

應用全球衛星降雨資料分析台灣鋒面降雨強度

葉南慶¹ 莊耀中² 彭信碩³ 方玉龍⁴

¹ 空軍航空技術學院軍事氣象系

² 空軍航空技術學院航空通電系

³ 海軍大氣海洋局

⁴ 國防部資源規劃司

摘要

本研究利用全球衛星降雨資料 (Global Satellite Mapping of Precipitation, GSMaP) 估算梅雨鋒面於台灣地區之降雨強度。使用資料包含 GSMaP 衛星資料、中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 自動測站降雨量資料及地面天氣圖。

Yamamoto et al. (2015) 採用某演算法來改善 GSMaP 在亞洲地區的降雨估算，顯見使用 GSMaP 降雨產品需要依地區做適當的修正。本研究選取梅雨鋒面通過台灣上空時段，將 GSMaP 降雨資料與 CWB 實際觀測降雨量依地勢高度區分並分析比較，嘗試找出 GSMaP 降雨產品應用於台灣地區的系統性誤差，並使用統計法修正，使 GSMaP 估算降雨更接近實際降雨率。

初步分析結果顯示，GSMaP 估算台灣地區降雨與地形高度息息相關，最佳的地勢高度分類為 50 公尺以下、50 至 100 公尺及 100 公尺以上，依此高度分類時 GSMaP 降雨與 CWB 實際降雨的相關係數分別為 0.73、0.69 及 0.48，顯見 GSMaP 降雨的表現平地優於高山。經初步研究成果修正後，在偏差 (bias) 部分平均改善 17 毫米，在均方根誤差部分平均改善了 9.3 毫米，顯示本研究方法可有效改善 GSMaP 於台灣地區的降雨估算。

關鍵字：全球降雨資料、梅雨鋒面、降雨強度

一、前言

東亞地區每年的5-6月總有梅雨鋒面系統出現，此鋒面系統是台灣地區於此期間主要的降水天氣系統，由於梅雨時期的連續降雨使得土壤含水量大，容易造成落石、坍方、土石流、部分低窪地區易淹水等危害。因梅雨鋒面連日的降雨而對台灣造成人、事、物重大損失，另一方面，梅雨也是台灣地區水庫主要的來源（另一來源為颱風），梅雨期適時適量的降雨，對農業灌溉、民生用水等水資源的分配、調度及應用具其重要性。

Kidd et al. (2003) 提出了結合了被動微波資料與紅外線 (Infrared, IR) 資料來估算

降雨，提供每30分鐘一筆降雨估算資料，大大提升了時間解析度。而本研究使用的 GSMaP 也就是結合了 IR 資料及微波資料的降雨產品，基本原理為先使用準確度較高的微波資料估算降水，再利用較高時間解析度的 IR 資料填補 (Mapping) 空缺的資料，換句話說，此產品結合了紅外線資料高時間解析度及微波資料高準確度之優點。全球性降水填補的方法已經有許多學者研究 (Kidd et al. 2003, Joyce et al. 2004, Turk and Miller 2005, Huffman et al. 2007)。

Kubota et al. (2007) 研究中使用 GSMaP 反演降雨資料以及星載雷達 (Precipitation Radar, PR) 估計降雨資料分別與實際降雨觀

測資料比較，顯示在某情況下 GSMaP 有較好的結果。Seto et al. (2009) 利用 TR 毫米 (Tropical Rainfall Measuring Mission, TRMM) /PR 標準演算法所估計的降雨率來評估 GSMaP 與 TRMM / (TR 毫米 Microwave Imager, TMI) 的標準降雨產品 GPROF (The Goddard profiling algorithm)，結果顯示 GSMaP 在月平均與緯向平均降雨率的表現與 PR 的結果較為相近，顯示 GSMaP 具有一定程度的精準度。Taniguchi et al. (2013) 指出雖然在某些地區 GSMaP 反演降雨會有高估的現象，但 GSMaP 所反演的降雨與觀測之降雨值仍有高度的相關性。

許多文章指出梅雨期的強降雨與台灣複雜的地形息息相關 (陳1994；陳2007)，另外也有學者使用數值方法來探討地形對於降雨型態的影響 (Chu and Lin 2000, Chen and Lin 2005, Chen et al. 2008)。由此可知，台灣地區的複雜地形勢必會影響 GSMaP 估算台灣地區的降雨強度，故本研究選取梅雨鋒面通過台灣上空時段，將 GSMaP 降雨資料與中央氣象局 (Central Weather Bureau, CWB) 實際觀測降雨量依地勢高度區分並分析比較，嘗試找出 GSMaP 降雨產品應用於台灣地區的系統性誤差，並使用統計法修正其誤差值，使 GSMaP 估算降雨強度更接近實際降雨率，並將此研究成果提供給相關的防救災單位及水資源管理單位，使相關單位可以提前有效地調度資源、並預防災害發生或減低可能造成之損傷。

二、資料收集及處理

2.1 GSMaP (Global Satellite Mapping of Precipitation) 衛星遙測資料

全球降雨分布資料 (GSMaP) 是由日本科學技術研究中心 (Japan Science and Technology Agency, JST) 所研發的產品，結合微波觀測及 IR 資料而成，提供全球南北緯

60 度之間的降雨資料，時間解析度 1 小時，空間解析度為經緯度 0.1 度，目前提供資料的單位為宇宙航空研究開發機構 (Japan Aerospace Exploration Agency, JAXA)。其中微波資料包含 TR 毫米的 TMI、Aqua 的 AMSR-E、DMSP 的 SSM/I 及 SSMIS、NOAA 的 AMSU-A/-B 及 MHS、MetOp 的 AMSU-A 及 MHS。

本研究分別擷取 2012 年 5 月 17 日、2012 年 5 月 28 日、2013 年 5 月 11 日以及 2013 年 5 月 17 日等 4 個時間段之 GSMaP reanalysis 降雨量資料進行探討，其中 GSMaP 之逐時雨量統計定義為該時段 00 分統計至 59 分，以 2012 年 5 月 17 日 0800LST 資料為例，該時段逐時雨量統計定義為自 08:00 分統計至 08:59 分止。

2.2 台灣颱風洪水研究中心-大氣水文研究資料庫之中央氣象局自動測站資料

自 2011 年 8 月起，國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心承接由科技部支持的大氣研究資料庫計畫，並結合該中心之各類研究資料 (例如觀測、系集模式等)，建構大氣水文研究資料庫。本研究主要是使用該資料庫內之中央氣象局自動測站降雨量資料，時間解析度為 1 小時，空間解析度為單點測站，總共有 425 個測站 (如圖 1)，除了測站代碼、名稱、位置 (經度、緯度) 外，還有測站高度。

為與 GSMaP 選擇的 4 個個案比較，本研究取其同時段之 CWB 自動測站降雨量資料進行探討，其中 CWB 自動測站之逐時雨量統計定義為前一個時段 00 分統計至該時段 00 分，以 2012 年 5 月 17 日 08L 資料為例，該時段逐時雨量統計定義為自 07:00 分統計至 08:00 分止。CWB 自動測站及 GSMaP 之逐時雨量統計定義比較如表 1。

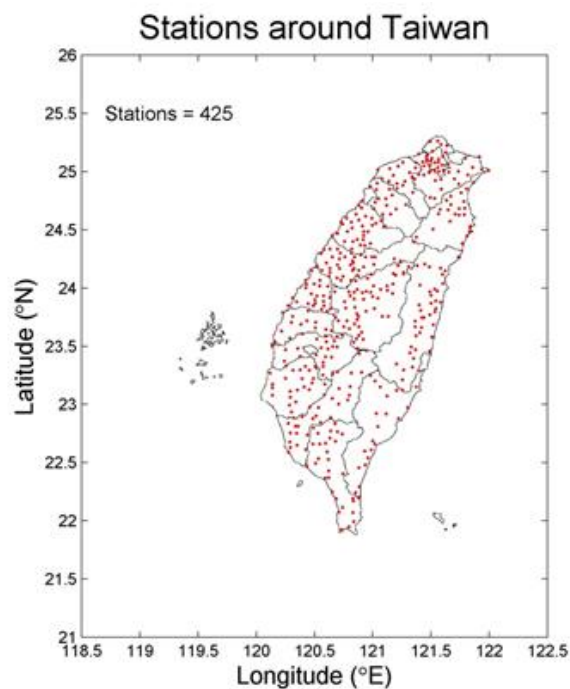


圖1 中央氣象局雨量站分布圖

表1 降雨資料比較表

類別 \ 項目	時間解析度	空間解析度	雨量統計定義
GSMaP 衛星遙測	1 筆/小時	0.1 x 0.1 度 (約 10 km)	2012 年 5 月 17 日 0800LST 雨量統計 自 08:00 分至 08:59 分止
CWB 自動測站	1 筆/小時	單點測站 (425 個測站)	2012 年 5 月 17 日 0800LST 雨量統計 自 07:00 分至 08:00 分止
備註： 為了後續統計分析，須擷取 GSMaP 與 CWB 同一時段之降雨量資料進行探討，以 2012 年 5 月 17 日 08L 資料為例，須擷取 GSMaP 2012 年 5 月 17 日 0900LST 與 CWB 2012 年 5 月 17 日 0800LST 之降雨量資料進行研究。			

2.3 地面天氣圖

為探討本研究所選取 4 個鋒面個案期間，綜觀環境的大氣狀況，本研究利用地面天氣圖來診斷分析其大氣環境，其地面天氣圖由中央氣象局下載，本研究使用當日 00 世

界時之天氣圖來分析個案當天的天氣系統概述以及鋒面的位置。

三、研究方法及步驟

3.1 CWB 降雨量驗證

進行降雨量研究探討之前，須確認本研究使用資料之可信度，以 2012 年 5 月 17 日當日累積降雨量為例，圖 2(a)為 CWB 所提供之累積雨量圖之圖片檔，而本研究將從大氣資料庫下載之 CWB 所屬 425 個自動測站降雨量資料執行線性內插後，繪製當日累積雨量圖如圖 2(b)。

比較圖 2(a)及圖 2(b)，累積降雨量的色標介於 0 至 300 毫米之間，由於 CWB 提供之累積降雨量為圖檔，故雖盡量將色標設定一樣，但仍有小部分色差。由兩者資料顯示的當日累積降雨量趨勢大致一致，顯示本研究下載使用測站雨量資料以及執行線性內差之後的雨量分布具一定之可信度。

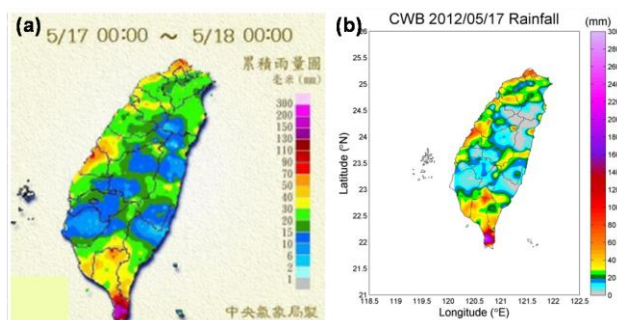


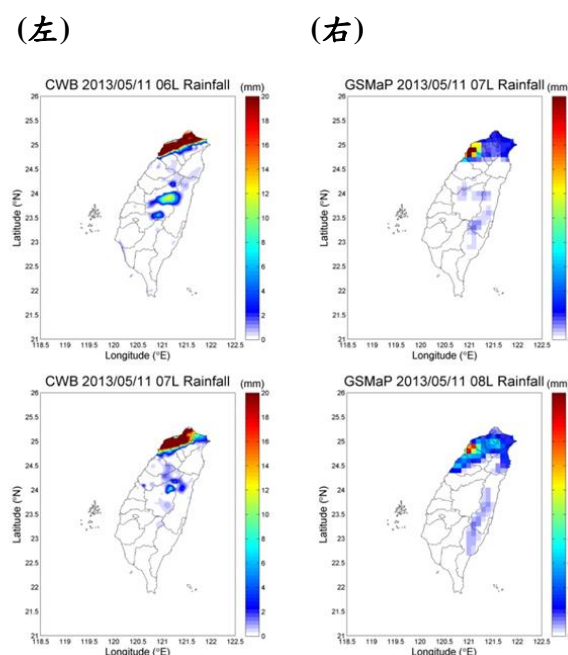
圖 2 (a)中央氣象局雨量站分布圖（資料來源：中央氣象局）(b)使用 425 個 CWB 自動測站資料所繪 5 月 17 日累積降雨量

3.2 GSMaP 與 CWB 累積雨量定義

GSMaP 之逐時雨量統計定義為該時段 00 分統計至 59 分，以 2013 年 5 月 11 日 0800LST 資料為例，該時段逐時雨量統計定義為自 08:00 分統計至 08:59 分止，其下載資料名稱為 gsmmap_rnl_v631330_20130511_0000_02_AsiaSE.csv，資料時間為 0000 UTC。CWB 自動測站之逐時雨量統計定義為前一個時段 00 分統計至該時段 00 分，與

GSMaP 同時段為例，若比較 GSMaP 的 0000 UTC，依 CWB 定義時間則為 0100UTC。

本研究為了確認兩者之間之降雨時間是否有延遲，因此分別繪製 GSMaP 與 CWB 之逐時雨量圖進行比較（圖略），結果可以看出 CWB 之降雨趨勢落後於 GSMaP 降雨趨勢，若沒有將兩者之實際降雨時間統一即進行比較，則比較結果便會有明顯之誤差。因此，本研究統一兩者之實際降雨時間，即 CWB 之 N 時降雨強度與 GSMaP 之 (N+1) 時降雨強度比較，分別繪製 GSMaP 與 CWB 之逐時雨量圖進行定性分析比較，如圖 3 所示。圖 3(a)為 5 月 11 日 06 時至 11 時 CWB 累積降雨量圖，圖 3(b)為 5 月 11 日 07 時至 12 時 GSMaP 累積雨量圖，藉由比較圖 3(a)及圖 3(b)，可以看出兩者當日逐時降雨量趨勢一致，因此確認 GSMaP 之遙測降雨量資料具有參考價值，且 CWB 時間定義確實落後 GSMaP 之時間定義 1 小時，惟 GSMaP 所遙測出的雨量值大多低於 CWB 所觀測出的雨量值。



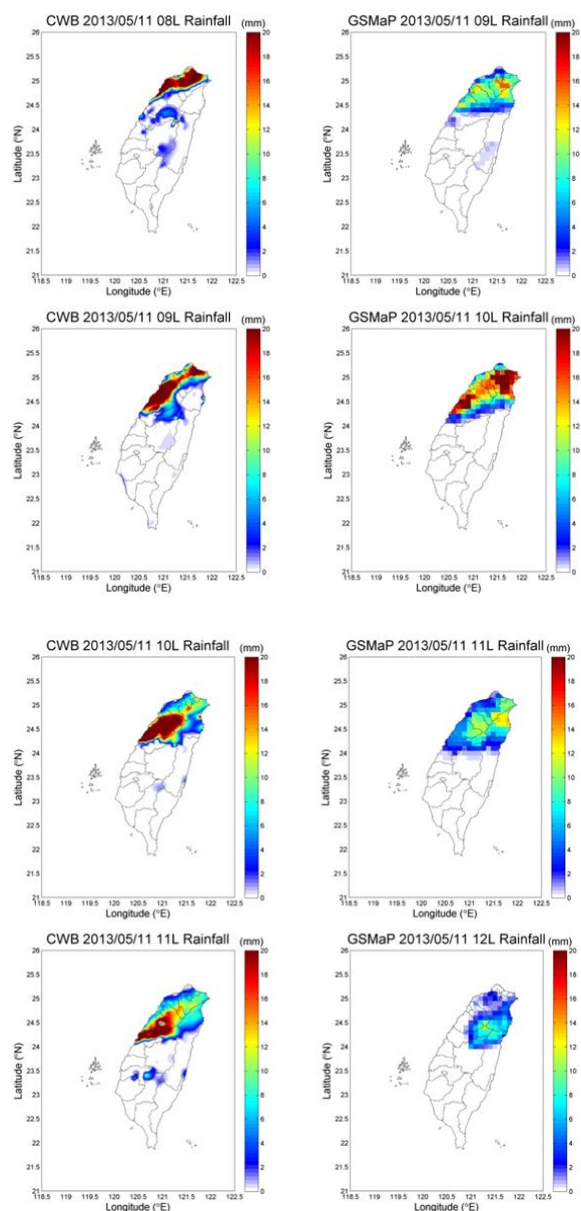


圖3 (左)由上至下為5月11日06時至11時CWB累積降雨量圖 (右)由上至下為5月11日07時至12時GSMaP累積雨量圖

四、結果分析與討論

4 本研究分別擷取 2012 年 5 月 17 日、2012 年 5 月 28 日、2013 年 5 月 11 日以及 2013 年 5 月 17 日等 4 個時間段之 GSMaP reanalysis 降雨量資料與 CWB 降雨量資料進行探討，分析步驟如下：

4.1 鋒面個案分析(包含定性與定量分析)。

4.2 依地勢高度區分為 4 組進行測試分析，並找出最佳分類。

4.3 GSMaP 及 CWB 降雨量差異之機率分布及平均降雨量誤差分析。

4.4 修正後之平均降雨量誤差及均方根誤差(Root Mean Square Error, RMSE)。

分項敘述如下：

4.1 個案分析

鋒面個案分析(包含定性與定量分析)

本研究選取 4 個個案，本篇僅以 2012 年 5 月 11 日代表，根據中央氣象局資料當天 08 時地面天氣圖顯示，低壓中心位於日本南方，鋒面向西南延伸至台灣海峽南部，台灣地區受鋒面接近與通過影響，台灣各地多為有雨之天氣。其中北部地區有局部大豪雨發生(如圖 4)。

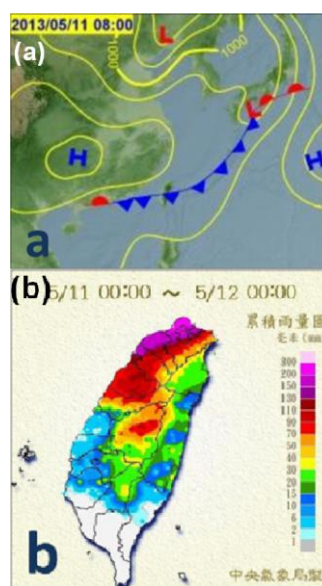


圖4 2013 年 5 月 11 日(a)地面天氣圖 (b)累積雨量(資料來源：中央氣象局)

本研究蒐集台灣颱風洪水研究中心-大氣水文研究資料庫之 2013 年 5 月 11 日中央氣象局 425 個自動觀測站雨量資料，繪製當日 24 小時累積雨量圖如圖 5(a)。另外 2013 年 5 月 11 日全球降雨分布資料 GSMaP 繪製

當日 24 小時累積雨量圖，如圖 5(b)。

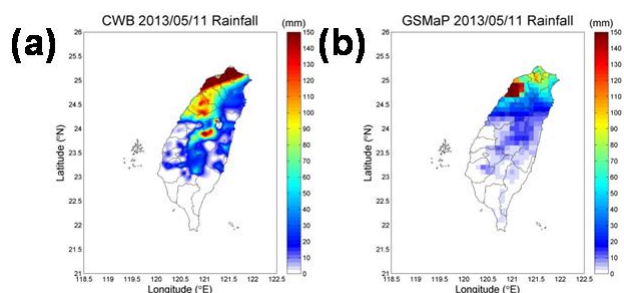


圖5 2013 年 5 月 11 日(a)CWB 累積降雨量
(b)GSMaP 累積降雨量

定性分析圖 5(a)及圖 5(b)，可以看出位於 2013 年 5 月 11 日期間，CWB 與 GSMaP 之當日累積降雨量趨勢大致類似，最強降雨區集中於北部地區，惟針 GSMaP 並沒有精準反演出最強之降雨位置，最強降雨位置與實際降雨略有偏差。

進一步瞭解 CWB 與 GSMaP 之累積降雨量相互關係（即定量分析），本研究將 2013 年 5 月 11 日 GSMaP 累積雨量值對 CWB 累積雨量值作散布圖，並以線性迴歸方法求取資料的趨勢線。如圖 6 所示，Y 軸代表 CWB 2013 年 5 月 11 日累積雨量值（毫米），X 軸代表 GSMaP 2013 年 5 月 11 日累積雨量值（毫米），以紅點表示資料點，以綠色直線代表斜率為 1（即 $y = x$ ）之趨勢線，以藍色點線代表線性迴歸之趨勢線。經過統計分析，線性迴歸方程式為「 $y = 1.14x + 21.32$ 」，相關係數為 0.74。

同樣將 2013 年 5 月 11 日 GSMaP 之日累積雨量減去 CWB 累積雨量值，求取機率分布，如圖 7 所示，Y 軸代表出現機率（%），X 軸代表雨量差值（毫米），可以看出於 2013 年 5 月 11 日 GSMaP 所遙測出的累積雨量值大多低於 CWB 所觀測出的累積雨量值。

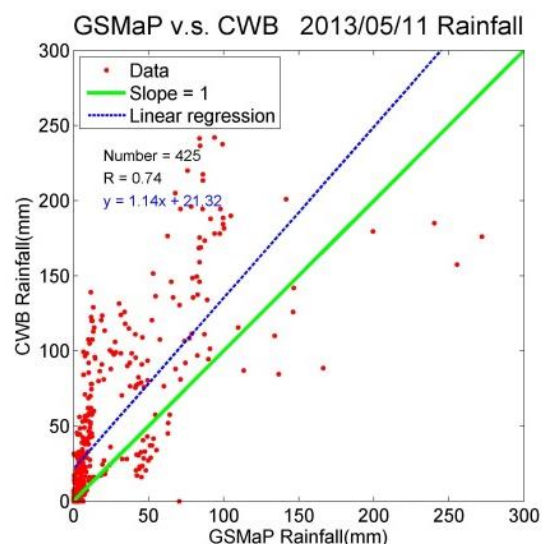


圖6 2013 年 5 月 11 日線性迴歸圖

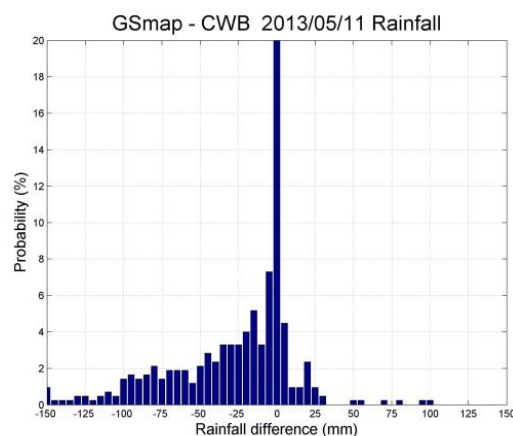


圖7 2013 年 5 月 11 日機率分布示意圖

本研究選取的 4 個個案探討皆以 5 月份梅雨鋒面為主，除了 2013 年 5 月 11 日之個案相關係數達 0.7 以上外，其餘 3 個個案相關係數皆低於 0.6。這樣的結果預判可能跟臺灣地形有關，故下節則針對 4 個個案合併探討，藉由區分高度，找出地形與降雨量之間的關係。

4.2 依地勢高度區分為 4 組進行測試分析，並找出最佳分類。

為瞭解地勢高度與降雨量之相互關係，本研究將地勢高度分類區分為 4 組進行（如

表 2) 測試，此文章僅就分類研析後最佳結果 (test2) 做詳述，其餘分類結果於表 3 顯示。

表2 地勢高度區分測試組別 (單位:公尺, m)

組別 項次	Test1	Test2	Test3	Test4
1	100 m 以下	50 m 以下	500 m 以下	30 m 以下
2	100 至 500 m	50 至 100 m	500 至 1000 m	30 至 150 m
3	500 m 以上	100 m 以上	1000 m 以上	150 m 以上

本研究 test2 的地勢高度區分為 50 公尺以下、50 至 100 公尺，以及 100 公尺以上等 3 組，測站數為 425，4 個鋒面個案，總計 1700 個樣本。

(1) 50 公尺以下

50 公尺以下之測站為 113 個 (如圖 8，4 個個案測站數為 $113 \times 4 = 452$ 個樣本)。以 GSMaP 累積雨量值對 CWB 累積雨量值作散布圖，並以線性迴歸方法求取資料的趨勢線。如圖 9 所示，Y 軸代表 4 個個案 50 m 以下之 CWB 累積雨量值 (毫米)，X 軸代表 4 個個案 50 公尺以下之 GSMaP 累積雨量值 (毫米)，以紅點表示資料點，總共有 452 個點位資料，以綠色直線代表斜率為 1 (即 $y = x$) 之趨勢線，以藍色點線代表線性迴歸之趨勢線。經過統計分析，線性迴歸方程式為「 $y = 1.18x + 8.47$ 」，相關係數為「0.73」。

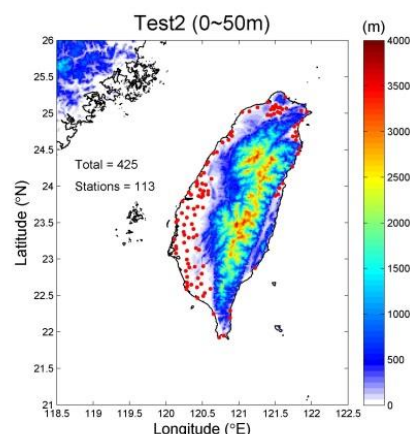


圖8 Test2 (50 公尺以下) 測站點位示意圖

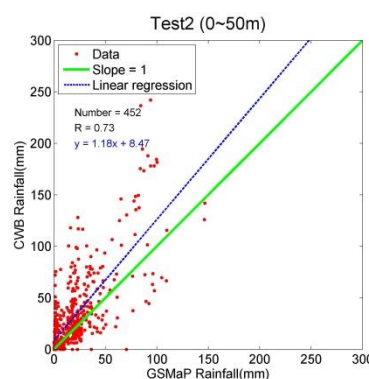


圖9 Test2 (50 公尺以下) 線性迴歸示意圖

(2) 50 至 100 公尺

50 至 100 公尺之測站為 52 個 (如圖 10，4 個個案測站數為 $52 \times 4 = 208$ 個樣本)。以 GSMaP 累積雨量值對 CWB 累積雨量值作散布圖，並以線性迴歸方法求取資料的趨勢線。如圖 11 所示，Y 軸代表 4 個個案 50 至 100 m 之 CWB 累積雨量值 (毫米)，X 軸代表 4 個個案 50 至 100 公尺之 GSMaP 累積雨量值 (毫米)，以紅點表示資料點，總共有 208 個點位資料，以綠色直線代表斜率為 1 (即 $y = x$) 之趨勢線，以藍色點線代表線性迴歸之趨勢線。經過統計分析，線性迴歸方程式為「 $y = 1.02x + 18.12$ 」，相關係數為「0.69」。

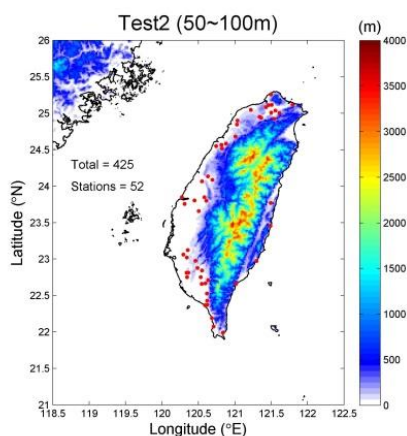


圖10 Test2 (50 至 100 公尺) 測站點位示意圖

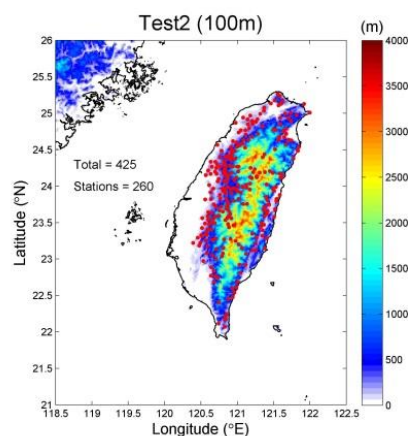


圖12 Test2 (100 公尺以上) 測站點位示意圖

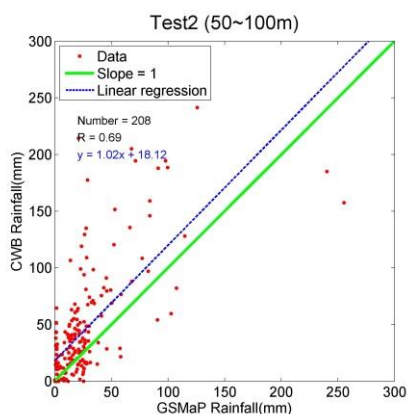


圖11 Test2 (50 至 100 公尺) 線性迴歸示意圖

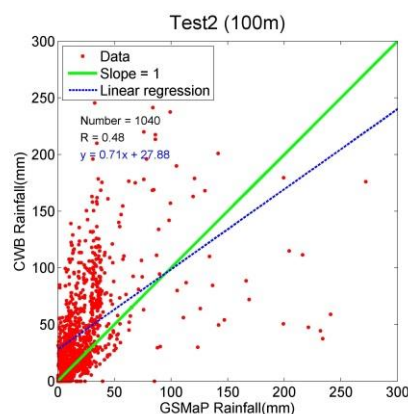


圖13 Test2 (100 公尺以上) 線性迴歸示意圖

(3) 100 公尺以上

500 公尺以上之測站為 260 個(如圖 12, 4 個個案測站數為 $260 \times 4 = 1040$ 個樣本)。以 GSMaP 累積雨量值對 CWB 累積雨量值作散布圖,並以線性迴歸方法求取資料的趨勢線。如圖 13 所示,Y 軸代表 4 個個案 100 公尺以上之 CWB 累積雨量值(毫米),X 軸代表 4 個個案 100 公尺以上之 GSMaP 累積雨量值(毫米),以紅點表示資料點,總共有 1040 個點位資料,以綠色直線代表斜率為 1 (即 $y = x$) 之趨勢線,以藍色點線代表線性迴歸之趨勢線。經過統計分析,線性迴歸方程式為「 $y = 0.71x + 27.88$ 」,相關係數為「0.48」。

研究結果顯示,GSMaP 之累積雨量值大多低於 CWB 所觀測出的累積雨量值,此現象與地勢高度有關,因此本研究選取表現最佳之地勢高度分類,即 Test2 作為 GSMaP 之修正依據,依此分類,進行低程高度(50 公尺以下)、中程高度(50 至 100 公尺)以及高程高度(100 公尺以上)之機率分布比較,並求取各高度之平均降雨誤差,作為 GSMaP 之修正依據之一。

表3 4 個個案高度區分測試

類別	低程高度 迴歸方程式 相關係數	中程高度 迴歸方程式 相關係數	高程高度 迴歸方程式 相關係數
Test1	100 m 以下 $y = 1.11x + 11.85$ 0.71	100 至 500 m $y = 0.69x + 23.14$ 0.54	500 m 以上 $y = 0.77x + 31.50$ 0.44
Test2	50 m 以下 $y = 1.18x + 8.47$ 0.73	50 至 100 m $y = 1.02x + 18.12$ 0.69	100 m 以上 $y = 0.71x + 27.88$ 0.48
Test3	500 m 以下 $y = 0.89x + 17.43$ 0.63	500 至 1000 m $y = 0.75x + 29.08$ 0.42	1000 m 以上 $y = 0.78x + 34.01$ 0.46
Test4	30 m 以下 $y = 1.16x + 8.72$ 0.75	30 至 150 m $y = 0.85x + 18.05$ 0.64	150 m 以上 $y = 0.76x + 28.11$ 0.48

4.3 GSMap 及 CWB 降雨量差異之機率分布 及平均降雨量誤差分析

以 Test2 之地勢高度分類作為依據，本研究將 GSMap 之日累積雨量線性內插至 CWB 之 425 個自動觀測站點位，並以內插後之 GSMap 累積雨量值減去 CWB 累積雨量值，求取機率分布圖，如圖 14 至圖 16 所示，Y 軸代表出現機率(%)，X 軸代表雨量差值(毫米)，可以看出於地勢高度分類後，GSMap 所遙測出的累積雨量值大多仍低於 CWB 所觀測出的累積雨量值。針對 Test2 各高度之平均降雨量誤差如表 4 所示。

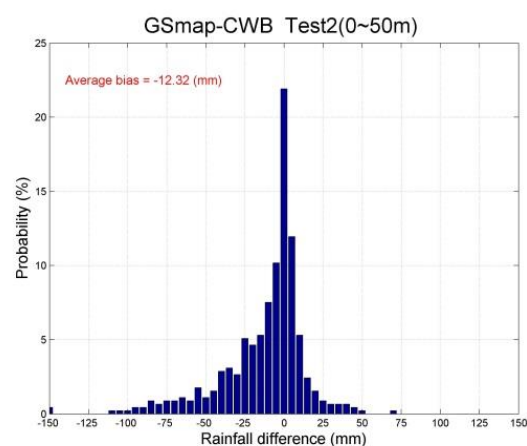


圖14 Test2 (50 公尺以下) 機率分布示意圖

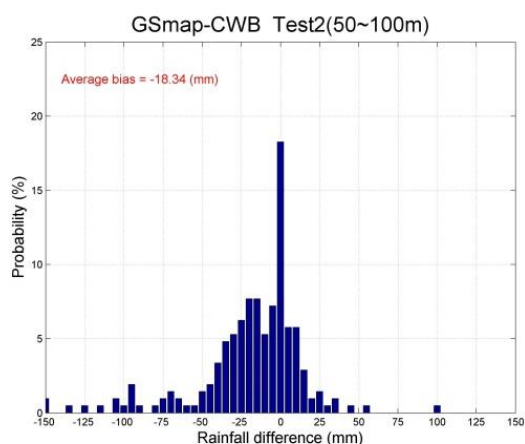


圖15 Test2 (50 至 100 公尺) 機率分布示意圖

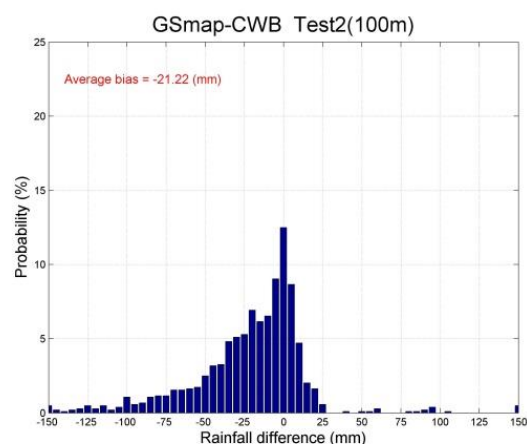


圖16 Test2 (100 公尺以上) 機率分布示意圖

表4 Test2 各地勢高度平均降雨量誤差示意表

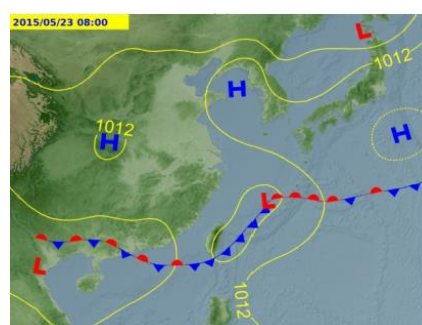
類別	低程高度 平均降雨量誤差	中程高度 平均降雨量誤差	高程高度 平均降雨量誤差
Test2	50 公尺以下 -12.32 (毫米)	50 至 100 公尺 -18.34 (毫米)	100 公尺以上 -21.22 (毫米)

4.4 Test2 之平均降雨量誤差修正

為了瞭解降雨量修正之可信度及實用性，本研究選取一個新的鋒面個案，即非建立各高度平均降雨量之獨立個案（如圖 17，2015 年 5 月 22 日），透過 Test2 之平均降雨量誤差修正，並進行修正前後平均降雨量誤差及均方根誤差之探討比較，如下列所述：

測試之鋒面個案的時間為 2015 年 5 月 22 日，根據圖 17 中央氣象局資料當天 08 時地面天氣圖顯示，低壓中心位於台灣東北部外海，鋒面向西南延伸通過台灣南部及巴士海峽，台灣地區當天受滯留鋒面影響，各地均有降雨發生，其中於 5 月 22 日中南部山區有局部豪雨發生，累積雨量超過 100 毫米。

(a)



(b)

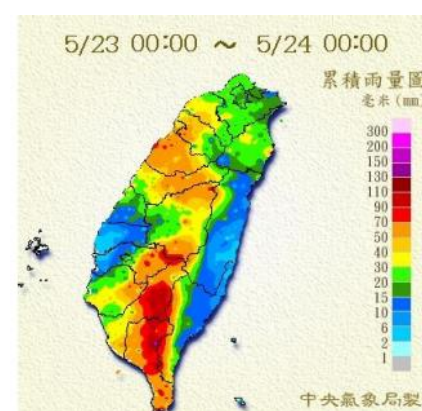


圖17 2015 年 5 月 22 日(a)地面天氣圖(b)累積雨量（資料來源：中央氣象局）

2015 年 5 月 22 日之 GSMaP 雨量與 CWB 降雨量資料依 Test2 分類區分為低程高度(50 公尺以下)、中程高度(50 至 100 公尺)以及高程高度(100 公尺以上)等 3 類型資料。並將 GSMaP 累積雨量值減去 CWB 累積雨量值,求取修正前各高度之機率分布,分別如圖 18、圖 19 及圖 20 之(a)所示,其中 Y 軸代表出現機率(%),X 軸代表雨量差值(毫米),可以看出於高度區分後,針對此個案,GSMaP 所遙測出的累積雨量值大多仍低於 CWB 所觀測出的累積雨量值。其修正前各高度之平均降雨量誤差自低程高度至高程高度分別為 -17.81 毫米、-23.14 毫米以及 -24.73 毫米。另經統計分析所得修正前各高度之均分根誤差分別為 21.8 毫米、29.73 毫米以及 38.59 毫米(如表 5 所示)。

最後將 GSMaP 累積雨量分別代入 Test2 方式之低程、中程以及高程高度之平均降雨量誤差,求取修正後之 GSMaP 累積雨量,最後將此修正後的累積雨量減去 CWB 累積雨量值,求取修正後各高度之機率分布,分別如圖 18、圖 19 及圖 20 之(b)所示,其中 Y 軸代表出現機率(%),X 軸代表雨量差值(毫米),可以看出於修正後,各高度分類的平均誤差及均方根誤差皆明顯降低(如表 5 所示)。由此可知,本研究所提之修正方式可降低 GSMaP 遙測資料之系統性誤差。

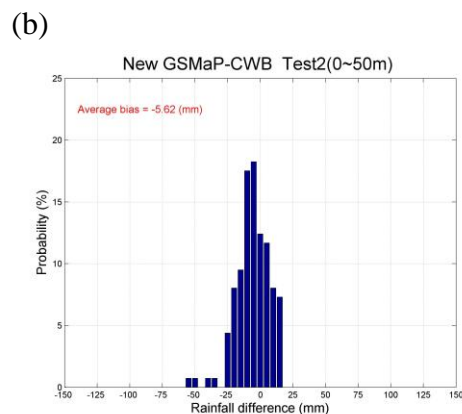
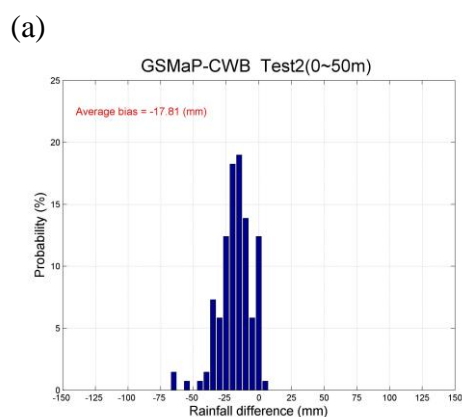


圖18 2015 年 5 月 22 日 Test2 (50 公尺以下) 機率分布(a)修正前(b)修正後

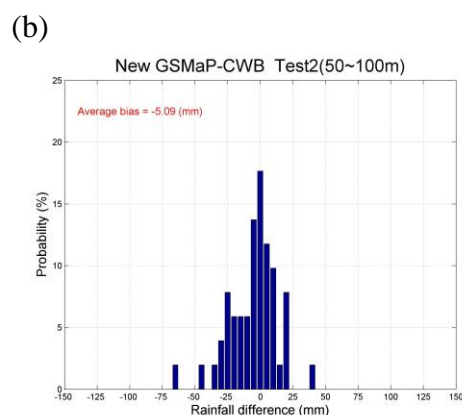
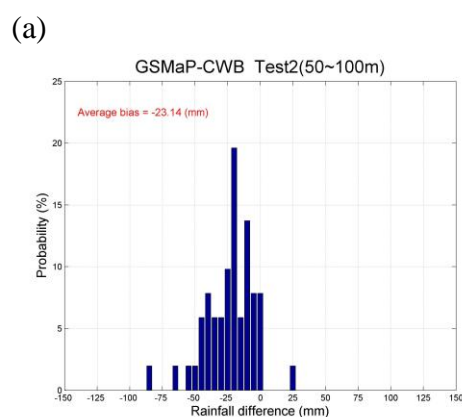


圖19 2015 年 5 月 22 日 Test2 (50~100 公尺) 機率分布(a)修正前(b)修正後

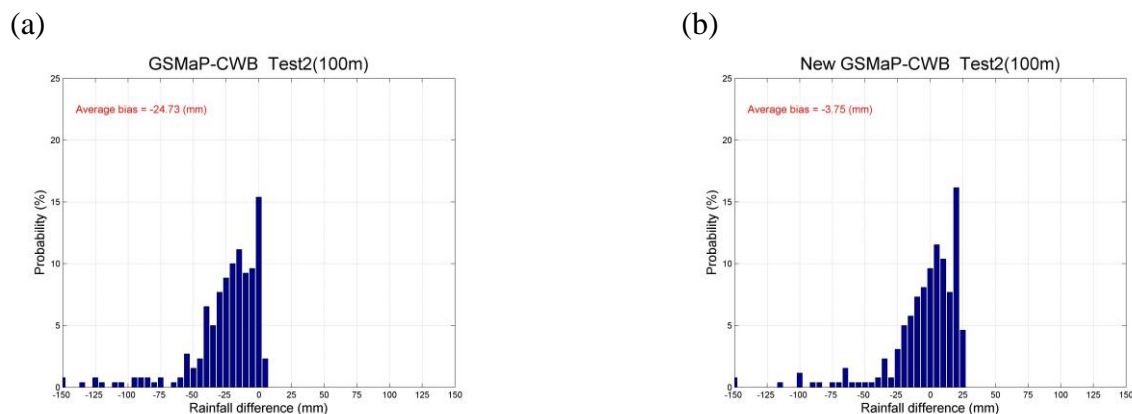


圖20 2015 年 5 月 22 日 Test2 (100 公尺以上) 機率分布(a)修正前(b)修正後

表5 Test2 之平均降雨量誤差修正

類別	低程高度 平均降雨量誤差		中程高度 平均降雨量誤差		高程高度 平均降雨量誤差	
Test2	50 公尺以下 -12.32 (毫米)		50 至 100 公尺 -18.34 (毫米)		100 公尺以上 -21.22 (毫米)	
	修正前	修正後	修正前	修正後	修正前	修正後
Bias	-17.81 毫米	-5.62 毫米	-23.14 毫米	-5.09 毫米	-24.73 毫米	-3.75 毫米
RMSE	21.80 毫米	13.62 毫米	29.73 毫米	19.08 毫米	38.59 毫米	29.52 毫米

五、結論

空本研究利用 GSMaP 估算梅雨鋒面對台灣地區的降雨強度，初步分析結果顯示，GSMaP 估算台灣地區降雨與地勢高度息息相關，而本研究所提之最佳的地勢高度分類分別為為 50 公尺以下、50 至 100 公尺及 100 公尺以上。依此高度分類分析 GSMaP 降雨與 CWB 實際降雨在各高度分類的相關係數分別為 0.73、0.69 及 0.48，顯見 GSMaP 在地勢較低的表現較佳，隨著地勢高度愈高，與 CWB 實際降雨之相關係數愈低，兩者成反比關係。

依據所分類之地勢高度，分別進行平均降雨的誤差統計分析，結果顯示，低程高度至高程高度的平均降雨量誤差分別為為 -12.32 毫米、-18.34 毫米以及 -21.22 毫米，顯示地勢高度愈高，平均降雨量誤差愈大，

且各高度分類 GSMaP 皆為低估實際降雨量，也就是說，GSMaP 的累積雨量值皆低於 CWB 所觀測出的累積雨量值。

為了證明此研究所提的平均降雨量誤差為 GSMaP 在台灣地區的系統性誤差，也就是該成果適用於鋒面通過台灣地區，故使用一獨立個案進行驗證，此個案經過本研究之平均誤差修正後，在降雨量偏差 (bias) 部分，各高度層之降與估算偏差皆明顯改善，3 高度分類之平均累積雨量改善約 17 毫米，在均方根誤差部分，3 高度分類之平均累積雨量改善了約 9 毫米，顯示本研究方法可以有效改善 GSMaP 於台灣地區的鋒面降雨估算。

六、參考文獻

- 王光華、劉振榮，“應用微波資料估計臺灣附近地區降雨之研究”，航測及遙測學刊，第 3 卷，第 3 期，第 39-66 頁，1988。
- 陳泰然，“台灣梅雨季之豪雨研究”，大氣科學，第 22 期，第 455-477 頁，1994。
- 陳泰然，“台灣梅雨季之豪雨研究”，大氣科學，第 35 期，第 261-286 頁，2007。
- Adler, R. F., Kidd, C., Petty, G., Morissey, M., and Goodman, H. M., “Intercomparison of Global Precipitation Products : The Third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3), ” Bulletin of the American Meteorological Society, Vol.82, pp.1377-1396, 2001.
- Chen, S.-H., and Lin Y.-L., “Orographic effects on a conditionally unstable flow over an idealized three-dimensional mesoscale mountain,” Meteor. Atmos. Sci., Vol. 88, pp. 1- 21, 2005.
- Chen, S.-H., Lin Y.-L., and Zhao Z., “Effects of unsaturated moist Froude number and orographic aspect ratio on a conditionally unstable flow over a mesoscale mountain” J. Meteor. Soc. Japan., Vol. 86, pp. 353-367, 2008.
- Chen, W. J. and Li, C. C., “Rain Retrievals Using Tropical Rainfall Measuring Mission and Geostationary Meteorological Satellite 5 Data Obtained during the SCSMEX,” International Journal of Remote Sensing, Vol. 23, pp. 2425-2448, 2002.
- Chu, C.-M. and Lin Y.-L., “Effects of orography on the generation and propagation of mesoscale convective systems in a two-dimensional conditionally unstable flow,” J. Atmos. Sci., Vol. 57, pp. 3817-3837, 2000.
- Ferraro, R. R. and Marks, G. F., “The Development of SSM/I Rain Rate Retrieval Algorithms Using Ground Based Radar Measurements,” Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol.12, pp.755-770, 1995.
- Ferraro, R. R., Weng, F., Grody, N. C., and Basist A., “An Eight-Year (1987-1994) Time Series of Rainfall, Clouds, Water Vapor, Snow Cover, and Sea Ice Derived from SSM/I Measurements,” Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 77, pp.891-905, 1996.
- Huffman, G., Adler, R. F., Bolvin, D. T., Gu, G., Nelkin, E. J., Bowman, K. P., Hong, Y., Stocker, E. F., and Wolff, D. B., “The TR 毫米 Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales,” J. Hydrometeor., Vol. 8, pp. 38-55, 2007.
- Joyce, R., Janowiak, J. E., Arkin P. A., and Xie P., “CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution,” J. Hydrometeor., Vol. 5, pp. 487-503, 2004.
- Kidd, C., Kniveton, D. R., Todd, M. C., and Bellerby, T. J., “Satellite Rainfall Estimation Using a Combined Passive Microwave and Infrared Algorithm,” Journal of Hydrometeorology, Vol.4, pp.1088-1104, 2003.
- Kubota, T., Shige S., Hashizume H., Aonashi K., Takahashi N., Seto S., Hirose M., Takayabu Y. N., Nakagawa K., Iwanami K., Ushio T., Kachi M., and Okamoto K., “Global Precipitation Map using Satelliteborne Microwave Radiometers by the GSMaP Project : Production and Validation,” IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. Vol. 45, pp. 2259-2275, 2007.
- Levizzani, V., Amorati, R., and Meneguzzo, F., “A review of Satellite-based rainfall estimation methods,” European Co 毫米 ission Project MUSIC Report, pp. 1-66, 2002.
- Liu, G. R., Liu, C. C., and Kuo, T. H., “A Satellite-Derived Objective Potential Index for MCS Development during the Mei-Yu Period,” Journal of the Meteorological Society of Japan, Vol. 80, pp. 503-517, 2002.
- Petty, G. W., “Physical Retrievals of Over-Ocean Rain Rate from Multichannel Microwave Imagery. Part I: Theoretical Characteristics of Normalized Polarization and Scattering Indices,” Meteorology and

- Atmospheric Physics, Vol. 54, pp. 79-100, 1994.
- Seto S., Kubota T., Iguchi T., Takahashi N., Oki T., "An evaluation of over-land rain rate estimates by the GSMaP and GPROF algorithms; The role of lower-frequency channels" J. Meteor. Soc. Japan, 87A, pp. 183-202, 2009.
- Taniguchi A., Shige S., Yamamoto M. K., Mega T., Kida S., Kubota T., Kachi M., Ushio T., and Aonashi K., "Improvement of high-resolution satellite rainfall product for Typhoon Morakot (2009) over Taiwan," J. Hydrometeor., Vol. 14, pp. 1859-1871, 2013.
- Turk, J., and Miller S. , "Toward improving estimates of remotely sensed precipitation with MODIS/AMSR-E blended data techniques," IEEE Trans. Geosci. Remote Sens., Vol. 43, pp. 1059-1069, 2005.
- Wilheit, T. T., "Some Comments on Passive Microwave Measurement of Rain," Bulletin of the American Meteorological Society, Vol. 67, pp.1226-1232, 1986.
- Wilheit, T. T. and Chang, A. T. C., "An Algorithm for Retrieval of Ocean Surface and Atmospheric Parameters from the Observations of the Scanning Multichannel Microwave Radiometer," Radio Science, Vol. 15, pp. 525-544, 1980.
- Yamamoto M. K., and Shige S., "Implementation of an orographic/nonorographic rainfall classification scheme in the GSMaP algorithm for microwave radiometers, Atmospheric Research," Vol. 163, pp. 36-47, 2015.
- Yeh Nan-Ching, Chung-Chih Liu, Wann-Jin Chen, "Estimation of Rainfall Associated with Typhoons over Ocean Using TR 毫米 /TMI and Numerical Model," Water, Vol. 7, pp. 6017-6038, 2015.

Analysis of Rainfall Intensity of Taiwan Front using GSMaP

¹Nan-Ching Yeh, ²Yao-Chung Chuang, ³Hsin-Shuo Peng, ⁴Yu-Long Fang

¹Department of Military Meteorology, Air Force Institute of Technology, Taiwan

²Department of Aviation & Communication Electronics, Air Force Institute of Technology, Taiwan

³Naval Meteorological and Oceanographic Office, Taiwan

⁴Department of Resources Planning, Ministry of National Defense R.O.C.

ABSTRACT

In this study, the use of the Global Satellite Mapping of Precipitation (GSMaP) products estimated Mei-yu rainfall intensity in Taiwan. The data were used includes GSMaP satellite data, the Central Weather Bureau (CWB) automatic station rainfall data and surface weather charts.

Yamamoto et al. (2015) used the algorithm to improve the GSMaP products in the Asian region, and it showed that the use GSMaP products were needed to be properly corrected by the region. In this case studying, it distinguished the height of the terrain to analyze the difference between the rainfall data of the GSMaP and the actual observed rainfall of CWB during the Mei-yu in Taiwan, and try to find out the systematic error of GSMaP products applied in Taiwan.

Preliminary analysis results showed, the GSMaP estimates rainfall in Taiwan is closely related to height of the terrain, the best classifications of terrain were altitudes below 50 meters, 50 to 100 meters and more than 100 meters, the correlation coefficients of GSMaP and CWB actual rainfall are 0.73, 0.69 and 0.48 respectively. It showed that result of the GSMaP products in ground (below 50 meters) is better than in the mountains. The preliminary results of this study, in the average of bias improvement 17 毫米, and the average of Root Mean Squared Error is improved 9.3 毫米, it is shown that this method can effectively improve the rainfall estimation of GSMaP products in Taiwan.

Keywords: Global Satellite Mapping of Precipitation, Meiyu front, rainfall intensity

薔蜜及蘇力颱風對澎湖地區造成之影響研析

吳尚宸 王鼎雅 張大耀 徐江澎 簡宏彬

空軍氣象聯隊

摘要

本文利用中央氣象局澎湖馬公測站及東吉島測站資料，分析 2008 年薔蜜颱風與 2013 年蘇力颱風（詳見附錄 1、2），兩者對於澎湖地區的影響，並藉此探討不同情況下颱風對於澎湖地區造成之天氣差異，澎湖群島位於臺灣海峽中部，颱風路徑使得外圍環流受臺灣地形交互作用不同，影響整個臺灣海峽地區風速，連帶影響澎湖地區風速差異，並因整個澎湖群島地區地勢平坦，整體降水規模不如臺灣本島，因此颱風路徑及暴風半徑、颱風螺旋雨帶位置會是影響澎湖群島降水的主要因素，後續本文將探討此兩颱風對澎湖的影響。

關鍵字：颱風、薔蜜（2008）、蘇力（2013）、降水

一、前言

臺灣位處於太平洋西側，四面環海，整年主要降雨來源有鋒面、梅雨、颱風，而澎湖地區位於臺灣本島中部西側外海，相較於臺灣本島較無地勢差異，本次將藉由颱風影響來探討澎湖馬公及東吉島地區主要降水及風速之差異性；在颱風篩選方面主要以太平洋上生成並西行，通過臺灣中部以北貫穿臺灣，且登陸點相近的颱風，因此選擇了 2008 年薔蜜（強烈）颱風與 2013 年蘇力（中度）颱風來比較做探討。

二、澎湖群島環境與氣候

根據內政部主計處資料，澎湖群島是由 64 座島嶼所組成的，主要屬火山噴發形成之玄武岩海島，群島地勢起伏平緩，本島以拱北山為最高點（海拔 52 公尺），加上群島陸地分散，海陸差異性低，整體天氣型態跟區域環境一致，無地形抬升、海陸風等效應。

根據中央氣象局過去 30 年（1981 至 2010 年）馬公測站與東吉島測站統計資料顯示，如表 1，夏季取 6 至 8 月平均資料，冬季取 12 至 2 月平均資料；澎湖地區屬東亞季風氣候區，夏季以西南風為主，冬季以東北風為主，降雨型態以鋒面雨及對流雨為主，在平均氣溫及年雨量上，東吉島與馬公本島沒有太大差異，但風速上，東吉島冬夏兩季皆大幅度大於馬公地區。

表1 澎湖地區氣候資料

	夏季 均溫 (°C)	冬季 均溫 (°C)	夏季 風速 (m/s)	冬季 風速 (m/s)	年雨量 (mm)
馬 公	28.3	17.6	3.0	5.6	1013.4
東 吉 島	28.0	18.5	5.3	11.1	1053.7



圖1 澎湖地區測站分布圖

2008 年薔蜜颱風之路徑，如圖 2 所示，因適逢秋季，受到鋒面及高緯度 500 百帕高空槽線之牽引北行，在登陸臺灣後轉偏向北北東（30°）方向移動（詳見附錄 3、4）。

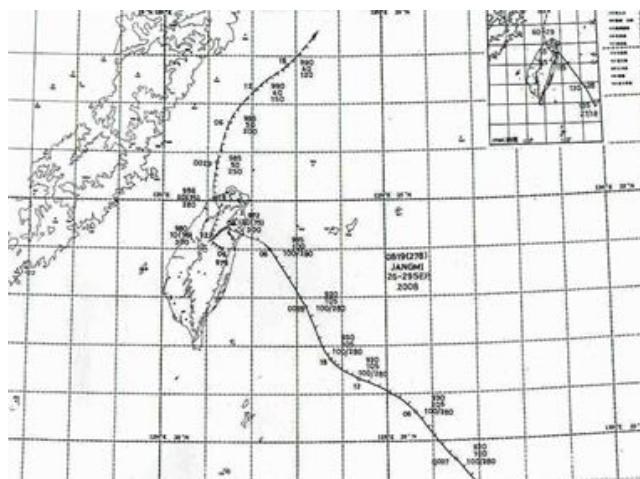


圖2 2008 年薔蜜颱風路徑圖

三、2008 年薔蜜颱風介紹

薔蜜颱風海上警報發布於 2008 年 9 月 26 日 23 時 30 分，陸警發布於 9 月 27 日 08 時 30 分；陸上警報結束於 9 月 29 日 17 時 30 分，海上警報結束於 9 月 29 日 23 時 30 分。

七級風暴風半徑觸臺前，薔蜜颱風中心最大風速每秒 53 公尺（16 級風），根據中央氣象局颱風強度分級為強烈颱風等級，中心氣壓 925 百帕，七級風暴風半徑為 280 公里，十級風暴風半徑 100 公里。

薔蜜颱風於 9 月 28 日 16 時左右登陸臺灣宜蘭縣南澳一帶，其中心在 9 月 29 日 00 時最接近澎湖群島，中心風速每秒 40 公尺（13 級風），為中度颱風等級，中心氣壓 950 百帕，七級風暴風半徑為 280 公里，十級風暴風半徑 80 公里。

四、2013 年蘇力颱風介紹

蘇力颱風海上警報發布於 2013 年 7 月 11 日 08 時 30 分，陸警發布於 7 月 11 日 20 時 30 分；陸上暨海上警報結束於 7 月 13 日 23 時 30 分。

七級風暴風半徑觸臺前，蘇力颱風中心最大風速每秒 48 公尺（15 級風），根據中央氣象局颱風強度分級為中度颱風等級，中心氣壓 935 百帕，七級風暴風半徑為 280 公里，十級風暴風半徑 100 公里。

蘇力颱風於 7 月 13 日 03 時左右登陸臺灣宜蘭縣頭城一帶，其中心在 7 月 13 日 12 時最接近澎湖群島，中心風速每秒 35 公尺（12 級風），為輕度颱風等級，中心氣壓 965 百帕，七級風暴風半徑為 250 公里，十級風暴風半徑 50 公里。

2013 年蘇利颱風之路徑，如圖 3 所示，受到夏季副熱帶高壓主導，於臺灣地區呈現西北西（300°）方向移動（詳見附錄 5、6）。

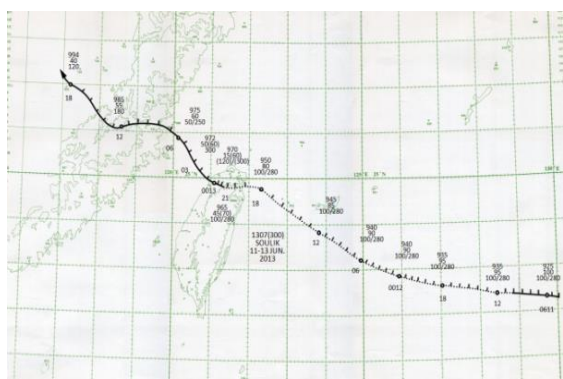


圖3 2013 年蘇力颱風路徑圖

五、兩颱風在澎湖群島的風速變化

資料以每六小時一筆，取時間點過去六小時之平均，如表2，並繪製成圖4及圖5，其顯示東吉島測站在薔蜜颱風侵襲時，平均風速大於馬公測站，東吉島測站風速平均可達18公尺/秒以上，馬公測站僅測得平均10公尺/秒之風速；在2013年蘇力颱風時期，東吉島測站測得之風速平均12公尺/秒，而馬公測站約6公尺/秒。

表2 個案風速資料

時間 (hr)	2008 薔蜜颱風		2013 蘇力颱風	
	馬 公	東 吉 島	馬 公	東 吉 島
6	6.03	4.15	0.02	2.45
12	9.58	16.1	1.37	3.87
18	9.7	18.1	1.27	5.85
24	9.23	18.4	0.70	5.42
30	10.0	20.05	2.10	6.32
36	11.4	20.9	3.87	8.40
42	10.1	22	5.28	11.52
48	10.3	20.7	4.53	11.17
54	8.6	13.9	6.35	13.03
60	3.96	6.68	6.57	9.97

66	1.78	4.08	4.98	16.67
72	1.78	3.07	6.00	11.95

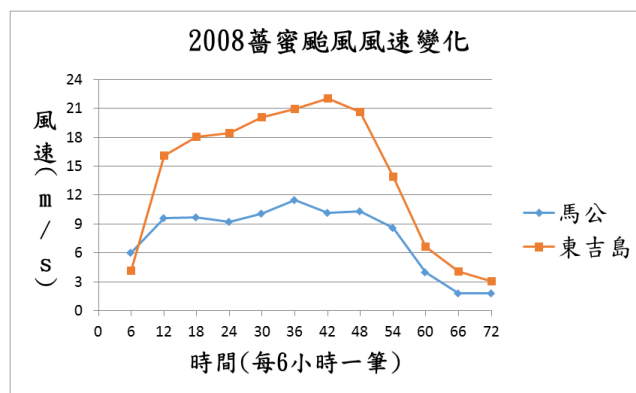


圖4 薔蜜颱風風速逐時變化圖

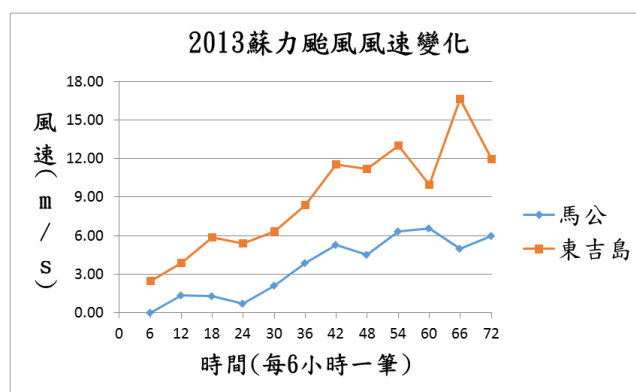


圖5 蘇力颱風風速逐時變化圖

比較兩個測站在此實例中的差異，東吉島於颱風侵襲時風速皆大於馬公地區，造成兩個地區風速差異原因在於馬公測站位於本島中心馬公市區，周圍建築林立，再加上馬公市周邊島嶼圍繞，地面摩擦導致風速降低，東吉島面積小且周邊沒有鄰近島嶼，因此測得風速較馬公測站大。

接著比較兩個颱風造成之風速差異，個案中，兩個颱風七級風暴半徑，登臺前皆為280公里，然而兩者因登陸點之南北距離差異造成臺灣地形交互作用不同，導致在澎湖地區風速差異。

兩颱風之登陸點南北差異約50公里，因

薔蜜颱風與蘇力颱風的外圍環流受臺灣地形影響而有不同作用。薔蜜颱風登陸點偏南，登陸中心位置約在東澳一帶，西北側環流與山脈平行，屬於沿山流類型，透過峽管效應增強臺灣海峽一帶風速，使得澎湖地區測得風速較大；而蘇力颱風登陸點偏北，臺灣海峽風向不與地形平行，峽管效應不明顯，風速極大值出現於颱風出海後，中心最接近澎湖群島的時刻，兩颱風的風速差異如圖 6 及圖 7。

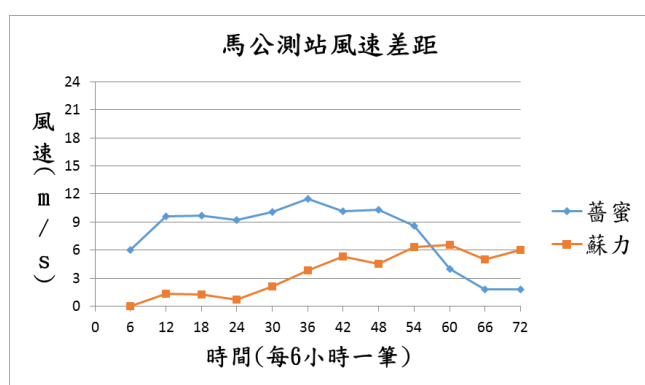


圖6 馬公測站風速差距圖

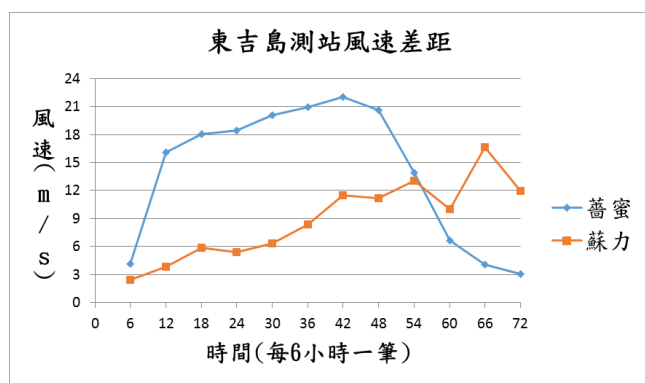


圖7 東吉島測站風速差距圖

六、兩颱風在澎湖群島的累積雨量

澎湖群島位於臺灣西邊，群島地勢起伏不大，沒有地形影響降雨增強，颱風期間之降水，主要來自颱風本身對流雲系，因此中心位置、暴風圈半徑、颱風滯留時間及是否引發共伴效應所帶來的西南風或東北風，造

成後續降水都是影響澎湖地區降水的主要原因。

在個案累積雨量資料，如表 3，以每六小時一筆，取時間點過去六小時之平均，並繪製出圖 8 及圖 9，兩個測站降水沒有一致情況，薔蜜颱風在東吉島測站造成的降水較多，馬公測站較少，蘇力颱風降雨紀錄則是相反，以馬公測站降水較豐。

表3 個案累積雨量資料

降雨量 (mm) 時間 (hr)	2008 薔蜜颱風		2013 蘇力颱風	
	馬 公	東 吉 島	馬 公	東 吉 島
6	0	0	0	0
12	0	0	0	0
18	0	0	0	0
24	0	0	0	0
30	0	0	0	0
36	0.2	3.5	0	0
42	1	4	0	0
48	30.5	39	0	0
54	66.5	105.5	0.3	0.4
60	89	129.5	15	9
66	93	130.5	40	10.5
72	97	133	43.2	10.5

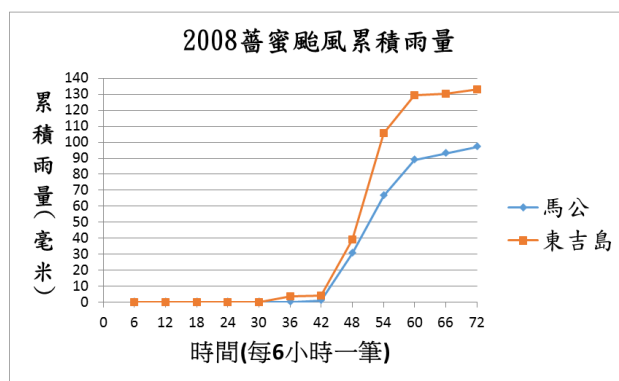


圖8 薔蜜颱風累積雨量逐時變化圖

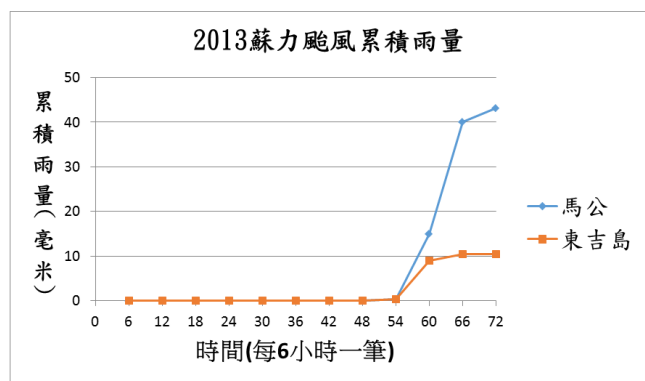
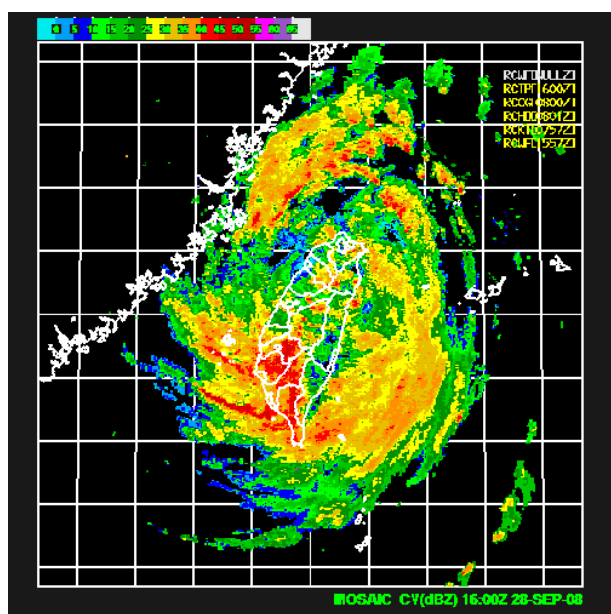


圖9 蘇力颱風累積雨量逐時變化圖

探討 2008 年薔蜜颱風累積降水情況，東吉島累積降水有大於馬公累積降水，根據圖 10 所示，雷達回波顯示颱風結構受到地形破壞後，強回波雨帶正好在澎湖本島南方，正好涵蓋東吉島，因此造成東吉島有規模之強降水雨累積雨量。

圖10 薔蜜颱風最接近澎湖時之雷達回波圖
(2008 年 9 月 28 日 1600UTC)

針對討論兩個颱風造成總降水量探討，由於東吉島測站在蘇力颱風期間降水不明顯，故以馬公測站之降水紀錄討論，2008 年薔蜜颱風在馬公測站累積雨量約 100 毫米，2013 年蘇力颱風累積雨量 43 毫米，兩個颱風

暴風圈籠罩澎湖地區時間不同造成累積降水差異，薔蜜颱風影響期間約 18 小時，蘇力約 10 小時，又因主要強降水受登陸點不同，颱風結構受地形破壞程度不同，導致颱風強回坡區落點不同，於對馬公地區累積雨量有所落差，如圖 11。

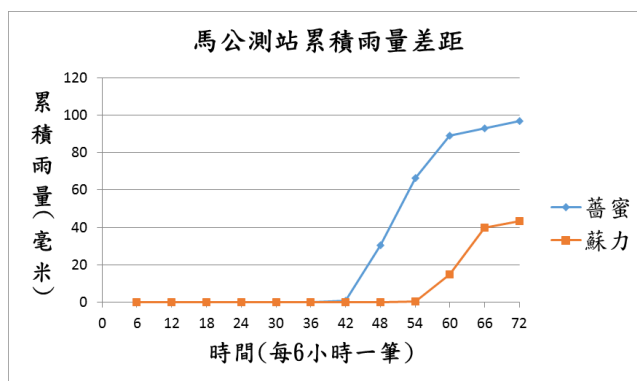
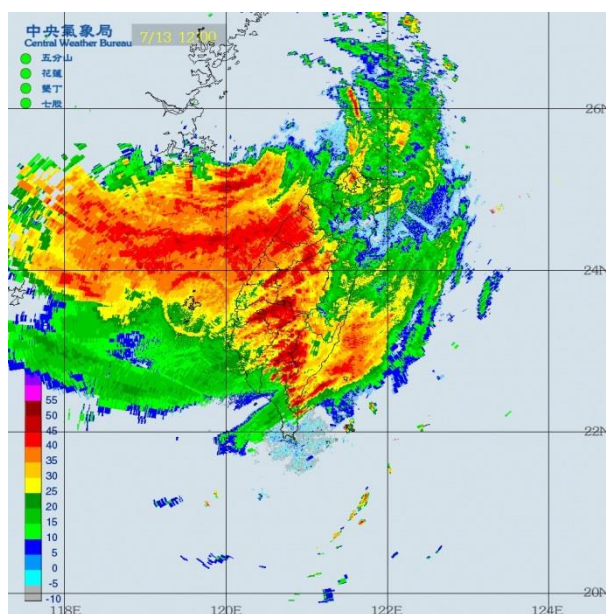


圖11 馬公測站累積雨量差距圖

2013 年蘇力颱風在出海後，結構沒有受到臺灣地形影響，造成太大的破壞，如圖 12 所示，澎湖本島正好在蘇力颱風降水雨帶邊緣，東吉島在主要雨帶以外，進而導致馬公地區累積雨量較東吉島高。

圖12 蘇力颱風最近澎湖時之雷達回波圖
(2013 年 7 月 13 日 0400UTC)

七、結論

在風速觀測方面，過山前，颱風環流與臺灣主要山脈所觸碰之交角，加上影響臺灣海峽狹管效應的強弱，對於澎湖地區風速增益的效果有所差異，使得不同路徑、大小的颱風，在澎湖地區觀測風速大小有所差異；颱風中心過山後，澎湖地區與颱風中心距離，則是影響風速大小的主因，就個案來說，颱風過山後，是澎湖地區風速極大期。

澎湖群島沒有地形抬升增強降雨之趨勢，造成與臺灣本島降水累積量有很大的差距，群島地處在臺灣海峽中部一帶，颱風本身路徑、暴風圈範圍與澎湖群島的相對位置，對於澎湖影響最為重要，西行颱風路徑不同使颱風受到臺灣地形減弱變化不同，導

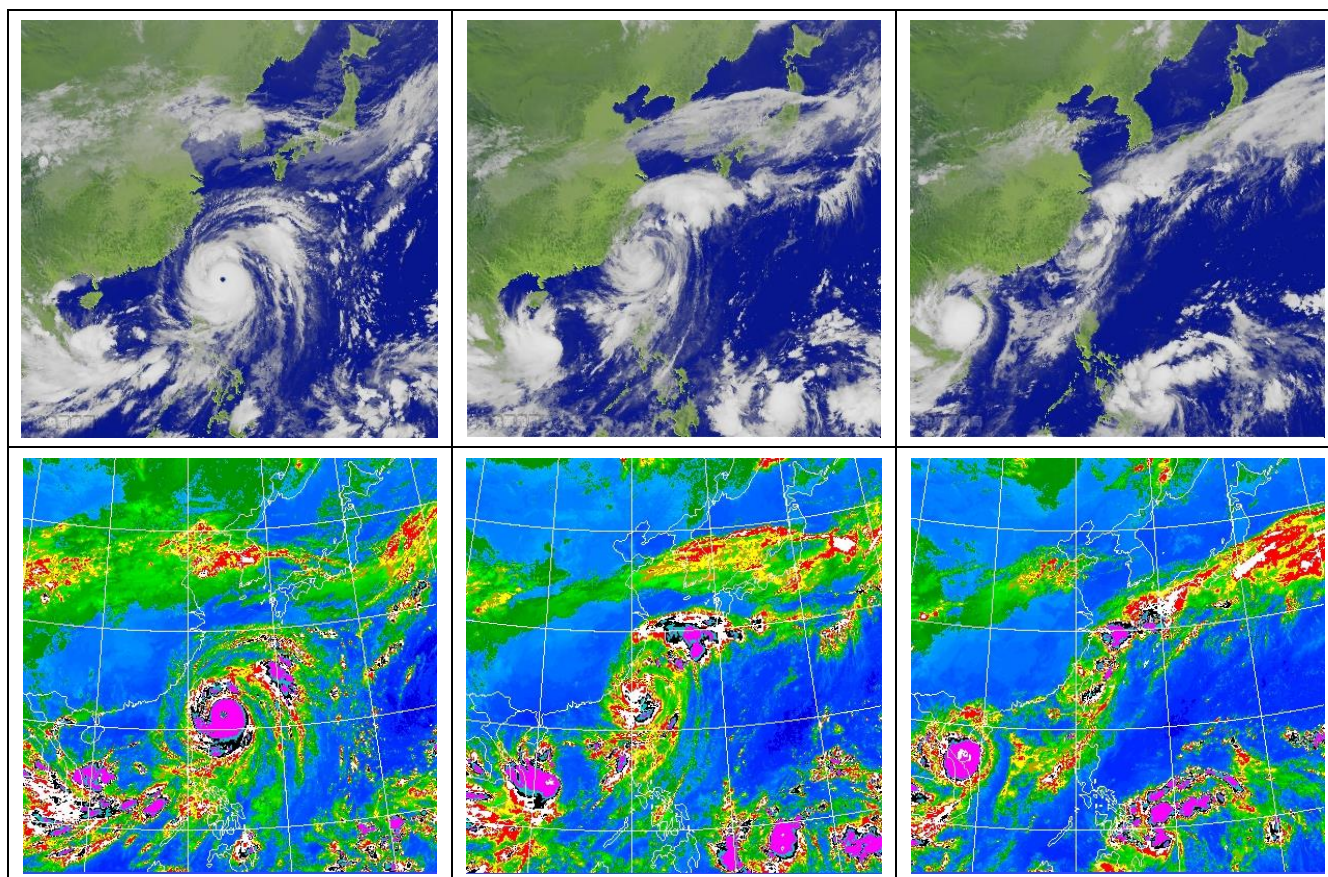
致颱風過山後，強度減弱整體結構不完整，將會導致颱風對於澎湖地區降水較臺灣來得少。

本文中，薔蜜及蘇力颱風因受夏季及秋季颱風所受導引的系統不同，而影響颱風路徑不同所導致本次探討颱風風速及降水之差異性，為此次個案中影響澎湖地區天氣型態之主因。

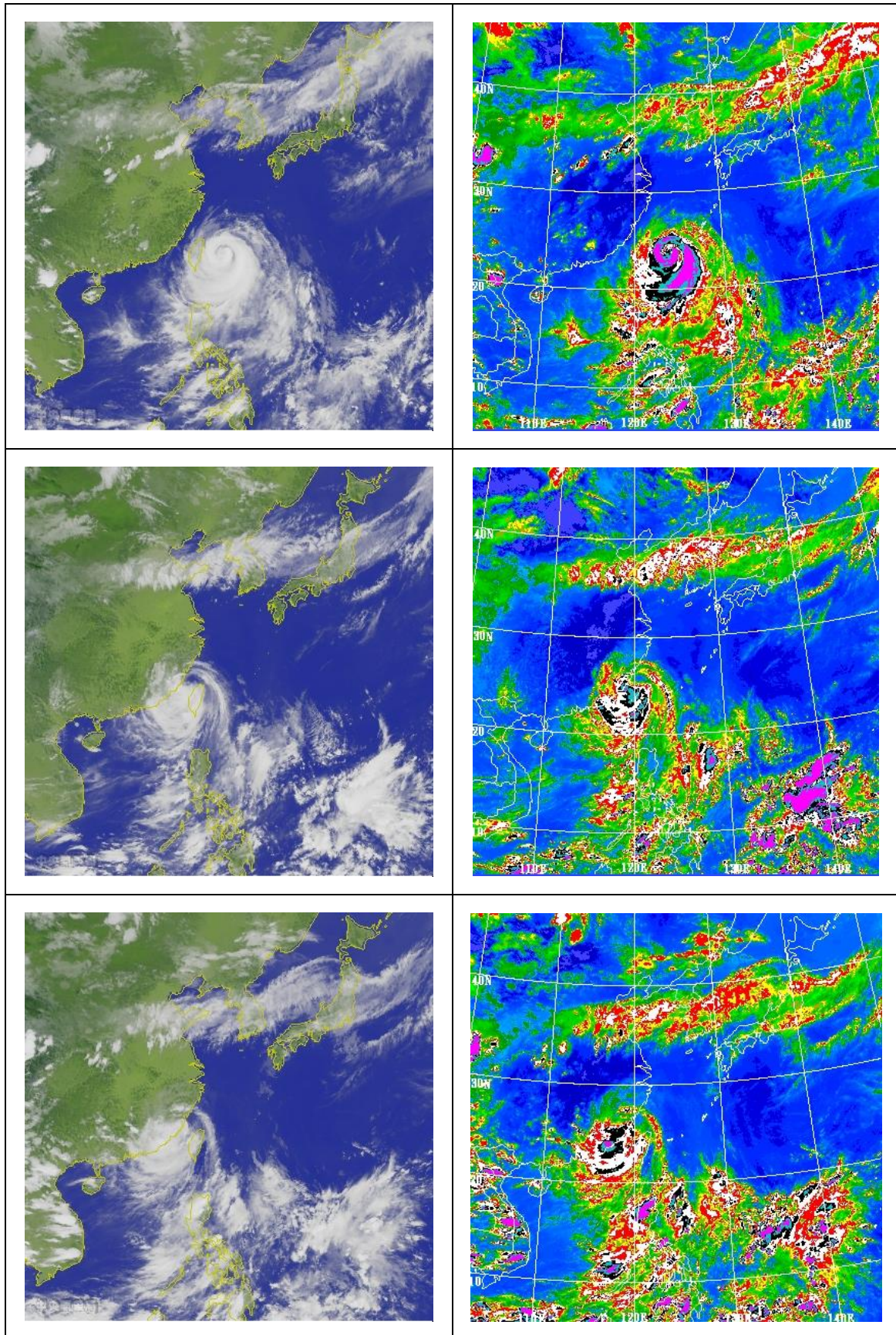
八、參考資料

颱風資料庫

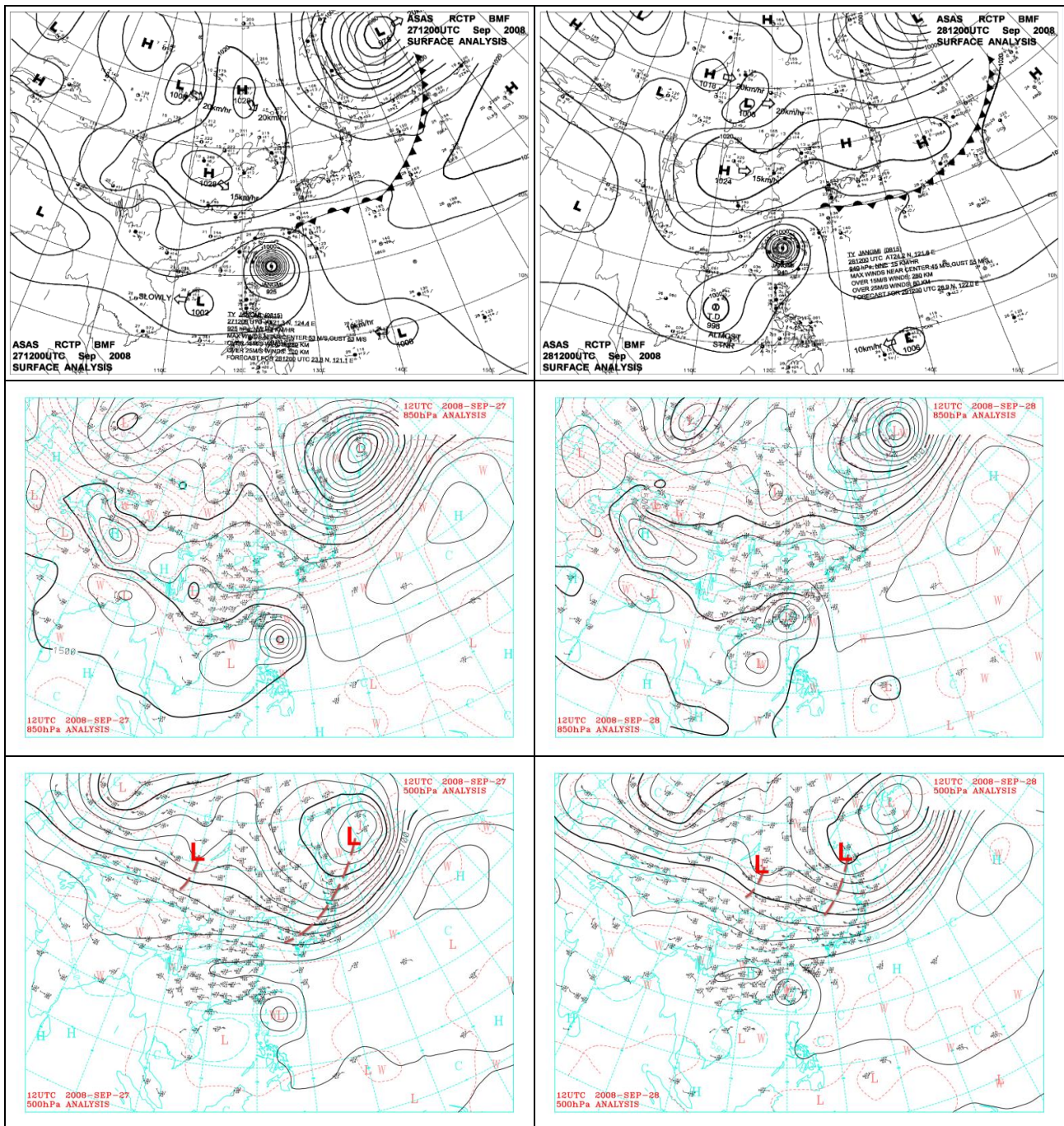
中央氣象局網頁



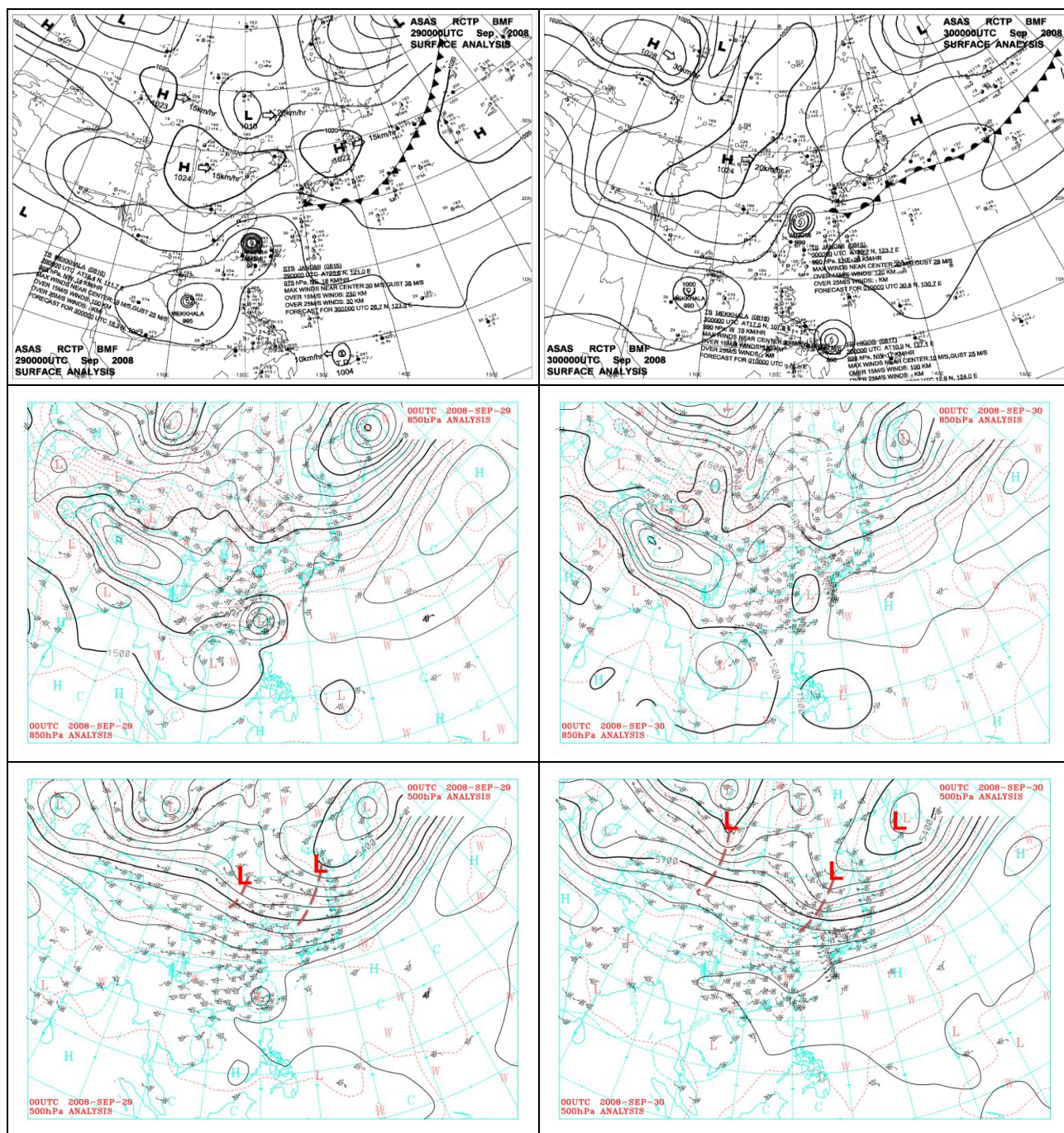
附錄1 薔蜜颱風期間衛星雲圖。(由左至右為颱風登陸前、最接近澎湖時、颱風遠離後)
時間分別為 2008/09/28 00UTC、2008/09/29 00UTC、2008/09/30 00UTC



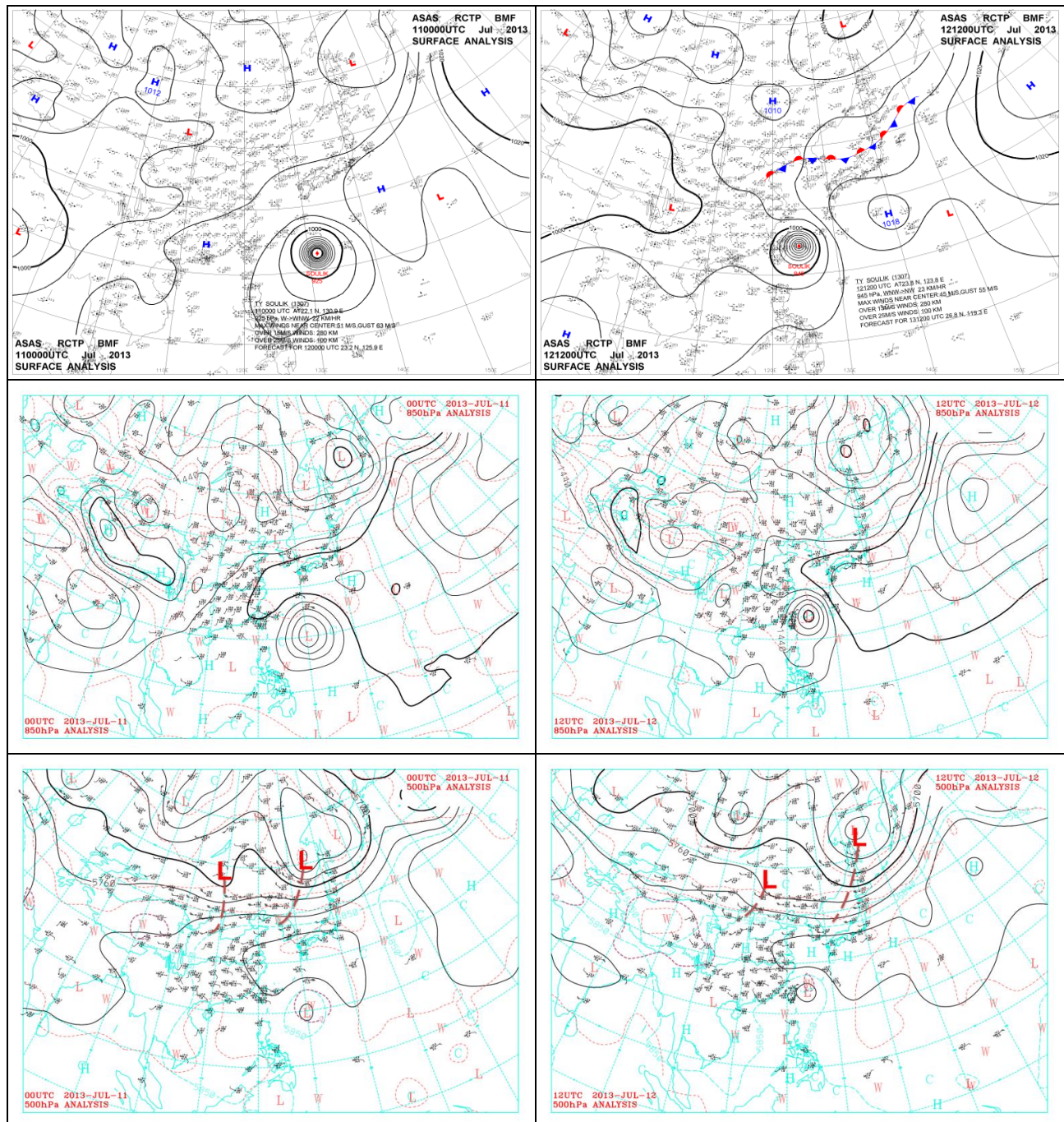
附錄2 蘇力颱風期間衛星雲圖。(由上至下為颱風登陸前、最接近澎湖時、颱風遠離後) 時間分別為 2013/07/12 18UTC、2013/07/13 12UTC、2013/07/13 18UTC



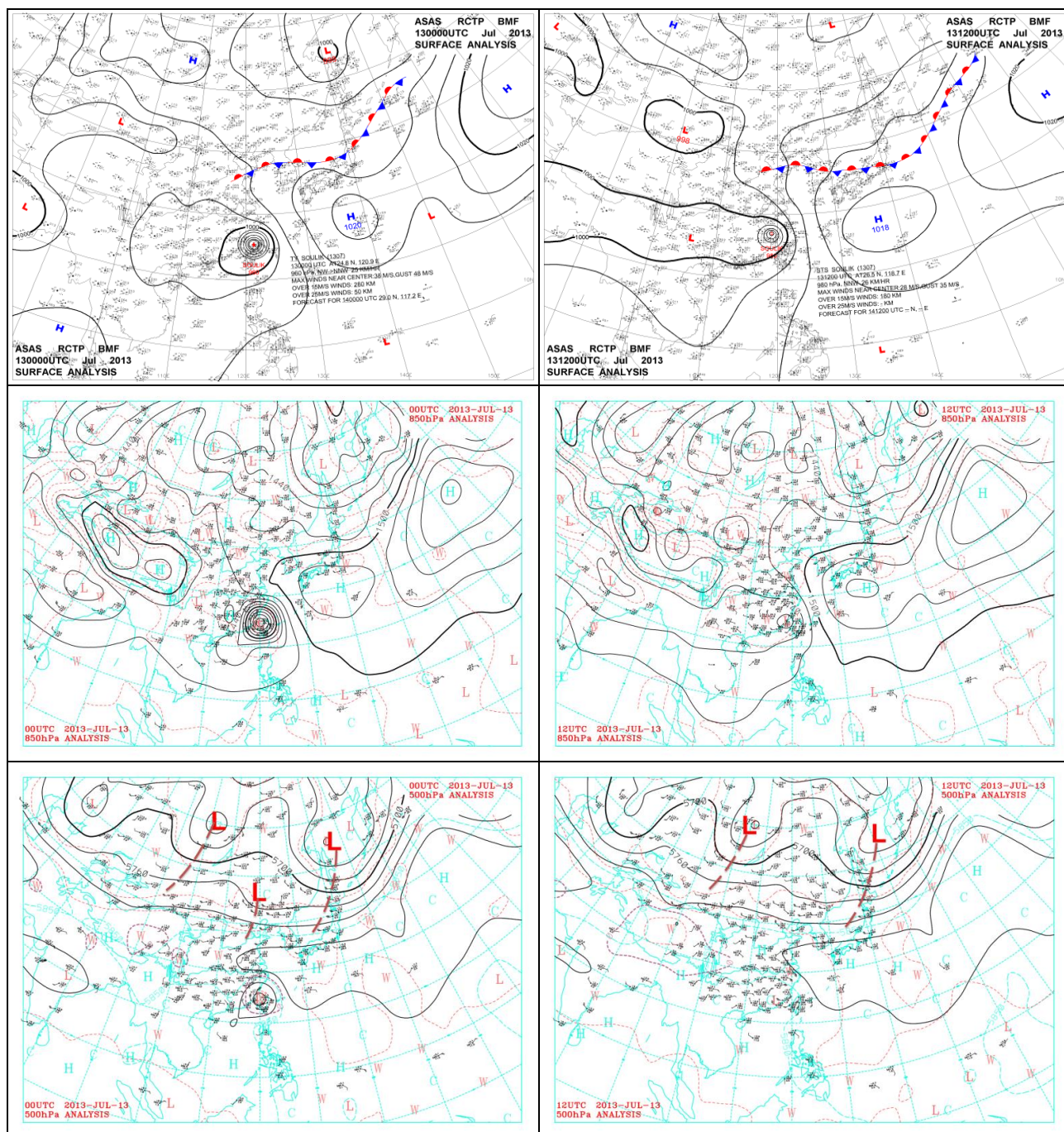
附錄3 薔蜜颱風天氣圖(由上至下分別為地面、850hPa、500hPa)左圖為颱風在海上(2008/09/27 12UTC)、右圖為颱風登陸臺灣 (2008/09/28 12UTC)



附錄4 薔蜜颱風天氣圖(由上至下分別為地面、850hPa、500hPa)左圖為颱風出海(2008/09/29 00UTC)、右圖為颱風遠離臺灣(2008/09/30 00UTC)



附錄5 蘇力颱風天氣圖(由上至下分別為地面、850hPa、500hPa)左圖為颱風在海上(2013/07/11 00UTC)、右圖為颱風登陸臺灣(2013/07/12 12UTC)



附錄6 蘇力颱風天氣圖(由上至下分別為地面、850hPa、500hPa)左圖為颱風出海(2013/07/13 00UTC)、右圖為颱風遠離臺灣(2013/07/13 12UTC)

Analysis of weather diversity in Penghu caused by the typhoon Jangmi(2008) and Soulik(2013)

Shang-Chen Wu, Ting-Ya Wang, Ta-Yao Chang,
Chiang-Peng Hsu and Hung-Pin Chien

Weather Wing of C.A.F.,R.O.C.

ABSTRACT

This study utilized data from Penghu weather station(CWB) and Dongjidaow weather station(CWB) in order to analysis the effect caused by typhoon Jangmi(2008) and Soulik(2013) in Penghu (Refer attachment 1 and 2). In further, to discuss the weather diversity caused by typhoon in different situations. Pescadores located in the central Taiwan Strait. The different typhoon track makes the interaction between Taiwan's topography and typhoon outer weather system will be different, which affects whole Taiwan Strait wind speed. Meanwhile, the wind speed in Penghu region will be affect. Because the Pescadores is flat, the overall precipitation in Penghu is not as much as Taiwan during the typhoon period. Thus, the typhoon track, storm radius and position of heavy rain belt will be main factors affecting the precipitation in Penghu. This study will analysis and discuss the effects caused by typhoon Jangmi(2008) and Soulik(2013) in Penghu region.

Keyword : Typhoon, Jangmi(2008), Soulik(2013), Precipitation

懸浮微粒 (PM_{2.5}) 濃度與氣象要素數值變化影響之研析 (以高雄市左營區為例)

吳妮恩¹ 邱文筠² 劉嘉如³ 李精進⁴

¹ 空軍航空技術學院軍事學科部戰航管氣象組

² 空軍氣象聯隊第十一基地天氣中心

³ 空軍氣象聯隊第二基地天氣中心

⁴ 空軍航空技術學院軍事學科部戰航管氣象組

摘要

高雄左營區近 20 年來因東側龐大重劃區快速發展與建設，附近林立的工廠日夜排放污染物，加上人口增加及大量汽機車行駛，造成空氣品質驟降，成為臺灣數年統計中空氣品質最讓人堪憂的地區之一，針對懸浮微粒濃度偏高之原因可分為人為因素、天然因素及境外因素，有研究指出溫度、相對濕度、雨量、風向風速皆會影響 PM_{2.5} 的濃度變化，故本研究旨在探討 2010 年至 2016 年高雄左營區 PM_{2.5} 與各氣象因子相關性。結果分析顯示，當一天之中平均 PM_{2.5} 濃度震盪在中午 11 時及凌晨 1 時濃度為最高，在下午 18 時為最低；另外，由汽機車所排放之污染物 CO (carbonyl monoxide, 一氧化碳)、NO_x (nitrogen oxides, 氮氧化物)、NMHC (non-methane hydrocarbons, 非甲烷碳氫化合物) 及 THC (total hydrocarbons, 總碳氫化合物)，當其個別濃度在早上及晚上 8、9 時相對較高，領先 PM_{2.5} 濃度變化 3 至 4 個小時。而風速微弱時會使 PM_{2.5} 濃度居高不下，當風速大於 3m/s 時，PM_{2.5} 濃度則有開始顯著下降的趨勢；當 PM_{2.5} 濃度越高時，能見度低於 5000M 的天數佔整個月的比例較高，反之，當 PM_{2.5} 濃度位於相對低點時，能見度低於 5000M 的比例相對較低。綜合以上所述，PM_{2.5} 濃度與風速、相對濕度、溫度及能見度呈現負相關，另外，本研究未針對此次結果作進一步驗證 PM_{2.5} 污染事件發生時與隔日能見度不佳的情況，以利後續運用於預報。

關鍵字：細懸浮微粒 PM_{2.5}、高雄左營區、氣象因子。

一、研究動機

本研究針對左營地區所帶來之品質效益，左營區是臺灣高雄市的市轄區，位於市內西南部，屬於熱帶季風氣候，年均溫約 24.7℃，年雨量約 1,800 公釐，且近 20 年來因東側龐大重劃區快速發展與建設，目前已經成為北高雄之新興商業核心，加上人口不斷增加，也造成了空品的下降，因此成為數年統計

下全臺灣空氣品質最為讓人堪憂的地區之一，對於懸浮微粒濃度偏高之原因，所造成天候環境及健康危安影響之探討。

懸浮微粒是存在空氣中的一種污染物，類似灰塵的粒狀物質，又稱為懸浮微粒 (particulate matter, PM)，一般肉眼較不易清楚看見，且 PM 粒徑大小有別，小於或等於 10 微米 (μm) 的懸浮粒子稱為可吸入懸浮粒子 (PM₁₀)；直徑小於或等於 2.5 微米的懸浮粒子稱為細懸浮粒子 (PM_{2.5}) 通稱細懸浮微

粒，且單位是以微克/立方公尺 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 做為表示，其粒徑極小，僅約為人類頭髮直徑之 $1/28$ ，可穿透肺部氣泡，進入血管中隨著血液循環全身，故對人體及生態所造成之影響是不容忽視的，大氣中所帶來的危害物質，不僅會降低能見度，且影響飛行之安全，對於人體的傷害更是具有危害效應，因此，不論是大氣環境的議題，或是人體危安，都是我們需要去重視的要點之一。(如圖1所示)

PM_{2.5}細懸浮微粒直徑 大約為頭髮直徑的 $1/28$



圖1 PM_{2.5}直徑大小示意圖

二、懸浮微粒 (PM_{2.5}) 的來源及成因

本研究針對左營地區所帶來之品質效益，左營區是臺灣高雄市的市轄區，位於市內西南部，屬於熱帶季風氣候，年均溫約 24.7°C ，指在大氣環境中除了水分子之外的固態或液態粒狀物，其中漂浮在空氣中類似灰塵的粒狀物稱為懸浮微粒 (particulate matter, PM)、懸浮粒子 (particulate matter, PM)、大氣懸浮粒子 (Atmospheric particulate matter)、顆粒 (particulates) 一般人都以為臺灣的空氣汙染大多都來自於大陸工業發展及蒙古戈壁沙漠化的影響，但其實境外移入只有佔了 $1/3$ ，大多仍還是臺灣自己所產生出的許多污染物，而這些髒空氣可分為來源 (原生性、衍生性) 及成因 (天然因素、人為因素、境外因素)。

2.1 來源

PM_{2.5}來源可分為原生性及衍生性，皆可能由自然界或人為產生。

(1) 原生性

係指從自然與人為活動所排放出的物質，該成分主要乃由物理破碎或一次污染排放所產生的大氣PM_{2.5}粒狀物，且主要的化學組成份與來源分別為海鹽飛沫 (sea salt aerosol)、塵灰 (soildust) 裸露於地表，經由風力作用所揚起的灰塵微粒。

(2) 衍生性

係指自然與人為活動排放至大氣環境中受到複雜化學變化與光化反應後，所釋出之非PM_{2.5}之化學物質 (稱為前驅物，可能為固體、液體或氣體)，主要為煤煙 (soot)、硫酸鹽 (sulfate) 及硝酸鹽 (nitrate) 等，以上污染來源均除本地污染外，農業施肥、禽畜排泄及生活污水等，亦受到境外長程傳輸污染之影響。

(如圖2所示)

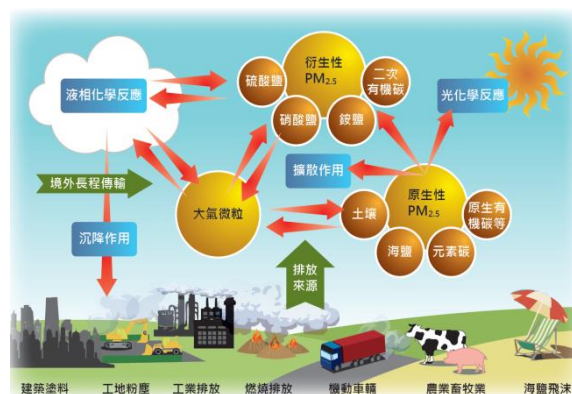


圖2 PM_{2.5}的來源示意圖

2.2 成因

(1) 天然因素

「霧霾」是氣象要素及天氣現象的一種，也是一個無法避免以及需要重視的因子，懸浮微粒除了會給人體帶來健康衰退之影響外，霾 (haze) 問題也是已久重大氣候的問題之一，氣候的條件會讓大氣環境產生更多的PM_{2.5}，條件也會使大氣通風狀態不好，且大氣現象在氣象觀測作業中，又稱為塵象 (lithometeors)，會造成視障，直接影響水平能見度，且在氣象上是指懸浮於空氣中之塵埃或鹽類等非吸水性固體微粒，主要是由二氧化硫、氮氧化物和可吸入顆粒物所組成，由於其質點極為細微，致肉眼無法辨識，當能見度介於五公里至十公里之間時，稱之為輕霾 (light haze)；能見度介於二公里至五

公里之間時，稱之為中霾（moderate haze）；當霾濃度高時，能見度者會降至二公里以內，稱之為重霾（severe haze）有大量塵埃或煙屑浮游在空中，使能見度下降，當大量極細微的幹塵粒子等均勻地浮游在空中時，會使水準能見度小於 10.0km 的空氣普遍混濁現象，在大氣中多呈乳白色，惟對遠地明亮之背景，則成黃色或橘紅色；反之，對較陰暗之背景，則顯示淡藍色，此乃霾質點所產生之光學效應所致。它會隨著氣候的分秒變化，使氣候加速暖化，影響季風轉換之時間，通常夏季因熱對流旺盛，空氣很快就會被帶上來、較不容易產生；但冬季可能產生逆溫層，就是上空有塊地區溫度比地面高，空氣上不去時就像鍋蓋悶著一樣，此時 PM2.5 就無法被帶走，因此就會充斥在空氣中，若空氣中的質量逐漸惡化時，恐造成降水延遲、乾旱、洪水交替以及生態環境遭受破壞等，包括健康、交通、空運安全及經濟也都會受到嚴重影響。

甚至有些懸浮粒子溶於水後，則會分解出有毒的物質並破壞生態（如：一氧化碳或二氧化碳溶於水會形成碳酸，侵蝕石材表面；氮氧化物與硫氧化物溶於水則是分別形成硝酸與硫酸，會降低雨水或是雪的 PH 值，形成酸雨而侵蝕金屬、各種建材、傷害植物活組織及人的皮膚等），不只如此，一旦大量懸浮微粒聚集後，還會對於光線產生散射或消散作用，只要空氣中微粒濃度越高，能見度就會越低，進而造成能見度之下降，且低雲幕與低能見度也容易造成飛安死亡率增高，加上能見度一旦下降後，易使飛行員無法以肉眼辨識飛行高度與水平距離，容易使飛安情況迅速惡化，甚至無法從天氣系統中做出準確之預測，加上平流霧影響低能見度進而影響飛機起降，霧所造成的低能見度問題在過去很常被探討，因此建立一套針對污染物影響機場能見度預報的標準作業程序（Standard Operation Procedure, SOP）也是相當重要的。

(2) 人為因素

人為因素可分為兩種，室外及室內所產

出不同的危害物質，最常見的來源大多來自於汽、機車燃燒石化產生的廢氣、大量金屬冶煉的鋼鐵工廠與化學工業、處理垃圾的焚化爐及石化產業等，甚至是一般家庭在家燒香產生的煙塵、抽菸者、廚房油煙、打掃的揚塵等也是影響力之一，就連中南部常見的燃燒稻草行為所產生出的黑煙，造成過量的顆粒散布在空氣中，因此也成為了空氣污染的主要指標之一，這些都是要多加注意的。

針對工業（廠）的部分，全臺灣共有四個縣市擁有石化產業聚落，如：桃園縣、苗栗縣、雲林縣以及高雄市；而高雄市之產值則遠高於其他三個縣市，被世界公認為一級致癌物之污染，最嚴重的前三名，分為是前鎮、左營、前金，都位於高雄市地區。針對左營區為例，光是鄰近工業（廠）所帶來的空汙品質，就足以超過其他縣市，而也曾被視為高雄石化工業龍頭的左營地區，也就是臺灣中油公司高雄煉油廠，廠區位於左營半屏山麓，全廠 177 公頃土地都被列為地下水污染控制場址，土壤受污染面積達 61.6 公頃，運作 47 年後，已於 2015 年熄燈停工，曾是一個極大嚴重污染空氣及土壤的地帶，且住戶都飽受多年的環境污染之苦。雖已無在運作，但俗話說「時過境遷」，代表著隨著時間的推進，社會及環境都會有很大的改變，而曾被破壞的地方，又要花多久時間才能恢復最原本的空氣品質及環境生態呢？

（左營區鄰近工業區與住宅區分布圖如圖 3；左營區鄰近工業區分布圖如圖 4 所示）



圖3 高雄市左營區鄰近工業區與住宅區分布圖



圖4 高雄市左營區鄰近工業區分布圖

然而空汙狀況尚未停息，高雄周邊到處都是石化工業場，從林園、大社工業區，中油的三輕、五輕廠到中鋼及火力發電廠等，特別是位於左營鄰近區域的工業廠，如：楠梓區（加工區）、大社（石化工業區汙水處理廠、中國石油化學工業開發股份有限公司大社廠）、仁武（金屬工業廠、臺塑重工仁武廠）等，以上所產業的物質大多是大宗化學品（如：塑膠、合成纖維、化學肥料劑等），另有精密化學品（如電子、橡膠化學品、接著（防漏）劑、農藥、染顏料等），都是會造成隱形殺手再度源源不絕之重要因素。

(3) 境外因素

近幾年來大陸工業發展及蒙古戈壁沙漠化的污染物危害影響，每年入冬之後，大約是11月至隔年5月間，都會伴隨著東北季風將大量的懸浮微粒帶進臺灣，導致空氣品質受到影響，此時臺灣整個上空都會呈現出灰濛濛一片，表示空氣品質極度不好。

(4) 污染量比率

根據環保署統計，全國排放的PM_{2.5}總量約7萬3885公噸，其中「營建、道路揚塵」以2萬7662公噸居首，其次為「工業」（含電力業）排放1萬6865公噸、約23%，「車輛」排放1萬6756公噸、占23%，硫氧化物方面（SO_x）全國排放量為11萬9720公噸，其中工業排放量為10萬5261公噸占88%；氮氧化物（NO_x）全國排放量為43萬4160公噸，其中工業排放17萬6100公噸，占全

國41%，佔比相當高。（如表1所示）

表1 全國各類污染源空氣汙染物排放量及排放量比率

污染源	空氣汙染物		細懸浮微粒(PM _{2.5})		硫氧化物(SO _x)		氮氧化物(NO _x)	
	公噸/年	比率	公噸/年	比率	公噸/年	比率	公噸/年	比率
工業(含電力業)	16,865	23%	105,261	88%	176,100	41%		
車輛	16,756	23%	343	0%	217,109	50%		
非公路運輸	601	1%	8,559	7%	21,033	5%		
商業	6,440	9%	3,651	3%	3,684	1%		
營建/道路揚塵	27,662	37%	0	0%	0	0%		
露天燃燒	4,601	6%	574	0%	6,577	2%		
其他	930	1%	1,332	1%	9,657	2%		
總排放量	73,855	100%	119,720	100%	434,160	100%		

三、經濟發展效益之危害

3.1 時代的進步

「臺灣」美麗的寶島生態之美，藍天白雲、七彩花朵、綠地草原、茂密樹林及清澈河流，充滿著有活力的生命與萬物之地，甚至還有福爾摩沙之稱的美麗島嶼，那現在呢？由於天氣現象之霾害的影響，造成重大氣候之問題，甚至飢荒與糧食短缺、農業損失、漁場改變、生命財產損失、水資源供應、所得重分配等等問題，但大部分仍是人為不惜福因素所造成的，就因為好，還要更好，更進步、更發達等，造就現在眾多的問題。

曾是單純、簡單、步調慢及節約的農業社會，因時代變遷、人口稠密、科技進步及追求便利性，而跨入工商社會，逐漸邁向科技的時代，而在國民政府1949年遷臺以來，也無心無意長居久安，制定了「犧牲農業、扶植工業」的政策大方向，早已注定了臺灣的命運。工業發展固然是未來不可阻擋的趨勢之一，不可否認工業文明確實為人類帶來莫大的便利性及進步性，但同時也為美麗的小島帶來莫大禍害，不僅空氣味道變質，不再有翩翩飛舞的蝴蝶，就連空中所呈現的顏色都如此混濁，想要在夜晚觀看閃閃發亮的星星及夜晚綠精靈螢火蟲都很難，還有水溝受到重金屬汙染，不再有小蝦、小魚了。現在的臺灣走向耗竭式開發思維的發展，放任森林砍伐、水源枯竭、青山綠水殘破、氣溫節節飆升，也因此使空氣、河川、土壤、海洋受到極大嚴重汙染，也是臺灣俗稱的種

「因」結「果」關係，而這些的開發對於我們各有利弊，但大多數對於經濟效應所資產出的財富都集中在少數開發者手中，而廣大人民卻要被迫承擔環境惡劣破壞之風險。（如圖5所示）



圖5 台灣自然生態因過度開發遭破壞示意圖

3.2 PM_{2.5}對健康之影響

空氣中的懸浮微粒會經由鼻、咽及喉進入人體，而較小的微粒則會經由氣管、支氣管經肺泡吸收進入人體內部。造成人體器官的危害，例如呼吸道疾病、癌症、新生兒低體重、心血管疾病等。而每當PM_{2.5}濃度提升時，會增加許多疾病的死亡率，包含肺癌死亡增加12%，缺血心臟病死亡增加16%，心肺疾病死亡增加10%，以及所有原因死亡率5%，讓壽命多減少了200多天等，而特別是有過敏的人，更是要多加注意，且千萬不能夠輕忽空氣汙染，那些所造成的傷害也等於是慢性自殺。（如表2所示）

表2 PM_{2.5}濃度對人體之危害

PM_{2.5}每增加10，死亡率增加

肺癌	12%
缺血心臟病	16%
心肺疾病	10%
所有原因死亡率	5%
壽命減少	200多天

資料來源：立法院公報 第100卷 第42期 院會記錄

PM_{2.5}的安全標準環保署整合目前一國兩制的空汙指標「PSI」及「PM_{2.5}濃度」，實施AQI空氣品質指標（Air Quality Index），分成綠色、黃色、橘色、紅色、紫色及褐紅色等級，針對一般人及敏感性族群需注意戶外活動之建議，且網站上還提供即時簡單易懂的細懸浮微粒（PM_{2.5}）空氣品質指標資訊可供大眾參考。且也建議當空汙嚴重時，減少戶外體力消耗及戶外逗留的時間。（如表3所示）

表3 AQI空氣品質指標分級表

指標等級	1 ⁰	2 ⁰	3 ⁰	4 ⁰	5 ⁰	6 ⁰	7 ⁰	8 ⁰	9 ⁰	10 ⁰
分類	低	低	低	中	中	中	高	高	高	非常高
PM _{2.5} 濃度 (μg/m ³)	0-11	12-23	24-35	36-41	42-47	48-53	54-58	59-64	65-70	>71
一般民眾 活動建議	正常戶外活動。			正常戶外活動。			任何人如有不適，應考慮減少戶外活動。			任何人如有不適，應減少體力消耗。
敏感性族群 活動建議	正常戶外活動。			有心臟、呼吸道及心血管疾患者應減少戶外活動。			有心臟、呼吸道及心血管疾患者，應減少體力消耗。			有心臟、呼吸道及心血管者應避免戶外活動。

資料來源：行政院環保署

四、左營區懸浮微粒（PM_{2.5}）濃度與氣象要素研析

空氣品質監測資料，為掌握空氣的品質及有效保護，並防制污染之重要目的。本研究為了剖析高雄左營區PM_{2.5}濃度與氣象要素相關性，我們整合來自行政院環境保護署EPA的空氣品質監測站，以及空軍第十一基地天氣中心左營派遣組的7年（2010年至2016年之冬季及春季等42個月的資料）期間所提供的PM_{2.5}濃度和氣象資料。

4.1 行政院環境保護署EPA左營區空氣品質監測站及空軍氣象聯隊第十一基地天氣中心左營派遣組之地理環境介紹

(1) 空軍氣象聯隊的十一基地天氣中心左營派遣組地理位置

左營派遣組測站位於左營海軍營區裡面，西側靠海面，北面距漯底山 7442 公尺，東面距半屏山 3335 公尺，南面距柴山 7292 公尺，萬壽山 6091 公尺。（如圖 6 所示）



圖6 空軍氣象聯隊第十一基地天氣中心左營派遣組之地理位置

(2) 行政院環境保護署 EPA 左營區空氣品質監測站地理位置

高雄市左營區至左營大義國中行駛距離，開車方式以最快的途徑為勝利路和左營大路，在交通順暢時約 7 分鐘（距離 2.3 公里），大義國中頂樓，離地高度 15 公尺，採樣口高度 19 公尺，其中氣狀汙染物資料（CO、NO₂、SO₂、O₃、濕度與風速）是參考左營空品測站的數據，氣象資料（能見度及溫度）則是參考左營派遣組測站的紀錄。（如圖 7 所示）

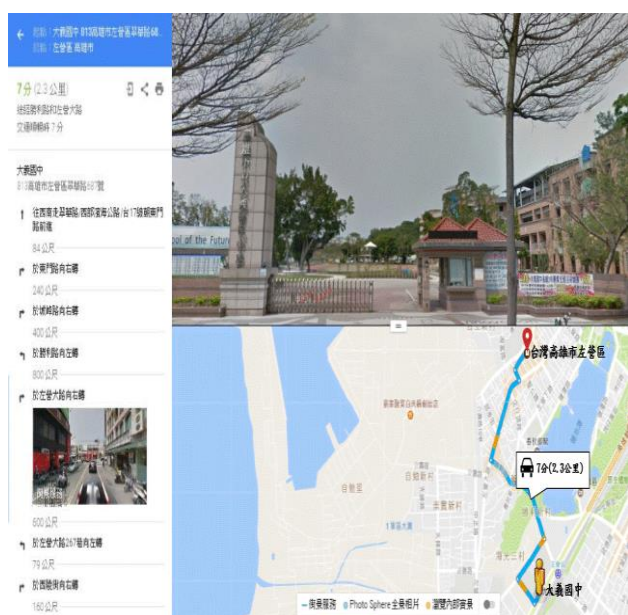


圖7 行政院環境保護署 EPA 左營區空氣品質監測站之地理位置

4.2 監測項目（如表 4 所示）

表4 左營區空氣品質監測站監測項目

環境	氣象
懸浮微粒 (PM ₁₀)	溫度
細懸浮微粒 (PM _{2.5}) (自動)	溼度
細懸浮微粒 (PM _{2.5}) (手動)	風速
臭氧 (O ₃)	風向
一氧化碳 (CO)	雨量
二氧化氮 (NO ₂)	-
二氧化硫 (SO ₂)	-
其他	
PM _{2.5} MetOne	

4.3 周圍環境（如表 5 所示）

表5 左營區空氣品質監測站周圍環境

測站高度	15 公尺		
採樣口高度	19 公尺		
採樣口 氣流角度	360 度		
經緯度	北緯：22 度 40 分 29.5 秒 東經：120 度 17 分 34.5 秒		
測站周圍影像（八方位）			
			
西北	北方	東北	
			
西方	正面	東方	
			
西南	南方	東南	

前面提到高濃度的 PM_{2.5} 容易引發心肺方面的疾病，因此，美國環保署在 1997 年制定 PM_{2.5} 的管制標準，並在 2006 年做了修正，現行管制標準為年平均 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，日平均 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而我國由行政院環保署（EPA）於 2012 年 5 月訂定空氣品質標準，將 PM_{2.5} 濃度納入空氣污染管制項目之一，目前現行標準與美國標準一致。（如表 6 所示）

表6 各國 PM_{2.5} 的管制標準

	年平均	日平均
台灣	15	35
美國	15	35
日本	15	35
新加坡	15	35
歐盟	25	
中國大陸	15/35	35/75
WHO	10	20

本個案探討高雄左營地區空氣污染情況，由於 PM2.5 濃度污染事件較常發生在冬季，春秋季次之，故本研究僅採納 1-3 月份及 10-12 月份資料來做探討，從圖 8 中可看出冬季時段（12、1 及 2 月）較其他月份有較高的 PM2.5 濃度，而又以 24 小時趨勢來說，分別在中午 11 時及凌晨 1 時 PM2.5 濃度相對較高，在上午 6 時及 18 時濃度則相對較低。然而，PM2.5 濃度一天內的震盪起伏大致吻合上下班交通尖峰時刻，屬於半日波的震盪情況，1 天 24 小時內的 PM2.5 濃度都偏高，各月份都超過現行規範的 $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 警戒值，嚴重威脅民眾健康。另外，圖 9 為汽機車所排放的污染源分別有 CO、NO_x、NMHC 及 THC（一氧化氮、氮氧化物、非甲烷碳氫化合物及總碳氫化合物），可以發現其個別濃度在早上及晚上 8、9 時相對較高，領先 PM2.5 濃度變化 3-4 個小時，符合交通運輸在尖峰與離峰時刻的震盪，當街道車流量大增，排放的污染物持續累積後的 3-4 小時 PM2.5 濃度達極大值，在未來可能有助於預警 PM2.5 濃度的數據來源之一。

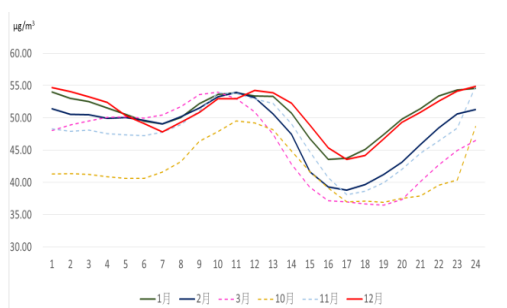


圖 8 2010-2016 年左營地區 PM2.5 濃度趨勢圖

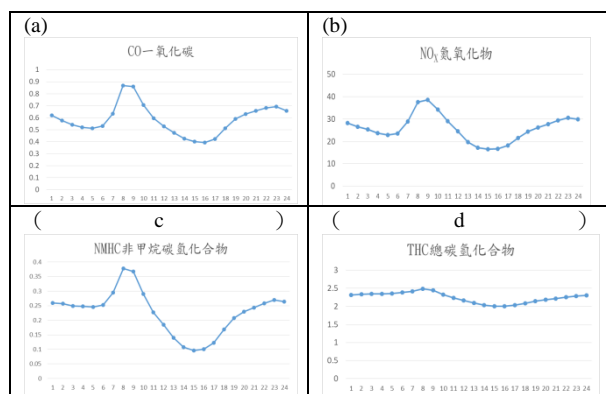


圖 9 2010-2016 年 CO、NO_x、NMHC 及 THC 日平均趨勢圖

因年度中各月份的 PM2.5 濃度嚴重情況，故將 PM2.5 濃度分為 3 個等級（ $<54 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 為正常、 $54-71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 為紅色警戒、 $>71 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 為紫色危險），可以發現在冬季時段 PM2.5 濃度造成空氣品質不佳的情況較其他月份多，以 12 月份來說有高達 87 天達紅色警戒值以上，1、2 月份分別為 75 及 69 天，另外在 1 月份紫爆天數高達 25 天，平均一個月就有 3.57 天達紫色危險情況，在冬季期間高濃度 PM2.5 所呈現的惡劣空氣品質，嚴重威脅到當地居民的健康與生活。（如圖 10 所示）

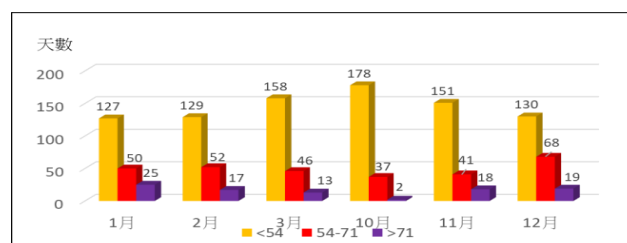


圖 10 2010-2016 年各月份 PM2.5 濃度分布情況

4.4 鑑測項目研析

接下來我們將探查 PM2.5 與風速、相對濕度、溫度與能見度相互關係。風速的大小會影響懸浮微粒的擴散與潮解，當東北季風南下到台灣時，而高雄左營區位於山的背風面，伴隨風速微弱及冷空氣沉降作用，使 PM2.5 濃度因此居高不下。風速與 PM2.5 濃度趨勢圖（如圖 11 所示），當上午風速微弱時（ $<2.5 \text{ m/s}$ ），其 PM2.5 濃度都維持在 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上到中午時刻濃度達到最大值 $52.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，上午 9 時開始起風，到 13 時風速增強至 3.02 m/s ，而 PM2.5 濃度有明顯下降的趨勢，到晚上時段，因風速減弱至 3 m/s 以下，且於下班交通之尖峰時刻，使 PM2.5 濃度開始劇烈上升的趨勢。

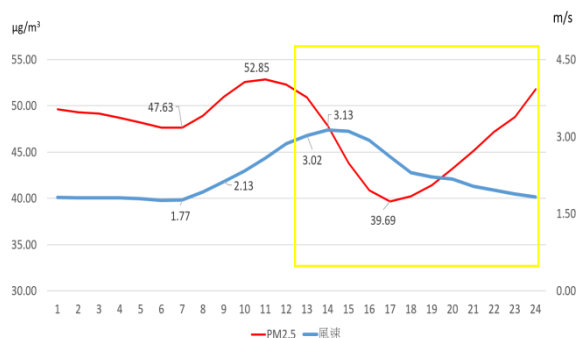


圖 11 PM2.5 與風速趨勢圖

當相對濕度越高時，會增加懸浮微粒的重量，導致粒子下降速度增加，並降低 PM2.5 濃度。PM2.5 與相對濕度的趨勢（如圖 12 所示），本研究發現在上午時段相對濕度高於 75% 時，PM2.5 濃度維持在 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下，上午 9 時相對濕度開始下降，到 10 時降低至 75% 以下，而 PM2.5 濃度有上升的趨勢，並於 11 時濃度增加至 $52.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，由此圖可發現，當相對濕度越高，PM2.5 濃度越低，相對濕度越低時，PM2.5 濃度越高。

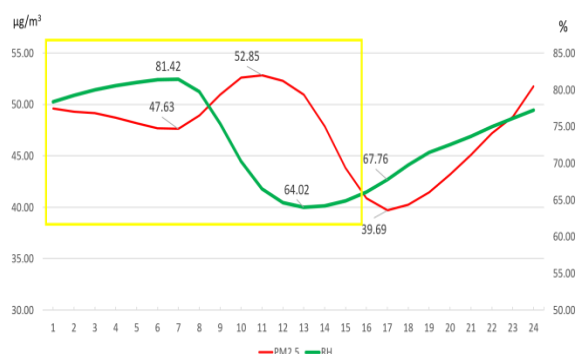


圖 12 PM2.5 與相對溼度趨勢圖

當溫度較高時，會因大氣對流作用而使污染物作垂直空間的混合，同時大氣呈現極不穩定的狀態，使懸浮微粒容易擴散，PM2.5 濃度降低；反之，溫度較低時，不利於懸浮微粒擴散，使 PM2.5 濃度居高不下。PM2.5 與溫度趨勢圖中（如圖 13 所示），當溫度低於 22°C 時，PM2.5 濃度維持在 $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上，到中午時溫度增加至 24.5°C 時，PM2.5 濃度開始有下降的趨勢，下午 18 時後隨交通尖峰期，PM2.5 濃度又迅速攀升至凌晨 1 時，然而，高濃度的污染物有類似低雲的作用，可抑

制地表長波輻射的散失，使夜晚至凌晨溫度降低較為緩慢。

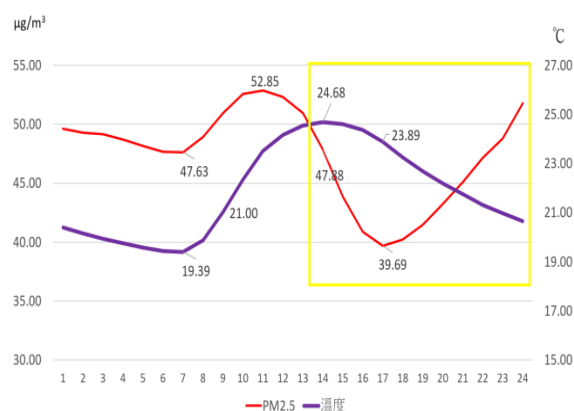


圖 13 PM2.5 與溫度趨勢圖

由於空軍左營派遣組的值班時間主要為上午 6 時至 18 時，其中這時段的 10 時至 13 時的 PM2.5 濃度相對較高，而 16 時至 18 時的濃度相對較低，因此，本文僅探討這兩段時間能見度與 PM2.5 濃度的關係。圖 14 為 2010-2016 年各月份能見度分布情況，能見度以 5000 公尺作為一個界線，以 1 月份來說，當 PM2.5 濃度相對較高時，其能見度小於 5000 公尺約佔 34%，而 PM2.5 濃度低時，能見度小於 5000 公尺僅佔 13%，由 1 月份可以看出 PM2.5 濃度高時，能見度小於 5000 公尺的比例較濃度低的時候高出 21%，也就是說，PM2.5 濃度越高時，能見度有降低的趨勢。2 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 36%（8%），3 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 28%（8%），10 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 22%（5%），11 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 30%（9%），12 月份 PM2.5 濃度高（低），其能見度小於 5000 公尺佔比例為 9%（10%）；綜合上述，圖 15 能見度與 PM2.5 濃度相關性顯示呈負相關，當 PM2.5 濃度越高時，能見度較差，當 PM2.5 濃度越低時，能見度較佳。

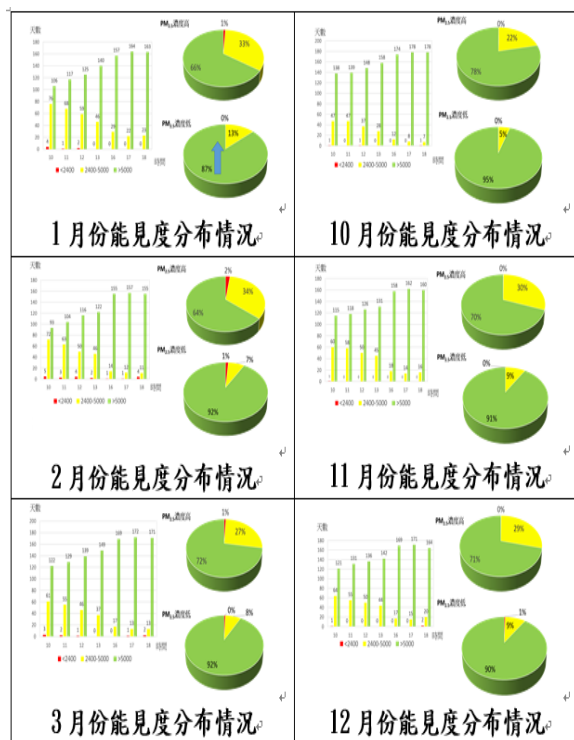
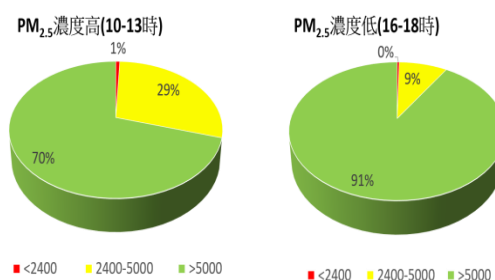


圖 14 各月份能見度分布情況

圖 15 能見度與 PM_{2.5} 濃度相關性

五、未來展望

空氣品質下降不是一、兩天造成的，隨著時代不斷的進步，加上人口增益，空汙問題只會越來越嚴重，想要減量空汙指數，並維持好的品質環境及生態，不僅只有環保署的工作，而是大家的責任，而我們可以從日常生活中做起，例如汰換高汙染汽機車，並定期檢查，多選擇大眾運輸工具搭乘，甚至在過年過節使用鞭炮，可多採用播放方式來取代燃放及祭拜時不燒金紙，「以功代金」，還有飲食應少吃油炸、燒烤食物、減少烹調用油，更重要是要養成不亂丟（燒）垃圾的

好習慣。

藉由分析 2010-2016 年，共 7 年 EPA 左營空品資料，整合同時間左營派遣組的逐時天氣資料，本文探究 PM_{2.5} 濃度與各氣象要素的關係。分析結果顯示，這 7 年 PM_{2.5} 平均濃度一日震盪在上午 11 時及凌晨 1 時濃度最高，下午 18 時濃度最低，因此一天內的濃度變化呈現半日波的高低震盪。而與汽機車排放源相關的 CO、NO_x、NMHC 及 THC（一氧化氮、氮氧化物、非甲烷碳氫化合物及總碳氫化合物），其濃度隨時間變化，領先 PM_{2.5} 濃度的變化 3 至 4 小時，此結果大致符合交通運輸在尖峰期及離峰期之間來回震盪。

PM_{2.5} 濃度與風速、相對濕度、溫度呈現負相關。由於能見度觀測資料時間有限，故只能探討 06 至 18 時段的相關性，當濃度低於 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，能見度大於 5000 公尺的比例有增加趨勢。因此，PM_{2.5} 濃度較高時，能見度有較差的趨勢。後續作業建議以前一日 PM_{2.5} 污染事件發生時，預測隔日的能見度範圍，以利作為氣象預報之運用。

六、參考資料

- 行政院環保署（2014），細懸浮微粒管制（PM_{2.5} 是什麼？），官方網站。
- 番懷瑾、楊楚晨、黃祈瑄（2015），霾害-全球關注的空氣汙染，台南縣港明高中。
- 張雅雯（2015），細懸浮微粒 PM_{2.5} 健康新殺手（沙塵暴、霧霾會增加 PM_{2.5}），網址 <http://www.twhealth.org.tw>。
- 張雅雯（2015），細懸浮微粒 PM_{2.5} 健康新殺手（室外汙染多來自汽機車與工廠，抽菸、焚香、油煙也有 PM_{2.5}），網址 <http://www.twhealth.org.tw>。
- 劉玟銘、葉唐男（2015），霾害與民眾健康之探-「霾」對人體與環境的危害，長榮高中。
- 巫佳玲、藍嘉偉（2016），馬祖地區低能見度與懸浮微粒 PM_{2.5} 濃度之關係，飛航天氣第二十六期。

林顯明、賴翊瑄（2015），科學人文跨科際計劃辦公室-「石」過境未遷，政治大學研究所碩士生。

吳晟、王樂惟（2016，8 月），啊！美麗的寶島，自由時報。

番懷瑾、楊楚晨、黃祈瑄（2015） 台南縣港明高中。霾害-全球關注的空氣汙染，（四、經濟衝擊問題）。

蘇一峰（2015），胸腔重症醫師用 20 張圖卡，讓你看懂空汙 PM2.5 對人體的嚴重危害，網址 <https://buzzorange.com/2015/11/30/the-doctor-had-these-advice-for-pm2-5>

Study on the Influence of Suspended Particles (PM2.5) Concentration and Numerical Changes of Meteorological Elements (Take Kaohsiung City Zuoying District as an example)

Ni-en Wu¹, Wen Jun-Qiu², Jia ruu-Liu³, Ching Chin -Lee⁴

¹Tactical Control, Air Traffic Control and Meteorology Department, Air Force Institute of Technology of Military Study, Taiwan

²Air Force Weather United eleventh base Weather Center

³Air Force Weather United second base Weather Center

⁴Tactical Control, Air Traffic Control and Meteorology Department, Air Force Institute of Technology of Military Study, Taiwan

ABSTRACT

Kaohsiung left camp area in the past 20 years due to the rapid development and construction of the huge area on the east side, near the plant day and night emissions of pollutants, coupled with increased population and a large number of steam locomotive driving, resulting in air quality plummeted to become Taiwan several years of statistics in the air One of the most worrying areas of quality, for the reasons for the high concentration of suspended particulates can be divided into human factors, natural factors and foreign factors, studies have pointed out that the temperature, relative humidity, rainfall, wind speed will affect the PM2.5 concentration Change, so this article aims to explore the 2010 to 2016 Kaohsiung left camp PM2.5 and the meteorological factors related. The results show that when the average PM2.5 concentration fluctuates at 11:00 am and 1:00 am, the concentration is the highest at 18:00 pm. In addition, the pollutants emitted by the steam locomotive CO (carbonyl monoxide, Nitrogen oxides, NOX (nitrogen oxides), NMHC (non-methane hydrocarbons) and THC (total hydrocarbons), when their individual concentrations are in the morning and at 8,9 pm Relatively high, leading PM2.5 concentration change 3 to 4 hours. And the PM2.5 concentration is high when the wind speed is weak. When the wind speed is higher than 3m / s, the PM2.5 concentration tends to decrease significantly. When the PM2.5 concentration is higher, the number of days less than 5000M The proportion of the whole month is high, on the contrary, when the PM2.5 concentration at a relatively low point, the visibility of less than 5000M ratio is relatively low. In addition, the PM2.5 concentration was negatively correlated with wind speed, relative humidity, temperature and visibility. In addition, this study did not further validate the PM2.5 pollution incident and the poor visibility of the next day. And subsequent use in the forecast.

Keywords: Fine suspended particles PM2.5, Kaohsiung City Zuoying District, Meteorological factors .

2017 年南瑪都颱風 (Nanmadol) 個案模擬

沈鴻禧 郭淞豪 鍾蕎安

國防大學理工學院環資系

摘要

南瑪都颱風 (2017) 為通過台灣東側海面北行後，受太平洋高壓影響沿其外圍，轉東北登陸日本的個案研究，吳等 (2005) 在投擲陀羅送策略研究時，將此類路徑颱風與侵襲台灣北部颱風歸為一類。本研究主要使用 WRF 3.7 版本，模擬 2017 年 7 月 3 日至 7 月 5 日共 48 小時，成功模擬在颱風通過台灣東側海面後向日本九州前進，併入西風帶西行影響日本地區，南瑪都颱風在日本地區造成相當多處積水，最大降雨可達 516 mm。

在海平面氣壓模擬圖也可以發現，颱風路徑主要受太平洋高壓系統主導，沿著高壓邊緣由台灣東側北上，於日本九州登錄與實際情況相符，從颱風模擬剖面圖可以明顯看到，其對流作用及結構以右側較為旺盛，也因此登陸日本後造成可觀的降水，雖然整個模擬過程，台日海面上觀測資料較陸地少，但比較實際及模擬結果後，模擬結果仍具有相當的可信度。

關鍵字：颱風、模式模擬、洪水

一、前言

南瑪都颱風並未直撲台灣，南瑪都颱風 (2017) 為通過台灣東側海面北行後，受太平洋高壓影響沿其外圍，轉東北方向登陸日本的個案研究。

吳等 (2005) 投擲陀羅送策略研究時，將此類路徑颱風與侵襲台灣北部颱風歸為一類，譬如 2008 年的辛樂克颱風，侵襲台灣北部後，轉向東北往日本方向前進，對預報人員而言，上述兩類颱風係屬同一類型颱風，但在過去 20 年，颱風路徑研究一直是颱風研究的重要議題 (Aberson, 2003; Burpee et al., 1996; Wu et al., 2012; Weissmann et al., 2011; Ito and Wu, 2013; Trahan and Sparling, 2012)；此類路徑受太平洋高壓影響，造成路徑東移未登陸台灣颱風的研究較少。而台灣東部海域，也隨著軍民飛機航行次數增加，此海域的氣象研究，亦顯重要。

南瑪都颱風 (2017) 使得日本降下驚人的雨量，且颱風侵襲日本後，與梅雨鋒面的交互影響，造成洪水氾濫等災情，九州福岡地區於 106 年 7 月 5 日的日累積雨量更是高

達到豪雨等級 516 mm，降雨可謂相當可觀。

過去國內外針對颱風的研究甚多，但發生颱風與梅雨鋒面交互作用的個案較少；若能於颱風通過台灣近海後，依其颱風結構進行初步判斷，分析後進而有效預警，對於可能遇到致災性降雨，先期評估風險，採取有效之風險管控作為，減少災損的發生。

南瑪都颱風在日本九州地區劇烈降水歸納為兩階段：第一階段為颱風主要影響時間 (登陸時) 期間 (7 月 4 日 0000UTC)，於九州長崎登陸，降雨初期主要涵蓋九州地區及四國一帶，受颱風及地形影響造成相當可觀的降雨，颱風移動相當快速，約莫午後離開九州地區。第二階段為颱風過後期間 (7 月 4 日 1500UTC 到 5 日 1500UTC)，九州北部地區有較強對流發展，受颱風影響風向改變，造成不穩地天氣型態，九州地區降下較大雨量，導致成災。

日本氣象廳指出：九州北部的福岡縣朝倉市時雨量超過 110 mm、至下午累積雨量達 332 mm，日總累積雨量為 516 mm，相當大的

雨量集中在短時間內的暴雨，為南瑪都颱風造成災害的降雨特性。

本研究目的：藉由觀測資料的分析與數值模擬結果討論，深入瞭解南瑪都颱風對致災降雨的影響。

本文第一節為前言，第二節以觀測資料做綜觀分析及中尺度分析，第三節簡介所使用之模式及模擬結果討論，最後，第四節為結論與討論。

二、觀測資料中尺度分析

2017 年西北太平洋編號第 3 號颱風南瑪都，7 月 2 日 0000UTC 於關島西北方海面生成，之後向西北方向移動，朝台灣東部沿海靠近，登陸石垣島後北轉朝著日本方向前進，於 7 月 4 日 0000UTC 登陸日本九州長崎。

7 月 2 日 1600UTC 南瑪都最接近台灣地區，零星環流雲系影響宜蘭花蓮一帶，隨後快速北轉遠離台灣，於 7 月 4 日 0000UTC 由日本九州長崎登陸，資料來源為日本氣象廳。

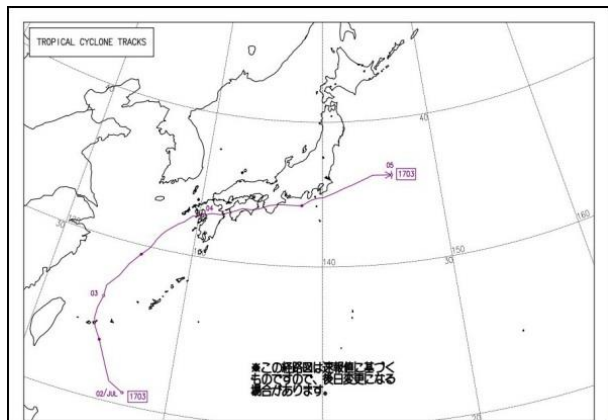


圖1 日本氣象廳公佈的南瑪都颱風路徑圖

圖 2(a)圖表顯示：南瑪都登陸當天在九州北部地區受颱風影響，降下雨量並不多，日累積約 24 mm 左右，而 5 日受鋒面影響於九州北部降下大雨，圖中時雨量超過 60 mm 共有 3 次。

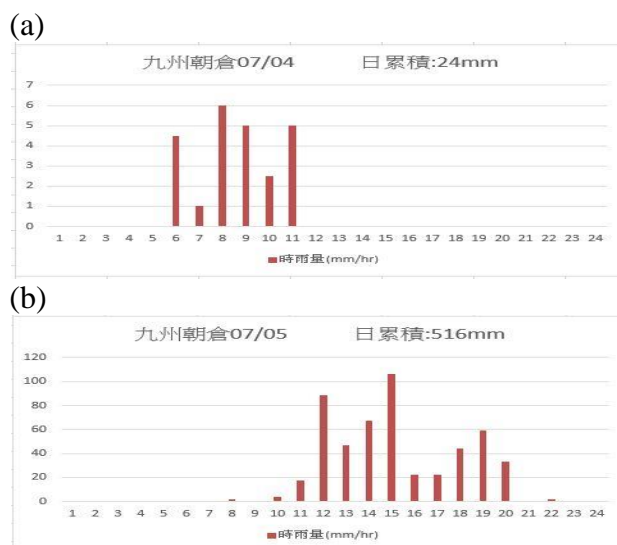


圖2 為日本九州朝倉累積雨量圖(a)7 月 4 日累積雨量圖(b)7 月 5 日累積雨量圖。(圖片來源:日本氣象協會)

圖 3 是日本氣象協會 7 月 4 日及 5 日地面天氣圖，值得注意的是 7 月 4 日颱風侵襲九州可以看見滯留鋒面位於颱風北端，而於 7 月 5 日隨著颱風東移，逆時針環流北方分量加強，鋒面移至九州上空，與地形作用以及颱風引進較暖濕水氣造成其對流發展，是值得注意的部分。日本在過去研究夏季颱風（6 月）與鋒面（Baiu front）交互作用模式模擬 48 小時造成大降雨 Iwasaki, Nakano and Sugi (1987) 的結論有一致性。





圖3 日本氣象協會地面天氣圖(a)為 7 月 4 日 0000UTC(b)為 7 月 5 日 0600UTC

綜觀而言，南瑪都颱風在雨量分佈方面，是一個不對稱的颱風，在颱風前進方向的右邊，是一個雨量較大的分佈。

圖 4(a)為衛星雲圖，顯示 7 月 4 日 05 時，南瑪都颱風位於九州西方海面上，主要的雲系位於颱風右側，到了 7 月 5 日 14 時(圖 4b)，可以看出第二段受梅雨影響的對流於九州北側發展，造成九州嚴重災情。

圖 5(a)為 7 月 4 日 0000UTC 的雷達雨量顯示，颱風中心右側降雨較為劇烈，颱風左側則較弱。

圖 5(b)為 7 月 5 日 0600UTC 的雷達雨量圖，顯示九州北測受鋒面影響，形成大的降雨有明顯的強訊號（即強降雨）分佈。

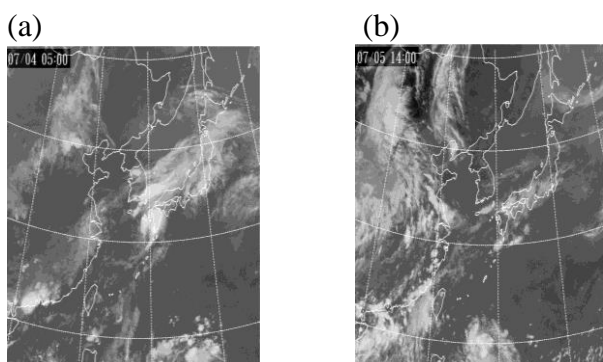


圖4 衛星雲圖(a)4 日 05 時(b)5 日 14 時

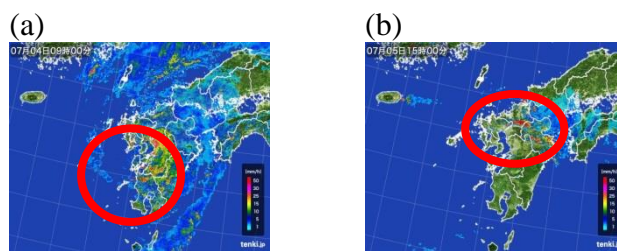


圖5 雷達雨量圖(a)4 日 0000UTC(b)5 日 0600UTC

從圖 6(a) - (d)是利用探空資料，觀測風場，圖 5(a) - (d)為南瑪都颱風通過石垣島附近時，顯示受颱風外圍環流的風力影響。

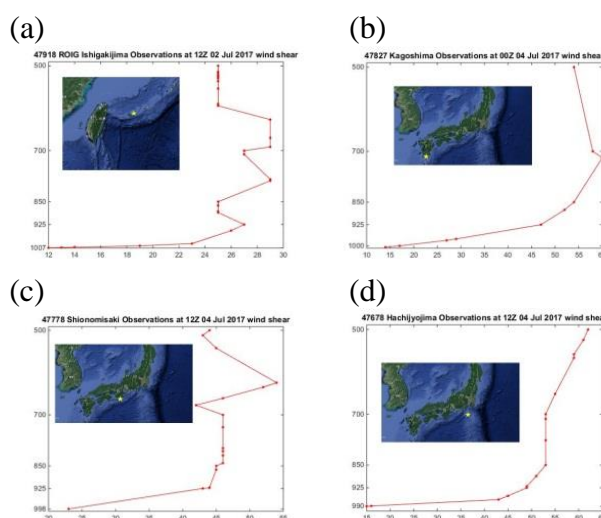


圖6 探空資料觀測風場圖

(a) 2 日 1200 UTC 測站代碼:47918

(b) 4 日 0000 UTC 測站代碼:47827

(c) 4 日 1200 UTC 測站代碼:47778

(d) 4 日 1200 UTC 測站代碼:47678

三、模式模擬

3.1 模式簡介

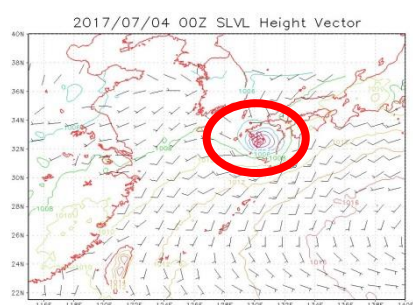
本研究使用 NCEP 提供全球再分析場資料作為分析場，使用 WRF (Weather Research and Forecast model) (Wu et al., 2012)，本研究採用 3.7 版本模擬分析，以每 3 小時為一筆資料做模擬輸出，模擬起始時間為 2017 年 7 月 03 日 1200 UTC，結束時間為 2017 年 7 月 05 日 1200 UTC，共模擬 48 小時，共輸出 16 筆模擬資料。

此個案完整模擬颱風接近台灣陸地後，由東北部地區略過台灣，隨後北上登陸日本過程，另外，降雨方面也成功模擬於日本九州地區降雨量分布情形。

3.2 模擬結果討論

圖 7 為 WRF 模擬之海平面氣壓，可見模擬其颱風路徑及其登陸位置與實際相當，在颱風通過後日本北側風向轉變與南方海域水氣輻合。

(a)



(b)

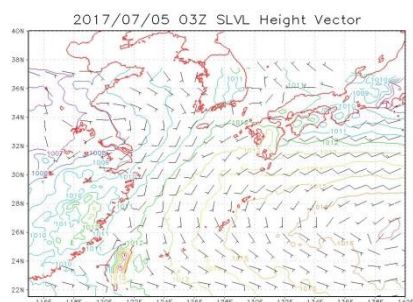
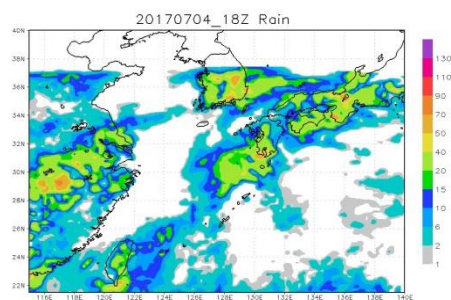


圖 7 模擬海平面氣壓(a)7 月 4 日 0000UTC
(b)7 月 5 日 0300UTC

圖 8 也可見模擬雨量在颱風通過後，九州北側快速增加，顯示颱風過後降雨的影響較為可觀，值得注意。

(a)



(b)

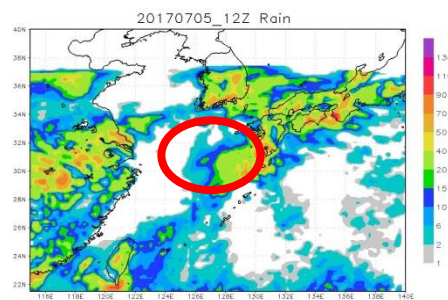
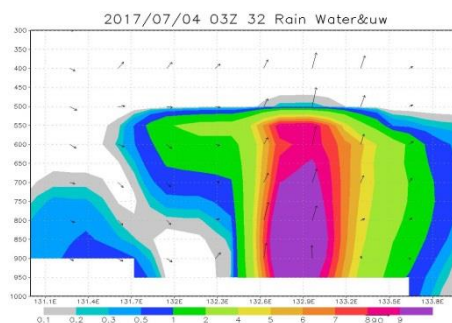


圖 8 模擬累積雨量分布(a)7 月 4 日 1800UTC
(b)7 月 5 日 1200UTC

圖 9(a)可見颱風垂直剖面，以當時颱風中心通過為定位，取 33 度緯度、經度 131 至 134 度，可見其東西兩側結構分布極為不均勻，而圖 9(b)則是模擬颱風過後鋒面對流發展所做的垂直剖面，其為經度 131 度，北緯 32 至 38 度，顯示確實有對流於其當地發展。

(a)



(b)

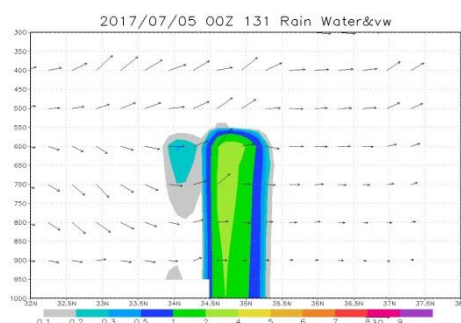


圖 9 模擬颱風剖面圖(a)7 月 4 日 0300UTC
(b)7 月 5 日 0000 UTC

四、結論

2017 年南瑪都颱風雖然沒有直接侵襲台灣，但在日本與鋒面作用後，造成相當可觀的降水及災情，台灣地區也時常遭受鋒面影響，對於鋒面及颱風的交互作用引發的降水，若能完整模擬其降水狀況及相對應的評估，模擬南瑪都颱風 48 小時，得到合理的降雨與風場分佈。

南瑪都颱風雖是輕度颱風，最終卻造成日本九州遭受淹水或土石流的侵襲，甚至撤離萬人以上，而颱風未對當地帶來嚴重的破壞，卻是在後期鋒面影響降下暴雨，這種路徑與鋒面距離接近的颱風，能夠精準預測其路線及結構交互作用，對氣象預報將會是很大的幫助。

五、致謝

感謝指導教授的教導與審查，方能使本篇文章順利完成。

六、參考文獻

- Aberson, S. D., 2003: Targeted observations to improve operational tropical cyclone track forecast guidance". *Mon. Wea. Rev.*, 131, 1613 – 1628.
- Burpee, R. W., J. L. Franklin, S. J. Lord, R. E. Tuleya, and S. D. Aberson, 1996: The impact of Omega dropwindsondes on operational hurricane and track forecast models." *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 925 – 933.
- Ito, K. and Wu, C.C., 2013: Typhoon-Position-Oriented Sensitivity Analysis. Part I: Theory and Verification. *J. Atmos.Sci.*, 70, 2525- 2546.
- Iwasaki,T, H. Nakano and M. Sugi , 1987: The Performance of a Typhoon Track Prediction Model with Cumulus Parameterization. *Meteor. Soc. Japan*, 40, 555-569.
- Mu, M., F. Zhou, and H. Wang, 2009: A method for identifying the sensitive areas in targeted observations for tropical cyclone prediction: Conditional nonlinear optimal perturbation. *Mon.Wea. Rev.*, 137, 1623–1639.
- Trahan, S., and L. Sparling, 2012: An analysis of NCEP Tropical Cyclone Vitals and potential effects on forecasting models. *Wea. Forecasting*, 27, 744–756.
- Weissmann, M., and coauthors, 2011: The influence of assimilating dropsonde data on typhoon track and midlatitude forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, 139, 908–920.
- Wu, C. C. and coauthors, 2005: Dropwindsonde Observations for Typhoon Surveillance near the Taiwan region (DOTSTAR) : an overview, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 787-790.
- Wu, C.C., S.G. Chen, C.C. Yang, P. H. Lin, and S.D. Aberson, 2012 : Potential vorticity diagnosis of the factors affect the track of Typhoon Sinlaku (2008) and the impact from dropwindsonde data during T-PARC. *Mon. Wea. Rev.*,140, 2670-2688.

A numerical model study for heavy rainfall caused by a landing Japan Typhoon Nanmadol(2017)

Horng-Syi Shen, Song-Hao Guo, and Chiao-An Chung

Department of Environmental Information and Engineering, Chung Cheng Institute of Technology,
National Defense University

ABSTRACT

Typhoon Nanmadol (2017) was mainly affected by the Pacific high pressure system. Along the Pacific high pressure edge, this typhoon moved from the east side of Taiwan into Kyushi Japan. The heavy rainfall of this typhoon resulted into many flooded area in Japan. The maximum accumulative rainfall was 516 mm.

This study is conducted by using WRF 3.7 version for 48 hours model simulation analysis. The model started from 0000 UTC July 3 to 0000 UTC July 5, 2017. We successfully simulated the typhoon path which pass from the Pacific ocean near the eastern Taiwan, and finally struck Japan due to the western wind belt. Due to fewer observed data, it was still obviously found from the model results that the convective vertical structures are more vigorous on the right side, and thus cause considerable precipitation after landing Japan.

Keyword : typhoon, model simulation, flood