

自動化船舶海氣象觀測系統建置

李汴軍¹

陳沛宏²

錢樺²

高家俊²

華梵大學環境與防災設計系¹

成功大學近海水文中心²

摘要

世界氣象組織(World Meteorology Organization, WMO)自願觀測船計畫(Voluntary Observing Fleet Program, VOF)中,船舶發報海氣象報告對海洋區域天氣預報與即時災害天氣預警至為重要。提高國內船舶海氣象報告頻率與可信度,增進預報準確度,是作業化自動船舶海氣象觀測系統之建置目的,依WMO規範已成功建置自動化船舶海氣象觀測系統,現於長榮海運立烈輪進行長期作業化觀測;此套系統觀測風速、風向、氣溫、溼度及氣壓等因子,具備無人全自動定時觀測能力,以無線方式自動將資料傳到船橋,配合現有船舶無線收發報設備與衛星發展長距離數據傳輸技術,即時、自動、定時回傳船舶海氣象報告,現已納入局內模式校驗。本文將對此觀測系統建置成果做業地要說明。

關鍵字：作業化、自動化、船舶海氣象觀測系統

一、前言

海氣象泛指發生於大氣與海洋邊界區域(Air-sea boundary zone)的現象,大氣海洋邊界區域上至大氣邊界層(Atmospheric boundary layer)頂端,下至海洋的混合層(Oceanic mixed layer);此區域之液態海洋水體與氣態大氣相互影響,進行動量、熱量及氣體交換,這些於海洋大氣交界面進行的物理過程稱為大氣海洋交互作用,佔地球表面超過70%的海洋即是透過此交互作用影響全球氣候。台灣為海島國家,天氣變化不可避免地受四週大氣海洋影響,若僅靠陸上氣象特性進行觀測,難以提升天氣預報準確性,須有更多海上實測數據即時提供台灣海域預報作業校驗之用。掌握海氣象變化有助於海洋環境及大氣的了解,增進天氣、波浪及海潮流預報準確度,使航行安全、海象災害預警減災直接受惠。

海氣象觀測涵蓋整個海洋,進行跨國際合作可使觀測密度增加,促進資料交流使用,增進整體效益。現今全球最完整的全球海洋資訊觀測系統,是依據世界氣象組織(WMO)與聯合國教科文組織的國際海洋委員會(IUNESCO)所組成海洋與海洋氣象技術委員會(Joint WMO-IOC technical Commission for Oceanography and Marine Meteorology; JCOMM)。其中,自願觀測艦隊計畫(Voluntary Observing Ships, VOS)共有六千餘艘商船的參與,為目前最成功的觀測計畫,一年提供數百萬筆資料給世界各地氣象單位作為氣象預報校驗依據。我國非WMO會員國,取得海氣象船舶報告十分不易,船舶報告僅自WMO之東京氣象中心轉送獲得。

據2003年基隆海岸通信中心統計航行於我國經濟海

域定時向基隆海岸通信中心發報的觀測船隻非常有限;每年接獲含氣象資訊的船報數目在十則以下,相對於鄰近大陸及日本每年收集數萬份船報報告,我國船舶海氣象報告能量可謂十分匱乏。中華民國氣象法第十條:「依船舶相關法律及法規命令規定裝置無線電設備之船舶,應依交通部規定裝置氣象儀器。前項船舶航行於我國專屬經濟海域時,須將氣象觀測資料及時提供中央氣象局」,第十四條:「裝置無線電設備之船舶,應依交通部規定裝置氣象儀器,並於航行於我國經濟海域時,將氣象觀測資料即時提供中央氣象局」。目前國輪能遵照氣象法太少,主因是氣象法所伴隨之罰責不具強迫效力,航商考慮運輸成本因素同時,亦無專責編制人力進行海氣象觀測。

全世界船舶的海氣象觀測儀器大多為指針式類比儀器,利用針筆將觀測數據錄於滾筒紙或其他儀表上,人為目測辨識並錄於航行紀錄簿上(Log book),如有需要再編寫為氣象電碼,與船舶位置等資訊一同以無線電發報傳真至海岸電台,海岸電台收到船舶電報後再將氣象資訊傳真至氣象中心,依據WMO規範確係每八次定時進行觀測作業;近來船舶現代化與自動化發展成熟,大型自動化貨櫃輪僅配置十餘名船員,難有足夠人力進行海氣象觀測及通報業務。為提高觀測密度與準確度,在WMO以及聯合國教科文組織推動下,特殊洋面溫度偵測船計畫(The Ship of Opportunity Programme, SOOP)已於2003年二月執行表面氣象、海水溫度、鹽度與流自動化即時傳輸觀測作業。由上述可知,為爭取航商支持,落實國內商船參與海氣象觀測資料蒐集政策、氣象法規定及國際氣象組織自願觀測艦隊精神,建立國內船舶報告能量為刻不容緩工作。

目前商品化船用自動海氣象儀器逐漸開始出現國際市場上,主要由法國及加拿大等歐美國家製造,但是否可藉由單純儀器採購,立國內船舶海氣象報告能量則有待商

權。就台灣地區技術及海洋儀器市場規模而言，以往觀測儀器大多是自國外進口，此方法導致國內缺乏儀器檢校維修技術，儀器須送回國外檢校修護，費時太長且手續繁瑣。且儀器採購制度僅著重產品採購價格，少顧及因缺乏儀器技術造成觀測作業中斷、數據品質不齊等所導致的風險及內在成本問題。海洋觀測業務須有本土化專業團隊支援，確實掌握儀器技術細節，讓儀器技術在本地落地生根。

在交通部推動下，現已成功建置適於台灣海域環境特性之本土化、自動化船舶海氣象觀測系統，長期架設於長榮海運立烈輪船(UNI-ARDENT)上，航行於台灣日本海域間，收集海氣象資訊，此船舶報告亦已加入氣象預報校驗

二、船舶海氣象觀測系統

(一) 設計原則

系統設計原則包括(1)無人全自動觀測、(2)即時資料傳輸、(3)提供船舶的資訊服務、(4)資料正確性的確保。為得到持續、可靠及高品質的觀測數據，相對於陸上的氣象觀測儀器，系統的研製必需考慮更多外在因素：船隻甲板上部結構的複雜氣流、船體上下與左右搖晃運動的影響、船位置的不斷改變對於觀測所造成的誤差、海上長距離無線電通訊以及鹽分、溼度及浪花飛濺的影響。為使氣流對於風速風向觀測的影響能盡可能避免或減低到最低程度，必須把儀器盡量架設到船首的前端或是頂端，減小風特性受甲板上部的船體結構、天線和桅桿的影響。

另一方面，在良好安裝位置前提下，系統重量及體積必須精巧，以簡化安裝及維修程序以利用船舶停靠的短暫時間迅速進行系統安裝或更換；避免因利用船上電源而須改變船身結構，系統應具有自給自足、獨立電力供應與無線的數據傳輸能力將觀測資料傳送至船橋。

此套系統的特性包括：全自動海氣象監測功能、即時將數據回傳至船橋與岸上的無線通訊能力、體積小、能源自給自足、考慮船舶動態進行觀測數據修正、高度的耐海性以及艦橋的資料展示能力，系統原型如圖一所示。

(二) 系統架構

系統架構包含船舶與岸上部份，船舶部份設置甲板端船用觀測站與船橋端資訊展示系統；岸上部份設置衛星傳輸基地台、資料監控品管中心與資訊展示系統，如圖二所示。

甲板端船用觀測站於現場進行觀測，同時以無線電與船橋端資訊展示系統進行數據通訊，使船橋端的展示系統即時展示觀測資訊；船用觀測站透過衛星即時傳輸至岸上的資料監控品管中心。監控品管中心完成資料品質管理後匯入資料庫，並透過網路技術進行展示與通報服務。

船用觀測站的感測器端包含：船舶動態感測器、海氣象儀器與資料擷取分析系統與通訊傳輸設備等四部分，觀測因子為風速及風向、大氣壓力、氣溫、溼度、船舶的航向、

航速及船首方位、船舶所在經緯度、系統電壓及相關感測器生命狀態指標，儀器的規格如表一所示。資料擷取與分析系統必需能夠穩定進行感測器資料的擷取與分析運算；風速風向之觀測受到船體運動影響，必須與航速及船向數據進行換算，本系統依據 GPS 訊號得到航速及船向，另以電羅經校正準確的船向，確保風向觀測值得以正確修正；採用嵌入式控制運算系統，具高度擴充性；採用太陽能板支援甲板端船用觀測站系統耗電，在完全不充電情況下，可以連續運轉三週。

為確保資料完整性，系統具有資料現場儲存功能，將資料儲存於記憶卡上，即擷取完整海氣象資料。為降低資料量、減少傳輸費用，所有觀測資料皆經編碼儲存，引用資料量最小化之編碼技術，每次觀測的海氣象資料量可以縮減為 28Bytes。在通訊方面，依據經營集團穩定性、系統通訊範圍、通訊費用、耗電量、與其他子系統之相容性等因素進行衛星通訊系統之評估，本系統採用鈦衛星(Iridium)作為長距離無線傳輸工具。另採用 Access Database 作為資料管理系統，將接收的即時資料進行歸類、格式化與標準化管理作業，確保資料儲存、資訊展示與資訊展示時之效能與穩定性。另一方面，開發以網頁為基底的資訊展示系統提供不同使用者需求。

三、風觀測

氣壓、氣溫與溼度數據係由感測器讀值直接記錄，資料計算與轉換分析並不複雜；但風觀測受船舶側傾搖擺、船速、船向與結構物體影響甚鉅；現有商船巡航速度大多為 16~18 節，與海上的平均風速範圍相當，因此對地風速風向的向量計算中，準確的航向及風向觀測極為重要；另一方面，風資料是天氣數值模式計算之最基本初始場輸入值，風資料的準確性為氣象預報作業之至要條件；如何從海上風資料求得實際對地風速風向為開發本系統時主要克服項目。

(一) 對地風速風向推算過程

推算對地真實風速風向所需資料包括船舶對地航向(Course over the ground, COG)、船舶對地航速(Speed over the ground, SOG)、船舶方位(Bow Heading to the true north)、Zero reference angle、相對於船之風速及風向。COG 及 SOG 由 GPS 儀輸出，Bow Heading 由電羅經輸出，Zero reference angle 為風速十方位零點與電羅經 0 度之差值，由於電羅經 0 度與船首方位一致，Zero reference angle 可表示為船首方位與風速十 0 度 offset，相對於船的風速風向值係由系統之聲波風速計量測得到。若有吃水深度資料確定風速計高度，可提供更完整風速值。海流、風對船身的拖曳力以及各種操舵因素，COG 與船首方位不一定一致，一般皆以地理北極(True north)為基準，然 Bow Heading 是以磁北(Magnetic north)為基準的方位，這些都是方位觀測容易產生誤差的原因。

將上述六項觀測物理量進行向量分析計算，得到對地

絕對風速風向如圖三、四所示。相對船風速風向需將座標轉換至當地座標，再與船速航向進行向量分析，以獲真實對地風速風向。

(二) 船舶結構物對風場的影響

自 1992 年起國際上陸續探討改進船舶觀測風速風向品質的計畫。其中，英國 VSOP-NA (VOS Special Observing Programme – North Atlantic) 與法國 FETCH (Flux, Etat de la mer et Télédétection en Condition de fetch variable) 計畫，對於船舶觀測風速之正確性做了許多探討。國外海洋調查船常將風速計架設於船首避免受流場影響，但此舉卻使系統因船首前的波浪飛揚而遭破壞。據 Moat (2003) 風洞實驗顯示甲板受到船體結構之故，發生偏向甚至逆向或減弱風速之影響。根據 Moat 以計算流體力學模擬空氣流經典型貨櫃輪研究也得到相同結果如圖五所示，其研究指出甲板上有一 "Line of Equality" 界線，此處所量的風速風向為較不受船體影響之風速風向，依無因次分析可得一般典型貨櫃的 Line of Equality 曲線方程式：

$$\frac{z}{H} = 0.45 \left(\frac{x}{H} \right)^{0.55} \quad (1)$$

不同形式船舶其曲線亦不同，長榮立烈輪為 C 型貨櫃輪，由此曲線方程結果，建議風速計位於甲板前緣 2.5 公尺處，高度高出甲板頂端欄杆 1.4 公尺。

(三) 船舶側傾搖擺對風觀測之影響

一般觀測風的誤差來自船舶側傾晃動之影響 (Errors due to ship roll and pitch)，P.K. Taylor (1996) 指出因側傾晃動造成風速誤差百分比為 (anemometer height above roll axis) × (roll angle) / (roll period)；風速計架設高度及船舶搖晃的振幅與週期條件如表二所示，利用此函數式可得到不同風速之誤差百分比，Taylor 將模擬結果繪製於圖六，為考量降低整體觀測誤差，以噸數高抗波能力強的船型為優先選擇，至於噸數多少為其門檻，需依據船舶隨波性方能決定之。

(四) 風摩擦速度之分析

在大氣與海洋邊界區域中，紊流風場作用在海面上的風應力 (Wind Stress) 影響海洋水體與大氣間的動量交換，促使大氣海洋交互作用。由於風速強弱及方向隨觀測點海平面高度不同而異，一般提供的風資訊僅代表某一高度特性，作業化觀測之平均風速風向無法代表大氣邊界層風速剖面特性。聲波式風速計 (Sonic anemometer) 可量測大氣紊流中的高頻擾動，經分析可獲得風摩擦速度，瞭解整個大氣邊界層中風速剖面特性。

推算風應力方法有四種：(1) 渦流相關法 (Eddy Correlation)、(2) 慣性消散法 (Inertial Dissipation or Direct Dissipation Method)、(3) 速度剖面法 (Profile Method)、(4) Bulk Aerodynamic 方法，其中慣性消散法是利用水平風速與溫度變動量，經頻譜分析推算擾動通量，此法避開量測垂直風

速可能的儀器誤差，風速計可擺置在一非固定平台，本系統是以慣性消散法來推算動量與熱量通量。

此法基於每單位質量亂流動能 $e = (u^2 + v^2 + w^2) / 2$ 守恒發展的理論，若流場滿足水平均勻分佈且為恆定狀態時，擴散和壓力組合項遠小於比垂直梯度項，將之忽略是為合理假設 (Large and Pond, 1981)，其亂流動能平衡方程為

$$0 = -uw \frac{\partial U}{\partial z} + \frac{g}{T_v} \overline{wt_v} - \epsilon \quad (2)$$

據此，位溫變動平衡方程式 (Large and Pond, 1982)

$$0 = -w \frac{\partial \theta}{\partial z} - N_t \quad (3)$$

θ 為空氣位溫 (Potential temperature)，等號右邊第一項為產生項，第二項 N_t 為溫度變化消散率。量測 ϵ 及 N_t (direct dissipation method) 是困難的，可由水平真流風速能譜 $\Phi_u(f)$ 及空氣溫度頻譜 $\Phi_t(f)$ 中估算，在等向性 (isotropy) 成立下慣性領域中的水平真流流譜與溫度頻譜如式 (4)、(5) 所示

$$\Phi_u(f) = 3/4 \Phi_v(f) = 3/4 \Phi_w(f) \quad (4)$$

$$\Phi_t(f) = \beta_t \epsilon^{-1/3} N_t (2\pi/U)^{-2/3} f^{-5/3} \quad (5)$$

$\alpha = 0.55$ 及 $\beta_t = 0.8$ 為 Kolmogorov 常數及 Kolmogorov 溫度常數。依 Monin-Obukhov 近似理論風速及溫度垂直梯度只和大氣穩定度參數 Z/L 有關 (Nieuwstadt & Dop, 1981)， Z 為離水面高度， L 為 Monin-Obukhov 穩定度長度，本系統採 Large and Pond (1982) 之 Z/L 值如式 (6) 所示

$$Z/L = \frac{-B}{p_0} = \frac{-g \kappa Z t_w}{u_*^3 T_v} \quad (6)$$

動量通量與熱通量可分別寫為

$$u_*^2 = (\kappa Z \epsilon)^{2/3} [\phi_m(Z/L) - Z/L]^{-2/3} \quad (7)$$

$$\overline{tw} = [Z \kappa u_* N_t / \phi(Z/L)]^{1/2} \quad (8)$$

溫度差在垂直方向的變化亦可表示為下列方程式

$$\theta_z - T_s = (t_w / \kappa) [\ln(Z/z_{0t}) - \psi_t(Z/L)] \quad (9)$$

θ_z 為高度 Z 公尺的空氣位溫， T_s 為海表面溫度， z_{0t} 為熱粗糙長度 (thermal roughness length)， ψ_t 是溫度垂直梯度逐層的積分式。圖七為分析結果，真實資料不正確的 pike 雜訊是由於 GPS 誤差與船隻本身加速度運動的影響。

四、船舶海氣象報告之通報機制

(一) 傳輸流程

系統於標準觀測時間 (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 GMT) 完成觀測，通報機制為 (1) 透過無線傳至船橋端展示系統，提供船員航線判斷；(2) 透過衛星傳輸將資料傳至預報中心作為氣象預報作業校驗依據如圖八、九所示：

1. 在標準觀測時間前 10 分至整點進行風速風向、氣溫及溼度之觀測；在標準觀測時間整點，進行氣壓及船舶動應觀測值讀取。

2. 觀測後第0至7分鐘間，感測器端進行數據統計分析，隨後由無線電將值傳至船橋端展示系統，進行資料儲存、展示與編碼，以銜衛星將編碼資料傳至岸上中心。
3. 第7至23分鐘間，岸上中心接收資料先進行解碼，再資料品管，隨後匯入資料庫。該資料將與其他同時間之船舶觀測值彙整、編碼，連同發布之天氣與波浪預報圖，透過銜衛星傳回各觀測船舶展示系統，以圖形方式展示於屏幕，供操船參考。
4. 第23至30分鐘間，岸上中心將經品管數據轉為國際編碼，以網路傳至局內或WMO氣象中心供預報之用。

(二) 資料庫管理與資訊展示系統

資料庫管理系統為整合船舶報告與預報資訊核心，為因應數據量增加，以Access Database管理資訊，將接收的觀測資料進行歸類、格式化與標準化管理作業，再透過網路提供不同使用者。展示系統以網頁方式開發如圖11所示，僅需一台主機安裝介面，使用者即可透過網路管理使用系統，節省維護經費與管理。展示內容有船舶海氣象報告與天氣、波浪預報圖查詢展示。

五、後勤支援系統

(一) 資料品管作業

在觀測過程中因感測器雜訊、傳輸過程資料編碼與解碼及其他不確定因素不可避免地存在不正確數據。維持資料品質包括：積極白日常觀測作業經驗中發掘問題，持續進行儀器及資料分析演算法研發，改進系統精度及穩定性；消極建立資料品管理論與方法，訂定品管規範，確保資料正確性。資料品管的原則為合理性、連續性與關聯性。本系統採統計理論建立品管標準，作業順序為(1) GPS與電羅經、(2)風速風向、(3)其他觀測項目，如圖11。

合理性品管是最基本品質檢驗，分為兩類，一是「儀器限制」數據不應超過量測儀器的測量範圍；二是「物理限制」觀測量不應超過量測地點海氣象臨界條件。此品管標準應先施用在原始時序列數據中，再應用於統計值時序列中。若原始數據中有資料標記超過合理性品管上限標則去除之，僅將未標記者納入統計分析，其標準列於表三。

連續性品管定義為自然現象變化大都是漸進且連續的，各種觀測物理量在時空上都必須是連續變化，時空變化量應落在合理範圍內，如改變量超過某限度或是相鄰測點資料無法以物理觀測解釋都可視為可疑資料。信賴區間為90%比信賴區間為99%時資料，可容許變動範圍較小、品管規範較嚴格；本標準採用較適中之95%信賴區間作為品管標準如表四。

關聯性檢驗是檢驗所量測資料與其他相關物理量關係是否異常，海氣象特性常受外在環境影響而改變，利用不同物理量間關聯性，可互檢資料品質。同物理量使用相同儀器或不同儀器量測時亦可比較資料正確性，更可顯示

儀器老化或毀損的偏差量。其步驟為(1)電羅經與GPS中航向讀值比對、(2)GPS航速讀值與風速計垂直軸速度分量比對及(3)統計之對地平均風速與對地三秒陣風比對，此三項比對後，可引伸確認風資料之正確性如表五所示。

實務的資料品管分為兩個程序，一為自動品管(Automatic data quality checks)、接下來是人工品管(Manual/Scientific data quality checks)。自動品管是利用電腦進行大量且快速的資料篩選(Data filtering)，找出現象突出、較不符合常理、可能有問題的資料，對這些資料進行標記(Flag)；專家再依據對系統、資料分析方法瞭解、氣象分析經驗與輔助其他氣象資料為佐證，進行這些標記資料判斷。

(二) 檢校作業

儀器精確與否關係數據品質良窳，儀器須通過嚴格檢校，系統組裝時須反覆測試無誤，始能執行任務。儀器在出廠時均附有率定公式，但仍有賴儀器檢校與率定程序維持觀測作業正確性。儀器長期在現場作業，會因老化或環境因素發生損壞或觀測值偏移，影響觀測資料準確性。在觀測作業一段時間後，須定期進行儀器檢校，重新建立率定公式，消除儀器誤差。

檢校最重要原則是檢校單位須經過中華民國實驗室(CNLA)認證，使檢校結果得以追溯，局內儀器檢驗中心為國內專責檢校氣象儀器主要單位，提供氣象儀器檢校項目，依據校正技術規範，嚴格檢驗送檢儀器，並檢附檢校報告書以茲證明，檢校項目包括氣壓、溫度、溼度、電量、降水、日照口射等，於八十九年完成風洞實驗，使各種風速儀得以校正。工研院量測中心及檢校中心溼溼度、氣壓檢校設備亦經過CNLA認證。檢校作業包括(1)直接送交局內檢校中心檢驗之儀器包括風速風向計、氣溫計、氣壓計，(2)羅盤、資料記錄器等局內未提供檢校項目採廠商自訂建立的檢校流程，進行率定與反覆測試來確認儀器準確度，(3)無須經過檢校如太陽能板、無線電與天線等，但須經設定或測試是否可正常運作。

六、結論

為提供適當海況資訊於預報作業，須選擇最具效益航次與測試時間，航線考量原則為(1)滿足預報校驗需求與(2)航線重航性高(短航線)，故擇定長榮海運立烈輪航線如圖十二，從93年10月24日開始執行作業化觀測安裝至今系統維持正常運作，觀測成功率達98%，證明此套系統可提昇國內船舶海氣象報告頻率，大幅降低人為誤差，可作數值天氣預報校驗參考；此系統已成功建立國內船舶參與海氣象觀測計畫能量，將海氣象觀測範圍由近海拓展至遠洋。

七、參考文獻

1. Dexter, Peter, 2003: "An Historical Perspective of Operational Marine Meteorology and Oceanography", Foreword of the celebration of the Brussels Maritime Conference of 1853

- Kao, C.C., Laurence Z.H. Chuang and B.C. Lee, 1999: "The Logistic Requirement for Wave Field Measurement", The Second Workshop on Ocean Models for the APEC Region, Beijing, China, pp.4A-1-4A-8.
- Kao, C.C., Laurence Z.H. Chuang, Y.P. Lin and B.C. Lee, 1999: "An Introduction to the Operational Data Buoy System in Taiwan": "International MEDCOAST Conference on Wind and Wave Climate of the Mediterranean & the Black Sea, ISBN: 979-429-140-3, pp.33-39.
- Jessup, A. T., R. A. Fogelgarg and P. J. Minnett, 2002: "Autonomous Shipboard Infrared Radiometer System for in situ Validation of Satellite SST", Journal of Atmospheric and Oceanic Technology
- Moat, Benjamin I., 2003: "Quantifying the Effects of Airflow Distortion on Anemometer Wind Speed Measurements from Merchant Ships", Doctoral Thesis of School of Engineering Sciences, Faculty of Engineering and Applied Science, University of Southampton, UK
- JCOMM Technical Report No. 19, 2003: "Automated Shipboard Aerological Program (ASAP) Annual Report for 2002"
- JCOMM Technical Report No. 20, 2003: "JCOMM Ship Observations Team, Second Session"
- Radok, Uwe and E. J. Steiner, 1984: "Wind Estimation from a Moving Ship", Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter, Vol. 23, pp. 17-18
- Radok, Uwe, S. J. Lubker & T. J. Brown, 1996: "An Analysis of Differences between Ships and Buoy Observations", unpublished documents of CIRES, University of Colorado
- Sheasby, Thomas, I. Parkes and D. Llewellyn-Jones, T. Nightingale, R. Yokoyama and S. Tanba, 1999: "Sea Surface Temperature Validation Results from the MUBEX'97 Experiment", Remote Sensing Environ. Vol. 56, pp. 97-103
- Wilkerson, J. C. and M. D. Earle, 1990: "A Study of Differences between Environmental Reports by Ships in Voluntary Observing Program and Measurements from NOAA Buoys", Journal of Geophysical Research, Vol. 95, No. C3, pp. 3373-3385
- 黃明志、高家俊, 1991: "海象監測自動化技術可行性及系統發展規劃", 成大造船系、水研所, 台南
- 李文鴻, 1995: "利用對流管數法計算海面風應力及熱通量之研究", 碩士論文
- 高家俊、莊士賢、蔡嘉蓉, 1999: "海象資料庫之現況與問題", 創造台灣海岸新環境—永續海岸的呼喚研討會, pp.2-1-2-8
- 高家俊、莊士賢等, 1999, 海象資料庫建置即時監測系統適用於南臺灣之評估(第二年度報告), 交通部海峽暨南台區報告 009013880395
- 金紹興、高家俊、莊士賢, 2001: "近海水文觀測及預警", 中國土木水利工程學會學術研討會專題演講

表一 船舶海氣象觀測系統之量測項目與規格

項目	量測範圍	解析度
風速	0-50m/s	0.1m/s
風向	Azimuth: 0-360deg Elevation: -60-60deg	1deg 0.1deg
氣壓	800-1,100hPa	0.1hPa
濕度	0-100%	1.0%
氣溫	-40+60°C	0.1°C
電羅經	0-360deg	± 1.5deg

表二 各種常見船舶側對流管參數

Anemometer Ht	Case (a)		Case (b)		Case (c)	
	Roll (°)	Period (sec)	Roll (°)	Period (sec)	Roll (°)	Period (sec)
10	5	5	10	5	16	4
20	5	10	10	10	10	4
30	5	20	10	20	10	10

表三 合理性品管標準

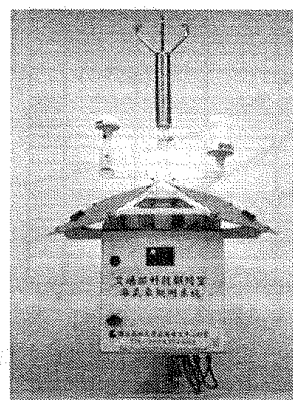
氣象資料	儀器名稱/類別	物理量的限制	
		儀器名稱/類別	物理量的限制
氣象資料	風速	0-60(m/sec)	-
	風向	0-360(度)	-
	濕度	0-100(%)	-
	氣溫	-20-70(°C)	-
船舶動態資料	氣壓	800-1100(hPa)	依據歷史經驗訂定合理範圍(900-1100hPa)
	航速	-	依據船型之最高航速大於30kts
	航向	0-360(度)	-
	位置緯經度	-	依據海圖標註範圍E100-140度、N5-45度
船首方位	0-360(度)	-	-

表四 連續性品管標準

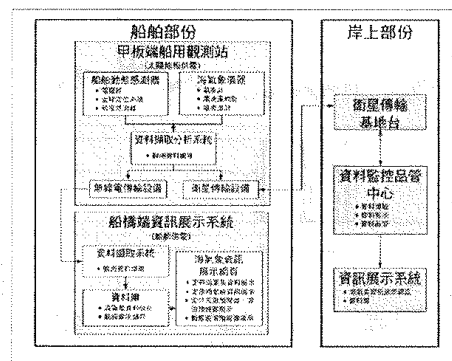
95% 信賴區間	lag time	氣壓	風速	氣溫	濕度
	2	3.0	3.4	2.1	10
4	4.1	4.5	3.4	14	
6	5.2	5.3	4.5	18	
8	5.3	5.8	5.4	20	
10	5.2	6.2	6.0	22	
12	5.3	6.5	6.3	24	

表五 平均風速與三秒風速關聯性品管標準

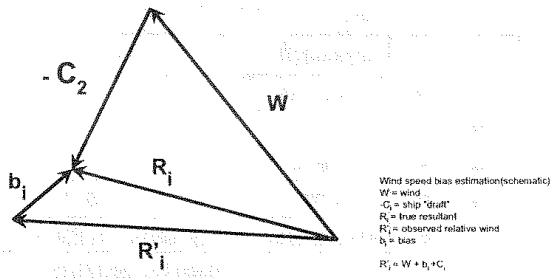
90% 信賴區間	下限		上限	
	$\hat{U}_1 - 0.025 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.025 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 - 0.032 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.032 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$
95% 信賴區間	$\hat{U}_1 - 0.032 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.032 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 - 0.045 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.045 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$
99% 信賴區間	$\hat{U}_1 - 0.045 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$	$\hat{U}_1 + 0.045 \cdot \sqrt{1 + \frac{(\bar{U}_1 - 3.56)^2}{6}}$		



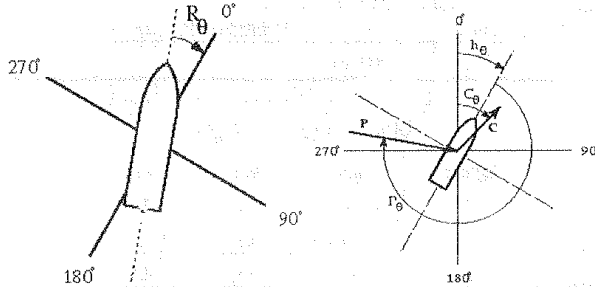
圖一 系統原型



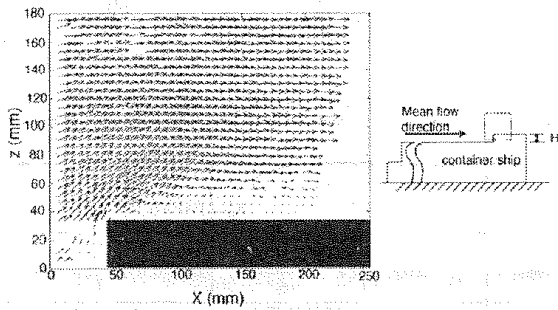
圖二 船舶海氣象觀測系統架構



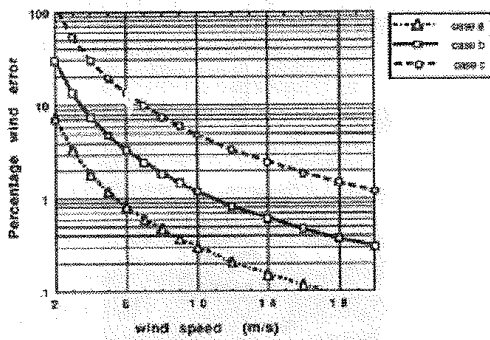
圖三 對地絕對風速風向計算方法



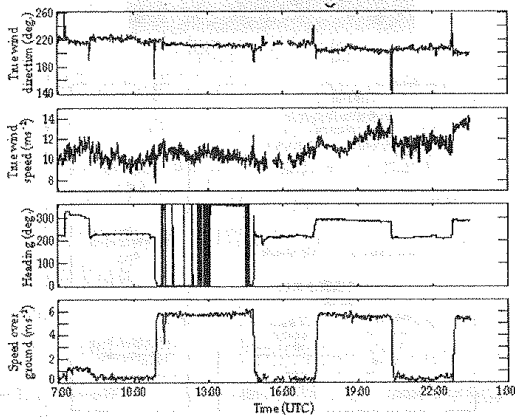
圖四 相對於船身的風速風向觀測速率轉換至對地標準



圖五 計算流體力學模擬均勻風場通過貨櫃輪船之變化 (Moat, 2003)

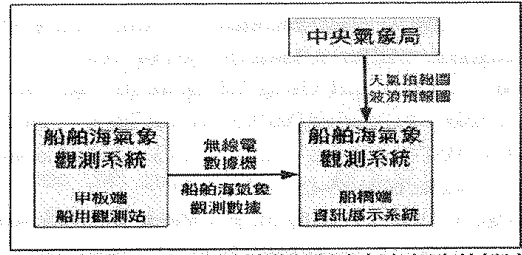


圖六 不同船舶側傾運動參數下風速與其觀測誤差比較

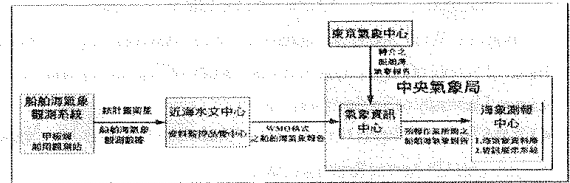


圖七 對船相對於風速風向及轉換後對地風速風向後出現雜訊

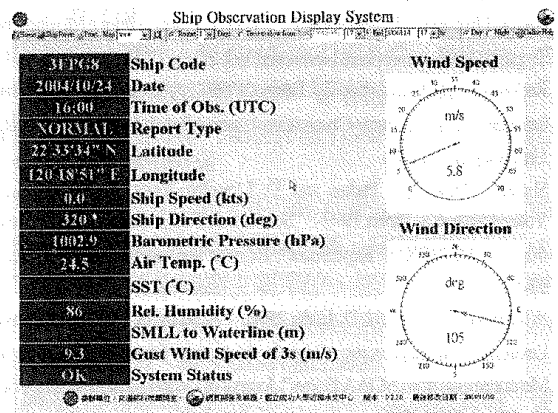
訊，此乃因 GPS 雜訊以及船隻加速度運動所致



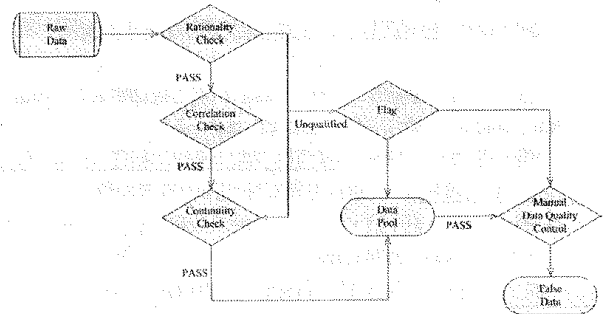
圖八 船端資訊展示系統接收船舶氣象報告傳輸流程圖



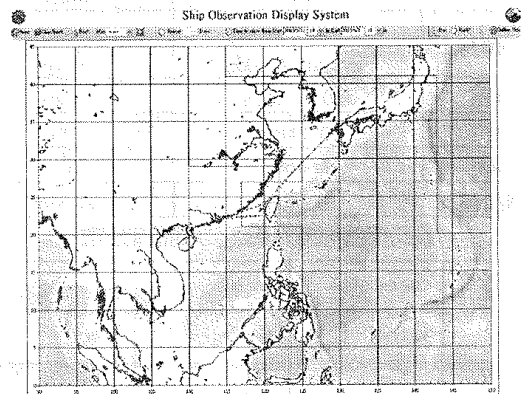
圖九 局內接收自動船舶氣象報告之傳輸流程圖



圖十 資訊展示系統介面



圖十一 品質作業流程圖



圖十二 立烈輪航線圖