



RRPG90040157(180.P)

91-41-723

MOTC-IOT-IHMT-90-003

# 台灣地區波浪預警系統之應用研究

著者：何良勝、林受勳、江金德

交通部運輸研究所  
國立交通大學  
合作辦理

中華民國九十一年四月

台灣地區波浪預警系統之應用研究

著 者：何良勝、林受勳、江金德

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](http://www.iot.gov.tw)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十一年四月

印 刷 者：承亞興企業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

工 本 費：100 元

展 售 處：

交通部運輸研究所臺灣技術研究中心•電話：(04)26564216

三民書局：台北市重慶南路一段 61 號 2 樓•電話：(02)23617511

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號地下 1 樓•電話：  
(02)25781515

五南文化廣場：台中市中山路 2 號地下 1F•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市光復路 177 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號•電話：(07)3324910

GPN：1009100962

## 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：台灣地區波浪預警系統之應用研究			
國際標準書號（或叢刊號）		政府出版品統一編號 1009100962	運輸研究所出版品編號 91-41-723
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳主任 計畫主持人：何良勝科長 研究人員：林受勳 聯絡電話：04-26564216 轉 322 傳真號碼：04-26571329		合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國副教授 研究人員：錢維安 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：07-5712121 轉 54987	
研究期間 自 90 年 02 月 至 90 年 10 月			
關鍵詞：類神經網路；波浪推算；預警系統			
摘要：  本研究是以類神經網路建立臺灣海海域的颱風波浪推算模式，並分析颱風的規模與運動行為對於台灣海域波浪波高及週期的影響，使颱風波浪推算模式達到預警及模擬災害的目的。 此模式的推算核心是由類神經網路聯結所組成，利用具有不同功能的類神經網路分工推算處理以提高模式的推算品質，並合理正確地推算颱風波浪之波高及週期。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
91 年 04 月	190	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工本費價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 限閱 <input type="checkbox"/> 密 <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: Alarming System of Forecasting Typhoon Waves around Taiwan			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009100962	IOT SERIAL NUMBER 91-41-723	
DIVISION: IHMT DIVISION CHIEF: Chiu, Yuang-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho, Liang-Sheng PROJECT STAFF: Lin, Shou-Shiun PHONE: +886-4-26564216ext322 FAX: +886-4-26571329		PROJECT PERIOD FROM 2001 / 02 TO 2001 / 10	
RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang, Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Luo, Jia-huey ADDRESS: National Chiao Tung University, 1001 TA HSUEH ROAD, HSINCHU, TAIWAN 30050, ROC PHONE: +886-7-5255067ext54987			
KEY WORDS: Neural network ; Wave forecasting ; Alarming system			
<p>ABSTRACT:</p> <p style="text-align: center;">Neural network will be applied to construct a forecasting model for typhoon waves around Taiwan. Wave height and period resulted from typhoons were statistically analyzed. The predicted typhoon waves from information of typhoon can provide reference for the alarming system or the input of potential disaster model. The model was comprised of a series of neural network that has different functions; the present model has high capability of accurately forecasting wave height and period of typhoon waves.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2002	NUMBER OF PAGES 190	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

中文摘要表.....	I
英文摘要表.....	II
目錄.....	III
表目錄.....	V
圖目錄.....	VII
第一章 前言.....	1
1-1 研究動機.....	1
1-2 研究目的.....	2
1-3 研究步驟.....	3
第二章 計畫背景與目的.....	5
2-1 颱風風場結構的模擬.....	5
2-2 風浪模式的建構.....	8
2-3 衛星資料的應用.....	12
第三章 波斯資料分析.....	15
第四章 研究方法.....	45
4-1 類神經網路.....	45
4-2 防波堤地震震度量測系統.....	48
4-2-1 模糊集合.....	48
4-2-2 模糊邏輯運算.....	50
4-3 模式架構的測試.....	52
第五章 結果與討論.....	61
5-1 花蓮海域波浪推算模式的操作模擬.....	61

5-2 花蓮與蘇澳海域波浪的相互推算.....	74
第六章 結論.....	81
參考文獻.....	83
附錄一 期中簡報內容重點 .....	附錄 1-1
附錄二 期中簡報資料.....	附錄 2-1
附錄三 期中報告審查意見 .....	附錄 3-1
附錄四 期末簡報內容重點 .....	附錄 4-1
附錄五 期末簡報資料.....	附錄 5-1
附錄六 期末報告審查意見 .....	附錄 6-1
附錄七 摘要.....	附錄 7-1

## 表目錄

表 3-1 港研中心量測花蓮颱風波浪時間.....	17
---------------------------	----

## 圖目錄

圖 2-1 颱風移動速度與風場結構變化(見 Vickery 和 Skerlj, 2000)	7
圖 2-2 觀測站對移動颱風的風向及風速變化紀錄(見 Vickery Skerlj, 2000) .....	8
圖 2-3 模擬颱風風浪模型.....	9
圖 2-4 颱風風場內波浪模擬圖.....	10
圖 2-5 緩慢移動颱風內示性波高等級分佈圖(Shore Protection Manual, 1984) .....	11
圖 3-1 花蓮港 2000 年 1 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	18
圖 3-2 花蓮港 2000 年 2 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	18
圖 3-3 花蓮港 2000 年 3 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	19
圖 3-4 花蓮港 2000 年 4 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	19
圖 3-5 花蓮港 2000 年 5 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	20
圖 3-6 花蓮港 2000 年 6 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	20
圖 3-7 花蓮港 2000 年 7 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	21
圖 3-8 花蓮港 2000 年 8 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	21
圖 3-9 花蓮港 2000 年 9 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	22
圖 3-10 花蓮港 2000 年 10 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	22
圖 3-11 花蓮港 2000 年 11 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	23
圖 3-12 花蓮港 2000 年 12 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	23
圖 3-13 花蓮港 1999 年 1 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	24



圖 3-14	花蓮港 1999 年 2 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	24
圖 3-15	花蓮港 1999 年 3 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	25
圖 3-16	花蓮港 1999 年 4 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	25
圖 3-17	花蓮港 1999 年 5 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	26
圖 3-18	花蓮港 1999 年 6 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	26
圖 3-19	花蓮港 1999 年 7 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	27
圖 3-20	花蓮港 1999 年 8 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	27
圖 3-21	花蓮港 1999 年 9 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	28
圖 3-22	花蓮港 1999 年 10 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	28
圖 3-23	花蓮港 1998 年 1 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	29
圖 3-24	花蓮港 1998 年 2 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	29
圖 3-25	花蓮港 1998 年 3 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	30
圖 3-26	花蓮港 1998 年 5 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	30
圖 3-27	花蓮港 1998 年 6 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	31
圖 3-28	花蓮港 1998 年 7 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	31
圖 3-29	花蓮港 1998 年 8 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	32
圖 3-30	花蓮港 1997 年 1 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	32
圖 3-31	花蓮港 1997 年 2 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	33
圖 3-32	花蓮港 1997 年 3 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	33
圖 3-33	花蓮港 1997 年 4 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	34
圖 3-34	花蓮港 1997 年 5 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	34

圖 3-35 花蓮港 1997 年 6 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	35
圖 3-36 花蓮港 1997 年 9 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	35
圖 3-37 花蓮港 1997 年 10 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	36
圖 3-38 花蓮港 1997 年 11 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	36
圖 3-39 花蓮港 1997 年 12 月有義波高 $H_{1/3}$ 紀錄 .....	37
圖 3-40 颱風影響花蓮港時的方位角與距離關係圖.....	37
圖 3-41 颱風中心壓力 $P$ 與颱風中心最大風速 $V$ 關係圖.....	38
圖 3-42 KAITAK(2000)啟德颱風路徑圖.....	39
圖 3-43 JELAWAT(2000)颱風路徑圖.....	39
圖 3-44 BILIS(2000)碧利斯颱風路徑圖.....	40
圖 3-45 PRAPIROON(2000)巴比倫颱風路徑圖.....	40
圖 3-46 BOPHA(2000)寶發颱風路徑圖.....	41
圖 3-47 YAGI(2000)雅吉颱風路徑圖.....	41
圖 3-48 XANGSANE(2000)象神颱風路徑圖.....	42
圖 3-49 KATE(1999)颱風路徑圖.....	42
圖 3-50 LEO(1999)颱風路徑圖.....	43
圖 3-51 MAGGIE(1999)瑪姬颱風路徑圖.....	43
圖 3-52 SAM(1999)山姆颱風路徑圖.....	44
圖 4-1 一般四季的區分方式.....	49
圖 4-2 季風的模糊關係.....	49
圖 4-3 其他一般常用的歸屬函數.....	49

圖 4-4 邏輯運算真值表.....	50
圖 4-5 模糊邏輯運算真值表.....	50
圖 4-5a 一般邏輯與模糊邏輯運算比較.....	50
圖 4-6 輸入函數模糊化示意圖.....	51
圖 4-7 重心法解模糊化示意圖.....	51
圖 4-8 模糊網路結構示意圖.....	52
圖 4-9 模糊網路運算示意圖.....	52
圖 4-10 颱風事件與波浪形成推算組織架構.....	54
圖 4-11 模糊類神經網路推算流程圖.....	56
圖 4-12 模糊網路結構圖.....	57
圖 4-13 資料庫單元 $V_{max}$ 的 6 個歸屬值函數.....	57
圖 4-14 資料庫單元 $V_f$ 的 6 個歸屬值函數.....	58
圖 4-15 資料庫單元 $D$ 的 6 個歸屬值函數.....	58
圖 4-16 資料庫單元 $A_1$ 的 6 個歸屬值函數.....	59
圖 4-17 資料庫單元 $A_2$ 的 6 個歸屬值函數.....	59
圖 5-1 推算波高與量測波高關係圖.....	62
圖 5-2 推算週期與量測週期關係圖.....	62
圖 5-3 現場量測波高與週期關係圖.....	63
圖 5-4 模式推算波高與週期關係圖.....	63
圖 5-5 JELAWAT 颱風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較圖.....	64
圖 5-6 JELAWAT 颱風的移動速度.....	64

圖 5-7 JELAWAT 颱風相對花蓮港的方向角 .....	65
圖 5-8 JELAWAT 颱風在花蓮港的波浪週期推算值與觀測值比較圖 .	65
圖 5-9 BOPHA(寶發)颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖..	66
圖 5-10 YAGI(雅吉)颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖..	66
圖 5-11 XANGSANE(象神)颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖 .....	67
圖 5-12 SAM(山姆)颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖...	67
圖 5-13 BILIS(碧利斯)颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖 .....	68
圖 5-14 BILIS(碧利斯)颱風中心位置與花蓮港的距離 D 變化圖...	68
圖 5-15 BILIS(碧利斯)颱風的最大風速變化圖.....	69
圖 5-16 BILIS(碧利斯)颱風移動方向 A2 變化圖.....	69
圖 5-17 BILIS(碧利斯)颱風在花蓮港的波高原推算值與以 $0.8V_{max}$ 輸入 的新推算值比較圖 .....	70
圖 5-18 颱風波浪在蘇澳港的波高推算值與觀測值關係圖.....	70
圖 5-19 KAI-TAK(啟德)颱風在蘇澳港的波高推算值與觀測值比較圖 .....	71
圖 5-20 BILIS(碧利斯)颱風在蘇澳港的波高推算值與觀測值比較圖 .....	71
圖 5-21 BILIS(碧利斯)颱風在蘇澳港的波高原推算值與以 $0.5V_{max}$ 輸入 的新推算值比較圖 .....	72
圖 5-22 KAI-TAK(啟德)颱風在蘇澳海域的波高觀測值與花蓮海域推算 值比較圖 .....	76

圖 5-23 KAI-TAK(啟德)颱風在蘇澳海域的波高觀測值與 6 小時移動平均花蓮海域推算值比較圖 .....	76
圖 5-24 PRAPIROON(巴比倫)颱風在蘇澳海域的波高觀測值與花蓮海域推算值比較圖 .....	77
圖 5-25 PRAPIROON(巴比倫)颱風在蘇澳海域的波高觀測值與 6 小時移動平均花蓮海域推算值比較圖 .....	77
圖 5-26 MAGGIE(瑪姬)颱風在蘇澳海域的波高觀測值與花蓮海域推算值比較圖 .....	78
圖 5-27 MAGGIE(瑪姬)颱風在蘇澳海域的波高觀測值與 6 小時移動平均花蓮海域推算值比較圖 .....	78
圖 5-28 花蓮港推算蘇澳港颱風波浪模式結構圖.....	79
附圖 1 串聯型類神經架構.....	附錄 7-2
附圖 2 串並聯型類神經架構.....	附錄 7-3

# 第一章 前言

## 1-1 研究動機

颱風是熱帶海洋上的猛烈風暴，在北緯  $10^{\circ}$  至  $15^{\circ}$  之間是最容易形成颱風的區域，而侵襲臺灣的颱風大都來自北太平洋西部，發生的地點以加羅林群島、馬利安納群島和帛琉群島附近一帶最多，另外也有部分來自中國南海海面，但次數較少。

位於北太平洋西部的台灣，因地理環境特殊之故，夏秋兩季常受颱風侵襲，尤以台灣東部最為嚴重。颱風帶來的強大風浪及豪雨，不僅影響漁撈、航運及道路交通，且常使沿岸建築物及動、植物遭受損害，甚至造成人員的傷亡。當颱風來襲時，因颱風風力強力吹襲海面其造成的波浪比一般季節風所造成波浪大，且颱風波浪一般週期較長，波浪較大，所以具有較大的能量。因此，颱風波浪增大對海岸及海岸結構物的破壞也隨之增加。據內政部網站(<http://www.moi.gov.tw>)統計從民國 47 年到民國 89 年間台灣地區因颱風所造成災害，總計死亡人數為 3,132 人，受傷人數達 9,792 人，房屋全倒約 118,683 間，半倒約 219,827 間，財物損失更難以計數。

因此建立一個能正確推算颱風波浪的模式，以提供人們預警颱風波浪進而達到防範颱風造成災害是相當重要的工作。許多國家多已投入相當多的研究設備及人力，如廣設氣象及海象觀測站並配合人造衛星監測瞭解颱風的性質及動態；若能再建立推算颱風波浪的模式，即可即時掌握颱風影響海象特性之時空變化。

颱風波浪推算的模式大致分為兩大類，第一類是以風浪能量平衡方程式為基礎，整合外在影響條件，利用數值方式建立推算預測模式，如 Chen 和 Wang (1983) 提出利用能量平衡方程式加入風場作用條件模式，來推算波浪由深海傳至淺海的波浪變化。Graber 和 Madsen (1988) 以頻譜形式表示波浪能量於能量平衡方程式上，計算各成分

波的底床摩擦對波浪傳遞的影響。而 WAMDI 模式 (1988) 為考慮多種能量交互作用的波浪推算模式。近年來發展的模式還有 SWAN 模式 (1996) 以及 WAVEWATCH III 模式 (1997) 等。這些模式應用於不同的海域來進行波浪推算時，因模式的尺度及區域波浪特性不同所致，必須先率定模式內的係數，否則在預測時會產生誤差。若模式的建立無法標準化，將會遇到該選擇何種物理量作為推算參數及如何建立各物理量相互間的非線性關係等兩個關鍵問題。

第二類是以統計回歸分析的技巧來建立波浪推算模式的方法，並建立波浪推算的經驗公式，如 SPM (1984) 提出淺水海域的波浪推算經驗式，而 Hurdle 和 Stive (1984) 將 SPM (1984) 波浪推算經驗式修整，提出適合深水海域的波浪推算經驗式。其它較有名的公式有 SWAMP (1985) 提出的季節風波浪的示性波高、示性週期經驗式及美國工兵團的風浪推算模式和 Bretschneider (1976) 提出的推算模式。但是當對於海域地形及水深特性差異大時，或可獲得的分析參數的資料缺少或有限時，此類模式須以調整係數的方式方能正確地推算區域性波浪。而且經驗公式並不考慮颱風的移動特性，因此對於不同移動方式及行進路徑的颱風以經驗公式來推算會有相當的誤差。

臺灣地狹人稠對於重要區域的預警及防災更顯得重要。在臺灣東部海岸有地形變化劇烈的大陸棚，海象特性也較惡劣，而西部海岸地形雖然較為平緩，且颱風能量因中央山脈阻隔的影響，其颱風波浪較東部的颱風波浪小，但是中部地區潮差較大，因台灣的地形複雜之故，且海象差異東西岸有別。因預警區域受到當地地形環境及海象條件影響相當高，而無法完全建立一個模式能適用於全台灣各地，所以本研究主要為建立一個台灣東部、北部區域的波浪推算模式。

## 1-2 研究目的

在上述研究動機與研究背景的說明，本研究以如何建立一個臺灣的區域颱風波浪推算本模式、及推算模式如何達到兼具數值模式以及

經驗公式兩者的優點等為發展模式的主要目標。本研究首先歸納分類臺灣的颱風特性並以所收集的氣象及海象資料來率定建構的颱風波浪推算模式，以期望本模式能達成以下目的：

1. 建立單一區域推算颱風波浪模式，利用該區域單一測站的氣象、颱風及波浪資料來率定颱風波浪推算模式，提升推算單一地區之颱風波浪之能力。
2. 使區域颱風波浪推算模式具有自我更新及擴充的能力，也就是將繼續發生的颱風資料及波浪資料作及時的修正，並且因應複雜的氣象環境模式結構能適度的調整。
3. 藉由颱風波浪推算模式進行區域的颱風波浪推算及模擬，以達到區域預警的功能而可減少生命財產損失的目標。

### 1-3 研究步驟

整個颱風波浪推算模式的建構步驟大致分成以下幾個部驟進行：

1. 資料收集、整理與分析：針對全球颱風事件進行氣象資料收集，整合比對花蓮、蘇澳等觀測站的海象資料及衛星波浪資料，並做校正或補遺工作，以增加可用而且正確的數據，確保數據的品質。
2. 相關理論的探討：針對風波、颱風結構、風場結構等相關機制，進行現有颱風物理模式的分析，探討模式的使用範圍及限制。
3. 颱風波浪推算模式的建立：應用物理模式並配合限制條件及影響波浪的參數選取，建立一個類神經網路及模糊系統的推算模式。
4. 模式的驗證與分析：由類神經網路模式的推算結果與實測資料比較進行模式驗證的工作，同時分析比較波浪與各個參數間的關係。
5. 探討模式預測能力：由已建立模式輸入一組未經學習的颱風資料，驗證本模式預測颱風波浪的能力。



## 第二章 往昔推算颱風波浪模式之介紹

颱風的形成機制、颱風的結構以及颱風的運動特性等研究，目前因為測量方式精確而有相當不錯的研究成果，但是以颱風運動特性來推算颱風波浪的研究則較少，其原因大致為(1)颱風風場的不確定性，雖然從衛星影像觀察出颱風的外觀有相當明顯且一致的特徵，但是颱風結構不但具有時變的特性而且即使在相同的氣象條件下也不一定相同；(2)颱風運動時因其運動方向及速度的不同，風場的結構會有變化，尤其移動路徑怪異的颱風更有強烈的風場結構的變化；(3)風場內風-波的關係複雜(即風波特性的關係)，一般風-波的推算與推算時間及距離有明顯的關係，但是颱風風場內風速分佈以及風場作用範圍的劃分不易界定；(4)其他環境及氣象因素的干擾，如颱風受陸地影響、波浪受海底地形影響、波浪及風-浪能量傳遞的損失等均是影響推算颱風波浪的因子。

因此在建立颱風波浪推算模式之前，先分別論述往昔研究颱風波浪的相關文獻及其結果，藉由往昔文獻的研究整理出主要影響颱風的因素或是能夠描述或區分颱風種類的參數，以做為研究發展模式的構想基礎，本章整理往昔相關文獻分為：

1. 颱風風場結構的研究
2. 風浪推算模式
3. 衛星資料、類神經網路的應用

### 2-1 颱風風場結構的研究

颱風的行為受大氣環境與颱風結構特性所左右，而颱風風場內的最大風速與颱風波浪的發展有直接的關係。

往昔研究颱風風場的結果簡述如下：Shea 和 Gray (1973)採用 13 年 (1957-1969) 內 533 筆由飛機直接量測颱風風場的資料，對於颱風

風場結構特性提出颱風最大風速與颱風行徑方向及切向速度、風場的相對溫度與中心氣壓相關，此即為最大風速半徑法(Radius of Maximum Wind, RMW) 區分風場的指標，依風場條件及 RMW 法將颱風初步分類為 5 種等級的對稱及 5 種等級的非對稱颱風。

Holland (1980) 建立一個推算颱風風場內壓力與風速分佈的公式為

$$U_g = \left[ \frac{AB(p_n - p_0) \exp(-\frac{A}{r^B})}{\rho \cdot r^B} + \frac{r^2 f^2}{4} \right]^{0.5} - \frac{rf}{2} \quad (2-1)$$

其中  $U_g$  為距離颱風中心  $r$  的風速， $f$  是 Coriolis 參數， $\rho$  為空氣密度， $p_0$  為颱風中心氣壓， $p_n$  為颱風外圍氣壓，參數  $A$  及  $B$  與颱風最大半徑  $R$  的關係示如下式

$$R = A^{\frac{1}{B}} \quad (2-2)$$

$$B = 1.5 + \frac{(980 - p_0)}{120} \quad (2-3)$$

Powell (1991,1996,1998)：探討颱風結構與陸地的交互影響，分析陸地對颱風風場與行為的變化，並將波浪視為表面糙度 (surface roughness)，在海面形成一個邊界層，這個邊界層內的颱風波浪依經驗式表示為

$$h_i = 0.1C \cdot z_0(x/z_0)^{0.8} \quad (2-4)$$

$x$  為颱風到陸地的距離， $h_i$  為颱風風場內波浪表面糙度， $C$  為無因次參數，其值介於 0.28 與 0.75 之間， $z_0$  為海面起始表面糙度。若颱風在距離海岸 1~3km 時，海面起始表面糙度 0.03m 時，風場內所產生的表面糙度高度將大於 10m。由 Powell 統計觀察的結果發現，颱風對於波浪的作用多變且複雜，所以在建立颱風推算模式必須配合實測資料才能將許多的非線性的影響因素反應在波浪推算模式內。

Vickery 和 Skerlj (2000)：利用有限差分法建立基本風場模式，如

公式 (2-5) 所示，在穩態及對稱結構等的理想假設條件下，推算颱風風場的分佈，配合美國東岸沿海觀測站量測的資料以富利葉展開 (Fourier series) 模擬所建立公式，配合最大風速、颱風中心氣壓及最大風速半徑，推算颱風非對稱結構的風速，建立出一個較符合實際的風場推算模式，

$$\frac{dV}{dt} + f|k \times V| = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nabla \cdot (K_H \nabla V) - \frac{C_D}{h} |V|V \quad (2-5)$$

其中， $V$  為平均水平風速， $p$  為大氣壓力， $K_H$  為水平渦流黏滯係數， $C_D$  為拖曳力係數 (drag coefficient)。

圖 2-1 為 Vickery 和 Skerlj (2000) 針對颱風移動速度與風場結構部分模擬的結果，圖 2-2 為觀測站對移動的颱風風向及風速隨時間變化的觀測值及模擬結果。從圖 2-1 可以發現颱風的移動速度影響風場的結構，隨著颱風風速的增加最大風速的位置也逐漸向右偏移，且颱風行進的路徑方向與觀測站的相對位置不同，這使的最大颱風波浪的發生時間也會變化，所以颱風的移動速度與颱風行進的方向對於推算颱風波浪是個相當重要的參數。

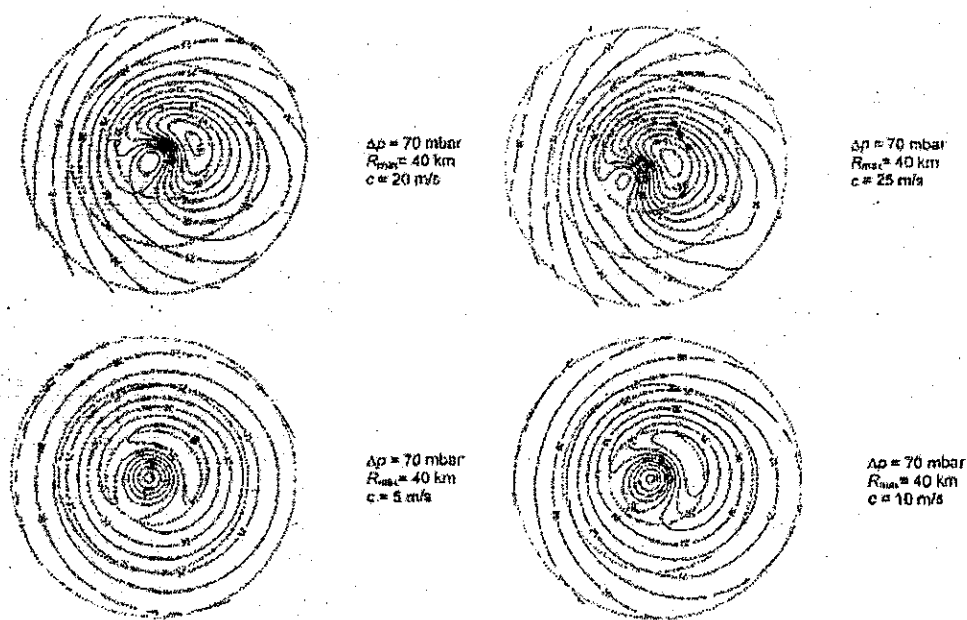


圖 2-1 颱風移動速度與風場結構變化(見 Vickery 和 Skerlj, 2000)

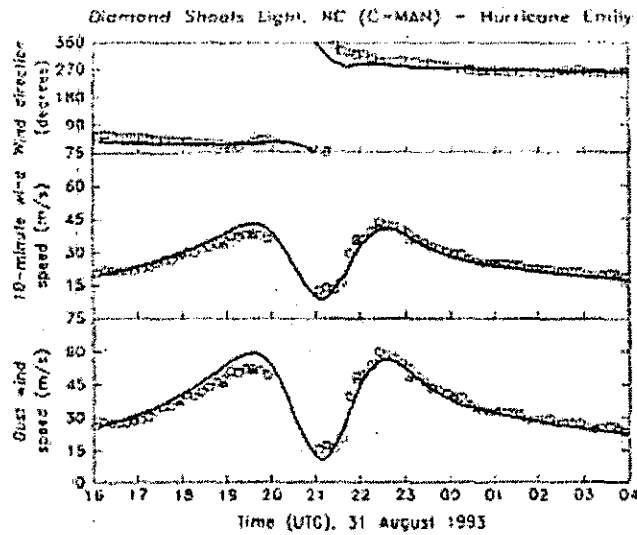


圖 2-2 觀測站對移動颱風的風向及風速變化紀錄  
(Vickery 和 Skerlj, 2000)

由圖 2-2 顯示 Vickery 和 Skerlj (2000) 的模式可以模擬颱風歷時的風速及方向。在人造衛星的遙測及影像品質提升之後，颱風風場的結構及變化的研究有顯著的進步，雖然風場推算模式仍無法準確推算結果，但是風場推算模式提供了良好的定性描述。

## 2-2 風浪模式的建構

風浪推算模式的發展方向大致分為兩類，一是使用數值方法的推算模式，另一為利用統計回歸方法建立的經驗公式。數值方法是考慮能量交互作用的整合以計算波譜。目前較完整的推算風浪模式有：WAMDIG 模式 (1988)，SWAN 模式 (1996)，WAVEWATCH III 模式 (1997)。

其中的 WAVEWATCH III 模式是目前 NOAA 用於全球即時預報的波浪推算模式，其中物理模式由兩個架構所組成，第一個架構為 WAM 模式 (WAMDIG, 1988)，第二個架構則是使用 Tolman 和 Chalikov (1996)

的模式。模式中考慮波浪在暫態及空間的變化、水深及潮流、底床摩擦衰減等影響，及波浪間非線性的交互作用等。

Young (1988b,c)利用實際量測的颱風資料依颱風不同行為，迴歸波譜的參數，再計算淺水的波浪推算。Johnson 和 Henrik (2000)探討淺海的波浪受底床摩擦效應而影響波浪糙度，進而影響風浪交互作用的強度，提出淺海風浪推算模式。

Vladimir 和 Masjukov (2000)以式(2-8)波動方程式為基礎，配合颱風波浪模型(如圖 2-3)，模擬推算颱風風場內的颱風波浪，其結果是如圖 2-4。由結果可以看出其模式能良好地描述對稱風場的定性特性，但是對於推算非對稱風場時則受到相當的限制。

$$\nabla^2 \xi - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2} = \nabla^2 F(x - a \cos \omega \cdot t, y - R_{\max} \sin \omega \cdot t) \quad (2-6)$$

其中  $\xi$  為波浪振幅， $F$  為颱風或低壓函數，函數由  $R_{\max}$  為颱風或是低壓氣旋的半徑， $\omega$  為角速度所組成。

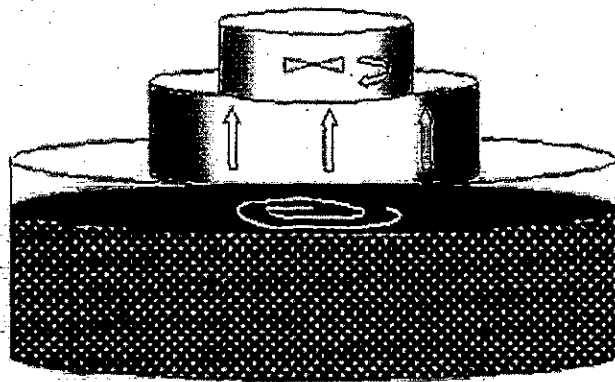


圖 2-3 模擬颱風風浪模型

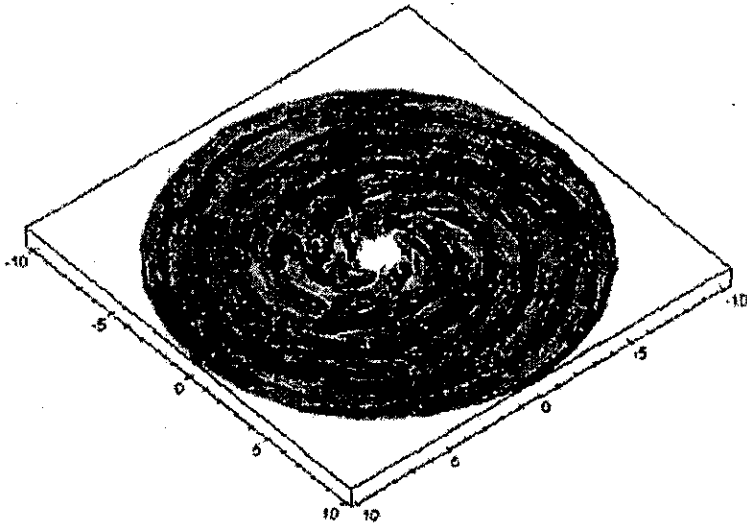


圖 2-4 颱風風場內波浪模擬圖

以經驗公式來推算波浪較常使用的推算式包括：

SPM (1984) 主要使用在淺水海域的波浪推算經驗式。Hurdle and Stive (1984) 將 SPM (1984) 波浪推算經驗式修整，提出適合深水海域的波浪推算經驗式。SWAMP (1985) 提出季節風波浪的示性波高、示性週期經驗式。

美國海岸保護手冊(1984)指出，當颱風移動緩慢時，風域內最大示性波高及其週期與能量指標  $R\Delta p$  (Energy Index) 相關，其公式示如下

$$H_{1/3} = 5.03 e^{\frac{R\Delta p}{4700}} \left[ 1 + \frac{0.29 V_F}{\sqrt{U}} \right] \quad (2-7a)$$

$$T_{1/3} = 8.60 e^{\frac{R\Delta p}{9400}} \left[ 1 + \frac{0.145 V_F}{\sqrt{U}} \right] \quad (2-7b)$$

式 (2-7a) 及式 (2-7b) 中， $H_{1/3}$  單位為  $m$ ， $U_R$  為海面上 10 公尺處之最大風速，其單位為  $m/s$ 。 $U_R$  可由式 (2-8) 求得

$$U_R = 0.387(14.5\Delta p^{1/2} - 0.62R\Omega\sin\phi) + 0.5V_F \quad (2-8)$$

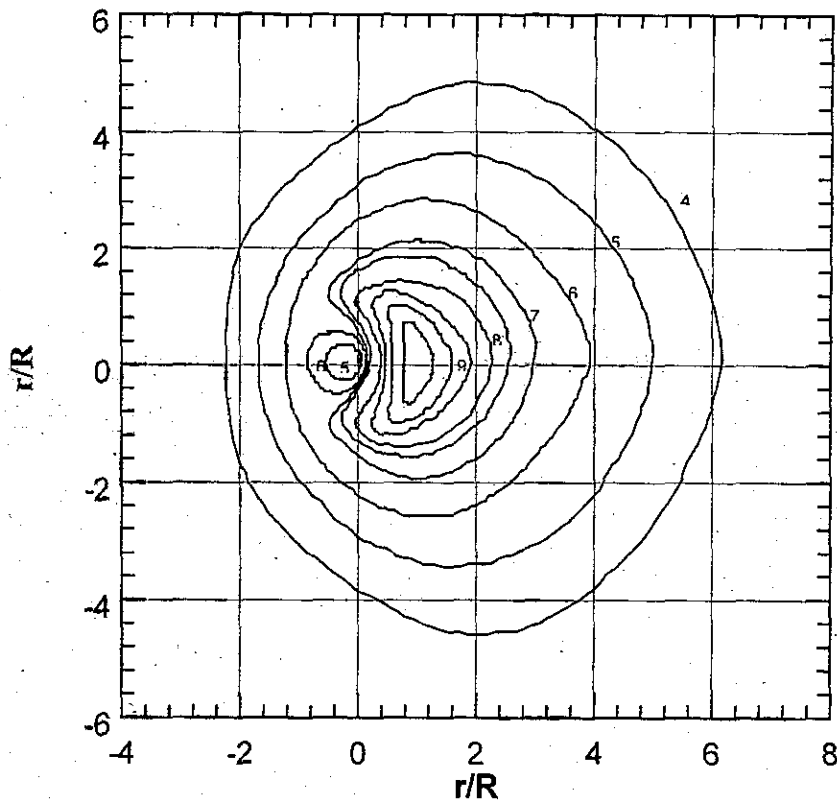


圖 2-5 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖

(Shore Protection Manual, 1984)

至於颱風圈內其他各處之示性波高分佈，示如圖 2-5。由圖 2-5 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獲得移動颱風內之波高，而此處波浪週期則可由式 (2-9) 表示

$$T_{1/3} = 3.83 \sqrt{H_{1/3}} \quad (2-9)$$

Bretshneider (1976) 提出推算滯留颱風波浪之方法示如下式

$$H_R = K' \sqrt{R \Delta P} \quad (2-10)$$

式 (2-10) 中， $H_R$  為最大風速處之示性波高，其單位為  $m$ ， $K'$  值為  $\Omega$ 、 $\sin \phi$ 、 $R$  及  $U_R$  之函數，其結果經迴歸分析可表為下式

$$K' = 0.3335 - 0.4493(X) + 0.4346(X)^2 - 0.153(X)^3 \quad (2-11a)$$

$$X = \frac{2\Omega R \sin\phi}{U_R} \quad (2-11b)$$

當颱風移動時，則風速增加量為

$$\Delta U = \frac{1}{2} V_F \cos(\theta + \beta) \quad (2-12)$$

式(2-12)中， $\theta$ 為等壓切線與颱風移動方向之夾角， $\beta$ 為傾斜風向中心之夾角。另外，移動颱風中最大風速處之波高則可修正為

$$H_R' = H_R \left( 1 + \frac{\Delta U}{U_R} \right) \quad (2-13)$$

再由圖 2-5 之相對位置查出對應之比值，再乘以式(2-13)之最大波高即可求得颱風內之波高。以上述方法求得示性波高  $H_{1/3}$  後，獲得波浪週期、示性波高及風速的關係示如下式

$$T_{1/3} = 0.734 U \tanh \left[ 1.07 \tanh^{-1} \left( \frac{34.81 H_{1/3}}{U^2} \right)^{0.6} \right] \quad (2-14)$$

### 2-3 衛星資料的應用

衛星科技的提升使得許多氣象量測項目增加，而且量測品質也提升許多，如海面的風速量測、水位的量測、影像的辨識等，此類海洋氣象的衛星測量系統資料在氣象或波浪的預報上有相當大的幫助。由於衛星資料獲得與應用日益方便，許多的研究便利用衛星資料來當作推算模式的輸入資料或率定模式時的參考數據。Young 和 Burchell (1996)利用衛星偵測颱風時，由衛星量測當時的水位及波高，藉由颱風行為配合量測的波高數據修正 Young (1988a) 的經驗公式。Lee 和 Liu (1999)利用衛星影像辨識熱帶低壓、氣旋及颱風並進行分類以作為預報



颱風的參考。在颱風發生過程及其運動行為非線性的交互作用下，一般的數值模式難以精確地描述颱風波浪，但隨著模糊理論以及類神經網路理論的新科技發展，在分析非線性關係的方法上有相當大的改善後，模糊理論及類神經網路的技術也被普遍的應用至各種工程領域。Johnson 和 Lin (1996)利用倒傳遞類神經網路學習並且推測颱風運動路徑，並且與 ARIMA 作一比較，由比較的結果發現倒傳遞類神經網路有較好的推算結果。Hiraoka 等人(1999)利用兩個模糊規則對颱風的行進位置進行推測，而模糊規則中包括了颱風位置、颱風行進方向等交互作用規則。

整理研究往昔相關的文獻及其研究結果後，在其研究基礎上本研究對颱風特性及推算颱風波浪，尚有些可改進的地方如下：

1. 颱風發生的區域雖然相當固定，從歷史的颱風資料中可發現大部分的颱風路徑有相似的特性，但是颱風路徑主要受大氣高壓所影響，所以若要掌握颱風動態就必須能夠掌握該區域及全球大氣的動態。
2. 以風場模式來計算颱風風場目前已有相當良好的定性描述，但是在實際的大氣環境中仍有許多的變因來影響整個風場結構。雖然如此，風場內的最大風速一定發生在颱風的右半圓，若能直接得到最大風速資料將可取代以颱風中心氣壓差推算颱風波浪的方法。
3. 風波交互作用的機制受風速分佈、風作用時間、海面波浪的糙度、底床和水深的影響，所以現場的海況也成為推算颱風波浪的影響要素。對於不同颱風發生時的初始條件會影響推算點的波浪觀測值不同，因此觀測站的推算值在颱風波浪到達前就無法藉由颱風波浪推算的方式來求得其結果。
4. 不論是颱風波浪或是風浪推算模式，若採用數值方法或是經驗公式上都具有使用區域的限制，其原因為初始條件的限制、模式的組成、區域的地理環境以及海況差異等因素具有區域及時間性。雖然可以使用調整係數的方式來修正，但是若不找出該區域主要影響波浪的因素並對推算方式進行回饋修正，日後產生的計算誤差將難以

有效的排除。

5. 目前衛星提供的波浪資料是屬於暫態的資料，必須經過長時間的統計才能充分代表該區域的波浪特性，在應用颱風波浪的推算上則會遇到衛星偵測軌跡是否經過颱風的動態行為的問題，所以為了能瞭解颱風波浪的特性必須收集颱風行進的路徑與衛星資料進行比對。
6. 若對特定區域的波浪資料進行影響因素的分析時，會發現波浪的形成及其行為是屬於複雜系統，各個影響因素間有相當程度的非線性交互作用。若是將整個波浪作用的過程當成黑盒處理時，利用模糊及類神經網路理論將是一個相當好的分析工具，再配合物理模式將能更進一步瞭解波浪特性與該區域環境特性的關係。

### 第三章 波浪資料分析

本研究首先對影響台灣東部海域的颱風進行波浪記錄的分析，引用的資料是交通部運輸研究所港灣技術研究中心長期對花蓮海域之波浪的觀測紀錄，擷取由 1997 年至 2000 年的颱風波浪資料分別示如圖 3-1 至 3-39。由圖 3-1 至圖 3-39 可知氣象條件影響波浪的程度並不容易區分，如圖 3-1 及圖 3-2 所示，即 2000 年 1 月及 2 月的波浪資料不容易區別有無氣象事件影響波浪的發展，其他亦有類似之情狀。若由圖 3-8 顯示相當容易區分颱風影響波浪的發展，而且颱風影響波浪發展的程度遠大於其他影響波浪發展的因素。若將收集的波浪資料(圖 3-1 至圖 3-39)排除異常及缺遺的波浪資料，經整理後可以發現下列兩點現象(1)比較同月份波浪如圖 3-1 至圖 3-3 及圖 3-13 至圖 3-15 等波浪記錄，發現波浪不具有季節的規則性，也就是指不同季節風影響波浪變動的因素不具週期性變化。(2)若將各個月份變動較大的波浪分離，發現每個月份的平均波高均不相同，也就是還有其他的氣象因素影響花蓮港的波浪，所以一般針對颱風進行推算波浪時當颱風波浪較遠於推算位置時必定會有相當程度的誤差。

比對中央氣象局發佈的颱風資料及港灣技術研究所量測的颱風波浪資料，本研究進行外海波浪條件及颱風氣象條件的分析。因波浪記錄的時間係以中央氣象局發佈颱風警報起至颱風登陸或遠離台灣為止。在相同時間的波浪資料先將有顯著關係的物理量進行初步的分離，藉此簡化推算模式的類神經網路架構。

將所收集的 1997 年至 2000 年影響台灣的颱風資料與能夠解析的波浪資料，把颱風作用時間分離如表 3-1 所示，記錄波浪時間為每小時計算一次，計算結果採用的輸出項為示性波高及其週期  $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 。颱風及波浪資料完整的共有 11 場颱風資料，其中 2000 年颱風 BILIS (碧利斯) 颱風的波浪資料在颱風中心接近陸地及離開台灣後有短缺的現象。由圖 3-8 的颱風波浪資料可以發現颱風波浪到達以及遠離測站時波浪受到季節及氣候影響，波浪並沒有規律性且與颱風無直接的關係，

此颱風事件影響波浪的程度上相較其他影響因素大，所以在分析颱風波浪時將假設影響颱風波浪只有颱風的單一事件。

為了增加颱風及波浪資料的廣度並避免這 10 場颱風資料產生資料過度集中的問題，因而引入簡、曾（1999）的研究結果，將颱風波浪發生時間與颱風作用時間的資料，配合颱風的位置與規模，分析瞭解颱風與花蓮港波浪的關係。

將颱風行進的時間及花蓮港觀測颱風波浪的時段分別計算颱風與觀測站的距離及角度（正北為 0 度）的關係如圖 3-40 所示。由圖 3-40 中發現颱風波浪發生時颱風的最大距離約在 2500 公里，而在 2500-1500 公里時其所處的位置約在花蓮港 50-100 度之間，這部分的颱風波浪的形成有兩種可能，一種為颱風行進緩慢或停滯使得颱風風場內的波浪傳出風場，即為湧浪(swell)；另一種為伴隨颱風的外圍環流產生的風浪。在分析的資料中颱風移動速度約每小時 68 公里，若是颱風距離大於 1000 公里所產生颱風波浪，此種颱風波浪屬於外圍環流所造成的波浪，且移動的位置多維持在花蓮港的 70-90 度的位置，當颱風逐漸接近時，颱風影響波浪更為直接。所以颱風距離在 1000 公里以下時影響花蓮港的颱風波浪將不再受限於特定角度，而與颱風的運動行為有關。

另外，由氣象局所提供的 1949-2000 年侵台的颱風中心氣壓及近中心最大風速資料中，將比較颱風中心氣壓及近中心最大風速如圖 3-41 所示。由圖 3-41 中看出颱風中心氣壓與颱風的最大風速成約反比關係，但是無法找出氣壓與最大風速一對一的函數關係。所以由圖 2-1 及圖 2-2 配合式 (2-1)、式 (2-5) 及式 (2-9) 可以瞭解颱風內最大風速的產生與颱風運動行為有密切的關係，而風場的風速大小直接關係到風浪的大小。圖 3-42 至圖 3-52 為 2000-1999 年影響台灣的颱風路徑圖。若是可以直接由衛星觀測資料讀取最大風速將可減少推算風速的步驟也可減少誤差的產生。進行推算分析的颱風路徑及風速資料採用 <http://Weather.Unisys.com> 網站所提供的颱風資料。

表 3-1 港研中心量測花蓮颱風波浪時間

颱風名稱		颱風作用時間		花蓮
KIROGI (2000)		07/02/06	07/08/18	X
KAI-TAK (2000)	啟德	07/04/06	07/10/06	X
BOLAVEN (2000)		07/24/18	07/30/12	X
JELAWAT (2000)		08/01/00	08/11/00	8/4-8/11
BILIS (2000)	碧利斯	08/18/06	08/24/00	8/18-8/22
PRAPIROON (2000)	巴比倫	08/26/00	09/01/06	X
SAOMAI (2000)		09/03/06	09/16/06	ERROR
WIKONG (2000)		09/05/06	09/10/06	X
BOPHA (2000)	寶發	09/05/18	09/11/06	9/8-9/11
YAGI (2000)	雅吉	10/22/12	10/27/06	10/22-10/27
XANGSANE (2000)	象神	10/25/12	11/03/06	10/25-11/3
BEBINCA (2000)	貝碧佳	11/01/06	11/08/18	X
KATE (1999)		04/22/00	04/28/12	ERROR
LEO (1999)		04/27/00	05/02/06	ERROR
MAGGIE (1999)	瑪姬	06/01/12	06/06/18	X
OLGA (1999)		07/29/00	08/03/18	X
SAM (1999)	山姆	08/18/06	08/23/00	8/18-8/23
YORK (1999)		09/11/18	09/16/06	X
BART (1999)		09/17/12	09/24/12	X
DAN (1999)	丹恩	10/03/06	10/09/18	X
GLORIA (1999)		11/13/06	11/16/12	X
NICHOLE (1998)	妮寇兒	07/08/00	07/10/00	X
OTTO (1998)	奧托	08/02/00	08/05/00	8/2-8/5
PENNY (1998)		08/06/06	08/11/06	X
REX (1998)		08/24/00	09/07/00	X
STELLA (1998)		09/12/06	09/16/12	X
TODD (1998)		09/16/00	09/20/00	X
VICKI (1998)		09/17/00	09/23/00	X
YANNI (1998)	楊妮	09/25/00	09/30/18	X
ZEB (1998)	瑞伯	10/09/18	10/17/12	X
BABS (1998)	芭比絲	10/14/06	10/27/06	X
LEVI (1997)		05/25/18	05/30/06	5/25-5/30
OPAL (1997)		06/15/06	06/21/06	6/15-6/21
PETER (1997)		06/23/06	06/29/00	6/23-6/29
TINA (1997)		07/29/18	08/09/12	X
WINNIE (1997)	溫妮	08/08/06	08/19/00	X
AMBER (1997)	安珀	08/21/06	08/29/18	X
CASS (1997)	卡絲	08/28/00	08/30/06	X
IVAN (1997)	艾文	10/12/06	10/24/12	10/12-10/24



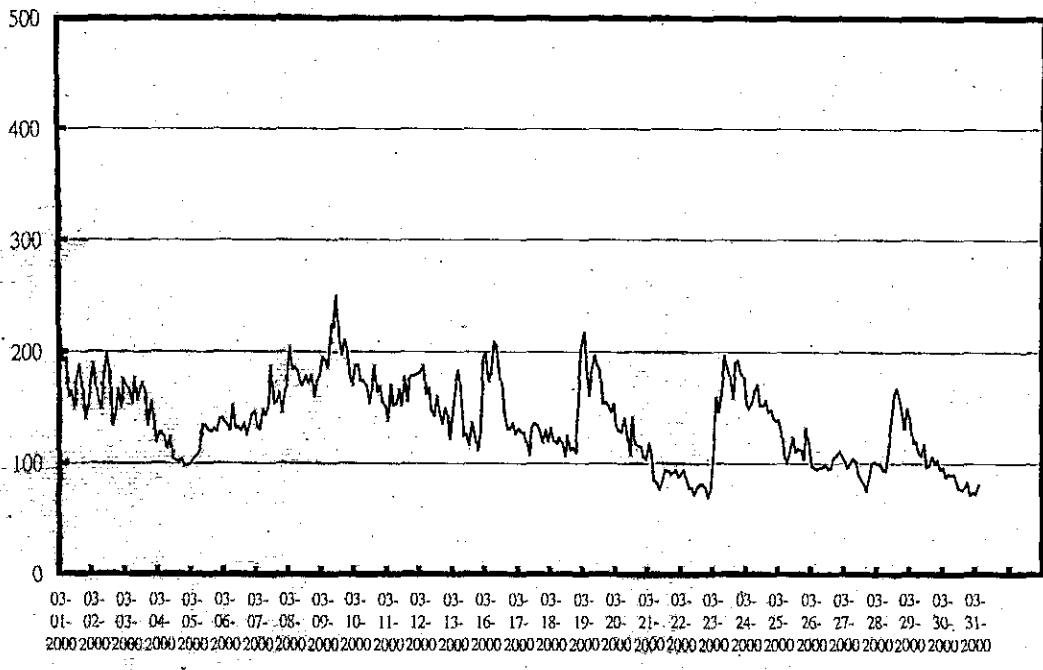


圖 3-3 花蓮港 2000 年 3 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

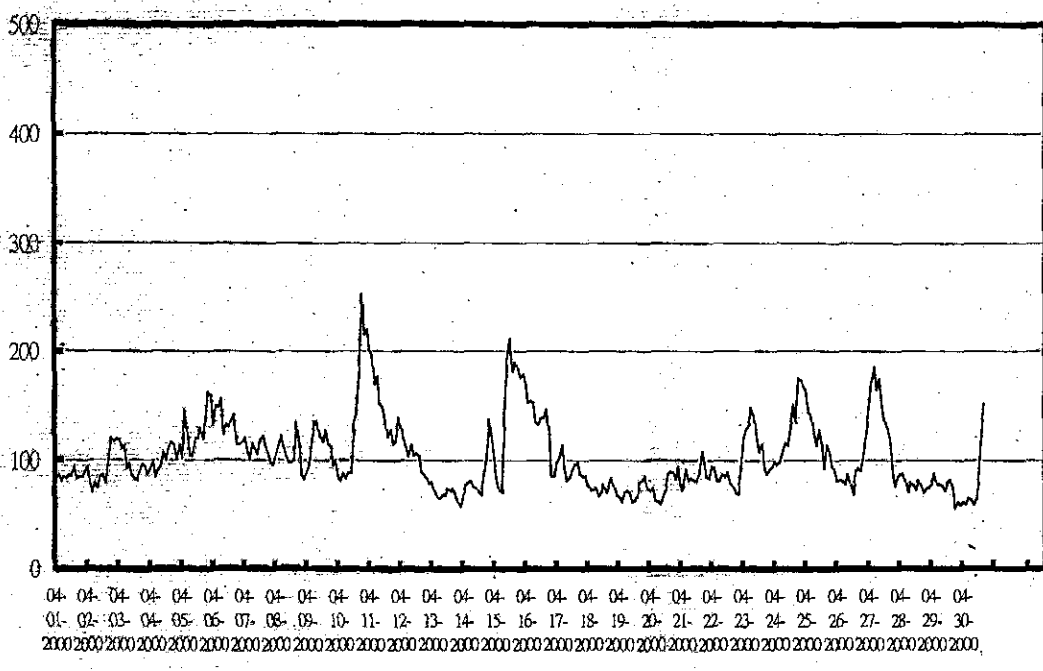


圖 3-4 花蓮港 2000 年 4 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

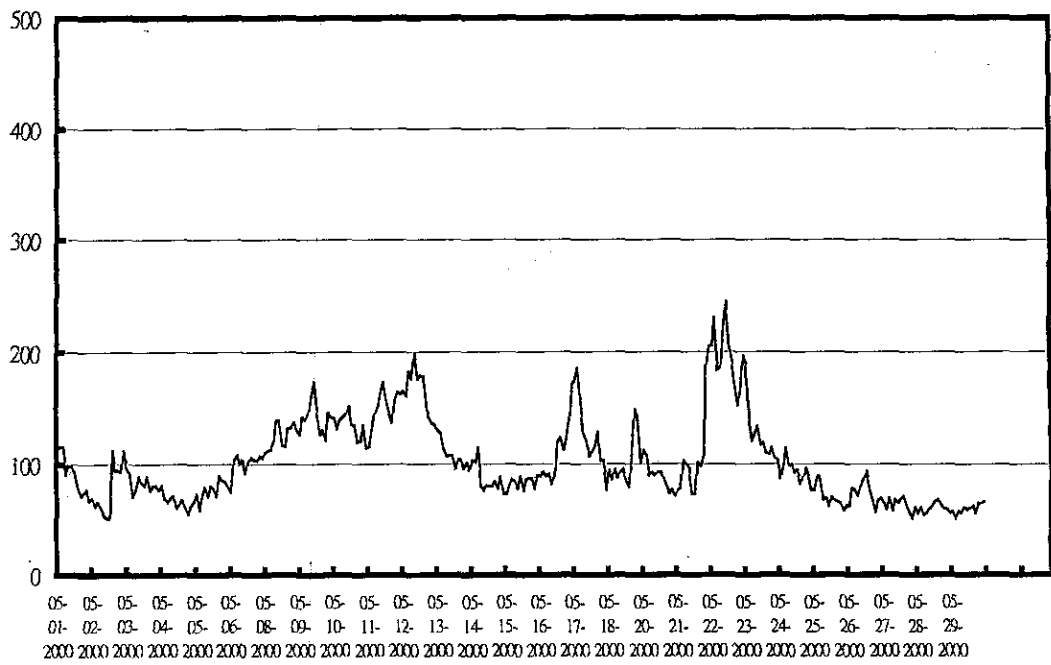


圖 3-5 花蓮港 2000 年 5 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

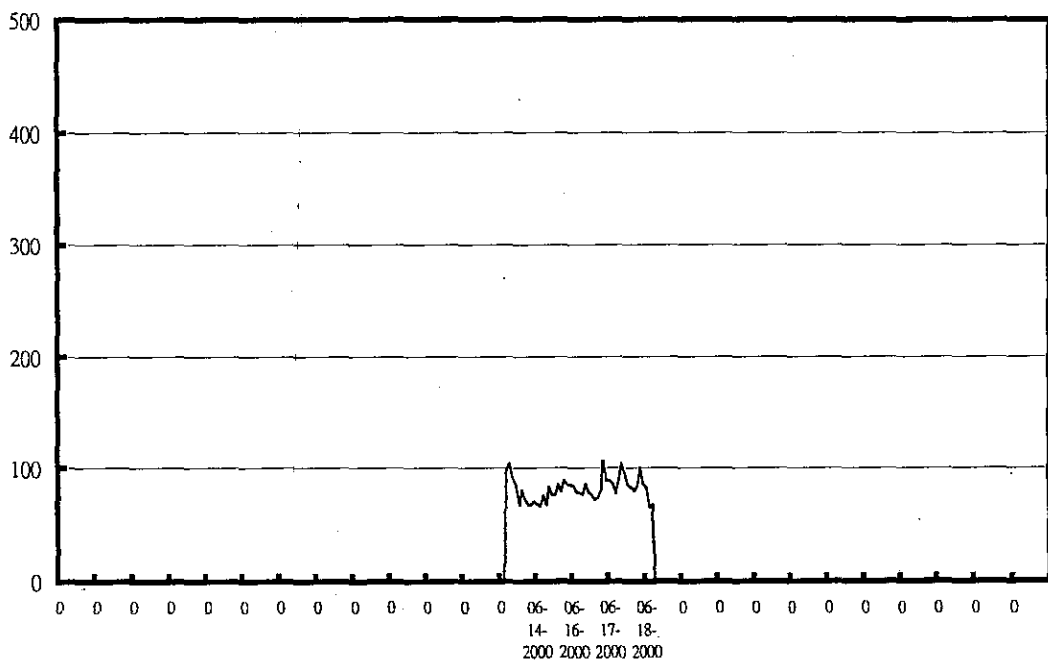


圖 3-6 花蓮港 2000 年 6 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄



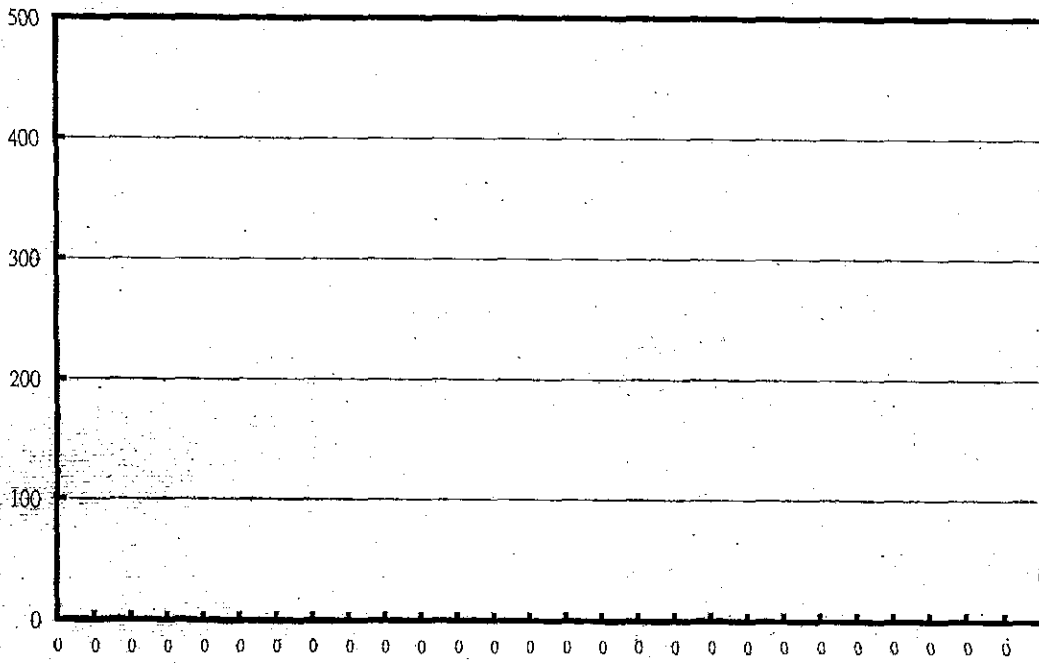


圖 3-7 花蓮港 2000 年 7 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

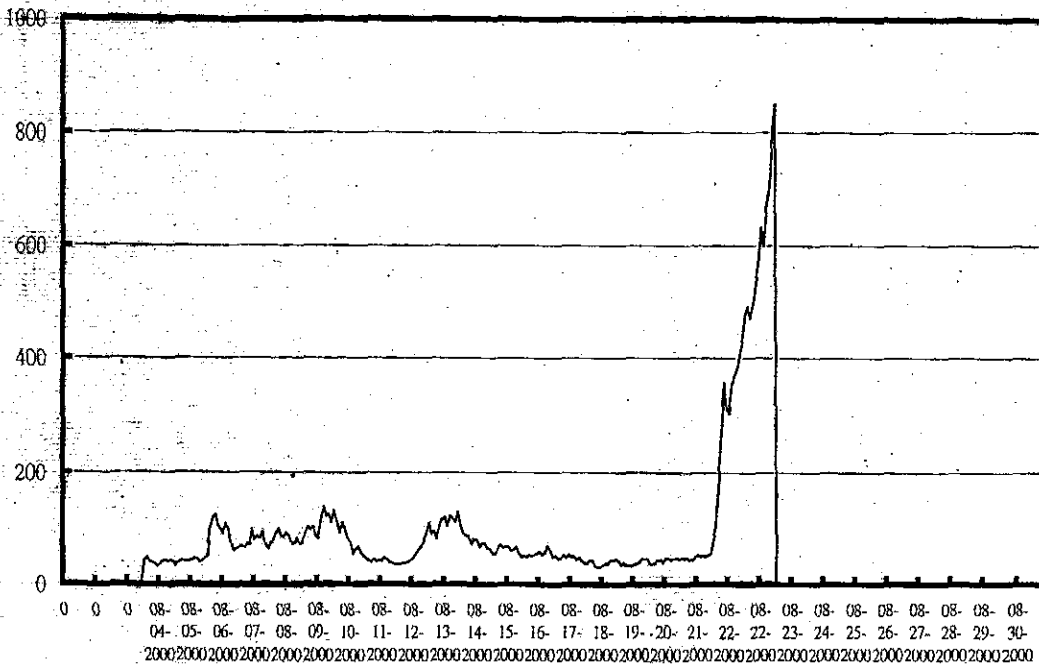


圖 3-8 花蓮港 2000 年 8 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

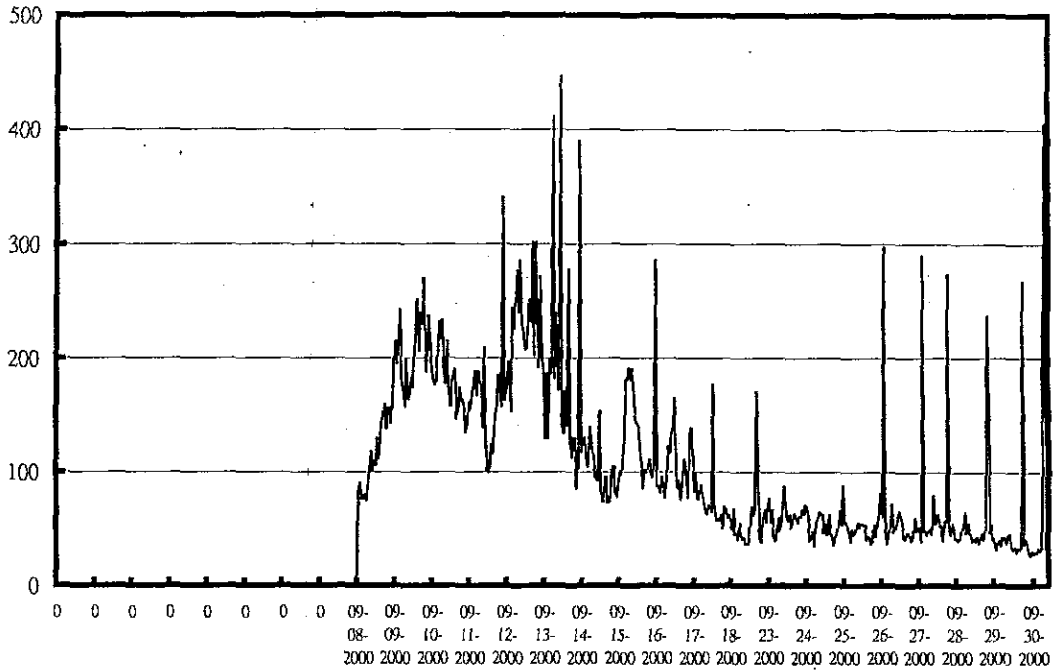


圖 3-9 花蓮港 2000 年 9 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

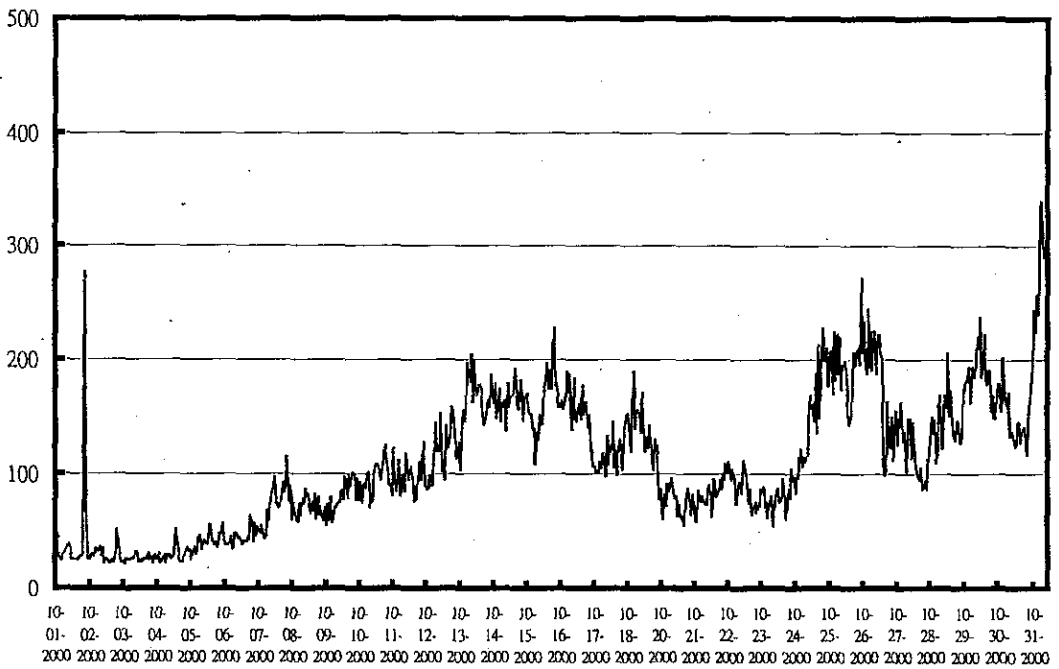


圖 3-10 花蓮港 2000 年 10 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

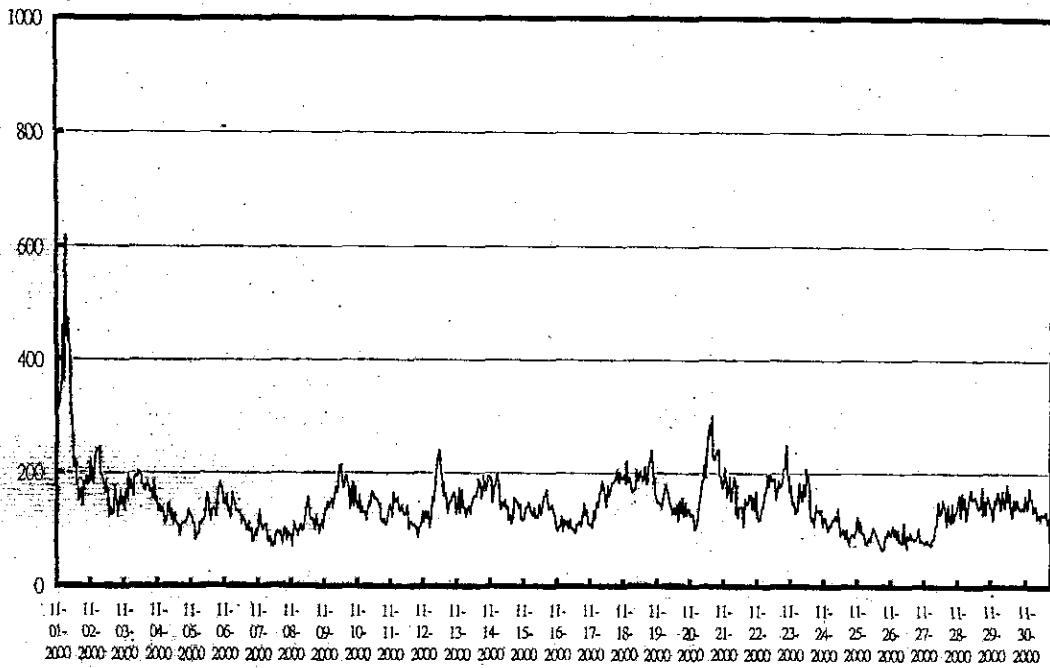


圖 3-11 花蓮港 2000 年 11 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

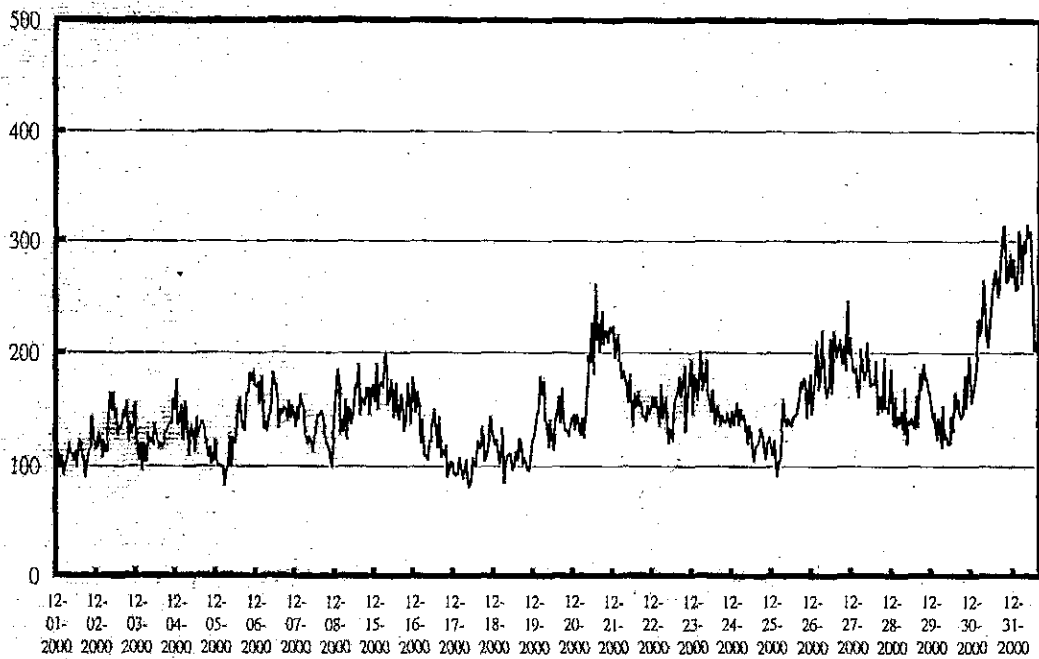


圖 3-12 花蓮港 2000 年 12 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

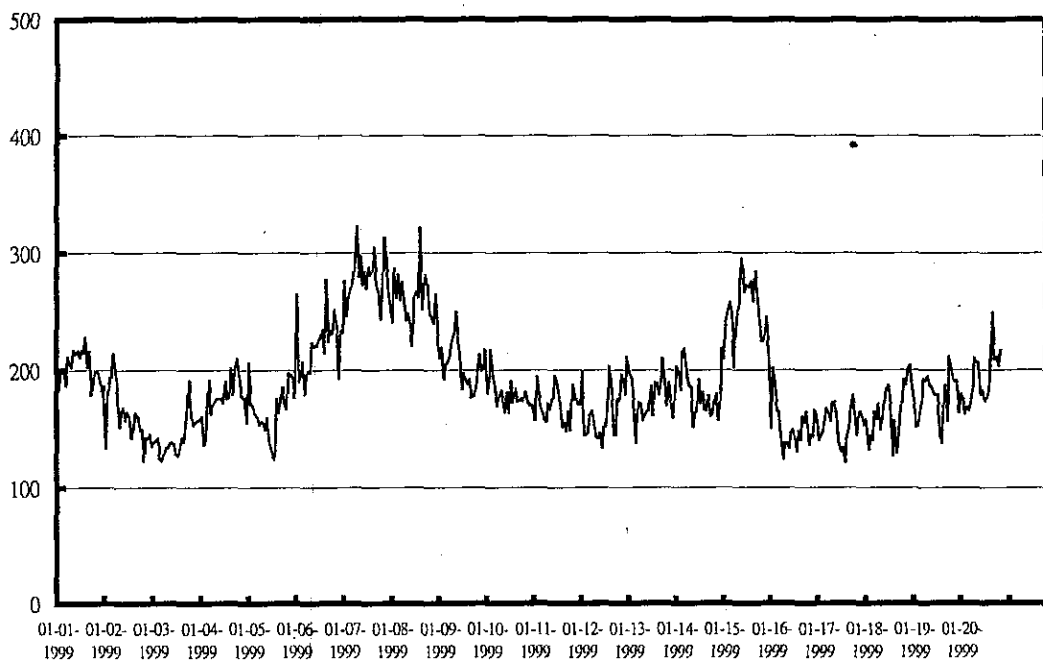


圖 3-13 花蓮港 1999 年 1 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

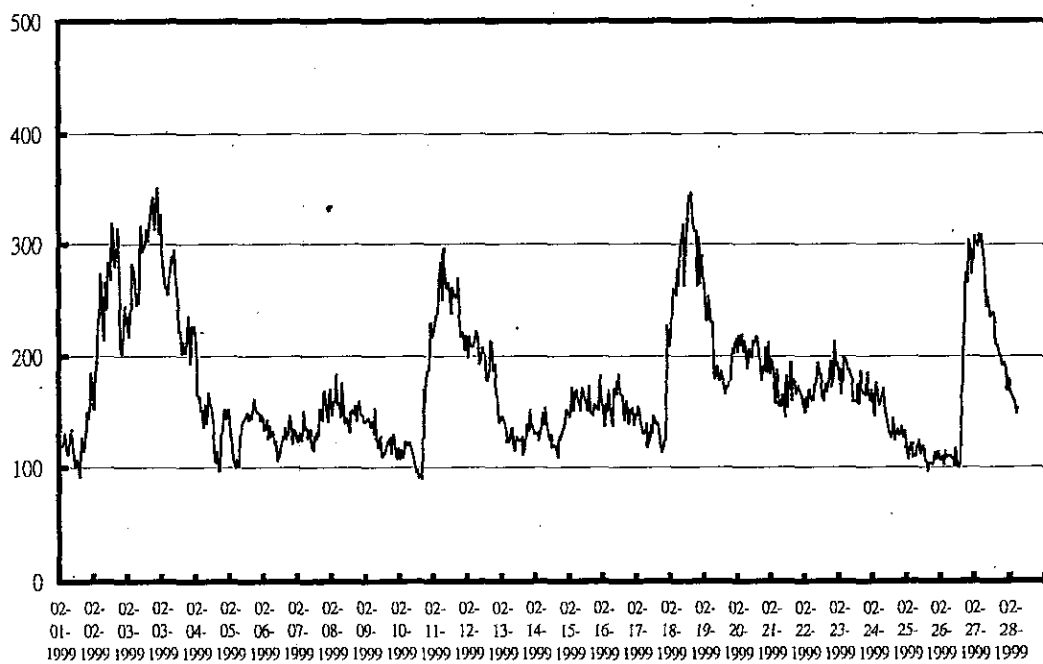


圖 3-14 花蓮港 1999 年 2 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

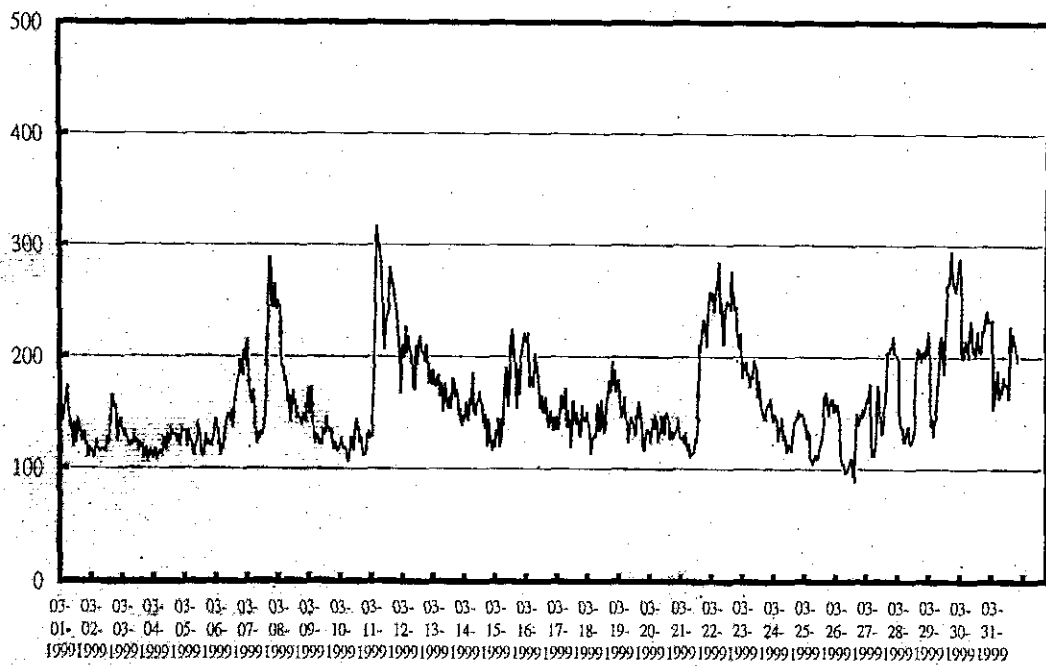


圖 3-15 花蓮港 1999 年 3 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

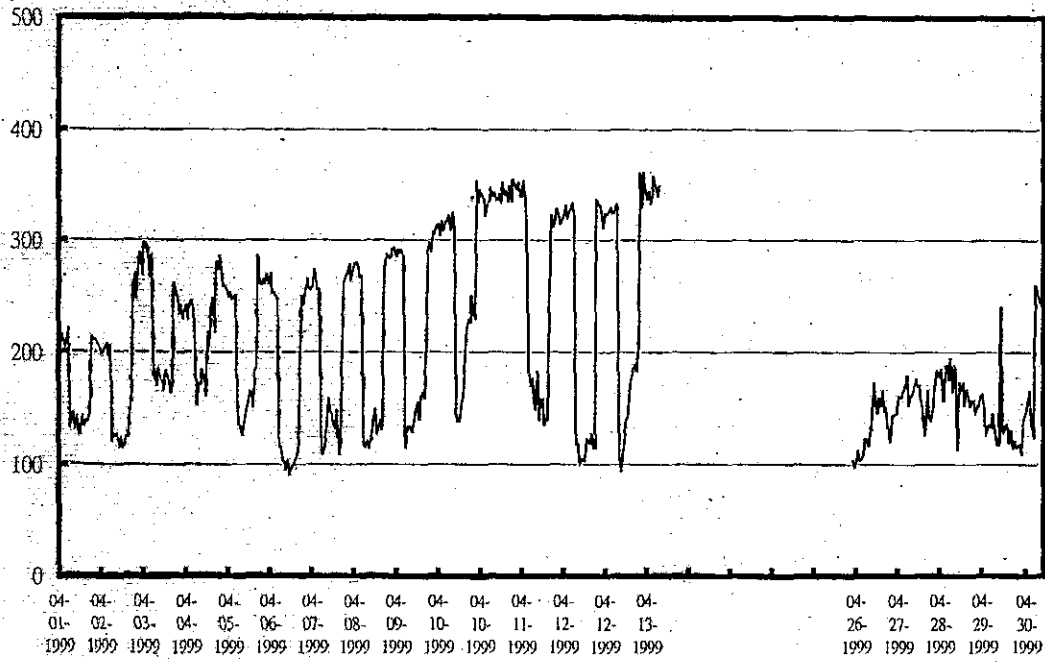


圖 3-16 花蓮港 1999 年 4 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

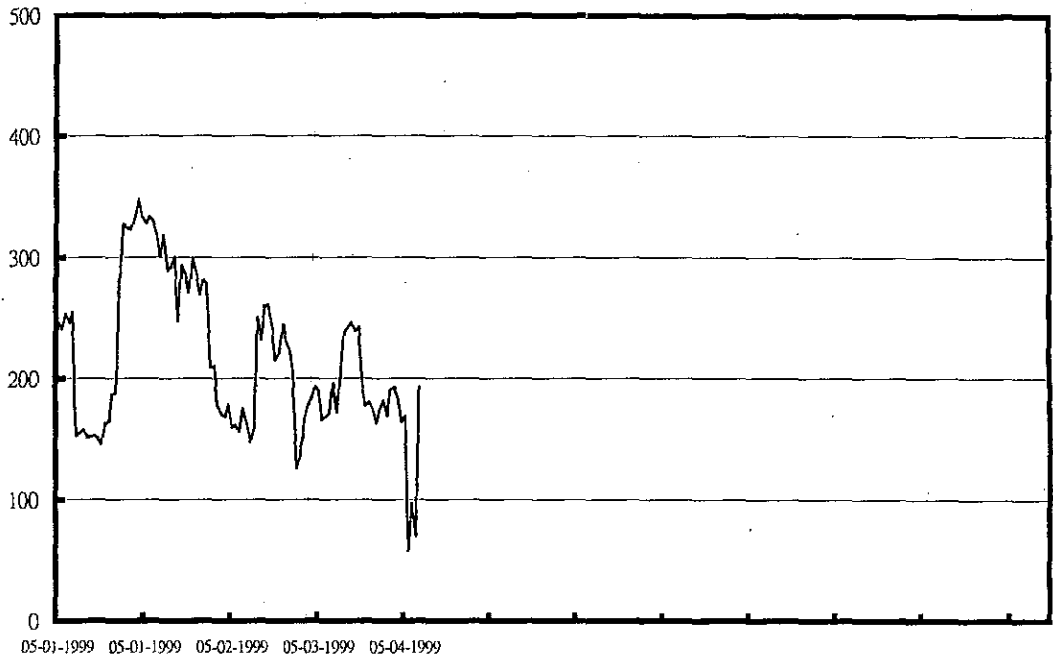


圖 3-17 花蓮港 1999 年 5 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

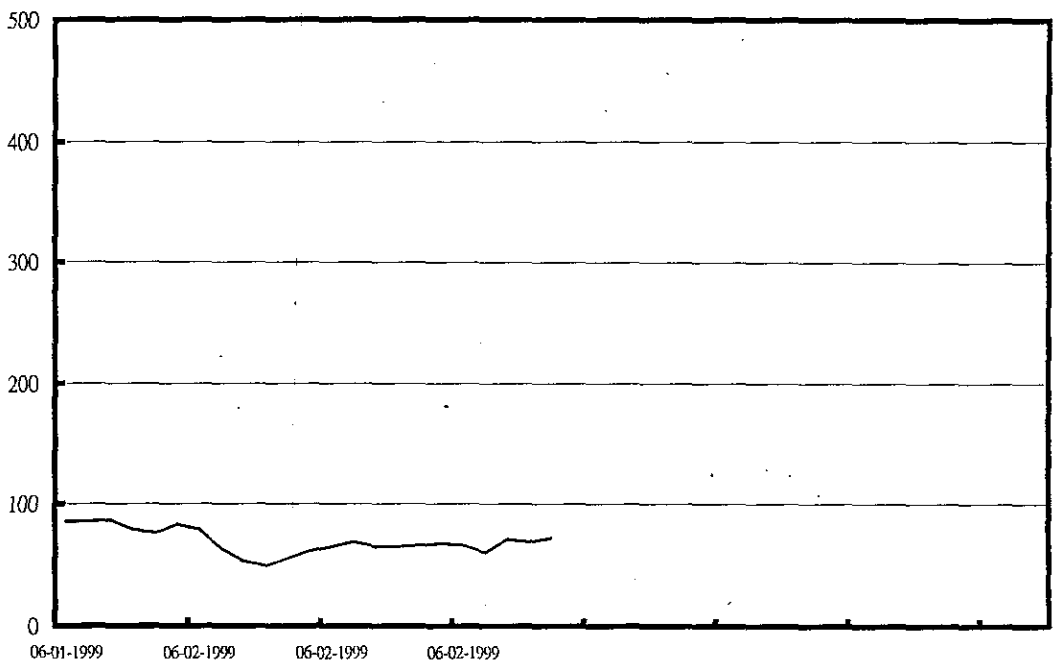


圖 3-18 花蓮港 1999 年 6 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

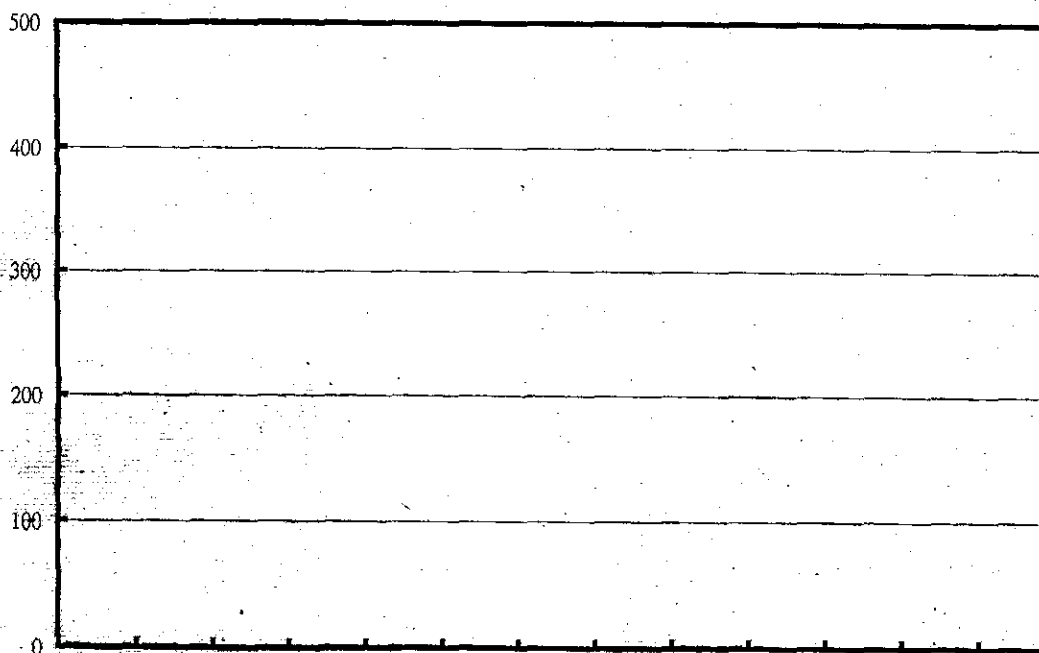


圖 3-19 花蓮港 1999 年 7 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

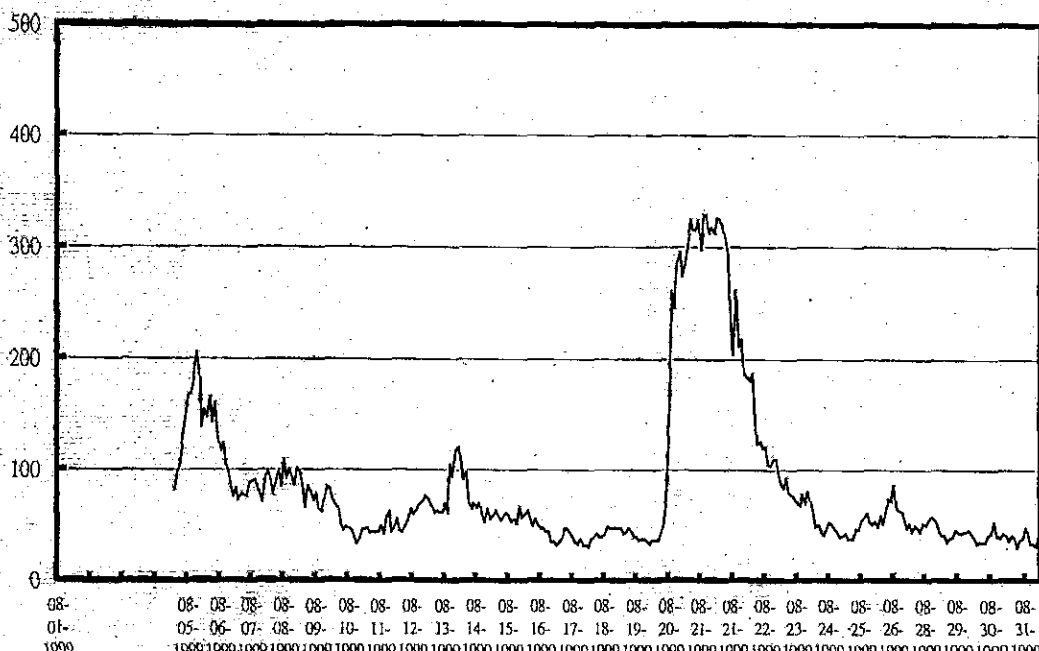


圖 3-20 花蓮港 1999 年 8 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

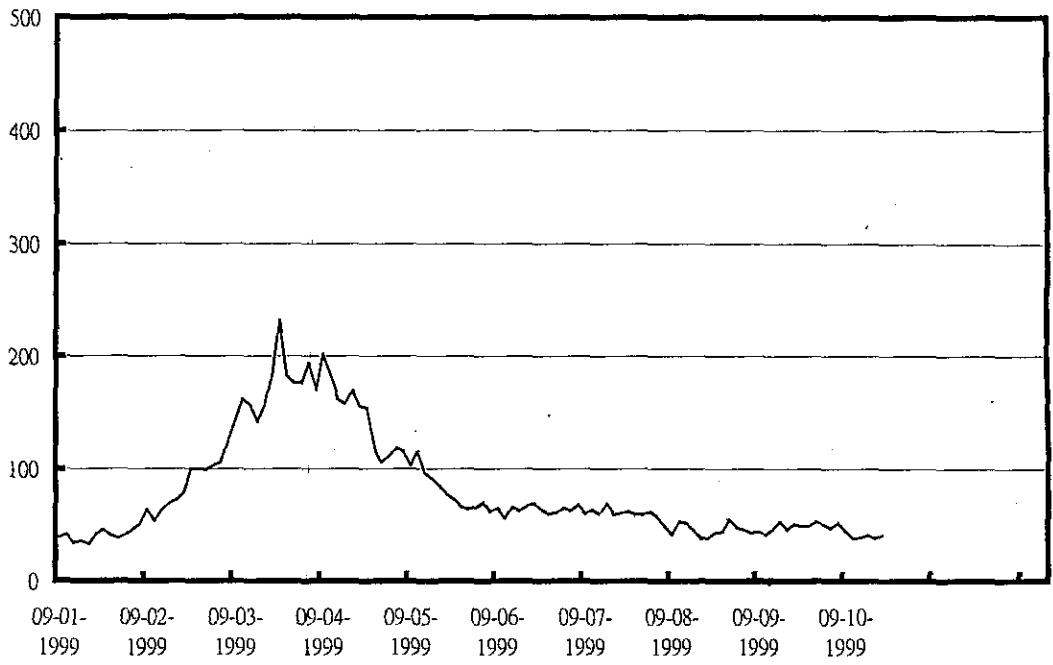


圖 3-21 花蓮港 1999 年 9 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

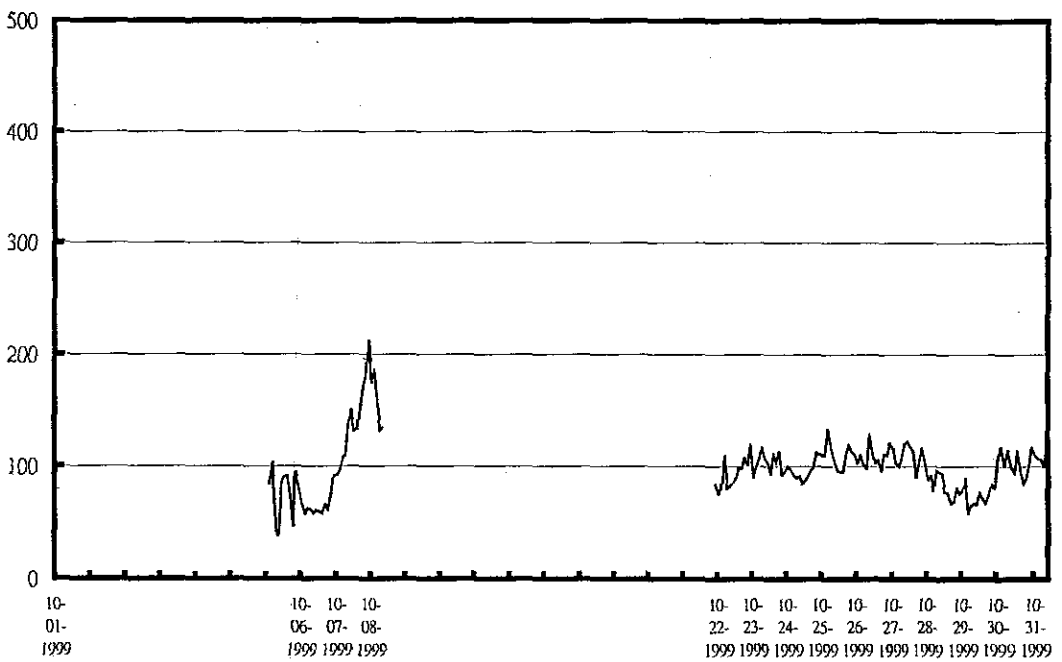


圖 3-22 花蓮港 1999 年 10 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄



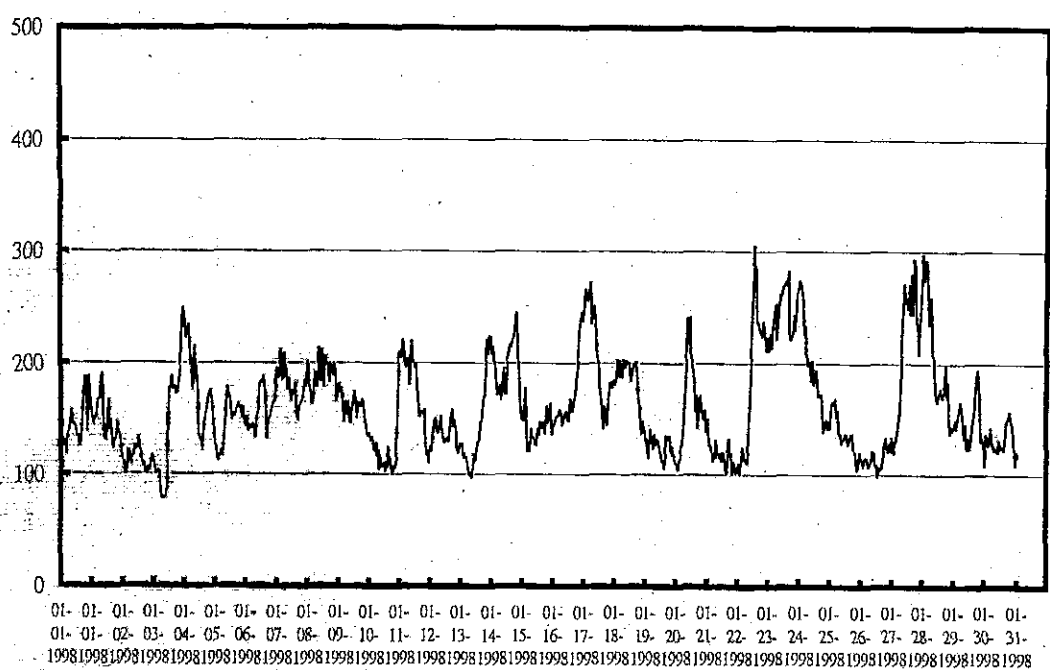


圖 3-23 花蓮港 1998 年 1 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

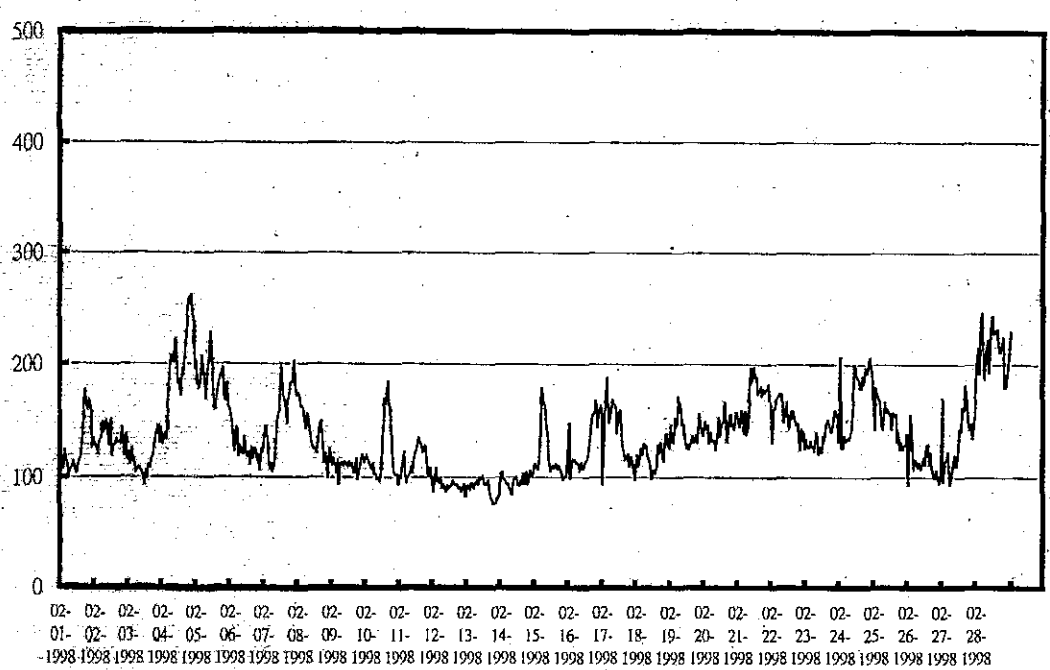


圖 3-24 花蓮港 1998 年 2 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

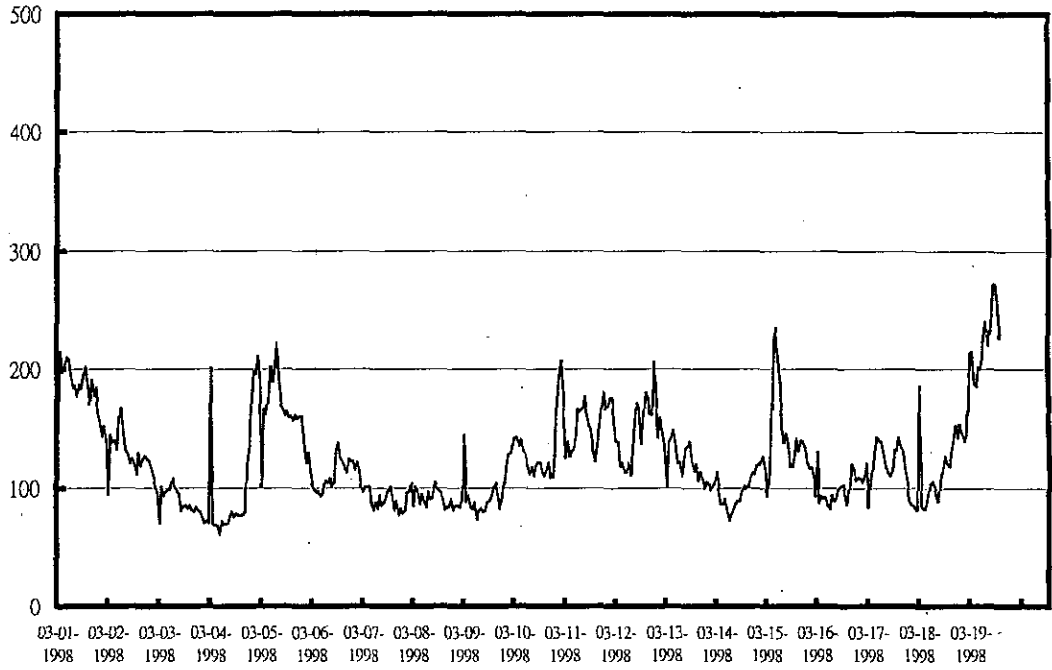


圖 3-25 花蓮港 1998 年 3 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

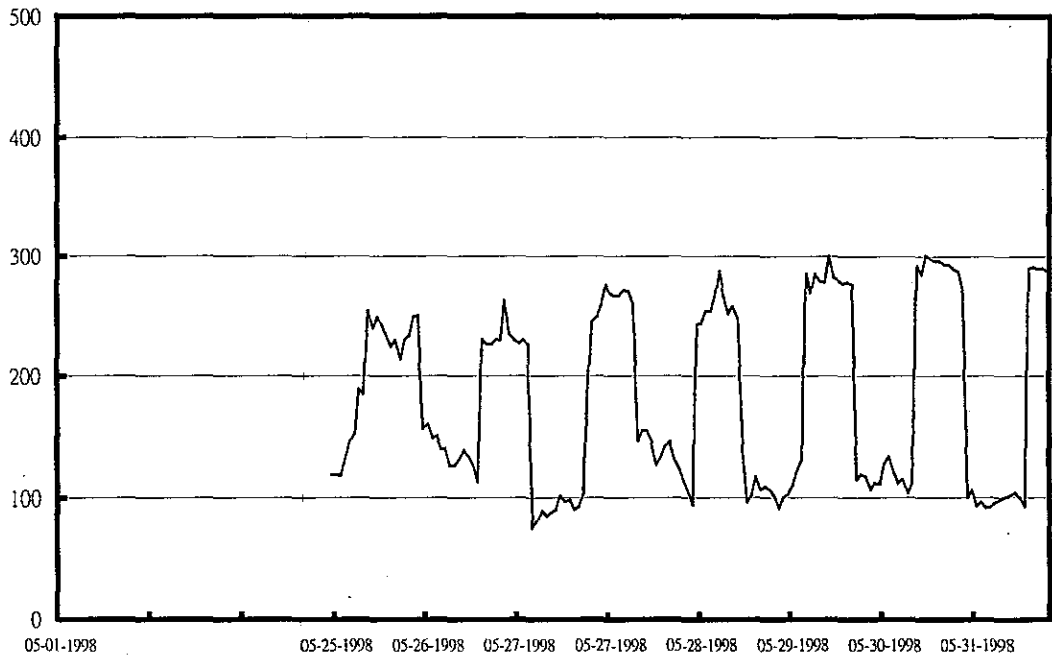


圖 3-26 花蓮港 1998 年 5 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

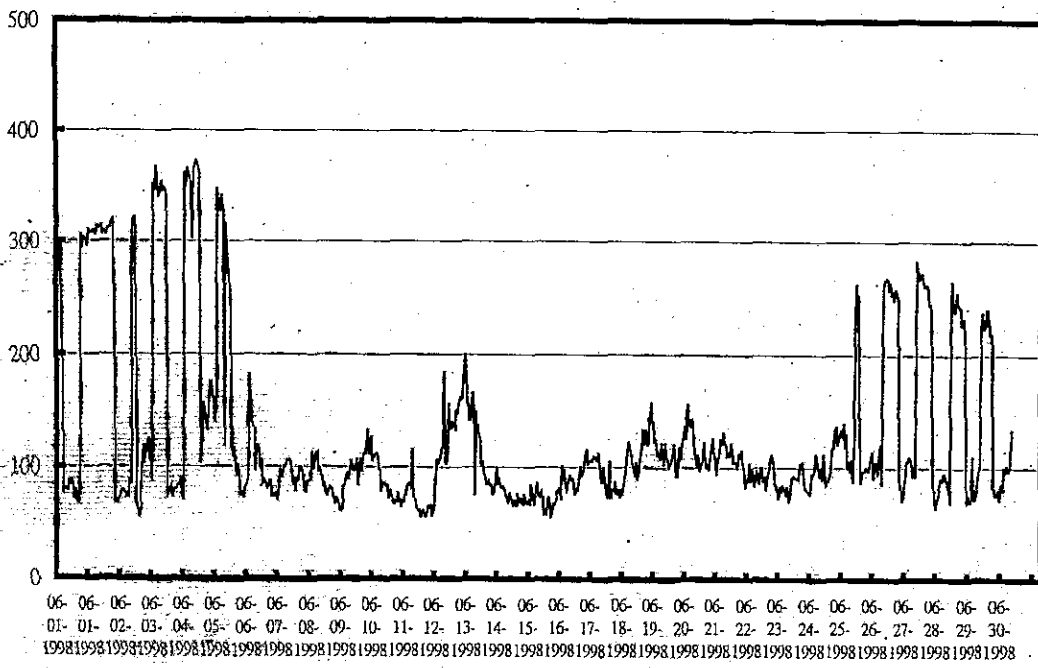


圖 3-27 花蓮港 1998 年 6 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

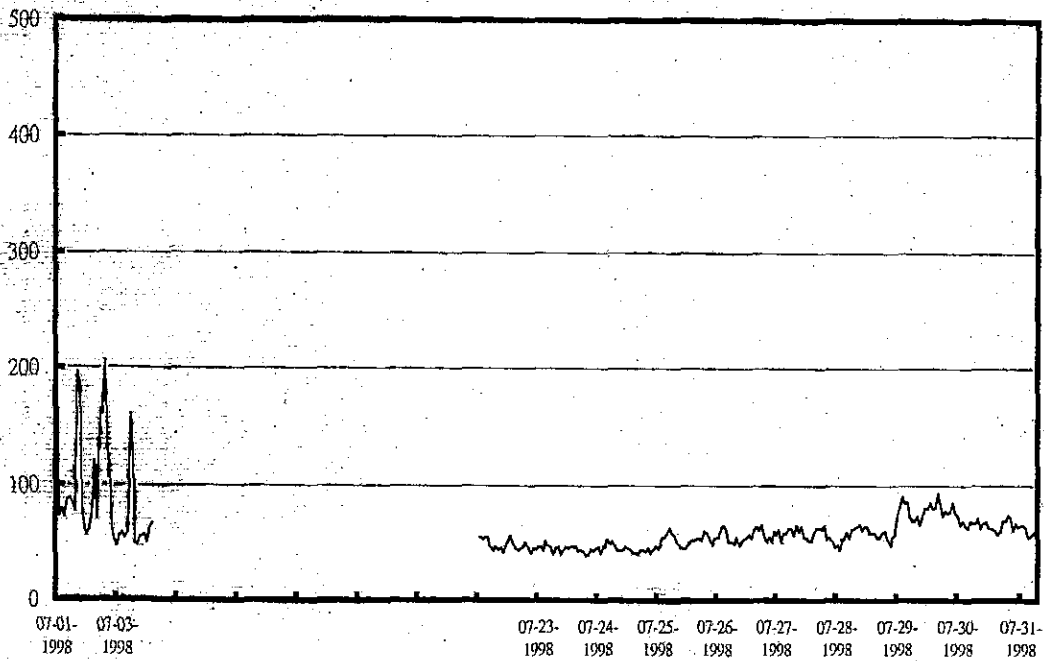


圖 3-28 花蓮港 1998 年 7 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

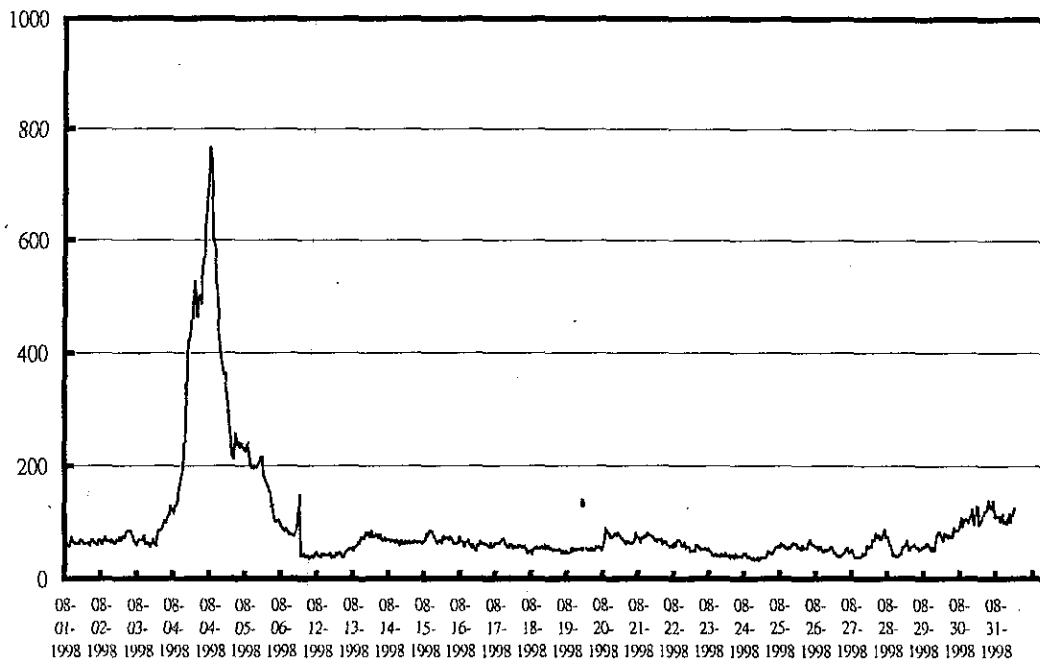


圖 3-29 花蓮港 1998 年 8 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

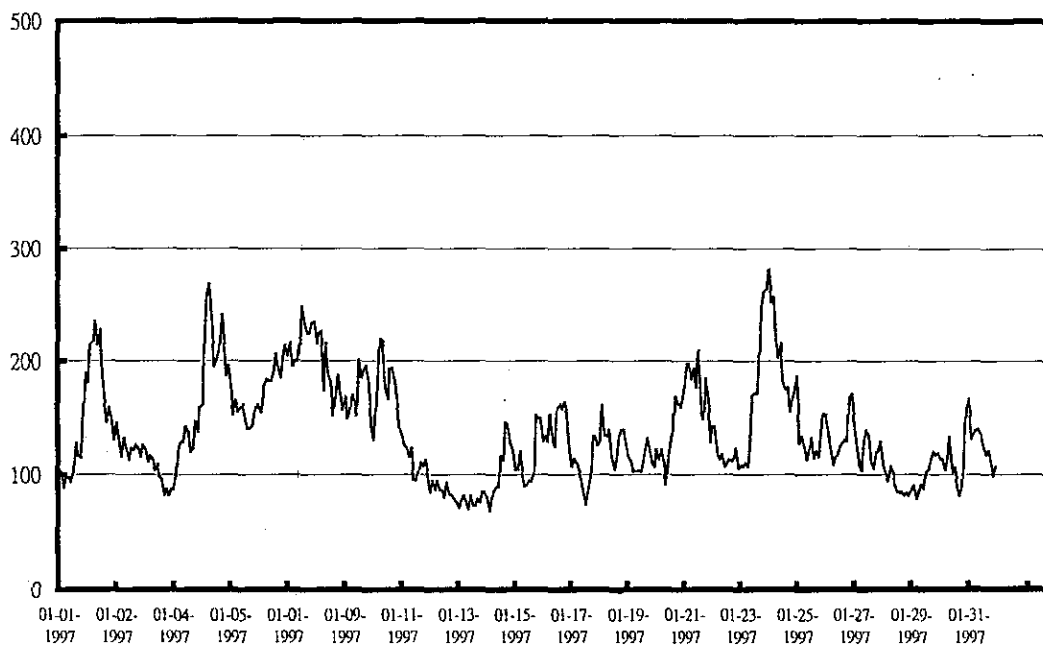


圖 3-30 花蓮港 1997 年 1 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

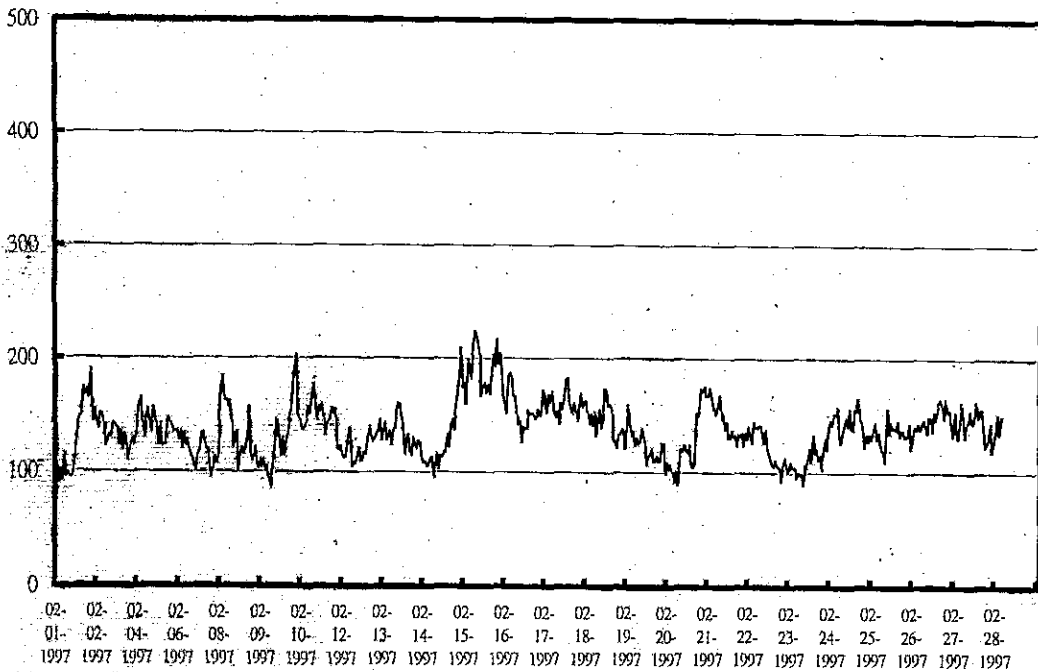


圖 3-31 花蓮港 1997 年 2 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

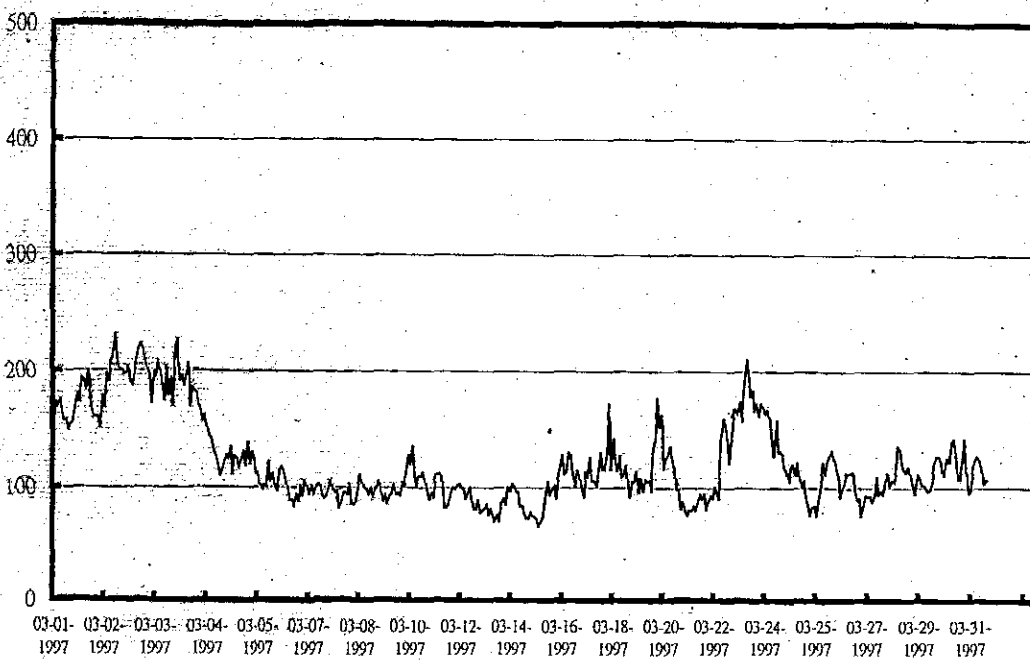


圖 3-32 花蓮港 1997 年 3 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

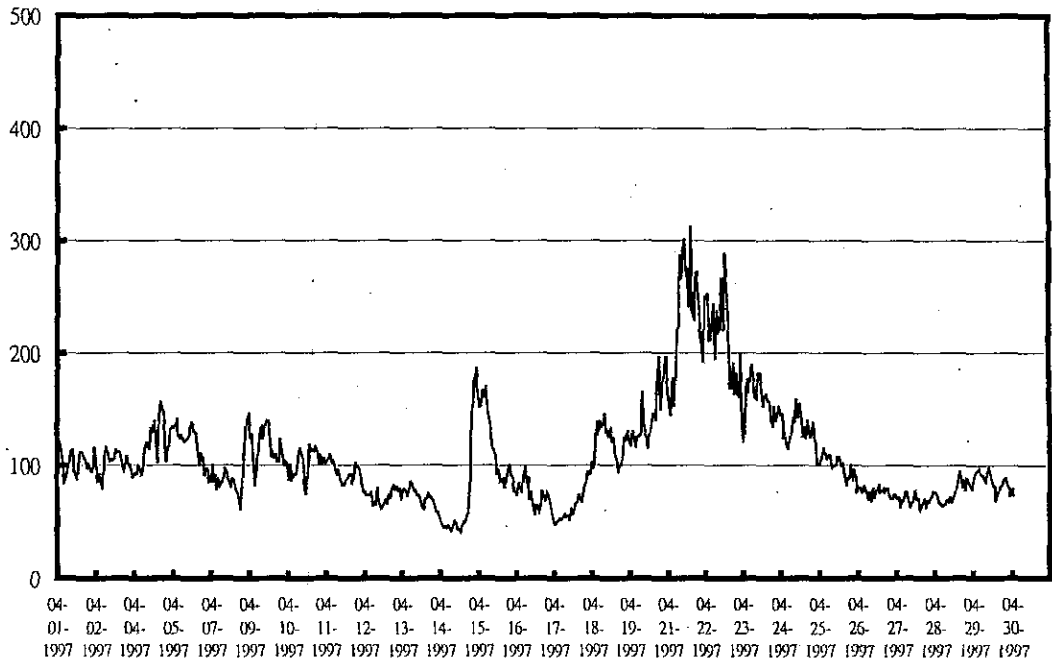


圖 3-33 花蓮港 1997 年 4 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

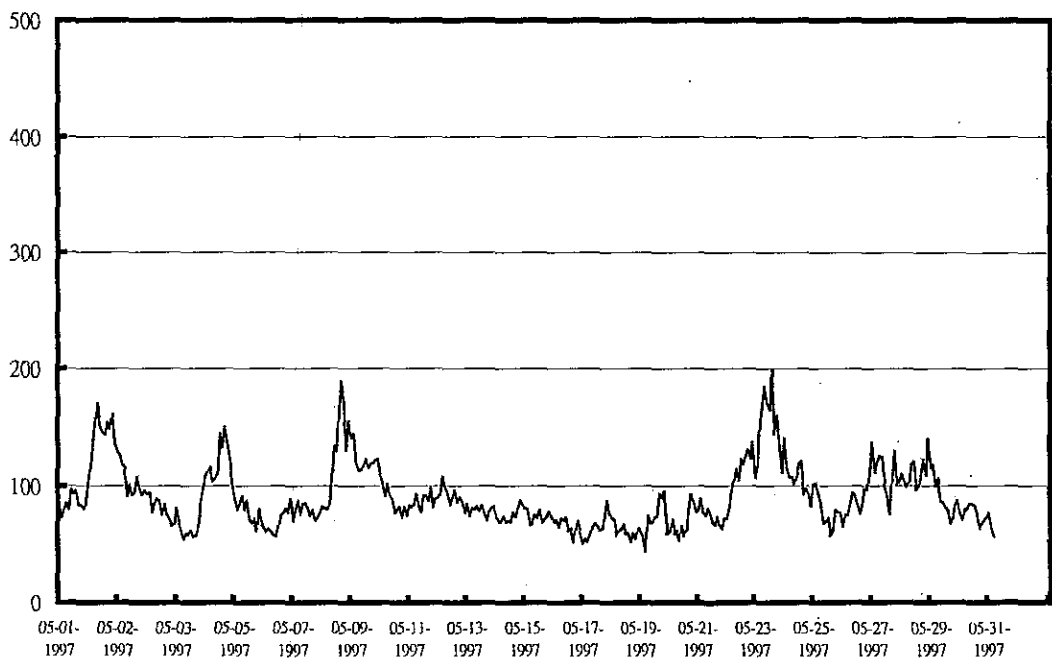


圖 3-34 花蓮港 1997 年 5 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

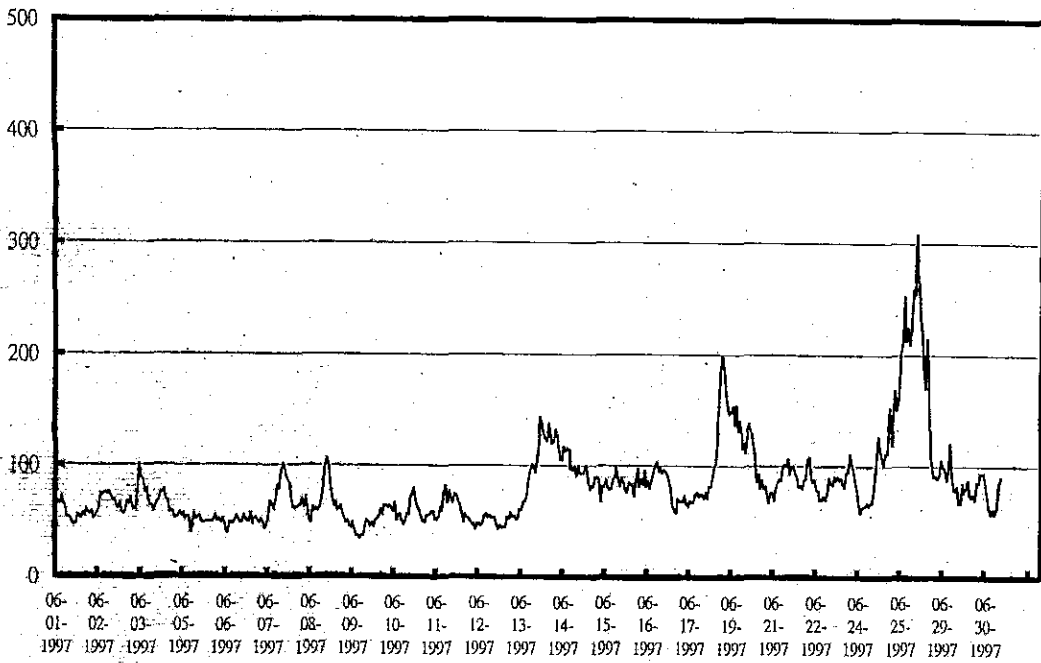


圖 3-35 花蓮港 1997 年 6 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

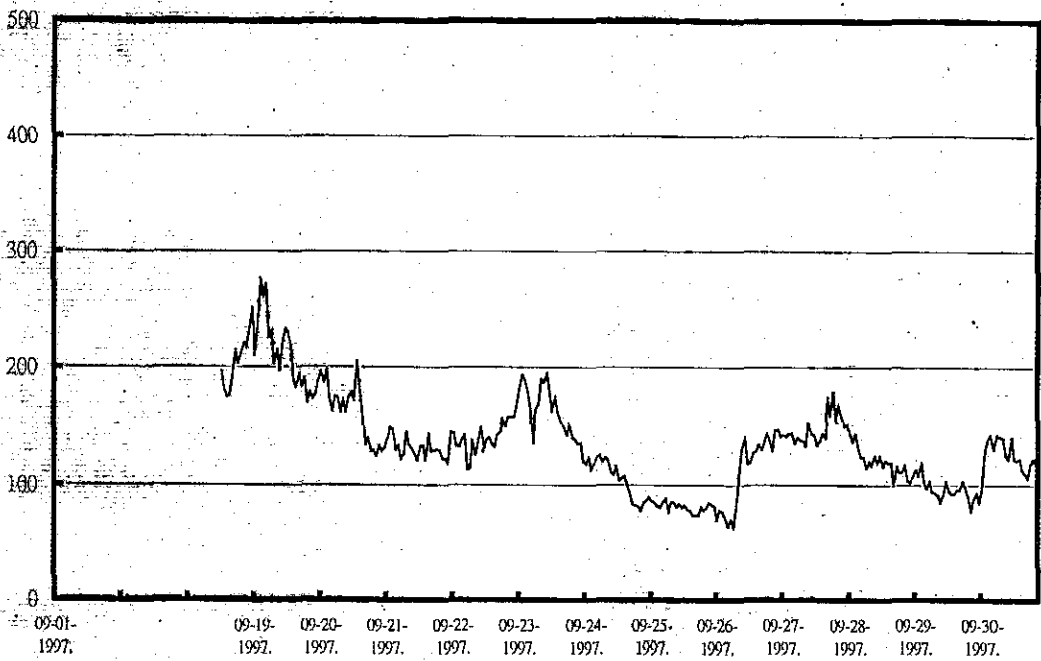


圖 3-36 花蓮港 1997 年 9 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

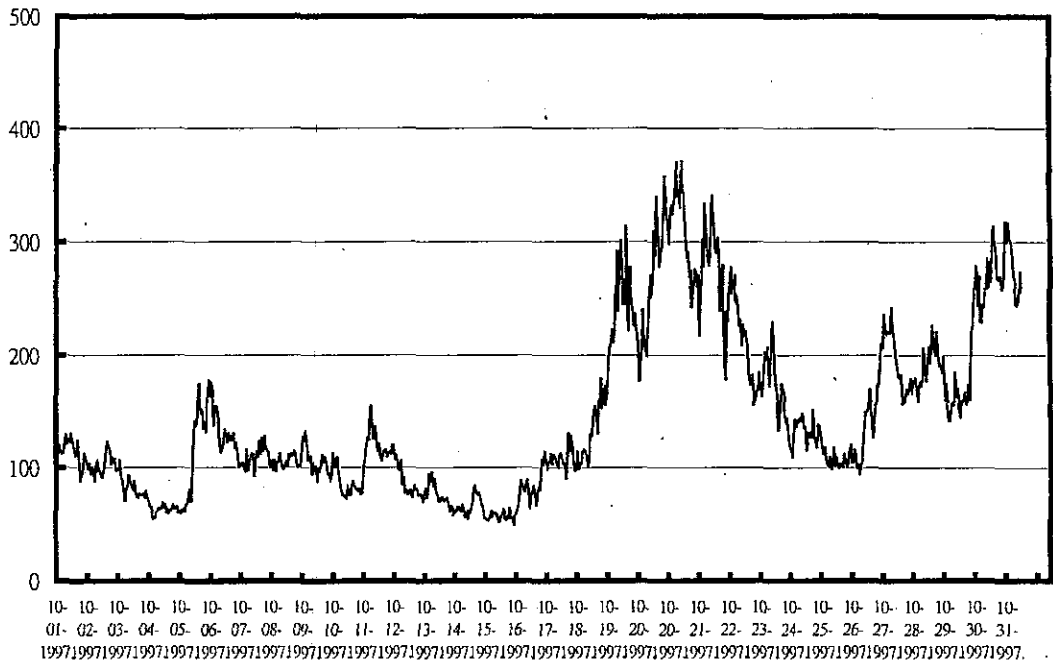


圖 3-37 花蓮港 1997 年 10 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

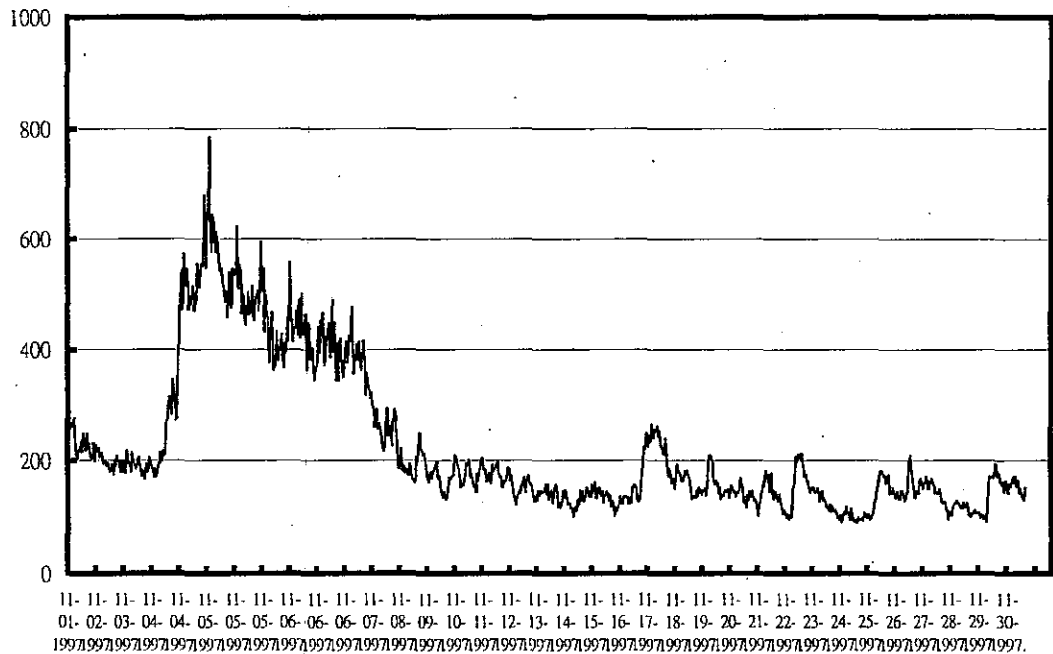


圖 3-38 花蓮港 1997 年 11 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄



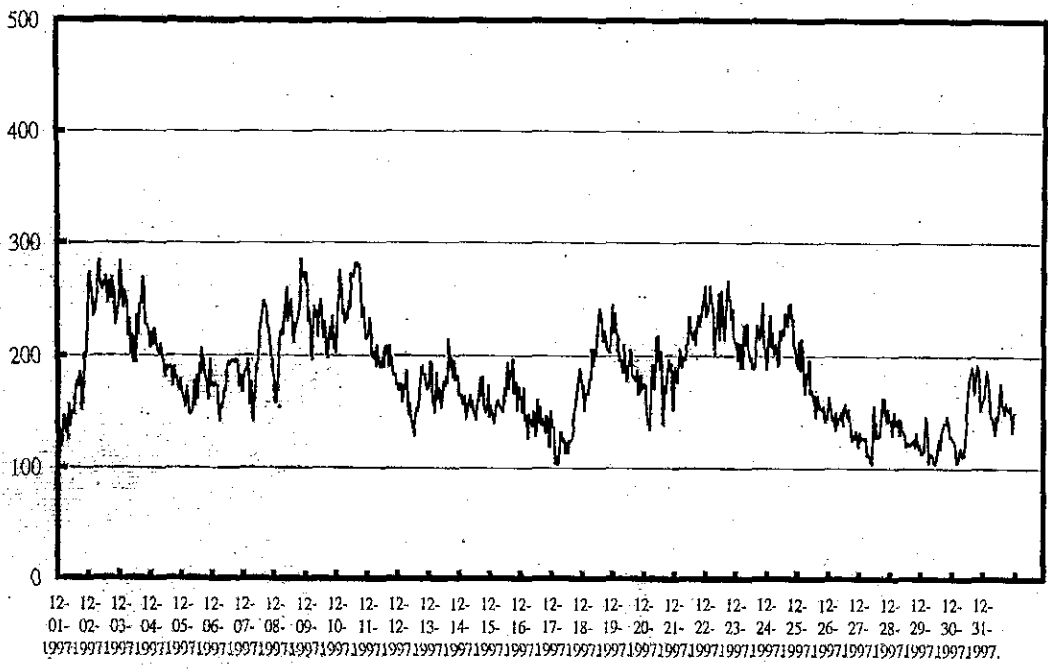


圖 3-39 花蓮港 1997 年 12 月有義波高  $H_{1/3}$  紀錄

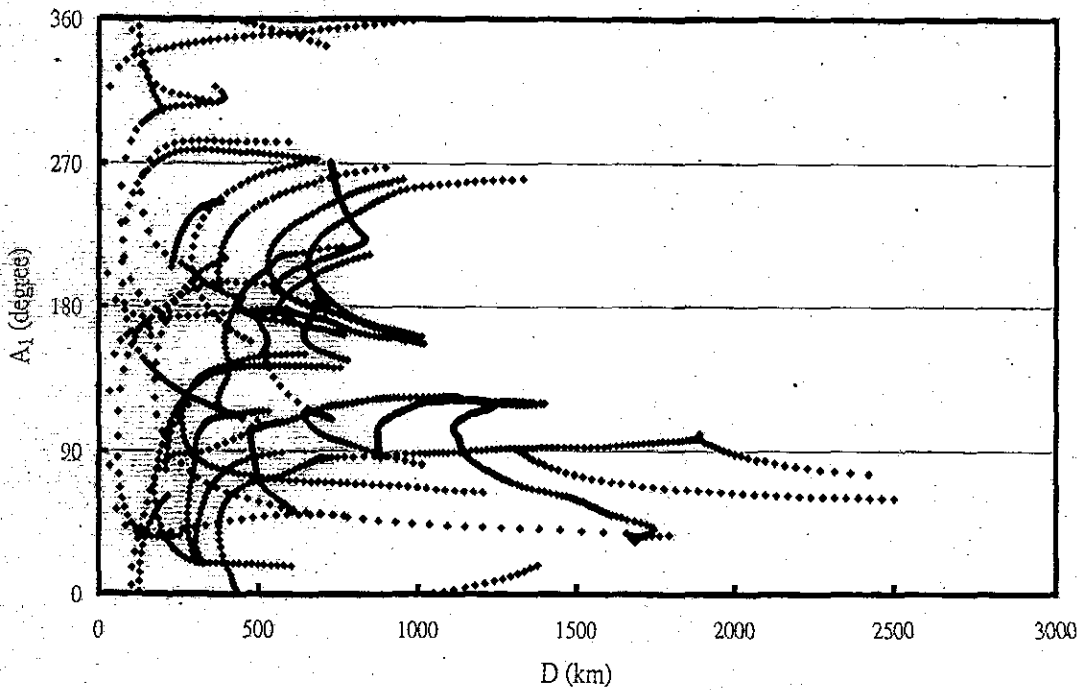


圖 3-40 颱風影響花蓮港時的方位角與距離關係圖

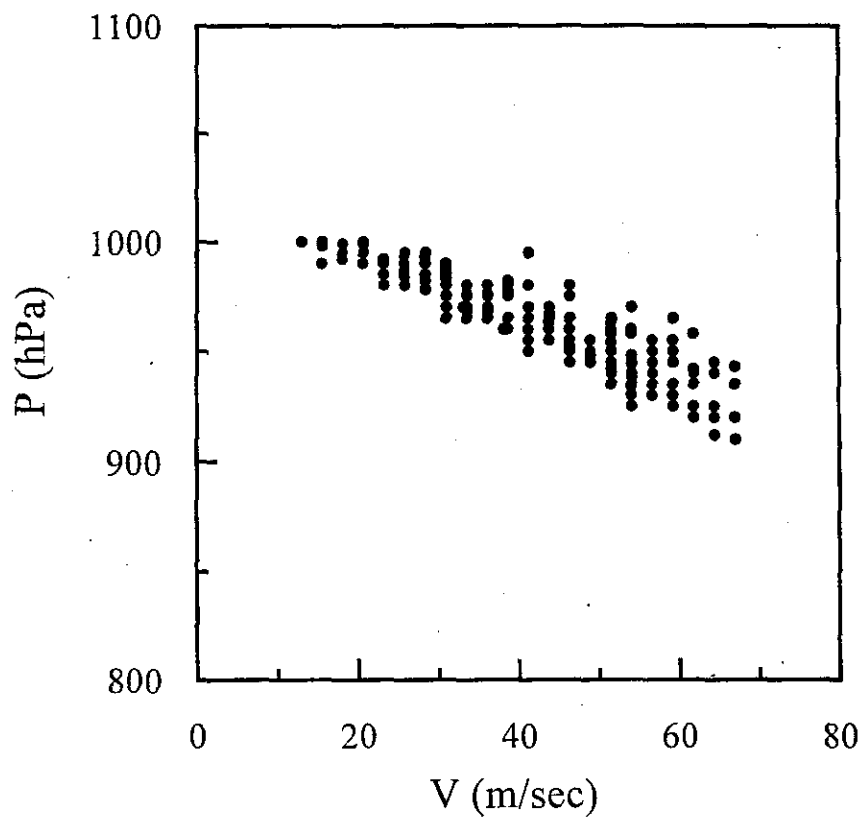


圖 3-41 颱風中心壓力  $P$  與颱風近中心最大風速  $V$  關係圖

Typhoon KAI TAK—Storm track

04-10 JUL 2000

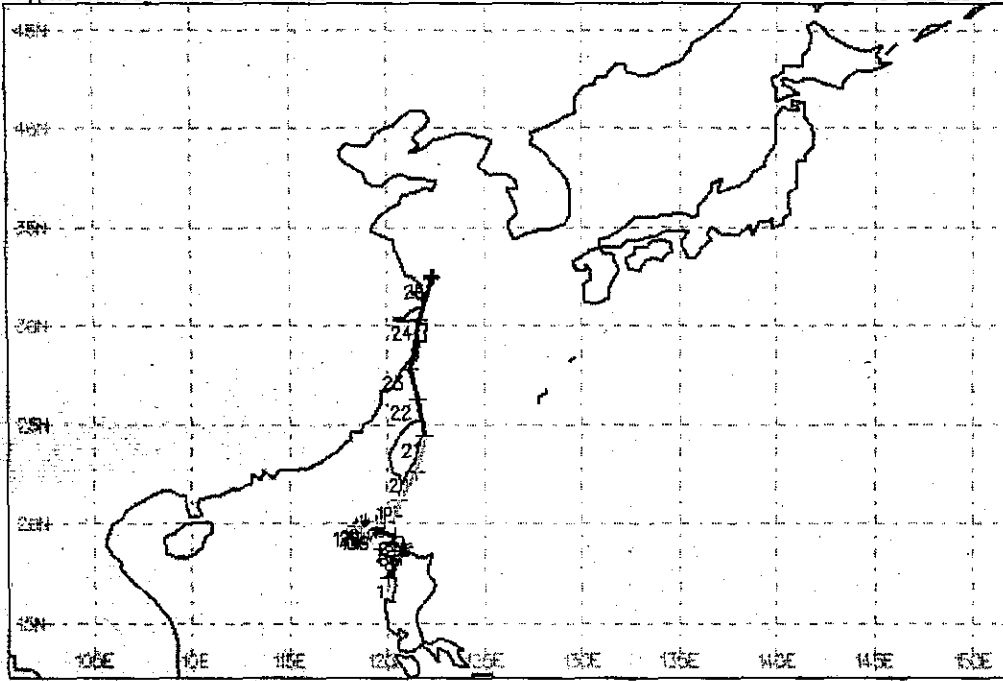


圖 3-42 KAITAK (2000) 啟德颱風路徑圖

Super Typhoon JELAWAT—Storm track

01-11 AUG 2000

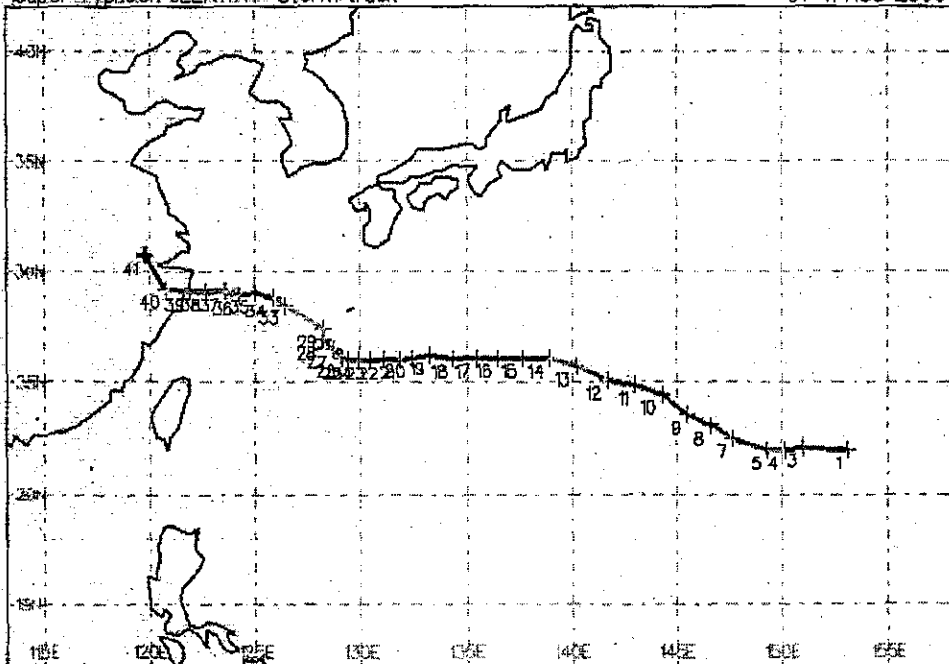


圖 3-43 JELAWAT (2000) 颱風路徑圖

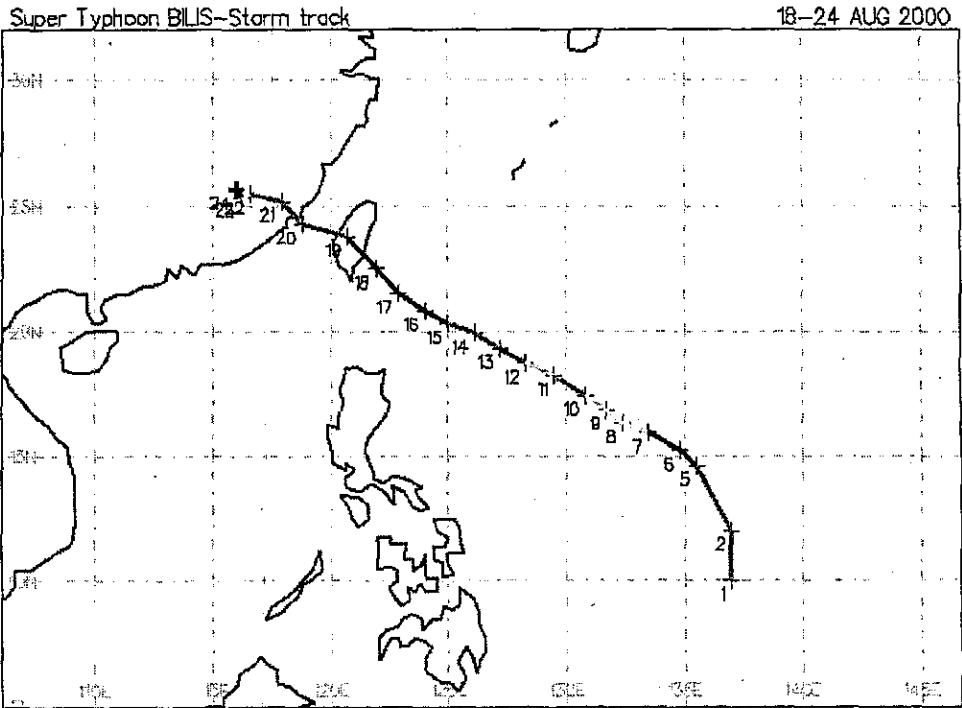


圖 3-44 BILIS (2000) 碧利斯颱風路徑圖

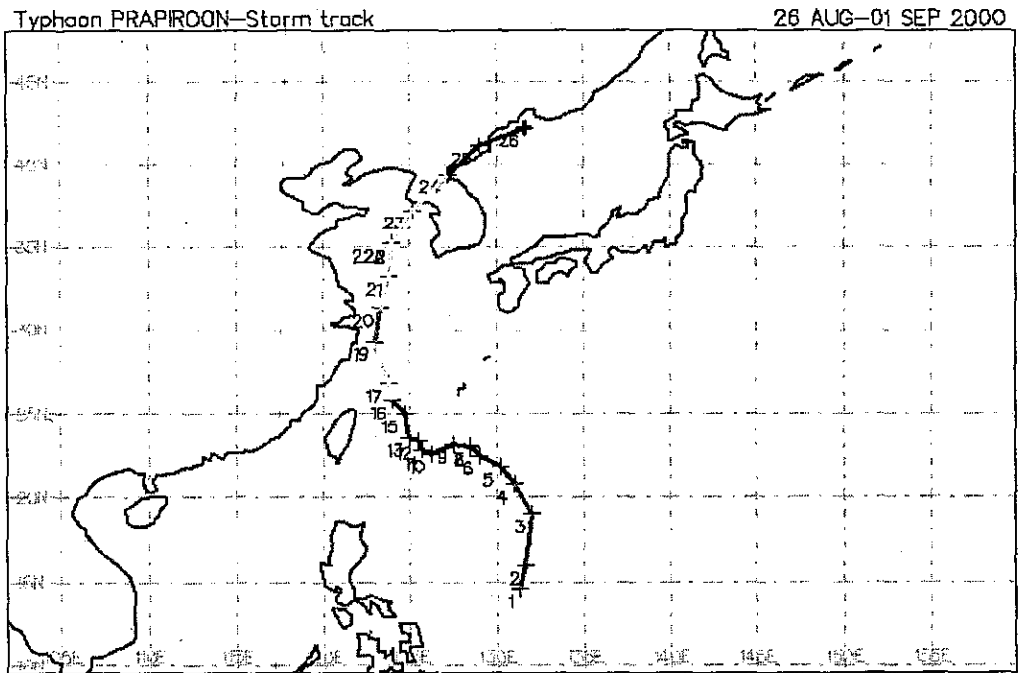


圖 3-45 PRAPIROON (2000) 巴比倫颱風路徑圖

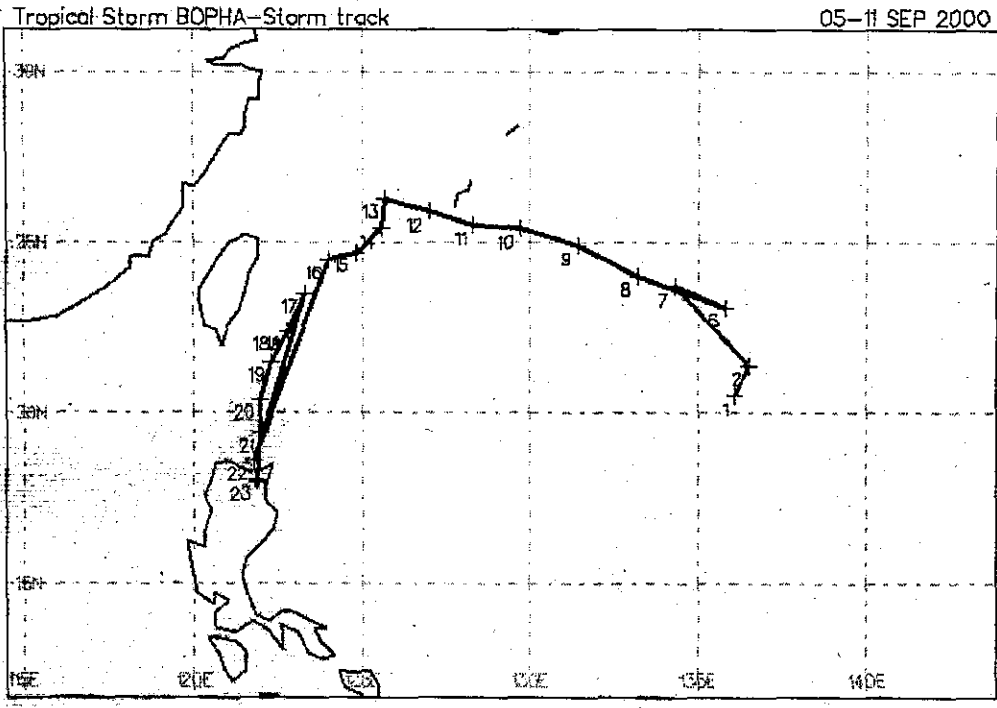


圖 3-46 BOPHA (2000) 寶發颱風路徑圖

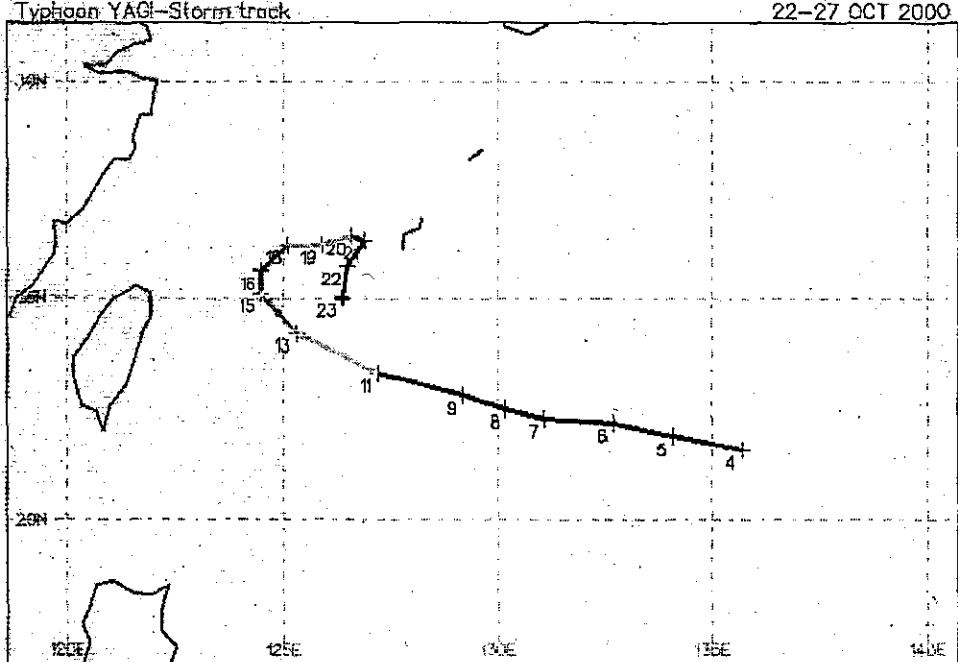


圖 3-47 YAGI (2000) 雅吉颱風路徑圖

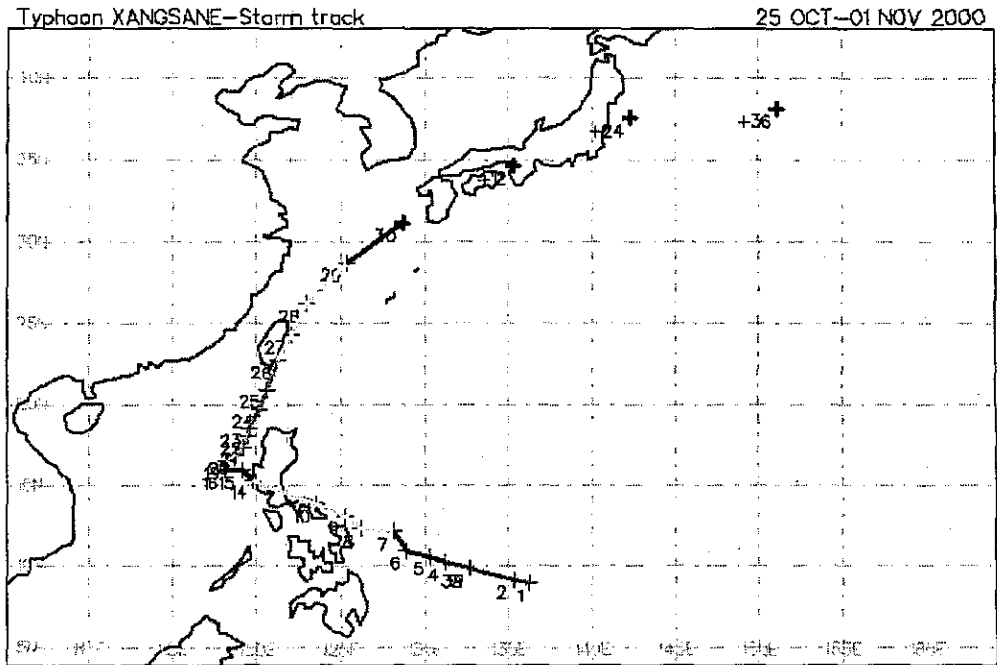


圖 3-48 XANGSANE (2000) 象神颱風路徑圖

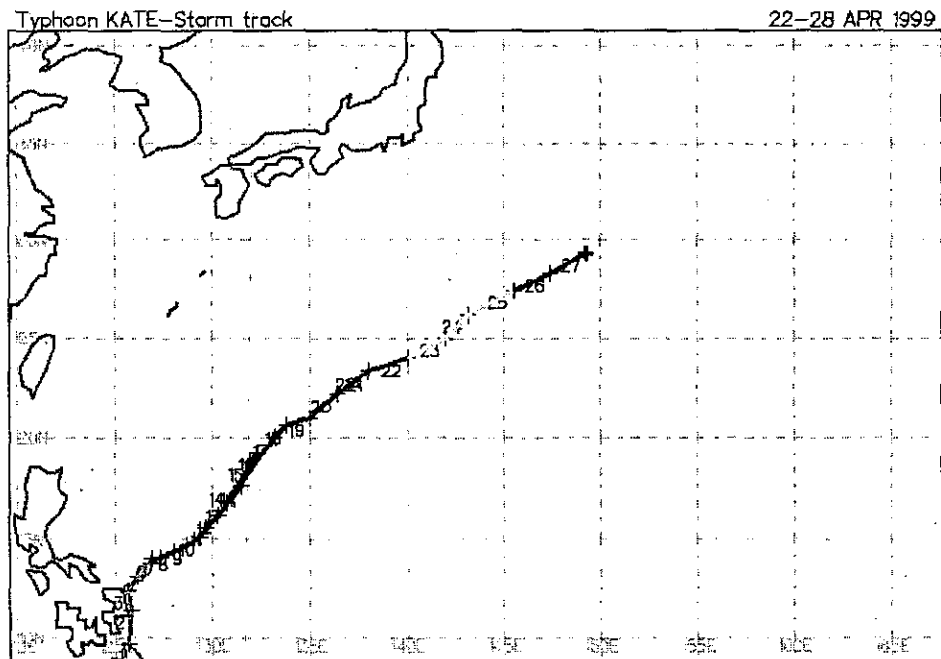


圖 3-49 KATE (1999) 颱風路徑圖

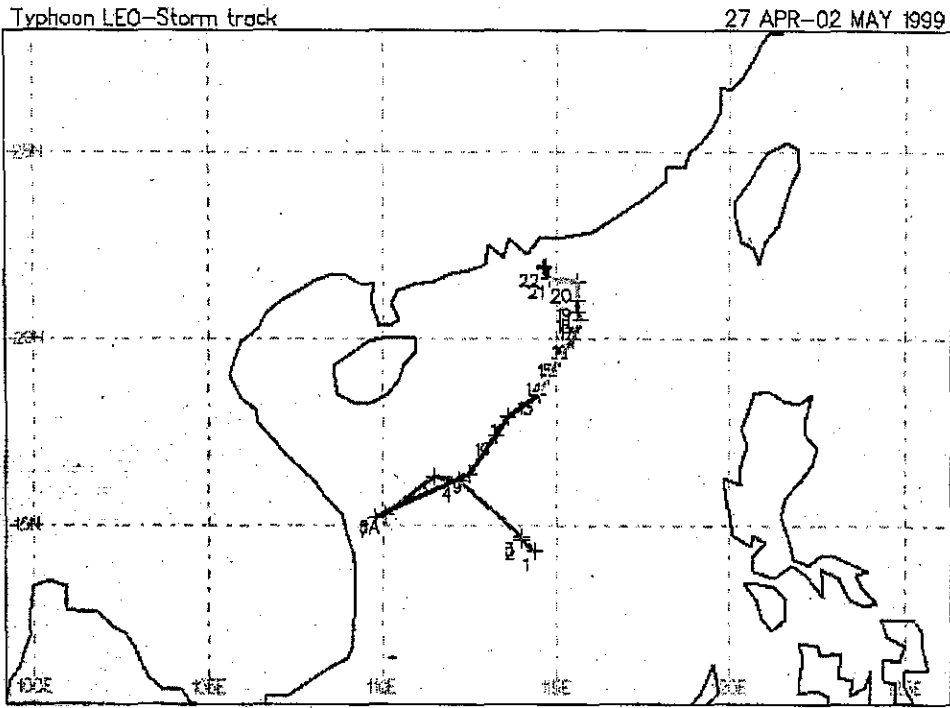


圖 3-50 LEO (1999) 颱風路徑圖

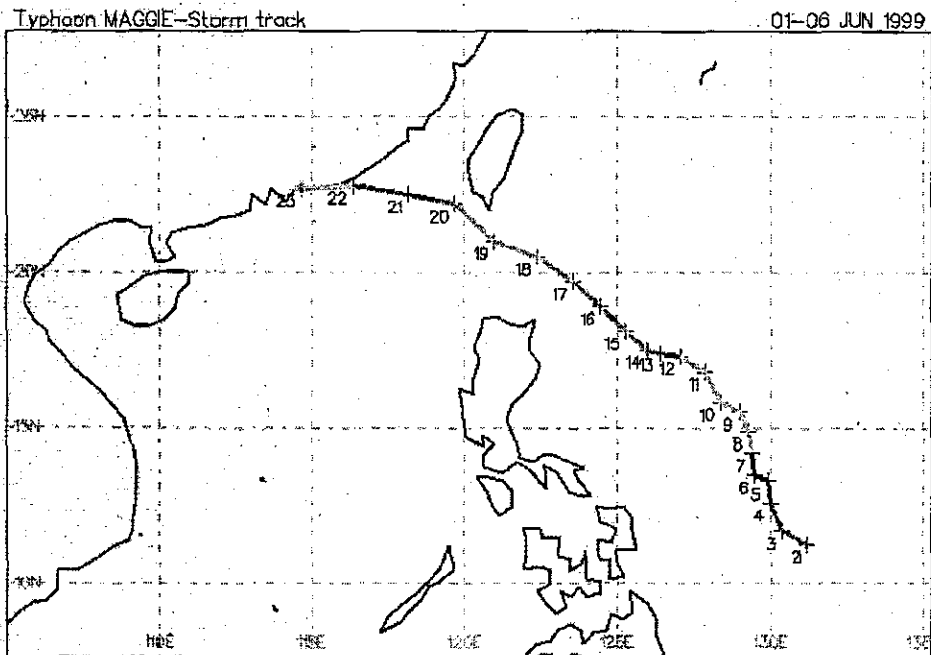


圖 3-51 MAGGIE (1999) 瑪姬颱風路徑圖

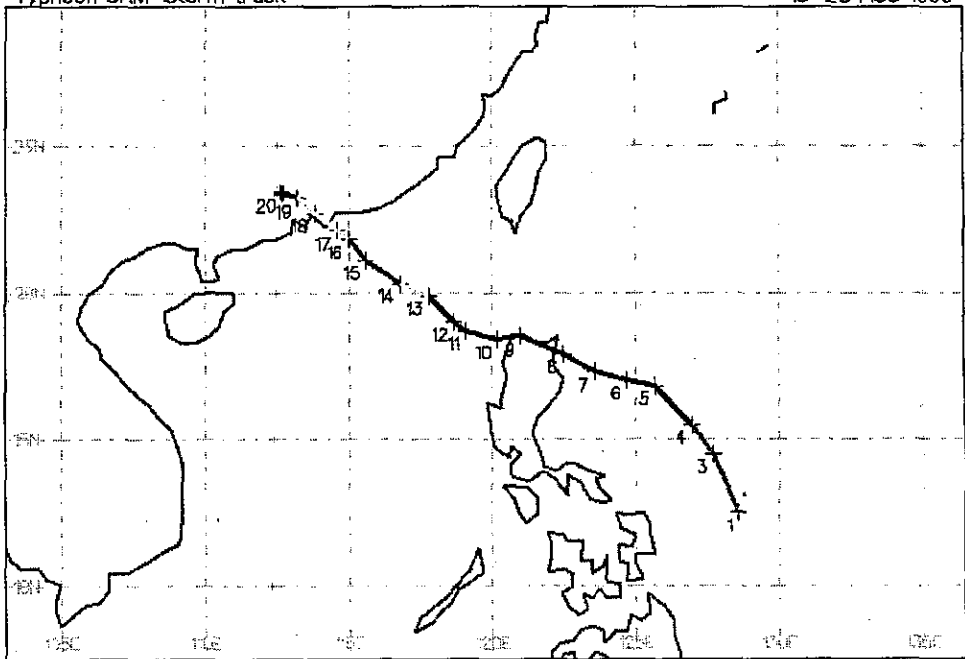


圖 3-52 SAM (1999) 山姆颱風路徑圖



## 第四章 研究方法

本研究欲建立一個適合臺灣區域性的颱風波浪推算模式，本研究使用的方法為具有自我學習及回饋能力的類神經網路，且因影響颱風因素相當複雜，因此，加入模糊理論來提升預測能力，以下簡述兩種方法之原理。

### 4-1 類神經網路

本研究的模式分為三個部分 1. 颱風事件 2. 波浪形成、颱風行為 3. 波浪傳遞及波浪進入預警區域。這三個推算的部分中演算的主要核心採用類神經網路理論及模糊理論，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：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} \cdot X_j - \theta_i\right) \quad (4-1)$$

$Y_i$ ：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。

$\theta_i$ ：人工神經元模型的閾值。

倒傳遞類神經網路 (back-propagation neural network, bpn)，倒傳遞類神經網路屬於前向監督式學習網路，基本原理是利用最陡坡降法 (steepest descent method)，逐步修正誤差函數且使誤差函數到達最小

化。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，從輸入資料學習，並調整網路連結的加權值；另一種為回想過程，網路依照設定的回想法則，由輸入資料決定輸出值。

倒傳遞類神經網路學習演算法中，加權值矩陣為 $W_1$ 及 $W_2$ ，偏權值量為 $\theta_1$ 及 $\theta_2$ ，輸入量為 $X$ ，目標輸出量為 $T$ ，轉換函數採用雙曲函數（hyperbolic tangent function），而計算推論輸出量為 $Y$ ，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 $Z$ 與推論輸出量 $Y$

$$net_1 = \sum_i W_{1i} \cdot X_i - \theta_1 \quad (4-2)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (4-3)$$

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

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (4-5)$$

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

$$\delta_1 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \cdot \delta_j) \quad (4-6)$$

$$\delta_2 = (1+Y) \cdot (1-Y) \cdot (Z-Y) \quad (4-7)$$

(3) 計算加權值矩陣的修正量 $\Delta W$

由於監督式學習目的在降低網路輸出單元的目標輸出值 $T_j$ 、推論輸出值 $Y_j$ 間的差距，為了達到這個目的，若以誤差函數 $E$ 做為修正的加權值指標，並藉由轉換函數降低誤差函數值。此誤差函數 $E$ 表示為：

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (4-8)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (4-9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n \cdot A_i^{n-1} \quad (4-10)$$

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

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

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (4-11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (4-12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (4-13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (4-14)$$

當倒傳遞類神經網路學習過程經過以上幾個單元後, 便算是經過一個學習循環, 學習循環的次數將取決於誤差函數收斂與否, 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推論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：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (T_i - Y_i)^2} \quad (4-15)$$

其中  $n$  為學習資料的筆數。

## 4-2 模糊理論

### 4-2-1 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。

例如一年的四季冷暖是按月區分如圖 4-1，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 4-2 所示，季節間的關係並不明確而且有些模糊，如果依照圖 4-1 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 4-1 歸屬函數為步階函數 (step function)，圖 4-2 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 4-3 所示為其他常使用的歸屬函數型態，如圖 4-2 所示以模糊關係描述事件的範圍就是模糊集合。

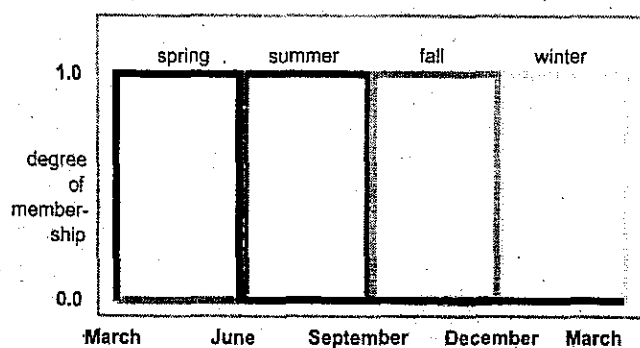


圖 4-1 一般四季的區分方式

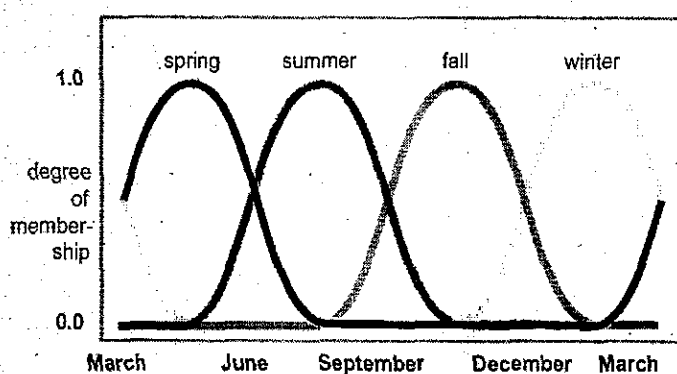
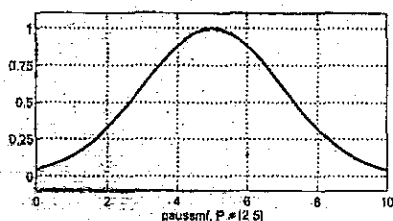
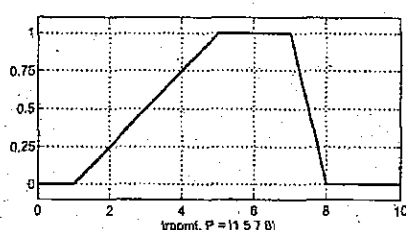


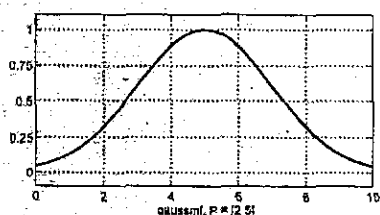
圖 4-2 季節的模糊關係



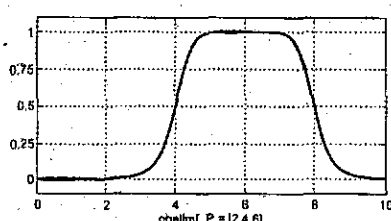
gausmf



trapmf



gausmf



gbellmf

圖 4-3 其他一般常用的歸屬函數

## 4-2-2 模糊邏輯運算

一般兩個輸入函數的邏輯運算真值表如圖 4-4 所示，包含邏輯運算規則 AND、OR、NOT，模糊邏輯運算真值表如圖 4-5，兩者的比較如圖 4-6 所，兩者差別在於歸屬函數的差異。

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**

圖 4-4 邏輯運算真值表

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**

圖 4-5 模糊邏輯運算真值表

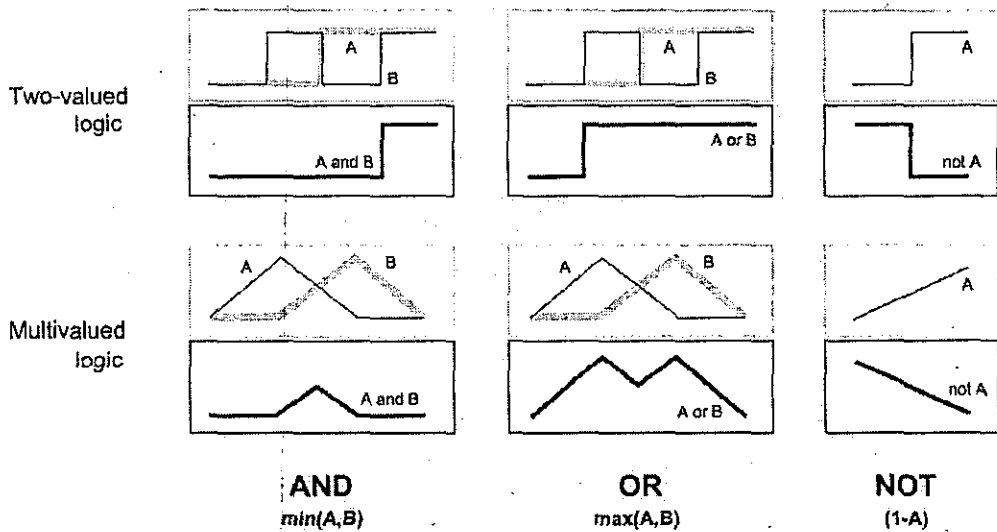


圖 4-5a 一般邏輯與模糊邏輯運算比較

在輸入值進行歸屬函數及模糊邏輯推算，即是將運算的結果模糊化如圖 4-6 所示。

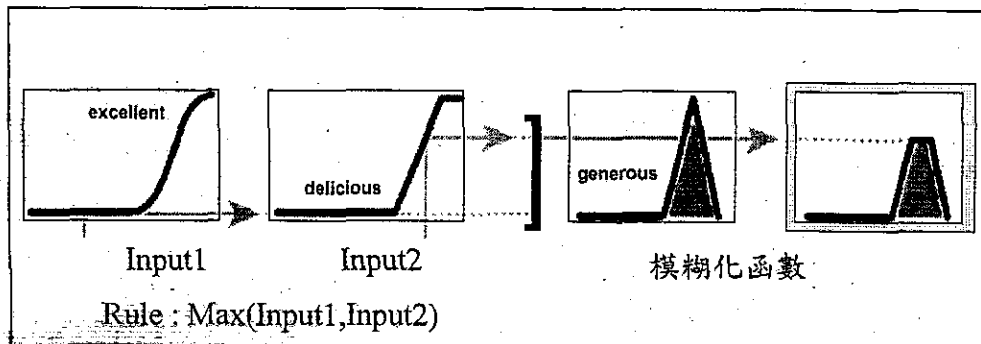


圖 4-6 輸入函數模糊化示意圖

在不同的輸入及模糊邏輯推算後的結果行模糊化及合併後，最後一個步驟是將結果解模糊化，一般解模糊的方式採用重心法，如圖 4-7 所示

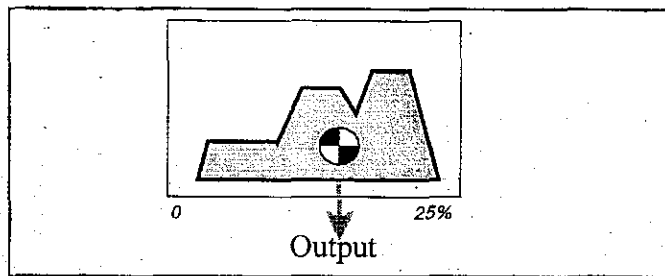


圖 4-7 重心法解模糊化示意圖

模糊網路的運算操作方式簡介如下，圖 4-8 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，操作流程如 4-9 所示

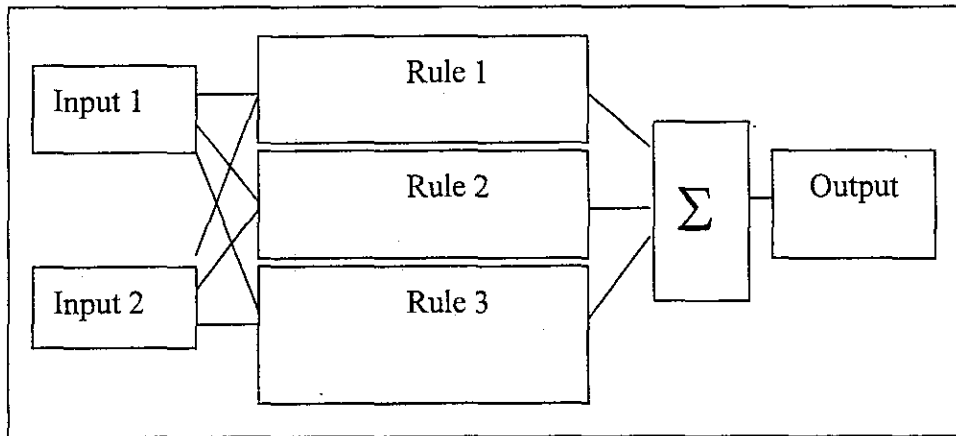


圖 4-8 模糊網路結構示意圖

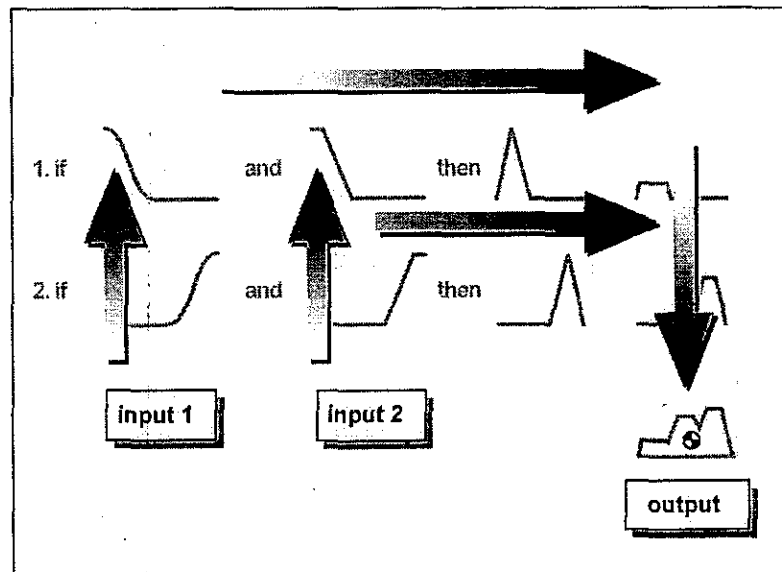


圖 4-9 模糊網路運算示意圖

### 4-3 模式架構的測試

類神經網路對於一些複雜變數特性以及時間序列函數的問題有相當不錯的描述能力，因此類神經網路相當適合目前颱風運動特性的行為模式，而其中較常使用的類神經網路理論為倒傳遞類神經網路。



雖然類神經網路對於非線性關係有良好的描述能力，但是對於複雜的系統也需要愈龐大的類神經網路架構，在架構增加的情形下會影響類神經網路學習效率外，也會增加計算的時間。為了克服這個問題所以在波浪推算系統中加入了模糊系統架構，模糊系統在推算模式中擔任一般的邏輯判斷功能以及類神經網路知識庫的功能，其原因為類神經網路對於有經驗或是有資料的學習部分有非常良好的學習結果，但是對於沒有學習經驗或資料時，其學習結果就不盡理想。所以為克服沒有學習經驗的問題就以建構獨立功能的模糊網路表達到學習及判斷的法則，此技術的發展目標為對於系統所使用參數間的關係建立一套類神經網路的知識庫，使得類神經網路在沒有學習資料的區域仍然有學習的規則可以遵行。

對於颱風事件與波浪形成的部分，參照相關文獻的架構藉由颱風的最大風速  $V_{max}$  以及颱風移動速度  $V_f$  作為颱風強度及風場型態的區分，若是配合正確的衛星資料或觀測站實測值就可解析風場內的波高值。對於颱風行為與波浪的關係需要追蹤颱風移動路徑以及颱風結構的變化，配合觀測站的實測數據進行分析，除了考慮颱風的最大風速  $V_{max}$  及颱風移動速度  $V_f$  外，對於颱風運動行為（行進方向、滯留、急轉……）及颱風的相對位置（經緯度、離觀測站的距離或角度）也有相當重要的關係，所以這些部分將在分析颱風波浪的變化與影響颱風波浪因素時，再由類神經及模糊理論來學習歸納。

當颱風波浪傳遞至近海時，由於小區域的海況較深海區域複雜並且地形、海況與氣象因素相互影響使得此三者呈現複雜的非線性關係。因此若將波浪傳遞至近岸的過程當成黑盒處理(block box)，在調查該區地形及鄰近海域內海條件同時依照該區域可變的地形或海況等直接影響波浪的因素當成波浪變化的控制變因來進行分析，找出波浪變化與選取的控制變因之間的關係。例如特定區域內有兩個以上的測站或是衛星波浪資料進行區域內的波浪推算，為尋找兩測站波浪資料差異的影響因素或是兩個測站資料的校正及比對時與地理環境間的關係就可利用此一部份進行波浪資料的推算與補遺。此部分的組織架構如

圖 4-10 所示。

圖 4-11 為颱風波浪推算模式的架構配合模糊系統及類神經網路建立的推算流程。依照各個網路系統的功用區分為資料庫及推算核心。對於模式的輸入參數藉由颱風路徑分別計算觀測站至颱風中心位置間的距離  $D$ 、觀測站至颱風中心位置之方位角  $A_1$ 、颱風行進方向與觀測站至颱風中心連線間的夾角  $A_2$ 、颱風移動速度  $V_f$  以及經過量測的颱風最大速度  $V_{max}$ ，共計五個輸入參數，颱風位置的距離  $D$  及方位角  $A_1$  只要表示颱風的相對位置，提供直接作用及遮蔽區域的判斷，颱風行進方向與觀測站間的夾角  $A_2$  主要進行颱風直撲 ( $A_2=0$ )、左半圓接近 ( $A_2$  為負值) 或右半圓接近 ( $A_2$  為正值)。資料庫的建立是以簡、曾 (1999) 的研究結果，當颱風波浪作用達花蓮港時，資料庫輸出為 1，否則為 0。

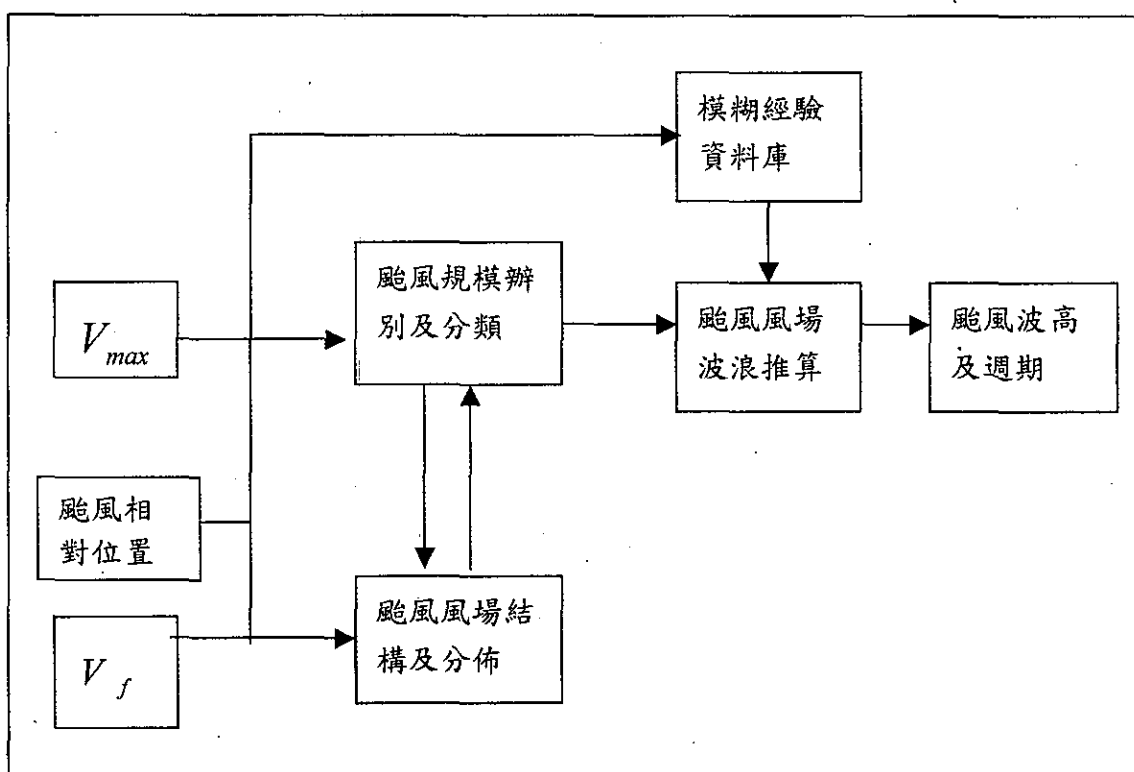


圖 4-10 颱風事件與波浪形成推算組織架構

資料庫單元的部分依據颱風運動特性採用模糊網路與類神經網路結合，模糊網路擔負邏輯推算的功能，配合類神經網路能學習颱風依

路徑的不同所產生颱風波浪，模糊網路採用 5 個輸入參數，順序為  $V_{max}$ 、 $V_f$ 、 $D$ 、 $A_1$ 、 $A_2$ ，輸入與輸出值模糊網路結構如圖 4-12 所示，每個參數設定 6 個歸屬值函數。歸屬值函數主要依照學習資料的權重配置，歸屬值函數的最佳化仍然採用倒傳遞類神經網路進行修正其中  $V_{max}$  的 6 個歸屬值函數，示如圖 4-13，而其他輸入函數的歸屬函數分別如圖 4-14 至圖 4-17 所示。類神經網路的輸入參數增加模糊網路的輸出值，而類神經網路的輸入結構採用 1-6 個小時的延時作為輸入資料，輸入層設立 30 個神經元，隱藏層設立 12 個神經元，1 個輸出函數 ( $I_{30}H_{12}O_1$ )，轉換函數選用區間線性轉換函數，範圍在  $(0, 1)$  之間。

採用 1-6 個小時延時資料的原因是因為颱風波浪的生成與颱風運動的歷史有關，為了能夠記憶不同行徑颱風的特性但是又不至於只記憶有限颱風訓練資料，以及考慮推算模式結構的邏輯性並降低複雜性而採用 1-6 個小時的延時資料。訓練採用資料共 32 場颱風 7774 筆資料，進行學習訓練，為檢測模式正確性將颱風資料依排列順序區分單數及雙數兩個部分，單數的資料作為學習資料雙數資料為檢定資料，經過學習的結果相關係數  $R^2$  值為 0.95，檢驗資料測試的結果相關係數  $R^2$  值為 0.94。

推算單元在建立資料庫與實際颱風特性間的關係時，推算單元首先建立一個颱風波浪的模糊網路推算的關係，目的是建立氣象條件與颱風波浪的關係，由於颱風波浪的型態與颱風行進軌跡及颱風運動型態有著密切的關係，因此必須對推算模式加入延時的考量，所以推算單元中的模糊網路以颱風氣象條件輸入值而颱風波浪為輸出值，初步的將颱風波浪與氣象條件建立一個模糊的關係，這個模糊網路數入參數為  $V_{max}$ 、 $V_f$ 、 $D$ 、 $A_1$ 、 $A_2$  五個颱風氣象參數，每個參數設定 10 個歸屬值函數。

將模糊網路推算的颱風波浪以及資料庫單元的輸出且配合颱風氣象條件一併當作推算單元類神經網路的輸入，因此推算單元類神經網路有 7 個輸入參數，也在輸入結構採用 1-6 個小時的延時作為輸入資

料，而類神經網路如之前的架構選取輸入層設立 30 個神經元，隱藏層設立 12 個神經元，1 個輸出函數 ( $I_{30}H_{12}O_1$ )，轉換函數選用區間線性轉換函數，範圍在 (0, 1) 之間，資料進行正規劃過程時將採用波浪資料中最大值設定為模式輸出最大值，其中波浪波高最大輸出為 8 公尺，波浪週期最大輸出為 14 秒。

推算單元的訓練學習資料的颱風及波浪資料完整的，共有 11 場颱風資料，其中 2000 年颱風 BILIS (碧利斯) 颱風在颱風中心接近陸地及離開台灣後波浪資料有短缺，因此學習資料選用其他 10 場影響台灣的颱風，利用 BILIS (碧利斯) 颱風當作測試檢驗的資料。

蘇澳外海的颱風波浪推算模式大致與花蓮的推算模式相同，由於沒有相關資料可以建立成為資料庫，所以模式的結構上相較花蓮的推算模式少了資料庫的部分，同時也採用 BILIS (碧利斯) 颱風當作測試檢驗的資料。

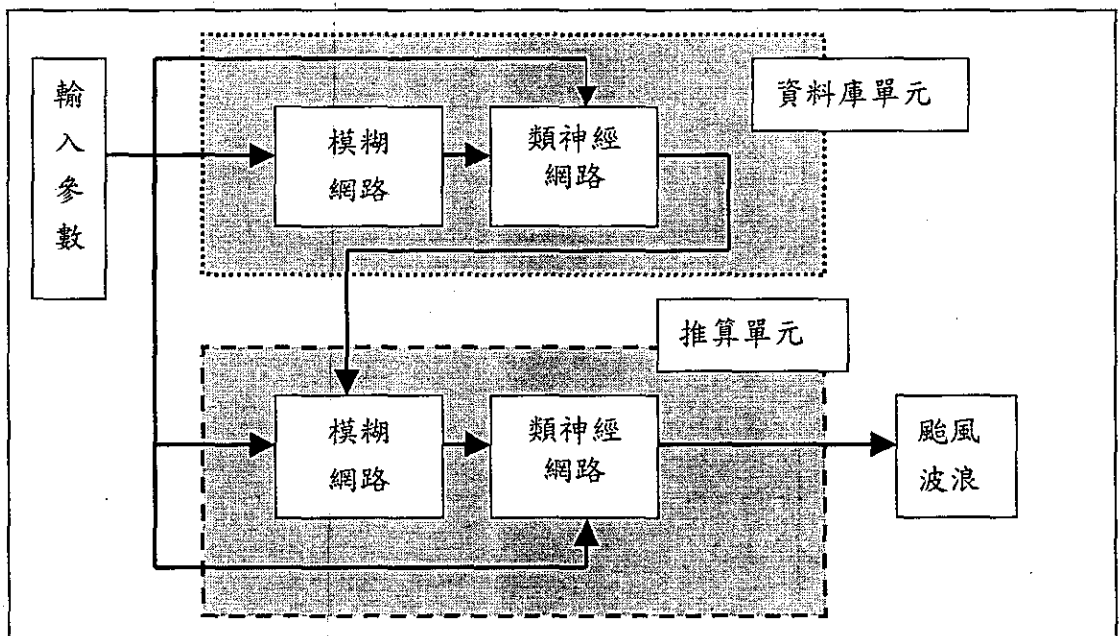


圖 4-11 模糊類神經網路推算流程圖

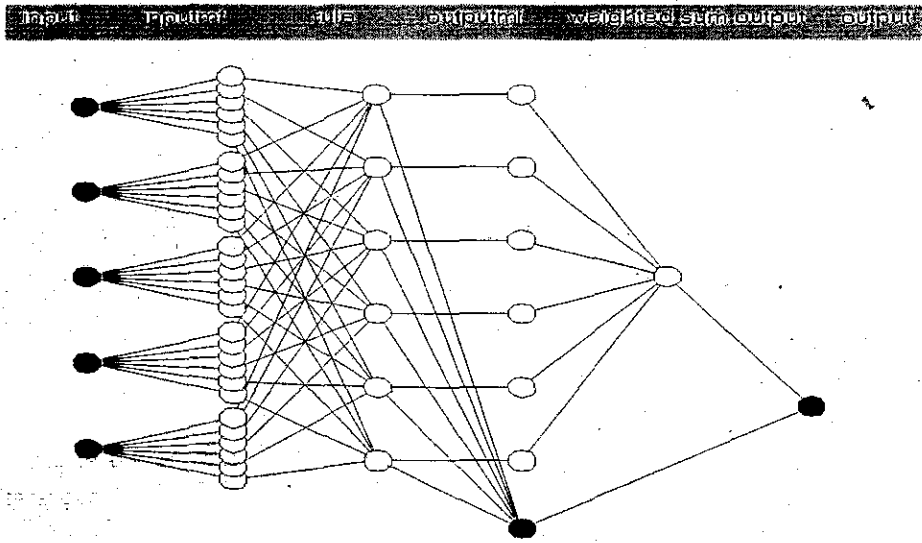


圖 4-12 模糊網路結構圖

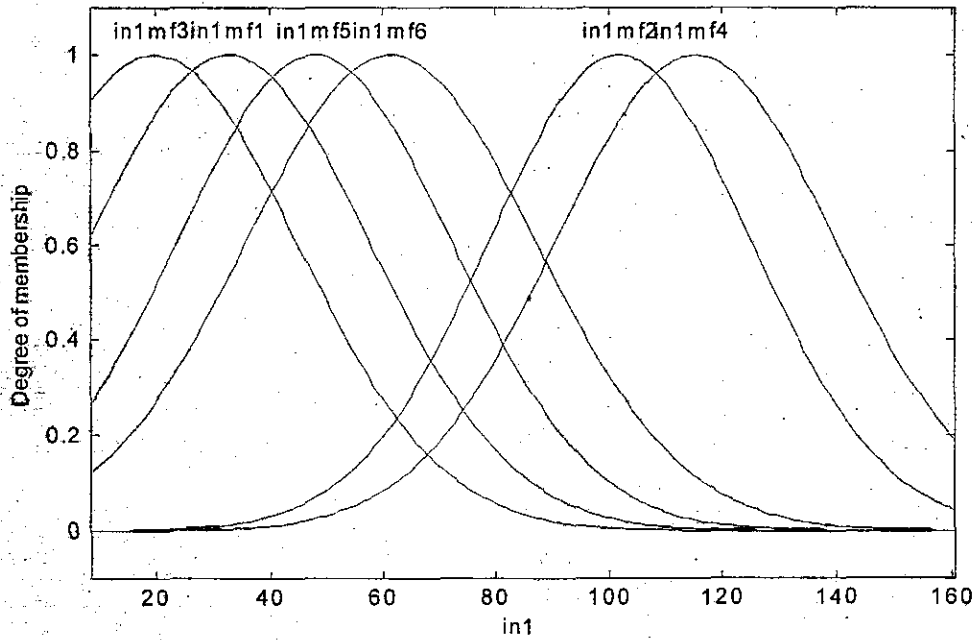


圖 4-13 資料庫單元  $V_{max}$  的 6 個歸屬值函數

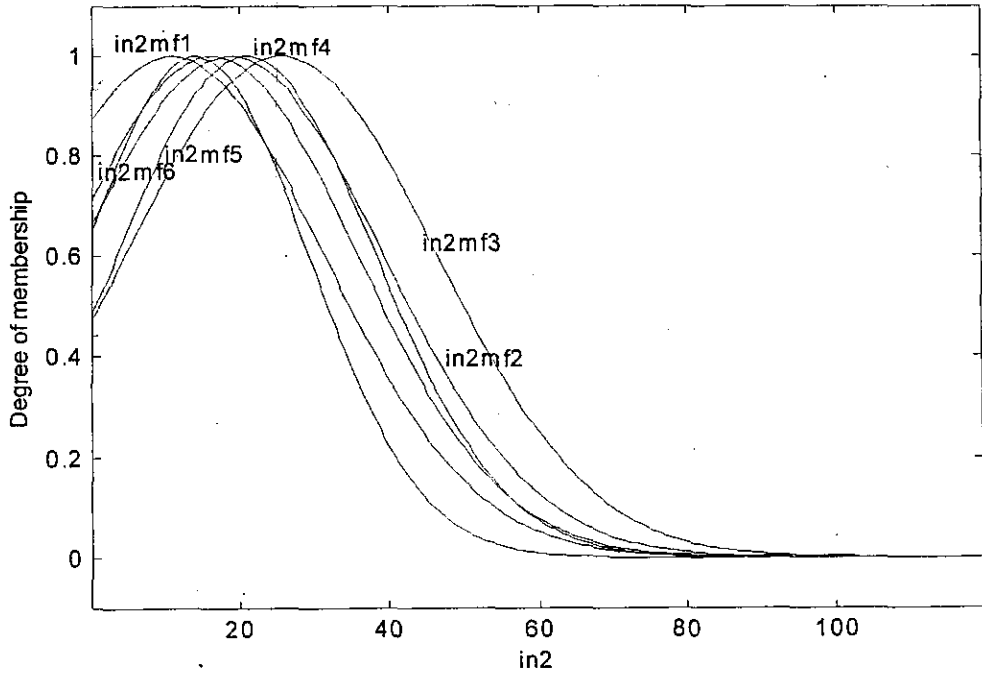


圖 4-14 資料庫單元  $V_7$  的 6 個歸屬值函數

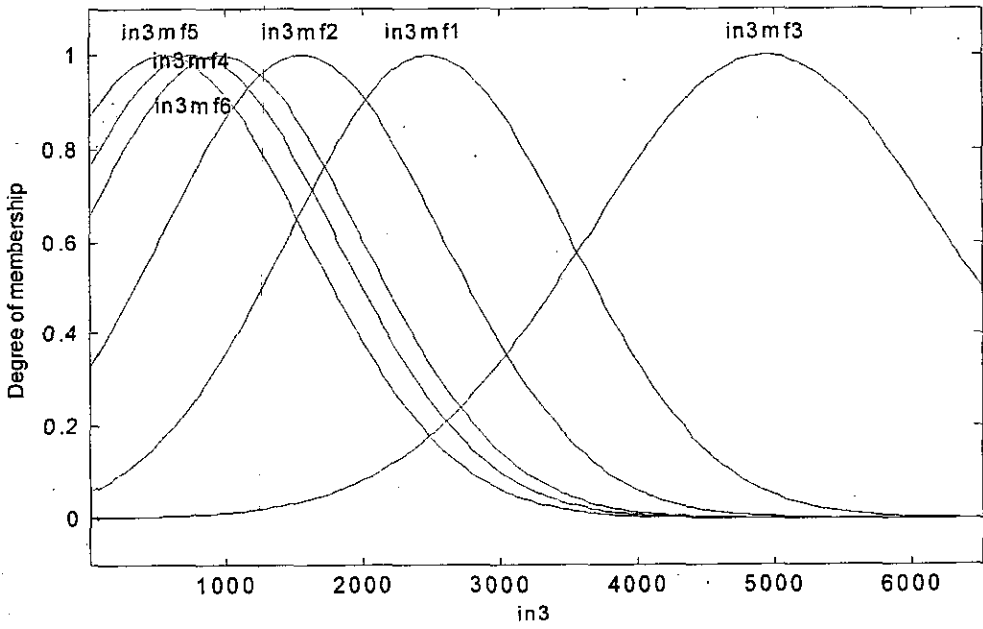


圖 4-15 資料庫單元  $D$  的 6 個歸屬值函數

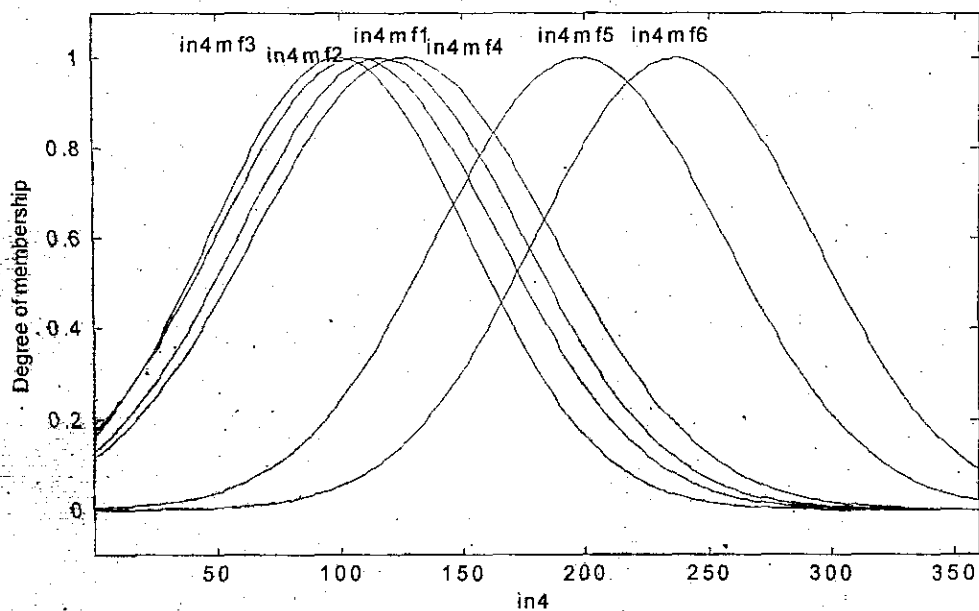


圖 4-16 資料庫單元  $A_1$  的 6 個歸屬值函數

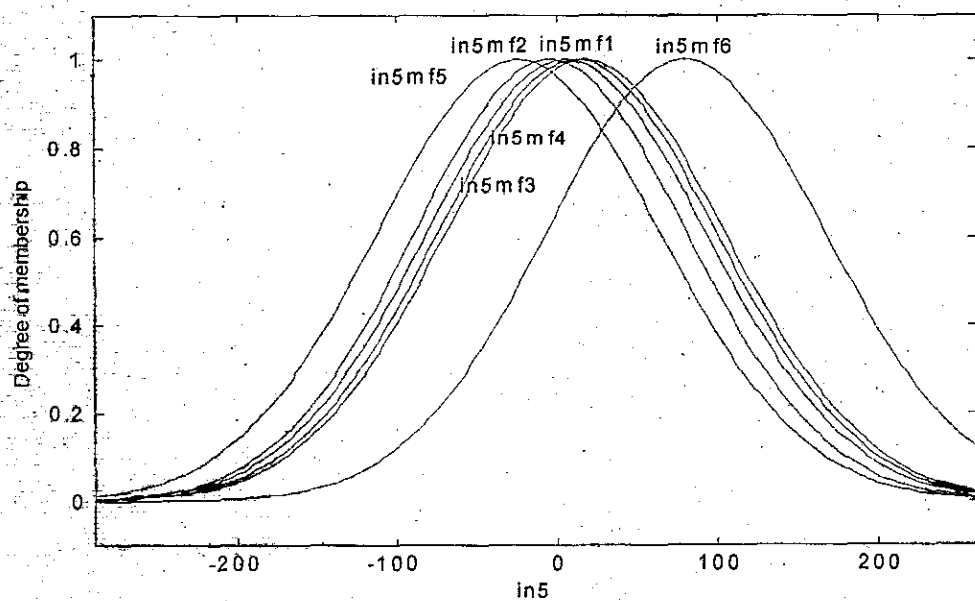


圖 4-17 資料庫單元  $A_2$  的 6 個歸屬值函數

## 第五章 結果與討論

### 5-1 花蓮海域波浪推算模式的操作模擬

類神經模糊系統的颱風波浪推算模式包含了資料庫單元及波浪推算單元，颱風波浪的學習資料如表 3-1 所示，其中 BILIS (碧利斯) 颱風為檢驗推算模式的資料，其資料並未加入學習。學習資料為 10 場颱風共 1546 筆資料，在颱風波浪正規化的過程，設定波高最大為 8 m，週期最大為 14 sec。

本模式在上述颱風波浪資料的波高學習結果如圖 5-1 所示，推算波高與實測波高相關係數  $R^2$  為 0.94，顯示學習結果整體相當良好。圖 5-2 所示為颱風波浪週期的學習結果與實測值比較，由圖 5-2 知推算點平均分佈在斜率為 1 的直線上，推算結果推算波高與實測波高此相關係數  $R^2$  為 0.49，推算週期值與實測週期值最大差異為 4 sec。探究此低相關性的原因，本研究將繪製波高與週期的關係示如圖 5-3，由圖 5-3 中可以發現波高與週期的關係大致上形成兩個高低斜率線上的趨勢，趨勢線斜率較低的資料群代表週期變化與波高幾乎無關，而另一個斜率較高的趨勢線則可以發現波高與週期成正比關係，這兩個趨勢有相當程度的矛盾，對於模式推算的波高與週期的關係如圖 5-4 所示，由圖中可以發現所有資料點的分佈沒有兩種趨勢的現象，這個原因在於經過模糊邏輯判斷的結果將只有一個，這也就反映到輸出的結果。而會發生這樣的結果在於週期記錄是伴隨量測的波高而計算，也就是說示性週期的計算並不與示性波高計算的方式相同，示性週期  $T_{1/3}$  的計算並非依照週期大小排列取前 1/3 平均計算而得。

針對波高學習的結果從每場颱風與觀測值進行比較，期望找出推算模式無法正確分析模擬的區間，以作為波浪推算系統修正或改進的地方。



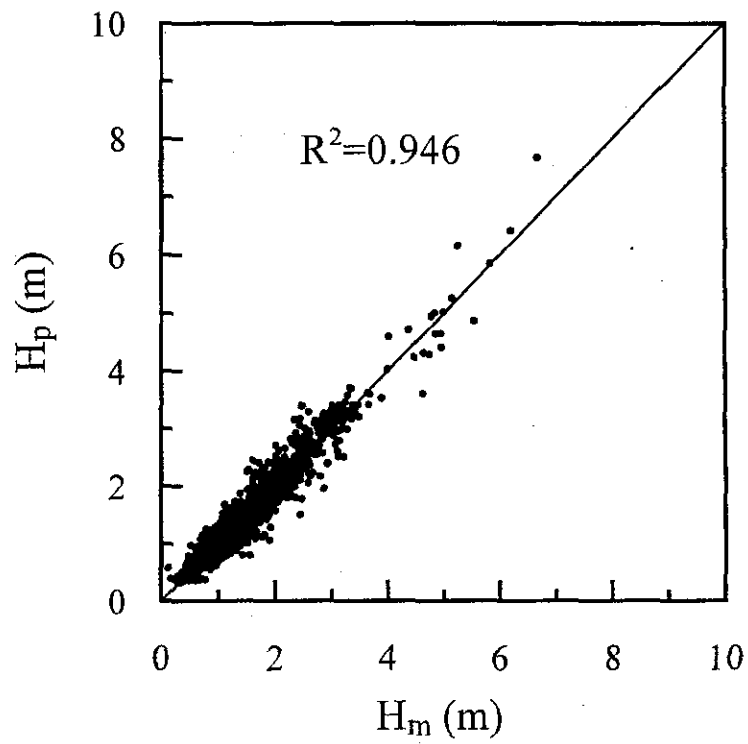


圖 5-1 推算波高與量測波高關係圖

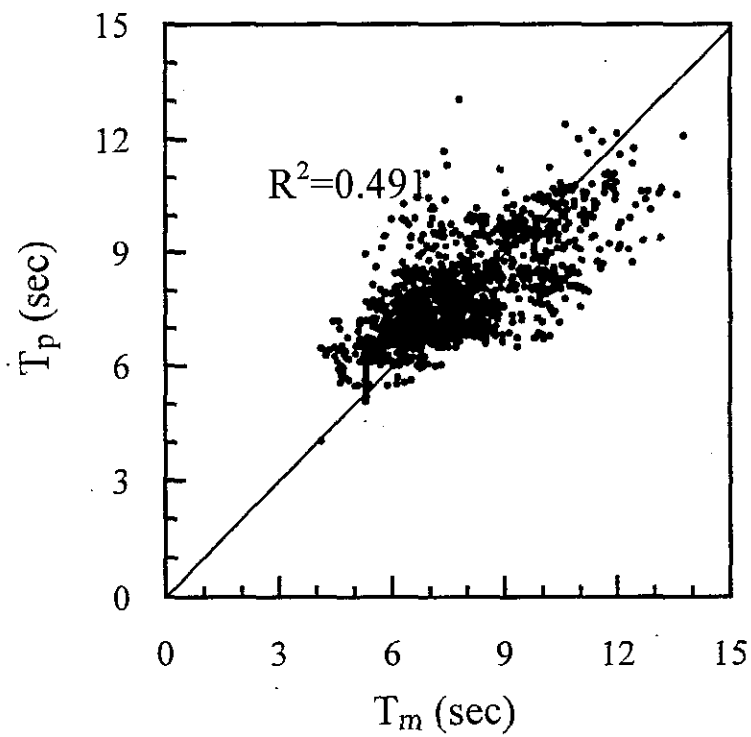


圖 5-2 推算週期與量測週期關係圖

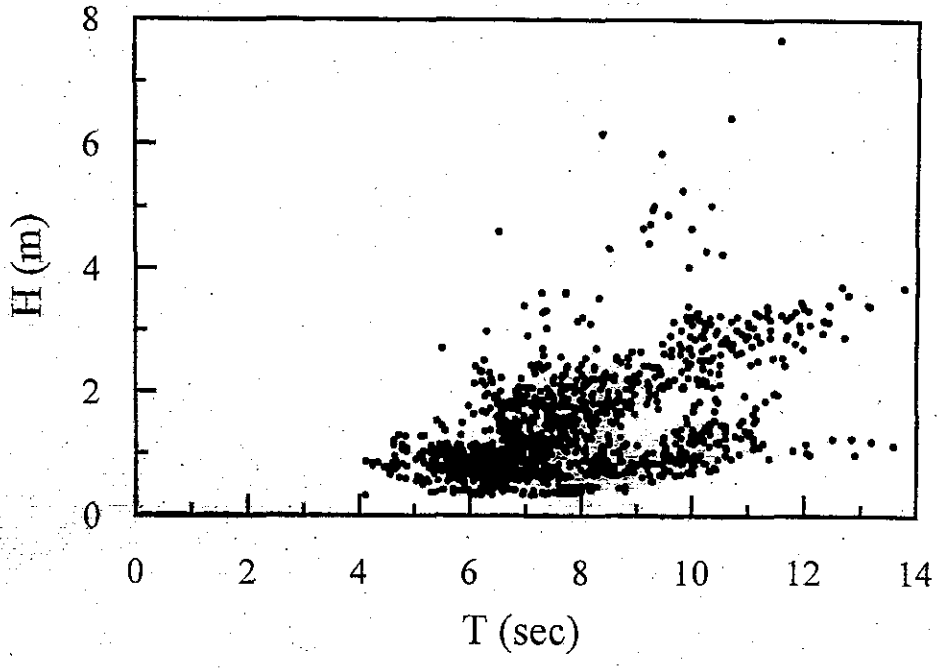


圖 5-3 現場量測波高與週期關係圖

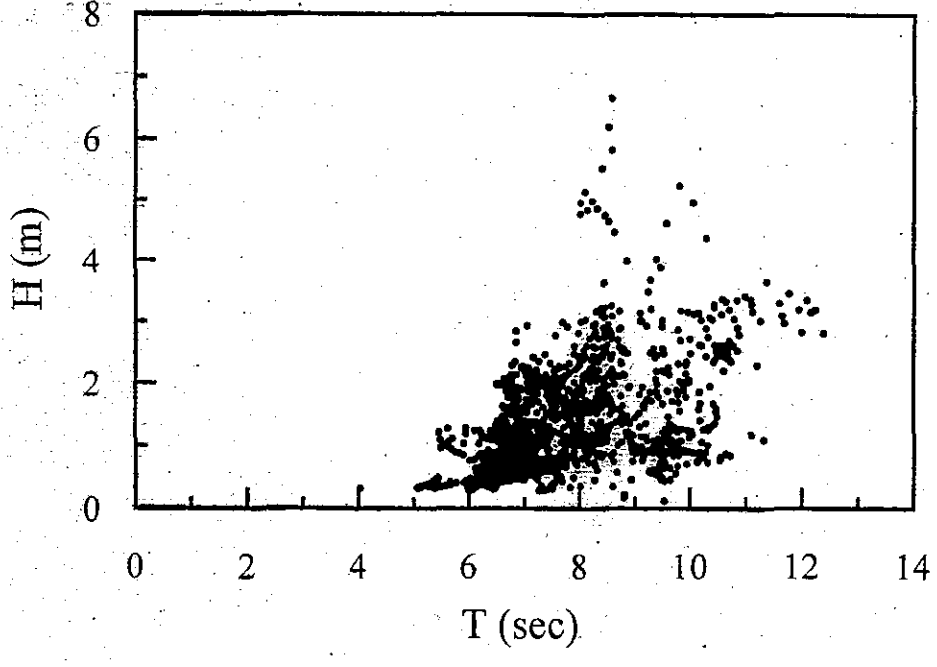


圖 5-4 模式推算波高與週期關係圖

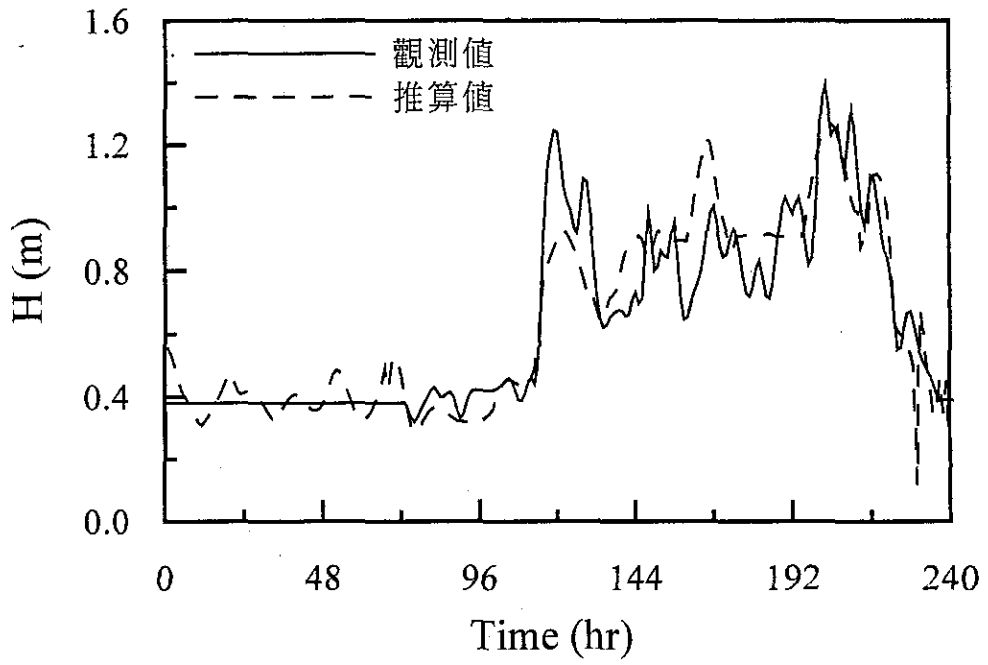


圖 5-5 JELAWAT 颱風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較圖

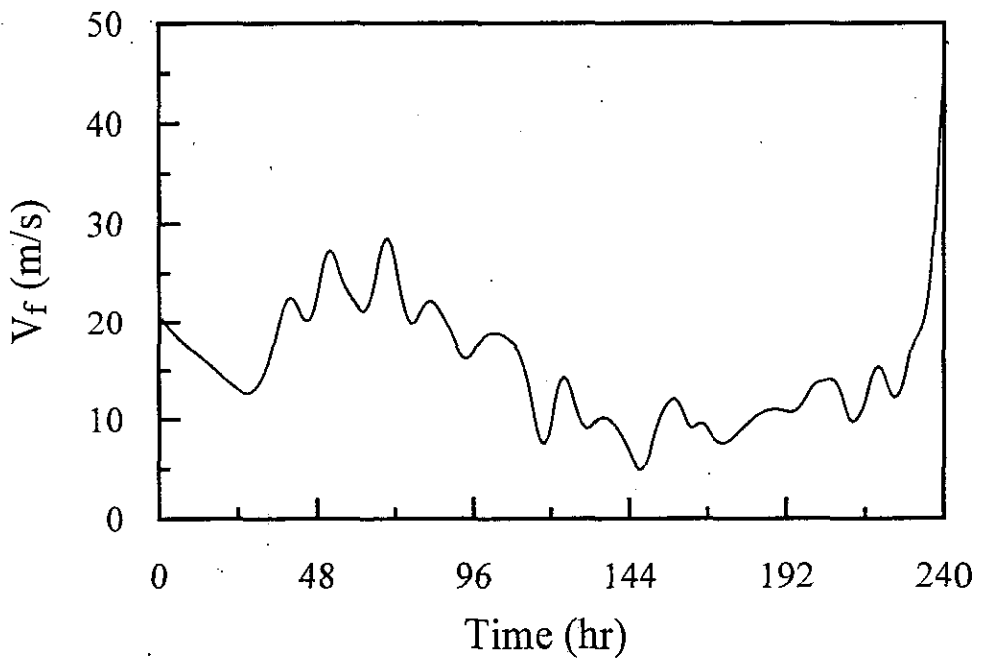


圖 5-6 JELAWAT 颱風的移動速度

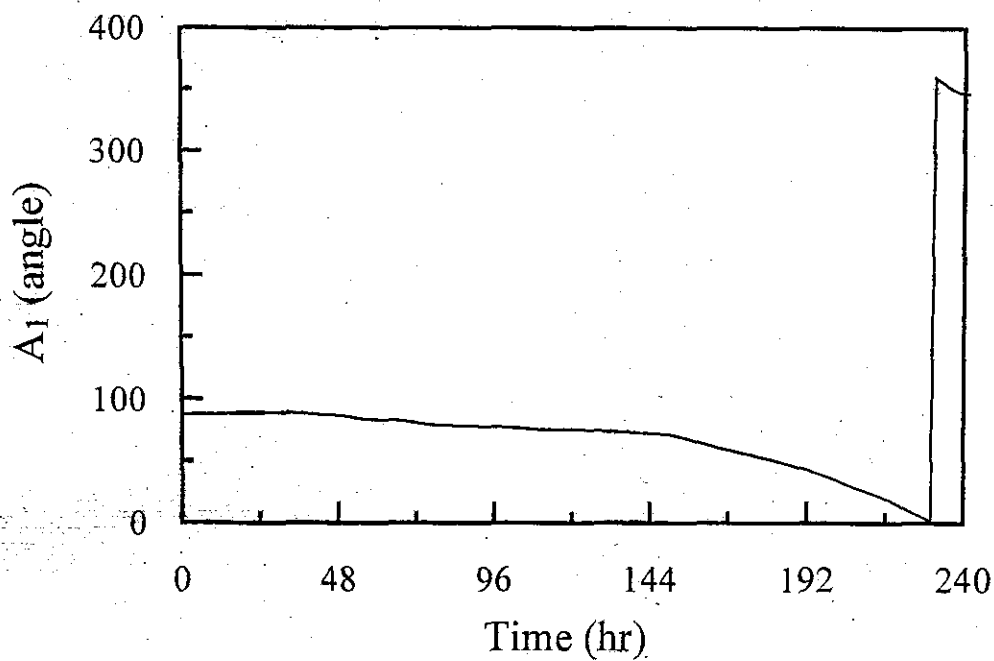


圖 5-7 JELAWAT 颱風相對花蓮港的方位角

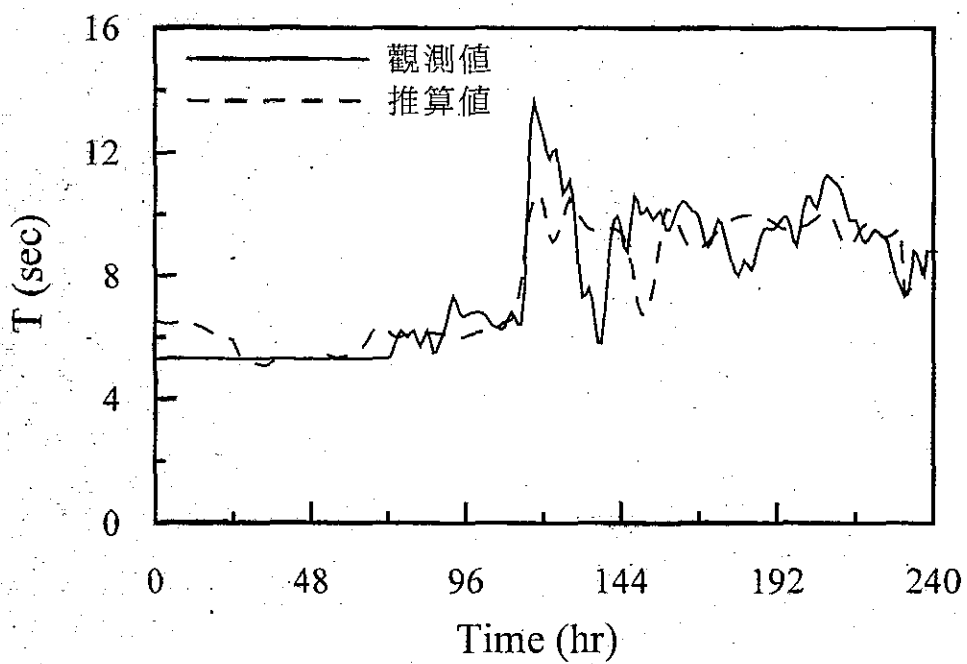


圖 5-8 JELAWAT 颱風在花蓮港的波浪週期推算值與觀測值比較圖

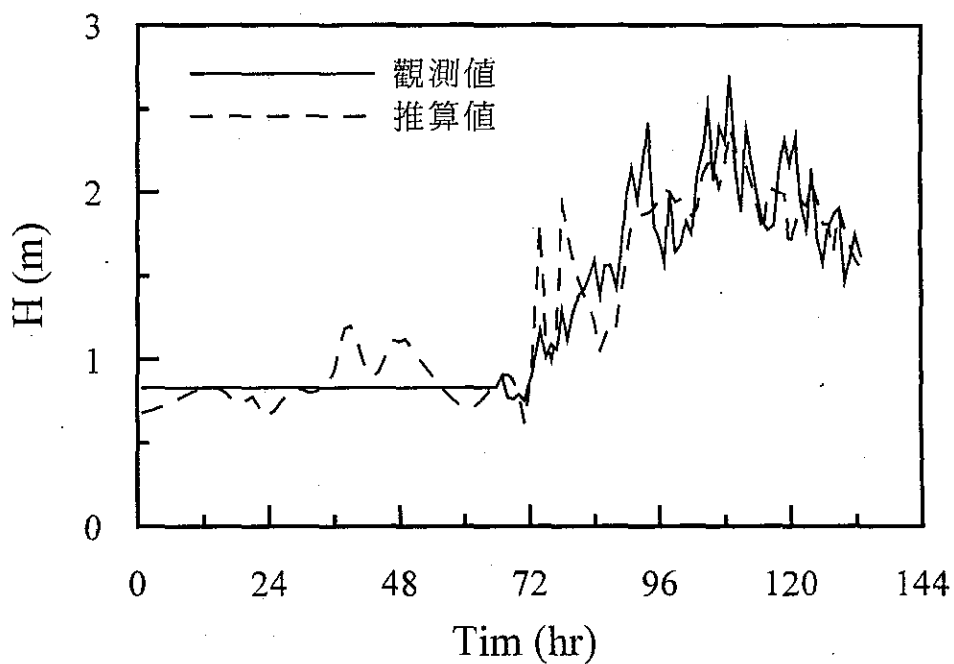


圖 5-9 BOPHA (寶發) 颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖

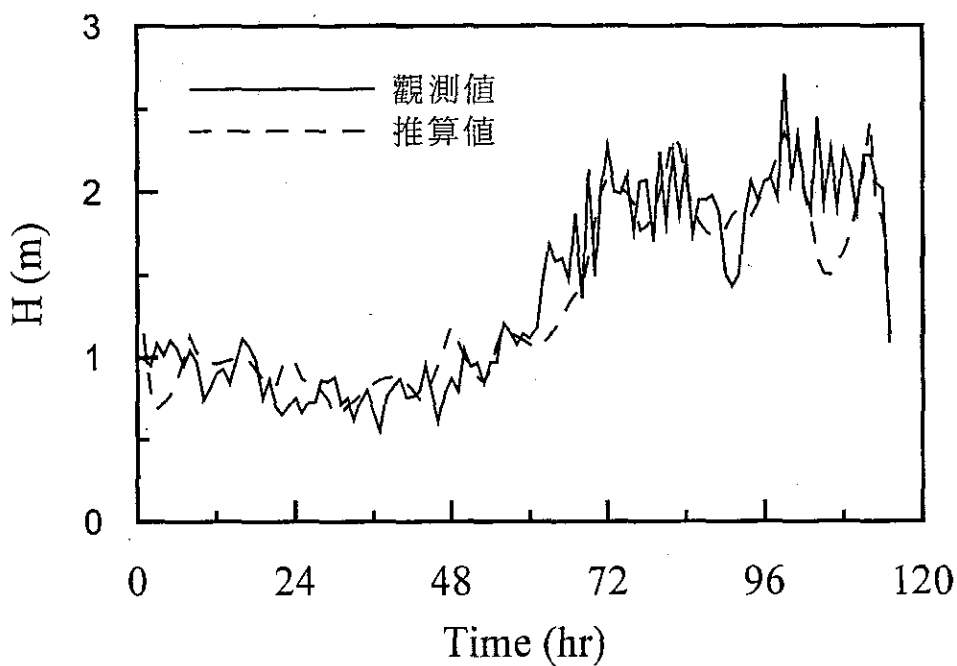


圖 5-10 YAGI (亞吉) 颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖

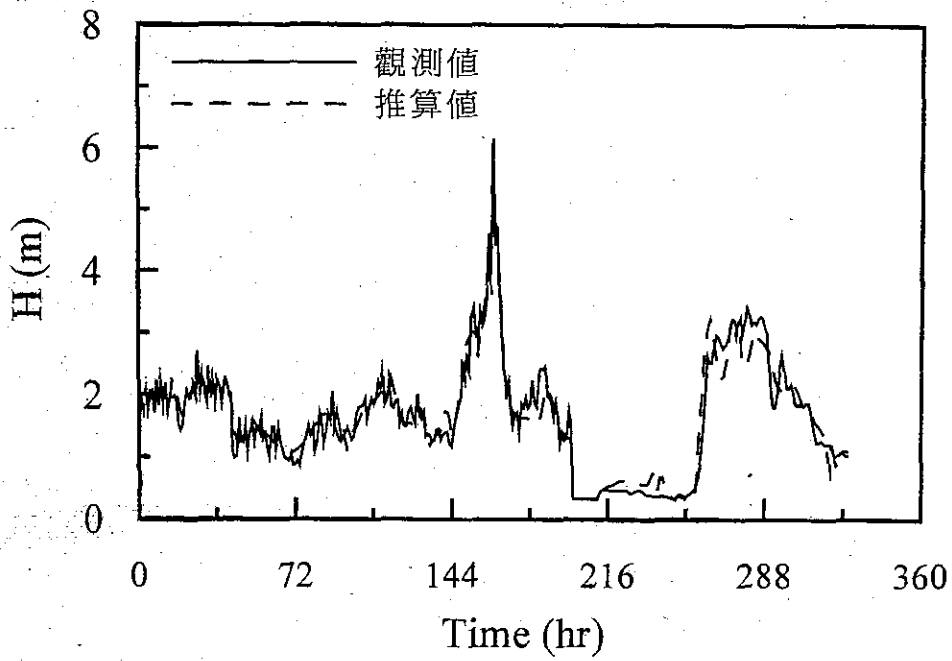


圖 5-11 XANGSANE (象神) 颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖

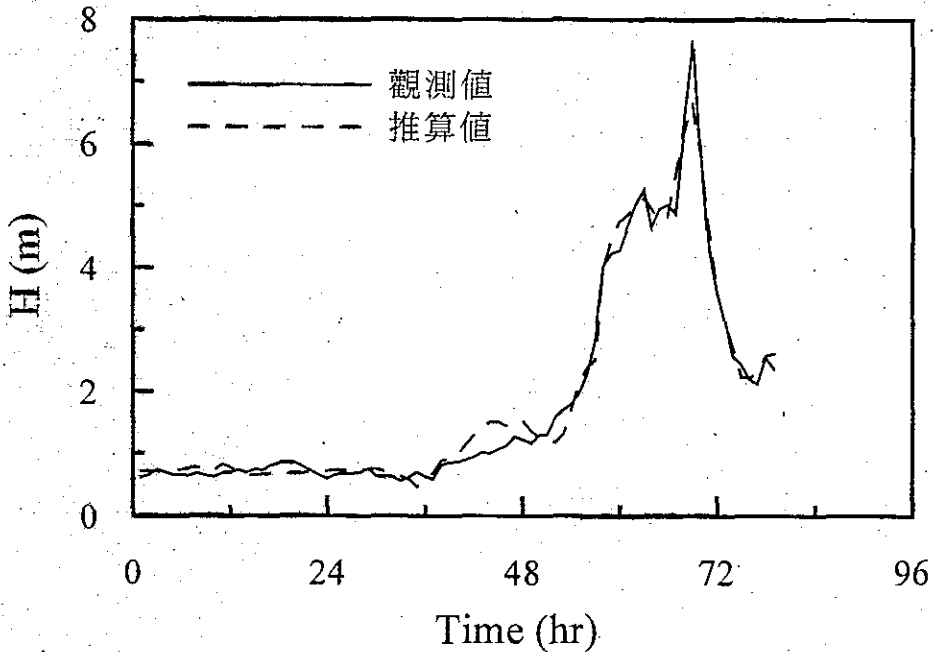


圖 5-12 SAM (山姆) 颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖

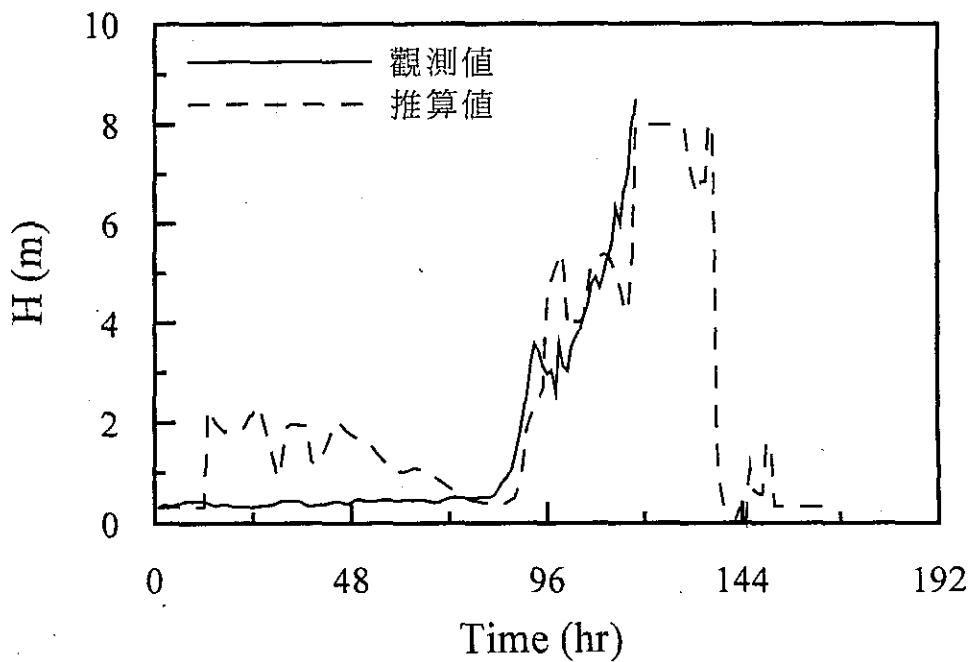


圖 5-13 BILIS (碧利斯) 颱風在花蓮港的波高推算值與觀測值比較圖

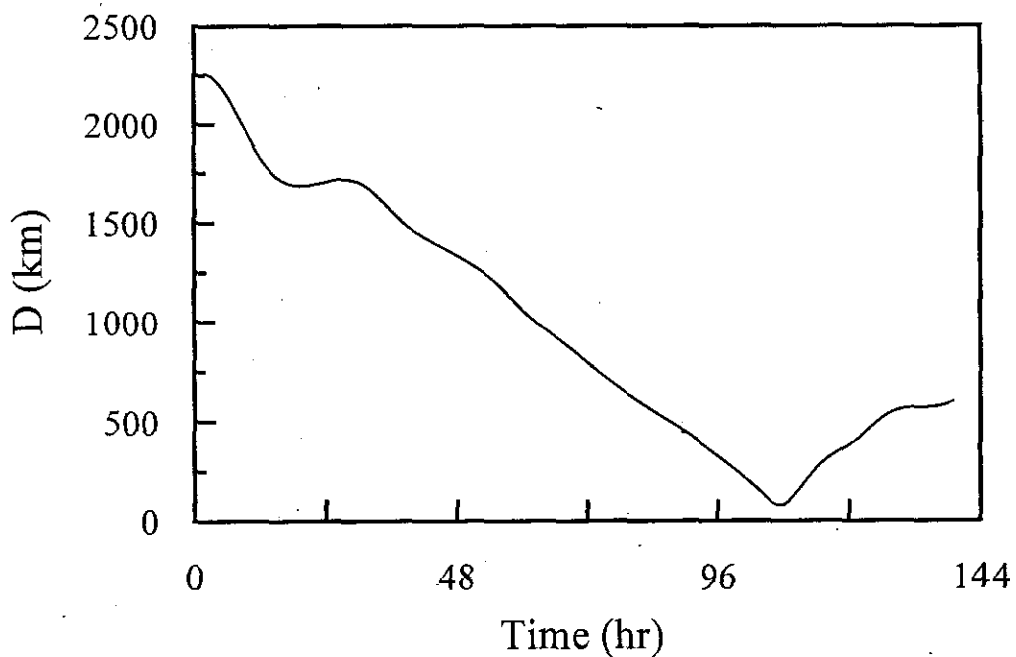


圖 5-14 BILIS (碧利斯) 颱風中心位置與花蓮港的距離 D 變化圖

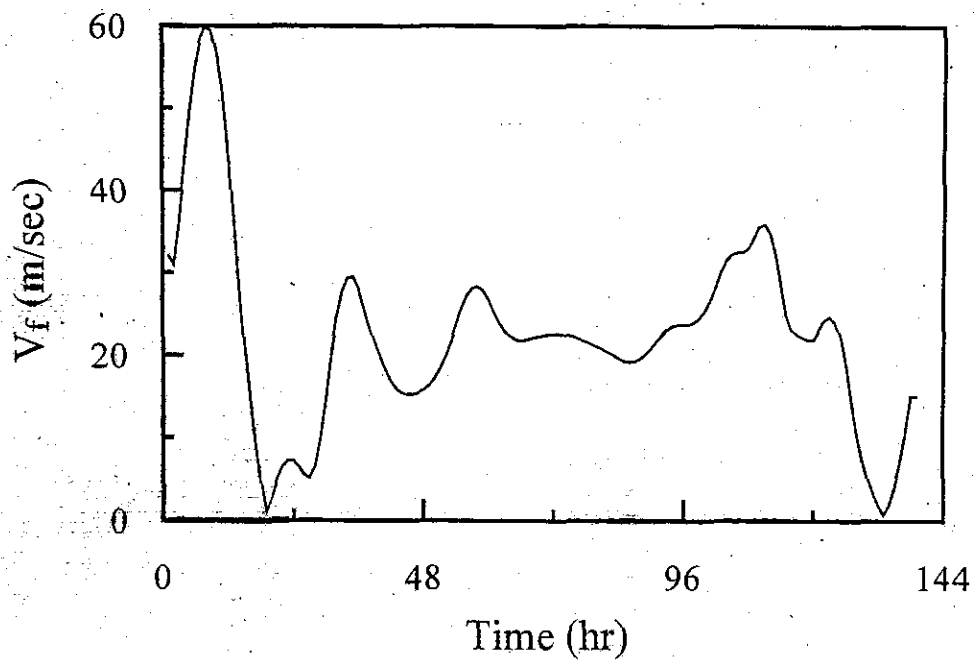


圖 5-15 BILIS (碧利斯) 颱風的最大風速變化圖

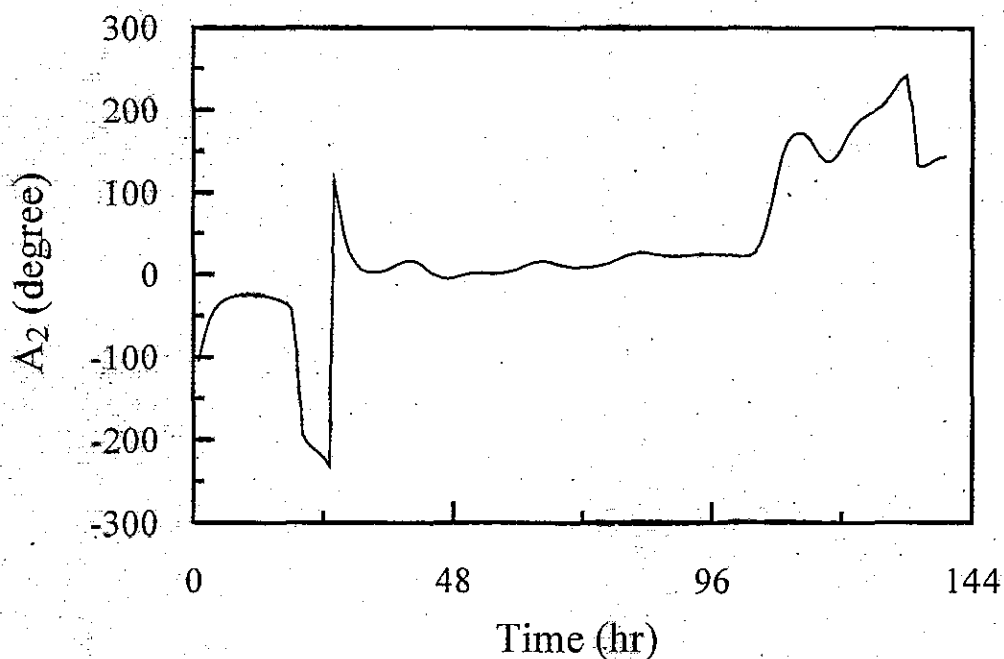


圖 5-16 BILIS (碧利斯) 颱風移動方向  $A_2$  變化圖



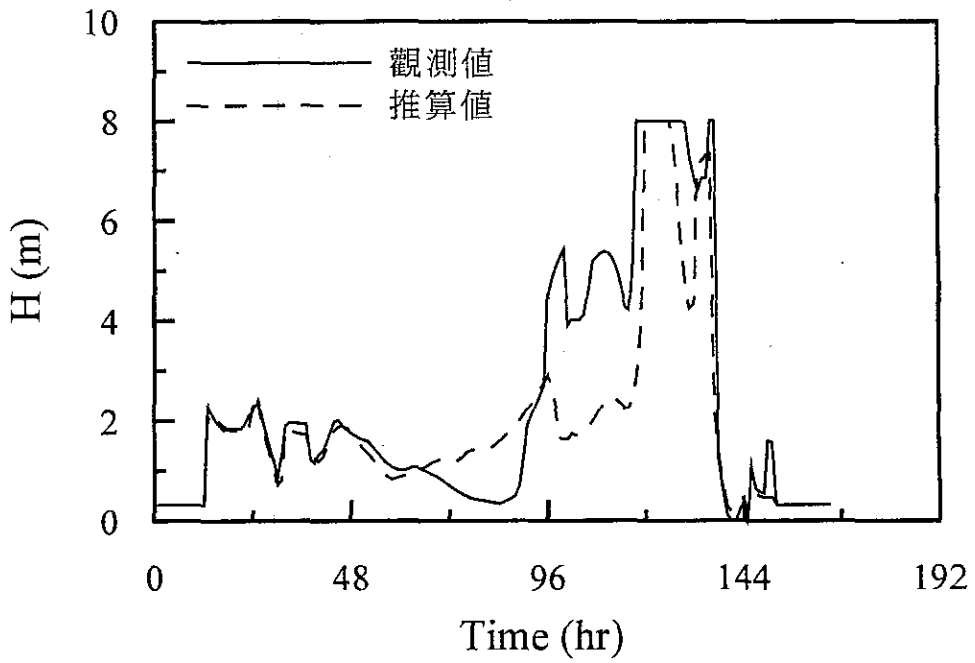


圖 5-17 BILIS (碧利斯) 颱風在花蓮港的波高原推算值與以  $0.8V_{max}$  輸入的新推算值比較圖

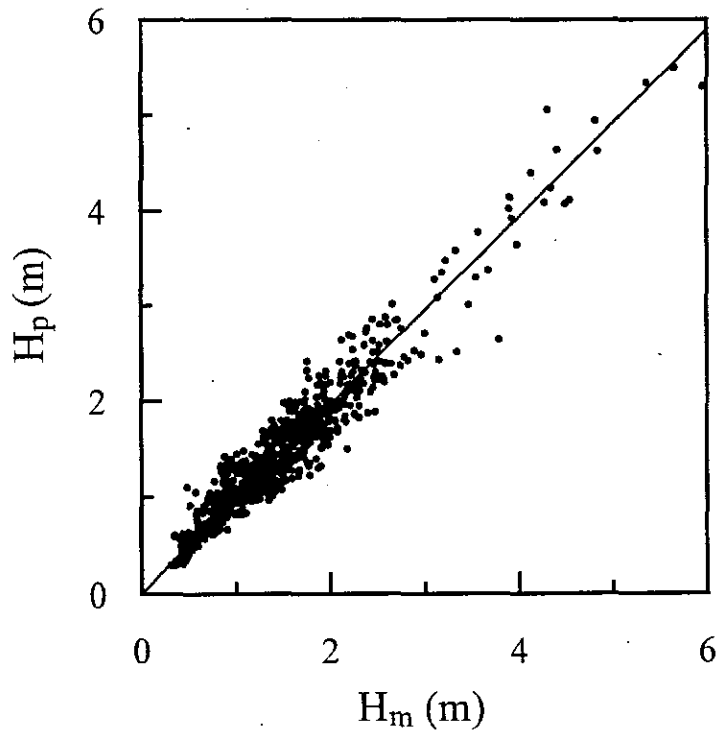


圖 5-18 颱風波浪在蘇澳港的波高推算值與觀測值關係圖

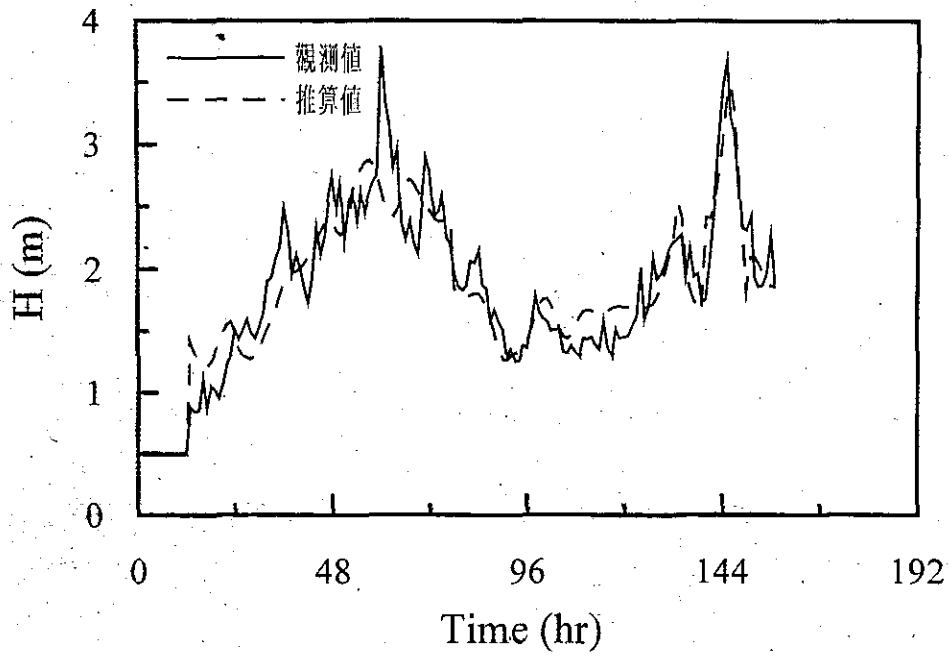


圖 5-19 KAI-TAK (啟德) 颱風在蘇澳港的波高推算值與觀測值比較圖

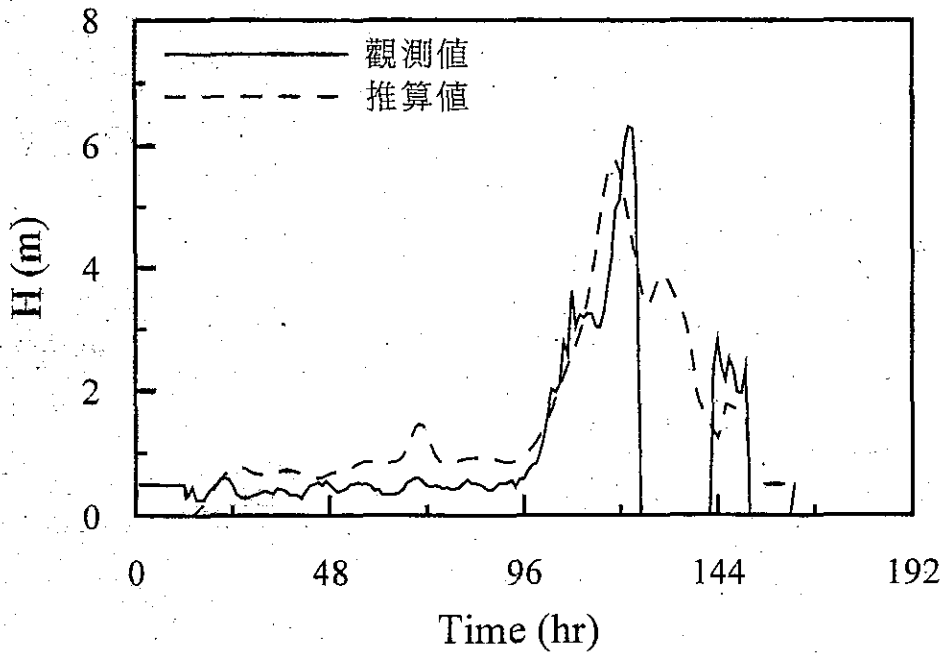


圖 5-20 BILIS (碧利斯) 颱風在蘇澳港的波浪推算值與觀測值比較圖

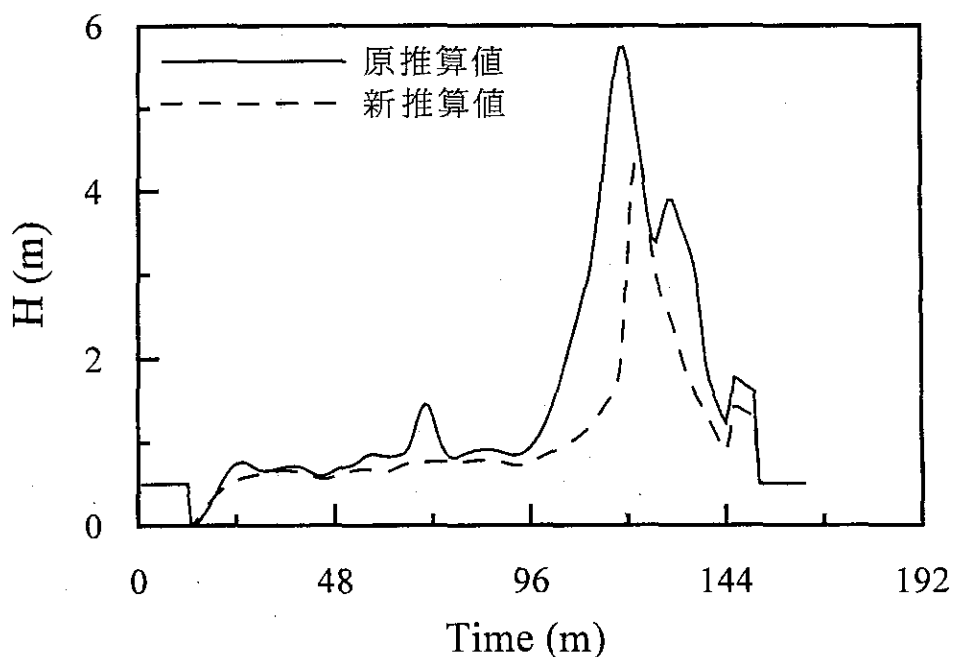


圖 5-21 BILIS (碧利斯) 颱風在蘇澳港的波高原推算值與以  $0.5V_{max}$  輸入的新推算值比較圖

圖 5-5 為 JELAWAT 颱風波高觀測值與推算值比較圖。JELAWAT 颱風路徑主要是經過台灣北方海域非直撲台灣而來(如圖 3-43 所示)，所以颱風波浪規模較小，而推算颱風波浪在趨勢上相似，推算值的準確性在部分稍差，如圖 5-5 所示。颱風波浪與圖 5-6 颱風移動速度的降低有密切的關係，其原因在於颱風風場內的風浪向外傳遞使得為為波浪漸大，同時隨著颱風逐漸逼近觀測站的波浪也逐漸增加，而隨著颱風相對於花蓮港的位置也影響颱風波浪的趨勢，如圖 5-7 所示在颱風移動至方位角接近 0 度時，波浪快速降低，隨後的餘湧再接近，本模式在這個部分有高估的現象。圖 5-8 為颱風波浪週期觀測值與推算值的比較，由比較結果發現對於週期變化較大的現象無法及時反應，對於颱風波浪的週期推算結果而言推算值大約呈現颱風波浪作用期間觀測值的平均結果。

圖 5-9 為 BOPHA (寶發) 颱風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較圖。圖 5-9 在颱風發生的第 70 個小時至 90 小時間由於經過琉球等小島(如圖 3-46 所示)，颱風波浪傳遞受到影響，所以在這個部分推算的波高較高於實際觀測的波高，比較發生最大颱風波浪的時間，推算颱風

風波浪發生峰值的時間，兩者相當接近。圖 5-10 為 YAGI (亞吉) 颱風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較圖。對亞吉颱風在發生後 100 小時，在琉球附近做滯留，由於時間過長(如圖 3-47 所示)，推算模式對於這個現象無法反應，但只要增加推算模式的規模或是學習資料就可以判別此種行為所產生的影響。圖 5-11 為 XANGSANE (象神) 颱風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較。其中颱風歷時 200-250 小時颱風移動通過呂宋島(如圖 3-48 所示)，因為遮蔽的效應颱風波浪的波高值迅速降低，這個部分本模式能夠充分學習及反應這個性質。圖 5-12 SAM (山姆) 颱風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較圖。SAM 颱風的前半段路徑與 XANGSANE (象神) 颱風相似，但經過呂宋島後就直接往西移動(如圖 3-52 所示)，所以颱風波浪就迅速降低，這個部分本推算模式亦能描述這個特性。

為了更進一步瞭解波浪模式對於未經過學習颱風的推算能力，將 BILIS (碧利斯) 颱風當作測試的颱風事件，圖 3-44 為 BILIS 碧利斯颱風路徑圖，圖 5-13 為 BILIS (碧利斯) 颱風波高推算值與量測值的比較。首先對於颱風的最大限制波高假設為 8 m，所以模式推算波高值與實測波高超過 8 公尺時，則以波高 8 m 表示。而颱風波浪最大值的位置由推算結果中也相當容易觀察出來，對於最大值發生的位置配合圖 5-14 颱風與觀測站距離變化圖可以對應的出來。由圖 5-15 及圖 5-16 颱風最大風速變化與颱風移動方向的變化圖可以發現，在颱風波浪最大值發生前的波浪變化只要來自最大風速與移動方向的改變，當颱風穿越台灣時，波高觀測值缺遺，無法比較，而本模式推算的結果可以發現颱風遠離時波高迅速降低，這符合颱風運動與颱風波浪現實的情形。若以相同的颱風路徑以原最大風速的 0.8 倍進行模擬時，其結果如圖 5-17 所示，圖中顯示推算波高明顯的較低於原推測值，且波高最大值與颱風波浪作用結束的時間不變。這個比較的結果符合颱風波浪的特性，風速低則波高地，所以本颱風波浪推算模式可以擔任一個提供預警的角色。

蘇澳海域的颱風波浪推算模式的學習資料共 7 場颱風的波浪資

料，波高推算值與觀測值的比較如圖 5-18 所示，兩者的相關係數  $R^2$  為 0.938，顯示推算的結果與觀測值相當吻合。圖 5-19 為 KAI-TAK (啟德) 颱風在蘇澳的波高觀測值與推算值比較圖，波高歷線顯示有兩個峰值，發生的原因在於 KAI-TAK 颱風的發生在呂宋島的東北方行進方向向西移動(如圖 3-42)，因蘇澳港在颱風的右半圓，最大風速較強，因而產生第一個峰值，隨後颱風由台灣南端沿東岸向北前進，因而產生第二個峰值，而推算波高值與觀測值相當接近。圖 5-20 為 BILIS (碧利斯) 颱風在蘇澳港的波浪推算值與觀測值比較圖，若比較圖 3-44 的 BILIS (碧利斯) 颱風路徑圖，波浪資料也在颱風登陸時缺遺，本模式推算的波高在颱風接近時與觀測值相當接近，當颱風登陸時颱風波浪消退，本推算結果有相當合理的趨勢，若假設颱風的最大風速減衰為 0.5 倍，而模擬路徑相同時，所得到的推算結果與原推測值比較示如圖 5-21。由圖 5-21 的原推算值與推算值比較發現，推算風浪因為颱風規模的減少，所以颱風風速強度減弱導致波浪必定減少。

## 5-2 花蓮與蘇澳海域波浪的相互推算

由於花蓮與蘇澳同屬於台灣東部海域，所以兩地的颱風波浪的應該有相類似的反應，但是由於兩個觀測站同提供校對及學習的颱風資料不足，所以嘗試以本研究發展的花蓮波浪推算模式，來推算蘇澳海域的颱風波浪，以瞭解花蓮海域與蘇澳海域間推算台風波浪的差異。

進行推算的資料排除 KATE (1999) 以及 LEO (1999) 兩個颱風，排除的主要原因是這兩場颱風行徑方式並無直接影響東部海岸，所以針對 KAI-TAK 啟德 (2000)、PRAPIROON 巴比倫 (2000) 及 MAGGIE 瑪姬 (1999) 颱風當作推算資料，其推算值分別示圖 5-22。由於啟德颱風侵台前在呂宋島滯留路徑多變，對於花蓮海域至圖 5-25 所示會產生相當的多擾動，只要原因是本模式對於複雜路徑的颱風知識學習不足，若將推算結果做 6 小時的移動平均，其推算結果如圖 5-23 所示。從圖 5-23 可以發現颱風直撲台灣時所產生的颱風波浪歷線的峰值，在

圖 5-24 及圖 5-25 的 PRAPIROON 巴比倫 (2000) 及 MAGGIE 瑪姬 (1999) 颱風結果，此顯示兩地海域的波浪發展趨勢在這類型的颱風亦有相同的推算下相當接近。

由以上的結果發現如果兩地海域經歷相同颱風的颱風波浪資料足夠時，建立一個相互推算的神經模糊網路推算模式是一個可行的。關於兩個觀測站互相推算的模式結構，仍然以一站的颱風波浪推算模式可推算另一觀測站颱風波浪。以花蓮港推算蘇澳港為例，在推算的流程首先利用花蓮港的推算模式推算同一場颱風的波浪資料，由於颱風位置及規模影響兩觀測站的颱風波浪，所以利用颱風對蘇澳港的位置  $D$ 、 $A_1$  以及颱風最大風速  $V_{max}$  作為花蓮港校正推算蘇澳港的 3 個參數，兩測站互推的模式結構如圖 5-28 所示。經過與颱風波浪推算模式相同的推算模組，即經模糊網路與類神經網路模式學習後，即可進行兩測站相互的推算工作，但是因目前同一場颱風的花蓮港及蘇澳港的颱風波浪資料可供相互學習及校正的颱風波浪資料過少的情況，所以目前兩個測站互推颱風波浪的模式尚無法正確的推算其他測站的波浪。

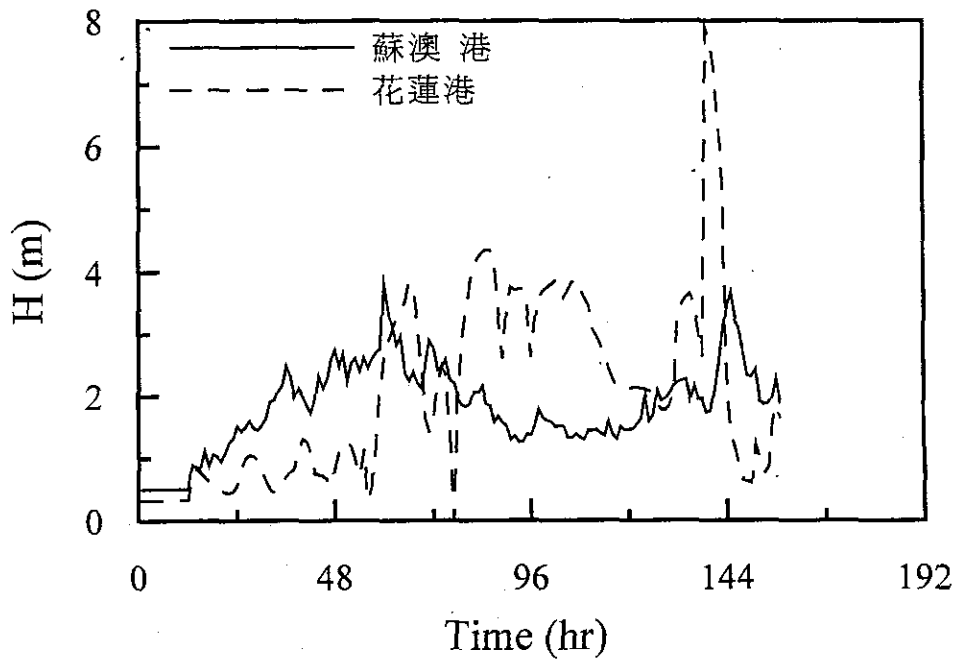


圖 5-22 KAI-TAK (啟德) 颱風在蘇澳海域的波高觀測值與花蓮海域推算值比較圖

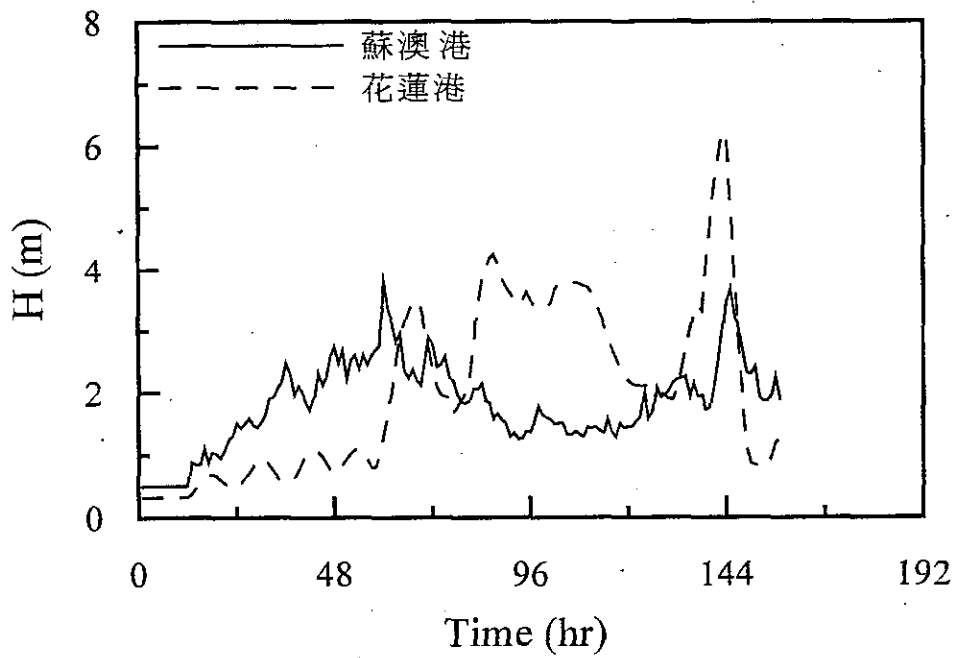


圖 5-23 KAI-TAK (啟德) 颱風在蘇澳海域的波高觀測值與 6 小時移動平均花蓮海域推算值比較圖

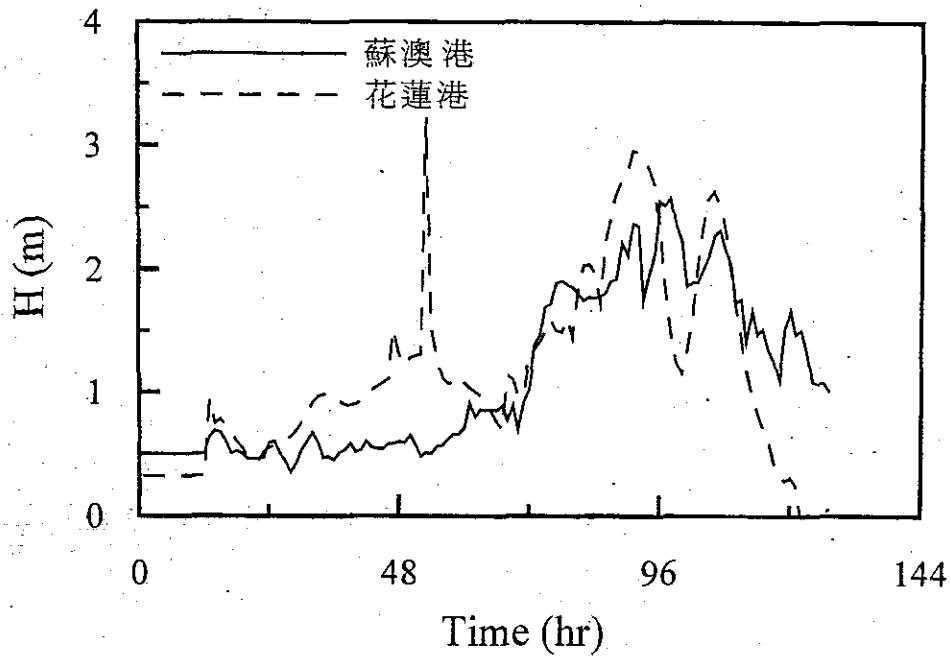


圖 5-24 PRAPIROON (巴比倫) 颱風在蘇澳海域的波高觀測值與花蓮海域推算值比較圖

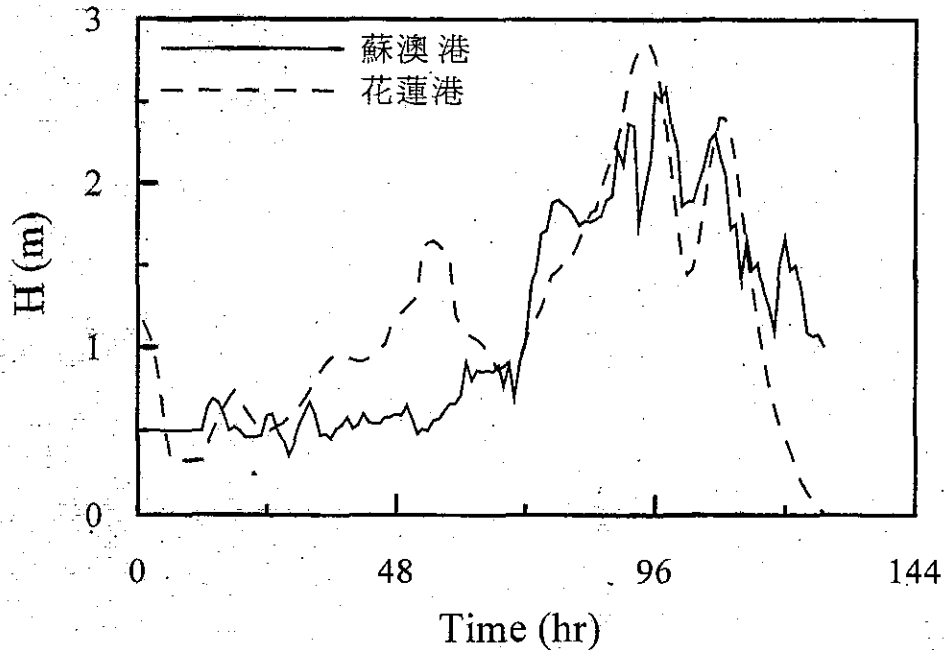


圖 5-25 PRAPIROON (巴比倫) 颱風在蘇澳海域的波高觀測值與 6 小時移動平均花蓮海域推算值比較圖



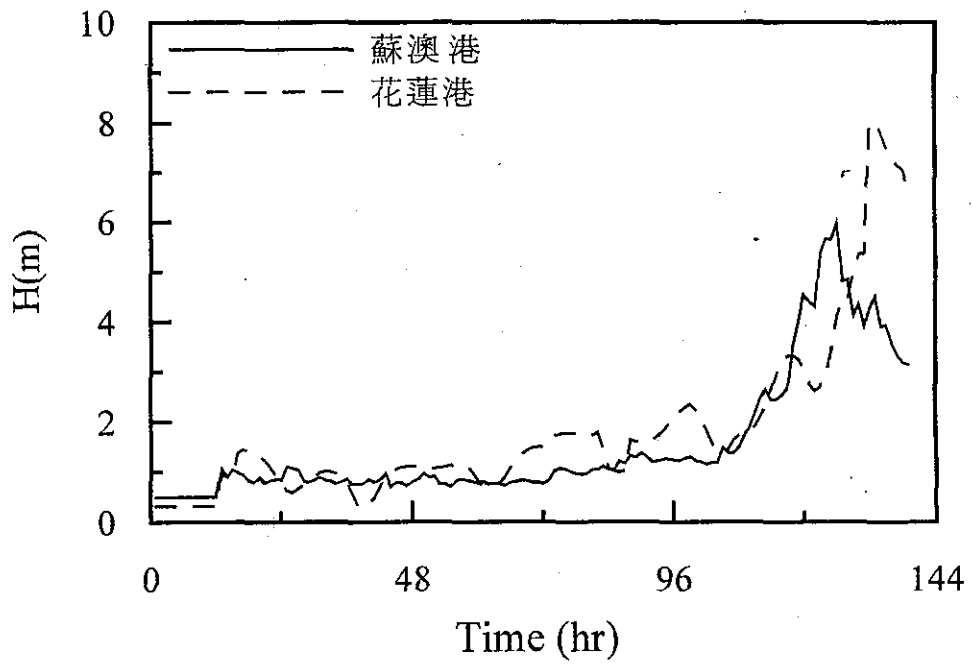


圖 5-26 MAGGIE (瑪姬) 颱風在蘇澳海域的波高觀測值與花蓮海域推算值比較圖

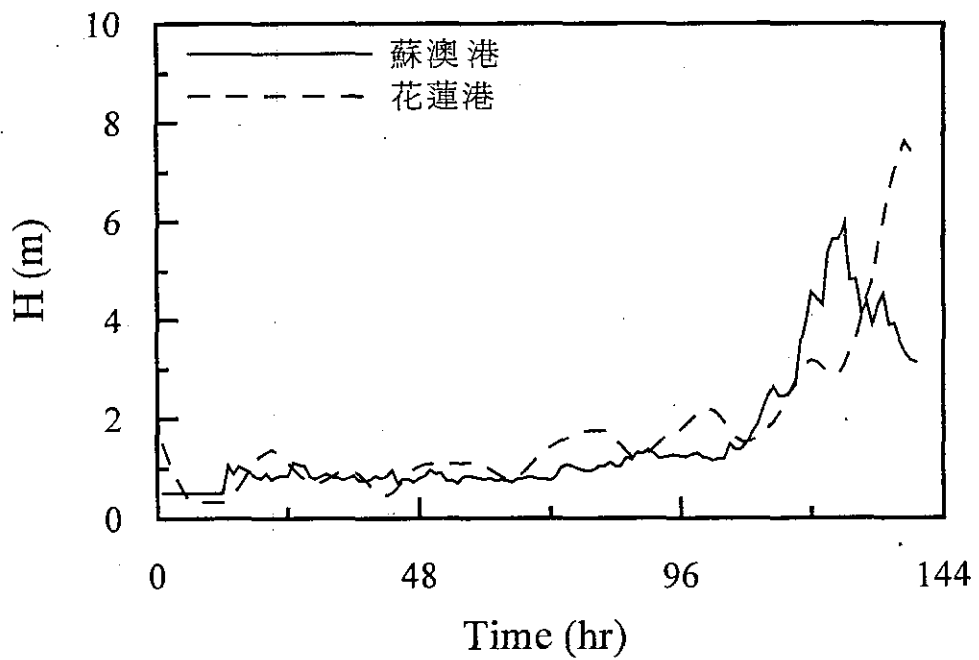


圖 5-27 MAGGIE (瑪姬) 颱風在蘇澳海域的波高觀測值與 6 小時移動平均花蓮海域推算值比較圖

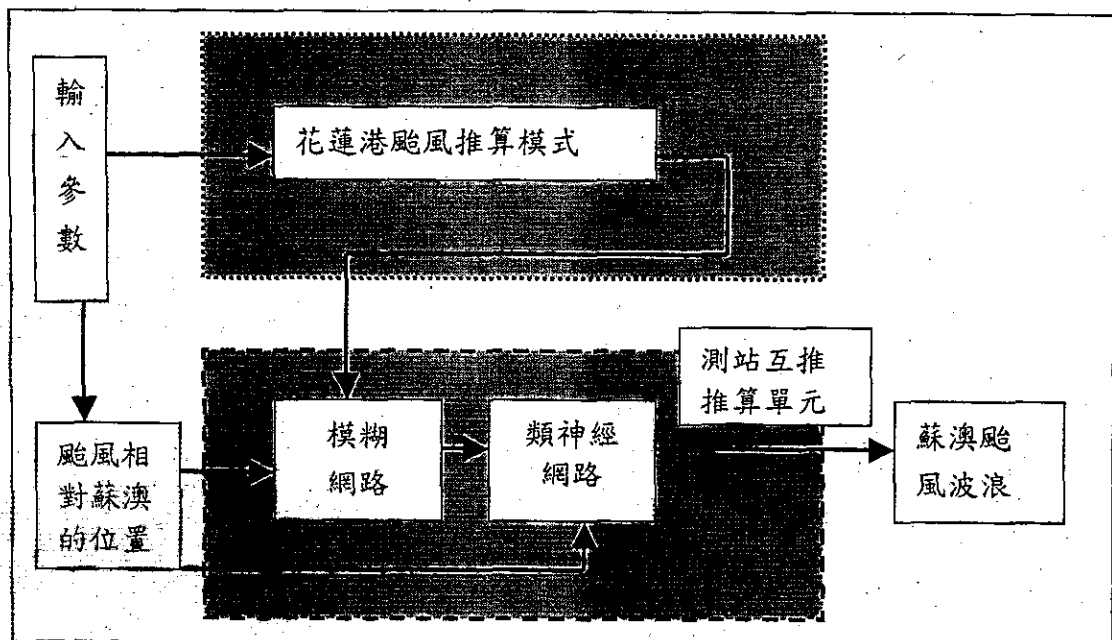


圖 5-28 花蓮港推算蘇澳港颱風波浪模式結構圖

## 第六章 結論

本研究所發展的颱風波浪推算模式，在往昔研究的基礎上，本研究假設：

1.假設每次颱風事件只有一場颱風作用。2.假設颱風運動特性是連續的。3.颱風事件期間忽略潮汐、季風等的影響。4.假設颱風最大風速與颱風中心氣壓相關。5.假設颱風最大風速與颱風半徑相關。五項條件，以類神經配合模糊理論的推算架構，從花蓮港及蘇澳港的觀測資料，檢測所建立的颱風波浪推算模式良好的描述颱風波浪的波高的能力，並且可知模式具有同時推算花蓮及蘇澳兩地外海颱風波浪的能力。

颱風波浪推算模式如果只使用類神經網路為推算方式，將會發現當類神經網路結構越大對於學習資料的學習程度越好，但是對於沒有學習經驗的推理運算的結果就相當不穩定，另外對於其他有關颱風波浪發展的物理特性或是相關資料也有難以整合的缺點。因此建立一個颱風波浪推算模式能夠應用的資料庫，就成為提升推算準確性的方法，而這個資料庫的型態就以模糊理論建立的網路最適合。

由於提供判別及計算的颱風資料型態不一，資料庫的建立將具有整合資料的功用，此次研究希望藉由資料庫的模組化提高颱風波浪推算模式的擴充性，例如加入衛星圖的輸入資料可提昇推算能力及準確度。另外由於颱風波浪變動主要受到颱風運動的影響，而且與前一時刻的颱風運動特性有關，所以資料庫的模組內容由一個模糊網路與一個類神經網路所組成，模糊網路主要關連輸入參數與輸出值的模糊邏輯，而類神經網路則建立輸入參數與模糊邏輯的時序列關係。

對於颱風波浪週期的推算較不理想，其原因在於示性波高的計算方式與計算波浪週期方式不同，所以波浪週期與颱風氣象條件、颱風運動行為關連性不高所造成，克服的方法將在颱風、波高與週期外之間尋求其他關連的影響條件建成資料庫提供模式運算的參考。

對於波浪模式日後的推算及模擬，配合實測颱風和波浪資料可以

做進一步推算模式內部的修正，以便達到準確推算以及即時修正模式的目的，就目前階段可供模式模擬推算的颱風事件有限，所以對於即將發生的颱風事件將可以藉由推算結果與量測結果作更進一步的更新及模式知識庫的建立。

## 參考文獻

1. 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。
2. 簡仲璟、曾相茂 (1999) 「花蓮港颱風波浪特性研究」, 第 25 屆海洋工程研討會論文集, 第 55-62 頁。
3. 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。
4. 交通部中央氣象局 (1998) 「颱風百問」, 第 10-20 頁。
5. 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。
6. 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。
7. 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.
8. Chen, T., and H. Chen, (1995) "Approximation capability to functions of several variables, nonlinear functionals, and operators by radial basis function neural networks," *Neural Networks, Vol. 6*, pp.904-910.
9. 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.
10. Crandell, J. H., (1998) "Statistical assessment of construction characteristics and performance of homes in Hurricanes Andrew and Opal," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 77*, pp. 695-701.
11. 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.
12. Holland, G. J. (1980) "An analytic model of the wind and pressure

- profiles in hurricanes," *Monthly Weather Review*, Vol. 108, No. 8, pp. 1212-1218.
13. Hurdle, D.P. and M.J.F. Stive (1984) "Revision of SPM 1984 wave hindcast model to avoid Inconsistencies in engineering applications," *Coastal Engineering*, Vol. 12, pp. 339-357.
  14. Graber, H.R. and I. M. Madsen (1988) "A finite-depth end-wave model, Part I: Model description," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1465-1483.
  15. Jones, W.L., J. Zec, V.J. Cardone and W.J. Pierson (1999) "NASA Scatterometer measurements of ocean surface winds in tropical cyclones," *OCEANS '99 MTS/IEEE Riding the Crest into the 21st Century*, Vol. 1, pp.373 -376.
  16. Johnson, G.P. and F.C. Lin (1996) "Hurricane Tracking via Backpropagation Neural Network," *Proceedings of 1996 IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. 2, pp. 1103-1106
  17. Lee, R.S.T. and J.N.K. Liu (1999) "An Elastic Graph Dynamic Link Model for Tropical Cyclone Pattern Recognition," *Proceedings of 6th International Conference on Neural Information, ICONIP '99*, Vol. 1, pp. 177-182.
  18. Masjukov, V.V. (2000) "A mathematical and computer model of the main tropical hurricane wave system," *Computer Physics Communications*, Vol. 126, pp. 121-125.
  19. Nagai, K., S. Kono and, D. X. Quang (1998) " Wave characteristics on the central coast of vietnam in the south China sea," *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 40, No. 4, pp. 347-366.
  20. Niwa, Y. and T. Hibiya (1998) "Nonlinear processes of energy transfer from traveling hurricanes to the deep ocean internal wave field," *Oceangraphic Literature Review*, Vol. 45, pp. 39.
  21. Powell, M.D., P.P. Dodge and L.B. Black (1991) "The landfall of Hurricane Hugo in the Carolinas: Surface wind distribution," *Weather and Forecasting*, Vol. 6, pp. 379-399.
  22. Powell, M.D. and S.H. Houston (1998) "Surface wind fields of 1995

- Hurricanes Erin, Opal, Luis, Marilyn, and Roxanne at landfall," *Monthly Weather Review*, Vol. 126, No. 5, pp. 1529-1273.
23. Powell, M.D., S.H. Houston and T.A. Reinhold (1996) "Hurricane Andrew's landfall in South Florida—Part I: Standardizing measurements for documentations of surface wind fields," *Weather and Forecasting*, Vol. 11, No. 3, pp. 303-328.
  24. Russell, L. R. (1971). "Probability distributions for hurricane effects," *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 97, 139-154.
  25. Shea, D.J. and W.M. Gray (1973) "The Hurricane's Inner Core Region. I. Symmetric and Asymmetric Structure," *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 30, No. 8, pp. 1544-1564.
  26. Shore Protection Manual (SPM) (1984) *U.S. Army Coastal Engineering Research Center*, Fort Belvoir, Vol. I-III.
  27. SWAMP Group (24 Authors) (1985) *Ocean wave modeling*, Plenum Press, New York, 256 pp.
  28. Tolman, H.L. (1997) *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15*, NOAA / NWS / NCEP / OMB Technical Note 151, 97pp.
  29. Vickery, P. J., P. F. Skerlj and L. A. Twisdale (2000) "Simulation of hurricane risk in the U.S. using empirical track model," *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 10, pp. 1222-1237.
  30. WAMDI group The WAM model (1988) "A third generation ocean wave prediction model," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1775-7810.
  31. Young, I.R. (1988b) "A shallow water spectral wave model," *Journal of Geophysical Research*, Vol. 93, pp. 5113-5129.
  32. Young, I.R. (1988c). "A parametric hurricane wave prediction model," *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 114, pp. 637-652.
  33. Young, I.R. (1988a) "Observations of the spectra of hurricane generated waves," *Ocean Engineering*, Vol. 25, pp. 261-276.

34. Young, I.R. and G.P. Burchell (1996) "Hurricane generated waves as observed by satellite," *Ocean Engineering*, Vol. 23, pp. 761-776.
35. Young, I.R. and G.P. Van Vledder (1993) "A review of the central role of nonlinear interactions in windwave evolution," *Philosophical Transactions of the Royal Society London, seriesA*, Vol. 342, pp. 505-524.
36. Zhou, Z., S. Chen and Z. Chen (1999) "Mining typhoon knowledge with neural networks, " Proceedings of the *11th IEEE International Conference*, pp. 325-326.



交通部運輸研究所合作研究計畫期中簡報內容重點表

(一)年度計畫預定與實際工作內容比較

<p>預期成果工作項目</p>	<p>1. 探討平常性與颱風波浪侵襲期間，港內外波浪特性。 2. 台灣海域波浪特性分析。 3. 颱風波浪推算模式的建構。</p>	
<p>預定工作內容</p>	<p>實際工作內容</p>	<p>差異說明</p>
<p>1. 颱風與波浪資料整理與分析。  2. 颱風特性與氣象變化分析。  3. 以類神經架構分析颱風與波浪之關係。  4. 統計回歸颱風與波浪之關係建立與驗證</p>	<p>1. 颱風資料收集內容以中央氣象局發佈的資料為收集分析的主要來源，波浪資料來源為港灣技術研究中心所提供，並進行整理與分析。  2. 將颱風動態及靜態特性與氣象變化進行比較及分析配合文獻資料，藉以尋求有效的影響因素。  3. 藉由對颱風特性、氣象條件及波浪資料以類神經架構分析颱風與波浪之關係。  4. 利用統計回歸颱風與波浪之資料，尋求颱風特性與波浪的統計關係，配合類神經架構計算的結果比較與驗證兩者的差異。</p>	<p>對於波浪資料的收集及分析，由於測站相隔距離較大對於較大區域的波浪特性描述有相當的限制。</p>

註：1.請依計畫書內「預期成果」項目逐一說明其研究情形及達成度，屬「查核點」處應特別表示達成情況。

2.若有分項計畫，請依分項計畫逐項填寫。

3.工作內容請儘量依條例舉、數量化方式具體說明。

4.差異說明應涵蓋研究工作之突破及研究進度之落後，所遭遇之困難等。

## (二)資源運用探討

- 1.經費運用：主要費用使用在資料收集、文獻收集檢索、資料處理及相關耗材。
- 2.人力運用：資料收集、文獻收集檢索、資料處理。

## (三)計畫之執行困難及其建議

1. 對於中央氣象局發佈的颱風歷史資料以及部分觀測資料短缺。
2. 波浪觀測資料受限於儀器及環境影響，有不明雜訊及遺缺。
3. 目前對於颱風相關的觀測資料收集未完全，所以對分析推算的結果會產生相當的誤差。
4. 對於固定測站颱風資料同時配合完全的波浪資料的颱風場次共 10 筆，對於類神經為波浪推算主要架構的模式較不易達到推算所有颱風波浪的目的。
5. 針對以上問題將以加強資料收集以及調整推算主要結構提高模式推算的能力。

期中報告

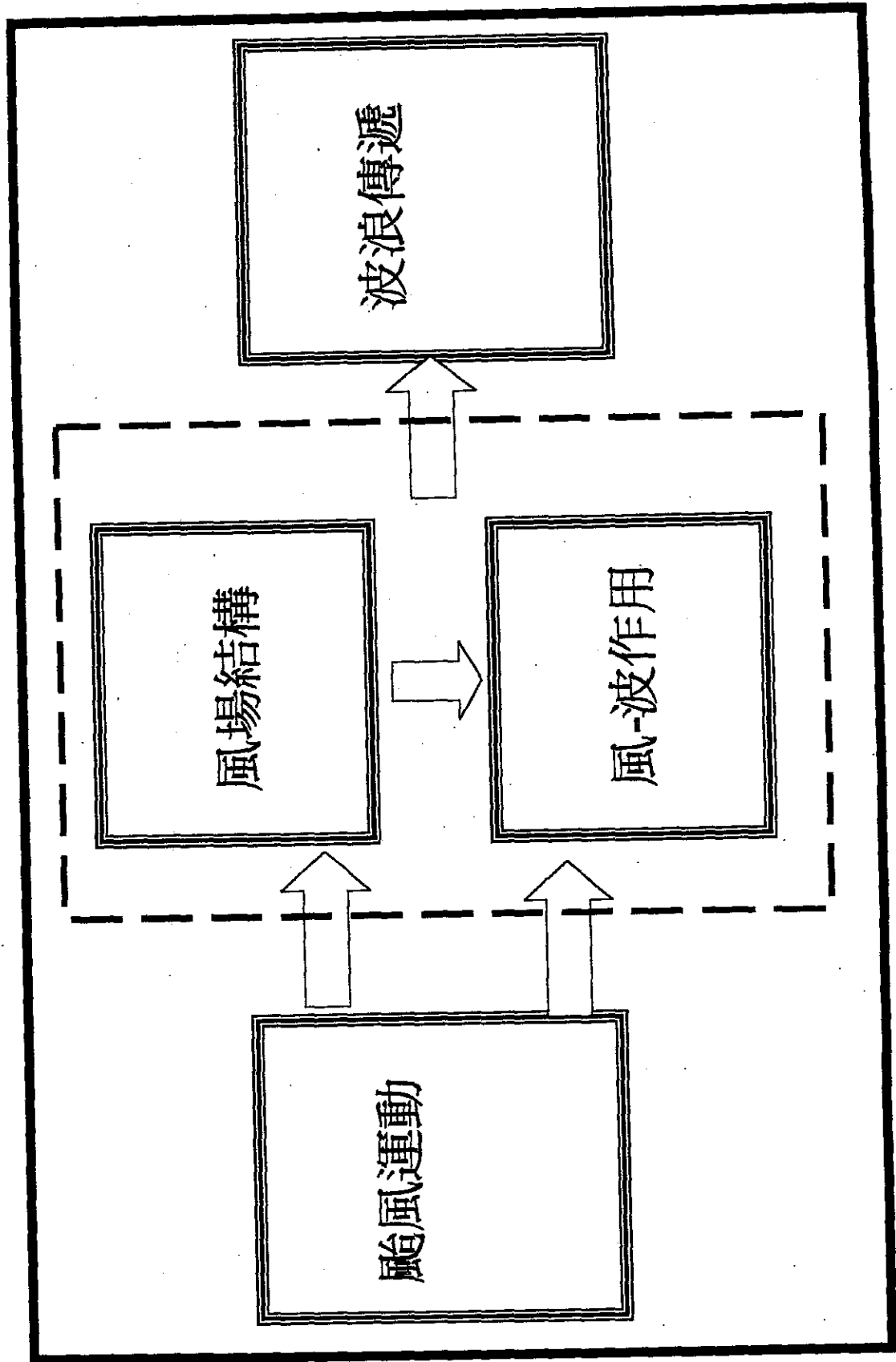
## 研究目標

- 探討各個測站平常時期與颱風侵襲時波浪的變化與特性。
- 探討台灣海域波浪變化與颱風運動特性間的關係。
- 建立各個測站的颱風推算模式（花蓮、蘇澳、淡水）
- 連結各個測站推算模式，建立區域波浪預警系統。

# 研究方法及步驟

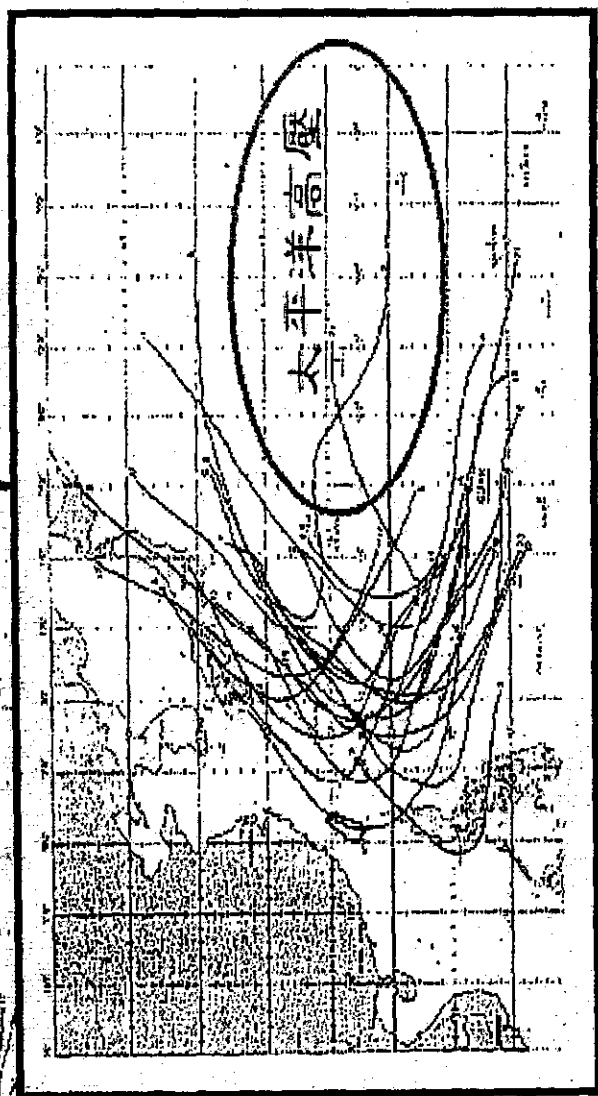
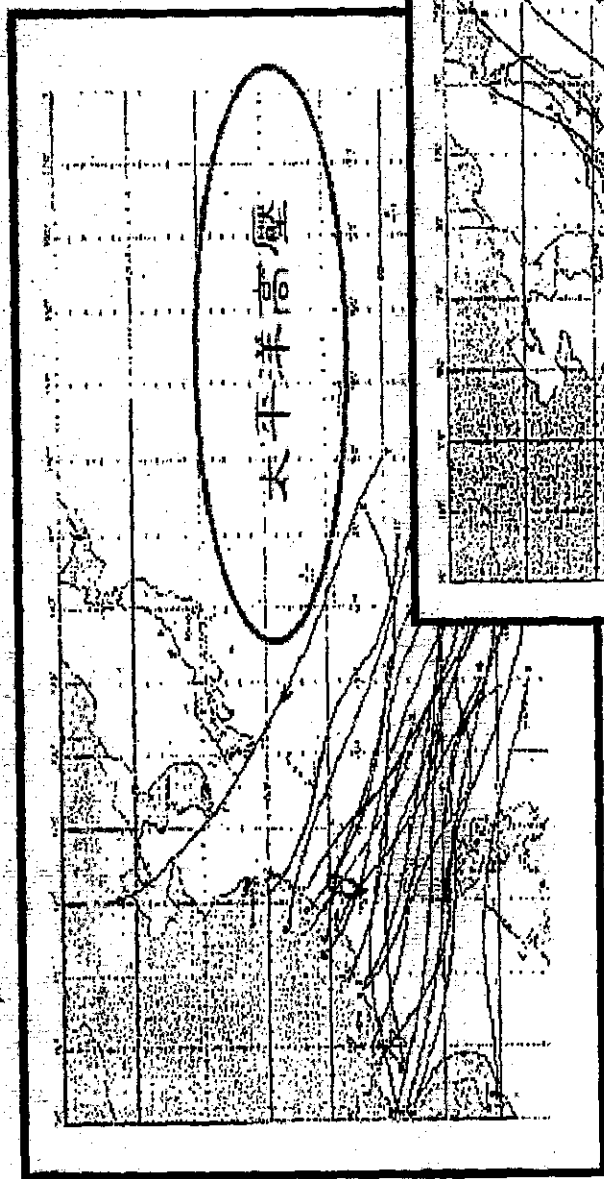
- 資料收集整理及分析
- 相關理論的探討
- 模式分析與建構
- 模式推算結果驗證與分析
- 與其他模式連結應用

# 颱風波浪的形成



# 颱風運動與風場結構

■ 颱風運動主要受制於太平洋高壓



# 颶風運動與風場結構

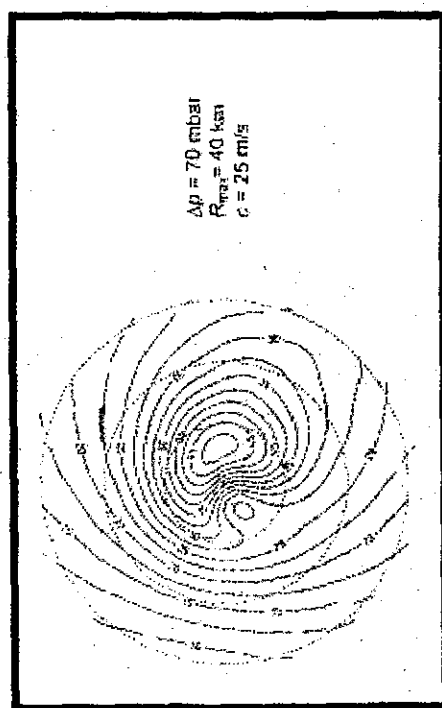
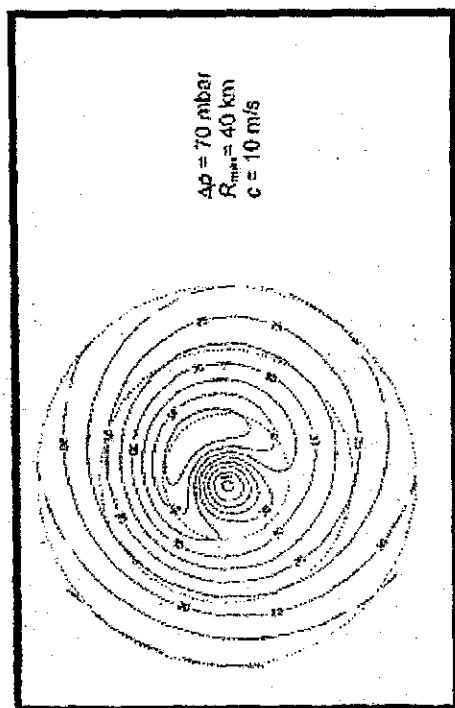
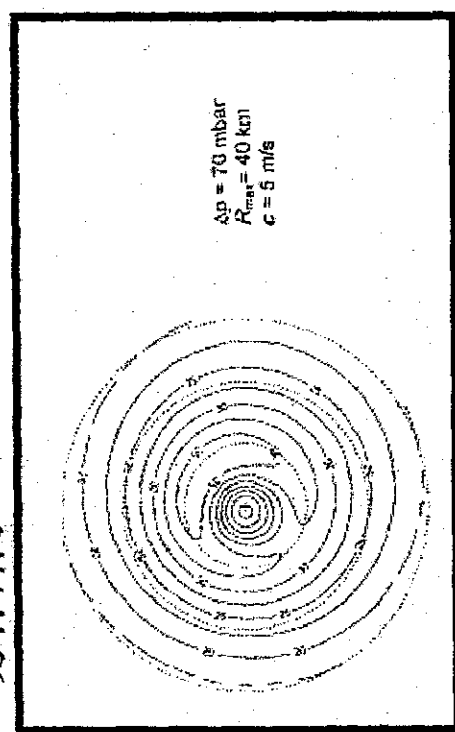
- 颶風受海面溫度、濕度及其它大氣環境因素，會產生風場結構的變化。





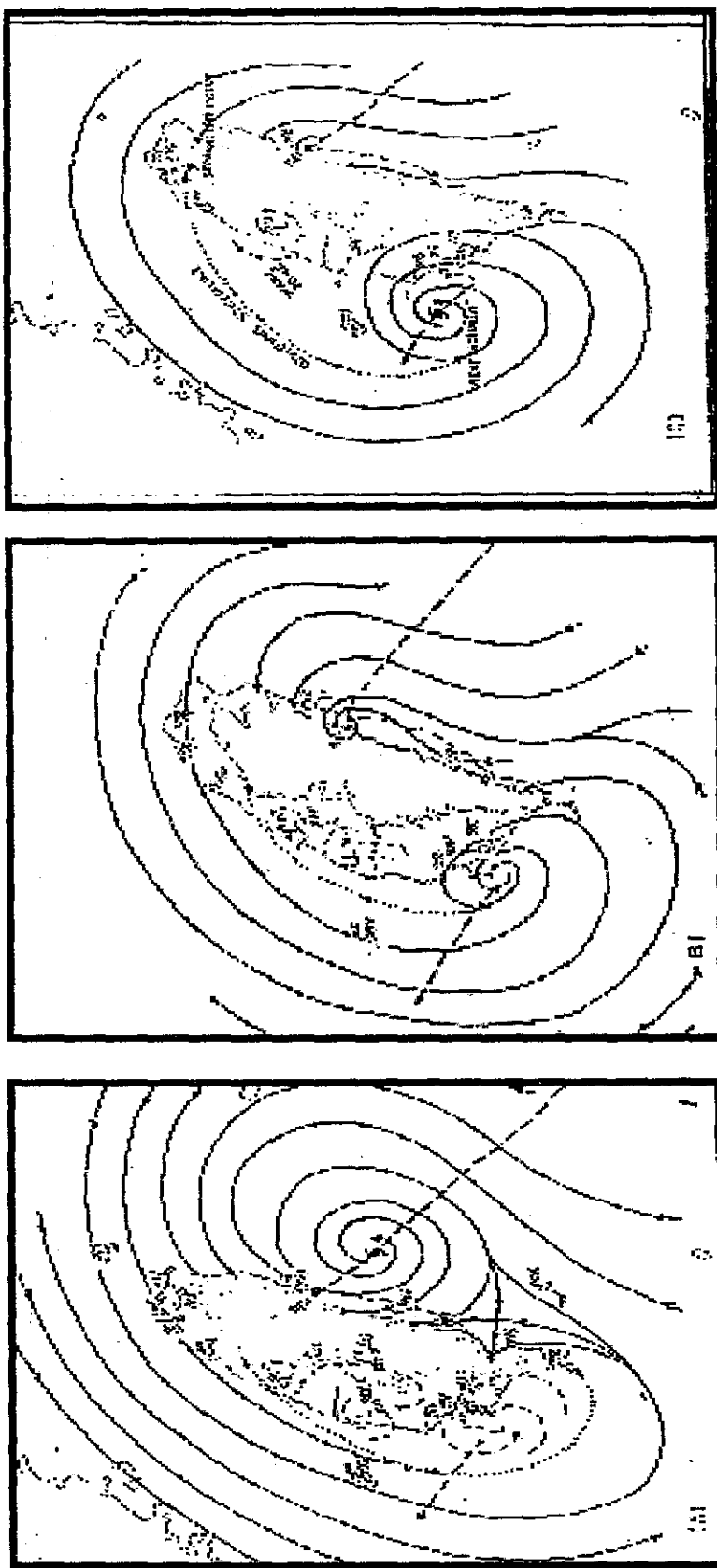
# 颱風運動與風場結構

■ 颱風受到太平洋高壓影響，改變運動行為將影響颱風風場結構。



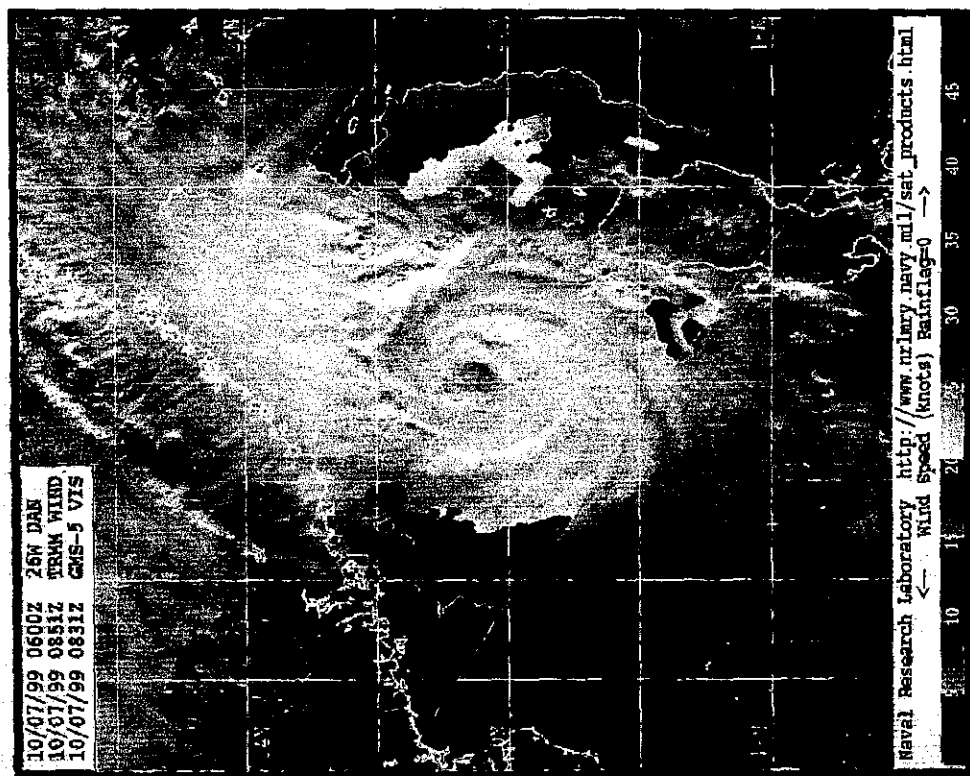
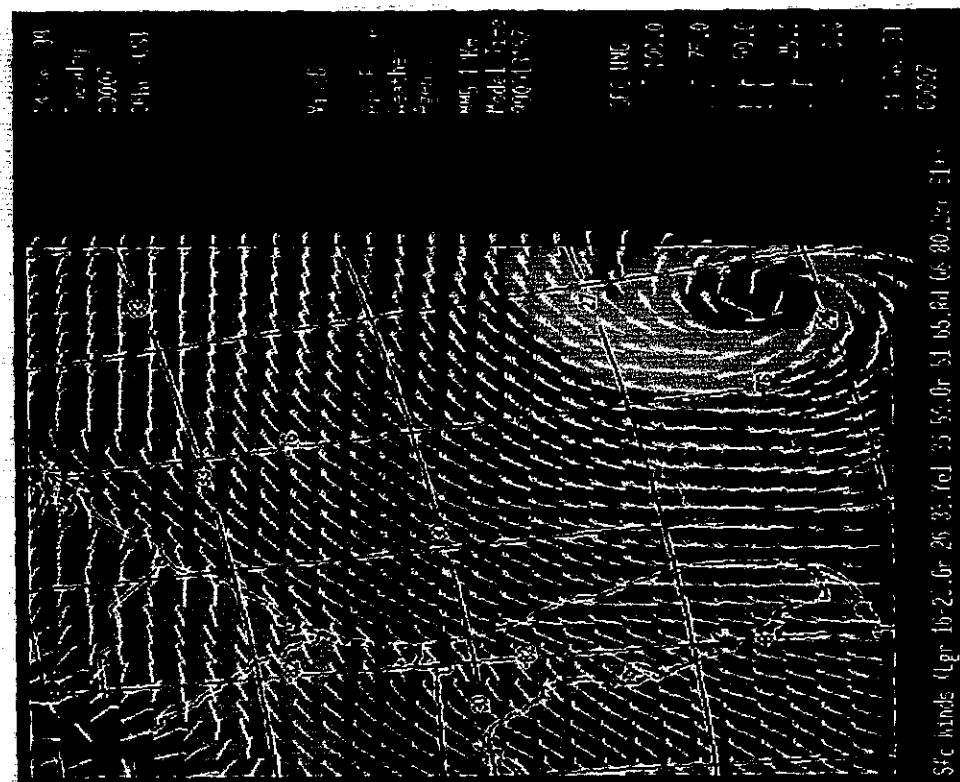
# 颱風運動與風場結構

■ 颱風經過陸地受到地形的影響，颱風的風場結構將會改變。



# 風 - 波作用

- 風-波作用理論不適直接應用在颱風風場推算颱風波浪，故需配合觀測站或衛星資料與風場結構進行修正。

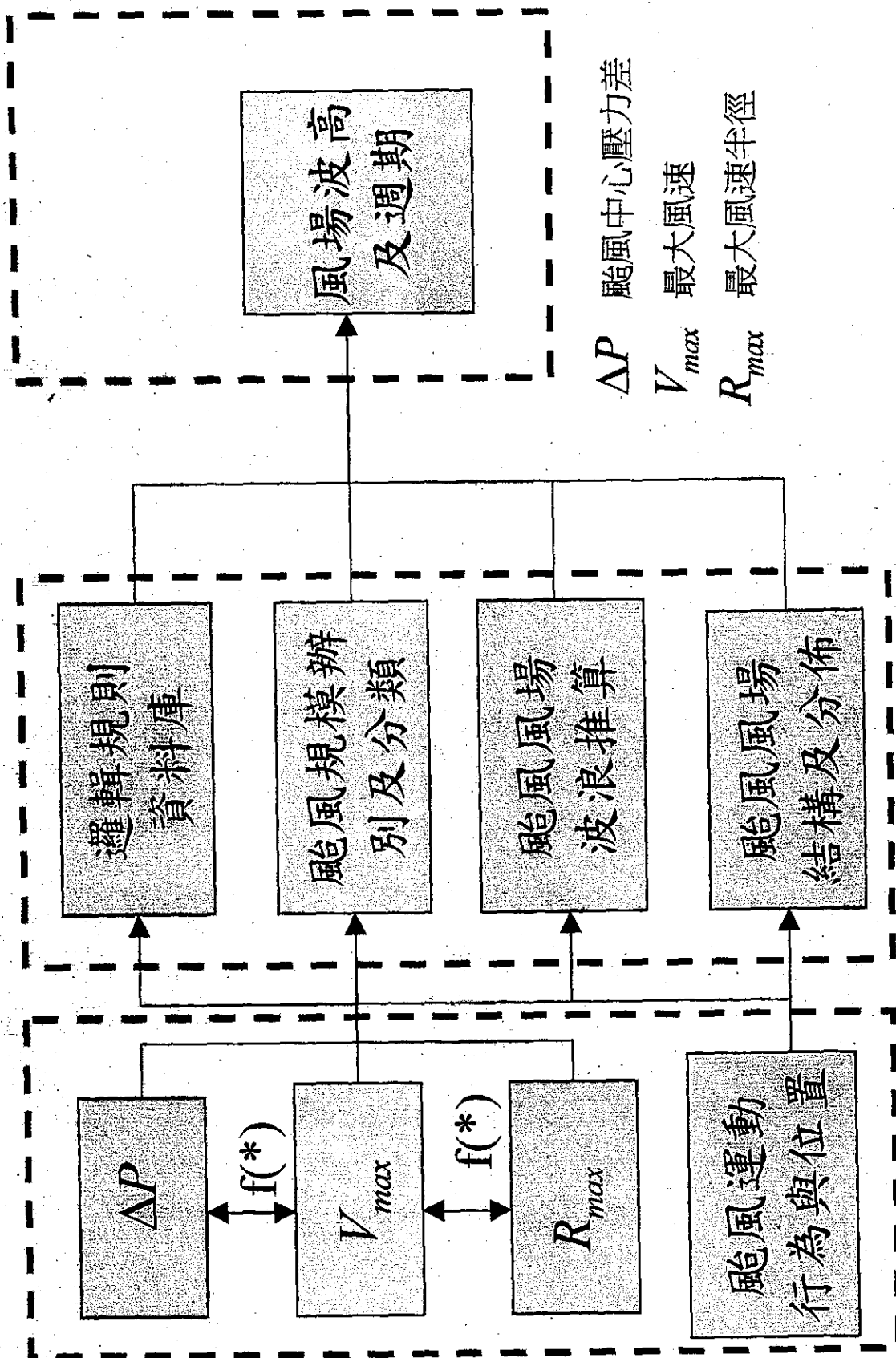


# 類神經颱風波浪推算模式

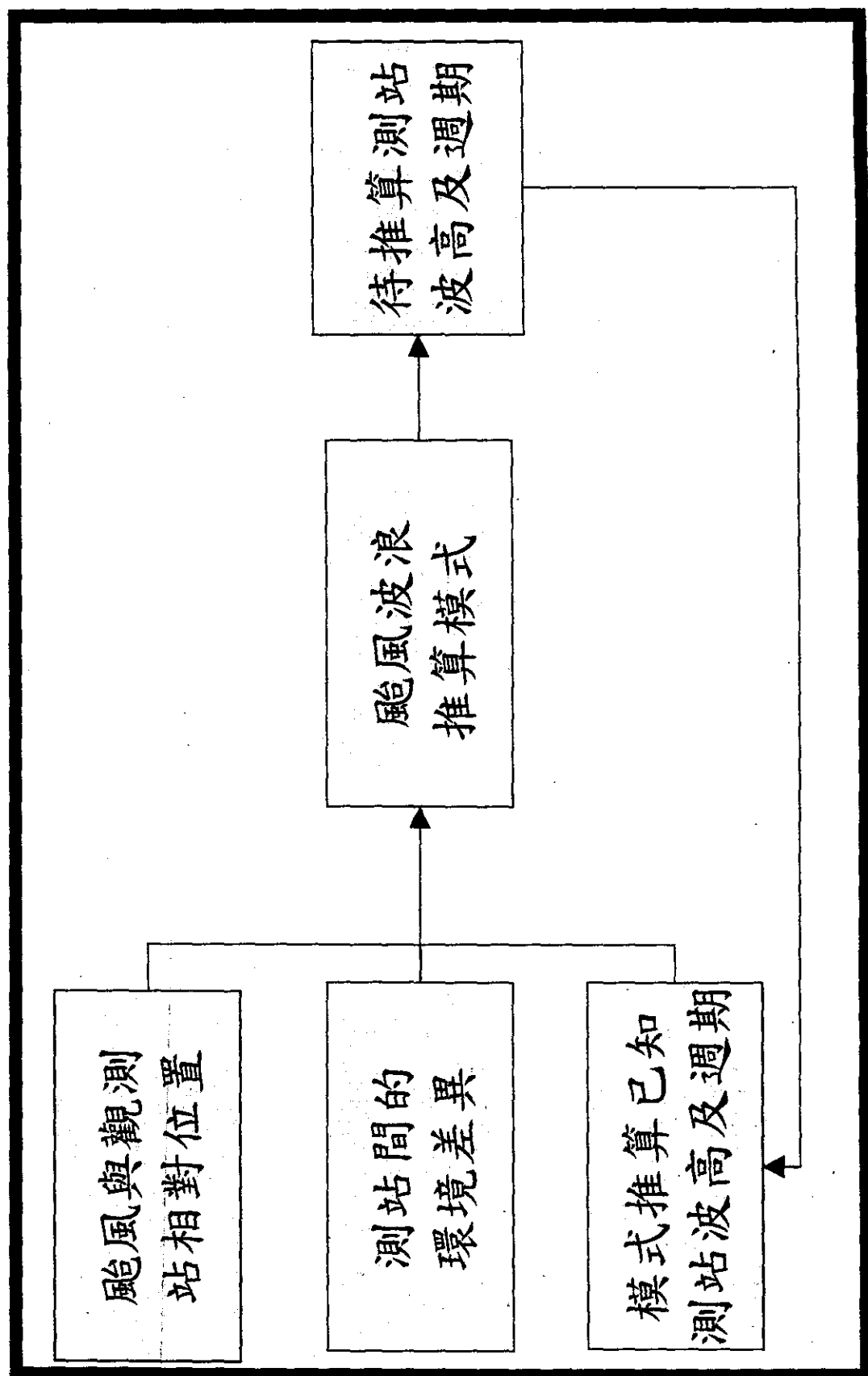
颱風波浪推算模式分爲三個部分分析：

- 第一部份：推算颱風風場範圍內的波浪變化。
- 第二部分：推算風場波浪傳遞至特定區域颱風波浪的變化。
- 第三部分：推算或校正風場波浪傳遞至其它相關區域的波浪變化。

# 模式架構

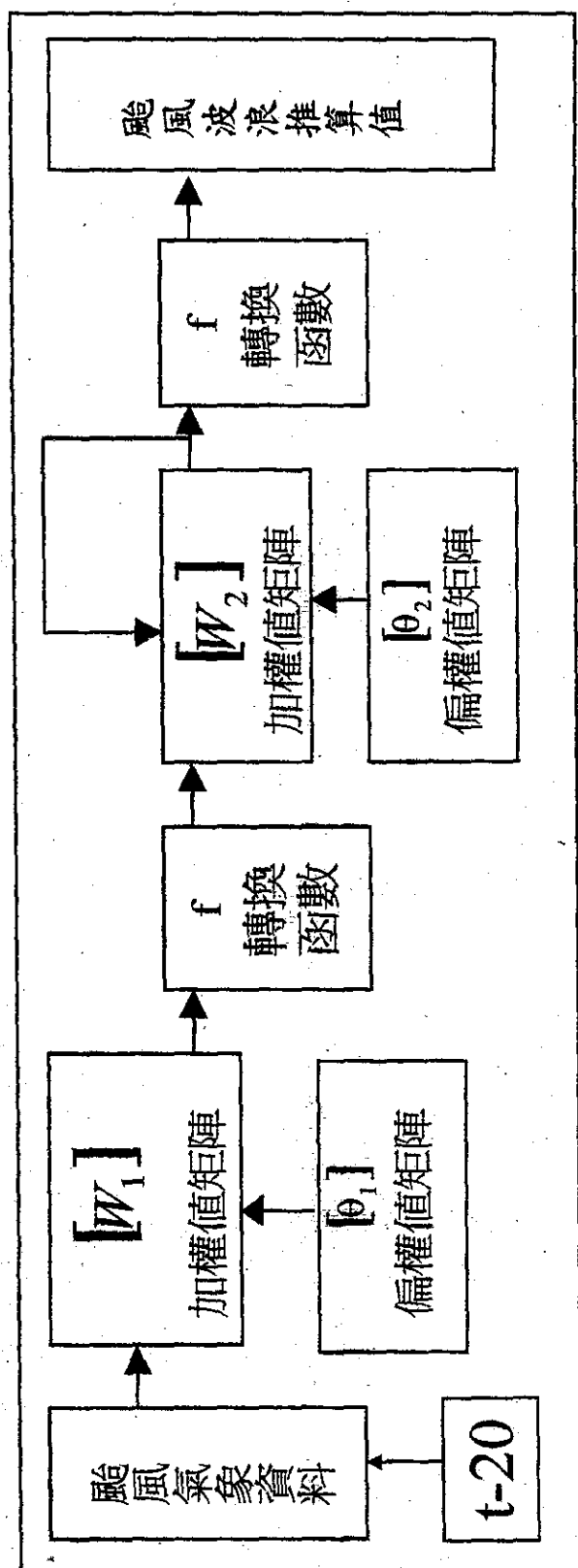


# 觀測站資料結合



# 研究現況與成果

■ 目前的研究受限於所收集的資料，因此將類神經網路結構簡化為：



類神經架構 4-16-8-2

## 研究現況與成果

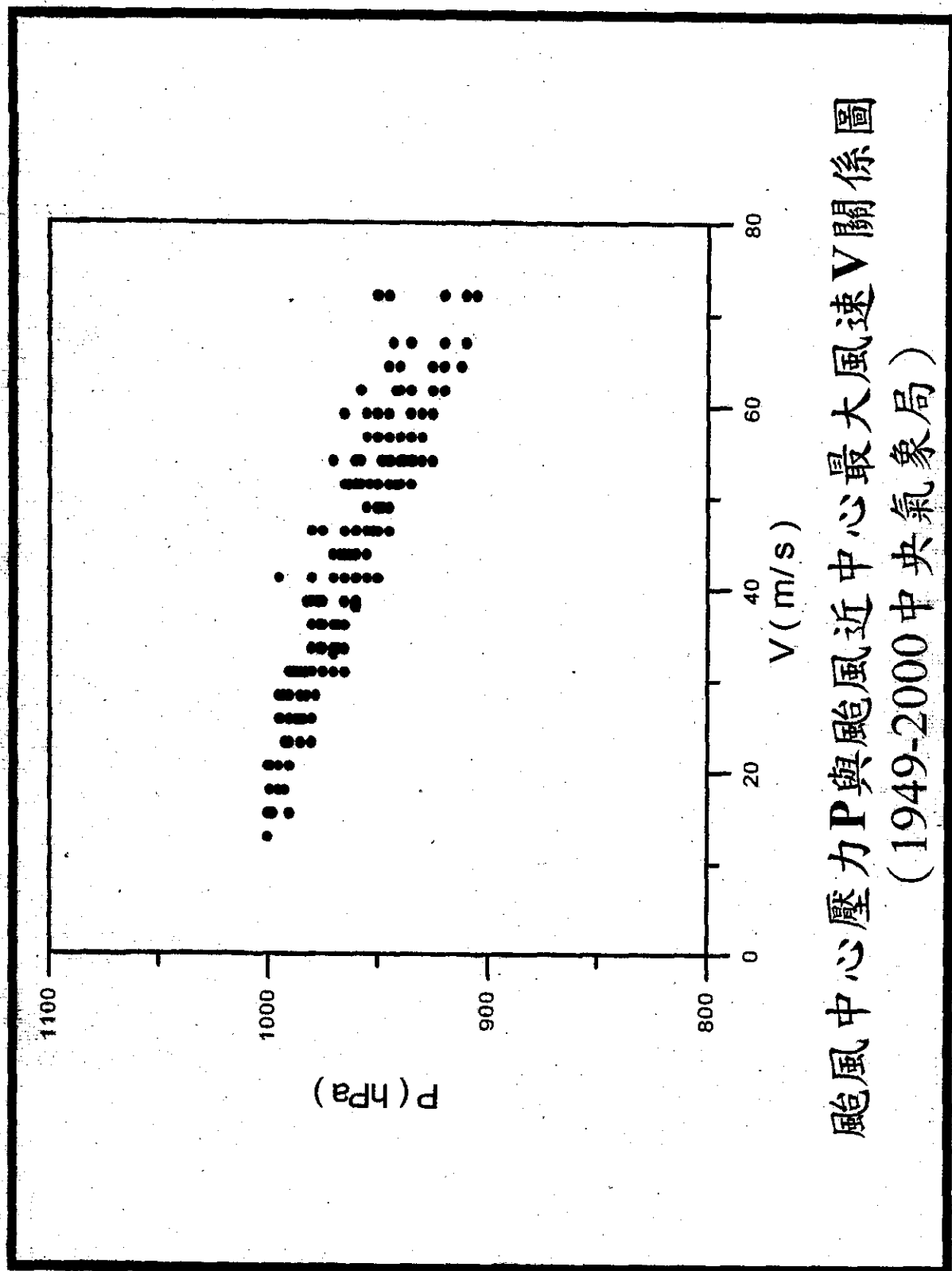
颱風氣象資料的輸入項為：

- 颱風近中心最大風速  $V_{max}$
- 颱風行進方向（角度）  $\theta_1$
- 颱風與觀測站間的距離  $D$
- 颱風與觀測站間的角度  $\theta_2$

延時20小時：區分颱風發展階段以及颱風行進變化。

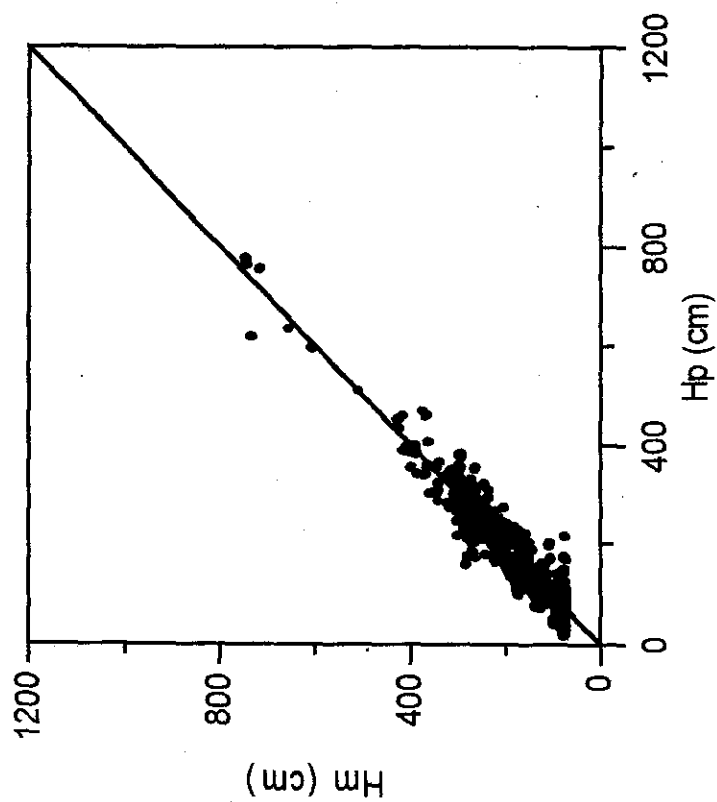


# 颱風資料

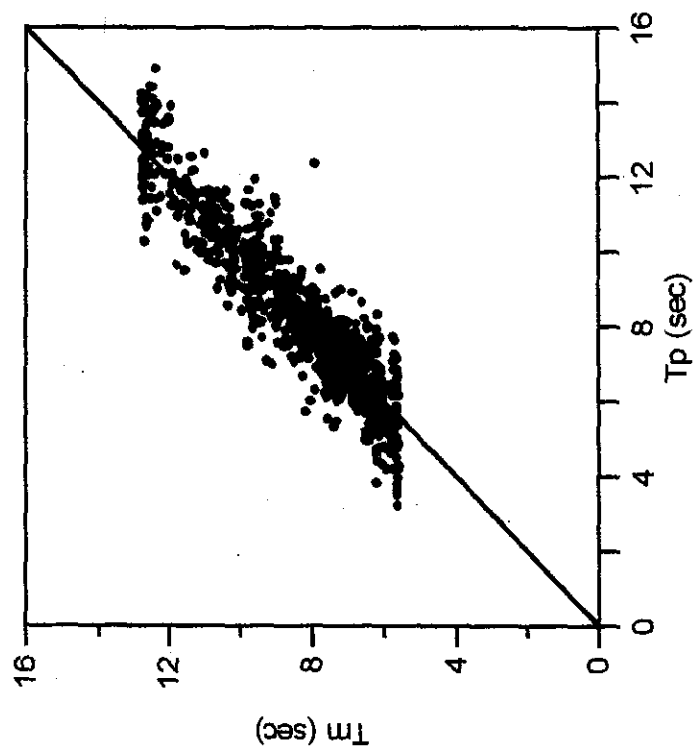


颱風中心壓力 $P$ 與颱風近中心最大風速 $V$ 關係圖  
(1949-2000中央氣象局)

# 類神經波浪推算模式 模擬結果



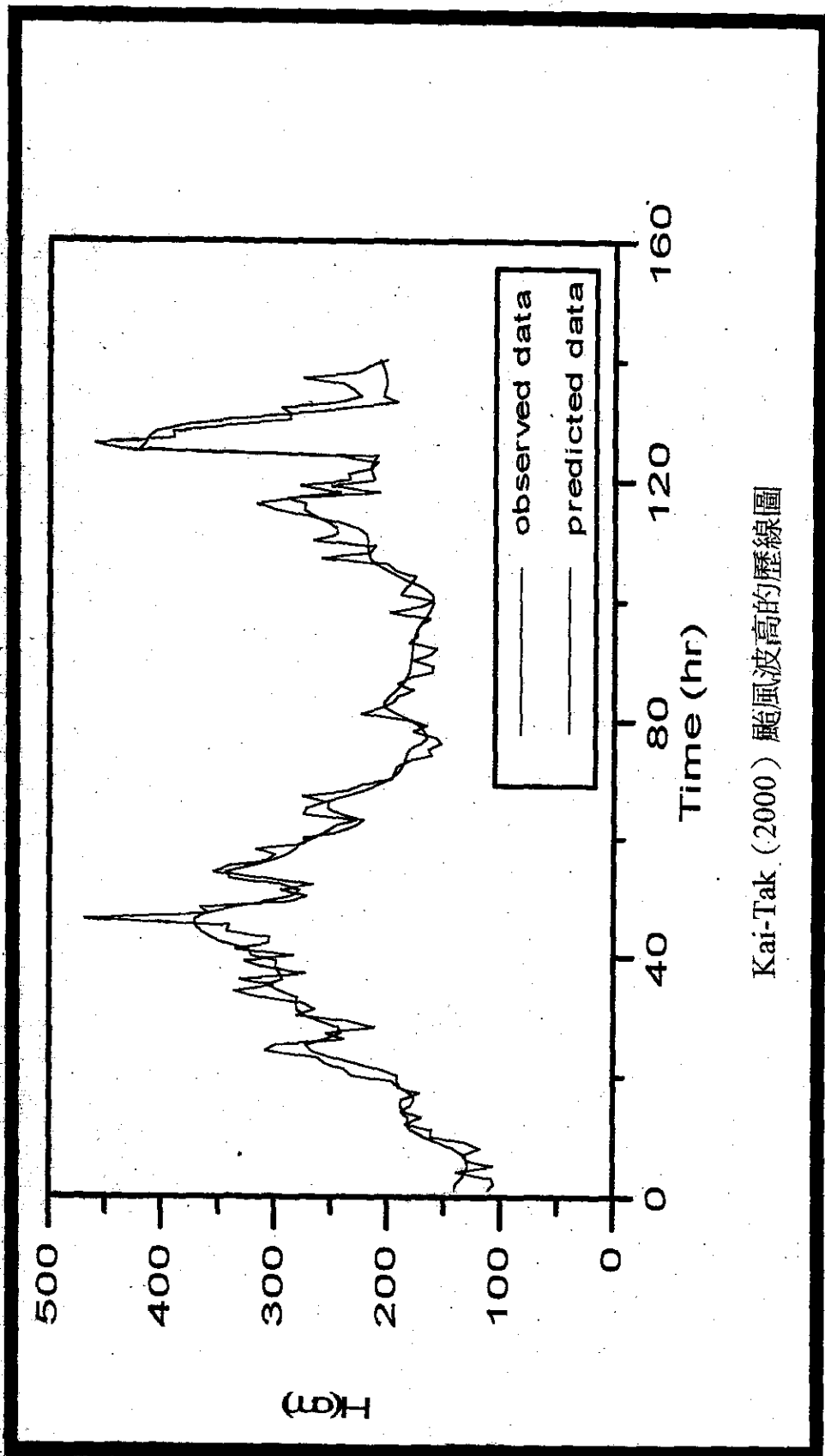
$H_{p/3}$  與  $H_{m/3}$  的關係比較圖



$T_{p/3}$  與  $T_{m/3}$  的關係比較圖

# 類神經波浪推算模式

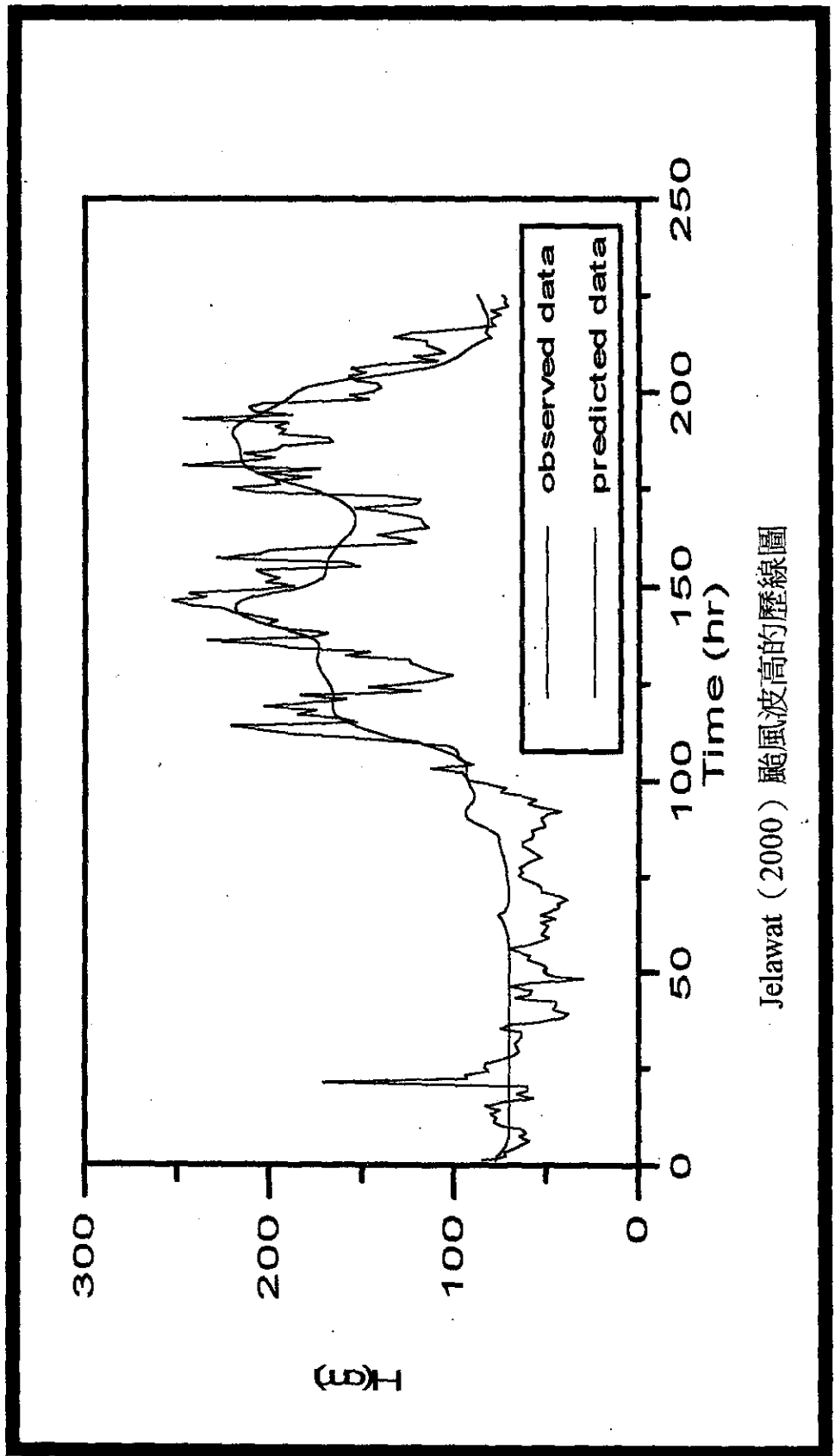
## 模擬結果



Kai-Tak (2000) 颱風波高的歷線圖

# 類神經波浪推算模式

## 模擬結果



Jelawat (2000) 颱風波高的歷線圖

## 討論

颱風波浪推算結果偏差的原因：

- 描述颱風的物理量不足。
- 相對於20小時的延時，使得目前類神經網路對於颱風波浪的描述能力降低。
- 類似性質的颱風學習資料不足。
- 增加類神經網路的學習資料庫，增加判斷能力。

# 臺灣地區波浪預警系統之應用研究

## 期中報告問題與回覆

蔡清標教授	回覆
1.本研究主要是以類神經網路建構颱風波浪預報系統，模式架構考慮之因素詳盡，值得肯定。	謝謝蔡教授的肯定。
2.類神經網路模式之操作，如輸入神經元數、隱藏層數及其神經元數之探討，學習資料及測試資料時之操作，建議有系統的說明。	推算系統的架構將於期末報告中補充並詳細說明。
3.文中考慮 20 小時延時之情形，請稍加說明清楚。	期中報告中使用 20 小時延時的目的是在於 1.建立波浪受颱風運動影響的時間以及 20 小時內波浪間的相關性，2.建立 20 小時內颱風路徑特徵，以便系統對颱風路徑進行分類的工作。 爲了提升推算的能力，針對使用 20 小時延時的設計進行改進，詳細改進內容於期末報告說明。
4.研究以 $V_{max}$ 取代 $\Delta P$ 來建立模式，建議於圖 4-2 後加一圖繪製 $H_{1/3}$ 與 $V_{max}$ 之關係圖。	將於期末報告中修正。
5.圖 4-2 至圖 4-9 中各參數與 $H_{1/3}$ 或 $T_{1/3}$ 之相關性似乎不佳，是否可能影響推算之精度，另此等圖波高座標以公尺表示，此等圖或許分區域性來表示可能更恰當。	將於期末報告中修正。
6.P.33 公式應重新輸入，不要用掃描的。	將於期末報告中修正。
李永榮副研究員	
1.模式考慮因子(輸入項)似乎仍單純，包含物理因素不多，尙未見所欲討論之局部地區效應，是否可行誤差之探討。	輸入項以颱風或氣象直接可測的物理量爲模式推算基礎，以減少誤差的發生。 對於單一區域的局部效應可依照該區域的變化(如水深等)加入分析，但目前所收集的資料不足，無法有效分析。
2.一些圖應加強其物理意義與解說。	將於期末報告中修正。

3.文章語法順暢性宜加改進。	將於期末報告中修正。
蘇青和研究員	
1.現場波浪站是指花蓮、蘇澳及淡水等三地，淡水於西北部，蘇澳及花蓮則於台灣東部，系統如何建立代表地點位置之參數，三站如何建立關聯？其關聯是否有前後之分？	模式中關聯性的建立方式採用同一場颱風同時的波浪資料分析，所以只要颱風及波浪資料齊全對於台灣的東西岸都可以一併討論及推算。
2.系統中颱風參數 $\Delta P$ 及 $R_{max}$ 由 $V_{max}$ 推導求得，其關係式為何？誤差為何？建議用現有資料作較詳細的討論及驗證。	$\Delta P$ 及 $R_{max}$ 由 $V_{max}$ 推算的過程都是採用實測資料進行，利用類神經網路建立參數間的關係達到互推的結果。 $R_{max}$ 的計算是依照衛星圖推估，由於人為因素常使得 $R_{max}$ 值的獲得產生誤差所以以後的分析將以 $V_{max}$ 值直接取代 $R_{max}$ 值。
3.系統增加 20 小時颱風資料分析，擬增加湧浪特性的描述，其原理何在？文中應以實測資料說明或驗證。	請參考回覆蔡教授問題 3。
4.系統中模糊系統之理論，建議期末報告作較詳細的說明。	將於期末報告中修正。
5.部分圖之編號及說明有誤，請更正。	將於期末報告中修正。
簡仲環組長	
1. 類神經網路波浪推算模式之學習過程結果或是預測推算結果與實測數據之比較，應分別說明清楚，以免混淆。	將於期末報告中修正。
2.對於颱風波浪的變化與颱風運動特性間的關係，探討將如何進行？	將波浪推算系統以特定颱風或是學習訓練過的颱風場次為基礎，改變輸入參數進行推算並比較原始颱風波浪數據，以比較的方式區分輸入參數對波浪的影響，進一步探討颱風運動特性與颱風波浪的關係。
3.模式中所加入之 20 小時延時，其操作原理、方式與效果應於期末報告中詳加說明。	請參考回覆蔡教授問題 3。 將於期末報告中修正。
4.為提升模式之準確度，建議颱風資料之引用不要依氣象局所發佈之颱風警報	謝謝簡組長的建議。

單，應參考颱風過後，該局在整理之資料或相關報告。	
許泰文教授	
1.建議報告中應增加第一年計畫執行成果之簡要說明，去年度計畫目標及全程計畫目標之說明、工作項目和預期成果等陳述，以便瞭解整個計畫的目的和港灣中心之需求。	將於期末報告中修正。
2.建議能將附錄一之文獻寫成中文，以便參閱，報告中應增加中文摘要。	將於期末報告中修正。
3.颱風風場結構影響數值模式計算的結果，目前風場只能做到定性描述，因此風浪模式受限於大氣動態模擬的困難，另外不論風浪模式或經驗公式，都有使用區域的限制，因此台灣沿岸特殊地理及海象條件，不易使用這些模式推算，本研究使用類神經網路理論預測波浪，可以避免這些模式遭遇的困難。	謝謝許教授的指教。
4.第三章研究方法應增加篇幅，理論與演算式應置主文內不宜放在附錄，學習過程隱藏層與加權值應詳加說明。	將於期末報告中修正。



(一)年度計畫預定與實際工作內容比較

預期成果工作項目	1. 探討台灣海域颱風波浪特性與颱風路徑、規模的關係。 2. 建立是用之颱風波浪推算模式。	
預定工作內容	實際工作內容	差異說明
1. 類神經網路模式的結構分析與修正。  2. 建立完整的颱風推算模式並進行驗證及比較。  3. 與前期計畫的颱風波浪推算模式比較。	1. 針對期中報告中提出的颱風推算模式進行結構的修正，以期能符合目前的資料內容及資料結構提高推算的準確度。模式的架構採用模糊網路與類神經網路混合應用。 2. 在進行十場颱風的學習訓練颱風推算模式及一場颱風波浪的模擬驗證，結果發現對於波浪高度的推算有相當的準確度，但對於颱風波浪週期的推算準確度較推算波高為之低。 3. 此次颱風波浪推算模式採用模糊理論及類神經網路架構而成，主要的優點是具有學習不同型態資料知識的能力，比較的結果較前期計畫的波浪推算模式有較高的準確性。	1. 由於觀測站的分佈不夠完整，對於颱風推算模式描述整個台灣海域的颱風波浪特性的能力不足。  2. 相對於波浪資料有義波高得計算方式與週期的計算方式不同，所以對於有義週期的波浪資料相對於颱風運動特性的關聯性較低，因而影響週期推算的準確度。

- 註：1.請依計畫書內「預期成果」項目逐一說明其研究情形及達成度，屬「查核點」處應特別表示達成情況。  
 2.若有分項計畫，請依分項計畫逐項填寫。  
 3.工作內容請儘量依條例舉、數量化方式具體說明。  
 4.差異說明應涵蓋研究工作之突破及研究進度之落後，所遭遇之困難等。

(二)成果運用情形(全年度研究成果移轉、推廣情形，依研究成果選擇性說明下列各點)

1. 計畫執行之貢獻、影響

研究計畫的成果提供特定區域的颱風波浪推算，從花蓮港及蘇澳港的觀測資料，檢測所建立的颱風波浪推算模式良好的描述及推算花蓮、蘇澳兩地外海颱風波浪的能力。藉以提供對颱風波浪的模擬，達到降低模擬操作成本以及預警防災的目的。

2. 技術推廣或移轉(請說明對象、內容、方法、遭遇之困難，如其他公民營單位之配合、人力、經費及法令等問題)

颱風波浪推算模式的建構是以 MATLAB 程式語言為核心，輸入的參數為颱風中心位置(經緯度)、颱風風場內最大風速以及觀測站的位置(經緯度)，目前颱風波浪推算模式必須在 MATLAB 程式的環境下操作。

(三)資源運用探討

1.經費運用：主要費用使用在資料分析補遺、文獻收集檢索分析、資料處理運算及相關耗材。

2.人力運用：資料收集補遺、文獻收集檢索分析、資料處理運算。

(四)計畫之執行困難及其建議

1. 由於波浪及颱風資料的內容及結構有部分的誤差及遺缺，所以颱風波浪推算模式做以下假設，以便規範收集的資料避免誤差的擴大：
  - 假設每次颱風事件只有一場颱風作用。
  - 假設颱風運動特性是連續的。
  - 颱風事件期間忽略潮汐、季風等的影響。
  - 假設颱風最大風速與颱風中心氣壓相關。
  - 假設颱風最大風速與颱風半徑相關。
2. 對於其他的觀測颱風的資訊資料的再利用，由於提供判別及計算的颱風資料型態不一，建立資料庫將具有整合資料的功用，此次研究希望藉由資料庫的模組化提高颱風波浪推算模式的擴充性，例如加入衛星圖的輸入資料可提昇推算能力及準確度。
3. 為提高颱風波浪推算模式的準確性，將需要對颱風及波浪資料長期的收集提供模式繼續的學習，達到模式自我修正提高推算波浪的能力。

# 台灣地區波浪預警系統 之應用研究

期末報告

主持人 張憲國副教授

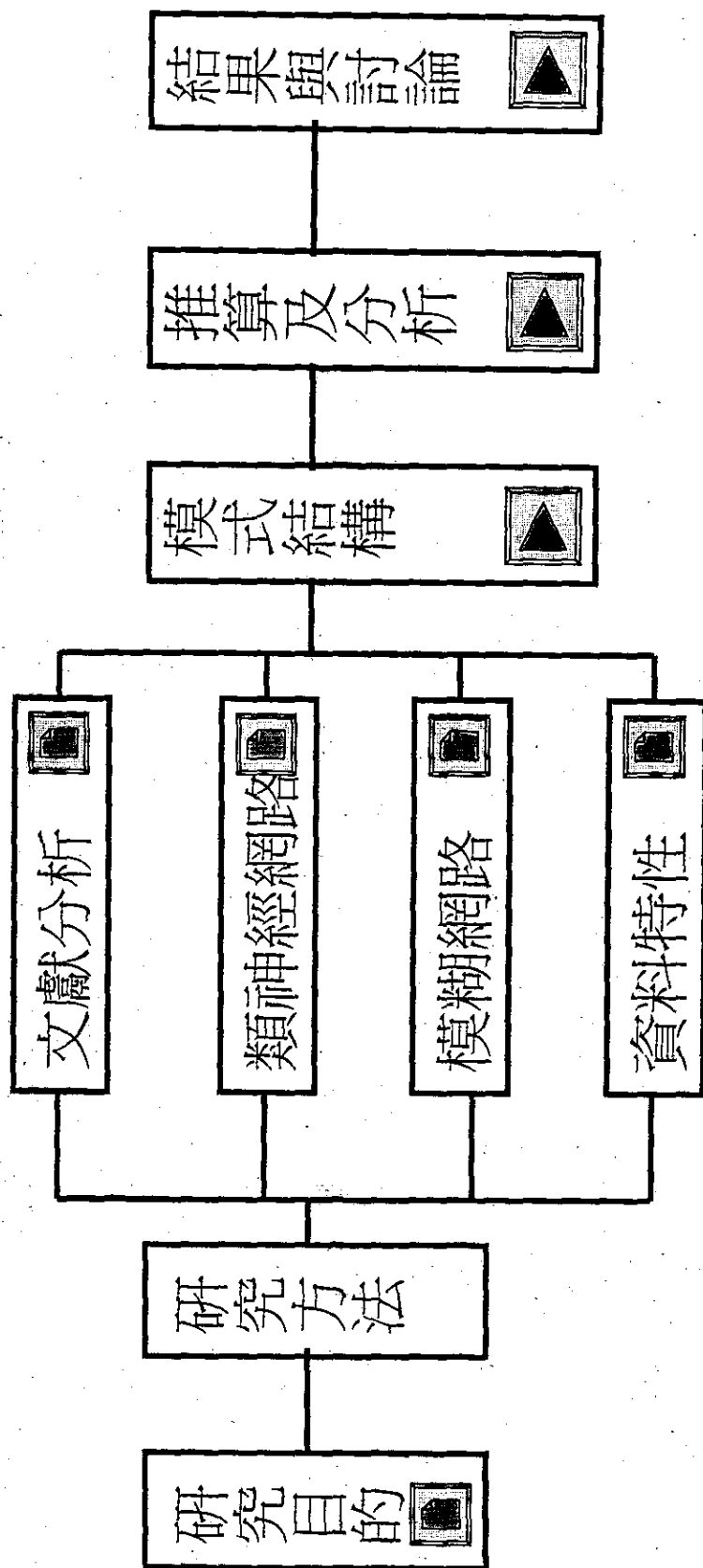
研究人員 錢維安 博士班研究生

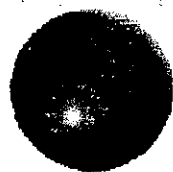


## 摘要

● 本研究利用神經-模糊網路模式來推算颱風波浪。模式分成兩個部分。首先建立颱風推算模式的學習知識庫，利用過去對於颱風氣象或是波浪資料等的紀錄建立神經-模糊網路可以參考的知識庫，以提高輸入資料品質。其次建立颱風行爲及氣象與颱風波浪間的關係，利用歷史颱風及氣象資料配合觀測站實測的颱風波浪資料進行模糊關係的比對及分析。本文使用花蓮及蘇澳海域之波浪紀錄中颱風波浪的資料，配合神經-模糊網路模式具有良好處理非線性模擬的能力，可進一步分析颱風與波浪的複雜關係，並由氣象資料推算颱風波浪達到預警的目的。

# 簡報綱要



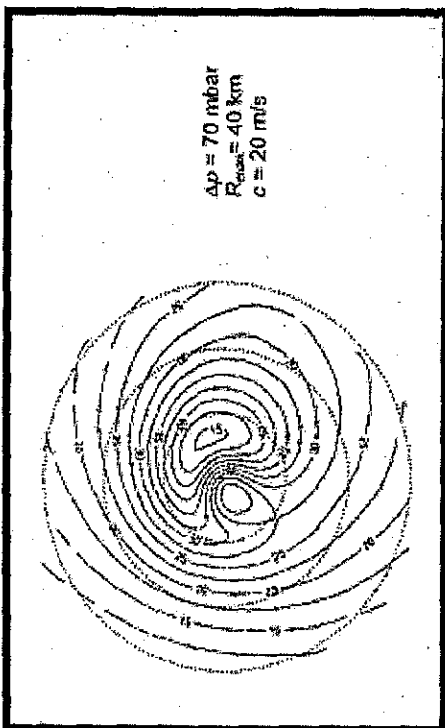
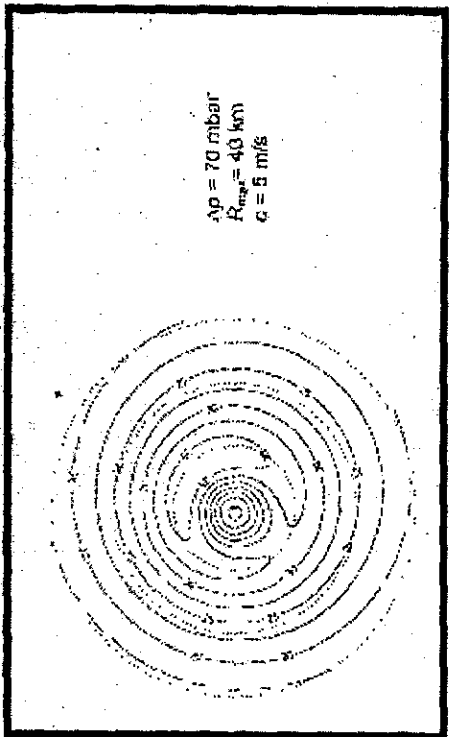
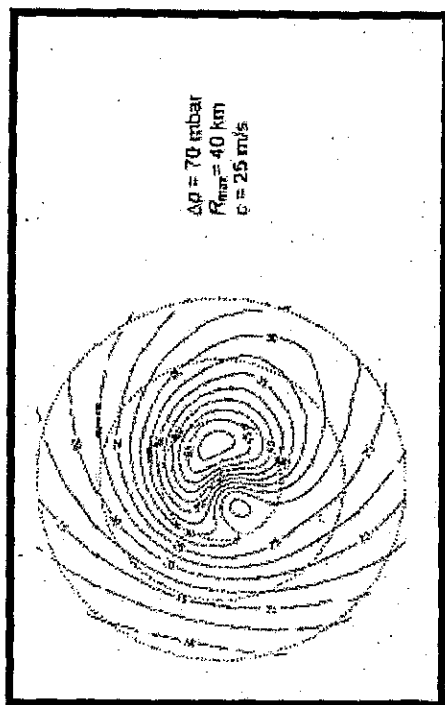


## 研究目的

- 利用基本的颱風氣象及波浪資料建構一個颱風波浪推算模式。
- 使颱風波浪推算模式具有自我更新及擴充的能力。
- 藉由颱風波浪推算模式進行颱風波浪的推算及模擬。



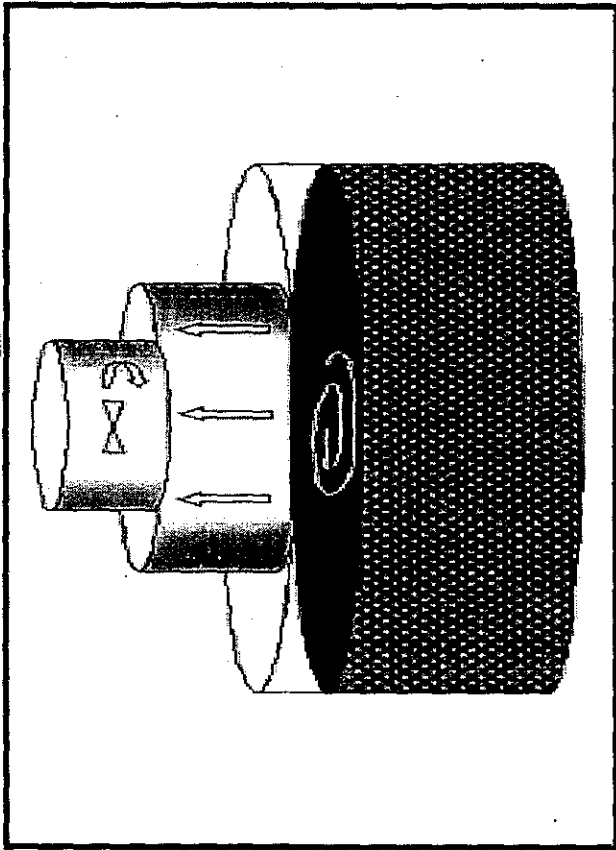
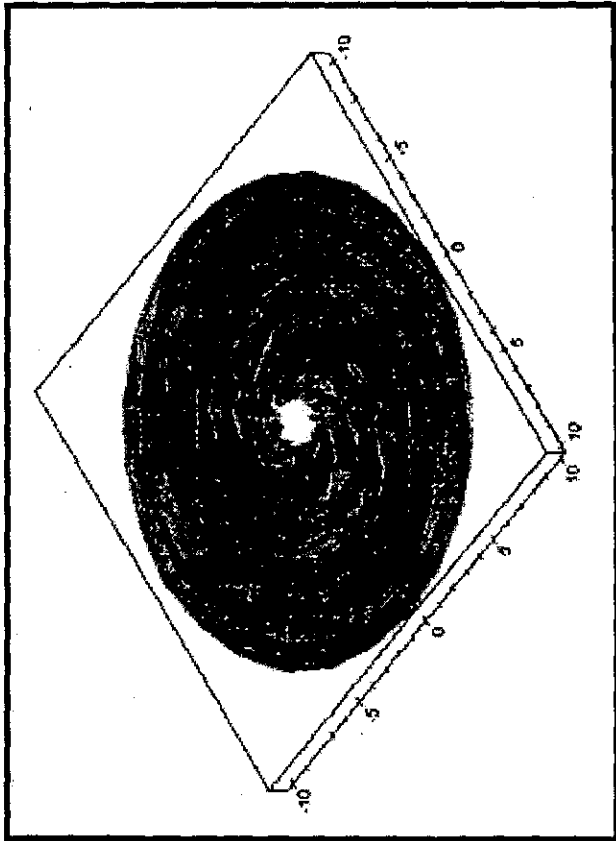
# Vickery and Skerlj (2000)





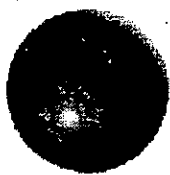


*Vladimir 和 Masjukov (2000)*



## WAVEWATCH III model

- NOAA用於全球即時預報的波浪推算模式，其中物理模式由兩個架構所組成。
- WAM model (WAMDIG, 1988) ，
- Tolman 和 Chalikov (1996) 的模式。
- 模式考慮的影響波浪的因素包括波浪對於暫態及空間的變化、水深及潮流的關係、底床摩擦衰減、波浪受風場作用的關係以及波浪間非線性的交互作用。



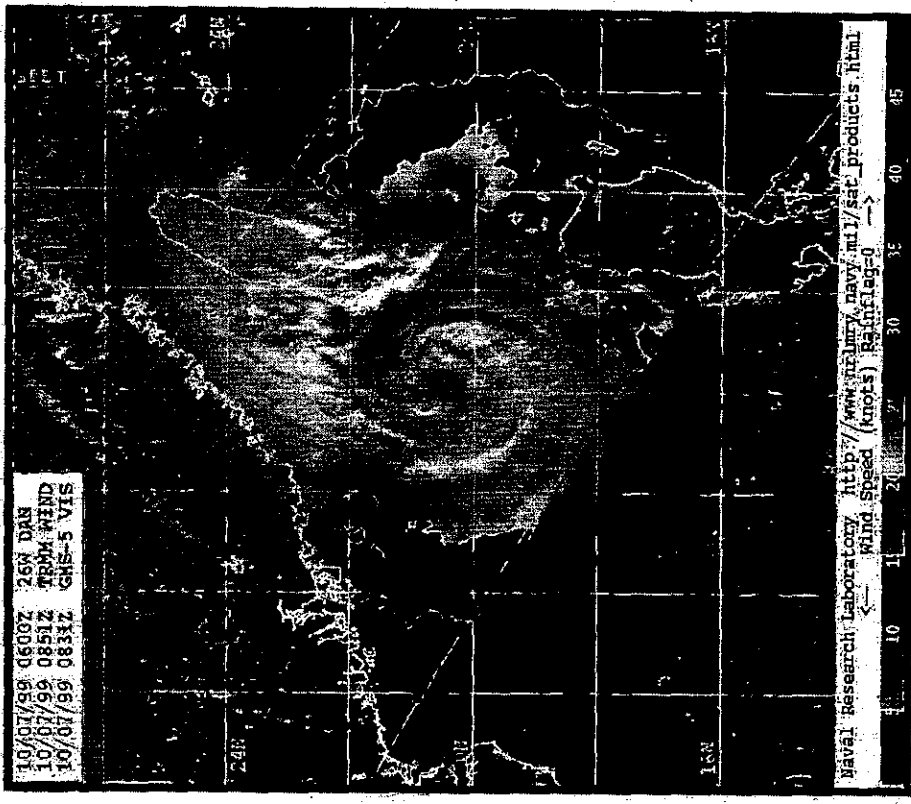
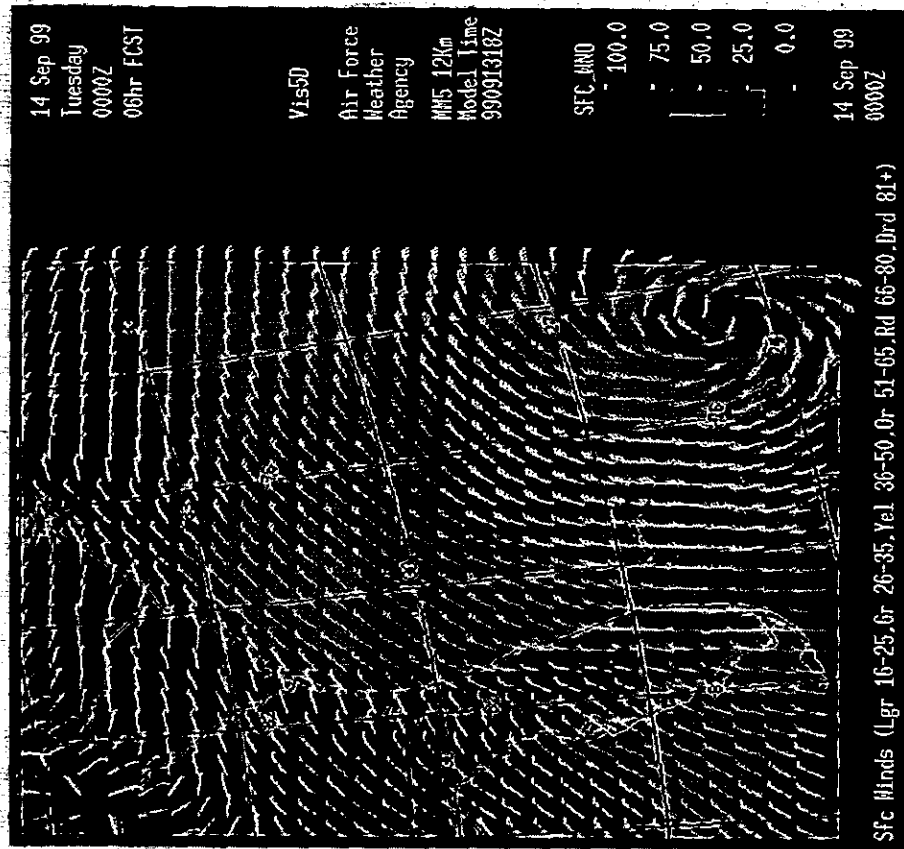
## *Lee和Liu (1999)*

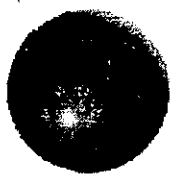
- 利用衛星影像辨識熱帶低壓、氣旋及颱風並進行分類並配合預報颱風的行為。

## *Young 和 Burchell (1996)*

- 以衛星偵測颱風的軌跡，在由量測當時的水位及波高，藉由颱風行為配合量測的波高數據修正Young (1988) 的能量公式。

# 衛星資料應用





## *Johnson 和 Lin (1996)*

- 利用倒傳遞類神經網路學習並且推測颱風運動路徑，在與ARIMA作一比較，結果發現倒傳遞類神經網路有較好的推算結果。

## *Hiraoka 和 Maeda (1999)*

- 利用兩個模糊規則對颱風的行進位置進行推測，而模糊規則中包括了颱風位置、颱風行進方向等的交互作用規則。

## 文獻綜合分析 (一)

- 颱風內波浪的形成主要來自風場分佈的變化。
- 颱風波浪外傳的程度受限颱風移動速度。
- 颱風風場的分佈與颱風移動速度有密切的關係。
- 波浪推算模式考慮的變數越多，對於不同區域的適應性較差。



## 文獻綜合分析(二)

- 波浪推算模式考慮越多變量時，實測的資料越重要，誤差也越有可能產生。
- 對於推算颱風波浪模式不論以經驗式或是數值推算，採用能直接量測的參數以降低模式誤差。
- 波浪資料的形成及其行為是屬於複雜系統，且有相當程度的非線性交互作用。模糊及類神經網路理論將是一個相當好的分析工具。

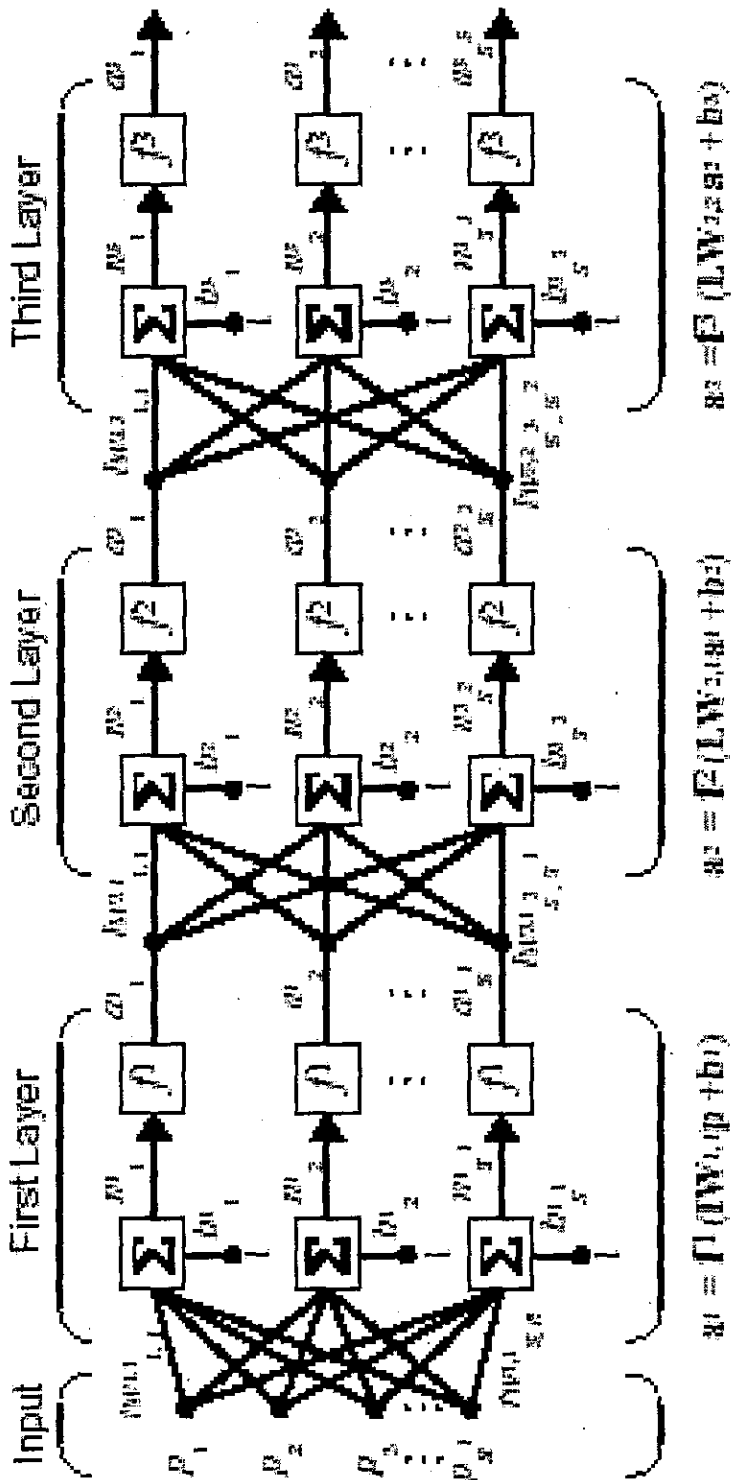
## 類神經網路特性

- 高速的計算能力
- 自我學習能力
- 高容量的記憶力
- 容錯的能力。

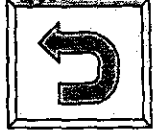


# 倒傳遞類神經網路

(back-propagation neural network)

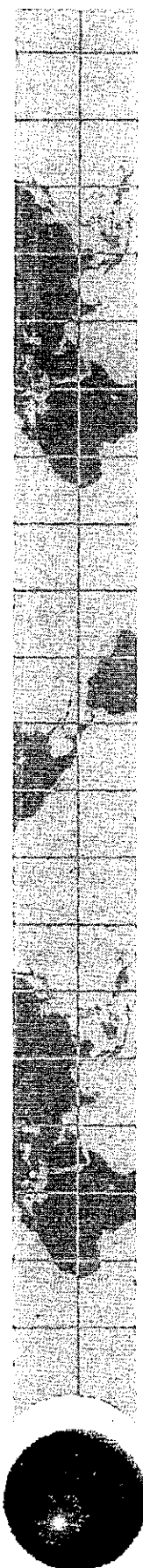


$$a_3 = F(LW_{3,ia2}(LW_{2,ia1}(LW_{1,ip} + b_1) + b_2) + b_3)$$

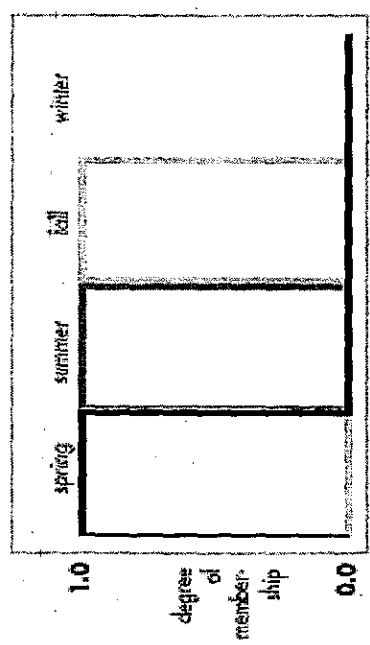
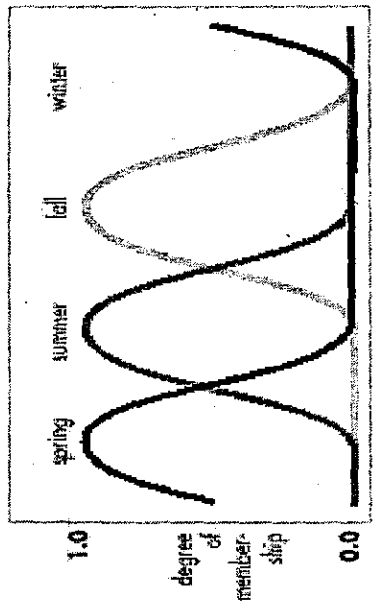


# 模糊理論特性

- 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。
- 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。
- 不正確性事件：事件的結果受到外界干擾產生的部分偏差。
- 不完全性事件：事件的發生屬於另一事件的局部現象。
- 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。

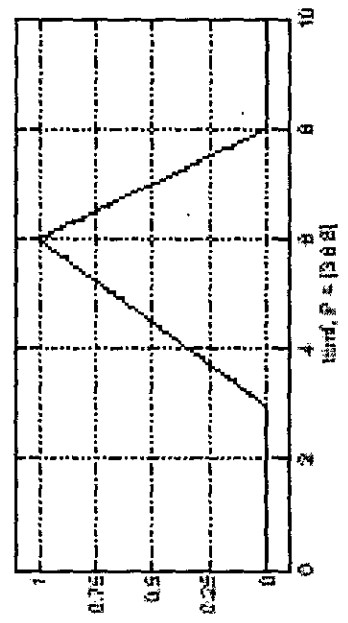
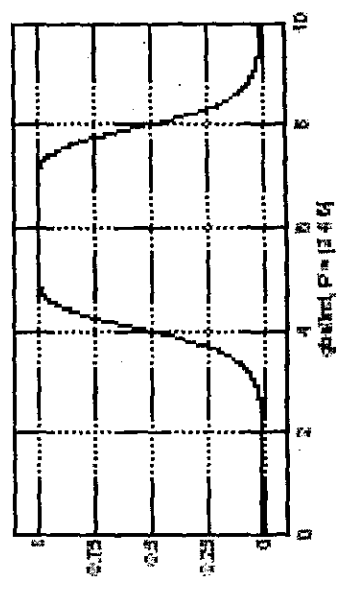


# 模糊理論 (一)



March June September December March

March June September December March

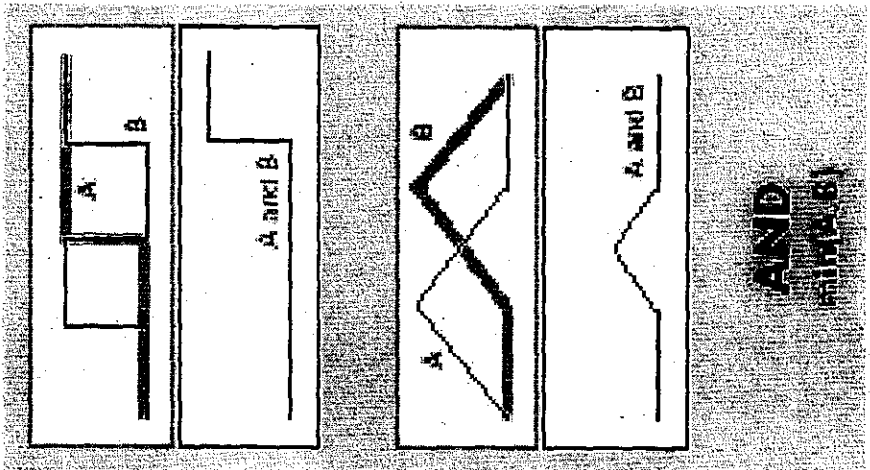


gbellmf

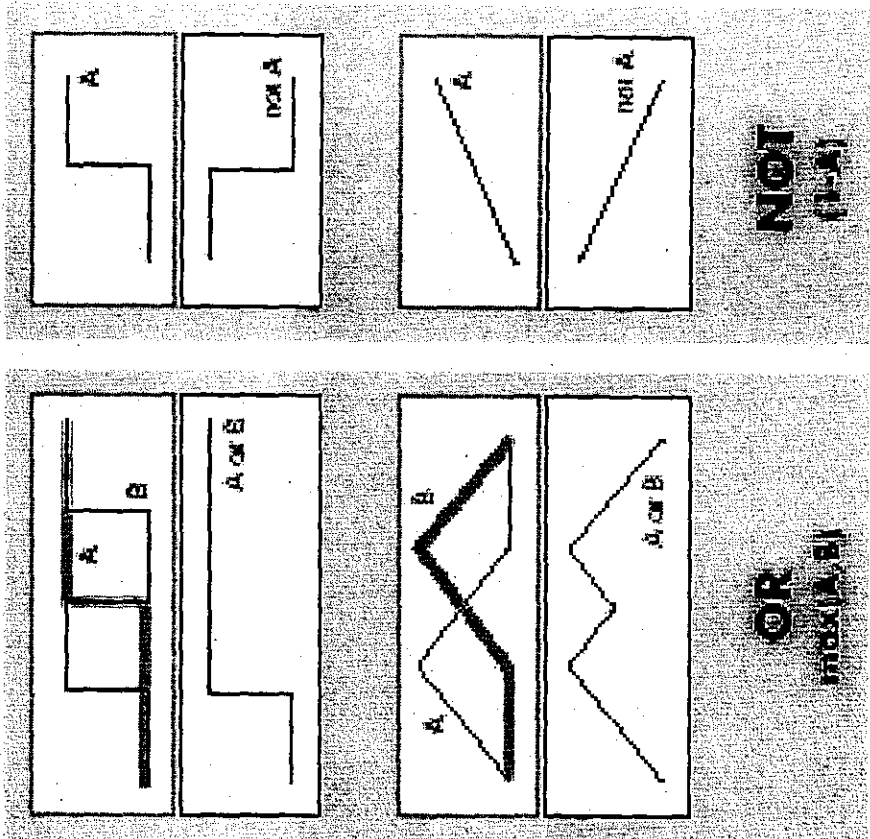
trimf

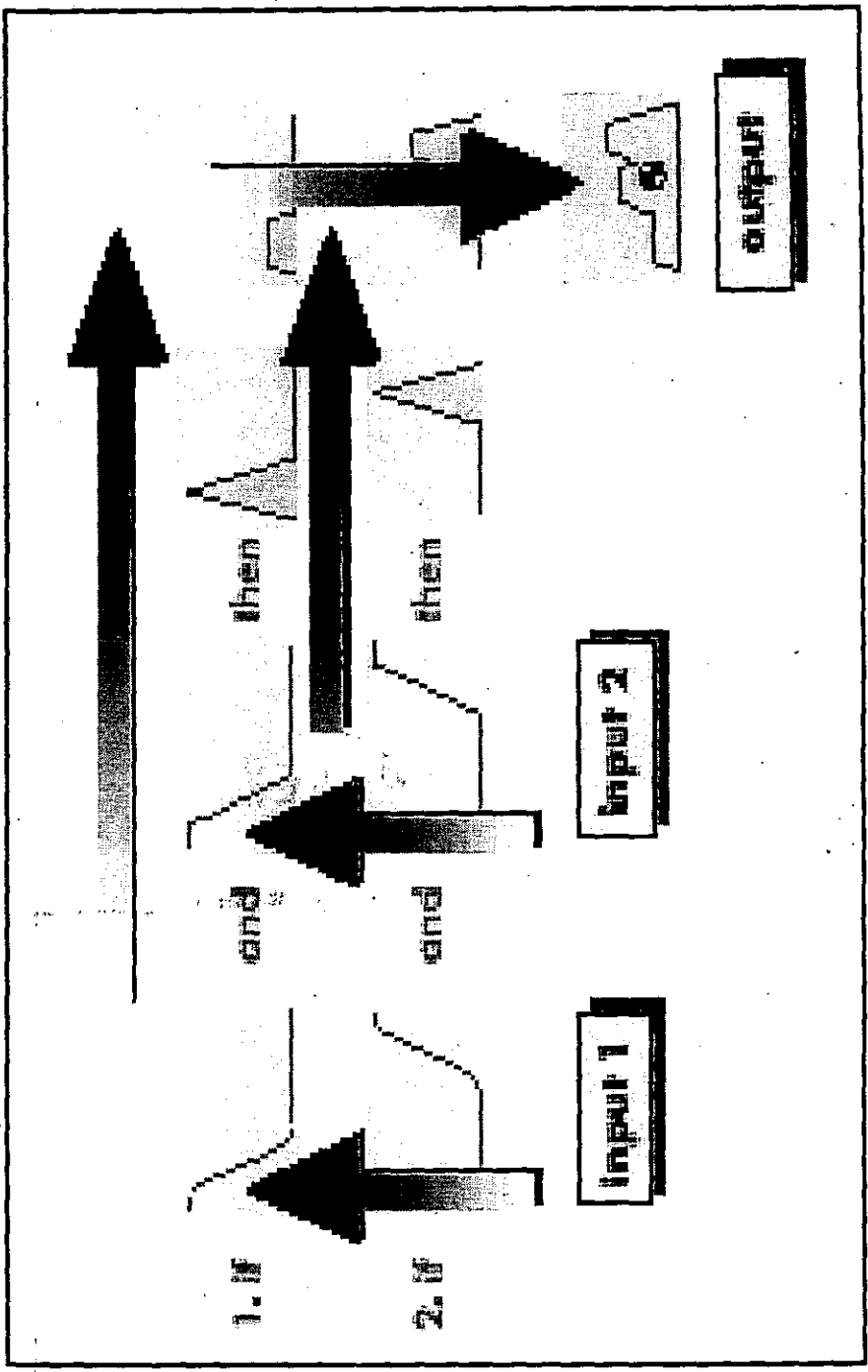
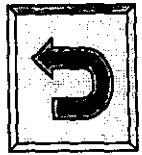
# 模糊理論 (二)

Two-valued  
logic



Multivalued  
logic





# 模糊理論 (三)

# 颱風資料

## 2000年影響台灣的颱風

颱風名稱		颱風作用時間		花蓮	蘇澳港
KIROGI (2000)		07/02/06	07/08/18	X	X
KAI-TAK (2000)	啟德	07/04/06	07/10/06	X	7/4-7/10
BOLAVEN (2000)		07/24/18	07/30/12	X	X
JELAWAT (2000)		08/01/00	08/11/00	8/4-8/11	8/1-8/11
BILIS (2000)	碧利斯	08/18/06	08/24/00	8/18-8/22	8/18-8/22
PRAPIROON (2000)	巴比倫	08/26/00	09/01/06	X	8/26-8/31
SAOMAI (2000)		09/03/06	09/16/06	ERROR	X
WUKONG (2000)		09/05/06	09/10/06	X	X
BOPHA (2000)	寶發	09/05/18	09/11/06	9/8-9/11	9/5-9/11
YAGI (2000)	雅吉	10/22/12	10/27/06	10/22-10/27	X
XANGSANE (2000)	象神	10/25/12	11/03/06	10/25-11/03	X
BEBINCA (2000)	貝碧佳	11/01/06	11/08/18	X	X



# 颱風資料

1999 年影響台灣的颱風		颱風名稱		颱風作用時間		花蓮	蘇澳港
KATE (1999)		04/22/00	04/28/12	ERROR	4/22-4/28		
LEO (1999)		04/27/00	05/02/06	ERROR	4/27-4/30		
MAGGIE (1999)	瑪姬	06/01/12	06/06/18	X	6/1-6/6		
OLGA (1999)		07/29/00	08/03/18	X	X		
SAM (1999)	山姆	08/18/06	08/23/00	8/18-8/23	X		
YORK (1999)		09/11/18	09/16/06	X	X		
BART (1999)		09/17/12	09/24/12	X	X		
DAN (1999)	丹恩	10/03/06	10/09/18	X	X		
GLORIA (1999)		11/13/06	11/16/12	X	X		

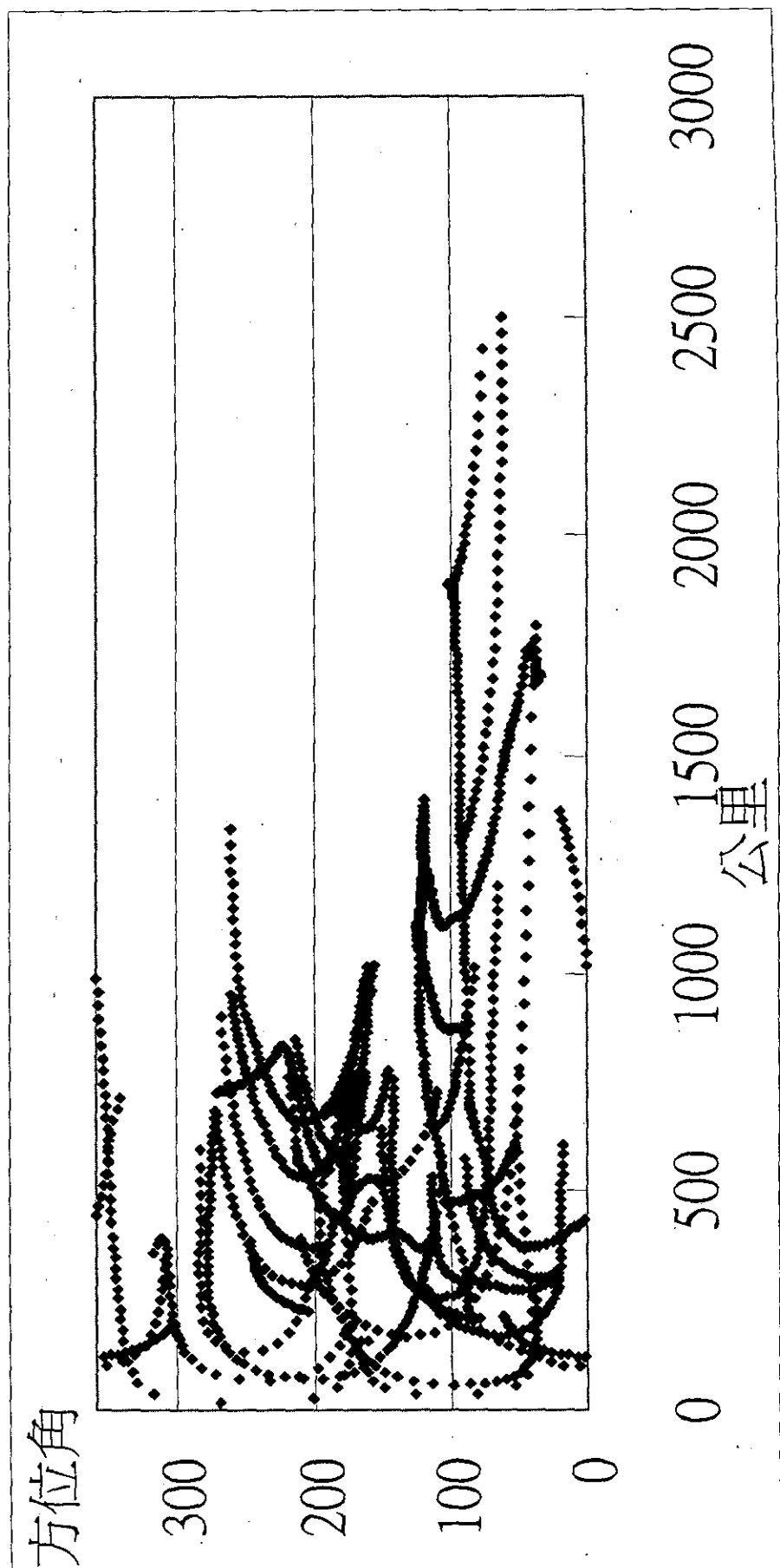
# 颱風資料

1998 年影響台灣的颱風			
颱風名稱	颱風作用時間	花蓮	
NICHOLE (1998)	07/08/00	07/10/00	X
OTTO (1998)	08/02/00	08/05/00	8/2-8/5
PENNY (1998)	08/06/06	08/11/06	X
REX (1998)	08/24/00	09/07/00	X
STELLA (1998)	09/12/6	09/16/12	X
TODD (1998)	09/16/00	09/20/00	X
VICKI (1998)	09/17/00	09/23/00	X
YANNI (1998)	09/25/00	09/30/18	X
ZEB (1998)	10/09/18	10/17/12	X
BABS (1998)	10/14/06	10/27/06	X

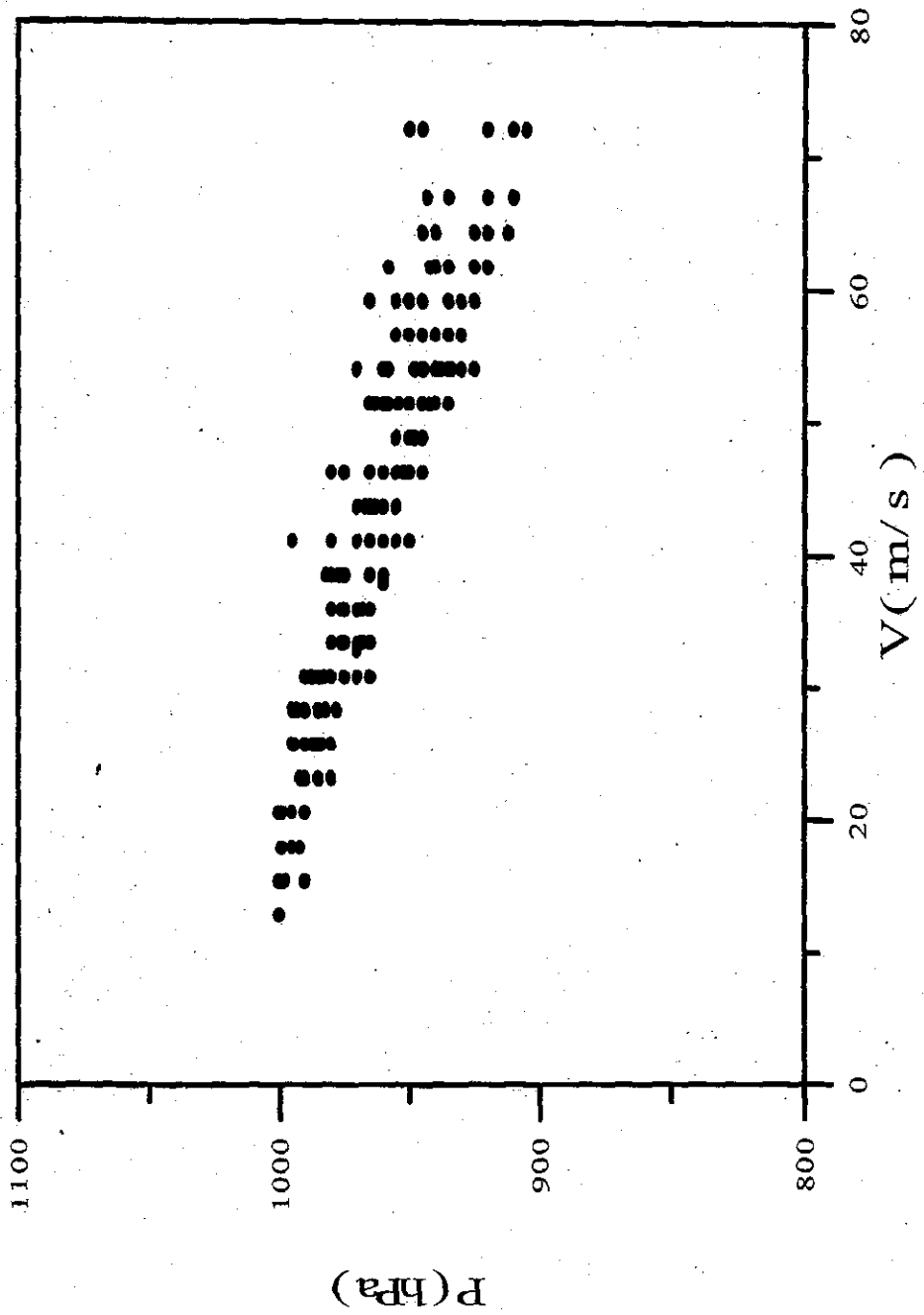


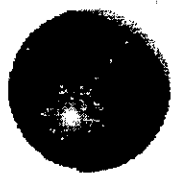


# 颱風資料分析 - 簡、曾 (1999)



# 颱風資料分析



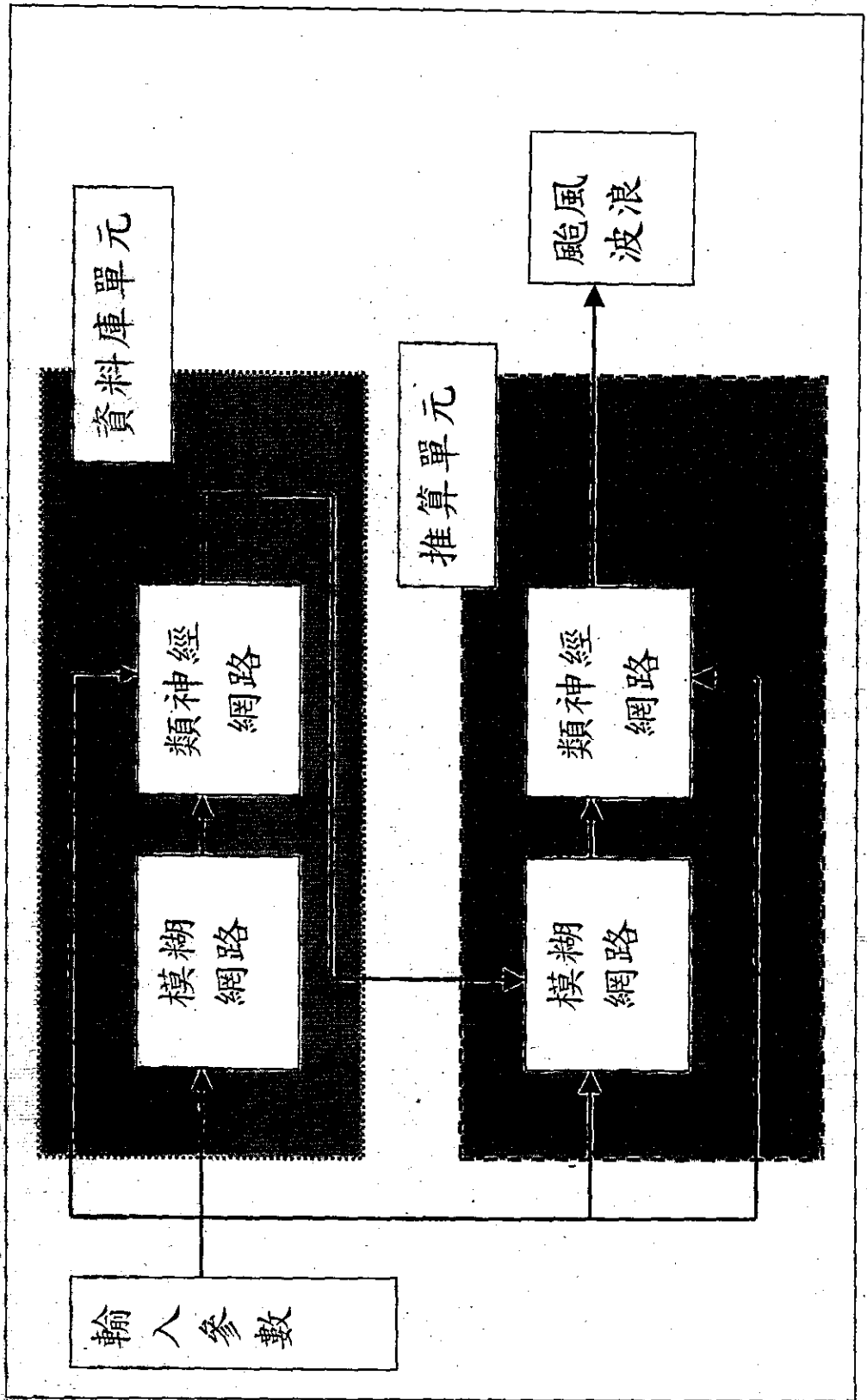


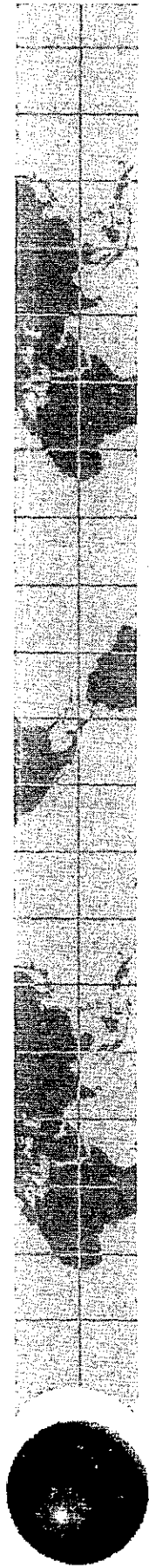
## 模式結構

輸入參數：

- 颱風最大風速  $V_{\max}$
- 颱風移動速度  $V_f$
- 颱風中心與測站距離  $D$
- 颱風中心與測站方位角  $A_1$
- 颱風行進方向與測站夾角  $A_2$

# 模式結構





## 模式結構－資料庫單元

- 資料庫的建立是以簡仲璟、曾相茂（1999）「花蓮港颱風波浪特性研究」中的颱風波浪發生時間與颱風作用時間的紀錄資料，配合颱風的路徑及氣象資料為基礎，當颱風波浪作用花蓮港時資料庫輸出為1，否則為0。

## 模式結構 - 資料庫單元

- 模糊網路採用5個輸入參數，每個參數設定6個歸屬值函數 (membership function)。
- 類神經網路的輸入參數增加模糊網路的輸出值，而類神經網路的輸入結構採用1-6個小時的延時作為輸入資料，輸入層設立30個神經原，隱藏層設立12個神經原，1個輸出函數 ( $I_{30}H_{12}O_1$ )，轉換函數選用區間線性轉換函數，範圍在 (0, 1) 之間。

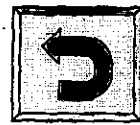


## 模式結構－資料庫單元

- 採用1-6個小時延時資料是因為颱風波浪的生成與颱風運動的歷史有關，為了能夠記憶不同行徑颱風的特性但是又不至於只記憶有限颱風訓練資料，考慮推算模式結構的邏輯性降低複雜性而採用1-6個小時的延時資料。
- 訓練採用資料共32場颱風7774筆資料，為進行學習訓練檢測將颱風資料依排列順序區分單數及雙數兩個部分，單數的資料作為學習資料雙數資料為檢定資料，經過學習的結果相關系數 $R^2$ 值為0.95，檢驗資料測試的結果相關系數 $R^2$ 值為0.94。

## 模式結構－推算單元

- 模糊網路採用5個輸入參數，每個參數設定10個歸屬值函數（membership function）。
- 將模糊網路推算的颱風波浪以及資料庫單元的輸出配合颱風氣象條件一併當作推算單元類神經網路的輸入，推算單元類神經網路有7個輸入參數，輸入結構採用1-6個小時的延時作為輸入資料，而類神經網路選取輸入層設立30個神經原，隱藏層設立12個神經原，1個輸出函數（ $I_{30}H_{12}O_1$ ）。



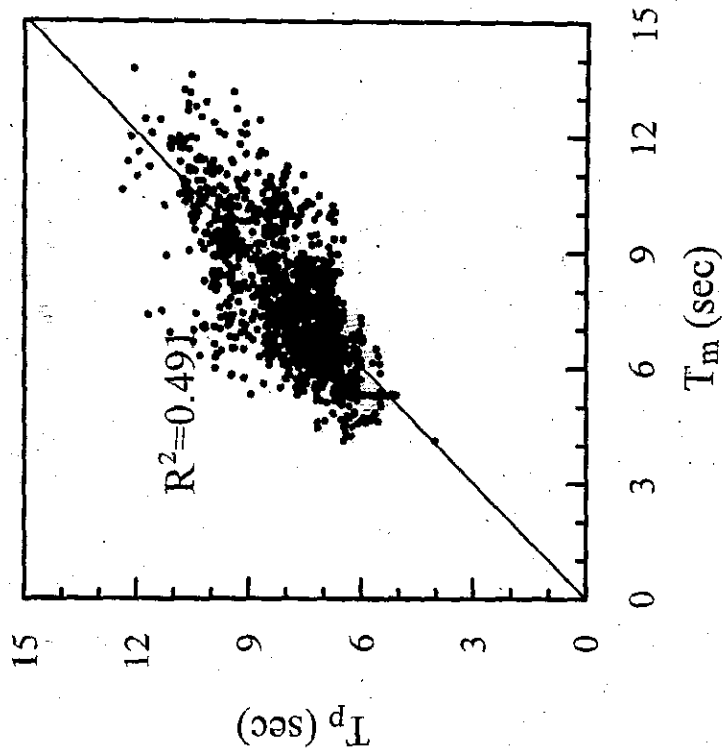
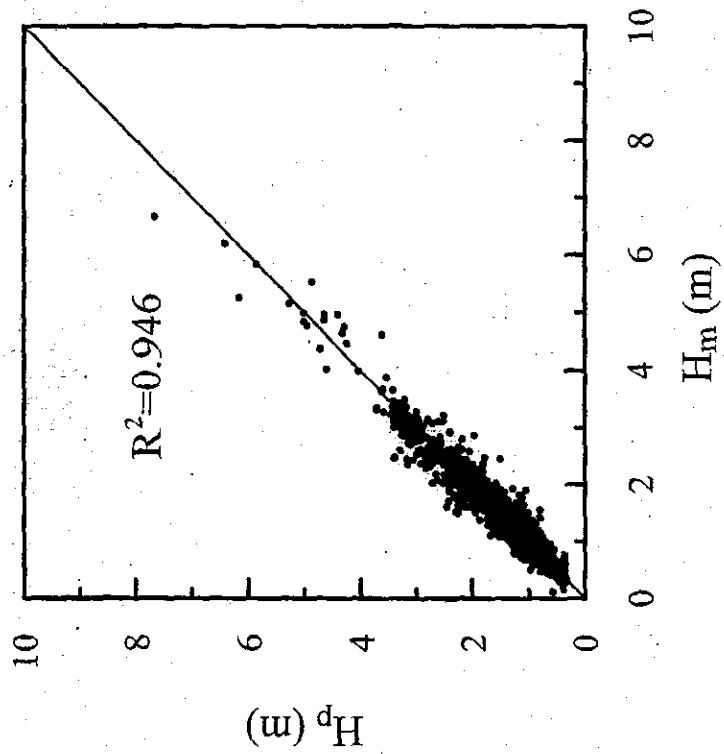


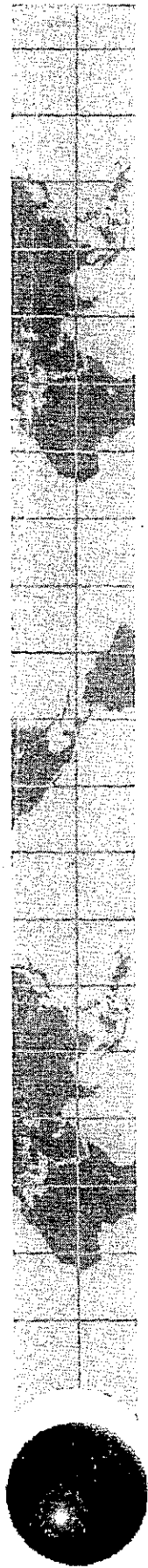


## 颱風波浪推算模式－花蓮

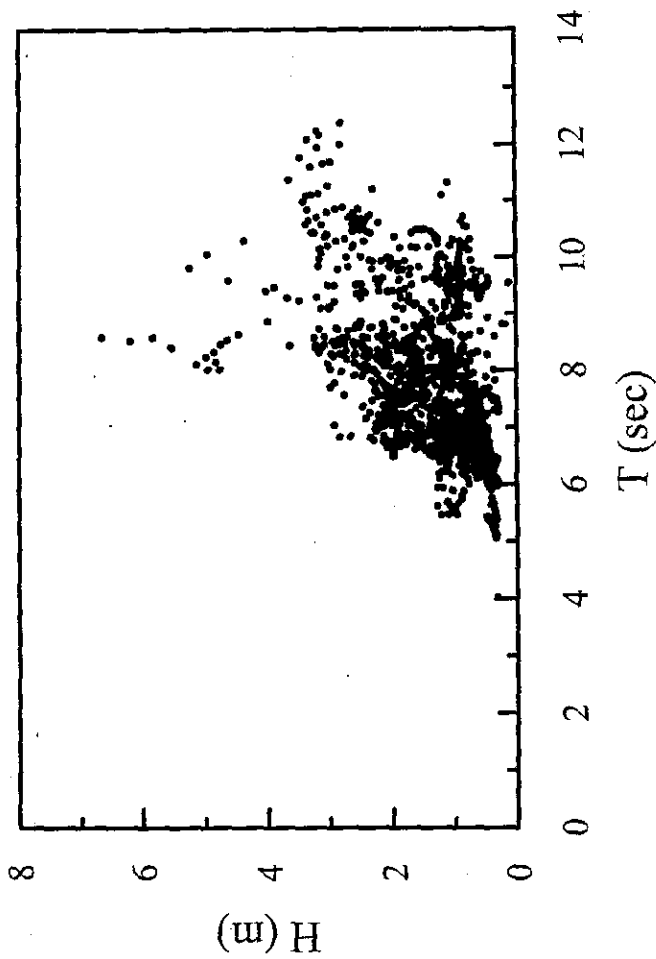
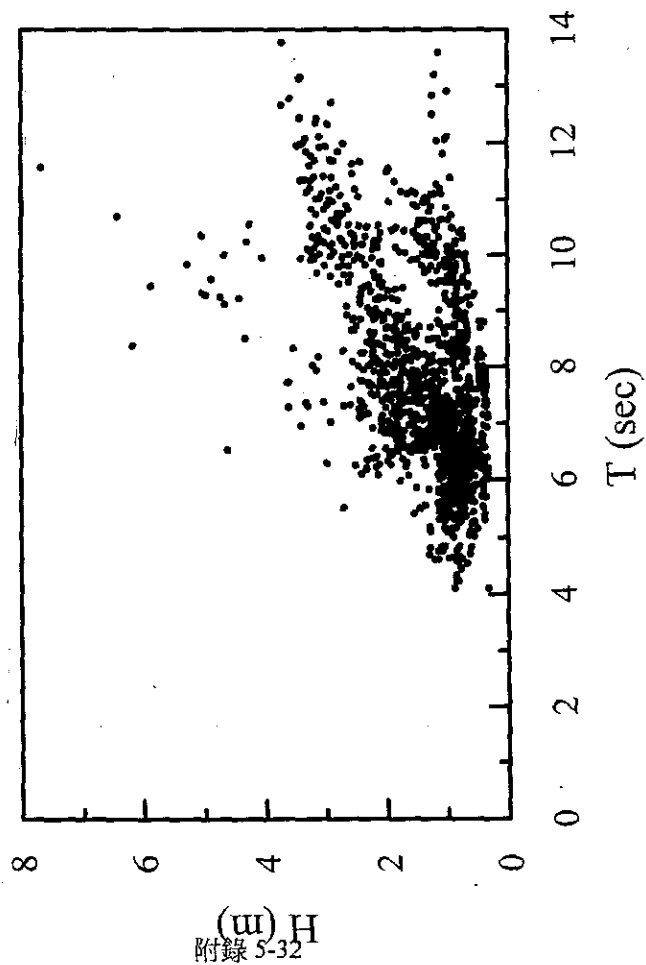
- 推算單元的訓練學習資料選取颱風及波浪資料完整的共有11場颱風資料，其中2000年颱風BILIS（碧利斯）颱風在颱風中心接近陸地及離開台灣後波浪資料有短缺，因此學習資料選用其他10場影響台灣的颱風，學習資料共1546筆資料，在颱風波浪正規化的過程，設定波高最大為8公尺，週期最大為14秒。利用BILIS（碧利斯）颱風當作測試檢驗的資料。

# 颶風波浪推算模式—花蓮

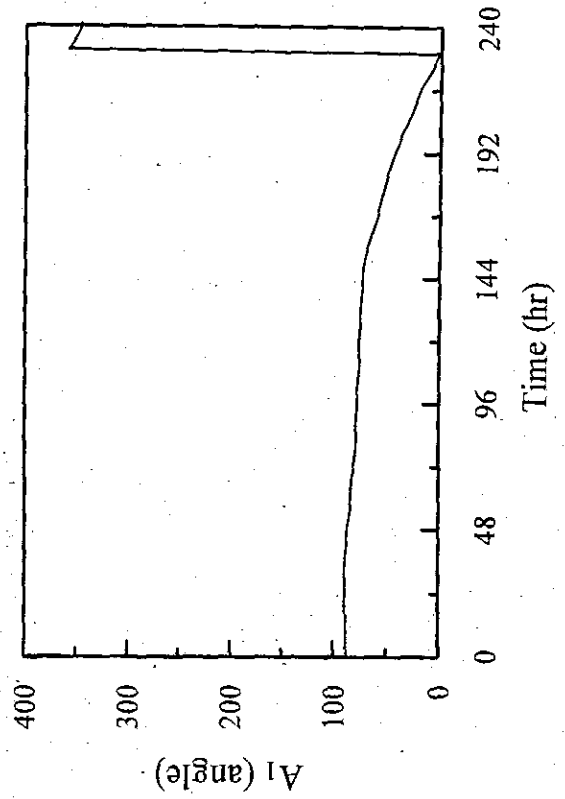
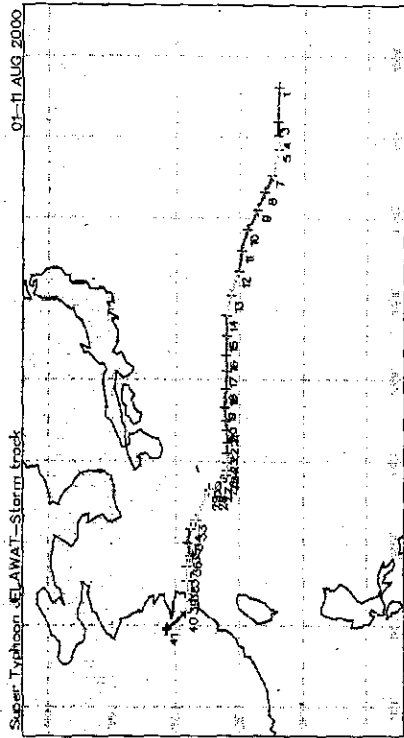
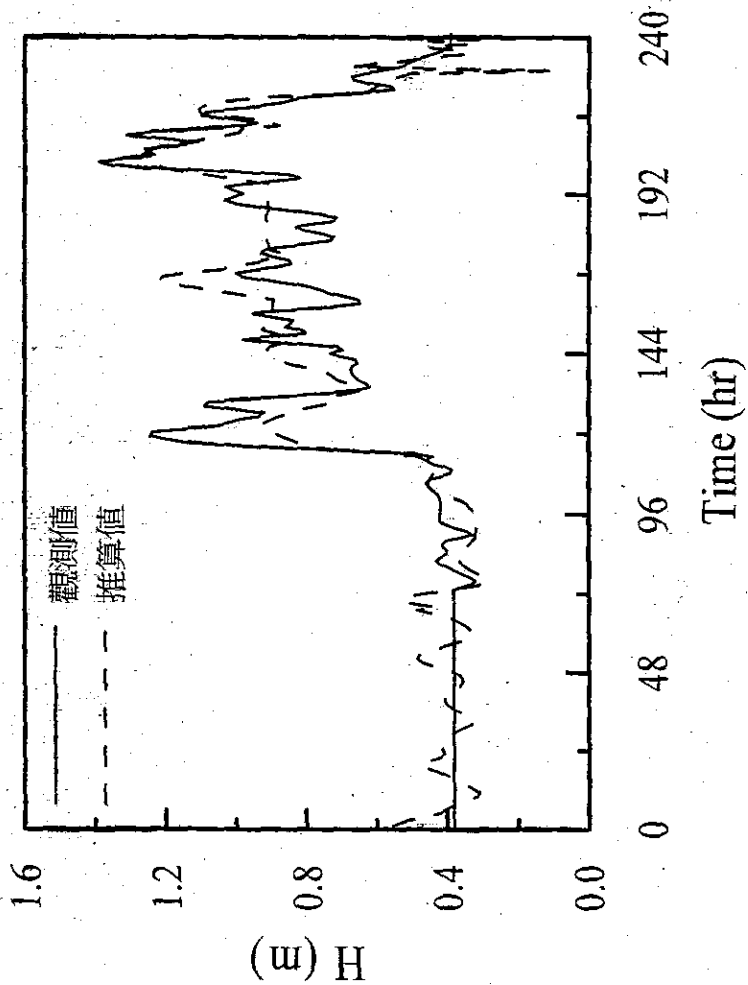




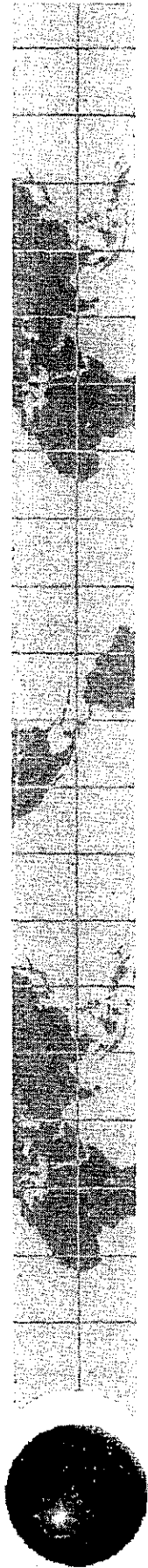
# 颱風波浪推算模式—花蓮



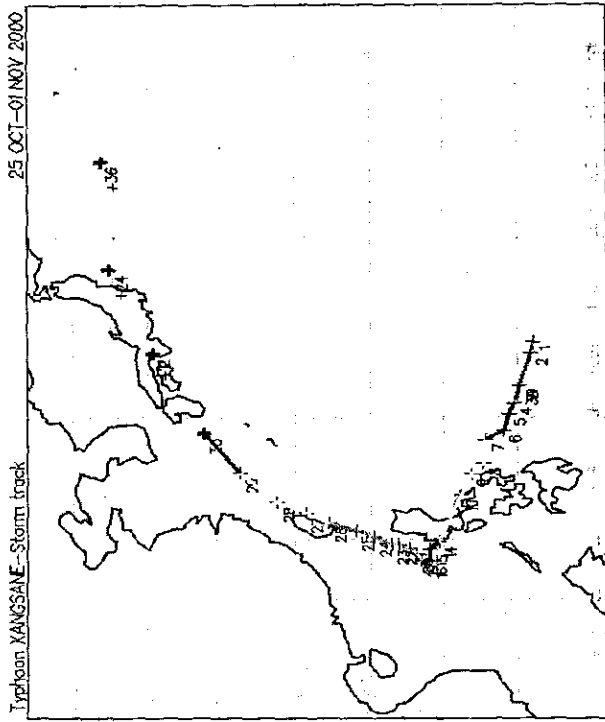
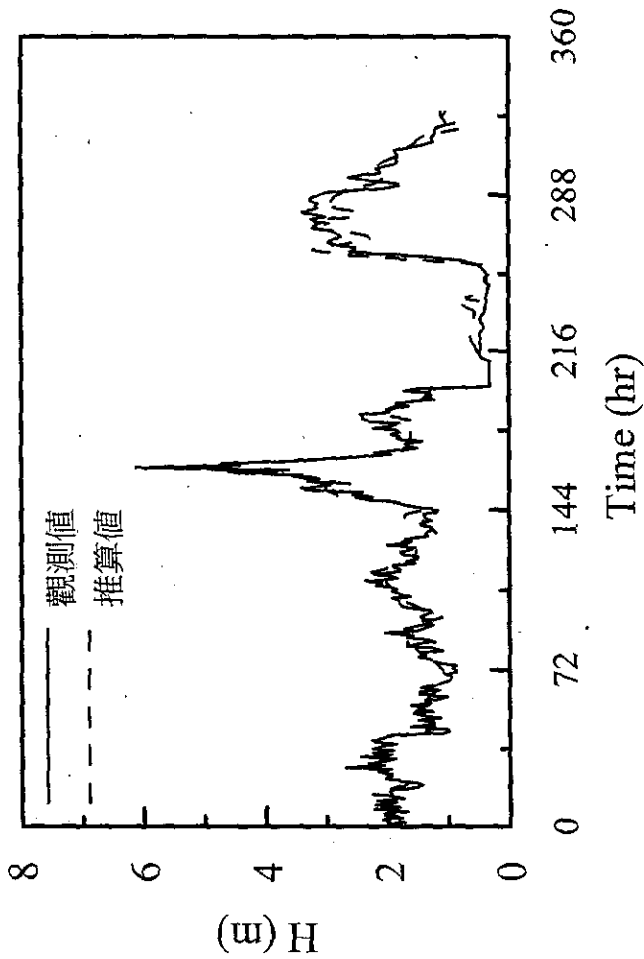
# 颱風波浪推算模式—花蓮



JELAWAT颱風在花蓮港的  
波高觀測值與推算值比較圖

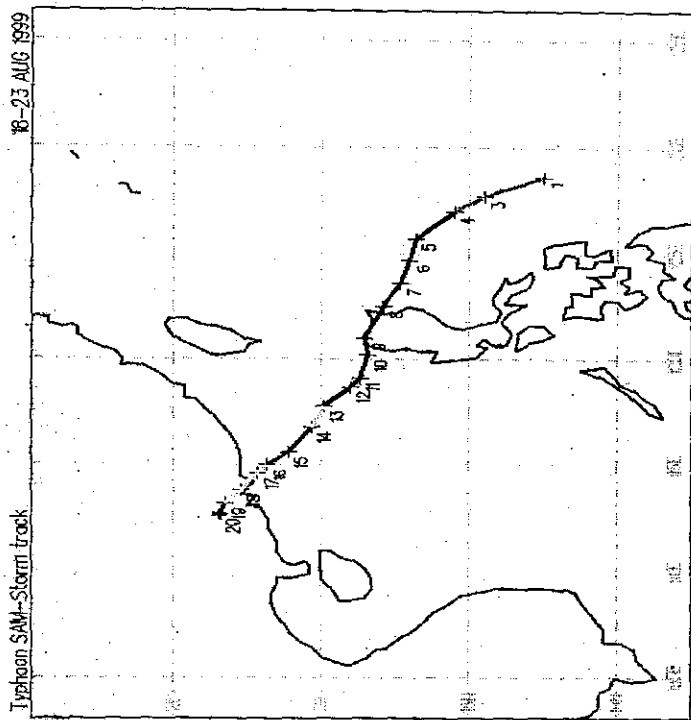
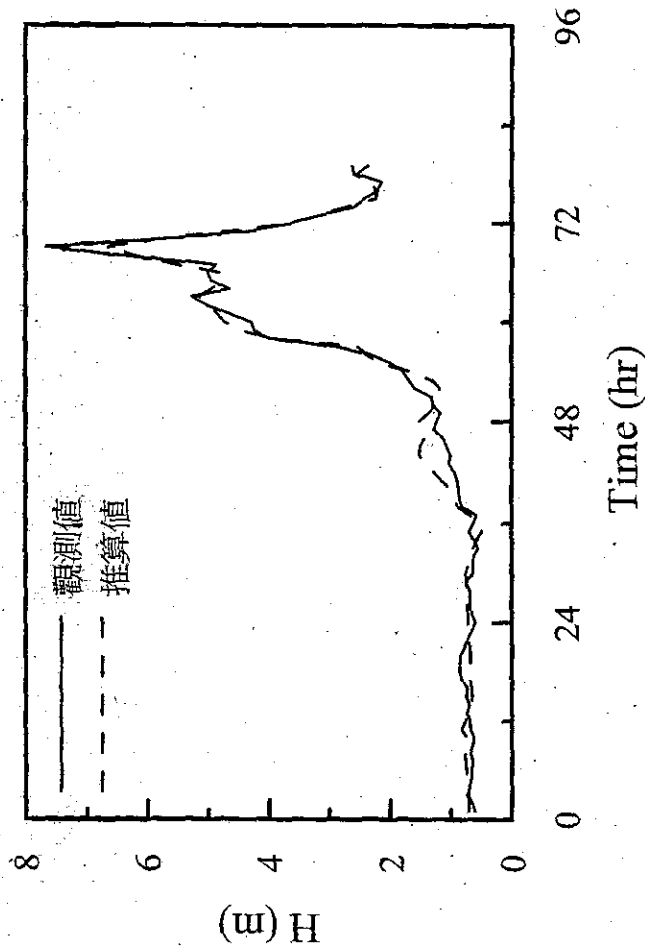


# 颱風波浪推算模式—花蓮

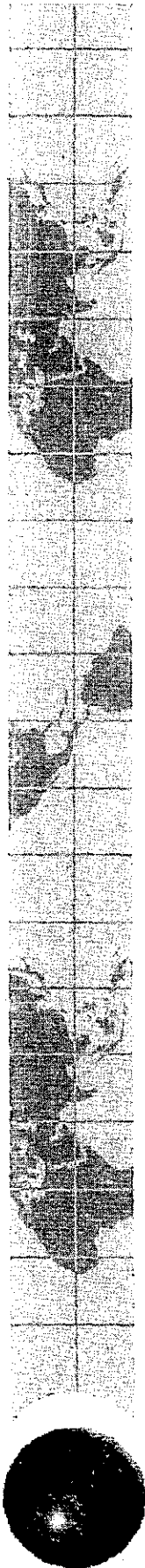


XANGSANE (象神) 颱風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較圖

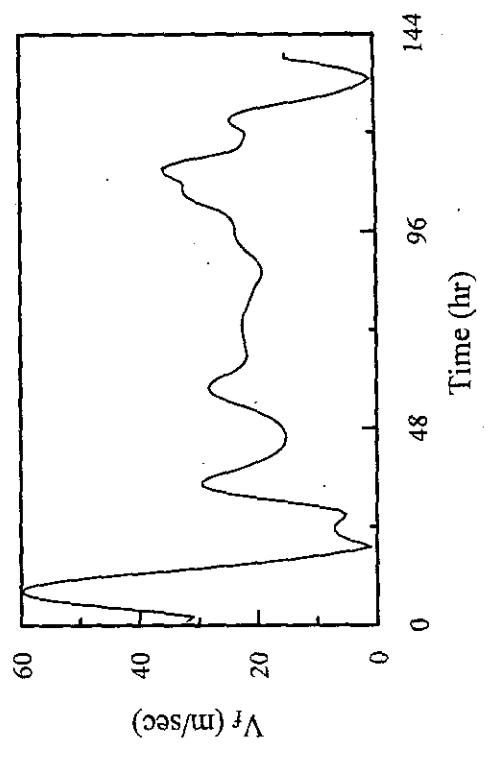
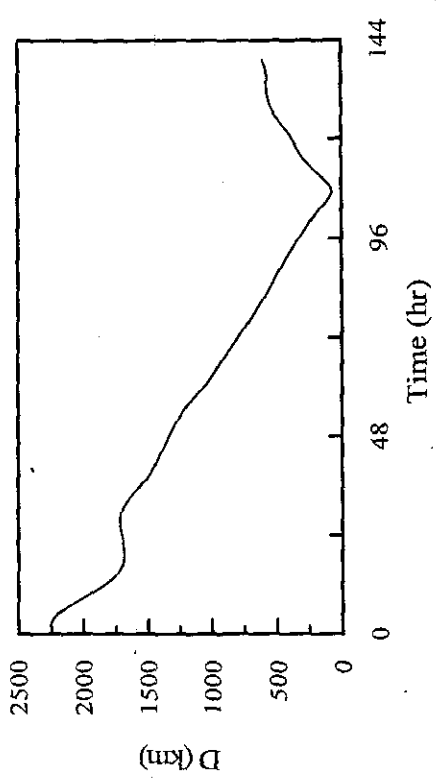
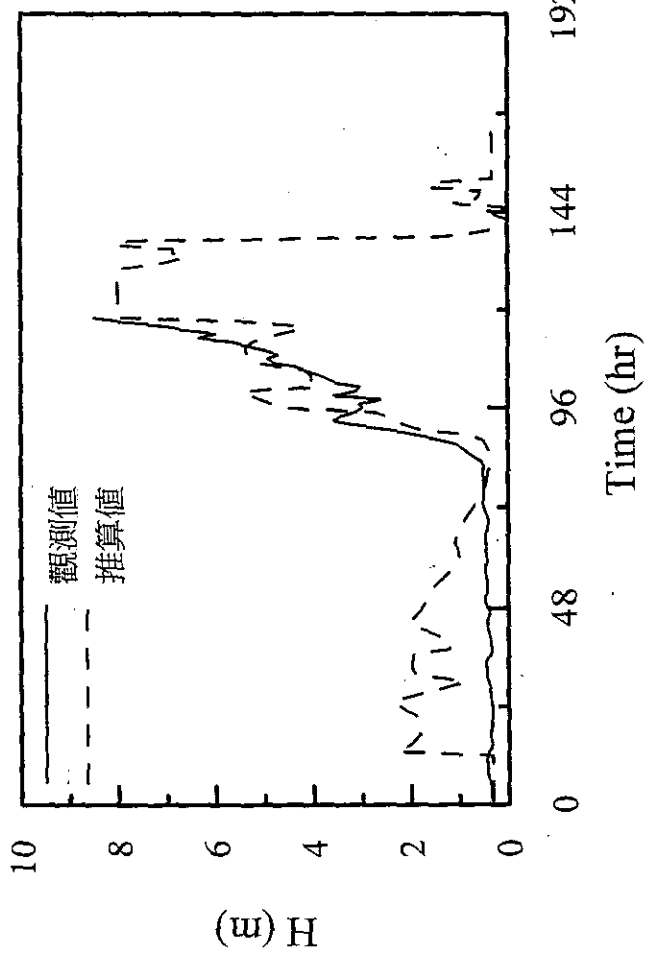
# 颱風波浪推算模式－花蓮



SAM (山姆) 颱風在花蓮港的波  
高觀測值與推算值比較圖

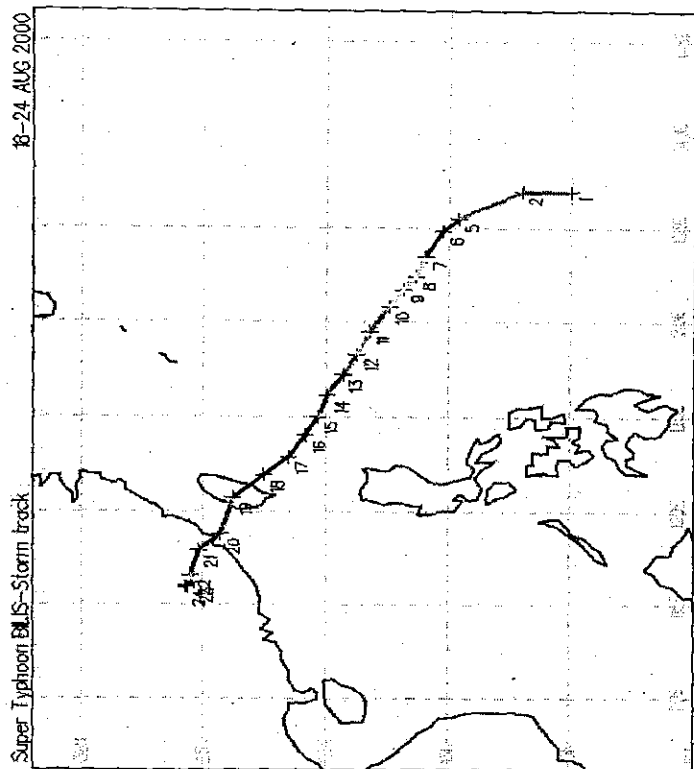
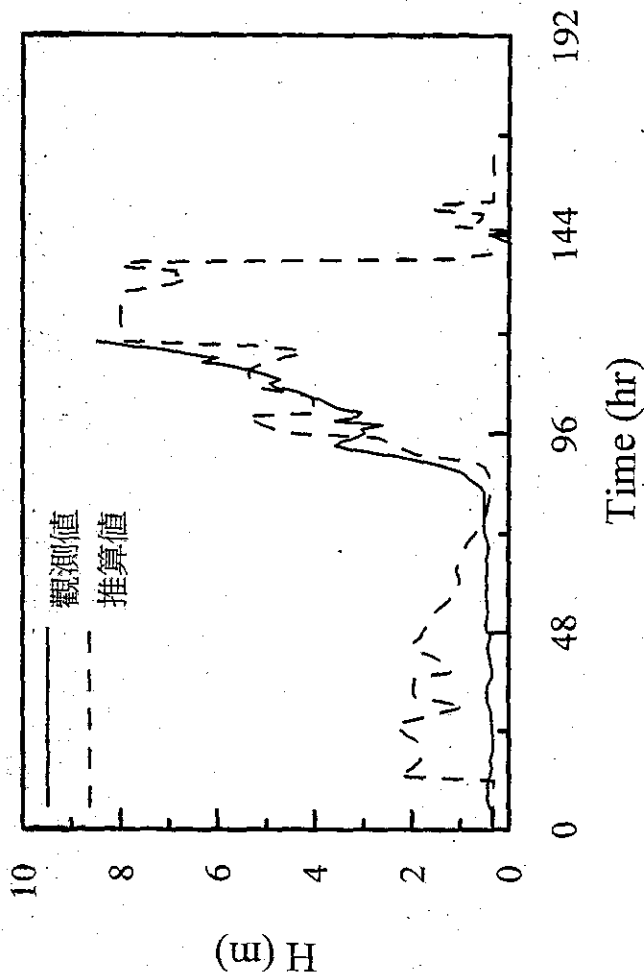


# 颱風波浪推算模式—花蓮



BILIS (碧利斯) 颱風在花蓮港的  
波高觀測值與推算值比較圖

# 颱風波浪推算模式－花蓮

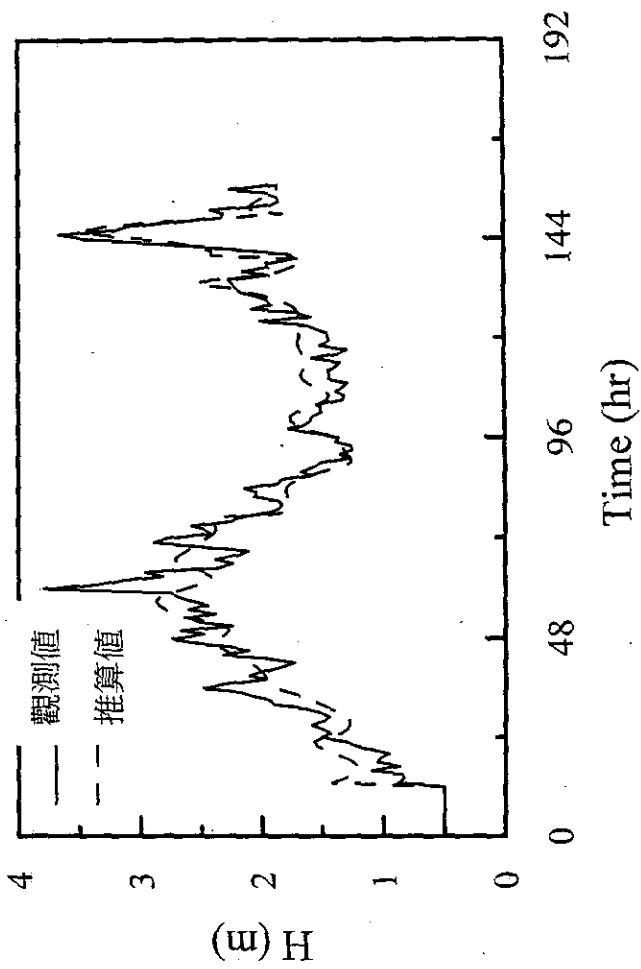
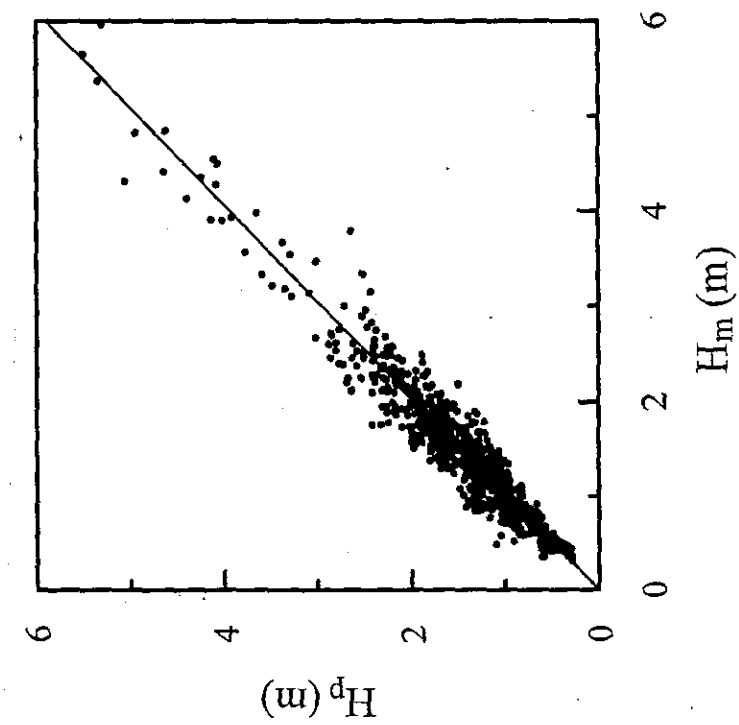


BILIS (碧利斯) 颱風在花蓮港的  
波高觀測值與推算值比較圖



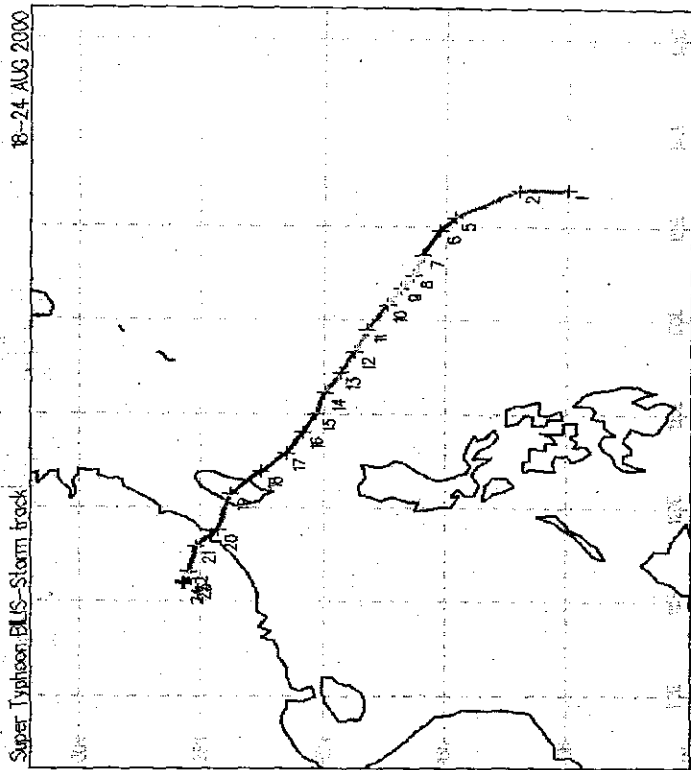
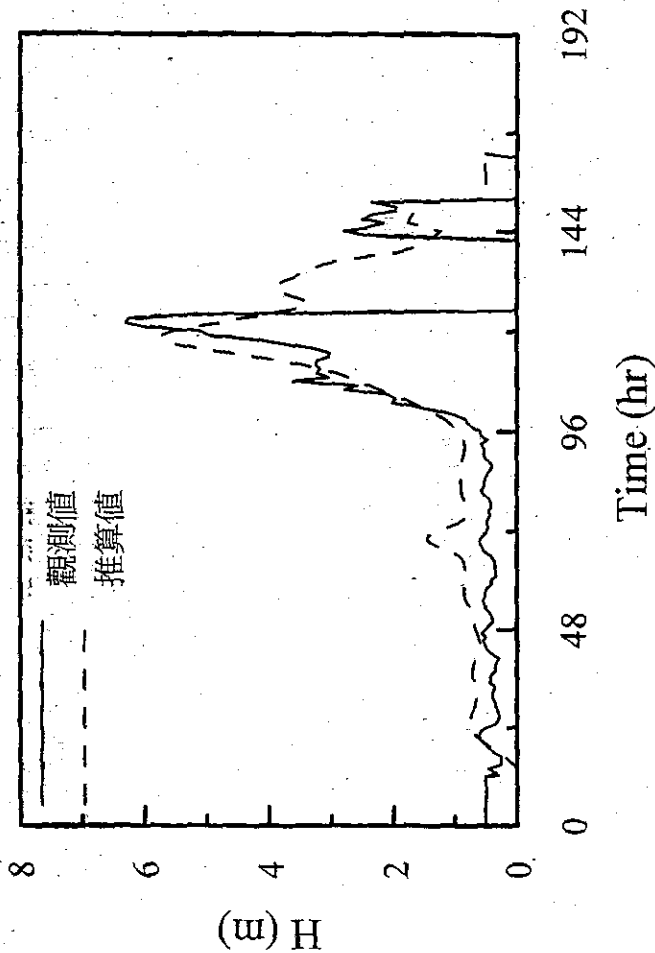


# 颶風波浪推算模式——蘇澳



KAI-TAK (啓德) 颶風在花蓮港的波高觀測值與推算值比較圖

# 颶風波浪推算模式—蘇澳



BILIS (碧利斯) 颶風在蘇澳港的  
波高觀測值與推算值比較圖



## 結果討論

- 學習資料的檢測結果在波高推算的部分瞭解此模式對於颱風波浪有良好的描述能力，經過檢驗資料的測試後可以得知模式具有推算花蓮及蘇澳外海颱風波浪的能力。
- 颱風波浪推算模式如果使用類神經網路為推算方式，將會發現當類神經網路結構越大對於學習資料的學習程度越好，但是對於沒有學習經驗的推理運算的結果就不穩定，且對於其他有關颱風波浪發展的物理特性或是相關資料也有難以整合的缺點。

## 結果討論

- 因此建立一個颱風波浪推算模式能夠應用的資料庫，就成為提升推算準確性的方法，而這個資料庫的型態就以模糊理論建立的網路最適合。
- 提供判別及計算的颱風資料型態不一，資料庫的建立將具有整合資料的功用，此次研究希望藉由資料庫的模組化提高颱風波浪推算模式的擴充性，例如加入衛星雲圖判別的資料庫藉以提昇推算能力及準確度。

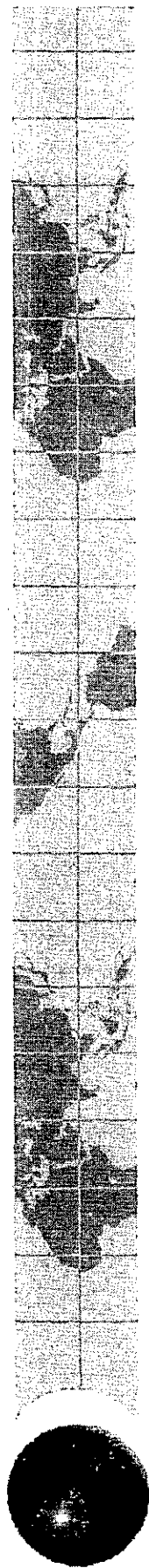


## 結果討論

- 資料庫的模組內容由一個模糊網路與一個類神經網路組成，模糊網路主要進行輸入參數與輸出值的模糊邏輯關係，利用類神經網路建立輸入參數與模糊邏輯的時序列關係。
- 對於颱風波浪週期的推算較不理想，探討其原因在於有義波波高的計算方式與計算波浪週期方式不同，所以波浪週期與颱風氣象條件、颱風運動行為關連性不高所造成，克服的方法將在颱風、波高與週期外之間尋求其他關連的影響條件建成資料庫提供模式運算的參考。

## 檢討及比較 (一)

● 關於台灣東部波浪預警系統研究計畫的第一階段的颱風波浪推算模式的建構首先採用類神經網路架構進行颱風波浪的推算藉以達到預警的效果，由此推算模式的測試結果發現對於學習的資料模擬效果良好，但是對於非學習資料型態的颱風則推算誤差較大，由於沒有考慮颱風運動與波浪延時的關係，所以對於片段的颱風波浪資料無法有效的利用在學習資料，使得學習及推算能力無法更進一步提升。



## 檢討及比較 (二)

● 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路徑進行學習的區別，分別建立了串連及並連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，經過測試的結果發現除提高波浪推算的能力外對於相似路徑及規模的颱風具有推算的能力，但如果遇到學習不足的颱風時推算的颱風波浪會產生相當的誤差。

串聯型類神經架構

颱風波浪推算值

f 轉換函數

$[W_2]$  值  
加權  
矩陣

$[\theta_2]$  值  
偏權  
矩陣

f 轉換函數

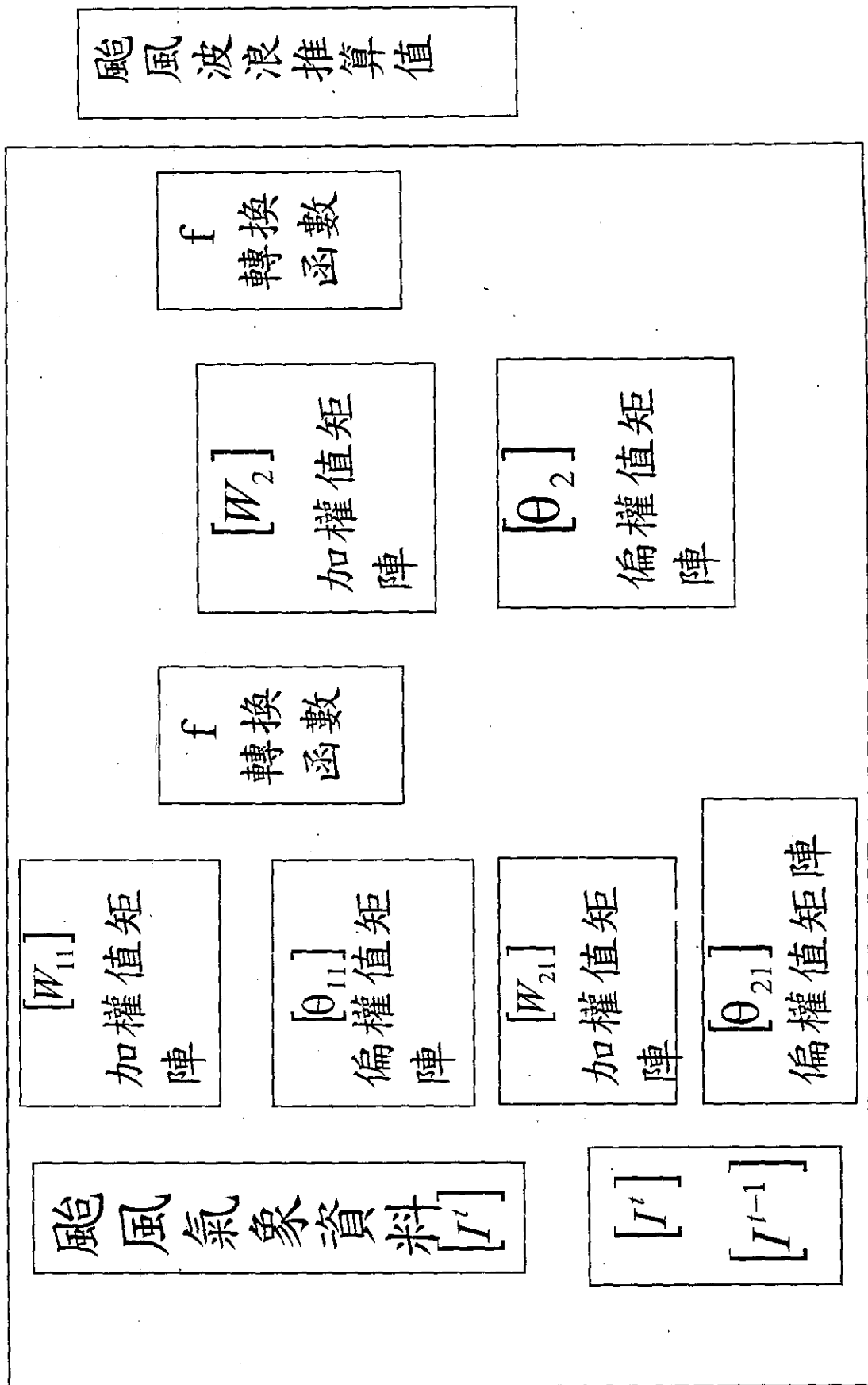
$[W_1]$  值  
加權  
矩陣

$[\theta_1]$  值  
偏權  
矩陣

颱風氣象資料

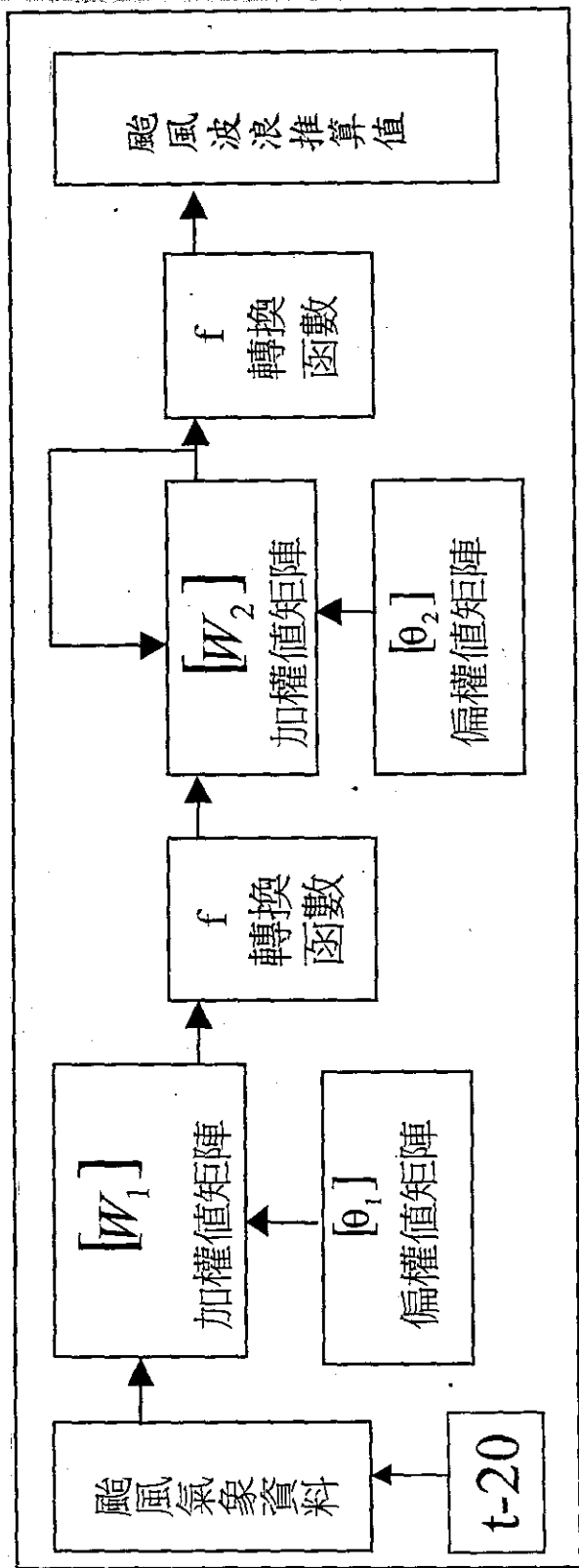
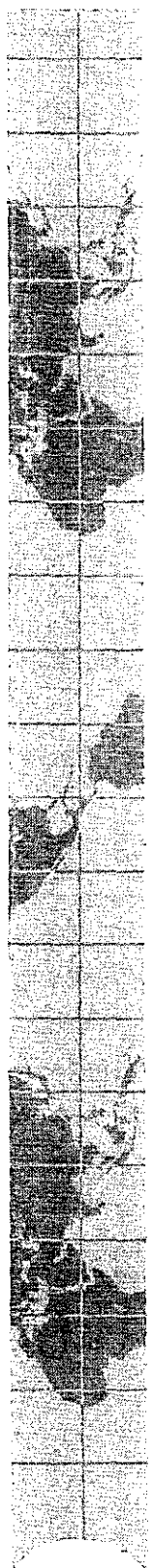


# 串並聯型神經架構



## 檢討及比較 (三)

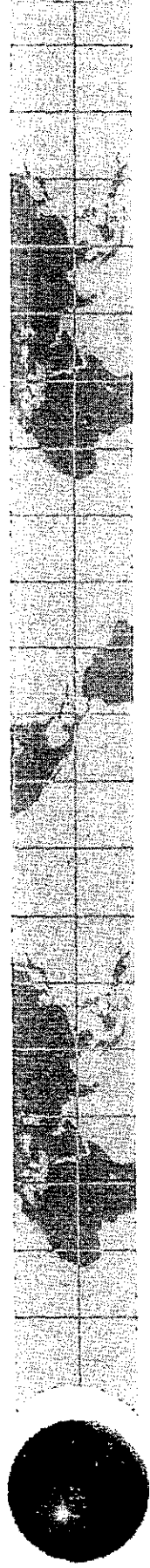
● 第三階段期中報告則採用第二階段使用的推算模式架構外嘗試使用20小時的延時資料，目的在於提高類神經網路對於颱風路徑及颱風規模的記憶力，希望增加推算模式對於颱風型態進行區別的能力，以反應在提高波浪推算能力，測試的結果發現雖然推算能力增但是對於颱風基本的特性的區分仍然難令人滿意。



類神經架構 4-16-8-2

## 檢討及比較 (四)

- 第三階段期末報告的模式則利用模糊網路對颱風波浪資料與颱風運動建立一模糊邏輯關係對颱風運動型態的，之後再配合6個小時的延時輸入的類神經網路組成一個完整模組化學習模式，利用波浪及颱風資料增加模式的記憶及判斷能力。



## 颱風波浪推算模式未來的發展

- 模式的即時推算：配合即時的觀測資料或訊號達到監控颱風波浪的目的。
- 模式知識資料庫的擴充：配合衛星或雷達以及大氣壓分佈資料提高推算模式的準確度。
- 即時自動修正模式：對於推算誤差的資料進行模式修正達到自我校準的目的。
- 模式整合：對於其他氣象或是海象、波浪推算模式進行資料及結構的整合。

報告完畢、敬請指正

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：台灣地區波浪預警系統之應用研究

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>郭校長：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 儘可能在模式的驗證方面加強，以增加使用單位單位的信心，以及瞭解其誤差範圍。</li> <li>2. 港研中心要有信心能確實接收研究成果。</li> <li>3. 結論的敘述再加強重點，歷年的研究內容比較應在前言中敘述。週期的預測，用這種經驗法則會比數值方法有利，可再進一步嘗試。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由於颱風及波浪資料的短缺，使得驗證的工作只有推估模擬一場颱風，日後將對相關資料收集完備後再提供模式誤差的修正。</li> <li>2. 對於模式操作及程式將完整的轉移港研中心。</li> <li>3. 內容補充將在正式期末報告中修改。</li> </ol>
<p>陳院長：</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 颱風風浪太複雜，以類神經網路與模糊理論來推測模擬，做事後孔明亦無可後非。</li> <li>2. 如何引入有效函數與輸入元素及輸出結果做較好的關連，即以文中所研的 Steepest Descent Method 找出最近似值（以便日後可進一步修正的可能）。</li> <li>3. 不同型態的颱風是否有分類，如扁圓或拖著尾巴的風場型等，加上颱風進行路徑的曲迴交叉及不規則前進速度等，並建議找出是否有關係性？</li> <li>4. 風場中之右半圓與左半圓各產生的風浪不一樣，包括波高、週期與波向皆不同，是否可修正？尤其各項限間會互有傳遞（即傳入與傳</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 類神經網路與模糊理論來推測模擬複雜系統是目前常用的分析方法之一，所以引用至分析颱風波浪期盼有準確的推算能力。</li> <li>2. Steepest Descent Method 是目前類神經網路學習及逼近理想值的過程所使用的方法。</li> <li>3. 對於不同運動型態的颱風模式中是利用類神經網路大量記憶及學習的功能區分颱風的運動方式。</li> <li>4. 颱風左右半圓的特性在輸入參數中的 <math>A_2</math> 的變化可以表現出來，而波浪在風場的傳遞方式（傳入與傳出）則與輸入參數 <math>V_1</math> 的表現有關，至於特殊的情形需要藉由詳細的觀測資料對</li> </ol>

<p>出)而形成所謂的三角波,是否有考量?</p> <p>5. 區域性的地形、地貌與水深會影響風場及以上諸點的風浪特性,是否可規納出其特性與判斷?</p>	<p>形需要藉由詳細的觀測資料對模式進行修正。</p> <p>5. 對於地形及地貌的表現則藉由颱風的位置配合推算模式建立與地形地貌的關係。</p>
<p>許教授：</p> <p>1. 利用風浪模式或經驗公式推算波浪,常受限於風場結構模擬的困難,也有使用區域的限制,故台灣四周海域特殊地理與海氣象條件,使用這些模式仍遭遇困難,本研究使用類神經網路理論預測波浪,可避免數值模式遭遇的困難,工作成果值得肯定。</p> <p>2. 建議在第一章能增加本計畫全程計畫目標,每年工作項目和成果,以便瞭解計畫執行情形與委託單位的需求,部份結論移至第一章。</p> <p>3. 文中的一些圖形展示不清楚,如 P.7 圖 2-1、P.8 圖 2-2、P.42 所有圖形等。</p> <p>4. 模式輸入參數 <math>V_{max}</math>、<math>V_f</math>、<math>D</math>、<math>A_1</math>、<math>A_2</math> 五個颱風因子建立模糊關係,模擬延時為 20 小時,建議能補充說明為何不選擇壓差 <math>\Delta P</math>、<math>R_{max}</math> 及緯度等影響因素以及延時 72 小時原因。</p> <p>5. 文中類神經網路架構輸入層設立 30 個神經元,隱藏層 12 個,建議能加強說明決定過程。</p>	<p>1. 謝謝許教授的指教及鼓勵。</p> <p>2. 結論內容的修改、補充將在正式期末報告中修改。</p> <p>3. 文中的圖形 P.7 圖 2-1、P.8 圖 2-2、P.42 所有圖形等顯示不清楚將在正式期末報告中修改。</p> <p>4. 資料延時的決定是以觀測站波浪特性為考慮的對象,以及颱風運動路徑的軌跡特性並配合模式的結構所決定,對於報告中未能詳盡敘述將於在正式期末報告中修改。</p> <p>5. 神經網路架構輸入層設立至是考慮延時資料及輸入參數配合推算模式網路結構,對於報告中不夠詳盡的部分於在正式期末報告中修改。</p>
<p>曾組長：</p> <p>1. 本研究架構合理,研究方法益恰當,研究成果具體,建議研究過程之試誤經驗可於報告中交代更清楚些。</p>	<p>1. 謝謝曾組長建議,試誤的過程及經驗於在正式期末報告中敘述。</p> <p>2. 輸入參數的決定及篩選主要由</p>



<p>2. 模式所運用之輸入資料項目應屬適當，惟篩選之過程與理由可再詳予說明，如為何捨棄壓力差、暴風半徑等資料，資料取得之方便性、可靠性（即時）、成本…等等（另 A<sub>2</sub> 之定義請說明清楚）。</p> <p>3. 對可能會變動與影響重大參數（項目）可稍交代其敏感性，如正規化所提及之波高、週期或延時…等等。</p> <p>4. 在使用時應注意事項、限制或建議亦應一併於文中有所著墨。</p>	<p>相關文獻及颱風及波浪資料結構所決定，不夠詳盡的部分將於在正式期末報告中修改。</p> <p>3. 對於敏感度的分析受限於資料的數量報告中只針對颱風的最大風速作初步的分析，對於敘述不夠詳盡的部分將於在正式期末報告中修改。</p> <p>4. 在使用時應注意事項、限制或建議敘述不夠詳盡的部分將於在正式期末報告中修改。</p>
--	--

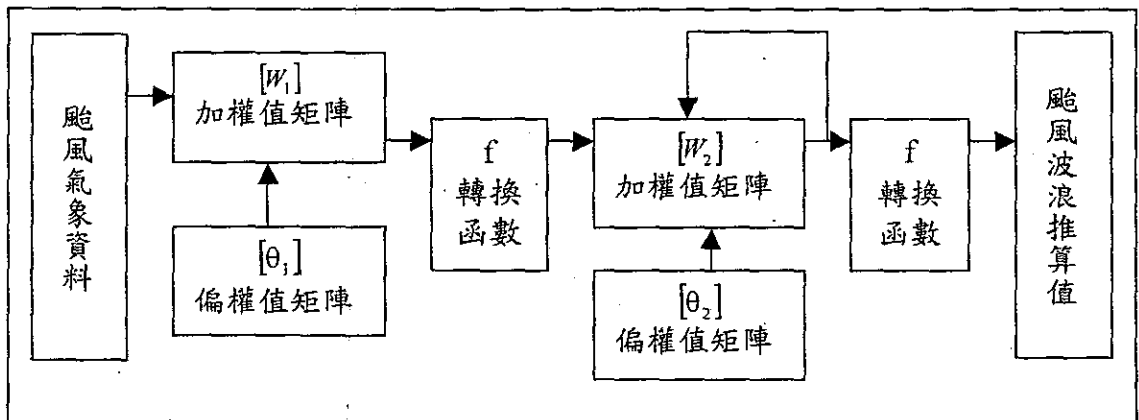
## 摘要

本研究利用神經-模糊網路模式來推算颱風波浪。模式分成兩個部分。首先建立颱風推算模式的學習知識庫，利用過去對於颱風氣象或是波浪資料等的紀錄建立神經-模糊網路可以參考的知識庫，以提高輸入資料品質。其次建立颱風行為及氣象與颱風波浪間的關係，利用歷史颱風及氣象資料配合觀測站實測的颱風波浪資料進行模糊關係的比對及分析。本文使用花蓮及蘇澳海域之波浪紀錄中颱風波浪的資料，配合神經-模糊網路模式具有良好處理非線性模擬的能力，可進一步分析颱風與波浪的複雜關係，並由氣象資料推算颱風波浪達到預警的目的。

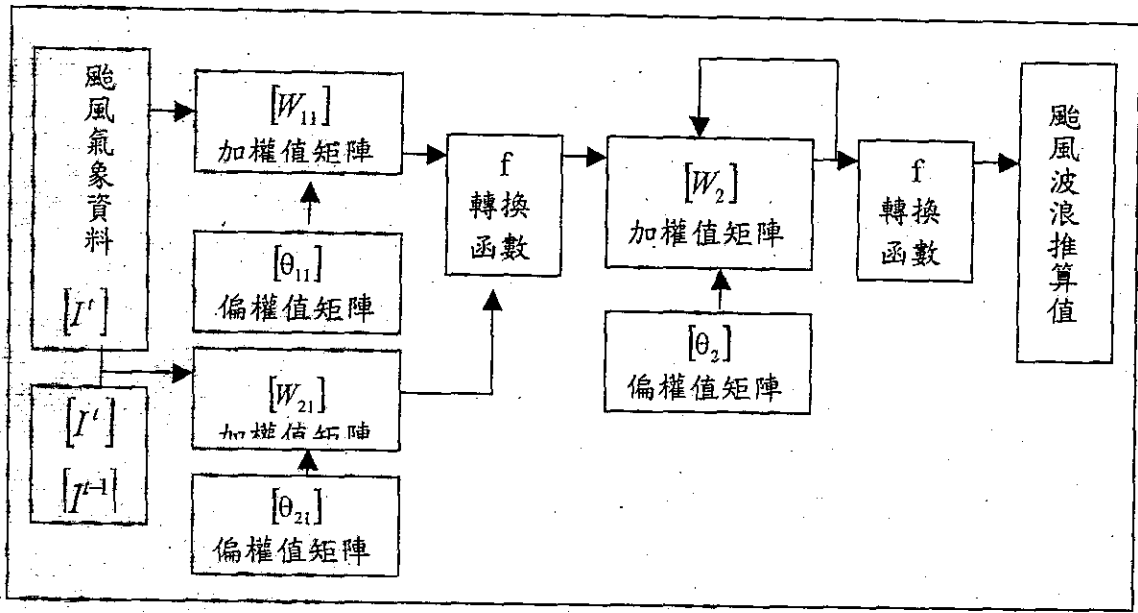
台灣波浪預警系統研究計畫分三年進行研究，本年度的研究結果與前兩年的研就內容作結構及功能的比較如下：

- (1) 關於台灣東部波浪預警系統研究計畫的第一階段的颱風波浪推算模式的建構首先採用類神經網路架構進行颱風波浪的推算藉以達到預警的效果，由此推算模式的測試結果發現對於以學習的資料有良好模擬效果，對於學習颱風資料而言類神經網路結構以輸入、隱藏、輸出各一層的學習效果兼具計算快速及準確性的要求，但是對於非學習資料型態的颱風則推算誤差較大，此因沒有考慮颱風運動與波浪延時的關係，所以對於片段的颱風波浪資料無法有效的利用在學習資料，使得學習及推算能力無法更進一步提升。
- (2) 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路徑進行學習的區別，分別建立了串連及並連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結構圖如附圖1及附圖2所示，經過測試的結果發現除提高波浪推算的能力外對於相似路徑及規模的颱風具有推算的能力，但如果遇到學習不足的颱風時推算的颱風波浪會產生相當的誤差。

- (3) 第三階段在本年度的期中報告採用第二階段使用的推算模式架構外，嘗試使用 20 小時的延時資料，目的在於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推算能力增加，但是對於颱風基本的特性的區分仍然難令人滿意。
- (4) 本年度期末報告的模式則利用模糊網路對颱風波浪資料與颱風運動建立一模糊邏輯關係，對颱風運動型態的分類，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。除此之外利用模組化的學習模式可以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。



附圖 1 串聯型類神經架構



附圖 2 串並聯型類神經架構