

99-42-7458
MOTC-IOT-98-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(1/4)

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 99 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

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.

(1/4)/江汶德等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，
民 99. 04

面：公分

參考書目：面

ISBN 978-986-02-3230-1(平裝)

1. 波動 2. 神經網路 3. 統計 4. 台灣

351. 941

99007719

臺灣主要港口附近海域長期波 統計特性及設計波推算之研究 (1/4)

著 者：江汶德、張憲國、劉勁成、陳蔚璋、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10458 台北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 99 年 4 月

印 刷 者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：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：1009901410

ISBN：978-986-02-3230-1 (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(1/4)			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN978-986-02-3230-1 (平裝)	政府出版品統一編號 1009901410	運輸研究所出版品編號 99-42-7458	計畫編號 98-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、楊怡芸 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、陳蔚璋 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：03-5131487	
研究期間 自 98 年 3 月 至 98 年 10 月			
關鍵詞：波浪推算模式、類神經網路、波浪極值統計			
摘要： <p>長期性之海域海氣象資料分析成果則為從事海洋環境及港灣工程者冀望之依據。其中，港灣或海岸工程規劃設計所需之設計波浪則須由長期實測波浪資料或推算波浪資料來決定。但對使用年限較長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不足而無法達成。此時，需要藉由波浪推算模式以及統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之波浪特性。</p> <p>本研究以傳統之半經驗波浪推算模式與類神經波浪推算模式兩種方法來推估臺灣主要國際港之颱風波浪，並與實測資料進行比對以評估其適用性，其結果顯示類神經波浪推算模式在波高推算有較好的表現。</p> <p>本研究以 3 種推估 4 種極值分布方法於花蓮及高雄之年最大值與前 3 大月極值樣本之各重現期推估值，資料來源以實測，半經驗颱風波浪推算模式推算及類神經波浪推算模式 3 種方法，其中高雄港類神經波浪推算模式目前僅初步建立。檢定模式優劣指標以 Goda (2000) 所提之 MIR、RMSE 及最大極值之誤差三種。經由本計畫之工作成果說明，臺灣主要港口早期所應用之設計波浪條件值得重新探討，未來進行各港域之港灣、海岸工程規劃設計或環評需求時，確實須對原有設計波浪條件重新審視比對。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
99 年 4 月	144	200	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。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 (解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密) <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Investigation of Long-term Wave Statistics and Design Wave for Main Harbors of Taiwan (1/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-3230-1 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009901410	IOT SERIAL NUMBER 99-42-7458	PROJECT NUMBER 98-H2DB001
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-sheng PROJECT STAFF: Jiang Wen-der, Yang Yi-yun PHONE: (04) 26587126 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM March 2009 TO October 2009
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Hsien-kuo PROJECT STAFF: Liou Jin-cheng, Chen Wei-wei ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE: (03) 5131487			
KEY WORDS: Wave Model; Neural Network; Ex-wave Statistics			
Abstract: <p style="text-indent: 2em;">Long-term oceanography data monitoring is important to marine meteorology and ocean engineering. It can provide long-term wave data to estimate the design wave height. However, the design condition of harbor structure that is used for a long period of time requires the practical long wave data to be analyzed. However, in fact, due to insufficient recording time, it will result in being unable to be achieved. At this moment, numerical model calculation and the statistical method are necessary to estimate the design wave between recurrent intervals.</p> <p style="text-indent: 2em;">In this research, we apply both the traditional half-experiment formula and the ANN wave model to estimate typhoon waves in main harbors of Taiwan. The result shows that the ANN wave model was better than traditional formula.</p> <p style="text-indent: 2em;">We estimate the design wave height with 3 methods and 4 statistic distributions from the ANN result, half-experiment result, and observed data. The model quality standard MIR, RMSE, maximum error that was introduced by Goda (2000) was used. Through this plan's accomplishment explanation, the values of the adapted wave design conditions, during early times in Taiwan, are worthy of re-exploring. In the future, when we do harbor and coast engineering planning, design or environmental evaluation projects, comparing to the original wave design conditions is becoming essential.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2010	NUMBER OF PAGES 144	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications			

目 錄

中文摘要表	I
英文摘要表	II
目錄	III
圖目錄	VI
表目錄	VIII
第一章 前言	1-1
1.1 計畫目的.....	1-1
1.2 文獻回顧.....	1-2
1.3 工作項目與完成進度	1-3
第二章 颱風波浪特性分析與推算	2-1
2.1 資料來源	2-1
2.2 半經驗颱風波浪推算模式	2-2
2.3 類神經颱風波浪推算模式	2-7
2.3.1 類神經網路架構	2-7
2.3.2 資料分類	2-11
2.3.3 輸入參數	2-12
第三章 波浪推算結果與實測波浪之驗證	3-1
3.1 半經驗颱風波浪推算推算結果與驗證	3-2
3.2 類神經颱風波浪推算推算結果與驗證	3-3
3.3 綜合比較.....	3-6
第四章 花蓮港波高之極值統計	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	4-3
4.3.1 MOM 推定法	4-3

4.3.2 MLM 推定法.....	4-4
4.3.3 LSM 推定法	4-4
4.4 信賴檢定.....	4-5
4.4.1 MIR 值檢定:.....	4-5
4.4.2 RMSE 檢定:.....	4-7
4.4.3 ER 檢定:.....	4-7
4.5 推估值之標準偏差	4-7
4.5.1 Goda(2000)方法:.....	4-8
4.5.2 MLM 方法:.....	4-9
4.6 前三大月極值推估法	4-10
4.7 年最大極值推估結果	4-12
4.7.1 實測波高樣本(第一種樣本).....	4-12
4.7.2 以類神經颱風波浪模式推算之波高樣本(第二種樣本)....	4-16
4.7.3 以半經驗颱風波浪推算模式推算之波高樣本(第三種樣 本).....	4-20
4.8 前 3 大月極值推估結果	4-24
4.8.1 實測波高樣本(第一種樣本).....	4-24
4.8.2 以類神經颱風波浪模式推算之波高樣本(第二種樣本)....	4-27
4.8.3 以半經驗颱風波浪推算模式推算之波高樣本(第三種樣 本).....	4-30
第五章 高雄港波高之極值統計	5-1
5.1 年最大極值推估結果	5-1
5.1.1 實測波高樣本(第一種樣本).....	5-1
5.1.2 以半經驗颱風波浪模式推算之 2001 至 2008 年波高樣本 (第二種樣本).....	5-3
5.1.3 以半經驗颱風波浪模式推算之 1984 至 2008 年波高樣本 (第三種樣本).....	5-4
5.2 前 3 大月極值推估結果	5-6

5.2.1 實測波高樣本(第一種樣本).....	5-6
5.2.2 以半經驗颱風波浪模式推算之 2001 至 2008 年波高樣本 (第二種樣本).....	5-10
5.2.3 以半經驗颱風波浪模式推算之 1984 至 2008 年波高樣本 (第三種樣本).....	5-13
第六章 高雄港類神經波浪推算模式之初步建構.....	6-1
6.1 背景資料分析	6-2
6.2 類神經颱風波浪模式	6-6
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論.....	7-1
7.2 成果效益及後續應用情形	7-3
參考文獻	參-1
附錄一 符號表	附-1
附錄二 期中報告審查意見處理情形表	附-4
附錄三 期末報告審查意見處理情形表	附-7
附錄四 簡報內容	附-12

圖目錄

圖 2.1	花蓮港與高雄港波浪觀測位置示意圖	2-1
圖 2.2.1	湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍	2-7
圖 2.3.1	氣旋中心附近風速風向分佈示意圖	2-14
圖 4.7.1	以 MLM 推估第一種樣本之機率密度函數及機率函數	4-14
圖 4.7.2	以 LSM 推估第一種樣本之機率密度函數及機率函數	4-14
圖 4.7.3	以 MLM 推估第二種樣本之機率密度函數及機率函數	4-18
圖 4.7.4	以 LSM 推估第二種樣本之機率密度函數及機率函數	4-18
圖 4.7.5	以 MLM 推估第三種樣本之機率密度函數及機率函數	4-21
圖 4.7.6	以 LSM 推估第三種樣本之機率密度函數及機率函數	4-21
圖 4.8.1	第一種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數	4-25
圖 4.8.2	以第一種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數 ..	4-26
圖 4.8.3	以第一種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數 ..	4-26
圖 4.8.4	第二種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數	4-28
圖 4.8.5	以第二種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數 ..	4-29
圖 4.8.6	以第二種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數 ..	4-29
圖 4.8.7	第三種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數	4-31
圖 4.8.8	以第三種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數 ..	4-32
圖 4.8.9	以第三種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數 ..	4-32
圖 5.1.1	第一種樣本之機率密度函數及機率函數	5-2
圖 5.1.2	第二種樣本(2001-2008 年)之機率密度函數及機率函數	5-4
圖 5.1.3	第三種樣本(1984-2008 年)之機率密度函數及機率函數	5-5
圖 5.2.1	第一種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數	5-7

圖 5.2.2	以第一種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數..	5-8
圖 5.2.3	以第一種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數..	5-8
圖 5.2.4	第二種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數.....	5-11
圖 5.2.5	以第二種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數..	5-11
圖 5.2.6	以第二種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數..	5-12
圖 5.2.7	第三種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數.....	5-14
圖 5.2.8	以第三種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數..	5-14
圖 5.2.9	以第三種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數..	5-15
圖 6.1.1	影響臺灣地區颱風路徑分類圖 (1897—2008 年)	6-5
圖 6.2.1	颱風在 900hPa 等壓面上內平均風速分布示意圖	6-7

表目錄

表 2.1.1 自 1990 至 2008 年選取作為花離港颱風波浪推算的颱風..	2-2
表 3.1.1 半經驗颱風波浪推算結果	3-2
表 3.2.1 類神經颱風波浪推算結果	3-4
表 3.3.1 綜合比較表	3-7
表 4.3.1 各極值分佈相關統計量之特性	4-3
表 4.3.2 計算樣本順位機率之 α 及 β 值	4-5
表 4.4.1 相關係數殘差平均值公式之係數 \bar{a} , \bar{b} 及 \bar{c} 值	4-6
表 4.5.1 重現期推算量之標準偏差公式中之係數	4-9
表 4.7.1 以不同推估法及極值分布推估第一種樣本之檢定標準	4-13
表 4.7.2 以 MLM 推估第一種樣本之各重現期波高及其推算標準偏 差	4-15
表 4.7.3 以 LSM 推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏 差	4-16
表 4.7.4 以不同推估法及極值分布推估第二種樣本之檢定標準	4-17
表 4.7.5 以 MLM 推估第二種樣本之各重現期波高及其推算標準偏 差	4-19
表 4.7.6 以 LSM 推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏 差	4-19
表 4.7.7 以不同推估法及極值分布推估第三種樣本之檢定標準	4-20
表 4.7.8 以 MLM 推估第三種樣本之各重現期波高及推算標準偏差	4-22
表 4.7.9 以 LSM 推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏 差	4-23

表 4.8.1 以 MLM 推估各函數在第一種樣本之檢定標準及各重現期 波高與推算標準偏差	4-27
表 4.8.2 以 MLM 推估各函數在第二種樣本之檢定標準及各重現期 波高與其推算標準偏差	4-30
表 4.8.3 以 MLM 推估各函數在第三種樣本之檢定標準及各重現期 波高與其推算標準偏差	4-33
表 5.1.1 以 MLM 推估第一種樣本之各重現期波高及其推算標準偏 差	5-1
表 5.1.2 以 MLM 推估第二種樣本(2001 至 2008)年之各重現期波高 及其推算標準偏差	5-3
表 5.1.3 以 MLM 推估第三種樣本之各重現期波高及其推算標準偏 差	5-5
表 5.2.1 以 MLM 推估各函數在第一種樣本之檢定標準及各重現期 波高與其推算標準偏差	5-9
表 5.2.2 以 MLM 推估各函數在第二種樣本之檢定標準及各重現期 波高與其推算標準偏差	5-12
表 5.2.3 以 MLM 推估各函數在第三種樣本之檢定標準及各重現期 波高與其推算標準偏差	5-15
表 6.1.1 依據高雄港波浪實測資料所選用的颱風	6-2
表 6.1.2 民國前 15 年至民國 85 年颱風侵襲臺灣各月次數	6-4

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。

因臺灣目前尚未有 20 年以上之實測波浪資料，或颱風波浪資料常因颱風大波之因素而遺失或不完整，因此無法以實測波浪資料來做極值統計。現多用波場模式來推算波高方法，而推算波浪資料之品質也會影響極值統計之極值推估，所以設計波浪決定會受模式推算颱風波高精度影響。

若以每年最大波高當為極值統計之樣本，Sobey and Orloff (1995) 及 Duedes Soare and Scotto (2004) 提出以年前 3 大月極值或每年前 r 大極值當樣本來推估重現期之波高，會有較以年最大波高樣本推估結果有較小估算偏差量之穩定推算值。以目前本所港研中心在花蓮海域有將近 19 年之波浪觀測資料，若以不同極值樣本來各重現期之波高，應可評估出臺灣東部海域之波浪極值分布之特性。

另外在資料來源的部分，本研究以傳統的半經驗波浪推算模式以

及模糊類神經颱風推算模式所推估的颱風波浪進行比較與驗證，以比較兩種颱風波浪推算方法在極值統計上的適用程度。

1.2 文獻回顧

Nolte (1971)、Muir and El-Shaarawi (1986) 及 Duedes Soare (1989) 在波高長期統計中參數變異性。Jaspers (1956)及 Battjes (1972)分別提出 Log-normal 及 Weibull 分布來描述波高長期統計。Haver (1985)及 Duedes Soare (1988)證時此兩種分布適合描述波高長期統計。然而，Duedes Soare and Henriques (1994, 1996)反說明 Log-normal 及 Weibull 分布分別會高估及低估重現期之波高。Ochi (1992)利用數組波浪資料說明用 Gamma 函數比 Log-normal 及 Weibull 分布更能吻合樣本分布。Ferreira and Duedes Soare (1999)以 Beta and Gamma 模式探討示性波高長期統計特性。Stansell (2005)探討北海 14 場颱風之大波浪之極值與波峰及波谷之分布特性。Muraleecharan et al. (2007) 利用位置參數修正提出適合波高之 Weibull 分布。Davison and Smith (1990)討論超量選用樣本在極值分析上之影響。Duedes Soare and Scotto (2004)以年最大值及超量選用樣本探討不同方法估算重現期波高之差異。隨機過程之極值統計理論可見 Leadbetter and Rootzen (1988)及 Coles, (2001)。

Sobey and Orloff (1995)提出以美國西岸 1981-1992 間年前 3 大月極值為樣本推導出極值分析之聯合機率分布，並以最大概似法(maximum likelihood method)來推估參數，結果發現各重現期推估波高之偏差量較以年選用法之樣本推估結果小。Ferreira and Duedes Soare (2000)探討示性波高長期統計特性及最適檢定(goodness-of-fitting)之方法。Duedes Soare and Scotto (2004) 以北海 1976-1999 年每年前 5 大極值當樣本，由推導一般極值分布(generalized extreme value)之統計方法，其結果發現年選用法之重現期推估值較以前 r 大極值樣本推估值不穩定。

Carter and Challernor (1981)假設樣本資料每月可清楚分割且滿足分布函數下，分析每月之統計特性。Morton et al. (1997)提出以季分之

波高資料為極值分析之樣本，並比較季節極值統計之特性。Mendez et al. (2006)提出超量波高樣本下，通用極值分布之參數為時間週期函數假設下，提出季節性波高之極值統計。Mendez et al. (2009)更進一步探討Mendez et al. (2006)之方法在推估重現期波高之季節性影響。

1.3 工作項目與完成進度

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。並以半經驗颱風波浪推算以及類神經颱風波浪推算模式探討其樣本極值統計特性。另外就其結果與實測資料比較兩模式的適用性。另外則以不同的資料來源、不同的取樣方式來進行極值統計之極值波高推估。本年度研究計畫之工作項目分為三部份，截至期中報告已完成花蓮港這三部分的工作項目，高雄港的部分則於期末完成半經驗公式以及實測波高資料的極值統計分析，而高雄港的類神經颱風波浪推算模式則進行初步的建立。

- (一) 以半經驗推算波浪模式推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
- (二) 以類神經模式計算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
- (三) 探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。

第二章 颱風波浪特性分析與推算

2.1 資料來源

本研究所用來進行分析以及驗證的資料皆採用本所港研中心所量測的波浪年報資料。本所港研中心目前於花蓮港所設置之測站位置位於花蓮港東防波堤往南延長 380 公尺、水深 34 公尺處，於 2000 年 9 月 8 日安裝挪威 NORTEK 公司之剖面海流與表面波浪即時傳送監測系統，主要做收集波高、週期以及波向等資料。而 2000 年 9 月 30 日前的資料浮標(設置於座標 $N23^{\circ}58'45''$, $E121^{\circ}37'46''$ 以及 $N24^{\circ}0'0''$, $E121^{\circ}38'24.5''$)雖無法收集波向資料，但提供了 1990 年 10 月 1 日至 2000 年 9 月 30 日的波高以及週期觀測資料。而高雄港以往的各项觀測工作均是視工程需要才臨時設立觀測站，本所港研中心在 89 年度成立預算購置與花蓮港相同的監測系統，2000 年 12 月中旬經會勘後選定在高雄一港口與二港口間(測站 A)，以進行長期觀測。2001 年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，2002 年 6 月重新補放運轉狀況良好，於 2005 年 8 月移至第二港口附近海，稱測站 R，水深約 18 公尺，位置 $22^{\circ}32'30''N$ ， $120^{\circ}17'40''E$ 。目前花蓮港與高雄港觀測儀設置位置，如圖 2.1 所示。

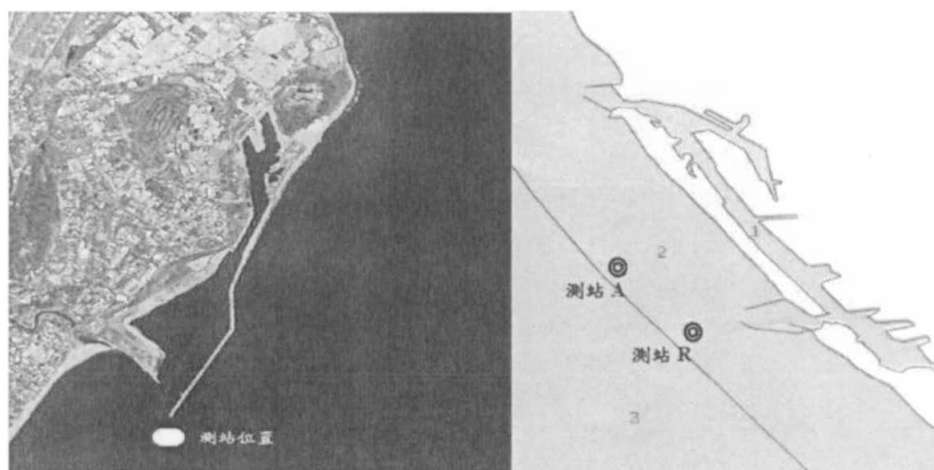


圖 2.1 花蓮港與高雄港波浪觀測位置示意圖

颱風氣象資料的來源取自中央氣象局及 RSMC-Tokyo Center，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。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 1990 年至 2008 年侵臺颱風共有 113 場，但需兼顧的資料完整性以及資料相關性，故本研究選擇了對花蓮港有造成的影響且具有完整實測波浪資料的颱風共 52 場來進行颱風波浪推算模式的測試以及驗證，如表 2.1.1 所示。

表 2.1.1 自 1990 至 2008 年選取作為花蓮港颱風波浪推算的颱風

年份	颱風名稱	個數
1990	YANCY(楊希)	1
1991	AMY(艾美)	1
1992	BOBBIE(芭比)、TED(泰德)	2
1993	TASHA(塔莎)、YANCY(楊希)	2
1994	GLADYS(葛拉絲)、TIM(提姆)	2
1995	KENT(肯特)	1
1996	CAM(凱姆)、GLORIA(葛樂禮)、HERB(賀伯)	3
1997	WINNIE(溫妮)、AMBER(安珀)、IVAN(艾文)	3
1998	OTTO(奧托)、YANNI(楊妮)、ZEB(瑞伯)	3
1999	SAM(山姆)	1
2000	BILIS(碧利斯)、XANGSANE(象神)	2
2001	CIMARON(西馬隆)、HAIYAN(海燕)	2
2002	SINLAKU(辛樂克)	1
2003	KUJIRA(柯吉拉)、IMBUDO(尹布都)、MORAKOT(莫拉克)、KROVANH(科羅旺)	4
2004	MINDULLE(敏督利)、KOMPASU(康柏斯)、RANANIM(蘭寧)、AERE(艾利)、NOCKTEN(納坦)、NANMODOL(南瑪都)	6
2005	HAITANG(海棠)、MATSA(馬莎)、SANVU(珊瑚)、TALIM(泰利)、DAMREY(丹瑞)、LONGWONG(龍王)	6
2006	BILIS(碧利斯)、CHANCHU(珍珠)、SHANSHAN(珊珊)	3
2007	PABUK(帕布)、SEPAT(聖帕)、WIPHA(韋帕)、KROSA(柯羅莎)	4
2008	FUNGWONG(鳳凰)、NURI(如麗)、SINLAKU(辛樂克)、HAGUPIT(哈格比)、JANGMI(蔷蜜)	5

2.2 半經驗颱風波浪推算模式

常見之半經驗颱風波浪推算模式 Bretschneider 參數法(1952)、井

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

1. 波向與風向之關係

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

$$H_\theta = H \cos \theta \quad (2.2.1)$$

式中 H 為前一推算點之波高， θ 為新風向與原風向之夾角。

2. 風與風浪之關係

(1) 深海波浪

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

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \quad (2.2.2)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \quad (2.2.3)$$

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

(2) 淺海波浪

當波浪進入淺水區後，依風、浪、水深間之關係為(湯，1968)

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad (2.2.4)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (2.2.5)$$

式中 D 表示水深，常數 $k_3=0.578$ ， $k_4=0.520$ 。當 $D \rightarrow \infty$ 時，式(2.2.4)及(2.2.5)可簡化為式(2.2.2)及(2.2.3)。

3. 湧浪之計算

當風向改變角度 θ 大於 60° 或風浪獲得能量較損失者為小時，均視為湧浪，其波高及週期與風浪之關係依據 Bretschneider 之湧浪研究結果可表示如式(2.2.6)和(2.3.7)所示。

$$\frac{H_f}{H_d} = \cosh \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_f} \right)^{0.06} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3 \left(\frac{D}{F} \right)^{0.3} \right] \right\} \quad (2.2.6)$$

$$\frac{T_d}{T_f} = \cosh \left\{ 1.74 \left(\frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.05} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.2} \tanh \left[1.02 \left(\frac{2\pi F}{gT_f^2} \right)^{-0.04} \left(\frac{D}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \quad (2.2.7)$$

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

4. 波浪之能量傳遞速度

當波浪隨風向進行或轉變成湧浪後，其能量傳遞速度均以波浪群速度表示之。

5. 氣象條件與風速之關係

颱風風速由兩種風速分量合成

$$\bar{u} = \bar{u}_1 + \bar{u}_2 \quad (2.2.8)$$

其中， \bar{u}_1 為低氣壓及地球自轉角速度所引起之風速， \bar{u}_2 則為颱風移動時帶動其周圍氣流所產生之風速， \bar{u}_1 及 \bar{u}_2 之大小可由式(2.2.9)和(2.2.10)計算

$$u_1 = c_1 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{r_0}{r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2} \right)^2} - \frac{fr}{2} \quad (2.2.9)$$

$$u_2 = c_2 \frac{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{r_0}{r} e^{-\frac{r_0}{r}} + \left(\frac{fr}{2} \right)^2} - \frac{fr}{2}}{\sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a} \frac{1}{e} + \left(\frac{fr_0}{2} \right)^2} - \frac{fr_0}{2}} \quad (2.2.10)$$

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

$$P(r) = P_c + \Delta P e^{-\frac{r_0}{r}} \quad (2.2.11)$$

6. 模擬範圍

湯(1970)和井島(1972)採用矩型格網方式計算，模擬範圍的邊界南至北緯 18° 、北至北緯 28° 、西至東經 116° 、東至東經 126° ，地形格網的解析精度為 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ (約為 10×10 公里)，示如圖 2.1.1。圖中方框為目標推算區，該推算區大小為 $0.4^\circ \times 0.4^\circ$ (約為 40×40 公里)，設定方式是以目標推算點為中心，東西南北各 0.2° 來設定其邊界。湯(1970)和井島(1972)採用波浪追蹤法，該方法為計算所有模擬範圍內的波浪傳遞情形，當波浪傳遞至目標推算區的邊界時即記錄該波浪的大小及方向，如此重複計算至所有時刻皆完成，然此種方式受到颱風路徑的影響很大，因此並無法推算出每場颱風的波浪狀況。

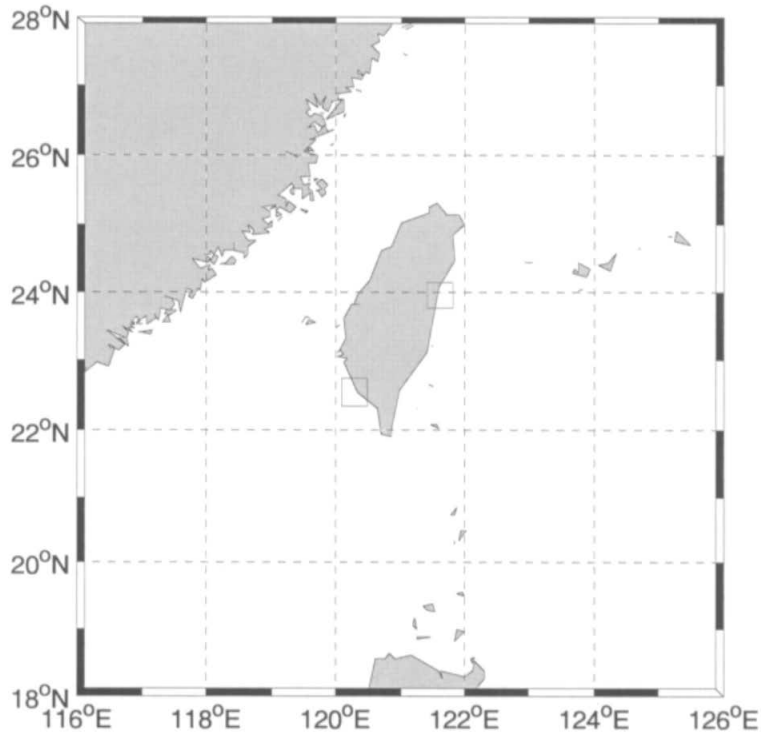


圖 2.2.1 湯(1970)和井島(1972)推算模式模擬範圍

2.3 類神經颱風波浪推算模式

2.3.1 類神經網路架構

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

人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (2.3.1)$$

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； θ_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 θ_1 及 θ_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

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (2.3.2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (2.3.3)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (2.3.4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (2.3.5)$$

2. 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

$$\delta_1 = Z(1-Z)\sum_j (W_{2j}\delta_j) \quad (2.3.6)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (2.3.7)$$

3.計算加權值矩陣的修正量 ΔW

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

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (2.3.8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (2.3.9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (2.3.10)$$

其中 η 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， δ_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 $W1$ 、 $W2$ 及偏權值向量 θ_1 、 θ_2 的更新：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (2.3.11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (2.3.12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (2.3.13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta\theta_2 \quad (2.3.14)$$

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

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

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

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (2.3.15)$$

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(2.3.15)簡單的表示方法為 ”S-P”，所以一個具有 2 個隱藏層神經元的個數分別為 10 及 20，且一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

在使用倒傳遞網路的首先必須決定隱藏層的層數，以確定網路的大小，方能建構一個好的模式。在許多理論研究的結果與工程領域的模擬應用上都顯示，大多數問題可藉由單層隱藏層的架構來處理，2

層以上的架構是用來處理更複雜的問題以及非線性的關係，隱藏層層數的決定在不同的研究或問題中有不同的結論(Chester, 1990; Hayashi 等, 1990; Kurkova, 1992; Hush 和 Horne, 1993)。

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

$$h = 2z + 1 \quad (2.3.16)$$

其中， z 為輸入層的神經元個數， h 為隱藏層神經元個數。

2.3.2 資料分類

本研究收集花蓮港 1990 至 2008 年的颱風波浪資料，資料量較往昔研究都更加完整，在類神經網路模式的訓練資料以及驗證資料的選取上有很大的彈性，故本研究所採用的訓練方式不同於往昔以 RMSE 當作目標或或是以學習疊代次數當作限制的方法，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會使得模式失去其廣義性，也就是發生了過度學習(Over Fitting)，故隨著訓練次數的增加本研究輔以確認用資料群來作為一指標，當訓練後的網路通過確認達一定次數後，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。本研究採用 Camargo 等人(2007)所採用的熱帶氣旋分類法，此法是透過熱帶氣旋在地球表面的中心路徑來進行分類，可先選定所要分的組數後再依空間路徑特徵進行分類，本研究對將所有颱風分為路徑特性差異較大的四類，再各將這四類中的颱風等分放入三組資料群中，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。

2.3.3 輸入參數

本研究的類神經颱風波浪推算模式在輸入層的部分採用了四個颱風特性參數，分別為：(1)RVM 風場模式所推算的目標點海面 10 米風速向量(2)陸地效應轉換函數(3)颱風結構轉換函數(4)目標點風向轉換函數。此外為了考量這四個特性參數的非線性交互關係，將海面 10 米風速大小時序列資料，依其值域範圍轉換為 4 組總和不變但乘積為零的時序列資料，再與陸地效應轉換函數、颱風結構轉換函數、目標點風向轉換函數組成非線性項再進入輸入層。模式輸入層延用交通部運輸研究所港灣技術研究中心『臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(三)』研究中的輸入層延時機制。

RVM 模型颱風模式 (Rankin-Vortex Model)係以中心氣壓模擬颱風

風場架構，但忽略了颱風移動受地形阻隔之影響，故應用 RVM 模型颱風模式進行臺灣沿海地區之波浪推算，其推算結果將受到颱風移動路徑而有所影響。本研究考量颱風波浪之最主要驅動力為颱風風力，而颱風風力之生成，則來自於颱風中心之低氣壓與外界之壓力差及地球之自轉。在資料齊全的條件下，風場可由氣壓分佈推算而得。然而，在絕大多數情形下，氣壓分佈資料取得不易，由氣壓分佈資料去產生風場較為困難。一般而言，當颱風成形後，因其內部氣壓低導致環繞周圍的空氣由外邊高壓處向低壓的氣旋中心流動，因海面上颱風中心附近之氣壓分佈具有對稱性，故熱帶氣旋所造成之風場可利用風場模式推算之，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：

$$V_r = \begin{cases} V_{\max} (R/R_m)^7 \exp(7(1-R/R_m)) & \text{for } R < R_m \\ V_{\max} \exp((0.0025R_m + 0.05)(1-R/R_m)) & \text{for } R \geq R_m \end{cases} \quad (2.3.3)$$

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

$$R_m = 28.52 \tanh(0.0873(\phi - 28)) + 12.22 / \exp((P_{\infty} - P_c) / 33.86) + 0.2V_f + 37.22 \quad (2.3.4)$$

其中， ϕ 為緯度， P_c 為中心氣壓，而 P_{∞} 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

$$V_t = 0.5V_f \cos \varphi \quad (2.3.5)$$

其中， V_f 為颱風中心前進速度，而 φ 為至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角。其相互關係如圖 2.3.1 所示。颱風中心前進方向與最大風速連線之間夾角約 115 度，而風速總和 V 則為 $V_r + V_t$ 。

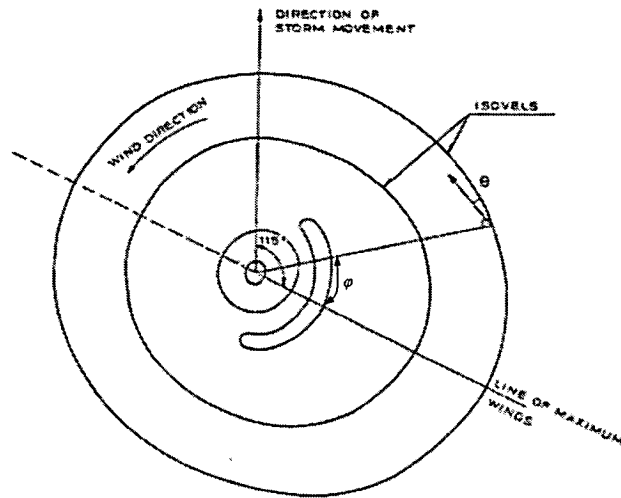


圖 2.3.1 氣旋中心附近風速風向分佈示意圖

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

$$\theta = \begin{cases} 10^\circ & \text{for } 0 < R \leq R_m \\ 10^\circ + 15^\circ(R - R_m)/(0.2R_m) & \text{for } R_m < R \leq 1.2R_m \\ 25^\circ & \text{for } 1.2R_m < R \end{cases} \quad (2.3.6)$$

由以上之說明可知，利用 RVM 模型颱風模式計算風場，颱風中心前進速度與方向、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} ，作為類神經模式的輸入層參數。

第三章 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 Δt_p 。

$$R = \frac{\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})(H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - \bar{H}_{s,obs})^2\right) \left(\sum_m \sum_n ((H_{s,num})_{mn} - \bar{H}_{s,num})^2\right)}} \quad (3.1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{mn} \sum_m \sum_n ((H_{s,obs})_{mn} - (H_{s,num})_{mn})^2} \quad (3.2)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,num}) - MAX(H_{s,obs}) \quad (3.3)$$

$$\Delta t_p = t_{p,num} - t_{p,obs} \quad (3.4)$$

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(3.3)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(3.4)可知，若 Δt_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。

3.1 半經驗颱風波浪推算推算結果與驗證

本研究以中央氣象局所公布有對臺灣造成影響的颱風輸入湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式進行推算，並與 2.1 節所述兼具資料完整性以及資料相關性的實測颱風波浪進行比較，結果如表 3.1.1。

表 3.1.1 半經驗颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{obs} (m)
1990	YANCY(楊希)	3.63	-8	2.46	0.08	4.67
1992	BOBBIE(芭比)	0.70	11	2.67	-0.58	5.28
1994	GLADYS(葛拉絲)	1.45	3	2.33	0.32	7.08
1994	TIM(提姆)	4.11	4	8.68	0.72	10.48
1996	GLORIA(葛樂禮)	0.82	12	1.84	0.24	4.59
1996	HERB(賀伯)	4.58	10	2.86	-0.33	7.46
1997	AMBER(琥珀)	4.26	5	5.80	0.72	8.85
1998	ZEB(瑞伯)	4.66	4	3.26	0.16	7.45
2000	BILIS(碧利斯)	3.88	4	3.90	0.95	8.96
2000	XANGSANE(象神)	5.30	0	1.33	0.86	6.07
2003	KUJIRA(柯吉拉)	-1.25	12	1.43	0.44	3.76
2004	AERE(艾利)	3.58	19	1.94	-0.30	3.68
2004	MINDULLE(敏督利)	3.46	0	2.43	0.67	5.50
2004	NOCK_TEN(納坦)	4.89	2	3.08	0.26	5.33
2005	HAITANG(海棠)	6.98	-1	3.22	0.34	7.50
2005	LONGWANG(龍王)	4.88	0	1.67	0.97	10.85
2005	MATSA(馬莎)	3.19	8	2.49	-0.21	3.18
2005	TALIM(泰利)	7.14	0	2.96	0.60	7.53
2007	KROSA(柯羅莎)	6.20	4	4.68	-0.27	6.49
2007	SEPAT(聖帕)	4.11	-3	2.22	0.91	9.26
2007	WIPHA(韋帕)	5.78	5	3.37	-0.04	3.74
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	-0.88	-1	2.21	0.88	7.32
2008	JANGMI(蔷蜜)	8.76	3	3.41	0.38	6.00
2008	SINLAKU(辛樂克)	3.03	12	2.18	0.10	5.37

平均	4.06	5.46	3.02	0.47	6.52
----	------	------	------	------	------

由於湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式會以目標範圍區的邊界所接收的各方向波浪大小及數量來做統計，故本研究所收集的 52 場實測颱風波浪資料中只有 24 場有被推算出結果，表 3.1.1 顯示 30 場颱風波浪推算結果與實測資料間的相關係數、均方根誤差、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 。表中可發現 1991、1993、1995、1999、2001 以及 2002 四年並沒有列出颱風波浪結果的比較，其中 1991、1995、1999 以及 2001 是因為本模式推算出有波浪的颱風恰好無實測資料可供比較；而 1993 以及 2002 年則是本模式沒有推算出颱風波浪的結果。

表中各場颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以 JANGMI(2008)相差最大，其最大波高與實測資料相差了 8.76m；相差最小的則是 BOBBIE(1992)，與實測最大波高僅差 0.70m，24 場颱風波浪中模式推算最大波高與實測最大波高相差值平均為 4.06m。此外最大波高發生時間誤差 Δt_p 則以 AERE(2004)相差最多，與實測最大波高發生時間差了 19 小時；相差最小的則有五場其推算結果最大波高發生時間與實測完全符合；24 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 5.46 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差最大為 TIM(1994)，其值為 8.68m，最小為 XANGSANE(2000)的 1.33m；24 場颱風波浪平均 RMSE 為 3.02m。推算波高結果與實測波高的相關性則以 LONGWANG(2005)最佳，相關係數 0.97；最差為 BOBBIE(1992)的 -0.58；24 場颱風波浪與實測波高相關係數平均為 0.33。

3.2 類神經颱風波浪推算推算結果與驗證

類神經網路颱風波浪推算模式，為 2001 至 2004 年本所港研中心合作計畫『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 2.1 節所述的 52 場實測颱風波浪資料進行驗證，其結果如下表所示。

表 3.2.1 類神經颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{obs} (m)
1990	YANCY(楊希)	-0.50	13	0.66	0.93	4.67
1991	AMY(艾美)	-1.97	1	0.61	0.99	9.90
1992	BOBBIE(芭比)	-0.59	16	0.79	0.71	5.28
1992	TED(泰德)	-1.19	9	0.96	0.89	6.95
1993	TASHA(塔莎)	0.89	1	0.68	0.73	2.55
1993	YANCY(楊希)	0.42	15	0.52	0.72	3.27
1994	GLADYS(葛拉絲)	-1.89	-1	0.58	0.91	7.08
1994	TIM(提姆)	-4.22	0	1.50	0.97	10.48
1995	KENT(肯特)	-1.57	-1	0.46	0.94	6.85
1996	CAM(凱姆)	0.47	10	0.43	0.56	2.44
1996	GLORIA(葛樂禮)	0.39	5	0.56	0.90	4.59
1996	HERB(賀伯)	-2.45	7	1.40	0.67	7.46
1997	WINNIE(溫妮)	-2.14	-13	0.72	0.69	4.97
1997	AMBER(安珀)	-3.43	1	0.84	0.98	8.85
1997	IVAN(艾文)	0.11	-2	0.43	0.80	3.21
1998	OTTO(奧托)	0.25	-1	1.04	0.90	6.70
1998	YANNI(楊妮)	1.33	7	0.67	0.66	3.38
1998	ZEB(瑞伯)	-1.95	3	0.96	0.87	7.45
1999	SAM(山姆)	-0.54	-2	0.70	0.85	3.34
2000	BILIS(碧利斯)	-0.63	-1	0.66	0.97	8.96
2000	XANGSANE(象神)	-0.62	-1	0.72	0.59	6.07
2001	CIMARON(西馬隆)	0.22	12	0.49	0.80	3.30
2001	HAIYAN(海燕)	-0.68	-3	0.79	0.86	4.48
2002	SINLAKU(辛樂克)	-0.82	7	0.63	0.68	4.53
2003	KUJIRA(柯吉拉)	-0.64	-17	0.51	0.79	3.76
2003	IMBUDO(尹布都)	-0.47	-10	0.47	0.91	3.71
2003	MORAKOT(莫拉克)	1.44	-5	1.35	0.79	2.91
2003	KROVANH(科羅旺)	0.58	0	0.55	0.65	2.67
2004	MINDULLE(敏督利)	1.85	-3	0.54	0.89	5.50
2004	KOMPASU(康柏斯)	0.40	-4	1.10	0.59	3.81
2004	RANANIM(蘭寧)	0.14	-4	0.38	0.82	3.52
2004	AERE(艾利)	0.07	-1	0.38	0.85	3.68
2004	NOCK_TEN(納坦)	0.85	-2	0.72	0.88	5.33

2004	NANMADOL(南瑪都)	-1.11	-4	0.76	0.91	4.38
2005	HAITANG(海棠)	0.54	6	0.93	0.85	7.50
2005	MATSA(馬莎)	0.56	-10	0.38	0.88	3.18
2005	SANVU(珊瑚)	-0.93	-5	0.54	0.88	3.86
2005	TALIM(泰利)	0.42	0	0.60	0.94	7.53
2005	DAMREY(丹瑞)	0.04	7	0.37	0.82	3.13
2005	LONGWANG(龍王)	-0.60	0	0.41	0.97	10.85
2006	BILIS(碧利斯)	-1.20	-15	0.79	0.80	5.25
2006	CHANCHU(珍珠)	-0.51	0	0.36	0.77	2.89
2006	SHANSHAN(珊珊)	0.69	4	0.66	0.81	4.24
2007	PABUK(帕布)	2.73	-4	0.93	0.71	4.94
2007	SEPAT(聖帕)	-0.28	-3	0.76	0.90	9.26
2007	WIPHA(韋帕)	0.69	5	0.52	0.82	3.74
2007	KROSA(柯羅莎)	-1.06	1	0.84	0.89	6.49
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	0.17	0	0.67	0.93	7.32
2008	NURI(如麗)	0.60	9	0.70	0.84	2.97
2008	SINLAKU(辛樂克)	-0.61	-1	0.77	0.78	5.37
2008	HAGUPIT(哈格比)	0.84	-7	0.51	0.95	3.40
2008	JANGMI(薔蜜)	1.42	3	0.59	0.90	6.00
	平均	0.98	5.04	0.69	0.83	5.27

註：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

表 3.2.1 顯示本模式 52 場颱風波浪推算結果與實測波高的比較。同上一節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 Δt_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 TIM(1994)相差最大，其最大波高與實測資料相差了 4.22m；相差最小的則是 DAMREY(2005)，與實測最大波高僅差 0.04m，52 場颱風波浪中模式推算最大波高與實測最大波高相差值平均為 0.98m。此外最大波高發生時間誤差 Δt_p 則以 KUJIRA(2006)相差最多，與實測最大波高發生時間差了 17 小時；相差最小的則有六場其推算結果最大波高發生時間與實測完全符合；52 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 5.04 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差最大為 TIM(1994)，其值為 1.50m，最小為 CHANCHU(2006)的 0.36m；52 場颱風波浪平均 RMSE 為 0.69m。推算波高結果與實測波高的相關性則以 AMY(1991)最佳，相關係數 0.99；最差為 CAM(1996)的 0.56；52 場颱風波浪與實測波高

相關係數平均為 0.83。

3.3 綜合比較

上述兩種波浪推算模式雖然與實測資料比較的颱風場次有所差異，但皆分別以 24 及 52 等多場實測颱風波浪結果加以驗證與比較，故本研究作出以下綜合比較。以各場颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 來判斷，平均值與最大誤差皆以類神經波浪推算模式的表現為佳，平均最大波高誤差僅 0.98m。此外最大波高發生時間誤差 Δt_p 在最大誤差以及平均值的部分兩種推算模式都相差不大，最大誤差值皆約 18 小時，平均誤差則皆約 5 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差以類神經波浪推算模式的表現較佳，其平均 RMSE 約為 0.69m。推算波高結果與實測波高的相關性亦以類神經颱風波浪推算結果為佳，其平均相關係數達 0.83。此外本研究另將半經驗公式推算出來的波浪結果與類神經波浪推算模式的結果列表比較如表 3.3.1。

表 3.3.1 綜合比較表

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}(m)$	$\Delta t_p(\text{hour})$	$\Delta H_{s,p}(m)$	$\Delta t_p(\text{hour})$
		半經驗	半經驗	類神經	類神經
1990	YANCY(楊希)	3.63	-8	-0.50	13
1992	BOBBIE(芭比)	0.7	11	-0.59	16
1994	GLADYS(葛拉絲)	1.45	3	-1.89	-1
1994	TIM(提姆)	4.11	4	-4.22	0
1996	GLORIA(葛樂禮)	0.82	12	0.39	5
1996	HERB(賀伯)	4.58	10	-2.45	7
1997	AMBER(安珀)	4.26	5	-3.43	1
1998	ZEB(瑞伯)	4.66	4	-1.95	3
2000	BILIS(碧利斯)	3.88	4	-0.63	-1
2000	XANGSANE(象神)	5.3	0	-0.62	-1
2003	KUJIRA(柯吉拉)	-1.25	12	-0.64	-17
2004	AERE(艾利)	3.58	19	0.07	-1
2004	MINDULLE(敏督利)	3.46	0	1.85	-3
2004	NOCK_TEN(納坦)	4.89	2	0.85	-2
2005	HAITANG(海棠)	6.98	-1	0.54	6
2005	LONGWANG(龍王)	4.88	0	-0.6	0
2005	MATSA(馬莎)	3.19	8	0.56	-10
2005	TALIM(泰利)	7.14	0	0.42	0
2007	KROSA(柯羅莎)	6.2	4	-1.06	1
2007	SEPAT(聖帕)	4.11	-3	-0.28	-3
2007	WIPHA(韋帕)	5.78	5	0.69	5
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	-0.88	-1	0.17	0
2008	JANGMI(薔蜜)	8.76	3	1.42	3
2008	SINLAKU(辛樂克)	3.03	12	-0.61	-1
平均		-4.06	-5.46	-1.10	-4.17

表中顯示除了 GLADYS(1994)以外，類神經波浪推算模式的各場颱風波高最大值皆較半經驗公式來的準確。而 TIM(1994)、HERB(1996)、AMBER(1996)以及 ZEB(1998)這幾場颱風類神經波浪推算模式的結果都與半經驗公式的結果有很大的差距。另外在波高峰值得時間發生延時兩種波浪推算方式的結果則相差不大。

整體來看兩模式在最大波高發生時間的推估上其結果相當，而最大波高誤差以及整場颱風波浪的 RMSE 則以類神經網路波浪推算模式有較好的表現，湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式皆有明顯高估的現象。而在應用上類神經波浪推算模式只要有颱風資訊進行輸入就可以推算出波高結果，而半經驗波浪推算模式對於特殊颱風路徑與模式認定波浪較小的狀況則不會有任何結果輸出，故有些颱風無法推得其

波浪結果以致於難以進行比較與驗證，但對於極值波高統計來說該年度只要至少有一場颱風波浪推算出來就影響不大。此外，湯(1970)和井島(1972)的波浪推算模式在進行推算時可將各方向的波浪分別進行統計，以輸出各方向的推算結果，這在工程設計上可以提供各方向的波高資料作整體設計的考慮。

第四章 花蓮港波高之極值統計

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，首先必須將原始資料作基本之選取及排序。本研究分析極值之樣本來源如第 3 章所示有 3 種，一為實測之波高值，第二種為由半經驗颱風波浪推算模式以實際颱風所推算出每場颱風波浪之最大值，第三種為由類神經颱風波浪推算模式所計算出每場颱風波浪之最大值，推算年份以港研中心自 1990 年測量波浪起至 2008 年。將上述三種樣本來源中，每年各場颱風最大值波高取出後，再將其排序，取出前 3 大來當該年之前 3 大最大波高值當樣極值分析之樣本。

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)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (4.2.1a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-\frac{x-B}{A}} \quad (4.2.1b)$$

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

$$F(x) = e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}}, \quad B - A/k \leq x < \infty \quad (4.2.2a)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} \left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{-\left(1+\frac{1}{k}\right)} e^{-\left(1+k\frac{x-B}{A}\right)^{\frac{1}{k}}} \quad (4.2.2b)$$

3. Weibull 分佈

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k}, \quad B \leq x < \infty \quad (4.2.3a)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x-B}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x-B}{A}\right)^k} \quad (4.2.3b)$$

4. 對數常態分佈 (lognormal distribution)

$$F(x) = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf}\left(\frac{\ln x - B}{\sqrt{2}A}\right)\right) \quad 0 < x < \infty \quad (4.2.4a)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}Ax} e^{-\frac{(\ln x - B)^2}{2A^2}} \quad (4.2.4b)$$

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

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (4.2.4c)$$

式(4.2.1)至式(4.2.4)中， x 為樣本變數， $f(x)$ 為機率密度函數 (probability

density function), $F(x)$ 為累積機率函數 (cumulative probability function), A 及 B 為描述機率密度函數形狀之參數, B 稱為位置參數 (location parameter) 與樣本平均值 (mean) 有關, 而 A 值稱為尺度參數 (scale parameter) 與樣本標準偏差 (standard deviation) 有關, k 為形狀常數, 決定機率函數之尖扁形狀。當式(4.2.2)之通用極值分布函數之 k 為正時, 通用極值分布轉為極值 II 型分布, 當通用極值分布函數之 k 為負時, 通用極值分布轉為極值 III 型分布。

4.3 極值分布參數推定

當資料選取方法及極值分布函數決定後, 極值分布中參數如何推定, 有不同的方法。一般極值分布參數推定法, 有力矩法 (method of moment, MOM), 最小二乘法 (least squared method, LSM), 最大概似法 (maximum likelihood method, MLM), 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 MLM 為最常用之推定法。

4.3.1 MOM 推定法

若已選出之分布函數後依統計可計算出其統計量, 如平均值, 標準偏差及眾數(mode)與函數內之參數有關, 如表 4.3.1 所示。樣本無偏態推算值也可獲得平均值及標準偏差, 依表 4.3.1 之統計量則可算出函數之參數。

表 4.3.1 各極值分佈相關統計量之特性

分佈函數	眾數	平均值	標準偏差
Gumbel	B	$B + A\gamma$	$\pi A / \sqrt{6}$

GEV	$B + \frac{A}{k} \left[\left(\frac{k}{1+k} \right)^k - 1 \right]$	$B + \frac{A}{k} [\Gamma(1-k) - 1]$	$\frac{A}{k} [\Gamma(1-2k) - \Gamma^2(1-k)]^{1/2}$
Weibull 分佈	$B + A \left(1 - \frac{1}{k} \right)^{1/k}, k > 1$	$B + A \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)$	$A \left[\Gamma \left(1 + \frac{2}{k} \right) - \Gamma^2 \left(1 + \frac{1}{k} \right) \right]^{1/2}$
Lognormal	e^{B-A^2}	$e^{\left(B + \frac{A^2}{2} \right)}$	$e^{\left(B + \frac{A^2}{2} \right)} \left(e^{A^2} - 1 \right)^{1/2}$

表 4.3.1 中， $\Gamma(\cdot)$ 為 Gamma 函數， γ 為 Euler 數， $\gamma = 0.5772\dots$ 。

4.3.2 MLM 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 分佈為例分別為

$$L(x; A, B) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{A} e^{-\frac{x_i - B}{A}} e^{-\frac{x_i - B}{A}} \quad (4.3.1)$$

$$l(x; A, B) = \sum_{i=1}^n -\frac{x_i - B}{A} - e^{-\frac{x_i - B}{A}} - n \ln(A) \quad (4.3.2)$$

其中 x_i 為樣本。值若資料符合於機率密度函數中適合參數時，最大概似函數則越大；反之，資料符合於機率密度函數中不適合參數時，最大概似函數則越小。一般選用對數最大概似函數，將式(4.2.5b)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。最大概似函之原理可詳見 Kotz and Nadarajah (2000)及 Coles (2001)。

4.3.3 LSM 推定法

LSM 法需要先決定樣本之排序機率。當資料收集後，首先適當的劃位 (plotting position) 得到無偏態的排序資料之機率。Goda (2000) 提出

不同極值分布之劃位，當選取 N 個資料，首先將 N 個資料依大小順序排列，再計算第 m 順位之值的累積機率 F_m ，其計算公式如下

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, \quad m = 1, 2, \dots, N \quad (4.3.3)$$

α 及 β 值在不同分布函數其值不同如下表 4.3.2 所示(Goda, 2000)。

表 4.3.2 計算樣本順位機率之 α 及 β 值

分佈函數	α 值	β 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 $MIR = (1 - r) / \Delta r$ 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， Δr 為平均相關係數殘差。MIR 值愈小，代表樣本較適合此極值分布。

各極值分布函數之排序機率下之推算值 x_m 如下公式

$$x_m = ay_m + b \quad (4.4.1)$$

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

$$\text{Gumbel: } y_m = -\ln(-\ln F_m) \quad (4.4.2a)$$

$$\text{GEV: } y_m = \frac{1}{k} [(-\ln F_m)^{-k} - 1] \quad (4.4.2b)$$

$$\text{Weibull: } y_m = [-\ln(1 - F_m)]^{1/k} \quad (4.4.2c)$$

$$\text{Lognormal: } y_m = \text{inverf}(F_m) \quad (4.4.2d)$$

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

$$\Delta \bar{r} = e^{\bar{a} + \bar{b} \ln N + \bar{c} (\ln N)^2} \quad (4.4.3)$$

式(4.4.3)中 N 為樣本個數係數， \bar{a} 、 \bar{b} 及 \bar{c} 值依不同分佈分別示如表 4.4.1。

表 4.4.1 相關係數殘差平均值公式之係數 \bar{a} ， \bar{b} 及 \bar{c} 值

分佈函數	係數 \bar{a}	係數 \bar{b}	係數 \bar{c}
Gumbel	-2.310	-0.3122	-0.044
GEV ($k=2.5$)	-2.455	-0.1582	0
($k=4.33$)	-2.471	-0.1970	-0.007
($k=5.0$)	-2.463	-0.2241	-0.019

($k=10.0$)	-2.409	-0.2580	-0.033
Weibull ($k=0.75$)	-2.603	-0.1009	-0.047
($k=1.0$)	-2.355	-0.2612	-0.043
($k=1.4$)	-2.221	-0.3668	-0.044
($k=2.0$)	-2.047	-0.4767	-0.041
Lognormal	-2.094	-0.4343	-0.045

4.4.2 RMSE 檢定:

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2} \quad (4.4.4)$$

其中 x_m 為推估各排序機率下之波高。

4.4.3 ER 檢定:

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

$$ER = |x_{MAX} - (x_{MAX})_m| \quad (4.4.5)$$

4.5 推估值之標準偏差

利用極值分析所推算出的各種限期之物理值，因為收集到的數據

不可能完全符合選擇之分布函數，故所推算之結果必含有不確定性，亦即推算結果僅是機率上之平均值，其偏差量大小應要予以估算。

4.5.1 Goda(2000)方法：

Gumbel 分佈之估算值之標準偏差量為

$$\sigma(x_R) = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1 + 0.885(y_R - \gamma) + 0.6687(y_R - \gamma)^2 \right]^{1/2} \sigma_x \quad (4.5.1)$$

式(4.5.1)中 σ_x 為樣本 x 之標準偏差， y_R 為重現期之基準化變量，即式(4.4.3)， x_R 為重現期之推算值。其他分佈並無簡易公式推定，合田和小舟(1989)提出以補助統計量的標準偏差 σ_z 乘以樣本 x 之標準偏差 σ_x ，當做推算偏差量

$$\sigma(x_R) = \sigma_x \cdot \sigma_z \quad (4.5.2)$$

Gumbel、GEV 及 Weibull 分佈之標準偏差 σ_z 為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.0 + \hat{A}(y_R - c)^2 \right]^{1/2} \quad (4.5.3)$$

而 \hat{A} 值在 Gumbel 及 Weibull 分佈為：

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 N^{-1.3}} \quad (4.5.4)$$

但 GEV 及 FT-II 之 \hat{A} 值可表為

$$\hat{A} = a_1 e^{a_2 \left[\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) \right]^2 - \kappa \left[\ln\left(\frac{1}{v_0}\right) \right]^2} \quad (4.5.5)$$

式(4.5.3)至式(4.5.5)中之係數如表 4.5.1 所示

表 4.5.1 重現期推算量之標準偏差公式中之係數

分佈函數	a_1	a_2	κ	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 σ_z 則為：

$$\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{N}} \left[1.2 + 0.65(y_R - 0.2)^{2.0} \right]^{1/2} \quad (4.5.6)$$

4.5.2 MLM 方法：

MLM 推估估算值之標準偏差量時需先計算一個資訊矩陣

(information matrix)，以 Gumbel 分佈為例其定義為

$$IE = \begin{bmatrix} -\frac{\partial^2 l}{\partial A^2} & -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} \\ -\frac{\partial^2 l}{\partial A \partial B} & -\frac{\partial^2 l}{\partial B^2} \end{bmatrix} \quad (4.5.7)$$

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

$$x_R = B - A \ln(F_R) \quad (4.5.8)$$

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

$$\nabla_{x_R} = \left[\frac{\partial x_R}{\partial A}, \frac{\partial x_R}{\partial B} \right] = [-\ln F_R, 1] \quad (4.5.9)$$

估算值之變異數則為

$$Var(x_R) = \nabla_{x_R} V (\nabla_{x_R})^T \quad (4.5.10)$$

將式(4.5.10)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 前 3 大月極值推估法

因為臺灣於夏季常有颱風造成較大之波浪，平均每年約有 3-4 個侵襲或接近臺灣。因此考慮平均 3 個颱風波浪造成海岸相關問題時，前 3 大月極值推估法(annual third-largest monthly wave)是有其必要。Sobey and Orloff (1995) 提出此極值分析方法，其理論簡述如下，

假設每月極值之機率分布及機率密度分布分別為 F_H 及 f_H ，此每月極值前 3 大 (x_1, x_2, x_3) 之機率及機率密度與每年機率及機率密度之關係分別為

$$F_H(x_1) = F(x_1)^{1/m} \quad (4.6.1)$$

$$f_H(x_1) = \frac{1}{m} F(x_1)^{(1/m-1)} f(x_1) \quad (4.6.2)$$

$$F_H(x_2) = m(m-1)B_{FH(x_2)}(m-1,2) \quad (4.6.3)$$

$$f_H(x_2) = (m-1)(F(x_2)^{-1/m} - 1)f(x_2) \quad (4.6.4)$$

及

$$F_H(x_3) = \frac{1}{2} m(m-1)(m-2)B_{FH(x_3)}(m-2,3) \quad (4.6.7)$$

$$f_H(x_3) = \frac{1}{2} (m-1)(m-2)(F(x_3)^{-2/m} - 2F(x_3)^{-1/m} + 1)f(x_3) \quad (4.6.8)$$

其中 $B_x(z, w)$ 為 Beta 函數定義如下

$$B_x(z, w) = \int_0^x t^{z-1} (1-t)^{w-1} dt \quad (4.6.9)$$

若有 n 年之波浪資料，將每月最大值取出後，再取每年之前 3 大之波高資料，當為統計樣本，以 MLM 推估此美年前 3 大之月最大波高值時，其聯合機率分布 (joint distribution of the annual maximum wave) 為

$$f_H(x_1, x_2, x_3) = m(m-1)(m-2)F_H(x_3)^{m-3} f_H(x_1)f_H(x_2)f_H(x_3) \quad (4.6.10)$$

最大概似函數(log-likelihood function)為

$$L(p_1, p_2, p_3) = \sum_{i=1}^n (m-3) \ln F_H(x_3) + \ln f_H(x_1) + \ln f_H(x_2) + \ln f_H(x_3) \quad (4.6.11)$$

將 $3n$ 個樣本代入式(4.6.11)則可求出機率分布中之適合參數讓概似函數為最大，各重現期之波高值則以式(4.4.2)計算之，而其標準偏差值則以式(4.5.10)估算。

4.7 年最大極值推估結果

4.7.1 實測波高樣本(第一種樣本)

由本所港研中心在花蓮港海域測量自 1990 至 2008 年間共有 52 場颱風，若取其每年最大值波高為統計樣本，以用三種推估法於五種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準如表 4.7.1 所示

從表 4.7.1 中 MIR 值顯示，GEV 除 MOM 推估法所得 MIR 外，以 MLM 及 LSM 推估法所得為最小，相同極值分布以其他兩種推估法所得之 MIR 值相同，有較小 MIR 值之分布為 Weibull 分布。由 RMSE 來看，推估波高與樣本誤差還是以 MLM 及 LSM 推估 GEV 分布為最小，約 0.37 及 0.31m。Weibull 1 分布較 Gumbel 及 Lognormal 分布之 RMSE 相對較小，約 0.5m。以最大值之推估值誤差 ER 值來看，雖然以 MLM 及 LSM 法推估 GEV 分布亦為最小，但 MOM 法顯然就有相當之差異，以三種推估參數方法之平均結果來看，以 Weibull 分布依序最佳。綜合上述，四種分布以 MLM 及 LSM 推估參數方法是較 MOM 推估參數方法適合於此波高極值樣本之分布。以 MLM 及 LSM 推估參

數方法所得四種分布之機率密度函數及累積機率函數分別如圖 4.7.1 及 4.7.2 所示。

表 4.7.1 以不同推估法及極值分布推估第一種樣本之檢定標準

Index	Method	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
MIR	MLE	1.74	0.34	1.11	1.73
	MOM	1.74	62.96	1.11	1.47
	LSM	1.74	0.34	1.11	1.74
RMSE (<i>m</i>)	MLE	0.77	0.37	0.50	0.65
	MOM	0.65	4.07	0.48	0.56
	LSM	0.65	0.31	0.46	0.65
ER (<i>m</i>)	MLE	2.78	0.02	1.13	2.17
	MOM	1.51	6.68	0.84	1.19
	LSM	1.69	0.06	1.15	2.21

從圖 4.7.1 及圖 4.7.2 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 11.2*m* 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。

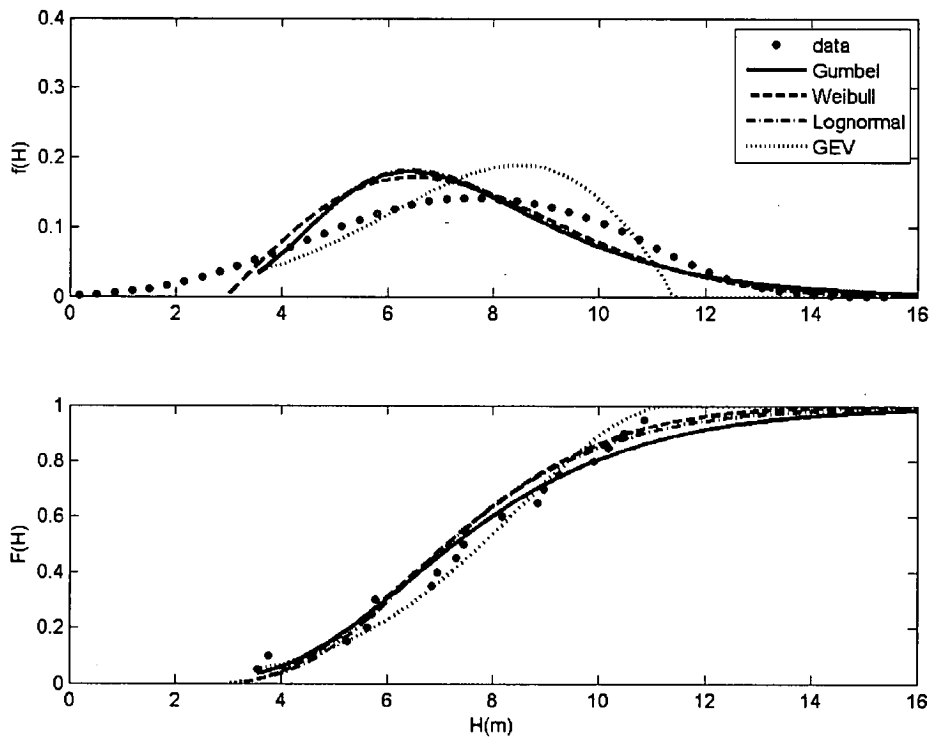


圖 4.7.1 以 MLM 推估第一種樣本之機率密度函數及機率函數

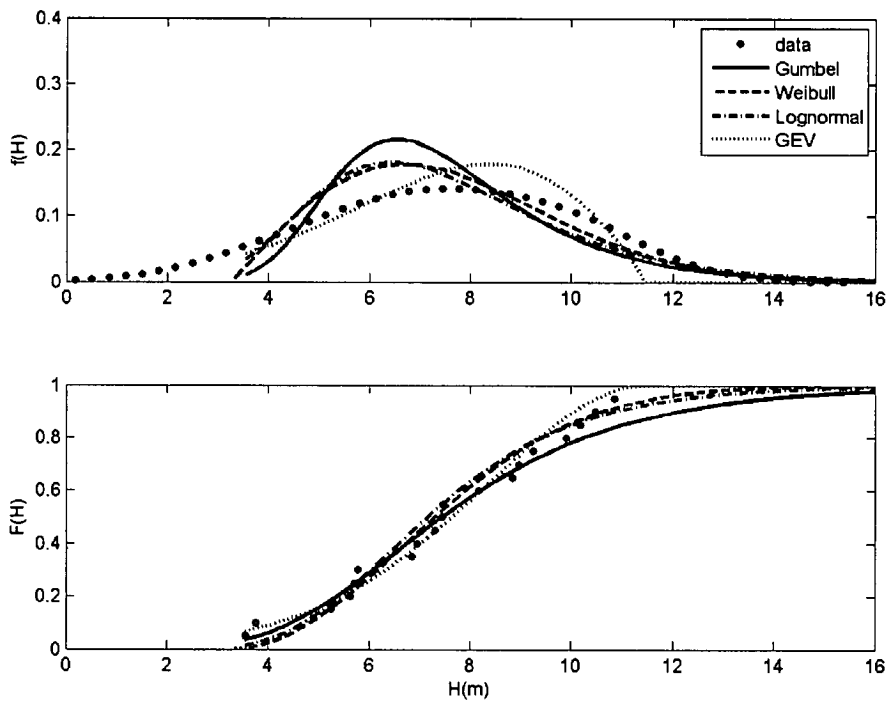


圖 4.7.2 以 LSM 推估第一種樣本之機率密度函數及機率函數

若選擇四種重現期為 $T=10、25、50$ 及 100 年。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(4.4.1)及式(4.4.2)後，可獲得各重現期下之波高。表 4.7.2 為以 MLM 推估參數法計算四種極值分布函數之各重現期之波高及其推算標準偏差。由上述討論第一種樣本推算各重現期波高之標準偏差發現，因 σ_{mood} 明顯高出其他兩種，因此在此不列表列 σ_{mood} 。

表 4.7.2 以 MLM 推估第一種樣本之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
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
σ_{mlm} (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

由表 4.7.2 x_R 顯示以 MLM 推估參數法計算四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(4.5.10)方法計算 Weibull 分布所得較 Lognormal 及 Gumbel 分布為小。就以 MLM 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 $10.53-15.19m$ 。

表 4.7.3 為以 LSM 推估參數法計算四種極值分布函數之各重現期之波高及其推算標準偏差。由表 4.7.3 中 x_R 值顯示所計算四種極值分布之各重現期波高中，以所計算出各極值分布及重現期之波高大小排列依序為 Lognormal、Gumbel、Weibull 及 GEV 分布，其中 GEV 分布因受 $11.2m$ 之上限值，所以推算各重現期之波高變化不大。Gumbel 及 Weibull 分布所計算出各重現期波高極為相近，以 50 年重現期來講二

者相差約 $0.34m$ 。

針對推估各重現期波高之推算標準偏量來看，以式(4.5.10)計算所得之 Lognormal 分布之各重現期推算標準偏量較 Gumbel、Weibull 及 GEV 者為小。以 50 年重現期來講，以 MLM 推估 Weibull 極值分布之值比以 LSM 之推估值約分別小於 $0.16m$ 。就以 LSM 推估 Weibull 極值分布之波高，50 年重現期為 $12.86m$ ，而推算標準偏量為 $\sigma_{lsm}=1.35m$ ，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 $12.86\pm 1.96\times 1.35m$ 之間，即 $10.21-15.51m$ 。

表 4.7.3 以 LSM 推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	10.39	10.05	10.62	10.87
	25	12.00	10.61	11.97	12.66
	50	13.20	10.87	12.86	13.97
	100	14.40	11.05	13.67	15.27
σ_{lsm} (m)	10	1.05	0.82	1.00	0.70
	25	1.41	0.90	1.21	0.83
	50	1.69	0.94	1.35	0.92
	100	1.96	0.98	1.48	1.01

4.7.2 以類神經颱風波浪模式推算之波高樣本(第二種樣本)

由本研究發展出之颱風波浪類神經推算模式可推算在花蓮港海域自 1990 至 2008 年共有 48 場颱風之每年最大值波高為統計樣本。以用三種推估法於四種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準如表 4.7.4 所示。

從表 4.7.4 中 MIR 值顯示，除 GEV 分布之 MOM 推估外，以 MLM 及 LSM 推估法所得為所有中最小，相同極值分布用其他兩種推估法所得之 MIR 值相同，較小且相近 3 個之 MIR 值的分布分別為 Weibull、Gumbel 及 Lognormal 分布。由 RMSE 整體比較，以 Weibull 分布為最小，約為 $0.55m$ ，而 Gumbel 及 Lognormal 相近約為 $0.65m$ 。以最大值之推估值誤差 ER 值來看，雖然以 MLM 及 LSM 法推估 GEV 分布亦為較小，但 MOM 法顯然就有相當之差異，以三種推估參數方法之平均

結果來看，亦是以 Weibull 分布依序最佳。總之，以 MLM 及 LSM 推估四種分布參數方法較 MOM 推估參數方法適合於此波高樣本之分布。以 MLM 及 LSM 推估參數方法所得 GEV、Weibull、Gumbel 及 Lognormal 分布之機率密度函數及累積機率函數分別如圖 4.7.3 及 4.7.4 所示。

表 4.7.4 以不同推估法及極值分布推估第二種樣本之檢定標準

Index	Method	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
MIR	MLE	1.96	0.18	1.30	2.84
	MOM	1.96	63.12	1.30	2.09
	LSM	1.96	0.18	1.30	2.80
RMSE (<i>m</i>)	MLE	1.41	0.52	0.93	1.60
	MOM	1.15	6.83	0.86	1.11
	LSM	1.15	0.38	0.84	1.55
ER (<i>m</i>)	MLE	4.95	0.07	1.06	5.47
	MOM	2.52	11.14	1.40	2.18
	LSM	2.78	0.03	1.89	5.22

從圖 4.7.3 及圖 4.7.4 可知 GEV 分布之機率密度函數及累積機率函數描述此樣本雖較為吻合，但在波高大於 10.5m 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 分布描述此樣本較為吻合，但推估高重現期則有其限制。另外，此第二種波高樣本之機率密度分布明顯相當寬散，眾數偏向於大值，顯示機率密度為右偏之分布，Gumbel、Weibull 及 Lognormal 分布之所得眾數接近，致以曲線之函數偏僅吻合在小值及大值部份，但中間值波高無法吻合描述。

若選擇重現期為 $T=10$ 、25、50 及 100 年四種。將各極值分布函數及獲得各重現期下之波高如表 4.7.5 所示。由表 4.7.5 x_R 顯示以 MLM 推估參數法計算四種分布之各重現期波高中以 GEV 分布獲得各重現期下之波高相近，此乃機率密度因受限小於上限值之故。所計算出三種分布之各重現期波高大小依序為 Gumbel、Lognormal 及 Weibull，推算三種分布之 50 年重現期波高分別為 13.61、12.79 及 12.05m。

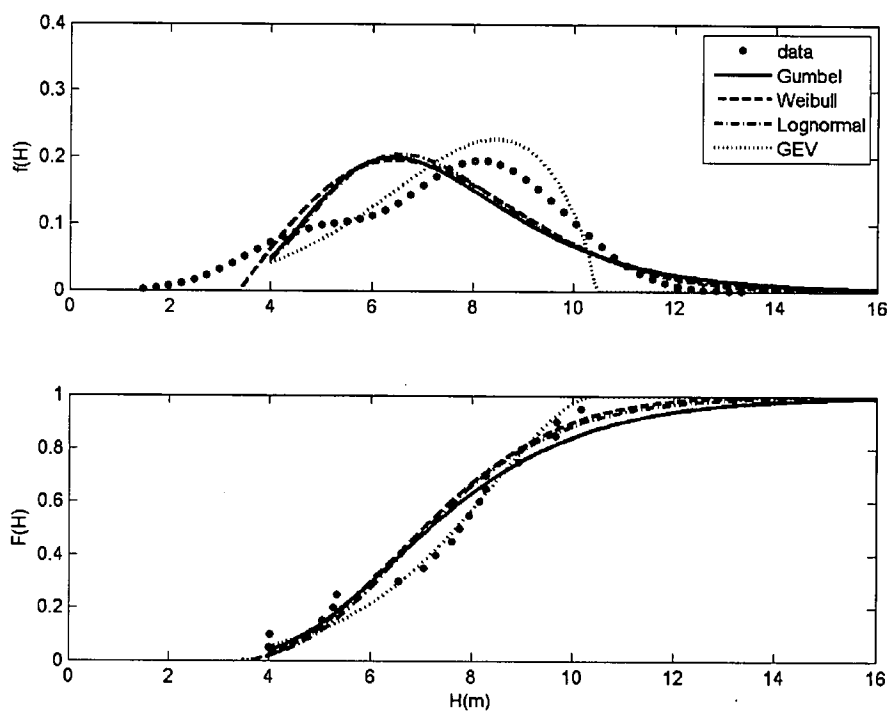


圖 4.7.3 以 MLM 推估第二種樣本之機率密度函數及機率函數

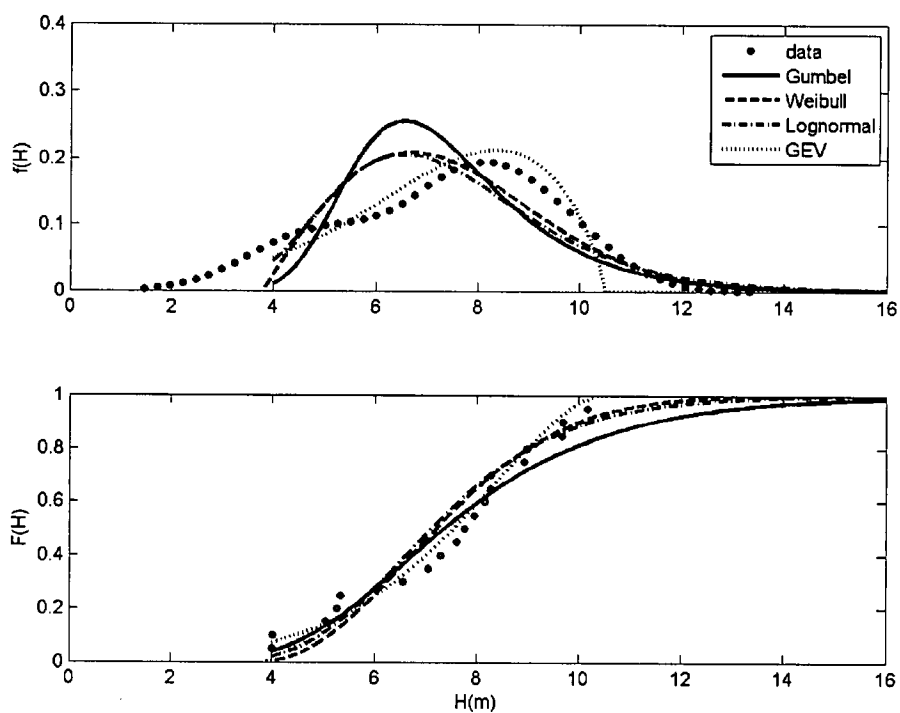


圖 4.7.4 以 LSM 推估第二種樣本之機率密度函數及機率函數

排除 GEV 分布後，而比較其他分佈各重現期推估波高之推算標準偏量，由 σ_{mlm} 值發現，Weibull 分布所得較 Gumbel 及 Lognormal 分布為小。綜合表 4.7.4 之檢定標準及推算標準偏量，此第二種樣本資料以 Weibull 分布來描述機率及推估各重現期波高是合適的。以 MLM 推估 Weibull 極值分布，50 年重現期之波高為 12.05m，而推算標準偏量為 1.05m，若考慮 95% 信賴度，則推算 50 年重現期之波高應在為 $12.05 \pm 1.96 \times 1.05m$ 之間，即 9.99-14.11m。

表 4.7.5 以 MLM 推估第二種樣本之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
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
σ_{mlm} (m)	10	0.96	0.28	0.77	0.93
	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

表 4.7.6 為以 LSM 推估參數法計算四種極值分布函數之各重現期之波高及其推算標準偏差。由表 4.7.6 中 x_R 顯示所計算 4 種極值分布之各重現期波高中，GEV 分布因受上限值之故，以致推算各重現期之波高變化不大，此二分布並不合適於描述此樣本機率。其他分布所計算出各極值分布及重現期之波高大小排列依序為 Lognormal、Gumbel 及 Weibull 分

表 4.7.6 以 LSM 推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	9.80	9.51	10.02	10.22
	25	11.16	9.92	11.15	11.67
	50	12.17	10.11	11.90	12.71
	100	13.17	10.23	12.59	13.73
σ_{lsm} (m)	10	0.90	0.68	0.86	0.60
	25	1.21	0.74	1.03	0.72
	50	1.45	0.77	1.16	0.80
	100	1.69	0.79	1.28	0.88

若以推估各重現期波高之推算標準偏量來看，以 Lognormal 分布所得之 σ_{mlm} 較 Gumbel 及 Weibull 分布小。就以 MLM 推估 Weibull 極值分布之 50 年重現期波高為 11.90m，而推算偏量為 1.16m，若考慮 95% 信賴度，則推算波高在 $11.90 \pm 1.96 \times 1.16m$ ，即 9.63-14.17m。

4.7.3 以半經驗颱風波浪推算模式推算之波高樣本(第三種樣本)

由半經驗颱風波浪推算模式推算出自 1990 至 2008 年颱風之每年最大値之樣本。以用三種推估法於四種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準如表 4.7.7 所示

表 4.7.7 以不同推估法及極值分布推估第三種樣本之檢定標準

Index	Method	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
MIR	MLE	1.96	0.18	1.30	2.84
	MOM	1.96	63.11	1.30	2.09
	LSM	1.96	0.18	1.30	2.80
RMSE (m)	MLE	1.41	0.52	0.93	1.60
	MOM	1.15	6.83	0.86	1.11
	LSM	1.14	0.38	0.84	1.54
ER (m)	MLE	4.95	0.07	1.06	5.47
	MOM	2.52	11.14	1.40	2.18
	LSM	2.78	0.03	1.89	5.53

從表 4.7.7 中 MIR 值顯示 GEV 以 MLM 及 LSM 推估法所得為最小，其他所得相同極值分布不同推估法之 MIR 值相同，較小兩個之 MIR 值之分布分別為 Weibull 及 Gumbel 函數。由 RMSE 來看，推估排序機率下之波高與樣本誤差還是以 MLM 及 LSM 推估 GEV 分布為最小，約 0.52 及 0.38m。Weibull 分布所得之 RMSE 相對較 Gumbel 及 Lognormal 分布小。以最大値之推估值誤差 ER 值來看，雖然以 MLM 及 LSM 法推估 GEV 分布亦為最小，但 MOM 法顯然就有相當之差異，以三種推估參數方法之平均結果來看，亦是以 Weibull 分布依序最佳。綜合上述三種檢定標準來看，以 MLM 及 LSM 推估參數方法是比較適合於此極值波高樣本之分布。以 MLM 及 LSM 推估參數方法所得 4 種分布之機率密度函數及累積機率函數分別如圖 4.7.5 及 4.7.6 所示。

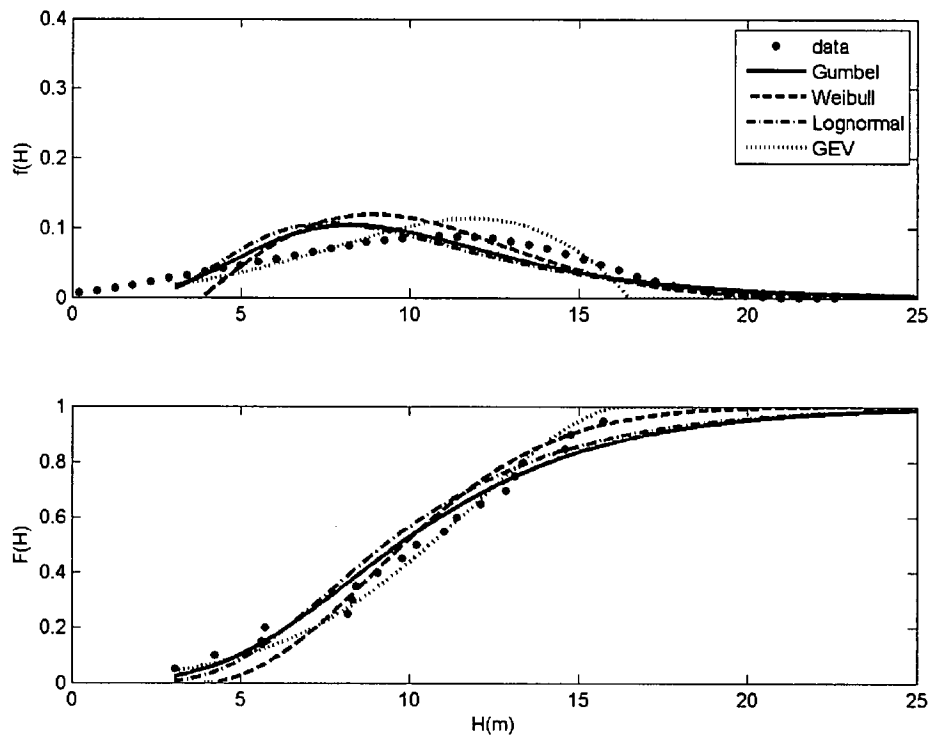


圖 4.7.5 以 MLM 推估第三種樣本之機率密度函數及機率函數

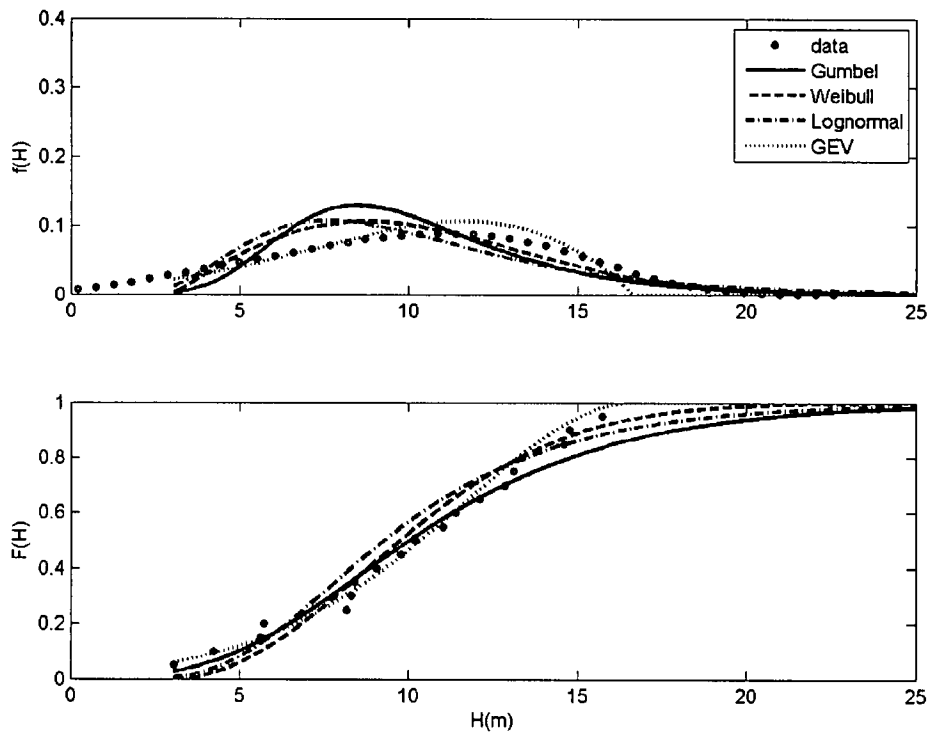


圖 4.7.6 以 LSM 推估第三種樣本之機率密度函數及機率函數

從圖 4.7.5 及圖 4.7.6 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 16.5m 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，此第三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，至於樣本之機率密度分布接近於直線變化，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。

若選擇重現期為 $T=10、25、50$ 及 100 年四種。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(4.4.1)及式(4.4.2)後，即可獲得各重現期下之波高。表 4.7.8 為以 MLM 推估參數法計算四種極值分布函數之各重現期之波高及其推算標準偏差。

表 4.7.8 以 MLM 推估第三種樣本之各重現期波高及推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	16.21	14.37	14.75	14.48
	25	19.56	15.20	16.73	20.32
	50	22.05	15.60	18.06	23.26
	100	24.52	15.86	19.27	26.28
σ_{mlm} (m)	10	1.83	0.62	1.24	2.32
	25	2.36	0.58	1.47	3.40
	50	2.76	0.66	1.63	4.32
	100	3.16	0.77	1.77	5.34

由表 4.7.8 中 x_R 顯示以 MLM 推估參數法以 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 年重現期波高小於 Gumbel 及 Lognormal 分布約 4.0-5.2m。

針對推估各重現期波高之推算標準偏量來看，以式(4.5.9)方法計算 Weibull 分布之推算標準偏量較 Gumbel 分布及 Lognormal 分布所得小。就以 MLM 推估 Weibull 極值分布而言，50 年重現期之波高為 18.06m，而推算標準偏量為 1.63m，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 $18.06 \pm 1.96 \times 1.63m$ 間，即 14.87-21.25m。

表 4.7.9 為以 LSM 推估參數法計算 4 種極值分布函數之各重現期之波高及其推算標準偏差。由表 4.7.9 中 x_R 顯示所計算出各極值分布及重現期之波高大小排列依序為 Lognormal、Gumbel、Weibull 及 GEV 分布，其中 GEV 分布因受 16.5m 之上限值，所以推算各重現期之波高變化不大。Gumbel 及 Weibull 分布所計算出各重現期波高極為相近，以 50 年重現期來講二者相差約 0.55m。

針對推估各重現期波高之推算標準偏量來看，以式(4.5.9)計算所得 Lognormal 分布之推算標準偏量較 Gumbel、GEV 及 Weibull 分布之各重現期推算標準偏量小。就以 LSM 推估 Weibull 極值分布之波高，50 年重現期為 19.05m，而推算標準偏量為 $\sigma_{mlm}=2.27m$ ，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 $19.05\pm 1.96\times 2.27m$ 間，即 14.60-23.50m。

若比較不同樣本來源之各重現期所出推算波高標準偏量，以實測數據及類神經模式計算出每年波高極值樣本所推估 50 年重現期波高及標準偏量較低於以井島半經驗颱風波浪推算模式計算出每年波高極值樣本之推算值。以 Weibull 分布為例，三種樣本 MLM 所推估波高分別為 12.86、12.05 及 18.06m，以類神經模式計算出之波高樣本比實測稍低約 0.81m，而井島半經驗颱風波浪推算模式計算出每年波高極值樣本則偏高，較大實測樣本之推估值約為 5m。以年選用法之極值波高樣本，三種資料來源均顯示 Weibull 分布較其他分布合適於描述樣本之機率及重現期之推估。

表 4.7.9 以 LSM 推估不同極值分布下各重現期波高及推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	14.91	14.37	15.32	16.35
	25	17.61	15.27	17.56	20.10
	50	19.61	15.69	19.05	22.97
	100	21.60	15.97	20.41	25.90
σ_{lsm} (m)	10	1.75	1.36	1.67	1.18
	25	2.37	1.50	2.03	1.4.
	50	2.83	1.57	2.27	1.56
	100	3.30	1.61	2.49	1.71

4.8 前 3 大月極值推估結果

4.8.1 實測波高樣本(第一種樣本)

提出除 MLM 方法外，未有學者提出其他方法前 3 大月極值之參數推估方法，因此本節僅以 MLE 法來推估四種選擇極值分布之參數。將港研中心自 1990 至 2008 年共有 52 場颱風在花蓮港海域實測之每年前 3 大月波高極值為統計樣本，所得每年最大值推算值與實測值之 RMSE 及各重現期波高及其推算標準偏差如表 4.8.1 所示，而前 3 大月極值之機率密度及累積機率結果分別示如圖 4.8.1 至圖 4.8.3。

從圖 4.8.1 顯示 GEV 及 Weibull 之機率密度分布在眾數部分接近而 Gumbel 及 Lognormal 分布相似，但在大波高時，GEV 分布偏離樣本分布較其他三種為大。若以累積機率分布與樣本吻合度來看，以 Weibull 分布為最佳。從圖 4.8.2 之第 2 大月極值之機率密度分布顯示，Weibull 機率密度分布之眾數較其他三種分布偏離樣本值，Gumbel 及 Lognormal 累積機率分布亦最接近於樣本機率密度。圖 4.8.3 之第 3 大月極值之樣本機率密度分布顯示有雙峰現象，Gumbel 及 Lognormal 分布較接近於之樣本機率密度分布。

若由表 4.8.1 推估各分布樣本機率之波高與樣本之 RMSE 值顯示，Weibull 分布具有最小之 RMSE，其為 0.53m，而樣本最大值與推估值之誤差僅低於 GEV 分布為 0.61m。其次 Lognormal 分布有次小之 RMSE 值分別為 0.66m。Gumbel 及 GEV 分布雖有最大 RMSE，約 0.73m。

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) 及其推算標準偏差顯示，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 年重現期波高約低於前二者約 2.0m。針對推算標準偏差來看，Weibull 分布比其他 3 種 1 分布者小，以 50 年重現期來講，Weibull 極值分布所得之 σ_{mlm} 為 0.58m。表 4.8.1 之每年最大值推算值與實測值之 RMSE 及各重現期波高及其推算標準偏差及圖 4.8.1 至圖 4.8.3，整體而言，以 Weibull 分布來推估各重現期

之波高為較適合之分布。因此 Weibull 分布推算 50 年重現期之波高為 $12.21m$ ，而標準偏量為 $0.58m$ ，若在 95%信賴度下，此推算值應在 $12.21 \pm 1.96 \times 0.58m$ 之間，即 $11.07-13.34m$ 。

若比較年前 3 大月極值樣本之各重現期推估結果與年最大值樣本推估結果表 4.8.1 可知，均以 Weibull 分布較為適合。針對 Weibull 分布而言，僅考慮年最大之樣本時推估各重現期之波高大於前 3 大月極值樣本之結果，推算標準偏差亦稍大，以 50 年重現期之推算波高為例推估波高大約高出 $0.8m$ 。

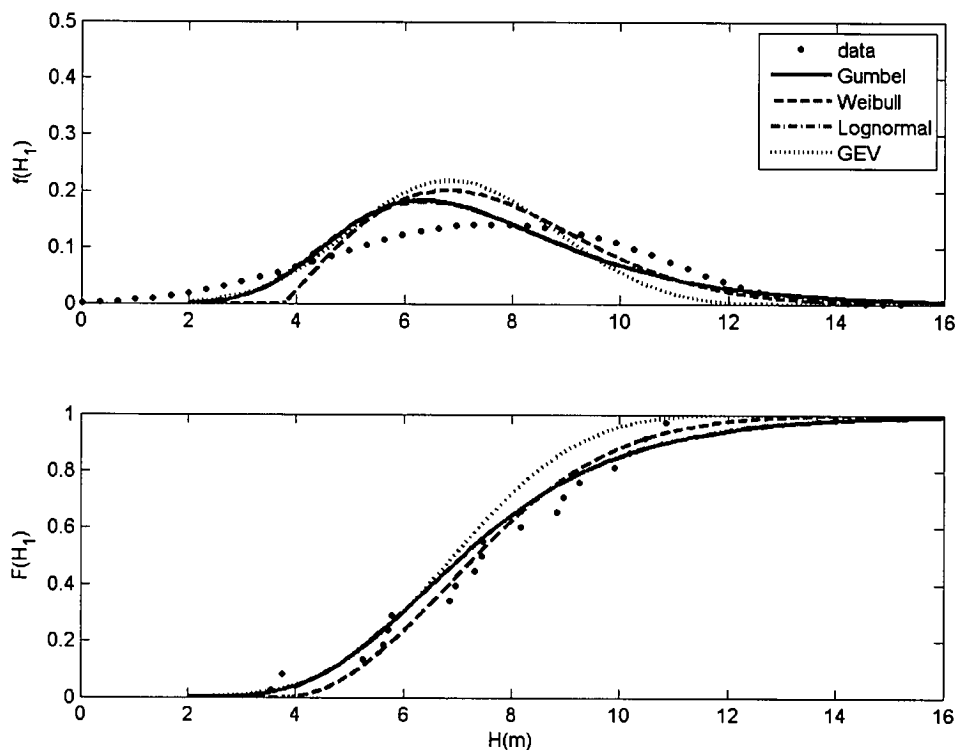


圖 4.8.1 第一種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數

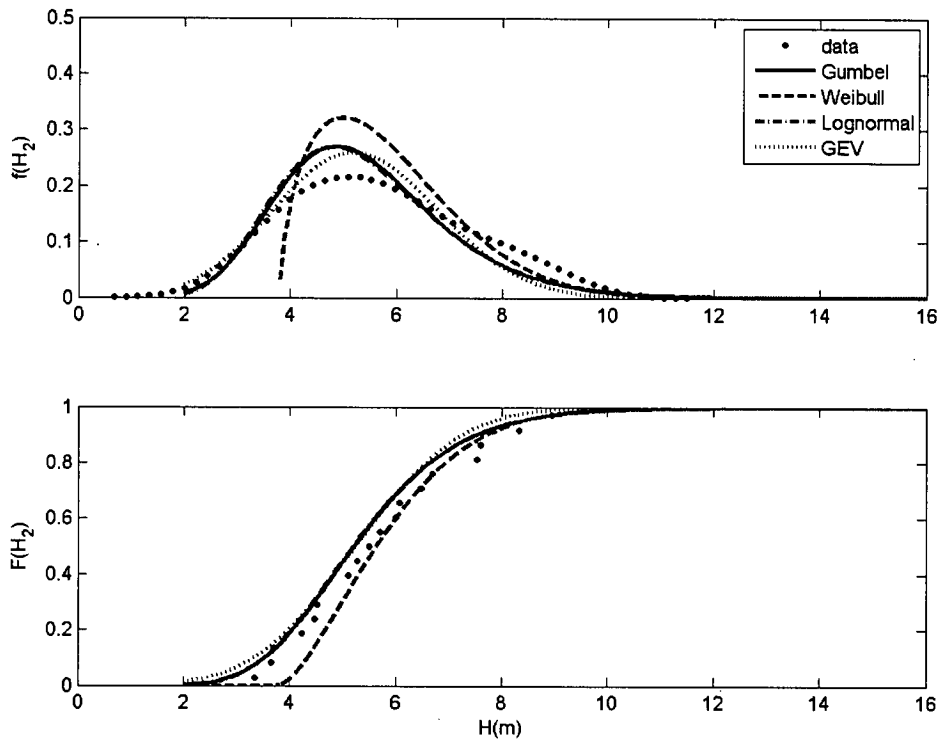


圖 4.8.2 以第一種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數

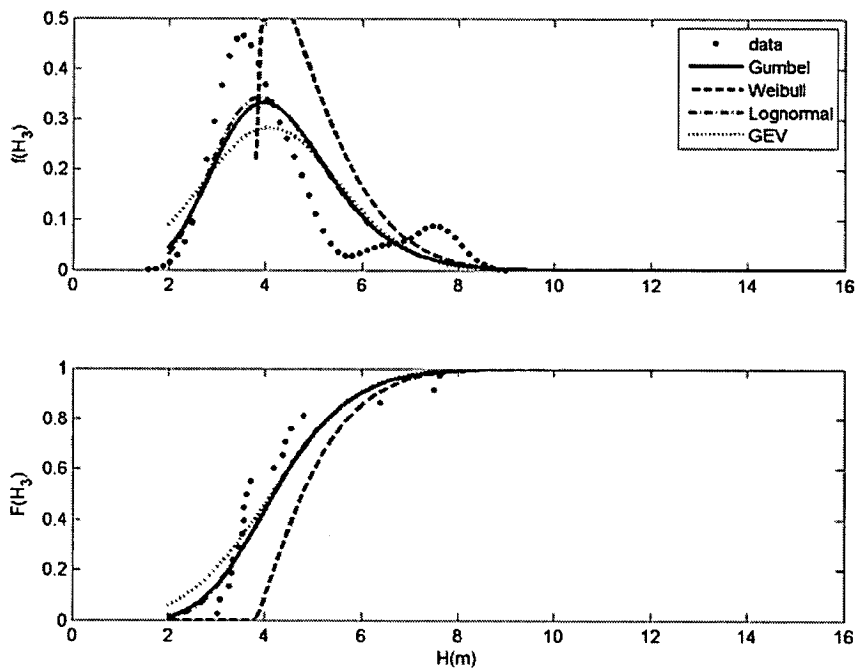


圖 4.8.3 以第一種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數

表 4.8.1 以 MLM 推估各函數在第一種樣本之檢定標準及各重現期波高與推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.74	0.73	0.53	0.66
ER(m)		2.55	0.40	0.61	2.16
$x_R(m)$	10	10.86	9.27	10.25	10.80
	25	12.76	10.07	11.42	12.61
	50	14.18	10.55	12.21	13.93
	100	15.58	10.94	12.92	15.23
$\sigma_{mlm}(m)$	10	0.89	0.40	0.43	1.17
	25	1.11	0.44	0.52	1.58
	50	1.28	0.53	0.58	1.85
	100	1.44	0.65	0.63	2.15

4.8.2 以類神經颱風波浪模式推算之波高樣本(第二種樣本)

此節將類神經颱風波浪模式推算出前 3 大月極值之樣本，以 MLE 法來推估四種選擇極值分布之參數，所得每年最大值推算值與實測值之 RMSE 及各重現期波高及其推算標準偏差如表 4.8.2 所示，而前 3 大月極值之機率密度及累積機率結果分別示如圖 4.8.4 至圖 4.8.6。

從圖 4.8.4 之第 1 大月極值之機率密度分布顯示樣本機率密度分布之眾數約在 8m 左右，四種分布之眾數約 6-7m，均偏差樣本值，在較大極值波高 GEV 偏離樣本值較其他三種分布大。Gumbel 及 Lognormal 所得之機率密度分布與機率分布極為相近。從圖 4.8.5 之第 2 大月極值之機率密度分布顯示，Weibull 分布之機率密度離樣本密度分布亦較 Gumbel 及 Lognormal 分布大，Gumbel 及 Lognormal 分布亦最接近於與樣本機率。圖 4.8.6 之第 3 大月極值樣本機率密度分布顯示，Gumbel 及 Lognormal 分布極接近於之樣本機率密度分布，而 Weibull 分布則呈指數遞減且偏離樣本很多。

由表 4.8.2 之 RMSE 值顯示，Weibull 分布具有最小之 RMSE，其值為 0.63m，而樣本最大值與推估值之誤差為 0.27m。其次為 Lognormal 分布有次小之 RMSE 值分別為 0.77m。Gumbel 分布之 RMSE 雖然只有 0.91m，但其 ER=3.04m 為最大。

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(σ_{mlm})顯示， Gumbel 及 Lognormal 分布所計算出各重現期波高較為接近，而 Weibull 分布所計算出 50 年重現期波高小於 Gumbel 及 Lognormal 分布約 $2.5m$ 。GEV 分布推估重現期之波高為四種中最小者。針對推算標準偏差(σ_{mlm})來看， Weibull 分布所計算者較 Gumbel 及 Lognormal 分布為小。以 50 年重現期而言，Weibull 分布所得之 σ_{mlm} 為 $0.43m$ 。整體評估，以 Weibull 分布來推估此樣本之各重現期波高較為適合，Gumbel 或 Lognormal 次之。而 Weibull 分布推算 50 年重現期之波高為 $11.03m$ ，而標準偏量為 $0.43m$ ，若在 95%信賴度，推估波高值應在 $11.03 \pm 1.96 \times 0.43m$ ，即 $10.19-11.87m$ 。

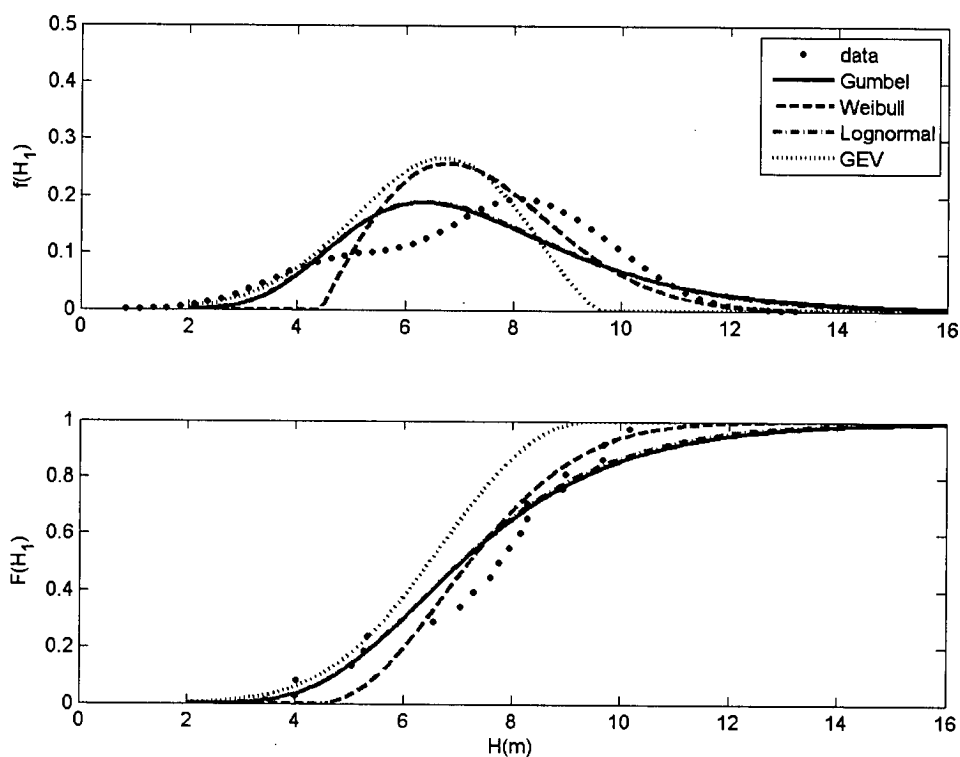


圖 4.8.4 第二種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數

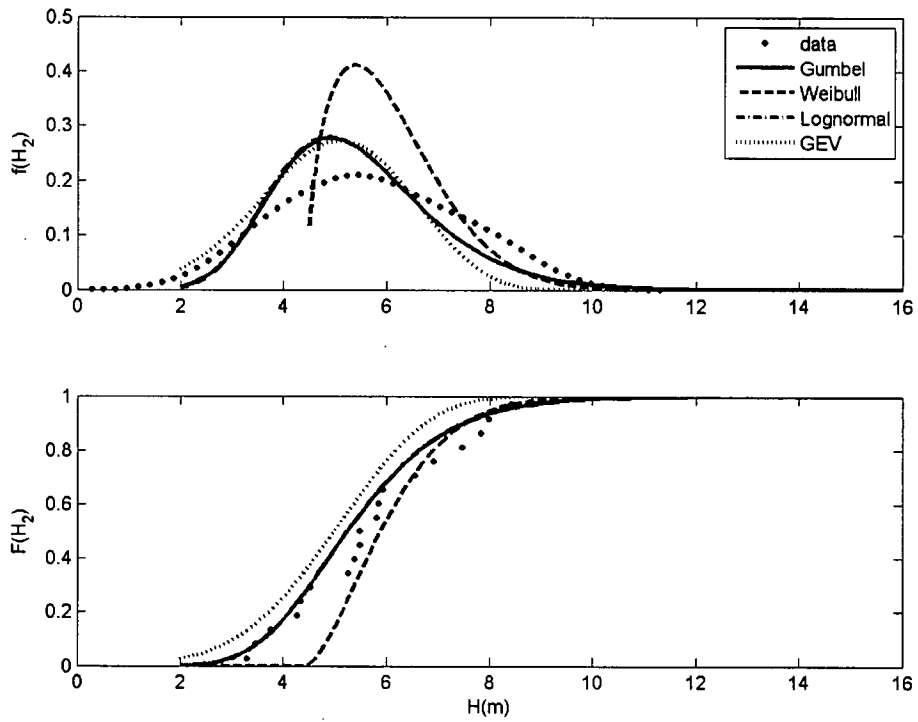


圖 4.8.5 以第二種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數

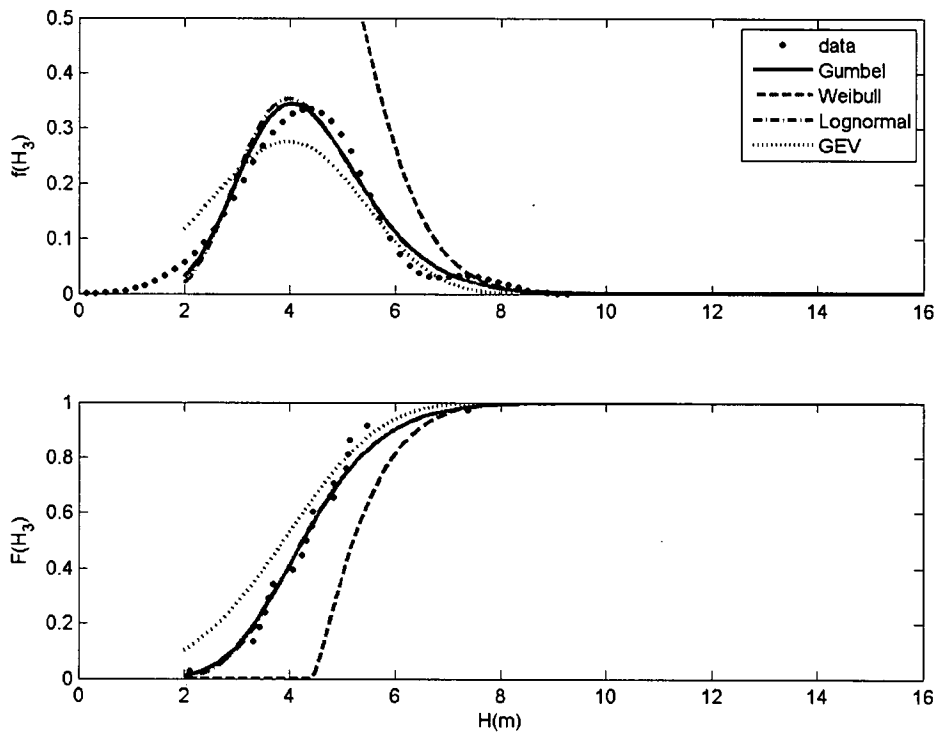


圖 4.8.6 以第二種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數

表 4.8.2 以 MLM 推估各函數在第二種樣本之檢定標準及各重現期波高與其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.91	1.07	0.63	0.77
ER(m)		3.04	1.27	0.27	2.38
$x_R(m)$	10	10.74	8.18	9.49	10.52
	25	12.59	8.65	10.41	12.17
	50	13.96	8.90	11.03	13.39
	100	15.32	9.08	11.58	14.58
$\sigma_{mlm}(m)$	10	0.84	0.25	0.32	0.59
	25	1.04	0.25	0.38	0.75
	50	1.20	0.30	0.43	0.87
	100	1.35	0.40	0.46	0.99

若比較年前 3 大月極值樣本之各重現期推估結果與年最大值樣本推估結果之表 4.8.2 可知，二者樣本較合適分布均為 Weibull 分布較適合。針對 Weibull 分布，僅考慮年最大之樣本時推估各重現期之波高卻高大於前 3 大月極值樣本之結果，其 50 年重現期之推算波高為例，年最大值樣本推估值稍大前 3 大月極值樣本之推估值約 1.0m。若對 Gumbel 及 Lognormal 分布而言，以 3 大月極值樣本之 50 年重現期波高推估值反而比年最大值樣本之推估結果還大，分別為 0.60 及 0.36m。

4.8.3 以半經驗颱風波浪推算模式推算之波高樣本(第三種樣本)

若將以半經驗颱風波浪推算模式推算自 1990 至 2008 年之颱風波高之每年前 3 大月波高為樣本，再以 MLE 法來推估四種選擇極值分布之參數，所得每年最大值推算值與實測值之 RMSE 及各重現期波高及其推算標準偏差如表 4.8.3 所示，而前 3 大月極值之機率密度及累積機率結果分別示如圖 4.8.7 至圖 4.8.9。

從圖 4.8.7 之最大月極值分布顯示 GEV 分布之機率密度與累積機率分布在 15m 就為零，即 GEV 分布不適合此樣本。若以累積機率分布與樣本吻合度來看以 Gumbel 及 Weibull 分布為較佳。而從圖 4.8.8 之第 2 大月極值分布顯示，Gumbel、Weibull 及 Lognormal 分布亦接近於與樣本機率，尤其 Weibull 分布接進於樣本在大波之累積機率。圖 4.8.9 之第 3 大月極值機率分布顯示，Weibull 分布在 5m 機率密度有明顯高

估，在小極值波高之 Weibull 分布不吻合於樣本累積機率密，但 Weibull 分布在大極值波高確與其他分布相似。

若由表 4.8.3 推估各分布樣本機率之波高與樣本之 RMSE 及 ER 值顯示，若不探討 GEV 分布，Weibull 分布具有最小之 $RMSE=0.93m$ ，而樣本最大值與推估值之誤差為 $1.06m$ 。有次小之 $RMSE$ 及 ER 均為 Gumbel 分布，其分別為 $1.89m$ 及 $6.32m$ 。

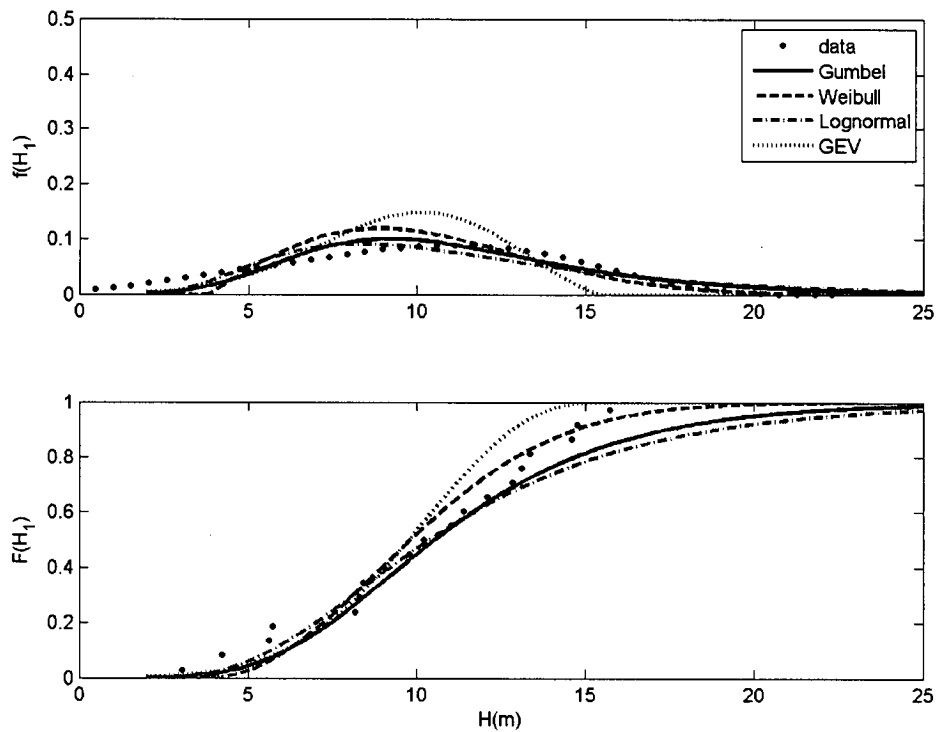


圖 4.8.7 第三種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數

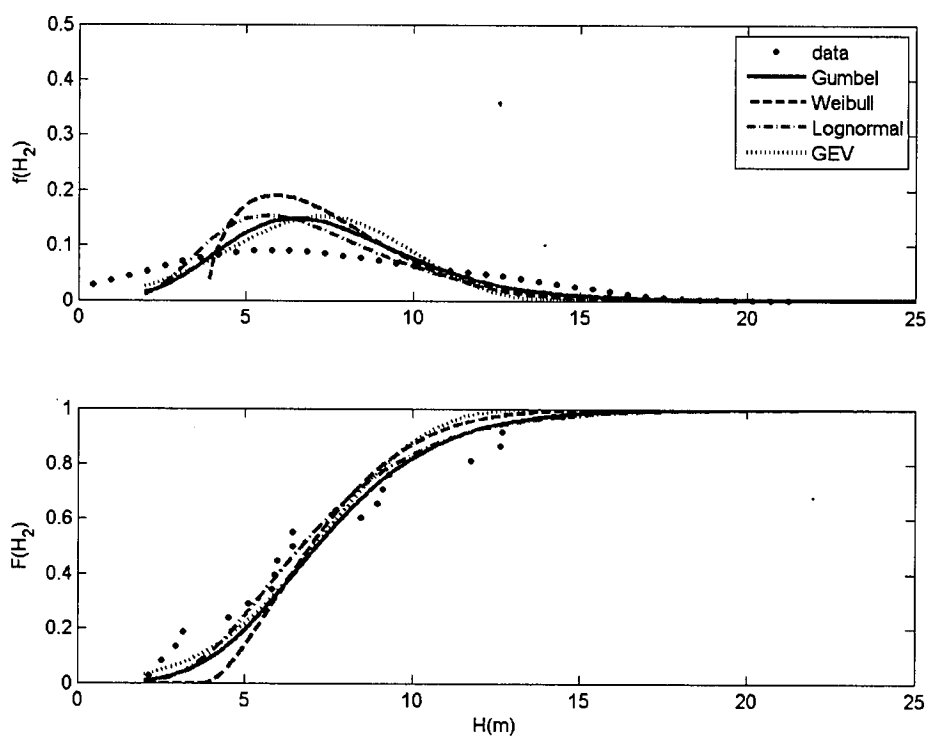


圖 4.8.8 以第三種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數

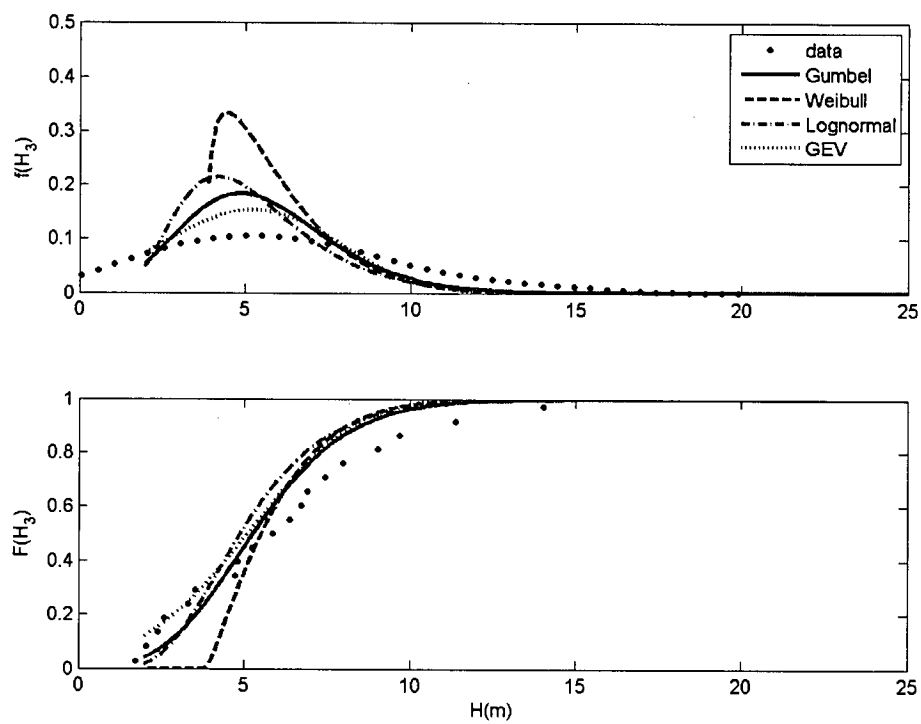


圖 4.8.9 以第三種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數

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 (σ_{mlm}) 顯示，GEV 分布所計算出各重現期波高甚低於其他三種分布，而其他三種分布之重現期波高推算大小依序為 Lognormal、Gumbel 及 Weibull 分布。針對標準偏差 (σ_{mlm}) 而言，Weibull 分布所計算者較 Gumbel 及 Lognormal 分布為小，以 50 年重現期之推算值來看，Weibull 極值分布之 50 年重現期約為 $0.84m$ 。整體而言，以 Weibull 分布來推估此樣本之各重現期波高為較適合，Weibull 分布推算 50 年重現期之波高為 $18.06m$ ，而標準偏量為 $0.84m$ ，若在 95% 信賴度下，此值應在 $18.06 \pm 1.96 \times 0.84m$ ，即 $16.41-19.71m$ 。

若比較年前 3 大月極值樣本之各重現期推估結果與年最大值樣本推估結果可知，較合適分布均為 Weibull 分布，且因二者求之參數相同，因此考慮年最大之樣本時推估各重現期之波高與前 3 大月極值樣本之結果相同，但推算標準偏差考慮年最大之樣本時相對比較大，以 50 年重現期為例，推估前 3 大月極值樣本之波高約大 $0.79m$ 。

以三種樣本來說，前 3 大月極值樣本之各重現期推估波高，對相同極值函數還是以半經驗颱風波浪推算模式推算波高樣本為最大，而以類神經模式推算波高樣本為最小，以 Weibull 分布推估 50 年重現期波高二者相差 $7m$ 。

表 4.8.3 以 MLM 推估各函數在第三種樣本之檢定標準及各重現期波高與其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		1.89	1.21	0.93	2.56
ER(m)		6.32	1.58	1.06	8.86
$x_R(m)$	10	17.42	12.86	14.75	18.90
	25	20.89	13.71	16.74	23.53
	50	23.46	14.16	18.06	27.10
	100	26.01	14.49	19.27	30.78
$\sigma_{mlm}(m)$	10	1.54	0.60	0.63	9.10
	25	1.92	0.43	0.76	12.60
	50	2.20	0.35	0.84	15.47
	100	2.48	0.33	0.92	18.53

第五章 高雄港波高之極值統計

5.1 年最大極值推估結果

5.1.1 實測波高樣本(第一種樣本)

由本所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為統計樣本。由花蓮港之波浪資料推算樣本分布可知，以 MLM 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 MLM 推估法於 4 種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準，示如表 5.1.1，而其機率密度分布與累積機率分布如圖 5.1.1 所示。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(4.4.1)及式(4.4.2)後，即可獲得各重現期下之波高。因為波高樣本只有 8 年，一般較為可靠之推估重現期為資料之 2-3 倍長度，亦即 15-25 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

表 5.1.1 以 MLM 推估第一種樣本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
$\sigma_{mlm}(m)$	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

若由表 5.1.1 推估各分布樣本機率之波高與樣本之 RMSE 值顯示，GEV 分布具有最小之 RMSE，其為 0.46m，而其樣本最大值與推估值

之誤差為 0.21m，亦是最小。從圖 5.1.1 以機率密度分布與樣本吻合度顯示，以 GEV 分布為最佳。其次 Lognormal 及 Gumbel 分布有相近次小之 RMSE 值分別為 0.64m 及 0.69m，而最大者為 Weibull 分布。

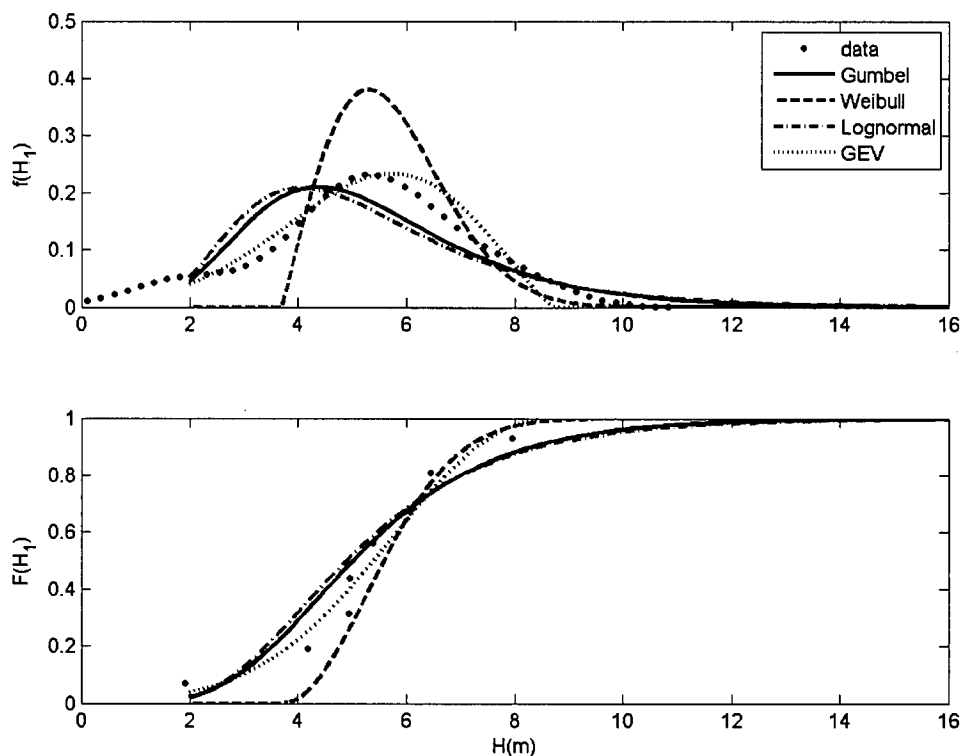


圖 5.1.1 第一種樣本之機率密度函數及機率函數

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 (σ_{mlm}) 顯示，Gumbel 及 Lognormal 分布所計算出各重現期波高相近，而 GEV 及 Weibull 分布之計算結果相近，而前二者較後二者高，以 50 年重現期而言差值達約 3m。針對推算標準偏差 (σ_{mlm}) 來看，GEV 分布亦是 4 種中有最小之 σ_{mlm} ，其在 0.5-0.8 之間，其次為 Weibull 分布，最大者為 Lognormal 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 8.05，標準偏量為 0.68，若在 95% 信賴度下，此推算值應在 $8.05 \pm 1.96 \times 0.68m$ 之間，即 6.72-9.38m。

5.1.2 以半經驗颱風波浪模式推算之 2001 至 2008 年波高樣本(第二種樣本)

若欲比較相同波浪實測之時間段，由半經驗颱風波浪推算模式推算出自 2001 至 2008 年颱風之每年最大波高之樣本，以 MLM 推估法於 4 種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準，並計算重現期為 $T=10$ 、25、50 及 100 之波高示如表 5.1.2，而其機率密度分布與累積機率分布如圖 5.1.2 所示。

表 5.1.2 以 MLM 推估第二種樣本(2001 至 2008)年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	0.77	0.71	0.58
ER(m)		0.65	0.18	0.87	0.26
$x_R(m)$	10	6.86	7.32	7.06	7.31
	25	7.97	13.86	8.14	8.58
	50	8.80	19.34	8.90	9.52
	100	9.62	29.82	9.63	10.45
$\sigma_{mlm}(m)$	10	1.03	3.60	1.02	1.25
	25	1.35	10.98	1.32	1.76
	50	1.59	23.50	1.52	2.18
	100	1.84	47.77	1.72	2.62

若由表 5.1.2 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 0.58m，而其樣本最大值與推估值之誤差為 0.26m，其次 Gumbel 及 Weibull 分布有次小之 RMSE 值分別為 0.67m 及 0.71m。GEV 分布顯然有最大之 RMSE=0.77m，但其 ER=0.18m 值為最小。從圖 5.1.1 以機率密度分布與樣本吻合度顯示，GEV 分布在眾數之機率密度遠高於樣本值，而 Lognormal 分布之機率密度整體與樣本分布相近。

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 (σ_{mlm}) 顯示，Gumbel 及 Weibull 分布所計算出各重現期波高相近，而 Weibull 所計算出 50 年重現期波高稍低於 Gumbel 分布約 0.07m，而 GEV 分布之 σ_{mlm} 頗大幾乎不合理。整體而言，以 Gumbel 及 Weibull 分布適合來推估各重現期之波高。因此以 Gumbel 分布推算 50 年重現期之波高為 8.80m，而標準偏量為 1.59m，若在 95%

信賴度下，此推算值應在 $8.80 \pm 1.96 \times 1.59m$ ，即 $5.68-11.92m$ 。

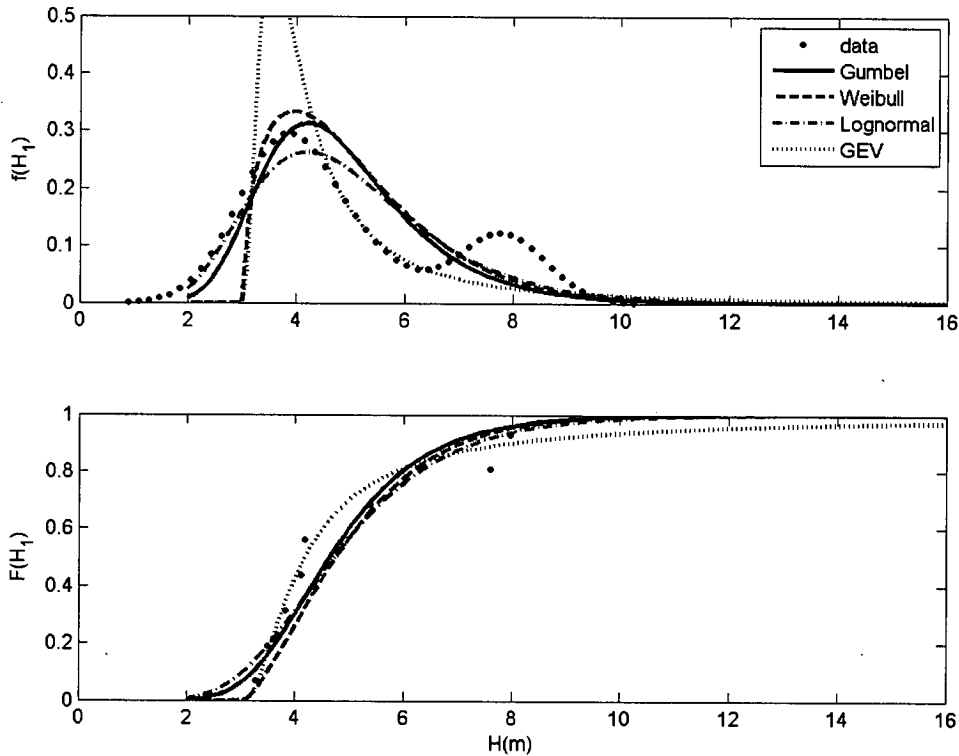


圖 5.1.2 第二種樣本(2001-2008 年)之機率密度函數及機率函數

5.1.3 以半經驗颱風波浪模式推算之 1984 至 2008 年波高樣本(第三種樣本)

因 2001 至 2008 年颱風之每年最大值之樣本只有 8 個數據，對推算長期波浪而言太少。因此本研究再增加半經驗颱風波浪推算模式計算時間自 1984 至 2008 年共 25 年，以 MLM 推估法於 4 種選擇極值分布所推估出此樣本之檢定標準，並計算重現期為 $T=10$ 、25、50 及 100 之波高，示如表 5.1.3，而其機率密度分布與累積機率分布如圖 5.1.3 所示。

若由表 5.1.3 推估各分布樣本機率之波高與樣本之 RMSE 值顯示，Weibull 分布具有最小之 RMSE，其為 0.66m，而樣本最大值與推估值之誤差為 1.59m，Gumbel 分布有次小之 RMSE 值為 0.90m。雖然以 ER 來看 GEV 分布有最小值，但從圖 5.1.3 以機率密度分布與樣本吻合度

顯示，GEV 分布在 8.5m 處有上限，且其機率密度分布形態與樣本值不同，所以 GEV 分布並不合適於年極值之樣本，其他 3 種分布都與樣本機率密度相近。

表 5.1.3 以 MLM 推估第三種樣本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)		0.90	0.94	0.66	1.10
ER(m)		3.18	0.02	1.59	4.24
$x_R(m)$	10	8.45	7.85	8.17	8.24
	25	10.31	8.12	9.50	11.23
	50	11.70	8.22	10.39	13.13
	100	13.08	8.27	11.20	15.11
$\sigma_{mlm}(m)$	10	0.92	0.25	0.75	1.24
	25	1.20	0.12	0.91	1.88
	50	1.40	0.09	1.01	2.43
	100	1.61	0.10	1.11	3.06

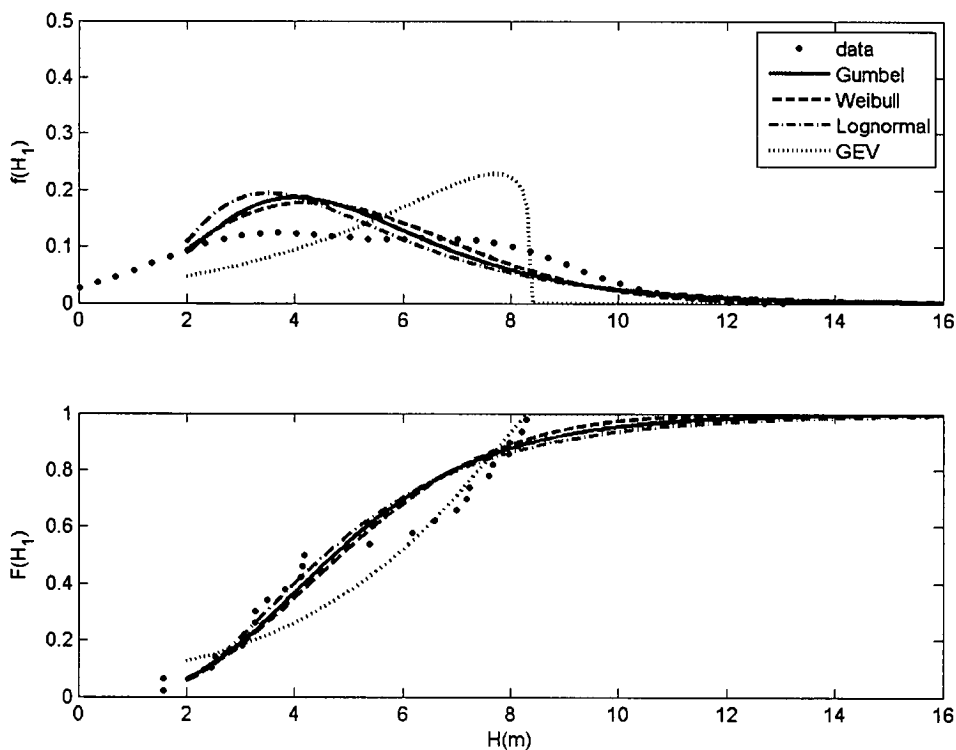


圖 5.1.3 第三種樣本(1984-2008 年)之機率密度函數及機率函數

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 (σ_{mlm}) 顯示，雖然 GEV 分布之 σ_{mlm} 最低 但因其

不符合樣本機率密度之分布所以不列入討論。Weibull 分布之 σ_{mlm} 較 Gumbel 及 Lognormal 分布低，以 50 年重現期來講，Weibull 分布所得之 σ_{mlm} 為 1.01m。整體而言，以 Weibull 及 Gumbel 分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高，若加以考慮推估值誤差時則 Weibull 較稍優於 Gumbel 分布。因此 Weibull 分布推算 50 年重現期之波高為 10.39m，而標準偏量為 1.01m，若在 95% 信賴度下，此推算值應在 $10.39 \pm 1.96 \times 1.01m$ 之間，即 8.41-12.37m。

若以樣本數來看，第三種樣本比第二種樣本數多，二者幾乎是三倍差異。以 50 年重現期之波高而言，以第三種樣本所得之推算值高出第二種樣本所得 1.49m，但第三種樣本所得之 σ_{mlm} 卻比第二種樣本所得低，此顯示當樣本少且散亂時，以連續極值函數來描述時偏差較大。若考慮推估有效重現期之長度，以 25 年為例，第三種樣本所得之推算值亦高出第二種樣本所得 1.36m，第三種樣本之 σ_{mlm} 還是比第二種樣本者低。

5.2 前 3 大月極值推估結果

5.2.1 實測波高樣本(第一種樣本)

將本所港研中心提供高雄港海域實測 2001 至 2008 年共 8 年之每年前 3 大月極值波高為統計樣本，所得每年最大值推算值與實測值之 RMSE 及各重現期波高及其推算標準偏差如表 5.2.1 所示，而前 3 大月極值之機率密度及累積機率結果分別示如圖 5.2.1 至圖 5.2.3。

從圖 5.2.1 最大月極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，在眾數部份 Gumbel 及 Lognormal 分布均接近於樣本，而 GEV 及 Weibull 分布則偏離較大。在較大月極值波高之機率密度，Lognormal 及 Gumbel 分布還是較 GEV 及 Weibull 分布接近於樣本。從圖 5.2.2 之第 2 大月極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，Gumbel、GEV 及 Lognormal 分布都接近於樣本，而 Weibull 分布則偏離較大。圖 5.2.3 之第 3 大月

極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，雖然 Gumbel、GEV 及 Lognormal 分布之機率密度相近，但偏離樣本還是有些差距，而 Weibull 分布偏離更大。

若由表 5.2.1 中推估各分布樣本機率之波高與樣本的 RMSE 值顯示，Lognormal 分布有最小值為小 0.57m 值，而 Gumbel 及 GEV 分布相近分別為 0.64m 及 0.69m，而最大者為 Weibull 分布。而 ER 值方面還是以 Lognormal 分布為最小，其他三種則相近。若由 RMSE 及 ER 值之指標來看，Lognormal 分布對實測前 3 大月極值波高樣本機率之描述為 4 種分布中最佳。

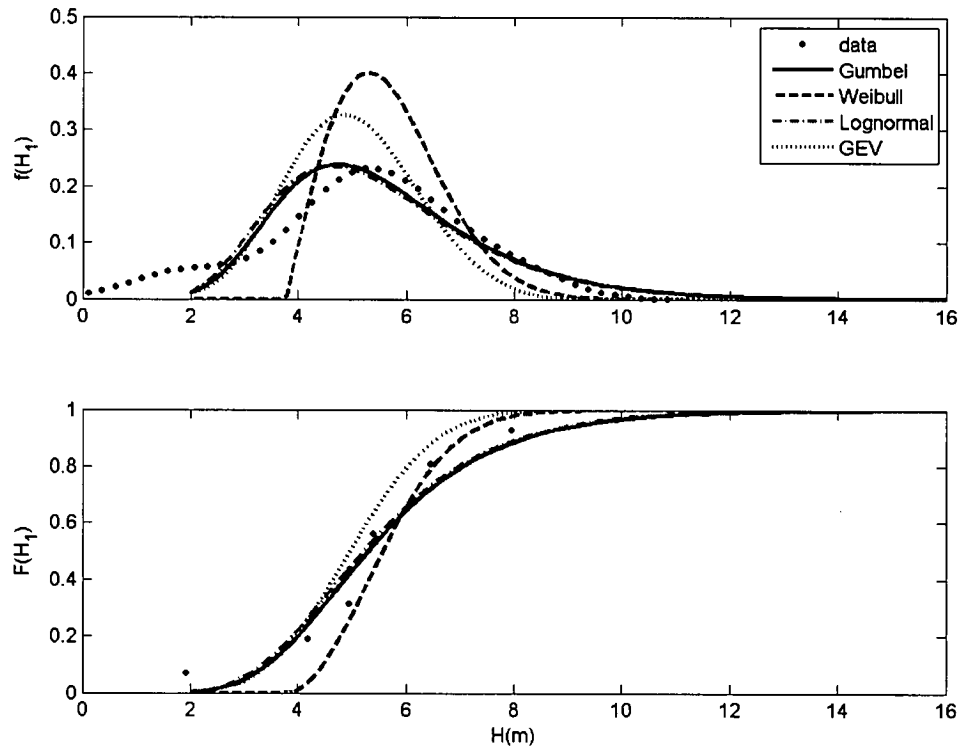


圖 5.2.1 第一種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數

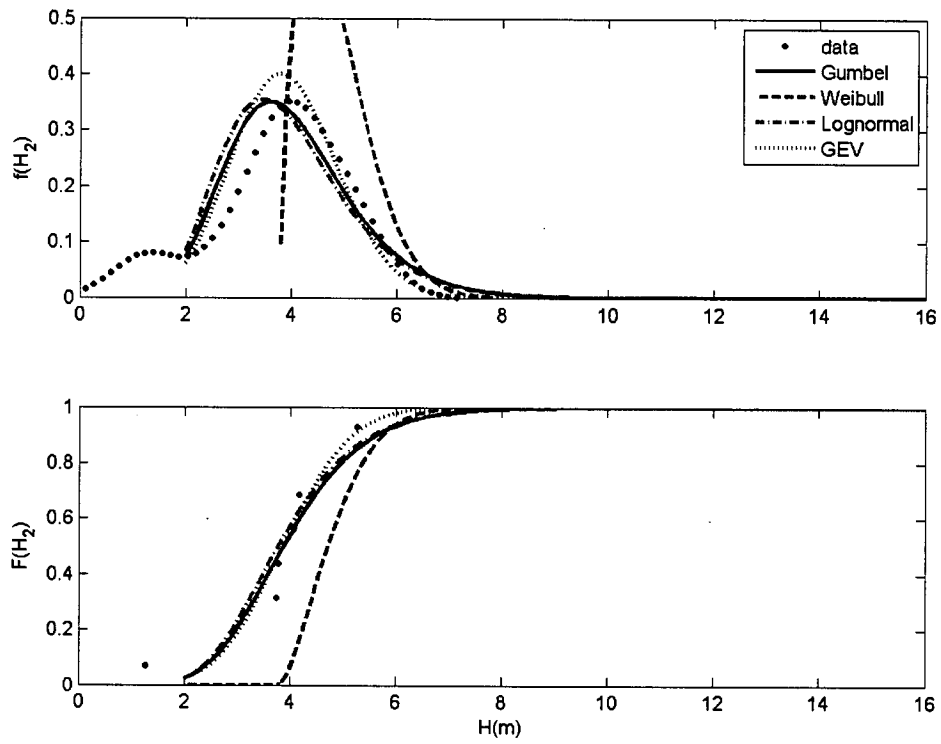


圖 5.2.2 以第一種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數

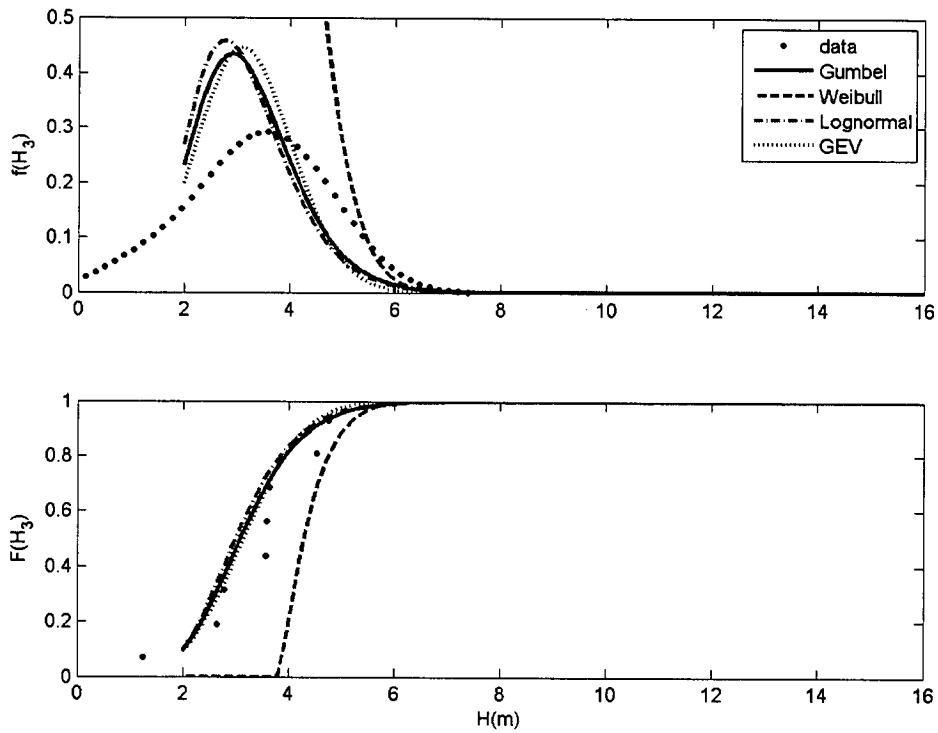


圖 5.2.3 以第一種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數

由表 5.2.1 中推估重現期為 $T=10、25、50$ 及 100 年之各極值分布函數之波高(x_R)及其推算標準偏差(σ_{mlm})顯示， Gumbel 及 Lognormal 分布所計算出各重現期波高相近，而所計算出 50 年重現期波高約為 $10.6m$ ，但 Gumbel 分布之推算標準偏差則小於 Lognormal 分布。Weibull 分布之推估重現期波高低於 Gumbel 及 Lognormal 分布約 $2.6m$ (以 50 年重現期為例)，但 Weibull 分布之推算標準偏差卻是最低。整體而言，以 Gumbel 及 Lognormal 分布來推估此種樣本之各重現期波高為較適合，若加以考慮推估值誤差時則 Gumbel 較優於 Lognormal 分布之推算。因此 Gumbel 分布推算 50 年重現期之波高為 $10.77m$ ，而標準偏量為 $1.36m$ ，若在 95% 信賴度下，此推算值應在 $10.77\pm 1.96\times 1.36m$ 之間，即 $8.10-13.44m$ 。

若比較年前 3 大月極值樣本之各重現期推估結果與年最大值樣本推估結果表 5.1.1 可知，前者以 Gumbel 分布為較適合於樣本分布而後者以 GEV 分布為佳，且以 Gumbel 分布推估前 3 大月極值樣本之 50 年重現期波高比年最大值樣本推估值大 $3.7m$ ，而 GEV 分布之推估值標準偏量比 Gumbel 分布較小。若單對 Gumbel 分布來看以前 3 大月極值樣本推估 50 年重現期波高比年最大值樣本推估值小 $0.45m$ 。

表 5.2.1 以 MLM 推估各函數在第一種樣本之檢定標準及各重現期波高與其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.64	0.69	0.97	0.57
ER(m)		0.87	0.98	0.84	0.60
$x_R(m)$	10	8.22	6.60	7.03	8.11
	25	9.68	7.19	7.63	9.54
	50	10.77	7.55	8.02	10.59
	100	11.85	7.86	8.38	11.63
$\sigma_{mlm}(m)$	10	0.97	0.42	0.38	1.87
	25	1.19	0.47	0.45	2.45
	50	1.36	0.53	0.50	2.89
	100	1.54	0.61	0.55	3.35

5.2.2 以半經驗颱風波浪模式推算之 2001 至 2008 年波高樣本(第二種樣本)

本節所用之統計樣本為由半經驗颱風波浪推算模式推算出自 2001 至 2008 年颱風之每年前 3 大月極值波高，其中若一年之中沒超過 3 個颱風，或颱風集中於 1、2 個月時就無法獲得每年均有 3 個月極值，此時本研究即以實測數據補足。以此樣本所得每年最大值推算值與實測值之 RMSE 及各重現期波高及其推算標準偏差如表 5.2.2 所示，而前 3 大月極值之機率密度及累積機率結果分別示如圖 5.2.4 至圖 5.2.6。

從圖 5.2.4 最大月極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，在眾數部份 Gumbel 及 Lognormal 分布均接近於樣本，而 Weibull 分布稍有偏差，GEV 偏離樣本最大，在較大極值部分，Gumbel、Weibull 及 Lognormal 分布則相當接近。從圖 5.2.5 之第 2 大月極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，Gumbel 及 Lognormal 分布二者相似密度分布而有眾數之鐘狀特性，但與樣本值稍有偏差，而 Weibull 之密度分布呈現指數遞減，在較大極值部分與樣本接近，GEV 偏離樣本最大。圖 5.2.6 之第 3 大月極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，雖然 Gumbel、GEV 及 Lognormal 分布之機率密度相近，而 Weibull 及 GEV 分布頗偏離樣本值。

若由表 5.2.1 中推估各分布樣本機率之波高與樣本的 RMSE 值顯示，Gumbel 及 Lognormal 分布之 RMSE 相近約為 0.57m 值，而 Weibull 分布之 RMSE 次之，為 0.77m，GEV 分布之 RMSE 則高達 1.82m，為最大者。而 ER 值方面還是以 Lognormal 分布為最小，只有 0.08m，Gumbel 分布之 ER 值也只有 0.15m。若由 RMSE 及 ER 值之指標來看，Gumbel 及 Lognormal 分布適合描述對半經驗颱風波浪推算模式推算出前 3 大月極值波高之樣本機率。

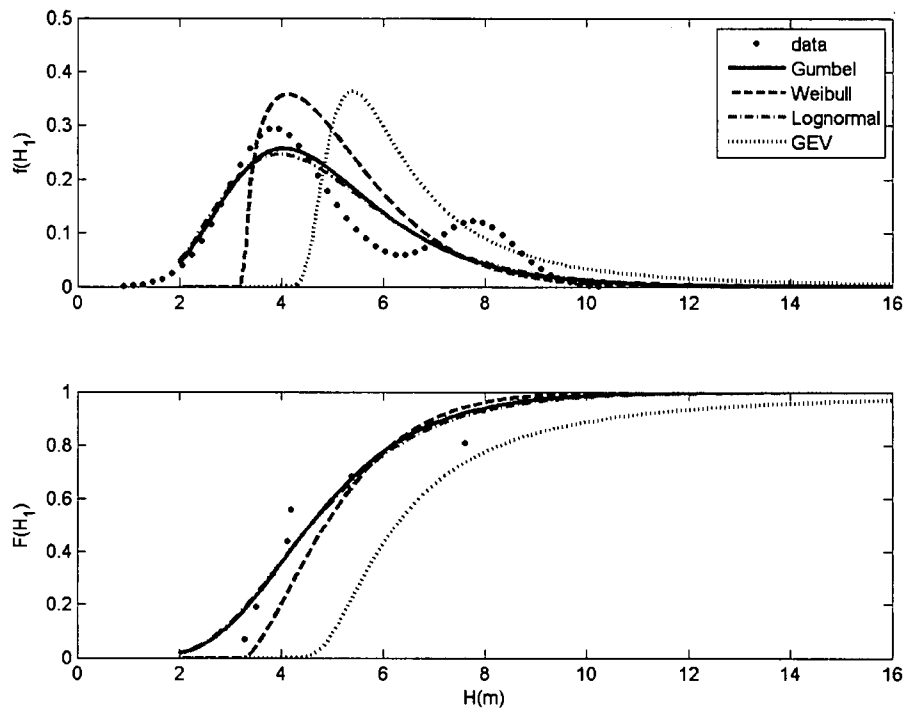


圖 5.2.4 第二種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數

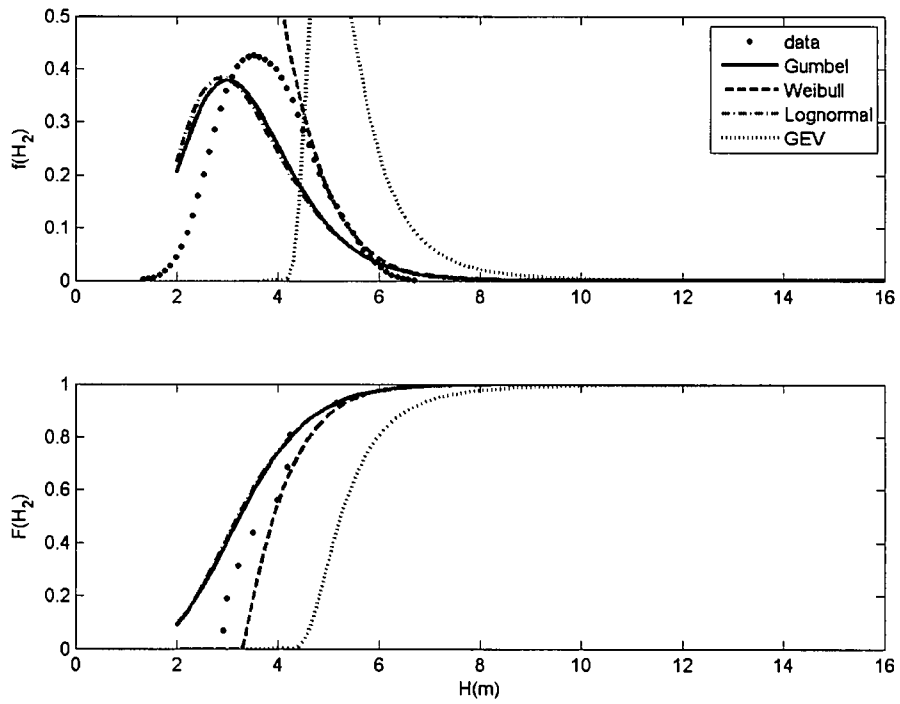


圖 5.2.5 以第二種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數

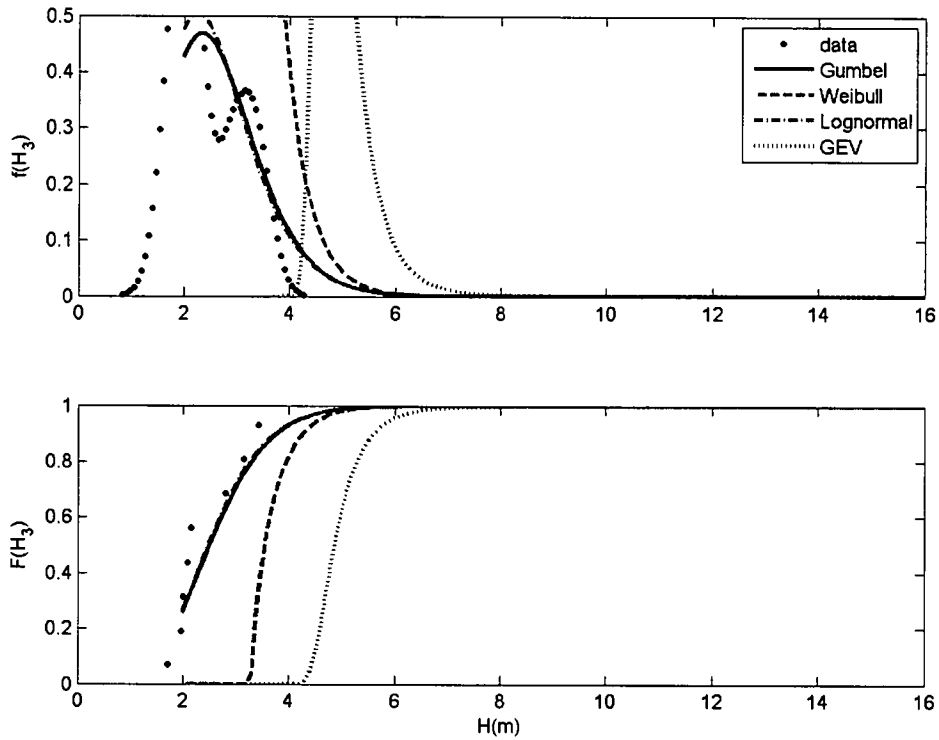


圖 5.2.6 以第二種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數

表 5.2.2 以 MLM 推估各函數在第二種樣本之檢定標準及各重現期波高與其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.58	1.82	0.77	0.56
ER(m)		0.15	2.67	0.93	0.08
$x_R(m)$	10	7.26	10.43	7.01	7.43
	25	8.61	14.53	8.02	8.88
	50	9.62	19.08	8.72	9.97
	100	10.62	25.46	9.40	11.05
$\sigma_{mlm}(m)$	10	0.98	1.52	0.57	1.47
	25	1.22	3.04	0.73	1.98
	50	1.41	4.67	0.84	2.39
	100	1.59	6.82	0.95	2.81

由表 5.2.2 中推估重現期為 $T=10$ 、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(σ_{mlm})顯示， Gumbel 及 Lognormal 分布所計算出各重現期波高相近，而所計算出 50 年重現期波高分別為 9.62m 及 9.97m，但 Gumbel 分布之推算標準偏差小於 Lognormal 分布。Weibull 分布之推估重現期波高低於 Gumbel 分布 0.9m(以 50 年重現期為例)，但 Weibull 分布之推算標準偏差卻是最低。GEV 分布之推估重

現期波高明顯高出其他 3 種很多，且其推算標準偏差亦大。整體而言，以 Gumbel 分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。因此 Gumbel 分布推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度下，此推算值應在 $9.62 \pm 1.96 \times 1.41m$ 之間，即 6.86-12.38m。

若比較年前 3 大月極值樣本之各重現期推估結果與年最大值樣本推估結果表 5.1.1 可知，二者均以 Gumbel 分布適合於樣本分布，且以 Gumbel 分布推估前 3 大月極值樣本之 50 年重現期波高比年最大值樣本推估值大 0.82m，而推估值標準偏量年前 3 大月極值樣本較年最大值樣本小。

5.2.3 以半經驗颱風波浪模式推算之 1984 至 2008 年波高樣本(第三種樣本)

本節所用之統計樣本為由半經驗颱風波浪推算模式推算出自 1984 至 2008 年共 25 年颱風之每年前 3 大月極值波高，其中若一年之中沒超過 3 個颱風，或颱風集中於 1、2 個月時就無法獲得每年均有 3 個月極值，此時本研究即以實測數據補足。以此樣本所得每年最大值推算值與實測值之 RMSE 及各重現期波高及其推算標準偏差如表 5.2.3 所示，而前 3 大月極值之機率密度及累積機率結果分別示如圖 5.2.7 至圖 5.2.9。

若由表 5.2.3 中推估各分布樣本機率之波高與樣本的 RMSE 值顯示，Weibull 分布之 RMSE=0.6m 為最小，Gumbel 分布之 RMSE 次之，約為 0.87m 值。而 ER 值方面還是以 Weibull 分布為最小，只有 1.39m，Gumbel 分布之 ER 值次之，Lognormal 分布分布之 ER 值卻是最高 2.50m。若以此評估指本來講適合描述對半經驗颱風波浪推算模式推算出前 3 大月極值波高之樣本機率為。

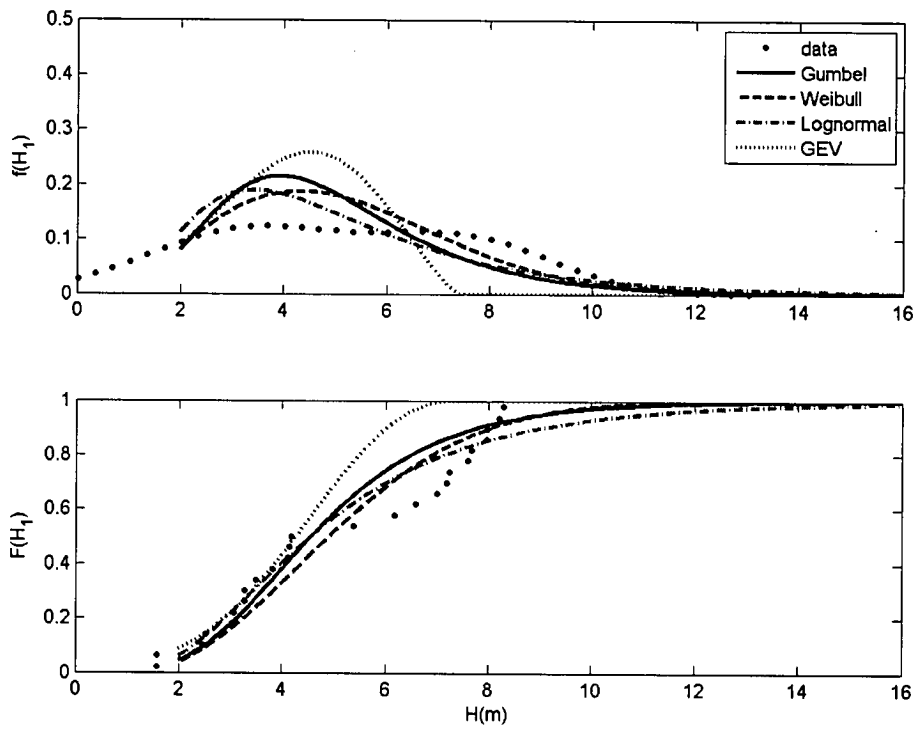


圖 5.2.7 第三種樣本最大月極值之機率密度函數及機率函數

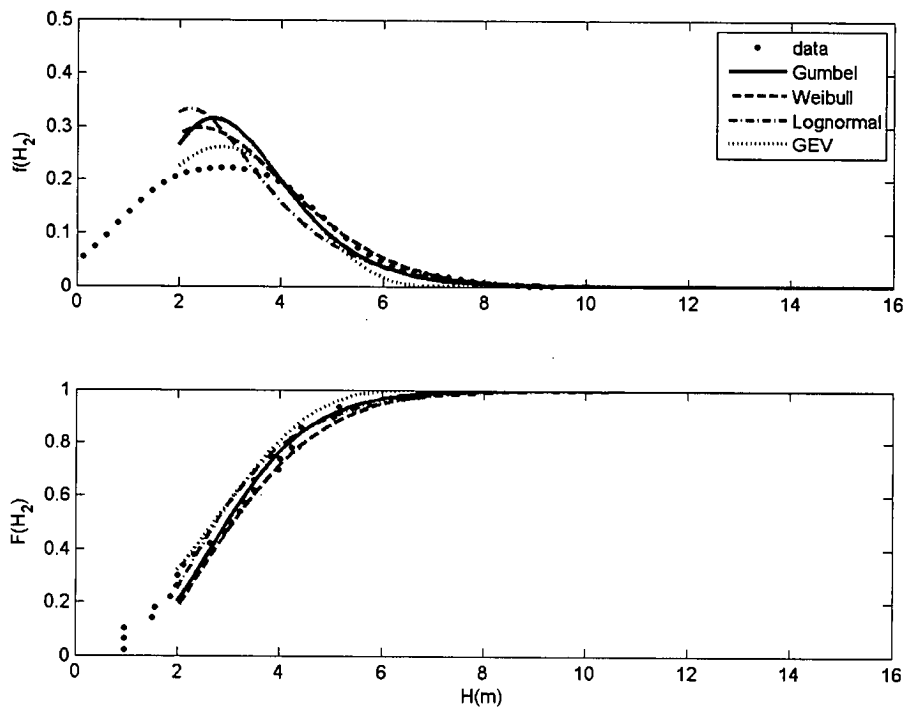


圖 5.2.8 以第三種樣本第 2 大月極值之機率密度函數及機率函數

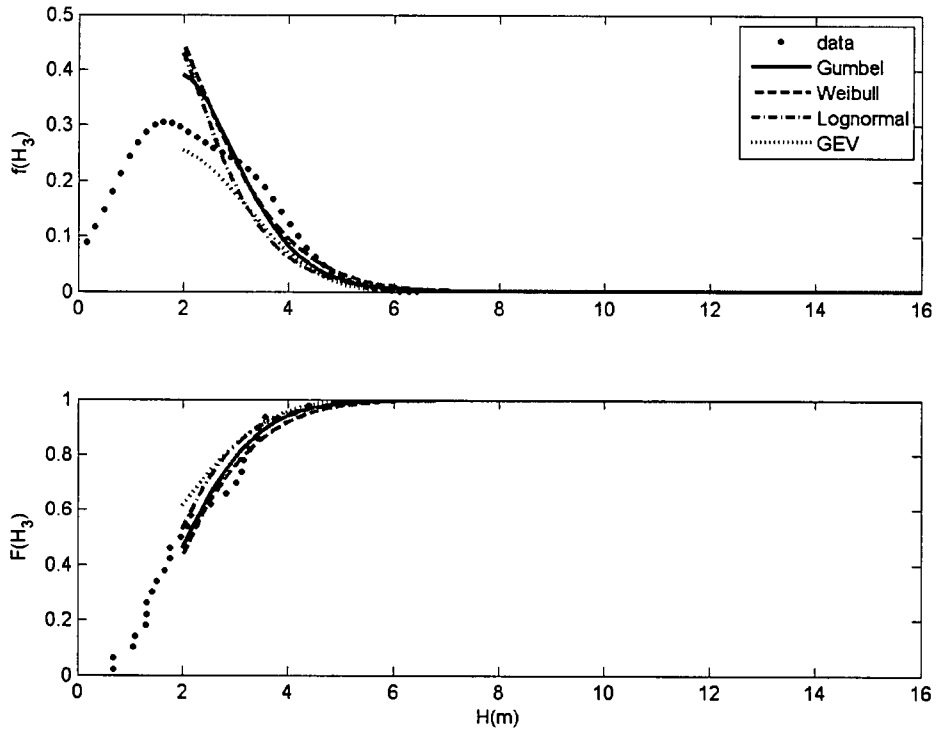


圖 5.2.9 以第三種樣本第 3 大月極值之機率密度函數及機率函數

表 5.2.3 以 MLM 推估各函數在第三種樣本之檢定標準及各重現期波高與其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.87	1.31	0.68	1.19
ER(m)		2.13	1.48	1.39	4.69
$x_R(m)$	10	7.79	6.03	8.05	9.03
	25	9.41	6.49	9.32	11.59
	50	10.62	6.74	10.16	13.62
	100	11.81	6.92	10.93	15.75
$\sigma_{mlm}(m)$	10	0.65	0.77	0.43	1.34
	25	0.81	0.60	0.51	1.97
	50	0.93	0.47	0.57	2.51
	100	1.05	0.35	0.62	3.09

從圖 5.2.7 最大月極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，4 種分布均都稍偏離樣本。從圖 5.2.8 及圖 5.2.9 之第 2 及 3 大月極值波高之機率密度分布與樣本吻合度顯示，4 種分布都與樣本頗吻合度。

由表 5.2.3 中推估重現期為 $T=10$ 、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(σ_{mlm})顯示，Gumbel 及 Weibull 分布

所計算出各重現期波高相近，而所計算出 50 年重現期波高分別為 10.62m 及 10.16m，Gumbel 分布之推算標準偏差大於 Weibull 分布。Lognormal 分布之推估重現期波高高過 Gumbel 及 Weibull 分布而為 13.62m(以 50 年重現期為例)，且其推算標準偏差亦是稍高。GEV 分布之推估重現期波高明顯低於出其他三種很多。整體而言，以 Weibull 分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。因此 Weibull 分布推算 50 年重現期之波高，若在 95% 信賴度下，此推算值應在 $10.16 \pm 1.96 \times 0.57m$ 之間，即 9.04-11.28m。

若比較年前 3 大月極值樣本之各重現期推估結果與年最大值樣本推估結果表 5.1.3 可知，二者均以 Weibull 分布適合於樣本分布，且以 Weibull 分布推估前 3 大月極值樣本之 50 年重現期波高稍小於以年最大值樣本推估值約 0.23m，而推估值標準偏差量年前 3 大月極值樣本較年最大值樣本小。

若以樣本數來看，第三種樣本比第二種樣本數多出兩倍。以 50 年重現期之波高而言，以第三種樣本之適合分部布與第二種樣本之適合分部布不同，推估 50 年重現期波高，第三種樣本所得高出第二種樣本所得約 0.44m，第三種樣本所得之 σ_{mlm} 卻比第二種樣本所得低。若相同以 Weibull 分布推估第三種樣本及第二種樣本發現，三種樣本所得亦高出第二種樣本所得約 1.44m。顯示當樣本少且散亂時，以連續極值函數來描述時偏差較大。若考慮推估有效重現期之長度，以 25 年為例，第三種樣本所得之推算值亦高出第二種樣本所得 1.30m，第三種樣本之 σ_{mlm} 還是比第二種樣本者低。

第六章 高雄港類神經波浪推算模式之初步建構

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，本所配合辦理「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。

6.1 背景資料分析

本研究收集本所港研中心高雄測站的波浪年報資料進行分析，除了以每年前三大的颱風波高以及每年前三月份的最大波高來提供極值統計分析，並配合取自中央氣象局及 RSMC-Tokyo Center 颱風氣象資料，颱風的名稱與發生時間採用 RSMC-Tokyo Center 發佈的資料為準，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 6.1.1 所示。

表 6.1.1 依據高雄港波浪實測資料所選用的颱風

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	薈蜜	3.51	2

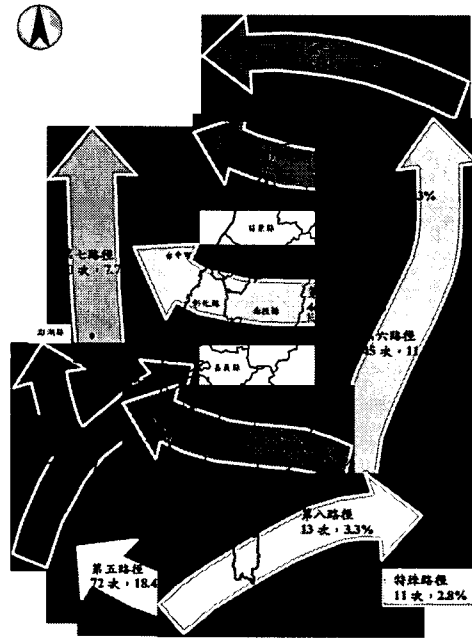
由表中可發現雖然 2001 至 2008 年有 41 場颱風擁有完整的波浪資料可供模式進行建立波浪與颱風資料之間的關係，但各場颱風最大波高明顯偏小，其中 41 場颱風中共有 18 場颱風其最大波高沒有達到 3 米，而其最大波高小於 2 米的共有 12 場；最大波高小於 1 米的共 3 場。此現象顯示雖然這些颱風都是由中央氣象局所發布的侵臺颱風，但以

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(表 6.1.2)；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 6.1.2 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

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，因為季節風浪與颱風波浪的生成機制不同，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 6.1.1 所示，



資料來源：中央氣象局

圖 6.1.1 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 6.1.1 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 CHEBI(2001)、NAKRI(2002)以及 NANMADOL(2004)等三個颱風，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，模式的建立勢必較花蓮港難處理。

6.2 類神經颱風波浪模式

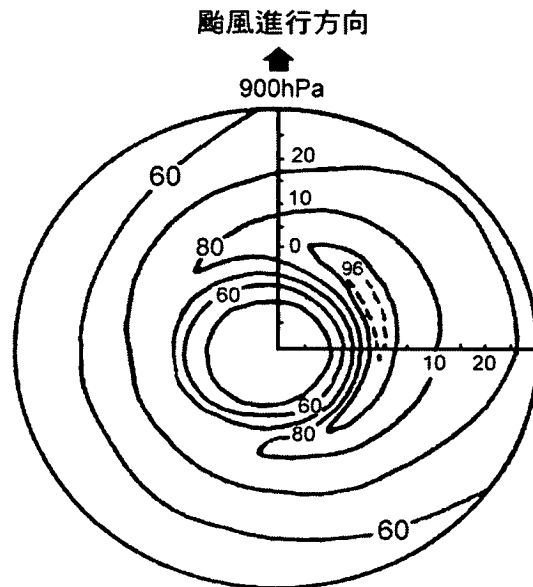
本所於『臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(三)』研究中已完成花蓮港類神經颱風波浪推算模式以及其使用者介面的開發。故神經網路架構的部分可參見 2.3.1 節中的詳細說明。

故本研究往昔所採用的訓練方式並非以 RMSE 當作目標或或是以學習疊代次數當作限制的方法，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。本研究採用 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。

但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。

花蓮港波浪推算模式的輸入層中包含：(1)RVM 風場模式所推算的目標點海面 10 米風速向量(2)陸地效應轉換函數(3)颱風結構轉換函數(4)目標點風向轉換函數。而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，故在陸地效應轉換函數以及颱風結

構轉換函數兩輸入項應考慮合併，因為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，颱風風速結構圖如圖 6.2.1 所示。



資料來源：中央氣象局

圖 6.2.1 颱風在 900hPa 等壓面上內平均風速分布示意圖

圖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。圖 4 為颱風在 900hPa 等壓面上平均風速分布示意圖（圖中距離單位為浬，風速單位為浬/時）。但考量這四個特性參數的非線性交互關係，將海面 10 米風速大小時序列資料，依其值域範圍轉換為 4 組總和不變但乘積為零的時序列資料，再與陸地效應轉換函數、颱風結構轉換函數、目標點風向轉換函數組成非線性項再進入輸入層。模式輸入層延用本所『臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(三)』研究中的輸入層延時機

制。2.3.3 節有對 RVM 風場推算進行詳細說明。

在進行高雄港颱風波浪推算模式的初步建立時，由於颱風多由東向西侵襲臺灣，陸地效應強烈且複雜。且颱風波浪資料中由於時間多為夏季，故與西南季節所造成的季節風浪較難以畫分清楚，若將季節風浪誤判為颱風波浪進行模式訓練，在資料不足的情況下，其模式準確度會有問題。針對以上兩個問題本研究提出兩個解決建議：

方案 I：應用能考慮到地形效應的風場模式

目前所採用的 RVM 風場模式對於地形效應的影響並無法作準確的估算，故可考慮應用 NOAA 推算的 NCEP 風場來進行波浪推算，該模式雖為大尺度的格網控制，但有考慮到颱風風場經過中央山脈等的影響與變化。此外，WRF 中尺度天氣預報系統也可透過輸入 NCEP 風場以及衛星風場來進行空間解析度的提升。

方案 II：加入高雄港周邊其他測站資料作參考

目前以波浪資料較少的狀況下，可考慮將安平港的實測波浪資料亦納入模式的輸出層，以鄰近點的大量的波浪資料來進行模式的訓練，或考慮先分析安平港與高雄港間波浪特性，再進行模式的建構。

第七章 結論與建議

7.1 結論

長期性之海域海氣象資料分析成果則為從事海洋環境及港灣工程者冀望之依據。其中，港灣或海岸工程規劃設計所需之設計波浪則須由長期實測波浪資料或推算波浪資料來決定。但對使用年限較長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不足而無法達成。此時，需要藉由波浪推算模式以及統計方法，利用有限長度的資料，去推估重現期之波浪特性。本研究以 3 種推估 4 種極值分布方法於花蓮及高雄之年最大值與前 3 大月極值樣本之各重現期推估值，資料來源以實測，半經驗颱風波浪推算模式推算及類神經波浪推算模式 3 種方法，其中高雄港類神經波浪推算模式目前僅初步建立。檢定模式優劣指標以 Goda (2000)所提之 MIR、RMSE 及最大極值之誤差三種，經由分析討論後本研究之重要結論如下

一、花蓮港之極值分析

1. 以 LSM 或 MLM 方法來推估波高之極值內之參數是比 MOM 法恰當。
2. 以花蓮港實測 19 年之年最大值波高為樣本，以 MLM 及 LSM 推估參數法於 Weibull 分布最適合於此樣本之機率分布。以 MLM 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。
3. 以颱風波浪類神經推算模式計算花蓮港 19 年之每年最大值波高為樣本，此樣本平均約小於實測樣本，以 Weibull 分布來描述此樣本機率及推估各重現期波高亦是較合適的。以 MLM 推估 Weibull 分布之 50 年重現期波高為 12.05m，若考慮 95%信賴度，此值應落於

9.99-14.11m 之間。

4. 以半經驗颱風波浪推算模式推算花蓮港 19 年之每年最大波高值當樣本，以 Gumbel 分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。因若在 95%信賴度下，此推算值應在 $9.62 \pm 1.96 \times 1.41m$ 之間，即 6.86-12.38m。
5. 將在 1990 至 2008 年間實測花蓮港海域之每年前 3 大月極值波高為樣本，以 Gumbel 及 Lognormal 分布較接近於最大及第 2 大之樣本機率，而 Gumbel 及 Weibull 分布較接近於之第 3 大樣本機率密度分布。以 Weibull 分布來推估各重現期之波高為較適合之分布。以 Weibull 分布推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度下，此推算值應在 $12.21 \pm 1.96 \times 0.58m$ 之間，即 11.07-13.34m。
6. 將颱風波浪類神經推算模式計算花蓮港 19 年之前 3 大月極值波高為樣本，以 Weibull 分布來推估各重現期波高為較適合之分布。Weibull 分布推算 50 年重現期之波高為 11.03m，而標準偏量為 0.43m，若在 95%信賴度，推估波高值應在 $11.03 \pm 1.96 \times 0.43m$ ，即 10.19-11.87m。
7. 若以半經驗颱風波浪推算模式推算花蓮港 19 年之前 3 大月極值波高當樣本，整體而言，以 Weibull 分布來推估此樣本之各重現期波高為較適合。因此 Weibull 分布推算 50 年重現期之波高為 18.06m，而標準偏量為 0.84m，若在 95%信賴度下，此值應在 $18.06 \pm 1.96 \times 0.84m$ ，即 16.41-19.71m。
8. 整體而言，考慮前 3 大月極值波高及年最大波高，以 Weibull 分布推估 3 種資料來源都是最合適，其次合適的分布為 Gumbel 及 Lognormal 分布。

二、高雄港之極值分析

1. 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 MLM 推估 GEV 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。

2. 以半經驗颱風波浪推算模式推算 8 年之每年最大波高值當樣本，整體而言，以 Gumbel 及 Weibull 分布適合來推估各重現期之波高。若以 Gumbel 分布推算 50 年重現期之波高 m ，若在 95%信賴度下，此推算值應在 $8.80 \pm 1.96 \times 1.59m$ ，即 5.68-11.92m。
3. 以實測數據之前 3 大月極值波高當樣本，整體而言，以 Gumbel 分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。以 Gumbel 分布推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度下，此推算值應在 6.86-12.38m。以 Gumbel 分布推估前 3 大月極值樣本之 50 年重現期波高比年最大值樣本推估值大 0.82m，而推估值標準偏量年前 3 大月極值樣本較年最大值樣本小。
4. 以半經驗颱風波浪推算模式推算 8 年之前 3 大月極值波高當樣本，整體而言，以 Gumbel 分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。因此 Gumbel 分布推算 50 年重現期之波高，若在 95%信賴度下，此推算值應在 $9.62 \pm 1.96 \times 1.41m$ 之間，即 6.86-12.38m。以 Gumbel 分布推估前 3 大月極值樣本之 50 年重現期波高比年最大值樣本推估值大 0.82m，而推估值標準偏量年前 3 大月極值樣本較年最大值樣本小。
5. 若比較半經驗颱風波浪推算模式推算 8 年及 25 年之波高樣本年，以 50 年重現期之波高而言，若以相同較佳分布推估第三種樣本及第二種樣本發現，三種樣本所得亦高出第二種樣本所得約 1.4m。但第三種樣本之 σ_{mlm} 還是比第二種樣本者低。

7.2 成果效益及後續應用情形

本項計畫係依據本所港研中心 98 年科專計畫「臺灣主要港口海域長期性海氣象觀測及資料特性應用之研究(1/4)」工作需求辦理，經由前節之結論說明，本計畫第一年的工作成果已獲致花蓮與高雄兩港域

設計波浪條件之差異特性比較。

針對臺灣主要港口建港時所應用之設計波浪條件，由於較早時期現場觀測資料之匱乏，造致波浪推算數據的適當性，經由本計畫的推算驗證，相關應用設計波浪條件值得重新探討。是以，未來進行各港域之港灣、海岸工程規劃設計或環評需求時，確實須對原有設計波浪條件重新審視比對。

參考文獻

- 1.湯麟武(1970)，「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」，成功大學土木水利學術彙刊，第1期，第105~164頁。
- 2.井島武士(1972)，「臺中港設計波浪計算報告書」，日本港灣顧問公司。
- 3.梁乃匡(1982)，「颱風湧浪的預報方法」，第6屆海洋工程研討會論文集，第5-1~5-19頁。
- 4.梁乃匡、林文宗(1995)，「83年侵臺颱風波浪推算研究」，第17屆海洋工程研討會論文集，第425~441頁。
- 5.楊家昌(1997)，「臺灣東海岸颱風波浪推算模式」，國立交通大學土木工程研究所論文。
- 6.蘇青和(2004)，「花蓮港觀測風力及波浪資料專刊(波浪部份:1990~2003年)」，交通部運輸研究所。
- 7.何良勝(2004)，「臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(三)」，交通部運輸研究所。
- 8.Battjes, J. A. (1972) Long term wave height distributions at seven stations around the british Isles, Deutsche Hydrographische Zeitschrift, 25, 179-189.
- 9.Bretschneider, C.L. (1952), "The generation and decay of wind waves in deep water," Transaction American Geophysical Union, Vol. 33, No. 3, pp. 202-237.
- 10.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.

11. Chester, D. (1990) "Why two hidden layers are better than one," In Proceeding IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Washington, D.C. pp. 265-268.
12. Coastal engineering manual (2002) "Hydro-dynamic analysis and design conditions," Chapter 8.
13. Coles, S. (2001) An introduction to statistical modeling of extreme values, Springer-Verlag, London, 208p.
14. Davison, A.C. and Smith, R. L. (1990) Models for exceedances over high threshold, Journal Royal Statistical Society B, 52 (3), 393-442.
15. Duedes Soare, C. and Henriques, A. C. (1994) Long-term predictions of significant wave heights at Sine and Faro, Proceedings of the 2nd Symposium on Coastal Zone Research-Management and Planning-Europe and Mediterranean, 1, 341-356.
16. Duedes Soare, C. and Henriques, A. C. (1996) On the statistical uncertainty in long-term predictions of significant wave heights. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering, 11, 284-291.
17. Duedes Soare, C. and Scotto, M. (2004) Modelling uncertainty in long-term predictions of significant wave height, Ocean Engineering, 28, 329-342.
18. Eberhart, R.C., and Dobbins, R.W. (1990) Neural Network PC Tools – A Practical Guide, Academic Press, Ins., pp. 10-250.
19. Ferreira, J.A. and Duedes Soare, C. (1999) Modelling distributions of significant wave height with the Beta and Gamma models, Ocean Engineering, 40, 361-374.
20. Ferreira, J.A. and Duedes Soare, C. (2000) Modelling distributions of

significant wave height, *Coastal Engineering*, 40,361-374.

21. Goda, Y. (2000), *Random seas and design of marine structures*, World Scientific.
22. 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.
23. Guedes Soares, C. (1986) Assessment of the uncertainty in visual observations of wave heights, *Ocean Engineering*, 13, 37-56.
24. Guedes Soares, C. (1989) Bayesian prediction of design wave heights, In Thoft-Christensen, P. (ed), *Reliability and optimization of structure systems* 88, Springer, Berlin, 311-323.
25. Guedes Soares, C. and Scotto, M. G. (2004) Application of the largest-order statistics for long-term predictions of significant wave height, *Coastal Engineering*, 51, 387-394.
26. Haver, S. (1985) Wave Climate off northern Norway, *Applied Ocean Research*, 7, 85-92.
27. 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, pp. 781-784.
28. Huang, W., and Foo, S. (2002) "Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River," *Water Research*, Vol. 36, pp. 356-362.
29. Hush, D.R., and Horne, B.G. (1993) "Progress in supervised neural network: what's new since lippmann," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 10, pp. 8-39.

30. Jaspers, N. H. (1956) Statistical distribution of ocean waves and of wave induced stresses and motions with engineering applications, Transactions Society Naval Architects and Marine Engineers, 64, 375-432.
31. Katz, R. W., Parlange, M.B. and Naveau, P. (2002) Statistics of extremes in hydrology, Advances in Water Resources, 25, 1287-1304.
32. Kotz, S. and Nadarajah, S. (2000) Extreme value distributions, Imperial College Press, 187pp.
33. Kurkova, V. (1992) "Kolmogorov's Theorem and multilayer neural networks," Neural Networks, Vol. 5, pp. 501-506.
34. Leadbetter, M.R. and Rootzen, H. (1988) Extremal theory for stochastic processes, The Annals of Probability, 16 (2), 431-478.
35. Menendez, M., Mendez, F. J., Izaguirre, C., Luceno, A. And Losada, I. J. (2009) The influence of seasonality on estimating return values of significant wave height, Coastal Engineering, 56, 211-219.
36. Menendez, M., Luceno, A. And Losada, I. J. (2009) Estimation of the long-term variability of extreme significant wave height, Journal of Geophysical Research, 111, C07024.
37. Mood, A. M., Graybill, F. A., and Boes, D.C. (1974), Introduction to the theory of statistics. 3rd ed. McCraw-Hill, New York, 564pp.
38. Morton, I.D., Bowers, J. and Mould, G. (1997) Estimating return period wave heights and wind speeds using a seasonal point process model, Coastal Engineering, 31, 305-326.
39. Muir, R. and El-Shaarawi, A. H. (1986) On the calculation of extreme wave heights: a review, Ocean Engineering, 13, 93-118.
40. Muraleecharan, G., Rao, A. D., Kurup, P.G., Unnikrishnan Nair, and Sinha,

- M. (2007) Modified Weibull distribution for maximum and significant wave height simulation and prediction, *Coastal Engineering*, 54, 630-638.
41. Nolte, K. G. (1971) Statistical methods for determining extreme sea states, *Proceedings of the 2nd Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions*, 705-742.
42. Ochi, K. (1992) New approach for estimating the severest sea state from statistical data, *Proceedings of the Conference on Coastal Engineering*, ASCE, New York, 512-525.
43. Stansell, P. (2005) Distributions of extreme wave, crest and trough heights measured in the North sea, *Ocean Engineering*, 32, 1015-1036.
44. Sobey, R. and Orloff, L.S. (1995), Triple annual maximum series in wave climate analyses, *Coastal Engineering*, 26, 135-151.
45. Wilson, B.W. (1955) "Graphical approach to the forecasting of waves in moving fetches," *Technical Memorandum, No. 73, Beach Erosion Board, Corps of Engineers, U.S. Army*, pp. 1-31.
46. 湯麟武，「遠淺海岸における波推算法に関する研究」，九州大學工学部學位論文(1968)。

附錄一 符號表

符號	說明
θ	新風向與原風向之夾角(2.2.1)
H	示性波波高(2.2.2)
T	示性波週期(2.2.3)
F	吹風距離(2.2.2)(2.2.3)
U	風速
g	重力加速度
D	水深(2.2.4)(2.2.5)
H_f	風浪之波高
T_f	風浪之週期
H_d	湧浪之波高
T_d	湧浪之週期
F	風浪成為湧浪前之風域長(2.2.6)(2.2.7)
D	湧浪進行之減衰距離(2.2.6)(2.2.7)
ρ_a	空氣密度
r_0	最大風速半徑
r	風速位置點與颱風中心之距離
f	Coriollis 係數= $2\omega\sin\phi$ (2.2.9)(2.2.10)
ω	地球自轉角速度
ϕ	計算點之緯度(Coriollis 係數)
$c_1 \cdot c_2$	地面風速與傾度風速之比值
ΔP	氣壓深度或颱風中心氣壓 P_c 與外圍氣壓 $P(r)$ 之差
Y_i	人工神經元模型的輸出訊號
f	人工神經元模型的轉換函數(2.3.1)
W_{ij}	人工神經元模型連結加權值
X_j	人工神經元模型的輸入訊號
θ_i	人工神經元模型的閾值
$W_1 \cdot W_2$	加權值矩陣
$\theta_1 \cdot \theta_2$	偏權值量
X	輸入量(2.3.2)
T	目標輸出量
Y	網路輸出量
Z	隱藏層輸出量
$\delta_1 \cdot \delta_2$	隱藏層差距量與輸出層差距量
ΔW	加權值矩陣的修正量
E	誤差函數(2.3.8)
η	學習速率(2.3.9)

δ_j^n	W_{ij} 所連結第 n 層之處理單元差距量
A_i^{n-1}	W_{ij} 所連結第 $n-1$ 層之處理單元值
$O_{P \times 1}$	神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣
$I_{R \times 1}$	具有 R 個向量的輸入矩陣
$W_{S \times R}$	具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣
$b_{S \times 1}$	網路偏權值矩陣
z	輸入層的神經元個數(2.3.16)
h	隱藏層神經元個數(2.3.16)
V_r	距颱風中心 R 公里處之旋轉風速
R_m	最大暴風半徑
V_{max}	近中心最大風速
ϕ	緯度(2.3.4)
P_c	中心氣壓
P_∞	距颱風中心無限遠處之氣壓
V_f	颱風中心前進速度
V_t	修正風速
ϕ	至颱風中心連線與最大風速連線兩條線之間的夾角(2.3.5)
θ	偏移角度(2.3.6)
$H_{s,num}$	模式推算颱風波浪示性波高
$H_{s,obs}$	測站實測颱風波浪示性波高
$t_{p,num}$	模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間
$t_{p,obs}$	測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間
x	樣本變數(4.2.1)~(4.2.4)
$f(x)$	機率密度函數(probability density function) (4.2.1)~(4.2.4)
$F(x)$	累積機率函數(cumulative probability function) (4.2.1)~(4.2.4)
A	尺度參數(scale parameter) (4.2.1)~(4.2.4)
B	位置參數(location parameter) (4.2.1)~(4.2.4)
k	形狀常數(4.2.1)~(4.2.4)
$\Gamma(\)$	Gamma 函數
γ	Euler 數
N	樣本個數係數(4.4.3)
x_m	推估各排序機率下之波高(4.4.4)
σ_x	樣本 x 之標準偏差
y_R	重現期之基準化變量
x_R	重現期之推算值
F_H	每月極值之機率分布(4.6.1)(4.6.3)(4.6.7)

f_H 每月極值之機率密度分布(4.6.2)(4.6.4)(4.6.8)
 $B_x(z, w)$ Beta 函數(4.6.3)(4.6.7)

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(1/4)

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
郭一羽委員：	
<p>一、P2-2 半經驗公式模式之敘述，本計畫並未再加以改善，文字說明清楚。</p> <p>二、利用前三個月極值做統計，背景原因說明清楚。</p> <p>三、結論文字請改善。</p> <p>四、三個不同模式所用數據請說明清楚。</p> <p>五、半經驗推算模式之使用限界(有可靠結果)是否能夠釐清。</p>	<p>一、感謝委員指正，將於期末報告中修正。</p> <p>二、將以 Sobey and Orloff (1995)所提出的研究來說明。</p> <p>三、感謝委員指正。</p> <p>四、將於期末報告中作完整補充。</p> <p>五、截至目前為止工程界大多皆使用半經驗推算模式來作設計波高的考量，但本研究中以花蓮港完整的颱風波浪資料來做評估，其結果大部分都屬於高估的狀況。</p>
岳景雲委員：	
<p>一、資料蒐集詳盡值得肯定。</p> <p>二、建議加一符號表以利參考閱讀。</p> <p>三、專有名詞符號簡寫請統一一致，BPN→BPNN、CC→R、RMS→RMSE。</p> <p>四、P2-3 式(2.2.1)波高與風向之關係 $H_0=HCOS\theta$ 是否為波高與風向？</p> <p>五、結論建議加上針對「花蓮港」之結果。</p> <p>六、加強說明其研究成果在工程上之應用。(結構物波力計算、越波量、水域靜穩度...)</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、感謝委員建議，將於期末新增。</p> <p>三、感謝委員建議，遵照辦理。</p> <p>四、由於半經驗公式有將各方向的波浪分開考量，本式是僅考慮在風浪形成初期之後，波向與風向不再遵循同一方向，新方向的波高以及新舊風向夾角間的關係。</p> <p>五、感謝委員建議。</p> <p>六、感謝委員建議，將於期末報告中說明。</p>
楊文衡委員：	

<p>一、設計波高目前工程界使用之計算公式，計算結果與本計劃計算結果有30%之差值，是否可以與工程界開會討論其差異性，及目前工程界計算方式及合理性？</p> <p>二、GEV 方法對極值，有其不合理性應可考慮針對本研究的極值，檢討其不適用性。</p> <p>三、相關係數 CC 及 R 一致性，機率函數修正名詞。</p>	<p>一、若能以港研中心為號召，招集各界專家舉辦會議進行研討，將有助於改善目前設計波高推算的技術，本研究團隊將全力配合。</p> <p>二、GEV 方法在數學上因受 16m 之上限值的影響，並不適合用來推算波高重現期。</p> <p>三、感謝委員建議，將修正名詞。</p>
<p>吳基委員：</p>	
<p>一、由於研究團隊的努力，在第一年的期中報告即有相當具體的成果，研究團隊執行能力值得肯定。</p> <p>二、颱風實測數據有時會不完整，是否先經過品管過濾，代表性如何，請說明。</p> <p>三、報告中有關各年、各颱風之實測資料等重要數據，請增列表格或於已有表格中增列欄位，呈現之。</p>	<p>一、感謝委員肯定。</p> <p>二、波浪資料來源為港研中心年報資料，另外在颱風期間颱風資料與波浪資料的對應上本團隊已有做過嚴謹的篩選。</p> <p>三、感謝委員建議，將於表格中增列颱風波浪實測最大值等資料。</p>
<p>何良勝委員：</p>	
<p>一、有關颱風名稱除英文外，請增列中文名稱。</p> <p>二、有關半經驗式及類神經方法所擬算值，建議用一表格做比較說明。另外，比較說明中，應將正負值分隔比較。</p> <p>三、建議，先行針對表 3.1.1 及表 3.2.1 所推估結果中，誤差較大之值進行原因探討。</p> <p>四、目前除了湯及井島之經驗式外，是否有其他研究方法可進行較適合之比較分析。</p>	<p>一、感謝委員建議，將增列於內文以及相關表格中。</p> <p>二、感謝委員建議，將增列於表中。</p> <p>三、感謝委員建議，將於期末增加說明。</p> <p>四、目前僅針對國內常用的經驗式模式以及本研究團隊與港研中心發展的類神經模式兩種進行比較，其他國外用的模式由於需要花比較長的時間來建置才能適合國內環境使用。</p> <p>五、由於大多數颱風來自西太平洋，高雄</p>

五、由於花蓮及高雄附近海域之影響因素有所不同，例如颱風風域影響，故對高雄港之推算方式是否與花蓮港相同？

港位於臺灣西側，故大多數的颱風的風力會受中央山脈屏障，湧浪傳遞上也不向花蓮港那麼直接，其特性待模式建立完成後再加以說明。

交通部運輸研究所合作研究計畫第 2 類

□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(1/4)

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
<p>鍾英鳳委員：</p> <p>一、P2-11 颱風分類及分組，請再詳細說明。</p> <p>二、P3-3 頁 1993、2002 沒有推算出颱風波浪之結果，其原因建議補充說明。</p> <p>三、P3-6 表 3.3.1 中缺 1990 之資料，請補充。</p> <p>四、P3-7 二模式在最大波高發生時間推估「結果相當」，但依數據而言，部份差距頗大。</p> <p>五、P6-1 引用高雄港數據方面，請用最新數字，如目前貨櫃排名已非第六，而是第 12。另整體規劃及未來發展計劃已有 96 年版本，請修正。</p> <p>六、P6-4 表民國 15 年至民國 85 年→修正為民國前 15 年，另對數據如何評估是由颱風或季節風所引起，建議未來補充說明。</p> <p>七、P6-7 圖 4 改為圖 6.2.1。</p>	<p>一、遵照辦理，已增加詳細說明。</p> <p>二、由於井島武士在推算波浪傳遞的部分考慮了方向性，波浪的擷取範圍是於近岸設置一區域(如圖 2.2.1)，故在某些空間性的變化上無法準確判斷。</p> <p>三、感謝委員指正，已加入。</p> <p>四、最大波高發生時間的誤差以平均來看皆為 5 小時左右，但部分颱風差距較大的情況如半經驗模式最多差 12 小時，而類神經模式則差 17 小時，未來作這方面統計會考慮以其他更客觀的方式做評比。</p> <p>五、感謝委員指正，已修正。</p> <p>六、感謝委員建議，已修正。</p> <p>七、感謝委員指正，已修正。</p>

<p>郭一羽委員：</p> <p>一、計畫大致符合研究目標。</p> <p>二、高雄港的數據 8 年內只有 40 多颱風，此是否足以建立類神經網路模式？</p> <p>三、月極值分佈的功用為何？</p>	<p>一、感謝委員認可。</p> <p>二、以目前資料特性來說，資料稍嫌不足，本研究團隊將會嘗試以有限資料進行建立。</p> <p>三、考慮前三大月極值，主要是推估數值函數參數因樣本較多之關係，而推估結果較為穩定，變異量較小。</p>
<p>楊文衡委員：</p> <p>一、樣品取樣點加以說明為何高雄港波高值偏小？</p> <p>二、井島武士與 Weibull 推算最大波高差 5-6m 如何使用較保守(較小)最大波高，給工程界使用？</p> <p>三、路徑方向學習及風場遮蔽的影響可加入類神經學習。</p>	<p>一、高雄港波高較小主因為颱風直撲機會不多，加上地形遮蔽效應。</p> <p>二、本研究提供較準確的模式推算以及較合理的極值波高推算，若在工程尚需要考量安全係數以兼顧保守，可另行評估。</p> <p>三、感謝委員建議。</p>
<p>岳景雲委員：</p> <p>一、參考文獻補上 Goda(2000)，Goda(2001)。</p> <p>二、章節編排”花蓮”，”高雄”請註明。</p> <p>三、P6-4 表 6.1.2 民國 15 年應修正為民國前 15 年，圖 6.1.1 颱風路徑分類圖更新(1897~2008 年)。</p> <p>四、”花蓮”、”高雄”海域不同，推算方式是否相同？</p> <p>五、加強說明研究成果提供工程上實用價值。</p>	<p>一、感謝委員建議，已增列於參考文獻。</p> <p>二、感謝委員建議，已加註第四章。</p> <p>三、感謝委員指正。</p> <p>四、目前擬以加強陸地效應的方式來建立模式，故有所不同。</p> <p>五、遵照辦理，已加強說明於第六章。</p>

<p>劉景毅委員：</p> <p>一、本研究針對主要港口海域進行長期波浪之統計分析、其成果可提供規劃設計單位參考，極具應用價值。</p> <p>二、颱風波浪品質為本研究的基礎，工作團隊已針對港研中心資料進行嚴謹篩選，此值得肯定。但國內亦有其他單位量測颱風波浪資料，在未來應進一步蒐集，以增進研究成果之準確性(98年蓮花颱風來襲期間七股測得之波高 11.7m，安平測得之波高為 6.97m，差異相當大)。</p> <p>三、模式預測成果的好壞，取決於資料品質，模式與使用者之經驗，請檢視半經驗颱風波浪模式的模擬過程與使用變數之單位，其模擬結果應該可以更好。</p>	<p>一、感謝委員認可。</p> <p>二、感謝委員建議，未來模式建構若有進行空間資料同化，將蒐集安平資料作比較。</p> <p>三、感謝委員建議。</p>
<p>吳基委員：</p> <p>一、高雄港颱風波浪受路徑之影響，應考慮未發警報但實際波高大的颱風通過資料。</p> <p>二、文章表 3.1、3.2、3.3 等綜合比較表可於下端增列平均值等資訊，以便於研判。</p> <p>三、文字錯誤請改正，如表 2.1.1 (花蓮港)。</p>	<p>一、感謝委員建議。</p> <p>二、感謝委員建議，已增列。</p> <p>三、感謝委員指正，已修正。</p>
<p>何良勝委員：</p> <p>一、請修正 4.7.1 節部份表及內容之推算波高值(例如 P.4-13 表 4.7.2、第 4 段之 Weibull50 年推算值，P.4-14 第 2 段 LSM50 年之推估值，P.4-17 第 1 段 MLM50 年推估值等)。</p> <p>二、有半經驗颱風波浪模式之方法是否為國內相關單位常用之方法？</p>	<p>一、感謝委員指正，已修正。</p> <p>二、本研究的半經驗公式是以工程顧問公司與國內相關單位常用的方法進行</p>

<p>三、花蓮港計有 19 年資料，而高雄港惟 8 年資料，若依報告之 50 年推估值為例，以相對比較而言，例如以(實際推估值一半經驗推估值)/(實際推估值)，其概估所得，反而以高雄港之相對比值較小，此與一般概念之較長觀測資料會有較準確推估值方式不同，此種情況請補充說明。</p>	<p>推算。</p> <p>三、因為西部海岸較東部海岸平緩，且此方法係湯(1970)研究適合臺中港推算用，因而推估高雄港颱風波浪的表現上為小，故會有此現象。</p>
--	--

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

臺灣主要港口附近海域長期波浪 統計特性及設計波推算之研究(1/4)

期末簡報

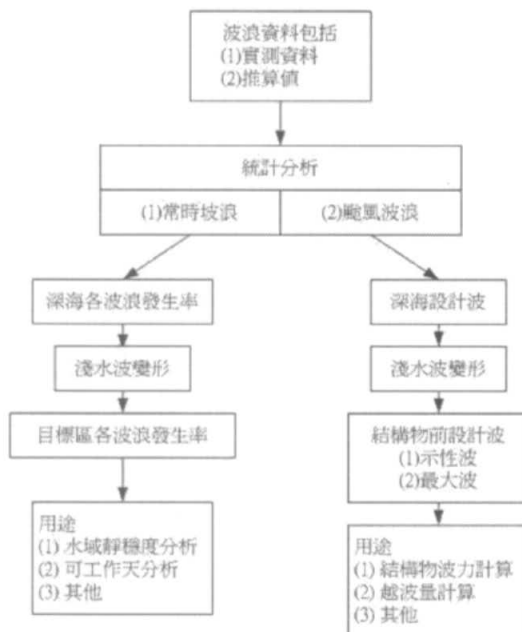
簡報人：張憲國



國立交通大學土木工程系所
中華民國九十八年十一月十六日

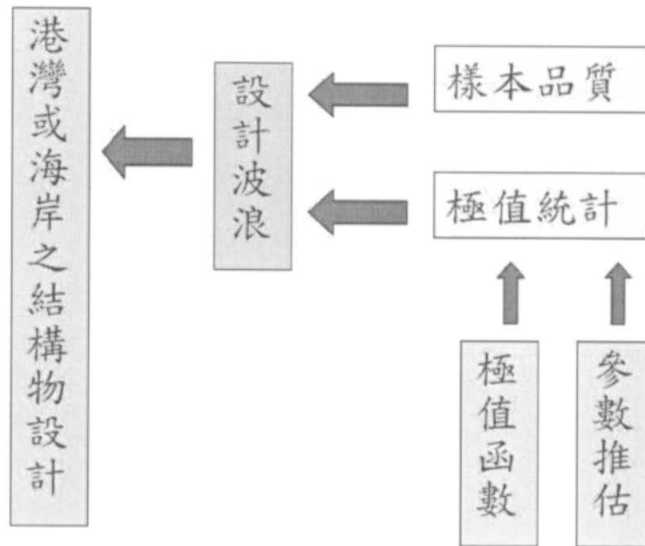


研究動機(1/2)



研究動機(2/2)

■ 港灣或海岸工程之設計波浪

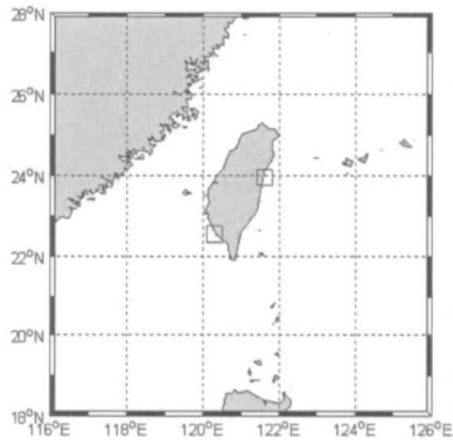


目前研究項目

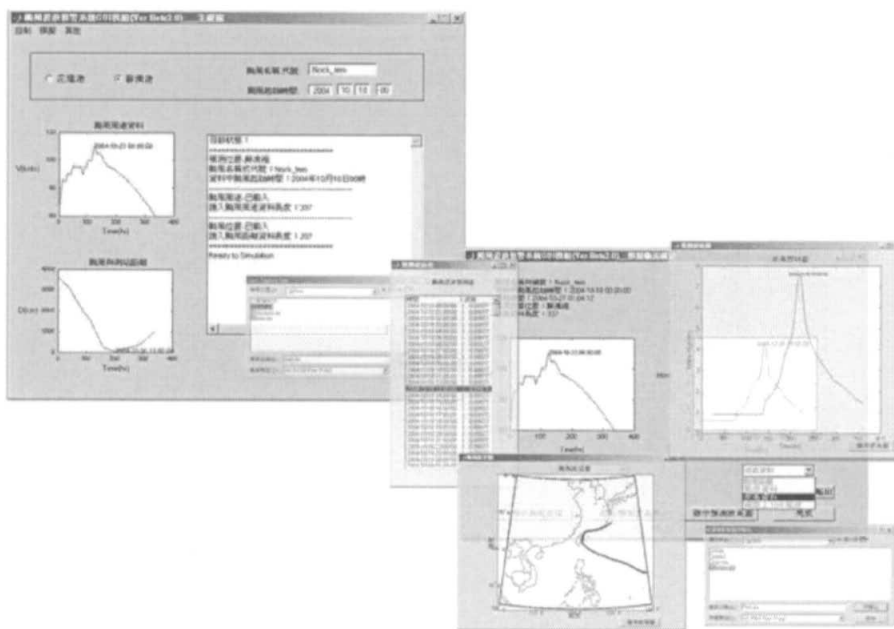
- 以經驗式推算波浪模式，推算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
- 以類神經模式計算颱風波浪及探討其樣本之極值統計特性。
- 探討不同取樣樣本及極值函數對統計特性之比較。

樣本來源—半經驗波浪推算模式 (井島武士法)

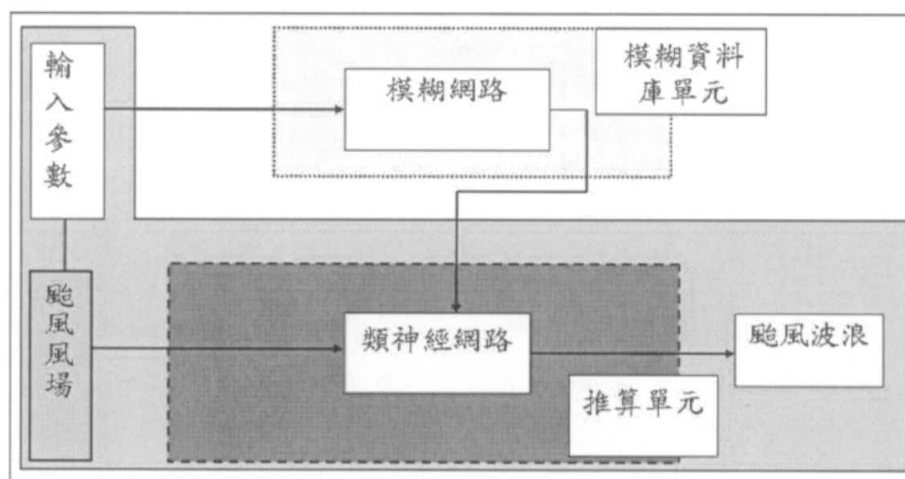
- 颱風波浪追蹤法
- 依據Wilson之移動風域法而將之直接變化為數值計算
- 由移動風域內之風速分布(即考慮區內各點之吹風情況)來推算
- 綜合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算法及碎波後波浪計算法
- 從氣象資料,推算移動風域中海岸前任何水深地點之波浪狀況



樣本來源—ANN颱風波浪推算模式



颱風波浪推算模式架構



樣本品質

- 評估4指標—RMSE、R、 $\Delta H_{s,p}$ 、 Δt_p
- 自1990~2008年選取作為颱風波浪推算的颱風

年份	颱風名稱	個數
1990	YANCY(楊香)	1
1991	AMY(艾美)	1
1992	BOBBIE(芭比)、TED(泰德)	2
1993	TASHA(塔莎)、YANCY(楊香)	2
1994	GLADYS(葛拉絲)、TIM(提姆)	2
1995	KENT(肯特)	1
1996	CAM(凱姆)、GLORIA(葛琳達)、HERB(賀伯)	3
1997	WINNIE(溫妮)、AMBER(安珀)、IVAN(艾文)	3
1998	OTTO(奧托)、YANNI(楊妮)、ZEB(瑞伯)	3
1999	SAM(山姆)	1
2000	BILIS(碧利斯)、XANGSANE(象神)	2
2001	CIMARON(西馬隆)、HAIYAN(海燕)	2
2002	SINLAKU(辛樂克)	1
2003	KUJIRA(柯吉拉)、IMBUDO(伊布都)、MORAKOT(莫拉克)、KROVANH(科羅旺)	4
2004	MINDULLE(敏督利)、KOMPASU(康柏斯)、RANANIM(蘭寧)、AERE(艾利)、NOCKTEN(納坦)、NANMODOL(南瑪都)	6
2005	HAITANG(海棠)、MATSU(馬莎)、SANVU(珊瓏)、TALIM(泰利)、DAMREY(丹瑞)、LONGWONG(龍王)	6
2006	BILIS(碧利斯)、CHANCHU(珍珠)、SHANSHAN(珊珊)	3
2007	PABUK(帕布)、SEPAT(聖帕)、WIPHA(雲帕)、KROSA(柯羅莎)	4
2008	FUNGWONG(鳳凰)、NURI(如麗)、SINLAKU(辛樂克)、HAGUPIT(哈格比)、JANGMI(薑蜜)	5

井島武士波浪推算結果

52場有實測波浪資料的颱風僅有24場被推算出結果

平均 $\Delta H_{s,p} = 4.06\text{m}$
 平均 $\Delta t_p = 5.46\text{小時}$
 平均 $\text{RMS} = 3.02\text{m}$
 平均 $R = 0.33$

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{obs} (m)
1990	YANCY(楊奇)	3.63	-8	2.46	0.08	4.67
1992	BOBBIE(芭比)	0.70	11	2.67	-0.58	5.28
1994	GLADYS(葛拉迪)	1.45	3	2.33	0.52	7.08
1994	TIM(提姆)	4.11	4	8.68	0.72	10.48
1996	GLORIA(葛樂禮)	0.82	12	1.84	0.24	4.59
1996	HERB(賀伯)	4.58	10	2.86	-0.33	7.46
1997	AMBER(安姆)	4.26	5	5.80	0.72	8.85
1998	ZEB(茲伯)	4.66	4	3.26	0.16	7.45
2000	BILIS(碧利斯)	3.88	4	3.90	0.95	8.96
2000	XANGSANE(桑神)	5.30	0	1.33	0.86	6.07
2003	KUJIRA(柯吉拉)	-1.25	12	1.43	0.44	3.76
2004	AERE(艾利)	3.58	19	1.94	-0.30	3.68
2004	MINDULLE(敏督利)	3.46	0	2.43	0.67	5.50
2004	NOCK_TEN(納地)	4.89	2	3.08	0.26	5.33
2005	HAITANG(海棠)	6.98	-1	3.22	0.34	7.50
2005	LONGWANG(龍王)	4.88	0	1.67	0.97	10.85
2005	MATSA(馬莎)	3.19	8	2.49	-0.21	3.18
2005	TALIM(泰利)	7.14	0	2.96	0.60	7.53
2007	KROSA(柯羅莎)	6.20	4	4.68	-0.27	6.49
2007	SEPAT(聖帕)	4.11	-3	2.22	0.91	9.26
2007	WIPHA(雲娜)	5.78	5	3.37	-0.04	3.74
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	-0.88	-1	2.21	0.88	7.32
2008	JANGMI(姜蜜)	8.76	3	3.41	0.38	6.00
2008	SINLAKU(辛樂克)	3.03	12	2.18	0.10	5.37

1993、2002無推算出颱風波浪

1991、1995、1999及2001則是推算出來的颱風無實測資料可供比對

ANN颱風波浪推算模式推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{obs} (m)
1990	YANCY(楊奇)	-0.50	13	0.66	0.93	4.67
1991	AMY(艾美)	-1.97	1	0.61	0.99	9.90
1992	BOBBIE(芭比)	-0.59	16	0.79	0.71	5.28
1992	TEN(泰德)	-1.19	9	0.96	0.89	6.95
1993	TASHA(塔莎)	0.89	1	0.68	0.73	2.55
1993	YANCY(楊奇)	0.42	15	0.52	0.72	3.27
1994	GLADYS(葛拉迪)	-1.89	-1	0.58	0.91	7.08
1994	TIM(提姆)	-4.22	0	1.50	0.97	10.48
1995	KENI(肯尼)	-1.37	-1	0.46	0.94	6.85
1996	CAM(凱地)	0.47	10	0.42	0.56	2.44
1996	GLORIA(葛樂禮)	0.39	5	0.56	0.90	4.59
1996	HERB(賀伯)	-2.45	7	1.40	0.67	7.46
1997	WINNIE(溫妮)	-2.14	-13	0.72	0.69	4.57
1997	AMBER(安姆)	-3.43	1	0.84	0.98	8.85
1997	IVAN(艾文)	0.11	-2	0.43	0.80	3.21
1998	OTTO(奧托)	0.25	-1	1.04	0.90	6.70
1998	YANNI(雅尼)	1.33	7	0.67	0.66	3.38
1998	ZEB(茲伯)	-1.95	3	0.96	0.67	7.45
1999	ZAM(山姆)	-0.54	-2	0.70	0.65	3.34
2000	BILIS(碧利斯)	-0.63	-1	0.66	0.97	8.96
2000	XANGSANE(桑神)	-0.62	-1	0.72	0.59	6.07
2001	CIMARON(西馬隆)	0.22	12	0.49	0.80	3.30
2001	HAIYAN(海燕)	-0.68	-3	0.79	0.86	4.48
2002	SINLAKU(辛樂克)	-0.82	7	0.63	0.68	4.53
2003	KUJIRA(柯吉拉)	-0.64	-17	0.51	0.79	3.76
2003	DMBUDOX(尹布多)	-0.47	-10	0.47	0.91	3.71

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{obs} (m)
2003	MORAKOT(莫拉克)	1.44	-5	1.35	0.79	2.91
2003	KROVANH(科羅旺)	0.58	0	0.55	0.65	2.67
2004	MINDULLE(敏督利)	1.85	-3	0.54	0.89	5.50
2004	KOMPASU(康帕斯)	0.40	-4	1.10	0.59	3.81
2004	RANANIM(蘭寧)	0.14	-4	0.38	0.82	3.52
2004	AERE(艾利)	0.07	-1	0.38	0.85	3.68
2004	NOCK_TEN(納地)	0.85	-2	0.72	0.88	5.33
2004	NANMADOL(南瑪都)	-1.11	-4	0.76	0.91	4.38
2005	HAITANG(海棠)	0.54	6	0.93	0.85	7.50
2005	MATSA(馬莎)	0.56	-10	0.38	0.88	3.18
2005	SANYU(珊璞)	-0.93	-5	0.54	0.88	3.86
2005	TALIM(泰利)	0.42	0	0.60	0.94	7.53
2005	DAMREY(丹絨)	0.04	7	0.37	0.82	3.13
2005	LONGWANG(龍王)	-0.60	0	0.41	0.97	10.85
2006	BILIS(碧利斯)	-1.20	-15	0.79	0.80	5.25
2006	CHANCHU(珍珠)	-0.51	0	0.38	0.77	2.89
2006	SHANSHAN(珊珊)	0.69	4	0.66	0.81	4.24
2007	PAEBU(帕布)	2.73	-4	0.93	0.71	4.94
2007	SEPAT(聖帕)	-0.28	-3	0.76	0.90	9.26
2007	WIPHA(雲娜)	0.69	5	0.52	0.82	3.74
2007	KROSA(柯羅莎)	-1.06	1	0.84	0.89	6.49
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	0.17	0	0.67	0.93	7.32
2008	NURI(如麗)	0.60	9	0.70	0.84	2.97
2008	SINLAKU(辛樂克)	-0.61	-1	0.77	0.78	5.37
2008	HAGUPIT(哈格比)	0.84	-7	0.51	0.95	3.40
2008	JANGMI(姜蜜)	1.42	3	0.59	0.90	6.00

註：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

平均 $\Delta H_{s,p} = 0.98\text{m}$
 平均 $\text{RMS} = 0.69\text{m}$

平均 $\Delta t_p = 5.04\text{小時}$
 平均 $\text{CC} = 0.83$

兩種波浪推算結果綜合比較

半經驗波浪推算：
 平均 $\Delta H_{s,p} = 4.06\text{m}$
 平均 $\Delta t_p = 5.46$ 小時
 平均 $\text{RMS} = 3.02\text{m}$
 平均 $R = 0.33$

類神經波浪推算：
 平均 $\Delta H_{s,p} = 0.98\text{m}$
 平均 $\Delta t_p = 5.04$ 小時
 平均 $\text{RMS} = 0.69\text{m}$
 平均 $R = 0.83$

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}(\text{m})$ 半經驗	$\Delta t_p(\text{hour})$ 半經驗	$\Delta H_{s,p}(\text{m})$ 類神經	$\Delta t_p(\text{hour})$ 類神經
1992	BOBBIE(芭比)	0.7	11	-0.59	16
1994	GLADYS(葛拉絲)	1.45	3	-1.89	-1
1994	TIM(提姆)	4.11	4	-4.22	0
1996	GLORIA(葛琳達)	0.82	12	0.39	5
1996	HERB(賀伯)	4.58	10	-2.45	7
1997	AMBER(安珀)	4.26	5	-3.43	1
1998	ZEB(塞伯)	4.66	4	-1.95	3
2000	BILIS(碧利斯)	3.88	4	-0.63	-1
2000	XANGSANE(象神)	5.3	0	-0.62	-1
2003	KUJIRA(柯吉拉)	-1.25	12	-0.64	-17
2004	AERE(艾利)	3.58	19	0.07	-1
2004	MINDULLE(敏督利)	3.46	0	1.85	-3
2004	NOCK_TEN(納迪)	4.89	2	0.85	-2
2005	HAITANG(海棠)	6.98	-1	0.54	6
2005	LONGWANG(龍王)	4.88	0	-0.6	0
2005	MA TSA(馬莎)	3.19	8	0.56	-10
2005	TALIM(泰利)	7.14	0	0.42	0
2007	KROSA(柯薩莎)	6.2	4	-1.06	1
2007	SEPAI(聖帕)	4.11	-3	-0.28	-3
2007	WIPHA(雲娜)	5.78	5	0.69	5
2008	FUNG_WONG(鳳凰)	-0.88	-1	0.17	0
2008	JANGMI(姜蜜)	8.76	3	1.42	3
2008	SINLAKU(辛樂克)	3.03	12	-0.61	-1

大多高估 部份低估

樣本來源綜合比較

- ◆各場颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$
 以類神經波浪推算模式的表現為佳，平均最大波高誤差僅 0.98m 。
- ◆最大波高發生時間誤差 Δt_p
 兩種樣本來源相差不大，最大誤差值皆約18小時，平均誤差則皆約5小時。
- ◆颱風波浪RMSE
 以類神經波浪推算模式的表現較佳，其平均RMSE約為 0.69m 。
- ◆颱風波浪相關係數R
 以類神經颱風波浪推算結果為佳，其平均相關係數達 0.83 。

極值統計

- 樣本來源—實測波浪資料、ANN颱風波浪推算模式、井島武士
- 樣本長度—1990~2008共19年
- 極值分布函數—Gumbel、GEV、Weibull、lognormal、FT-II
- 極值分布參數推定—MOM、MLM、LSM
- 信賴檢定—MIR、RMSE、ER
- 推估值之標準偏差—Goda(2000)、MLM、Mood et al. (1974)
- 極值分析方法—年最大波高極值推估法、前三大月極值推估法

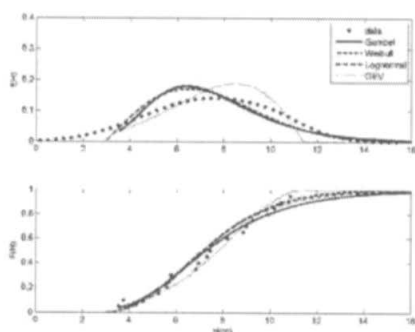
花蓮港實測波高樣本-年最大極值 (1/4)

- 以不同推估法及極值分布所推估出之檢定標準

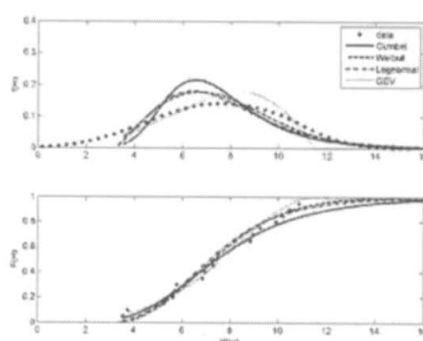
Index	Method	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
MIR	MLE	1.74	0.34	1.11	1.73
	MOM	1.74	62.96	1.11	1.47
	LSM	1.74	0.34	1.11	1.74
RMSE (<i>m</i>)	MLE	0.77	0.37	0.50	0.65
	MOM	0.65	4.07	0.48	0.56
	LSM	0.65	0.31	0.46	0.65
ER (<i>m</i>)	MLE	2.78	0.02	1.13	2.17
	MOM	1.51	6.68	0.84	1.19
	LSM	1.69	0.06	1.15	2.21

花蓮港實測波高樣本-年最大極值 (2/4)

■ 以MLM推估所得之機率密度函數及機率函數



■ 以LSM推估所得之機率密度函數及機率函數



花蓮港實測波高樣本-年最大極值 (3/4)

■ 以MLM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
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
σ_{mlm} (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

花蓮港實測波高樣本-年最大極值 (4/4)

■ 以LSM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	10.39	10.05	10.62	10.87
	25	12.00	10.61	11.97	12.66
	50	13.20	10.87	12.86	13.97
	100	14.40	11.05	13.67	15.27
σ_{lsm} (m)	10	1.05	0.82	1.00	0.70
	25	1.41	0.90	1.21	0.83
	50	1.69	0.94	1.35	0.92
	100	1.96	0.98	1.48	1.01

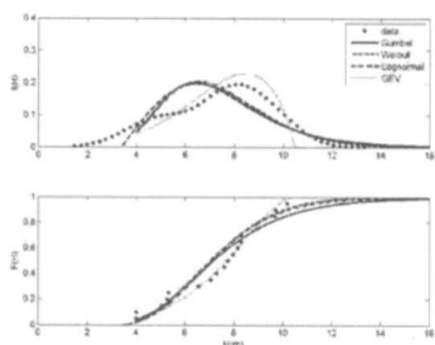
花蓮港Ann颱風波浪推算樣本-年最大極值 (1/4)

■ 以不同推估法及極值分布所推估出之檢定標準

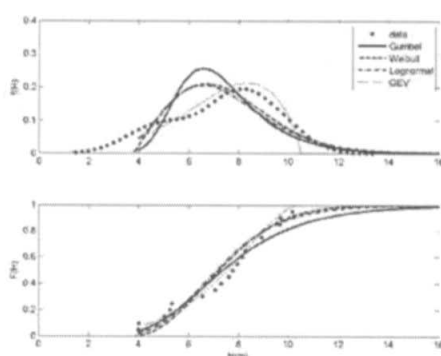
Index	Method	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
MIR	MLE	1.96	0.18	1.30	2.84
	MOM	1.96	63.12	1.30	2.09
	LSM	1.96	0.18	1.30	2.80
RMSE (m)	MLE	1.41	0.52	0.93	1.60
	MOM	1.15	6.83	0.86	1.11
	LSM	1.15	0.38	0.84	1.55
ER (m)	MLE	4.95	0.07	1.06	5.47
	MOM	2.52	11.14	1.40	2.18
	LSM	2.78	0.03	1.89	5.22

花蓮港Ann颱風波浪推算樣本-年最大極值(2/4)

■ 以MLM推估所得之機率密度函數及機率函數



■ 以LSM推估所得之機率密度函數及機率函數



花蓮港Ann颱風波浪推算樣本-年最大極值(3/4)

■ 以MLM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
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
σ_{mlm} (m)	10	0.96	0.28	0.77	0.93
	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

花蓮港Ann颱風波浪推算樣本-年最大極值(4/4)

■ 以LSM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	9.80	9.51	10.02	10.22
	25	11.16	9.92	11.15	11.67
	50	12.17	10.11	11.90	12.71
	100	13.17	10.23	12.59	13.73
σ_{ism} (m)	10	0.90	0.68	0.86	0.60
	25	1.21	0.74	1.03	0.72
	50	1.45	0.77	1.16	0.80
	100	1.69	0.79	1.28	0.88

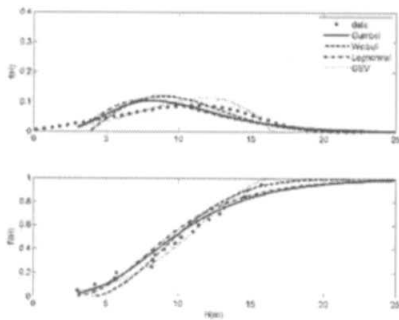
花蓮港井島武士推算樣本-年最大極值(1/4)

■ 以不同推估法及極值分布所推估出之檢定標準

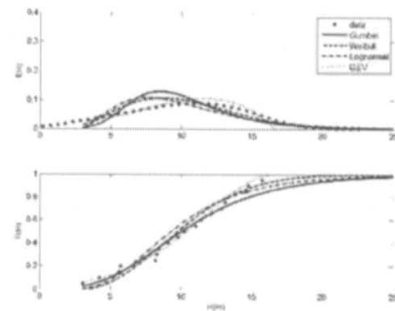
Index	Method	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
MIR	MLE	1.96	0.18	1.30	2.84
	MOM	1.96	63.11	1.30	2.09
	LSM	1.96	0.18	1.30	2.80
RMSE (m)	MLE	1.41	0.52	0.93	1.60
	MOM	1.15	6.83	0.86	1.11
	LSM	1.14	0.38	0.84	1.54
ER (m)	MLE	4.95	0.07	1.06	5.47
	MOM	2.52	11.14	1.40	2.18
	LSM	2.78	0.03	1.89	5.53

花蓮港井島武士推算樣本-年最大極值 (2/4)

■ 以MLM推估所得之機率密度函數及機率函數



■ 以LSM推估所得之機率密度函數及機率函數



花蓮港井島武士推算樣本-年最大極值 (3/4)

■ 以MLM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	16.21	14.37	14.75	14.48
	25	19.56	15.20	16.73	20.32
	50	22.05	15.60	18.06	23.26
	100	24.52	15.86	19.27	26.28
σ_{mlm} (m)	10	1.83	0.62	1.24	2.32
	25	2.36	0.58	1.47	3.40
	50	2.76	0.66	1.63	4.32
	100	3.16	0.77	1.77	5.34

花蓮港井島武士推算樣本-年最大極值 (4/4)

■ 以LSM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
x_R (m)	10	14.91	14.37	15.32	16.35
	25	17.61	15.27	17.56	20.10
	50	19.61	15.69	19.05	22.97
	100	21.60	15.97	20.41	25.90
σ_{ISM} (m)	10	1.75	1.36	1.67	1.18
	25	2.37	1.50	2.03	1.4
	50	2.83	1.57	2.27	1.56
	100	3.30	1.61	2.49	1.71

前三大月極值機率分布

$$F_H(x_1) = F(x_1)^{1/m}$$

$$F_H(x_2) = m(m-1)B_{FH(x_2)}(m-1,2)$$

$$F_H(x_3) = \frac{1}{2}m(m-1)(m-2)B_{FH(x_3)}(m-2,3)$$

$$f_H(x_1) = \frac{1}{m}F(x_1)^{(1/m-1)}f(x_1)$$

$$f_H(x_2) = (m-1)(F(x_2)^{-1/m} - 1)f(x_2)$$

$$f_H(x_3) = \frac{1}{2}(m-1)(m-2)(F(x_3)^{-2/m} - 2F(x_3)^{-1/m} + 1)f(x_3)$$



前三大月極值機率分布

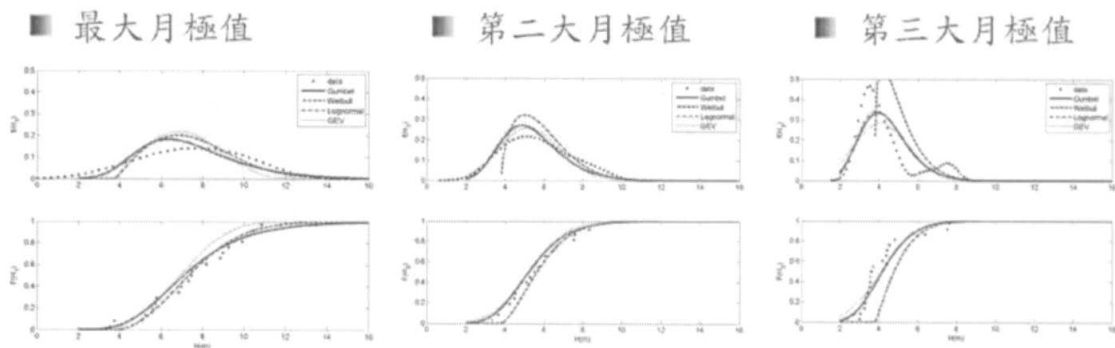
$$f_H(x_1, x_2, x_3) = m(m-1)(m-2)$$

$$F_H(x_3)^{m-3} f_H(x_1) f_H(x_2) f_H(x_3)$$

$$l(p_1, p_2, p_3) = \sum_{i=1}^n (m-3) \ln F_H(x_3) + \ln f_H(x_1) \\ + \ln f_H(x_2) + \ln f_H(x_3)$$



花蓮港實測波高樣本-前三大月極值 (1/2)



花蓮港實測波高樣本-前三大月極值 (2/2)

■ 以MLM推估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)		0.74	0.73	0.53	0.66
ER(m)		2.55	0.40	0.61	2.16
$x_T(m)$	10	10.86	9.27	10.25	10.80
	25	12.76	10.07	11.42	12.61
	50	14.18	10.55	12.21	13.93
	100	15.58	10.94	12.92	15.23
$\sigma_{mlm}(m)$	10	0.89	0.40	0.43	1.17
	25	1.11	0.44	0.52	1.58
	50	1.28	0.53	0.58	1.85
	100	1.44	0.65	0.63	2.15

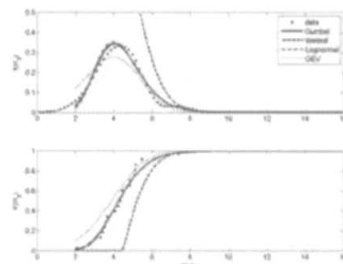
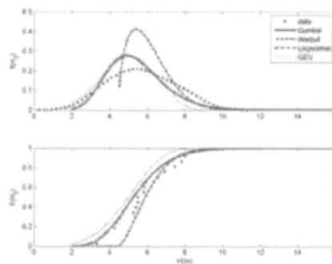
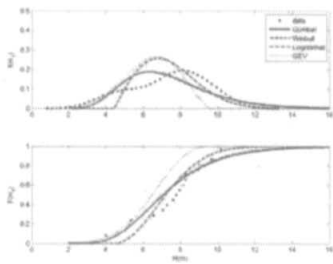


花蓮港Ann颱風推算波高樣本-前三大月極值 (1/2)

■ 最大月極值

■ 第二大月極值

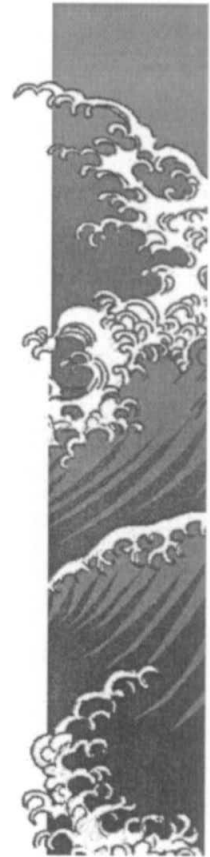
■ 第三大月極值



花蓮港Ann颱風推算波高樣本-前三大月極值 (2/2)

■ 以MLM推估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)		0.91	1.07	0.63	0.77
ER(m)		3.04	1.27	0.27	2.38
$x_R(m)$	10	10.74	8.18	9.49	10.52
	25	12.59	8.65	10.41	12.17
	50	13.96	8.90	11.03	13.39
	100	15.32	9.08	11.58	14.58
$\sigma_{mm}(m)$	10	0.84	0.25	0.32	0.59
	25	1.04	0.25	0.38	0.75
	50	1.20	0.30	0.43	0.87
	100	1.35	0.40	0.46	0.99

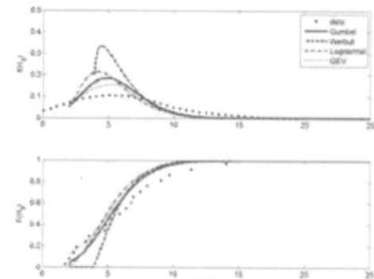
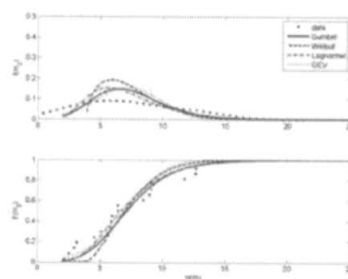
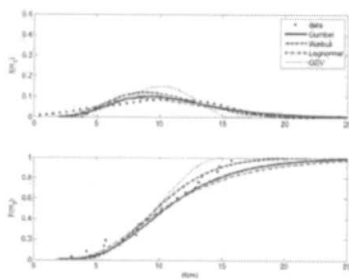


花蓮港井島武士樣本-前三大月極值 (1/2)

■ 最大月極值

■ 第二大月極值

■ 第三大月極值



花蓮港井島武士樣本-前三大月極值 (1/2)

■ 以MLM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

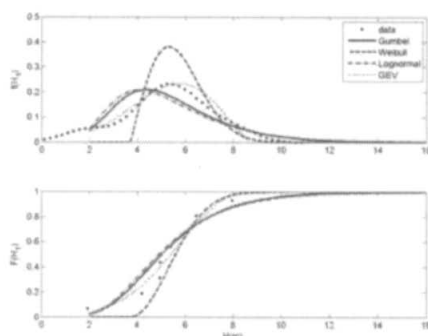
Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		1.89	1.21	0.93	2.56
ER(m)		6.32	1.58	1.06	8.86
$x_T(m)$	10	17.42	12.86	14.75	18.90
	25	20.89	13.71	16.74	23.53
	50	23.46	14.16	18.06	27.10
	100	26.01	14.49	19.27	30.78
$\sigma_{mlm}(m)$	10	1.54	0.60	0.63	9.10
	25	1.92	0.43	0.76	12.60
	50	2.20	0.35	0.84	15.47
	100	2.48	0.33	0.92	18.53

高雄港年最大極值實測波高樣本

■ 以MLM推估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
$x_T(m)$	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
$\sigma_{mlm}(m)$	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

■ 機率密度函數及機率函數

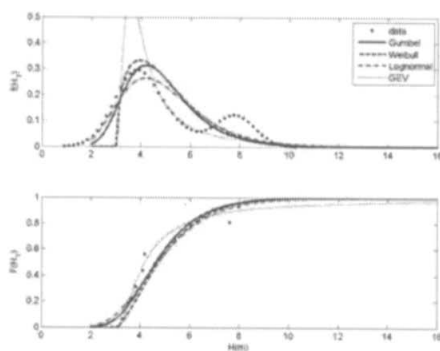


高雄港半經驗波浪推算波高年最大極值 樣本(2001至2008年)

■ 以MLM推估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	0.77	0.71	0.58
ER(m)		0.65	0.18	0.87	0.26
$x_A(m)$	10	6.86	7.32	7.06	7.31
	25	7.97	13.86	8.14	8.58
	50	8.80	19.34	8.90	9.52
	100	9.62	29.82	9.63	10.45
$\sigma_{mls}(m)$	10	1.03	3.60	1.02	1.25
	25	1.35	10.98	1.32	1.76
	50	1.59	23.50	1.52	2.18
	100	1.84	47.77	1.72	2.62

■ 機率密度函數及機率函數

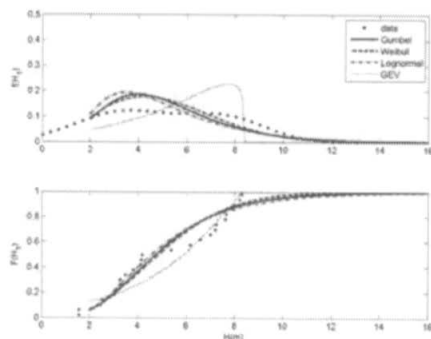


高雄港半經驗波浪推算波高年最大極值 樣本(1984至2008年)

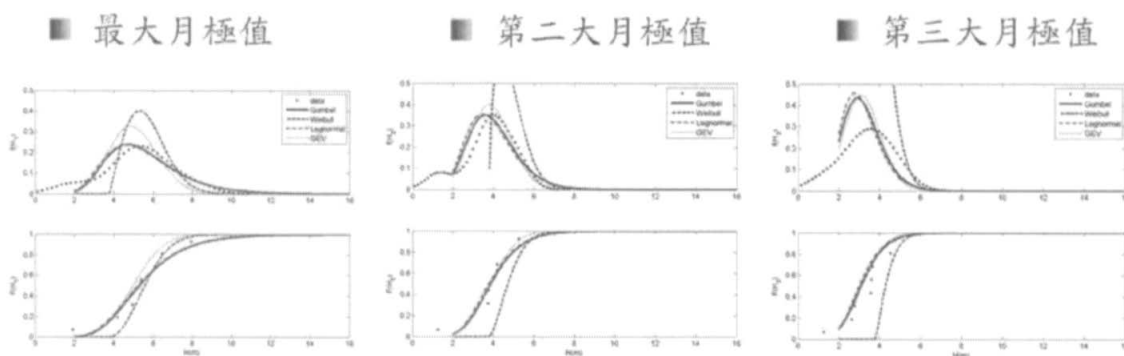
■ 以MLM推估之各重現期波高及其推算標準偏差

Index	T(yr)	Gumbel	G.E.V.	Weibull	LogN
RMSE(m)		0.90	0.94	0.66	1.10
ER(m)		3.18	0.02	1.39	4.24
$x_A(m)$	10	8.45	7.85	8.17	8.24
	25	10.31	8.12	9.50	11.23
	50	11.70	8.22	10.39	13.13
	100	13.08	8.27	11.20	15.11
$\sigma_{mls}(m)$	10	0.92	0.25	0.75	1.24
	25	1.20	0.12	0.91	1.88
	50	1.40	0.09	1.01	2.43
	100	1.61	0.10	1.11	3.06

■ 機率密度函數及機率函數



高雄港實測波高樣本-前三大月極值



高雄港實測波高樣本-前三大月極值

■ 以MLM推估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	0.69	0.97	0.57
ER(m)		0.87	0.98	0.84	0.60
$x_T(m)$	10	8.22	6.60	7.03	8.11
	25	9.68	7.19	7.63	9.54
	50	10.77	7.55	8.02	10.59
	100	11.85	7.86	8.38	11.63
$\sigma_{m/m}(m)$	10	0.97	0.42	0.38	1.87
	25	1.19	0.47	0.45	2.45
	50	1.36	0.53	0.50	2.89
	100	1.54	0.61	0.55	3.35

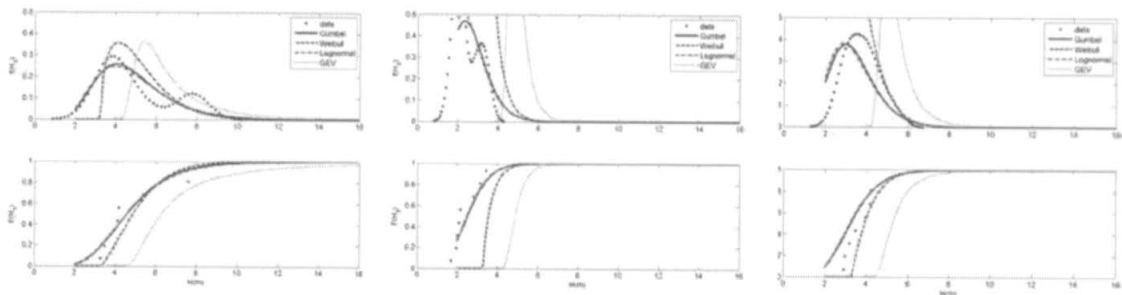


高雄港半經驗颱風波浪模式推算波高 (2001-2008)樣本-前三大月極值

■ 最大月極值

■ 第二大月極值

■ 第三大月極值



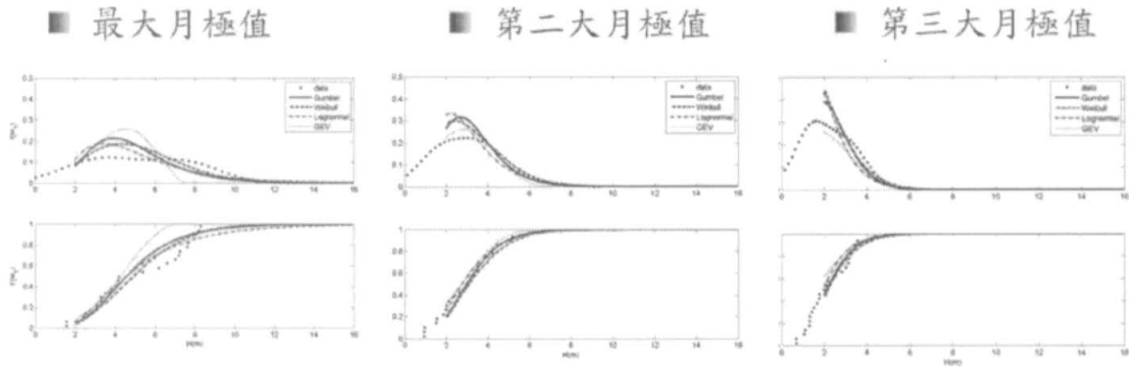
高雄港半經驗颱風波浪模式推算波高 (2001-2008)樣本-前三大月極值

■ 以MLM推估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)		0.58	1.82	0.77	0.56
ER(m)		0.15	2.67	0.93	0.08
$x_R(m)$	10	7.26	10.43	7.01	7.43
	25	8.61	14.53	8.02	8.88
	50	9.62	19.08	8.72	9.97
	100	10.62	25.46	9.40	11.05
$\sigma_{lim}(m)$	10	0.98	1.52	0.57	1.47
	25	1.22	3.04	0.73	1.98
	50	1.41	4.67	0.84	2.39
	100	1.59	6.82	0.95	2.81



高雄港半經驗颱風波浪模式推算波高 (1984-2008)樣本-前三大月極值



高雄港半經驗颱風波浪模式推算波高 (1984-2008)樣本-前三大月極值

■ 以MLM推估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)		0.87	1.31	0.68	1.19
ER(m)		2.13	1.48	1.39	4.69
$x_T(m)$	10	7.79	6.03	8.05	9.03
	25	9.41	6.49	9.32	11.59
	50	10.62	6.74	10.16	13.62
	100	11.81	6.92	10.93	15.75
$\sigma_{min}(m)$	10	0.65	0.77	0.43	1.34
	25	0.81	0.60	0.51	1.97
	50	0.93	0.47	0.57	2.51
	100	1.05	0.35	0.62	3.09



高雄港類神經颱風波浪推算模式之初步建構

■ 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)	路徑分級
2001	CIMARON	西風隆	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	娜克利	3.74	9
2002	SINLAKE	辛樂克	0.91	1
2003	KULRA	柯吉拉	0.98	--
2003	NANGKA	南卡	2.57	--
2003	SOUDELOR	蘇迪勒	2.16	--
2003	IMBUDO	伊布都	4.16	--
2003	MORAKOT	莫拉克	3.21	4
2003	KROVANH	柯羅旺	3.57	--
2003	DUJUAN	杜鰲	4.96	5
2003	MELOR	米勒	1.42	8
2004	CONSON	康森	2.13	--
2004	MINDULE	敏督利	4.94	6
2004	KOMPASU	康帕斯	1.58	--
2004	RANANIM	蘭寧	2.32	--
2004	AERE	艾利	3.09	1
2004	HAIMA	海馬	3.08	6
2004	MEARI	米婁	1.45	--

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大波高(m)	路徑分級
2004	HOCK_TEN	納坦	1.88	6
2004	NANMADOL	南瑪都	4.06	9
2005	HAI TANG	海棠	6.46	3
2005	MATSA	馬莎	3.13	1
2005	SANVU	珊珊	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	森帕	1.98	1
2007	KROSA	柯羅莎	4.18	2
2007	MITAG	米塔	1.83	--
2008	KALMAEGI	卡歐基	3.05	2
2008	FUNG_WONG	鳳凰	5.27	3
2008	NURI	如蓮	6.12	--
2008	SINLAKE	辛樂克	3.53	2
2008	HAGUFT	哈格比	3.53	--
2008	JANGMI	姜薺	3.51	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，故本研究初步僅選擇對具有完整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。

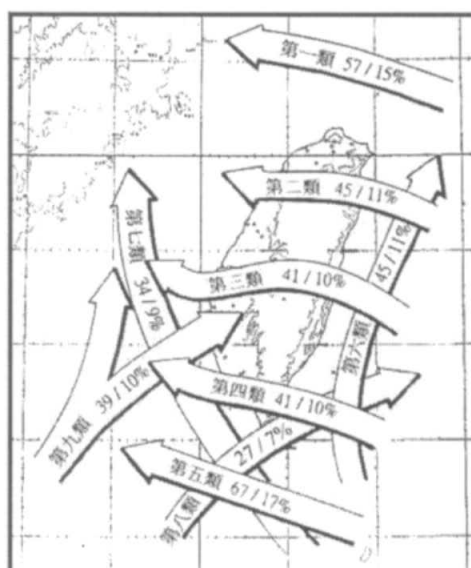
民國15年至民國85年颱風侵襲臺灣各月次數

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10%。而且大部分颱風皆為由東向西行進佔63%，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。



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：直撲(10%)，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初步建構

■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

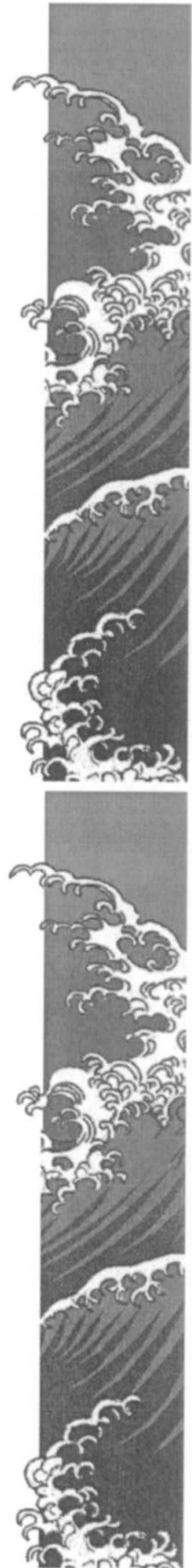
■輸入層：

(1)RVM風場模式風速空間向量

(2)陸地效應轉換函數與颱風結構轉換函數

(3)目標點風向轉換函數。

■輸入層延時機制：會造成湧浪的直撲颱風不多，但仍須考慮



模式改善方案

方案I：應用能考慮到地形效應的風場模式

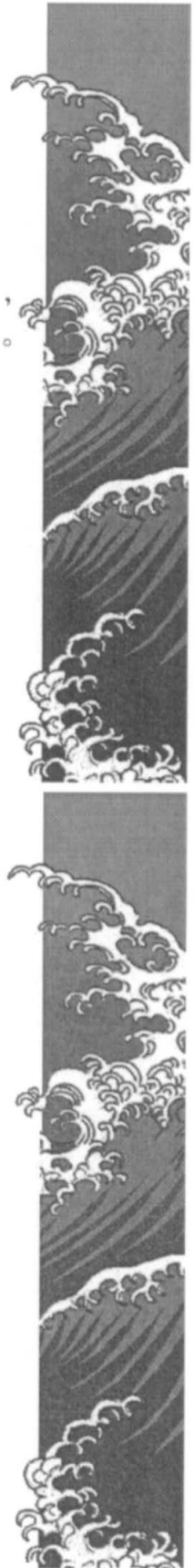
目前所採用的RVM風場模式對於地形效應的影響並無法作準確的估算，故可考慮應用NOAA推算的NCEP風場來進行波浪推算，該模式雖為大尺度的格網控制，但有考慮到颱風風場經過中央山脈等的影響與變化。此外，WRF中尺度天氣預報系統也可透過輸入NCEP風場以及衛星風場來進行空間解析度的提升。

方案II：加入高雄港周邊其他測站資料作參考

目前以波浪資料較少的狀況下，可考慮將安平港的實測波浪資料亦納入模式的輸出層，以鄰近點的大量的波浪資料來進行模式的訓練，或考慮先分析安平港與高雄港間波浪特性，再進行模式的建構。

結論(1/5)

- 本研究以3種推估4種極值分布方法於花蓮及高雄之年最大值與前3大月極值樣本之各重現期推估值，資料來源以實測，半經驗颱風波浪推算模式推算及類神經波浪推算模式3種方法，其中高雄港類神經波浪推算模式目前僅初步建立。檢定模式優劣指標以Goda (2001)所提之MIR、RMSE及最大極值之誤差三種，經由分析討論後本研究之重要結論如下



結論(2/5)

花蓮港之極值分析

- 以LSM或MLM方法來推估波高之極值內之參數是比MOM法洽當。
- 以花蓮港實測19年之年最大值波高為樣本，以MLM及LSM推估參數法於Weibull分布最適合於此樣本之機率分布。以MLM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。
- 以颱風波浪類神經推算模式計算花蓮港19年之每年最大值波高為樣本，此樣本平均約小於實測樣本，以Weibull分布來描述此樣本機率及推估各重現期波高亦是較合適的。以MLM推估Weibull分布之50年重現期波高為12.05m，若考慮95%信賴度，此值應落於9.99-14.11m之間。
- 以半經驗颱風波浪推算模式推算花蓮港19年之每年最大波高值當樣本，以Gumbel分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。因若在95%信賴度下，此推算值應在 $9.62 \pm 1.96 \times 1.41$ m之間，即6.86-12.38m。

結論(3/5)

- 將在1990至2008年間實測花蓮港海域之每年前3大月極值波高為樣本，以Gumbel及Lognormal分布較接近於最大及第2大之樣本機率，而Gumbel及Weibull分布較接近於之第3大樣本機率密度分布。此外，實測資料、類神經波浪推算模式以及半經驗颱風波浪推算模式之波高皆以Weibull分布來推估各重現期之波高較適合。以Weibull分布推算50年重現期之波高在95%信賴度下，推算值分別為11.07-13.34m、10.19-11.87m以及16.41-19.71m。
- 整體而言，考慮前3大月極值波高及年最大波高，以Weibull分布推估3種資料來源都是最合適，其次合適的分布為Gumbel及Lognormal分布。



結論(4/5)

高雄港之極值分析

- 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MLM推估GEV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。
- 以半經驗颱風波浪推算模式推算8年之每年最大波高值當樣本，整體而言，以Gumbel及Weibull分布適合來推估各重現期之波高。若以Gumbel分布推算50年重現期之波高 m ，若在95%信賴度下，此推算值應在 $8.80 \pm 1.96 \times 1.59m$ ，即5.68-11.92m。
- 以實測數據之前3大月極值波高當樣本，整體而言，以Gumbel分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。以Gumbel分布推算50年重現期之波高，若在95%信賴度下，此推算值應在6.86-12.38m。以Gumbel分布推估前3大月極值樣本之50年重現期波高比年最大值樣本推估值大0.82m，而推估值標準偏量年前3大月極值樣本較年最大值樣本小。

結論(5/5)

- 以半經驗颱風波浪推算模式推算8年之前3大月極值波高當樣本，整體而言，以Gumbel分布較適合來推估此種樣本之各重現期波高。因此Gumbel分布推算50年重現期之波高，若在95%信賴度下，此推算值應在 $9.62 \pm 1.96 \times 1.41m$ 之間，即6.86-12.38m。以Gumbel分布推估前3大月極值樣本之50年重現期波高比年最大值樣本推估值大0.82m，而推估值標準偏量年前3大月極值樣本較年最大值樣本小。
- 若比較半經驗颱風波浪推算模式推算8年及25年之波高樣本年，以50年重現期之波高而言，若以相同較佳分布推估第三種樣本及第二種樣本發現，三種樣本所得亦高出第二種樣本所得約1.4m。但第三種樣本之 σ_{mm} 還是比第二種樣本者低。



報告完畢
敬請指正

