

臺灣海域作業化海氣象資料浮標監測網

吳立中¹、董東璟²、滕春慈³、吳益裕⁴

摘要

近年隨著大氣與海洋所引發之災害頻傳，全球皆相繼投入自然環境之監測工作。佔全球表面積七成之海洋水域扮演著氣候調節甚至是氣候變遷的關鍵。海洋環境的現場監測數據除了是釐清氣候議題之依據外，也可確保海上與岸邊相關活動之安全。過去 20 多年來，在跨政府部門的努力之下，已在臺灣環海建立了 25 座作業化海氣象資料浮標觀測站，在海上構築出一面監測網絡，全天候且即時提供現場海氣象特性之監測結果。本文除討論資料浮標相關技術之外，也說明資料浮標監測網建置之歷程與演進，並對未來之發展策略提出展望。

一、前言

隨著近年全球天然災害頻傳，人們已開始意識到氣候變遷的威脅，相關議題也已成爲國際學界之討論焦點。根據世界經濟論壇(World Economic Forum)所發布的全球風險報告指出，2021 年所可能發生的世界前兩大風險，都與自然環境議題有關，分別是極端氣候與氣候行動失敗，顯見氣候特徵對人類生存和發展的重要性。而根據聯合國政府間氣候變化專門委員會的第五次評估報告(IPCC, 2013)報告顯示(第六次評估報告預計將於 2022 年出版)，海洋變暖主導了氣候系統能量儲存增加之現象，1971 年~2010 年這段期間的海水持續在增溫。此外，19 世紀中葉以來，全球平均海平面上升速率大於過去兩千年的平均上升速率。

科學證據已顯示海洋扮演著地球氣候調節的角色。在面對全球環境變遷的議題時，不應將陸地與海洋視為互不相干的獨立系統，必須同時考慮到兩者之間的交互作用。臺灣本身的地理位置相當特殊，除位處熱帶與亞熱帶之間，也座落於全球最大洋與全球最大陸域之間，加上季風系統與大洋之洋流之作用，海氣象條件複雜。此外，由於四面環海的地理環境，就廣意的地理分類，臺灣人口密集的地區都屬海岸地帶，在討論全球環境變遷時更應該將陸地和海洋視為一體。

海洋除了是掌握氣候變遷的關鍵之外，也是能源開發、漁撈養殖、觀光遊憩與環境教育等活動的重要資源。近年來，國內跨部會推動「向海致敬」政策，鼓勵民眾「知海」(知道海洋)、「近海」(親近海洋)及「進海」(進入海洋)，確保海洋永續發展。預期未來從事海上以及岸邊活動的民眾人數將會持續成長。但一般民眾對海洋環境之風險認識較為有限，恐增事故。根據媒體統計，近廿年來臺灣海域發生浪襲落海事件達 360 件，顯見讓民眾「知海」這項任務之重要性與急迫性。政府部門為改善此一情況，目前正研擬危險海況之預警機制。然而大自然之海氣象特徵大多具有紛紜隨機之特徵，現階段之數值預測技術仍有其學理與科技之極限，要準確進行預測，往往仍需要搭配現場實測數據進行調校。

海上資料浮標是目前國際間最常見之海洋環境現場監測方式之一。為能有效掌握海氣象資訊，國際間許多國家皆布建海氣象監測站。根據統計，現階段全球設置有約五百座錨繫式海上資料浮標，作業化收集海洋環境數據(圖 1)。

透過資料浮標所測得之海氣象資訊除了是防災預警的重要關鍵之外，國際間也大量使用浮標觀測資料來進行天氣預報與海上安全評估等實務應用工作，如：

- (1) **天氣預報**：為改善天氣預報之結果，許多實測資料，包括衛星、探空氣球、陸上觀測站、船舶與資料浮標所測得之數據都會用來作為氣象模式同化(assimilation)之用。

1 國立成功大學近海水文中心副研究員
2 國立成功大學水利及海洋工程學系教授兼近海水文中心主任
3 交通部中央氣象局海象測報中心主任
4 經濟部水利署水文技術組組長

- (2) **海象預報**：資料浮標的海象實測資料也是改善海象數值預報的重要關鍵，學界已發展不同的資料同化技術，藉以分別改進海象追算、現報與預報之技術。
- (3) **颱風預報**：透過資料浮標量測大洋水體溫度，可改進颱風的預報準確度。
- (4) **氣候預報**：利用海洋數值模式搭配浮標觀測資料，可用來預測全球性或是區域性尺度的氣候特徵以及海洋擾動。
- (5) **海上搜救**：利用實測之風與海流資料，可協助搜尋失聯的待救援船艦。
- (6) **漁撈輔助**：海水溫度是判斷魚群所在的重要依據。浮標所測得之單點水溫可用來率定衛星所測得大範圍之海表面水溫值，藉以取得大範圍且高準確度的水溫資訊。

我國參照歐美等先進國家的作法，亦採用資料浮標作為海上取得氣象與海象實測資料的平臺，進行海氣象觀測。本篇文章介紹臺灣海域作業化海氣象資料浮標監測網，除針對現階段資料浮標所使用之觀測與資料品管技術進行檢討，亦介紹海氣象資料浮標監測網之演進歷程，並針對作業化海氣象資料浮標監測提出未來之展望。

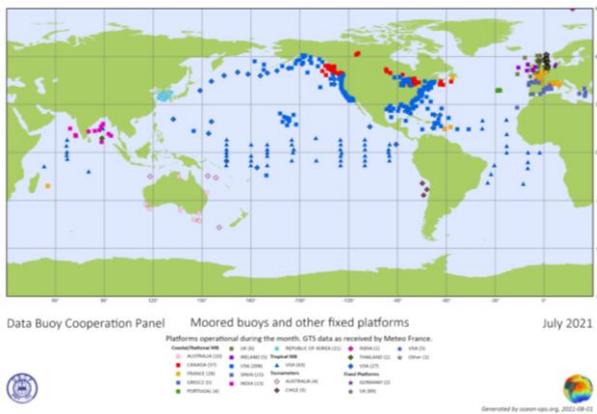


圖 1：全球錨繫浮標分布(圖片來源：<https://www.ocean-ops.org/board?t=dbcp>)

二、資料浮標作業化觀測與品管技術

2-1 資料浮標關鍵技術

資料浮標(圖 2)是用來進行海氣象觀測的設備，能源自給自足，具有記錄如氣壓、氣溫、風向風

速、水溫、波高、週期、波向等數據之功能，又稱「海上無人監測站」。作業化資料浮標觀測站之組成有賴下列關鍵技術之整合：

(1) 浮標殼體與錨繫

我國長期作業化資料浮標之殼體採用鋁合金殼體，具高強度與高剛性，並搭配吸收式護舷材保護殼體緩衝撞擊強度。殼體內部具多隔艙結構，以確保遭遇意外情況時依然能維持一定程度之浮力。

碟型浮標體與鬆弛式錨繫可確保良好的隨波性。資料浮標觀測波浪之方式為藉由浮標殼體隨水面的運動，進行同步觀測水面運動加速度、俯仰(pitch)及翻轉(roll)傾角。利用資料浮標隨海面波動所產生的垂直運動可計算一維波譜，並轉換為浪高。進一步搭配資料浮標隨海面波動的傾角資料，則可求得方向波譜。

錨繫與錨碇亦是確保資料浮標在固定水域長期作業之關鍵，須依照布放海域之水深以及現地條件進行包括鐵鍊、鋼索、繩索、轉環、連接器等部件之最佳化配置，並針對所配置之錨繫與錨碇進行數值模擬與力學計算，確保整體錨繫與錨碇系統能抵抗現場海域所可能遭受之極端海洋外力。

(2) 資料擷取系統與資料傳輸

80 年代以前受限於無線通訊技術發展並未普及，其海象觀測大多並無即時傳輸之能力，資料被儲存於觀測系統的儲存設備中，再定期回收數據。這些觀測數據雖是工程設計以及科學研究的關鍵，但卻無法完全滿足氣象預報以及災害預警等具有時效性之需求。不論是氣象預報或是防災預警，都是在跟時間賽跑。早一分鐘獲得現場海氣象資料監測資料，就可能有效減低災害所造成的人命以及財產損失。隨著無線傳輸技術的發展，現場即時的海氣象資料能即時回饋給氣象預報模式。為能確保惡劣海氣象環境下，每一筆資料都能即時送達給預報員以及防災決策層級，國內現已成功整合開發多重資料即時傳輸技術，包含 4G 通訊以及衛星通訊，應用於觀測系統上可確保資料的即時傳輸成功率。每一筆數據都能在觀測以及分析後數分鐘內完成資料傳輸，陸上的監控中心能在 15 分鐘內收集到臺灣環島作業化海氣象觀測網不

同測站的監測數據。

(3) 布放技術

在海上布放浮標必須搭配良好的海況，在調度船隻時則需要很好的機動性。有別於歐美國家普遍是動員大型船艦執行浮標布放作業，國內因研究船與工作船航次調度不易，有部分的作業是採用漁船搭配載具（放置錨碇與錨鍊）的方式來執行近海資料浮標之布放（圖 3），強化了布放作業之彈性與時效性。

2-2 海氣象觀測資料監控與品管技術

臺灣環島作業化海氣象監測站在設立完成後便透過自動化控制進行各項資料觀測、分析及傳輸的工作，透過系統之即時監控與操作，瞭解各現場測站運作的即時狀況，以避免因儀器系統故障進而造成觀測資料長期中斷。透過數據專線對各現場測站進行遠端即時監控，掌握測站運作的最新狀況。監控品管人員每天根據測站傳回的訊息及數據資料進行分析品管，確實瞭解現場狀況，並每日填寫記錄表以為依據。在每天的例行監控中，就資料的品質、儀器的妥善、測站的位移、通訊的良窳及系統的電力等加以監控，因此現場的最新狀況在監控品管站裡可完全掌控，遇有突發狀況時，可作快速適當的反應處理。

資料品管為確保觀測資料品質之依據。考量引用錯誤資料的危險比沒有資料更為嚴重。臺灣環島作業化海氣象資料浮標觀測網所監測的資料都經過一套品質控管(Data Quality Control)系統來維護品質。這套品質控管系統的內容包含有資料檢測(QC)和資料保證(QA)兩部分(Doong et al., 2007)。資料檢測係與美國國家大氣總署(NOAA)採用相近的方法，且依臺灣地區各測站的特性修正所建立完成「資料品管系統」。一方面藉由標準化、作業化的數據檢測系統，定常性檢測觀測數據，過濾出異常的可疑數據；另一方面則在檢測觀測數據的過程中監控觀測系統及儀器狀況，作為研判系統維修及儀器檢校的作業時機，提高數據品質。資料保證是指可以令資料使用者增加信心的手段，其中非技術性的教育宣導是要順利從事海象觀測重要的措施之一。近年來由於政府單位的努力，一般漁民與民眾已經從以前對放置在海上的觀測儀器從

排斥的態度轉變為依賴這些儀器所測得的海象資訊，從原本是海象觀測作業的阻力變成助力。

資料品管的方針是「不漏除錯誤資料，不誤刪正確資料」，這套品管系統以兩種方式施行，分別是由電腦執行的「自動品管」與由專人檢查的「人工品管」。不論是自動或人工的品管方法均需遵守嚴格的規範與程序。



圖 2：海上長期作業化資料浮標實體

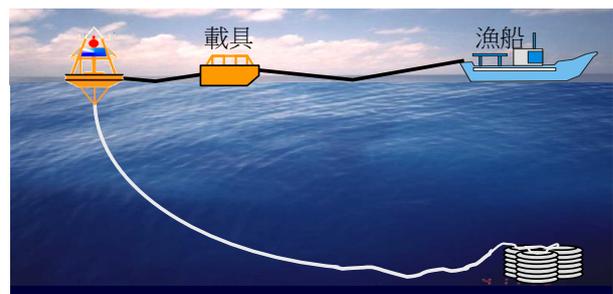


圖 3：近海資料浮標布放示意圖

三、海氣象資料浮標監測網之演進

九零年代以前，國內尚不具備自主作業化觀測海洋環境之能量。相關儀器設備多自國外引進，但關鍵技術多保留在原廠手中，這對政府要推動海洋相關政策或是保障近岸民眾生命財產安全皆造成了限制與阻力。有鑒於此，國內開始自行研發作業化海氣象資料浮標作業的關鍵技術，並參考美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)的作業規範，發展出適用於臺灣周遭海域的海氣象資料品管技術。

交通部中央氣象局基於氣象法第 7 條，得於全國重要地區選擇適當地點，設置觀測站，進行氣象、海象等現象之觀測，在 1997 年分別於花蓮與新竹外海布放兩座國內自行研發的資料浮標站，開始長期作業化之海上浮標觀測工作(中央氣象局，2020)。經濟部

水利署則基於其海岸禦潮防災之職掌，於 1999 年開始在不同海域設置資料浮標。為因應其各自所職掌業務之需求，交通部觀光局、海洋委員會國家海洋研究院、交通部運輸研究所港灣研究中心亦陸續於臺灣海域建置海氣象觀測用資料浮標。截至 2021 年為止，在不同政府部門的通力合作下，陸續於臺灣不同海域建置有 25 座長期作業化海氣象資料浮標，一縝密之海氣象資料浮標監測網主架構已然成形，如圖 4 所示。

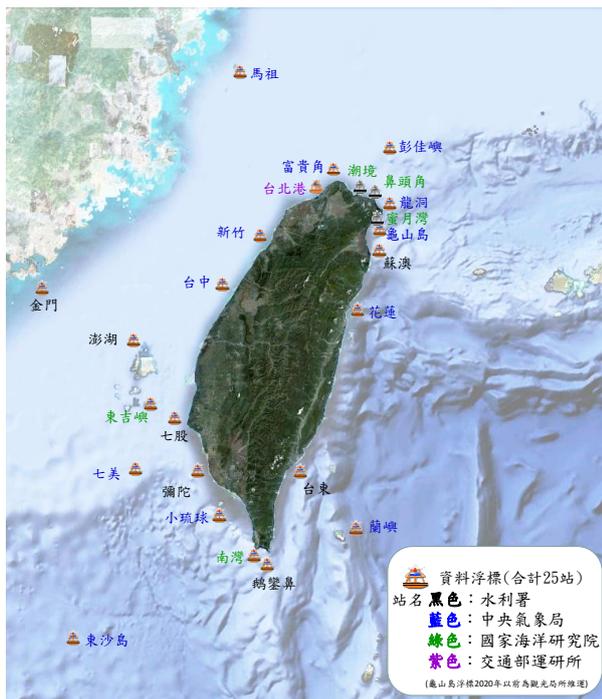


圖 4：臺灣海域長期作業化海氣象資料浮標分布位置

四、海氣象觀測數據之實務應用

4-1 觀測數據之應用實例

- (1) **海上交通安全**：浮標實測資料為船隻往返離島的重要安全依據。現階段龜山島、小琉球、馬祖、蘭嶼、彭佳嶼、金門、澎湖等 7 座資料浮標皆設置於我國離島海域，成為臺灣本島往返離島航線的船舶交通安全重要依據。
- (2) **漁撈作業**：近年來我國漁民已大量仰賴浮標實測資料作為出海進行漁撈作業之安全依據。現行臺灣周遭海域的資料浮標協助超過 20 座漁港之漁撈作業，提供完整的海氣象資訊協助漁民之漁撈作業。
- (3) **再生能源評估**：浮標所提供之海氣象實測資料能有協助離岸風力發電產業掌握開發場址之海氣象條件，進而可規劃設計出適合於該海域之風力機布置方式與其對應之施工方法。根據統計，新竹資料浮標觀測資料已實質協助離岸風電產業的發展。根據資料顯示，目前已有 3 間離岸風電公司使用新竹資料浮標觀測資料，針對未來要布設超過兩百座的離岸風機進行評估。
- (4) **海岸災情預警**：近十年來臺灣海域每年平均遭受到 4.9 次颱風侵襲。經濟部水利署於每次颱風警報期間皆成立應變團隊，不間斷地彙整即時浪潮觀測數據，評估並預警海岸地區可能面對之威脅。
- (5) **海岸防護評估**：臺灣地區從日據時代就開始設置海堤。臺灣光復後，對海岸防護需求持續增加，開始縝密規劃與整建臺灣四周海堤(陳等，2013)。根據資料顯示，目前經濟部水利署管轄的一般性海堤約 203 處，長度約 295 公里(不含防潮堤、護岸及保護工等防護設施)，有效降低暴潮致災風險。然而波浪是海岸防護設施破壞力最大之能量來源，影響海岸地形也非常明顯，是決定海岸防護結構物規劃設計之主要因素。海岸防護設計波浪含波高、週期及波向等資訊，須依據波浪長期觀測資料統計分析決定之(經濟部水利署，2016)。
- (6) **海域遊憩規劃**：依據我國的「發展觀光條例」之規定：「為維護遊客安全，水域遊憩活動管理機關得對水域遊憩活動之種類、範圍、時間及行為限制之，並得視水域環境及資源條件之狀況，公告禁止水域遊憩活動區域；其禁止、限制、保險及應遵守事項之管理辦法，由主管機關會商有關機關定之。」2000 年 8 月 1 日，龜山島正式對外開放觀光，隨後於 2002 年設置龜山島海氣象資料浮標，確保即時取得海況資料，支援遊憩船隻往來與登島之決策作業。
- (7) **學術研究依據**：我國現有海上資料浮標觀測技術已漸趨成熟，如新竹(圖 5)、花蓮、龍洞、蘇

澳、鵝鑾鼻、金門等資料浮標觀測站都已收集超過 20 年的海氣象實測數據。國內外學界都表達對這些海上觀測數據的高度興趣，並將浮標觀測資料應用於不同之研究議題中。

4-2 觀測數據被使用之情況

由於臺灣海域長期作業化海氣象資料浮標分別屬於不同的政府部門所擁有，不同的部門亦提供各自之觀測資料釋出機制。根據中央氣象局氣象資料開放平臺之統計結果，自 2015 年 4 月起，資料浮標站監測資料已被下載超過百萬次。而根據經濟部水利署的資料釋出紀錄，資料浮標包含岸邊潮位氣象站之觀測數據已提供約 1.88 億筆資料予產官學等各界參考使用(經濟部水利署，2020)。相關領域之使用比例如圖 6 所示。

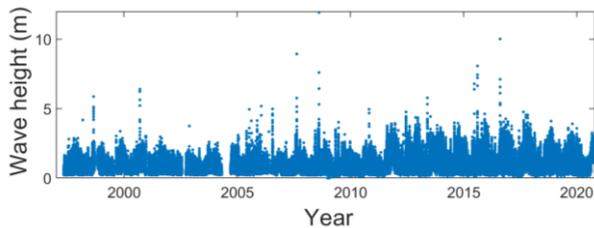


圖 5：新竹資料浮標超過 20 年浪高觀測紀錄

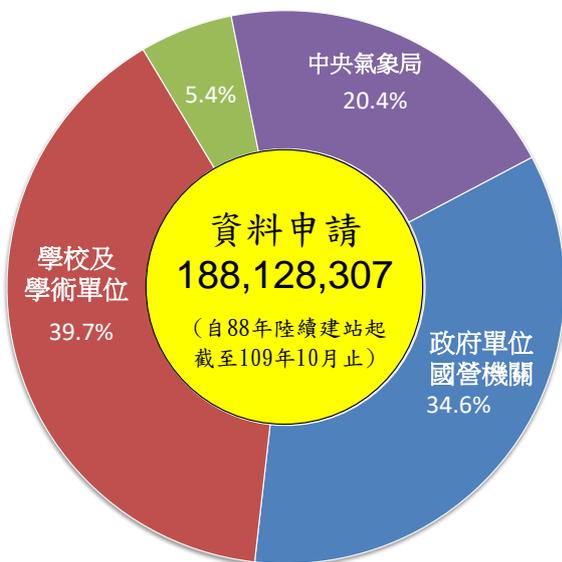


圖 6：經濟部水利署近海水文資料使用情況之統計

五、未來展望

我國海氣象作業化監測的主要任務之一為搜集與整合臺灣及周圍海域的即時、詳盡且完整之海象資

料，提供氣象預報部門使用，及早且準確的對災害性天氣提出預警，以防範各種海洋災害的發生。目前海上作業化資料浮標監測網之主架構已成形，但臺灣周遭領海的面積約與陸域面積相當，專屬經濟海域面積則更大。在這塊海洋藍色國土上，作業化海上觀測站仍有外擴之空間。未來面臨國家發展及包括向海致敬等重大施政需求，全面及完善之海氣象資料勢必不可或缺，有必要延伸過去所累積之觀測技術與能量，跨領域整合監測、推估以及資訊轉化之能力，提供國家海洋政策研擬與推動之參考依據。

六、參考文獻

- [1] Doong, D.J., Chen, S.H., Kao, C.C., Lee, B.C., Yeh, S.P., 2007, Data quality check procedures of an operational coastal ocean monitoring network. *Ocean Engineering*, 34(2), 234-246.
- [2] IPCC, 2013: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- [3] 陳建豪、張桂肇、楊瑞源、黃煌輝，2013，土保全觀點評析海堤存在之必要性，第 35 屆海洋工程研討會論文集。
- [4] 經濟部水利署，2016，海岸防護設施規劃設計手冊。
- [5] 中央氣象局，2020，109 年度資料浮標維護與資料管理作業暨東北角海域安全資訊管理作業，成果報告。
- [6] 經濟部水利署，2020，109 年度近海水文觀測站網維護管理與運作，成果報告。

謝誌

承蒙交通部中央氣象局、經濟部水利署、交通部觀光局、海洋委員會國家海洋研究院、交通部運輸研究所港灣研究中心建置臺灣環海資料浮標觀測站，並提供相關資料，使本文得以順利完成，謹致謝忱。

英文摘要

Marine Observation Network based on the Data Buoys over Taiwan Waters

Li-Chung Wu Dong-Jiing Doong Chuen Teyr Terng
I-Yu Wu

Abstract

Due to the impacts of climate change, we are facing an issue of sustainable development in our marine environment. Marine observation is one of the most significant means to understand our ocean environment. By the efforts of different government departments in Taiwan, the marine observation network including 25 data buoys have been established in response to the need for real-time meteorological and oceanographic information. This article introduces the technologies and current situation of the marine observation network.

作者簡介



吳立中(Li-Chung Wu)，現任國立成功大學近海水文中心副研究員。



董東璟(Dong-Jiing Doong)，現任國立成功大學水利及海洋工程學系教授兼近海水文中心主任。



滕春慈(Chuen Teyr Terng)，現任交通部中央氣象局氣象測報中心主任。



吳益裕(I-Yu Wu)，現任經濟部水利署水文技術組組長。