

100-52-7537  
MOTC-IOT-99-H2DB001

# 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(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100-52-7537  
MOTC-IOT-99-H2DB001

# 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(2/4)

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 100 年 4 月

100

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  
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1010000581

定價 200 元

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(2/4) /江玟德等著.--初版.-- 臺北市：

交通部運輸研究所， 民 100.04

面 ； 公分

ISBN 978-986-02-7451-6 (平裝)

1. 波動 2. 神經網路 3. 統計 4.臺灣

351.941

100005084

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(2/4)

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 台北市敦化北路 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 100 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站

定 價： 200 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 台北市中山區松江路 209 號 F1•電話:(02)25180207

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

GPN：1010000581

ISBN：978-986-02-7451-6 (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份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。



## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺灣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(2/4)			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN978-986-02-7451-6 (平裝)	政府出版品統一編號 1010000581	運輸研究所出版品編號 100-52-7537	計畫編號 99-H2DB001
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：江玟德 聯絡電話：04-26587126 傳真號碼：04-26560661	合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國 研究人員：劉勁成、陳蔚瑋 地址：300 新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487		研究期間 自 99 年 3 月 至 99 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，以適合高雄港之颱風波浪推算模式。率定模式階段使用21場颱風波浪資料而驗證部份用9場颱風。檢驗指標中最大波高誤差平均約為0.67m，而最大波高發生時間差平均值約8.70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0.74。</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，而其極值分布函數的參數可利用正、餘弦之週期函數表示季節性的變化。另外本研究並以年最大法推算出花蓮與高雄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.高雄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
100 年 4 月	174	150	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 月 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**

<b>TITLE:</b> Investigation of long-term wave statistics and design wave for main harbors of Taiwan (2/4)			
<b>ISBN(OR ISSN)</b> ISBN978-986-02-7451-6 (pbk)	<b>GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER</b> 1010000581	<b>IOT SERIAL NUMBER</b> 100-52-7537	<b>PROJECT NUMBER</b> 99-H2DB001
<b>DIVISION:</b> Harbor & Marine Technology Center <b>DIVISION DIRECTOR:</b> Chiu Yung-Fang <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Ho Liang-Sheng <b>PROJECT STAFF:</b> Jiang Wen-Der <b>PHONE:</b> (04) 26587126 <b>FAX:</b> (04) 26560661			<b>PROJECT PERIOD</b> FROM March 2010 TO December 2010
<b>RESEARCH AGENCY:</b> National Chiao Tung University <b>PRINCIPAL INVESTIGATOR:</b> Chang Hsien-Kuo <b>PROJECT STAFF:</b> Liou Jin-Cheng, Chen Wei-Wei <b>ADDRESS:</b> 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu 300, Taiwan, ROC <b>PHONE:</b> (03) 5131487			
<b>KEY WORDS:</b> wave statistics, design wave, main harbors of Taiwan			
<b>Abstract:</b>  <p>The aim of the 4-year project is to determine the design wave for 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. One including whole 21 typhoons is used for calibrating ANN model and the other one including 9 typhoons is for verification. The ANN model is examined applicable from good performance indices that are mean peak error less than 0.67m, their mean occurrence difference about 8.7hr, rmse for whole data less than 0.64m and their correlation coefficient 0.74.</p> <p>Wave samples are first examined valid by using the technique of box-plot. Maximum likelihood and least squared method are suitable for determining parameters of Weibull's and Gumbel's probability distribution for extreme analysis is checked. Obtained parameters of probability distributions for monthly wave data show seasonal variation that can be described by sinusoidal functions. The design waves for Hualien and Kaohsiung Harbors were determined in this project from annual extreme analysis.</p> <p>A whole graphical user interface (GUI) is used to establish an easy operation system for data analysis, annual and monthly extreme analysis for all international harbors around Taiwan. A test version of GUI will be set up for Kaohsiung Harbor in this year project.</p> <p>There are two application efficiencies in this project: 1. All of the typhoon wave in the past can estimate by Kaohsiung Harbor typhoon waves model, the result can provide a design wave analysis and risk Assessment in typhoon duration for harbor Bureaus. 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 Kaohsiung and Hualien Harbors.</p>			
<b>DATE OF PUBLICATION</b> April 2011	<b>NUMBER OF PAGES</b> 174	<b>PRICE</b> 150	<b>CLASSIFICATION</b> <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 高雄港颱風波浪推算模式.....	2-1
2.1 資料來源與處理.....	2-2
2.2 類神經颱風波浪模式.....	2-8
2.2.1 類神經網路架構.....	2-8
2.2.2 資料分類.....	2-11
2.2.3 模式輸入與輸入層轉換函數.....	2-13
2.3 波浪推算結果與實測波浪之驗證.....	2-25
第三章 月極值統計特性之極值統計季節性變化.....	3-1
3.1 極值統計理論.....	3-1
3.1.1 極值分布函數.....	3-1
3.1.2 極值分布參數之推定法.....	3-2
3.1.3 信賴檢定評估.....	3-6
3.2 資料分析.....	3-9
3.2.1 資料選取及補遺.....	3-9
3.2.2 箱型圖分析決定取樣資料.....	3-9
3.2.3 重現期的極值波高估算.....	3-15
3.3 分析結果.....	3-16
3.3.1 最佳極值統計方法之決定.....	3-16
3.3.2 參數迴歸.....	3-40
3.3.3 考慮參數迴歸的重現期極值波高估算.....	3-43
3.3.4 年最大法與月最大法季節性波高變化.....	3-44
第四章 花蓮港與高雄港之設計波浪推估.....	4-1
4.1 極值統計資料.....	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: .....	4-8
4.6 各重現期波高推算結果 .....	4-8
4.7 極值資料之選取方式 .....	4-12
第五章 波浪極值統計視窗化操作之初步建構 .....	5-1
5.1 圖形化使用者介面之介紹 .....	5-1
第六章 結論與建議 .....	6-1
6.1 結論 .....	6-1
6.2 建議 .....	6-2
6.3 成果效益及後續應用情形 .....	6-2
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-5
附錄三 期中簡報 .....	附-9
附錄四 期末簡報 .....	附-29

## 圖目錄

圖 1 高雄港波浪觀測位置示意圖 .....	2-2
圖 2 影響臺灣地區颱風路徑分類圖 (1897—2008 年) .....	2-5
圖 3 目標點對颱風中心的方位角 $\theta_1$ 與颱風移動方位角 $\theta_2$ 示意圖 .....	2-13
圖 4 氣旋中心附近風速風向分布示意圖 .....	2-15
圖 5 颱風距離與目標點波高分布圖 .....	2-17
圖 6 各距離範圍的 $\theta_1$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖 .....	2-18
圖 7 利用 Derivative-based 搜尋法求得的 $\theta_1$ 轉換函數 .....	2-19
圖 8 颱風在 900hPa 等壓面上內平均風速分布示意圖 .....	2-20
圖 9 各距離範圍的 $\theta_3$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖 .....	2-21
圖 10 利用 Derivative-based 搜尋法求得的 $\theta_2$ 轉換函數 .....	2-22
圖 11 各距離範圍的 $V_{deg}$ 經高斯轉換後與波高的相關性分布圖 .....	2-23
圖 12 利用 Derivative-based 搜尋法求得的 $V_{deg}$ 轉換函數 .....	2-24
圖 13 颱風杜鵑(2003)推算結果及颱風資訊 .....	2-28
圖 14 颱風艾利(2004)推算結果及颱風資訊 .....	2-29
圖 15 颱風康柏斯(2004)推算結果及颱風資訊 .....	2-29
圖 16 凡那比颱風(2010)於花蓮港的颱風波浪推算結果 .....	2-30
圖 17 凡那比颱風(2010)於高雄港的颱風波浪推算結果 .....	2-31
圖 18 力矩法參數推估流程圖 .....	3-3
圖 19 最大概似法參數推估流程圖 .....	3-4
圖 20 最小二乘法參數推估流程圖 .....	3-6
圖 21 箱型圖架構示意圖 .....	3-10
圖 22 箱型圖分析流程圖 .....	3-13
圖 23 花蓮港 1990-2008 年極值波高箱型圖 .....	3-14
圖 24 高雄港 2001-2009 年極值波高箱型圖 .....	3-15
圖 25 T 年重現期極值波高之估算流程示意圖 .....	3-16
圖 26 年最大法 FT-I 型下不同參數推估法之波高與累積機率圖 .....	3-18
圖 27 LSM 法 Weibull 分布月最大法 1 月 $k_1$ 、 $k_2$ 與實測值機率密度圖 ..	3-23
圖 28 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 1 月 $k_3$ 、 $k_4$ 與實測值機率密度圖 .....	3-24
圖 29 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 3 月 $k_1$ 、 $k_2$ 與實測值機率密度圖 .....	3-24
圖 30 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 3 月 $k_3$ 、 $k_4$ 與實測值機率密度圖 .....	3-25
圖 31 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 6 月 $k_1$ 、 $k_2$ 與實測值機率密度圖 .....	3-26
圖 32 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 6 月 $k_3$ 、 $k_4$ 與實測值機率密度圖 .....	3-26

.....	3-26
圖 33 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 8 月 $k_1$ 、 $k_2$ 與實測值機率密度圖	3-26
.....	3-27
圖 34 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 8 月 $k_3$ 、 $k_4$ 與實測值機率密度圖	3-27
.....	3-28
圖 35 以 MLE 推估 1 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-28
圖 36 以 MLE 推估 2 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-29
圖 37 以 MLE 推估 3 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-30
圖 38 以 MLE 推估 4 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-31
圖 39 以 MLE 推估 5 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-32
圖 40 以 MLE 推估 6 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-33
圖 41 以 MLE 推估 7 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-34
圖 42 以 MLE 推估 8 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-35
圖 43 以 MLE 推估 9 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-36
圖 44 以 MLE 推估 10 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-37
圖 45 以 MLE 推估 11 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-38
圖 46 以 MLE 推估 12 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	3-39
圖 47 花蓮港 1990-2008 年每月最大觀測波高特性圖	3-41
圖 48 LSM 法推估 Weibull 分布 $k=1.4$ 之每月尺度參數的曲線配適圖	3-42
圖 49 LSM 法推估 Weibull 分布 $k=1.4$ 之每月位置參數的曲線配適圖	3-42
圖 50 LSM 法 Weibull 分布 $k=1.4$ 重現期 19 年每月極值波高關係圖	3-44
圖 51 LSM 法 Weibull 分布 $k=1.4$ 下重現期 19 年之極值波高圖	3-44
圖 52 LSM 法 Weibull 分布 $k=1.4$ 之修正參數推估 19 年重現期	3-45
之極值波高圖	3-45
圖 53 LSM 法 Weibull 分布 $k=1.4$ 之修正參數推估之極值波高圖	3-46
圖 54 以 MLE 推估花蓮港波浪之機率密度函數及機率函數	4-9
圖 55 以 MLE 推估高雄港波浪之機率密度函數及機率函數	4-12
圖 56 超量門檻選用法超過 3m 資料的各分布適用性	4-14
圖 57 超量門檻選用法超過 4m 資料的各分布適用性	4-14
圖 58 超量門檻選用法超過 5m 資料的各分布適用性	4-15
圖 59 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化	5-2

## 表目錄

表 1 依據高雄港波浪實測資料的颱風選用表 .....	2-3
表 2 民國前 15 年至民國 85 年颱風侵襲臺灣各月次數 .....	2-5
表 3 建立颱風波浪模式的颱風選用表 .....	2-7
表 4 輸入因子與波浪間的相關性分析 .....	2-16
表 5 轉換後的輸入因子與波浪間的相關性分析 .....	2-24
表 6 高雄港類神經颱風波浪推算結果 .....	2-26
表 7 花蓮港與高雄港颱風波浪模式之推算能力比較 .....	2-27
表 8 各極值分布相關統計量特性 .....	3-3
表 9 計算樣本順位機率之 $\alpha$ 及 $\beta$ 值 .....	3-5
表 10 花蓮港每月最大波高資料表 (單位:公尺) .....	3-11
表 11 高雄港每月最大波高資料表 (單位:公尺) .....	3-12
表 12 花蓮港 1990-2008 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:公尺) ....	3-13
表 13 高雄港 2001-2009 年每月波高之箱型圖分析表 (單位:公尺) ....	3-13
表 14 花蓮港 19 年重現期之極值推估波高 .....	3-19
表 15 重現期 19 年最大值波高之殘差均方根比較表 .....	3-21
表 16 LSM 法 Weibull 分布不同形狀參數下機率密度之殘差均方根 .....	3-22
表 17 MLE 推估 1 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-28
表 18 MLE 推估 2 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	3-29
表 19 MLE 推估 3 月高雄港浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-30
表 20 MLE 推估 4 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-31
表 21 MLE 推估 5 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ...	3-32
表 22 MLE 推估 6 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-33
表 23 MLE 推估 7 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-34
表 24 MLE 推估 8 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-35
表 25 MLE 推估 9 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-36
表 26 MLE 推估 10 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ....	3-37
表 27 MLE 推估 11 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	3-38
表 28 MLE 推估 12 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 ....	3-39
表 29 各極值分布相關統計量之特性 .....	4-3
表 30 計算樣本順位機率之 $\alpha$ 及 $\beta$ 值 .....	4-4
表 31 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 32 重現期推算量之標準偏差公式中之係數 .....	4-7
表 33 以 MLE 推估花蓮港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-9
表 34 以 MLE 推估高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差 .....	4-11
表 35 超量門檻選用法的極值分析結果 .....	4-13





# 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，然而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布的隨機變量，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，採用月最大法，改善一整年極值分布參數的變異。評估極值統計不同的極值分布函數與參數推定法，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布下的情形。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 分布為模式配適，討論超越門檻值統計特性，其超越門檻值的分布可分成 Gumbel, Frechet, or Weibull 分布情況。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 分布，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布。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布問題，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

本研究預定研究期程為四年，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，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 年以台北港與安平港為主，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，再確定台北、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 年度以基隆港與台中港為主，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、台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花蓮港與高雄港為主，收集歷年颱風波浪資料，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，並嘗試將極值分布函數的參數以其周期性特性進行迴歸修正。本年度研究計畫之工作項目分為五個部份，這五個部分皆已完成。此外，本研究將去年度的高雄港類神經颱風波浪推算模式進行改善，針對颱風行經陸地所造成之風力、波浪的衰減效

應加以考慮，使其推算功能更加完善，在期末報告中並以 2010 年凡那比颱風的即時推算結果作為測試。

- 1.分析本所港研中心在花蓮、高雄兩港實測波浪之每月極值統計特性。
- 2.以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定花蓮、高雄兩港之各回歸期之設計波浪。
- 3.以季節性統計分析方法(seasonal wave statistics) 探討花蓮、高雄兩港波浪每月極值統計特性。
- 4.比較年最大取法及超量選用法於極值統計之差異。
- 5.波浪極值統計視窗化操作之初步建構。

## 第二章 高雄港颱風波浪推算模式

高雄港位於臺灣地區西南海岸為臺灣最大的國際港埠，扼臺灣海峽與巴士海峽交匯之要衝，現有第一及第二港口，港域幅員遼闊，腹地廣大，氣候溫和，臨海有狹長沙洲為港灣的天然防波堤，地理條件優良港灣形勢天成為一天然良港。高雄港為全球第 12 大貨櫃港與臺灣最大之國際商港，除係為主要之貨櫃轉運樞紐港外，亦為臺灣地區主要之貨物進出口港。如從全球產業分工與世界海運市場發展的趨勢來看，亞太地區已是二十一世紀全球經貿與海運發展的重心；在考量配合政府積極推動經貿發展的企圖心、高雄港所具亞太地區地理區位之優勢及高雄港已有成為區域性樞紐港的基礎條件下，高雄港在未來全球經濟及海運市場中應可扮演更積極的角色。

國際商港之發展為臺灣地區發展國際貿易非常重要之一環，有了便利又有效率之港埠作業，除了可節省航商貨主成本，降低民眾之消費成本外，並可因而提昇國家之整體競爭力，欲提昇港埠競爭力惟有從先從內部環境的改善做起。依據行政院於 86.02.27 函示每五年應至少進行「臺灣地區商港整體規劃」通盤檢討一次；各商港須以該項成果作為上位計畫，據以辦理各商港該期整體規劃及未來發展計畫。為落實前項政策，交通部運輸研究所配合辦理「臺灣地區商港整體規劃(96~100年)」，於 95.10.16 奉行政院核定，並於該項報告中賦予各商港發展定位、功能及各港應配合事項，以作為臺灣各商港進行整體規劃時之上位計畫。隨貨櫃船大型化之發展，未來為具競爭力之國際貨櫃港埠，勢須具備因應發展趨勢之能力。因此，為期提昇高雄港整體效能、發揮港埠機能之最大綜效與滿足未來發展之需求，高雄港務局已擬定多項具整合功能之發展規劃計畫。於 96-100 年之整體規劃中主要項目包含：港區範圍調整、計畫船型修訂、航道及水域設施改善、推動聯外交通系統等。為因應高雄港未來擴建工程及環評要求所需之自然條件，除必要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，可充分瞭解高雄港附近海域之海氣象特性，故有必要一

併進行高雄港波浪推算模式的建立工作，以提供高雄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

本研究所分析的資料均是由本所港灣技術研究中心所提供的波浪資料。本所港灣技術研究中心 2000 年 12 月中旬經會勘後選定在高雄一港口與二港口間亦即高雄市中區污水處理廠附近海域，安裝臺組波高波向與剖面海流即時傳送監測系統，海底電纜沿著污水排放管鋪設，擬進行長期觀測。2001 年 6 月 23 日奇比颱風經過形成之外圍環流影響以致海底電纜遭受到外力拉扯受損後，暫時以自記方式量測，2002 年 6 月 20 日重新更換海底電纜以達成即時監測之功能；但在 12 月中旬受到雙拖網漁船刮斷又暫時以自記方式量測中；2005 年 8 月經會勘後再選定在高雄二港口紅燈塔西南外約 700 公尺安裝臺組波高波向與剖面海流即時傳送監測系統，如圖 1 所示。



圖 1 高雄港波浪觀測位置示意圖

本研究選取  $H_s$ (示性波)來計算相關波高特性， $H_s$  其計算方法即以波群中波高較大的 1/3 部份的個別波波高平均值來代表，在統計特性上，其具有最大的安定性(不隨取樣不同而變化)，較能反映波浪所含能量的大小，故是最常用的代表波。(郭，2001)

根據本所港灣技術研究中心所提供之高雄港波浪資料，其記錄時間分別為 2001 年至 2008 年。在 2001 年波浪資料部份，少了 7 月、11 月與 12 月資料；2002 年少了 1 月至 5 月波浪資料；2003 年少了 1 月與 12 月波浪資料；2004 年少了 1 月與 2 月波浪資料；2005 年少了 4 月與 5 月波浪資料；2006 年少了 5 月至 8 月波浪資料(因高雄港務局在二港口南防波堤外堤挖泥濘沙影響)；2007 年少了 1 月與 2 月波浪資料；2008 年少了 12 月波浪資料。

颱風資料的部分取自中央氣象局及 RSMC-Tokyo Center 颱風氣象資料，颱風的名稱與發生時間採用 RSMC-Tokyo Center 發布的資料為準，時間格式統一以臺灣時間表示。颱風氣象資料每 6 小時一筆，波浪資料為每 1 小時一筆，為配合波浪資料的時間間距將颱風氣象資料利用 3 次多項式內插技術，將颱風氣象資料間距內插為 1 小時。依據中央氣象局公布 2001 年至 2008 年侵臺颱風共有 57 場，但需兼顧的資料完整性以及資料相關性，故本研究僅能選擇對高雄港有造成的影響且具有完整實測波浪資料的颱風共 41 場來進行資料分析，再評估是否適合進行颱風波浪推算模式的測試以及驗證，如表 1 所示。

表 1 依據高雄港波浪實測資料的颱風選用表

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2001	CIMARON	西馬隆	0.87	8
2001	CHEBI	奇比	7.95	7
2001	LEKIMA	利奇馬	3.77	4
2002	RAMMASUN	雷馬遜	1.97	--
2002	NAKRI	娜克莉	3.74	9
2002	SINLAKU	辛樂克	0.91	1
2003	KUJIRA	柯吉拉	0.98	--
2003	NANGKA	南卡	2.57	--

2003	SOUDELOR	蘇迪勒	2.16	--
2003	IMBUDO	尹布都	4.16	--
2003	MORAKOT	莫拉克	3.21	4
2003	KROVANH	柯羅旺	3.57	--
2003	DUJUAN	杜鵑	4.96	5
2003	MELOR	米勒	1.42	8
2004	CONSON	康森	2.13	--
2004	MINDULLE	敏督利	4.94	6
2004	KOMPASU	康柏斯	1.58	--
2004	RANANIM	蘭寧	2.32	--
2004	AERE	艾利	3.09	1
2004	HAIMA	海馬	3.08	6
2004	MEARI	米雷	1.45	--
2004	NOCK_TEN	納坦	1.88	6
2004	NANMADOL	南瑪都	4.06	9
2005	HAITANG	海棠	6.46	3
2005	MATSA	馬莎	3.13	1
2005	SANVU	珊瑚	4.75	--
2005	TALIM	泰利	4.94	3
2005	KHANUN	卡努	1.09	--
2005	DAMREY	丹瑞	3.84	--
2005	LONGWANG	龍王	2.79	3
2006	SHANSHAN	珊珊	1.91	--
2007	WUTIP	梧提	2.51	3
2007	WIPHA	韋帕	1.98	1
2007	KROSA	柯羅莎	4.18	2
2007	MITAG	米塔	1.83	--
2008	KALMAEGI	卡玫基	3.05	2
2008	FUNG_WONG	鳳凰	5.27	3
2008	NURI	如麗	6.12	--
2008	SINLAKU	辛樂克	3.53	2
2008	HAGUPIT	哈格比	3.53	--
2008	JANGMI	薔蜜	3.51	2

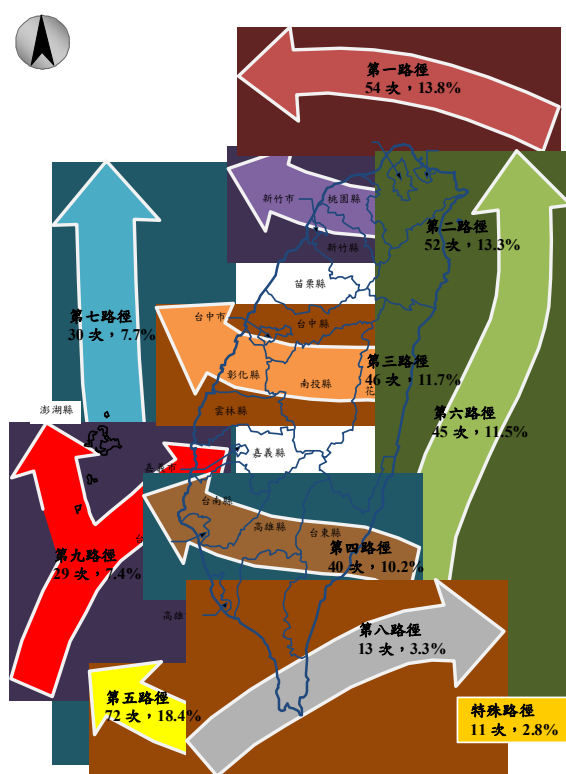
由表中可發現雖然 2001 至 2008 年有 41 場颱風擁有完整的波浪資料可供模式進行建立波浪與颱風資料之間的關係，但各場颱風最大波高明顯偏小，其中 41 場颱風中共有 18 場颱風其最大波高沒有達到 3 米，而其最大波高小於 2 米的共有 12 場；最大波高小於 1 米的共 3 場。



此現象顯示雖然這些颱風都是由中央氣象局所發布的侵臺颱風，但以高雄港的波浪實測數據來說，這些颱風並沒有對波浪造成影響或是其影響非常的小。此外，根據中央氣象局統計民國前 15 年（1897）至民國 85 年（1996）100 年的資料，共有 348 次颱風侵襲臺灣，以八月份最多，其次是七月及九月，所以每年七、八、九三個月為颱風侵襲臺灣最多的季節(如表 2)；而高雄港位於臺灣西南側海岸，夏季面臨西南季風的影響，其季節風波浪亦較高，使得部份資料難以判斷其波浪是由季節風所造成亦或是颱風所造成的。

表 2 民國前 15 年至民國 85 年颱風侵襲臺灣各月次數

月 份	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	全 年
次 數	2	12	26	86	108	80	27	7	348
平 均	0.02	0.12	0.26	0.86	1.08	0.80	0.27	0.07	3.48
百分數	0.6	3.4	7.5	24.7	31.0	23.0	7.8	2.0	100



資料來源：中央氣象局

圖 2 影響臺灣地區颱風路徑分類圖（1897—2008 年）

圖中顯示 1897 至 2008 年 108 年內直撲高雄港的第九類路徑僅 7.4%。而且大部分颱風皆為由東向西行進佔 49%，此類颱風若對高雄港造成影響，必定會先行經中央山脈的高山地形，當經過中央山脈時颱風結構會變得鬆散，也會因高山地形的屏障效應使得對高雄港的影響變小。在表 1 中 2001 年至 2008 年八年中對高雄港產生較直接影響的颱風僅有奇比(2001)、娜克莉(2002)以及南瑪都(2004)等三個颱風，分別為路徑分類 7 與 9，在整體樣本中偏少。其餘颱風可由路徑分類號的部分發現其侵臺路徑皆會受陸地效應與高山地形的影響，在侵襲高雄港之前皆會減弱且幾乎可以不用考慮湧浪類的傳遞。此結果說明若欲建立高雄港的颱風波浪推算模式，其機制應與往昔所開發的花蓮港颱風波浪推算模式不同，往昔花蓮港的波浪推算模式主要是在於面對由東向西直撲花蓮港的颱風，以及颱風生成在外海時湧浪的傳遞；而以高雄港來說，在資料有限的狀況下本研究所建立的模型將面對大部分颱風都經陸地效應影響的狀況進行訓練與推算，模型的建立勢必較花蓮港難處理。

上述多場颱風其所造成的波高較小，其波高在 3 米以下與季節風浪接近，故本研究在建立類神經波浪推算模式得過程中，更需嚴加評估所選用的颱風波浪資料是否真的是由該颱風所造成的波高增幅，避免在訓練階段給予模式不當的輸入資料。季節風浪與颱風波浪的生成機制不同，但當季節性波浪較大時，其尺度可能會近似颱風波浪，由於本研究所建立的颱風波浪模式需經過實測颱風波浪的訓練，故可能會因過大的季節性波浪造成錯誤的訓練會在網路建置時造成反效果。高雄港地區其颱風波浪偏小的原因主要為直撲高雄港的颱風較少，如圖 2 所示，直撲高雄港的颱風僅佔約 14%。本研究考量以上各原因，去除影響較小及雙颱風交互影響的颱風後選取了 30 場颱風進行模式的建立，如表 3 建立颱風波浪模式的颱風選用表所示。

表 3 建立颱風波浪模式的颱風選用表

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	資料分類
2001	CHEBI	奇比	7.95	L
2001	LEKIMA	利奇馬	3.77	T
2002	NAKRI	娜克莉	3.74	V
2003	IMBUDO	尹布都	4.16	L
2003	MORAKOT	莫拉克	3.21	L
2003	KROVANH	柯羅旺	3.57	T
2003	DUJUAN	杜鵑	4.96	L
2004	CONSON	康森	2.13	L
2004	MINDULLE	敏督利	4.94	V
2004	KOMPASU	康柏斯	1.58	T
2004	RANANIM	蘭寧	2.32	V
2004	AERE	艾利	3.09	L
2004	HAIMA	海馬	3.08	L
2004	NOCK_TEN	納坦	1.88	T
2004	NANMADOL	南瑪都	4.06	V
2005	HAITANG	海棠	6.46	L
2005	MATSA	馬莎	3.13	L
2005	SANVU	珊瑚	4.75	L
2005	TALIM	泰利	4.94	T
2005	DAMREY	丹瑞	3.84	V
2005	LONGWANG	龍王	2.79	L
2006	SHANSHAN	珊珊	1.91	L
2007	WIPHA	韋帕	1.98	V
2007	KROSA	柯羅莎	4.18	T
2008	KALMAEGI	卡玫基	3.05	T
2008	FUNG_WONG	鳳凰	5.27	V
2008	NURI	如麗	6.12	V
2008	SINLAKU	辛樂克	3.53	T
2008	HAGUPIT	哈格比	3.53	T
2008	JANGMI	薔蜜	3.51	L

註：L、V、T 分別代表三群均勻資料，其中 L、V 為學習資料，T 則為未參與學習的後續測試資料

## 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：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (1)$$

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  $Y$

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (5)$$

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

$$\delta_1 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \delta_j) \quad (6)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (7)$$

(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：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (10)$$

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：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta\theta_2 \quad (14)$$

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：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (15)$$

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

$$h = 2z + 1 \quad (16)$$

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界面的開發。而去年度亦於『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(1/4)』研究中採用更完整的資料對花蓮港颱風推算模式進行改善，採用不以 RMSE 當作目標或是以學習疊代次數當作限制的方法的訓練方式，而是把所有資料分成三部分，分別為：1. 訓練用資料群(Training Set)、2. 確認用資料群(Validation Set)、以及 3. 檢驗資料群(Test Set)，其中訓練用資料群經由正規化等前置處理後直接進入網路進行訓練，訓練方式採用收斂較慢的 `trainscg`，在訓練的同時輔以確認用資料群進行網路的確認，隨著訓練次數的增加，模式對於

訓練用資料群的 RMSE 會逐漸降低，但降低到一定程度後網路即停止訓練，這種稱之為提早停止的訓練方法可以使避免訓練出來的網路發生過度學習，讓網路對於其他未學習過的資料適用性更高，訓練結束後可利用檢驗資料群來二次確認模式的廣義性。由於上述三個資料群的目的不同，我們需要保持三個資料群的颱風特性的均勻性，避免造成訓練時神經網路模式接受的颱風特性與確認或檢驗階段的颱風特性不同。資料的分類採用 Camargo 等人(2007)所採用的熱帶氣旋分類法，透過熱帶氣旋在地球表面的路徑來作分類，本研究對將所有颱風分為四類，再各將這四類中的颱風個數等分為三組，故我們可以獲得三組特性均勻的颱風資料群，以進行模式的訓練、確認以及檢驗過程。

雖然上述的資料分類法經驗證後能夠提高花蓮港颱風波浪推算模式的廣義性，但在高雄港實測資料較少的狀況下，就較難以施行，原因在於此法必須將所有資料分成三等份，如此一來在樣本少的情況下各資料群的樣本可能就會不夠均勻，故若考慮僅以目前的資料進行訓練，應選用較多資料當作學習資料，較少資料當作模式驗證用應較為合適。本研究採用 Camargo(2007)所提出的颱風分類法，本方法針對所有輸入的颱風的規模與路徑進行自動分類(本研究中共分為四種特性較為不同的類別)，之後再將此四類中皆均勻分成三等分再重新組合，即可將所有颱風分為三組資料群。這三組資料群在路徑或是規模等特性上皆為均勻。往昔在建立花蓮港颱風波浪推算模式時將三組資料群命名為學習資料群(Learning Set)、驗證資料群(Validation Set)與測試資料群(Test Set)，但本研究將測試後發現高雄港颱風波浪資料較花蓮港資料為少，若僅取用三分之一的資料來做學習其成效不夠佳，故在高雄港颱風波浪模式的建立本研究取其中兩組(Learning Set 與 Validation Set)作為學習資料群，一類(Test Set)作為測試資料群，如此一來可以保持資料的均勻性並增加訓練資料。然而失去確認用的驗證資料群就必須使用傳統訓練方式以 RMSE、疊代梯度或訓練次數當作模式的目標，如此一來可能會發生過度學習的狀況，故本研究採用 trainbr (Bayesian regulation backpropagation)訓練方式來改進網路廣義性，trainbr 藉由自



動調整網路偏權值及網路權重值間的比例參數來組成一目標值，比傳統僅以 RMSE 作為訓練目標的訓練方式更能避免網路訓練時的過度學習，30 場颱風的資料分類結果如表 3 所示，L 表訓練用資料群；V 為確認用資料群及 T 為檢驗資料群。

### 2.2.3 模式輸入與輸入層轉換函數

高雄港波浪推算模式的輸入資料包括颱風經緯度以及中心最大風速，經由這兩項颱風資訊可計算：1. 颱風與目標點距離 2. 目標點對颱風中心的方位角 3. 颱風移動方位角 4. 目標點海面 10m 風速 5. 目標點上空風向等。其中前三項的距離與方位角僅需透過颱風中心座標點及目標點座標即可計算，而後兩項目標點的 10 米風速及風向就要透過風場模式進行估算。目標點對颱風中心的方位角  $\theta_1$  與颱風移動方位角  $\theta_2$  示如圖 3。

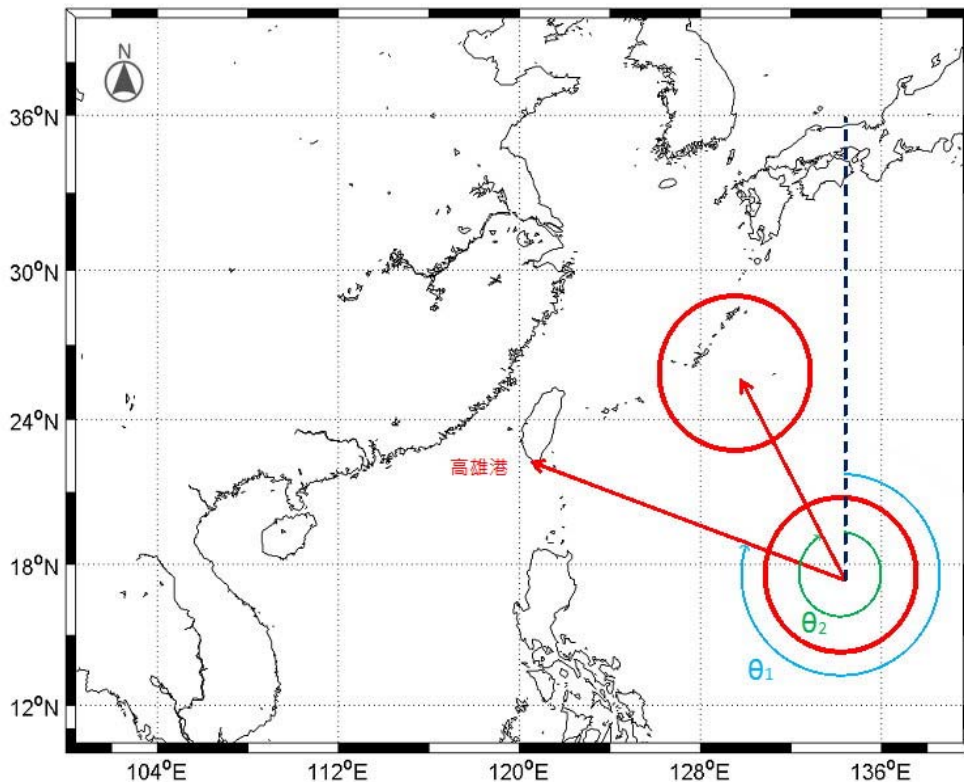


圖 3 目標點對颱風中心的方位角  $\theta_1$  與颱風移動方位角  $\theta_2$  示意圖

由於北半球的颱風為逆時鐘旋轉，以颱風前進方向為中心來看，其右半圓有較左半圓大的風力，故目標推算點所面臨的是颱風的左半圓或右半圓對於波浪推算來說也顯得相當重要。我們透過  $\theta_3 = \theta_1 - \theta_2$  來定義目標推算點所面臨的颱風結構， $\theta_3$  定義為颱風侵襲角，以圖 2.2-1 的狀況為例，颱風中心正由圖中右下往左上方移動，目標推算點高雄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右半圓，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左半圓。圖 2.2-1 中  $\theta_1$  小於  $\theta_2$ ，故  $\theta_3$  為負值，顯示目標推算點高雄港面臨的是颱風的左半圓。

本研究採用 RVM 模型颱風模式 (Rankin-Vortex Model) 簡介如下：RVM 係模擬颱風風場架構，在資料齊全的條件下，風場可由氣壓分布推算而得。然而，在絕大多數情形下，氣壓分布資料取得不易，由氣壓分布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布具有對稱性，故熱帶氣旋所造成之風場可利用風場模式推算之，本研究採用 RVM 模型颱風模式進行風場模擬，以提供類神經模式計算所需之風場輸入參數。有關 RVM 模型颱風模式之理論說明如下：

$$V_r = \begin{cases} V_{\max} (R/R_m)^7 \exp(7(1-R/R_m)) & \text{for } R < R_m \\ V_{\max} \exp((0.0025R_m + 0.05)(1-R/R_m)) & \text{for } R \geq R_m \end{cases} \quad (17)$$

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：

$$R_m = 28.52 \tanh(0.0873(\phi - 28)) + 12.22 / \exp((P_\infty - P_c) / 33.86) + 0.2V_f + 37.22 \quad (18)$$

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

$$V_t = 0.5 V_f \cos \varphi \quad (19)$$

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 4 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  $V_r + V_t$ 。

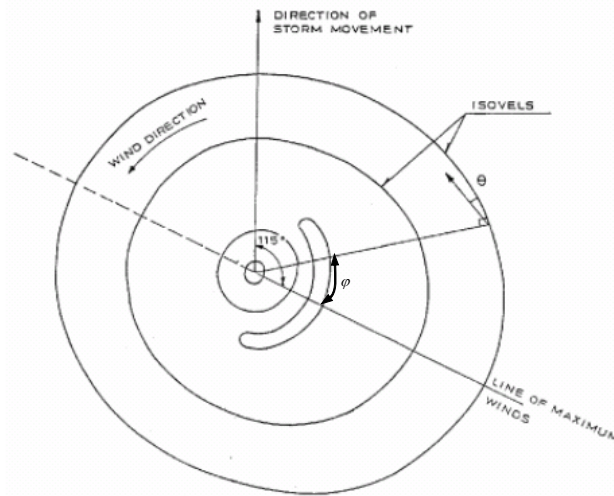


圖 4 氣旋中心附近風速風向分布示意圖

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：

$$\theta = \begin{cases} 10^\circ & \text{for } 0 < R \leq R_m \\ 10^\circ + 15^\circ(R - R_m)/(0.2R_m) & \text{for } R_m < R \leq 1.2R_m \\ 25^\circ & \text{for } 1.2R_m < R \end{cases} \quad (20)$$

由以上之說明可知，利用 RVM 模型颱風模式計算風場，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，而後即可推算出目標點的海面 10 米風速  $V$  以及風向  $V_{deg}$ ，配合颱風中心與目標點距離  $D$ 、目標點對颱風中心的方位角  $\theta_1$ 、颱風移動方位角  $\theta_2$  等颱風資訊作為類神經網路輸入層。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 4 所示。

表 4 輸入因子與波浪間的相關性分析

輸入因子	相關性 $R$
$V$	0.425
$D$	-0.392
$\theta_1$	-0.492
$\theta_3$	0.014
$V_{deg}$	-0.458

表 4 中顯示目前輸入因子中只有目標點 10 米風速相關性最高，為 0.425，其餘因子都偏低並且還有負相關的現象，以下針對各個輸入因子作討論。

### 1. 目標點 10 米風速 $V$ ：

颱風為一低氣壓場，其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，波浪之最主要驅動力為颱風風力，即由此而來。所以推算目標點當地的 10 米風速對於波浪推算來說必然是重要的因子之一。然而透過相關性分析發現與波高相關係數  $R$  僅有 0.425，是因為未考慮地形對波浪的遮蔽效應以及風場在陸地上受到山脈或建築物的阻隔造成的衰減，若要利用傳統統計方法或歸納的方式綜合考慮各項因子間的交互作用並不容易，所以本研究透過類神經網路輸入各相關因子來進行模式的訓練，以期能解決此複雜的交互作用。

### 2. 颱風與目標點距離 $D$

颱風的距離越近，對推算目標點當地波浪的影響就越大，故我們在上述表 4 的相關性分析中發現距離與波高的相關性為負相關，以本計畫所收集的颱風資料與相對應的波浪資料來繪製距離-波高分布圖如圖 5 颱風距離與目標點波高分布圖。

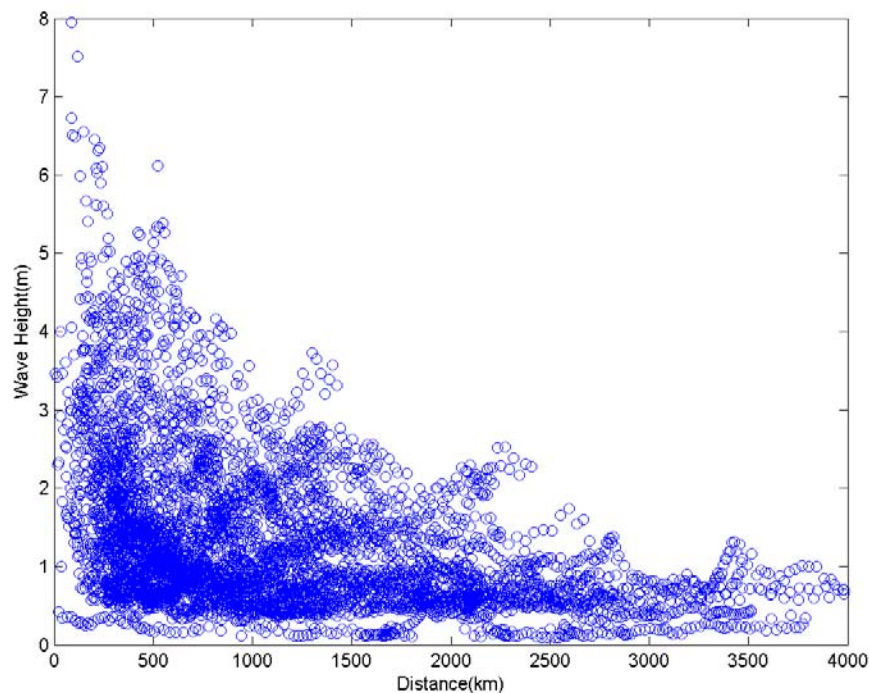


圖 5 颱風距離與目標點波高分布圖

圖 5 橫軸為颱風與推算目標點距離，縱軸則為推算點波高。圖中大致可看出颱風距離與目標點波高是呈反比，但在距離小的時候仍發生許多波高小的狀況(圖中左下角密集區)，這些狀況可能是因為颱風已減弱、陸地遮蔽或陸域地形造成的風場衰減等因素而造成。另外圖中可以發現颱風在距離推算目標點 1500km 以上，推算目標點出現 3m 以上的波高機率明顯變小，故根據其反比關係，為了避免學習的資料中有較不相關的樣本，我們可考慮排除 1500km 以上的資料點，並將剩餘資料點距離除以 1500km 來作正規化再以 1 減之作為輸入值。

### 3. 目標點的方位角 $\theta_1$

目標點的方位角可表示推算目標點是在颱風中心的哪一個方位，以正北為  $0^\circ$ ，若  $\theta_1$  為  $90^\circ$  表示颱風由西向東邊的目標點登陸，反之，若  $\theta_1$  為  $270^\circ$  則表示颱風由東向西自臺東登陸經中央山脈侵襲高雄港。我們首先將所有的颱風資料點自距離 0 至 4000km 分為 20 份，再利用形狀係數為 30 而中心位置為  $0^\circ$  至  $360^\circ$  的 gauss 轉換結果，其結果與波高的相關性分布圖示如圖 6。

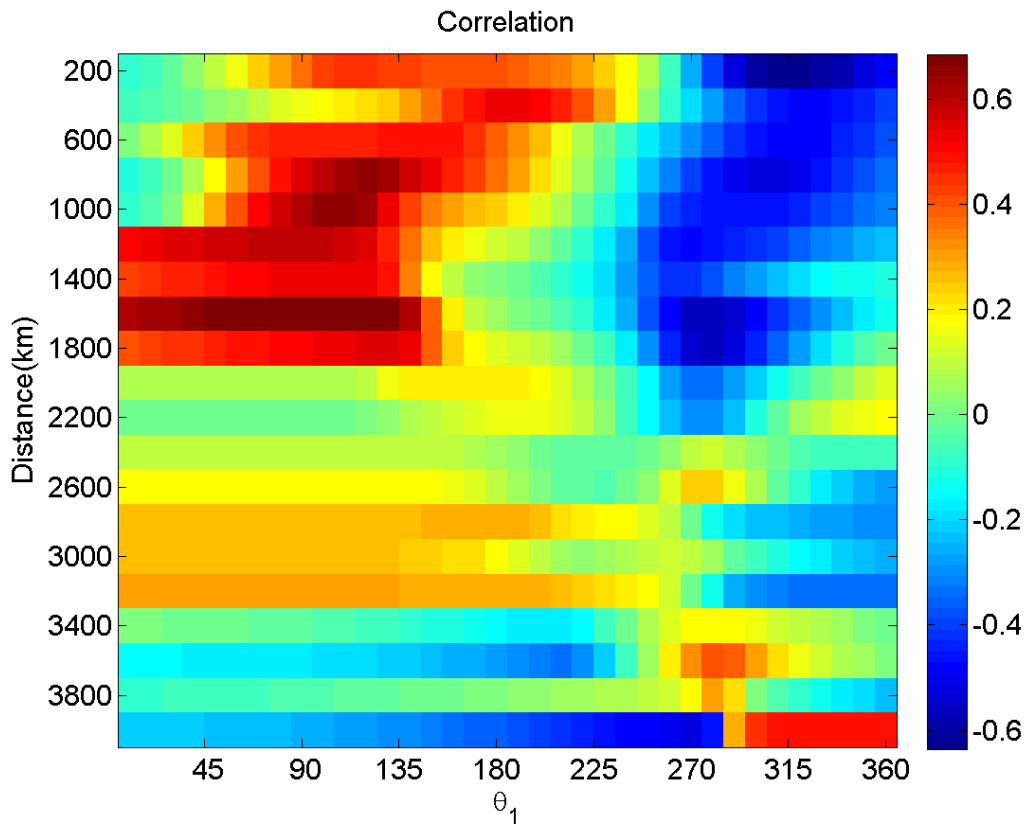


圖 6 各距離範圍的  $\theta_1$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖 6 中可發現在距離 1800km 以內，經高斯轉換後  $\theta_1$  約以  $220^\circ$  為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性，當高斯轉換函數的峰值在  $220^\circ$  以下其轉換結果與波高的相關性高，反之當高斯轉換函數的峰值在  $220^\circ$  以上則其結果與波高的相關性低。這種空間上的明顯特性說明我們可透過多變量的 Derivative-based 搜尋法找到最佳的高斯轉換函數，如圖 7 所示。

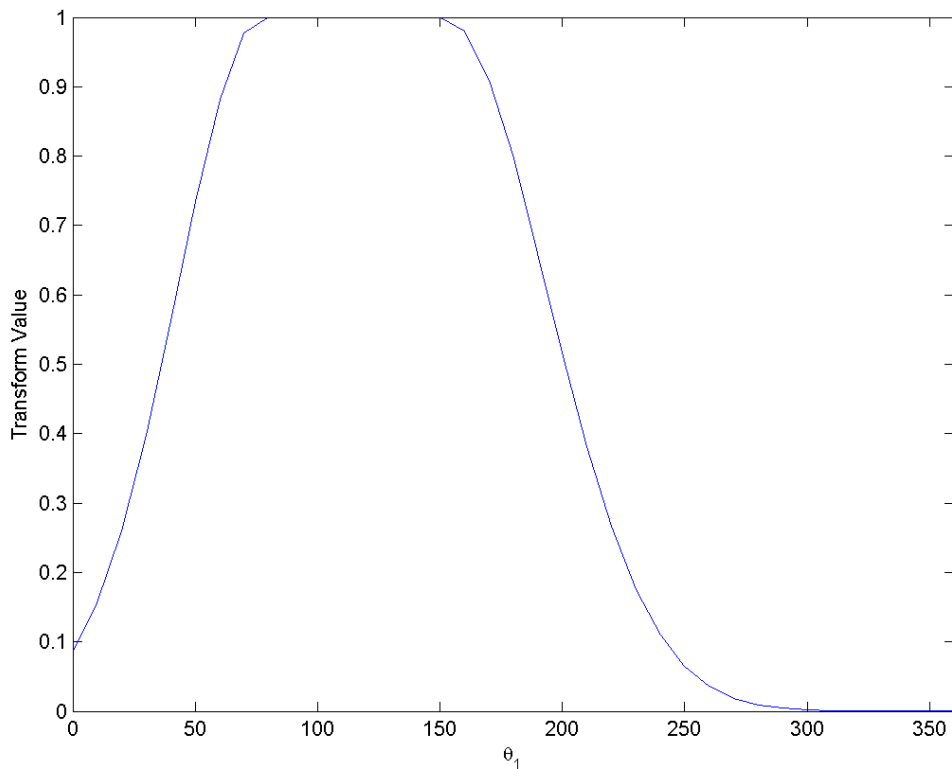


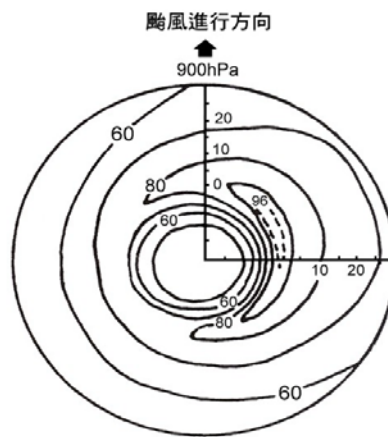
圖 7 利用 Derivative-based 搜尋法求得的  $\theta_1$  轉換函數

#### 4. 颱風侵襲角 $\theta_3$

本研究利用目標點的方位角  $\theta_1$  與颱風前進方位角  $\theta_2$  相減來描述侵襲目標點在颱風風場中的位置，以颱風前進方向為  $0^\circ$ ，侵襲目標點為  $0^\circ$  至  $180^\circ$  時代表颱風以左半圓侵襲目標點，反之  $\theta_3$  為  $0^\circ$  至  $-180^\circ$  時，則以右半圓侵襲目標點。颱風風速結構圖如圖 8 所示。圖 8 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。此侵襲角與波高的相關性除了受到北半球颱風右前半圓結構較強的因素外，地形遮蔽及風場衰減的影響也會造成差異性。此外依照上節所敘述侵襲高雄港的



颱風大多經過陸地效應以及高山地形的影響，颱風在登陸後其結構會有大幅度的改變，垂直方向的作用會更強烈，高山或地形會使得結構變得鬆散。若要於高雄港波浪推算模式中建立完善的風浪機制，需同時考慮  $\theta_1$  與  $\theta_3$  兩種方位角的影響，即由  $\theta_1$  轉換得遮蔽效應因子以及  $\theta_3$  轉換得的颱風結構因子兩輸入項皆應一併輸入作為考慮。將所有的颱風資料點自距離 0 至 4000km 分為 20 份，再利用形狀係數為 30 而中心位置為  $-180^\circ$  至  $180^\circ$  的 gauss 轉換結果，其結果與波高的相關性分布圖示如圖 9。



資料來源：中央氣象局

圖 8 颱風在 900hPa 等壓面上內平均風速分布示意圖



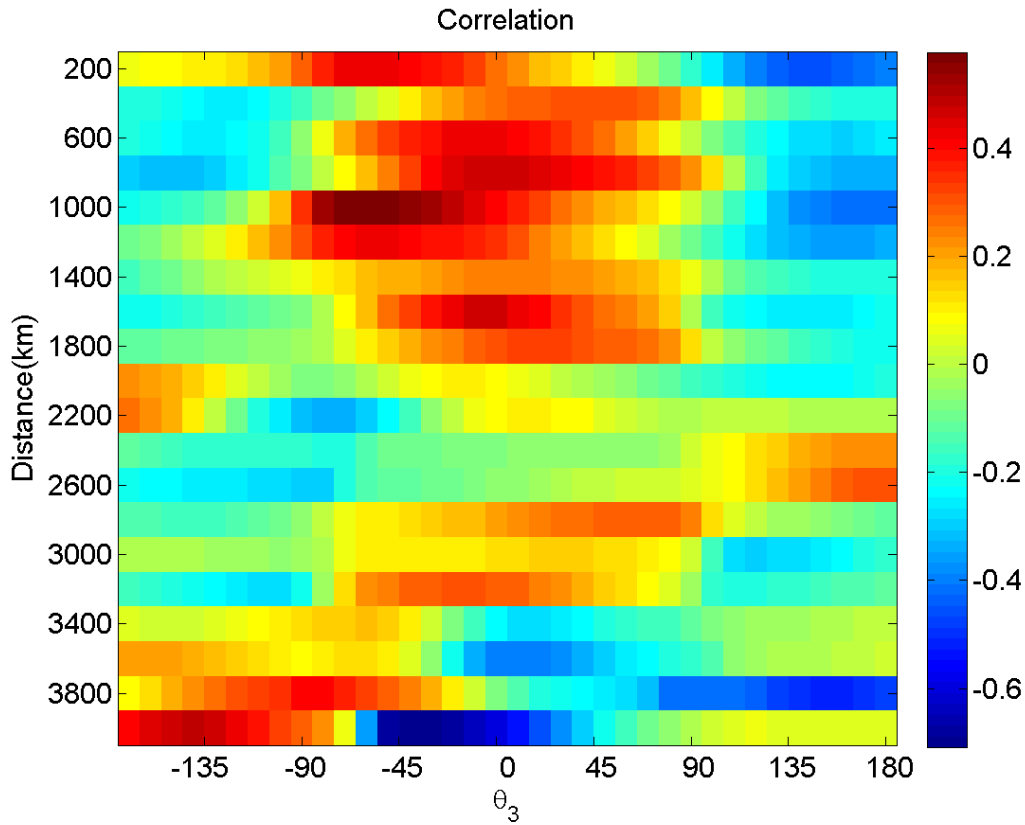


圖 9 各距離範圍的  $\theta_3$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖 9 中色調越暖的部分為  $\theta_3$  後與波高相關性較高的部分，反之色調越冷的藍色部分則為負相關，圖中顯示在颱風距離 1800km 以內  $-45^\circ$  至  $120^\circ$  間的區域相關性較其他部分低，顯示颱風若受臺灣陸地所遮蔽的範圍內即使是以較強的颱風右半圓往高雄港前進，其所造成的波高影響也不大。由於圖 9 這種空間上的分布特性較類似有偏態的分布或是雙峰分布，故本計畫透過兩個 gauss 函數的線性組合來描述轉換函數，採用多變量的 Derivative-based 搜尋法找到最佳的轉換函數的四個變數，其結果如圖 10 所示。

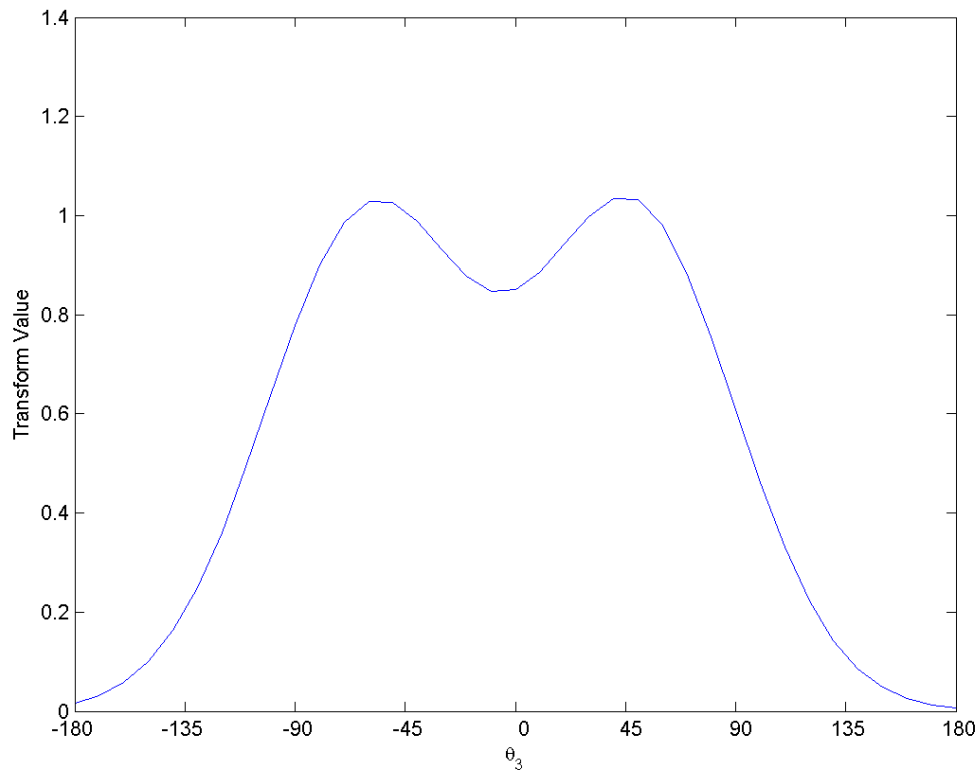


圖 10 利用 Derivative-based 搜尋法求得的  $\theta_2$  轉換函數

### 5. 目標點 10 米風向 $V_{deg}$

目標點 10 米風向是由 RVM 模型風場模式中推算而得的，此處風向定義與一般不同，RVM 推算出來的結果為風的去向而非來向。將所有的颱風資料點自距離 0 至 4000km 分為 20 份，再利用形狀係數為 30 而中心位置為  $0^\circ$  至  $360^\circ$  的 gauss 轉換結果，其結果與波高的相關性分布圖示如圖 11。

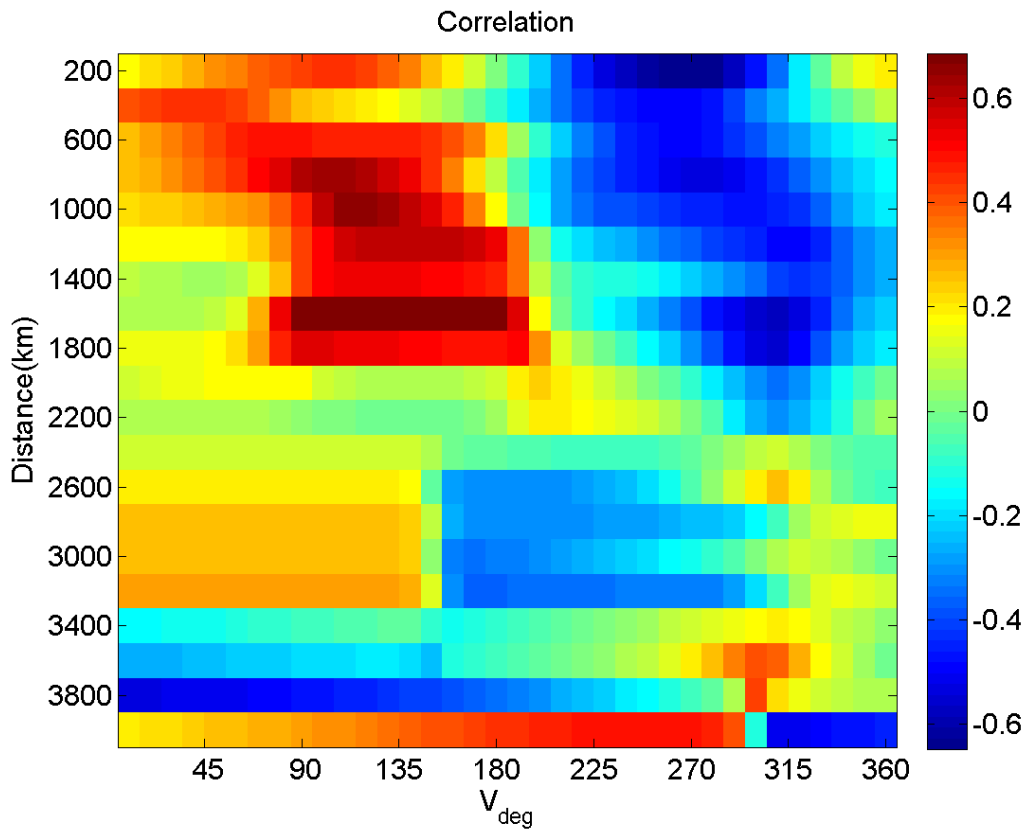


圖 11 各距離範圍的  $V_{deg}$  經高斯轉換後與波高的相關性分布圖

圖 11 與圖 6 的結果相近，但圖 11 中相關性最高的部分並不是在颱風距離較近的部分。且風的去向於 180 至 320 間明顯與波高相關性低，即表現出當風的驅動力隔著臺灣陸地區域往西邊吹時，對推算目標點高雄港的波浪生成並無影響。此現象即描述當颱風在臺灣東岸登陸時，隔著中央山脈其對高雄港的影響並不大。圖 12 為多變量的 Derivative-based 搜尋法找到最佳的高斯轉換函數。

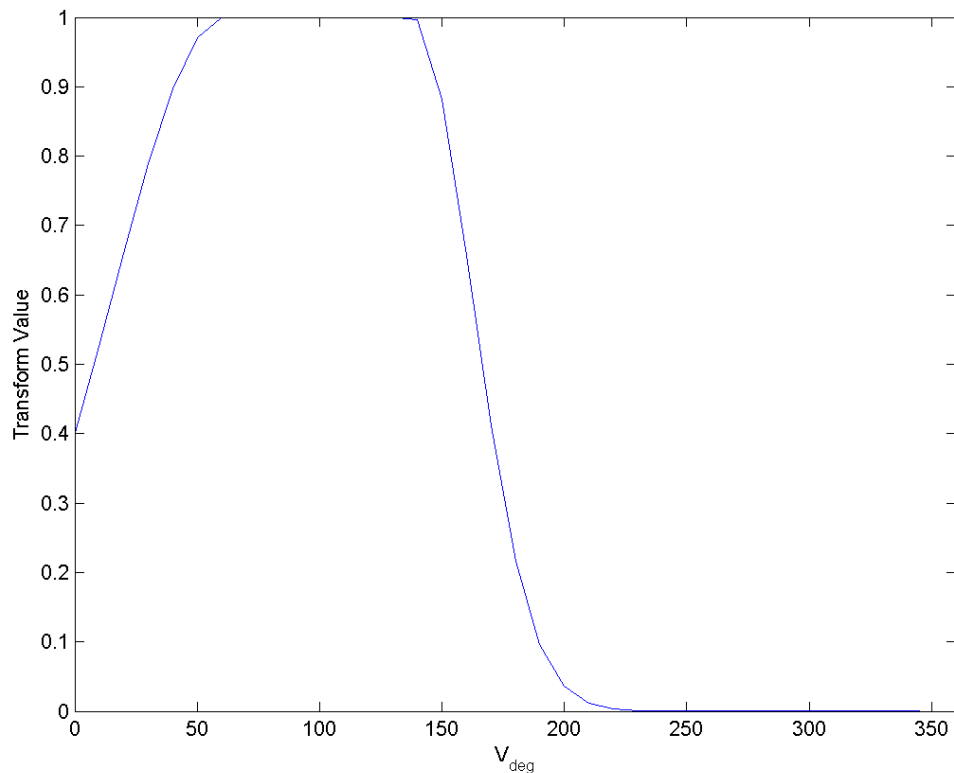


圖 12 利用 Derivative-based 搜尋法求得的  $V_{deg}$  轉換函數

以上各輸入因子透過轉換函數來作映射後，再與波高作相關性分析，其結果如表 5。表中顯示風速因子與原來相同，距離因子則因調整而變成了正相關，遮蔽效應因子經過轉換後其相關性由 -0.492 變成 0.597，颱風結構因子經轉換後其相關性由 0.014 提升為 0.440，而目標點風向因子則由 -0.458 提升為 0.574。由此可知經過最佳化的 gauss 函數轉換後除了前兩項外其相關性與表 4 比較皆有大幅度提升，表示經過這三個轉換函數後各因子對模式建立的有更好的成效。

表 5 轉換後的輸入因子與波浪間的相關性分析

輸入因子經轉換後	相關性 $R$
風速因子	0.425
距離因子	0.392
遮蔽效應因子	0.597
颱風結構因子	0.440
目標點風向因子	0.574

## 2.3 波浪推算結果與實測波浪之驗證

一般在進行使用年限較長的港灣結構物設計時，為了推估合適的設計波高，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不足而無法達成。此時，需要藉由波浪推算模式來推估颱風造成的極值波浪，再利用極值統計方法，去推估重現期之波浪特性。本研究針對工程界最常使用的湯(1970)和井島(1972)半經驗颱風波浪推算模式以及近年來研發的類神經颱風波浪推算模式兩種模式進行颱風波浪的推算，再與實測資料進行比較來評估這兩種資料來源的適用性。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  $\Delta t_p$ 。

$$R = \frac{\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs}) ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})}{\sqrt{\left( \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2 \right) \left( \sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2 \right)}} \quad (21)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (22)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (23)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (24)$$

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(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(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。

類神經網路颱風波浪推算模式，為 2001 至 2004 年本所港灣技術研究中心與國立交通大學合作計畫『臺灣港灣地區颱風波浪推算之應

用研究』所開發，在颱風期間配合 UNISYS 所提供的颱風即時動態資料對於颱風波浪有很好的推算結果，並已實際完成視窗化介面應用於花蓮港務局。本研究以 Japan Meteorological Agency 所提供 1978 年至 2008 年的颱風資料進行波浪的推算，配合 2.2 節所述的 30 場實測颱風波浪資料進行建立及驗證，其結果如下表 6 所示。

**表 6 高雄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
2001	CHEBI(奇比)	-1.77	1.00	0.73	0.91
2001	LEKIMA(利奇馬)	0.24	-6.00	0.95	0.42
2002	NAKRI(納克力)	0.29	8.00	0.56	0.71
2003	IMBUDO(尹布都)	-0.28	-3.00	0.79	0.74
2003	MORAKOT(莫拉克)	0.00	-2.00	0.59	0.84
2003	KROVANH(科羅旺)	0.37	-4.00	0.64	0.24
2003	DUJUAN(杜鵑)	-0.23	21.00	1.43	0.15
2004	CONSON(康森)	-0.06	15.00	0.26	0.78
2004	MINDULLE(敏督利)	-1.05	-4.00	0.64	0.90
2004	KOMPASU(康柏斯)	2.68	5.00	1.81	0.59
2004	RANANIM(蘭寧)	-0.18	18.00	0.35	0.74
2004	AERE(艾利)	0.59	-40.00	0.31	0.87
2004	HAIMA(海馬)	-0.02	4.00	0.52	0.62
2004	NOCK_TEN(納坦)	0.66	9.00	0.52	0.72
2004	NANMADOL(南瑪都)	0.23	1.00	0.41	0.91
2005	HAITANG(海棠)	-1.60	2.00	0.80	0.95
2005	MATSA(馬莎)	-0.53	1.00	0.46	0.85
2005	SANVU(珊瑚)	-0.88	17.00	0.66	0.87
2005	TALIM(泰利)	-0.70	2.00	0.82	0.79
2005	DAMREY(丹瑞)	0.44	-8.00	0.44	0.87
2005	LONGWANG(龍王)	0.68	-1.00	0.62	0.93
2006	SHANSHAN(珊珊)	-0.38	-7.00	0.34	0.40
2007	WIPHA(韋帕)	0.66	21.00	0.61	0.64
2007	KROSA(柯羅莎)	-0.09	-1.00	0.91	0.47
2008	KALMAEGI(卡玫基)	-0.29	11.00	0.35	0.84
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	-0.36	-17.00	0.39	0.95
2008	NURI(如麗)	-1.82	-14.00	0.65	0.96
2008	SINLAKU(辛樂克)	1.73	6.00	0.62	0.79
2008	HAGUPIT(哈格比)	0.96	-12.00	0.73	0.94
2008	JANGMI(薔蜜)	0.44	0.00	0.37	0.88

平均	0.67	8.70	0.64	0.74
----	------	------	------	------

表 6 顯示本模式 30 場颱風波浪推算結果與實測波高的比較，表中名稱加底色的颱風為完全沒有加入模式訓練的檢驗用颱風。以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  $\Delta t_p$  等四個指數來做評估。表中各場颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  以 KOMPASU(2006)相差最大，其最大波高與實測資料相差了 2.68m；相差最小的則是 MORAKOT(2004)，與實測最大波高符合，平均來說颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  約為 0.67m。此外最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以 AERE(2004)相差最多，與實測最大波高發生時間差了 40 小時；相差最小的則為 JANGMI(2008)其推算結果最大波高發生時間與實測完全符合；30 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 8.70 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差最大為 KOMPASU(2004)，其值為 1.81m，最小為 CONSON(2004)的 0.26m；30 場颱風波浪平均 RMSE 為 0.64m。推算波高結果與實測波高的相關性則以 NURI(2008)最佳，相關係數 0.96；最差為 DUJUAN(2003)的 0.15；30 場颱風波浪與實測波高相關係數平均為 0.74。表 7 為 98 年度所測試花蓮港颱風波浪推算模式與本年度高雄港颱風波浪推算模式之比較結果。

表 7 花蓮港與高雄港颱風波浪模式之推算能力比較

	$\Delta H_{s,p}$ (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

表 7 中顯示本研究所建立高雄港颱風波浪模式與花蓮港颱風波浪推算模式推算能力的比較。颱風波浪最大波高誤差  $\Delta H_{s,p}$  的部分高雄港模式的誤差較小，最大波高發生時間誤差  $\Delta t_p$  則以花蓮港的結果較佳，平均 RMSE 則以高雄港模式較低，各場颱風所造成波浪期推算值與實測值的相關係數則以花蓮港較佳。然而大部分颱風皆以直撲花蓮港為主，故花蓮港颱風波浪一般皆較高雄港大，故其最大波高的誤差以及整體 RMSE 皆較大。由此結果顯示花蓮與高雄港模式的推算能力接

近。本研究並以誤差較大的幾場颱風來作說明，如表 6 中的杜鵑(2003)、艾利(2004)、康柏斯(2004)等。圖 13 為颱風杜鵑(2003)的推算結果與颱風資訊圖，圖中左列三圖由上到下分別為波浪推算與實測結果、風速發展圖及颱風中心距離推算點變化圖。右圖則為颱風路徑資訊。波浪推算圖中粗線為模式推估值，細線為時測波浪值。圖中可以發現模式推算結果的最大值發生時間較實際發生時間為晚，是較大的推算誤差。我們透過比較風速發展圖與距離變化圖可以發現，實測數據中的發生最大波浪時間是在颱風風速最強時，但依據距離變化圖可發現實際最大波浪發生在颱風中心仍在臺灣東側的時候，通常颱風在臺灣東側的狀況風場結構與波浪傳遞都會受到地形的阻擋，故理論上不應那麼早發生最大波高。

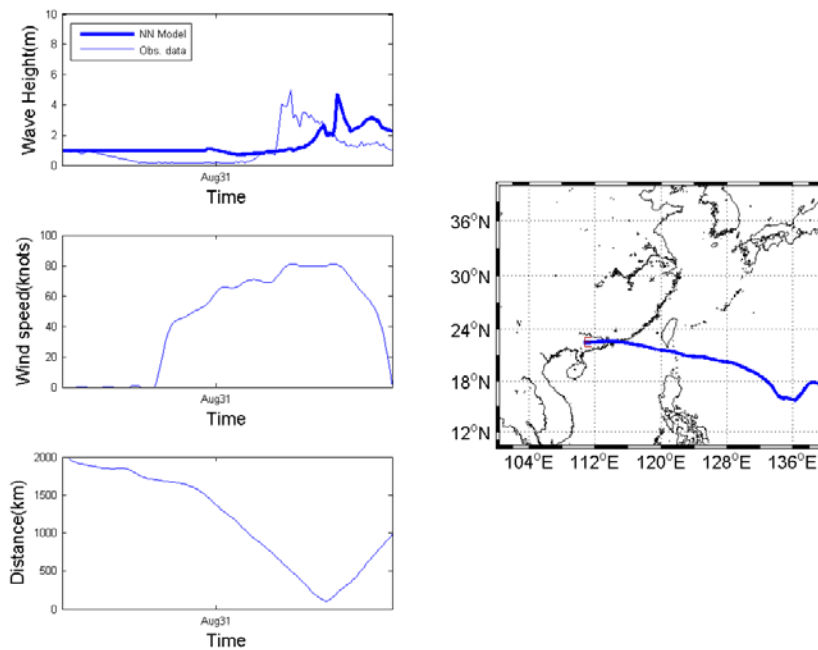


圖 13 颱風杜鵑(2003)推算結果及颱風資訊

圖 14 為颱風艾利(2004)的推算結果與颱風資訊圖，圖中可發現實測波高發生最大值的時間與模式推算的大最大發生時間有很大的差距，但由 JMA 所提供的颱風資料顯示實測資料發生最大波浪的時間點颱風風速已經降低至接近消失的狀態，故此誤差必須確認是颱風資訊中風速的錯誤或是波浪實測資料中有非颱風造成的短時間異常波高變化。圖 15 為颱風康柏斯(2004)推算結果及颱風資訊，其推算結果顯示



應有 4m 以上的波高，但實際測量情況顯示並未有明顯的波浪變化，以此現象來看颱風風力較弱而行經此類路徑的颱風可能會容易出現模式推估錯誤的狀況，可能需要更多的資料來進行學習與改善。

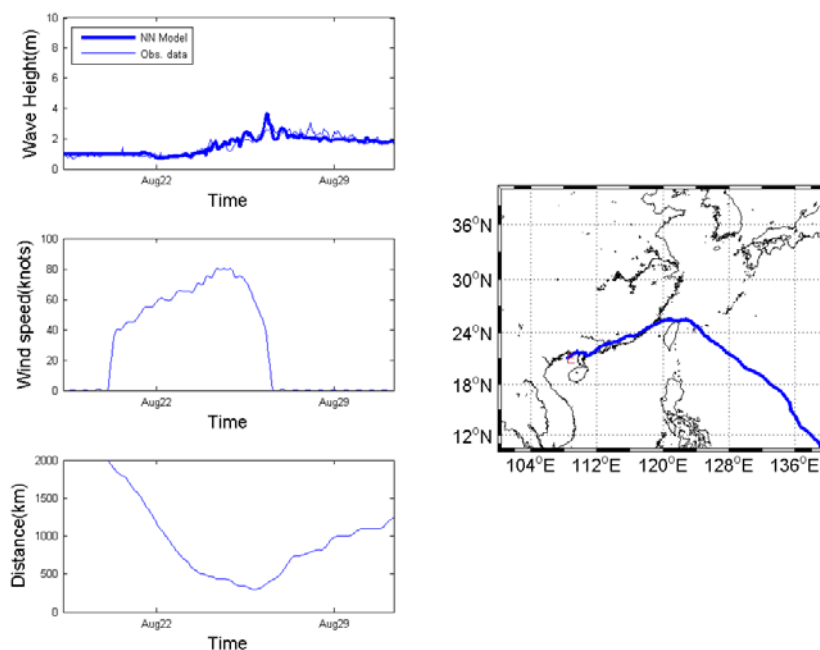


圖 14 颱風艾利(2004)推算結果及颱風資訊

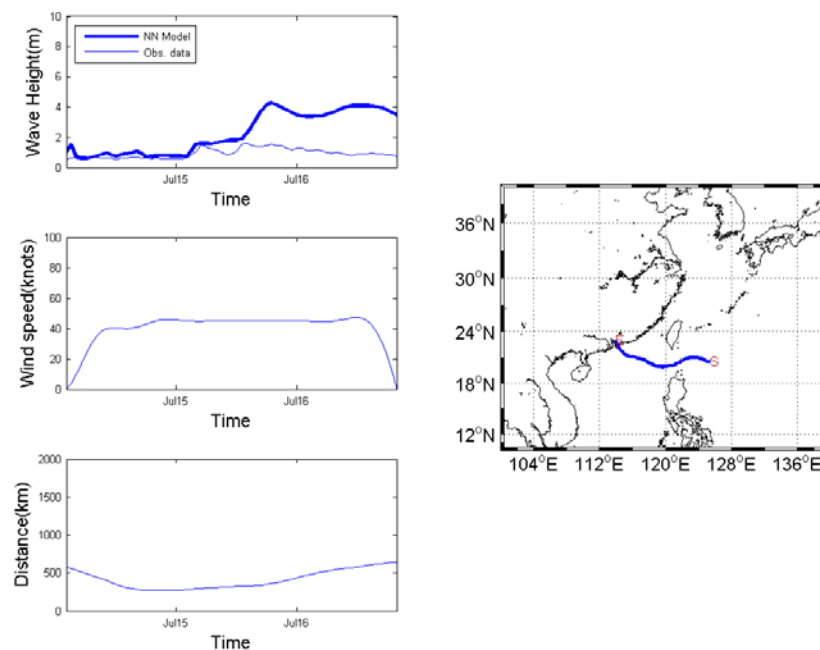


圖 15 颱風康柏斯(2004)推算結果及颱風資訊

此外本研究並於今年9月19日對侵台颱風凡那比(FANAPI)進行颱風波浪的即時推算，凡那比颱風9月15日20時於琉球南方海面生成，向東北緩慢移動，16日20時增強為中度颱風，並緩慢向北轉北北西移動，17日20時轉為偏西至西北西移動，其暴風圈於19日0時左右接觸台灣東北部陸地，並因與地形交互作用，轉為向西南西至西南方向移動，其暴風圈逐漸籠罩全台。8時40分在花蓮縣豐濱鄉附近登陸，強度略為減弱，11時轉為向西移動，暴風圈逐漸進入澎湖地區，18時左右颱風中心由台南進入台灣海峽，轉為偏西北西方向移動，暴風圈逐漸進入金門地區。20日6時左右暴風圈脫離本島，7時颱風中心由福建進入大陸，並轉為向西南西移動，11時減弱為輕度颱風，暴風圈縮小。14時轉為向西北西移動，暴風圈脫離金門近海，海上陸上颱風警報同時解除，21日2時減弱為熱帶性低氣壓。圖16及圖17分別為花蓮港與高雄港的颱風波浪推算結果。

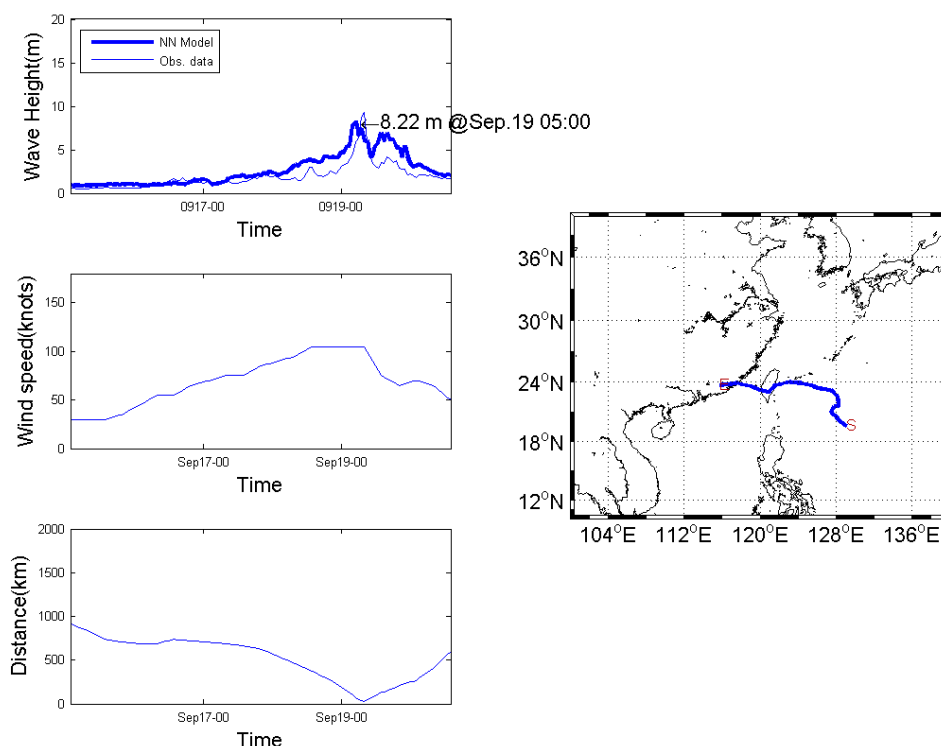


圖 16 凡那比颱風(2010)於花蓮港的颱風波浪推算結果

圖 16 為花蓮港的颱風波浪推算結果，圖中左邊由上而下分別為波高比較圖、逐時風速變化、逐時距離變化，圖右則為颱風路徑圖。在波高比較圖中可發現模式推算最大波高發生於 9 月 19 日 5 時，波高為 8.22m，而實測資料顯示該時段最大波高發生於 9 月 19 日 7 時，波高為 8.99m，顯示模式預測最大波高發生時間有兩小時誤差，波高則相近。

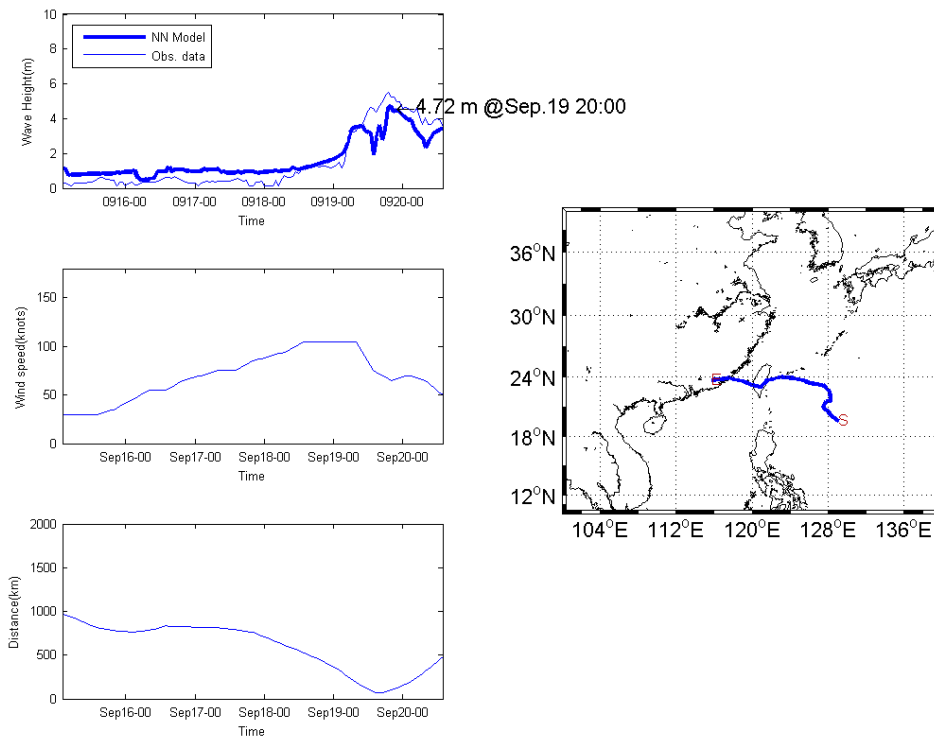


圖 17 凡那比颱風(2010)於高雄港的颱風波浪推算結果

圖 17 為高雄港的颱風波浪推算結果，圖中左邊由上而下分別為波高比較圖、逐時風速變化、逐時距離變化，圖右則為颱風路徑圖。在波高比較圖中可發現模式推算最大波高發生於 9 月 19 日 20 時，波高為 4.72m，而實測資料顯示該時段最大波高發生於 9 月 19 日 21 時，波高為 5.80m，顯示模式預測最大波高發生時間有一小時誤差，波高則有近 1m 的誤差。今年高雄港及花蓮港的凡那比颱風的波浪推算結果與實測資料的比較顯示於颱風通過目標點後皆相當吻合 2009 年颱風波浪資料驗證的部分由於對高雄港影響較大的颱風僅有莫拉克及莫拉菲，其中莫拉克缺乏實測波浪資料做驗證，故僅以莫拉菲颱風作驗證，其最

大波高差值為 1.08m，最大波高發生預估時間差值為 14 小時，平均 RMSE 為 0.56m，相關係數為 0.86。

## 第三章 月極值統計特性之極值統計季節性變化

### 3.1 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，極值分布函數的種類，極值分布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布函數與參數推定。

#### 3.1.1 極值分布函數

Fisher & Tippett (1928) 提出三種適合極值資料之機率分布函數，分別為極值 I 型(簡稱 FT-I)、極值 II 型(FT-II)和極值 III 型(FT-III)分布。另外 Weibull (1939) 研究材料破壞強度分布時所提出的 Weibull 分布和 Gauss 誤差分析試驗中所使用的對數常態分布，也是常用的極值分布函數。

根據波浪波高恆為正值的特性，上述的各種分布中，FT-I、FT-II、Weibull 及對數常態四種分布符合波高大於零的要求。又根據 Coastal Engineering Manual (2002) 的建議，在長期波浪的條件下，適合使用的極值累積機率分布函數為 FT-I 和 Weibull 分布。因此本文中以 FT-I 和 Weibull 極值分布為討論的主題，此二種極值分布函數如式(25)至式(30)所示

#### 1.極值 I 型分布 (FT-I)

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)} \cdot e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)} \quad (25)$$

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (26)$$

#### 2.Weibull 分布

## 二參數型式

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{A} \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (27)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k} \quad (28)$$

## 三參數型式

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases} \quad (29)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (30)$$

式中， $x$  為樣本變數； $f(x)$  為機率密度函數； $F(x)$  為累積機率函數； $A$  為尺度參數，與樣本平均值有關； $B$  為位置參數，與樣本變異性有關； $k$  為形狀參數，與波峰偏態有關。合田(1990)建議，常用的四種  $k$  值為 0.75、1.0、1.4 和 2.0，因此推定三參數 Weibull 分布的參數時，常先假設形狀參數  $k$  的值，再推定其餘的尺度參數和位置參數。

### 3.1.2 極值分布參數之推定法

資料選取與極值分布函數決定後，對於極值分布中參數的推定有不同的方法。本文主要討論的有使用最簡單的力矩法 (method of moment, 簡稱為 MOM)、樣本資料多時最具可靠度的最大概似法 (maximum likelihood estimates, 簡稱為 MLE) 和最常被使用的最小二乘法 (least square method, 簡稱為 LSM) 等三種極值分布參數推定法。

#### 1. 力矩法 (MOM)

力矩法主要是利用極值分布函數和樣本資料之統計特性間的關係，求解極值分布函數中的參數。已知函數對原點的一階動差值為平均值，函數對平均值的二階動差值為變異數，而標準偏差為變異數的

開方，因此可推求得樣本資料之平均值、標準偏差和不同極值分布函數中的參數間之關係如表 8 所示，其中  $\Gamma()$  為 Gamma 函數； $\gamma=0.5772\dots$  為 Euler 數。

表 8 各極值分布相關統計量特性

極值函數	平均值	標準偏差
FT-I	$B + A\gamma$	$\pi A/\sqrt{6}$
Weibull (二參數)	$A\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$	$A\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]^{1/2}$
Weibull (三參數)	$B + A\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$	$A\left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right]^{1/2}$

利用所有極值數據求出樣本平均值和標準偏差，再依上表中極值分布相關統計量特性之關係，可求出各種分布參數。利用力矩法推估參數的過程，示如圖 18。

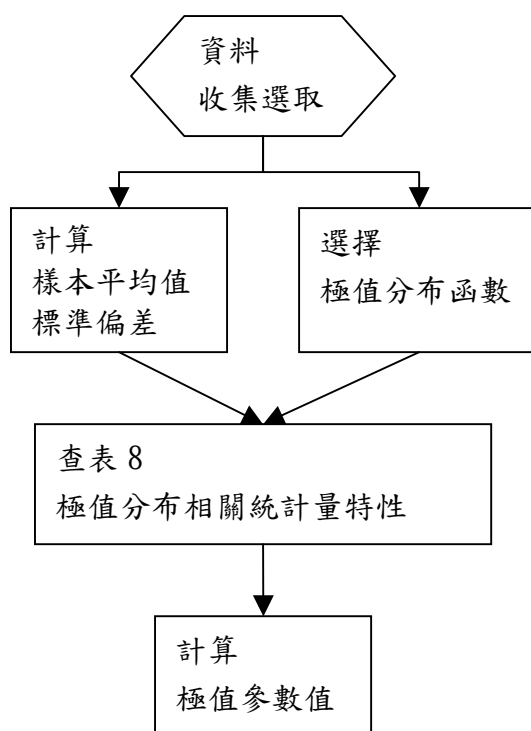


圖 18 力矩法參數推估流程圖

## 2.最大概似法 (MLE)

最大概似法的概念是先假設樣本的機率密度函數，再選擇該機率密度函數或對數機率密度函數為概似函數(likelihood function)。若機率密度函數中的參數值和資料的分布越符合時，則概似函數值會越大，因此可將概似函數分別對參數偏微分等於零，求出概似函數值最大時的參數值，而含此參數值的機率密度函數和樣本資料最為符合。

本文直接利用 Matlab 軟體內建的 mle 函數，求出樣本資料分別假設為 FT-I 和 Weibull 分布時的最大概似參數值。利用最大概似法推估參數的過程，詳見圖 19。

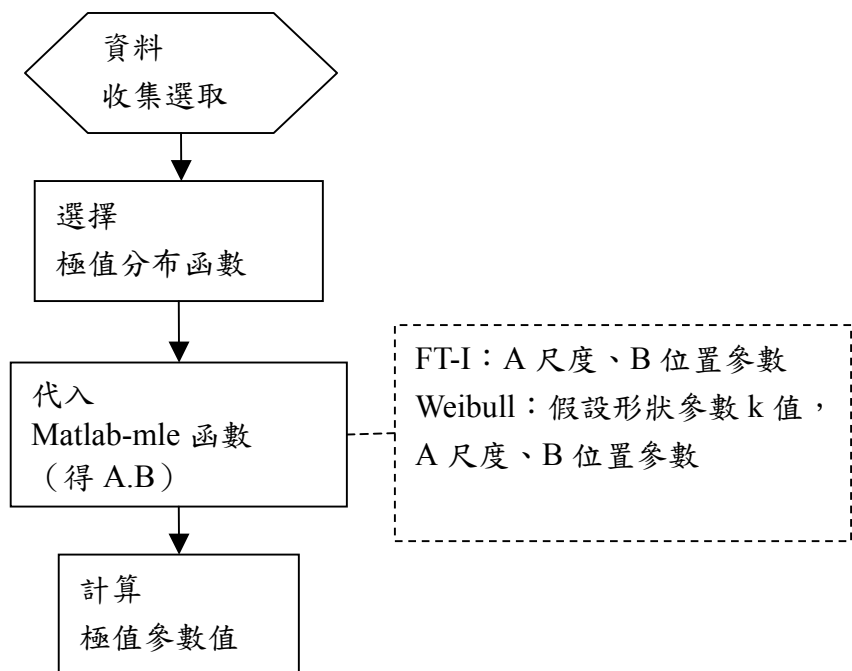


圖 19 最大概似法參數推估流程圖

## 3.最小二乘法 (LSM)

若將極值分布函數(25)、(26)、(29)及(30)式中所含之變量定義為基準化變量  $y$ ，如(31)式所示



$$y \equiv \frac{x - B}{A} \quad (31)$$

式中之  $x$  若以第  $m$  個順位的離散資料  $x_m$  代入時，可得相對應之  $y$  值為  $y_m$ 。由(31)式可知  $y_m$  和  $x_m$  的關係如式(32)之線性關係，分布函數的位置參數  $B$  為其截距，而斜率則為分布函數的尺度參數  $A$

$$x_m = Ay_m + B \quad (32)$$

因此當  $y_m$  和  $x_m$   $m=1,2,\dots$  值已知時，可利用最小二乘法求解式(32)的  $A$ 、 $B$  參數值。

由(26)和(30)式可得  $y_m$  和第  $m$  個順位的累積機率  $F_m$  的關係如式(33)和式(34)

$$y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (\text{FT-I 分布}) \quad (33)$$

$$y_m = [-\ln(1 - F_m)]^{1/k} \quad (\text{Weibull 分布}) \quad (34)$$

式(33)和式(34)中的  $F_m$  需由樣本資料推求。

一般極值參數的推定法，應該具有不偏性 (unbiasedness) 及有效性 (efficiency) 兩個條件。因此在 LSM 法中應該如何決定排序資料的機率而不導致偏態結果，亦即應該如何給予適當的劃位 (plotting position)，是極為重要的步驟。合田 (1990) 提出不同極值分布之劃位，當選取  $N$  個資料後，首先將  $N$  個資料由大到小按順序排列，再計算第  $m$  個順位的累積機率  $F_m$ ，其計算公式如下：

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, \dots, N \quad (35)$$

式中的  $\alpha$  及  $\beta$  值，Goda (2000) 建議如表 9

表 9 計算樣本順位機率之  $\alpha$  及  $\beta$  值

分布函數	$\alpha$ 值	$\beta$ 值
FT-I 分布	0.44	0.12
Weibull 分布	$0.20 + 0.27/\sqrt{k}$	$0.20 + 0.23/\sqrt{k}$

表 9 中的  $k$  為形狀參數，本文依合田(1990)建議，分別假設  $k$  值為 0.75、1.0、1.4 及 2.0 代入計算。利用最小二乘法推估參數的過程，詳見圖 20。

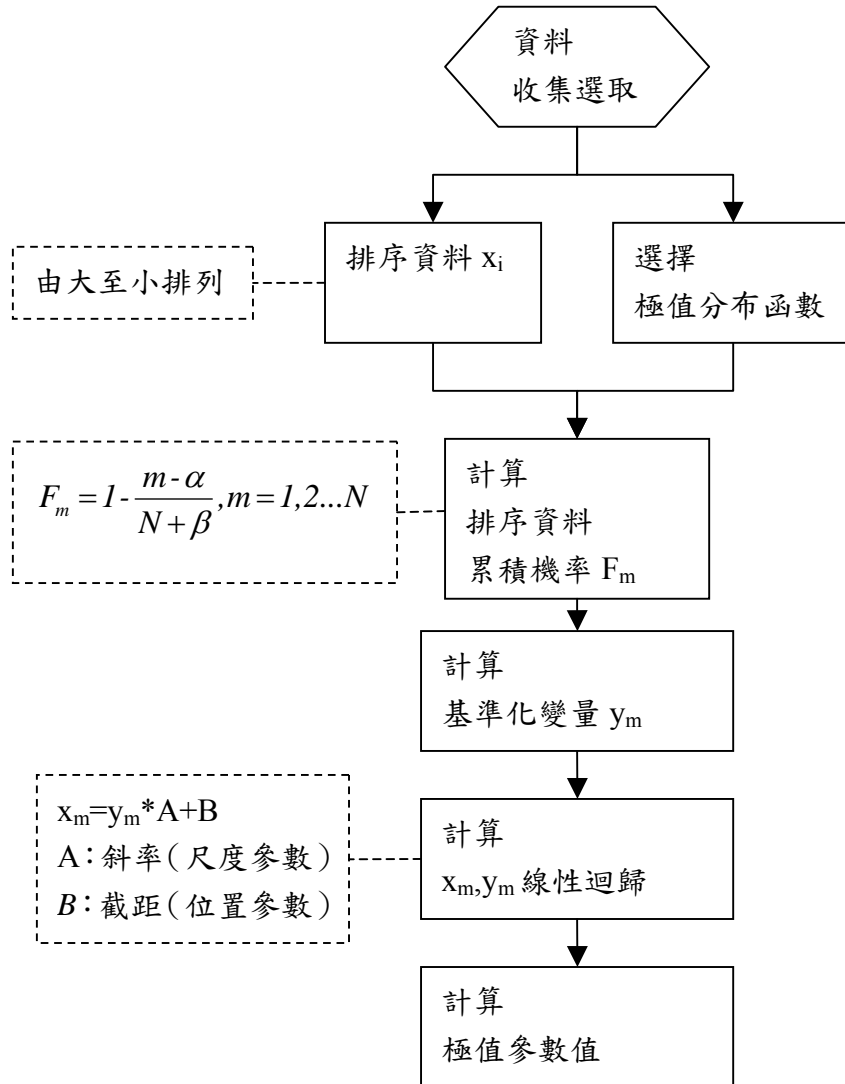


圖 20 最小二乘法參數推估流程圖

### 3.1.3 信賴檢定評估

模式是否具有可靠性，需要一個準則來衡量模式推估值與實際觀測值的殘差，檢定所選定的極值分布函數與推定的參數是否符合樣本

的統計特性。理論上，誤差  $\varepsilon_i$  越小表示模式越精確，但  $\varepsilon_i$  為隨機變數，故只能計算殘差值  $e_i$

$$e_i = t_i - \hat{t}_i \quad (36)$$

式(36)中， $t_i$  為實際觀測值， $\hat{t}_i$  為模式推估值。

當殘差小表示模式好，而  $n$  筆資料有  $n$  個殘差值，將之整合成一個量。因  $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$ ，當  $\sigma^2$  小時，則  $\varepsilon_i$  都接近零，故此整合的量即為  $\sigma^2$  的估計值。誤差項的變異數的估計量  $\hat{\sigma}^2$ ，是殘差平方和的平均，稱為殘差均方和 (Mean Square due to Error, MSE)。

$$\hat{\sigma}^2 = MSE = \frac{\sum e_i^2}{n} = \frac{\sum (t_i - \hat{t}_i)^2}{n} \quad (37)$$

比較不同的迴歸結果之優劣時，因迴歸函數中的參數數量不同，必須考慮自由度的影響，故評估所建立的推估公式之良窳時，常以誤差均方根(Root of Mean Square Error, RMSE)以及相關係數(Correlation Coefficient)作為依據，誤差均方根係指迴歸公式輸出變數的平均誤差均方根，其計算公式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum e_i^2}{n-m-1}} \quad (38)$$

式(38)中， $n$  為觀測資料數， $m$  為迴歸參數個數。

設有  $n$  對  $x, y$  的資料， $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ ， $\bar{x}$ 、 $\bar{y}$  分別是變數  $x$ 、 $y$  的平均值。其相關係數  $R$  為

$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (39)$$

式(39)中， $x_i$  與  $y_i$  分別為母體中隨機抽取第  $i$  組樣本值。

由上述公式代入所得的  $R$ ，其相關的程度不是與  $r$  成正比，相關係數只是表示二變項之間關係密切與否的指標。

## 3.2 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。

### 3.2.1 資料選取及補遺

本文分析的波浪觀測資料為交通部運輸研究所港灣技術研究中心提供之花蓮港海象觀測站資料。記錄時間包含 1990 年 12 月起至 1993 年 8 月、1993 年 4 月至 2000 年 8 月(波高、週期及波向)及 2000 年 9 月至今(波高、周期、波向及剖面海流)。高雄港部分則包含 2000 年 12 月中旬起至今(波高、週期及波向)，每隔一個小時記錄一筆波高與週期資料。

本文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。

觀察 1990 年至 2008 年的花蓮港波高資料，其中有許多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。

### 3.2.2 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 21 所示

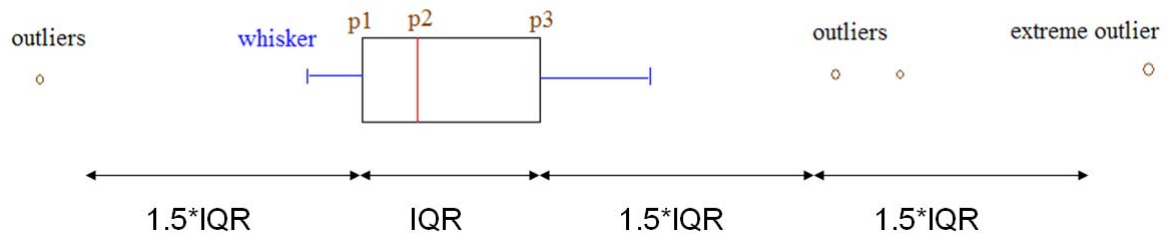


圖 21 箱型圖架構示意圖

圖 21 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。

$$I_i = N*i/4, \quad i=1,2,3,4 \quad (40)$$

式(40)中，N 為總資料個數。I<sub>i</sub> 為排序資料中第 i 個四分位數的位置，p<sub>i</sub> 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 (p1) 與第三四分位數 (p3) 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 (p2) 時，取 i=2，為排序第 50% 處的資料值，描述資料的中位數。

由式(40)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 劃分成觸鬚 (whisker)、雜訊 (outlier) 與極端雜訊 (extreme outlier) 三種類型。觸鬚為第一和第三四分位數向箱型外延伸，在 1.5 倍 IQR 範圍內的資料以直線表示。雜訊位置為觸鬚外圍，介於 1.5 倍與 3 倍 IQR 資料間，以小圓圈表示。而大於 3 倍 IQR 樣本資料以大圓圈表示，稱為極端雜訊。以月最大法選取的花蓮港與高雄港每月最大波高資料如表 10 及表 11 所示。將表

10 與表 11 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 22 流程圖。

表 10 花蓮港每月最大波高資料表（單位:公尺）

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
1990	3.62	3.21	2.43	2.83	2.50	10.19	1.91	4.67	7.60	3.83	4.81	3.26
1991	3.19	3.36	2.72	4.01	5.71	2.65	9.90	2.49	6.39	8.94	3.78	3.90
1992	3.09	4.03	2.49	3.44	1.67	5.28	2.60	4.30	6.95	3.82	4.55	3.18
1993	3.38	2.91	2.71	2.67	1.37	5.63	1.14	4.18	3.27	5.11	3.36	3.20
1994	2.69	2.74	2.93	2.08	1.70	1.64	10.48	7.62	7.08	8.32	2.73	3.18
1995	2.60	2.46	2.67	3.07	1.93	1.44	2.64	6.85	3.66	2.82	2.37	2.72
1996	2.88	3.09	2.31	2.69	3.26	1.24	4.64	7.46	4.68	3.01	2.25	2.50
1997	2.78	1.66	2.30	3.12	2.00	3.10	3.56	8.85	2.22	3.21	5.71	2.43
1998	2.63	2.26	2.40	2.75	2.10	2.51	1.92	6.70	3.38	7.45	3.20	3.45
1999	2.70	3.32	2.71	2.67	2.55	3.08	2.75	3.34	2.22	2.14	3.08	3.55
2000	2.96	2.58	2.61	2.47	0.95	2.95	5.75	8.96	3.01	2.55	6.07	2.70
2001	2.94	3.00	2.46	1.90	3.30	1.72	5.79	3.14	3.18	4.48	1.53	3.07
2002	3.30	3.15	3.27	2.58	2.43	1.63	8.18	3.33	4.53	2.82	2.90	3.54
2003	3.58	3.07	3.53	3.76	2.79	3.71	3.71	2.91	1.51	3.21	3.49	3.10
2004	3.16	3.21	2.77	2.41	2.43	3.69	5.50	3.68	2.88	5.72	2.55	4.38
2005	2.81	2.70	3.52	2.47	2.10	2.62	7.50	3.86	7.53	10.85	3.38	3.37
2006	3.32	3.23	3.62	2.31	2.89	1.35	5.25	5.25	4.24	2.89	3.53	3.19
2007	3.36	2.74	2.69	2.85	1.38	2.12	3.69	9.26	3.74	6.49	4.43	2.45
2008	2.73	3.14	2.17	2.09	2.73	1.92	7.32	2.97	6.00	2.05	3.56	1.19

表 11 高雄港每月最大波高資料表 (單位:公尺)

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
2001	1.30	1.18	1.36	0.91	2.23	7.95	3.32	2.50	3.77	1.09	0.72	1.10
2002	1.37	1.39	1.43	0.96	1.96	1.19	3.74	5.38	2.20	1.21	1.07	1.19
2003	1.45	1.59	1.50	1.01	1.69	2.62	4.16	3.57	4.96	1.00	1.42	2.63
2004	1.52	1.68	1.12	1.74	3.42	2.13	4.94	3.09	3.59	1.88	1.35	4.06
2005	1.59	1.77	1.55	1.64	5.05	3.82	6.46	4.75	4.94	2.64	1.12	1.34
2006	1.27	1.48	1.39	1.53	6.67	4.24	5.75	4.17	1.91	1.26	1.24	1.20
2007	1.27	1.44	1.42	1.32	1.00	1.95	2.16	2.91	1.98	4.18	1.83	1.24
2008	1.27	1.39	1.39	1.19	1.40	4.53	5.27	6.12	3.53	1.24	1.38	1.14
2009	1.28	1.19	1.56	1.14	1.15	6.41	3.55	0.93	4.17	3.08	1.42	1.09

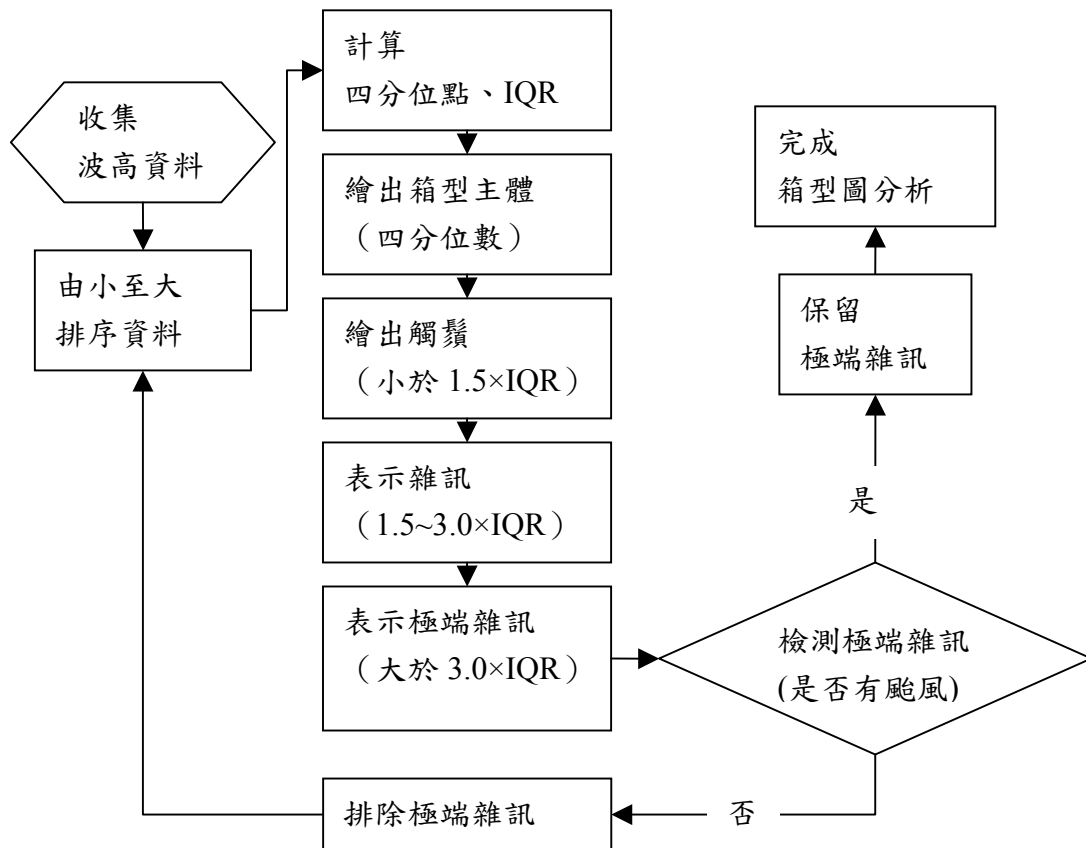




圖 22 箱型圖分析流程圖

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 23 所示為花蓮港 1990 至 2008 年每個月極值波高的箱型圖。圖中長形粗實線為箱型圖主體，靶心圓點為中位數值，細實線為觸鬚部份，空心圓為雜訊波高，實心圓為極端雜訊波高。由表 12 中，六月波高的雜訊上界限值為 9.84 公尺，並參照表 13 和圖 23 可知，1990 年 6 月發生的 10.19 公尺極值波高，屬於極端雜訊波高；其餘 2、3、4、5 及 12 月的極值波高均屬於雜訊波高。

表 12 花蓮港 1990-2008 年每月波高之箱型圖分析表（單位：公尺）

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	3.32	3.21	2.93	3.07	2.79	3.69	7.32	7.46	6.39	6.49	4.43	3.45
中位數	2.96	3.07	2.69	2.67	2.43	2.62	4.64	4.3	3.74	3.82	3.38	3.18
第三四分位數	2.73	2.7	2.43	2.41	1.7	1.64	2.64	3.33	3.01	2.82	2.73	2.7
IQR	0.59	0.51	0.5	0.66	1.09	2.05	4.68	4.13	3.38	3.67	1.7	0.75
1.5*IQR	0.885	0.765	0.75	0.99	1.635	3.075	7.02	6.195	5.07	5.505	2.55	1.125
3*IQR	1.77	1.53	1.5	1.98	3.27	6.15	14.04	12.39	10.14	11.01	5.1	2.25
觸鬚上界限	4.205	3.975	3.68	4.06	4.425	6.765	14.34	13.66	11.46	12	6.98	4.575
雜訊上界限	5.09	4.74	4.43	5.05	6.06	9.84	21.36	19.85	16.53	17.5	9.53	5.7

表 13 高雄港 2001-2009 年每月波高之箱型圖分析表（單位：公尺）

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	1.27	1.19	1.36	1.01	1.15	2.13	3.55	2.50	2.20	1.21	1.12	1.14
中位數	1.28	1.39	1.39	1.19	1.69	3.82	4.16	3.09	3.59	1.26	1.35	1.20
第三四分位數	1.30	1.59	1.50	1.53	3.42	4.53	5.27	4.17	4.17	2.64	1.42	1.34
IQR	0.03	0.40	0.14	0.52	2.27	2.40	1.72	1.67	1.97	1.43	0.30	0.20
1.5*IQR	0.05	0.60	0.21	0.78	3.41	3.60	2.58	2.51	2.96	2.15	0.45	0.30
3*IQR	0.09	1.20	0.42	1.56	6.81	7.20	5.16	5.01	5.91	4.29	0.90	0.60
觸鬚上界限	1.35	2.19	1.71	2.31	6.83	8.13	7.85	6.68	7.13	4.79	1.87	1.64
雜訊上界限	1.39	2.79	1.92	3.09	10.23	11.73	10.43	9.18	10.08	6.93	2.32	1.94

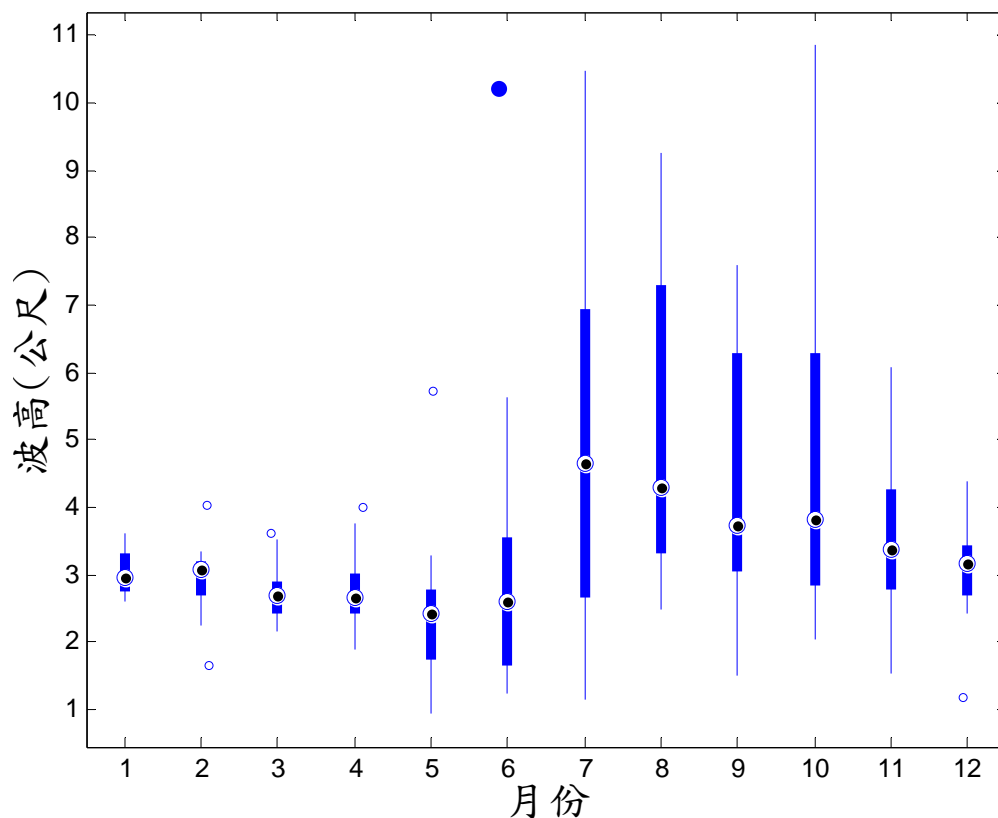


圖 23 花蓮港 1990-2008 年極值波高箱型圖

依中央氣象局提供的歷年颱風資訊，1990 年 6 月 21 日至 24 日間曾發生中度颱風-歐菲莉，颱風路徑為第六類，屬於沿東岸或東部海面北上直接影響花蓮港的路徑；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。

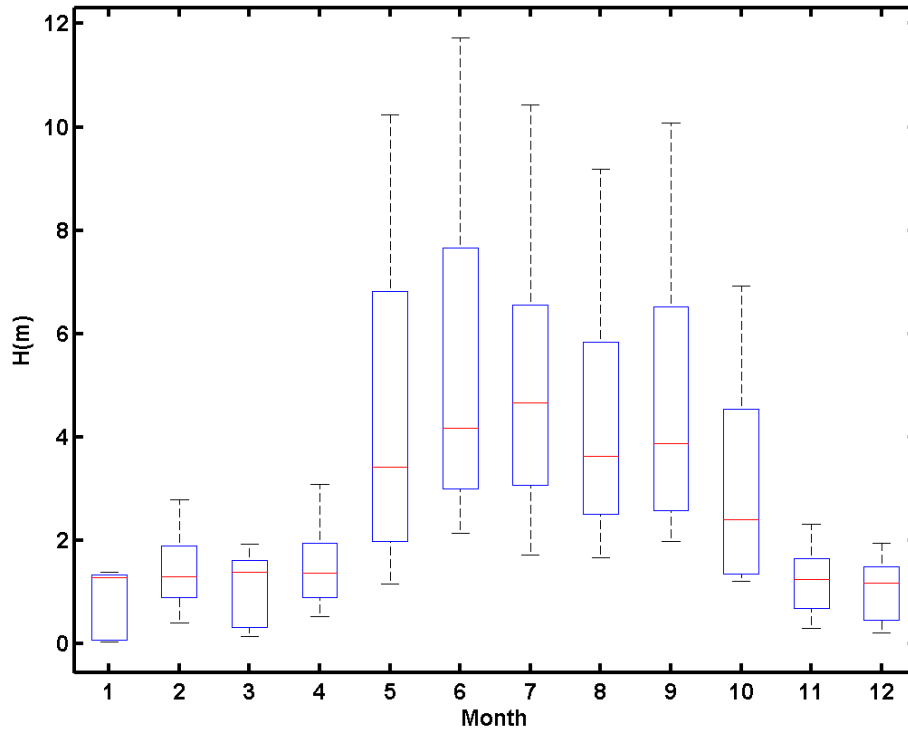


圖 24 高雄港 2001-2009 年極值波高箱型圖

### 3.2.3 重現期的極值波高估算

利用 3.1-3 節所述之參數推定法推得不同分布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(41)中可計算  $T$  年重現期的可靠度累積機率  $F_T$

$$F_T = 1 - 1/T \quad (41)$$

將  $F_T$  取代式(33)及式(34)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(32)，可得  $T$  年重現期的極值波高  $x_T$ 。圖 25 所示為估算  $T$  年重現期之極值波高流程圖。

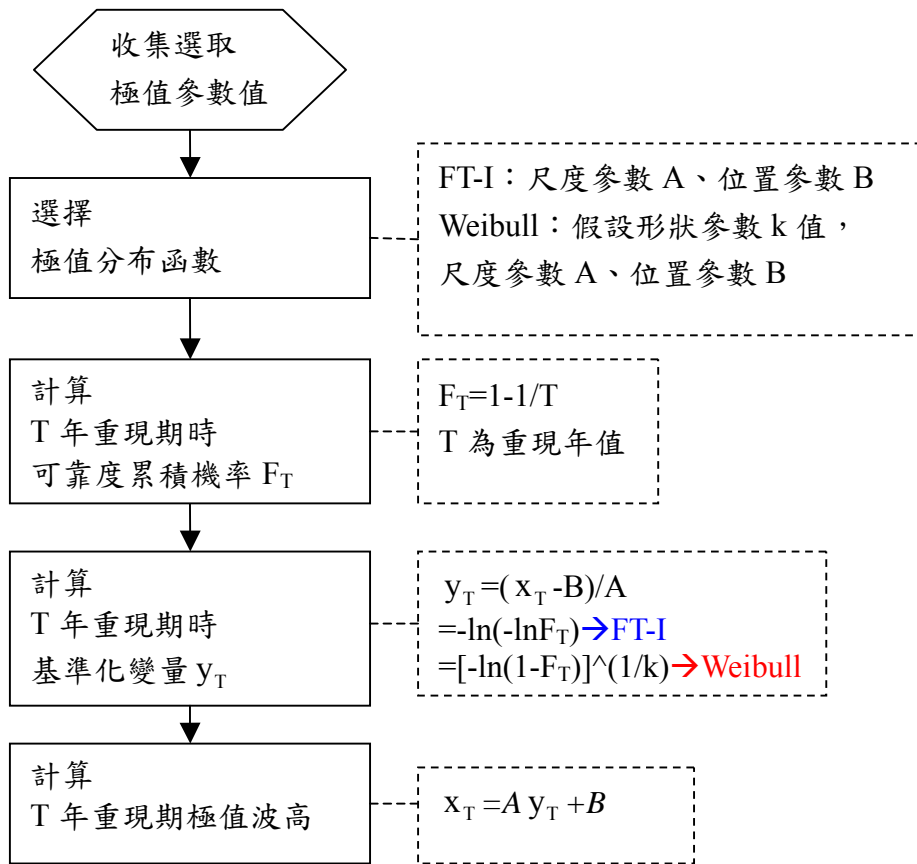


圖 25 T 年重現期極值波高之估算流程示意圖

### 3.3 分析結果

本研究以兩種極值分布函數與三種參數推估法，分析波高與機率密度圖，以殘差均方根檢定，決定最佳的極值統計方法。之後考慮參數季節性變化，提出參數迴歸公式，將代入迴歸公式修正後的參數，應用於極值波高的估算。最後，討論常見的年最大法及考慮季節性的月最大法，並比較重現期 19、50 年及參數迴歸修正前後的極值波高變化。

#### 3.3.1 最佳極值統計方法之決定

極值統計的方法中包括許多的極值分布函數及各種參數推估方法，但目前為止仍未能找到一套適合所有的狀況，其適用程度視資料本身的特性而定(Muir and El-Shaarawi, 1986)。選擇不同的極值分布函數及不同的參數推定方法，所推算出來的極值波高也不相同。

波高極值統計方法須先建立波高與累積機率、機率密度關係圖。由累積機率關係圖可推估各重現期下單一最大極值波高，機率密度圖可得知觀測資料與各重現期下整體的極值波高分布情況。而所謂的「重現期」，是指根據統計平均每隔若干年便會出現一次某程度事件，亦顯示發生某程度事故發生的機率。越長的重現期所對應的即為較罕見的事件。

在極值統計時，先判定在不同的資料選取方法下，決定某極值分布函數與參數推估法有最佳的情況，是討論最佳極值參數特性的首要目標。因極值分布函數 Weibull 分布比 FT-I 型多了形狀參數，故分成兩部份，第一部份比較波高的累積機率圖，由單一最大波高決定何種極值分布與極值方法有較佳的配適結果；第二部份討論整體波高機率密度圖。

檢定樣本的統計特性是否適合於所選極值方式，本文使用殘差均方根。當其值越小，表示函數與參數越能代表母體情況。其中，在年最大法有 1 種情況、月最大法十二個月份下有 12 種情況，考慮每種情況下最小的兩個殘差均方根，藉以判定何種極值分布函數與參數推估法，決定最佳方法為何。

第一部份：三種參數推估方法與兩種極值分布下最佳情況之決定

由本所港研中心在花蓮港海域測量自 1990 至 2008 年共有 19 年之每月最大值波高為統計樣本，以 3 種參數推估法於 2 種選擇極值分布函數，推估出此樣本之波高與累積機率關係圖。本文在此僅列出年最大法，推算 FT-I 型累積機率分布為例。

圖 26 為極值分布函數為 FT-I 型下不同參數推估法之累積機率圖，可得知年最大法中觀測資料的最大波高值，與 LSM 和 MOM 所推估之波高最接近，差異最大為 MLE。與表 14 花蓮港 19 年重現期之極值推估波高中 FT-I 型的推估 19 年重現期極值波高，MOM 法為 11.47 公尺、LSM 法為 11.52 公尺、MLE 法為 13.82 公尺與觀測值 10.85 公尺的結果，MOM 和 LSM 所推估之波高最接近觀測值，有相同的結果。在圖中大於 7.5 公尺的波高，其 FT-I 型下參數推估法以 MOM 和 LSM 最接近分布趨勢。而 MLE 因理論須符合大部分波高值出現的機率，可觀察到小於 7.5 公尺的波高較接近 MLE 趨勢。

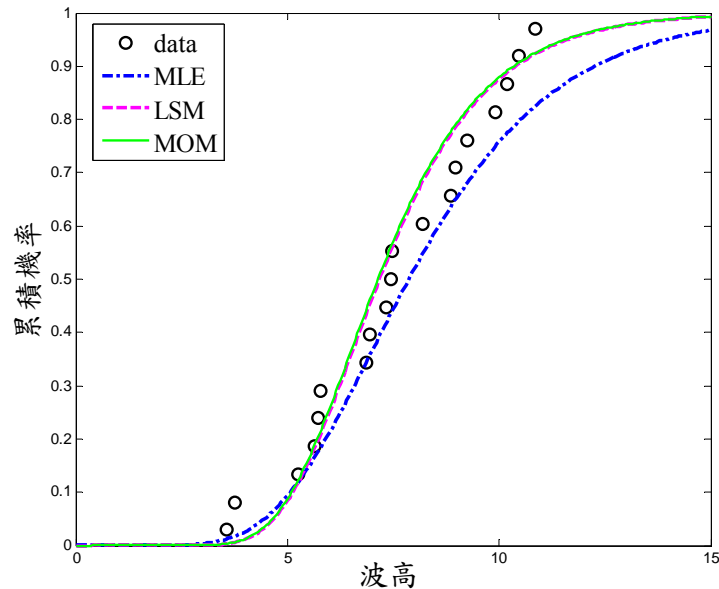


圖 26 年最大法 FT-I 型下不同參數推估法之波高與累積機率圖

表 14 花蓮港 19 年重現期之極值推估波高

極值分布函數		FT-I			Weibull												觀測值
		MOM	LSM	MLE	MOM				LSM				MLE				
					k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	
年最大法		11.47	11.52	13.82	11.49	11.62	11.52	11.30	11.23	11.53	11.57	11.43	12.00	10.31	10.42	11.55	10.85
月最大法	一月	3.63	3.65	3.70	3.63	3.65	3.64	3.60	3.64	3.67	3.66	3.63	3.67	5.30	3.57	3.58	3.62
	二月	3.85	3.83	4.29	3.85	3.88	3.86	3.81	3.78	3.82	3.83	3.80	3.91	4.71	3.81	3.72	4.03
	三月	3.55	3.57	3.41	3.55	3.58	3.56	3.51	3.59	3.62	3.59	3.53	3.60	4.47	3.37	3.46	3.62
	四月	3.75	3.80	3.79	3.75	3.79	3.76	3.71	3.83	3.86	3.83	3.76	3.82	4.30	3.52	3.69	4.01
	五月	4.28	4.31	4.06	4.28	4.35	4.30	4.19	4.45	4.45	4.34	4.19	4.46	2.83	4.05	4.10	5.71
	六月	6.94	6.92	4.44	6.96	7.09	6.99	6.77	7.46	7.37	7.04	6.64	5.95	3.15	6.14	6.32	10.19
	七月	10.20	10.41	10.19	9.94	10.11	9.98	9.70	10.21	10.43	10.30	9.97	7.87	5.55	9.67	9.50	10.48
	八月	9.44	9.53	7.94	9.46	9.60	9.49	9.25	9.53	9.75	9.66	9.39	11.02	5.88	9.36	8.98	9.26
	九月	8.13	8.17	8.56	7.96	8.08	7.99	7.79	7.95	8.16	8.12	7.93	8.18	4.95	6.83	7.71	7.60
	十月	9.40	9.58	6.92	9.41	9.57	9.45	9.19	9.90	9.99	9.75	9.34	6.18	4.86	8.93	8.78	10.85
	十一月	5.65	5.76	5.91	5.66	5.73	5.68	5.56	5.79	5.86	5.80	5.66	5.92	4.63	4.76	5.61	6.07
	十二月	4.30	4.26	4.94	4.30	4.34	4.31	4.24	4.18	4.24	4.25	4.21	4.46	4.71	4.01	4.06	4.38

由波高累積機率關係圖，討論 19 年重現期累積機率  $F_m = 1 - 1/19$  下的最大波高，見表 14 花蓮港 19 年重現期之極值推估波高。估算波高最大值與 19 年觀測最大值的殘差均方根，見表 15 重現期 19 年最大值波高之殘差均方根比較表。

分析殘差均方根以總評估值與 RMSE 總和兩種為討論方式。在每種情況下出現最小殘差均方根值評分為 1，第二最小值評分為  $1 \times (\text{Min1}/\text{Min2})$ ，其餘皆評分為 0，只考慮每種情況下最接近觀測資料的兩種方法。總計每個極值分布與參數推估法所有情況下的評分後，得到總評估值；另一種方式為直接將各種情況下的殘差均方根相加，考慮每種情況下所有方法的影響，得 RMSE 總和。總評估值越大，RMSE 總和越小，代表其極值分布與參數推估法越佳。

由表 15 重現期 19 年最大值波高之殘差均方根比較表重現期 19 年最大值波高之殘差均方根的討論中，總評估值最大，顯示波高最大值在極值分布函數為 Weibull 分布，參數推估法為 LSM，為花蓮港最佳極值統計方法。但月最大法的十一月極值波高，並非在 Weibull 分布 LSM 法有最小的殘差均方根，而是在 Weibull 分布與 FT-I 型的 MLE 法，有更小的殘差均方根。由此可知，最佳的極值統計方法，並非適合所有月份情況，而是在大部分的極值波高有較接近的極值特性分布。

Weibull 分布 LSM 法  $k=1.0$  有最小總評估值，Weibull 分布 LSM 法  $k=0.75$  有第二小總評估值；Weibull 分布 LSM 法  $k=0.75$  有最小 RMSE 總和，Weibull 分布 LSM 法  $k=1.0$  有第二小 RMSE 總和。由上述兩評估方法，得知 LSM 法 Weibull 分布相較其他參數推法與極值分布有較佳的配適情況。故在第二部份，看整體的機率密度分布情況，判定何種形狀參數有較佳的配適結果。



表 15 重現期 19 年最大值波高之殘差均方根比較表

極值函數		FT-I			Weibull												Min1 /Min2
		MOM	LSM	MLE	MOM				LSM				MLE				
極值推估法					k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	
年最大法		0.624	0.674	2.965	0.637	0.772	0.671	0.447	0.384	0.677	0.723	0.585	1.15	0.545	0.434	0.703	0.8844
月最大法	一月	0.009	0.029	0.084	0.011	0.031	0.016	0.017	0.016	0.05	0.044	0.011	0.052	1.68	0.048	0.038	0.8263
	二月	0.181	0.2	0.257	0.178	0.147	0.17	0.222	0.254	0.208	0.204	0.232	0.118	0.68	0.221	0.306	0.7987
	三月	0.073	0.051	0.212	0.071	0.044	0.064	0.109	0.029	0.001	0.028	0.086	0.015	0.85	0.246	0.155	0.075
	四月	0.259	0.206	0.216	0.256	0.222	0.248	0.304	0.179	0.148	0.183	0.254	0.186	0.292	0.487	0.324	0.8281
	五月	1.434	1.404	1.652	1.428	1.364	1.412	1.517	1.255	1.258	1.367	1.521	1.246	2.884	1.664	1.613	0.9929
	六月	3.247	3.274	5.753	3.235	3.104	3.202	3.42	2.73	2.821	3.148	3.552	4.244	7.042	4.045	3.874	0.9678
	七月	0.285	0.066	0.286	0.541	0.373	0.499	0.779	0.272	0.054	0.179	0.509	2.612	4.934	0.809	0.979	0.8225
	八月	0.182	0.265	1.315	0.196	0.338	0.231	0.005	0.27	0.486	0.4	0.128	1.764	3.381	0.098	0.276	0.0517
	九月	0.534	0.57	0.957	0.363	0.483	0.394	0.194	0.351	0.559	0.522	0.326	0.576	2.648	0.765	0.11	0.5657
	十月	1.451	1.267	3.926	1.435	1.277	1.395	1.659	0.955	0.86	1.099	1.507	4.669	5.987	1.924	2.071	0.9004
	十一月	0.418	0.311	0.158	0.411	0.339	0.393	0.512	0.28	0.205	0.268	0.408	0.149	1.438	1.31	0.464	0.9445
	十二月	0.085	0.123	0.563	0.081	0.039	0.07	0.139	0.2	0.135	0.129	0.166	0.083	0.329	0.366	0.322	0.5581
總評估值		1	0.8225	0.9445	0.8263	1.7987	0.5581	1.5657	4.7214	4.9678	0	0	3.075	0	0.9361	1	
RMSE 總和		8.7822	8.4425	18.345	8.843	8.5333	8.7646	9.3247	7.1766	7.4633	8.2962	9.2853	16.866	32.69	12.419	11.235	

第二部份：整體波高機率密度圖之討論

由第一部份知 LSM 法 Weibull 分布優於其他參數推估法，比較花蓮港 19 年每月最大觀測波高與機率密度之殘差均方根，見表 16 LSM 法 Weibull 分布不同形狀參數下機率密度之殘差均方根。

表 16 LSM 法 Weibull 分布不同形狀參數下機率密度之殘差均方根

資料選取		參數值			RMSE	資料選取		參數值			RMSE
		k	A	B				k	A	B	
年最大法		0.75	1.23	6.04	0.291	年最大法		1.4	3.26	4.53	0.059
		1	2.07	5.43	0.388			2	4.75	3.29	0.032
月最大法	一月	0.75	0.20	2.80	2.195	月最大法	七月	0.75	1.73	2.91	0.174
		1.00	0.32	2.71	1.571			1.00	2.81	2.16	0.160
		1.40	0.50	2.58	0.348			1.40	4.26	1.08	0.034
		2.00	0.71	2.40	0.164			2.00	6.04	-0.39	0.013
	二月	0.75	0.28	2.61	2.552		八月	0.75	1.41	3.59	0.261
		1.00	0.45	2.49	3.295			1.00	2.31	2.96	0.162
		1.40	0.71	2.30	0.447			1.40	3.52	2.05	0.032
		2.00	1.03	2.02	0.286			2.00	4.98	0.84	0.023
	三月	0.75	0.28	2.43	1.921		九月	0.75	1.16	3.05	0.328
		1.00	0.44	2.31	0.857			1.00	1.92	2.51	0.255
		1.40	0.67	2.14	0.147			1.40	2.95	1.74	0.042
		2.00	0.94	1.92	0.102			2.00	4.22	0.69	0.030
	四月	0.75	0.36	2.32	0.799		十月	0.75	1.70	2.71	0.256
		1.00	0.57	2.17	0.827			1.00	2.70	2.03	0.083
		1.40	0.86	1.96	0.143			1.40	4.02	1.07	0.016
		2.00	1.22	1.67	0.092			2.00	5.57	-0.21	0.034
	五月	0.75	0.67	1.61	0.481		十一月	0.75	0.74	2.67	0.423
		1.00	1.05	1.37	0.393			1.00	1.19	2.35	0.441
		1.40	1.54	1.00	0.099			1.40	1.81	1.90	0.066
		2.00	2.14	0.51	0.062			2.00	2.56	1.28	0.029
	六月	0.75	1.44	1.37	0.316		十二月	0.75	0.36	2.64	2.419
		1.00	2.20	0.88	0.076			1.00	0.60	2.47	3.237
		1.40	3.17	0.20	0.038			1.40	0.94	2.21	0.427
		2.00	4.29	-0.72	0.049			2.00	1.38	1.85	0.201

考慮颱風造成波高偏差變化，將月最大法分成颱風期（6-11 月）與季節風期（12-5 月）。各情況下的 A、B、k 值，由表 16 LSM 法 Weibull 分布不同形狀參數下機率密度之殘差均方根可知當 k 值越大，A 也隨之增加，而 B 會隨之減小。由合田（1990）建議 Weibull 分布常用四種不同 k 值（ $k_1=0.75$ 、 $k_2=1.0$ 、 $k_3=1.4$ 、 $k_4=2.0$ ）下，k 值越小，表示極值波高的範圍越窄，相對於所繪出的機率密度圖會越尖銳，故圖以  $k_1$ 、 $k_2$  與  $k_3$ 、 $k_4$  分群表示。

在季節風期下，無颱風影響，極值波高的範圍小，所對應的機率密度值相對增大。而季節風期下的機率密度圖，以月最大法之一、三月為例，不同形狀參數的理論值，大致接近觀測值的機率密度線分布，見圖 27 至圖 30。

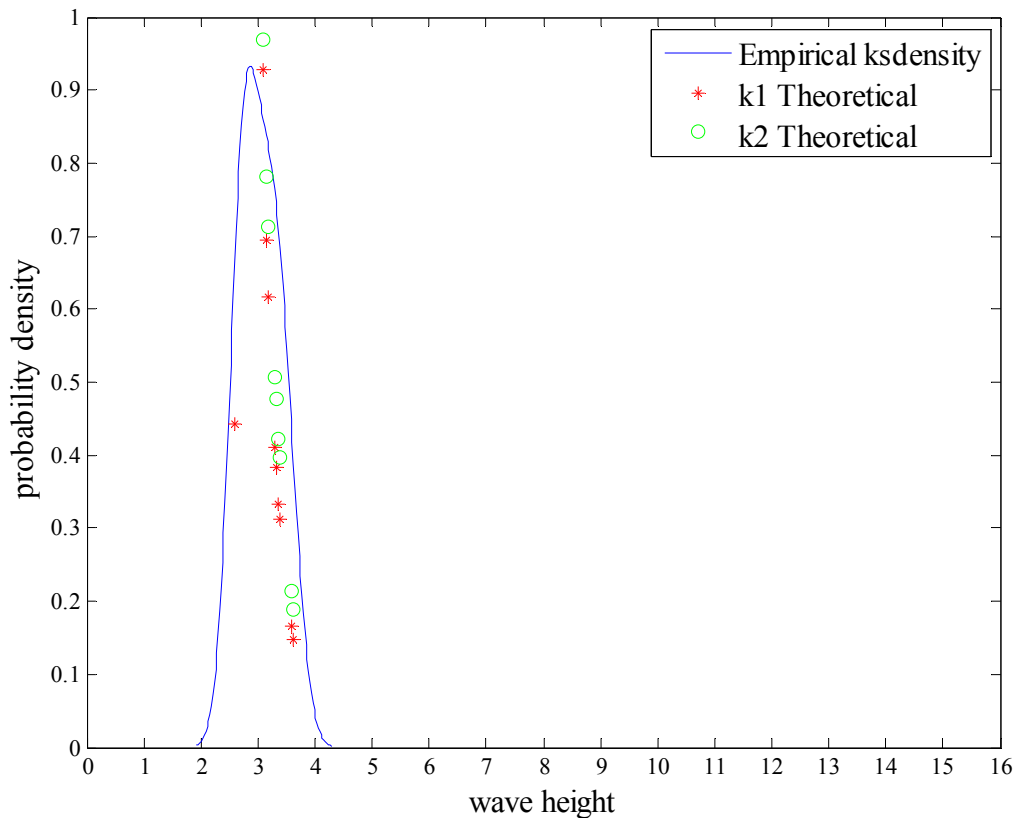


圖 27 LSM 法 Weibull 分布月最大法 1 月  $k_1$ 、 $k_2$  與實測值機率密度圖

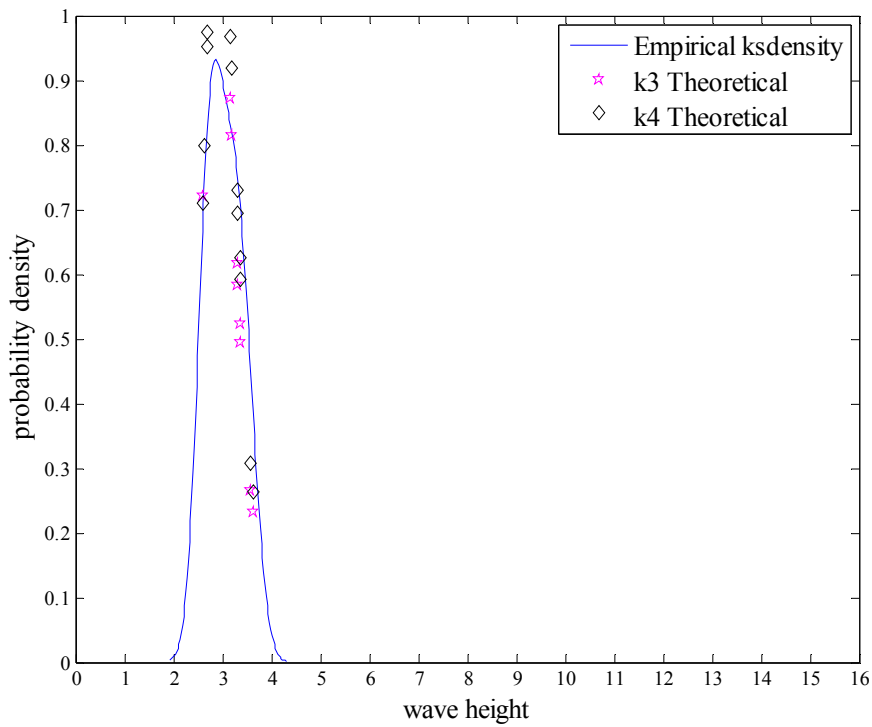


圖 28 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 1 月 k3、k4 與實測值機率密度圖

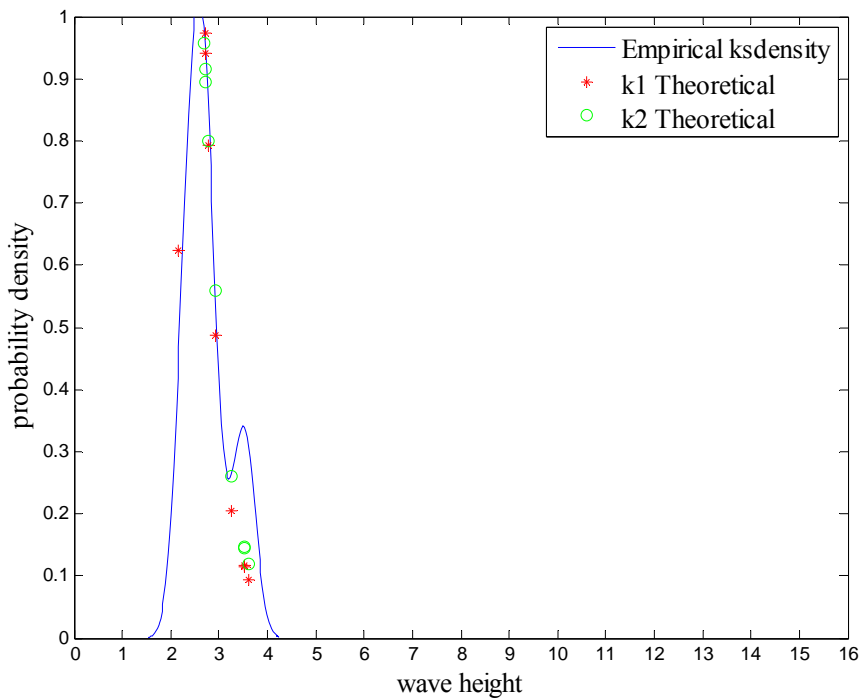


圖 29 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 3 月 k1、k2 與實測值機率密度圖

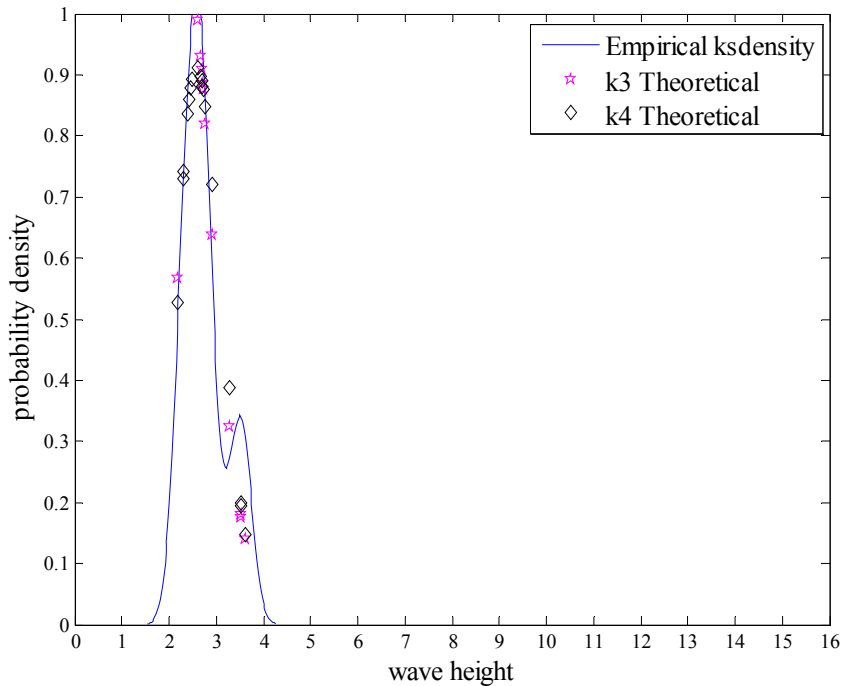


圖 30 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 3 月 k3、k4 與實測值機率密度圖

在颱風期下，受颱風影響大，所繪橫軸的極值波高範圍大，對應縱軸的機率密度相對變小，故所算得的殘差均方根會比季節風期來得小。以月最大法之六、八月為例，在 k1、k2 形狀參數下的機率密度分布相較於 k3、k4 的結果，遠離觀測的機率密度線分布，可得知在颱風期間形狀參數值 k3、k4 比 k1、k2 有較佳的模式配適。在颱風期 k4 時的 B 值相對於 k1、k2、k3 來得小很多，甚至在六、七與十月出現負值的情況，見表 16。

故由上述，四種形狀參數值比較後，k3 最具有代表性。在 1990-2008 花蓮港極值波高資料結果，以 LSM 法 Weibull 分布形狀參數  $k=1.4$  的方法作為最佳的參數推估法與極值分布函數。

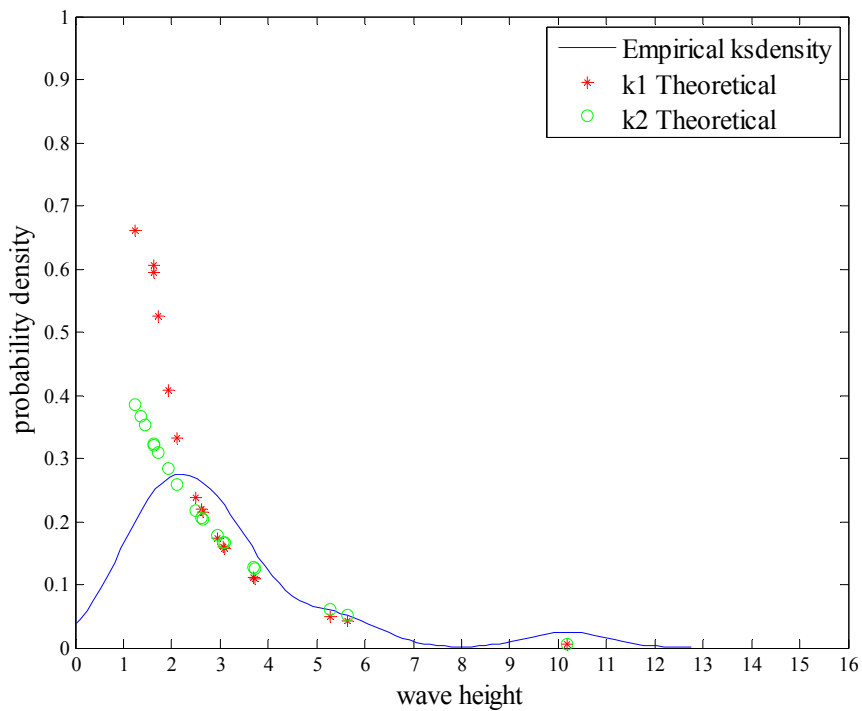


圖 31 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 6 月 k1、k2 與實測值機率密度圖

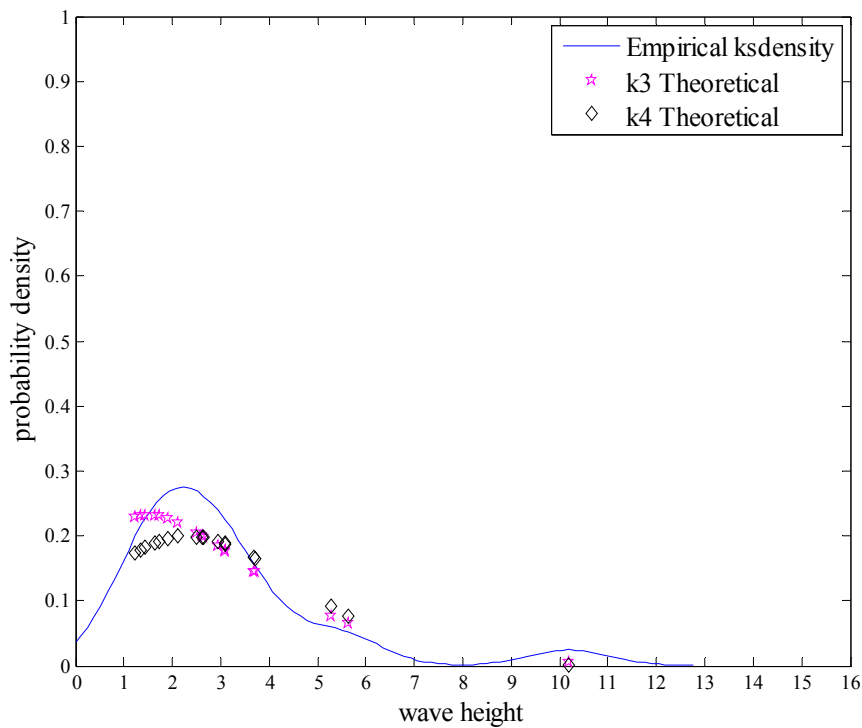


圖 32 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 6 月 k3、k4 與實測值機率密度圖

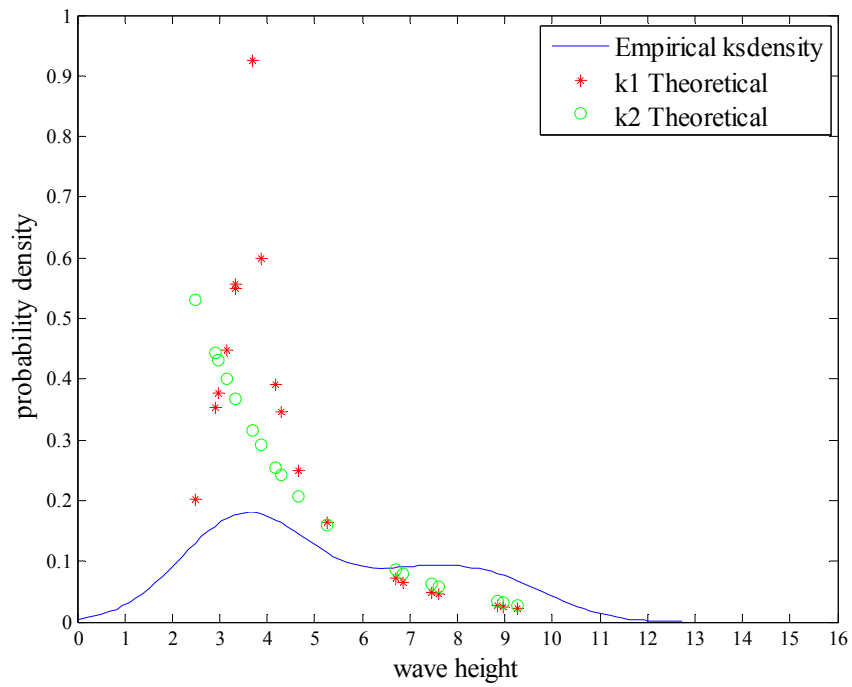


圖 33 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 8 月 k1、k2 與實測值機率密度圖

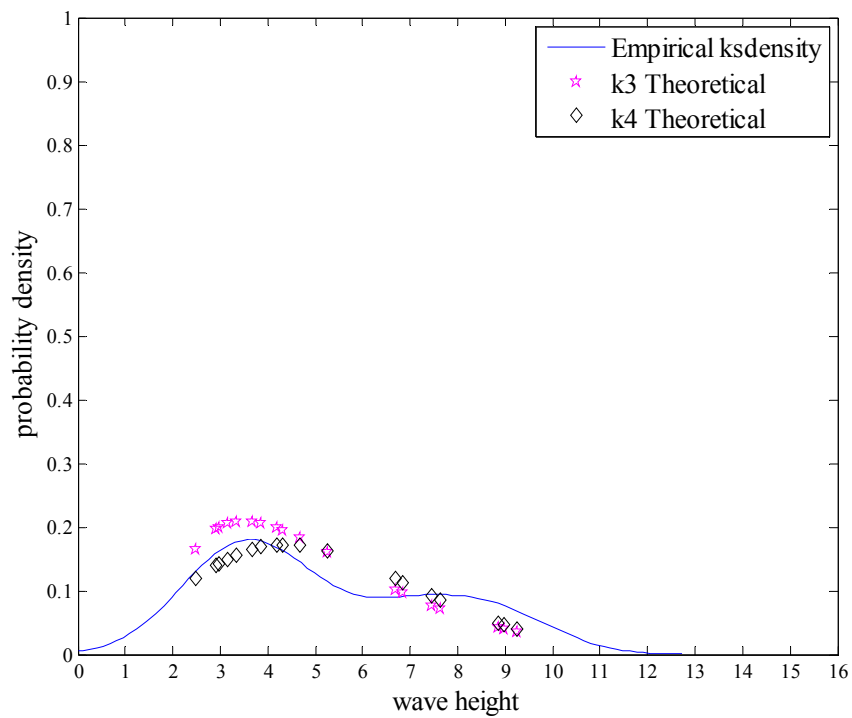


圖 34 LSM 法 Weibull 分布下月最大法 8 月 k3、k4 與實測值機率密度圖

在高雄港部分雖然實測波浪資料的長度較花蓮港短，但本研究仍以此 9 年內的資料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，結果如下所述。

表 17 MLE 推估 1 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.04	0.14	0.05	0.04
ER(m)		0.05	0.29	0.07	0.04
$x_R(m)$	10	1.50	2.40	1.51	1.53
	25	1.57	-	1.58	1.59
	50	1.63	-	1.63	1.63
	100	1.69	-	1.67	1.67
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.07	0.00	0.06	0.06
	25	0.09	-	0.08	0.08
	50	0.10	-	0.09	0.09
	100	0.12	-	0.11	0.10

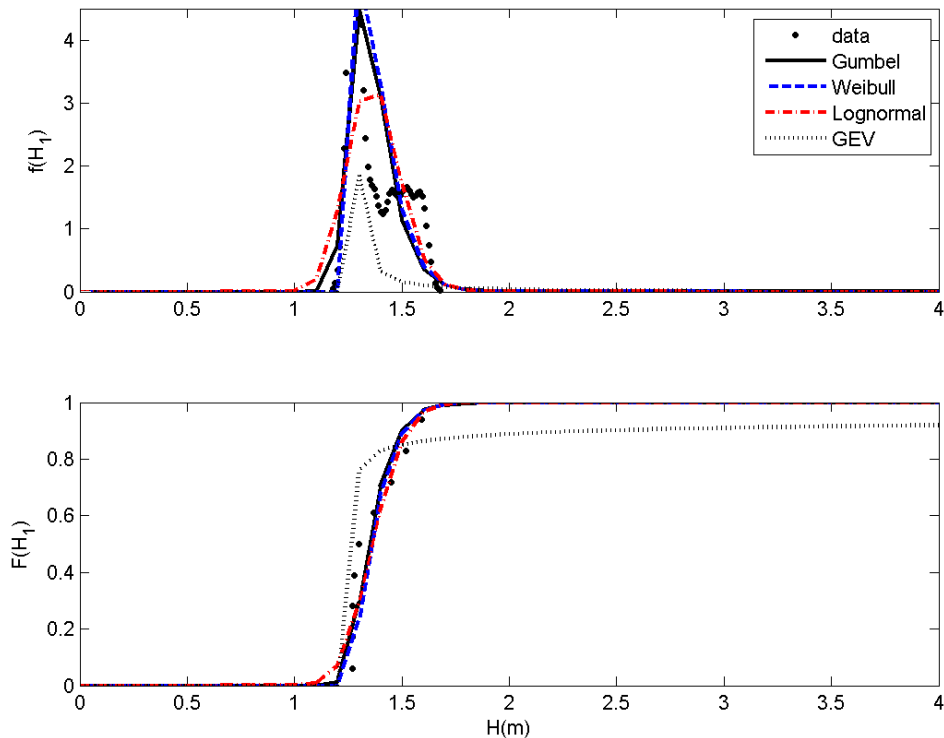


圖 35 以 MLE 推估 1 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數



表 18 MLE 推估 2 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.04	0.04	0.04	0.04
ER(m)		0.07	0.01	0.03	0.01
$x_R(m)$	10	1.75	1.69	1.72	1.73
	25	1.91	1.76	1.83	1.84
	50	2.03	1.80	1.91	1.92
	100	2.15	1.83	1.97	2.00
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.13	0.07	0.11	0.11
	25	0.17	0.10	0.13	0.14
	50	0.20	0.13	0.14	0.17
	100	0.23	0.16	0.16	0.19

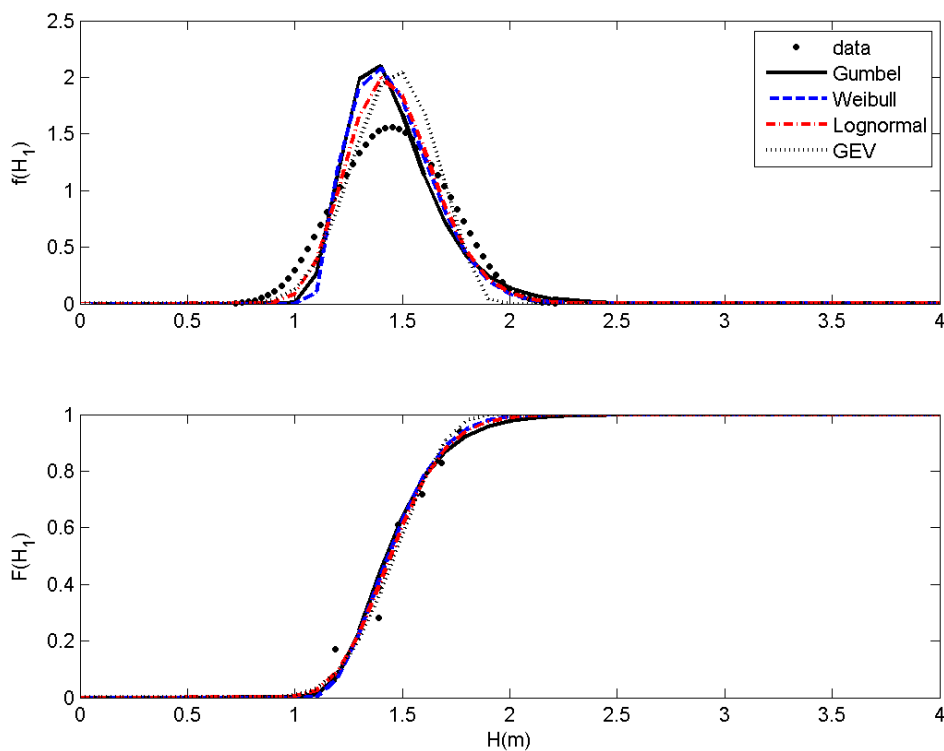


圖 36 以 MLE 推估 2 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 19 MLE 推估 3 月高雄港浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.08	0.04	0.06	0.05
ER(m)		0.19	0.00	0.06	0.07
$x_R(m)$	10	1.68	1.55	1.60	1.60
	25	1.82	1.55	1.68	1.67
	50	1.92	1.56	1.73	1.72
	100	2.02	1.56	1.78	1.77
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.11	0.00	0.03	0.07
	25	0.14	0.00	0.00	0.09
	50	0.16	0.00	0.00	0.11
	100	0.18	0.00	0.00	0.12

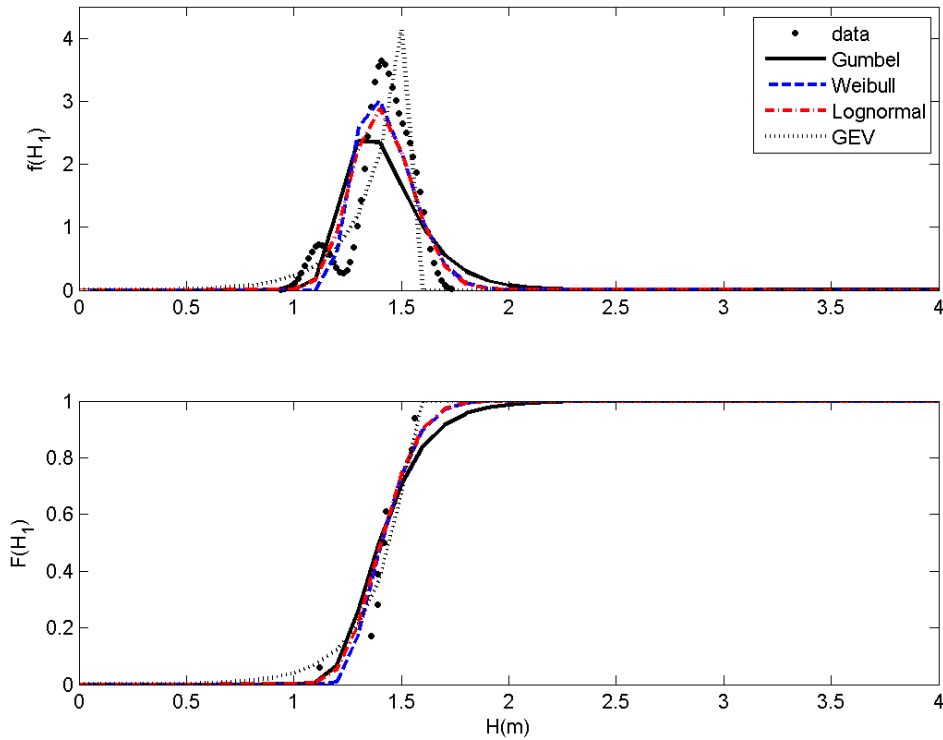


圖 37 以 MLE 推估 3 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 20 MLE 推估 4 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.07	0.07	0.08	0.06
ER(m)		0.03	0.05	0.04	0.03
$x_R(m)$	10	1.66	1.67	1.67	1.68
	25	1.88	1.92	1.88	1.88
	50	2.04	2.12	2.03	2.02
	100	2.20	2.32	2.18	2.16
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.19	0.26	0.19	0.19
	25	0.24	0.59	0.24	0.25
	50	0.28	0.96	0.28	0.30
	100	0.33	1.44	0.32	0.35

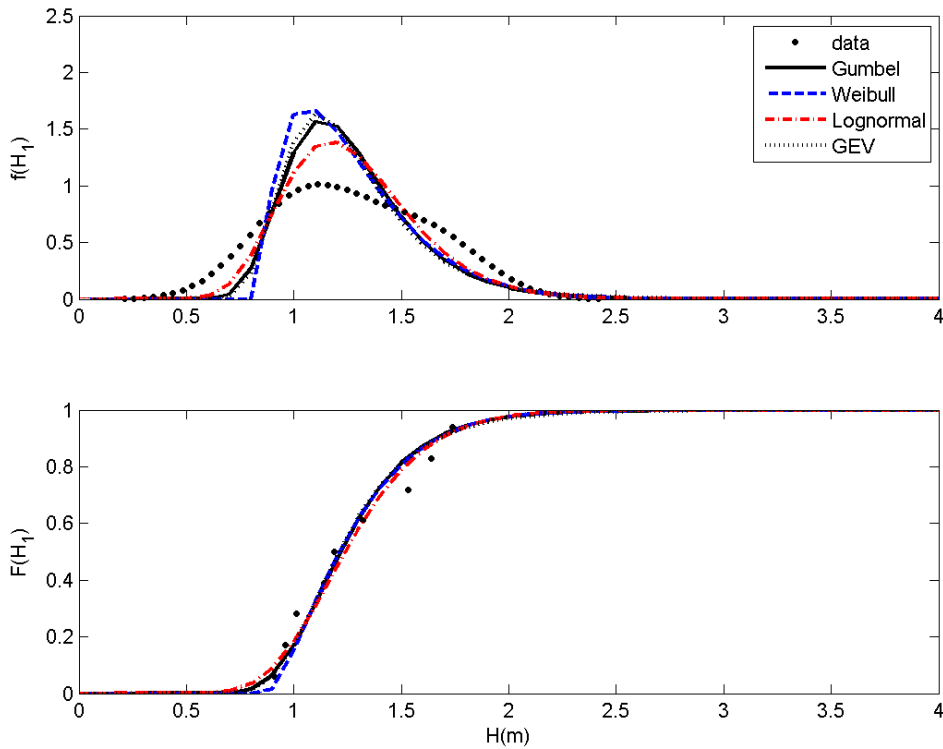


圖 38 以 MLE 推估 4 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 21 MLE 推估 5 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.67	0.62	0.73	0.44
ER(m)		1.43	0.59	1.61	0.72
$x_R(m)$	10	4.63	5.94	4.89	5.17
	25	5.77	11.65	6.01	7.04
	50	6.62	-	6.79	8.58
	100	7.46	-	7.54	10.27
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.99	3.87	1.00	1.59
	25	1.30	12.57	1.28	2.59
	50	1.54	-	1.48	3.53
	100	1.77	-	1.68	4.63

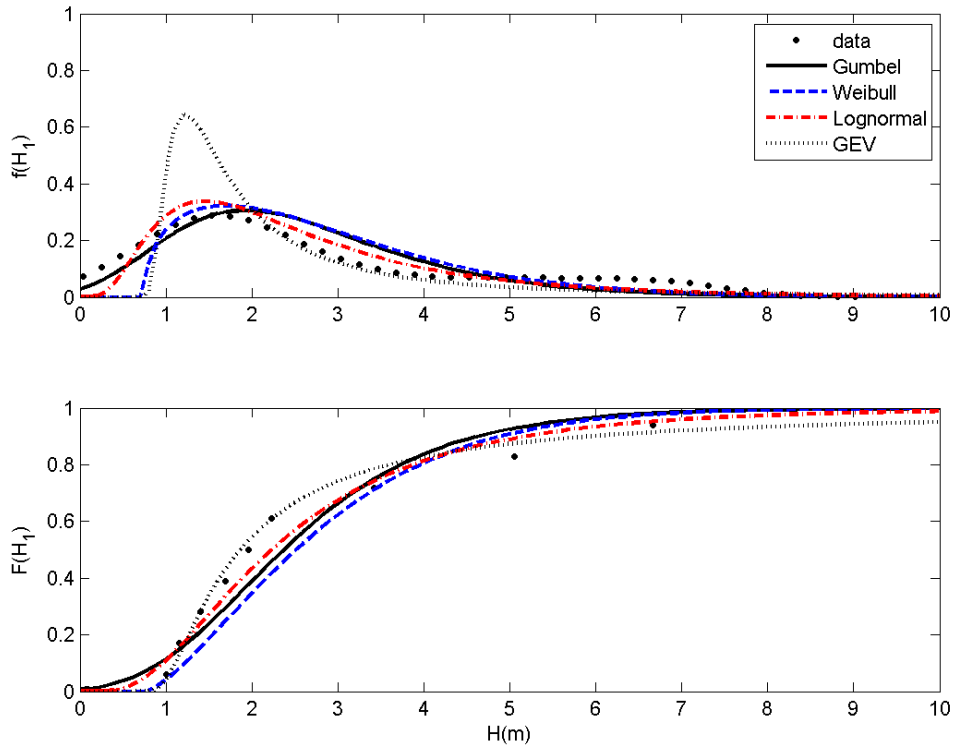


圖 39 以 MLE 推估 5 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 22 MLE 推估 6 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.40	0.38	0.50	0.31
ER(m)		0.57	0.36	0.96	0.28
$x_R(m)$	10	6.55	6.73	6.75	7.23
	25	8.09	8.66	8.31	9.62
	50	9.23	10.22	9.40	11.56
	100	10.36	11.88	10.44	13.65
$\sigma_{mle}(m)$	10	1.29	1.75	1.38	2.19
	25	1.67	3.47	1.77	3.77
	50	1.97	5.46	2.05	5.28
	100	2.27	8.09	2.31	7.06

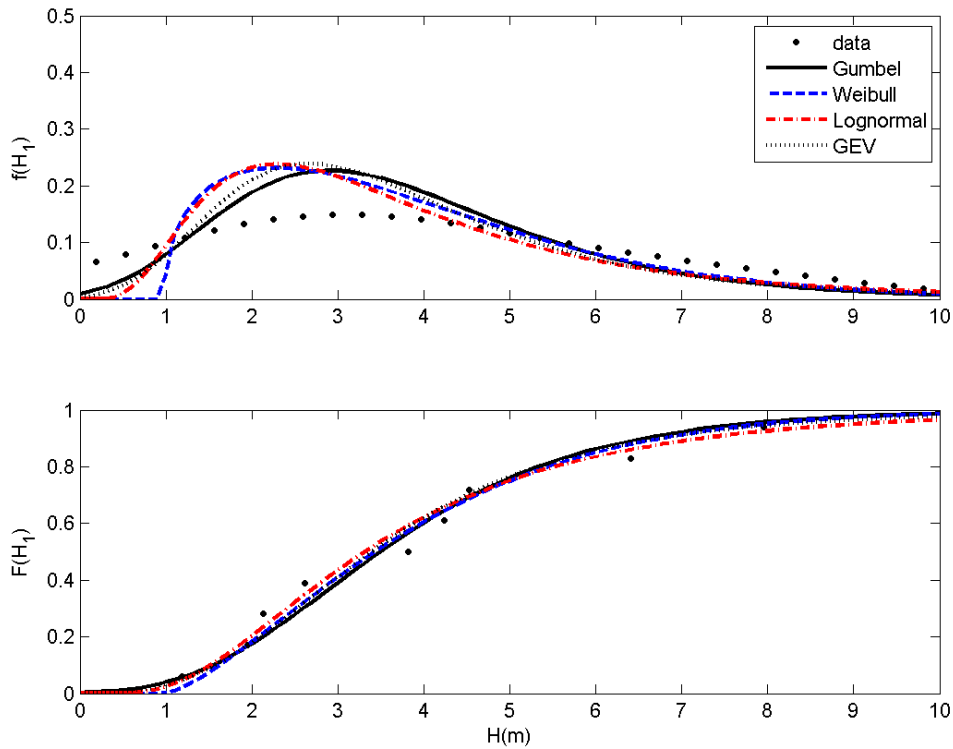


圖 40 以 MLE 推估 6 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 23 MLE 推估 7 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.28	0.24	0.25	0.26
ER(m)		0.55	0.11	0.08	0.43
$x_R(m)$	10	6.41	5.95	6.17	6.41
	25	7.54	6.39	6.98	7.51
	50	8.37	6.62	7.52	8.31
	100	9.20	6.79	8.01	9.11
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.90	0.44	0.75	1.01
	25	1.16	0.56	0.91	1.41
	50	1.36	0.72	1.02	1.75
	100	1.56	0.90	1.11	2.10

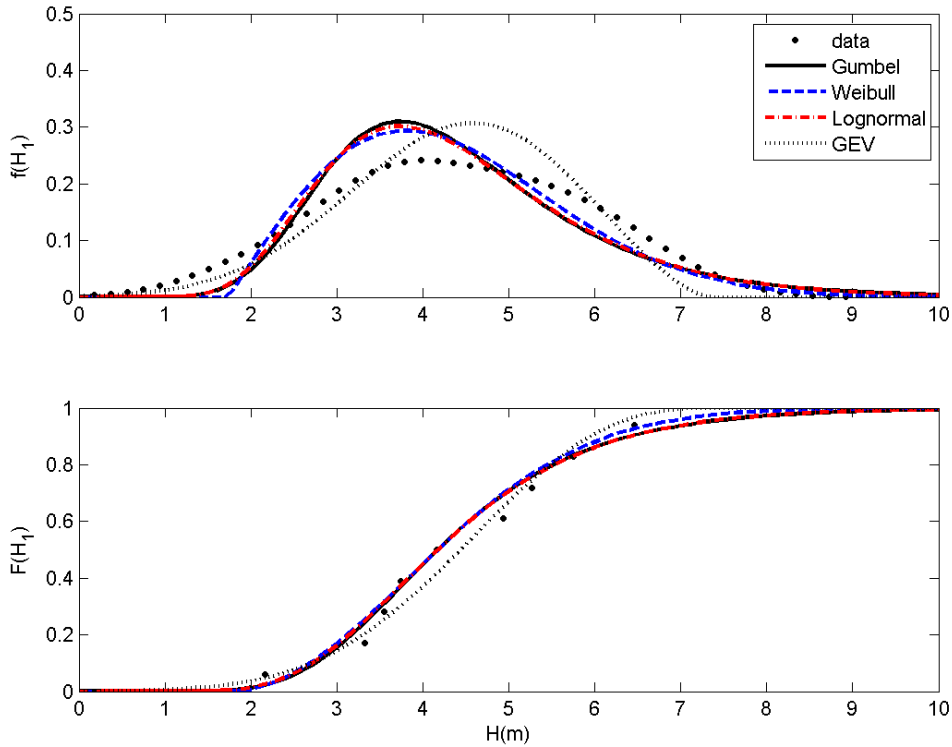


圖 41 以 MLE 推估 7 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 24 MLE 推估 8 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.39	0.29	0.32	0.62
ER(m)		0.87	0.12	0.03	1.55
$x_R(m)$	10	6.25	5.56	5.90	6.81
	25	7.64	6.02	6.89	8.85
	50	8.67	6.25	7.55	10.49
	100	9.69	6.42	8.15	12.23
$\sigma_{mle}(m)$	10	1.10	0.47	0.93	1.37
	25	1.41	0.55	1.12	3.76
	50	1.65	0.68	1.24	5.81
	100	1.89	0.83	1.36	8.16

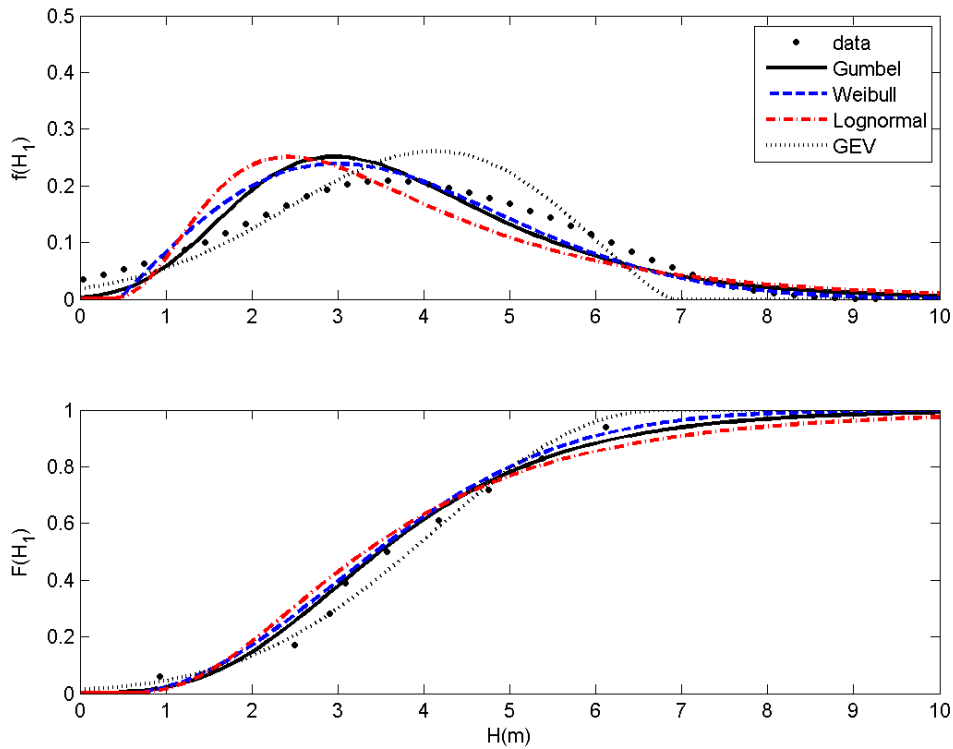


圖 42 以 MLE 推估 8 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 25 MLE 推估 9 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.40	0.59	0.35	0.40
ER(m)		0.74	0.01	0.17	0.75
$x_R(m)$	10	5.18	4.84	4.97	5.27
	25	6.15	4.92	5.63	6.29
	50	6.87	4.94	6.07	7.05
	100	7.58	4.95	6.47	7.81
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.80	0.18	0.62	0.93
	25	1.03	0.14	0.76	1.33
	50	1.21	0.12	0.85	1.66
	100	1.39	0.10	0.93	2.02

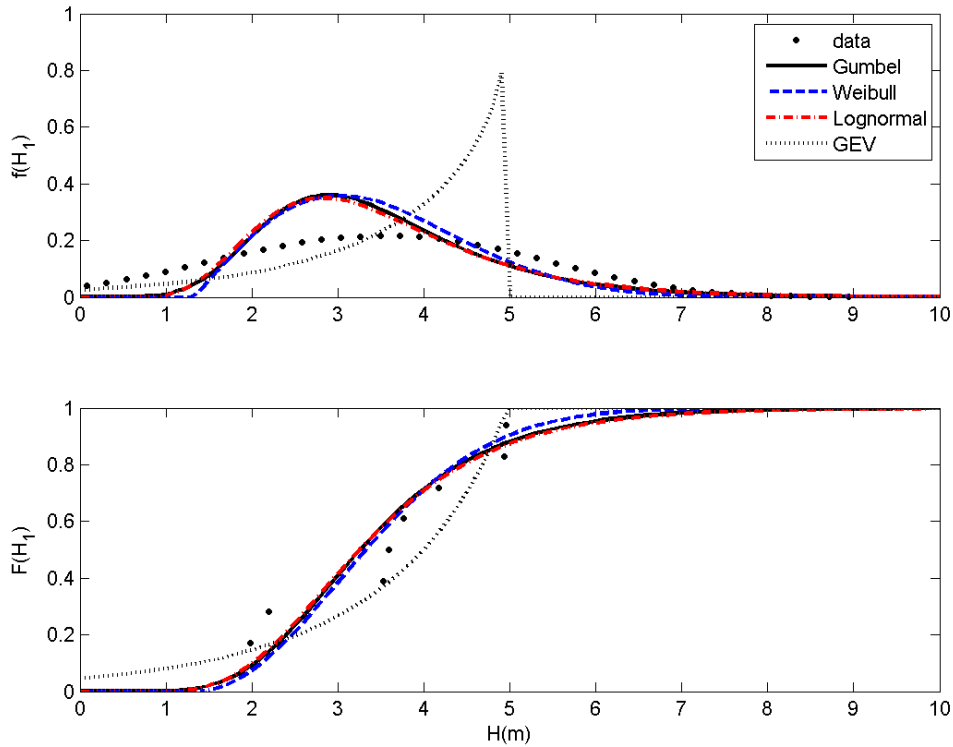


圖 43 以 MLE 推估 9 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數



表 26 MLE 推估 10 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.38	0.44	0.42	0.28
ER(m)		0.76	0.28	0.90	0.45
$x_R(m)$	10	3.07	4.17	3.18	3.34
	25	3.73	9.45	3.81	4.26
	50	4.22	-	4.25	4.99
	100	4.71	-	4.68	5.74
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.58	3.01	0.56	0.81
	25	0.76	11.66	0.73	1.24
	50	0.90	-	0.84	1.62
	100	1.04	-	0.95	2.05

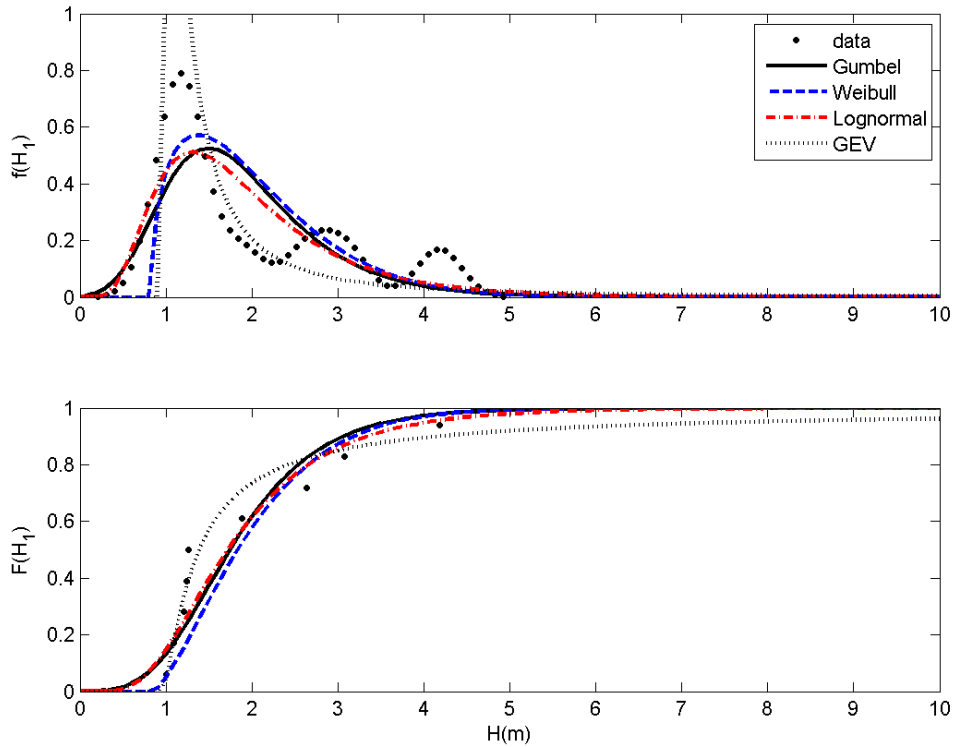


圖 44 以 MLE 推估 10 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 27 MLE 推估 11 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.11	0.08	0.15	0.09
ER(m)		0.11	0.07	0.19	0.01
$x_R(m)$	10	1.79	1.66	1.61	1.74
	25	2.07	1.78	1.73	1.96
	50	2.27	1.85	1.80	2.12
	100	2.47	1.90	1.87	2.28
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.21	0.11	0.11	0.21
	25	0.28	0.14	0.13	0.28
	50	0.32	0.16	0.14	0.34
	100	0.37	0.19	0.16	0.40

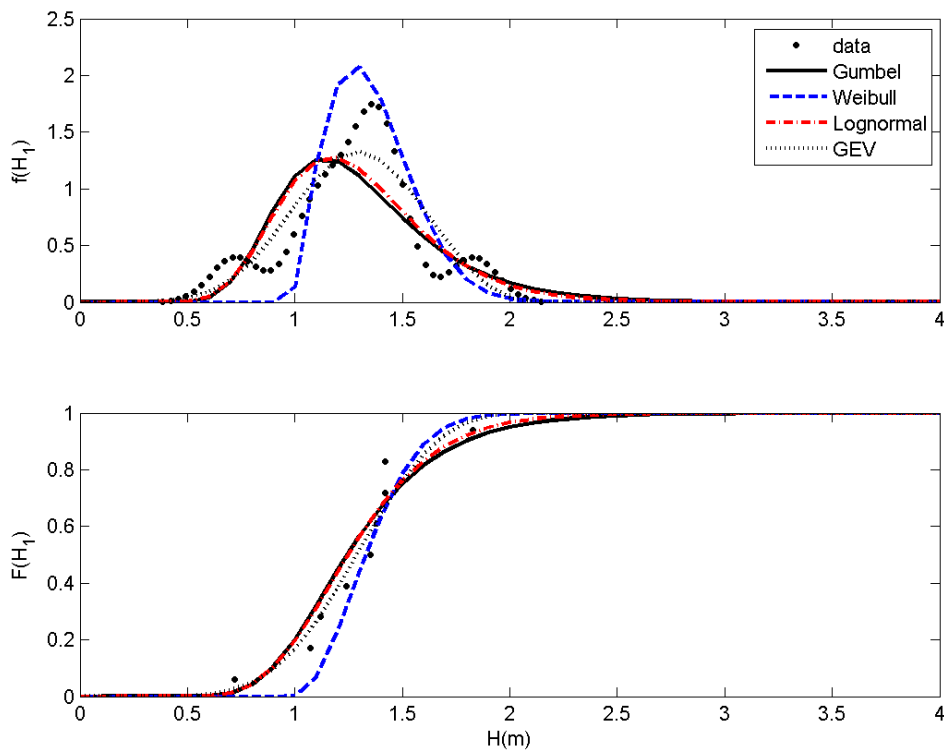


圖 45 以 MLE 推估 11 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 28 MLE 推估 12 月高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.57	0.67	0.57	0.48
ER(m)		1.44	1.68	1.36	1.09
$x_R(m)$	10	2.38	3.40	2.63	2.69
	25	2.84	-	3.10	3.35
	50	3.18	-	3.43	3.85
	100	3.51	-	3.75	4.38
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.41	3.77	0.42	0.59
	25	0.55	-	0.54	0.87
	50	0.65	-	0.63	1.12
	100	0.76	-	0.72	1.40

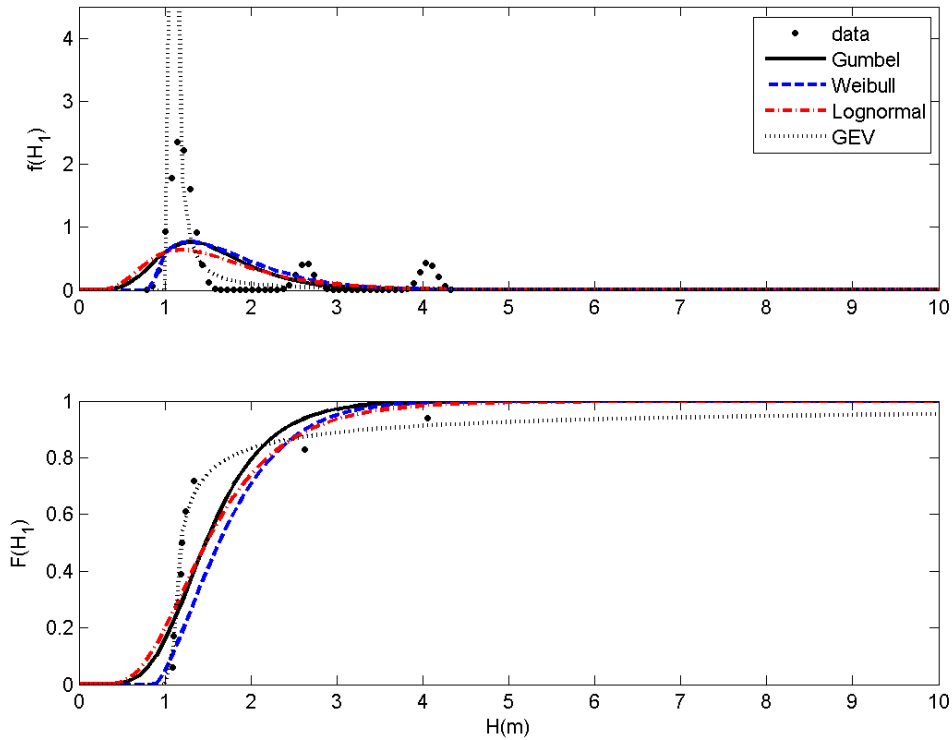


圖 46 以 MLE 推估 12 月高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

表 17 至表 28 以及圖 35 至圖 46 分別代表 1 月到 12 月的重現期波高及其推算標準偏差，其中 Lognormal 分布佔了 7 個月份，最小 RMSE 值為 0.04 至 0.48m 之間，而其他月份為 GEV 分布，RMSE 值為 0.04-0.29m 之間，而樣本最大值與推估值之誤差大多數月份也是 Lognormal 分布有最小值，在 0.01 至 1.09m 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( $\sigma_{mle}$ )顯示，1-3 月以及 7-9 月為 GEV 分布有最小之  $\sigma_{mle}$ ，其在 0 至 0.9 之間，而 4-6 月以及 10-12 月為 Weibull 分布有最小之  $\sigma_{mle}$ ，其在 0.11 至 2.31 之間，因此以兩種分布分別推算 50 年重現期之波高時，若在 95%信賴度下，以 Weibull 分布推算各月份波高分別為一月 1.45m 至 1.81m、二月 1.64 m 至 2.18m、三月 1.68m、四月 1.48m 至 2.58m、五月 3.89m 至 9.69m、六月 5.38m 至 13.42m、七月 5.52 m 至 9.52m、八月 5.12 m 至 9.98m、九月 4.4 m 至 7.74m、十月 2.6 m 至 5.9m、十一月 1.53 m 至 2.07m 及十二月 2.2 m 至 4.66m。而 Lognormal 分布以 RMSE 值來看較佳，但推算標準偏差較上述兩種分布大，GEV 分布在推算重現期長的狀況下會有不適用的狀況，因此推算重現期波高方面以 Weibull 分布較佳。

### 3.3.2 參數迴歸

由花蓮港資料，推求最佳極值統計方法。極值分布函數為 Weibull 分布，有尺度參數、位置參數與形狀參數三種。由花蓮港資料推估最佳極值統計方法之決定形狀參數採用  $k=1.4$ ，一般直接以 LSM 法推求其參數，代入圖 25 流程中得極值波高。但觀測資料中，受到洋流、四季變化與氣候變遷的影響，如圖 47，表現每月的極值波高分布有明顯的季節性，故考慮波高週期性的變化，極值參數加入年週期與半年週期的特性，將表 16 最佳極值方法所得到的極值分布參數，討論週期迴歸以修正參數。

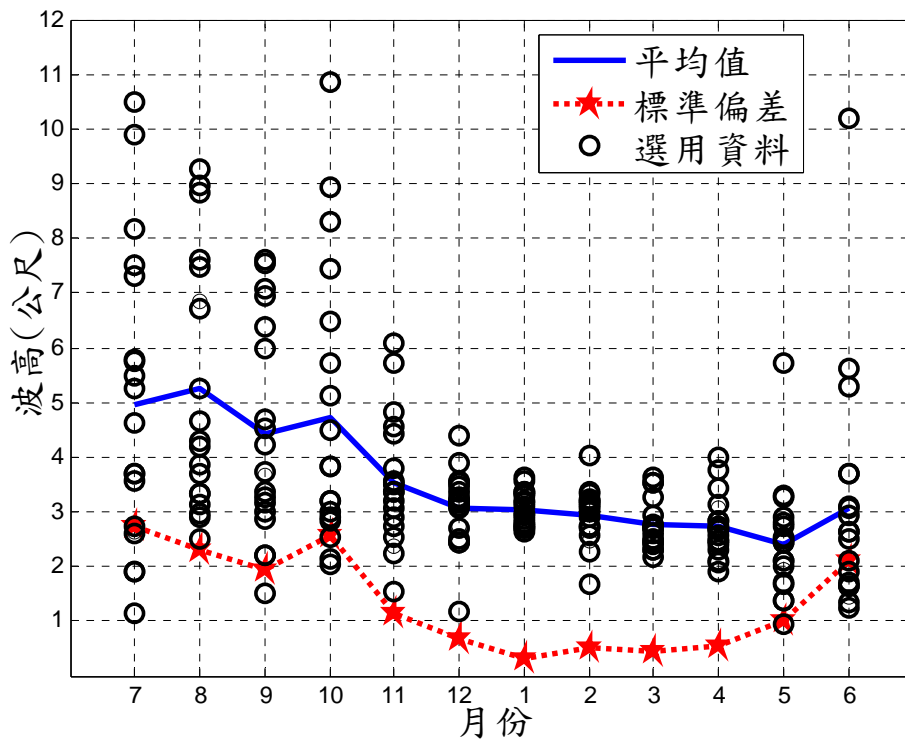


圖 47 花蓮港 1990-2008 年每月最大觀測波高特性圖

由花蓮港觀測資料，依月最大法資料選取，討論每個月份與極值參數關係，本文依 Mendez 於各月份的極值分布排序方式，參數具有年週期與半年週期的季節性變化。以七月 ( $t=1$ ) 為最初月份，依序排列之月份為橫坐標，參數值為縱座標，本文考慮參數之平均特性，加入 Mendez 之迴歸函數，修正如下：

$$P(t) = \bar{P} + a_1 \cos\left(t \frac{\pi}{6}\right) + a_2 \sin\left(t \frac{\pi}{6}\right) + a_3 \cos\left(t \frac{\pi}{3}\right) + a_4 \sin\left(t \frac{\pi}{3}\right) \quad (42)$$

式(42)中， $t$  為時間項，以月份為單位； $\bar{P}$  為一至十二月的參數平均值； $a_i$  為待定係數。第一項考慮平均特性，第二、三項考慮年週期，第四、五項考慮半年週期。 $P(t)$  為  $t$  月份下的迴歸修正後參數值，為尺度、位置參數。利用最小二乘法所得的非線性曲線配適，計算待定係數，得參數迴歸式。

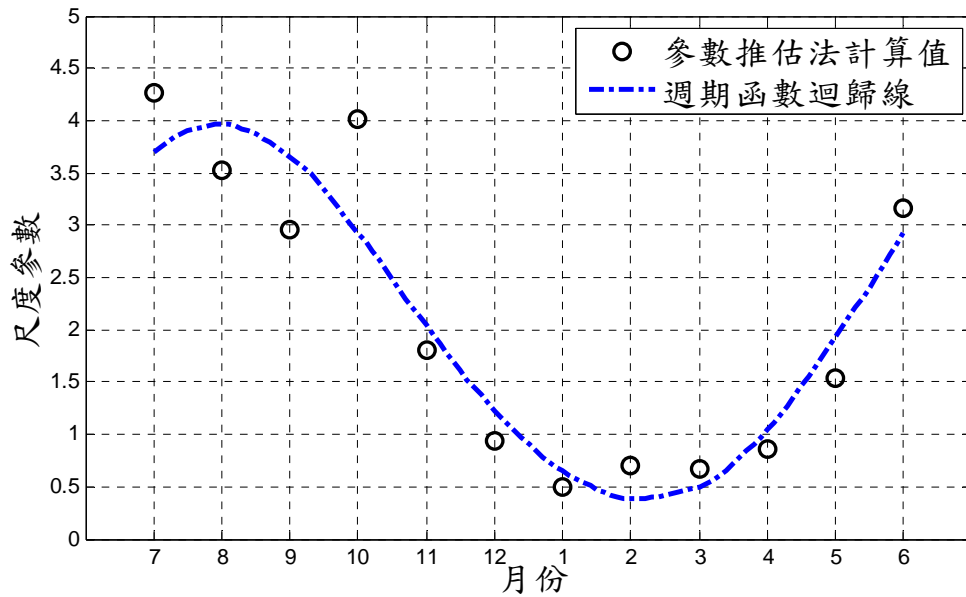


圖 48 LSM 法推估 Weibull 分布  $k=1.4$  之每月尺度參數的曲線配適圖

圖 48 為 LSM 法推估 Weibull 分布  $k=1.4$  之每月尺度參數的曲線配適，其週期函數迴歸線為考慮週期性的尺度迴歸公式：

$$P_A(t) = 2.0789 + 0.8479 \times \cos(t \times \pi/6) + 1.5767 \times \sin(t \times \pi/6) - 0.0016 \times \cos(t \times \pi/3) + 0.1101 \times \sin(t \times \pi/3) \quad (43)$$

式(43)， $t$  為時間（月份）， $P_A(t)$  為  $t$  月份下尺度參數迴歸值。

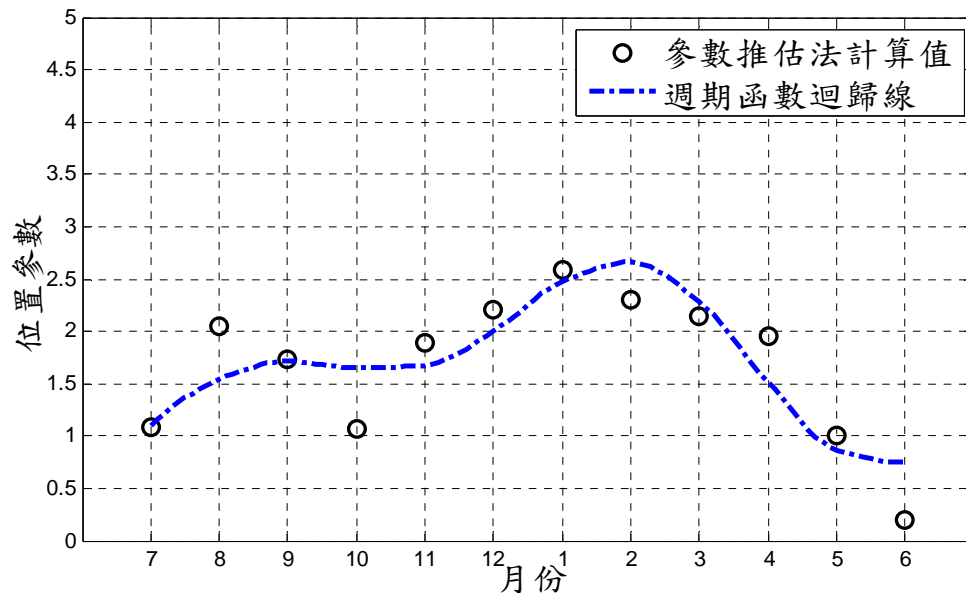


圖 49 LSM 法推估 Weibull 分布  $k=1.4$  之每月位置參數的曲線配適圖

圖 49 為 LSM 法推估 Weibull 分布  $k=1.4$  之每月位置參數的曲線配適，其週期函數迴歸線為考慮週期性的位置迴歸公式，如下：

$$P_B(t) = 1.6856 - 0.6287 \times \cos(t \times \pi/6) - 0.2831 \times \sin(t \times \pi/6) - 0.3128 \times \cos(t \times \pi/3) + 0.2999 \times \sin(t \times \pi/3) \quad (44)$$

式(44)， $t$  為時間（月份）， $P_B(t)$  為  $t$  月份下位置參數迴歸值。

由圖 48 及圖 49 的迴歸公式，將時間項  $t$  月份，考慮週期性的季節變化影響，帶入式(43)及式(44)中，得到經迴歸修正後的新極值參數值。

### 3.3.3 考慮參數迴歸的重現期極值波高估算

花蓮港浮標提供 19 年觀測資料，故討論在月最大法下重現期  $T=19$  年下極值波高之情況。將 Weibull 分布函數、LSM 推估參數法及形狀參數  $k=1.4$ ，以平均累積機率  $F_m=1/T$  與式(43)及式(44)後估算新迴歸修正後的參數值，代入圖 25 流程中，可得各重現期下之修正極值波高。圖 50 為 LSM 法 Weibull 分布推估 19 年重現期下，比較直接由參數估算與參數經迴歸修正兩種方式下每月極值波高。

以 LSM 法 Weibull 分布下推估 19 年重現期極值波高，理論上選用資料與參數迴歸修正的波高應接近。如：花蓮 12 月到隔年 5 月為非颱風發生之季節風期，經迴歸修正與無迴歸的極值波高，與觀測值有一致的情況，極值波高變動小。但在 6 月到 11 月，正好是臺灣的颱風季節，所觀測到的極值波高變動劇烈，不穩定。甚至 10 月最大觀測波高達到 10.85m，與推估的結果有明顯偏差，因取樣實際觀測取樣資料不確定性大，故考慮季節性變化之極值分析的變動趨勢，經參數修正來平滑季節性變化之極值波高變動趨勢，比直接由推估法計算的極值波高穩定平滑。

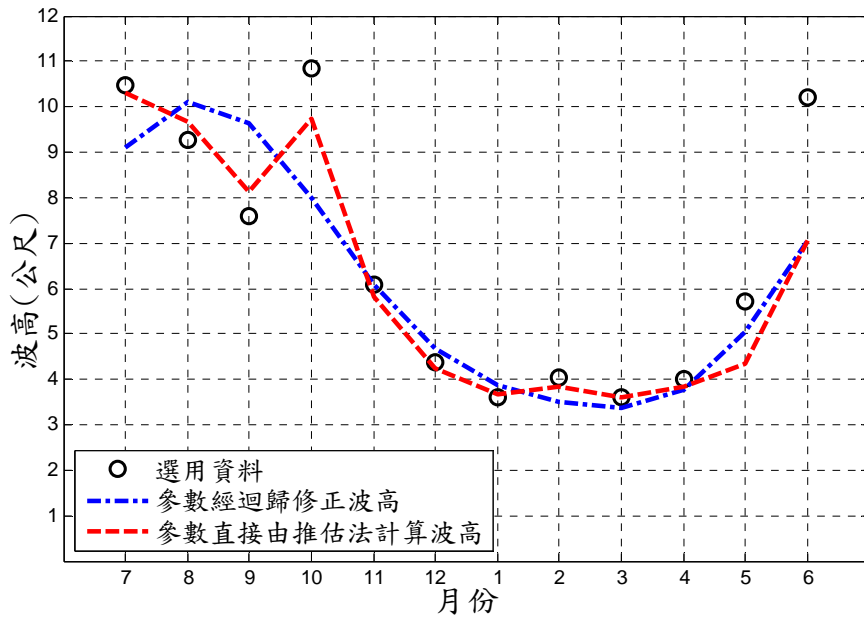


圖 50 LSM 法 Weibull 分布  $k=1.4$  重現期 19 年每月極值波高關係圖

### 3.3.4 年最大法與月最大法季節性波高變化

討論年最大法與月最大法的季節性極值波高變化，分別以極值參數經由推估法計算經迴歸修正，與參數直接由推估法計算代入無迴歸修正，分別在兩種情況下做討論。歸納可得到以下季節性波高變化圖：

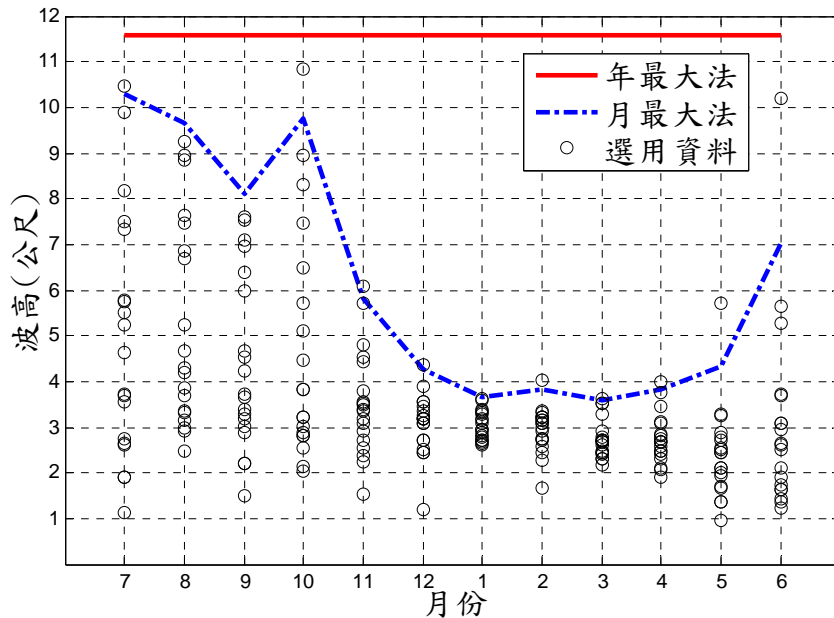


圖 51 LSM 法 Weibull 分布  $k=1.4$  下重現期 19 年之極值波高圖



圖 51 中，比較颱風期（6 月至 11 月）與季節風期（12 月至隔年 5 月）的月最大法極值波高，季節風期相對於颱風期的極值波高變動小，且極值波高也較低，與圖 47 中，顯示季節風期間波高的標準偏差與平均值有較小的變化，有一致的結果。從圖中也看出年最大法皆大於月最大法每月極值波高。但在颱風期的極值波高變化大、不穩定，如月最大法下 9 月極值波高陡降，發生低於 8、10 月重現期極值波高，可知 9 月未經參數迴歸之月最大法極值波高，相較於其他月份的波高劇減，需考慮週期性的季節變化，將參數迴歸修正。

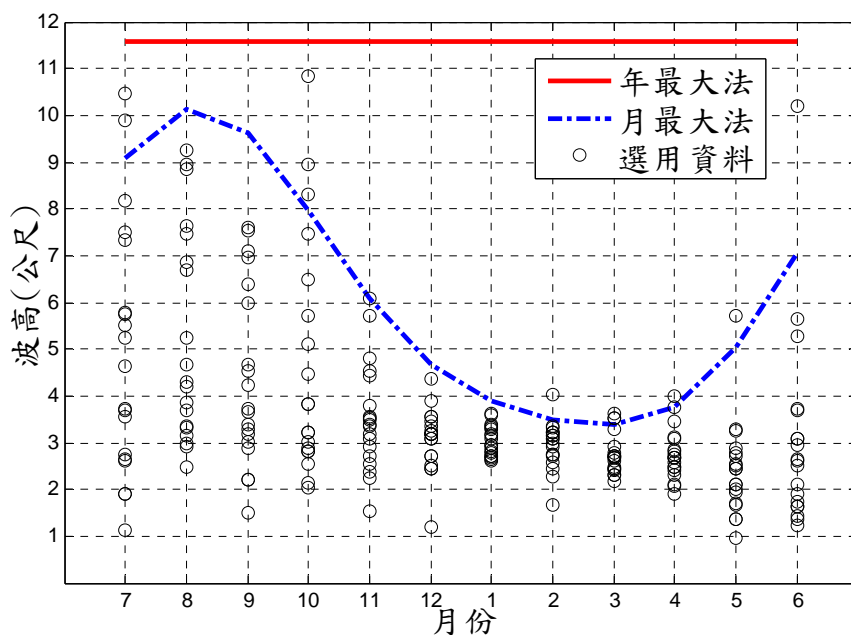


圖 52 LSM 法 Weibull 分布  $k=1.4$  之修正參數推估 19 年重現期之極值波高圖

圖 52 為經迴歸極值參數修正後改善月最大法每月極值波高，與圖 51 相比，月最大法的 7、9 月的季節性波高趨於平滑穩定，極值參數經迴歸修正較符合實際季節變化影響。而月最大法中最大月份的極值波高仍小於年最大法，顯示使用月最大法推估極值波高，可減少相對於年最大法下高估極值波高的情況，不但能明確知道每個季節月份的極值波高變化，還能避免過保守的極值波高造成施工上的耗費。

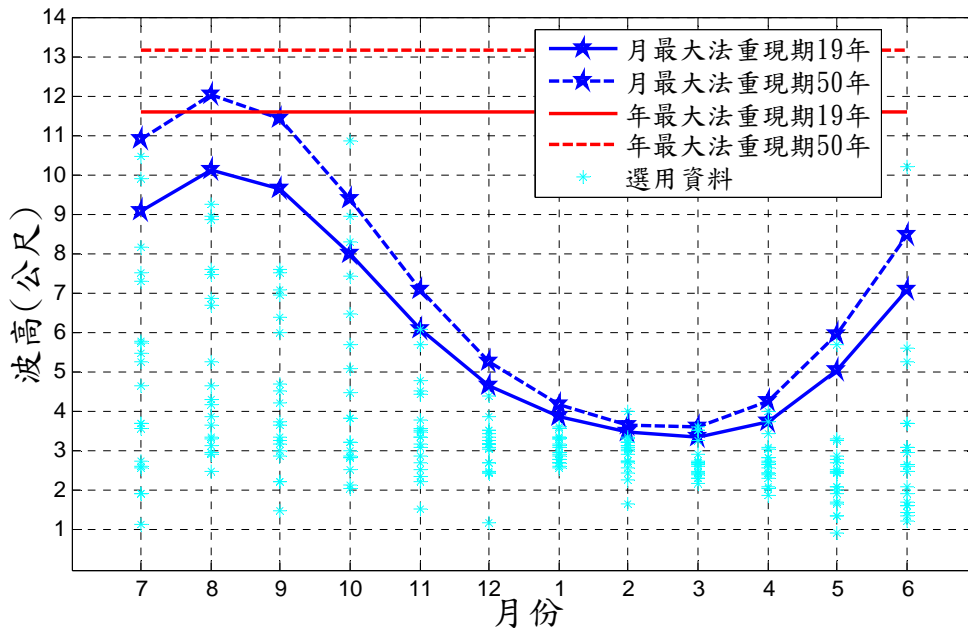


圖 53 LSM 法 Weibull 分布  $k=1.4$  之修正參數推估之極值波高圖

由上述知，使用月最大法與經迴歸修正後的極值參數，為適合工程考量與符合季節變化的方式。考量推估至長期極值波高，以花蓮港 19 年觀測資料，估算 50 年重現期的極值波高，見圖 53。由圖可知，月最大法推估 19、50 年極值波高值，相對颱風期變化大，而季節風期變化小，且在颱風期時的極值波高大於季節風期，與實際受到颱風影響相同。而使用年最大法推估長期重現期極值波高，恆為固定值，無法表現出季節性變化。



## 第四章 花蓮港與高雄港之設計波浪推估

### 4.1 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，取出前 3 大波高值來作為極值分析之樣本。

### 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)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (45a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (45a)$$

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

$$F(x) = e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}}, B - A/k \leq x < \infty \quad (46a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{-\left(1+\frac{1}{k}\right)} e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}} \quad (46b)$$

#### 3. Weibull 分布

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, \quad B \leq x < \infty \quad (47a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (47b)$$

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

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - B}{\sqrt{2A}}\right)\right) \quad 0 < x < \infty \quad (48a)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi Ax}} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \quad (48b)$$

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

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (48c)$$

式(45)至式(48)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(46)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 29 所示。樣本無偏態推算值也可獲得平均值及標準偏差，依表 29 之統計量則可算出函數之參數。

表 29 各極值分布相關統計量之特性

分布函數	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 分布	$B + A \left( 1 - \frac{1}{k} \right)^{1/k}, k > 1$	$B + A \Gamma \left( 1 + \frac{1}{k} \right)$	$A \left[ \Gamma \left( 1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left( 1 + \frac{1}{k} \right) \right]^{1/2}$
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 29 中， $\Gamma(\ )$  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

$$L(x; A, B) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{A} e^{-\frac{x_i - B}{A}} e^{-\frac{x_i - B}{A}} \quad (49)$$

$$l(x; A, B) = \sum_{i=1}^n -\frac{x_i - B}{A} - e^{-\frac{x_i - B}{A}} - n \ln(A) \quad (50)$$

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(50)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

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, \quad m = 1, 2, \dots, N \quad (51)$$

$\alpha$  及  $\beta$  值在不同分布函數其值不同如下表 30 所示(Goda, 2000)。

表 30 計算樣本順位機率之  $\alpha$  及  $\beta$  值

分布函數	$\alpha$ 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

$$x_m = ay_m + b \quad (52)$$

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

$$\text{Gumbel : } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (53a)$$

$$\text{GEV : } y_m = \frac{1}{k} [(-\ln F_m)^{-k} - 1] \quad (53b)$$

$$\text{Weibull : } y_m = [-\ln(1 - F_m)]^k \quad (53c)$$

$$\text{Lognormal : } y_m = \text{inverf}(F_m) \quad (53d)$$

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

$$\Delta \bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad (54)$$

式(54)中  $N$  為樣本個數係數， $\bar{a}$ 、 $\bar{b}$  及  $\bar{c}$  值依不同分布分別示如表 31。

表 31 相關係數殘差平均值公式之係數  $\bar{a}$ ， $\bar{b}$  及  $\bar{c}$  值

分布函數	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。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2} \quad (55)$$

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

$$ER = |x_{MAX} - (x_{MAX})_m| \quad (56)$$

### 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 分布之估算值之標準偏差量為

$$\sigma(x_R) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1 + 0.885(y_R - \gamma) + 0.6687(y_R - \gamma)^2 \right]^{1/2} \sigma_x \quad (57)$$

式(57)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(54)， $x_R$  為重現期之推算值。其他分布並無簡易公式推定，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

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \quad (58)$$

Gumbel、GEV 及 Weibull 分布之標準偏差  $\sigma_z$  為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1.0 + \hat{A}(y_R - c)^2 \right]^{1/2} \quad (59)$$

而  $\hat{A}$  值在 Gumbel 及 Weibull 分布為：

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \quad (60a)$$

但 GEV 及 FT-II 之  $\hat{A}$  值可表為

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 \left[ \ln\left(\frac{N}{N_0}\right) \right]^2 - \kappa \left[ \ln\left(\frac{1}{v_0}\right) \right]^2} \quad (60b)$$

式(59)至式(60)中之係數如表 32 所示

表 32 重現期推算量之標準偏差公式中之係數

分布函數	$a_1$	$a_2$	$\kappa$	$c$	$N_0$	$v_0$
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：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[ 1.2 + 0.65(y_R - 0.2)^{2.0} \right]^{1/2} \quad (61)$$

#### 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 分布為例其定義為

$$IE = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 l}{\partial A^2} & -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} \\ -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} & -\frac{\partial^2 l}{\partial B^2} \end{bmatrix} \quad (62)$$

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

$$x_R = B - A \ln(F_R) \quad (63)$$

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

$$\nabla x_R = \left[ \frac{\partial x_R}{\partial A}, \frac{\partial x_R}{\partial B} \right] = [-\ln F_R, 1] \quad (64)$$

估算值之變異數則為

$$Var(x_R) = \nabla x_R V (\nabla x_R)^T \quad (65)$$

將式(65)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 各重現期波高推算結果

由 98 年度『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(1/4)』計畫之執行經驗中得知，以 MLE 及 LSM 方法推估結果比較可靠，以二者所推估之各重現期之值也接近也相近，因此僅以 MLE 推估法於 4 種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準。若選擇重現期為  $T=10$ 、 $25$ 、 $50$  及  $100$  年 4 種。將各極值分布函數及獲得之推

估參數以平均機率  $F=1/T$  代入式(52)及式(53)後，即可獲得各重現期下之波高。因為波高樣本有 19 年，一般較為可靠之推估重現期為資料之 2-3 倍長度，亦即 38 至 57 年，雖然本研究推估至 100 年的重現期波高主要是考慮到港灣工程一般使用之設計年限，以及比較其他資料長度不同之所造成推估重現期之值是否有所差異，以下利用花蓮港實測波浪資料進行推估之結果，表 33 為 MLE 推估 4 種極值分布的結果，而其機率密度分布與累積機率分布如圖 54 所示。

表 33 以 MLE 推估花蓮港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.77	0.37	0.50	0.65
ER(m)		2.78	0.02	1.13	2.17
$x_R$ (m)	10	11.04	10.07	10.56	10.84
	25	12.98	10.59	11.94	12.62
	50	14.42	10.83	12.86	13.92
	100	15.86	11.00	13.71	15.21
$\sigma_{mle}$ (m)	10	1.07	0.38	0.89	1.11
	25	1.37	0.40	1.07	1.53
	50	1.61	0.49	1.19	1.87
	100	1.84	0.59	1.31	2.24

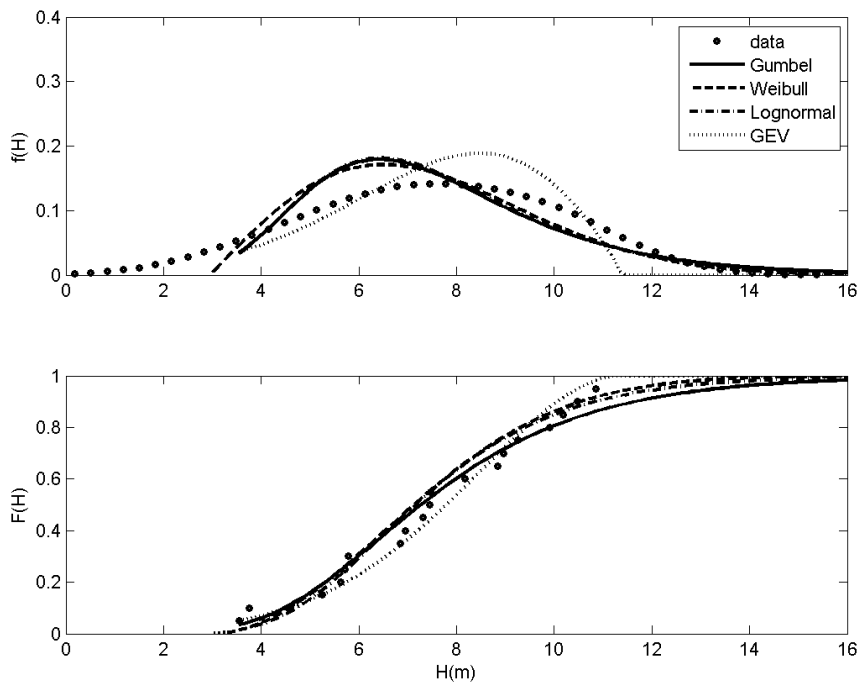


圖 54 以 MLE 推估花蓮港波浪之機率密度函數及機率函數

由表 33  $x_R$  顯示以 MLE 推估參數法計算 4 種極值分布之各重現期波高中，以 Gumbel 及 Lognormal 分布所計算出各重現期波高相近，而 Weibull 分布所計算出 50 年重現期波高約小於前二者約 1.5m。針對推估各重現期波高之推算標準偏量來看，以式(65)方法計算 Weibull 分布所得較 Lognormal 及 Gumbel 分布為小。就以 MLE 推估 Weibull 極值分布而言，50 年重現期之波高為 12.86m，而推算標準偏量為 1.19m，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  $12.86 \pm 1.96 \times 1.19m$  間，即 10.53-15.19m。

從圖 54 可知 GEV 分布之機率密度函數及累積機率函數描述此樣本極為吻合，但在波高大於 11.2m 之機率密度為零而累積機率為 1，此因為所推估形狀參數為負值，依 GEV 分布理論，此時 GEV 分布會轉為極值 III 型，波高機率密度則需小於某值，若大於此值則機率密度為零，雖然 GEV 分布描述此樣本極為吻合，但推估高重現期則有其限制。另外，第一種波高樣本之機率密度分布明顯相當寬散，有些接近於正常分布，至於樣本之累積機率接近於直線變化，導致以曲線之機率函數僅能部份吻合，而無法整體吻合描述。

由於高雄港波高樣本有 9 年，一般較為可靠之推估重現期為資料之 2-3 倍長度，亦即 18 至 27 年，雖然本研究推估至 50 年，甚至 100 年的重現期波高主要是考慮到港灣工程一般使用之設計年限，以及比較其他資料長度不同之所造成推估重現期之值是否有所差異，以下利用高雄港實測波浪資料進行推估。若由表 34 推估各分布樣本機率之波高與樣本之 RMSE 值顯示，Lognormal 分布具有最小之 RMSE，其為 0.21m，而樣本最大值與推估值之誤差 Gumbel 分布為 0.06m，是最小值。從圖 55 以機率密度分布與樣本吻合度顯示，四種分布的結果為極為接近。GEV 及 Gumbel 分布有相近次小之 RMSE 值分別為 0.22m 及 0.23m，而最大者為 Weibull 分布的 0.25m。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( $\sigma_{mle}$ )顯示，整題而言，四種分布所計算出各重現期波高相近，以 50 年重現期而言差值約 0.94m，而 Gumbel 及 Lognormal 分布計算結果較 GEV 及

Weibull 分布高。針對推算標準偏差( $\sigma_{mle}$ )來看，GEV 分布是 4 種中有最小之  $\sigma_{mle}$ ，其在 0.5-1.2 之間，其次為 Weibull 分布，最大者為 Gumbel 分布。整體而言，以 GEV 分布來推估各重現期之波高為較適合之分布。因此以 GEV 分布推算 50 年重現期之波高為 8.16，標準偏量為 0.94，若在 95%信賴度下，此推算值應在  $8.16 \pm 1.96 \times 0.94m$  之間，即 6.32-10m。

本研究參考本所花蓮港防波堤沉箱安全評估之探討一文中所述原花蓮港 50 年重現期的設計波高約為 12.6m，本計畫利用類神經模式的推算結果為 12.86m。另外參考本所 99 年高雄港防波堤構造物安全評估探討及維護管理資訊系統建置的報告書所述高雄港 50 年重現期的原設計波浪條件為 6.0m，而本計畫利用類神經波浪推算模式的樣本進行極值分析推得 8.16m。在高雄港推估有較大的差異。

表 34 以 MLE 推估高雄港波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)	0.23	0.22	0.25	0.21	0.23
ER(m)	0.06	0.25	0.41	0.18	0.06
$x_R(m)$	7.52	7.30	7.38	7.45	7.52
	8.43	7.83	8.03	8.17	8.43
	9.10	8.16	8.46	8.67	9.10
	9.77	8.44	8.86	9.14	9.77
$\sigma_{mle}(m)$	0.74	0.51	0.61	0.69	0.74
	0.95	0.72	0.74	0.90	0.95
	1.11	0.94	0.82	1.06	1.11
	1.28	1.20	0.90	1.23	1.28

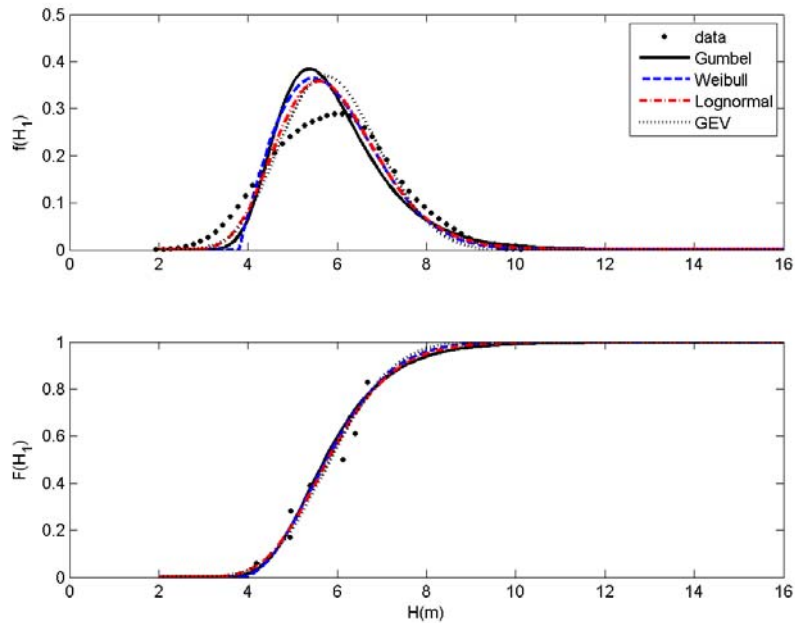


圖 55 以 MLE 推估高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

#### 4.7 極值資料之選取方式

本研究選取  $H_s$  (示性波) 作為樣本資料， $H_s$  其計算方法即以波群中波高較大的 1/3 部份的個別波波高平均值來代表，在統計特性上，其具有最大的安定性(不隨取樣不同而變化)，較能反映波浪所含能量的大小，故是最常用的代表波。極值分布的推算，首先必須將原始資料做基本的選取與排序。其選取的方式有極端值選用法與超量選用法兩種，分述如下

##### (1) 極端值選用法：

決定單位時距，在每一個單位時距內僅選取一個最大值的資料作為樣本，來進行統計分析。如果單位時距為一年，即稱之為年最大法；單位時距為一月，則稱為月最大法。

##### (2) 超量門檻選用法：

決定一基礎超越量的值，不考慮所選取的資料其發生時間間隔的長短，將值大於基礎超越量的資料，皆選取出來進行統計分析。

本文中極值分析資料的選取採用極端值選用法的年最大法與月最大法，但針對超量門檻選用法也以高雄港資料提出操作範例。本計畫使用不同年份及月份之高雄港最大示性波浪資料共 108 筆，使用超量選用法取出較大波高部份，進一步去探討其最適累積機率密度分布函數，選擇 Gumbel、G.E.V.、Weibull 與 Log-Normal 四種分布模式，探討其吻合度情況。

如表 35 所示，超過 3m 以上的 31 筆波高以及超過 5m 以上的 9 筆波高以 GEV 分布描述高雄港較大波浪部份，吻合度情況比其它三種分布來得好，其 RMSE 值分別為 0.182m 與 0.177m，而如果是超過 4m 以上的 20 筆波高以 Gumbel 分布描述有較佳的符合程度，RMSE 值為 0.227m，另外，從表中可以顯示 Weibull 分布在討論較大波浪時，RMSE 值跳動幅度非常大，約 0.6m，並由圖發現 Weibull 分布的曲線跟其他分布較為不同，整體來說，利用超量選用法探討極值波高的時候以 GEV 分布較佳。

表 35 超量門檻選用法的極值分析結果

	資料筆數	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
超過 3m	31	0.191	0.182	0.837	0.207
超過 4m	20	0.227	0.281	0.251	0.251
超過 5m	9	0.185	0.177	0.821	0.204



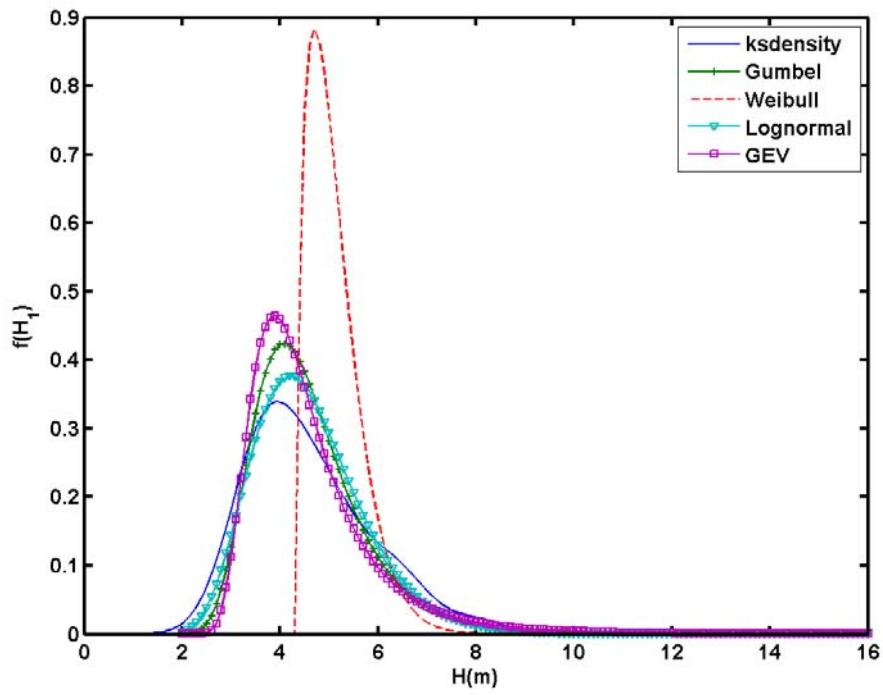


圖 56 超量門檻選用法超過 3m 資料的各分布適用性

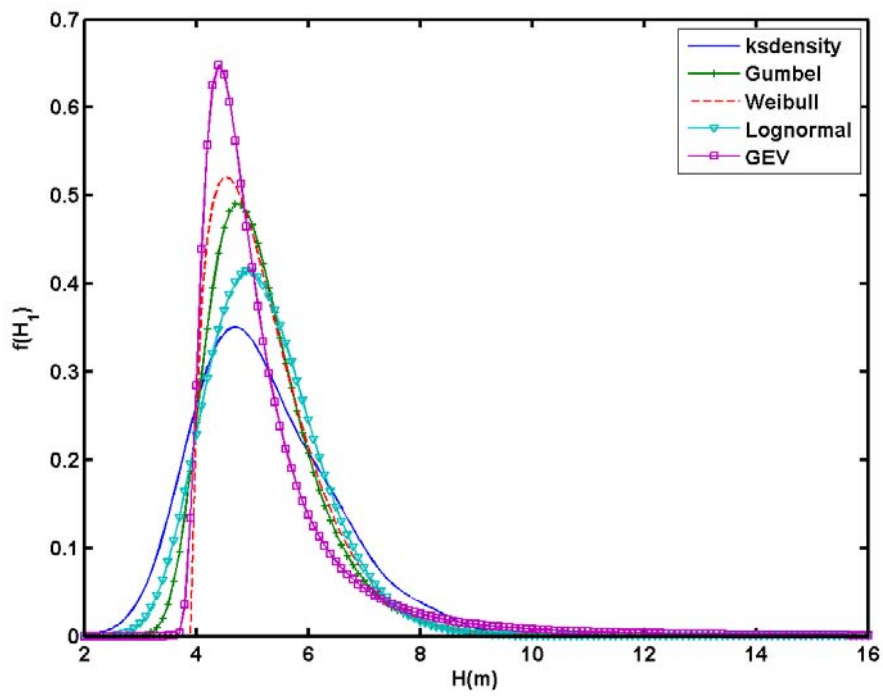


圖 57 超量門檻選用法超過 4m 資料的各分布適用性

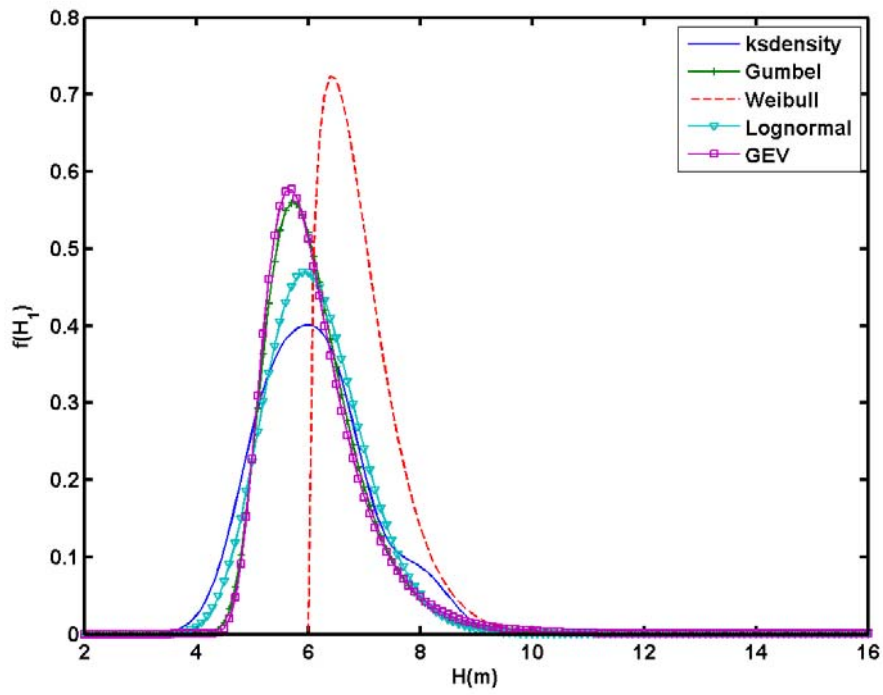


圖 58 超量門檻選用法超過 5m 資料的各分布適用性



## 第五章 波浪極值統計視窗化操作之初步建構

### 5.1 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台上，都開始趨向於採用對於使用者較為友善的圖形化介面。其目的除了介面視覺上的美觀之外，還能由圖示選項來代替原本程式操作所需要用的指令。如此一來可使原本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 59。

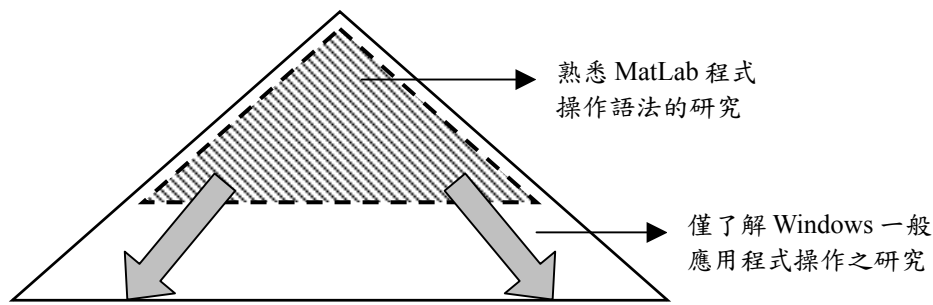


圖 59 GUI 的開發對於使用者族群的分布變化

圖 59 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。

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

本計畫將 98 年度所初步建構的高雄港颱風波浪推算模式進行改善，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 0.67m，而此外最大波高發生時間誤差平均約 8.70 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為 0.64m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為 0.74。

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，最後考慮季節性變化之極值參數迴歸，計算得到季節性波高，得到以下結論。當考慮極值波高之季節性變化時，其位置參數 B 及尺度參數 A 與時間之關係，可利用正、餘弦之週期函數表示。花蓮港季節風期（12~5 月）的極值波高分佈範圍小，對應的機率密度值相對增大，合田(1990)所建議之四種形狀參數的理論機率密度和觀測值都很接近；颱風期（6~11 月）的極值波高分佈範圍大，對應的機率密度值相對減小， $k=1.4$ 、 $2.0$  的理論機率密度和觀測值較為接近， $k=0.75$ 、 $1.0$  的理論機率密度則會有高估的現象。另外，利用傳統年最大法推估所得之年最大極值波高較利用月最大法推估所得的年最大極值波高為大。顯示若採用傳統年最大法的推估結果做設計時，可能有超設計現象。而高雄的月極值波高統計的結果中顯示 Lognormal 分布以 RMSE 值來看較佳，但推算標準偏差較上述兩種分布大，GEV 分布在推算重現期長的狀況下會有不適用的狀況，因此推算各重現期波高方面建議以選用 Weibull 分布較為合適。

以花蓮港實測 19 年之年最大值波高為樣本，以 MLE 推估參數法於 Weibull 分布最適合於此樣本之機率分布。以 MLE 推估 Weibull 分布，50 年重現期波高為 13.16m，若考慮 95%信賴度之偏差量，則此值會在 10.63m 至 15.69m 之間。而高雄港僅有 2001-2009 年之 9 年實測



數據，以實測之年最大值波高為樣本，以 MLE 推估 GEV 分布為最佳組合，推算 50 年重現期之波高為 8.16，標準偏量為 0.94，若在 95% 信賴度下，此推算值應在 6.32m 至 10m。

本計畫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。

## 6.2 建議

在高雄港颱風波浪推算模式建立之後本文除了以颱風波浪實測資料作為驗證外，並對推估結果較差的颱風進行討論，發現成有部分颱風的推估結果較差，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。

本研究以箱型圖初步分析取樣，避免將可能有問題的資料作為樣本進行分析，但箱型圖僅能提供出極端狀態的特殊值，若未來能更進一步針對波浪資料進行資料檢核與品管，則不需使用箱型圖再對資料做評估。

## 6.3 成果效益及後續應用情形

本研究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以最佳化的轉換函數與類神經網路加以模擬，建立高雄港專用的颱風波浪推算模式，其成果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。本模式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。另外本年度對波浪極值統計視窗化操作介面提出了初步的建構，若能繼續完成本介面，簡化操作流程，有助於未來相關單位的應用與推廣。

在極值波浪統計的部分，本研究嘗試以月極值統計方法來進行推算，發現用傳統年最大法推估所得之年最大極值波高較利用月最大法推估所得的年最大極值波高為大。顯示可能有超設計現象，故本研究建立月極值統計分析的流程以供未來工程設計單位一個新的方法。此外透過花蓮港與高雄港數值模式與實測資料之波浪資料，以年極值波浪統計分析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。



## 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. Carter, D.J.T., Challenor, P.G., (1981) “Estimating return values of environmental parameters”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 107, 259–266.
5. 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.
6. Coastal engineering manual (2002) “Hydro-dynamic analysis and design conditions,” Chapter 8.
7. Coles, S.G., (2001) “An Introduction to Statistical Modelling of Extreme Values”, Springer-Verlag, London.
8. 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.
9. 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.
10. Eberhart, R.C., and Dobbins, R.W. (1990) *Neural Network PC Tools – A Practical Guide*, Academic Press, Ins., 10-250.
11. 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.
12. Embrechts, P., Klüppelberg, C., Mikosch, T., (1997) “Modeling Extremal Events”, Springer Verlag, Berlin.
13. 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.
14. Ferreira, J.A., Guedes Soares, C., (2000) “Modelling distributions of significant wave height”, *Coastal Engineering* 40, 361-374.
  15. 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.
  16. Galambos, J., (1987) “The Asymptotic Theory of Extreme Order Statistics”, Krieger, Florida.
  17. 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.
  18. 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.
  19. Guedes Soares, C., (1986) “Assessment of the uncertainty in visual observations of wave height”, *Ocean Engineering* 13 (1), 37-56.
  20. 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.
  21. Guedes Soares, C., Scotto, M., (2001) “Modelling uncertainty of long-term predictions of significant wave height”, *Ocean Engineering* 28, 329-342.
  22. Haver, S. (1985) *Wave Climate off northern Norway*, *Applied Ocean Research*, 7, 85-92.
  23. 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.
  24. Huang, W., and Foo, S. (2002) “Neural network modeling of salinity

- variation in Apalachicola River,” *Water Research*, Vol. 36, 356-362.
25. 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.
  26. Kurkova, V. (1992) “Kolmogorov’s Theorem and multilayer neural networks,” *Neural Networks*, Vol. 5, 501-506.
  27. 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.
  28. Muir, J.R., El Shaarawi, A.H., (1986) “On the calculation of extreme wave heights”, *Ocean Engineering* 13, 93-118.
  29. 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.
  30. Petruaskas, C., Aagaard, P.M., (1971) “Extrapolation of historical storm data for estimating design wave heights”. *Journal of Petroleum Engineering* 11, 23-37.
  31. Smith, R.L., (1986) “Extreme value theory based on the r largest annual events”, *Journal of Hydrology* 86, 27-43.
  32. 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.
  33. Vidal, C., Medina, R., Lomonaco, P., (2006) “Wave height parameter for damage description of rubble-mound breakwaters”, *Coastal Engineering* 53, 711-722.
  34. 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(2/4)

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
陳陽益委員：	
<p>一、建議增加高雄港建第二港口時由約 54 年~62 年的波高(尤其颱風大浪)實測值(此資料敝人在 86 年或 85 年的中鋼爐石海拋的分析報告中有)及加上去年八八颱風浪的資料達約 12m。</p> <p>二、好像推估最大颱風浪較小一點，尤其龍王颱風浪依中山大學借用港研中心儀器實測最大波高達 18m。</p> <p>三、地形水深因素建議可適當考量。</p>	<p>一、感謝委員建議，本團隊將盡可能收集相關資料。</p> <p>二、本研究所採用的波浪資料皆為港研中心品管過後的年報資料，顯示龍王颱風產生的最大波高為 2.79 米。此差異可能為測量機具與水深位置的條件不同，若要進行釐清需要再與相關測量單位進行討論。</p> <p>三、感謝委員建議，本研究採用類神經網路模式來模擬颱風造成波浪的機制，但不同於傳統數值模式，地形水深因素影響波浪的機制在本研究中是以參數最佳化的方式來進行模擬。</p>
蔡清標委員：	
<p>一、本研究由實測資料數據之品質及極值統計分析，以探討設計波浪，以為港灣或海岸結構物設計之參考，期中研究成果佳，予以肯定。</p> <p>二、極值波高分析推估時，係人示性波高 <math>H_s(H1/3)</math> 或最大值波高 <math>H_{max}</math> 來分析，請說明。</p> <p>三、表 12 中，年最大法之推估波高幾乎大於觀測值，但月最大法則常小於觀測值，其代表意義為何？建議可以探討說明。</p> <p>四、在研究分析過程中，是否有發現所謂氣候變遷的異常波浪？其對極值波高</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、是以 <math>H_s(H1/3)</math> 來進行分析，已說明於 P4-12。</p> <p>三、此現象並無統計相關文獻探討過，可能與資料特性有關。</p> <p>四、本研究採用箱型圖(Box Plot)分析來進行異常波浪的去除，此外，異常波浪</p>



之影響為何？	在每小時的示性波高中較難以發現。
林昭圭委員：	
一、P.2-6 建議對季風波浪如何影響颱風波浪補充說明。	一、感謝委員建議，在本研究中季節性波浪較大時，其尺度可能會近似颱風波浪，由於本研究所建立的颱風波浪模式需經過實測颱風波浪的訓練，故可能會因過大的季節性波浪造成錯誤的訓練，已增加說明於 P2-6。
二、P.2-7 表 3 中資料分類代碼 L、T、V 請說明(見 P.2-12)。	二、遵照辦理。L、T、V 分別代表 Learning、Test 及 Validation，已增加說明於 P2-12。
三、研究中所引用之理論請說明，例如 Camargo 等人(2007)的熱帶氣旋分類法。	三、遵照辦理，已增加說明於 P2-12。
四、是否以 L、T、V 分類方式將各群組所採用之颱風路徑繪圖說明。	四、L、T、V 分類方式的分類目的在於將所有颱風依其路徑與規模將之均勻分成三組資料，因為其均勻特性故難以進行說明。
五、波高以距離 1500km 做為門檻，其他參數是否需要比照辦理(輸入因子)。	五、是。本研究以距離與波高關係圖作為判斷原則，距離超過 1500km 以上的颱風資訊不進行訓練以避免學習到非颱風所造成的波浪。
六、是否有機會藉以檢討花蓮港及高雄港之正在用的設計波高。	六、本研究會提出由不同樣本、取樣方式、參數推定法、機率密度函數等條件下的設計波高，可供進行檢討。
七、西部海岸之波浪推算受地形影響太強烈，研究團隊需再費心。	七、感謝委員建議，本研究團隊將繼續加強模式的推算能力。
八、極值推估理論有無可能加入，區域性如因地形碎波各之上現內極值。	八、往昔研究與目前文獻無相關資訊可供參考，若要考慮到碎波後的極值波高，可以用颱風路徑分類進行，但因目前資料不足尚無法進行。
曾相茂委員：	
一、研究步驟正確有條理，報告十分詳實，方法正確，成果應有具實性，且研究團隊對問題之認知及未來的貢獻應可期待。	一、感謝委員認可。
二、P2-2 頁資料來源與處理這一段文章，	二、感謝委員指正，已修正 P2-2。

<p>請再依本所『99 台灣地區國際港附近海域海氣象現場調查分析研究(1/4)』報告修正。</p> <p>三、P2-2 頁圖 1，請用原圖尺寸。</p> <p>四、P3-9 頁『花蓮港浮標站資料』請改為『花蓮港海象觀測站資料』1990 年 12 月起至 1993 年 8 月 Waverider 無物何 1993 年 4 月起至 2000 年 8 月 Waverider 波高週期及波向 2000 年 9 月至今波高週期波向及剖面海流。</p>	<p>三、感謝委員指正，已修正 P2-2。</p> <p>四、感謝委員指正。</p>
<p>何良勝委員：</p>	
<p>一、本研究延續去年之分析方法，針對花蓮港之季節風與颱風期的分析結果，此與往昔有很大區別與研究成果，頗值得肯定。</p> <p>二、相關各週歸期設計波之推算成果並未區分各種波向情況，此與往昔考慮各波向之規畫推算結果有所不同，此兩種情況如何連結說明。</p> <p>三、有關高雄港颱風波浪推算模式中，由於高雄港位於台灣西南部，其颱風前之湧浪及颱風發生位置對高雄港有所影響，因此，在波浪推算學習時，宜以考量。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、因目前波高資料沒有角度，無法進行分析，若要考慮各種波向的狀況，需透過數值模式進行推算，將各角度之波高分別作極值分析。</p> <p>三、感謝委員建議，湧浪對於波浪推算十分重要，但目前所收集的波浪資料較短，直撲高雄港造成湧浪的樣本太少，無法進行訓練與分析。</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(2/4)

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
陳陽益委員：	
已具體完成本年度的工作內容，且有很不錯的成果，建議儘量降低就單一最大波時之誤差度。	感謝委員認可，將透過更多實測波浪資料的學習以提升模式推算颱風波浪的最大波高精準度。
蔡清標委員：	
<p>一、本計畫目標在於建立月極值及年極值統計應用程式，並推算各重現期的設計波高，以提供各國際港之工程設計參考，研究有具體成果，績效優良。</p> <p>二、P.1，出版品摘要表中第一行，”原花蓮”三字，建議刪除。</p> <p>三、神經網絡模式中，考量地形對波浪的遮蔽效應及風場受地貌地物影響之因子，成果具相當意義。該因子在ANN模式中之考量，建議有更具體的專節說明，如何?颱風路徑需予以考量。</p> <p>四、計劃以實測之最大值波高為樣本，推測出過去50年重現期之波高，該結果與過去兩港所用之設計波高的差異性，建議有所比較及探討，以為未來工程擴建設計波考量之參考。</p> <p>五、本計畫預定研究期程為4年，各分年主要工作項目，建議於1.3節中均列出。</p>	<p>一、感謝委員認可。</p> <p>二、感謝委員指正，遵照辦理。</p> <p>三、感謝委員建議，本模式以距離、颱風方位角與移動方位角來表現空間上不同位置對目標點波浪所造成的影響，並以此為基礎透過轉換函數的最佳化來解決地形對波浪的遮蔽效應及風場受地貌地物的衰減問題。此法能透過類神經網路量化颱風中心空間上的變化，較往昔路徑分類的方式為佳，已於2.2節中加以說明。</p> <p>四、感謝委員建議，已收集往昔兩港設計波高來進行差異比較，並於4.6節中作說明。</p> <p>五、遵照辦理。</p>
李忠潘委員：	

<p>一、P.2-7，表 3 內 L、T、V 代表意義，請加註於表下方。</p> <p>二、颱風路徑通過台灣南方時，高雄港的預測波高與實測值，以及最大波發生的時間，尚有頗大差異，原因為何？值得進一步探討。</p>	<p>一、遵照辦理。</p> <p>二、以歷史資料來看颱風在尚未通過臺灣最南端時波浪應較小，而在通過最南端時會有發生較大波浪的狀況，未來若有更多實測資料將進行收集進行分析。</p>
<p>曾相茂委員：</p>	
<p>一、2-2 頁 2.1 第一行本中心全銜請改正「交通部運輸研究所臺灣技術研究中心」。</p> <p>二、2-3 頁 2006 年 5 月~8 月缺資料是因高雄港務局在二港口南防波堤外堤挖泥濬沙影響。</p> <p>三、本中心每年三、四月報告完成後隨即開放前一年的資料供大家參考使用，因此本計畫建議可將 2009 年的資料拿來做驗證了(2-25 頁~2-29 頁)。</p> <p>四、2-30 頁~2-31 頁凡那比颱風的即時資料是未經品管的資料只可參酌使用，如有異樣應再與本中心資料負責人確定後再使用。</p>	<p>一、感謝委員指正，已做修正。</p> <p>二、感謝委員提供資訊，已加註。</p> <p>三、感謝委員建議，已新增。</p> <p>四、遵照辦理。</p>
<p>何良勝委員：</p>	
<p>一、報告內文修正之處：  (1)英文摘要題目名稱。  (2)P.3-17 以後之內文圖、表號有誤。  (3)chap3 與 chap4 有關公式，給予適當安排。</p> <p>二、P.3-2 之 Weibull 分布所引用 Goda 之 k 值是否可以使用其他數值？</p> <p>三、圖 27 與圖 29 之 k1 點位置請檢核。</p> <p>四、有關高雄海域波浪推算中，建議後續加強其受陸域影響之相關學者研究及其可應用之處。</p>	<p>一、感謝委員指正，已修正。其中第三章與第四章的公式，分別用於年極值與月極值不同的分析方式，為考量文章閱讀的方便性故有兩個公式重複請委員見諒。</p> <p>二、以往學者的著作與經驗顯示 Goda 研究中建議以此四值來做測試，若針對 Weibull 分布做更進一步的研究可加以探討，感謝委員建議。</p> <p>三、已確認。</p> <p>四、本計畫收集往昔研究發現陸域影響風場之衰減程度之研究十分少見，若要考量此因素一般皆採用地形資料來進行較為複雜的空氣動力模式模擬，本研究中為了能夠快速且準確的評估此影響資料，發展以類神經學習配合轉</p>

	換函數之應用是目前較為創新的做法。
--	-------------------



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(2/4)

期中簡報

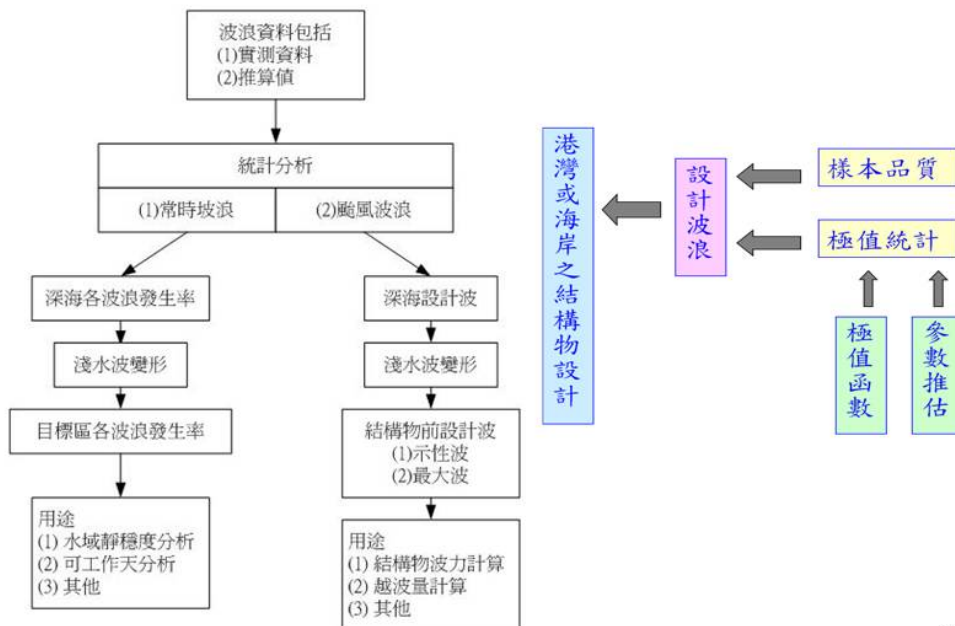
簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國九十九年七月十三日



## 研究動機





## 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。

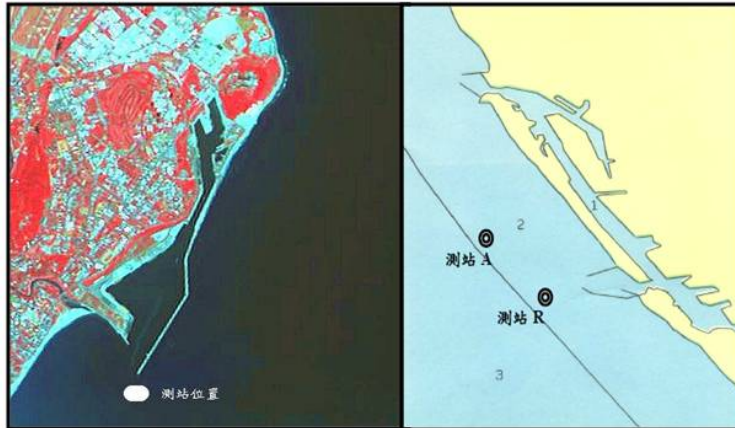
## 本年度工作項目

以花蓮港高雄港為主：

- 分析本所港研中心在花蓮、高雄兩港實測波浪之每月極值統計特性。(完成花蓮港部分)
- 以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定花蓮、高雄兩港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) 探討花蓮、高雄兩港波浪每月極值統計特性。(完成花蓮港)
- 比較年最大取法及超量選用法於極值統計之差異。
- 波浪極值統計視窗化操作之初步建構。

## 每月極值統計特性

資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料  
 花蓮港：1990年10月1日至2008年12月31日  
 高雄港：2000年12月中至2008年12月31日



花蓮港及高雄港測站位置

## 極值分布函數

Coastal Engineering Manual (2002) 建議在長期波浪的條件下  
 適合使用的極值累積機率分布函數為

(1) 極值 I 型分布(FI- I 型分布)

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

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

(2) Weibull分布

二參數型式

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{A} \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

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

三參數型式

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

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

5

6



## 極值分布參數推定

極值分布的參數推定方式

### (1) 力矩法(MOM)

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

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

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

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

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

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

## 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布。

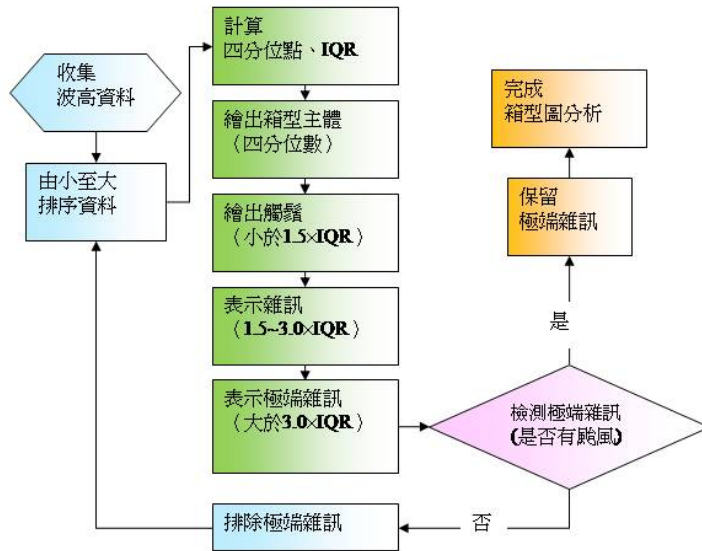
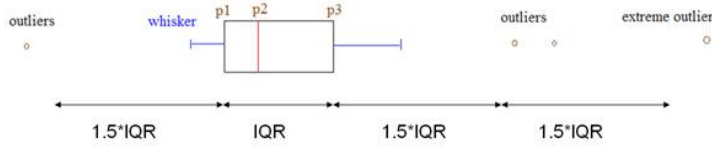
### ■ 陳(2009)

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。

7

8

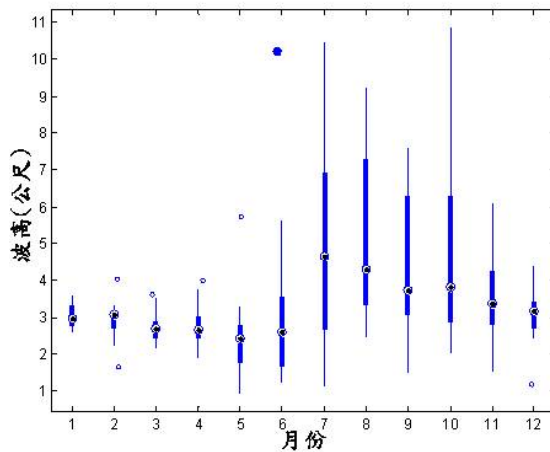
# 箱型圖 (Box Plot)



9

# 箱型圖 (Box Plot)

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	3.32	3.21	2.93	3.07	2.79	3.69	7.32	7.46	6.39	6.49	4.43	3.45
中位數	2.96	3.07	2.69	2.67	2.43	2.62	4.64	4.30	3.74	3.82	3.38	3.18
第三四分位數	2.73	2.70	2.43	2.41	1.70	1.64	2.64	3.33	3.01	2.82	2.73	2.70
IQR	0.59	0.51	0.50	0.66	1.09	2.05	4.68	4.13	3.38	3.67	1.70	0.75
1.5*IQR	0.89	0.77	0.75	0.99	1.64	3.08	7.02	6.20	5.07	5.51	2.55	1.13
3*IQR	1.77	1.53	1.50	1.98	3.27	6.15	14.04	12.39	10.14	11.01	5.10	2.25
觸鬚上界限	4.21	3.98	3.68	4.06	4.43	6.77	14.34	13.66	11.46	12.0	6.98	4.58
雜訊上界限	5.09	4.74	4.43	5.05	6.06	9.84	21.36	19.85	16.53	17.5	9.53	5.70



10



## 殘值均方根比較表

極值函數		FT-I			Weibull												Min1 / Min2
		MOM	LSM	MLE	MOM				LSM				MLE				
					k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	
年最大法		0.624	0.674	2.965	0.637	0.772	0.671	0.447	0.384	0.677	0.723	0.585	1.15	0.545	0.434	0.703	0.8844
月最大法	一月	0.009	0.029	0.084	0.011	0.031	0.016	0.017	0.016	0.05	0.044	0.011	0.052	1.68	0.048	0.038	0.8263
	二月	0.181	0.2	0.257	0.178	0.147	0.17	0.222	0.254	0.208	0.204	0.232	0.118	0.68	0.221	0.306	0.7987
	三月	0.073	0.051	0.212	0.071	0.044	0.064	0.109	0.029	0.001	0.028	0.086	0.015	0.85	0.246	0.155	0.075
	四月	0.259	0.206	0.216	0.256	0.222	0.248	0.304	0.179	0.148	0.183	0.254	0.186	0.292	0.487	0.324	0.8281
	五月	1.434	1.404	1.652	1.428	1.364	1.412	1.517	1.255	1.258	1.367	1.521	1.246	2.884	1.664	1.613	0.9929
	六月	3.247	3.274	5.753	3.235	3.104	3.202	3.42	2.73	2.821	3.148	3.552	4.244	7.042	4.045	3.874	0.9678
	七月	0.285	0.066	0.286	0.541	0.373	0.499	0.779	0.272	0.054	0.179	0.509	2.612	4.934	0.809	0.979	0.8225
	八月	0.182	0.265	1.315	0.196	0.338	0.231	0.005	0.27	0.486	0.4	0.128	1.764	3.381	0.098	0.276	0.0517
	九月	0.534	0.57	0.957	0.363	0.483	0.394	0.194	0.351	0.559	0.522	0.326	0.576	2.648	0.765	0.11	0.5657
	十月	1.451	1.267	3.926	1.435	1.277	1.395	1.659	0.955	0.86	1.099	1.507	4.669	5.987	1.924	2.071	0.9004
	十一月	0.418	0.311	0.158	0.411	0.339	0.393	0.512	0.28	0.205	0.268	0.408	0.149	1.438	1.31	0.464	0.9445
	十二月	0.085	0.123	0.563	0.081	0.039	0.07	0.139	0.2	0.135	0.129	0.166	0.083	0.329	0.366	0.322	0.5581
總評估值		1	0.8225	0.9445	0.8263	1.7987	0.5581	1.5657	4.7214	4.9678	0	0	3.075	0	0.9361	1	
RMSE 總和		8.7822	8.4425	18.345	8.843	8.5333	8.7646	9.3241	7.1766	7.4633	8.2962	9.2853	16.866	32.69	12.419	11.235	

考慮月最大法Weibull分布配合LSM法的k=1.0及k=1.4皆有相當不錯的配適情況

## LSM法Weibull分布不同形狀參數

資料選取		參數值			RMSE	資料選取		參數值			RMSE
		k	A	B				k	A	B	
年最大法		0.75	1.23	6.04	0.291	年最大法		1.4	3.26	4.53	0.059
		1	2.07	5.43	0.388			2	4.75	3.29	0.032
月最大法	一月	0.75	0.20	2.80	2.195	七月	0.75	1.73	2.91	0.174	
		1.00	0.32	2.71	1.571		1.00	2.81	2.16	0.160	
		1.40	0.50	2.58	0.348		1.40	4.26	1.08	0.034	
		2.00	0.71	2.40	0.164		2.00	6.04	-0.39	0.013	
	二月	0.75	0.28	2.61	2.552	八月	0.75	1.41	3.59	0.261	
		1.00	0.45	2.49	3.295		1.00	2.31	2.96	0.162	
		1.40	0.71	2.30	0.447		1.40	3.52	2.05	0.032	
		2.00	1.03	2.02	0.286		2.00	4.98	0.84	0.023	
	三月	0.75	0.28	2.43	1.921	九月	0.75	1.16	3.05	0.328	
		1.00	0.44	2.31	0.857		1.00	1.92	2.51	0.255	
		1.40	0.67	2.14	0.147		1.40	2.95	1.74	0.042	
		2.00	0.94	1.92	0.102		2.00	4.22	0.69	0.030	
	四月	0.75	0.36	2.32	0.799	十月	0.75	1.70	2.71	0.256	
		1.00	0.57	2.17	0.827		1.00	2.70	2.03	0.083	
		1.40	0.86	1.96	0.143		1.40	4.02	1.07	0.016	
		2.00	1.22	1.67	0.092		2.00	5.57	-0.21	0.034	
	五月	0.75	0.67	1.61	0.481	十一月	0.75	0.74	2.67	0.423	
		1.00	1.05	1.37	0.393		1.00	1.19	2.35	0.441	
		1.40	1.54	1.00	0.099		1.40	1.81	1.90	0.066	
		2.00	2.14	0.51	0.062		2.00	2.56	1.28	0.029	
	六月	0.75	1.44	1.37	0.316	十二月	0.75	0.36	2.64	2.419	
		1.00	2.20	0.88	0.076		1.00	0.60	2.47	3.237	
		1.40	3.17	0.20	0.038		1.40	0.94	2.21	0.427	
		2.00	4.29	-0.72	0.049		2.00	1.38	1.85	0.201	

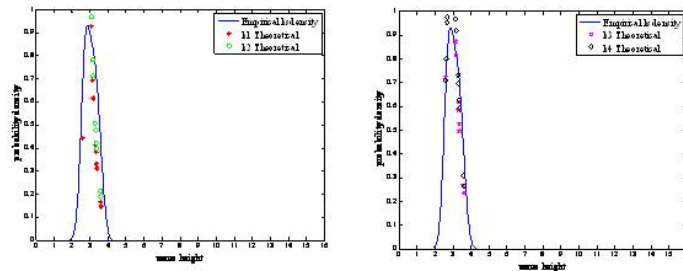
當k值越大，A也隨之增加，而B會隨之減小。  
 由合田(1990)建議Weibull分布常用四種不同k值(k1=0.75、k2=1.0、k3=1.4、k4=2.0)下，k值越小，表示極值波高的範圍越窄，相對於所繪出的機率密度圖會越尖銳。

## LSM法Weibull分布不同形狀參數

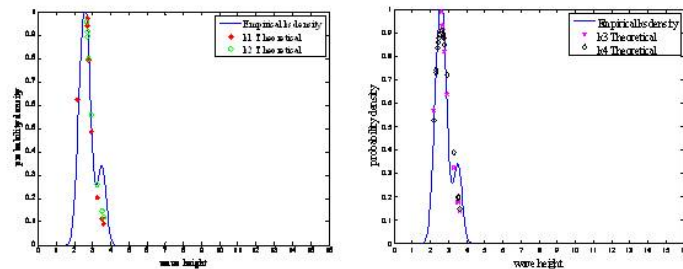
季節風期(12月-5月)：

在季節風期下，無颱風影響，極值波高的範圍小，所對應的機率密度值相對增大。而季節風期下的機率密度圖，以月最大法之一、三月為例，不同形狀參數的理論值，大致接近觀測值的機率密度線分布

1月



3月



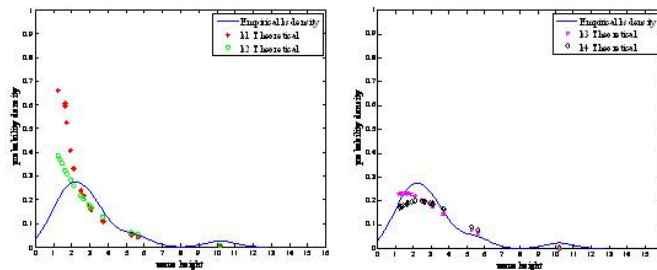
13

## LSM法Weibull分布不同形狀參數

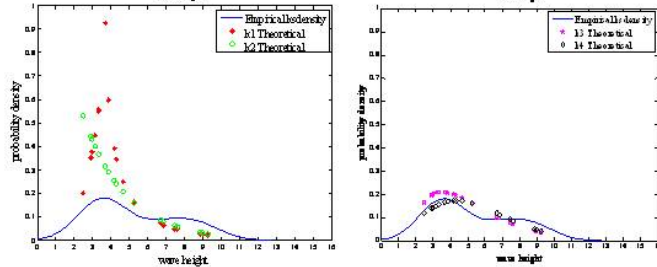
颱風期(6月-11月)：

在颱風期下，以月最大法之六、八月為例，可知在颱風期間形狀參數值k3、k4比k1、k2有較佳的模式配適。在颱風期k4時的B值相對於k1、k2、k3來得小很多，故k3最具有代表性。在1990-2008花蓮港極值波高資料結果，以LSM法Weibull分布形狀參數k=1.4的方法作為最佳的參數推估法與極值分布函數

6月



8月



14

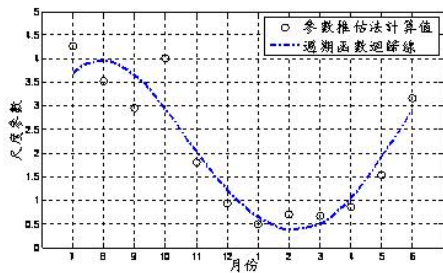


## 參數回歸

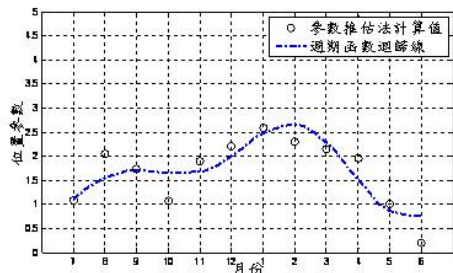
觀測資料中，受洋流、四季變化與氣候變遷的影響每月的極值波高分布有明顯的季節性，故考慮波高週期性的變化，極值參數加入年週期與半年週期的特性，將最佳極值方法所得到的極值分布參數，討論週期迴歸以修正參數。考慮參數之平均特性，加入Mendez之迴歸函數

$$P(t) = \bar{P} + a_1 \cos\left(t \frac{\pi}{6}\right) + a_2 \sin\left(t \frac{\pi}{6}\right) + a_3 \cos\left(t \frac{\pi}{3}\right) + a_4 \sin\left(t \frac{\pi}{3}\right)$$

t為時間項，以月份為單位； $\bar{p}$ 為一至十二月的參數平均值； $a_i$ 為待定係數。第一項考慮平均特性，第二、三項考慮年週期，第四、五項考慮半年週期。P(t)為t月份下的迴歸修正後參數值，為尺度、位置參數。利用最小二乘法所得的非線性曲線配適，計算待定係數，得參數迴歸式。



LSM法推估Weibull分布k=1.4之每月尺度參數的曲線配適

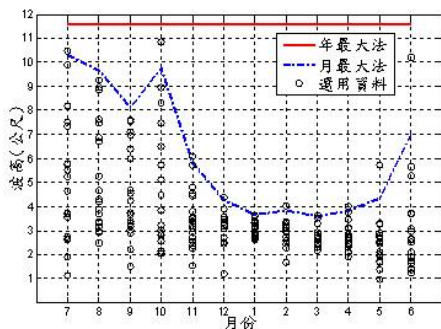


LSM法推估Weibull分布k=1.4之每月位置參數的曲線配適

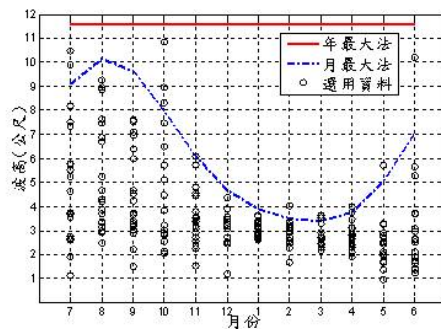
15

## 參數回歸

經參數回歸後波高趨於平滑穩定，極值參數經迴歸修正較符合實際季節變化影響。而月最大法中最大月份的極值波高仍小於年最大法，顯示使用月最大法推估極值波高，可減少相對於年最大法下高估極值波高的情況，不但能明確知道每個季節月份的極值波高變化，還能避免過保守的極值波高造成施工上的耗費。



LSM法Weibull分布k=1.4推估19年重現期之極值波高圖



LSM法Weibull分布k=1.4之修正參數推估19年重現期之極值波高圖

16

## 花蓮、高雄港各回歸期之設計波浪

- 樣本採用港研中心在高雄港海域測量自2001至2008年共8年之每年最大值波高
- 以98年度的研究結果顯示以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，因此僅以MLM推估法於各種極值分布
- 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

17

## 花蓮港各回歸期之設計波浪

以MLM推估花蓮港實測波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.77	0.37	0.50	0.65
ER(m)		2.78	0.02	1.13	2.17
$x_R(m)$	10	11.04	10.07	10.56	10.84
	25	12.98	10.59	11.94	12.62
	50	14.42	10.83	12.86	13.92
	100	15.86	11.00	13.71	15.21
$\sigma_{ml}(m)$	10	1.07	0.38	0.89	1.11
	25	1.37	0.40	1.07	1.53
	50	1.61	0.49	1.19	1.87
	100	1.84	0.59	1.31	2.24

GEV分布之機率密度函數描述此樣本極為吻合，但在波高大於11.2m之機率密度為零而累積機率為1，因此推估高重現期則有其限制。

18



## 高雄港各回歸期之設計波浪

以MLM推估高雄港實測波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.64	0.46	0.94	0.69
ER(m)		1.05	0.21	0.74	1.10
$x_R(m)$	10	8.32	7.31	7.13	8.48
	25	9.98	7.80	7.76	10.36
	50	11.22	8.05	8.17	11.79
	100	12.44	8.23	8.55	13.25
$\sigma_{mic}(m)$	10	1.37	0.54	0.63	1.82
	25	1.75	0.58	0.77	2.66
	50	2.05	0.68	0.85	3.38
	100	2.34	0.79	0.94	4.17

19

### 高雄港類神經颱風波浪推算模式之建構

- 颱風資料來源：中央氣象局及RSMC-Tokyo Center颱風氣象資料
- 波浪資料來源：交通部運輸研究所港灣技術研究中心年報資料(2001~2008)
- 颱風的名稱與發生時間採用RSMC-Tokyo Center發佈的資料為準，時間格式統一以臺灣時間表示。

## 高雄港類神經颱風波浪推算模式資料樣本

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2001	CIMARON	西馬隆	0.87	8
2001	CHEBI	奇比	7.95	7
2001	LEKIMA	利奇馬	5.77	4
2002	KAMMASUN	雷馬遜	1.97	—
2002	NAKRI	娜克莉	5.74	9
2002	SINLAKU	辛樂克	0.91	1
2003	KUJIRA	柯吉拉	0.98	—
2003	NANGKA	南卡	2.57	—
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	2.16	—
2003	IMPUDO	尹布都	4.16	—
2003	MORAKOT	莫拉克	5.21	4
2003	KKOVANI	柯羅旺	5.57	—
2003	DUJIAN	杜鵑	4.96	5
2003	MELOR	米勒	1.42	8
2004	CONSON	康森	2.15	—
2004	MINDULLE	敏督利	4.94	6
2004	KOMPASU	康柏斯	1.58	—
2004	RANANIM	蘭寧	2.52	—
2004	AERE	艾利	5.09	1
2004	HAIMA	海馬	5.08	6
2004	MEARI	米雷	1.45	—

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2004	NOCK TEN	納坦	1.88	6
2004	NANMAOL	南瑪都	4.06	9
2005	HAIYANG	海棠	6.46	5
2005	MATSA	馬莎	5.15	1
2005	SANVU	珊瑚	4.75	—
2005	TALIM	泰利	4.94	5
2005	KHANUN	卡勞	1.09	—
2005	DAMREY	丹瑞	5.24	—
2005	LONGWANG	龍王	2.79	5
2006	SIANSHAN	珊珊	1.91	—
2007	WUTIP	梧提	2.51	5
2007	WIPHA	韋帕	1.98	1
2007	KROSA	柯羅莎	4.18	2
2007	MITAG	米塔	1.85	—
2008	KALMAEGI	卡玖基	5.05	2
2008	FUNG WONG	鳳凰	5.27	5
2008	NURI	如麗	6.12	—
2008	SINLAKU	辛樂克	5.55	2
2008	HAGUPIT	哈格比	5.55	—
2008	IANGMI	曹蜜	5.51	2

依據中央氣象局公布2001年至2008年侵台颱風共有57場。但須兼顧波浪資料的完整性，故本研究初步整理出具有實測波浪資料的颱風共41場。

## 颱風波浪資料樣本

41場颱風中共有18場颱風其最大波高沒有達到3米，而其最大波高小於2米的共有12場；最大波高小於1米的共3場。

民國15年至民國85年颱風侵襲臺灣各月次數

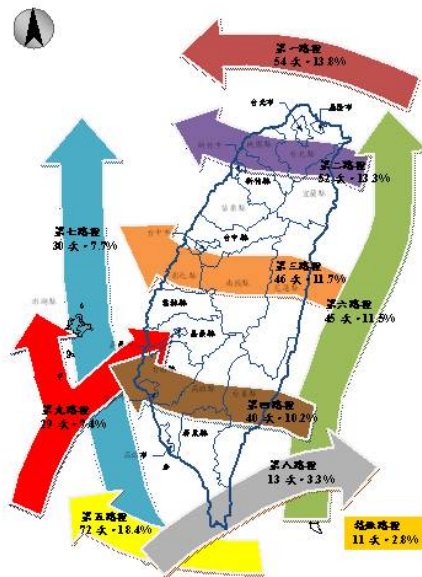
月份	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	全年
次數	2	12	26	86	108	80	27	7	348
平均	0.02	0.12	0.26	0.86	1.08	0.80	0.27	0.07	3.48
百分數	0.6	3.4	7.5	24.7	31.0	23.0	7.8	2.0	100

每年七、八、九三個月為颱風侵襲臺灣最多的季節；而高雄港位於台灣西南側海岸，夏季面臨西南季風的影響，其季節風波浪亦較高，使得部份資料難以判斷其波浪是由季節風所造成亦或是颱風所造成的。



## 颱風波浪資料樣本

圖中顯示1897至2003年100年內直撲高雄港的第九類路徑僅7.4%。而且大部分颱風皆為由東向西行進佔49%，此類颱風若對高雄港造成影響，必定會先行經中央山脈的高山地形，當經過中央山脈時颱風結構會變得鬆散，也會因高山地形的屏障效應使得對高雄港的影響變小。在2001年至2008年八年中對高雄港產生較直接影響的颱風僅有CHEBI(2001)、NAKRI(2002)以及NANMADOL(2004)等三個颱風，在整體樣本中偏少。



## 颱風波浪資料樣本

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高 (m)	資料分類
2001	CHEBI	奇比	7.95	L
2001	LEKIMA	利奇馬	3.77	T
2002	NAKRI	娜克莉	3.74	V
2003	IMBUDO	尹布都	4.16	L
2003	MORAKOT	莫拉克	3.21	L
2003	KROVANH	柯羅旺	3.57	T
2003	DUJUAN	杜鵑	4.96	L
2004	CONSON	康森	2.13	L
2004	MINDULLE	敏督利	4.94	V
2004	KOMPASU	康柏斯	1.58	T
2004	RANANIM	蘭寧	2.32	V
2004	AERE	艾利	3.09	L
2004	HAIMA	海馬	3.08	L
2004	NOCK_TEN	納坦	1.88	T
2004	NANMADOL	南瑪都	4.06	V

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高 (m)	資料分類
2005	HAITANG	海棠	6.46	L
2005	MATSA	馬莎	3.13	L
2005	SANVU	珊瑚	4.75	L
2005	TALIM	泰利	4.94	T
2005	DAMREY	丹瑞	3.84	V
2005	LONGWANG	龍王	2.79	L
2006	SHANSHAN	珊珊	1.91	L
2007	WIPHA	韋帕	1.98	V
2007	KROSA	柯羅莎	4.18	T
2008	KALMAEGI	卡玖基	3.05	T
2008	FUNG_WONG	鳳凰	5.27	V
2008	NURI	如麗	6.12	V
2008	SINLAKU	辛樂克	3.53	T
2008	HAGUPIT	哈格比	3.53	T
2008	IANGMI	薔蜜	3.51	L

去除影響較小及雙颱交互影響的颱風後選取了30場颱風進行模式的建立。(L、V、T分別代表三群均勻資料)

## 類神經颱風波浪模式

### ■類神經花蓮港波浪推算模式

主要學習機制：外海湧浪傳遞效應

颱風類型：由東向西直撲(63%)，其餘受陸地效應。

颱風季節與季節風影響季節不同

實測資料：1990至今

### ■類神經高雄港波浪推算模式

主要學習機制：陸地效應對風場結構的影響

颱風類型：直接影響(14%)，其餘受陸地效應影響。

颱風季節與季節風影響季節相同

實測資料：2000至今

## 類神經颱風波浪模式建構

### 輸入因子

■目標點海面10m風速  $V$  (Rankin-Vortex Model)

■颱風與目標點距離  $D$

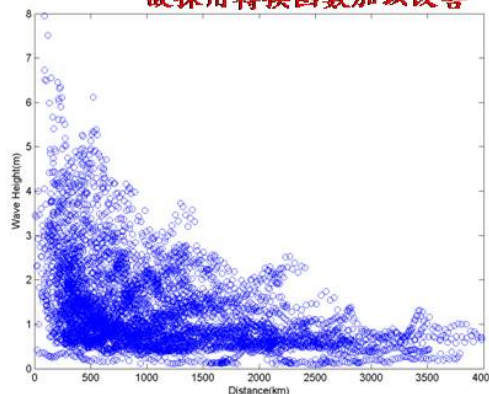
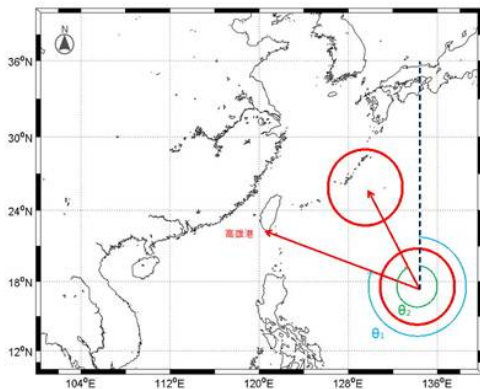
■目標點對颱風中心的方位角  $\theta_1$

■颱風侵襲角  $\theta_3 = \theta_1 - \theta_2$

■目標點風向  $V_{deg}$

輸入因子	相關性 $R$
$V$	0.425
$D$	-0.392
$\theta_1$	-0.492
$\theta_3$	0.014
$V_{deg}$	-0.458

五個輸入因子與波高相關性低  
故採用轉換函數加以改善

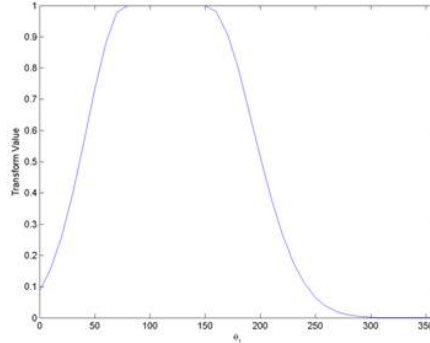
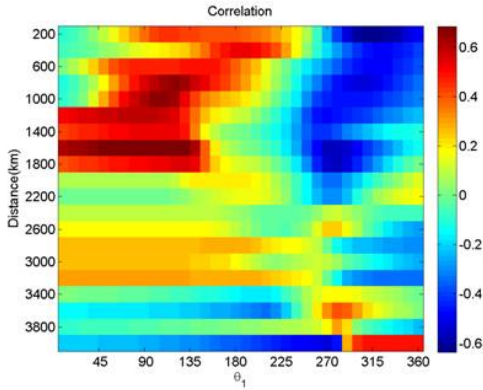




## 類神經颱風波浪模式建構

### 經轉換後的輸入因子

- 目標點對颱風中心的方位角  $\theta_1$  (遮蔽效應因子)



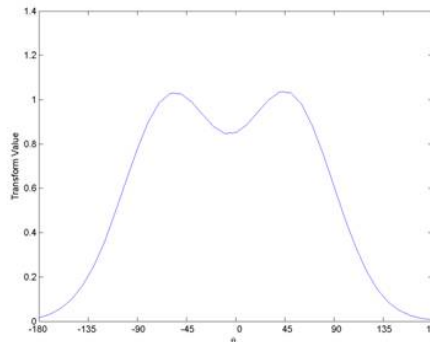
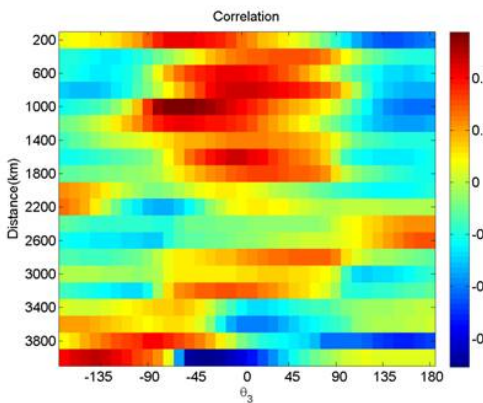
透過多變量的Derivative-based  
搜尋法找到最佳的高斯轉換函數

目標點的方位角可表示推算目標點是在颱風中心的哪一個方位，以正北為 $0^\circ$ ，若 $\theta_1$ 為 $90^\circ$ 表示颱風由西向東邊的目標點登陸，反之，若 $\theta_1$ 為 $270^\circ$ 則表示颱風由東向西自臺東登陸經中央山脈侵襲高雄港。在距離 $1800\text{km}$ 以內，經高斯轉換後 $\theta_1$ 約以 $220^\circ$ 為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性

## 類神經颱風波浪模式建構

### 經轉換後的輸入因子

- 颱風侵襲角  $\theta_3$  (颱風結構因子)



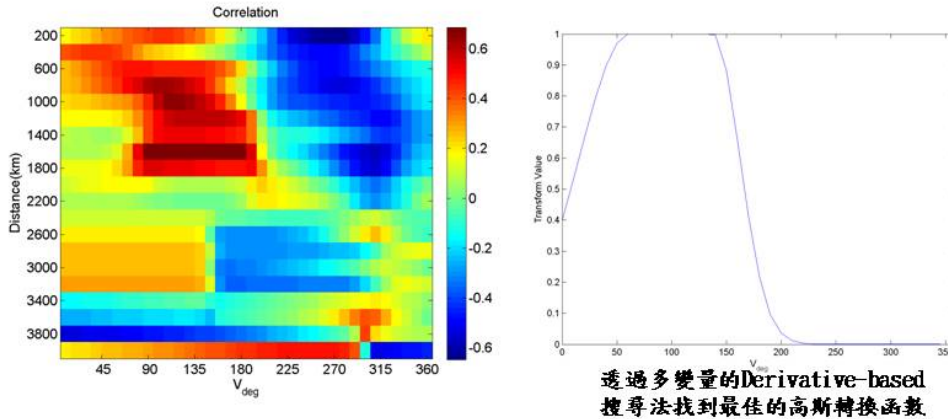
透過多變量的Derivative-based  
搜尋法找到最佳的高斯轉換函數

在往昔觀念中颱風右半圓擁有較大的風力，但圖中僅看出颱風距離 $1800\text{km}$ 以內 $-120^\circ$ 至 $120^\circ$ 間的區域相關性較其他部分高，並無右半圓相關性較高的現象。原因在於高雄港受颱風右半圓侵襲的狀況下大多同時受陸地的遮蔽效應，故使颱風右半圓較強的特性不明顯。

## 類神經颱風波浪模式建構

### 經轉換後的輸入因子

#### ■ 目標點風向 $V_{deg}$



風的去向於180至320間明顯與波高相關性低，即表現出當風的驅動力隔著臺灣陸地區域往西邊吹時，對推算目標點高雄港的波浪生成並無影響。此現象即描述當颱風在臺灣東岸登陸時，隔著中央山脈其對高雄港的影響並不大。

## 類神經颱風波浪模式建構

■ 網路訓練方式：Scaled conjugate gradient backpropagation

■ 學習驗證資料分類方式：Camargo (2007) 熱帶氣旋分類法

■ 輸入層：

- (1) 風速因子
- (2) 距離因子
- (3) 遮蔽效應因子
- (4) 颱風結構因子
- (5) 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
$V$	0.425	風速因子	0.425
$D$	-0.392	距離因子	0.392
$\theta_1$	-0.492	遮蔽效應因子	<b>0.597</b>
$\theta_3$	0.014	颱風結構因子	<b>0.440</b>
$V_{deg}$	-0.458	目標點風向因子	<b>0.574</b>



## 模式推算能力評估

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R
2001	CHEBI(奇比)	-1.77	1.00	0.73	0.91
2001	LEKIMA(利奇馬)	0.24	-6.00	0.95	0.42
2002	NAKRI(納克力)	0.29	8.00	0.56	0.71
2003	IMBUDO(伊布都)	-0.28	-3.00	0.79	0.74
2003	MORAKOT(莫拉克)	0.00	-2.00	0.59	0.84
2003	KROVANH(科羅旺)	0.37	-4.00	0.64	0.24
2003	DUJUAN(杜鵑)	-0.23	21.00	1.43	0.15
2004	CONSON(康森)	-0.06	15.00	0.26	0.78
2004	MINDULLE(敏督利)	-1.05	-4.00	0.64	0.90
2004	KOMPASU(康柏斯)	2.68	5.00	1.81	0.59
2004	RANANIM(蘭寧)	-0.18	18.00	0.35	0.74
2004	AERE(艾利)	0.59	-40.00	0.31	0.87
2004	HAIMA(海馬)	-0.02	4.00	0.52	0.62
2004	NOCK_TEN(納坦)	0.66	9.00	0.52	0.72
2004	NANMADOL(南瑪都)	0.23	1.00	0.41	0.91
2005	HAITANG(海棠)	-1.60	2.00	0.80	0.95
2005	MATSA(瑪莎)	-0.53	1.00	0.46	0.85
2005	SANVU(珊珊)	-0.88	17.00	0.66	0.87
2005	TALIM(泰利)	-0.70	2.00	0.82	0.79
2005	DAMREY(丹瑞)	0.44	-8.00	0.44	0.87
2005	LONGWANG(龍王)	0.68	-1.00	0.62	0.93
2006	SHANSHAN(珊珊)	-0.38	-7.00	0.34	0.40
2007	WIPHA(韋帕)	0.66	21.00	0.61	0.64
2007	KROSA(柯羅莎)	-0.09	-1.00	0.91	0.47
2008	KALMAEGI(卡玫基)	-0.29	11.00	0.35	0.84
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	-0.36	-17.00	0.39	0.95
2008	NURI(如麗)	-1.82	-14.00	0.65	0.96
2008	SINLAKU(辛樂克)	1.73	6.00	0.62	0.79
2008	HAGUPIT(哈格比)	0.96	-12.00	0.73	0.94
2008	JANGMI(蔷薔)	0.44	0.00	0.37	0.88
	平均	0.67	8.70	0.64	0.74

四個評估指標：

1. 平均  $\Delta H_{s,p} = 0.67\text{m}$
2. 平均  $\Delta t_p = 8.7\text{小時}$
3. 平均  $\text{RMSE} = 0.64\text{m}$
4. 平均  $R = 0.73$

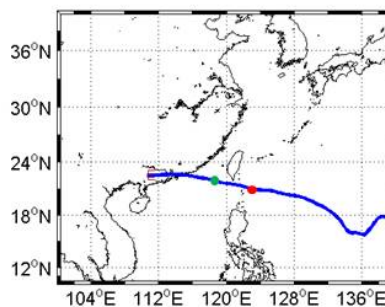
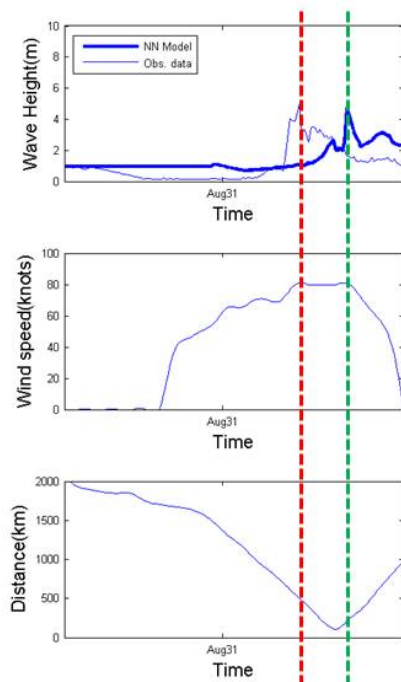
與花蓮港模式比較

	$\Delta H_{s,p}$ (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

名稱加底色的颱風為完全沒有加入模式訓練的檢驗用颱風

## 推算結果誤差較大的颱風

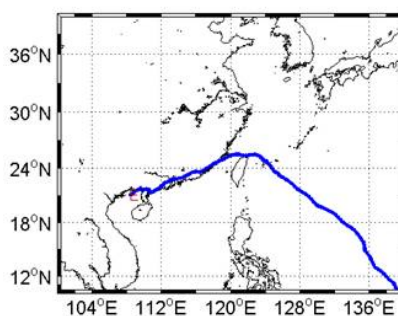
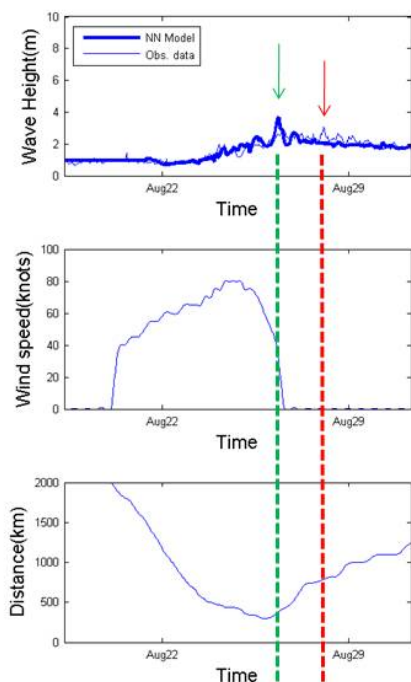
杜鵑DUJUAN(2003)



依據距離變化圖可發現實際最大波浪發生在颱風中心仍在臺灣東側的時候，通常颱風在臺灣東側的狀況風場結構與波浪傳遞都會受到地形的阻擋，故理論上不應那麼早發生最大波高。

## 推算結果誤差較大的颱風

### 艾利AERE(2004)

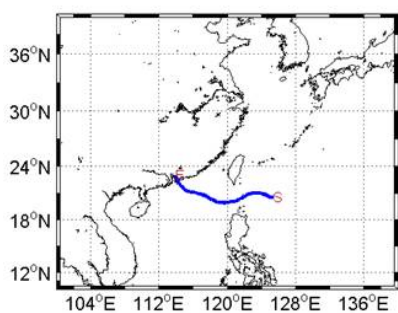
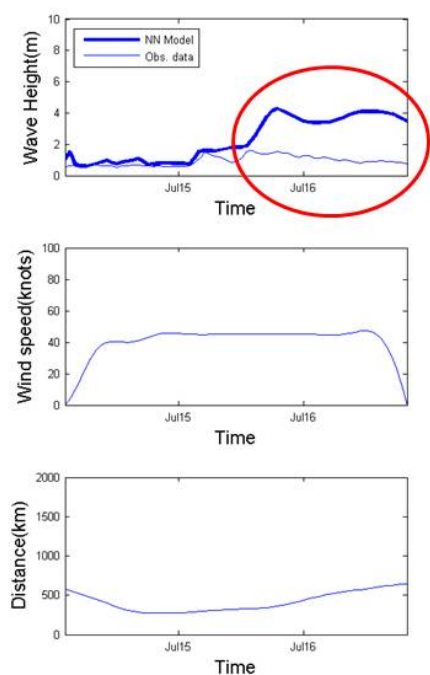


由JMA所提供的颱風資料顯示實測資料發生最大波浪的時間點颱風風速已經降低至接近消失的狀態，故此誤差必須確認是颱風資訊中風速的錯誤或是波浪實測資料中有非颱風造成的短時間異常波高變化。



## 推算結果誤差較大的颱風

### 康柏斯KOMPASU(2004)



颱風風力較弱而行經此類路徑的颱風可能會容易出現模式推估錯誤的狀況，可能需要更多的資料來進行學習與改善。





## 結論

■本計畫將98年度所初步建構的高雄港颱風波浪推算模式進行改善，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0.67m，而此外最大波高發生時間誤差平均約8.70小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為0.64m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為0.74。本文並針對推估結果較差的颱風進行討論，日後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。

■以花蓮港實測19年之年最大值波高為樣本，以MLE推估參數法於Weibull分布最適合於此樣本之機率分布。以MLE推估Weibull分布，50年重現期波高為13.16m，若考慮95%信賴度之偏差量，則此值會在10.63-15.69m之間。而高雄港僅有2001-2008年之8年實測數據，以實測之年最大值波高為樣本，以GEV分布為最適分布，推算50年重現期之波高為8.05，標準偏量為0.68，若在95%信賴度下，此推算值應在6.72-9.38m。

## 結論

■本研究由箱型圖初步分析取樣，再進一步討論極值分析之最佳分布與參數推定法，最後考慮季節性變化之極值參數迴歸，經參數迴歸後波高趨於平滑穩定，極值參數經迴歸修正較符合實際季節變化影響。得到以下結論。當考慮極值波高之季節性變化時，其位置參數B及尺度參數A與時間之關係，可利用正、餘弦之週期函數表示。花蓮港季節風期（12~5月）四種形狀參數的理論機率密度和觀測值都很接近；颱風期（6~11月）的極值波高分布範圍大， $k=1.4$ 的理論機率密度和觀測值較為接近。另外，利用傳統年最大法推估所得之年最大極值波高較利用月最大法推估所得之年最大極值波高為大。顯示若採用傳統年最大法的推估結果做設計時，可能有超設計現象。

35

36

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(2/4)

期末簡報

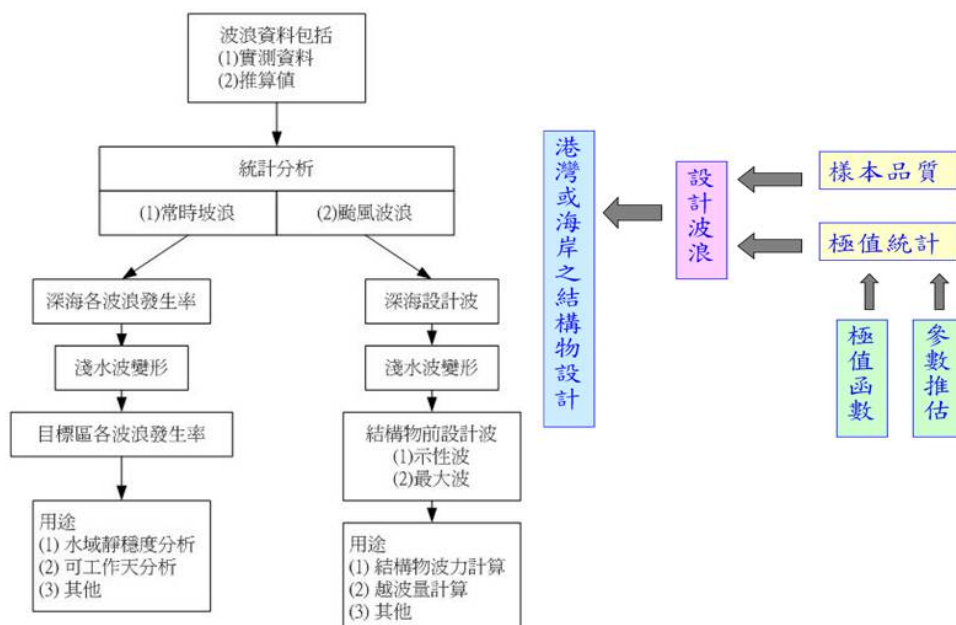
簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所  
中華民國九十九年十一月十六日



## 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

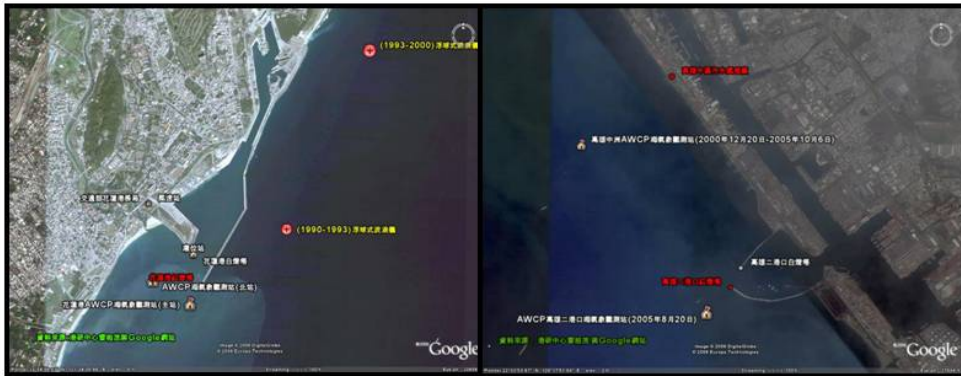
以花蓮港高雄港為主：

- 分析本所港研中心在花蓮、高雄兩港實測波浪之每月極值統計特性。(完成)
- 以年最大取法於最適分布之樣本來源，確定花蓮、高雄兩港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) 探討花蓮、高雄兩港波浪每月極值統計特性。(完成)
- 比較年最大取法及超量選用法於極值統計之差異。(完成)
- 波浪極值統計視窗化操作之初步建構。(完成)

4

## 每月極值統計特性

資料來源：港灣技術研究中心波浪年報資料  
 花蓮港：1990年10月1日至2008年12月31日  
 高雄港：2000年12月中至2009年12月31日



花蓮港及高雄港測站位置

5

## 極值分布函數

Coastal Engineering Manual (2002) 建議在長期波浪的條件下  
 適合使用的極值累積機率分布函數為

(1) 極值 I 型分布 (FT-I 型分布，又稱 Gumbel 分布)

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

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

(2) 通用極值分布 (Generalized extreme value, G.E.V.)

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

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

(3) Weibull 分布-二參數型式

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

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{A} \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k}, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

6



## 極值分布函數

### (4) Weibull分布-三參數型式

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

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

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

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

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

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

## 季節性統計分析方法

### ■ Mendez 等(2008)

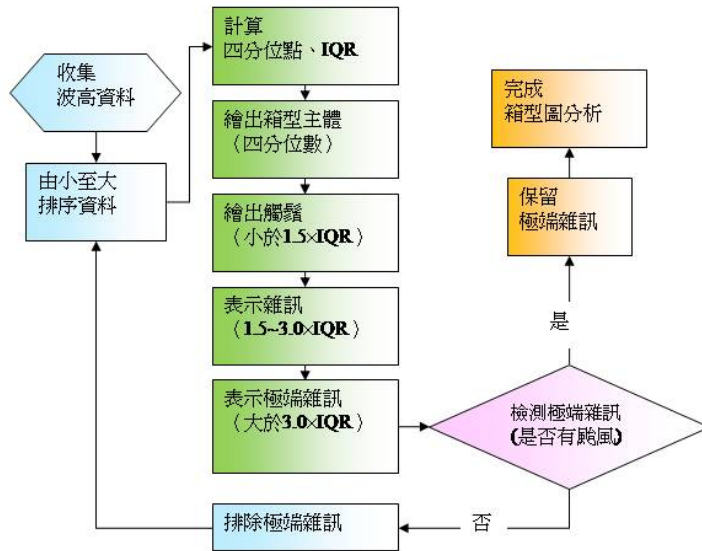
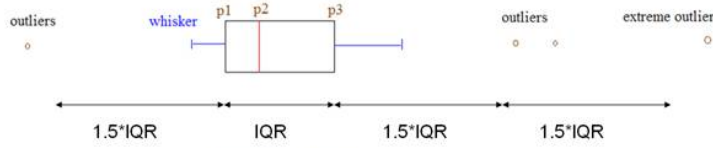
提出超量門檻選用法的極值波高，存在非穩定的季節性變化，其波高符合極端值分布。

### ■ 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。



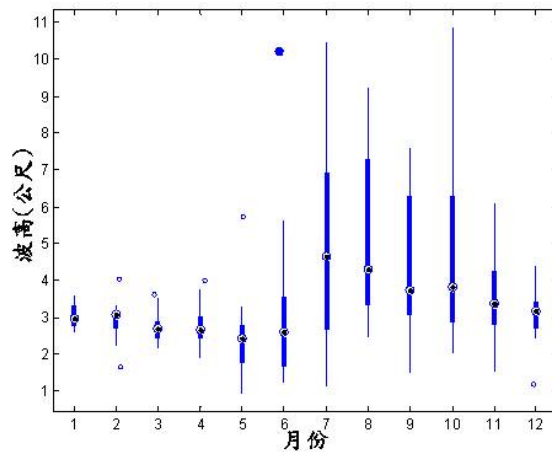
# 箱型圖 (Box Plot)



9

# 箱型圖 (Box Plot)

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	3.32	3.21	2.93	3.07	2.79	3.69	7.32	7.46	6.39	6.49	4.43	3.45
中位數	2.96	3.07	2.69	2.67	2.43	2.62	4.64	4.30	3.74	3.82	3.38	3.18
第三四分位數	2.73	2.70	2.43	2.41	1.70	1.64	2.64	3.33	3.01	2.82	2.73	2.70
IQR	0.59	0.51	0.50	0.66	1.09	2.05	4.68	4.13	3.38	3.67	1.70	0.75
1.5*IQR	0.89	0.77	0.75	0.99	1.64	3.08	7.02	6.20	5.07	5.51	2.55	1.13
3*IQR	1.77	1.53	1.50	1.98	3.27	6.15	14.04	12.39	10.14	11.01	5.10	2.25
觸鬚上界限	4.21	3.98	3.68	4.06	4.43	6.77	14.34	13.66	11.46	12.0	6.98	4.58
雜訊上界限	5.09	4.74	4.43	5.05	6.06	9.84	21.36	19.85	16.53	17.5	9.53	5.70



10



## 殘值均方根比較表

極值函數		FT-I			Weibull												Min1 /Min2	
		MOM	LSM	MLE	MOM				LSM				MLE					
					k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0	k=0.75	k=1.0	k=1.4	k=2.0		
年最大法		0.624	0.674	2.965	0.637	0.772	0.671	0.447	0.384	0.677	0.723	0.585	1.15	0.545	0.434	0.703	0.8844	
月最大法	一月	0.009	0.029	0.084	0.011	0.031	0.016	0.017	0.016	0.05	0.044	0.011	0.052	1.68	0.048	0.038	0.8263	
	二月	0.181	0.2	0.257	0.178	0.147	0.17	0.222	0.254	0.208	0.204	0.232	0.118	0.68	0.221	0.306	0.7987	
	三月	0.073	0.051	0.212	0.071	0.044	0.064	0.109	0.029	0.001	0.028	0.086	0.015	0.85	0.246	0.155	0.075	
	四月	0.259	0.206	0.216	0.256	0.222	0.248	0.304	0.179	0.148	0.183	0.254	0.186	0.292	0.487	0.324	0.8281	
	五月	1.434	1.404	1.652	1.428	1.364	1.412	1.517	1.255	1.258	1.367	1.521	1.246	2.884	1.664	1.613	0.9929	
	六月	3.247	3.274	5.753	3.235	3.104	3.202	3.42	2.73	2.821	3.148	3.552	4.244	7.042	4.045	3.874	0.9678	
	七月	0.285	0.066	0.286	0.541	0.373	0.499	0.779	0.272	0.054	0.179	0.509	2.612	4.934	0.809	0.979	0.8225	
	八月	0.182	0.265	1.315	0.196	0.338	0.231	0.005	0.27	0.486	0.4	0.128	1.764	3.381	0.098	0.276	0.0517	
	九月	0.534	0.57	0.957	0.363	0.483	0.394	0.194	0.351	0.559	0.522	0.326	0.576	2.648	0.765	0.11	0.5657	
	十月	1.451	1.267	3.926	1.435	1.277	1.395	1.659	0.955	0.86	1.099	1.507	4.669	5.987	1.924	2.071	0.9004	
	十一月	0.418	0.311	0.158	0.411	0.339	0.393	0.512	0.28	0.205	0.268	0.408	0.149	1.438	1.31	0.464	0.9445	
	十二月	0.085	0.123	0.563	0.081	0.039	0.07	0.139	0.2	0.135	0.129	0.166	0.083	0.329	0.366	0.322	0.5581	
總評估值		1	0.8225	0.9445	0.8263	1.7987	0.5581	1.5657	4.7214	4.9678	0	0	3.075	0	0.9361	1		
RMSE 總和		8.782	8.4425	18.345	8.843	8.5333	8.7646	9.324	7.1766	7.4633	8.2962	9.2853	16.866	32.69	12.419	11.235		

考慮月最大法Weibull分布配合LSM法的k=1.0及k=1.4皆有相當不錯的配適情況

11

## LSM法Weibull分布不同形狀參數

資料選取		參數值			RMSE	資料選取		參數值			RMSE
		k	A	B				k	A	B	
年最大法		0.75	1.23	6.04	0.291	年最大法		1.4	3.26	4.53	0.059
		1	2.07	5.43	0.388			2	4.75	3.29	0.032
月最大法	一月	0.75	0.20	2.80	2.195	七月	0.75	1.73	2.91	0.174	
		1.00	0.32	2.71	1.571		1.00	2.81	2.16	0.160	
		1.40	0.50	2.58	0.348		1.40	4.26	1.08	0.034	
		2.00	0.71	2.40	0.164		2.00	6.04	-0.39	0.013	
	二月	0.75	0.28	2.61	2.552	八月	0.75	1.41	3.59	0.261	
		1.00	0.45	2.49	3.295		1.00	2.31	2.96	0.162	
		1.40	0.71	2.30	0.447		1.40	3.52	2.05	0.032	
		2.00	1.03	2.02	0.286		2.00	4.98	0.84	0.023	
	三月	0.75	0.28	2.43	1.921	九月	0.75	1.16	3.05	0.328	
		1.00	0.44	2.31	0.857		1.00	1.92	2.51	0.255	
		1.40	0.67	2.14	0.147		1.40	2.95	1.74	0.042	
		2.00	0.94	1.92	0.102		2.00	4.22	0.69	0.030	
	四月	0.75	0.36	2.32	0.799	十月	0.75	1.70	2.71	0.256	
		1.00	0.57	2.17	0.827		1.00	2.70	2.03	0.083	
		1.40	0.86	1.96	0.143		1.40	4.02	1.07	0.016	
		2.00	1.22	1.67	0.092		2.00	5.57	-0.21	0.034	
	五月	0.75	0.67	1.61	0.481	十一月	0.75	0.74	2.67	0.423	
		1.00	1.05	1.37	0.393		1.00	1.19	2.35	0.441	
		1.40	1.54	1.00	0.099		1.40	1.81	1.90	0.066	
		2.00	2.14	0.51	0.062		2.00	2.56	1.28	0.029	
	六月	0.75	1.44	1.37	0.316	十二月	0.75	0.36	2.64	2.419	
		1.00	2.20	0.88	0.076		1.00	0.60	2.47	3.237	
		1.40	3.17	0.20	0.038		1.40	0.94	2.21	0.427	
		2.00	4.29	-0.72	0.049		2.00	1.38	1.85	0.201	

當k值越大，A也隨之增加，而B會隨之減小。  
 由合田(1990)建議Weibull分布常用四種不同k值(k1=0.75、k2=1.0、k3=1.4、k4=2.0)下，k值越小，表示極值波高的範圍越窄，相對於所繪出的機率密度圖會越尖銳。

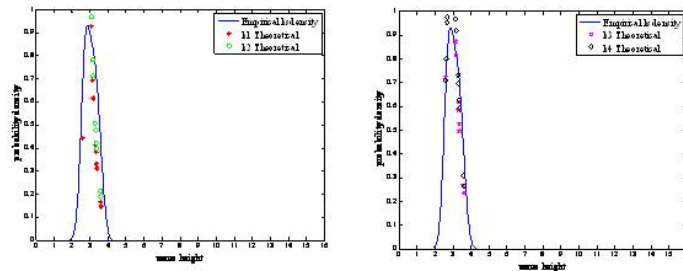
12

## LSM法Weibull分布不同形狀參數

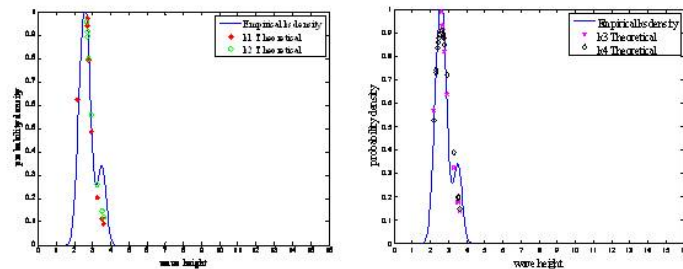
季節風期(12月-5月)：

在季節風期下，無颱風影響，極值波高的範圍小，所對應的機率密度值相對增大。而季節風期下的機率密度圖，以月最大法之一、三月為例，不同形狀參數的理論值，大致接近觀測值的機率密度線分布

1月



3月



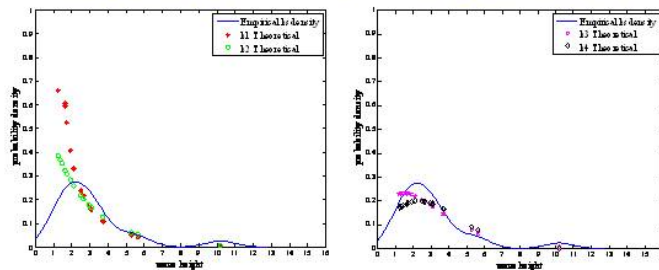
13

## LSM法Weibull分布不同形狀參數

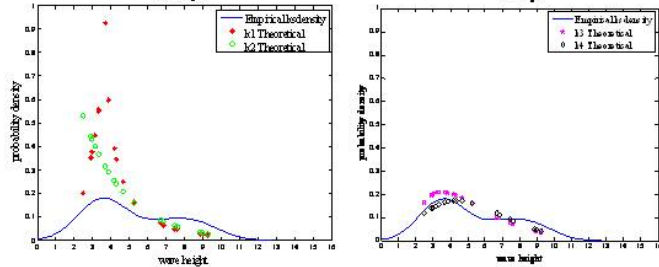
颱風期(6月-11月)：

在颱風期下，以月最大法之六、八月為例，可知在颱風期間形狀參數值k3、k4比k1、k2有較佳的模式配適。在颱風期k4時的B值相對於k1、k2、k3來得小很多，故k3最具有代表性。在1990-2008花蓮港極值波高資料結果，以LSM法Weibull分布形狀參數k=1.4的方法作為最佳的參數推估法與極值分布函數

6月



8月



14

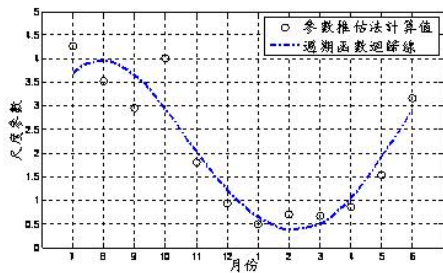


## 參數回歸

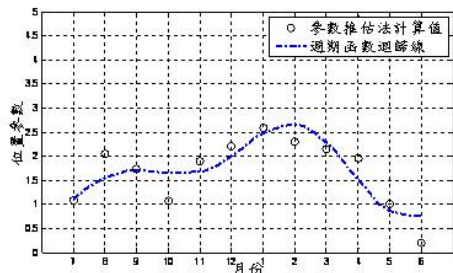
觀測資料中，受洋流、四季變化與氣候變遷的影響每月的極值波高分布有明顯的季節性，故考慮波高週期性的變化，極值參數加入年週期與半年週期的特性，將最佳極值方法所得到的極值分布參數，討論週期迴歸以修正參數。考慮參數之平均特性，加入Mendez之迴歸函數

$$P(t) = \bar{P} + a_1 \cos\left(t \frac{\pi}{6}\right) + a_2 \sin\left(t \frac{\pi}{6}\right) + a_3 \cos\left(t \frac{\pi}{3}\right) + a_4 \sin\left(t \frac{\pi}{3}\right)$$

t為時間項，以月份為單位； $\bar{p}$ 為一至十二月的參數平均值； $a_i$ 為待定係數。第一項考慮平均特性，第二、三項考慮年週期，第四、五項考慮半年週期。P(t)為t月份下的迴歸修正後參數值，為尺度、位置參數。利用最小二乘法所得的非線性曲線配適，計算待定係數，得參數迴歸式。



LSM法推估Weibull分布k=1.4之每月尺度參數的曲線配適

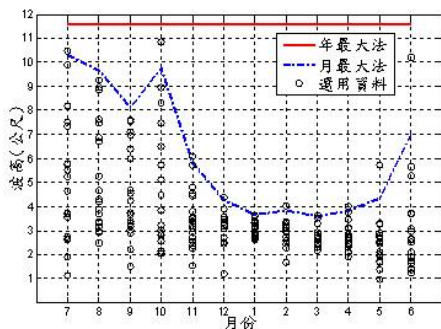


LSM法推估Weibull分布k=1.4之每月位置參數的曲線配適

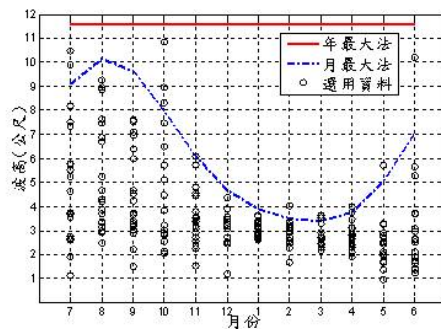
15

## 參數回歸

經參數回歸後波高趨於平滑穩定，極值參數經迴歸修正較符合實際季節變化影響。而月最大法中最大月份的極值波高仍小於年最大法，顯示使用月最大法推估極值波高，可減少相對於年最大法下高估極值波高的情況，不但能明確知道每個季節月份的極值波高變化，還能避免過保守的極值波高造成施工上的耗費。



LSM法Weibull分布k=1.4推估19年重現期之極值波高圖



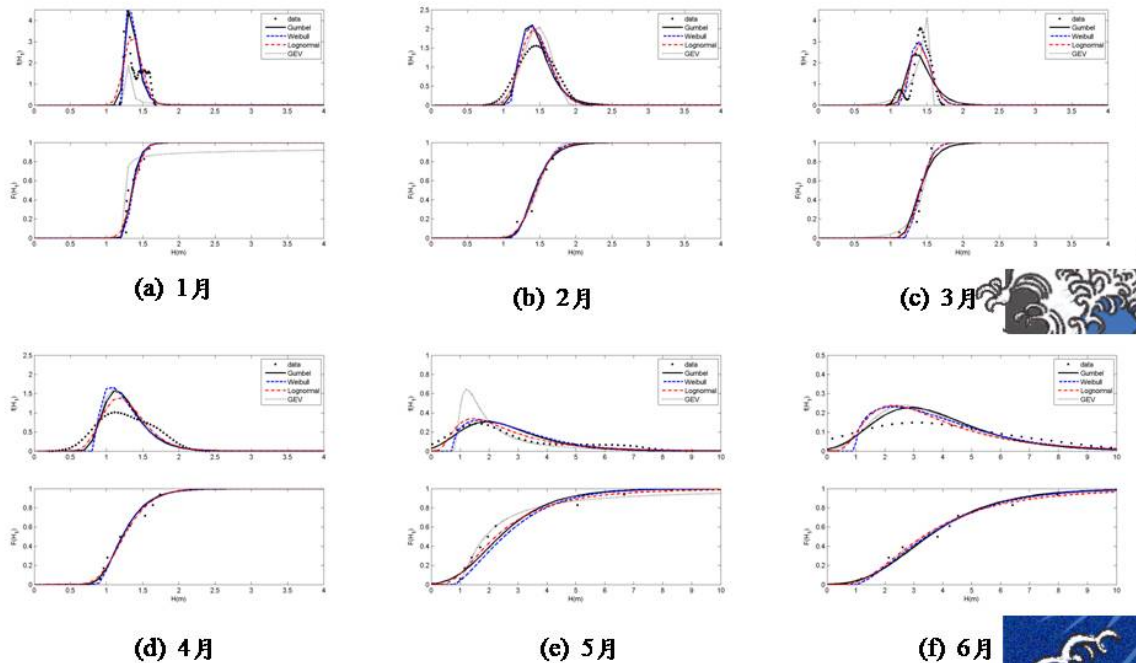
LSM法Weibull分布k=1.4之修正參數推估19年重現期之極值波高圖

16

## 高雄港月極值分析結果

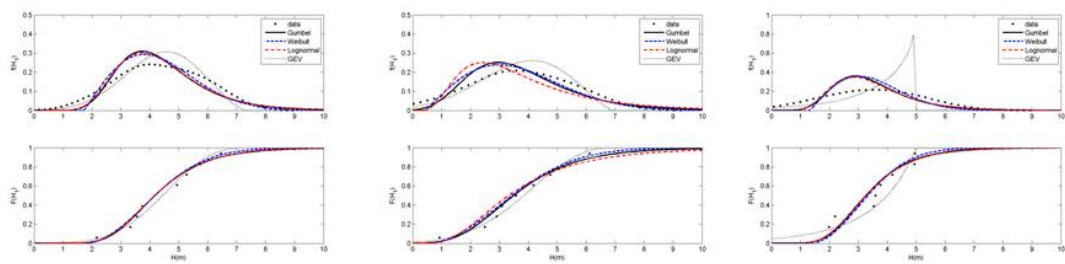
- 樣本採用港研中心量測高雄海域2000至2008年共9年之每月最大波高
- Lognormal分布以RMSE值來看較佳，推算標準偏差較Gumbel與Weibull兩種分布大，GEV分布在推算重現期長的狀況下會有不適用的狀況，因此推算重現期波高方面以Gumbel與Weibull分布較佳。
- 選擇重現期為 $T=50$ 的情況下，若在95%信賴度下，各月份波高分別為

月份	波高	月份	波高
一月	1.45至1.81m	七月	5.52至9.52m
二月	1.64至2.18m	八月	5.12至9.98m
三月	1.68至1.68m	九月	4.4至7.74m
四月	1.48至2.58m	十月	2.6至5.9m
五月	3.89至9.69m	十一月	1.53至2.07m
六月	5.38至13.42m	十二月	2.2至4.77m



以MLE推估高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

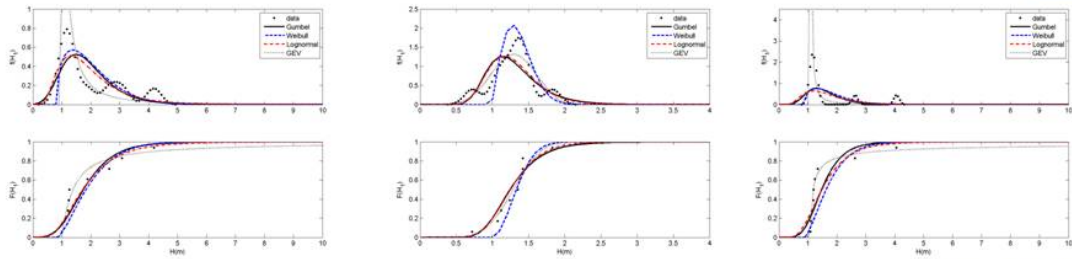




(g) 7月

(h) 8月

(i) 9月



(j) 10月

(k) 11月

(l) 12月

以MLE推估高雄港波浪之機率密度函數及機率函數

## 高雄港類神經颱風波浪推算模式之建構

- 颱風資料來源：中央氣象局及RSMC-Tokyo Center颱風氣象資料
- 波浪資料來源：交通部運輸研究所港灣技術研究中心年報資料(2001~2008)
- 颱風的名稱與發生時間採用RSMC-Tokyo Center發佈的資料為準，時間格式統一以臺灣時間表示。

## 高雄港類神經颱風波浪推算模式資料樣本

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2001	CIMARON	西馬隆	0.87	8
2001	CHEBI	奇比	7.95	7
2001	LEKIMA	利奇馬	5.77	4
2002	KAMMASUN	雷馬遜	1.97	—
2002	NAKRI	娜克莉	5.74	9
2002	SINLAKU	辛樂克	0.91	1
2003	KUJIRA	柯吉拉	0.98	—
2003	NANGKA	南卡	2.57	—
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	2.16	—
2003	IMPUDO	尹布都	4.16	—
2003	MORAKOT	莫拉克	5.21	4
2003	KKOVANI	柯羅旺	5.57	—
2003	DUJIAN	杜鵑	4.96	5
2003	MELOR	米勒	1.42	8
2004	CONSON	康森	2.15	—
2004	MINDULLE	敏督利	4.94	6
2004	KOMPASU	康柏斯	1.58	—
2004	RANANIM	蘭寧	2.52	—
2004	AERE	艾利	5.09	1
2004	HAIMA	海馬	5.08	6
2004	MEARI	米雷	1.45	—

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分類
2004	NOCK TEN	納坦	1.88	6
2004	NANMADOL	南瑪都	4.06	9
2005	HAIYANG	海棠	6.46	5
2005	MATSA	馬莎	5.15	1
2005	SANVU	珊瑚	4.75	—
2005	TALIM	泰利	4.94	5
2005	KHANUN	卡努	1.09	—
2005	DAMREY	丹瑞	5.24	—
2005	LONGWANG	龍王	2.79	5
2006	SIANSHAN	珊珊	1.91	—
2007	WUTIP	梧提	2.51	5
2007	WIPHA	韋帕	1.98	1
2007	KROSA	柯羅莎	4.18	2
2007	MITAG	米塔	1.85	—
2008	KALMAEGI	卡玖基	5.05	2
2008	FUNG WONG	鳳凰	5.27	5
2008	NURI	如麗	6.12	—
2008	SINLAKU	辛樂克	5.55	2
2008	HAGUPIT	哈格比	5.55	—
2008	IANGMI	蔷蜜	5.51	2

依據中央氣象局公布2001年至2008年侵台颱風共有57場。但須兼顧波浪資料的完整性，故本研究初步整理出具有實測波浪資料的颱風共41場。

## 颱風波浪資料樣本

41場颱風中共有18場颱風其最大波高沒有達到3米，而其最大波高小於2米的共有12場；最大波高小於1米的共3場。

民國15年至民國85年颱風侵襲臺灣各月次數

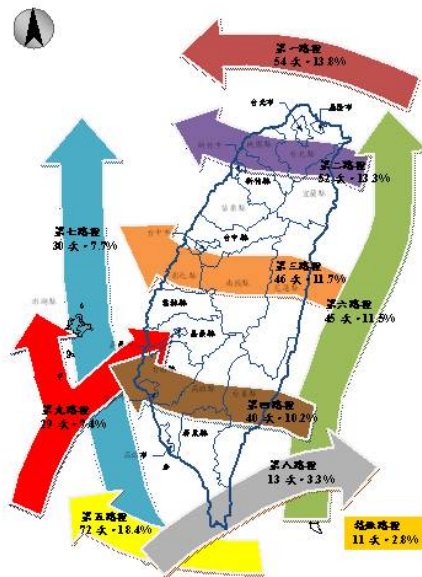
月份	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	全年
次數	2	12	26	86	108	80	27	7	348
平均	0.02	0.12	0.26	0.86	1.08	0.80	0.27	0.07	3.48
百分數	0.6	3.4	7.5	24.7	31.0	23.0	7.8	2.0	100

每年七、八、九三個月為颱風侵襲臺灣最多的季節；而高雄港位於台灣西南側海岸，夏季面臨西南季風的影響，其季節風波浪亦較高，使得部份資料難以判斷其波浪是由季節風所造成亦或是颱風所造成的。



## 颱風波浪資料樣本

圖中顯示1897至2003年100年內直撲高雄港的第九類路徑僅7.4%。而且大部分颱風皆為由東向西行進佔49%，此類颱風若對高雄港造成影響，必定會先行經中央山脈的高山地形，當經過中央山脈時颱風結構會變得鬆散，也會因高山地形的屏障效應使得對高雄港的影響變小。在2001年至2008年八年中對高雄港產生較直接影響的颱風僅有CHEBI(2001)、NAKRI(2002)以及NANMADOL(2004)等三個颱風，在整體樣本中偏少。



## 颱風波浪資料樣本

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高 (m)	資料分類
2001	CHEBI	奇比	7.95	L
2001	LEKIMA	利奇馬	3.77	T
2002	NAKRI	娜克莉	3.74	V
2003	IMBUDO	尹布都	4.16	L
2003	MORAKOT	莫拉克	3.21	L
2003	KROVANH	柯羅旺	3.57	T
2003	DUJUAN	杜鵑	4.96	L
2004	CONSON	康森	2.13	L
2004	MINDULLE	敏督利	4.94	V
2004	KOMPASU	康柏斯	1.58	T
2004	RANANIM	蘭寧	2.32	V
2004	AERE	艾利	3.09	L
2004	HAIMA	海馬	3.08	L
2004	NOCK_TEN	納坦	1.88	T
2004	NANMADOL	南瑪都	4.06	V

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高 (m)	資料分類
2005	HAITANG	海棠	6.46	L
2005	MATSA	馬莎	3.13	L
2005	SANVU	珊瑚	4.75	L
2005	TALIM	泰利	4.94	T
2005	DAMREY	丹瑞	3.84	V
2005	LONGWANG	龍王	2.79	L
2006	SHANSHAN	珊珊	1.91	L
2007	WIPHA	韋帕	1.98	V
2007	KROSA	柯羅莎	4.18	T
2008	KALMAEGI	卡玖基	3.05	T
2008	FUNG_WONG	鳳凰	5.27	V
2008	NURI	如麗	6.12	V
2008	SINLAKU	辛樂克	3.53	T
2008	HAGUPIT	哈格比	3.53	T
2008	IANGMI	薔蜜	3.51	L

去除影響較小及雙颱交互影響的颱風後選取了30場颱風進行模式的建立。(L、V、T分別代表三群均勻資料，其中L、V為學習資料，T則為未參與學習的後續測試資料)

## 類神經颱風波浪模式

### ■類神經花蓮港波浪推算模式

主要學習機制：外海湧浪傳遞效應

颱風類型：由東向西直撲(63%)，其餘受陸地效應。

颱風季節與季節風影響季節不同

實測資料：1990至今

### ■類神經高雄港波浪推算模式

主要學習機制：陸地效應對風場結構的影響

颱風類型：直接影響(14%)，其餘受陸地效應影響。

颱風季節與季節風影響季節相同

實測資料：2000至今

## 類神經颱風波浪模式建構

### 輸入因子

■目標點海面10m風速  $V$  (Rankin-Vortex Model)

■颱風與目標點距離  $D$

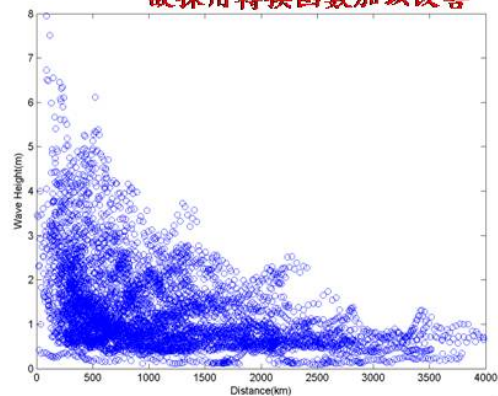
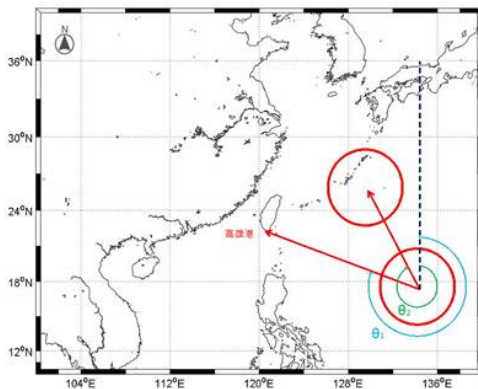
■目標點對颱風中心的方位角  $\theta_1$

■颱風侵襲角  $\theta_3 = \theta_1 - \theta_2$

■目標點風向  $V_{deg}$

輸入因子	相關性 $R$
$V$	0.425
$D$	-0.392
$\theta_1$	-0.492
$\theta_3$	0.014
$V_{deg}$	-0.458

五個輸入因子與波高相關性低  
故採用轉換函數加以改善

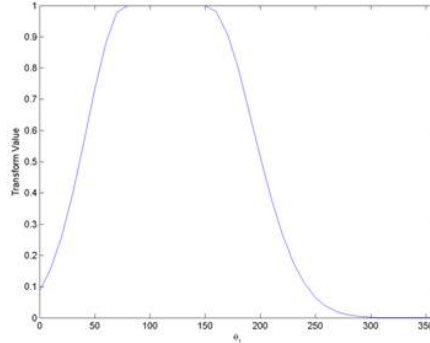
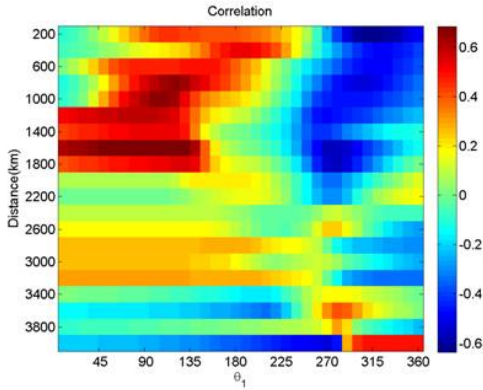




## 類神經颱風波浪模式建構

### 經轉換後的輸入因子

- 目標點對颱風中心的方位角  $\theta_1$  (遮蔽效應因子)



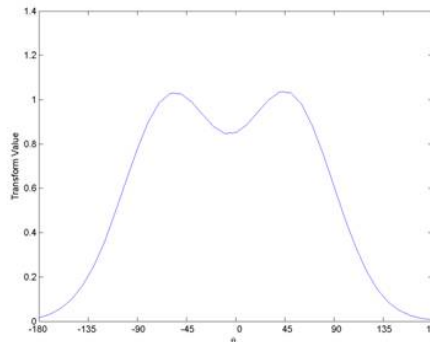
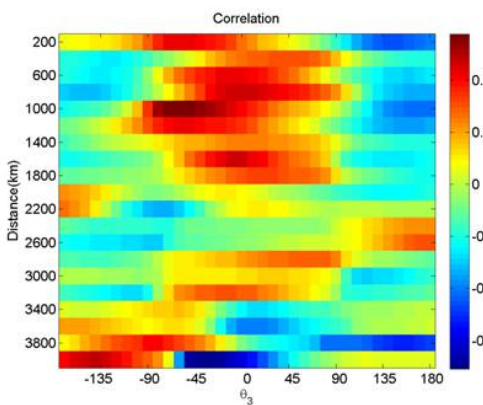
透過多變量的Derivative-based  
搜尋法找到最佳的高斯轉換函數

目標點的方位角可表示推算目標點是在颱風中心的哪一個方位，以正北為 $0^\circ$ ，若 $\theta_1$ 為 $90^\circ$ 表示颱風由西向東邊的目標點登陸，反之，若 $\theta_1$ 為 $270^\circ$ 則表示颱風由東向西自臺東登陸經中央山脈侵襲高雄港。在距離 $1800\text{km}$ 以內，經高斯轉換後 $\theta_1$ 約以 $220^\circ$ 為分界，與波高間的相關性有空間上分布的特性

## 類神經颱風波浪模式建構

### 經轉換後的輸入因子

- 颱風侵襲角  $\theta_3$  (颱風結構因子)



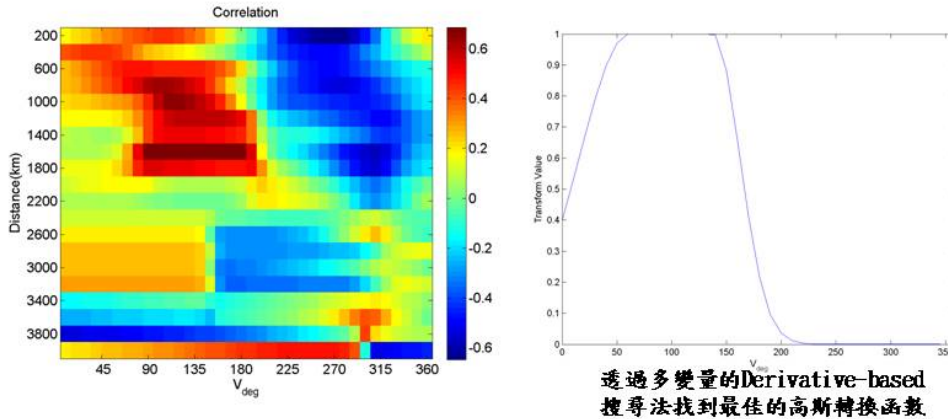
透過多變量的Derivative-based  
搜尋法找到最佳的高斯轉換函數

在往昔觀念中颱風右半圓擁有較大的風力，但圖中僅看出颱風距離 $1800\text{km}$ 以內 $-120^\circ$ 至 $120^\circ$ 間的區域相關性較其他部分高，並無右半圓相關性較高的現象。原因在於高雄港受颱風右半圓侵襲的狀況下大多同時受陸地的遮蔽效應，故使颱風右半圓較強的特性不明顯。

## 類神經颱風波浪模式建構

### 經轉換後的輸入因子

#### ■ 目標點風向 $V_{deg}$



風的去向於180至320間明顯與波高相關性低，即表現出當風的驅動力隔著臺灣陸地區域往西邊吹時，對推算目標點高雄港的波浪生成並無影響。此現象即描述當颱風在臺灣東岸登陸時，隔著中央山脈其對高雄港的影響並不大。

## 類神經颱風波浪模式建構

■ 網路訓練方式：Scaled conjugate gradient backpropagation

■ 學習驗證資料分類方式：Camargo (2007) 熱帶氣旋分類法

■ 輸入層：

- (1) 風速因子
- (2) 距離因子
- (3) 遮蔽效應因子
- (4) 颱風結構因子
- (5) 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
$V$	0.425	風速因子	0.425
$D$	-0.392	距離因子	0.392
$\theta_1$	-0.492	遮蔽效應因子	<b>0.597</b>
$\theta_3$	0.014	颱風結構因子	<b>0.440</b>
$V_{deg}$	-0.458	目標點風向因子	<b>0.574</b>



# 模式推算能力評估

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	$\Delta t_p$ (hour)	RMSE	R
2001	CHEBI(奇比)	-1.77	1.00	0.73	0.91
2001	LEKIMA(利奇馬)	0.24	-6.00	0.95	0.42
2002	NAKRI(納克力)	0.29	8.00	0.56	0.71
2003	IMBUDO(伊布都)	-0.28	-3.00	0.79	0.74
2003	MORAKOT(莫拉克)	0.00	-2.00	0.59	0.84
2003	KROVANH(科羅旺)	0.37	-4.00	0.64	0.24
2003	DUJUAN(杜鵑)	-0.23	21.00	1.43	0.15
2004	CONSON(康森)	-0.06	15.00	0.26	0.78
2004	MINDULLE(敏督利)	-1.05	-4.00	0.64	0.90
2004	KOMPASU(康柏斯)	2.68	5.00	1.81	0.59
2004	RANANIM(蘭寧)	-0.18	18.00	0.35	0.74
2004	AERE(艾利)	0.59	-40.00	0.31	0.87
2004	HAIMA(海馬)	-0.02	4.00	0.52	0.62
2004	NOCK_TEN(納坦)	0.66	9.00	0.52	0.72
2004	NANMADOL(南瑪都)	0.23	1.00	0.41	0.91
2005	HAITANG(海棠)	-1.60	2.00	0.80	0.95
2005	MATSA(瑪莎)	-0.53	1.00	0.46	0.85
2005	SANVU(珊珊)	-0.88	17.00	0.66	0.87
2005	TALIM(泰利)	-0.70	2.00	0.82	0.79
2005	DAMREY(丹瑞)	0.44	-8.00	0.44	0.87
2005	LONGWANG(龍王)	0.68	-1.00	0.62	0.93
2006	SHANSHAN(珊珊)	-0.38	-7.00	0.34	0.40
2007	WIPHA(韋帕)	0.66	21.00	0.61	0.64
2007	KROSA(柯羅莎)	-0.09	-1.00	0.91	0.47
2008	KALMAEGI(卡玫基)	-0.29	11.00	0.35	0.84
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	-0.36	-17.00	0.39	0.95
2008	NURI(如麗)	-1.82	-14.00	0.65	0.96
2008	SINLAKU(辛樂克)	1.73	6.00	0.62	0.79
2008	HAGUPIT(哈格比)	0.96	-12.00	0.73	0.94
2008	JANGMI(蔷薔)	0.44	0.00	0.37	0.88
平均		0.67	8.70	0.64	0.74

四個評估指標：

1. 平均  $\Delta H_{s,p} = 0.67\text{m}$
2. 平均  $\Delta t_p = 8.7\text{小時}$
3. 平均  $\text{RMSE} = 0.64\text{m}$
4. 平均  $R = 0.73$

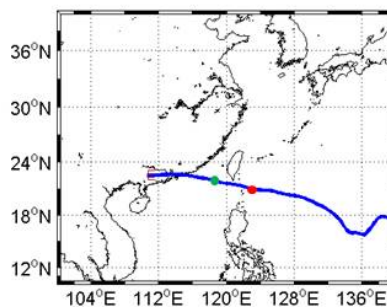
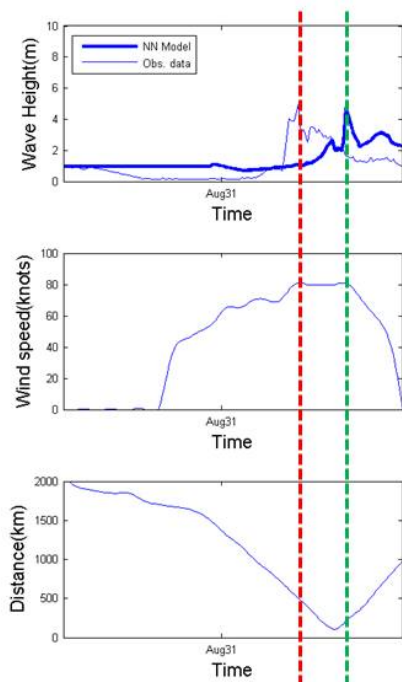
## 與花蓮港模式比較

	$\Delta H_{s,p}$ (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

名稱加底色的颱風為完全沒有加入模式訓練的檢驗用颱風

# 推算結果誤差較大的颱風

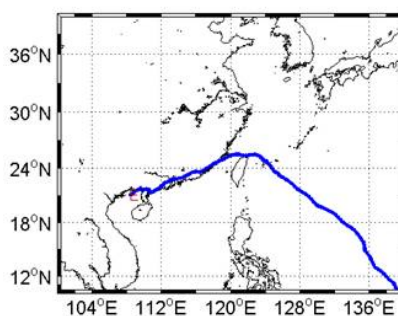
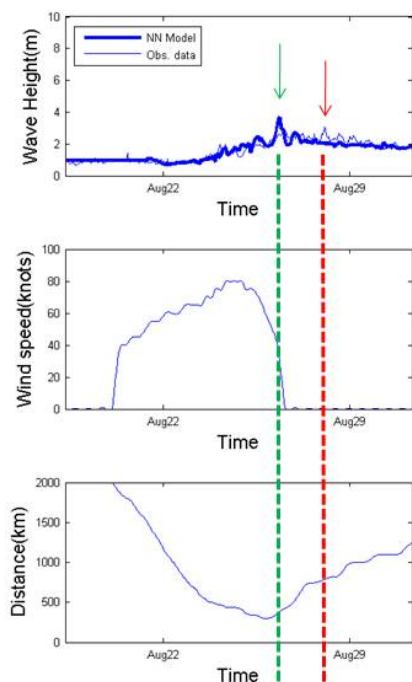
## 杜鵑DUJUAN(2003)



依據距離變化圖可發現實際最大波浪發生在颱風中心仍在臺灣東側的時候，通常颱風在臺灣東側的狀況風場結構與波浪傳遞都會受到地形的阻擋，故理論上不應那麼早發生最大波高。

## 推算結果誤差較大的颱風

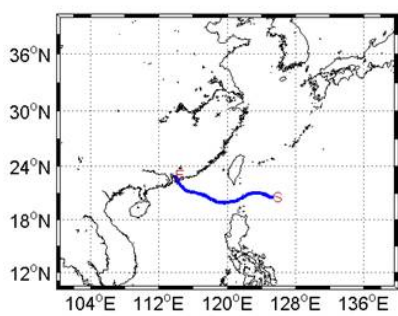
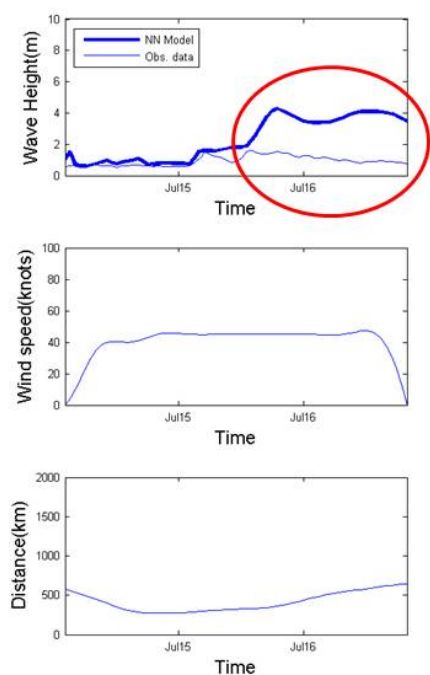
### 艾利AERE(2004)



由JMA所提供的颱風資料顯示實測資料發生最大波浪的時間點颱風風速已經降低至接近消失的狀態，故此誤差必須確認是颱風資訊中風速的錯誤或是波浪實測資料中有非颱風造成的短時間異常波高變化。

## 推算結果誤差較大的颱風

### 康柏斯KOMPASU(2004)



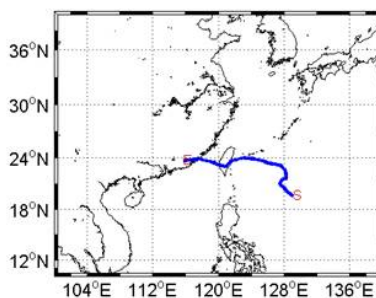
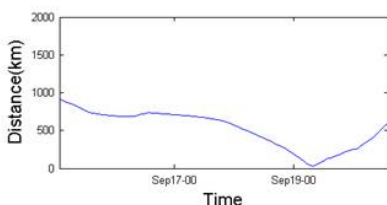
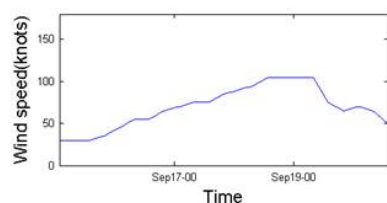
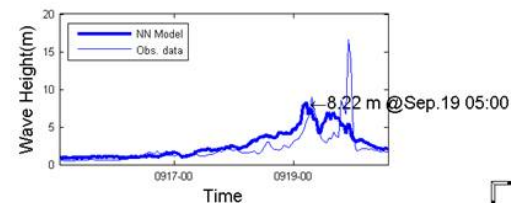
颱風風力較弱而行經此類路徑的颱風可能會容易出現模式推估錯誤的狀況，可能需要更多的資料來進行學習與改善。





# 本年度花蓮港颱風波浪推算結果

凡那比FANAPI(2010)

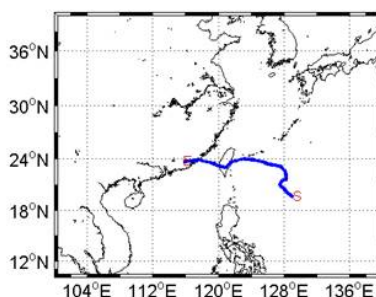
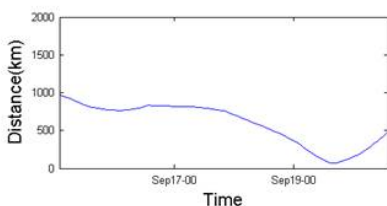
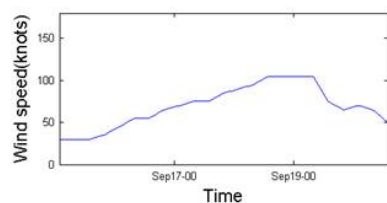
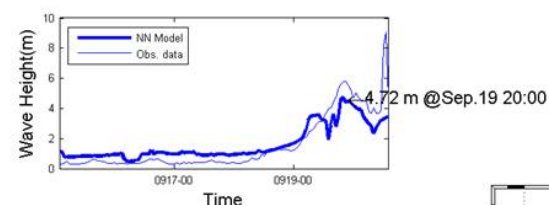


模式推算最大波高發生於9月19日5時，波高為8.22m，而實測資料顯示該時段最大波高發生於9月19日7時，波高為8.99m，顯示模式預測最大波高發生時間有兩小時誤差，波高則相近。



# 本年度高雄港颱風波浪推算結果

凡那比FANAPI(2010)



模式推算最大波高發生於9月19日20時，波高為4.72m，而實測資料顯示該時段最大波高發生於9月19日21時，波高為5.80m，顯示模式預測最大波高發生時間有一小時誤差，波高則有近1m的誤差。



## 花蓮、高雄港各回歸期之設計波浪

- 樣本利用颱風波浪模式輸入JMA所發布之所有颱風資料推算花蓮及高雄海域1990至2008年共19年之每年最大值波高
- 以98年度的研究結果顯示以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，因此僅以MLM推估法於各種極值分布
- 選擇重現期為T=10、25、50及100年4種，可獲得各重現期下之波高

37

## 花蓮、高雄港各年最大波高

以類神經颱風波浪推算模式推算19年內年最大波高

### 花蓮港：

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)
1990	DOT	黛特	8.93
1991	NAT	耐特	8.15
1992	OMAR	歐馬	6.55
1993	ABE	亞伯	4.01
1994	TIM	提姆	8.28
1995	RYAN	賴恩	5.34
1996	HERB	賀伯	5.04
1997	AMBER	安珀	9.68
1998	OTTO	奧托	7.06
1999	MAGGIE	瑪姬	5.27
2000	BILIS	碧利斯	9.67
2001	TORAJI	桃芝	7.94
2002	NOGURI	諾可利*	4.00
2003	DUJUAN	杜鵑	8.28
2004	MINDULLE	敏督利	7.30
2005	LONGWANG	龍王	10.17
2006	KAEMI	凱米	7.76
2007	SEPAT	聖帕	8.98
2008	FUNG_WONG	鳳凰	7.61

### 高雄港：

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)
1990	MARIAN	瑪麗安	6.74
1991	NAT	耐特	5.32
1992	CHUCK	恰克*	4.74
1993	KORYN	克揚*	4.31
1994	TIM	提姆	4.01
1995	KENT	肯特	4.24
1996	GLORIA	葛樂禮	4.63
1997	ZITA	莉塔*	4.14
1998	NICHOLE	妮蘿兒	4.53
1999	DAN	丹恩	4.33
2000	BILIS	碧利斯	4.79
2001	CHEBI	奇比	6.02
2002	NAKRI	娜克莉	4.00
2003	DUJUAN	杜鵑	4.74
2004	NANMADOL	南瑪都	4.73
2005	HAITANG	海棠	5.01
2006	BOPHA	寶發	4.87
2007	HAGBIS	哈格比	5.28
2008	FUNGWONG	鳳凰	4.90

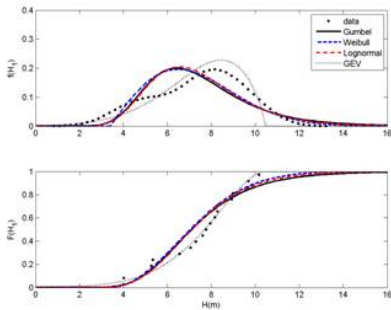
38



## 花蓮港各回歸期之設計波浪

以MLM推估花蓮港實測波浪之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	<del>G.E.V.</del>	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.83	<del>0.36</del>	0.57	0.66
ER(m)		2.73	<del>0.04</del>	1.11	1.88
$x_R(m)$	10	10.57	9.53	10.04	10.26
	25	12.31	9.92	11.25	11.73
	50	13.61	10.09	12.05	12.79
	100	14.89	10.20	12.79	13.83
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.96	0.29	0.78	0.92
	25	1.23	0.25	0.94	1.26
	50	1.44	0.27	1.05	1.52
	100	1.65	0.30	1.15	1.80



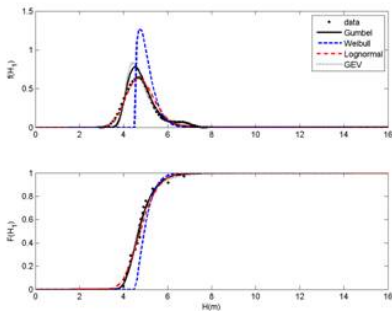
GEV分布之機率密度函數描述此樣本極為吻合，但在波高大於11.2m之機率密度為零而累積機率為1，因此推估高重現期則有其限制。

39

## 高雄港各回歸期之設計波浪

以MLM推估高雄港模式推算19年資料之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.17	0.12	0.40	0.21
ER(m)		0.57	0.33	0.93	0.65
$x_R(m)$	10	5.58	5.65	5.55	5.65
	25	6.03	6.26	5.83	6.01
	50	6.36	6.77	6.03	6.26
	100	6.69	7.32	6.22	6.49
$\sigma_{mle}(m)$	10	0.25	0.36	0.17	0.24
	25	0.33	0.65	0.21	0.30
	50	0.39	1.00	0.25	0.35
	100	0.45	1.45	0.28	0.39



GEV分布具有最小之RMSE，針對推算標準偏差，Weibull分布為4種中最小。

40



## 極值資料之選取方式

### ■極端值選用法：

決定單位時距，在每一個單位時距內僅選取一個最大值的資料作為樣本，來進行統計分析。(例如：年最大法，月最大法。)

### ■超量門檻選用法：

決定一基礎超越量，不考慮所選取的資料其發生時間間隔的長短，將值大於基礎超越量的資料，皆選取出來進行統計分析。

本研究中極值分析資料的選取採用極端值選用法，但針對超量門檻選用法也以高雄港資料提出操作範例。本計畫使用不同年份及月份之高雄港波浪資料，使用超量選用法取出較大波高部份，進一步去探討其最適累積機率密度分布函數。

41



## 超量門檻選用法

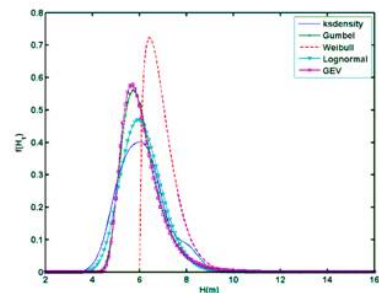
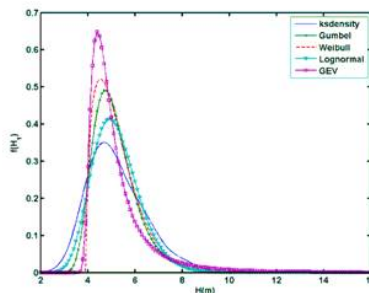
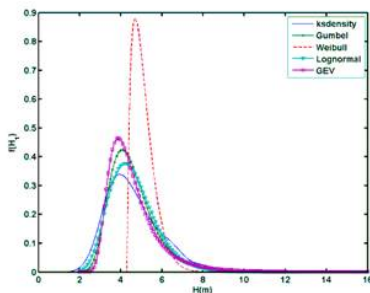
◆超過3m以上以及超過5m以上以GEV分布描述高雄港較大波浪部份吻合度情況較佳

◆超過4m以上的20筆波高以Gumbel分布描述較佳

◆Weibull分佈在討論較大波浪時，RMSE值跳動幅度非常大，且其曲線跟其他分布較為不同

◆整體來說，利用超量選用法探討極值波高的時候以GEV分布較佳。

	資料筆數	Gumbel	GEV	Weibull	LogN
超過3m	31	0.191	0.182	0.837	0.207
超過4m	20	0.227	0.281	0.251	0.251
超過5m	9	0.185	0.177	0.821	0.204

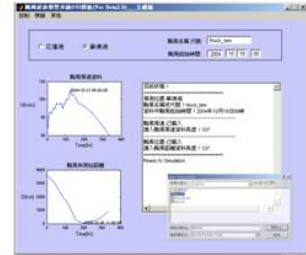


42

## 波浪極值統計視窗化操作之初步建構

### ■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

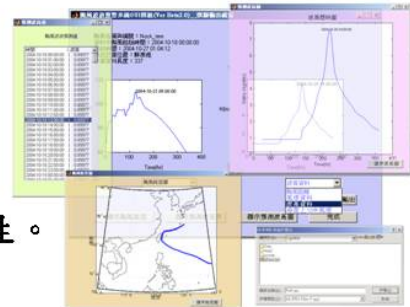


### ■極值統計函數：FT-I, GEV, Weibull, Lognormal

### ■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。



## 結論

■本計畫將98年度所初步建構的高雄港颱風波浪推算模式進行改善，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0.67m，而此外最大波高發生時間誤差平均約8.70小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為0.64m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為0.74。本文並針對推估結果較差的颱風進行討論，日後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。

■透過花蓮高雄港之颱風波浪推算模式，本研究進行19年之年最大波高的推算，以MLE推估參數法於Weibull分布最適合於此樣本之機率分布。以MLE推估Weibull分布，50年重現期波高為12.05m，若考慮95%信賴度之偏差量，則此值會在9.99-14.11m之間。而高雄港以Weibull分布為最適分布，推算50年重現期之波高為6.03，標準偏量為0.25，若在95%信賴度下，此推算值應在5.54-6.52m。





## 結論

■本研究由箱型圖初步分析取樣，再進一步討論極值分析之最佳分布與參數推定法，最後考慮季節性變化之極值參數迴歸，經參數回歸後波高趨於平滑穩定，極值參數經迴歸修正較符合實際季節變化影響。得到以下結論。當考慮極值波高之季節性變化時，其位置參數B及尺度參數A與時間之關係，可利用正、餘弦之週期函數表示。另外，利用傳統年最大法推估所得之年最大極值波高較利用月最大法推估所得的年最大極值波高為大。顯示若採用傳統年最大法的推估結果做設計時，可能有超設計現象。

■高雄的月極值波高統計的結果中顯示Lognormal分布以RMSE值來看較佳，但推算標準偏差較上述兩種分布大，GEV分布在推算重現期長的狀況下會有不適用的狀況，因此推算各重現期波高方面建議以選用Weibull分布較為合適。

報告完畢  
敬請指正