

莫拉克颱風侵臺前後之衛星、探空與水文觀測總覽

林博雄¹ 杜佳穎² 劉振榮³ 陳萬金⁴ 林依依¹ 林唐煌³ 齊祿祥⁵
周鑑本⁵ 陳思為² 楊益⁶ 劉崇治⁷ 莊秉潔⁸ 蔡徵霖⁸ 李明旭⁹

¹ 臺灣大學大氣科學系

² 國家實驗研究院颱風洪水研究中心籌備處

³ 中央大學太空及遙測研究中心

⁴ 大華技術學院

⁵ 中央氣象局

⁶ 國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中心

⁷ 明新科技大學

⁸ 中興大學環境工程學系

⁹ 中央大學水文科學研究所

(中華民國九十九年五月十九日收稿；中華民國九十九年六月二十九日定稿)

摘 要

本文總覽 2009 年 8 月 4 日到 8 月 10 日莫拉克颱風侵襲臺灣前後期間，臺灣地區各種大氣與海洋環境觀測設備(氣象雷達除外)之大氣與水文現場觀測和遙測反演結果概要，最後提出總結與建議；這些訊息將可做為氣候、天氣、颱風與海洋各種尺度的數值模擬模式驗證需求，以及學術界與氣象作業單位未來在天氣、氣候監測設備功能增進的參考方向。

關鍵字：莫拉克颱風、探空觀測、遙測、水文觀測

一、衛星觀測

現階段氣象衛星資料以微波頻道（主動和被動）為主，紅外頻道為輔，主動式感測器（如散射計，Scatterometer）通常為單一頻道（率），提供近海面的風場（風向及風速）；被動式感測器（如輻射計，Radiometer）則為多頻道（率），提供較多的大氣及海洋參數。表 1 整理各微波頻率以及反演的環境參數，藉由這些參數再進一步估算大氣以及海洋其他參數，監測大尺度環境和中尺度劇烈天氣生成、發展與消弱。衛星資料應用於颱風監測包括颱風中心定位、颱風強度（中心氣壓）

表 1 微波頻率與其環境監測應用
（劉振榮、劉崇治、林唐煌提供）

頻率(Frequency)	反演參數
6.9 GHz	土壤溼度
10.6 GHz	降水
18.7 GHz	液態降水、水氣
23.8 GHz	觀測資料校正
36.5 GHz	水滴、液態降水、海面風、植被
89.0 GHz	冰晶、固態降水、海面風
150.0 GHz	水汽、海面放射率
183.0 GHz	雪
89, 150 GHz	海面放射率
6-12GHz	海面溫度、植被含水量
15-18, 35-40, 80, 145, 118.75 ± 10-14 GHz	海面降水
85-100, 135-140 GHz	陸地降水
40, 80-85 GHz	海面雲
90-100, 135-140 GHz	路地雲
95-100, 140-150, 187 GHz	雪

與暴風半徑的推估和雲導風(cloud-drift wind)，學術研究與作業單位的衛星加值應用的常見參數，包括海面溫度、近海面之氣溫、溼度、水氣通量和渦度、海洋可感熱與潛熱通量、潛熱釋放、總可降水量(total precipitable water)，以及潛勢降雨類比預報等；不過這些參數大多停留在個案測試階段，尚未完全成熟轉移給作業單位常態使用。

我們簡要說明現今在作業單位即時使用的衛星（反演）影像類別及其特色：

1. 地球同步衛星影像

地球同步衛星影像（紅外，10~12 μm ；可見光，0.47~1.1 μm ；水氣，6.7 μm ）是中央氣象局對於綜觀天氣守視與颱風監測常態作業所倚重的資料。衛星中心透過可見光與紅外頻道，依據 Dvorak 雲型與亮度溫度分布的經驗法則(Velden et al.,2006)來決定強度與中心位置，提供預報中心參考。

2. 繞極軌道衛星影像

中央氣象局利用時間解析度差、但空間解析度高的美國 DMS-F 系列衛星 SSMI 與 SSMIS 觀測儀器，來協助研判颱風中、低與中高層環流中心。美國海洋大氣總署(NOAA)系列的 AMSU-B 探空儀所擷取的 89GHz 影像資料，以及美國航空與太空總署(NASA) EOS-AQUA 地球資源衛星 AMSR-E 微波輻射儀資料所反演的小時雨量資料(Weng et al.,2003)，也偶而做為該局衛星中心在天氣預報討論會的簡報內容。

3. 其他衛星影像資源

中央氣象局衛星中心自網路下載的衛星影像資源，供做天氣診斷與預報的來源尚有 Quicksat 衛星反演的海面風資料，以及美國 Wisconsin 大

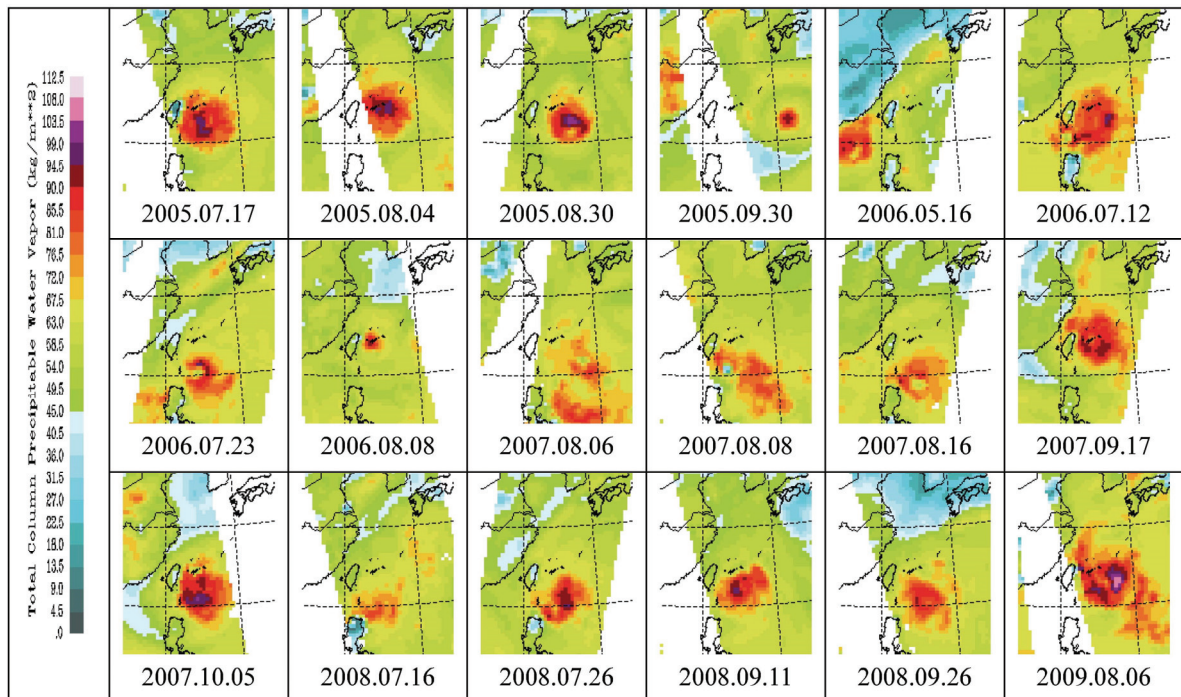


圖 1 2005~2009 年 18 個侵臺颱風個案衛星反演西北太平洋的可降水量，圖中的右下角(2009.08.06)個案即為莫拉克颱風（周鑑本、吳倩雯、齊祿祥、張拱祿、廖美慧等提供）。

學 SSEC (Space Science and Engineering Center) 所提供的 24 小時風切趨勢圖。

為了解莫拉克颱風降水的特殊性，氣象局衛星中心蒐集近 5 年侵襲臺灣的颱風個案，利用繞極軌道衛星微波觀測儀器 (SSM/I 或 AMSU)，反演大氣所含的總可降水量（單位 kg m^{-2} ），再與侵臺期間陸地上的自動雨量站所觀測的雨量進行驗證（圖 1；周等，2010），目的是為探討颱風降水 24 小時預報的可行性。他們發現莫拉克颱風本身即伴隨著相當豐沛的可降水量；此外，夏季季風強盛的西南氣流也引進大量的可降水量，加上山脈地形抬升的作用，造成臺灣山區和臺灣南部地區連續數日的強降水（圖 2）。這些總可降水量衛星產品顯示出莫拉克颱風本身及其引發西南氣流，所含豐沛的可降水量的空間範圍之大是近 5 年侵臺颱風個案中所罕見。

明新科技大學應用 TRaP (Tropical Rainfall Potential；劉等，2004；Liu et al., 2008) 技術以及氣象局全台自動雨量站資料，考慮地形效應與颱風路徑，加以改進而建立的降雨潛勢類比預報技術 (RaPAF；劉等，2007)，預報出 8 月 7 日 00:00UTC 到 8 月 9 日 08:00UTC (共 56 小時) 南臺灣地區的可降水量極值（圖 3）。除了颱風的強度變化及地形效應，中央大學遙測研究中心同時考量颱風外圍環流與季風之共伴效應，改進 TRaP 在颱風降雨之估算，圖 4 即為莫拉克颱風期間，臺灣地區累積降雨分布之計算結果。國防大學也進行衛星降水預報產品的研發，他們利用美國 NASA/TRMM 繞極衛星 TMI 微波資料，結合日本地球同步衛星 MTSAT 紅外觀測，透過降雨強度與亮度溫度之間的相關特性之建立，來求取臺灣地區每 30 分鐘時間解析度的海上和陸地的

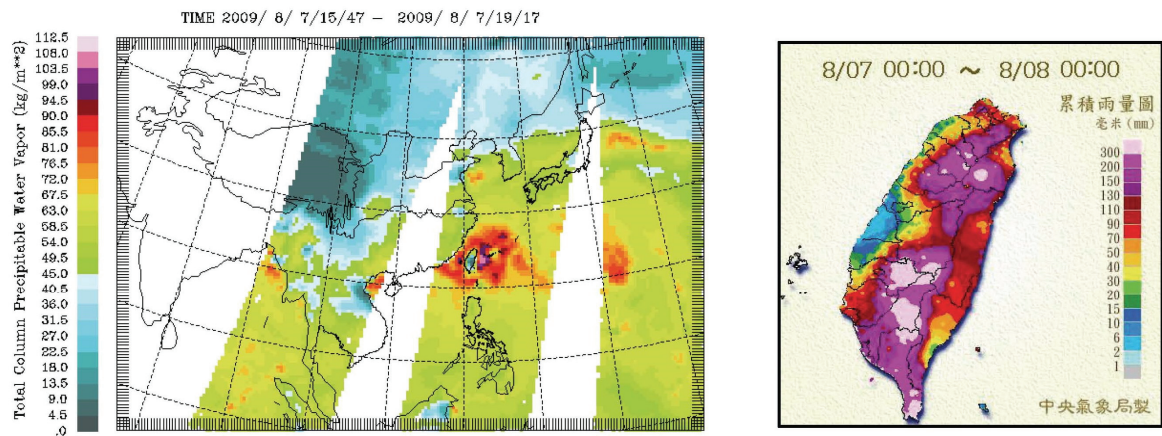


圖2 2009年8月8日莫拉克颱風凌晨(8月7日15:47~19:17UTC)可降水量影像圖(左),以及8月7日臺灣全日的累積降雨量(右)(周鑑本、吳倩雯、齊祿祥、張拱祿、廖美慧等提供)。

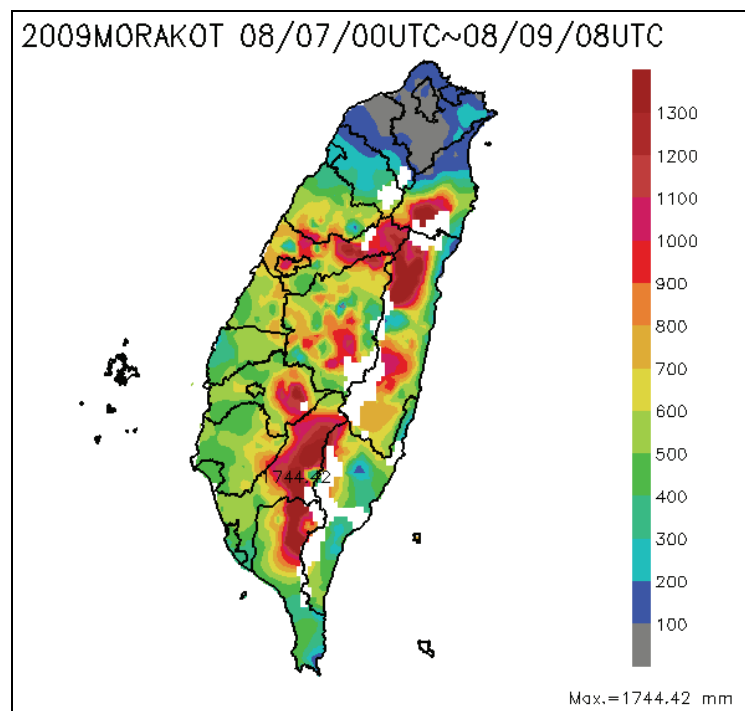


圖3 降雨潛勢類比預報技術(Rainfall Potential Analog Forecasting technique; RaPAF)對於2009年8月7日00:00UTC到8月9日08:00UTC的56小時臺灣各地累積降雨分佈預報(劉崇治、劉振榮、林唐煌提供)。

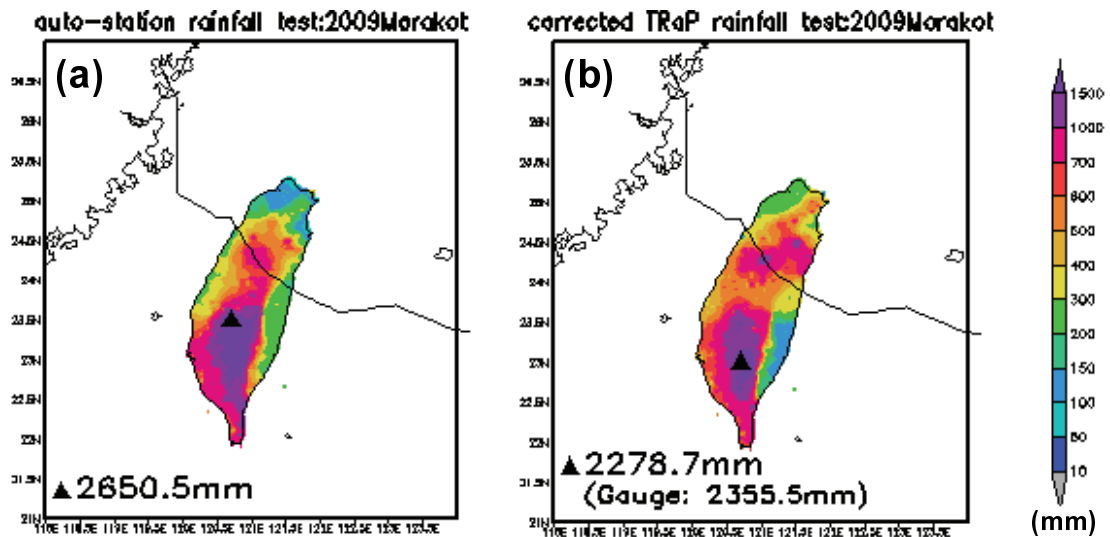


圖 4 (a)莫拉克颱風期間台灣地區測站之累積降雨，(b)考慮颱風強度變化、地形效應及季風共伴效應，改進 TraP 降雨模式所計算之累積降雨及其分布，圖中黑線為莫拉克颱風之移行軌跡（劉振榮、林唐煌、劉崇治提供）。

降雨強度和空間分布（陳等，2006）；這一產品和以上兩種研究方法異曲同工，雖然在 8 月 6 日單日預報的空間分布型態與地面雨量觀測網資料相符（圖 5），不過這些加值應用產品尚未通過作業單位嚴謹的預報得分評估，因此尚未能進入常態性的作業流程。

除了降水分布空間特徵分析，衛星遙測應用於颱風在海上移行過程中與海洋能量交換的發展潛勢的研判，也是近年來研判颱風強度的一項重要方法(Lin et al, 2008, 2009)。現階段衛星量測海洋熱力參數計有：

- 海表面溫度（SST，單位 $^{\circ}\text{C}$ ）
- 26 $^{\circ}\text{C}$ 海水深度（D26，單位 m）
- 海表面高度（SSHA，單位 cm）
- 海水熱容量（TCHP，單位 kJcm^{-2} ）

其中 SSHA 用以代表海洋上層的渦旋分布。

圖 6 顯示 2009 年 8 月 8 日臺灣東部外海到東經 125 度之間莫拉克颱風通過含有大量熱容量的渦旋區，颱風底部的海水溫度一直保持高溫狀態。這些衛星影像資料綜合 NASA TRMM/TMI、AMSE-R、AVISO、歐洲 ENVISAT 等多種來源，但是無法在每日天氣預報第一時間取得製作，需在隔日完成，因此無法提供作業單位短時劇烈天氣預報工具，目前止於海洋大範圍環境參考以及個案研究應用。

二、無線電探空觀測

無線電探空儀(radiosonde)透過氣象氣球搭載升空，是守視大氣垂直結構的重要手段，也是數值天氣預報不可或缺的初始化資料群之一。中央氣象局板橋與花蓮探空站全年度穩定進行無線電探空儀升空觀測作業，於每日 00:00UTC 以及 12:00UTC 進行地面到~30 公里大氣垂直剖面的溫度、濕度、氣壓和風場觀測。板橋與花蓮探空

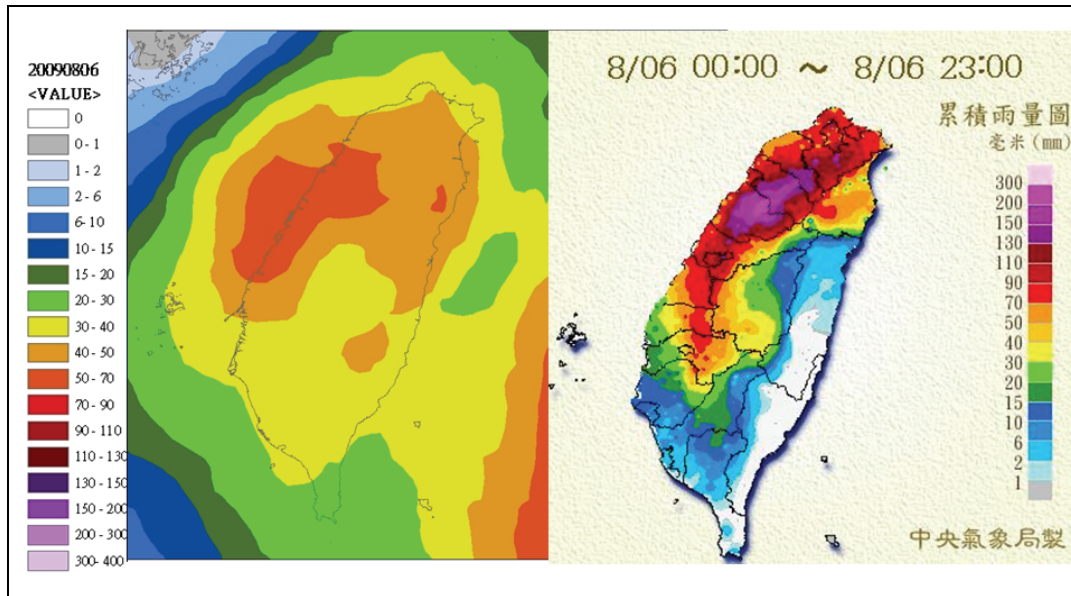


圖 5 NASA/TRMM TMI 與 MTSAT 紅外影像雙重應用的臺灣地區每 30 分鐘時間解析度的降雨強度和空間分布 (2009 年 8 月 6 日全日累計) (陳萬金提供)。

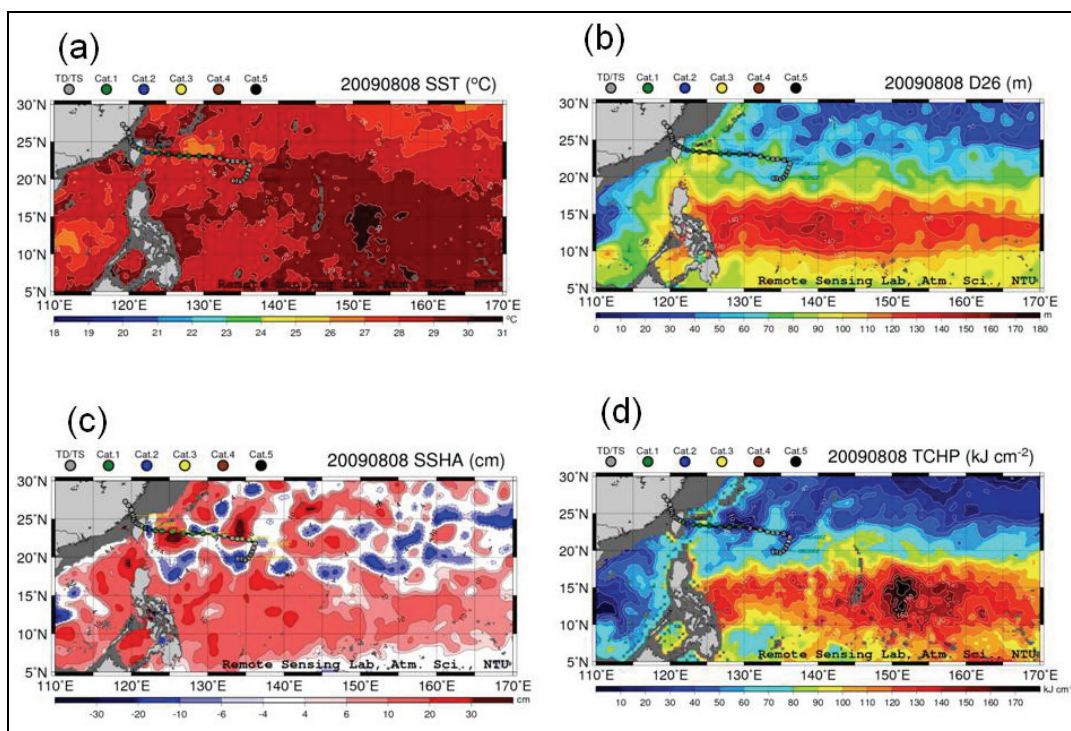


圖 6 2009 年 8 月 8 日多種衛星影像結合反演的(a)海表面溫度 (單位 $^{\circ}\text{C}$)、(b) 26°C 海水深度 (單位 m)、(c)海表面高度(單位 cm) (d)海水熱容量 TCHP(單位 kJ cm^{-2})等四種海洋參數的空間分布，以及莫拉克從生成到消散的移行軌跡 (林依依提供)。

站並在 8 月 6 日 06:00UTC 至 8 月 9 日 12:00UTC 四天期間（氣象局預報中心發佈陸上颱風警報期間），按照觀測準則進行一天四次探空加密觀測，增加了 06:00UTC 和 18:00UTC 兩次探空作業，惟其中 8 月 7 日 06:00UTC 花蓮探空站探空失敗而闕如。東沙島委託海軍作業探空站，因耗材經費與人力不足問題，僅維持每天 00:00UTC 一次的探空觀測，颱風侵襲期間亦然。東部地區在 8 月 7 日 18:00UTC 到 8 月 8 日 00:00UTC 之間，風場因颱風環流由東風轉為西南風場。由於莫拉克颱風緩慢通過臺灣陸地，臺灣北部直到 8 月 8 日 18:00UTC 時段整層大氣由東北風轉為西南風。東沙島 400hPa 高度以下有穩定的西南風，8 月 9 日到 10 日之間西南風速更為強勁。我們發現臺灣北部（板橋）CAPE（對流可用位能）相對

於臺灣東部（花蓮）來得微弱，位於旺盛季風槽區的東沙島則有相對的 CAPE 高值（圖 7）。至於空軍氣象聯隊運作的馬公、屏東、綠島等三處無線電探空站，因無線電探空儀耗材已無庫存，因此在莫拉克颱風侵臺期間以上這三處臺灣海峽與南部地區關鍵地點的探空觀測作業全部停止，相當遺憾。

中央氣象局委託臺灣大學所進行的漢翔 Astra 噴射飛機颱風環流海上環境偵察（計畫簡稱 DOTSTAR；Wu et al., 2005），相對於陸地上的氣球無線電探空觀測，是一種機動性的由上（14 km 高空）往下的投落送(dropsonde)觀測方式。Astra 飛機在 8 月 5 日 21:02UTC 起飛，並於 8 月 6 日 02:28UTC 降落，在 5.5 小時期間總共拋投 17 份 dropsonde。圖 8 是 Astra 飛行路徑與 dropsonde

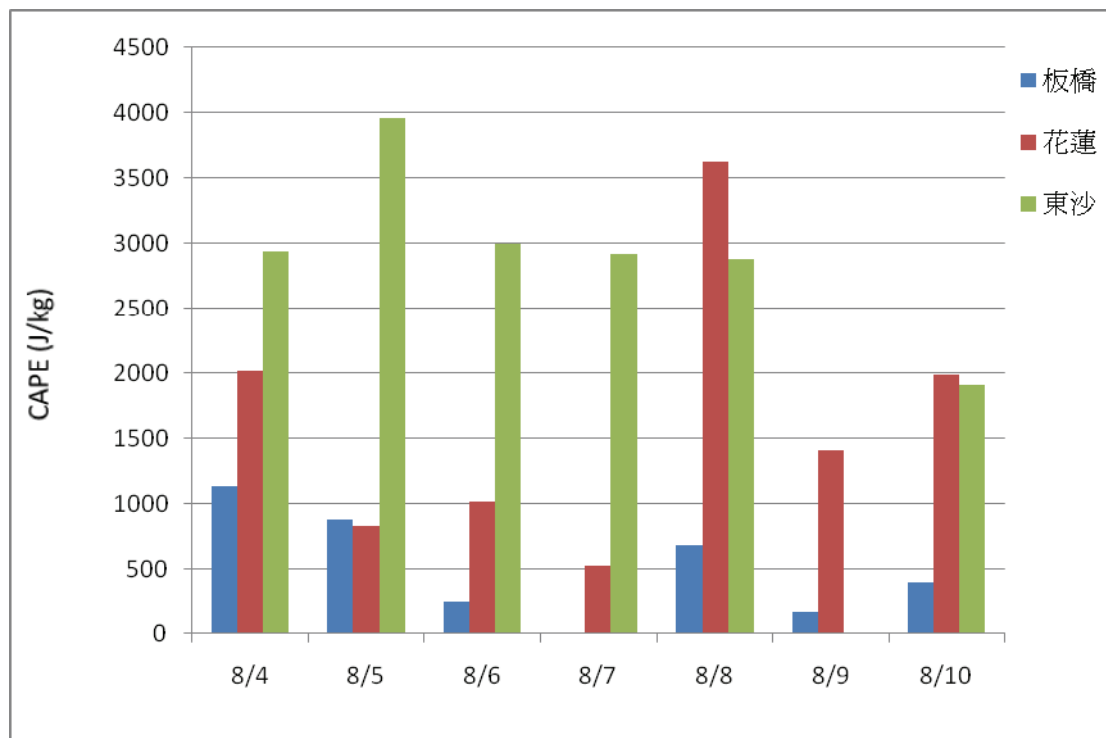


圖 7 2009 年 8 月 4 日至 8 月 10 日期間中央氣象局板橋花蓮和東沙島三處探空站所施放的 radiosonde 求得的對流可用位能(CAPE)一覽。

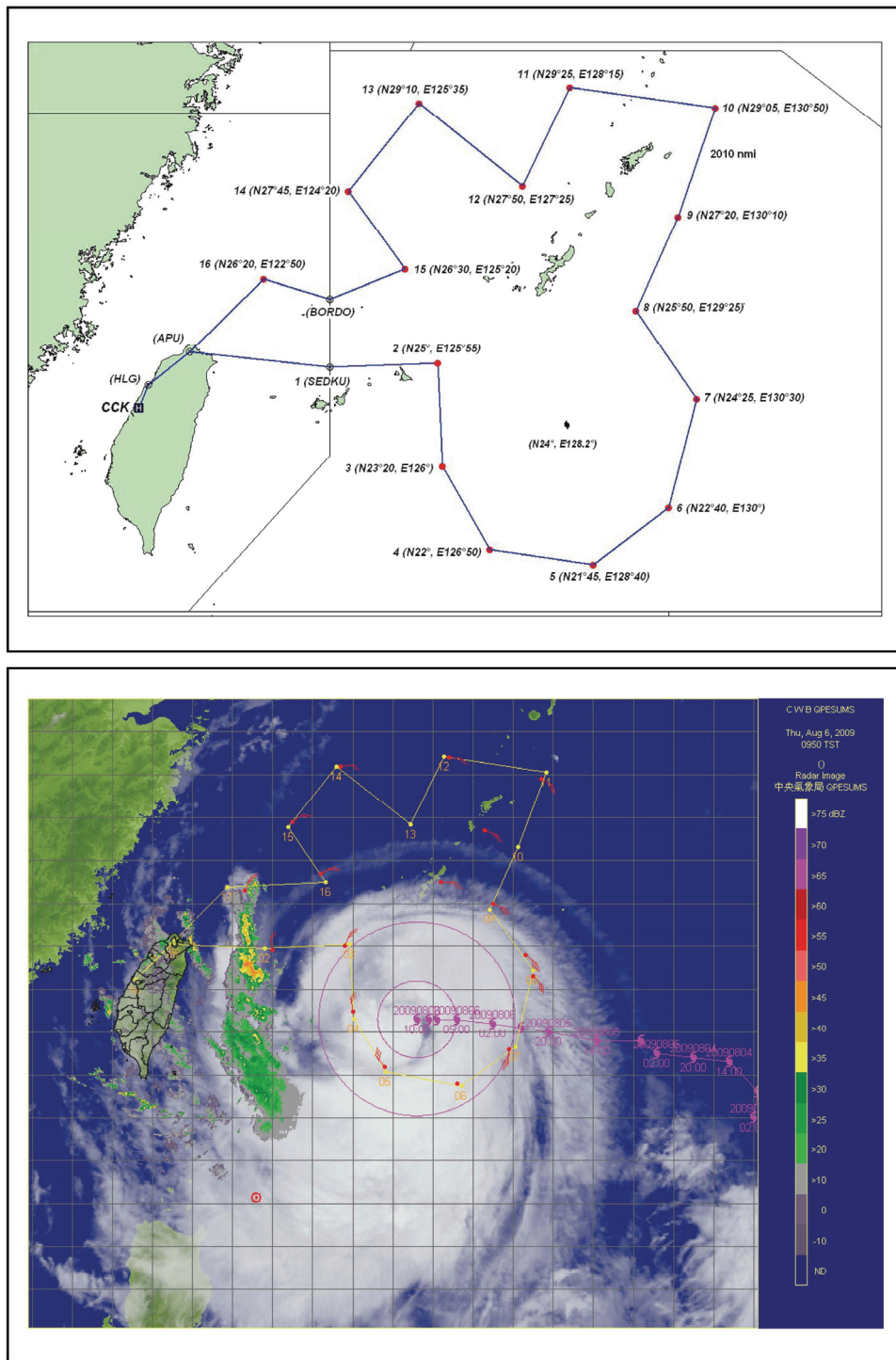


圖8 2009年8月5日21:02UTC~8月6日02:28UTC Astra 飛航路徑與 dropsonde 拋投位置在 QPESUMS 系統 (8月6日02:30UTC) 的顯示結果。

拋投位置以及其與 8 月 6 日 02:30UTC QPESUMS 影像疊加圖，這些 dropsonde 資料和氣球無線電探空資料，以世界氣象組織(WMO)高空電碼格式即時進入中央氣象局資訊中心資料同化系統和預報中心 WINS 系統，做為天氣診斷參考和數值模式初始場使用。

表 2 綜合了 8 月 4 日到 8 月 10 日期間 radiosonde 和 dropsonde 兩種探空現場(in situ)量

測資料時段，這兩種探空觀測資料是目前作業化數值預報模式資料同化系統最容易接受的格式，也是對於未來的颱風加強觀測（比如颱風路徑前緣廣布海上探空資料、增加西南方海面探空觀測剖面）最簡要與最直接的平台選擇。此外，由國家實驗研究院太空中心所提供的福衛三號 (FORMOSAT3/COSMIC)大氣溫溼剖面反演探空剖面(Lin, 2009)，在 8 月 4 日 16:01UTC 至 8 月

表 2 2009 年 8 月 4 日至 8 月 10 日期間臺灣地區氣球無線電探空和飛機投落送探空資料總表，●代表資料完整，NIL 代表無作業或資料遺缺（林博雄提供）。

	板橋	花蓮	東沙	馬公	屏東	綠島	Dropsonde
08/04/00Z	●	●	●	NIL	NIL	NIL	
08/04/12Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/05/00Z	●	●	●	NIL	NIL	NIL	
08/05/12Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/06/00Z	●	●	●	NIL	NIL	NIL	17 份
08/06/06Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/06/12Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/06/18Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/07/00Z	●	●	●	NIL	NIL	NIL	
08/07/06Z	●	NIL	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/07/12Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/07/18Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/08/00Z	●	●	●	NIL	NIL	NIL	
08/08/06Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/08/12Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/08/18Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/09/00Z	●	●	●	NIL	NIL	NIL	
08/09/06Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/09/12Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	
08/10/00Z	●	●	●	NIL	NIL	NIL	
08/10/12Z	●	●	NIL	NIL	NIL	NIL	

10 日 15:59UTC 期間計有 77 份大氣探空剖面發生在北緯 20~40 度、東經 120~140 度空間範圍；福衛三號全球 RO（折射率）資料也已於 2010 年 7 月開始納入中央氣象局資訊中心 GFS 和 WRF 數值模式的資料同化系統。

風挾帶的水氣不斷幅合於臺灣南部山區，在南部和東南部（高雄縣甲仙鄉、六龜鄉、那瑪夏鄉、屏東縣林邊鄉、佳冬鄉、台東縣卑南鄉、太麻里鄉）帶來豪大雨，前 20 大降水地點整理於表 3（水利署，2009），全臺總累積雨量等雨量線圖如圖 9 所示。

三、水文觀測

根據水利署莫拉克颱風水文分析報告，嘉義縣阿里山雨量站總累積雨量(2884mm)超越了 1996

表 3 莫拉克颱風期間全臺總累積雨量前 20 名之雨量站（摘自水利署莫拉克颱風水文分析報告）。

排序	雨量測站	河川流域	鄉鎮名稱	累積雨量(mm)
1	阿里山	濁水溪流域	嘉義縣阿里山鄉	2884
2	奮起湖	八掌溪流域	嘉義縣竹崎鄉	2778.5
3	尾寮山	高屏溪流域	屏東縣三地門鄉	2701
4	石磐龍	八掌溪流域	嘉義縣竹崎鄉	2636.5
5	御油山	高屏溪流域	高雄縣茂林鄉	2557.5
6	溪 南	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	2489.5
7	南天池	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	2448.5
8	瀨 頭	曾文溪流域	嘉義縣阿里山鄉	2315
9	馬頭山	曾文溪流域	嘉義縣大埔鄉	2277.5
10	上德文	高屏溪流域	屏東縣三地門鄉	2255
11	大 湖	八掌溪流域	嘉義縣番路鄉	2243.5
12	小關山	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	2235.5
13	新 發	高屏溪流域	高雄縣六龜鄉	2077.5
14	玉 山	濁水溪流域	嘉義縣阿里山鄉	2057
15	頭 凍	八掌溪流域	嘉義縣阿里山公路	2036.5
16	高 中	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	1991.5
17	新高口	濁水溪流域	嘉義縣阿里山鄉	1970.5
18	楠 溪	高屏溪流域	高雄縣桃源鄉	1969
19	草 嶺	濁水溪流域	雲林縣古坑鄉	1952
20	曾 文	曾文溪流域	台南縣楠西鄉	1948

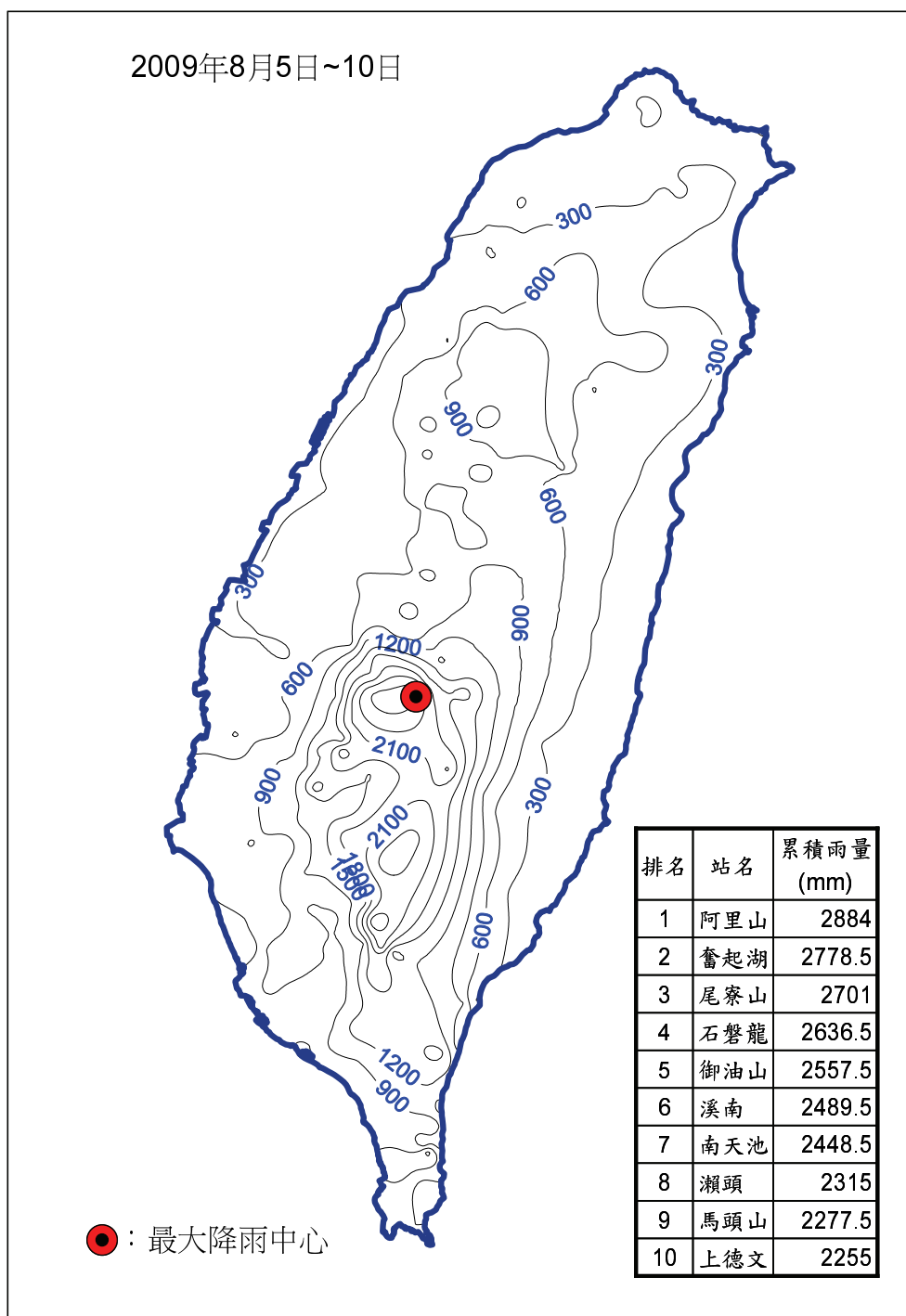


圖9 2009年8月5日~10日莫拉克颱風總累積雨量等雨量線圖（摘自水利署莫拉克颱風水文分析報告）。

年賀伯颱風引發的降雨紀錄(1987mm)近 900mm 之多，並且該測站降雨延時 24、48 及 72 小時累積雨量均為本次颱風發生最大降雨量之地點，也創下臺灣歷年降水雨延時之冠（分別為 1623.5mm、2361mm 及 2748mm）。其中，24 及 48 小時降雨量甚至逼近世界降雨量極值（分別為 1825mm 及 2467mm）。莫拉克颱風期間降雨延時 24 小時超過 1000mm 有 31 測站，降雨延時 48 小時超過 1500mm 者有 23 測站，降雨延時 72 小時超過 2000mm 者有 12 測站。若以水利管理的角度河來檢視流域降水量，莫拉克颱風期間濁水溪、八掌溪、急水溪、曾文溪、高屏溪等 5 條河川流域，分別在降雨延時 24、48 及 72 小時降下 1000(mm)、1500(mm)及 2000(mm)雨量值，單日降雨量亦創下臺灣氣象記錄的新極端值。回顧歷年來颱風造成臺灣地區各測站單日最大降雨量，前 10 名中除第 4 名之外，其餘全由莫拉克颱風改寫（表 4）。若以颱風個案來排序（表 5），前 10 名當中有 6 次颱風個案發生在 2000 年之後，颱風暴雨事件顯然集中在最近幾年。

由雨量紀錄分析得知，莫拉克颱風期間有二處高強度降雨區域，分別發生在嘉義縣梅山、小公田到高雄縣甲仙一帶，以及屏東縣林邊溪流域上游的來義附近（圖 10）。北端的高強度降雨區域 1 小時最高累積雨量在 80~90 mm 之間，而 6 小時最高累積雨量在 380~430 mm 之間。埋村事件（死亡超過 450 人）的小林村即位在甲仙鄉境內。南端的高強度降雨區域 1 小時最高累積雨量高達 135 mm，6 小時最高降雨量為 414 mm。該地區 1~12 小時降雨強度均超過 200 年重現期，而 24~72 小時降雨強度約為 50 年重現期。根據降雨逕流模式模擬分析顯示，新埤流量站之模擬尖峰流量為 6500~7000 m³/s，這一洪峰流量

已經超過 200 年重現期洪水量(5257 m³/s)。值得注意的是，一般縣（市）管河川係以 25 年重現期保護標準進行工程設計，並以 50 年重現期洪水不溢堤為目標。

降水造成不同地表植被土壤含水率的變化，是土石流災害防治應變的重要訊息，圖 11 為莫拉克颱風登陸前後在南投縣魚池鄉林業試驗所蓮花池（森林）、中央氣象局嘉義測站（水稻田）以及颱洪研究中心嘉義縣東石測站（近海邊草地）的土壤含水率時間序列圖。各觀測地點所量測的深度略有不同；在蓮花池測站的 5 層觀測深度（地表下 10cm、30cm、50cm、70cm 和 90cm）顯示，50cm（含）深度以上的土壤含水率隨降雨發生隨之增加，較深二層含水率則有時間遲滯現象；在 8 月 6 日之前 70 與 90cm 深度的土壤含水量變動不明顯，主要由於植物根系已較不易由此深度吸收水分，但颱風登陸期間之強降水則因入滲快速上升到飽和含水量(0.53)，但當雨勢減緩時則因滲漏而降低土壤含水量。中央氣象局嘉義測站共有七層觀測深度（地表下 5cm、10cm、20cm、30cm、50cm、100cm 和 150cm），發現當降雨發生時前四層（30cm 以上）土壤含水率觀測值皆隨之增加，較深三層則無較特別的現象。8 月 6 日之前的 50cm 處含水率幾乎為一定值(~0.59)，估推測當地地下水位約為此一深度，颱風期間土壤含水升高到~0.75。嘉義東石站共有五層觀測深度（地表下 10cm、20cm、30cm、50cm 和 100cm），8 月 6 日之前的資料發現 30cm 深度的觀測值維持在~0.88，100cm 深度觀測值約~0.56。颱風登陸期間土壤含水率升高到 0.9。目前 WRF 數值模式預報模擬顯示出各觀測地點的 field capacity 都比實際觀測值低，這一資訊說明現階段電腦模擬大氣與地表交互作用的能量通量(Tsai and Juang,

表 4 歷年測站單日最大降雨量超過 1000 mm 的排行（摘自水利署莫拉克颱風水文分析報告）。

名次	站名	時間	雨量(mm)	颱風名稱
1	屏東尾寮山	2009/08/08	1403.0	莫拉克
2	高雄溪南	2009/08/08	1301.0	莫拉克
3	高雄御油山	2009/08/08	1282.5	莫拉克
4	花蓮布洛灣	1997/08/29	1222.5	安 珀
5	嘉義馬頭山	2009/08/08	1211.5	莫拉克
6	高雄新發	2009/08/08	1190.0	莫拉克
7	嘉義奮起湖	2009/08/08	1184.5	莫拉克
8	屏東瑪家	2009/08/08	1180.5	莫拉克
9	嘉義石磐龍	2009/08/08	1180.5	莫拉克
10	高雄小關山	2009/08/08	1177.0	莫拉克
11	嘉義阿里山	2009/08/08	1137.5	莫拉克
12	台北竹子湖	1987/10/24	1135.5	琳 恩
13	嘉義阿里山	1996/07/31	1094.5	賀 伯
14	高雄甲仙	2009/08/08	1072.5	莫拉克
15	高雄復興	2009/08/08	1050.0	莫拉克
16	高雄南天地	2009/08/08	1044.0	莫拉克
17	宜蘭土場	2001/09/17	1042.0	納 莉
18	屏東尾寮山	2005/07/18	1010.0	海 棠
19	屏東瑪家	2007/08/13	1007.0	聖 帕
20	高雄高中	2009/08/08	1006.0	莫拉克
21	屏東上德文	2009/08/07	1003.5	莫拉克

註：計算至 98 年 8 月 8 日晚間 12 時，只列出超過 1000mm 者。資料來源：中央氣象局。

表 5 歷年颱風最大單日雨量的排序（摘自水利署莫拉克颱風水文分析報告註，資料來源：中央氣象局）。

排名	颱風	時間	地區	最大單日雨量(毫米)
1	莫拉克	2009	屏東尾寮山	1402
2	安 珀	1997	花蓮布洛灣	1223
3	琳 恩	1987	台北竹子湖	1136
4	賀 伯	1996	嘉義阿里山	1095
5	納 莉	2001	宜蘭土場	1042
6	海 棠	2005	屏東尾寮山	1009
7	辛樂克	2008	嘉義石磐龍	985
8	艾 利	2004	苗栗馬達拉	952
9	葛樂禮	1963	嘉義阿里山	874
10	敏督利	2004	高雄溪南	838

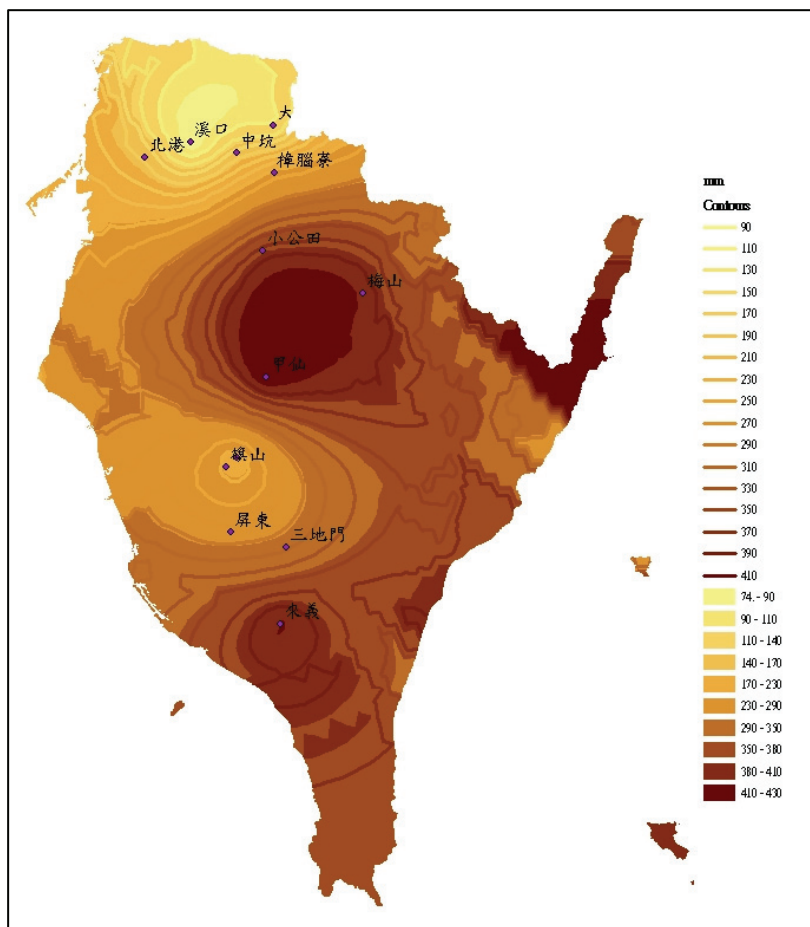


圖 10 莫拉克颱風臺灣南部地區 6 小時最大降雨等雨量線圖。

2005)和地表水逕流量(Li et al.,2005)推估，仍有相當大的努力空間。

四、海洋浮標觀測

國家實驗研究院臺灣海洋科技研究中心（以下簡稱海科中心）針對臺灣四周海域所建構的即時海洋浮標觀測平台，量測海洋-大氣邊界層的風、氣溫、氣壓、濕度、太陽輻射、海水表面溫度(SST)以及海洋上層海水溫度，協助衛星遙測驗證和數值模式參數化引用，以及做為上層海洋與颱風強度關連研究之資料來源。圖 12 描繪出莫拉克颱風移動路徑與海科中心現有三套浮標的海上

位置；A1 為莫拉克颱風路徑最先接近的浮標，A2 為三套浮標站之中最靠近臺灣陸地的觀測點，用來代表臺灣附近海域的變化，A3 浮標與莫拉克颱風路徑較遠，位於 A1 浮標的西南方。

圖 13 整理了 A1~A3 三套浮標在莫拉克颱風侵襲臺灣前後的海平面氣壓、風速、SST 時間變化，提供我們對於莫拉克颱風強度與範圍判斷以及計算海洋-大氣交互作用的可靠資訊。由大氣壓力變化與颱風路徑比對可知，莫拉克颱風中心位於 A1 浮標之東北方位距離約 600 km 左右時，海平面大氣壓力開始下降，直至颱風中心位於 A2 浮標之正北方且距離為 200~400 km 左右時，大

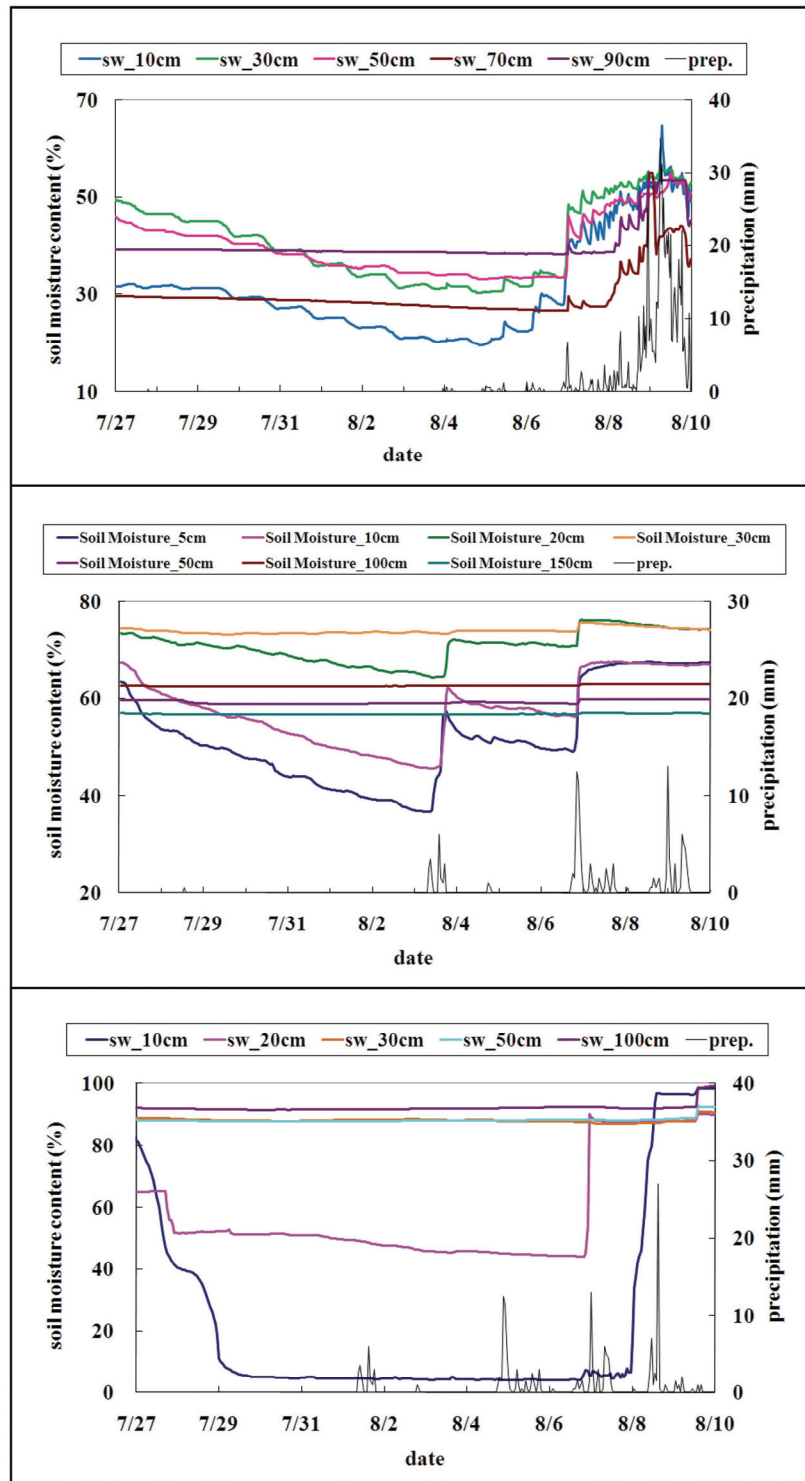


圖 11 2009 年 7 月 27 日~8 月 10 日於南投魚池鄉林試所蓮花池（上）、中央氣象局嘉義測站（中）以及颱風研究中心嘉義東石測站（下）不同深度的土壤含水率觀測值。

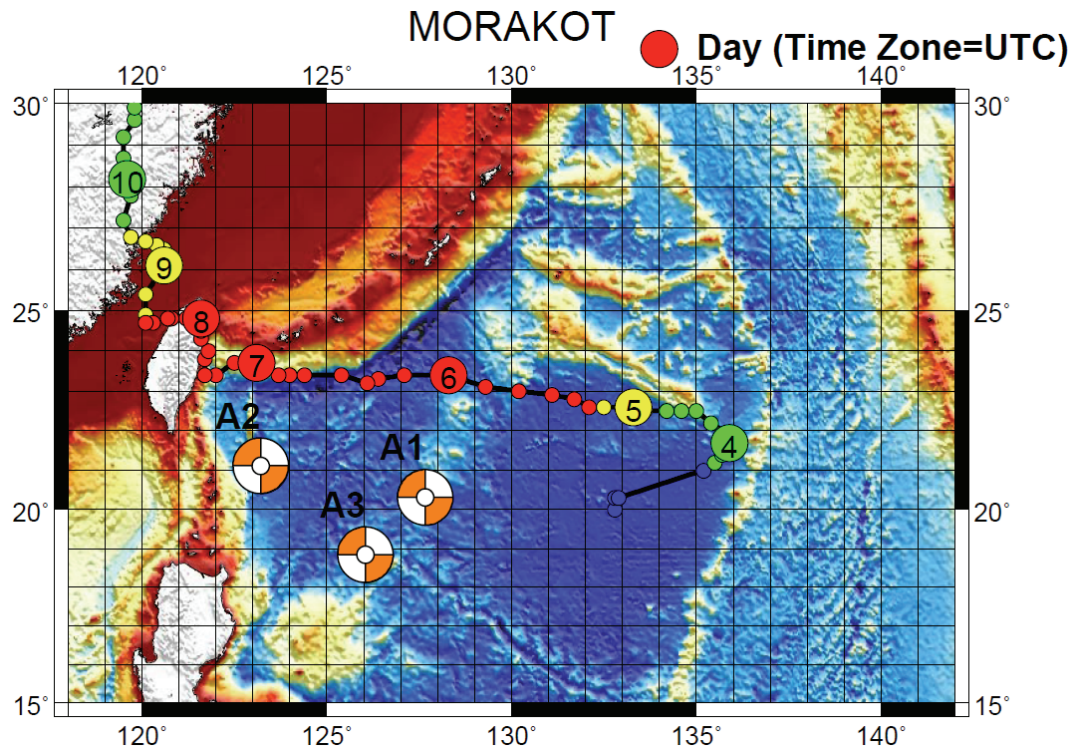


圖 12 臺灣海洋科技研究中心 A1~A3 浮標地理位置與莫拉克颱風路徑圖。(海科中心提供)

氣壓力值會達最低點，而當颱風中心位置遠離各浮標超過 600 km 以上時，大氣壓力回升不受颱風環流影響。由風速變化中可看出，當莫拉克颱風中心位於浮標東北方並朝向西北方移動時（距離約為 300 km），颱風外圍環流影響到浮標使得風速升高，當莫拉克颱風位於浮標正北方時風速達到極大值(20 ms^{-1})。總括而言，海平面風速變化與颱風半徑及路徑直接相關，越接近颱風中心會有越低之大氣壓力，並產生較大風速，而隨著颱風遠離後大氣壓力漸漸回升，使得風速漸漸下降。若是將海平面風速與海面氣壓相比較，可以發現兩者剛好呈現負相關，海面氣壓越高時會有較低之風速，反之當海面氣壓越低則會有較高之風速值。A1 浮標 SST 自 8 月 6 日中午之後開始下降-0.7℃，而此時颱風正位於 A1 浮標北方。之後 SST 持續維持 28.4℃ 直到 8 月 10 日颱風遠離

800 km 後才回升。A2 浮標則於 8 月 4 日凌晨開始 SST 有劇烈改變，日夜變化異常擴大，此時颱風尚在 1,000 km 之外，颱風本身外圍環流尚未影響 A2 浮標，導致 SST 大幅變化之原因尚待確定。8 月 7 日凌晨開始 A2 浮標 SST 開始有慢慢降低的現象，此時颱風正位於 A2 浮標東北方 200 km 左右。A2 浮標之海面溫度最低值出現在 8 月 7 日午後，與未受颱風影響前的溫度差異約 -1℃，此時颱風中心位置位於臺灣本島東北方，距離 A2 浮標約 300 km；之後 A2 浮標 SST 持續維持 28℃ 直到 8 月 10 日，颱風遠離約 600 km 左右 SST 才逐漸回溫。A3 浮標緯度偏南，SST 平均較 A1 與 A2 浮標高出~0.5℃，在 8 月 6 日之前維持正常的日夜週期變化 (29.5~29.8℃)；莫拉克颱風於 8 月 6 日開始影響 A3 浮標（距離約 400 km），8 月 7 日之後 A3 浮標的 SST 有明顯變化，甚至出

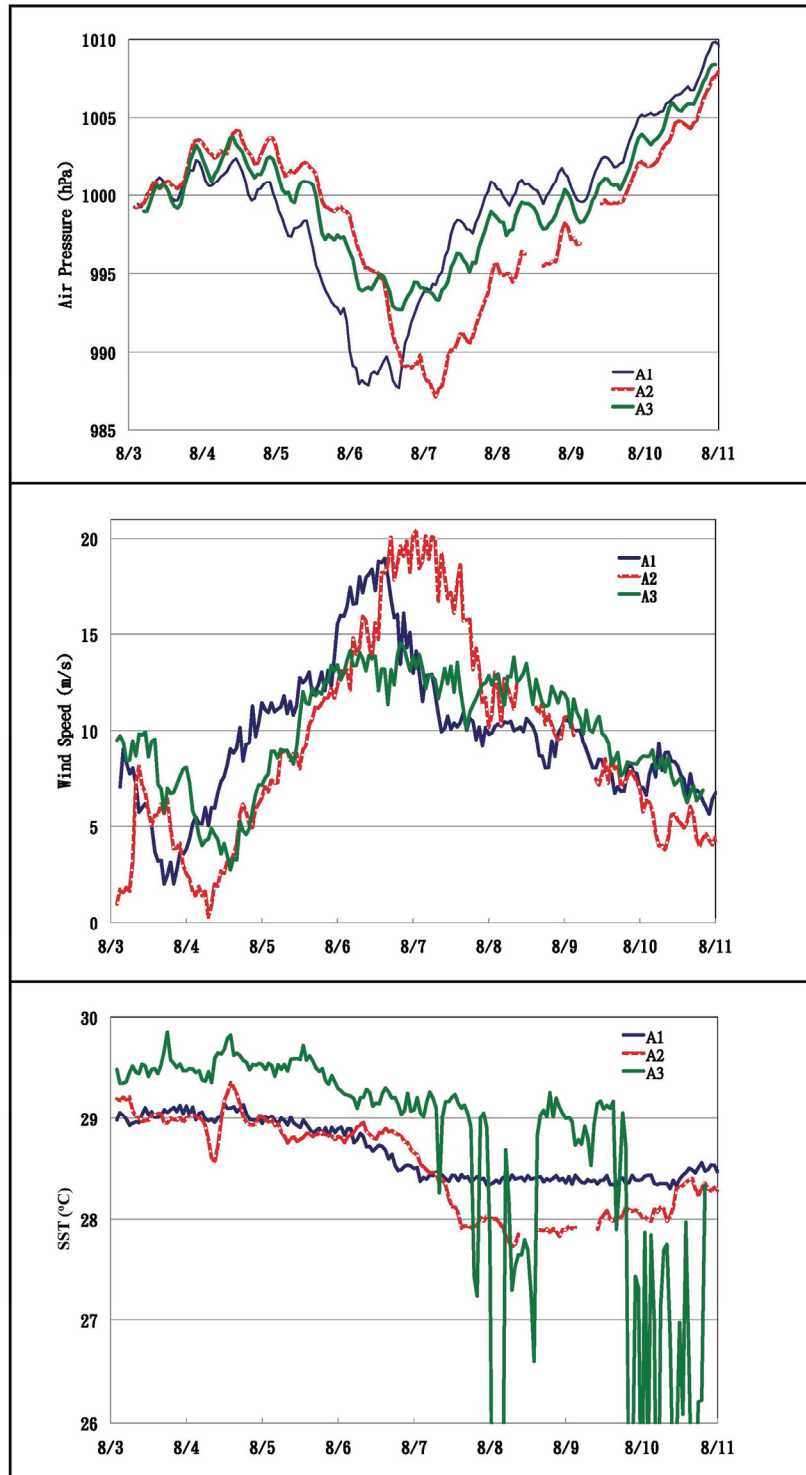


圖 13 2009 年 8 月 3 日~11 日海科中心 A1~A3 浮標大氣壓力（上）、風速（中）與海水表面溫度（下）逐日變化。
（海科中心提供）

現 21℃ 不合理數值，此時颱風中心已登陸臺灣本島，與 A3 浮標相距超過 700 km 以上，因此我們推測其與颱風之動態應較無關聯，而是觀測儀器出現故障的不合理數值。這三套浮標自 2009 年 3 月 20 日錨碇啟用後 8 個月內（至 10 月 20 日），5 分鐘平均的氣象與海象資料每隔 6 小時經由 Iridium 衛星跨洋回傳海科中心，扮演臺灣東南海域海面相當重要的颱風守視角色；儘管即時資料之傳輸常因衛星數據機故障而中斷，然而浮標站的原始資料於每半年一次之錨碇維護航次下載時，我們發現資料記錄依然連續未曾間斷。截至 2010 年 3 月，三組浮標資料觀測成功率為 78%，目前觀測系統持續運作中。

中央氣象局目前在臺灣本島以及離島的近海水文觀測網共設有 12 個海氣象資料浮標站，浮標離岸 1~10 km，錨碇深度在~100m 之內，觀測項目有海浪波高、週期、波向、海面風速、風向、海溫、海面氣溫以及海面氣壓等。平日的資料記錄間距為 2 小時，颱風期間加密觀測為 1 小時，每次取樣時間為 10 分鐘，取樣頻率為 2Hz，於現場完成資料分析及儲存工作後，利用無線電將分析結果及波浪時序資料傳回岸上接收站進行自動資料品管，再透過網際網路傳回中央氣象局。

我們檢視臺灣東北角龜山島、西北部新竹、海峽中部的澎湖和臺灣南端的鵝鑾鼻浮標測站資料（圖 14），大氣壓力和風速的時間變化曲線可看出莫拉克颱風中心引發臺灣四周海面各地的大氣變化情況；整體而言，颱風中心在 8 月 8 日凌晨接近新竹，該地的風速從 21 ms^{-1} 下降到 5 ms^{-1} 以下，颱風向北移動後外圍環流再度提高新竹近海風速。龜山島、澎湖和鵝鑾鼻風速與氣壓變化特徵呈現反向鐘型分佈，惟 8 月 8 日前後龜山島位於颱風中心東側，風速受到山脈阻隔而有振盪

變化。

海科中心與中央氣象局所佈置浮標可依佈建距離區分為遠洋與近岸兩個類型。遠洋浮標由於距離臺灣較遠，若恰好浮標位置位於颱風經過路徑，所得資料將可提供颱風襲臺之前的寶貴海面資料。中央氣象局委由成功大學近海水文中心建構之資料浮標觀測網，雖於臺灣周邊海域均有監測站位，然因屬近岸之海洋觀測站，在提升颱風預警之前期作業時間上有其侷限性；而海科中心目前所佈建之遠洋外海資料浮標，則於站位數目上仍顯不足，同時因可能之維修作業所需船隻資源不足，目前無法達到作業化之需求。

五、結論與建議

本文綜合莫拉克颱風侵臺前後期間的衛星、探空、水文以及海洋浮標氣象觀測資源，以期做為日後研究模擬這次重大天然災害過程的基礎參考資料。在地表水文資料而言，降水資料顯示莫拉克颱風洪澇創下臺灣地區水文與氣象諸多極端新記錄。A2 海洋浮標則近距離接近颱風中心南側 200 km，得到寶貴的洋面大氣資料。南投山區、嘉義市區和東石海濱不同地表條件的土壤溫度與含水率，也具體反應降雨前後的陸地表層特徵，提供數值模式地表參數化的重要參考。高空觀測方面，中央氣象局板橋與花蓮探空觀測資料均順利完成觀測作業；遺憾的是，綠島、屏東以及馬公等地的氣球無線電探空觀測，因耗材缺乏而在拉克颱風登陸臺灣前後中斷觀測；透過 Astra 飛機執行海上颱風環流周遭的機動探空觀測，也僅有登陸前 24 小時進行一次環流偵查。此外，各種繞極衛星資源加值演算結果雖然有顯著性的參考價值，但可惜尚未進入氣象預報與防救災第一線應用階段。

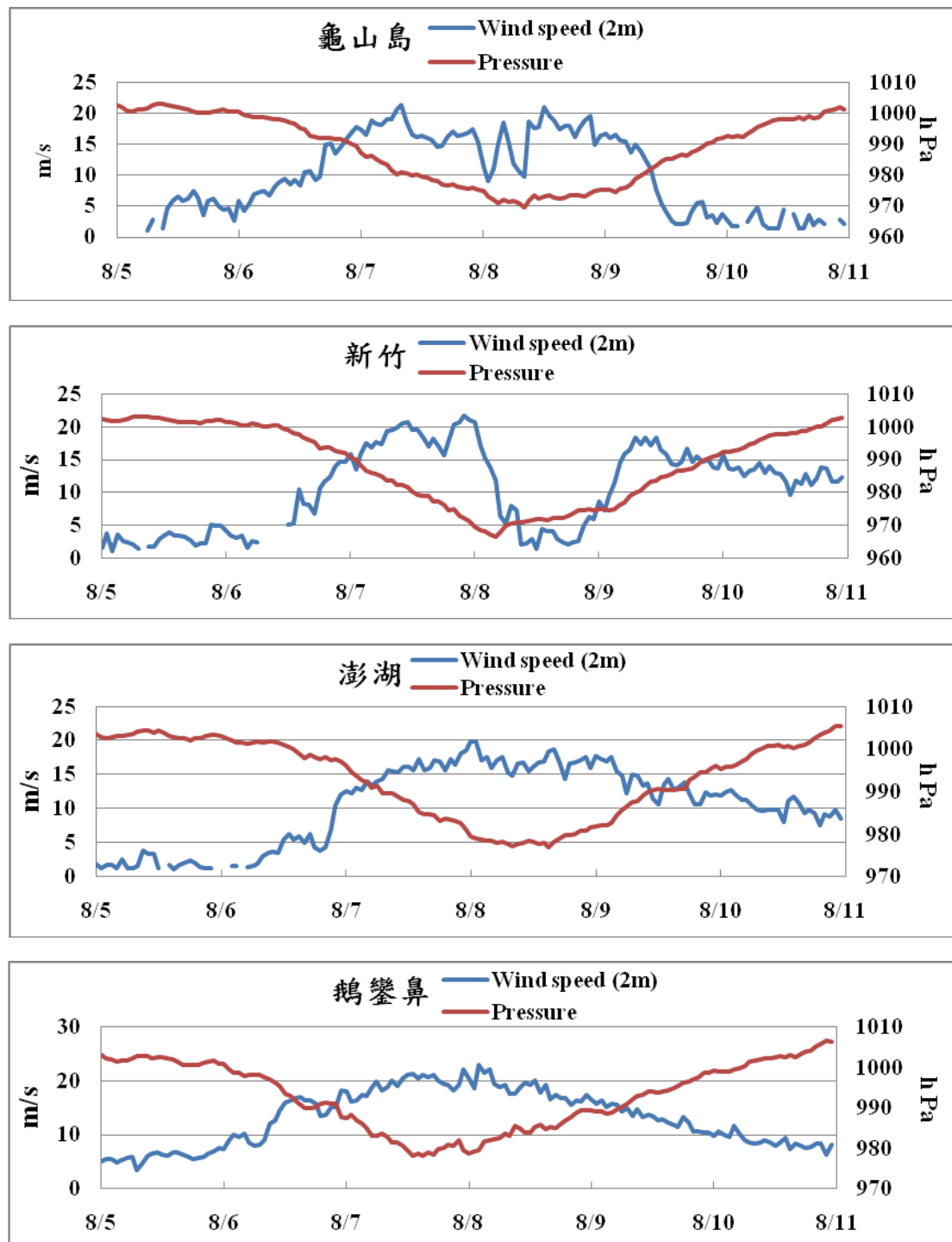


圖 14 2009 年 8 月 5 日~11 日中央氣象局龜山島、新竹、澎湖、鵝鑾鼻近岸浮標之大氣壓力與風速的逐日變化。
(中央氣象局海象中心提供)

總覽莫拉克颱風侵臺前後期間的高空與地表資料與分析，我們建議：

1. 增加氣象科技預算，全力讓臺灣全島（包括台南永康測站）以及東沙島氣球探空觀測在全年度（尤其是颱風季節加密觀測）穩定運作，提供全島大氣垂直剖面觀測資料以及常態融入電腦數值模式資料同化系統，提供中尺度大氣環流診斷與預報。
2. 擴增 Astra 飛機的機動性海上大範圍探空觀測經費與次數。
3. 參考美國海洋大氣總署國家颶風中心(National Hurricane Center)經驗，建立螺旋槳運輸機和機載雷達，直接低空穿越颱風眼牆，量測中心氣壓、眼牆最大風速和伴隨雨帶的結構與特徵，提供臺灣與亞洲臨海國家第一手颱風環流具體的臨場觀測資料，即時提供各國颱風數值模式引用，以取得各種颱風路徑和強度模擬預報的參考。
4. 加強衛星加值應用影像產出流程，提供氣象預報和防救災第一線參考。
5. 增加遠洋浮標數量、硬體可靠度和資料即時回傳陸地能力，以求涵蓋颱風路徑，以發揮海洋浮標觀測投資效益。
6. 透過數值模式的資料同化技術，調整高空與地表氣象觀測網的最佳化空間分布。

致謝

作者們要向中央氣象局衛星中心、中央氣象局海象中心、測政組、嘉義農業氣象站、海軍大氣海洋局以及其他諸多觀測作業和資料整理同仁們致謝，因有他們的默默持續的付出，才有資料

全貌的呈現。

參考文獻

- 水利署水文技術組，(2009)「莫拉克颱風水文分析報告」，水利署技術報告。
- 周鑑本，吳倩雯，齊祿祥，張拱祿，廖美慧，2010：應用衛星反演資料分析颱風劇烈降水個案與其在預報颱風降水的可行性探討，投稿於*氣象學報*。
- 陳萬金，胡仁基，劉振榮，張茂興，2006：利用 TMI 微波頻道反演海上颱風定量降水之研究，*大氣科學*，**34**，67-88。
- 劉振榮，陳萬金，林唐煌，劉崇治，2004：衛星遙測在臺灣地區大氣科學之應用研究回顧，*大氣科學*，**32**，247-274。
- 劉崇治，林裕豐，戴世忠，趙俊傑，劉振榮，2007：SSM/I 衛星資料在估算侵台颱風降雨之初步研究，*大氣科學*，**35**，51-66。
- Li, M. H., M. M. j. Yang, R. T. Soong and H. L. Huang, 2005: Simulating typhoon floods with gauge data and mesoscale modeled rainfall in a mountainous watershed, *Journal of Hydrometeorology*, **6**, 306-323.
- Lin, I. I., Iam-Fei Pun, and Chun-Chieh Wu, 2008: Upper Ocean Thermal Structure and the Western North Pacific Category-5 Typhoons Part II: Dependence on Translation Speed, *Monthly Weather Review*, **136**, p.3288-3306.
- Lin, I. I., Chi-Hong Chen, Iam-Fei Pun, W. Timothy Liu, and Chun-Chieh Wu, 2009: Warm Ocean Anomaly, Air Sea Fluxes, and the Rapid

- Intensification of Tropical Cyclone Nargis (2008), *Geophysical Research Letters*, 36, L03817, doi:10.1029/2008GL035815.
- Lin, P. H., 2009: The validation of FORMOSAT-3/COSMIC atmospheric retrieval profile with high-resolution in-situ sounding data. Fourth FORMOSAT-3/COSMIC Data Users Workshop, Boulder, U.S.A.
- Liu, G.-R., C.-C. Chao, C.-Y. Ho, 2008, Applying Satellite-Estimated Storm Rotation Speed to Improve Typhoon Rainfall Potential Technique, *Weather and Forecasting*, 23, 259-269.
- Tsai, J.-L.; Tsuang, B.-J., 2005: Aerodynamic roughness over an urban area and over two farmlands in a populated area as determined by wind profiles and surface energy flux measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132, 154-170.
- Velden, C., B. Harper, F. Wells, J. L. Rayzehr, T. Olander, M. Mayfield, C. Guard, M. Lander, R. Edson, L. Avila, A. Burton, M. Turk, A. Kikuchi, A. Christian, P. Caroff and P. McCrone, 2006: The Dvorak tropical cyclone intensity estimation technique_A satellite-based method that has endured for over 30 Years. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 87, 1195-1210.
- Weng, F., L. Zhao, G. Poe, R. Ferraro, X. Li, and N. Grody, 2003: AMSU cloud precipitation algorithms. *Radio Sci.*, 38, 8068-8079
- Wu, C. C., P. H., Lin, S., Aberson, T. C. Yeh, W. P., Huang, K. H., Chou, J. S., Hong, G. C., Lu, C. T., Fong, K. C., Hsu, I. I., Lin, P. L., Lin, C. H., Liu, 2005: Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan Region (DOTSTAR): An Overview. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 86, 787-790.

The Overview of Satellite, Upper-air Sounding and Hydrological Observation Pre-and-post Landfall of Typhoon Morakot at Taiwan

**Po-Hsiung Lin¹ Chia-Ying Tu² Gin-Rong Liu³ Wann-Jin Chen⁴
I-I Lin¹ Tang-Huang Lin³ Luh-Hsiang Chi⁵ Chien-Ben Chou⁵
Sih-Wei Chen² Yih Yang⁶ Chung-Chih Liu⁷ Ben-Jei Tsuang⁸
Jeng-Lin Tsai⁸ Ming-Hsu Li⁹**

¹Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

²Taiwan Typhoon and Flood Research Center, National Applied Research Laboratories

³Center for Space and remote Sensing Research, National Center University

⁴Ta Hwa Junior College

⁵Central Weather Bureau

⁶Taiwan Ocean Research Institute, National Applied Research Laboratories

⁷Mingshin University of Science and Technology

⁸Department of Environmental Engineering, National Chungshing University

⁹Graduate Institute of Hydrological & Oceanic Sciences, National Central University

(manuscript received 19 May 2010 ; in final form 29 June 2010)

ABSTRACT

This article reviews the in-situ and remote retrieved observing results from atmospheric and oceanic monitoring platforms (except weather Radar) before and after Typhoon Morakot hitting Taiwan (August 4 to 10, 2010). The suggestion on improvement of typhoon monitoring is provided in the conclusion. We expect the information in this article could be treated as the validation for different scales' model simulation and the reference of instrument improvement plans in the research society and governmental agencies.

Key Words: Typhoon Morakot, sounding observation, remote sensing, hydrological observation