



RRPG92040624 (105 .P)

93-32-781
MOTC-IOT-92-H2-BB02

台灣港灣地區颱風波浪推算 之應用研究(二)



交通部運輸研究所
國立交通大學
合作辦理
中華民國九十三年三月

93-32-781

MOTC-IOT-92-H2-BB02

台灣港灣地區颱風波浪推算 之應用研究(二)

著者：張憲國、錢維安、何良勝、林受勳

交通部運輸研究所
國立交通大學
合作辦理

中華民國九十三年三月

台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(二)

著 者：張憲國、錢維安、何良勝、林受勳

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.iot.gov.tw/chinese/lib/lib.htm

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十三年三月

印 刷 者：昆毅彩色製版股份有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 130 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

GPN：1009300790

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：台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究（二）			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 1009300790	運輸研究所出版品編號 93-32-781	計畫編號 92-H2-BB02
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：林受勳 聯絡電話：04-26583121 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：錢維安、陳蔚璋、黃臻瑜 地址：新竹市大學路1001號 聯絡電話：03-5712121#54933	
研究期間 自 92 年 2 月 至 92 年 12 月			
關鍵詞：颱風波浪、類神經網路、波浪預報；			
摘要： 本研究應用類神經網路與模糊理論建立颱風波浪預報模式，輸入本模式之風場資料則由Holland 颱風波浪風場模式計算所得，該風場目前最常被波浪模式所使用。本模式能快速及正確的計算颱風波浪，以提供更佳的資訊予海岸防災系統，並做為預防或減低人員的生命安全和財產損害。本研究收集台灣三個港口的颱風波浪資料，分別為花蓮港、蘇澳港及基隆港，由上述之波浪資料及其所對應之颱風，本文將以颱風路徑、規模及所受之陸地效應分類，並以神經網路建立起颱風波浪及對應之風場資料的自適應的連結。本文所提出的預報模式在網路學習及測試颱風波浪上有較好的計算結果，並證實本模式能應用於未來的颱風波浪之計算。本文已建立完成之模式也可延伸計算相鄰近地點之颱風波浪並有較好的結果。因此，本文之颱風預報模式能夠應用在台灣東部之海岸防災。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
93年3月	122	100	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"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密【限】條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <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: Typhoon Wave Calculation Model around Harbors of Taiwan (II)			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009300790	IOT SERIAL NUMBER 93-32-781	PROJECT NUMBER 92-H2-BB02
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Lin Shou-Shiun PHONE: (04) 26583121 FAX: (04) 26560661			PROJECT PERIOD FROM 02/2003 TO 12/2003
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Chien Wei-An, Chen Wei-Wei, Huang Zen-Yu ADDRESS: 1001 Ta Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan 300, ROC PHONE: 886-3-571-2121#54933			
KEY WORDS: Typhoon Waves ; Neural Network ; Wave Prediction ;			
ABSTRACT: <p style="text-align: justify;">The project presents a typhoon wave model using neural network and fuzzy theory. Input winds obtained by popular Holland typhoon wind model are used in the present wave model. Fast and accurate calculation on typhoon waves by the present model provides good information for a coastal warning system to prevent or decrease from possible life loss and property damage. We assemble wave data at Hwa-lien Harbor, Su-Au Harbor and Kee-lung Harbor. The wind data are classified into some groups by paths, scales, and land effect. An auto-adapting connection between typhoon waves and corresponding wind data is established by using neural network. The proposed model is useful in calculating typhoon waves in both learning stage and verification stage. The outcomes indicate that the wave model can be applied to future practical calculation. We extend the proposed model to a neighboring point and find that the model also provides good calculation on waves at that point, even used the ready wave model established for other point. The present model can be applied to the eastern waters of Taiwan.</p>			
DATE OF PUBLICATION March 2004	NUMBER OF PAGES 122	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

中文摘要	I
英文摘要	II
圖目錄	IV
表目錄	VII
第一章 前言	1-1
1.1 計畫目的	1-2
1.2 期末研究工作項目	1-2
1.3 歷年相關計畫比較	1-3
1.4 本年度期末研究計畫	1-4
第二章 颱風結構與颱風模型	2-1
2.1 颱風結構	2-1
2.2 颱風風場模式	2-4
第三章 颱風波浪推算模式	3-1
3.1 颱風波浪推算模式分析	3-1
3.2 類神經網路推算模式架構	3-5
第四章 颱風波浪推算模式的建構	4-1
4.1 資料說明	4-1
4.2 花蓮港海域颱風波浪推算模式學習能力的測試	4-6
4.3 花蓮港海域颱風波浪推算模式的推算能力測試	4-11
4.4 基隆港海域颱風波浪推算模式學習能力的測試	4-19
4.5 基隆港海域颱風波浪推算模式的推算能力測試	4-20
4.6 花蓮港颱風波浪推算模式的對成功港推算能力測試	4-21
第五章 結論	5-1
參考文獻	6-1
附錄一 倒傳遞類神經網路學習演算法	A-1
附錄二 模糊理論	B-1
附錄三 颱風波浪歷線比較	C-1
期中會議記錄	D-1
期末會議記錄	E-1
期末簡報資料	F-1

圖目錄

圖 2-1 颱風結構表示圖 (摘自：科學發展月刊)	2-2
圖 2-2 KMA 亞洲區域 925 hPa 壓力場分佈	2-4
圖 3-1 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖	3-2
圖 3-2 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖	3-4
圖 3-3 颱風運動參數符號說明	3-8
圖 3-4 花蓮港陸地模糊區分圖	3-12
圖 3-5 基隆港陸地模糊區分圖	3-12
圖 3-6 花蓮港陸地模糊歸屬函數圖	3-13
圖 3-7 基隆港陸地模糊歸屬函數圖	3-13
圖 3-8 花蓮港風向模糊歸屬函數圖	3-14
圖 3-9 基隆港風向模糊歸屬函數圖	3-14
圖 3-10 類神經網路模式架構	3-15
圖 3-11 颱風波浪類神經網路模式操作流程	3-16
圖 4-1 花蓮及蘇澳測站相關位置	4-1
圖 4-2 類神經颱風波浪推算模式學習資料颱風路徑圖	4-2
圖 4-3 檢驗類神經颱風波浪推算模式颱風路徑圖	4-3
圖 4-4 颱風距離與觀測站示性波高關係	4-5
圖 4-5 颱風距離與觀測站波浪示性週期關係	4-5
圖 4-6 以颱風波浪推算模式 Model 1 的波高學習結果與實測值之 比較	4-8
圖 4-7 以颱風波浪推算模式 Model 1 的週期學習結果與實測值之 比較	4-8
圖 4-8 以颱風波浪推算模式 Model 2 的波高學習結果與實測值之 比較	4-9
圖 4-9 以颱風波浪推算模式 Model 2 的週期學習結果與實測值之 比較	4-9
圖 4-10 以颱風波浪推算模式 Model 3 的波高學習結果與實測值 之比較	4-10
圖 4-11 以颱風波浪推算模式 Model 3 的週期學習結果與實測值 之比較	4-10
圖 4-12 Tim 颱風的移動路徑	4-11
圖 4-13 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Tim 颱風波	

高與實測值之比較	4-12
圖 4-14 Fred 颱風移動路徑	4-13
圖 4-15 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Fred 颱風波 高與實測值之比較	4-13
圖 4-14 Kent 颱風的移動路徑	4-15
圖 4-17 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Kent 颱風波 高與實測值之比較	4-15
圖 4-18 Haiyan 颱風的移動路徑	4-16
圖 4-19 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Haiyan 颱風 波高與實測值之比較	4-16
圖 4-20 Maggie 颱風的移動路徑	4-18
圖 4-21 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算蘇澳港 Maggie 颱風 波高與實測值之比較	4-18
圖 4-22 颱風波浪推算模式波高學習結果與實測值之比較	4-19
圖 4-23 颱風波浪推算模式波高學習結果與實測值之比較	4-20
圖 4-24 基隆港 Haiyan 颱風波高與實測值之比較	4-21
圖 4-25 花蓮模式預測花蓮及成功 HAIYAN 颱風預測結果	4-22
圖 4-26 花蓮模式預測蘇澳及成功 MAGGIE 颱風結果	4-22
附圖 2-1 以步階函數描述四季的歸屬函數	B-2
附圖 2-2 以高斯函數描述四季的歸屬函數	B-2
附圖 2-3 一般常用的歸屬函數	B-3
附圖 2-4 模糊邏輯運算真值表	B-3
附圖 2-5 二個輸入函數經過最大值法則的模糊化結果示意圖	B-4
附圖 2-6 模糊網路結構示意圖	B-4
附圖 2-7 重心法解模糊化示意圖	B-4
附圖 2-8 模糊網路的操作流程示意圖	B-5
附圖 3-1 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Jelawat(2000)颱風 波高與實測值之比較	C-1
附圖 3-2 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Jelawat(2000)颱風 週期與實測值之比較	C-1
附圖 3-3 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bopha(2000)颱風 波高與實測值之比較	C-2
附圖 3-4 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bopha(2000)颱風 週期與實測值之比較	C-2

附圖 3-5 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Yagi(2000)颱風波 高與實測值之比較	C-3
附圖 3-6 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Yagi(2000)颱風波 週期與實測值之比較	C-3
附圖 3-7 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Sam(1999)颱風波 高與實測值之比較	C-4
附圖 3-8 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Sam(1999)颱風週 期與實測值之比較	C-4
附圖 3-9 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Otto(1998)颱風波 高與實測值之比較	C-5
附圖 3-10 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Otto(1998)颱風週 期與實測值之比較	C-5
附圖 3-11 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Levi(1997)颱風波 高與實測值之比較	C-6
附圖 3-12 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Levi(1997)颱風週 期與實測值之比較	C-6
附圖 3-13 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Opal(1997)颱風 波高與實測值之比較	C-7
附圖 3-14 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Opal(1997)颱風 週期與實測值之比較	C-7
附圖 3-15 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Peter(1997)颱風 波高與實測值之比較	C-8
附圖 3-16 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Peter(1997)颱風 週期與實測值之比較	C-8
附圖 3-17 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bilis(2000)颱風波 高與實測值之比較	C-9
附圖 3-18 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bilis(2000)颱風波 高與實測值之比較	C-9

表目錄

表 3-1 以 Saffir Simpson 標準推估示性波高與週期(SPM, 2002)	3-4
表 4-1 颱風波浪推算模式花蓮測站颱風與波浪學習資料.....	4-2
表 4-2 颱風波浪推算模式對花蓮、蘇澳、基隆測站颱風波浪測試 資料.....	4-3
表 4-3 Model 1、Model 2 及 Model 3 預測四場颱風之比較....	4-17
表 4-4 颱風波浪推算模式基隆測站颱風與波浪學習資料.....	4-19

第一章 前言

台灣的經濟及貿易發展與航運有著密不可分的關係，而港灣內部靜穩的程度關係到船隻碇泊與貨物裝卸的作業，多變的環境現象為港灣內安定的主要影響變數之一。台灣的地理位置正處於颱風發生及主要行進的區域，海上的颱風在強風作用下伴隨颱風波浪及暴潮，其中颱風波浪的波浪作用力在颱風波浪接近陸地時，對近岸環境、近岸設備及沿岸結構物產生直接且嚴重的毀損更是破壞港灣的重要因素，同時也對航運交通及漁業有直接的威脅及影響。為了防範災害的發生當前許多的研究人員正從事颱風波浪推算的技術研究及颱風波浪推算模式的建立。

對颱風所產生的波浪可藉由推算波浪的計算模式提供波浪預警的波浪大小及到達時間，使人有較充裕時間來處理及應變必需的措施，以降低可能的損失。此種預警模式的預測是減少港灣及港內船隻損失的有效方法。然而建立一個世界各地通用的颱風波浪推算模式是相當困難的，主要有 1. 颱風結構變化、模擬及量測困難，2. 颱風風場生成波浪的作用機制複雜無法完全解析，3. 波浪複雜的傳遞與交互作用，包括：波波作用、波浪與海流的作用、波浪與地理環境交互作用等。對於颱風風場波浪推算的方法有採用示性波參數經驗模式，主要的有 Bretschneider (1976)、Young (1988b)，還有，在電腦計算能力大幅提昇的優勢下，基於能量平衡方程式，利用數值運算的方式可以進行較大區域的波浪推算或預報，如 SWAMP (1985)、WAMDI (1988)、Young (1988a)、SWAN (1996)、Tolman et al. (1997) 等。

目前發展的颱風波浪計算方法推估颱風波浪的方法多採用經驗公式配合現場資料分析，以迴歸或數值模擬方式計算及修正。然而，此兩種方法對於中小尺度的地理位置差異並無法充分反應，所以本次計畫將延續『台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究(一)』的成果，進一步建立一個更準確且以台灣港灣為主的颱風波浪推算模式藉以提高預測能力以及擴大推算範圍，提供相關單位來預測颱風波浪，而能提高預警防災的能力。

1.1 計畫目的

本計畫的主要目的是利用運輸研究所港灣技術研究中心所收集之歷年氣象及海象資料，包括花蓮、蘇澳、台北、安平等測站的波浪資料，進行分類與分析，並藉由初步的分析瞭解颱風波浪與氣象上的差異。

由於目前颱風波浪數值推算分析的方法大多無法直接應用在台灣沿岸。本計畫主要建立一個符合區域特性的颱風波浪推算模式，藉由過去模式發展的經驗，今年將能大幅提昇波浪算的準確性，有效增加預警的能力，而採用模糊理論及類神經網路為主要架構，利用模糊理論及類神經網路能夠處理非線性關係的優點，由分析颱風波浪、颱風波高、颱風週期、氣象及地理環境的關係特性輸入颱風推算模式，建立颱風與波浪的關係。本颱風波浪推算模式以港灣內設置的波浪觀測站的及時波浪資料，連結至颱風波浪推算模式，以減少運算的時間，達到及時推算颱風波浪，提高預警的效果。

本研究目標是利用原颱風波浪推算模式的類神經網路建構的計算核心進行結構及功能上的調整，由於『台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究（一）』發展的計算方式是將颱風結構及規模合併於波浪推算模式內，在颱風及波浪資料有限的情形下將影響類神經網路學習的結果，因此本研究計畫的研究重點在於提高颱風波浪推算模式應用的推算準確性以及模式應用範圍。

1.2 期末研究工作項目

本計畫為發展各港灣的颱風波浪推算模式，主要的工作項目細分為：

1. 整理分析港研中心現有海域颱風波浪資料的特性。
2. 整理往昔侵襲台灣颱風之氣象資料的特性。
3. 建立颱風特性與颱風波浪特性之關係。
4. 陸地遮蔽與颱風波浪之關係

5. 修正颱風推算模式。
6. 驗證應用推算模式。

1.3 歷年相關計畫比較

(1) 台灣東部波浪預警系統之應用研究—港外波浪動態特性 (2000)

第一階段建構的颱風波浪推算模式，係採用類神經網路將學習颱風資料在類神經網路結構的輸入、隱藏、輸出各一層的學習效果並考慮計算快速及準確性的要求，經推算模式的測試結果發現對於學習的資料有良好模擬效果，但是對於未學習過的颱風資料則推算誤差較大，此為沒有考慮颱風運動與波浪延時的關係，因此學習及推算能力便無法進一步的提升。

第二階段為了要能提高波浪資料的利用程度以及依照颱風進行路徑的區別，分別建立了串聯及並聯類神經架構的兩個推算模式，並同時考慮 1 個小時波浪延時的效應。由結果發現此兩種模式除了可提高波浪推算的能力，對於相似路徑及規模相仿的颱風具有較高推算的能力，但對於未學習過的颱風，推算的颱風波浪還有較大的誤差。

(2) 台灣地區波浪預警系統之應用研究 (2001)

第一階段採用「台灣東部波浪預警系統之應用研究」的研究結果，延續 2000 年推算模式的主架構外，嘗試使用 20 小時的延時資料，目的在提高類神經網路對於颱風路徑及颱風規模的記憶力，希望增加推算模式對於颱風型態的區別能力，以提高波浪推算能力，由測試的結果發現雖然此模式的推算能力比 2000 模式增加，但是對於颱風基本特性的區分仍然難令人滿意。

第二階段則利用模糊網路建立颱風波浪資料與颱風運動的模糊邏輯關係，將颱風運動型態進行分類，再配合 6 個小時的延時輸入的類神經網路組成一個完整模組化的學習模式，利用波浪及颱風資料來增加模式的記憶及判斷能力。此計畫提出模組化的學習模式，可以隨時加入不同型態的颱風或波浪資料當作資料庫，而能提供推算模式運

算的參考，增加推算不同型態颱風之颱風波浪的能力。

(3) 台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究 (I) (2002)

延續往昔的研究成果，今年的颱風波浪推算模式主要結構是混和 (blend) 模糊理論及類神經網路，推算模式的重點為滿足各個港口的地理環境特性及相對台灣地形的氣象關係，另一個重點是對颱風的機制或特性建立與各個測站間的關係，以提高模式應用的範圍及推算的準確性。研究結果顯示在模式在模糊理論的配合下能夠有效提升推算結果的準確度，但是對於颱風風場變動影響颱風波浪的發展機制，以最大風速及移動速度當作模式輸入參數仍然不足以明顯的表現颱風波浪變動的特性。

(4) 本年度期中研究計畫

針對研究計畫『台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究(I)』(2002)的研究結果發現，如果能夠描述颱風規模及颱風運動特性推算出颱風風場分佈情形將有助於推算能力的提升以及推算範圍的擴大。因此期中報告為針對颱風波浪推算模式的類神經網路建構的推算核心進行改進以達到擴大推算區域提高準確度的目的。

本階段將颱風結構以 Holland 颱風模型進行模擬，分析目前颱風波浪推算模式架構包括數值計算模式與經驗公式，配合港研中心現有颱風波浪資料的特性及侵襲台灣之氣象資料特性，進一步修正類神經網路對於推算颱風波浪的架構及組織。經測試的結果，本模式的類神經網路架構在風場不受陸地影響時，具有良好的推算能力。

1.4 本年度期末研究計畫

期末研究計畫將以期中研究的結果當作颱風波浪的計算核心，假設目前颱風風場多屬於緩慢移動並符合 Holland 颱風模型模擬條件，配合模糊理論建構陸地對颱風風場、颱風波浪影響的關係。利用颱風氣象與波浪資料的變化，結合類神經網路與模糊理論對颱風、波浪及陸地交互影響的關係進行描述，期望將陸地影響颱風波浪的效應能夠有效的分離，以提高模式預報的能力，達到防災預警的目標。

第二章 颱風結構與颱風模型

2.1 颱風結構

熱帶氣旋結構包括風場、氣壓場、溫濕場、雲雨等的分佈和海洋狀況。熱帶氣旋範圍(以等壓線最外圍閉合線為準)平均半徑約 100-500 公里最大甚至達到 1000 公里，垂直範圍一般到對流層頂層，有的可以伸展至平流層。成熟熱帶氣旋或颱風具有獨特螺旋狀雨帶和風眼，眼區半徑最大可達 100 公里，最小僅 5 公里，一般情形約為 25-60 公里。從颱風外圍向內，地面氣壓迅速下降，風力增強，並伴隨狂風大雨，風眼區內天氣較平靜熱帶氣旋的溫壓場。

颱風的氣壓場特徵為極低的中心氣壓和極大的水平氣壓梯度，形成颱風中心最低氣壓一般在 960 百帕(hPa)以下。地面天氣圖上，熱帶氣旋表現為一個圓形對稱的、梯度極大的閉合低壓系統。颱風的流場低層有強烈氣旋性風切變化和氣流流入；高層有氣流流出。低層的氣流流場和高層的流場都從熱帶氣旋中心往外伸展約 1000 公里。颱風水平範圍大致可分為三部份：眼區，一般範圍約為數十公里，眼區內風力較弱；最大風速區，圍繞在颱風眼的環狀最大風速區，平均寬度約為 8 至 50 公里。最大風速區約與颱風眼壁的雲牆相當，外區，從最大風速區外緣至熱帶氣旋邊緣，在這個區域，風速向外急遽減弱。

颱風垂直結構也可分為三層：地面至 3 公里左右的氣旋性流入層，有強烈氣流流入中心，其中 1 公里以下的輻合最強；3 至 8 公里的中層，流入氣流很少，主要是垂直氣流，將低層輻合的暖濕空氣通過這一層輸送至高層；8 公里到熱帶對流層頂部是流出層，最大輻散氣流出現在 10 公里左右。流出的空氣和四周的環境空氣混合下沉至低層，形成熱帶氣旋的垂直環流，颱風結構表示如圖 2-1 所示。

能量補給因為海水提供能量中斷而使颱風規模改變，在混和這些因素下風場變化更是劇烈，加上陸地的遮蔽影響，對於風場的推算更是困難。

颱風風場模式描述的方式相當多，利用參數式建立不同颱風風場模型，這些風場模式主要差別在於考慮影響颱風風場分佈的因素、邊界條件以及規模的不同，如黏滯係數 (viscosity coefficient)、拖曳係數(drag coefficient)、柯氏力參數(Coriolis parameter)與颱風最大風速的位置等，參數式颱風風場模式因為計算簡單快速應用上較為廣泛，但是在颱風運動行為複雜時仍無法完整描述真實颱風風場，因此再結合颱風波浪計算時大多會產生不預期的誤差，但是符合快速計算的要求。另外在颱風風場模式的描述也可以利用複雜的大氣數值模式(atmospheric models)包括 RUC, MM-5, AVN (Aviation), MRF (Medium Range Forecast), NGP (NoGaps) 模式模擬颱風氣候的現象，而模式的運作輸入來自於大氣各種參數的現況，配合實際的地理、地形條件，利用大量的數值運算模擬氣候，進一步推算任何高程的壓力、溫度、風速等以發展達到預報的目的，在大氣數值模式應用的大多在中尺度以及大尺度的氣候預報，但是大氣模式在不同的區域預報時必須先經過複雜的調整及校正係數與參數，故在與其他模式結合時會有調整校對以及計算速度無法配合的問題。

在整個颱風的事件中，颱風風場是許多影響因素作用於颱風後的結果，在颱風波浪推算的過程中，颱風風場的情形就成為了計算颱風波浪的主要影響因素，但是颱風風場變化相當的迅速及複雜，對風場進行完整的量測及解析是相當困難的，在假設解析區域內的風場均勻的條件下，目前對於風場的量測採用每小時或是 6 小時內量測風速的平均值或是壓力場如圖 2-2 所示，配合衛星資料分析計算描繪颱風風場，由資料的解析程度決定每一個解析點的風速涵蓋面積，在計算的過程中，對於風場與時間的變化資料愈完整及快速，必能提高風場計算的準確度，但是對於風場量測時間及解析度存在矛盾的關係，在目前防災預警的考量下，若能夠提供每小時更新風場資料的速度是較符合防災預警規劃防制的需求，因此針對颱風模式的選擇將採用參數形

式的颱風模式作為結合類神經颱風波浪計算模式。

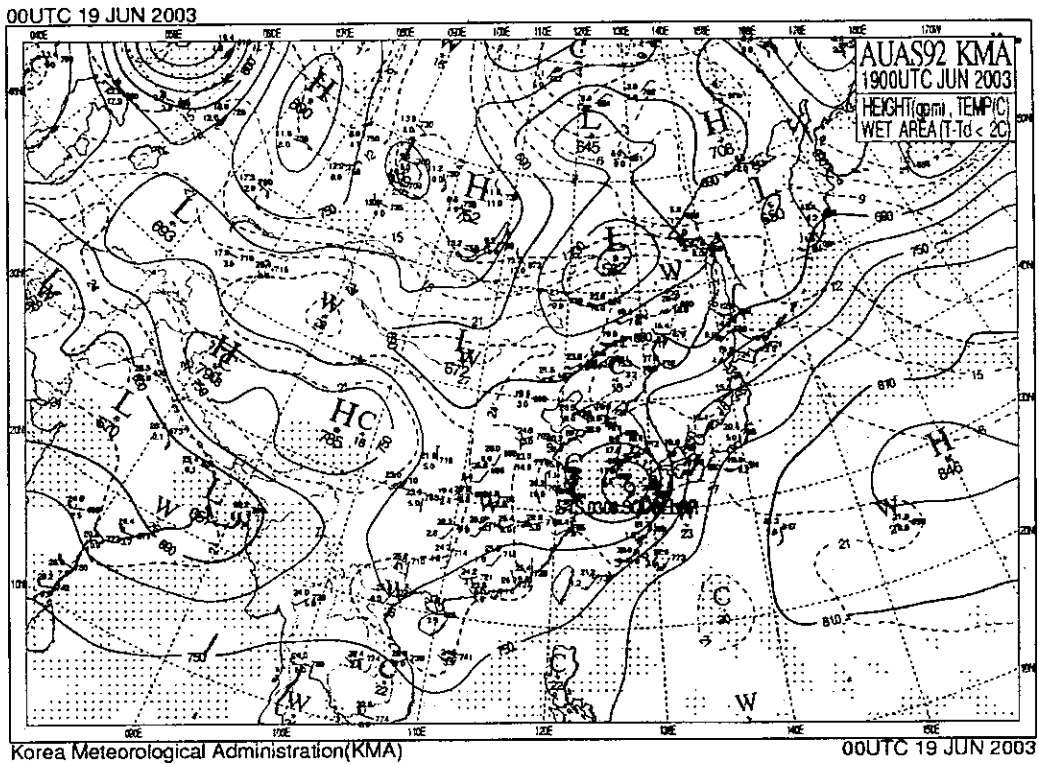


圖 2-2 KMA 亞洲區域 925 hPa 壓力場分佈

2.2 颱風風場模式

本文採用 Holland(1980)發展的半經驗參數模式(Holland model)為模擬風場的模式，一般而言參數式的風場模式適合使用的時機，大多為移動較慢以及發展成熟的颱風，風場的參數式為：

$$\frac{p - p_c}{p_n - p_c} = \exp\left[-\left(\frac{R_{\max}}{r}\right)^B\right] \quad (2-1)$$

其中 R_{\max} 為颱風最大風速半徑、 r 為颱風中心與計算位置的距離、 p 為距離颱風中心 r 的氣壓、 p_c 颱風中心氣壓、 p_n 颱風範圍外環境氣壓。 f 為柯氏參數(Coriolis parameter)，風場內距離 r 的風速為：

$$V = \left[\frac{B(p_n - p_c)}{\rho} \left(\frac{R_{\max}}{r}\right)^B \exp\left[-\left(\frac{R_{\max}}{r}\right)^B\right] + \frac{r^2 f^2}{4} \right]^{0.5} - \frac{rf}{2} \quad (2-2)$$

若忽略柯氏力的影響，颱風最大風速可表示為：

$$V_{\max} = \left[\frac{B(p_n - p_c)}{\rho \cdot e} \right]^{0.5} \quad (2-3)$$

而係數 B 採用 Harper and Holland(1999)提供的關係式：

$$B = 2 - \frac{p_c - 900}{160} \text{ for } 1.0 < B < 2.5 \quad (2-4)$$

風場在海面上十公尺的風速為：

$$V_{10} = K_m V \quad (2-5)$$

採用 Harper and Holland(1999)的建議，在 Holland model 中使用 $K_m = 0.7$ ，而對於颱風風場的風傾角假設為 25° ，颱風移動速度 V_f 對颱風風場內的影響，採用 Jelesnianski(1966)建議的關係式：

$$U(r) = \frac{R_{\max} \cdot r}{R_{\max}^2 + r^2} V_f \quad (2-6)$$

利用以上的假設及計算方式，藉以計算颱風波浪推算區域颱風風場分佈及變化的情形，以提供波浪推算模式做進一步的計算。

第三章 颱風波浪推算模式

3.1 颱風波浪推算模式分析

許多的臨海區域或是國家大多有發展屬於該區域的颱風波浪推算模式，對於推算目的的不同，採用的方法也有相當的差異，一般而言，對大區域的波浪推算方式，多採用 WAN、WW3 等以能量守恆關係式為架構的推算方法，並對該模式進行參數的調整校對以提高準確性。能量守恆二維條件下波譜 $N(t, \phi, \theta, \lambda)$ 其關係式為：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\dot{\phi} N \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\dot{\lambda} N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta} N) = \frac{S}{\sigma} \quad (3-1)$$

其中 θ 是波浪方向、 ϕ 、 λ 是經度及緯度， $\dot{\phi}$ 、 $\dot{\lambda}$ 是群波速度在經度及緯度方向的分量， $\dot{\theta}$ 為波浪方向改變率， S 是能量的交換總和，組成的內容為：

$$S = S_m + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} \quad (3-2)$$

S_m 為風波作用項， S_{nl} 為波波間非線性交互作用項， S_{ds} 為波浪能量散逸，包括白沫現象或是碎波， S_{bot} 來自底床摩擦的能量消耗。

為了配合數值模式的計算，對於颱風波浪推算主要能量輸入就是由颱風風場提供，而颱風風場資料的來源除了經過實際量測資料配合計算推估風場分佈的方法外，以參數形式颱風風場的模擬成為數值模式推估計算颱風波浪的重要依據，目前較為常用的颱風風場模型包括 Rankine vortex model、SLOSH model、Holland model。

以統計分析、理論公式以及數值方法運算結果所集合的半經驗公式，使用也相當的廣泛較常用的包括 Bretshneider(1976)提出推算滯留颱風波浪之方法為

$$H_{s,max} = K' \sqrt{R_{max} \Delta p_c} \quad (3-3)$$

其中 $H_{s,max}$ 為最大風速處之示性波高，其單位為 m ， K' 值為 Ω 、 $\sin \phi$ 、 R 及 V_{max} 之函數，經迴歸分析其結果可表為

$$K' = 0.3335 - 0.4493(X) + 0.4346(X)^2 - 0.153(X)^3 \quad (3-4)$$

$$X = \frac{2\Omega R \sin \phi}{V_{max}} \quad (3-5)$$

當颱風移動速度為 V_f 時(m/s)則風速增加，移動颱風中最大風速處之波高則修正為

$$H'_{s,max} = H_{s,max} \left(1 + \frac{V_f \cos(\theta + \beta)}{2V_{max}} \right) \quad (3-6)$$

其中 θ 為等壓切線與颱風移動方向之夾角， β 為傾斜風向中心之夾角。

至於颱風內之波高，則由颱風內示性波高等值分佈圖之相對位置如圖 3-1 所示，查比值即得該區域波高。波浪週期 $T_{s,max}$ 與 $H_{s,max}$ 及風速關係如下

$$T_{s,max} = 0.734V_{max} \tanh \left[1.07 \tanh^{-1} \left(\frac{34.81H_s}{V_{max}^2} \right)^{0.6} \right] \quad (3-7)$$

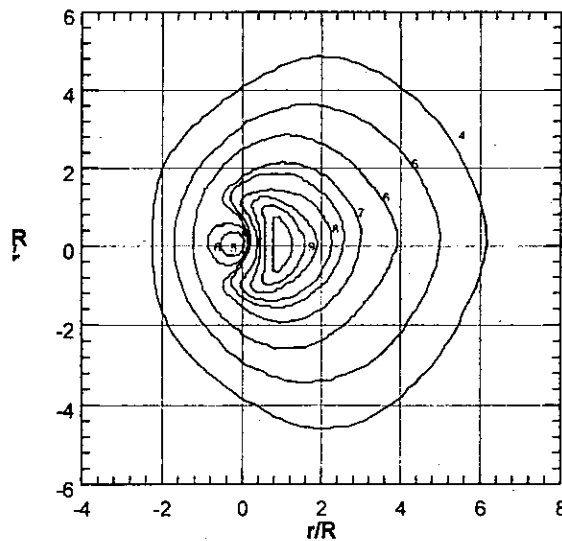


圖 3-1 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖

(Shore Protection Manual, 1984)

根據美國海岸保護手冊(1984)，當颱風緩慢移動時，風域內最大示性波高及其週期，與能量指標 $R\Delta p$ (Energy Index) 有關，其公式為

$$H_{s,\max} = 5.03e^{\frac{R_{\max}\Delta p_c}{4700}} \left[1 + \frac{0.29V_f}{\sqrt{V_{\max}}} \right] \quad (3-8)$$

$$T_{s,\max} = 8.60e^{\frac{R_{\max}\Delta p_c}{9400}} \left[1 + \frac{0.145V_f}{\sqrt{V_{\max}}} \right] \quad (3-9)$$

式(3-8)及式(3-9)中， $H_{s,\max}$ 單位為 m ， V_{\max} 為海面上 10 公尺處之最大風速，其單位為 m/s 。 V_{\max} 可由下式求得

$$V_{\max} = 0.387(14.5\Delta p_c^{\frac{1}{2}} - 0.62R\Omega \sin \phi) + 0.5V_f \quad (3-10)$$

至於颱風圈內其他各處之示性波高分佈，可由緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖(Shore Protection Manual,1984)依相對座標位置查出相對波高值，再乘以最大示性波高即可得移動颱風內之示性波高 H_s ，而此處波浪週期則可由式(3-11)表示

$$T_s \approx 3.83\sqrt{H_s} \quad (3-11)$$

Young(1988b)利用颱風最大風速 V_{\max} (m/s)，颱風移動速度 V_f (m/s)，等效風域吹送距離 F (m)以及颱風最大風速半徑 R (m)組合計算風域內最大示性波高，

$$\frac{F}{R_{\max}} = aV_{\max}^2 + bV_{\max} + cV_f^2 + dV_{\max} + eV_f + f \quad (3-12)$$

其中係數 $a = -2.17 \times 10^{-3}$ ， $b = 1.506 \times 10^{-2}$ ， $c = -1.223 \times 10^{-1}$ ， $d = 2.190 \times 10^{-1}$ ， $e = 6.737 \times 10^{-1}$ ， $f = 7.980 \times 10^{-1}$ ，而 R_{\max}' 可由最大風速半徑 R 計算而得：

$$R_{\max}' = 22.5 \times 10^3 \log R_{\max} - 70.8 \times 10^3 \quad (3-13)$$

假設波浪的組成符合 JOSNWAP 的形式，在風域內最大風速所產生的最大示性波高可以表示為：

$$\frac{gH_s}{V_{\max}^2} = 0.0016 \left(\frac{gF}{V_{\max}^2} \right)^{0.5} \quad (3-14)$$

美國海岸保護手冊(2002) (Shore Protection Manual)除了配合利用 Young(1988)的半經驗公式外，配合模擬緩慢移動風場的波浪分佈圖表如圖 (3-2)，即可獲得風域內波浪分佈。此外對於不需高準確度的颱風波浪估算，美國海岸保護手冊也提供不同氣象事件估算波高的表格，在颱風氣象事件中以 Saffir Simpson (SS)標準區分颱風規模、推估示性波高與週期，如表 3-1。

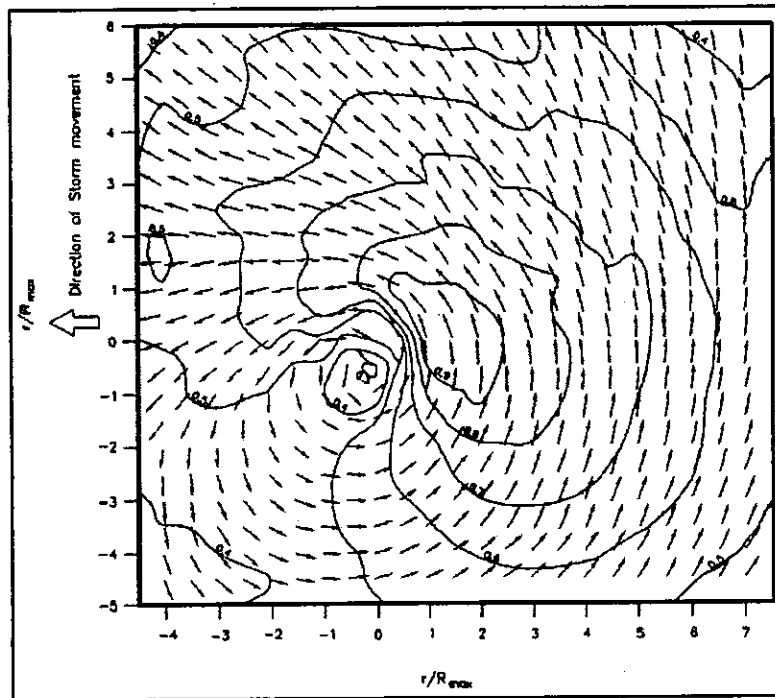


圖 3-2 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖
(Shore Protection Manual,2002)

表 3-1 以 Saffir Simpson 標準推估示性波高與週期(SPM, 2002)

SS	p_c (mb)	$H(m)$	$T(sec)$
1	> 980	4-8	7-11
2	965-980	6-10	9-12
3	945-965	8-12	11-13
4	920-945	10-14	12-15
5	< 920	12-17	13-17

當考慮不同的需求或準確度也有採用簡單的關係式，如 Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting(Bureau of Meteorology Research Centre)估算颱風近中心最大風速的最大示性波高為：

$$H_{s,max} = 0.20(p_n - p_c) \quad (3-15)$$

p_n 為颱風外環境大氣壓， p_c 為颱風中心氣壓(hPa)

對於以經驗公式計算颱風波浪的方式，第一個限制是波浪計算侷限於颱風風場內，對於計算颱風風場外的湧浪就必須另外考慮作用及傳遞的機制，至於颱風波浪傳遞與颱風路徑間的相互影響就相當不易解析。

3.2 類神經網路推算模式架構

3.2.1 類神經網路推算模式 Model 1

不論參數形式的經驗公式或是數值計算模式，在考量特殊颱風行為以及對於推算模式的推算誤差都必須對參數或是模式做適當的修正，又因為大部分推算誤差的產生不具規則性，影響因素也不易有效分離或解析，所以推算模式修正的過程往往相當複雜，效果也相當有限。在這一方面，類神經網路模式的自我修正能力相當的好，每次的推算誤差都可以藉由學習的過程，修正模式內各個輸入參數與輸出值的關係，類神經網路的理論說明詳如附錄一。

考量觀測的颱風以及氣象環境資料的不確定性及不準確性、波浪交互作用的複雜性、小尺度的區域特性，要達到計算快速及準確需要付出極大的成本，本研究由推算單一測站的颱風波浪著手，以類神經網路結構計算的方式，提高計算結果準確性的能力，降低相關計算的成本。

觀察公式(3-1)至(3-15)可以發現，推算過程中輸入資料的正確性以及完整性相當重要，如海底地形資料、颱風規模及風場變化、波浪的交互作用及能量的消散等，若將各個公式影響颱風波浪的因素整合，並考慮波浪推算位置海面 10 公尺高的風速 V_{10} ，颱風波浪示性波

高的變化可以表示為：

$$H_s(t) = f_h(\Delta p_c, V_{\max}, V_f, V_{10}, R_{\max}, \phi, \lambda, S_{in}, S_{nl}, S_{ds}, S_{bot}, t) \quad (3-16)$$

(3-16) 式中， Δp_c 、 V_{\max} 、 V_f 、 V_{10} 、 R_{\max} 、 S_{in} 主要是描述颱風風場與波浪推算位置關係的參數，如果利用參數式颱風模型則可將這 6 個參數整合於颱風模型中，而颱風模型計算颱風風場所需的主要參數為 V_f 、 Δp_c 或 V_{\max} ，而 R_{\max} 、 V_{10} 或 S_{in} 就可以被計算出來。

S 是總和的能量交換，包括風能輸入作用項(S_{in})，波波間非線性交互作用項(S_{nl})，由白沫現象或是碎波波浪產生之能量散逸(S_{ds})，及底床摩擦的能量消耗(S_{bot})。颱風波浪行為及颱風運動行為在總和的能量 S 的交換機制及假設詳述如下。

1. 風能輸入作用項(S_{in})：

颱風風場能量輸入的建構方式可使用即時衛星觀測資料、大氣氣象模式模擬以及參數颱風風場模式，這三種提供風場能量輸入的方式前兩種需相當多的軟、硬體資源及冗長複雜的計算過程，而參數颱風風場模式提供較為簡潔的計算方式。本研究為了提高計算速度增加模擬颱風運動路徑達到防災預警的目的，所以本文選擇 Holland (1980) 的經驗參數模式來描述颱風風場，由風場的規模變動及推算點的距離、角度藉由風場模式可推算出區域海面上 10 公尺的風速 V_{10} (m/s)，此 V_{10} 可充分表現出該區域颱風風場特性與颱風波浪的相對關係，所以，考慮颱風運動及颱風規模連續的變動則 S_{in} 隨時間的變動即可由 V_{10} 、 r 、 θ 及時間 t 的函數表示之。

2. 波波間非線性交互作用項(S_{nl})

颱風波浪在生成與傳遞的過程中由於風場、颱風行為與颱風位置的快速變動等因素會造成不同週期、波高的波浪，因而形成波浪間的非線性交互作用複雜的現象。假設交互作用的波浪都來自於颱風風場，並考慮颱風波浪場內的波浪大於當地的波浪或是忽略當地的波浪，在這樣的假設下波波間非線性交互作用項(S_{nl})只與颱風風場結構以及颱風運動行為有關，相似的颱風結構及颱風運動行為有相似的波波間非線

性交互作用結果。所以波波間非線性交互作用可以利用颱風運動軌跡以及颱風規模的變動描述。

3. 能量散逸項(S_{ds})

對於颱風波浪能量散逸的型態主要來自於波浪的摩擦、碎波或是白沫現象，通常發生因素包括風速的驟變、地形的影響，在固定區域的考量下這些現象的發生也是來自於颱風型態及行為變化，如果相似的颱風結構及颱風運動行為有相似的能量散逸作用的結果。對能量散逸項(S_{ds})的描述也可以利用颱風運動軌跡以及颱風規模的變化進行描述。

4. 底床摩擦的能量消耗(S_{bot})

底床摩擦的能量消耗(S_{bot})因外海颱風所處的水深較深，底床地形對颱風及波浪影響甚低，若推算點的水深約為 20 公尺，不在近岸淺水區，波浪傳遞受底床摩擦力影響甚小，因此底床能量消耗因素，在本文不予以考慮。

5. 其他影響波浪傳遞的因素

颱風移動速度的變化直接影響颱風風場內波浪傳遞的情形，然而颱風移動速度並不會固定不變，加上風場作用海面的過程並非即時反應在生成波浪與改變波浪行為，因此 t 時刻的颱風波浪應該與 t 時刻的颱風位置及移動速度有關外也應該與 t 前時刻內發生過的颱風軌跡與移動速度的變化有關，也就是與 V_f 的變化有關。如果颱風中心的資料的取樣間距固定時， V_f 依速度定義就可以利用颱風中心位置的變動表示之，即為颱風的運動軌跡。

颱風風場的變動包括颱風移動速度及方向、颱風規模、颱風移動軌跡以及颱風位置的經緯度等，且颱風風場需要足夠的作用時間方能提供海面形成颱風波浪的能量，因此，颱風波浪波波間非線性交互作用、波浪白沫現象及碎波波浪產生之能量散逸皆與颱風運動行為及颱風規模的變動有密切的關係。歸納颱風運動行為的內容可以分為颱風

2D 平面運動行為以及因颱風移動方向改變使得颱風風場分佈旋轉的行為。對於固定區域內的波浪推算，颱風波浪的能量交互影響及交換過程的結果可以假設總和能量 S 是颱風風場風速及颱風運動行為、軌跡變動的函數。本文為方便描述颱風中心的變化，乃以極座標 r 、 θ 取代經緯度 ϕ 、 λ ，其中 r 為颱風中心至觀測站的距離， θ 為颱風中心至觀測站的方位角。

由於颱風風場對海面波浪的作用需要足夠的作用時間才能有效產生颱風波浪，因此在風場作用期間的變化將影響颱風波浪的行為，對於颱風連續性的變化包括有颱風規模 V_{\max} 的變化、颱風移動速度 V_f 的變化、颱風相對移動位置 r 、 θ 的變化以及颱風風場分佈旋轉，即颱風行進方向與觀測夾角 θ_i 的變化，颱風運動參數符號說明示如圖3-3。

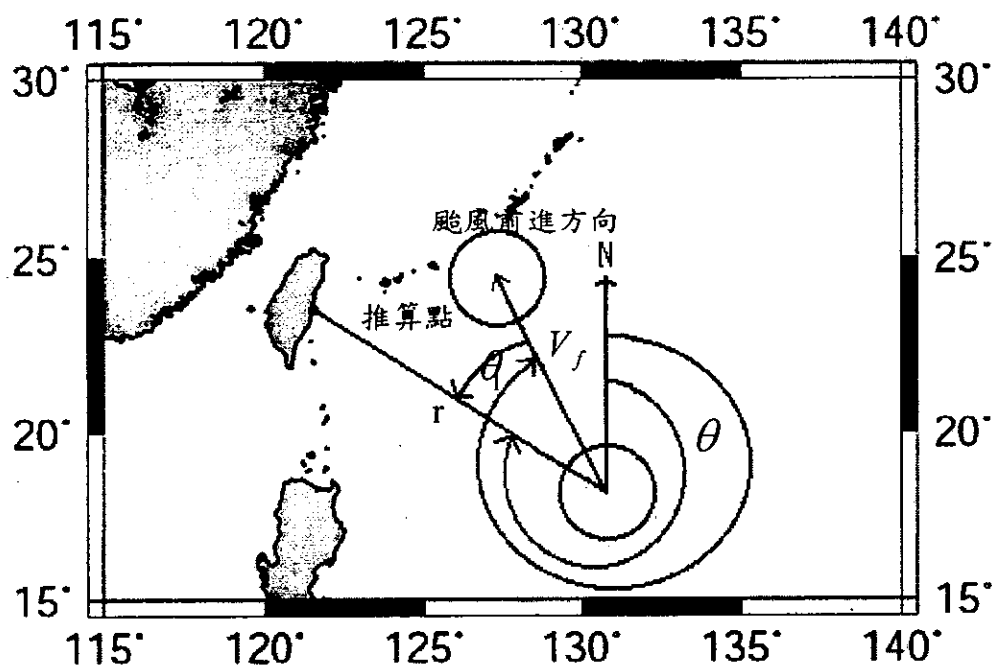


圖 3-3 颱風運動參數符號說明

在颱風風場內不同位置的風速及風向而成非對稱，而此特性直接反應到颱風波浪的分佈，在北半球行進間的颱風，右半圓風速較左半圓在相同半徑的風速大而波浪分佈亦相同，當颱風行為變化時，相對應的風場結構也會出現變動，颱風波浪也因為風場結構的變動而出現變化。作用在海面的風場特性變動不大時，颱風波浪的行為相對單純，如果考慮颱風風場範圍內因颱風行進方向改變，造成海面受颱風作用區域內風場連續的變化對颱風波浪產生的連續影響，就必須同

時考慮風場變動時間延時對風域內波浪的影響。假設相似行為、規模的颱風風場結構變動相似，颱風風場因為行進方向改變而產生的變動可以利用颱風行進方向與觀測站的夾角 θ_1 隨時間的變動表示。

由以上的討論分析了解風速 V_{10} 是提供及影響颱風波浪能量主要的因素，而颱風的路徑及行為是影響颱風波浪變化的另一個因素，在固定位置上同樣的颱風規模及運動方向不同的路徑也將有不同發展的颱風波浪。隨著波浪接近海岸時在複雜地形及海流的交互作用下，更增加了計算在近岸颱風波浪的困難度，為了簡化能量方程式的架構，利用限制推算颱風波浪區域的方式減少影響變數，對於固定區域 t_j 時刻颱風波浪推算總和能量 S 的能量交換在行為、規模相似的颱風條件下，可以表示為過去颱風資料 $V_{10}, r, \theta, \theta_1$ 的函數線性組合：

$$S(t_j) = \sum_{i=0}^j a_i f_1(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (3-17)$$

式(3)中 a_i 為係數， f_1 為函數， t_j 為時間。根據以上的能量平衡觀念， t_j 小時的颱風波浪為內能量 S 的函數：

$$H_s(t_j) = \sum_{i=0}^j b_i f_2[S(t_i)] \quad (3-18)$$

結合式(3-17)及式(3-18)可表示颱風波浪之示性波高為不同時間 $V_{10}, r, \theta, \theta_1$ 的函數

$$H_s(t_j) = \sum_{i=j-m}^j c_i f(V_{10}, r, \theta, \theta_1; t_i) \quad (3-19)$$

式(3-19)中 m 表示颱風開始影響颱風波浪的時間，即 t_j 時刻的颱風波浪只受過去 m 小時內的颱風行為影響， m 即為計算颱風波浪資料的延時時間。因此本文將針對(3-19)的架構建立類神經網路模式，利用收集的颱風氣象與波浪資料進行類神經網路模式的測試與驗證，並以(3-19)的架構建立類神經網路模式命名為 Model 1。

類神經網路模式採用倒傳遞量神經網路架構，關於倒傳遞神經網路的理論與演算在附錄一有詳細的說明與推導，具有一個隱藏層的倒傳遞類神經網路通常表示為：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (3-20)$$

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，而(3-20)式簡單的表示方法為 "S-P"，所以具有 1 個輸入項，2 個隱藏層神經元的個數分別為 10、20，一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

(3-18)、(3-19)式中的 V_{\max} 、 V_j 、 V_{10} 、 r 具有連續的特性， θ 為颱風中心與波浪推算位置的方位角，在颱風行進的路徑可能發生角度不連續的現象，因此類神經網路採用兩個隱藏層的架構解決不連續的問題，若將颱風示性波浪與週期合併考量於推算模式時，因此 Model 1 的類神經網路模式可以表示為

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (3-21)$$

$$O_2 = f_2(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{2R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (3-22)$$

模式的輸出 $O_1 = \begin{bmatrix} H_{s1} \\ T_{s1} \end{bmatrix}$ ， $O_2 = \begin{bmatrix} H_s \\ T_s \end{bmatrix}$ ，輸入函數 $I_1 = [V_{10}, r, \theta]^T$ ，

$I_2 = [O_1, r, \theta, \theta_1]^T$ ，輸入資料延時 n 。

3.2.2 類神經網路推算模式 Model 2

為了要分離陸地對颱風風場的影響，將對颱風中心與陸地位置對波浪推算位置與台灣的相對位置進行分類及限制，以花蓮港為區分界線的方式如圖 3-4 所示，以基隆港為區分界線的方式如圖 3-5 所示，當颱風中心落在第一區時顯示颱風被陸地遮蔽，對花蓮測站的影響相對較小，當颱風位於第二區時則表示颱風可以直接影響花蓮測站，而對於第一區與第二區的交界位置可以利用位置的時間序列變動描述颱風波浪的特性。

利用模糊理論界定陸地對颱風波浪影響的程度，模糊理論以及基本概念詳如附錄二，以圖 3-4 及 3-5 以模糊理論建構陸地影響颱風波浪的歸屬函數(membership function)表示如圖 3-6、3-7，符號表示為 MF1(Hualien)、MF1(Keelung)

結合公式(3-19)將花蓮及基隆港的陸地性質分別討論，將可建立

兩個不同區域性質的類神經網路颱風波浪推算模式，此模式架構定為 Model 2。可以將 Model 2 表示為：

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (3-23)$$

$$O_2 = f_2(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{2R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (3-24)$$

$$O = f_3(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{3R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (3-25)$$

模式的輸出 $O_1 = \begin{bmatrix} H_{s1} \\ T_{s1} \end{bmatrix}$ $O_2 = \begin{bmatrix} H_{s2} \\ T_{s2} \end{bmatrix}$ $O_3 = \begin{bmatrix} H_s \\ T_s \end{bmatrix}$ ，輸入函數 $I_1 = [V_{10}, r, \theta]^T$ ， $I_2 = [O_1, r, \theta, \theta_1]^T$ $I_3 = [O_2, MF 1]^T$ ，輸入資料延時 n 。

3.2.3 類神經網路推算模式 Model 3

考慮 Model 2 因為遮蔽的影響颱風進觀測站的風向是屬於離岸或是向岸的方向，將影響到颱風波浪行為的發展與變化，所以進一步考慮推算區域陸地與風向的關係將有效提高模式推測波浪的能力。

利用模糊理論界定陸地對颱風波浪影響的程度，模糊理論以及基本概念詳如附錄二，以圖 3-4 及 3-5 以模糊理論建構陸地影響颱風波浪的歸屬函數(membership function)表示如圖 3-6、3-7，符號表示為 MF1(Hualien)、MF1(Keelung)，陸地與風向影響颱風波浪的歸屬函數(membership function)表示如圖 3-8、3-9，符號表示為 MF2(Hualien)、MF2(Keelung)。

結合公式(3-23)至(3-25)將花蓮及基隆港的陸地性質分別討論，將可建立兩個不同區域性質的類神經網路颱風波浪推算模式，此模式架構如 Model 2。在輸入條件上增加風向的參數，可以將 Model 3 輸入與輸出表示為：

模式的輸出 $O_1 = \begin{bmatrix} H_{s1} \\ T_{s1} \end{bmatrix}$ $O_2 = \begin{bmatrix} H_{s2} \\ T_{s2} \end{bmatrix}$ $O_3 = \begin{bmatrix} H_s \\ T_s \end{bmatrix}$ ，輸入函數 $I_1 = [V_{10}, r, \theta]^T$ ， $I_2 = [O_1, r, \theta, \theta_1]^T$ $I_3 = [O_2, MF 1, MF 2]^T$ ，輸入資料延時 n 。

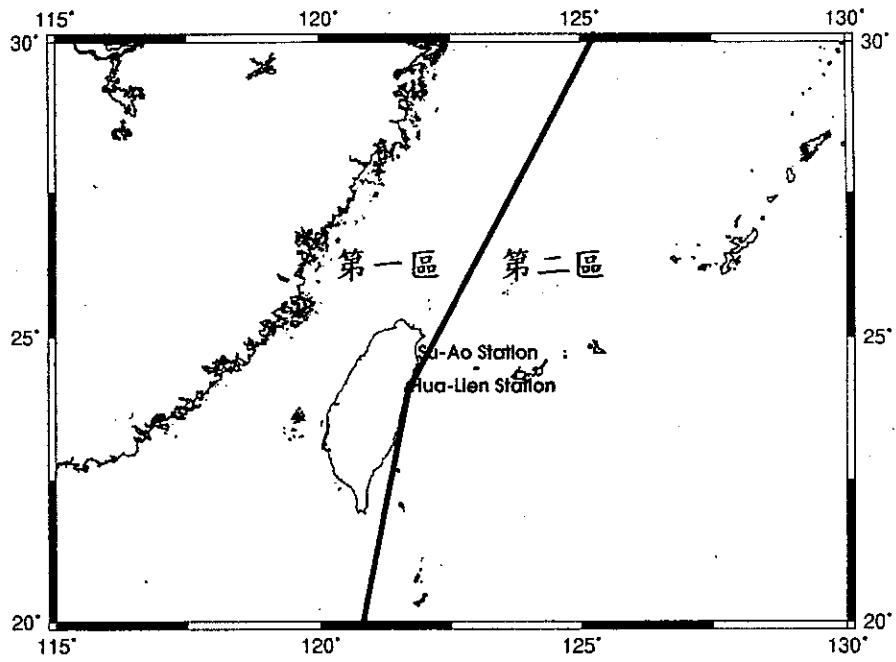


圖 3-4 花蓮港陸地模糊區分圖

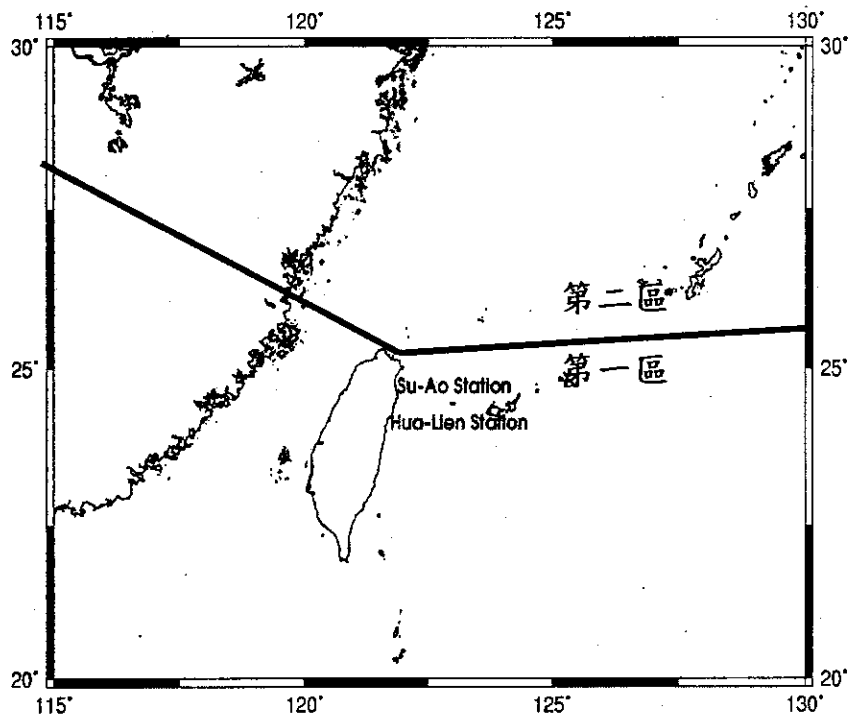


圖 3-5 基隆港陸地模糊區分圖

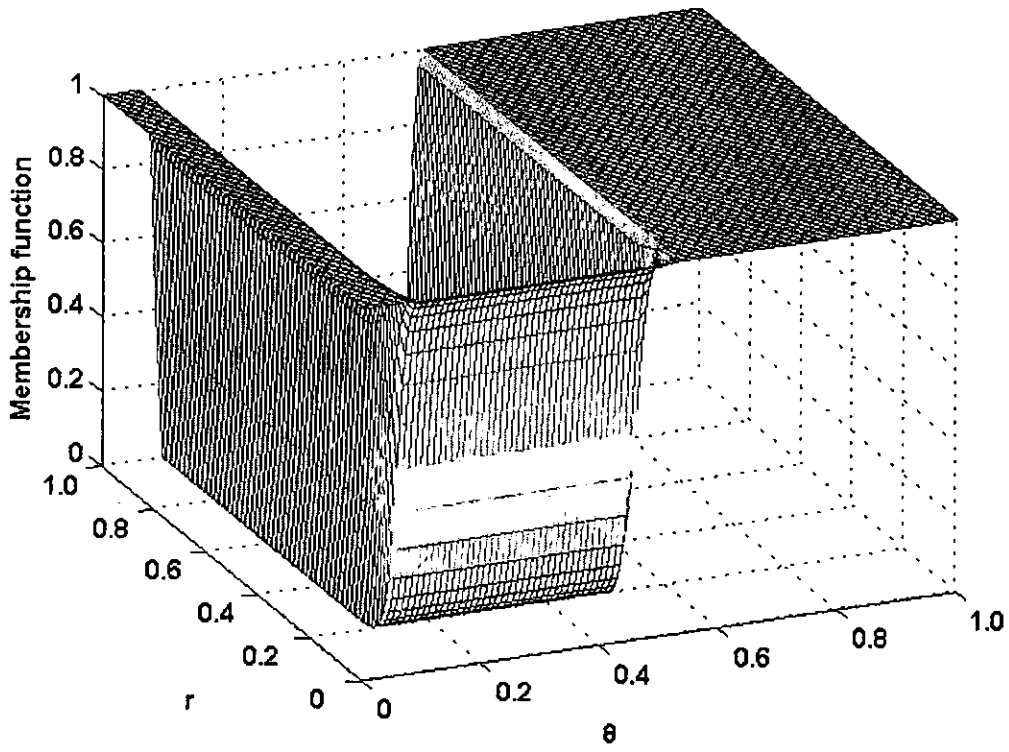


圖 3-6 花蓮港陸地模糊歸屬函數圖

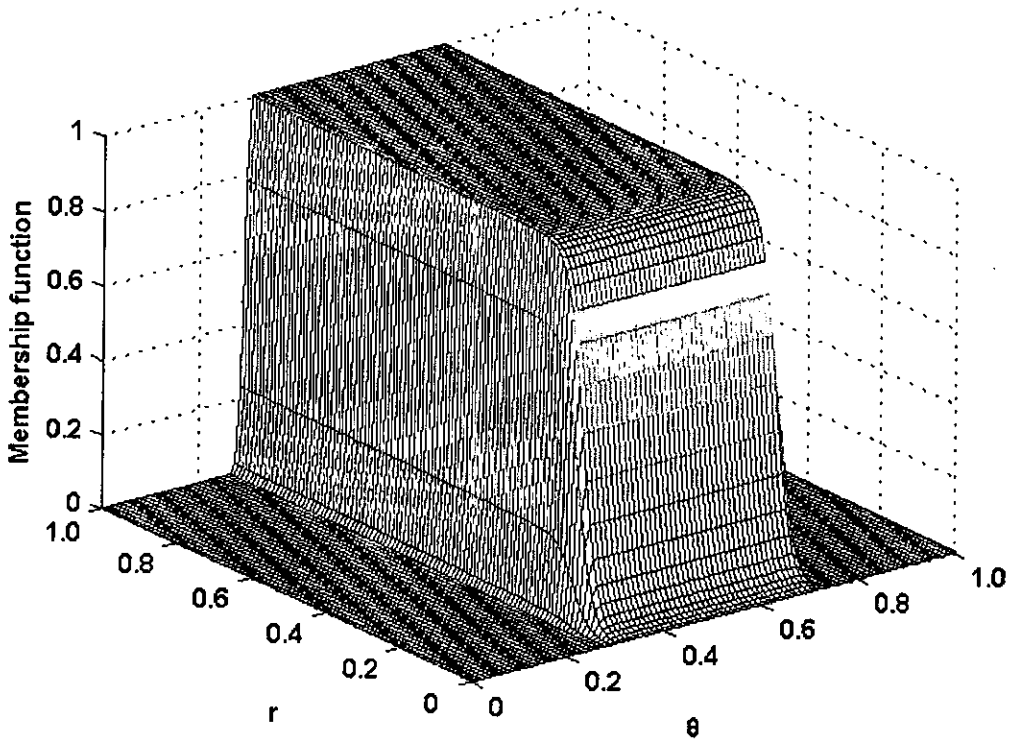


圖 3-7 基隆港陸地模糊歸屬函數圖

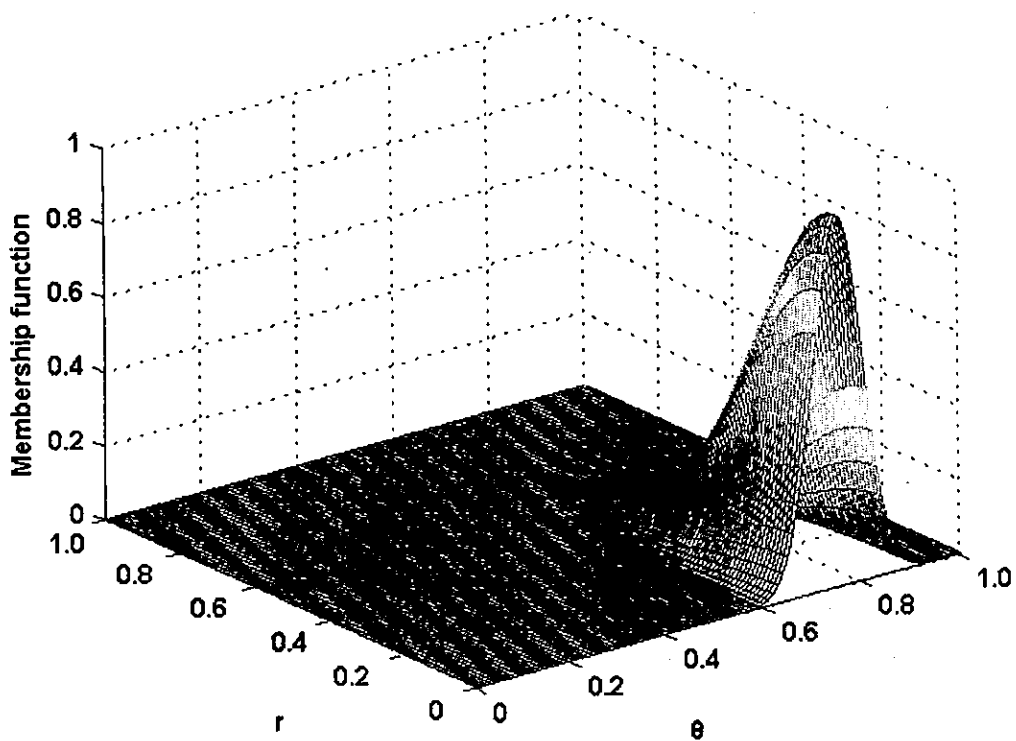


圖 3-8 花蓮港風向模糊歸屬函數圖

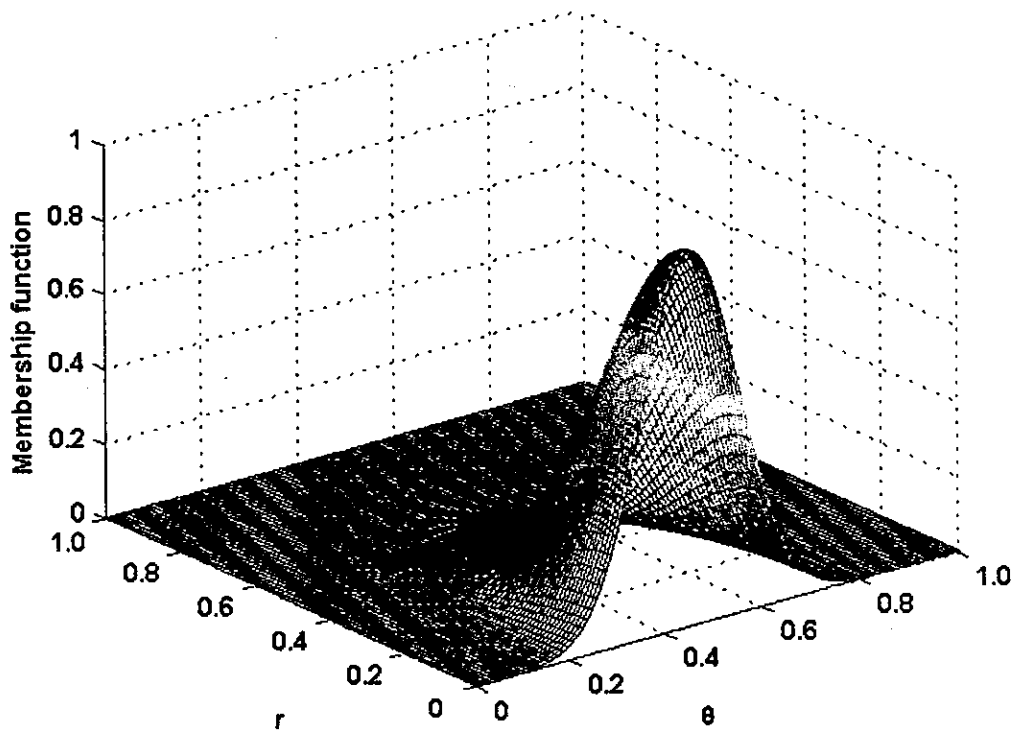


圖 3-9 基隆港風向模糊歸屬函數圖

3.2.4 類神經網路颱風波浪推算模式操作流程

類神經網路颱風波浪推算模式的操作區分為三個部分，第一個部分是颱風氣象的收集及擷取，第二個部分是將擷取的風場資料輸入與模擬，第三個部分是藉由風場模擬的結果推算颱風波浪行為。

目前颱風氣象的收集及擷取資料主要來自中央氣象局、Joint Typhoon Warning Center (JTWC)與 Unisys Weather，分別讀取各單位發佈的颱風路徑、颱風位置、颱風最大風速、最大風速半徑以及颱風風場風速等，經過數據校對、篩檢後對氣象資料進行內差，建立的氣象資料為每小時一筆，藉以提供參數颱風風場模式計算風場分佈的變化。

由收集到的颱風氣象資料利用 Holland Wind Model，計算颱風風場的分佈以及颱風波浪推算位置的 10 公尺高風速，配合颱風路徑資料計算颱風平均移動速度、颱風與波浪推算區域的距離、方位角等，以提供颱風波浪推算模式的計算。

將計算的結果依不同模式的輸入參數條件，選擇適合的參數編排輸入，經過模式的運算後，模式輸出預測的颱風示性波高以及週期。類神經網路模式的架構如圖 3-10 所示，颱風波浪推算的操作流程如圖 3-11 所示。

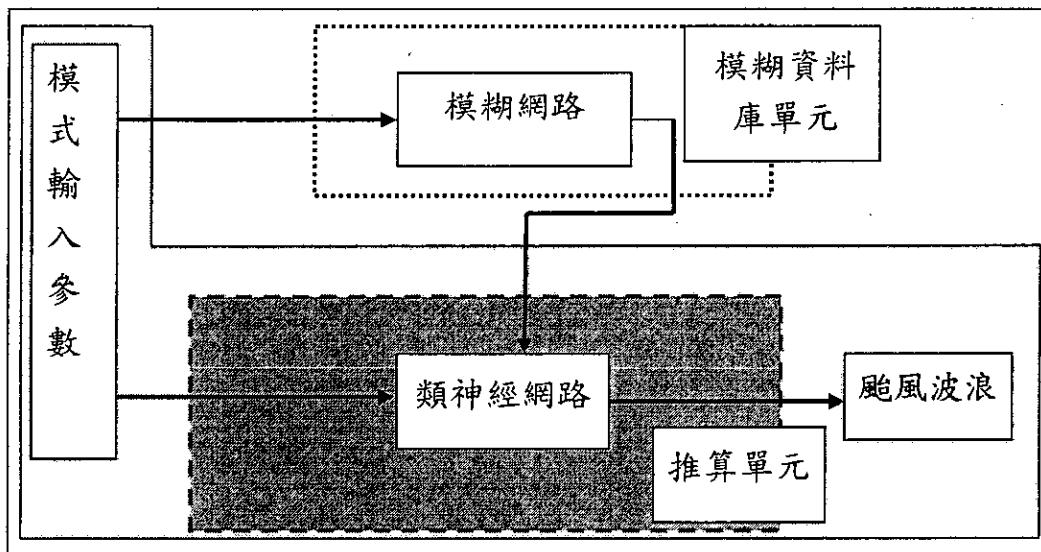


圖 3-10 類神經網路模式架構

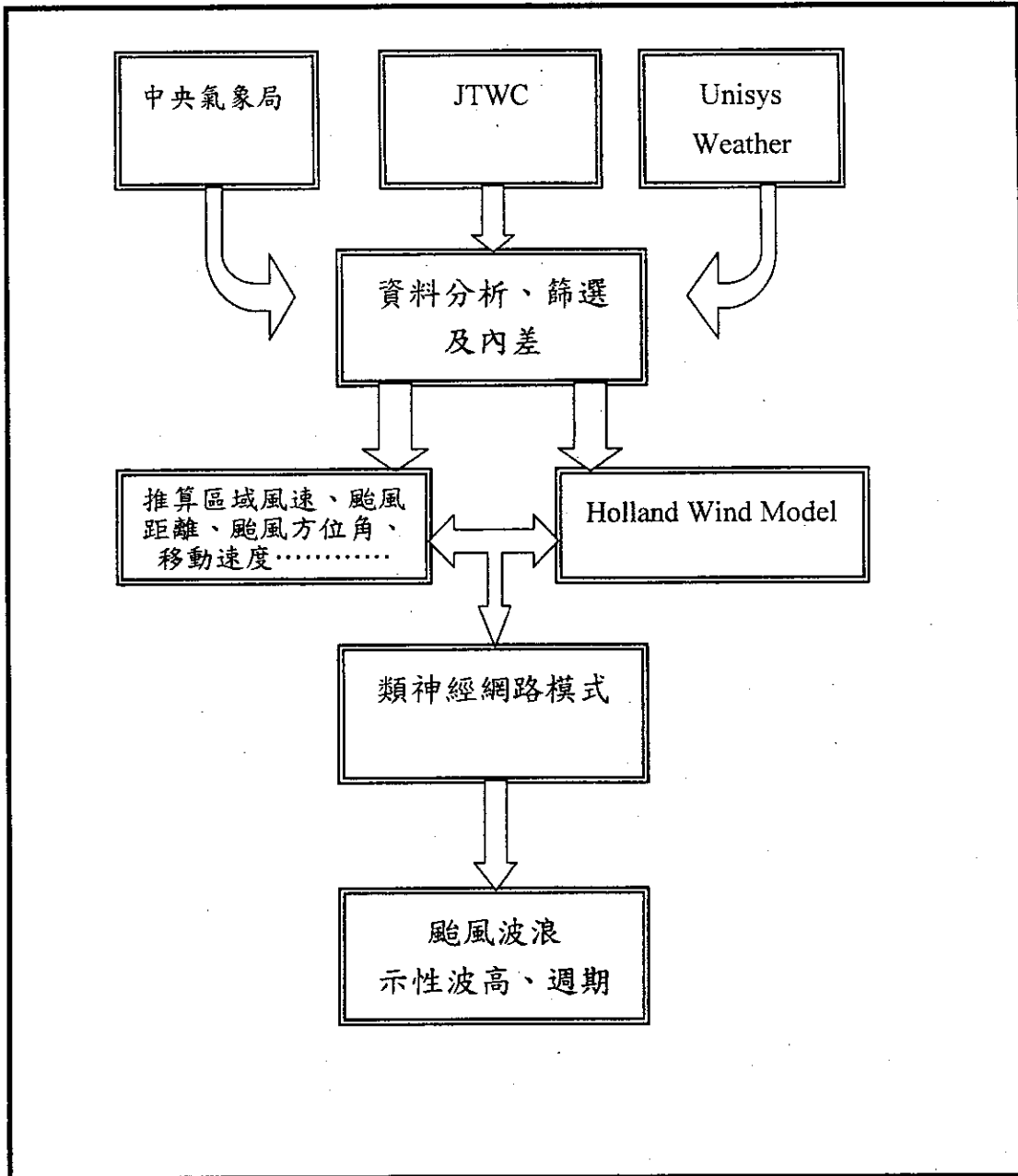


圖 3-11 颱風波浪類神經網路模式操作流程

第四章 颱風波浪推算模式的建構

4.1 資料說明

本文模式選擇台灣東部花蓮港與基隆港外海的觀測站颱風波浪資料來進行颱風波浪的推算模式的建構與推算，在地理環境相似的條件下，嘗試推算接近花蓮測站的蘇澳測站之颱風波浪，二個測站相關位置如圖 4-1 所示。

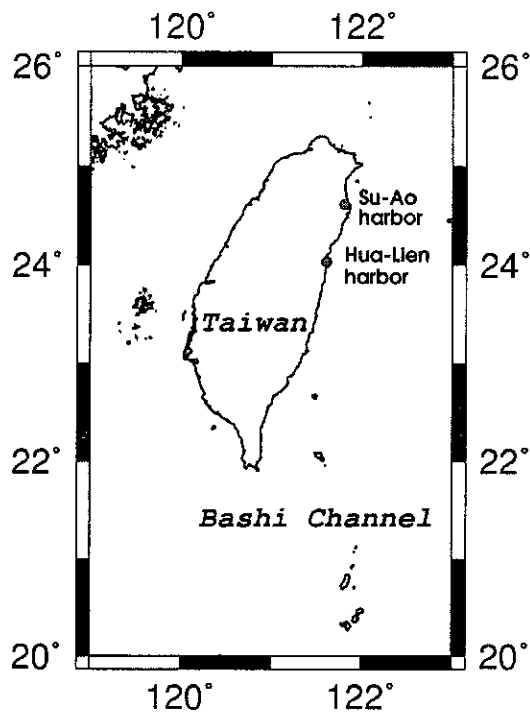


圖 4-1 花蓮及蘇澳測站相關位置

颱風氣象資料的來源有取自中央氣象局、JTWC 及 UNISYS WEATHER，波浪資料取自交通部運研所港灣技術研究中心，颱風的名稱與發生時間採用 JTWC 發佈的資料為準，其中時間統一以格林威治時間表示。颱風氣象資料每 6 小時一筆，波浪資料為每 1 小時一筆，測量波浪儀器使用 Datawell 公司之浮球方向波浪儀(directional waverider)，每小時記錄 20 分，原始資料的取樣頻率為 1.28 Hz，花蓮港波浪觀測站之位置經緯度為($N23^{\circ}58'45''$, $E121^{\circ}37'46''$)，波浪儀所在的水深平均約為 25 公尺。基隆港波浪觀測站之位置經緯度為($N23^{\circ}09'44''$, $E121^{\circ}45'22''$)，浮球式波浪儀所在的水深平均約為 43 公

尺。

為配合波浪資料的時間間距將颱風氣象資料利用 3 次多項式內差技術，內差颱風氣象資料間距為 1 小時，經過整理較完整的颱風資料與花蓮港波浪資料，如表 4-1 所示，在收集的颱風資料中，選擇 9 場颱風當做類神經模式的學習資料。各學習資料的颱風路徑如圖 4-2 所示。

表 4-1 颱風波浪推算模式花蓮測站颱風與波浪學習資料

年代	颱風名稱	颱風資料時段	波浪資料時段
1997	Levi	05/25(1800)~05/30(0600)	05/25(1800)~05/30(0600)
	Opal	06/15(0600)~06/21(0600)	06/15(0600)~06/21(0600)
	Peter	06/23(0600)~06/29(0000)	06/23(0600)~06/29(0000)
1998	Otto	08/02(0000)~08/05(0600)	08/02(0000)~08/05(0600)
1999	Sam	08/18(0600)~08/23(0000)	08/18(0600)~08/23(0000)
2000	Jelawat	08/01(0000)~08/11(0000)	08/03(0800)~08/11(0000)
	Bilis	08/18(0600)~08/24(0000)	08/18(0600)~08/22(1200)
	Bopha	09/05(1800)~09/11(0600)	09/08(0400)~09/11(0600)
	Yagi	10/22(1200)~10/27(0600)	10/22(1200)~10/27(0600)

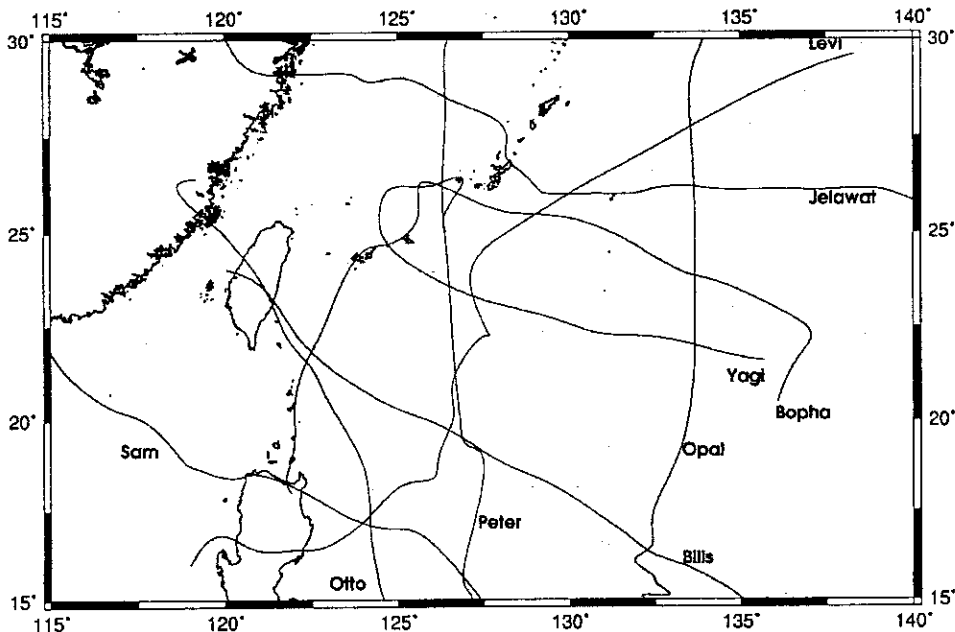


圖 4-2 類神經颱風波浪推算模式學習資料颱風路徑圖

用來驗證花蓮觀測站附近颱風波浪模式推算的資料，有花蓮測站的 Tim (1994) 颱風、Fred (1994) 颱風、Kent (1995) 颱風、Haiyan (2001) 颱風以及蘇澳測站的 Maggie (1999) 颱風，用來驗證基隆觀測站附近颱風波浪模式推算的資料，有基隆測站的 Haiyan (2001) 颱風，檢驗模式的颱風資料如表 4-2 所示，檢驗資料的颱風路徑如圖 4-3 所示。

表 4-2 颱風波浪推算模式對花蓮、蘇澳、基隆測站颱風波浪測試資料

年代	颱風	颱風資料	波浪資料	測站
1994	Tim	07/05~07/12	07/09~07/10	花蓮
1994	Fred	08/19~09/0	08/19~09/02	花蓮
1995	Kent	08/24~09/0	08/24~08/30	花蓮
1999	Maggie	06/01~06/06	06/01~06/06	蘇澳
2001	Haiyan	10/11~10/17	10/11~10/17	花蓮、基隆

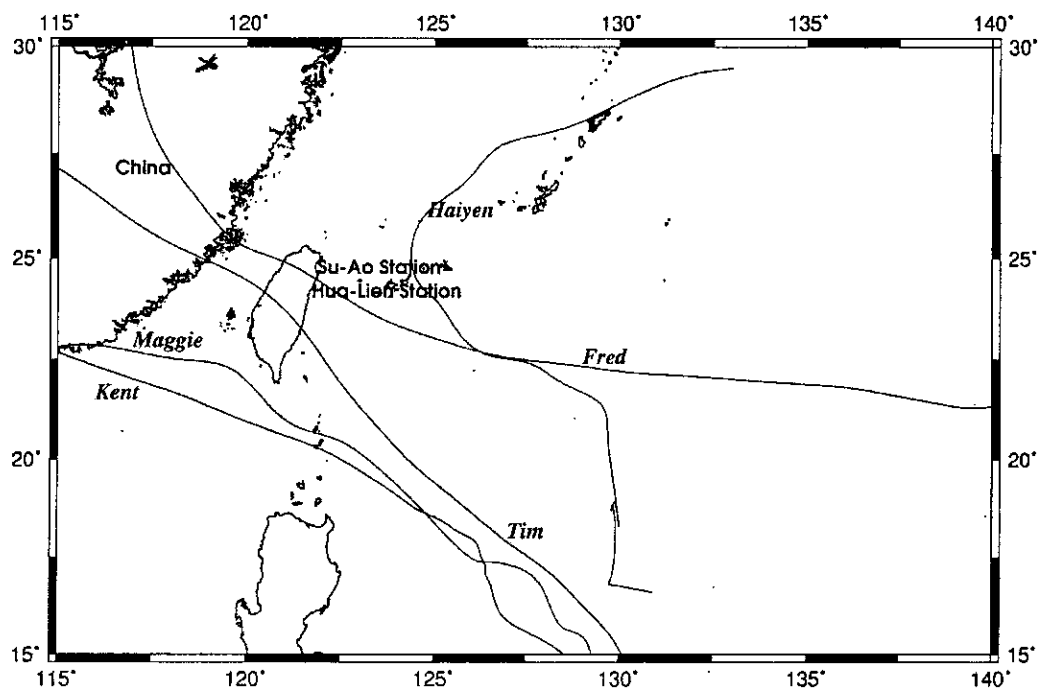


圖 4-3 檢驗類神經颱風波浪推算模式颱風路徑圖

收集作為模式學習的颱風資料有 4 個特性，其為：

1. 由於低氣壓或熱帶氣旋的風場結構與颱風結構有較大的差異，推算模式將限制在達到颱風條件(近中心最大風速 17.2m/s)的環境下進行颱風波浪的推算。
2. 颱風路徑條件的限制目前以風場不受陸地影響颱風、行進方向為西行且簡單的路徑，以及與學習資料中相似的颱風路徑為主。
3. 目前模式的學習訓練的內容針對單場颱風進行推算，多場颱風同時影響的條件暫不考慮。
4. 假設每次颱風接近時，海底地形及海岸地形環境沒有變化。

此 4 個特性亦成為本模式使用上的限制。

颱風波浪由颱風風場內產生向外傳遞形成颱風波浪場，颱風波浪場的計算範圍的選定可以由目前所收集的波浪資料與颱風氣象資料進行比較圈定颱風波浪場的範圍，圖 4-4 為颱風中心位置距離觀測站的距離與觀測站示性波高的關係圖，由關係圖中可以發現當距離在 1500 公里時波高隨著颱風的接近明顯升高，因此對於颱風波浪推算的範圍以颱風為中心 1500 公里為半徑的區域，其次為類神經網路輸入參數延時的選擇，圖 4-5 為颱風中心位置距離觀測站的距離與觀測站波浪示性週期的關係圖，圖中在 0-1000 公里的範圍內週期分佈呈現兩個趨勢，一個趨勢週期平均約在 8 秒，另一個趨勢隨著颱風中心距離的接近週期大幅成長週期約在 12 秒，出現的最大值為 14 秒，若考慮 1500 公里的範圍而颱風中心最大示性週期假設為 12 秒，波浪在深水區域傳遞速度 18.72 m/s 時，估算該颱風波浪達到 1500 公里範圍時需要約 22 小時 20 分，在考慮氣象資料的發佈時間間格為 6 小時，因此訂定輸入延時為 24 小時。

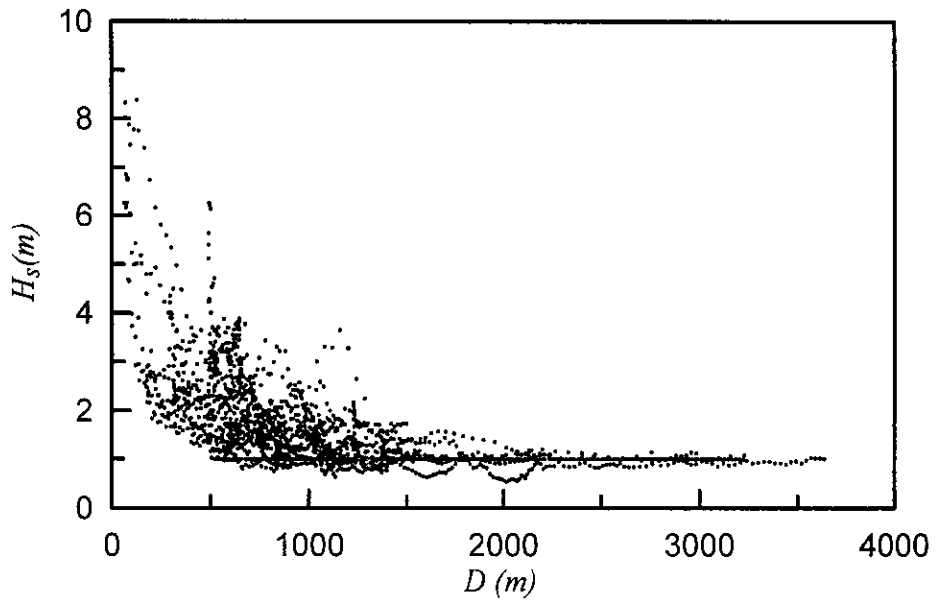


圖 4-4 颱風距離與觀測站示性波高關係

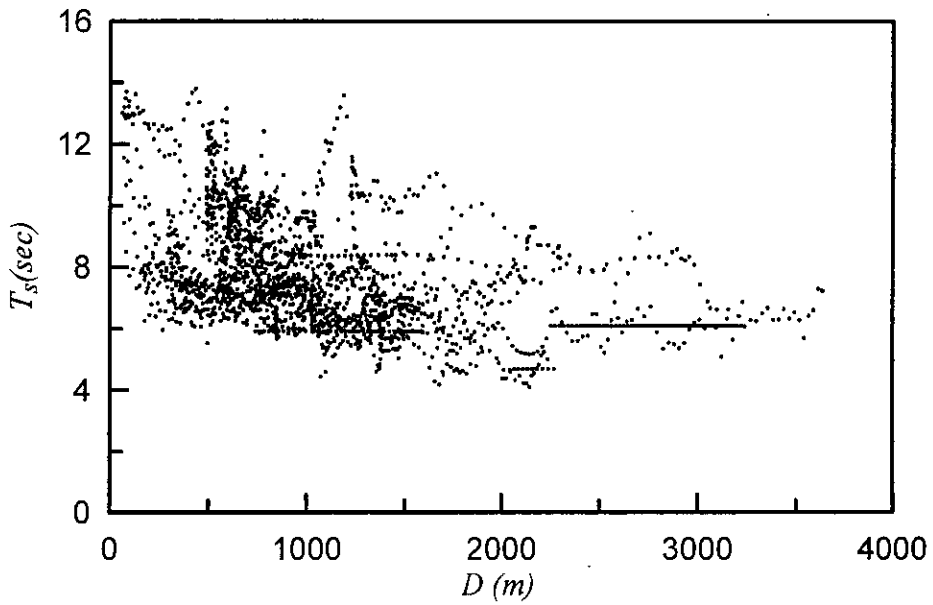


圖 4-5 颱風距離與觀測站波浪示性週期關係

4.2 花蓮港海域颱風波浪推算模式學習能力的測試

本文在 Windows XP 系統的作業平台下，選擇 Matlab 5.3 及 Neural Toolbox 為建構及執行颱風波浪推算模式的軟體。依照式(3-22)及(3-25)分別建構的推算模式本文分別命名為 Model 1 及 Model 2。

本颱風波浪推算模式 Model 1 希望藉由類神經網路記憶及類化各個參數的組合，將各輸入參數對颱風波浪的波高、週期及型態進行分類的工作，由準確的分類結果推測颱風波浪的發展，以式(3-22)為基礎的 Model 1 模式，假設風場作用測站在相同風速及相同颱風運動軌跡條件下，波浪分佈會有相同的變化，所以模式利用測站的風速 V_{10} 與颱風位置 r 、 φ 、 θ_1 作為輸入參數，以颱風 24 個小時內移動的位置作為颱風位置及軌跡的特性，建立颱風軌跡、風速與示性波高及週期間的關係。模式第一階段的輸入為 24 個小時內的 V_{10} 、 r 及 θ 的資料，為降低類神經網路結構的複雜性，將以每 2 小時的 V_{10} 、 r 及 θ 的資料值為輸入資料，即 t 、 $t-2$ 、 $t-4$... $t-24$ 時刻的 V_{10} 、 r 及 θ 共 39 個。在類神經組織結構第一個隱藏層使用 80 個神經元，第二個隱藏層採用 40 個神經元，輸出 O_1 為波浪示性波高 H_s 及週期 T_s ，即為(39-80-40-2)網路。模式第二階段的輸入為 12 個小時內的 O_1 、 r 、 θ 及 θ_1 的資料，將以每 2 小時的資料值為輸入資料，即 t 、 $t-2$ 、 $t-4$... $t-12$ 時刻的 O_1 、 r 、 θ 及 θ_1 共 28 個。在類神經組織結構第一個隱藏層使用 80 個神經元，第二個隱藏層採用 40 個神經元，輸出為波浪示性波高 H_s 及週期 T_s ，即為(28-80-40-2)網路。

以式(3-25)為基礎的 Model 2 模式，Model 2 模式將分為三個部分，第一及第二個部分如同 Model 1 的架構並令其輸出為 O_2 ，第三個部分輸入為 12 個小時內的 O_2 及颱風位置的模糊歸屬函數 MF1 的資料值為輸入資料，將以每 2 小時 O_2 及 MF1 資料輸入，即 t 、 $t-2$ 、 $t-4$... $t-12$ 時刻的 O_2 及 MF1 共 14 個。在類神經組織結構第一個隱藏層使用 80 個神經元，第二個隱藏層採用 40 個神經元，輸出為波浪示性波高 H_s 及週期 T_s ，即為(14-80-40-2)網路。

以 Model 2 為基礎的 Model 3 模式，Model 3 模式將分為三個部分，第一及第二個部分如同 Model 2 的架構並令其輸出為 O_2 ，第三個部分輸入為 12 個小時內的 O_2 及颱風位置的模糊歸屬函數 MF1 及 MF2

的資料值為輸入資料，將以每 2 小時 O_2 、MF1 及 MF2 資料輸入，即 t 、 $t-2$ 、 $t-4$... $t-12$ 時刻的 O_2 、MF1 及 MF2 共 21 個。在類神經組織結構第一個隱藏層使用 80 個神經元，第二個隱藏層採用 40 個神經元，輸出為波浪示性波高 H_s 及週期 T_s ，即為(21-80-40-2)網路。

藉由類神經網路對颱風及波浪資料學習的過程自動調整各個神經元間的權重值與偏權值。由 Model 1 學習 9 場颱風的示性波高結果與實測值的相關係數 R 為 0.89，如圖 4-6 所示，示性週期的學習結果與實測值的相關係數 R 為 0.87 示如圖 4-7，由圖 4-6 及圖 4-7 學習結果知類神經網路對於學習資料具有相當的模擬效果。

推算模式期望藉由收集的颱風學習資料能依路徑及規模有效推算波浪，經由類神經架構建立不同辨別颱風的路徑、規模與行為，有效的進行歸類及區分的學習，提高模式辨識及推算的能力。經過 Model 2 學習 9 場颱風所得的示性波高與實測值相關係數 R 為 0.87，而經過 Model 2 學習 9 場颱風所得的示性週期與實測值相關係數 R 為 0.88，其結果分別如圖 4-8 及圖 4-9 所示，Model 3 學習 9 場颱風所得的示性波高與實測值相關係數 R 為 0.89，而經過 Model 3 學習 9 場颱風所得的示性週期與實測值相關係數 R 為 0.88，其結果分別如圖 4-10 及圖 4-11 所示各場颱風波浪實測與學習波高歷線，如附錄三所示。

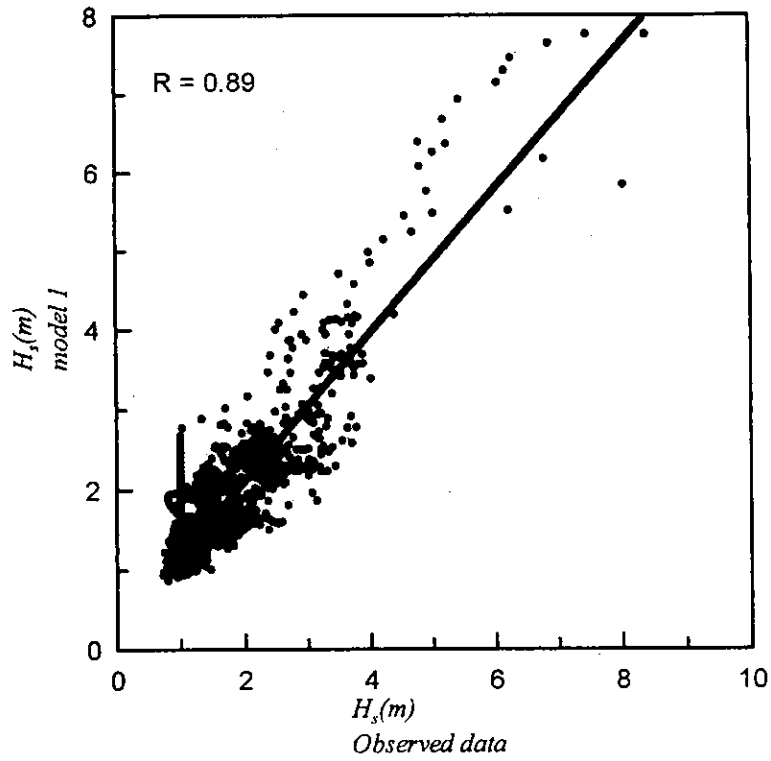


圖 4-6 以颱風波浪推算模式 Model 1 的波高學習結果與實測值之比較

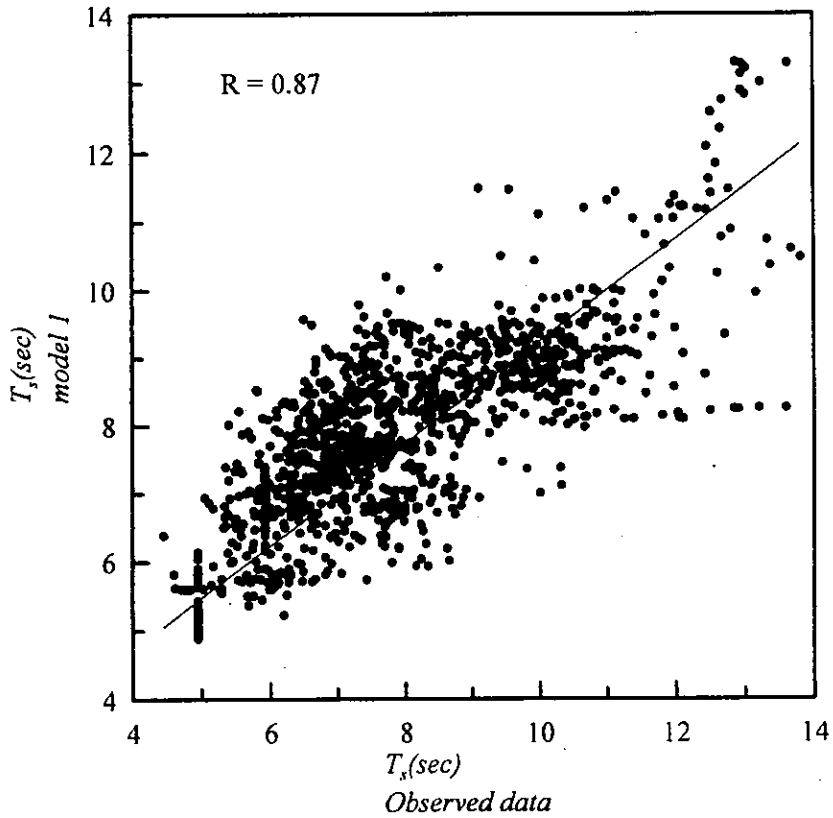


圖 4-7 以颱風波浪推算模式 Model 1 的週期學習結果與實測值之比較

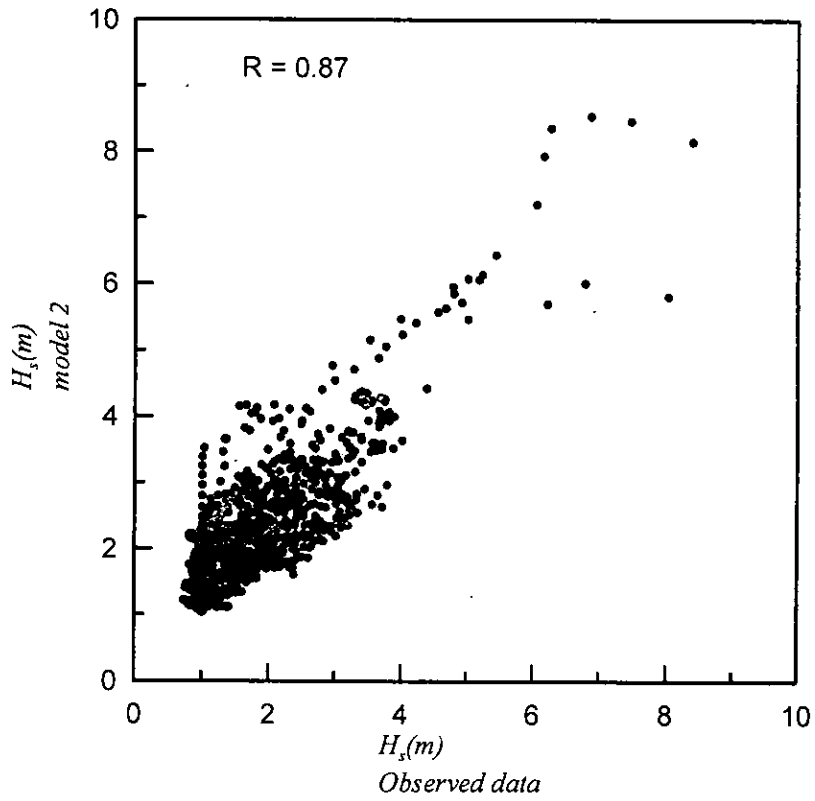


圖 4-8 以颱風波浪推算模式 Model 2 的波高學習結果與實測值之比較

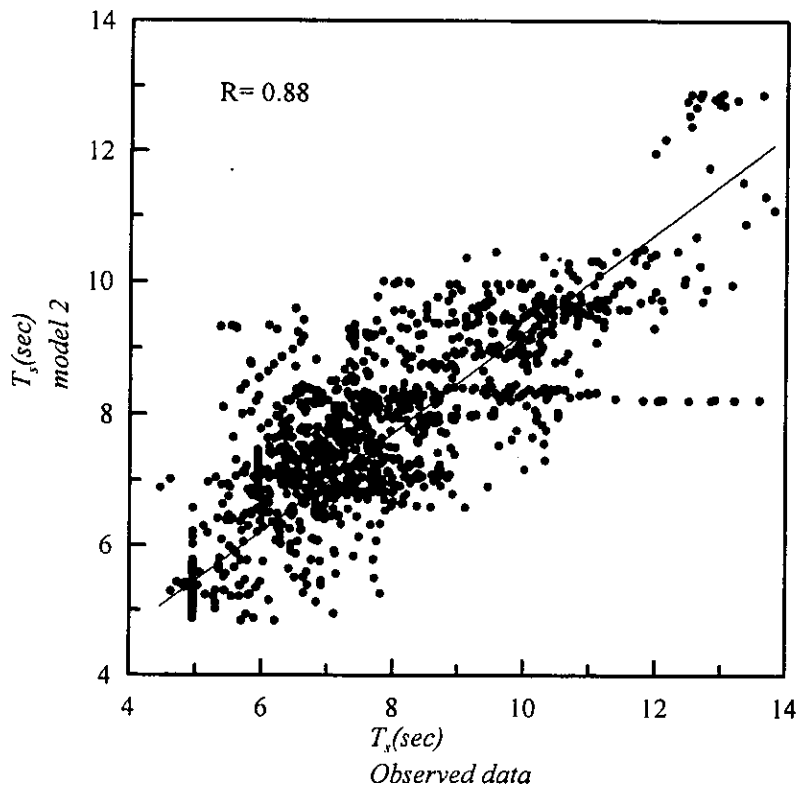


圖 4-9 以颱風波浪推算模式 Model 2 的週期學習結果與實測值之比較

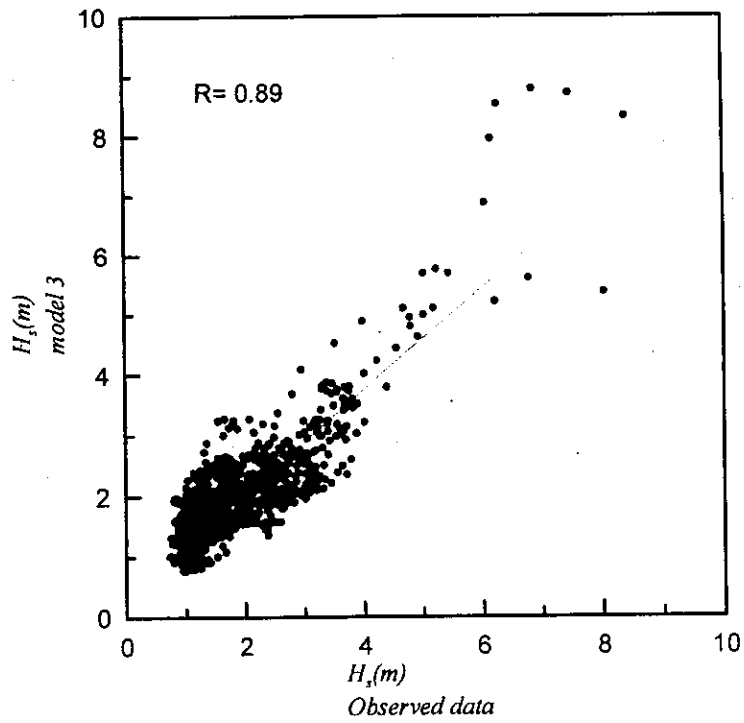


圖 4-10 以颱風波浪推算模式 Model 3 的波高學習結果與實測值之比較

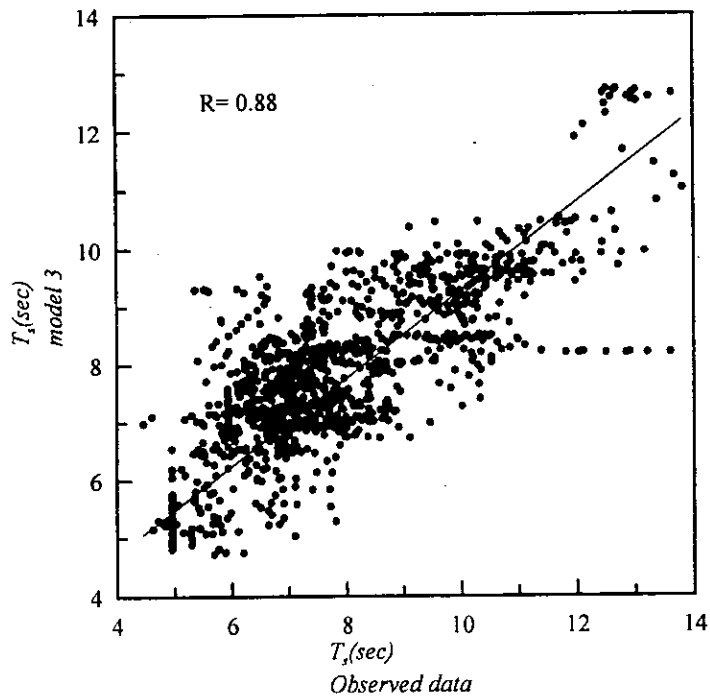


圖 4-11 以颱風波浪推算模式 Model 3 的週期學習結果與實測值之比較

4.3 花蓮港海域颱風波浪推算模式的推算能力測試

經過 Model 1、Model 2 與 Model 3 學習訓練後，接著測試此兩模式的推算能力，包括颱風波浪推算模式的測試及颱風波浪推算模式對鄰近海域的蘇澳測站的推算能力。

本文選擇 Tim、Fred、Kent 與 Haiyan 四場兩場颱風分別測試，以兩種模式所推算的示性波高及實測值分別示分別比較如下。由圖 4-3 及圖 4-12 之颱風路徑圖顯示每 6 個小時一個位置點，Tim(1994)颱風在花蓮站的南邊穿越台灣，Tim 颱風的路徑與學習資料中 Bilis (2000) 颱風路徑相似，颱風接近台灣時花蓮站落在颱風的右半圓區域，當颱風登陸後陸地對在測站附近的風場結構有較大影響，在颱風波浪方面兩種模式所推算的示性波高及實測值比較如圖 4-13 所示。圖 4-13 顯示 Tim 颱風的波浪資料雖然颱風接近測站時有紀錄，而兩個模式均能描述颱風波浪變化趨勢，但 Model 2、Model 3 推算與 Model 1 推算皆小於實測資料。

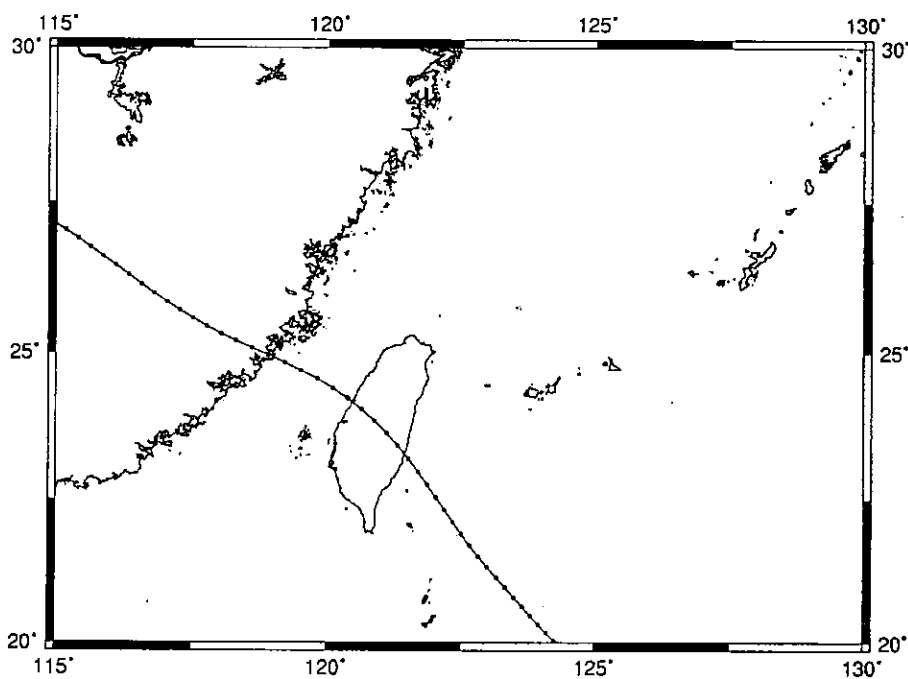


圖 4-12 Tim 颱風的移動路徑

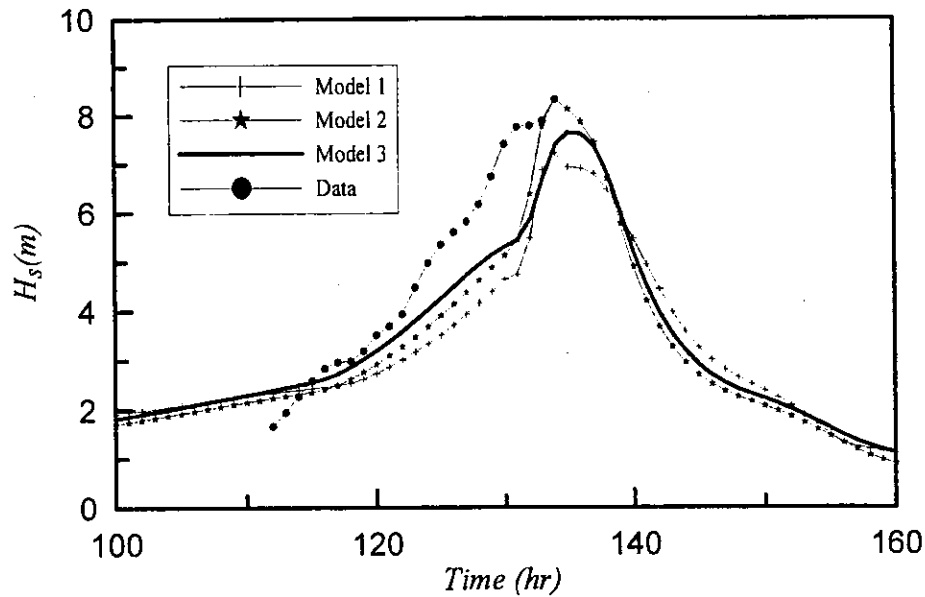


圖 4-13 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Tim 颱風波高與實測值之比較

由圖 4-14 的颱風路徑圖顯示 Fred 颱風在花蓮站的北邊穿越台灣，因此花蓮站落在颱風的左半圓區域，相對地形與陸地對在測站附近的風場結構影響較大。由圖 4-15 顯示兩個颱風推算模式在颱風波浪成長的階段推算上，Model 1 的推算有較大的變化，而 Model 2、Model 3 的推算波高較 Model 1 接近實測值，於實測颱風最高示性波高時分別有 Model 1 小於實測波高 2.5 公尺，Model 2、Model 3 小於實測波高 1.2 公尺。在颱風波浪上升段 Model 2、Model 3 明顯提前反應颱風風場的作用，在颱風波浪消退的部分 Model 2、Model 3 與觀測值較 Model 1 接近。全部實測波高與 Model 2 的推算波高的相關係數為 $R=0.867$ ，而實測週期 Model 1 與 Model 2 推算週期的相關係數為 $R=0.77$ 。Model 2、Model 3 在這場颱風的測試有較好的颱風波浪推算能力，圖 4-15 中颱風波浪成長的區間的誤差在兩個模式結構比較下，主要來自颱風風場風向對觀測站附近海域作用造成的差異，颱風波浪峰值的誤差來自於模擬風場與實際颱風風場的差異。Model 1 在颱風波浪的峰值後的波浪迅速下降，本模式並無法顯示出此現象，此因本颱風風場模式目前沒有考慮陸地的效應，當颱風接近陸地時中央山脈與陸地阻隔接近地面及海面的風場，使得颱風風場的分佈變的

不連續且複雜，這樣的結果也反應在實測的颱風波浪記錄上，而風場模擬的結果在這個部分就產生了極大的誤差，也直接造成颱風波浪推算結果的誤差，Model 2、Model 3 在修正陸地及風向後改善了這個問題，兩個模式推算結果與實測值有相同的成長趨勢。

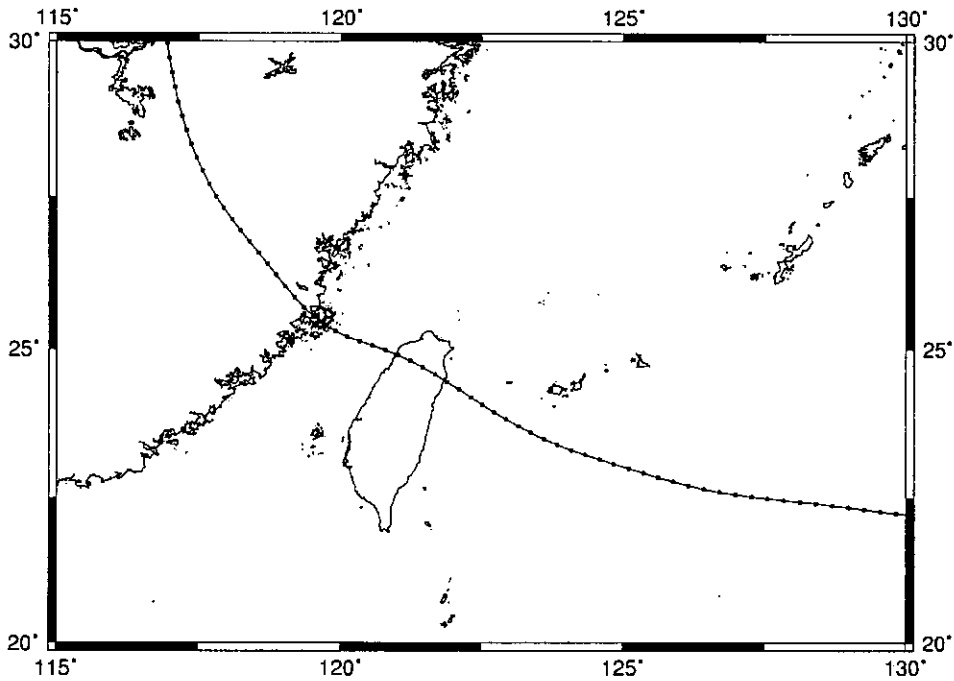


圖 4-14 Fred 颱風移動路徑

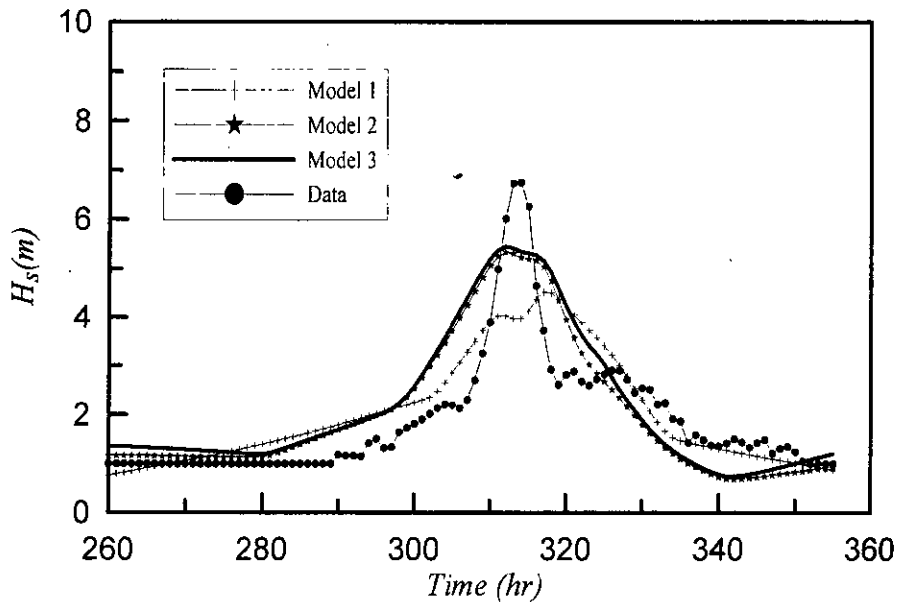


圖 4-15 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Fred 颱風波高與實測值之比較

圖 4-16 之颱風路徑圖顯示 Kent(1995) 颱風在台灣南邊穿越巴士海峽，Kent 颱風的路徑接近台灣時花蓮站落在颱風的右半圓區域，當颱風穿越巴士海峽後在進入中國大陸。以兩種模式所推算的示性波高及實測值比較如圖 4-17 所示。由圖 4-17 顯示 Kent 颱風的波浪資料在颱風穿越巴士海峽期間測站的颱風波浪實測資料遺缺，在比較實測的結果 Model 1、Model 2、Model 3 對颱風能定性的描述颱風波浪變動的趨勢且接近實測資料，Model 1 的推算波高在颱風波浪峰值到達後有高估的現象，這個誤差的產生來自於對颱風風場忽略陸地遮蔽效應所致，以致於未能充分反應颱風波浪，Model 2、Model 3 在颱風波浪消退區段能夠藉由風向及陸地的修正，降低誤差且反應實測波浪行為。

由圖 4-18 的 Haiyan 颱風的路徑顯示，此颱風緩慢往台灣前進後在接近花蓮站約 300 公里時轉向離開台灣。由圖 4-19 顯示兩個模式在颱風到達前的波浪推算，由結果顯示預測均屬平滑成長，在颱風波浪成長的階段 Model 1 反映出最大波浪到達的時間但是對於波高有明顯的低估，而 Model 2、Model 3 的推算大波浪到達的時間有提前的現象，但波高結果對實測值較 Model 1 之推算值有佳的模擬。颱風波浪的消退段，Model 2、Model 3 亦較 Model 1 更符合實測值，圖 4-19 中顯示實測波浪有約 1 公尺的震盪，如果假設颱風風場是影響波高的主要因素，則波高的震盪的現象，來自於真實颱風風場內因為颱風運動行為產生更複雜的風場與波浪場分佈的變化。

若以 Model 1、Model 2 與 Model 3 模式推算四場未經學習之颱風波浪的波高及週期與實測值之比較結果分別如表 4-3 所示。其中比較的參數為：

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{s,p} - H_{s,m})^2} \quad (4-1)$$

$$\Delta H_{s,p} = MAX(H_{s,p}) - MAX(H_{s,m}) \quad (4-2)$$

$$\Delta t_p = t_{p,p} - t_{p,m} \quad (4-3)$$

$H_{S,p}$ 為測站實測颱風波浪示性波高

$H_{S,m}$ 為模式推算颱風波浪示性波高

$t_{p,p}$ 為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間

$t_{p,m}$ 為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間

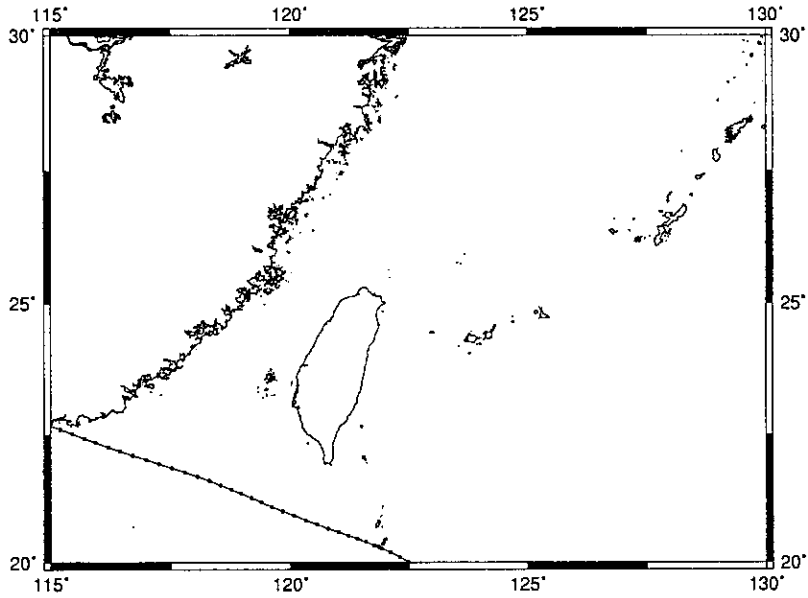


圖 4-14 Kent 颱風的移動路徑

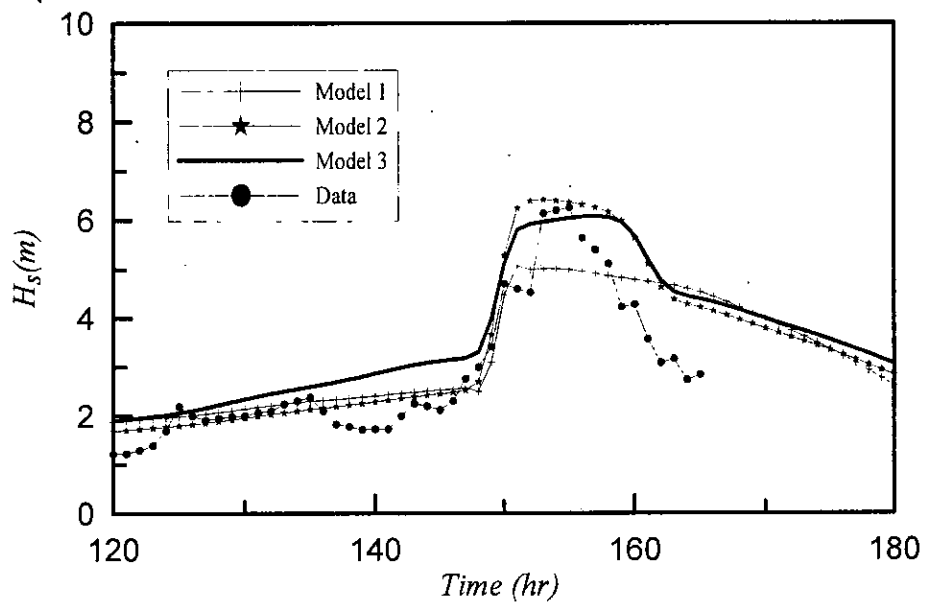


圖 4-17 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Kent 颱風波高與實測值之比較

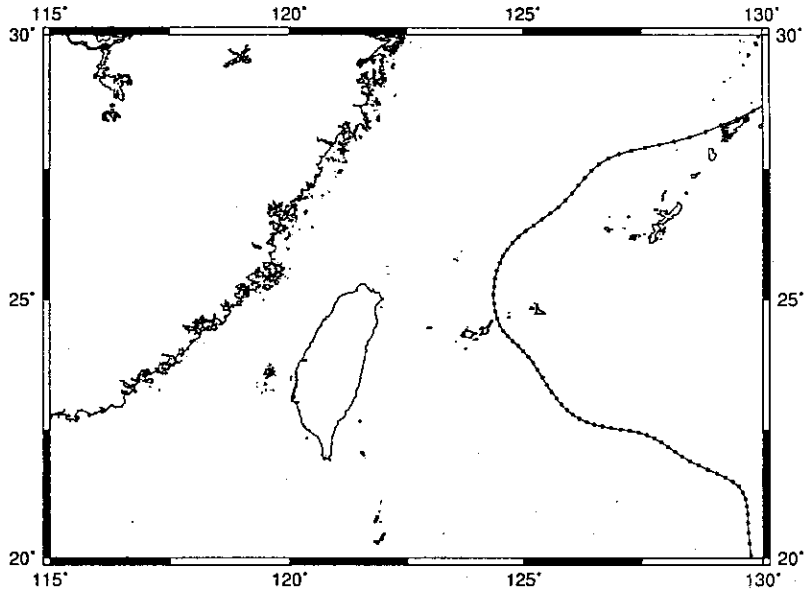


圖 4-18 Haiyan 颱風的移動路徑

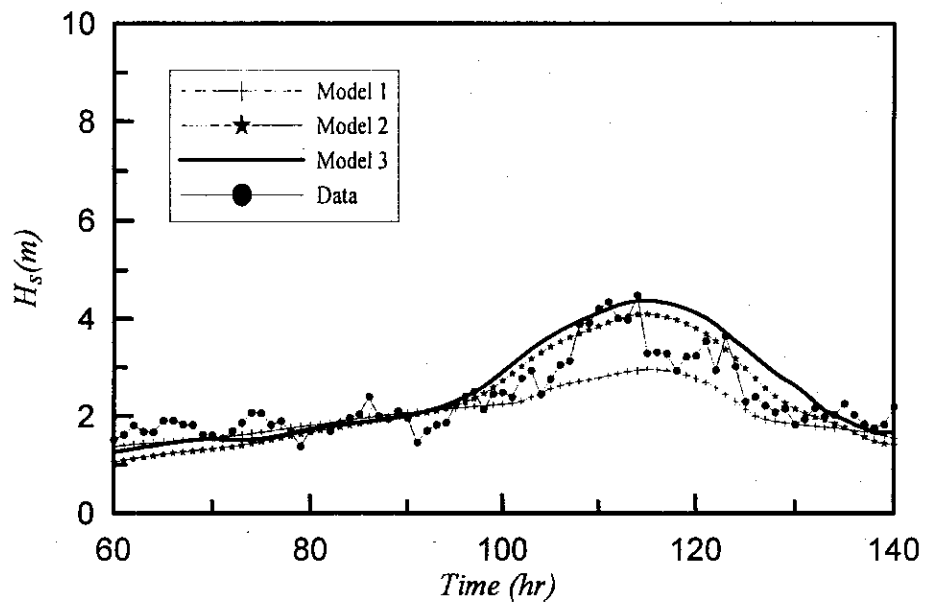


圖 4-19 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算花蓮港 Haiyan 颱風波高與實測值之比較

表 4-3 Model 1、Model 2 及 Model 3 預測四場颱風之比較

颱風	Model 1				Model 2				Model 3			
	RMS (m)	R	ΔH_{sp} (m)	Δt_p (hr)	RMS (m)	R	ΔH_{sp} (m)	Δt_p (hr)	RMS (m)	R	ΔH_{sp} (m)	Δt_p (hr)
Tim*	2.01	0.92	-1.04	0	1.9	0.97	0	0	1.94	0.97	-0.54	0
Fred	0.9	0.88	-2.2	4	0.44	0.9	-1.17	-1	0.5	0.98	-1.27	-1
Kent	0.43	0.93	-1.21	-4	0.36	0.97	0.2	-3	0.47	0.96	-0.2	3
Haiyan	0.59	0.93	-1.59	2	0.51	0.93	-0.3	0	0.54	0.93	0.1	0
Maggie	0.95	0.95	-1.13	2	0.55	0.96	0.3	-3	0.65	0.97	0	0

接著利用花蓮測站附近的蘇澳測站來進行推算颱風波浪。選擇測試的颱風為 Maggie 颱風(1999)，此颱風路徑如圖 4-20 所示，颱風位於蘇澳站的西南方往西北西進行，經過巴士海峽後進入中國大陸。以 Model 1 及 Model 2、Model 3 推算 Maggie 颱風的示性波高及實測波高資料如圖 4-21 所示。由圖 4-21 顯示兩個模式均可適當地推算蘇澳站的颱風波浪，且 Model 2、Model 3 較 Model 1 有良好的颱風波浪推算能力。實測波高與 Model 2 推算波高的相關係數為 $R=0.95$ ，Model 2 對 Fred 颱風與 Maggie 颱風推算結果相比較，Fred 颱風是以颱風左半圓接近觀測站，而北半球颱風風向以逆時鐘方向旋轉的特性，造成了颱風右半圓風場一旦受陸地影響就嚴重破壞颱風左半圓的風場，也造成波浪推算的誤差，Maggie 颱風接近台灣時波浪觀測站位於颱風右半圓風場內，所以風場結構相對較穩定也使得的颱風波浪推算結果有較好的表現，而模式在推算颱風波浪由峰值開始的消退區間，由於颱風風場及波浪受陸地遮蔽 Model 2、Model 3 亦充分反應波浪特性，至於颱風波浪實測週期與 Model 2 推算週期的相關係數為 $R=0.67$ 。整體而言，颱風波浪推算模式對推算點鄰近的區域具有良好的推算能力。

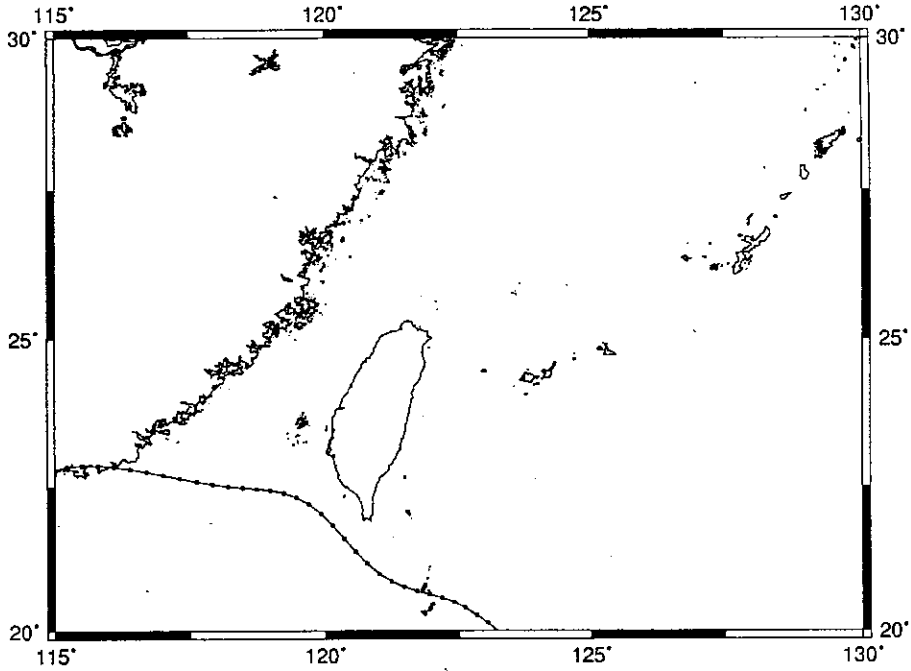


圖 4-20 Maggie 颱風的移動路徑

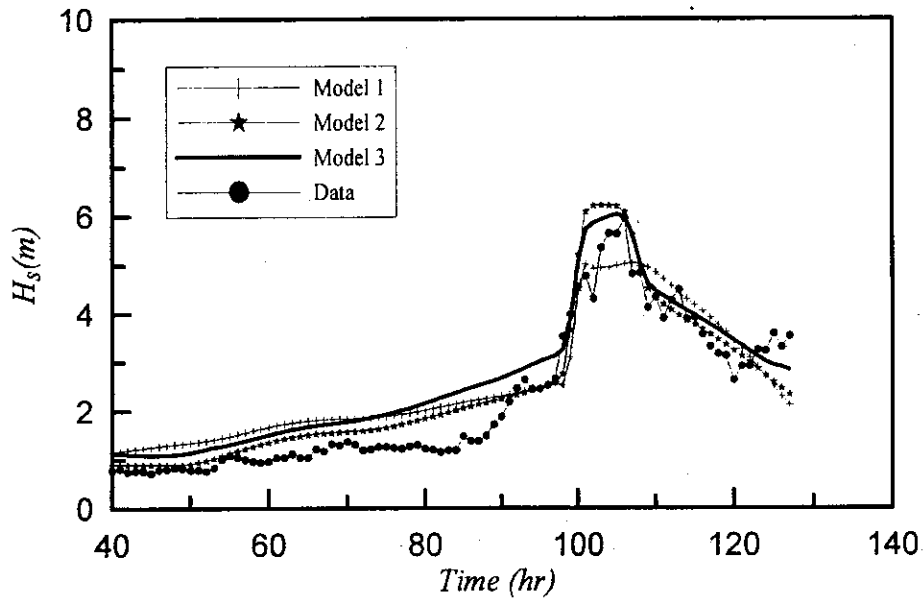


圖 4-21 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算蘇澳港 Maggie 颱風波高與實測值之比較

4.4 基隆港海域颱風波浪推算模式學習能力的測試

基隆港位於台灣北端，由於特殊的地形遮蔽特性對於颱風的風場作用與波浪行為等相互影響的關係更趨複雜，因此基隆港觀測站附近海域的颱風波浪推算模式的建構，將採用 Model 3 的類神經網路結構配合基隆觀測站的颱風波浪資料的學習過程，建構一個屬於該區域的颱風波浪推算模式，由於颱風波浪資料的限制因此採用三場颱風進行模式的學習，颱風及波浪資料如表 4-4 所示，學習的結果在颱風波浪示性波高的比較如圖 4-22 所示，模式推算的結果與實測示性波高值的相關係數 $R=0.89$ ，模式推算的示性週期與實測示性週期值的相關係數 $R=0.86$ ，示性週期的比較如圖 4-23 所示。

表 4-4 颱風波浪推算模式基隆測站颱風與波浪學習資料

年代	颱風名稱	颱風資料時段	波浪資料時段
2001	Utor	07/01(0600)~07/06(1800)	07/01(0600)~07/06(1800)
2002	Rammasun	06/28(0600)~07/06(0000)	06/28(0600)~07/06(0000)
	Sinlaku	08/28(1800)~09/08(0000)	08/29(0200)~09/08(0000)

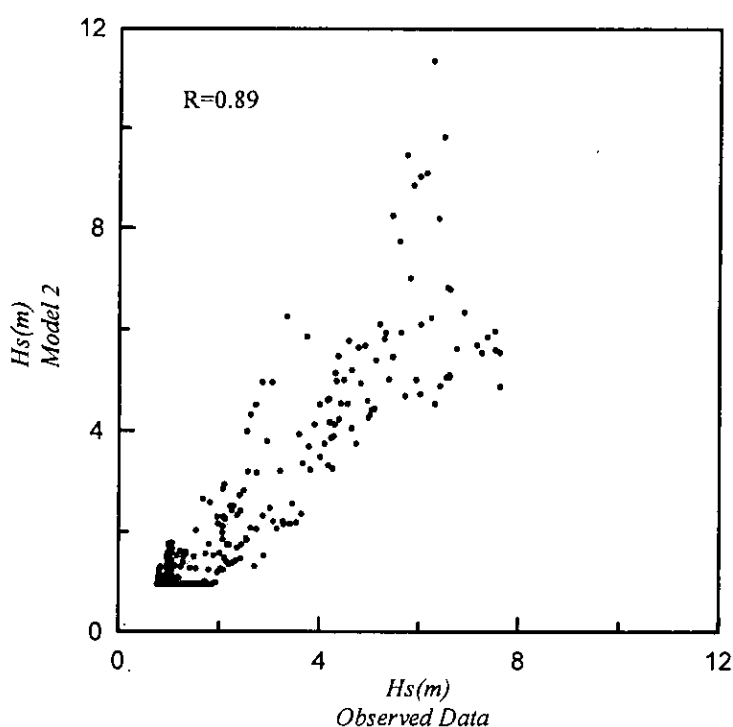


圖 4-22 颱風波浪推算模式波高學習結果與實測值之比較

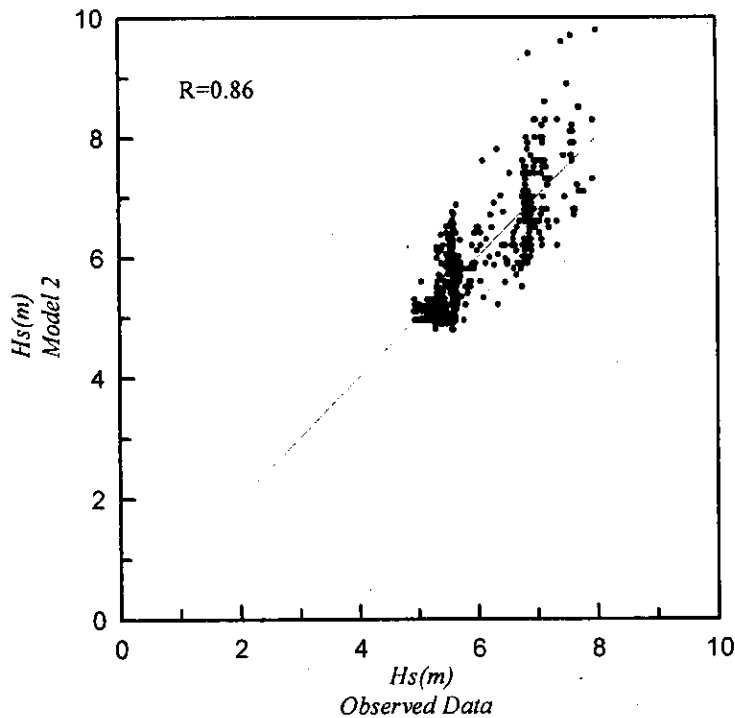


圖 4-23 颱風波浪推算模式波高學習結果與實測值之比較

4.5 基隆港海域颱風波浪推算模式的推算能力測試

在颱風波浪資料受限的環境下以 Haiyan 颱風作為模式測試的颱風，由圖 4-16 的 Haiyan 颱風的路徑顯示，此颱風緩慢往台灣前進後在接近台灣站約 300 公里時轉向離開台灣，而基隆港在颱風接近台灣的過程中陸地遮蔽了部分的波浪與風場，當颱風風場的風向直撲基隆港時發生最大波高。

由圖 4-24 中模式在颱風到達前的波浪推算，由結果顯示預測值在颱風風場到達前低估約 1 公尺的颱風波浪，在颱風波浪成長的階段模式反映出最大波浪到達的時間接近實測值，但是波高最大值的推算與實測值接近，由模式計算的結果可以瞭解基隆測站附近海域的颱風波浪推算模式具有正確的推算能力，且模式對於陸地遮蔽與風向的效應能夠有效的反映在颱風波浪行為上，足以達到預警、防災的目標。

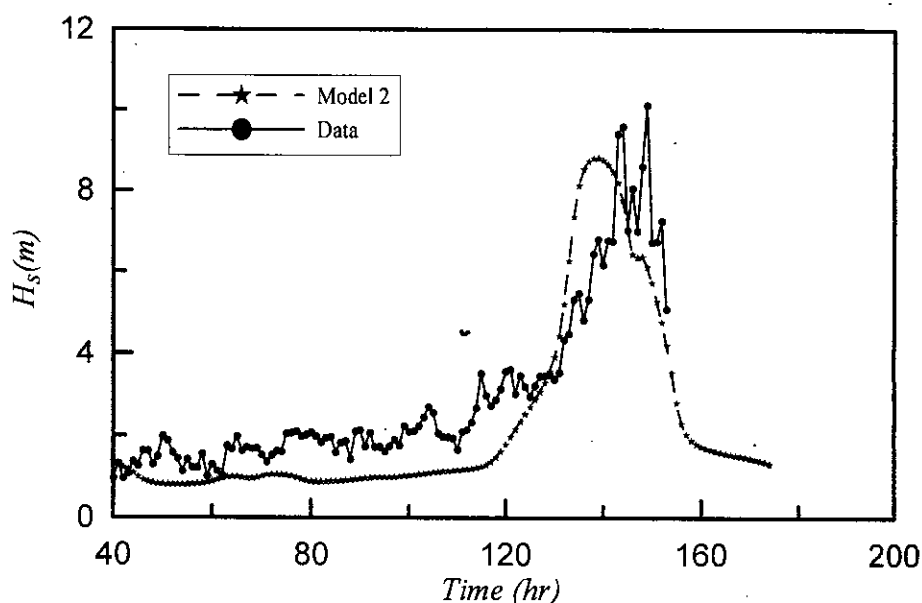


圖 4-24 基隆港 Haiyan 颱風波高與實測值之比較

4.6 花蓮港颱風波浪推算模式的對成功港推算能力測試

對於台灣東部沿岸而言，成功港與蘇澳港在地理條件上與花蓮港相近，因此本研究利用花蓮港的颱風波浪推算模式中的 Model 3 對成功港進行颱風波浪的推算，由於沒有收集到成功港颱風波浪資料，因此利用花蓮港與蘇澳港資料對成功港進行定性的比較，比較的颱風為 HAIYAN 颱風與 MAGGIE 颱風，利用花蓮港模式推算成功港的颱風波浪資料如圖 4-25 及圖 4-26，由圖 4-18 顯示 HAIYAN 颱風的路徑，成功港的颱風波浪峰值比花蓮港颱風波浪峰值提早到達，符合颱風波浪的行為。MAGGIE 颱風的路徑如圖 4-20 所示，成功港較接近颱風所以風速亦較蘇澳港大，因此颱風波浪亦較蘇澳港大，這樣的特性亦反映在圖 4-26 中。

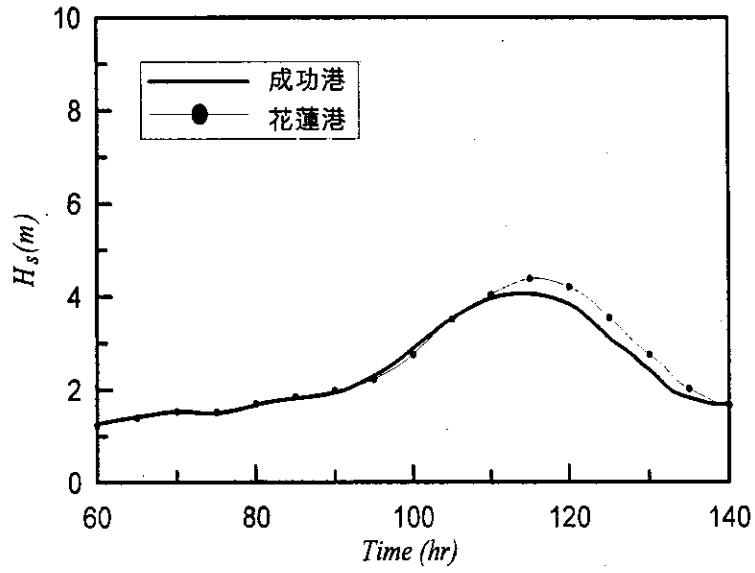


圖 4-25 花蓮模式預測花蓮及成功 HAIYAN 颱風預測結果

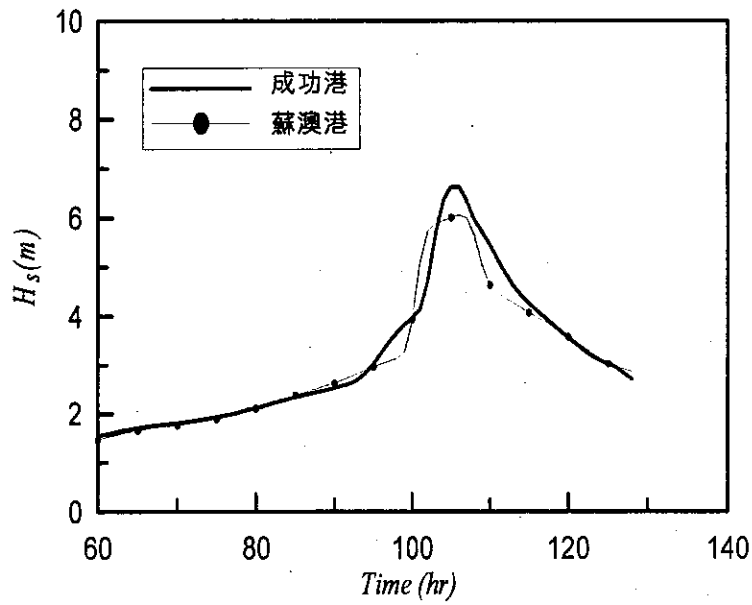


圖 4-26 花蓮模式預測蘇澳及成功 MAGGIE 颱風結果

第五章 結論

本研究發展的台灣東部海域三種修正颱風波浪推算模式。其中 Model 1 考慮路徑、颱風運動行為及延時對波浪的影響，以階段的方式整合輸入參數，降低輸入參數的個數以解決模式學習不能收斂的問題。而 Model 2 考慮路徑、颱風運動行為及延時對波浪的影響以外，對於台灣沿岸不同的地理條件提供了解決的對策，配合模糊理論的方式整合輸入參數並分離陸地的影響。而 Model 3 考慮陸地、風向的影響，以解決模式使用受地形限制的問題。

由測試的結果顯示本 Model 1 對學習過的颱風事件或是與學習資料相似的颱風事件，有相當好的推算模擬能力，但是對於其他未學習過的特殊颱風事件或是受陸地影響的颱風事件，模式則在颱風波浪推算能力上容易產生推算的誤差，經整體測試顯示 Model 1 的學習結果對颱風波浪有不錯得推算能力。Model 2、Model 3 對於颱風波浪的推算相對的提供了較穩定的推算能力。由於加入了陸地及風向的因素使的 Model 3 模式結構較複雜，對於準確性的提升就需要更多的學習資料修正，經整體測試顯示 Model 3 的學習結果，對颱風與陸地及風向對颱風波浪的關係提適度的修正，使的模式對颱風波浪有更加的推算能力。。

整體而言在颱風風場不受陸地影響下，Holland model 配合類神經網路在颱風波浪推算上有良好的表現，對於受陸地與地形影響颱風風場的環境，則需要對颱風風場有更真實的模擬與描述，以充分反應颱風波浪的特性。雖然 Model 2、Model 3 對陸地及風向提供颱風波浪修正的功能，但是一個更精準的颱風風場資料亦將提供一個高品值的颱風波浪預測的結果。

對於選取的颱風波浪場影響範圍也充分反應一般颱風波浪場的性质，相對於颱風波浪推算模式延時的選取參考圖 4-10、4-12、4-14、4-16 及 4-20 進行瞭解，圖中每個資料點為 6 小時而 0-24 小時延時代表了每 5 個資料點資料推算一個颱風波浪值，這樣的計算架構解決了不同路徑下相同位置颱風不同波高值的問題。

本研究發展的颱風波浪推算模式，在建構模式的限制範圍內經過測試及驗證，計算的結果能夠滿足對颱風波浪推算、模擬、預警及防災的需求，在地形條件無劇烈變化的限制下，本模式可以擴大推算範圍以提供鄰近區域颱風波浪推算的模擬與校正。同時對於地形、環境變動較大的區域提供模式修正的規則。

因此，以類神經網路為核心建構的颱風波浪推算模式，達到模式建構過程容易、計算快速、計算結果準確及模式具自我修正調校功能的目標，此為避免於一般數值模式需較長計算時間，而有相當精度之預測能力。

隨著台灣沿岸波浪觀測站技術的改善提升以及資料收集系統完備的情況下，類神經颱風波浪推算模式將可以依收集到的花蓮、蘇澳、台北、安平等或更多測站的波浪資料，進行分類與分析並且同步修正目前的模式，藉由颱風波浪與推算區域相關地理位置特性進行模式的修正及調校，藉以達到對各重要港灣預警防災的目標。

參考文獻

1. 郭鴻基、吳俊傑、李勝清(2002)「天搖地動—颱風研究的挑戰」，科學發展月刊，第29卷，第12期，第859-866頁。
2. 張憲國、錢維安(2001)「台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究(一)」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
3. 張憲國、錢維安(2000)「臺灣東部港灣預警系統之應用研究-港外波浪動態特性」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
4. 簡仲璟、曾相茂(1999)「花蓮港颱風波浪特性研究」，第21屆海洋工程研討會論文集，第55-62頁。
5. 王時鼎(1988)「臺灣颱風風力特性及其預報研究(二)」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，70頁。
6. 交通部中央氣象局(1998)「颱風百問」，第10-20頁。
7. 劉廣英、俞川心、李富城(1986)「移近或登陸臺灣颱風強度變化及其成因之研究」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，72頁。
8. 羅俊雄，張隆男(1987)「颱風特性及風對結構物影響」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告，70頁。
9. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris(1996) "The SWAN wave model for shallow water," *Proceedings of the 24th Conference International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Orlando, Vol. 1, pp. 668-676.

10. Bretschneider, C. L. and E. E. Tamaye (1976) "Hurricane wind and wave forecasting techniques," *Proceedings of the Fifteenth Conference on Coastal Engineering*, Hawaii, Vol. 1, pp. 202-237.
11. Chen, Y. H. and H. Wang (1983) "Numerical model for non-stationary shallow water wave spectral transformation," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, pp. 9851-9863.
12. Deo, M.C., and C.S. Naidu, (2001) "Real time wave forecasting using neural networks," *Ocean Engineering*, Vol. 26, 191-303.
13. Eberhart, R.C., and Dobbins, R. W., *Neural Network PC Tools – A Practical Guide*, Academic Press, Inc, pp. 10-250 (1990).
14. Harper, B.A., Holland, G.J., (1999). "An updated parametric model of the tropical cyclone," *Proceedings of the 23rd Conference of Hurricane and Tropical Meteorology*, Dallas, Texas, pp. 893-896.
15. Hajime, M., M. Sakamoto, and T. Sakai (1995). "Neural network for stability analysis of rubble-mound breakwaters," *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 97, 139-154.
16. Hiraoka, T., H. Maeda and N. Ikoma (1999) "Two-stage prediction method of typhoon position by fuzzy modeling-Fusion of outline prediction and detailed prediction Systems," *Proceedings of IEEE SMC '99 Conference on Man, and Cybernetics*, Vol. 6, pp. 581-585.
17. Holland, G. J. (1980) "An analytical model of the wind and pressure profiles in hurricanes," *Monthly Weather Review*, Vol. 108, pp. 1212-1218.
18. Holland, G.J. (1993): WMO/TC-No. 560, Report No. TCP-31, World Meteorological Organization; Geneva, Switzerland
19. Jelesnianski, C.P., (1966) "Numerical computations of storm surges without bottom stress," *Monthly Weather Review*, Vol. 94, No. 6, 379-394.
20. Lee, R.S.T. and J.N.K. Liu (1999) "An Elastic Graph Dynamic Link Model for Tropical Cyclone Pattern Recognition," *Proceedings of the 6th International Conference on Neural Information*, ICONIP'99, Vol. 1, pp. 177-182.
21. Niwa, Y. and T. Hibiya (1998) "Nonlinear processes of energy transfer from traveling hurricanes to the deep ocean internal wave field," *Oceanographic Literature Review*, Vol. 45, pp. 39.
22. Shore Protection Manual (1984) U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Vol. I-III.

23. Shore Protection Manual (2002) U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Vol. I-III.
24. SWAMP Group (24 Authors) (1985) *Ocean wave modeling*, Plenum Press, New York, 256 pp.
25. Tolman, H.L. (1997) *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III*, version 1.15, NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97pp.
26. WAMDI group The WAM model (1988) "A third generation ocean wave prediction model," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1775-7810.
27. Young, I.R. (1988a) "Observations of the spectra of hurricane generated waves," *Ocean Engineering*, Vol. 25, pp. 261-276.
28. Young, I.R. (1988b). "A parametric hurricane wave prediction model," *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 114, pp. 637-652.

附錄一 倒傳遞類神經網路學習演算法

推算模式主要核心採用類神經網路理論，類神經網路具備著一些優良的特性其中包括(1)高速的計算能力(2)自我學習能力(3)高容量的記憶力(4)容錯的能力。

人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

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

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(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} ：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。

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, BPN)，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

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

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

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

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

(2) 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

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

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

(3) 計算加權值矩陣的修正量 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：

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

此時加權值的修正量可表示為：

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

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

其中 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 W_1 、 W_2 及偏權值向量 θ_1 、 θ_2 的更新：

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

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

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

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

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

為了能評鑑倒傳遞類神經網路的網路學習的效能，本文將採用均方根誤差量 (Root Mean Squared Error) 做為評鑑指標，計算式如下：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (T_i - Y_i)^2} \quad (15)$$

其中 n 為學習資料的筆數

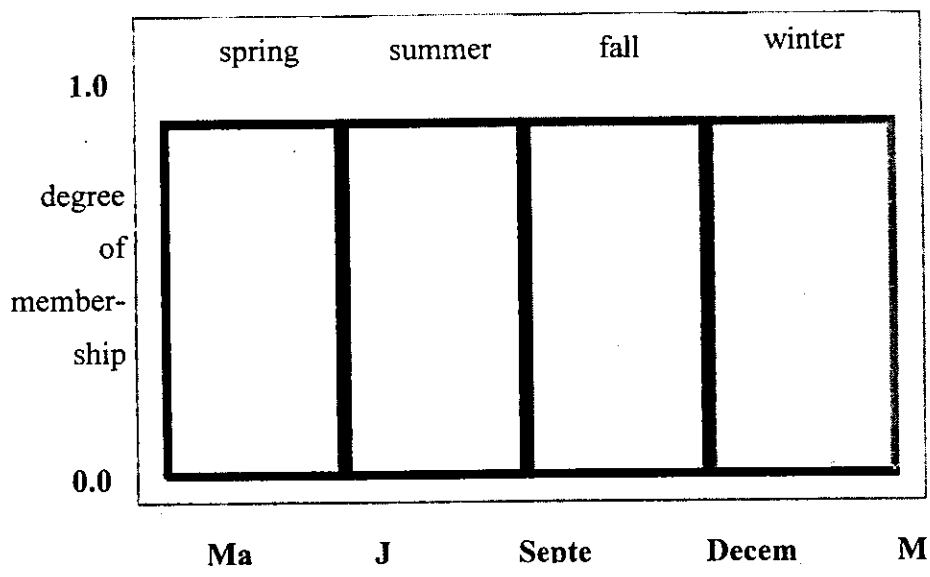
附錄二 模糊理論

(一) 模糊集合

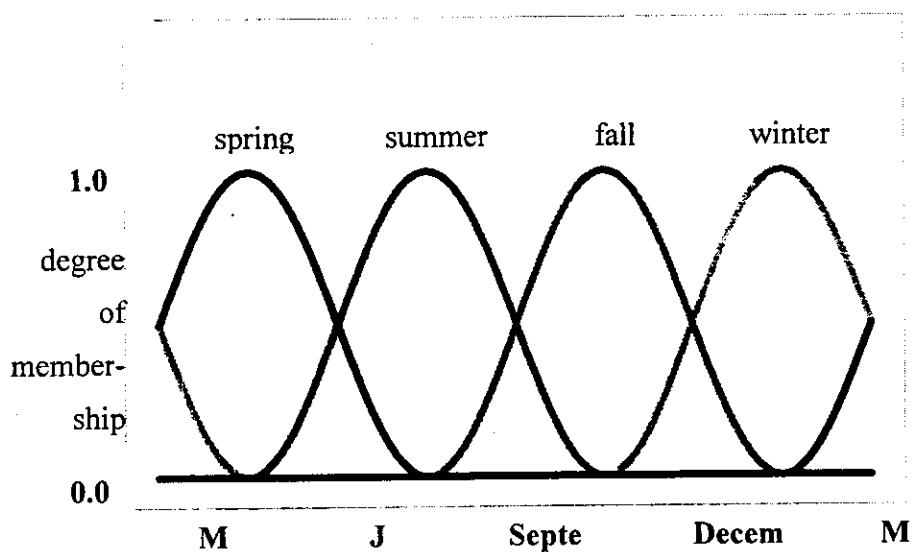
對於不確定性知識的處理模糊理論提供了一個相當合適的處理工具，而所謂不確定事件的種類包括：

- 1 機率性事件：事件明知會發生但是無法斷定事件發生的時機或是機制。
- 2 多重意義事件：對於同一事件的發生存在有不同的原因或規則。
- 3 不正確性事件：事件的結果受到外界干擾產生的部分偏差。
- 4 不完全性事件：事件的發生屬於另一事件的局部現象。
- 5 混淆不確定事件：因為事件發生的條件或機制不明顯使得事件發生成因不明確。

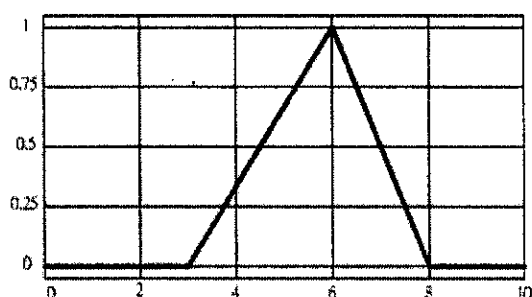
例如一般而言一年的四季冷暖是按月區分如圖 1，但是實際的劃分卻是困難的，因為在季節交替時區間並不明顯，可能四季的區分如圖 2 所示，季節間的關係並不明確而且有些模糊。如果依照圖 1 的區分方式做季節間的區分，區分季節的函數關係稱為的歸屬函數 (membership function)，圖 1 歸屬函數為步階函數 (step function)，圖 2 的歸屬函數則為高斯函數，當然也可以使用其他的函數形容事件的發生變化，如圖 3 所示為其他常使用的歸屬函數型態。如圖 1 及圖 2 描述事件的一般性區分方式及模糊現象下的區分方式。



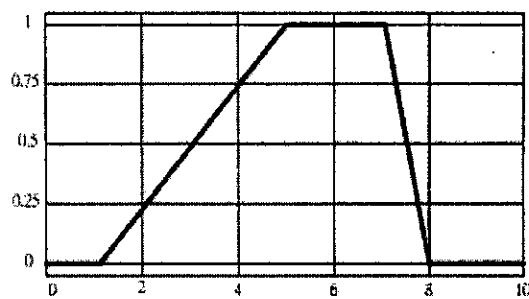
附圖 2-1 以步階函數描述四季的歸屬函數



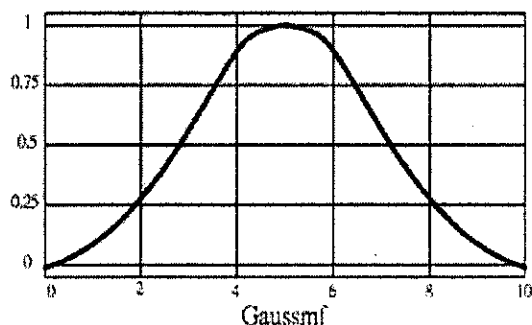
附圖 2-2 以高斯函數描述四季的歸屬函數



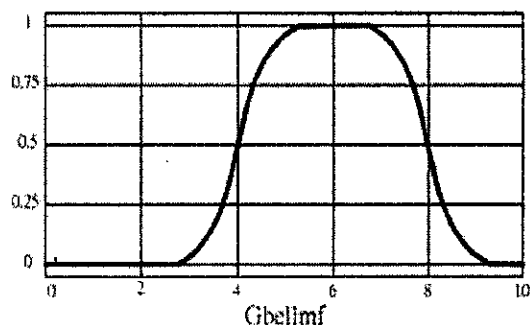
(a)三角函數



(b)梯形函數



(c)高斯函數



(d)鐘型函數

附圖 2-3 一般常用的歸屬函數

(二) 模糊邏輯運算

兩個輸入函數及模糊化函數的邏輯運算值如圖 4 所示，其中包含邏輯運算規則 AND、OR、NOT。

A	B	A and B
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	A or B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

A	not A
0	1
1	0

NOT

A	B	min(A,B)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

AND

A	B	max(A,B)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

OR

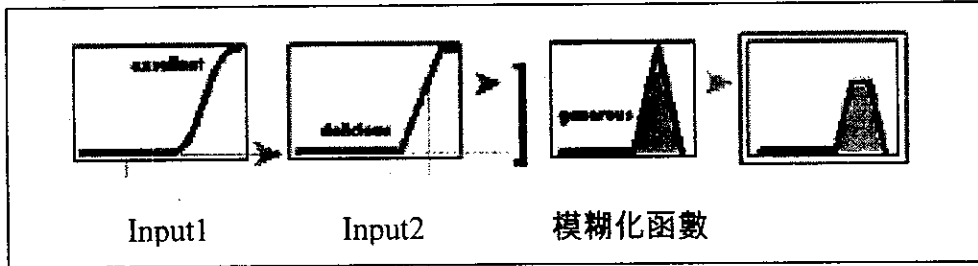
A	1-A
0	1
1	0

NOT

附圖 2-4 模糊邏輯運算真值表

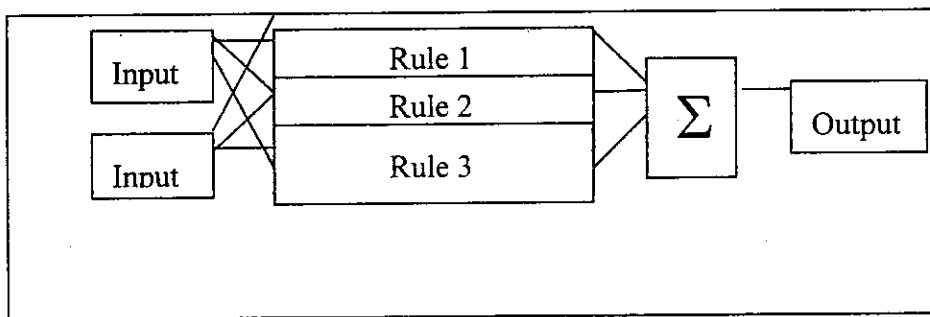
(三) 模糊化運算

當輸入值進行歸屬函數及模糊邏輯運算後，即是進行模糊化過程。如圖 5 所示為二個輸入值的模糊化，在最大值的法則下所得的模糊化結果。



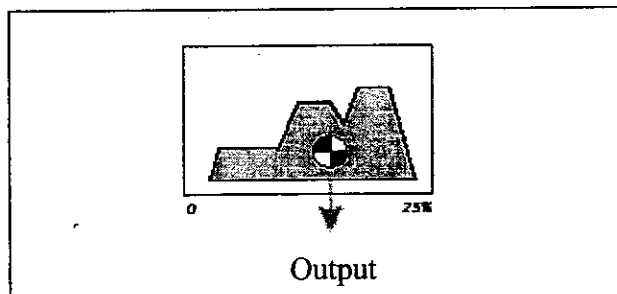
附圖 2-5 二個輸入函數經過最大值法則的模糊化結果示意圖

模糊網路的運算操作方式簡介如下，圖 6 為 2 個輸入函數，3 個邏輯規則運算，1 個輸出函數的模糊網路



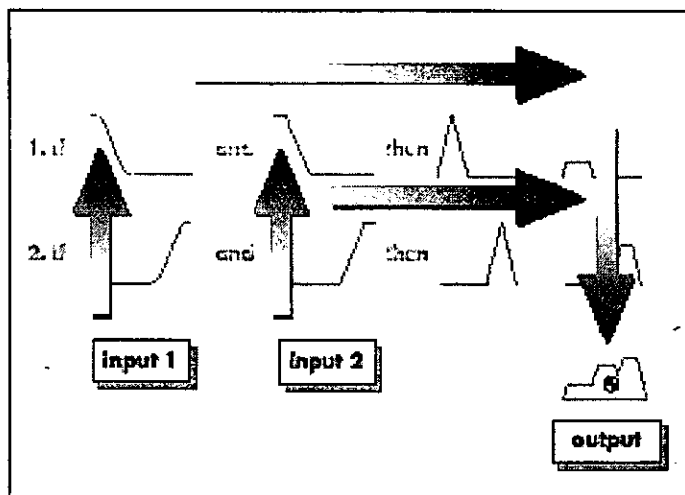
附圖 2-6 模糊網路結構示意圖

當不同的輸入值各別進行模糊邏輯運算後的模糊化結果，所有輸出值必須經過最後一個步驟解模糊化解模糊化之過程，才可獲的更正的輸出值。一般解模糊的方式採用重心法，如圖 3-7 所示



附圖 2-7 重心法解模糊化示意圖

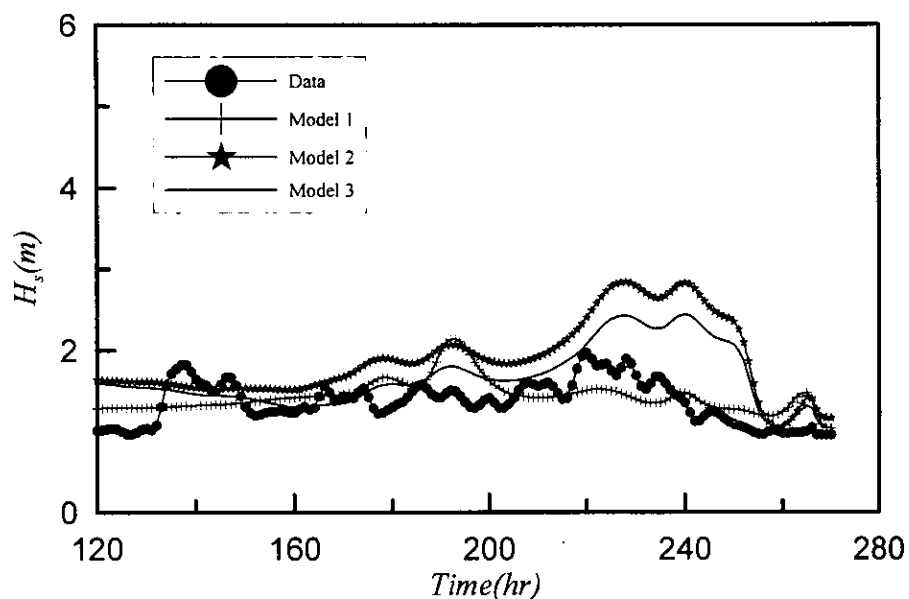
由上述的模糊網路的例子說明，不同輸入值經過模糊化，法則運算及解模糊化過程，其網路操作流程示如圖 8。



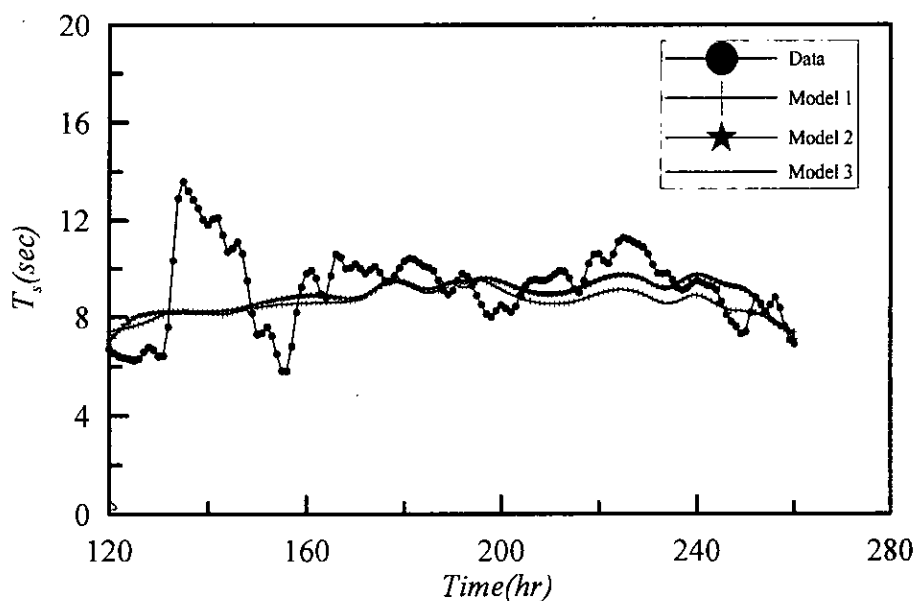
附圖 2-8 模糊網路的操作流程示意圖

附錄三 颱風波浪歷線比較

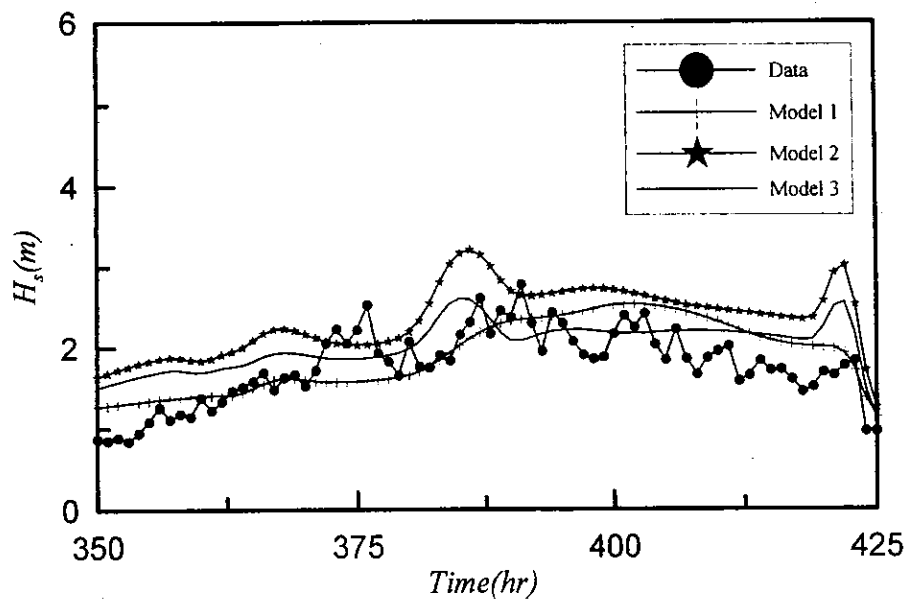
利用本模式計算近年花蓮港之颱風波浪歷線如下



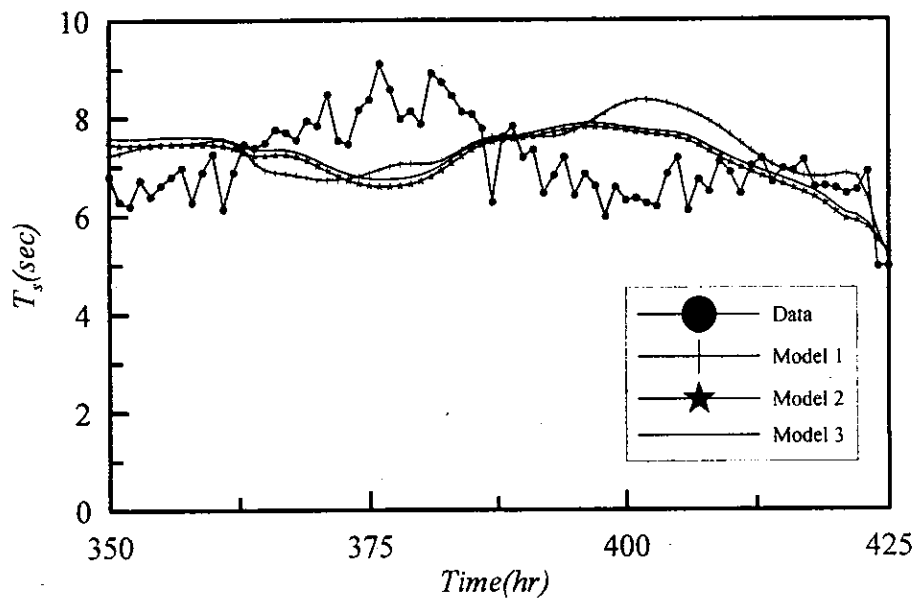
附圖 3-1 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Jelawat(2000)颱風波高與實測值之比較



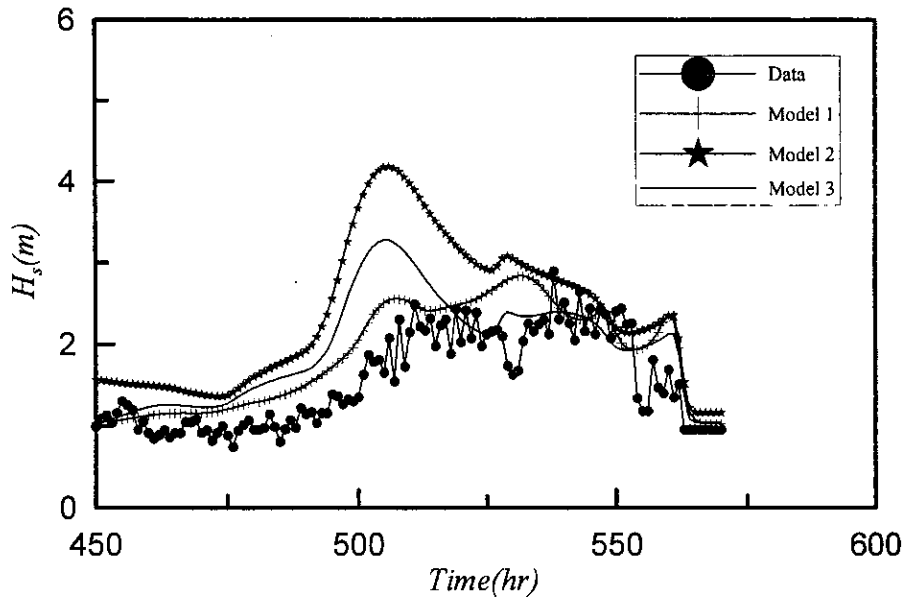
附圖 3-2 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Jelawat(2000)颱風週期與實測值之比較



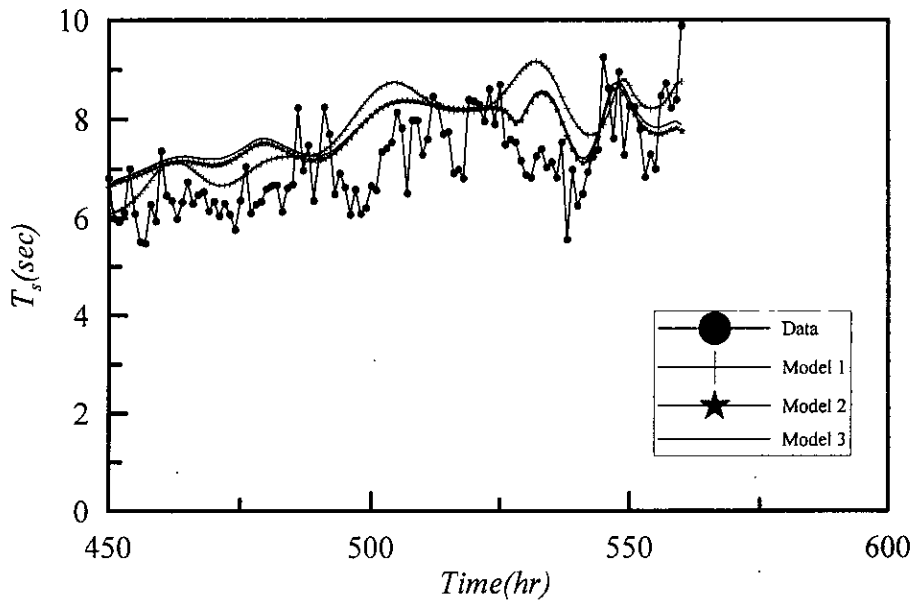
附圖 3-3 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bopha(2000) 颱風波高與實測值之比較



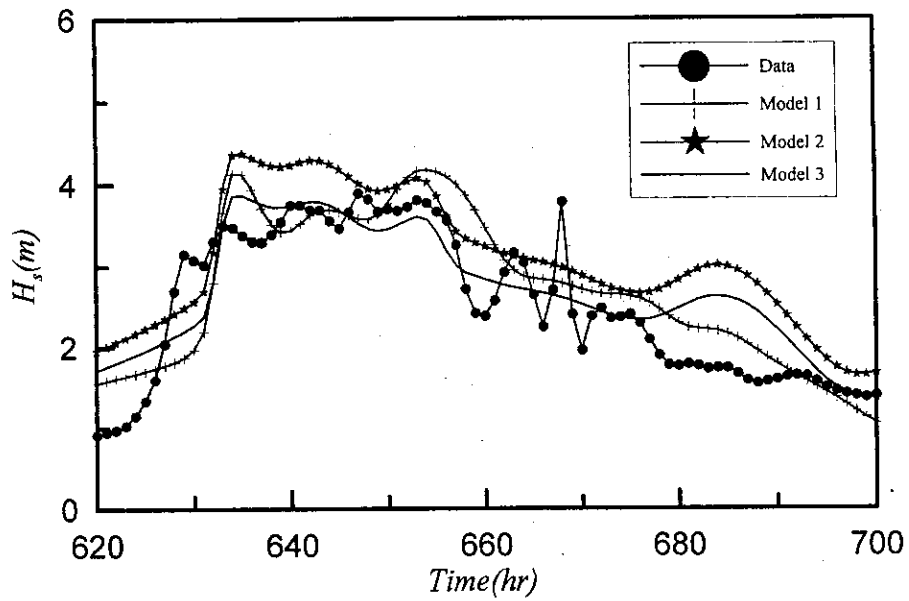
附圖 3-4 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bopha(2000) 颱風週期與實測值之比較



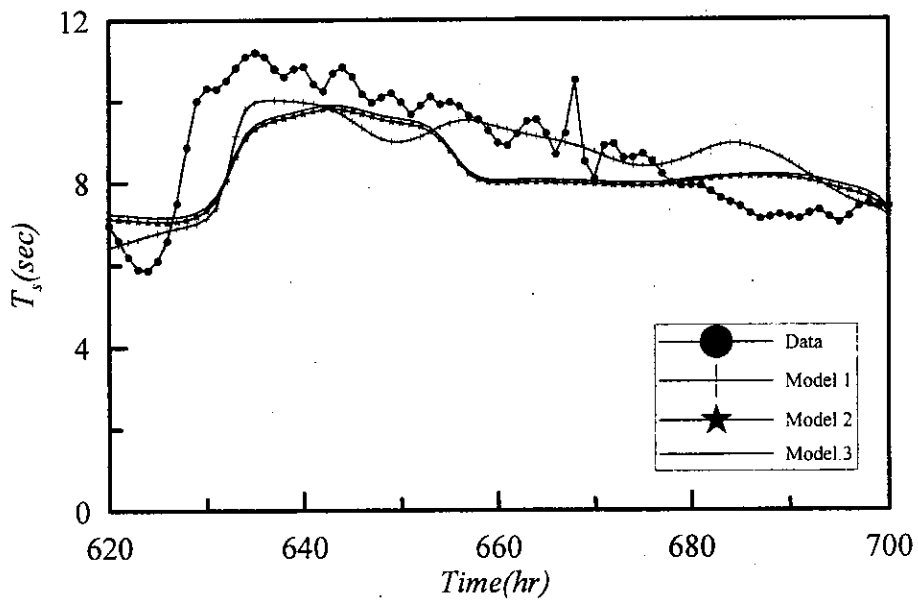
附圖 3-5 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Yagi(2000) 颱風波高與實測值之比較



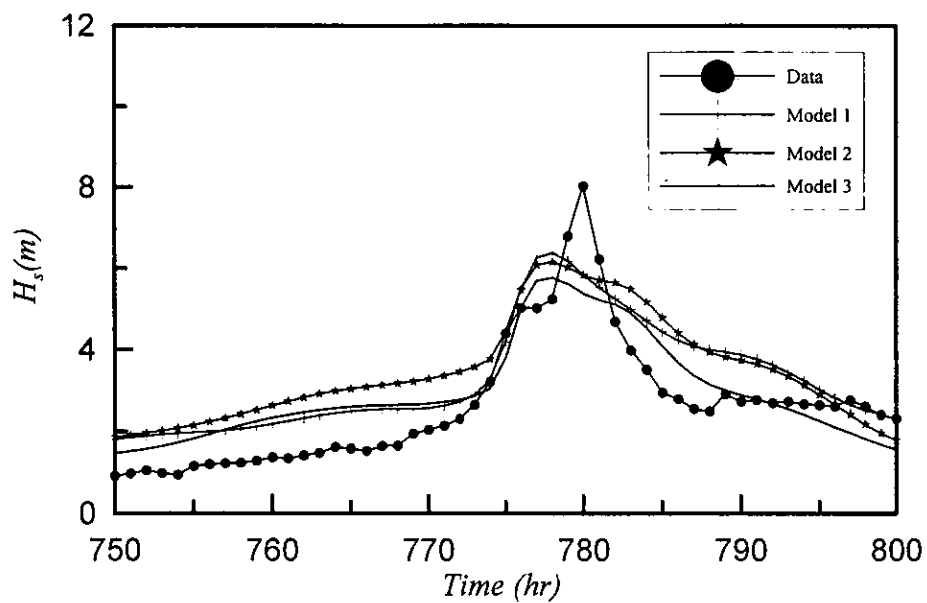
附圖 3-6 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Yagi(2000) 颱風波週期與實測值之比較



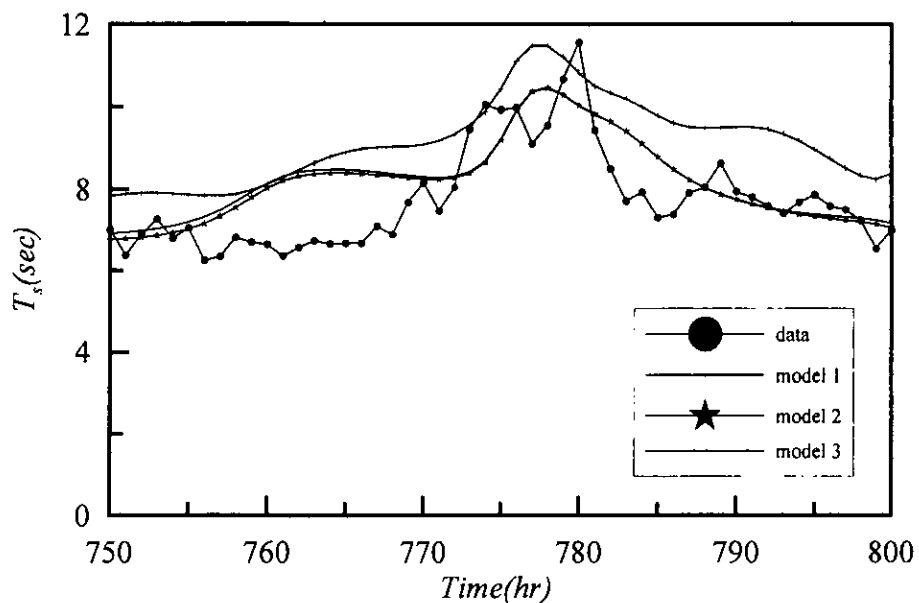
附圖 3-7 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Sam(1999) 颱風波高與實測值之比較



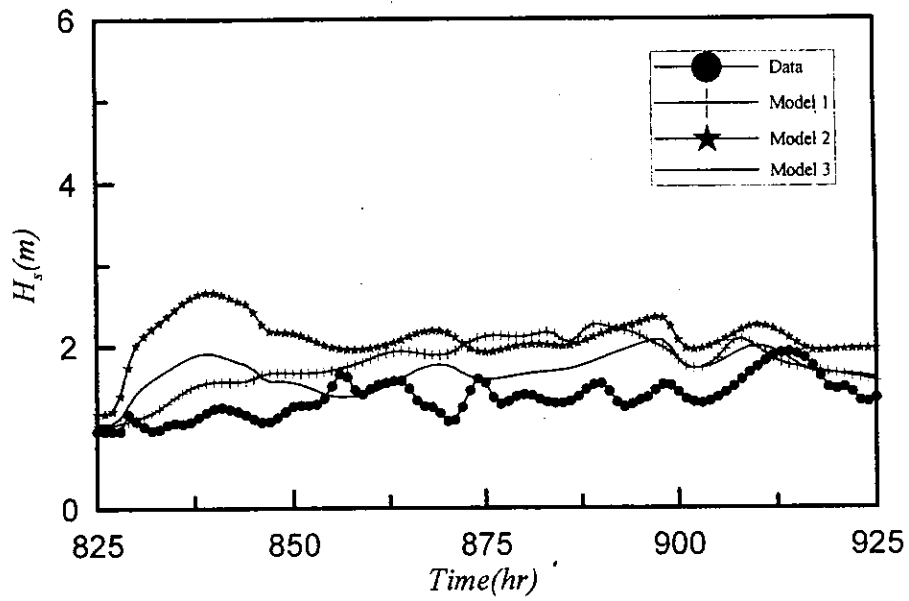
附圖 3-8 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Sam(1999) 颱風週期與實測值之比較



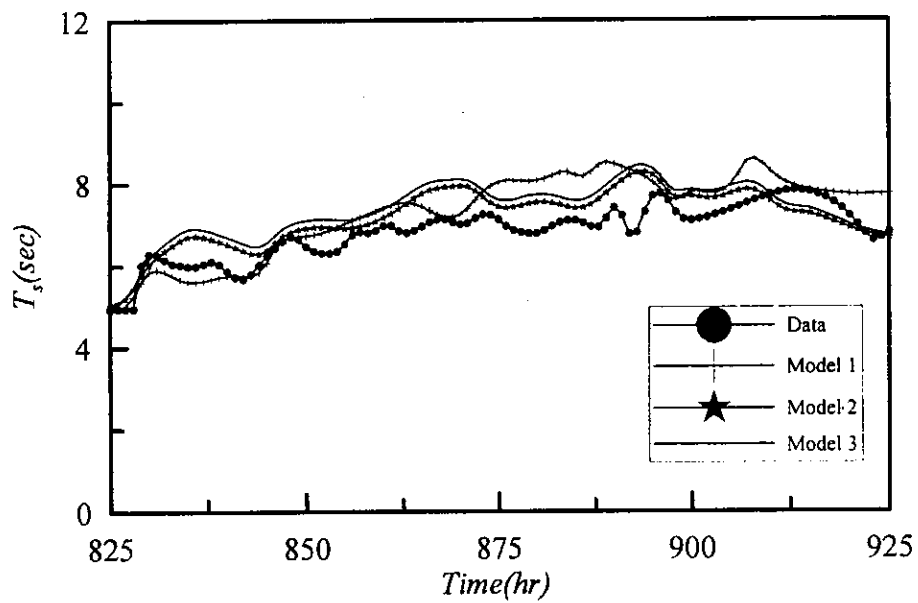
附圖 3-9 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Otto(1998)颱風波高與實測值之比較



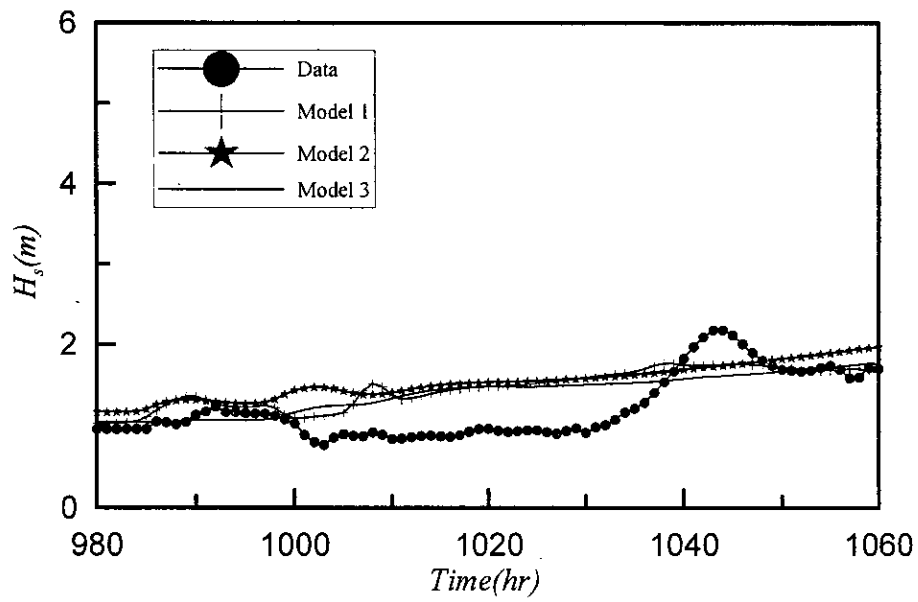
附圖 3-10 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Otto(1998)颱風週期與實測值之比較



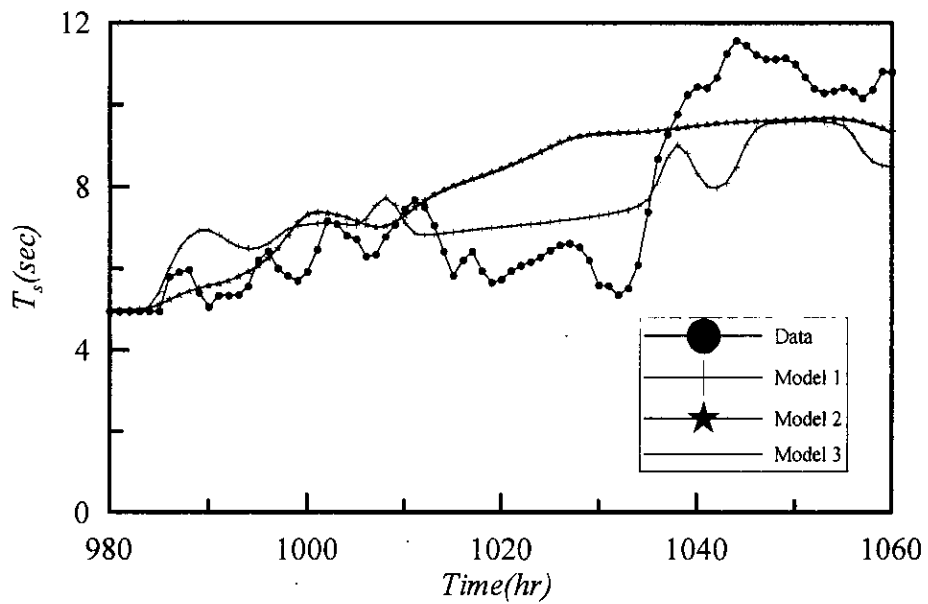
附圖 3-11 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Levi(1997) 颱風波高與實測值之比較



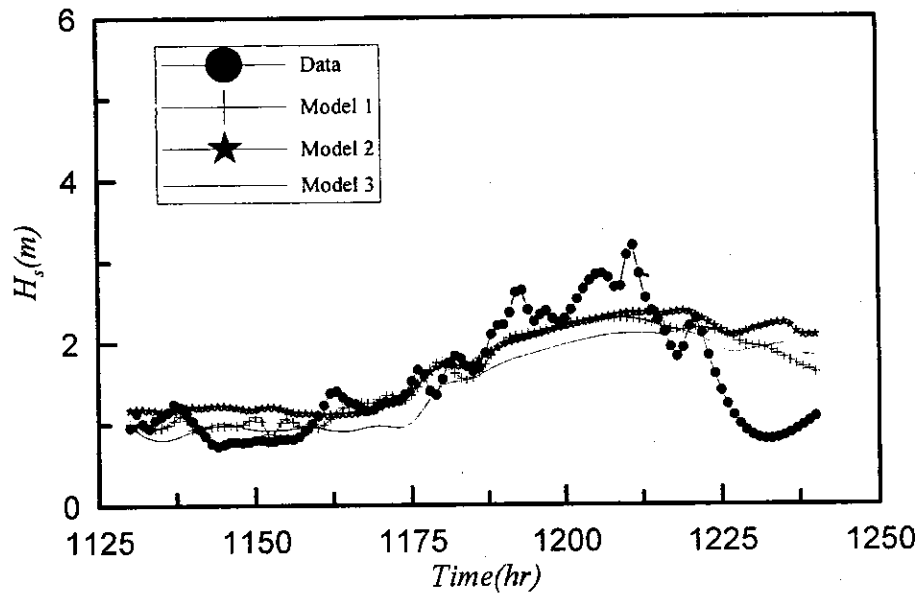
附圖 3-12 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Levi(1997) 颱風週期與實測值之比較



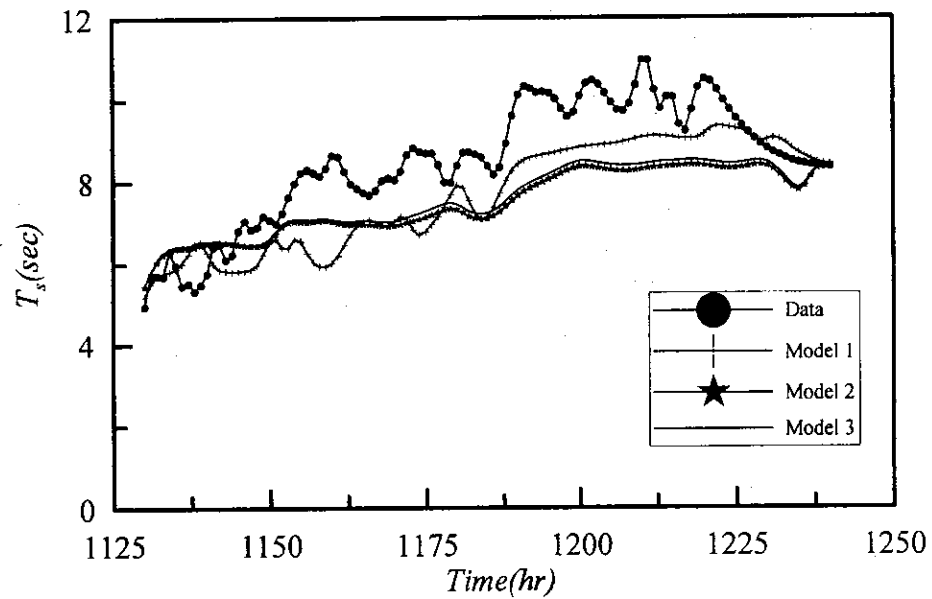
附圖 3-13 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Opal(1997)颱風波高與實測值之比較



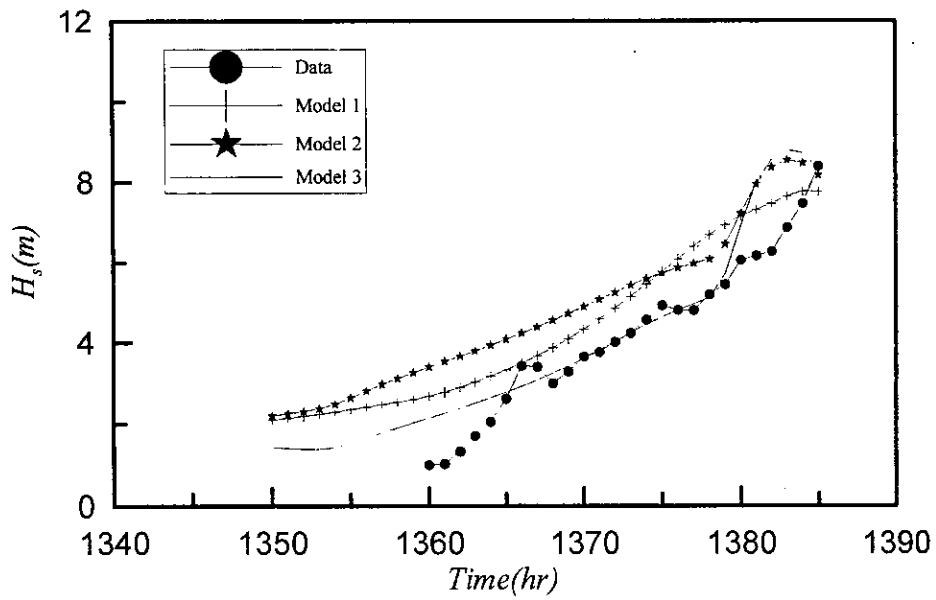
附圖 3-14 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Opal(1997)颱風週期與實測值之比較



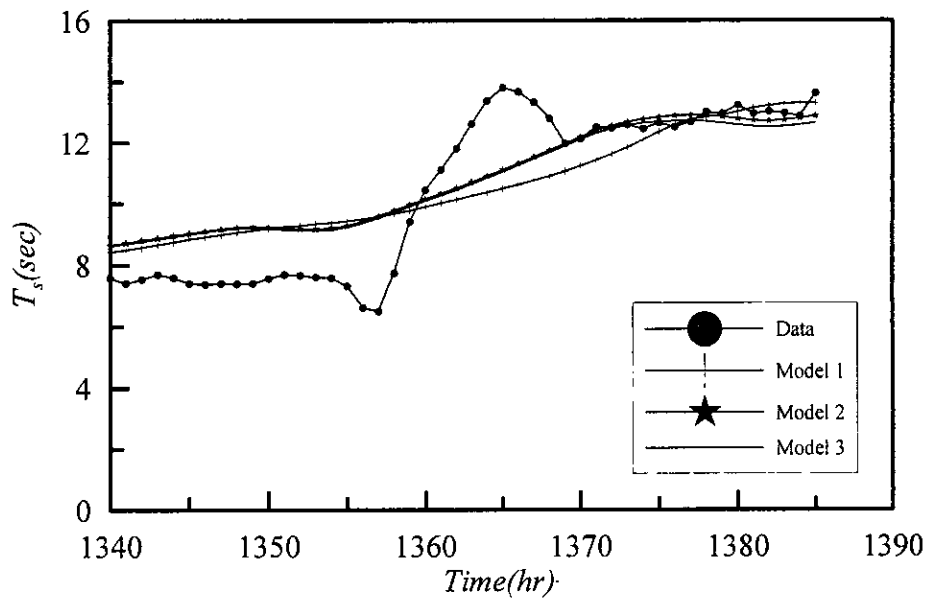
附圖 3-15 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Peter(1997)颱風波高與實測值之比較



附圖 3-16 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Peter(1997)颱風週期與實測值之比較



附圖 3-17 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bilis(2000) 颱風波高與實測值之比較



附圖 3-18 以 Model 1、Model 2 及 Model 3 推算 Bilis(2000) 颱風波高與實測值之比較

期中會議記錄

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：台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究（二）

執行單位：國立交通大學土木系

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
<p>蔡清標教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究擬合模糊理論及類神經網路建構颱風波浪推算模式，範例學習、預測或追報颱風波浪，研究成果值得肯定。 2. 研究報告請補充類神經網路操作、模式學習誤差、學習次數及測試、預測誤差並說明之。 3. Hmax 參數或許可以加入模式中模擬。 4. 研究報告請補充目錄、參考文獻應與內文對應。 5. 建議將模式學習的颱風波浪資料及模擬結果比對列於附錄中。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝蔡教授得肯定及指導。 2. 對於報告中未竟清楚之處，將於期末報告書面說明中作更詳盡的描述。 3. 將檢討收集的波浪資料完整性後，判斷 Hmax 參數加入模式的可行性。 4. 建議內容將於期末報告修正。 5. 建議內容將於期末報告修正。
<p>許泰文教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究建構颱風波浪推算模式，應用於預警研究成果值得肯定。 2. 希望加強說明模式的組織結構及學習過程。 3. 模式可否對東岸其他地區進行預報？有使用的限制嗎？ 4. 如何決定使用範圍 1500 公里及延時 24 小時？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝許教授得肯定及指導。 2. 對於報告中模式及學習過程未竟清楚之處，將於期末報告書面說明中作更詳盡的描述。 3. 目前將進一步對台灣沿岸地區波浪資料進行收集分析，以驗證模式對其他區域的推算準確性。目前模式限至於颱風風場未受陸地破壞的條件下進行波浪推算。

	<p>4. 模式推算範圍的依照颱風中心位置距離觀測站的距離與觀測站示性波高的關係所訂定。延時選定由觀測站的距離與觀測站波浪示性週期的關係所訂定。詳細說明將於期末報告書面說明中作更完整的描述。</p>
<p>簡仲環科長：</p> <p>1. 和以往研究結果比較，本研究提出的兩種颱風波浪推算模式（Model 1 與 Model 2），在最大波高值及對應發生時間與時測資料相較其差異性以有明顯改善。</p> <p>2. 兩種模式相較為何 Model 1 學習能力佳但是推算能力較差，反而 Model 2 學習能力較差但推算能力佳？文中雖提及原因為配適問題，請再補充說明。</p> <p>3. 結論部分述及後續研究將包括台北及安平港等觀測站之颱風波浪的測試及修正。然而依兩種模式的限制條件此兩站受陸地效應影響推算結果可能不理想。建議後續應針對花蓮及蘇澳港增加模式驗證案例的討論。</p> <p>4. 颱風路徑圖建議標出相對應時間，以便對波高逐時資料作比較釐清陸地效應之影響。</p>	<p>1. 謝謝簡科長的指教及肯定。</p> <p>2. 對於報告中「配適問題」未竟清楚之處，將於期末報告書面說明中作更詳盡的描述。</p> <p>3. 謝謝簡科長的建議，將列為後續研究的參考。</p> <p>4. 將依颱風路徑資料特性及內容配合進行修正或調整。</p>
<p>何良勝科長：</p> <p>1. 本年度計畫發展不同的推算方式，進行校核比較，且獲致更好的結果，確屬</p>	<p>1. 謝謝何科長的肯定。</p>

<p>難能可貴之處。</p> <p>2. 建議期末報告修正之處</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 請加入圖、表等目錄。 ● 有應用彩色應更清晰一些。 ● 文內圖說明誤植之處請修改。 <p>3. 對於風場及波浪場的圈定請詳細說明，模式颱風風場的計算可否與其他計算風場的系統結合？</p>	<p>2. 相關修正將立刻於報告中修改。</p> <p>3. 對於風場及波浪場的圈定將於期末報告中詳細說明。颱風風場計算可以配合其他計算風場的系統進行颱風波浪的推算。</p>
<p>曾相茂研究員：</p> <p>1. 為提供各港颱風波浪預警減少災損，建立一符合區域特性的颱風波浪推算模式有其必要性。</p> <p>2. 為達計算模式預報之準確，建議多蒐集相關港口或附近之颱風波浪實測資料，且對其準確性加以比對分析達到預警的目標。</p>	<p>1. 謝謝曾研究員的肯定。</p> <p>2. 謝謝曾研究員的建議，將多蒐集相關港口或附近之颱風波浪實測資料以改進模式提高模式推算的準確度。</p>
<p>邱永芳主任</p> <p>1. 本計劃以類神經網路推算台灣港區颱風波浪，研究方法可行。</p> <p>2. 文章內容錯別字及目錄結構請補充、改進。</p> <p>3. 對於推算、預測結果的誤差如何降低並提升推算能力？</p>	<p>1. 謝謝邱主任的肯定。</p> <p>2. 相關修正將立刻於報告中修改。</p> <p>3. 將參考相關文獻及波浪資料進一步修正模式結構以降低誤差並提升推算能力。</p>

期末會議記錄

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：台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究（二）

執行單位：國立交通大學土木系

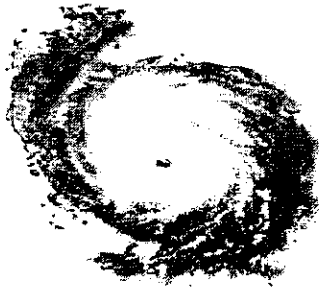
參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
蔡清標教授：	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究計畫結合模糊理論與類神經網路模擬技術，建立港區的颱風波浪推算成果相當良好，尤其花蓮港颱風波浪預測已見精度。對不確定甚高的颱風波浪而言，本研究頗有貢獻。 2. 研究報告太精簡，建議對本模式及如何操作應有較詳盡的敘述，報告應附摘要、颱風波浪亦可以附錄方式原始呈現亦可附上模式操作流程圖。 3. BPN 之資料處理前置作業，（如何 normalization）建議補充說明。 4. P7 及 P10 所敘述的模式請附加文獻。 5. Model 2 陸地的影響是否即為 fetch（風域）之影響。 6. 網路架構中隱藏層及神經原數如何選取。 7. 如果直接使用 $I = (V_{10}, r, \theta, \theta_1, MF1, MF2)$ 之效果會如何？ 8. 圖 4-6 與圖 4-8 波高較大時學習誤差較大為什麼？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝蔡教授得肯定及指導。 2.3.4. 對於報告中未竟清楚之處，將於期末報告書面說明中作更詳盡的描述。 2. 針對台灣東岸陸地對颱風風場遮蔽做區分，由於對颱風影響的程度是漸進且連續的，故以模糊理論進行陸地影響的修正，這樣的修正方式與風域觀念不全然相同。 3. 文獻 Lippman (1987) 建議具兩個隱藏層的架構能夠充分模擬非線性行為，由於延時的輸入項為 39 個，所以以近整數的選擇並利用試誤法進行神經原及隱藏層的選擇方式。 4. 直接使用 6 個輸入參數建立模式，經過試誤的過程發現模擬能力稍差，其原因來自神經網路的架構以及學習資料數量尚不足以有效分離出各個參數影響的程度。 5. 主要原因來自於颱風風場模擬實際風場能力有限，以致於最大風速區域與實際為置有出入，直接影響大波高的估計。

<p>許泰文教授：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫延續前年之研究成果，建立一個準確且以台灣港灣為主的颱風波浪推算模式，用以提高模式預測能力並且擴大推算範圍，研究成果可供使用單位來預測颱風波浪，值得肯定。 2. 模式採用 Holland(1980)作為颱風風場模式，此模式較適合移動緩慢和發展成熟的颱風，但實際颱風可能和這些假設有些差異，建議補充說明模式的適用範圍。 3. 類神經 Model 1 考慮能量綜合交換 $S = S_{in} + S_{nl} + S_{dl} + S_{bot}$，這些因素和水深有關，建議說明使用何種代表水深。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝許教授得肯定及指導。 2. 由於目前颱風風場資料相當缺乏，故以該參數風場模式暫代，待風場資料資訊收集完整時，將可以實際風場當作推算波高的參數。對於報告中模式及學習過程未竟清楚之處，將於期末報告書面說明中作更詳盡的描述。 3. 對於能量的交換過程在限制模式使用區域的假設下，可以將部分能量損耗包含在區域波浪的特性內，也因此模式的使範圍就受到限制。
<p>簡仲環科長：</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 有關模式之使用限制說明 (pp.27) 對於達到颱風條件，建議以風速達八級 (17.2m/s) 表示較明確。 2. 颱風路徑限制為西行且簡單路徑(什麼是簡單路徑?)，此是否意味不同路徑需要不同學習過程? 若是如此，後續是否需先將颱風路徑加以分類，請說明。 3. 報告顯示以相同測站之學習結果應用到該測站之推算成果不錯，是否嘗試以甲測站之學習結果應用到乙測站之推算? 例如花蓮測站模式應用到基隆港或是台北港等，藉以瞭解推算模式是否屬於區域性或特定性。此外，建議增加推算能力測試案例。 4. 未附期中報告審查意見執行情形說明，請補充。同時報告書編輯請參照本所『出版品統一管理要點』之規定辦理。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝簡科長的指教及肯定。 2. 由於目前當作模式學習的颱風資料路徑種類有限，且以西行為主因此在模式使用上做部分的限制，後續研究亦將利用颱風運動特性或行為進行方式分類，以利模式的發展。 3. 目前由於東岸的海域特性較接近，因此模式延伸應用誤差較小，以東岸模式推算北部海域的基隆港與台北港時，因為地理環境、條件差異過大並不適用，基隆港與台北港推算模式可以利用實測的波浪資料進行模式的建構。 4. 相關修正將於報告中修改。

何良勝科長：	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 配合不同之推算模式比對驗證，針對台灣東部海域而言已能提供適當之應用模式。 2. 應配合本所之編撰規定做適度修正。 3. 有關增加非線性項及能量損失項，其對結果影響為何？ 4. 以本計畫提供之推算模式，如何應用於及時預報系統？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝何科長的肯定。 2. 相關修正將於報告中修改。 3. 增加非線性項及能量損失項的目的在於描述實際波浪行為，並在限制模式範圍使用的條件下，將非線性項及能量損失項合併於量測的颱風波浪資料中。 4. 藉由氣象局對颱風的預測路徑，計算颱風相關氣象參數後經模式推算颱風波浪，因此需要建構一個即時資料讀取的介面即可。
曾相茂研究員：	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告內容詳實，計畫主持人及參與人員的努力可予以肯定。 2. 如有時間下年度建議在增加本所其他觀測站資料或中央氣象局觀測站之資料加以分析，比較 Model 1，Model 2。 3. 報告內之筆誤第 24 頁請更正為『浮球式方向波浪儀』，平均水深為『43』公尺，47 頁參考文獻(4)為 21 屆海洋工程研討會論文集。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 謝謝曾研究員的肯定。 2. 謝謝曾研究員的建議，將多蒐集相關港口或附近之颱風波浪實測資料以改進模式提高模式推算的準確度。 3. 相關修正將於報告中修改。
邱永芳主任	
<ol style="list-style-type: none"> 1. 預測結果建議檢驗米勒颱風或杜鵑颱風以比較說明。 2. 參考文獻部分有誤請改進。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 相關颱風資料將於報告中進行計算分析。 2. 相關修正將立刻於報告中修改。

期末簡報資料

台灣港灣地區颱風波浪推算之 應用研究(II)

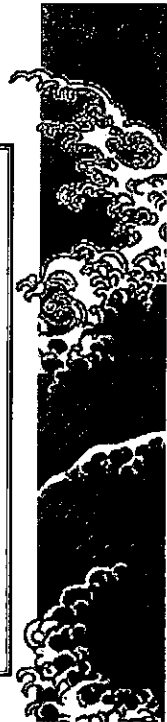


期末報告
簡報：張憲國 副教授



工作綱要

- 整理分析港研中心現有海域颱風波浪資料的特性。
- 整理往昔侵襲台灣颱風之氣象資料的特性。
- 建立颱風模型、陸地效應、颱風風向與颱風波浪特性之關係。
- 以類神經網路修正、建立颱風推算模式。
- 驗證應用推算模式。



簡報綱要

- 計畫目的
- 颱風波浪推算模式組織架構
- 颱風波浪推算模式推算結果及比較
- 颱風波浪推算模式的限制
- 結論
- 後續發展

計畫目的

- 結合『台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(I)』模式發展的經驗
- 建立一個符合區域特性的颱風波浪推算模式。
 - 滿足各個港口的地理環境特性及相對台灣地形的氣象關係。
 - 提高颱風波浪推算模式應用的範圍及推算的準確性。

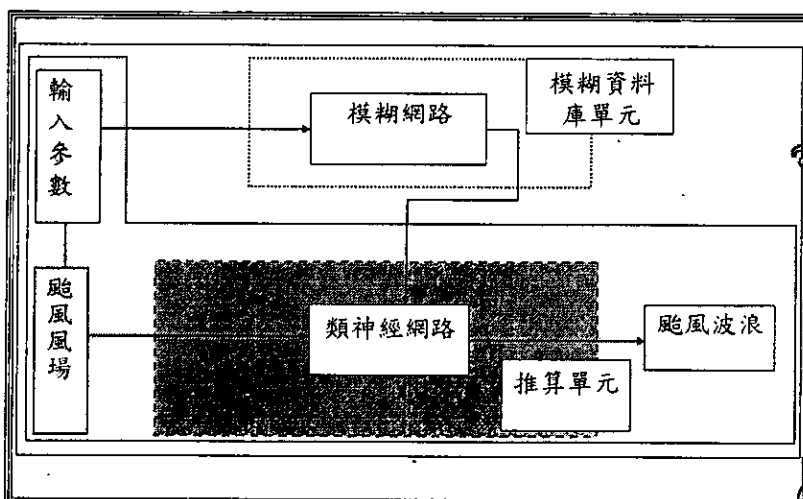
計畫期末研究內容

『台灣港灣地區颱風波浪推算模式之應用研究 (I)』及本研究期中進度的研究結果發現：

- 提高描述颱風規模及颱風運動特性的能力，推算出颱風風場分佈情形，將有助於推算能力的提升以及推算範圍的擴大。
- 期末報告針對颱風波浪推算模式的類神經網路建構之核心及陸地影響進行改進，以達到擴大推算區域提高準確度的目的。
- 颱風風場計算採用Holland Model風場模式，由模糊理論區分陸地效應，並加入風向的影響因素，建構颱風波浪推算模式。

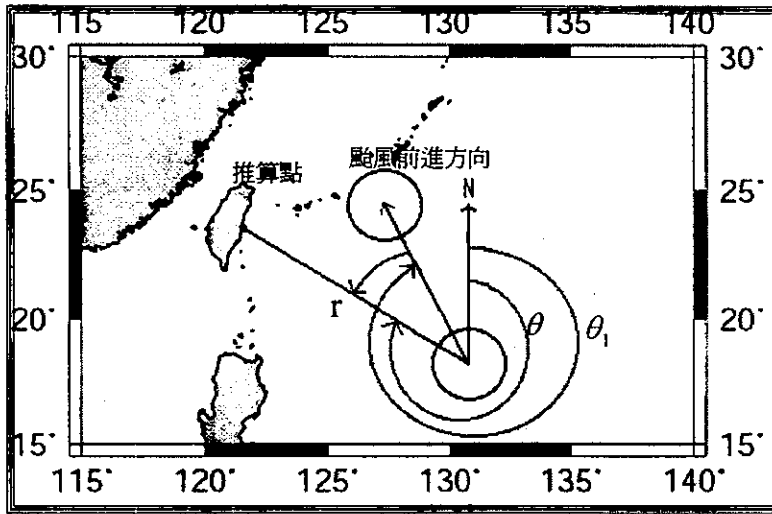
5

颱風波浪推算模式架構



6

輸入參數



7

輸入參數

- ▲ 最大風速 (v_{max})
- ▲ 颱風移動的速度 (v_1)
- ▲ 颱風中心位置與觀測站位置的距離 (r)
- ▲ 觀測站海面10公尺風速 (v_{10})
- ▲ 颱風中心位置與觀測站位置的距離方位角 (θ)

8

模式架構內容

Model 1

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

$$O_2 = f_2(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{2R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

模式的輸出 $O_1 = \begin{bmatrix} H_{s1} \\ T_{s1} \end{bmatrix}$ $O_2 = \begin{bmatrix} H_s \\ T_s \end{bmatrix}$

輸入函數 $I_1 = [V_{10}, r, \theta]^T$ $I_2 = [O_1, r, \theta, \theta_1]^T$

輸入資料延時n。

模式架構內容

Model 2(修正陸地影響)

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

$$O_2 = f_2(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{2R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

$$O_3 = f_3(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{3R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

$O_1 = \begin{bmatrix} H_{s1} \\ T_{s1} \end{bmatrix}$ $O_2 = \begin{bmatrix} H_{s2} \\ T_{s2} \end{bmatrix}$ $O_3 = \begin{bmatrix} H_s \\ T_s \end{bmatrix}$

$I_1 = [V_{10}, r, \theta]^T$ $I_2 = [O_1, r, \theta, \theta_1]^T$ $I_3 = [O_2, MF1]^T$

輸入資料延時n

模式架構內容

Model 3 (修正陸地、風向影響)

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

$$O_2 = f_2(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{2R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

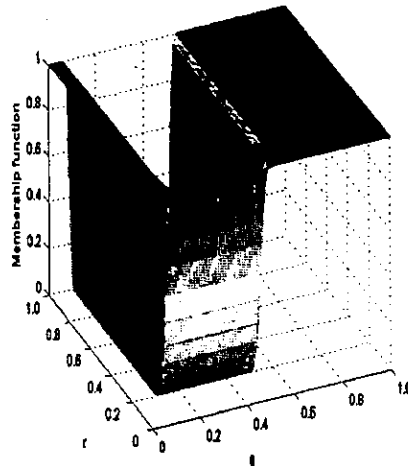
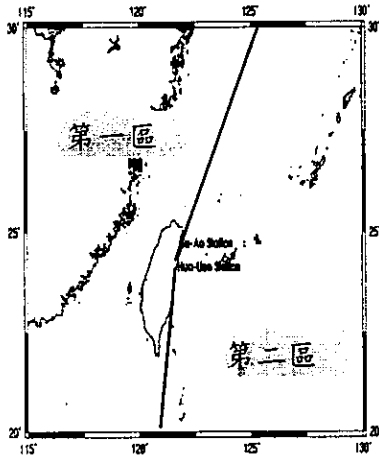
$$O_3 = f_3(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{3R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1})$$

$$O_1 = \begin{bmatrix} H_{s1} \\ T_{s1} \end{bmatrix} \quad O_2 = \begin{bmatrix} H_{s2} \\ T_{s2} \end{bmatrix} \quad O_3 = \begin{bmatrix} H_s \\ T_s \end{bmatrix}$$

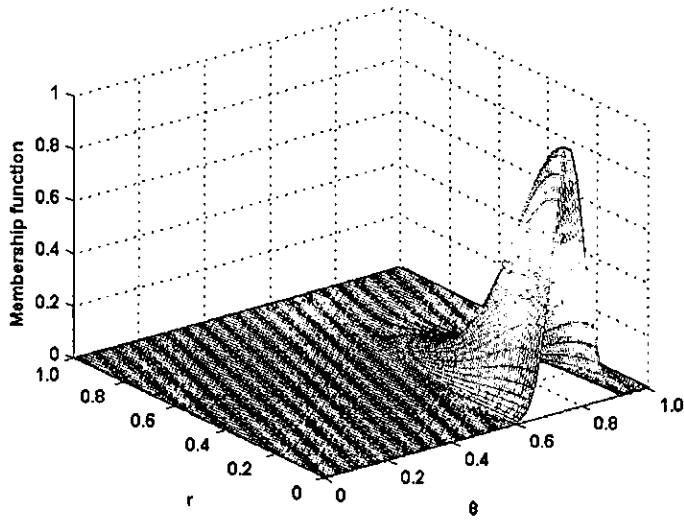
$$I_1 = [V_{10}, r, \theta]^T \quad I_2 = [O_1, r, \theta, \theta_1]^T \quad I_3 = [O_2, MF1, MF2]^T$$

輸入資料延時n

花蓮港陸地區分及歸屬函數(MF1)關係



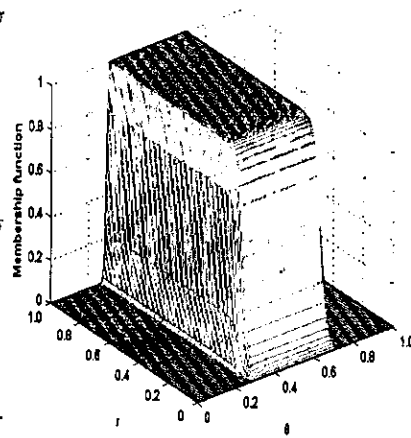
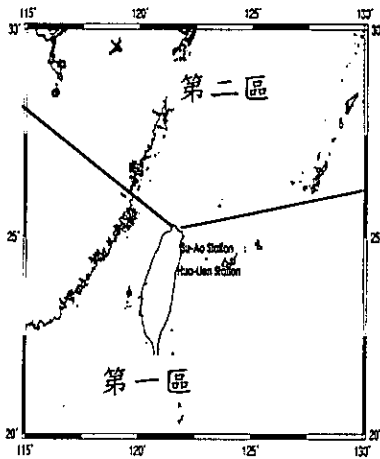
花蓮港風向歸屬函數(MF2)關係



13



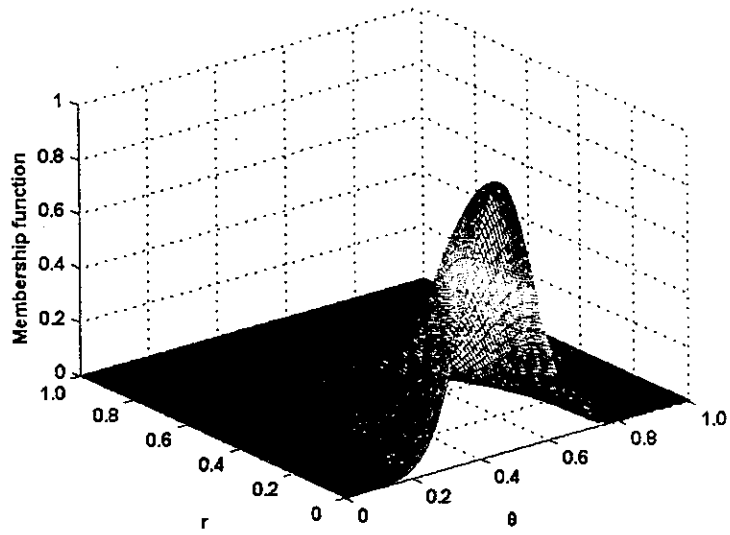
基隆港陸地區分及歸屬函數(MF1)關係



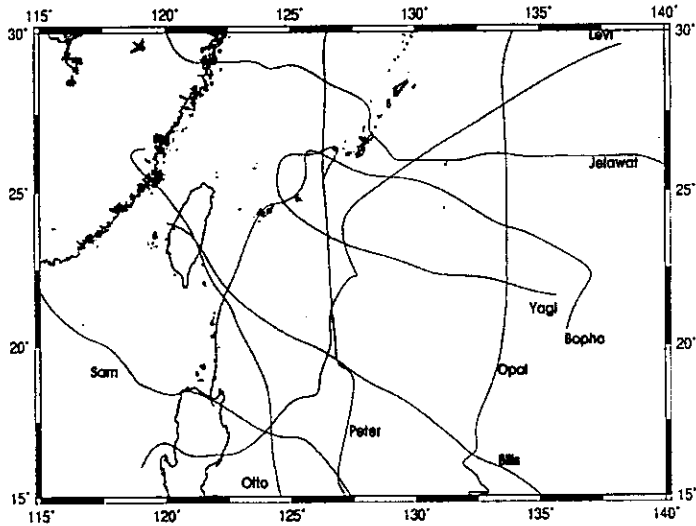
14



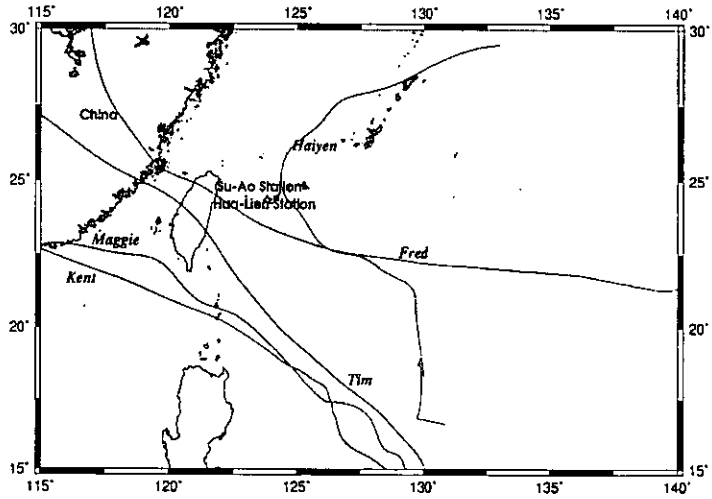
基隆港風向歸屬函數(MF2)關係



花蓮觀測站---模式學習颱風資料



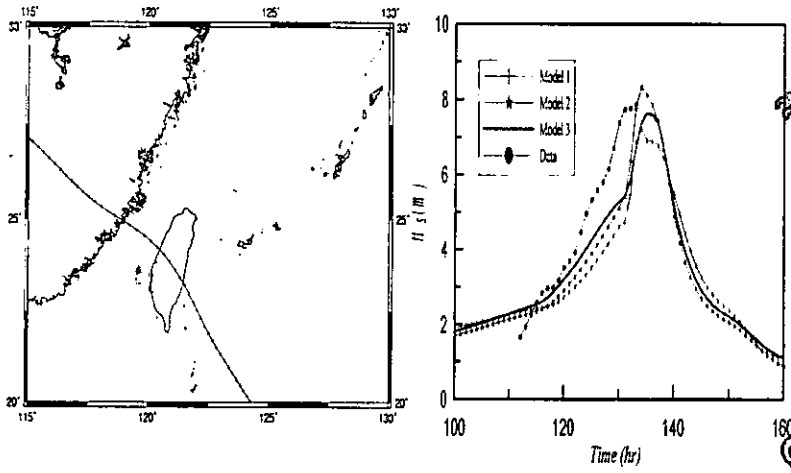
花蓮觀測站---模式驗證颱風資料



17



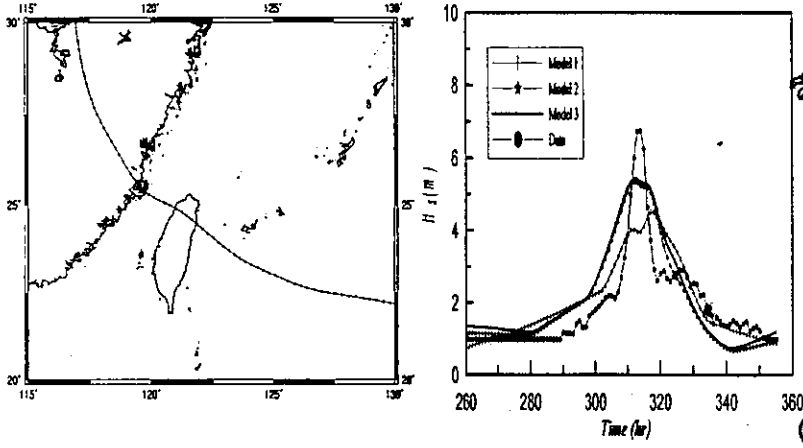
花蓮港TIM颱風預測結果



18

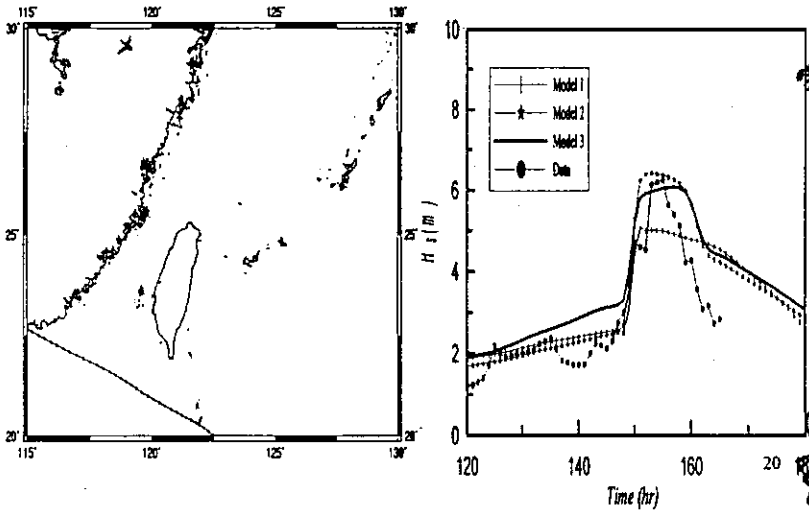


花蓮港FRED颱風預測結果

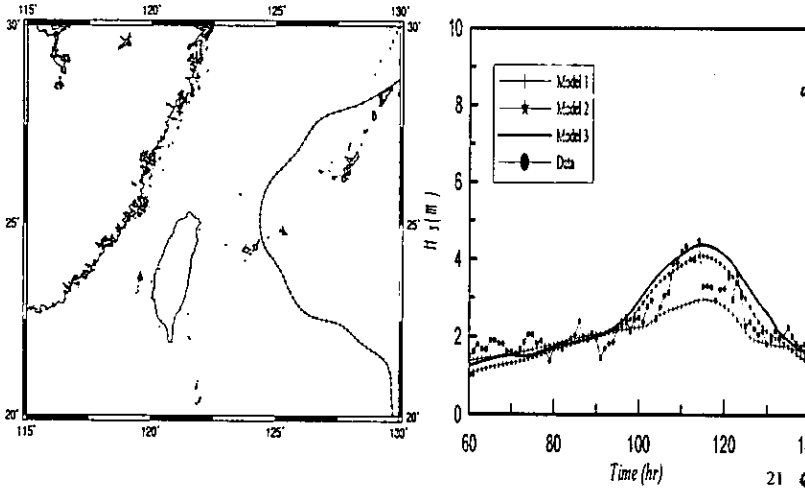


19

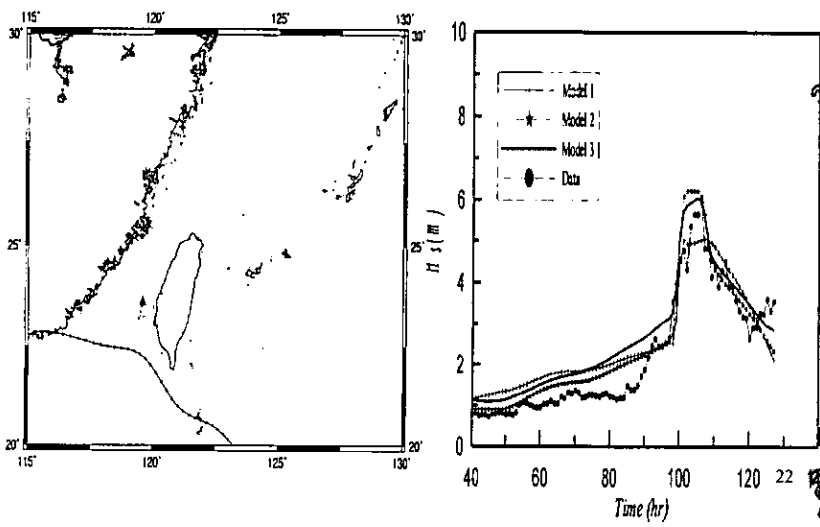
花蓮港KENT颱風預測結果



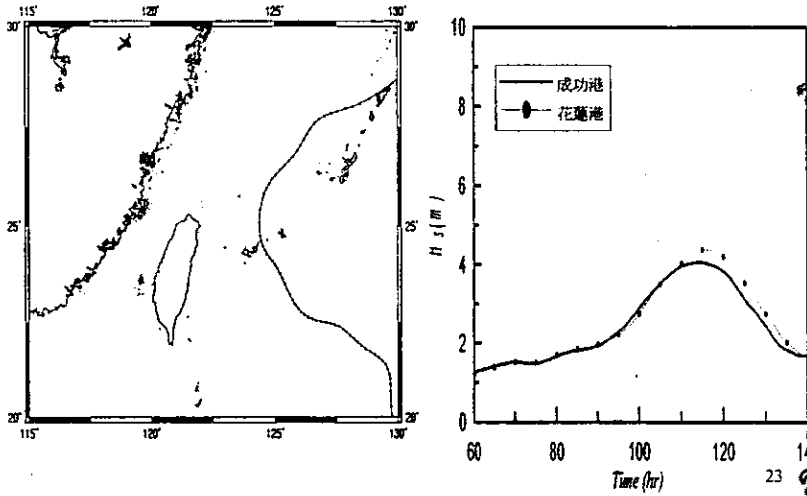
花蓮港HAIYAN颱風預測結果



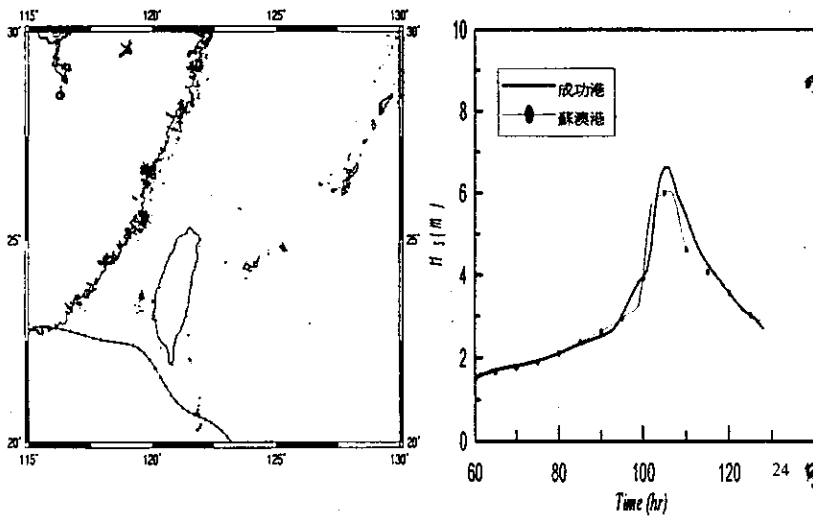
花蓮模式預測蘇澳MAGGIE颱風結果



花蓮模式預測花蓮及成功
HAIYAN颱風預測結果

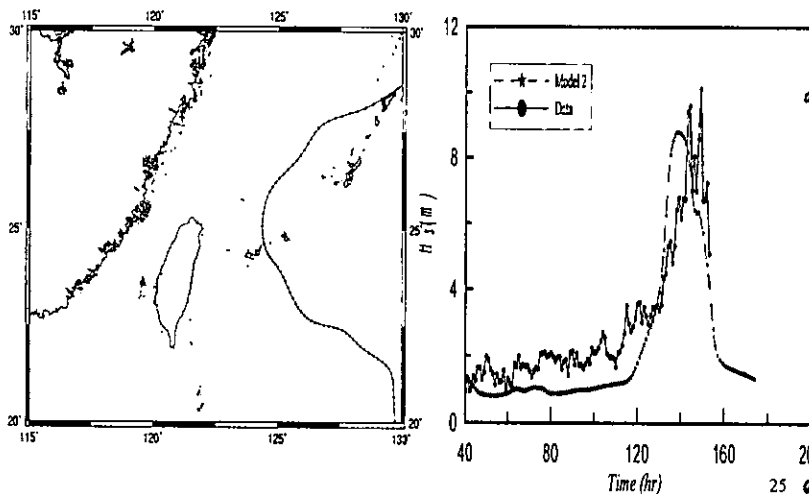


花蓮模式預測蘇澳及成功
MAGGIE颱風結果



基隆港模式 HAIYAN 颱風預測結果

三場颱風學習資料—Utor (2001)、Rammasun、Sinlaku (2002)



結論

- ▲ 颱風波浪推算模式 Model 2 與 Model 3 在在在 建構花蓮測站有良好、穩定的推算能力，對於 東部沿岸的蘇澳、成功測站也能提供不錯的 波浪預估。
- ▲ Model 2 與 Model 3 修正颱風波浪局部差異， 以目前測試的颱風波浪推算結果比較，風場 修正的效果有限。如能更準確的計算颱風風 場將可大幅提昇模式的準確性。
- ▲ 以 Model 3 建構過程應用在架構基隆測站波 浪推算模式時，亦有良好定性的波浪推算能 力。
- ▲ 颱風風場 Holland model 配合類神經網路及模 糊理論修正陸地遮蔽效應及風向，在颱風波 浪推算上有優良的表現。

26

結論

- ▲ 颱風波浪推算模式利用0-24小時延資料為輸入參數，這樣的計算架構解決了不同路徑下相同位置颱風不同波高值的問題。
- ▲ 颱風路徑與湧浪、風浪間關係及資料的補強，有助於推算波浪準確度的提升，應用目前已經發展的理論公式或是經驗公式，配合相關的颱風資料進行模式的修正及日後的更新。

27

後續發展

- ▲ 隨著台灣沿岸波浪觀測站技術的改善提升以及資料收集系統完備的情況下，類神經颱風波浪推算模式將可以依收集到的花蓮、蘇澳、台北、安平等或更多測站的波浪資料，進行分類與分析並且同步修正目前的模式，藉由颱風波浪與推算區域相關地理位置特性進行模式的修正及調校，藉以達到對各重要港灣預警防災的目標。

28

補充資料

$$\blacktriangle \text{RMS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{S,p} - H_{S,m})^2$$

$$\blacktriangle \Delta H_{S,peak} = \text{MAX}(H_{S,p}) - \text{MAX}(H_{S,m})$$

$$\blacktriangle \Delta t_{p,delay} = t_{p,p} - t_{p,m}$$

$\blacktriangle H_{S,p}$ 為測站實測颱風波浪示性波高
 $\blacktriangle H_{S,m}$ 為模式推算颱風波浪示性波高
 $\blacktriangle t_{p,p}$ 為測站實測颱風波浪示性波高最大值發生時間
 $\blacktriangle t_{p,m}$ 為模式推算颱風波浪示性波高最大值發生時間

29

補充資料

颱風	Model 1				Model 2			
	RMS (m)	R	$\Delta H_{S,peak}$ (m)	$\Delta t_{p,delay}$ (hr)	RMS (m)	R	$\Delta H_{S,peak}$ (m)	$\Delta t_{p,delay}$ (hr)
Tim*	2.01	0.92	-1.04	0	1.902	0.97	0	0
Fred	0.898	0.877	-2.201	4	0.442	0.898	-1.172	-1
Kent	0.425	0.934	-1.212	-4	0.365	0.966	0.2	-3
Haiyan	0.59	0.93	-1.594	2	0.51	0.932	-0.3	0
Maggie	0.954	0.946	-1.133	2	0.550	0.960	0.3	-3

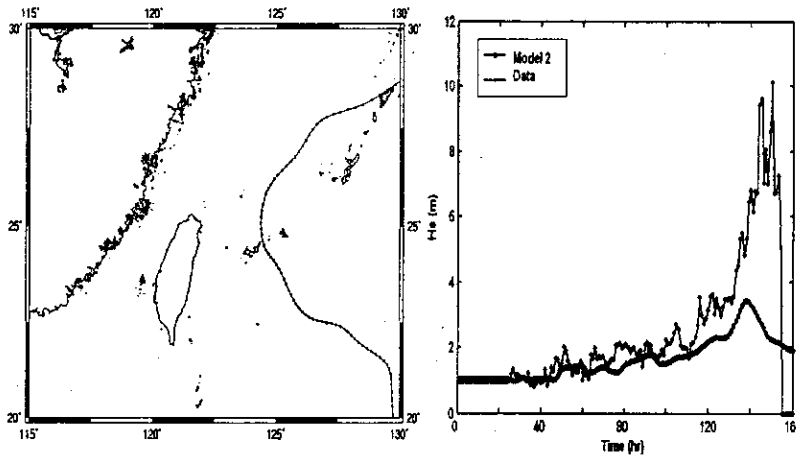
30

補充資料

颱風	Model 1				Model 3			
	RMS (m)	R	$\Delta H_{S, peak}$ (m)	$\Delta t_{p, delay}$ (hr)	RMS (m)	R	$\Delta H_{S, peak}$ (m)	$\Delta t_{p, delay}$ (hr)
Tim*	2.01	0.92	-1.04	0	1.942	0.97	-0.54	0
Fred	0.898	0.877	-2.201	4	0.502	0.893	-1.272	-1
Kent	0.425	0.934	-1.212	-4	0.465	0.962	-0.2	+3
Haiyan	0.59	0.93	-1.594	2	0.54	0.93	0.1	0
Maggie	0.954	0.946	-1.133	2	0.650	0.968	0	0

31

花蓮模式 (Model 3) 預測
基隆港 HAIYAN 颱風結果



32

簡報完畢

