

全球海洋水文資訊整合系統 在海洋事務之應用

范揚洛¹ 王良生¹ 邱惠絹¹ 高家俊¹

¹成功大學近海水文中心

摘要

本研究目的是整合全球海洋水文之觀測、遙測及預報等資料，建置「西北太平洋海象資料庫」，經過科學分析、驗證，以及整合加值後產製成多元海洋資訊產品，活化海象即時觀測與預測的應用價值，供社群大眾海洋事務應用，以增進在海洋事務之減救災、航行安全、科學教育及休閒遊憩等應用，提高航行與海域遊憩活動安全。本研究逐年發展的海洋資訊產品包括海洋溢油漂流預報、颱風海象、航行海象、海岸遊憩、海運區域波候、海嘯即時監測分析及海平面趨勢變化等 7 類，例如航行海象開發船級舒適度與船級作業風險，並加入交錯波浪(大洋)及逆流區(近岸)的警示功能，且結合航行需要的海氣象觀測與預報資料，服務從事海上交通、作業及遊憩的人，選擇「安全回家的路」。海岸遊憩提供長浪預報警示資訊、自訂警戒值功能，更利用預報資料轉換為衝浪指數，提供戲水、初學及專業等民眾參考依據。

關鍵詞：臺灣海象災防環境資訊平台、西北太平洋海象資料庫、航行海象、海岸遊憩、海洋溢油漂流預報

Application of Global Marine Hydrological Information Integration System in Marine Affairs

Yang-Ming Fan¹, Liang-Sheng Wang¹, Hui-Chuan Chiu¹, Chia Chuen Kao¹

Coastal Ocean Monitoring Center, National Cheng Kung University¹

Abstract

The purpose of this study is to integrate global ocean hydrological measurements, remote sensing, and forecasting data, and build a "Northwest Pacific marine database". Multiple marine meteorology information products are produced through scientific analysis, verification, and integration. This study activates the real-time marine meteorology measurements, and apply to the marine affairs of the general public in the community, such as disaster prevention, navigation safety, scientific education, leisure and recreation. These products could improve the safety of navigation and marine recreation activities. The marine meteorology information products developed in this study year by year include 7 items including spilled oil tracking, typhoon extreme wave early warning, ship sailing safety, coastal recreation, wave climate, tsunami real-time analysis, and sea level rise trend. Take the product of ship sailing safety as example, not only vessel class comfort level and operational risk, the cross wave and countercurrent areas are added as well. And combined with sea marine meteorology measurement and forecast data which required for navigation. It serves people engaged in maritime traffic, operations and recreation. Another example of the product of coastal recreation, this provides swell alert information, custom setting alert threshold, and surfing index which provides information for people such as playing in the water, beginner and professional.

Keywords : Taiwan maritime disasters prevention and environmental information service platform, Northwest Pacific marine database, ship sailing safety coastal recreation, spilled oil tracking

一、前言

臺灣位於颱風容易侵襲的亞熱帶區域之太平洋西岸，惡劣的海象災害如颱風波浪、暴潮溢淹，容易造成外洋的船隻觸礁、碰撞甚至傾覆，造成油污溢油，對於住在海岸的居民生命財產也造成威脅，因此海氣象資訊對於海上航行安全、海岸結構設計等影響極大。此外，國人從事海洋遊憩活動頻繁，民眾從事許多近岸的水上活動和捕魚產業，曾經發生過人員落海失蹤事件，除了完善的硬體設施提供遊客遊憩便利性外，準確的海氣象資訊是減少意外災害的發生及生命財產的損失之重要一環。

發達的網際網路使多樣海象資料能夠即時上傳和分享，再能將各項觀測與未來的預測模擬結果透過網路即時呈現，方便政府防救災權責單位與民眾第一時間瀏覽各種海氣象資料。因此，本研究整合全球海洋水文資料，包括即時監測、預報、遙測等海氣象資料，基於科學基礎將資料轉化為資訊，開發海洋事務管理需要的相關技術，提供一個海洋事務多元管理資訊服務，增加政府執行各項災害性海象事件的預警與防救災能力，有效降低各種災害之損失，對海洋事務管理將有所助益。

二、研究方法

為了快速提供海洋事務管理的相關資訊，本研究整合多類別、多屬性及跨尺度等巨量海氣象資料，建置「西北太平洋海象資料庫」，開發主題式的圖資資訊。海氣象資料包括海潮流、水下海流、海表高度、海表溫度、風速、波浪、長浪、潮位、海表氣象、能見度等巨量且不同格式的多元海洋氣象資料數據進行資料統合，透過格式統一、資料品管等前處理程序，將純量類型（線條資料）、向量類型（面化資料）及點位類型（點位資料）等不同維度屬性之資料，進行一致化的識別資訊串連，並建置於 GIS 地理資訊系統查詢，如圖 1 所示，使各項資料以易於理解的動態展示方式。



圖 1 純量類型與向量類型資料識別串連使用

自 2017 年起，本研究逐年開發各項海洋應用技術，包括海洋溢油、颱風海象、航行海象、海岸遊憩、海運區域波候、海嘯即時監測分析及海平面趨勢變化等 7 類技術，包括 18 項功能 (如圖 2)，並透過高效能運算機制，提供準確的即時及預報資訊，增進防災機關執行各項災害性海象事件的預警與防災時效，尤其是海象災害發生時，可快速提供特定海域之最新海洋環境測報資訊，降低各種災害之損失。



圖 2 海象防災應用技術發展功能樹

三、資訊整合與實務應用

前述 7 類技術經由即時資料介接、程式開發、GIS 地理資訊系統整合後，在「臺灣海象防災環境資訊平台」呈現各類產品。以下列舉航行海象、海岸遊憩、海洋溢油漂流預報等 3 類技術，說明在海洋事務上之實際應用。

3.1 航行海象

航行海象技術發展主要提供航行需要的海氣象資訊，服務民眾從事海上交通、作業及遊憩的人，選擇安全回家的路。本項技術包括船級作業風險、船級舒適度、交錯波浪等，可提供漁船、遊艇業者及海巡署執業或救難巡防時之安全資訊，提早規劃因應措施，亦可以提升海域航行的安全，減少航行災難的發生。

船級舒適度功能的資料處理程序係使用中央氣象局的 NWW3 波浪模式之預報波高與 TWRF 做為資料源，基於考慮不同船隻之耐浪波高及風速作為船級舒適度指標。本研究蒐集國內外漁船、動力小船、海巡署船艦、遊艇等耐浪性資料，訂定出不同船隻海上之航行警示條件，依據不同船隻之尺寸與耐浪級數將示性波高資料轉換為資訊，提供交通船及遊艇

的舒適、顛簸或劇烈顛簸的船級舒適度警示資訊，如表 1 所示。船級作業風險提供工作船隻巡防艇、漁船及動力小船的高風險或低風險的警示資訊，如表 2 所示。然而，僅以示性波高與平均週期為依據仍有不足，有必要再加上大洋常見之交錯波浪與近岸海域因地形等因素所形成之逆流等危險因子，方能降低航行危險 (Toffoli et al., 2005)。

由於不同方向的波浪組合就有可能提高異常波浪的發生機率，對於船隻可能造成重大影響；本研究蒐集日本氣象庁 (Japanese Meteorological Agency, JMA) 給予交錯波之航行警示標準，利用本研究推演之波浪分量及波向規劃提醒警示的函數如式(1)，透過直覺式設計提供交錯波浪資訊，如圖 3 所示，圖中粉紅色的區塊表示 40 呎至 80 呎的遊艇在此區塊內航行會有顛簸的海況情形，但尚未達到劇烈顛簸。然後將交錯波浪計算後並套疊加在介面上，發現部分區域雖然只有顛簸等級，但可能會出現交錯波浪容易造成船隻翻覆的風險。

$$\frac{H^2}{H_0^2} = \sqrt{\frac{k \tanh kh}{k_0 \tanh k_0 h} n \frac{1}{B} \left[1 + \left(\frac{1+4BU}{c_0} \right)^{1/2} \right] + \frac{2U}{c_0}} \quad (1)$$

表 1 船級舒適度-不同船隻海上之航行警示條件

種類	船別	顯示燈號			使用來源
		銀紅色	粉紅色	透明色	
顯示訊息		劇烈顛簸	顛簸	舒適	NWW3 波浪模式預報之波高
交通船、遊艇	40 呎以下	≥ 2.3 m	≥ 1 m	--	
	40 至 80 呎	≥ 4.8 m	≥ 1 m	--	
	80 至 120 呎	≥ 6.8 m	≥ 1 m	--	
	120 呎以上	≥ 11.3 m	≥ 1 m	--	

表 2 船級作業風險-不同船隻海上之航行警示條件

船別種類	顯示燈號		使用來源
	銀紅色	透明色	
顯示訊息	高風險	低風險	NWW3 波浪模式預報之波高
巡防艇 20 噸以下、漁船 CT2 以下	≥ 5 級(2 m)	< 5 級(2 m)	
巡防艇 20~60 噸、漁船 CT3 以下	≥ 7 級(4 m)	< 7 級(4 m)	
巡防艇 60 噸以上、漁船 CT4~CT6 以下	≥ 8 級(6 m)	< 8 級(6 m)	
巡防艦、巡護船、漁船 CT7~CT8	≥ 9 級(7 m)	< 9 級(7 m)	
動力小船	≥ 4 級(1 m) 陣風(6 級)	< 4 級(1 m) 陣風(6 級)	TWRF 大氣模式預報之風速

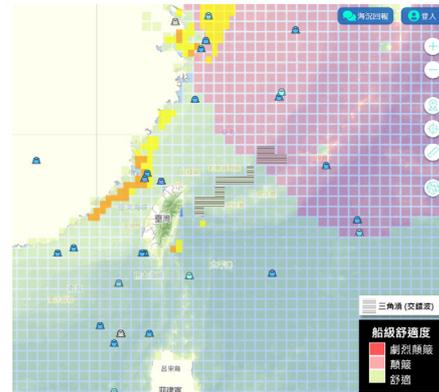


圖 3 航行海象模組介面之交錯波浪示意圖

3.2 海岸遊憩

海岸遊憩技術的發展主要提供長浪預報警示、衝浪指數、潛點海況等資訊，以提高水域遊憩活動。

海岸遊憩之長浪預報警示功能部分，由於長浪傳播距離遠，挾帶的能量較大，傳播速度較快，且長浪往往在近岸受到地形淺化效應，波高會突然升高。在國際上關於長浪的警戒值目前為止尚未有定論，各國氣象單位也未明確給定標準，其用途目標不同(如衝浪、航行船隻、岸上遊客等)，所給定之標準亦大不相同。由於長浪預報警示的資料來源為波浪模式預報資料，因此本研究分析波浪模式預報可產出的各種參數，並蒐集災害事件發生時的海況來分析為長浪警戒標準，包含過去發生的 49 筆船難事件，其對應的模式資料採用歐洲中期天氣預報中心 (ECMWF) 的 ERA5 重分析資料 (ERA5 reanalysis dataset)，透過雙變數常態分佈 (Multivariate Normal Distribution) 計算其機率，雙變數常態分佈的機率密度函數如式(2)；其中 μ 為平均向量， Σ 為共變異數矩陣。分析各種參數後，得到風浪週期、湧浪週期、風浪波向、湧浪波向等四種波浪預報資料為主要影響因子。採用 60% 機率涵蓋的分布綠線範圍(圖 4)，可得四種參數之上下界。研究結果發現，當湧浪平均週期大於 4.3 秒、風湧浪平均週期差小於 4.8 秒且風湧浪波向差小於 77.6° 時當作長浪警示指標。

$$y = f(x, \mu, \Sigma) = \frac{1}{\sqrt{|\Sigma|(2\pi)^2}} e^{-\frac{1}{2}(x-\mu)\Sigma^{-1}(x-\mu)} \quad (2)$$

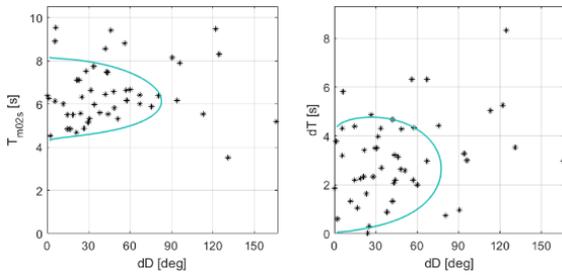


圖 4 船難事件之風湧浪波向差與湧浪尖峰週期(左)、風湧浪週期差(右)散佈圖

為確認該長浪警示標準是否合宜，本研究透過正反向驗證對長浪警示標準進行分析；正向驗證的部分，108-109 年共擇取 6 件近海資料浮標站的船隻翻覆事件，並以實測資料進行檢驗，研究結果顯示雖然有 1 件未通過驗證，但該事件發生期間的示性波高資料，發現其示性波高均大於 2 公尺，週期亦大於 10 秒，已超過氣象局訂定的長浪即時訊息的門檻(浪高與週期分別大於等於 1.5 公尺、8 秒)，仍有危險風險存在。在反向驗證的部分，利用過去大型賽事期間無船隻翻覆意外的測站資料來進行驗證，以 108 年大鵬灣風帆橫渡小琉球的活動為分析對象，確認活動舉辦期間(108 年 4 月 21 日 9~17 時)並無船隻翻覆的事件發生。又活動舉辦期間小琉球資料浮標的風、湧浪資料經與長浪警戒標準比對後，結果均不符合，故反向驗證成立，如表 1 和表 2。

表 1 活動期間小琉球浮標逐時風、湧浪資料

時間	湧浪			風浪		
	波高 cm	週期 sec	波向 °	波高 cm	週期 sec	波向 °
9:00	56.4	6.2	259	5.4	4.8	100
10:00	56.7	6.4	248	5.1	4.2	100
11:00	60.5	6.7	270	9.5	5.7	100
12:00	52.8	6.5	248	7.6	6.2	100
13:00	58.1	6.4	214	8.2	4.9	100
14:00	57.8	6.4	248	6.9	5.2	97
15:00	61.1	6.4	225	9.3	3.9	95
16:00	62.5	6.7	259	36	5.7	98
17:00	74.3	6.2	236	10.2	5.3	100

表 2 活動期間風湧浪資料驗證長浪警示標準

時間	$T_{m02s} > 4.3 \text{ sec}$	$dT < 4.8 \text{ sec}$	$dT \leq 77.6^\circ$	符合
9:00	6.2 (✓)	1.4 (✓)	158 (×)	否
10:00	6.4 (✓)	2.2 (✓)	147 (×)	否
11:00	6.7 (✓)	1.0 (✓)	170 (×)	否
12:00	6.5 (✓)	0.3 (✓)	147 (×)	否
13:00	6.4 (✓)	1.5 (✓)	113 (×)	否
14:00	6.4 (✓)	1.2 (✓)	150 (×)	否
15:00	6.4 (✓)	2.5 (✓)	130 (×)	否
16:00	6.7 (✓)	1.0 (✓)	160 (×)	否
17:00	6.2 (✓)	0.9 (✓)	136 (×)	否

為了將長浪預報警示資訊以簡顯易懂的方式提供給民眾使用，本研究運用國土測繪圖資近岸海域範圍線，於臺灣周圍海岸線描繪對應之各個鄉鎮，提供長浪或巨浪警示功能，民眾在近岸海域進行遊憩活動前，可事先透過網頁或行動裝置事先查詢鄉鎮長浪警示，以提高水域遊憩活動安全，如圖 5 所示。



圖 5 海岸遊憩模組介面之長浪、巨浪預報展示圖

本研究除發展前述長浪警戒值功能外，考量臺灣各海域水域遊憩活動標準不完全相同，因此設計「自訂警戒值」功能，此功能使用氣象局每日作業化，風、波浪預報資料，依據不同的海岸機關自訂管轄海岸之適用條件來建立自訂警戒值功能，以提供管理海岸遊憩活動時更即時、更快速的資訊參考。由於海岸機關轄區內可能不只一處水域遊憩活動點位，故本研究設計使用者可自訂「點位名稱」，並利用輸入及點選「經度、緯度」坐標位址，提供「浪高、週期、

風速及流速」等 4 種物理量的複選展示功能，提供未來 3 天逐時預報資料，如圖 6 海岸遊憩自訂警戒值示意圖所示。

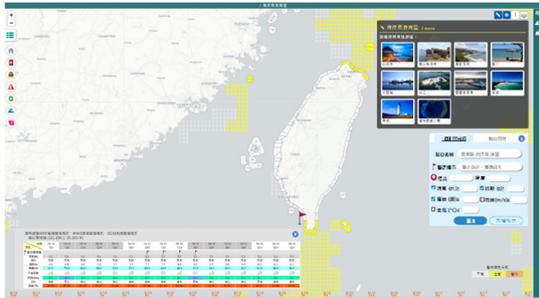


圖 6 海岸遊憩自訂警戒值示意圖

又近年來國內衝浪運動日漸興盛，國際衝浪比賽也在國內定期舉辦，因此衍生出衝浪資訊需求，對衝浪者提供湧浪預報及警示的資訊服務，在國際上亦發展出相關衝浪資訊平台，例如紐西蘭公司 MetOcean 旗下的 SwellMap 便針對海況(風速、湧浪高、湧浪週期等參數)，對合適衝浪的海況進行分級，如圖 7。本研究綜合 SwellMap 網站的資訊，同時實際訪談臺東縣體育會衝浪運動委員會教練及學員等，蒐集衝浪者之意見後，整理出衝浪指數規則表，如表 3，此表分為戲水、初學及玩家三個類群。另外，考量水域遊憩活動安全性，此功能於颱風警報期間與長浪警戒時將自動停止衝浪指數資訊。

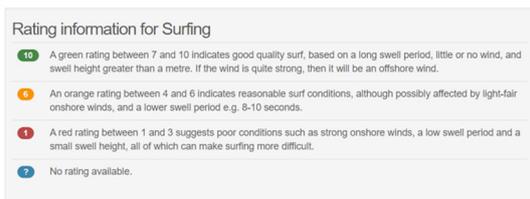


圖 7 SwellMap 網站公布衝浪指標規則定義

表 3 衝浪指數規則

指數	湧浪波高(m)	湧浪週期(sec)	風速(m/sec)	備註	使用來源
1	< 1	< 8	≥ 5.1	戲水	NWW3 波浪預報資料
2	< 1	< 8	< 5.1		
3	< 1	> 8	--		
4	1 ≤ H < 1.5	< 8		初學	
5	1 ≤ H < 1.5	≥ 8	≥ 5.1		
6	1 ≤ H < 1.5	≥ 8	< 5.1	專家	
7	≥ 1.5	8 ≤ T < 10	≥ 5.1		
8	≥ 1.5	8 ≤ T < 10	< 5.1		
9	≥ 1.5	≥ 10	≥ 5.1		
10	≥ 1.5	≥ 10	< 5.1		

3.3 海洋溢油漂流預報

如何減少油污染事件對海岸地區之經濟與環境的衝擊是全世界最關心的議題。油污洩漏後除了隨水流、潮流和風向造成水平擴散並沉入水中，對海岸的環境、生態、資源、經濟等造成嚴重影響。

本研究發展海洋溢油漂流預報技術主要是針對溢油事件發生初期提供線上快速計算油污漂流軌跡，提供災防機關緊急應變使用。本項技術資料來源是作業化預報風場與流場，又為了降低油污軌跡追蹤的不確定性，提供多元輸入條件來預測溢油軌跡，如圖7所示，包括溢油發生的時間、溢油經緯度、溢油總量、溢油種類、溢油歷時、預報長度，即可進行預測模擬(圖 8)。模擬程式會根據風場(TWRP)、以及使用者選定的流場(OCM、HYCOM)模擬未來3天油污擴散方向與範圍，流程如圖 9所示。模擬結果採時間堆疊之靜態展示圖，讓油污擴散的軌跡得以視覺化顯示，如圖 10所示。

圖 10 為模擬三天的油污擴散情形，假設油污於石門近海處洩漏，並持續洩漏12小時，共洩漏20公噸，平均每三十分鐘，漏出0.83公噸(大約每次溢出10顆油污粒子)，由結果發現，油污溢出半天後(0.5天左右)，油污大致遍佈整個海岸，經過大約一天，已有部分油污因為風力吹送而沾染海岸(因為地形限制演算法較為粗略，故模擬結果上油污會因為模擬時間的拉長，而較為侵入岸上，但仍可視為海岸污染之參考)，且於海上分佈的範圍更加廣泛(紫色部分)。經過模擬兩天後的情境，油污粒子所及範圍更加擴大，並因為海流推動而往右側移動，隨著海流繼續推送，油污範圍已蔓延至岸際，如圖 10。

$$\frac{dF_{evap}}{dt} = \frac{K_e A_s}{V_0} \cdot \exp \left[A - \frac{B}{T} (T_0 + T_G F_{evap}) \right] \quad (3)$$



圖 8 提供多元輸入條件來預測溢油軌跡

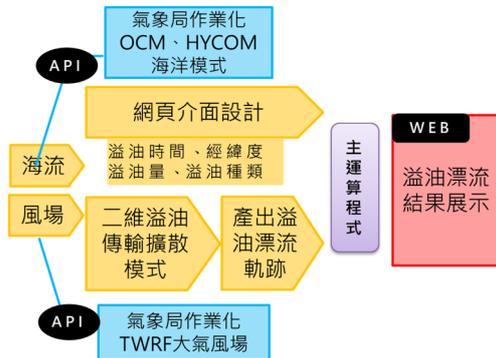


圖 9 溢油漂流預測流程

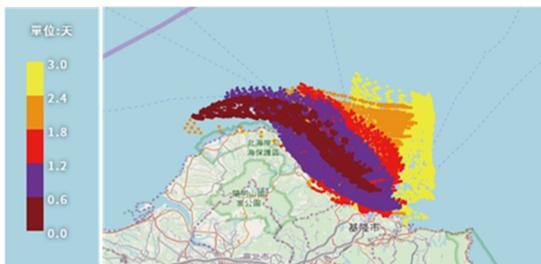


圖 10 模擬油污 3 天的擴散方向與範圍

四、結論

本研究結合全球海洋實測、預測及遙測等巨量海洋氣象資料，加值產製為各項可視化介面，提供海洋事務相關機關與民眾多元應用，以增進在海洋事務之減救災、航行安全、科學教育及休閒遊憩等應用，提高航行與海域遊憩活動安全。各項技術經過科學分析與驗證，活化海象即時觀測與預測的應用價值，並已建置於「臺灣海象防災環境資訊平台」(<https://ocean.cwb.gov.tw/>)，以友善易懂的環境，方便機關與民眾使用與操作。其中「航行海象」、「海岸遊憩」、「海洋溢油漂流預報」等技術成果說明如下。

航行海象的部分，船級舒適度與船級作業風險可降低各類型船隻在海上航行或工作的危險，並加入交錯波浪(大洋)及逆流區(近岸)的警示功能，並結合航行需要的海氣象觀測與預報資料。以「Safe See 看一看較安全」，提供海上交通、航行作業需要的海氣象資訊。

海岸遊憩的部分，長浪預報警示經由正反項驗證已證實須同時考慮風浪與湧浪之間的關係，有效降低災害發生。又開發的自訂警戒值功能，提供海岸管理機關可於遊憩區域自行輸入相對應之警戒

標準，做為海象災害預警與應變依據。此外，衝浪指數提供戲水、初學及專業等民眾參考依據

海洋溢油漂流預報的部分，經過歷史事件的驗證，證明本項產品可在溢油發生初期提供線上快速計算油污漂流軌跡，提供防災機關緊急應變使用。

謝誌

本論文係中央氣象局計畫「建構臺灣海象及氣象防災環境服務系統-海象防災應用技術發展」之研究成果，承蒙中央氣象局經費之補助使本研究得以順利完成，謹致謝忱。另外感謝資拓宏宇國際股份有限公司之展示平台建置。

參考文獻

1. 土木学会(2000)水理公式集・平成11年版，丸善，478-479。
2. 高野洋雄、山根彩子(2018)「航行に危険な荒れた海域情報の波浪予想図への追加」，*測候時報*，第 85 卷，p1-12。
3. Nadao Kohno (2017) New information on crossing waves of JMA. *1st International Workshop on Waves, Storm Surges, and Coastal Hazards, incorporating the 15th International Waves Workshop*.
4. Niclasen, B.A., Simonsen, K., and M, A.K., (2010) Wave forecasts and small-vessel safety: A review of operational warning parameters. *Marine Structures*, 23(1): 1-21.
5. Savina, H., Lefevre, J.M., Josse, P., Dandin, P., (2003) Definition of warning criteria. In: *MAXWAVE final meeting. Geneva, Switzerland*.
6. Toffolia, A., Lefèvre, J.M., Bitner-Gregersenc, E., Monbaliu, J., (2005) Towards the identification of warning criteria: Analysis of a ship accident database. *Applied Ocean Research*, 27, 6, 281-291.
7. SwellMap網站平台：<http://www.swellmap.com>
8. 日本氣象庁網站：<https://www.jma.go.jp>
9. 臺灣海象環境資訊平台：<https://ocean.cwb.gov.tw>