

南海—海洋大陸區對流與大尺度環流交互作用： 2016 冬季風預實驗

林博雄¹ 楊穎堅² 劉清煌³ 徐世裴¹ 楊菁華³
吳靜軒¹ 游政谷¹ 詹森² 隋中興^{1*}

¹國立台灣大學大氣科學系

²國立台灣大學海洋研究所

³中國文化大學大氣科學系

(中華民國一〇五年十二月三十日收稿；中華民國一〇六年一月十六日定稿)

摘 要

為推動南海區大氣、海洋科學研究，並配合國際“海洋大陸年”計畫，大氣學界正執行「南海—海洋大陸區對流與大尺度環流交互作用」整合計畫。本文介紹該計畫的科學背景、緣起、總計畫及八個子計畫的科學議題與做法，以及所有研究項目在雲雨過程、大尺度動力過程、觀測實驗三大面向下的彼此密切連結。其中觀測實驗主要是在太平、東沙兩島的延伸與密集觀測，南海的船測與衛星觀測，因此我們取名為南海雙島季風實驗(The South China Sea Two-Island Monsoon Experiment, SCSTIMX)。為確實執行雙島觀測，計畫設計了兩次預實驗進行人員訓練、設備運送與操作的準備。第一次預實驗已於 2016 年 12 月 11~21 日海研一號(RV OR1)第 1156 航次往返太平島完成。觀測期間正處於 2015 年冬季聖嬰事件暖相位之後的反聖嬰相位，赤道中東太平洋海溫較氣候平均值冷 0.5~2°C。因此本次預實驗的重點是在反聖嬰冬季氣候背景下，南海區日循環至季內尺度大氣海洋聯合觀測。文中簡介利用及時監測氣候背景與高頻天氣氣候擾動的方法，分析實驗期間 Outgoing Longwave Radiation (OLR)的氣候背景、低頻(年際以上)、高頻(季內)分量，並結合 NCEP FNL 同化資料(風、壓力、溫度、水氣)，雙島地面觀測、船上施放探空等資料進行初步的綜觀天氣分析。結果顯示反聖嬰的背景提供海洋大陸區及鄰近的暖池區更多的濕靜能。伴隨此背景，實驗期間南海、西北太平洋暖池區有較旺盛的季內與天氣尺度擾動。整合計畫團隊將繼續透過分析與模擬，深入探討動力與對流多尺度交互作用的過程、及對預報的影響。

關鍵字：南海雙島季風實驗、海洋大陸年、對流與大尺度環流交互作用、冬季風

*通訊作者：隋中興 sui@as.ntu.edu.tw

一、科學背景

南海(South China Sea, SCS)和海洋大陸(Maritime Continent, MC)連結印度洋和太平洋暖池,是北印度洋夏季風通往東亞、西北太平洋,以及東亞冬季風流向澳大利亞的水氣通道。由於其特殊的地理位置與海陸分布,SCS-MC區域的對流與經向沃克環流和區域哈德利環流緊密互動,具有明顯的日夜循環、天氣尺度、準雙週、30~60天震盪,以及獨特的季風氣候時空變異。後者包括下列特徵:(1)東亞、西北太平洋春末夏初的季節轉換,肇始於南海季風的建立;(2)南北半球冬季風和熱帶地區最強의交互作用發生在SCS-MC(圖1);(3)SCS-MC的夏季和冬季季風降雨形態,及其在季節轉換的非對稱性(圖2)。此外MC及其鄰近的赤道印度洋-太平洋暖池區的對流和近地面風場,可以激發熱帶大氣、海洋波動影響年際和年代際震盪(Sui et al. 2007; Liu and Sui 2014; Chen et al. 2015, 2016)。參閱 Wang et al. (2009)及 Chang et al. (2015)分別對南海及海洋大陸多尺度氣候變異的回顧。

除了南海海氣交互作用對區域氣候及季風變動的重要性之外,南海也是西太平洋海水通往印度洋的通道之一,西太平洋海水通往印度洋形成的“穿越流”(Indonesian Throughflow)對印度洋環流及季風有相當程度的調控作用,印度洋季風的變動則可能會再回饋到東亞季風系統(e.g., Gordon 2005; Sprintall et al. 2014)。而我們對南海環流、中尺度渦旋和海氣通量等這些可能控制穿越流及季風的海洋因子的了解,遠不及對臺灣周邊海域海洋現象(如:黑潮、臺灣海峽洋流、颱風下之海氣交互作用等)的了解,因此本計畫也是帶動我國學界往南海海洋學研究,並整合我國大氣與

海洋跨領域合作探測之最佳契機。

此外南海為近年國際間爭相發掘天然資源之處,在開闊海域之作業,必須對重大影響性天氣(如豪雨、颱風)與海象(巨浪、內波)採取預警措施,因此,南海區海氣象的研究,除了學術價值的回報(如提升海氣象預報的可靠性),更有極大的災害預警、生命安全防範、資源開發等價值(如保障漁民、海巡人員、探勘與研究人員之作業)。而南海區的對流與水氣過程也對台灣及周遭區域的天氣氣候有重要的影響。就像冬季SCS-MC區域的對流與西伯利亞高壓的互動與演變影響寒潮發生的頻率與強度,對台灣民生、農漁業產生重大的影響。譬如2008年1月24日至2月13日期間持續寒潮導致大陸沿岸流南下入侵至澎湖海域(Chang et al. 2009),造成養殖漁業損失金額上億(Hsieh et al. 2008)。而夏季南海潮濕的西南季風是台灣及周遭區域強降雨事件(中尺度對流胞、熱帶風暴)重要的水氣源,直接影響台灣的水資源管理與災害防治。以2009年8月7日至9日期間侵台的莫拉克颱風為例,因同時伴隨西南季風內10~30天波動疊加40~50天震盪的大尺度氣旋環流,源源不絕的水氣供應在南台灣造成破紀錄雨量以及近700人死於泥石流的災害(Hong et al. 2010)。

由於上述天氣氣候對台灣的重要影響,南海與鄰近的西太平洋暖池上的大氣動力與物理過程一直是國內大氣學界的重要研究議題,行政院國家科學委員會(以下簡稱國科會)早在1979年就支持由世界氣象組織(WMO)以及國際科學理事會(ICSU)所籌辦的季風實驗,於該年1~2月在南海進行冬季風觀測實驗(Winter MONEX)。該實驗的觀測範圍及探空站的分配如圖3所示。之後在國科會及各界支持下,陸續進行過一系列的實驗:

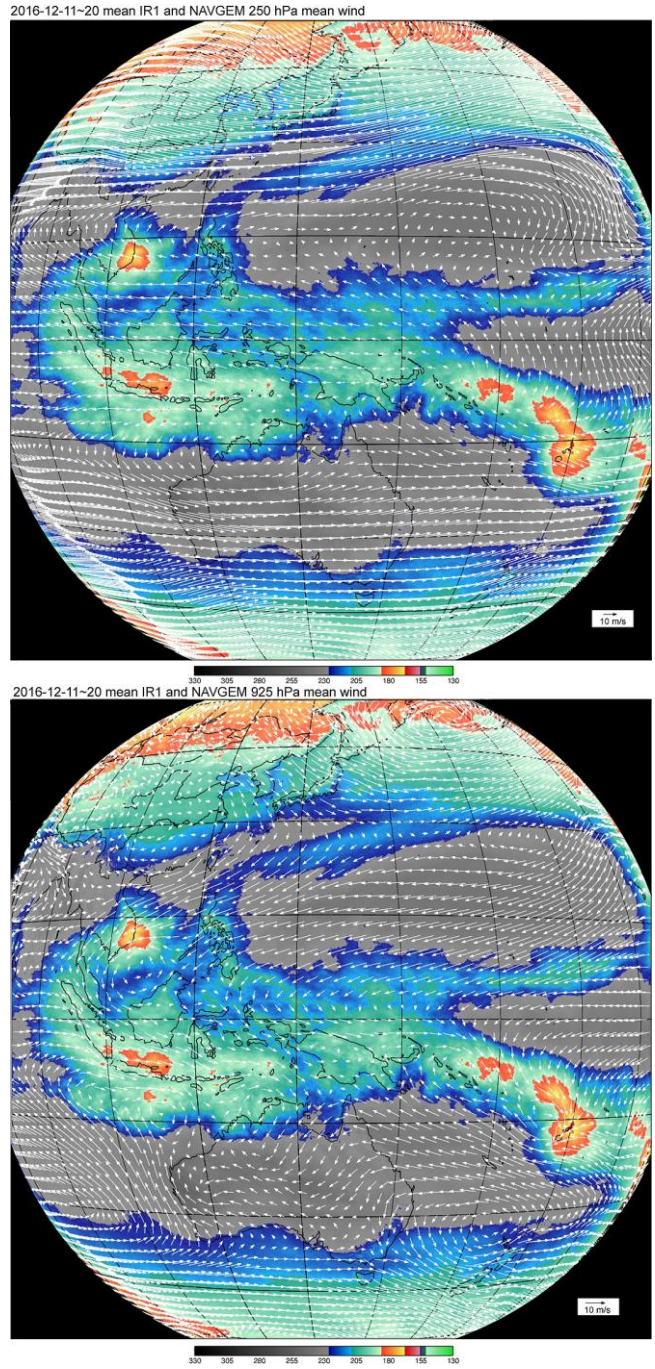


圖 1 2016 年 12 月 11~20 日的旬平均高層 (250hPa, 上圖) 及低層 (925hPa, 下圖) 風場及日本 HIMAWARI 衛星 IR1 (波長 10.4 μm) 亮溫 (每個像素位置 10 天 \times 24 個時測值平均, 用以代表對流活動)。風場為 The Naval Global Environmental Model (NAVGEM) 0.5 \times 0.5 資料。主要特徵包括熱帶 (南北緯 15 度內) 南海—海洋大陸區旺盛對流活動伴隨低層赤道對稱的熱帶印度洋南北雙氣旋及西太平洋南北兩個反氣旋環流, 以及高層反位向的輻散環流。熱帶上升至高對流層的反氣旋環流在北印度洋上空與副熱帶噴流會合形成東亞冬季風環流系統, 顯示強烈的中緯度與熱帶交互作用的特性。此外西太平洋暖池區顯示南北非對稱結構: 南太平洋輻合帶的對流與斜壓環流, 以及赤道以北的副熱帶正壓反氣旋環流。這是南半球夏季環流的氣候特徵。

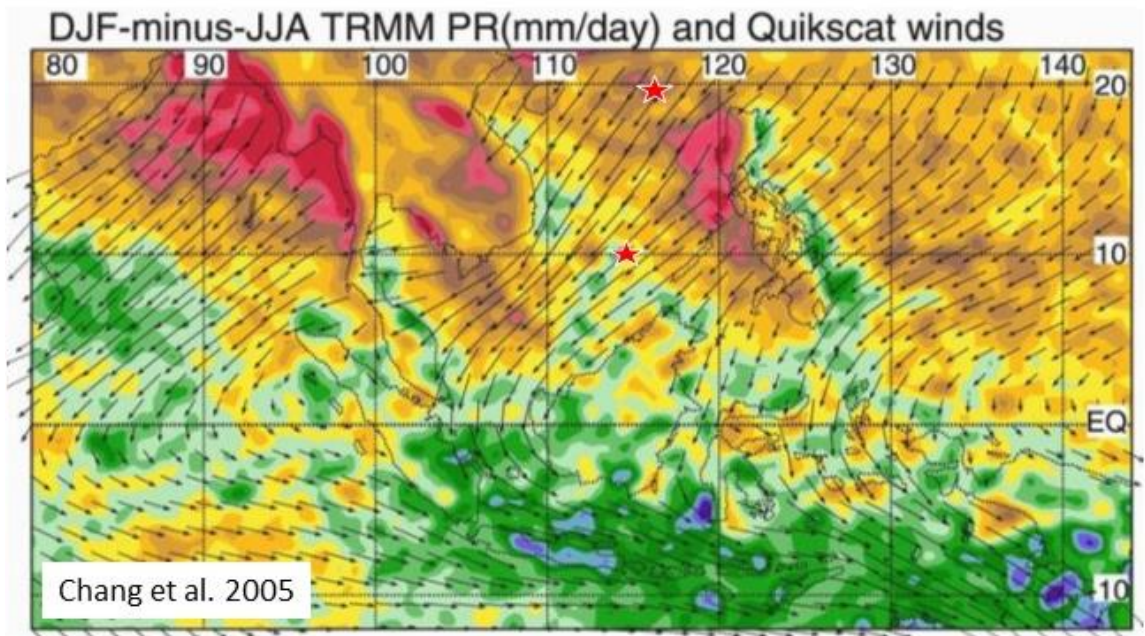


圖 2 降雨(TRMM PR)與風場(QuikSCAT)的冬夏季差異(DJF-JJA)。暖色顯示北半球夏季風區域而冷色是冬季風區域 (摘自張智北等 2005 年)。圖中東沙島與太平島以星號標示。

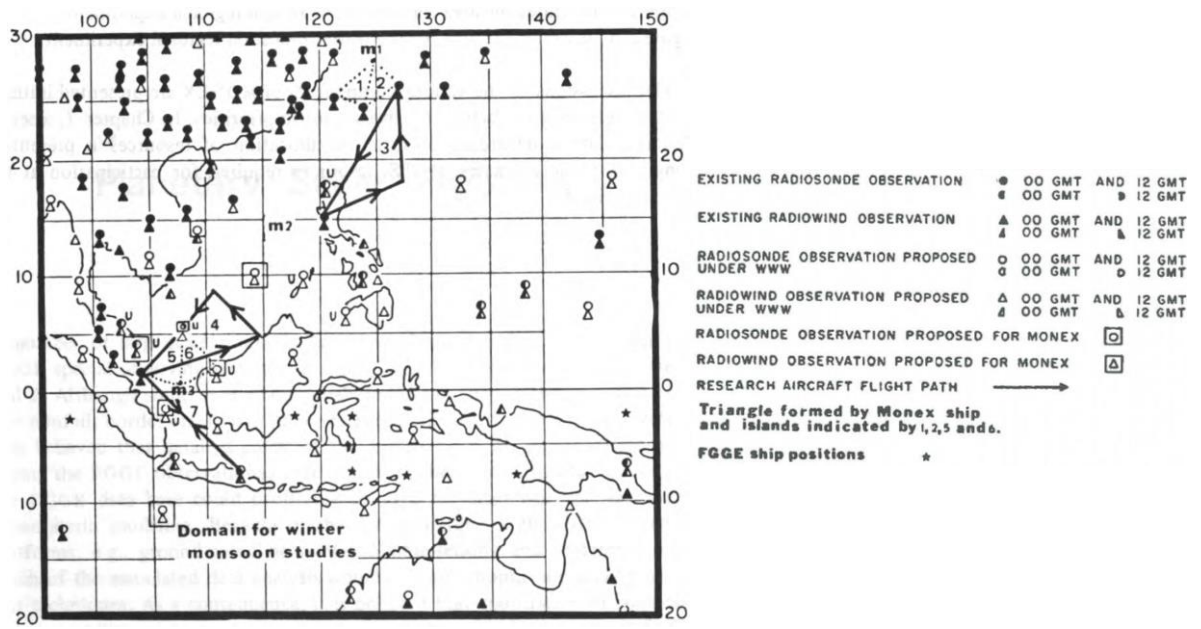


圖 3 1979 年 1~2 月冬季風實驗區域 F 與其中的測站規劃[Monsoon Experiment Panel. (1977). Fig.2.6]。

TAMEX, SCSMEX, DOTSTAR, SoWMEX/TIMREX，觀測在台灣及南海區域內的熱帶氣旋和 MCS 在梅雨鋒面和西南季風內的發展和演變，及其與地形和季風爆發的相互作用。這些實驗的研究議題、實驗區域及時間、特色等請參閱表 1。

透過這一系列觀測實驗，國內學界與政府單位在中尺度和災害性天氣的觀測與診斷分析、數值模式模擬與預報方面已經建立了紮實的基礎，建立國際競爭力。目前國際學界正在組織“海洋大陸年”(Years of the Maritime Continent)觀測研究計畫，鑑於台灣上述的實力，積極邀請台灣參與。其科學目標是“透過海洋大陸(地球上最大群島)區的觀測，增進對此區天氣—氣候變化的了解和其對全球的影響”。此計畫觀測時間將涵蓋 2017 年 8 月至 2019 年 7 月。對流過程相關科學議題包括海陸分布導致對流的日夜變化(激發、傳播、成長)機制；日夜變化在海面、陸面、島嶼的對比及其受大尺度環流(季內震盪，季風)的影響；日夜變化與 MCS 在海面的演變及其對季內震盪通過 MC 的影響；寒潮在 MC 和東亞冬季風之間的相互作用。詳細內容請參閱隋(2016)以及 YMC 的科學計畫書：http://www.jamstec.go.jp/ymc/docs/YMC_SciencePlan_v2.pdf

二、整合計畫與觀測實驗

上述國際“海洋大陸年”計畫與台灣學界的主要研究密切相關，特別是延伸天氣至季內尺度的天氣氣候演變的觀測與模擬，既具重要學術研究價值，也是改進預報的必要基礎。因此學界提出整合計畫「南海—海洋大陸區對流與大尺度環流交互作用」，其整體目標為：觀測對流、水氣過程與大尺度季風氣候震盪，結合現地觀測、地面雷達、新式衛星觀測與不同尺度數值模式分析雲水

過程與動力過程的相互作用，增進對南海及台灣周邊區域天氣至次月尺度演變機制的了解，加強改進預報的基礎。計畫包含總計畫及八個子計畫，所要探討的科學議題與做法歸納在觀測實驗、大尺度動力過程、雲雨過程等三大面向下，簡述如下：

(一) 觀測實驗

觀測實驗包含太平、東沙兩島的延伸與密集觀測，南海的船測與衛星遙測，因此我們取名為 SCSTIMX (South China Sea Two-Island Monsoon Experiment, 簡稱雙島實驗)。雙島觀測實驗與“海洋大陸年”觀測實驗的地理位置規劃如圖 4，實驗進行時程規劃如圖 5。延伸期觀測實驗(2017 年 8 月至 2019 年 7 月東沙島，2018 年 2 月至 2019 年 7 月太平島)將透過地面氣象站、剖風儀、探空氣球的定期量測，提供逐時或逐日大氣資料。密集觀測實驗(2018 年 5~6 月以及 2018 年 12 月至 2019 年 1 月在東沙、太平島)設立「雲和降水」整合觀測系統，透過一天四次無線電探空、X-POL 和 C-POL 降雨雷達(太平島)、MRR 垂直降雨雷達，雲幕儀、雨滴譜儀，被動微波輻射計，觀測對流系統的結構和屬性，提供對流過程研究與數值模擬所需的資料。觀測實驗已協調物理海洋觀測，綜整太平島新設海氣觀測浮標、南海已有浮標(東沙、SEATS)、海研一號等海洋觀測資料，提供南海海氣相互作用研究所需的海面實測資料。此外，整合計畫亦將協調各子計畫及國內學界，共同參與“海洋大陸年”計畫，與國際團隊分享觀測資料，進行相關研究。

(二) 大尺度動力過程

L1：冬季中緯度熱帶交互作用

計畫探討海洋大陸對流與北半球冬季中緯度斜壓系統的交互作用。將使用再分析與衛星資料

表 1 台灣近年各觀測實驗計畫之研究區域及差異簡表。

研究議題	實驗區域	時間	觀測儀器	研究成果	Strength	Weakness
TAMEX 梅雨鋒/MCS/地形 效應/降雨預報	以台灣為中心 之 500X500 平 方公里	1987/ 5/1~6/30	地面氣象、雨量站/地面都卜勒雷達 /NOAA-P3/氣象衛星/探空/繫留氣 球/ISS/研究船	包含 SCI 超過 300 篇論文	除了有地面都卜勒雷達觀測網 (CAA/NCAR/TOGA)，還加入 NOAA-P3 機載都卜勒雷達，以分 析天氣系統之降雨及氣流結構。 之範圍相對較小。	進行實驗之區域集 中在台灣本島及沿 岸地區，可蒐集資料 之範圍相對較小。
SCSMEX 南海季風之肇始、 維持、變化/改進季 風或東亞短期氣候 預報	10°S-30°N 95°E-130°E	1998/ 5/5~6/25	地面氣象、雨量站/船載、地面都卜 勒雷達/衛星/探空/無人飛機/ISS/錨 定及漂流浮標/都卜勒海流剖面儀/ 溫鹽剖面儀/機載溫鹽儀/考察船	超過 16 篇 SCI，期刊 155 篇。	實驗區域廣大。由於船載雷達與無 人飛機具有較高的機動性，可靈活 的進行資料搜集。此外，還增加了 許多海洋觀測儀器，可更完整分析 南海季風特性。	觀測時間短，對於完 整季風肇始、維持及 變化，或許無法完整 掌握。
DOTSTAR 颱風之結構、動力 、邊界層、路徑、 強度、風雨預報	10°N-30°N 110°E-140°E	2002~2012	GPS 投落送/ASTRA 飛機/ 機載垂直大氣探空系統	超過 10 篇 SCI，期刊 58 篇。	可獲得當颱風距離台灣較遠時的 探空資料，並即時將觀測資料加入 預報，以提升預報準確度。	缺少颱風降雨結構 及詳細三維風場之 觀測與分析。
SoWMEX/ TIMREX 西南氣流/梅雨鋒/ MSC/微物理降雨 過程/地形降水/ QPE	17°N-26°N 112°E-123°E	2008/ 5/15~6/30	地面氣象、雨量站/地面都卜勒雷達 /探空/ISS 剖面風儀/地面 GPS 測站/ Team-R/S-Pol/MRR/JWD/2DVD/ POSS/Verti-X	至少 8 篇 SCI	此計畫透過雙偏極化雷達、垂直指 向雷達與 DSD 等觀測，可增加對 於降雨結構及微物理過程之瞭解。	缺乏更上游南海區 域的季風特性之觀 測與分析。
YMC 島嶼地形熱帶對 流/MJO/季內震盪 /熱帶波動/東亞季 風/微物理過程	20°S-25°N 60°E-180°E	2017/4~ 2018/10	地面氣象、雨量站/地面都卜勒雷達 /探空/ISS 剖面風儀/無線電探空系統/ 雲高指示計/MRR/Parsivel/3-D 風速 計/水汽與 CO ₂ 通量站/土壤濕度計/ 漂流浮標/研究船	---	此實驗計畫範圍最廣，時間最長。 可規劃更多更先進的觀測儀器投 入實驗。可對設定之議題進行深入 探討，也可連結過去實驗之議題。	---

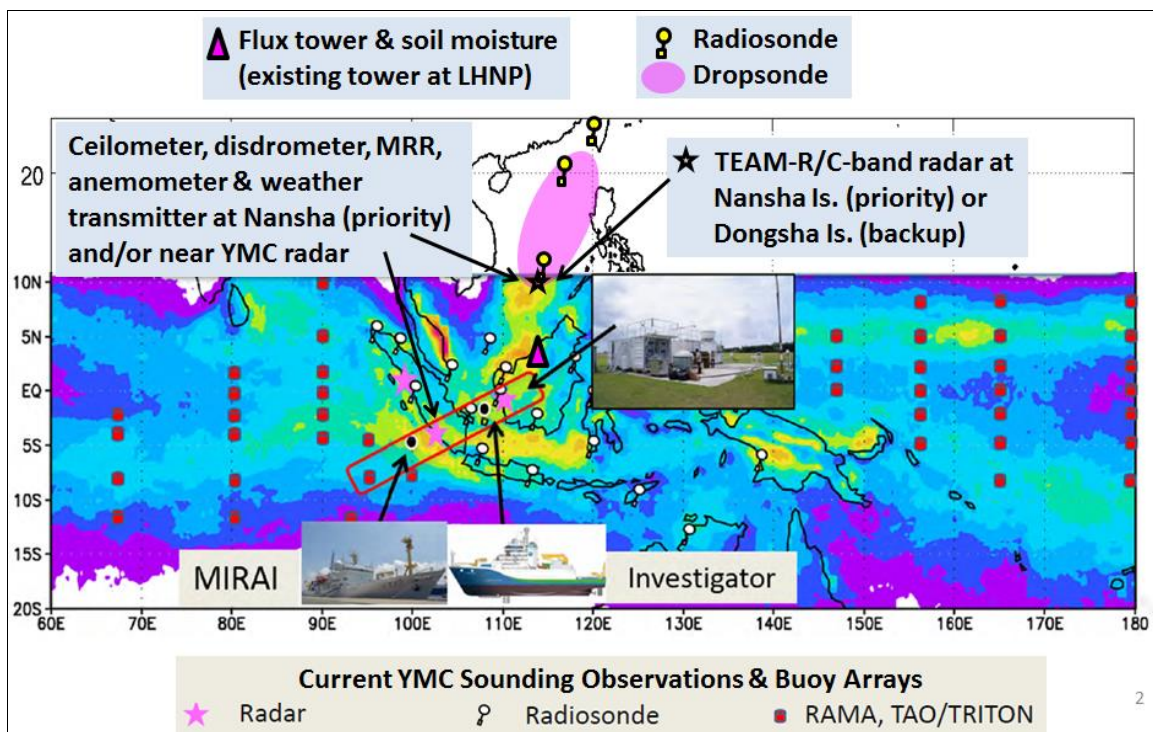


圖 4 南海雙島實驗和“海洋大陸年”觀測實驗的地理位置及觀測儀器規劃示意圖。

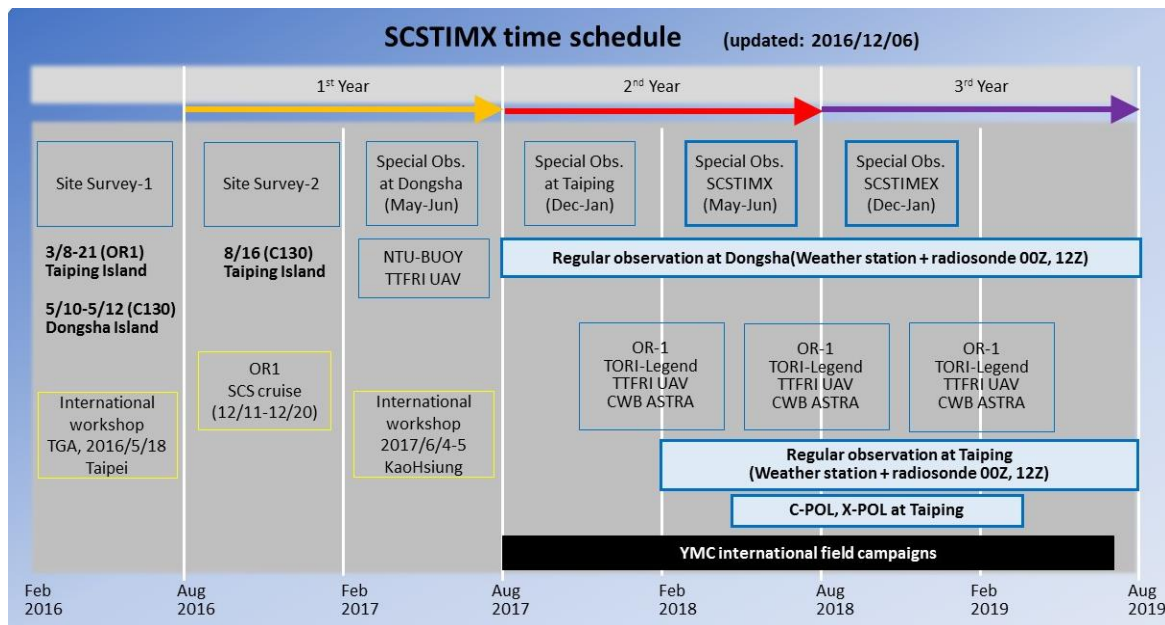


圖 5 SCS-MC 觀測實驗進行時程規劃。

分析東亞斜壓系統（西伯利亞高壓、東亞噴流、東亞主槽）和海洋大陸區域強烈對流間互相驅動的多尺度關係。並將使用“海洋大陸年”觀測期間南海—海洋大陸特別觀測資料研究影響 MC 對流的機制、其對中緯度系統及台灣造成的影響、高緯度—熱帶相互作用在南海的特徵。

L2：季內震盪與對流過程

將使用再分析與衛星資料分析季內震盪演變的重要類型、水氣和濕靜能收支，水平流對流增濕、海氣交換、輻射強迫等過程，探討季內震盪在南海—海洋大陸和西太平洋暖池演變（傳播與消長）的動力過程。並將使用“海洋大陸年”觀測期間南海—海洋大陸特別觀測資料進行個案分析與模式模擬。

L3：南海—海洋大陸區季內震盪與熱帶氣旋交互作用

本計畫探討東亞—西北太平洋季風時期（7~9月）、東亞東北季風時期（10~12月）及南海西南季風時期（5~6月）等三個不同季風時期背景下，南海—海洋大陸區內季風環流之季內震盪變化特性，及其對熱帶氣旋活動的調節機制。熱帶氣旋的研究將以在南海—海洋大陸區內生成與區外（西北太平洋）移入兩類，分別分析季風各系統的季內震盪對兩類熱帶氣旋的生成、移動路徑之對應調節機制。研究將著重在 30~60 天與 10~20 天震盪的傳導特性及其影響熱帶氣旋活動的相對重要性，以及不同季風環流系統（季風槽、太平洋副熱帶高壓、西南氣流）對熱帶氣旋的影響特性分析。

(三) 雲雨/水氣過程：

C1：南海—海洋大陸區域水氣傳輸與對流的交互作用

透過區域模式與雲解析模式研究對流雲簇由西南氣流上游南海區的「海洋對流」型態演變成海洋大陸/島嶼（如婆羅洲、印尼群島、菲律賓群島或臺灣島）的「陸地對流」型態的過程中，其雲動力過程的演變、以及與季內震盪的相互影響。並將使用本計畫與“海洋大陸年”觀測資料評估模式模擬的水氣能量循環（水氣收支、垂直潛熱分布、降水效率等）的演變，進一步探討區域模式對於季內震盪的模擬能力以及模式雲解析物理過程對於水氣與能量循環過程的掌握程度。

C2：南海對流雲雨之日夜變化

研究南海對流日夜變化在夏季季風肇始前後的氣候特徵與變化，以及相關物理機制，將使用新一代衛星觀測雲雨資料、再分析資料熱力與動力場，進行能量與水氣收支的計算，據以對全球氣候模式模擬結果進行診斷；並結合南海—海洋大陸密集實驗觀測、向日葵八號等新式衛星反演產品、雲解析模式，進行雲解析模擬，探討日夜尺度對流的結構與組織過程，及其與大尺度的可能交互作用。

上述觀測實驗、大尺度動力過程、雲雨過程等三大面向彼此密切關連，結合各子計畫主持人專長與預期成果並提供重要的觀測與科研成果，支撐彼此之進展，這些彼此的合作整合性可以圖 6 說明。

三、2016 冬季風預實驗

為了確實執行雙島觀測的流程，我們規劃了兩次預實驗以進行人員訓練、設備運送與操作的準備。第一次預實驗透過 2016 年 12 月 11~21 日海研一號(RV OR1)第 1156 航次往返太平島，來測試冬季風的南海大氣環流聯合觀測與資料診斷，

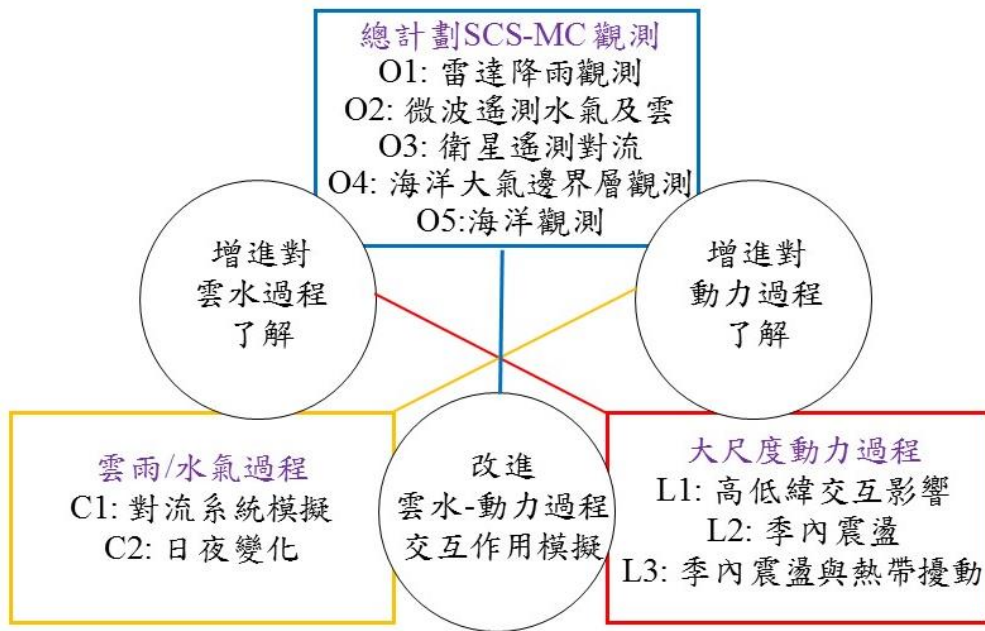


圖 6 各子計畫間之相關性與整合程度說明。

這一航次領隊是臺灣大學海洋研究所楊穎堅教授，也是海研一號 2016 年最後航次，南海返航後進入乾塢進行年度性的保養維修。臺灣大學海洋研究所海研一號是挪威卑爾根(Bergen)米蘭造船廠建造（噸位 800 噸、全長 50 公尺），於 1985 年 1 月 24 日航抵臺灣，截至 2016 年 12 月已近 32 年船齡。海研一號目前配有固定式的全球衛星定位系統、衛星網路通訊系統、風速風向儀、氣壓計、溫度計、日照儀、海表面溫鹽儀、都普勒流剖儀、重力儀、測深系統、科學魚探儀、地層剖析儀等固定儀器設備，還有非固定式的探測儀器，例如溫鹽深儀系統、海水採樣系統、沉積物採樣系統、浮游生物採樣系統、錨碇系統以及拖曳式探測儀等。為了施放與回收這些儀器，海研一號的船體也設有吊車、門型吊架、絞車以及數千公尺的鋼纜等裝備，各種探測作業通常是經由這些裝備在船的右舷或後甲板上進行。研究船上除了有負責航行及維持船隻運作的操船、輪機、

事務與電信部門的船員之外，另還設有探測部門，底下配置了探測及電子技術人員，負責研究船探測儀器裝備的操作、保養與維修，以及協助每個航次科學作業的執行。

這此航次既定的海洋物理科學主要任務是在太平島北側佈放水下 Mooring 一組，沿途也進行水下都卜勒流速觀測 10 站和海水樣本 14 處；大氣部份則是增加大氣剖面的氣球無線電探空儀 (radiosonde) 施放（後甲板）以及海氣通量觀測（船首，太陽短波輻射計朝上朝下各一套、長波輻射計朝上朝下各一套、海表溫遙測計一套、風速風向氣溫濕度感測器各一套，時間取樣率為一秒鐘）。一套 Vaisala MW41 無線電探空儀訊號接收與處理主機與接收天線、32 份 Vaisala RS41 無線電探空儀以及 200g 探空氣球、8 罐 6 m³ 氦氣鋼瓶等裝備，由臺灣大學與中國文化大學大氣科學研究所三位助理隨船施放無線電探空儀、定時記錄海水表面溫度、雲量與天氣狀況。32 套探空儀

全部施放完成，但其中有兩次失敗；海研一號船首臨時增設的海氣觀測系統也在回程時受到海浪強烈衝擊而失效。

海研一號於 2016 年 12 月 11 日上午 10 點從高雄港出發，航行四天後於 12 月 15 日黃昏抵達太平島，停泊一夜後 12 月 16 日中午離開駛往太平島北方水深約 2000 公尺處施放一組錨碇式都普勒流剖儀 (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)，觀測上層海洋 500 公尺的流速變化，預定一年後回收。之後頂著東北強烈風浪折返高雄。海研一號航行軌跡以及探空氣球施放時間如圖 7 所示，前兩天探空氣球施放是採 00UTC 與 12UTC 一天兩次，12 月 14 日上午我們留意到南海中部有波動激發的雲系發展，因此通知海研一號開始增加施放時間密度到一天四次 (00UTC、06UTC、12UTC、18UTC)，停泊太平島碼頭時也持續進行 6 小時探空觀測，惟 12 月 17 日由於風浪過大有人員落海危險而暫停觀測作業。海研一號於 12 月 21 日上午 11 點返抵高雄港結束了這趟為 10 天的 1782 海浬遠航，這 10 天海上航行觀測期間，團隊也在台灣同步蒐集各項數值預報產品，將探空觀測獲得的資料以 WMO 電碼即時回傳台灣以及中央氣象局預報中心，並加入中央氣象局數值模式預報的資料同化系統；觀測結束後也加以回顧檢討船舶觀測設備安裝缺失、觀測流程改進以及資料品質評估檢定等。這一段期間所蒐集的資料將針對(1)南海冬季海氣通量量測－海氣交互作用；(2)南海冬季對流層結構、雲雨對流結構、其日夜變化；(3)冬季中緯度與熱帶交互作用等三項議題，經由各子計畫的溝通與合作加以分析。

四、觀測實驗結果監測分析

2016 年 12 月承續 2015 年冬季聖嬰現象的演

變，進入反聖嬰相位，赤道中東太平洋海溫較氣候平均值冷 $0.5\sim 2^{\circ}\text{C}$ ，赤道西太平洋、東印度洋、南海則暖 $0.5\sim 2^{\circ}\text{C}$ (圖 8)。因此本次預實驗的重點是在反聖嬰冬季氣候背景下，觀測南海及週邊地區天氣至季內尺度擾動，整合計畫團隊在大尺度動力跟雲雨/水氣過程專長，分析模擬動力與對流多尺度交互作用的過程、及對預報的影響。下面將透過 OLR、NCEP FNL 同化資料 (風、壓力、溫度、水氣)，以及雙島地面觀測、船上施放探空等資料的初步分析，呈現天氣至季內尺度擾動的特徵。

實驗期間 2016 年 12 月第 3 旬的印度洋太平洋暖池區的大氣環流與熱帶對流活動在圖 1 裡有清楚的呈現。而其中在東南亞與南海區冬季風主要的特徵在可由 12 月第三、四候 (11~15、16~20 日) 平均高低層流場 (圖 9) 中可以更清楚的看到從低層西伯利亞高壓的反氣旋環流南下的東北季風經由南海與海洋大陸區旺盛對流匯合，再上升至高層輻散成反氣旋環流與副熱帶噴流會合。南海－海洋大陸對流與高緯度的交互作用是東亞冬季風重要的議題 (Chang et al. 2015)。

為了在觀測實驗時能即時監測氣候背景與高頻天氣氣候擾動，我們嘗試用 Wheeler 與 Hendon (2004) 發展出的時間尺度分離法，將逐日 OLR 分解成氣候背景、低頻 (年際以上)、高頻 (季內) 三個分量。氣候背景定義為氣候年周期前 3 個諧波的疊加，再將 OLR 與其氣候背景的距平值進一步分解成高、低頻分量。低頻分量為任一時間的前 120 天的距平值平均。應用此法，我們將 2016 年 12 月 11~20 日期間的逐日 OLR 場分解成不同分量，然後取 11~15 日及 16~20 日兩個候平均 (圖 10)，檢視其不同尺度的特徵。在 12 月第三、四候實驗期間，OLR 的低頻場 (圖 10c) 顯

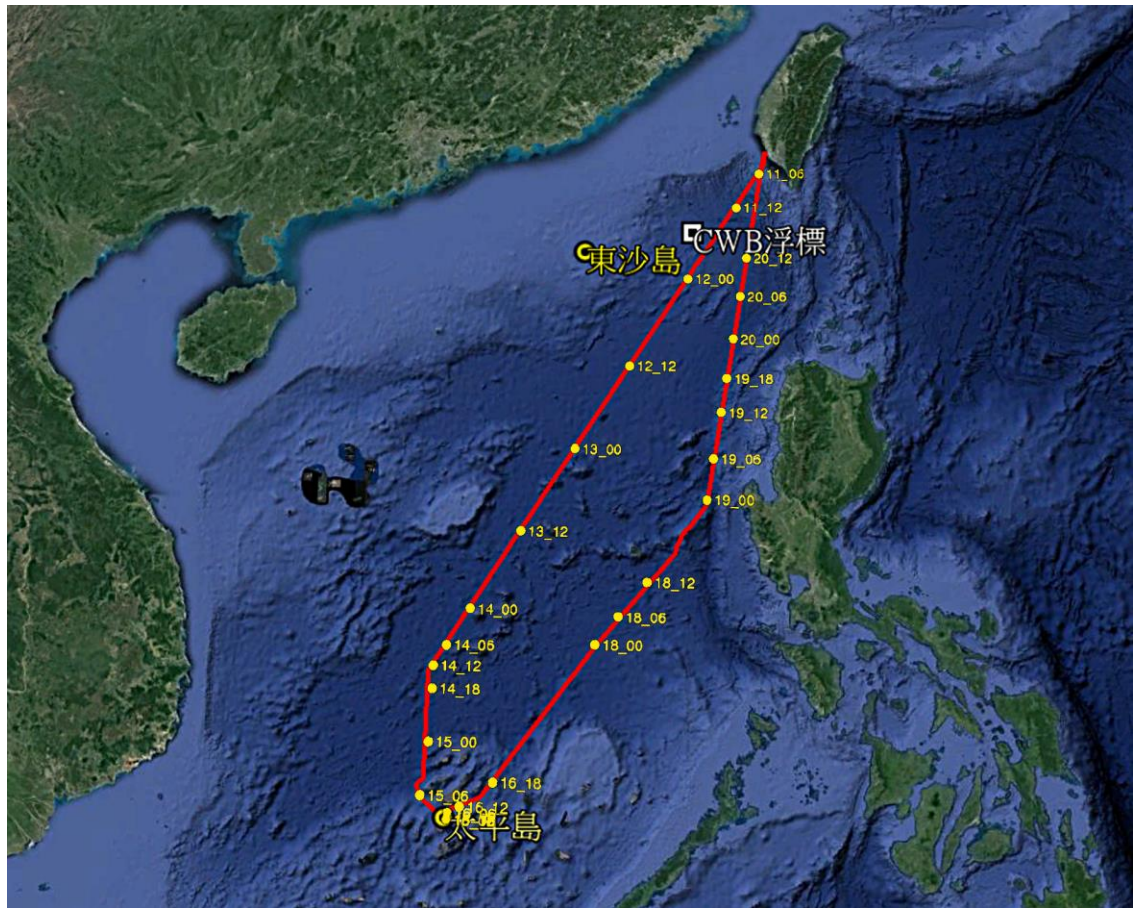


圖 7 2016 年 12 月 11~20 日期間海研一號航路與探空施放時間。

OISST_Anomaly_20161212_20161220_mean

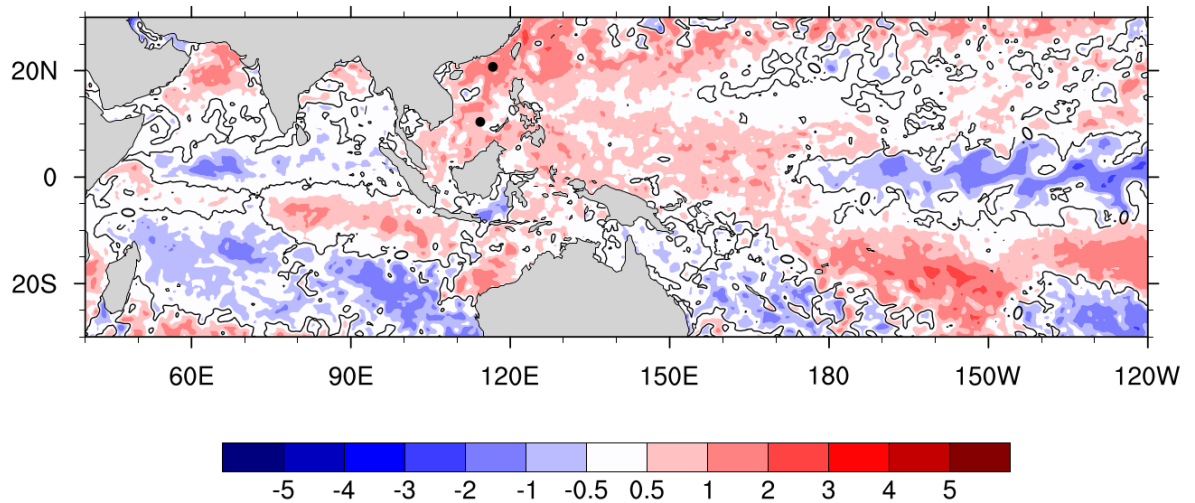


圖 8 2016 年 12 月 11~20 日平均海海溫距平 (單位為 $^{\circ}\text{C}$)。實線為零值線。

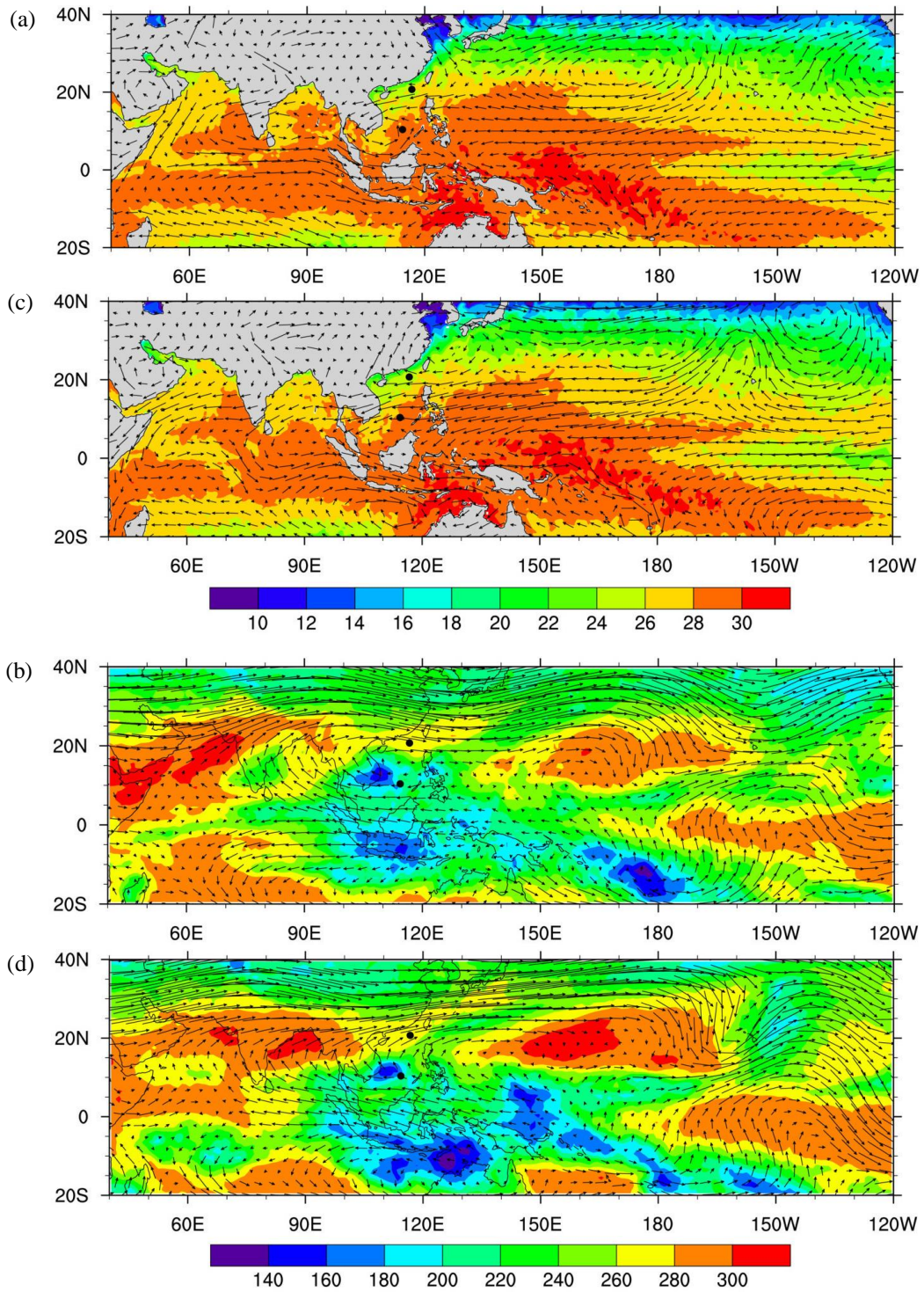


圖9 (a) 2016年12月11~15日候平均SST及850 hPa風場，(b) 2016年12月11~15日候平均OLR及200 hPa風場，(c) 2016年12月16~20日候平均SST及850 hPa風場，(d) 2016年12月16~20日候平均OLR及200 hPa風場。200 hPa (850 hPa)單位風標為30(15) ms^{-1} ，OLR單位為 Wm^{-2} 。

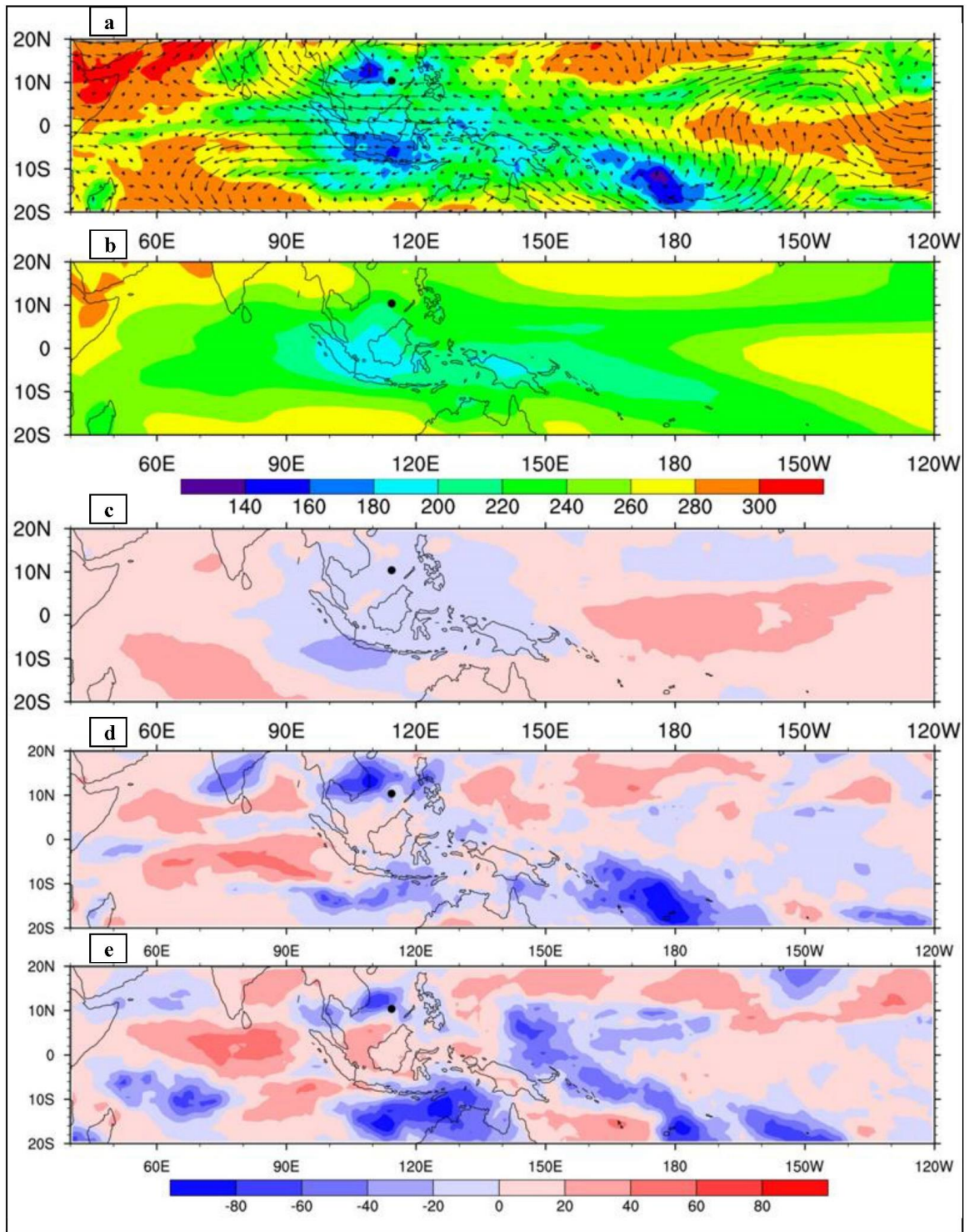


圖 10 2016 年 12 月 11~15 日 OLR 的(a)候平均；(b)分解成氣候背景值；(c)年際以上低頻分量；(d)剩下的季內高頻分量；(e)如同(d)但為 2016 年 12 月 16~20 日 OLR 的候平均。氣候背景值為氣候年周期的前 3 個諧波；低頻分量為前 120 天的氣候距平的平均值。

示典型的反聖嬰特徵：較旺盛的熱帶對流近似滯留在海洋大陸及鄰近的東印度洋、南海、西北太平洋暖池區，赤道中東太平洋的對流抑制區更弱的對流活動。伴隨此對流活動的低對流層風場在赤道中東太平洋有較強的東信風，以及東印度洋－海洋南海區南北半球副熱帶氣旋環流距平 (Wang and Zhang 2002)。反聖嬰的背景提供海洋大陸區及鄰近的暖池區更多的濕靜能。伴隨此背

景，12月第二候從赤道東印度洋發展出一個季內尺度擾動往東傳播，於第四候到 150°E 附近後消散 (圖 11)，此季內尺度擾動在第三、四候平均的水平分布 (圖 10d, e) 顯示其於第三候時位於蘇門答臘以南，到第四候時已東傳至赤道西太平洋 ($150\sim 160^{\circ}\text{E}$) 並明顯加強。此季內震盪在南北半球副熱帶伴隨有活躍的羅斯比波列。

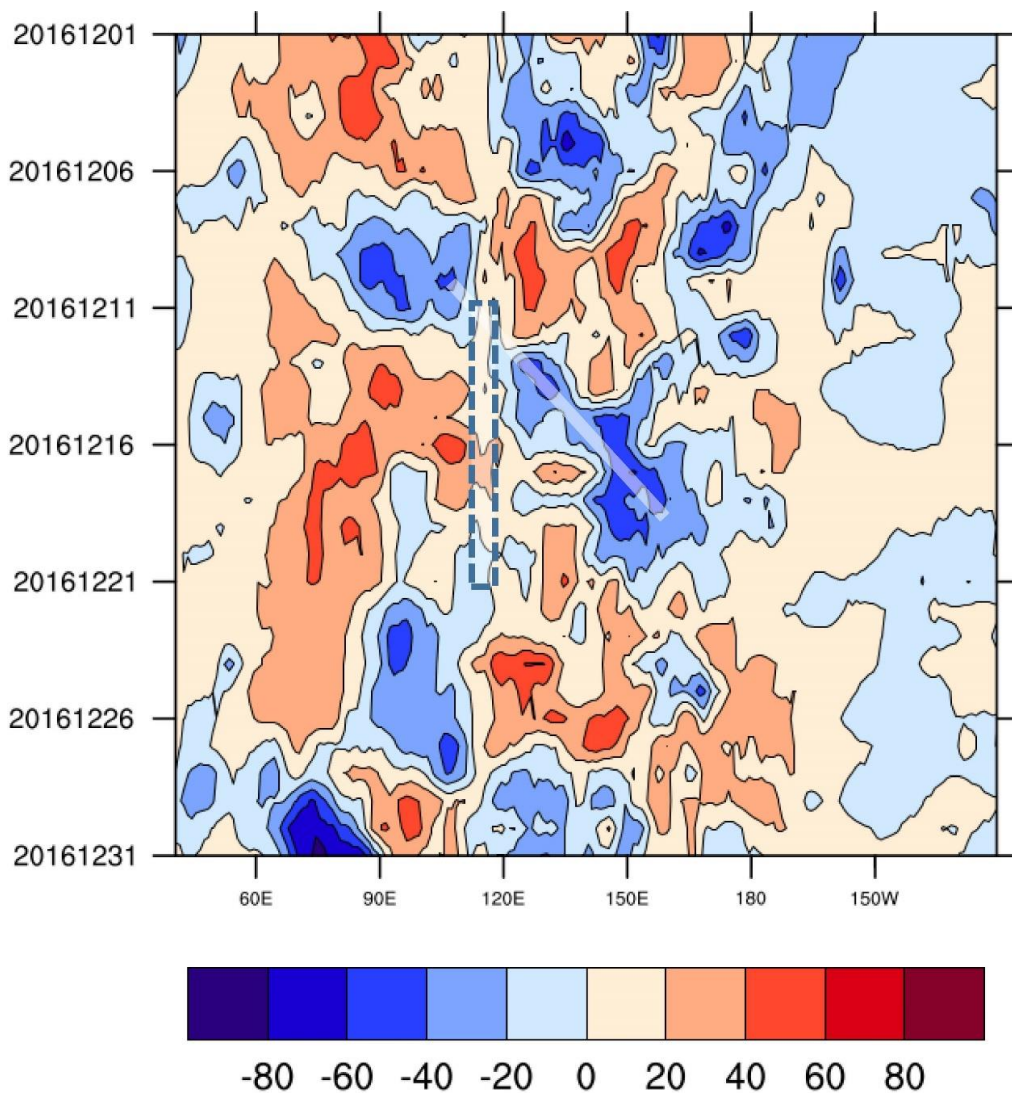


圖 11 2016 年 12 月 OLR 季內高頻分量南北緯 5 度平均隨時間經度的演變。虛線所框表示海研一號在南海 (經度) 觀測的十天，期間從赤道東印度洋發展出一個季內尺度擾動往東傳播到 150°E 後消散。

觀測實驗期間南海北部(東沙)受到北方寒潮影響,南海南部在前述季內尺度擾動經過的影響,大尺度環境有利,發展出兩個熱帶低壓(氣旋)。下面將檢視逐日的可降水量與低層(925 hPa)風場(圖 12、13)、探空風向風速與相對溼度(圖 14)以及東沙島與太平島地面觀測(圖 15)分析海研一號於 12 月 11~21 日航行期間之綜觀天氣演變。

11~13 日東沙島與周圍海域受減弱中的大陸高壓帶來之東北季風影響,風速逐漸減弱且溫度逐漸回升、可降水量增加,探空資料也顯示風向隨高度由逆轉(冷平流)轉變為順轉(暖平流)且中高層相對溼度增高。同時太平島受到其西方熱帶性低氣壓(TS1)影響,風向以東南風為主,風速亦為這十天中最高的一段時期。

14 日北方大陸冷氣團南下帶來新一波東北季風,東沙島氣壓上升、溫度與露點均下降,平均風速亦攀升。太平島則於 15~16 日風向轉為東北風但風速反而增加不多,主要是在熱帶氣壓 TS1 西移後受到其東北方另一熱帶低壓 TS2 的影響,氣溫也略微上升。探空資料則顯示東北季風約在 15 日中午抵達太平島,低層北風分量增大。950~600hPa 之間在 16 日出現西風分量,顯示出類似低層鋒面的特徵,但 600hPa 以上仍然維持東風的狀態。

16 日以後,大陸冷氣團逐漸減弱,東沙島風速減緩、溫度與露點隨時間逐步回升。而太平島受到 TS2 氣旋環流影響,風向在 16~17 日轉為東南風至西南風,此時已離開太平島的海研一號因通過風浪較大之區域,安全考量下暫停 17 日的探空作業。19~20 日南海隨冷氣團減弱轉為偏東風,呂宋島以西受東風過山沉降影響,可降水量減少、探空也顯示低層大氣相對濕度偏低。

整體而言在海研一號航期中,東沙島天氣受到大陸高壓演進之影響,太平島則受到兩個熱帶性低氣壓影響,呈現出中緯度與熱帶海洋差異顯著的天氣特徵。探空資料之中高層東、西風轉換約在北緯 15 度附近,可作為熱帶與中緯度天氣系統約略之分界位置。

海洋觀測部分,OR1 的 ADCP 觀測到的 20 m 深水層沿航線流速與水溫搭配 AVISO 衛星高度計所測的海面高度 SSH(2016 年 12 月 11 日~20 日)如圖 16,從圖上初步分析航程中在台灣西南海域到呂宋海峽西北部經歷黑潮入侵南海形成的反氣旋方向套流;南海中部大致有兩個一東一西的海洋低壓構造,OR1 去程期間大約從兩個低壓之間通過,流速較低;OR1 在太平島西北方海域則是經歷高壓環流,ADCP 所觀測到的上層洋流流速基本上都反映了海洋高低壓構造形成的流場。除了衛星遙測海面高度之外,圖 17 則是衛星遙測海面水溫(OISST)和葉綠素的空間分布概況,這航次期間南海北部約 15°N 以北海表溫在 26°C 以下,太平島附近水溫則可達 28~29°C;葉綠素濃度大致僅在呂宋海峽和呂宋島的西邊相對較高,南海中部葉綠素濃度是相對低的。

致謝

本文介紹的『南海—海洋大陸區對流與大尺度環流交互作用』計畫為科技部支持進行中的整合型計畫(105-2119-M-002-025, 104-2111-M-002-007)。計畫推動過程中受到學界及科技部自然司許多同仁的大力的支持,主持人、共同主持人、所有參與的學者、學生等也都正努力執行計畫。海研一號 1156 航次的所有船員與研究人員同心協力完成所有交付的任務。

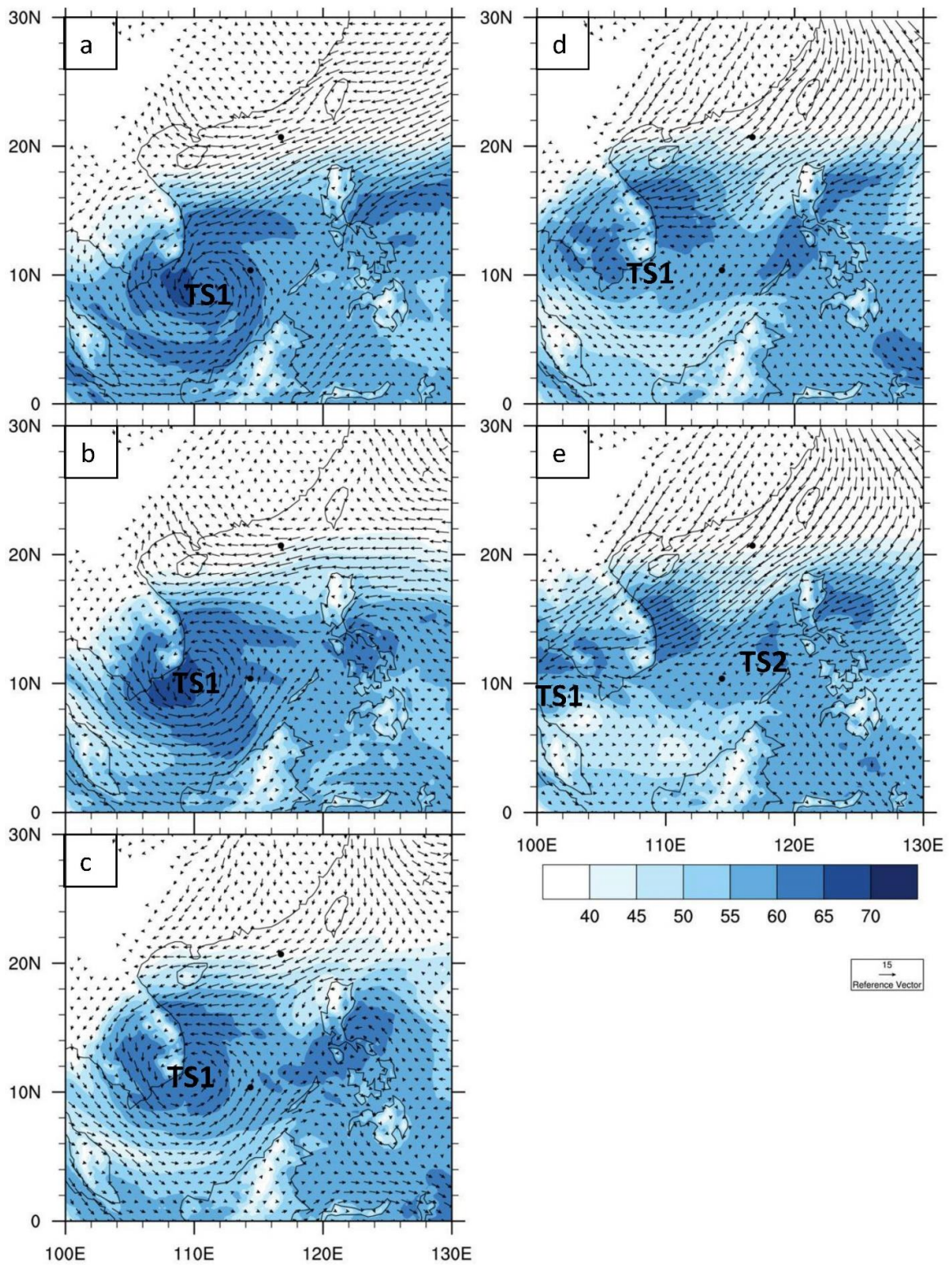


圖 12 由(a)至(e)分別為 2016 年 12 月 11~15 日期間每天 00Z 的 925hPa 風場與可降水量 (單位為 mm) 分布。

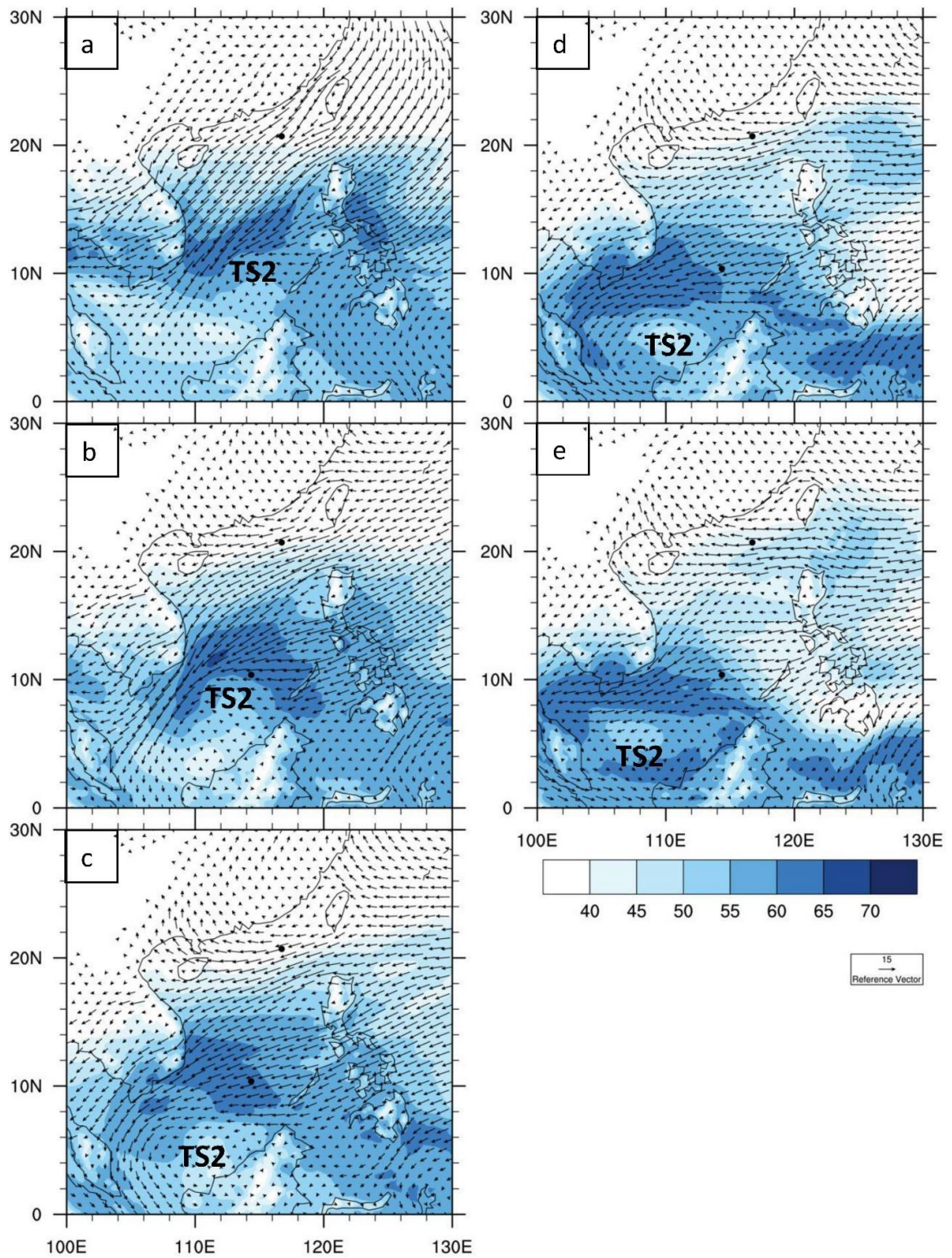


圖 13 同圖 12，但為 2016 年 12 月 16~20 日。

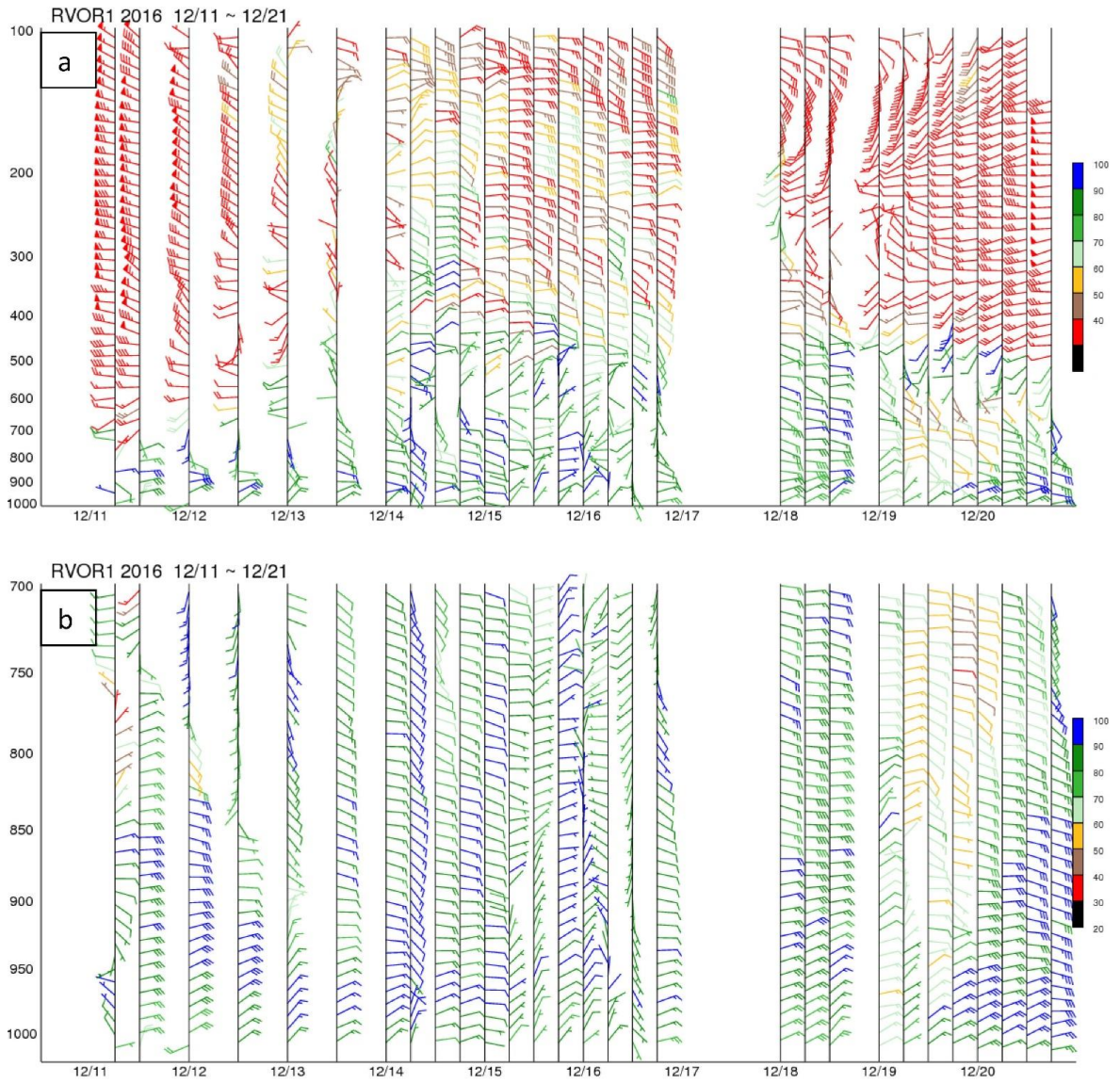


圖 14 2016 年 12 月 11~20 日期間於海研一號施放探空測得之風向風速與相對濕度（單位為%）的垂直分布。(a)為 1000hPa 至 100hPa；(b)為(a)之 1000hPa 至 700hPa 放大顯示。探空施放時間地點標示於圖 7。

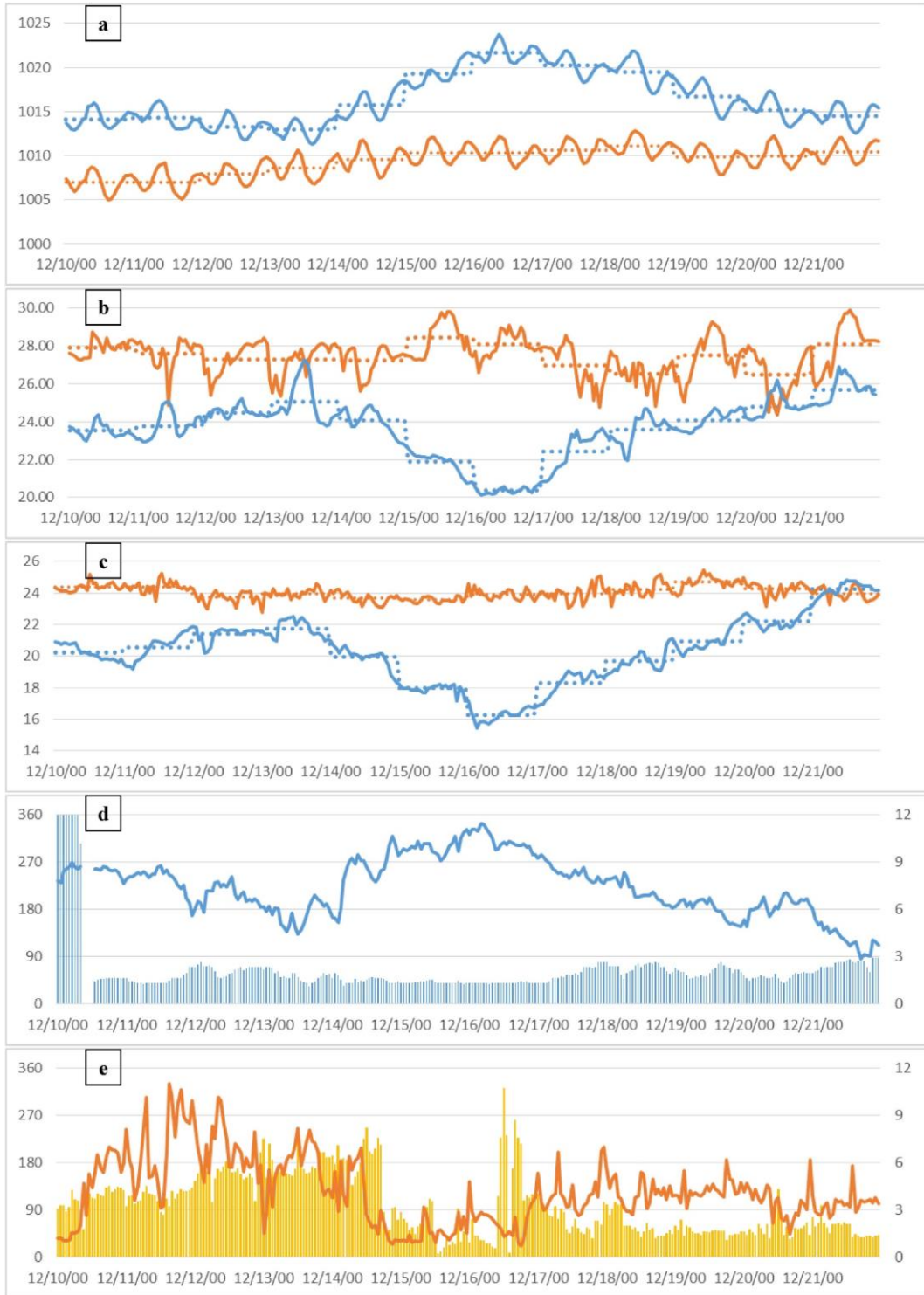


圖 15 2016 年 12 月 10 日至 21 日期間東沙島（藍色）與太平島（棕色）地面氣象站觀測(a)氣壓，(b)溫度，(c)露點（單位為 $^{\circ}\text{C}$ ）的時間序列，其中時平均量以實線表示，日平均量以點線表示。(d)表示東沙島時平均風向（柱狀圖，單位為 $^{\circ}$ ）、風速（實線單位為 ms^{-1} ）；(e)同(d)但為太平島時平均風向風速。

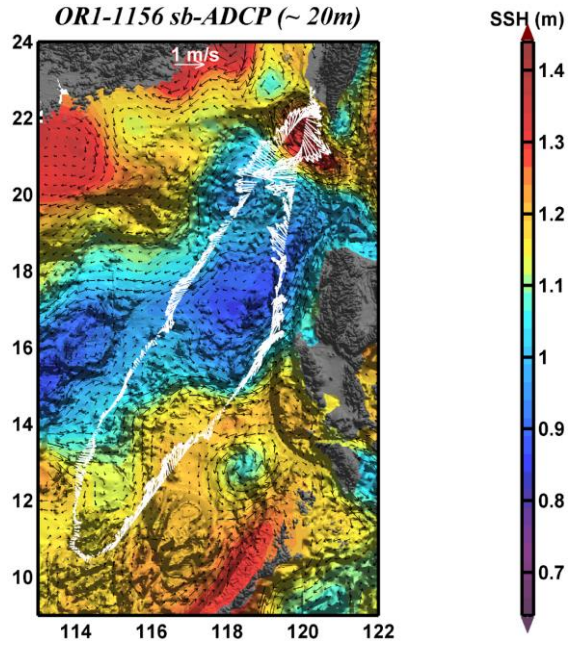


圖 16 海研一號第 1156 航次所測量的 20 m 深水層沿航線流速與衛星遙測海面高度分布圖。

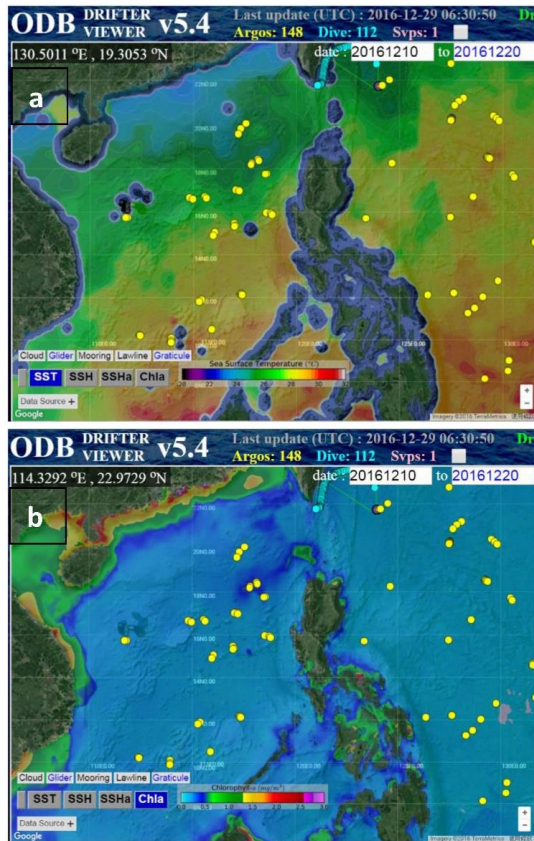


圖 17 海研一號第 1156 航次期間的(a)海面水溫(b)葉綠素空間分布。

參考文獻

- 隋中興、林博雄，2016：國際海洋大陸觀測計畫，科技部「自然科學簡訊」，28，96-100。
- Chang, C.-P., M.-M. Lu, and H. Lim, 2015: Monsoon Convection in Maritime Continent: Interaction of Large-Scale Motion and Complex Terrain. in *Multiscale Convection-Coupled Systems in the Tropics*, R. Fovell, and W. Tung, Eds., Meteorological Monographs, American Meteorological Society, in press.
- Chang, Y., K.T. Lee, M.A. Lee, , K.W. Lan, 2009: Satellite observation on the exceptional intrusion of cold water in the Taiwan Strait. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **20**, 661-669.
- Chen, H.-C., C.-H. Sui, Y.-H. Tseng, and B.-H. Huang, 2015: An Analysis of the Linkage of Pacific Subtropical Cells with the Recharge-discharge Processes in ENSO Evolution. *J. Climate*, **28**, 3786-3805. doi: 10.1175/JCLI-D-14-00134.1.
- Chen, H.-C., Z.-Z. Hu, B. Huang, C.-H. Sui, 2016: The role of reversed equatorial zonal transport in terminating an ENSO event. *J. Climate*, **29**, 5859-5877. doi: 10.1175/JCLI-D-16-0047.1.
- Gordon, A.L. 2005. Oceanography of the Indonesian seas and their throughflow. *Oceanography*, **18**(4), 14-27.
- Hong, C.-C., M.-L. Lee, H.-H. Hsu, and Jui-Ling Kuo, 2010: Role of submonthly disturbance and 40-50-day ISO on the extreme rainfall event associated with Typhoon Morakot (2009) in Southern Taiwan. *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L08805. doi: 10.1029/2010GL04276.
- Hsieh, H.-J., Y.-L. Hsien, M.-S. Jeng, W.-S. Tsai, W.-C. Su, C.-A. Chen, 2008: Tropical fishes killed by the cold. *Coral Reefs*, **27**, 599.
- Liu, P. and C.-H. Sui, 2014: An Observational Analysis of Oceanic and Atmospheric Structure of Global-Scale Multidecadal Variability. *Adv. Atmos. Sci.*, **31**, 316-330. doi: 10.1007/s00376-013-2305-y.
- Monsoon Experiment Panel, 1977: Plan for U.S. participation in the Monsoon Experiment (MONEX). Washington, D.C.: National Academy of Sciences: available from the Global Atmospheric Research Program.
- Sprintall, J., A.L. Gordon, A. Koch-Larrouy, T. Lee, J.T. Potemra, K. Pujiana, S.E. Wijffels, 2014: The Indonesian seas and their role in the coupled ocean-climate system. *Nature Geoscience.*, **7**, 487-492. doi:10.1038/ngeo218.
- Sui, C.-H., P.-H. Chung, and T. Li, 2007: Interannual and interdecadal variability of the summertime western north Pacific subtropical high. *Geophys. Res. Lett.*, **34**(11), L11701. doi:10.1029/2006GL029204.
- Wang, B., and Q. Zhang, 2002: Pacific-East Asian teleconnection. Part II: How the Philippine Sea anomalous anticyclone is established during El Niño development. *J. Climate*, **15**, 3252-3265. doi:10.1175/1520-0442(2002_015,3252: PEATPI.2.0.CO;2.

- Wang, B., F. Huang, Z. Wu, J. Yang, X. Fu, K. Kikuchi, 2009: Multi-scale climate variability of the South China Sea monsoon: A review. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, **47**, 15-37.
- Wheeler, M., and H. H. Hendon, 2004: An all-season real-time multivariate MJO index: Development of an index for monitoring and prediction. *Mon. Wea. Rev.*, 132, 1917-1932.

Interaction of Convection over The Maritime Continent – SCS with Large-Scale Flow: 2016 Winter Monsoon Pre-experiment

**Po-Hsiung Lin¹ Yiing-Jang Yang² Ching-Hwang Liu³
Shi-Pei Hsu¹ Jing-Hua Yang³ Ching-Hsuan Wu¹
Cheng-Ku Yu¹ Sen Jan² Chung-Hsiung Sui¹**

¹Department of Atmospheric Sciences, National Taiwan University

²Institute of Oceanography, National Taiwan University

³Department of Atmospheric Sciences, Chinese Culture University

(manuscript received 30 December 2016 ; in final form 16 January 2017)

ABSTRACT

To extend the ocean-atmosphere research over the South China Sea (SCS) and to participate the international project “Years of Maritime Continent (MC)”, the atmospheric Sciences community in Taiwan is carrying out an integrated project “Interaction of convection over the MC – SCS with large-scale flow”. This paper introduces the scientific background and initiation of the integration project that consists of a main project and eight subprojects. The scientific issues and research approaches of all projects are organized and linked under three areas of study: convective processes, large-scale processes, observations. The major observational task is the SCS Two-Island Monsoon Experiment (SCSTIMX) that includes field campaigns at Taiping and Dongsha islands along with the measurements by ocean research vessels (RV) and satellite observations. To prepare for the SCSTIMX, a pre-experiments has been completed during December 11-21, 2016, through the research cruise to Taiping Island by the NTU RV OR1 voyage 1156. The cruise took place during the La Nina phase following the warm winter of 2015/2016 El Nino/Southern Oscillation (ENSO) event. The equatorial eastern and central Pacific was about 0.5~2°C colder than the climate mean. We developed a method of monitoring the climate background and high frequency (weather and intraseasonal) disturbances in time and applied it to Outgoing Longwave Radiation (OLR) data. Combining NCEP FNL assimilation (Wind, pressure, temperature, water vapor), surface observations at the two islands, ship soundings and satellite data, a

preliminary analysis was conducted. The La Nina condition causes a warmer and more humid SCS-MC region, and colder and drier central and eastern equatorial Pacific. Accompanied by this background, synoptic and intraseasonal oscillations are more energetic in the SCS and NW Pacific warm pool area. The research team of the integrated project will continue to explore the multi-scale interaction processes and its impact on forecasts through analysis and modeling.

Key Words: SCSTIMX, YMC, Convection interaction with large-scale dynamics, Winter monsoon, Interaction of convection over the Maritime Continent - SCS with large-scale flow.

doi: 10.3966/025400022016124404003

*Corresponding Author: Chung-Hsiung Sui, sui@as.ntu.edu.tw.