

臺灣周邊海域海流觀測長期統計空間分布特徵

郭家榆

國立台灣大學海洋研究所

摘要

目前臺灣周邊的海流資料來源由科技部(2014年3月前為國科會)委託國立臺灣大學海洋研究所執行的海洋學門資料庫(英文Ocean Data Bank, Ministry of Science and Technology /National Taiwan University, 以下簡稱ODB)收集得, 測量儀器是配備於國內三艘海洋研究船(海研一、二、三號)上的船載式都卜勒流剖儀(ShipBoard Acoustic Doppler Current Profiler, 簡稱SADCP)。海流資料從1991年至2015年底計有2,655個航次, 累積走航點位資料量達516萬筆(即流速剖面, 記錄間隔為1~2分鐘), 總筆數(含深度數據)為1.3億筆, 資料量相當龐大。ODB將歷年來收集到的海流資料彙整, 再經過品管處理後的時間與空間統計分析結果, 初步了解臺灣周邊海域流速之空間分布特徵, 從資料整編及透過數據轉化成知識, 並加值成為應用資訊, 希望能提供產業、學界及政府在海洋能源開發、科學研究、海洋安全或其他海洋相關應用上有所幫助。

關鍵字：SADCP、長期統計

一、前言

臺灣緊臨西北太平洋、東海與南海三大海域, 東側有強勁的西方邊界流—黑潮通過, 地形自陸地向外海急遽變深, 離岸幾公里外深度已超過5000 m。北邊是廣闊的東海大陸棚, 此區域深度多在200 m之內且涵蓋了整個台灣北部海域。西南方為台灣淺灘與南海深海海盆, 水深最深可達5000 m, 西方較淺的臺灣海峽為東海與南海兩大邊緣海間海水交換的主要通道, 平均水深60 m, 南方與呂宋島間隔著呂宋海峽。使得這片海域具有海峽、淺灘、大陸棚、大陸斜坡、邊緣海以及深海盆地等豐富多樣的海底地形地貌, 外加三大海域海流系統在臺灣周邊交會並相互作用, 受崎嶇的海底地形影響外, 又處於全球最大的亞洲季風系統內的東亞季風帶, 其子系統內典型的東亞季風在夏天期間吹西南風, 冬天時則吹東北季風(Hellerman and Rosenstein, 1983), 致使海區內海流系統複雜多變, 造就台灣周邊許多特有的海洋現象。

ODB在在科技部的經費支助下, 國立臺灣大學海洋研究所用有限的人力與資源, 規劃管理經營, 從1991年至2015年期間收集國內三艘海洋研究船配備的SADCP所量測的海流資料, 共執行了2,655個航次, 經由資料彙整、處理, 再經過品管處理後的空間分析結果, 初步了解臺灣周邊海域流速之空間分布特徵, 以下說明SADCP之資料來源及方法、資料品管、統計結果與討論等, 最後是結論與未來工作。

二、資料來源與方法

資料來源由海研一、二、三號三艘研究船上所安裝的SADCP測量而得, 而研究船使用美國Teledyne RDI公司製造的Ocean Surveyor Vessel-Mount ADCP, 可以在航行、作業的同時觀測船腹下方從海面下20 m至大約300-400 m深之各水層(間距為每4 m或8 m一層, 視ADCP設定模式而異)的流速資料。此型系統包含一組裝置於船體底部的音鼓(Transducer), 以及一座放在船上實驗室內的控制與收訊裝置(Deck unit)。SADCP水下音鼓可選用三種不同頻率, 分別是38 kHz、75 kHz及150 kHz。海研一號自2007年起即使用75 kHz音鼓, 海研二號則是使用150 kHz音鼓, 海研三號原本使用150 kHz, 自2010年開始改用75 kHz。SADCP不論使用何種頻率音鼓均有兩種觀測模式可以選擇, 一種是長距離模式(Long-range mode), 可量測到較大深度的流速剖面資料, 但精確度較差, 另一種則為高精度模式(High-precision mode), 量測的深度範圍較淺, 但精確度較高。以海研一號75 kHz頻率為例, 當船速介於1-5節(Knot), 在長距離模式下, 以每8 m深度為一量測層時可量測到的最大深度範圍達650 m, 此時單一音束脈衝(Single ping)的精確度約0.3 m/s; 但海研二號及三號150 kHz在長距離模式下, 以每4 m深度為一量測層時其量測範圍約為350 m, 若改用高解析模式, 則可量測到的最大深度範圍約只有225 m, 然而單一脈衝的精確度卻可提高至0.15 m/s。SADCP可量測的速率(velocity)範圍為-5至9 m/s, 準確度約±0.005 m/s, 音鼓旁的溫度探針可量測的溫度範圍在-5至

45°C，精確度為±0.1°C，解析度為0.03 °C。研究船均利用RDI公司提供的Vmdas軟體來擷取SADCP流速數據，其功能具有資料收集(Collection data)、重新處理(Reprocess data)及檢視(Playback data)等。

SADCP的原始資料檔案為.STA及.N1R兩種。後續處理過程首先是使用自行開發的C#程式讀取上述兩種檔案，並直接寫入資料庫中，再利用SQL管理系統計算出船速以及各水層之絕對流速。由於SADCP量測到的速度是海水相對於船的速度(也就是假設船為靜止不動)，需扣除船速後才能得出絕對的海水流速。走航觀測時SADCP可用循底模式(Bottom tracking mode)以海底不動為參考來測量船速，此時SADCP測得的流速與船速相減後即可得出較準確的絕對流速，但此法可行的前提是由電羅經取得的船首向角度必須無誤；否則若SADCP接收不到正確的電羅經資料時，流速測值當然就會不正確，針對這類資料ODB的作法是刪除不使用。此外，音波在海中傳播時其能量會隨距離衰減，是以SADCP並不是每次發出的音波都能順利打到海底，當無法利用循底模式得出船速時，仍然可利用全球衛星定位系統(Global Positioning System, GPS)資料來推算船速並算出流速。此外也可使用GPS所測船速資料來檢驗SADCP所測船速資料是否合理，由於GPS所量到的船速是相對於地球座標(Earth coordinates)的速度，而SADCP循底模式所得的則是船體相對於海底的移動速度，將這兩種不同參考座標下的速度值做座標轉換以及線性迴歸統計計算後，便可求出校正係數(Adjustment factor)以及偏差修正角度(Misalignment angle)，如此即可進一步修正SADCP所測流速資料，處理步驟有挑選資料品質(Percentage of good)大於85%的資料；計算校正因素及偏差角度；利用循底模式以及GPS兩種不同系統得出的船速結果，作座標轉換後以最小二乘法求出修正係數；SADCP測得的相對流速經修正後轉成地球座標減去循底模式船速或GPS船速得到實際流速及時間轉換成本地時間。

三、資料品管

SADCP資料品管處理時，由於原先在資料處理步驟時有些部分已經經過初步篩選，將不符合條件的資料均予以刪除，因此本階段品管測試只對資料做標示管理，並不需再刪除，SADCP資料之品管代碼是參照美國國家海洋資料中心(National Oceanographic Data Center, 簡稱NODC)全球溫鹽計畫(Global Temperature -Salinity Profile Program, GTSP)的品管標示代碼來標注品管結果。完成品管測試後僅挑選出代碼為"1"、"2"或"5"的流速資料進行後續統計分析。

ODB處理SADCP資料品管流程分為三階段(各有不同測試項目)，資料依序通過各階段測試流程後，始定為品管合格之數據。

第一階段：位置測試(Location tests)

1. 標示錯誤的時間或時間格式；
2. 標示錯誤的經度、緯度資料；
3. 標示上岸的資料。

第二階段：剖面測試(Profile tests)

1. 設定流速合理範圍，將不合理的流速資料予以標示；

2. 將資料深度超過海床底深的資料予以標示，此測試亦需地形資料輔助，先將地形資料依經緯度網格化成6'格點，再以測站網格點為中心，取周圍最近的16個地形網格點之最深深度值為參考基準再一起比對，將超過底深85%之水層流速資料標示為"3"或"4"。

第三階段：氣候場測試(Climatology tests)

1. 將歷年的資料以經緯度1°×1°網格內做平均與標準差統計，將觀測值減去長期平均後超過網格平均正負3個標準差的數值予以標示。

四、統計結果與討論

ODB將各研究船所收集到的SADCP海流資料進行統計分析，圖1為25年來所有SADCP測量點之分布，沿測線上不同顏色代表各資料點對應之最大量測資料深度，虛線框則為本圖集資料統計分析時所用的空間範圍。時間方面是以分年及分季直接加總；空間統計則是將所有海流資料按深度分為每10 m一層，並按其位置以經緯度15'×15'(1/4°×1/4°)大小予以網格化，然後再計算流速資料在各網格內的平均值及標準差，統計時流速資料至少要有30筆才納入計算，最後將這些格點統計結果使用GMT繪圖展示。本節係簡略描述SADCP海流歷史資料之統計分布，展示臺灣周邊海域大尺度平均環流及主要幾道海流之水平分布、斷面分布與流速玫瑰圖分析結果。

圖2所呈現的是網格化SADCP流速資料之多年平均水下30 m水層的海流分布流軌圖，顯示了幾項特徵：(1)圖上座標122°E，19°N處的黑潮，流較強且流向西北，此流在流經恆春海脊南端後轉向北，再沿臺灣東岸流向北北東方，過了臺灣東北角後，轉成東北流。(2)臺灣西南海域有一個水平直徑約100~200 km的順時鐘方向環流，該環流西側為一股東北向海流，循著臺灣灘外緣以反時鐘方式流入澎湖水道。(3)從澎湖水道北上的海流在澎湖北方會先偏向西北繞過澎湖，然後順時鐘迴轉再貼近臺灣西海岸。(4)在呂宋海峽西側似乎存在一個反鐘向的海流。

斷面部分取臺灣東岸及臺灣海峽沿23°N、24°N與25°N的分布情況；前者為圖3，後者為圖4），斷面緯度剖面上之東西向海流(U分量)、南北向海流(V分量)及南北向經度15°間距的流量柱狀圖，由圖3的23°N斷面可看出黑潮源流在蘭嶼南方呈現雙核心構造，蘭嶼西側的北向流流速較大，其核心深度較東側海流為淺，兩者在綠島以北(122°E，22°N)處合而為一，且合成流的流速核心位置也往花蓮海岸趨近，再往北沿25°N斷面靠近臺灣東岸的下層則出現南向的反流。從圖3的南北向流量分布範圍，可大致推估臺灣黑潮流幅水平寬度約為80~220 km，發生在蘭嶼附近之黑潮雙核心中靠臺灣東岸者之最大流速可達1.2 m/s，流軸位置(流速最大值)平均離臺灣東岸約20~50 km。

圖4從下到上分別呈現臺灣海峽沿23°N、24°N與25°等三條緯度斷面SADCP長期氣候平均流速之東西向(U分量)與南北向(V分量)及南北向經度15°間距的流量柱狀圖。位於23°N至24°N沿120°E往北之澎湖水道內流速可達0.4 m/s，越往北至彰雲砂脊前海流會順著地形轉向西北(見24°N剖面)，至更北方25°N剖面上的烏坵凹陷(120°E西側)及觀音凹陷(120°E東側)處，則分別出現了兩道流速核心，表示海峽內出現了兩支海流，多年統計之氣候平均流場顯示在25°N斷面上東側這支海流較強，西側這支海流則較弱。關於臺灣附近海流分布特性較詳細之說明與圖表可參閱戴等(2014)「臺灣區域海洋學」一書(第四章物理海洋環境)及ODB出版「中華民國105年海洋資料圖集報告」。

海流玫瑰圖以臺灣海峽(圖5)與黑潮(圖6)上取一網格作為討論，從圖上可知在海峽內的流向以東北東佔了超過三成，流速從0到1.2 m/s皆有出現，而黑潮從流向上來看以北北東及東北方向為主，且流速大多超過1 m/s，速度相當的快。爾後相關的展示會在網頁中呈現，可用來描述某一地區長期流向流速的分布特性，流向方向通常分16個方向，在流速玫瑰圖的極坐標系上，每一部分的長度表示該流向出現的頻率，區塊較長的部分表示該風向出現的頻率最高，可應用於海流統計之輔助說明。

謝誌

本研究係由海研一號研究船貴重儀器使用中心計畫(計畫編號104-2119-M-002-030-)方式所執行，提供ODB建置、運作、維護所需研究經費與設備，更要感謝歷年來所有辛苦出海實驗蒐集資料的研究計畫主持人及其工作團隊、海研一、二、三號研究船船員與海洋作業人員、以及ODB計畫主持人、諮詢教授及資料庫同仁協助。

參考文獻

GTSP Real-Time Quality Control Manual, First Revised Edition. UNESCO -IOC 2010. (IOC Manuals and Guides No. 22, Revised Edition.). <https://www.nodc.noaa.gov/GTSP/document/qcmans/MG22rev1.pdf>

Hellerman, S. and M. Rosenstein (1983), Normal monthly windstress over the world ocean with error estimates. *Journal Physical Oceanography*, 13, 1093–1104.

海洋學門資料庫(2016)，中華民國105年海洋資料圖集報告。科技部海洋學門資料庫出版，共170頁。

戴昌鳳等(2014)，臺灣區域海洋學。臺北市：臺大出版中心，共456頁。

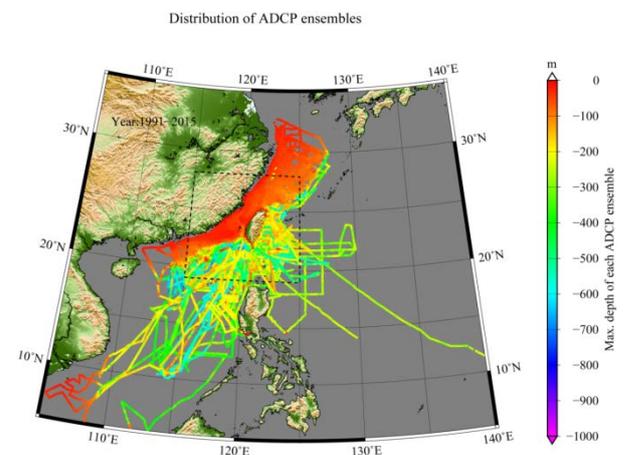


圖 1 歷史 SADCP 資料分布及對應之施放深度。
Daily drifting trajectory at 30 m depth

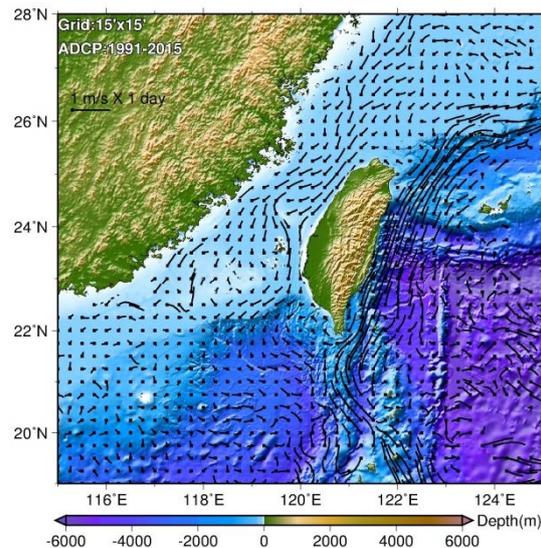


圖 2 氣候平均之水深30m由SADCP資料總計算出之一天漂流軌跡圖，軌跡線之黑點為起始位置。

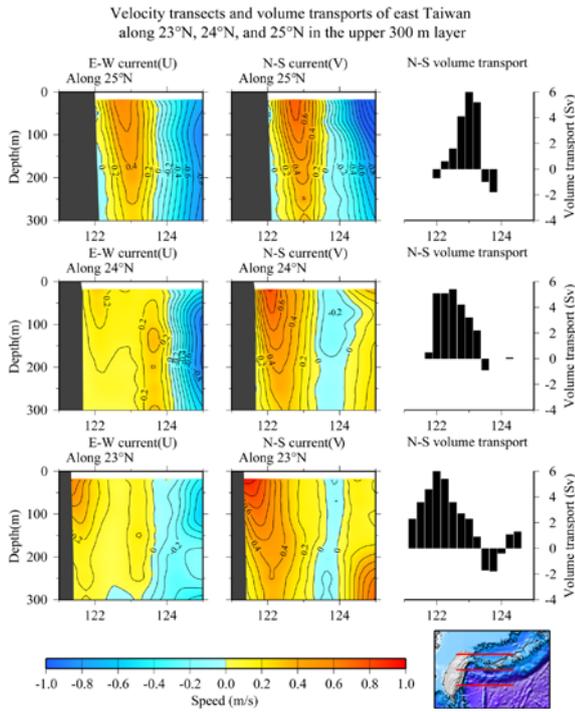


圖 3 臺灣東部海域沿 23°N、24°N 和 25°N 海面至深度 300 m 斷面內流速(U、V)分量剖面圖及北向流流量(經度 15'間距)分布。

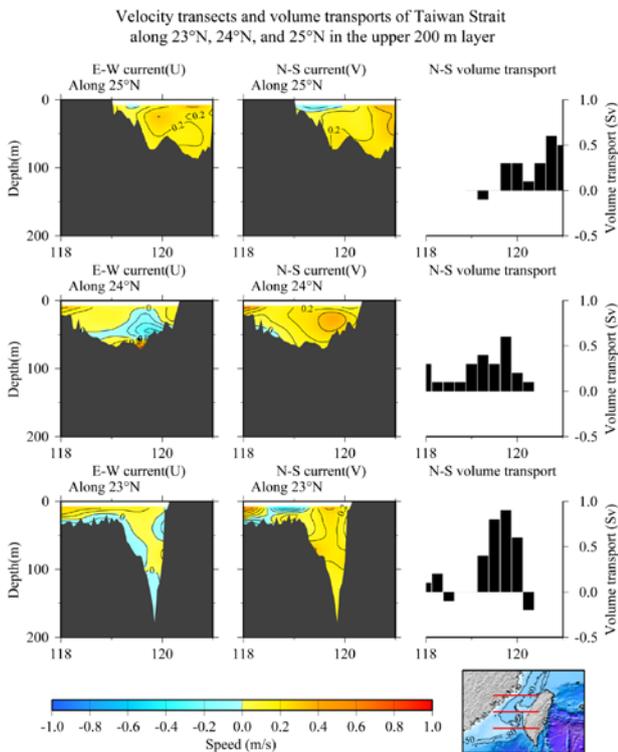


圖 4 臺灣海峽內沿 23°N、24°N、25°N 海面至深度 300 m 斷面內流速(U、V)分量剖面圖及北向流流量(經度 15'網距)分布。

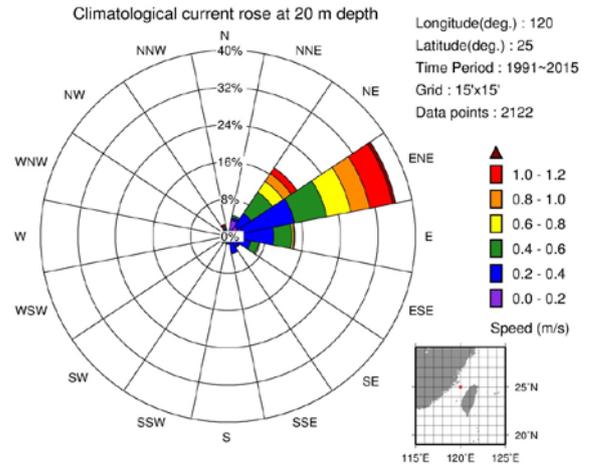


圖 5 臺灣海峽 120°E、25°N 位置上水深 20 m 的海流玫瑰圖。

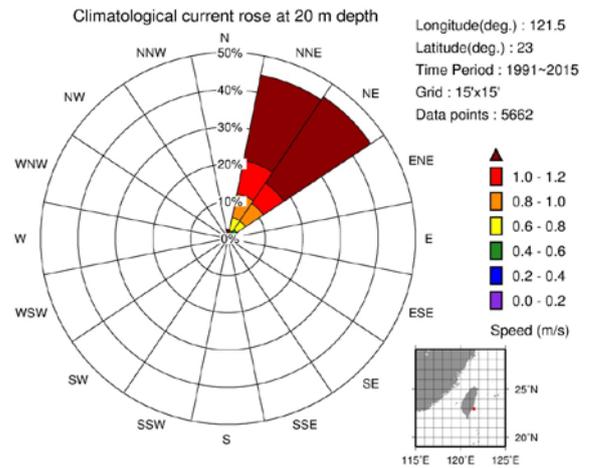


圖 6 臺灣海峽 121.5°E、23°N 位置上水深 20 m 的海流玫瑰圖。