

台灣海峽航路海象特性分析－基隆福州航路

Marine Weather Analysis for Taiwan Strait Shipping

Routes: Keelung to Fuzhou Ferry Route

陳昭銘*、許華智**、蕭登倨***

摘要

自 2008 年 12 月開放兩岸海運直航以來，為增進航行安全，對於瞭解台灣海峽航路海象背景有迫切之需要，本研究針對台灣海峽之海象環境進行分析，蒐集海峽基隆-福州航路之風、浪觀測資料，分析風速與浪高之對應關係，並與大氣氣候觀測及浮標觀測資料作比較驗證。以收集到之資料建立起衛星觀測之風速、浪高資料庫，並提供船舶通航之參考。就海象特性分析顯示，北部台灣海峽之風浪，於西南季風期間，平均風級為 3-5 級(3.4-10.7 m/s)、平均浪級為 3-4 級(0.6-1.5 m)，東北季風期間則增強到平均風級為 4-7 級(5.5-17.1 m/s)、平均浪級為 5-6 級(2-4 m)，反應東北季風期間海象轉趨惡劣與危險。

關鍵詞：兩岸航運、台灣海峽航路、海象。

Abstract

The latest direct China-Taiwan shipping started from December 2008. Being a historical event led to a prosperity thereafter in sea transportation across Taiwan

* 陳昭銘 Jau-Ming Chen, 國立高雄海洋科技大學海事資訊科技研究所副教授。

** 許華智 Hua-Zhi HSU, MNI/MRIN, 國立高雄海洋科技大學航運技術系助理教授,
Email:hhsu@mail.nkmu.edu.tw。

*** 蕭登倨 Deng-Ju Hsiao, 國立高雄海洋科技大學海事資訊科技研究所碩士。

Strait. The regional weather can be notorious sometimes, and it becomes a concern for the shipping fleets crossing the Strait. The aim of this paper is to analyze the wind and wave conditions over the north part of Taiwan Strait, in particular, the Keelung-Fuzhou ferry route. The wind-wave database was collected from both satellites and buoys. It provides better weather forecast data for the crossing-strait shipping. The data reveals the wind speed is 3.4 to 10.7 m/s, while the wave height is 0.6 to 1.5 meters in average in the southwesterly-flow season. During the northeasterly-flow season, the wind speed is 5.5 to 17.1 m/s in average, while the wave can reach 2 to 4 meters in height. It shows that regional weather worsens much during the northeasterly-flow season.

Keywords: China-Taiwan Shipping, Taiwan Strait Route, Marine Weather.

一、前言

2008 年 12 月 15 日，海峽兩岸實現了直接、雙向的海上通航。截至 2011 年底，兩岸海上直航貨櫃定期航線共有 29 條，直航客運航線有 7 條，兩岸共同公布了 83 個直航港口，其中中國大陸占 70 個，臺灣占 13 個(交通運輸部，2012)。近 3 年海上直航累計運送貨物超過 2 億噸，貨櫃運輸量超過 500 萬標準櫃貨櫃，在全球貨櫃運輸市場年均增長率不到 7%的情況下，兩岸間貨櫃運輸總量年均增長率超過 13%，中轉運量年均增幅超過 13%；兩岸間海上旅客運輸 3 年總運量則超過 450 萬人次，年均增幅近 20%。兩岸直航後所帶來之龐大經濟效益，也使得兩岸航商皆看好此一商機，紛紛投入兩岸直航客、貨輪之經營行列。

台灣海峽海象瞬變，風浪強大，影響航安甚鉅，為了增進航行安全，須對台灣海峽航路之海象背景進一步了解。然臺灣夏季多颱風，每年 10 月至次年 3 月間受東北季風影響，台灣海峽海象經常不佳，憑添遇險事故之發生率，根據勞氏協會(2012)評估海事頻率、船流複雜度、天候海象等因素，於「海難回顧(Casualty Return)」資料中，將台灣海域列為中度海上風險環境(交通部，2009)，加上部分船旗國及船東對所屬權宜船安全管理與監督機制不足，使台灣周邊海域航行安全有一定之風險性。

海上航船各類船舶總噸位與船體材質不同，抗風浪之能力亦有差異程度，船舶航行遇到風浪高於其設計之耐波標準時，即會發生危險，風浪強度正好或快達到船舶耐波標準時，雖暫無船體安全之疑慮，但對乘員而言，極可能造成不舒適感(高暈船率)增加，一般而言，增加船舶總噸位可同時解決安全與舒適問題。目前航行於台灣海峽航路(已在營運或未來即將加入)營運之客貨輪，按各船舶諸元規格整理如下(表一)：

表一、航行於台灣海峽之船舶相關諸元規格比較表

船舶名稱	建造日期	建造國家	船身長度的(公尺)	總噸位數(公噸)	航行速度(節)	載客數量(員)	船舶特點
台華輪	1990年	日本	120	8,134	22	1,150	平衡翼
海洋拉拉號	2004年	西班牙	64	2292	35	540	雙艙船體
紫玉蘭號	1995年	德國	150	106,071	20	379	可裝貨櫃
台馬輪	1985年	日本	102	5039	19	500	平衡翼
中遠之星	1993年	中國	186	26,847	23	683	平衡翼
註：海洋拉拉號於2010年8月8日遭遇大浪襲擊，船舶受損。							

為了提供船舶更完善之通航規畫以及航商購船參考，有必要探討台灣海峽適航船舶應考量之氣候因素，期待能確保未來兩岸陸續加入營運的客貨輪，在台灣海峽之航行安全與乘坐舒適性。

二、台灣海峽航路風險

兩岸大三通在2008年12月15日正式啟動，這在兩岸關係史上將標誌著一個歷史性的里程碑。以經濟層面而論，個人旅行兩岸，不再需要到港、澳或第三地做中轉，一般行程將可以減省三個小時左右；貨物運送在時間與運送成本之考量下，也可大為降低。上海台商協會初略估計海上直航後，兩岸運費一年至少可節省美金一億元，若再加上快速與便捷之海空運運輸，台商的成本自然降低，無形增強市場之競爭力。然而台灣海峽航路受到氣象與海象等因素影響，航行安全是兩岸航商陸續加入客貨船營運行列的同時，值得注意及重視。

船舶在海上航行作業，深受海上環境影響，承擔的風險遠高於陸地運具，即使科技不斷精進，配備先進航儀之船舶發生船難仍時有所聞。船難事故的發生原因概可分為人、船、環境等三大因素，依種類分以碰撞、擱淺與機械故障最高，其中因當值瞭望不確實、操船不當、海、氣象資訊之不注意與機械使用不當等因素約佔了7成(交通部，2009)。根據交通部相關統計資料顯示，近年台灣海域商船在海上發生船難事故每年平均計有300件、人命損失平均每年有50人；換言之，台灣海域平均每天就可能有1件商船船難事故發生、平均每星期就有1條人命損失，航行於此水域確實有一定之風險。

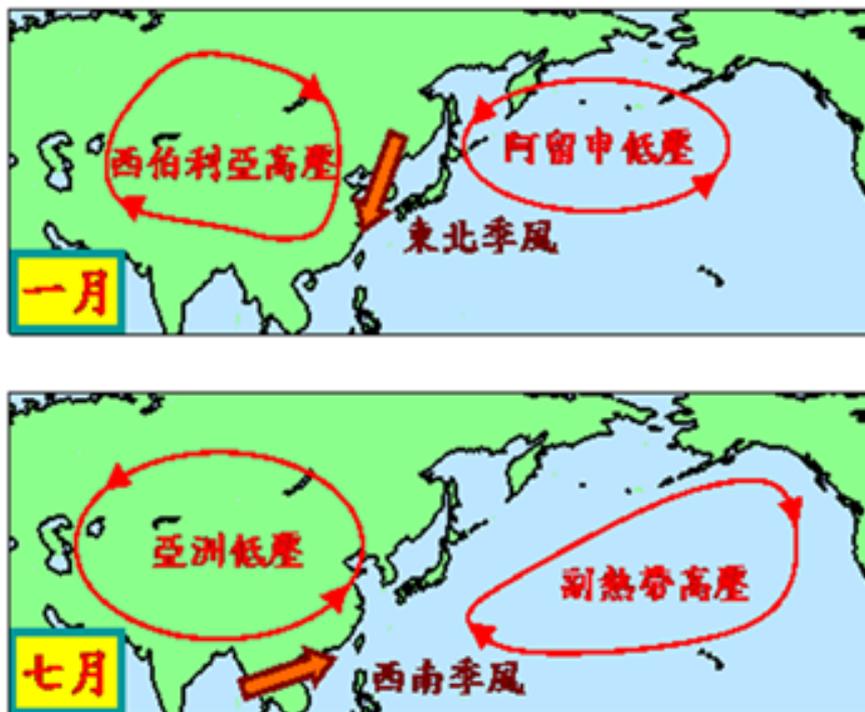
台灣夏季颱風與冬季東北季風所生成的凶險巨浪，使台灣海峽海氣象在航海界眼中，一直都無法擺脫黑水溝之稱呼。惡劣的海、氣象，例如強風、巨浪及颱風等常是造成船隻觸礁、碰撞甚至傾覆等海事之主要或間接原因。

2.1 氣候與水文

陸塊的比熱較海洋為低，變熱時升溫較快，變冷時降溫也較快(陳昭銘，2006)。台灣西倚亞洲大陸，東臨太平洋，又位於副熱帶洋面，由於此三者之差異，主導台灣四季之氣候變化。

以一月為例，太陽直射南半球，北半球為冬季，亞洲大陸的溫度比太平洋低，冷陸表、暖洋面的對比，使空氣於暖洋面上升，生成太平洋北側的阿留申低壓，冷陸表上方為下沈的空氣，形成亞洲大陸上的西伯利亞高壓。西伯利亞高壓的反氣旋環流（順時針方向）與阿留申低壓的氣旋環流（逆時鐘方向）於東北亞會合，為中低緯地區及台灣帶來凜冽的冷空氣，冬季的東北季風即是如此形成的。

到了七月，太陽直射北半球，季節轉換到夏季。亞洲大陸較太平洋升溫快，陸表上方空氣上升，形成亞洲低壓，空氣於較低溫的洋面下沉，形成太平洋上的副熱帶高壓，亞洲低壓的氣旋式環流為東南亞、東亞、台灣等地區帶來濕熱的西南氣流，為降雨的主要機制，並形成夏季所熟悉之西南季風。圖一說明台灣附近海域冬季(一月)與夏季(七月)之季風系統以及主要環流圖。



圖一、冬季 1 月與夏季 7 月之季風系統與主要環流圖(陳昭銘，2006)

臺灣海峽之海域範圍介於臺灣本島與中國大陸福建省之間，北連東海與南接南海，海域北界福建平潭島到臺灣最北端富貴角，南界福建東山島到臺灣最南端鵝鑾鼻。南北長約 300 公里，平均寬度 180 公里，東西向最窄處約 130 公里，平均水深約 100 公尺。台灣海峽以風大、浪大、流速大著稱，在氣候方面，台灣海峽季風交替明顯，頻繁的偏北風非常強勁，每年十至四月東北風為主，六至八月西南風為主，海流存在明顯的季節變化，冬季以從北向南的沿岸流為主，夏季以由南向北的暖水以及從太平洋進入的黑潮支流為主。

2.2 海象與氣象

交通部(2012)統計資料分析顯示風及浪造成船舶航行安全影響最大，為保障航行安全，需掌握海上氣象因素的變化。影響船舶航行安全的海、氣象因素包括：暴風、巨浪、濃霧、降水、海流、潮汐及海冰等，預防勝於治療，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氣象以及各種突發狀況等各項航行安全資訊，能有效預防海上意外事故的發生。

台灣海峽冬季期間形成東北季風時有顯著大浪；夏季期間西南季風之風力較微弱，一般不會引發大浪，但突發性的颱風，其移動過程中所伴隨之強風，常在其移動方向右半側產生大浪，形成所謂航行危險半圓(歐錫祺、陳正改，1992；廖宗、王一山，2006)，經由持續風力吹襲，高風力、長吹襲時間、廣泛風區之影響下，颱風期間易引發湧浪，當它往外傳導，其長波特性的，易對航行中船隻造成威脅(中央氣象局，2006)。交通部(2009)概述台灣海峽海象與氣象特性如下：

台灣海峽受地形影響，風向穩定，自一月至四月持續吹東北風，五月才逐漸有西南風，但出現頻率仍不多；六月至八月主要是吹西南風到南風，九月東北季風很快的南下，東北風又快速成為主要風向，十月至十二月東北季風穩定且隨季節逐漸增強。十月至三月東北季風盛行期間，示性波高大於 1 公尺以上者超過 70%，其中示性波高大於 2 公尺可達 40%。五至八月西南季風盛行期間，波浪較小，示性波高大於 1 公尺者不超過 15%。

對台灣海峽航路而言，冬季東北季風與夏季颱風所引發之風浪、季節交替時產生的濃霧，均會對航行安全造成影響。颱風行進路線不定，強風範圍超過 100 浬，持續時間約 1 至 2 日，船舶航行通常需藉由氣象資訊來判斷颱風位置及走向，修正航線或減速以避開強風海域。季風風力不比颱風強，但是範圍較廣，持續時間又長。以東北季風為例，船舶無法長時間偏航，僅能減速慢行，以減少海浪衝擊。濃霧時間及範圍不定，只能遇到濃霧時減速慢行，利用雷達協助瞭望，以增加航行安全。在航運安全考量之下，如何

避免在惡劣天氣執行航運任務，妥善規劃因應措施，可節省大量人力，物力之消耗，避免意外事故與人員損傷。對中小型船隻而言，風力級數與對應產生之浪高，常是決定出海與否的重要關鍵。

2.3 海氣象現場觀測

掌握海氣象因子的變化有助於對海洋環境及大氣的了解，增進天氣、波浪及海潮流預報之準確，使航行安全、海象災害預警及減災直接受惠。海洋與大氣為一整體系統，藉由海-氣交互作用，海象與氣象依存著密不可分的連動關係。

獲得海洋環境資訊的方法可分為理論解析、數值模式推算及現場觀測三種。現場觀測為獲得海洋環境資訊最直接的方法，觀測結果可促成理論解析的進步，為發展預測模式及改進預報技術之基礎。由於數值模式中的理論未盡周詳，數值方法中的誤差累積以及邊界與起始條件不足，必須以現場觀測的數據進行模式律定及校驗。此外在預報技術改進上，尤其針對特定地點發布的區域性預報，該地長期觀測資料所提供豐富的區域海氣象特性，更是氣象預報人員不可或缺的參考資料。

然而氣象分析與預報，藉由陸地上高密度的地面觀測網路、探空網路、及氣象衛星由高空往下寬廣視野的觀測，提供充分與高密度的天氣資料，包括地面與高空之風、水氣、雲、雨、溫度等。但在另一方面，海洋的觀測在廣闊洋面所用之浮標，一來造價昂貴，二來維護不易，且常遭受商船、漁船作業時不小心的損害，增加了海上氣象分析與預報的困難性，所以學界積極發展以衛星或飛機為載台的遙測技術，可以獲得廣大區域的雲層分布、海洋溫度、水色及波浪等，但遙測回波訊號皆需現場實測數據作為調整或比較驗證之依據，因此即便在各種氣象衛星應用越來越普遍的趨勢下，現場觀測仍扮演重要的角色。

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)是利用錨繫讓資料浮標侷限於一海域中，藉由其上酬載的自動觀測系統定時將海氣象數據傳回氣象中心，本文所採用之龍洞浮標即為此型浮標。
- ◆ 漂流式資料浮標(Drifting Data Buoy)是應用資料浮標上的衛星定位系統及衛星傳輸，隨著海流沿途蒐集海氣象數據，由於不能預設觀測點，且回收困難，若作業化觀測則費用高昂。
- ◆ 船舶觀測(Ship Observation)則是在船舶上安裝海氣象觀測儀器，隨船沿途蒐集

海氣象數據，此法可涵蓋海域範圍最大，但由於航行安全或任務考量，對極端個案(如:颱風、西南氣流、暴雨)則缺乏觀測資料，故未列入比較驗證選項。

台灣海峽位處於歐亞大陸與太平洋交會地帶，受季節風影響甚鉅，而東北季風所帶來的強風巨浪，嚴重的威脅到海峽的航運安全。若能準確的預測波浪，便能保障海上航運的安全並降低海上作業的風險。

三、航路風險評估

本文係以統計基隆-福州航路海域範圍內衛星觀測資料為主，輔以龍洞浮標觀測資料，並比較驗證資料(研究海域範圍如表二所示)。首先針對美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Protection，以下簡稱 NCEP)之氣候預報系統再分析(Climate Forecast System Reanalysis，以下簡稱 CFSR)氣候觀測資料，在 2001 年至 2010 年間，應用 Matlab 程式運算繪製平均風向、風速之氣候場平均圖(依月份別)。

表二、選定研究範圍經緯度

航路	範圍	經度	緯度
基隆-福州航路	A 點	119°6'E	26°N
	B 點	121°9'E	26°N
	C 點	119°6'E	25°N
	D 點	121°9'E	25°N

針對台灣海峽基隆-福州航路，以 Fortran 程式解析 Jason-2 衛星資料，利用程式判斷資料經緯度是否位於該航路所屬之分析海域，特別擷取有風、有浪的資料，讀取風速及浪高數據。所分析之衛星資料從 2009 年 6 月至 2011 年 7 月，依照月份及季節利用 Excel 程式運算後，建立衛星之風速-浪高資料庫，探討其分布情形，並與蒲伏風表作比較，製作風速-浪高迴歸方程式，方便研判該航路風速-浪高正確性，以供該航路交通船舶之航行參考。

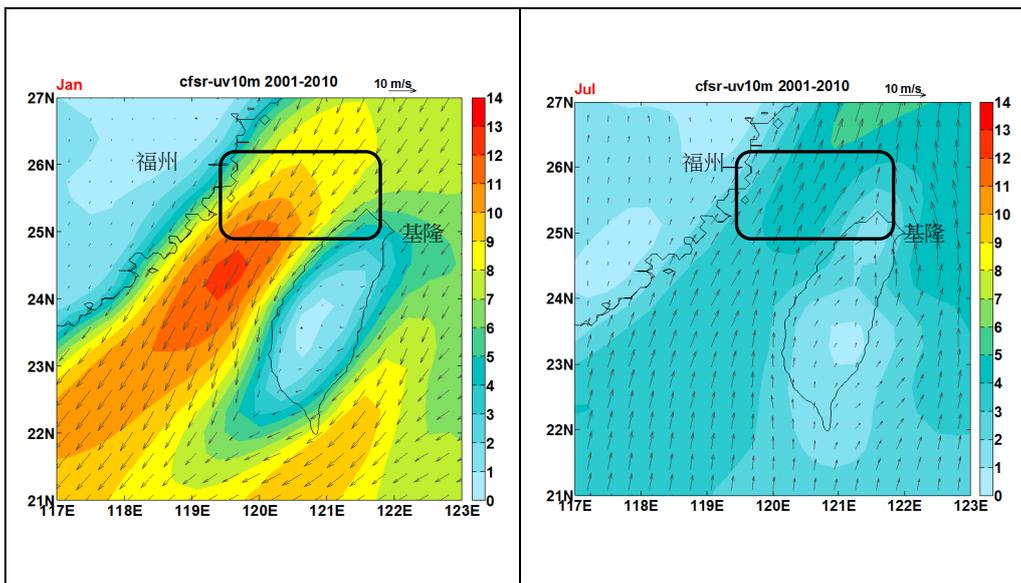
依據中央氣象局提供之龍洞浮標 (121°55'21"E,25°05'48"N，位於龍洞遊艇港東北方海域約 1 公里處)，解析從 2009 年至 2011 年(共計 2 年)之浮標觀測資料。分析方法與衛星資料相同，浮標亦依照季節利用 Excel 程式運算後建立浮標當地之風速-浪高資料庫，探討分布情形，並與蒲伏風表作比較，以製作風速-浪高之迴歸方程式。

3.1 NCEP/CFSR 氣候觀測資料

NCEP/CFSR 氣候觀測資料是 2010 年美國所發展出來的一個全球性、高解析度，可分析氣候預報數值的估算模型(Saha et al., 2010)。CFSR 擁有 1979 年到 2010 年間大氣觀

測資料之歷史數據。運用此模型估算，透過不斷再分析的過程，從可用的觀測資料中擷取詳細資訊，可分析發生的機率（初始條件的預測），以獲得更好的資料。

本文以 2001 年至 2010 年 NCEP/CFSR 的氣候觀測資料繪製氣候場平均圖，分析台灣海峽航路各月份之平均風向、風速。以一月(圖二)及七月(圖三)為例：2001-2010 年台灣海峽航路 1 月之氣候場，平均風向東北、平均風速 8-17.1 m/s；7 月氣候場，平均風向為西南、平均風速 1.6-5.4 m/s，其中該 10 年的氣候場資料概為離地表 10 公尺高的風速；縱座標為緯度，橫坐標為經度，色階為風速，單位為 m/s；箭頭方向則為風向。



圖二、台灣海峽航路一月氣候場

圖三、台灣海峽航路七月氣候場

3.2 Jason-2 衛星遙測資料

TOPEX/POSEIDON(以下簡稱 T/P)測高衛星，是由美國太空總署(NASA)與法國太空總署(Centre National d'Etudes Spatiales, CNES)共同研發，T/P 衛星每天繞地球 12.7 圈，提供全球 90%不結冰海洋之測量數據，又能解決傳統驗潮站位置分布不均與船舶觀測之缺點。T/P 衛星後續又有 JASON-1 衛星與 JASON-2 衛星(AVISO, 2012)，JASON 系列衛星除了精確度的提升和體積上的改良，主要目的是接續 T/P 衛星的觀測任務，以提供更高精度之測高資料。

JASON-1 衛星接替 T/P 衛星，並已營運了 9 年，可迅速提供幾個小時或幾天內海洋狀態，屬於海洋地形衛星(Scharroo et al., 1997)，主要在探測海面高度、有效波高、海面風速、海洋重力場、大地水準面、潮汐洋流、大氣水汽等資料。JASON-2 衛星則是於 2008 年 06 月 20 號正式發射升空，目的則為接續 T/P 與 JASON-1 衛星之觀測任務(Tran

et al., 2011), 相關參數(如軌道高度、軌道傾角、重複週期和衛星路徑)皆與 T/P 衛星相同。

衛星測高是利用衛星測高儀來測量海水面的高度變化,由海水面高度的變化配合地球自轉所產生的柯氏力,可計算表面海水的運動狀況。配有測高儀之氣象衛星,發射脈衝遇到海面反射而折回,經由往返海面時間差可推算水面與衛星之高度,由於水是一良好反射物質,此法特別適用於海洋衛星遙測,衛星遙測可由水面之高度變化推算海洋波浪、測量海表面粗糙度等以推算海表面風場。

Jason-2 人造衛星為現階段最新的測高衛星(AVISO, 2009) Jason-2 衛星之觀測資料,是由美國 GODAE(Global Ocean Data Assimilation Experiment)計畫所彙整(US Navy, 2012),觀測頻率為每 10 天繞極全球軌道一次,每一個海域,在一個月之中約有三次衛星觀測結果,選取此衛星資料之主要原因,為可同時提供風速與浪高觀測資料,可進行驗證風浪之對應關係。Jason-2 資料可供自由下載,其下載網址為 <http://www.usgodae.org/cgi-bin/datalist.pl?generate=summary>。

氣象衛星在其所執行的任務中皆具有固定的軌道(Zieger et al., 2009),本文特地擷取台灣海峽基隆港至福州港航路, JASON-2 遙測範圍,在一定時間內掃描之海域資料。

3.3 浮標觀測資料

一個完整的作業化資料浮標系統應包括浮標殼體與錨繫、儀器與酬載、岸上系統與作業支援(鄧中柱,1994)。其中浮標殼體與錨繫系統及使用的觀測儀器(包含了加速度計、傾角計及羅盤儀),都會影響到波浪量測的精確度(江俊儒,2007)。波浪觀測流程為各波浪站將觀測之資料先經岸上中繼站或岸上資料處理器處理後再透過電話撥接、數據專線、網際網路及衛星通信等方式傳回氣象局,經過波浪中心監控處理系統整理後,傳送海象資料庫做後續處理(徐月娟等,2000)。目前浮標觀測作業系統共分為海上資料浮標、陸上接收站、近海水文中心資料品管站及中央氣象局資料接收站等四站,各站間之資料傳輸及系統所有作業均採自動化設計。

海上觀測作業架構如下(交通部,2011):

- ◆ 資料浮標每兩小時觀測作業一次,每次取樣時間為 10 分鐘,取樣頻率為 2Hz,觀測完成後於現場立即進行資料分析及儲存;
- ◆ 資料分析及儲存工作完成後,利用無線電將分析結果及波浪時序列資料傳回陸上接收站儲存;

- ◆ 陸上接收站每日六時及十二時利用電話將資料傳輸至成功大學近海水文中心監控品管站進行監控及資料品管工作；
- ◆ 近海水文中心監控品管站將品管後之資料，藉由網際網路傳送至中央氣象局海象測報中心以配合中央氣象局每日八時及十四時之海氣象預報；
- ◆ 颱風或異常氣象期間，近海水文中心監控品管站，可配合中央氣象局進行二十四小時全天候作業，利用手動電話傳輸方式獲得資料浮標即時之觀測資料。

中央氣象局(2006)海象觀測站密度不能與陸地氣象觀測站相比，實因海上及沿海海象觀測站建站費用較陸上氣象觀測站高出許多，且海象觀測儀器損耗較大，人員出海佈放或檢視需視天候許可，維護困難，費用也較高。

3.4 研究限制

蒐集三種海氣象觀測資料，並對其觀測資料進行比較驗證，各資料中有其限制因素說明如下：

- NCEP/CFSR 氣候觀測資料：擷取 NCEP/CFSR 氣候觀測資料，依照月份利用 Matlab 程式運算後，繪製平均風向、風速之氣候場平均圖，惟本圖僅可比對風速，並無浪高的相關資料；
- Jason-2 衛星氣象觀測資料：局部海域每月僅能有 3 次衛星觀測資料，並且僅侷限於軌道鄰近海域(6 公里寬)，衛星觀測範圍實有其時間與空間分布限制；
- 中央氣象局浮標氣象觀測資料：中央氣象局浮標資料提供密度最高的觀測資料，但其空間涵蓋性僅有點狀分布，其在地觀測結果可用來比較驗證衛星遙測資料。

四、台灣海峽北部海象特性分析

根據衛星觀測所整理的風-浪資料，針對基隆至福州航路，統計 1 月至 12 月以及分析各季節之海象特性資料，並與該海域之浮標觀測資料比較驗證。

4.1 衛星觀測資料分析

依照對 Jason-2 衛星所收集之觀測資料(觀測頻率：每 10 天繞極全球軌道一次，每一個海域在一箇月中約有三次觀測結果)，選取此衛星資料之主要原因為：可同時提供風速與浪高之觀測資料，亦可檢驗風、浪之對應關係。衛星 2009-2011 年觀測資料數共得 4,695 筆(表三)。

表三、JASON-2 衛星觀測資料數 2009-2011 年統計表

航路	基隆-福州											
月份	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
筆數	299	303	303	298	312	373	415	456	461	521	459	495
共計	4,695 筆											

依據觀測收集所得之風速與浪高分布，針對基隆-福州航路，統計各月風級與浪級百分比，再將各級百分比加總並判斷分布趨勢，並得出接近 50%及 75%機率的風級與浪級範圍，同時統計各月平均風速、浪高及顯著波高 H(1/3)(表四)。平均風速最大(11.2 m/s)出現在十月份，最小(6.3 m/s)出現在七月份；平均浪高最高(2.3m)出現在十月份及十二月份，平均浪高最低(1.1m)出現在七月份；基本上顯著波高 H(1/3)出現之月份大致與平均風速、浪高月份相呼應。

表四、JASON-2 衛星基隆-福州航路各月份海象特性

航路	基隆-福州航路											
月份	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
機率近 50%	54%	51%	44%	40%	42%	46%	59%	43%	51%	38%	41%	61%
風級範圍	5-6	5-6	5-6	4-5	4-5	4-5	3-4	3-4	4-5	5	6	5-6
機率近 75%	72%	64%	74%	75%	76%	74%	75%	75%	68%	71%	72%	77%
風級範圍	5-7	4-6	4-7	3-6	3-6	3-6	3-5	2-5	3-5	5-6	5-6	5-7
風速範圍(m/s)	8 17.1	5.5 13.8	5.5 17.1	3.4 13.8	3.4 13.8	3.4 13.8	3.4 10.7	1.6 10.7	3.4 10.7	8 13.8	8 13.8	8 17.1
平均風速(m/s)	10.4	9.3	9.2	7.6	6.5	6.4	6.3	6.4	8	11.2	10	10.6
機率近 50%	40%	64%	41%	63%	65%	39%	41%	44%	43%	50%	53%	41%
浪級範圍	5	5-6	5	4-5	4-5	4	3	3	5	5	5	5
機率近 75%	72%	89%	71%	82%	93%	71%	77%	72%	77%	80%	86%	74%
浪級範圍	5-6	4-6	5-6	3-5	3-5	3-4	3-4	3-4	4-5	5-6	5-6	5-6
浪高範圍(m)	2 4	1 4	2 4	0.6 2.5	0.6 2.5	0.6 1.5	0.6 1.5	0.6 1.5	1 2.5	2 4	2 4	2 4
平均浪高(m)	2	2	2	1.7	1.4	1.4	1.1	1.3	1.7	2.3	2.1	2.3
H(1/3)浪高(m)	3	3.2	3	2.8	2.1	2.3	1.8	2.3	2.5	3.4	2.9	3.4

表五解算衛星觀測風浪迴歸方程式之 R^2 值， R^2 數值越大，代表實際觀測資料分布與迴歸方程式吻合度越高，反應風-浪間之線性對應關係愈佳，其中，三、四、六月之 R^2 值較高達到 0.7；其他月份 R^2 值則偏低，反應風浪間之線性對應關係微弱，歸其原因可能為風浪線性對應關係較易發生於廣闊洋面與長期穩定海況之下，但本文分析之基隆-福州航線區域，包含台灣與大陸近岸與海峽區域，受地形影響，近岸之波高易偏弱，但海峽內部區域之風速易因峽道效應而偏強，使風浪間之對應關係呈現偏差，降低線性對應關係，致使 R^2 值較低。本文分析之「風-浪迴歸方程式數值趨勢線」與「蒲伏氏風標數值趨勢線」呈現交叉現象，以風速為 X 軸，波高為 Y 軸而言，蒲伏氏風標數值趨勢線之斜率較衛星觀測資料為大，兩者交叉點大致落於 4-5 級風之區域。因此，衛星觀測資料之波高於強風區（4-5 級風以上）較蒲伏氏風標表之數值為低，但在弱風區（4-5 級風以下）則較高。由於蒲伏氏風標之數值大致呈現線性外推分布現象，故在強風區其表上之波高值，因線性外推關係可能較實際觀測波高值（如衛星波高）為高，將來可藉由更多衛星觀測資料之分析確認，對蒲伏風標數值進行檢驗與修正之可能性。

表五、JASON-2 衛星基隆-福州航路各月份 R^2 值與交點分析

航路	基隆-福州航路											
月份	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
R^2 值	0.6	0.6	0.7	0.7	0.5	0.7	0.4	0.5	0.2	0.5	0.5	0.6
交點	4 級	4 級	4 級	4 級	4 級	4 級	4 級	4 級	5 級	4 級	5 級	4 級

接下來將季節納入考量，依台灣每年之氣候分作西南季風季節(6 月至 8 月)、東北季風季節(10 月至 3 月)與其間之二過渡季節(4 月至 5 月與 9 月)。基隆-福州航路各季風級與浪級百分比列於表六，將各級百分比加總並判斷分布趨勢，得出接近 50%及 75% 機率之風級與浪級範圍，同時統計各季平均風速、浪高及 $H(1/3)$ 。平均風速最大(10.3 m/s)出現在東北季風季節，最小(6.4 m/s)出現在西南季風季節；平均浪高最高(2.2m)出現在東北季風季節，平均浪高最低(1.3m)出現在西南季風季節；基本上顯著波高 $H(1/3)$ 出現之季節別與平均風速、浪高之季節一致。

表六、JASON-2 衛星基隆-福州航路四個季節海象

航路	基隆-福州航路			
	過渡(一)	西南季風	過渡(二)	東北季風
月份	04-05	06-08	09	10-03
機率近 50%	40%	48%	51%	61%
風級範圍	4-5	3-4	4-5	5-6
機率近 75%	75%	65%	68%	71%
風級範圍	3-6	3-5	3-5	4-6
風速範圍(m/s)	3.4-13.8	3.4-10.7	3.4-10.7	5.5-13.8
平均風速(m/s)	7.1	6.4	8	10.3
機率近 50%	63%	39%	43%	44%
浪級範圍	4-5	3	5	5
機率近 75%	87%	73%	77%	75%
浪級範圍	3-5	3-4	4-5	5-6
浪高範圍(m)	0.6-2.5	0.6-1.5	1-2.5	2-4
平均浪高(m)	1.5	1.3	1.7	2.2
H(1/3)浪高 (m)	2.5	2.1	2.5	3.2

表七表示 R^2 值及「風-浪迴歸方程式數值趨勢線」與「蒲伏氏風標數值趨勢線」交叉點(風級)之分析值。以 R^2 值(=0.6)最高值發生於四至五月份(過渡一)與十至三月(東北季風季)，而兩趨勢線之交叉點都發生在四級風速區域。

表七、JASON-2 衛星基隆-福州航路四個季節 R^2 值與交點分析

航路	基隆-福州航路			
	04-05	06-08	09	10-03
月份	04-05	06-08	09	10-03
R^2 值	0.6	0.5	0.2	0.6
交點	4 級	4 級	4 級	4 級

4.2 浮標觀測資料

浮標 2009-2011 年觀測資料數量(表八)較衛星資料(見表三)多，這是因為浮標為定點式連續量測，而衛星為固定軌道移動遙測所致。

表八、龍洞浮標 2009-2011 年觀測資料數統計表

航路	基隆-福州											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
筆數	2157	1742	2075	2001	1942	1707	1792	1783	1924	2109	1901	1785
共計	22918 筆											

龍洞浮標資料站分析方法與衛星資料相同。表九為浮標觀測資料四個季節之海象特性分析，依據風速與浪高分布，統計各季風級與浪級百分比，再將各級百分比加總並判斷分布趨勢，得出接近 50%及 75%機率的風級與浪級範圍，同時統計各季平均風速、浪高及顯著波高 H(1/3)。平均風速最大(5.6 m/s)出現在東北季風季節，最小(3.9 m/s)出現在西南季風季節；平均浪高最高(1.7m)出現在東北季風季節，平均浪高最低(0.7m)出現在西南季風季節；基本上顯著波高 H(1/3)出現之季節別與平均風速、浪高之季節一致。

表九、龍洞浮標四個季節海象特性分析

航路	基隆-福州航路			
	對應季節	過渡(一)	西南季風	過渡(二)
月份	04-05	06-08	09	10-03
機率近 50%	66%	42%	66%	60%
風級範圍	2-3	2	2-3	3-4
機率近 75%	89%	69%	81%	77%
風級範圍	2-4	2-3	2-4	2-4
風速範圍(m/s)	1.6-7.9	1.6-5.4	1.6-7.9	1.6-7.9
平均風速(m/s)	4.2	3.9	4.3	5.6
機率近 50%	54%	74%	42%	39%
浪級範圍	3	3	3	5
機率近 75%	82%	84%	78%	63%
浪級範圍	3-4	2-3	3-4	4-5
浪高範圍(m)	0.6-1.5	0.2-1	0.6-1.5	1-2.5
平均浪高(m)	1.1	0.7	1.1	1.7
H(1/3)浪高(m)	1.7	1.3	1.8	2.6

表十為 R^2 值及「風-浪迴歸方程式數值趨勢線」與「蒲伏氏風標數值趨勢線」交叉點(風級)之分析。以 R^2 值最高僅 0.4，發生於十至三月之東北季風季節，反應近岸浮標風浪對應關係之線性程度不高，可能與其位於近岸，風浪數值受到地形影響產生修正之故。

表十、浮標基隆-福州航路四個季節 R^2 值與交點分析

航路	基隆-福州航路			
	月份	04-05	06-08	09
R^2 值	0.2	0.3	0.04	0.4
交點	5 級	4 級	4 級	6 級

4.3 衛星與浮標觀測資料比較

台灣海峽隔著台灣與中國，新竹與泉州僅相距 170 公里，更是整個台灣海峽最窄的海域，也可以視作一天然隘口。冬季東北季風自東海吹向台灣，當氣流進入台灣海峽時，

因海峽寬度在新竹地區海域附近縮減，氣流的流速變急變快，呈現狹道效應特性(涂建翊等，2003)，此時新竹與澎湖的風特別大，等到氣流到台灣海峽南部時，才呈分流形式，速度隨即減弱(劉昭民，1996)，所以金門和高雄的風速比較小，如此分析又與王玉懷、莊文思(1995)指出澎湖等離島風速普遍較台灣本島為強之結果一致。另一種狀況，則是沿岸氣象觀測站或近岸浮標因設置地點的關係，易受到附近地形如山丘或建築物影響，使得儀器測量出來的結果產生偏差，稱為遮蔽效應。

衛星觀測資料風級與浪級海象特性明顯大於浮標(見表六與表九)，這可能是因為龍洞浮標設置於沿岸易受到地形之遮蔽效應影響。而衛星資料觀測海域位在有狹道效應之台灣海峽所致。由 CFSR 氣候場平均圖(如圖二、圖三所示為例)亦可以看出，在基隆-福州航路靠近海峽中線的海域，開放性海面與沿岸海面地區相比較，海峽中線的海域風力是較強的(冬季可達 4-6 級風)，所以蒲福風表較適合用於開放性海面之風-浪評估，在有狹道效應之台灣海峽，海峽中線附近海象的預估常常是被低估的。

就基隆-福州航路之平均風-浪級數而言，西南季風期間平均風級為 3-5 級(3.4-10.7 m/s) 平均浪級為 3-4 級(0.6-1.5 m)，東北季風期間則增強到平均風級 4-6 級(5.5-13.8 m/s)、平均浪級為 5-6 級(2-4 m)，反應在東北季風期間海象轉趨惡劣與危險。比對表七(JASON-2 衛星)與表十(浮標)之 R^2 值及風-浪迴歸方程式，衛星觀測所得之 R^2 值較浮標觀測 R^2 值高，即 JASON-2 衛星所觀測之風、浪線性關係較浮標觀測線性關係高。

針對衛星風浪數值趨勢線與蒲伏氏風標數值趨勢線交叉點(風級)分析作比較，其交叉點大致位於 4-5 級風，表示衛星觀測值結果：4-5 級風以下之實際觀測波高較蒲伏風標表定值為低，但 4-5 級風以上則較蒲伏風標表定值為高；相對之下，浮標觀測值則顯示不同季節之風浪交叉點之風級有異，東北季風季交點位於 6 級，過渡(一)季節(4-5 月)交點則位於 5 級。衛星和浮標的交點分布資料趨勢不同，主要是衛星資料在於廣闊的洋面上，屬於海洋部分，而浮標資料則為近海資料，且受到地形及風時、風力、風區等(三大形成浪的主要因素)機制影響，波浪的呈現才會比觀測值小。

表十一為衛星觀測資料台灣海峽航路全年浪高特性之統計表，依據浪高分布，將該航路每月之各級浪高百分比加總並平均，統計出全年各級浪發生的機率。

表十一、衛星台灣海峽基隆-福州航路全年浪高特性

蒲伏浪級	3 級 (含以下)	4 級	5 級	6 級	7 級	8 級 (含以上)
浪高範圍	0.6-1 米	1-1.5 米	2-2.5 米	3-4 米	4-5.5 米	6-7.5 米
航路	基隆-福州					
1 月	3%	23%	40%	32%	1%	0%
2 月	8%	25%	34%	30%	3%	0%
3 月	17%	12%	41%	30%	0%	0%
4 月	19%	31%	32%	16%	0%	2%
5 月	30%	34%	31%	6%	0%	0%
6 月	33%	39%	24%	1%	0%	3%
7 月	42%	36%	17%	5%	0%	0%
8 月	47%	28%	16%	6%	1%	2%
9 月	8%	34%	43%	15%	0%	0%
10 月	1%	12%	50%	30%	7%	0%
11 月	3%	11%	53%	33%	1%	0%
12 月	9%	11%	41%	33%	5%	1%
平均機率	18%	25%	35%	20%	2%	1%

基隆至福州航路為五級浪高(2-2.5m)占三成(35%)，此航路全年浪高為五級以上者則有將近七成的機率(68%)。就分析結果顯示，風-浪對船舶安全的影響而言，基隆-福州航路浪的威脅比風更大。

五、結論

兩岸政府以往由於政治因素互不通航，航經台灣海峽的船舶大都是各自離岸 20 哩近岸航行，海上風浪相對較小，直航後橫跨海峽中線的航路，將有別於以往所累積的氣候經驗值，本研究針對台灣海峽基隆-福州航路之海象特性，依所收集觀測之資料依月份、季節分析其長期平均特性，以供船舶通航使用及航商參考，期以提高航行安全。

朱景鉅(2007)運用衛星遙測所得到之示性波高及風速資料來探討台灣海域的風浪特性以及波候的變動，驗證衛星測高資料適用於分析海洋波浪特性。另外陳昭銘等(2012)分析衛星與浮標觀測之極端個案(梅姬颱風)，兩者同時觀測到風速 25 m/s 時，對應波高約 9-10 m，反映兩者對極端個案之觀測結果互為一致。故分析上述三種海氣象觀測資料差異性，最後認為以衛星觀測資料最能代表台灣海峽航路之海象特性，可作為台灣海峽適航船舶應考量之氣候因素。

在基隆-福州航路靠近海峽中線的海域，開放性海面與沿岸海面地區相比較，海峽中線的海域風力是較強的(冬季可達 4-6 級風)，所以蒲福風表較適合用於開放性海面之風-浪評估，尤其在有狹道效應之台灣海峽，海峽中線附近海象的預估常常是被低估的。

運用衛星觀測資料所繪製的風速及浪高分布圖，來分析台灣海峽航路之海象特性，研究顯示就基隆-福州航路之平均風-浪級數而言，西南季風期間平均風級為 3-5 級(3.4-10.7 m/s)、平均浪級為 3-4 級(0.6-1.5 m)，東北季風期間則增強到平均風級 4-6 級(5.5-13.8 m/s)、平均浪級為 5-6 級(2-4 m)，反應在東北季風期間海象轉趨惡劣與危險。依據統計台灣海峽全年海象特性，經營航運業者必須評估，每年可航行天數、維修保養、市場規模、營運成本、實際獲利等經濟效益因素實施綜合考量。

六、參考文獻

一、中文部分

1. 交通部，2009，海難災害防救業務計畫，第 3-5、8 頁。
2. 陳昭銘、張家治、李華益、翁瑞城，2012，波浪預報精進技術之研究(I)研究成果報告(完整版)，行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，高雄，台灣。
3. 陳昭銘，2006，氣候變異，財團法人中興工程科技研究發展基金會。
4. 歐錫祺、陳正改，1992，海洋氣象，華香園出版社，162 頁。
5. 廖宗、王一山，2006，航海氣象學，教育部出版，264 頁。
6. 中央氣象局，2006，氣象宣導系列合輯，交通部中央氣象局，112 頁。
7. 朱景鉅，2007，應用衛星測高資料探討台灣外海波浪特性，國立交通大學土木工程學系，碩士論文，第 1、112 頁。
8. 鄧中柱，1994，作業化資料浮標之評介，海象預報與分析研討會論文集，交通部中央氣象局。
9. 江俊儒，2007，海洋波譜特性及其於分析波浪之應用，國立成功大學水利及海洋工程學系，碩士論文，第 25 頁。
10. 徐月娟、陳進益、蔡恆雄、李汴軍，2000，中央氣象局海象資料庫系統現況。天氣分析與預報研討會論文彙編—海洋(89)，臺北，343-348 頁。
11. 交通部，2011，100 年度資料浮標維護與資訊管理作業，中央氣象局、觀光局東北角暨宜蘭海岸國家風景區管理處。
12. 涂建翊、余嘉裕、周佳，2003，台灣的氣候，第 146 頁，遠足文化事業有限公司，台北。

13. 劉昭民，1996，台灣的气象與氣候，第 85 頁，常民文化事業有限公司，台北。
14. 王玉懷、莊文思，1995，台灣附近海域風場之觀測及探討，氣象學報第四十一卷第二期，88-89。

二、英文部分

1. Saha, S., and Coauthors, 2010, The NCEP Climate Forecast System reanalyses. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 1015-1057.
2. Scharroo, R., J. Lillibridge, and W. H. F. Smith, 2004, Cross-Calibration and long-term monitoring of the Microwave Radiometers of ERS, Topex, GFO, Jason-1 and Envisat. *Marine Geodesy*, 97, 279-297.
3. Zieger, S., J. Vinoth, and I. R. Young, 2009, Joint Calibration of Multiplatform Altimeter Measurements of Wind Speed and Wave Height over the Past 20 Years, *American Meteorological Society*, 26, 2549-2564.
4. Tran, N., S. Labroue, S. Philipps, E. Bronner, and N. Picot, 2010, Overview and Update of the Sea State Bias Corrections for the Jason-2, Jason-1 and TOPEX Missions. *Marine Geodesy*, 33, 348-362.
5. AVISO, 2009, OSTM/Jason-2 Products Handbook, 67.

三、網站資料

1. 交通運輸部，(2012, 25/03/2012)，中華人民共和國交通運輸部，<http://www.moc.gov.cn/>。
2. 勞氏協會，(2012, 12/04/2012)，Lloyd's List，<http://www.lloydslist.com/ll/>。
3. AVISO，(2012, 25/03/2012)，AVISO，<http://www.aviso.oceanobs.com/>。
4. US Navy，(2012, 01/01/2012)，USGODAE Project，<http://www.usgodae.org/cgi-bin/datalist.pl?generate=summary>。
5. 交通部，(2012, 12/04/2012)，中華民國交通部統計資料庫，<http://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain/>。