

97-49-7335

MOTC-IOT-96-H2DB001

臺灣國際港區船舶動態管理特性 及颱風波浪資料補遺研究(三)



交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

97-49-7335

MOTC-IOT-96-H2DB001

臺灣國際港區船舶動態管理特性 及颱風波浪資料補遺研究(三)

著者：江玟德、張憲國、陳蔚璋、何良勝

交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

97

臺灣國際港區船舶動態管理特性及颱風波浪資料補遺研究(三)

交通部運輸研究所

GPN : 1009700842

定價 300 元

國家圖書館出版品預行編目資料

船舶運動推算臺灣海域即時波浪場模式建立之研究. (3/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研所, 民97.03

面 ; 公分

參考書目:面

ISBN 978-986-01-3882-5(平裝)

1. 波動 2. 船舶工程 3. 自動化 4. 臺灣

351. 941029

97006532

臺灣國際港區船舶動態管理特性及颱風波浪資料補遺研究(三)

著者：江玟德、張憲國、林立青、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地址：台北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 97 年 3 月

印刷者：德輝興業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定價：300 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組• 電話：(02)23496880

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號• 電話：(04)22260330

GPN：1009700842

ISBN：978-986-01-3901-3 (平裝)

著作財產權：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣國際港區船舶動態管理特性及颱風波浪資料補遺研究(三)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-01-3901-3 (平裝)	政府出版品統一編號 1009700842	運輸研究所出版品編號 97-49-7335	計畫編號 96-H2DB001
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：江玟德 聯絡電話：04-26587126 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國 研究人員：陳蔚璋 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487	研究期間 自 96 年 3 月 至 96 年 10 月	
關鍵詞：船舶預警模式、神經網路、波浪統計			
<p>摘要：</p> <p>本計畫利用花蓮港港務局所提供之船隻動態記錄，修正原始模式，並選用颱風六個影響船隻動態的颱風因子建立颱風與 ISE 間的關係。本計畫選擇之學習範例為含蓋 4 種不同颱風路徑、4 種船隻異動指數，選取颱風共 50 個，做為類神經之學習範例。並以 4 場颱風進行驗證，由驗證結果顯示，本模式可於實際颱風期間花蓮港之船舶操作預警。目前船舶動態預警模式已建構完成並已附加圖形化使用者介面來提升其使用性。</p> <p>另外，本計畫以安平港與台北港實測波浪數據，進行波高與週期之直方圖與機率密度的計算，對於波高與週期則選定各四種機率分布，結果驗證出安平港與台北港之波高分布較近似於 Weibull 分布，其波高直方圖適合分組組數大概介於 5 至 7 組。另外於週期之分析結果，在比較各種評估參數後，選定最佳分組組數為 5 組，最佳分布為 Erlang。本計畫推導出幾個較適用之機率分布之統計特性，如 $H_{1/10}$，H_s，H_{mean} 等，由統計特性之比較波高與週期之機率分布發現分別為 Weibull 分布及 Erlang 分布最適何。</p> <p>就安平港、臺北港與花蓮港的全年示性波高及週期資料而言，示性波高的最適分布為 Gamma 分布，而示性週期的最適分布亦為 Gamma 分布。波高週期聯合分布比較可發現，Cavanié 聯合機率密度分布，明顯大幅優於 Longuet-Higgins。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
97 年 4 月	212	300	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>（解密條件：<input type="checkbox"/>年 <input type="checkbox"/>月 <input type="checkbox"/>日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，<input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Alert Model for Ship Escape from Hualien Harbor during Typhoon Period (III)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-3901-3 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009700842	IOT SERIAL NUMBER 97-49-7335	PROJECT NUMBER 96-H2DB001
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Jiang Wen-Der PHONE: (04) 26587126 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM March 2007 TO October 2007
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Chen Wei-Wei ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE: (03) 5131487			
KEY WORDS: Alert Model of Ship Escape; Neural Network; Wave Statistics			
ABSTRACT: <p>The official records of ships escaping from Hualien Harbor during typhoon period each year were collected from 1996 to 2005 in this project. Criteria of ship escape are classified into 4 groups depending on resulting factors, such as typhoon's scale, path, wind speed, position of typhoon's center and the distance between the typhoon and the interest point. The relationship between the criteria of ship escape and the resulting factors is established by using an artificial neural network (NN) considering 4 kinds of paths and 50 typhoons chosen to train the model. The accuracy of the proposed NN model is examined using recorded events of ships escaping typhoons. Fair agreements in calibrating and verifying stages show that the proposed model can be applicable for real operation in the future. The proposed ANN model can provide an alert model of ship escape. A basic GUI system is modeled to easily operate the proposed ANN model for the engineers in the future.</p> <p>Four distributions are used to approximate the histogram of wave heights and wave periods, respectively, in short-term wave statistics. Weibull distribution is found to be the best fitting distribution for wave height and Erlang distribution to be the best for wave period. The suitable number of histogram of wave heights for every hour is examined to be 5 to 8, and that of wave periods is 5 to 7. Statistical properties, like $H_{1/10}$, H_s, H_{mean}, are derived for some distribution. A comparison between the measured $H_{1/10}$, H_s, H_{mean} and computed ones shows that Weibull distribution is also the best one to approximate $H_{1/10}$, H_s, H_{mean} and Erlang distribution is better for $T_{1/10}$, T_s, T_{mean} than Gamma distribution. For joint distribution (Anping Harbor, Taipei Harbor, Hualien Harbor) of wave height and period, Cavanié distribution is better fitting than Longuest-Higgins' distribution for the waves in three locations.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 212	PRICE 300	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

目錄

中文摘要表.....	I
英文摘要表.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VIII
第一章 緒論.....	1-1
1.1 前言.....	1-1
1.2 歷年計畫工作內容.....	1-2
1.3 本年度計畫工作內容.....	1-3
1.4 研究動機與文獻回顧.....	1-3
第二章 颱風與船舶動態特性分析.....	2-1
2.1 船舶動態與颱風特性.....	2-1
2.2 颱風風速及方位角對船舶動態的影響.....	2-8
2.3 輸入資料之設定與修正.....	2-9
第三章 船隻動態預警模式之建構.....	3-1
3.1 類神經網路.....	3-1
3.2 船舶動態預警模式之建立.....	3-3
3.3 船舶動態預警模式之驗證.....	3-11
3.4 視窗化模式之建構與實例操作.....	3-14
3.4.1 圖形化使用者介面之介紹.....	3-14
3.4.2 颱風波浪預測模式圖形化介面介紹.....	3-18
3.4.3 實例操作與開發中功能.....	3-24
第四章 波浪特性分析.....	4-1
4.1 資料來源與處理.....	4-1
4.1.1 示性波高之計算.....	4-2
4.1.2 示性週期之計算.....	4-3
4.2 波浪特性分析.....	4-4
第五章 波浪特性分析結果.....	5-1

5.1 波高短期統計分析.....	5-1
5.1.1 每月波高分布分析.....	5-1
5.1.2 每季波高分布分析.....	5-3
5.1.3 全年之波高分布分析.....	5-4
5.2 週期短期統計分析.....	5-11
5.2.1 每月週期分布分析.....	5-11
5.2.2 每季週期分布分析.....	5-11
5.2.3 全年週期分布分析.....	5-11
5.3 波高統計特性分析.....	5-18
5.3.1 Weibull 分布系列之統計代表值推導.....	5-18
5.3.2 Gamma 分布系列之統計代表值推導.....	5-21
5.4 計算統計值與實測值之比較.....	5-22
5.4.1 花蓮港波高及週期統計值.....	5-22
5.4.2 臺北港波高及週期統計值.....	5-34
5.4.3 安平港波高及週期統計值.....	5-45
5.5 示性波浪之統計特性.....	5-55
5.5.1 示性波高之統計特性.....	5-55
5.5.2 示性週期之統計特性.....	5-58
5.6 波高週期聯合分佈結果.....	5-60
第六章 結論.....	6-1
參考文獻.....	參-1
附錄 1 花蓮港之船隻動態表.....	附 1-1
附錄 2 颱風路徑圖.....	附 2-1
期中報告審查意見處理情形表.....	審-1
期末報告審查意見處理情形表.....	審-4
簡報內容.....	簡-1

圖目錄

圖 2.1 颱風距離與觀測站示性波高關係(見張和錢(2003))	2-6
圖 2.2 颱風風速與船隻異動指數關係圖	2-8
圖 2.3 颱風中心至測站方位角與船隻異動指數關係圖	2-9
圖 2.4 影響船舶動態之颱風因子示意圖	2-10
圖 3.1 類神經網路架構示意圖	3-1
圖 3.2 路徑 4 模式颱風安珀學習結果之比較	3-5
圖 3.3 路徑 4 模式颱風碧利斯學習結果之比較	3-6
圖 3.4 路徑 4 模式颱風桃芝學習結果之比較	3-6
圖 3.5 路徑 5 模式颱風賀伯學習結果之比較	3-7
圖 3.6 路徑 5 模式颱風瑞伯學習結果之比較	3-7
圖 3.7 路徑 5 模式颱風柯吉拉學習結果之比較	3-8
圖 3.8 路徑 6 模式颱風葛樂禮學習結果之比較	3-8
圖 3.9 路徑 6 模式颱風莎莉學習結果之比較	3-9
圖 3.10 路徑 6 模式颱風奧托學習結果之比較	3-9
圖 3.11 路徑 7 模式颱風魏萊特學習結果之比較	3-10
圖 3.12 路徑 7 模式颱風薩恩學習結果之比較	3-10
圖 3.13 路徑 7 模式颱風戴兒學習結果之比較	3-11
圖 3.14 路徑 4 龍王颱風之模擬船隻異動指數	3-12
圖 3.15 路徑 5 葛樂禮颱風之模擬船隻異動指數	3-13
圖 3.16 路徑 6 杜鵑颱風之模擬船隻異動指數	3-13
圖 3.17 路徑 7 艾利颱風之模擬船隻異動指數	3-14
圖 3.18 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化	3-15
圖 3.19 本介面主視窗	3-19
圖 3.20 樹狀結構的工具列	3-19
圖 3.21 船舶異動指數所對應之警示標誌	3-21
圖 3.22 颱風資料輸入視窗	3-21
圖 3.23 模擬結果資料存檔視窗	3-23

圖 3.24 即時波高實測圖.....	3-23
圖 3.25 即時衛星影像圖.....	3-24
圖 3.26 操作流程介紹 1：Matlab 主要視窗.....	3-25
圖 3.27 操作流程介紹 2：船舶動態預警模式主要視窗.....	3-26
圖 3.28 操作流程介紹 3：颱風資料輸入視窗.....	3-26
圖 3.29 操作流程介紹 4：颱風資料輸入完成.....	3-27
圖 3.30 操作流程介紹 5：船隻異動指數推算完成.....	3-27
圖 4.1 安平港波浪觀測位置示意圖.....	4-1
圖 4.2 臺北港波浪觀測位置示意圖.....	4-2
圖 4.3 統計參數與波高資料直方圖.....	4-6
圖 4.4 波高與週期最適組數與機率分佈之分析流程圖.....	4-10
圖 5.1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p 及最大機率密度 之示意圖.....	5-18
圖 5.2 以 Weibull 及 Rayleigh 分布計算花蓮港波高 $H_{1/10}$ 之比較...5-26	5-26
圖 5.3 以 Weibull 及 Rayleigh 分布計算花蓮港波高 H_s 之比較.....5-26	5-26
圖 5.4 以 Weibull 及 Rayleigh 分布計算花蓮港波高 H_{mean} 之比較..5-26	5-26
圖 5.5 以修正 Weibull 計算花蓮港波高 $H_{1/10}$ 與實測值之比較.....5-27	5-27
圖 5.6 以修正 Weibull 計算花蓮港波高 H_s 與實測值之比較.....5-27	5-27
圖 5.7 以修正 Weibull 計算花蓮港波高 H_{rms} 與實測值之比較.....5-28	5-28
圖 5.8 以 Rayleigh 分布及 Weibull 分布所得 $T_{1/10}$ 之比較.....5-32	5-32
圖 5.9 以 Rayleigh 分布及 Weibull 分布所得 T_s 之比較.....5-32	5-32
圖 5.10 以 Rayleigh 分布及 Weibull 分布所得 T_{rms} 之比較.....5-32	5-32
圖 5.11 以 Erlang 分布計算花蓮港波浪 $T_{1/10}$ 與實測值之比較.....5-33	5-33
圖 5.12 以 Erlang 分布計算花蓮港波浪 T_s 與實測值之比較.....5-33	5-33
圖 5.13 以 Erlang 分布計算花蓮港波浪 T_{rms} 與實測值之比較.....5-34	5-34
圖 5.14 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算臺北港波高 $H_{1/10}$ 之比較.5-37	5-37
圖 5.15 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算臺北港波高 H_s 之比較.....5-38	5-38
圖 5.16 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算臺北港波高 H_{mean} 之比較5-38	5-38
圖 5.17 以修正 Weibull 計算臺北港波高 $H_{1/10}$ 與實測值之比較.....5-38	5-38
圖 5.18 以修正 Weibull 計算臺北港波高 H_s 與實測值之比較.....5-39	5-39

圖 5.19 以修正 Weibull 計算臺北港波高 H_{rms} 與實測值之比較	5-39
圖 5.20 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得臺北港波浪 $T_{1/10}$ 之比較	5-43
圖 5.21 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得臺北港波浪 T_s 之比較	5-43
圖 5.22 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得臺北港波浪 T_{rms} 之比較	5-43
圖 5.23 以 Erlang 分布計算臺北港波浪 $T_{1/10}$ 與實測值之比較	5-44
圖 5.24 以 Erlang 分布計算臺北港波浪 T_s 與實測值之比較	5-44
圖 5.25 以 Erlang 分布計算臺北港波浪 T_{rms} 與實測值之比較	5-45
圖 5.26 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算安平港波高 $H_{1/10}$ 之比較	5-48
圖 5.27 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算安平港波高 H_s 之比較	5-49
圖 5.28 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算安平港波高 H_{mean} 之比較	5-49
圖 5.29 以修正 Weibull 計算安平港波高 $H_{1/10}$ 與實測值之比較	5-49
圖 5.30 以修正 Weibull 計算安平港波高 H_s 與實測值之比較	5-50
圖 5.31 以修正 Weibull 計算安平港波高 H_{rms} 與實測值之比較	5-50
圖 5.32 以 Gamma 分布及 Erlang 分布計算安平港週期 $T_{1/10}$ 之 比較	5-53
圖 5.33 以 Gamma 分布及 Erlang 分布計算安平港週期 T_s 之比較	5-54
圖 5.34 以 Gamma 分布及 Erlang 分布計算安平港週期 T_{rms} 之 比較	5-54
圖 5.35 以 Erlang 分布計算安平港波浪 $T_{1/10}$ 與實測值之比較	5-54
圖 5.36 以 Erlang 分布計算安平港波浪 T_s 與實測值之比較	5-55
圖 5.37 以 Erlang 分布計算安平港波浪 T_{rms} 與實測值之比較	5-55

表目錄

表 2.1 颱風路徑歸類表.....	2-3
表 2.2 花蓮港務局颱風路徑歸類表.....	2-4
表 2.3 Saffir-Simpson 的颱風規模分類標準.....	2-4
表 2.4 蒲福風級表.....	2-5
表 2.5 颱風之船隻異動指數歸類表.....	2-7
表 3.1 不同模式之學習結果分析表.....	3-5
表 3.2 使用 GUI 介面之效率比較表.....	3-17
表 5.1 安平港波浪數據各月之分組情形.....	5-2
表 5.2 台北港波浪數據各月之分組情形.....	5-3
表 5.3 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果($H_s < 0.5m$)....	5-5
表 5.4 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果 ($0.5m < H_s < 1.0m$).....	5-5
表 5.5 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果 ($1.0m < H_s < 1.5m$).....	5-6
表 5.6 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果 ($1.5m < H_s < 2.0m$).....	5-6
表 5.7 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果 ($2.0m < H_s < 3.0m$).....	5-7
表 5.8 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果($H_s > 3.0m$)....	5-7
表 5.9 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果($H_s < 0.5m$)....	5-8
表 5.10 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果 ($0.5m < H_s < 1.0m$).....	5-8
表 5.11 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果 ($1.0m < H_s < 1.5m$).....	5-9
表 5.12 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果 ($1.5m < H_s < 2.0m$).....	5-9

表 5.13 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	5-10
表 5.14 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果 ($H_s > 3.0\text{m}$)	5-10
表 5.15 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果 ($H_s < 0.5\text{m}$)	5-12
表 5.16 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	5-12
表 5.17 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	5-13
表 5.18 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	5-13
表 5.19 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	5-14
表 5.20 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	5-14
表 5.21 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果($H_s < 0.5\text{m}$)	5-15
表 5.22 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果 ($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	5-15
表 5.23 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果 ($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	5-16
表 5.24 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果 ($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	5-16
表 5.25 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	5-17
表 5.26 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果($H_s > 3.0\text{m}$)	5-17
表 5.27 Weibull 分布系列之統計特性公式	5-20
表 5.28 Gamma 分布系列之統計特性公式	5-22
表 5.29 波高統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5\text{m}$)	5-24
表 5.30 波高統計特性與實測值之比較($0.5\text{m} < H_s < 1.0\text{m}$)	5-24
表 5.31 波高統計特性與實測值之比較($1.0\text{m} < H_s < 1.5\text{m}$)	5-24
表 5.32 波高統計特性與實測值之比較($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)	5-25

表 5.33 波高統計特性與實測值之比較($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	5-25
表 5.34 波高統計特性與實測值之比較($H_s>3.0\text{m}$).....	5-25
表 5.35 週期統計特性與實測值之比較($H_s<0.5\text{m}$).....	5-30
表 5.36 週期統計特性與實測值之比較($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$)	5-30
表 5.37 週期統計特性與實測值之比較($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$)	5-30
表 5.38 週期統計特性與實測值之比較($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$)	5-31
表 5.39 週期統計特性與實測值之比較($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$)	5-31
表 5.40 週期統計特性與實測值之比較($H_s>3.0\text{m}$).....	5-31
表 5.41 安平港示性波高與各分佈函數評估結果.....	5-35
表 5.42 臺北港示性波高與各分佈函數評估結果.....	5-35
表 5.43 花蓮港示性波高與各分佈函數評估結果.....	5-35
表 5.44 計算臺北港波高統計值與實測值之比較($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$) ..	5-36
表 5.45 計算臺北港波高統計值與實測值之比較($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$) ..	5-36
表 5.46 計算臺北港波高統計值與實測值之比較($H_s>3.0\text{m}$).....	5-36
表 5.47 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($H_s<0.5\text{m}$).....	5-41
表 5.48 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$) ..	5-41
表 5.49 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$) ..	5-41
表 5.50 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$) ..	5-42
表 5.51 計算臺北港週期統計值與實測值之比較 ($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$) ..	5-42
表 5.52 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($H_s>3.0\text{m}$).....	5-42
表 5.53 計算安平港波高統計值與實測值之比較($H_s<0.5\text{m}$).....	5-46
表 5.54 計算安平港波高統計值與實測值之比較($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$) ..	5-46
表 5.55 計算安平港波高統計值與實測值之比較($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$) ..	5-46
表 5.56 計算安平港波高統計值與實測值之比較($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$) ..	5-47
表 5.57 計算安平港波高統計值與實測值之比較($2.0\text{m}<H_s<3.0\text{m}$) ..	5-47
表 5.58 計算安平港波高統計值與實測值之比較($H_s>3.0\text{m}$).....	5-47
表 5.59 計算安平港週期統計值與實測值之比較($H_s<0.5\text{m}$).....	5-51
表 5.60 計算安平港週期統計值與實測值之比較($0.5\text{m}<H_s<1.0\text{m}$) ..	5-52
表 5.61 計算安平港週期統計值與實測值之比較($1.0\text{m}<H_s<1.5\text{m}$) ..	5-52
表 5.62 計算安平港週期統計值與實測值之比較($1.5\text{m}<H_s<2.0\text{m}$) ..	5-52

表 5.63 計算安平港週期統計值與實測值之比較 ($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)	5-53
表 5.64 計算安平港週期統計值與實測值之比較($H_s > 3.0\text{m}$).....	5-53
表 5.65 花蓮港示性波高與各分佈函數評估結果.....	5-56
表 5.66 臺北港示性波高與各分佈函數評估結果.....	5-57
表 5.67 安平港示性波高與各分佈函數評估結果.....	5-57
表 5.68 花蓮港示性週期與各分佈函數評估結果.....	5-58
表 5.69 臺北港示性週期與各分佈函數評估結果.....	5-59
表 5.70 安平港示性週期與各分佈函數評估結果.....	5-59
表 5.71 花蓮港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果	5-60
表 5.72 臺北港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果	5-61
表 5.73 安平港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果	5-61

第一章 緒論

1.1 前言

台灣濱臨太平洋，位處易受颱風或異常波浪侵襲之地區，而颱風所引起的巨浪為破壞港灣的重要因素，其亦困擾港內船舶作業與碇靠之管理。因此，港內之穩靜情況關係著船隻碇泊與貨物裝卸作業管理之重要。鑑於颱風或異常波浪對港灣設施及船隻碇泊的重要性，本研究擬延續 95 年度之工作方式與研析方法，依據本所港研中心所收集之歷年海象資料，包括波浪與潮位資料以及歷年港內船舶碇靠、離港紀錄進行分類分析，並應用模糊理論與類神經網路之方法分析，從波浪之觀測與船舶動態資料分析並建立預警模式予以港灣管理單位做即時的判斷與反應，建立一個可即時性反應的船舶動態管理系統，俾提供港務單位船隻碇泊、裝卸作業及離港疏散之參考依據。

由於港內外海氣象調查相關性資料的貧乏及相關推算模式之即時反應效用的欠缺，目前國內主要港口尚無有關港內外波浪特性與船舶動態管理機制探討的具體研究。另外，各港區所辦理之海氣象觀測資料及相關即時資訊系統，在颱風強大的波浪作用下，量測儀器可能受損或遺失，導致量測資料失去連續性，使得估計的設計波浪發生誤差，因此必須建立精確的資料補遺系統，以為港灣擴建發展及防災的重要依據。同時，以海氣象統計計量分析模式，推算臺灣各國際港區之颱風波浪資料的相關性，藉以建立各港區颱風波浪之補遺模式，以補遺過去因儀器故障或遺失的量測資料，構製完整的颱風波浪資料庫，並據此建立各港區波浪相關特性之統計分析模式。因此，如何建立觀測資料分類與分析，並進行預警系統的建置，為本研究重要的課題。

本次計畫將以 95 年度之相關研究及分析結果，配合類神經網路等技術，建立一個以台灣港灣為主的颱風動態參數與船舶動態關係之模式，以期能建立有系統之颱風波浪資料補遺，進而能提高預警防災的

能力。

1.2 歷年計畫工作內容

本研究屬本所「臺灣國際港區船舶動態管理系統及颱風波浪資料補遺研究」(94-97 年)計畫規劃 4 年研究計畫，並於第一年(94)度完成以下兩階段之工作項目：

1. 針對花蓮及蘇澳港區之港內外波浪及颱風情況，進行波浪資料以及歷年港內船舶動態紀錄與颱風因子等因素之統計分析與特性研究，以此作為類神經網路之學習輸入值之篩選，以利船舶動態類神經網路模式之建立。
2. 蒐集颱風資料與現場波浪資料，應用類神經網路及模糊理論建立以花蓮港之颱風波浪類神經網路模式，並以颱風參數及其相對花蓮港之方位角等進行分析與模式之建立，並以 9 場颱風作為學習，以 8 場颱風測試該模式在颱風波浪資料補遺的應用。

第二年(95)度完成以下兩階段之工作項目：

1. 針對花蓮港區之歷年港內船舶動態紀錄與颱風因子等，包括波浪與颱風資料以及歷年港內船舶碇靠、離港紀錄等因素進行統計分析與特性研究，並分析船隻異動與颱風波浪之關係。整理颱風與影響船隻動態的因子可包括：颱風路徑、颱風規模、風速、颱風中心與花蓮港之角度與颱風中心之經緯度等因素，完成類神經網路船舶動態模式。
2. 另外，對於花蓮港之波浪資料則進行波高及週期之以誤差均方根 (RMS)、相關性(R^2)、離島型直方圖($P_i=0$)與判斷是否為雙峰直方圖 ($|P_i-P_j|>1/N$)等四種參數來探討最適之機率分佈特性和最佳分組組數。決定最佳組數與最適之機率分佈，並以此探討波高與週期之統計特性。

1.3 本年度計畫工作內容

本計畫研究範圍與對象為花蓮港之港內外區域，並收集歷年海象資料，包括波浪資料以及歷年港內船舶碇靠、離港紀錄等。以分析船隻異動與颱風波浪之關係，並修正 95 年度之船舶動態類神經網路模式。另外就波浪統計分析，以台北港及安平港之波浪資料，將建立波浪特性推算模式，以進行相關波浪之補遺與統計特性模式之建立。本年度(96)研究計畫已完成之工作項目分為兩部份：

(一) 港區船舶動態管理特性研究

1. 分析通過花蓮港區颱風特性與船舶動態關係。
2. 改善類神經網路之船舶動態與颱風推算基本模式

(二) 颱風波浪資料補遺分析

1. 建置花蓮港域波浪特性統計分析模式。
2. 初步建立安平港域波浪特性統計分析模式。
3. 波浪特性統計分析模式技術訓練與轉移。

1.4 研究動機與文獻回顧

花蓮港面臨西太平洋，且在夏季平均約有 3 至 4 個颱風侵襲，使得特殊港形的花蓮港面臨著港池震盪的問題。根據張(1996)分析花蓮港船隻動態與長波之關係中得知，每年颱風波浪造成船隻出港避風之次數高達 5 至 6 次之多，而除了強烈的風力對船隻停泊有影響外，長波所造成船隻的搖晃，亦是造成船隻斷纜或出港之主要因素，所以船隻動態與颱風波浪關係密切。往昔學者如簡和曾(1999)分析颱風資料得到颱風波浪大小與颱風行進路徑及強度規模有關。張和郭(1999)提出花蓮港在波浪週期於 96 秒時會有明顯港池共振現象，若岸壁反射率小於 0.9 時則共振情況會緩和且當外海入射波向為東南向之波浪對花蓮港港池靜穩定之影響最大，因此花蓮港容易受到夏季太平洋之颱風波浪或東南方向遠洋傳來之湧浪影響，造成港池不靜穩。郭(2001)提出颱風波浪的大小與颱風之規模強度、颱風風速及颱風的行進方向等有很大

的關係。張和簡(2002)探討颱風期間實測波浪延時變化，其結果顯示波浪成長與颱風路徑、最大風速、中心移動度等有密切關係。因此花蓮港之船隻停泊在颱風侵台期間目前仍面臨出港躲避湧浪之困擾。

在海岸工程的應用上，過去有許多學者利用類神經網路於預測波浪方面，有 Deo 和 Naidu(1999)以測站之即時波浪資料作為類神經網路之輸入值，以倒傳遞類神經路推算下一個時間之波浪資料，並以此建立短期波浪推算模式。Deo 等人(2000、2001)則建構以風速與示性波高與週期之類神經網路，以預測風浪。Deo 等人(2002、2003)則以類神經網路分析波向及推算碎波波高。錢等人(2002)利用神經-模糊網路推算颱風波浪並建立颱風行為及氣象與颱風波浪間的關係。張和錢(2003)結合 Holland 颱風風場模型與類神經網路，建立三種不同影響參數之台灣東部近岸颱風波浪推算模式以模擬颱風波浪。Makarynskyy(2004)為修正短期波浪之預測，分析不同延時之測試對預測風浪正確性之關係，並建立輸入值為 48 小時與輸出值為 24 小時之波高及周期類神經學習網路，以此進行較長時間且可獲得較正確之波浪預測。Kalra 等人(2005)則以衛星量測之外海波浪特性及風場資料，進行近岸類神經網路風浪之推算。蔡(2005)以適應性類神經網路(ANFIS)建立風速大小、風向與對應波浪之架構，進行季節風浪之推算。Chang 和 Chien(2006a、b)針對不同風場參數分析其對波浪特性之關係，建立多個轉換函數之類神經網路模式，以進行颱風波浪之推算。蔡(2006)以 ECMWF(European Centre for Medium Range Weather Forecasts) 歐洲中期預報中心所提供之風場之風速及風向，建立 ANFIS 波高推算模式，並進行季節風浪之推算。Kazeminezhad(2005) 以實測之風速及吹風延時以 ANFIS 模式進行波高及周期的推算，並與 CEM(Coastal Engineering Manual)的方法比較，其誤差結果較 CEM 小。Özger and Sen(2007) 應用模糊系統，以實測風速及前一個延時的波高及周期推算下一個時間的波高與周期值。Browne 等人(2007)應用 9 個 NOAA Wave Watch III 模式之輸出參數，以類神經網路進行實測波高學之習與預測，其平均誤差結果較 SWAN 模式小。Kalra 和 Deo (2007)以 TOPEX 衛星量測之波高及風速，應用

徑向基底類神經網路(RBF)進行近岸測站之波高及周期的推算。

在波浪統計部份，本計畫將分析波高與週期的統計關係。Longuet-Higgins(1952)證明了海面上的波高應該近似於 Rayleigh 分佈。Forritall(1978)同意大部分的海上波高機率皆為 Rayleigh 分佈，但是卻容易高估了較大的波高，因此以墨西哥灣暴風雨來臨時的實測波浪資料作為分析依據，提出了另一種有兩參數的 Weibull 分佈模式。Pan(1992)利用中國沿海各地至少三年以上的波浪資料，驗證出海上波高的機率分佈為對數-常態分佈。錢(1991)也提到海面波高的機率分佈為常態分佈；此外，Guedes(2001)也根據葡萄牙的港外波高資料，証實出波高合適的機率分佈為 Weibull 分佈；Satheesh 等人(2005)則以印度 Alleppey 的波高資料作機率分佈，也說明了其波高分佈以 Weibull 分佈最佳。

另外，在週期方面則有，Rayleigh(1952) 提出如果水面的變化是常態分佈，且波譜也符合窄頻條件的話，那麼風波場裡的週期分佈，就可以用 Rayleigh 模式來描述。Bretschneider(1959)亦曾提出週期的平方成 Rayleigh 分佈的建議。Erlang(1917)提出 Erlang 分佈理論，其為 Gamma 分佈中的特殊分佈理論，當 Erlang 分佈中的變數 λ 為 1 時，Erlang distribution 會趨近於 exponential distribution；變數 λ 越來越大時，Erlang 分佈就會接近一個常態分佈。Nair 等(2002)提出將 Erlang 分佈應用在波浪週期分佈上，提出平均週期、示性週期、平均最大週期、出現頻率最多的最大週期及週期極值等 5 個理論值，與實際波浪資料比較後，證明 Erlang 分佈應用在波浪週期上之正確性。

本年度(96)則繼續測試及修正先前(95 年度)之船舶動態預報模式，藉以提高模式預報的準確度。本年度之模式建構則以輸入參數與輸出值之間的關係，藉以檢定輸入參數是否適合描述輸出值，以便選擇合適的輸入參數，提高模式推算的準確性。輸入參數(颱風參數)與輸出值可能因為資料收集的遺失影響學習結果，並降低模式計算的準確性。因此，本計畫將利用統計方法、經驗公式及相關理論式尋找、建

立適合的轉移函數，降低模式輸出的誤差值，此對類神經模式之計算精度具有提升之作用。於波浪統計方面，本計畫則進行安平港與台北港波浪週期、波高之機率分佈探討、波高週期之聯合分佈最適函數及其特性分析與波浪長週期特性之研究等，最後則建立波浪統計模式。

第二章 颱風與船舶動態特性分析

颱風強弱影響波浪大小，波浪大小影響港池之靜穩度，而港池靜穩度則關係船隻停泊或者出港避浪等不同的動態。簡和曾(1999)所述颱風波浪大小與颱風行進路徑及強度規模有關；而波浪是由風吹過海面而造成的，風愈大波浪亦愈高；颱風中心與花蓮港之角度影響颱風波浪是否直接侵襲花蓮港而造成花蓮港之共振，張與郭(1999)發現以外海入射波向為西南向(SE)波浪對花蓮港港池靜穩定之影響最大。張和錢(2003)發現當颱風距離推算點在 1500 公里以內時，波高隨著颱風的接近明顯升高，由此可知，波高與距離有著明顯的關係。95 度計畫則將影響船隻動態的因子做類神經網路之輸入值，包括：颱風路徑、颱風規模、風速、颱風中心與花蓮港之角度與颱風中心之經緯度等六個影響船隻動態的颱風參數，並完成船舶動態類神經網路預警模式。本年度(96)計畫之船隻動態紀錄表已更新至 94 年，95 年颱風皆不影響花蓮之船隻動態，因此無花蓮港船隻動態紀錄，示如附錄 1。95 年度之計畫將每場颱風僅取一天之時間，且為 6 小時取一次之數據，作為神經網路之學習資料，於學習及推算過程中仍有些許誤差，本年度(96)將對颱風因子進行重新分析，以新的因子作為類神經網路之輸入值，以修正去年度完成之船舶動態預警類神經網路模式。

2.1 船舶動態與颱風特性

本計畫根據此九種颱風路徑分類法，花蓮港港務局提供民國 85 年至 94 年之船隻動態表中有關颱風共 68 場整理其相關影響因子，颱風路徑、颱風規模、風速、颱風中心與花蓮港之角度與颱風中心之經緯度等。由路徑分類可示如表 2.1。由表 2.1 發現第 6 種路徑最多，共有 37 個；其次為第 5 種路徑有 10 個，而第 2、4、9 種路徑最少。另外，由花蓮港務局持續觀察花蓮港港池受颱風影響之狀況，影響港池之程度概取決於颱風之路徑、強度、暴風圈範圍及其行進速度等因素，就

台灣東部海域之颱風對花蓮港港池狀況之影響歸納進行 7 種路徑分類，路徑分類可示如表 2.2，路徑說明如下：

1. 由台灣西南方之南中國海生成之颱風由巴士海峽約朝東北向進入台灣東南海域並持續遠離台灣者，均不至對花蓮港港池造成共振現象。
2. 由台灣東北部外海生成之颱風朝西南向接近台灣而未直接侵襲花蓮者，亦不至對花蓮港港池造成共振現象。
3. 在菲律賓呂宋島東方海域生成之颱風朝西向通過呂宋島者，亦不至對花蓮港港池造成共振現象。
4. 在菲律賓呂宋島東方海域生成之颱風朝西北向接近台灣並直接侵襲花蓮者，影響最為嚴重。
5. 在菲律賓呂宋島東方海域生成之颱風朝西北向接近台灣再轉北北西或轉北由花蓮外海通過者，影響亦甚顯著。
6. 在菲律賓呂宋島東方海域生成之颱風朝西北向接近台灣由台灣南端或巴士海峽通過者，影響亦稱明顯。
7. 在菲律賓呂宋島東方海域生成之颱風朝西北，在距台灣尚遠時，緯度即高過花蓮者，在未接近台灣前即轉北北西或轉北由台灣東部外海通過，甚至轉北北東、東北而遠離台灣東部外海者，亦稍有影響或甚至無影響。

其中，1-3 類對花蓮港幾乎無影響，4、5、6、7 類的颱風波浪對花蓮港影響差異甚大。上述分類方式係港務局針對花蓮港之船舶管理而自行制訂，因此本模式將採用該歸類方式進行模式建構。

颱風風速之分類示如表 2.3。本計畫依照 Saffir-Simpson 之分類標準，將颱風規模依據颱風中心氣壓及最大風速分為五級，每級各約有 9-18 個。由表 2.4 蒲福風級表(Beaufort Scale)可知當風速越大，波高則越大，風速與波高有著明顯的關係，因此，本計畫亦將風速納入影響因子中。

表 2.1 颱風路徑歸類表

颱風路徑	颱風名稱	個數
1	溫妮(Winnie, 1997)、辛樂克 (Sinlake, 2002)、蘭寧 (Rananim, 2004)、艾利 (Aere, 2004)、馬莎 (Masta, 2005)	5
2	賀伯 (Herb, 1996)、海棠 (Haitang, 2005)、泰利 (Talim, 2005)	3
3	安珀 (Amber, 1997)、奧托 (Otto, 1998)、碧利斯 (Bilis, 2000)、桃芝 (Toraji, 2001)、龍王 (Longwang, 2005)	5
4	莫拉克 (Morakot, 2003)	1
5	莎莉 (Sally, 1996)、貝絲 (Beth, 1996)、瑪姬 (Maggie, 1999)、山姆 (Sam, 1999)、貝碧佳 (Bebinca, 2000) 尤特 (Utor, 2001)、尹布都 (Imbudo, 2003)、科羅旺 (Krovanh, 2003)、杜鵑 (Dujan, 2003)、珊瑚 (Sanvu, 2005)	10
6	魏萊特 (Violet, 1996)、薩恩 (Zane, 1996)、戴兒 (Dale, 1996)、伊莎 (Isa, 1997)、歐珀 (Opal, 1997)、彼得 (Peter, 1997)、羅西 (Rosie, 1997)、蒂娜 (Tina, 1996)、楊妮 (Yanni, 1998)、瑞伯 (Zeb, 1998) 凱特 (Kate, 1999)、歐佳 (Olga, 1999)、奇洛基 (Kirogi, 2000)、雷馬遜 (Rammasun, 2002)、科吉拉 (Kujira, 2003)、艾陶 (Etau, 2003)、米勒 (Melor, 2003)、蘇迪勒 (Soudrlor, 2003)、梅米 (Maemi, 2003)、海燕 (Haiyan, 2003)、盧比 (Lupit, 2003)、巴比崙 (Prapiroon, 2000)、凱沙娜 (Ketsana, 2003)、舒達 (Sudal, 2004)、妮妲 (Nida, 2004)、康森 (Conson, 2004)、敏督利 (Mindulle, 2004)、梅姬 (Megi, 2004)、佳芭 (Chaba, 2004)、納坦 (Nock-Ten, 2004)、桑達 (Songda, 2004)、米雷 (Meari, 2004)、馬鞍 (Man-On, 2004)、陶卡基 (Tokage, 2004)、桑卡 (Sonca, 2005)、尼莎 (Nesat, 2005)、娜比 (Nabi, 2005)、卡努 (Khanun, 2005)	37
7	葛樂禮 (Gloria, 1996)、奇比 (Chebi, 2001)、丹恩 (Dan, 1999)	3
8	艾文 (Ivan, 1997)、維琪 (Vicki, 1998)、象神 (Xangsane, 2000)	3
9	芭比絲 (Babs, 1998)	1

表 2.2 花蓮港務局颱風路徑歸類表

颱風路徑	颱風名稱	個數
1	凱姆 (Cam)、維琪 (Vicki)、西馬隆 (Cima)、諾古力 (Noguri)、南卡 (Nangka)、米勒 (Melor)、康森 (Conson)	7
2	寶發 (Bopha)、納莉 (Nari)	2
3	貝絲 (Beth)、費絲 (Faith)、科羅旺 (Krovanh)、康伯斯 (Kompasu)	4
4	安珀 (Amber)、碧利斯 (Bilis)、桃芝 (Toraji)、敏督利 (Mindulle)、納坦 (Nock-Ten)	5
5	賀伯 (Herb)、瑞伯 (Zeb)、柯吉拉 (Kujira)、妮妲 (Nida)、陶卡基 (Tokage)	5
6	葛樂禮 (Gloria)、莎莉 (Sally)、奧托 (Otto)、瑪姬 (Maggie)、山姆 (Sam)、丹恩 (Dan)、奇比 (Chebi)、尤特 (Utor)、利奇馬 (Lekima)、尹布都 (Imbudo)、莫拉克 (Morakot)、杜鵑 (Dujuan)	12
7	魏萊特 (Violet)、薩恩 (Zane)、戴兒 (Dale)、歐珀 (Opal)、彼得 (Peter)、羅西 (Rosie)、蒂娜 (Tina)、溫妮 (Winnie)、艾文 (Ivan)、歐佳 (Olga)、巴特 (Bart)、奇洛基 (Kirogi)、巴比侖 (Prapiroon)、雅吉 (Yagi)、海燕 (Haiyan)、雷馬遜 (Ramasun)、艾陶 (Etau)、梵高 (Vanco)、梅米 (Maemi)、凱莎娜 (Ketsana)、盧碧 (Lupit)、舒達 (Sudal)、馬鞍 (MA-ON)、蘭寧 (Rananim)、梅姬 (Megi)、佳芭 (Chaba)、艾利 (Aere)、桑達 (Songda)、米雷 (Meari)	29

表 2.3 Saffir-Simpson 的颱風規模分類標準

颱風規模	壓力 (mb)	風速 (knts)
1 級颱風	>980	64~82
2 級颱風	965~980	83~95
3 級颱風	945~965	96~112
4 級颱風	920~945	113~134
5 級颱風	<920	>134

表 2.4 蒲福風級表

蒲福風級	名稱		風速		浪高	
	風	浪	每時海哩	每秒公尺	一般	最高
0	無風	-	1 以下	0-0.2	0	0
1	軟風	微波	1-3	0.3-1.5	0.1	0
2	輕風	微波	4-6	1.6-3.3	0.2	0.3
3	微風	小波	7-10	3.4-5.4	0.6	1
4	和風	小浪	11-16	5.5-7.9	1	1.5
5	清風	中浪	17-21	8.0-10.7	2	2.5
6	強風	大浪	22-27	10.8-13.8	3	4
7	疾風	大浪	28-33	13.9-17.1	4	5.5
8	大風	巨浪	34-40	17.2-20.7	6	7.5
9	烈風	猛浪	41-47	20.8-24.4	7	10
10	狂風	猛浪	48-55	24.5-28.4	9	12.5
11	暴風	狂濤	56-63	28.5-32.6	11.5	16
12	颶風	狂濤	64-71	32.7-36.9	14 以上	16 以上
13	颶風	狂濤	72-80	37.0-41.4	14 以上	16 以上
14	颶風	狂濤	81-89	41.5-46.1	14 以上	16 以上
15	颶風	狂濤	90-99	46.2-50.9	14 以上	16 以上
16	颶風	狂濤	100-108	51.0-56.0	14 以上	16 以上
17	颶風	狂濤	109-118	56.1-61.2	14 以上	16 以上

張和錢(2003)整理分析颱風中心位置距離觀測站的距離與觀測站的指示波高的關係圖，如圖 2.1 所示。圖 2.1 可以發現當颱風距離推算點在 1500 公里以上時波高與颱風無明顯關係，若在 1500 公里以內則波高與距離有著明顯的關係。本計畫依花蓮港之船舶動態紀錄表整理及分析在颱風來臨期間，共分成四種船隻動態分別為

- (1) 花蓮港內之船隻與其裝卸作業皆未受影響。
- (2) 花蓮港內產生湧浪，但湧浪並未大到影響裝卸作業，船隻亦不需出港避風。
- (3) 產生之湧浪大到船隻需出港避風，才能免除斷纜的可能。
- (4) 船隻產生了斷纜。

船隻發生斷纜可能造成船隻在港內任意漂泊進而造成船隻更嚴重之船隻異動，如可能與港內其他之船隻產生破撞等。因此，我們將斷纜歸於最嚴重之船隻異動指數 4，並依據對船隻異動之嚴重性，將定義為四個等級的船隻異動指數(Index for ship escape, ISE)。

根據此 4 個船隻異動指數，並將 68 個颱風加以分類，示如表 2.5。由表 2.5 及附錄 1 可知 68 場颱風中有 29 場造成船隻的斷纜，有 10 場颱風對船隻沒有造成影響，15 場颱風有湧浪的產生，15 場颱風船隻需出港避風的情形。

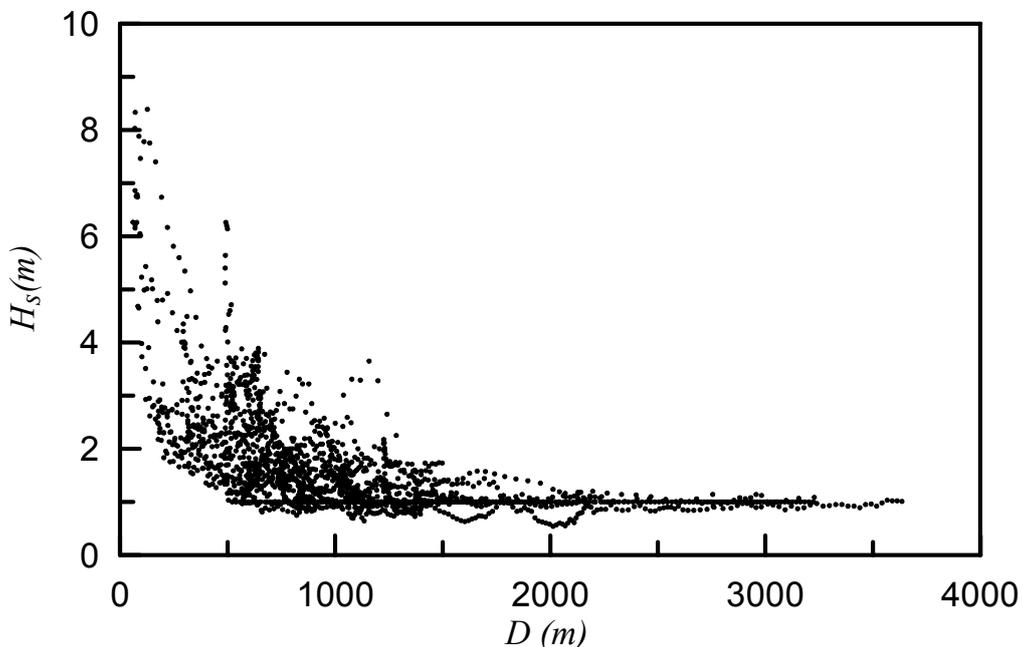


圖 2.1 颱風距離與觀測站示性波高關係(見張和錢(2003))

表 2.5 颱風之船隻異動指數歸類表

船隻異動指數	颱風名稱	個數
1	貝絲 (Beth, 1996)、維琪 (Vicki, 1998)、凱特 (Kate, 1999)、貝碧佳 (Bebinca, 2000)、巴比崙 (Prapiroon, 2000)、海燕 (Haiyan, 2001)、凱莎娜 (Ketsana, 2003)、康森 (Conson, 2004)、蘭寧 (Rananim, 2004)、梅姬 (Megi, 2004)	10
2	彼得 (Peter, 1997)、蒂娜 (Tina, 1997)、楊妮 (Yanni, 1998)、丹恩 (Dan, 1999)、辛樂克 (Sinlake, 2002)、莫拉克 (Morakot, 2003)、科羅旺 (Krovanh, 2003)、科羅旺 (Krovanh, 2003)、梅米 (Maemi, 2003)、妮妲 (Nida, 2004)、佳芭 (Chaba, 2004)、米雷 (Meari, 2004)、馬鞍 (Ma-On, 2004)、桑卡 (Sonca, 2005)、尼莎 (Nesat, 2005)	15
3	魏萊特 (Violet, 1996)、戴兒 (Dale, 1996)、羅西 (Rosie, 1997)、瑪姬 (Maggie, 1999)、山姆 (Sam, 1999)、奇洛基 (Kiroji, 2000)、奇比 (Chebi, 2001)、尤特 (Utor, 2001)、柯吉拉 (Kujira, 2003)、杜鵑 (Dojuan, 2003)、米勒 (Melor, 2003)、舒達 (Sudal, 2004)、桑達 (Songda, 2004)、納坦 (Nock-Ten, 2004)、海棠 (Haitang, 2005)、卡努 (Khanun, 2005)	15
4	葛樂禮 (Gloria, 1996)、賀伯 (Herb, 1996)、莎莉 (Sally, 1996)、薩恩 (Zane, 1996)、伊莎 (Isa, 1997)、歐珀 (Opal, 1997)、溫妮 (Winnie, 1997)、安珀 (Amber, 1997)、艾文 (Ivan, 1997)、奧托 (Otto, 1998)、瑞伯 (Zeb, 1998)、芭比絲 (Babs, 1998)、歐佳 (Olga, 2000)、碧利斯 (Bilis, 2000)、象神 (Xangsane, 2000)、桃芝 (Toraji, 2001)、雷馬遜 (Rammasun, 2002)、蘇迪勒 (Soudelor, 2003)、尹布都 (Imbudo, 2003)、艾陶 (Etau, 2003)、盧比 (Lupit, 2003)、敏督利 (Mindulle, 2004)、艾利 (Aere, 2004)、陶卡基 (Tokage, 2004)、馬莎 (Masta, 2005)、珊瑚 (Sanvu, 2005)、泰利 (Talim, 2005)、娜比 (Nabi, 2005)、龍王 (Longwang, 2005)	29

船隻異動指數 1：花蓮港內之船隻與其裝卸作業皆未受影響。

船隻異動指數 2：花蓮港內產生湧浪，但湧浪並未大到影響裝卸作業，船隻亦不需出港避風。

船隻異動指數 3：產生之湧浪大到船隻需出港避風，才能免除斷纜的可能。

船隻異動指數 4：船隻產生了斷纜。

2.2 颱風風速及方位角對船舶動態的影響

本計畫對於颱風風速及颱風中心至花蓮港之方位角對船隻異動指數進行分析，示如圖 2.2 及 2.3。由圖 2.2 可看出船隻異動指數 1 分布於 75~175knots 的範圍，指數 2~4 則其風速分布在 55~295 knots 的範圍，指數 2~4 之颱風風速指數 1 之風速較無鑑別度，顯示颱風風速必非直接影響船隻異動。另外，由圖 2.3 可知，影響花蓮港船舶動態，以花蓮港之緯度為界 0~150 度及-60~0 度，且各指數之分佈範圍約略相似。由風速及方位角對異動指數之關係，可知兩者之分佈較分散，雖無一定之規則及不易辨識，但該兩參數仍是可定性描述影響異動指數之關係。因此，本計畫將應用類神經網路之學習及對機制不明顯之描述功能，予以分辨風速及方位角對異動指數之影響。

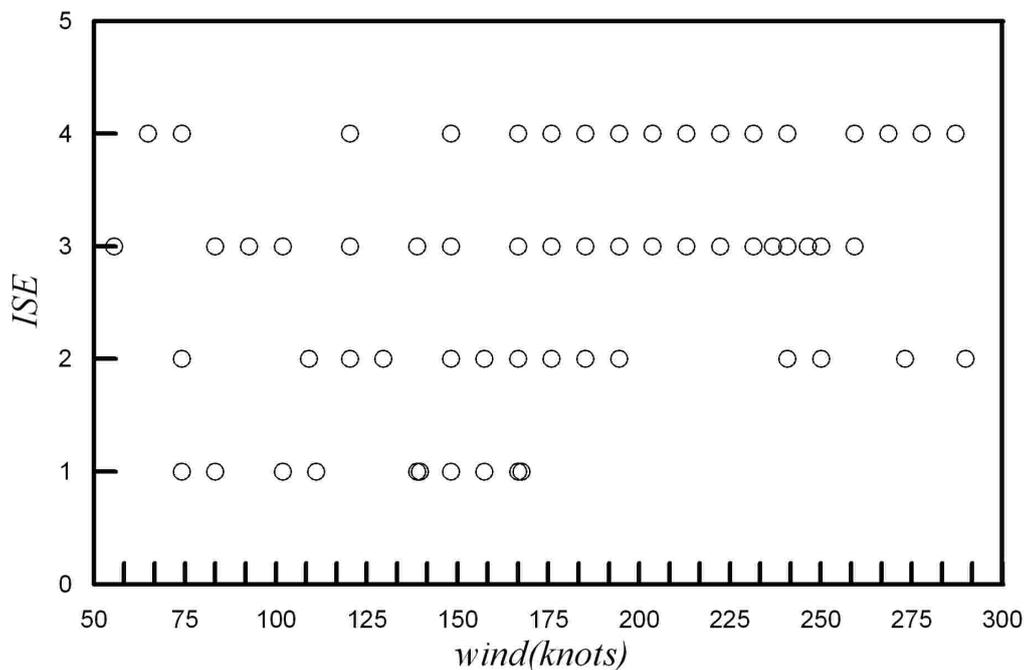


圖 2.2 颱風風速與船隻異動指數關係圖

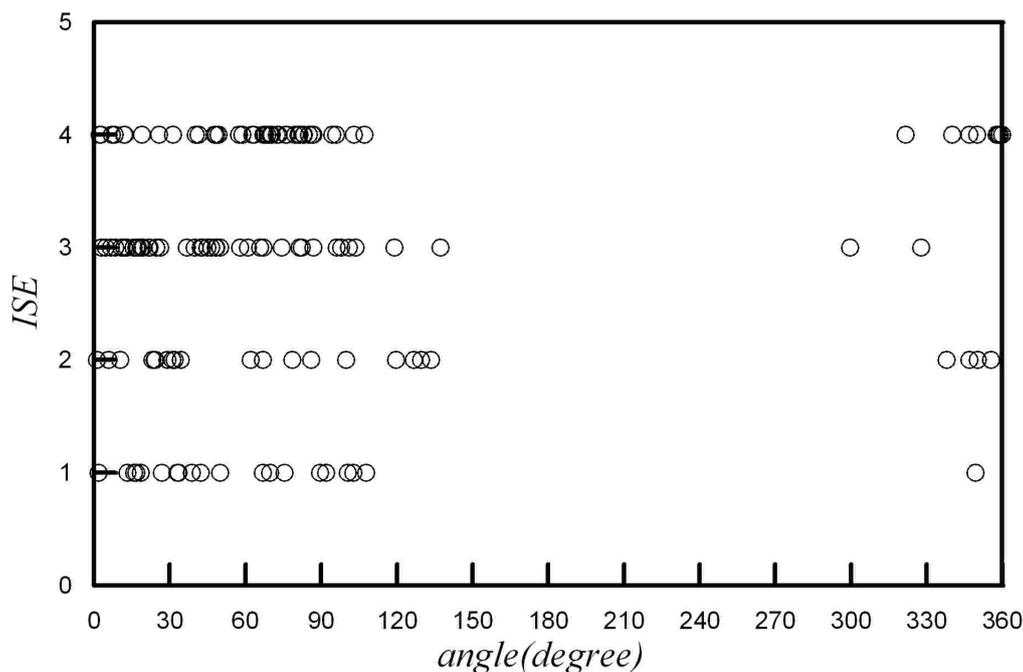


圖 2.3 颱風中心至測站方位角與船隻異動指數關係圖

2.3 輸入資料之設定與修正

本計畫依花蓮港記錄的船舶動態資料，將模式學習目標 ISE 設定共分 1-4 級，考慮記錄資料當時發佈船隻出港警訊 ISE 3 後，颱風持續接近後並無發佈提高 ISE 等級的警訊，因此，當颱風直撲或氣象局對花蓮港區域發佈颱風陸上警報時，將修正 ISE 3 提升至 ISE 4。由 95 年度之颱風影響船舶動態參數颱風動態參數為颱風路徑、颱風所處經緯度、颱風規模、颱風風速及颱風中心與花蓮港之方位角等皆屬於連續的函數，相對應顯示的 ISE 預報的 4 個等級屬於步階函數。

因此，學習及預測的過程不容易提高準確度，考慮颱風事件與距離由直接的關係且距離的尺度較大的條件下，將步階函數性質的資料 (ISE) 除以距離的對數進行修正，使步階函數轉換成為接近連續的函數的性質呈現，以提高類神經網路學習的能力並降低誤差。經過 95 年度之研究結果與相關資料綜合分析，原始模式經修正後，選用颱風與花蓮港距離 (D)、颱風最大風速 (V_{max})、颱風中心至花蓮港之角度 (θ_1)、颱風行進方位角 (θ_2)、風場能量 $E_n(V_{max}/\text{Log}(D))$ 與中央氣象局發佈之海、

陸上警報(WI, Warning Index)等六個影響船隻動態的颱風因子建立颱風與ISE間的關係，其相關因子之示意圖如圖 2.4 所示。其中，海上颱風警報定義為：颱風七級暴風圈二十四小時後進入臺灣或金門、馬祖海岸線一百公里以內海域時發布，之後每三小時發報一次，必要時得加發之。海、陸上颱風警報定義為：預測颱風七級暴風圈十八小時後進入臺灣或金門、馬祖陸上時發布，之後每一小時發報一次。必要時得同時發布海上陸上颱風警報，不受上列條件所規範。解除颱風警報定義為：當颱風的七級風暴風範圍離開臺灣或金門、馬祖陸地，但仍未離一百公里近海時，改發海上颱風警報；當確定颱風離開一百公里近海時，即發布解除警報。颱風轉向或消散時，得直接解除颱風警報。

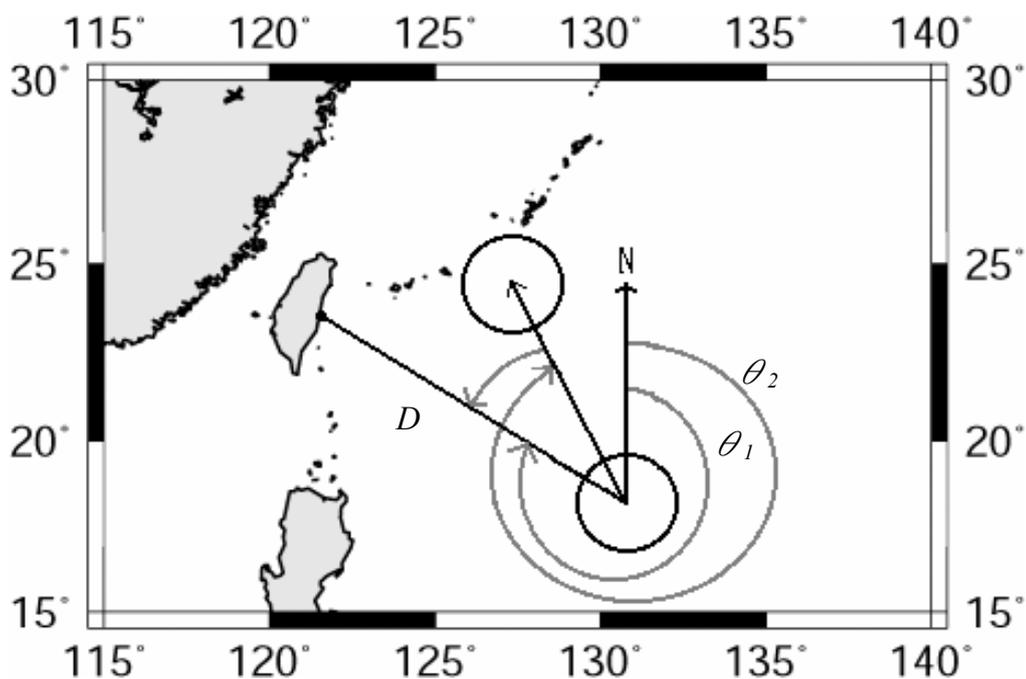


圖 2.4 影響船舶動態之颱風因子示意圖

本計畫以 95 年度建構之船舶動態類神經網路架構為基礎，並將模式修正方向歸納為以下三點：

1. 類神經網路船舶動態預報模式之輸入值將連結颱風預報中心颱風氣象資料，預報資料來源包括：中央氣象局、JTWC 所發佈的颱風 48 小時預測颱風的路徑、規模及移動速度。於颱風可能侵襲花蓮港之

前，由預測的颱風氣象資料推測未來 48 小時船舶在港內受到颱風波浪影響的相對行為，依船舶可能受影響的程度提供 1-4 級不同的警告，以維護船舶及港區之安全，便於管理者提前因應颱風事件確實掌握船隻狀況，隨時準備出港避風降低颱風對船隻的影響。

2. 建立不同類型及颱風路徑的獨立運算模式，依颱風侵台方式歸類進行船舶動態預報。由 94、95 年度的研究結果並參考花蓮港務局對颱風侵襲花蓮港七種路徑，經分析顯示不同種類路徑對花蓮港影響的程度差異甚大。颱風在相似路徑與規模的條件下，每次颱風事件之間的差異如路徑、位置與移動速度間複雜的關係對花蓮港內造成的影響仍有不同。
3. 本計畫將參考花蓮港務局對颱風侵襲花蓮港七種路徑的歸類，以及花蓮港紀錄之船舶動態資料進行分析與建立適當的模式，藉以充分反應七種路徑、颱風運動行為與船舶動態間的關係。

考量颱風路徑及颱風停滯、加速、轉向等行為對颱風波浪的影響時，就必須探討颱風過去時刻的行為。藉由連續時間的資料輸入，可增加輸入參數間的關聯性，如連續時間的颱風的位置可取代颱風移動速度。本計畫將上述修正方式對照 95 年度之模式輸入值，修正颱風動態參數，包括：

1. 本計畫初步依花蓮港務局對颱風侵襲花蓮港七種路徑，配合颱風、船舶動態實測資料進行適當的調整。
2. 配合颱風影響的範圍，以直角座標經緯度表達的方式改為颱風中心與花蓮港距離 D 及颱風中心與花蓮港之方位角 θ_1 等兩個參數，以符合颱風位置與船舶動態的關係。
3. 颱風影響範圍 E_n ，最大風速與距離比 ($V_{max}/\text{Log}(D)$)，此參數的目的在表達不同規模的颱風影響範圍，也可描述不同 E_n 值與 ISE 間的關係。
4. 颱風最大風速 V_{max} ，則表示不同位置下颱風規模與 ISE 的直接關係。
5. 颱風行進之方向角 θ_2 ，則是建立不同位置時颱風風向特性，藉以區分颱風左右半圓與 ISE 間的關係。

6. 海、陸上颱風警報 WI ，則是配合氣象局發佈的預警系統建立與 ISE 的關係，其中 WI 值在颱風生成時為 1，海上警報發佈時為 2，陸上警報發佈時為 3。

藉由上述參數之統計分析，進而可獲得定性上的颱風動態特性，並同時考慮颱風運動軌跡對船舶動態的影響，並將颱風動態參數時間序列資料對船舶動態進行關聯性分析。

第三章 船隻動態預警模式之建構

3.1 類神經網路

類神經網路(Artificial neural network, ANN)是模擬人腦之結構及訊息傳遞的過程，所建立之刺激輸入值及反應輸出值間之關聯模式，對於物理現象本身機制不明、複雜或其推論方程式之建立有遺漏部份，該模式都能以學習過程之方式建立輸入及輸出間之最適化模式，以描述整個物理現象。本文應用類神經網路具有學習最佳化的功能，並透過其模式輸出值與學習目標值間的連結建立起其相關性，利用網路權重(weights)與門限值(bias)來表示其關係的強弱。本文所選取之網路演算法則為倒傳遞法(Back-propagation)，由於倒傳遞網路具有監督式的學習，神經元間的交互作用經由該學習方式求得模式輸出值與實際值之最小均方根誤差。本文架構神經網路使用 Matlab 軟體來建置倒傳遞類神經網路，如圖 3.1 所示。

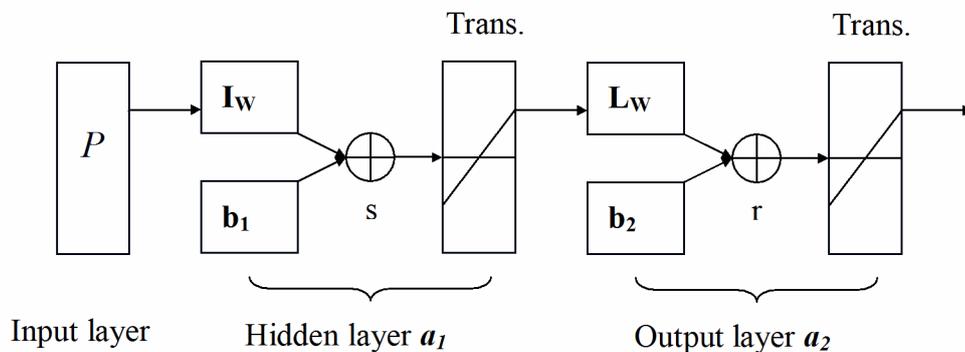


圖 3.1 類神經網路架構示意圖

倒傳遞學習演算法是被廣泛使用的一種學習演算法，因其具有學習及回想的功能，故可在回想過程中以相同於學習過程的方式來進行預測。一般倒傳遞網路可分為三部份，輸入層用以接受外在環境的訊息，隱藏層則表現輸入與輸出層各處理單元間的相互關係，並以權重和閾值來闡述該相關性，輸出層用以輸出訊息給外在環境。倒傳遞網

路學習方式是由輸入相當數量之學習樣本，應用向前饋入與誤差向後修正兩步驟，推求輸入變數與輸出變數的內在對映規則，再應用回想功能，進行新案例之輸出變數值推估。

圖 3.1 所架構之網路為一層隱藏層及一層輸出層，*Trans.* 為轉換函數，*s* 及 *r* 為隱藏層及輸出層之神經元個數，其扮演推論結果經由轉換函數映射之過程。*P* 為輸入變數矩陣，*I_w* 和 *b₁* 為輸入層與隱藏層間的權重和閾值矩陣，*L_w* 和 *b₂* 為輸出層與隱藏層間的權重和閾值矩陣。經由網路學習誤差最佳化的過程，神經網路將輸入值及學習目標值的關係紀錄在閾值與權重上，以此表示輸入值與學習目標值間的關係強弱。其中，類神經網路使用轉換函數使隱藏層模仿生物神經元處理非線性的機能，以輸入值之加權乘積和轉換成處理單元之輸出值。整個倒傳遞網路模式由隱藏層與輸入參數及輸出層的關係可用方程式表示為

$$a_{1,s \times 1} = f_{s \times 1} (I_{w,s \times n} P_{n \times 1} + b_{1,s \times 1}) \quad (3.1)$$

$$a_{2,r \times 1} = f_{r \times 1} (L_{w,r \times s} a_{1,s \times 1} + b_{2,r \times 1}) \quad (3.2)$$

其中 *a₁* 為隱藏層之輸出值矩陣，*a₂* 為倒傳遞網路輸出值矩陣，*f* 為轉換函數。藉由上式之運算後求出網路輸出值矩陣 *a₂*，其與學習目標矩陣 *Y* 間之誤差平方定義兩矩陣相減之長度(Norm)為誤差函數 *E*，其表示如下式

$$E = \frac{\|a_2 - Y\|^2}{N} \quad (3.3)$$

因此，整個網路學習的過程為了最佳化各神經元間之權重與閾值使誤差函數達到最小值，反覆迭代其過程使網路輸出值趨近學習目標值。當網路完成學習過程(最佳化過程)，建立最合適的權重和閾值後即可以此網路的回想過程來進行預測分析。以下說明其演算過程，最佳化過程可分為兩類，一為啟發式的最佳化，如可變學習數率(Variable Learning Rate)與有彈性(Resilient)之演算法；另一為使用標準的數值最佳化，如共軛梯度法、擬牛頓法及 Levenberg-Marquardt (L-M)法。一般

而言，在函數逼近的問題上 Levenberg-Marquardt 演算法將有最快之收斂性 (Neural Network Toolbox User's Guide)。因此，本文選擇使用 L-M 演算法做為達到網路誤差函數最小之最佳化過程，該演算法使用 Hessian 矩陣逼近方式來達到最佳的目的，並以下式表示之

$$X_{k+1} = X_k - [J^T J + \mu I]^{-1} J^T e \quad (3.4)$$

其中， X_k 、 X_{k+1} 分別表示每次疊代權重 $\{I_w, L_w\}$ 與門限值 $\{b_1, b_2\}$ 之前後最佳化計算值， J 為 Jacobian 矩陣，其包含網路誤差與權重值和閾值的一階微分， e 為網路誤差向量， I 為單位向量。式(3.4)之 $\mu=0$ 時，則近似牛頓法的 Hessian 矩陣，當 μ 值很大時，式(3.4)則具有較小步階之梯度下降，其目的即為盡可能之快速地移向牛頓法以達到網路誤差最佳化的結果，最後可獲得適應該網路之最佳化權重和閾值(見 Gill, et.al., 1981)。因此，倒傳遞類神經網路經由式(3.1)及式(3.2)計算輸入值經轉換函數映射制模式輸出值，並以式(3.4)作為權重與門限值之最適化反覆迭代計算，其網路學習完成之標準則以式(3.3)來判斷。

3.2 船舶動態預警模式之建立

本計畫由分析船隻動態資料得知，熱帶性低氣壓均未對花蓮港船隻造成影響，因此，依據前章所述之颱風影響船舶動態參數，颱風與花蓮港距離(D)、颱風最大風速(V_{max})、颱風中心至花蓮港之角度(θ_1)、颱風行進方位角(θ_2)、風場能量 $E_n(V_{max}/\text{Log}(D))$ 與中央氣象局發佈之海、陸上警報(WI)等六個影響船隻動態的颱風因子及中央氣象局所發佈颱風未來 48 小時的預測資料，做為類神經網路之輸入值。

本模式將以氣象局或 JTWC 發佈的颱風相關參數結果作為類神經模式之相關輸入值，為了簡化模式的架構，對於固定區域 t_j 時刻颱風與船隻異動指數 ISE 可以表示為颱風資料 D 、 V_{max} 、 θ_1 、 θ_2 、 E_n 、 WI 函數的時序列組合

$$ISE(t_j) = \sum_{i=n}^j a_i f_1(D, V_{max}, \theta_2, \theta_1, E_n, WI; t_i) \quad (3.5)$$

式(3.5)中 a_i 為係數， f_1 為函數， t_j 為時間。

本計畫選擇之學習範例為含蓋 4 種颱風種類、4 種船隻異動指數，選取颱風共 50 個，做為類神經之學習範例。本年度之修正模式採用 2 層隱藏層來表現非線性的效果，本模式之網路架構為輸入神經元為 6 個，輸出層為 1 個為 ISE 值，由經驗與嘗試之測試結果，本計畫之 2 層隱藏層，其神經元分為 80 及 40 個。隱藏層轉換函數則採用對數雙彎曲轉換函數(Log sigmoid transfer function)，而最終迭代次數設定為 1500 代，在誤差平方近似於 0 或迭代次數為 1500 代時之任何一個條件，該網路即停止學習。

表 3.1 為不同路徑之船舶動態預警模式學習誤差平方值與相關係數，其中經過正規化的學習目標範圍在 0 與 1 之間，正規劃後船動態參數為 ISE_{ob} 同時為學習目標，模式推算結果為 ISE_{pr} ，由表 3.1 顯示知路徑 4、5、6 學習結果有較小之誤差平方值與高相關係數，路徑 7 有相對最低的相關係數 0.842，圖 3.2 至 3.13 顯示路徑 4、5、6 及 7 中部分颱風的模式學習目標 ISE_{ob} 與推算結果 ISE_{pr} 的比較。

路徑 4 則有颱風安珀(Amber)、碧利斯(Bilis)、桃芝(Toraji)，如圖 3.2 至 3.4。路徑 5 為颱風賀伯(Herb)、瑞伯(Zeb)、柯吉拉(Kujira)，如圖 3.5 至 3.7，其中除了颱風瑞伯之推估值結果高於實測外，其餘推算結果因颱風行進的方式不同而推估值皆能逐步修正後接近實測值。另外路徑 4 碧利斯(Bilis)颱風和路徑 5 柯吉拉(Kujira)與實測資料有部分差異主要是由於目前模式並未考慮颱風移動速度，故颱風停留時間過長或移動速度提升會造成此現象。路徑 6 為颱風葛樂禮(Gloria)、莎莉(Sally)、奧托(Otto)，圖 3.8 至 3.10，三場颱風多能估算出適當的 ISE_{pr} 值。路徑 7 為颱風魏萊特(Violet)、薩恩(Zane)、戴兒(Dale)，示如圖 3.11 至 3.13，其中魏萊特及薩恩在颱風接近花蓮港前出現湧浪訊號 ISE_{pr} 為 2

之後隨即消失，再隨著颱風接近後模式多能估算出正確的 ISE_{pr} 值。造成類似雜訊的現象原因為模式受限於學習資料只有 48 小時延時的限制，使的學習的容量有限以致學習資料中多場颱風行為在相同位置、運動方向與規模條件下學習目標相同，因而取代少數颱風路徑相似不同的學習結果。綜合比較結果顯示此網路架構之模式有較佳的學習效果。

表 3.1 不同模式之學習結果分析表

預報模式	模式架構	誤差均方值(RMS)	相關係數(r)
路徑 4	6-80-40-1	0.047	0.912
路徑 5	6-80-40-1	0.037	0.920
路徑 6	6-80-40-1	0.038	0.940
路徑 7	6-80-40-1	0.047	0.842

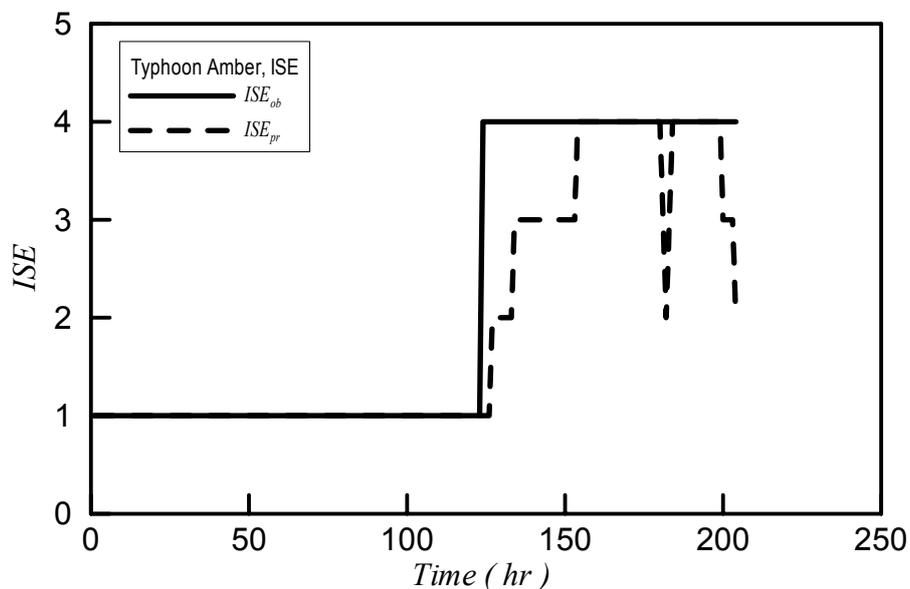


圖 3.2 路徑 4 模式颱風安珀學習結果之比較

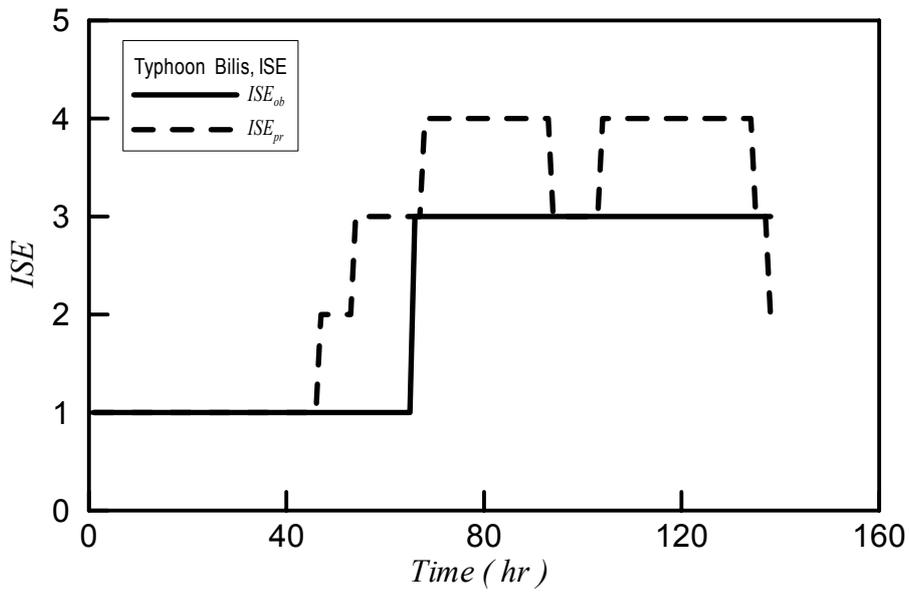


圖 3.3 路徑 4 模式颱風碧利斯學習結果之比較

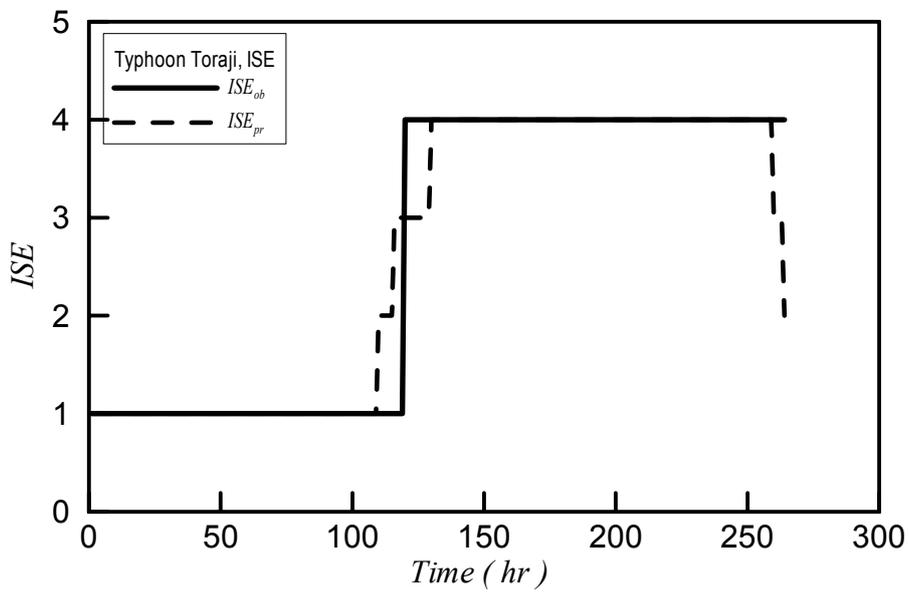


圖 3.4 路徑 4 模式颱風桃芝學習結果之比較

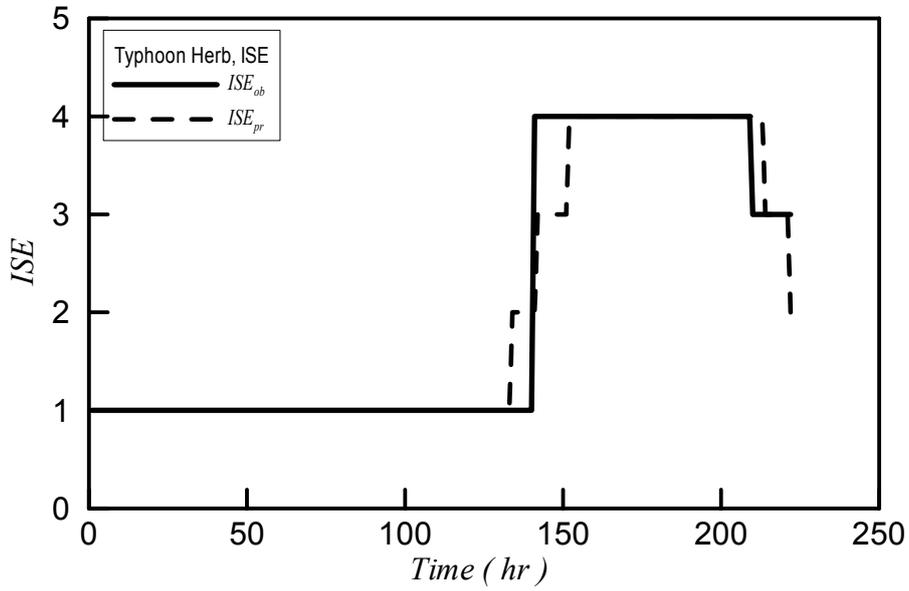


圖 3.5 路徑 5 模式颱風賀伯學習結果之比較

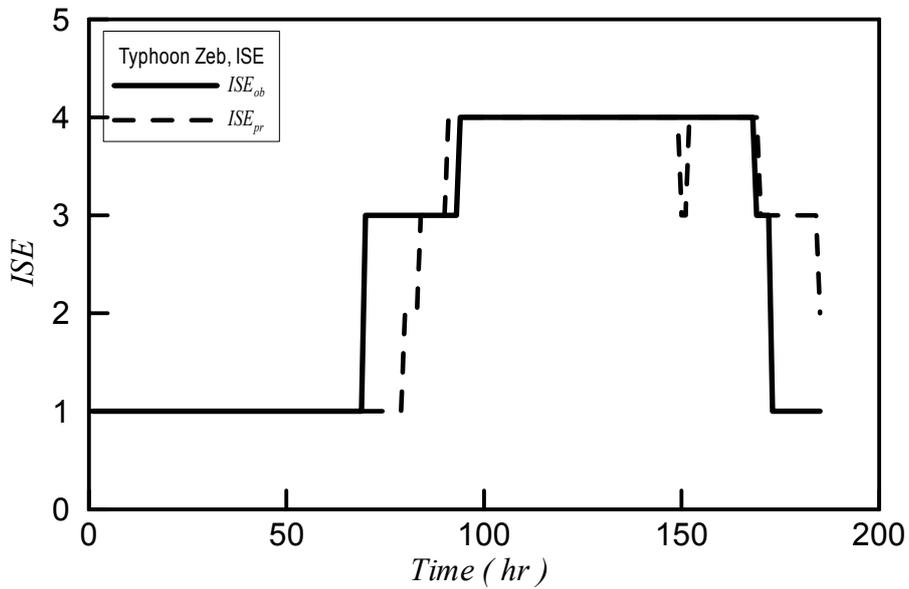


圖 3.6 路徑 5 模式颱風瑞伯學習結果之比較

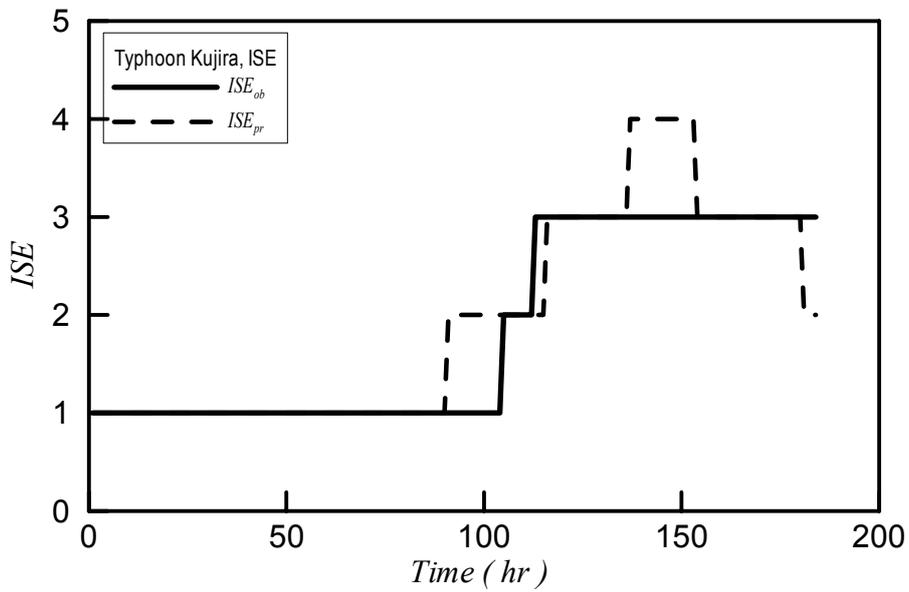


圖 3.7 路徑 5 模式颱風柯吉拉學習結果之比較

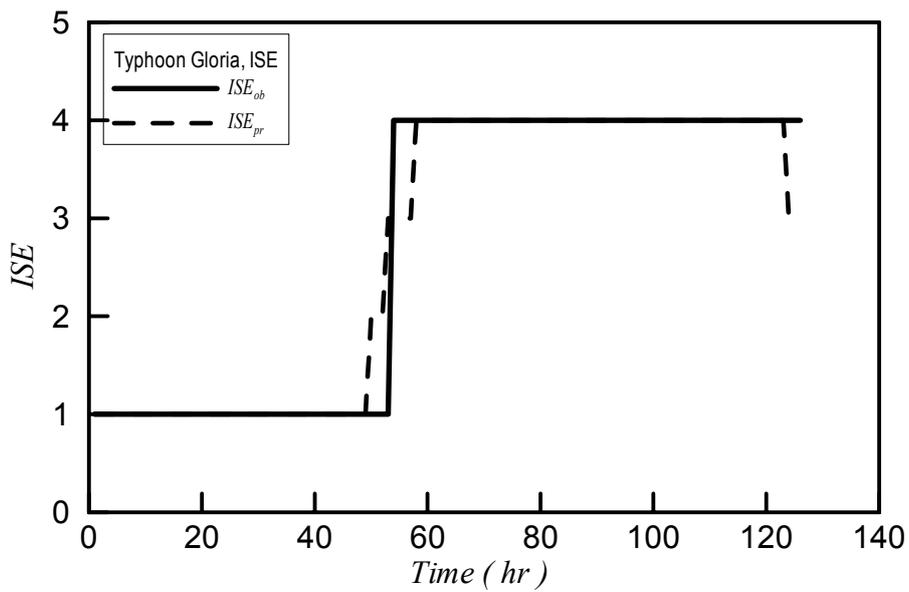


圖 3.8 路徑 6 模式颱風葛樂禮學習結果之比較

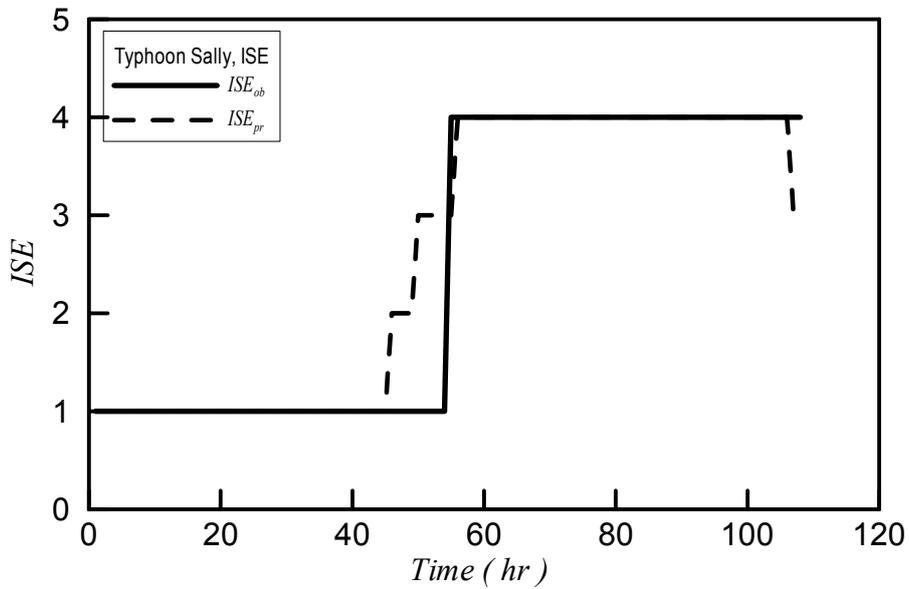


圖 3.9 路徑 6 模式颱風莎莉學習結果之比較

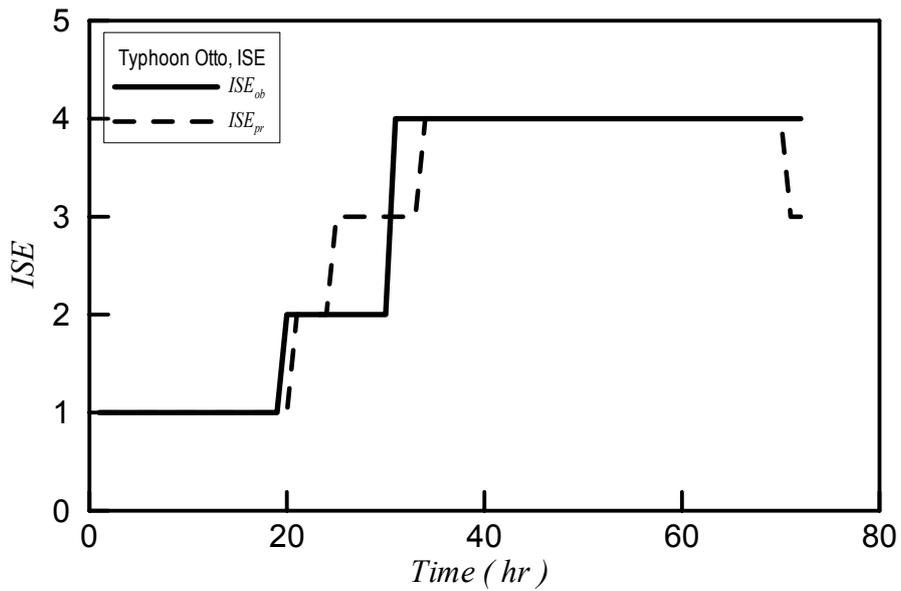


圖 3.10 路徑 6 模式颱風奧托學習結果之比較

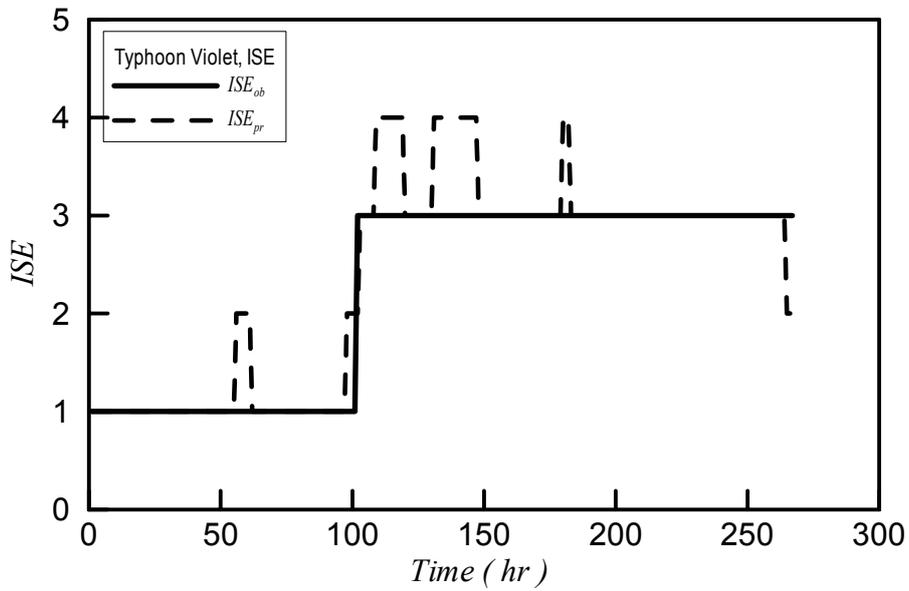


圖 3.11 路徑 7 模式颱風魏萊特學習結果之比較

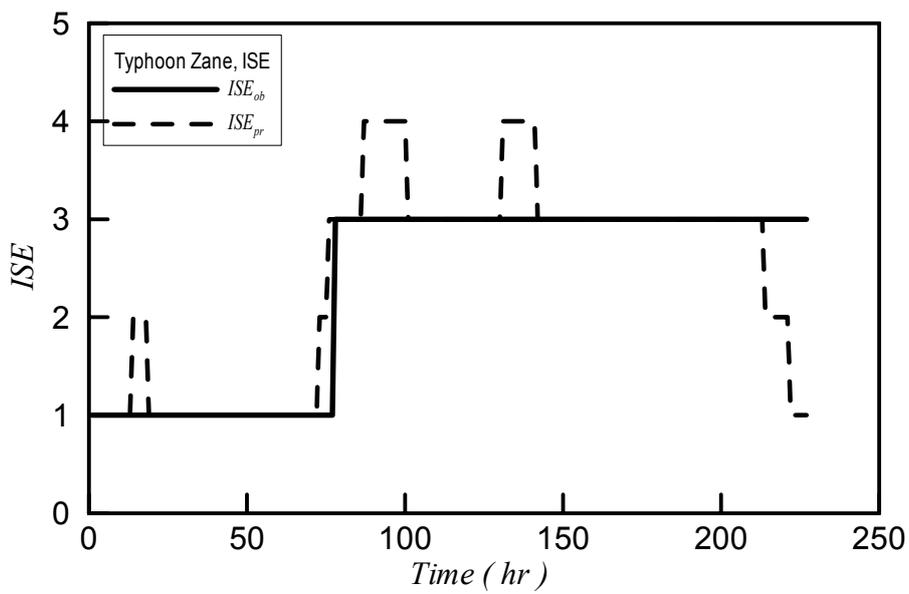


圖 3.12 路徑 7 模式颱風薩恩學習結果之比較

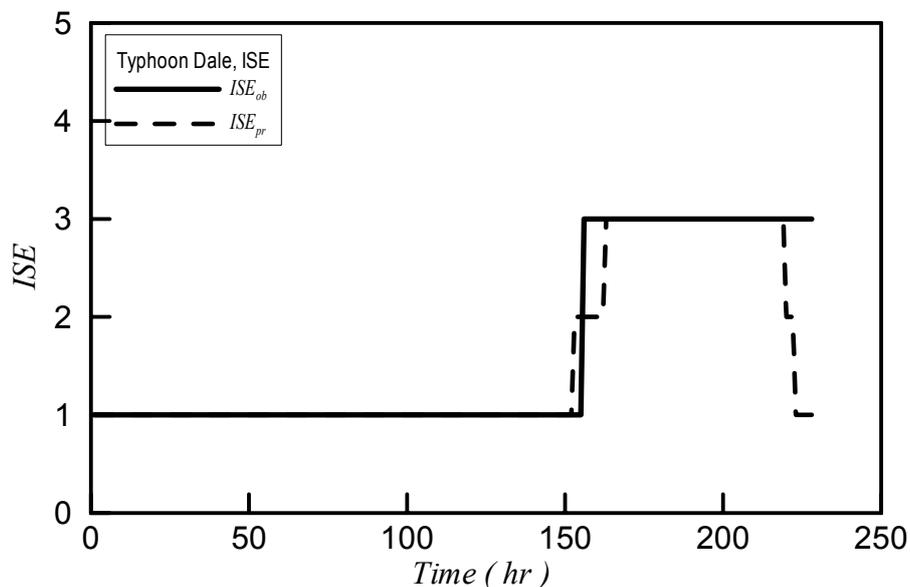


圖 3.13 路徑 7 模式颱風戴兒學習結果之比較

3.3 船舶動態預警模式之驗證

經由上述船舶動態預警網路模式之學習後，本計畫目前以 4 場未經由學習之颱風，來驗證該網路模式之預測能力。模式預測之船隻動態指數為每個小時一筆資料，且將路徑 4 的龍王颱風(Longwang, 2005)、路徑 5 的葛樂禮颱風(Gloria, 1996)、路徑 6 的杜鵑颱風(Dujuan, 2003)與路徑 7 的艾利颱風(Aere, 2004)等颱風以時序之方式呈現，示如圖 3.14 至 3.17，其中 ISE_{ob} 表示花蓮港記錄之船舶動態， ISE_{pr} 表示模式推算模擬的船舶動態。

圖 3.14 為路徑 4 的龍王颱風經由模式推算之預測船隻異動指數時序圖，由模式所預測出龍王颱風的最大船隻異動指數 ISE_{pr} 為 4，亦即會造成船隻斷纜的環境，船隻需出港避風。如圖 3.14 所示模式預測發佈警訊時間較港內事件發生時間約提早 8 小時，模式預測 ISE 等級與港內條件相同。

測試路徑 5 的葛樂禮颱風(Gloria, 1996)，由模式推算所得之預測船隻異動指數結果如圖 3.15，由圖 3.15 可看出每一時間點之船隻異動指數，且由模式預測葛樂禮颱風之最大船隻異動指數 ISE_{pr} 為 4，亦即船隻斷纜。預報的 ISE 值隨著颱風條件逐步由 2 上修到 4，與港內實際環境相當接近。

圖 3.16 為經由模式推算所得路徑 6 的杜鵑颱風(Dujuan, 2003)之預測船隻異動指數。由圖 3.16 可看出每一時間點之船隻異動指數，並可知由模式預測杜鵑颱風之最大船隻異動指數為 ISE_{pr} 4，亦即船隻斷纜有出港避風的必要性。

圖 3.17 為經由模式推算所得路徑 7 的艾利颱風(Aere, 2004)之預測船隻異動指數。圖 3.17 可看出船隻異動指數隨著颱風以左半圓接近的變化， ISE_{pr} 由 2 逐漸上修為 4，並可知由模式預測艾利颱風之最大船隻異動指數為 4，亦即船隻斷纜有出港避風的必要性。

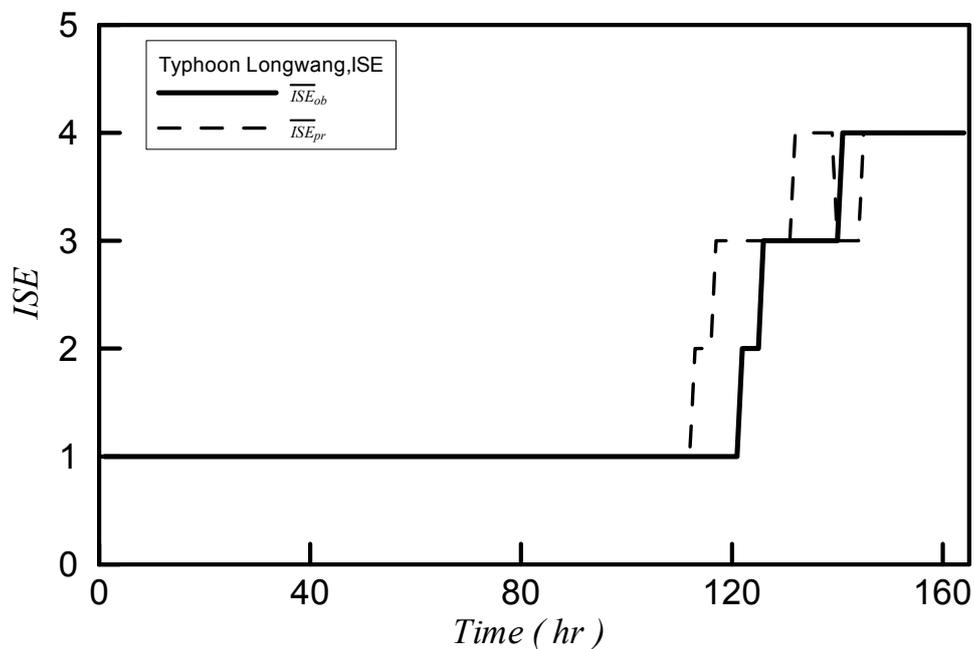


圖 3.14 路徑 4 龍王颱風之模擬船隻異動指數

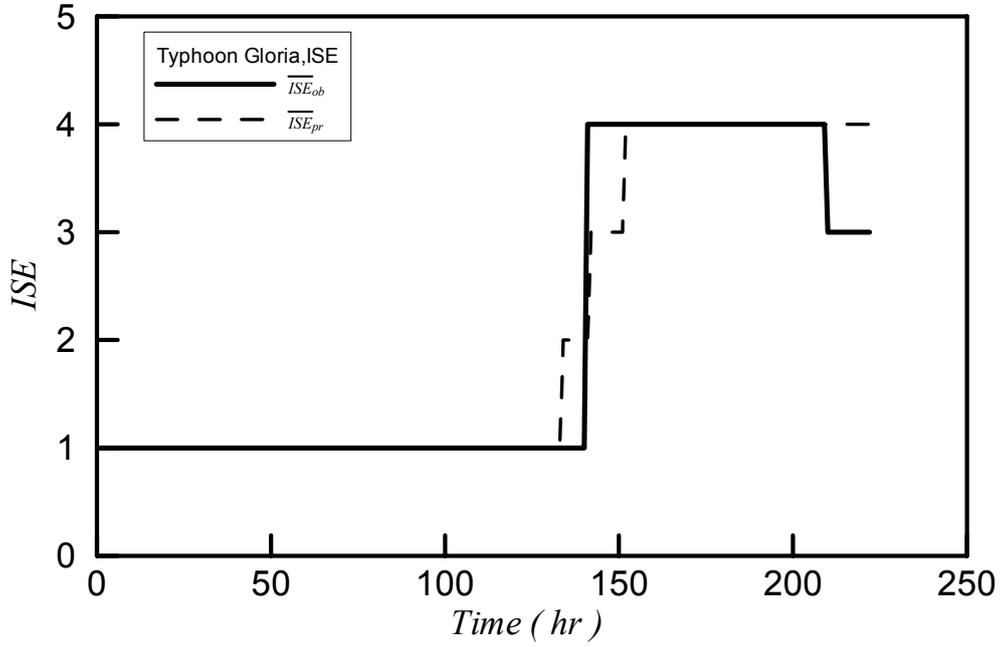


圖 3.15 路徑 5 葛樂禮颱風之模擬船隻異動指數

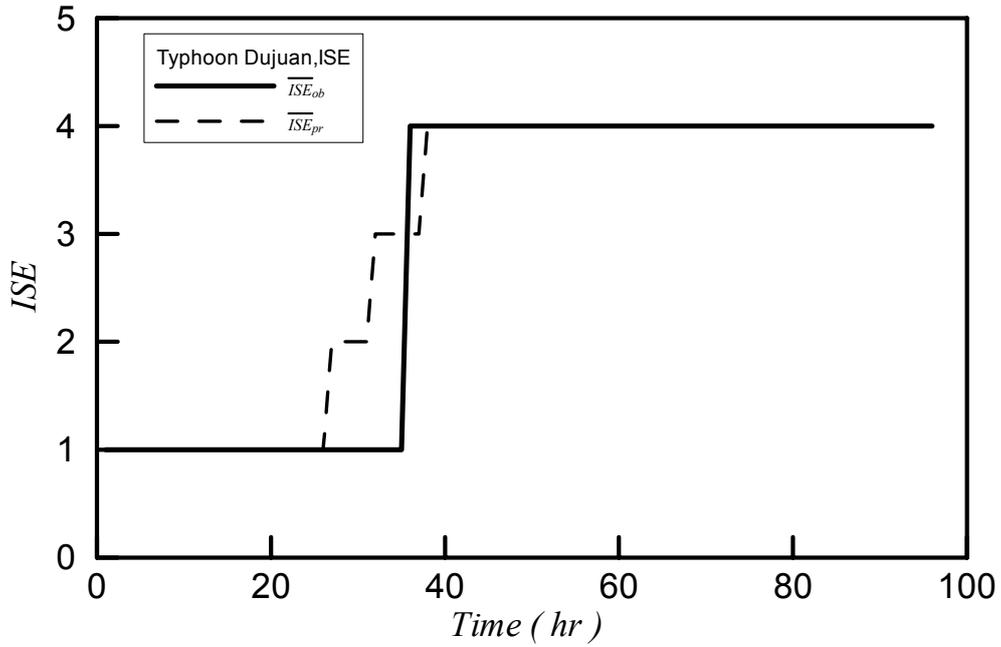


圖 3.16 路徑 6 杜鵑颱風之模擬船隻異動指數

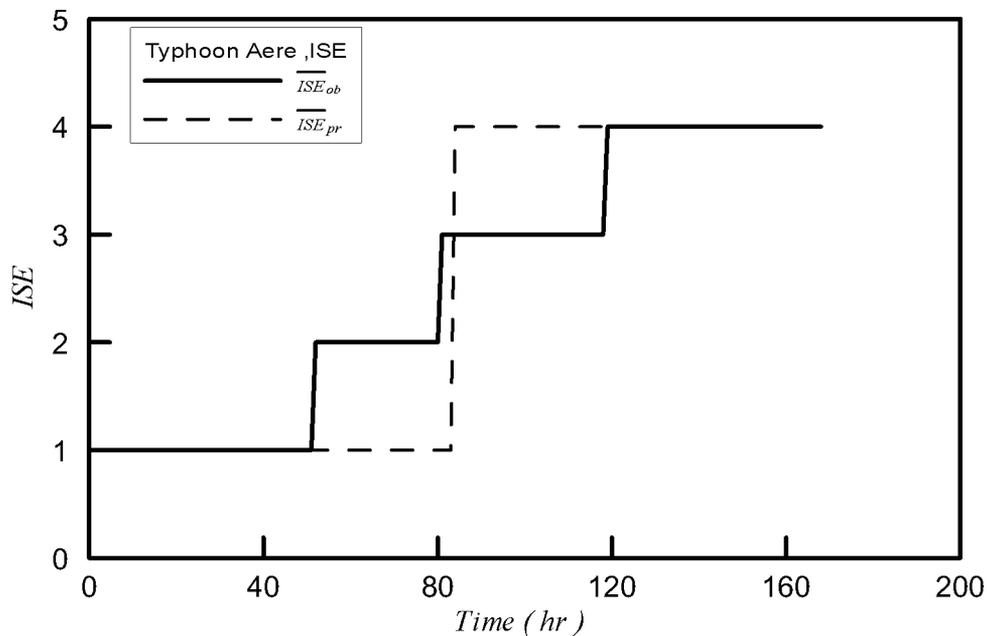


圖 3.17 路徑 7 艾利颱風之模擬船隻異動指數

3.4 視窗化模式之建構與實例操作

3.4.1 圖形化使用者介面之介紹

對於一般使用者而言，在完全沒有程式開發基礎的情況下，想要使用一套工程或研究人員所開發的程式或是模式來說，是一項非常大的挑戰。所以在本年度的工作項目主要為開發颱風波浪預測模式的圖形化使用者介面(Graphical User Interface)的觀念。此介面基本上是以之前年度計畫所開發的颱風波浪預測模式為核心計算模組，加上人性化的操控介面整合而成。此外本介面融合許多外部的資料處理步驟，省去大量操控程序，縮短整體操作上的時間與流程。在介面外觀方面，採用類似一般使用者常接觸的 Windows 介面樣式來作設計，圖形化的表現能提升本介面與使用者之間的互動。而此介面的建立與整合，可視為未來發展全自動監測預報系統的前置研究。

本研究初步構想的圖形化使用者介面有四個主要目標，詳述於下：

1. 擴展使用者族群

近年來在專業領域中的應用程式開發，不論是在任何一種作業平台上，都開始趨向於採用對於使用者較為友善的圖形化介面。其目的除了介面視覺上的美觀之外，還能由圖示選項來代替原本程式操作所需要用的指令。如此一來可使原本颱風波浪預報模式的使用者，由原本所需要的富有程式操控能力且有颱風波浪相關知識的工作人員，擴展到擁有颱風波浪相關知識的工作人員，示如圖 3.18。

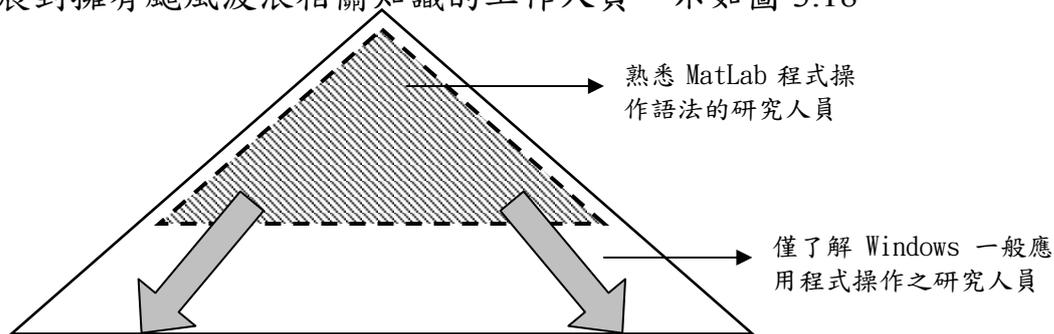


圖 3.18 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化

圖 3.18 為表示所有研究人員中對 Matlab 程式操作語法之能力分布圖，位於金字塔行分布圖頂部的斜線區域中的是較少數熟悉 Matlab 程式操作的研究人員，本介面的發展，可以將颱風波浪預測模式的使用者族群擴展至所有了解一般應用程式之研究人員。使得本模式的使用範圍更為廣泛，使用者所需具備的程式操控能力限制將會大幅降低。詳細的圖形介面以及完整的說明文件可以讓不具有程式語言能力的使用者輕鬆地就可以利用本介面進行颱風波浪的預測與評估。使用者只要熟練滑鼠的基本操作(單擊、雙擊、拖曳)，幾乎可以完成絕大部分的操作指令。

2. 縮短模式操作程序時間

原有船舶動態預警模式之中的工作程序，可簡單分為：

- (1)輸入資料整合

在船舶動態預警模式的輸入資料整合的部分包括颱風中心位置與風速之資料檢核，目的在於確定輸入的資料固定為每小時一筆，故所有的資料在此步驟需作補遺且經過嚴格的比對。在本圖形化介面輸入的部分是利用圖形化的友善介面進行輸入檔案的選取並會對輸入資料長度進行長度檢核，而資料的內插與補遺由於需要更多的人為判斷，故將此動作移至外部的作業程序。

(2)由輸入資料計算模式所需參數

經由以上遊圖形介面選取所需要的輸入資料檔案後，還需要進行一些參數的計算如颱風行進速度、颱風中心距離、颱風行進方向定義以及較為複雜的風場模式計算，這些繁瑣的步驟都能在資料輸入後直接整合進行運算並以矩陣的方式儲存於記憶體中，以便於後續程式即時讀取使用。

(3)模擬(Simulation)

本圖形化介面在選取適當 Model、預測區域以及資料的輸入後，只要由上方工具列直接選取即可直接開始 Simulation 的動作，在此可省去原來使用大量程式指令來選取類神經架構增加許多執行速度。

(4)輸出結果

使用圖形化介面執行輸出結果時，可以直接將結果以繪圖方式表現，節省許多後續資料處理以及繪圖時間。並可即時與輸入資料作比對。在輸出結果以及相關資訊的選擇上變得更多樣化，除了基本輸入以及船隻異動指數的顯示之外，更額外加入颱風路徑的顯示。此外透過網際網路的連結，本模式可顯示即時的波高，包括花蓮港、蘇澳港、龍洞、龜山島、新竹等測站，以及即時的衛星雲圖來顯示目前颱風動態，讓使用者能更容易瞭解數據以及圖表之中的特性。

使用圖形化介面操作整個模式，可以整合以上四個部分中的所有繁瑣過程，完全不必使用到指令，取而代之的是圖形介面上的滑鼠操作。此介面與原來模式操作相較之下以進行單一颱風侵襲時的船隻異動指數推算，可縮短操作時間至原來的十分之一。

表 3.2 使用 GUI 介面之效率比較表

工作項目	原有模式操作	使用本介面操作
輸入資料處理	內插、補遺	開啟介面後選取欲讀入之資料檔案，自動計算並繪圖
資料輸入	讀取資料檔案	
輸入資料檢核	手動檢核	
計算所需參數	呼叫副程式另行處理	
繪出各資料隨時間變化圖	繪圖應用程式	
進行模擬	讀取檔案進行模擬	選取合適模式進行模擬並自動繪圖
繪圖顯示模擬結果	繪圖應用程式	
模擬結果資料存檔	指令儲存陣列並輸出至檔案	直接指定欲儲存之檔案
模擬結果繪圖存檔	繪圖應用程式	
操作方式	指令、外部應用程式	滑鼠
展示或比較資料	經由繪圖應用軟體印出整合	在 GUI 輸出視窗中直接進行
外部颱風資訊	透過網頁瀏覽器檢視	直接於模式中即可檢視即時波高以及衛星雲圖
整體效率	較費時	較省時

3. 增加模式親和力

在模式中輸入資料以備妥的情況下，本圖形化介面只需使用滑鼠的點選即可完成整個船隻異動指數推算的工作(包含資料輸入至結果輸出)。完整的說明文件提昇本介面的親和力。介面中的開發環境是以目前一般使用者所熟稔的 Windows 系統為基礎，滑鼠的點擊、鍵盤的快速鍵操作以及開啟檔案的檔案列表，都是與 Windows 系統相同。使用者只要能夠具備有 Windows 的基本操作觀念甚至不需要操

作手冊就可以對本介面輕鬆上手。這也使得本介面不像一般專業工程應用軟體一般令人感到困難。

4. 提升未來自動化環境可行性

本介面的開發不但提供使用者在操作上的便利，並且在開發過程中整合了整個模式的運作。整合後的模式可提升對於未來自動化環境的配合度。未來可應用於提供網路即時船舶動態模式推算，可以在無人操作的環境中直接擷取颱風觀測資料以推算出船隻異動指數並同時以該伺服器作即時發布。

3.4.2 颱風波浪預測模式圖形化介面介紹

本介面開發環境為 Matlab 中的 GUIDE(Graphical User Interfaces Development Environment)。操作環境為 Mathworks 公司的科技運算應用軟體 Matlab，版本支援 Matlab 5.0 以上系統。本介面測試環境有 Microsoft Windows98、Windows2000、WindowsXP 各版本，已知支援作業系統並有 Mac 以及 Unix 其餘系統的可行性請詳見 Matlab 使用手冊。

圖形化介面的開發目標期望能以最少的操作程序作最多的流程以及展現最多的資訊，如此一來可以減少視窗的切換以及提升操作流程的流暢度。目前整個圖形化介面主要由五個視窗組成、分別為 1.主介面視窗 2.資料輸入視窗 3.資料存檔視窗 4.即時實測波高圖 5.即時衛星影像圖，分別介紹如下：

1. 主介面視窗

- (1)介面主視窗標題列：標題列明確列出目前介面所在視窗並註明介面版本等資訊。
- (2)介面主視窗工具列：工具列包含資料輸入輸出、模擬、颱風資訊以及輔助四個部分。工具列的編排主要符合一般 Windows 應用程式

式的架構，以樹狀的結構將所要選取的指令存放於內，示如圖 3.19。

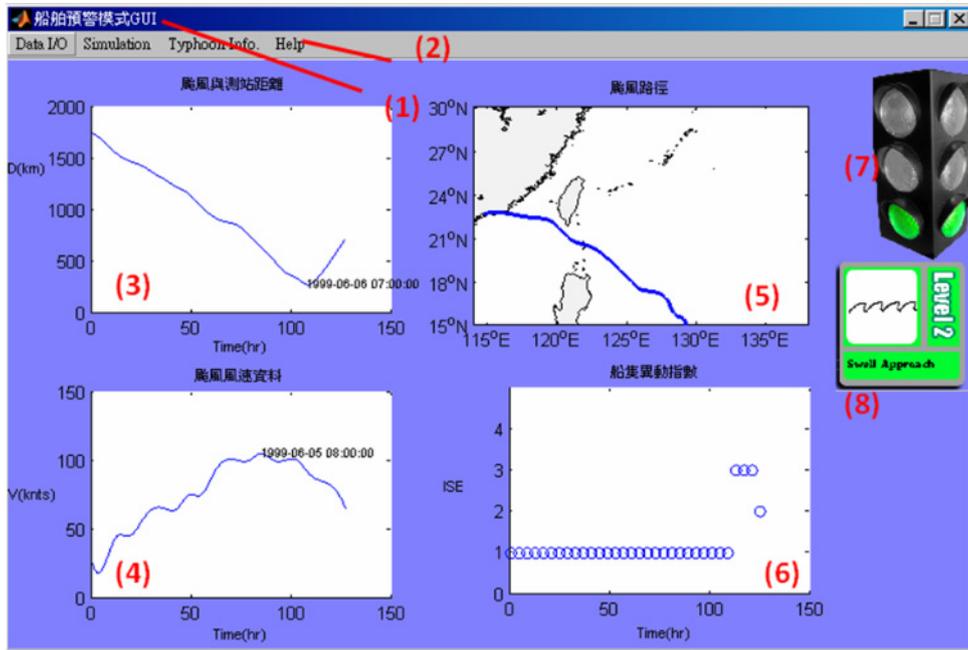


圖 3.19 本介面主視窗

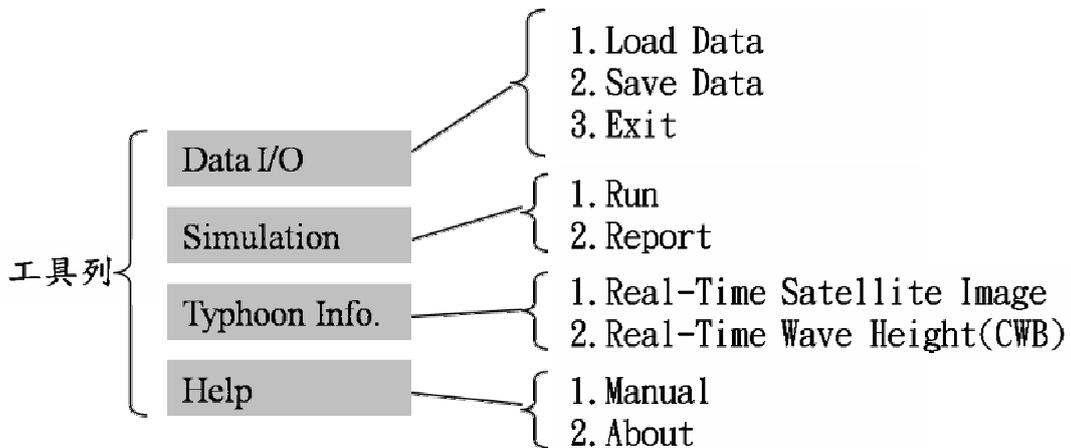


圖 3.20 樹狀結構的工具列

如圖 3.20 中所示第一子工具列為輸入與輸出部分包括颱風資料的輸入、船隻異動指數的輸出及離開本介面。第二子工具列為模擬部分，此部份為資料輸入確定無誤後選取適當的類神經架構進行模擬，模擬後可提出詳細的船隻異動指數報告。第三子工具列為颱風資訊部分，透過網際網路取得即時的颱風資訊。第四子工具列為說明以及

版權宣告，包含呼叫完整的使用手冊以及關於本介面的版本資訊視窗開啟，使用手冊的開啟將呼叫外部程式以開啟 HTML 資料的瀏覽器。

- (3)輸入資料之颱風距離變化圖：此區域可即時將所輸入的颱風位置資料運算成颱風與港口之間距離變化並以繪圖方式來表示，幫助使用者即時了解所輸入之颱風資料以及颱風最接近點的時間。
- (4)輸入資料之颱風風速變化圖：此區域可即時將所輸入的颱風風速資料以繪圖方式來表示，幫助使用者即時了解所輸入之颱風資料，並標示出風速最大值所發生的時間。
- (5)颱風路徑圖：颱風路徑圖視窗中展示該颱風在北緯 15~30 度、東經 114~138 度範圍內的颱風行進路徑。
- (6)船隻異動指數：此為本模式讀取颱風資訊後進行模擬而推算之船隻異動指數。
- (7)警示燈：隨著船隻異動指數不同，利用閃光三色燈來發布目前狀況，當無燈號時代表船隻異動指數為 1，即花蓮港內之船隻與其裝卸作業皆未受影響；綠燈表示有船隻異動指數為 2，花蓮港內產生湧浪，但湧浪並未大到影響裝卸作業，船隻亦不需出港避風；黃燈代表船隻異動指數 3，港內產生之湧浪大到船隻需出港避風，才能免除斷纜的可能；紅燈表示船隻異動指數 4，依據模式訓練時所用的歷史資料顯示船隻產生了斷纜，此時代表花蓮港內的停泊船隻相當危險。
- (8)警示標誌：利用飛入的方法提醒使用者目前船隻異動指數的等級以及船舶動態之建議，共四種警示標誌，示如下圖 3.21。各個警示標誌中的右側註明了船隻異動指數以 Level 1~4 表示，左側的圖示則大略表達目前港內船舶狀況，Level 1 為港內海水面靜穩；Level 2 為有湧浪但仍不影響船隻裝卸作業；Level 3 則表示港內產生之湧浪大到船隻需出港避風，才能免除斷纜的可能；Level 4

則表示船隻可能已產生了斷纜，十分危險。

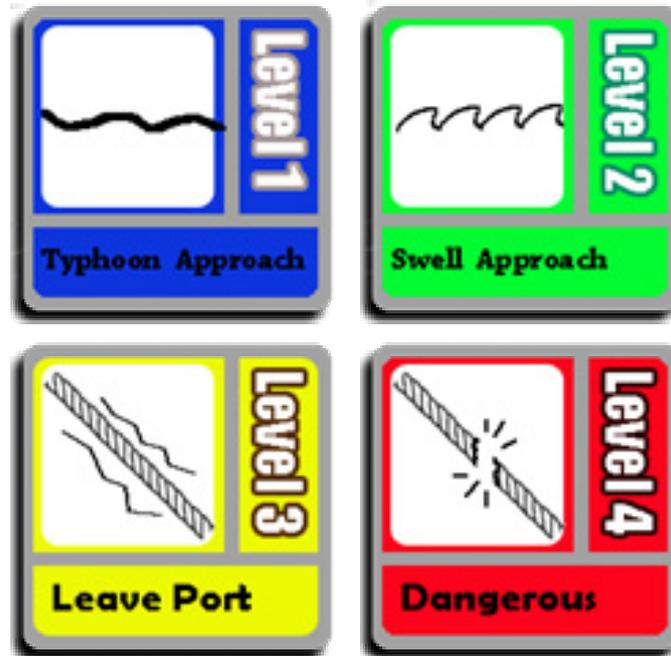


圖 3.21 船舶異動指數所對應之警示標誌

2. 資料輸入視窗

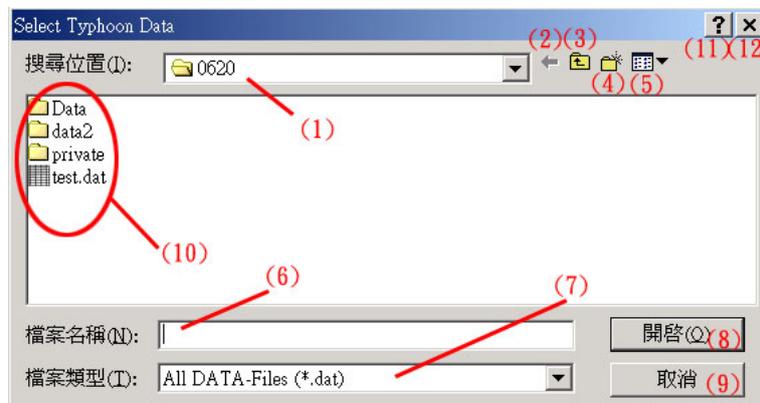


圖 3.22 颱風資料輸入視窗

資料輸入視窗與一般 Windows 檔案開啟視窗相似，操作部分詳述於下：

- (1)目前資料夾位置：顯示目前所在資料夾，使用者能在此區域切換各個位於該電腦中的儲存設備或是網路儲存設備以更改目前資料夾位置。

- (2)回上一頁按鈕：本按鈕功能為回到之前所在目錄。
- (3)回上一層按鈕：本按鈕功能為回到目前所在資料夾的上一層，若是以處在最上層資料夾則會回到磁碟根目錄，Windows 作業系統根目錄的上一層則為我的電腦。
- (4)新增資料夾按鈕：本按鈕能在所在資料夾內再新增一子資料夾。
- (5)檢視模式變換按鈕：本按鈕可將目前所在資料夾內的檔案表現方式做適當的改變，包含大型圖示、小型圖示、清單、詳細資料以及縮圖五種方式。
- (6)檔案名稱區域：使用者可在本區域輸入欲開啟的輸入資料檔名。
- (7)選取檔案類型：本區域能夠設定檔案列表區內顯示的檔案類型，本介面在此內定為顯示附檔名為*.dat 之所有檔案，使用者可視需要更改為顯示所有檔案。
- (8)開啟檔案按鈕：本按鈕可在選取檔案後執行開啟的動作，並回到主視窗進行下一步的運算以及檢核。
- (9)取消按鈕：不作任何更動離開本視窗。
- (10)檔案區列表區：列出本資料夾中所有檔案以及子資料夾。
- (11)說明按鈕：按下此按鈕後滑鼠游標會呈現問號，再點及本視窗中各個元件後，會出現各元件的簡單說明。
- (12)關閉視窗按鈕：同於取消按鈕，不作任何改變離開本視窗。

3. 資料存檔視窗：

由工具列 Data I/O 中的 Data Save 可進行船隻異動指數的存檔，可開啟存檔視窗，視窗中各元件介紹同於資料輸入視窗。而存檔的檔案格式限制以及更動都是在圖 3.23 中(7)存檔類型的區域，兩個不同的

視窗會對存檔的格式作限制，使用者無須擔心會將 ascii 的資料檔儲存為錯誤的格式。

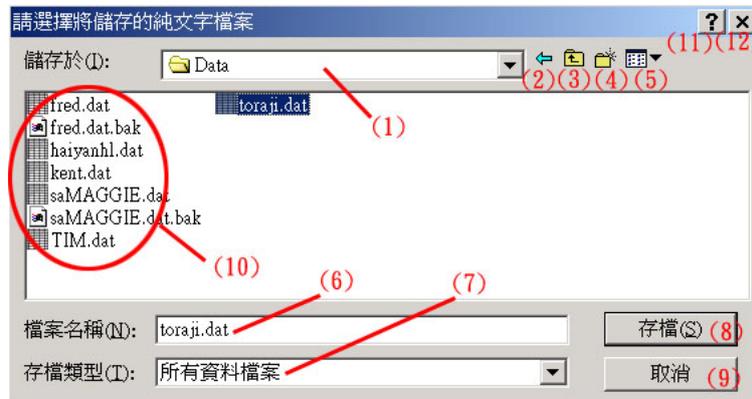


圖 3.23 模擬結果資料存檔視窗

4. 即時實測波高視窗：

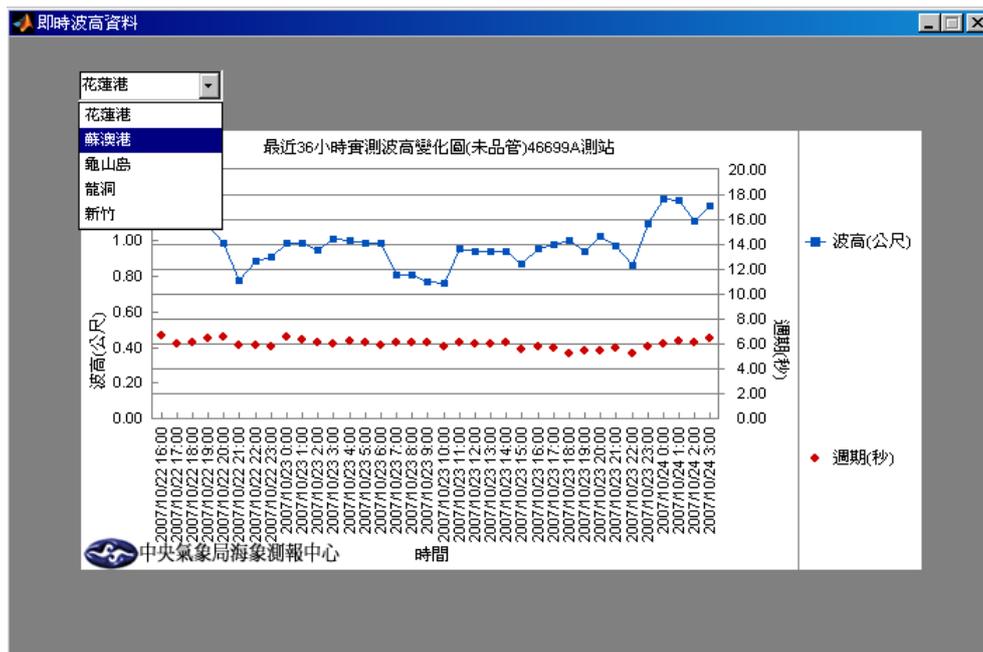


圖 3.24 即時波高實測圖

透過網際網路的連結，本模式提供由中央氣象局發布之最近 36 小時實測波高資料的檢視，讓使用者除了能推算船隻異動指數並發布離港警報外，可即時查詢花蓮港、蘇澳港、龍洞、龜山島以及新竹等測站的即時波高以作為警報發布的參考。波高測站可由圖 3.24 左上角的選擇列進行選取。

5. 即時衛星影像圖：

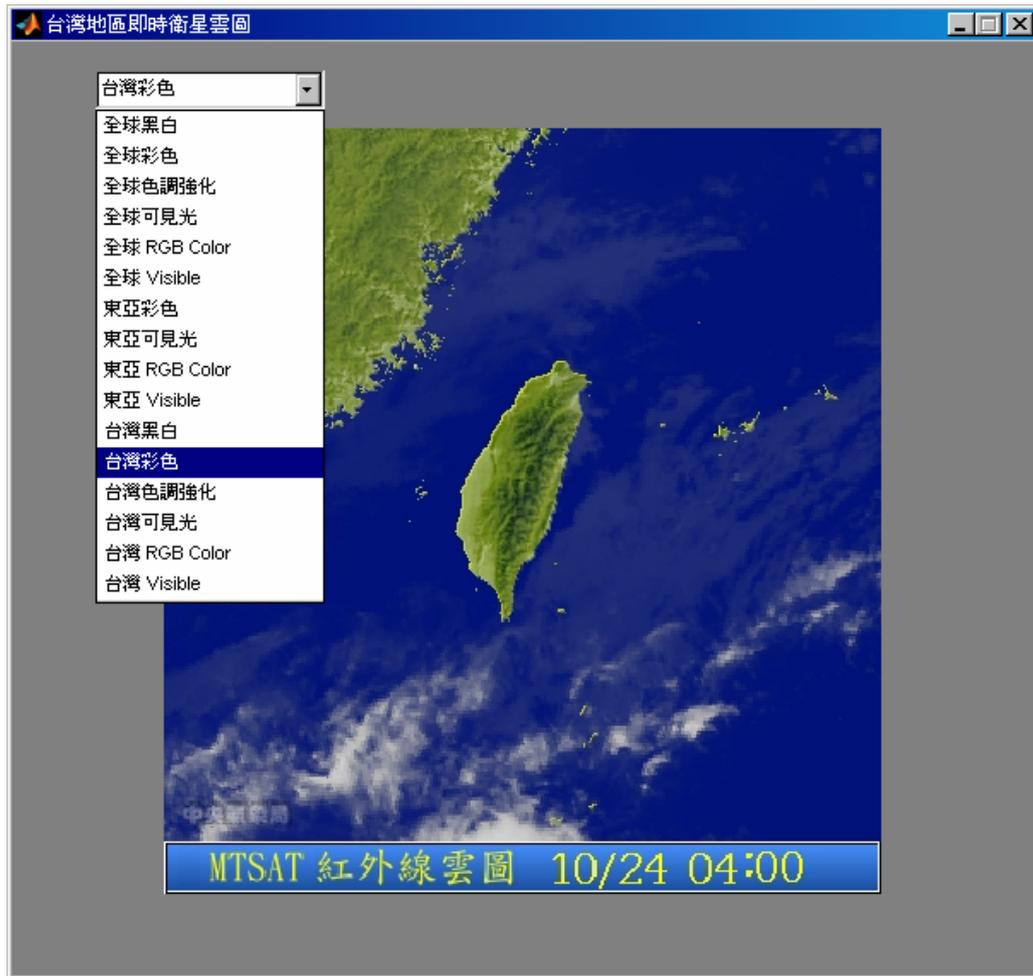


圖 3.25 即時衛星影像圖

透過網際網路的連結，本模式提供由中央氣象局發布之每小時衛星雲圖，讓使用者除了能推算船隻異動指數並發布離港警報外，可即時查詢全球、東亞以及台灣周邊的衛星雲圖，並可選擇影像種類，包括可見光(Visible)、紅外光(IR)、紅外光合成彩色以及色調強化影像以作為警報發布的參考。影像範圍以及種類可由圖 3.25 中左上角的選擇列進行選取。

3.4.3 實例操作與開發中功能

本介面將原來模式操作流程簡化為四個視窗的簡易操作，基本操作流程將詳述如下。在 Matlab 環境中可利用工具列的檔案開啟功能或

是直接於 Command Window 直接輸入 GUI 介面檔名開啟本介面，檔名目前暫定為 mship.p(如圖 3.26)。此外為避免介面執行時程式連結與存檔的混亂，建議操作者能在執行介面前先將畫面中上方的工作目錄先設定為本介面安裝的目錄。

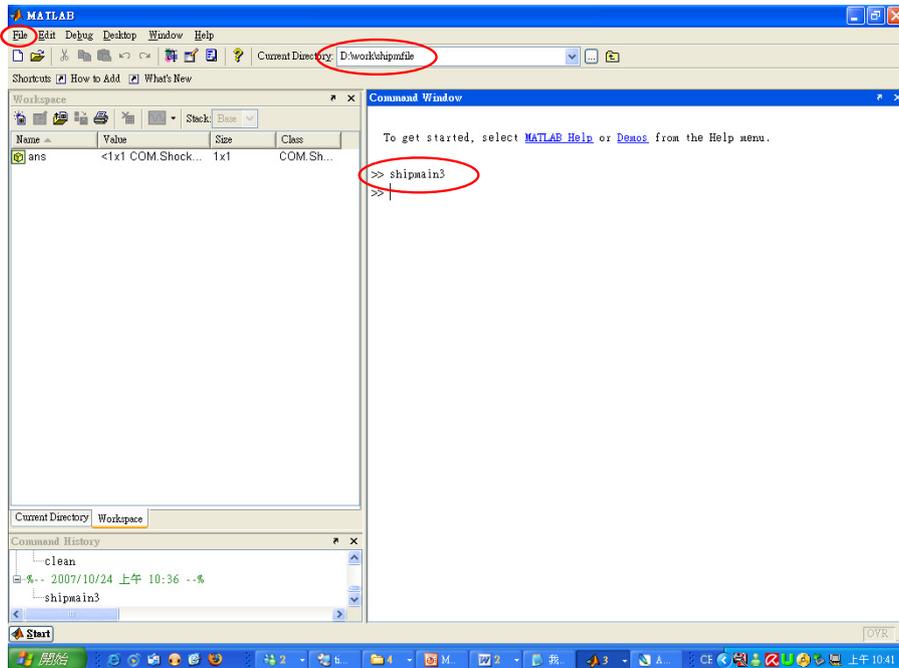


圖 3.26 操作流程介紹 1：Matlab 主要視窗

進入船舶動態預警模式 GUI 後，可看到主工作區有四個圖塊，以及警示燈號，但由於未輸入資料進行模擬推算故無法顯示結果。在上方工具列中目前僅能選擇 Load Data 進行資料輸入，或選擇 Typhoon Info.中的即時波高與即時衛星影像來查詢資料，以及 Help 中的使用手冊與版權宣告；而其他工具列選項如 Data Save 以及 Simulation 的 Run 與 Report 皆為反白狀態無法選擇，這是為了避免使用者錯誤的操作程序，故界面設定資料輸入後才可進行模擬，模擬之後才可進行資料儲存以及結果報告。在此步驟我們可以選 Data I/O 中的 Data Load 進行颱風資料的讀取。並依照圖 3.28 中的輸入視窗選取輸入資料。此外，輸入檔案選擇視窗中可切換該主機硬碟中或是網路硬碟中的檔案，所開啟檔案之副檔名內定為(*.dat)，使用者可調整檔案類型(*.*)來尋找欲輸入的任何 ascii 檔案名稱。目前颱風資料輸入格式採用最簡單的純文字文件，文件中只要包含五列颱風資料：1.時間序列 2.經度 3.緯度 4.風速

5. 颱風警報狀態 6. 路徑分類號即可，格式並無嚴格限制，使用者可利用 EXCEL 或是文書編輯軟體都可以做成此輸入檔，每列資料中可用 Tab、Space、逗點等用來表示間隔。若是資料中有遺漏則需要由操作者先做內插或補遺處理，處理後調整時間序列(由 0 開始至最後一筆資料)即可開始做輸入。

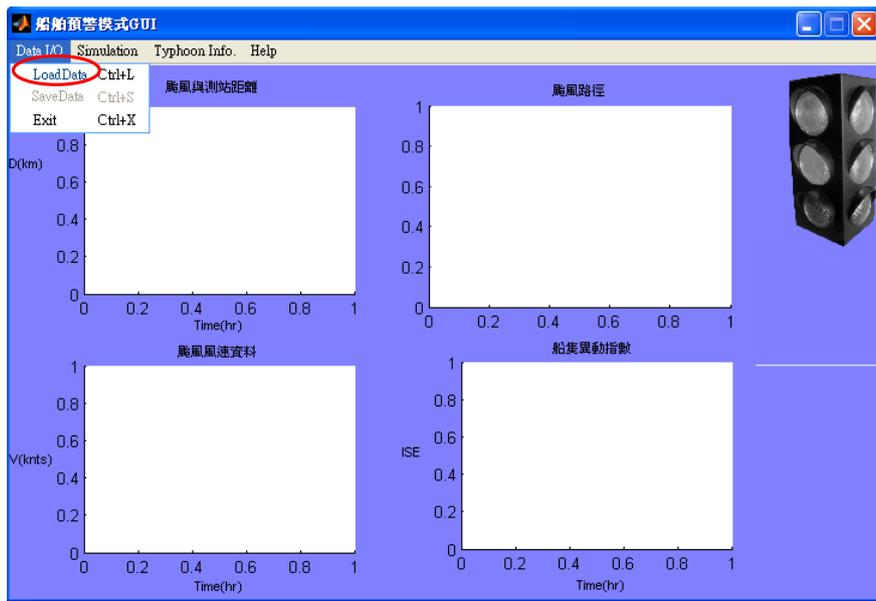


圖 3.27 操作流程介紹 2：船舶動態預警模式主要視窗

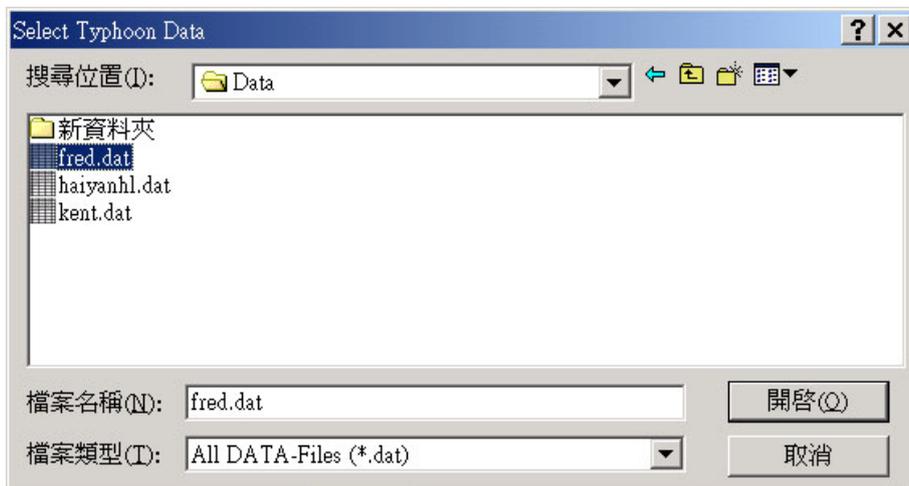


圖 3.28 操作流程介紹 3：颱風資料輸入視窗

當颱風資料輸入完成後若 data 長度與格式無問題，本介面會自動將颱風中心最大風速、颱風中心與花蓮港距離以及颱風路徑圖繪圖於本介面之視窗圖塊內，示如圖 3.29。而在檢視三張圖沒問題後即可點

選工具列的 Simulation 中的 Run 進行模擬推算。圖 3.30 為推算完成後的狀況，介面右下方即為船隻異動指數隨時間的變化圖，而介面又方除了警示燈之外還有警示標誌。推算完成之後即可利用上方工具列 Data I/O 中的 Data Save 進行儲存。

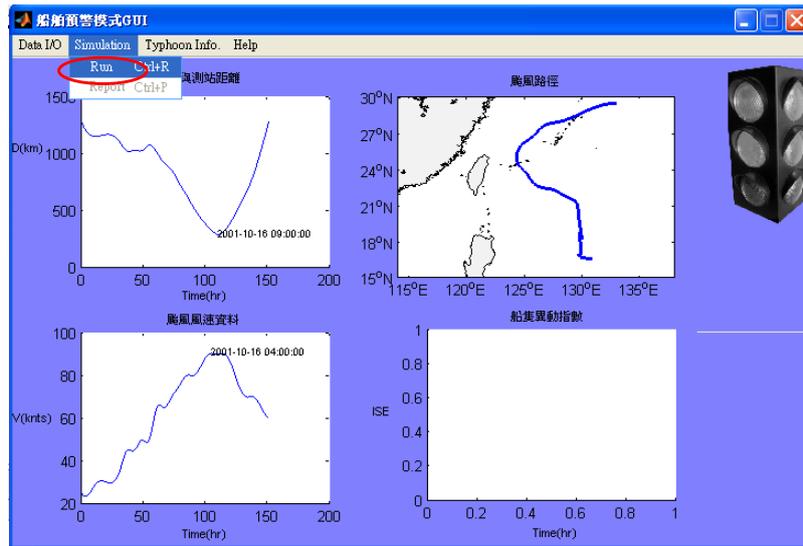


圖 3.29 操作流程介紹 4：颱風資料輸入完成

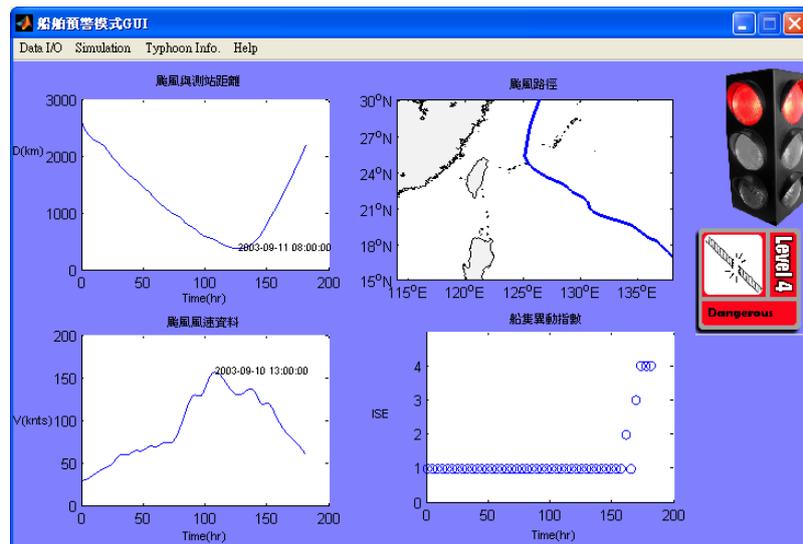


圖 3.30 操作流程介紹 5：船隻異動指數推算完成

目前船舶動態預警模式已建構完成並已附加圖形化使用者介面來

提升其使用性，除了目前成果之外本研究團隊仍持續改善圖形化使用者介面的外觀及功能，未來將以建構自動化即時發佈船舶動態警報的伺服器作為目標。

第四章 波浪特性分析

4.1 資料來源與處理

本研究之測站位於安平港與臺北港之觀測樁下、水面下 5 公尺處，設置儀器為 Inter Ocean 公司之 S4-ADW 壓力式波高及波向、海流及流向量測儀，本研究則收集其壓力式波高資料，其每小時取樣為 9 分鐘，頻率為 2HZ，因此每小時共取樣 1024 筆資料。進行波高與週期之計算時，需先將原始壓力資料經快速傅立葉(FFT)轉換成壓力頻譜後，再透過壓力轉換函數(pressure transfer function) 將壓力頻譜轉換成水位頻譜，此水位頻譜經過逆快速傅立葉轉換後，即可得到水位訊號，本研究分析 2006 年之安平與臺北波浪資料。

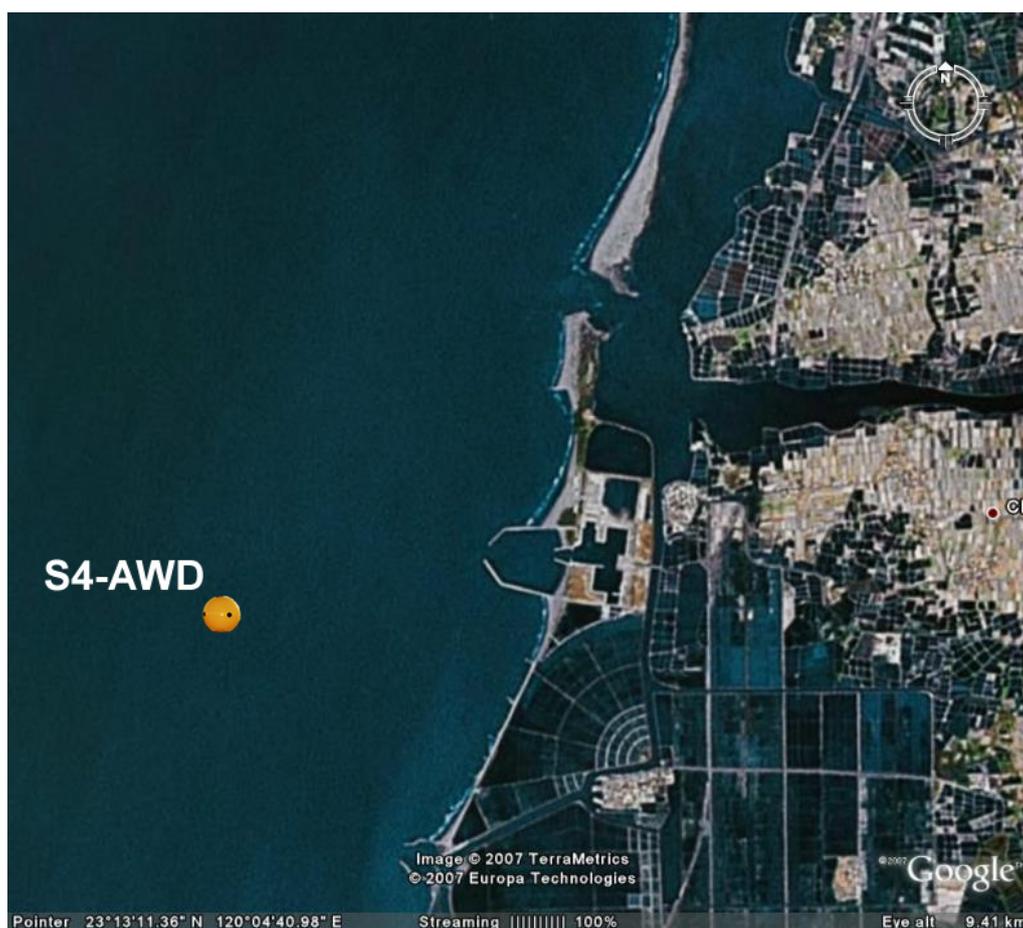


圖 4.1 安平港波浪觀測位置示意圖



圖 4.2 臺北港波浪觀測位置示意圖

4.1.1 示性波高之計算

根據零上切 (zero up cross) 法，可將原始資料處理完後所得水位定義出波高。一般常用的波高統計代表值 (代表波) 有很多種，本研究選取 $H_{1/3}$ 來計算相關波高特性， $H_{1/3}$ (示性波) 其計算方法即以波群中波高較大的 1/3 部分的個別波波高平均值來代表，雖其不具有特別的意義，但接近人類以目視觀測對不規則波直覺上得到的波高。另外在統計特性上，發現其具有最大的安定性 (不隨取樣不同而變化)，較能反映波浪所含能量的大小，故是最常用的代表波。(郭，1999)

另外，可將水位訊號經過快速傅立葉 (FFT) 轉換後得到頻譜，根

據頻譜的定義，頻率為 f ，可得零階面矩的能率 m_0 ，示如式(4.1)

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (4.1)$$

其中， $S(f) = E[X(f)\bar{X}(f)]$ ， $E[\]$ 代表期望值(樣本平均)， $X(f)$ 是水位訊號的 Fourier 係數， $\bar{X}(f)$ 為其共軛複數。由於常見的波高分佈比較符合 Rayleigh 與 Weibull 分佈，則根據 Rayleigh 理論示性波高與頻譜函數之零階動差關係為式(4.1)

$$H_{1/3} = 4\sqrt{m_0} \quad (4.2)$$

但基於 Weibull 分佈的假設，常數約為 3.8。並可由現地觀測數據其關係常數略小於 4.0(Wilson 和 Baird, 1972; 副島, 1975)。合田(1990)則建議實際風浪應採用 3.8 較為妥當。

4.1.2 示性週期之計算

一般常用的週期統計代表值(代表波)為：在波高記錄中經由零上切法決定波高後，假設有 n 個波高及其相對應的週期，將波高按大小次序排列， $H_1 > H_2 > H_3 \dots$ ，而其相對應之週期排列為 $T_1 > T_2 > T_3 \dots$ ，定義示性波高 $H_{1/3}$ 為其前 1/3 部份波高之平均值，而 $T_{1/3}$ 為其相對應之週期平均值；而 Nair, et al.(2003) 等所提出的示性週期計算方式是以週期大小排序後($T_1 > T_2 > T_3 \dots > T_N$)，以前 1/3 部份週期之平均值為示性週期。

由於以頻譜求得示性週期之過程相當困難，在理論上其與主頻 f_p 的關係已無法得到，只能從現地觀測的經驗來決定。Mitsuyasu(1968) 提出示性週期為下式

$$T_{1/3} = \frac{1}{1.05 f_p} \quad (4.3)$$

合田(1987)亦以觀測數據建議示性週期為下式

$$T_{1/3} = \frac{1}{1.1f_p} \quad (4.4)$$

4.2 波浪特性分析

本計畫將原始水位的資料經過統計後，進行零上切法，得到波高時序值，以此進行計算並繪出實際波高機率直方圖。藉由波高時序資料求得不同機率密度分佈之參數，以獲得對應的理論密度分佈函數，並以最大概似法(Maximum Likelihood Estimator, MLE)求解各理論機率分佈之參數，其各參數值均落在 95%信賴區間，最後再根據分組組數與資料分佈的特性，分析波高與週期機率與直方圖分佈，以誤差均方根(RMS)、相關性(R^2)、離島型直方圖($P_i=0$)與判斷是否為雙峰直方圖($|P_i-P_j|>1/N$)等四種參數來探討最適之機率分佈特性和最佳分組組數，其中 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 為發生該參數特性時佔有全部數據的百分比。決定最佳組數與最適之機率分佈，並以此探討波高與週期之統計特性。

直方圖是用來判斷波高資料機率分佈情況，直方圖的分組組數將影響到資料分析出來後的結果，當組數分得太少時，將無法有效地表現出該筆資料的分佈特性，而造成部分資料特性被隱藏的結果。相反地，若將組數分得太多時，將造成各個區間內資料點出現的個數過少，使直方圖呈現出極不規則情況，同樣也不能有效地表現出該筆資料的特性。因此，在做統計分佈之前，必須先對分佈區間的組數進行定義。因此根據統計學上的理論，合理的直方圖分組組數大小應至少要大於五組，而一般統計學上常用的分組方法有如下幾種：

1. Sturges (史特吉斯) 法：

$$X = 1 + 3.322 \log(N) \quad (4.5)$$

其中 X 為確定好之分組組數， N 為資料次數或個數。

2. Doane (唐恩) 法：

$$X = \sqrt{N} \quad (4.6)$$

其中 X 為 \sqrt{N} 最接近之整數值， N 為資料之次數或個數。

根據 95 年計畫花蓮港之分組組數範圍為 5 至 12 組，因此，本年度計畫之安平港波浪分組，則以 5-12 組進行最佳組數與最適之機率分佈之分析。並依施與尹 (1994) 探討近海波高的機率分佈時，以卡方檢定 (Chi-Square test) 與統計學中回歸分析的最小平方法，來檢定與判斷機率分佈與柱狀圖的適用性。本計畫亦參考其分析方法，引用卡方檢定與最小平方法，及 Kolmogorov-Smirnov test 檢定方法來判斷適用性，然而在分析過程中，以最小平方法來檢定並無法明顯地判斷出各分佈的優劣，另兩種檢定方法則在 99% 有效水準之範圍，各種機率分佈函數均可被接受，因此，亦難以判斷各區間的分佈函數中，何種組數為最佳的分組組數。有鑑於此，本計畫提出 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 兩參數來判斷適用性，茲將兩種參數說明與判斷方法示如下。

圖 4.3 為某一波高資料分成 12 組織直方圖，其中 $P_i=0$ 即表示當波高根據組數分組時，各組距中可能產生機率值為零的情況。因為當分組組數越多，間距分的過細，以致於在該間距內的機率或者次數可能為零。如圖 4.3 所示，分成 12 組時，於波高 0.38m 至 0.425m 中，次數為零 (機率值亦為零)，因此 $P_i=0$ 的參數記錄為 1，即代表該筆資料中，至少有一組間距機率值是為零的情況，若無任何間距的機率值為零， $P_i=0$ 之參數紀錄為零。另一參數 $|P_i-P_j|>1/N$ (N 為分組組數) 的說明如圖 4.3 所示，當各組距中的機率值與其下一組距的機率值，相減之後的絕對值大於分組組數倒數的情況至少發生一次以上，該參數值紀錄為 1；若 $|P_i-P_j|>1/N$ 無發生，該參數值紀錄為 0，紀錄之兩參數再計算其佔有百分比。

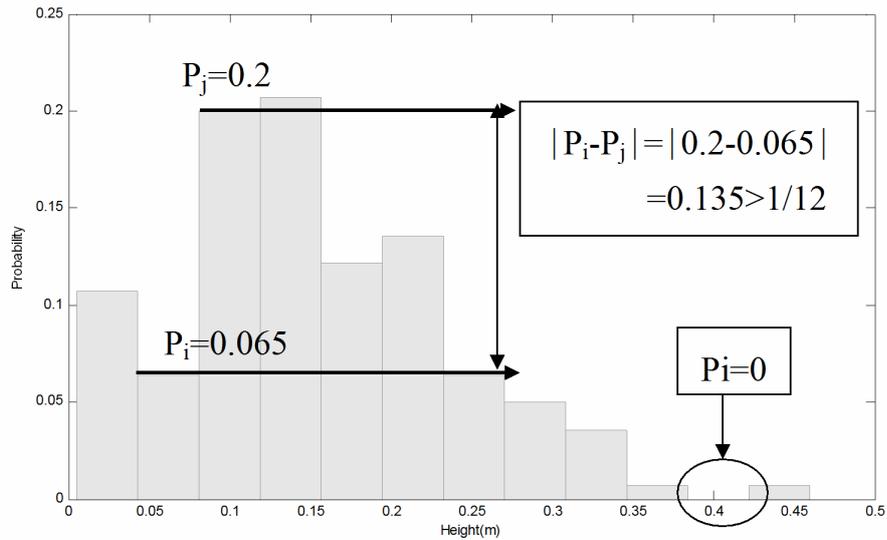


圖 4.3 統計參數與波高資料直方圖

除了最佳組數之判斷外，本計畫選擇 Normal (常態)、Gamma、Rayleigh 及 Weibull 四種分佈探討波高最適之機率分佈；對於週期則選擇 Erlang、Gamma、Rayleigh 及 Longuet-Higgins 四種分佈。上述所提之機率密度分佈簡述如下：

1. Normal(常態)分佈

為常態分佈的機率密度函數，示如式(4.7)：

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0 \quad (4.7)$$

因常態分佈適用範圍在 $\pm\infty$ 之間，而波高值只有正值，因此式(4.7)只適用至 $x \geq 0$ 。常態分佈主要有兩個參數， σ 為標準偏差(standard deviation)， μ 為平均值(mean value)。且由式(4.8)及式(4.9)推算標準偏差及平均值：

$$\mu = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (4.8)$$

$$\sigma^2 = s^2 = \frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N x_i - \bar{x} \right)^2 \quad (4.9)$$

2. Gamma 分佈

為 Gamma 分佈的機率密度函數，示如式(4.10)

$$f(x; \alpha, \lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \alpha > 0, \lambda > 0 \\ 0, elsewhere & \end{cases} \quad (4.10)$$

其中 $\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx$ 為 Gamma 函數，Gamma 函數中的兩個參數計算方式如下式，

$$\hat{\lambda} = \frac{\bar{x}}{s^2}, \quad \hat{\alpha} = \hat{\lambda} \bar{x} \quad (4.11)$$

當 $\lambda = 1/2$ 和 $\alpha = n/2, n = 1, 2, \dots$ 時，其分佈函數為卡方分佈 (Chi-square distribution)，亦為 Gamma 分佈的特例。當 $\alpha = 1$ 時，其分佈函數為指數分佈 (Exponential distribution)，亦是 Gamma 分佈的特例。

3. Rayleigh 分佈

為 Rayleigh 分佈的機率密度函數，示如式(4.12)：

$$f(x, \sigma) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} & , x \geq 0, \sigma > 0 \\ 0, elsewhere & \end{cases} \quad (4.12)$$

其中 σ 為其參數

4. Weibull 分佈

為 Weibull 分佈的機率密度函數，示如式(4.13)

$$f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, \text{ elsewhere} \end{cases} \quad (4.13)$$

其中 α 為形狀參數 β 為尺度參數。

5. 修正 Weibull 分佈 (Modified Weibull distribution)

修正 Weibull 分佈為 Muraleedharan 等人(1999, 2007)所提之波高機率密度函數，其機率密度函數示如式(4.14)

$$f(x, \alpha, \beta, c) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^{\alpha-1} e^{-c^\alpha - \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, \text{ elsewhere} \end{cases} \quad (4.14)$$

其中 c 為修正參數。

6. Longuet-Higgins 分佈

Longuet-Higgins(1975)在基於波高與週期間無相關性存在以及頻譜為窄頻的假設下提出如下的理論波高 H 與週期 T 的聯合機率密度函數，示如式(4.15)：

$$p(\chi, \tau) = \frac{dR}{d\chi} \left| \frac{d\phi}{d\tau} \right| p(R, \phi) = \frac{2a^3 \chi^2}{\sqrt{\pi v}} \exp \left\{ -a^2 \chi^2 \left[1 + \frac{(\tau-1)^2}{v^2} \right] \right\} \quad (4.15)$$

其中 $x = H/\sqrt{m_0}$ ，為波高的正規化， $\tau = T/\bar{T}$ ，為週期的正規化， R 為振幅， ϕ 為相位角， v 為譜寬參數， a 為參數。式(4.15)對波高的積分後可以得到無因次化的週期邊際機率密度函數與週期的機率密度函數，示如式(4.16)及(4.17)：

$$p(\tau) = \frac{v^2}{2[v^2 + (\tau-1)^2]^{3/2}} \quad (4.16)$$

$$p(T) = \left| \frac{d\phi}{dT} \right| p\langle \phi | \chi \rangle = \frac{\overline{\omega} T_{02}}{2\pi T_{01}} \frac{v^2}{2[v^2 + (1 - \frac{T}{T_{01}})^2]^{3/2}} \quad (4.17)$$

7. Erlang 分佈

Erlang 分佈為 Gamma 分佈中的特殊分佈理論，其機率密度函數與式(4.10)相同，但需對其函數中的參數 n 取整數，即為

$$f(x; n, \lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{(n-1)!} x^{n-1} e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \lambda > 0, n \in N \\ 0, elsewhere \end{cases} \quad (4.18)$$

N.Unnikrishnan Nair 等(2003)提出將 Erlang distribution 應用在波浪週期，並推導出其理論週期統計參數。其理論示性週期的計算方法如式(4.19):

$$m(t) = t + \left[\frac{\lambda^{-1} \sum_{i=0}^{\alpha-1} \sum_{j=0}^i (\lambda t)^j / j!}{\sum_{i=0}^{\alpha-1} \frac{(\lambda t)^i}{i!}} \right] \quad (4.19)$$

其中 $t = T_s$ ， T_s 為週期統計值，其計算方式為將週期依大小排序後 ($T_1 < T_2 < T_3 \dots \dots \dots < T_n$)， n 為週期資料個數， T_s 為在 $2n/3$ 處所對應的週期值，若 $2n/3$ 為非整數，則取其整數部份；Erlang 分佈理論中的兩個參數 λ 、 α 計算方式示如式(4.20)

$$\lambda = \frac{\bar{T}}{s^2}, \quad \alpha = \frac{\bar{T}^2}{s^2} \quad (4.20)$$

上述七種機率分佈函數之參數決定方法，本計畫以最大概似法來估算各種理論機率分佈函數中之參數。其組數與波高及週期之機率最適判斷，則依上述流程之操作，流程圖示如 4.4，選定其最佳值以利波高與週期之特性分析。

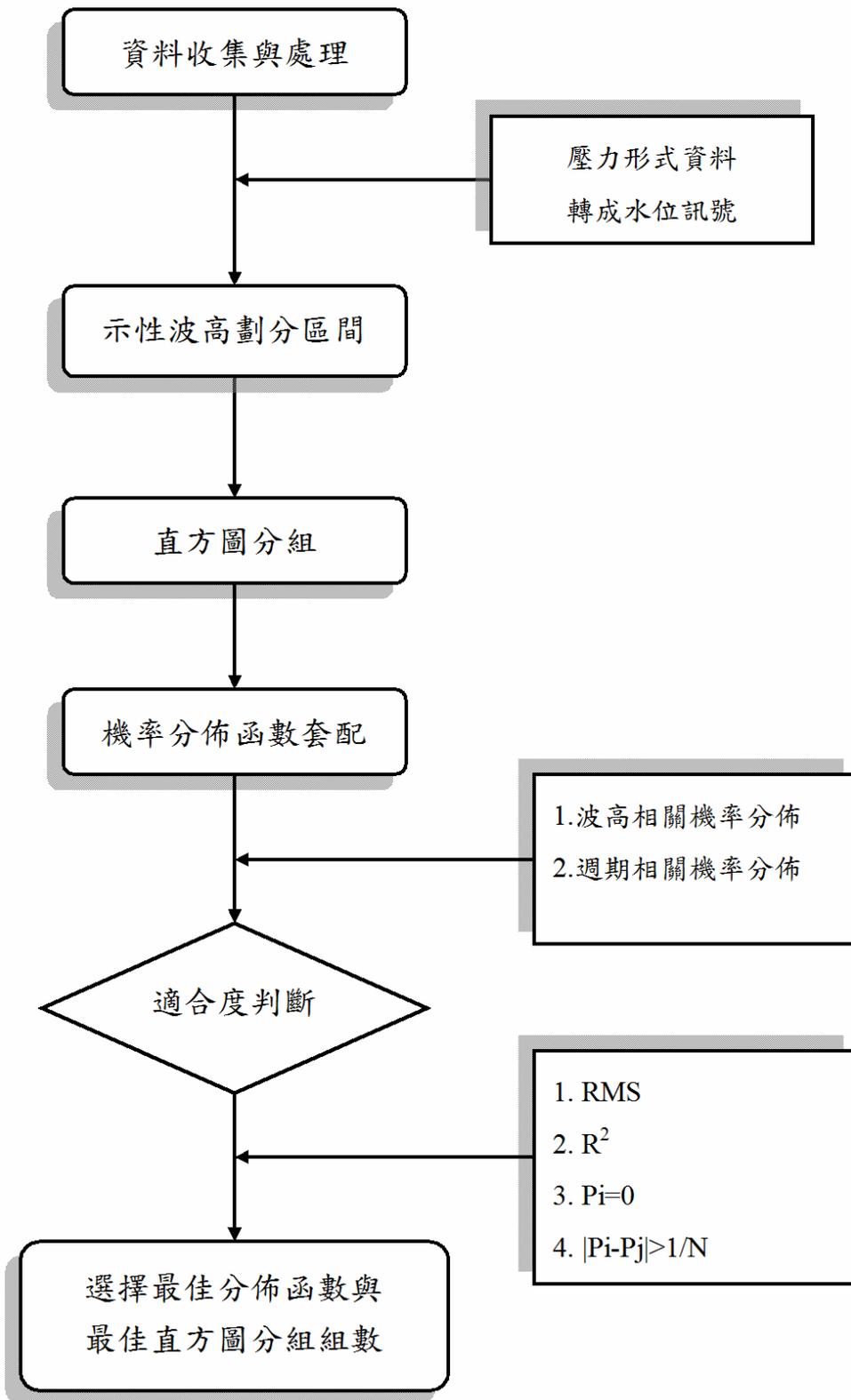


圖 4.4 波高與週期最適組數與機率分佈之分析流程圖

第五章 波浪特性分析結果

波浪之統計問題一般分為短期統計(short-term statistics)及長期統計(long-term statistics)。前者指波浪在一小時之內之統計特性，而後者係指 10 年左右之統計(時間越長越好)，長期的波浪統計要以短期統計為基礎。根據港灣技術研究中心所提供之花蓮港、安平港與台北港波浪資料，其記錄時間為 2006 年，分別作每月、每季與全年之波高以及週期分布及相關統計分析。

5.1 波高短期統計分析

5.1.1 每月波高分布分析

安平港與台北港之 2006 年 1 至 12 月每月之波高分組結果示如表 5.1 與 5.2，由表 5.1 可知安平港 1 至 3 月與 10 至 12 月之波高分組可分成兩組，最大波高則小於 1 公尺。4 與 9 月則可分成三組，第三組區間僅有 5 與 12 個。五月則無資料，6 與 8 月可分成五組，7 月則可分成六組。在台北港部份，由表 5.2 可知 6 月只有一組，8 月可以分成二組，4 月亦可分成四組，第四組區間只有 3 個。7 月、11 月與 12 月可分成五組，第五組區間僅 12 月有 31 個，3 月與 9 月則可分成六組，而 1 月、2 月、5 月與 10 月則無資料。

根據氣象局資料顯示，2006 年 7-8 月共有 3 個侵台颱風，但是因為中央山脈的地形阻擋效應，使颱風對西部的影響較東部小，因此波高超過 2 公尺之部分所佔之資料筆數約在 50 筆以上。

安平港每月之波高分組及最佳組數與分布之分析結果，根據其統計結果可知 1-12 月之波高較接近 Weibull 分布，因此，其為安平港之波高最適機率分布函數。由 1 月之分析數據結果，觀察其在示性波高小於 0.5m 時，其最佳分組為 7 組，介於 0.5~1m，則為 6 組。2 月之分

析結果，則為 5 組。3-4 月則為 6 組，其中 4 月之波高分組介於 1.0~1.5m 之範圍，其最佳分組為 5 組。6 月之波高分組小 0.5m 之範圍，其最佳分組為 6 組；介於 0.5~1.0m 之範圍，為 5-6 組；大於 1.0m 以上之範圍，則為 5 組。7 月分大部份最佳分組為 5 組，介於 0.5~1.0m 與 1.5~2.0m 之範圍則為 6 組。8 月波高小於 1.5m 則為 5-6 組；大於 1.5m 以上者為 5 組。9-12 月則約為 5-6 組。

台北港每月之波高分組及最佳組數與分布之分析結果，其波高統計結果亦接近 Weibull 分布。由 3 月之分析結果，在示性波高小於 1.0m 時，最佳分組為 6 組，介於 1.0~1.5m，最佳分組為 5 組，介於 1.5~2.0m，最佳分組為 7 組，介於 2.0m 以上其最佳分組均為 5 組。4 月在示性波高小於 1.0m 時，最佳分組均為 7 組，介於 1.0~1.5m，最佳分組為 5 組。6 月在示性波高小於 0.5m 時，最佳分組為 7 組。7-8 月份最佳分組為 5-6 組。9 月在示性波高小於 0.5m 時，最佳分組為 6 組，介於 0.5m~1.0m 時，最佳分組為 7 組，在 1.0m 以上的最佳分組為 5-6 組。11 月在示性波高小於 1.5m 時，最佳分組為 6 組，在 1.5m 以上則為 5 組。12 月在示性波高小於 1.5m 時，最佳分組為 7 組，在 1.5m 以上則為 5 組。

因此，綜合上述 1-12 月之安平與台北港波高分布及分組結果，以 Weibull 分布為最佳分布，最佳分組數為 5-7 組。

表 5.1 安平港波浪數據各月之分組情形

月份 波高分組	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H_s < 0.5m$	710	582	463	483	0	405	129	144	525	648	663	386
$0.5m < H_s < 1.0m$	34	89	50	26	0	174	258	395	183	52	57	55
$1.0m < H_s < 1.5m$	0	0	0	5	0	85	177	98	12	0	0	0
$1.5m < H_s < 2.0m$	0	0	0	0	0	38	85	28	0	0	0	0
$2.0m < H_s < 3.0m$	0	0	0	0	0	18	58	34	0	0	0	0
$H_s > 3.0m$	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0

表 5.2 台北港波浪數據各月之分組情形

月份 波高分組	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$H_s < 0.5m$	0	0	233	156	0	229	262	249	135	0	177	22
$0.5m < H_s < 1.0m$	0	0	225	85	0	0	163	77	116	0	202	181
$1.0m < H_s < 1.5m$	0	0	70	26	0	0	46	0	69	0	122	231
$1.5m < H_s < 2.0m$	0	0	30	3	0	0	11	0	50	0	17	142
$2.0m < H_s < 3.0m$	0	0	18	0	0	0	8	0	52	0	2	31
$H_s > 3.0m$	0	0	14	0	0	0	0	0	16	0	0	0

5.1.2 每季波高分布分析

為比較 2006 每季分析之結果，茲將 2006 年全年之波高資料分為四季，即 1 至 3 月為第一季、4 至 6 月為第二季、第三季為 7 月至 9 月、第四季則為 10 至 12 月，其安平港分析結果列表如附表 1.35 至附表 1.49 所示。第一季可分成 2 個波高區間；第二季分布則為 5 個；第三季間為 6 個，第四季間則為 2 個。由最適之機率分布由 R^2 與 RMS 觀察可知，Weibull 分布為第一至四季最適合之機率分布。再由 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j| > 1/N$ 兩參數之分析結果，可判斷出第一季之最佳組數為 5-6 組時，為其直方圖之較佳分組組數。第二季波高小於 1.0m 之範圍，最適分組為 5-6 組；大於 1.0m 以上則為 5 組。第三季波高小於 2.0m 之範圍，最適分組為 5-6 組；大於 2.0m 以上則為 5 組。第四季波高最適分組為 5-6 組。

台北港則於第二季可分為 4 個波高區間，第三季為 6 個，第四季則為 5 個。由最適之機率分布同樣由 R^2 與 RMS 觀察可知，Weibull 分布為第二至四季最適合之機率分布。再由 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j| > 1/N$ 兩參數之分析結果，可判斷出第二季波高小於 1.0m 之範圍，最佳組數為 7 組；大於 1.0m 以上則為 5-6 組。第三季波高小於 0.5m 之範圍，最適分組

為 5 組；介於 0.5~1.5m 則為 6 組；大於 1.5m 以上則為 5 組。第四季波高小於 0.5m 之範圍，最適分組為 5；介於 0.5~1.5m 之範圍為 6 組；1.5~2.0m 則為 5 組。

5.1.3 全年之波高分布分析

2006 年安平港與台北港全年資料依據波浪分析之步驟，將示性波高大小歸類於六個區間。其中全年之波高分析結果則如表 5.3 至表 5.8 與表 5.9 至 5.14 所示。依據 R^2 與 MSE 兩參數，可判斷出 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分布函數與波高資料直方圖的吻合程度；在 RMSE (root mean square of error, 定義如式 5.1) 與 R^2 之判別，其不同區間中的任一分組組數下，可看出 Weibull 分布函數與波高直方圖吻合程度，明顯優於其餘三種機率分布函數，其優劣趨勢大致為 Weibull 分布最佳，Rayleigh 及 Gamma 分布次之，Normal 分布最差。因此，本研究之分析結果，判斷出四個機率分布函數與波高的吻合程度以 Weibull 分布最佳，Normal 分布最差。往昔研究之花蓮港，其波高機率分布亦是近似於 Weibull 分布的，根據此結果，對於分析往後波高資料，可利用 Weibull 分布特性及計算方式，更適切地來描述安平港與台北港波浪特性。

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{mi} - y_{ci})^2}{N}} \quad (5.1)$$

其中 y_{mi} 及 y_{ci} 分別為第 i 個實測值及計算值，而 N 為計算總個數。

由往昔研究花蓮港分析結果得知， R^2 與 MSE 值大致上均隨著分組組數的增加而遞減，這是因為將波高作直方圖組數分組中，當分組組數越多，直方圖則呈現越不規則的形狀，造成其與各機率分布函數曲線之相關性不高，要決定適當的分組組數，並無法以 R^2 與 MSE 兩參數來判斷評估，因此以兩參數 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 來選定適合的分組組數範圍。根據表 5.8 至表 5.14 分析結果，可看出 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 兩參數會隨著分組組數的增加而增加，這是因為當分組組數增加，所繪出

之不規則之直方圖，容易產生機率為零之分組間距值及鋸齒狀之多峰值出現的現象。此外，安平港與台北港當示性波高小於 1.5m 以下，其分組組數為 5 至 6 組時， $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 參數均較小，且其差異性亦不大；大於 1.5m 以上，分組組數則為 5 組為最佳。

表 5.3 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果($H_s<0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.041	0.040	0.038	0.036	0.034	0.03	0.031	0.030
	R ²	0.918	0.888	0.863	0.838	0.815	0.792	0.772	0.751
Normal	RMSE	0.049	0.045	0.041	0.038	0.036	0.034	0.032	0.031
	R ²	0.901	0.877	0.855	0.834	0.814	0.793	0.774	0.756
Rayleigh	RMSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028
	R ²	0.924	0.900	0.878	0.856	0.834	0.812	0.793	0.772
Weibull	RMSE	0.035	0.034	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028	0.027
	R ²	0.944	0.921	0.900	0.879	0.858	0.837	0.818	0.798
Pi=0(%)		0.175	1.324	3.932	7.728	12.809	19.097	24.956	33.152
Pi-Pj >1/N(%)		35.935	34.553	36.461	40.101	46.661	52.151	58.536	64.045

表 5.4 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果($0.5m<H_s<1.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.044	0.042	0.040	0.038	0.036	0.035	0.034	0.032
	R ²	0.901	0.870	0.837	0.812	0.786	0.759	0.731	0.715
Normal	RMSE	0.052	0.047	0.044	0.041	0.038	0.036	0.035	0.033
	R ²	0.880	0.852	0.826	0.802	0.780	0.755	0.730	0.715
Rayleigh	RMSE	0.041	0.038	0.037	0.035	0.033	0.032	0.031	0.030
	R ²	0.907	0.881	0.852	0.828	0.804	0.778	0.750	0.734
Weibull	RMSE	0.038	0.036	0.036	0.034	0.032	0.031	0.031	0.029
	R ²	0.929	0.904	0.877	0.855	0.831	0.806	0.779	0.764
Pi=0(%)		0.510	1.675	4.807	8.521	14.130	20.757	27.604	33.649
Pi-Pj >1/N(%)		32.047	32.119	38.092	41.733	47.851	54.698	61.544	65.841

**表 5.5 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果
(1.0m<H_s<1.5m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.047	0.044	0.041	0.040	0.038	0.036	0.035	0.034
	R ²	0.887	0.853	0.828	0.793	0.763	0.737	0.709	0.684
Normal	RMSE	0.055	0.049	0.045	0.043	0.040	0.037	0.036	0.034
	R ²	0.866	0.841	0.817	0.784	0.762	0.737	0.711	0.692
Rayleigh	RMSE	0.043	0.040	0.038	0.037	0.035	0.033	0.033	0.031
	R ²	0.894	0.866	0.844	0.811	0.782	0.759	0.730	0.707
Weibull	RMSE	0.042	0.039	0.036	0.036	0.034	0.033	0.032	0.031
	R ²	0.916	0.891	0.870	0.838	0.812	0.787	0.760	0.737
Pi=0(%)		0.528	1.583	5.013	8.971	18.997	24.011	29.288	39.314
Pi-Pj >1/N(%)		34.037	36.148	35.092	46.438	53.826	57.520	64.116	69.657

**表 5.6 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果
(1.5m<H_s<2.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.048	0.046	0.043	0.041	0.039	0.037	0.036	0.035
	R ²	0.881	0.844	0.815	0.781	0.756	0.732	0.700	0.673
Normal	RMSE	0.052	0.048	0.044	0.041	0.039	0.037	0.035	0.034
	R ²	0.877	0.848	0.820	0.797	0.772	0.743	0.720	0.696
Rayleigh	RMSE	0.044	0.041	0.038	0.037	0.035	0.034	0.033	0.032
	R ²	0.893	0.863	0.838	0.807	0.782	0.756	0.726	0.700
Weibull	RMSE	0.041	0.040	0.037	0.036	0.034	0.033	0.032	0.032
	R ²	0.919	0.888	0.865	0.837	0.813	0.787	0.759	0.732
Pi=0(%)		0.000	0.662	4.636	7.947	17.219	24.503	33.775	43.046
Pi-Pj >1/N(%)		39.735	42.384	44.371	47.020	52.980	60.927	66.225	76.159

**表 5.7 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果
(2.0m<H_s<3.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.051	0.050	0.047	0.045	0.041	0.040	0.038	0.038
	R ²	0.853	0.802	0.770	0.721	0.708	0.666	0.642	0.603
Normal	RMSE	0.052	0.049	0.045	0.044	0.038	0.038	0.037	0.036
	R ²	0.868	0.830	0.806	0.754	0.754	0.710	0.678	0.651
Rayleigh	RMSE	0.045	0.045	0.042	0.041	0.037	0.037	0.036	0.035
	R ²	0.871	0.822	0.794	0.746	0.736	0.693	0.664	0.629
Weibull	RMSE	0.042	0.042	0.040	0.040	0.035	0.035	0.034	0.034
	R ²	0.906	0.864	0.839	0.789	0.785	0.740	0.712	0.677
Pi=0(%)		0.000	0.000	5.455	9.091	18.182	27.273	35.455	34.545
Pi-Pj >1/N(%)		30.909	40.000	47.273	50.909	53.636	65.455	68.182	74.545

表 5.8 2006 年安平港波高之各種分布及指標評估結果(H_s>3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.055	0.052	0.046	0.048	0.046	0.041	0.038	0.039
	R ²	0.809	0.774	0.748	0.674	0.628	0.618	0.598	0.546
Normal	RMSE	0.054	0.046	0.044	0.044	0.041	0.038	0.035	0.035
	R ²	0.846	0.835	0.794	0.735	0.704	0.683	0.666	0.630
Rayleigh	RMSE	0.048	0.046	0.040	0.042	0.041	0.037	0.034	0.035
	R ²	0.840	0.812	0.785	0.718	0.672	0.662	0.643	0.594
Weibull	RMSE	0.046	0.042	0.038	0.041	0.039	0.036	0.033	0.034
	R ²	0.873	0.858	0.828	0.761	0.721	0.707	0.690	0.645
Pi=0(%)		0.000	0.000	2.703	5.405	10.811	13.514	21.622	29.730
Pi-Pj >1/N(%)		13.514	32.432	29.730	48.649	56.757	56.757	64.865	72.973

表 5.9 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.044	0.042	0.040	0.037	0.036	0.034	0.032	0.031
	R ²	0.903	0.871	0.846	0.821	0.794	0.773	0.751	0.730
Normal	RMSE	0.048	0.044	0.040	0.037	0.035	0.033	0.032	0.030
	R ²	0.904	0.880	0.861	0.838	0.815	0.798	0.778	0.759
Rayleigh	RMSE	0.039	0.037	0.035	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028
	R ²	0.919	0.894	0.872	0.850	0.826	0.806	0.785	0.765
Weibull	RMSE	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031	0.029	0.028	0.028
	R ²	0.940	0.916	0.897	0.875	0.851	0.833	0.812	0.792
Pi=0(%)		0.137	1.643	3.696	7.255	12.320	18.617	27.447	32.991
Pi-Pj >1/N(%)		35.113	34.497	35.797	40.315	46.543	50.376	58.111	61.807

**表 5.10 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果
($0.5m < H_s < 1.0m$)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.044	0.041	0.040	0.038	0.036	0.035	0.033	0.031
	R ²	0.905	0.876	0.845	0.815	0.790	0.764	0.747	0.727
Normal	RMSE	0.051	0.046	0.043	0.040	0.037	0.036	0.034	0.032
	R ²	0.890	0.865	0.839	0.814	0.792	0.765	0.749	0.732
Rayleigh	RMSE	0.040	0.037	0.036	0.035	0.033	0.032	0.031	0.029
	R ²	0.912	0.889	0.862	0.835	0.811	0.784	0.767	0.749
Weibull	RMSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032	0.032	0.030	0.029
	R ²	0.934	0.911	0.886	0.860	0.837	0.811	0.795	0.777
Pi=0(%)		0.095	0.760	4.087	7.890	13.593	21.008	28.042	34.316
Pi-Pj >1/N(%)		36.977	35.551	37.928	42.871	50.000	56.274	61.977	65.494

**表 5.11 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果
(1.0m<H_s<1.5m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.044	0.042	0.040	0.038	0.037	0.035	0.033	0.032
	R ²	0.907	0.876	0.846	0.818	0.789	0.771	0.748	0.729
Normal	RMSE	0.051	0.047	0.043	0.040	0.038	0.035	0.034	0.032
	R ²	0.890	0.864	0.840	0.817	0.790	0.773	0.752	0.734
Rayleigh	RMSE	0.040	0.038	0.036	0.034	0.034	0.032	0.031	0.029
	R ²	0.914	0.888	0.865	0.840	0.810	0.793	0.769	0.751
Weibull	RMSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.033	0.031	0.030	0.029
	R ²	0.934	0.910	0.887	0.863	0.835	0.818	0.796	0.778
Pi=0(%)		0.000	2.293	6.702	10.406	16.402	22.751	30.864	38.801
Pi-Pj >1/N(%)		37.566	37.037	38.272	44.092	52.557	52.381	62.257	68.783

**表 5.12 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果
(1.5m<H_s<2.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.046	0.044	0.042	0.039	0.038	0.036	0.035	0.033
	R ²	0.893	0.858	0.826	0.804	0.760	0.741	0.709	0.690
Normal	RMSE	0.054	0.048	0.046	0.042	0.040	0.038	0.036	0.034
	R ²	0.872	0.849	0.811	0.792	0.761	0.736	0.708	0.697
Rayleigh	RMSE	0.042	0.040	0.039	0.036	0.036	0.034	0.033	0.031
	R ²	0.900	0.873	0.838	0.817	0.779	0.759	0.727	0.710
Weibull	RMSE	0.040	0.039	0.038	0.035	0.035	0.033	0.032	0.031
	R ²	0.921	0.895	0.863	0.844	0.807	0.786	0.756	0.740
Pi=0(%)		0.803	2.410	4.819	8.032	15.663	21.285	28.514	35.341
Pi-Pj >1/N(%)		37.349	40.964	44.177	44.980	51.807	56.225	66.667	67.470

**表 5.13 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果
(2.0m<H_s<3.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.048	0.045	0.045	0.042	0.040	0.038	0.036	0.035
	R ²	0.887	0.852	0.805	0.769	0.749	0.718	0.699	0.669
Normal	RMSE	0.053	0.047	0.046	0.043	0.040	0.038	0.035	0.034
	R ²	0.869	0.851	0.812	0.775	0.759	0.726	0.718	0.685
Rayleigh	RMSE	0.043	0.040	0.040	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032
	R ²	0.895	0.872	0.828	0.793	0.773	0.740	0.726	0.694
Weibull	RMSE	0.041	0.038	0.040	0.038	0.035	0.034	0.032	0.032
	R ²	0.917	0.895	0.853	0.818	0.802	0.768	0.756	0.723
Pi=0(%)		0.000	2.703	9.910	14.414	24.324	27.928	39.640	53.153
Pi-Pj >1/N(%)		33.333	40.541	47.748	51.351	61.261	67.568	63.964	72.973

表 5.14 2006 年台北港波高之各種分布及指標評估結果(H_s>3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.050	0.045	0.046	0.044	0.042	0.040	0.040	0.037
	R ²	0.858	0.831	0.770	0.749	0.715	0.684	0.647	0.627
Normal	RMSE	0.055	0.046	0.046	0.044	0.042	0.040	0.040	0.037
	R ²	0.855	0.846	0.795	0.763	0.732	0.706	0.658	0.647
Rayleigh	RMSE	0.044	0.038	0.039	0.039	0.038	0.036	0.037	0.034
	R ²	0.879	0.861	0.810	0.779	0.746	0.713	0.675	0.656
Weibull	RMSE	0.042	0.038	0.040	0.039	0.038	0.036	0.037	0.034
	R ²	0.897	0.883	0.829	0.802	0.772	0.740	0.696	0.682
Pi=0(%)		0.000	3.333	6.667	13.333	20.000	26.667	33.333	40.000
Pi-Pj >1/N(%)		23.333	36.667	43.333	70.000	63.333	73.333	76.667	83.333

5.2 週期短期統計分析

5.2.1 每月週期分布分析

2006年1至12月安平港與台北港各月份的波浪週期資料分析結果依波高大小分成六個區間，每個區間間隔0.5m，其每月分區數目如上述波高分布分析結果。由 R^2 、RMS、 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 四個參數以進行週期之分析，並選用Gamma、Erlang、Rayleigh及Longuet-Higgins分布進行週期最佳組數與最適分布之分析。由各月之週期分布結果，大部分之最佳分組數為5組，最佳分布則為Gamma或Erlang，Longuet-Higgins次之，Rayleigh最差。安平港6-9月之週期分布Erlang略優於Gamma，其他月份則相反。台北港7月份以Gamma為最佳，其餘月份Erlang略優於Gamma。

5.2.2 每季週期分布分析

為比較2006年每季分析之結果，本計畫分別將1至3月歸類為第1季，4至6月為第2季，7至9月為第3季，10至12月為第4季，其分析結果四季週期之各區間直方圖之最佳分組組數為5組。安平港的第1及4季皆為Gamma略優於Erlang，第2及3季在波高0.5m以上，皆為Erlang略優於Gamma。台北港第2季及第3季在波高1.0m以下，皆為Gamma，而第4季在波高0.5m以上，皆為Erlang。

5.2.3 全年週期分布分析

2006年全年之週期分析結果如表5.15至5.26所示，其分組越多其 R^2 遞減與RMS遞增之情形與波高分布分析之結果相同，並由 $P_i=0$ 與 $|P_i-P_j|>1/N$ 來選定適合的分組組數範圍。波高分布小於3.0m以下，最佳組數為5組，大於3.0m則為5-6組。波高小於0.5m者，其最佳分布為Gamma，大於0.5m之最佳分布大部份則為Erlang。故在比較各種評估參數後，選定最佳分組組數為5組，最佳分布為Erlang。其 $P_i=0$

之百分比約在 2%以下，其 $|P_i - P_j| > 1/N$ 約為 10%。

表 5.15 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.099	0.105	0.108	0.110	0.111	0.111	0.111	0.112
	R ²	0.922	0.899	0.878	0.859	0.842	0.826	0.810	0.795
Erlang	RMSE	0.111	0.115	0.116	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117
	R ²	0.906	0.883	0.862	0.843	0.826	0.809	0.792	0.778
Rayleigh	RMSE	0.297	0.283	0.271	0.260	0.251	0.242	0.235	0.229
	R ²	0.488	0.440	0.401	0.369	0.341	0.318	0.299	0.281
L-H	RMSE	0.162	0.169	0.179	0.190	0.202	0.214	0.226	0.240
	R ²	0.771	0.754	0.739	0.727	0.715	0.703	0.691	0.680
Pi=0(%)		0.292	1.441	3.971	7.748	14.152	21.277	29.764	38.330
Pi-Pj >1/N(%)		20.051	36.403	45.377	49.523	52.949	55.110	57.602	59.957

**表 5.16 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果
($0.5m < H_s < 1.0m$)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.127	0.127	0.129	0.131	0.129	0.129	0.129	0.127
	R ²	0.836	0.809	0.778	0.750	0.731	0.708	0.686	0.671
Erlang	RMSE	0.126	0.126	0.128	0.130	0.128	0.129	0.129	0.127
	R ²	0.845	0.816	0.785	0.755	0.734	0.711	0.688	0.672
Rayleigh	RMSE	0.310	0.293	0.280	0.270	0.261	0.253	0.246	0.240
	R ²	0.316	0.273	0.239	0.213	0.194	0.178	0.163	0.153
L-H	RMSE	0.165	0.171	0.180	0.192	0.202	0.218	0.229	0.242
	R ²	0.784	0.768	0.752	0.729	0.720	0.697	0.684	0.673
Pi=0(%)		0.437	1.020	2.913	7.138	11.872	17.334	27.167	35.907
Pi-Pj >1/N(%)		15.950	27.749	35.543	40.495	43.409	46.686	51.566	53.969

**表 5.17 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果
(1.0m<H_s<1.5m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.133	0.137	0.135	0.136	0.134	0.135	0.134	0.134
	R ²	0.803	0.759	0.734	0.696	0.675	0.648	0.624	0.600
Erlang	RMSE	0.127	0.132	0.130	0.133	0.131	0.132	0.131	0.132
	R ²	0.823	0.777	0.752	0.712	0.689	0.661	0.635	0.610
Rayleigh	RMSE	0.293	0.279	0.267	0.258	0.248	0.243	0.236	0.231
	R ²	0.299	0.253	0.220	0.192	0.169	0.150	0.136	0.124
L-H	RMSE	0.138	0.145	0.152	0.164	0.174	0.187	0.200	0.212
	R ²	0.784	0.758	0.746	0.711	0.698	0.678	0.658	0.641
Pi=0(%)		0.000	0.264	1.847	2.639	8.707	15.040	21.108	29.024
Pi-Pj >1/N(%)		8.179	20.317	24.538	27.704	32.718	39.050	44.855	46.438

**表 5.18 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果
(1.5m<H_s<2.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.134	0.139	0.133	0.137	0.133	0.136	0.133	0.134
	R ²	0.789	0.738	0.714	0.668	0.651	0.614	0.598	0.570
Erlang	RMSE	0.127	0.133	0.129	0.133	0.129	0.134	0.131	0.132
	R ²	0.812	0.760	0.732	0.687	0.667	0.628	0.611	0.581
Rayleigh	RMSE	0.282	0.271	0.255	0.248	0.238	0.235	0.227	0.224
	R ²	0.309	0.251	0.227	0.197	0.185	0.171	0.159	0.147
L-H	RMSE	0.129	0.138	0.144	0.154	0.162	0.178	0.186	0.201
	R ²	0.789	0.746	0.732	0.704	0.695	0.661	0.651	0.622
Pi=0(%)		0.000	0.000	2.649	6.623	10.596	13.907	25.166	35.099
Pi-Pj >1/N(%)		6.623	14.570	14.570	23.841	23.841	37.086	36.424	48.344

**表 5.19 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果
(2.0m<H_s<3.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.158	0.156	0.158	0.157	0.154	0.152	0.152	0.151
	R ²	0.723	0.681	0.627	0.596	0.567	0.542	0.513	0.490
Erlang	RMSE	0.148	0.147	0.150	0.150	0.148	0.147	0.147	0.148
	R ²	0.756	0.715	0.660	0.623	0.595	0.565	0.536	0.510
Rayleigh	RMSE	0.284	0.271	0.261	0.252	0.244	0.238	0.233	0.228
	R ²	0.283	0.237	0.202	0.185	0.168	0.152	0.138	0.127
L-H	RMSE	0.123	0.128	0.139	0.148	0.157	0.169	0.180	0.194
	R ²	0.765	0.749	0.703	0.681	0.661	0.634	0.621	0.595
Pi=0(%)		0.000	0.909	1.818	4.545	11.818	20.909	26.364	33.636
Pi-Pj >1/N(%)		8.182	13.636	22.727	25.455	32.727	39.091	48.182	56.364

表 5.20 2006 年安平港週期之各種分布及指標評估結果(H_s>3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.182	0.176	0.172	0.175	0.171	0.171	0.170	0.165
	R ²	0.642	0.593	0.567	0.506	0.466	0.439	0.412	0.391
Erlang	RMSE	0.171	0.167	0.165	0.169	0.166	0.167	0.166	0.163
	R ²	0.682	0.624	0.596	0.530	0.489	0.457	0.430	0.402
Rayleigh	RMSE	0.283	0.266	0.260	0.253	0.244	0.241	0.237	0.229
	R ²	0.219	0.184	0.140	0.117	0.111	0.097	0.089	0.080
L-H	RMSE	0.121	0.126	0.130	0.145	0.155	0.166	0.178	0.189
	R ²	0.746	0.691	0.715	0.645	0.607	0.597	0.580	0.546
Pi=0(%)		0.000	0.000	5.405	2.703	5.405	16.216	18.919	24.324
Pi-Pj >1/N(%)		10.811	2.703	24.324	48.649	43.243	37.838	62.162	51.351

表 5.21 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.114	0.121	0.122	0.126	0.125	0.124	0.125	0.124
	R ²	0.897	0.869	0.848	0.824	0.806	0.792	0.772	0.758
Erlang	RMSE	0.124	0.128	0.128	0.131	0.130	0.128	0.129	0.128
	R ²	0.887	0.860	0.837	0.814	0.794	0.780	0.759	0.744
Rayleigh	RMSE	0.282	0.271	0.260	0.252	0.243	0.235	0.228	0.223
	R ²	0.531	0.484	0.449	0.417	0.392	0.372	0.352	0.335
L-H	RMSE	0.150	0.155	0.165	0.175	0.186	0.196	0.208	0.221
	R ²	0.771	0.762	0.744	0.733	0.718	0.708	0.695	0.684
Pi=0(%)		0.479	1.164	4.175	8.350	14.442	22.108	31.554	40.931
Pi-Pj >1/N(%)		18.960	40.041	47.296	51.540	54.141	55.510	58.453	60.233

**表 5.22 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果
($0.5m < H_s < 1.0m$)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.118	0.121	0.127	0.126	0.126	0.127	0.125	0.125
	R ²	0.873	0.850	0.817	0.796	0.778	0.755	0.738	0.723
Erlang	RMSE	0.123	0.125	0.130	0.129	0.128	0.129	0.128	0.128
	R ²	0.869	0.846	0.812	0.790	0.771	0.748	0.731	0.714
Rayleigh	RMSE	0.310	0.296	0.285	0.273	0.263	0.256	0.248	0.242
	R ²	0.398	0.347	0.305	0.277	0.252	0.231	0.214	0.200
L-H	RMSE	0.171	0.181	0.194	0.206	0.220	0.235	0.248	0.263
	R ²	0.784	0.772	0.749	0.735	0.721	0.708	0.693	0.681
Pi=0(%)		0.760	1.901	4.468	9.506	15.494	21.863	29.753	38.403
Pi-Pj >1/N(%)		17.586	31.179	39.829	46.198	47.053	51.711	53.422	57.414

**表 5.23 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果
(1.0m<H_s<1.5m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.113	0.114	0.117	0.119	0.118	0.119	0.117	0.118
	R ²	0.854	0.827	0.793	0.765	0.742	0.717	0.701	0.677
Erlang	RMSE	0.113	0.114	0.116	0.118	0.118	0.119	0.117	0.119
	R ²	0.858	0.831	0.796	0.767	0.742	0.716	0.698	0.674
Rayleigh	RMSE	0.283	0.269	0.257	0.249	0.240	0.234	0.226	0.222
	R ²	0.355	0.301	0.260	0.227	0.205	0.185	0.171	0.156
L-H	RMSE	0.148	0.151	0.161	0.171	0.182	0.195	0.206	0.220
	R ²	0.760	0.751	0.724	0.704	0.686	0.671	0.656	0.639
Pi=0(%)		0.176	1.764	2.646	5.820	8.995	12.698	19.577	27.337
Pi-Pj >1/N(%)		8.818	19.929	25.750	26.455	30.511	35.450	37.390	46.737

**表 5.24 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果
(1.5m<H_s<2.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.126	0.127	0.127	0.127	0.128	0.125	0.127	0.125
	R ²	0.800	0.761	0.729	0.697	0.663	0.647	0.614	0.595
Erlang	RMSE	0.122	0.124	0.124	0.125	0.126	0.123	0.126	0.124
	R ²	0.813	0.771	0.738	0.704	0.668	0.651	0.616	0.595
Rayleigh	RMSE	0.264	0.250	0.240	0.232	0.226	0.219	0.214	0.209
	R ²	0.352	0.299	0.257	0.227	0.201	0.182	0.164	0.150
L-H	RMSE	0.135	0.141	0.148	0.160	0.170	0.178	0.194	0.204
	R ²	0.738	0.710	0.700	0.667	0.641	0.636	0.604	0.593
Pi=0(%)		0.000	0.000	0.803	2.410	6.827	12.851	18.072	23.293
Pi-Pj >1/N(%)		4.819	10.442	13.655	16.064	22.892	24.900	34.538	38.153

**表 5.25 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果
(2.0m<H_s<3.0m)**

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.141	0.140	0.140	0.137	0.140	0.137	0.137	0.136
	R ²	0.750	0.711	0.668	0.638	0.598	0.578	0.543	0.524
Erlang	RMSE	0.136	0.137	0.136	0.134	0.138	0.135	0.136	0.134
	R ²	0.765	0.722	0.680	0.647	0.604	0.583	0.546	0.525
Rayleigh	RMSE	0.247	0.235	0.227	0.218	0.215	0.209	0.204	0.200
	R ²	0.381	0.329	0.280	0.250	0.219	0.199	0.179	0.164
L-H	RMSE	0.128	0.133	0.142	0.148	0.164	0.170	0.183	0.193
	R ²	0.687	0.663	0.634	0.621	0.575	0.581	0.548	0.530
Pi=0(%)		0.000	0.000	0.000	1.802	4.505	8.108	19.820	27.928
Pi-Pj >1/N(%)		2.703	9.910	9.910	16.216	22.523	26.126	33.333	36.036

表 5.26 2006 年台北港週期之各種分布及指標評估結果(H_s>3.0m)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	RMSE	0.160	0.163	0.159	0.164	0.156	0.164	0.160	0.155
	R ²	0.692	0.615	0.582	0.536	0.518	0.451	0.436	0.423
Erlang	RMSE	0.150	0.157	0.152	0.159	0.151	0.161	0.157	0.154
	R ²	0.722	0.637	0.604	0.551	0.534	0.461	0.447	0.427
Rayleigh	RMSE	0.247	0.238	0.227	0.228	0.217	0.217	0.212	0.206
	R ²	0.371	0.318	0.285	0.245	0.227	0.194	0.175	0.166
L-H	RMSE	0.119	0.128	0.134	0.149	0.151	0.173	0.179	0.188
	R ²	0.694	0.602	0.592	0.553	0.570	0.487	0.488	0.475
Pi=0(%)		0.000	0.000	0.000	0.000	3.333	13.333	16.667	30.000
Pi-Pj >1/N(%)		0.000	10.000	16.667	23.333	26.667	40.000	43.333	46.667

5.3 波高統計特性分析

安平港與台北港之波高資料，經由統計結果可得其實際之波高統計值，而安平港之波高分布，因較符合 Weibull 分布模式，為求其理論統計值，本研究參考 Rayleigh 分布之公式推導過程，由 Weibull 分布之公式定義，推導出之相關之理論波高統計值公式，並參考常用之波高比，以探討理論與實際之關係。

5.3.1 Weibull 分布系列之統計代表值推導

根據分析結果，驗證出安平港與台北港海面波高之機率分布是近似於 Weibull 分布後，為進一步瞭解 Weibull 分布與實際波高之相關性，以最大概似法(method of maximum likelihood)估算其 α 與 β 參數值，並探討其參數與波高之相關性。而由參數之計算結果，可求得相關之理論波高統計值，並與實際波高計算而得之統計值進行比較，Weibull 分布之相關波高統計值 H_s 、 \bar{H} 、 H_{max} 與 H_{rms} 推導如下：

變數依大小排列下，機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p ，示意如圖 5.1。

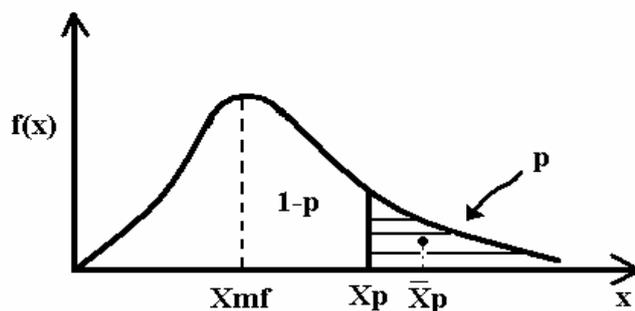


圖 5.1 機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p 及最大機率密度之示意圖

因此

$$1-F(x \leq x_p) = p = e^{c^\alpha - \left(\frac{x_p}{\beta} + c\right)^\alpha} \quad (5.2)$$

所以

$$x_p = \beta[(c^\alpha - \ln p)^{\frac{1}{\alpha}} - c] \quad (5.3)$$

因此，在 x_p 至 ∞ 間之平均值 \bar{x}_p ，則依機率密度函數可得

$$\begin{aligned} \bar{x}_p &= \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x f(x) dx \\ &= \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^{\alpha-1} e^{c^\alpha - \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^\alpha} dx \end{aligned} \quad (5.4)$$

上式用變數轉換 $y = (x/a+c)^b$ 及一次部分積分法可得

$$\bar{x}_p = x_p + \frac{1}{p} \frac{\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha - \ln p\right) \quad (5.5)$$

其中 $\Gamma(s, t)$ 定義為不完整 Gamma 函數(upper incomplete Gamma function)

$$\Gamma(s, t) = \int_t^{\infty} x^{s-1} e^{-x} dx \quad (5.6)$$

如果式(5.6)中 $t=0$ 時，即為一般之 Gamma 函數 $\Gamma(s) = \Gamma(s, 0)$ 。當變數 x 為波高(H)且選擇 $p=1/3$ 時， $\bar{x}_p = H_s$ 稱為示性波高(significant wave height)，所以代入 $p=1/3$ 及式(5.3)至式(5.5)得

$$H_s = \beta[(c^\alpha + \ln 3)^{\frac{1}{\alpha}} - c] + \frac{3\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 3\right) \quad (5.7)$$

若式(5.5)選擇 $p=1$ 時， $\bar{x}_p = \bar{H}$ 稱為平均波高(mean wave height)

$$\bar{H} = \frac{\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha\right) \quad (5.8)$$

均方值(root-mean-square) 定義如下

$$\begin{aligned}
x_{rms}^2 &= \int_0^{\infty} x^2 f(x) dx \\
&= \int_0^{\infty} x^2 \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta} + c \right)^{\alpha-1} e^{c^\alpha - \left(\frac{x}{\beta} + c \right)^\alpha} dx \\
&= 2e^{c^\alpha} \frac{\beta^2}{\alpha} \left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}, c^\alpha\right) - c\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha\right) \right]
\end{aligned} \tag{5.9}$$

當欲求最大發生機率密度下之 x 值，可由機率密度函數直接對 x 微分令為零，即為 $df(x)/dx=0$ 條件下，由式(4.14)之機率密度函數可得

$$x_{mf} = \beta \left[\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - c \right] \tag{5.10}$$

今將上述所推導有關 Weibull 分布系列之統計特性公式列如表 5.27。

表 5.27 Weibull 分布系列之統計特性公式

	Modified Weibull 分布	Weibull 分布	Rayleigh 分布
$H_{1/100}$	$\beta[(c^\beta + \ln 100)^{\frac{1}{\alpha}} - c] + \frac{100\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 100\right)$	$\beta[(\ln 100)^{\frac{1}{\alpha}}] + \frac{100\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, \ln 100\right)$	$\beta[(\ln 100)^{\frac{1}{2}}] + 50\beta\Gamma\left(\frac{1}{2}, \ln 100\right)$
$H_{1/10}$	$\beta[(c^\beta + \ln 10)^{\frac{1}{\alpha}} - c] + \frac{10\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 10\right)$	$\beta[(\ln 10)^{\frac{1}{\alpha}}] + \frac{10\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, \ln 10\right)$	$\beta[(\ln 10)^{\frac{1}{2}}] + 5\beta\Gamma\left(\frac{1}{2}, \ln 10\right)$
H_s	$\beta[(c^\beta + \ln 3)^{\frac{1}{\alpha}} - c] + \frac{3\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 3\right)$	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{\alpha}}] + \frac{3\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, \ln 3\right)$	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{2}}] + \frac{3}{2}\beta\Gamma\left(\frac{1}{2}, \ln 3\right)$
\bar{H}	$\frac{\beta}{\alpha} e^{c^\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha\right)$	$\frac{\beta}{\alpha} \Gamma\left(\frac{1}{\alpha}\right)$	$\frac{\beta\sqrt{\pi}}{2}$
H_{rms}	$\left(2e^{c^\alpha} \frac{\beta^2}{\alpha} \left[\Gamma\left(\frac{2}{\alpha}, c^\alpha\right) - c\Gamma\left(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha\right) \right] \right)^{\frac{1}{2}}$	$\left(2\frac{\beta^2}{\alpha} \Gamma\left(\frac{2}{\alpha}\right) \right)^{\frac{1}{2}}$	β
H_{mf}	$\beta \left[\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} - c \right]$	$\beta \left[\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right)^{\frac{1}{\alpha}} \right]$	$\frac{\beta}{\sqrt{2}}$

5.3.2 Gamma 分布系列之統計代表值推導

根據波浪週期短期分析可知較合宜機率密度為 Gamma 分布，現將分布依上述方法推導分布之統計代表值。變數依大小排列下，機率高於 $F(x \leq x_p) = 1 - p$ 之平均值為 \bar{x}_p ，因此

$$1 - F(x \leq x_p) = p = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) = \frac{\Gamma(\alpha, \frac{x_p}{\beta})}{\Gamma(\alpha)} \quad (5.11)$$

若給定 p 值，則由式(5.11)以數值解析疊代方法，可得 x_p 而使 x 大於 x_p 之機率為 p 。 x 在 x_p 至 ∞ 間之平均值 \bar{x}_p ，則依機率密度函數可得

$$\begin{aligned} \bar{x}_p &= \frac{1}{p} \int_{x_p}^{\infty} x f(x) dx \\ &= \frac{1}{p} \frac{\beta}{\Gamma(\alpha)} \int_{x_p}^{\infty} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) \\ &= \frac{1}{p} \frac{\beta \Gamma(\alpha+1, x_p / \beta)}{\Gamma(\alpha)} \\ &= \alpha \beta + \frac{\beta}{p \Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_p}{\beta}\right)^{\alpha} e^{-\frac{x_p}{\beta}} \end{aligned} \quad (5.12)$$

依均方值(root-mean-square) 定義得 Gamma 分布之均方值為

$$\begin{aligned} x_{rms}^2 &= \int_0^{\infty} x^2 f(x) dx \\ &= \frac{\beta^2}{\Gamma(\alpha)} \int_0^{\infty} \left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha+1} e^{-\frac{t}{\beta}} d\left(\frac{t}{\beta}\right) \\ &= \alpha(\alpha+1)\beta^2 \end{aligned} \quad (5.13)$$

今將上述所推導有關 Gamma 分布系列之統計特性公式列如表 5.28。

表 5.28 Gamma 分布系列之統計特性公式

	Gamma 分布	Erlang 分布
$T_{1/100}$	$\alpha\beta + \frac{100\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/100}}{\beta}\right)^\alpha e^{-\frac{x_{1/100}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{100\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/100}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/100}}{\beta}}$
$T_{1/10}$	$\alpha\beta + \frac{10\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/10}}{\beta}\right)^\alpha e^{-\frac{x_{1/10}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{10\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/10}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/10}}{\beta}}$
T_s	$\alpha\beta + \frac{3\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/30}}{\beta}\right)^\alpha e^{-\frac{x_{1/30}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{3\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/3}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/3}}{\beta}}$
\bar{T}	$\alpha\beta$	$n\beta$
T_{rms}	$\beta\sqrt{\alpha(\alpha+1)}$	$\beta\sqrt{n(n+1)}$

5.4 計算統計值與實測值之比較

5.4.1 花蓮港波高及週期統計值

依上述推導公式將第 5.1 節之波浪分組之標準，六組中各取 30 小時之每小時波浪，即每組有 30 個樣本。由 matlab 軟體中最大概似法 (maximum likelihood method) 之指令求得各分布之參數後，由表 5.27 計算花蓮港波浪之波高統計值與實測值之比較示如表 5.29 至表 5.34，比較的項目為 $H_{1/100}$ ， $H_{1/10}$ ， H_s ， H_{mean} 及 H_{rms} 之 R^2 及 $RMSE/\bar{H}_s$ ，其中 $RMSE$ 為以式(5.1)所算得 30 個樣本之統計值與實測值之平均誤差方根，而 \bar{H}_s 為 30 個樣本實測 H_s 之平均值。

在表 5.29 至表 5.34 之評比指標結果中，除 H_{rms} 以外其他指標結果顯示，在六組中以修正 Weibull 分布及 Weibull 分布所得之波高統計值接近實測值程度均比以 Rayleigh 分布所得之結果吻合。若以六組之示性波高來說， $RMSE/\bar{H}_s$ 之值以 Rayleigh 分布所得之結果比以修正 Weibull 分布及 Weibull 分布所得大約兩倍，顯示以修正 Weibull 分布

及 Weibull 分布來描述波高之分布是較以 Rayleigh 分布來描述波高更合適。因為統計值 $H_{1/100}$, $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 依序變小所以當參數以最大概似法求出，分布比較均勻適合所有樣本，因此樣本值大者計算值之誤差相對就大。而修正 Weibull 分布在描述 $H_{1/10}$ 及 H_s 比以 Weibull 分布描述結果還好，但在 H_{mean} 及 H_{rms} 之統計值描述方面則以 Weibull 分布較佳於修正 Weibull 分布。在工程的觀點，一般使用 $H_{1/10}$ 或 H_s 當設計參數，所以修正 Weibull 分布在描述波高統計值有其優點。

如果以 Rayleigh 分布及 Weibull 分布(因與修正 Weibull 分布之計算值接近)所得之 $\text{RMSE}/\overline{H_s}$ 依六組分別畫 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 之結果示如圖 5.2 至圖 5.4。由圖 5.2 至圖 5.4 明顯可知，以 Weibull 分布來描述波高之 $H_{1/10}$, H_s 及 H_{mean} 之統計值較以 Rayleigh 分布來描述波高統計值佳。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Weibull 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s 及 H_{mean} 上分別有平均相對誤差($\text{RMSE}/\overline{H_s}$)約在 3.4%，1.06%，0.153%。示性波高在大於 3m 之波浪，則平均相對誤差($\text{RMSE}/\overline{H_s}$)就急速增加，但是 H_s 在這趨勢上則增加較少，此印證以示性波高來表示不規則波之特性比較有一致性之結論。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Rayleigh 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 上分別有平均相對誤差($\text{RMSE}/\overline{H_s}$)約在 6.49%，2.18%，1.30%。

由上述討論可知以修正 Weibull 分布(或 Weibull 分布)來描述波高之統計值是適合的。現將 180 個樣本所計算 $H_{1/10}$, H_s 及 H_{rms} 與實測值之比較圖分別示如圖 5.5 至圖 5.7。其中將計算值與實測值以線性回歸來看計算結果之吻合程度。若其 R^2 接近於 1 代表計算值能極表現實測值之大小，而線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 亦表示計算值能極接近於實測值。從圖 5.5 至圖 5.8 之 R^2 極接近於 1 及線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 可知，修正 Weibull 分布描述波高之統計值是極為恰當。另外計算 $H_{1/10}$ 結果之圖 5.5 比計算 H_{rms} 結果之圖 5.7 在 R^2 與線性方程式均顯示，修正 Weibull 分布描述波高之 H_{rms} , H_s 及 $H_{1/10}$ 依順序較佳。

表 5.29 波高統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R^2	RMSE/ $\overline{H_s}$
$H_{1/100}$	0.0832	0.3173	0.1822	0.0934	0.2082	0.2046
$H_{1/10}$	0.0206	0.7911	0.0451	0.0289	0.6417	0.0634
H_s	0.0047	0.9777	0.0104	0.0095	0.9330	0.0208
H_{mean}	0.0010	0.9978	0.0022	0.0058	0.9437	0.0127
H_{rms}	0.0004	0.9997	0.0009	0.0000	1.0000	0.0000

表 5.30 波高統計特性與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R^2	RMSE/ $\overline{H_s}$
$H_{1/100}$	0.0907	0.7647	0.1305	0.1229	0.613	0.1768
$H_{1/10}$	0.0262	0.9525	0.0377	0.0388	0.9054	0.0558
H_s	0.0062	0.9948	0.0089	0.0122	0.9834	0.0175
H_{mean}	0.0014	0.9994	0.0020	0.0075	0.9841	0.0108
H_{rms}	0.0004	0.9999	0.0006	0.0000	1.0000	0.0000

表 5.31 波高統計特性與實測值之比較($1.0m < H_s < 1.5m$)

第三組	Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R^2	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R^2	RMSE/ $\overline{H_s}$
$H_{1/100}$	0.1604	0.8077	0.1428	0.2168	0.3587	0.1931
$H_{1/10}$	0.0343	0.9228	0.0306	0.0734	0.756	0.0654
H_s	0.013	0.9816	0.0116	0.0254	0.9365	0.0226
H_{mean}	0.0016	0.9994	0.0014	0.0141	0.9655	0.0126
H_{rms}	0.0006	0.9999	0.0006	0.0000	1.0000	0.0000

表 5.32 波高統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.2229	0.5868	0.1344	0.3583	0.1165	0.2160
H _{1/10}	0.0616	0.8869	0.0372	0.1294	0.544	0.0780
H _s	0.0194	0.9791	0.0117	0.0355	0.9284	0.0214
H _{mean}	0.0025	0.9992	0.0015	0.0223	0.9416	0.0135
H _{rms}	0.0009	0.9999	0.0006	0.0000	1.0000	0.0000

表 5.33 波高統計特性與實測值之比較(2.0m<H_s<3.0m)

第五組	Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.3524	0.6716	0.1563	0.4741	0.6004	0.2103
H _{1/10}	0.0685	0.9566	0.0304	0.1397	0.8213	0.0620
H _s	0.0242	0.9853	0.0108	0.056	0.9446	0.0249
H _{mean}	0.0033	0.9994	0.0015	0.0316	0.9678	0.0140
H _{rms}	0.0018	0.9998	0.0008	0.0000	1.0000	0.0000

表 5.34 波高統計特性與實測值之比較(H_s>3.0m)

第六組	Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	RMSE (m)	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.7412	0.7356	0.2229	1.123	0.5085	0.3378
H _{1/10}	0.5363	0.8846	0.1613	0.763	0.6158	0.2295
H _s	0.0491	0.9753	0.0148	0.115	0.9006	0.0346
H _{mean}	0.0076	0.999	0.0023	0.2072	0.3394	0.0623
H _{rms}	0.0949	0.8805	0.0286	0.0000	1.0000	0.0000

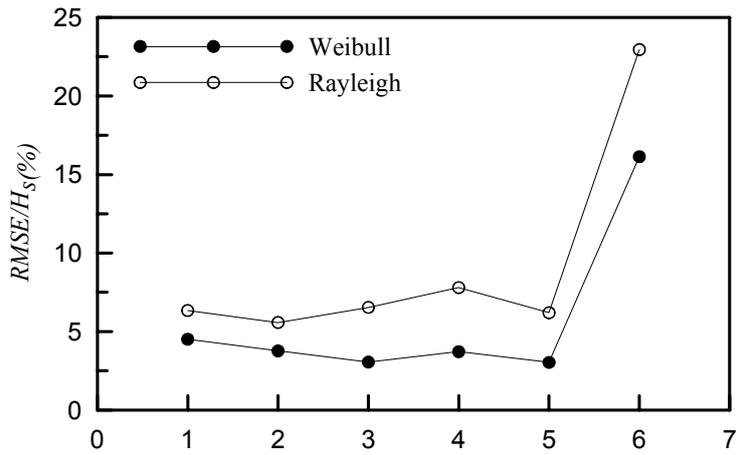


圖 5.2 以 Weibull 及 Rayleigh 分布計算花蓮港波高 $H_{1/10}$ 之比較

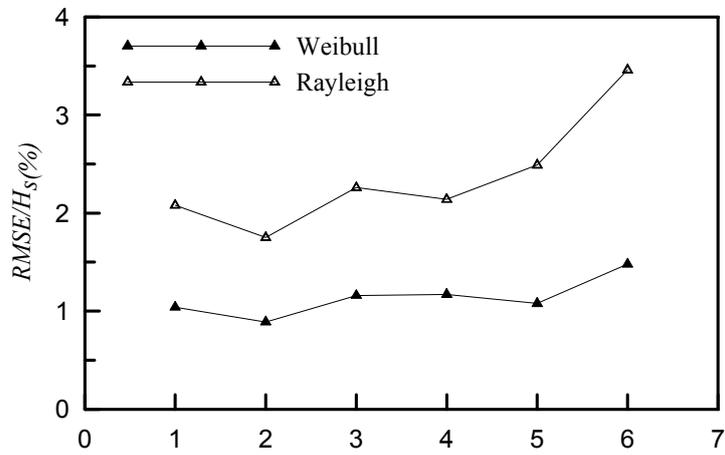


圖 5.3 以 Weibull 及 Rayleigh 分布計算花蓮港波高 H_s 之比較

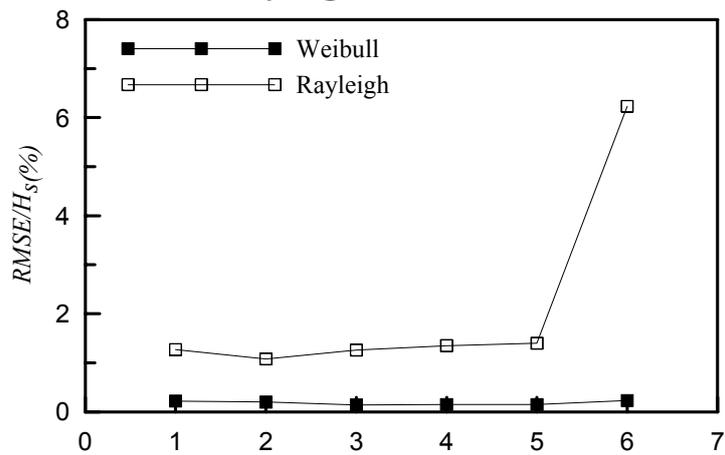


圖 5.4 以 Weibull 及 Rayleigh 分布計算花蓮港波高 H_{mean} 之比較

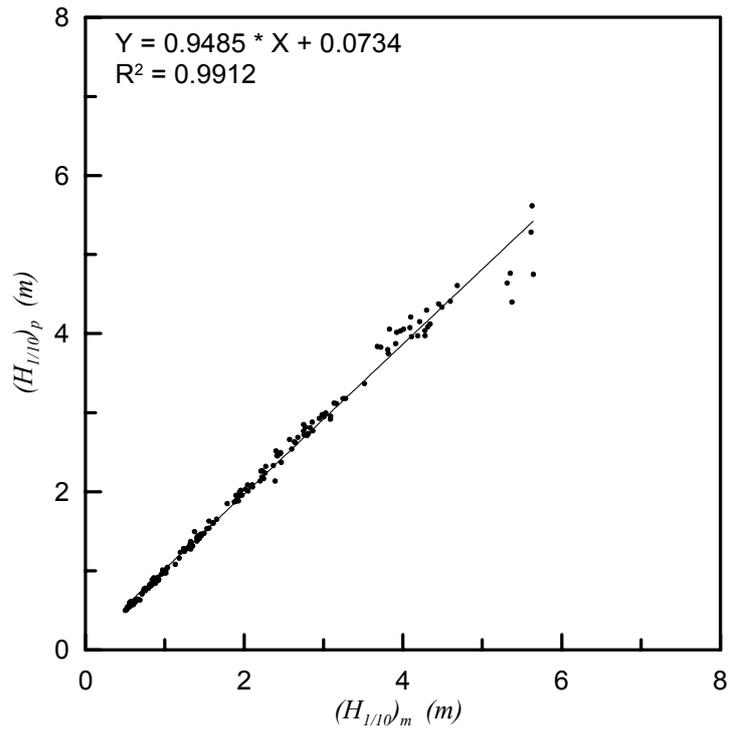


圖 5.5 以修正 Weibull 計算花蓮港波高 H1/10 與實測值之比較

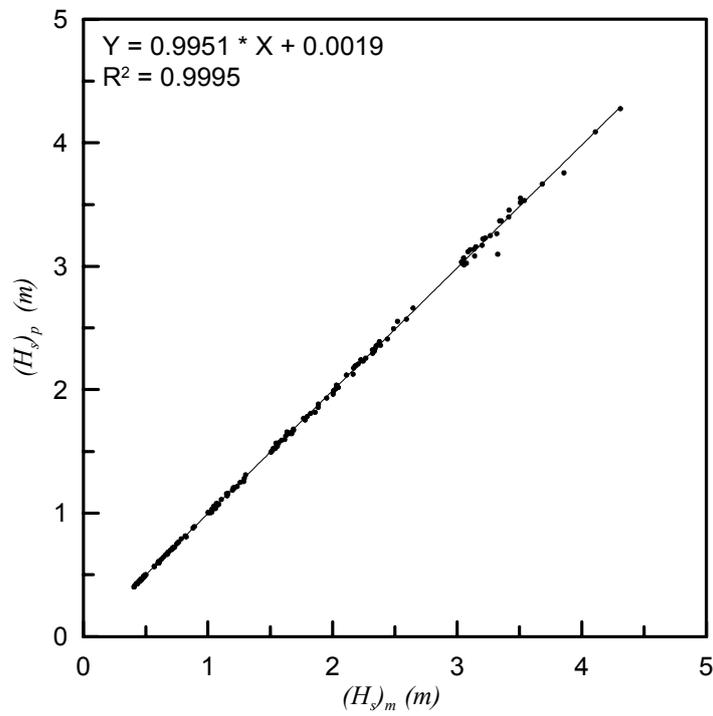


圖 5.6 以修正 Weibull 計算花蓮港波高 Hs 與實測值之比較

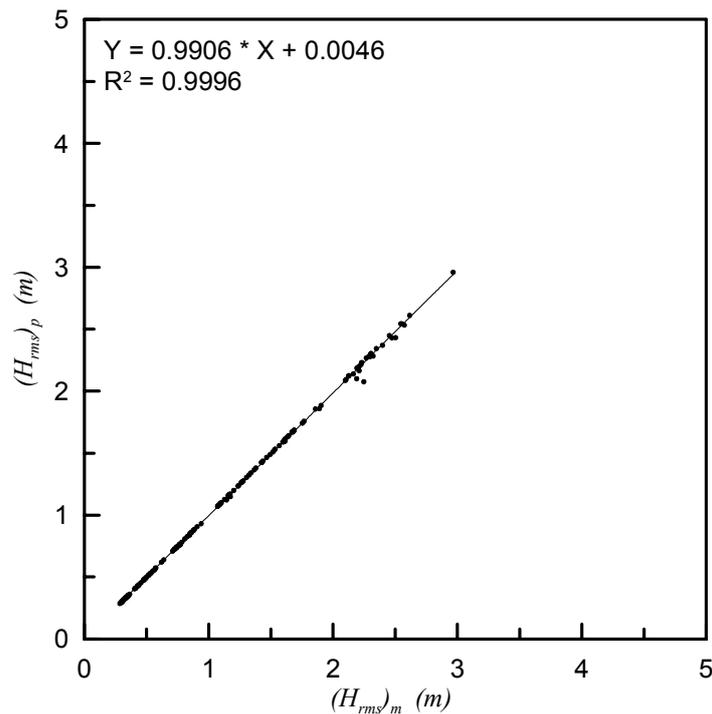


圖 5.7 以修正 Weibull 計算花蓮港波高 H_{rms} 與實測值之比較

對花蓮港示性波浪之週期短期統計特性，本研究只選擇較合適之 Gamma 分布及 Erlang 分布兩種。其中 Gamma 分布之參數由 matlab 軟體中最大概似法(maximum likelihood method)求得，而 Erlang 分布之參數則由示性波週期及平均週期之統計特性之兩個條件解出參數 α 及 β 後，再取 α 為整數。計算樣本如同波高統計值相同六組均取 30 個樣本。俟分布之參數獲得後，依表 5.28 公式來計算花蓮港示性波浪之週期統計值，其與實測值之比較示如表 5.35 至表 5.40，比較的項目為 $T_{1/100}$ ， $T_{1/10}$ ， T_s ， T_{mean} 及 T_{rms} 之 RMSE， R^2 及 $RMSE/\bar{T}_s$ 。

從表 5.35 至表 5.40 之評比指標結果可知，在六組中以 Erlang 分布計算週期統計值與實測值之吻合結果都較以 Gamma 分布所得結果佳。若以六組之示性週期來說， $RMSE/\bar{T}_s$ 之值以 Erlang 分布所得之結果都比以 Gamma 分布所得稍小，顯示以 Erlang 分布來描述週期之分布是較以 Gamma 分布來描述週期更合適。因為統計值 $T_{1/100}$ ， $T_{1/10}$ ， T_s ， T_{mean} 及 T_{rms} 依序變小所以當參數以最大概似法求出，分布比較均勻適合所有樣本，因此樣本值大者計算值之誤差相對就大。但就此兩分

布來看，二者對於 T_{mean} 及 T_{rms} 之推估均極為吻合，就 Gamma 分布而言，六組 T_{rms} 之 RMSE 均在 0.08sec 以下，而六組 T_{mean} 之 RMSE 更小，在 0.001sec 以下。而以 Erlang 分布來描述週期之 T_{mean} 及 T_{rms} ，六組之 RMSE 差異在 0.004 sec 以下。但對於 $T_{1/10}$ 及 T_s 而言，Erlang 分布推估值與實測值誤差分別只達到 0.82sec 及 0.22sec 以下，六組之平均誤差分別約在 0.347sec 及 0.192sec。

如果以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得之 RMSE/\bar{T}_s 依六組分別畫 $T_{1/10}$ ， T_s ， T_{rms} 之結果示如圖 5.8 至圖 5.10。由圖 5.8 至圖 5.10 可知在 $T_{1/10}$ ， T_s ， T_{rms} 之統計值上，以 Erlang 分布來描述週期之分布稍佳於 Gamma 分布來描述週期。雖然平均示性波高在大於 3m 之波浪，以 Erlang 分布及 Gamma 分布來描述在 T_s 及 T_{rms} 之平均相對誤差 (RMSE/\bar{T}_s) 較大，但不會與示性波高有明顯增大之趨勢。由此可見對於波浪週期之描述，以示性週期似乎還是一個穩定且吻合的指標。以 Gamma 分布描述六組 $T_{1/10}$ 之平均相對誤差 (RMSE/\bar{T}_s) 在 0.0305-0.1042 間，而以 Erlang 分布描述平均相對誤差在 0.0200-0.0632 間。以 Gamma 分布描述六組 T_s 之平均相對誤差 (RMSE/\bar{T}_s) 在 0.0218-0.0412 間，而以 Erlang 分布描述平均相對誤差在 0.0131-0.0217 間。以 Gamma 分布描述六組 T_{rms} 之平均相對誤差 (RMSE/\bar{T}_s) 在 0.0013-0.0061 間。

由上述討論可知以 Erlang 分布來描述波浪週期之統計值是適合的。現將 180 個樣本所計算 $T_{1/10}$ ， T_s 及 T_{rms} 與實測值之比較圖分別示如圖 5.11 至圖 5.13。其中將計算值與實測值以線性回歸來看計算結果之吻合程度。若其 R^2 接近於 1 代表計算值能極表現實測值之大小，而線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 亦表示計算值能極接近於實測值。從圖 5.11 至圖 5.13 之 R^2 極接近於 1 及線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 可知，Erlang 分布描述波高之統計值是極為恰當。另外計算 $T_{1/10}$ 結果之圖 5.11 比計算 T_{rms} 結果之圖 5.7 在 R^2 與線性方程式均顯示，Erlang 分布描述波高之算 T_{rms} ， T_s 及 $T_{1/10}$ 依順序較佳。如果比較波高統計值之圖 5.5 至圖 5.7 與相對應週期之圖 5.11 至圖 5.12 顯示，波高的統計特性較週期的統計特性能用機率函數描述之。

表 5.35 週期統計特性與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	1.7556	0.1490	0.1803	1.4019	0.3392	0.1440
T _{1/10}	0.5964	0.6612	0.0613	0.2783	0.8981	0.0286
T _s	0.4012	0.8626	0.0412	0.2116	0.9722	0.0217
T _{mean}	0.0001	1.0000	0.0000	0.0015	1.0000	0.0002
T _{rms}	0.0465	0.9924	0.0048	0.0017	1.0000	0.0002

表 5.36 週期統計特性與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	1.0636	0.2068	0.1103	0.9233	0.4000	0.0958
T _{1/10}	0.4011	0.5465	0.0416	0.2054	0.8163	0.0213
T _s	0.3384	0.7800	0.0351	0.2022	0.9503	0.0210
T _{mean}	0.0001	1.0000	0.0000	0.0011	1.0000	0.0001
T _{rms}	0.0276	0.9928	0.0029	0.0012	1.0000	0.0001

表 5.37 週期統計特性與實測值之比較($1.0m < H_s < 1.5m$)

第三組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	1.2940	0.2497	0.1227	1.1776	0.3768	0.1117
T _{1/10}	0.3384	0.8196	0.0321	0.2316	0.9122	0.0220
T _s	0.2527	0.9481	0.0240	0.1720	0.9813	0.0163
T _{mean}	0.0001	1.0000	0.0000	0.0014	1.0000	0.0001
T _{rms}	0.0181	0.9986	0.0017	0.0013	1.0000	0.0001

表 5.38 週期統計特性與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	1.0165	0.2863	0.0938	0.9355	0.3092	0.0863
T _{1/10}	0.3311	0.8360	0.0305	0.2170	0.8985	0.0200
T _s	0.2367	0.9635	0.0218	0.1588	0.9865	0.0146
T _{mean}	0.0002	1.0000	0.0000	0.0012	1.0000	0.0001
T _{rms}	0.0143	0.9995	0.0013	0.0016	1.0000	0.0001

表 5.39 週期統計特性與實測值之比較(2.0m<H_s<3.0m)

第五組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	2.6156	0.5842	0.1852	2.0703	0.6541	0.1466
T _{1/10}	1.0952	0.9134	0.0776	0.7472	0.9533	0.0529
T _s	0.3693	0.9825	0.0262	0.1847	0.9938	0.0131
T _{mean}	0.0004	1.0000	0.0000	0.0029	1.0000	0.0002
T _{rms}	0.0429	0.9995	0.0030	0.0025	1.0000	0.0002

表 5.40 週期統計特性與實測值之比較(H_s>3.0m)

第六組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	3.5106	0.1128	0.2705	2.5984	0.2273	0.2002
T _{1/10}	1.3526	0.4995	0.1042	0.8199	0.7572	0.0632
T _s	0.4793	0.9173	0.0369	0.2222	0.9799	0.0171
T _{mean}	0.0004	1.0000	0.0000	0.0047	1.0000	0.0004
T _{rms}	0.0791	0.9968	0.0061	0.0050	1.0000	0.0004

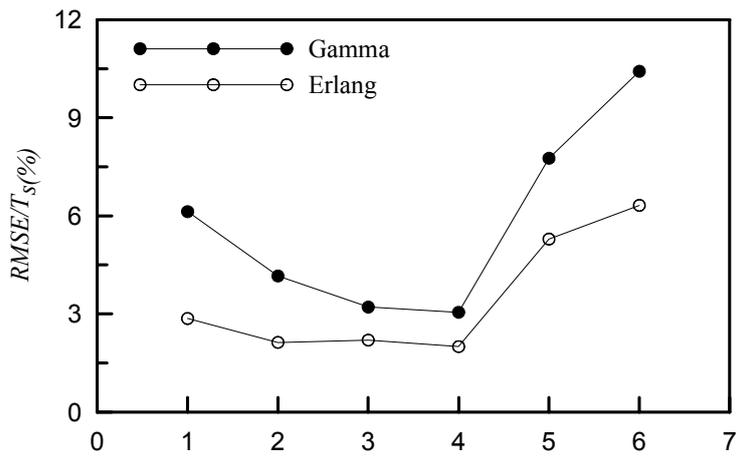


圖 5.8 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得 $T_{1/10}$ 之比較

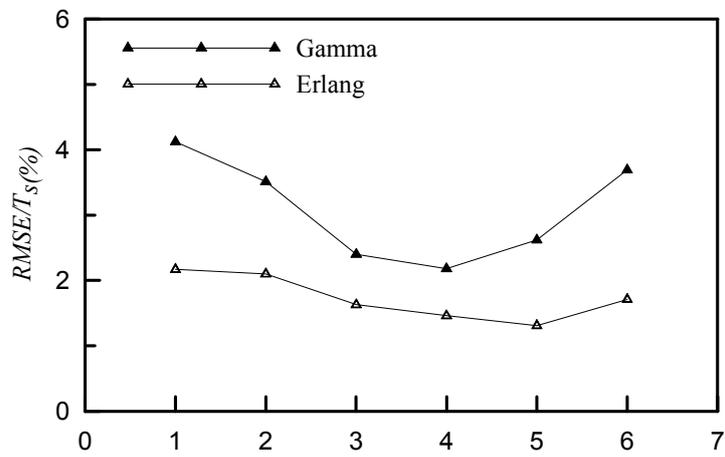


圖 5.9 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得 T_s 之比較

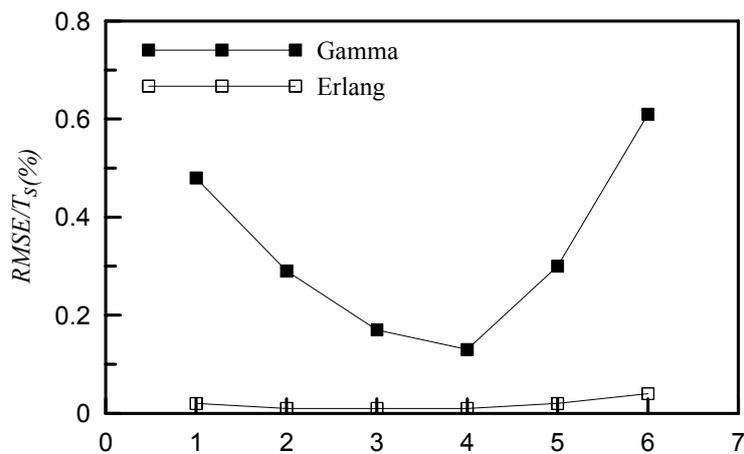


圖 5.10 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得 T_{rms} 之比較

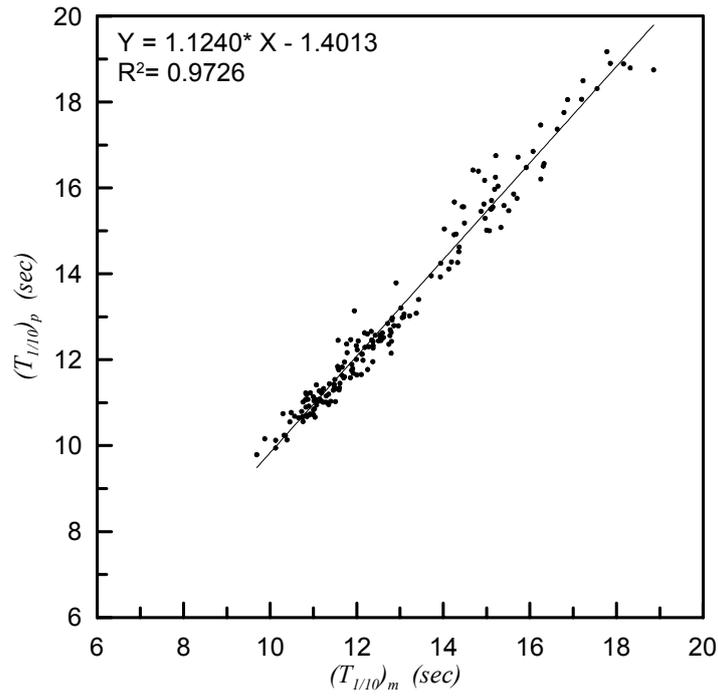


圖 5.11 以 Erlang 分布計算花蓮港波浪 $T_{1/10}$ 與實測值之比較

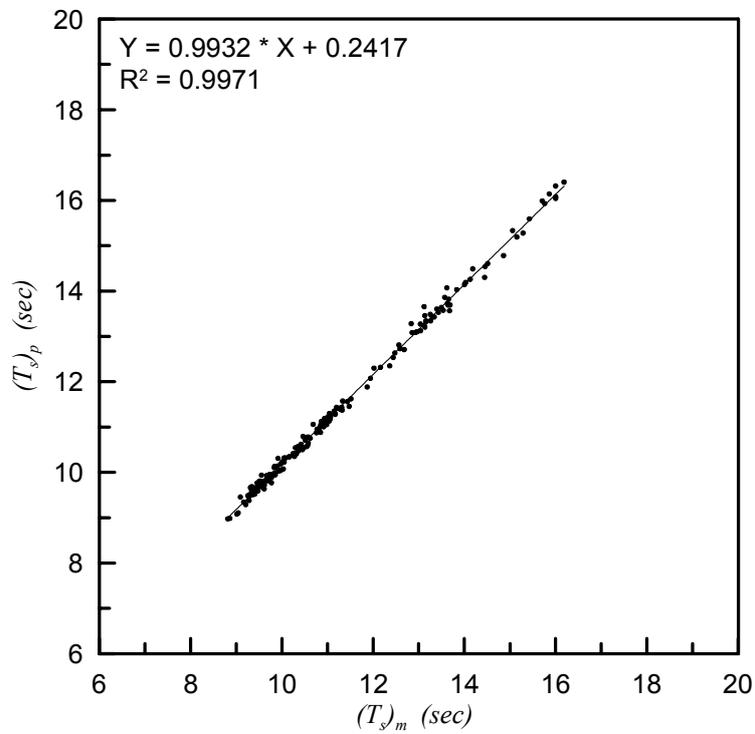


圖 5.12 以 Erlang 分布計算花蓮港波浪 T_s 與實測值之比較

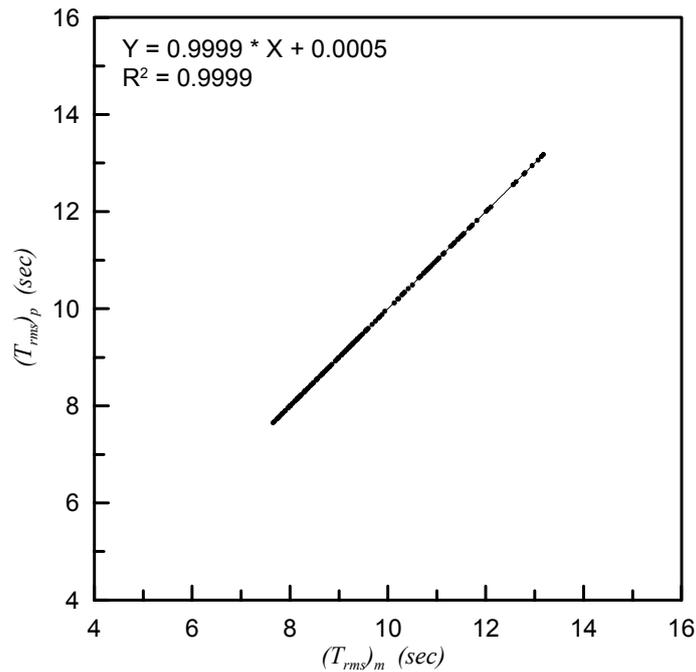


圖 5.13 以 Erlang 分布計算花蓮港波浪 T_{rms} 與實測值之比較

5.4.2 臺北港波高及週期統計值

如同花蓮港波浪波高及週期之統計值計算方法及比較指標探討臺北港波高及週期統計值如表 5.41 至表 5.46 所示。由評比指標之結果與花蓮港波浪波高之結果(表 5.29 至表 5.34)發現相似之結論，即為除 H_{rms} 以外其他指標結果在六組中以修正 Weibull 分布及 Weibull 分布所得之波高統計值接近與實測值程度均比以 Rayleigh 分布所得之結果吻合。若以六組之示性波高來說， $RMSE/\overline{H_s}$ 之值以 Rayleigh 分布所得之結果都比以 Weibull 分布所得大約兩倍，顯示以 Weibull 分布來描述波高之分布是較以 Rayleigh 分布來描述波高更合適。因為統計值 $H_{1/100}$ ， $H_{1/10}$ ， H_s ， H_{mean} 依序變小所以當參數以最大概似法求出，分布比較均勻適合所有樣本，因此樣本值大者計算值之誤差相對就大。而修正 Weibull 分布在描述 $H_{1/10}$ 及 H_s 比以 Weibull 分布描述結果還好，但在 H_{mean} 及 H_{rms} 之統計值描述方面則以 Weibull 分布較佳於修正 Weibull 分布。

表 5.41 安平港示性波高與各分佈函數評估結果

第一組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.7210	0.1284	0.7289	0.1280	0.6490	0.2229
H _{1/10}	0.9464	0.0318	0.9510	0.0299	0.8497	0.0740
H _s	0.9957	0.0075	0.9914	0.0100	0.9723	0.0277
H _{mean}	0.9968	0.0048	0.9997	0.0013	0.9848	0.0165
H _{rms}	0.9983	0.0038	0.9999	0.0006	1.0000	0.0000

表 5.42 臺北港示性波高與各分佈函數評估結果

第二組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.7397	0.1680	0.7423	0.1675	0.6657	0.2064
H _{1/10}	0.9680	0.0422	0.9682	0.0413	0.9508	0.0530
H _s	0.9975	0.0084	0.9955	0.0111	0.9865	0.0221
H _{mean}	0.9983	0.0053	0.9997	0.0018	0.9875	0.0132
H _{rms}	0.9993	0.0039	0.9999	0.0009	1.0000	0.0000

表 5.43 花蓮港示性波高與各分佈函數評估結果

第三組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$	R ²	RMSE/ $\overline{H_s}$
H _{1/100}	0.8204	0.1490	0.8314	0.1471	0.7720	0.2227
H _{1/10}	0.9642	0.0310	0.9653	0.0311	0.8589	0.0819
H _s	0.9967	0.0082	0.9926	0.0141	0.9698	0.0326
H _{mean}	0.9958	0.0080	0.9994	0.0021	0.9804	0.0163
H _{rms}	0.9981	0.0064	0.9999	0.0008	1.0000	0.0000

表 5.44 計算臺北港波高統計值與實測值之比較($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

第四組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.5569	0.1822	0.5565	0.1838	0.3144	0.2604
$H_{1/10}$	0.9071	0.0328	0.8960	0.0352	0.7561	0.0753
H_s	0.9928	0.0090	0.9866	0.0114	0.9607	0.0229
Hmean	0.9947	0.0060	0.9991	0.0022	0.9802	0.0153
Hrms	0.9881	0.0037	0.9999	0.0007	1.0000	0.0000

表 5.45 計算臺北港波高統計值與實測值之比較($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

第五組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.7325	0.1470	0.7375	0.1470	0.5126	0.2353
$H_{1/10}$	0.9609	0.0348	0.9588	0.0353	0.8137	0.0875
H_s	0.9931	0.0100	0.9870	0.0141	0.9631	0.0310
Hmean	0.9944	0.0075	0.9993	0.0022	0.9787	0.0168
Hrms	0.9978	0.0054	0.9999	0.0009	1.0000	0.0000

表 5.46 計算臺北港波高統計值與實測值之比較($H_s > 3.0\text{m}$)

第六組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.6590	0.1873	0.6503	0.1913	0.3931	0.2757
$H_{1/10}$	0.9264	0.0414	0.9141	0.0458	0.7999	0.0833
H_s	0.9898	0.0112	0.9803	0.0160	0.9691	0.0257
Hmean	0.9883	0.0095	0.9984	0.0030	0.9772	0.0143
Hrms	0.9958	0.0065	0.9998	0.0010	1.0000	0.0000

如果以 Rayleigh 分布及 Weibull 分布(因修正 Weibull 分布之值接近)所得之 $RMSE/\overline{H_s}$ 依六組分別畫 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 之結果示如圖 5.14 至圖 5.16。由圖 5.14 至圖 5.16 明顯可知，以 Weibull 分布來描述波高之 $H_{1/10}$, H_s 及 H_{mean} 之統計值較以 Rayleigh 分布來描述波高統計值佳。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Weibull 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s 及 H_{mean} 上分別有平均相對誤差($RMSE/\overline{H_s}$)約在 3.64%，1.28%，0.21%。示性波高在大於 3m 之波浪，則平均相對誤差($RMSE/\overline{H_s}$)就急速增加，但是 H_s 在這趨勢上則增加較少，此印證以示性波高來表示不規則波之特性比較有一致性之結論。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Rayleigh 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 上分別有平均相對誤差($RMSE/\overline{H_s}$)約在 7.589%，2.70%，1.54%。

以修正 Weibull 分布來計算 180 個樣本 $H_{1/10}$, H_s 及 H_{rms} 之統計值與實測值之比較圖分別示如圖 5.17 至圖 5.19。從圖 5.11 至圖 5.19 之 R^2 極接近於 1 及線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 可知，修正 Weibull 分布描述波高之統計值是極為恰當。若比較圖 5.5 至圖 5.7 與圖 5.11 至圖 5.19 之 R^2 及線性方程式之斜率與截距可知，以修正 Weibull 分布描述臺北港波高之統計值比花蓮港波高之統計值更適合。

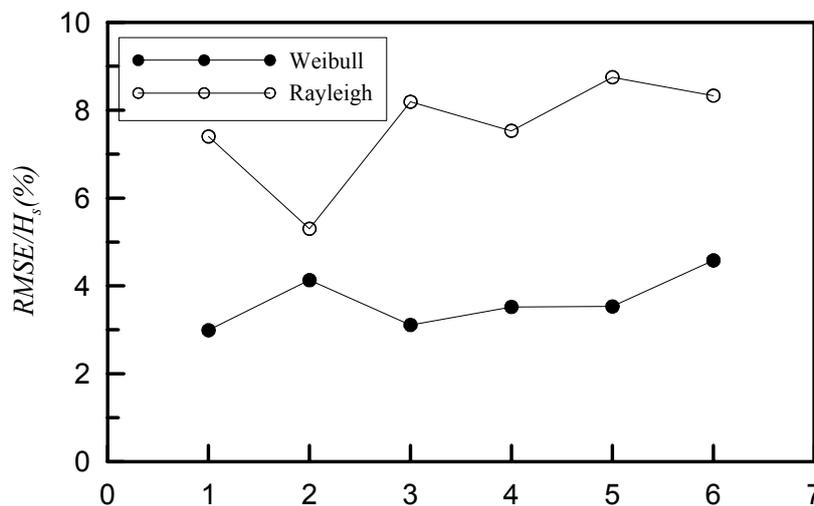


圖 5.14 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算臺北港波高 $H_{1/10}$ 之比較

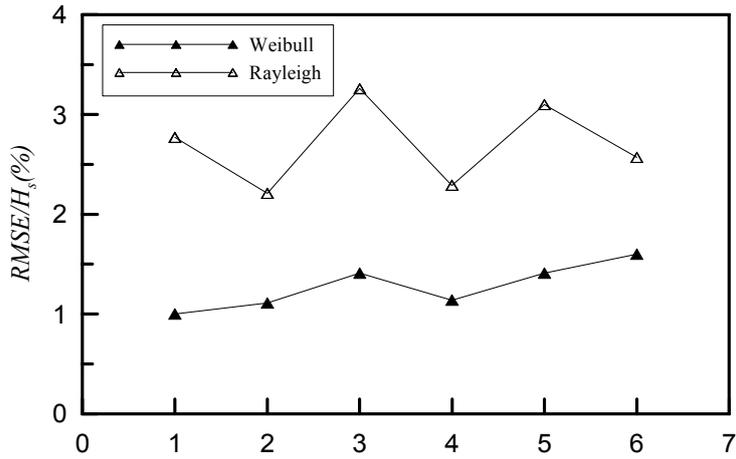


圖 5.15 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算臺北港波高 H_s 之比較

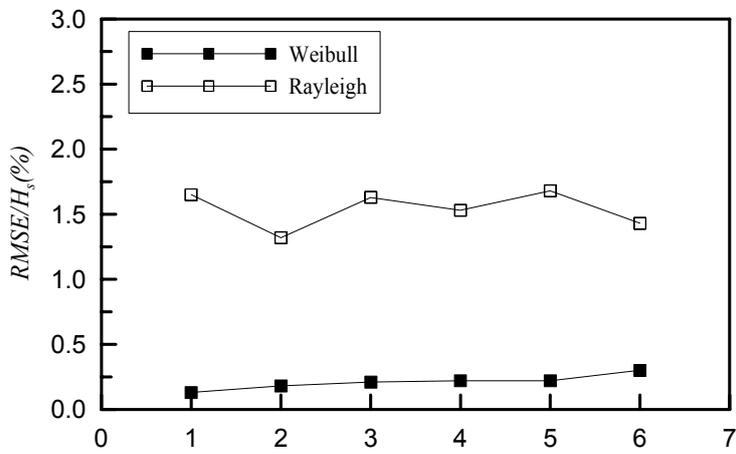


圖 5.16 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算臺北港波高 H_{mean} 之比較

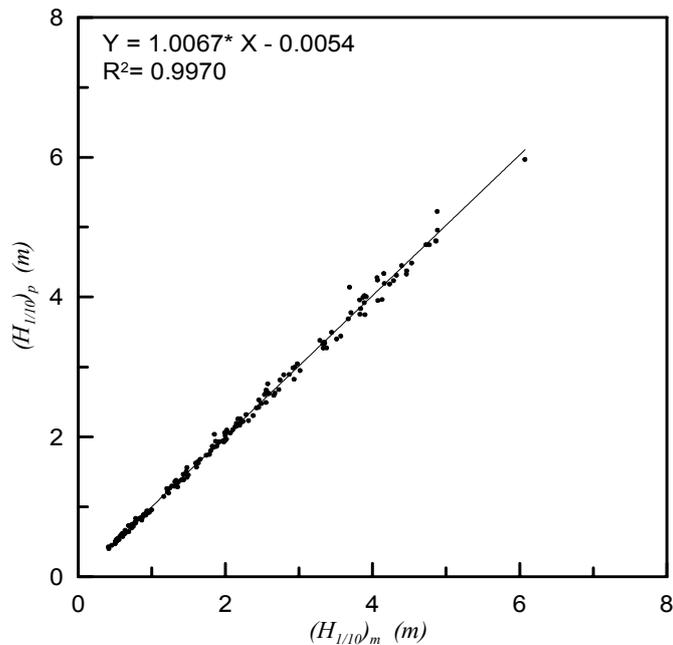


圖 5.17 以修正 Weibull 計算臺北港波高 $H_{1/10}$ 與實測值之比較

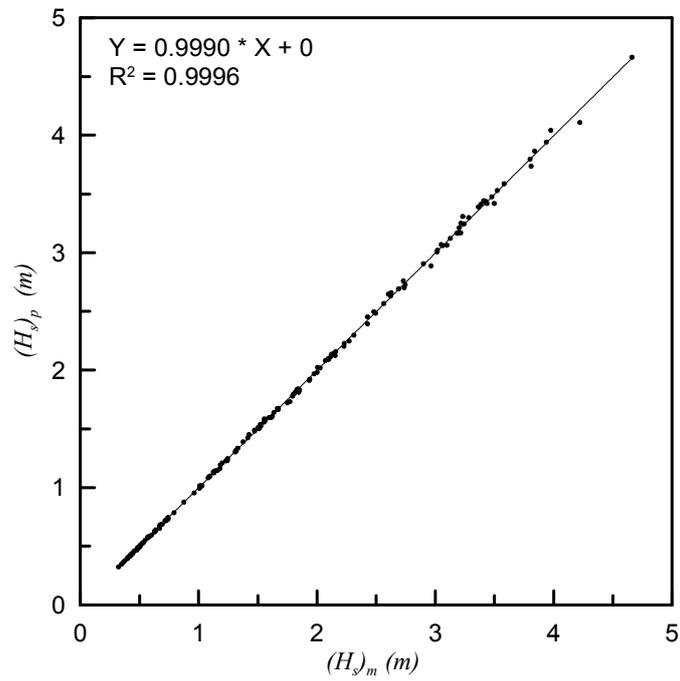


圖 5.18 以修正 Weibull 計算臺北港波高 H_s 與實測值之比較

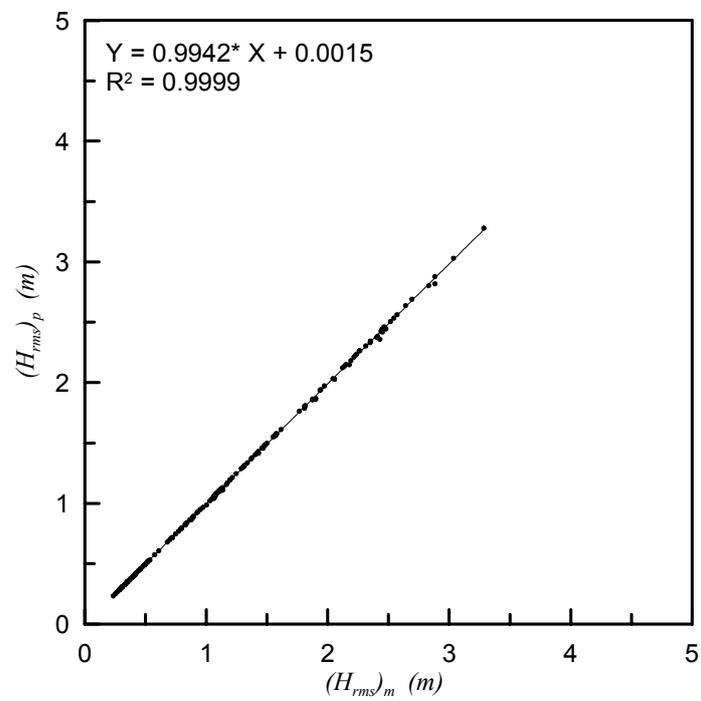


圖 5.19 以修正 Weibull 計算臺北港波高 H_{rms} 與實測值之比較

至於波浪週期短期統計值方面，如同上一小節之花蓮港之分析步驟及結果討論，六組任意取 30 個樣本之評比指標結果如表 5.47 至表 5.52。從表 5.47 至表 5.52 與花蓮港結果之表 5.35 至表 5.40 比較可知，以 Erlang 分布所計算之週期統計值接近實測值之程度都比以 Gamma 分布所計算結果較好。若以六組之示性週期來說， $RMSE/\bar{T}_s$ 之值以 Erlang 分布所得之結果都比以 Gamma 分布所得稍小，顯示以 Erlang 分布來描述週期之分布是較以 Gamma 分布來描述週期更合適。因為統計值 $T_{1/100}$ ， $T_{1/10}$ ， T_s ， T_{mean} 及 T_{rms} 依序變小所以當參數以最大概似法求出，分布比較均勻適合所有樣本，因此樣本值大者計算值之誤差相對就大。但就此兩分布來看，二者對於 T_{mean} 及 T_{rms} 之推估均即為吻合，就 Gamma 分布而言，六組 T_{rms} 之 RMSE 均在 0.067sec 以下，而六組 T_{mean} 之 RMSE 更小，在 0.009sec 以下。而以 Erlang 分布來描述週期之 T_{mean} 及 T_{rms} ，六組之 RMSE 差異在 0.0098 sec 以下。但對於 $T_{1/10}$ 及 T_s 而言，Erlang 分布推估值與實測值誤差分別只達到 0.98sec 及 0.21sec 以下，六組之平均誤差分別約在 0.510sec 及 0.118sec。

如果以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得之 $RMSE/\bar{T}_s$ 依六組分別畫 $T_{1/10}$ ， T_s 及 T_{rms} 之結果示如圖 5.20 至圖 5.22。由圖 5.20 至圖 5.22 可知在 $T_{1/10}$ ， T_s 及 T_{rms} 之統計值上以 Erlang 分布來描述週期之分布是稍佳於以 Gamma 分布來描述週期。雖然平均示性波高在大於 3m 之波浪，以 Erlang 分布及 Gamma 分布來描述在 T_s 及 T_{rms} 之平均相對誤差 ($RMSE/\bar{T}_s$) 較大，但不會與示性波高有明顯增大之趨勢。由此可見對於波浪週期之描述，以示性週期似乎還是一個穩定且吻合的指標。以 Gamma 分布描述六組 $T_{1/10}$ 之相對平均誤差方根 ($RMSE/\bar{T}_s$) 在 0.0410-0.1328 間，而以 Erlang 分布描述相對平均誤差方根在 0.0269-0.0632 間。以 Gamma 分布描述六組 T_s 之相對平均誤差方根 ($RMSE/\bar{T}_s$) 在 0.0243-0.0415 間，而以 Erlang 分布描述相對平均誤差方根在 0.0162-0.0192 間。以 Gamma 分布描述六組 T_{rms} 之相對平均誤差方根差 ($RMSE/\bar{T}_s$) 在 0.0032-0.0062 間。比較圖 5.20 至圖 5.22 與花蓮港之相對應之圖 5.8 至圖 5.10 可知二者趨勢是類似， T_s 比較穩定不隨波

浪大小而有所大變化，顯示此定義之 T_s 是適合當為統計特性。

表 5.47 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R^2	$\frac{RMSE}{\bar{T}_s}$	RMSE (sec)	R^2	$\frac{RMSE}{\bar{T}_s}$
$T_{1/100}$	1.3085	0.6374	0.1785	1.0267	0.7281	0.1401
$T_{1/10}$	0.4496	0.9248	0.0613	0.2832	0.9658	0.0386
T_s	0.1540	0.9870	0.0210	0.0818	0.9969	0.0112
T_{mean}	0.0005	1.0000	0.0001	0.0048	0.9999	0.0007
T_{rms}	0.0235	0.9990	0.0032	0.0006	1.0000	0.0001

表 5.48 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R^2	$\frac{RMSE}{\bar{T}_s}$	RMSE (sec)	R^2	$\frac{RMSE}{\bar{T}_s}$
$T_{1/100}$	0.9723	0.0354	0.1532	0.8616	0.1050	0.1358
$T_{1/10}$	0.2600	0.7254	0.0410	0.1707	0.8710	0.0269
T_s	0.1539	0.9387	0.0243	0.1029	0.9862	0.0162
T_{mean}	0.0009	1.0000	0.0001	0.0014	1.0000	0.0002
T_{rms}	0.0142	0.9976	0.0022	0.0010	1.0000	0.0002

表 5.49 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($1.0m < H_s < 1.5m$)

第三組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R^2	$\frac{RMSE}{\bar{T}_s}$	RMSE (sec)	R^2	$\frac{RMSE}{\bar{T}_s}$
$T_{1/100}$	1.7849	0.3933	0.2220	1.4322	0.4866	0.1781
$T_{1/10}$	0.6843	0.8142	0.0851	0.4581	0.9002	0.0570
T_s	0.2376	0.9572	0.0296	0.1149	0.9860	0.0143
T_{mean}	0.0005	1.0000	0.0001	0.0035	1.0000	0.0004
T_{rms}	0.0278	0.9992	0.0035	0.0006	1.0000	0.0001

表 5.50 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($1.5m < H_s < 2.0m$)

第四組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$
T _{1/100}	2.1479	0.7188	0.2425	1.7219	0.7916	0.1944
T _{1/10}	0.7688	0.8960	0.0868	0.5208	0.9495	0.0588
T _s	0.2259	0.9702	0.0255	0.0990	0.9905	0.0112
T _{mean}	0.0004	1.0000	0.0000	0.0061	0.9999	0.0007
T _{rms}	0.0370	0.9984	0.0042	0.0005	1.0000	0.0001

表 5.51 計算臺北港週期統計值與實測值之比較 ($2.0m < H_s < 3.0m$)

第五組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$
T _{1/100}	2.7671	0.3658	0.2803	2.2998	0.4756	0.2329
T _{1/10}	0.9210	0.8310	0.0933	0.6542	0.9039	0.0663
T _s	0.2301	0.9624	0.0233	0.0999	0.9869	0.0101
T _{mean}	0.0003	1.0000	0.0000	0.0091	0.9997	0.0009
T _{rms}	0.0397	0.9987	0.0040	0.0004	1.0000	0.0000

表 5.52 計算臺北港週期統計值與實測值之比較($H_s > 3.0m$)

第六組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$
T _{1/100}	3.7484	0.4356	0.3425	2.8869	0.5506	0.2638
T _{1/10}	1.4538	0.7302	0.1328	0.9754	0.8283	0.0891
T _s	0.4545	0.9462	0.0415	0.2099	0.9746	0.0192
T _{mean}	0.0003	1.0000	0.0000	0.0098	0.9997	0.0009
T _{rms}	0.0679	0.9979	0.0062	0.0004	1.0000	0.0000

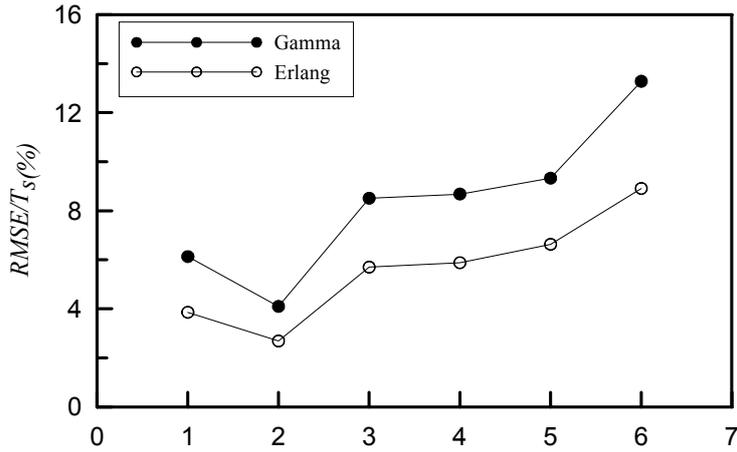


圖 5.20 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得臺北港波浪 $T_{1/10}$ 之比較

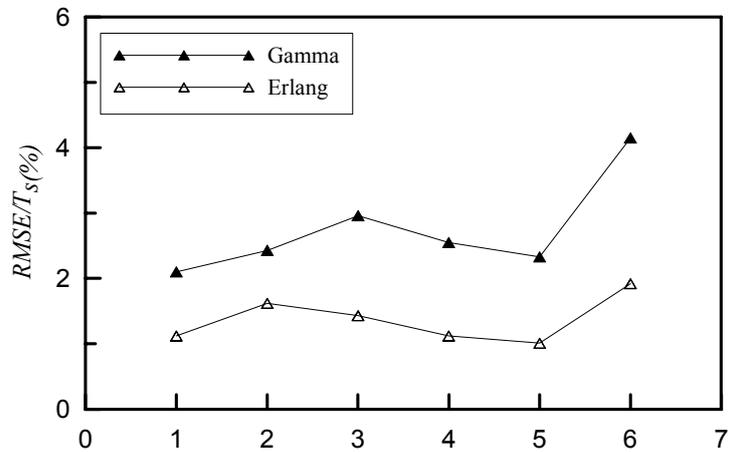


圖 5.21 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得臺北港波浪 T_s 之比較

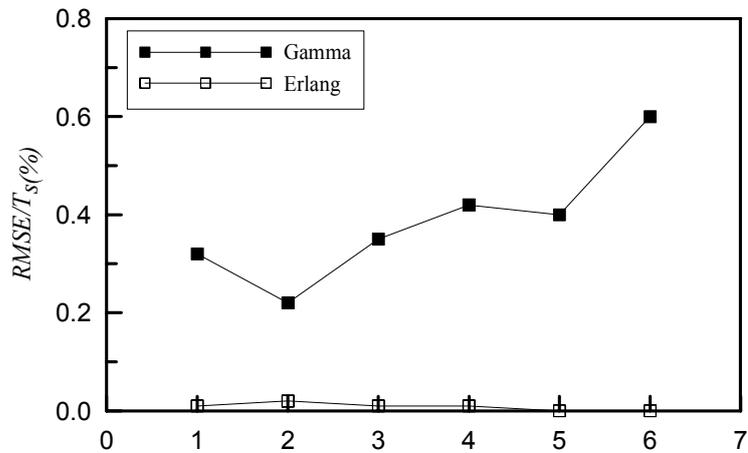


圖 5.22 以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得臺北港波浪 T_{rms} 之比較

如以 Erlang 分布來計算臺北港 180 個樣本之 $T_{1/10}$ ， T_s 及 T_{rms} 與實測值之比較圖分別示如圖 5.23 至圖 5.25。其中將計算值與實測值以線性回歸來看計算結果之吻合程度。從圖 5.23 至圖 5.25 之 R^2 接近於 1 及線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 可知，Erlang 分布描述波高之統計值是恰當的。

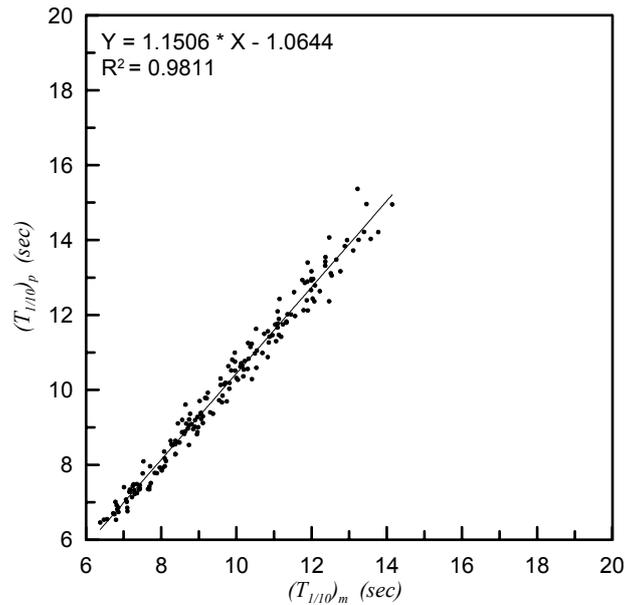


圖 5.23 以 Erlang 分布計算臺北港波浪 $T_{1/10}$ 與實測值之比較

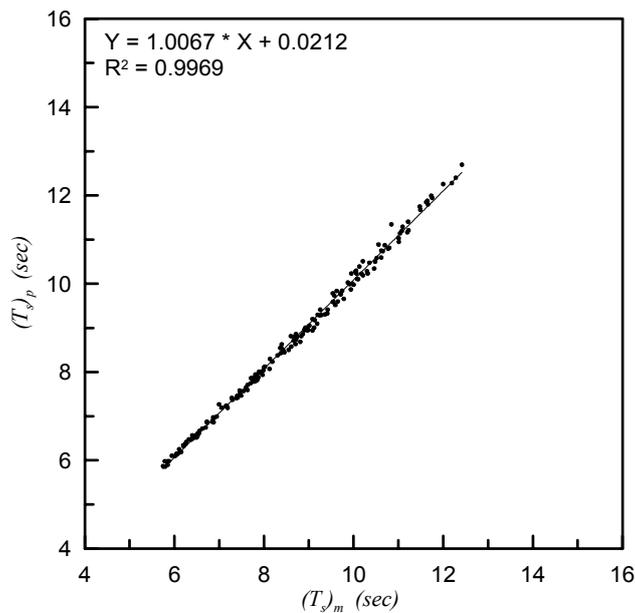


圖 5.24 以 Erlang 分布計算臺北港波浪 T_s 與實測值之比較

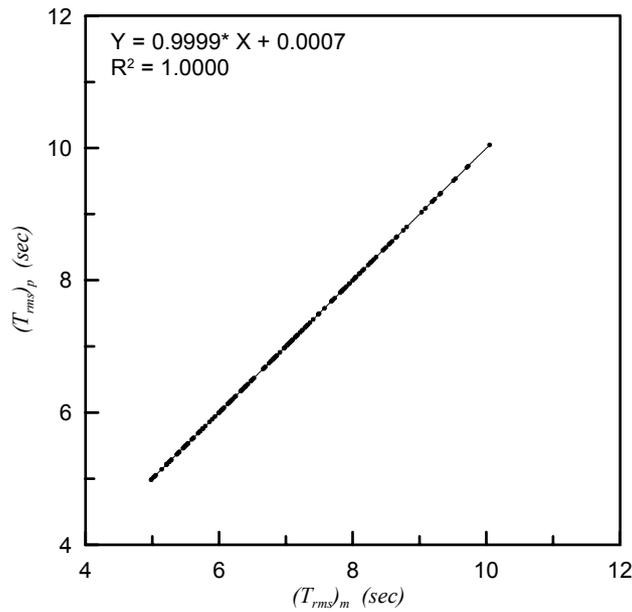


圖 5.25 以 Erlang 分布計算臺北港波浪 T_{rms} 與實測值之比較

5.4.3 安平港波高及週期統計值

如上二節之方法及分析步驟，安平港波浪之波高統計值與實測值之比較示如表 5.53 表 5.58。從表 5.53 至表 5.58 之由評比指標中除 H_{rms} 以外其他指標結果可知，在六組中以修正 Weibull 分布及 Weibull 分布所得之波高統計值接近與實測值程度均比以 Rayleigh 分布所得之結果吻合。若以六組之示性波高來說， $RMSE/\overline{H_s}$ 之值以 Rayleigh 分布所得之結果都比以 Weibull 分布所得大約兩倍，顯示以 Weibull 分布來描述波高之分布是較以 Rayleigh 分布來描述波高更合適。因為統計值 $H_{1/100}$ ， $H_{1/10}$ ， H_s ， H_{mean} 依序變小所以當參數以最大概似法求出，分布比較均勻適合所有樣本，因此樣本值大者計算值之誤差相對就大。而修正 Weibull 分布在描述 $H_{1/10}$ 及 H_s 比以 Weibull 分布描述結果還好，但在 H_{mean} 及 H_{rms} 之統計值描述方面則以 Weibull 分布較佳於修正 Weibull 分布。此趨勢與花蓮港及臺北港所獲得之結果相同，此顯示台灣東西海域及南北部之波浪波高特性基本上是相類似機率函數型態，較適合於修正 Weibull 分布或 Weibull 分布。

表 5.53 計算安平港波高統計值與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.7371	0.1605	0.7492	0.1575	0.5467	0.2324
$H_{1/10}$	0.9506	0.0396	0.9548	0.0373	0.8716	0.0759
H_s	0.9953	0.0078	0.9898	0.0119	0.9799	0.0267
H_{mean}	0.9952	0.0063	0.9997	0.0013	0.9852	0.0154
H_{rms}	0.9977	0.0049	1.0000	0.0005	1.0000	0.0000

表 5.54 計算安平港波高統計值與實測值之比較($0.5m < H_s < 1.0m$)

第二組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.7959	0.1760	0.7982	0.1756	0.6028	0.2539
$H_{1/10}$	0.9416	0.0394	0.9441	0.0386	0.8617	0.0764
H_s	0.9963	0.0064	0.9938	0.0091	0.9767	0.0240
H_{mean}	0.9977	0.0044	0.9996	0.0014	0.9828	0.0133
H_{rms}	0.9989	0.0039	0.9999	0.0007	1.0000	0.0000

表 5.55 計算安平港波高統計值與實測值之比較($1.0m < H_s < 1.5m$)

第三組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$	R^2	$\frac{RMSE}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.2435	0.1854	0.2467	0.1859	0.1492	0.2348
$H_{1/10}$	0.8263	0.0338	0.8242	0.0343	0.5850	0.0671
H_s	0.9826	0.0095	0.9761	0.0102	0.8642	0.0237
H_{mean}	0.9954	0.0034	0.9982	0.0018	0.9332	0.0139
H_{rms}	0.9982	0.0024	0.9998	0.0006	1.0000	0.0000

表 5.56 計算安平港波高統計值與實測值之比較($1.5\text{m} < H_s < 2.0\text{m}$)

第四組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.4736	0.1475	0.4928	0.1470	0.3005	0.2313
$H_{1/10}$	0.8026	0.0428	0.8128	0.0422	0.6761	0.0839
H_s	0.9896	0.0076	0.9813	0.0103	0.9388	0.0294
H_{mean}	0.9953	0.0052	0.9992	0.0017	0.9798	0.0159
H_{rms}	0.9978	0.0039	0.9999	0.0007	1.0000	0.0000

表 5.57 計算安平港波高統計值與實測值之比較($2.0\text{m} < H_s < 3.0\text{m}$)

第五組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.5858	0.1679	0.5901	0.1697	0.4029	0.2818
$H_{1/10}$	0.8898	0.0514	0.8906	0.0521	0.7798	0.1049
H_s	0.9953	0.0087	0.9914	0.0124	0.9715	0.0330
H_{mean}	0.9972	0.0063	0.9995	0.0020	0.9858	0.0173
H_{rms}	0.9986	0.0051	0.9999	0.0010	1.0000	0.0000

表 5.58 計算安平港波高統計值與實測值之比較($H_s > 3.0\text{m}$)

第六組	Modified Weibull		Weibull		Rayleigh	
	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$	R^2	$\frac{\text{RMSE}}{H_s}$
$H_{1/100}$	0.4571	0.2266	0.4653	0.2283	0.4007	0.3305
$H_{1/10}$	0.8649	0.0579	0.8611	0.0604	0.7375	0.1147
H_s	0.9924	0.0097	0.9860	0.0133	0.9541	0.0333
H_{mean}	0.9936	0.0074	0.9987	0.0030	0.9737	0.0186
H_{rms}	0.9969	0.0055	0.9998	0.0013	1.0000	0.0000

如果以 Rayleigh 分布及 Weibull 分布所得之 $RMSE/\overline{H_s}$ 依六組分別畫 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 之結果示如圖 5.26 至圖 5.28。由圖 5.26 至圖 5.28 明顯可推知在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 之統計值上以 Weibull 分布來描述波高之分布是較以 Rayleigh 分布來描述波高均為佳。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Weibull 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 上分別有相對平均誤差方根($RMSE/\overline{H_s}$)之平均值為 4.4%，1.12%，0.187%。示性波高在大於 3m 之波浪，則相對平均誤差方根就急速增加，但是 H_s 在這趨勢上則增加較少，此印證以示性波高來表示不規則波之特性比較有一致性之結論。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Rayleigh 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 上分別有相對平均誤差方根之平均值為 8.72%，2.84%，1.57%。

以修正 Weibull 分布來計算 180 個樣本 $H_{1/10}$, H_s 及 H_{rms} 之統計值與實測值之比較圖分別示如圖 5.29 至圖 5.31。從圖 5.29 至圖 5.31 之 R^2 極接近於 1 及線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 可知，修正 Weibull 分布描述波高之統計值是極為恰當。若比較圖 5.29 及圖 5.30 與花蓮港及臺北港之相對 $H_{1/10}$ 及 H_s 之圖 R^2 及線性方程式之斜率與截距可知，安平港及臺北港之結果相近且均優於花蓮港之結果，此顯示以修正 Weibull 分布描述安平港及臺北港波高之統計值比花蓮港波高之統計值更適合。

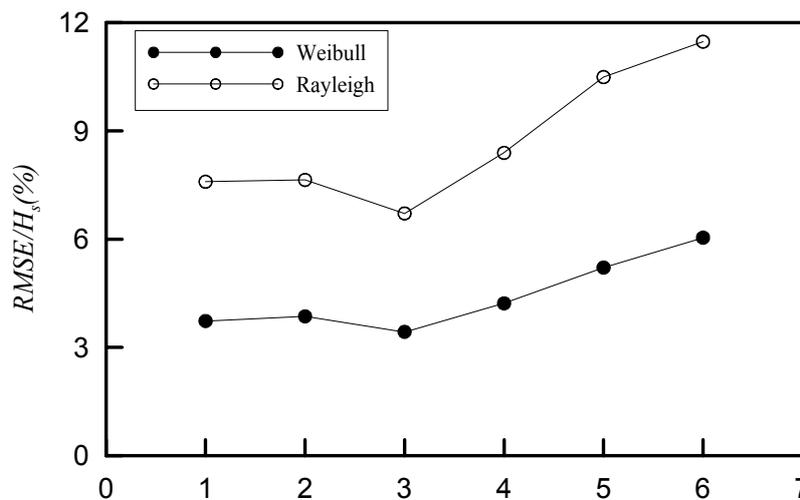


圖 5.26 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算安平港波高 $H_{1/10}$ 之比較

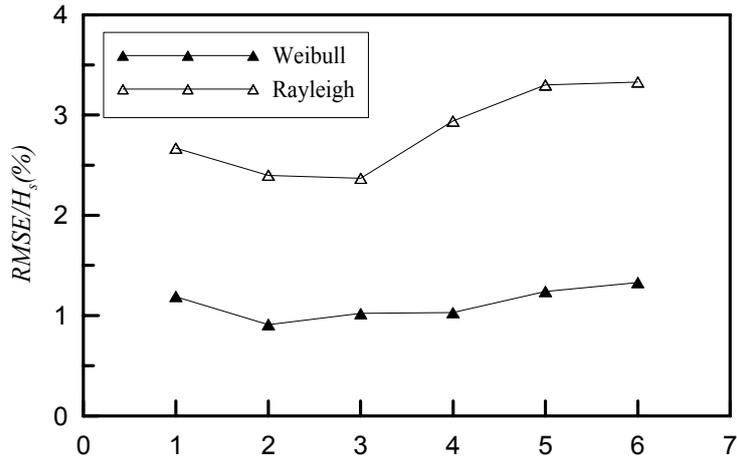


圖 5.27 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算安平港波高 H_s 之比較

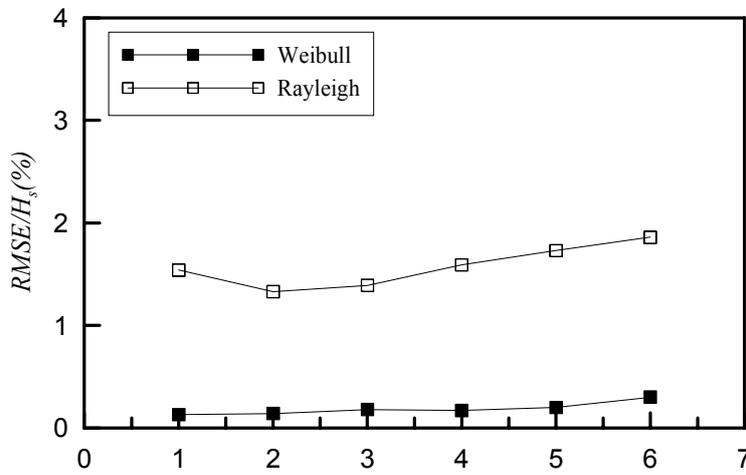


圖 5.28 以 Rayleigh 及 Weibull 分布計算安平港波高 H_{mean} 之比較

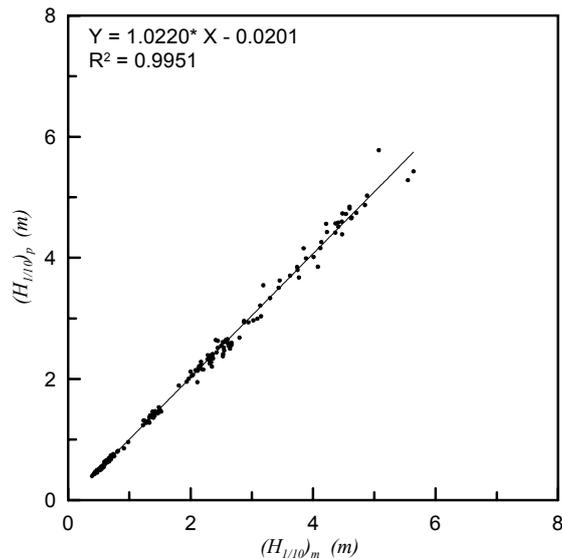


圖 5.29 以修正 Weibull 計算安平港波高 $H_{1/10}$ 與實測值之比較

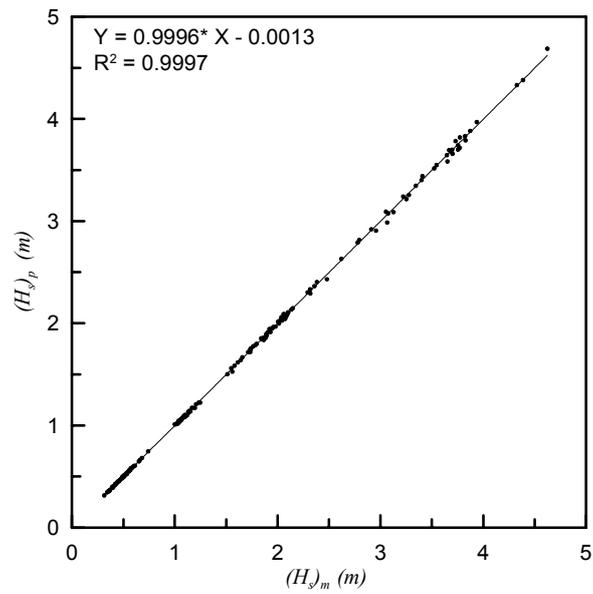


圖 5.30 以修正 Weibull 計算安平港波高 H_s 與實測值之比較

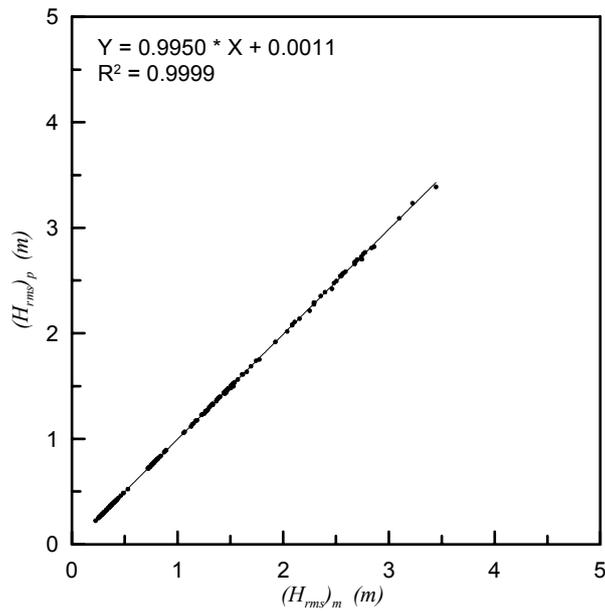


圖 5.31 以修正 Weibull 計算安平港波高 H_{rms} 與實測值之比較

至於波浪週期短期統計值方面，如同上二小節之分析步驟及結果討論，六組任意取 30 個樣本之評比指標結果如表 5.59 至表 5.64。從表 5.59 至表 5.64 與花蓮港及臺北港結果相似，都以 Erlang 分布所計算之

週期統計值較以 Gamma 分布所計算結果接近於實測值。就對於 $T_{1/10}$ 及 T_s 而言，以 Gamma 分布推估值與實測值之六組平均誤差分別約在 0.522sec 及 0.171sec。以 Erlang 分布推估值與實測值之六組平均誤差分別約在 0.529sec 及 0.127sec。

如果以 Gamma 分布及 Erlang 分布所得之 $RMSE/\bar{T}_s$ 依六組分別畫 $T_{1/10}$ ， T_s 及 T_{rms} 之結果示如圖 5.32 至圖 5.34。由圖 5.32 至圖 5.34 可知在 $T_{1/10}$ ， T_s 及 T_{rms} 之統計值上以 Erlang 分布來描述週期之分布是稍佳於以 Gamma 分布來描述週期。以 Gamma 分布描述六組 $T_{1/10}$ 之相對平均誤差方根($RMSE/\bar{T}_s$) 在 0.0557-0.1444 間，而以 Erlang 分布描述相對平均誤差方根在 0.0355-0.095 間。以 Gamma 分布描述六組 T_s 之相對平均誤差方根($RMSE/\bar{T}_s$) 在 0.0243-0.0499 間，而以 Erlang 分布描述相對平均誤差方根在 0.0073-0.024 間。比較圖 5.32 至圖 5.34 與花蓮港及臺北港相對應之圖，可知三者趨勢是類似， T_s 比較穩定不隨波浪大小而有所大變化，顯示此定義之 T_s 是適合當為統計特性。

如以 Erlang 分布來計算臺北港 180 個樣本之 $T_{1/10}$ ， T_s 及 T_{rms} 與實測值之比較圖分別示如圖 5.35 至圖 5.37。其中將計算值與實測值以線性回歸來看計算結果之吻合程度。從圖 5.35 至圖 5.37 之 R^2 接近於 1 及線性方程式之斜率接近於 1 且截距接近於 0 可知，Erlang 分布描述波高之統計值是恰當的。

表 5.59 計算安平港週期統計值與實測值之比較($H_s < 0.5m$)

第一組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R^2	$RMSE/\bar{T}_s$	RMSE (sec)	R^2	$RMSE/\bar{T}_s$
$T_{1/100}$	1.3812	0.3850	0.1739	1.1086	0.5137	0.1396
$T_{1/10}$	0.4655	0.6788	0.0586	0.2820	0.8211	0.0355
T_s	0.1396	0.9547	0.0176	0.0581	0.9849	0.0073
Tmean	0.0004	1.0000	0.0001	0.0042	0.9999	0.0005
Trms	0.0242	0.9981	0.0030	0.0004	1.0000	0.0001

表 5.60 計算安平港週期統計值與實測值之比較(0.5m<H_s<1.0m)

第二組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	1.4695	0.2093	0.1866	1.2580	0.2811	0.1598
T _{1/10}	0.4387	0.8198	0.0557	0.3062	0.8840	0.0389
T _s	0.1370	0.9762	0.0174	0.0718	0.9895	0.0091
T _{mean}	0.0005	1.0000	0.0001	0.0041	0.9998	0.0005
T _{rms}	0.0199	0.9985	0.0025	0.0004	1.0000	0.0000

表 5.61 計算安平港週期統計值與實測值之比較(1.0m<H_s<1.5m)

第三組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	1.3039	0.7360	0.1755	1.0617	0.7301	0.1429
T _{1/10}	0.4689	0.9483	0.0631	0.3054	0.9736	0.0411
T _s	0.1884	0.9715	0.0254	0.0940	0.9904	0.0126
T _{mean}	0.0007	1.0000	0.0001	0.0018	1.0000	0.0002
T _{rms}	0.0204	0.9993	0.0028	0.0008	1.0000	0.0001

表 5.62 計算安平港週期統計值與實測值之比較(1.5m<H_s<2.0m)

第四組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ \bar{T}_s
T _{1/100}	1.9104	0.4627	0.2199	1.5253	0.5444	0.1755
T _{1/10}	0.6826	0.8907	0.0786	0.4548	0.9431	0.0523
T _s	0.2204	0.9766	0.0254	0.1004	0.9910	0.0116
T _{mean}	0.0004	1.0000	0.0000	0.0033	1.0000	0.0004
T _{rms}	0.0271	0.9995	0.0031	0.0006	1.0000	0.0001

表 5.63 計算安平港週期統計值與實測值之比較 (2.0m<H_s<3.0m)

第五組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$
T _{1/100}	2.4514	0.5033	0.2557	1.9258	0.5762	0.2009
T _{1/10}	1.0795	0.8375	0.1126	0.7620	0.9090	0.0795
T _s	0.3412	0.9598	0.0356	0.1711	0.9839	0.0179
T _{mean}	0.0004	1.0000	0.0000	0.0048	0.9999	0.0005
T _{rms}	0.0411	0.9991	0.0043	0.0005	1.0000	0.0001

表 5.64 計算安平港週期統計值與實測值之比較(H_s>3.0m)

第六組	Gamma			Erlang		
	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$	RMSE (sec)	R ²	RMSE/ $\overline{T_s}$
T _{1/100}	3.9915	0.1681	0.3564	3.0219	0.2165	0.2698
T _{1/10}	1.6168	0.5558	0.1444	1.0641	0.6989	0.0950
T _s	0.5592	0.8791	0.0499	0.2686	0.9454	0.0240
T _{mean}	0.0004	1.0000	0.0000	0.0065	0.9998	0.0006
T _{rms}	0.0783	0.9930	0.0070	0.0004	1.0000	0.0000

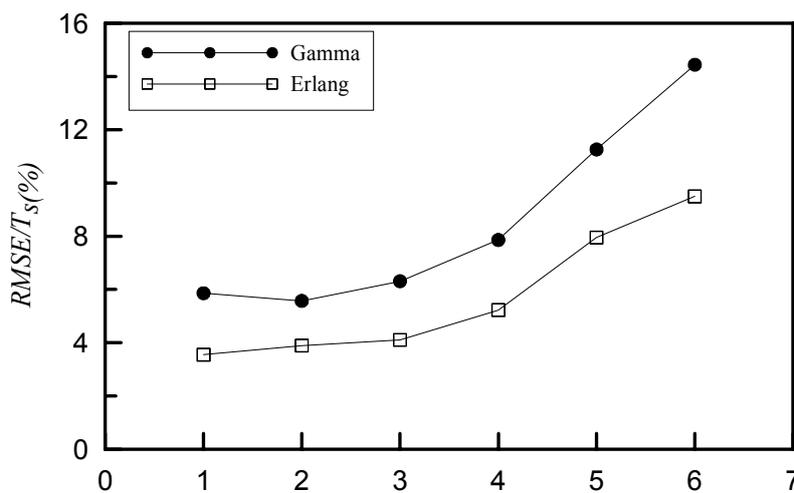


圖 5.32 以 Gamma 分布及 Erlang 分布計算安平港週期 T_{1/10} 之比較

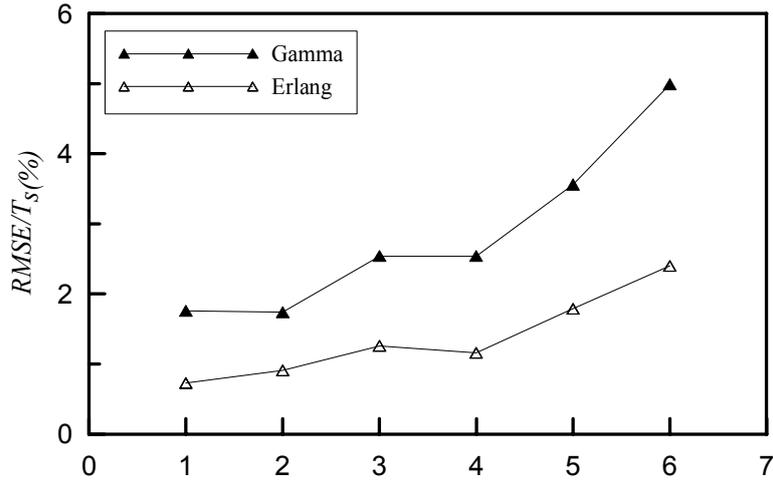


圖 5.33 以 Gamma 分布及 Erlang 分布計算安平港週期 T_s 之比較

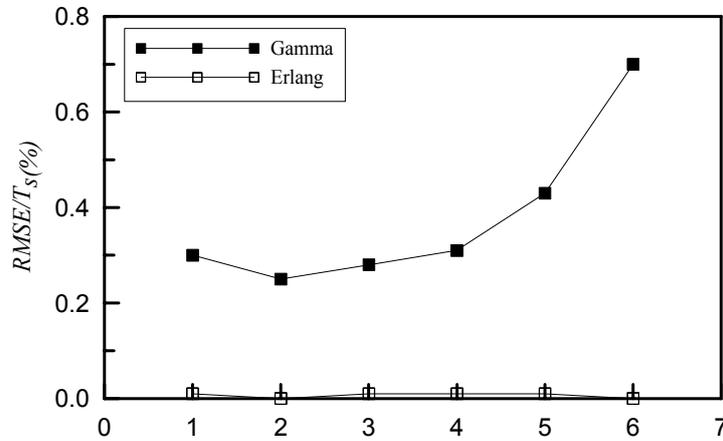


圖 5.34 以 Gamma 分布及 Erlang 分布計算安平港週期 T_{rms} 之比較

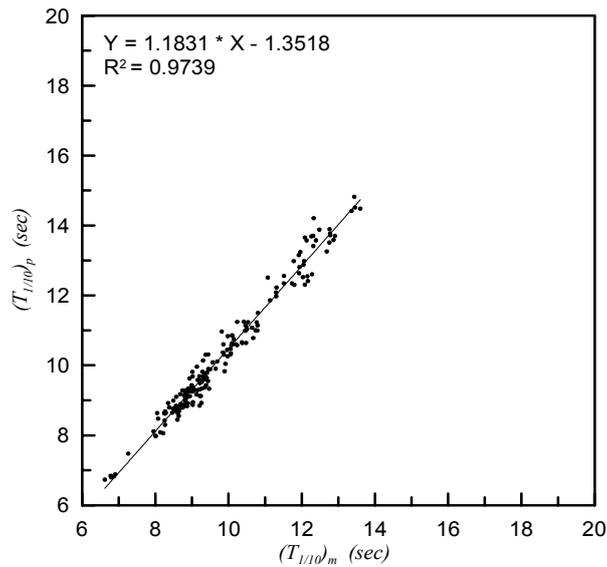


圖 5.35 以 Erlang 分布計算安平港波浪 $T_{1/10}$ 與實測值之比較

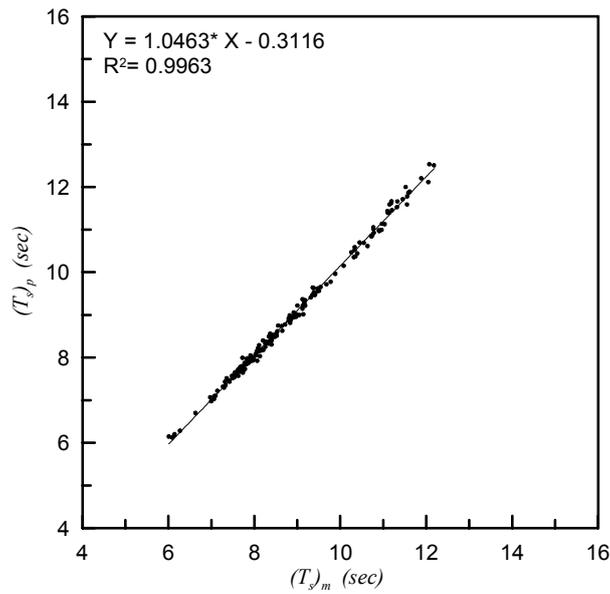


圖 5.36 以 Erlang 分布計算安平港波浪 T_s 與實測值之比較

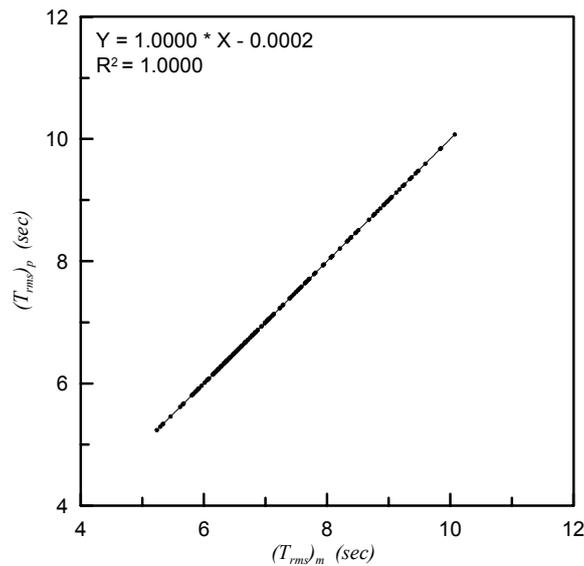


圖 5.37 以 Erlang 分布計算安平港波浪 T_{rms} 與實測值之比較

5.5 示性波浪之統計特性

5.5.1 示性波高之統計特性

因為示性波浪在往昔統計的結果發現比較具有統計一致性，即比較不會受樣本個數多寡而有大大差異，且較接近實際波浪之視覺認知之

大小，因而常被分析不規則波時當為代表該統計特性之指標。本研究根據 2006 年安平港與臺北港及 2004 年花蓮港的實測資料統計而得的示性波高，將其分成全年、季及月等部份，並利用其最適分組數 20 組，與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分佈函數進行套配 (fitted)，以瞭解不同季節下之示性波高 分佈特性，其結果如表 5.65 至表 5.67。

由表 5.65 可得知花蓮港 2 月為 Normal 分佈，4 月為 Rayleigh 分佈，5 月、8 月與 9 月為 Weibull 分佈，其餘為 Gamma 分佈。而由表 5.66 可得知臺北港除了全年、第 3-4 季與 9 月至 12 月為 Weibull 分佈外，其餘也是為 Gamma 分佈，但 Gamma 跟 Weibull 的結果相當接近。由表 5.67 可得知安平港的示性波高都是 Gamma 分佈。Gamma 與 Weibull 分佈的 MSE 與 R^2 相當接近，但就整個分析結果而言，示性波高的最適分佈為 Gamma 分佈，Rayleigh 分佈為最差。

表 5.65 花蓮港示性波高與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
全年	0.010	0.989	0.035	0.865	0.023	0.938	0.022	0.946
第 1 季	0.012	0.964	0.020	0.896	0.035	0.709	0.022	0.886
第 2 季	0.018	0.933	0.037	0.689	0.028	0.809	0.024	0.883
第 3 季	0.036	0.844	0.059	0.584	0.059	0.554	0.038	0.824
第 4 季	0.032	0.896	0.053	0.704	0.044	0.796	0.045	0.799
1 月	0.030	0.797	0.039	0.643	0.039	0.709	0.038	0.682
2 月	0.017	0.903	0.015	0.927	0.034	0.640	0.018	0.904
3 月	0.016	0.840	0.018	0.800	0.033	0.398	0.018	0.784
4 月	0.017	0.872	0.023	0.754	0.016	0.888	0.018	0.839
5 月	0.040	0.656	0.046	0.539	0.041	0.611	0.040	0.660
6 月	0.041	0.730	0.060	0.369	0.055	0.423	0.044	0.718
7 月	0.090	0.682	0.124	0.390	0.113	0.420	0.104	0.551
8 月	0.036	0.666	0.047	0.432	0.043	0.490	0.037	0.667
9 月	0.044	0.799	0.065	0.547	0.064	0.527	0.044	0.812
10 月	0.025	0.889	0.043	0.646	0.033	0.782	0.032	0.839
11 月	0.013	0.854	0.016	0.786	0.018	0.807	0.014	0.819
12 月	0.041	0.737	0.052	0.553	0.054	0.588	0.052	0.573

表 5.66 臺北港示性波高與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.021	0.927	0.044	0.683	0.047	0.634	0.020	0.937
第 2 季	0.050	0.726	0.074	0.338	0.074	0.308	0.052	0.726
第 3 季	0.025	0.918	0.056	0.538	0.057	0.473	0.027	0.924
第 4 季	0.014	0.883	0.012	0.907	0.009	0.939	0.010	0.941
3 月	0.020	0.954	0.050	0.665	0.046	0.667	0.024	0.950
4 月	0.046	0.518	0.055	0.300	0.052	0.357	0.046	0.507
6 月	0.022	0.802	0.028	0.657	0.032	0.750	0.029	0.671
7 月	0.014	0.961	0.036	0.713	0.030	0.783	0.018	0.944
8 月	0.028	0.608	0.037	0.328	0.030	0.543	0.031	0.528
9 月	0.028	0.728	0.043	0.394	0.045	0.344	0.028	0.742
11 月	0.016	0.865	0.021	0.778	0.015	0.873	0.016	0.880
12 月	0.010	0.932	0.012	0.916	0.017	0.839	0.009	0.941

表 5.67 安平港示性波高與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.038	0.906	0.073	0.645	0.065	0.676	0.046	0.877
第 1 季	0.010	0.979	0.010	0.979	0.038	0.692	0.015	0.959
第 2 季	0.043	0.759	0.065	0.413	0.062	0.417	0.046	0.732
第 3 季	0.019	0.950	0.047	0.678	0.042	0.708	0.023	0.936
第 4 季	0.009	0.981	0.013	0.954	0.027	0.846	0.013	0.962
1 月	0.008	0.981	0.011	0.963	0.043	0.523	0.015	0.932
2 月	0.018	0.922	0.022	0.889	0.040	0.677	0.027	0.849
3 月	0.016	0.810	0.021	0.687	0.020	0.785	0.019	0.733
4 月	0.020	0.939	0.037	0.779	0.031	0.854	0.032	0.854
6 月	0.038	0.674	0.054	0.347	0.052	0.359	0.040	0.656
7 月	0.011	0.963	0.029	0.752	0.023	0.830	0.014	0.947
8 月	0.028	0.816	0.042	0.555	0.034	0.707	0.034	0.726
9 月	0.020	0.862	0.030	0.693	0.023	0.852	0.025	0.806
10 月	0.017	0.931	0.026	0.837	0.029	0.851	0.025	0.871
11 月	0.014	0.923	0.021	0.816	0.026	0.795	0.020	0.841
12 月	0.012	0.947	0.015	0.912	0.043	0.570	0.020	0.857

5.5.2 示性週期之統計特性

本研究根據 2006 年安平港與臺北港及 2004 年花蓮港的實測資料統計而得的之示性週期，將其分成全年、季及月等部份，並利用其最適分組數 20 組，與 Gamma、Erlang、Rayleigh 及 Normal 四個分佈函數進行套配(fitted)，以瞭解不同季節下之示性週期分佈特性，其結果如表 5.68 至表 5.70。由表 5.68 可知，花蓮港的第 1 季與 2 月為 Normal 分佈，其餘都是 Gamma 分佈。而由表 5.69 可得知臺北港除了第 2 季、4 月及 6 月為 Normal 分佈與 7 月份為 Erlang 分佈外，其餘為 Gamma 分佈。表 5.70 可得知安平港的示性週期除 7 月份為 Normal 分佈、12 月份為 Erlang 分佈之外，其餘都是 Gamma 分佈。Gamma、Erlang 與 Normal 分佈的 MSE 與 R^2 相當接近，但就整個分析結果而言，示性週期 T_S 的最適分佈為 Gamma 分佈，Erlang 分佈為最差。

表 5.68 花蓮港示性週期與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2	RMSE	R^2
全年	0.153	0.860	0.167	0.827	0.381	0.071	0.177	0.810
第 1 季	0.043	0.947	0.043	0.947	0.340	0.068	0.038	0.958
第 2 季	0.122	0.799	0.123	0.797	0.284	0.022	0.141	0.732
第 3 季	0.135	0.812	0.146	0.775	0.299	0.061	0.157	0.742
第 4 季	0.187	0.762	0.196	0.732	0.376	0.013	0.206	0.705
1 月	0.053	0.889	0.055	0.880	0.327	0.100	0.054	0.882
2 月	0.072	0.841	0.070	0.848	0.359	0.075	0.067	0.863
3 月	0.065	0.838	0.068	0.820	0.357	0.093	0.067	0.828
4 月	0.107	0.816	0.114	0.788	0.275	0.001	0.122	0.757
5 月	0.103	0.877	0.115	0.838	0.319	0.004	0.119	0.832
6 月	0.153	0.636	0.163	0.585	0.284	0.0003	0.169	0.556
7 月	0.153	0.689	0.159	0.665	0.332	0.031	0.163	0.646
8 月	0.175	0.644	0.176	0.642	0.329	0.014	0.189	0.585
9 月	0.165	0.631	0.169	0.611	0.274	0.013	0.185	0.530
10 月	0.189	0.534	0.199	0.487	0.302	0.0001	0.204	0.453
11 月	0.048	0.967	0.049	0.965	0.404	0.039	0.050	0.964
12 月	0.072	0.919	0.078	0.905	0.336	0.024	0.081	0.899

表 5.69 臺北港示性週期與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2	RMSE	R2
全年	0.026	0.985	0.034	0.974	0.195	0.399	0.042	0.962
第 2 季	0.068	0.892	0.066	0.896	0.235	0.000	0.062	0.909
第 3 季	0.059	0.887	0.079	0.785	0.149	0.568	0.070	0.839
第 4 季	0.037	0.974	0.037	0.974	0.265	0.013	0.050	0.952
3 月	0.046	0.942	0.046	0.941	0.020	0.031	0.062	0.894
4 月	0.069	0.864	0.069	0.862	0.234	0.006	0.067	0.871
6 月	0.113	0.523	0.111	0.534	0.273	0.078	0.105	0.586
7 月	0.091	0.811	0.097	0.782	0.174	0.795	0.100	0.772
8 月	0.079	0.753	0.080	0.744	0.189	0.004	0.087	0.697
9 月	0.057	0.856	0.067	0.800	0.173	0.006	0.058	0.853
11 月	0.054	0.926	0.059	0.912	0.242	0.020	0.068	0.880
12 月	0.040	0.940	0.424	0.931	0.277	0.082	0.042	0.933

表 5.70 安平港示性週期與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.103	0.905	0.116	0.876	0.279	0.550	0.129	0.850
第 1 季	0.026	0.990	0.030	0.986	0.289	0.001	0.032	0.985
第 2 季	0.058	0.914	0.062	0.902	0.248	0.008	0.071	0.872
第 3 季	0.065	0.861	0.077	0.798	0.181	0.060	0.068	0.842
第 4 季	0.131	0.883	0.158	0.824	0.325	0.570	0.157	0.830
1 月	0.045	0.963	0.058	0.938	0.281	0.005	0.055	0.944
2 月	0.045	0.975	0.053	0.964	0.319	0.011	0.051	0.968
3 月	0.050	0.908	0.054	0.893	0.300	0.087	0.051	0.902
4 月	0.058	0.888	0.060	0.881	0.292	0.065	0.062	0.872
6 月	0.054	0.899	0.063	0.859	0.239	0.0330	0.065	0.852
7 月	0.107	0.786	0.102	0.809	0.273	0.014	0.098	0.822
8 月	0.100	0.637	0.105	0.600	0.214	0.018	0.102	0.625
9 月	0.136	0.715	0.155	0.627	0.268	0.034	0.153	0.639
10 月	0.193	0.607	0.208	0.531	0.299	0.204	0.213	0.517
11 月	0.141	0.755	0.155	0.694	0.292	0.020	0.160	0.677
12 月	0.089	0.958	0.088	0.960	0.380	0.413	0.100	0.950

5.6 波高週期聯合分佈結果

以安平港、臺北港與花蓮港的全年資料，按月份進行分析比較，可得每月的分析結果，如表 5.71 至表 5.73 所示。根據 RMSE 與 R^2 等參數判斷，安平港 Longuest-Higgins 的聯合機率密度之 R^2 約在 0.09~0.21，而 Cavanié 的聯合機率密度分佈其 R^2 值約在 0.57~0.68 左右，明顯大幅優於 Longuest-Higgins。臺北港 Longuest-Higgins 的聯合機率密度之 R^2 則在 0.12 以下，而 Cavanié 的聯合機率密度除 4 月以外，其餘皆在 0.33 以上。花蓮港 7 月份 Longuest-Higgins 的聯合機率密度 R^2 皆在 0.1 以下；Cavanié 的聯合機率密度除 7 月至 9 月之 R^2 在 0.13 以下，其餘月份皆在 0.35 以上。

表 5.71 花蓮港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	RMSE	R^2	RMSE	R^2
1	0.059	0.117	0.020	0.621
2	0.059	0.134	0.020	0.605
3	0.063	0.141	0.022	0.646
4	0.053	0.086	0.019	0.555
5	0.049	0.046	0.024	0.358
6	0.049	0.036	0.019	0.349
7	0.003	0.024	0.006	0.056
8	0.003	0.012	0.006	0.204
9	0.052	0.0001	0.017	0.131
10	0.040	0.114	0.012	0.462
11	0.060	0.124	0.019	0.599
12	0.063	0.162	0.017	0.587

表 5.72 臺北港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²
1	--	--	--	--
2	--	--	--	--
3	0.028	0.021	0.017	0.327
4	0.030	0.035	0.023	0.195
5	--	--	--	--
6	0.008	0.005	0.027	0.411
7	0.024	0.016	0.020	0.356
8	0.018	0.123	0.024	0.335
9	0.031	0.015	0.016	0.336
10	--	--	--	--
11	0.032	0.025	0.019	0.411
12	0.036	0.035	0.016	0.397

表 5.73 安平港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²
1	0.081	0.099	0.033	0.610
2	0.101	0.136	0.035	0.676
3	0.113	0.122	0.042	0.669
4	0.096	0.097	0.039	0.658
5	--	--	--	--
6	0.092	0.218	0.018	0.570
7	0.092	0.218	0.019	0.570
8	0.095	0.160	0.023	0.627
9	0.097	0.099	0.033	0.604
10	0.089	0.089	0.037	0.605
11	0.085	0.100	0.035	0.684
12	0.101	0.142	0.037	0.659

第六章 結論

本計畫於 95 年度已完成船舶動態之類神經預警模式，以颱風影響船舶動態參數，颱風路徑、颱風規模、風速、颱風中心與花蓮港之角度與颱風中心之經緯度等六個影響船隻動態的颱風因子，做為類神經網路之輸入值。其皆屬於連續的函數，相對應顯示的 ISE 預報的 4 個等級則屬於步階函數。因此，學習及預測的過程不容易提高準確度，考慮颱風事件與距離由直接的關係且距離的尺度較大的條件下，將步階函數性質的資料(ISE)除以距離的對數進行修正，使步階函數轉換成為接近連續的函數的性質呈現，以提高類神經網路學習的能力並降低誤差。

本年度擇修正原始模式，並選用颱風與花蓮港距離(D)、颱風最大風速(V_{max})、颱風中心至花蓮港之角度(θ_1)、颱風行進方位角(θ_2)、風場能量 $E_n(V_{max}/\text{Log}(D))$ 與中央氣象局發佈之海、陸上警報($WI, \text{Waring Index}$) 等六個影響船隻動態的颱風因子建立颱風與 ISE 間的關係。本計畫選擇之學習範例為含蓋 4 種不同颱風路徑、4 種船隻異動指數，選取颱風共 50 個，做為類神經之學習範例。模式採用 2 層隱藏層，其神經元分為 80 及 40 個。並以 4 場颱風進行驗證，由驗證結果顯示，本模式可於實際颱風期間花蓮港之船舶操作預警。目前船舶動態預警模式已建構完成並已附加圖形化使用者介面來提升其使用性，除了目前成果之外本研究團隊仍持續改善圖形化使用者介面的外觀及功能，未來將以建構自動化即時發佈船舶動態警報的伺服器作為目標。

波浪短期統計分析方面，以安平港與台北港實測波浪數據，進行波高與週期之直方圖與機率密度的適合比對。對於波高與週期則各選定四種機率分布，本計畫以相關統計參數，分別為誤差均方根(RMS)、相關性(R^2)、離島型直方圖($P_i=0$)與判斷是否為雙峰直方圖($|P_i-P_j|>1/N$) 等四種參數來探討最適之機率分布特性和最佳分組組數。決定最佳組數與最適之機率分布，並以此探討波高與週期之統計特性。根據波高

分析結果，驗證出安平港與台北港之波高分布較近似於 Weibull 分布，其波高直方圖適合分組組數大概介於 5 至 7 組。

另外於週期之分析結果，本計畫發現不論在全年、每季或是每月的波浪資料中，波高分布小於 3.0m 以下，最佳組數為 5 組，大於 3.0m 則為 6 組。波高小於 0.5m 者，其最佳分布為 Gamma，大於 0.5m 之最佳分布則為 Erlang。故在比較各種評估參數後，選定最佳分組組數為 5 組，最佳分布為 Erlang。

當機率分布參數計算出後，本計畫推導出幾個較適用之機率分布之統計特性，如 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 等，適用之機率分布分別為修正 Weibull 分布，Weibull 分布，Rayleigh 分布，Gamma 分布及 Erlang 分布。選擇六組每組有 30 個小時之波高樣本，比較實測及計算的 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 發現在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 之統計值上以 Weibull 分布來描述波高之分布是較以 Rayleigh 分布來描述波高均為佳。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Weibull 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 上分別有平均相對誤差(RMSE/ \bar{H}_s)約在 3.4%，1.06%，0.153%。示性波高在大於 3m 之波浪，則平均相對誤差(RMSE/ \bar{H}_s)就急速增加，但是 H_s 在這趨勢上則增加較少，此印證以示性波高來表示不規則波之特性比較有一致性之結論。平均示性波高在小於 3m 之波浪，以 Rayleigh 分布來描述統計值在 $H_{1/10}$, H_s , H_{mean} 上分別有平均相對誤差(RMSE/ \bar{H}_s)約在 6.49%，2.18%，1.30%。此說明在台灣之波高 Weibull 分布在大波及小波均較 Rayleigh 分布更能描述波高分布。

在 $T_{1/10}$, T_s , T_{rms} 之統計值上，雖然平均示性波高在大於 3m 之波浪，以 Erlang 分布及 Gamma 分布來描述在 T_s 及 T_{rms} 之平均相對誤差(RMSE/ \bar{T}_s)較大，但不會與示性波高有明顯增大之趨勢。由此可見對於波浪週期之描述，以示性週期似乎還是一個穩定且吻合的指標。以 Gamma 分布描述六組 $T_{1/10}$ 之平均相對誤差(RMSE/ \bar{T}_s)在 0.0305-0.1042 間，而以 Erlang 分布描述平均相對誤差在 0.0200-0.0632 間。以 Gamma 分布描述六組 T_s 之平均相對誤差(RMSE/ \bar{T}_s)在 0.0218-0.0412 間，而以

Erlang 分布描述平均相對誤差在 0.0131-0.0217 間。以 Gamma 分布描述六組 T_{rms} 之平均相對誤差(RMSE/ \bar{T}_s)在 0.0013-0.0061 間。

本研究進一步進行示性波浪之統計特性。根據 2006 年安平港與臺北港及 2004 年花蓮港的實測資料統計而得的之示性波高，將其分成全年、季及月等部份，並利用其最適分組數 20 組，與 Gamma、Normal、Rayleigh 及 Weibull 四個分布函數進行套配(fitted)，發現安平港的示性波分布高都是 Gamma 分布最為合適。臺北港除了全年、第 3-4 季與 9 月至 12 月為 Weibull 分布外，其餘也是為 Gamma 分布，但 Gamma 跟 Weibull 的結果相當接近。花蓮港 2 月為 Normal 分布，4 月為 Rayleigh 分布，5 月、8 月與 9 月為 Weibull 分布，其餘為 Gamma 分布。Gamma 與 Weibull 分布的 MSE 與 R^2 相當接近，但就整個分析結果而言，示性波高的最適分布為 Gamma 分布，Rayleigh 分布為最差。

示性週期分布方面，比對 Gamma、Erlang、Rayleigh 及 Normal 四個分布函數，得知安平港的示性週期除 7 月份為 Normal 分布、12 月份為 Erlang 分布之外，其餘都是 Gamma 分布。臺北港除了第 2 季、4 月及 6 月為 Normal 分布與 7 月份為 Erlang 分布外，其餘為 Gamma 分布。花蓮港的第 1 季與 2 月為 Normal 分布，其餘都是 Gamma 分布。Gamma、Erlang 與 Normal 分布的 MSE 與 R^2 相當接近，但就整個分析結果而言，示性週期的最適分布為 Gamma 分布，Erlang 分布為最差。

以安平港、臺北港與花蓮港的全年資料，按月份進行波高週期聯合分布比較可發現，Cavanié 的聯合機率密度分布，明顯大幅優於 Longuest-Higgins。

參考文獻

1. 張金機(1996) ，「花蓮港長波與碇泊船隻動態關係」，花蓮港港池振盪及其改善方案研討會，61-82 頁。
2. 張憲國、郭一羽(1999) ，「花蓮港共振機制研究」，台灣省政府交通處研究報告。
3. 張金機、簡仲璟(2002) ，「花蓮港外海颱風波浪研究」，第 24 屆海洋工程研討會論文集，405-410 頁。
4. 張憲國、錢維安(2003) ，「台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(二)」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
5. 郭一羽(2001) ，「不規則波理論」，郭一羽主編，海洋工程學，第三章，文山書局。
6. 蔡昫達(2005) ，「應用類神經模糊系統於季節風波浪之推算」，交通大學土木工程研究所碩士論文。
7. 蔡獲光(2006) “應用 ANFIS 模式於台灣東部海域之季節風波浪推算”，交通大學土木工程研究所碩士論文。
8. 錢維安、張憲國、何良勝(2002) ，「神經-模糊網路在推算颱風波浪之應用 II」，第 24 屆海洋工程研討會論文集，461-468 頁。
9. 錢志春(1991) ，「海浪及其預報」，氣象出版社，第 189 頁。
10. 簡仲景、曾相茂(1999) ，「花蓮港颱風波浪特性研究」，第二十一屆海洋工程研討會論文集，55-62 頁。
11. Bretschneider, C.L., (1959) “Wave variability and wave spectra for wind generated gravity waves”, Tech. Rep., *US Army Beach Erosion Board*. No. 118

12. Browne, M., Castelle, B. Strauss, D., Tomlinson, R., Blumenstein, M., and Lane, C., (2007) "Near-shore swell estimation from a global wind-wave model: Spectral process, linear, and artificial neural network models," *Coastal Eng.*, Vol. 54, pp. 445-460.
13. Chang, H.K., Chien, W.A., (2006a) "Neural network with multi-trend simulating transfer function for forecasting typhoon wave." *Adv. Eng. Softw.*, 37, 184–194.
14. Chang, H.K. and Chien, W.A., (2006b) "A fuzzy-neural hybrid system of simulating typhoon waves." *Coastal Eng.*, Vol 53(9), pp. 737-748.
15. Deo, M.C., Sridhar Naidu, C., (1999) "Real time wave forecasting using neural networks." *Ocean Eng.*, Vol. 26, pp. 191-203.
16. Deo, M.C., Kiran Kumar, N., (2000) "Interpolation of wave heights." *Ocean Eng.*, Vol. 27, pp. 907-919.
17. Deo, M. C., and Naidu, C. S., (2001) "Real Time Wave Forecasting Using Neural Networks," *Ocean Eng.*, Vol. 26, pp. 191–303.
18. Deo, M.C., Gondane, D. S., and Sanil Kumar, V., (2002) "Analysis of wave directional spreading using neural networks." *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. 128, pp. 30-37.
19. Deo, M.C., Jagdale, S.S., (2003) "Prediction of breaking waves with neural networks." *Ocean Eng.*, Vol. 30, pp. 1163-1178.
20. Erlang, A.K., (1917) "Solution of some Problems in the Theory of Probabilities of Significance in Automatic Telephone Exchanges." *Elektroteknikerer*, Vol 13.pp. 138-150.
21. Forristall, G. Z., (1978) "On the statistical distribution of wave heights in a storm," *J. Geophys. Res.*, Vol. C83, pp. 2353-2358.
22. Guedes Soares, C., Carvalho, N., (2001) "Probability Distribution of Wave Heights and Periods in Measured Two-Peaked Spectra from the Portuguese Coast." *20th International Conference on Offshore*

Mechanics and Artic Engineering, Omae2001, pp. 2178-2188.

23. Kalra, R., Deo, M.C., Kumar, R., Agarwal, V. K., (2005) “Artificial neural network to translate offshore satellite wave data to coastal locations,” *Ocean Eng.*, Vol. 32, pp. 1917–1932.
24. Kalra, R., and Deo, M.C., (2007) “Derivation of coastal wind and wave parameters from offshore measurements of Topex satellite using ANN,” *Coastal Eng.*, Vol. 54, pp. 187-196.
25. Kazeminezhad, M. H., Etemad-Shahidi, A., and Mousavi, S. J., (2005) “Application of fuzzy inference system in the prediction of wave parameters,” *Ocean Eng.*, Vol. 32, pp. 1709–1725.
26. Longuet-Higgins, M. S., (1952) “On the statistical distribution of the heights of sea waves,” *J. Marine, Res.*, Vol. 9, pp. 245-265.
27. Makarynsky, O., (2004) “Improving wave predictions with artificial neural networks,” *Ocean Eng.*, Vol. 31, pp. 709–724.
28. Muraleedharan, G., A.D. Rao, P.G. Kurup, N. U. Nair and M. Sinha, “Modified Weibull distribution for maximum and significant wave height simulation and prediction,” *Coastal Engineering*, 54, 630-638, 2007.
29. Muraleedharan, G., N. U. Nair and P.G. Kurup, “Application of Weibull model for redefined significant wave height distributions,” *Proceedings of the Indian Academy of Sciences, Earth and Planetary Sciences*, 108 (3), 149-153, 1999.
30. Nair, N.U., Muraleedharan, G. and Kurup, P.G., (2003) “Erlang distribution model for ocean wave periods.” *J. Ind. Geophys. Union* Vol.7, No.2, pp.59-70.
31. Özger, M., and Sen, Z., (2007) “Prediction of wave parameters by using fuzzy logic approach,” *Ocean Eng.*, Vol. 34, pp. 460-469.
32. Pan, J., (1992) “Long-term joint distribution of one-tenth large (or

significant)wave height with average period,” *China Ocean Eng* ,
Vol .6 , pp. 383-394.

- 33.Satheesh, S.P., Praveen, V.K., Jagadish Kumar, V., Muraleedharan, G.
and Kurup, P.G., (2005) “Weibull and Gamma distribution for Wave
Parameter Predictions,” *J. Ind. Geophys. Union*, Vol. 9, No. 1 , pp.
55-64 .

附錄 1 花蓮港之船隻動態表

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (距離,km)	備註
85.05	凱姆 (Cam)	22/14:00 23/08:00 14:00		船舶進出港作業正常		19.9 N,119.6E 20.9N,122.0E 21.3N,123.3E	
85.07	葛樂禮 (Gloria)	24/14:00 25/08:00 26/08:00 27/08:00	#25 #23 #4	暴風圈涵蓋本港 船隻「羅伯」因斷纜出港避風浪 船隻「貝爾」因斷纜出港避風浪 船隻「吉拉」因斷纜出港避風浪 成立防颱中心		17.3N,124.2E 18.8N,122.4E 21.1N,120.8E 24.7N,118.5E	
85.07 85.08	賀伯 (Herb)	29/11:00 30/02:00 14:00 31/08:00 01/08:00 02	#23 #25 #19 #6 #24 #13 #15 #20	暴風圈涵蓋本港 船隻「貝爾」因斷纜出港避風浪 船隻「羅伯」因斷纜出港避風浪 船隻「安康」因斷纜出港避風浪 船隻「安吉拉」因斷纜出港避風浪 船隻「克蘭」因斷纜出港避風浪 船隻「福全」因斷纜出港避風浪 船隻「聯榮」因斷纜出港避風浪 成立防颱中心 船隻陸續出港 船隻「普提」因主機故障無法出港，在碼頭經歷過極度之危險，並碰損碰墊及船體		18.7N,129.7E 20.3N,127.9E 22.0N,127.2E 24.0N,124.6E 25.4N,120.4E	
85.09	莎莉 (Sally)	07/08:00 08/02:00	#10 #23 #13	09/08 05:50 船隻「宏安」斷纜經推頂重新帶纜 09/08 07:53 至 0854 船隻「長貴」出港避風浪 09/08 0753 至 08:54 船隻「艾特絲」出港避風浪		18.1N,127.0E 19.2N,121.9E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
85.09	莎莉 (Sally)	08/14:00 09	#23	船隻「長貴」進港 船隻「艾特絲」進港		19.7N,118.0E	
85.09	魏萊特 Violet	15/20:00 16/08:00 17:00 20:00	#20	船隻「友萊六號」進泊無法靠泊 隨即出港		18.8N,126.6E 20.0N,126.3E 20.5N,126.2E 20.5N,126.6E	
85.09	薩恩 Zane	27/14:00 28/02:00 08:00 20:00	#22 #24	船隻「冒險家」因斷纜出港避風 船隻「富國新六號」因油料不足， 無法在港外頂浪而緊急勉強進 靠。 港內船隻多因斷纜而加強帶纜		21.5N,126.1E 22.0N,125.5E 22.9N,125.4E 24.3N,125.6E	
85.10	貝絲	17/02:00 18/02:00 19/02:00		無明顯湧浪 無船舶斷纜或出港避風		17.7N,125.2E 17.6N,122.1E 18.6N,119.6E	
85.11	爾尼			花蓮地區豪雨達六百餘公釐，花 蓮港多處圍牆及擋土牆傾倒，無 影響船舶靠泊			
85.11	戴兒	10/08:00 11/02:00 13/02:00		在港商船五艘全部出港避風 船鼻陸陸續返港		16.8N,133.8E 19.4N,131.6E 29.3N,138.8E	
86.04	伊莎	21/16:00 22/04:00 08:00 23/02:00		下午港內產生湧浪，船隻「榮 華」、「卓越」移泊內港，仍有斷 纜 仍受湧浪影響，多有斷纜 仍受湧浪影響，多有斷纜 已較緩和，裝卸仍受影響		24.3N,139.5E 24.5N,139.7E 27.4N,143.7E	
86.05	里維	28/02:00 29/02:00 30/02:00		港內船隻未受影響 港內船隻未受影響 港內船隻未受影響		18.8N,126.3E 23.2N,127.5E 27.3N,32.4E	
86.06	歐珀	16/08:00 17/08:00 18/08:00	#25	06/18 至 06/19 港內產生微湧，船 隻「裕亨」艙艙各斷纜一次		15.0N,132.9E 16.4N,132.4E 20.7N,133.6E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
86.06	歐珀	19/08:00	#24	06/19 0856 時，船隻「米雪」於碼頭碰撞船體受損		27.4N,133.7E	
86.06	彼得	24/14:00 25/08:00 26/02:00 08:00 14:00 27/02:00	#24 #23 #21	外港產生湧浪，內港裝卸作業正常 0820 船隻「明維」移至#3 碼頭 1030 船隻「安傑利」移至#6 碼頭 1800 船隻「友泰六號」移至#11 碼頭 外港仍有湧浪		15.0N,129.0E 17.0N,127.0E 19.3N,127.2 20.6N,126.5E 21.9N,126.3E 24.9N,126.5E	
86.07	羅西	21/02:00 21/14:00 22/08:00 23/08:00 24/08:00 25/02:00		港內有湧浪產生，船隻「亞五」、「富國新六號」提早出港，其他各船尚能勉強靠泊，惟至 0725 均影響正常裝卸作業		14.7N,135.2E 15.9N,134.0E 17.5N,132.6E 19.1N,131.9E 22.4N,132.5E 25.9N,133.6E	
86.08	蒂娜	01/14:00 02/08:00 03/08:00 04/08:00 05/08:00 06/02:00 14:00		港內有湧浪產生，然船舶進出港作業均未受影響		13.4N,135.0E 13.5N,133.5E 14.5N,131.5E 17.0N,129.2E 20.0N,127.0E 22.0N,126.2E 24.2N,126.5E	
86.08	溫妮 Winnie	13/14:00 14/08:00 15/08:00 16/08:00 17/08:00	#22 #8 #24 #23	港內產生湧浪，無法正常裝卸作業。船隻「昌盛」因斷纜出港 港內產生湧浪，無法正常裝卸作業。船隻「宏記」因斷纜出港 港內產生湧浪，無法正常裝卸作業。船隻「諄鵝」因斷纜出港 船隻「希吉」移至#4 碼頭惟仍斷纜		19.6N,142.2E 20.9N,139.5E 22.6N,135.7E 23.7N,132.0E 24.5N,128.3E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
86.08	安珀 Anber	27/08:00 28/02:00 14:00 29/02:00 14:00	#23 #17 #6	08/26 1834 時起船隻「亞士皮」因斷纜出港避風迄 0830 再返港 08/26 1834 時起船隻「法羅」因斷纜出港避風迄 0830 再返港 08/26 1834 時起船隻「千葉」因斷纜出港避風迄 0830 再返港 0400 左右颱風眼通過本港，造成東防波堤胸牆倒塌等嚴重災情。		19.1N,126.2E 20.3N,124.2E 21.4N,122.9E 23.4N,121.6E 24.8N,120.0E	
86.10	艾文 Ivan	18/08:00 19/14:00 20/08:00 21/08:00 14:00	#23 #18	外港有湧浪，外港船隻有斷纜情形，船隻「肯尼克」出港 港內正常 外港有湧浪，外港船隻有斷纜情形，船隻「嘉新二號」出港 港內正常		14.8N,127.2E 17.1N,123.4E 18.8N,122.0E 19.4N,122.6E 19.8,123.9E	
87.08	奧托 Otto	03/02:00 08:00 15:00 20:00 04/07:00	#22 #23 #25	19:42 船隻「西里」預知颱風先出港避湧浪 05:00 左右港內開始明顯產生湧浪 10:00 成力防颱中心 20:00 解除 13:00~15:00 湧浪最劇 07:22~10:37 船隻「北斗星」因斷纜出港避風 07:22~10:37 船隻「希吉」因斷纜出港避風 07:22~10:37 船隻「福運」因斷纜出港避風		15.5N,124.8E 16.7N,124.5E 18.7N,123.7E 20.1N,123.4E 21.8N,121.8E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
87.08	奧托 Otto	04/07:00 16:00 17:00	#20 #21	07:22~10:37 船隻「富國新六號」因斷纜出港避風 船隻「花蓮一號」、「友泰六號」分別移至#4 及#3 碼頭，幸安然度過，惟仍有斷纜產生		23.7N,120.8E 24.2N,120.5E	
87.09	維琪 Vicki	18/02:00 21/02:00 14:00		船舶正常進出港及裝卸作業 船舶正常進出港及裝卸作業 船舶正常進出港及裝卸作業		17.0N,118.7E 23.2N,128.7E 26.0N,131.0E	
87.09	楊妮 Yanni	28/00:00 02:00 17:00	#21	船隻「新華」移至#4 碼頭，外港除「宏安」靠#18 碼頭外不他船進泊，內港仍維持裝卸作業，外港「宏安」雖無法做為，然仍僅稍受湧浪影響 10:00 成立防颱中心 17:30 即恢復正常職守 21:30 時即解除臺颱中心		22.2N,123.0E 22.6N,122.4E 24.0N,122.2E	
87.10	瑞伯 Zeb	12/02:00 14:00 13/02:00 14:00 14/02:00 15/02:00 16/08:00 18:00	#15 #24 #23 #11	22:49 船隻「卡迪」預知颱風動態自碼頭出港 17:30 成立防颱中心 06:51~08:42 船隻「江美」因斷纜出港避風 06:51~08:42 船隻「華榮」因斷纜出港避風 06:51~08:42 船隻「亞七」因斷纜出港避風 船隻「捷運」私自於內港迴船池拋錨 18:00 解除防颱中心		11.0N,133.7E 12.3N,131.3E 13.6N,129.0E 15.5N,126.0E 16.2N,123.7E 18.8N,121.3E 23.8N,122.3E 25.4N,123.5E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
87.10	芭比絲 Babs	20/02:00				11.0N,129.0E	
		21/02:00		19:00 左右港內產生湧浪		12.7N,126.4E	
		22/02:00		08:00 船隻「德洋福星」移內港		13.9N,123.5E	
		14:00	#25	15:02~19:30 船隻「尊傑」因斷纜出港避風		14.6N,122.6E	
				#22	15:02~19:30 船隻「飛鷹」因斷纜出港避風		
					#18	15:02~19:30 船隻「華榮」因斷纜出港避風	
				#23		15:02~19:30 船隻「克蘭」因斷纜出港避風	
				#8	船隻「伊斯拉」移至#6 碼頭		
		#21	船隻「富國新」靠泊僅 rolling 無 pitching 現象，而得勉強度過湧浪侵襲				
			#20		船隻「富國新六號」靠泊僅 rolling 無 pitching 現象，而得勉強度過湧浪侵襲		
23/02:00						15.3N,121.4E	
24/02:00					17.0N,118.5E		
25/08:00					19.4N,116.4E		
87.12	費絲 Faith	10/02:00		船舶正常進出港及裝卸作業（冷鋒南下）		11.7N,126.0E	
		11/08:00		船舶正常進出港及裝卸作業（冷鋒南下）		12.0N,122.0E	
		14:00		船舶正常進出港及裝卸作業（冷鋒南下）		11.5N,120.1E	
88.04	凱特 Kate	23/08:00		本港未受影響		13.7N,126.9E	
		24/14:00		本港未受影響		15.0N,129.0E	
		26/08:00		本港未受影響		19.9N,133.0E	
		27/02:00		本港未受影響		22.2N,136.3E	
88.06	瑪姬 Maggie	03/02:00				14.3N,129.4E	
		04/14:00				16.6N,127.9E	
		05/08:00		18:00 成立防颱中心 23:00 港內湧浪加劇		18.9N,124.5E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
88.06	瑪姬 Maggie	05/08:00 06/12:00		06/00:00 起內外港「達和」、「東日」、「富國新六號」、「海富」、「伯那德」分別出港避風 12:00 解除		22.3N,118.6E	
88.07	歐佳 Olga	30/08:00 31/02:00 01/08:00		港內有湧，雖未影響靠泊，惟 0801 至 08/02 外港部份船隻仍有湧浪		16.6N,133.7E 20.8N,131.9E 24.8N,129.3E	
88.08	山姆 Sam	19/14:00 20/11:00 21/05:00	#22	08/20 上午外港湧浪加劇，內港狀況尚可「捷運」、「富海」由外港移內港 船隻「庫島」出港避風 外港仍有湧浪		16.8N,125.4E 18.3N,121.8E 18.8N,118.9E	
88.09	巴特 Bart	19/08:00 20/08:00 21/14:00		無影響船舶進出裝卸作業		21.8N,128.0E 23.4N,125.5E 24.5N,125.9E	
88.10	丹恩 Dan	03/14:00 04/02:00 05/08:00 06/05:00 07/08:00 08/07:00	#23 #18	上午出現湧浪 船隻「信輝」勉強靠泊 稍受影響，裝卸作業暫停 本次颱風船隻「富國新」於高雄旗津擱淺、「金門二號」於金門沉沒		17.9N,129.4E 18.5N,127.9E 18.2N,122.4E 18.5N,119.2E 19.7N,117.3E 21.6N,118.1E	
88.11	葛樂禮 Gloria	15/02:00 16/02:00		無影響船舶靠泊作業		21.0N,130.6E 27.6N,137.7E	
89.05	丹瑞 Damrey	08/08:00 09/08:00 10/08:00 11/08:00		正常運作		13.8N,131.4E 15.6N,133.5E 19.5N,136.8E 23.6N,139.9E	
89.05	龍王 Long-wang	19/08:00 14:00 20/02:00		正常運作		21.4N,125.5E 22.4N,126.9E 24.7N,130.7E	
89.07	奇洛基 Kirogi	04/20:00	#22	23:21 船隻「曼多」出港避湧		19.0N,131.6E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
89.07	奇洛基 Kirogi	05/02:00 14:00 06/02:00	#25	23:21 船隻「快捷」出港避湧 外港各船勉強維持至 0706 下午 後漸改善恢復作業		20.0N,131.4E 21.6N,132.5E 23.3N,133.6E	
89.07	啟德 Kai-Tak	02:00 07/05:00 08/20:00 09/06:00 13:00	#25 #18 #24	成立防颱風中心 07:00 通知出港避風 09:07 船隻「快捷」出港避湧浪 10:31 船隻「宏星」出港避湧浪 11:36 船隻「聯歐」出港避湧浪 16:00 解除防颱風中心，翌日始恢復 進出		19.0N,119.8E 20.1N,118.8E 20.6N,120.4E 22.0N,121.3E 24.2N,121.6E	
89.08	碧利斯 Bilis	21/08:00 22/07:00 20:00 23/12:00		17:30 成立防颱風中心 24:00 時前除內港船隻「天立一 號」輪堅不出港及「億滿鴻」700 噸漁船要求進港外，均已出港避 風。「天立一號」幾乎完全斷纜在 內港迴船池飄盪 12:00 恢復正常		18.8N,128.3E 20.7N,124.2E 22.5N,122.0E	本次本 港包括 東防波 堤受到 重創
89.08	巴比倫 Prapiroon	27/20:00 28/16:00 29/11:00 30/07:00		17:30 成立防颱風中心 港內運作正常 上午解除防颱風中心		22.3N,130.1E 23.0N,127.1E 24.0N,125.1E 26.6N,123.4E	
89.09	寶發 Bopha	08/14:00 09/10:00 21:00 10/07:00		09:00 成立防颱風中心 15:00 解除防颱風中心 內外港均靠泊有船並無斷纜情事		25.5N,128.0E 25.3N,124.7E 24.3N,123.6E 22.5N,123.0E	
89.10	雅吉 Yagi	23/02:00 24/08:00 25/08:00		港內幾無湧浪產生 17:00 成立防颱風中心並建議外港 船隻「盛寶」及內港船隻「瑞和」 出港避風		22.2N,133.8E 23.0N,128.2E 24.7N,124.9E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
89.10	象神 Xangsane	30/02:00 31/07:00 13:00	#17	22:00 成立防颱中心 11/01 22:00 解除 船隻「泰瑞八號」於 23:30 移至 #4 碼頭並仍嚴重斷纜外，其餘船舶均出港避風，港內湧浪劇烈		16.0n,118.0e 18.6n,119.6e 19.3n,120.2e	
90.05	西馬隆 Cima	11/08:00 13/07:00	#23	05/12 14:00 成立防颱中心 未造成湧浪 船隻「金瀧」待修及沉箱渠內之沉箱均安然		17.0N,119.0E 21.0N,121.7E	
90.06	奇比 Chebi	20/14:00 21/08:00 22/14:00 23/01:00	#23 #18 #3	16:00 成立應變小組 06/24 解除 19:00 湧浪加劇 船隻「貿易」出港 船隻「宏安」出港 內港船隻「捷運」情況尚可		13.0N,133.0E 4.3N,127.7E 19.3N,122.4E 20.9N,120.0E	
90.07	尤特 Utor	02/14:00 03/14:00	#23 #21	07/04 08:00 成立應變小組 07/04 07:30 已產生湧浪 船隻「安裕」出港 12:00 船隻「源利」及「重榮」出港，湧浪甚劇，迄 0706 恢復進出，惟仍有湧浪			
90.07	潭美 Trami	11/07:00		07/10 23:00 成立應變小組 本次幾全無湧浪產生		21.8N,121.6E	
90.07	桃芝 Toraji	27/14:00 28/08:00 29/13:00	#12	14:00 成立應變小組 20:30 湧浪開始劇烈 除船隻「華龍」斷纜其他商船均已出港 07/30 05:00 湧浪減緩		17.2N,126.9E 18.4N,124.8E 22.0N,122.5E	
90.09	納莉 Nari	13/14:00		09/15 成立應變小組 09/17 12:00 解除 本次颱風非常詭異重創台灣，惟本港完全未受影響		26.9N,126.2E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
90.09	利奇馬 Lekima	25/09:00	#24	09/25 17:00 成立應變小組 09/27 12:00 解除，內港未受影響，外港自 0926 上午起有湧浪到晚上稍劇 船隻「伯那」勉強撐過		20.4N,122.0E	
90.10	海燕 Haiyan			10/15 16:00 成立應變小組 10/16 21:30 解除 未受影響			
91.06	諾古力 Noguri	08/14:00		無任何影響		21.0N,118.0E 22.0N,124.5E 24.9N,125.5E	
91.06	雷馬遜 Rammasun	29/14:00	#24	港內產生湧浪多數船舶斷纜 船隻「可兒」撞損碰墊		11.3N,136.0E	
92.04	柯吉拉 Kujira	18/02:00 19/02:00 21/02:00 22/08:00 23/08:00 24/11:00		04/17 晚上出現湧浪 04/18 船舶均出港避風，至 0424 始陸續恢復船舶進港		13.6N,131.4E 13.9N,129.1E 18.0N,125.1E 19.7N,123.6E 20.8N,122.5E 22.5N,123.0	
92.05	蓮花 Linfa	28/02:00 29/08:00 30/02:00		未影響港內作為，僅於 0529 17:00 時高潮位時稍有湧浪		16.6N,122.7E 22.1N,120.3E 21.8N,122.9	
92.06	南卡 Nangka	01/20:00 02/14:00 03/02:00		無任何影響		18.2N,117.8E 20.6N,120.3E 21.8N,122.9E	
92.06	蘇迪勒 Soudelor	14/02:00 15/08:00 16/02:00 17/11:00	#13 #24 #10 #25	21:00 港內有湧並漸加劇 01:00 船隻「達和」開始斷纜，04:00 出港 船隻「雲天客」斷纜 05:30 出港 06:00 船隻「亞六」出港 07:00 船隻「裕慎」出港		11.2N,128.2E 14.0N,125.9E 16.0N,124.9E 20.3N,123.2E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
92.06	蘇迪勒 Soudelor	17/11:00 18	#23	07:30 船隻「龍天客」出港 中午以後始改善		20.3N,123.2E	
92.07	伊布都 Imbudo	17/14:00 18/02:00 20/14:00 21/14:00 21/20:00 22/02:00 22/08:00 22/14:00 23/05:00	#23 #18 #11	清晨開始明顯有湧浪，船隻「宏伶」原擬於 05:30 時出港避風，後因覺情況稍微轉好而作罷，08:30 時由壽豐頂住趕卸 10:23 出港，損壞碰墊二組 船隻「佳星」斷纜於 09:44 時出港避風，損壞碰墊二組 船隻「金瀧」堅不出港，中午過後湧浪加劇。船隻「金瀧」斷纜嚴重。 中午過後，湧浪漸減輕		8.3N,140.9E 9.3N,139.4E 12.1N,131.6E 14.3N,127.1E 15.0N,125.8E 15.7N,124.4E 16.4N,123.0E 16.9N,121.3E 18.2N,117.6E	
92.08	莫拉客 Morakot	02/17:00 02/23:00 03/05:00 03/14:00 04/14:00		本次颱風帶來雨量舒解旱象，除 08/03 晚上至 08/04 早上稍有湧浪外，均無影響船舶進出作業，亦無斷纜現象。 23:50 時成立防颱 18:30 時解除防颱		19.1N,124.6E 19.8N,123.9E 20.5N,122.9E 21.3N,121.4E 24.1N,119.0E	
92.11	米勒 (Melor)	0500 1100 1700 2200 92.11 03/0600 1100 1700		11/02 1100 成立應變小組 11/03 1600 解除 11/03 0900 時召開防颱會議要求船舶出港避風，「康運」經過強制要求於 1200 時前出港，其他船舶則均未出港避風，港內亦無明顯湧浪行成		19.6N,120.7E 20.3N,120.5E 21.0N,120.8E 21.4N,121.0E 22.4N,121.7E 22.8N,122.2E 23.5N,123.1E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
92.08	科羅旺 (Krovanh)	21/08:00 1400 22/0200 1100 2300 23/0800		本次颱風發布海上颱風警報。除08/22 晚上稍有湧外，不影響進出作業		18.8N,129.2E 18.4N,128.0E 17.9N,125.9E 17.7N,123.7E 17.7N,121.5E 17.6N,119.2E	
92.08	杜鵑 (Dajuan)	30/0200 31/0200 2000		2130 成立應變小組			
92.09		01/0200 1600 2200 02/1400	#17 #18 #23 #21	1000 時左右高潮位開始起湧，「振興」提早於 1130 時出港； 「晶利 3 號」1230 時出港避風； 「范迪克」在拖船協助推頂搶卸花崗石後 1330 時出港 「長宏」1130 時移泊#4 碼頭 1830 解除應變小組，「晶利 3 號」 2030 時進港			
92.08	艾陶 (Eatu)	03/1400 04/0200 04/1400 05/0200 05/1400 06/0200 07/0200	#18 #19	本次颱風無影響船舶進出靠泊，惟於 08/07 凌晨高潮位起即有越浪並稍有湧 下午 1530 時高潮位後始漸穩靜。18#碼頭「雷尼」及 19#碼頭「行運」均有斷纜現象		13.5N,139.6E 14.7N,138.1E 15.6N,135.3E 17.8N,133.7E 18.7N,131.5E 20.5N,130.3E 25.3N,128.7E	
92.09	梅米 (Maemi)	10/0200 0800 1400		09/10 上午有湧，惟不影響港內船舶靠泊		23.4N,127.8E 23.6N,127.2E 23.9N,126.7E	
92.11	盧碧 (Lupit)	22/1400 23/1400 24/1400 25/1400 26/1400				8.8N,152.3E 8.1N,146.9E 8.5N,143.5E 11.6N,138.7E 13.1N,136.4E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
92.11	盧碧 (Lupit)	27/1400	#23	11/27 下午起湧,「莎菲」晚上無法卸貨作業		14.4N,134.5E	
		28/1400 29/1400 30/1400			11/29 湧浪加劇		16.1N,132.5E 19.2N,130.9E 23.1N,133.8E
92.12		01/0200	#23	至 12/01 上午始趨緩和,「莎菲」15000 噸級勉強支撐度過本次颱風,其他砂石船亦均勉強維持作業。內港船舶則尚可作業,惟斷纜難免。		25.9N/137.5E	
93.04	舒達 (Sudal)	05/0800	#23 #25	早上外港已稍有湧並通報各代理行、中午高潮位後轉劇通知「金灩」及「寶光」,1730 時「雲天客」出港避湧,2100 時「裕樸」出港避湧 原訂 04/13 0000 時進靠 24#福順延後進港,湧浪加劇		8.0N,149E	
		06/0800				9.5,147E	
		07/0800				10.1N,144.4E	
		08/0800				9.2N,140.6E	
		09/0800				9.1E,138.1E	
		10/0800				10.8N,135.3E	
		11/0800				13.7N,131.6E	
	12/0800	15.4E,131E					
	13/0800	17.2N,131.7E					
	14/0800	20.5N,134E					
	15/0800	23.7N,138.8E					
93.05	妮妲 (Nida)	14/1400	#24	0500 時高潮位港內湧浪,24#碼頭「和風」搖盪仍勉強完成卸載,並於 1300 時出港,其他較小型之砂石船及內港靠泊船舶均仍可裝卸作業 港內仍持續有湧,1800 高潮位時湧浪甚至加劇,致「國昌」延期進港		8.5N,131.5E	
		16/0200				10.7N,128E	
		1400				11.8N,126.4E	
		17/0800				14.1N,124.3E	
		1400				14.7N/123.8E	
		18/0800				16.9N,123.5E	
	1400	17.5N,123.6E					
	19/0800	20.2N,125.2E					
	1400	21.3N,126.5E					

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
93.05	妮妲 (Nida)	20/0200		上午湧浪漸減		23.6N,129.6E	
93.08	梅姬 (Megi)	16/1400 0200 0800 1400		本次颱風對本港毫無影響		18.8N,130.8E 21.1N,128.8E 23N,127.8E 24.7N,127.1E	
93.06	康森 (Conson)	07/0800 08/0800 1800 09/0800 1400 1700		1630 成立緊急應變小組 1830 解除, 本次颱風對本港無任何影響, 亦無湧浪產生		16.4N,118.7E 18.3N,119.3E 19.8N,119.9E 21.2N,121.3E 22.3N,122.6E 22.9,123E	
93.06	敏督利 (Mindulle)	23/1400 24/1400 25/1400 26/1400 27/1400 2000 28/1400 29/1400 30/1400		凌晨高潮位時即開始有湧,「裕東」、「傑昌」、「通華」均因斷纜陸續出港避湧 湧浪稍有減緩 因偏北轉向港內湧浪再漸次加劇,故船舶至 07/03 晚上始陸續進泊。		16.7N,1429.E 16.3N,137.8E 15N,133.9E 14.8N,130.4E 16.9N,128.1E 17.4N,127E 18.4N,125.5E 18.9N,123.7E 19.3N,122E	
93.07		01/0800 2200 02/0800 02/0800		07/01 0830 召開防颱會議。 本次颱風引進強烈西南氣流,重創台灣		19.8N,122.1E 21.7N,121.8E 23.7N,121.7E 25N,121.6E	
93.07	康伯斯 (Kompasu)	14/0800 1400 2000		本次颱風在較高緯度生成,本局於 07/141500 時召開防颱會議並於 1530 時配合交通部成立緊急應變小組,由於颱風持續偏西且維持輕度,故對本港絲毫無影響		21.2N,125E 21.4N,123.5E 20.9N,121.5E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
93.07	康伯斯 (Kompasu)	15/0200		0700 時解除應變小組		20.9N,120.5E	
93.08	蘭寧 (Ranim)	09/0200		<p>本次颱風對本港泊港船舶毫無影響，甚至 25#碼頭之「裕東」輪均正常卸載煤炭。</p> <p>惟因東堤越浪，堤頭燈塔施工中已樹立之鋼筋均被衝垮</p> <p>1530 時成立緊急應變小組，08/12 2030 時解除</p>		18.8N,130.4E	
		10/0200			20.9N,129.3E		
		0800			21.3N,128.1E		
		1400			22.1N,128.1E		
		11/0200			22.9N,127.1E		
0800		23.1N,126.4E					
1400		23.9N,125.6E					
93.08	艾利 (Aere)	20/0800		<p>早上開始有湧，泊港船舶多有斷纜情形，惟仍可正常裝卸作業。</p> <p>除 25#碼頭「富國新七號」外，其他砂石船均進泊內港。</p> <p>1500 時成立緊急應變小組</p>		13.4N,135.3E	
		1400			14.7N,136.5E		
		21/1400			18.2N,132.9E		
		22/1400			20.9N,129.1E		
		23/0800			22.9N,126.4E		
24/0800		24.9N,124E					
25/0800		25.4N,121.4E					
93.08	佳芭 (Chaba)	20/0800		<p>上午 0900 時左右港內開始有較大湧浪產生，但「信興」仍進靠 21#碼頭、「富國新七號」仍靠 17#碼頭，油輪「安運」則取消進泊。</p> <p>上午湧浪已減小，船舶均已正常進出作業。</p>		13.4N,157.6E	
		1400			13.8N,157E		
		21/1400			14.4N,151.8E		
		22/1400			14.3N,146.3E		
		24/0800			17.5N,140.2E		
25/0800		20.3N,138.2E					
26/0800		22.5N,136.E					
93.09	桑達 (Songda)	03/1400		上午八時左右高潮位時稍見湧浪		22.4N,135.2E	
		04/0800		上午九時左業「宏裕」於 18#碼頭斷纜出港避湧		23.3N,132.2E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
93.09	桑達 (Songda)	04/1400 05/0200 1400		09/04 至 09/05 下午外港湧浪較巨，惟數艘砂石船仍進出裝貨。 09/05 2100 時高潮位後港內已較平靜，惟舊東堤越浪仍甚巨		24.1N,131.1E 25.1N,129.7E 26.3N,128.2E	
93.09	米雷 (Meari)	21/0800 22/0800 23/0800 24/0800 25/0800 26/0800 27/0800		25 日晚上至 26 日下午稍有湧浪，惟不影響船舶正常作業（本次颱風形成行進期間適逢大陸高壓南下）		13.1N,141.9E 15N,139.6E 17.2N,137.5E 19.4N,134.3E 22.2N,131.2E 25.8N,126.4E 26N,124.8E	
93.10	馬鞍 (Ma-On)	04/1400 05/1400 06/1400 07/0200 08/0200 0800 1400		上午稍有湧浪，惟 25#「海安」仍正常卸載 中午湧浪稍增強，惟下午即轉趨減弱，舊東堤越浪甚巨		16.9N,134.4E 18.7N,134.7E 20.6N,132.7E 21.3N,131.6E 23.2N,130.8E 23.8N,131.5E 25.2N,132.2E	
93.10	陶卡基 (Tokage)	13/0800 14/0200 0800 15/2000 16/1400 17/0200 18/0800 1400 2000 19/0800		上午湧浪漸生，0900 時高潮位後漸加劇，中午以後因颱風與東北季風加乘效果港內湧浪加劇，風及浪持續增強，東堤越浪甚巨 下午四時以後外港及內港船舶均漸次嚴重斷纜，翌日雖港內湧漸緩，但東堤越浪仍甚劇。		14.4N,143.9E 14.2N,139E 13.8N,138.1E 15.5N,134.4E 17.6N,134E 18.6N,132.5E 21.8N,128.2E 22.2N,127.4E 23N,126.9E 24.7N,127.2E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註	
93.10	納坦 (Nock-Ten)	19/0200				10.1N,149.8E		
		20/1400				11.4N,144E		
		21/0200				12.6N,141.8E		
		1400				13.8N,139.3E		
		22/0200				14.5N,137.3E		
		23/0800				17.4N,132.3E		
		24/0700			1600 高潮位前後湧浪加劇，原泊港商船三艘出港避風，惟「永順一號」仍堅持進靠 10#碼頭卸貨		19.8N,126.4E	
		2200				22N,123E		
		25/0200			0400 時起風勢漸強，0900 時起則持續吹南風至 1700 時仍未歇		22.7N,122.5E	
		0800 1100			10/26 上午恢復正常		24N,122.2E 25N,121.8E	
94.04	桑卡 (Sonca)	25/0200		對本港無明顯影響		15.2N,131E		
		1400				16.7N,131.6E		
		26/0200				18.6N,132.9E		
		1400				21.7N,135.6E		
		27/0200			4/27 上午高潮位時稍見湧浪		24.7N,140.2E	
94.06	尼莎 (Nesat)	01/0800				10.5N,143E		
		1400				10.8N,141.6E		
		02/0200				10.8N,139.6E		
		0800				11.2N,138.5E		
		03/0200				12N,135.3E		
		1400				12.9N,133.7E		
		04/1400				15.2N,131E		
		05/0200				16.5N,130.4E		
		1400				18.1N,130.8E		
		06/0200			06/06 上午稍有湧浪產生，惟不影響船舶作業。23#「宇天客」卸木片、18#「安運」卸油均正常		19.7N,132E	
1400 07/1400 08/0200					21.3N,133.4E 23.5N,134.1E 24.4N,133.7E			
94.07	海棠 (Haitang)	12/1400				24.1N,131.1E		
		13/1400				23.5N,151E		
		14/1400				22.3N,148.3E		
		15/1400				20.2N,142.4E		
		16/1400				20.3N,129E		

註：引自花蓮港港務局之書面報告

日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
94.08	泰利 (Talim)	30/0800		0700 左右 18#碼頭「亞三」、25#碼頭「信和」均因斷纜先後出港避湧，惟內港 11#碼頭「亞七」及外港之砂石船均分別作業至下午及晚上始正常出港。		21.4N,129.7E	
		1400				21.6N,1283.E	
		31/0800		08/31 上午以後港內湧浪加劇		22.7N,125.2E	
		1400				23.4N,124.1E	
94.09		2300				24N,122.1E	
		01/0300		09/01 零時前後風力甚強		23.6N,121.6E	
	0700				24.2,121.8E		
	0800		0800~1400 回南風甚強，09/01 1700 時「通華」已可進靠 11#碼頭		24.2N,120.4E		
94.08	娜比 (Nabi)	02/0200		上午開始港內產生湧浪，18#碼頭「亞三」、8#碼頭「亞六」均先後出港避湧，雖小型砂石船仍進出作業，惟其他大型船均等待至 5 日始漸次進港，至 6 日仍有斷纜之情事。		18.8N,138.5E	
		1400				19.6N,136.8E	
94.09	卡努 (Khanun)	07/1400				13.5N,134E	
		08/0200				14.8N,133E	
		1400				16.3N,132.3E	
		09/0200				18.2N,131.1E	
		1400				20.4N,129.6E	
	10/0200			上午 9 時及晚上 9 時左右之高潮位均有湧浪產生，惟 25#「裕利」仍勉強支撐斷斷續續卸貨作業，23#「土星」及 24#「信和」則均於 9 日深夜提早出港避風。		22.1N,127.4E	
	1400				24.2N,125.2E		
	2000				25.2N,124.3E		
94.09	卡努 (Khanun)	21/0800				18N,123E	
		1400		下午高潮位時開始有湧，惟不影響船舶進出及作業		18.9N,122E	
		2000				19.2N,121.5E	
		22/0800				19.3N,120.7E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

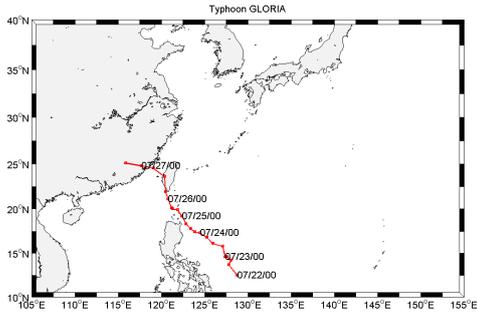
日期	颱風名稱	時間	碼頭	船隻動態	波浪特性	中心距離 (0) (距離,km)	備註
94.09	龍王 (Longwang)	30/0800				22N,132.1E	
		2000				22N,129.9E	
94.10		01/0800		10/01 上午外港稍有湧浪，內港則尚好，13#碼頭「盛和」遲至1200時出港，12#碼頭「金龍」則堅不出港		22.5N,127E	
		2000		10/01 下午起湧浪開始加劇		23.1N,123.9E	
		02/0400		「金龍」於 10/02 0330 時纜繩全斷漂流，0442 時擱淺於南濱沿岸		23.6N,122E	
		1200		10/03 正常進出		23.9N,119.9E	

註：引自花蓮港港務局之書面報告

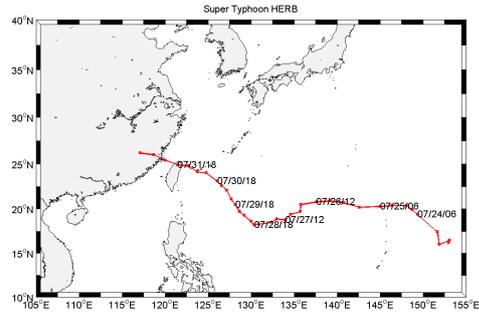
附錄 2 颱風路徑圖

1996 年

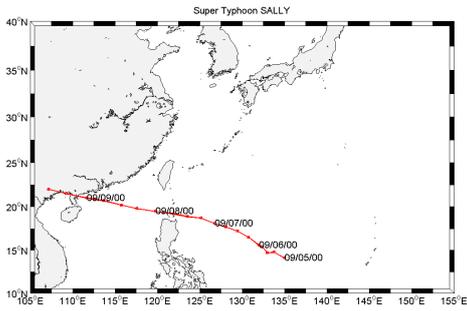
葛樂禮 (Gloria)



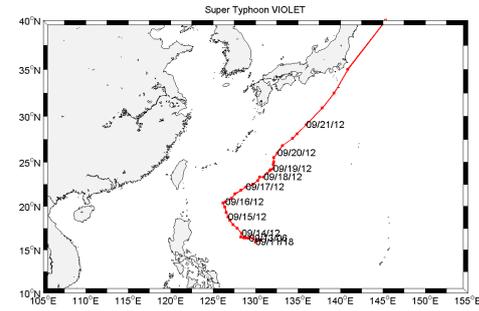
賀伯 (Herb)



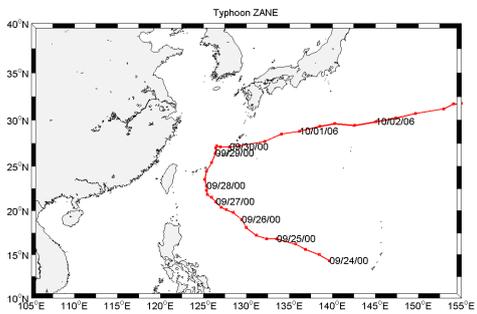
莎莉 (Sally)



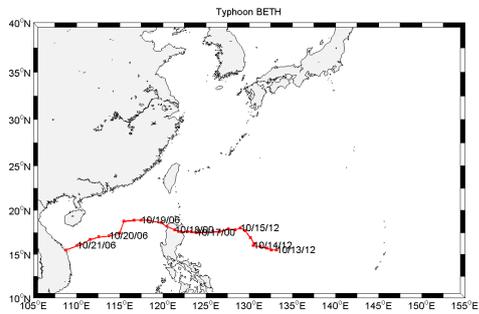
魏萊特 (Violet)



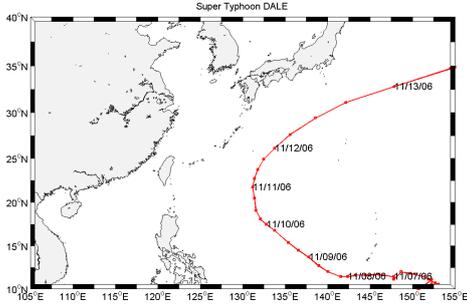
薩恩 (Zane)



貝絲 (Beth)

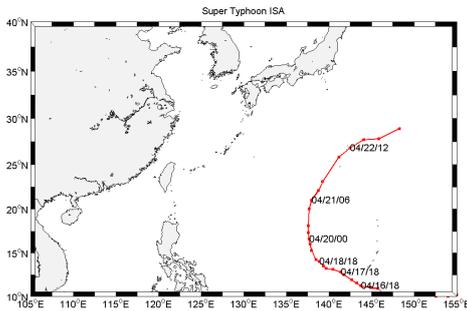


戴兒 (Dale)

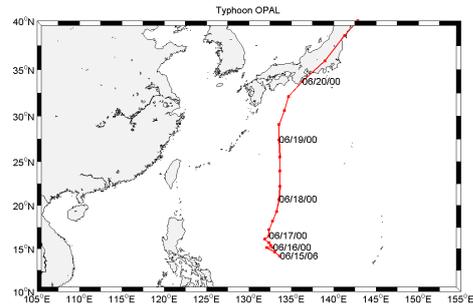


1997 年

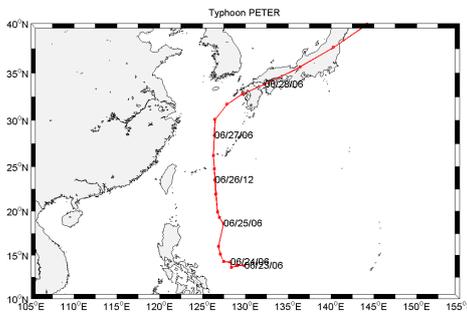
伊莎 (Isa)



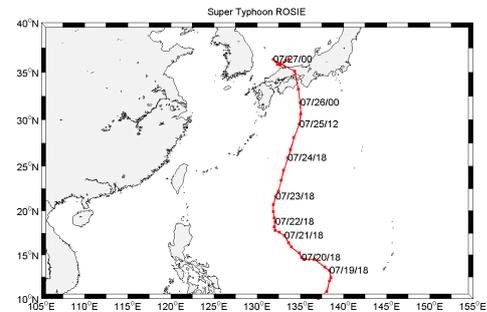
歐珀 (Opal)



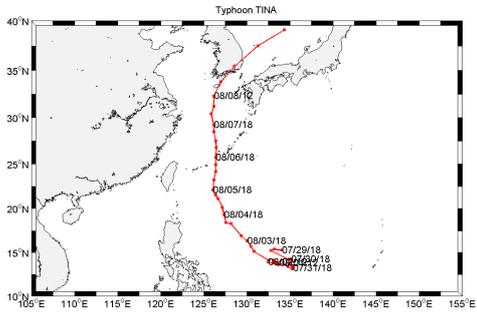
彼得 (Peter)



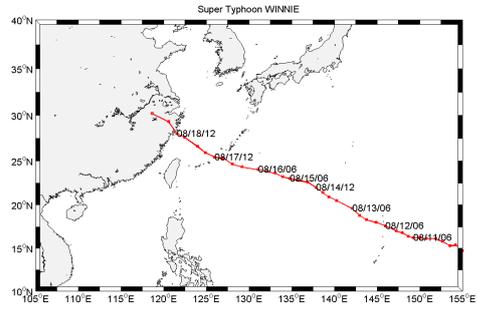
羅西 (Rosie)



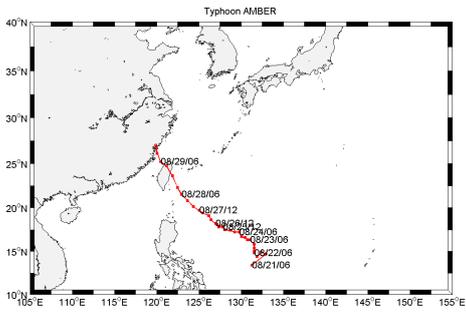
蒂娜 (Tina)



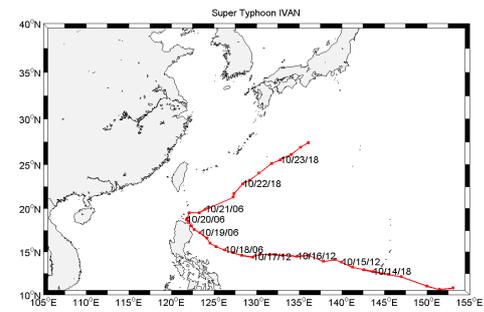
溫妮 (Winnie)



安珀 (Amber)

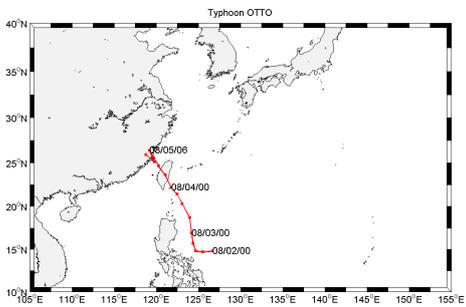


艾文 (Ivan)

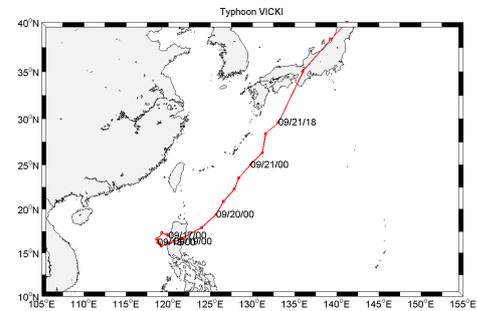


1998 年

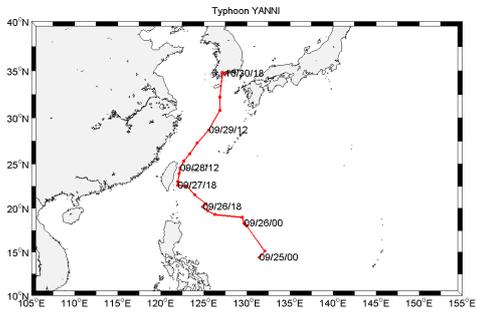
奧托 (Otto)



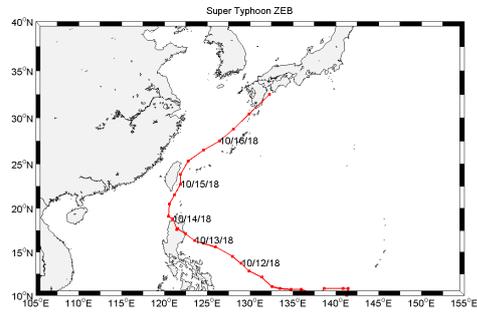
維琪 (Vicki)



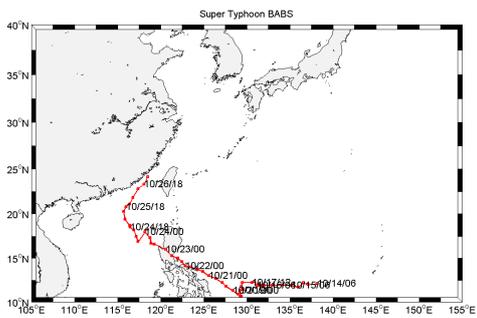
楊妮 (Yanni)



瑞伯 (Zeb)

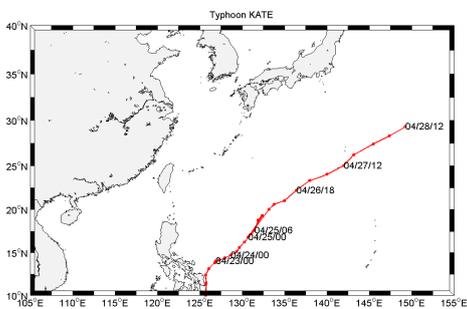


芭比絲 (Babs)

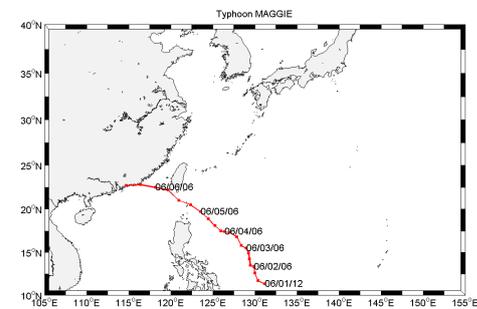


1999 年

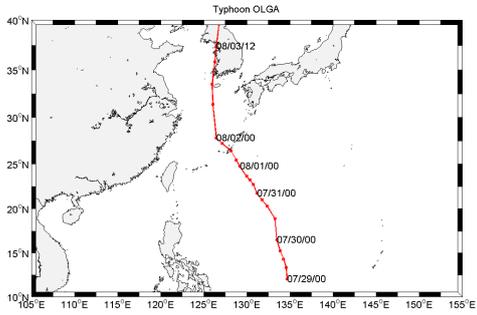
凱特 (Kate)



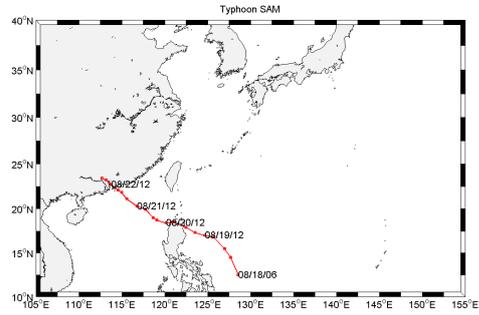
瑪姬 (Maggie)



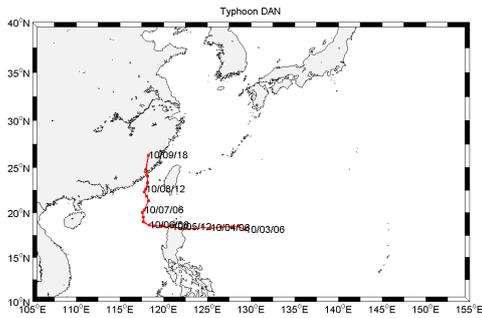
歐佳 (Olga)



山姆 (Sam)

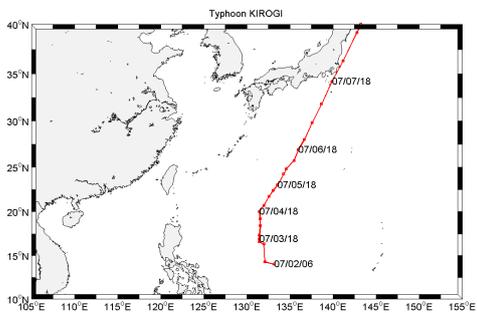


丹恩 (Dan)

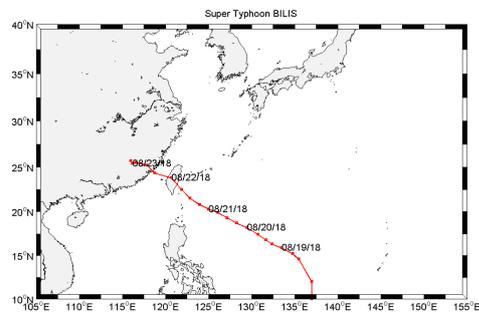


2000 年

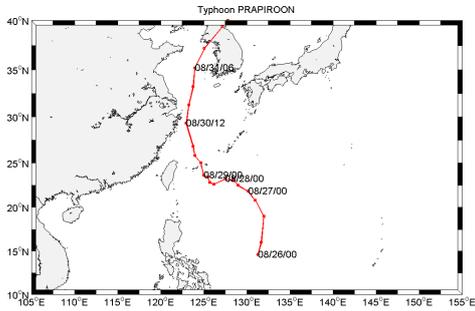
奇洛基 (Kirogi)



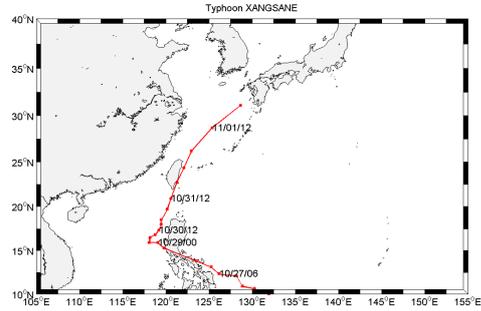
碧利斯 (Bilis)



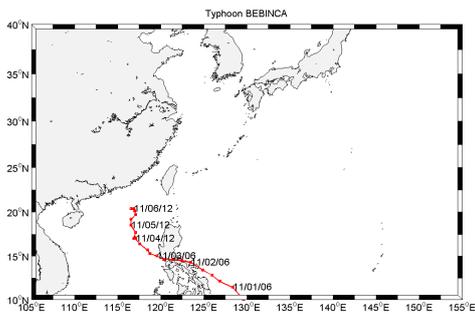
巴比崙 (Prapiroon)



象神 (Xangsane)

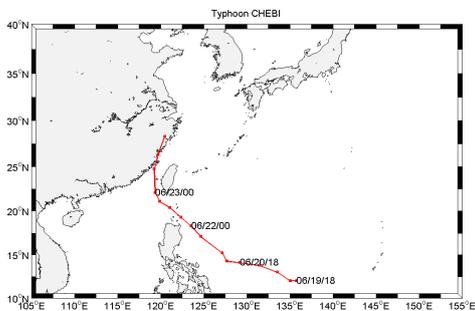


貝碧佳 (Bebinca)

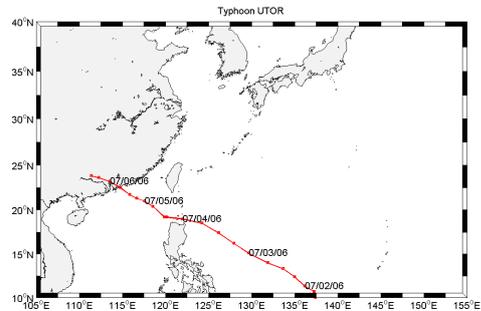


2001 年

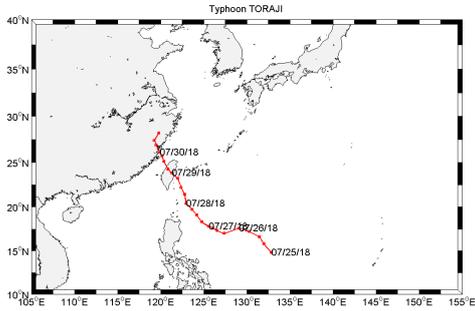
奇比 (Chebi)



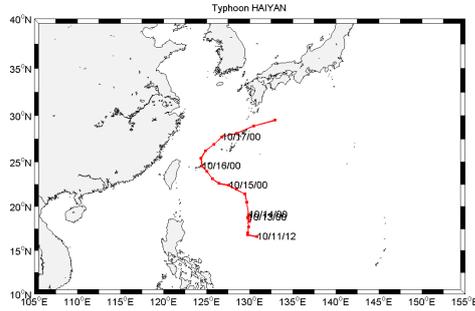
尤特 (Utor)



桃芝 (Toraji)

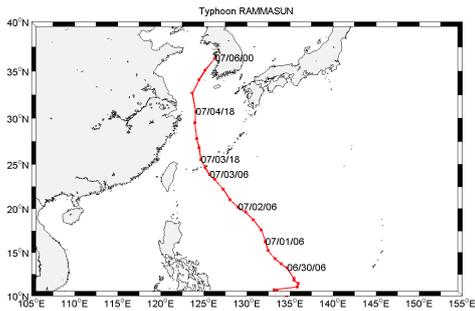


海燕 (Haiyan)

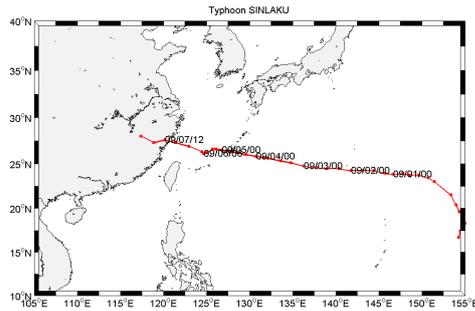


2002 年

雷馬遜 (Rammasun)

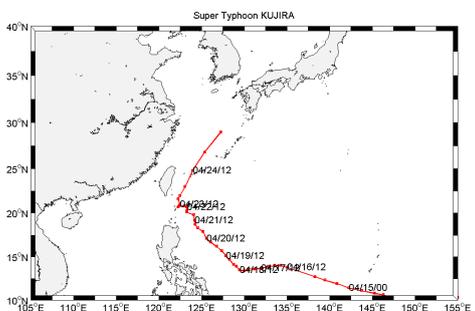


辛樂克 (Sinlake)

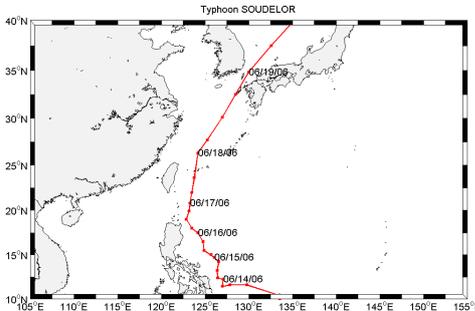


2003 年

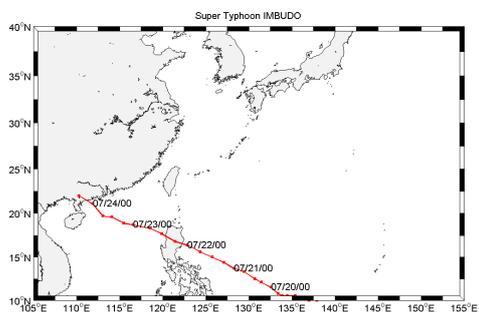
柯吉拉 (Kujira)



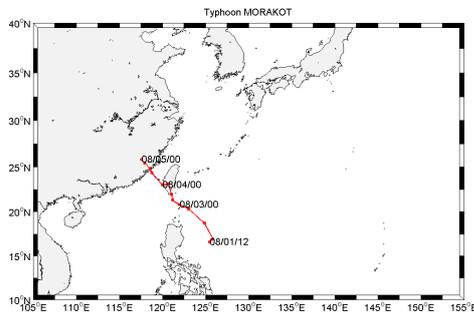
蘇迪勒 (Soudelor)



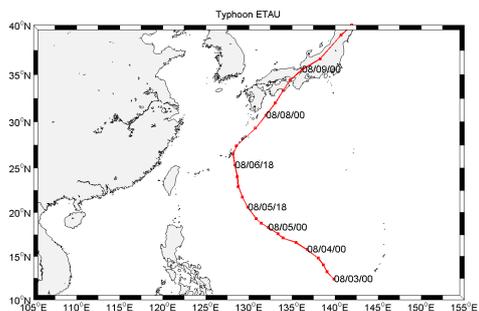
尹步都 (Imbudo)



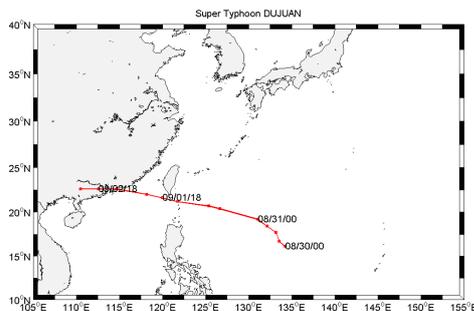
莫拉克 (Morakot)



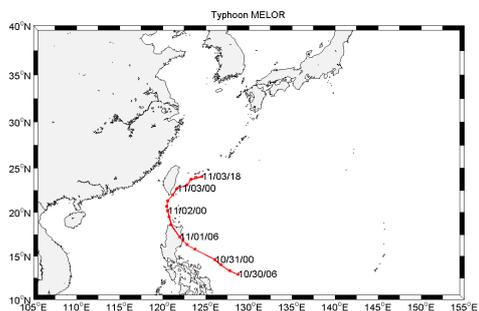
艾陶 (Eatu)



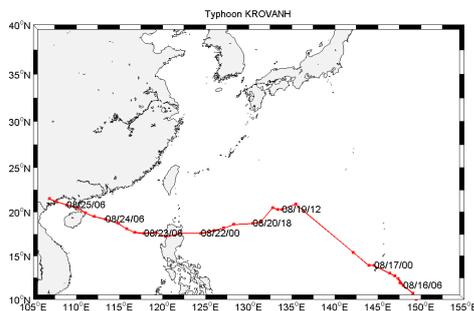
杜鵑 (Dujan)



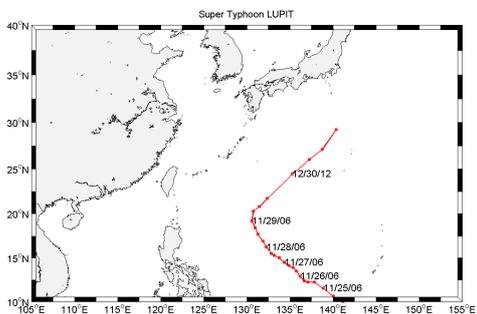
米勒 (Melor)



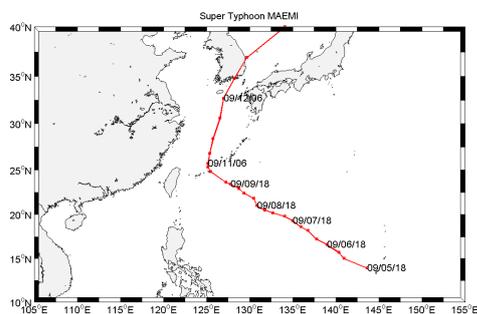
科羅旺 (Krovanh)



盧碧 (Lupit)

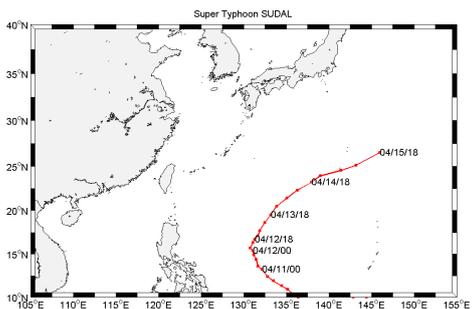


梅米 (Maemi)

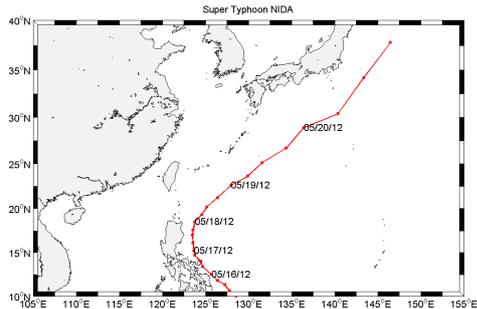


2004 年

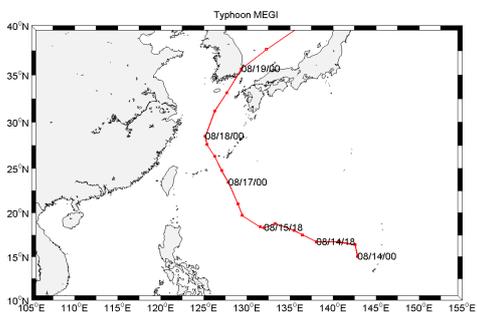
舒達 (Sudal)



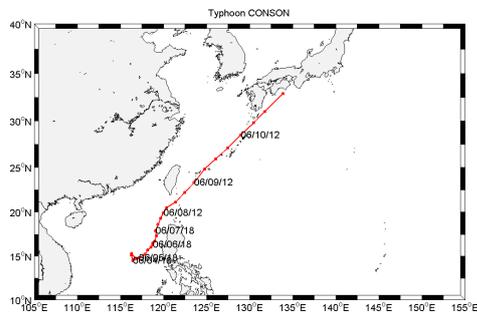
妮妲 (Nida)



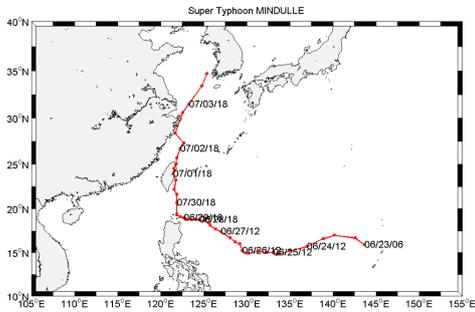
梅姬 (Maggie)



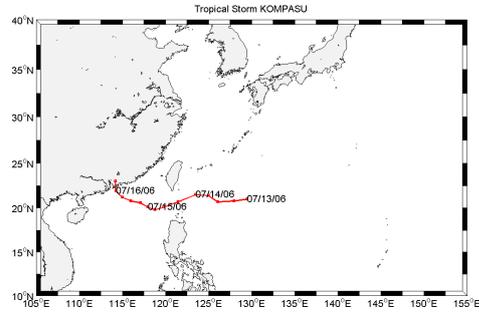
康森 (Conson)



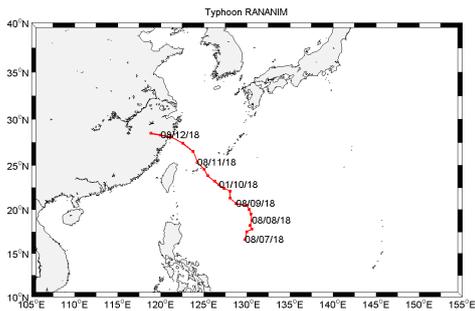
敏督利 (Mindulle)



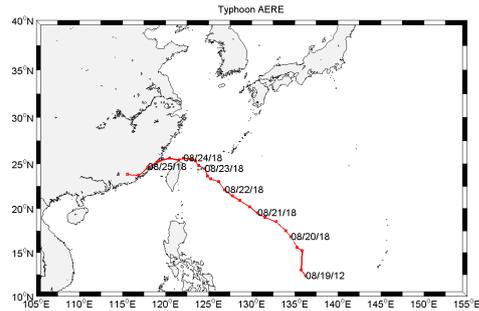
康伯斯 (Kompasu)



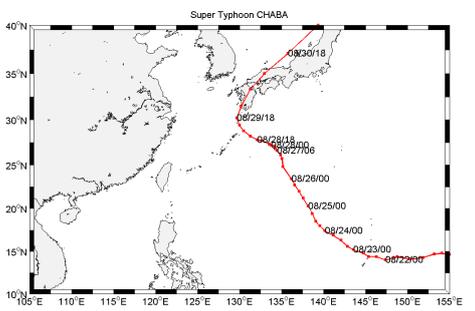
蘭寧 (Rananim)



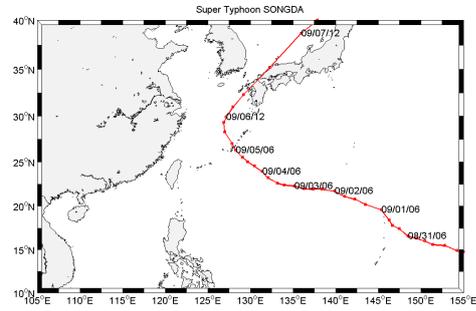
艾利 (Aere)



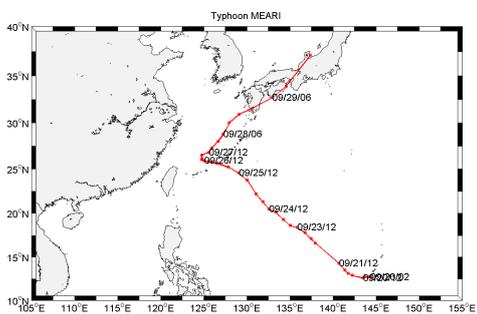
佳芭 (Chaba)



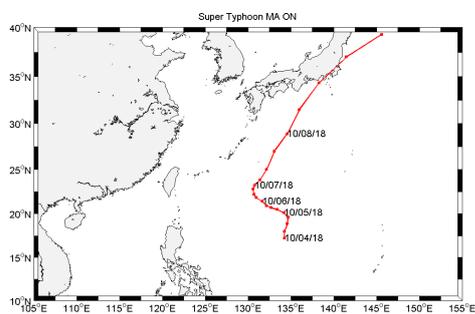
桑達 (Songda)



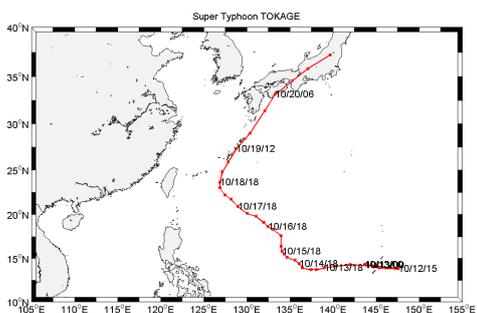
米雷 (Meari)



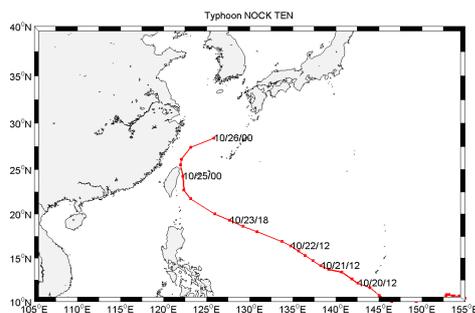
馬鞍 (Ma-On)



陶卡基 (Tokage)

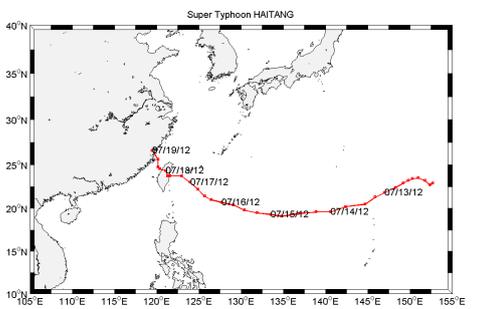


納坦 (Nock-Ten)

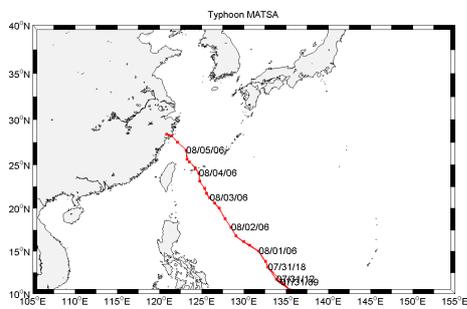


2005 年

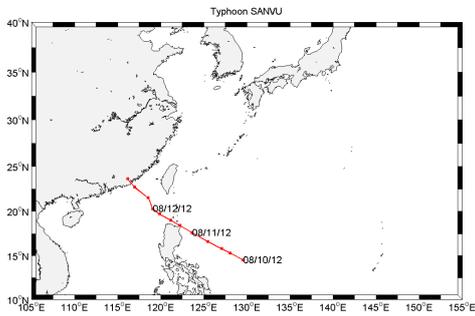
海棠 (Haitang)



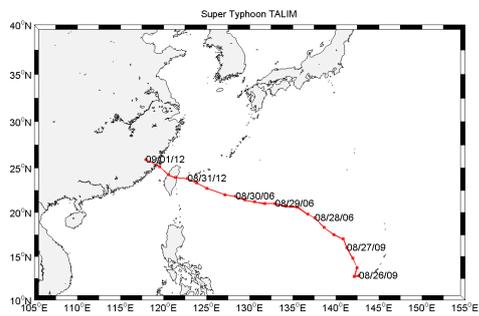
馬莎 (Matsa)



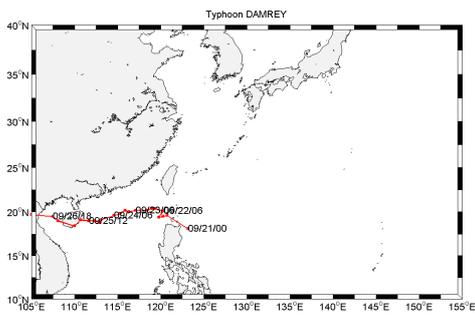
珊瑚 (Sanvu)



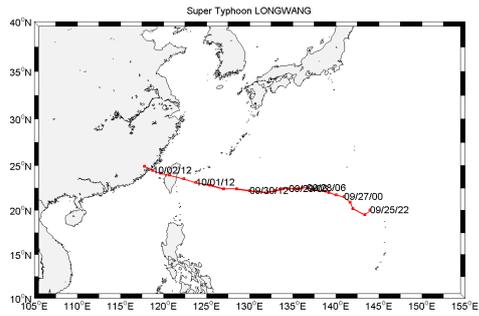
泰利 (Talin)



丹瑞 (Damrey)



龍王 (Longwang)



交通部運輸研究所合作研究計畫
■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣國際港區船舶動態管理特性及颱風波浪資料補遺研究
 (三)

執行單位：國立交通大學土木系

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
<p>歐善惠委員：</p> <p>一、研究資料收集及分析完整，具有實用價值，相當難得。</p> <p>二、花蓮港面對太平洋，直接受到颱風威脅，颱風發生時，港區附近船隻必須有所因應。颱風路徑不同，因應策略亦有所不同，本計畫預報模式路徑 4 至路徑 7，預警模式之相關係數均相當高，有利港務局因應颱風之措施。可再研究其他港灣之成果。</p> <p>三、波高機率分佈與週期機率分佈，可再針對長期性的資料做分析，以提供工程實用參考。</p> <p>四、各種統計分佈均包含一些參數，可將每種分佈之參數理論值進一步推導。</p>	<p>一、感謝委員的認可。</p> <p>二、感謝委員的建議，以花蓮港的預警模式的開發經驗，可提供其他港灣地區作為參考。</p> <p>三、將於期末報告增列示性波高及示性週期之每月、每季及每年之長期性統計。</p> <p>四、感謝委員建議。</p>
<p>臧效義委員：</p> <p>一、整體研究成果按進度執行值得肯定。</p> <p>二、第二章中(P.F)颱風路徑分類成 9 類，但針對花蓮港又分成 7 種路徑，建議針對此補充說明「7 種路徑定義之依據」及「分類之起始動機」？</p> <p>三、第三章之圖 3.2~3.13，建議針對各路徑計算所得之 ISE 值與實測值之差異成因進而有所說明。</p> <p>四、第五章(p.55)建議將 m_0 與 α 及 α^2 / β 之關係整理成如表 5.14 之表格。</p>	<p>一、感謝委員的肯定。</p> <p>二、感謝委員的建議，路徑分類僅為了提升路徑輸入參數對整體模式的敏感度，故將路徑的輸入依據花蓮港惡局的分類更細分成七類。</p> <p>三、感謝委員的建議，將於期末一併說明。</p> <p>四、感謝委員的建議，從圖 1.2 可看出 β</p>

<p>五、是否式(5.17)之 $\alpha \doteq 3.089 m_0^{1/2}$，而公(5.18) β 表示式中之分母 $4.423 m_0 \square 0.007$ 故將(5.17)代入(5.18)可為 $\beta \approx \frac{\alpha^2}{4.423 m_0} \approx (3.087)^2 / 4.423 \doteq 2.155$</p>	<p>與 m_0 較無關係，且因此部份較無工程應用上價值，將於期末報告中做刪除。</p> <p>五、從圖 1.2 可看出 β 與 m_0 較無關係，且因此部份較無工程應用上價值，將於期末報告中做刪除。</p>
<p>曾相茂委員：</p>	
<p>一、p1 第二段本中心五個國際港的觀測站從 2000 年起之量測儀器已改良在颱風期間大約有 90%以上的資料可用且甚少受損了。(這亦是使用本中心提供資料的各單位提供的建議使本中心能盡快改良的結果)</p> <p>二、p3.本年度有關台北港之波浪資料要建立其波浪特性模式應可參閱本中心委託「台灣世曦工程顧問有限公司」另一合作計畫「台北港波浪條件推算及設計波高基準之探討」應可省一些時間來整理資料。</p> <p>三、p11 倒數第三行可否增加「表 2.4 及附錄 1 可知 68 場.....」因 29 個颱風造成船隻的斷纜因從附錄 1(p69)花蓮港務局之書面報告得知的。</p> <p>四、p64 這幾年來張教授團隊已花的心血是可以肯定的，但不知結果在實務上有沒有直接給花蓮港務局有關人員使用操作。</p> <p>五、p176.海“陸”上颱風警報.....。</p> <p>六、p32 本計畫之測站位安平港“水深 15 公尺之安平觀測樁下，”...水“面下” 5 公尺處.....，.....每小時共取樣“1024”筆資料。</p>	<p>一、感謝委員的指教，現今量測儀器的改善，能夠提供未來研究團隊更好的資料品質以及監測結果，建立精確的補遺系統可作為往昔資料的補遺或未來儀器需要維護時的補遺。</p> <p>二、感謝委員的建議。</p> <p>三、將於期末報告中作修正。</p> <p>四、未來將協助花蓮港務局進行模式的安裝以及使用。</p> <p>五、感謝委員的指正，將於期末報告中作修正。</p> <p>六、感謝委員的指正，將於期末報告中作修正。</p>

<p>何良勝委員：</p>	
<p>一、有關 3.2 節之船舶動態預警模式之驗證及推算情況，部份較特殊結果請加強驗證(如圖 3.2、圖 3.11、圖 3.12)等。另，驗證預測中是否有異常或不符合情況？如有，亦請列入說明。</p> <p>二、有關波浪特性分析方面，是否有進行波高及週期聯合分佈之探討？若無，建議未來可進行相關研究分析。</p> <p>三、有關波浪週期分佈之分析，本年度安平港部份與去年花蓮港之結果稍有差異，建議作補充說明。</p>	<p>一、感謝委員之建議。</p> <p>二、感謝委員之建議，已進行相關研究分析。</p> <p>三、將於期末報告安平港資料分析完成後作說明。</p>

交通部運輸研究所合作研究計畫
□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：臺灣國際港區船舶動態管理特性及颱風波浪資料補遺研究
 (三)

執行單位：國立交通大學土木系

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
歐善惠委員：	
一、工作分量繁重，研究成效良好。 二、目前花蓮港船舶動態管理模式只決定是否命令船隻離港，未規範船隻離港後如何行駛，實際應用上仍有危險，未來可加于考慮。 三、目前中央氣象局與花蓮港務局對颱風路徑之編號不同，本計畫將採用那個編號，請檢討決定。 四、類神經網路應用於船舶動態管理研究上所輸入的六個參數，是否隨颱風中心所在位置而有不同。	一、感謝委員的認可。 二、感謝委員的建議，船隻離港後的管理將涉及港外波浪的狀況，本研究團隊會納入討論。 三、感謝委員的建議，本計畫明年度將改以中央氣象局的路徑分類來作為路徑分類法。 四、類神經網路所輸入的六個參數由於包括颱風中心位置以及路徑等資訊，故會隨颱風中心所在位置而有不同。
許泰文委員：	
一、研究內容豐富，成果具體可行。 二、英文摘要請補充，作者和工作團隊職稱請更新，計“劃”請改為“畫”。 三、四種船隻動態 ISE 在颱風來臨期間之異動分類，第(2)和第(3)類如何明顯區隔？ 四、路徑 4 碧利斯颱風和路徑 5 柯吉拉學習結果之比較，與實際現象有比較大差異，請增加說明差異原因。 五、資料補遺建議再加強。	一、感謝委員的認可。 二、感謝委員的指正，遵照辦理。 三、目前第(2)和第(3)類的區隔主要是以花蓮港務局管理人員進行記錄的資料來分類，依現場管理人員的經驗來判斷湧浪大小是否達到斷纜的危險。 四、感謝委員的建議，將遵照辦理增加說明於第三章。 五、感謝委員的建議。
于嘉順委員：	
一、本計畫以類神經網路數值方法做為花蓮港颱風期間共振預警工具，在港池	一、感謝委員的認可。

<p>工程問題未解決前，有其應用發展之必要，已有具體成果，期望及早落實預警之操作應用。</p> <p>二、以下幾點報告之增修建議，請參考：</p> <p>1.2.1 節增加與表 2.1 及 2.2 相關之路徑分類圖及蒲福風級表。</p> <p>2.p11「依五對船隻」？</p> <p>3.表 2.4 增列指數說明。</p> <p>4.未來請考慮增加預警之成功率分析評估。</p> <p>5.請說明目前預警應變時間多少？設定原則？</p> <p>6.波浪資料是否先 QC，原則與條件為何？</p> <p>7.報告內容均為統計分析特性，並未呈現波浪特性及補遺成果。</p> <p>8.目前以 2006 年資料進行分析所做之結論，是否適用其他年份？使用單位應如何應用？</p>	<p>二、</p> <p>1.感謝委員的建議，已遵照辦理增加蒲福風級表。明年度使用之路徑分類標準將以中央氣象局為準，故未來將新增路徑分類圖。</p> <p>2.已修正，感謝委員的指正。</p> <p>3.遵照辦理。</p> <p>4.感謝委員的建議。</p> <p>5.目前模式推算方式為即時推算，其警示時間是依照輸入 unisys weather 的預測資料經模式推算後到達第三級以上即立刻發出警示。</p> <p>6.目前處理波浪資料為已品管之分析。</p> <p>7.本研究原本題目雖有波浪補遺，但執行起來有困難之處，已在第一年之工作項目取消，然而此為延續計畫題目一直保留。</p> <p>8.本計畫只用 2006 年資料分析，對於短期統計應已考慮各種波高值故有一致性，明年會做示性波高其他年份之統計。</p>
<p>曾相茂委員：</p>	

<p>一、期末報告中是否印刷時拿錯版本再拿舊的期中報告尚未更改的舊版本所致。</p> <p>二、P3 所提之技術訓練與轉移是否已執行，如何執行，訓練對象有那些單位或只有本所人員。</p> <p>三、建議使用中央氣象局之颱風路徑歸類表，因氣象還是中央氣象局人員較專業。</p>	<p>一、感謝委員的指正。</p> <p>二、今年已依合約至港研中心講習，明年度模式轉移後會交使用單位之操作。</p> <p>三、感謝委員的建議，明年度計畫中將以中央氣象局的颱風路徑分類為準。</p>
<p>何良勝委員：</p>	
<p>一、請增列英文摘要。</p> <p>二、有關 P16 之修正颱風動態參數之作用如何？其對船舶動態模式之學習結果有何不同？</p> <p>三、有關船舶動態預警模式中，學習結果有些雜閃情況，但作為預警驗證結果卻無，此有何差異？</p> <p>四、有關視窗化介面系統應以提前示警為主，其適當時間應妥為設計。</p>	<p>一、遵照辦理。</p> <p>二、考量颱風路徑及颱風停滯、加速、轉向等行為對颱風波浪的影響時，就必須探討颱風過去時刻的行為。藉由連續時間的資料輸入，可增加輸入參數間的關聯性，如連續時間的颱風的位置可取代颱風移動速度。以本研究所提出的修正颱風參數進行模式建立，相較去年模式的推算能力有大幅度的提升。</p> <p>三、由於模式最後推算結果有加入去雜訊濾波，而最初的學習結果並無此濾波程序，故會有此差異。</p> <p>四、感謝委員的建議，發佈警示的適當時間未來會做進一步探討。</p>

臺灣國際港區船舶動態管理特性 及颱風波浪資料補遺研究(三)



期末簡報



張憲國 教授



國立交通大學土木工程學系

中華民國九十六年十一月十五日

 台灣海岸環境系統網路研究室
Network Research on the Coastal Environment System in Taiwan

期末完成目標

一、港區船舶動態管理特性研究

- ◆ 分析通過花蓮港區颱風特性與船舶動態關係。
- ◆ 改善類神經網路之船舶動態與颱風推算基本模式。
- ◆ 建立基本圖形化使用者介面(GUI)。

二、波浪統計分析

- ◆ 建置與修正波浪特性統計分析模式。
- ◆ 初步建立安平與台北港波浪特性統計分析模式。

簡報綱要

一、船隻動態預警模式之建構

- ◆ 類神經船隻動態預警模式
- ◆ 圖形化使用者介面之介紹

二、安平、臺北及花蓮港波浪統計特性分析

- ◆ 短期波浪統計
- ◆ 示性波浪統計

3

研究動機

- ◆ 花蓮港因港池共振的問題，在颱風來襲之時，造成港內波浪大於港外波浪，使船隻須出港避湧。
- ◆ 暴潮以及颱風波浪等海氣象資料需要經由統計分析及補遺以確保其資料完整性，以便於研究與設計規劃上使用。



類神經船隻動態預警模式-資料分析

探討颱風影響船舶動態的機制

- ◆ 颱風路徑
- ◆ 颱風規模
- ◆ 颱風風速
- ◆ 颱風中心與花蓮港之角度
- ◆ 颱風之行進方位角
- ◆ 船隻異動指數

5

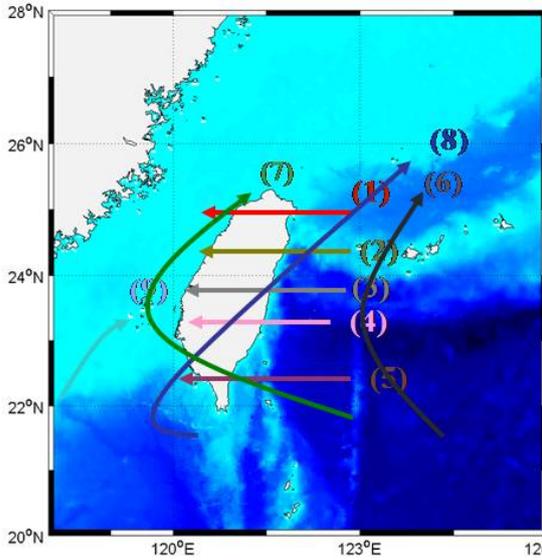
類神經船隻動態預警模式-資料分析

95年模式之六個颱風因子屬於連續函數

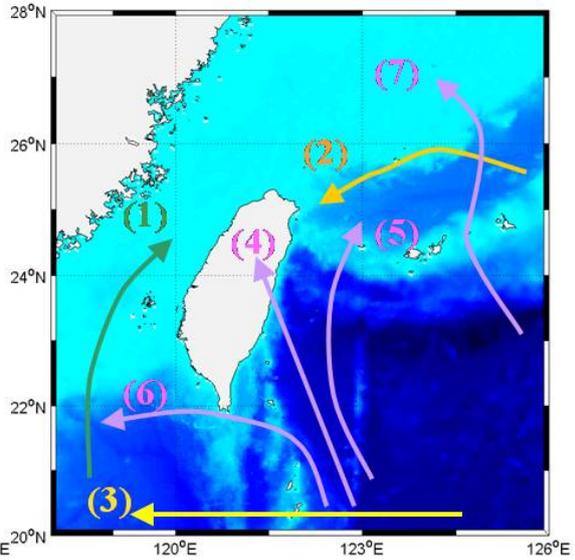
- ◆ 相對應顯示的ISE預報的4個等級則屬於步階函數
- ◆ 學習及預測的過程不容易提高準確度
- ◆ 步階函數性質的資料(ISE)除以距離的對數進行修正

6

類神經船隻動態預警模式



氣象局颱風路徑



花蓮港務局颱風路徑

類神經船隻動態預警模式

氣象局路徑

颱風路徑	颱風名稱	個數
1	溫妮(Winnie, 1997)、辛樂克(Sinlake, 2002)、蘭寧(Ranarim, 2004)、艾利(Aere, 2004)、馬莎(Masta, 2005)	5
2	賀伯(Herb, 1996)、海棠(Haitang, 2005)、泰利(Talim, 2005)	3
3	安珀(Amber, 1997)、奧托(Otto, 1998)、碧利斯(Bilis, 2000)、桃芝(Toraji, 2001)、龍王(Longwang, 2005)	5
4	莫拉克(Morakot, 2003)	1
5	莎莉(Sally, 1996)、貝絲(Beth, 1996)、瑪姬(Maggie, 1999)、山姆(Sam, 1999)、貝碧佳(Bebinca, 2000)尤特(Utor, 2001)、尹布都(Imbudo, 2003)、科羅旺(Krovanh, 2003)、杜鵑(Dujuan, 2003)、珊珊(Sanvu, 2005)	10
6	魏萊特(Violet, 1996)、薩恩(Zane, 1996)、戴兒(Dale, 1996)、伊莎(Isa, 1997)、歐珀(Opal, 1997)、彼得(Peter, 1997)、羅西(Rosie, 1997)、蒂娜(Tina, 1996)、楊妮(Yanni, 1998)、瑞伯(Zeb, 1998)凱特(Kate, 1999)、歐佳(Olga, 1999)、奇洛基(Kirogi, 2000)、雷馬遜(Rammasun, 2002)、科吉拉(Kujira, 2003)、艾陶(Etau, 2003)、米勒(Melor, 2003)、蘇迪勒(Soudrlor, 2003)、梅米(Maemi, 2003)、海燕(Haiyan, 2003)、盧比(Lupit, 2003)、巴比魯(Prapiroon, 2000)、凱沙娜(Ketsana, 2003)、舒達(Sudal, 2004)、妮妲(Nida, 2004)、康森(Conson, 2004)、敏督利(Mindulle, 2004)、梅姬(Megi, 2004)、佳芭(Chaba, 2004)、納坦(Nock-Ten, 2004)、桑達(Songda, 2004)、米雷(Meari, 2004)、馬鞍(Man-On, 2004)、陶卡基(Tokage, 2004)、桑卡(Sonca, 2005)、尼莎(Nesaf, 2005)、娜比(Nabi, 2005)、卡努(Khanun, 2005)	37
7	葛樂禮(Gloria, 1996)、奇比(Chebi, 2001)、丹恩(Dan, 1999)	3
8	艾文(Ivan, 1997)、維琪(Vicki, 1998)、象神(Xangsane, 2000)	3
9	芭比絲(Babs, 1998)	1



類神經船隻動態預警模式-資料分析

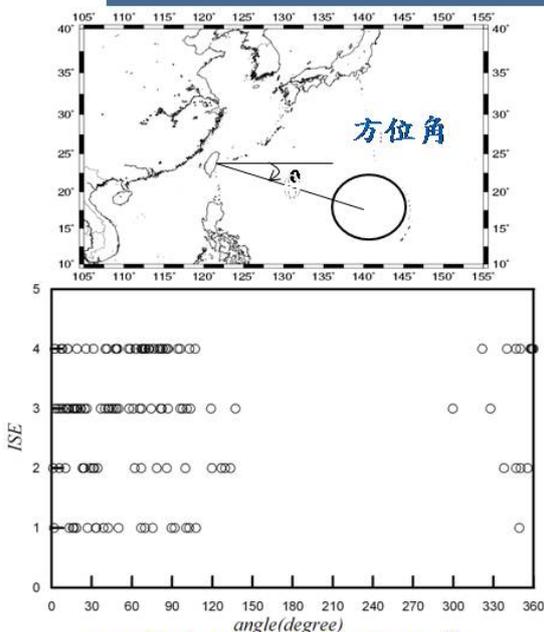
花蓮港務局
路徑

颱風路徑	颱風名稱	個數
1	凱姆 (Cam)、維琪 (Vicki)、西馬隆 (Cima)、諾古力 (Noguni)、南卡 (Nangka)、米勒 (Melor)、康森 (Conson)	7
2	寶發 (Bopha)、納莉 (Nari)	2
3	貝絲 (Beth)、費絲 (Faith)、科羅旺 (Krovanh)、康伯斯 (Kompasu)	4
4	安珀 (Amber)、碧利斯 (Bilis)、桃芝 (Toraji)、敏督利 (Mindulle)、納坦 (Nock-Ten)	5
5	賀伯 (Herb)、瑞伯 (Zeb)、柯吉拉 (Kujira)、妮妲 (Nida)、陶卡基 (Tokage)	5
6	葛樂禮 (Gloria)、莎莉 (Sally)、奧托 (Otto)、瑪姬 (Maggie)、山姆 (Sam)、丹恩 (Dan)、奇比 (Chebi)、尤特 (Utor)、利奇馬 (Lekima)、尹布都 (Imbudo)、莫拉克 (Morakot)、杜鵑 (Dujan)	12
7	魏萊特 (Violet)、薩恩 (Zane)、戴兒 (Dale)、歐珀 (Opal)、彼得 (Peter)、羅西 (Rosie)、蒂娜 (Tina)、溫妮 (Winnie)、艾文 (Ivan)、歐佳 (Olga)、巴特 (Bart)、奇洛基 (Kirogi)、巴比倫 (Prapiroon)、雅吉 (Yagi)、海燕 (Haiyan)、雷馬遜 (Rammason)、艾陶 (Etau)、梵高 (Vanco)、梅米 (Maemi)、凱莎娜 (Ketsana)、盧碧 (Lupit)、舒達 (Sudal)、馬鞍 (MA-ON)、蘭寧 (Rananim)、梅姬 (Megi)、佳芭 (Chaba)、艾利 (Aere)、桑達 (Songda)、米雷 (Meari)	29

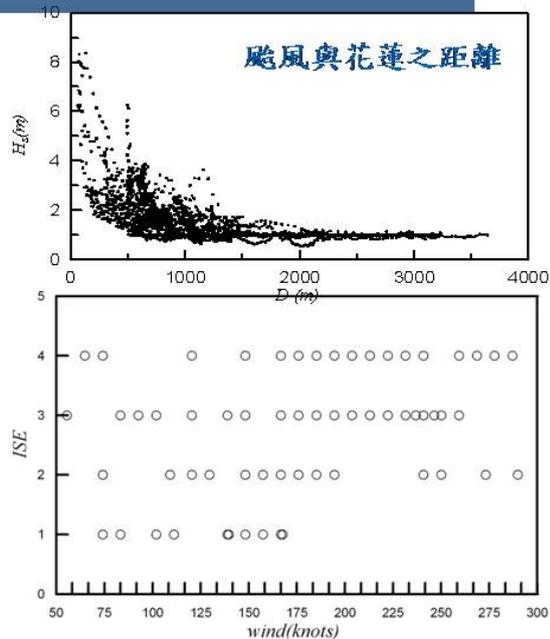
9



類神經船隻動態預警模式-資料分析



颱風中心至測站方位角
與船隻異動指數關係



颱風風速與船隻異動指數關係

類神經船隻動態預警模式-資料分析

船隻異動指數	颱風名稱	個數
1	貝絲 (Beth, 1996)、維琪 (Vicki, 1998)、凱特 (Kate, 1999)、貝碧佳 (Bebinca, 2000)、巴比蕾 (Prapiroon, 2000)、海燕 (Haiyan, 2001)、凱莎娜 (Ketsana, 2003)、康森 (Conson, 2004)、蘭寧 (Ranarim, 2004)、梅姬 (Meg, 2004)	10
2	彼得 (Peter, 1997)、蒂娜 (Tina, 1997)、楊妮 (Yanni, 1998)、丹恩 (Dan, 1999)、辛樂克 (Sinlake, 2002)、莫拉克 (Morakot, 2003)、科羅旺 (Krovanh, 2003)、科羅旺 (Krovanh, 2003)、梅末 (Maemi, 2003)、妮妮 (Nida, 2004)、佳苞 (Chaba, 2004)、米雷 (Meari, 2004)、馬鞍 (Ma-On, 2004)、桑卡 (Sonca, 2005)、尼莎 (Nesat, 2005)	15
3	魏萊特 (Violet, 1996)、戴兒 (Dals, 1996)、露西 (Rosie, 1997)、瑪姬 (Maggie, 1999)、山姆 (Sam, 1999)、奇洛基 (Kiroji, 2000)、奇比 (Chebi, 2001)、尤特 (Utor, 2001)、柯吉拉 (Kujira, 2003)、杜鵑 (Dojuan, 2003)、米勒 (Melor, 2003)、舒達 (Sudal, 2004)、桑達 (Songda, 2004)、納坦 (Nock-Ten, 2004)、海棠 (Haitang, 2005)、卡努 (Khanun, 2005)	15
4	葛樂禮 (Gloria, 1996)、賀伯 (Herb, 1996)、莎莉 (Sally, 1996)、薩恩 (Zane, 1996)、伊莎 (Isa, 1997)、歐珀 (Opal, 1997)、溫妮 (Winnie, 1997)、安珀 (Amber, 1997)、艾文 (Ivan, 1997)、奧托 (Otto, 1998)、瑞伯 (Zeb, 1998)、芭比絲 (Babs, 1998)、歐佳 (Olga, 2000)、碧利斯 (Bilis, 2000)、康神 (Xangsane, 2000)、桃芝 (Toraji, 2001)、雷馬遜 (Rammason, 2002)、蘇迪勒 (Soudelor, 2003)、伊布都 (Imbudo, 2003)、艾陶 (Etan, 2003)、盧比 (Lupit, 2003)、敏督利 (Mindulle, 2004)、艾利 (Aere, 2004)、陶卡基 (Tokage, 2004)、馬莎 (Matsa, 2005)、珊瑚 (Sarvu, 2005)、泰利 (Talin, 2005)、娜比 (Nabi, 2005)、龍王 (Longwang, 2005)	29

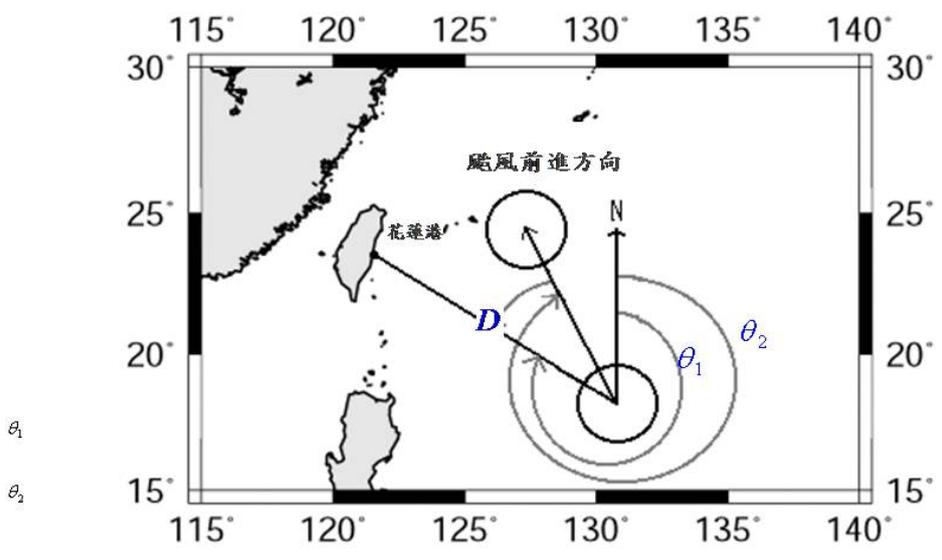
11

船隻動態預警模式-輸入參數

- ◆ 颱風中心與花蓮港之距離 D
- ◆ 颱風中心與花蓮港之方位角 θ_1
- ◆ 颱風行進的方位角 θ_2
- ◆ 颱風最大風速 V_{max}
- ◆ 風場能量 $En = (V_{max} / \log(D))$
- ◆ 海、陸上警報 WI

12

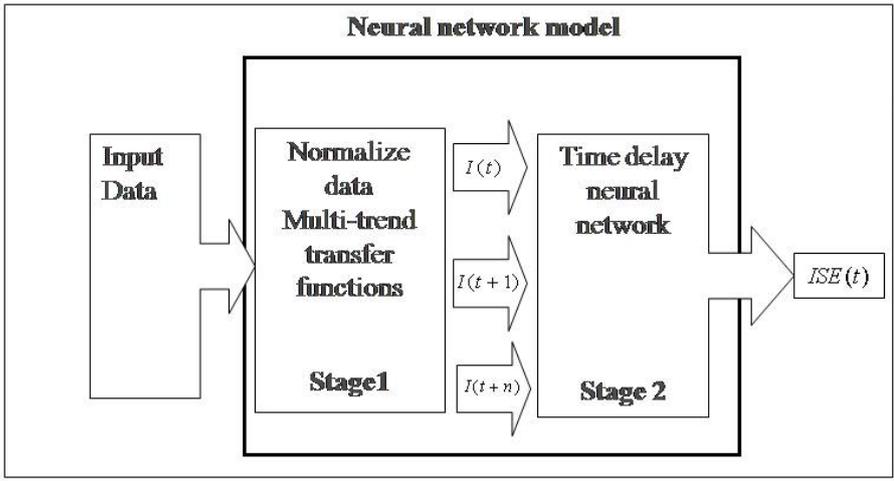
船隻動態預警模式-輸入參數



θ_1
 θ_2

13

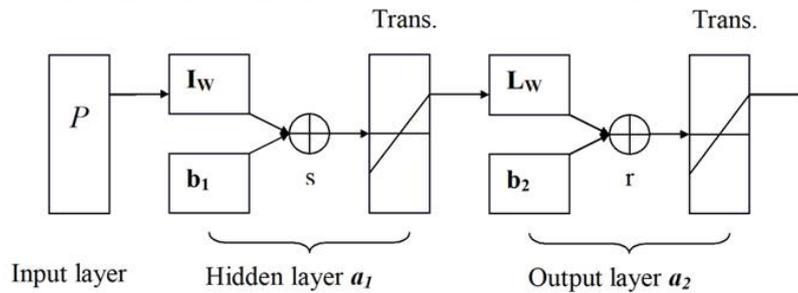
船隻動態預警模式-架構



14

船隻動態預警模式-架構

Back-propagation neural network (BPN)



$$a_{1,s \times 1} = f_{s \times 1}(I_{W,s \times n} P_{n \times 1} + b_{1,s \times 1})$$

$$a_{2,r \times 1} = f_{r \times 1}(L_{W,r \times s} a_{1,s \times 1} + b_{2,r \times 1})$$

$$ISE(t_j) = \sum_{i=n}^j a_i f_1(D, V_{max}, \theta_2, \theta_1, E_n, WI; t_i)$$

15

船隻動態預警模式-架構

1. 學習颱風：4種路徑 (共50場颱風)

2. 模式架構：

- ◆ 2層隱藏層 (80x40)
- ◆ 輸入神經元為6個
- ◆ 輸出層為1個為ISE值
- ◆ 雙彎曲轉換函數

16

船隻動態預警模式-學習結果

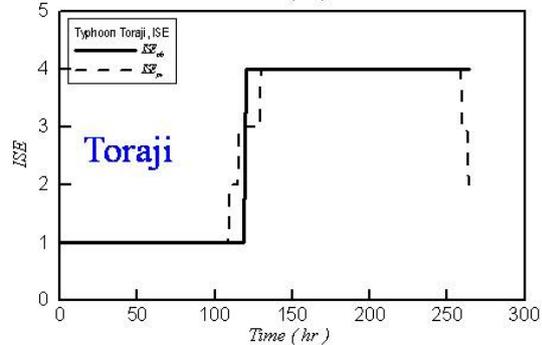
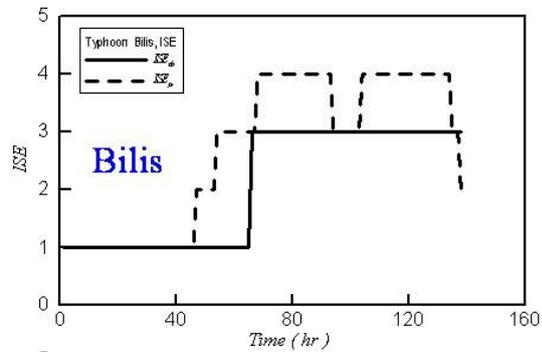
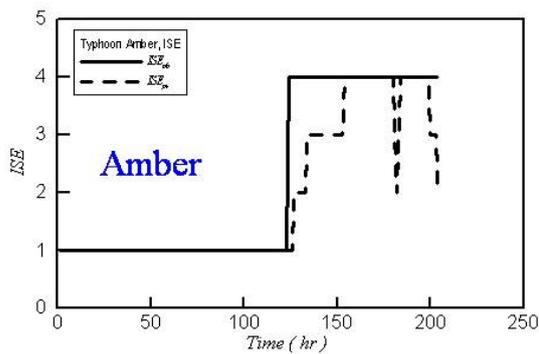
不同路徑之學習結果分析表

預報模式	模式架構	誤差均方值(RMS)	相關係數(r)
路徑 4	6-80-40-1	0.047	0.912
路徑 5	6-80-40-1	0.037	0.920
路徑 6	6-80-40-1	0.038	0.940
路徑 7	6-80-40-1	0.047	0.842

17

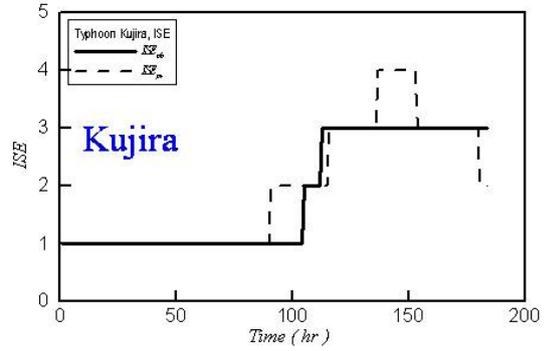
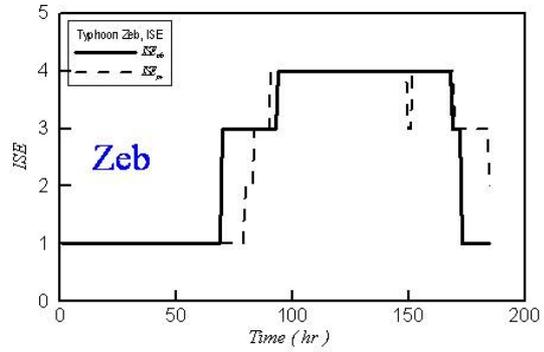
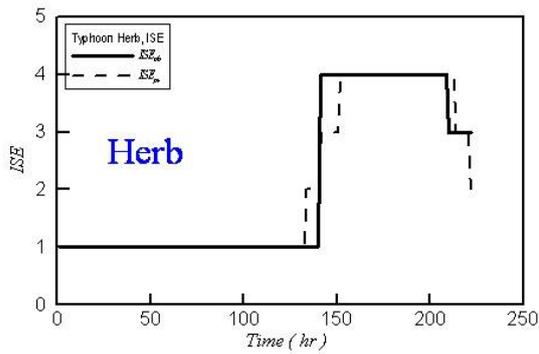
船隻動態預警模式-學習結果

路徑 4



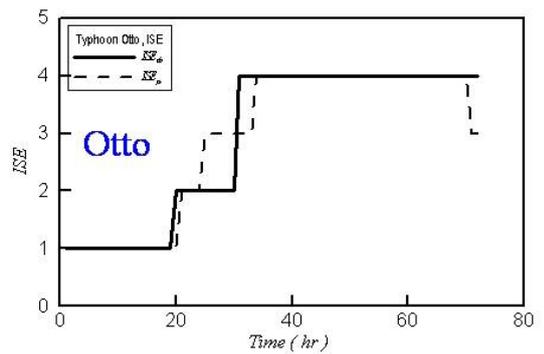
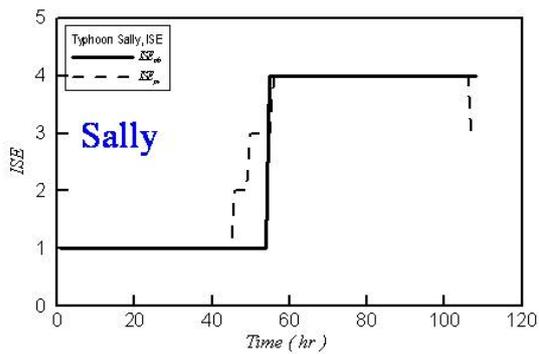
船隻動態預警模式之學習結果

路徑 5



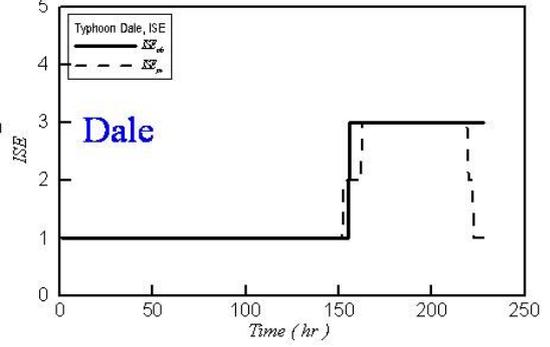
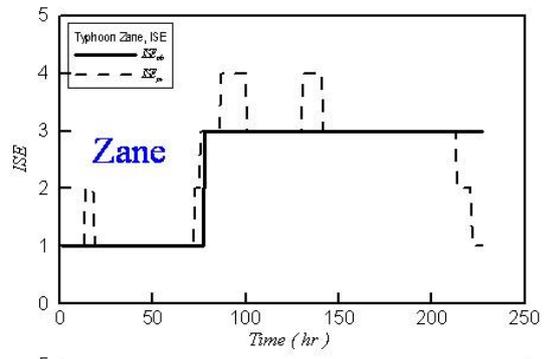
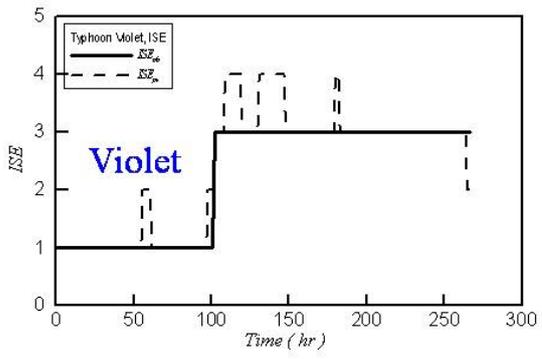
船隻動態預警模式之學習結果

路徑 6

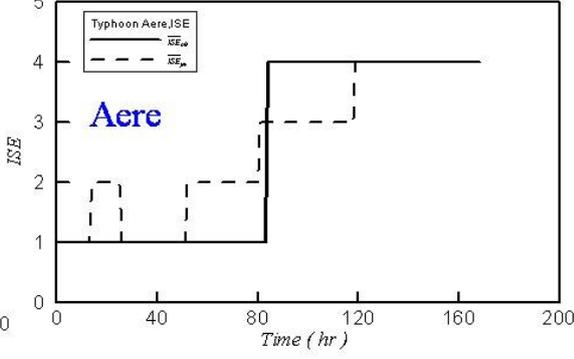
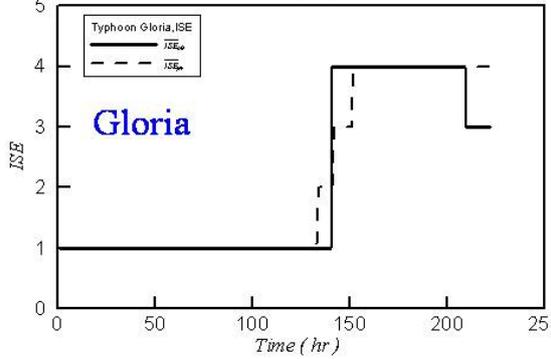
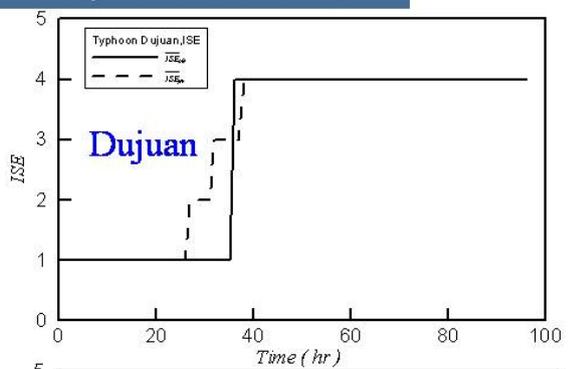
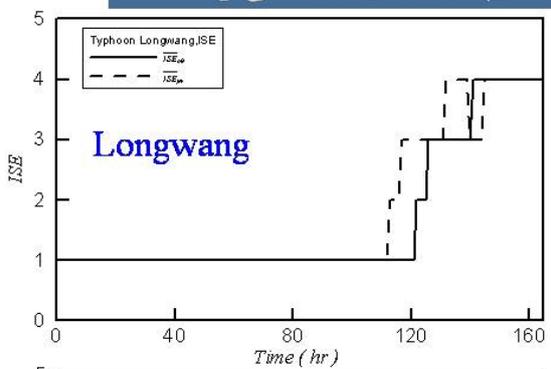


船隻動態預警模式之學習結果

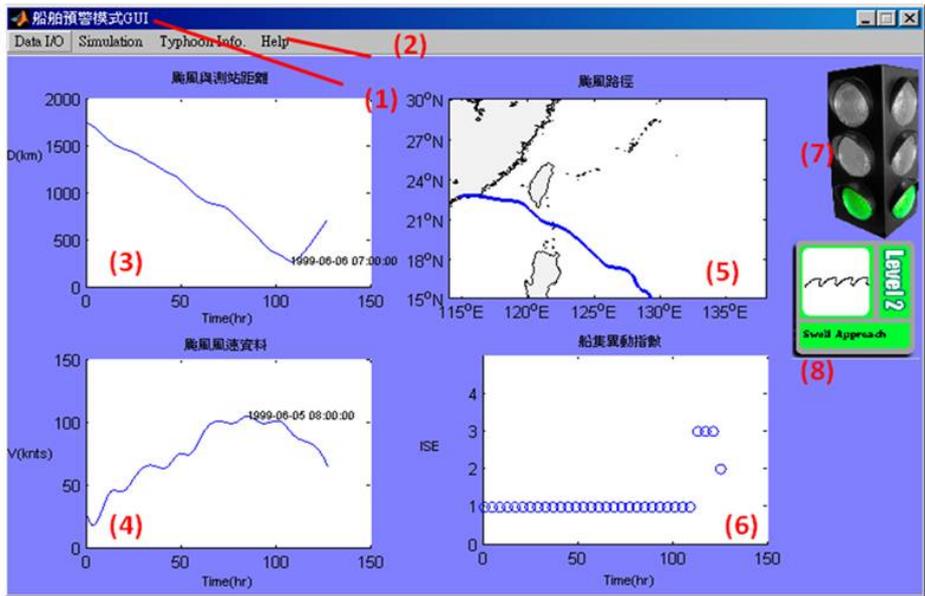
路徑 7



船隻動態預警模式-驗證結果



圖形化使用者介面外觀



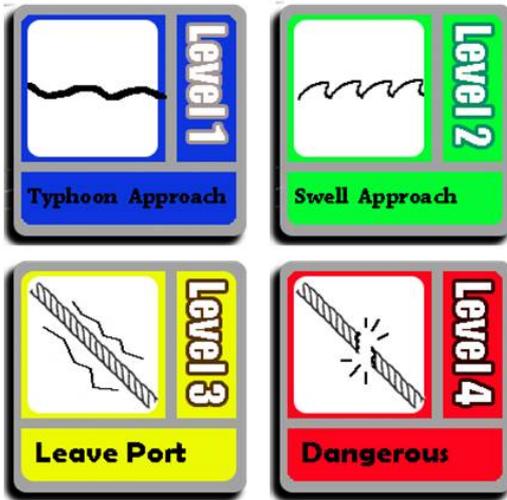
23

模式工具列與其功能



24

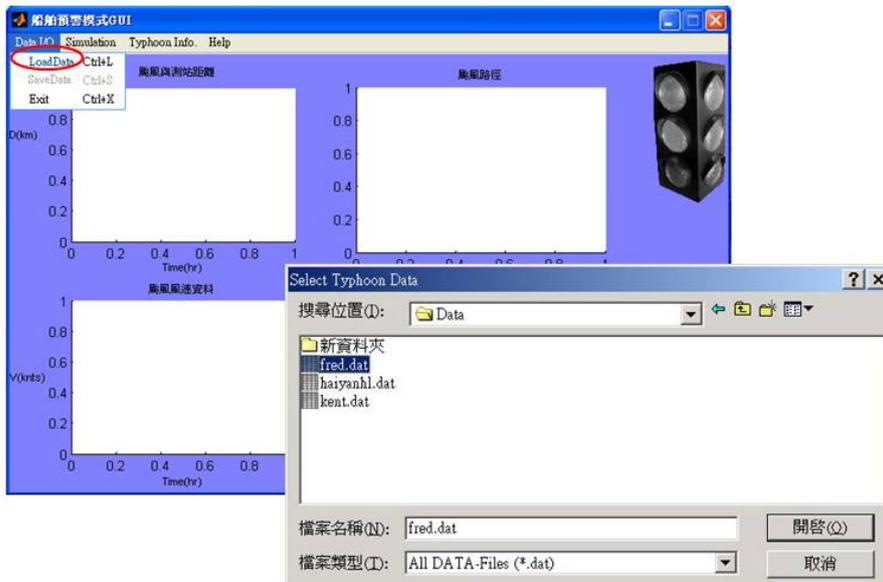
警報等級



- ◆ **Level 1** 為颱風接近但港內海水面靜穩。
- ◆ **Level 2** 為有湧浪但仍不影響船隻裝卸作業。
- ◆ **Level 3** 則表示港內產生之湧浪大到船隻需出港避風，才能免除斷纜的可能。
- ◆ **Level 4** 則表示船隻可能已產生了斷纜，十分危險。

25

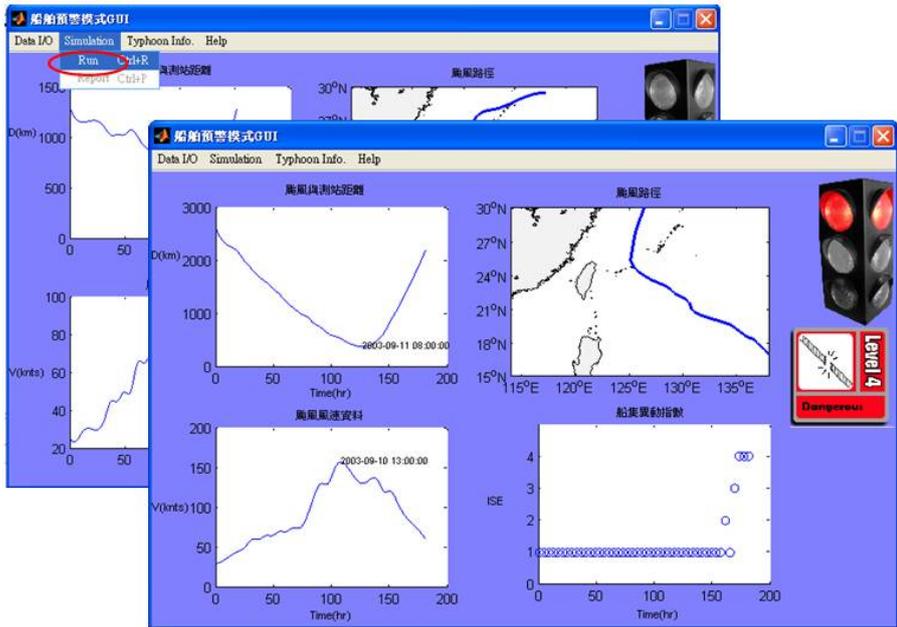
模式輸入介面



颱風資料輸入：1.時間序列2.經度3.緯度4.風速5.颱風警報狀態6.路徑分類號

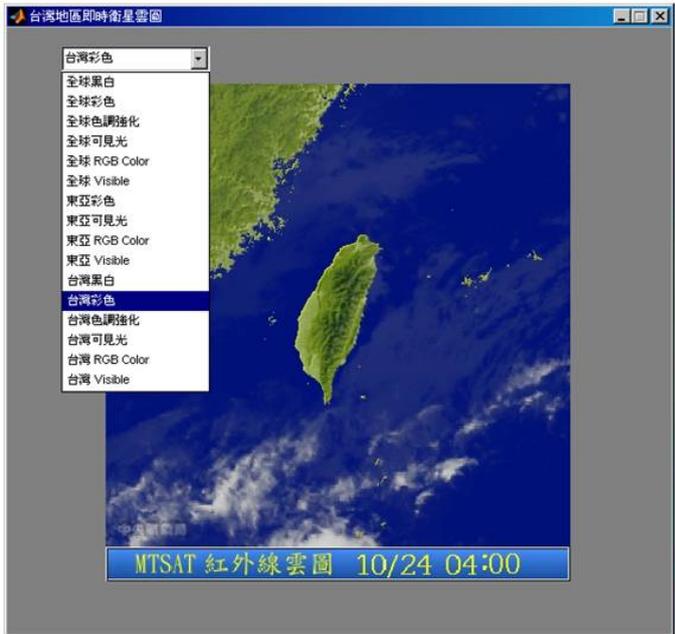
26

模式推算與預報結果



27

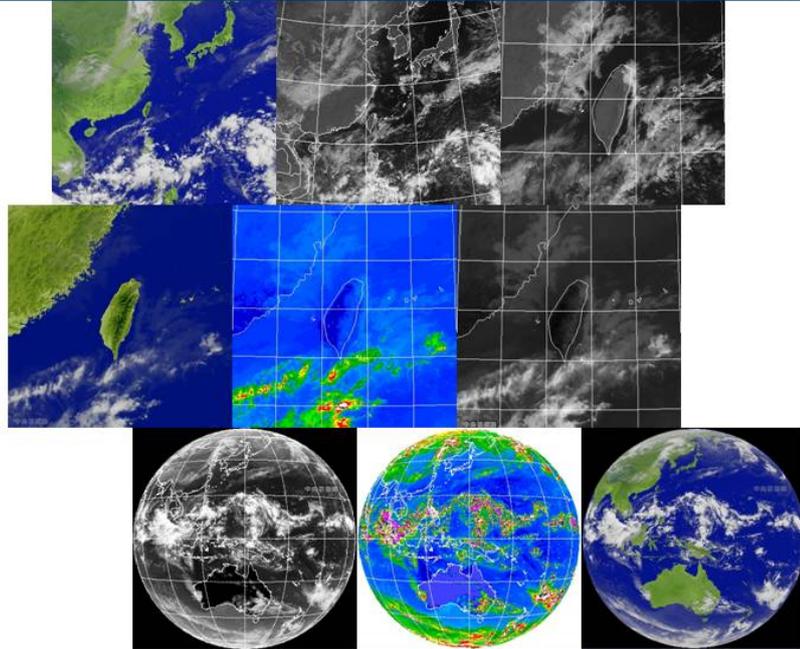
即時衛星雲圖視窗



資料連結：中央氣象局

28

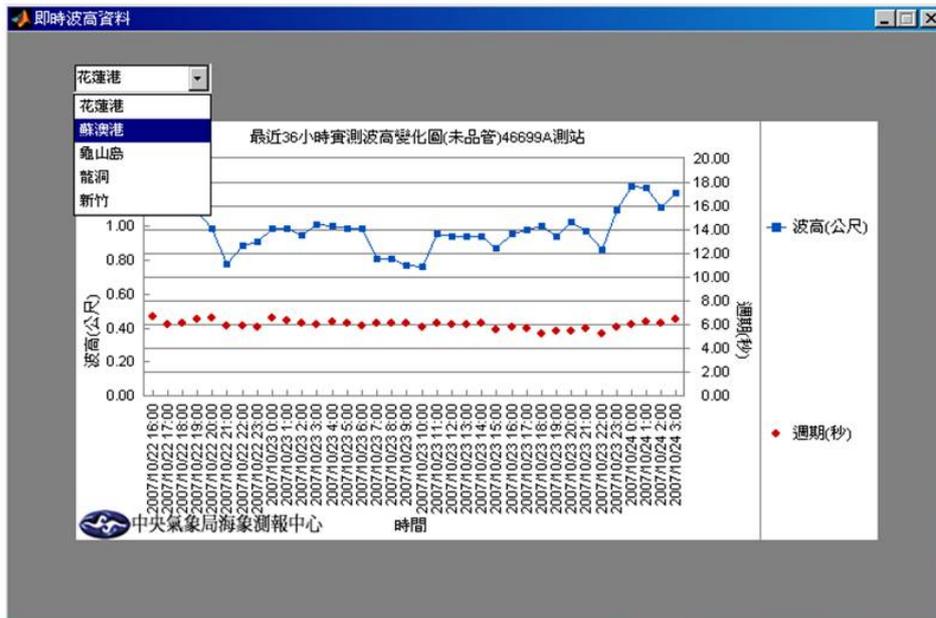
各種色調與範圍之衛星雲圖



資料連結：中央氣象局

29

即時波高資料



資料連結：中央氣象局

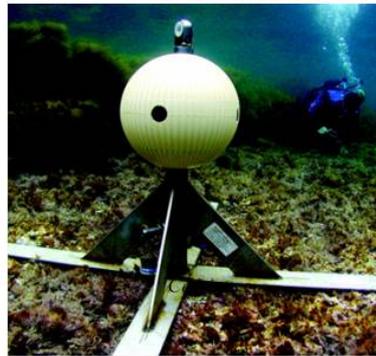
30

視窗化介面未來發展

- ◆ 透過網際網路之連結可自動化擷取資料進行預報
目前本模式已可自動連結至中央氣象局以及JTWC進行資料擷取衛星雲圖、颱風以及各種海象資料，若要進行自動化預報仍需克服颱風路徑的分類以及判斷標準。
- ◆ 提升預測準確度
未來透過更多實測資料的學習可提升預測準確度。
- ◆ 提供更多海氣象的即時資訊作為參考
目前僅提供衛星雲圖以及花蓮、蘇澳、龍洞、龜山島以及新竹等測站之實測波高，未來將整合更完善的資料並進行基本分析。

31

波浪資料統計分析



港灣技術研究中心提供
時間為95年安平港波浪資料
波浪取樣頻率為2HZ
每小時共取樣1024筆資料

32

波浪短期統計分析

波高機率密度

1. Normal分佈 $f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, -\infty < x < \infty, -\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$

2. Gamma分佈 $f(x; \alpha, \lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda^\alpha}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \alpha > 0, \lambda > 0 \\ 0, elsewhere \end{cases}$

3. Rayleigh分佈 $f(x, \sigma) = \begin{cases} \frac{x}{\sigma^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} & , x \geq 0, \sigma > 0 \\ 0, elsewhere \end{cases}$

4. Weibull分佈 $f(x, \alpha, \beta) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, elsewhere \end{cases}$

5. 修正 Weibull分佈 $f(x, \alpha, \beta, c) = \begin{cases} \frac{\alpha}{\beta^\alpha} \left(\frac{x}{\beta} + c\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta} + c\right)^\alpha} & , x \geq 0, \alpha > 0, \beta > 0 \\ 0, elsewhere \end{cases}$

33

波浪短期統計分析

週期機率密度

1. Erlang分佈 $f(x; n, \lambda) = \begin{cases} \frac{\lambda^n}{(n-1)!} x^{n-1} e^{-\lambda x} & , x \geq 0, \lambda > 0, n \in N \\ 0, elsewhere \end{cases}$

$$m(t) = t + \frac{\lambda^2 \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^i (\lambda^j / j!)}{\sum_{i=0}^{n-1} (\lambda^i / i!)} \quad \lambda = \frac{\bar{T}}{s^2} \quad \alpha = \frac{\bar{T}^2}{s^2} \quad \text{N.Unnikrishnan Nair 等(2003)}$$

2. Longuet-Higgins 分佈 $p(T) = \left| \frac{d\phi}{dT} \right| P\langle \phi | \chi \rangle = \frac{\omega T_{02}}{2\pi T_{01}} \frac{\nu^2}{2[\nu^2 + (1 - \frac{T}{T_{01}})^2]^{3/2}}$

3. Rayleigh分佈

4. Gamma分佈

34

波浪短期統計分析

波高分析結果

安平港波浪數據各月之分組情形

月份 \ 波高分組	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Hs<0.5m	710	582	463	483	0	405	129	144	525	648	663	386
0.5m<Hs<1.0m	34	89	50	26	0	174	258	395	183	52	57	55
1.0m<Hs<1.5m	0	0	0	5	0	85	177	98	12	0	0	0
1.5m<Hs<2.0m	0	0	0	0	0	38	85	28	0	0	0	0
2.0m<Hs<3.0m	0	0	0	0	0	18	58	34	0	0	0	0
Hs>3.0m	0	0	0	0	0	0	37	0	0	0	0	0

35

波浪短期統計分析

波高與週期分類

由水位訊號可求得示性波高值，為探討不同波高大小之適合機率分佈模式，依示性波高大小將波高資料分成六個區間以個別討論

Hs<0.5m	0.5m<Hs<1.0m	1.0m<Hs<1.5m
第一區間	第二區間	第三區間

1.5m<Hs<2.0m	2.0m<Hs<3.0	Hs>3.0m
第四區間	第五區間	第六區間

36

波浪短期統計分析

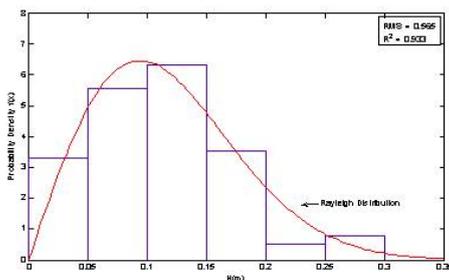
檢定標準

- ◆ 直方圖合適度--
- ◆ 統計特性--

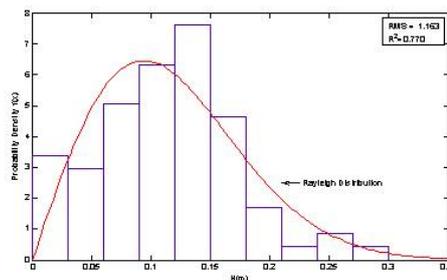
37

波浪短期統計分析-直方圖合適度

不同組數對理論機率分佈之影響



組數為六組之機率密度與 Rayleigh分佈圖



組數為十組之機率密度與 Rayleigh分佈圖

1. Sturges(史特吉斯) 法

$$X = 1 + 3.322 \log(N)$$

2. Doane(唐恩)法：

$$X = \sqrt{N}$$

38

波浪短期統計分析-直方圖合適度

波高分析結果-全年

組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.041	0.040	0.038	0.036	0.034	0.033	0.031	0.030
	R ²	0.918	0.888	0.863	0.838	0.815	0.792	0.772	0.751
Normal	MSE	0.049	0.045	0.041	0.038	0.036	0.034	0.032	0.031
	R ²	0.901	0.877	0.855	0.834	0.814	0.793	0.774	0.756
Rayleigh	MSE	0.038	0.036	0.035	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028
	R ²	0.924	0.900	0.878	0.856	0.834	0.812	0.793	0.772
Weibull	MSE	0.035	0.034	0.033	0.032	0.030	0.029	0.028	0.027
	R ²	0.944	0.921	0.900	0.879	0.858	0.837	0.818	0.798
Pi=0(%)		0.175	1.324	3.932	7.728	12.809	19.097	24.956	33.152
Pi-Pj >1/N(%)		35.935	34.553	36.461	40.101	46.661	52.151	58.536	64.045

39

波浪短期統計分析-直方圖合適度

波高分析結果-全年

組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s > 3.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.055	0.052	0.046	0.048	0.046	0.041	0.038	0.039
	R ²	0.809	0.774	0.748	0.674	0.628	0.618	0.598	0.546
Normal	MSE	0.054	0.046	0.044	0.044	0.041	0.038	0.035	0.035
	R ²	0.846	0.835	0.794	0.735	0.704	0.683	0.666	0.630
Rayleigh	MSE	0.048	0.046	0.040	0.042	0.041	0.037	0.034	0.035
	R ²	0.840	0.812	0.785	0.718	0.672	0.662	0.643	0.594
Weibull	MSE	0.046	0.042	0.038	0.041	0.039	0.036	0.033	0.034
	R ²	0.873	0.858	0.828	0.761	0.721	0.707	0.690	0.645
Pi=0(%)		0.000	0.000	2.703	5.405	10.811	13.514	21.622	29.730
Pi-Pj >1/N(%)		13.514	32.432	29.730	48.649	56.757	56.757	64.865	72.973

40

波浪短期統計分析-直方圖合適

週期分析結果-全年

組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s < 0.5m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.099	0.105	0.108	0.110	0.111	0.111	0.111	0.112
	R^2	0.922	0.899	0.878	0.859	0.842	0.826	0.810	0.795
Erlang	MSE	0.111	0.115	0.116	0.117	0.117	0.117	0.117	0.117
	R^2	0.906	0.883	0.862	0.843	0.826	0.809	0.792	0.778
Rayleigh	MSE	0.297	0.283	0.271	0.260	0.251	0.242	0.235	0.229
	R^2	0.488	0.440	0.401	0.369	0.341	0.318	0.299	0.281
L-H	MSE	0.162	0.169	0.179	0.190	0.202	0.214	0.226	0.240
	R^2	0.771	0.754	0.739	0.727	0.715	0.703	0.691	0.680
Pi=0(%)		0.292	1.441	3.971	7.748	14.152	21.277	29.764	38.330
Pi-Pj >1/N(%)		20.051	36.403	45.377	49.523	52.949	55.110	57.602	59.957

41

波浪短期統計分析-直方圖合適

週期分析結果-全年

組數與分佈函數之各種指標評估結果($H_s > 3.0m$)

分組		5	6	7	8	9	10	11	12
Gamma	MSE	0.182	0.176	0.172	0.175	0.171	0.171	0.170	0.165
	R^2	0.642	0.593	0.567	0.506	0.466	0.439	0.412	0.391
Erlang	MSE	0.171	0.167	0.165	0.169	0.166	0.167	0.166	0.163
	R^2	0.682	0.624	0.596	0.530	0.489	0.457	0.430	0.402
Rayleigh	MSE	0.283	0.266	0.260	0.253	0.244	0.241	0.237	0.229
	R^2	0.219	0.184	0.140	0.117	0.111	0.097	0.089	0.080
L-H	MSE	0.121	0.126	0.130	0.145	0.155	0.166	0.178	0.189
	R^2	0.746	0.691	0.715	0.645	0.607	0.597	0.580	0.546
Pi=0(%)		0.000	0.000	5.405	2.703	5.405	16.216	18.919	24.324
Pi-Pj >1/N(%)		10.811	2.703	24.324	48.649	43.243	37.838	62.162	51.351

42

波浪短期統計分析-直方圖合適度

波高分析結果

- ◆ 最適合之機率分佈為Weibull分佈
- ◆ 最佳直方圖分組最適合組數：5-8組

週期分析結果

- ◆ 最適合之機率分佈：
 - 示性波高小於0.5m時，最佳分佈為Gamma分佈
 - 示性波高大於0.5m時，最佳分佈為Erlang分佈
- ◆ 最佳直方圖分組最適合組數：5-8組

43

波浪短期統計分析-統計性

表 5-27 Weibull 分布系列之統計特性公式

	Modified Weibull 分布	Weibull 分布	Rayleigh 分布
$H_{1/100}$	$\beta[(c^\beta + \ln 100)^{\frac{1}{\alpha}} - c]$ $+\frac{100\beta}{\alpha}e^{-c^\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 100)$	$\beta[(\ln 100)^{\frac{1}{\alpha}}]$ $+\frac{100\beta}{\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha}, \ln 100)$	$\beta[(\ln 100)^{\frac{1}{2}}]$ $+50\beta\Gamma(\frac{1}{2}, \ln 100)$
$H_{1/10}$	$\beta[(c^\beta + \ln 10)^{\frac{1}{\alpha}} - c]$ $+\frac{10\beta}{\alpha}e^{-c^\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 10)$	$\beta[(\ln 10)^{\frac{1}{\alpha}}]$ $+\frac{10\beta}{\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha}, \ln 10)$	$\beta[(\ln 10)^{\frac{1}{2}}]$ $+5\beta\Gamma(\frac{1}{2}, \ln 10)$
H_s	$\beta[(c^\beta + \ln 3)^{\frac{1}{\alpha}} - c]$ $+\frac{3\beta}{\alpha}e^{-c^\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha + \ln 3)$	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{\alpha}}]$ $+\frac{3\beta}{\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha}, \ln 3)$	$\beta[(\ln 3)^{\frac{1}{2}}]$ $+\frac{3}{2}\beta\Gamma(\frac{1}{2}, \ln 3)$
\bar{H}	$\frac{\beta}{\alpha}e^{-c^\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha)$	$\frac{\beta}{\alpha}\Gamma(\frac{1}{\alpha})$	$\frac{\beta\sqrt{\pi}}{2}$
H_{rms}	$(2e^{-c^\alpha}\frac{\beta^2}{\alpha^2}\Gamma(\frac{2}{\alpha}, c^\alpha) - c\Gamma(\frac{1}{\alpha}, c^\alpha))^{\frac{1}{2}}$	$(2\frac{\beta^2}{\alpha^2}\Gamma(\frac{2}{\alpha}))^{\frac{1}{2}}$	β
H_{ms}	$\beta[(1 - \frac{1}{\alpha})^{\frac{1}{\alpha}} - c]$	$\beta[(1 - \frac{1}{\alpha})^{\frac{1}{\alpha}}]$	$\frac{\beta}{\sqrt{2}}$

44

波浪短期統計分析-統計性

表 5-28 Gamma 分布系列之統計特性公式

	Gamma 分布	Erlang 分布
$T_{1/100}$	$\alpha\beta + \frac{100\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/100}}{\beta}\right)^\alpha e^{-\frac{x_{1/100}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{100\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/100}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/100}}{\beta}}$
$T_{1/10}$	$\alpha\beta + \frac{10\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/10}}{\beta}\right)^\alpha e^{-\frac{x_{1/10}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{10\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/10}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/10}}{\beta}}$
T_s	$\alpha\beta + \frac{3\beta}{\Gamma(\alpha)} \left(\frac{x_{1/30}}{\beta}\right)^\alpha e^{-\frac{x_{1/30}}{\beta}}$	$n\beta + \frac{3\beta}{(n-1)!} \left(\frac{x_{1/30}}{\beta}\right)^n e^{-\frac{x_{1/30}}{\beta}}$
\bar{T}	$\alpha\beta$	$n\beta$
T_{rms}	$\beta\sqrt{\alpha(\alpha+1)}$	$\beta\sqrt{n(n+1)}$

45

波浪短期統計分析-波高統計性

臺北

第六組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ \bar{H}_s	RMSE (m)	R ²	RMSE/ \bar{H}_s	RMSE (m)	R ²	RMSE/ \bar{H}_s
H1/100	0.6460	0.6590	0.1873	0.6596	0.6503	0.1913	0.9507	0.3931	0.2757
H1/10	0.1427	0.9264	0.0414	0.1578	0.9141	0.0458	0.2874	0.7999	0.0833
Hs	0.0386	0.9898	0.0112	0.0553	0.9803	0.0160	0.0885	0.9691	0.0257
Hmean	0.0329	0.9883	0.0095	0.0107	0.9984	0.0030	0.0495	0.9772	0.0143
Hrms	0.0226	0.9958	0.0065	0.0039	0.9998	0.0010	0.0000	1.0000	0.0000

安平

第六組	Modified Weibull			Weibull			Rayleigh		
	RMSE (m)	R ²	RMSE/ \bar{H}_s	RMSE (m)	R ²	RMSE/ \bar{H}_s	RMSE (m)	R ²	RMSE/ \bar{H}_s
H1/100	0.8228	0.4571	0.2266	0.8290	0.4653	0.2283	1.2001	0.4007	0.3305
H1/10	0.2103	0.8649	0.0579	0.2193	0.8611	0.0604	0.4163	0.7375	0.1147
Hs	0.0354	0.9924	0.0097	0.0482	0.9860	0.0133	0.1208	0.9541	0.0333
Hmean	0.0270	0.9936	0.0074	0.0109	0.9987	0.0030	0.0677	0.9737	0.0186
Hrms	0.0199	0.9969	0.0055	0.0048	0.9998	0.0013	0.0000	1.0000	0.0000

波浪短期統計分析-週期統計性

臺北

第六組	Gamma			Erlang		
	RMSE	R2	Rmse/ \bar{T}_s	RMSE	R2	Rmse/ \bar{T}_s
T1/100	3.7484	0.4356	0.3425	2.8869	0.5506	0.2638
T1/10	1.4538	0.7302	0.1328	0.9754	0.8283	0.0891
T_s	0.4545	0.9462	0.0415	0.2099	0.9746	0.0192
Tmean	0.0003	1.0000	0.0000	0.0098	0.9997	0.0009
Trms	0.0679	0.9979	0.0062	0.0004	1.0000	0.0000

安平

第六組	Gamma			Erlang		
	RMSE	R2	Rmse/ \bar{T}_s	RMSE	R2	Rmse/ \bar{T}_s
T1/100	3.9915	0.1681	0.3564	3.0219	0.2165	0.2698
T1/10	1.6168	0.5558	0.1444	1.0641	0.6989	0.0950
T_s	0.5592	0.8791	0.0499	0.2686	0.9454	0.0240
Tmean	0.0004	1.0000	0.0000	0.0065	0.9998	0.0006
Trms	0.0783	0.9930	0.0070	0.0004	1.0000	0.0000

47

波浪短期統計分析

1. 波高統計性

- ◆ 當大波浪時，最佳機率密度函數為修正Weibull分布
- ◆ 當小波浪時，最佳機率密度函數為Weibull分布
- ◆ 修正Weibull分布最能描述大小波浪之 H_s

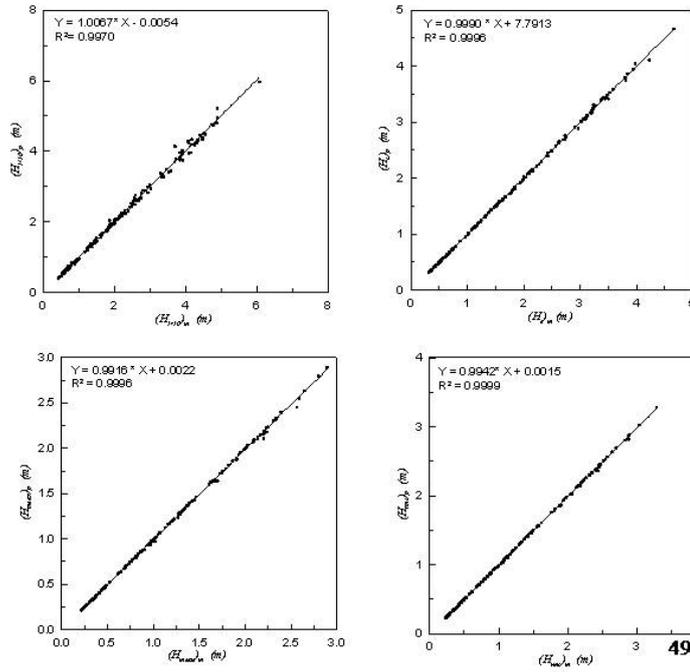
2. 週期統計性

- ◆ Erlang分布最能描述大小波浪週期之統計特性

48

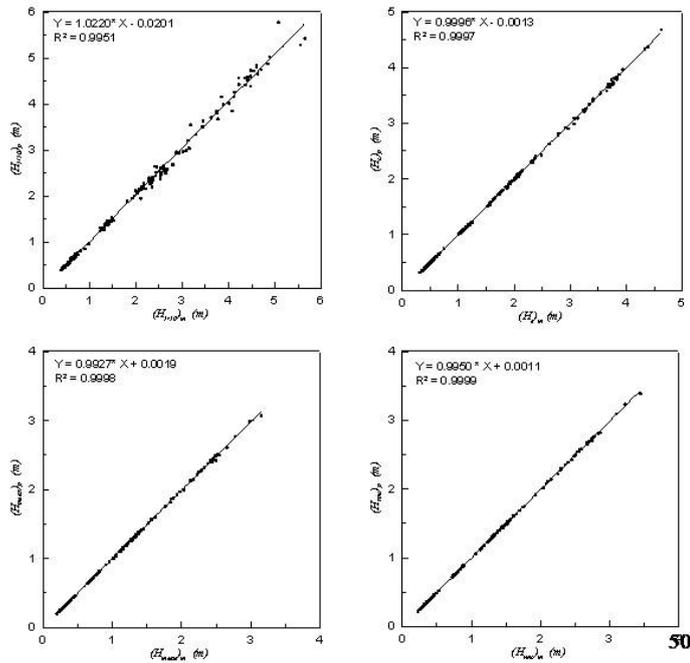
修正Weibull分布之統計特性

臺北港



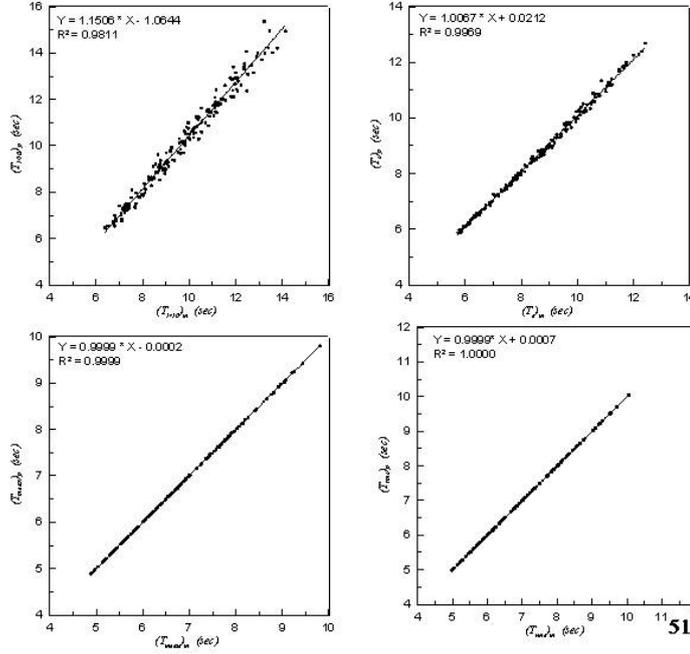
修正Weibull分布之統計特性

安平港



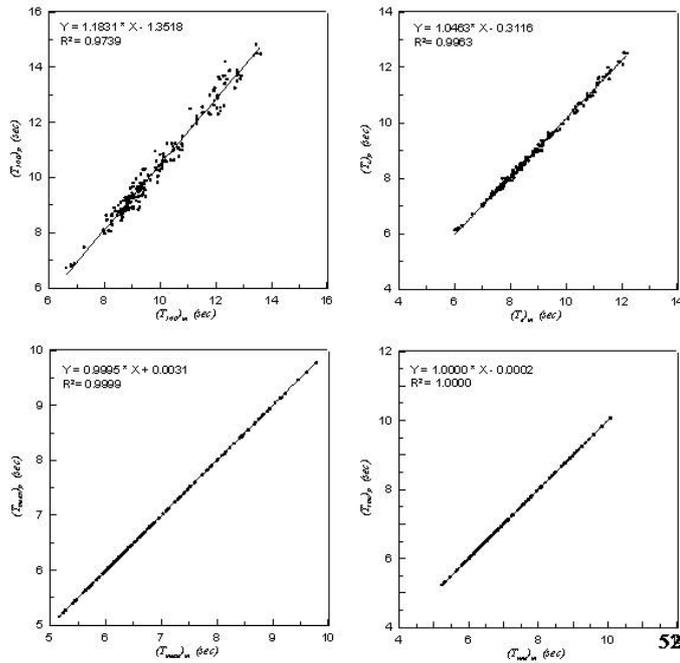
Erlang分布之統計特性

臺北港



Erlang分布之統計特性

安平港



示性波高統計分析-直方圖合適度

表 5-41 安平港示性波高與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.038	0.906	0.073	0.645	0.065	0.676	0.046	0.877
第 1 季	0.010	0.979	0.010	0.979	0.038	0.692	0.015	0.959
第 2 季	0.043	0.759	0.065	0.413	0.062	0.417	0.046	0.732
第 3 季	0.019	0.950	0.047	0.678	0.042	0.708	0.023	0.936
第 4 季	0.009	0.981	0.013	0.954	0.027	0.846	0.013	0.962
1 月	0.008	0.981	0.011	0.963	0.043	0.523	0.015	0.932
2 月	0.018	0.922	0.022	0.889	0.040	0.677	0.027	0.849
3 月	0.016	0.810	0.021	0.687	0.020	0.785	0.019	0.733
4 月	0.020	0.939	0.037	0.779	0.031	0.854	0.032	0.854
6 月	0.038	0.674	0.054	0.347	0.052	0.359	0.040	0.656
7 月	0.011	0.963	0.029	0.752	0.023	0.830	0.014	0.947
8 月	0.028	0.816	0.042	0.555	0.034	0.707	0.034	0.726
9 月	0.020	0.862	0.030	0.693	0.023	0.852	0.025	0.806
10 月	0.017	0.931	0.026	0.837	0.029	0.851	0.025	0.871
11 月	0.014	0.923	0.021	0.816	0.026	0.795	0.020	0.841
12 月	0.012	0.947	0.015	0.912	0.043	0.570	0.020	0.857

53

示性波高統計分析-直方圖合適度

表 5-42 臺北港示性波高與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.021	0.927	0.044	0.683	0.047	0.634	0.020	0.937
第 2 季	0.050	0.726	0.074	0.338	0.074	0.308	0.052	0.726
第 3 季	0.025	0.918	0.056	0.538	0.057	0.473	0.027	0.924
第 4 季	0.014	0.883	0.012	0.907	0.009	0.939	0.010	0.941
3 月	0.020	0.954	0.050	0.665	0.046	0.667	0.024	0.950
4 月	0.046	0.518	0.055	0.300	0.052	0.357	0.046	0.507
6 月	0.022	0.802	0.028	0.657	0.032	0.750	0.029	0.671
7 月	0.014	0.961	0.036	0.713	0.030	0.783	0.018	0.944
8 月	0.028	0.608	0.037	0.328	0.030	0.543	0.031	0.528
9 月	0.028	0.728	0.043	0.394	0.045	0.344	0.028	0.742
11 月	0.016	0.865	0.021	0.778	0.015	0.873	0.016	0.880
12 月	0.010	0.932	0.012	0.916	0.017	0.839	0.009	0.941

54

示性波高統計分析-直方圖合適度

表 5-43 花蓮港示性波高與各分佈函數評估結果

	Gamma		Normal		Rayleigh		Weibull	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.010	0.989	0.035	0.865	0.023	0.938	0.022	0.946
第 1 季	0.012	0.964	0.020	0.896	0.035	0.709	0.022	0.886
第 2 季	0.018	0.933	0.037	0.689	0.028	0.809	0.024	0.883
第 3 季	0.036	0.844	0.059	0.584	0.059	0.554	0.038	0.824
第 4 季	0.032	0.896	0.053	0.704	0.044	0.796	0.045	0.799
1 月	0.030	0.797	0.039	0.643	0.039	0.709	0.038	0.682
2 月	0.017	0.903	0.015	0.927	0.034	0.640	0.018	0.904
3 月	0.016	0.840	0.018	0.800	0.033	0.398	0.018	0.784
4 月	0.017	0.872	0.023	0.754	0.016	0.888	0.018	0.839
5 月	0.040	0.656	0.046	0.539	0.041	0.611	0.040	0.660
6 月	0.041	0.730	0.060	0.369	0.055	0.423	0.044	0.718
7 月	0.090	0.682	0.124	0.390	0.113	0.420	0.104	0.551
8 月	0.036	0.666	0.047	0.432	0.043	0.490	0.037	0.667
9 月	0.044	0.799	0.065	0.547	0.064	0.527	0.044	0.812
10 月	0.025	0.889	0.043	0.646	0.033	0.782	0.032	0.839
11 月	0.013	0.854	0.016	0.786	0.018	0.807	0.014	0.819
12 月	0.041	0.737	0.052	0.553	0.054	0.588	0.052	0.573

55

示性週期統計分析-直方圖合適度

表 5-44 安平港示性週期與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.103	0.905	0.116	0.876	0.279	0.550	0.129	0.850
第 1 季	0.026	0.990	0.030	0.986	0.289	0.001	0.032	0.985
第 2 季	0.058	0.914	0.062	0.902	0.248	0.008	0.071	0.872
第 3 季	0.065	0.861	0.077	0.798	0.181	0.060	0.068	0.842
第 4 季	0.131	0.883	0.158	0.824	0.325	0.570	0.157	0.830
1 月	0.045	0.963	0.058	0.938	0.281	0.005	0.055	0.944
2 月	0.045	0.975	0.053	0.964	0.319	0.011	0.051	0.968
3 月	0.050	0.908	0.054	0.893	0.300	0.087	0.051	0.902
4 月	0.058	0.888	0.060	0.881	0.292	0.065	0.062	0.872
6 月	0.054	0.899	0.063	0.859	0.239	0.0330	0.065	0.852
7 月	0.107	0.786	0.102	0.809	0.273	0.014	0.098	0.822
8 月	0.100	0.637	0.105	0.600	0.214	0.018	0.102	0.625
9 月	0.136	0.715	0.155	0.627	0.268	0.034	0.153	0.639
10 月	0.193	0.607	0.208	0.531	0.299	0.204	0.213	0.517
11 月	0.141	0.755	0.155	0.694	0.292	0.020	0.160	0.677
12 月	0.089	0.958	0.088	0.960	0.380	0.413	0.100	0.950

56

示性週期統計分析-直方圖合適度

表 5-45 臺北港示性週期與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.026	0.985	0.034	0.974	0.195	0.399	0.042	0.962
第 2 季	0.068	0.892	0.066	0.896	0.235	0.000	0.062	0.909
第 3 季	0.059	0.887	0.079	0.785	0.149	0.568	0.070	0.839
第 4 季	0.037	0.974	0.037	0.974	0.265	0.013	0.050	0.952
3 月	0.046	0.942	0.046	0.941	0.020	0.031	0.062	0.894
4 月	0.069	0.864	0.069	0.862	0.234	0.006	0.067	0.871
6 月	0.113	0.523	0.111	0.534	0.273	0.078	0.105	0.586
7 月	0.091	0.811	0.097	0.782	0.174	0.795	0.100	0.772
8 月	0.079	0.753	0.080	0.744	0.189	0.004	0.087	0.697
9 月	0.057	0.856	0.067	0.800	0.173	0.006	0.058	0.853
11 月	0.054	0.926	0.059	0.912	0.242	0.020	0.068	0.880
12 月	0.040	0.940	0.424	0.931	0.277	0.082	0.042	0.933

57

示性週期統計分析-直方圖合適度

表 5-46 花蓮港示性週期與各分佈函數評估結果

	Gamma		Erlang		Rayleigh		Normal	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²
全年	0.153	0.860	0.167	0.827	0.381	0.071	0.177	0.810
第 1 季	0.043	0.947	0.043	0.947	0.340	0.068	0.038	0.958
第 2 季	0.122	0.799	0.123	0.797	0.284	0.022	0.141	0.732
第 3 季	0.135	0.812	0.146	0.775	0.299	0.061	0.157	0.742
第 4 季	0.187	0.762	0.196	0.732	0.376	0.013	0.206	0.705
1 月	0.053	0.889	0.055	0.880	0.327	0.100	0.054	0.882
2 月	0.072	0.841	0.070	0.848	0.359	0.075	0.067	0.863
3 月	0.065	0.838	0.068	0.820	0.357	0.093	0.067	0.828
4 月	0.107	0.816	0.114	0.788	0.275	0.001	0.122	0.757
5 月	0.103	0.877	0.115	0.838	0.319	0.004	0.119	0.832
6 月	0.153	0.636	0.163	0.585	0.284	0.0003	0.169	0.556
7 月	0.153	0.689	0.159	0.665	0.332	0.031	0.163	0.646
8 月	0.175	0.644	0.176	0.642	0.329	0.014	0.189	0.585
9 月	0.165	0.631	0.169	0.611	0.274	0.013	0.185	0.530
10 月	0.189	0.534	0.199	0.487	0.302	0.0001	0.204	0.453
11 月	0.048	0.967	0.049	0.965	0.404	0.039	0.050	0.964
12 月	0.072	0.919	0.078	0.905	0.336	0.024	0.081	0.899

58

波高及週期聯合統計分析 -直方圖合適度

表 5-47 安平港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²
1	0.081	0.099	0.033	0.610
2	0.101	0.136	0.035	0.676
3	0.113	0.122	0.042	0.669
4	0.096	0.097	0.039	0.658
5	--	--	--	--
6	0.092	0.218	0.018	0.570
7	0.092	0.218	0.019	0.570
8	0.095	0.160	0.023	0.627
9	0.097	0.099	0.033	0.604
10	0.089	0.089	0.037	0.605
11	0.085	0.100	0.035	0.684
12	0.101	0.142	0.037	0.659

59

波高及週期聯合統計分析 -直方圖合適度

表 5-48 臺北港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²
1	--	--	--	--
2	--	--	--	--
3	0.028	0.021	0.017	0.327
4	0.030	0.035	0.023	0.195
5	--	--	--	--
6	0.008	0.005	0.027	0.411
7	0.024	0.016	0.020	0.356
8	0.018	0.123	0.024	0.335
9	0.031	0.015	0.016	0.336
10	--	--	--	--
11	0.032	0.025	0.019	0.411
12	0.036	0.035	0.016	0.397

60

波高及週期聯合統計分析 -直方圖合適度

表 5-49 花蓮港各月份實際值與理論值之聯合機率評估結果

月份	Longuest-Higgins(1983)		Cavanié et. al.(1976)	
	RMSE	R ²	RMSE	R ²
1	0.059	0.117	0.020	0.621
2	0.059	0.134	0.020	0.605
3	0.063	0.141	0.022	0.646
4	0.053	0.086	0.019	0.555
5	0.049	0.046	0.024	0.358
6	0.049	0.036	0.019	0.349
7	0.003	0.024	0.006	0.056
8	0.003	0.012	0.006	0.204
9	0.052	0.0001	0.017	0.131
10	0.040	0.114	0.012	0.462
11	0.060	0.124	0.019	0.599
12	0.063	0.162	0.017	0.587

61

結論

- ◆ 模式推算船隻動態指標準確性高，可提供颱風期間花蓮港之船舶操作預警。
- ◆ 建立圖形化使用者介面提升船隻動態模式的親和力與便利性，目前可提供準確的預報推算功能，並透過網際網路提供即時的衛星雲圖與實測波浪資料作為參考，未來將建立自動化的模式介面。
- ◆ 波高直方圖適合較近似於Weibull分佈，其分組組數大概介於5至8組。
- ◆ 週期直方圖當波高小於0.5m者，其最佳分佈為Gamma，大於0.5m之最佳分佈則為Erlang，其分組組數大概介於5至8組。

62

結論

- ◆ 修正 Weibull 分布較適合於波高統計特性，Erlang 其較適合於週期統計特性。
- ◆ Gamma 分布較適合於波高及週期之直方圖分布。
- ◆ Longuest-Higgins 及 Cavanié 的聯合機率密度表示波浪之波高及週期聯合分布直方圖分布。

63



敬請指正

