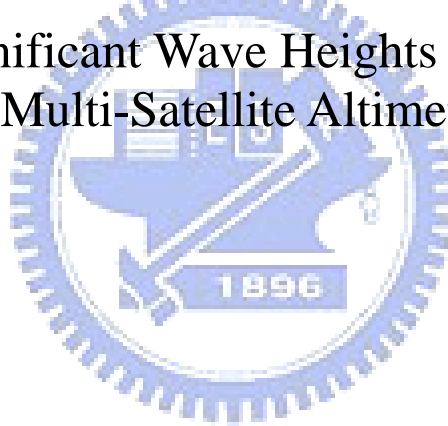


國立交通大學土木工程研究所
Institute of Civil Engineering National Chiao Tung University

碩士論文

應用衛星測高資料探討台灣外海波浪特性
Offshore Significant Wave Heights around Taiwan
Using Multi-Satellite Altimetry Data



指導教授：張憲國博士
研究生：朱景鉅

中華民國九十六年七月

摘要

本文利用 TOPEX、JASON-1、ERS-2、GFO-1、ENVISAT-1 五顆衛星所提供 1992-2006 年之海象資料，分析示性波高和風速資料間的關係；並依據氣象局近海波浪預報區域之分區形式，將台灣週遭海域分為東北、東南、南部、西南、西北、北部六個區域，分析個別衛星在不同分區中之月平均逐年趨勢以及資料分佈與統計特性，進而比較不同區域中氣候發生異常的次數與示性波高間之特性與趨勢。

本研究有別於一般使用浮標資料來瞭解台灣海域的示性波高和風速的統計特性；近海浮標之波浪特性由於距海岸較近，無法代表外海波浪變化的情形。因此本文利用衛星資料以計算台灣外海之波浪特性，可發現台灣海域每年的示性波高平均變化有上升的趨勢，且其分佈近似於 Gamma 分佈，本文亦提出波高與風速之最佳二次迴歸式，以利後續工程上之應用。因此在往後在海岸工程的應用上除了可從波浪理論的推演來瞭解其特性外，亦可從利用衛星長期的觀測資料以歸納分析風浪的性質與趨勢。



ABSTRACT

The wave data in real sea are generally and traditionally collected by data buoys in the coastal zones to indicate the significant wave heights and wind in Taiwan for engineering practice and scientific researches. These data are applicable for coastal zones rather than offshore zones. In this investigation significant wave height and wind data around Taiwan waters for 1992 to 2006 from five satellites, that are TOPEX, JASON-1, ERS-2, GFO-1, ENVISAT-1, are collected to establish the relationship between both kinds of data. The monthly variations of significant wave heights and winds are statistically analyzed in six fishery zones around Taiwan based on the classification of central weather bureau. Furthermore, the yearly times and significant wave heights of abnormal climate are statistically analyzed.

The mean monthly variations of both monthly wave heights and winds increase with time. The distribution of significant wave heights in each zone is Gamma function. The best fitting for the relationship between significant wave heights and wind is quadratic polynomial. The proposed results of collecting and analyzing significant wave heights and winds can be applicable for engineering use and examined for scientific researches.

誌謝

經過了兩年碩士的求學生涯，終於在今年畫下了句點，期間論文的完成首先要感謝的是吾師張憲國教授的悉心指導，並在求學過程中教導我們對於讀書及作研究的正確態度。而在論文初稿審核期間承蒙口試委員郭一羽、李兆芳教授及何良勝科長提供寶貴的建議與指正，使論文更趨完善，在這一併感謝。

其次則是要感謝我的父母的養育之恩以及在求學過程中的支持，讓我成長茁壯並無後顧之憂的完成學業，無論往後是否功成名就，皆會好好的孝順你們以報答這份恩情。再來是感謝女朋友在這兩年的修業生活中精神上的支持，也因為有妳我才有前進的動力。

接下來就是要感謝在這兩年研究所生活中無論是學業上或是生活娛樂上對我們很重要的勁成、立青及蔚瑋學長，雖然跟勁成學長相處的時間不多，但是從他身上我們可以看到我們水工畢業的學長們在餐桌上的豪氣干雲；萬能的立青學長，因為你的提攜及引導，我們水工實驗室才慢慢走向輕鬆愉快的風格，而蔚瑋學長最讓我稱羨的是不僅是在課業上有所成就，在電玩的領域之技術及發展是我們所望塵莫及的。

最後是要感謝建構「歡樂 401」的幾名主要成員，已畢業的學長們，江大哥，你讓我了解什麼叫愛情的真諦，阿光讓我們知道再單純的人有一天也是會變精明的、明揚則讓我們明白原來肌肉跟腦袋是可以並存的，感謝宏偉的規劃及研究讓我們去日本自助旅行的收穫非常豐富。其次是要感謝研究所的同學們，好似讀夜間部的彥廷在電腦程式及知識上的提點，讓我們在使用電腦及功課上更得心應手；抓神阿璋，你那搞笑又帶點色色的眼神及幽默風趣的言談擄獲了不少少女的心，希望你能趕快結束單身生活，岡毅，我會永遠記的當初一起討伐阿光的日子。更謝謝學弟妹們所帶來研究所的歡樂，振傑常常拍桌子提醒我們不能打瞌睡(少吃點)；佳裕則是我在 AOE 中最好的戰友(少抓點)；永欣的單純直率常常會讓我們有哭笑不得的反應(少買點)，最後也希望你們能將歡樂 401 的精神傳承下去。

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
誌謝.....	iii
目錄.....	iv
圖目錄.....	vi
表目錄.....	ix
第一章 緒論.....	1
1-1 研究動機與目的.....	1
1-2 文獻回顧.....	2
1-3 文章架構.....	2
第二章 衛星資料簡介紹.....	4
2-1 資料來源.....	4
2-2 決定測定風速的儀器以及 Ku 與 C-band 的選擇.....	5
第三章 衛星測高之風浪特性.....	7
3-1 示性波高與風速之關係.....	7
3-2 分段最佳之迴歸式.....	11
3-3 各衛星之波高分佈特性.....	12
第四章 台灣外海海域之波侯特性分析.....	16
4-1 衛星測高資料之空間變化趨勢.....	16
4-2 異常氣候之波高特性分析.....	32
第五章 結論.....	42

參考文獻.....43



圖目錄

圖 2-1 衛星量測之雷達回波示意圖	6
圖 3-1 TOPEX 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線	8
圖 3-2 JASON-1 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線	9
圖 3-3 ERS-2 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線	9
圖 3-4 GFO-1 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線	10
圖 3-5 ENVISAT-1 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線	10
圖 3-6 風速小於 7m/s 之對應之示性波高	12
圖 3-7 TOPEX 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖	13
圖 3-8 JASON-1 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖	14
圖 3-9 ERS-2 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖	14
圖 3-10 GFO-1 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖	15
圖 3-11 ENVISAT-1 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖	15
圖 4-1 各衛星軌跡及分區	17
圖 4-2 在台灣海域四周各衛星平均波浪變化圖	18
圖 4-3 在台灣海域四周所有衛星資料之平均波浪變化趨勢圖	18
圖 4-4 在台灣海域四周各衛星平均風速變化圖	19
圖 4-5 在台灣海域四周所有衛星資料之平均風速變化趨勢圖	19

圖 4-6 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)	20
圖 4-7 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)	20
圖 4-8 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)	21
圖 4-9 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)	21
圖 4-10 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)	22
圖 4-11 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)	22
圖 4-12 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)	23
圖 4-13 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)	23
圖 4-14 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)	24
圖 4-15 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)	24
圖 4-16 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)	25
圖 4-17 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)	25
圖 4-18 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)	26
圖 4-19 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)	26
圖 4-20 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)	27
圖 4-21 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)	27
圖 4-22 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)	28
圖 4-23 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)	28
圖 4-24 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)	29
圖 4-25 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)	29
圖 4-26 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)	30
圖 4-27 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)	30

圖 4-28 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)	31
圖 4-29 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)	31
圖 4-30 在台灣東北部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數.....	36
圖 4-31 在台灣東北部海域異常氣候每年發生的次數.....	36
圖 4-32 在台灣東南部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數.....	37
圖 4-33 在台灣東南部海域異常氣候每年發生的次數.....	37
圖 4-34 在台灣西北部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數.....	38
圖 4-35 在台灣西北部海域異常氣候每年發生的次數.....	38
圖 4-36 在台灣西南部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數.....	39
圖 4-37 在台灣西南部海域異常氣候每年發生的次數.....	39
圖 4-38 在台灣北部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數.....	40
圖 4-39 在台灣北部海域異常氣候每年發生的次數.....	40
圖 4-40 在台灣南部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數.....	41
圖 4-41 在台灣南部海域異常氣候每年發生的次數.....	41

表目錄

表 3-1 各衛星資料簡述	7
表 3-2 風速波高迴歸分析比較	8
表 3-3 TOPEX 之不同風速波高迴歸分析表	11
表 3-4 於台灣海域各衛星以 4 種分佈描述直方圖之 R^2	13
表 4-1 各分區波高月平均值之最大值、最小值、平均值及變異數.	17
表 4-2 各分區風速月平均值之最大值、最小值、平均值及變異數.	17
表 4-3 台灣各區域颱風發生經過的次數	34
表 4-4 台灣各區域熱帶性低氣壓發生經過的次數	34
表 4-5 台灣各區域大陸高氣壓發生經過的次數	35



第一章 緒論

1-1 研究動機與目的

台灣位處於歐亞大陸與太平洋之交會地帶，受季節風之影響甚鉅，而東北季風所帶來的強風巨浪對於台灣海域附近近海的港灣工程施工及漁民的海上作業皆有影響。若能準確的預測波浪，便能保障漁民及施工人員的安全並降低海上作業的風險。在海洋環境中，波浪是影響人類在海面上活動最大也是最複雜的因子，浪因風而起，而風則是隨著天氣的變化改變，也因此使的波浪的變化極不規律。所以欲研究波浪的變化以及與風之間的關係，在工程上除了可從波浪理論的推演來了解其特性，還可從長期的觀測資料去歸納以期了解波浪的性質。

過去台灣對於波浪的觀測一般使用各種波浪儀(如水壓式、超音波式、電極式、浮標式等)，雖然能夠簡單的觀測到波浪、週期、波向等的海象資料，但是其觀測之水深範圍約在 50 公尺以內，其屬於近岸的波浪的特性，對於遠域的外海則因為儀器設置的困難，而無法取得外海相關之波浪及氣象資料。而衛星測高技術是可快速獲取大區域或整體地表資訊的科技，將之應用於海洋上，可以擷取廣大的海洋波場及風速等海象資料，解決傳統觀測方法的缺失，故利用衛星測高技術則是另一套有效觀測海洋風浪的有效方法。

以往學者在探討海面上風速以及示性波高的關係以及其統計特性時，皆以實測資料或是數值波浪推算來建立風與波浪的關係，進而從風場特性計算出波浪資料。如郭(1976)曾以統計分析之方法，收集風速以及相對應時間之波浪，回歸波高及風速之關係式，但是這些統計模式皆具有地域性，且資料常因儀器的損壞而無法有效且連續的做為分析資料，而資料的來源往往是某幾點測站的資料，這對於想要了解整個海域的風浪特性似乎稍嫌不足。

基於上述研究對於風與波浪的關係受限於資料的廣度，本文利用 TOPEX/POSEIDON、JASON-1、GFO-1、ERS-2、ENVISAT-1 等五

顆衛星所取得之風浪資料來探討台灣海域自 1992 至 2006 的示性波高與風速之逐年趨勢以及相對應的關係式進而探討當氣象異常時，對波浪的影響，未來對於在海洋工程上的應用抑或是對於波浪的預測提供了另一種可行的方案。

1-2 文獻回顧

對於衛星測高於波浪之研究有 Krogstad 和 Barstow(1999)，應用 GEOSAT、ERS-1、ERS-2 和 Topex/Poseidon 等提出使用衛星波浪及風速資料在海岸區域之應用研究，包含波侯與極值統計等。Cox 等人(1999)同時使用實測及衛星波高資料與全球波浪推算模式(GROW)進行比較，模式與其波高之誤差約為 0.68m，全期風速之誤差約為 2.18m/s。Abdalla 等人(2004)應用 ERS 及 ENVISAT 之衛星波高資料於 ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) 歐洲中尺度預報中心風速之數值波浪推算，以衛星資料進行模式之同化，提高波浪推算之精度。

Skandrani(2004)等人亦以多顆衛星資料進行波浪模式之同化，以預測全球之波浪。而衛星波高資料之校正與改正則有 Cotton 等人(2002,2003)、Queffeulou (2003)及 Ray 和 Beckley (2003)提出相關之方法。Alves 和 Young (2003)以 Geosat、Topex/Poseidon 和 ERS-1 衛星波高資料進行全球之極值統計，並提出全球 100 年週期之波高約為 15-25m。Queffeulou 等人(2004)提出 Topex/Poseidon 衛星波浪資料與地中海與大西洋之浮標資料進行比較，其平均誤差約為 0.1-0.3 m。由往昔的文獻可以知道，逐漸增加的研究利用衛星測高資料來分析海面上波高以及風速的關係及統計特性，因為在測量精度提高的情況下，衛星可提供無論是在廣度或是密度都比傳統測量方式還要來的優異的資料。

1-3 文章架構

本文將以利用衛星測高的資料來探討台灣海域示性波高以及風速時間與空間的特性，並依照五個章節說明衛星資料風速和示性波高

的關係並探討其統計特性，以及近海波候的變動。

第一章是前言，主要說明本文研究動機、目的與研究方法及文獻回顧。

第二章則是簡介資料來源衛星以及在所研究範圍的軌道且在其中 2 顆衛星(TOPEX&JASON-1)選擇最適當的頻段與觀測風速儀器。

第三章就以計算五顆衛星測高的波高資料並分析其近似於何種分佈以及探討示性波高與風速的關係式並分析當風速為不同值時有不同的回歸式並取其最佳回歸。

第四章則是分區、分衛星的風浪逐年、月平均以及探討其趨勢並分析各衛星之逐年示性波高資料趨向於何種分佈再應用分區的示性波高資料來探討氣候異常與異常波高發生次數的關係。

第五章則是利用前文所得到的結論作個總結。



第二章 衛星資料簡介紹

2-1 資料來源

本研究中所分析的示性波高以及風速資料來自於五顆衛星，這五顆衛星分別是 TOPEX/POSEIDON、JASON-1、GFO-1 (GEOSAT Follow-On 1)、ERS-2 (European Remote Sensing)、ENVISAT-1 (Environmental Satellite)。

TOPEX/POSEIDON 人造衛星離地球大約 1300 公里的高度上，是由美國航空與太空總署 (NASA) 與法國太空總署 (CNES) 共同合作於 1992 年 8 月 10 日發射，該衛星的主要任務有監測海流及海水位，它也可以用於全球海洋重力、地形等之計算。JASON-1 衛星是 (TOPEX/POSEIDON) 衛星的後繼星，它將接替已經營運了 9 年的 TOPEX/POSEIDON 衛星，為國際科學界迅速提供幾個小時或幾天內海洋狀態的有關情況。GFO-1 是美國海軍所發射一個使用雷達測高儀衛星的衛星，它是 GEOSAT 的後繼衛星，運行其重複軌道並持續的進行海洋觀測。歐洲遙感衛星，ERS-2，發射於 1995 年四月，是 ERS-1 的後繼衛星，1995-98 繼續著 ERS-1 的工作。在其衛星身上搭載了新的儀器以期可有效的監測大氣層中臭氧的含量以及其覆蓋度。Envisat-1 是歐洲迄今建造最大也是費用最高的地球環境觀測衛星，(總研製成本約 25 億美元)，於 2002 年七月發射星上載有 10 種探測設備，其中 4 種是 ERS-1/2 所載設備的改進型。ENVISAT-1 數據主要用於監視環境，即對地球表面和大氣層進行連續的觀測，供製圖、資源勘查、氣象及災害判斷之用。

其中前三者屬於海洋地形衛星，後二者為海洋動力環境衛星。海洋地形衛星主要用途為探測海面高度、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，其主要探測器為(1)雷達高度計(2)微波幅射計，衛星的主要要求為與太陽同步軌道、精密軌道測定、姿控精度高、全球覆蓋週期 1~2day。至於海洋動力衛星主要用途為探測海洋風速、風向、海面高度、波高、波向及波譜、海洋重力場、大地水準面、洋流海表溫度、海流潮汐、內波等工作，

主要探測器為(1)合成孔徑雷達(2)微波散射計(3)雷達高度計(4)微波輻射計(5)紅外輻射計，衛星主要要求則與前者相同。

在各衛星在其所執行的任務中皆具有固定的軌道，在本文所選定研究的台灣海域中，TOPEX 在 1992~2002 的運行期間就有 6 條固定的軌道，不過在 2002~2005 變換軌道後增加變為 7 條，JASON-1 在 2002~2006 間則是固定 6 條軌道，GFO-1 為 13 條，ERS-2 為 16 條，ENVISAT-1 則是有 17 條

2-2 決定測定風速的儀器以及 Ku 與 C-band 的選擇

雷達高度計 Radar Altimeter 2 (RA-2) 主要為量測示性波高，微波輻射計 Micro Wave Radiometer (MWV) 主要為量測風速。海面水位的測量是藉由衛星發射雷達波，量測其碰到海水表面回波的時間，進而推算衛星到海面的距離，以得知海面水位。海面水位的資料除可用來觀測全球暖化造成的全球水位變化外，也可以用來計算全球海面流場的變化。海流會造成海面之傾斜，根據海面的高度差，可以計算海流的流速及流向。目前最常用的衛星高度計資料是美國及法國合作的衛星 TOPEX/POSEIDON 上所酬載的高度計，其量測的海面高度與實測資料比對，誤差小於 2.5 公分。而海面風場可以衛星上的風場散射計加以度量，風場散射計是一不提供空間信息的非成像雷達。基本上，它為一種斜視觀測的主動式微波裝置。散射計是以偏離衛星下點某一角度入射到海面的電磁波，透過布拉格共振波產生後向散射，量其後向散射能量而求得海面的粗糙度。此海面粗糙度與海面風速有關，因此利用散射計不同角度的天線所收到的海面後向散射能量而得出海面風速大小及方向。目前最常用的衛星散射計的資料是歐洲的 ERS 衛星及加拿大的 RADARSAT 衛星。衛星量測之雷達回波示意圖如圖 2-1。

TOPEX 以及 JASON-1 為具有雙波段(Ku-band 與 C-band)高度計之衛星，兩者的頻率分別為 13.575 GHz 和 5.3 GHz，而在本文所取用之示性波高的來源為 Ku-band，原因是 Cotton 以及 Challenor(2002)

第三章 衛星測高之風浪特性

3-1 示性波高與風速之關係

波浪隨著海面上氣候的不同而有著不同的變化，而最顯著的因素莫過於浪上的風，倘若我們能夠確實的把握波浪與風的關係即可作為將來分析以及預報的依據。根據 Kinsman(1965)，Carter(1982)和 Tucker(2001)等學者之研究，在完全發展(fully developed)或是平衡(equilibrium)的海域，其示性波高與風速的平方成正比，其公式為

$$H_s = 0.0246U^2 \quad (3-1)$$

其中 H_s 為示性波高， U 為風速。

在此，本文使用前述之五顆衛星之風速以及示性波高的資料來做分析，各衛星的時間資料筆數為表 3-1。

表 3-1 各衛星資料簡述

衛星	資料擷取時間	資料數
TOPEX	1992/09~2005/10	203,762
JASON-1	2002/01~2006/12	87,710
GFO-1	2000/01~2006/12	107,436
ERS-2	1995/04~2006/12	104,767
ENVISAT-1	2002/09~2006/12	53,085

首先，我們先將各衛星的示性波高以及風速作迴歸分析，其中使用二次項，指數(Exponential)及二次多項式(Polynomial)等三種公式如下示

$$Y = AX^2 + B \quad (3-2)$$

$$Y = Ae^{BX} \quad (3-3)$$

$$Y = AX^2 + BX + C \quad (3-4)$$

其中 X 為風速， Y 為示性波高，如表 3-2 以及圖 3-1~圖 3-5。

表 3-2 風速波高迴歸分析比較

衛星 \ R ²	$Y = AX^2 + B$	$Y = Ae^{BX}$	$Y = AX^2 + BX + C$
TOPEX	0.490	0.486	0.490
JASON-1	0.553	0.451	0.561
ERS-2	0.540	0.463	0.541
GFO-1	0.571	0.538	0.572
ENVISAT-1	0.462	0.457	0.466

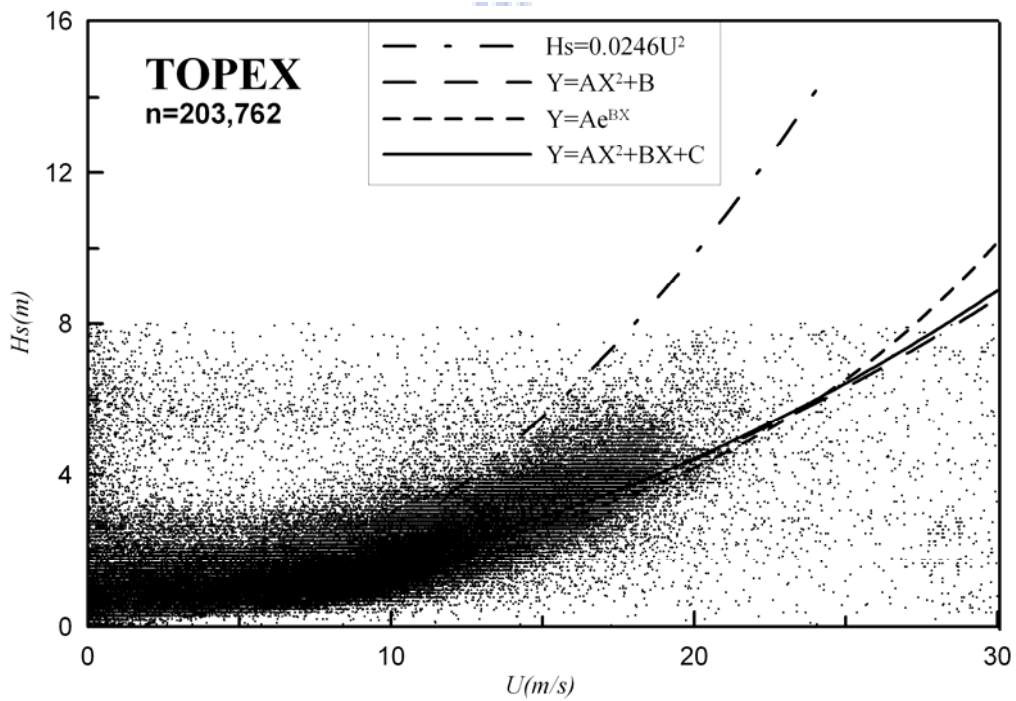


圖 3-1 TOPEX 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線

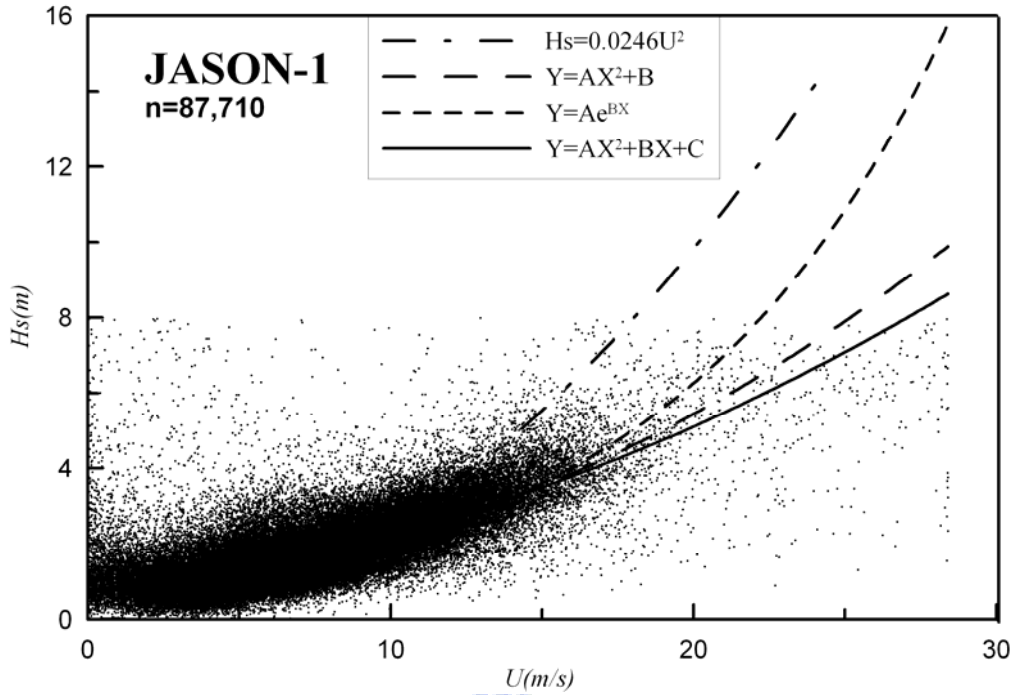


圖 3-2 JASON-1 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線

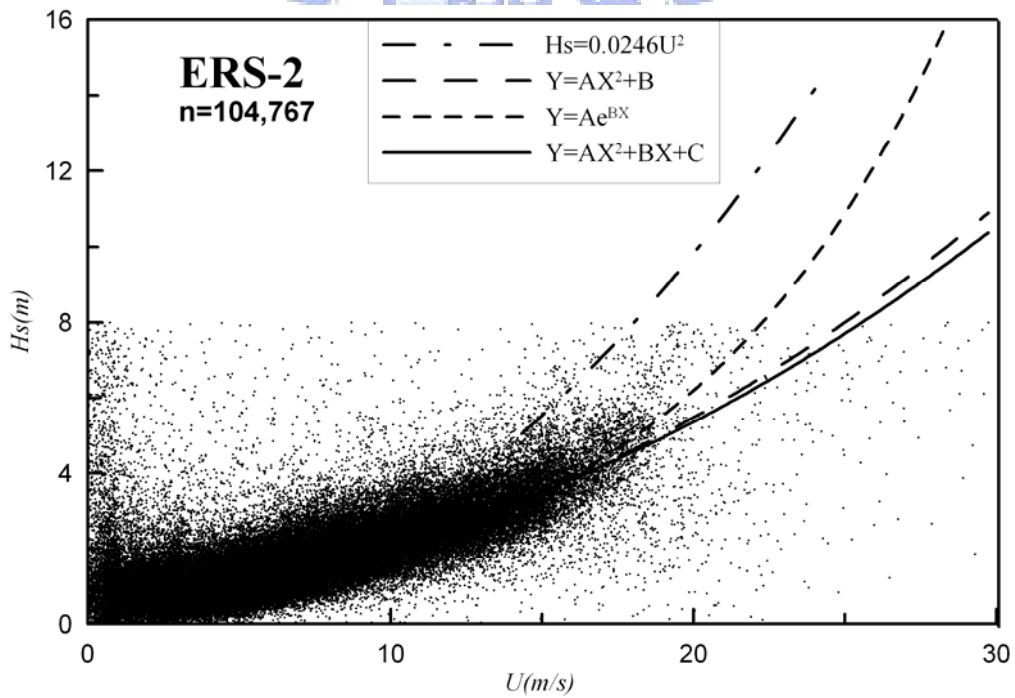


圖 3-3 ERS-2 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線

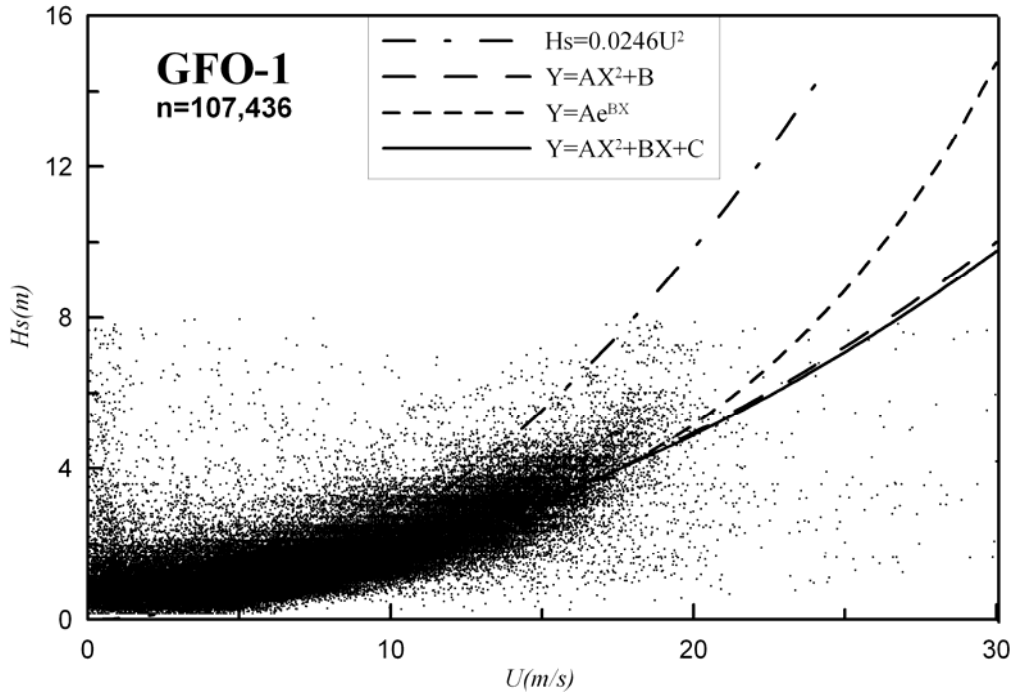


圖 3-4 GFO-1 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線

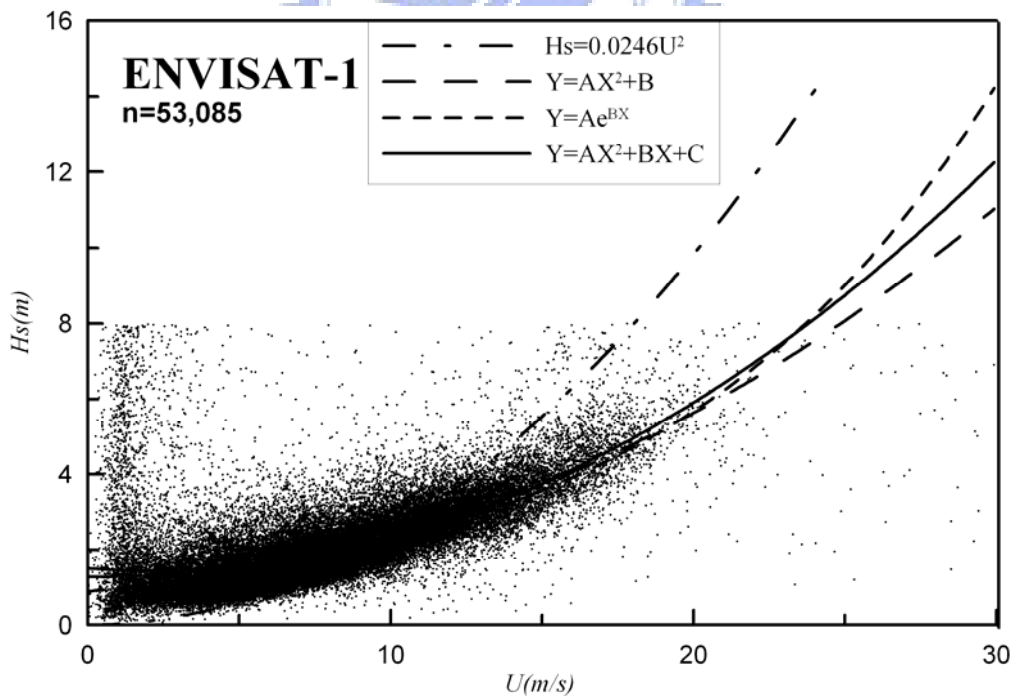


圖 3-5 ENVISAT-1 之風速與波高資料及兩者之三種迴歸曲線

在圖 3-1 到圖 3-5 中， $H_s = 0.0246U^2$ 為往昔學者所提及之在完全發展的海域示性波高以及風速之關係式。而另外三種曲線則是我們選定

的回歸公式所繪之曲線，在這三個公式迴歸分析中，我們可以依照其各自的 R^2 值來判斷出適用於這五顆衛星的最佳迴歸式為何者最佳，根據表三可以明顯的看出二次多項式迴歸的 R^2 高於其他二者，且代表著這五顆衛星之示性波高以及所對應的風速資料，建立波高對風速之二次多項式迴歸公式，即可簡易的來推算波浪。

3-2 分段最佳之迴歸式

在上述的三種迴歸式中，由上述章節之分析可知式(3-2) 與 (3-4) 之項次之不同為一次項，因此其相關性約略相同，而當風速約在 1m/s~7m/s 之間，所對應的波高的變化都呈直線分佈，為了提高經由迴歸分析預測波浪的精度，我們可以將迴歸的方式加以改變，利用風速大於某個值的時候，以相同之迴歸式去推算示性波高以及風速之關係式，發現相關性 R^2 的確有提升。如表 3-3 所示為 TOPEX 於不同之風速值以相同的迴歸方式去演算其相關性 R^2 ，我們發現，當風速大於 7m 時，所有大於 7m 之風速及其所對應之示性波高以二次多項式迴歸皆會優於原始數據。

而在風速小於 7m 時，無論是使用多項式(零次、一次和多次)或是指數迴歸，相關性 R^2 值幾乎都趨近於零，可能的原因在於由圖 3-6 可以看出風速在 1~7m 之間所對應的示性波高大多均勻落於 0~2 米之間。再來就是僅考慮風速為唯一因素，若能考慮吹風距離以及吹風歷時或是海底深度等海洋地形、氣候資料應能提高其準確度，這樣也可推廣應用到最大波高、週期及設計波高等其他海洋工程上的應用。

表 3-3 TOPEX 之不同風速波高迴歸分析表

$Y = AX^2 + BX + C$	R^2
$U > 4\text{m/s}$	0.555
$U > 5\text{m/s}$	0.565
$U > 6\text{m/s}$	0.572
$U > 7\text{m/s}$	0.574
$U > 8\text{m/s}$	0.571

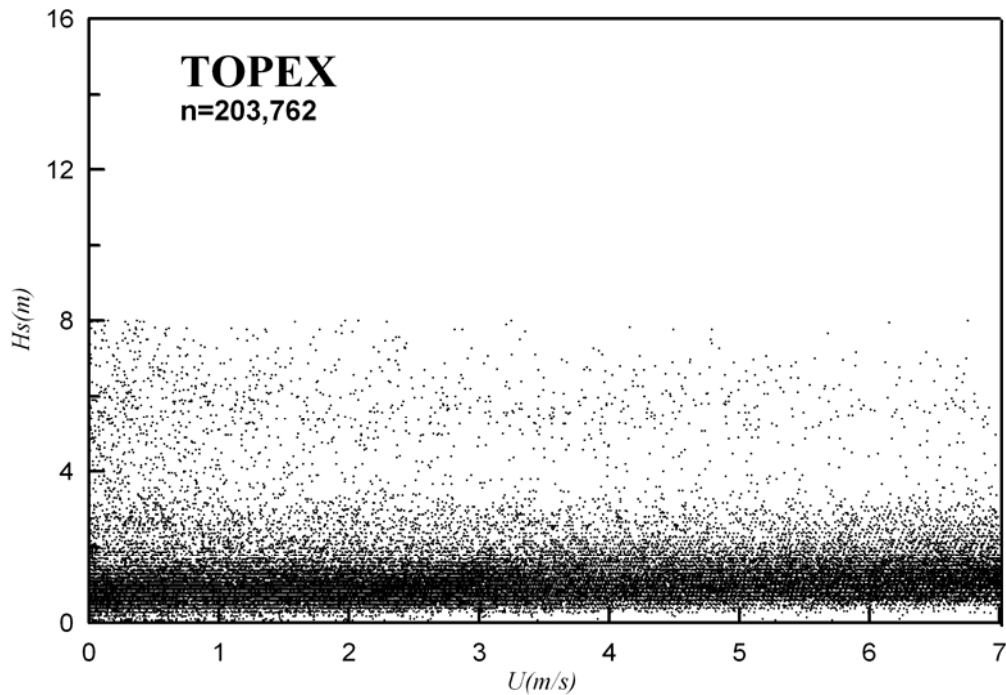


圖 3-6 風速小於 7m/s 之對應之示性波高

3-3 各衛星之波高分佈特性

往昔研究(Longuet-Higgins,1952, Forristall,1978)認為海上波高的機率分佈為 Rayleigh 分佈，但就統計學理論而言，此結果並不能驗證於海面上複雜的各種波浪現象，因此本文選取常應用於工程或科學的 Weibull、Gamma 及 Normal 三種機率分佈函數與 Rayleigh 分佈進行分析比較並以其相關性 R^2 來瞭解台灣海域的波高近似於何種分佈。

在本研究所使用的 5 顆衛星之 H_s 資料筆數及分析結果示如表 3-1 及圖 3-7~圖 3-11，根據統計學上的理論及中央極限定理，其較適合之直方圖分組組數應該接近於資料總筆數開根號之後的值，且其機率分佈應近似於 Normal 分佈，但對於直方圖而言，建議之分組組數應為 20 組以下較為適當，而在此我們使用統計學上的 Sturges 法其公式如下所示

$$G = 1 + 3.322 \log(N) \quad (3-5)$$

其中 G 為計算後之分組組數， N 為資料次數或個數。

根據圖 3-7 至圖 3-11 以及表 3-4 結果，可觀察得知在相關性 R^2 以 Gamma 分佈最佳，因此以此分析結果，可以驗證此 5 顆衛星在台灣

海域分佈模式接近於 Gamma 分佈，而非統計理論之 Normal 分佈，而本研究僅使用常用以描述波高分佈之函數，來探討 H_s 分佈較適合於何種分佈模式，因次是否有更優於 Gamma 分佈之分佈函數用以描述台灣海域的分佈特性，此議題值得後續的研究並探討。

表 3-4 於台灣海域各衛星以 4 種分佈描述直方圖之 R^2

衛星 分佈	TOPEX	JASON-1	ERS-2	GFO-1	ENVISAT-1
Weibull	0.9267	0.9541	0.9682	0.9642	0.9217
Normal	0.8153	0.8636	0.8512	0.8767	0.8148
Gamma	0.9792	0.9901	0.9950	0.9957	0.9764
Rayleigh	0.9238	0.9537	0.9431	0.9604	0.9213
組數	19	18	18	18	17

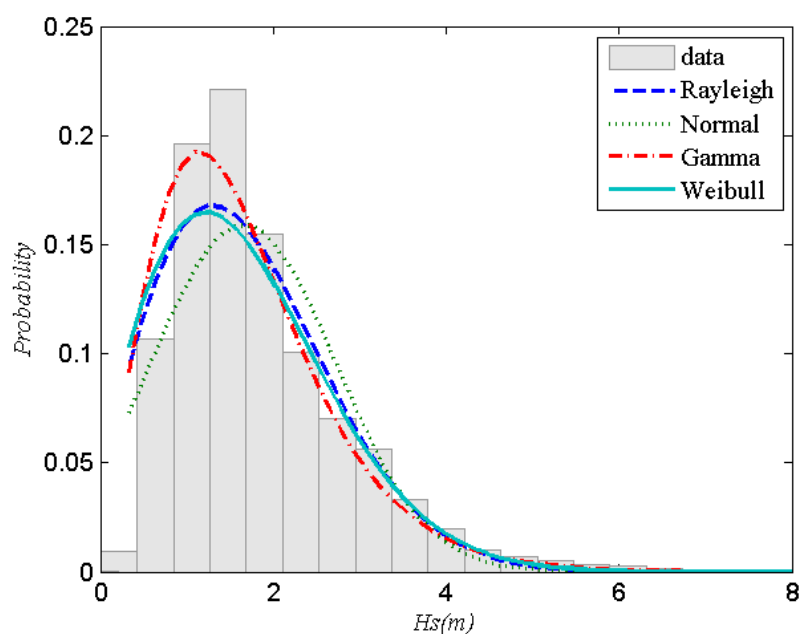


圖 3-7 TOPEX 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖

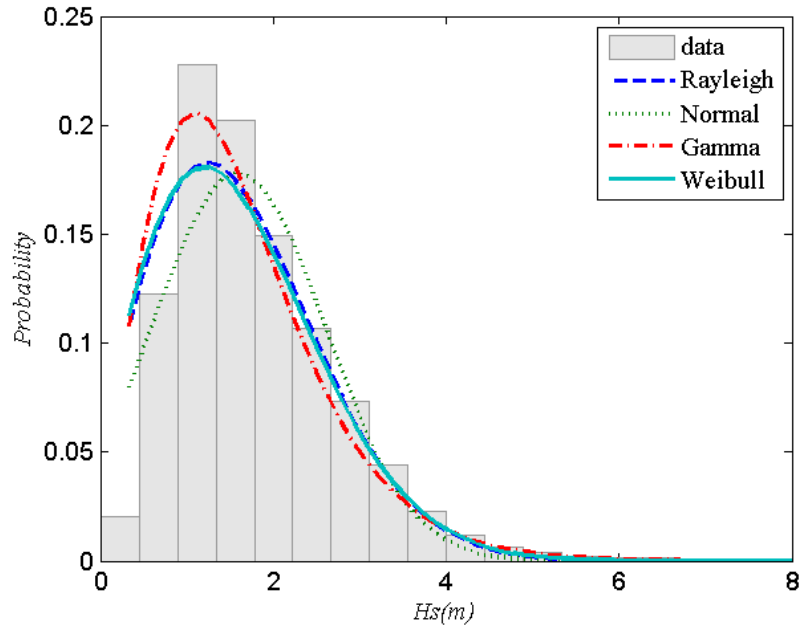


圖 3-8 JASON-1 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖

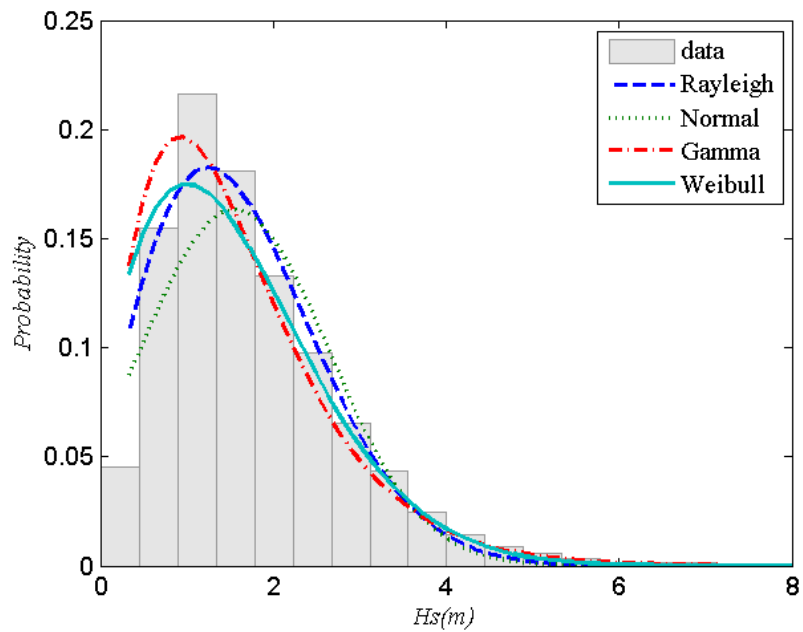


圖 3-9 ERS-2 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖

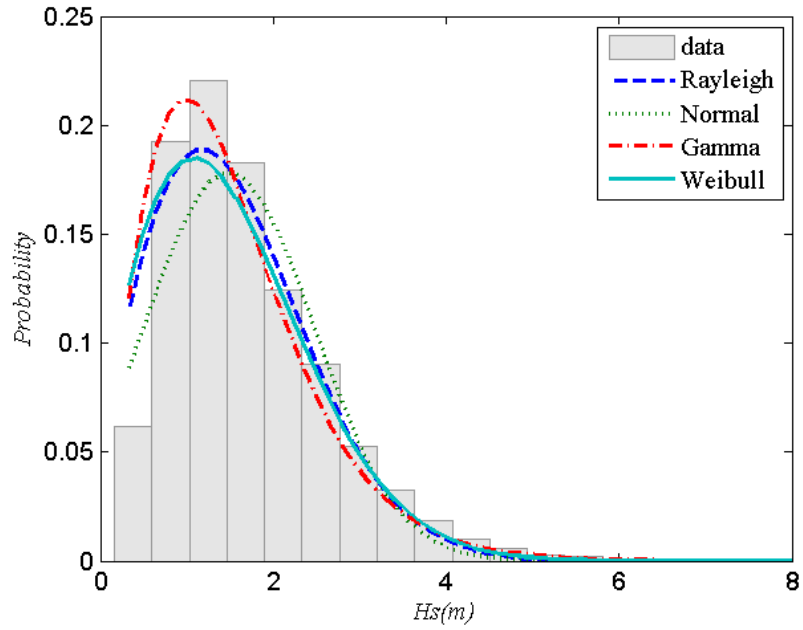


圖 3-10 GFO-1 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖

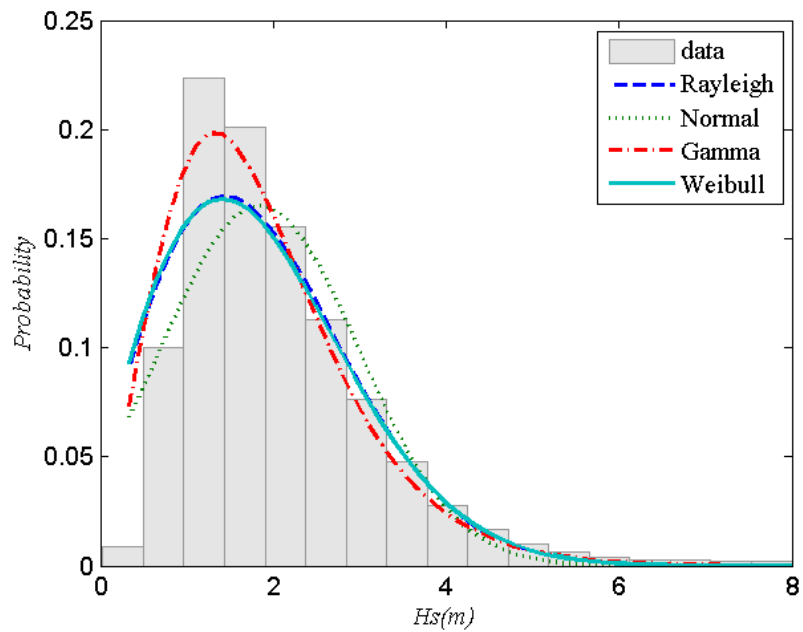


圖 3-11 ENVISAT-1 實際波高資料與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 分佈比較圖

第四章台灣外海海域之波候特性分析

4-1 衛星測高資料之空間變化趨勢

根據前文所述的 5 顆衛星所取得之波浪及風速資料，再依照中央氣象局之近海波浪預報區，將其分成六個資料蒐集區間如圖 4-1 所示。北以龍洞，南區以屏東南灣作為分界；東西區就以南灣之經度作為分界；東北、東南區以花蓮港為界；西北、西南區以嘉義東石為界，研究範圍包含北緯 20-28 度，東經 118-124 度，其量測時間約自 1992 年至 2006 年，其中 2000-2006 年期間為所有衛星資料共同量測時段。

經由前文所述之衛星波浪與風速資料，計算各衛星逐年不分區及分區之波高與風速月平均值、最大值、最小值及變異數示如表 4-1 及 4-2，並觀察月平均值之變化示如圖 4-2 至圖 4-29。以不分區來說，由圖 4-2 可知各衛星之變化趨勢一致，且其平均波高約為介於 1-3 公尺。而圖 4-3 可之所有衛星之波高平均變化約為每年上升 0.014m。圖 4-4 及 4-5 其各衛星之風速變化情形與波高之比較，則其一致性較劣於波高。台灣外海之平均風速變化則為每年上升 0.02m/s。由圖 4-3 與 4-5 可看出風速較大時，其波高值有變大的趨勢。

再以分區來說，如圖 4-6 到 4-29 為每個分區各衛星平均波高及風速的變化及其逐年趨勢，整體來說，可以了解到各區各衛星之變化趨勢大都一致，且其平均波高也約為介於 1-3 公尺。各區所有衛星之波高平均變化每年皆上升約介於 0.011m~0.027m。而在此 6 區其各衛星之風速變化情形與波高之比較，則其一致性也是較差於波高之一致性，除了東北部以及西南部海域之平均風速變化每年以極小幅下降以外，其餘 4 個區則每年都是上升約介於 0.01m/s~0.042m/s，而在各區平均波浪和風速變化趨勢圖中，我們也可看出風速較大時，其波高值有變大的趨勢。

表 4-1 各分區波高月平均值之最大值、最小值、平均值及變異數

HS	東北	東南	西北	西南	北	南
最大值	3.14	3.53	3.43	3.20	3.22	3.73
最小值	0.89	0.94	0.62	0.76	0.96	0.99
平均值	1.81	1.91	1.80	1.62	1.72	1.94
變異數	0.245	0.217	0.399	0.242	0.156	0.293

表 4-2 各分區風速月平均值之最大值、最小值、平均值及變異數

WS	東北	東南	西北	西南	北	南
最大值	13.67	12.36	16.03	17.33	15.60	14.63
最小值	3.57	3.90	2.83	2.99	4.29	4.81
平均值	7.91	7.67	9.08	7.78	8.00	8.47
變異數	3.908	2.653	8.816	6.054	3.395	4.717

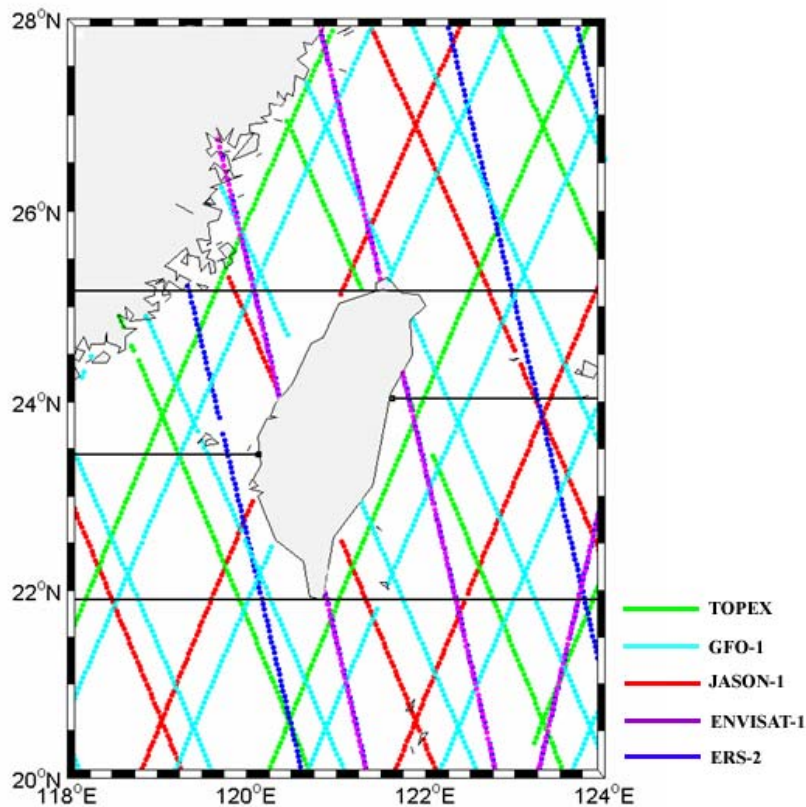


圖 4-1 各衛星軌跡及分區

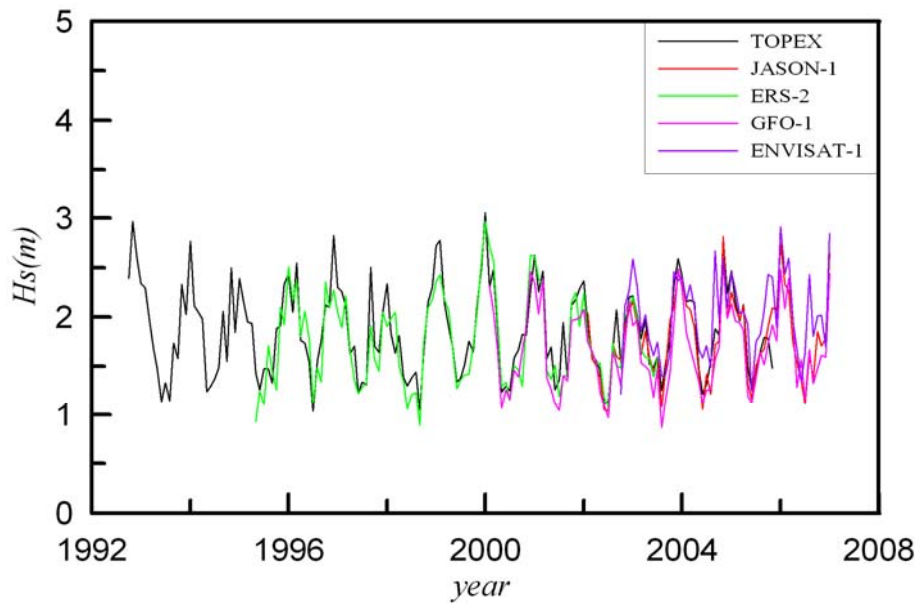


圖 4-2 在台灣海域四周各衛星平均波浪變化圖

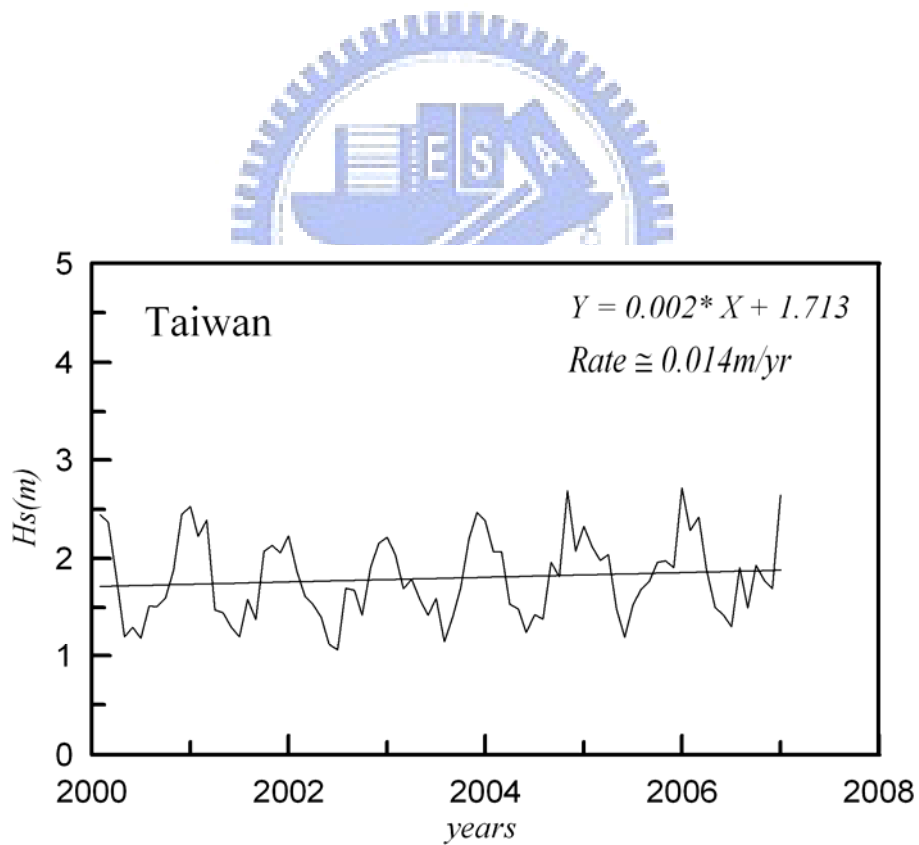


圖 4-3 在台灣海域四周所有衛星資料之平均波浪變化趨勢圖

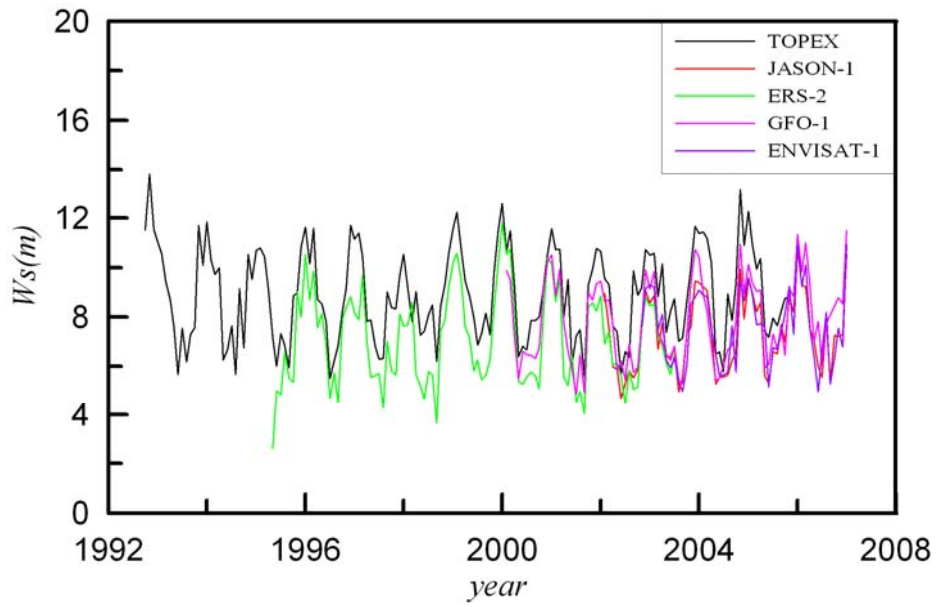


圖 4-4 在台灣海域四周各衛星平均風速變化圖

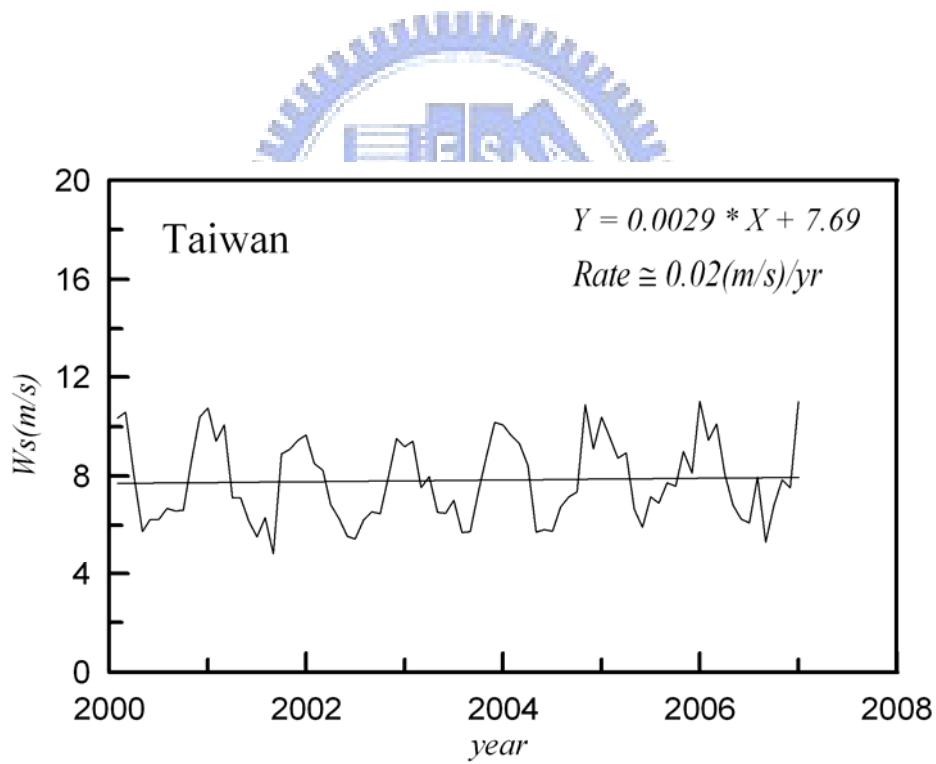


圖 4-5 在台灣海域四周所有衛星資料之平均風速變化趨勢圖

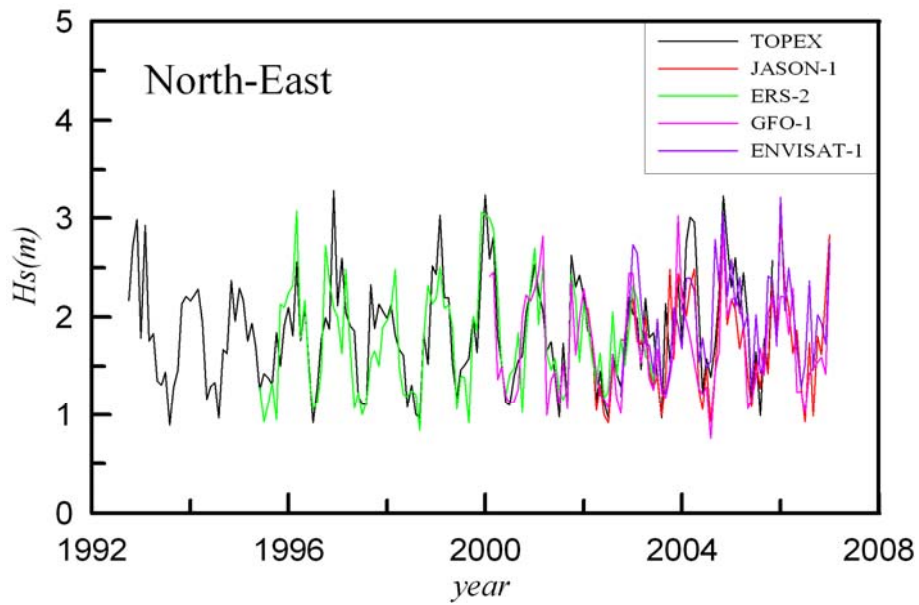


圖 4-6 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)

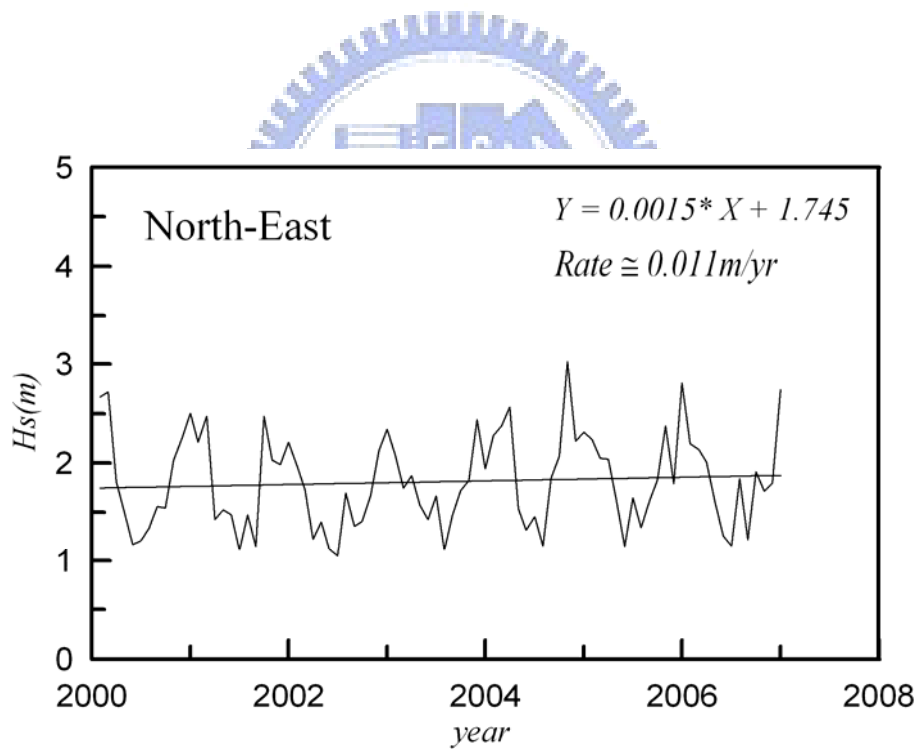


圖 4-7 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)

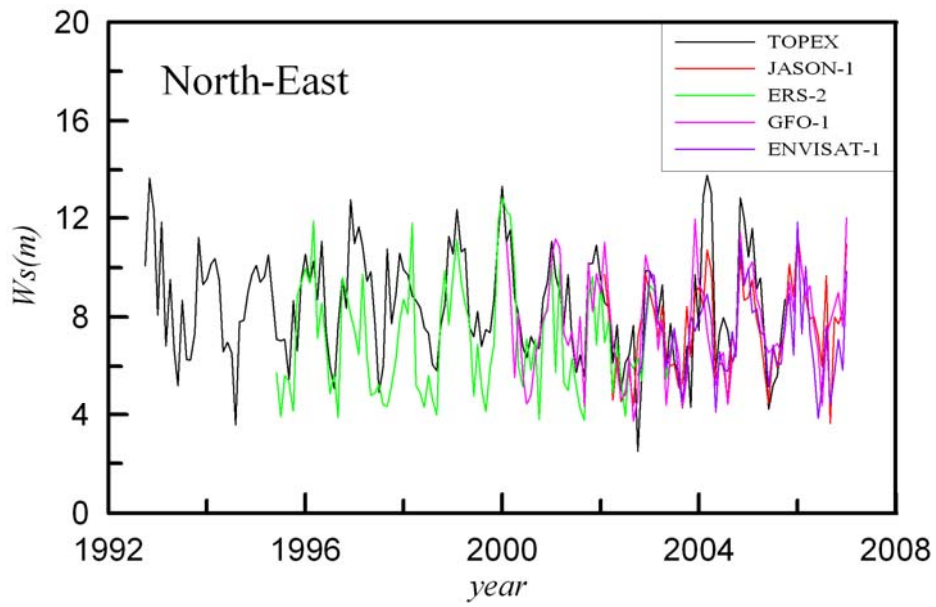


圖 4-8 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)

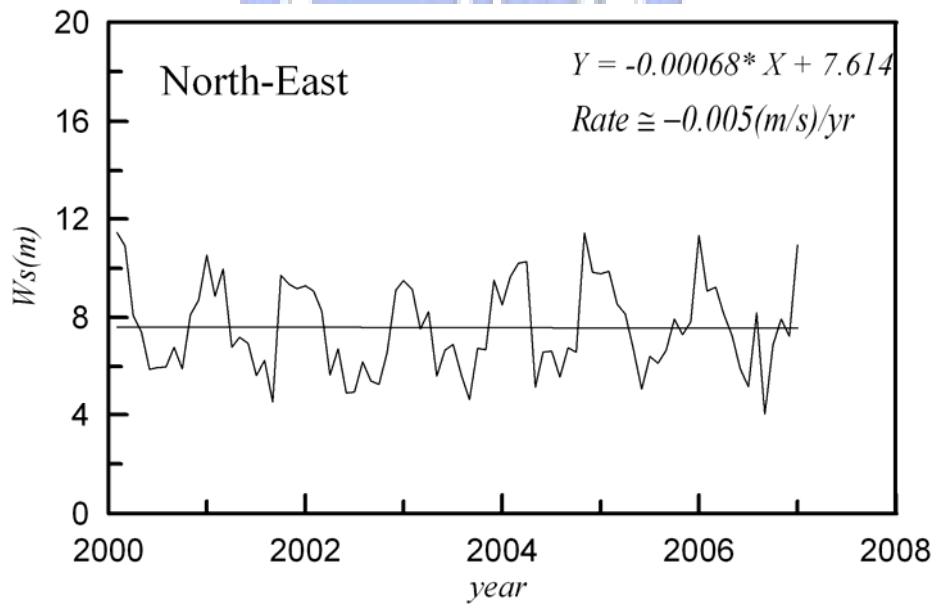


圖 4-9 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東北海域)

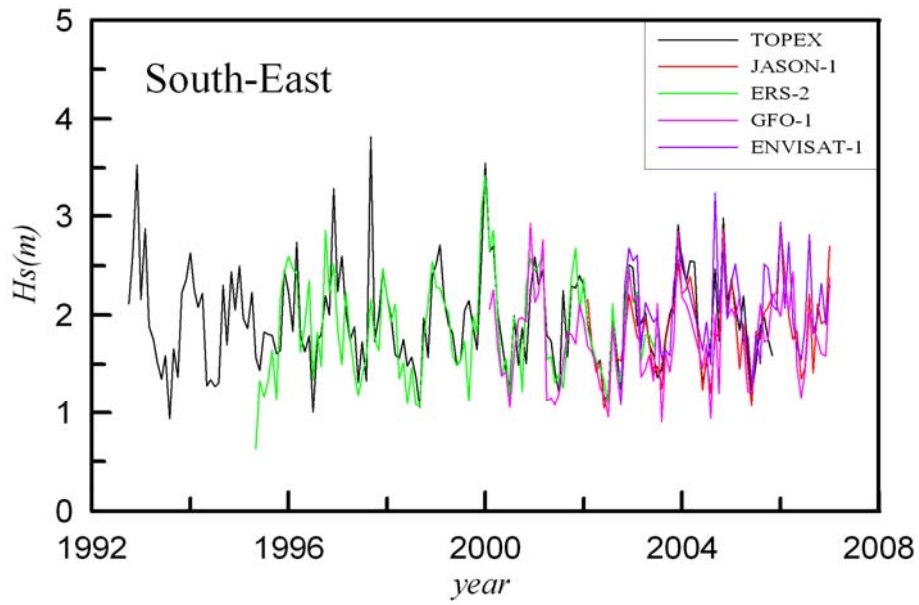


圖 4-10 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)

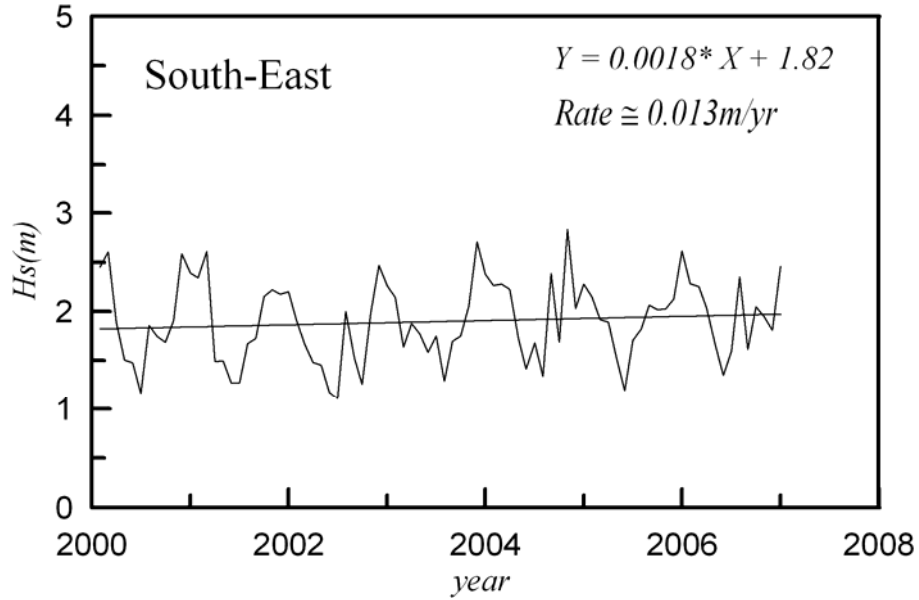


圖 4-11 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)

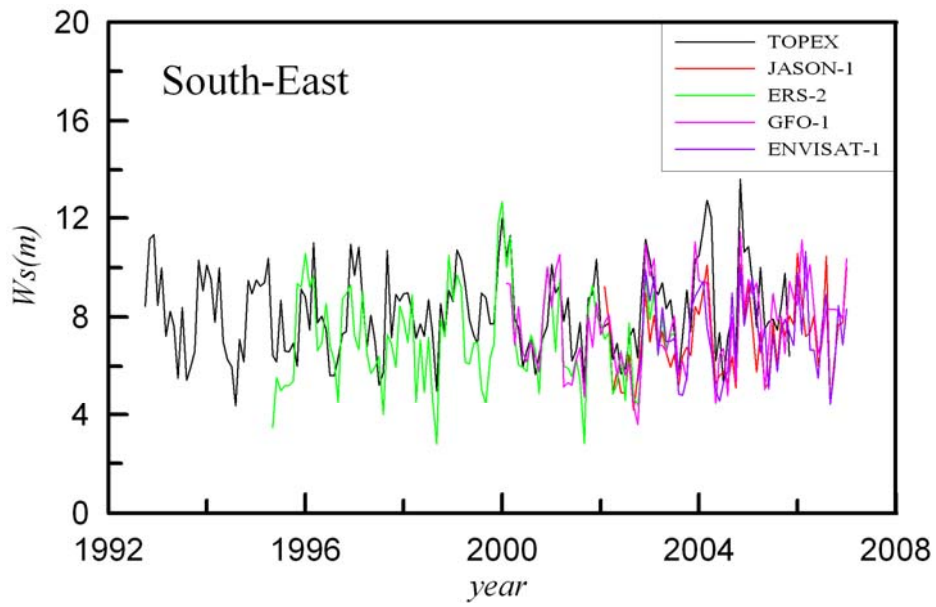


圖 4-12 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)

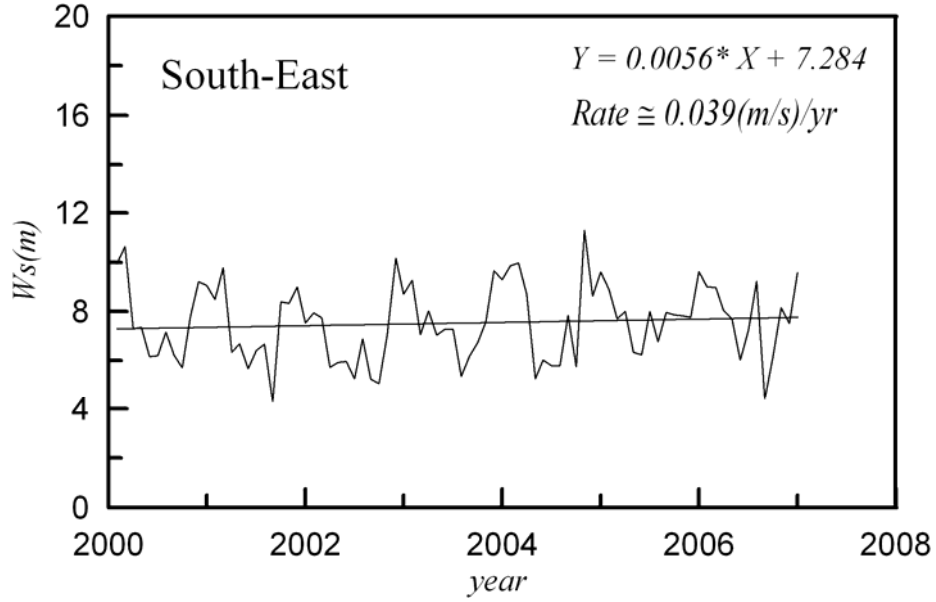


圖 4-13 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣東南海域)

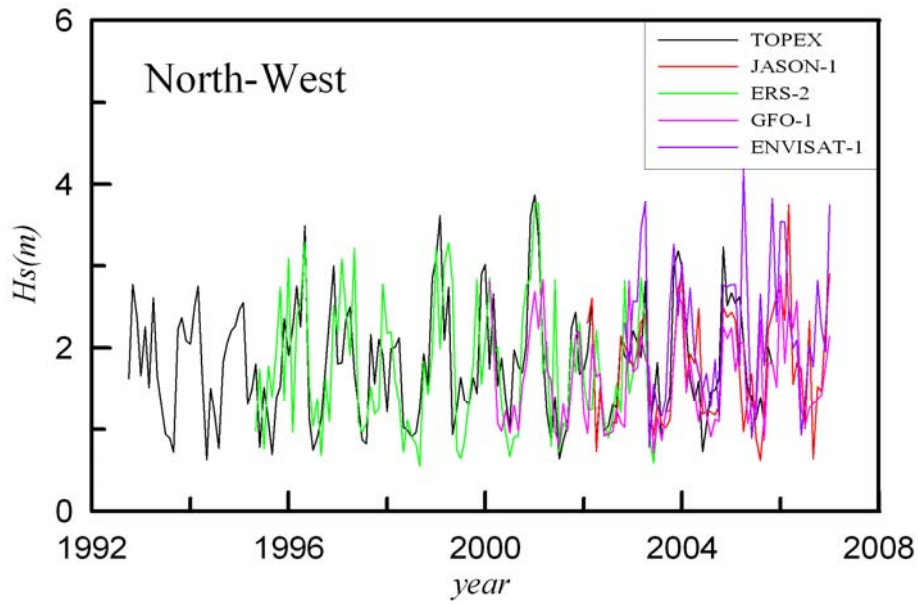


圖 4-14 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)

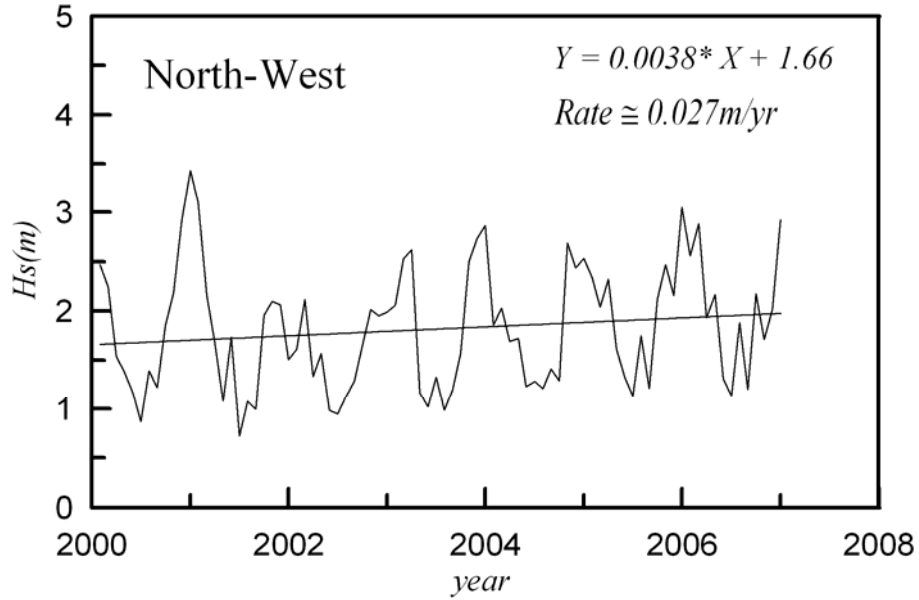


圖 4-15 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)

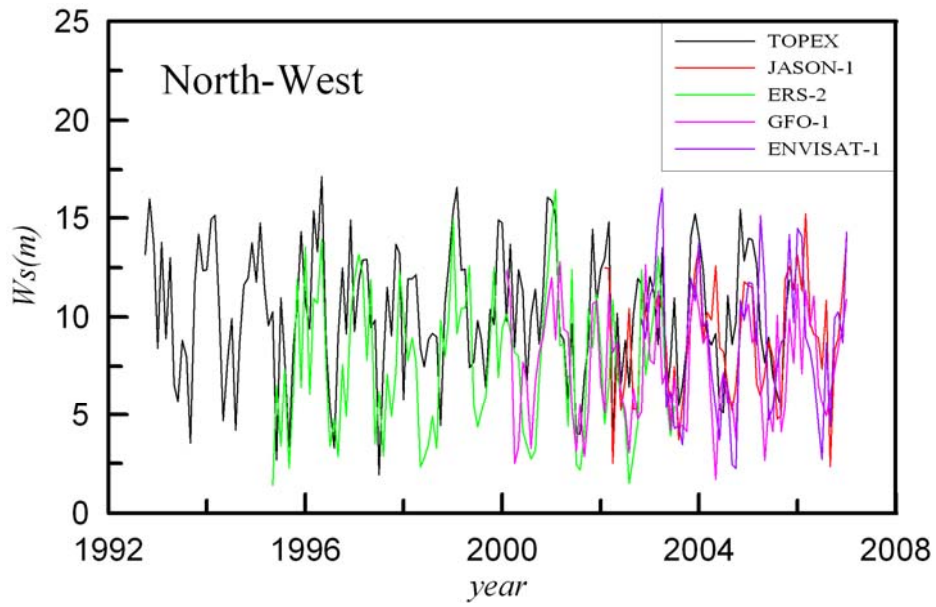


圖 4-16 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)

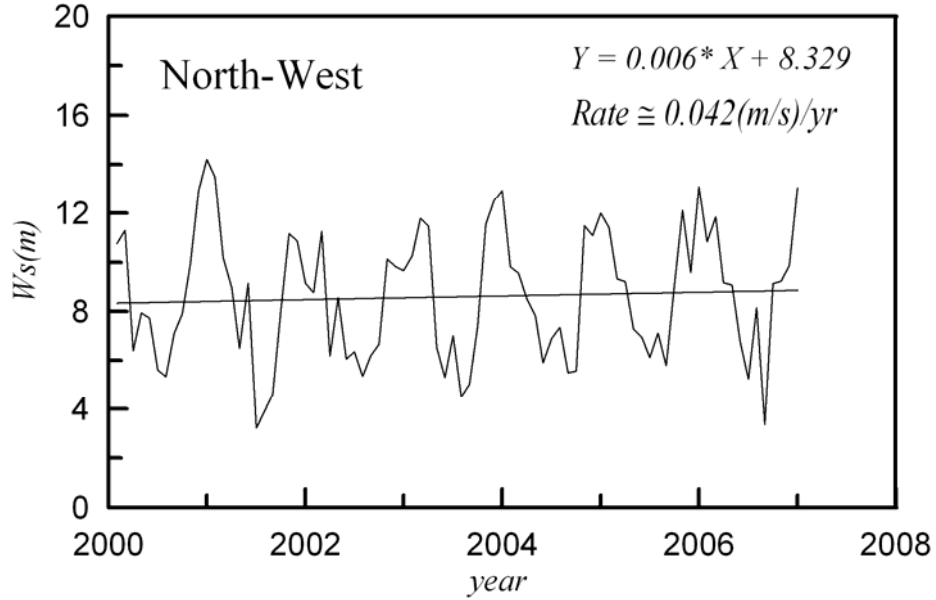


圖 4-17 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西北海域)

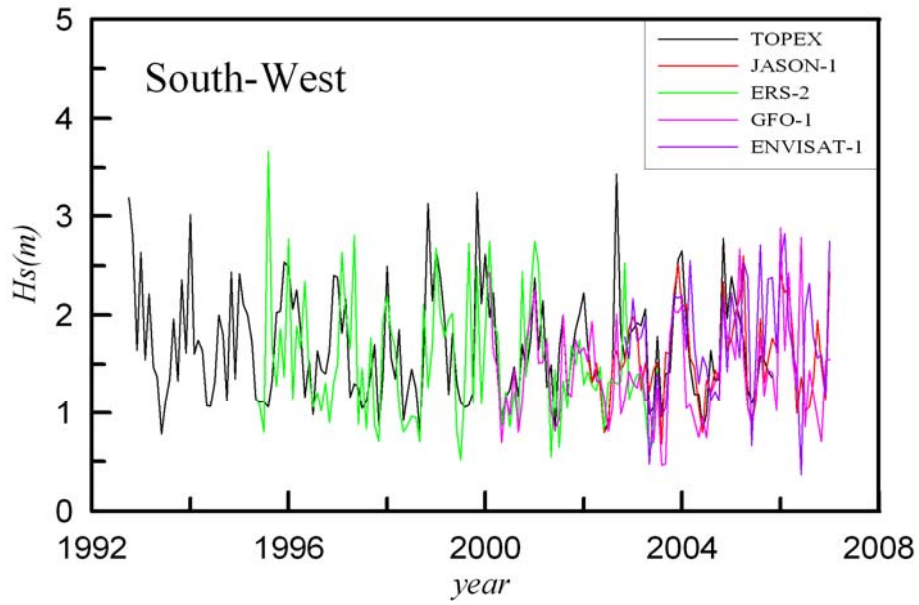


圖 4-18 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)

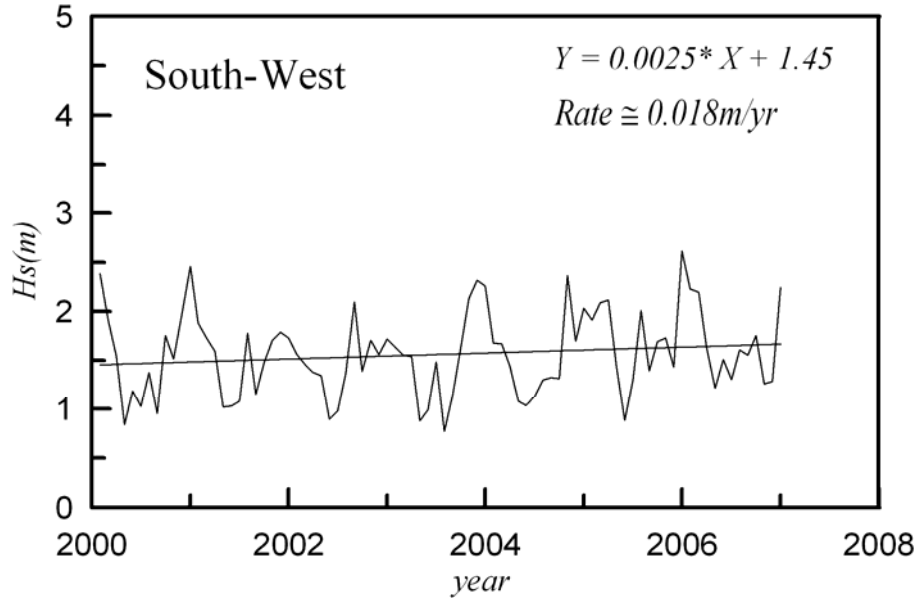


圖 4-19 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)

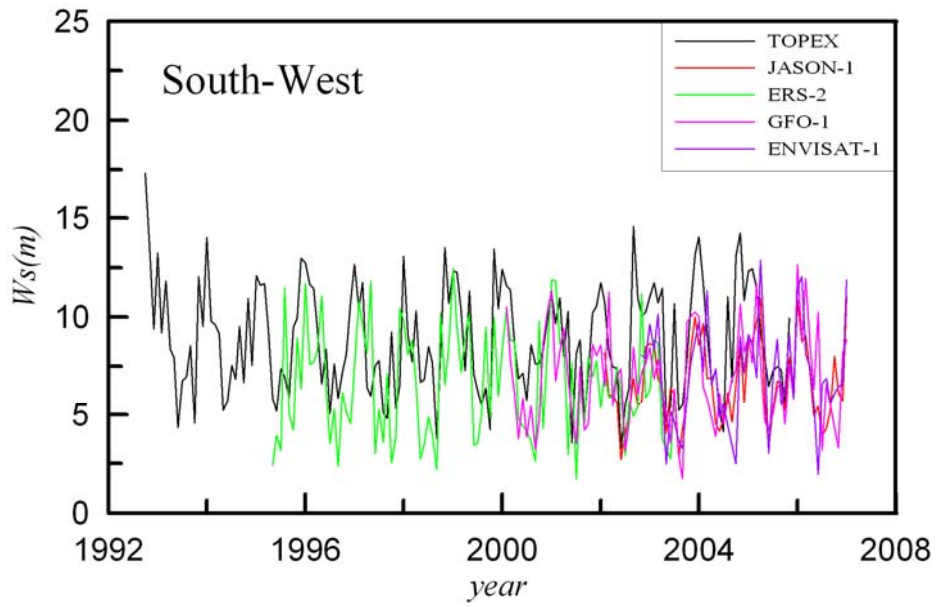


圖 4-20 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)

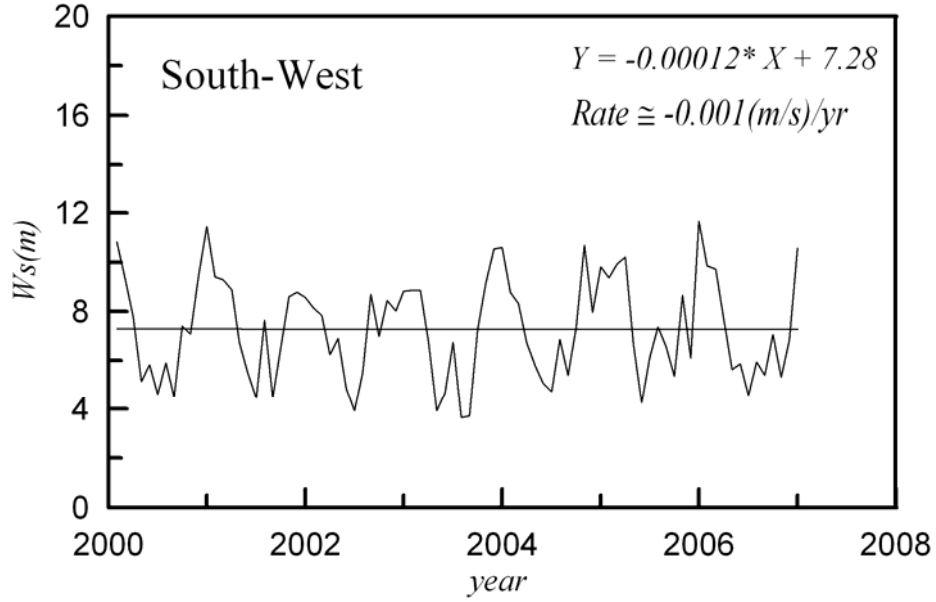


圖 4-21 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣西南海域)

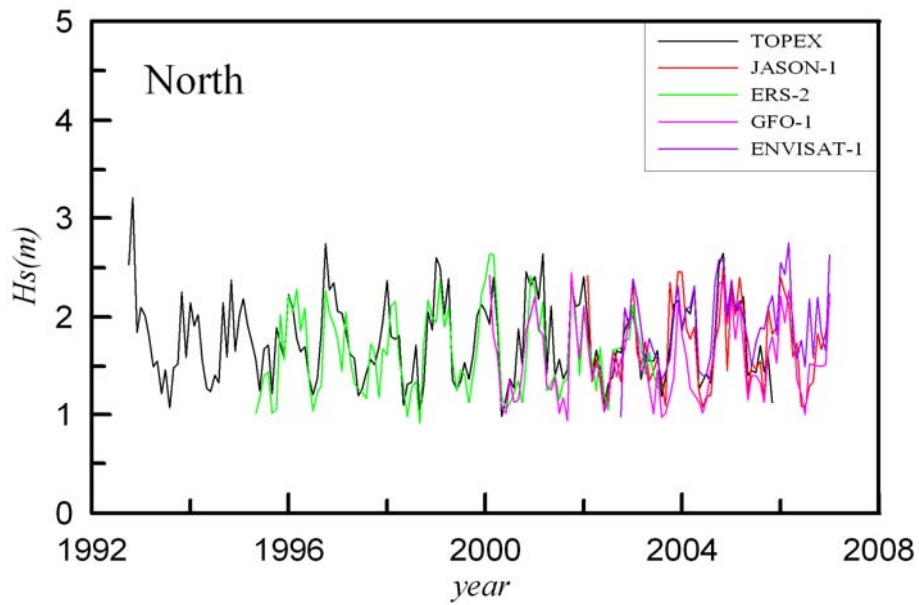


圖 4-22 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)

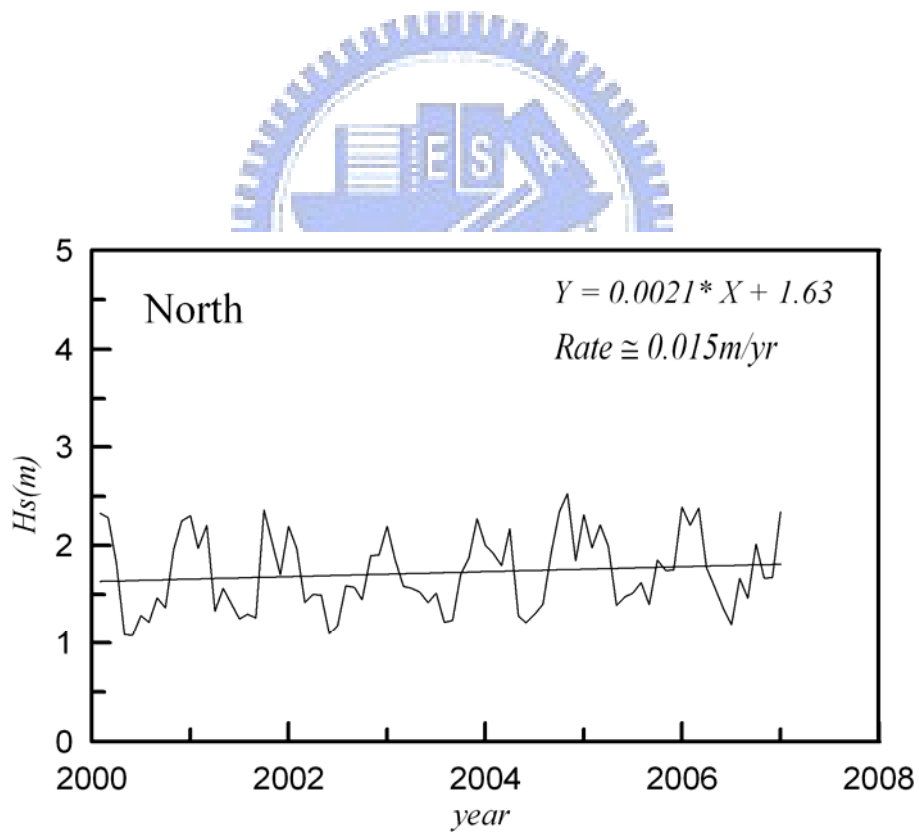


圖 4-23 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)

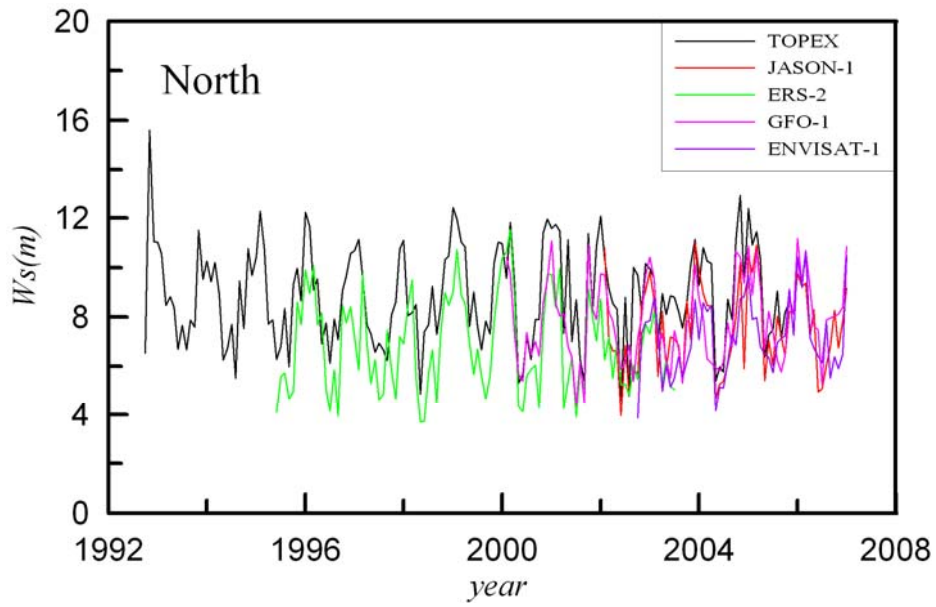


圖 4-24 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)

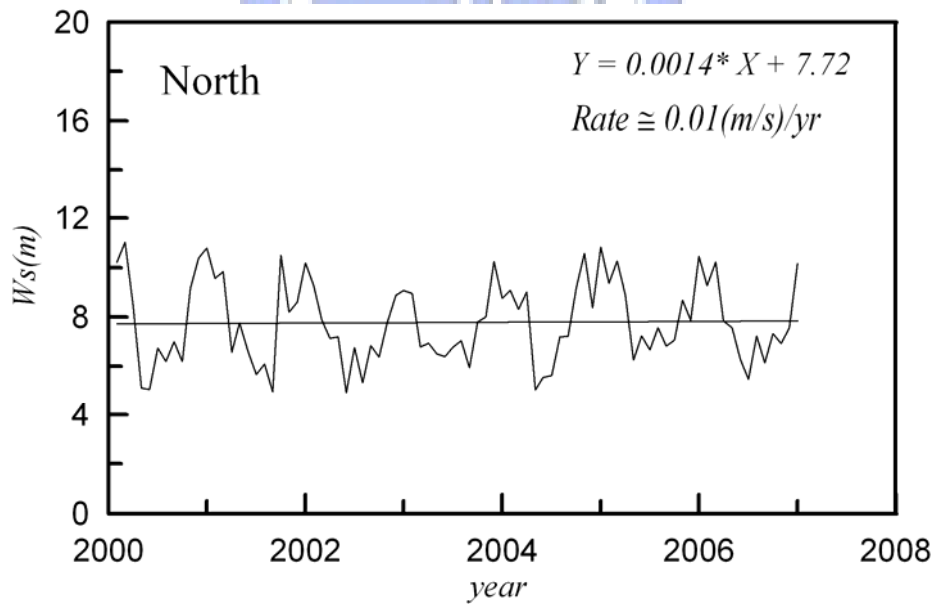
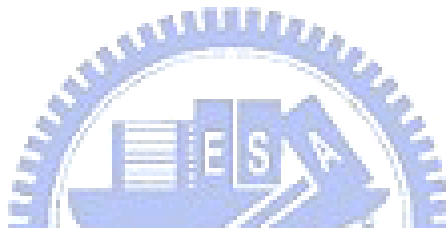


圖 4-25 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣北部海域)

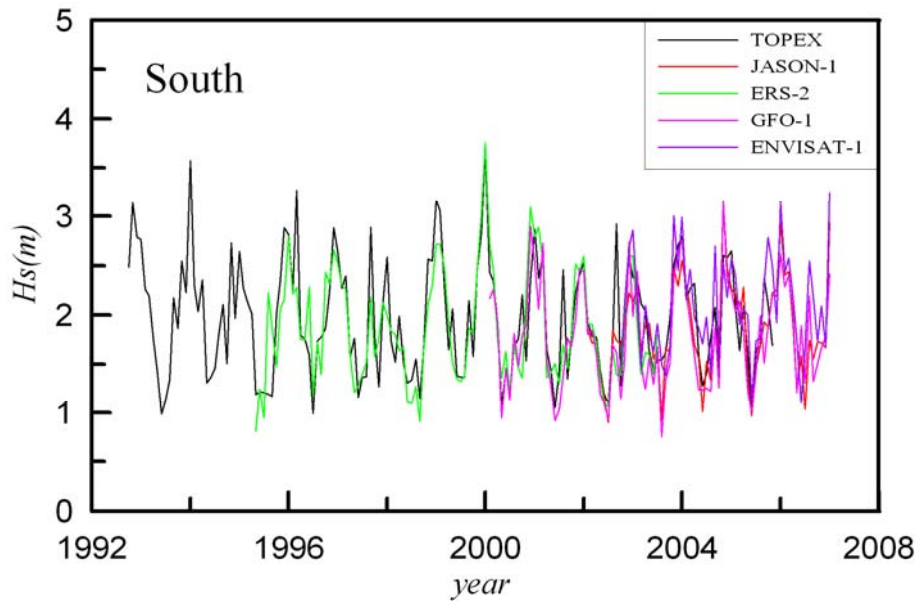


圖 4-26 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)

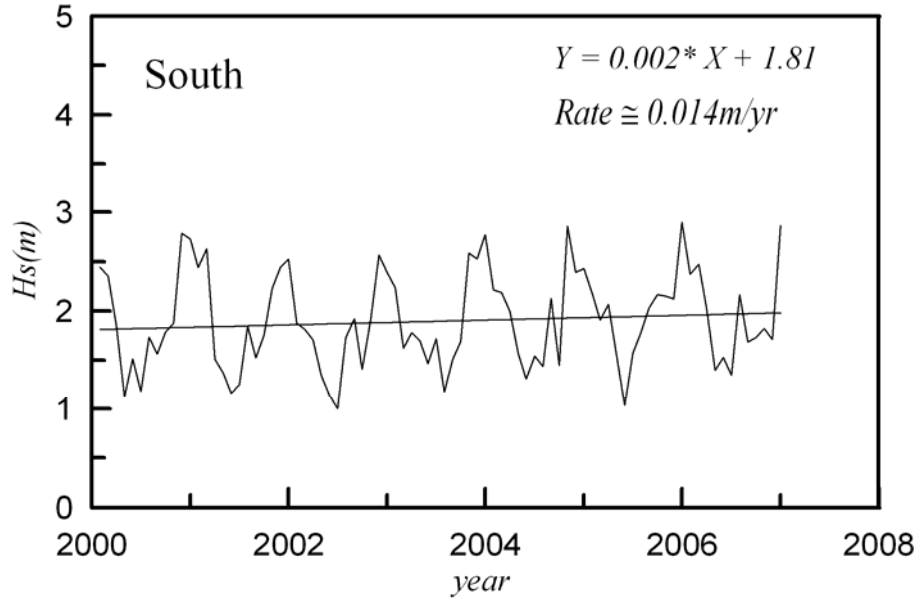


圖 4-27 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)

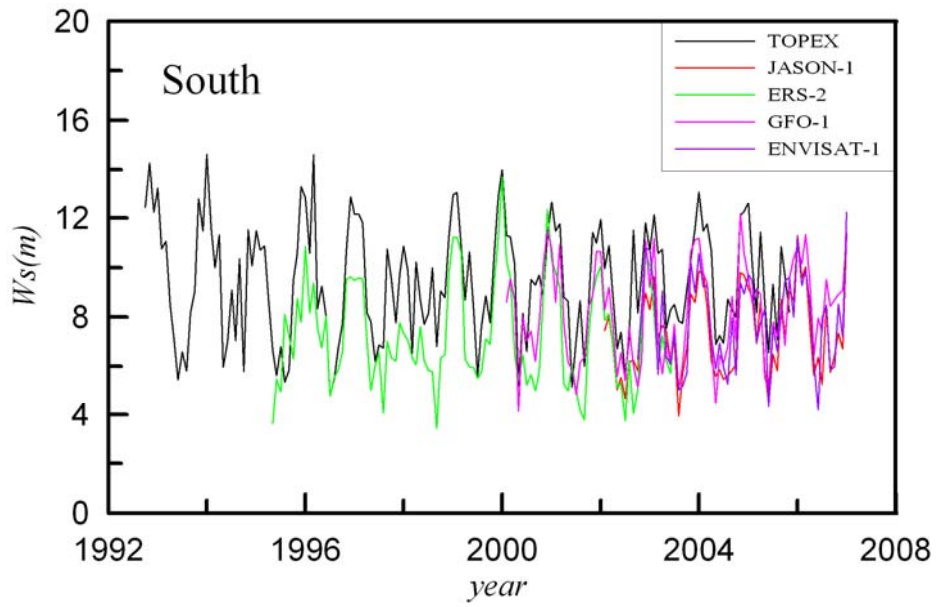


圖 4-28 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)

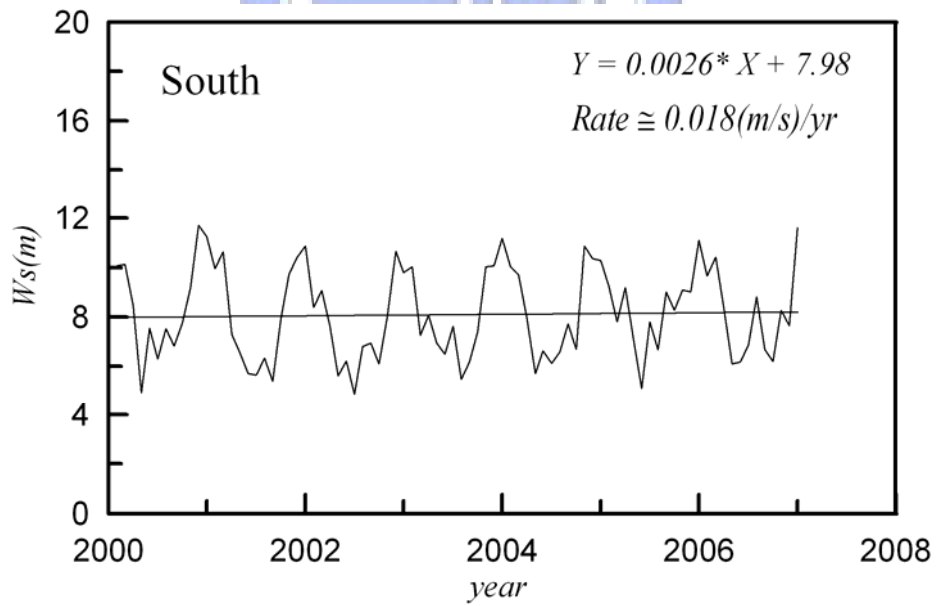
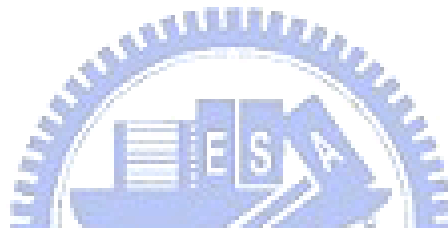


圖 4-29 圖說明參考前圖 4-2~4-5(台灣南部海域)

4-2 異常氣候之波高特性分析

若以長期波浪觀測值與氣象資料為基準，可解析波侯的時空短期的變動。清水等人(2006)利用了 35 年間日本周邊海域的颱風、低氣壓、大陸高氣壓(高氣壓)的紀錄，在與其所選定的 5 個觀測點來做觀察以及整理，分析出颱風等異常氣候發生的區域或行進的路線與異常波高(示性波高大於 5 米)的次數是有顯著的關係。

而在本文中則是利用衛星之平均波高及風速資料來分析台灣區域波侯的變化，同樣利用 4-1 節之分區作為所選定分析的區域，並參考清水等人(2006)對於異常氣候之定義，取各衛星的示性波高之異常次數與其相對應之區域異常氣候發生的次數來做比較。表 4-3 至表 4-5 為 1992~2006 年各區域異常氣候的次數，相對應之統計圖分別示如圖 4-30 至圖 4-41。

圖 4-30 及 4-31 為台灣東北海域異常波高及異常氣候發生次數之統計圖，其中 WS 代表大陸高氣壓，TY 代表颱風，而 TS 代表未形成颱風之熱帶性低氣壓；圖中可以看出影響台灣東北海域最常發生的異常氣候類型為大陸高氣壓，發生次數為 49 次，占了總數大約 70%，颱風和熱帶性低氣壓之發生次數為各為 15 次及 6 次，各占總數約 21% 及 9%，由圖 4-30 亦可看出此區域每年大於 5m 的波高次數有逐年增加的趨勢。圖 4-32 及 4-33 為東南海域異常波高及異常氣候發生次數之統計圖，由圖可知此區大於 5 米的波高次數總和較東北區多出了約 60%，影響東南海域最常發生的異常氣候類型為颱風，發生次數為 29 次，占了大約 46%，大陸高氣壓和熱帶性低氣壓之發生次數為各為 27 次及 9 次，各占總數約 40% 及 14%，本區域每年大於 5m 的波高次數與東北區域有相同增加的趨勢。

圖 4-34 至 4-37 為西北海域及西南海域異常波高及異常氣候發生次數之統計圖，由圖 4-34 及圖 4-36 可發現此二區大於 5 米之異常波高次數較前述東半部區域降低許多，而西南區域異常波高次數約只有西北區域的 40%，推測其原因可能是因為地形之影響，例如中央山脈的阻隔，導致颱風或熱帶性低氣壓之能量衰減，使得台灣西半部的異常波高數較東半部低；亦有可能是西半部之衛星資料較東半部少所造

成。而異常氣候發生的總次數，西南區域也低於西北區域 45 次，影響西北海域及西南海域最常發生的異常氣候類型為大陸高氣壓，次數各為 54 次與 23 次，約占總數分別為 66% 及 62%，而颱風發生次數各為 21 次及 8 次，各約占總數 26% 與 22%，熱帶性低氣壓發生次數各為 7 次及 6 次，兩區分別各占總數 8% 及 16%。

圖 4-38 及 4-39 為北部海域異常波高及異常氣候發生次數之統計圖，圖中可以看出影響北部海域最常發生的異常氣候類型為大陸高氣壓，發生次數為 59 次，占了總數大約 61%，颱風和熱帶性低氣壓，發生次數各為 31 次及 6 次，各占總數約 33% 及 6%，由圖 4-38 亦可看出此區域每年大於 5m 的波高次數有逐年增加的趨勢。圖 4-40 及 4-41 為南部海域異常波高及異常氣候發生次數之統計圖，此區大於 5 米的波高次數總和較東北區多出了約 10%，而異常氣候發生的次數總和卻較北部區域減少了 46 次，主要原因在於大陸高氣壓影響北部較大，而影響南部海域最常發生的異常氣候類型為颱風，發生次數為 35 次，占了總數約 70%，熱帶性低氣壓和大陸高氣壓，發生次數各為 14 次及 1 次，各占總數約 28% 及 2%，本區域每年大於 5m 的波高次數與北部區域有相同增加的趨勢。

根據上述台灣海域波候的分析中，可以瞭解到影響台灣海域主要的氣候為大陸高氣壓以及颱風，而異常氣候的發生次數越多，異常波高也隨之增加。不過在台灣西半部海域，異常波高的次數卻少於其他海域，可能是因為地形或是地理位置的影響，使得異常氣候能量衰減，其次因為衛星測高數據量較少，在此區的異常波高次數不如其餘區域來的多。但是整體而言，利用衛星之測高資料與氣象資料來做波候分析是值得發展研究的。

表 4-3 台灣各區域颱風發生經過的次數

	年份	北	東北	東南	西北	西南	南	次數
颱風	1992	1	--	3	2	--	2	8
	1993	--	--	--	--	1	1	2
	1994	5	3	4	2	--	2	16
	1995	--	--	1	--	--	2	3
	1996	1	1	--	2	--	1	5
	1997	2	--	1	1	--	1	5
	1998	3	2	3	2	--	3	13
	1999	1		--	1	2	2	6
	2000	3	2	3	1	--	3	12
	2001	4	1	2	3	2	5	17
	2002	1	--	--	--	--	1	2
	2003	1	2	4	1	2	5	15
	2004	4	2	3	1	--	4	14
	2005	4	1	3	3	--	2	13
	2006	1	1	2	2	1	1	8
	平均	2.38	1.67	2.64	1.75	1.60	2.33	9.27

表 4-4 台灣各區域熱帶性低氣壓發生經過的次數

	年份	北	東北	東南	西北	西南	南	次數
熱帶性低氣壓	1992	1	--	1	1	--	--	3
	1993	--	--	--	--	--	--	--
	1994	--	--	1	1	--	3	5
	1995	2	1	--	--	1	1	5
	1996	--	--	--	--	--	1	1
	1997	--	--	--	1	1	1	3
	1998	--	--	--	1	1	1	3
	1999	--	1	--	1	1	1	4
	2000	--	1	1	--	--	2	4
	2001	--	--	2	1	--	2	5
	2002	1	1	--	1	1	--	4
	2003	1	1	2	--	--	1	5
	2004	--	--	--	--	--	1	1
	2005	--	--	--	--	--	--	--
	2006	1	1	2	--	1	--	5
	平均	1.2	1	1.5	1	1	1.4	3.2

表 4-5 台灣各區域大陸高氣壓發生經過的次數

	年份	北	東北	東南	西北	西南	南	次數
大陸高氣壓	1992	5	4	2	5	2	--	15
	1993	4	4	2	4	2	--	12
	1994	3	2	1	3	1	--	8
	1995	6	3	1	5	1	--	19
	1996	5	5	2	5	1	--	15
	1997	4	3	--	4	--	--	14
	1998	3	2	2	2	1	--	10
	1999	4	3	2	3	2	1	11
	2000	3	2	2	2	2	--	9
	2001	4	4	2	4	--	--	11
	2002	4	3	2	3	1	--	12
	2003	4	4	2	4	2	--	12
	2004	3	3	1	3	2	--	9
	2005	4	4	4	4	4	--	11
	2006	3	3	2	3	2	--	10
	平均	3.93	3.27	1.67	3.60	1.53	1.00	11.87

根據上述台灣海域波候的分析中，可以瞭解到影響台灣海域主要的氣候為大陸高氣壓以及颱風，而異常氣候的發生次數越多，異常波高也隨之增加。不過在台灣西半部海域，異常波高的次數卻少於其他海域，可能是因為地形或是地理位置的影響，使得異常氣候能量衰減，其次因為衛星測高數據量較少，在此區的異常波高次數不如其餘區域來的多。但是整體而言，利用衛星之測高資料與氣象資料來做波候分析是值得發展研究的。

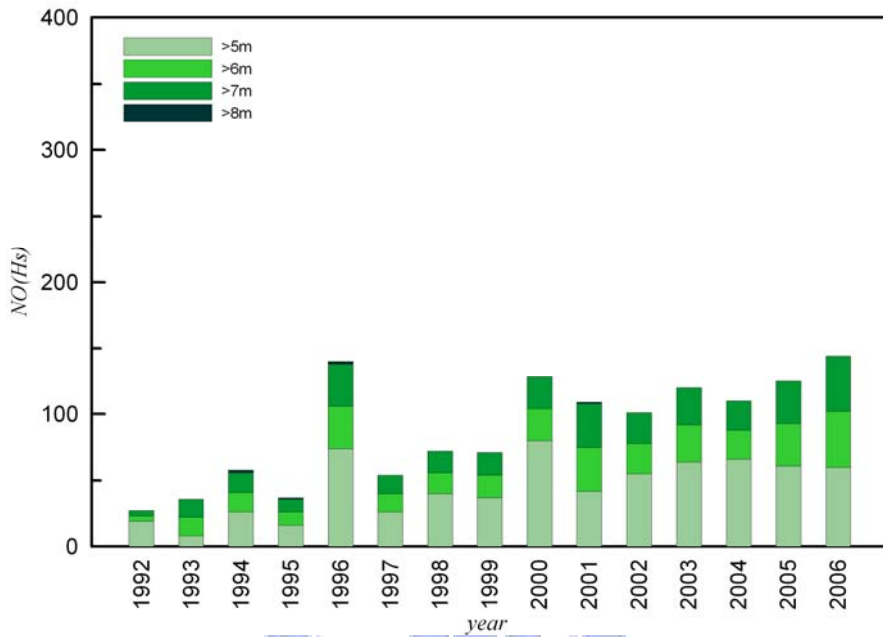


圖 4-30 在台灣東北部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數

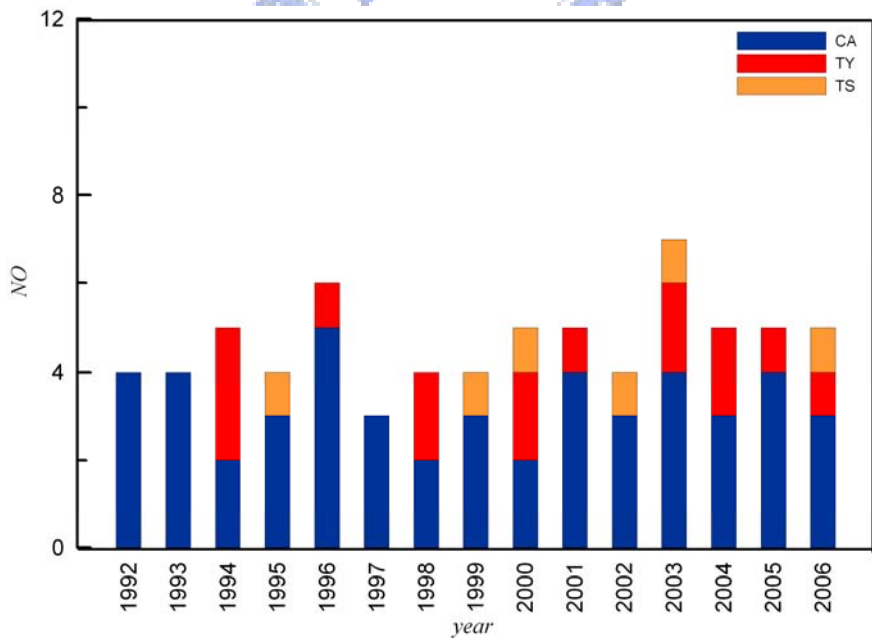


圖 4-31 在台灣東北部海域異常氣候每年發生的次數

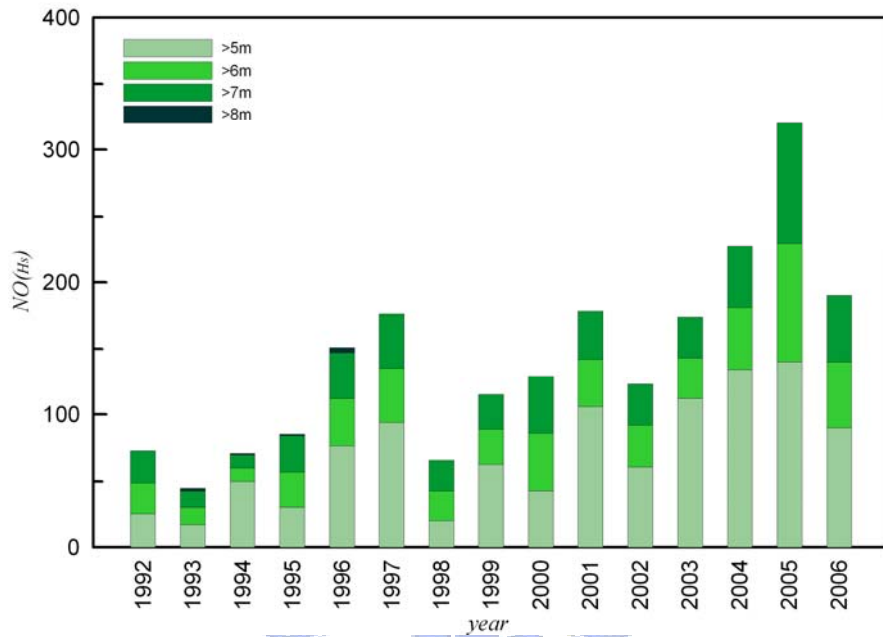


圖 4-32 在台灣東南部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數

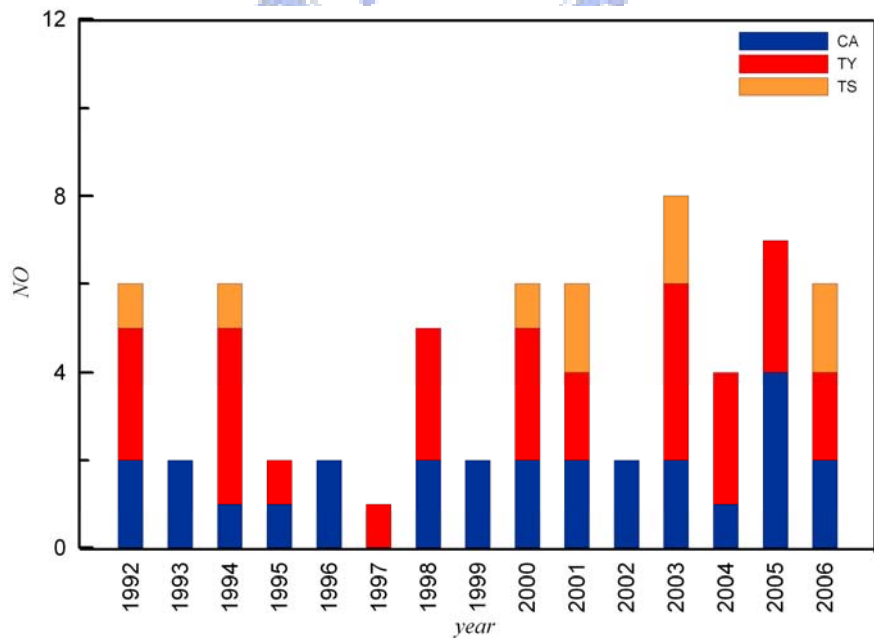


圖 4-33 在台灣東南部海域異常氣候每年發生的次數

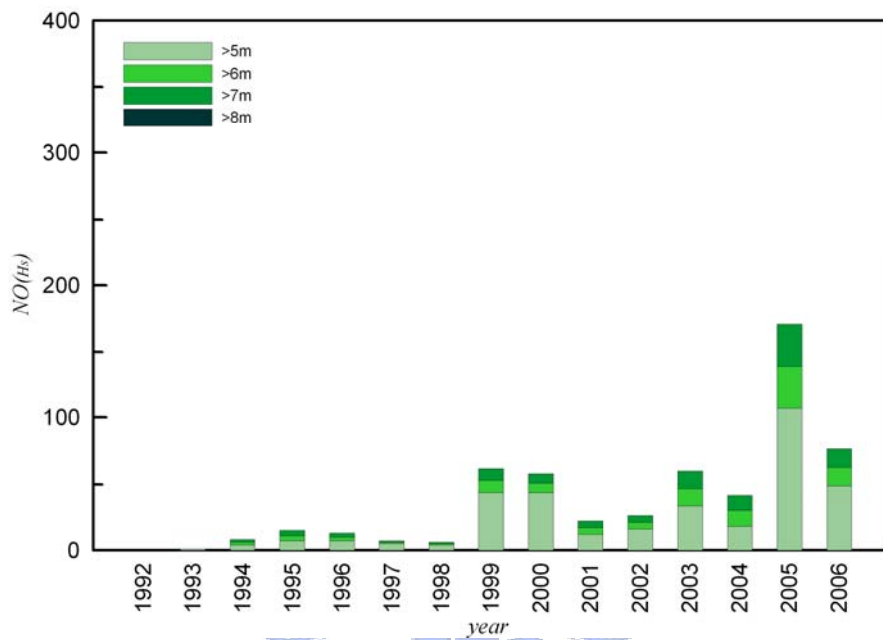


圖 4-34 在台灣西北部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數

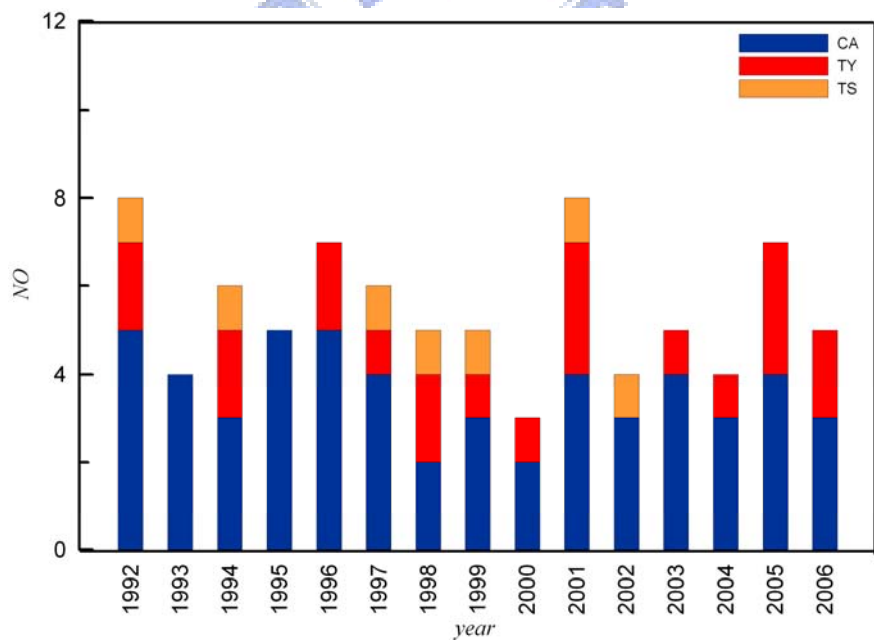


圖 4-35 在台灣西北部海域異常氣候每年發生的次數

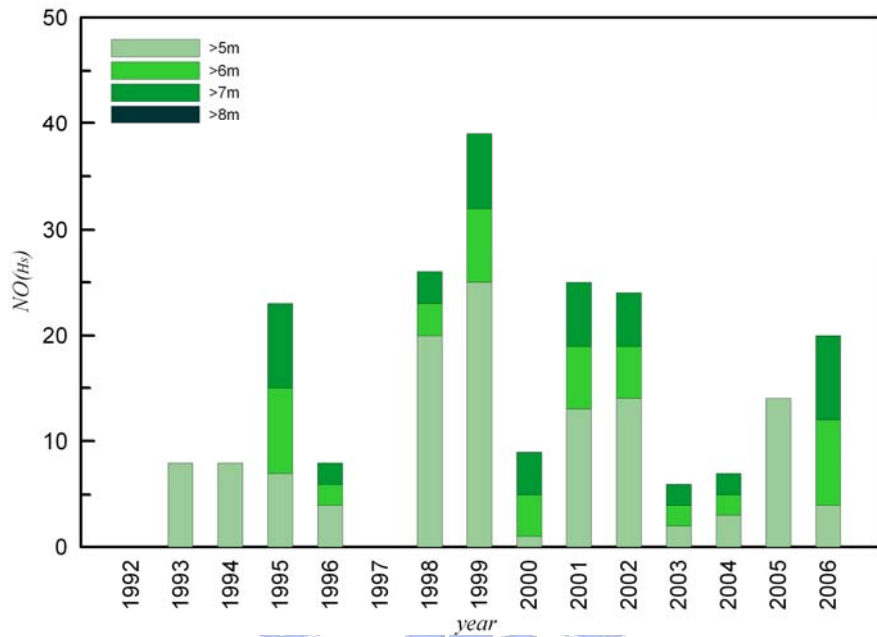


圖 4-36 在台灣西南部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數

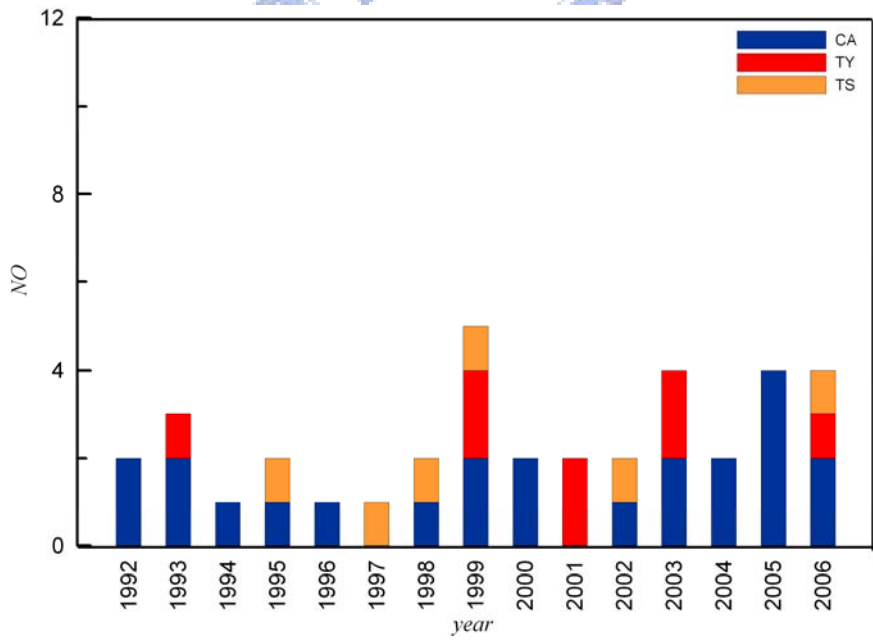


圖 4-37 在台灣西南部海域異常氣候每年發生的次數

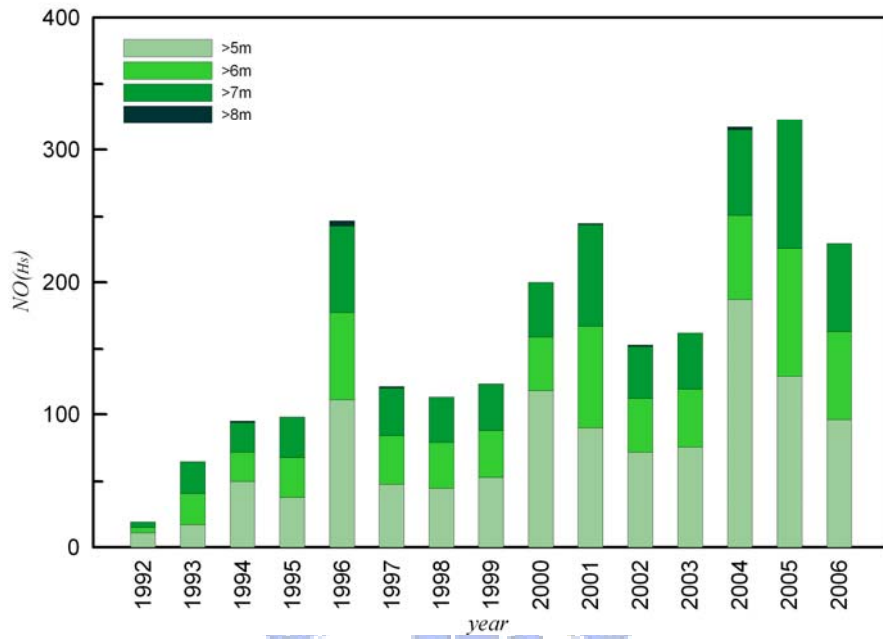


圖 4-38 在台灣北部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數

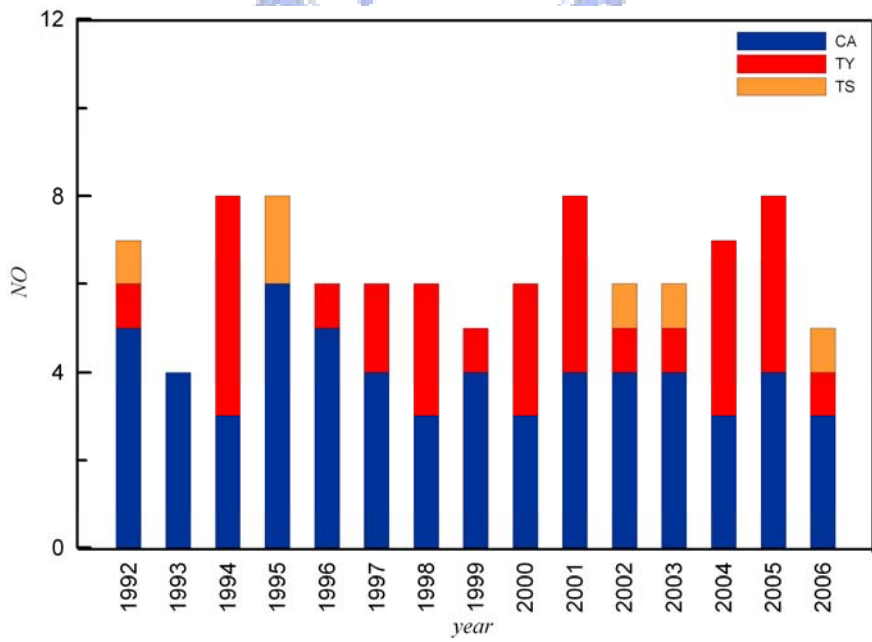


圖 4-39 在台灣北部海域異常氣候每年發生的次數

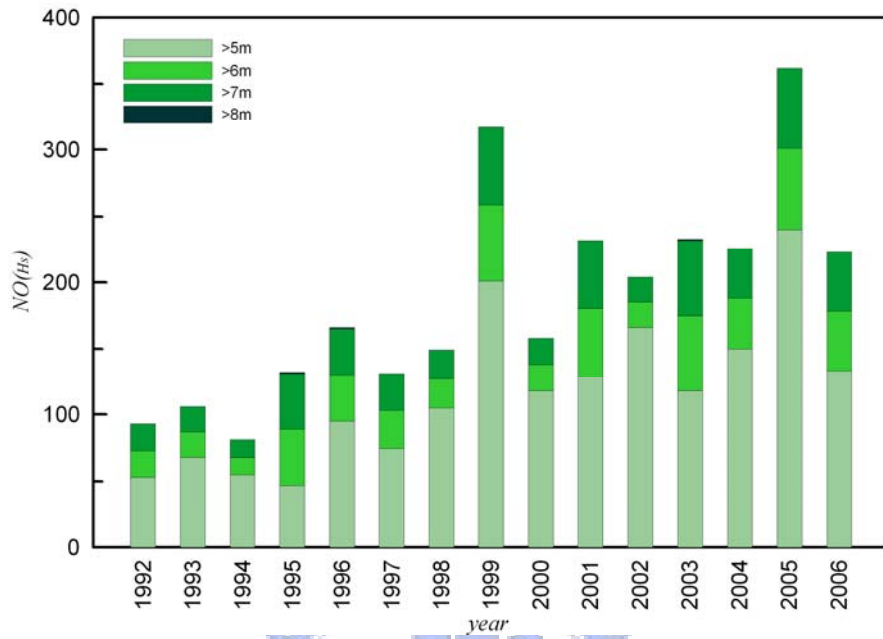


圖 4-40 在台灣南部海域示性波高大於 5m 的每年資料筆數

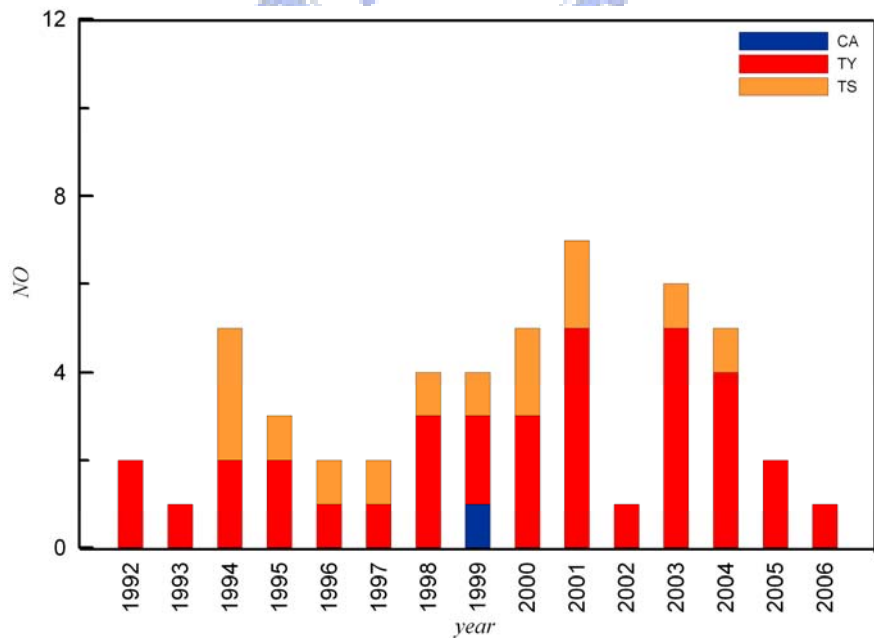


圖 4-41 在台灣南部海域異常氣候每年發生的次數

第五章 結論

本研究的目的是利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，並且也驗證了衛星測高資料對於海洋波浪特性的研究是可行的。本文利用 1992~2006 不同的衛星之測高資料來計算每年的月平均值，以統計的方法分析台灣海域近 15 年來示性波高的分佈，和示性波高及風速的變化，及兩者間的關係，並以逐年的異常波高次數與氣象資料作波候分析。

本文研究的結果為在不同時間區段所計算 5 顆衛星在台灣周邊海域之示性波高分佈皆近似於 Gamma 分佈，此結果與江(2006)研究花蓮港 2004 全年度波高分佈之結論一致。示性波高及風速的關係以二次方的相關性較大，而風速大時與波高之相關性高於風速小時。不管是六個區域或是整個海域，在所觀測的年份間(2000-2006)各衛星之波高變化趨勢皆一致上升，所有衛星之波高平均變化約介於每年上升 0.011 公尺~0.027 公尺，且其平均波高約為介於 1-3 公尺，這也顯示出在台灣海域的波高在 2000-2006 年間是逐年上升的。在各區域風速的變化趨勢較波高者一致性差，而風速的變化除了在東北區及西南區些微為下降外，但其餘地區是逐年上升的。在風速較大時，其波高值有變大的趨勢，因此，由上述結論可知，在定性上波浪及風速有良好相關性。在本文所探討的台灣海域波候分析中，可以了解到發生異常氣候的次數越多，其異常波高也隨之增加，而颱風及大陸高氣壓為 2 種最主要影響台灣氣候異常的因素，也就是說對於台灣海域波高的變化，這 2 種氣候也是影響甚鉅。

基於上述研究的結果，對於利用衛星測高資料所取得之風浪資料來探討海面上示性波高的特性及其與風速之相對應的關係式以及當氣象異常時，對波浪的影響，未來對於在海洋工程上的應用抑或是對於波浪的預測提供了另一種可行的方案。

參考文獻

1. 吳培中(2002)「國土資源遙感」，第1期，第2-10頁。
2. 清水勝義、永井紀彦、里見茂、李在炯、富田雄一郎、久高將信、額田恭史(2006)「長期波浪觀測值と氣象データに基づく波候の変動解析」海岸工学論文集，第53卷，第131-135頁。
3. 江俊銘(2006)，「花蓮海域波浪之波高分佈及其統計特性研究」，交通大學土木工程研究所碩士論文。
4. Abdalla, S., J. R. Bidlot, and Janssen, P. A. E. M. (2004) “Assimilation of ERS and ENVISAT wave data at ECMWF”, *Proceedings of the ENVISAT ERS Symposium*, Salzburg, Austria.
5. Alves, J. H. G. M. and I. R. Young, (2003) “On estimating extreme wave heights using combined Geosat, Topex/Poseidon and ERS-1 altimeter data,” *Applied Ocean Research*, Vol. 25(4), pp. 167-186.
6. Carter, D. J. T., (1982). “Prediction of wave height and period for a constant wind velocity using the JONSWAP results,” *Ocean Engineering* Vol. 9, pp. 17-33.
7. CHEN, G., S. W. Bi and R. Ezraty (2004) “Global structure of extreme wind and wave climate derived from TOPEX altimeter data” *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 25, No. 5, pp. 1005-1018.
8. Cotton, P. D., Carter, D. J. T. and Challenor, P. G. (2003) Geophysical validation and cross calibration of ENVISAT RA-2 wind and wave products at Satellite Observing System and Southampton Oceanography Centre, *Satellite Observing System*, Goldaming, UK.
9. Cox, A. T., Cardone, V. J. and Swail, V. R. (1999) “On the use of in-situ and satellite wave measurements for evaluation of wave hindcasts,” *CLIMAR 99, WMO Workshop on Advances in Marine*

Climatology, Vancouver, Canada.

10. Forristall, G. Z., (1978) "On the statistical distribution of wave heights in a storm," *J. Geophys. Res.*, Vol. C83, pp. 2353-2358.
11. Kinsman, B., (1965) *Wind Waves*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
12. Krogstad, H. E. and Barstow, S. F. (1999) "Satellite wave measurements for coastal engineering applications," *Coastal Engineering*, Vol. 37(3), pp. 283-307.
13. Longuet-Higgins, M. S., (1952) "On the statistical distribution of the heights of sea waves," *J. Marine, Res.*, Vol. 9, pp. 245-265.
14. Queffeulou, P. (2003) *Cross validation of ENVISAT RA-2 significant wave height, sigma0 and wind speed*, CCVT final report, IFREMER, BP 70, 29280 Plouzané, France.
15. Queffeulou, P., Bentamy, A. and Guyader, J. (2004) "Satellite wave height validation over the mediterranean sea", *Proceedings of the ENVISAT ERS Symposium*, Salzburg, Austria.
16. Ray, R. D. and Beckley, B. D. (2003) "Simultaneous ocean wave measurements by the Jason and TOPEX satellites, with buoy and model comparisons," *Marine Geodesy*, Vol. 26(4), pp. 367-382.
17. Skandrani, C., Lefèvre, J. M. and Queffeulou, P. (2004) "Impact of Multisatellite altimeter data assimilation on wave analysis and forecast," *Marine Geodesy*, Vol. 27, pp. 1-23.
18. Tucker, M.J., Pitt, E.G., (2001) *Waves in Ocean Engineering*, Elsevier, Amsterdam, pp. 512.