

## 南海海域雲系與降雨的氣候分析

林博雄 陳維婷

國立臺灣大學大氣科學系

### 摘要

本計畫整理了太平島及東沙島傳統地面觀測、國際通用的氣候數值模式的再分析場 (reanalysis) 網格資料, 以及氣象衛星所反演的南海海域雲系與降雨氣候場, 並分析診斷夏季季風與冬季季風之特徵; 結果顯示南海夏季季風肇始現象, 最常出現在五月第二候(5月11日~5月15日)與五月第四候(5月21日~5月25日), 天氣型態轉換期約長達3候(15天)。夏季季風肇始前後的天氣特徵, 包括南風分量增強、雲系由婆羅洲向北伸展; 夏季季風肇始之後, 北緯20°周遭風場出現顯著輻合現象, 東沙到南沙的南海海域均出現顯著降水。夏半年的南海海域, 降雨區帶狀結構較周圍島嶼陸地完整, 並且雲頂高度偏高(深對流胞)。進入冬半年10月起東沙島轉為東北風, 自11月至隔年1月之間雨帶漸往南推移, 於2月雨帶停滯在8°N以南。比較南海北部以及赤道附近的濕度及風速剖面, 顯示位於兩個區域之間的太平島, 介於中緯度西風區和熱帶東風區的過渡帶。綜合言之, 在2018年YMC (Years of Maritime Continent) 國際聯合密集實驗期間, 有必要在太平島施放氣球無線電探空儀與加強地面氣象觀測之必要, 並做為臺灣在夏季天氣與氣候的南海區域前哨地點。

**關鍵詞:** 季風肇始、太平島、轉換期、YMC、氣球探空

### 一、前言

2015年中國大陸以及東南亞國家, 對於中國大陸於南沙群島永暑礁之建設, 時有國際衝突消息。在多方競逐南海海域諸島主權的國際情勢下, 中華民國在與東南亞國家和平共處為基礎的理念下宣示南海領土主權, 已是我國的重要目標; 在此原則下, 進行南沙與東沙島的太平島與東沙島運補作業, 以及南海週邊重要機場敦睦專案, 已成為空軍的重要任務。另一方面, 南海海域的氣象觀測, 也是了解東亞季風交替與其對大氣環流影響的重要參考資料, 此為即將於2018年開展的「Years of the Maritime Continent (YMC)」國際聯合觀測實驗之重要目標之一。為了維持東沙島現有的國際海洋研究站, 應再補強東沙島以及南沙太平島的大氣

觀測基礎, 以朝向長期性大氣與海洋科學國際研究站之建置發展, 並表達中華民國對南海地區氣候調查關注與氣象資料共享的善意, 同時亦以和平穩定為前提, 表達中華民國維護領土主權的堅定立場, 故進行此先期研究計畫, 了解該海域氣候特性, 並進一步建立於南海海域日常天氣預報作業流程, 實有其必要。

### 二、研究目的

相對於臺灣本島及環南海陸地區域, 南海海域一則因長期系統性天氣觀測之缺乏, 統計特性不易獲得, 二則因數值模式對熱帶地區雲系及降雨之可預報度偏低, 導致該區域天氣預報的可參考資料相對有限。因此, 對任務支援的天氣預報作業而言, 空軍氣象聯隊

有必要建立一套專屬南海海域的天氣預報與守視作業流程，以確保定期任務執行成功率及安全性。在此前提之下，本計畫目標乃是建立南海海域雲系與降雨氣候認知與分析，尤其是氣象衛星遙測的反演資料已累積多年，因此本研究最主要之目的，是以衛星遙測所反演之降水與雲量資料，針對冬季季風和夏季季風建立前後，在南海地區的雲系特徵進行統計分析。此外，南海海域雲系與降雨的氣候分析之建立，也能呼應2018年的「Years of the Maritime Continent (YMC)」國際聯合觀測實驗，加強國際間認同臺灣在南海科學研究的貢獻。

### 三、文獻探討

南海是一橫跨約15個緯度的低緯度半封閉海域，季風及熱帶系統經年交替影響；冬季西伯利亞南下之冷高壓，與自赤道北上之潮濕氣流在南海匯集產生交互作用，夏季熱帶季內擾動系統導引西南氣流通過南海，進而對臺灣產生極端降雨。Chang et al. (2005) 指出南海海域的雲系和降雨特徵，與30~60天週期的季內震盪 (Intra-seasonal oscillation) 及 Madden-Julian oscillation (MJO) 相關。此外，亞洲夏季季風建立前夕，南海地區低層風場是以東風為主，太平洋高壓向西延伸抑制南海北部對流的發展，此一時段降雨現象集中在北緯12度以南，日降雨量約在2 mm (day)<sup>-1</sup> 至5 mm (day)<sup>-1</sup>。當夏季季風建立後，低層風場轉為西南風，太平洋高壓向東衰退，ITCZ (間熱帶輻合區) 降雨帶北移，日雨量可達8 mm (day)<sup>-1</sup>。

以上氣候特性顯示南海北部 (包括東沙島) 以及南海南部 (鄰近太平島) 在夏季季風轉換期的降雨特徵並不相同 (Ciesielski and Johnson, 2006)，並且該地區具備多重時間與空間尺度的大氣訊號交錯，其動力背景複雜程度並不亞於中緯度地區。

此外，位於南海海域的雲系組織，也受到週邊島嶼/陸地 (如婆羅洲、中南半島等) 影響，具

有日夜變化特性。南海地區降雨的日夜變化 (diurnal cycle) 以中國南岸、菲律賓西岸與婆羅洲沿岸較為明顯，陸地上的對流胞大多發生在傍晚至深夜 (1700~0200 LST)，清晨 (0500 LST) 隨著陸風與低層西風風場的輻合，對流系統開始在近海岸發展，降雨量於0800 LST 左右達到巔峰，同時對流系統向海面移動，並漸漸成熟消散。

### 四、研究方法

建立南海海域的日常天氣預報作業流程並非一蹴可幾，卻具有特殊前瞻性質；2018年前後期間，全球大氣海洋科學界擬在印尼與南海區域舉行國際型聯合觀測研究計畫「Years of the Maritime Continent (YMC)」，正好應證南海天氣與氣候背景的複雜度以及重要性。關於此一區域的大氣環境調查，由於過去在南沙群島 (太平島) 的氣象觀測，經常是以任務導向方式進行，並未有完整連續資料可供分析，所能提供的訊息有限；而歷史資料較完整且觀測能量相對較高的東沙島，在地理位置上偏北並且距離南沙太平島尚有1000公里之遙，也因此難以透過外延來預報。計畫的工作項目包括 (1) 了解南海海域的雲系/降雨氣候特徵開始，並 (2) 配合規劃適合當地特殊地理與行政環境的長期觀測測略，來為日後臺灣對於南海區域數值模式發展、校驗與應用建立認知上的基礎。本計畫採行的研究方法包括：

(一) 整理有限的傳統地面氣象觀測歷史資料，並透過衛星反演 (如雲頂亮度溫度、降水估計) 資料來分析當地雲系與降雨變化之週期，並建立雲系/降雨變化與各種尺度背景條件的相關性，以便未來在執行重要任務天氣預報決策制定之前，能作為穩固的氣候背景知識。本計畫執行期間，總共收集了以下資料加以整理分析：

- 空軍氣象聯隊2006~2015年東沙島和2008~2015年太平島電碼資料 (轉置成MySQL資料庫)。
- 海軍大氣海洋局2004~2015東沙島 (風花園如圖1) 和2005~2015年太平島等各年度年

報統計表 (風花園如圖2)。

- 氣象局2015年東沙島地面與氣球無線電探空資料。
- 中山大學東沙國際海洋研究站 (DARS) 2011/9~2013/10的6分鐘氣象觀測資料 (風花園如圖3)。
- ECMWF 1979~2015年的ERA-Interim re-analysis 網格資料。
- 美國University of Wyoming 網站無線電探空 (radiosonde) 電碼資料。
- 美國Aqua (2002年7月4日到2015年11月26日) 與TRMM (1998年到2015年) 反演資料等。這兩份資料結合彙整出東經100~130度、南緯5~北緯25度空間範圍 (大南海區域)，在2003~2014年期間的春季 (3~5月)、夏季 (6~8月)、秋季 (9~11月) 以及冬季 (12~2月) 的地面風場以及雲/降雨資料在的氣候分析圖，東沙島以及太平島空間地理位置也標示其中 (圖4~圖7)。

(二) 考慮在島嶼有限的人、物力資源下，運用或調整現有空軍氣象聯隊 AWOS，配合其它經評估可行的觀測設備，協助軍方在最經濟的資源運用條件下，建立最合適有效的觀測能量，以建立日後可作為驗證例行性數值預報可信度之基礎。

### 五、結果與討論 (含結論與建議)

#### (一) 夏季季風肇始

藉由 Wang et al. (2004) 方法定義出亞洲東部的夏季季風肇始 (onset) 時段；在1998~2015期間，最早進入 onset 的年代是2012年四月最後一候 (4/26~4/30)，最晚進入 onset 則是2013年與2014年的六月第一候 (6/1~6/5)；肇始發生的中值時段是五月第二候 (5/11~5/15) 與五月第四候 (5/21~5/25)。Aqua 與 TRMM 的反演資料合成圖 (圖8) 顯示了夏季季風 onset 之前到 onset 之後，15天內的南風分量增強、雲系由婆羅洲向北伸展，而季風 onset 後於20°N 附近，風場出現顯著輻合，造成包含東沙、南沙在內的南海海域均出現顯著降

水。此外，透過南海海域內4處氣球無線電探空 (balloon radio sounding) 測站 (WMO 站碼46810 臺灣東沙島、WMO 站碼59981 中國西沙島、WMO 站碼96471 馬來西亞亞庇、WMO 站碼96147 印尼廖內，圖9) 的資料分析，顯示在季風 onset 前後，僅有東沙島的風速與相對濕度於低層大氣有增加趨勢，其他三處測站的變動則並不顯著。

#### (二) 夏半年環流特徵

南海地區於夏半年 (5~10月) 之月平均雨量 (圖10) 顯示，因季風肇始時間多為5月，因此5月份海面雨量少於陸地，婆羅洲內陸降雨量相對顯著；6~9月期間降雨區由南海5~10°N 向東北方向橫跨南海海域延伸到呂宋島，降雨強度與帶狀結構在7~8月特別完整。風場顯著特徵則是南海大部分區域自6月起西南風風速突然增強，但是到了9月巴士海峽與東沙島風速開始減弱，並在10月立刻轉變成東北風系。南海海域內的四處探空測站在5~10月的月平均探空，亦出現類似季風肇始前後的濕濕結構特徵，即東沙島在900 hPa 高度以下的相對濕度在6月起升高，但其他3站並無此現象；此一結果凸顯了 YMC 實驗期間甚至常態作業，在太平島 (介於東沙與其他三處氣象測站之間) 增加探空施放的重要性。

#### (三) 冬半年環流特徵

南海地區於冬半年 (11~4月) 之月平均雨量 (圖11) 顯示，降雨區由越南海岸、中沙島海域和呂宋島東岸 (15°N 附近)，自11月到隔年1月逐漸往南推移，2月之後南沙海域也進入乾季，降雨區就停滯在8°N 以南。在冬季東北風建立後，島嶼內及近岸陸地降雨較海面顯著之特徵又再出現。此與加勒比海島嶼 Barbados (13°N) 附近，受間熱帶輻合區 (ITCZ, Intertropical Convergence Zone; Stevens et al., 2016) 影響而具有顯著乾濕兩季特徵相似，相信位處南海正中地理位置的太平島，更能觀察到南海海域的 ITCZ 冬夏南北推移的過程現象與細節。

南海4站氣球無線電探空測站在11~4月的月平均探空剖面顯示，位於較接近赤道的亞庇 (96147) 與廖內 (96471)，與位於南海北部的西沙

(59981)與東沙(46810)，在冬半年有著截然不同的結構特性。在相對濕度垂直剖面結構方面，大約 900 hPa 高度以上前者明顯高於後者(圖 12)；在風向剖面結構方面，前者幾乎均為厚實的偏東風，但後者僅於低層為東北風，並且在 900 hPa 高度以上迅速轉為西風(圖 13)。這些探空剖面特徵分析顯示，南沙太平洋島冬半年的大氣剖面特徵應是中高緯西風區和熱帶東風區的過渡帶。

(四) 強烈冬季風暴發前後環流特徵

本計畫引用 Li and Yang (2010) 的東亞冬季季風 (East Asian winter monsoon, 簡稱 EAWM) 動力指標 (IEAWM)，其定義如下：

$$IEAWM = \frac{\left[ \left( U_{500}^{(80-35^{\circ}N/90-160^{\circ}E)} - U_{500}^{(30-60^{\circ}N/10-170^{\circ}E)} \right)^2 + \left( U_{500}^{(30-35^{\circ}N/90-160^{\circ}E)} - U_{500}^{(5^{\circ}S-10^{\circ}N/90-160^{\circ}E)} \right)^2 \right]^{1/2}}$$

當決定了 EASM 冬季季風的發生時間區段之後，本計畫以 2011 年代表偏強的冬季季風年樣本，來說明當時的南海海域的大氣條件。2011 年 12 月 13 日前後 15 天(圖 14)，包含冬季季風「強烈前 (pre-strong)」、「強烈當時 (strong)」以及「強烈後 (post-strong)」每一時段的五天平均；南海冬季季風強烈前五天，北風分量顯著、雨量及雲量雲厚由北往南遞減，東沙島的雲雨天氣轉變甚於南沙太平洋島。較特殊的環流特徵是婆羅洲西北海域南沙太平洋島周圍，在 2011 年偏強冬季風發生前五天，低層大氣有顯著的氣旋環流，太平洋島吹拂東南-東風以及降水，一旦該氣旋環流消失後，該區域轉變為東北風和無雨天氣。

(五) 結論與建議

本計畫目標包括：(1)整理東沙島與太平洋島過去地面氣象觀測資料，(2)分析國際通用的氣候數值模式的再分析場 (re-analysis) 網絡產品，及(3)氣象衛星所反演的南海海域雲系與降雨氣候特徵，全案分為四季進度完成，其中的第一項氣候資料整理是未來在推動新南向國家政策與科學研究的重要基礎訊息(表 1)。結合衛星以及氣候數值模式的網絡資料則再進一步獲得以下結果：

(1) 在 1998~2015 期間，南海夏季季風之肇始，中值時段為五月第二候(5/11 ~ 5/15) 與五月第四候(5/21 ~ 5/25)；自肇始之前至肇始之

後，南風分量增強、雲系由婆羅洲向北伸展，當季風肇始之後，於 20°N 附近，風場出現顯著輻合，造成包含東沙、南沙在內的南海海域均出現顯著降水。

- (2) 夏半年南海海域的降雨區帶狀結構較周圍島嶼陸地完整，雲頂高度最高，此特徵尤其在 7、8 兩月最顯著，9 月起東沙島風速減弱，10 月轉為東北風；進入冬半年後，自 11 月至隔年 1 月之間降雨區漸往南推移，於 2 月降雨區已停滯在 8°N 以南。
- (3) 南海海域南北跨越 20 個緯度以上，比較南海北部及接近赤道的濕度及風速剖面，顯示位於南海南北兩個區域之間的太平洋島，介於中高緯西風區和熱帶東風區的過渡帶。

科技部自 2011 年在東沙島建置國際研究站 (DARS, The Dongsha Atoll Research Station)，未來預定在 2018 年前後推動南沙太平洋島國際性科學研究站建置，這一構想將與臺灣大學大氣科學系的整合型研究計畫「南海-海洋大陸氣候系統的對流與多尺度震盪」搭配，透過 2018 年 YMC 國際聯合觀測實驗，突顯南沙太平洋島的科學重要空間特色與地位。本計畫回顧檢視南海區域(涵蓋東沙與南沙群島)天氣氣候的風場雲系與降水等特徵，可做為國防與科技在南海建設與探索的基礎訊息。

六、參考文獻

Chang, C. P. Chang, P. A. Harr, and H-J. Chen, 2005: Synoptic disturbances over the equatorial South China Sea and Western Maritime Continent during boreal winter. *Mon. Wea. Rev.*, **133**, 489–503.

Li, Y. and Yang S.,2010:A Dynamical Index for the East Asian Winter Monsoon. *J. Climate* **23**, 4255–4262.

Ciesielski P. E. and R. H. Johnson, 2006: Contrasting characteristics of convection over the northern and southern South China Sea during SCSMEX. *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 1041–1062.

Stevens, B., D. Farrell, L. Hirsch, F. Jansen, L. Nuijens, I. Serikov, B. Brüggmann, M. Forde, H.

Linne, K. Lonitz and Joseph M., 2016:The Barbados Cloud Observatory. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* **97**, 787-801.

Wang, B., Lin, H., Zhang, Y.S., Lu, M.-M., 2004. Definition of South China Sea monsoon onset and commencement of the East Asia summer monsoon. *J. Climate* **17**, 699–710.

表 1. 本季所蒐集之東沙國際海洋研究站、空軍氣象聯隊以及海軍大氣海洋局之東沙與南沙太平洋島之氣象觀測資料列表。

資料來源	空軍		海軍		DARS
	東沙	太平	東沙	太平	
觀測地點	東沙	太平	東沙	太平	東沙
時間長度	2006~2015	2008~2015	2004~2015	2005~2015	2012
時間解析度	不定 (依任務需求人工測報)		每月 (報表形式)		每六分鐘 (自動觀測)
參數種類	氣溫、露點 風向、風速、陣風 能見度、跑道視程 天氣狀況、雲量 測站氣壓(或 QNH)		以下參數之平均、極值、發生時間等統計資訊： 氣壓、氣溫、降水、相對溼度、風、能見度、雲量、天空狀況及天氣現象		氣壓、氣溫、降水、相對溼度、風向、風速

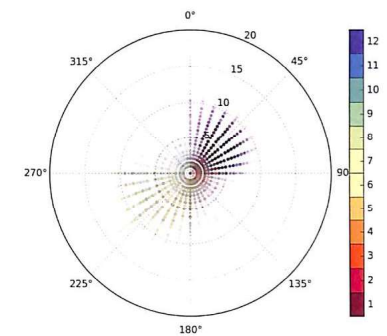


圖 2. 2008~2015 年海軍大氣海洋局觀測之東沙島風花圖。

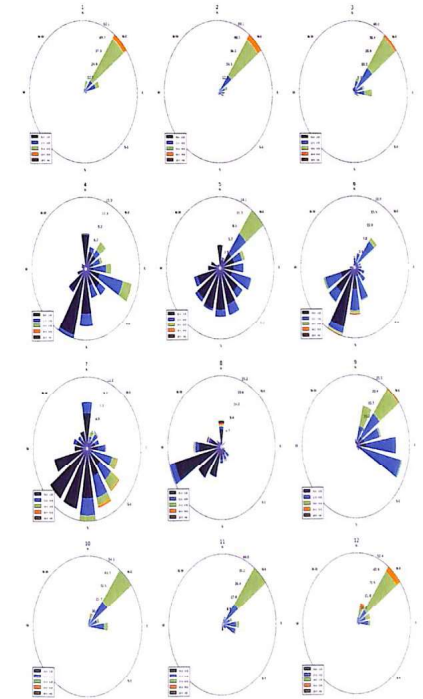


圖 3. 2011~2013 年科技部東沙國際研究站逐月風花圖。

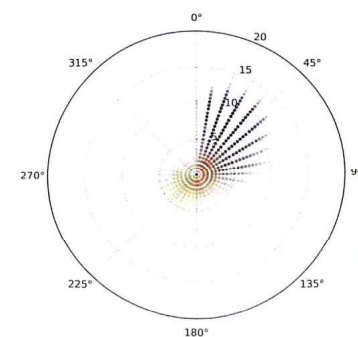


圖 1. 2006~2015 年海軍大氣海洋局觀測之東沙島風花圖。

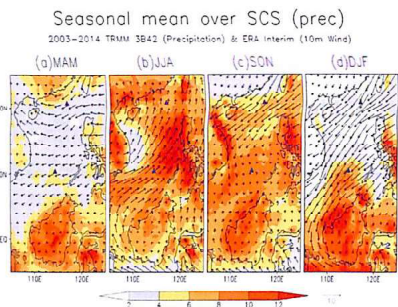


圖 4. 2003~2014 年 TRMM 日降雨量與地面(10m)風場，從左到右分別是春夏秋冬等四季。

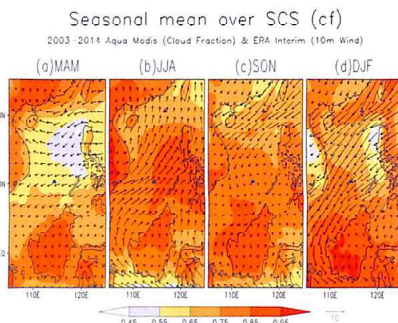


圖 5. 2003~2014 年 AQUA/MODIS 雲量與地面(10m)風場，從左到右分別是春夏秋冬等四季。

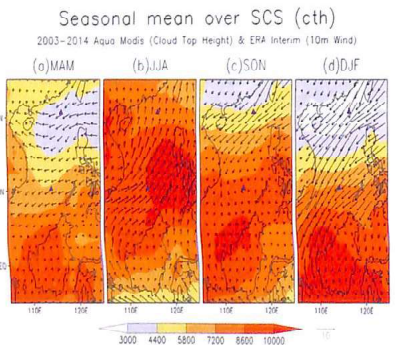


圖 6. 2003~2014 年 AQUA/MODIS 雲高與地面(10m)風場，從左到右分別是春夏秋冬等四季。

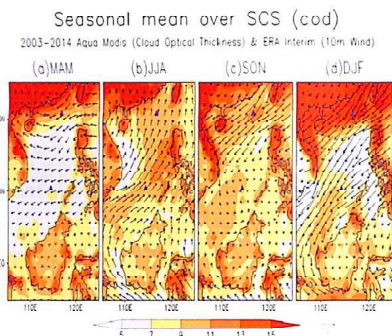


圖 7. 2003~2014 年 AQUA/MODIS 雲光學厚度與地面(10m)風場，從左到右分別是春夏秋冬等四季。

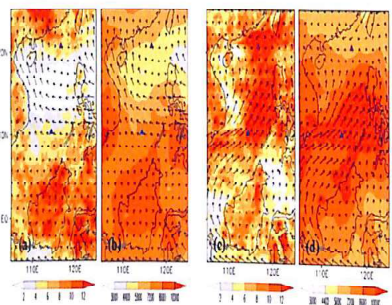


圖 8. 夏季季風筆始前之(a)平均日雨量(b)平均雲頂高度，及季風筆始後之(c)平均日雨量(d)平均雲頂高度。



圖 9. 本計畫所分析之南海四處探空測站(見內文)地理位置。

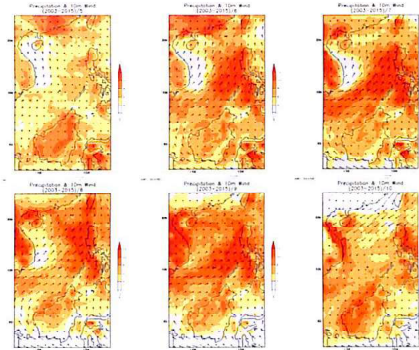


圖 10. 2003~2015 年期間平均之 5~10 月份(上、下排由左至右分別為 5 至 7 月及 8 至 10 月)各月份 TRMM 雨量(色階, mm/day)與 10 m 高度風場 (m/sec)。

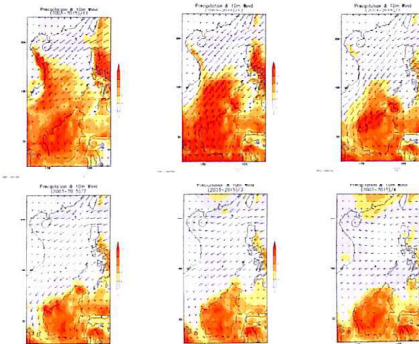


圖 11. 2003~2015 年期間平均之 11~4 月份(上、下排由左至右分別為 12 至 1 月及 2 至 4 月)各月份 TRMM 雨量(色階, mm/day)與 10 m 高度風場 (m/sec)。

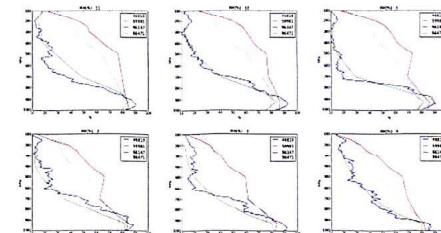


圖 12. 2003~2015 年期間平均之 11~4 月份(上、下排由左至右分別為 12 至 1 月及 2 至 4 月)各月份相對濕度(%, 橫軸)剖面 (hPa, 縱軸)。

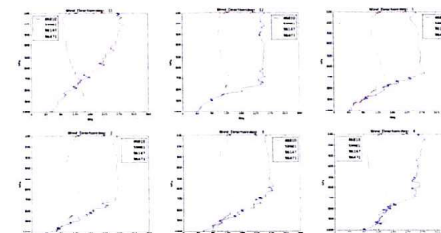


圖 13. 2003~2015 年期間平均之 11~4 月份(上、下排由左至右分別為 12 至 1 月及 2 至 4 月)各月份風向(度, 橫軸)剖面 (hPa, 縱軸)。

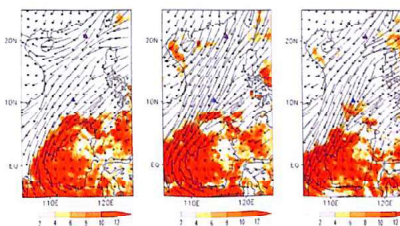


圖 14. 2011 年 12 月 13 日前後 15 天(由左至右分別為強烈前、強烈當時及強烈後)於 100~130°E、5°S~25°N 空間範圍內的 TRMM 雨量(色階, mm/day)與 850 hPa 風矢量。

## Climatic Analysis of Clouds and Rainfall in South China Sea

Po-Hsiung Lin    Wei-Ting Chen

Department of Atmospheric Science, National Taiwan University

### ABSTRACT

This project collects and analyzes the climatic status, summer and winter moons at South China Sea region through traditional ground meteorological observation at Taiping and Dongsha Island, the reanalysis grid data of climate models and the characteristics of clouds and precipitation retrieved by meteorological satellite. The results show that the onset of summer monsoon in South China Sea occurred most frequently in the second and the fourth pentad. During the 3-pentad transition period of summer monsoon, the southerly component increased and the organized cloud system extended northward from Borneo. After the onset of summer monsoon, significant convergence happens along about 20 °N and has significant precipitation in the South China covering Dongsha and Nansha. During summer warm season, the band structure of the rain zone with higher cloud top (deep convective cell) is more complete than that of surrounding islands. The wind field changes to northeast in October at Dongsha Island. The rainfall zone also moves southward gradually from November to January and keeps stationary at south of 8 °N. By comparing the humidity and wind vertical profiles at northern South China Sea and the equator, it shows Taiping Island locating in the transition zone between mid-latitude westerlies and tropical easterlies. So the radiosonde balloon sounding and intensive ground observations at Taiping Island are critical during YMC (Years of Maritime Continent) 2018 field experiment. It also plays the role for improving summer weather/climate forecast for Taiwan.

**Key words :** monsoon onset, Taiping Island, transition zone, YMC, balloon sounding