輻散，藍色為輻合、紅色為輻散，等值線為 850 hPa 重力位高度，風羽標示為 850 hPa 風場(長桿 10 m s⁻¹，短桿為 5 m s⁻¹)。

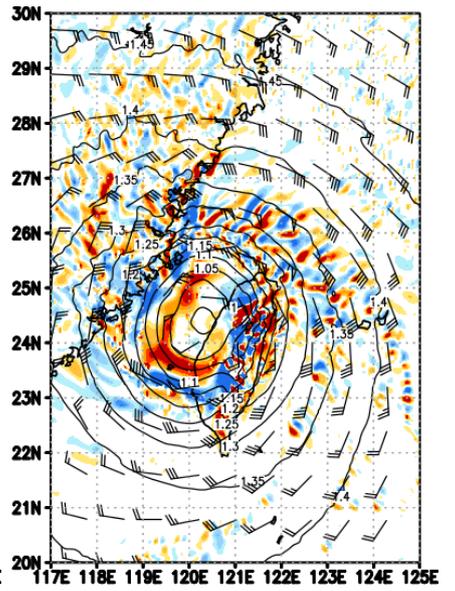
(g) 8月7日 2000 UTC



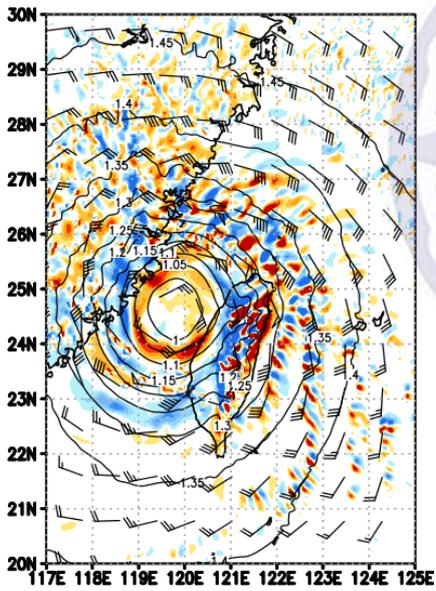
(h) 8月7日 2200 UTC



(i) 8月8日 0000 UTC



(j) 8月8日 0200 UTC



(k) 8月8日 0400 UTC

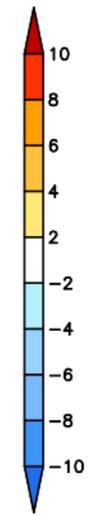
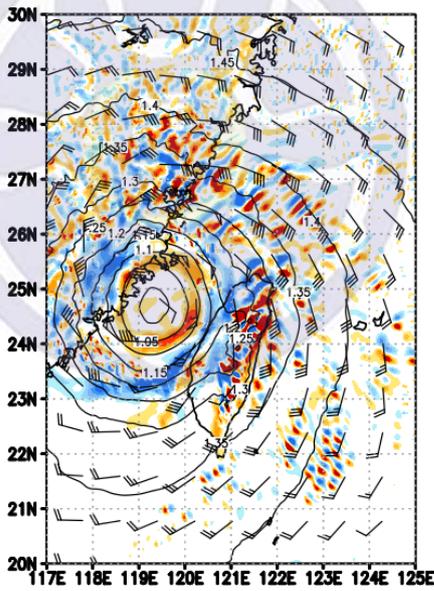
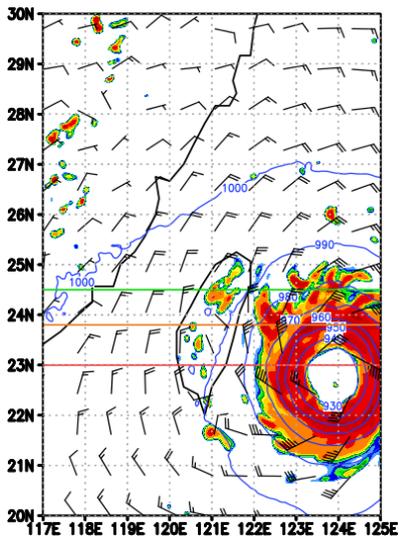
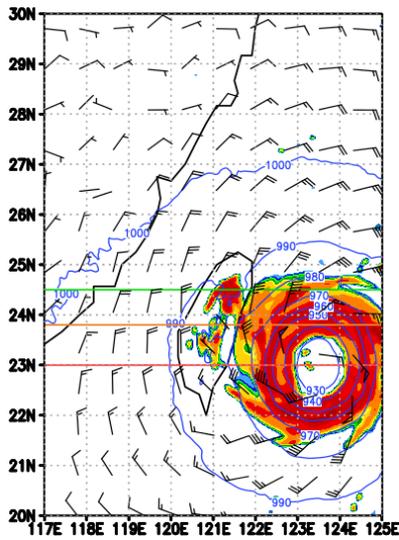


圖 5.3 (續)。

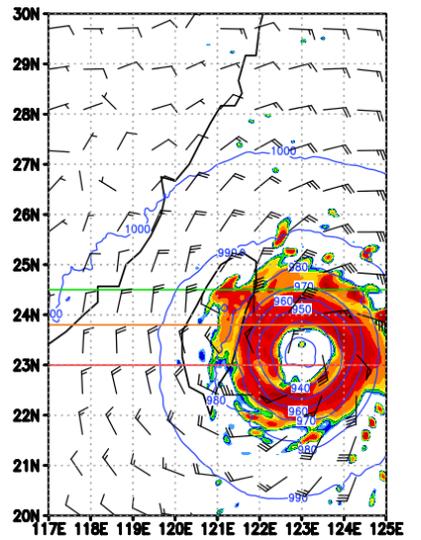
(a) 8月7日 0800 UTC



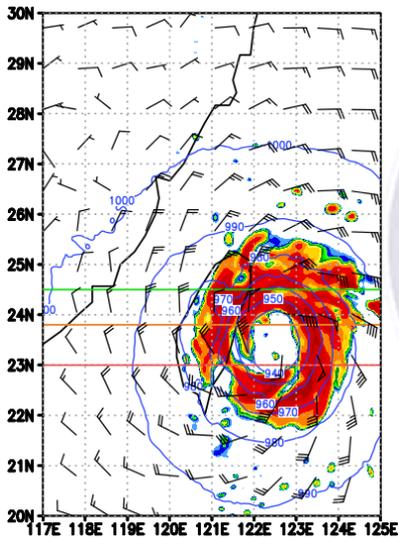
(b) 8月7日 1000 UTC



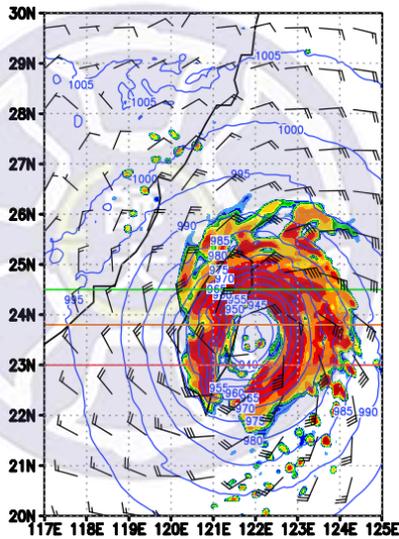
(c) 8月7日 1200 UTC



(d) 8月7日 1400 UTC



(e) 8月7日 1600 UTC



(f) 8月7日 1800 UTC

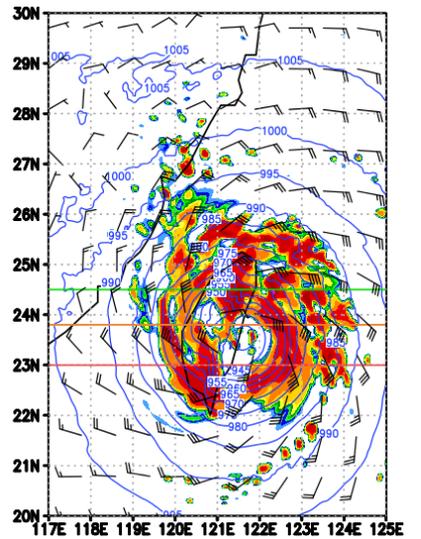
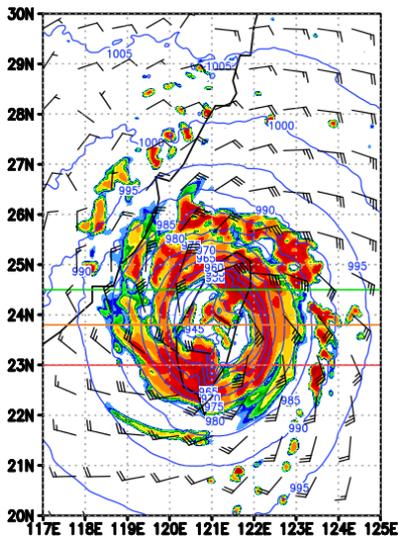
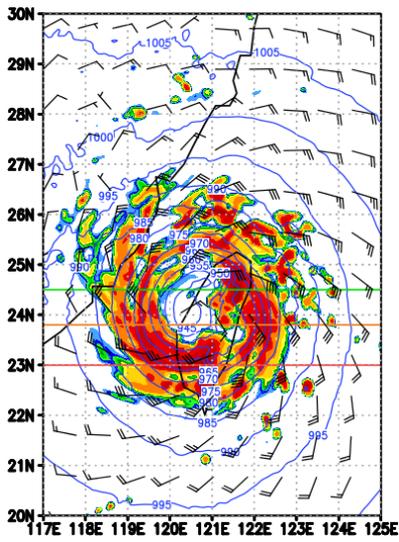


圖 5. 4 為 CTL 組雷達回波與與 1000 hPa 水平風場，圖 a~圖 1，間隔兩小時，
 (a)8月7日 0800 UTC (b) 8月7日 1000 UTC (c) 8月7日 1200 UTC (d) 8月
 7日 1400 UTC (e) 8月7日 1600 UTC (f) 8月7日 1800 UTC (g) 8月7日 2000
 UTC (h) 8月7日 2200 UTC (i) 8月8日 0000 UTC (j) 8月8日 2000 UTC。色
 階為雷達回波強度，藍色實線為海平面氣壓，紅線為剖面 C(23°N)、橘線為剖面
 B(23.5°N)、綠線為剖面 A(24.5°N)，風羽標示(長桿 10 m s⁻¹，短桿為 5 m s⁻¹)。

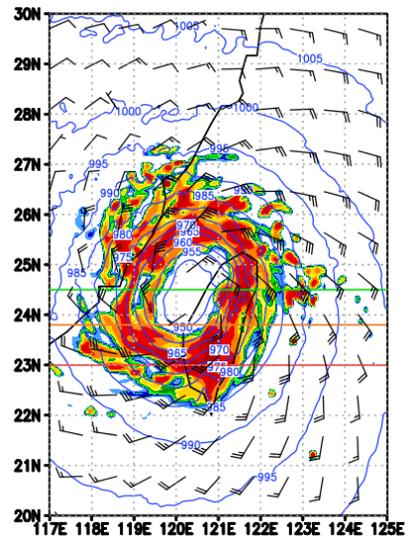
(g) 8月7日 2000 UTC



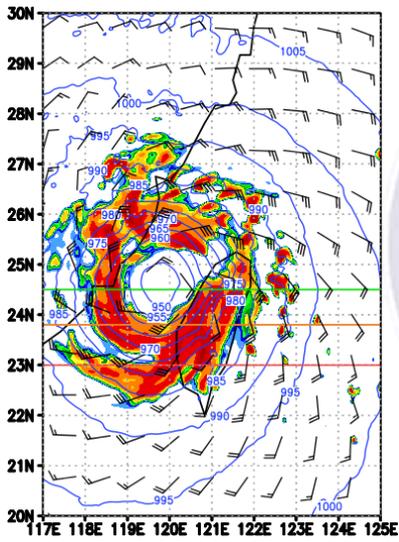
(h) 8月7日 2200 UTC



(i) 8月8日 0000 UTC



(j) 8月8日 0200 UTC



(k) 8月8日 0400 UTC

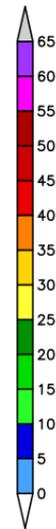
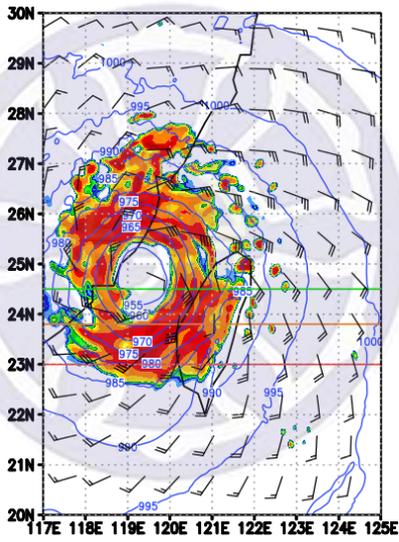
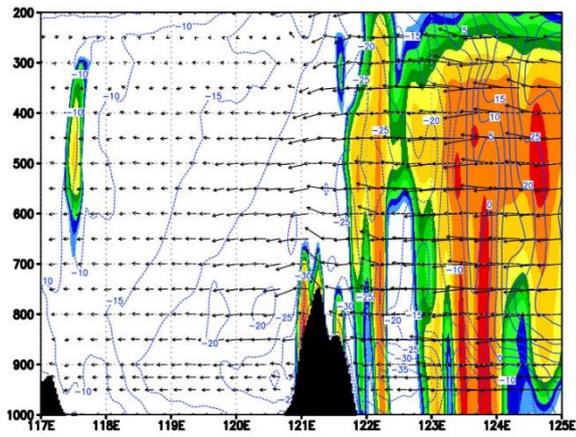
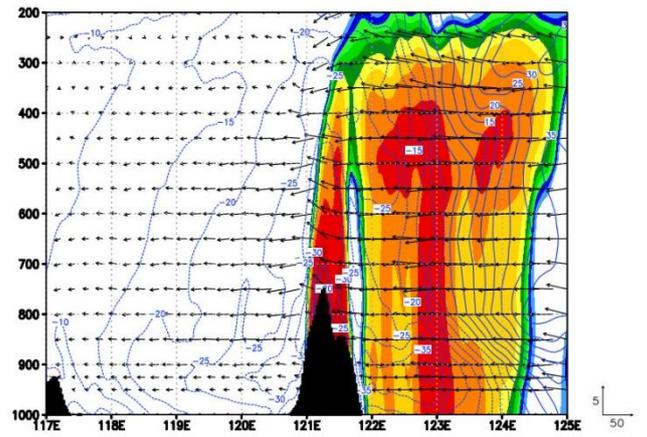


圖 5.4(續)。

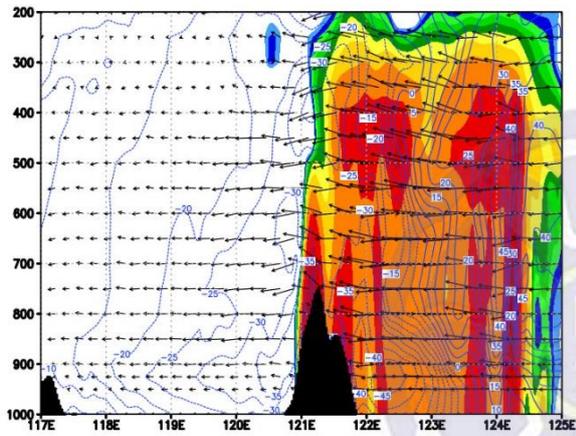
(a) 8月7日 0800 UTC



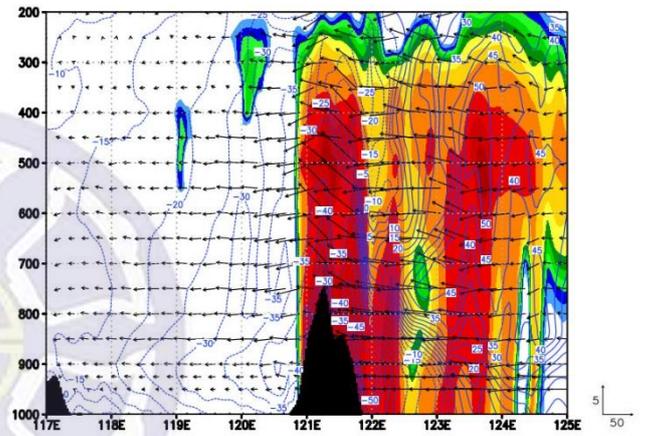
(b) 8月7日 1000 UTC



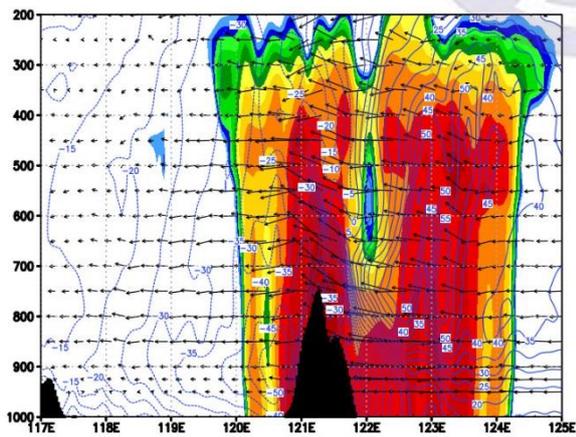
(c) 8月7日 1200 UTC



(d) 8月7日 1400 UTC



(e) 8月7日 1600 UTC



(f) 8月7日 1800 UTC

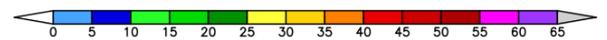
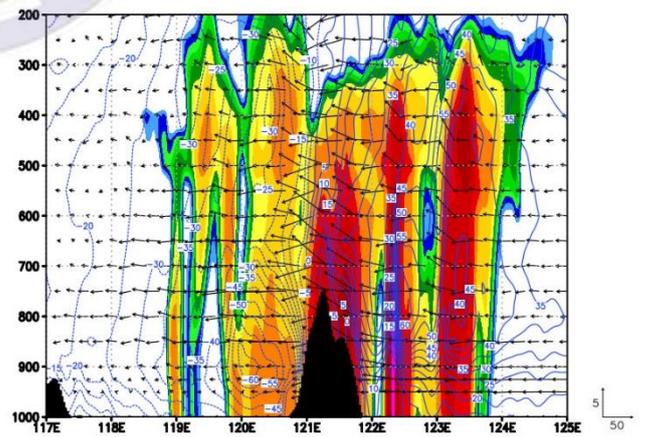
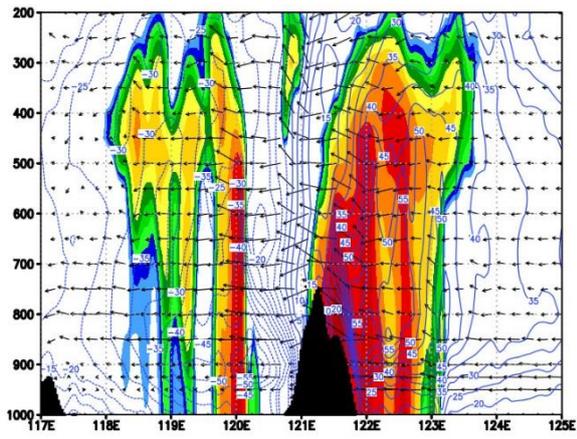
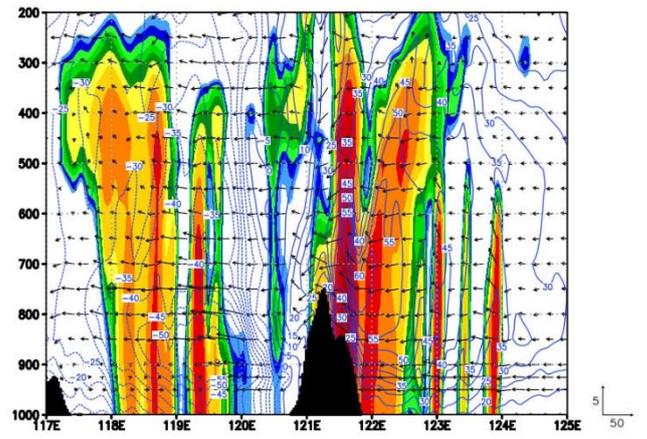


圖 5.5 為 CTL 組雷達回波剖面，時間為 8 月 7 日 0800 UTC-8 月 8 日 0200 UTC，間隔兩小時，位置為剖面 A (24.5°N)。色階為雷達回波強度，藍色實線為南風、藍色虛線為北風，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度 ($m s^{-1}$)，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍。

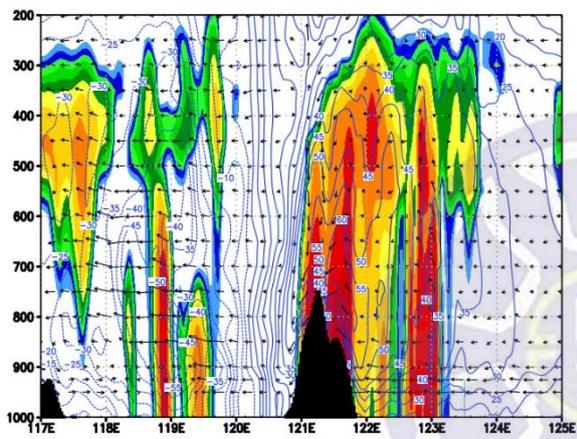
(g) 8月7日 2000 UTC



(h) 8月7日 2200 UTC



(i) 8月8日 0000 UTC



(j) 8月8日 0200 UTC

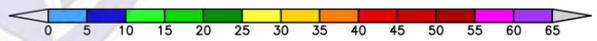
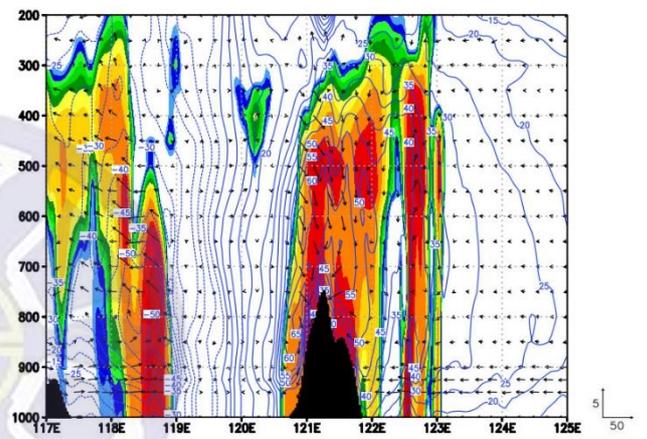
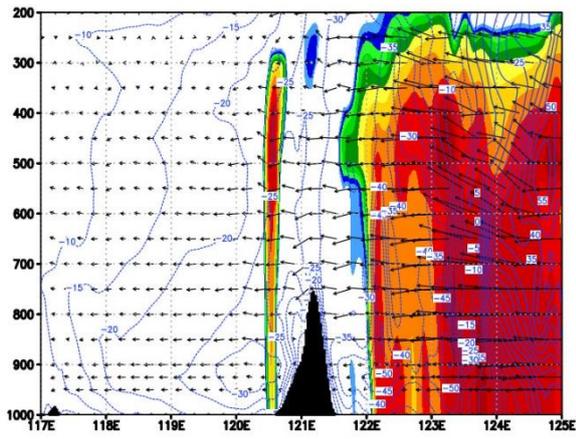
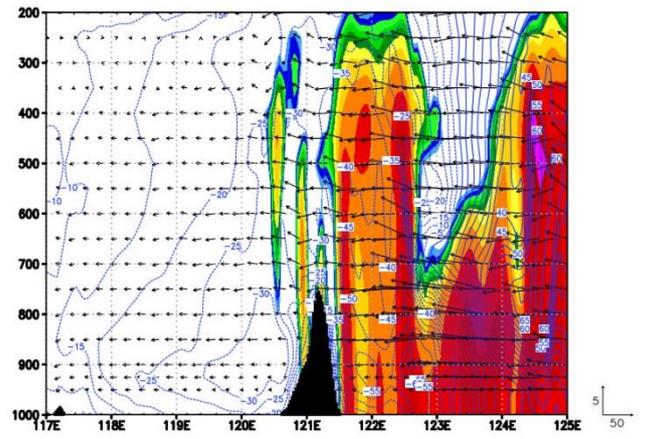


圖 5.5(續)。

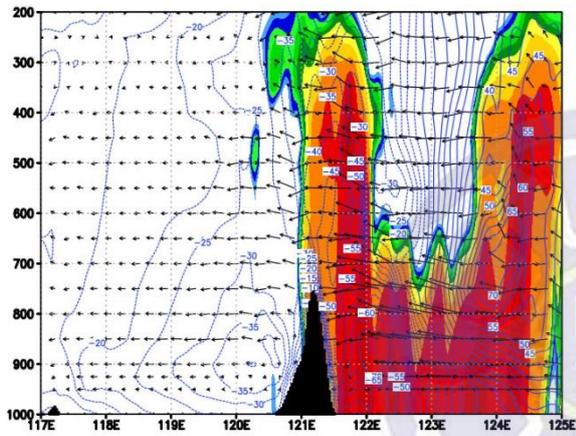
(a) 8月7日 0800 UTC



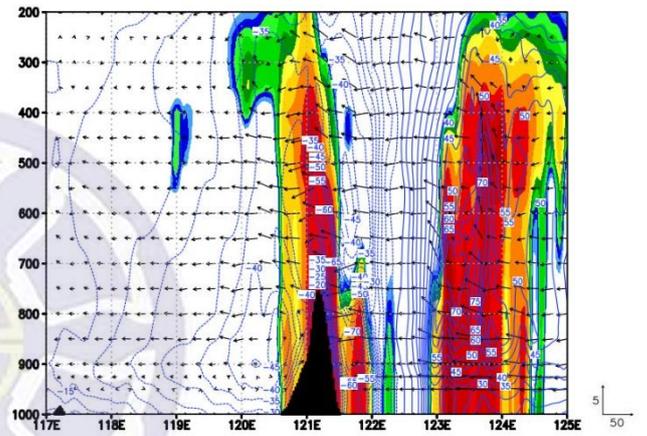
(b) 8月7日 1000 UTC



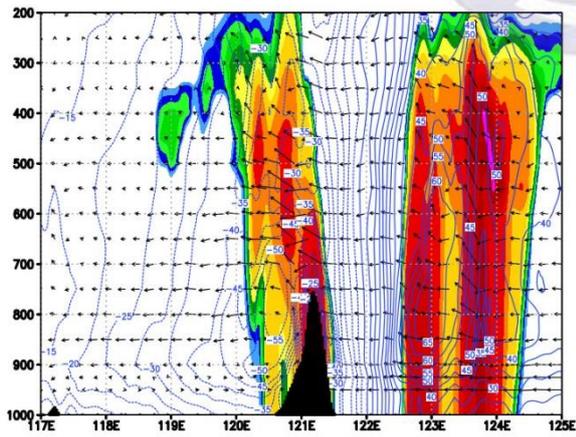
(c) 8月7日 1200 UTC



(d) 8月7日 1400 UTC



(e) 8月7日 1600 UTC



(f) 8月7日 1800 UTC

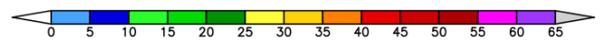
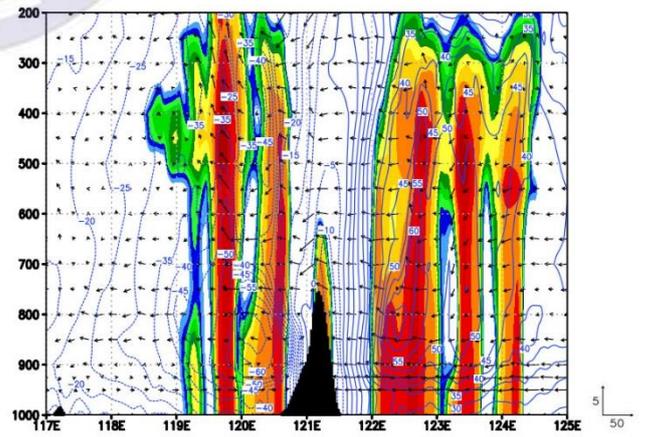
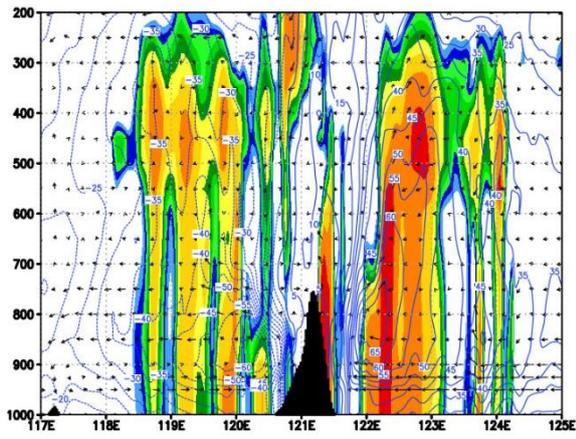
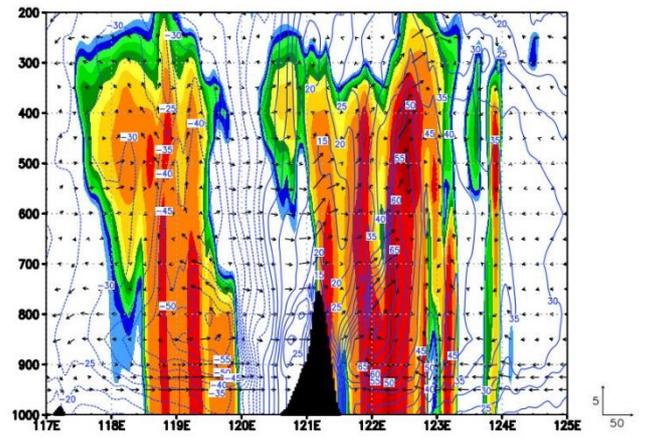


圖 5. 6 同圖 5.2 為剖面 B (23.8°N)。

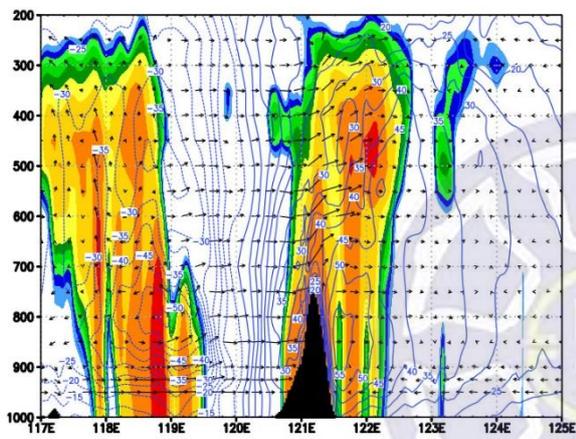
(g) 8月7日 2000 UTC



(h) 8月7日 2200 UTC



(i) 8月8日 0000 UTC



(j) 8月8日 0200 UTC

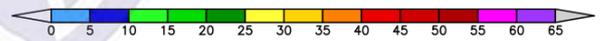
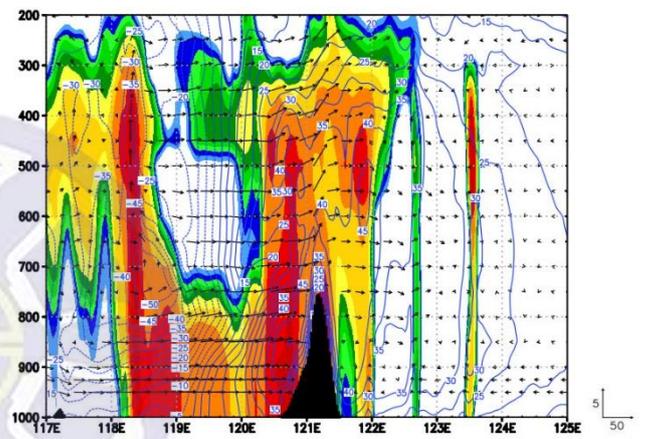
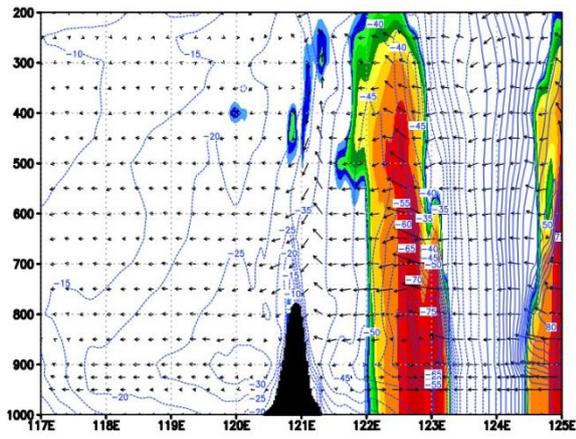
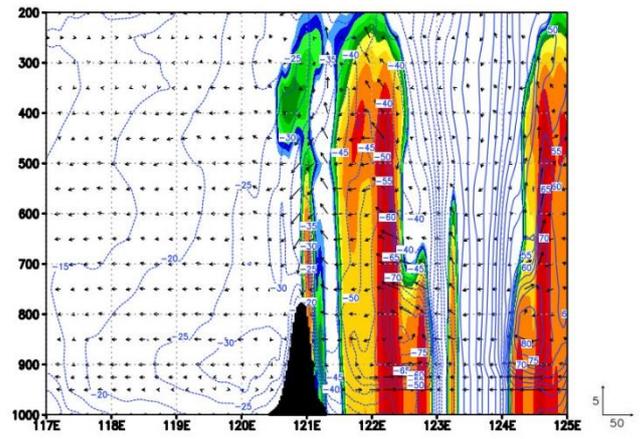


圖 5.6 (續)。

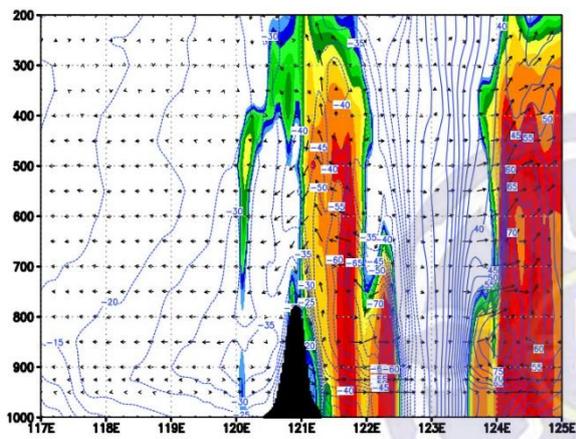
(a) 8月7日 0800 UTC



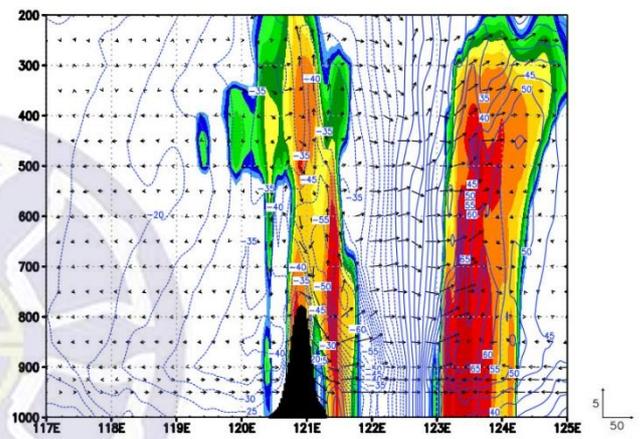
(b) 8月7日 1000 UTC



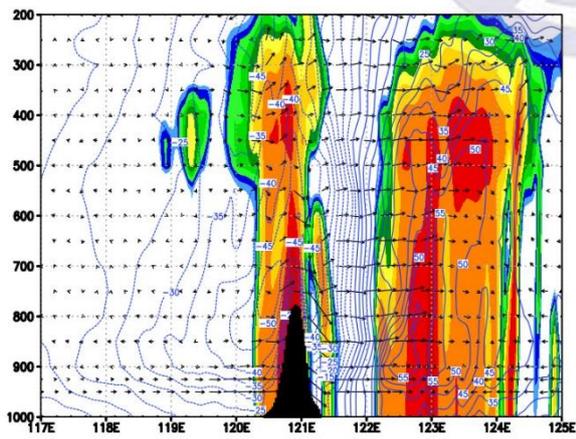
(c) 8月7日 1200 UTC



(d) 8月7日 1400 UTC



(e) 8月7日 1600 UTC



(f) 8月7日 1800 UTC

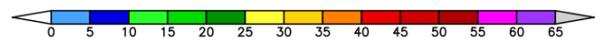
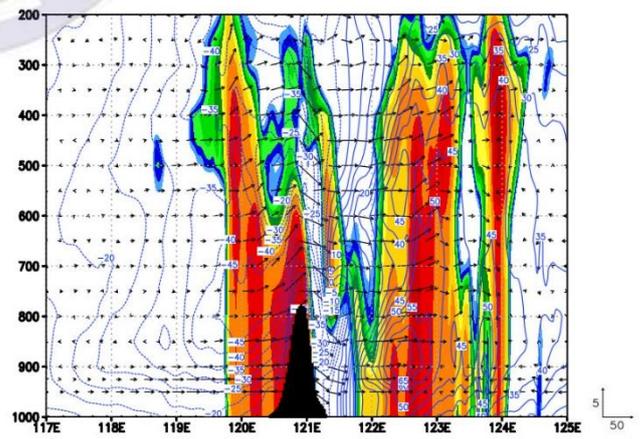
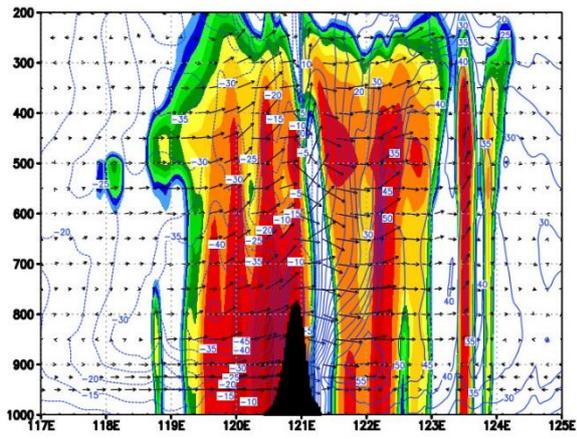
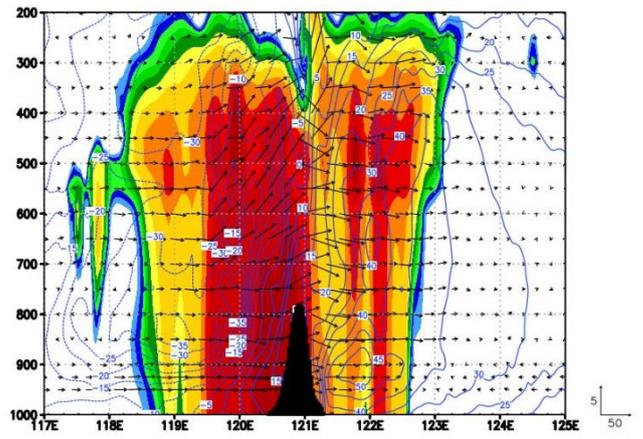


圖 5. 7 同圖 5. 2 為剖面 C (23°N)。

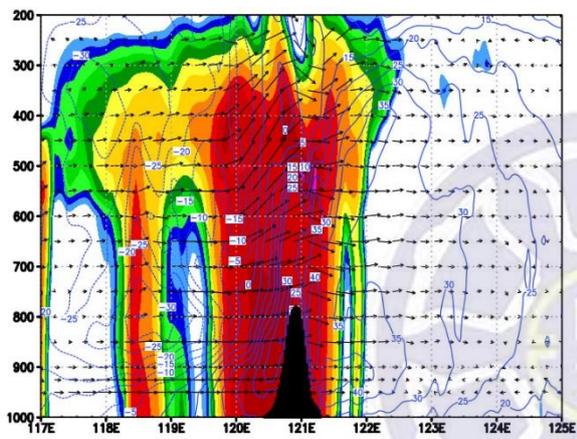
(g) 8月7日 2000 UTC



(h) 8月7日 2200 UTC



(i) 8月8日 0000 UTC



(j) 8月8日 0200 UTC

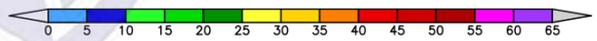
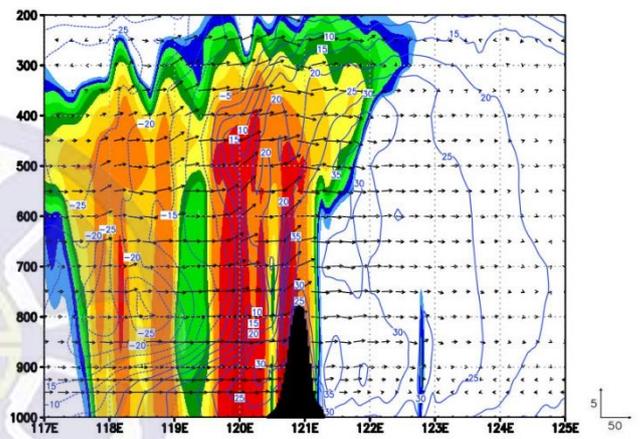
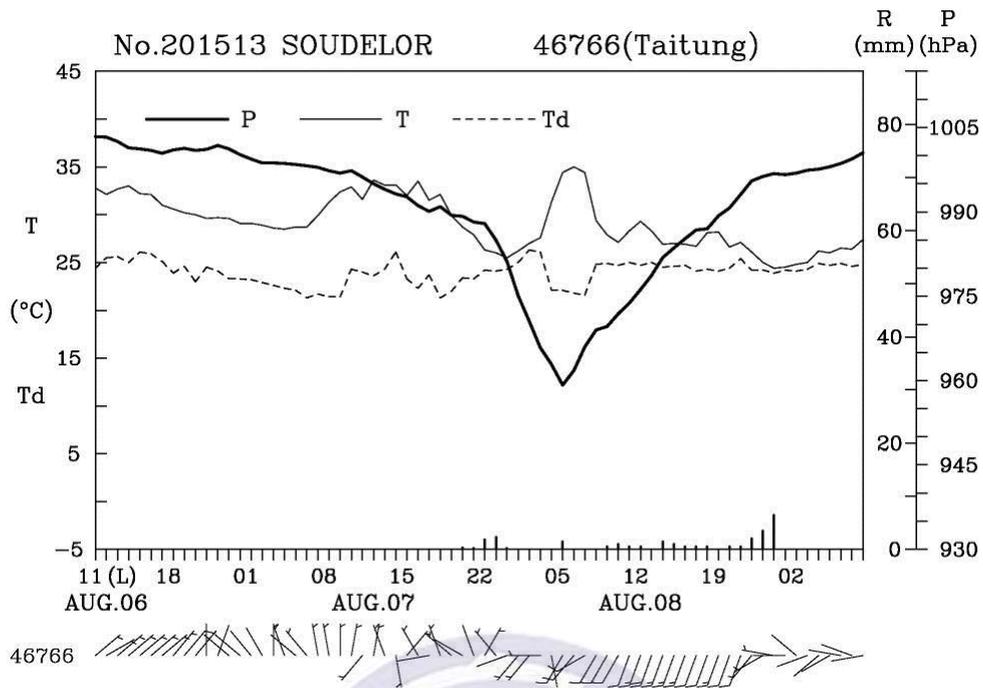


圖 5.7 (續)。

(a)



(b)

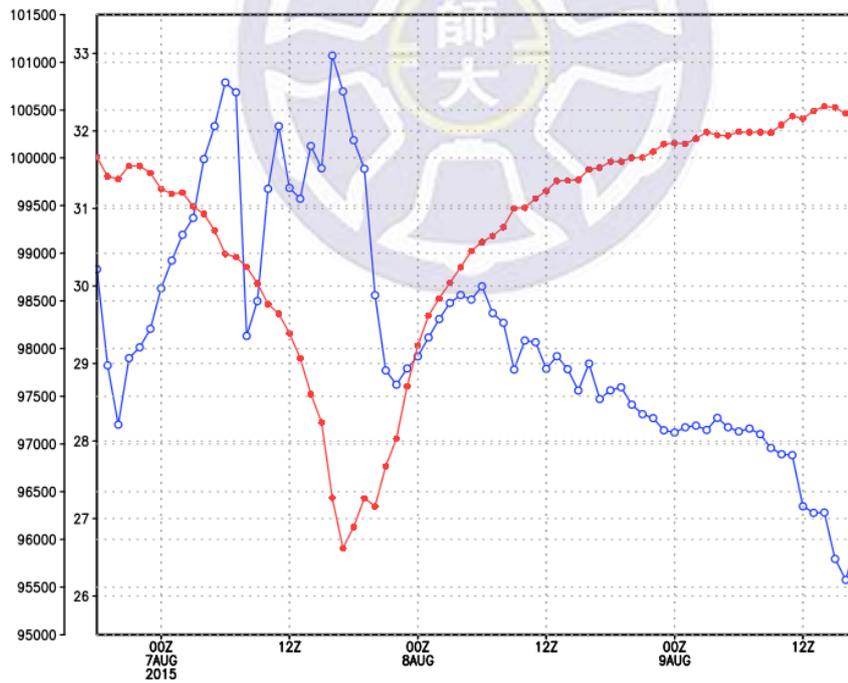
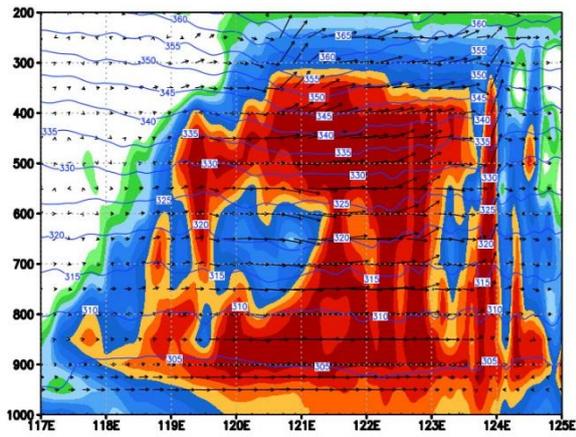
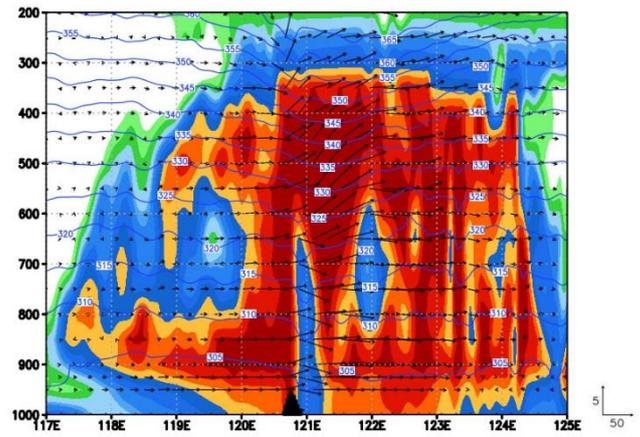


圖 5. 8 (a)為中央氣象局所提供臺東站之氣象要素隨著時間的演變圖，其中粗黑線為氣壓、黑線為溫度、虛線為露點溫度(b)為 CTL 組臺東氣象站之溫度(藍線)、氣壓(紅線)隨時間的演變圖，橫軸為時間，縱軸為氣壓值。

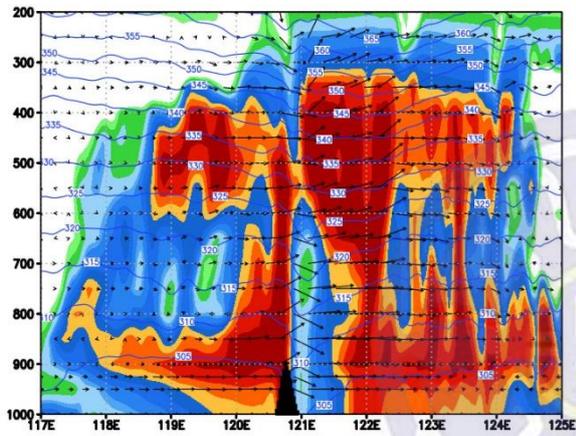
(a) 8月7日 1700 UTC



(b) 8月7日 1700 UTC



(c) 8月7日 1700 UTC



(d) 8月7日 1700 UTC

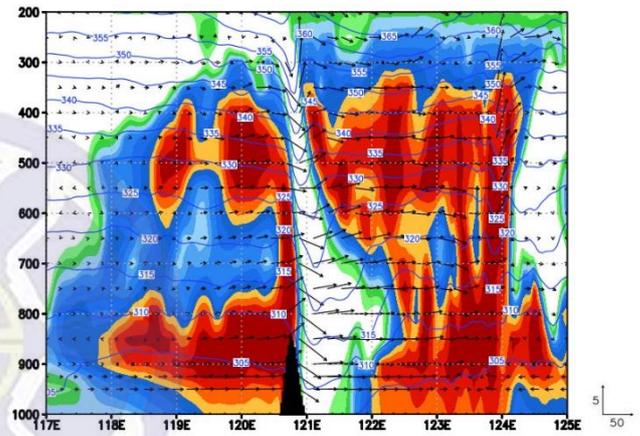
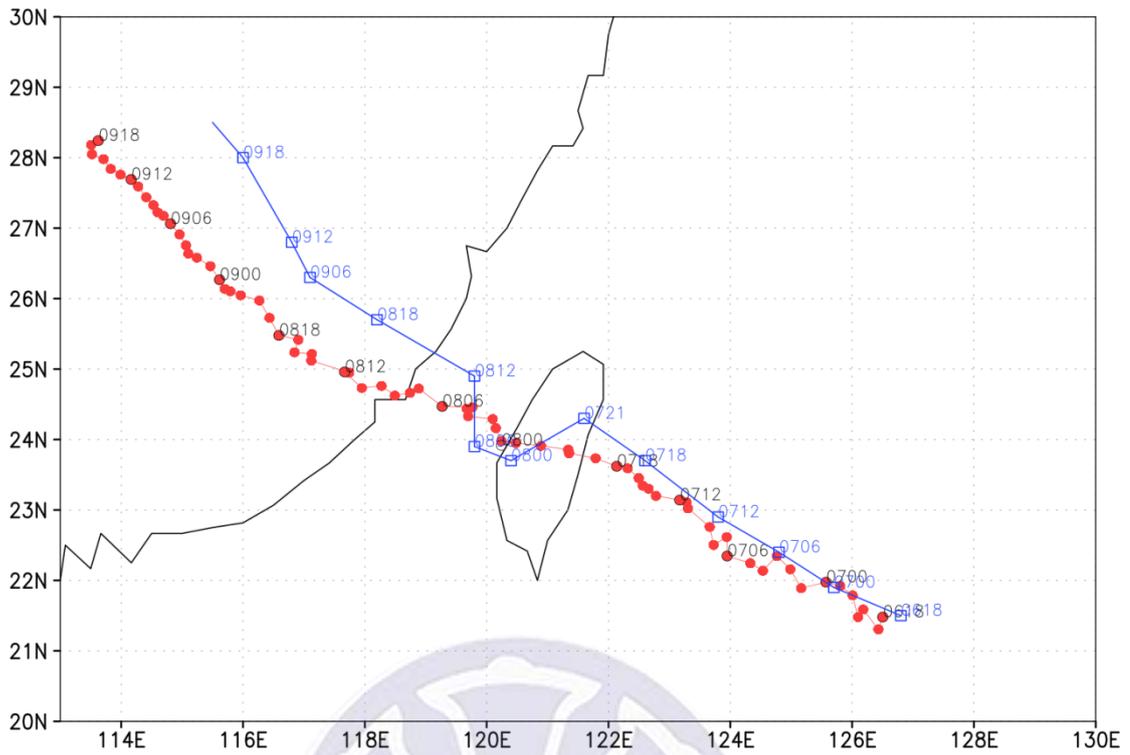


圖 5. 9 為相對濕度與位溫分布(藍線)，(a)NT組(b)HT組(c)CTL組(d)ET組，時間為8月7日1700 UTC，剖面位置為22.45°N，色階為相對濕度(%)，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度($m s^{-1}$)，其中將垂直方向氣流大小乘以10倍。

(a)



(b)

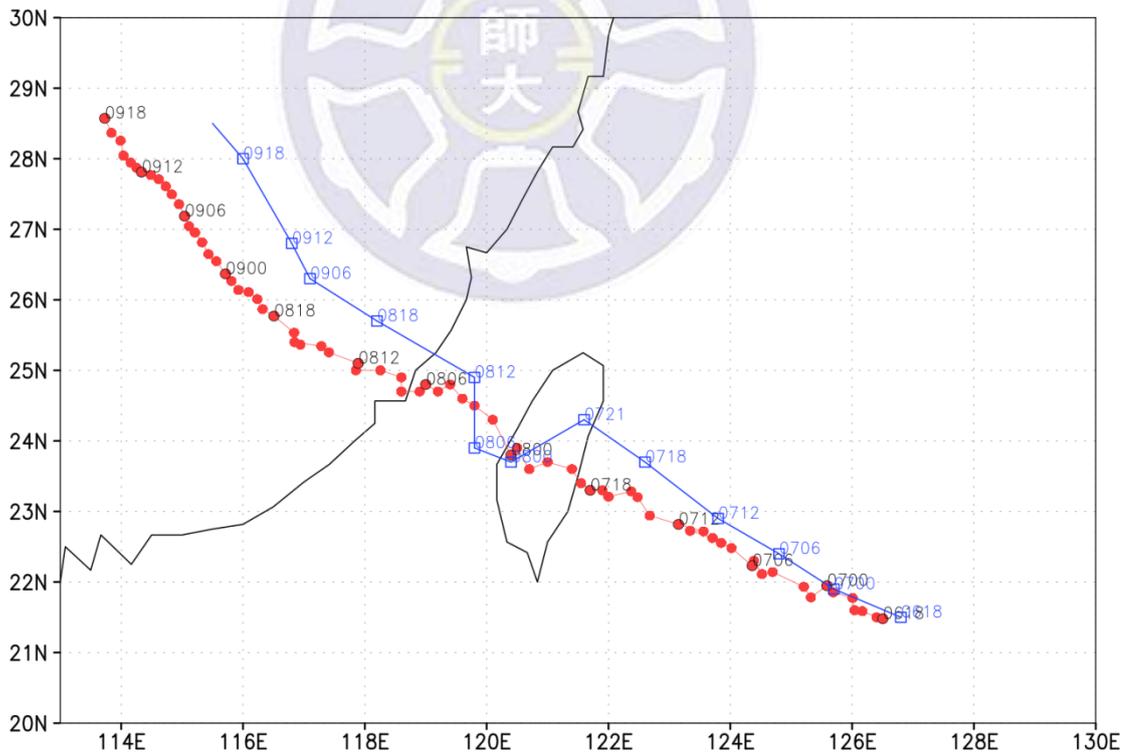


圖 6. 1 為 NT 組與 HT 組模擬路徑(紅色線)與觀測路徑(藍色線),圖(a)NT 組(b)HT 組(c)ET 組。模擬路徑為一小時一筆,觀測路徑為每六小時一筆。

(c)

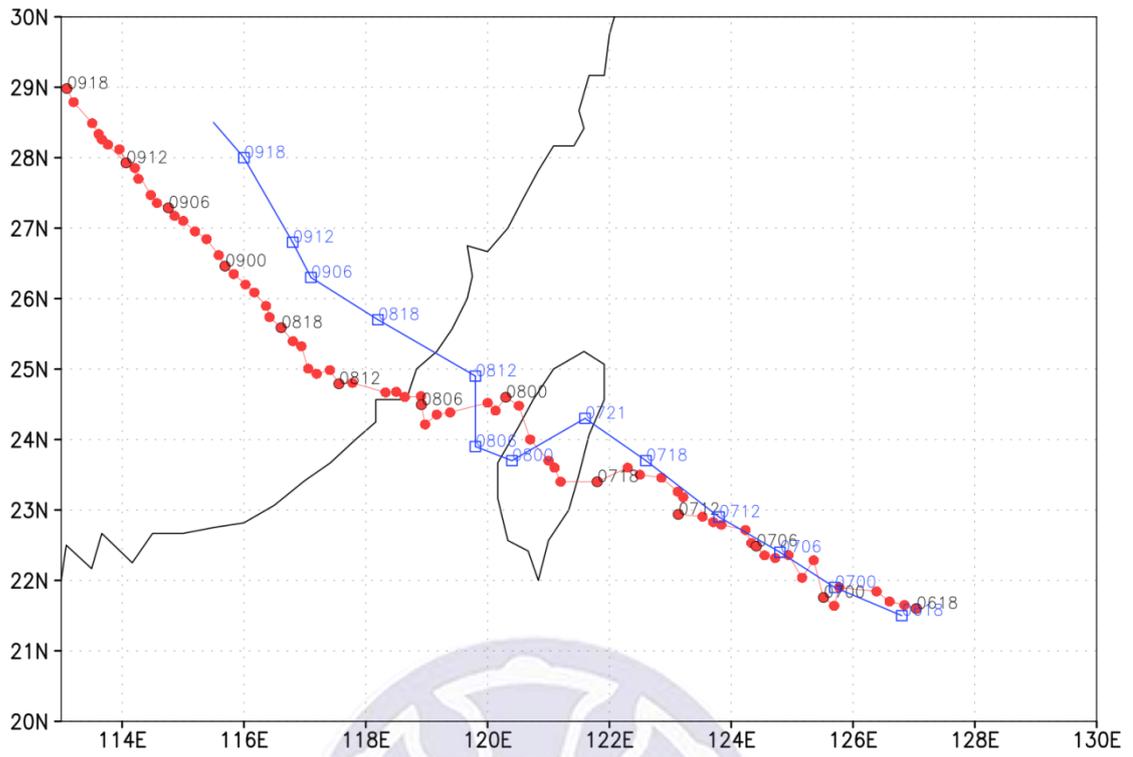
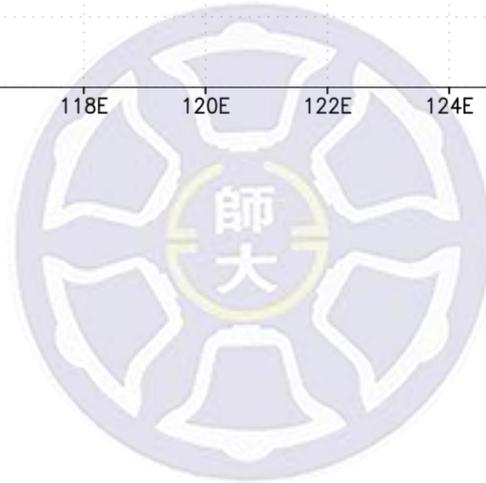
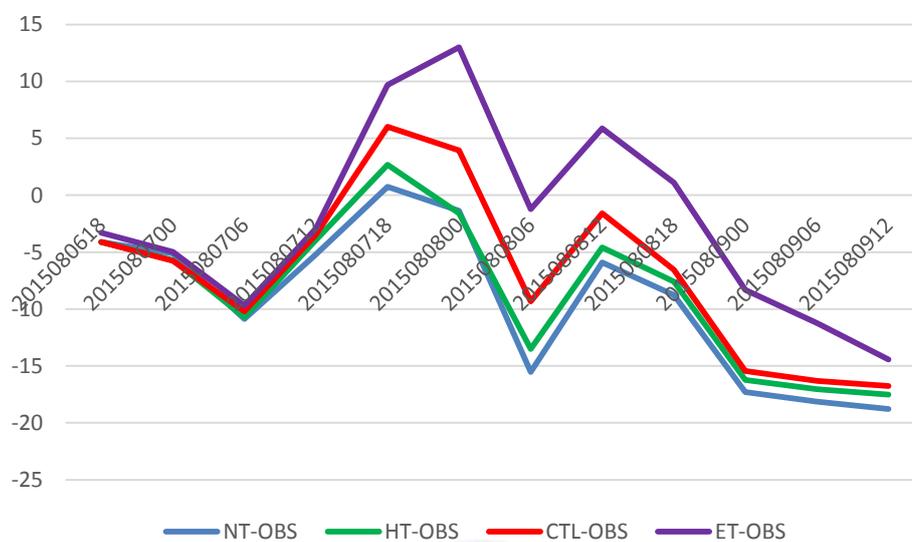


圖 6.1 (續)。



(a) 敏感度實驗中心氣壓誤差



(b) 敏感度實驗路徑誤差

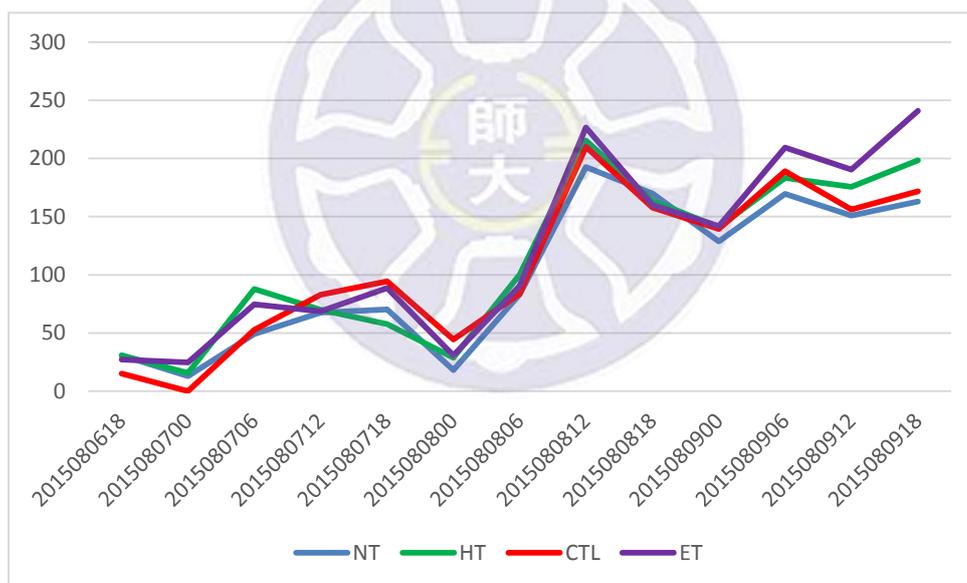
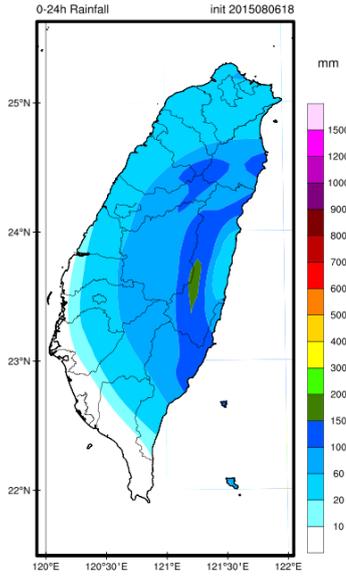


圖 6. 2 (a) 敏感度實驗中心氣壓誤差(b)敏感度實驗路徑誤差。其中 NT 組(藍線)、HT 組(綠線)、CTL 組(紅線)、ET 組(紫線)。

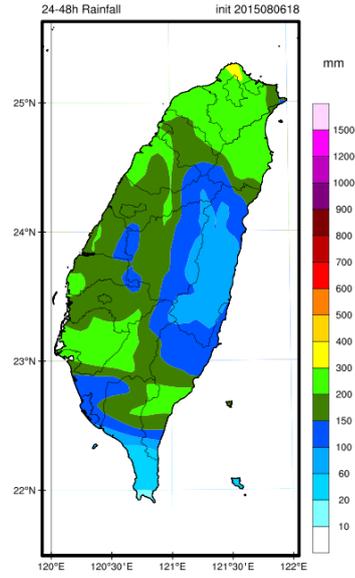
(a)

NT 2015-08-06_18 - 2015-08-07_18 UTC



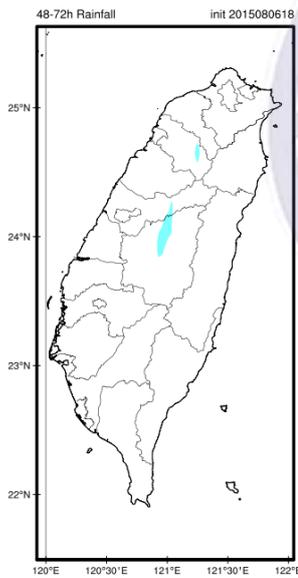
(b)

NT 2015-08-07_18 - 2015-08-08_18 UTC



(c)

NT 2015-08-08_18 - 2015-08-09_18 UTC



(d)

NT 2015-08-06_18 - 2015-08-09_18 UTC

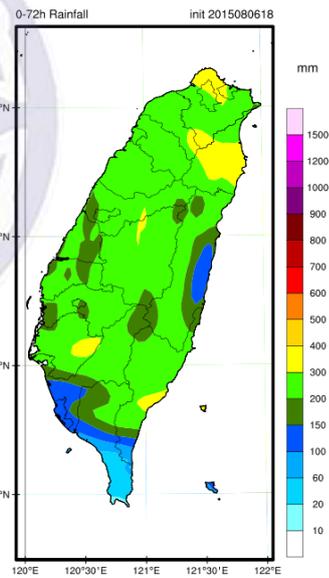
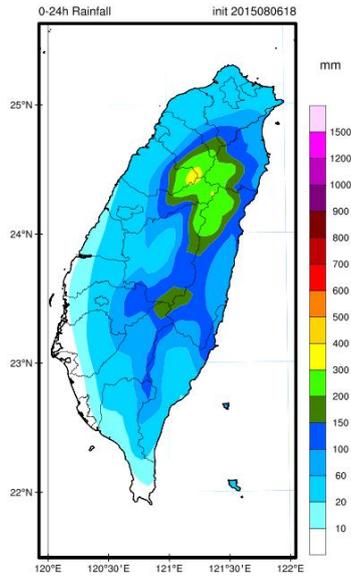


圖 6. 3 為 NT 組累積雨量(mm)，(a)8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 7 日 1800 UTC (b)8 月 7 日 1800 UTC 至 8 月 8 日 1800 UTC (c)8 月 8 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC (d) 8 月 6 日 1800 UTC 至 8 月 9 日 1800 UTC。

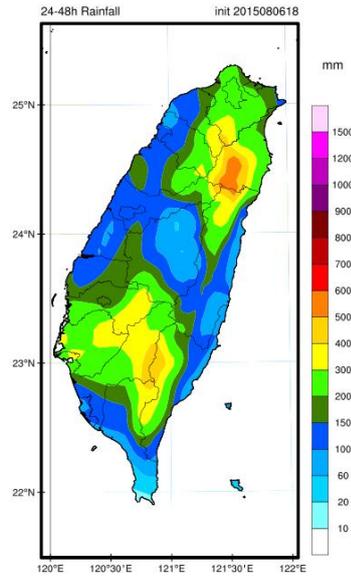
(a)

HT 2015-08-06_18 - 2015-08-07_18 UTC



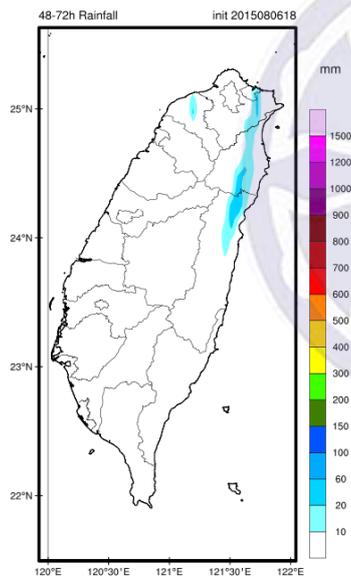
(b)

HT 2015-08-07_18 - 2015-08-08_18 UTC



(c)

HT 2015-08-08_18 - 2015-08-09_18 UTC



(d)

HT 2015-08-06_18 - 2015-08-09_18 UTC

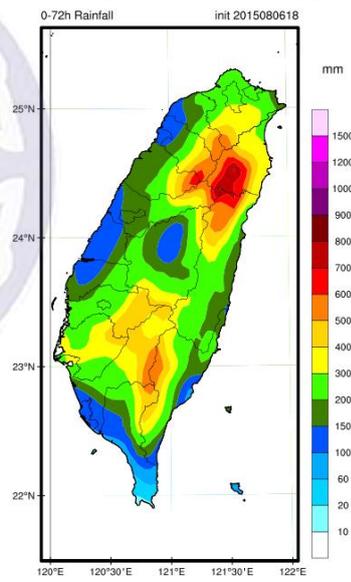
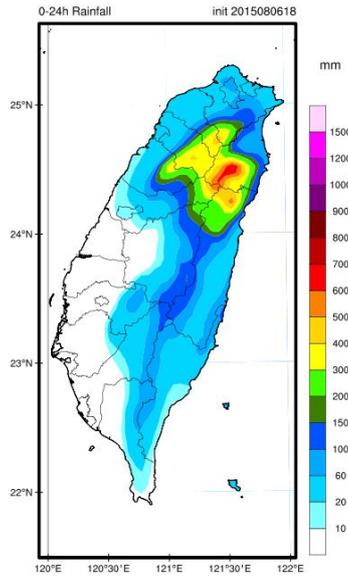


圖 6. 4 同圖 6. 3 為 HT 組累積雨量。

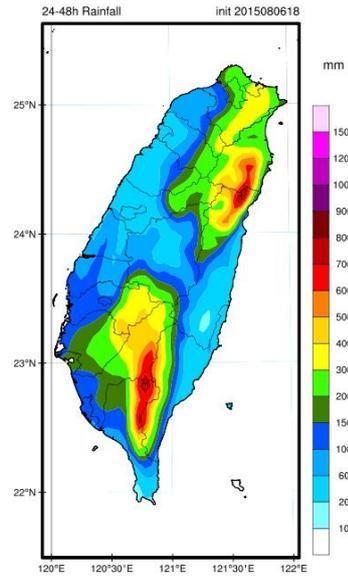
(a)

ET 2015-08-06_18 - 2015-08-07_18 UTC



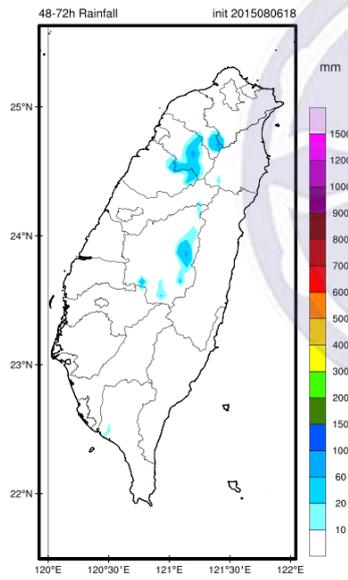
(b)

ET 2015-08-07_18 - 2015-08-08_18 UTC



(c)

ET 2015-08-08_18 - 2015-08-09_18 UTC



(d)

ET 2015-08-06_18 - 2015-08-09_18 UTC

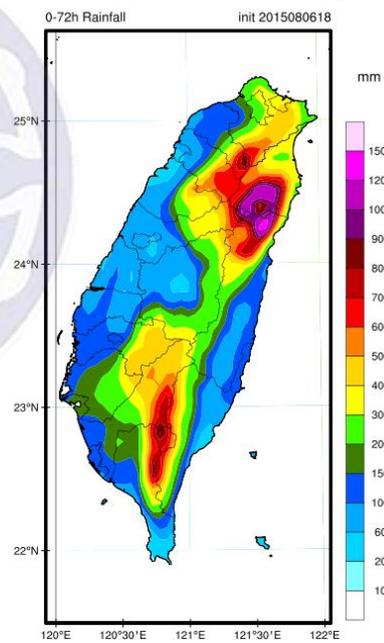
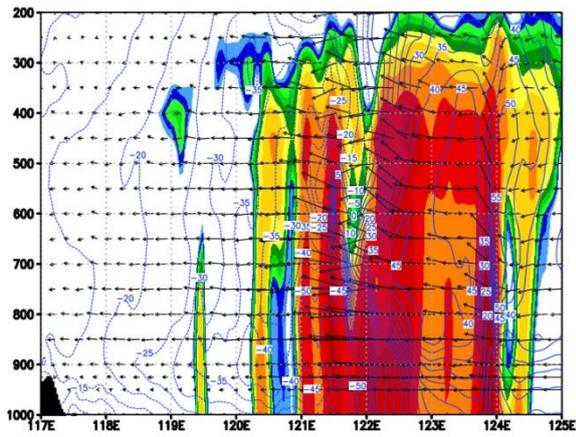
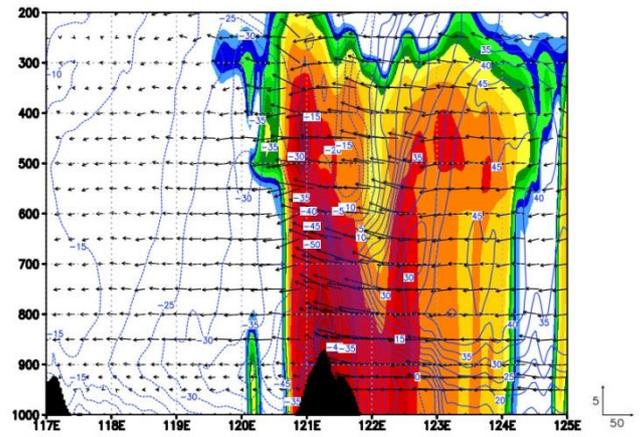


圖 6. 5 同圖 6. 3 為 ET 組累積雨量。

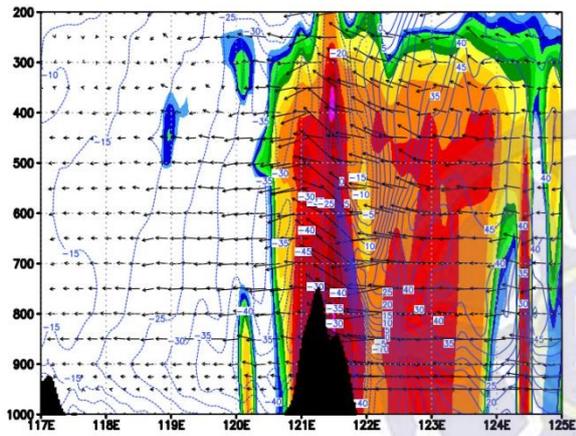
(a) 8月7日 1500 UTC



(b) 8月7日 1500 UTC



(c) 8月7日 1500 UTC



(d) 8月7日 1500 UTC

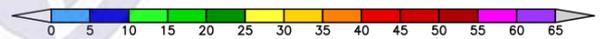
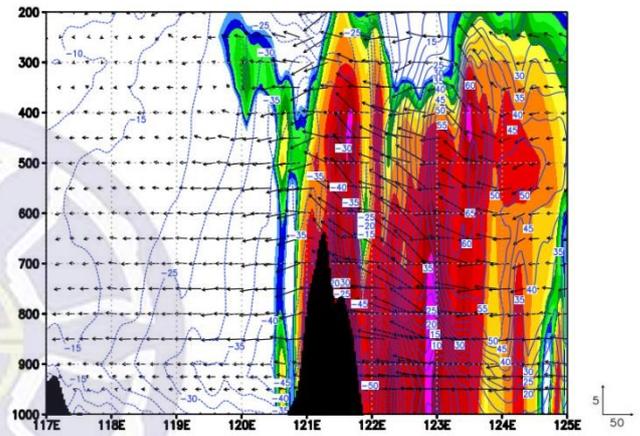
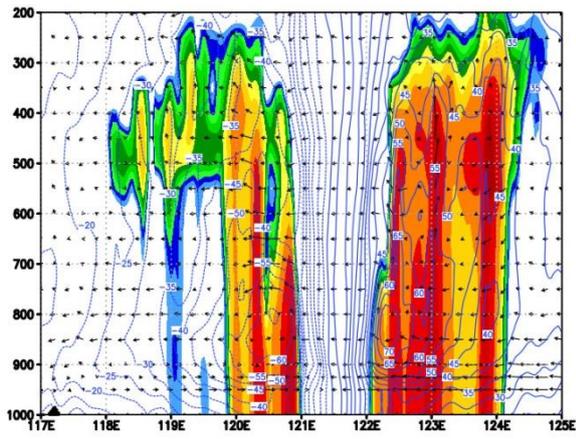
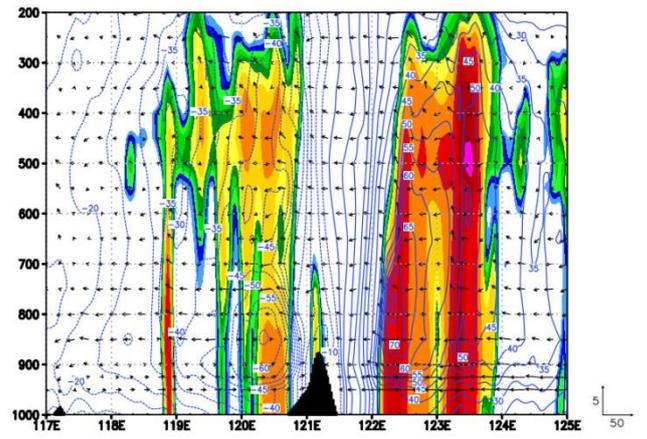


圖 6. 6 為(a)NT組(b)HT組(c)CTL組(d)ET組雷達回波剖面，時間為 8月7日 1500 UTC，剖面位置為剖面 A(24.5°N)。色階為雷達回波強度，藍色實線為南風、藍色虛線為北風，箭頭表東西向與垂直方向上氣流方向與強度($m s^{-1}$)，其中將垂直方向氣流大小乘以 10 倍。

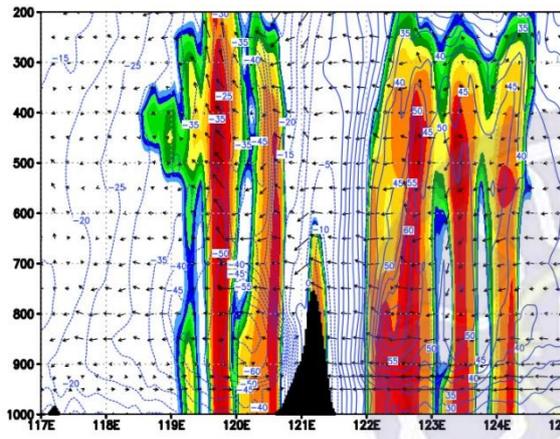
(a) 8月7日 1800 UTC



(b) 8月7日 1800 UTC



(c) 8月7日 1800 UTC



(d) 8月7日 1800 UTC

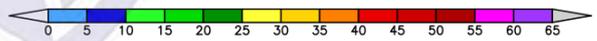
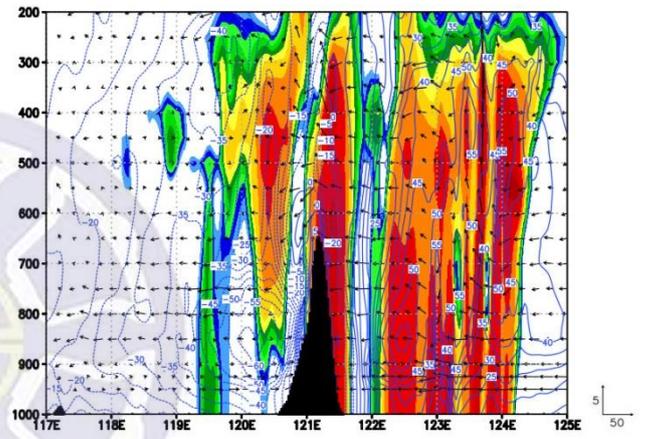
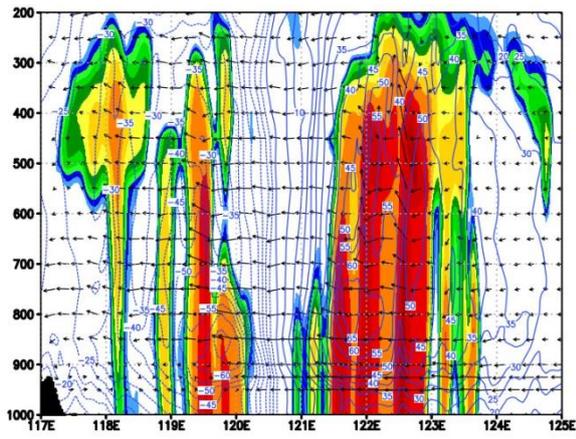
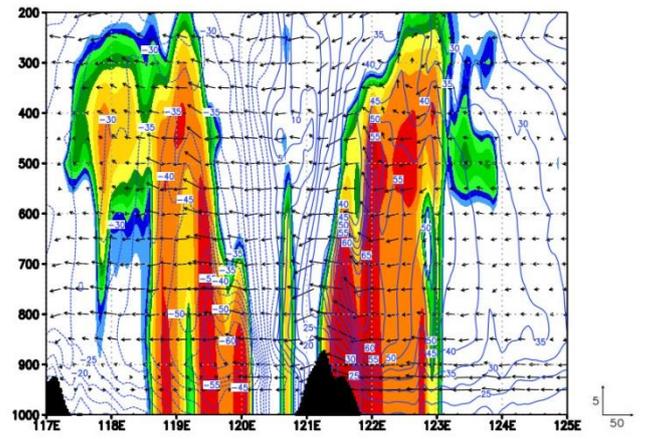


圖 6. 7 同圖 6.6 時間為 8 月 7 日 1800 UTC，剖面位置為剖面 B(23.8°N)。

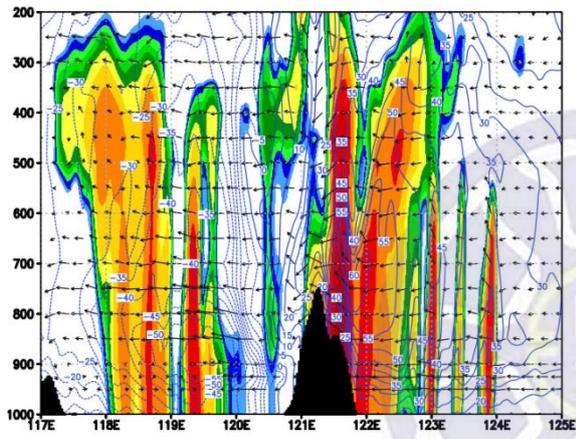
(a) 8月7日 2200 UTC



(b) 8月7日 2200 UTC



(c) 8月7日 2200 UTC



(d) 8月7日 2200 UTC

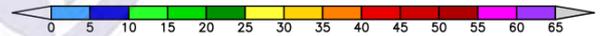
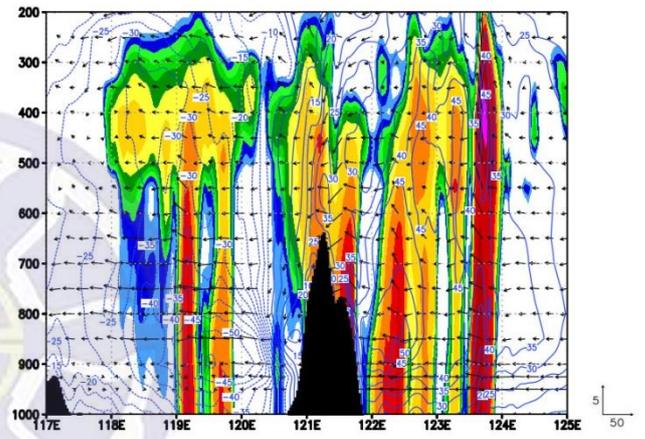


圖 6. 8 同圖 6.6 時間為 8 月 7 日 2200 UTC，剖面位置為剖面 A(24.5°N)。

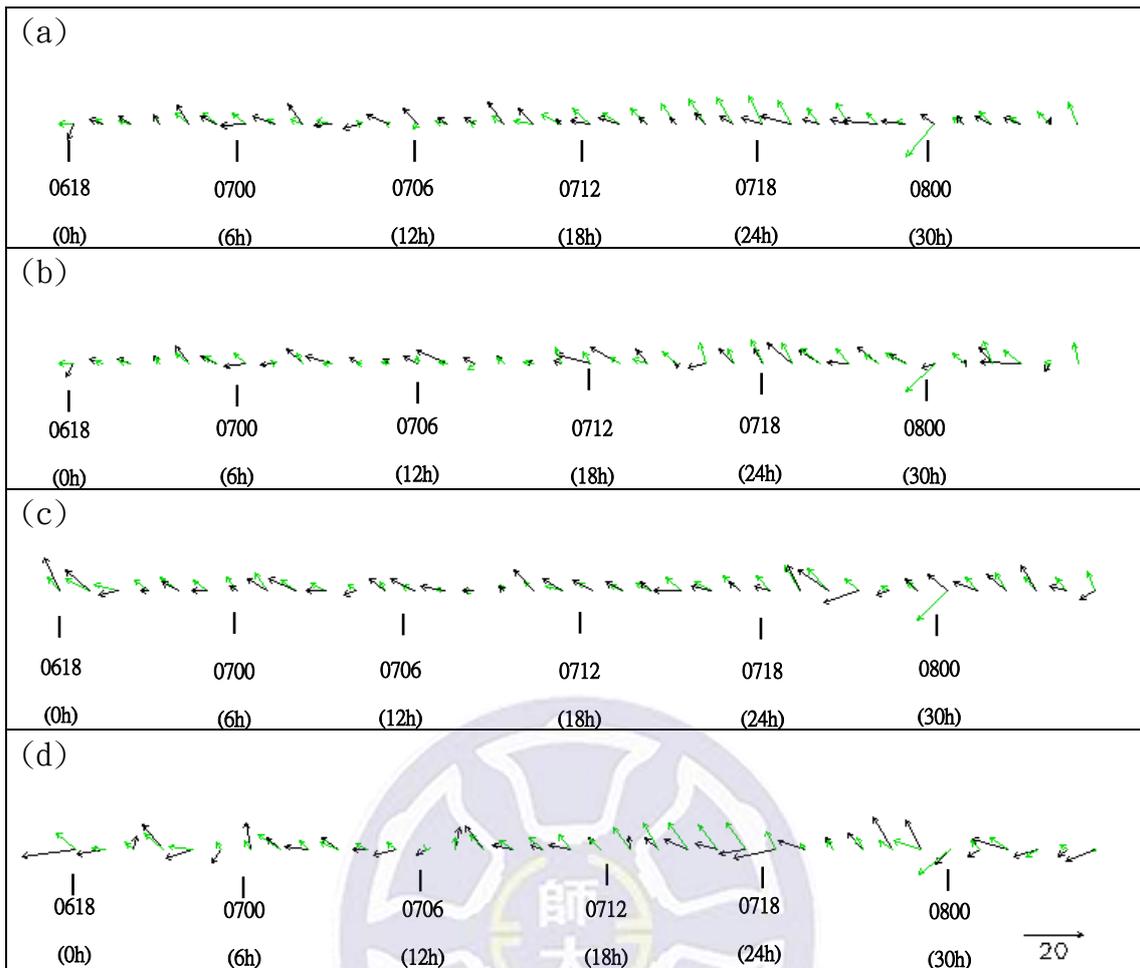


圖 6. 9 為 8 月 6 日 1800UTC 至 8 月 8 日 0500 UTC，駛流和颱風每小時移動向量圖，綠色為駛流、黑色為颱風每小時移動向量，其中(a)為 NT 組(b)為 HT 組(c)為 CTL 組(d)為 ET 組。

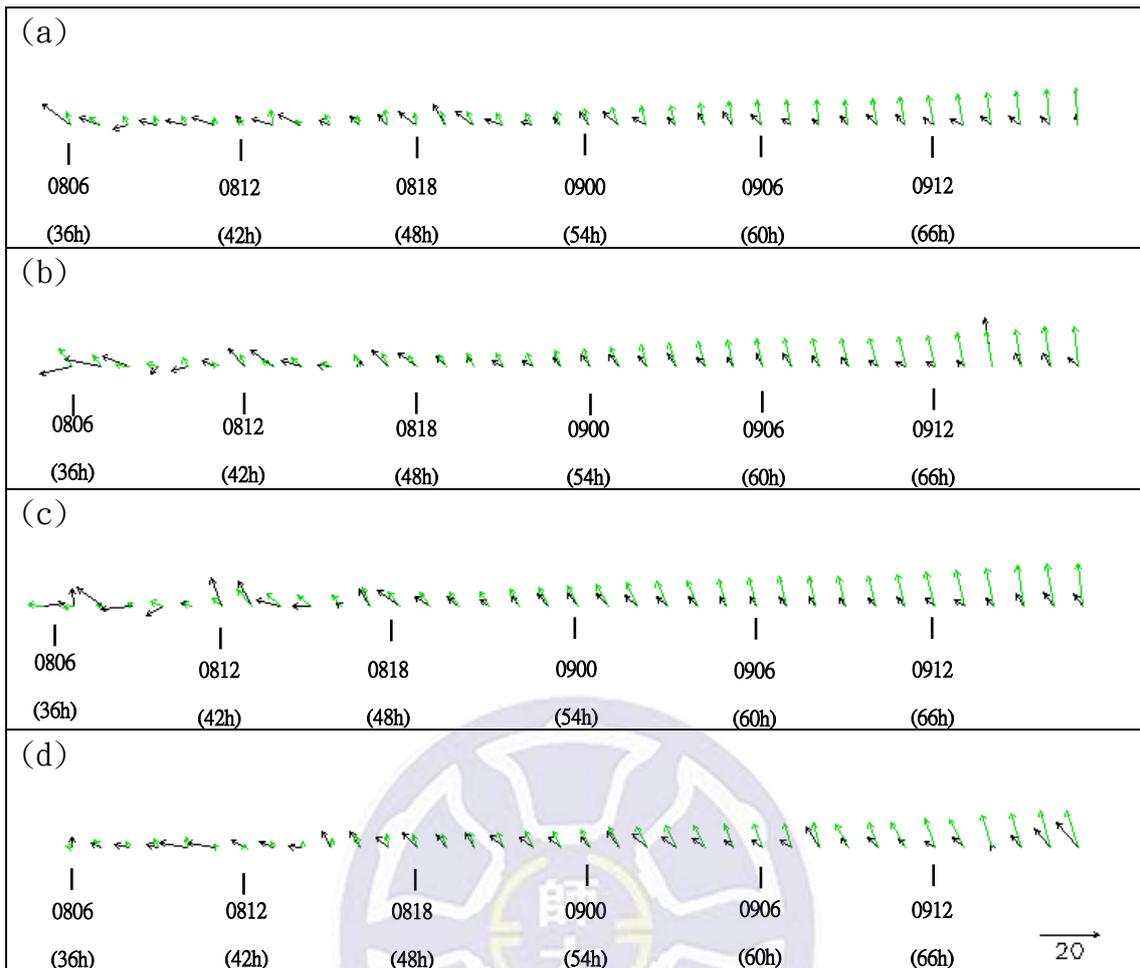
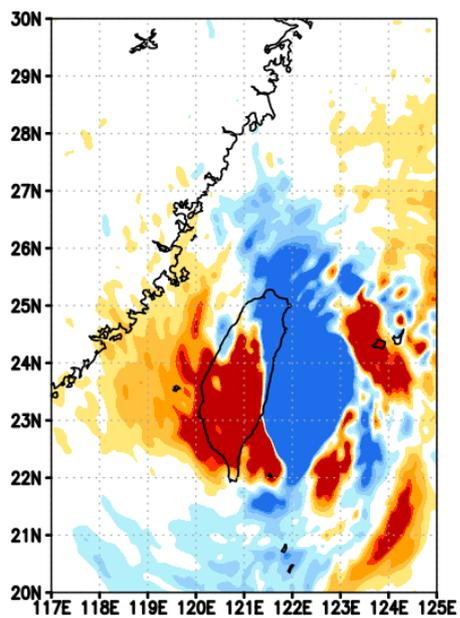


圖 6. 10 同圖 6. 9，時間為 8 月 8 日 0600 UTC 至 8 月 9 日 1700 UTC。

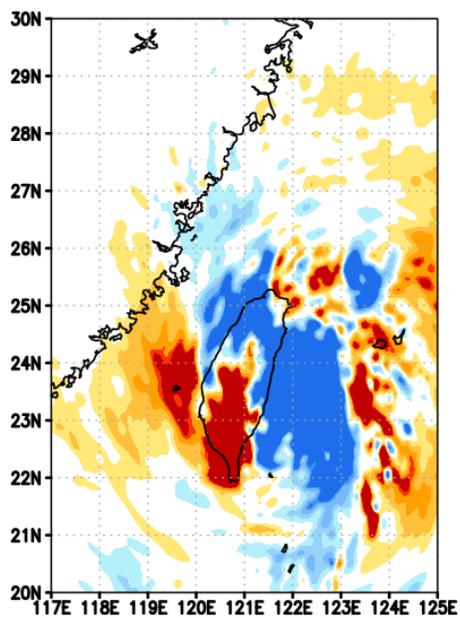


圖 6. 11 為通道效應示意圖。

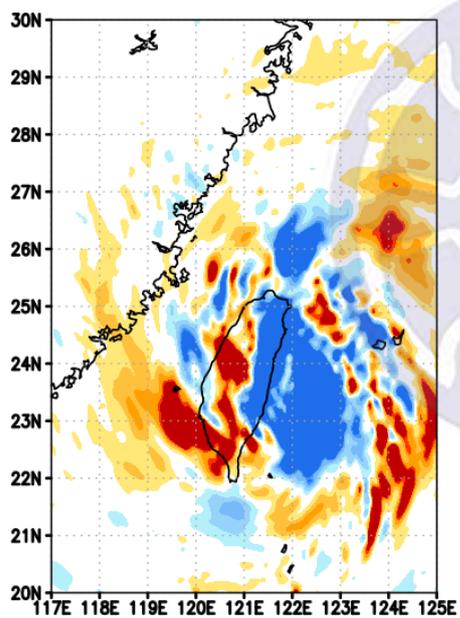
(a) 8月7日 1500 UTC



(b) 8月7日 1600 UTC



(c) 8月7日 1700 UTC



(d) 8月7日 1800 UTC

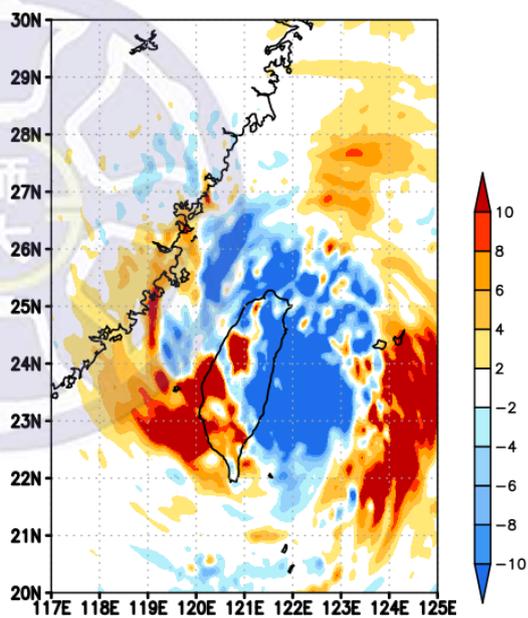


圖 6. 12 為 ET 組減去 CTL 組對於 850hPa - 700hPa 積分的平均風速差，藍色區塊為 ET 組北風分量較強區，紅色區塊為 ET 組南風分量較強區。色階為平均風速差，單位為 m s^{-1} 。