南海雙島季風實驗(SCSTIMX)介紹與太平島科學站建置之展望

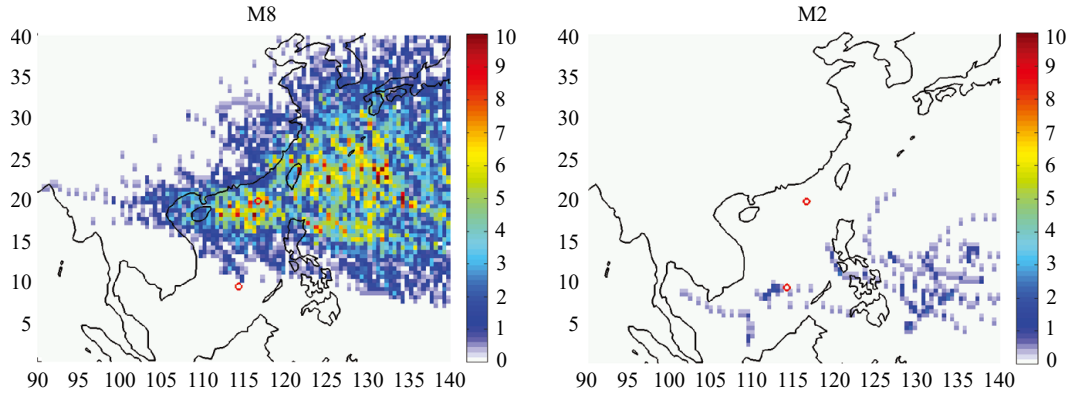
臺灣大學大氣科學系　林博雄　隋中興　楊明仁　陳維婷
中山大學海洋科學系　宋克義
臺灣大學海洋研究所　詹　森
文化大學大氣科學系　周昆炫
中央大學太空及遙測研究中心　劉千義

本文介紹科技部自然科學與永續研究發展司所贊助的 2016-2019 年「南海-海洋大陸區對流與大尺度環流交互作用」整合型專題計畫，在南中國海（以下簡稱南海）東沙島與南沙太平島，針對東亞冬季季風（2017 年 12 月）與夏季季風（2018 年 5-6 月），所進行的密集氣象觀測實驗重點和初步成果，和進一步說明台灣多年經營的南海這兩處島嶼，建置科學研究站的現況與展望。

台灣天氣與氣候的多重特色以及對應的梅雨颱風等強風豪雨災害性天氣，有許多論述與研究和報導，中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB)業務型態的陸面、海面以及氣象雷達、氣象衛星觀測與資料彙集，配合聯合國世界氣象組織(World meteorological Organization, WMO)的全球氣象觀測網絡資料交換鍊，這些氣象觀測數據以及電腦模擬預報的網格資料，造就大氣科學在自然科學的「大數據」最佳代表，並且人工智慧應用於天氣預報的構想和實驗也正在開展。由於氣象變化與氣候變遷，涉及全球人類每日生活與地球未來居住情境，它的科學透明度、即時性和跨國合作等特色，也讓它有別於地球科學其他領域（地質、海洋、太空等）。

有了 CWB 常規性質觀測和天氣預報，我們爲何還要進行密集性觀測實驗? 甚至選擇在汪洋大海以及遙遠島嶼(東沙島與南沙太平島)建置科學研究站? 南海海域處位於印度洋和太平洋間，是北印度洋夏季風通往東亞、西北太平洋，以及東亞冬季季風流向澳大利亞的水氣通道。台灣每年 5~6 月梅雨季和行經南海與中南半島的夏季季風雨帶是一體的，這條綿延數千公里尺度的大氣長河(Atmospheric River)，是地球行星的絕妙特點，也激起大氣與水文科學家們的好奇心以及提升精準預報的動機；相對地，北半球冬季季風除了牽引寒流南下和海上波濤，也推動熱帶對流雲帶往南半球偏移，圖一是 1945~2014 年西太平洋熱帶風暴在北半球盛夏 8 月以及南半球盛夏 2 月，西太平洋與南海的熱帶風暴位置。東亞地區不同時空尺度的天氣氣候轉換，包含日夜循環的熱力對流、氣旋風暴、準雙週、30-60 天季節振盪、東西經向的沃克環流(Walker circulation)、南北緯向的哈德利環流(Hadley Circulation)，全部發生在南海海域，並且在 5 月夏季東亞季風肇始(onset)與 12 月冬季季風深入南海期間，不同尺度大氣波動的交集特別複雜與值得密集觀測。

東沙島與太平島分別位處於南海海盆北端與中央位置，前者與香港和高雄所形成的三角區域，是歷年來大氣科學學門與中央氣象局針對每年梅雨季西南氣流湧入台灣的重點觀察與預報區域，也因此中央氣象局歷經多年籌建終於在 2016 年啓用剖風儀(wind profiler)和微波輻射計(microwave radiometer)，提供了時間密集性的風場和溫度濕度垂直剖面資訊。相對地，處在南海海盆地理中心關鍵位置的太平島，目前僅有常規性的氣象局或是國防部地面氣象基本觀測，無法滿足學術界對於該地點立體大氣條件資訊的需求。



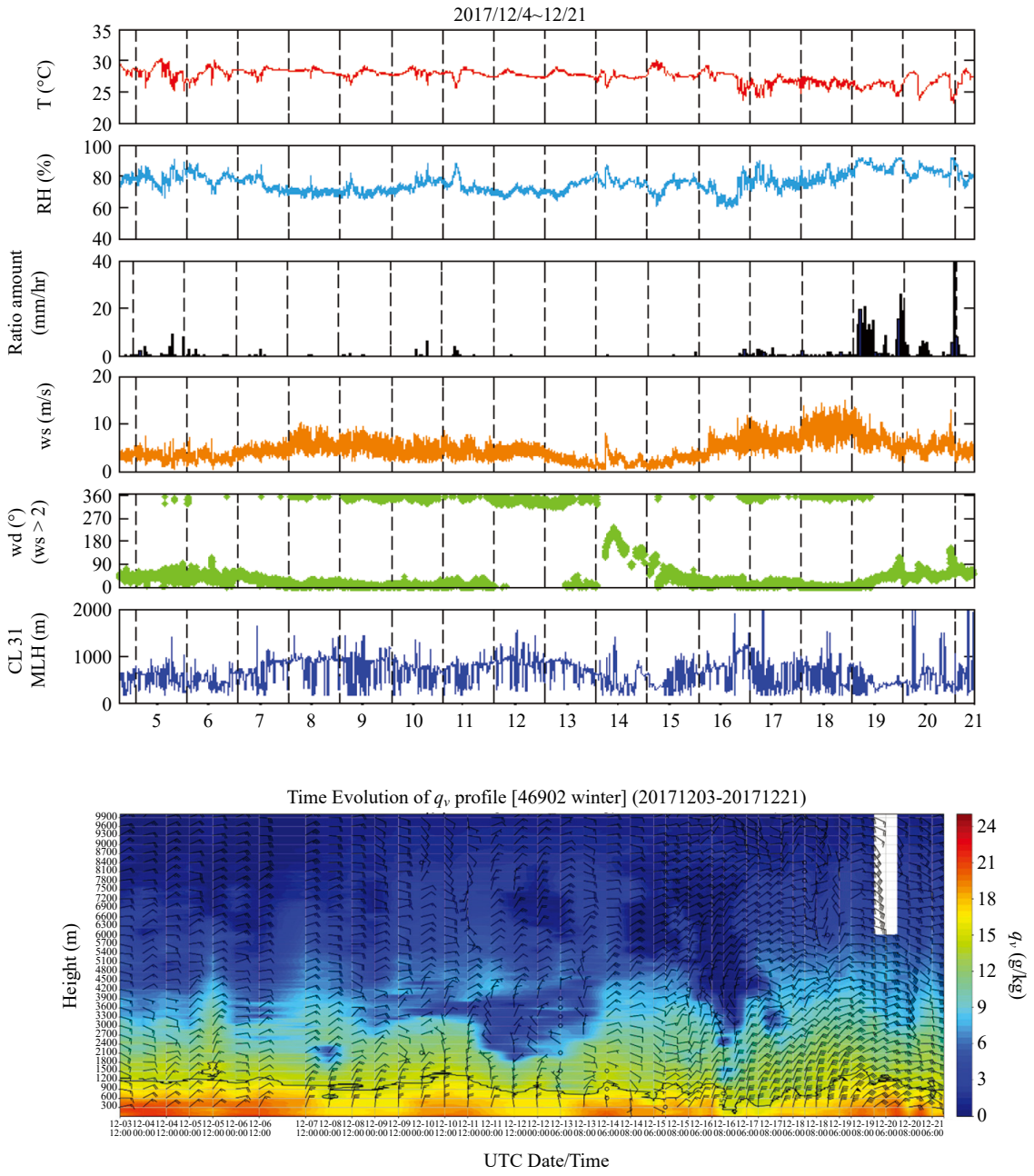
圖一　美國熱帶風暴警告聯合中心(JTWC)公告的西太平洋熱帶風暴位置的 1945~2014 年期間的空間分布（左：8 月，右：2 月），空心圓圈代表東沙島和太平島。（林博雄製作提供）



圖二　太平島氣球搭載無線電探空儀準備升空（左，2017 年 12 月；右：2018 年 5 月)。（林博雄提供）

臺灣大學大氣科學系四位不同專長研究室領域教授，結合大氣學門相關領域學者提出「南海-海洋大陸區對流與大尺度環流交互作用」三年(2016~2019 年)整合型專題計畫，由本文主筆負責其中有關太平島進階氣象觀測設備的運補、安裝以及安排學生和研究助理前往東沙島和太平島進行駐地密集觀測，台灣本島則進行每週的天氣分析與預報討論會議，回顧與預報印度洋、海洋大陸島嶼、西太平洋以及南海地區的大尺度到中小尺度的天氣與氣候發展，並決定兩島嶼的密集觀測啓動最佳時機，以節省外島運輸和駐守的人力物力消耗。爲簡要表明這次天氣觀測實驗特點，研究團隊將行動取名爲「南海雙島季風實驗」（South China Sea Two Island Monsoon Experiment，簡稱 SCSTIMX）。由於大氣的時間流動是不可逆的，戶外密集氣象觀測需要提早等待與緊急行動，過程宛若一場冗長「軍事演習」，也讓參與觀測計畫的研究人員和師生們，滿載在海上往訪航行六天六夜腸胃翻滾和島上生活甘苦點滴的回憶。

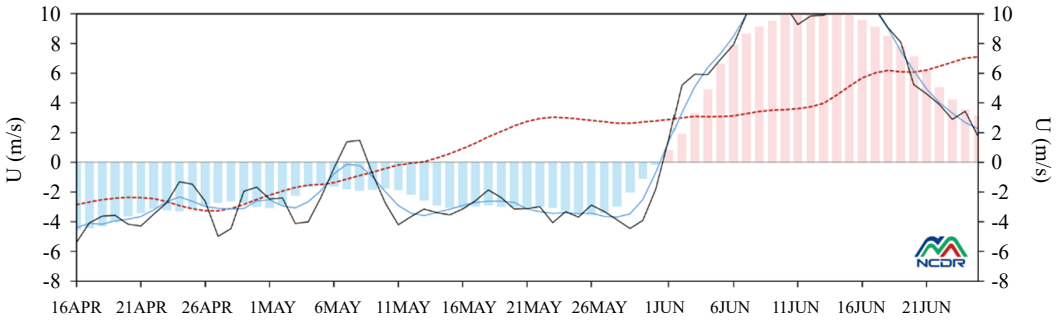
2017 年 12 月 4 日到 21 日期間，SCSTIMX 在東沙島和太平島施放無線電探空儀(毛重 200g 探空氣球搭載 113g 芬蘭 VAISALA 的 RS-41 radiosonde)同步進行一天兩次（上午 8:00 和下午 8:00）海面到~25 Km 高度的氣溫、濕度、風速、風向垂直剖面觀測，我們將這段期間的觀測行動稱之爲「冬季密集觀測期(Intensive Observation Period Winter, IOP-W)」。這一期間發生西伯利亞冷高壓南下的寒潮爆發，冷空氣推進到南海，因此 12 月 15 日到 21 日期間再增加爲一天四次的探空儀施放（增加下午 2:00 和深夜 2:00）。這些上升到平流層的探空氣球觀測資料每次結束後立即回傳中央氣象局，讓電腦數值模擬增加南海海域這兩組大氣結構的資訊做爲預報初始場



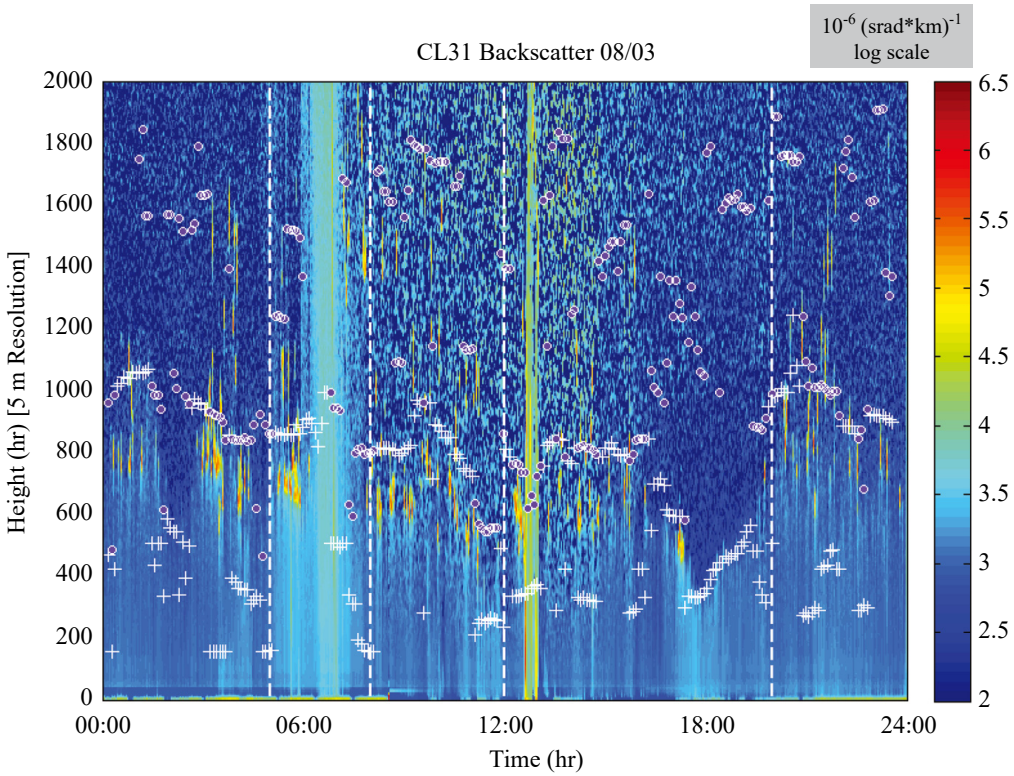
圖三　（上）太平島 IOP-W 期間地面氣溫(T)濕度(RH)小時雨量(Rain)風速(WS)風向(WD)與混合層高度(MLH)時間序列圖。（下）太平島 IOP-W 期地面到 10 公里高度的無線電探空儀風速風向（線段風標）與比濕水氣（等值線色塊，g/kg）。（林博雄製作提供）

(initial condition)。觀測過程需要人工充灌氣球、檢查與設定 radiosonde 狀態、繫牢氣球並檢查 GPS 衛星通聯數量之後，才能升空進入飛行自動觀測與資料傳輸狀態，全部過程約 90 分鐘（圖二）。圖三是這一期間太平島地面氣象和高空水氣、混合層厚度與風場的時間變化，特別在 12 月 16~19 日期間風速和降雨增強以及混合層厚度下降等現象，反應冬季季風寒潮抵達南沙群島。這是台灣氣象界首次在距離台灣 1600 Km 之遙的南方低緯度海面，紀錄到的一組完整的每六小時間距又連續的冷氣團通過太平島海面的資訊。可惜搭配海上船舶探空氣球觀測的海研一號研究船是在 11 月 30 日到 12 月 10 日之間往返高雄與太平島，沒有與這一波寒潮「正面迎擊」進行洋面移動觀測。

2018 年 5 月 6 日到 6 月 4 日期間，SCSTIMX

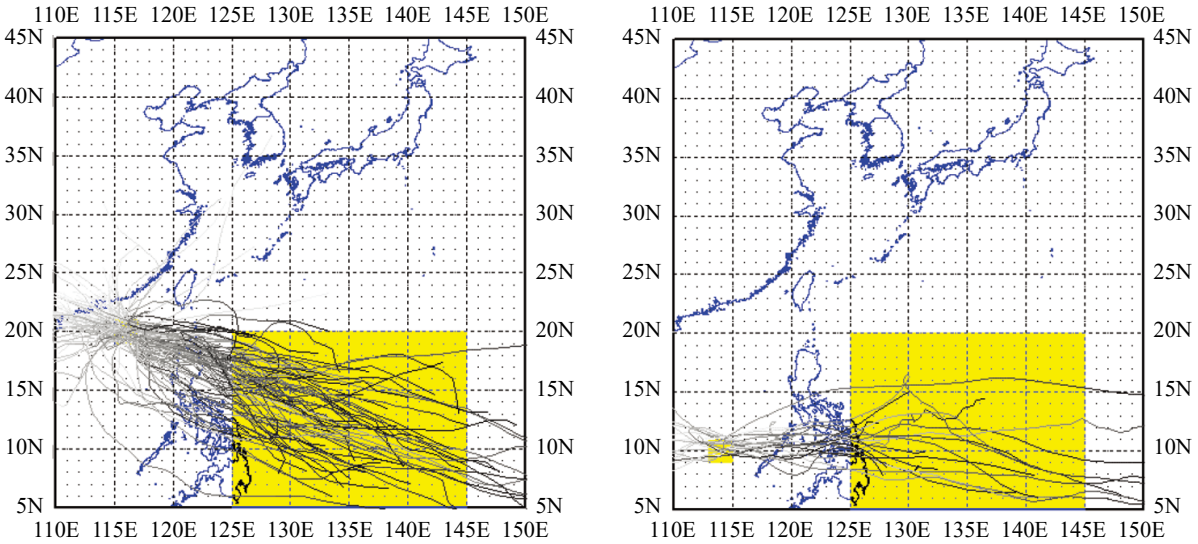


圖四　2018 年 4 月 16 日~6 月 26 日南海區域（5~15N°、100-120E°）850 hPa 高度層東西向風速。（摘自 NCDR 網頁 https://watch.ncdr.nat.gov.tw/watch_meiyu.aspx）。



圖五　2018 年 6 月 3 日全天太平島 Vaisala CL31 雲幂儀背向散射強度（等值線色塊）與混合層高度位置（十字符號與紫色圓圈）。（林博雄製作提供）

再度進行近一個月的「夏季密集觀測期(Intensive Observation Period Summer, IOP-S)。除了氣球搭載無線電探空儀的施放，太平島再增加 1290MHz 無線電剖風儀(wind profiler)和微波輻射儀的連續觀測（國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心提供），以及全天空影像與高雲、低雲雲量等每 5 分間距的連續數位紀錄，以做爲氣象衛星通過南海的海面校驗之用。2018 年夏季季風肇始訊號比氣候值（5 月中旬）遲到 10~15 天（圖四），直到 5 月 31 日太平島才出現顯著西南風與雨勢，台灣也經歷了 5 月雨量偏少的「空梅」現象；因此東沙島與太平島的高空氣象密集觀測資料轉移主軸議題，改爲探索南海北部和中部區域海面到 3 公里厚度的大氣邊界層連續變化特性。從 IOP-W 開始到 IOP-S 結束的半年期間，臺灣大學大氣科學系留置在太平島上的雲幂儀(Ceilometer)，透過 910nm 波長的 InGaAs didode 雷射光束，連續 6 個月全自動並詳實紀錄該島上



圖六　同時穿越菲律賓東方海面和東沙島（左）與太平島（右）的西太平洋熱帶風暴軌跡。（林博雄製作提供）

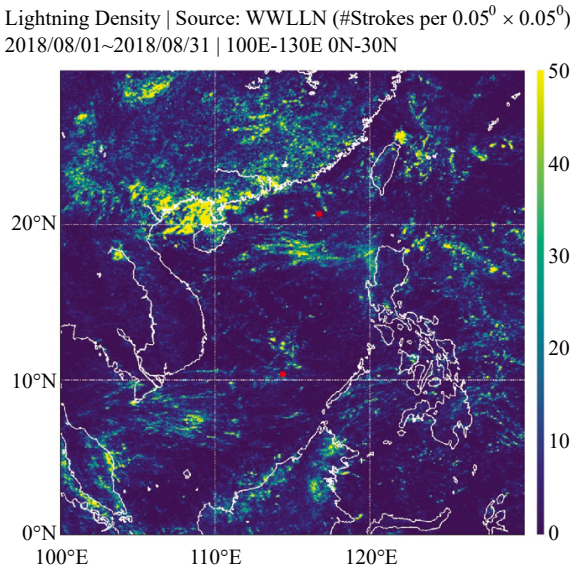
空 7.5 Km 厚度的水氣與雲相變化資訊，也是本計畫的亮點之一，圖五是 2018 年 6 月 3 日當天太平島上空 2 公里厚度的雲底高度降雨和邊界層高度估計；這組寶貴資料也將能提供區域天氣數值模式的水氣模擬，以及通過南海的福衛三號大氣剖面掩星觀測校驗參考。

隨著 SCSTIMX 觀測行動結束，科技部呼應政府「新南向」政策以及和平使用太平島的用心經營，再度支援本文主筆執行為期四年的「南海國際科學研究設施建置與管理」計畫。主要目標是建立太平島先驅性的科學研究站，並讓交通部中央氣象局、環境保護署以及海洋事務委員會海洋保育署隨後能接應，轉成為常態性科學研究站的運作，讓台灣以及全世界科學家都能善用南海正中心這一珍珠般的島嶼基地，進行獨特議題探索和跨域交流。太平島過往的科學調查研究包括農業委員會「南沙群島海域水產動植物資源調查及生態系統服務評估」計畫，內政部「南疆沃海-南沙太平島生物多樣性」計畫等海洋生態以及早期的太平島地質勘察等；科技部相關計畫過往也有零星的研究學者專題計畫，2018~2022 年「南海國際科學研究設施建置與管理」計畫以大氣科學和海洋科學兩種領域率先進行，本計畫共同主持人中山大學宋克義教授自 2012 年起主持經營東沙國際海洋研究站有成，我們將參考東沙島研究站的運作模式逐年建立太平島國際研究站，也協助東沙島現有氣象觀測資源的進階發揮。由於太平島周遭海域有菲律賓、越南和中國大陸各國島礁，海洋科學相關調查比較隱性敏感，而大氣科學領域的氣象觀測則是顯性並較無國際爭議，因為部分觀測資料是即時透過聯合國世界氣象組織(WMO)全球氣象交換系統(Global Telecommunication System，簡稱 GTS)，來分享區域天氣警報以及支援全球天氣預報使用。舉例來說，1945~2017 年期間，颱風穿越由菲律賓陸地進入南海總計 647 次，其中直奔東沙島和太平島各有 85 次和 20 次（圖六），對於島上海巡署弟兄以及海域航行船隻避險都有直接威脅。

「南海國際科學研究設施建置與管理」計畫四大主軸目標包括(1)建立太平島研究站雛型，(2)善用與規劃東沙島研究站大氣相關觀測，(3)透過研究船航次串起東沙島、太平島兩島嶼的觀測點形成南北觀測線，(4)延續強化原先的 SCSTIMX 計畫以及進行中的台灣菲律賓火山-海洋-颱風-地震工作委員會(VOTE)架起的國際合作脈絡。本計畫第一年度先以兩套 20 呎科學貨櫃（圖七）在太平島碼頭建立研究站基礎，第二年度起再將擴大邀請高層大氣與太空科學領域，以及海洋物理化學領域研究群來豐富科學站議題。並以網頁來呈現南海海域氣候資訊（圖八即是 2018 年 8 月南海海域與周邊陸地的閃電發生密度）、即時氣象監視與預報、科學成果與動



圖七　即將安置在太平島碼頭的科技部科學站貨櫃於臺灣大學大氣科學系整備與出發（2018 年 12 月）。（林博雄拍攝提供）



圖八　2018 年 8 月南海及周邊陸地的閃電發生頻率空間分布（東沙島和太平島分別以紅色圓點標示），閃電原始定位資料來自 WWLLN (World-Wide Lightning Location Network) 科學網站。（林博雄製作提供）

態消息。基於太平島海空交通相對困難，因此本計畫將協商台灣海洋科技研究中心「勵進號」研究船以及臺灣大學海洋研究所「新海研一號」研究船，每年各安排一次航程搭載國內與國際科學團隊一起造訪太平島科學站，吸引更多科學研究者以南海進行跨領域議題合作。展望科技部這項計畫的藍圖，期許國人以及全球學界對於南海東沙島與太平島的認知，除了國際外交政治議題以及海洋生態議題之外，能更進一步得知當地天氣與氣候探索進度，並共享科學研究的資訊與知識。