

# 國輪自動化船舶海氣象觀測系統之研發

## On the Development of Automatic Shipboard Marine Meteorology Monitoring System for Domestic Voluntary Observing Ships

錢樺<sup>1</sup> 高家俊<sup>2</sup> 徐月娟<sup>3</sup> 陳沛宏<sup>1</sup> 林演斌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>成功大學近海水文中心 <sup>2</sup>成功大學水利及海洋工程研究所

<sup>3</sup>中央氣象局海象測報中心

### 摘要

世界氣象組織(World Meteorology Organization, WMO)自願觀測艦隊計畫(Voluntary Observing Fleet Program, VOF)中,船舶發報的海氣象報告對海洋區域天氣預報與即時災害性天氣預警至為重要。本文評估國內商船航行中海象資訊之蒐集與傳輸技術現況,同時為減少船上人力負擔,確保觀測數據品質,進一步研製一套船用海氣象自動觀測系統原型,觀測包括風速、風向、氣溫、溼度及氣壓等因子。該觀測系統具備無人全自動定時觀測作業能力,並能以無線方式自動將觀測資料傳輸至艦橋,並配合現有船舶無線收發報設備發展長距離數據傳輸技術,使定時觀測的海氣象數據能即時自動回傳至氣象中心。針對依照世界氣象組織規範所研製之船舶海氣象自動觀測與通訊系統原型,本文對系統及其後勤支援作一扼要介紹。

### 一、前言

近年來世界各地在海域上諸如航運、漁業、油氣探勘、海上遊憩等活動日益頻繁,確保上述各項活動安全實則有賴於對於海洋環境的充分了解。現階段基於流體力學所發展的數值模型是最常被應用於了解海洋環境的方法,不論是航運安全、漁業、海洋及海岸工程設計規劃、海上活動安全與海象災害預警減災等都強烈依賴所發展出的數值預報模式(NWP),這些方法有其不可取代優點,然而若考慮任何模型在計算上對於實際初始場及邊界條件的需求,在海洋環境中實施現場海氣象觀測成為不可或缺的一環。

海氣象觀測可分為以衛星為載台的遙測技術以及現場觀測(In-Situ Measurement),衛星遙測可以獲得廣大區域的雲層分布、海洋溫度、水色及波浪等,基於大部份的遙測回波訊號都需現場實測數據(Ground Truth Data)作為校正及率定之依據,因此即便在各種氣象衛星及資源衛星應用越來越普遍的趨勢下,現場觀測仍扮演十分重要以及絕對必要的角色。

海氣象現場觀測可以分為三種主要方式:錨繫式資料浮標(Moored Data Buoy)、漂流式資料浮標(Drifting Data Buoy)以及船舶觀測。在世界氣象組織(WMO)以及聯合國教科文組織(UNESCO)的推動下,自願觀測艦隊計畫(Voluntary Observing Ships, VOS)成為目前最成功的船舶觀測計畫,目前全世界有七千餘艘商船參與這個計畫,一年提供數百萬筆的觀測資料給世界各地的氣象單位作為氣象預報校驗的依據。由此可知,船舶發報的海氣象報告對海洋區域天氣預報與即時災害性天氣預警至為重要。有據於此,中華民國氣象法第十條規定:「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,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」。

另一方面,海氣象對於海上航行安全影響極大。惡劣的海氣象,例如海上強風、巨浪及

颱風等常是造成船隻觸礁、碰撞甚至傾覆等海難事件之主要原因。依據英國勞氏驗船協會之「海難回顧」(Casualty Return, Lloyd's Registry of Shipping)資料統計,台灣海域被列為中度海上風險環境(Moderate Risk Environment);若能有效的提供航行船舶最即時、迅速、適當、正確的航行警告與海象、氣象以及各種突發狀況等各項航行安全資訊,將能有效的預防海上意外事故的發生。例如,全球船舶交通管理系統(Vessel Traffic Service)設置後,提供沿岸航行船舶之各項航行安全資訊的成效統計結果顯示,確實能有效提昇 89.1%之近岸航行安全。基於以上原因,國內大航商於交通部的溝通座談會中,亦曾表達在其所屬的船舶上進行海氣象觀測之意願。

然而,事實上根據基隆海岸通信中心統計,以台灣為基地,航行於我國經濟海域時定時向基隆海岸通信中心發報的觀測船隻非常有限。每一年中所接獲含有氣象觀測資訊的船舶電報數目,皆在十則以下,相對於鄰近香港及日本每年均收集數萬份的船舶氣象觀測報告,現階段我國的商船觀測能量可謂十分匱乏。目前航行於國內商港與世界各海港的國輪約有三百多艘,能遵照氣象法辦理者太少,其主要原因為氣象法之規定並無所伴隨之罰責而不具強迫的效力,也因此航商考慮運輸成本因素,國輪上並無專責編制人力進行海氣象觀測。

目前全世界大部分民間船舶上的海象資料觀測儀器多為指針式類比的儀器,利用針筆將觀測數據紀錄於滾筒紙或其他儀表上,由人為目測判讀紀錄於航行紀錄簿上(Log book),如有需要則再編寫為氣象電碼,與船舶位置等資訊一同利用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部份傳真至氣象中心。若依據國際氣象組織規範,商船上每日八次定時進行觀測作業,觀測作業將耗費大量人力。更甚者,近年來船舶現代化及自動化的發展趨勢成熟,商船上的船員編制人數大幅減少,現代化大型自動化貨櫃輪僅配置十餘名船員,更難以有足夠的人力進行繁瑣的海上海氣象觀測及通報業務。

由上述討論可知,建立國內商船氣象觀測能量有兩個策略,一為進行現行法規的檢討修正,消極地對航商進行約束;更積極的做法為獲得航商的高度認同和支持。

為爭取航商的支持,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的精神,提供大量且詳實的海氣象資料,研製一套完善的全自動上海氣象觀測系統為一重要途徑。

## 二、國內外船舶進行海氣象觀測之現況

以氣象預報的角度而言,現今海氣象現場監測的密度遠不及海氣象預報的需求,為增加於海洋表面的監測數據,有許多國際計畫及公約積極為這方面做出貢獻,世界氣象組織(World Meteorology Organization; WMO)所推動的自願觀測船隊計畫(The Voluntary Observing Ships Programme; VOS)為其中重要的成果。

自願觀測船隊計畫所觀測的資料流程如圖一所示:在志願觀測船舶上工作的船員利用船上的氣象觀測儀器,定時觀測並把這些觀測數據手動鍵入於氣象日誌(Log)中,利用世界氣象組織提供的 Turbowin 等程式,將船舶代號、觀測時間、觀測位置及觀測數據等資料進行編碼,再以印表機列印成紙本報告,此紙本船舶報告經船長認證後,以海事無線傳真機傳送到最接近的氣象中心以供全球交換使用。另一方面,長期的船舶報告經過彙整,當船舶入港後,這些報告將遞交給各港口的氣象官(Port Meteorology Officer, PMO)以進行資料品管,經品管過的資料將傳送至世界上分別位於德國漢堡、英國布拉克奈爾、日本東京及香港等八個氣象中心,隨後進入資料庫供全球氣象中心交換使用。

在全世界航運界船舶大型化與自動化的發展趨勢下,由於船舶上水手人數大幅精簡,工作負擔加重,各國的自願海氣象觀測計畫皆面臨參與船舶數目減少、船舶報告數量滑落的窘境。加拿大政府有鑑於此,以增加船舶報告數量及品質為目標,積極推動自動化的船舶海氣象觀測研發計畫(Automatic Voluntary Observing Ships (AVOS),在 2002 年成功發展出自動化的船舶觀測系統。加拿大環境部預估,由於該系統的研發成功,船舶報告的數量將由原本的每年五十萬則增加到每年五百萬則,同時並可藉由數位化的觀測及資料品管系統減低人為錯誤機會,確保觀測數據的品質。

在國內的情況方面,中央氣象局進行氣象預報所需的船舶氣象報告全部由國外氣象中心轉送,然而由於我國並非 WMO 會員國,取得海氣象船舶報告十分不易,目前僅能自國際氣象組織於東京所設置的氣象中心獲得。全世界有八個收集海洋氣象資料的氣象中心,其中東京氣象中心所接收到的海氣象資訊多為日本貨輪航行於東海、黃海、日本海及西太平洋等海域的天氣觀測報告,對於台灣海域預報的助益有限。由上述討論可知,建立國內商船氣

象觀測能量實為刻不容緩的工作。

目前世界上商品化的船舶用自動海氣象觀測系統逐漸開始出現在國際市場上，主要由法國及加拿大等歐美國家製造，然而是否可藉由單純的儀器採購建立國內商船海氣象觀測能量，實則有待商榷。就台灣地區的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，這樣的作法導致國內缺乏儀器檢校維修技術，儀器須送回國外作檢校修護，費時太長且手續繁瑣。另一方面，儀器採購制度僅著眼於產品採購時之價格，少有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等問題。

由此可知，海洋環境監測業務需要一個落實技術本土化的專業團隊來支援，提供國內研究人員誘因而研發本土化儀器，避免技術人員過大的流動性，以確實掌握儀器技術細節，讓儀器技術在本土落實生根。

### 三、船舶海氣象觀測系統

#### 3.1 設計原則

為達到無人操作全自動海氣象觀測之目標，同時觀測資料應能即時傳送至監控中心進行資料品管，再將監控中心內的其他船舶觀測資料彙整傳送至該船艦橋進行展示，以利操船決策。所研發之船上海氣象監測儀器應具有下列特性：全自動海氣象監測功能、具即時將數據回傳至艦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。

為能達到持續、可靠及高品質的觀測結果，相對於陸上的氣象觀測儀器，船載的海氣象觀測儀器研製必需考慮更多外在的因素，這些因素主要分別為：船隻甲板上部結構的複雜氣流、船體運動上下與左右搖晃影響、船位置的不斷改變對於觀測所造成之誤差，以及海上長距離無線電通訊以及海上高度鹽分、溼度及浪花飛濺的影響。

針對上述第一項影響因素，為使其對於風速及風向觀測的影響能夠盡可能避免或減低到最低程度，必須把儀器盡量架設到船的前端或是頂端，並且架設於桅桿高處，以減小船的甲板上的艙體結構、天線和桅桿對風特性產生的局部影響。因此在良好安裝位置的前提下，系統本身重量及體積必須精巧；又，若考慮利用電纜連接監測系統與艦橋以提供電源及傳輸數據，需要於船身進行工程，涉及驗船標準。為簡化安裝及維修程序以利在船舶停靠

的短暫時間迅速進行系統安裝或更換，該全自動監測系統應具有自給自足獨立的電力供應，與無線的數據傳輸能力將觀測資料傳送至艦橋。

#### 3.2 系統架構

船舶海氣象觀測系統在技術層次上包含兩個子系統：船上即時監測子系統以及岸上資料管理子系統。前者於海洋現場進行監測並將測得的資訊即時傳輸至資料監控中心；後者於資料監控中心進行資料品質管理、資料庫匯入及資料通報服務。其中船上現場即時監測子系統又分為位於甲板桅桿上方的感測器端與位於艦橋的資料處理展示端，彼此以無線電進行數據通訊，艦橋的資料處理展示端再以衛星通訊與岸上的中心聯繫。整體架構如圖二所示。

甲板桅桿上方的感測器端主要包含三個部分，分別為：感測計、數位資料擷取及運算子系統、能源系統及數據通訊子系統。此部分子系統架構如圖三所示。感測計與數位資料擷取及運算子系統部份，承擔海氣象觀測任務的船舶，應至少能觀測下列要素：

1. 風速及風向
2. 大氣壓力
3. 氣溫
4. 溼度
5. 船舶的航向、航速及船首方位
6. 船舶所在經緯度
7. 系統電壓及相關感測器生命狀態指標

風、氣溫及溼度的觀測在基本天氣觀測的標準觀測時間(00,03,06,09,12,15,18,21GMT)前10分鐘內進行，而大氣壓觀測值及船舶動態位置等資訊則應恰好在標準觀測時間讀取。

資料擷取控制及運算子系統為整體觀測作業的核心，該子系統必需能夠穩定進行感測計資料的擷取、分析運算及資料傳輸控制。另外在能源自給自足的前提下，系統省電考慮非常重要。本系統採用嵌入式控制運算系統，具有高度的擴充性。

在上述的觀測項目中，風速風向之觀測受到船體運動之影響，必須要有船速及船向數據進行換算，本系統設依據GPS訊號得到船速及船向，另以電羅經校正準確的船向，以確保風向觀測值得以正確修正。

在電力供應系統方面，感測計端採用太陽能板支應系統耗電，在完全不充電的情況下，可以連續運轉三週。艦橋資料展示及處理系統之電力需求則由船舶提供。

商船觀測系統具有即時傳輸功能，在觀測完數分鐘內，在辦公室就可以收到資料，即時傳輸不可避免會因氣象、儀器雜訊等不確定因素漏失即時資料。為了確保資料完整性，商船觀測系統設計具有資料現場儲存功能，將資料儲存在記憶卡上，當記憶卡取回後，可以在下載得到完整的氣象資料。

為降低資料量、減少傳輸費用，所有的觀測資料皆經編碼儲存，本計劃引用資料量最小化之編碼技術，每次觀測的氣象資料量可以縮減為28Bytes。

### 3.3 通訊方式選擇

目前，商用衛星通訊在海事通訊上，具有相當多的選擇，例如Iridium、Global Star、ARGOS及Inmarsat等。本文依據經營集團的穩定性、系統通訊含蓋範圍、通訊費用、耗電量、與其他子系統（如「資料收取、控制、分析」、「電力」等系統）之相容性等各項因素進行衛星通訊系統之選擇評估。其中ARGOS通訊系統並非同步衛星，無法定時傳送浮標所量測到的資料，故並不適合用在定時的資料通訊。

以經營集團的穩定性而言，Iridium及Global Star等系統，在發展中曾發生財務危機，幾乎破產，考慮研發成果能持續應用，Inmarsat是一個較穩定的通訊系統。由於Inmarsat採用同步衛星，其軌道高度甚高，換言之，在傳輸時之電力需求也較高。Iridium及Global Star都採用低軌道衛星，這兩種通訊系統在所需電力、設備費用、通訊費用上，差別不大。但是，Global Star系統的衛星之間並無通訊能力，衛星必須與地面站通訊，故在傳輸時，可能會有死角，而Iridium系統則無此問題。

Iridium歷經破產危機，在美國國防部注入大筆資金後，目前已經是相當穩定的衛星通訊系統。目前，許多國外海洋觀測機構都開始使用Iridium系統。另外，Iridium有美國國防部之資助與背書，在財務與系統上較無問題，本系統因此採用Iridium系統作為衛星通訊方式之選擇。

本系統原型如圖四所示。

## 四、觀測資料流程與後勤系統

### 4.1 作業及資料流程

自動化船舶海氣象監測系統透過短距無線傳輸及衛星數據傳輸方式，將觀測資料由船上感測器端傳輸至岸上氣象中心作為氣象預報作業之參考，其觀測作業每三小時一次，

於國際氣象組織釐定之標準觀測時間(00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21GMT)執行，作業資料流程簡述如下：

- (1)船上感測器端在標準觀測時間之前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，進行氣壓及船舶動態觀測值讀取。
- (2)在觀測完成後第0至7分鐘間，在感測器端先進行數據統計分析，隨後經由無線電將統計值傳輸至艦橋端資料處理系統，進行資料儲存、展示，並將數據編碼，最後利用衛星傳輸將編碼資料傳遞至岸上資料監控中心。
- (3)在第7至23分鐘間，岸上監控中心接收衛星傳回編碼資料，先進行解碼，再進行資料品管，隨後將資料匯入資料庫，最後該筆觀測資料將與其他船舶於同時間的觀測值彙整、編碼，透過衛星資料傳輸，傳回至各觀測船舶之艦橋端資料處理展示系統，以圖形方式展示於屏幕上，供操船參考。
- (4)在第23至30分鐘間，岸上監控中心將資料庫中經品管過的數據以網際網路傳送至中央氣象局或世界氣象組織區域氣象中心，供氣象預報作業之用。

### 4.2 後勤支援系統

本文所述之自動化船舶觀測系統僅為一原型，若未來自願觀測船隊計劃得以推展，並開始作業化地執行，則類似系統將大規模地架設於多艘船舶上，為維持多套儀器同時順利且正確地運轉，相對應的後勤支援系統成為不可或缺的一環。自動化船舶海氣象觀測船隊計畫的後勤系統包含技術支援、系統化的倉儲管理以及行政支援。其中技術支援部份包括系統更新研製、系統檢校、安裝維護等。以下針對如何獲得高品質且長期不中斷的海氣象監測資料之關鍵工作項目進行說明。

#### 4.2.1 系統檢校

觀測儀器的精確與否，關係到數據品質的良窳，為確保可靠、高品質的觀測資料，使用的船載海氣象觀測儀器必須通過嚴格的檢校過程，系統組裝時亦須反覆測試無誤後，始能執行觀測任務。

觀測儀器在出廠時均附有率定公式，但仍須有賴儀器檢校與率定程序，以維持觀測作業之正確性。另一方面觀測儀器長期在現場環境作業，可能因老化或環境因素影響而發生損壞或觀測值偏移的情形，導致影響觀測資料準確性。因此觀測儀器作業一段時間後，亦必須定

期進行儀器檢校，重新建立率定公式，以消除儀器誤差。

在儀器檢校方面，最重要的原則是檢校單位必須經過認證使得檢校的結果可以追溯。目前中央氣象局儀器檢驗中心為國內專責檢校氣象儀器的主要單位，該檢校中心提供相關的氣象儀器檢校項目，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，並做為日後分析、使用與改良的依據。其檢校儀(機)具，均經度量衡國家實驗室檢測合格，在檢測過程中，亦詳細記錄檢測環境與資料，提供分析比對使用，觀測儀器若不符合檢校規範，檢校中心立即通知送檢單位更換，符合規範內容者則詳實記錄檢校數據，並檢附合格證書，提供送檢單位做為分析比對之依據。

本儀器設備檢驗概可區分三大類，(1)直接送交中央氣象局檢校中心檢驗之氣象儀器，如風速風向計、氣溫計、氣壓計。(2)羅盤、資料收錄器等中央氣象局未提供檢校之項目，則採行已建立的檢校流程，進行率定與反覆測試來確認儀器準確度。(3)無須經過檢校，但須經設定或測試其是否可正常運作，如太陽能板、無線電與天線等。

#### 4.2.2 資料品管

在觀測過程中，由於感測器雜訊、傳輸過程資料編碼與解碼及其他不確定因素，資料監控站所接收的資料中不可避免地存在著不正確的數據。必需特別注意的是，倘若這些不正確的數據被應用於預報模式校正當中，不僅將導致誤判，甚至有可能因為決策錯誤將民眾生命財產置於極高的風險之中。然而另一方面，在惡劣氣候條件下所測得之極端數據與不正確的資料在型態特性上往往十分相似，這些極端數據極為難得而珍貴，因此如何準確地將不正確的數據自珍貴的極端資料中分離出來並去除，實為關鍵。

針對上述目標，維持資料的高品質與正確性有兩個策略：積極地，必需自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的研發，改進系統精度及穩定性；消極地，建立資料品管理論與方法，訂定品管規範，確保資料之正確性。

資料品管理論架構於幾個論點之上，亦即所觀測得之數據必需合乎儀器規格或是物理特性；觀測值於時間及空間上的變化是漸變的，若時間上的改變量超過某一限度或是在空間上相鄰測點的資料無法以物理觀點解釋，都可視為可疑資料。以及不同資料項目間如氣溫和時間具有關聯性，可依據所量測之資料與其

他相關物不同迴歸形式。上述三個論點在品管理論中稱之為數據的合理性、連續性與關聯性。

基本上，所有的資料品管應由極具資料分析經驗的專業研究人員鑑定判別，品管人員必須具有廣泛的知識領域背景，對於儀器特性、電子電路、數據分析理論及海氣象特性皆充分掌握，方有能力進行準確的資料品管判斷。為減輕人力負擔，增進資料品管效率，實務上可藉由計算機高速運算能力，初步自觀測資料庫中篩選出可疑的數據，標上註記，但是還是必須由專業品管人員做最終決定資料的正確性，其作業流程圖如圖五所示。

#### 4.2.3 倉儲及備品管理

為維持多套儀器同時正確地運轉，故障儀器必須能夠即時進行維護或更換，這些皆有賴系統化的倉儲及備品管理，例如安全庫存量制度、進料檢驗制度等的建立。完善的倉儲及備品管理作業必須充分滿足供應需求上的變異，迅速排除儀器之故障狀況，使得海氣象資料的收集不致因系統故障而中斷。

為確保儀器安全與備品充足，良性的倉儲管理應建立領發料程序，以提供遵循的法則；並進行倉存查核與盤點作業，藉以了解存貨使用與庫存狀況是否合理，以求改善。

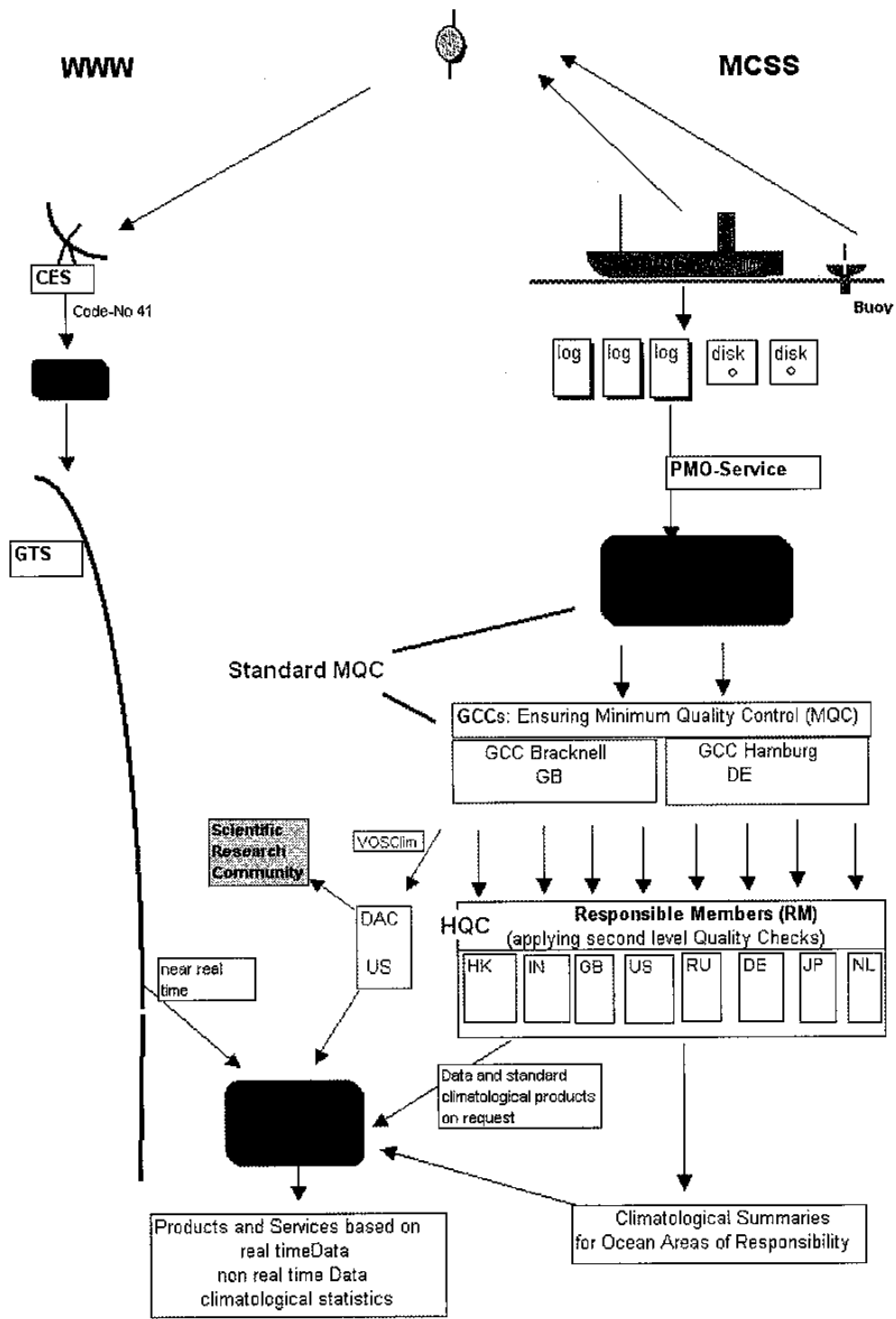
## 五、 結語

為提供台灣四週海域更為充足船舶報告做氣象預報之校驗，並落實國內「氣象法」第十條與第十四條規定，自動化船舶海氣象監測技術之研發甚為重要。然而技術層面上的研發成果欲落實於實務上並能真正對氣象預報提供助益，則有賴於商船海氣象觀測計畫的推動；進一步真正能使台灣的自願觀測艦隊計畫可長可久，則需要針對國內現有法令、政府單位職掌及商船作業現況進行檢討，透過營運策略之擬定以及法規修改，誘導航商在國輪上進行海氣象觀測，俾台灣海域構成更綿密的海氣象觀測網，對氣象預報、航海安全及近岸遊憩業與觀光業之發展和海岸防災有所助益。

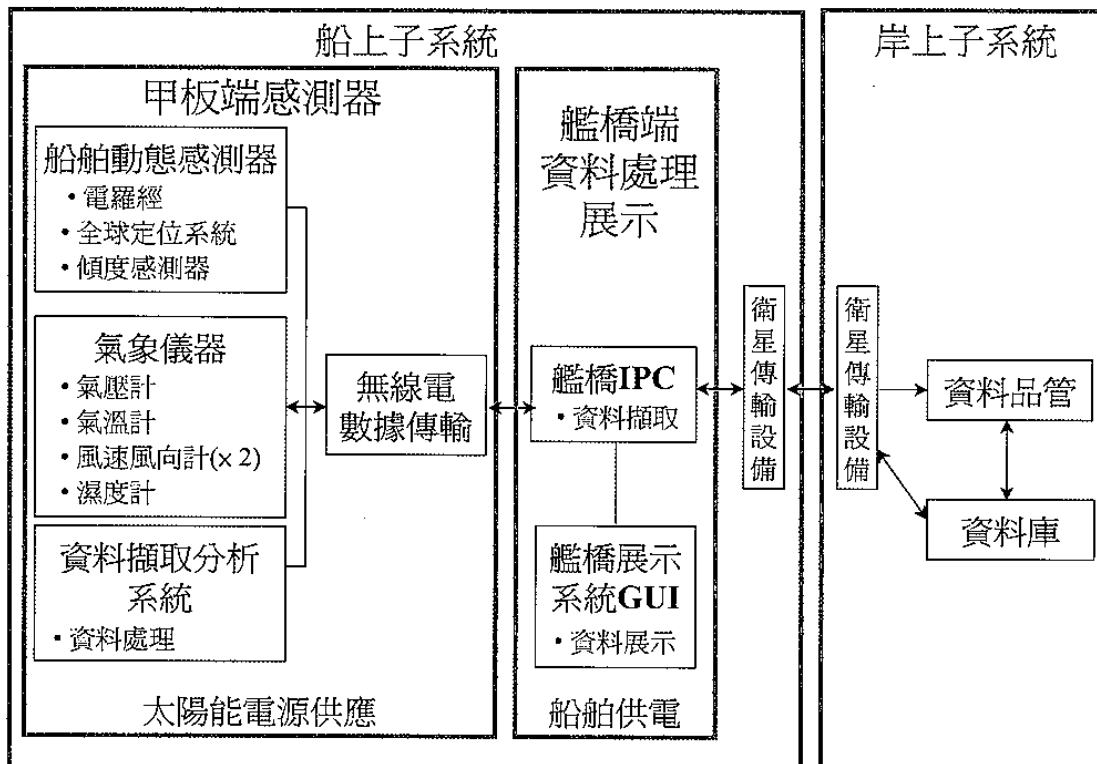
## 六、 參考文獻

1. 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。
2. 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。
3. 高家俊、莊士賢等，1999，海象資料浮標即

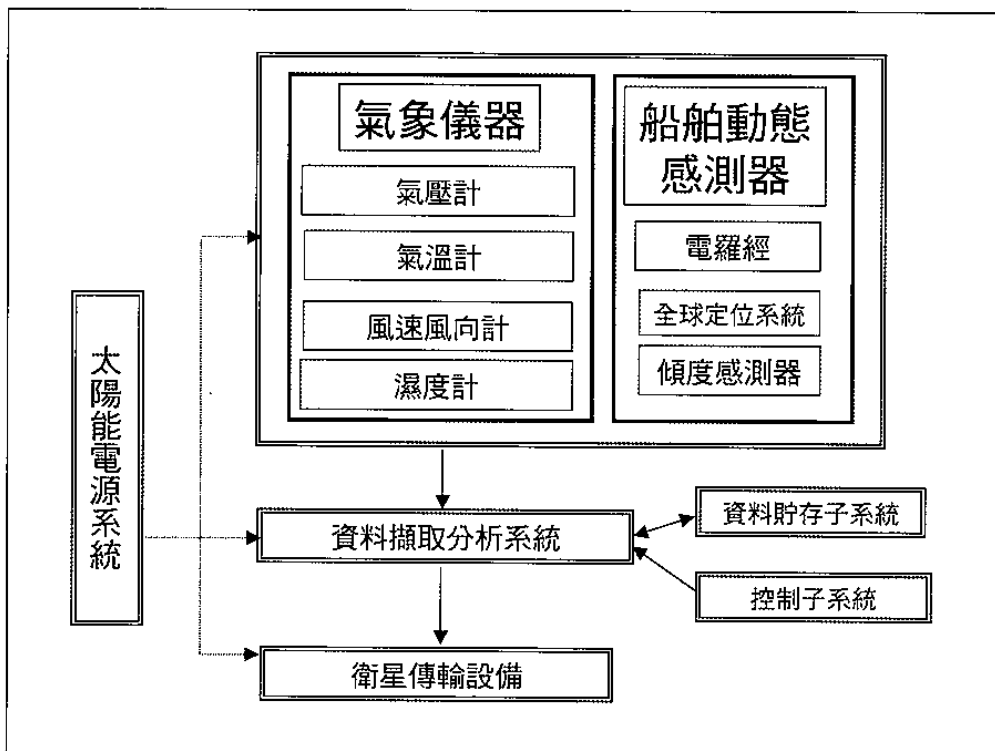
- 時測報系統運用於南沙海域之評估第二年度報告，交通部科技顧問室報告009013880395。
4. 金紹興、高家俊、莊士賢，2001，“近海水文觀測及預警”，中國土木水利工程學會學術研討會專題演講。
  5. Kao, C.C., Laurence Z.H. Chuang and B.C. Lee, 1999, "The Logistic Requirement for Wave Field Measurement", The Second Workshop on Ocean Models for the APEC Region, Beijing, China, pp.4A-1~4A-8.
  6. 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.



圖一 自願觀測船隊計畫所觀測的資料流程

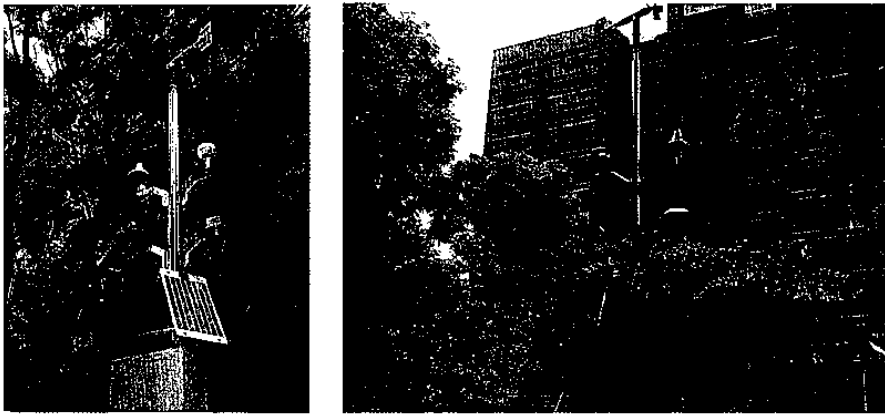


圖二 整體架構

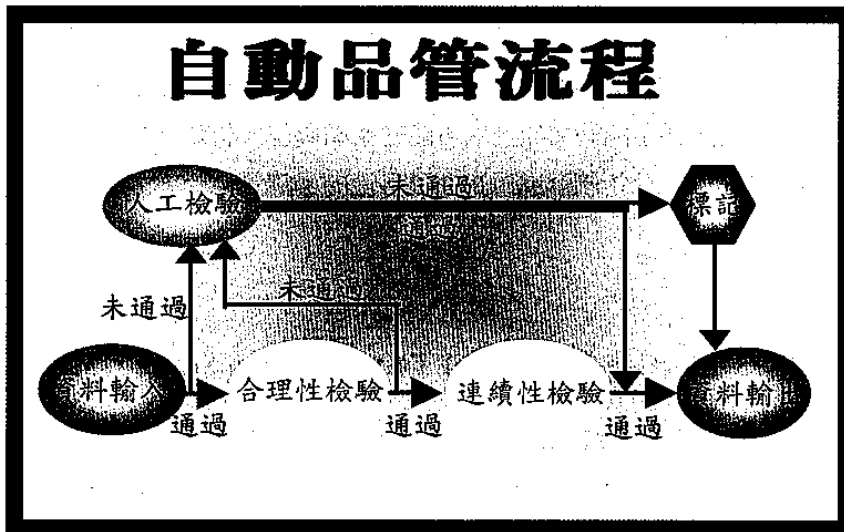


圖三 子系統架構





圖四 本系統原型



圖五 品管作業流程圖