

101-16-7590

MOTC-IOT-100-H2DB001f

# 臺灣主要港口附近海域長期波浪統計 特性及設計波推算之研究(3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 101 年 3 月

101-16-7590

MOTC-IOT-100-H2DB001f

# 臺灣主要港口附近海域長期波浪統計 特性及設計波推算之研究(3/4)

著 者：江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算  
之研究(3/4)/江玟德等著.--初版.-- 臺北市：

交通部運輸研究所，民 101.03

面；公分

ISBN 978-986-03-1745-9 (平裝)

1. 波動 2. 神經網路 3. 統計 4. 臺灣

351.941

101002180

臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(3/4)

著者：江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587176

出版年月：中華民國 101 年 3 月

印刷者：群彩印刷科技股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：250 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010100305

ISBN：978-986-03-1745-9(平裝)

著作財產權人：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分內容者，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：臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(3/4)			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN 978-986-03-1745-9 (平裝)	政府出版品統一編號 1010100305	運輸研究所出版品編號 101-16-7590	計畫編號 100-H2DB001f
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：劉勁成、陳蔚瑋 地址：30013 新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487		研究期間 自 100 年 3 月  至 100 年 12 月
關鍵詞：波浪統計特性、設計波推算、臺灣主要港口			
<p>摘要：</p> <p>本研究考慮風場受陸地阻擋及波浪受陸地遮蔽而衰減改善颱風波浪類神經推算模式，以建立適合安平港與臺北港之颱風波浪推算模式。率定模式階段使用本所港研中心有測得完整波浪資料的颱風。檢驗指標中最大波高誤差取絕對值後平均約為 1m，而最大波高發生時間誤差取絕對值後平均值約 10 小時，各場颱風波高與實測值之均方根誤差平均為 0.64m。推算波高與實測波高的相關性則平均為 0.73。</p> <p>本研究先以箱型圖進行初步分析取樣品質，再進一步討論極值分析之最佳推估方法及季節性變化另外本研究並以年最大法推算出臺北與安平兩港各重現期的設計波高提供參考。</p> <p>本研究另外初步的建構波浪極值統計之視窗化操作介面，期望本介面能有效提昇模式的操作效率以及擴展使用者族群，經過更完善的整合能夠使模式的應用性更加廣泛。目標在於建立一套包含波浪資料輸入分析、月極值統計及年極值統計的應用程式，並希望透過圖形化的介面使整個操作流程更簡單方便。</p> <p>本研究的成果效益與後續應用主要有兩個部分：1. 臺北與安平兩港專用的颱風波浪推算模式，可供港務局等相關單位推算往昔所有颱風波浪資料，以進行設計波高的估算。並可作為未來颱風侵台時的波浪預警系統，以提供氣象及船舶管理相關單位作為參考。另外波浪極值統計視窗化操作介面可簡化操作流程，有助於未來相關單位的應用與推廣。2. 月極值統計方法可避免超設計現象，可供未來工程設計單位一個新的方法。本計畫並提供了最適分布下各重現期的設計波高及其信賴區間供各工程與行政管理單位做檢核。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 3 月	168	250	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: Investigation of long-term wave statistics and design wave for the main harbors of Taiwan (3/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-03-1745-9 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010100305	IOT SERIAL NUMBER 101-16-7590	PROJECT NUMBER 100-H2DB001f
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 2011 TO December 2011
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Liou Jin-Cheng, Chen Wei-Wei ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu 30013, Taiwan, ROC PHONE: (03) 5131487			
KEY WORDS: wave statistics, design wave, main harbors of Taiwan			
<p><b>ABSTRACT:</b></p> <p>The aim of the 4-year project is to determine the design wave for the international harbors around Taiwan. Key technique for determining design waves is extreme analysis for wave heights that includes good wave samples and their best fitting distribution. The wave samples are less due to short measurement at Kaohsiung harbor. A special wave prediction model using artificial neural network is developed for typhoon waves considering land effects on the wind structure of typhoon and wave decay. Collected wave data are divided into two groups. The ANN model is examined applicable from good performance indices that are mean peak error less than 1m, their mean occurrence difference about 10hr, RMSE for whole data less than 0.64m and their correlation coefficient 0.73.</p> <p>Wave samples are first examined valid by using the technique of box-plot. Least square method are suitable for determining parameters of GEV's probability distribution for extreme analysis is checked. The design waves for Anping and Taipei harbor were determined in this project from annual extreme analysis.</p> <p>A whole graphical user interface (GUI) will be used to establish an easy operation system for data analysis, annual and monthly extreme analysis for all international harbors around Taiwan.</p> <p>There are two application efficiencies in this project: 1. All of the typhoon wave in the past can estimate by Anping and Taipei harbor typhoon waves model, the result can provide a design wave analysis and risk Assessment in typhoon duration for harbor Bureau. Furthermore, the GUI of wave statistics was established to simplify the operation of the analysis processing. 2. Monthly extreme wave analysis was a new method, and it can avoid the over-designing situation. The extreme wave heights of each recurrence period were estimated to design purposes and construction management practice in Anping and Taipei harbor.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2011	NUMBER OF PAGES 168	PRICE 250	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.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	V
表目錄.....	VII
第一章 前言.....	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-1
1.3 工作項目與完成進度.....	1-3
第二章 類神經颱風波浪推算模式.....	2-1
2.1 資料來源與處理.....	2-2
2.2 類神經颱風波浪模式.....	2-11
2.2.1 類神經網路架構.....	2-11
2.2.2 資料分類.....	2-14
2.2.3 模式輸入與輸入層轉換函數.....	2-15
2.2.4 歸屬函數修正輸入參數.....	2-21
2.2.5 轉換函數與訓練函數.....	2-28
2.2.6 隱藏層神經元測試.....	2-29
2.3 波浪推算結果與實測波浪之驗證.....	2-30
2.4 類神經颱風波浪推算模式之風險分析.....	2-34
2.5 本年度侵臺颱風之波浪推算結果.....	2-36
第三章 經驗式颱風波浪推算模式.....	3-1
3.1 經驗式波浪推算模式理論.....	3-1
3.2 模式推算結果.....	3-4
3.3 波浪推算模式綜合比較.....	3-7
第四章 季節性統計分析方法-月極值統計特性.....	4-1
4.1 極值統計理論.....	4-1
4.2 極值分布函數.....	4-1
4.3 極值分布參數推定.....	4-2
4.3.1 MOM 推定法.....	4-3
4.3.2 MLE 推定法.....	4-3
4.3.3 LSM 推定法.....	4-4
4.4 信賴檢定.....	4-4

4.4.1	MIR 值檢定:	4-4
4.4.2	RMSE 檢定:	4-6
4.4.3	ER 檢定:	4-6
4.5	推估值之標準偏差	4-6
4.5.1	Goda(2000)方法:	4-6
4.5.2	MLE 方法:	4-7
4.6	資料分析	4-8
4.6.1	資料選取及補遺	4-8
4.6.2	箱型圖分析決定取樣資料	4-9
4.6.3	重現期的極值波高估算	4-15
4.7	分析結果	4-16
第五章	臺北港與安平港之設計波浪推估	5-1
5.1	極值統計資料	5-1
5.2	各重現期波高推算結果	5-1
第六章	波浪極值統計視窗化操作之初步建構	6-1
6.1	圖形化使用者介面之介紹	6-1
6.2	初步建構成果	6-4
第七章	結論	7-1
7.1	結論	7-1
7.2	建議	7-2
7.3	成果效益及後續應用情形	7-2
參考文獻		參-1
附錄一	期中報告審查意見處理情形表	附-1
附錄二	期末報告審查意見處理情形表	附-6
附錄三	期中簡報	附-9
附錄四	期末簡報	附-25

## 圖目錄

圖 2.1 安平港波浪觀測位置示意圖 .....	2-3
圖 2.2 臺北港波浪觀測樁位置示意圖 .....	2-3
圖 2.3 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局)....	2-8
圖 2.4 颱風中心對目標點方位角 $\theta_1$ 與颱風移動方位角 $\theta_2$ 示意圖....	2-15
圖 2.5 氣旋中心附近風速風向分布示意圖 .....	2-17
圖 2.6 颱風距離與目標點波高分布 .....	2-19
圖 2.7 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局)...	2-20
圖 2.8 各距離範圍的 $\theta_1$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖 .....	2-22
圖 2.9 利用 DERIVATIVE-BASED 最佳化搜尋法求得的 $\theta_1$ 高斯歸屬函數 .....	2-23
圖 2.10 各距離範圍的 $\theta_3$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖 .....	2-24
圖 2.11 利用 DERIVATIVE-BASED 最佳化搜尋法求得的 $\theta_3$ 高斯歸屬函數 .....	2-25
圖 2.12 各距離範圍的 $V_{DEG}$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖 ...	2-26
圖 2.13 利用 DERIVATIVE-BASED 最佳化搜尋法求得的 $V_{DEG}$ 高斯歸屬函數 .....	2-27
圖 2.14 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數.....	2-28
圖 2.15 學習組與驗證組使用不同神經元個數時之 RMSE .....	2-30
圖 2.16 安平港類神經颱風波浪推算模式風險分析 .....	2-35
圖 2.17 臺北港類神經颱風波浪推算模式風險分析 .....	2-35
圖 2.18 本研究類神經颱風波浪推算模式推算花蓮港颱風波浪結果	2-36
圖 2.19 本研究類神經颱風波浪推算模式推算高雄港颱風波浪結果	2-37
圖 2.20 本研究類神經颱風波浪推算模式推算安平港颱風波浪結果	2-38
圖 2.21 本研究類神經颱風波浪推算模式推算臺北港颱風波浪結果	2-38
圖 3.1 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍 .....	3-4
圖 4.1 箱型圖架構示意圖 .....	4-9
圖 4.2 箱型圖分析流程圖 .....	4-11
圖 4.3 臺北港 1999-2010 年極值波高箱型圖.....	4-13
圖 4.4 安平港 2000-2010 年極值波高箱型圖.....	4-14
圖 4.5 T 年重現期極值波高之估算流程示意圖 .....	4-15

圖 4.6 推估 1 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-17
圖 4.7 推估 2 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-18
圖 4.8 推估 3 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-19
圖 4.9 推估 4 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-20
圖 4.10 推估 5 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-21
圖 4.11 推估 6 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-22
圖 4.12 推估 7 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-23
圖 4.13 推估 8 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-24
圖 4.14 推估 9 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-25
圖 4.15 推估 10 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-26
圖 4.16 推估 11 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-27
圖 4.17 推估 12 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-28
圖 4.18 推估 1 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-30
圖 4.19 推估 2 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-31
圖 4.20 推估 3 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-32
圖 4.21 推估 4 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-33
圖 4.22 推估 5 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-34
圖 4.23 推估 6 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-35
圖 4.24 推估 7 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-36
圖 4.25 推估 8 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-37
圖 4.26 推估 9 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-38
圖 4.27 推估 10 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-39
圖 4.28 推估 11 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-40
圖 4.29 推估 12 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	4-41
圖 5.1 推估臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-3
圖 5.2 推估安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖 .....	5-4
圖 5.3 臺北港井島模式最大波浪波浪之機率密度函數及機率函數圖	5-5
圖 5.4 安平港井島模式最大波浪波浪之機率密度函數及機率函數圖	5-6
圖 6.1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化 .....	6-2
圖 6.2 波浪極值統計介面的輸入設定視窗部份 .....	6-5
圖 6.3 波浪極值統計介面的輸出視窗部份 .....	6-6

## 表目錄

表 2.1 選擇安平港波浪實測資料的颱風名稱及其最大示性波高 .....	2-5
表 2.2 選擇臺北港波浪實測資料的颱風名稱及其最大示性波高 .....	2-6
表 2.3 選取用來建立安平港模式的颱風名稱及其最大波高 .....	2-9
表 2.4 選取用來建立臺北港模式的颱風名稱及其最大波高 .....	2-10
表 2.5 輸入因子與波浪間的相關性分析 .....	2-21
表 2.6 雙峰轉換後的輸入參數與波高間的相關性分析 (1800KM 以內) .....	2-27
表 2.7 安平港類神經颱風波浪推算結果 .....	2-31
表 2.8 臺北港類神經颱風波浪推算結果 .....	2-33
表 2.9 各類神經颱風波浪推算成效比較 .....	2-34
表 3.1 安平港半經驗颱風波浪推算結果 .....	3-5
表 3.2 臺北港半經驗颱風波浪推算結果 .....	3-6
表 3.3 安平港兩種波浪推算模式的誤差比較 .....	3-8
表 3.4 臺北港兩種波浪推算模式的誤差比較 .....	3-8
表 4.1 各極值分佈相關統計量之特性 .....	4-3
表 4.2 計算樣本順位機率之 $\alpha$ 及 $\beta$ 值 .....	4-4
表 4.3 相關係數殘差平均值公式之係數 $\bar{a}$ , $\bar{b}$ 及 $\bar{c}$ 值 .....	4-5
表 4.4 重現期推算量之標準偏差公式中之係數 .....	4-7
表 4.5 臺北港每月最大波高資料表 (單位:M) .....	4-10
表 4.6 安平港每月最大波高資料表 (單位:M) .....	4-11
表 4.7 臺北港 1999-2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:M) .....	4-13
表 4.8 安平港 2000-2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:M) .....	4-14
表 4.9 推估 1 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-17
表 4.10 推估 2 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-18
表 4.11 推估 3 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-19
表 4.12 推估 4 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-20
表 4.13 推估 5 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-21
表 4.14 推估 6 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-22
表 4.15 推估 7 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-23
表 4.16 推估 8 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-24

表 4.17	推估 9 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-25
表 4.18	推估 10 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ..	4-26
表 4.19	推估 11 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ..	4-27
表 4.20	推估 12 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ..	4-28
表 4.21	推估 1 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-30
表 4.22	推估 2 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-31
表 4.23	推估 3 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-32
表 4.24	推估 4 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-33
表 4.25	推估 5 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-34
表 4.26	推估 6 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-35
表 4.27	推估 7 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-36
表 4.28	推估 8 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-37
表 4.29	推估 9 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	4-38
表 4.30	推估 10 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ..	4-39
表 4.31	推估 11 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ..	4-40
表 4.32	推估 12 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ..	4-41
表 4.33	臺北港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高 .....	4-42
表 4.34	安平港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高 .....	4-42
表 5.1	推估臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	5-2
表 5.2	推估安平港波浪之各重現期波高及其推算標準 .....	5-3
表 5.3	臺北港井島模式最大波浪之各重現期波高及其推算標準偏差	5-4
表 5.4	安平港井島模式最大波浪之各重現期波高及其推算標準偏差	5-5

# 第一章 前言

## 1.1 計畫目的

設計港灣或海岸結構物前，都會先決定設計波浪。設計波浪需由長期實測波浪資料或推算波浪資料來決定，對 50 年使用年限的港灣結構物的設計條件，需要利用相當長的波浪實測資料方能分析，但實際上可能常因現有記錄的時間長度不足，無法達成。此時，需要藉由統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之波浪特性，此分析技巧稱為極值統計。

在國內外設計港灣工程也有相當久之歷史，經驗也相當豐富。在國內往昔計算設計波浪之方法及流程大多參考美國工兵團之港灣手冊 (Coastal engineering manual)(以前版本稱為海岸保護手冊)，並無防波堤安全上之問題，顯見目前的設計方法及流程是安全無虞的，甚至有超過安全設計之可能，故在學理上及操作上尚有幾個問題值得探討。

極值統計分析應用於海洋工程時，一般採用年最大法，假設每一年的極值波高為符合某種分佈的隨機變量，取每年發生的最大波高進行分析。但實際海洋的波浪，常因受到具有季節性變化的氣象、洋流等外在因素的影響，一年中每個月的極值波浪會顯現出具有週期性變化的特性，而並非完全為隨機的過程。故本研究提出一個分析極值波高的季節性變化之簡單可行方法與過程，考慮極值波高之年週期與半年週期的季節性變化影響，改善一整年極值分佈參數的變異。評估極值統計不同的極值分佈函數與參數推定法，決定較佳模式配適結果，並分析比較年最大法與月最大法推估極值波高結果。

## 1.2 文獻回顧

早期極值統計之資料選取，是討論所有觀測資料。但實際海域上波浪存在各種特性之波高，大部分的取樣資料並不是極端值情況，導



致很難由觀測資料推測極值波高的母體參數。於是 Haver(1985)開始針對觀測之極端值作討論，研究發生機率低的極值波高在不同極值函數分佈下的情形。Guedes Soares and Henriques(1996)與 Ferreira and Guedes Soares(2000)討論到海域下許多不同的母體共存，在極值分析將所有觀測資料屬於某一母體特性，有母體分類上的困難。故現今極值分析討論局部觀測資料，依資料選取方式，主要可分為超量門檻選用法與極端值選用法二種。

最早，Petruaskas and Aagaard(1971)討論由暴潮資料推斷觀測樣本，沒有統計上的理論基礎，只有實際觀測波高資料之研究。Guedes Soares(1986)將觀測資料加入某一門檻值作資料選取，提出一種極值統計之研究方法。先設定一門檻值，選取所有超越門檻值的資料為觀測樣本，稱為超量門檻選用法(peak over threshold, POT)。Davison(1984)和 Smith(1984)開始推導門檻值的理論，之後 Davison and Smith(1990)以廣義 Pareto 分佈為模式配適，討論超越門檻值統計特性，其超越門檻值的分佈可分成 Gumbel, Frechet, or Weibull 分佈情況。Ferreira and Guedes Soares(1998)和 Elsinghorst 等(1998)描述超越門檻法應用於波高資料推估重現期波高，Naess and Clausen(2002)將此分析結果應用於波速推算之相關問題。Vidal 等(2006)提出因最大波高符合 Rayleigh 分佈，與防波堤設計公式與暴潮延時有相當大的關係。Mendez 等(2006)提出超量門檻選用法之極值波高，存在非穩定的季節性變化，其波高符合極端值分佈。Mendez 等討論暴潮延時和超越門檻值的選擇，對暴潮模式的建立有很重要的影響。

Galambos(1987), Embrechts 等(1997), Coles(2001)陸續討論另一種極值統計的研究方法，在波高時序列中的每一固定時間範圍內下，取一極值波高，所分析方式即為極端值選用法。當取樣的固定時間為一年時，即為最常應用的年最大法。Carter and Challenor(1981), Muir and El Shaarawi(1986)使用年最大法分析波高資料分佈問題，保持最大值重要特性的機制。Van Vledder 等(1993)指出極端值選用法沒有完整理論基礎，故無廣泛應用在海岸工程上，但其結果具有指標性的極值特性，

仍為值得的研究之方法。Guedes Soares and Scotto(2001)討論極端值選用法與其他研究方法之比較。本研究應用 Mendez 等(2006)提出極值參數季節性變化之概念，但不同於原作者使用的超量選用法，而是應用於極端值選用法中的年最大法與月最大法，探討極值波高季節性之情況。

### 1.3 工作項目與完成進度

本研究期程為四年，98 年度以花蓮港與高雄港為主，透過經驗式波浪推算模式與類神經颱風波浪推算模式來探討樣本之極值統計特性，並探討不同取樣樣本及極值函數的統計特性比較。99 年度亦以花蓮與高雄為主，延續工作團隊往昔經驗並考慮臺灣西海岸受陸地遮蔽效應建立高雄港颱風波浪推算模式，考慮月極值統計特性來分析季節性統計分析方法的適用性，再以年最大法確定花蓮高雄兩港各重現期之設計波浪，並針對年最大取法與超量選用法的差異作比較，另外對於波浪極值統計視窗化操作介面也進行初步建構。100 年以臺北港與安平港為主，分別建立臺北港與安平港的類神經颱風波浪推算模式，對不同取樣樣本(類神經、經驗式、實測資料)與各種極值函數來探討極值統計特性，並分析月極值統計與季節性特性，再確定臺北、安平兩港各回歸期之設計波浪，另外亦持續進行波浪極值統計視窗化操作之建立。101 年度以基隆港與臺中港為主，分別建立基隆港與臺中港的類神經颱風波浪推算模式，對不同取樣樣本(類神經、經驗式、實測資料)與各種極值函數來探討極值統計特性，並分析月極值統計與季節性特性，再推算基隆、臺中兩港各回歸期之設計波浪，另外將整合往昔波浪極值統計技術建立視窗化操作介面。

本研究研究範圍與對象以安平港與臺北港為主，收集歷年颱風波浪資料，除了建構類神經颱風波浪推算模式外並以傳統經驗式波浪模式進行推算，再以合適的極值分布函數及參數推估方法來推估其各回歸期之設計波浪。另外極值分析中的季節性影響，本研究利用每月實

測波浪的極值統計特性來進行探討其差異性。本年度研究計畫之工作項目分為六個部份，工作內容符合預定進度，以下為工作項目。

- 1.以經驗式推算波浪模式推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
- 2.以類神經模式計算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
- 3.探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。
- 4.以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定臺北、安平兩港域之各回歸期之設計波浪。
- 5.以季節性統計分析方法(seasonal wave statistics) 探討臺北、安平兩港域波浪每月極值統計特性
- 6.波浪極值統計視窗化操作之建立。

## 第二章 類神經颱風波浪推算模式

安平港位於臺灣地區西南海岸，港內又分為安平舊港與新港，安平舊港又稱安平漁港，曾為臺灣最大港。安平新港亦稱安平商港，是臺灣西南部國際商港，高雄港之輔助港。其位於臺南市，南距高雄港約 50 公里，北距臺中港約 150 公里。總面積約 477 公頃，其中陸域面積 200 公頃，海域面積 277 公頃，主航道水深負 11.5m，可通行 2 萬噸以下貨輪，現有營運碼頭 16 座，長 2,796m。主要功能為提供近洋航線外籍商輪、化學品船、水泥船及離島航線國輪靠泊使用。港運目前以砂石為大宗，業績穩定成長。2001 年 10 月年裝卸量突破 1,000,000 噸，為二十年來最大量。近年來，安平港貨物裝卸量持續成長，並於 95 年年裝卸量突破 1,114 萬噸，締造安平商港建港二十餘年來之佳績，為進一步提升港埠營運量，除採用優惠費率措施吸引航商及貨主外，並於 87 年 7 月 1 日完成碼頭裝卸作業改制，開放五家民營裝卸承攬業者承攬船舶貨物裝卸工作，港勤業務民營化業於 91 年 12 月 1 日實施，希望藉由低費率、高效率及高品質之服務，爭取航商貨主前來使用安平港，全面帶動安平港及相關產業發展，創造臺南地區的整體繁榮，未來將以發展為近洋之東南亞、東北亞、大陸、香港及國內之環島、離島航運和海上觀光遊憩等多功能港埠為目標。目前安平港是由交通部高雄港務局安平港分局管轄。交通部運輸研究所港研中心於 1999 年開始進行外海現場調查工作，用以建置較長時期之海氣象觀測資料庫，可充分瞭解安平港附近海域之海氣象特性，故有必要一併進行安平港波浪推算模式的建立工作，以提供安平港日後擴建或維護時計算設計波高的參考資料。

臺北港俗稱八里港，是一座在臺灣新北市八里區內的國際商港，目前定位為基隆港之輔助港。其位於淡水河河口西側，臨臺灣海峽，南有觀音山為屏障，東距基隆港 34 哩，南距臺中港 87 哩，西距福州港 134 海里。為北部地區風力、海流、波浪、潮差等海氣象環境較為和緩之海域，且海床平緩、水深適中，為闢建大型港灣之合適地點。

其區陸域面積為 1,038 公頃、水域面積 2,064 公頃；總面積 3,102 公頃，為基隆港之 5 倍大。臺北港水域遼闊，未來發展相當富有彈性，遠期規劃持續進行，期望發展為臺灣北部地區第一大港，而與高雄港並列為我國南北兩大海運轉運中心。目前臺北港是由交通部基隆港務局臺北港分局管轄。本所港灣技術研究中心於 1996 年開始進行外海現場調查工作，用以建置較長時期之海氣象觀測資料庫，可充分瞭解臺北港附近海域之海氣象特性，故有必要進行臺北港波浪推算模式的建立工作，提供臺北港日後擴建或維護時計算設計波高的參考資料。

## 2.1 資料來源與處理

本研究使用的安平港實測波高資料是由本所港灣技術研究中心量測。本所港灣技術研究中心於 1999 年 9 月於安平港防波堤外水深 15m 處，打設安平海上觀測樁，並安裝波浪觀測儀器 Inter Ocean S-4 ADW，可同時觀測潮位、海流、波浪及波向，測站位置為  $22^{\circ}56'37''N$ 、 $120^{\circ}08'10''E$ 。由於 Inter Ocean S-4 ADW 儀器逐漸老舊，遂於 2007 年增購挪威 AWAC 方向性潮波流儀，具備可測得逐時波浪、分層流向流速、水位值之功能，並安裝於相同位置之安平海上觀測樁，如圖 2.1 所示。

臺北港部分亦使用本所港灣技術研究中心於臺北港的實測波高資料。本所港灣技術研究中心於 1996 年受基隆港務局委託辦理「淡水國內商港漂沙調查暨海氣象與海岸地形變遷監測計畫」，於淡水河口南岸水深 15m 處打射海上觀測樁，測站位置為  $25^{\circ}10'14''N$ ， $121^{\circ}22'41''E$ ，並於水下深度 5m 及 10m 兩處裝設潮波流儀 Seapac2160 Directional Wave 和 Tide & Current Meter 觀測波浪、潮位與海流，並於 1999 年 7 月購置 S-4 ADW 投入觀測作業取代原 Seapac2160。由於舊觀測樁傾斜嚴重，2004 年 12 月於  $25^{\circ}10'54''N$ ， $121^{\circ}22'32''E$  更換新觀測樁，並於 2008 年增購另一海氣象即時觀測系統挪威 AWAC 方向性潮波流儀，具備可測得逐時波浪、分層流向流速、水位值之功能。其新舊觀測樁位置如圖 2.2 所示。

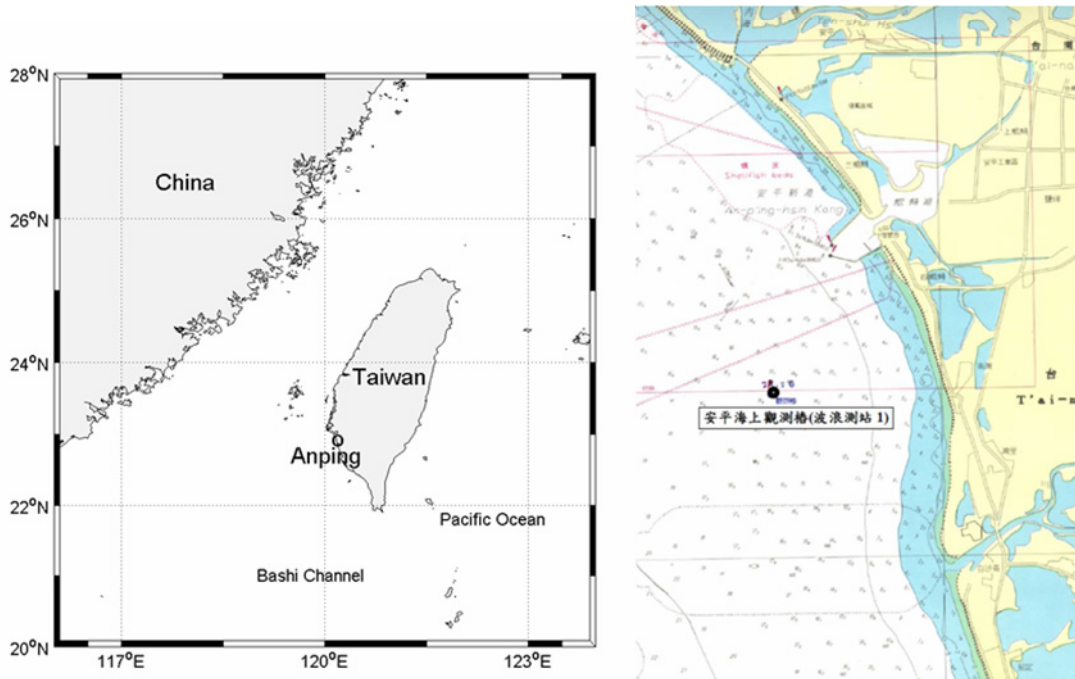


圖 2.1 安平港波浪觀測位置示意圖

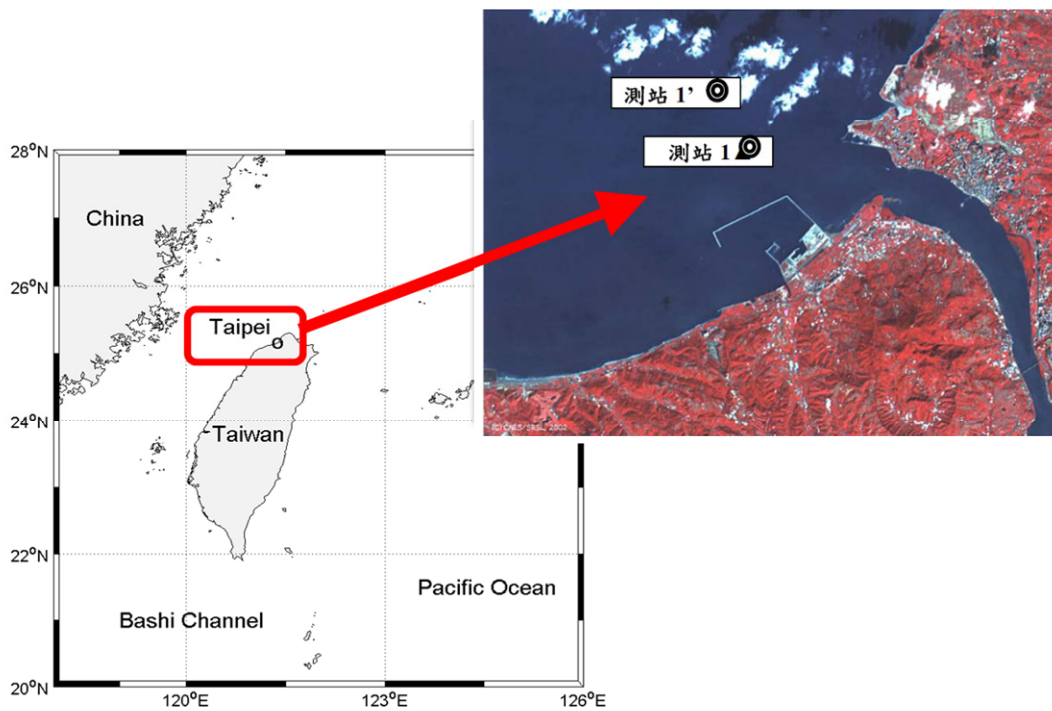


圖 2.2 臺北港波浪觀測樁位置示意圖

根據本所港灣技術研究中心實測之安平港波浪資料，紀錄時間為 1999 年 10 月至 2010 年 12 月。其中 2002 年波浪資料缺漏 12 月，而 2003 年波浪資料缺漏 3 月與 12 月，尚有零星的部分缺漏，但波浪資料

大致上完整，但遇上颱風時常會有 6~10 小時的缺漏。本研究選取  $H_5$  (示性波高) 作為實測波高資料，即以波群中依照大小排序，取前 1/3 大的個別波波高平均值來代表波浪的大小，其在統計特性上，具安定性且較能反映波浪所含之能量大小，是最常使用的代表波。(郭，2001)

颱風資料取自日本國土交通省氣象廳(JMA)的 RSMC-Tokyo Center 颱風氣象資料，颱風的名稱、發生時間與行進路徑皆採用 RSMC-Tokyo Center 發佈的資料為準，時間格式以臺灣的所在時區為準。RSMC-Tokyo Center 所發佈之颱風資料，為每 6 小時一筆，而臺灣技術研究中心之波浪資料為每 1 小時一筆，為配合波浪資料之時間間距，本研究將颱風氣象資料(經緯度、中心氣壓、近中心最大風速)，利用三次多項式內插，將其時間間距內插為 1 小時一筆。再依據中央氣象局(CWB)所公佈之侵臺颱風列表，挑選合適的颱風作為模式的建立與驗證之用。中央氣象局公佈之 2000 年至 2010 年侵臺颱風共有 73 場，考慮每場颱風對應之波浪資料之完整性及相關性，本研究選擇對安平港波浪會造成影響且實測波浪資料完整之颱風共 56 場來進行資料分析，針對這 56 場颱風評估是否適合模式之學習與驗證，如表 2.1 所示。臺北港則選擇會造成影響且實測波浪資料完整之颱風共 63 場來進行資料分析，針對這 63 場颱風評估是否適合模式之學習與驗證，如表 2.2 所示。

表 2.1 選擇安平港波浪實測資料的颱風名稱及其最大示性波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高(m)	路徑分類	年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高(m)	路徑分類
2000	KAI_TAK	啟德	2.16	6	2004	NOCK_TEN	納坦	1.20	6
2000	BIKIS	碧利斯	1.89	3	2004	NANMADOL	南瑪都	2.91	9
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.83	6	2005	HAITANG	海棠	4.76	3
2000	BOPHA	寶發	1.73	--	2005	MATSA	馬莎	2.52	1
2000	YAGI	雅吉	0.63	--	2005	SANVU	珊瑚	4.72	--
2000	XANGSANE	象神	1.74	6	2005	TALIM	泰利	4.05	3
2000	BEBINCA	貝碧佳	1.74	--	2005	KHANUN	卡努	0.75	--
2001	CHEBI	奇比	6.92	7	2005	DAMREY	丹瑞	2.73	--
2001	TRAMI	潭美	2.77	4	2005	LONGWANG	龍王	2.06	3
2001	YUTU	玉兔	1.53	--	2006	EWINIAR	艾維尼	2.15	--
2001	TORAJI	桃芝	2.18	3	2006	BILIS	碧利斯	5.35	2
2001	LEKIMA	利奇馬	2.36	4	2006	KAEMI	凱米	3.47	3
2001	HAIYAN	海燕	1.20	--	2006	SAOMAI	桑美	1.56	--
2002	RAMMASUN	雷馬遜	2.71	--	2006	BOPHA	寶發	1.36	4
2002	NAKRI	娜克莉	3.96	9	2006	SHANSHAN	珊珊	1.35	--
2002	SINLAKU	辛樂克	0.96	1	2007	PABUK	帕布	5.83	4
2003	KUJIRA	柯吉拉	0.91	--	2007	WUTIP	梧提	1.93	3
2003	NANGKA	南卡	1.95	--	2007	SEPAT	聖帕	4.84	3
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	1.74	--	2007	WIPHA	韋帕	1.50	1
2003	IMBUDO	尹布都	3.90	--	2007	KROSA	柯羅莎	3.57	2
2003	MORAKOT	莫拉克	2.75	4	2008	NURI	如麗	5.81	--
2003	KROVANH	柯羅旺	3.18	--	2008	SINLAKU	辛樂克	1.84	2
2003	DUJUAN	杜鵬	3.52	5	2008	HAGUPIT	哈格比	3.28	--
2003	MELOR	米勒	0.76	8	2008	JANGMI	薑蜜	3.02	2
2004	CONSON	康森	1.72	--	2009	LINFA	蓮花	7.20	9
2004	MINDULLE	敏督利	5.01	6	2009	MOLAVE	莫拉菲	3.63	--
2004	KOMPASU	康柏斯	1.96	--	2009	MORAKOT	莫拉克	7.66	3
2004	RANANIM	蘭寧	2.11	--	2009	PARMA	芭馬	2.26	--



表 2.2 選擇臺北港波浪實測資料的颱風名稱及其最大示性波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高(m)	路徑分類	年份	颱風名稱	颱風名稱	最大示性波高(m)	路徑分類
2000	BILIS	碧利斯	1.74	3	2005	MATSA	馬莎	5.03	1
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.67	6	2005	SANVU	珊瑚	2.69	--
2000	BOPHA	寶發	4.27	--	2005	TALIM	泰利	4.08	3
2001	CIMARON	西馬隆	2.43	8	2005	KHANUN	卡努	3.19	--
2001	CHEBI	奇比	1.34	7	2005	DAMREY	丹瑞	1.65	--
2001	UTOR	尤特	1.33	5	2005	LONGWANG	龍王	2.95	3
2001	TRAMI	潭美	0.53	4	2006	EWINIAR	艾維尼	1.81	--
2001	YUTU	玉兔	0.68	--	2006	BILIS	碧利斯	2.91	2
2001	TORAJI	桃芝	0.78	3	2006	KAEMI	凱米	1.08	3
2001	NARI	納莉	4.55	--	2006	SAOMAI	桑美	1.88	--
2001	LEKIMA	利奇馬	3.32	4	2006	BOPHA	寶發	1.88	4
2001	HAIYAN	海燕	6.54	--	2006	SHANSHAN	珊珊	3.83	--
2002	RAMMASUN	雷馬遜	2.21	--	2007	PABUK	帕布	1.23	4
2002	NAKRI	娜克莉	1.10	9	2007	WUTIP	梧提	0.93	3
2002	SINLAKU	辛樂克	3.45	1	2007	SEPAT	聖帕	1.23	3
2003	KUJIRA	柯吉拉	1.95	--	2007	WIPHA	韋帕	4.13	1
2003	NANGKA	南卡	1.40	--	2008	KALMAEGI	卡玫基	2.20	2
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	1.72	--	2008	FUNG_WONG	鳳凰	2.58	3
2003	IMBUDO	尹布都	1.30	--	2008	NURI	如麗	1.70	--
2003	MORAKOT	莫拉克	0.46	4	2008	SINLAKU	辛樂克	3.83	2
2003	VAMCO	梵高	0.55	--	2008	HAGUPIT	哈格比	0.84	--
2003	KROVANH	柯羅旺	1.15	--	2008	JANGMI	薔蜜	4.07	2
2003	DUJUAN	杜鵑	1.21	5	2009	LINFA	蓮花	2.66	9
2003	MELOR	米勒	2.63	8	2009	MOLAVE	莫拉菲	0.81	--
2004	CONSON	康森	1.56	--	2009	MORAKOT	莫拉克	4.19	3
2004	MINDULLE	敏督利	2.61	6	2009	PARMA	芭馬	3.22	--
2004	KOMPASU	康柏斯	0.95	--	2010	LIONROCK	萊羅克	2.14	9
2004	RANANIM	蘭寧	3.29	--	2010	NAMTHEUN	南修	2.14	--
2004	AERE	艾利	6.11	1	2010	MERANTI	莫蘭蒂	1.60	--
2004	HAIMA	海馬	3.51	6	2010	FANAPI	凡那比	2.94	4
2004	NANMADOL	南瑪都	3.10	9	2010	MEGI	梅姬	3.47	9
2005	HAITANG	海棠	4.01	3					

表 2.1 中顯示在 2000 至 2010 年中有 56 場擁有完整的波浪資料，而其中 2010 年因為中央氣象局有發佈之侵臺颱風對應之實測波浪資料，皆有連續缺漏 6 小時左右的情況發生，故在選用列表中無法將其列入。在安平港 56 場颱風中，有 36 場颱風最大示性波高未達 3m；小於 2m 的有 21 場；小於 1m 的有 5 場。對於安平港而言，其港區位置位於臺灣西南側的海岸，會受到每年七、八、九月之夏季西南季風影響，最大示性波高值 3m 以上的颱風，不一定是由颱風所造成的波浪，可能為季節風所造成。在選用模式適合之颱風時，我們也需同時考慮到颱風行徑的路徑，如果颱風是由臺灣東部往西部行徑，颱風結構容易受到中央山脈阻擋而造成結構鬆散，這種類型的颱風受到高山的屏障效應，對於安平港的影響就會變小，而颱風的最大示性波高就會偏低。

颱風選用列表中(表 2.1)，最大示性波高未達 3m 的颱風佔了整體颱風 63%，顯示出有 63%的颱風，對於安平港的影響是小的甚至是沒有影響，其原因為大部分颱風皆為由東向西行進的第二、三、四路徑，約占整體颱風的 53%，而直撲安平港的第九路徑佔了整體颱風的不到 10%。從歷年的臺灣地區颱風路徑分類統計圖(圖 2.3)也可發現，第九路徑僅占了 8.2%，而由東向西的第二、三、四路徑占了 35%，由此可見對於模式的建立，地形以及高山的屏障影響，是一個需要考慮的因素。

最大示性波高大於 3m 的部分，對於安平港有較大影響之第五、七、九路徑的颱風有奇比(CHEBI·2001)、納克莉(NAKRI·2002)、杜鵑(DUJUAN·2003)、南瑪都(NANMADOL·2004)、蓮花(LINFA·2009)，我們將這 5 場颱風列為適合模式推算的颱風。

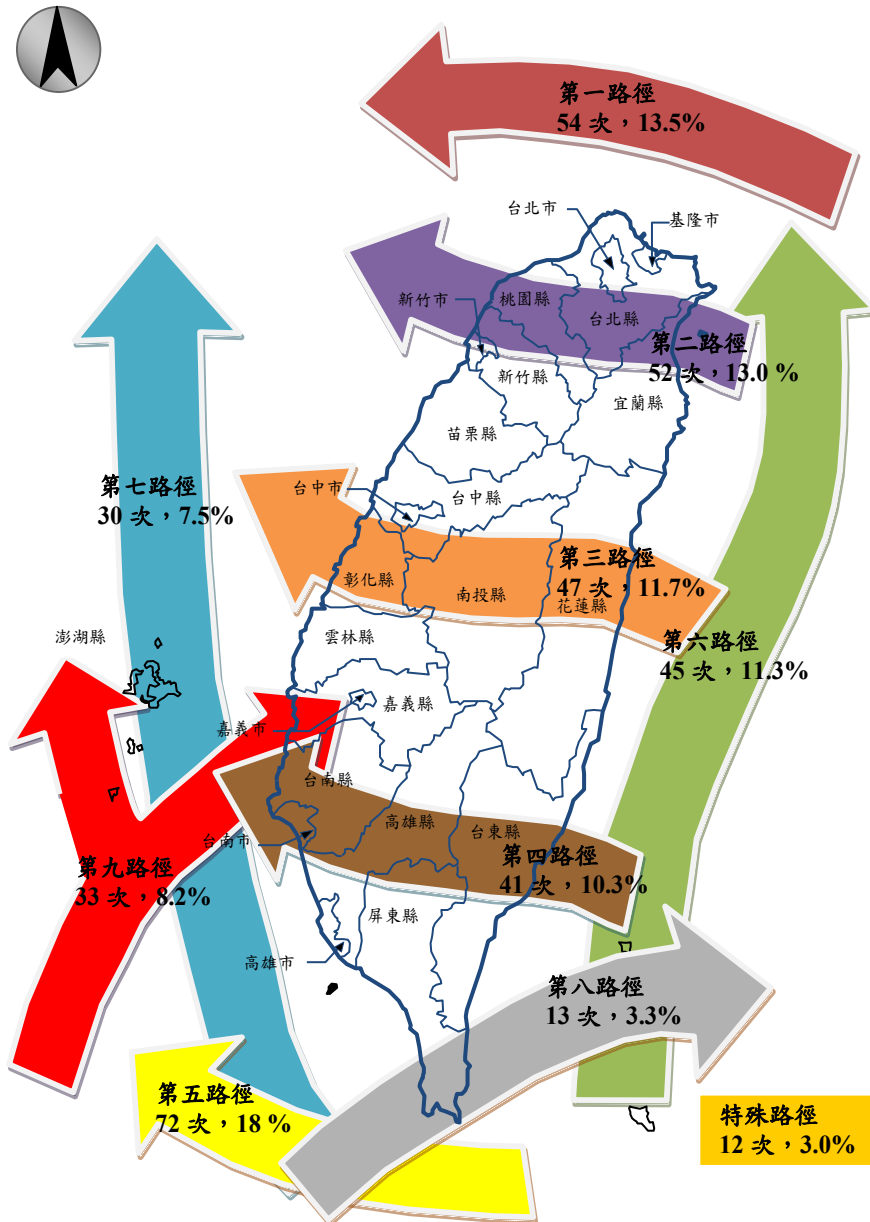


圖 2.3 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局)

同時考量前述各種季節風、地形、高山屏障影響之原因以及去除影響較小(波高小於 1)及雙颱風交互影響的颱風後，再依照各路徑均勻選取颱風，盡量讓每個路徑之颱風皆有被選取，最後選取了 29 場颱風進行模式的建立，如表 2.3 所示。

表 2.3 選取用來建立安平港模式的颱風名稱及其最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.83	6
2000	XANGSANE	象神	1.74	6
2001	CHEBI	奇比	6.92	7
2001	LEKIMA	利奇馬	2.36	4
2002	NAKRI	娜克莉	3.96	9
2003	IMBUDO	尹布都	3.90	--
2003	MORAKOT	莫拉克	2.75	4
2003	KROVANH	柯羅旺	3.18	--
2003	DUJUAN	杜鵑	3.52	5
2004	MINDULLE	敏督利	5.01	6
2004	KOMPASU	康柏斯	1.96	--
2004	RANANIM	蘭寧	2.11	--
2004	NOCK_TEN	納坦	1.20	6
2004	NANMADOL	南瑪都	2.91	9
2005	HAITANG	海棠	4.76	3
2005	MATSA	馬莎	2.52	1
2005	SANVU	珊瑚	4.72	--
2005	TALIM	泰利	4.05	3
2005	DAMREY	丹瑞	2.73	--
2005	LONGWANG	龍王	2.06	3
2007	WIPHA	韋帕	1.50	1
2007	KROSA	柯羅莎	3.57	2
2008	NURI	如麗	5.81	--
2008	SINLAKU	辛樂克	1.84	2
2008	HAGUPIT	哈格比	3.28	--
2008	JANGMI	薔蜜	3.02	2
2009	LINFA	蓮花	7.20	9
2009	MOLAVE	莫拉菲	3.63	--
2009	MORAKOT	莫拉克	7.66	3

在選擇 63 場颱風中，有 43 場颱風最大波高未達 3m；小於 2m 的有 29 場；小於 1m 的有 9 場。臺北港港區位置位於臺灣北側的海岸，其容易直接受到由太平洋側由右而左襲來的颱風影響，這種類型的颱風受地形影響因素較小。若颱風是由臺灣南部往北部行徑，颱風結構容易受到中央山脈阻擋而造成結構鬆散，這種類型的颱風受到高山的

屏障效應，行徑過臺北港時颱風便會處於一個較弱的狀態，颱風對於臺北港會較無影響力。

表 2.4 選取用來建立臺北港模式的颱風名稱及其最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.67	6
2000	BILIS	碧利斯	1.74	3
2001	NARI	納莉	4.55	--
2001	LEKIMA	利奇馬	3.32	4
2001	HAIYAN	海燕	6.54	--
2002	RAMMASUN	雷馬遜	2.21	--
2002	SINLAKU	辛樂克	3.45	1
2003	KUJIRA	柯吉拉	1.95	--
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	1.72	--
2003	DUJUAN	杜鵑	1.21	5
2003	MELOR	米勒	2.63	8
2004	MINDULLE	敏督利	2.61	6
2004	RANANIM	蘭寧	3.29	--
2004	AERE	艾利	6.11	1
2004	HAIMA	海馬	3.51	6
2004	NANMADOL	南瑪都	3.10	9
2005	HAITANG	海棠	4.01	3
2005	MATSA	馬莎	5.03	1
2005	TALIM	泰利	4.08	3
2005	KHANUN	卡努	3.19	--
2005	LONGWANG	龍王	2.95	3
2006	BILIS	碧利斯	2.91	2
2006	SAOMAI	桑美	1.88	--
2006	SHANSHAN	珊珊	3.83	--
2007	WIPHA	韋帕	4.13	1
2008	KALMAEGI	卡玫基	2.20	2
2008	FUNG_WONG	鳳凰	2.58	3
2008	SINLAKU	辛樂克	3.83	2
2009	MORAKOT	莫拉克	4.19	3
2010	FANAPI	凡那比	2.94	4
2010	MEGI	梅姬	3.47	9

同時考量各種地形、高山屏障影響之原因以及去除影響較小(波高小於 1)及雙颱風交互影響的颱風後，再依照各路徑均勻選取颱風，盡量讓每個路徑之颱風皆有被選取，最後選取了 31 場颱風進行模式的建立，如表 2.4 所示。

## 2.2 類神經颱風波浪模式

### 2.2.1 類神經網路架構

類神經網路具備著一些優良的特性其中包括(1)高速的計算能力(2)自我學習能力(3)高容量的記憶力(4)容錯的能力。

人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (2.1)$$

其中， $Y_i$  為人工神經元模型的輸出訊號； $f$  為人工神經元模型的轉換函數(transfer function)，將人工神經元的輸出，經由轉換函數處理後，得到輸出訊號； $W_{ij}$  為人工神經元模型連結加權值； $X_j$  為人工神經元模型的輸入訊號； $\theta_i$  為人工神經元模型的閾值。

本研究使用 MATLAB 類神經網路軟體，選擇其中的工具程式庫之倒傳遞網路作為颱風推算的工具。倒傳遞類神經網路(back-propagation neural network, BPNN)，屬於前向監督式學習網路，其基本原理是利用最陡坡降法(gradient steepest descent method)，疊代修正誤差函數而使誤差函數達到最小。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值；使得網路演算結果與目標輸出值相同；另一種為回想過程，網路依照設定的回想法則，以輸入資料來決定網路的輸出值。

倒傳遞類神經網路學習演算法中，加權值矩陣為  $W_1$  及  $W_2$ ，偏權值量為  $\theta_1$  及  $\theta_2$ ，輸入量為  $X$ ，目標輸出量為  $T$ ，轉換函數則採用雙曲函數(hyperbolic tangent function)，而網路輸出量為  $Y$ ，網路的學習過程大致可分為下列幾個單元：

(1)計算隱藏層輸出量  $Z$  與網路輸出量  $Y$

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (2.2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (2.3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (2.4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (2.5)$$

(2)計算隱藏層差距量  $\delta_1$  與輸出層差距量  $\delta_2$

$$\delta_1 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \delta_j) \quad (2.6)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (2.7)$$

(3)計算加權值矩陣的修正量  $\Delta W$

由於監督式學習目的在降低網路的目標輸出值  $T_j$  與網路輸出值  $Y_j$  之間的差距，為了達到這個目的，以誤差函數  $E$  做為修正的加權值指標，並藉由轉換函數降低誤差函數值，誤差函數  $E$  設為：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (2.8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (2.9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (2.10)$$

其中  $\eta$  為學習速率(learning rate)，主要控制每次誤差函數最小化的速率快慢， $\delta_j^n$  為  $W_{ij}$  所連結第  $n$  層之處理單元差距量， $A_i^{n-1}$  為  $W_{ij}$  所連結第  $n-1$  層之處理單元值。

(4)隱藏層與輸出層加權值矩陣  $W_1$ 、 $W_2$  及偏權值向量  $\theta_1$ 、 $\theta_2$  的更新：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (2.11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (2.12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (2.13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (2.14)$$

當倒傳遞類神經網路經過輸入值與目標輸出值一次的學習，便算是經過一個學習的循環，而學習循環的次數將取決於誤差函數收斂與否以及是否達到容許的誤差量。一般而言，倒傳遞類神經網路較其他的類神經網路需要較多的學習循環次數。由測試用的資料數據，利用學習完成的網路參數進行網路回想的過程，由網路回想過程得到的網路輸出值與目標輸出值比較，以評估網路學習的精度。

類神經網路模式採用倒傳遞類神經網路架構(Backpropagation Neural Network, BPNN)，關於倒傳遞神經網路的理論與演算詳見 Eberhar and Dobbins (1990)的說明與推導。倒傳遞類神經網路對於線性及非線性函數有良好的模擬能力，而類神經網路在適當的結構組織下能夠模擬有限範圍的隨機函數，也就是類神經結構擁有極佳的記憶能力，模擬能力的好壞受限制於學習資料的完整性及類神經網路結構。

倒傳遞類神經網路藉由學習資料與模擬結果的誤差修正各個加權值，同時藉由學習的過程建構正確的輸入參數與輸出值間的關係。對於具有一個隱藏層的倒傳遞類神經網路通常表示為：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (2.15)$$

其中  $O_{P \times 1}$  為神經網路具有  $P$  個向量的輸出矩陣， $f$  為轉移函數， $I_{R \times 1}$  為具有  $R$  個向量的輸入矩陣， $W_{S \times R}$  為具有  $S$  個神經元的神經網路權重矩陣，



$b_{s \times 1}$  為網路偏權值矩陣。式(15)簡單的表示方法為 ”S-P”，所以一個具有 2 個隱藏層神經元的個數分別為 10 及 20，且一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

在使用倒傳遞網路的首先必須決定隱藏層的層數，以確定網路的大小，方能建構一個好的模式。在許多理論研究的結果與工程領域的模擬應用上都顯示，大多數問題可藉由單層隱藏層的架構來處理，2 層以上的架構是用來處理更複雜的問題以及非線性的關係，隱藏層層數的決定在不同的研究或問題中有不同的結論(Chester, 1990; Hayashi 等, 1990; Kurkova, 1992; Hush 和 Horne, 1993)。

類神經網路架構的建置包括輸入層、隱藏層及輸出層，輸入層與輸出層都可以由現有的資訊以及問題本身決定，系統的控制因子或影響因子決定輸入層的神經元個數，系統的預測變數決定輸出層的神經元個數。輸入項資料建議先經過前處理，將資料正規化至一定的範圍間，如此可在網路訓練前考慮輸入參數與輸出值的極端狀況，來確定網路輸入與輸出的值域，且經過處理後的訓練資料，可以讓訓練時權重調整的速率相近。當決定隱藏層的層數後，各隱藏層神經元個數的多寡對網路有相當大的影響，過少的神經元個數無法建構適當的網路來描述問題，過多的神經元個數則造成網路自由度過高，進而難以控制網路訓練的目標造成過度學習的狀況，甚至隱含了雜訊的描述，而失去歸納推演的能力。選取的隱藏層神經元個數一般須經由測試來避免網路結構太過複雜或太過簡單，以往研究結果建議可採用 Huang 和 Foo (2002)提出的經驗公式

$$h = 2z + 1 \quad (2.16)$$

其中， $z$  為輸入層的神經元個數， $h$  為隱藏層神經元個數。

## 2.2.2 資料分類

本所港灣技術研究中心往昔在『臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究』研究中已完成花蓮港類神經颱風波浪推算模式以及其使用者

介面的開發。而在本研究前兩年度採用更完整的資料與分類方式對花蓮港與高雄港颱風推算模式進行改善與建立，本年度針對各颱風風速及路徑變化採用群集分析法(cluster analysis)對颱風資料進行分類，獲得各特性不同的分類群後再將各分類群分為學習資料與驗證資料，即可獲得相同特性的學習資料與驗證資料。此方式可以確保學習資料包含各種不同的特性，以避免類神經在學習階段為了保留驗證資料而未學到該有的特性。

### 2.2.3 模式輸入與輸入層轉換函數

RSMC-Tokyo Center 的颱風氣象資料包括颱風經緯度、中心最大風速及中心氣壓，為了使類神經模式輸入的資訊更為精細與明確，本研究利用這三項颱風資料計算出 5 個類神經的輸入參數，分別為：1. 颱風與目標點距離( $D$ )、2. 颱風中心對目標點的方位角( $\theta_1$ )、3. 颱風侵襲角( $\theta_3$ )、4. 目標點海面 10m 風速( $V$ )、5. 目標點上空風向( $V_{deg}$ )。由經緯度資料可計算：颱風與目標點距離( $D$ )、颱風中心對目標點的方位角( $\theta_1$ )、颱風移動方位角( $\theta_2$ )，距離與方位角只需透過颱風中心座標與目標點座標即可計算。 $\theta_1$ 與 $\theta_2$ 如圖 2.4 所示。

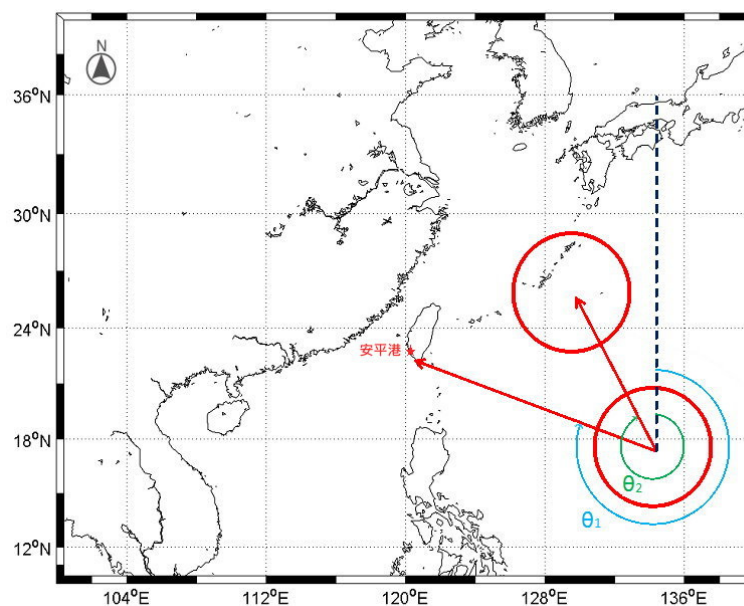


圖 2.4 颱風中心對目標點方位角  $\theta_1$  與颱風移動方位角  $\theta_2$  示意圖

因北半球的颱風為逆時鐘旋轉，以颱風前進方向為中心來看，其右半圓較左半圓的風力大，故目標點所面臨的是颱風的左半圓或右半圓對於模式推算來說是一個需要考量的因素。本研究透過颱風移動方位角減去颱風中心對目標點方位角( $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ )來定義目標點所面臨的颱風結構(左右半圓)， $\theta_3$  定義為颱風侵襲角。以圖 2.4 狀況為例，颱風中心是由圖中右下往左上方移動，目標點安平港目前所面臨的是颱風的左半圓。由以上關係可知，若  $\theta_3$  在  $0^\circ$  至  $180^\circ$  則目標推算點所面臨的是颱風的左半圓，反之，若  $\theta_3$  在  $0^\circ$  至  $-180^\circ$  則目標推算點所面臨的是颱風的右半圓。圖 2.4 中  $\theta_1$  小於  $\theta_2$ ，故  $\theta_3$  為正值，顯示目標點安平港面臨的是颱風的左半圓。

由經緯度資料再搭配中心最大風速與中心氣壓資料經由 RVM 模型颱風模式 (Rankin-Vortex Model) 可計算：目標點海面 10m 風速( $V$ )、目標點上空風向( $V_{deg}$ )。RVM 係模擬颱風風場架構，在資料齊全的條件下，風場可由氣壓分佈推算而得。然而，在絕大多數情形下，氣壓分佈資料取得不易，由氣壓分佈資料去產生風場較為困難。一般而言，當颱風成形後，因其內部氣壓低導致環繞周圍的空氣由外邊高壓處向低壓的氣旋中心流動，因海面上颱風中心附近之氣壓分佈具有對稱性，故熱帶氣旋所造成之風場可利用風場模式推算之。其理論公式如下：

$$V_r = \begin{cases} V_{\max} (R/R_m)^7 \exp(7(1-R/R_m)) & \text{for } R < R_m \\ V_{\max} \exp((0.0025R_m + 0.05)(1-R/R_m)) & \text{for } R \geq R_m \end{cases} \quad (2.17)$$

其中， $V_r$  為距颱風中心  $R$  公里處之旋轉風速， $R_m$  為最大暴風半徑， $V_{\max}$  為近中心最大風速。有關最大暴風半徑  $R_m$  之計算，本研究採 Graham 和 Nunn (1959) 之公式：

$$R_m = 28.52 \tanh(0.0873(\phi - 28)) + 12.22 / \exp((P_\infty - P_c) / 33.86) + 0.2V_f + 37.22 \quad (2.18)$$

其中， $\phi$  為緯度， $P_c$  為中心氣壓，而  $P_\infty$  為距颱風中心無限遠處之氣壓，可設定為 1 大氣壓(1013.3mb)。旋轉風速係指純粹由氣壓差所產生之風

速，當颱風中心靜止不動時，旋轉風速即為颱風中心附近之風速，當颱風在移動時，則應加上修正風速

$$V_t = 0.5 V_f \cos \varphi \quad (2.19)$$

其中， $V_f$  為颱風中心前進速度，而  $\varphi$  為至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角。其相互關係如圖 2.5 所示。颱風中心前進方向與最大風速連線之間夾角約 115 度，而風速總和  $V$  則為  $V_r + V_t$ 。

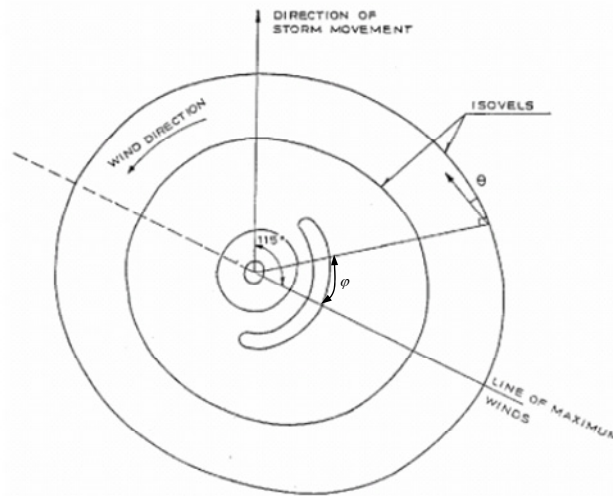


圖 2.5 氣旋中心附近風速風向分布示意圖

颱風中心附近之風向，係沿著等壓線依至氣旋中心之距離向氣旋中心偏移 10~25 度。偏移角度之計算公式如下：

$$\theta = \begin{cases} 10^\circ & \text{for } 0 < R \leq R_m \\ 10^\circ + 15^\circ(R - R_m)/(0.2R_m) & \text{for } R_m < R \leq 1.2R_m \\ 25^\circ & \text{for } 1.2R_m < R \end{cases} \quad (2.20)$$

由以上之說明可知，利用 RVM 模型颱風模式計算的風場，颱風中心前進速度  $V_f$  與方向  $\varphi$ 、中心氣壓  $P_c$  及近中心最大風速  $V_{max}$ ，可由颱風記錄直接輸入，而後即可算出目標點海面 10m 風速  $V$  以及目標點上空風向  $V_{deg}$ 。本研究在輸入參數的選擇上，挑選了具有能夠代表颱風遠近特性、位置特性、左右不對稱性，共三個輸入參數  $D$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_3$ ，以及

能夠代表目標點特性的風速與風向，共兩個輸入參數  $V$ 、 $V_{deg}$ 。以下針對上節所計算之五個參數做進一步的探討。

### 1. 目標點 10m 風速 $V$

颱風接近目標點時，驅動波浪最主要的動力為風，風的起因是由於颱風中心低氣壓與外部壓力的差異造成壓力梯度的變化，此壓力梯度使得空氣劇烈的流動形成風。利用 RVM 模型颱風模式計算風速時，只需要輸入目標點座標以及颱風逐時座標與逐時中心氣壓，但其並未考慮陸地上受到地形或是山脈的遮蔽影響，若要以傳統的統計方法、歸納或是理論方法計算地形影響亦不容易，所以本研究將目標點風速  $V$  配合其他輸入參數一起輸入類神經網路進行學習，以期望能解決複雜的地形影響。

### 2. 颱風與目標點距離 $D$

颱風與目標點的距離越近，對目標點當地波浪的影響就越大，意即距離  $D$  越小，波高值會越大。以本研究所收集的颱風資料相對應之安平港波浪資料來繪製距離-波高分布圖，如圖 2.6 所示。圖中顯示雖然颱風距離與目標點波高大致上呈現反比，但在距離小時仍會有許多波高小的狀況發生(圖中左下角密集區)，這顯示颱風因為其他因素例如颱風減弱、陸地遮蔽或陸域地形造成風場的衰減，使得目標點波高降低，距離與波高值並非單純的呈現反比關係。另外也可發現在颱風距離目標點 1800km 以上，出現波高 3m 的數量明顯的變少，故本研究將排除 1800km 以上的資料點，並將剩餘資料點距離除以 1800km 來作正規化再以 1 減之，將原本反比之關係修改為正比關係再輸入類神經。

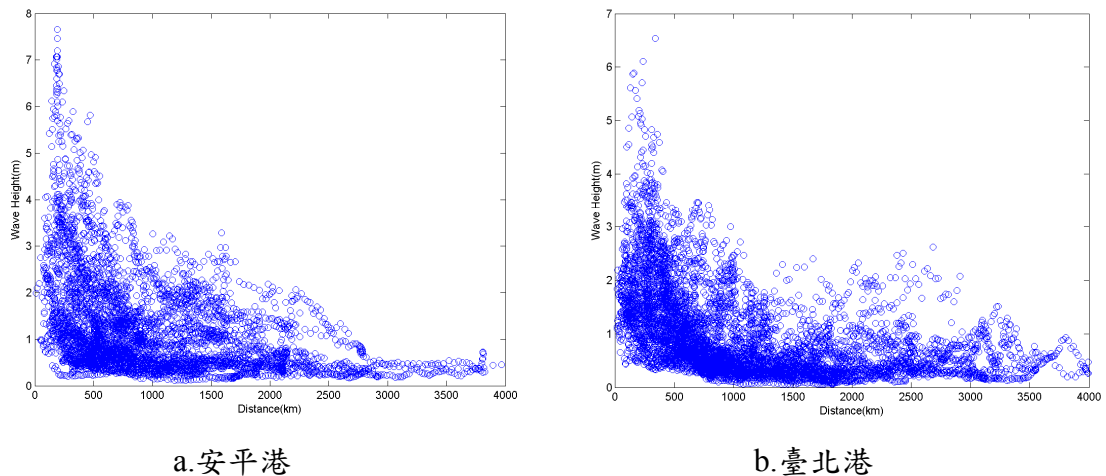


圖 2.6 颱風距離與目標點波高分布

### 3. 目標點的方位角 $\theta_1$ :

由目標點的方位角可以計算目標點是在颱風中心的哪一個方位，本研究設定正北為  $0^\circ$ ，若  $\theta_1$  為  $90^\circ$  表示颱風是在目標點的左側，反之若  $\theta_1$  為  $270^\circ$  則表示颱風位於目標點的東側太平洋的位置，這兩種不同的位置，會因為地形遮蔽與阻隔產生不同的影響。在目標點安平港左側的颱風不會受到中央山脈的遮蔽影響，此位置的颱風對目標點安平港有直接的影響；而在目標點安平港右側的颱風則會受到中央山脈的遮蔽影響，使其影響力降低。

### 4. 颱風侵襲角 $\theta_3$ :

如前所述，侵襲角公式為  $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ 。颱風風速結構圖如圖 2.7 所示，圖 2.7 中顯示颱風暴風範圍內的風速並非均勻分布的，如以象限劃分，在北半球行進中的颱風其右前方象限的風最大，因該象限颱風環流風向與導引氣流風向相同。如向西行進之颱風此象限吹東北風與夏季西太平洋的東北信風合併而增強了風速，至於右後方及左前方象限則是偏南的風與偏西的風，因與東北信風有抵消作用，風勢較小，在左後方象限的風最小，因該象限吹西南風恰與西太平洋的東北信風相反，故大量抵消，所以一般而言，颱風前半部風力大於後半部。由於 RVM 模型颱風模式並未考量到這種颱風的不對稱性，故需輸入此參



數用以判斷目標點是位於颱風的左半圓還是右半圓(以前進方向為中心)。本研究同時考慮  $\theta_3$  與  $\theta_1$  兩種方位角的影響，意即同時考慮到颱風的不對稱性與地形的遮蔽效應，而同時  $\theta_3$  隱含了  $\theta_2$ (颱風移動方位角)的資訊，意即輸入  $\theta_3$  也輸入了  $\theta_2$ ，也等於將颱風的行進路徑一起納入考量。

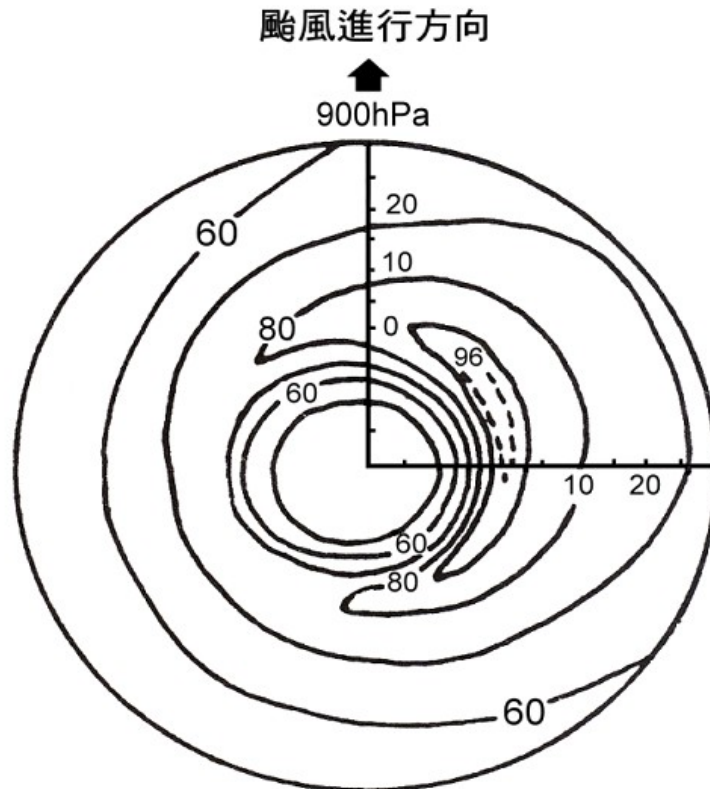


圖 2.7 颱風在等壓面上內平均風速分布示意圖(引自中央氣象局)

### 5. 目標點 10m 風向 $V_{deg}$ :

$V_{deg}$  是由 RVM 模型風場模式中計算而得，此處的風向定義為風的去向，而一般定義風向為來向。由於目標點安平港位於臺灣西南方，當風向為從海上往陸上吹時，其所造成的波浪應較大，而從陸上往海上吹時，造成的波浪則較小，本研究期望藉由  $V_{deg}$  讓類神經網路判別風向所造成波浪大小的影響。

## 2.2.4 歸屬函數修正輸入參數

本研究在輸入參數的選擇上，挑選了具有能夠代表颱風遠近特性、位置特性、左右不對稱性，共三個輸入參數  $D$ 、 $\theta_1$ 、 $\theta_3$ ，以及能夠代表目標點特性的風速與風向，共兩個輸入參數  $V$ 、 $V_{deg}$ 。但在正式開始訓練前可先透過相關性分析來了解各輸入因子與輸出層波高值間的關係，其結果如表 2.5 所示。

表 2.5 輸入因子與波浪間的相關性分析

安平港	
輸入因子	相關性 $R$
目標點風速 $V$	0.46
距離 $D$	0.33
目標點方位角 $\theta_1$	-0.49
颱風侵襲角 $\theta_3$	0.06
目標點風向 $V_{deg}$	-0.38
臺北港	
輸入因子	相關性 $R$
目標點風速 $V$	0.50
距離 $D$	0.55
目標點方位角 $\theta_1$	-0.07
颱風侵襲角 $\theta_3$	0.06
目標點風向 $V_{deg}$	0.13

輸入因子與波浪間的相關性分析顯示目前輸入參數只有目標點風速  $V$ 、距離  $D$  與波高的相關性是正相關，而其餘三個參數與波高的相關性都偏低或是呈現負相關的現象。

$\theta_1$ 、 $\theta_3$ 、 $V_{deg}$  這三個輸入參數為「角度」，但是角度的大小值卻不一定能有效地反映出該輸入參數與波高的關聯性。以  $\theta_1$  為例，當  $\theta_1=90^\circ$  時代表颱風是在目標點的左側，對應到的輸出波高會較大，以直觀想法僅為將  $90^\circ$  輸入類神經，告訴類神經當角度等於  $90^\circ$  時波高就會大，但在類神經內部  $90^\circ$  是被當作一個值，先被正規化處理，再與權重相乘



後，被送進隱藏層神經元並與其他參數相加，此種運算方式無法有效地告知類神經角度與波高的關聯性。

本研究欲以一個歸屬函數來描述角度與波高的關係，透過歸屬函數的轉換後再輸入類神經，用意為將「角度資訊」轉換為「影響度資訊」，其值介於 0 至 1，當影響度越高對應到的波高就越大。以  $\theta_1$  為例，當  $\theta_1=90^\circ$  時，透過歸屬函數的轉換得到影響度會接近 1，代表其影響程度大。而在類神經內部計算時，影響度的大小便可以控制隱藏層神經元內的整體函數值的大小，讓類神經對於輸入參數的學習更加直接。影響度的大小，代表轉換前的參數角度對波高的影響力，轉換前對應到的波高大，轉換後得到的影響度就會大；轉換前對應到的波高小，則轉換後得到的影響度就會小。此種關係顯示，經由轉換後的影響度與波高會是一個正線性相關。欲找到一個高斯函數作為合適的歸屬函數，以提高輸入參數與波高的相關性，本研究將三個角度參數做了以下分析：

### 1. 目標點方位角 $\theta_1$

本研究將距離 1800km 以外的目標點方位角  $\theta_1$  資料刪除後，將剩下距離 0 至 1800km 分為 36 組，針對每一組進行尺度參數為 30 而中心位置為  $0^\circ$  至  $360^\circ$  的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.8。

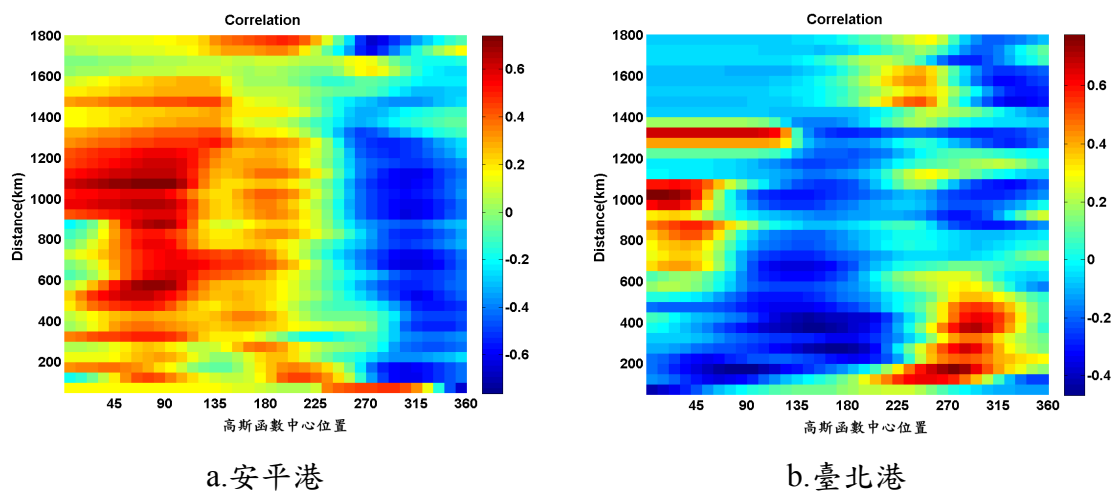


圖 2.8 各距離範圍的  $\theta_1$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖 2.8a 中可發現經高斯轉換後中心位置約以  $225^\circ$  為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯歸屬函數中心位置在  $225^\circ$  以下其轉換結果與波高的相關性高，反之當高斯歸屬函數中心位置在  $225^\circ$  以上則其結果與波高的相關性低。從不同距離上可發現當高斯歸屬函數中心位置在  $90^\circ$  時，各距離組之轉換結果與波高的相關性皆是高的。圖 2.8b 中可發現經高斯轉換後中心位置約以  $135^\circ$  與  $225^\circ$  為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯歸屬函數中心位置小於  $135^\circ$  以及大於  $225^\circ$  時其轉換結果與波高的相關性高，反之當高斯歸屬函數中心位置在介於  $135^\circ$  與  $225^\circ$  時則其結果與波高的相關性低。

配合上述的特性，再以多變量的 Derivative-based 最佳化搜尋法找到兩個高斯函數峰點中心位置分別為  $55^\circ$  與  $180^\circ$ ，如圖 2.9a 所示。結果顯示當  $\theta_1=55^\circ$  時會得到最大影響度 1，意即當颱風在目標點安平港的西南側( $55^\circ$ )時，會對目標點造成最大的影響，而在北側( $180^\circ$ )時亦會有一個較小的影響產生，安平港歸屬函數如圖 2.9a 所示。如圖 2.9b 所示。結果顯示當  $\theta_1=35^\circ$  時會得到最大影響度 1，意即當颱風位於目標點臺北港的東北側( $35^\circ$ )時，會對目標點造成最大的影響，而在西側( $260^\circ$ )時亦會有一個較大的影響產生，其歸屬函數如圖 2.9b 所示。

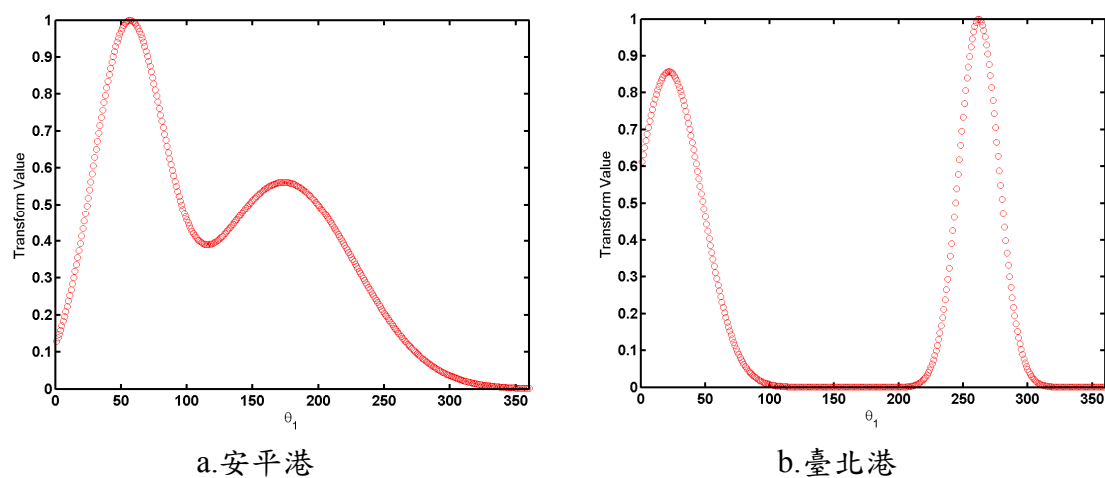


圖 2.9 利用 Derivative-based 最佳化搜尋法求得的  $\theta_1$  高斯歸屬函數

## 2. 颱風侵襲角 $\theta_3$

將距離 1800km 以外的颱風侵襲角  $\theta_3$  資料刪除後，將剩下距離 0 至 1800km 分為 36 組，針對每一組進行尺度參數為 30 而中心位置為  $-180^\circ$  至  $180^\circ$  的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.10。

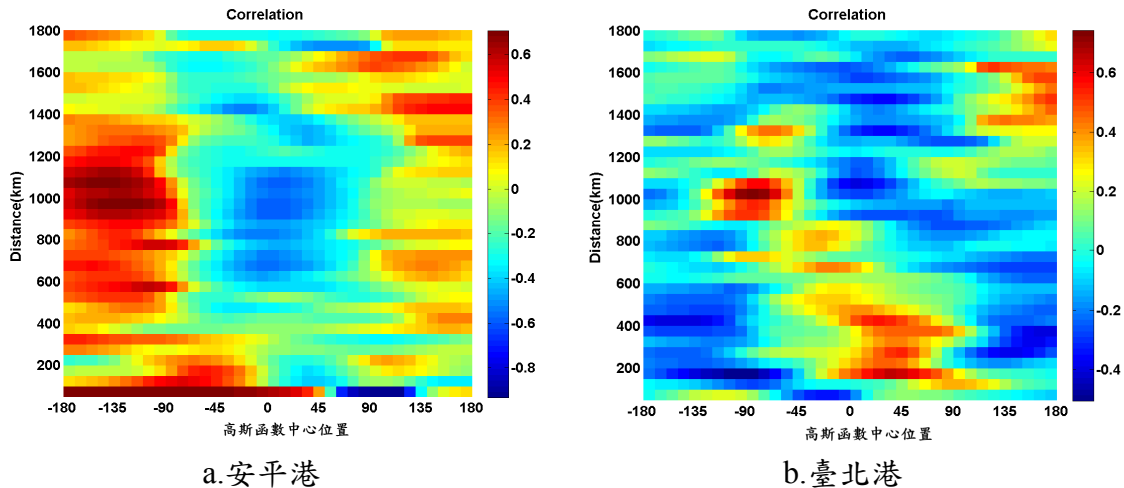
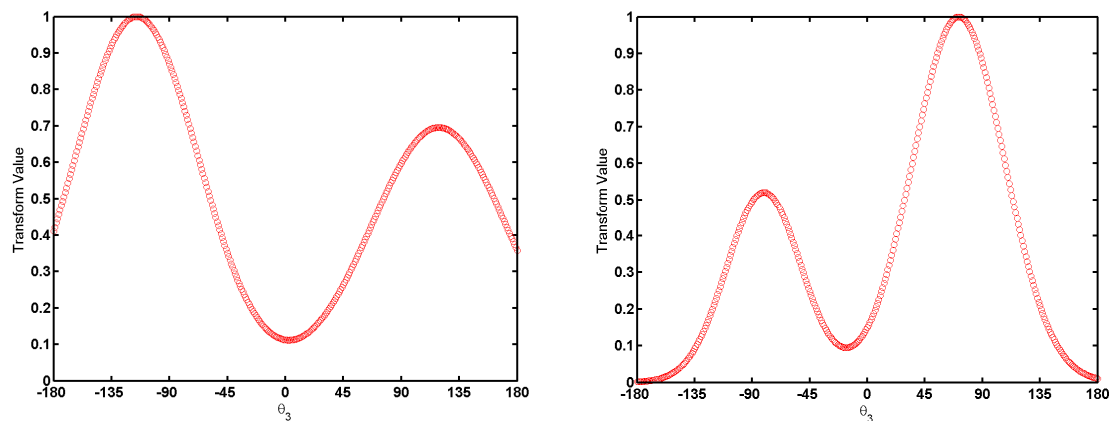


圖 2.10 各距離範圍的  $\theta_3$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖 2.10a 中可發現經高斯轉換後中心位置約以  $-90^\circ$  以下與  $90^\circ$  以上，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯歸屬函數的中心位置在  $-90^\circ$  以下與  $90^\circ$  以上其轉換結果與波高的相關性高，反之當高斯歸屬函數的中心位置介於  $-90^\circ$  至  $90^\circ$  中間時其結果與波高的相關性低。從不同距離上可發現當高斯歸屬函數的中心位置在  $-120^\circ$  時，各距離組之轉換結果與波高的相關性皆是高的。圖 2.10b 中可發現經高斯轉換後中心位置約以  $-90^\circ$  與  $45^\circ$ ，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯歸屬函數的中心位置在  $-90^\circ$  與  $45^\circ$  附近其轉換結果與波高的相關性高另外在 1600 公里處中心位置在  $140^\circ$  也有相關性高的結果。

配合上述的特性，再以多變量的 Derivative-based 最佳化搜尋法找到兩個高斯函數峰點中心位置分別為  $-110^\circ$  與  $120^\circ$ ，如圖 2.11a 所示。其結果顯示，在颱風的右半圓與左半圓各有一個侵襲角度能對目標點造成大的影響。由於侵襲角公式為  $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ ，是由颱風移動方向角與

目標點方位角所組成，這兩個角度的組合即為颱風的移動路徑，當移動路徑造成侵襲角接近 $-110^\circ$ 或 $120^\circ$ 時，此種路徑的颱風對於目標點的影響度就會增大。同時亦可發現 $\theta_3 = -110^\circ$ 之影響度大於 $\theta_3 = 120^\circ$ 之影響度，代表颱風右半圓的影響度較左半圓大，其歸屬函數如圖 2.11a 所示。臺北港部分找到兩個高斯函數峰點中心位置分別為 $-85^\circ$ 與 $85^\circ$ ，在颱風的右半圓與左半圓各有一個侵襲角度能對目標點造成大的影響。由於侵襲角公式為 $\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$ ，是由颱風移動方向角與目標點方位角所組成，這兩個角度的組合即為颱風的移動路徑，當移動路徑造成侵襲角接近 $-85^\circ$ 或 $85^\circ$ 時，此種路徑的颱風對於目標點的影響度就會增大。



a.安平港

b.臺北港

圖 2.11 利用 Derivative-based 最佳化搜尋法求得的  $\theta_3$  高斯歸屬函數

### 3. 目標點風向 $V_{deg}$

將距離 1800km 以外的目標點風向  $V_{deg}$  資料刪除後，將剩下距離 0 至 1800km 分為 36 組，針對每一組進行尺度參數為 30 而中心位置為  $0^\circ$  至  $360^\circ$  的高斯轉換，其轉換結果與波高的相關性分布示如圖 2.12。

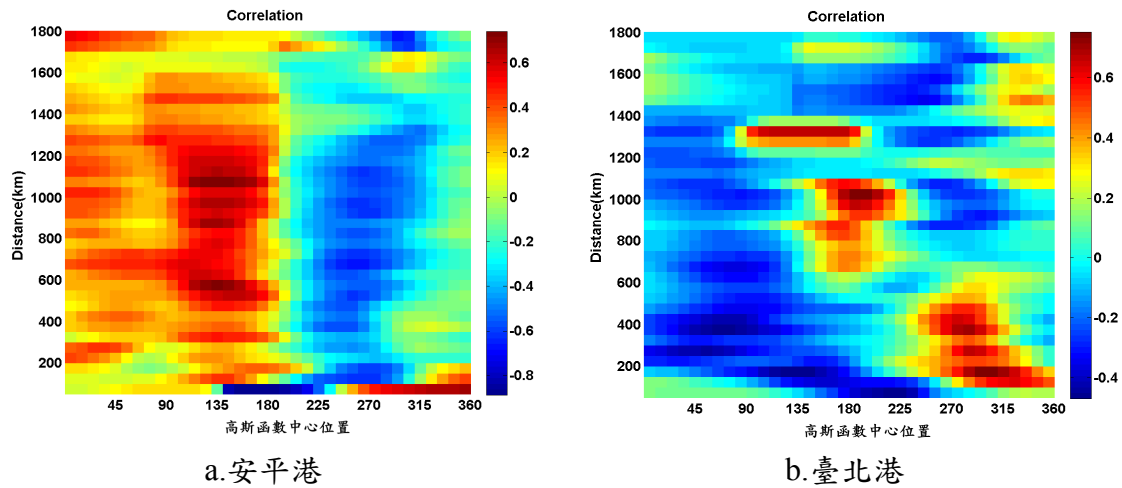


圖 2.12 各距離範圍的  $V_{deg}$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖 2.12a 中可發現經高斯轉換後中心位置約以  $200^\circ$  為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯歸屬函數的中心位置在  $200^\circ$  以下其轉換結果與波高的相關性高，反之當高斯歸屬函數的中心位置在  $200^\circ$  以上則其結果與波高的相關性低。從距離上可發現當高斯歸屬函數的中心位置在  $135^\circ$  時，各距離組之轉換結果與波高的相關性皆是高的。圖 2.12b 中可發現經高斯轉換後中心位置約以  $180^\circ$  與  $290^\circ$  為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯歸屬函數的中心位置在  $180^\circ$  與  $290^\circ$  附近時其轉換結果與波高的相關性高，反之則其結果與波高的相關性低。

配合上述的特性，我們再以多變量的 Derivative-based 最佳化搜尋法找到兩個高斯函數峰點中心位置分別為  $40^\circ$  與  $150^\circ$ ，如圖 2.13a 所示。其結果顯示，當風向角  $V_{deg}=150^\circ$  時會得到最大影響度 1，而當  $V_{deg}=40^\circ$  時亦會有一個較小的影響產生。由於 RVM 模型風場模式的風向為風的去向而非來向，對於目標點安平港而言  $40^\circ$  與  $150^\circ$  皆為從海上往陸上吹的風， $40^\circ$  為偏西南風， $150^\circ$  為偏西北風，其歸屬函數如圖 2.13 所示。以圖 2.13b 為例，兩個高斯函數峰點中心位置分別為  $180^\circ$  與  $310^\circ$ ，顯示當風向角  $V_{deg}=170^\circ$  時會得到最大影響度 1，而當  $V_{deg}=310^\circ$  時亦會有一個較大的影響產生。

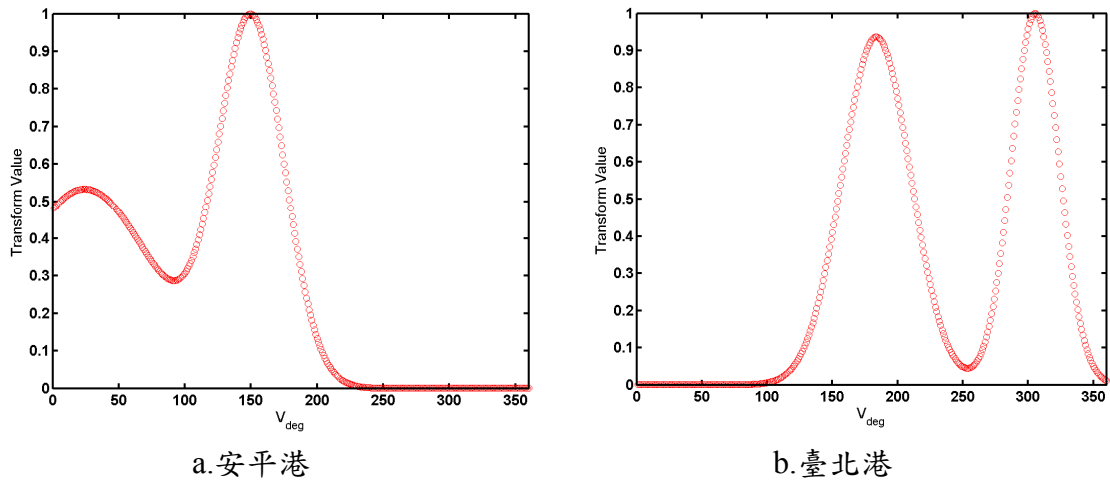


圖 2.13 利用 Derivative-based 最佳化搜尋法求得的  $V_{deg}$  高斯歸屬函數

經由(1)、(2)、(3)之計算後，我們可於安平港與臺北港各得三組雙峰的高斯歸屬函數用來描述這三種角度參數，轉換後再與波高作相關性分析，其結果如表 2.6 所示。 $\theta_1$  經過轉換後相關性由-0.49 提升為 0.57、 $V_{deg}$  經過轉換後相關性由-0.38 提升為 0.55， $\theta_3$  經過轉換後相關性僅由 0.06 提升到 0.43，三者之  $R$  皆有顯著提升。

表 2.6 雙峰轉換後的輸入參數與波高間的相關性分析  
(1800km 以內)

安平港	
雙峰轉換後的輸入參數	相關性 R
方位角影響度( $\theta_1$ )	0.57
侵襲角影響度( $\theta_3$ )	0.43
風向影響度( $V_{deg}$ )	0.55
臺北港	
雙峰轉換後的輸入參數	相關性 R
方位角影響度( $\theta_1$ )	0.35
侵襲角影響度( $\theta_3$ )	0.27
風向影響度( $V_{deg}$ )	0.38



## 2.2.5 轉換函數與訓練函數

為了避免網路的複雜化以及過度學習的情況發生，Kecman(2001)提出隱藏層的個數宜採用 1 或 2 層具有最好的收斂性質，因每增加一層隱藏層需要計算的權重值與偏權值數量就會突增，需要測試的神經元個數組合亦會增加，故過多的隱藏層會使網路趨向複雜，減緩其收斂速度。本研究採用的類神經隱藏層個數為 1 層，欲模擬非線性的運算過程，以及輸入參數會有正負方向性，故選用具有能輸出正負值的正切雙彎曲轉換函數(tansig)為其隱藏層之轉換函數，正切雙彎曲轉換函數的輸出介於-1 和 1 之間，相較於雙彎曲函數(logsig)輸出介於 0 和 1 之間擁有較多的輸出範圍。當正切雙彎曲轉換函數之自變數趨近於正負無窮大時，輸出值會接近於-1 或 1。如圖 2.14 所示。

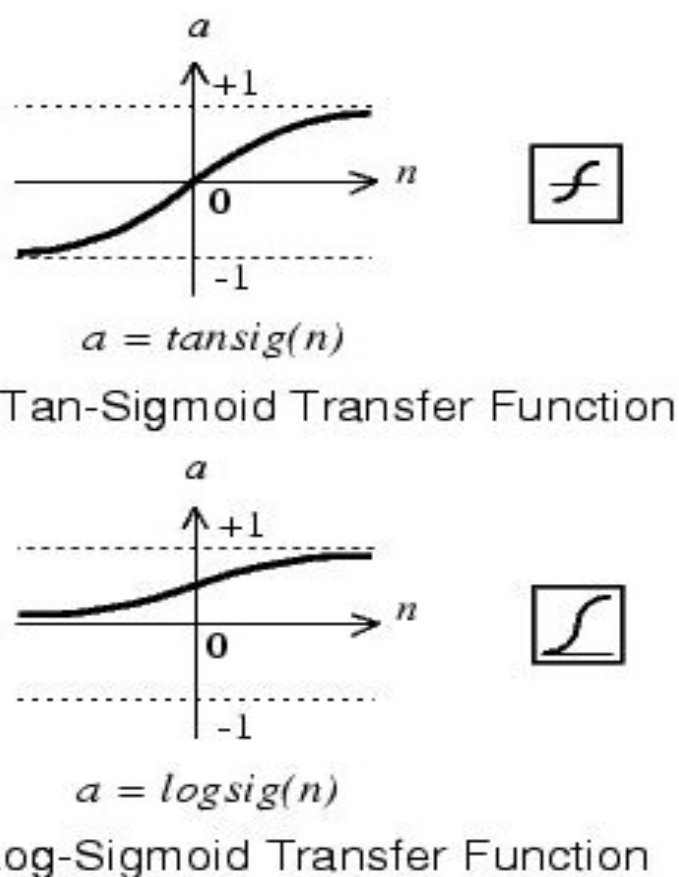


圖 2.14 正切雙彎曲轉換函數與雙彎曲函數

基本的倒傳遞網路所使用的訓練演算法為最陡坡降法，意即權重以及閾值的調整方向，是朝著目標函數的負梯度方向前進，雖然朝著負梯度方向降低最快，但是未必能有最快的收斂。本研究所使用的訓練演算法為共軛梯度演算法(Conjugate Gradient Algorithm)中收斂速度較慢的 trainscg(Scaled Conjugate Gradient)，Scaled Conjugate Gradient 是由 Moller(1993)提出，其在最陡坡降法的簡易演算程序與牛頓法快速的二次收斂速率之間採用了折衷的方式，調整的方向是由前次調整方向與目標函數梯度之線性組合而成。

### 2.2.6 隱藏層神經元測試

決定隱藏層個數後，隱藏層神經元個數的多寡亦對網路有著相當大的影響，使用過少的神經元個數無法有效的建構適當的網路來描述問題，使用過多的神經元個數會使網路的複雜度過高，易發生過度學習的狀況，甚至造成模擬的結果有雜訊的產生，失去了網路的推演能力。本研究使用 Dawson(2001)所提出的網路增長法(Constructive algorithm)來確定神經元個數，其方法為先設定小數目的隱藏層神經元個數開始訓練，再逐一增加神經元個數，當神經元個數增加到某一個數之後，整體學習組的 *RMSE* 無法被有效的降低，該個數即為最佳的神經元個數。同時配合驗證組的 *RMSE*，確保使用的神經元個數不會發生過度學習的情況。

另外亦參考 Huang 及 Foo (2002)提出的經驗公式  $h=2z+1$ ，其中  $z$  為輸入層的神經元個數、 $h$  為隱藏層神經元個數。由圖 2.15 以安平港為例，採用 Dawson(2001)的神經元測試結果，當神經元個數超過 10 時，學習組的 *RMSE* 無法有效的被降低，表示網路已無法透過增加神經元個數來減少學習組的誤差，而同時驗證組的 *RMSE* 已趨於穩定，神經元個數宜採用 10 個。其結果與採用 Huang、Foo (2002)經驗公式，當輸入參數為 5 時，神經元個數  $h=11$  相近。



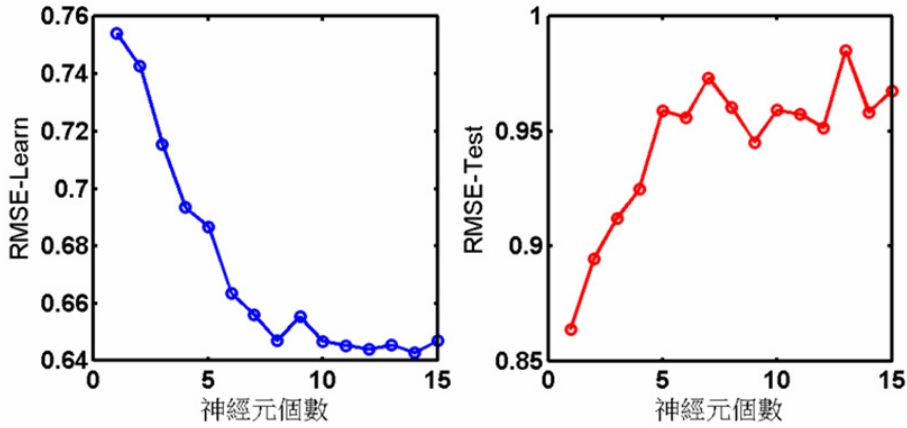


圖 2.15 學習組與驗證組使用不同神經元個數時之 RMSE

### 2.3 波浪推算結果與實測波浪之驗證

為瞭解各模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 4 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  及最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$ 。

$$R = \frac{\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs}) ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})}{\sqrt{\left( \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2 \right) \left( \sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2 \right)}} \quad (2.21)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (2.22)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (2.23)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (2.24)$$

其中  $H_{s,num}$  為模式推算颱風波浪示性波高； $H_{s,obs}$  為測站實測颱風波浪示性波高； $t_{p,num}$  為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間； $t_{p,obs}$  為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間。由式(2.23)可知，若  $\Delta H_{s,p}$  為正值，表示模式推算的示性波高過於高估，若為負值則表示低估，由式(2.24)可知，若  $\Delta t_p$  為正值，表示模式推算的示性波高最大值發生時間較實測晚，若為負值則表示較實測早。另外本文相關表格中

為避免常態性的誤差分布造成平均值偏小的狀況，在 $\Delta H_{s,p}$ 與 $\Delta t_p$ 配的平均值部分採用絕對值平均來表示。以安平港選擇的各場實測颱風波浪資料進行建立及驗證，其結果如下表 2.7 所示。

表 2.7 安平港類神經颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-1.27	-14.00	0.51	0.55	2.83
2000	象神(XANGSANE)	0.80	12.00	0.59	0.35	1.74
2001	奇比(CHEBI)	-2.01	2.00	0.85	0.72	6.92
2001	利奇馬(LEKIMA)	-0.02	1.00	0.42	0.75	2.36
2002	娜克莉(NAKRI)	0.22	15.00	0.65	0.72	3.96
2003	尹布都(IMBUDO)	-0.89	5.00	0.67	0.75	3.90
2003	莫拉克(MORAKOT)	1.22	3.00	0.79	0.69	2.75
2003	柯羅旺(KROVANH)	-0.25	-6.00	0.65	0.37	3.18
2003	杜鵑(DUJUAN)	1.01	4.00	0.72	0.91	3.52
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.78	-17.00	0.72	0.86	5.01
2004	康柏斯(KOMPASU)	1.54	15.00	1.37	0.52	1.96
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.47	-6.00	0.34	0.79	2.11
2004	納坦(NOCK_TEN)	0.50	5.00	0.45	0.65	1.20
2004	南瑪都(NANMADOL)	1.68	4.00	0.95	0.76	2.91
2005	海棠(HAITANG)	-0.80	-1.00	0.69	0.88	4.76
2005	馬莎(MATSA)	-0.63	83.00	0.42	0.66	2.52
2005	珊瑚(SANVU)	-0.61	-6.00	0.58	0.90	4.72
2005	泰利(TALIM)	0.49	11.00	0.69	0.87	4.05
2005	丹瑞(DAMREY)	0.68	-3.00	0.52	0.86	2.73
2005	龍王(LONGWANG)	2.23	8.00	1.06	0.88	2.06
2007	韋帕(WIPHA)	1.30	19.00	0.89	0.31	1.50
2007	柯羅莎(KROSA)	-0.29	6.00	0.75	0.48	3.57
2008	如麗(NURI)	-2.40	-8.00	0.68	0.96	5.81
2008	辛樂克(SINLAKU)	1.51	-3.00	0.71	0.86	1.84
2008	哈格比(HAGUPIT)	0.25	-3.00	0.50	0.93	3.28
2008	薔蜜(JANGMI)	0.15	4.00	0.58	0.53	3.02
2009	蓮花(LINFA)	-2.19	-2.00	0.75	0.92	7.20
2009	莫拉菲(MOLAVE)	0.17	-15.00	0.85	0.76	3.63
2009	莫拉克(MORAKOT)	-3.53	11.00	1.36	0.93	7.66
絕對值平均		1.03	10.06	0.72	0.73	3.54

由表 2.7 中，灰底色的部分為驗證組的颱風，其餘則為學習組，表中可發現學習組中 20 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 MORAKOT(2009)、LINFA(2009)、NURI(2008)及 CHEBI(2001) 這四個颱風誤差較大。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 RANANIM(2004)、MATSA(2005)相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差  $RMSE$  最大為 MORAKOT(2009)。推算波高結果與實測波高的相關性  $R$  則以 XANGSANE(2000)最差。此外在驗證組中 9 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 LONGWANG(2005)相差最大，誤差 2.23m。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  以 MINDULLE(2004)相差最多，誤差 17 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差  $RMSE$  最大為 KOMPASU(2004)，其值為 1.37m。推算波高結果與實測波高的相關性  $R$  最差為 WIPHA(2007)的 0.31。平均來說模式推算結果的最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  約為 1.03m，最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  約為 10 小時， $RMSE$  約為 0.72m，相關係數  $R$  約為 0.73。

由表 2.8 中，灰底色的部分為驗證組的颱風，其餘則為學習組，可發現在臺北港模式中的 31 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 HAIYAN(2001)相差最大，誤差 4.2m。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  以 KUJIRA(2003)相差最多，誤差 76 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差  $RMSE$  最大為 HAIYAN(2001)，其值為 1.22m。推算波高結果與實測波高的相關性  $R$  最差為 KALMAEGI(2008)的 0.04。平均來說模式推算結果的最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  約為 1.02m，最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  約為 14.81 小時， $RMSE$  約為 0.59m，相關係數  $R$  約為 0.73。

表 2.8 臺北港類神經颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-0.47	8.00	0.36	0.85	2.67
2000	碧利斯(BILIS)	0.76	1.00	0.45	0.95	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-4.20	1.00	1.22	0.91	6.45
2001	納莉(NARI)	-2.20	-5.00	0.65	0.40	4.55
2001	利奇馬(LEKIMA)	-0.87	58.00	0.67	0.33	3.32
2002	雷馬遜(RAMMASUN)	-0.19	-1.00	0.48	0.81	2.21
2002	辛樂克(SINLAKU)	-1.18	11.00	0.41	0.91	3.45
2003	柯吉拉(KUJIRA)	0.27	76.00	0.86	0.36	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	0.95	18.00	0.52	0.70	1.72
2003	杜鵑(DUJUAN)	0.94	0.00	0.58	0.84	1.21
2003	米勒(MELOR)	-0.48	22.00	0.37	0.79	2.63
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.35	-49.00	0.64	0.36	2.61
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.77	3.00	0.30	0.92	3.29
2004	艾利(AERE)	-2.99	7.00	0.74	0.92	6.11
2004	海馬(HAIMA)	-0.38	6.00	0.63	0.85	3.51
2004	南瑪都(NANMADOL)	-1.19	12.00	0.68	0.50	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-1.20	3.00	0.44	0.86	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-1.84	4.00	0.55	0.88	5.03
2005	泰利(TALIM)	-1.25	6.00	0.46	0.87	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.33	4.00	0.37	0.86	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	-0.26	3.00	0.41	0.79	2.95
2006	碧利斯(BILIS)	0.25	12.00	0.39	0.87	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	1.31	5.00	0.78	0.68	1.88
2006	珊珊(SHANSHAN)	-0.73	6.00	0.64	0.72	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-1.00	1.00	0.51	0.86	4.13
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.60	-24.00	0.78	0.04	2.20
2008	鳳凰(FUNG_WONG)	0.10	10.00	0.44	0.80	2.58
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.70	23.00	0.49	0.82	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	-1.43	-5.00	0.51	0.90	4.19
2010	凡那比(FANAPI)	-0.27	-4.00	0.67	0.63	2.94
2010	梅姬(MEGI)	-2.18	-71.00	1.19	0.55	3.47
絕對值平均		1.02	14.81	0.59	0.73	

表 2.9 顯示本中心歷年來發展颱風波浪推算模式的成效比較，其中  $\Delta H_{s,p}$  部分是以高雄港最佳，誤差 0.67m。最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  波則以花蓮港波浪推算模式最為準確。均方根誤差 RMSE 擇以台北港最佳，其值為 0.59m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 以最花蓮港為最佳，其值為 0.83。整體來說，模式成效以花蓮港為最佳，由於大部分颱風皆由東往西侵臺，且花蓮港的颱風波浪實測資料最完整，所以該測站的模式推算能力較佳。高雄港、安平港與台北港在地理位上有一個共通點，大部分颱風在接近此區域其風場結構皆受到地形的阻擋，其波浪傳遞也受到陸地的遮蔽效應，且颱風波浪資料較少，所以模式的推算能力並沒有花蓮港那麼好，這個部份未來可透過更多的資料來進行改善。

表 2.9 各類神經颱風波浪推算成效比較

	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R
花蓮港	0.98	5.04	0.69	0.83
高雄港	0.67	8.70	0.64	0.74
安平港	1.03	10.06	0.72	0.73
臺北港	1.02	14.81	0.59	0.73

## 2.4 類神經颱風波浪推算模式之風險分析

前述安平港與臺北港的模式驗證部分以相關係數(R, correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  及最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  等四個誤差特性來表現各場颱風的推算結果，本節則以兩個波浪推算模式其推算波高峰值的誤差來做風險分析，安平港與臺北港的波浪推算風險分析如圖。

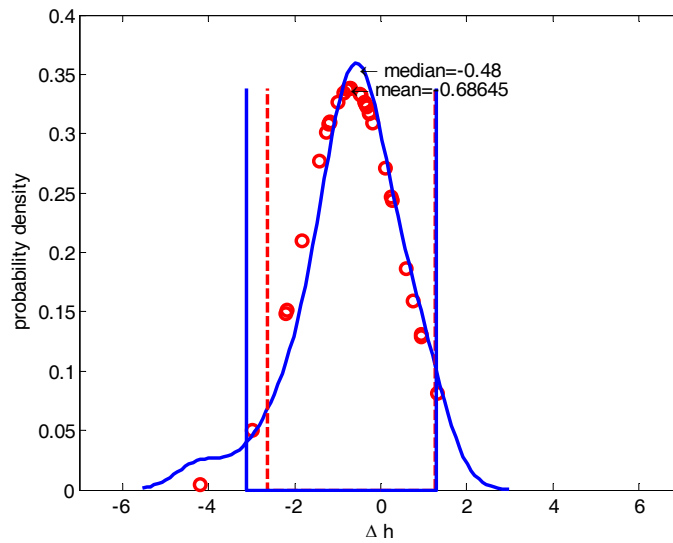


圖 2.16 安平港類神經颱風波浪推算模式風險分析

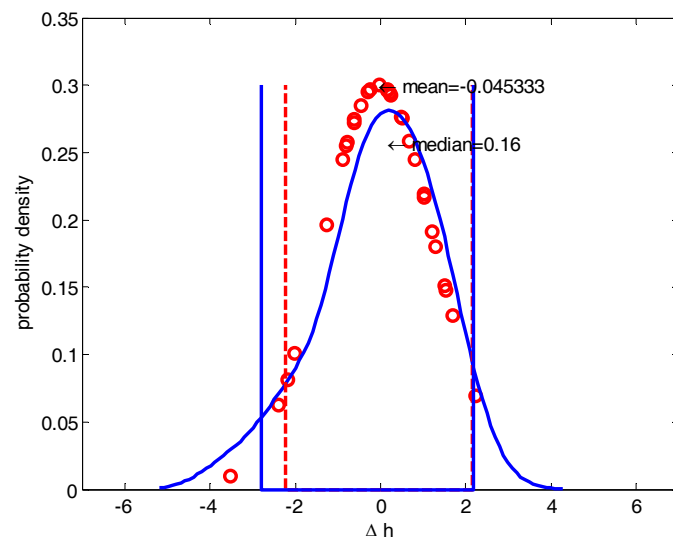


圖 2.17 臺北港類神經颱風波浪推算模式風險分析

圖 2.16 顯示安平港類神經颱風波浪推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-0.69m，中位數為-0.48m，標準偏差為 1.18m，31 個樣本中不通過 95%信賴度的有 3 個，佔全部的 9.7%。安平港類神經颱風波浪推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析，其平均值為-0.045m，中位數為 0.16m，標準偏差為 1.18m，30 個樣本中不通過 95%信賴度的有 3 個，佔全部的 10%。

## 2.5 本年度侵臺颱風之波浪推算結果

本研究目前已完成四個港口的類神經颱風波浪推算模式建構，分別為花蓮港、高雄港、安平港及臺北港。本節以今年侵臺颱風南瑪都進行颱風波浪的推算，其結果如下所述：

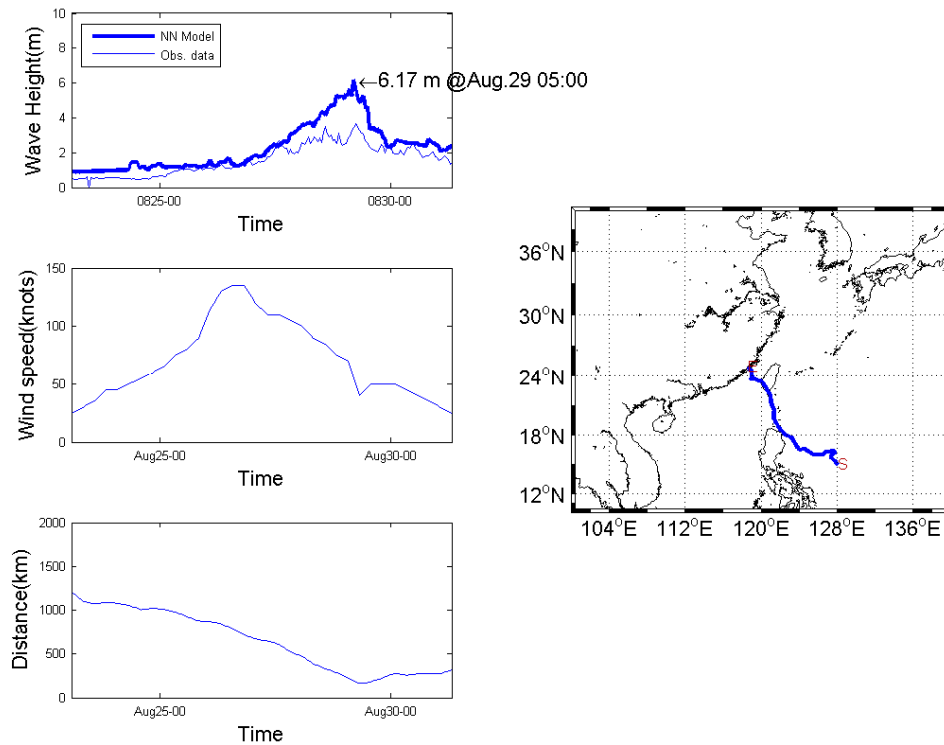


圖 2.18 本研究類神經颱風波浪推算模式推算花蓮港颱風波浪結果

由圖 2.18 花蓮港推算結果與實測資料相比較發現南瑪都颱風的推算結果偏大，與實測資料的峰值差了將近 2m，而峰值的發生時間仍十分接近。圖 2.20 為高雄港的模式推算結果，由圖中可看出類神經颱風波浪推算模式的推估結果其峰值發生時間與實測資料吻合，但波高的峰值部分類神經颱風波浪推算模式的推算結果較實測資料低，誤差約為 0.6m。

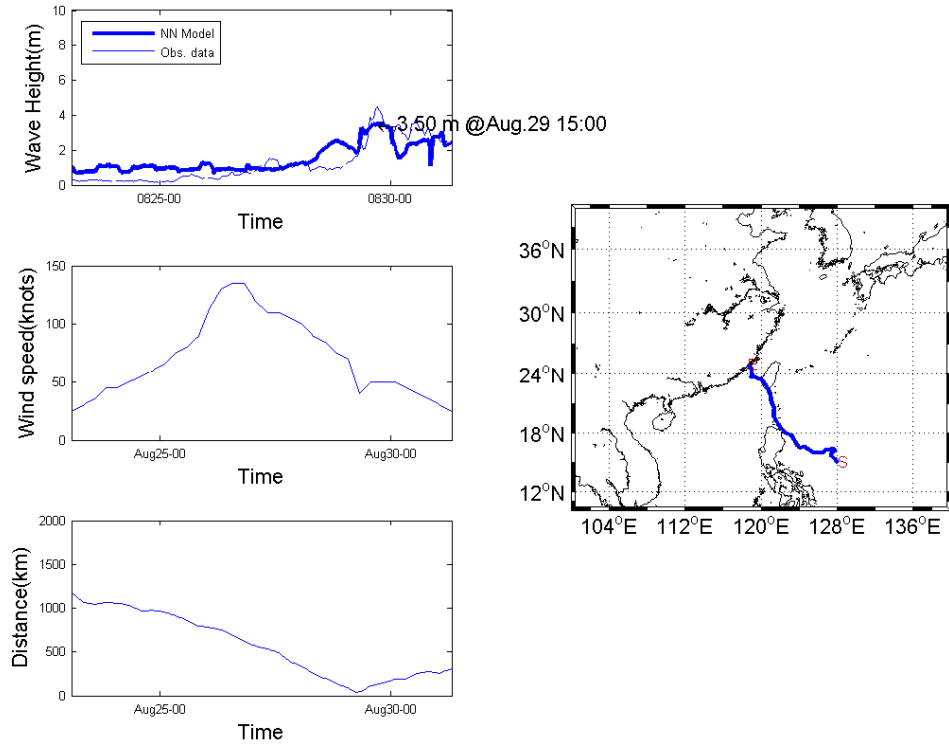


圖 2.19 本研究類神經颱風波浪推算模式推算高雄港颱風波浪結果

圖 2.20 為安平港的模式推算結果，但由於安平港現有實測資料僅至民國 100 年 8 月 24 日，故無法進行比較。圖 2.21 為臺北港推算模式的推估結果，其峰值發生時間與實測資料吻合，但波高的峰值部分由於較小故難以判斷。



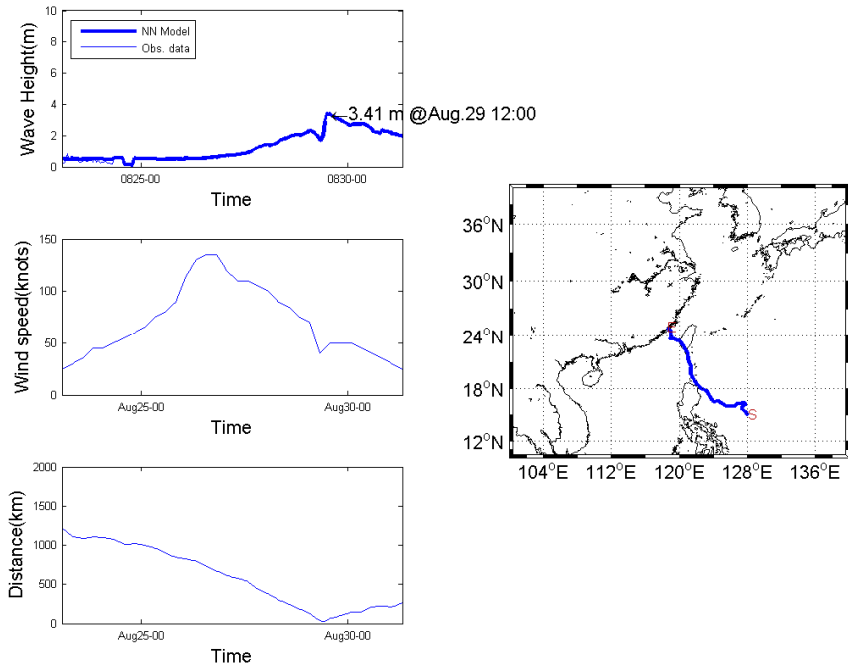


圖 2.20 本研究類神經颱風波浪推算模式推算安平港颱風波浪結果

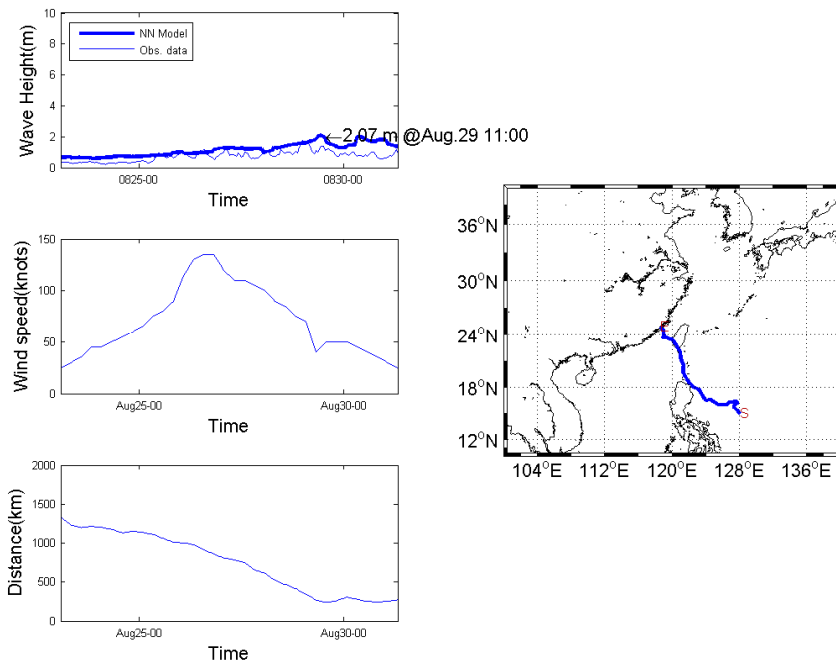


圖 2.21 本研究類神經颱風波浪推算模式推算臺北港颱風波浪結果

## 第三章 經驗式颱風波浪推算模式

### 3.1 經驗式波浪推算模式理論

常見之半經驗颱風波浪推算模式 Bretschneider 參數法(1952)、井島(1972)之追蹤法、湯(1970)之移動風域數值推算法及梁(1993)之颱風湧浪預報法等。湯(1970)鑑於 Wilson 之方法只能推算深海風浪，不能直接推算海岸前之波浪狀況，故綜合 Wilson 及 Bretschneider 等經驗公式，配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算，提出移動風域數值推算模式，而本研究使用之定點颱風波浪推算半經驗模式即是依據上述原理建立而成，其基本原理詳述如下：

#### 1. 波向與風向之關係

依據深海之波浪觀測結果發現，一般波浪進行之方向與海面上平均風向甚為接近，故就風浪而言，在其形成初期可認為波向與風向一致，但當波浪進行某一段距離後，若波浪週期保持不變，則因風向改變在新方向之波高  $H_\theta$  將可寫成

$$H_\theta = H \cos \theta \quad (3.1)$$

式中  $H$  為前一推算點之波高， $\theta$  為新風向與原風向之夾角。

#### 2. 風與風浪之關係

##### (1) 深海波浪

在深海時根據 Wilson (1955) 之方法推算深海風浪，即以下列近似公式推算波浪之波高與週期，即

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[ k_1 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \quad (3.2)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[ k_2 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \quad (3.3)$$

式中  $H$  為示性波波高， $T$  為示性波週期， $F$  為吹風距離， $U$  為風速， $g$  為重力加速度， $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $k_1$  及  $k_2$  為常數值，分別等於 0.26、1.40、0.01 及 0.0436。

## (2) 淺海波浪

當波浪進入淺水區後，依風、浪、水深間之關係為(湯，1968)

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[ k_3 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{k_1 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[ k_3 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad (3.4)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[ k_4 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 \left( \frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[ k_4 \left( \frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (3.5)$$

式中  $D$  表示水深，常數  $k_3=0.578$ ， $k_4=0.520$ 。當  $D \rightarrow \infty$  時，式(3.4)及(3.5)可簡化為式 3.2)及(3.3)。

## 3. 湧浪之計算

當風向改變角度  $\theta$  大於  $60^\circ$  或風浪獲得能量較損失者為小時，均視為湧浪，其波高及週期與風浪之關係依據 Bretschneider 之湧浪研究結果可表示如式(3.6)和(3.7)所示。

$$\frac{H_f}{H_d} = \cosh \left\{ 0.66 \left( \frac{F}{H_f} \right)^{0.06} \left( \frac{D}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[ 3 \left( \frac{D}{F} \right)^{0.3} \right] \right\} \quad (3.6)$$

$$\frac{T_d}{T_f} = \cosh \left\{ 1.74 \left( \frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.05} \left( \frac{D}{F} \right)^{0.2} \tanh \left[ 1.02 \left( \frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.04} \left( \frac{D}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \quad (3.7)$$

式中  $H_f$  與  $T_f$  及  $H_d$  與  $T_d$  分別為風浪及湧浪對應之波高與週期， $F$  表風浪成為湧浪前之風域長， $D$  為湧浪進行之減衰距離，當風浪一旦變成湧浪後，則假設其不再受風之影響。

#### 4. 波浪之能量傳遞速度

當波浪隨風向進行或轉變成湧浪後，其能量傳遞速度均以波浪群速度表示之。

#### 5. 氣象條件與風速之關係

颱風風速由兩種風速分量合成

$$\bar{u} = \bar{u}_1 + \bar{u}_2 \quad (3.8)$$

其中， $\bar{u}_1$  為低氣壓及地球自轉角速度所引起之風速， $\bar{u}_2$  則為颱風移動時帶動其周圍氣流所產生之風速， $\bar{u}_1$  及  $\bar{u}_2$  之大小可由式(3.9)和(3.10)計算

$$u_1 = c_1 \sqrt{\frac{\Delta P r_0}{\rho_a r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2} \quad (3.9)$$

$$u_2 = c_2 \frac{\sqrt{\frac{\Delta P r_0}{\rho_a r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2}\right)^2} - \frac{fr}{2}}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a e} + \left(\frac{fr_0}{2}\right)^2} - \frac{fr_0}{2}} \quad (3.10)$$

式中  $\rho_a$  為空氣密度； $r_0$  為最大風速半徑； $r$  為求風速位置點與颱風中心之距離； $f$  為 Coriolis 係數  $= 2\omega \sin \varphi$ ； $\omega$  為地球自轉角速度； $\varphi$  為計算點之緯度； $c_1$  為地面風速與傾度風速之比值，在臺灣地區風向與等壓線約成  $30^\circ$  且反時針向內吹，一般  $c_1=0.6\sim 0.65$ ； $c_2$  為 0.7； $\bar{u}_2$  為方向同颱風之移動風向； $\Delta P$  為氣壓深度或颱風中心氣壓  $P_c$  與外圍氣壓  $P(r)$  之差值，可由氣象雷達觀測估計或由如下之 Myers 公式計算

$$P(r) = P_c + \Delta P e^{-\frac{r_0}{r}} \quad (3.11)$$

#### 6. 模擬範圍

湯(1970)和井島(1972)採用矩型格網方式計算，模擬範圍的邊界南至北緯 18°、北至北緯 28°、西至東經 116°、東至東經 126°，地形格網的解析精度為 0.1°×0.1° (約為 10×10 公里)，示如圖 3.1。圖中方框為目標推算區，該推算區大小為 0.4°×0.4° (約為 40×40 公里)，設定方式是以目標推算點為中心，東西南北各 0.2° 來設定其邊界。湯(1970)和井島(1972)採用波浪追蹤法，該方法為計算所有模擬範圍內的波浪傳遞情形，當波浪傳遞至目標推算區的邊界時即記錄該波浪的大小及方向，如此重複計算至所有時刻皆完成，然此種方式受到颱風路徑的影響很大，因此並無法推算出每場颱風的波浪狀況。

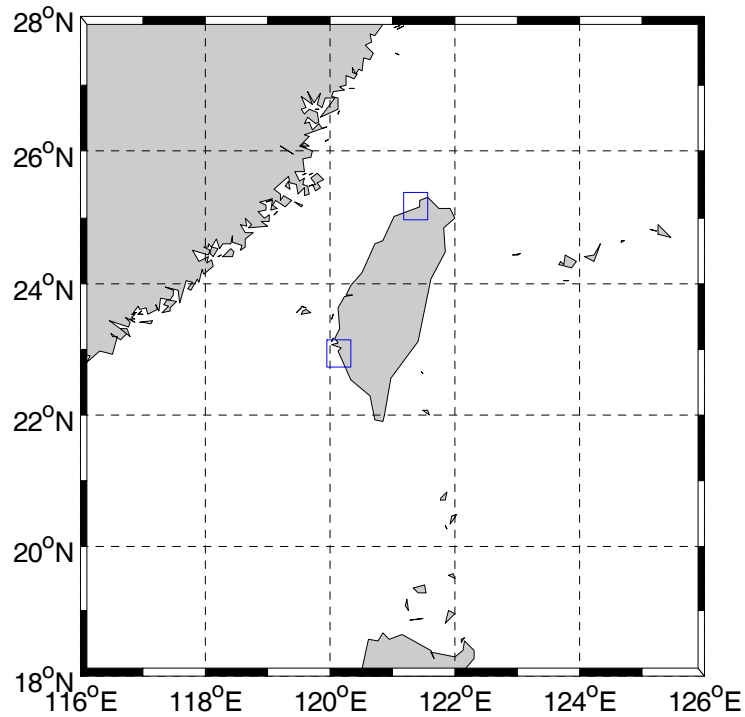


圖 3.1 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍

### 3.2 模式推算結果

本研究以中央氣象局所公布有對臺灣造成影響的颱風輸入湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式進行推算，並與 2.1 節所述兼具資料完整

性以及資料相關性的實測颱風波浪進行比較，安平港颱風波浪的推算結果如表 3.1，安平港颱風波浪推算結果如表 3.2。

**表 3.1 安平港半經驗颱風波浪推算結果**

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2000	啟德(KAI_TAK)	4.23	20.00	1.35	-0.52	2.16
2000	碧利斯(BILIS)	2.76	-3.00	2.28	0.78	1.89
2000	象神(XANGSANE)	6.43	2.00	2.71	0.57	1.74
2001	奇比(CHEBI)	1.23	-2.00	1.31	0.91	6.92
2001	桃芝(TORAJI)	1.04	11.00	0.75	0.25	2.18
2001	納莉(NARI)	1.07	0.00	0.94	0.20	2.58
2001	利奇馬(LEKIMA)	1.37	-16.00	1.38	-0.05	2.36
2003	杜鵑(DUJUAN)	-1.35	3.00	1.10	0.82	3.52
2004	康森( CONSON)	1.69	1.00	1.25	0.34	1.72
2004	敏督利(MINDULLE)	-3.25	-26.00	2.25	0.07	5.01
2004	艾利(AERE)	-0.45	-23.00	0.69	-0.68	2.42
2004	納坦(NOCK_TEN)	0.96	1.00	0.74	0.64	1.2
2005	海棠(HAITANG)	-0.89	-9.00	1.34	0.33	4.76
2005	泰利(TALIM)	-0.59	6.00	1.24	0.61	4.05
2005	龍王(LONGWANG)	2.47	-1.00	1.52	0.67	2.06
2006	珍珠(CHANCHU)	-2.77	6.00	1.96	0.78	5.8
2006	凱米(KAEMI)	0.93	-2.00	1.30	0.04	3.47
2007	聖帕(SEPAT)	-0.63	-8.00	1.75	0.01	4.84
2007	柯羅莎(KROSA)	-0.56	-1.00	0.82	0.79	3.57
2008	辛樂克(SINLAKU)	1.39	5.00	0.83	0.28	1.84
2008	薔蜜(JANGMI)	0.04	-3.00	0.61	0.79	3.02
2009	莫拉克(MORAKOT)	-5.06	8.00	3.31	0.54	7.66
絕對值平均		1.87	7.14	1.43	0.37	3.78

由於湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式會以目標範圍區的邊界所接收的各方向波浪大小及數量來做統計，故只有 23 場有被推算出結果，表 3.1 顯示安平港 23 場颱風波浪推算結果與實測資料間的相關係數、均方根誤差、颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  及最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$ 。表中可發現 2002 及 2010 兩年並沒有列出颱風波浪結果的比較，其中 2010 是因為本模式推算出有波浪的颱風恰好無實測資料可供比較；而 2002 年則是本模式沒有推算出颱風波浪的結果。

表中各場颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 XANGSANE(2000)相差最大，其最大波高與實測資料相差了 6.43m；相差最小的則是 JANGMI(2008)，與實測最大波高僅差 0.04m，23 場颱風波浪中模式推算最大波高與實測最大波高相差值平均為 1.87m。此外最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 MINDULLE (2004)相差最多，與實測最大波高發生時間差了 26 小時；相差最小的則有兩場其推算結果最大波高發生時間與實測完全符合；23 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高發生時間平均相差 7.14 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差最大為 MORAKOT (2009)，其值為 3.31m，最小為 JANGMI(2008)的 0.61m；23 場颱風波浪平均 RMSE 為 1.43m。推算波高結果與實測波高的相關性則以 CHEBI(2001)最佳，相關係數 0.91；最差為 ARER(2004)的-0.68；24 場颱風波浪與實測波高相關係數平均為 0.37。

表 3.2 臺北港半經驗颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
1997	溫妮(WINNIE)	-4.13	9.00	2.91	0.30	6.49
1998	瑞伯(ZEB)	-4.66	3.00	3.23	0.48	7.79
2000	碧利斯(BILIS)	-1.03	0.00	0.91	0.73	1.74
2001	奇比(CHEBI)	0.20	5.00	0.28	0.69	1.34
2001	納莉(NARI)	1.62	0.00	1.28	0.62	4.55
2002	辛樂克(SINLAKU)	-0.90	12.00	0.88	0.16	3.45
2004	敏督利(MINDULLE)	2.86	-25.00	1.88	-0.49	1.92
2004	蘭寧(RANANIM)	-1.58	6.00	1.41	0.62	3.29
2004	艾利(AERE)	0.33	12.00	1.67	0.47	6.11
2005	海棠(HAITANG)	-2.89	13.00	1.25	0.40	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-2.18	1.00	1.30	0.66	5.03
2005	泰利(TALIM)	-1.18	0.00	1.02	0.95	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.99	0.00	1.15	0.48	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	-0.55	-4.00	1.09	0.06	2.95
2006	凱米(KAEMI)	-0.46	-1.00	0.23	0.82	0.99
2006	桑美(SAOMAI)	1.89	6.00	1.53	0.71	1.88
2008	辛樂克(SINLAKU)	2.59	7.00	1.88	0.26	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	0.76	19.00	1.30	-0.32	3.18
2010	凡那比(FANAPI)	-1.92	0.00	1.75	0.74	2.71
絕對值平均		1.72	6.47	1.42	0.44	3.61

臺北港只有 19 場有被推算出結果，表 3.2 顯示臺北港 19 場颱風波浪推算結果與實測資料間的相關係數、均方根誤差、颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  及最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$ 。表中可發現 1996、1999、2003 及 2007 四年並沒有列出颱風波浪結果的比較，其中 2007 是因為本模式推算出有波浪的颱風恰好無實測資料可供比較；而 1996、1999 與 2003 年則是本模式沒有推算出颱風波浪的結果。

表中各場颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 ZEB(1998)相差最大，其最大波高與實測資料相差了 4.66m；相差最小的則是 CHEBI(2001)，與實測最大波高僅差 0.20m，19 場颱風波浪中模式推算最大波高與實測最大波高相差值平均為 1.72m。此外最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 MINDULLE (2004)相差最多，與實測最大波高發生時間差了 25 小時；相差最小的則有五場其推算結果最大波高發生時間與實測完全符合；19 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高發生時間平均相差 6.47 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差最大為 ZEB (1998)，其值為 3.32m，最小為 KAEMI (2006)的 0.23m；19 場颱風波浪平均 RMSE 為 1.42m。推算波高結果與實測波高的相關性則以 TALIM(2005)最佳，相關係數 0.95；最差為 MINDULLE (2004)的-0.49；24 場颱風波浪與實測波高相關係數平均為 0.44。

### 3.3 波浪推算模式綜合比較

本節將半經驗波浪推算模式與類神經波浪推算模式的結果作比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風分別列表如表 3.3 與表 3.4。由表中可發現類神經颱風波浪推算模式在波高峰值的誤差較小，峰值發生時間的誤差則是以半經驗推算方式較小，RMSE 與相關係數 R 皆以類神經颱風波浪推算模式較佳。



表 3.3 安平港兩種波浪推算模式的誤差比較

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$H_{obs}$
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
		半經驗				類神經				
2000	象神(XANGSANE)	6.43	2	2.71	0.57	0.8	12	0.59	0.35	1.74
2001	奇比(CHEBI)	1.23	-2	1.31	0.91	-2.01	2	0.85	0.72	6.92
2001	利奇馬(LEKIMA)	1.37	-16	1.38	-0.05	-0.02	1	0.42	0.75	2.36
2003	杜鵑(DUJUAN)	-1.35	3	1.1	0.82	1.01	4	0.72	0.91	3.52
2004	敏督利(MINDULLE)	-3.25	-26	2.25	0.07	-0.78	-17	0.72	0.86	5.01
2004	納坦(NOCK_TEN)	0.96	1	0.74	0.64	0.5	5	0.45	0.65	1.2
2005	海棠(HAITANG)	-0.89	-9	1.34	0.33	-0.8	-1	0.69	0.88	4.76
2005	泰利(TALIM)	-0.59	6	1.24	0.61	0.49	11	0.69	0.87	4.05
2005	龍王(LONGWANG)	2.47	-1	1.52	0.67	2.23	8	1.06	0.88	2.06
2007	柯羅莎(KROSA)	-0.56	-1	0.82	0.79	-0.29	6	0.75	0.48	3.57
2008	辛樂克(SINLAKU)	1.39	5	0.83	0.28	1.51	-3	0.71	0.86	1.84
2008	薔蜜(JANGMI)	0.04	-3	0.61	0.79	0.15	4	0.58	0.53	3.02
2009	莫拉克(MORAKOT)	-5.06	8	3.31	0.54	-3.53	11	1.36	0.93	7.66
絕對值平均		1.97	6.38	1.47	0.54	1.09	6.54	0.74	0.74	

表 3.4 臺北港兩種波浪推算模式的誤差比較

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$H_{obs}$
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
		半經驗				類神經				
2000	碧利斯(BILIS)	-1.03	0	0.91	0.73	0.76	1	0.45	0.95	1.74
2001	納莉(NARI)	1.62	0	1.28	0.62	-2.2	-5	0.65	0.4	4.55
2002	辛樂克(SINLAKU)	-0.9	12	0.88	0.16	-1.18	11	0.41	0.91	3.45
2004	敏督利(MINDULLE)	2.86	-25	1.88	-0.49	-0.35	-49	0.64	0.36	1.92
2004	蘭寧(RANANIM)	-1.58	6	1.41	0.62	-0.77	3	0.3	0.92	3.29
2004	艾利(AERE)	0.33	12	1.67	0.47	-2.99	7	0.74	0.92	6.11
2005	海棠(HAITANG)	-2.89	13	1.25	0.4	-1.2	3	0.44	0.86	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-2.18	1	1.3	0.66	-1.84	4	0.55	0.88	5.03
2005	泰利(TALIM)	-1.18	0	1.02	0.95	-1.25	6	0.46	0.87	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.99	0	1.15	0.48	-0.33	4	0.37	0.86	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	-0.55	-4	1.09	0.06	-0.26	3	0.41	0.79	2.95
2006	桑美(SAOMAI)	1.89	6	1.53	0.71	1.31	5	0.78	0.68	1.88
2008	辛樂克(SINLAKU)	2.59	7	1.88	0.26	-0.7	23	0.49	0.82	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	0.76	19	1.3	-0.32	-1.43	-5	0.51	0.9	3.18
2010	凡那比(FANAPI)	-1.92	0	1.75	0.74	-0.27	-4	0.67	0.63	2.71
絕對值平均		1.55	7.00	1.35	0.40	1.12	8.87	0.52	0.78	

## 第四章 季節性統計分析方法-月極值統計特性

### 4.1 極值統計理論

於本章中簡單介紹極值統計的相關理論，包括資料的選取方式，極值分佈函數的種類，極值分佈函數中的參數推估方法。最後介紹檢定樣本的統計特性，判定是否適用於所選定的極值分佈函數與參數推定。

### 4.2 極值分布函數

根據 CEM (coastal engineering manual, 2002)及往昔文獻建議長期波浪極值之適合機率分布函數為

#### 1.極值 I 型分布(FT- I 型分布，又稱 Gumbel 分布)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (4.1a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (4.1b)$$

#### 2.通用極值分佈(generalized extreme value, GEV)

$$F(x) = e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}}, B - A/k \leq x < \infty \quad (4.2a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{-\left(1+\frac{1}{k}\right)} e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}} \quad (4.2b)$$

#### 3. Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, B \leq x < \infty \quad (4.3a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (4.3b)$$

#### 4.對數常態分佈 (lognormal distribution)

$$F(x) = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{\ln x - B}{\sqrt{2}A} \right) \right) \quad 0 < x < \infty \quad (4.4a)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \quad (4.4b)$$

其中  $\operatorname{erf}(x)$  為誤差函數(error function)，其定義

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (4.4c)$$

式(4.1)至式(4.4)中， $x$  為樣本變數， $f(x)$  為機率密度函數 (probability density function)， $F(x)$  為累積機率函數 (cumulative probability function)， $A$  及  $B$  為描述機率密度函數形狀之參數， $B$  稱為位置參數 (location parameter) 與樣本平均值 (mean) 有關，而  $A$  值稱為尺度參數 (scale parameter) 與樣本標準偏差 (standard deviation) 有關， $k$  為形狀常數，決定機率函數之尖扁形狀。當式(4.2)之通用極值分布函數之  $k$  為正時，通用極值分布轉為極值 II 型分布，當通用極值分布函數之  $k$  為負時，通用極值分布轉為極值 III 型分布。

#### 4.3 極值分布參數推定

當資料選取方法及極值分布函數決定後，極值分布中參數如何推定，有不同的方法。一般極值分布參數推定法，有力矩法 (method of moment, MOM)，最小二乘法 (least squared method, LSM)，最大概似法 (Maximum likelihood estimates, MLE)，加權機率力矩法 (probability weighted moment, PWM) 等。其中，MOM 法為最簡單之參數推定法，此乃利用位置參數與尺度參數分別與平均值與變異數之公式直接計算獲得，LSM 及 MLE 為最常用之推定法。

### 4.3.1 MOM 推定法

若已選出之分布函數後依統計可計算出其統計量，如平均值，標準偏差及眾數(mode)與函數內之參數有關，如表 4.1 所示。樣本無偏態推算值也可獲得平均值及標準偏差，依表 4.1 之統計量則可算出函數之參數。

表 4.1 各極值分佈相關統計量之特性

分佈函數	眾數	平均值	標準偏差
Gumbel	$B$	$B + A\gamma$	$\pi A/\sqrt{6}$
GEV	$B + \frac{A}{k} \left[ \left( \frac{k}{1+k} \right)^k - 1 \right]$	$B + \frac{A}{k} [\Gamma(1-k) - 1]$	$\frac{A}{k} [\Gamma(1-2k) - \Gamma^2(1-k)]^{1/2}$
Weibull 分佈	$B + A \left( 1 - \frac{1}{k} \right)^{1/k}, k > 1$	$B + A\Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$	$A \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{k} \right) \right]^{1/2}$
Lognormal	$e^{B-A^2}$	$e^{\left( B + \frac{A^2}{2} \right)}$	$e^{\left( B + \frac{A^2}{2} \right)} \left( e^{A^2} - 1 \right)^{1/2}$

表 4.1 中， $\Gamma(\cdot)$  為 Gamma 函數， $\gamma$  為 Euler 數， $\gamma = 0.5772\dots$ 。

### 4.3.2 MLE 推定法

最大概似法乃選擇機率密度函數或對數機率密度函數為最大概似函數(likelihood)及對數最大概似函數(log-likelihood)，以 Gumbel 分布為例分別為

$$L(x; A, B) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{A} e^{-\frac{x_i - B}{A}} e^{-\frac{x_i - B}{A}} \quad (4.5)$$

$$l(x; A, B) = \sum_{i=1}^n -\frac{x_i - B}{A} - e^{-\frac{x_i - B}{A}} - n \ln(A) \quad (4.6)$$

其中  $x_i$  為樣本。值若資料符合於機率密度函數中適合參數時，最大概似函數則越大；反之，資料符合於機率密度函數中不適合參數時，最大概似函數則越小。一般選用對數最大概似函數，將式(4.6)分別對參

數偏微分等於零，則可找出最佳之參數讓樣本資料使最大概似函數為最大。最大概似法之原理可詳見 Kotz and Nadarajah (2000)及 Coles (2001)。

### 4.3.3 LSM 推定法

LSM 法需要先決定樣本之排序機率。當資料收集後，首先適當的劃位 (plotting position) 得到無偏態的排序資料之機率。Goda (2000) 提出不同極值分布之劃位，當選取  $N$  個資料，首先將  $N$  個資料依大小順序排列，再計算第  $m$  順位之值的累積機率  $F_m$ ，其計算公式如下

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, \quad m = 1, 2, \dots, N \quad (4.7)$$

$\alpha$  及  $\beta$  值在不同分布函數其值不同如下所示(Goda, 2000)。

表 4.2 計算樣本順位機率之  $\alpha$  及  $\beta$  值

分佈函數	$\alpha$ 值	$\beta$ 值
Gumbel	0.44	0.12
GEV	$0.44 + 0.52/k$	$0.12 - 0.11/k$
Weibull	$0.20 + 0.27/\sqrt{k}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{k}$
Lognormal	0.375	0.25

由上述可知，推算重現期值之精準與 (1) 樣本來源，(2) 機率分布的函數，(3) 參數推定方法等有關。

## 4.4 信賴檢定

### 4.4.1 MIR 值檢定:

一般使用卡方檢定及相關係數檢定，檢定所選極值分布函數是否適用。Goda (2000) 提出以  $MIR = (1 - r) / \Delta \bar{r}$  相對相關係數殘差來檢定極值分布函數的合適性。其中  $r$  為樣本及排序機率下之推算值之相關係數， $\Delta \bar{r}$  為平均相關係數殘差。MIR 值愈小，代表樣本較適合此極值分布。

各極值分布函數之排序機率下之推算值  $x_m$  如下公式

$$x_m = ay_m + b \quad (4.8)$$

式中之  $A, B$  分別為推估出之參數， $y_m$  為各極值分布函數在機率  $F_m$  下之相關值，如下

$$\text{Gumbel : } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (4.9a)$$

$$\text{GEV : } y_m = \frac{1}{k}[(-\ln F_m)^{-k} - 1] \quad (4.9b)$$

$$\text{Weibull : } y_m = [-\ln(1 - F_m)]^k \quad (4.9c)$$

$$\text{Lognormal : } y_m = \text{inverf}(F_m) \quad (4.9d)$$

而  $\Delta \bar{r}$  之計算依各極值分布函數 Goda (2000) 建議為

$$\Delta \bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad (4.10)$$

式(5.10)中  $N$  為樣本個數係數， $\bar{a}$ 、 $\bar{b}$  及  $\bar{c}$  值依不同分佈分別示如表 4.3。

表 4.3 相關係數殘差平均值公式之係數  $\bar{a}$ ， $\bar{b}$  及  $\bar{c}$  值

分佈函數	係數 $\bar{a}$	係數 $\bar{b}$	係數 $\bar{c}$
Gumbel	-2.310	-0.3122	-0.044
GEV ( $k=2.5$ )	-2.455	-0.1582	0
( $k=4.33$ )	-2.471	-0.1970	-0.007
( $k=5.0$ )	-2.463	-0.2241	-0.019
( $k=10.0$ )	-2.409	-0.2580	-0.033
Weibull ( $k=0.75$ )	-2.603	-0.1009	-0.047
( $k=1.0$ )	-2.355	-0.2612	-0.043
( $k=1.4$ )	-2.221	-0.3668	-0.044
( $k=2.0$ )	-2.047	-0.4767	-0.041
Lognormal	-2.094	-0.4343	-0.045

#### 4.4.2 RMSE 檢定:

因 MIR 值係與相關係數有關表示與推估各排序機率下之整體波高與樣本間之相關性程度，若計算出各排序機率下之波高與樣本之誤差有相似誤差，其 MIR 值就小，為整體評估各排序機率下之波高與樣本間之誤差，另外可以 RMSE 來當檢定標準。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2} \quad (4.11)$$

其中  $x_m$  為推估各排序機率下之波高。

#### 4.4.3 ER 檢定:

極值分析主要是推估各重現期之極值，當樣本數量多時，樣本最大值代表具有欲計算重現期之物理量，因此本研究仿往昔學者比較樣本最大值之推估值與實測值之差異。ER 定義如下

$$ER = |x_{MAX} - (x_{MAX})_m| \quad (4.12)$$

### 4.5 推估值之標準偏差

利用極值分析所推算出的各種限期之物理值，因為收集到的數據不可能完全符合選擇之分布函數，故所推算之結果必含有不確定性，亦即推算結果僅是機率上之平均值，其偏差量大小應要予以估算。

#### 4.5.1 Goda(2000)方法:

Gumbel 分佈之估算值之標準偏差量為

$$\sigma(x_R) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1 + 0.885(y_R - \gamma) + 0.6687(y_R - \gamma)^2 \right]^{1/2} \sigma_x \quad (4.13)$$

式(4.13)中  $\sigma_x$  為樣本  $x$  之標準偏差， $y_R$  為重現期之基準化變量，即式(4.10)， $x_R$  為重現期之推算值。其他分佈並無簡易公式推定，合田和

小舟(1989)提出以補助統計量的標準偏差 $\sigma_z$ 乘以樣本  $x$  之標準偏差 $\sigma_x$ ，當做推算偏差量

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \quad (5.14)$$

Gumbel、GEV 及 Weibull 分佈之標準偏差 $\sigma_z$ 為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1.0 + \hat{A}(y_R - c)^2 \right]^{1/2} \quad (4.15)$$

而 $\hat{A}$ 值在 Gumbel 及 Weibull 分佈為：

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \quad (4.16a)$$

但 GEV 及 FT-II 之 $\hat{A}$ 值可表為

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 \left[ \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) \right]^2 - \kappa \left[ \ln\left(\frac{1}{v_0}\right) \right]^2} \quad (4.16b)$$

式(4.15)至式(4.16)中之係數如所示

表 4.4 重現期推算量之標準偏差公式中之係數

分佈函數	$a_1$	$a_2$	$\kappa$	$c$	$N_0$	$v_0$
Gumbel	0.64	9.0	0.93	0		
GEV ( $1/k=2.5$ )	1.27	0.12	0.24	0.3	23	1.34
( $1/k=4.33$ )	1.23	0.09	0.36	0.2	25	0.66
( $1/k=5.0$ )	1.34	0.07	0.41	0.1	35	0.45
( $1/k=10.0$ )	1.48	0.06	0.47	0.0	60	0.34
Weibull ( $k=0.75$ )	1.65	11.4	-0.63	0.0		
( $k=1.0$ )	1.92	11.4	0.00	0.3		
( $k=1.4$ )	2.05	11.4	0.69	0.4		
( $k=2.0$ )	2.24	11.4	1.34	0.5		

至於對數常態函數之 $\sigma_z$ 則為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1.2 + 0.65(y_R - 0.2)^{2.0} \right]^{1/2} \quad (4.17)$$

#### 4.5.2 MLE 方法：



MLE 推估估算值之標準偏差量時需先計算一個資訊矩陣 (information matrix)，以 Gumbel 分佈為例其定義為

$$IE = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 l}{\partial A^2} & -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} \\ -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} & -\frac{\partial^2 l}{\partial B^2} \end{bmatrix} \quad (4.18)$$

變異與共變異矩陣  $\mathbf{V}$  (variance-covariance matrix) 為資訊矩陣之反矩陣。而重現期之推估值可表為

$$x_R = B - A \ln(F_R) \quad (4.19)$$

其中  $F_R = 1 - 1/T$ ， $T$  為重現期。因分佈函數內參數之變化率則為

$$\nabla x_R = \begin{bmatrix} \frac{\partial x_R}{\partial A} & \frac{\partial x_R}{\partial B} \end{bmatrix} = [-\ln F_R, 1] \quad (4.20)$$

估算值之變異數則為

$$Var(x_R) = \nabla x_R \mathbf{V} (\nabla x_R)^T \quad (4.21)$$

將式(4.21)取開根號則為估算值之標準偏差量。此推導原理可詳見 Coles (2001)。

## 4.6 資料分析

本章說明資料分析的相關處理，先介紹遺漏資料補齊方法，再利用箱型圖分析檢驗資料是否含有異常雜訊，以建立分析樣本，最後介紹由樣本推估重現期極值波高的方法。

### 4.6.1 資料選取及補遺

本文分析的波浪觀測資料為本所港灣技術研究中心於安平港與臺北港海象觀測站每隔一個小時記錄一筆波高與週期資料。分別以月與年為單位時間間隔，將單位時間間隔內的波高資料由大至小的順序排

列後，選取每個單位時間間隔內的最大波高（即一月選一筆月最大波高及一年選一筆年最大波高），做為分析極值波高的樣本資料。

當有某月份缺乏整個月的觀測資料，為保持整體資料的完整性並考慮資料的平均趨勢，本文將波浪資料以年為單位，若當年只缺一個月份的極值波高時，取該年其他月份極值波高的平均值做為該月的極值波高；若當年內缺兩個月份的極值波高時，則先判別該月是否有颱風來襲，再分別取該年發生颱風月份極值波高的平均值或未發生颱風月份極值波高的平均值，做為該月的極值波高。

#### 4.6.2 箱型圖分析決定取樣資料

利用儀器蒐集現場資料的過程中，常因電壓的不穩定或其它不明原因而產生異常的雜訊，本文分析的對象為極值資料，極易和異常雜訊混淆不清，因此必需進一步檢定資料的合理性。本文引用統計學上的箱型圖（Box Plot）理論進行資料之篩分，並佐以當地的海象資料以研判資料的合理性。箱型圖架構如圖 4.1 所示

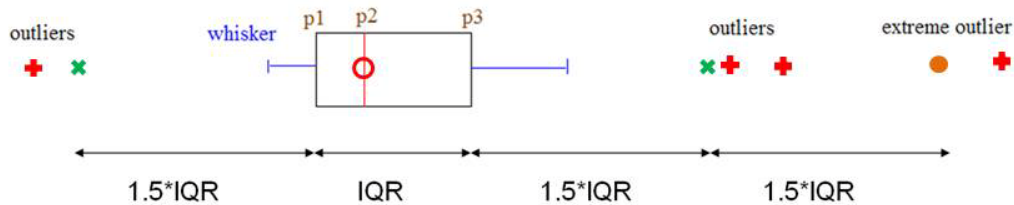


圖 4.1 箱型圖架構示意圖

圖 4.1 顯示，三個四分位數(即圖上 p1、p2、p3 點位值)構成箱型結構，組成箱型圖主體。其箱型之長度為 p3-p1 的值，稱為分位數間隔（interquartile range, IQR）。

進行箱型圖檢定時，首先將所有資料從小至大排序，之後判定四分位數值。

$$I_i = N*i/4, \quad i=1,2,3,4 \quad (4.22)$$

式(4.22)中， $N$  為總資料個數。 $I_i$  為排序資料中第  $i$  個四分位數的位置， $p_i$  為該位置處的資料值，稱之為第  $i$  個四分位數。估算第一四分位數 ( $p_1$ ) 與第三四分位數 ( $p_3$ ) 時，分別取  $i=1、3$ ，即排序為第 25% 與 75% 位置處的資料值，用以描述資料之離散程度；估算第二四分位數 ( $p_2$ ) 時，取  $i=2$ ，為排序第 50% 處的資料值，描述資料的中位數，若中位數偏左代表多數樣本數據偏小；反之，若中位數偏右代表多數樣本數據偏大。由式(4.22)中計算出四分位數，繪出箱型主體後，須判定大於 75% 與小於 25% 的極值波高，以 1.5 倍與 3 倍的 IQR 分別定義為雜訊 (outlier) 與極端雜訊 (extreme outlier) 之界線，以符號  $\times$  及  $\bullet$  表示之。另外樣本之範圍則以觸鬚 (whisker) 表示之，觸鬚範圍為箱型外向兩側延伸至樣本不大於 1.5 倍 IQR 之最大值及最小值；若樣本最大值或最小值超過觸鬚範圍時，則以十字表示。若樣本最大值介於 1.5 倍與 3 倍 IQR 資料間，即雜訊，而樣本最大值大於 3 倍 IQR 時，稱為極端雜訊。以月最大法選取的臺北港與安平港每月最大波高資料如表 4.5 及表 4.6 所示。其中表內底色部分標明因資料不齊全而採用年後兩年該月資料進行內插的結果。

表 4.5 臺北港每月最大波高資料表 (單位:m)

月份 年代	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
1999	4.36	4.26	4.16	3.35	1.78	1.62	1.46	1.11	1.22	2.86	4.49	4.82
2000	5.03	3.28	2.52	2.74	2.13	2.21	1.67	2.67	4.56	4.71	4.85	4.87
2001	2.83	3.64	2.70	3.14	2.43	2.04	1.87	1.66	4.55	6.54	2.26	1.72
2002	3.28	3.26	2.16	1.91	0.89	0.67	2.21	1.13	3.45	2.07	2.00	2.30
2003	3.73	2.88	1.61	1.96	1.70	1.72	1.34	1.15	2.50	2.49	2.63	3.10
2004	2.71	2.92	3.30	3.40	2.65	1.69	2.61	6.11	3.55	3.13	3.18	3.68
2005	3.42	3.68	3.78	2.17	2.22	2.12	4.01	5.03	3.19	3.76	3.73	3.85
2006	4.26	4.01	4.38	3.45	2.04	0.72	2.91	1.88	5.44	2.11	2.56	3.13
2007	3.24	2.80	2.87	3.80	1.86	2.11	2.10	1.23	4.13	2.32	3.24	2.61
2008	3.64	3.49	3.05	2.30	2.43	1.84	2.58	1.70	4.07	2.52	3.91	5.41
2009	3.79	2.64	3.23	2.23	1.65	2.66	2.02	4.19	1.93	3.22	4.58	3.61
2010	3.68	3.60	3.53	3.23	1.86	2.13	2.31	2.14	2.94	5.06	3.06	4.76

表 4.6 安平港每月最大波高資料表 (單位:m)

月份 年代	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
2000	0.86	0.85	0.78	0.54	1.10	1.25	2.16	3.52	2.73	1.29	1.74	0.87
2001	0.99	0.83	0.75	1.10	2.06	6.92	5.53	2.25	2.58	1.2	0.80	1.24
2002	1.07	0.95	0.63	1.39	2.34	1.41	3.96	6.99	2.32	0.9	1.00	1.08
2003	1.33	1.48	0.83	0.94	0.51	2.07	3.9	3.19	3.52	0.76	0.84	0.92
2004	0.92	1.13	1.03	1.17	1.32	1.72	5.01	2.42	2.95	1.24	0.85	2.91
2005	1.17	0.97	1.33	1.01	1.63	3.64	4.76	4.72	4.05	2.06	0.85	1.02
2006	0.98	1.15	0.87	1.48	5.80	2.72	5.35	2.88	1.35	1.12	0.84	0.90
2007	0.85	0.85	0.95	1.26	0.97	1.85	2.01	5.83	1.50	3.57	1.32	1.29
2008	1.39	1.52	1.14	1.21	1.02	3.73	1.67	5.81	3.28	1.25	1.41	3.52
2009	2.04	2.11	1.33	1.53	1.10	7.20	3.63	7.66	3.45	2.26	1.15	0.88
2010	1.15	1.19	1.22	0.95	1.89	1.45	2.26	2.75	2.96	5.15	1.01	0.52

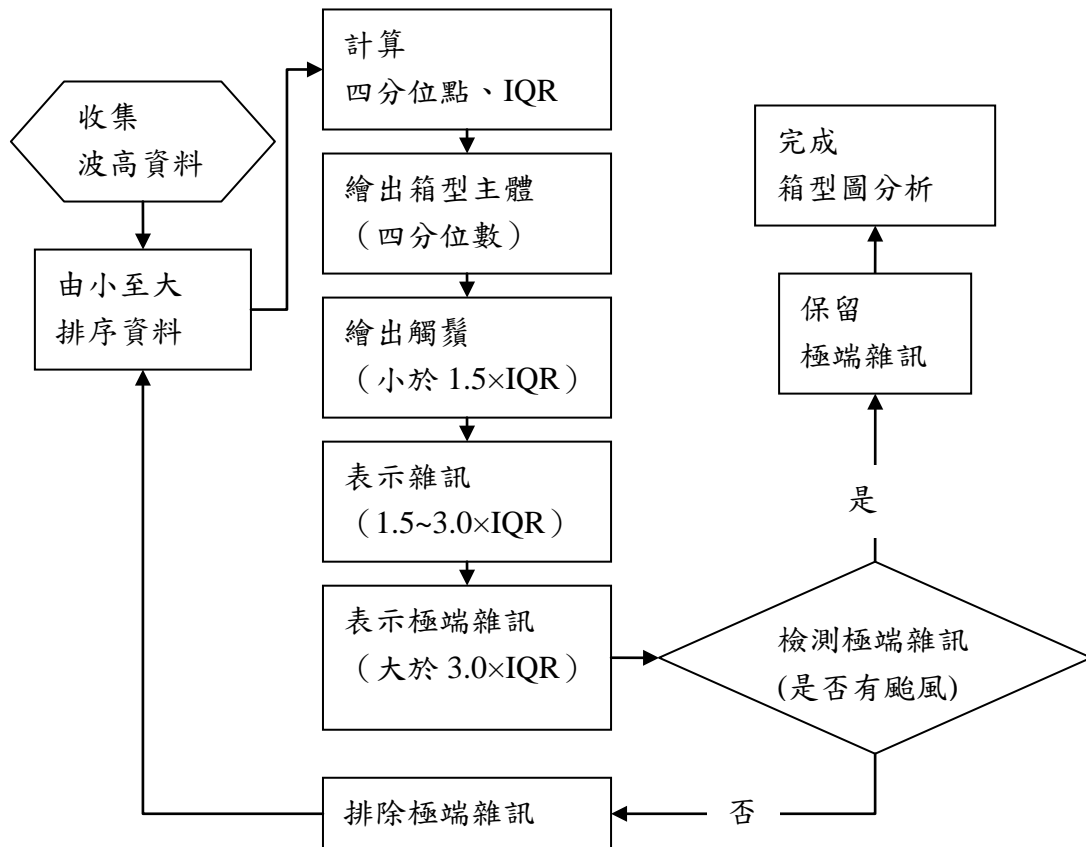


圖 4.2 箱型圖分析流程圖

將表 4.5 與表 4.6 的每月最大波高資料代入箱型圖分析，篩分出屬於極值雜訊的波高及其發生時間，其過程詳見圖 4.2 流程圖。經由箱型圖分析後，通常會將極端雜訊的樣本資料捨棄，但因本文探討對象為極端值波高，篩分出的極端雜訊可能是當地的異常氣象所造成，不能冒然捨棄極端雜訊的樣本資料。因此引用中央氣象局所提供的颱風資料，與發生極端雜訊波高的時間點做進一步之比對，以決定極端雜訊波高的取捨。圖 4.3 及圖 4.4 所示分別為臺北港 1999 至 2010 年與安平港 2000 至 2010 年每個月極值波高的箱型圖。圖中符號說明如圖 21 所示。由圖 4.3、圖 4.4 與表 4.7 至表 4.8 可知，臺北港月最大波高皆未超過雜訊上界限值，因此 2006 年 6 月、7 月所發生的之極值波高，均屬於雜訊波高。由於安平港 2004 年 12 月所發生 3.52m 以及 2.91m 以及 2006 年 5 月 5.8m 的最大波高，均超過雜訊上界限值為 2.52m 及 5.18m。

依中央氣象局提供的歷年颱風資訊，2008 年 12 月份沒有颱風之影響，因此認定波高 3.52m 為極端雜訊，排除極端雜訊之後重新計算之 12 月箱型圖分析數值，雜訊上界限值因此變更為 2.32。但 2004 年 12 月 03 日至 04 日及 2006 年 5 月 21 日至 24 日間曾發生中度颱風-南瑪都及中度颱風-珍珠，颱風路徑皆為第九類，屬於通過臺灣南部向東或東北部直接影響安平港的路徑；箱形圖分析得之極端雜訊波高發生於颱風侵襲臺灣之際，該極值波高極有可能是颱風所造成，而並非儀器產生的異常雜訊，故此極端雜訊波高被保留進行後續的分析，因此 2004 年 12 月發生的 2.91m 及 2006 年 5 月此發生之 5.8m 極值波高屬於極端雜訊波高，而 1、6 及 10 月的極值波高均屬於雜訊波高。

表 4.7 臺北港 1999-2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位：m)

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
第一四分位數	3.24	2.88	2.52	2.17	1.70	1.62	1.67	1.15	2.50	2.32	2.56	2.61
中位數	3.64	3.28	3.05	2.74	1.86	1.84	2.10	1.70	3.45	2.86	3.18	3.61
第三四分位數	3.79	3.64	3.53	3.35	2.22	2.12	2.58	2.67	4.13	3.76	3.91	4.76
IQR	0.55	0.76	1.01	1.18	0.52	0.50	0.91	1.52	1.63	1.44	1.35	2.15
1.5*IQR	0.83	1.14	1.52	1.77	0.78	0.75	1.37	2.28	2.45	2.16	2.03	3.23
3*IQR	1.65	2.28	3.03	3.54	1.56	1.50	2.73	4.56	4.89	4.32	4.05	6.45
觸鬚上界限	4.62	4.78	5.05	5.12	3.00	2.87	3.95	4.95	6.57	5.92	5.94	7.98
雜訊上界限	5.44	5.92	6.56	6.89	3.78	3.62	5.31	7.23	9.02	8.08	7.96	11.21

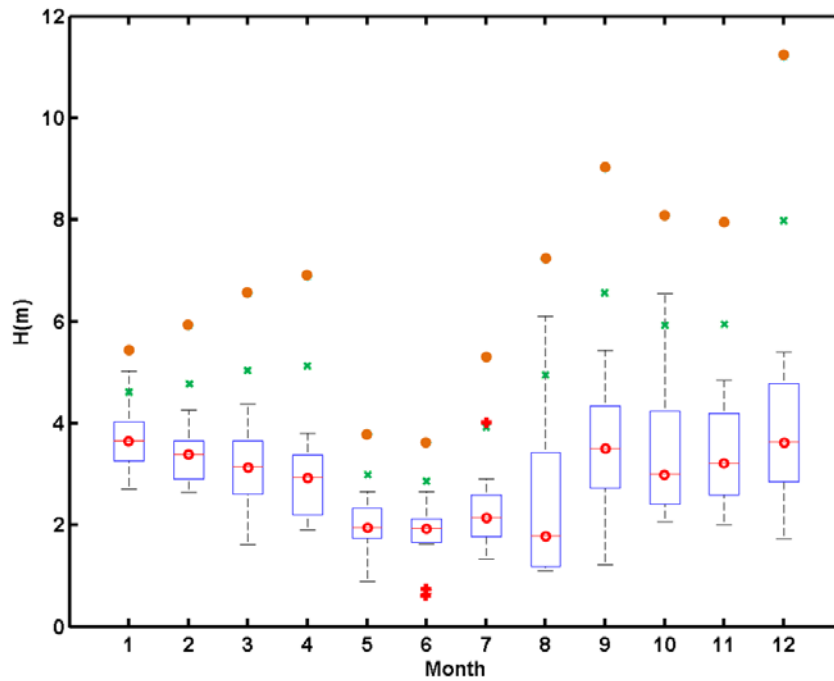


圖 4.3 臺北港 1999-2010 年極值波高箱型圖

表 4.8 安平港 2000-2010 年每月波高之箱型圖分析表 (單位：m)

月份	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月
第一四分位數	0.92	0.85	0.78	0.95	1.02	1.45	2.16	2.75	2.32	1.12	0.84	0.88
中位數	1.07	1.13	0.95	1.17	1.32	2.07	3.90	3.52	2.95	1.25	1.00	0.92
第三四分位數	1.33	1.48	1.22	1.39	2.06	3.73	5.01	5.83	3.45	2.26	1.32	1.24
IQR	0.41	0.63	0.44	0.44	1.04	2.28	2.85	3.08	1.13	1.14	0.48	0.36
1.5*IQR	0.62	0.95	0.66	0.66	1.56	3.42	4.28	4.62	1.70	1.71	0.72	0.54
3*IQR	1.23	1.89	1.32	1.32	3.12	6.84	8.55	9.24	3.39	3.42	1.44	1.08
觸鬚上界限	1.95	2.43	1.88	2.05	3.62	7.15	9.29	10.45	5.15	3.97	2.04	1.78
雜訊上界限	2.56	3.37	2.54	2.71	5.18	10.57	13.56	15.07	6.84	5.68	2.76	2.32

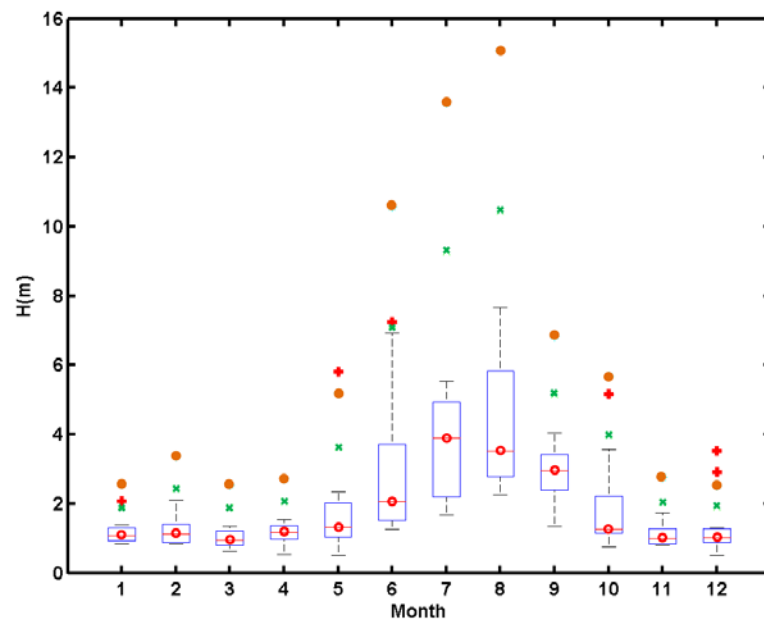


圖 4.4 安平港 2000-2010 年極值波高箱型圖

依中央氣象局提供的歷年颱風資訊，2004 年 12 月 03 日至 04 日及 2006 年 5 月 21 日至 24 日間曾發生中度颱風-南瑪都及中度颱風-珍珠，颱風路徑皆為第九類，屬於通過臺灣南部向東或東北部直接影響安平港的路徑；箱形圖分析得之極端雜訊波高發生於颱風侵襲臺灣之際，

該極值波高極有可能是颱風所造成，而並非儀器產生的異常雜訊，故此極端雜訊波高被保留進行後續的分析。

### 4.6.3 重現期的極值波高估算

利用前節所述之參數推定法推得不同分佈時的尺度參數及位置參數後，可推估各重現期的極值波高。將欲求的重現期年值  $T$ ，以年為單位，代入式(4.23)中可計算  $T$  年重現期的可靠度累積機率  $F_T$

$$F_T = 1 - 1/T \quad (4.23)$$

將  $F_T$  取代式(4.9)中的  $F_m$ ，可計算得  $T$  年重現期的基準化變量  $y_T$ 。將尺度參數設為斜率、位置參數設為截距與  $T$  年重現期基準化變量代入式(4.8)，可得  $T$  年重現期的極值波高  $x_T$ 。圖 4.5 所示為估算  $T$  年重現期之極值波高流程圖。

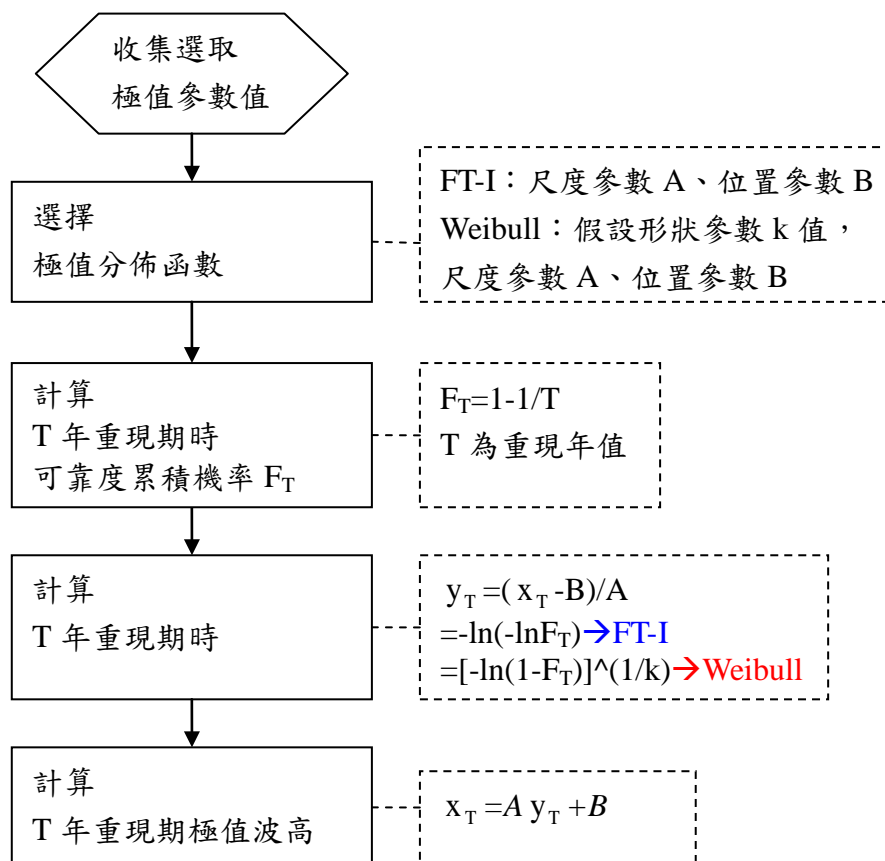


圖 4.5  $T$  年重現期極值波高之估算流程示意圖



## 4.7 分析結果

利用臺北港 1999 至 2010 年與安平港 2000 至 2010 年之波高進行月極值統計分析，考量不同極值分布函數的適用性，並推算出各重現期的波高值，由表 4.9 至表 4.20 及圖 4.6 至圖 4.17 之檢定指標顯示，MIR 值在 LSM 及 MLE 兩種推估法中除了對數常態分佈稍有變動外，其餘各極值函數所得到之數值幾乎相等，而從 RMSE 值顯示，LSM 推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之 RMSE 較 MLE 推估法低，因此極值推估法以 LSM 推估臺北及安平港較佳。

另外機率分布函數從各檢定指標來說，臺北港總共 12 年各月份波高除了 4、8 及 10 月為 Weibull 分布誤差較小之外，其餘大部分月份皆可以 GEV 分布來代表其適合之極值函數，從表 4.9 及表 4.20 與圖 4.6 及圖 4.17 顯示，8 月及 10 月因其各年最大波高的變動程度較大，8 月各年份最大波高變動高達 5m，10 月也有 4.47m，因此 GEV 分布的 RMSE 也跟著有所影響，分別為 0.81 及 0.54m，跟使用 Weibull 分布所推算之 RMSE 就有所差距。扣除 8 月及 10 月數據之外，從圖 4.6 及圖 4.17 可顯示，使用推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本，其結果皆不會太差，選用各月份適合分布後，所推算波高與樣本間之 RMSE 值為 0.08-0.22m 之間。若推估重現期為  $T=10$ 、25、50 及 100 年之各極值分布函數之波高( $x_R$ )及其推算標準偏差( $\sigma$ )顯示，各月份以推估標準偏差最小的極值函數作為標準，臺北港各月份皆以 MIR 及 RMSE 值所推估出來的最適合分布擁有適當之標準偏差，因此以極值函數 Weibull 分布及 GEV 分布推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度情況下，推算各月份波高值分別為一月 4.06m 至 6.52m、二月 3.67m 至 5.23m、三月 3.55m 至 5.51m、四月 3.26m 至 5.5m、五月 2.17m 至 3.15m、六月 2.02m 至 3.28m、七月 2.52m 至 6.2m、八月 1.7m 至 13.9m、九月 4.11m 至 7.05m、十月 2.8 m 至 12.8m、十一月 3.94m 至 6.68m 及十二月 4.22m 至 6.88m。

表 4.9 推估 1 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		0.32	0.43	0.40	0.32	0.32	0.43	0.41	0.32
RMSE( $m$ )		0.09	0.10	0.10	0.10	0.09	0.12	0.11	0.11
Xe ( $m$ )		0.05	0.02	0.04	0.05	0.06	0.11	0.00	0.01
$x_R(m)$	10	4.59	4.59	4.57	4.59	4.57	4.51	4.53	4.49
	25	5.10	5.00	4.98	5.01	5.07	4.88	4.92	4.87
	50	5.48	5.27	5.27	5.29	5.45	5.12	5.19	5.13
	100	5.86	5.51	5.54	5.54	5.82	5.35	5.44	5.37
$\sigma (m)$	10	0.39	0.41	0.26	0.43	0.37	0.35	0.35	0.39
	25	0.53	0.50	0.31	0.55	0.47	0.44	0.46	0.63
	50	0.64	0.56	0.35	0.63	0.56	0.49	0.54	0.86
	100	0.74	0.61	0.38	0.71	0.64	0.55	0.63	1.13

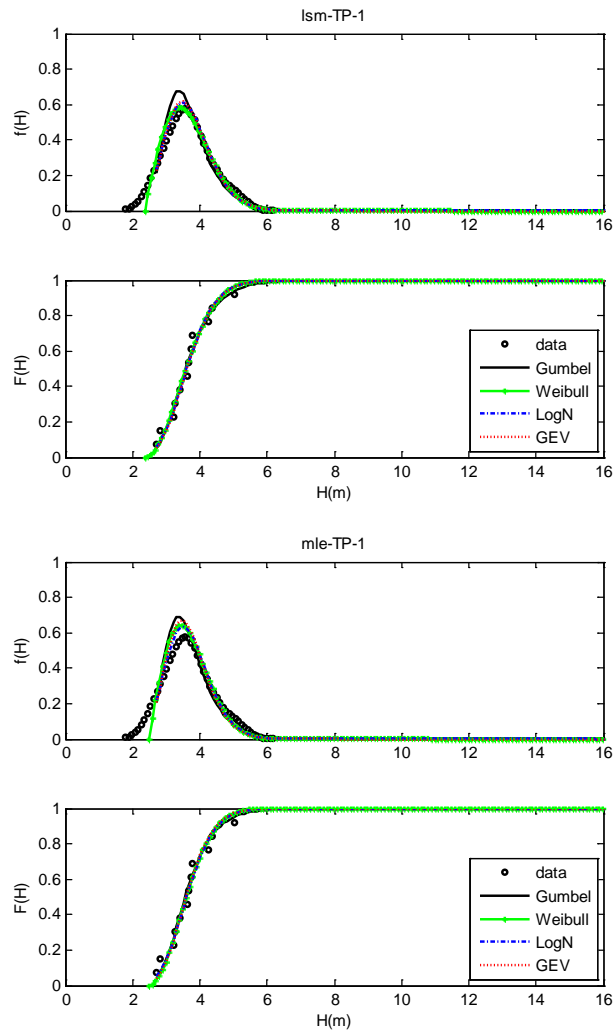


圖 4.6 推估 1 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.10 推估 2 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.60	0.43	0.40	0.29	0.60	0.43	0.39	0.29
RMSE(m)		0.10	0.08	0.08	0.08	0.10	0.09	0.08	0.09
Xe (m)		0.05	0.02	0.05	0.12	0.03	0.08	0.02	0.08
$x_R(m)$	10	4.07	4.08	4.07	4.06	4.08	4.02	4.04	3.99
	25	4.46	4.39	4.38	4.30	4.48	4.30	4.33	4.21
	50	4.75	4.60	4.59	4.45	4.78	4.49	4.53	4.34
	100	5.03	4.79	4.79	4.57	5.07	4.66	4.72	4.45
$\sigma (m)$	10	0.30	0.31	0.20	0.29	0.27	0.27	0.26	0.26
	25	0.41	0.38	0.24	0.36	0.35	0.33	0.34	0.43
	50	0.49	0.43	0.27	0.40	0.41	0.38	0.40	0.59
	100	0.57	0.47	0.29	0.43	0.47	0.42	0.46	0.75

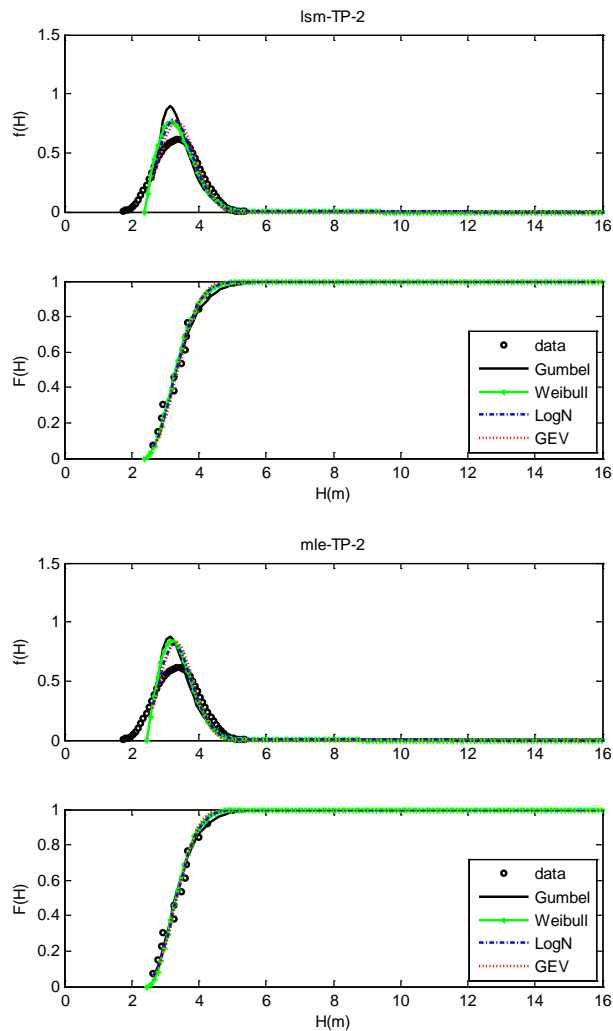


圖 4.7 推估 2 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.11 推估 3 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.84	0.60	0.68	0.09	0.84	0.60	0.66	0.09
RMSE(m)		0.19	0.15	0.17	0.08	0.22	0.27	0.16	0.10
Xe (m)		0.41	0.36	0.25	0.07	0.26	0.75	0.28	0.06
$x_R(m)$	10	4.22	4.24	4.36	4.15	4.42	4.04	4.32	4.06
	25	4.84	4.74	5.00	4.40	5.14	4.41	4.93	4.30
	50	5.30	5.07	5.47	4.53	5.67	4.65	5.37	4.43
	100	5.76	5.37	5.92	4.62	6.20	4.87	5.81	4.52
$\sigma (m)$	10	0.48	0.50	0.33	0.41	0.40	0.40	0.52	0.28
	25	0.65	0.61	0.39	0.47	0.49	0.48	0.72	0.39
	50	0.78	0.68	0.43	0.50	0.57	0.53	0.88	0.50
	100	0.91	0.75	0.47	0.53	0.64	0.58	1.05	0.60

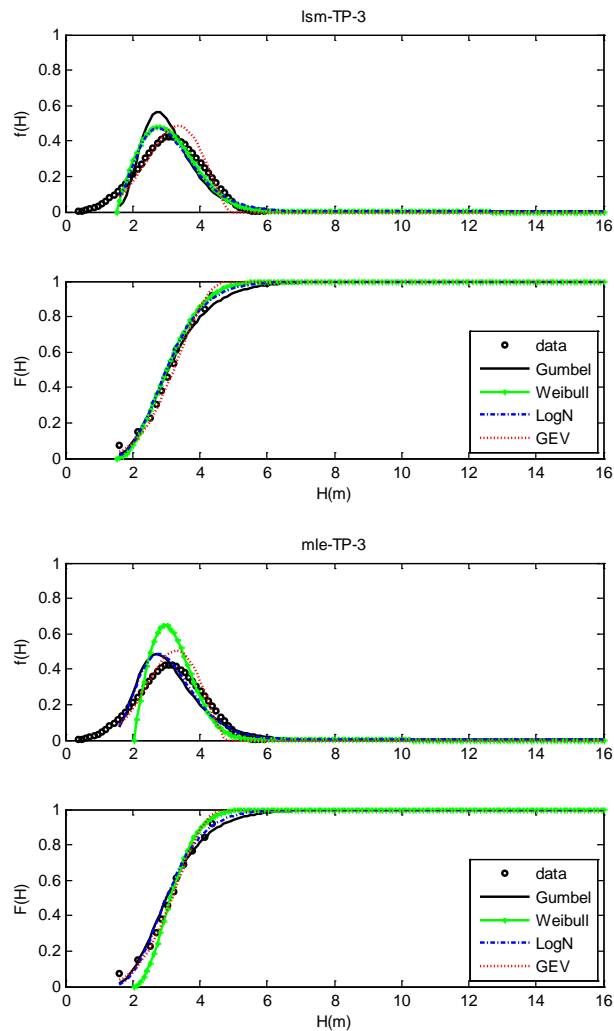


圖 4.8 推估 3 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.12 推估 4 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.78	1.44	1.54	1.51	1.78	1.44	1.54	1.51
RMSE(m)		0.22	0.19	0.20	0.21	0.23	0.19	0.20	0.22
Xe (m)		0.03	0.02	0.09	0.41	0.06	0.05	0.08	0.52
$x_R(m)$	10	3.70	3.72	3.75	3.58	3.76	3.66	3.74	3.57
	25	4.19	4.12	4.22	3.73	4.29	4.03	4.20	3.73
	50	4.56	4.38	4.55	3.80	4.69	4.28	4.52	3.80
	100	4.92	4.63	4.86	3.85	5.09	4.51	4.84	3.85
$\sigma (m)$	10	0.40	0.41	0.27	0.32	0.35	0.34	0.38	0.14
	25	0.54	0.50	0.32	0.36	0.44	0.42	0.51	0.13
	50	0.65	0.57	0.36	0.37	0.52	0.47	0.61	0.15
	100	0.75	0.62	0.39	0.39	0.59	0.52	0.71	0.18

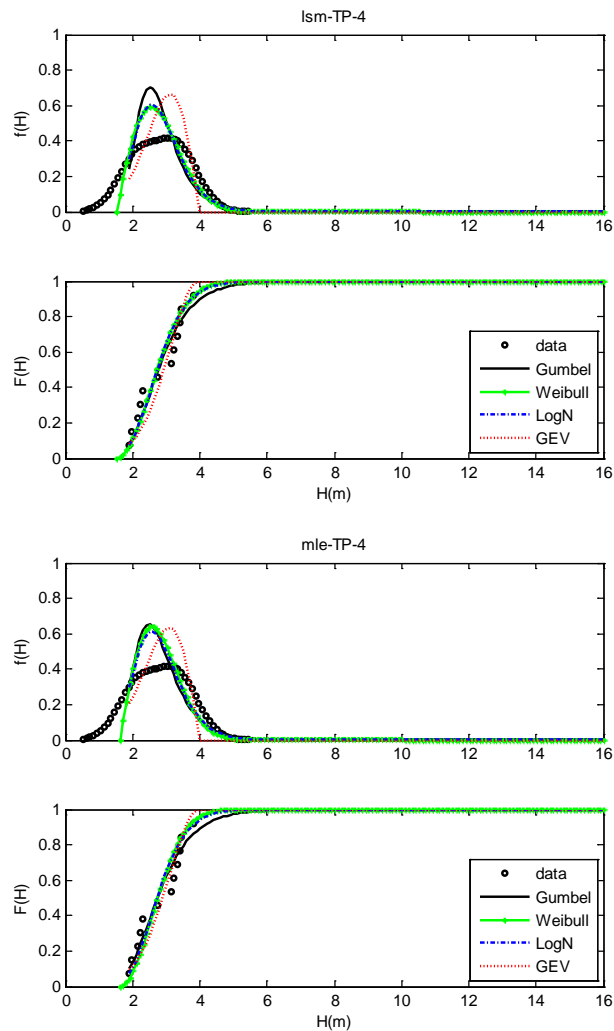


圖 4.9 推估 4 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.13 推估 5 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		2.26	2.19	2.10	0.59	2.26	2.19	2.15	0.59
RMSE(m)		0.17	0.16	0.17	0.09	0.25	0.24	0.19	0.10
Xe (m)		0.48	0.45	0.34	0.11	0.27	0.77	0.31	0.05
$x_R(m)$	10	2.58	2.59	2.70	2.52	2.88	2.48	2.74	2.50
	25	2.92	2.87	3.06	2.61	3.36	2.66	3.14	2.60
	50	3.17	3.05	3.32	2.66	3.72	2.78	3.42	2.64
	100	3.42	3.21	3.58	2.69	4.07	2.89	3.69	2.67
$\sigma (m)$	10	0.28	0.29	0.19	0.22	0.20	0.00	0.28	0.09
	25	0.38	0.35	0.22	0.24	0.23	0.00	0.38	0.10
	50	0.45	0.40	0.25	0.25	0.26	0.00	0.45	0.11
	100	0.53	0.44	0.27	0.26	0.29	0.00	0.53	0.13

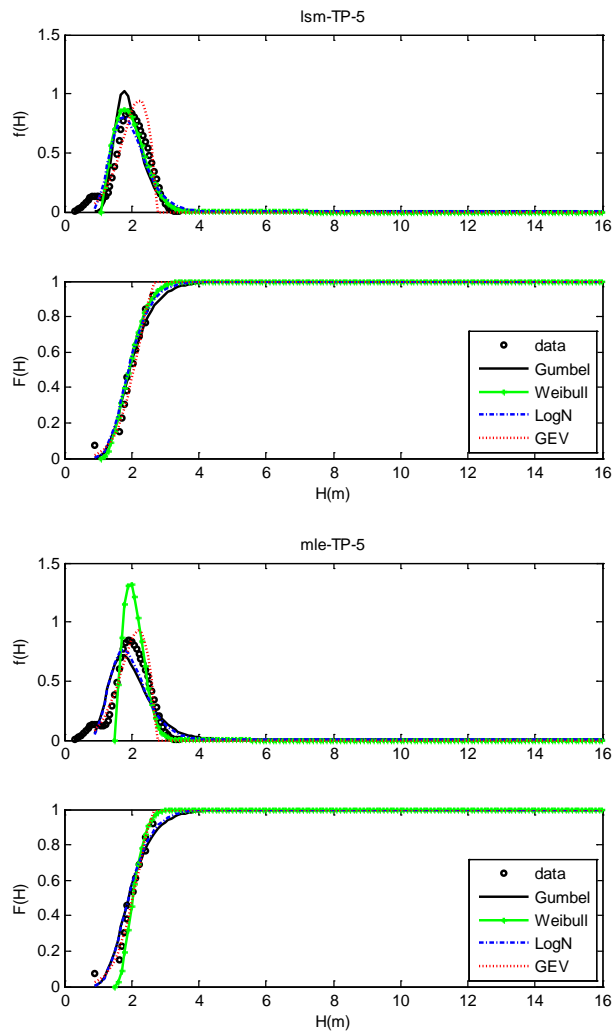


圖 4.10 推估 5 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.14 推估 6 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		3.38	3.35	3.92	1.16	3.38	3.35	4.12	1.16
RMSE(m)		0.26	0.25	0.31	0.17	0.34	0.40	0.36	0.17
Xe (m)		0.40	0.37	0.20	0.06	0.12	0.92	0.15	0.15
$x_R(m)$	10	2.53	2.55	2.78	2.47	2.89	2.44	2.91	2.46
	25	2.94	2.88	3.35	2.59	3.48	2.63	3.57	2.58
	50	3.24	3.10	3.78	2.65	3.92	2.75	4.07	2.64
	100	3.55	3.30	4.21	2.69	4.35	2.87	4.58	2.68
$\sigma (m)$	10	0.35	0.36	0.24	0.28	0.25	0.21	0.42	0.11
	25	0.48	0.44	0.28	0.31	0.30	0.15	0.59	0.11
	50	0.57	0.50	0.31	0.32	0.34	0.00	0.73	0.11
	100	0.66	0.55	0.34	0.33	0.38	0.00	0.89	0.13

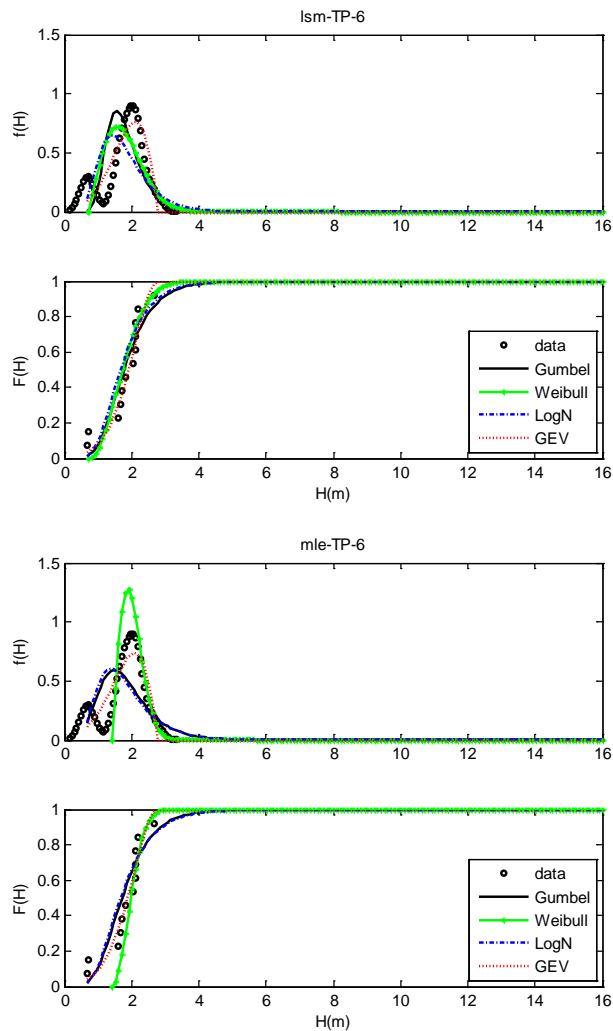


圖 4.11 推估 6 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.15 推估 7 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		0.41	0.44	0.57	0.28	0.41	0.44	0.59	0.28
RMSE( $m$ )		0.12	0.13	0.14	0.10	0.14	0.15	0.15	0.12
$X_e$ ( $m$ )		0.08	0.20	0.05	0.04	0.01	0.28	0.03	0.03
$x_R$ ( $m$ )	10	3.28	3.28	3.25	3.27	3.13	3.16	3.19	3.16
	25	3.84	4.00	3.77	3.88	3.63	3.80	3.68	3.73
	50	4.26	4.54	4.15	4.36	4.00	4.28	4.04	4.16
	100	4.68	5.08	4.52	4.85	4.37	4.76	4.39	4.61
$\sigma$ ( $m$ )	10	0.44	0.74	0.29	0.55	0.44	0.44	0.43	0.53
	25	0.59	1.08	0.35	0.77	0.59	0.55	0.60	0.94
	50	0.71	1.34	0.39	0.94	0.70	0.63	0.74	1.38
	100	0.82	1.59	0.43	1.12	0.81	0.69	0.88	1.95

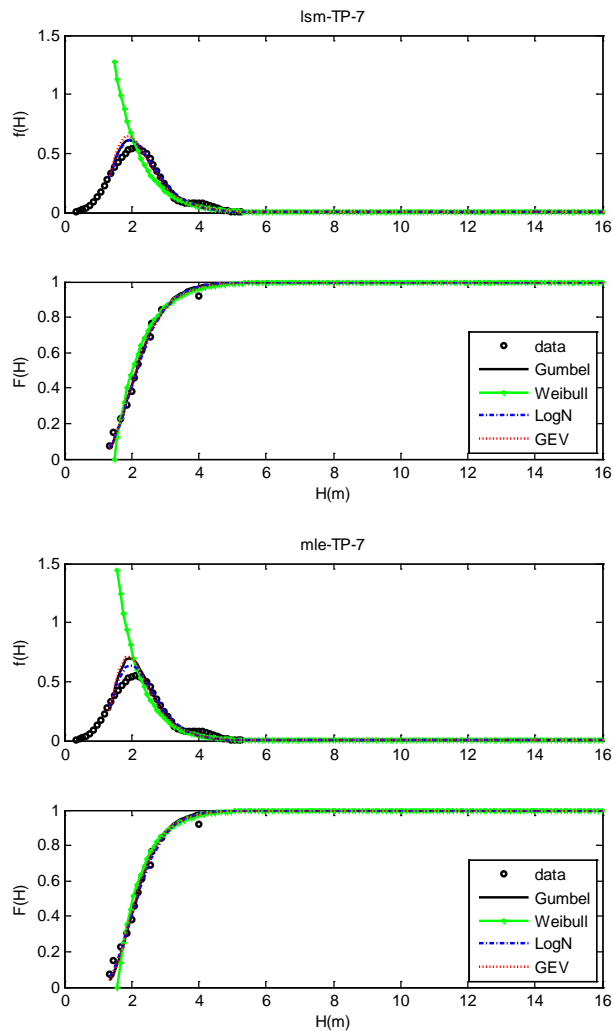


圖 4.12 推估 7 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖



表 4.16 推估 8 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.27	0.52	0.83	4.19	1.27	0.52	0.84	5.61
RMSE(m)		0.48	0.32	0.44	0.81	0.61	0.36	0.45	25.64
Xe (m)		0.87	0.28	0.33	0.80	0.47	0.11	0.33	0.03
$x_R(m)$	10	4.80	4.87	4.54	2.42	4.13	4.61	4.52	12.59
	25	6.08	6.54	6.03	4.87	5.11	6.09	6.00	-
	50	7.04	7.80	7.25	-	5.83	7.21	7.20	-
	100	7.98	9.06	8.55	-	6.55	8.33	8.48	-
$\sigma (m)$	10	1.02	1.74	0.68	-	1.21	1.00	1.11	0.42
	25	1.37	2.51	0.81	-	1.66	1.22	1.76	3.65
	50	1.64	3.11	0.90	-	2.00	1.37	2.36	-
	100	1.91	3.71	0.99	-	2.33	1.50	3.05	-

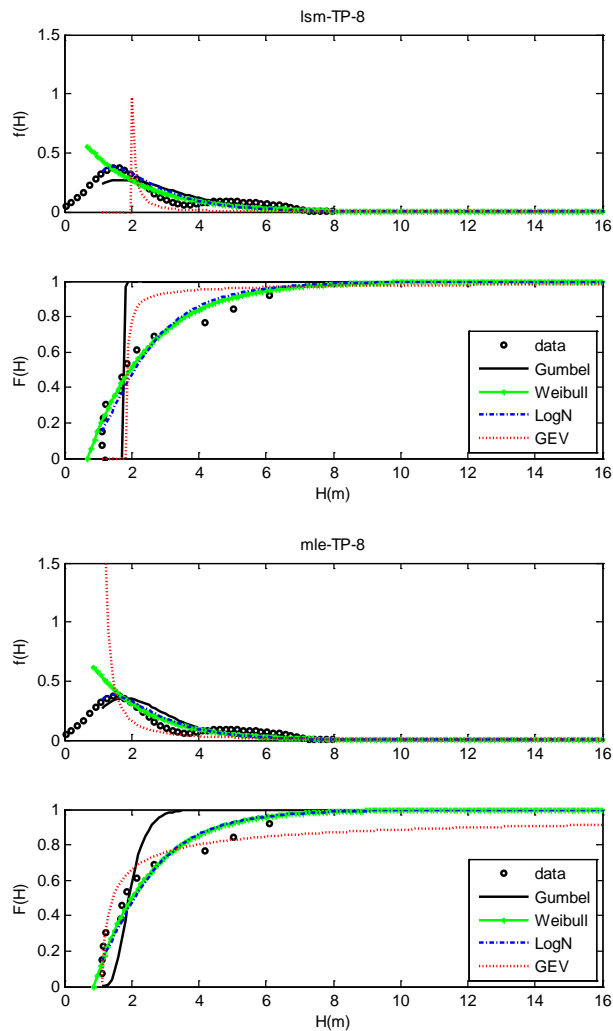


圖 4.13 推估 8 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.17 推估 9 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		1.13	0.89	1.46	0.10	1.13	0.89	1.46	0.10
RMSE( $m$ )		0.32	0.27	0.42	0.12	0.38	0.38	0.41	0.15
Xe ( $m$ )		0.63	0.56	0.41	0.09	0.36	1.05	0.41	0.07
$x_R(m)$	10	5.10	5.13	5.52	5.02	5.46	4.87	5.52	4.89
	25	6.01	5.86	6.72	5.39	6.54	5.44	6.71	5.25
	50	6.69	6.35	7.63	5.58	7.35	5.82	7.62	5.44
	100	7.36	6.80	8.56	5.72	8.15	6.17	8.54	5.58
$\sigma (m)$	10	0.72	0.74	0.48	0.62	0.58	0.59	0.93	0.39
	25	0.97	0.91	0.57	0.70	0.72	0.70	1.35	0.52
	50	1.16	1.02	0.64	0.75	0.83	0.78	1.71	0.63
	100	1.36	1.12	0.70	0.79	0.93	0.84	2.10	0.75

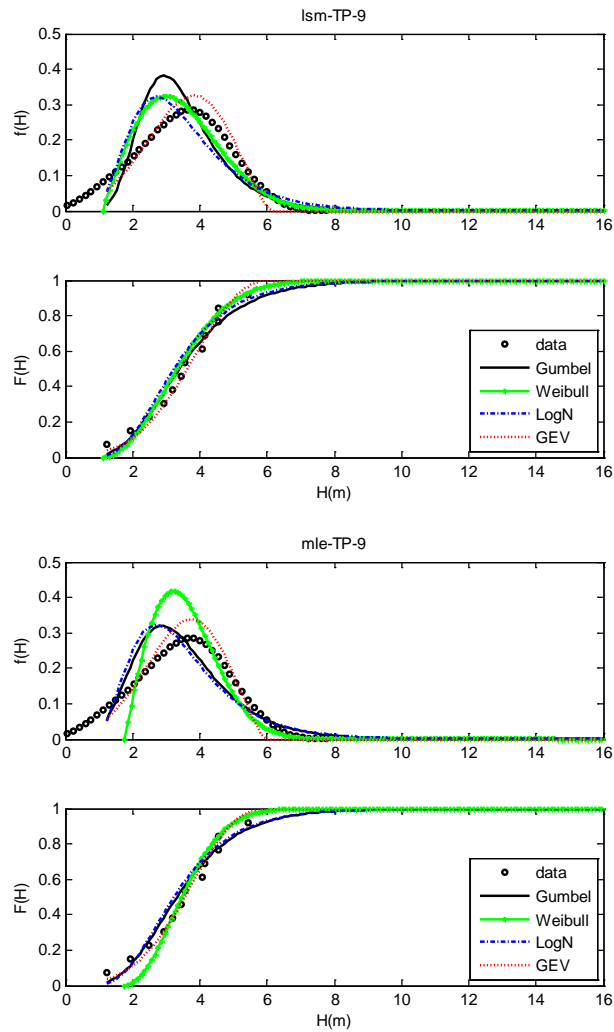


圖 4.14 推估 9 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.18 推估 10 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.62	0.16	0.64	2.26	0.62	0.16	0.66	2.26
RMSE(m)		0.27	0.14	0.30	0.54	0.40	0.22	0.32	1.48
Xe (m)		0.56	0.06	0.35	0.51	0.25	0.10	0.33	0.04
$x_R(m)$	10	5.33	5.37	5.16	4.22	4.83	5.12	5.10	5.52
	25	6.40	6.75	6.16	5.64	5.68	6.34	6.07	8.48
	50	7.20	7.80	6.90	7.33	6.31	7.26	6.78	12.01
	100	7.99	8.84	7.65	9.86	6.93	8.18	7.50	17.27
$\sigma (m)$	10	0.83	1.42	0.56	1.94	0.96	0.83	0.80	0.05
	25	1.12	2.06	0.66	3.83	1.31	1.02	1.14	0.12
	50	1.35	2.55	0.74	6.10	1.58	1.14	1.42	0.20
	100	1.57	3.04	0.81	9.49	1.84	1.25	1.73	0.32

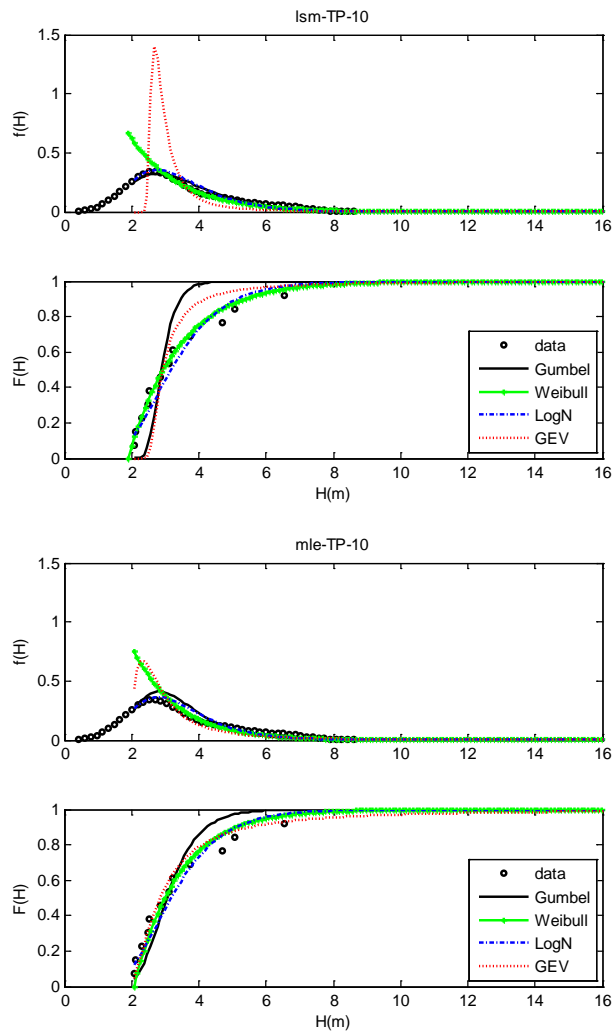


圖 4.15 推估 10 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.19 推估 11 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.79	0.51	0.67	0.34	0.79	0.51	0.65	0.34
RMSE(m)		0.21	0.16	0.19	0.17	0.21	0.18	0.18	0.19
Xe (m)		0.09	0.03	0.01	0.27	0.06	0.16	0.03	0.20
$x_R(m)$	10	4.68	4.71	4.77	4.66	4.69	4.59	4.70	4.51
	25	5.41	5.29	5.49	5.07	5.43	5.12	5.38	4.89
	50	5.95	5.68	6.01	5.31	5.98	5.48	5.87	5.11
	100	6.49	6.03	6.53	5.50	6.53	5.80	6.35	5.29
$\sigma (m)$	10	0.57	0.59	0.38	0.53	0.52	0.50	0.59	0.57
	25	0.77	0.71	0.45	0.64	0.67	0.63	0.82	1.06
	50	0.92	0.80	0.50	0.70	0.78	0.71	1.01	1.49
	100	1.07	0.88	0.55	0.76	0.89	0.79	1.20	1.92

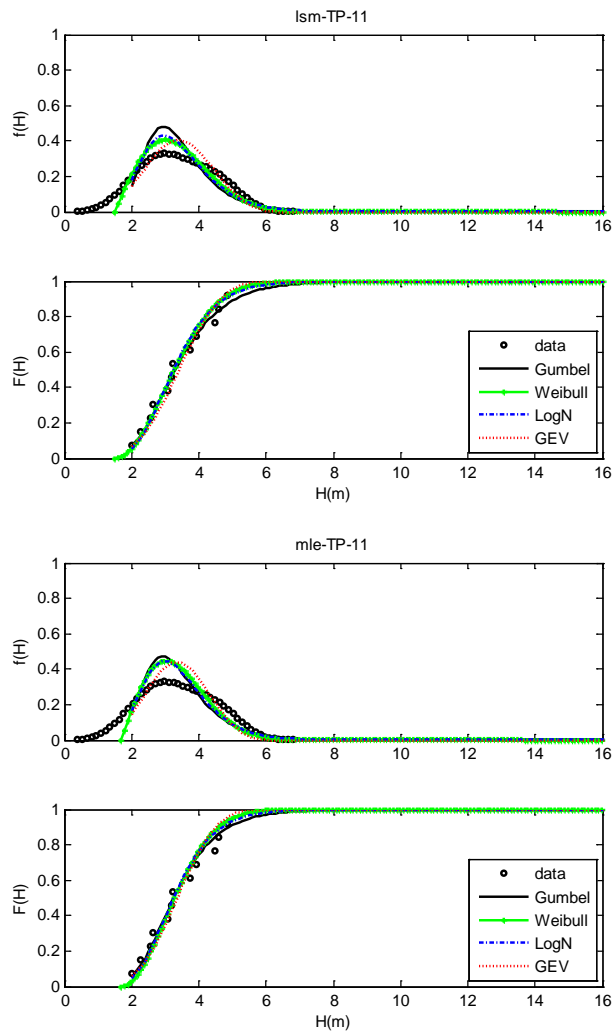


圖 4.16 推估 11 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.20 推估 12 月臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.15	0.83	1.18	0.34	1.15	0.83	1.15	0.34
RMSE(m)		0.31	0.25	0.32	0.22	0.33	0.25	0.31	0.23
Xe (m)		0.40	0.32	0.23	0.33	0.23	0.31	0.26	0.37
$x_R(m)$	10	5.22	5.26	5.47	5.09	5.41	5.21	5.40	5.00
	25	6.09	5.96	6.45	5.40	6.38	5.90	6.35	5.30
	50	6.74	6.42	7.18	5.55	7.10	6.36	7.04	5.45
	100	7.38	6.85	7.91	5.66	7.82	6.79	7.74	5.56
$\sigma (m)$	10	0.69	0.71	0.46	0.57	0.58	0.58	0.79	0.33
	25	0.93	0.87	0.55	0.64	0.73	0.70	1.12	0.49
	50	1.11	0.97	0.61	0.68	0.85	0.78	1.40	0.63
	100	1.30	1.07	0.67	0.71	0.97	0.85	1.69	0.77

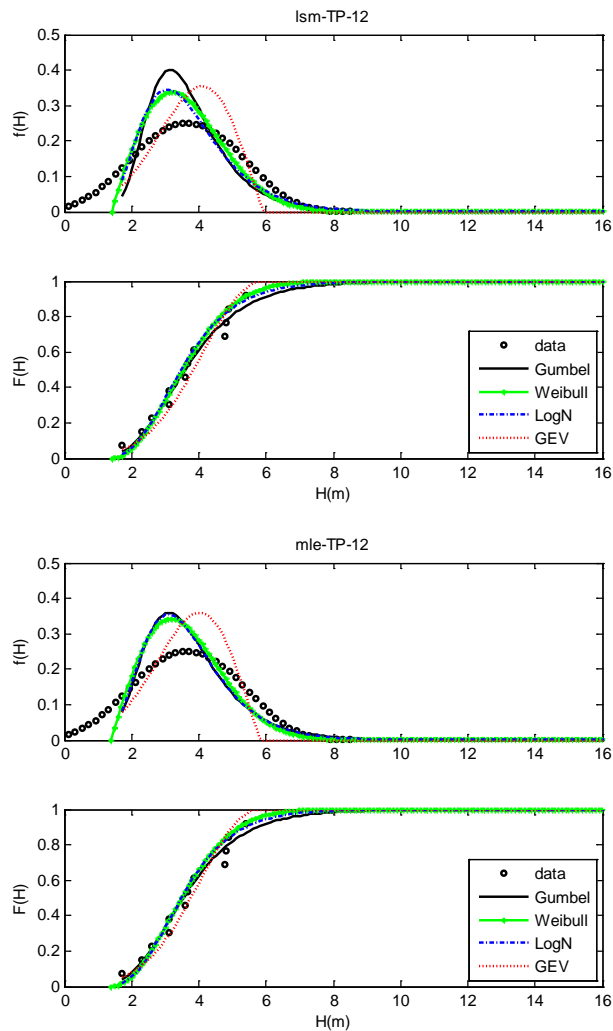


圖 4.17 推估 12 月臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

以機率分布函數從各檢定指標來說，安平港總共 11 年各月份波高，除了 4 月、5 月及 9 月以 GEV 分布作為較適合之極值函數外，其實月份皆以 Weibull 分布配合 LSM 推估法所推估的數值誤差較小，從圖 4.18 至圖 4.29 顯示，6 至 8 月因其最大波高變動程度較大，此三個月份使用 GEV 分布所推算波高與樣本間之 RMSE 皆超過 1，與其他極值函數 RMSE 值差距非常大，其餘月份的各種分布所推算出來的 RMSE 相當接近，選用各月份適合分布後，所推算波高與樣本間之 RMSE 值為 0.04-0.55m 之間，且從數值得知臺北港月極值統計分布大部分月份適合 GEV 分布，而安平港為 Weibull 分布，恰為兩種不同性質的統計特性，因此各港口不同月份均有其較適合之極值分布。若推估重現期為  $T=10$ 、25、50 及 100 年之各極值分布函數之波高( $x_R$ )及其推算標準偏差( $\sigma$ )顯示，各月份以推估標準偏差最小的極值函數作為標準，安平港以標準偏差作為選取最適分佈的依據，推算各月份波高值分別為一月 0.17m 至 4.59m、二月 0.91m 至 3.93m、三月 1.15m 至 2.01m、四月 1.23m 至 1.81m、五月 0m 至 13.55m、六月 1.44m 至 17.98m、七月 4.51m 至 9.61m、八月 4.81m 至 14.53m、九月 3.13m 至 5.09m、十月 0 m 至 15.41m、十一月 0.86m 至 3.22m 及十二月 0m 至 7.98m，也代表在推算月極值重現期波高時，有些月份受到颱風影響推算出來的波高較大。

表 4.21 推估 1 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR( $m$ )		1.27	0.22	1.87	0.23	1.27	0.22	1.87	0.23
RMSE( $m$ )		0.10	0.05	0.12	0.04	0.13	0.07	0.12	0.10
Xe ( $m$ )		0.14	0.03	0.10	0.04	0.05	0.08	0.10	0.01
$x_R(m)$	10	1.63	1.61	1.56	1.47	1.48	1.53	1.56	1.59
	25	1.89	2.03	1.76	1.88	1.67	1.88	1.76	2.11
	50	2.08	2.38	1.90	2.32	1.82	2.17	1.90	2.67
	100	2.27	2.74	2.04	2.94	1.96	2.47	2.04	3.45
$\sigma (m)$	10	0.22	0.52	0.14	0.47	0.26	0.26	0.17	0.19
	25	0.29	0.85	0.17	0.88	0.37	0.39	0.23	0.00
	50	0.35	1.13	0.19	1.34	0.44	0.50	0.27	0.00
	100	0.40	1.43	0.21	1.96	0.52	0.62	0.32	0.00

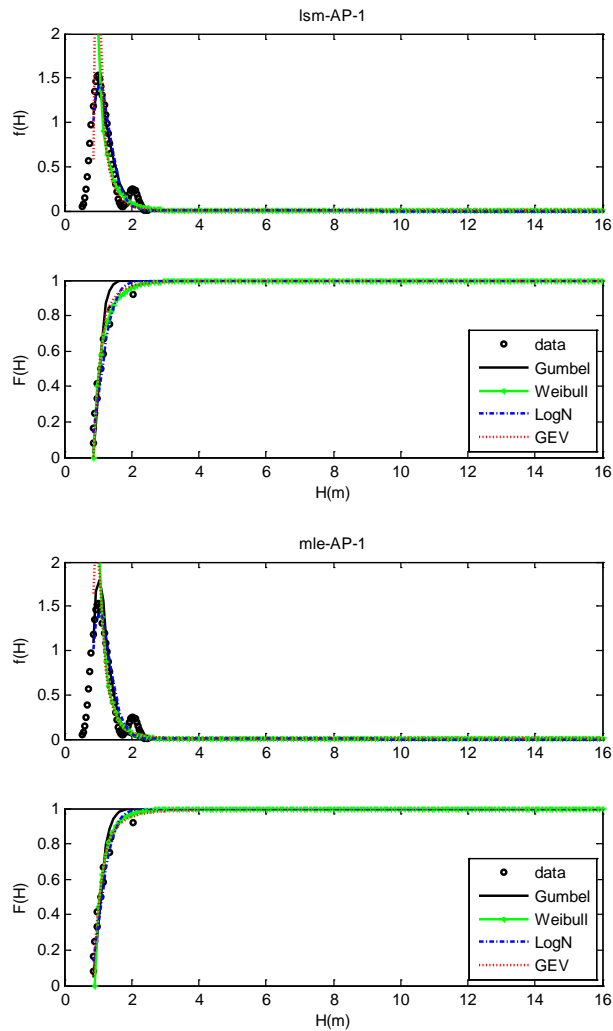


圖 4.18 推估 1 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.22 推估 2 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.86	0.25	1.17	3.17	0.86	0.25	1.18	3.17
RMSE(m)		0.09	0.05	0.11	0.18	0.13	0.07	0.11	1.52
Xe (m)		0.16	0.03	0.12	0.20	0.07	0.01	0.12	0.01
$x_R(m)$	10	1.72	1.74	1.66	1.23	1.58	1.67	1.66	1.92
	25	2.02	2.13	1.91	1.48	1.81	2.01	1.90	3.27
	50	2.25	2.42	2.09	1.84	1.98	2.26	2.08	5.19
	100	2.47	2.72	2.27	2.45	2.15	2.52	2.25	8.54
$\sigma (m)$	10	0.24	0.43	0.16	0.78	0.29	0.24	0.21	0.07
	25	0.33	0.62	0.19	1.82	0.39	0.30	0.29	0.25
	50	0.39	0.77	0.22	3.32	0.47	0.33	0.35	0.57
	100	0.46	0.92	0.24	5.94	0.55	0.37	0.42	1.26

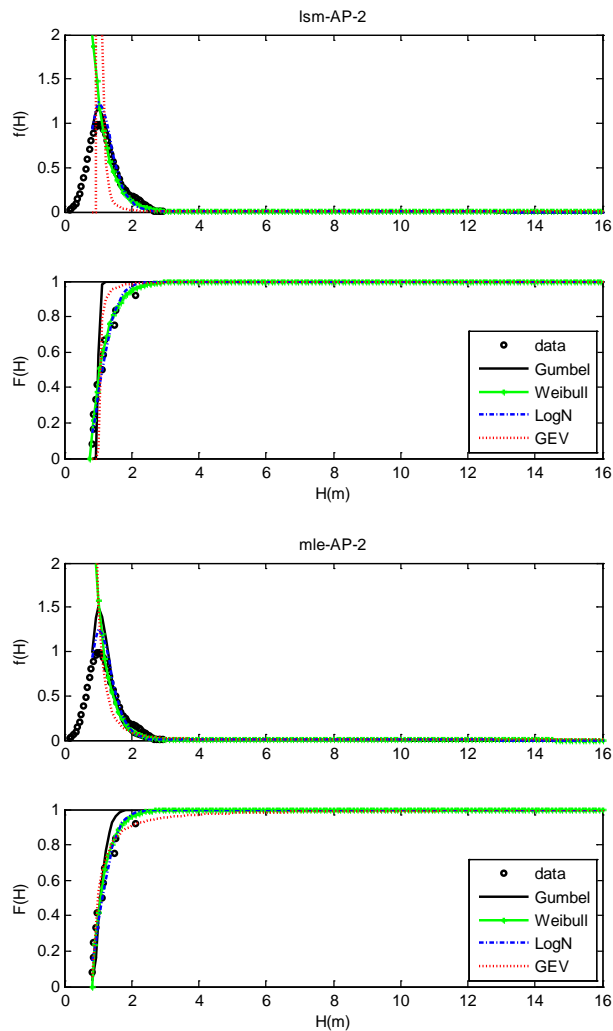


圖 4.19 推估 2 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖



表 4.23 推估 3 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.93	0.64	0.73	0.43	0.93	0.64	0.72	0.43
RMSE(m)		0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
Xe (m)		0.04	0.02	0.01	0.06	0.03	0.05	0.02	0.04
$x_R(m)$	10	1.32	1.33	1.34	1.31	1.32	1.30	1.32	1.27
	25	1.51	1.48	1.51	1.41	1.51	1.43	1.48	1.36
	50	1.64	1.58	1.63	1.47	1.65	1.53	1.60	1.42
	100	1.78	1.67	1.75	1.51	1.79	1.61	1.71	1.46
$\sigma (m)$	10	0.15	0.16	0.10	0.14	0.14	0.13	0.15	0.17
	25	0.20	0.20	0.12	0.17	0.18	0.17	0.21	0.33
	50	0.24	0.22	0.13	0.18	0.21	0.19	0.25	0.47
	100	0.29	0.24	0.15	0.20	0.24	0.21	0.29	0.61

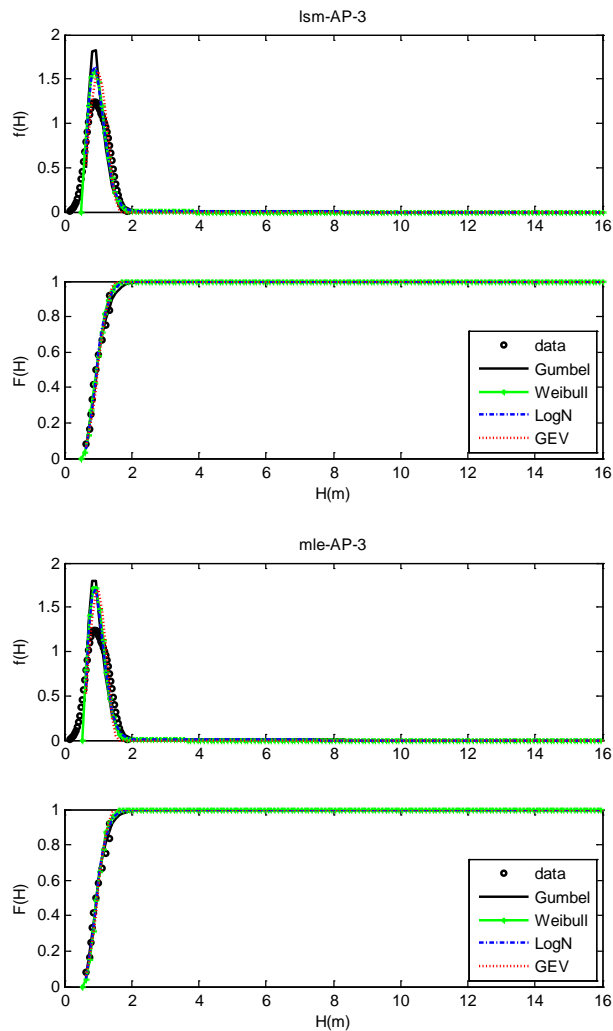


圖 4.20 推估 3 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.24 推估 4 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.78	1.58	1.61	0.48	1.78	1.58	1.63	0.48
RMSE(m)		0.10	0.09	0.10	0.05	0.13	0.09	0.10	0.06
Xe (m)		0.24	0.22	0.16	0.01	0.14	0.24	0.16	0.09
$x_R(m)$	10	1.52	1.53	1.59	1.46	1.66	1.52	1.60	1.46
	25	1.74	1.70	1.82	1.50	1.94	1.68	1.84	1.51
	50	1.89	1.81	1.99	1.52	2.15	1.79	2.01	1.53
	100	2.05	1.92	2.15	1.53	2.36	1.88	2.17	1.54
$\sigma (m)$	10	0.18	0.19	0.12	0.13	0.13	0.00	0.19	0.07
	25	0.24	0.23	0.14	0.14	0.16	0.00	0.26	0.04
	50	0.29	0.26	0.16	0.15	0.18	0.00	0.31	0.03
	100	0.34	0.28	0.17	0.15	0.20	0.00	0.37	0.03

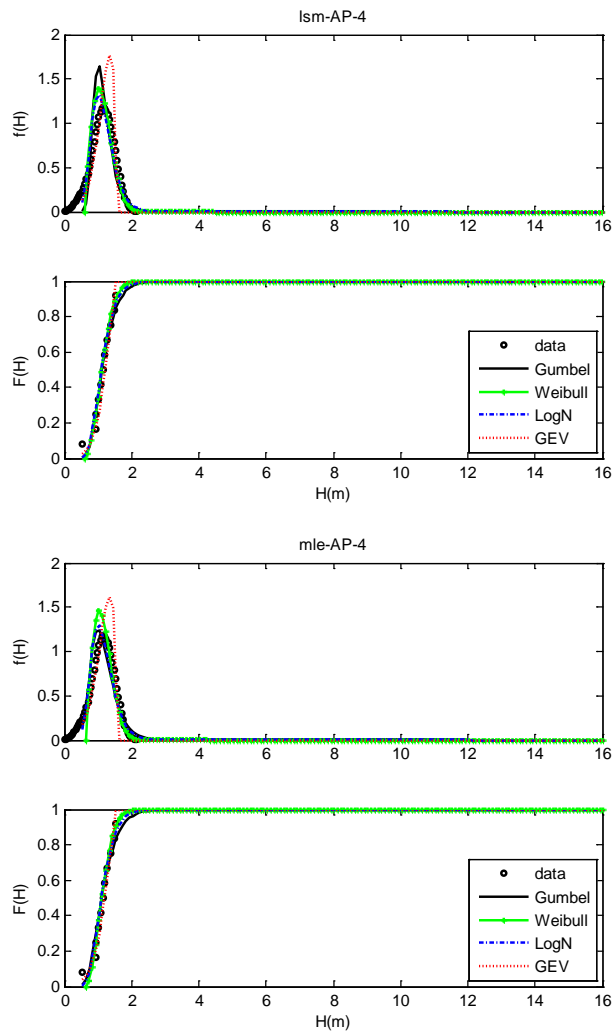


圖 4.21 推估 4 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.25 推估 5 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		2.79	0.73	1.97	0.62	2.79	0.73	2.01	0.62
RMSE(m)		0.60	0.35	0.57	0.30	0.73	0.40	0.59	0.37
Xe (m)		0.49	0.14	0.02	0.06	0.03	0.31	0.03	0.14
$x_R(m)$	10	3.64	3.66	3.32	3.42	2.94	3.37	3.27	3.15
	25	4.67	5.37	4.47	5.05	3.64	4.82	4.38	4.54
	50	5.43	6.78	5.41	6.63	4.16	6.02	5.30	5.87
	100	6.18	8.28	6.44	8.60	4.68	7.29	6.28	7.54
$\sigma (m)$	10	0.90	2.16	0.61	1.49	1.23	1.05	0.90	1.29
	25	1.22	3.57	0.72	2.52	1.73	1.59	1.45	2.78
	50	1.46	4.74	0.80	3.53	2.11	2.02	1.96	4.70
	100	1.70	5.98	0.88	4.80	2.49	2.48	2.56	7.61

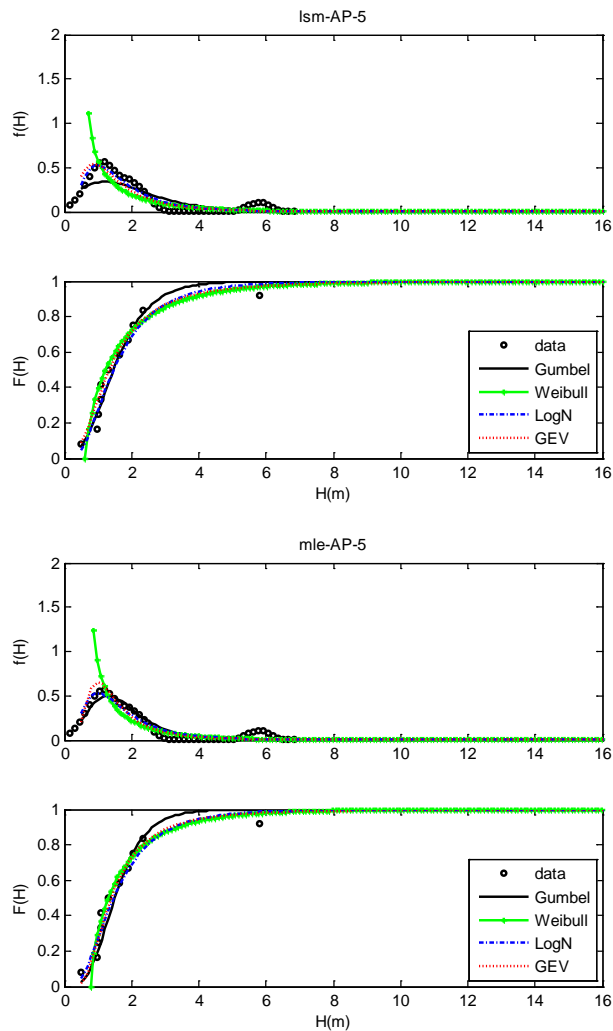


圖 4.22 推估 5 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.26 推估 6 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.57	0.94	1.25	7.52	1.57	0.94	1.26	7.52
RMSE(m)		0.68	0.55	0.64	1.46	0.83	0.59	0.66	18.71
Xe (m)		0.94	0.24	0.31	1.29	0.46	0.04	0.29	0.09
$x_R(m)$	10	5.98	6.06	5.73	2.95	5.14	5.74	5.66	6.96
	25	7.59	8.14	7.69	3.57	6.37	7.61	7.56	15.25
	50	8.78	9.71	9.30	4.53	7.29	9.03	9.12	28.21
	100	9.96	11.28	11.03	6.35	8.20	10.44	10.8	-
$\sigma (m)$	10	1.35	2.35	0.90	5.04	1.57	1.30	1.53	0.14
	25	1.82	3.41	1.07	-	2.15	1.60	2.46	0.56
	50	2.17	4.22	1.20	-	2.59	1.79	3.32	1.32
	100	2.53	5.04	1.31	-	3.03	1.96	4.32	3.05

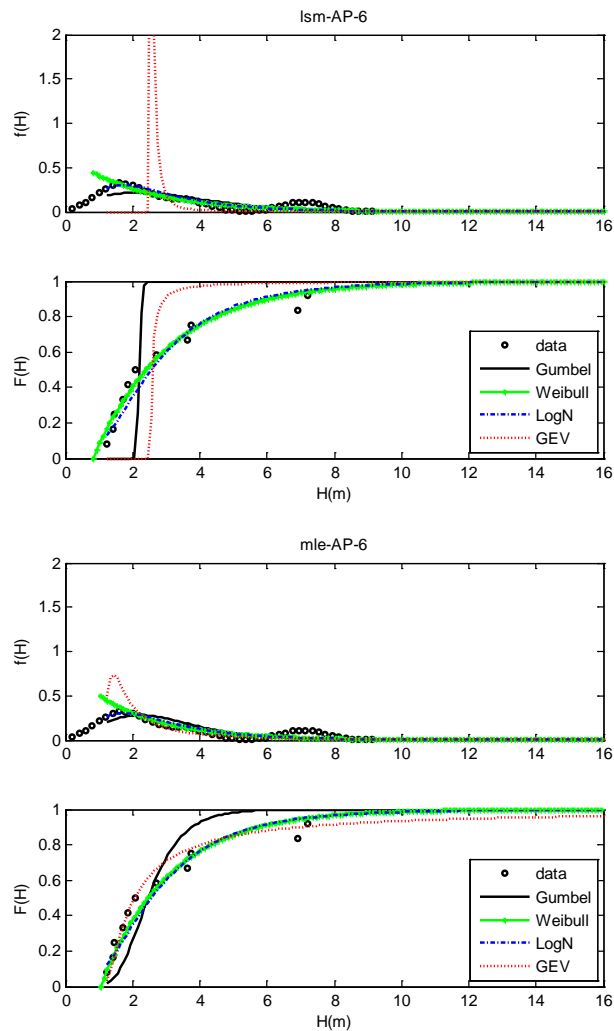


圖 4.23 推估 6 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.27 推估 7 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.75	1.37	2.10	4.71	1.75	1.37	2.08	4.71
RMSE(m)		0.48	0.40	0.53	0.80	0.49	0.41	0.53	1.58
Xe (m)		0.15	0.04	0.00	1.05	0.04	0.18	0.01	5.05
$x_R(m)$	10	5.58	5.62	5.93	4.60	5.74	5.50	5.91	5.37
	25	6.64	6.49	7.29	4.64	6.91	6.31	7.25	5.47
	50	7.43	7.06	8.33	4.66	7.77	6.84	8.27	5.50
	100	8.22	7.58	9.39	4.66	8.63	7.33	9.32	5.52
$\sigma (m)$	10	0.90	0.95	0.60	0.57	0.78	0.76	1.11	0.00
	25	1.21	1.16	0.72	0.59	0.99	0.94	1.62	0.00
	50	1.45	1.30	0.80	0.59	1.15	1.06	2.07	0.00
	100	1.69	1.43	0.88	0.59	1.31	1.18	2.56	0.00

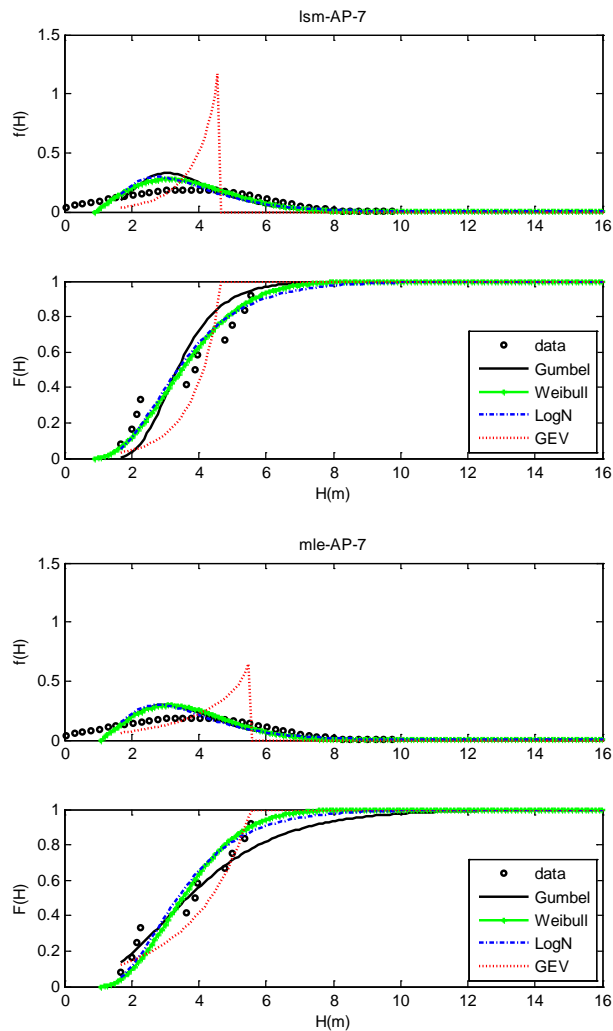


圖 4.24 推估 7 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.28 推估 8 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.84	0.72	0.88	4.06	0.84	0.72	0.87	4.06
RMSE(m)		0.45	0.41	0.45	1.01	0.50	1.49	0.45	2.14
Xe (m)		0.46	0.18	0.31	0.94	0.30	0.01	0.27	0.09
$x_R(m)$	10	7.05	7.12	7.14	5.65	6.68	6.78	7.03	7.70
	25	8.54	8.62	8.83	7.58	8.02	8.06	8.64	11.90
	50	9.64	9.67	10.1	9.77	9.01	8.96	9.88	16.66
	100	10.74	10.67	11.46	12.90	10.00	9.81	11.14	23.47
$\sigma (m)$	10	1.22	1.63	0.82	2.63	1.24	1.35	1.39	0.17
	25	1.64	2.12	0.97	4.96	1.64	1.84	2.07	0.36
	50	1.96	2.48	1.08	7.63	1.95	2.18	2.65	0.58
	100	2.28	2.82	1.18	-	2.25	2.52	3.29	0.92

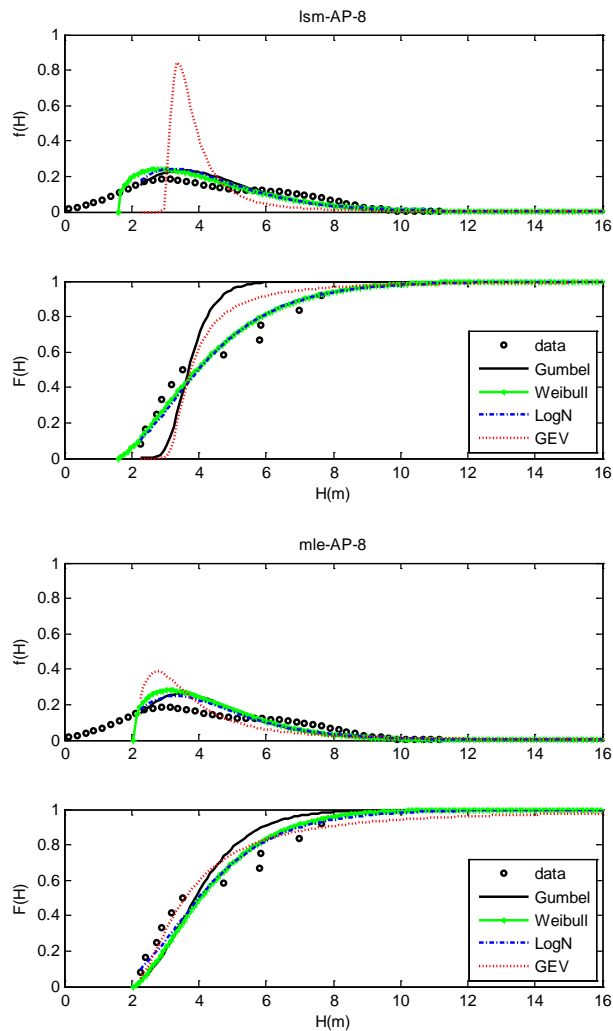


圖 4.25 推估 8 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.29 推估 9 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.61	1.38	1.67	0.46	1.61	1.38	1.68	0.46
RMSE(m)		0.27	0.23	0.29	0.15	0.32	0.24	0.29	0.16
Xe (m)		0.37	0.31	0.18	0.19	0.15	0.21	0.18	0.24
$x_R(m)$	10	3.91	3.93	4.13	3.81	4.19	3.94	4.14	3.75
	25	4.53	4.43	4.86	4.01	4.96	4.47	4.87	3.95
	50	4.99	4.76	5.39	4.11	5.53	4.82	5.41	4.05
	100	5.45	5.06	5.93	4.18	6.09	5.14	5.94	4.11
$\sigma (m)$	10	0.52	0.55	0.35	0.42	0.41	0.42	0.60	0.22
	25	0.70	0.67	0.42	0.47	0.51	0.51	0.84	0.26
	50	0.84	0.75	0.46	0.50	0.58	0.56	1.04	0.31
	100	0.98	0.83	0.51	0.52	0.66	0.61	1.25	0.36

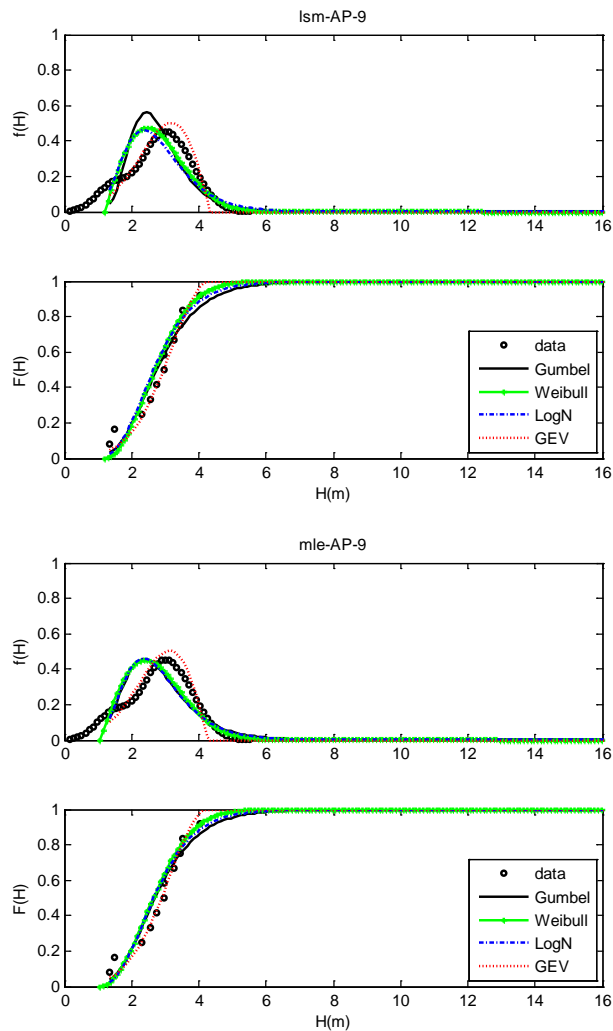


圖 4.26 推估 9 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.30 推估 10 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		1.62	0.22	0.97	1.27	1.62	0.22	0.98	1.27
RMSE(m)		0.44	0.18	0.43	0.41	0.57	0.28	0.43	1.02
Xe (m)		0.61	0.03	0.14	0.34	0.21	0.21	0.14	0.08
$x_R(m)$	10	3.71	3.68	3.38	2.63	3.05	3.37	3.37	3.49
	25	4.72	5.33	4.47	4.05	3.77	4.73	4.44	5.93
	50	5.46	6.69	5.35	5.78	4.29	5.86	5.30	8.92
	100	6.21	8.13	6.28	8.43	4.82	7.05	6.22	13.49
$\sigma (m)$	10	0.85	2.03	0.57	2.07	1.12	1.16	0.85	0.15
	25	1.14	3.35	0.67	4.20	1.56	1.81	1.34	0.32
	50	1.37	4.45	0.75	6.83	1.89	2.35	1.79	0.56
	100	1.59	5.62	0.83	10.85	2.22	2.92	2.30	0.95

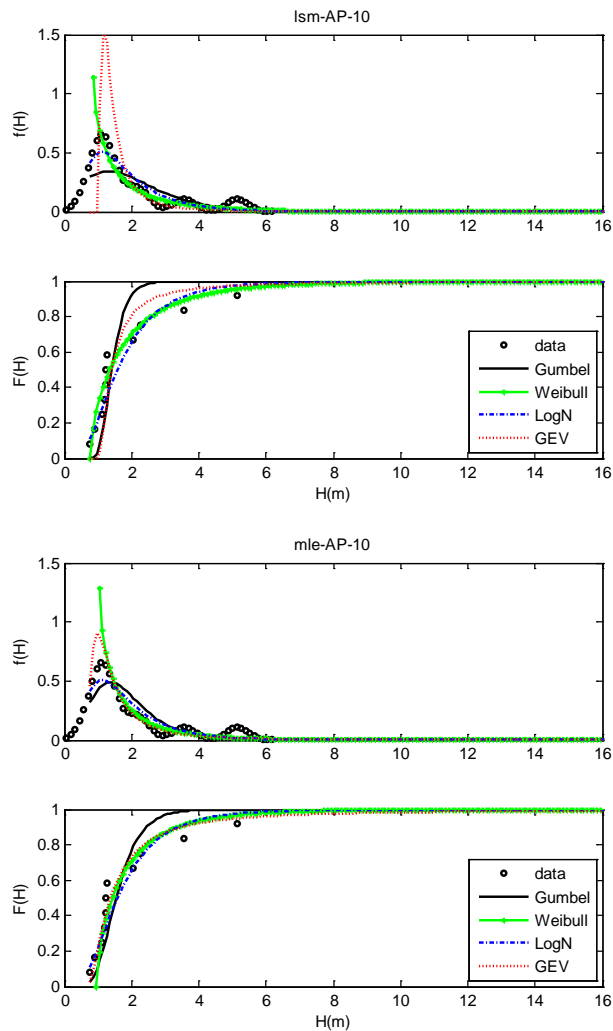


圖 4.27 推估 10 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖



表 4.31 推估 11 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.84	0.25	1.24	5.54	0.84	0.25	1.23	5.54
RMSE(m)		0.07	0.04	0.09	0.18	0.10	0.05	0.09	2.98
Xe (m)		0.13	0.03	0.11	0.19	0.07	0.01	0.11	0.01
$x_R(m)$	10	1.49	1.51	1.45	1.05	1.38	1.45	1.45	1.67
	25	1.73	1.81	1.63	1.14	1.57	1.71	1.63	2.94
	50	1.90	2.04	1.76	1.29	1.70	1.91	1.77	4.94
	100	2.07	2.27	1.89	1.57	1.84	2.11	1.90	8.72
$\sigma (m)$	10	0.19	0.33	0.13	0.72	0.22	0.19	0.16	0.03
	25	0.26	0.48	0.15	1.86	0.30	0.23	0.21	0.09
	50	0.31	0.60	0.17	3.66	0.36	0.26	0.25	0.20
	100	0.36	0.71	0.19	7.07	0.42	0.29	0.30	0.47

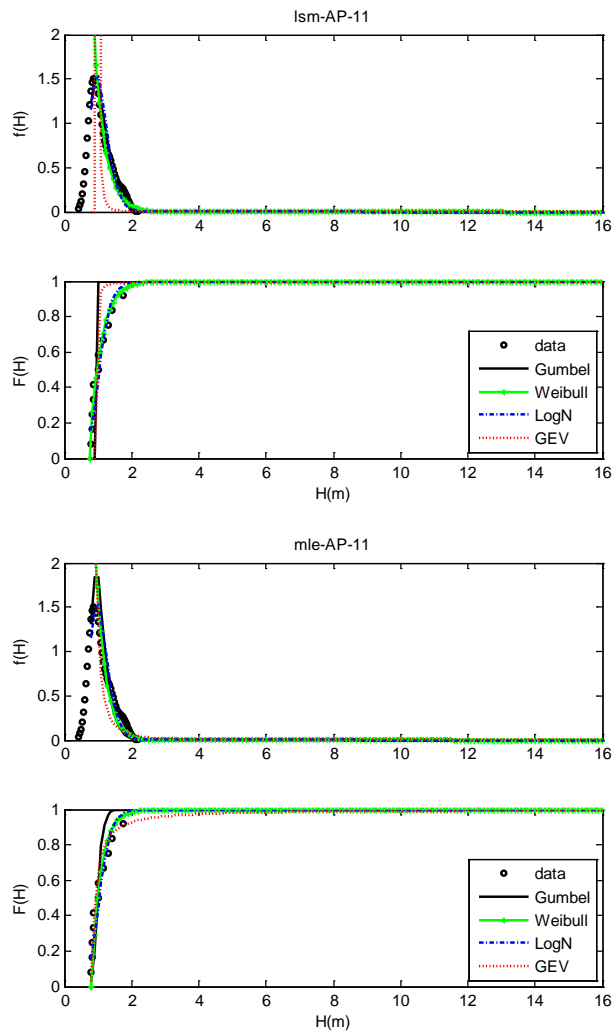


圖 4.28 推估 11 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 4.32 推估 12 月安平港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		3.16	1.09	3.25	1.55	3.16	1.09	3.19	1.55
RMSE(m)		0.29	0.19	0.31	0.22	0.34	0.21	0.31	0.25
Xe (m)		0.13	0.13	0.03	0.03	0.05	0.20	0.02	0.09
$x_R(m)$	10	1.99	2.00	1.81	1.96	1.71	1.87	1.84	1.79
	25	2.45	2.77	2.21	2.62	2.03	2.53	2.26	2.31
	50	2.79	3.41	2.51	3.19	2.27	3.07	2.58	2.76
	100	3.12	4.08	2.82	3.85	2.51	3.64	2.91	3.29
$\sigma (m)$	10	0.43	1.06	0.29	0.63	0.53	0.49	0.33	0.59
	25	0.58	1.75	0.34	0.97	0.74	0.73	0.48	1.11
	50	0.69	2.33	0.38	1.28	0.90	0.92	0.60	1.71
	100	0.81	2.94	0.42	1.64	1.06	1.12	0.74	2.54

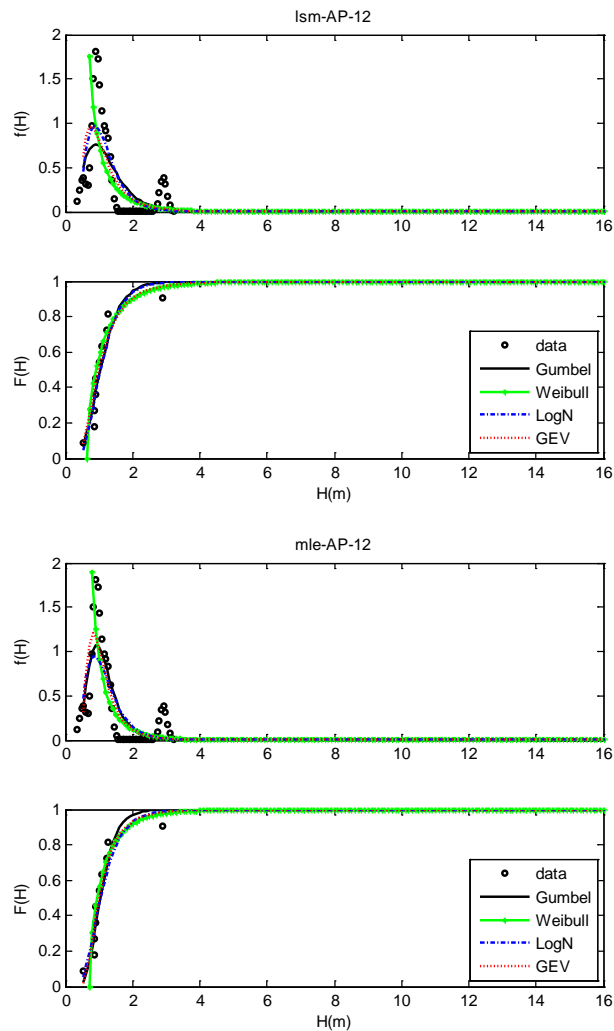


圖 4.29 推估 12 月安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

本研究將各月份最示極值函數與參數推定法以及對應的推估 50 年重現期高波列如下。表中可發現臺北港整體而言最適極值函數以 GEV 主，其餘為 Weibull，但並無明顯季節性分布。安平港則相反，最適極值函數以 Weibull 為主，少數為 GEV，而春季的 3~5 月即是以 GEV 為最佳極值函數。

**表 4.33 臺北港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高**

月份	最適極值 函數	重現期 50 年波高(m)
1 月	GEV	5.29
2 月	GEV	4.45
3 月	GEV	4.53
4 月	Weibull	4.38
5 月	GEV	2.66
6 月	GEV	2.65
7 月	GEV	4.36
8 月	Weibull	7.80
9 月	GEV	5.58
10 月	Weibull	7.80
11 月	GEV	5.31
12 月	GEV	5.55

**表 4.34 安平港各月份最適極值函數與對應的 50 年重現期波高**

月份	最適極值 函數	重現期 50 年波高(m)
1 月	Weibull	2.38
2 月	Weibull	2.42
3 月	GEV	1.47
4 月	GEV	1.52
5 月	GEV	6.53
6 月	Weibull	9.71
7 月	Weibull	7.06
8 月	Weibull	9.67
9 月	Weibull	4.76
10 月	Weibull	6.69
11 月	Weibull	2.04
12 月	Weibull	3.41

## 第五章 臺北港與安平港之設計波浪推估

### 5.1 極值統計資料

一般波浪資料的來源有兩種，包括現場的量測數據或波浪推算結果。極值統計所採用的資料，基本上須滿足獨立性、等質性及分布性等三項要求。所謂獨立性係指兩個事件的發生是不相關的。等質性為事件出現在空間或者時間上的統計特性是相當的。分布性是說資料數據大小滿足某種分布型態。極值分布之推定，首先必須將每年各場颱風最大值波高取出後，再將其排序，取出每年最大波高值來作為極值分析之樣本。本章應用 4.2 節至 4.3 節所述的極值函數與參數推定方法透過 4.4 節與 4.5 節的各種檢定值來測試最適函數與參數推定法，以推求臺北港與安平港各重現期的設計波浪。

### 5.2 各重現期波高推算結果

年極值統計部分，除了臺北港 12 年及安平港 11 年波高實測資料作為分析外，並與 1940 至 2010 共 71 年使用井島武士模式所推算之臺北港及安平港每年最大波高作為年極值統計分析比較，從表 5.1 至表 5.4 及圖 5.1 至圖 5.4 顯示，與月極值統計相同，四種極值分布函數利用 LSM 法推估出來的樣本數值，其 RMSE 皆低於 MLE 法所推估出來的數值，代表極值推估法的選用跟月極值統計相同，仍以 LSM 法來推估會擁有較佳的相關性，推估出來的數值樣本較適合各極值。

以各檢定指標來評估機率分布函數的適用性，臺北港採用 12 年的實測波高以 GEV 分布所推估之 MIR 為 0.3m 及 RMSE 值為 0.15m，安平港採用 11 年的實測波高以 GEV 分布來推估之 MIR 為 0.28m 及 RMSE 值為 0.22m，皆以 GEV 較為適用。以半經驗波浪推算模式推算臺北港與安平港 71 年的最大波高樣本值，再以 GEV 分布來推估臺北港之 MIR 為 0.36m 及 RMSE 值為 0.23m，推估安平港 71 年之 MIR 為

0.63m 及 RMSE 值為 0.29m，配合 LSM 推估法所推估的數值誤差明顯較 EV-I、Weibull 及 Lognormal 三種極值函數低，代表在推估年極值波高統計以 GEV 分布較適合。

在安平港以實測資料及半經驗模式推算各重現期波高分析中，極值函數使用 GEV 分布推估的數值皆擁有較低之 MIR 及 RMSE 值，因此推估之標準偏差最適當，安平港實測波高其  $\sigma$  值為 0.72m 至 0.96m，半經驗波浪推算模式為 0.55m 至 1m 之間，因此推算 50 年重現期波高之極值函數與月極值相同，也使用 GEV 分布，利用實測值推算各波高值為 5.48m 至 8.02m，利用半經驗波浪模式推算各波高值為 8.18m 至 11.6m。臺北港以實測資料及半經驗推算各重現期波高之分析中，極值函數使用 GEV 分布推估的數值皆擁有較低之 MIR 及 RMSE 值，因此推估之標準偏差最適當，臺北港實測波高其  $\sigma$  值為 0.5m 至 0.7m，半經驗波浪推算模式為 0.43 至 0.64 之間，因此推算 50 年重現期波高之極值函數與月極值相同，也使用 GEV 分布，利用實測值推算各波高值為 6.21m 至 9.77m，利用半經驗波浪模式推算各波高值為 6.77 m 至 9.05m。

表 5.1 推估臺北港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.78	0.68	0.53	0.30	0.78	0.68	0.53	0.30
RMSE(m)		0.20	0.18	0.16	0.15	0.22	0.18	0.16	0.16
Xe (m)		0.27	0.22	0.09	0.11	0.15	0.22	0.13	0.06
$x_R(m)$	10	6.19	6.21	6.24	6.16	6.34	6.16	6.19	6.05
	25	6.89	6.76	6.84	6.53	7.11	6.70	6.76	6.40
	50	7.40	7.13	7.25	6.75	7.68	7.07	7.15	6.60
	100	7.91	7.47	7.65	6.92	8.24	7.40	7.53	6.76
$\sigma (m)$	10	0.54	0.56	0.36	0.50	0.46	0.46	0.50	0.38
	25	0.73	0.68	0.43	0.60	0.58	0.56	0.66	0.54
	50	0.88	0.77	0.48	0.65	0.67	0.62	0.78	0.70
	100	1.02	0.84	0.53	0.70	0.77	0.68	0.91	0.85

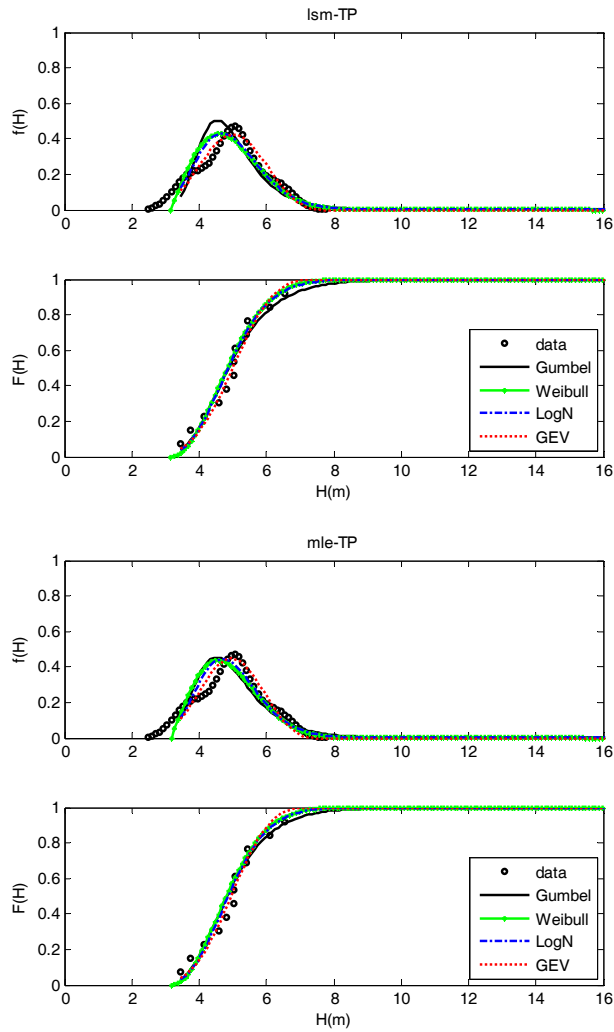


圖 5.1 推估臺北港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 5.2 推估安平港波浪之各重現期波高及其推算標準

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibuill	LogN	GEV	EV-I	Weibuill	LogN	GEV
MIR(m)		0.84	0.65	0.64	0.28	0.84	0.65	0.62	0.28
RMSE(m)		0.30	0.25	0.26	0.22	0.32	0.26	0.25	0.24
Xe (m)		0.34	0.26	0.13	0.26	0.20	0.31	0.19	0.21
$x_R(m)$	10	7.36	7.39	7.49	7.28	7.52	7.29	7.40	7.11
	25	8.36	8.18	8.42	7.74	8.60	8.05	8.29	7.55
	50	9.09	8.71	9.08	7.99	9.40	8.56	8.91	7.79
	100	9.82	9.19	9.72	8.19	10.20	9.03	9.52	7.97
$\sigma (m)$	10	0.81	0.85	0.54	0.72	0.70	0.70	0.81	0.55
	25	1.09	1.04	0.64	0.84	0.88	0.85	1.10	0.84
	50	1.31	1.17	0.72	0.91	1.03	0.95	1.33	1.10
	100	1.52	1.29	0.79	0.96	1.17	1.05	1.56	1.35

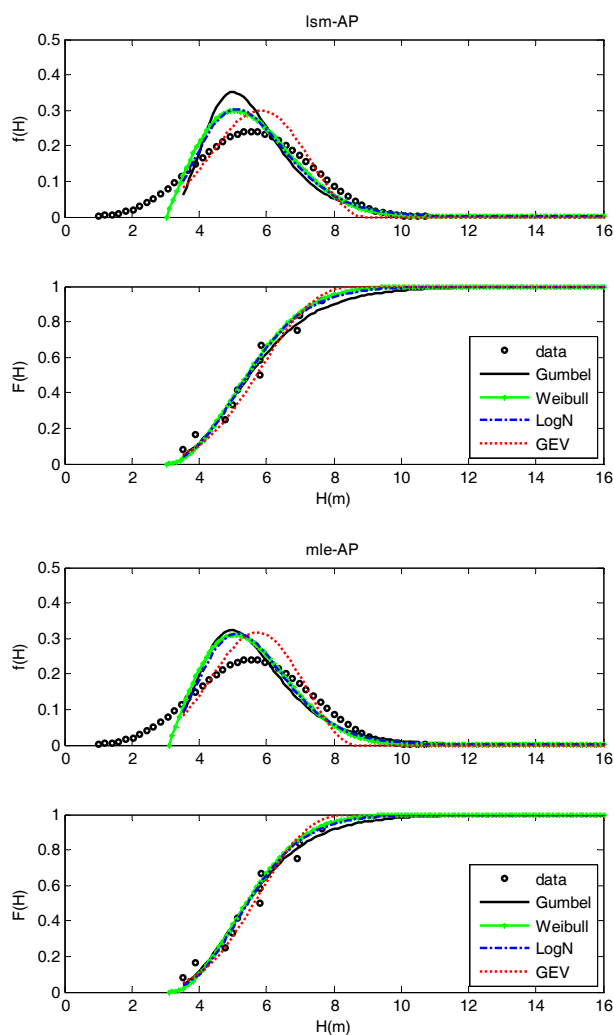


圖 5.2 推估安平港波浪之機率密度函數及機率函數圖

表 5.3 臺北港井島模式最大波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibuill	LogN	GEV	EV-I	Weibuill	LogN	GEV
MIR(m)		1.89	1.41	5.97	0.36	1.89	1.41	6.51	0.36
RMSE(m)		0.38	0.27	0.86	0.23	0.48	0.28	1.00	0.24
Xe (m)		0.41	0.37	0.38	0.59	0.02	0.47	0.33	0.54
$x_R(m)$	10	6.35	6.45	7.15	6.40	6.78	6.40	7.39	6.34
	25	7.69	7.54	9.34	7.33	8.34	7.46	9.77	7.25
	50	8.69	8.27	11.10	7.91	9.50	8.16	11.70	7.82
	100	9.68	8.93	12.9	8.40	10.65	8.81	13.8	8.30
$\sigma (m)$	10	0.45	0.40	0.30	0.43	0.36	0.36	0.64	0.33
	25	0.61	0.48	0.36	0.52	0.45	0.42	0.97	0.45
	50	0.73	0.54	0.40	0.58	0.51	0.47	1.27	0.59
	100	0.85	0.59	0.44	0.64	0.58	0.51	1.62	0.74

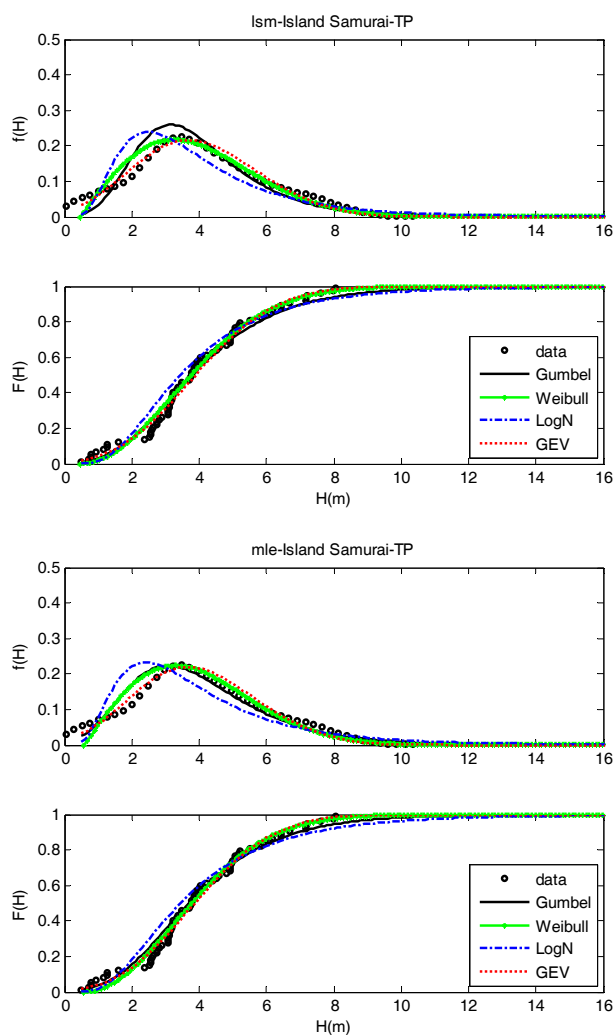


圖 5.3 臺北港井島模式最大波浪波高之機率密度函數及機率函數圖

表 5.4 安平港井島模式最大波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.88	1.16	1.42	0.63	0.88	1.16	1.48	0.63
RMSE(m)		0.29	0.31	0.36	0.29	0.29	1.73	0.40	0.29
Xe (m)		0.71	1.46	0.90	0.55	0.69	1.63	0.86	0.62
$x_R(m)$	10	7.38	7.49	7.63	7.40	7.40	7.34	7.75	7.32
	25	8.90	9.01	9.45	8.84	8.93	8.75	9.65	8.73
	50	10.02	10.07	10.9	9.89	10.06	9.74	11.12	9.75
	100	11.14	11.09	12.3	10.9	11.19	10.68	12.6	10.74
$\sigma (m)$	10	0.50	0.55	0.34	0.55	0.43	0.50	0.55	0.47
	25	0.68	0.71	0.40	0.73	0.56	0.66	0.80	0.72
	50	0.81	0.83	0.45	0.87	0.65	0.78	1.01	0.97
	100	0.95	0.94	0.49	1.00	0.75	0.89	1.25	1.28



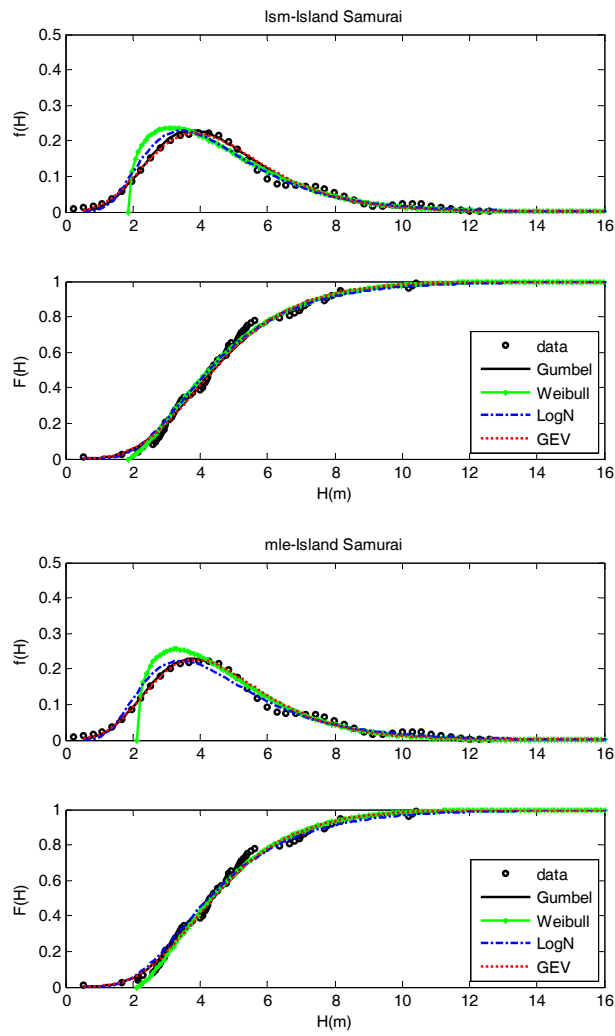


圖 5.4 安平港井島模式最大波浪波浪之機率密度函數及機率函數圖

## 第六章 波浪極值統計視窗化操作之初步建構

### 6.1 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。所以若能在本計畫階段性的工作項目中整合出一套波浪極值統計的圖形化使用者介面(Graphical User Interface) (亦稱視窗化)相信必能大幅度的擴展本研究的應用性。此介面初步以波浪極值統計及設計波推算為核心計算模組，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臺上，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。如此一來可使原本操作波浪極值統計分析的工程師或研究人員，由原本所需要的富有程式操控能力且有波浪統計相關知識的工作人員，擴展到擁有波浪統計相關知識的工作人員，示如圖 6.1。

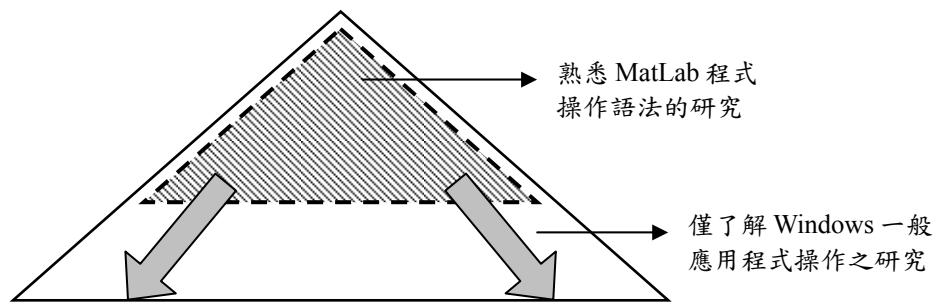


圖 6.1 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化

圖 6.1 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，本界面的發展，可以將波浪極值統計的操作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

原本波浪極值統計之中的工作程序，可簡單分為：

### (1)輸入資料整合

在波浪極值統計的輸入資料整合的部分包括波浪資料的基本統計分析與資料完整性的檢驗，目的在於了解輸入資料的可靠性及完整性，故所有的資料在此步驟需經過嚴格的比對。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，並將資料修正與補遺這些需要人為判斷的動作，以選項及清單方式提供操作者快速做出決定與處理。

### (2)設定極值統計參數及參數推定規則

經由以上圖形介面選取所需要的輸入資料檔案並經過基本資料分析後，還需要進行一些方法及參數的選定，如極值分布函數及其參數推定法，針對某些分布還需要指定其參數初始值。在這個流程中都將以圖形化的選單方式進行設定，可選定多種需要嘗試的極值分布函數及參數推定原則，再一併進行計算與分析。

### (3) 計算與分析

本圖形化介面在選取適當極值統計參數及參數推定規則後，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才能批次處理所需的計算流程的時間與操作。

### (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與列表的方式表現，節省許多後續資料處理以及繪圖時間。並可即時比對周邊地點的往昔分析結果作為參考。除了可以清楚的由結果中了解各種極值統計函數的適用性，更可以快速評估各參數推定法與參數推定過程的差異性。結果並可快速以選單式的方式展示各重現期的設計波浪。

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或程式，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可大幅縮短操作時間。

## 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波浪極值統計(包含資料輸入至結果輸出)。搭配輸入資料狀態視窗，可以清楚地列出輸入資料的長度，加上中文化介面以及完整的說明文件，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。

## 6.2 初步建構成果

本研究已初步建立波浪極值統計視窗化操作介面的架構，期望透過視窗化的操作介面簡化設計波推算的流程，整體流程分為：1.輸入設定視窗 2.輸出展示視窗，本節將針對這兩部份作說明。在輸入設定視窗的部分可自動讀取波浪資料，並設定極值統計推算的相關參數進行推算，其中資料選用方式可採用年極值取樣法或年前三大月取樣法兩種。極值統計函數經本計畫前三年研究成果選用了 FT-1、G.E.V、Weibull 及 Log-norma 四種統計函數，可由使用者進行選定。而極值分布函數的參數推定法也提供三種方式進行擇選，包括：MLE、LSM 及 MOM 三種參數推定法。圖 6.2 為輸入設定視窗的初步設計，除了上述功能外本介面的上方工具列並提供即時操作手冊讓使用者進行參考。



圖 6.2 波浪極值統計介面的輸入設定視窗部份

圖 6.3 為波浪極值統計介面的輸出視窗架構，經過資料讀取與推估設定完成後，其推算成果將展示於本視窗中，如圖 6.3 下半部所示，依據使用者所選用的極值函數與參數推定法，本介面將其推算結果以表格及函數分布圖進行展示。並於表中標示出最適極值函數與參數推定法及其所相對應的各重現期極值波高。

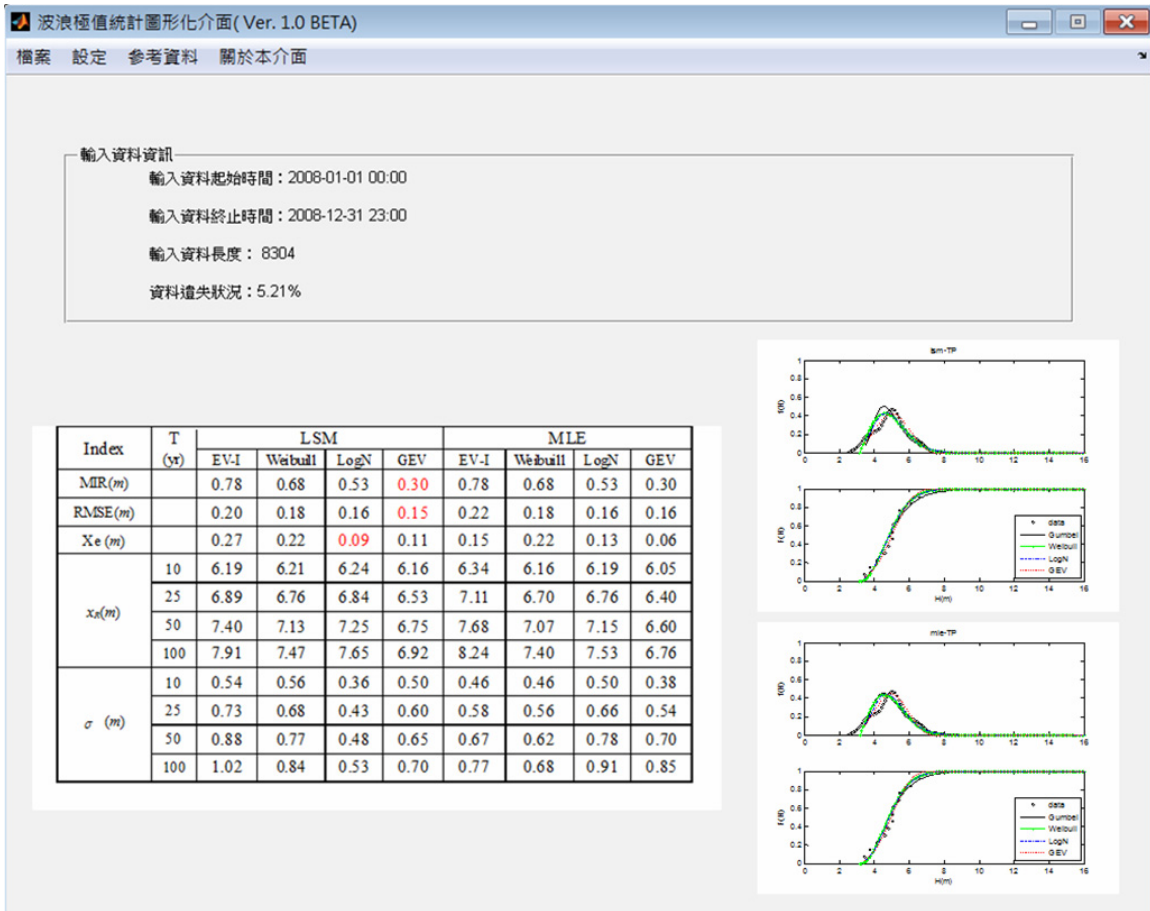


圖 6.3 波浪極值統計介面的輸出視窗部份

## 第七章 結論

### 7.1 結論

本研究建構安平港與臺北港類神經颱風波浪推算模式，針對波浪受陸地遮蔽及風場受陸地阻擋而衰減的兩個特性加以模擬，其成果可供港務局等相關單位作為預警系統或參考。安平港各場颱風波浪最大波高誤差取絕對值後平均約為 1.03m，而此外最大波高發生時間誤差取絕對值後平均約 10.06 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為 0.72m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為 0.73。臺北港各場颱風波浪最大波高誤差取絕對值後平均約為 1.02m，而此外最大波高發生時間取絕對值後誤差平均約 14.81 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為 0.59m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為 0.73。

本研究以完整的極值分析方法，由箱型圖初步分析取樣，再進一步討論極值分析之最佳方法，以考慮季節性變化之月極值特性分析得到以下結論。LSM 推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之 RMSE 較 MLE 推估法低，因此極值推估法以 LSM 推估臺北及安平港較佳。從各檢定指標來說，臺北港 8 月及 10 月因其各年最大波高的變動程度較大，除了 4、8 及 10 月為 Weibull 分布誤差較小之外，其餘大部分月份皆可以 GEV 分布來代表其適合之極值函數。安平港除了 4 月、5 月及 9 月以 GEV 分布作為較適合之極值函數外，其實月份皆以 Weibull 分布配合 LSM 推估法所推估的數值誤差較小，6 至 8 月因其最大波高變動程度較大，此三個月份使用 GEV 分布所推算波高與樣本間之 RMSE 皆超過 1，與其他極值函數 RMSE 值差距非常大，其餘月份的各種分布所推算出來的 RMSE 相當接近。整體來說，臺北港月極值統計分布大部分月份適合 GEV 分布，而安平港為 Weibull 分布，恰為兩種不同性質的統計特性，因此各港口不同月份均有其較適合之極值分布。



年極值統計部分，除了臺北港 12 年及安平港 11 年波高實測資料作為分析外，並與 1940 至 2010 共 71 年使用井島武士模式所推算之臺北港及安平港每年最大波高作為年極值統計分析比較，其結果顯示期較合適的參數推估方法與月極值統計相同，四種極值分布函數皆以 LSM 法來推估會擁有較佳的相關性。而在臺北港與安平港，實測資料樣本與經驗式波浪推算模式的樣本皆是以 GEV 分布來推估年極值波高統計較適合。經驗式波浪模式的資料樣本與實測資料的比較中，在臺北港其 50 年重現期波高接近，但應用於安平港則有較大的差異，經驗式波浪模式的樣本所推估的 50 年重現期波高較大。

本研究對波浪極值統計視窗化操作介面提出了初步的建構，期望本介面能有效提昇模式的操作效率以及擴展使用者族群，經過更完善的整合能夠使模式的應用性更加廣泛。目標在於建立一套包含波浪資料輸入分析、月極值統計及年極值統計的應用程式，並希望透過圖形化的介面使整個操作流程更簡單方便。

## 7.2 建議

在類神經颱風波浪推算模式的研究，除了各場颱風波高峰值的誤差量還有其誤差發生時間的延遲，未來若有更新的波浪資料或颱風資訊可供學習或驗證可再提升模式之可靠度。另外模式推估成效的評估建議可在完成更多港口推算模式後進行綜合評估，並分析各港間的相關性。Goda 所提出的  $k$  值是否為最合適的係數，及陸地對颱風波浪傳遞所造成的遮蔽效應，未來亦可繼續進行探討。

## 7.3 成果效益及後續應用情形

本研究成果可提供基隆港務局及高雄港務局檢核臺北與安平兩港區設計波浪之資訊。本研究中的類神經颱風波浪推算模式亦可提供基隆港務局及高雄港務局推算颱風侵臺時臺北與安平兩港域可能會發生的波浪災害，以達成預警的功能。

## 參考文獻

1. 合田良實，「港灣構造物的耐波設計」，鹿島出版社(1990)
2. 郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第四章(2001)
3. Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil (2007) “Cluster analysis of typhoon tracks. Part II: Large-scale circulation and ENSO,” *J. Climate*, 20, 3654-3676.
4. Camargo, S. J., A. W. Robertson, S. J. Gaffney, P. Smyth, and M. Ghil, (2007a) “Cluster analysis of typhoon tracks. Part I: General properties.” *J. Climate*, 20, 3635–3653.
5. Carter, D.J.T., Challenor, P.G., (1981) “Estimating return values of environmental parameters”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 107, 259–266.
6. Chester, D. (1990) “Why two hidden layers are better than one,” In *Proceeding IEEE International Joint Conference on Neural Networks*, Washington, D.C. 265-268.
7. Coastal engineering manual (2002) “Hydro-dynamic analysis and design conditions,” Chapter 8.
8. Coles, S.G., (2001) “An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values”, Springer-Verlag, London.
9. Davison, A.C., (1984) “Modelling excesses over high thresholds, with an application”, In: Tiago de Oliveira, J. (Ed.), *Statistical Extremes and Applications*. NATO Adv. Sci. Ser. C Math-Phys. Sci., Reidel, Dordrecht, 461-482.
10. Davison, A.C., Smith, R.L., (1990) “Models for exceedances over high thresholds with discussion”, *Journal of the Royal Statistical Society. Series B* 62, 191-208.
11. Dawson, C W. and Wilby, R. L. (2001) “Hydrological Modeling Using Artificial Neural Networks.” *Progress in Physical Geography*.25(1): 80-108.
12. Eberhart, R.C., and Dobbins, R.W. (1990) *Neural Network PC Tools – A Practical Guide*, Academic Press, Ins., 10-250.
13. Elsinghorst, C., Groeneboom, P., Jonathan, P., Smulders, L., Taylor, P.H., (1998) “Extreme value analysis of North Sea storm severity”, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 120 (3), 177- 183.

14. Embrechts, P., Klüppelberg, C., Mikosch, T., (1997) "Modeling Extremal Events", Springer Verlag, Berlin.
15. Ferreira, J.A., Guedes Soares, C., (1998) "An application of the peaks over threshold method to predict extremes of significant wave height", *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 120 (3), 165- 176.
16. Ferreira, J.A., Guedes Soares, C., (2000) "Modelling distributions of significant wave height", *Coastal Engineering* 40, 361-374.
17. Fisher R. A. and L. H. C. Tippett, (1928) "Limiting forms of the frequency distribution of the largest or smallest member of a sample", *Proceedings of Cambridge Philosophical Society*, Vol.24, (2), 180.Reprinted in R. A. Fisher, *Contributions to Mathematical Statistics*, John Wiley and Sons, New York, 1950.
18. Galambos, J., (1987) "The Asymptotic Theory of Extreme Order Statistics", Krieger, Florida.
19. Goda, Y., (2000) "Random Seas and Design of Maritime Structures", In: Liu, P.L.-F. (Ed.), *Advanced Series on Ocean Engineering*, vol. 15. World Scientific, Singapore.
20. Graham, H.E., and Nunn, D.E. (1959) "Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane," *Atlantic and Gulf Coasts of United States*, National Hurricane Research Project, Report No. 3, U. S. Weather Service.
21. Guedes Soares, C., (1986) "Assessment of the uncertainty in visual observations of wave height", *Ocean Engineering* 13 (1), 37-56.
22. Guedes Soares, C., Henriques, A.C., (1996) "Statistical uncertainty in long-term distributions of significant wave height", *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 11, 284-291.
23. Guedes Soares, C., Scotto, M., (2001) "Modelling uncertainty of long-term predictions of significant wave height", *Ocean Engineering* 28, 329-342.
24. Haver, S. (1985) *Wave Climate off northern Norway*, *Applied Ocean Research*, 7, 85-92.
25. Hayashi, Y., Sakata, M., and Gallant, S.I. (1990) "Multi-layer versus single-layer neural networks and an application to reading hand-stamped characters," In proceeding *International Conference on Neural Networks*, Paris, 781-784.
26. Huang, W., and Foo, S. (2002) "Neural network modeling of salinity

- variation in Apalachicola River,” *Water Research*, Vol. 36, 356-362.
27. Hush, D.R., and Horne, B.G. (1993) “Progress in supervised neural network: what’s new since lippmann,” *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 10, 8-39.
  28. Kecman, V, (2001) “Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks , and Fuzzy Logic Models.” *The MIT Press Cambridge, Massachusetts London , England*.
  29. Kurkova, V. (1992) “Kolmogorov’s Theorem and multilayer neural networks,” *Neural Networks*, Vol. 5, 501-506.
  30. Mendez, F.J., Menendez, M., Luceno, A., Losada, I.J., (2006) “Estimation of the long-term variability of extreme significant wave height using a timedependent POT model”, *Journal of Geophysical Research* 111, C07024.
  31. Moller M, (1993) "A scaled conjugate gradient algorithm for fast supervised learning", *Neural Networks*, 6(4), 525-533.
  32. Muir, J.R., El Shaarawi, A.H., (1986) “On the calculation of extreme wave heights”, *Ocean Engineering* 13, 93-118.
  33. Naess, A., Clausen, P.H., (2002) “The impact of data accuracy on the POT estimates of long return period design values”, *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 124, 53-58.
  34. Petruaskas, C., Aagaard, P.M., (1971) “Extrapolation of historical storm data for estimating design wave heights”. *Journal of Petroleum Engineering* 11, 23-37.
  35. Prechelt, L. (1998), “Early stopping-But when?” *Neural Networks: Tricks of the Trade*, 553-543.
  36. Sarle, W.S. (1995), “Stopped Training and Other Remedies for Overfitting,” *Proceedings of the 27th Symposium on the Interface of Computing Science and Statistics*, 352-360.
  37. Smith, R.L., (1986) “Extreme value theory based on the r largest annual events”, *Journal of Hydrology* 86, 27-43.
  38. Van Vledder, G., Goda, Y., Hawkes, P., Mansard, E., Martin, M.J., Mathiesen, M., Peltier, E., Thompson, E., (1993) “Case studies of extreme wave analysis: a comparative analysis”, *Proceedings of the Second International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*. ASCE, New York, pp. 978–992.
  39. Vidal, C., Medina, R., Lomonaco, P., (2006) “Wave height parameter for

damage description of rubble-mound breakwaters”, Coastal Engineering 53, 711-722.

40. Weibull, W., (1951) “A statistical distribution function of wide application”, Journal of Applied Mechanics, Vol.18, pp.293.

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：臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之  
研究(3/4)

執行單位：國立交通大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
莊甲子委員：		
一、本年度研究為四年期研究計畫中之第三年，研究成果如預期進度，研究內容包含類神經模式、極值統計分析、極值分布推定法等，內容豐富，值得肯定。	一、感謝委員認可。	符合。
二、颱風侵襲角之定義建議另加考量，以實際夾角（颱風走向與颱風中心與預報點連線之夾角）取代方位差夾角可能可獲得更佳之推算結果。	二、颱風走向與預報點夾角在本文中定義為 $\theta_2$ ，以隱含在本計畫所定義的颱風侵襲角中，且颱風侵襲角在颱風物理特性上直接表達颱風左半圓或右半圓侵襲的狀況，較為直觀。	符合。
三、類神經模式中建議選取大波浪颱風走徑（路徑 3.5.7.8.9）的實測結果作學習應可得到更佳的學習成果藉以排除誤差效應。	三、感謝委員建議，由於本模式目標除了推算往昔未紀錄的颱風波浪外，更希望能針對未來侵襲臺灣颱風作波浪的預報，故也需要考慮小波浪的颱風進行學習，避免模式遇到規模較小的颱風時發生錯估。	符合。
四、湧浪的遮蔽效應與都卜勒（Doublet）效應是否需列入考量請能加以斟酌。	四、湧浪的堆疊作用（accumulation）及都卜勒效應往昔研究已用輸入參數前 12 或 24 小時之值，即以延時（time delay）讓類神經學習，但如此處理經測試對模式整體精度並無提升，這種現象的可能原因為安平港位於臺灣海峽側，較少直撲颱風故發生湧浪的狀況不多或者輸入參數不洽當，往後若	符合。

<p>五、結論及後續工作說明精簡度稍嫌不足，期末報告期能改進。</p>	<p>有機會再進一步研究委員所提這些效應輸入合適參數讓類神經有更好地模擬。</p> <p>五、感謝委員指教，將於期末改進。</p>	<p>同意。</p>
<p>韓文育委員：</p>		
<p>一、波浪極值統計通常應用於結構物設計，與颱風波浪關係較密切，與季節風較無關聯，季節性風浪多應用於海岸變遷，波浪資料多使用示性波高或能譜，而非波浪極值，建議於文中說明採用月最大推估法主要應用範圍。</p> <p>二、P.4-9 箱型圖分析以 IQR (各月極值排序後之 75%及 25%相差值)之 1.5 倍作為 Hmax 控制範圍，是否會偏小？</p> <p>三、P3-3，<math>C1=0.6\sim0.7</math> 與井島研究臺中港時建議 <math>C1=0.6\sim0.65</math> 不同，取不同 <math>C1</math>，是否明顯影響推算結果？本計畫如何決定 <math>C1</math> 值？</p> <p>四、本計畫以類神經颱風波浪模式推算結果，與觀測值之相關係數 <math>R</math> 平均值高達 0.73，明顯相較於湯與井島之半經驗颱風波浪推算結果其 <math>R</math> 平均值 0.37 為佳，但對某些個別颱風（例如象神、韋帕），其 <math>R</math> 值僅 0.3 左右，此模式似乎仍存在某些盲點，是否與颱風路徑、地形、水深等有直接相關？如此模式推算結果作為港務局等相關機關預警系統，風險性如何？</p>	<p>一、感謝委員建議，月極值統計與年極值統計皆為探討波浪長期的極端狀況，只是資料取樣的長度不同，針對主要應用範圍再於討論季節性的影響量。</p> <p>二、1.5 倍是基於設定一個合理範圍，超過此範圍的數據將被提出作為探討，視其狀況決定是否去除資料，越小的控制範圍即越嚴謹。</p> <p>三、一般 <math>C1</math> 都是採用 <math>0.6\sim0.65</math>，<math>C1</math> 值越大推算波高會越大，目前 <math>C1</math> 值的決定尚無法特別方法，本計畫 <math>C1</math> 值參考往昔顧問公司採用 0.63。文中誤植 0.7 將於期末報告中作修正。</p> <p>四、路徑、第型與水深等因素並無直接以輸入層因子的方式進行輸入，僅能由類神經多神經元的權重與閾值來描述其特性，若未來有更多資料可進行學習，相信可以提升模式結果的相關性。另風險評估部分將於期末增加說明。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>同意。</p>
<p>林炤圭委員：</p>		

<p>一、第一章計畫目的之第二段及第三段文字建議再調整，並應提相關圖表以資證明。第二段文字指出現有規範無安全之虞，但又說有要檢討的問題，應再說明。第三段文字指出每個月的極值波浪會有週期性的變化，是否意指月極值波浪在一年中有隨季節而變的規律值？</p> <p>二、P2-11，資料分類中 Camargo 等人(2007)之分類法應詳加說明。</p> <p>三、目前類神經的學習組涵蓋了 29 場颱風中之最大颱風，因此其驗證較佳。如果用來推算比學習組更大的颱風可能發生什麼問題？</p> <p>四、在極值分析中如何針對不同的推估方法的推估結果進行評估？是否未來會具體建議一推估方法？</p> <p>五、2-28 圖 2.14 之 RMSE 單位為何？為什麼 RMSE-test 值變得很大？</p>	<p>一、感謝委員指正，文字說明部分已修正。我們透過月極值的分析的確發現會因冬夏季整影響，會隨著季節而改變。</p> <p>二、將於期末補充說明。</p> <p>三、以類神經的建立方式來說，若學習颱風波高都較小，將模式用來預測更大的颱風其預估波浪結果也會更大，但其準確性仍須再評估。</p> <p>四、目前以本團隊執行中心計畫的經驗來說，花蓮港、高雄港、安平港及臺北港的狀況是以 LSM 推估法的結果最佳，但此方法是否因地制宜，可能需要更多實作才能下定論。</p> <p>五、單位為 m，圖 2.14 說明在不同神經元架構下的 RMSE，所有颱風的平均 RMSE 約 0.85m 至 1m。其值變大說明神經元越多可能對模式造成過度學習的狀況，會使模式在預測時有較大的誤差。</p>	<p>符合。</p> <p>同意。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
<p>李兆芳委員：</p>		
<p>一、P2-30 提及各颱風名稱已有中、英文，統一選一種呈現。推算結果最大波高誤差和時間誤差是否有參考值可以呈現？</p> <p>二、類神經和半經驗推算結果的比較 <math>\Delta H</math> 和 <math>\Delta t</math> 有正和負，以平</p>	<p>一、中英文颱風名稱將於期末統一，波高及時間誤差參考值可由往昔花蓮與高雄港的文獻中誤差值當作參考。</p> <p>二、本文中的平均值皆是取絕對值後在平均，可以客觀展現模式誤差。</p>	<p>同意。</p> <p>符合。</p>



<p>均值來看難以顯示結果好壞。</p> <p>三、p5-9 對於臺北港和安平港的敘述可以分開陳述。</p>	<p>三、感謝委員建議，已調整為分開陳述。</p>	<p>同意。</p>
<p>曾相茂委員：</p>		
<p>一、本研究計畫兼顧研究與實務，與本所港研中心實測颱風資料頗能一致，成果豐碩，已具有實用價值，相當難得，且研究團隊對問題之認知及未來的貢獻應可期待。</p>	<p>一、感謝委員認可。</p>	<p>符合。</p>
<p>二、P1-1 計畫目的：設計港灣或海岸結構物前…但除了臺中港外其他基、蘇、花、高4港近20年的波浪資料都是現有的海岸結構物後的，只有臺中港在1981~1982年量測後1992~1995年北防波堤延長850m後1995~1997再觀測的資料，以後又在1999~2003年再延長480m後再觀測的資料，所以101年第四年臺中港與基隆港為主這些資料可能須考慮結構物前、後了。</p>	<p>二、感謝委員指正，本研究計畫的設計波估算是應用於港灣或海岸節購物興建前的工作方法，但目前僅能利用現有的波浪資料建立颱風波浪推算方法，以推求往昔沒有實測資料的颱風波浪狀況來探討目前的設計波估算方法，以現在的技術探討往昔設計波估算的適用性，相信能對未來相關建設有所幫助。</p>	<p>符合。</p>
<p>三、P2-30 是否能將誤差最大的四個颱風路徑圖放在文中內，並解釋可能的原因。是否都是颱風引來的西南風造成的湧浪，所以不在計算內而造成的誤差。</p>	<p>三、已於2.3節加入說明。</p>	<p>符合。</p>
<p>四、4-29 頁是否將表4.19挪到與圖4.21同頁以便參閱。</p>	<p>四、已調整。</p>	<p>符合。</p>
<p>何良勝委員</p>		
<p>一、建議於期末報告補強前二年研究成果說明。</p>	<p>一、感謝委員指教，將於已增加說明。</p>	<p>符合。</p>
<p>二、建議將類神經網路及半經驗公式之結果做一合併比較。</p>	<p>二、在期中會議簡報中已進行比較，將於已納入報告書中。</p>	<p>符合。</p>
<p>三、有關臺北與安平兩港之季節性</p>	<p>三、感謝委員建議，兩港的分析方</p>	<p>符合。</p>

<p>統計分析結果與其分析方法（函數分佈、推估、檢定）宜相符合。</p>	<p>法相同，將於期末報告中加以說明。</p>	
<p>四、建議增列以信賴度方面說明應用類神經網路推算結果之準確性。</p>	<p>四、感謝委員建議，已加入於期末2.4節。</p>	<p>符合。</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：臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之  
研究(3/4)

執行單位：國立交通大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦 單位審查意見
韓文育委員：		
一、本研究建構類神經颱風波浪推算模式，提供波浪推算另一思維，並於本年度內完成所有預定進度，應予肯定。	一、感謝委員肯定。	符合。
二、本研究於 2.4 節簡單論述風險分析，並於整體報告結論中明確指出“研究成果可供為預警系統或參考”其可靠性宜請於第四年計畫再進一步斟酌，以取信工程界及港灣主管機關勇於應用此模式。	二、感謝委員建議，未來將盡力加入更多樣性的模式評估。	符合。
三、本研究 $\Delta H_{s,p}$ 及 $\Delta t_p$ 計算結果有正有負，並各有其物理意義，研究中將各次颱風推估之 $\Delta H_{s,p}$ 及 $\Delta t_p$ 平均，不論是否取絕對值平均，其平均後之數據恐失去其原有意義，並造成 p.2-36 表 2.8 之結果失真，又如其平均為絕對值平均宜於 p.2-33 中註明，並說明其意義。	三、皆以絕對值平均較能避免在常態性分布的誤差狀況下會無法表示誤差範圍。至於非常態分布的誤差偏態可考慮由風險分析中作表示。將於文中加以說明。	符合。
四、建議港研中心利用本計畫對各商港之研究，邀集相關主管機關、學界、工程顧問公司等研討確立各港之設計波高，以為工程界依循。	四、感謝委員建議。	同意。

陳陽益委員：		
已達成計算系統化來預測颱風浪，故達到本計畫目標，唯延時與極值仍有差異，有再改進的空間。	感謝委員肯定，未來若有更多可用資料將進行模式測試並盡力改善。	
李兆芳委員：		
一、報告內容充實，達到計畫目標。 二、在編輯上仍有調整空間，如 p.2-9, 2-35, 2-40, 4-16, 2-39,請修正。 三、內容敘述上可再加強，如 p.4-17, 4-30, p5-8,標題和內容要一致。 四、作法上分出月和年季節特性，但結論提及年極值特性與月極值統計特性相同，可以調整說明。	一、感謝委員肯定。 二、感謝委員指正，已修正編輯。 三、感謝委員建議，以修正，其中 p5-8 等表格標題與內容無誤。 四、已修正誤植部分文章。	符合。 符合。 符合。 符合。
林昭圭委員：		
一、本計畫所引用颱風資料是來自日本氣象廳，是否意味著位來的推算作業均如此進行，中央氣象局或 JTPC 的資料有何問題。 二、請說明 56 場“會造成影響”的颱風的選擇是依其路徑或依實測波高判定其影響性。 三、p2.9 有關安平港發生最大波高值 3 米以上的颱風，不一定是由颱風所造成等論述的一句為何？季風波浪與颱風波浪均為風波，如何判定請說明。	一、各單位的颱風資料會有些許差異，本模式往昔建立時採用過 JTWC 與 JMA 的資料，原因在於這兩個單位的完整且提供方便的資料取得方式，但在應用上各單位資料皆可使用只須注意風速值單位的轉換即可。 二、除考慮其路徑外並考慮其資料適用性，若有雙颱風或季節風較大的狀況會盡量避面納入選擇造成錯誤的學習資訊。 三、僅能視當時颱風資訊顯示當時是否有颱風造成影響，季節風與颱風的混合影響則較難較進行考量。	符合。 符合。 符合。
何良勝委員：		
一、報告內文修正或補充意見之處： 1.內文單位統一寫法，例如 chap2、chap4 之“米”改為“m”。	一、 1.感謝委員指正，已修正。	符合。

<p>2.p.2-34 之表 2.7，增列標明“學習組”與“驗證組”。</p> <p>3.p.4-10 之表 4.3，增列說明表中有底色格之意義。</p> <p>4.內文中之“台”→改為“臺”</p> <p>二、增列說明 p.2-36 之表 2.8 中各港所得之優劣情況。</p>	<p>2.感謝委員建議，已增列。</p> <p>3.感謝委員建議，已增列。</p> <p>4.感謝委員指正，已修正。</p> <p>二、感謝委員建議，已增列。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>
<p>曾相茂委員：</p>		
<p>一、本年度為四年計畫中的第三年，研究成果已有具實，其步驟正確有條理、方法正確，且研究團隊對問題之認知正確及未來的貢獻應有期待。</p> <p>二、建議如有時間，高雄港與安平港及臺北港與基隆港可用已有的資料找出其相關關係。</p> <p>三、自 P2-4 開始有些版面須重新調整。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、各颱風對於各港的影響會由於地形與空間位置有所差異，這也是目前各港分別建置模式的原因，未來各港模式建立完成會再加入比較與討論，目前僅針對已建立的模式進行成效的比較。</p> <p>三、感謝委員指正，已修正。</p>	<p>符合。</p> <p>符合。</p> <p>符合。</p>

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

# 臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(3/4)

期中簡報

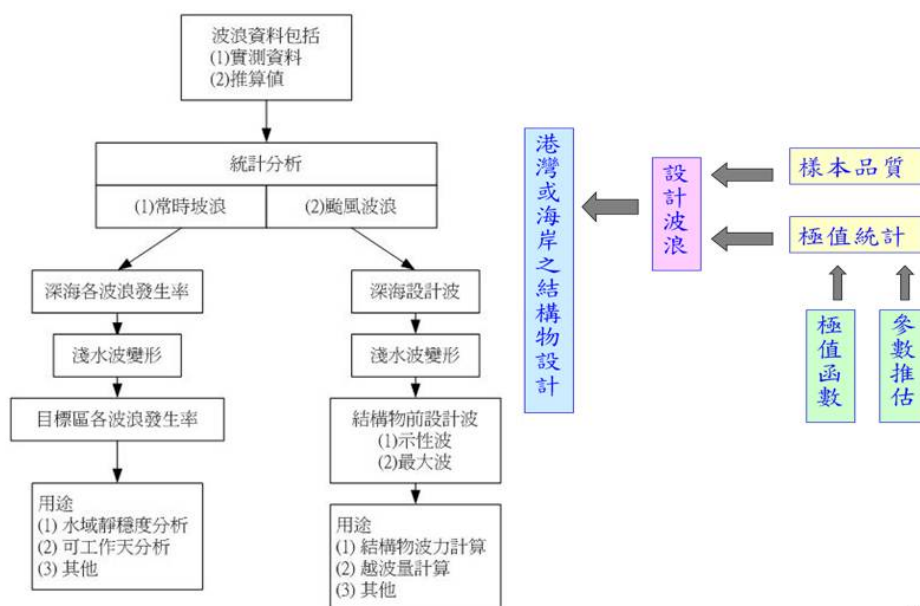
簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國一百年七月十二日



## 研究動機



2

## 四年研究總目標

- 以花蓮、高雄、台北、安平、基隆及台中港的實測波浪資料進行波浪統計特性分析。並以經驗式波浪推算模式、類神經波浪推算模式及實測波浪資料等不同樣本來源來考慮各種取樣方式及與極值函數的差異性。
- 估算各目標港各回歸期的設計波浪並建立視窗化操作系統。

## 本年度工作項目

以臺北港安平港為主：

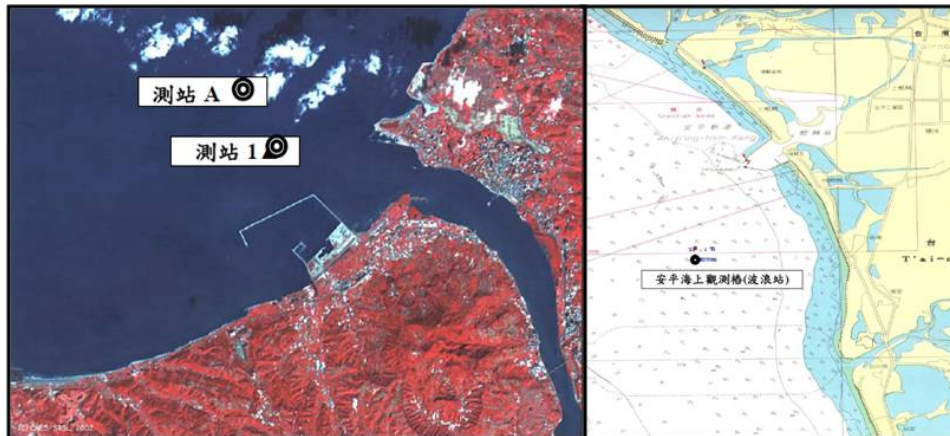
- 以經驗式推算波浪模式推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(完成)
- 建立類神經颱風波浪推算模式並推算往昔颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(已完成安平港)
- 探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。(完成)
- 以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定臺北、安平兩港域之各回歸期之設計波浪。(完成)
- 以季節性統計分析方法(seasonal wave statistics) 探討臺北、安平兩港域波浪每月極值統計特性。(完成)
- 波浪極值統計視窗化操作之建立。

4



## 波浪極值統計特性

資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料  
臺北港：1996年10月17日至2010年12月31日  
安平港：2000年1月1日至2010年12月31日

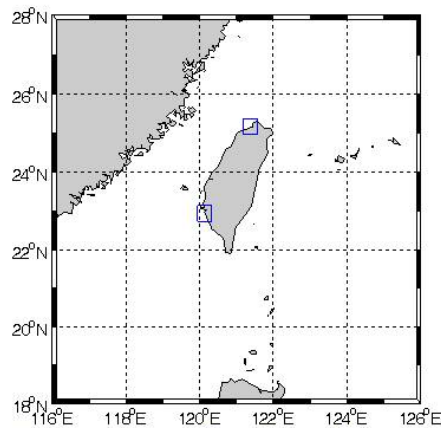


臺北港及安平港測站位置

5

## 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

- 颱風波浪追蹤法
- 依據Wilson之移動風域法而將之直接變化為數值計算
- 由移動風域內之風速分布(即考慮區內各點之吹風情況)來推算
- 綜合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算法及碎波後波浪計算法
- 從氣象資料，推算移動風域中海岸前任何水深地點之波浪狀況



半經驗波浪推算模式於臺北港與安平港的計算區域



# 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

## ■ 安平港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{3\%}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2000	KAI TAK(啟德)	4.23	20.00	1.35	-0.52	6.13
2000	BILIS(碧利斯)	2.76	-3.00	2.28	0.78	4.65
2000	XANGSANE(象神)	6.43	2.00	2.71	0.57	8.17
2001	CHEBI(奇比)	1.23	-2.00	1.31	0.91	8.15
2001	TORAJI(桃芝)	1.04	11.00	0.75	0.25	2.49
2001	NARI(納莉)	1.07	0.00	0.94	0.20	3.65
2001	LEKIMA(利奇馬)	1.37	-16.00	1.38	-0.05	3.73
2003	DUJUAN(杜鵑)	-1.35	3.00	1.10	0.82	2.18
2004	CONSON(康森)	1.69	1.00	1.25	0.34	3.26
2004	MINDULLE(敏督利)	-3.25	-26.00	2.25	0.07	1.76
2004	AERE(艾利)	-0.45	-23.00	0.69	-0.68	1.85
2004	NOCK TEN(納坦)	0.96	1.00	0.74	0.64	2.16
2005	HAITANG(海棠)	-0.89	-9.00	1.34	0.33	3.87
2005	TALIM(泰利)	-0.59	6.00	1.24	0.61	3.46
2005	LONGWANG(龍王)	2.47	-1.00	1.52	0.67	4.53
2006	CHANCHU(珍珠)	-2.77	6.00	1.96	0.78	3.04
2006	KAEMI(凱米)	0.93	-2.00	1.30	0.04	4.40
2007	SEPAT(聖帕)	-0.63	-8.00	1.75	0.01	4.21
2007	KROSA(柯羅莎)	-0.56	-1.00	0.82	0.79	3.01
2008	SINLAKU(辛樂克)	1.39	5.00	0.83	0.28	2.88
2008	JANGMI(蔷蜜)	0.04	-3.00	0.61	0.79	3.06
2009	MORAKOT(莫拉克)	-5.06	8.00	3.31	0.54	2.60
平均		1.87	7.14	1.43	0.37	3.78

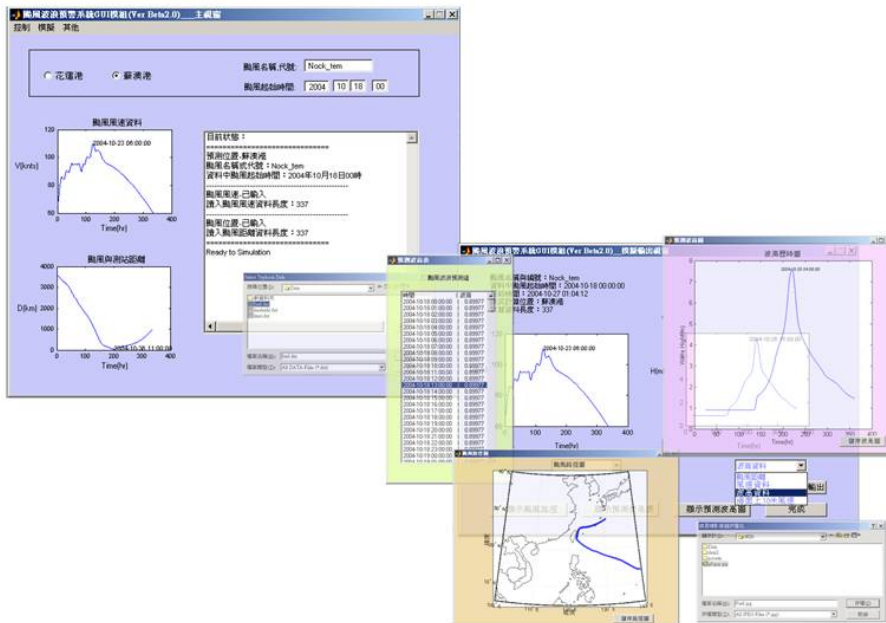
缺乏實測資料可比較 2010  
本模式沒有推算出颱風波浪: 2002

## ■ 台北港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{3\%}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMS E	R	$H_{obs}$ (m)
1997	WINNIE(溫妮)	-4.13	9.00	2.91	0.30	6.49
1998	ZEB(瑞伯)	-4.66	3.00	3.23	0.48	7.79
2000	BILIS(碧利斯)	-1.03	0.00	0.91	0.73	1.74
2001	CHEBI(奇比)	0.20	5.00	0.28	0.69	1.34
2001	NARI(納莉)	1.62	0.00	1.28	0.62	4.55
2002	SINLAKU(辛樂克)	-0.90	12.00	0.88	0.16	3.45
2004	MINDULLE(敏督利)	2.86	-25.00	1.88	-0.49	1.92
2004	RANANIM(蘭寧)	-1.58	6.00	1.41	0.62	3.29
2004	AERE(艾利)	0.33	12.00	1.67	0.47	6.11
2005	HAITANG(海棠)	-2.89	13.00	1.25	0.40	4.01
2005	MATSA(馬莎)	-2.18	1.00	1.30	0.66	5.03
2005	TALIM(泰利)	-1.18	0.00	1.02	0.95	4.08
2005	KHANUN(卡努)	-0.99	0.00	1.15	0.48	3.19
2005	LONGWANG(龍王)	-0.55	-4.00	1.09	0.06	2.95
2006	KAEMI(凱米)	-0.46	-1.00	0.23	0.82	0.99
2006	SAOMAI(桑美)	1.89	6.00	1.53	0.71	1.88
2008	SINLAKU(辛樂克)	2.59	7.00	1.88	0.26	3.83
2009	MORAKOT(莫拉克)	0.76	19.00	1.30	-0.32	3.18
2010	FANAPI(凡那比)	-1.92	0.00	1.75	0.74	2.71
平均		1.72	6.47	1.42	0.44	3.61

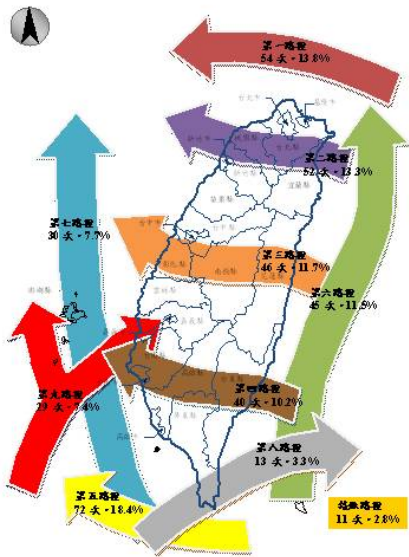
缺乏實測資料可比較 2007  
本模式沒有推算出颱風波浪: 1996, 1999, 2003

# 樣本來源—ANN颱風波浪推算模式



已完成花蓮港、高雄港及安平港之颱風波浪模式建立

## 颱風波浪資料樣本



年份	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分級
2000	PRAPIROON 巴比倫	2.83	6
2000	XANGSANE 象神	1.74	6
2001	CHEBI 奇比	6.92	7
2001	LEKIMA 利奇馬	2.36	4
2002	NAKRI 娜克莉	3.96	9
2003	IMBUDO 伊布都	3.90	--
2003	MORAKOT 莫拉克	2.75	4
2003	KROVANH 柯羅旺	3.18	--
2003	DUJUAN 杜鵑	3.52	5
2004	MINDULLE 敏督利	5.01	6
2004	KOMPASU 康柏斯	1.96	--
2004	RANANIM 蘭寧	2.11	--
2004	NOCK_TEN 納坦	1.20	6
2004	NANMADOL 南瑪都	2.91	9
2005	HAITANG 海棠	4.76	3
2005	MATSA 瑪莎	2.52	1
2005	SANVU 珊婁	4.72	--
2005	TALIM 泰利	4.05	3
2005	DAMREY 丹瑞	2.73	--
2005	LONGWANG 龍王	2.06	3
2007	WIPHA 雲帕	1.50	1
2007	KROSA 柯羅莎	3.57	2
2008	NURI 如麗	5.81	--
2008	SINLAKU 辛樂克	1.84	2
2008	HAGUPIT 哈格比	3.28	--
2008	JANGMI 尚蜜	3.02	2
2009	LINFA 蓮花	7.20	9
2009	MOLAVE 莫拉菲	3.63	--
2009	MORAKOT 莫拉克	7.66	3

CWB公佈之2000年至2010年侵臺颱風共有**73場**。其中實測波浪資料完整之颱風共**56場**。以人工的方式同時考量前述各種**季節風、地形、高山屏障**影響之原因以及去除**波高小於1m**影響較小及**雙颱交互影響**的颱風後，再依照各路徑均勻選取颱風，盡量讓每個路徑之颱風皆有被選取，最後選取**29場**颱風來建立模式。

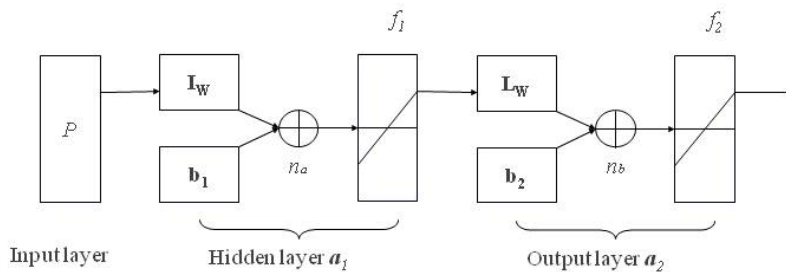
## 類神經颱風波浪推算模式的建立

人工神經元輸出值與輸入值的關係式

$$Y_i = f \left( \sum_j W_{ij} X_j - \theta_i \right)$$

誤差函數  $E$   $E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2$

加權值的修正量  $\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W}$



類神經網路架構示意圖

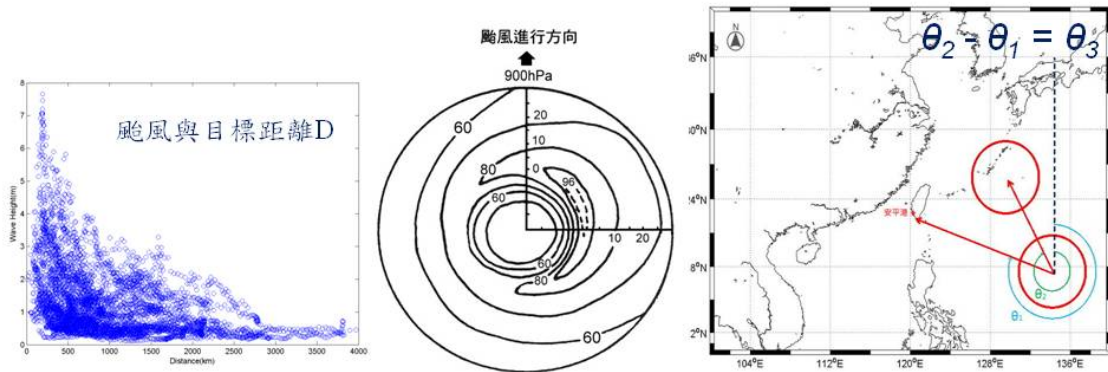


# 類神經颱風波浪推算模式的建立

## 輸入參數

JMA 實測颱風資料

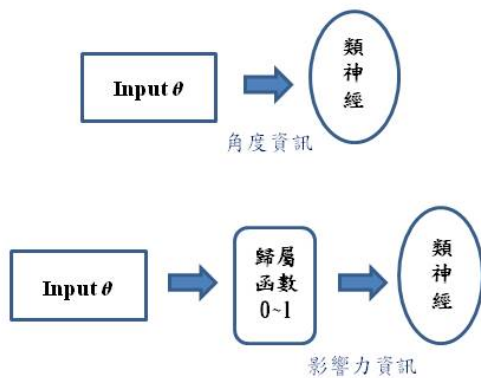
1. 颱風經緯度
  2. 近中心最大風速
  3. 中心氣壓
- (1) 颱風與目標距離  $D$   
 (2) 目標點風速  $V$   
 (3) 目標點方位角  $\theta_1$   
 (4) 颱風侵襲角  $\theta_3$  (颱風行進方位角)  
 (5) 目標點風向  $V_{deg}$



## 歸屬函數修正輸入參數

輸入參數的修正：

對於類神經而言，輸入參數與波高的關係間接影響到模式建立的難易度，若選擇的輸入參數與波高本身具有強烈的關係或是有其物理的意義存在，對於類神經模式亦會有相當程度的幫助。

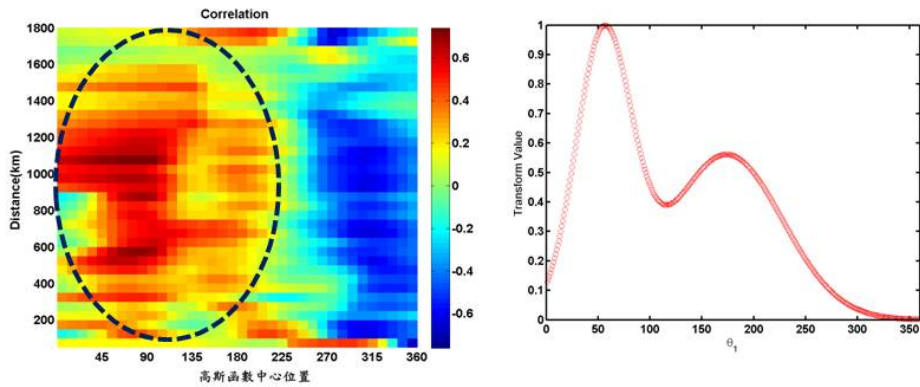


輸入參數	相關性R
目標點風速 $V$	0.46
距離 $D$	0.33
目標點方位角 $\theta_1$	-0.49
颱風侵襲角 $\theta_3$	0.06
目標點風向 $V_{deg}$	-0.38



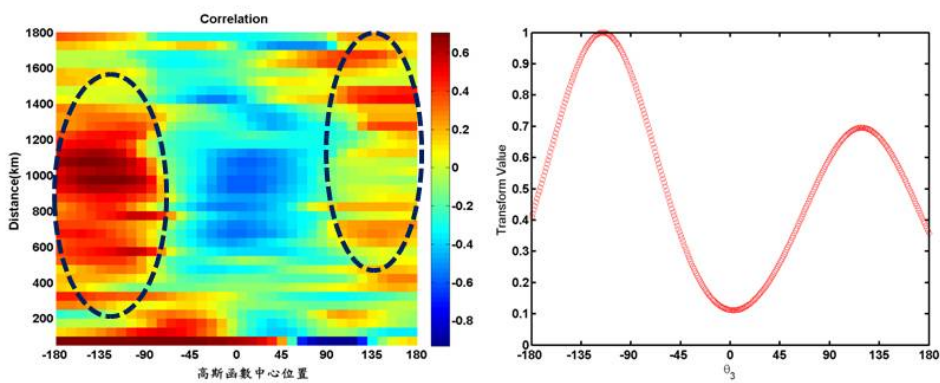
## 歸屬函數修正輸入參數

(1) 目標點方位角  $\theta_1$



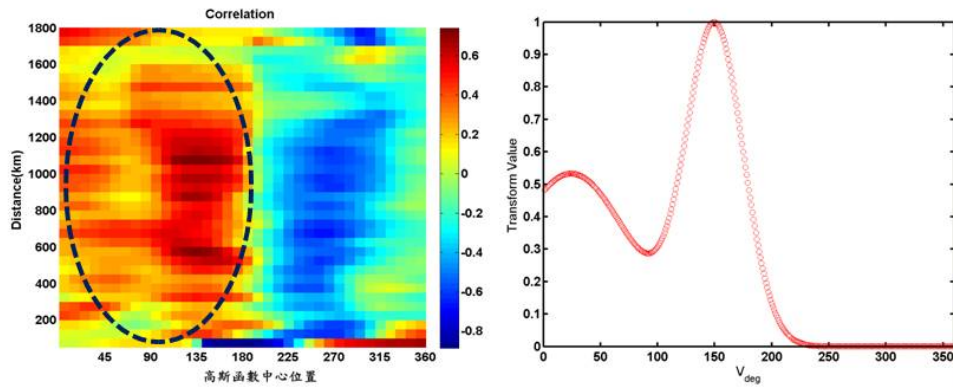
## 歸屬函數修正輸入參數

(2) 颱風侵襲角  $\theta_3$



## 歸屬函數修正輸入參數

(3) 目標點風向  $V_{deg}$



## 歸屬函數修正的效益評估

V : 風速因子  
 D : 距離因子  
 $\Theta_1$  : 遮蔽效應因子  
 $\Theta_3$  : 颱風結構因子  
 $V_{deg}$  : 目標點風向因子

輸入因子	相關性R	雙峰轉換	輸入因子經轉換後	相關性R
V	0.46		V	0.46
D	-0.33	➔	D	0.33
$\Theta_1$	-0.49		$\Theta_1$	0.57
$\Theta_3$	0.06		$\Theta_3$	0.43
$V_{deg}$	-0.38		$V_{deg}$	0.55

	組別	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R
未修正	學習組	1.11	9.85	0.64	0.77
	驗證組	1.09	9.89	0.94	0.62
雙峰高斯	學習組	1.01	10.10	0.64	0.76
	驗證組	1.06	10.00	0.86	0.66

➔ 7%



## 模式之驗證

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R	$H_{obs, max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-1.27	-14.00	0.51	0.55	2.83
2000	象神(XANGSANE)	0.80	12.00	0.59	0.35	1.74
2001	奇比(CHEBI)	-2.01	2.00	0.85	0.72	6.92
2001	利奇馬(LEKIMA)	-0.02	1.00	0.42	0.75	2.36
2002	娜克莉(NAKRI)	0.22	15.00	0.65	0.72	3.96
2003	尹布都(IMBUDO)	-0.89	5.00	0.67	0.75	3.90
2003	莫拉克(MORAKOT)	1.22	3.00	0.79	0.69	2.75
2003	柯羅旺(KROVANH)	-0.25	-6.00	0.65	0.37	3.18
2003	杜鵑(DUJUAN)	1.01	4.00	0.72	0.91	3.52
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.78	-17.00	0.72	0.86	5.01
2004	康柏斯(KOMPASU)	1.54	15.00	1.37	0.52	1.96
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.47	-6.00	0.34	0.79	2.11
2004	納坦(NOCK_TEN)	0.50	5.00	0.45	0.65	1.20
2004	南瑪都(NANMADOL)	1.68	4.00	0.95	0.76	2.91
2005	海棠(HAITANG)	-0.80	-1.00	0.69	0.88	4.76
2005	馬莎(MATSA)	-0.63	83.00	0.42	0.66	2.52
2005	珊瑚(SANVU)	-0.61	-6.00	0.58	0.90	4.72
2005	泰利(TALIM)	0.49	11.00	0.69	0.87	4.05
2005	丹瑞(DAMREY)	0.68	-3.00	0.52	0.86	2.73
2005	龍王(LONGWANG)	2.23	8.00	1.06	0.88	2.06
2007	韋帕(WIPHA)	1.30	19.00	0.89	0.31	1.50
2007	柯羅莎(KROSA)	-0.29	6.00	0.75	0.48	3.57
2008	如麗(NURI)	-2.40	-8.00	0.68	0.96	5.81
2008	辛樂克(SINLAKU)	1.51	-3.00	0.71	0.86	1.84
2008	哈格比(HAGUPIT)	0.25	-3.00	0.50	0.93	3.28
2008	薔蜜(JANGMI)	0.15	4.00	0.58	0.53	3.02
2009	蓮花(LINFA)	-2.19	-2.00	0.75	0.92	7.20
2009	莫拉菲(MOLAVE)	0.17	-15.00	0.85	0.76	3.63
2009	莫拉克(MORAKOT)	-3.53	11.00	1.36	0.93	7.66
	平均	1.03	10.06	0.72	0.73	

組別	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R
學習組	1.01	10.10	0.64	0.76
驗證組	1.06	10.00	0.86	0.66

灰階底色為驗證組颱風

## 兩種波浪推算結果綜合比較

安平港：

半經驗波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.87\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 7.14$  小時

平均 RMS = 1.43m

平均 R = 0.37

類神經波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.03\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 10.1$  小時

平均 RMS = 0.72m

平均 R = 0.73

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}(m)$	$\Delta t_p(\text{hour})$	$\Delta H_{s,p}(m)$	$\Delta t_p(\text{hour})$
		類神經	類神經	半經驗	半經驗
2000	XANGSANE(象神)	0.80	12.00	6.43	2.00
2001	CHEBI(奇比)	-2.01	2.00	1.23	-2.00
2001	LEKIMA(利奇馬)	-0.02	1.00	1.37	-16.00
2003	DUJUAN(杜鵑)	1.01	4.00	-1.35	3.00
2004	MINDULLE(敏督利)	-0.78	-17.00	-3.25	-26.00
2004	NOCK_TEN(納坦)	0.50	5.00	0.96	1.00
2005	HAITANG(海棠)	-0.80	-1.00	-0.89	-9.00
2005	TALIM(泰利)	0.49	11.00	-0.59	6.00
2005	LONGWANG(龍王)	2.23	8.00	2.47	-1.00
2007	KROSA(柯羅莎)	-0.29	6.00	-0.56	-1.00
2008	SINLAKU(辛樂克)	1.51	-3.00	1.39	5.00
2008	JANGMI(薔蜜)	0.15	4.00	0.04	-3.00
2009	MORAKOT(莫拉克)	-3.53	11.00	-5.06	8.00
	平均	1.09	6.54	1.97	6.38

## 臺北、安平港各回歸期之設計波浪

- 樣本採用港研中心在臺北與安平港海域測量之每年最大值波高。
- 以98年度的研究結果顯示在花蓮港與高雄港以MLM及LSM方法推估結果較為可靠，而二者所推估之各重現期之值也接近也相近。
- 選擇重現期為T=10、25、50及100年4種，即可獲得各重現期下之波高。

19

## 極值分佈函數

Fisher和Tippett(1928)提出三種適合極值資料之機率分佈的函數為

(1) 極值 I 型分佈 (FT-I 型分佈)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty$$
$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}}$$

(2) 極值 II 型分佈 (FT-II 型分佈)

$$F(x) = e^{-\left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-k}}, B - kA \leq x < \infty$$
$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-(l+k)} e^{-\left(1 + \frac{x-B}{kA}\right)^{-k}}$$

(3) 極值 III 型分佈 (FT-III 型分佈)

$$F(x) = e^{-\left(\frac{B-x}{A}\right)^k}, -\infty \leq x \leq B$$
$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{B-x}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{B-x}{A}\right)^k}$$

20



## 極值分佈函數

另外其他極值分佈有

(4) Weibull分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, \quad B \leq x < \infty$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}$$

(5) 對數常態分佈 (lognormal distribution)

$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt, \quad 0 < x < \infty$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}}$$

21

## 臺北港各回歸期之設計波浪

以LSM推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull <sub>1</sub>	LogN	GEV	EV-I	Weibull <sub>1</sub>	LogN	GEV
MIR(m)		0.78	0.68	0.53	0.30	0.78	0.68	0.53	0.30
RMSE(m)		0.20	0.18	0.16	0.15	0.22	0.18	0.16	0.16
$\bar{x}_e$ (m)		0.27	0.22	0.09	0.11	0.15	0.22	0.13	0.06
$x_R$ (m)	10	6.19	6.21	6.24	6.16	6.34	6.16	6.19	6.05
	25	6.89	6.76	6.84	6.53	7.11	6.70	6.76	6.40
	50	7.40	7.13	7.25	6.75	7.68	7.07	7.15	6.60
	100	7.91	7.47	7.65	6.92	8.24	7.40	7.53	6.76
$\sigma$ (m)	10	0.54	0.56	0.36	0.50	0.46	0.46	0.50	0.38
	25	0.73	0.68	0.43	0.60	0.58	0.56	0.66	0.54
	50	0.88	0.77	0.48	0.65	0.67	0.62	0.78	0.70
	100	1.02	0.84	0.53	0.70	0.77	0.68	0.91	0.85

以LSM推估GEV極值分布而言，50年重現期之波高為6.75m，而推算標準偏量為0.65m，若假設推算標準偏量符合正常分布且考慮95%信賴度，則推算50年重現期之波高在6.75±1.96x0.65m間，即5.48-8.02m。

22



## 安平港各回歸期之設計波浪

以LSM推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibul <sub>1</sub>	LogN	GEV	EV-I	Weibul <sub>1</sub>	LogN	GEV
MIR(m)		0.84	0.65	0.64	0.28	0.84	0.65	0.62	0.28
RMSE(m)		0.30	0.25	0.26	0.22	0.32	0.26	0.25	0.24
X <sub>e</sub> (m)		0.34	0.26	0.13	0.26	0.20	0.31	0.19	0.21
x <sub>R</sub> (m)	10	7.36	7.39	7.49	7.28	7.52	7.29	7.40	7.11
	25	8.36	8.18	8.42	7.74	8.60	8.05	8.29	7.55
	50	9.09	8.71	9.08	7.99	9.40	8.56	8.91	7.79
	100	9.82	9.19	9.72	8.19	10.20	9.03	9.52	7.97
(m)	10	0.81	0.85	0.54	0.72	0.70	0.70	0.81	0.55
	25	1.09	1.04	0.64	0.84	0.88	0.85	1.10	0.84
	50	1.31	1.17	0.72	0.91	1.03	0.95	1.33	1.10
	100	1.52	1.29	0.79	0.96	1.17	1.05	1.56	1.35

假設推算標準偏量符合正常分布且考慮95%信賴度，則以GEV推算50年重現期之波高在 $7.99 \pm 1.96 \times 0.91m$ 之間，即6.76-12.44m。若以Lognormal分布之50年重現期推估波高在6.21-9.77m之間

23

## 季節性統計分析方法

### ■Mendez等(2008)

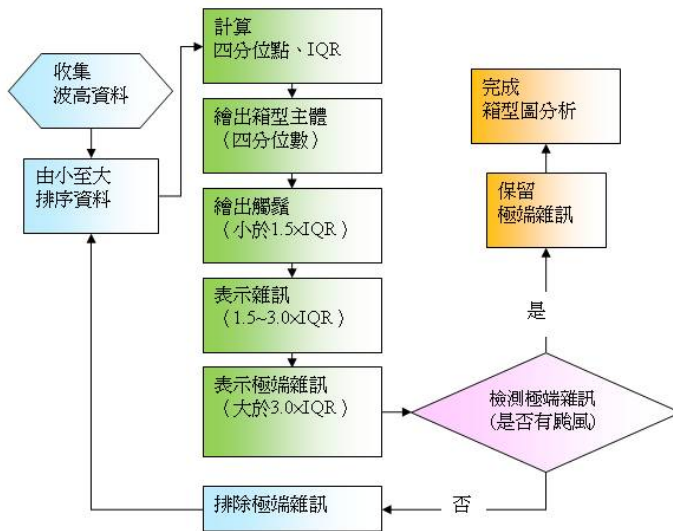
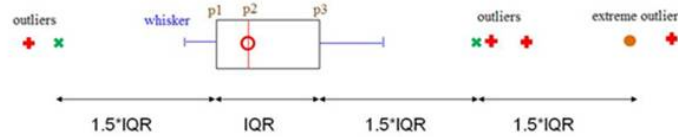
提出超量門檻選用法的極值波高，存在非穩定的季節性變化，其波高符合極端值分佈。

### ■陳(2009)

應用Mendez等(2008)提出極值參數季節性變化之概念，但不同於原作者使用的超量選用法，而是應用於花蓮港極端值選用法中的年最大法與月最大法，探討極值波高季節性之情況。

24

## 箱型圖 (Box Plot)



25

## 安平港月極值分析結果

- 樣本採用港研中心量測安平海域2000至2010年共11年之每月最大波高
- 安平港各月份波高，除了4月、5月及9月以GEV分布作為較適合之極值函數外，其實月份皆以Weibull分布配合LSM推估法所推估的數值誤差較小。
- 選擇重現期為T=50的情況下，若在95%信賴度下，各月份波高分別為

月份	波高	月份	波高
一月	0.17至4.59m	七月	4.51至9.61m
二月	0.91至3.93m	八月	4.81至14.53m
三月	1.15至2.01m	九月	3.13至5.09m
四月	1.23至1.81m	十月	0.00至15.41m
五月	0.00至13.55m	十一月	0.86至3.22m
六月	1.44至17.98m	十二月	0.00至7.98m

26

## 臺北港月極值分析結果

- 樣本採用港研中心量測台北港海域1999至2010年共12年之每月最大值波高
- 台北港除了4、8及10月為Weibull分布誤差較小之外，其餘大部分月份皆可以GEV分布來代表其適合之極值函數。
- 選擇重現期為 $T=50$ 的情況下，若在95%信賴度下，各月份波高分別為

月份	波高	月份	波高
一月	4.06至6.52m	七月	2.52至6.20m
二月	3.67至5.23m	八月	1.70至13.90m
三月	3.55至5.51m	九月	4.11至7.05m
四月	3.26至5.50m	十月	2.80至12.80m
五月	2.17至3.15m	十一月	3.94至6.68m
六月	2.02至3.28m	十二月	4.22至6.88m

27

## 視窗化操作介面

### ■輸入資料格式：

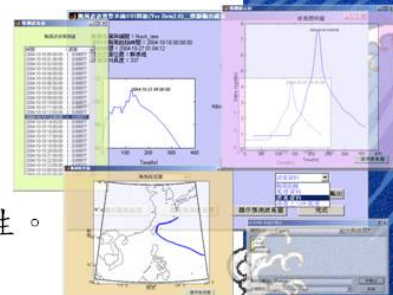
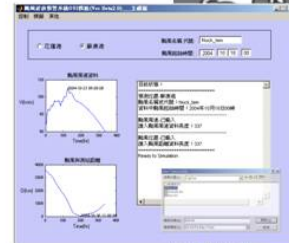
1. 自動讀入資料中的年最大值
2. 亦可採用前三大月的最大值
3. 採用類神經颱風波浪推算模式之結果

### ■極值統計函數：FT-I, GEV, Weibull, Lognormal

### ■極值分布參數推定：1. MOM 2. MLM 3. LSM

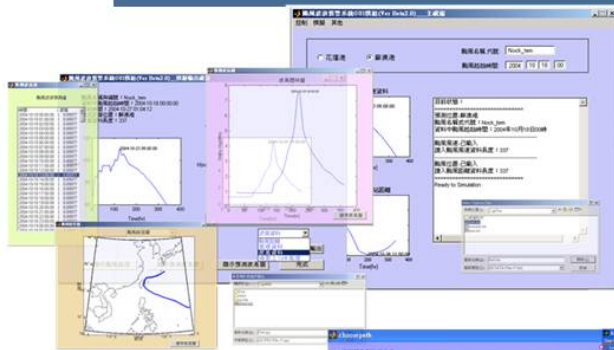
### ■輸出結果：

1. 各重現期之設計波浪。
2. 所選用之極值函數及參數推定法的適用性。





## 往昔視窗化操作介面經驗



花蓮港颱風波浪推算  
模式圖形化使用者操  
作介面

花蓮港船舶動態預警  
系統圖形化使用者操  
作介面



29

## 結論

■本計畫建構安平港類神經颱風波浪推算模式，針對波浪受陸地遮蔽及風場受陸地阻擋而衰減的兩個特性加以模擬，其成果可供港務局等相關單位作為預警系統或參考。各場颱風波浪最大波高誤差平均約為1.03m，而此外最大波高發生時間誤差平均約10.06小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為0.72m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為0.73。台北港類神經颱風波浪推算模式仍持續建構中，本年度侵台颱風的推算結果將一併於期末報告中呈現。若有更新的波浪資料或颱風資訊可供學習或驗證可再提升模式之可靠度。

■本研究以完整的極值分析方法，由箱型圖初步分析取樣，再進一步討論極值分析之最佳方法，以考慮季節性變化之月極值特性分析得到以下結論。LSM推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之RMSE較MLE推估法低，因此極值推估法以LSM推估台北及安平港較佳。整體來說，台北港月極值統計分布大部分月份適合GEV分布，而安平港為Weibull分布，恰為兩種不同性質的統計特性，因此各港口不同月份均有其較適合之極值分布。

## 結論

■年極值統計部分，除了台北港12年及安平港11年波高實測資料作為分析外，並與1940至2010共71年使用井島武士模式所推算之台北港及安平港每年最大波高作為年極值統計分析比較，其結果顯示與月極值統計相同，四種極值分布函數皆以LSM法來推估會擁有較佳的相關性。而在台北港與安平港，實測資料樣本與經驗式波浪推算模式的樣本皆是以GEV分布來推估年極值波高統計較適合。以GEV推估台北港實測波浪資料的50年重現期波高為6.21m至9.77m，以GEV推估安平港實測波浪資料的50年重現期波高為5.48m至8.02m，以GEV推估台北港經驗式波浪模式結果的50年重現期波高為6.77m至9.05m，以GEV推估安平港經驗式波浪模式結果的50年重現期波高為8.18m至11.60m。經驗式波浪模式的資料樣本與實測資料的比較中，在台北港其50年重現期波高接近，但應用於安平港則有較大的差異，經驗式波浪模式的樣本所推估的50年重現期波高較大。

報告完畢  
敬請指正





交通部運輸研究所港灣技術研究中心

# 臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(3/4)

期末簡報

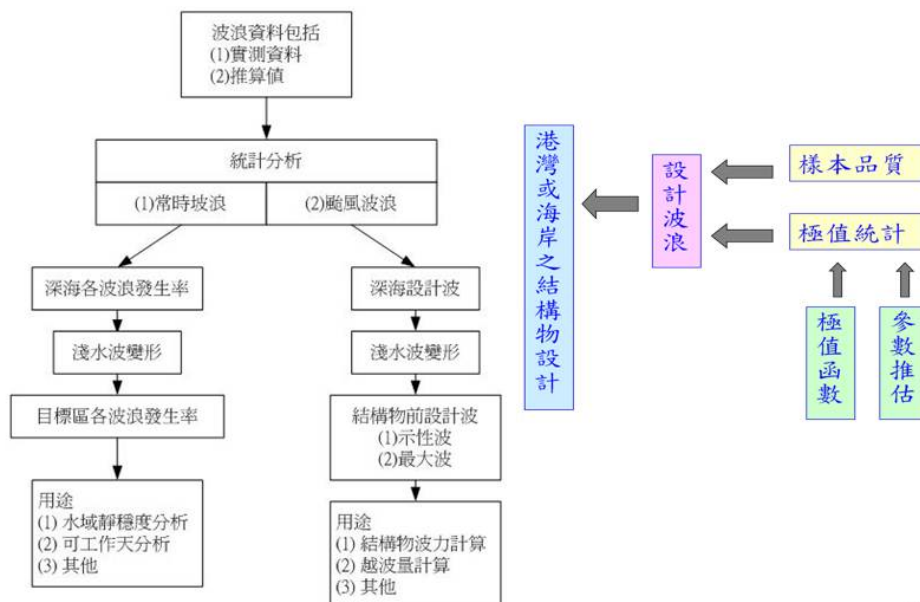
簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國一百年十一月十六日



## 研究動機



2

## 四年研究總目標

- 以花蓮、高雄、台北、安平、基隆及台中港的實測波浪資料進行波浪統計特性分析。並以經驗式波浪推算模式、類神經波浪推算模式及實測波浪資料等不同樣本來源來考慮各種取樣方式及與極值函數的差異性。
- 估算各目標港各回歸期的設計波浪並建立視窗化操作系統。

## 本年度工作項目

以臺北港安平港為主：

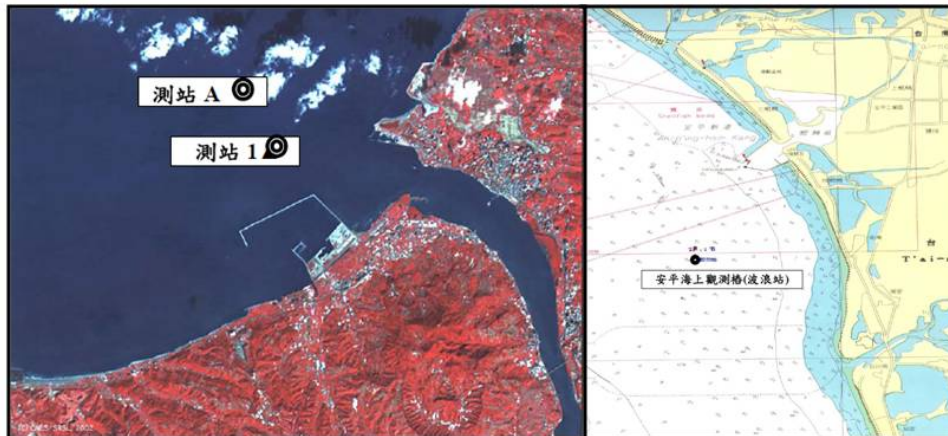
- 以經驗式推算波浪模式推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(完成)
- 建立類神經颱風波浪推算模式並推算往昔颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。(完成)
- 探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。(完成)
- 以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定臺北、安平兩港域之各回歸期之設計波浪。(完成)
- 以季節性統計分析方法(seasonal wave statistics) 探討臺北、安平兩港域波浪每月極值統計特性。(完成)
- 波浪極值統計視窗化操作之建立。(完成)

4



## 波浪極值統計特性

資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料  
臺北港：1996年10月17日至2010年12月31日  
安平港：2000年1月1日至2010年12月31日

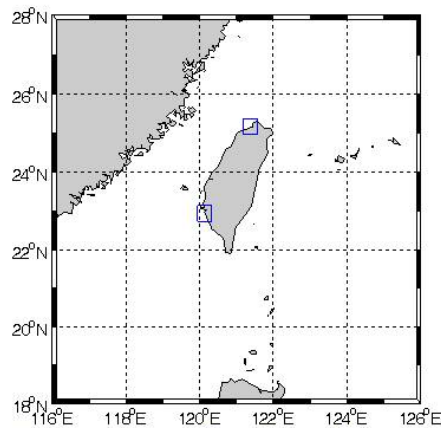


臺北港及安平港測站位置

5

## 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

- 颱風波浪追蹤法
- 依據Wilson之移動風域法而將之直接變化為數值計算
- 由移動風域內之風速分布(即考慮區內各點之吹風情況)來推算
- 綜合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算法及碎波後波浪計算法
- 從氣象資料，推算移動風域中海岸前任何水深地點之波浪狀況



半經驗波浪推算模式於臺北港與安平港的計算區域



# 樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

## ■ 安平港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{3\%}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
2000	KAI TAK(啟德)	4.23	20.00	1.35	-0.52	6.13
2000	BILIS(碧利斯)	2.76	-3.00	2.28	0.78	4.65
2000	XANGSANE(象神)	6.43	2.00	2.71	0.57	8.17
2001	CHEBI(奇比)	1.23	-2.00	1.31	0.91	8.15
2001	TORAJI(桃芝)	1.04	11.00	0.75	0.25	2.49
2001	NARI(納莉)	1.07	0.00	0.94	0.20	3.65
2001	LEKIMA(利奇馬)	1.37	-16.00	1.38	-0.05	3.73
2003	DUJUAN(杜鵑)	-1.35	3.00	1.10	0.82	2.18
2004	CONSON(康森)	1.69	1.00	1.25	0.34	3.26
2004	MINDULLE(敏督利)	-3.25	-26.00	2.25	0.07	1.76
2004	AERE(艾利)	-0.45	-23.00	0.69	-0.68	1.85
2004	NOCK TEN(納坦)	0.96	1.00	0.74	0.64	2.16
2005	HAI TANG(海棠)	-0.89	-9.00	1.34	0.33	3.87
2005	TALIM(泰利)	-0.59	6.00	1.24	0.61	3.46
2005	LONGWANG(龍王)	2.47	-1.00	1.52	0.67	4.53
2006	CHANCHU(珍珠)	-2.77	6.00	1.96	0.78	3.04
2006	KAEMI(凱米)	0.93	-2.00	1.30	0.04	4.40
2007	SEPAT(聖帕)	-0.63	-8.00	1.75	0.01	4.21
2007	KROSA(柯羅莎)	-0.56	-1.00	0.82	0.79	3.01
2008	SINLAKU(辛樂克)	1.39	5.00	0.83	0.28	2.88
2008	JANGMI(蔷蜜)	0.04	-3.00	0.61	0.79	3.06
2009	MORAKOT(莫拉克)	-5.06	8.00	3.31	0.54	2.60
平均		1.87	7.14	1.43	0.37	3.78

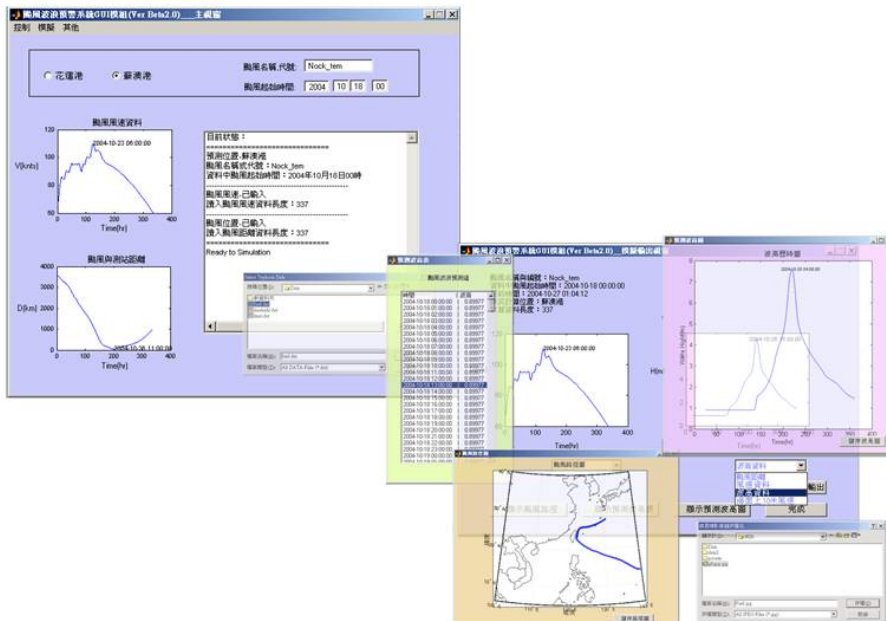
缺乏實測資料可比較 2010  
本模式沒有推算出颱風波浪: 2002

## ■ 台北港

年份	颱風名稱	$\Delta H_{3\%}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMS E	R	$H_{obs}$ (m)
1997	WINNIE(溫妮)	-4.13	9.00	2.91	0.30	6.49
1998	ZEB(瑞伯)	-4.66	3.00	3.23	0.48	7.79
2000	BILIS(碧利斯)	-1.03	0.00	0.91	0.73	1.74
2001	CHEBI(奇比)	0.20	5.00	0.28	0.69	1.34
2001	NARI(納莉)	1.62	0.00	1.28	0.62	4.55
2002	SINLAKU(辛樂克)	-0.90	12.00	0.88	0.16	3.45
2004	MINDULLE(敏督利)	2.86	-25.00	1.88	-0.49	1.92
2004	RANANIM(蘭寧)	-1.58	6.00	1.41	0.62	3.29
2004	AERE(艾利)	0.33	12.00	1.67	0.47	6.11
2005	HAI TANG(海棠)	-2.89	13.00	1.25	0.40	4.01
2005	MATSA(馬莎)	-2.18	1.00	1.30	0.66	5.03
2005	TALIM(泰利)	-1.18	0.00	1.02	0.95	4.08
2005	KHANUN(卡努)	-0.99	0.00	1.15	0.48	3.19
2005	LONGWANG(龍王)	-0.55	-4.00	1.09	0.06	2.95
2006	KAEMI(凱米)	-0.46	-1.00	0.23	0.82	0.99
2006	SAOMAI(桑美)	1.89	6.00	1.53	0.71	1.88
2008	SINLAKU(辛樂克)	2.59	7.00	1.88	0.26	3.83
2009	MORAKOT(莫拉克)	0.76	19.00	1.30	-0.32	3.18
2010	FANAPI(凡那比)	-1.92	0.00	1.75	0.74	2.71
平均		1.72	6.47	1.42	0.44	3.61

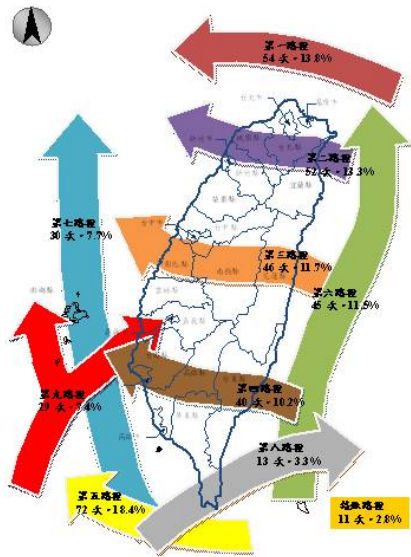
缺乏實測資料可比較 2007  
本模式沒有推算出颱風波浪: 1996, 1999, 2003

# 樣本來源—ANN颱風波浪推算模式



已完成花蓮港、高雄港、安平港及台北港之颱風波浪模式建立

## 颱風波浪資料樣本



年份	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分級	
2000	PRAPIROON	巴比倫	2.83	6
2000	XANGSANE	象神	1.74	6
2001	CHEBI	奇比	6.92	7
2001	LEKIMA	利奇馬	2.36	4
2002	NAKRI	娜克莉	3.96	9
2003	IMBUDO	伊布都	3.90	--
2003	MORAKOT	莫拉克	2.75	4
2003	KROVANH	柯羅旺	3.18	--
2003	DUJUAN	杜鵑	3.52	5
2004	MINDULLE	敏督利	5.01	6
2004	KOMPASU	康柏斯	1.96	--
2004	RANANIM	蘭寧	2.11	--
2004	NOCK_TEN	納坦	1.20	6
2004	NANMADOL	南瑪都	2.91	9
2005	HAITANG	海棠	4.76	3
2005	MATSA	瑪莎	2.52	1
2005	SANVU	珊婁	4.72	--
2005	TALIM	泰利	4.05	3
2005	DAMREY	丹瑞	2.73	--
2005	LONGWANG	龍王	2.06	3
2007	WIPHA	雲帕	1.50	1
2007	KROSA	柯羅莎	3.57	2
2008	NURI	如麗	5.81	--
2008	SINLAKU	辛樂克	1.84	2
2008	HAGUPIT	哈格比	3.28	--
2008	JANGMI	蒼蜜	3.02	2
2009	LINFA	蓮花	7.20	9
2009	MOLAVE	莫拉菲	3.63	--
2009	MORAKOT	莫拉克	7.66	3

CWB公佈之2000年至2010年侵臺颱風共有73場。其中實測波浪資料完整之颱風共56場。以人工的方式同時考量前述各種季節風、地形、高山屏障影響之原因以及去除波高小於1m影響較小及雙颱風交互影響的颱風後，再依照各路徑均勻選取颱風，盡量讓每個路徑之颱風皆有被選取，最後選取29場颱風來建立模式。

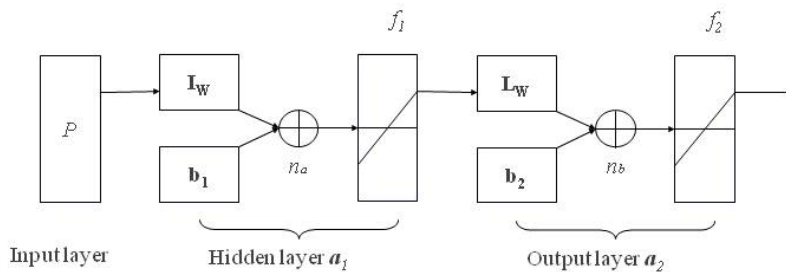
## 類神經颱風波浪推算模式的建立

人工神經元輸出值與輸入值的關係式

$$Y_i = f \left( \sum_j W_{ij} X_j - \theta_i \right)$$

誤差函數  $E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2$

加權值的修正量  $\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W}$



類神經網路架構示意圖

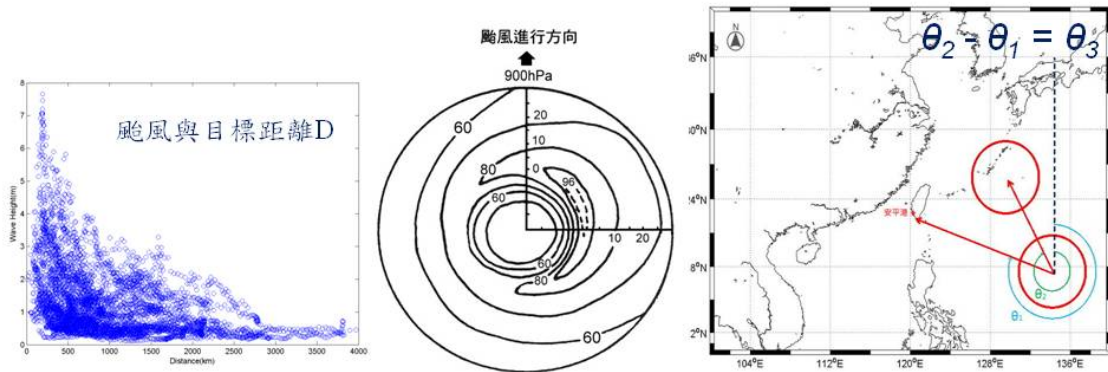


# 類神經颱風波浪推算模式的建立

## 輸入參數

JMA 實測颱風資料

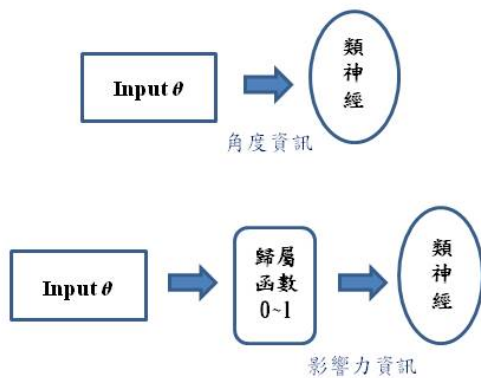
1. 颱風經緯度
  2. 近中心最大風速
  3. 中心氣壓
- RVM
- (1) 颱風與目標距離  $D$
  - (2) 目標點風速  $V$
  - (3) 目標點方位角  $\theta_1$
  - (4) 颱風侵襲角  $\theta_3$  (颱風行進方位角)
  - (5) 目標點風向  $V_{deg}$



## 歸屬函數修正輸入參數

輸入參數的修正：

對於類神經而言，輸入參數與波高的關係間接影響到模式建立的難易度，若選擇的輸入參數與波高本身具有強烈的關係或是有其物理的意義存在，對於類神經模式亦會有相當程度的幫助。

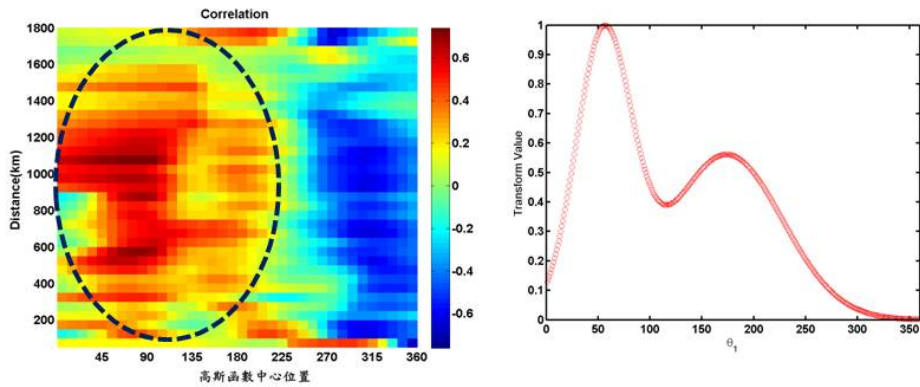


輸入參數	相關性R
目標點風速 $V$	0.46
距離 $D$	0.33
目標點方位角 $\theta_1$	-0.49
颱風侵襲角 $\theta_3$	0.06
目標點風向 $V_{deg}$	-0.38



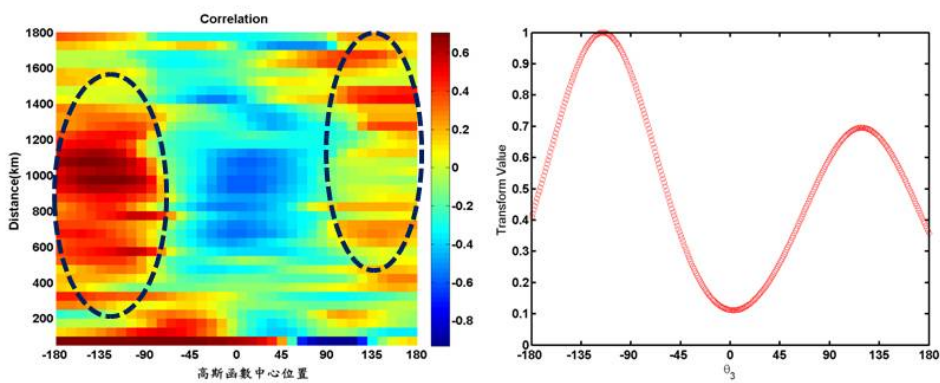
## 歸屬函數修正輸入參數

(1) 目標點方位角  $\theta_1$



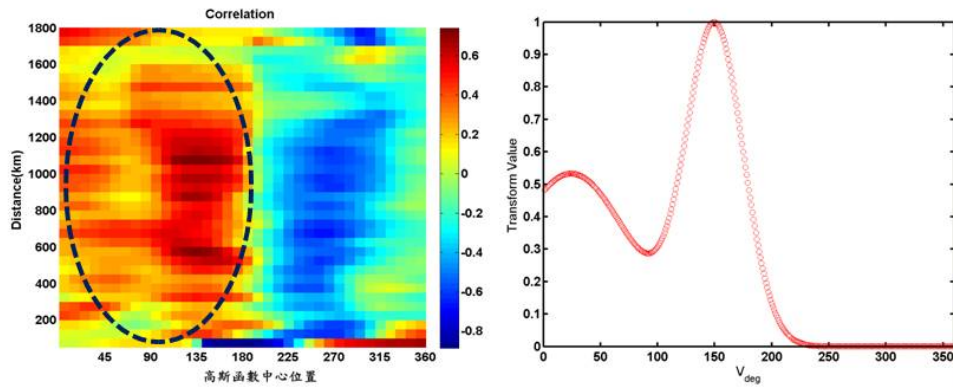
## 歸屬函數修正輸入參數

(2) 颱風侵襲角  $\theta_3$



## 歸屬函數修正輸入參數

(3) 目標點風向  $V_{deg}$



## 歸屬函數修正的效益評估

V : 風速因子  
 D : 距離因子  
 $\Theta_1$  : 遮蔽效應因子  
 $\Theta_3$  : 颱風結構因子  
 $V_{deg}$  : 目標點風向因子

輸入因子	相關性R		輸入因子經轉換後	相關性R
V	0.46	雙峰轉換 →	V	0.46
D	-0.33		D	0.33
$\Theta_1$	-0.49		$\Theta_1$	0.57
$\Theta_3$	0.06		$\Theta_3$	0.43
$V_{deg}$	-0.38		$V_{deg}$	0.55

	組別	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R
未修正	學習組	1.11	9.85	0.64	0.77
	驗證組	1.09	9.89	0.94	0.62
雙峰高斯	學習組	1.01	10.10	0.64	0.76
	驗證組	1.06	10.00	0.86	0.66

7%



## 安平港模式之驗證

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R	$H_{obs, max}$ (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-1.27	-14.00	0.51	0.55	2.83
2000	象神(XANGSANE)	0.80	12.00	0.59	0.35	1.74
2001	奇比(CHEBI)	-2.01	2.00	0.85	0.72	6.92
2001	利奇馬(LEKIMA)	-0.02	1.00	0.42	0.75	2.36
2002	娜克莉(NAKRI)	0.22	15.00	0.65	0.72	3.96
2003	尹布都(IMBUDO)	-0.89	5.00	0.67	0.75	3.90
2003	莫拉克(MORAKOT)	1.22	3.00	0.79	0.69	2.75
2003	柯羅旺(KROVANH)	-0.25	-6.00	0.65	0.37	3.18
2003	杜鵑(DUJUAN)	1.01	4.00	0.72	0.91	3.52
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.78	-17.00	0.72	0.86	5.01
2004	康柏斯(KOMPASU)	1.54	15.00	1.37	0.52	1.96
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.47	-6.00	0.34	0.79	2.11
2004	納坦(NOCK_TEN)	0.50	5.00	0.45	0.65	1.20
2004	南瑪都(NANMADOL)	1.68	4.00	0.95	0.76	2.91
2005	海棠(HAITANG)	-0.80	-1.00	0.69	0.88	4.76
2005	馬莎(MATSA)	-0.63	83.00	0.42	0.66	2.52
2005	珊珊(SANVU)	-0.61	-6.00	0.58	0.90	4.72
2005	泰利(TALIM)	0.49	11.00	0.69	0.87	4.05
2005	丹瑞(DAMREY)	0.68	-3.00	0.52	0.86	2.73
2005	龍王(LONGWANG)	2.23	8.00	1.06	0.88	2.06
2007	韋帕(WIPHA)	1.30	19.00	0.89	0.31	1.50
2007	柯羅莎(KROSA)	-0.29	6.00	0.75	0.48	3.57
2008	如麗(NURI)	-2.40	-8.00	0.68	0.96	5.81
2008	辛樂克(SINLAKU)	1.51	-3.00	0.71	0.86	1.84
2008	哈格比(HAGUPIT)	0.25	-3.00	0.50	0.93	3.28
2008	番蜜(JANGMI)	0.15	4.00	0.58	0.53	3.02
2009	蓮花(LINFA)	-2.19	-2.00	0.75	0.92	7.20
2009	莫拉菲(MOLAVE)	0.17	-15.00	0.85	0.76	3.63
2009	莫拉克(MORAKOT)	-3.53	11.00	1.36	0.93	7.66
	平均	1.03	10.06	0.72	0.73	

組別	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hr)	RMSE	R
學習組	1.01	10.10	0.64	0.76
驗證組	1.06	10.00	0.86	0.66

灰階底色為驗證組颱風

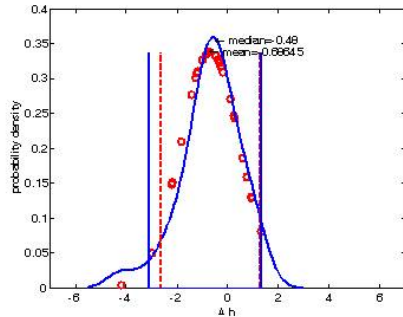
## 台北港模式之驗證

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R	Hmax (m)
2000	巴比倫(PRAPIROON)	-0.47	8.00	0.36	0.85	2.67
2000	碧利斯(BILIS)	0.76	1.00	0.45	0.95	1.74
2001	海燕(HAIYAN)	-4.20	1.00	1.22	0.91	6.45
2001	納莉(NARI)	-2.20	-5.00	0.65	0.40	4.55
2001	利奇馬(LEKIMA)	-0.87	58.00	0.67	0.33	3.32
2002	雷馬遜(RAMMASUN)	-0.19	-1.00	0.48	0.81	2.21
2002	辛樂克(SINLAKU)	-1.18	11.00	0.41	0.91	3.45
2003	柯吉拉(KUJIRA)	0.27	76.00	0.86	0.36	1.95
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	0.95	18.00	0.52	0.70	1.72
2003	杜鵑(DUJUAN)	0.94	0.00	0.58	0.84	1.21
2003	米勒(MELOR)	-0.48	22.00	0.37	0.79	2.63
2004	敏督利(MINDULLE)	-0.35	-49.00	0.64	0.36	2.61
2004	蘭寧(RANANIM)	-0.77	3.00	0.30	0.92	3.29
2004	艾利(AERE)	-2.99	7.00	0.74	0.92	6.11
2004	海馬(HAIMA)	-0.38	6.00	0.63	0.85	3.51
2004	南瑪都(NANMADOL)	-1.19	12.00	0.68	0.50	3.10
2005	海棠(HAITANG)	-1.20	3.00	0.44	0.86	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-1.84	4.00	0.55	0.88	5.03
2005	泰利(TALIM)	-1.25	6.00	0.46	0.87	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.33	4.00	0.37	0.86	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	-0.26	3.00	0.41	0.79	2.95
2006	碧利斯(BILIS)	0.25	12.00	0.39	0.87	2.91
2006	桑美(SAOMAI)	1.31	5.00	0.78	0.68	1.88
2006	珊珊(SHANSHAN)	-0.73	6.00	0.64	0.72	3.83
2007	韋帕(WIPHA)	-1.00	1.00	0.51	0.86	4.13
2008	卡玫基(KALMAEGI)	0.60	-24.00	0.78	0.04	2.20
2008	鳳凰(FUNG WONG)	0.10	10.00	0.44	0.80	2.58
2008	辛樂克(SINLAKU)	-0.70	23.00	0.49	0.82	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	-1.43	-5.00	0.51	0.90	4.19
2010	凡那比(FANAPI)	-0.27	-4.00	0.67	0.63	2.94
2010	梅姬(MEGI)	-2.18	-71.00	1.19	0.55	3.47
	平均	1.02	14.81	0.59	0.73	

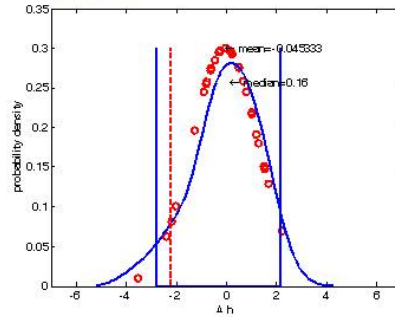
灰階底色為驗證組颱風

## 模式風險評估

安平港：



台北港：

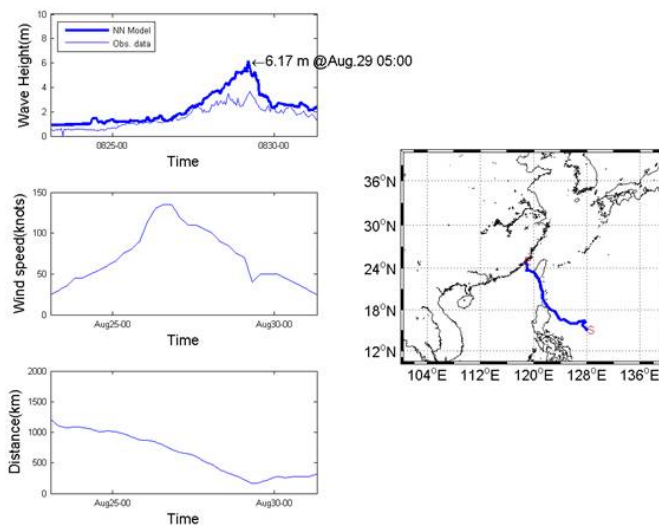


類神經颱風波浪推算結果的各場颱風波高峰值誤差的風險分析

- 安平港波峰誤差平均值為 $-0.69\text{m}$ ，中位數為 $-0.48\text{m}$ ，標準偏差為 $1.18\text{m}$ ，31個樣本中不通過95%信賴度的有3個，佔全部的9.7%。
- 台北港波峰誤差平均值為 $-0.045\text{m}$ ，中位數為 $0.16\text{m}$ ，標準偏差為 $1.18\text{m}$ ，30個樣本中不通過95%信賴度的有3個，佔全部的10%。

## 2011年颱風波浪推算

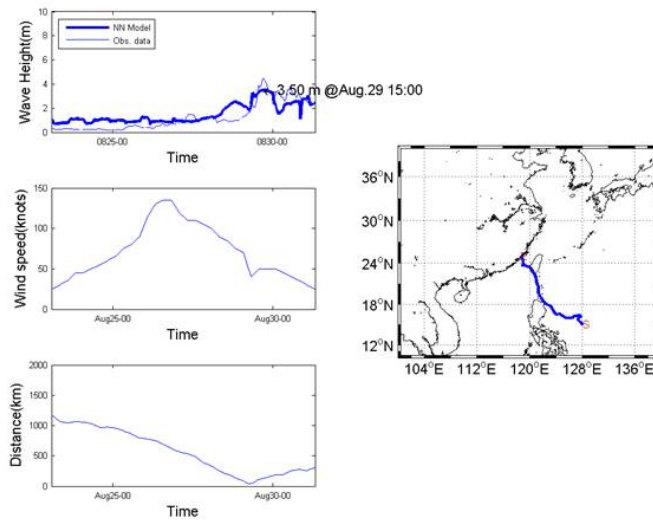
2011/08/27至2011/08/31強烈颱風南瑪都(NANMADOL)  
花蓮港：





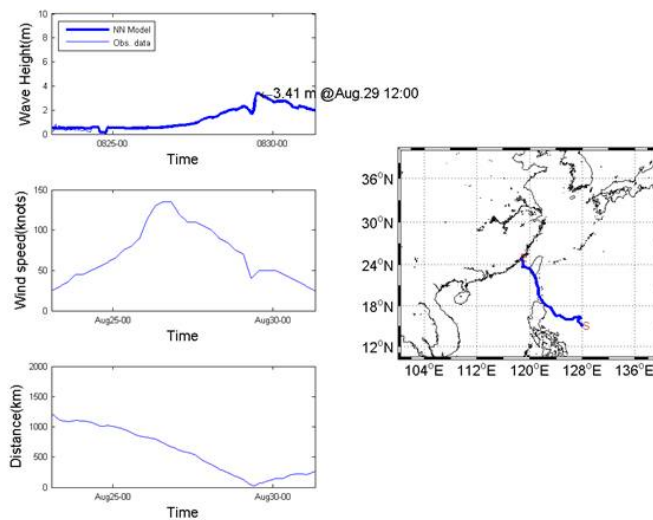
## 2011年颱風波浪推算

2011/08/27至2011/08/31強烈颱風南瑪都(NANMADOL)  
高雄港：



## 2011年颱風波浪推算

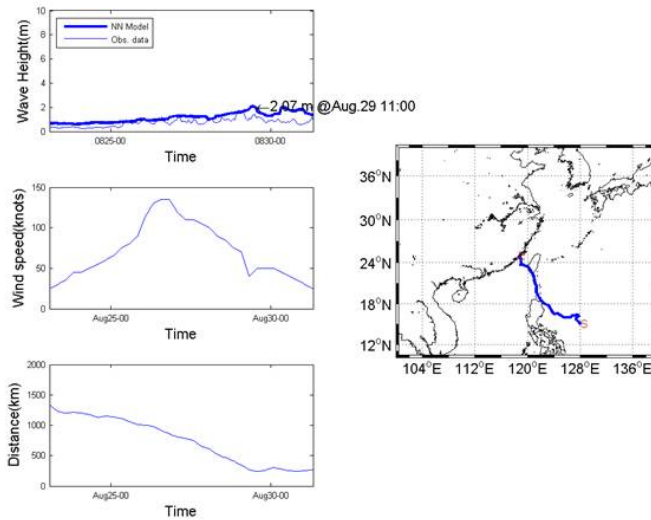
2011/08/27至2011/08/31強烈颱風南瑪都(NANMADOL)  
安平港：





# 2011年颱風波浪推算

2011/08/27至2011/08/31強烈颱風南瑪都(NANMADOL)  
台北港：



## 兩種波浪推算結果綜合比較

安平港：

半經驗波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.97\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 6.38$  小時

平均  $\text{RMS} = 1.47\text{m}$

平均  $R = 0.54$

類神經波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.09\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 6.54$  小時

平均  $\text{RMS} = 0.74\text{m}$

平均  $R = 0.74$

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
		半經驗				類神經				
2000	象神(XANGSANE)	6.43	2	2.71	0.57	0.8	12	0.59	0.35	1.74
2001	奇比(CHEBI)	1.23	-2	1.31	0.91	-2.01	2	0.85	0.72	6.92
2001	利奇馬(LEKIMA)	1.37	-16	1.38	-0.05	-0.02	1	0.42	0.75	2.36
2003	杜鵬(DUJUAN)	-1.35	3	1.1	0.82	1.01	4	0.72	0.91	3.52
2004	敏督利(MINDULLE)	-3.25	-26	2.25	0.07	-0.78	-17	0.72	0.86	5.01
2004	納坦(NOCK_TEN)	0.96	1	0.74	0.64	0.5	5	0.45	0.65	1.2
2005	海棠(HAITANG)	-0.89	-9	1.34	0.33	-0.8	-1	0.69	0.88	4.76
2005	泰利(TALIM)	-0.59	6	1.24	0.61	0.49	11	0.69	0.87	4.05
2005	龍王(LONGWANG)	2.47	-1	1.52	0.67	2.23	8	1.06	0.88	2.06
2007	柯羅莎(KROSA)	-0.56	-1	0.82	0.79	-0.29	6	0.75	0.48	3.57
2008	辛樂克(SINLAKU)	1.39	5	0.83	0.28	1.51	-3	0.71	0.86	1.84
2008	蕾蜜(JANGMI)	0.04	-3	0.61	0.79	0.15	4	0.58	0.53	3.02
2009	奧拉克(MORAKOT)	-5.06	8	3.31	0.54	-3.53	11	1.36	0.93	7.66
平均		1.97	6.38	1.47	0.54	1.09	6.54	0.74	0.74	

## 兩種波浪推算結果綜合比較

台北港：

半經驗波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.55\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 7.00$  小時

平均RMS=1.35m

平均R=0.40

類神經波浪推算：

平均  $\Delta H_{s,p} = 1.12\text{m}$

平均  $\Delta t_p = 8.87$  小時

平均RMS=0.52m

平均R=0.78

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	$\Delta t_p$	RMSE	R	$H_{obs}$ (m)
		(m)	(hour)	半經驗				類神經		
2000	碧利斯(BILIS)	-1.03	0	0.91	0.73	0.76	1	0.45	0.95	1.74
2001	納莉(NARI)	1.62	0	1.28	0.62	-2.2	-5	0.65	0.4	4.55
2002	辛樂克(SINLAKU)	-0.9	12	0.88	0.16	-1.18	11	0.41	0.91	3.45
2004	敏督利(MINDULLE)	2.86	-25	1.88	-0.49	-0.35	-49	0.64	0.36	1.92
2004	蘭寧(RANANIM)	-1.58	6	1.41	0.62	-0.77	3	0.3	0.92	3.29
2004	艾利(AERE)	0.33	12	1.67	0.47	-2.99	7	0.74	0.92	6.11
2005	海棠(HAITANG)	-2.89	13	1.25	0.4	-1.2	3	0.44	0.86	4.01
2005	馬莎(MATSA)	-2.18	1	1.3	0.66	-1.84	4	0.55	0.88	5.03
2005	泰利(TALIM)	-1.18	0	1.02	0.95	-1.25	6	0.46	0.87	4.08
2005	卡努(KHANUN)	-0.99	0	1.15	0.48	-0.33	4	0.37	0.86	3.19
2005	龍王(LONGWANG)	-0.55	-4	1.09	0.06	-0.26	3	0.41	0.79	2.95
2006	桑美(SAOMAI)	1.89	6	1.53	0.71	1.31	5	0.78	0.68	1.88
2008	辛樂克(SINLAKU)	2.59	7	1.88	0.26	-0.7	23	0.49	0.82	3.83
2009	莫拉克(MORAKOT)	0.76	19	1.3	-0.32	-1.43	-5	0.51	0.9	3.18
2010	凡那比(FANAPI)	-1.92	0	1.75	0.74	-0.27	-4	0.67	0.63	2.71
平均		1.55	7.00	1.35	0.40	1.12	8.87	0.52	0.78	

### 臺北、安平港各回歸期之設計波浪

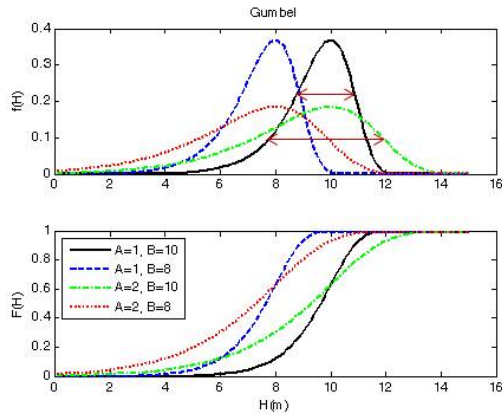
- 樣本採用港研中心在臺北與安平港海域測量之每年最大值波高。
- 以98年度的研究結果顯示在花蓮港與高雄港以MLM及LSM方法推估結果較為可靠，而二者所推估之各重現期之值也接近也相近。
- 選擇重現期為T=10、25、50及100年4種，即可獲得各重現期下之波高。

# 極值分布函數

Coastal Engineering Manual (2002)

(1) 極值 I 型分布 (FT-I 型分布, 又稱 Gumbel 分布)

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, \quad -\infty < x < \infty$$



A: 尺度參數  
(scale parameter)

B: 位置參數  
(location parameter)

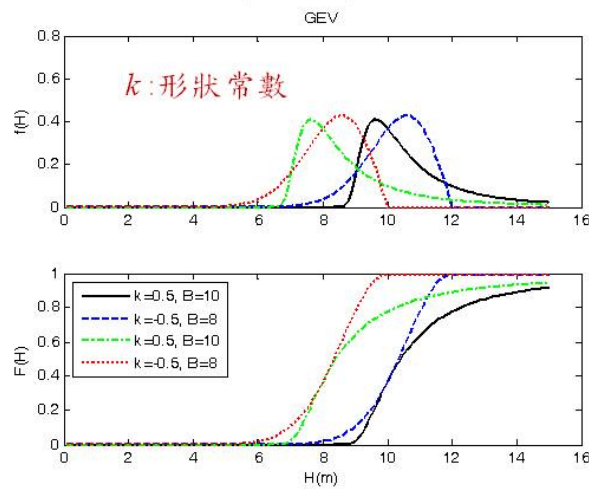


27

# 極值分布函數

(2) 通用極值分布 (Generalized extreme value, GEV)

$$F(x) = e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}}, \quad f(x) = \frac{1}{A} \left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{-\left(1+\frac{1}{k}\right)} e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}} \quad B - A/k \leq x < \infty$$



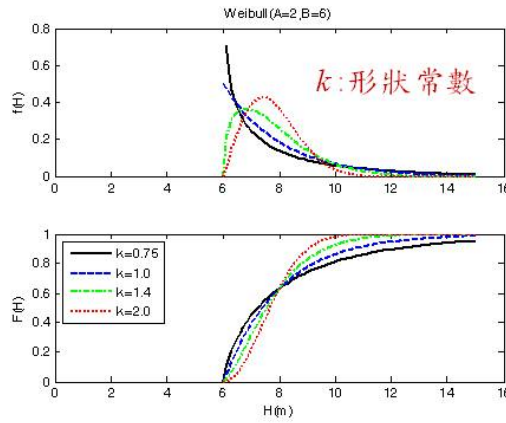
28



# 極值分布函數

## (3) Weibull分布-三參數型式

$$f(x) = \frac{k}{A} \left( \frac{x-B}{A} \right)^{k-1} e^{-\left( \frac{x-B}{A} \right)^k} \quad F(x) = 1 - e^{-\left( \frac{x-B}{A} \right)^k}, \quad B \leq x < \infty$$



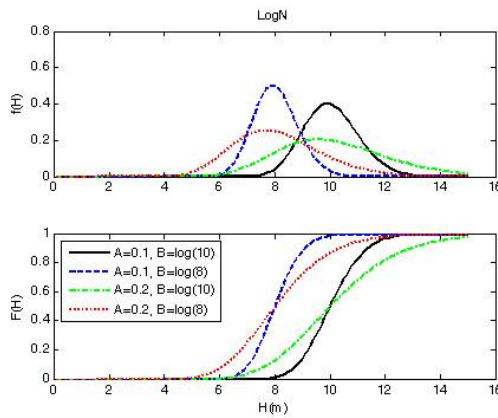
29

# 極值分布函數

## (4) 對數常態分布 (lognormal distribution)

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \quad F(x) = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{\ln x - B}{\sqrt{2}A} \right) \right) \quad 0 < x < \infty$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$



30

## 臺北港各回歸期之設計波浪

以LSM推估實測波浪資料不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.78	0.68	0.53	0.30	0.78	0.68	0.53	0.30
RMSE(m)		0.20	0.18	0.16	0.15	0.22	0.18	0.16	0.16
Xe (m)		0.27	0.22	0.09	0.11	0.15	0.22	0.13	0.06
x <sub>g</sub> (m)	10	6.19	6.21	6.24	6.16	6.34	6.16	6.19	6.05
	25	6.89	6.76	6.84	6.53	7.11	6.70	6.76	6.40
	50	7.40	7.13	7.25	6.75	7.68	7.07	7.15	6.60
	100	7.91	7.47	7.65	6.92	8.24	7.40	7.53	6.76
(m) σ	10	0.54	0.56	0.36	0.50	0.46	0.46	0.50	0.38
	25	0.73	0.68	0.43	0.60	0.58	0.56	0.66	0.54
	50	0.88	0.77	0.48	0.65	0.67	0.62	0.78	0.70
	100	1.02	0.84	0.53	0.70	0.77	0.68	0.91	0.85

以LSM推估GEV極值分布而言，50年重現期之波高為6.75m，而推算標準偏差為0.65m，若假設推算標準偏差符合正常分布且考慮95%信賴度，則推算50年重現期之波高在6.75±1.96×0.65m間，即5.48-8.02m。

往昔資料：

淡水港第二期工程細部規劃及遠期發展計畫-50年重現期波高9.7m。

台北港北淤沙區、碼頭堤防、親水遊憩區等整建工程規劃-50年重現期波高12.9m。

31

## 安平港各回歸期之設計波浪

以LSM推估實測波浪資料不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T (yr)	LSM				MLE			
		EV-I	Weibull	LogN	GEV	EV-I	Weibull	LogN	GEV
MIR(m)		0.84	0.65	0.64	0.28	0.84	0.65	0.62	0.28
RMSE(m)		0.30	0.25	0.26	0.22	0.32	0.26	0.25	0.24
Xe (m)		0.34	0.26	0.13	0.26	0.20	0.31	0.19	0.21
x <sub>g</sub> (m)	10	7.36	7.39	7.49	7.28	7.52	7.29	7.40	7.11
	25	8.36	8.18	8.42	7.74	8.60	8.05	8.29	7.55
	50	9.09	8.71	9.08	7.99	9.40	8.56	8.91	7.79
	100	9.82	9.19	9.72	8.19	10.20	9.03	9.52	7.97
(m) σ	10	0.81	0.85	0.54	0.72	0.70	0.70	0.81	0.55
	25	1.09	1.04	0.64	0.84	0.88	0.85	1.10	0.84
	50	1.31	1.17	0.72	0.91	1.03	0.95	1.33	1.10
	100	1.52	1.29	0.79	0.96	1.17	1.05	1.56	1.35

假設推算標準偏差符合正常分布且考慮95%信賴度，則以GEV推算50年重現期之波高在7.99±1.96×0.91m之間，即6.76-12.44m。若以Lognormal分布之50年重現期推估波高在6.21-9.77m之間

往昔資料：

安平港商港區第一期工程細部規畫與初步設計報告書-50年重現期波高5.9m。

32

# 季節性統計分析方法

## ■Mendez等(2008)

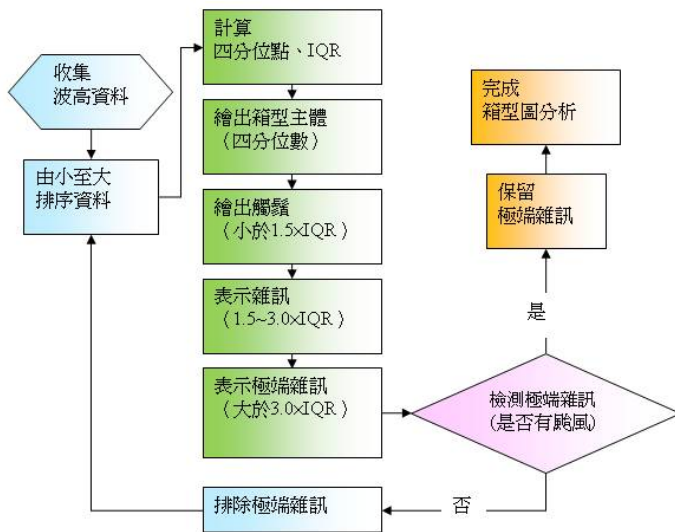
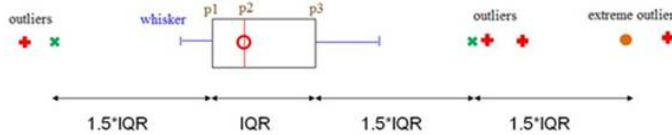
提出超量門檻選用法的極值波高，存在非穩定的季節性變化，其波高符合極端值分佈。

## ■陳(2009)

應用Mendez等(2008)提出極值參數季節性變化之概念，但不同於原作者使用的超量選用法，而是應用於花蓮港極端值選用法中的年最大法與月最大法，探討極值波高季節性之情況。

33

# 箱型圖 (Box Plot)



34



## 安平港月極值分析結果

- 樣本採用港研中心量測安平海域2000至2010年共11年之每月最大  
值波高
- 安平港各月份波高，除了4月、5月及9月以GEV分布作為較適合  
之極值函數外，其實月份皆以Weibull分布配合LSM推估法所推估  
的數值誤差較小。
- 選擇重現期為 $T=50$ 的情況下，若在95%信賴度下，各月份波高分  
別為

月份	波高	月份	波高
一月	0.17至4.59m	七月	4.51至9.61m
二月	0.91至3.93m	八月	4.81至14.53m
三月	1.15至2.01m	九月	3.13至5.09m
四月	1.23至1.81m	十月	0.00至15.41m
五月	0.00至13.55m	十一月	0.86至3.22m
六月	1.44至17.98m	十二月	0.00至7.98m

35

## 臺北港月極值分析結果

- 樣本採用港研中心量測台北港海域1999至2010年共12年之每月最  
大值波高
- 台北港除了4、8及10月為Weibull分布誤差較小之外，其餘大部分  
月份皆可以GEV分布來代表其適合之極值函數。
- 選擇重現期為 $T=50$ 的情況下，若在95%信賴度下，各月份波高分  
別為

月份	波高	月份	波高
一月	4.06至6.52m	七月	2.52至6.20m
二月	3.67至5.23m	八月	1.70至13.90m
三月	3.55至5.51m	九月	4.11至7.05m
四月	3.26至5.50m	十月	2.80至12.80m
五月	2.17至3.15m	十一月	3.94至6.68m
六月	2.02至3.28m	十二月	4.22至6.88m

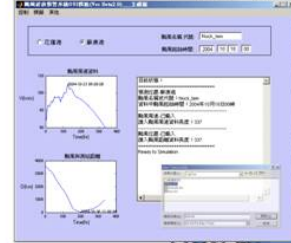
36



## 視窗化操作介面

### ■輸入資料格式：

1. 自動讀入資料中的年最大值
2. 亦可採用前三大月的最大值
3. 採用類神經颱風波浪推算模式之結果

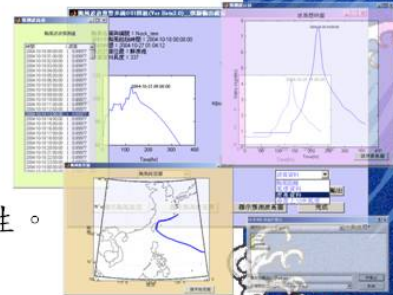


### ■極值統計函數：FT-I, GEV, Weibull, Lognormal

### ■極值分布參數推定：1. MOM 2. MLM 3. LSM

### ■輸出結果：

1. 各重現期之設計波浪。
2. 所選用之極值函數及參數推定法的適用性。



## 視窗化操作介面



波浪極值統計圖形化介面 (Ver. 1.0 BETA)

檔案 設定 參考資料 關於本介面

輸入資料資訊

輸入資料起始時間：2008-01-01 00:00  
輸入資料終止時間：2008-12-31 23:00  
輸入資料長度：8304  
資料遺失狀況：5.21%

資料選用方式

年極值取樣法  年前三大取樣法

極值統計函數選用(可複選)

FT-1  G.E.V.  Weibull  Log-Normal

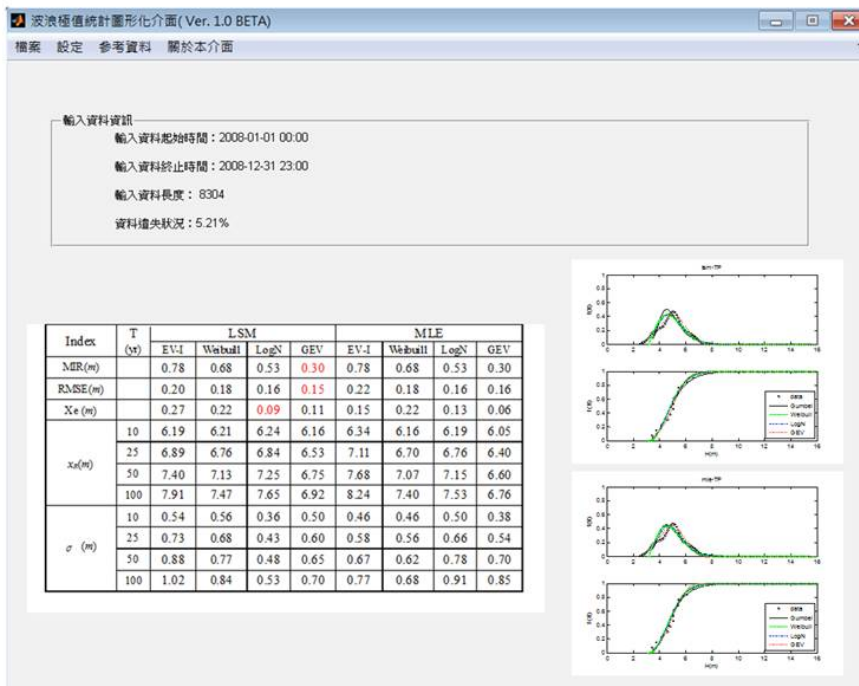
極值分布函數推定法(可複選)

MLE  LSM  MOM

開始分析

38

## 視窗化操作介面



## 結論

- 本計畫建構安平港與台北港類神經颱風波浪推算模式，針對波浪受陸地遮蔽及風場受陸地阻擋而衰減的兩個特性加以模擬，其成果可供港務局等相關單位作為預警系統或參考。安平各颱風波浪最大波高誤差平均約為1.03m，模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為0.72m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為0.73。台北港各場颱風波浪最大波高誤差取絕對值後平均約為1.02m，模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為0.59m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為0.73。未來若有更新的波浪資料或颱風資訊可供學習或驗證可再提升模式之可靠度。
- 本研究由箱型圖初步分析取樣以完整的極值分析方法進行月極值特性分析得到以下結論。LSM推估法所推估出來的各極值函數下之波高與樣本間之RMSE較MLE推估法低，因此極值推估法以LSM推估台北及安平港較佳。整體來說，台北港月極值統計分布大部分月份適合GEV分布，而安平港為Weibull分布，恰為兩種不同性質的統計特性，因此各港口不同月份均有其較適合之極值分布。

## 結論

■年極值統計部分，除了台北港12年及安平港11年波高實測資料作為分析外，並與1940至2010共71年使用井島武士模式所推算之台北港及安平港每年最大波高作為年極值統計分析比較，其結果顯示與月極值統計相同，四種極值分布函數皆以LSM法來推估會擁有較佳的相關性。而在台北港與安平港，實測資料樣本與經驗式波浪推算模式的樣本皆是以GEV分布來推估年極值波高統計較適合。以GEV推估台北港實測波浪資料的50年重現期波高為6.21m至9.77m，以GEV推估安平港實測波浪資料的50年重現期波高為5.48m至8.02m，以GEV推估台北港經驗式波浪模式結果的50年重現期波高為6.77m至9.05m，以GEV推估安平港經驗式波浪模式結果的50年重現期波高為8.18m至11.60m。經驗式波浪模式的資料樣本與實測資料的比較中，在台北港其50年重現期波高接近，但應用於安平港則有較大的差異，經驗式波浪模式的樣本所推估的50年重現期波高較大。

報告完畢  
敬請指正

