



RRPG89070136 (107.P)

MOTC-IOT-IHMT-89-004

台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 港灣技術研究中心 委託
運輸研究所

國立交通大學 水工研究所 辦理

MOTC-IOT-IHMT-89-004

台灣東部港灣預警系統之應用研究—港外波浪動態特性

著者：張憲國、錢維安、蘇莎琳、何良勝

交通部
運輸研究所 港灣技術研究中心 委託

國立交通大學土木工程研究所辦理

中華民國八十九年十一月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心委託研究計畫出版品摘要表

出版品名稱： 台灣東部港灣預警系統之應用研究—港外波浪動態特性			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 009254890152	港灣技術研究中心出版品編號 MOTC-IOT-IHMT-89-0041	
本中心主辦單位：海岸工程組 主管：張金機 主辦人員：何良勝 聯絡電話：04-6564216-412 傳真號碼：04-6571329	委託研究單位：交通大學土木系 計畫主持人：張憲國 研究人員：錢維安、蘇莎琳 地址：新竹市交通大學土木系 聯絡電話：03-5712121-54963	研究期間 自 88 年 12 月 至 89 年 11 月	
關鍵詞：類神經網路、波浪推算、颱風波浪			
<p>摘要：</p> <p>影響颱風波浪的要素相當複雜，除了颱風規模以及路徑外由地理環境造成波浪的改變更是不可乎略，而且影響颱風波浪的因子彼此間呈現非線性的關係，若以一般的回歸方法難以描述或重現颱風波浪。本計劃利用花蓮港外海測站波浪資料以及中央氣象局發佈的颱風氣象資料配合類神經網路建構一個該測站的颱風波浪推算模式，藉以提供該測站鄰近海域的颱風波浪警示或對該測站提供資料的補遺及校對，研究結果顯示此模式在訓練資料足夠時將有良好的推算能力。</p>			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
89 年 11 月	109 頁	300 元	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中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
<p>機密等級：</p> <p><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</p> <p>（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）</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF HARBOR & MARINE TECHNOLOGY
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Application of Alarming System for Eastern Taiwan Coast to Wave Prediction of Hualien-Port			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 009254890152	IHMT SERIAL NUMBER MOTC-IOT-IHMT-89-004	
DIVISION: Institute of Harbor and Marine Technology DIVISION CHIEF: Chang, Chien-Kee ADMINISTRATION STAFF: Ho, Liang-Sheng PHONE: 04-6564216-412 FAX: 04-6571329		PROJECT PERIOD FROM : 1999/12 TO : 2000/11	
RESEARCH AGENCY: Department of Civil Engineering, National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: H.K Chang PROJECT STAFF: W.A. Chang, S.L. Su, L.S. Ho ADDRESS: 1001 Ta-Hsueh Road, Hsinchu, Taiwan, 30050, R.O.C PHONE: 03-5712121-54963			
KEY WORDS: neural network method , wave calculation , typhoon waves			
ABSTRACT: <p>The variables influencing the change of typhoon waves are quite complicated. Besides those related to the typhoon scale and track, factors about the geographical context are also imperative variables. The relations between the variables influencing typhoon waves are nonlinear. Thus, it is difficult to describe or reproduce typhoon waves if using the general regressive method. Collecting wave data from the observing point around the Hwa-Lian Harbor and typhoon data from the Central Weather Bureau, this project then applies neural network method to construct a forecasting model for typhoon waves at the very observing point. Such a model not only provides warning messages about typhoon waves about the near water field for the observing point, but also complements and corrects some data generated from the observing point. The research result shows that this model will have a good forecasting capacity when the data used for training are sufficiently enough.</p>			
DATE OF PUBLICATION 2000/11	NUMBER OF PAGES 109	PRICE 300	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 Institute of Transportation.			

目錄

目錄	I
表目錄	III
圖目錄	IV
第一章 前言	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究方法	3
1.3 文章結構	4
第二章 文獻回顧	5
2.1 颱風強度及路徑分析	5
2.2 颱風波浪推算法	8
第三章 颱風波浪特性	11
第四章 應用類神經建構颱風波浪推算模式	21
4.1 倒傳遞類神經網路	21
4.2 模式建構及操作	23
4.2.1 輸入輸出參數的決定	24
4.2.2 決定基本架構	25
4.3 模式之建立	27
4.4 模式的驗證	28
4.5 精簡模式	41
第五章 結論與建議	45

5.1 結論	45
5.2 建議	47
參考文獻	49
附錄一 期中報告會議記錄	i
附錄二 期中報告執行情況	iv
附錄三 期末報告會議記錄	viii
附錄四 期末報告執行情況	xi
附錄五 期末報告簡報資料	xiv

表目錄

表 1-1 西太平洋及中國南海海域颱風發生頻率表 (1897—1996)	2
表 3-1 港研中心量測颱風波浪時間	12
表 4-1 颱風波浪串聯模式推算的統計分析表	30
表 4-2 並串聯模式推算颱風波浪的統計分析表	40
表 4-3 精簡模式學習颱風波浪的記錄時間表	42
表 5-1 三種波浪推算的類神經模式之優缺點比較	46

圖目錄

圖 1-1 離地 10 公尺風速與颱風中心距離之關係	2
圖 1-2 侵台颱風路徑分類統計	3
圖 2-1 颱風中心附近等壓線圈內平均風場	6
圖 2-2 颱風內傾度風及風速的合成	6
圖 2-3 颱風平均進行速度示意圖	8
圖 2-4 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖	9
圖 3-1 花蓮港附近海域波浪觀測點的位置示意圖	11
圖 3-2 港研中心所收集颱風波浪相對颱風資料位置圖	13
圖 3-3 波高與颱風壓力差關係圖	15
圖 3-4 波高與颱風七級暴風半徑關係圖	15
圖 3-5 波高與觀測站至颱風距離關係圖	16
圖 3-6 波高與觀測站至颱風方位角關係圖	16
圖 3-7 波浪週期與颱風壓力差關係圖	17
圖 3-8 波浪週期與颱風七級暴風半徑關係圖	17
圖 3-9 波浪週期與觀測站至颱風距離關係圖	18
圖 3-10 波浪週期與觀測站至颱風方位角關係圖	18
圖 3-11 無因次波高 H^* 、壓力差 P^* 及颱風距離 D^* 關係圖	19
圖 3-12 無因次波高 H^* 、能量指標 P^*R7^* 及颱風距離 D^* 關係圖	19
圖 3-13 無因次波高 T^* 、氣壓差 P^* 及颱風距離 D^* 關係圖	20

圖 3-14 無因次波高 T^* 、能量指標 P^*R7^* 及颱風距離 D^* 關係圖.....	20
圖 4-1 串聯型的類神經架構.....	25
圖 4-2 串並聯型的類神經架構.....	25
圖 4-3 $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係比較圖.....	31
圖 4-4 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的關係比較圖.....	32
圖 4-5 Net 颱風(1991) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	32
圖 4-6 Amy 颱風(1991) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	33
圖 4-7 Amy 颱風(1991) $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	33
圖 4-8 Ellie 颱風(1991) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	34
圖 4-9 Ellie 颱風(1991) $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	34
圖 4-10 Abe 颱風(1990) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較.....	36
圖 4-11 Abe 颱風(1990) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係圖.....	37
圖 4-12 Tim 颱風(1993) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	37
圖 4-13 Gladys 颱風(1993) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	38
圖 4-14 Fred 颱風(1993) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖.....	38
圖 4-15 $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係比較圖.....	39
圖 4-16 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的關係比較圖.....	40
圖 4-17 精簡模式中波高的學習值與量測值的關係.....	42
圖 4-18 精簡模式中波高的推算值與量測值的關係.....	43
圖 4-19 精簡模式中週期的學習值與量測值的關係.....	43
圖 4-20 精簡模式中週期的推算值與量測值的關係.....	44

第一章 前言

1.1 研究動機

颱風是發生在熱帶海洋面上的猛烈風暴，北緯 10 度至 15 度一帶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。中央氣象局統計 (1996) 位於北太平洋西部的台灣，地理環境特殊，夏秋兩季常受颱風侵襲，平均一年有 3.7 至 3.8 次，台灣東部受颱風侵襲尤其嚴重。颱風帶來的強風豪雨，不僅影響漁撈、航運，且常使建築物、農作物遭受損害，甚至造成人員的傷亡。

颱風形成的機制至今仍無法十分確定，已知它是由熱帶大氣內的擾動發展而來的。在熱帶海洋海面因受太陽直射而使海水溫度升高，海水蒸發成水汽散布在空中，因而海洋上的空氣溫度高、濕度大，這種空氣因溫度高而膨脹使密度減小質量減輕，赤道附近風力微弱，所以很容易上升發生對流作用，同時周圍之較冷空氣流入補充然後再上升，如此循環不已，使整個流動氣柱為溫度較高、重量較輕、密度較小之空氣，就形成熱帶低氣壓，颱風風速剖面如圖 1-1 所示。在天氣圖上多使用密集的封閉等壓線來表示颱風的位置和暴風範圍；從衛星拍攝的照片可以看出颱風中上層大致呈圓形並有螺旋狀旋轉狀的雲，在北半球是以反時鐘方向旋轉，而在中央部位有時可以明顯的看出無雲的颱風眼，但對於颱風內部的詳細結構依舊無法完全解析。但一般而言對颱風的描述多以暴風半徑、中心氣壓、中心最大風速及移動速度等歸類及分辨颱風的規模。

臺灣東部海域受颱風影響的情形相當嚴重，利用氣象局公佈的西太平洋及中國南海海域颱風發生頻率表 (1897—1996) 如表 1-1 所示，颱風侵台路徑分類圖，如圖 1-2 所示，全球每年約有 79 個颱風生成，以北太平洋西部及中國南海地區生成的颱風最多也最強。由表 1-1 知道自 1897 年至 1996 年間共有 2349 個颱風在此一地區生成，平均每年約有 24 個，一半以上發生在七、八、九三個月份，而以八月份最多。再根據上述的颱風路徑分類圖知，對於東部海域有較大影響的路徑為第二、四及六路徑，而第一、三路徑則影響較為次之。前者所佔的百分比即高達 32.7%，而後者佔有 57.8%，所以，

臺灣東部海域所需面對颱風及颱風波浪的機會每年約有 2-3 次的機會。因此藉由瞭解颱風氣象及量測到的颱風特性進行颱風波浪推算模式的建構，以期能夠在颱風接近前就能快速推算出臺灣東部港灣的波高及週期，藉以達到預警的目的，以減少財產損失提高生命安全的保障為目標。

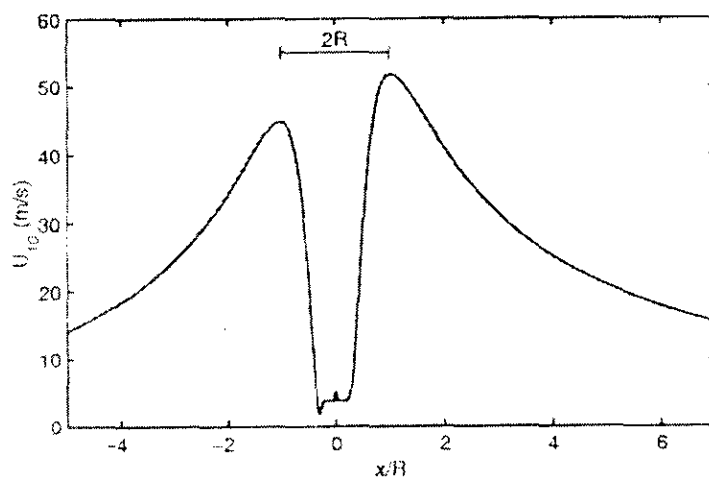


圖 1-1 離地 10 公尺風速與颱風中心距離之關係

表 1-1 西太平洋及中國南海海域颱風發生頻率表 (1897-1996)

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	總共發生次數
次數	38	18	27	57	91	144	378	471	437	348	228	112	2,349
佔總數之百分比	1.6	0.8	1.1	2.4	3.9	6.1	16.1	20.1	18.6	14.8	9.7	4.8	100
平均	0.4	0.2	0.3	0.6	0.9	1.4	3.8	4.7	4.4	3.5	2.3	1.1	23.5

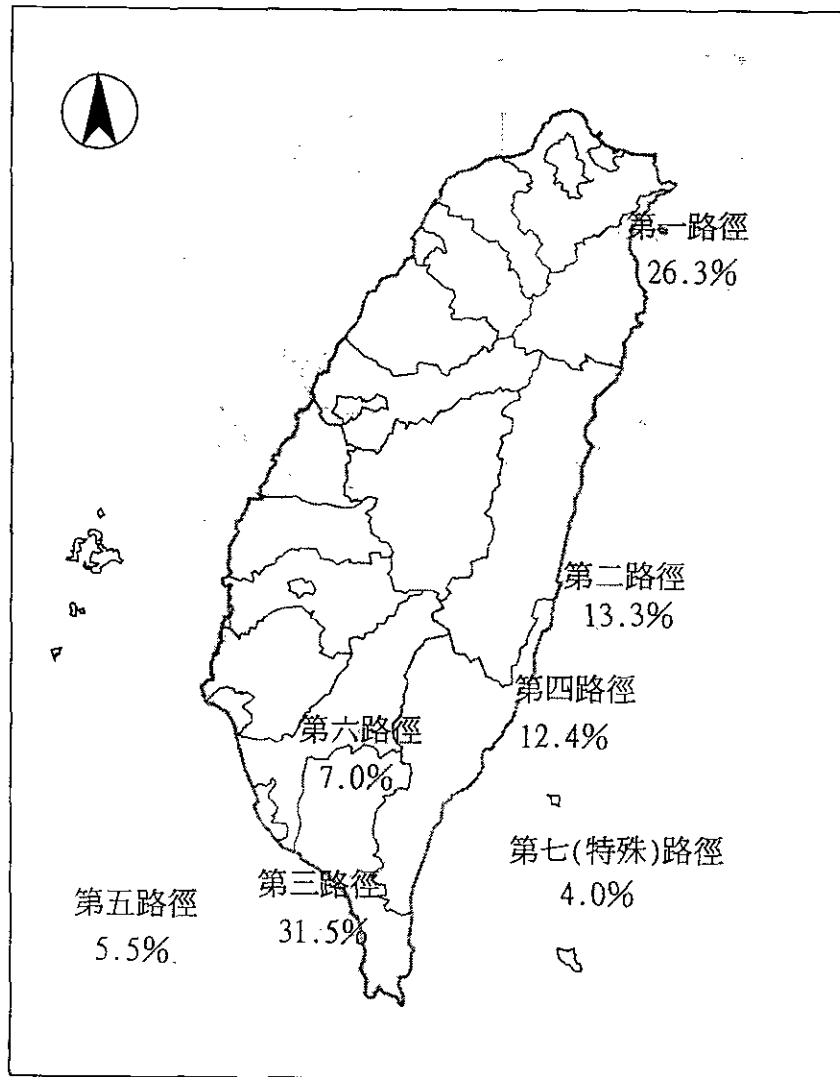


圖 1-2 侵台颱風路徑分類統計

1.2 研究方法

光易 (1990) 提出波浪推算(wave calculation)的意義為，在氣象條件與海底地形已知的情況下，計算海面波浪狀況。由過去風的記錄，推算過去發生的波浪特性，稱為波浪追算 (wave hindcasting)，波浪推算的方式或模式非常多，但是要從建構颱風形成發展進而產生颱風波浪的推算模式，將是一件困難的事，在考慮容許誤差的情況下，颱風推算模式建立的方法將分成兩大類；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；Chen 及 Wang (1983) 的模式是利用能量平衡方程式加入風場作用條件，推算波浪由深海傳至淺海的波浪變化，Graber 及 Madsen (1988) 的模式是將能量平衡方程式以頻譜形式推算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整合發

展波浪推算模式。由於不同的海域之間有著相當大的差異性，因而使得模式的建立無法標準化，將會遇到如何選擇物理量作為推算參數，以及如何尋求各個物理量相互間的非線性關係等兩個關鍵問題。

另一類建立波浪推算模式的方法是以統計回歸分析建立一組波浪推算的經驗公式，SPM (1984) 提出淺水海域的波浪推算經驗式，而 Hurdle 及 Stive (1989) 將 SPM 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) 的推算模式。以上的研究結果大都有相當具體且良好的分析結果，但是對於海域特性有相當差異或可獲得的分析參數有限制時，也有海域特性難以單一公式或調整係數的方式建立推算模式進行波浪的推算的問題。

在不同海域內影響波浪的因素相當的多，包括有海岸地形海、海底地形、海流方向、氣象條件等，且各種因素在不同海域下有著各種不同的關係，加上颱風的複雜氣象條件交互作用下颱風與波浪形成了一個相當複雜且非線性系統，所以要建立一個通用的模式是相當困難的。所以本研究將嘗試利用不同功能的類神經網路系統整合的分析技巧，建立一個快速、容易的方法，達成架構海域波浪推算模式的方法及目標。

1.3 文章結構

本文內容主要分為五章：

第一章 說明本研究的目的，及使用研究方法的理由。

第二章 進行文獻的回顧，參考以往的分析方法尋找出建立類神經模式的最佳架構。

第三章 整理港灣技術研究所測量花蓮港之外海颱風波浪資料，及其相對應之颱風路徑和規模。

第四章 說明類神經網路的基本原理，並學習風場及波浪場之關係，驗證類神經網路推算颱風波浪能力及結果的比較。

第五章 總結現階段研究分析及討論。

第二章 文獻回顧

本章將針對最常使用的颱風分析方法以及颱風波浪推算方法作一個初步的介紹，並從這些文獻的分析方法中整合出適合類神經波浪推算模式的架構，藉以提高推算的準確性。

2.1 颱風強度及路徑分析

颱風結構呈漏斗狀之強烈渦流，下層空氣流向中心並向上竄升，高至 10 公里左右後，向四周流出，四周空氣涵蓋之範圍可達數百公里。由天氣圖上所見之颱風，約形成同心圓等壓線分佈之低氣壓，在近中心附近之壓力梯度愈大，風速愈強，但在颱風中心附近反呈無風狀態。整個颱風風速分佈大約分為颱風內域與颱風外域。颱風內域為颱風眼至距離颱風中心約 40~60 km 之最大風速處，此段風速呈直線向外增加，而颱風外域為最大風速處至暴風半徑，此段風速與離中心 r 處呈 $1/\sqrt{r}$ 遞減，而在颱風圈外之風速與離中心距 r 呈反比。

一般所指暴風半徑為風速大於 10 m/s (6 級風力) 以上之區域，颱風暴風範圍內的風速分布並非均勻，以象限進行劃分，在北半球進行之颱風的右前方象限的風最大，因該象限吹東北風與夏季西太平洋的東北信風合併而增強了風速，至於右後方及左前方象限則是偏南的風與偏西的風，可與東北信風相抵消部分，風勢較小，在左後方象限的風最小，因該象限吹西南風恰與西太平洋的東北信風相反，抵消最多，所以一般而言，颱風前半部風力大於後半部。因此，颱風進行方向之右半圈稱為危險半圈，而左半圈稱為安全半圈。圖 2-1 為颱風中心附近 900hPa 等壓線圈內平均風場 (浬/時) 示意圖。

颱風詳細結構為不對稱現象颱風滯留時，氣壓梯度所造成之傾度風 (Gradient Wind), U_{gr} ，在北半球因受科氏力 (Coriolis Force) 影響，颱風會逆時鐘旋轉，風向一般會向中心傾斜 20~25 度左右，滯留風速與傾斜風速比值約為 0.6。若當颱風移動時，滯留風速與颱風前進速度合成之總風速在颱風之右邊，則總風速比滯留風速大，反之，若其在颱風之左邊，總風速小於滯留風速，其幾何示意圖如圖 2-2 所示。

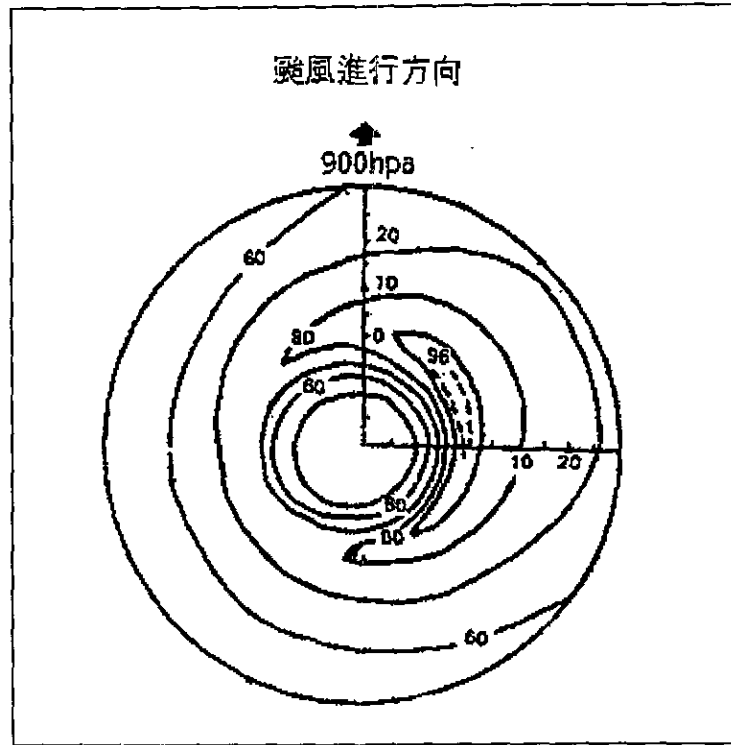
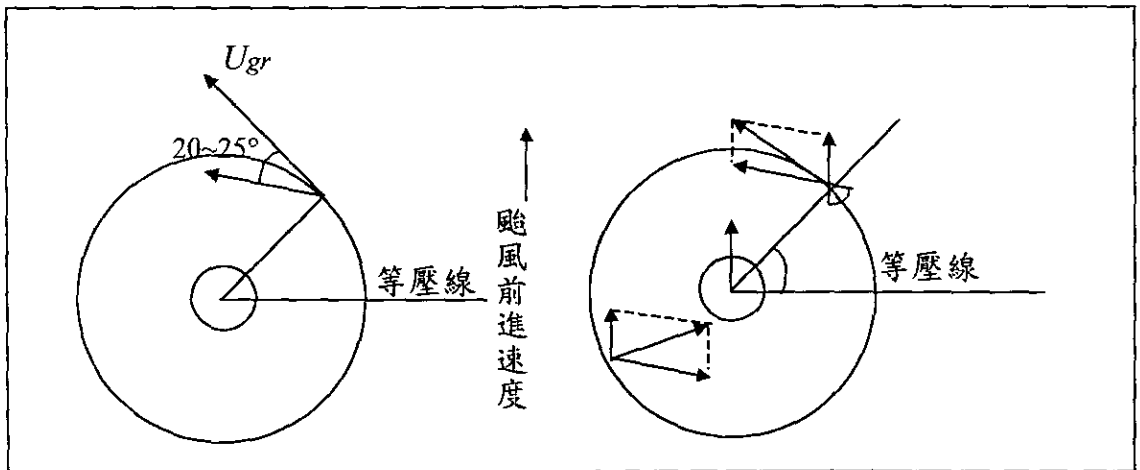


圖 2-1 颱風中心附近等壓線圈內平均風場 (見 Shea and Gray,1973)



(a) 傾度風向中心傾斜角度

(b) 風速的合成

圖 2-2 颱風內傾度風及風速的合成

颱風傾度風速之大小 Harris (1958)建議可表示為：

$$U_{gr} = \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho_a} \frac{R}{r} e^{-\frac{R}{r}} + (r\Omega \sin\phi)^2} - r\Omega \sin\phi \quad (2-1)$$

式(2-1)中， $\Delta p = p_n - p_o$ ， p_n 為颱風外圈之氣壓， p_o 為中心氣壓， ρ_a 為空氣密度， $\rho_a \approx 1.025 \text{ kg/m}^3$ ， R 為最大風速半徑， r 為颱風中心之距離， Ω

為地球自轉之角速度，($\Omega=2/24\pi \text{ rad/hr}$)， ϕ 為緯度 (Latitude)。最大風速半徑可由實測得知，或王(1978)以七級暴風半徑之十分之一近似，或由 Graham 和 Nunn (1959) 之經驗公式獲得。

$$R = 28.52 \tanh[0.087(\phi - 28)] + 12.22e^{-0.0394\Delta p} + 0.056V_F + 37.2 \quad (2-2)$$

式(2-2)中， R 單位為 km ， Δp 之單位為 $mmHg$ ， V_F 為颱風移動速度，單位為 m/s 。

在北太平洋西部生成的颱風其進行方向，主要受太平洋副熱帶高氣壓環流所導引，因此在太平洋上多以偏西路徑移動，但到達台灣或菲律賓附近時，已在太平洋副熱帶高氣壓邊緣，故路徑變化多端，有繼續向西進行者，有轉向東北方向進行者，更有在原地停留或打轉者。一般而言，導引氣流明顯時，颱風的行徑較規則，否則颱風的行徑較富變化。

詳細分析影響颱風運動的因素很多，但颱風的運動最主要仍受到環境氣流的導引，控制颱風主要的氣流稱為駛流 (steering flow)，至於其它影響颱風運動的因素包括地球的渦度效應 (Rossby drift and β -effect)、颱風環流和對流結構特徵不同之影響、颱風環流與駛流間的非線性交互作用以及颱風行經區域的地形和海溫效應等，而當駛流不明顯時颱風運動受到多重影響下，將反應在變幻莫測的颱風運動路徑上。根據觀測颱風動的資料顯示，沒有兩個颱風有完全相同的路徑、強度變化、發展過程等，僅僅達到相似而已，所以要能掌握颱風的運動必先加強瞭解颱風運動的物理過程。

北半球颱風之移動主要是受到太平洋副熱帶高氣壓環流所導引，一般受其南方之偏東風而向西進行，到了比較高緯度地方 (約 $20^\circ N$ 以北)，因科氏力之增加使其偏北且偏右進行，漸漸受西風導引轉向東方進行。另外，如颱風前進的時候，前方有高氣壓，颱風就受阻無法繼續前進，這時颱風必須向氣壓比較低的地方進行以致發生了轉向的情形。颱風移動速度於形成後，其進行速度較慢，每小時約十至十五公里，爾後逐漸加速到每小時十五至二十五公里；將要轉向或增強時，其速度會漸漸減慢，甚至幾乎停滯不動。在轉向以後，進行速度又漸漸加快，並且愈走愈快，大約有二十公里至五十公里。此外，因各地氣壓的分布也會影響颱風的行進，所以颱風進行速度是會變化的。其整個路徑之平均進行速度如圖 2-3 所示。

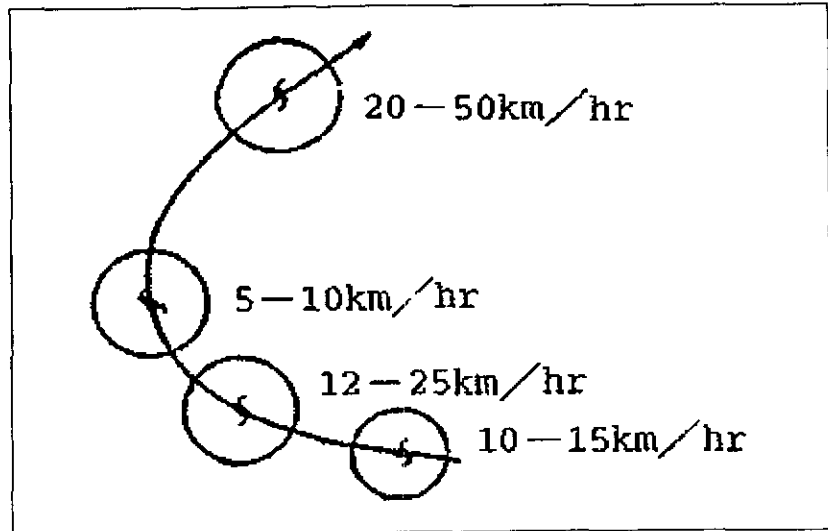


圖 2-3 颱風平均進行速度示意圖

2.2 颱風波浪推算法

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

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

$$T_{1/3} = 8.60e^{\frac{R\Delta p}{9400}} \left[1 + \frac{0.145V_F}{\sqrt{U_R}} \right] \quad (2-4)$$

式(2-3)及式(2-4)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 可由下式求得

$$U_R = 0.387(14.5\Delta p^{1/2} - 0.62R\Omega \sin\phi) + 0.5V_F \quad (2-5)$$

至於颱風圈內其他各處之示性波高分佈，示如圖 2-4。由圖 2-4 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波高，而此處波浪週期則可由式(2-6)表示

$$T_{1/3} = 3.83\sqrt{H_{1/3}} \quad (2-6)$$

另外，Bretshneider(1976)提出推算滯留颱風波浪之方法為

$$H_R = K'\sqrt{R\Delta P} \quad (2-7)$$

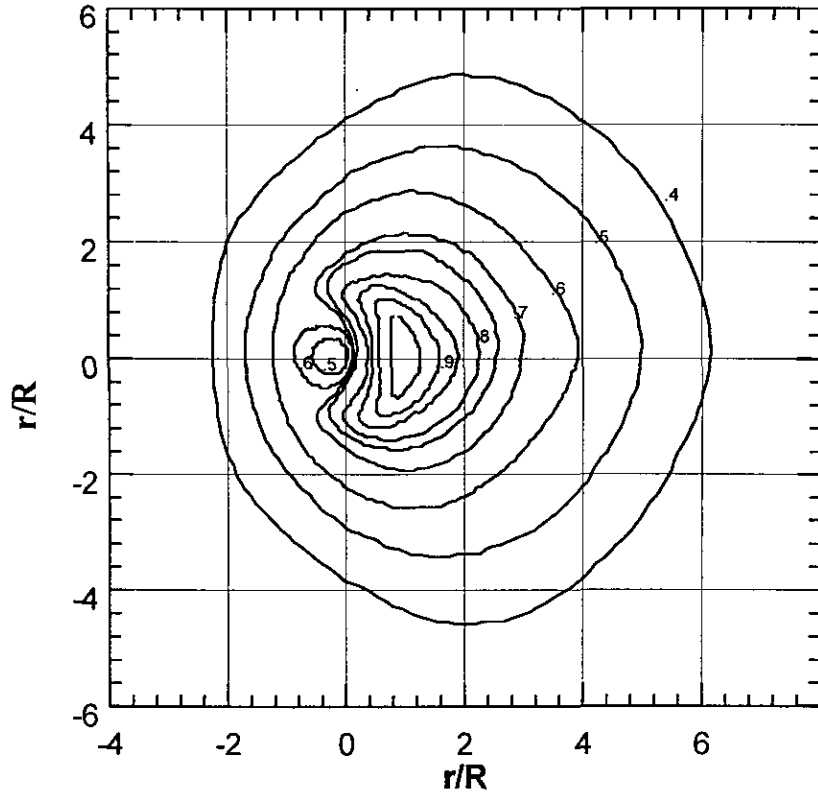


圖 2-4 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖(Shore Protection Manual, 1984)

式(2-7)之 H_R 為最大風速處之示性波高，其單位為 m ， K' 值為 Ω 、 $\sin\phi$ 、 R 及 U_R 之函數，經迴歸分析其結果可表為

$$K' = 0.3335 - 0.4493(X) + 0.4346(X)^2 - 0.153(X)^3 \quad (2-8)$$

$$X = \frac{2\Omega R \sin\phi}{U_R} \quad (2-9)$$

當颱風移動時，則風速增加量為

$$\Delta U = \frac{1}{2} V_F \cos(\theta + \beta) \quad (2-10)$$

式(2-10)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。移動颱風中最大風速處之波高則修正為

$$H'_R = H_R \left(1 + \frac{\Delta U}{U_R} \right) \quad (2-11)$$

至於颱風內之波高，則由圖 2-4 之相對位置，查圖中之比值，再乘以式

(2-11)之最大波高即可。以上述方法求取波高 $H_{1/3}$ 後，波浪週則與 $H_{1/3}$ 及風速關係如下

$$T_{1/3} = 0.734U \tanh \left[1.07 \tanh^{-1} \left(\frac{34.81H_{1/3}}{U_R^2} \right)^{0.6} \right] \quad (2-12)$$

上述颱風波浪推算法中，美國工兵團的風浪推算模式，僅能計算風域內最大波高，不能計算風域外之湧浪，所以當推算點不在風域中時，此模式就無法適用；而 Bretschneider 的推算模式，則需查圖表，計算也過於繁瑣。

其他颱風波浪推算方法，尚有 Wilson (1955)之移動風域法，Wilson (1955)應用 SMB 之公式，以圖解或數值計算來推算颱風波浪，其基本觀念為以觀測點向外繪出射線，每一射線即為風域，在此線風域上風速的分量，即為造成此方向波浪。風場為時間與空間的函數，由起始點以逐時計算，求出觀測點之波高與週期，此法因需查圖方可推算，現今應用上較為不方便。

湯(1970)改善 Wilson 法，建立淺水風浪之關係，海底摩擦影響，湧浪推算及碎波後波浪計算法，直接由氣象資料推算颱風至近岸前之波浪狀況。此法的颱風路徑需指定之固定方向，即稱為模型颱風，方能計算，模型颱風與實際颱風移動有所差異，因為模型颱風為直線前進，風浪在推浪點上波能直線累加，而可能獲得較高之波浪推算值。

楊(1997)以壓力差(ΔP)、七級風暴風半徑(R_7)、颱風距離(D)等三個外在條件因子，求得颱風波浪之波高與週期推算式如下：

$$H_s = 1.3 + a \left(\frac{\Delta P}{100} \right) \left(\frac{1}{1 + b \times D / R_7} \right) (1 - A_s) \quad (2-13)$$

$$T_s = 6.0 + a \left(\frac{\Delta P}{100g} \right)^{1/2} \left(\frac{1}{1 + b \times D / R_7} \right) \quad (2-14)$$

其中 a, b 為迴歸之待定係數， A_s 為七級風暴圈受陸地遮蔽之面積比例。

第三章 颱風波浪特性

針對台灣東部沿海經常受到颱風侵襲及颱風形成的颱風波浪肆虐，對台灣東部的海域建立一個符合該地區的颱風波浪推算及預測模式是相當迫切需要的。為了能先驗證波浪推算模式的正確性將先針對臺灣東部的花蓮港進行模式的建構，以便能推廣至其它臺灣東部港灣的颱風波浪預測，資料的擷取是由交通部運研所港灣技術研究中心長期對花蓮海域之波浪進行觀測及紀錄，1989年12月至88年10月，使用浮球式波浪儀，記錄波浪時間為每小時20分，原始波浪資料之取樣頻率為1.28Hz。第一測點之位置編號ST.1，其測點經緯度為($N23^{\circ}58'45''$, $E121^{\circ}37'46''$)。自1993年3月以後新增測點，第二測點之位置編號ST.2，其經緯度為($N23^{\circ}59'57''$, $E121^{\circ}38'19''$)。測量波浪儀器使用Datawell公司出品之浮球方向波浪儀(directional waverider)，每小時記錄34分，原始資料的取樣頻率為1 Hz。測站ST.1及ST.2之位置示如圖3-1。

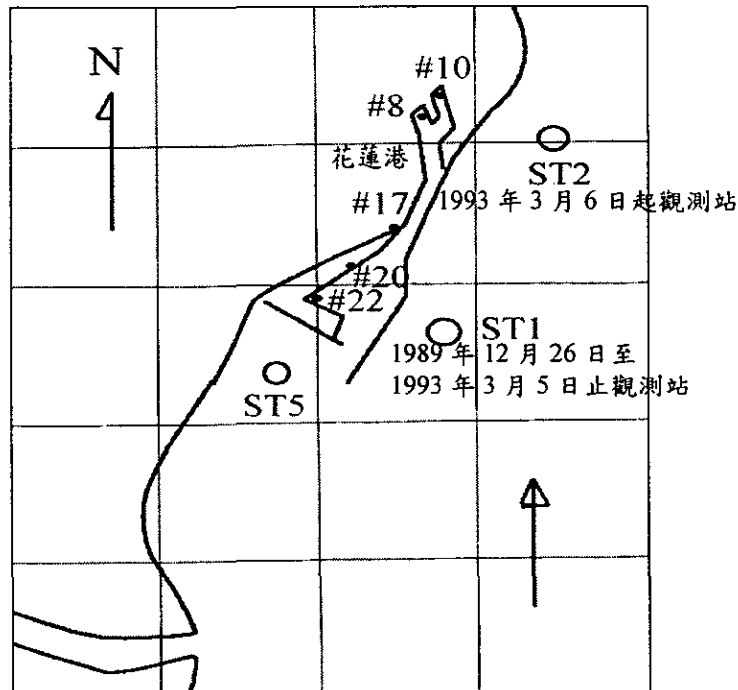


圖 3-1 花蓮港附近海域波浪觀測點的位置示意圖

本研究針對影響台灣東部海域的颱風進行波浪記錄的分析，配合中央氣象局發佈的颱風資料及港灣技術研究中心量測的颱風波浪紀錄，進行外海的波浪條件及颱風氣象條件研究，因此波浪記錄的時間為中央氣象局發佈颱風資料起至颱風登陸或遠離台灣為止，颱風波浪量測時間如表 3-1 所示，相對應的颱風路徑如圖 3-2。

表 3-1 港研中心量測颱風波浪時間

年代	颱風名稱	波浪記錄時間	測站
1990	羅賓(Robyn)	7月9日8時-7月10日20時	1
	楊希(Yancy)	8月17日8時-8月17日16時	1
	亞伯(Abe)	8月29日8時-8月31日8時	1
	艾法(Ed)	9月14日6時-9月15日8時	1
1991	艾密(Amy)	7月17日14時-7月19日20時	1
	艾利(Ellie)	8月16日2時-8月19日2時	1
	耐特(Net)	9月22日8時-9月24日17時	1
	密雷爾(Mireill)	9月25日8時-9月27日5時	1
	露絲(Ruth)	10月26日7時-10月30日8時	1
1992	芭比(Bobbie)	6月26日14時-6月28日20時	1
	寶莉(Polly)	8月27日8時-8月31日8時	1
	歐馬(Omar)	9月3日8時-9月5日17時	1
	艾爾西(Elsie)	10月31日8時-10月7日8時	1
	漢特(Hunt)	11月17日8時-11月22日2時	1
	蓋伊(Gay)	11月21日8時-11月30日2時	1
1994	提姆(Tim)	7月9日8時-7月10日17時	2
	弗雷特(Fred)	8月19日2時-8月20日4時	2
	葛拉絲(Gladys)	8月31日2時-9月2日2時	2
	席斯(Seth)	10月7日14時-10月11日4時	2
1997	艾文(Ivan)	10月19日21時-10月21日17時	2
1998	奧托(Otto)	8月3日9時-8月5日9時	2
1999	山姆(Sam)	8月19日20時-8月21日21時	2
	丹恩(Dan)	10月5日14時-10月8日20時	2

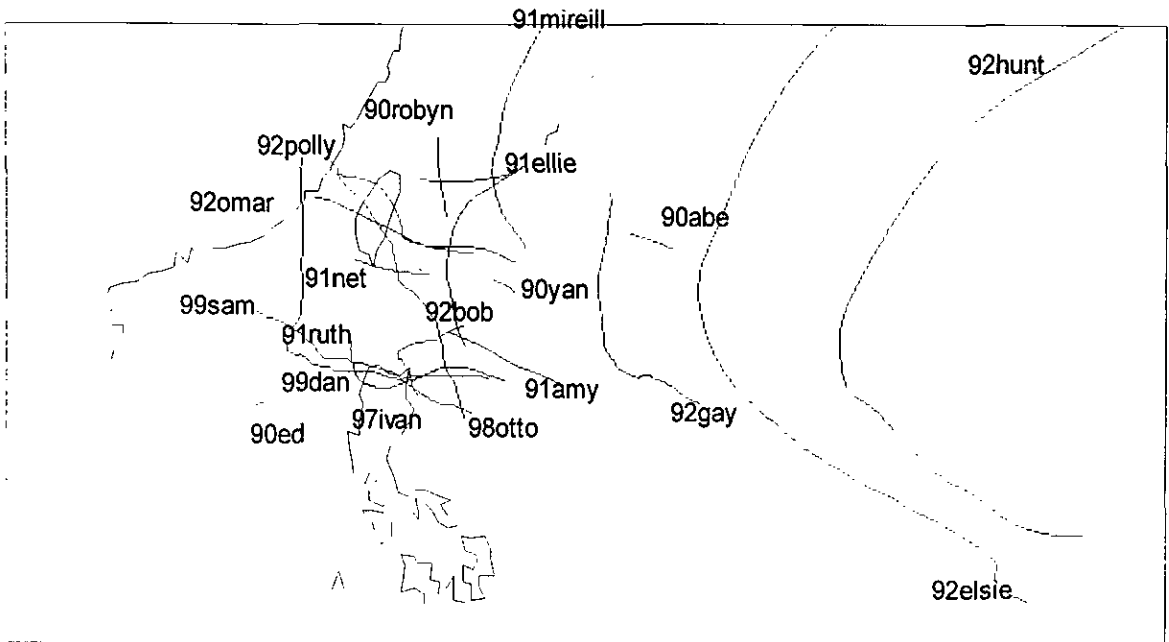


圖 3-2 港研中心所收集颱風波浪相對颱風資料位置圖

針對花蓮港的第一觀測站所量測的波浪資料進行初步的特性比較及分析，在量測到的颱風資料中 1992 年的艾爾西(Elsie)、漢特(Hunt)、蓋伊(Gay)其相對於觀測站的距離約為 1500 公里以上，由於距離過遠因此在下列資料的比對將暫時移出。從第二章所述，颱風波浪大小與颱風的規模，如中心氣壓差、七級風半徑，及推算距離與推算點在颱風的象限有關。此處定義颱風與測站方位角為正北與颱風中心和推算點連線的順時角度。首先觀察波高值與颱風壓力差的關係，其中壓力值為一大氣壓與颱風氣壓的差值，其關係如圖 3-3，接著將波高值與七級暴風半徑作關係圖，結果如圖 3-4 所示。圖 3-5 為波高與颱風至測站的距離關係圖，圖 3-6 為波高與颱風至測站的方位角的關係圖，由圖 3-6 發現當方位角在 180° 附近有較大的颱風波浪，此時推算點在颱風的右下角即第二象限，而在方位角為 0° 或 360° 時，有較小的颱風波浪，此時推算點在颱風的正上方。由圖 3-3 至圖 3-6 的表現結果可以發現在其它外在因素交互影響下波浪與氣象和地理條件呈現相當複雜的關係，並不能單獨與某因素有強烈的關係。但若就大的趨勢而言，颱風波浪與中心氣壓差 R_7 成正相關，但與推算距離成負相關。圖 3-7 至圖 3-10 為波浪週期與氣象和地理條件的關係，若直接觀察圖 3-3 至圖 3-10 並配合波浪資料可以發現颱風壓力差與颱風距離對波高有直接影響的關係，因此以波高 H 、壓力差 P 及颱風距離 D 三者的無因次關係

圖，進一步觀察這三個參數間的關係，首先利用各個參數的最大值進行參數無因次化，個別為波高 H^* 、壓力差 P^* 、颱風距離 D^* 及七級風暴風半徑 $R7^*$ ，個別資料間利用三次多項式進行內差，結果示如圖 3-11，由圖 3-11 中可以發現颱風距離近，即 D^* 小時，颱風波高與氣壓差有明顯的關係；但是颱風距離較遠的部分，波高與中心氣壓差較為紛亂而沒有良好的關係。

依據美國海岸保護手冊(1984) 將能量指標 $R\Delta p$ (Energy Index) 視為主要參數，為進一步瞭解波高與能量指標的關係，因此建立波高與能量指標(P^*R7^*)和颱風距離的關係圖，配合三次多項式的內差法進行內差，其結果如圖 3-12 所示。由圖 3-12 顯示只有部分距離較接近的颱風能量指標與波高關係明顯，其它的部分二者關係就顯得紛亂。接著利用相同的方式進行對波浪週期資料的分析，分別示如圖 3-13 及圖 3-14。從圖 3-13 及圖 3-14 顯示颱風波浪週期與颱風中心氣壓差及能量指標的關係如圖 3-11 及圖 3-12 之波高與二者的關係相似，當颱風較近於推算點時，其週期特性與二者因子關係較為有關，反之颱風較遠時，颱風波浪週期則與二者因子無明顯關係。

從上述因子分析結果顯示，颱風波浪的波高並不與颱風特性中的單一因子有良好的關係，而與其中特性因子共同相關。因此若從統計迴歸的方式恐無法建立迴歸函數，而無法獲得統計迴歸公式。本研究則利用類神經模式，建立由颱風特性能預測颱風波浪的推算模式。

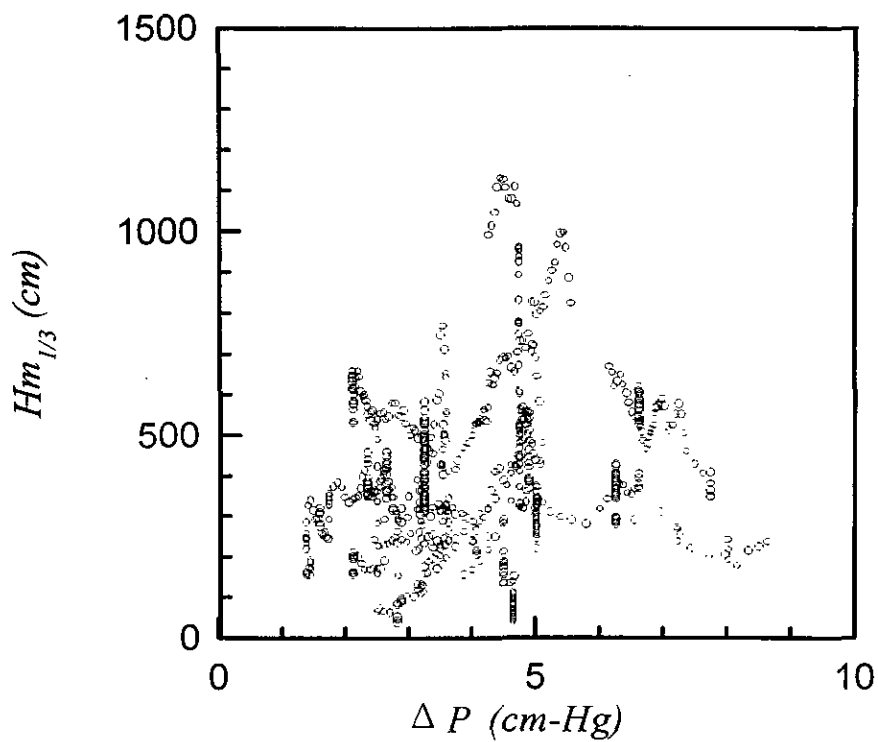


圖 3-3 波高與颱風壓力差關係圖

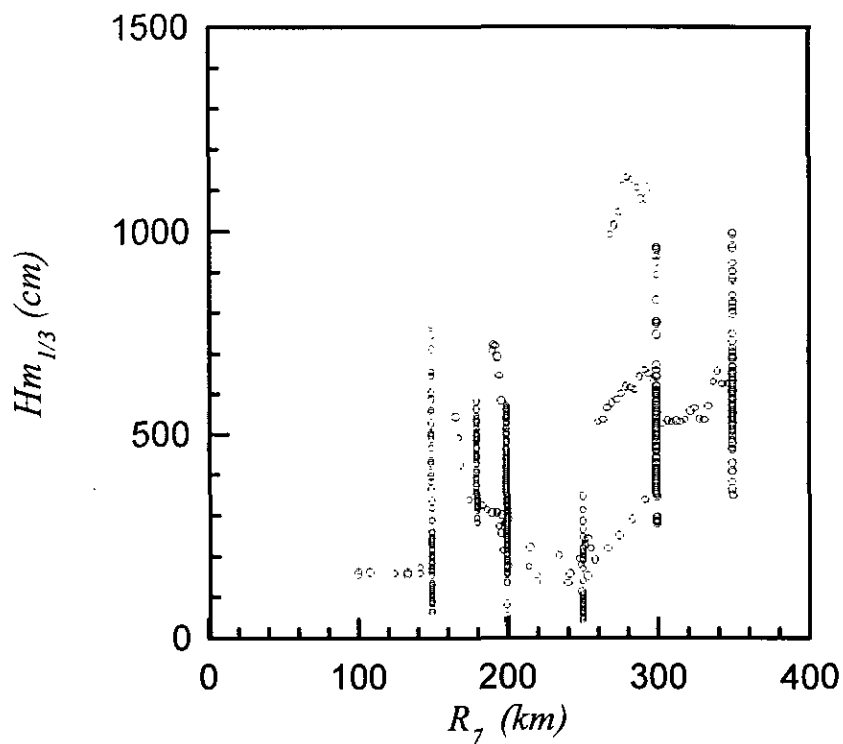


圖 3-4 波高與颱風七級暴風半徑關係圖

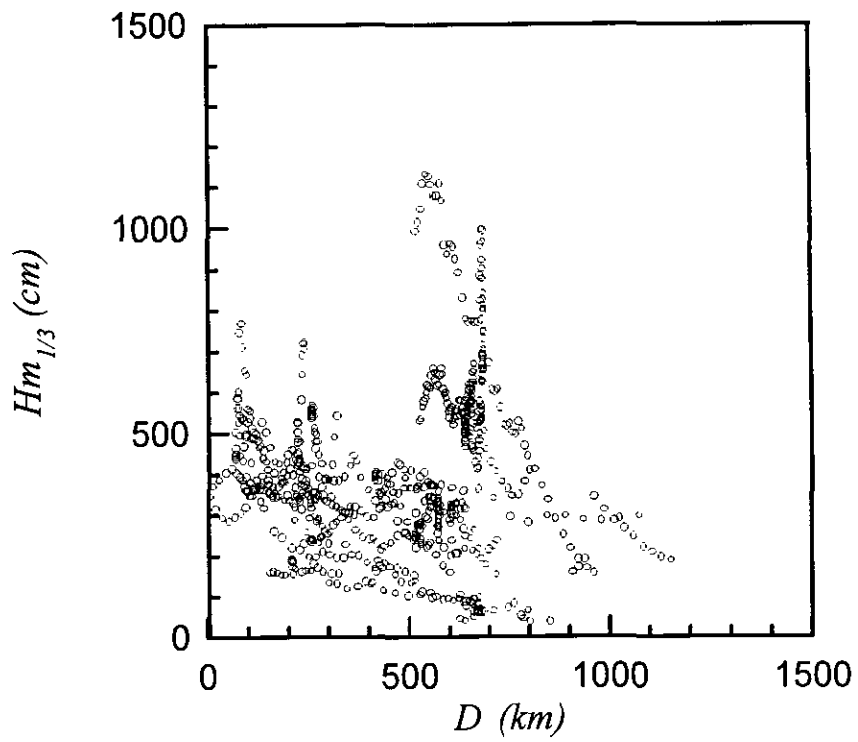


圖 3-5 波高與觀測站至颱風距離關係圖

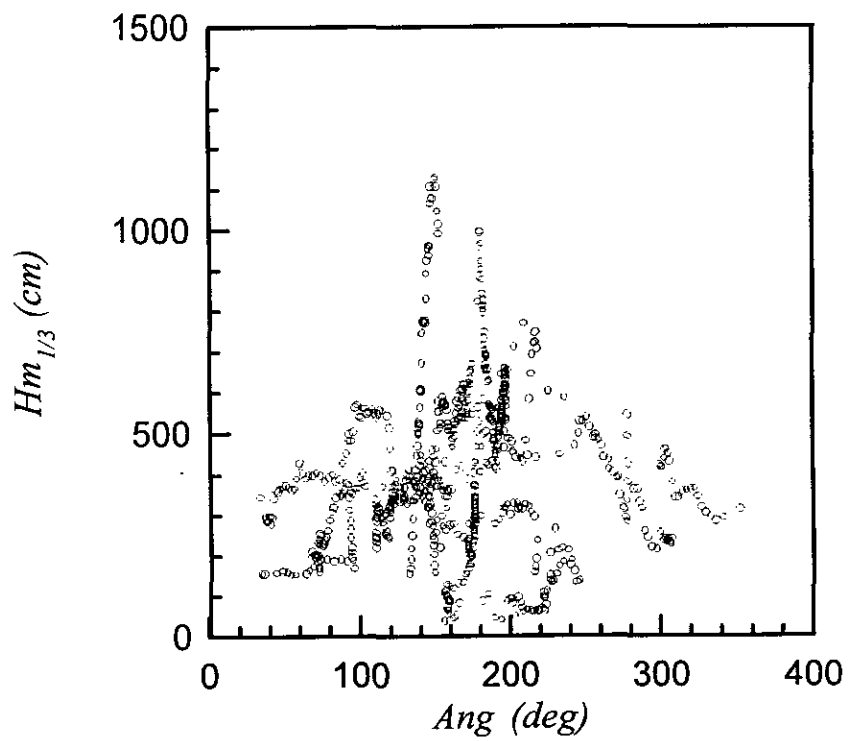


圖 3-6 波高與觀測站至颱風方位角關係圖

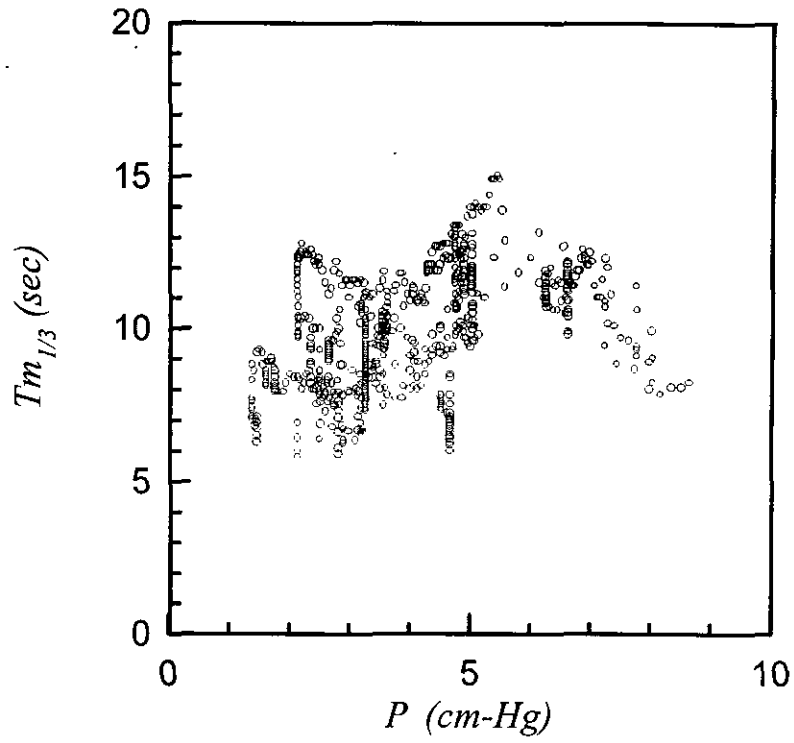


圖 3-7 波浪週期與颱風壓力差關係圖

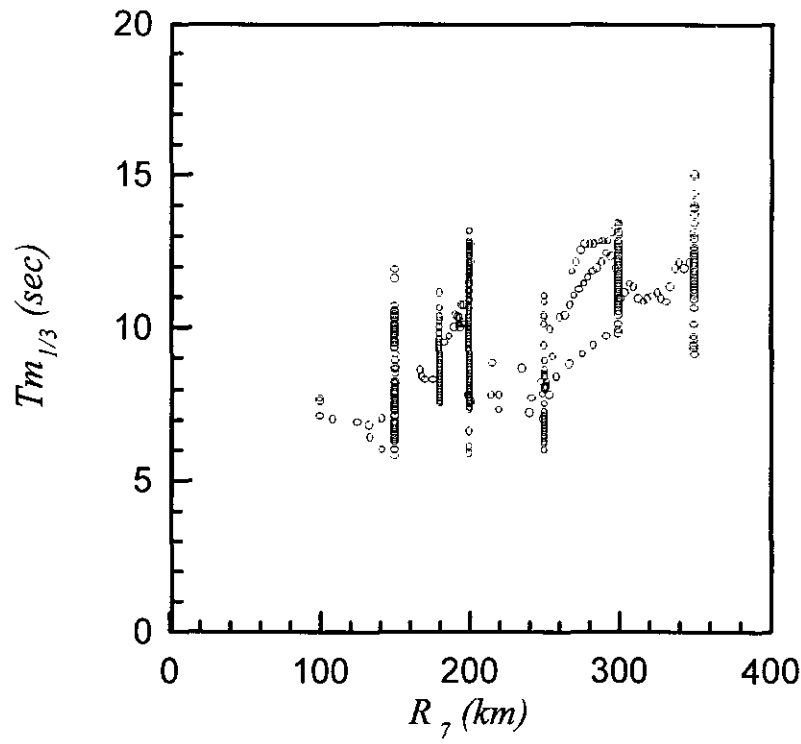


圖 3-8 波浪週期與颱風七級暴風半徑關係圖

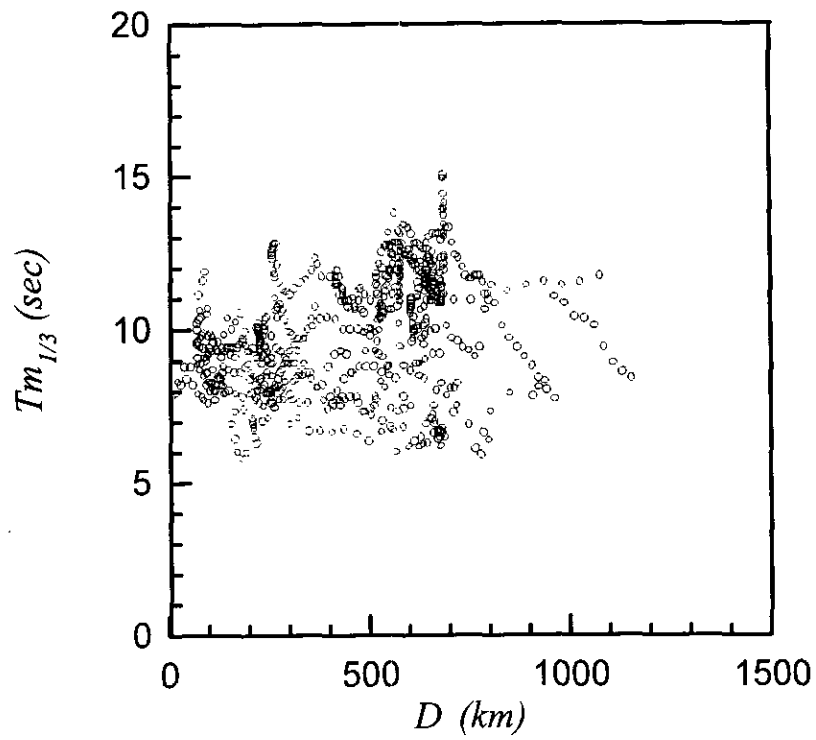


圖 3-9 波浪週期與觀測站至颱風距離關係圖

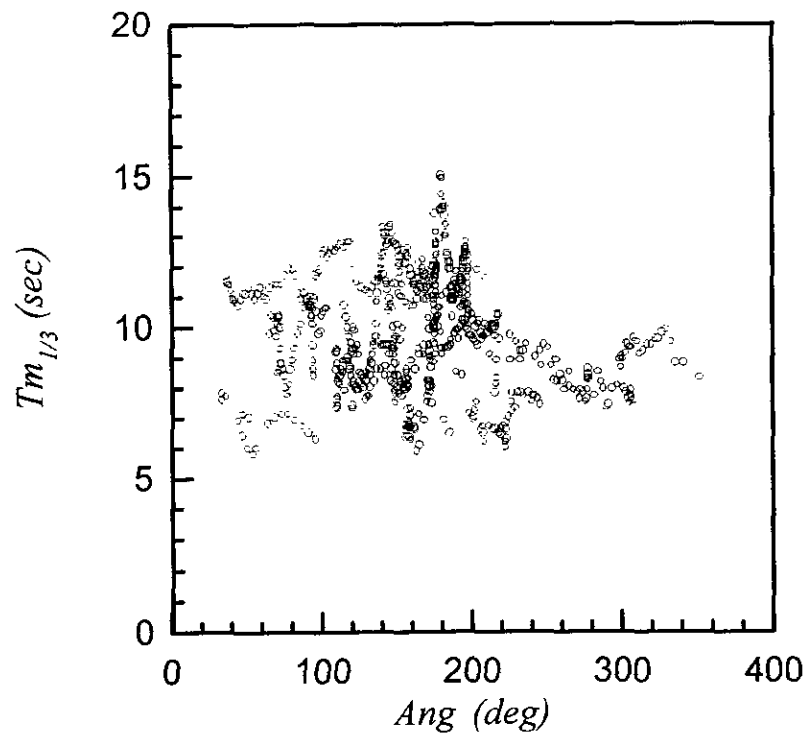


圖 3-10 波浪週期與觀測站至颱風方位角關係圖

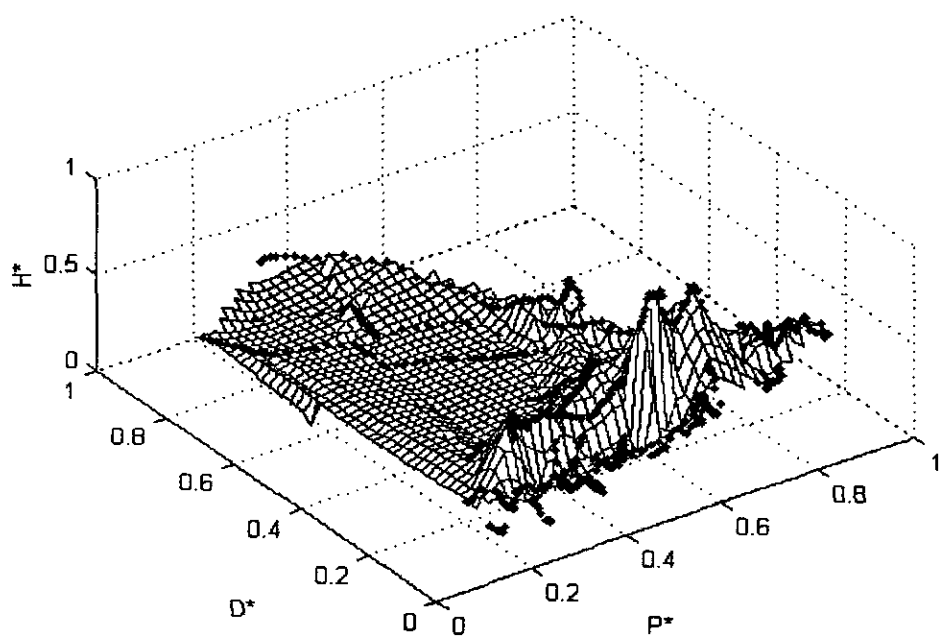


圖 3-11 無因次波高 H^* 、壓力差 P^* 及颱風距離 D^* 關係圖

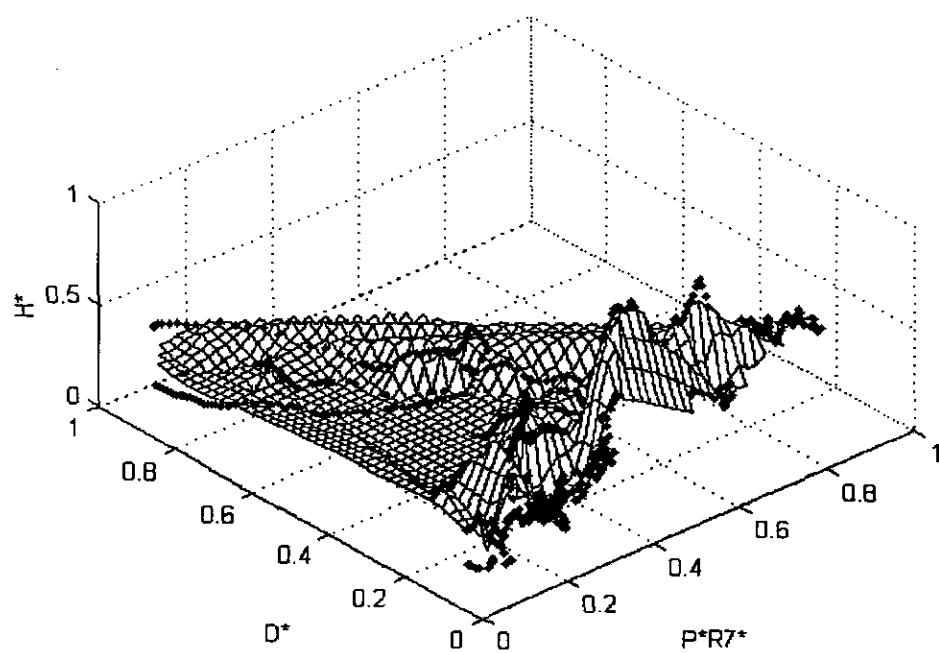


圖 3-12 無因次波高 H^* 、能量指標 P^*R7^* 及颱風距離 D^* 關係圖

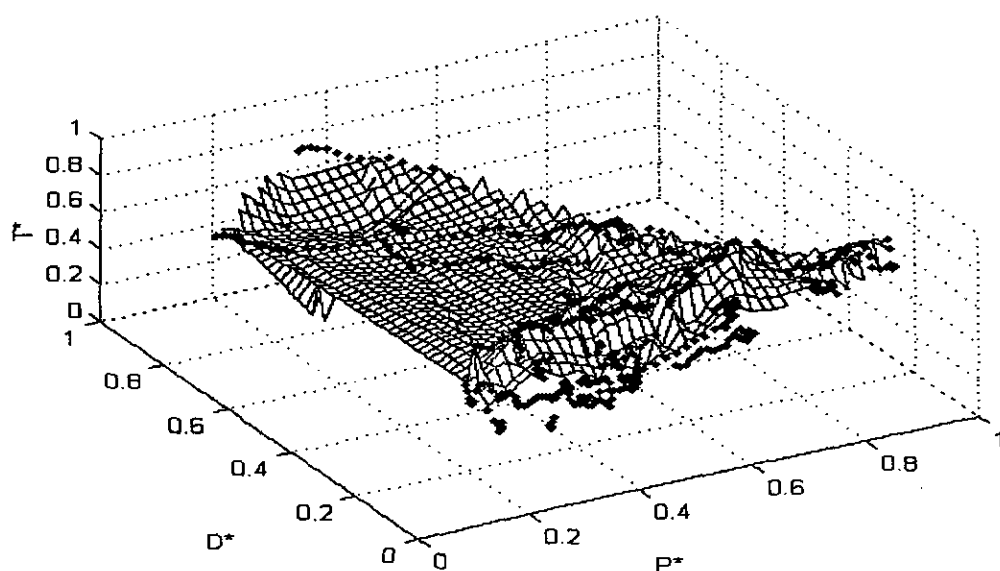


圖 3-13 無因次波高 T^* 、氣壓差 P^* 及颱風距離 D^* 關係圖

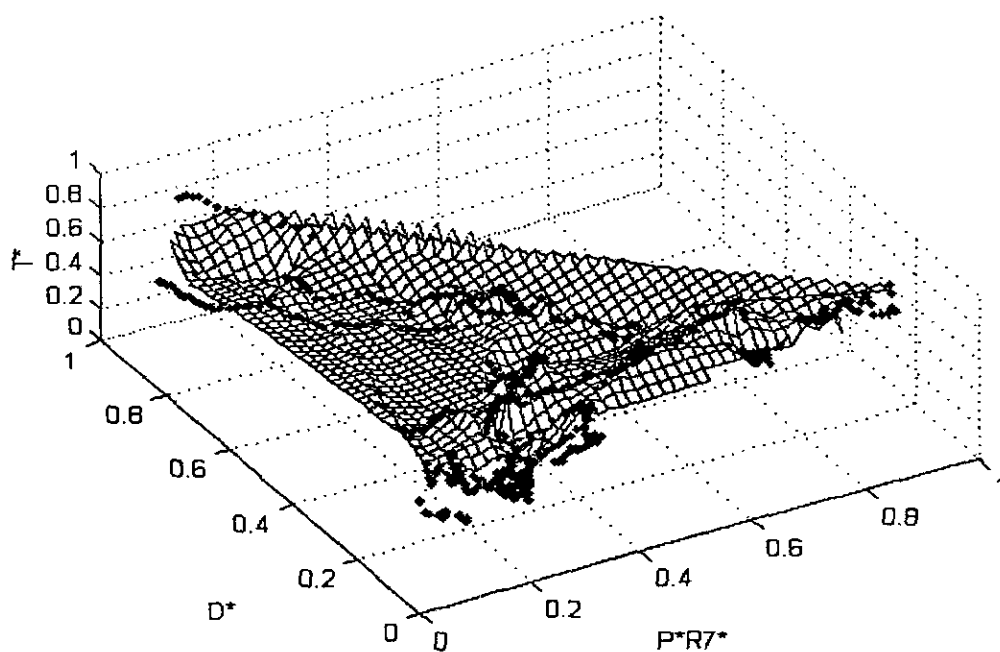


圖 3-14 無因次波高 T^* 、能量指標 P^*R7^* 及颱風距離 D^* 關係圖

第四章 應用類神經建構颱風波浪推算模式

鑑於張 (1999) 對於花蓮港建立的類神經颱風波浪推算模式有優於一般的經驗公式的推算能力，因此本研究將延續張 (1999) 的研究作進一步的改進藉以提高波浪推算的能力。本章將針對颱風波浪推算模式中的倒傳遞類神經網路作一個初步的介紹，接著說明整個波浪推算模式的架構及建構過程，並將不同架構的波浪推算模式作一個初步的比較，並依照推算能力及模式結構精簡進行模式的調整及優選。

4.1 倒傳遞類神經網路

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。使得類神經網路對於一些複雜的多變數特性及關係有相當不錯的描述能力，因此類神經網路正逐漸被許多的領域廣泛的使用。

人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

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

其中

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

依照類神經網路的架構大致可分成前向式架構 (forward) 及回饋式架構 (feedback) 兩種，配合神經元的組合方式就產生不同種類的類神經網路，其中較常使用的網路系統即為倒傳遞類神經網路 (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 (the gradient steepest descent method)，逐步修正誤差函數並使誤差函數最小化。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，從使用的輸入資料中學習，並藉以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，並以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 θ_1 及 θ_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 δ_1 與輸出層差距量 δ_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 ΔW

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，我們以誤差函數 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 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 η 為學習速率 (learning rate) 控制每次誤差函數最小化的速率, 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：

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

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

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

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

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 模式建構及操作

臺灣東部港灣類神經網路颱風波浪推算模式的建構過程將分為：(一)

決定波浪推算模式類神經網路的輸入、輸出參數，(二) 決定波浪推算模式類神經網路的基本架構，(三) 進行波浪推算模式類神經網路模式之建立(四) 波浪推算模式類神經網路的驗證與分析。

4.2.1 輸入輸出參數的決定

推算模式條件(1) 假設颱風影響臺灣每次只有一個，(2) 各場颱風事件具獨立性，(3) 假設颱風結構無傾角，(4) 臺灣東岸海底地形無變化，(5) 忽略颱風行進受陸地的影響，(6) 假設波高、週期、颱風規模具有上限。為了達到建立波浪推算模式容易、推算參數取得方便的目的，對於選取颱風波浪的參數，將採用颱風作用期間中央氣象局發布的氣象資料，選取的氣象資料為七級風暴風半徑 R_7 及颱風中心氣壓差 ΔP ；另外，由公布的颱風中心可計算出颱風中心距推算點的距離 D ，及連續二次公布的風風中心所計算的颱風移動速度 V_f 。海岸地形、海底地形參數等的部分，將假設波浪觀測站海域的海岸地形、海底地形並不因為颱風而產生顯著的變化，因此將海岸地形、海底地形參數視為常數而不列為影響參數，而海岸地形、海底地形等的效應將隱藏在推算預測模式輸入輸出參數關係中。因此氣象資料中波浪推算預測模式的輸入影響參數為 R_7 、 V_f 、 D 、 ΔP 。

為了要降低波浪推算模式的複雜性，必須再尋求其它影響颱風波浪的因素以彌補推算預測模式參數為 R_7 、 V_f 、 D 、 ΔP 的不足，首先是颱風的 R_7 、 V_f 、 D 、 ΔP 無法直接表現出颱風是接近或是遠離測站，因此利用兩次量測颱風中心距測站的距離及間隔時間 Δt ，定出 $V_d = (D_1 - D_2) / \Delta t$ ，我們可以藉由颱風接近花蓮港速度 V_d 的正、負值了解到颱風對於花蓮港而言是接近或是遠離的程度，另一個颱風影響的因素是颱風中心與花蓮港觀測站所相對應的方位角 A ，方位角 A 為正北與測站至颱風中心順時針的夾角，單位為度($0^\circ \leq A \leq 360^\circ$)。一般而言以颱風登陸或解除海上颱風警報終止累計颱風作用時間。

為了要能反應颱風在不同月份及不同氣象條件的波浪特性，將另外增加花蓮港海域颱風接近前的波浪特性；波浪特性將採有義波高及週期 $H_{11/3}$ 、 $T_{11/3}$ ，所以波浪推算預測模式全部的輸入參數為 R_7 、 V_f 、 D 、 ΔP 、 V_d 、 A 、 $H_{11/3}$ 、 $T_{11/3}$ 。波浪推算模式輸出參數為觀測站的有義波高及週期 $H_{p1/3}$ 、 $T_{p1/3}$ ，第一觀測站的有義波高及週期 $H_{m1/3}$ 、 $T_{m1/3}$ 是颱風波浪建構類神經網

路推算模式的模擬學習的目標值。

4.2.2 決定基本架構

由於波浪資料與颱風氣象資料的時間序列上前一時刻與後一時刻的相關性極高，張 (1999) 建立的類神經颱風波浪推算模式並未考慮學習資料前後的相關性，因此本研究將類神經網路架構分成兩個方向進行分析及研究，第一種架構為串聯型的類神經架構，示如圖 4-1；另一種為串並聯型的類神經架構，示如圖 4-2，詳細的組織架構方式將在以下說明：

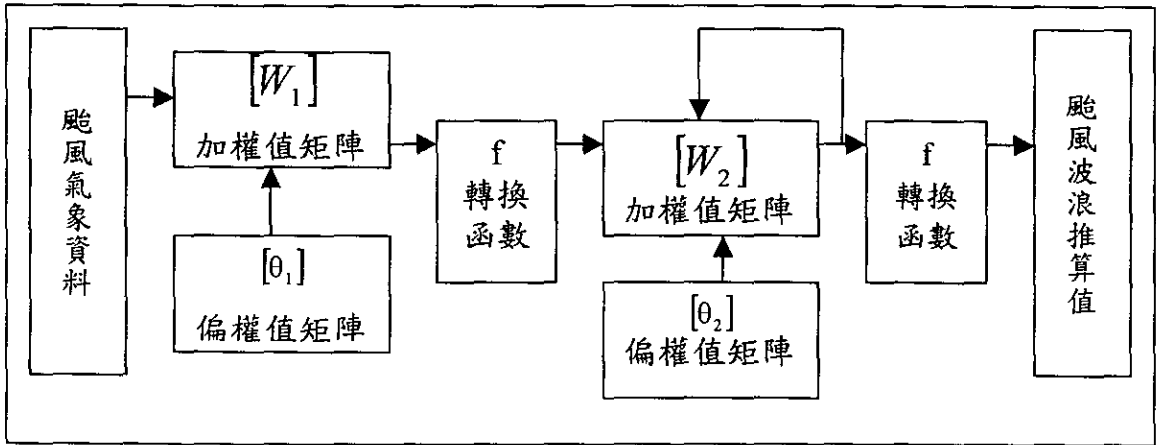


圖 4-1 串聯型的類神經架構

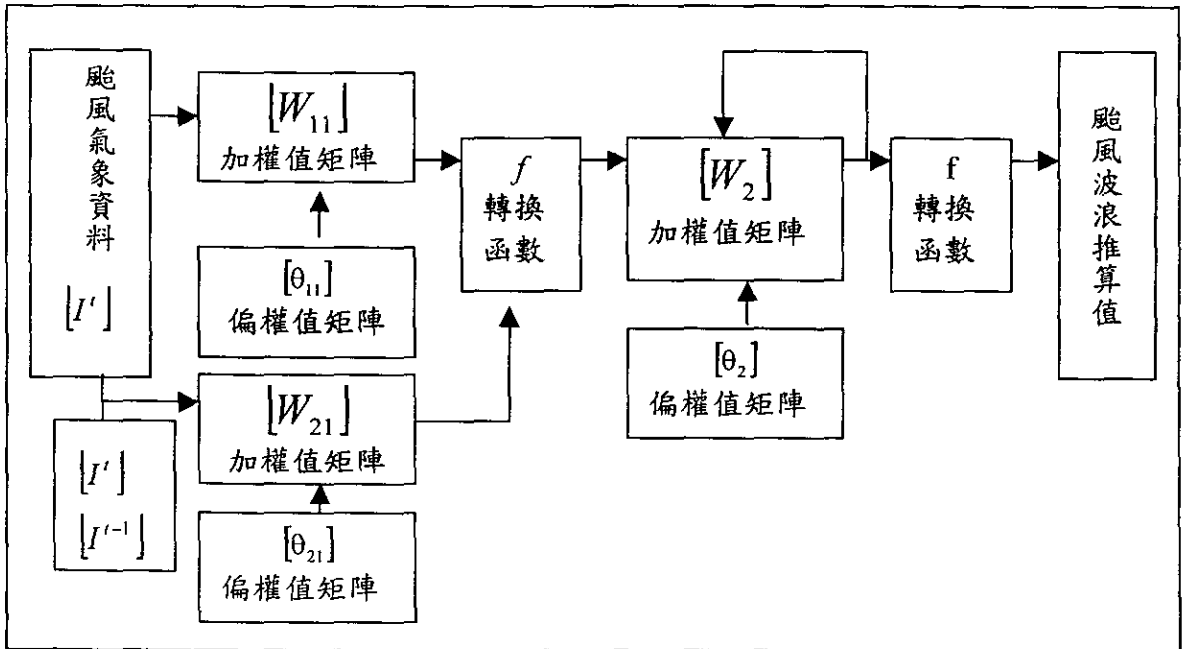


圖 4-2 串並聯型的類神經架構

(1) 串聯型類神經架構

由於輸出參數在颱風逼近時資料數據有群聚的現象，以及需要了解輸出參數變化敏感程度的考慮下，波浪推算系統類神經網路的基本架構為倒傳遞類神經網路及 Elman 類神經網路串連所組成的。第一個類神經網路的模式以倒傳遞類神經網路系統作為波浪預警系統的核心。倒傳遞類神經網路的結構將採用 8 個輸入單元；兩個隱藏層及 1 個輸出單元，在經過試誤及考慮類神經網路系統之收斂速度與描述複雜程度的考量下，倒傳遞類神經網路的第一層隱藏層將採用 16 個神經元；第二層隱藏層將採用 8 個神經元，以期能有效及精確的描述輸入參數與輸出參數間的關係，若以 $H_{netb1/3}$ 為倒傳遞類神經網路的輸出值， $[I]$ 為輸入函數矩陣， $[W_1]$ 、 $[W_2]$ 、 $[W_3]$ 、 $[\theta_1]$ 、 $[\theta_2]$ 、 $[\theta_3]$ 為加權值矩陣及偏權值矩陣，由公式 (4-1) 知第一個部分的類神經網路函數可表示為：

$$H_{netb1/3} = f\{[W_3]_{(1 \times 8)} \cdot f\{[W_2]_{(8 \times 8)} \cdot f\{[W_1]_{(8 \times 16)} \cdot [I]_{(8 \times 1)} - [\theta_1]_{(8 \times 1)}\} - [\theta_2]_{(8 \times 1)}\} - [\theta_3]_{(1 \times 1)}\} \quad (4-16)$$

第二個類神經網路採用 Elman 類神經網路；Elman 類神經網路是屬於倒傳遞類神經網路的一種，具有一個輸入及一個輸出的網路系統，其內含兩層倒傳遞及輸出回授的類神經網路，主要目的是使此刻輸出量與前一時刻的輸出量有相關性。為避免第一個倒傳遞類神經網路在進行波浪推算時因學習的樣本過少或其他原因產生不合理的推算結果。串連的 Elman 類神經網路的功能就是在建立推算值之間有合理的相關性及排除不連續的推算值，Elman 類神經網路 t 時刻的輸出值便是波浪推算模式的推算值。 $H'_{pl/3}$ ，而 $H'_{netb1/3}$ 、 $H'^{-1}_{netb1/3}$ 為倒傳遞類神經網路 t 及 $t-1$ 時刻的輸出值， $[W_{11}]$ 、 $[W_{12}]$ 、 $[W_2]$ 、 $[\theta_1]$ 、 $[\theta_2]$ 為第一及第二隱藏層加權值矩陣及偏權值矩陣。所以由公式 (4-1) 知波浪推算模式的輸入輸出關係式可以表示為：

$$H'_{pl/3} = f\{[W_2]_{(1 \times 2)} \cdot f\{[W_{11}]_{(2 \times 1)} \cdot H'^{(t)}_{netb1/3} + [W_{12}]_{(2 \times 1)} \cdot H'^{(t-1)}_{netb1/3} - [\theta_1]_{(2 \times 1)}\} - [\theta_2]_{(1 \times 1)}\} \quad (4-17)$$

(2) 串並聯型類神經架構

串並連型類神經架構波浪推算系統類神經網路的基本架構為一個倒傳遞類神經網路及一個延時倒傳遞類神經網路並連後和 Elman 類神經網路串連所組成的。兩個倒傳遞類神經網路的結構將採用 8 個輸入單元兩個隱藏

層，在經過試誤及考慮類神經網路系統之收斂速度與描述複雜程度的考量下，倒傳遞類神經網路的第一層隱藏層將採用 12 個神經元；第二層隱藏層將採用 4 個神經元，以期望能有效及精確的描述輸入參數與輸出參數間的關係，若以 $H_{net1/3}$ 為倒傳遞類神經網路的輸出值， $[I^t]$ 為 t 時間輸入函數矩陣， $[I^{t-1}]$ 為 $t-1$ 時間輸入函數矩陣， $[W_1]$ 、 $[W_2]$ 、 $[W_3]$ 、 $[\theta_1]$ 、 $[\theta_2]$ 、 $[\theta_3]$ 為加權值矩陣及偏權值矩陣，由公式 (4-1) 知第一個部分的類神經網路函數可表示為：

$$\begin{aligned}
 H_{net1/3} = & f\{ [W_2]_{(8 \times 8)} \cdot f\{ [W_1]_{(8 \times 16)} \cdot [I^t]_{(8 \times 1)} - [\theta_1]_{(8 \times 1)} \} - [\theta_2]_{(8 \times 1)} \} + \\
 & f\left\{ f\{ [W_{22}]_{(8 \times 8)} \cdot f\{ [W_{21}]_{(8 \times 16)} \cdot [I^t]_{(8 \times 1)} - [\theta_{21}]_{(8 \times 1)} \} - [\theta_{22}]_{(8 \times 1)} \right\} + \\
 & \left. f\{ [W_{32}]_{(8 \times 8)} \cdot f\{ [W_{31}]_{(8 \times 16)} \cdot [I^{t-1}]_{(8 \times 1)} - [\theta_{31}]_{(8 \times 1)} \} - [\theta_{32}]_{(8 \times 1)} \right\}
 \end{aligned}
 \tag{4-18}$$

第二個類神經網路採用 Elman 類神經網路， $H'_{p1/3}$ 、 $H^{(-1)}_{p1/3}$ ，而 $H'_{net1/3}$ 、 $H^{(-1)}_{net1/3}$ 為倒傳遞類神經網路 t 及 $t-1$ 時刻的輸出值， $[W_{11}]$ 、 $[W_{12}]$ 、 $[W_2]$ 、 $[\theta_1]$ 、 $[\theta_2]$ 為第一及第二隱藏層加權值矩陣及偏權值矩陣。所以波浪推算模式的輸入輸出關係式可以表示為：

$$\begin{aligned}
 H'_{p1/3} = & f\{ [W_2]_{(1 \times 2)} \cdot f\{ [W_{11}]_{(2 \times 1)} \cdot H^{(t)}_{net1/3} + \\
 & [W_{12}]_{(2 \times 1)} \cdot H^{(t-1)}_{p1/3} - [\theta_1]_{(2 \times 1)} \} - [\theta_2]_{(1 \times 1)}
 \end{aligned}
 \tag{4-19}$$

4.3 模式之建立

學習訓練的資料將採用 1990 到 1992 共 15 場颱風，877 筆的颱風氣象及波浪量測資料，並以 1990 年的 Abe 颱風及 1993 年以後的颱風波浪資料作為波浪推算模式的測試資料，藉以瞭解波浪推算模式對於未經學習訓練之颱風波浪的推算能力。當輸入及輸出參數確立之後，便希望藉由所建構的類神經網路推算出輸入與輸出參數間的關係，類神經網路學習訓練的終止方式有兩種，一為設定均方根誤差量，在進行類神經網路推算模式之操作時首先需要先確定學習模擬輸出與訓練目標值間可容許的均方根誤差量，均方根誤差量也就是類神經網路學習訓練的終止目標，當學習訓練達到所設的均方根誤差量時類神經網路的學習訓練就終止。

另一為設定學習循環的次數，當學習訓練調整每個神經元間的閾值次數達到設定時，類神經網路學習訓練的操作就停止。此種設定方法可以避免系統均方根誤差量不收斂時產生的無限制的學習，當發生此種現象時就必須檢討輸入參數的性質以及類神經網路的結構。使用者可以依學習目的的不同，將兩種方法交互配合使用，以快速達到學習目標以節省訓練學習的時間。為能對於學習訓練資料有過濾篩檢的能力，可以在學習訓練的資料中加入白色雜訊進行訓練學習的過程，藉以增加類神經網路系統的抗雜訊及容錯能力。

學習訓練前對輸入及輸出參數的量進行正規化 (normalize)，一般而言正規化後的量多在 $[-1, 1]$ 之間，但是針對不同參數的物理性將改變其正規化的區間，在波浪推算預測模式全部的輸入參數 R_7 、 V_f 、 D 、 ΔP 、 V_d 、 A 、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 中只要有颱風形成參數 R_7 、 V_f 、 D 、 ΔP 、 A 、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 應都為正值，因此這些參數值的範圍應落在 $[0, 1]$ 之間，而 V_d 則因其參數特性代表颱風形成後對花蓮港海域的行徑動態，所以 V_d 參數的範圍在 $[-1, 1]$ 之間，由參數的物理特性的區分後就可進一步選擇類神經網路轉換函數範圍。類神經網路推算模式的學習目標是將均方根誤差量設定於0.01，當類神經系統學習達到設定目標時便可進行系統回憶及驗證的工作。

4.4 模式的驗證

類神經網路建立的波浪推算模式要能達成推算結果精確的目標，將進行以下的分析檢定，並證明此模式能正確的表現花蓮港海域的颱風波浪特性，而颱風波浪特性包含有颱風波浪的成長和減衰方式、最大波浪到達的時間以及特有地形對波浪的影響。首先利用颱風氣象及波浪條件的歷史資料(1990-1992)由波浪推算模式正確推算颱風波浪。

(1) 串聯型類神經架構

網路推算模式的驗證工作首先將所收集的颱風氣象歷史資料配合8個輸入參數帶入神經網路波浪推算模式，並將觀測資料 $H_{m1/3}$ 、 $T_{m1/3}$ 與輸出結果 $H_{p1/3}$ 、 $T_{p1/3}$ 比較，比較的結果如圖4-3及圖4-4所示。經由實測的 $H_{m1/3}$ 與計算的 $H_{p1/3}$ 其相關係數平方 R^2 為0.971，而週期方面 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的相關係數平方 R^2 為0.937，波高及週期推算值大多均勻分佈在斜率為1的附近。這個結果表示波浪推算模式在有限資料的訓練學習下，具有良好的波浪推算

能力。

為進一步瞭解波浪推算模式的能力，將選用統計參數來比較每場颱風觀測值與推算值的關係，選用的統計參數包括波高、週期觀測值與推算值的相關係數 R^2 ，藉以瞭解觀測值與推算值相關的程度，並找出推算值產生偏差較大的颱風場次並配合其他統計參數找出誤差原因。為了對波高及週期的量做比較，因此取 $H^* = H_{pl,3} / H_{m1,3}$ 及 $T^* = T_{pl,3} / T_{m1,3}$ 作為觀測值與推算值差異的指標。首先由 H^* 及 T^* 的平均值瞭解推算值是否因為颱風間的差異或模式學習訓練的過程有嚴重的缺陷產生偏離現象，並同時配合每場颱風 H^* 及 T^* 的標準差檢核每場颱風推算過程中是否有異常值及推算系統誤差的出現。各颱風波浪推算統計資料列表如表 4-1 所示。表 4-1 在 1990 到 1992 年間的颱風推算資料中，每場的颱風波高的相關係數平方 R^2 大多維持在 0.85 以上，週期的相關係數平方 R^2 則多在 0.9， H^* 及 T^* 的平均值落在 1.0 ± 0.03 ， H^* 及 T^* 的標準差值落在 0 到 0.02 內，這再次顯示著颱風波浪推算模式擁有良好的推算能力。由表 4-1 及圖 4-3 顯示的結果發現有幾個波高推算值偏離觀測波高值，1991 年 Net 颱風的推算波高相關係數平方 R^2 為 0.71，相較於其他颱風的波高推算的相關係數平方 R^2 有顯著偏低的現象，追究其原因可能由觀測颱風波高時產生的誤差、颱風受到其他氣象條件影響或訓練學習的資料不足所引起。從圖 4-5 顯示 1991 年 Net 颱風 $H_{m1,3}$ 與 $H_{pl,3}$ 比較圖，發現觀測波高值 $H_{m1,3}$ 呈現波段變化，而波浪推算模式仍無法由 Net 颱風的氣象條件及路徑產生完全正確推算波浪的波高變化，對於 Net 颱風而言其原因在於颱風條件的訓練資料中，發生類似 Net 颱風的氣象條件不足或 Net 颱風的行徑較其他颱風不同，所以在颱風波浪推算模式推算下波浪最大值較量測波高提前發生且推算波高值也略低於觀測值，但是對 Net 颱風波浪隨時間變化的趨勢而言推算值與觀測值相類似。

表 4-1 颱風波浪串聯模式推算的統計分析表

年代	颱風名稱	波高 R^2	週期 R^2	H^* 平均值	H^* 標準差	T^* 平均值	T^* 標準差
1990	羅賓(Robyn)	0.889	0.978	0.983	0.01	1.003	0.002
	楊希(Yancy)	0.889	0.914	1	0.017	0.976	0.013
	亞伯(Abe)*	0.952	0.982	1.017	0.008	1.01	0.002
	艾法(Ed)	0.999	0.996	1.033	0.001	1.02	0.001
1991	艾密(Amy)	0.99	0.976	0.983	0.003	1.005	0.001
	艾利(Ellie)	0.997	0.979	1.072	0.001	1.028	0.007
	耐特(Net)	0.71	0.958	1.026	0.025	1.002	0.002
	密雷爾(Mireill)	0.883	0.977	1.01	0.004	1.003	0.001
	露絲(Ruth)	0.885	0.989	1.003	0.002	1.001	0.002
1992	芭比(Bobbie)	0.938	0.958	1.036	0.011	1	0.002
	寶莉(Polly)	0.8	0.772	1.003	0.008	1.005	0.004
	歐馬(Omar)	0.814	0.716	1.013	0.013	1.005	0.007
	艾爾西(Elsie)	0.845	0.89	1.04	0.008	1.002	0.002
	漢特(Hunt)	0.963	0.928	1.024	0.008	1.003	0.002
	蓋伊(Gay)	0.852	0.878	1.002	0.006	0.998	0.002
1994**	提姆(Tim)	0.533	0.533	1.794	0.15	1.636	0.02
	弗雷特(Fred)	0.07	0.51	2.239	3.381	1.054	0.027
	葛拉絲(Gladys)	0.57	0.538	3.485	2.858	1.234	0.079
	席斯(Seth)	0.2	0.609	3.691	3.117	1.74	0.1

註： 1.打*的 Abe 颱風為未列入於學習的颱風資料

2.打**的 1994 年颱風為第二測站的資料，並未列於學習的資料。

其次我們將針對訓練學習的颱風進行波高 $H_{m1/3}$ 、 $T_{m1/3}$ 模擬及比較，圖 4-5 為 Amy 颱風 (1991) 颱風 $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係比較圖。由圖 4-5 可以發現在颱風波浪達到最大波高前，波高推算值與觀測值相當接近而最大發生的時間雖然接近但波高值略低於實測值。圖 4-6 是 Amy 颱風 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的關係比較圖，由於波浪週期的時序列變化在颱風作用 20 小時以後波浪週期趨於一極限值，在颱風離開時週期就開始下降，週期推算值則以接近平均值的趨勢推算出波浪週期，波高、週期相關係數 R^2 分別為 0.99 及 0.97 對 Amy 颱風而言颱風波浪推算模式有相當不錯的推算結果。圖 4-8 為 Ellie (1991)

颱風 $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係比較圖，圖 4-9 是 Ellie 颱風 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的關係比較圖，由於花蓮外海無颱風作用時夏季平均示性波高及週期 $H_{m1/3}$ 、 $T_{m1/3}$ 值為 130cm、6sec，圖 4-8、4-9 可看出颱風波浪的紀錄有部分缺遺，且對 Ellie 颱風(1991)觀測的颱風波浪為作用中的波浪觀測值，其波高及週期變化較小並隨颱風遠離逐漸減小波高、週期相關係數 R^2 為 0.997 及 0.979，這與颱風波浪推算模式推算的結果相當吻合。

從表 4-1 及圖 4-5 至圖 4-8 中可以發現類神經網路推算模式計算的輸出具有相當不錯的模擬結果，模式推算的波浪歷線中波高的推算值仍有提升準確度的空間，可以藉由擴增網路架構及增加學習訓練次數來達成這個目的，但是增加網路的複雜度容易使網路系統不穩定且需要較長的學習訓練的時間，而對於一個學習趨於穩定的網路系統增加學習次數也是一個不符合效率的方法，所以在系統穩定、學習效率及推算精確度三者間如何取捨將依照實際需求決定。

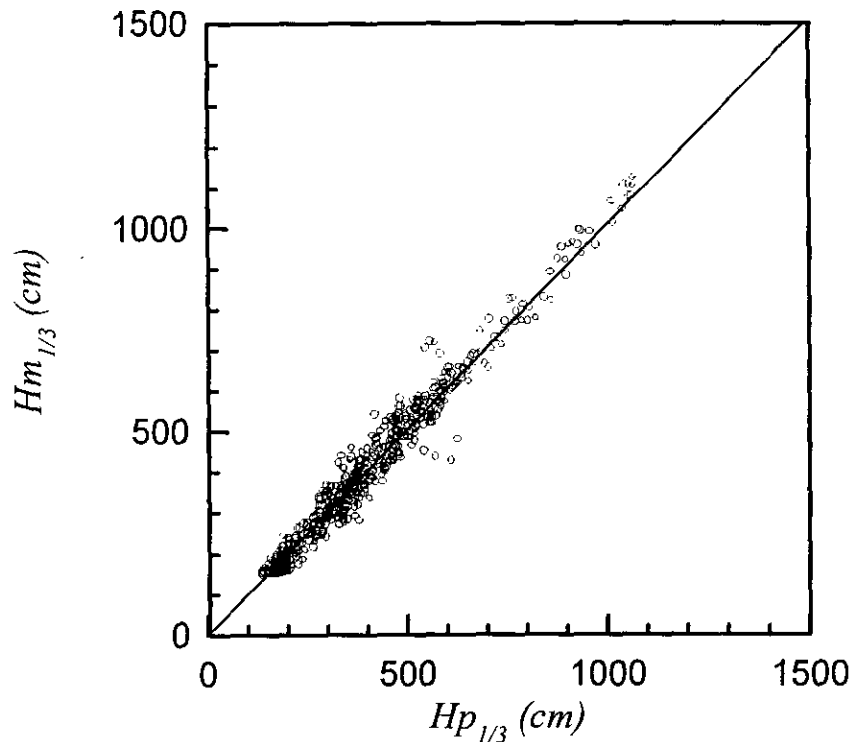


圖 4-3 $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係比較圖

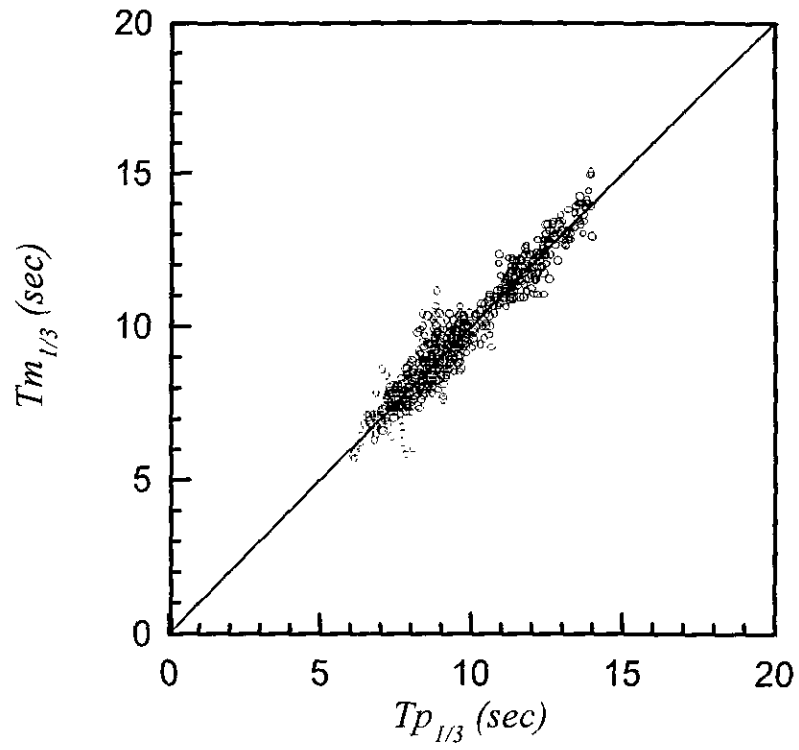


圖 4-4 $T_{m/3}$ 與 $T_{p/3}$ 的關係比較圖

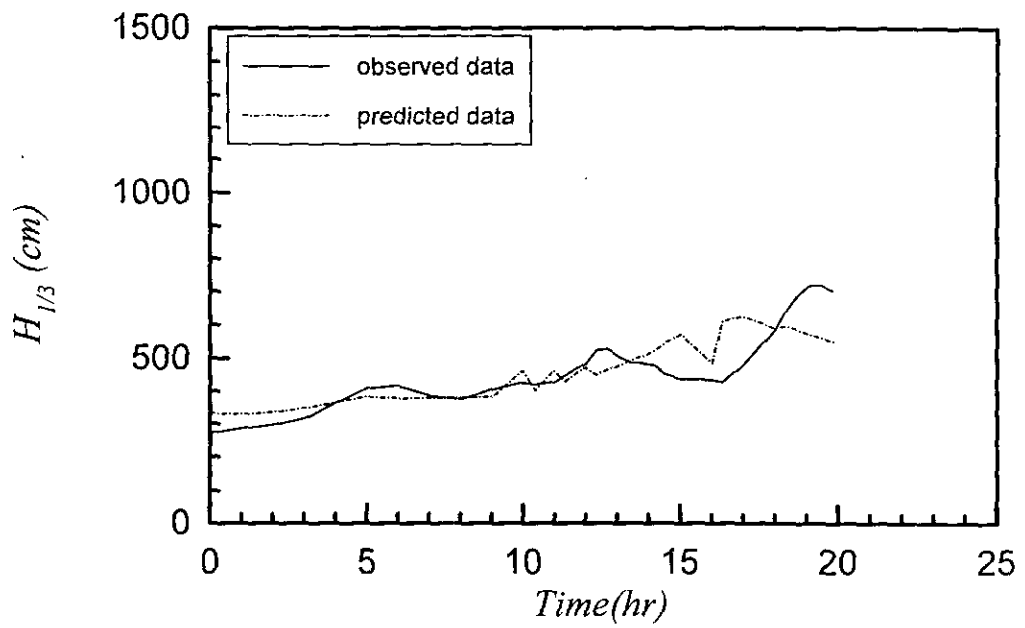


圖 4-5 Net 颱風(1991) $H_{m/3}$ 與 $H_{p/3}$ 的歷線比較圖

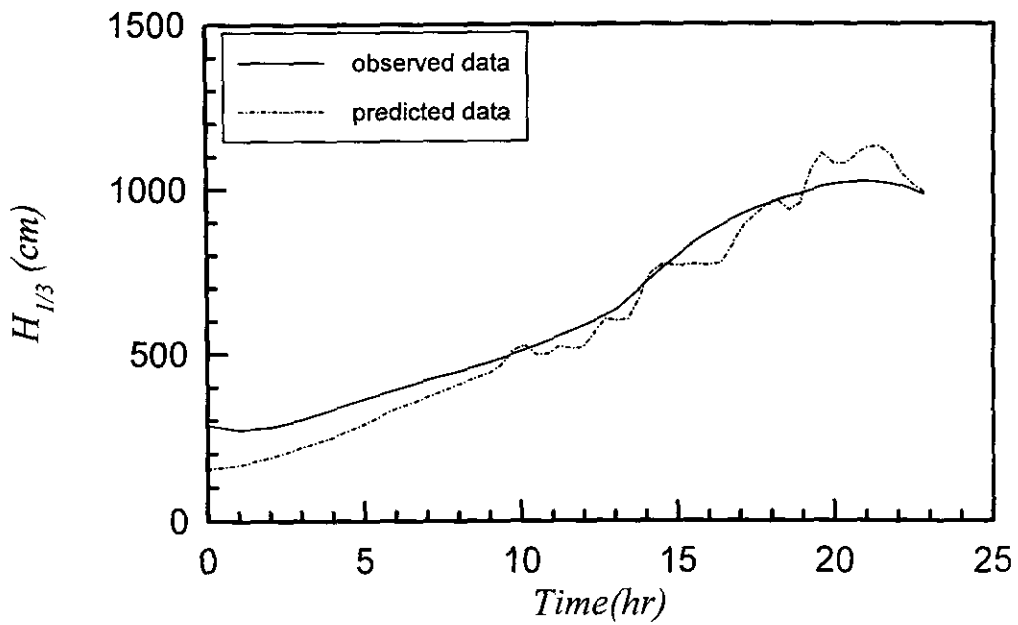


圖 4-6 Amy 颱風(1991) $H_{m/3}$ 與 $H_{p/3}$ 的歷線比較圖

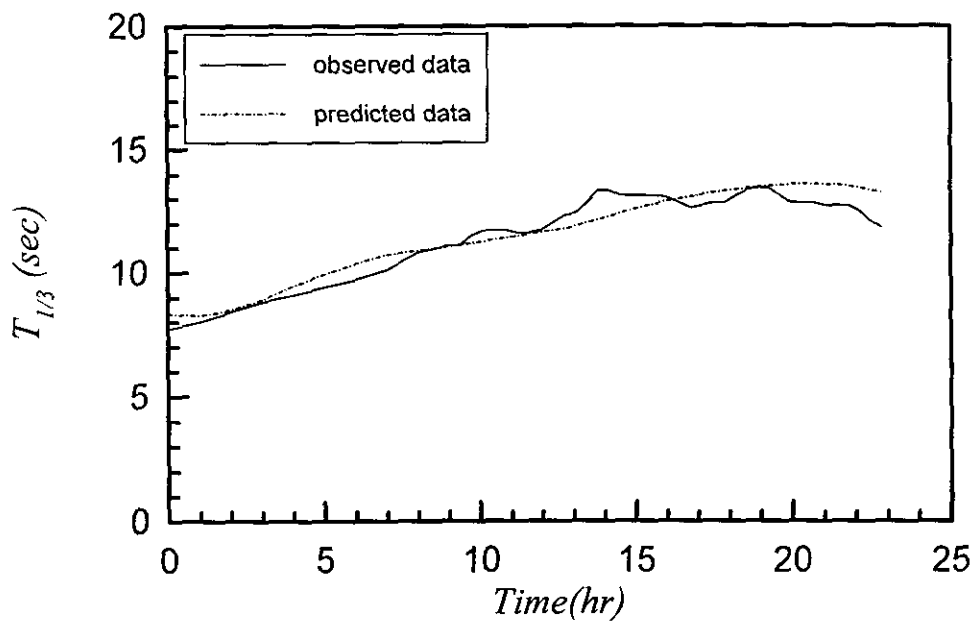


圖 4-7 Amy 颱風(1991) $T_{m/3}$ 與 $T_{p/3}$ 的歷線比較圖

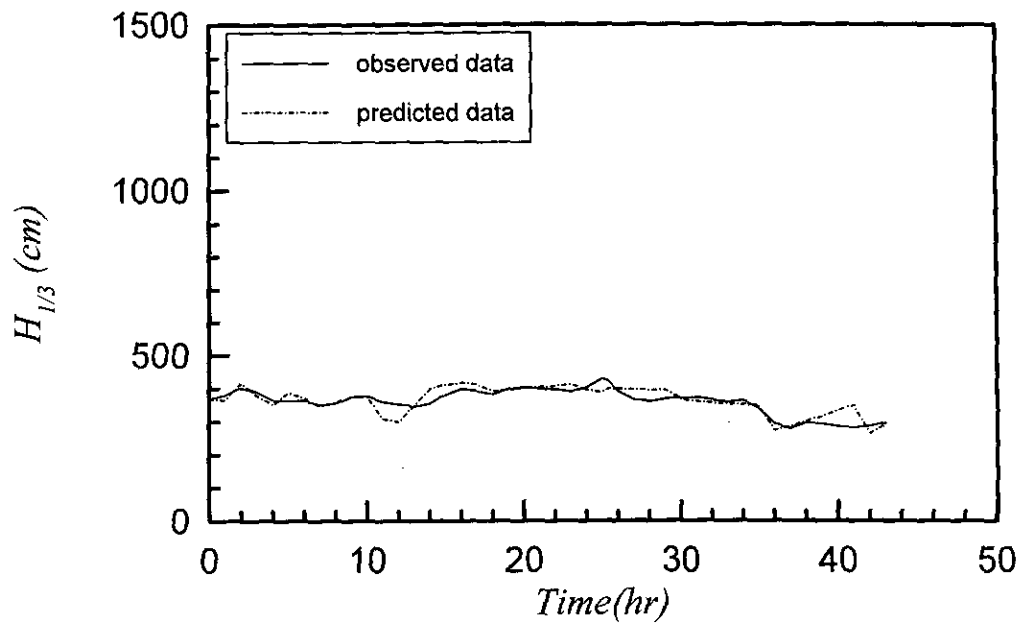


圖 4-8 Ellie 颱風(1991) $H_{m/3}$ 與 $H_{pl/3}$ 的歷線比較圖

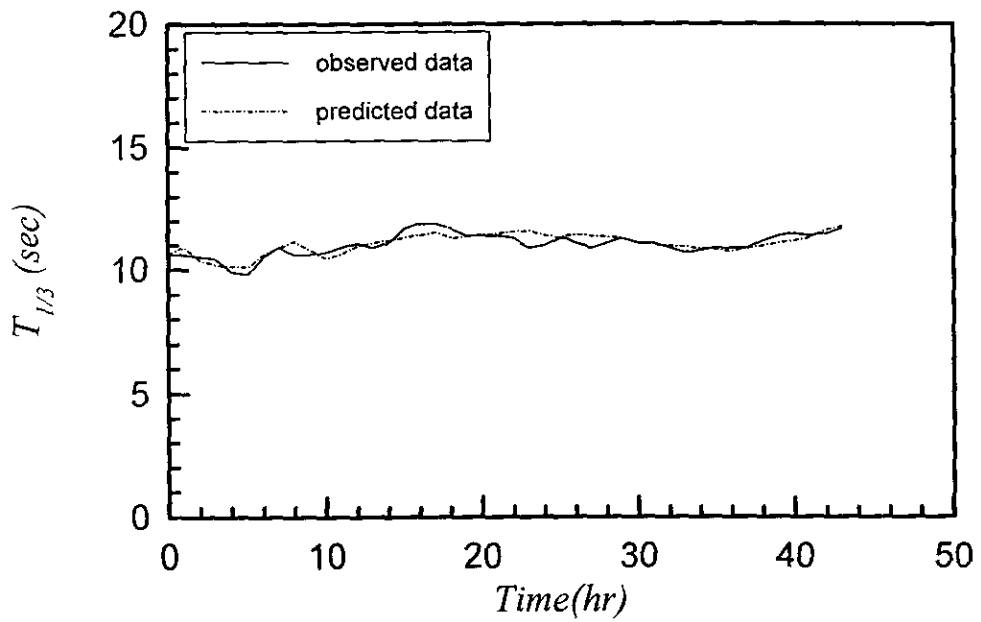


圖 4-9 Ellie 颱風(1991) $T_{m/3}$ 與 $T_{pl/3}$ 的歷線比較圖

本研究將在波浪推算模式的建立及訓練過程中，颱風氣象、波高資料中不含 1990 年 Abe 颱風的波浪資料，利用未經訓練學習的 Abe 颱風氣象資料配合建構的波浪推算模式進行波浪推算。圖 4-10、4-11 為 Abe 颱風(1990) 波高推算及觀測值的比較結果，Abe 颱風以相當快的速度接近台灣，因此波浪的記錄較少，由圖 4-11 顯示推算波高與觀測波高值的比較值平均分佈在推算波高等於觀測波高值的線段上，對於 Abe 颱風進行颱風波浪推算，波高時序列結果顯示如圖 4-10 所示，推算波高與觀測波高值相當接近且波高值有著相似的變化趨勢，由表二顯示推算的波高與週期相關係數 R^2 都在 0.95 以上，顯示波浪推算模式對於未經學習的颱風條件下，在學習過的颱風資料附近有良好的推算能力，由圖 3-2 觀察 Abe 颱風的路徑資料亦可發現其波浪資料及氣象資料的不完整，故推算結果雖好，但不具代表性，這個部分亦是日後改進克服的部分。

利用第一個測站建立的波浪推算模式對相同海域的第二測站進行波浪推算，並同時與第二測站 1993 年的波浪資料進行比對。由於花蓮外海的海流流況、海底及海岸地形等變化不大，因此推測在不同觀測點量測的波高將會有波高值有變化且波高的時序列變化情形應該相近似，也就表示波浪最大值發生的時間應該相近，以驗證此波浪推算模式具模擬該海域颱風波浪發展的能力。因此利用第一個測站去推測第二個測站波高值應該有相似的波浪特性，第二個測站紀錄的時間從 1993 年開始所以將 1993 年後得颱風氣象特性帶入建立的波浪推算模式，利用 1993 年的 Tim 颱風、Gladys 颱風並將波高推算值與量測值做一比較。Tim 颱風的波高推算值與量測值如圖 4-12 所示，由圖 4-12 顯示波高推算值與量測值隨颱風接近波高成長的趨勢一致，波高推算值平均大於量測值。

由表 4-1 可以得知 Tim 颱風的波高及週期相關係數 R^2 都為 0.533 但是波高比 H^* 平均值為 1.794，Gladys 颱風的波高相關係數 R^2 是 0.57，但是波高比 H^* 平均值為 3.485，從圖 3-1 中對測站位置分析發現波浪可能受到地形及結構物相當程度的影響。

Gladys 颱風的波高推算值與量測值如圖 4-13 所示，波高推算值與量測值隨颱風的接近波高成長也有一致的趨勢，波高值差異較大，其他如 Seth 颱風也有類似的推算結果。由於波浪推算模式的波浪推測值設有輸出限制所以圖 4-13 中推算值在 Gladys 颱風作用第 30 小時起至第 55 小時推算模式內

部核心設有波高輸出限制，當計算值超過限制值時輸出波高值便為限制值，這也就是造成相關係數 R^2 降低的原因。

由表 4-1 發現 Fred 颱風的波高相關係數 R^2 為 0.07，波高比 H^* 平均值為 2.239，此顯示波浪推算的結果與實測值有明顯的差異，進一步觀察 Fred 颱風的波高歷線如圖 4-14 所示，經由前兩場的颱風波浪分析可以歸納出波高比 H^* 平均值偏高的原因是受推算模式推算不同測站的影響，而颱風最大值發生的時間則有延後的現象，這便是相關係數 R^2 低的原因，颱風最大值發生的時間延後的原因主要來自與 Fred 颱風相似的訓練資料不足產生的。由於外海颱風波浪受地形及海底地形的差異因而使得波高不同，波高時序列變化趨勢相似，因此可以發現波浪推算模式可以藉由相同海域不同測站的波浪記錄進行波浪推算模式的驗證，利用點對點交互驗證的方式以建立一個合理準確的波浪推算模式。

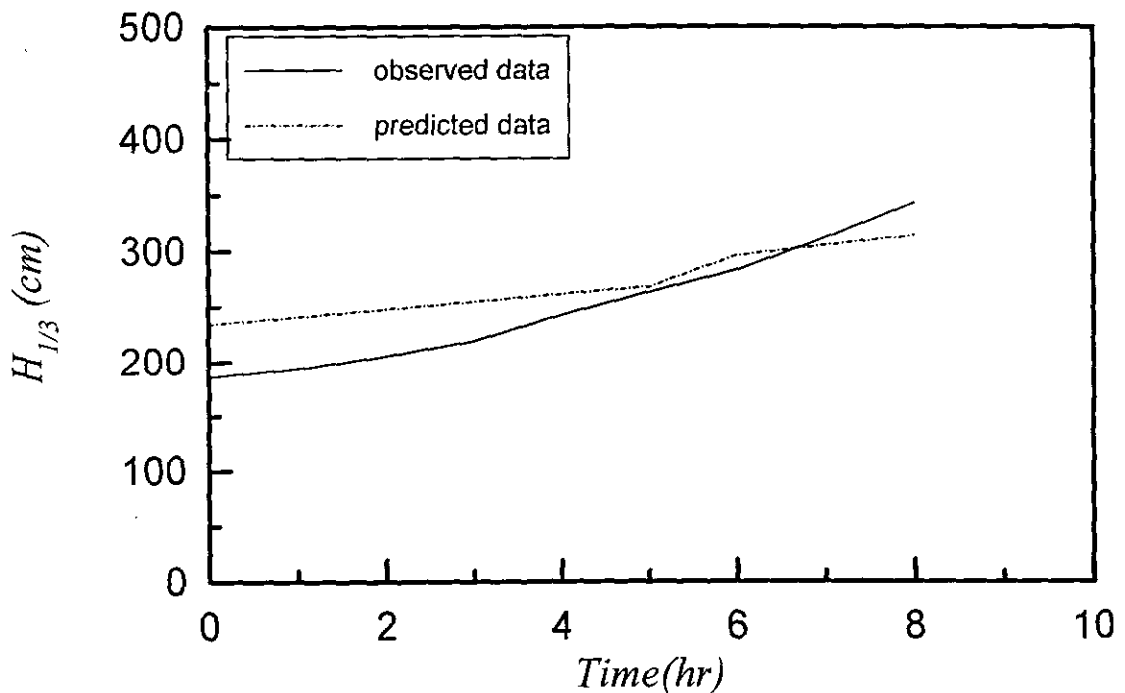


圖 4-10 Abe 颱風(1990) $H_{m/3}$ 與 $H_{p/3}$ 的歷線比較

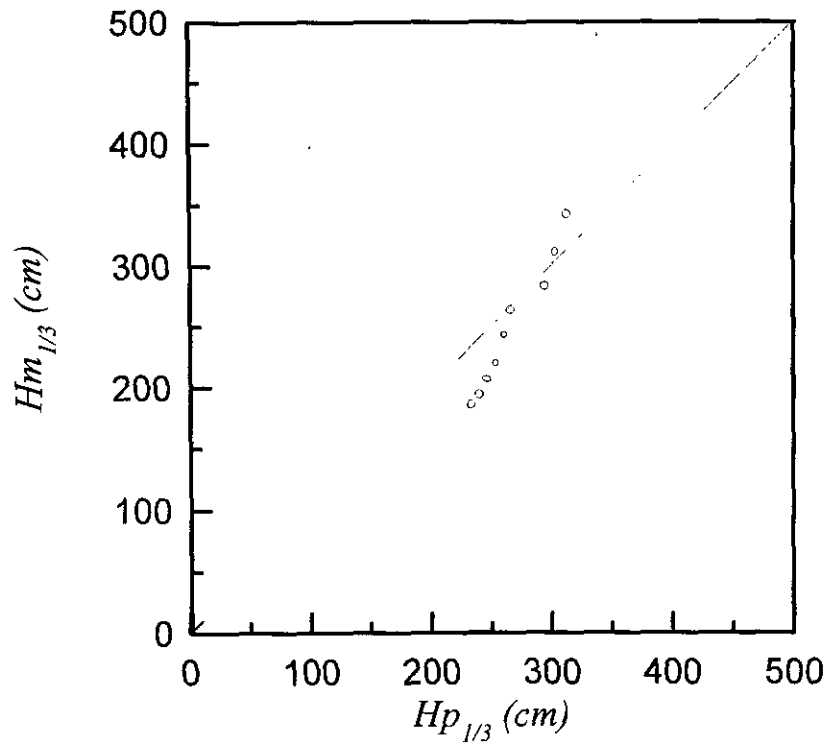


圖 4-11 Abe 颱風(1990) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係圖

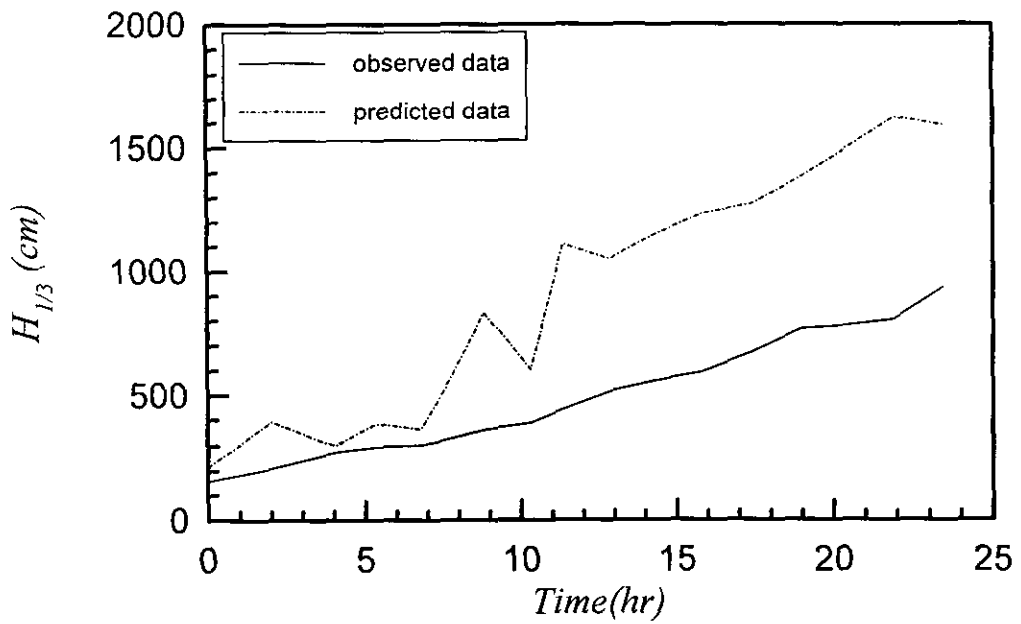


圖 4-12 Tim 颱風(1993) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖

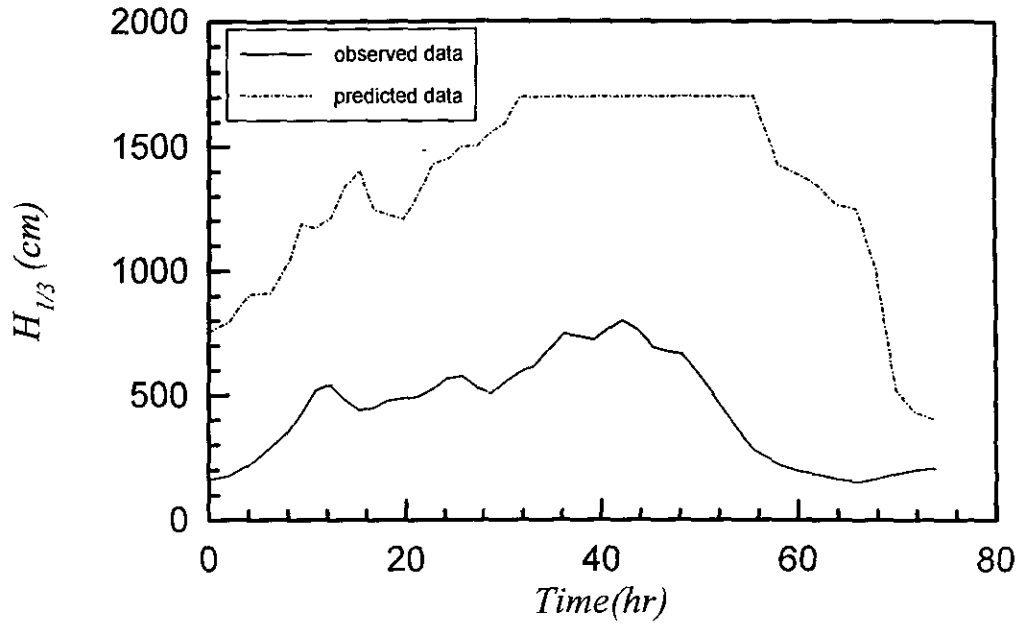


圖 4-13 Gladys 颱風(1993) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖

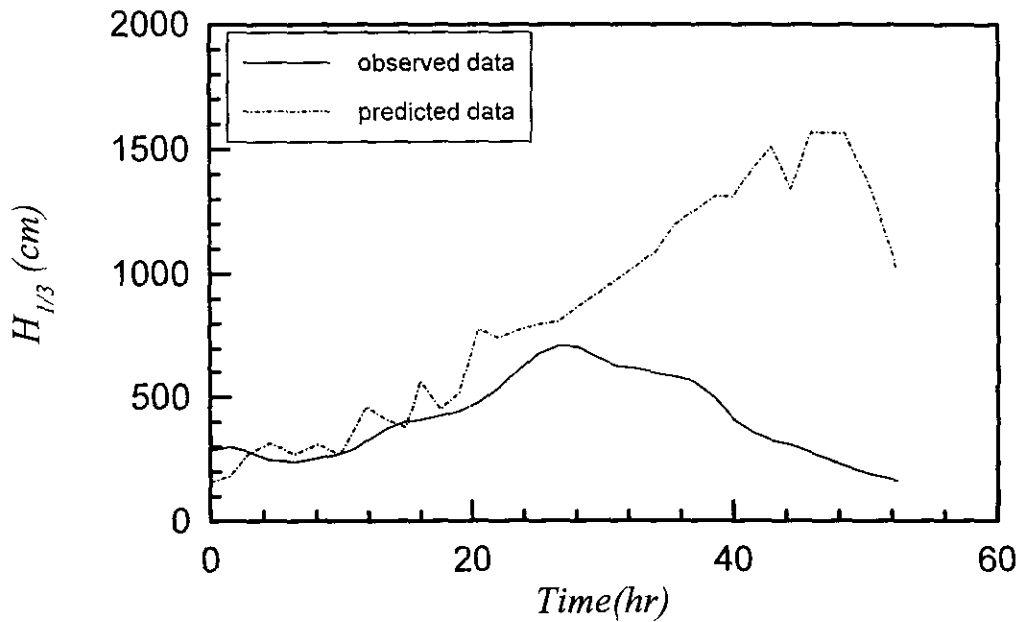


圖 4-14 Fred 颱風(1993) $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的歷線比較圖

(2) 串並聯型類神經架構

串並聯型類神經網路推算模式的驗證工作如同之前的方式將所收集的颱風氣象歷史資料配合 8 個輸入參數帶入神經網路波浪推算模式，將觀測資料 $H_{m1/3}$ 、 $T_{m1/3}$ 與輸出結果 $H_{p1/3}$ 、 $T_{p1/3}$ 比較，比較的結果如圖 4-15 及圖 4-16

所示。 $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的相關係數平方 R^2 為 0.975，而 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 的相關係數平方 R^2 為 0.94，波高與週期的推算值大多均勻分佈在斜率為 1 的附近。並串聯模式推算波高與週期和實測值的相關係數平方值均略高於串聯型類神經架構的結果，但是，推算值分佈在斜率 1 的附近較不集中。個別的颱風統計資料如表 4-2 所示，從表 4-2 發現颱風資料較短缺的推算結果發生的偏差較大，發生這樣的結果的原因包括類神經網路結構無法表達資料的複雜性、學習資料有誤差導致學習的誤差落在局部最小值或是學習過程中誤差累積造成，這些原因將在日後謀求解決之道，以提升推算品質。

由於串並聯類神經網路結構較串聯類神經複雜許多，因此在訓練過程上必須增加訓練時間及改進學習的演算方法以提高精確度。

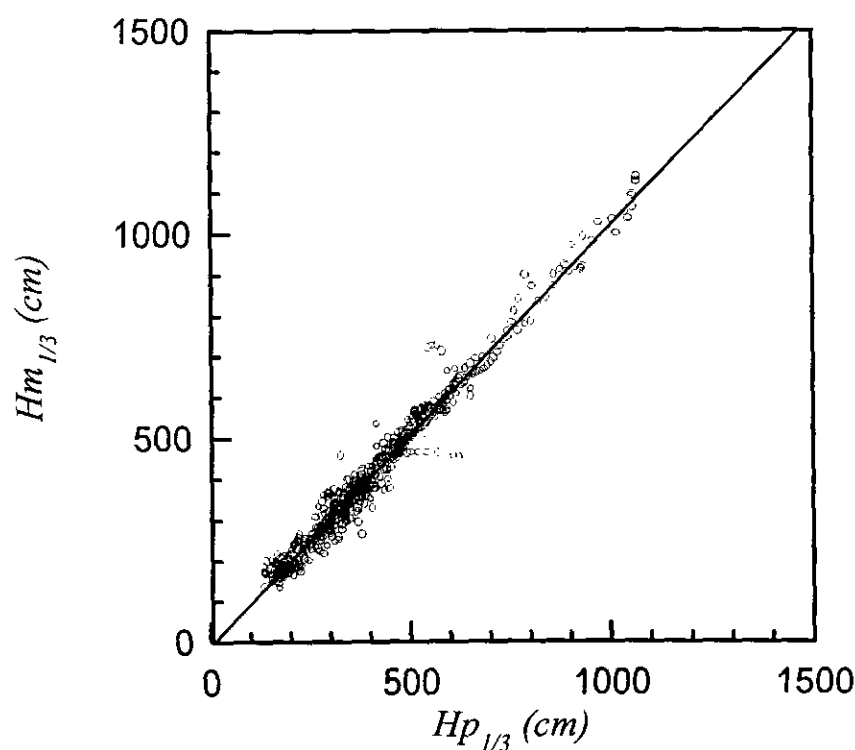


圖 4-15 $H_{m1/3}$ 與 $H_{p1/3}$ 的關係比較圖

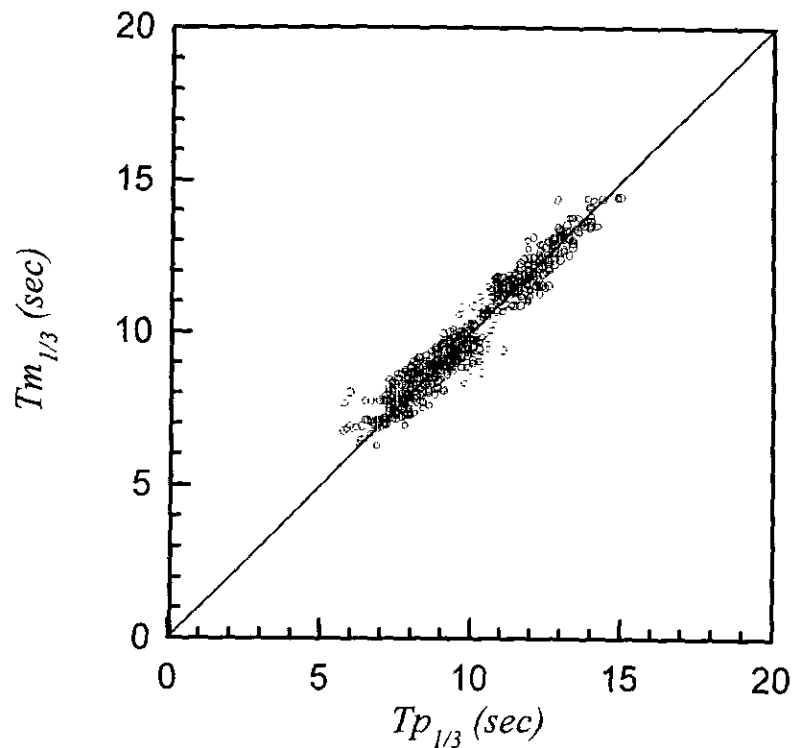


圖 4-16 $T_{m_{1/3}}$ 與 $T_{p_{1/3}}$ 的關係比較圖

表 4-2 並串聯模式推算颱風波浪的統計分析表

年代	颱風名稱	波高 R^2	週期 R^2	H^*	H^*	T^*	T^*
				平均值	標準差	平均值	標準差
1990	羅賓(Robyn)	0.769	0.998	0.943	0.112	0.919	0.146
	楊希(Yancy)	0.983	0.929	0.856	0.143	0.842	0.127
	艾法(Ed)	0.783	0.978	0.937	0.146	0.945	0.127
1991	艾密(Amy)	0.99	0.99	0.614	0.282	0.596	0.266
	艾利(Ellie)	0.992	0.979	1.012	0.030	0.976	0.021
	耐特(Net)	0.933	0.865	0.891	0.049	0.940	0.065
	密雷爾(Mireill)	0.710	0.981	0.958	0.047	0.968	0.032
	露絲(Ruth)	0.856	0.982	0.983	0.028	0.982	0.023
1992	芭比(Bobbie)	0.971	0.882	1.006	0.008	0.992	0.008
	寶莉(Polly)	0.966	0.976	0.958	0.022	0.988	0.017
	歐馬(Omar)	0.897	0.865	0.993	0.014	0.986	0.013
	艾爾西(Elsie)	0.896	0.926	0.996	0.012	0.991	0.009
	漢特(Hunt)	0.911	0.834	0.958	0.011	0.995	0.015
	蓋伊(Gay)	0.989	0.969	0.961	0.031	0.973	0.031

4.5 精簡模式

綜合以上的測試分析可以進一步的證明，在建立花蓮港海域的波浪推算模式的結果是符合 (1) 建立模式的參數取得方便；直接由中央氣象局發布的氣象資料即可推算花蓮港海域的波浪特性，(2) 建立波浪推算模式的過程方便且容易；配合類神經網路進行模式測試及驗證的步驟，容易快速且具有代表性的建立模式。

本研究將更進一步經由靈敏度分析及嘗試法簡化推算模式的架構、簡化颱風資料的處理、增加學習效率及增加推算的速度，並同時保有精確度及結構簡單的目標。此一階段採用串聯式類神經網路作為推算模式的主體，輸入參數為 R_7 、 D 、 ΔP 、 V_d 、 A 、 $H_{11/3}$ 、 $T_{11/3}$ 等七個參數，其中 V_f 與 A 、 V_d 、 D 相關性極高配合模式的試誤法以及考慮 R_7 與 ΔP 的乘積稱為能量指標 (Energy Index)，故將 ΔP 保留而將 V_f 省略。所以類神經第一部份的架構簡化為倒傳遞類神經網路第一層隱藏層將採用 14 個神經元；第二層隱藏層將採用 7 個神經元，之後為一個輸出端，這樣的結果將減少學習時間提升學習效率。

由前述的分析結果發現類神經網路對於學習的內容及數量有相當大的依賴性，在考慮學習效率所以將颱風資料中 1991 年的艾爾西 (Elsie)、漢特 (Hunt)、蓋伊 (Gay) 其相對於觀測站的距離約為 1500 公里以上的波浪資料移出，因此精簡模式將以第一個觀測站為模式建立的目標，而學習驗證的方法為將每場颱風的波浪及氣象資料依時間序列排列，將排列單數的部分列為學習目標，另外將偶數的部分列為驗證的目標，也就是類神經網路以單數的颱風波浪資料為學習目標，推算偶數颱風氣象條件下的颱風波浪資料，精簡模式詳細的學習內容如表 4-3

圖 4-17 為波高的學習值與量測值的關係 R^2 為 0.997，圖 4-18 為波高的推算值與量測值的關係 R^2 為 0.997，圖 4-19 為週期的學習值與量測值的關係 R^2 為 0.998，圖 4-20 為週期的推算值與量測值的關係 R^2 為 0.998，由以上的結果發現只要颱風規模以及路徑類似颱風波浪就能有相當好的推算結果，另外，由於波浪週期的變化程度相較單純於波高，所以模擬及推算的結果也較好。

表 4-3 精簡模式學習颱風波浪的記錄時間表

年代	颱風名稱	波浪記錄時間	資料筆數
1990	羅賓(Robyn)	7月9日8時-7月10日20時	7
	楊希(Yancy)	8月17日8時-8月17日16時	12
	亞伯(Abe)	8月29日8時-8月31日8時	9
	艾法(Ed)	9月14日6時-9月15日8時	3
1991	艾密(Amy)	7月17日14時-7月19日20時	48
	艾利(Ellie)	8月16日2時-8月19日2時	19
	耐特(Net)	9月22日8時-9月24日17時	32
	密雷爾(Mireill)	9月25日8時-9月27日5時	45
	露絲(Ruth)	10月26日7時-10月30日8時	161
1992	芭比(Bobbie)	6月26日14時-6月28日20時	63
	寶莉(Polly)	8月27日8時-8月31日8時	92
	歐馬(Omar)	9月3日8時-9月5日17時	60
1997	艾文(Ivan)	10月19日21時-10月21日17時	55
1998	奧托(Otto)	8月3日9時-8月5日9時	67
1999	山姆(Sam)	8月19日20時-8月21日21時	33
	丹恩(Dan)	10月5日14時-10月8日20時	40

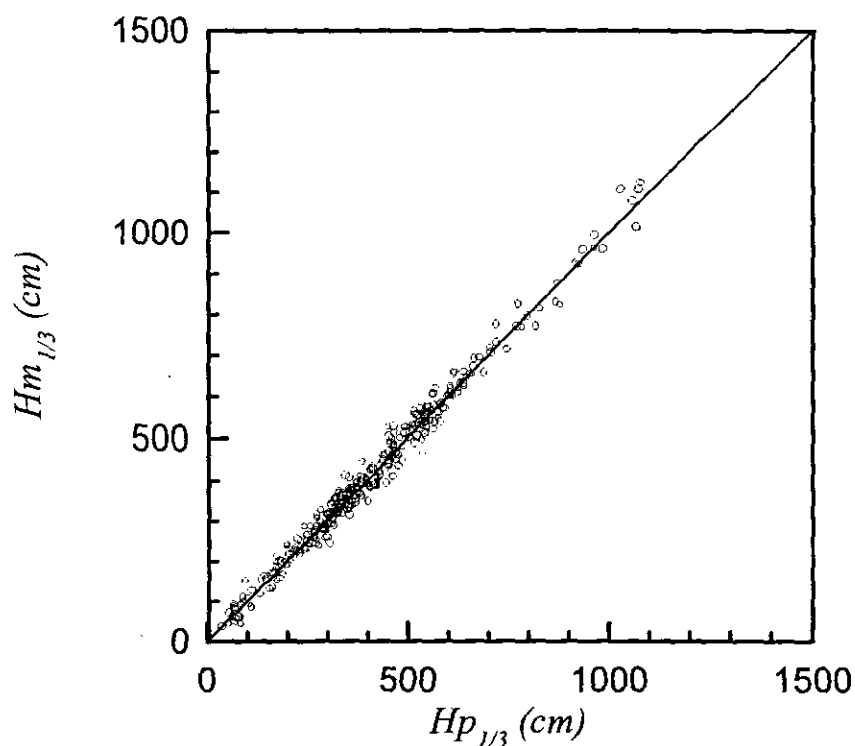


圖 4-17 精簡模式中波高的學習值與量測值的關係

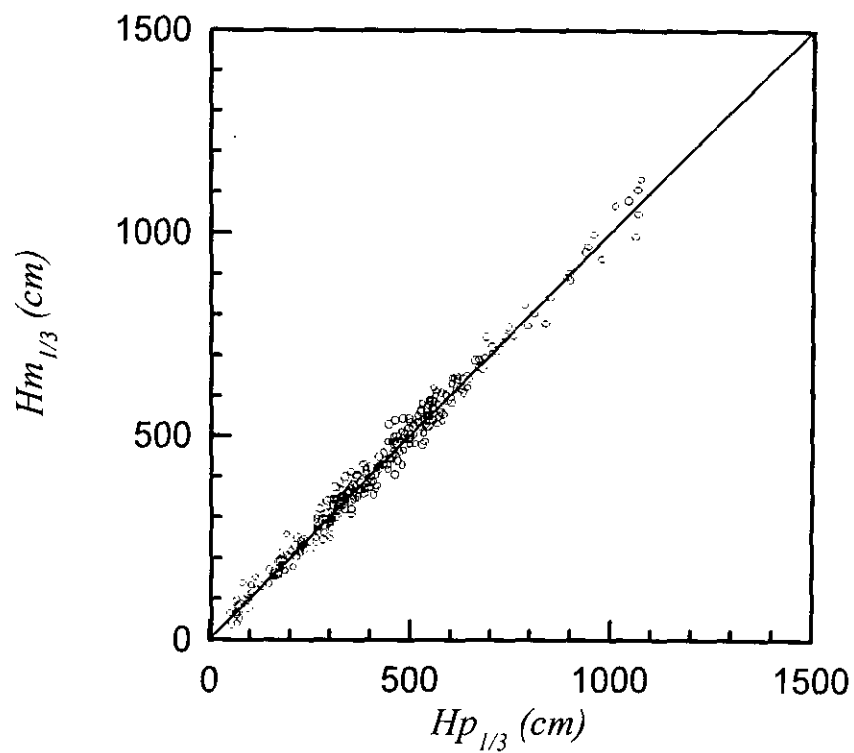


圖 4-18 精簡模式中波高的推算值與量測值的關係

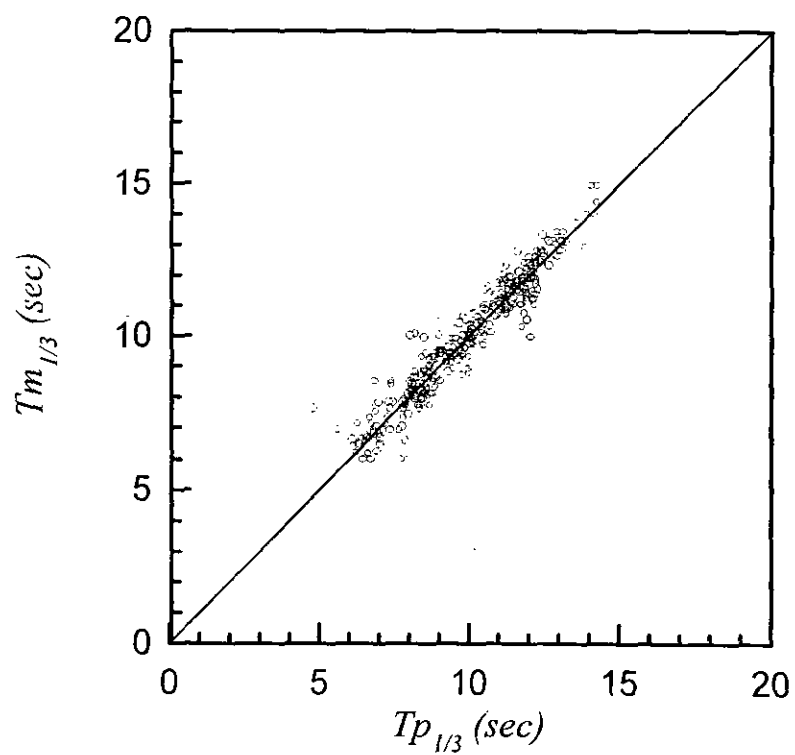


圖 4-19 精簡模式中週期的學習值與量測值的關係

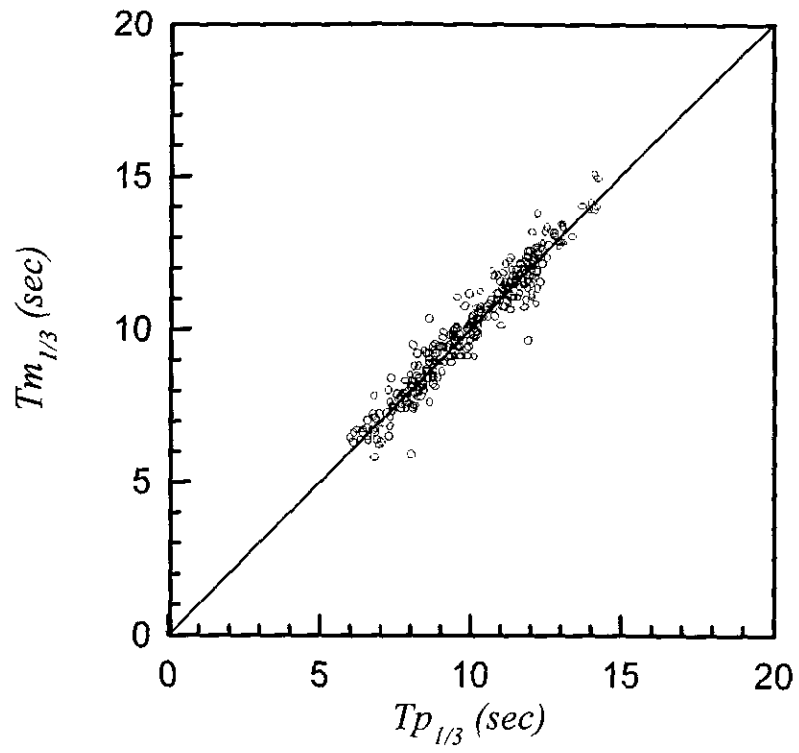


圖 4-20 精簡模式中週期的推算值與量測值的關係

第五章 結論與建議

5.1 結論

颱風與波浪的關係相當複雜但是在許多的非線性關係的組合下卻也有一些相當明顯的特性，本研究利用花蓮港在 1990-1999 年間波浪測站海象條件進行分析，期望以類神經網路建立颱風波浪推算模式，能達成模式建立準確快速，運算參數取得容易，具有推算的能力以及自我驗證檢定的颱風波浪推算模式。經過一連串的測試及驗證，本文可歸納以下幾點結論：

類神經網路颱風波浪推算模式的建立，必須依賴完整的學習資料以及測試，若學習資料不足或內容有錯誤時，所建立的推算模式亦可能有不正確的輸出值。

類神經網路建立的颱風波浪推算模式完成後，必須進行完整的測試包括訓練學習資料及非訓練學習資料的測試，以避免波浪推算模式只具有部分相似的推算結果。

欲使類神經網路颱風波浪推算模式有更高的推算精確度，可以採用增加類神經網路規模或增加學習訓練資料及學習次數的策略交互使用，使颱風波浪推算模式具有更佳的推算能力。

當建立波浪推算模式的海域內有多個波浪測站時，可以採用建立多個測站的波浪推算模式交互驗證波浪時序列的變化趨勢，以提高該海域的波浪推算準確度，並可瞭解該海域波浪分佈及傳達情形。

類神經網路建立的颱風波浪推算模式，可以隨著新的颱風資料繼續學習及調整，以因應海域內某些影響波浪的因子產生變遷如海域內地形變化或海岸結構物的興建。

類神經網路颱風波浪推算模式的建立過程中完全依賴訓練的波浪資料，並沒又另外考量推算參數間的物理關係或能量的轉移，以少數觀測站資料要進一步求取碎波、折射、繞射的效應將不易藉由模式找出海域內其它位置的波浪變化。

本研究關於學習資料的取得內容在颱風氣象資料與波浪資料無法完全配合的情形下，針對此一推算模式產生的限制包括：遠離學習路徑的颱風推算結果會有較大的誤差、推算未曾學習的颱風波浪亦會有較大的誤差，若要提高推算的精確率就必須建構完整的波浪及氣象資料。

為了具有更精確的推算及兼具實用價值，將以建立一個多工的類神經網路颱風波浪推算模式為目標，並且能對海域特性做深入的探討分析，以符合模擬、預警的需求。

為了能更進一步區分三種波浪推算模式的特性，將其優缺比較列表如下：

表 5-1 三種波浪推算的類神經模式之優缺點比較

波浪推算模式	優點	缺點
串聯類神經網路	<ol style="list-style-type: none"> 1. 推算能力佳。 2. 類神經網路結構較簡單，訓練學習時間較短。 3. 學習過程比較不易發散。 4. 配合參數增減調整模式結構較容易。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 對於增加的參數具有時間序列特性時比較不合適。 2. 當輸入參數增加時訓練資料就必須大量增加。最低資料數 I 與參數個數 N 的關係為 $I=2^N$。
串並聯類神經網路	<ol style="list-style-type: none"> 1. 推算能力佳。 2. 對於自相關性強的學習資料非常適合。 3. 由於模式結構考慮時間序列的關係，較能符合實際的物理模式。 4. 在此模式中對於分析具有時變特性的參數相當合適。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 類神經網路結構較複雜，需要比較大的記憶體空間。 2. 學習的收斂速度慢且較不穩定，所以建立模式時間較長。 3. 參數增加個數容易受結構穩定性而有所限制。
精簡模式	<ol style="list-style-type: none"> 1. 推算能力佳。 2. 模式結構簡單。 3. 學習資料減少學習速度快，且收斂性佳。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 此模式不適用於分析具有時變特性的參數。 2. 當參數增加時學習時間及模式結構就增加，因此較適合做測站資料的快速測試。

5.2 建議

為了提升模式的推算能力以及模式的擴充能力，後續研究將分幾個方向進行更新及改進：

(1) 資料的處理：

- 利用內差法或是外差法補遺既有的資料。
- 利用其它的氣象資料推算或是校正模式學習的資料。
- 配合文獻資料及統計方法尋求模式輸入參數的關係，以提供模式結構的調整，增加推算的能力。

(2) 資料收集：

- 長期收集氣象及波浪資料健全模式的結構。
- 配合收集其它的氣象資料如等壓線資料、溫度分佈資料等，並檢測其它氣象資料與波浪特性的相關性。
- 收集並瞭解測站附近地形地貌的改變以供日後分析應用的參考。

(3) 模式的擴充：

- 配合其它的測站建立各個測站間的關係。
- 聯合測站區域間的推算結果計算特定海域的波浪特性，藉以提供預警系統模擬。
- 針對海域內其它的變數的影響，可藉由模式參數的增加提供分析推測的結果。

(4) 模式的結合：

- 建立氣象資料的獨立分析及推算的模式，配合及時資料的校正，修正氣象推算資料的準確性，或配合衛星影象資料將波浪資料結合波浪推算模式作及時的修正。
- 依功能氣候或季節等建立獨立的波浪推算模式，經組合學習建立全時的波浪推算模式。

參考文獻

1. 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。
2. 交通部中央氣象局(1998),「颱風百問」,第10-20頁。
3. 光易恆(1990),「波浪推算、數值模式及有關物理現象」,日本土木學會論文集第423號,第11-14頁。
4. 高家俊(1997),「彌陀地區現場波浪特性分析(V)」,行政院國家科學委員會科學技術資料中心,88頁。
5. 張憲國(1999),「花蓮港波浪預警系統之應用研究—港外波浪動態之特性」國立交通大學研究所水工報告88-3,83頁。
6. 張憲國(1999),陳嘉元,錢維安,「花蓮港波浪預警系統之研究-港外波浪動態之特性」,交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
7. 梁乃匡(1982),「颱風湧浪的預報方法」,第六屆海洋工程研討會論文集,第122-130頁。
8. 梁乃匡(1983),「颱風波浪實用推算法」,中國土木水利工程學會72年年會論文集,第277-293頁。
9. 莊甲子(1995),「彌陀海域風湧浪合成模式研究」,行政院國家科學委員會科學技術資料中心,66頁。
10. 湯麟武,「淺灘海岸上波浪推算方法之研究」,成功大學土木水利學術彙刊第一期,第105~164頁(1970)。
11. 楊家昌(1997),台灣東海岸颱風波浪推算模式,國立交通大學土木工程研究所,碩士論文,49頁。
12. 劉廣英(1986),俞川心,李富城,「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。
13. 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。
14. Bishop, C. T., M. A. Donelan and K. K. Kahma, (1992) "Shore Protection mannuy'l's wave prediction reviewed," *Coastal Engineering*, Vol.17, pp.41-48.
15. Bretschneider, C. L. and Tamaye, E. E. (1976) "Hurricane wind and wave forecasting techniques," *Proceedings of the Fifteenth Conference on*

- Coastal Engineering*, Hawaii, Vol. 1, pp. 202-237.
16. 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.
 17. Chen, Y. H. and Wang, H. "Numerical model for non-stationary shallow water wave spectral transformation," *Journal Geophysical Research*, Vol.88, pp. 9851-9863 (1983).
 18. Eberhart, R.C ., and Dobbins, R. W., *Neural Network PC Tools – A Practical Guide*, Academic Press, Ins, pp. 10-250 (1990).
 19. Funahashi, K., "On the Approximate Realization of Continuous Mappings by Neural Networks," *Neural Networks*, Vol. 2, pp. 183-192 (1989).
 20. Graber, H.R. and Madsen, I.M., "A finite-depth end-wave model, Part I: Model description," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1465-1483 (1988).
 21. Hornik, K., "Approximation Capabilities of Multilayer Feedforward Network", *Neural Networks*, Vol. 4, pp. 251-257 (1991).
 22. Hurdle, D. P. and Stive, M. J. F., "Revision of SPM 1984 wave hindcast model to avoid inconsistencies in engineering applications," *Coastal Engineering*, Vol. 12, pp. 339-357 (1989).
 23. Krasnopolsky VM, WH Gemmill & LC Breaker, "A New Transfer Function for SSM/I Based on an Expanded Neural Network Architecture" ,NOAA/NCEP/EMC technical note, OMB Contribution No. 137, Camp Springs, MD, 38 pp. (1996)
 24. Nagai, K ., Kono, S. and Quang, D . X . " Wave characteristics on the central coast of vietnam in the south China sea," *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 40,No. 4, pp. 347-366 (1998).
 25. Shore Protection Manual (SPM), U.S. Army Coastal Engineering Research Center, Fort Belvoir, Vol. I-III. (1984).
 26. SWAMP Group (24 Authors), *Ocean wave modeling*, Plenum Press, New Pork, pp. 256 (1985).
 27. WAMDI group The WAM model: "A third generation ocean wave prediction model," *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp.

1775-7810 (1988).

28. Wilson, B. W., "Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December 1959," *Dtsch. Hydrogr. Z.*, Bd. 18, Ht. 3, pp. 114-130 (1965).

台灣東部港灣預警系統之應用研究計畫—港外波浪動態特性研究計畫期中審查會會議記錄

主持人：邱組長永芳

記錄：林受勳

出席人員：

審查委員：【依姓氏筆劃順序】

成功大學水利及海洋工程系：許泰文教授

海洋大學河海工程系：蕭松山副教授

本中心數學模式組：簡仲環組長

本中心數學模式組：蘇青和研究員

本中心海岸工程組：何良勝研究員

計畫主持人

交通大學土木系：張憲國副教授

港灣技術研究中心計畫參與人員：助理林受勳

會議記錄內容【依發言順序】

一、主席報告

各位學者及同仁來審查本次委託交通大學土木系張憲國副教授所做的台灣東部港灣預警系統之應用研究計畫—港外波浪動態特性研究計畫，先由張憲國副教授報告後，再行討論。

二、計畫內容簡報(由計畫負責人先行報告簡報資料)

張憲國副教授：報告此次簡報之內容概要及初步的結果，供各位審查委員參考評核。

三、討論

(一)許泰文教授：

1. 利用花蓮港實測波浪資料，以類神經網路建立颱風波浪模式，建立東部港灣預警系統，研究成果具實用價值。
2. 報告中有部份文字錯誤，參考文獻不完整，需補充或修正。
3. 建議將報告中之類神經網路之技巧與蔡清標教授所應用模式有何不同？應予報告中加強說明。
4. 颱風波浪模式有許多種類，以能量方程式預測颱風波浪有WAMI、WAMZ、WAM3及SWAN等模式，建議於研究方法中加強說明。
5. 模式中輸入八個參數，是否每個颱風是否都要使用八個參數，或是針對某些特性颱風給予不同參數。
6. 類神經網模式的預測結果，能否與SPM公式計算結果比較？

(二)蕭松山副教授：

1. 執行單位應用類神經網路架構建立波浪推算模式，研究成果具實用性值得肯定。
2. 報告中部份打字錯誤，請修正。
 - (1) P11 eq(2-3)、(2-4) $U \rightarrow U_r$
 - (2) P8, P12 圖2-1、2-4 缺軸單位，圖不清楚，建議直接由參考文獻掃圖。
 - (3) P17 張(1999)，P14 楊(1997)參考文獻缺。

3. 提供學習訓練之實測資料量的多少有何限制？
4. 本文之波浪推算模式與前人相關研究有何不同？請加強說明。

(三)簡仲璟組長：

1. 題目名稱：台灣東部港灣(預定包括那些—花蓮和蘇澳或其他)，各站都要學習幾次，花蓮港的學習可用到東部他港嗎？測站1與測站2不同結果。
2. 參數
 - (1) V_d 與 V_f 有無差異？ $V_d=0$ 表颱風對測站而言不接近、不遠離→近似滯留 $V_c=0$ →但不一定可能繞圈 $V_c \neq 0$ 。
 - (2) 颱風作用累計時間 t 的定義起始？鐘了、登陸、解除海上。
 - (3) $H_{i1/3}$ 及 $T_{i1/3}$ 颱風接近前之波浪特性如何給定？如是固定值有學習必要嗎？
 - (4) 參數輸入是隨時間序列改變？
 - (5) 輸入參數的選定(是否先作颱風的分類)
 - (6) 颱風暴風圈部份在菲律賓島上如何處理？不同類別由R7與D7見其效應(今年報告)
3. 模式
 - (1) 採用那一型的種類神經架構(串聯型或串並聯型→較複雜，但較符合真實的物理環境→結論第四點)較佳？由表4-1與表4-2似乎難以判定。
 - (2) 提高精確度→增加類神經網路規模→系統不穩定。提高推算度→增加學習訓練次數(須有訓練資料配合)→降低學習效率。
 - (3) 推算結果表4-1中83年代4個颱風波浪的推算結果不佳，原因何在？1990~1992的資料為學習資料故效果佳，但1993年以後為推算測試資料故效果差。
 - (4) 並串聯(或串聯)可否再多層(超過2層)？
4. 圖表說明請補充，例如表4-1與表4-2(表4-2為何沒有83年的颱風波浪推算)，錯字、漏字、誤標請於期末報告中一併修正。
5. 未來模式之原始SOURCE CODE是否可轉移到本中心，同時附模式之操作說明。

(四)蘇青和研究員：

1. 波浪模式除R7、 V_f ...等8個參數，颱風路徑及移動方向也要為重要，建議納入考量。
2. 利用第一測站資料學習以推算第二年測站資料結果不甚理想，建議考慮在同一測站學習與驗證。
3. 串聯與串並聯之結果好壞並不一致(表4-1與表4-2)，建議詳細證明造成好或壞之原因。

(五)何良勝研究員：

1. 未來發展改進之方式中，是否可考慮颱風發生區域的劃分？

2. 推算結果的比對，除了以全部資料作比較外，是否可取波高較大值的範圍再作比較？
3. 類神經網路的計算過程中，其ket point在那裡？
4. 所謂串聯型或串並聯的定義應用定義清楚。

交通大學土木系張憲國副教授答覆：

- (一) 針對剛剛所提的類神經網路建制，和蔡教授不同的地方，是本計畫中所推算的乃為颱風波浪，而蔡教授則是季節性波浪。
- (二) 有關文字格式、標示及說明等，將於修正報告中改正。
- (三) 於數值推算中，季節性的資料是沒問題的，而颱風資料時則可能需要再加強演算。
- (四) 相關標示、圖說之比較將改正，將於報告中加強說明。
- (五) 由於現場調查資料不夠齊全，各種統計特性尚未明示，待較多資料時將作進一步分析比較。
- (六) 其他內容將依合約規定遵照辦理。

四、主持人說明此次審查會經各位審查委員通過，請計畫主持人張憲國副教授改善報告。

五、散會

期中報告審查委員意見執行情形表

審查委員意見	執行情形
<p>一、許泰文教授：</p> <p>(一)花蓮港實測波浪資料，以類神經網路建立颱風波浪模式，建立東部港灣預警系統，研究成果具實用價值。</p> <p>(二)報告中有部份文字錯誤，參考文獻不完整，需補充或修正。</p> <p>(三)建議將報告中之類神經網路之技巧與蔡清標教授所應用模式有何不同？應予報告中加強說明。</p> <p>(四)颱風波浪模式有許多種類，以能量方程式預測颱風波浪有WAMI、WAMZ、WAM3及SWAN等模式，建議於研究方法中加強說明。</p> <p>(五)模式中輸入八個參數，是否每個颱風是否都要使用八個參數，或是針對某些特性颱風給予不同參數。</p> <p>(六)類神經網模式的預測結果，能否與SPM公式計算結果比較？</p>	<p>(一)感謝教授指正。</p> <p>(二)本計畫的類神經網路建制，和蔡教授不同的地方，是本計畫中所推算的乃為颱風波浪，而蔡教授則是季節性波浪。</p> <p>(三)參考文獻已補充修正。</p> <p>(四)以能量方程式預測波浪的WAMI、WAMZ、WAM3及SWAN等模式將再收集完整資料後於文獻中補充，目前NOAA採用颱風波浪推算的模式為WAVEWATCH-III的延伸，適用範圍為美國阿拉斯加區域。</p> <p>(五)針對中央氣象局所提供的颱風氣象資料，依其物理性分析選用了八個輸入參數，若日後能夠量測或分析直接影響颱風波浪的參數，將可擴充輸入參數提升推算能力。</p> <p>(六)由於此颱風波浪推算模式需要大量的學習資料，颱風種類及路徑相對於資料的數量顯得不足，因此對於預測的品質尚待提升，待模式架構完整後再進一步進行與其它理論比較的工作。</p>
<p>二、蕭松山副教授</p> <p>(一)執行單位應用類神經網路架構建立波浪推算模式，研究成果具實用性值得肯定。</p> <p>(二)報告中部份打字錯誤，請修正。</p> <p>1. P11 eq(2-3)、(2-4) $U \rightarrow U_r$</p> <p>2. P8, P12 圖 2-1、2-4 缺軸單位，圖不清楚，建議直接由參考文獻掃圖。</p> <p>3. P17 張(1999)，P14 楊(1997)參考文獻缺。</p>	<p>(一)感謝蕭教授指正。</p> <p>(二)錯誤部分將在報告中更正。</p>

<p>(三)提供學習訓練之實測資料量的多少有何限制?</p> <p>(四)本文之波浪推算模式與前人相關研究有何不同?請加強說明。</p>	<p>(三)學習資料的量取決於輸入參數的數目 n，由文獻提供最低資料量 D_n 的計算方式為，$D_n=2^n$。但若是資料分佈過於集中時資料量就必須增加。</p> <p>(四)由於颱風波浪的機制複雜，影響性的參數眾多且各個海域有其特性，故要提高準確性建立一個專屬的颱風波浪推算模式實有必要的。但一般建立颱風推算模式是當複雜且費時，推算採用結構調整用性低。為克服這些困難因而採用神經網路建立模式。</p>
<p>三、簡仲環組長：</p> <p>(一)題目名稱：台灣東部港灣(預定包括那些—花蓮和蘇澳或其他)，各站都要學習幾次，花蓮港的學習可用到東部他港嗎?測站 1 與測站 2 不同結果。</p> <p>(二)參數</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. V_d 與 V_f 有無差異?$V_d=0$ 表颱風對測站而言不接近、不遠離 \rightarrow 近似滯留 $V_c=0 \rightarrow$ 但不一定可能繞圈 $V_c \neq 0$。 2. 颱風作用累計時間 t 的定義起始?終了、登陸、解除海上。 3. $H_{i1/3}$ 及 $T_{i1/3}$ 颱風接近前之波浪特性如何給定?如是固定值有學習必要嗎? 4. 參數輸入是隨時間序列改變? 5. 輸入參數的選定(是否先作颱風的分類) 6. 颱風暴風圈部份在菲律賓島上如何處理?不同類別由 R_7 與 D_7 見其效應(今年報告) 	<p>(一)台灣東部港灣是以港研所所有建立觀測站的港灣為主，建立推算模式是以花蓮港為主，進步應用到其它港灣測站，由推算模式的結果可以確定，不同測站間無法獨立推測另一測站，但若有同時的比對資料將可建立各測站間的關係。</p> <p>(二)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 對於颱風行進的方式不論是滯留或繞圈都可由八個輸入參數的變化所表現出來，因此只要學習過的颱風行為都將記憶在推算模式中。 2. 由於中央氣象局發佈的颱風氣象資料是以發佈颱風警報為起始值，所以在時間序列上的起始時間就是發佈警報的時間，當解除颱風警報時也是颱風氣象資料截止的時間。 3. $H_{i1/3}$ 及 $T_{i1/3}$ 颱風接近前之波浪特性主要在表達颱風造成的湧浪效應，也是解決颱風氣象資料不完整的方法。 4. 八個輸入參數是隨時間而改變的，希望藉由推算模式找出參數與波浪間的關係。 5. 針對中央氣象局所提供的颱風氣象資料，依其物理性分析選用了八個輸入參數，若日後能夠量的測或分析直接影響颱風波浪的參數，將可擴充輸入參數提升推算能力。 6. 陸地造成的效應將不獨立分析，但其效應可由歷史的資料中學習。

<p>(三) 模式</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 採用那一型的種類神經架構 (串聯型或串並聯型 → 較複雜, 但較符合真實的物理環境 → 結論第四點) 較佳? 由表 4-1 與表 4-2 似乎難以判定。 2. 提高精確度 → 增加類神經網路規模 → 系統不穩定。 3. 提高推算度 → 增加學習訓練次數 (須有訓練資料配合) → 降低學習效率。 4. 推算結果表 4-1 中 83 年代 4 個颱風波浪的推算結果不佳, 原因何在? 1990~1992 的資料為學習資料故效果佳, 但 1993 年以後為推算測試資料故效果差。 5. 並串聯 (或串聯) 可否再多層 (超過 2 層)? <p>(四) 圖表說明請補充, 例如表 4-1 與表 4-2 (表 4-2 為何沒有 83 年的颱風波浪推算), 錯字、漏字、誤標請於期末報告中一併修正。</p> <p>(五) 未來模式之原始 SOURCE CODE 是否可轉移到本中心, 同時附模式之操作說明。</p>	<p>(三)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 首先採用那一型的種類神經架構都能表達颱風波浪的關係, 串聯型或串並聯型的選擇將提供日後模式擴充的參考。 2. 模式的推算能力取決於學習資料以及類神經網路結構是否得宜, 而學習時間取決於資料量、網路結構及學習目標, 如何取捨由模式的目標而定。 4. 由於 1993 年的波浪資料為第二測站量測所以不併入第一測站的運算及比較。 5. 參考前人的文獻類神經網路的隱藏層以不超過三層較適宜。 <p>(四) 錯誤部分將於報告中修改。</p> <p>(五) 未來模式之原始 SOURCE CODE 可轉移, 同時附模式之操作說明。</p>
<p>四、蘇青和研究員：</p> <ol style="list-style-type: none"> (一) 波浪模式除 R7、Vf... 等 8 個參數, 颱風路徑及移動方向也要為重要, 建議納入考量。 (二) 利用第一測站資料學習以推算第二年測站資料結果不甚理想, 建議考慮在同一測站學習與驗證。 (三) 串聯與串並聯之結果好壞並不一致 (表 4-1 與表 4-2), 建議詳細證明造成好或壞之原因。 	<ol style="list-style-type: none"> (一) 謝謝指正, 推算模式將嘗試修正及測試選取具代表性的輸入參數。 (二) 由於測站間具有資料的獨立性, 單從第一測站推求第二測站並不理想, 入兩個測站有同時間的資料可供比對, 將可建立兩測站間的推算模式。 (三) 串聯與串並聯之推算結果都屬於良好, 兩個模式主要提供日後模式的擴充能力, 依照實際需求選取適合的模式結構。
<p>五、何良勝研究員：</p> <ol style="list-style-type: none"> (一) 未來發展改進之方式中, 是否可考慮颱風發生區域的劃分? (二) 推算結果的比對, 除了以全部資料作比較外, 是否可取波高較大值的範圍再作比較? 	<ol style="list-style-type: none"> (一) 未來發展改進時, 若考慮颱風發生區域的劃分將可改變輸入參數以符合區域分析的要求。 (二) 由於學習資料的限制對於推算其它的颱風波浪效果有限, 因此將於模式完整時進行各個颱風波浪特性的比對。

<p>(三)類神經網路的計算過程中，其 ket point 在那裡？</p> <p>(四)所謂串聯型或串並聯的定義應用定義清楚。</p>	<p>浪特性的比對。</p> <p>(三)類神經網路再不考慮學習時間的限制下最重要的結果取決於學習資料的完備以及類神經網路的架構。</p> <p>四)謝謝指正，將於報告中修正。</p>
--	--

台灣東部港灣預警系統之應用研究計畫—港外波浪動態特性研究計畫期末審查會會議記錄

主持人：張主任金機

記錄：林受勳

出席人員：

審查委員：【依姓氏筆劃順序】

成功大學水利及海洋工程系：許泰文教授（以書面審查）

海洋大學河海工程系：蕭松山副教授

本中心數學模式組：簡仲璟組長

本中心數學模式組：蘇青和研究員

本中心海岸工程組：何良勝研究員

計畫主持人

交通大學土木系：張憲國副教授

港灣技術研究中心研（七）計畫共同主持人：邱永芳組長

會議記錄內容【依發言順序】

一、主席報告

各位學者及同仁來審查本次委託交通大學土木系張憲國副教授所做的台灣東部港灣預警系統之應用研究計畫—港外波浪動態特性研究計畫，先由張憲國副教授報告後，再行討論。

二、計畫內容簡報(由計畫負責人先行報告簡報資料)

張憲國副教授：由計畫參與主要人員錢維安博士報告此次簡報之內容概要及初步的結果，供各位審查委員參考評核。

三、討論

(一) 許泰文教授：（以書面審查）

1. 本計畫使用類神經網路及經驗公式建立颱風波浪模式，推算台灣東部海岸颱風來襲時之波浪特性。建議報告中將這兩種模式使用時之優點和限制能更明確陳述，在東部海岸實際應用時，目前哪一種模式預測結果較為可靠？
2. 本計畫提出類神經網路預測颱風波浪，同時增加類神經網路規模或增加學習訓練資料及學習次數策略交互使用，使颱風波浪推算模式具更佳推算能力。但模式中並未考量推算參數間之物理關係或能量的轉移，與實際物理現象尚有差距，建議支持該計畫能延續進行，進一步研發更為實用之模式。
3. 報告中參考文獻不全，文章中所引用文獻在參考文獻查不到，如 p.3 Graber及 Madsen (1988)、p.6 Harris (1958)、p.10 湯 (1970)、楊 (1997) 等。而參考文獻所列者，文章中並未找到，如參考文獻2、4、9、10等。建議能修改或補充。

4. 本計畫所使用之類神經網路法和蔡清標教授使用之法預測天文潮變化有無不同，建議應於第二章或第四章中補充說明。

(二) 蕭松山副教授：

1. 期中簡報個人意見已增修，尚有部份圖表建議修改。
 - (1) 圖2-1 建議註明統計期間。
 - (2) 圖2-4縱座標示符號不清楚。
 - (3) 圖3-2缺94年路徑。
 - (4) P33. 1993年是否有誤？
2. 所建立之模式已具良好推算能力，但尚有其限制性，建議能持續研究，蒐集更多的颱風資料輸入，提供實習、測試，使本模式更具完整性及實用性。
3. 串聯與串並聯推算結果列於表4-1及表4-2，其優劣及使用時機、限制，建議補充說明。
4. 最後採用精簡模式為串聯式，建議加強說明此模式所使用理由及相關檢驗。

(三) 簡仲環組長：

1. 模式所使用之訓練學習資料與推算應用資料需明顯區隔，並分別說明。例如表4-1與表4-2之差異如何？（表說明相同，但表內數據不同）。
2. 選擇適當的參數資料放入學習模式中，或許會有更佳的推算結果。目前使用的8個輸入參數中，是否可找出那些是屬敏感度較高的參數。本次報告中之精簡模式取消颱風移動速度該參數，是否即基於此觀點之考量？
3. 本計畫是否有後續計畫？若有則其研究目標為何？請於報告中以建議方式說明。
4. 文中仍有部份錯字（PP. 28例數8行）及文意不明之處（PP. 43例數8行）。

(四) 蘇青和研究員：

1. 報告中年代用西元或民國應統一，P12、P13、P28、P25之中1993年應改為1994年（P33）。
2. 圖4-5至圖4-9標題預報（PREDICATED）應改為計算值（CALCUTED），圖4-5NET颱風缺 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 比較圖。
3. 第五章具體性結論較缺乏，大都僅討論而已，建議增加較具體性結論，如三種模式之優缺點，未來較可採用之模式為何……等。
4. 三種模式之比較部份應可加強，如串並聯模式來列出預測 R^2 之結果分析表。精簡模式缺少統計表（如表4-1或表4-2）。

(五) 何良勝研究員：

1. 圖4-17~4-20部份之結果，為何不用串並聯型推算？
2. 如何得知 V_f 和 ΔP 之相關性極高？

3. 精簡模式與其他模式之比較，其優點何在？

交通大學土木系錢維安博士答覆：

- (一) 有關文字格式、標示及說明等，將於修正報告中改正；相關標示、圖說之比較將改正，將於報告中加強說明。
- (二) 由於現場調查資料不夠齊全，各種統計特性尚未明示，待較多資料時將作進一步分析比較。
- (三) 其他內容將依合約規定遵照辦理。

四、主持人：

1. 資料的提供本中心民國82年以後應有完整資料。
2. 方位角的定義為何？（颱風方位角的定義需釐清）。
3. 報告與簡報資料，簡報資料做得非常清楚，而報告內容需再加說明。
4. 報告資料引用、分析比較，作一整體性整理。
5. 報告中需做結論性之總歸納。
6. 期末審查會准予驗收，請計畫主持人張憲國副教授依據各位審查委員修正報告。

五、散會

期末報告審查委員意見執行情形表

審查委員意見	執行情形
<p>一、張主任：</p> <p>(一)緯度為何未考慮在模式中。</p> <p>(二)第三章的波浪資料可考慮多個參數結合一併分析。</p> <p>(三)方位角的定義為何？(颱風方位角的定義需釐清)。</p>	<p>(一)感謝主任指正。經緯度座標相對關係的表示在波浪推算模式中將改採極座標的方式表達，因此颱風在不同緯度的特性也將在極座標系統中反映其特性。</p> <p>(二)原始資料的分析將在報告第三章圖 3-11 至圖 3-14 中增加利用三維的表達方式對主要颱風影響參數間的關係進行比較。</p> <p>(三)於報告第 4.2.1 節有定義方位角在模式中為正北與測站至颱風中心順時針的角度。</p>
<p>二、許泰文教授：</p> <p>(一)本計畫使用類神經網路及經驗公式建立颱風波浪模式，推算台灣東部海岸颱風來襲時之波浪特性。建議報告中將這兩種模式使用時之優點和限制能更明確陳述，在東部海岸實際應用時，目前哪一種模式預測結果較為可靠？</p> <p>(二)報告中參考文獻不全，文章中所引用文獻在參考文獻查不到，如 p.3 Graber 及 Madsen (1988)、p.6 Harris (1958)、p.10 湯 (1970)、楊 (1997) 等。而參考文獻所列者，文章中並未找到，如參考文獻 2、4、9、10 等。建議能修改或補充。</p> <p>(三)本計畫所使用之類神經網路法和蔡清標教授使用之法預測天文潮變化有無不同，建議應於第二章或第四章中補充說明。</p>	<p>(一)感謝教授指正，將於報告第 5-1 節列表補充修正。</p> <p>(二)感謝指正，參考文獻已修正。</p> <p>(三)本計畫的類神經網路建制，和蔡教授不同的地方，是本計畫中所推算的乃為颱風波浪，而蔡教授則是季節性波浪。</p>
<p>三、蕭松山副教授</p> <p>(一)期中簡報個人意見已增修，尚有部份圖表建議修改。</p>	<p>(一)感謝蕭教授指正。文字及圖表錯誤部分已在報告中更正。</p>

<p>(二)圖 2-1 建議註明統計期間。圖 2-4 縱座標示符號不清楚。圖 3-2 缺 94 年路徑。P33.1993 年是否有誤？</p> <p>(三)可有後續研究？請在報告中補充。</p> <p>(四)所建立之模式已具良好推算能力，但尚有其限制性，建議能持續研究，蒐集更多的颱風資料輸入，提供實習、測試，使本模式更具完整性及實用性。</p> <p>(五)最後採用精簡模式為串聯式，建議加強說明此模式所使用理由及相關檢驗。</p>	<p>(二)已於報告中修正。</p> <p>(三)後續研究的內容將在報告中詳細補充。</p> <p>(四)計算模式詳細區分將於報告第 5-1 節列表補充。</p> <p>(五)感謝指正，已於報告中說明。</p>
<p>四、簡仲璟組長：</p> <p>(一)模式所使用之訓練學習資料與推算應用資料需明顯區隔，並分別說明。例如表 4-1 與表 4-2 之差異如何？(表說明相同，但表內數據不同)。請將模式的訓練學習資料的區隔。</p> <p>(二)選擇適當的參數資料放入學習模式中，或許會有更佳的推算結果。目前使用的 8 個輸入參數中，是否可找出那些是屬敏感度較高的參數。本次報告中之精簡模式取消颱風移動速度該參數，是否即基於此觀點之考量？</p> <p>(三)本計畫是否有後續計畫？若有則其研究目標為何？請於報告中以建議方式說明。</p> <p>(四)文中仍有部份錯字 (PP.28 倒數 8 行) 及文意不明之處 (PP.43 倒數 8 行)。</p>	<p>(一)感謝簡組長指正，串聯、串並聯推算模式的學習資料如報告中的表 4-2、4-3 所示，其目的是進行模式對颱風波浪描述能力的測試，精簡模式的學習資料則為颱風時間序列般數的資料，因此資料的區隔將在文章中詳細描述。己用註解方式區隔。</p> <p>(二)針對中央氣象局所提供的颱風氣象資料，依其物理性分析選用了八個輸入參數，若日後能夠量測或分析直接影響颱風波浪的參數，將可擴充輸入參數提升推算能力。</p> <p>(三)後續計畫將於報告中詳細描述補充。</p> <p>(四)文字及圖表錯誤部分已在報告中更正。</p>
<p>五、蘇青和研究員：</p> <p>(一)後續計畫為何？</p> <p>(二)請將三個模式作簡單比較。</p>	<p>(一)感謝蘇研究員指正。後續計畫將於報告中詳細描述補充。</p> <p>(二)模式的比較將於報告第 5-1 節列表補充修正。</p>

<p>(三)請將結果完整圖示以利完整的比較。</p> <p>(四) 報告中年代用西元或民國應統一，P12、P13、P28、P25 之中 1993 年應改為 1994 年 (P33)。內文的文字錯誤請更正</p> <p>(五)圖 4-5 至圖 4-9 標題預報 (PREDICATED) 應改為計算值 (CALCUTED)，圖 4-5NET 颱風缺 $T_{m1/3}$ 與 $T_{p1/3}$ 比較圖。</p>	<p>(三)表 4-1 及表 4-2 已將各颱風波浪推算結果的精度列出，而且取部分颱風畫圖說明，為避免報告的冗長，故不增列全部的颱風推算結果。</p> <p>(四)年代、文字及圖表錯誤部分已在報告中更正。</p> <p>(五)感謝指正，已於報告中修正。</p>
<p>六、何良勝研究員：</p> <p>(一)精簡模式與其他模式之比較，其優點何在？</p> <p>(二)請將第三章的波浪資料再進一步分析，或以三維方式表達。</p> <p>(三)如何建立多工類神經網路模式</p>	<p>(一)謝謝指正，模式的優缺點內容將在報告第 5-1 節詳細列表補充。</p> <p>(二)原始資料的分析將在報告中增加利用三維的表達方式對主要颱風影響參數間的關係進行比較。</p> <p>(三)建立不同波浪的影響參數關係或資料，建立個別的推算模式並依照參數的特性作不同方式的結合完成多工類神經網路模式的架構。</p>



台灣東部港灣預警系統之應用
研究——港外波浪動態特性

期末報告

計畫目標

- ▶ 利用類神經網路簡化波浪推算模式的建立。
- ▶ 建立個別港灣的颱風波浪推算模式，提供港灣預警系統港外波浪的動態特性。
- ▶ 連結東部各測站，建立東部各個港灣港外波浪的相互推算關係及校正補遺模式。

摘要

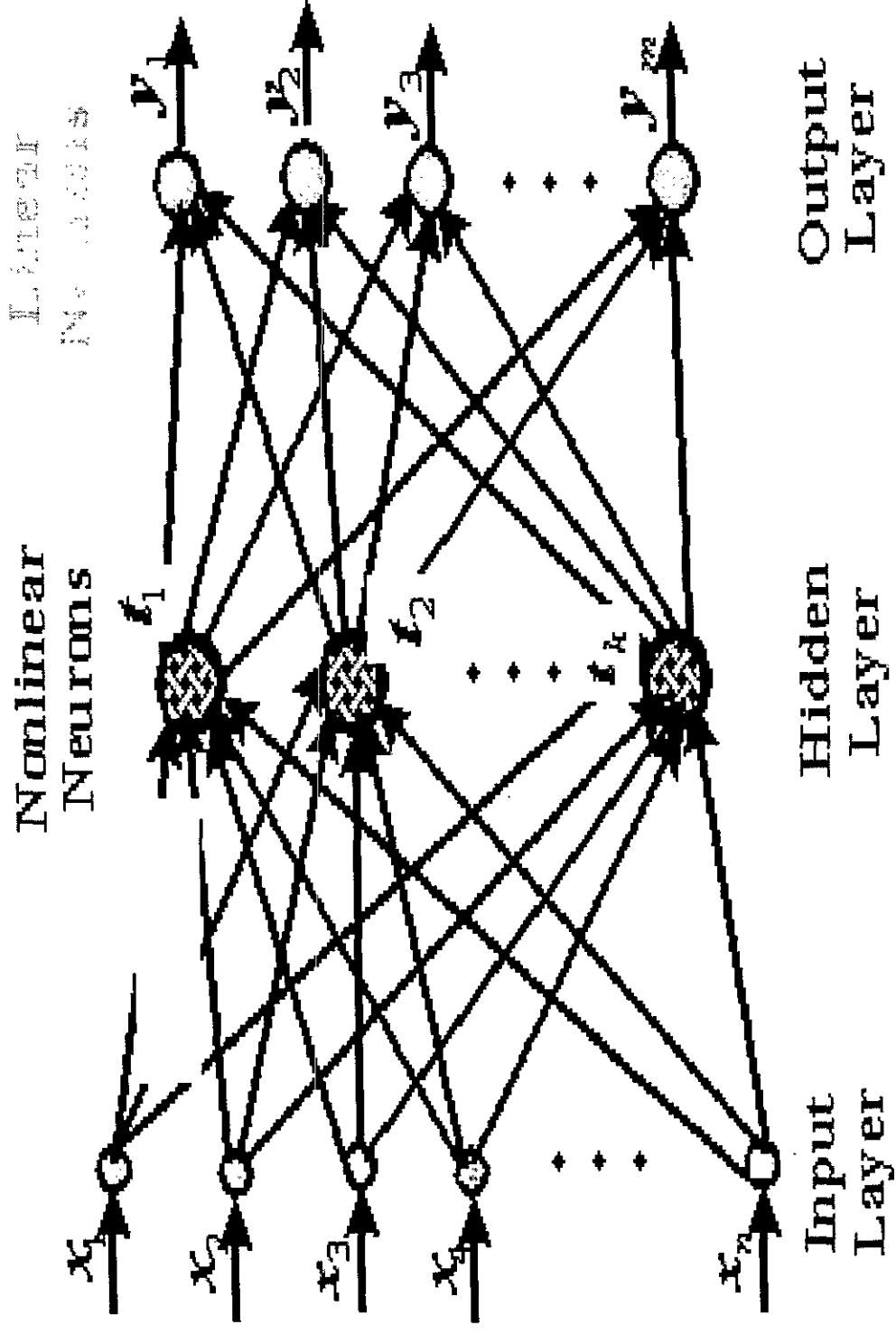
- ▶ 類神經網路的特性
- ▶ 波浪資料整理及分析
- ▶ 波浪推算模式的條件
- ▶ 波浪推算模式的結構
- ▶ 結果分析
- ▶ 結論



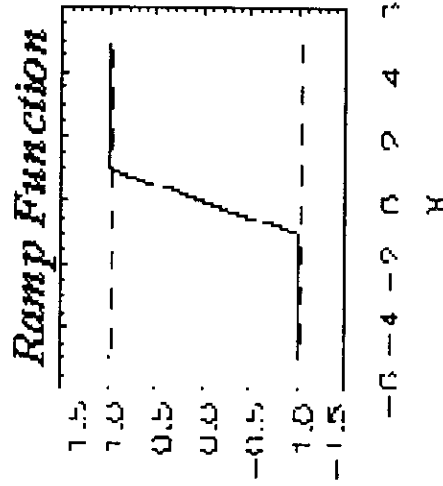
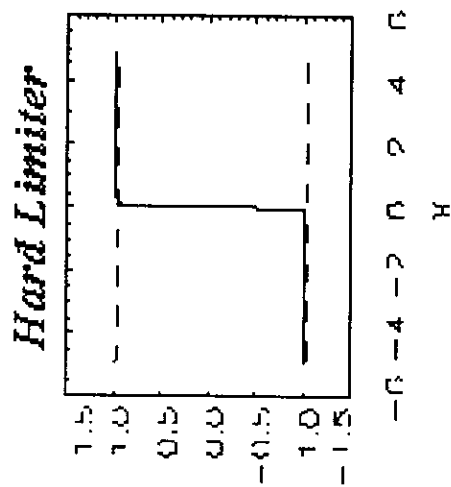
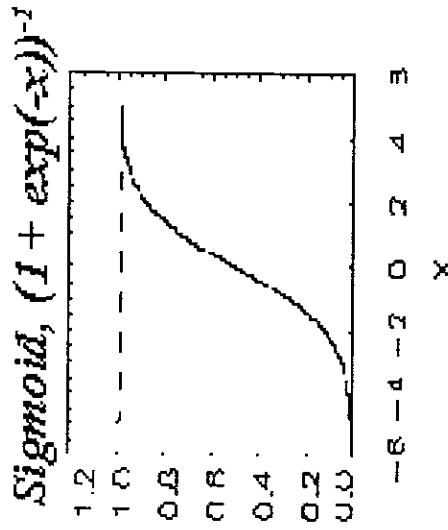
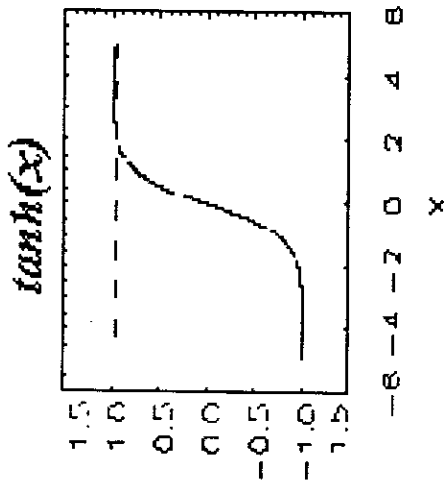
類神經網路的特性

- ▶ 類神經網路是一個具有一般性，準確性，方便性的數學模式。
- ▶ 類神經網路經學習，具有自我更新的特性。
- ▶ 類神經網路具有抗雜訊的特性。
- ▶ 類神經網路計算具有簡單快速的特性。
- ▶ 類神經網路模式相當適合電腦平行處理及製成晶片。

類神經網路結構



類神經網路轉換函數



量測颱風波浪時間

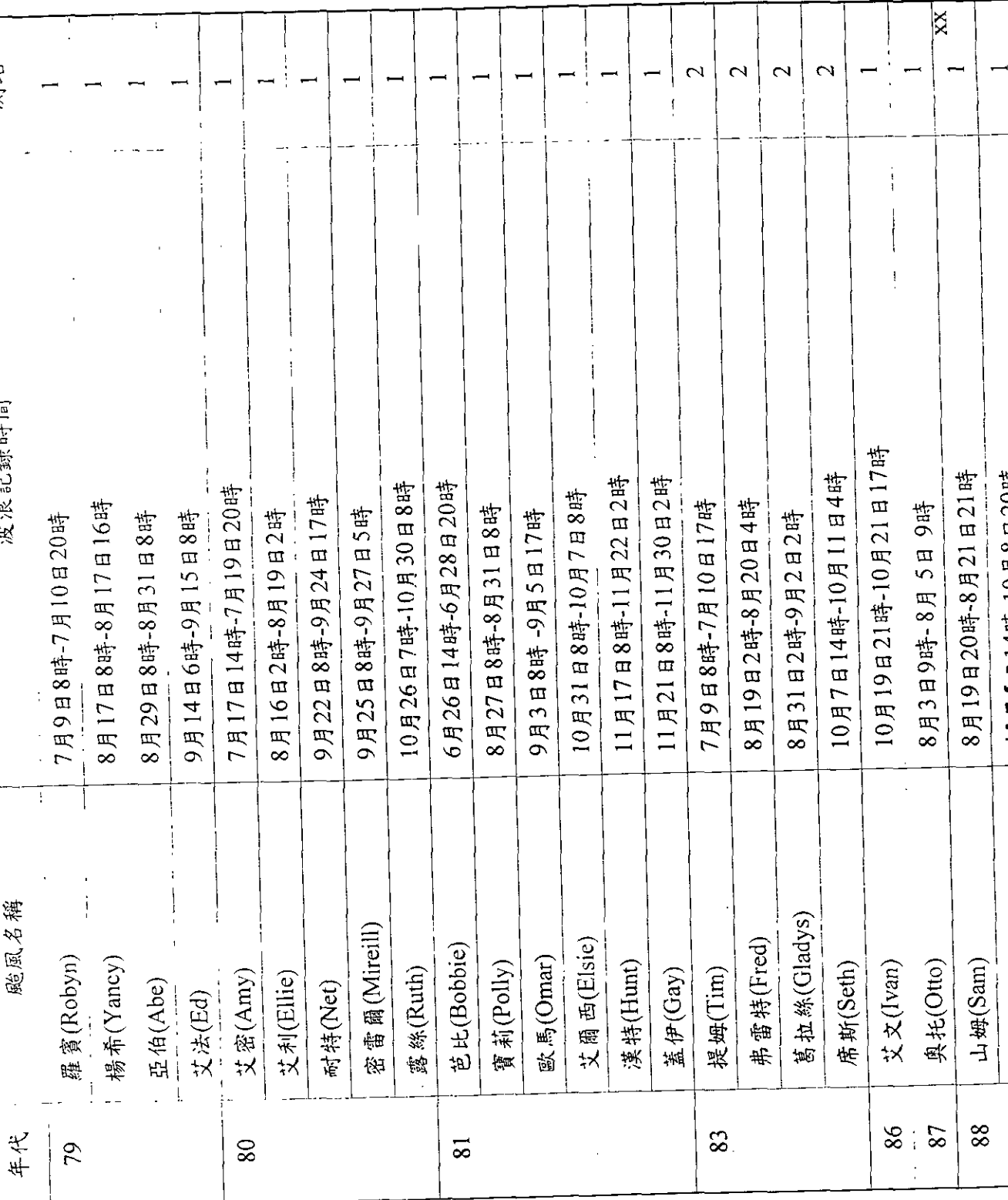
年代	颱風名稱	波浪記錄時間	測站
79	羅賓(Robyn)	7月9日8時-7月10日20時	1
	楊希(Yancy)	8月17日8時-8月17日16時	1
	亞伯(Abe)	8月29日8時-8月31日8時	1
	艾法(Ed)	9月14日6時-9月15日8時	1
80	艾密(Amy)	7月17日14時-7月19日20時	1
	艾利(Ellie)	8月16日2時-8月19日2時	1
	耐特(Net)	9月22日8時-9月24日17時	1
	密雷爾(Mireill)	9月25日8時-9月27日5時	1
	露絲(Ruth)	10月26日7時-10月30日8時	1
	芭比(Bobbie)	6月26日14時-6月28日20時	1
	寶莉(Polly)	8月27日8時-8月31日8時	1
	歐馬(Omar)	9月3日8時-9月5日17時	1
	艾爾西(Elsie)	10月31日8時-10月7日8時	1
	漢特(Hunt)	11月17日8時-11月22日2時	1
83	蓋伊(Gay)	11月21日8時-11月30日2時	2
	提姆(Tim)	7月9日8時-7月10日17時	2
	弗雷特(Fred)	8月19日2時-8月20日4時	2
	葛拉絲(Gladys)	8月31日2時-9月2日2時	2
86	席斯(Seth)	10月7日14時-10月11日4時	2
	艾文(Ivan)	10月19日21時-10月21日17時	1
87	奧托(Otto)	8月3日9時-8月5日9時	1
88	山姆(Sam)	8月19日20時-8月21日21時	1
		11月11日10時-11月11日10時	1

測站

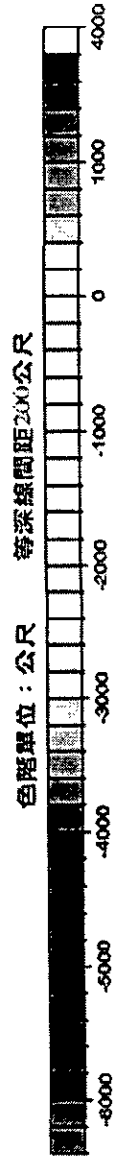
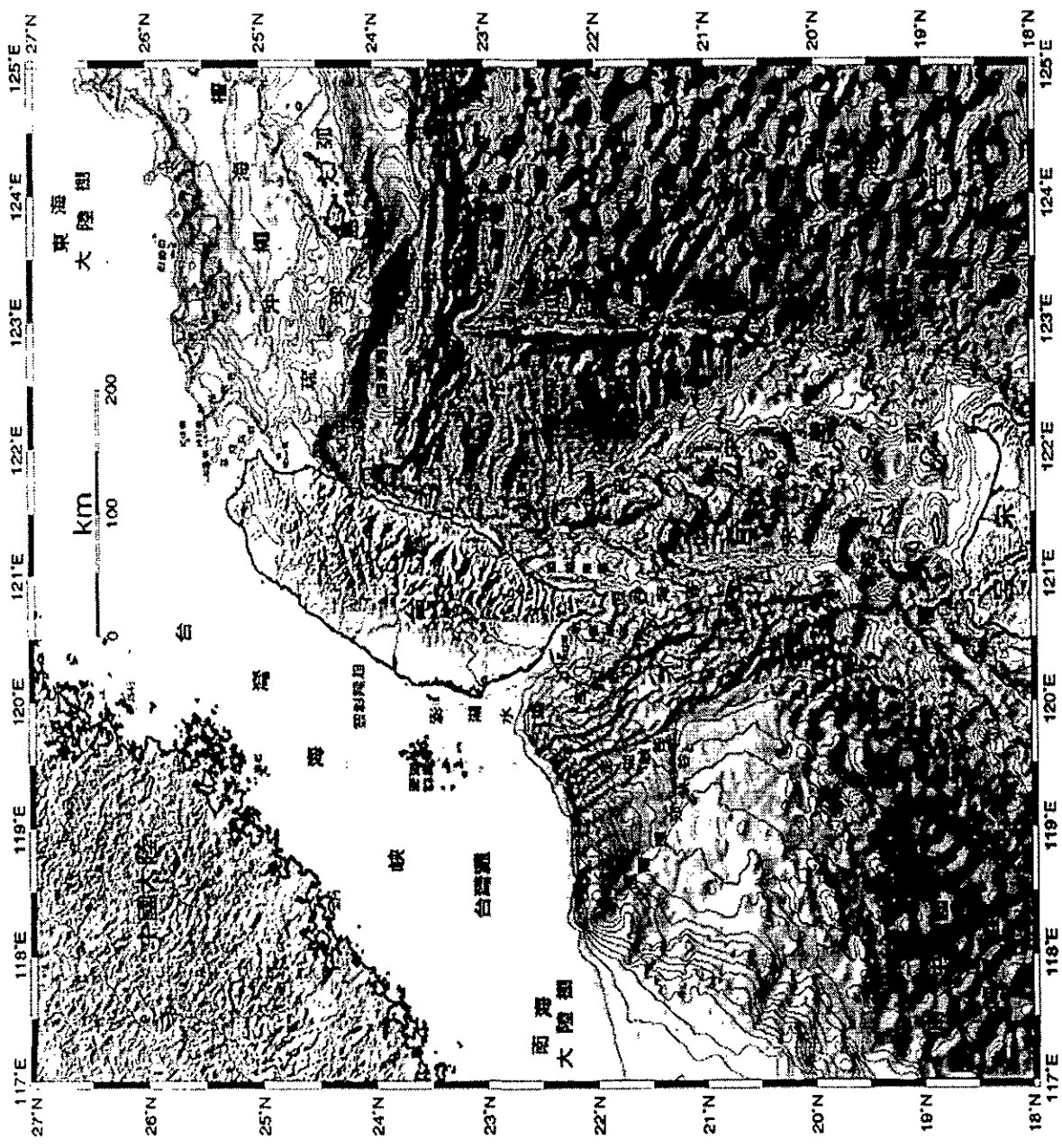
波浪記錄時間

颱風名稱

年代



台灣周圍海域海底地形圖



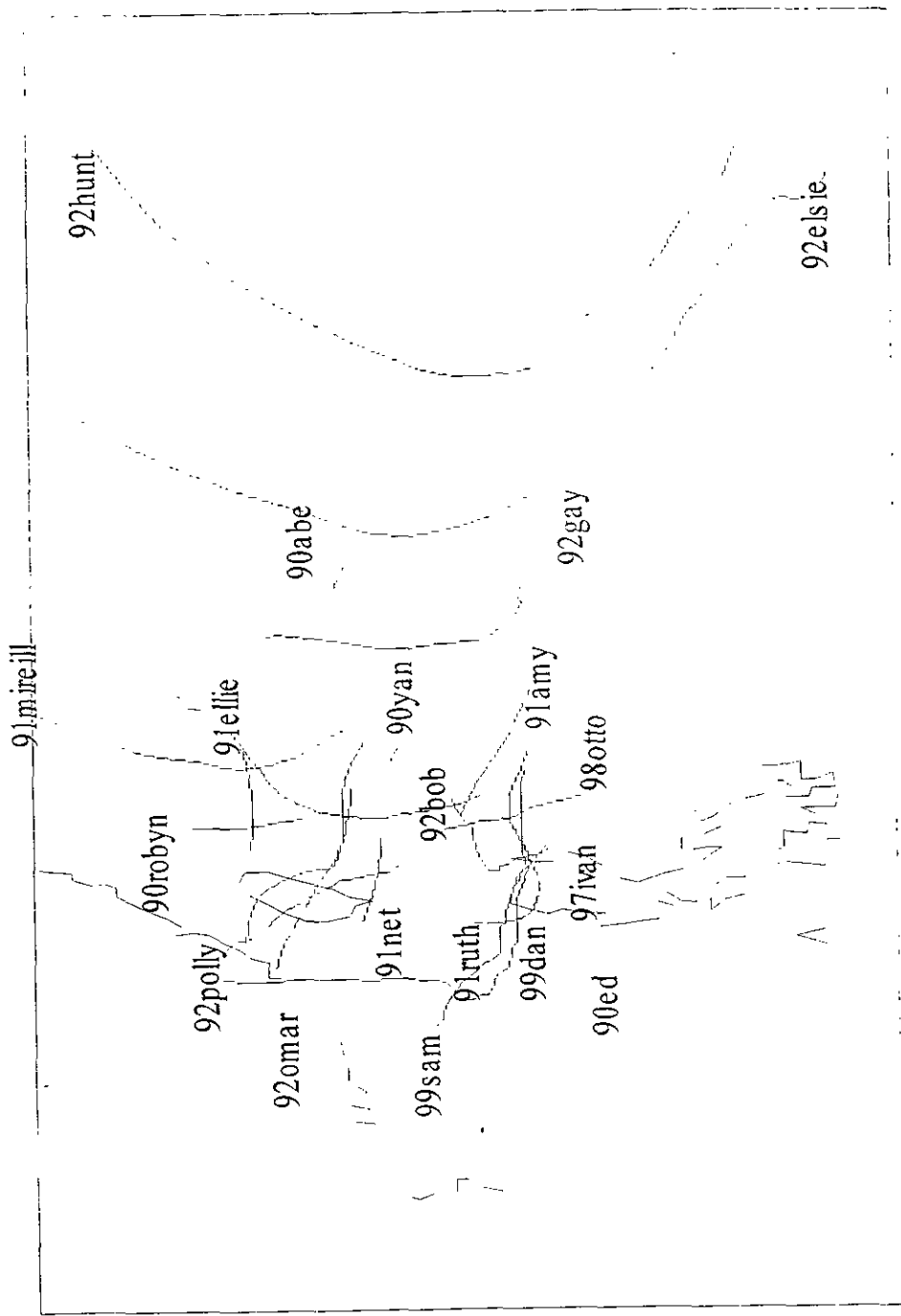
繪製單位：台灣大學海洋研究所

國科會海洋科學研究中心海洋資料庫

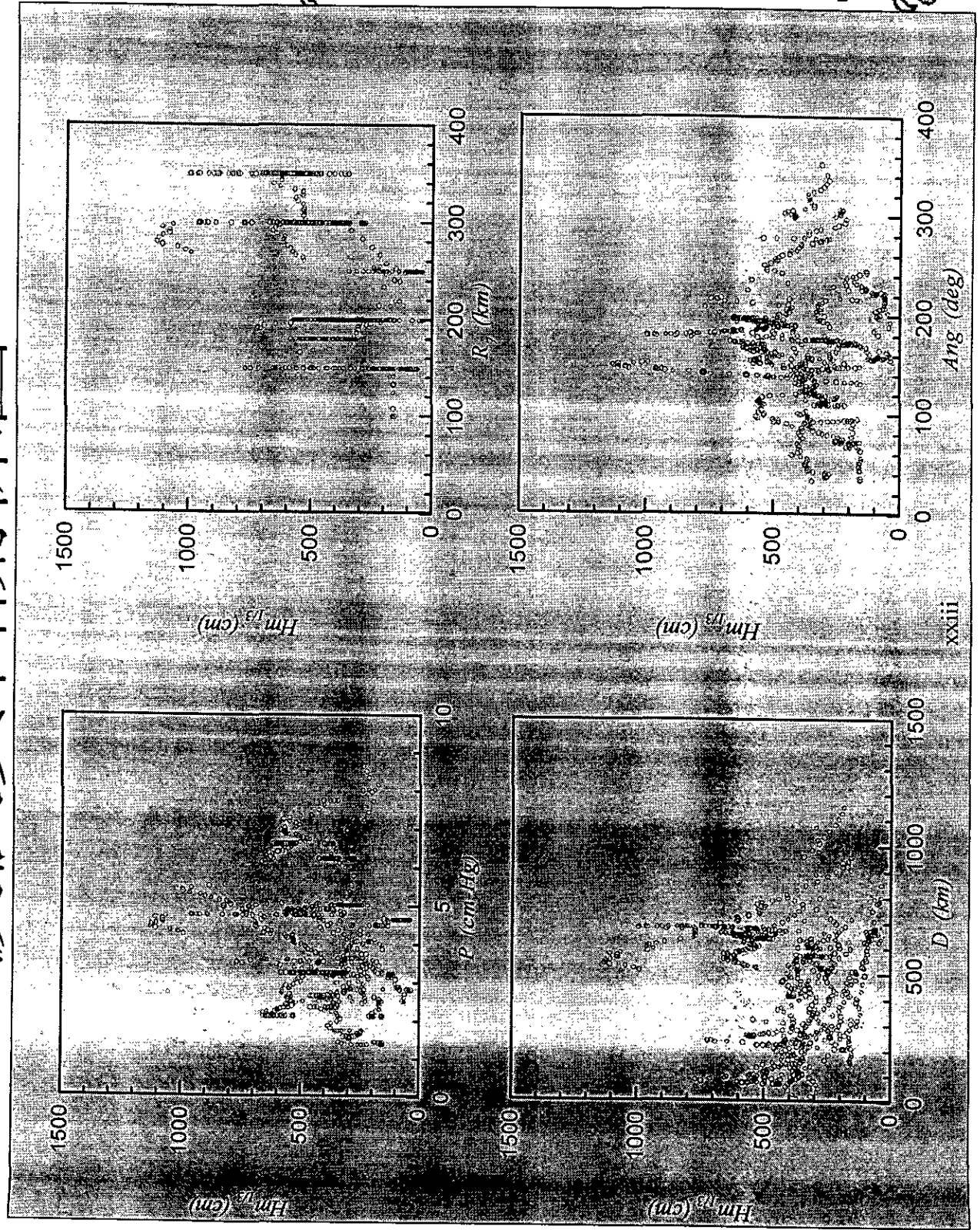
繪製日期：12月1998年



徑路風颶與資料浪波



波浪資料關係圖



波浪推算模式條件

- ▶ 假設颱風影響臺灣每次只有一個。
- ▶ 各場颱風事件具獨立性。
- ▶ 假設颱風結構無傾角。
- ▶ 臺灣東岸海底地形無變化。
- ▶ 忽略颱風行進受陸地的影響。
- ▶ 假設波高、週期、颱風規模有上限。



波浪推算模式的結構

- ▶ 輸入與輸出參數。
- ▶ 串聯神經網路結構。
- ▶ 串並聯神經網路結構。
- ▶ 精簡模式網路結構。



輸入參數

R_7

七級風暴風半徑;

V_7

颱風移動速度;

D

颱風中心距測站的距離;

NP

颱風中心氣壓差

Ang

颱風與測站的方位角

V_d

颱風接近速度

$H_{1/3}$

颱風接近前有義波高

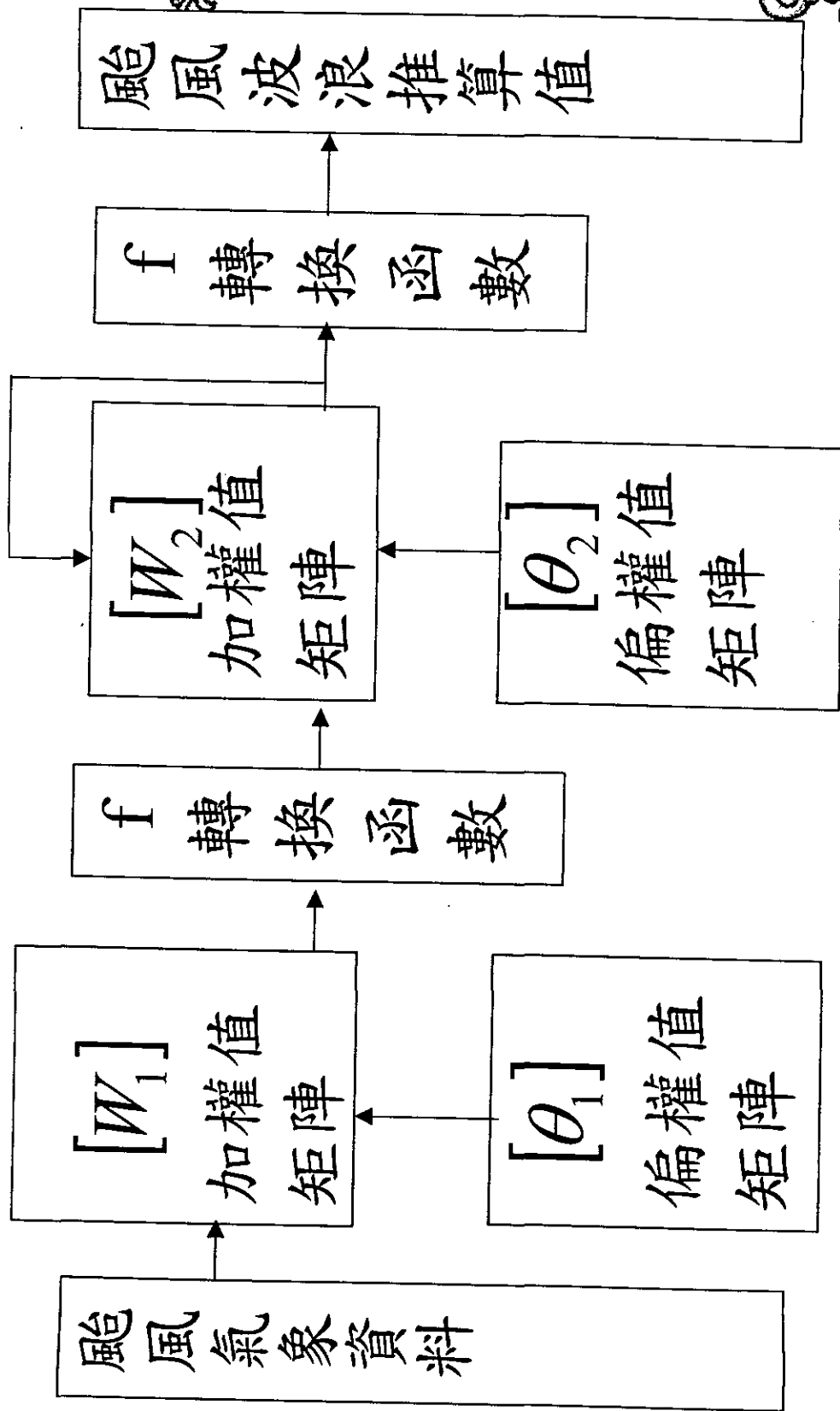
$T_{1/3}$

颱風接近前有義週期



波浪推算模式的架構

串聯型類神經架構



串聯型類神經架構轉換函數

$$H_{netb1/3} = f \left\{ [W_3]_{(1 \times 8)} \cdot f \left\{ [W_2]_{(8 \times 8)} \cdot f \left\{ [W_1]_{(8 \times 16)} \cdot I \right\}_{(8 \times 1)} - [\theta_1]_{(8 \times 1)} \right\} - [\theta_2]_{(8 \times 1)} \right\} - [\theta_3]_{(1 \times 1)}$$

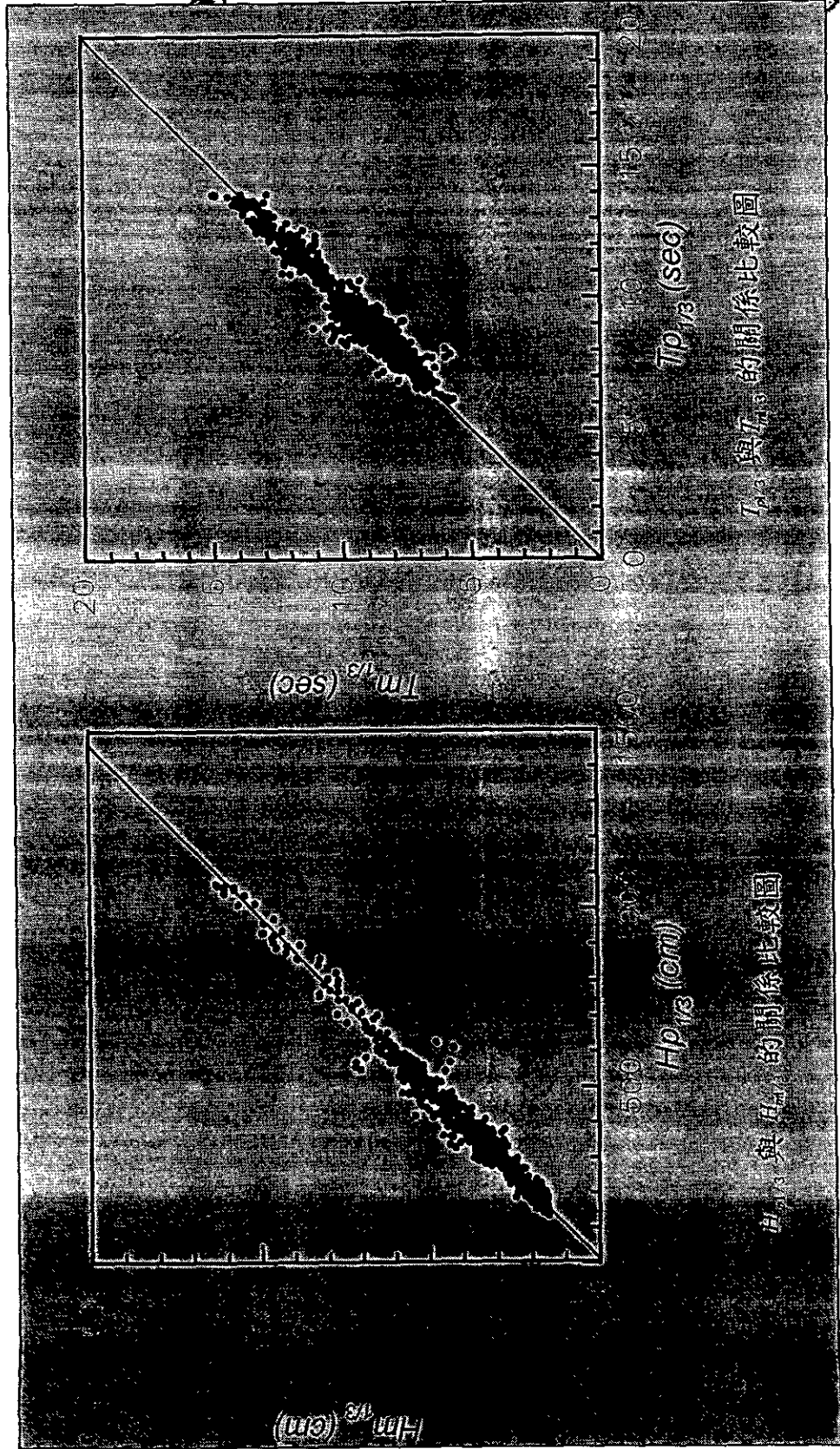
倒傳遞類神經網路的第一層隱藏層將採用16個神經元；第二層隱藏層將採用8個神經元

$$H_{pt1/3} = f \left\{ [W_2]_{(1 \times 2)} \cdot f \left\{ [W_{11}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{netb1/3}^{(t)} + [W_{12}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{netb1/3}^{(t-1)} - [\theta_1]_{(2 \times 1)} \right\} - [\theta_2]_{(1 \times 1)} \right\}$$

波浪推算模式的推算值 $H_{pt1/3}^{(t)}$ ，而 $H_{netb1/3}^{(t)}$ 、 $H_{netb1/3}^{(t-1)}$ 為倒傳遞類神經網路 t 及 $t-1$ 時刻的輸出值

串聯型類神經波推算模式

模擬結果

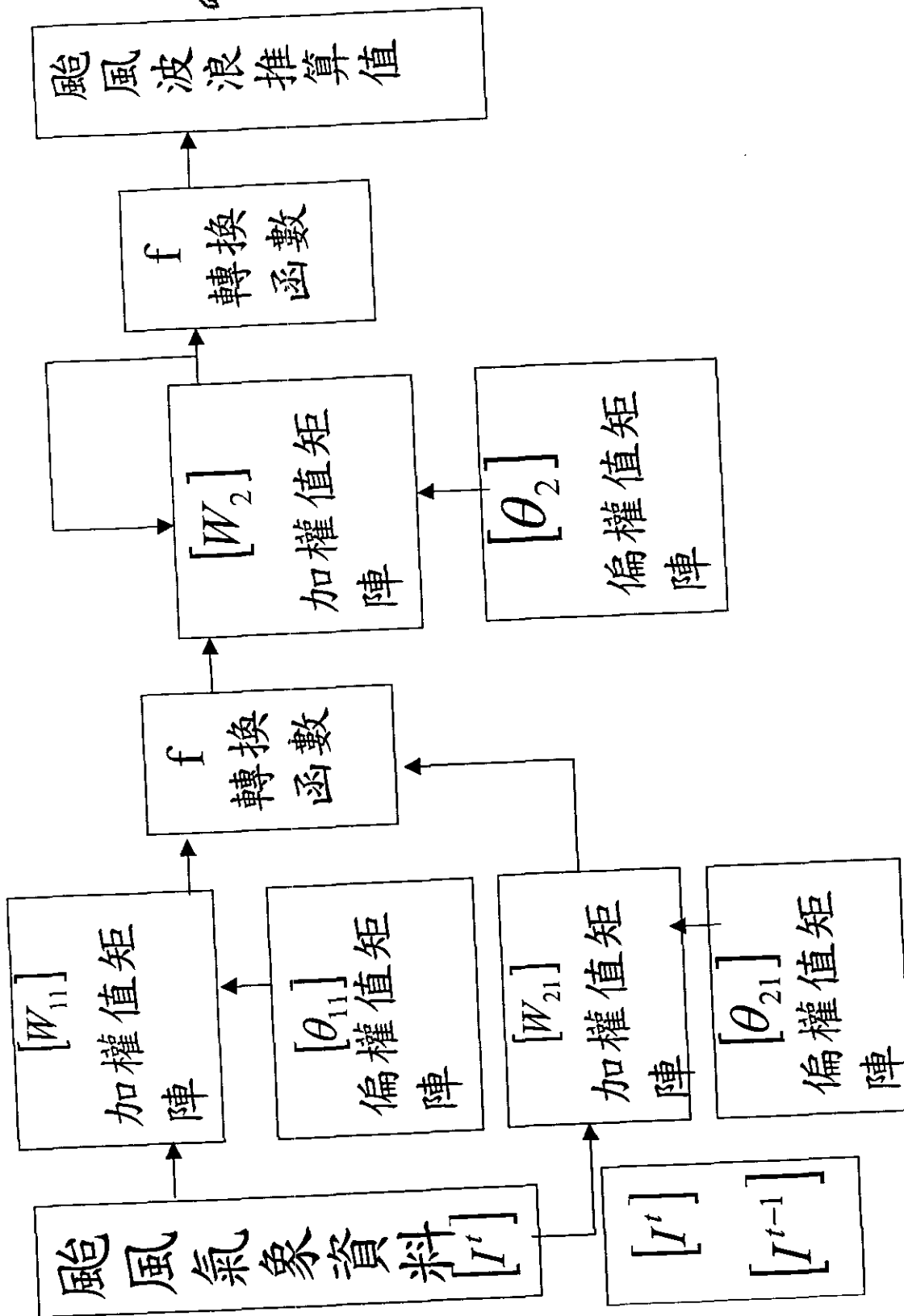


T_p 與 T_m 的關係比較圖

H_p 與 H_m 的關係比較圖

波浪推算模式的架構

串並聯型神經網路架構



串並聯型類神經架構轉換函數

$$H_{net(t)} = f\{ [W_2]_{(8 \times 8)} \cdot f\{ [W_1]_{(8 \times 16)} \cdot [I]_{(8 \times 1)} - [\theta_1]_{(8 \times 1)} \} - [\theta_2]_{(8 \times 1)} \} +$$

$$f\{ [W_{22}]_{(8 \times 8)} \cdot f\{ [W_{21}]_{(8 \times 16)} \cdot [I]_{(8 \times 1)} - [\theta_{21}]_{(8 \times 1)} \} - [\theta_{22}]_{(8 \times 1)} \} +$$

$$f\{ [W_{32}]_{(8 \times 8)} \cdot f\{ [W_{31}]_{(8 \times 16)} \cdot [I]_{(8 \times 1)} - [\theta_{31}]_{(8 \times 1)} \} - [\theta_{32}]_{(8 \times 1)} \}$$

倒傳遞類神經網路的第一層隱藏層將採用12個神經元；第二層隱藏層將採用4個神經元

$$H_{p(t)} = f\{ [W_2]_{(1 \times 2)} \cdot f\{ [W_{11}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{net(t)} +$$

$$[W_{12}]_{(2 \times 1)} \cdot H_{p(t-1)} - [\theta_1]_{(2 \times 1)} \} - [\theta_2]_{(1 \times 1)} \}$$

波浪推算模式的推算值 $H_{p(t)}$ ，而 $H_{net(t)}$ 、 $H_{p(t-1)}$ 為倒傳遞類神經網路 t 及 $t-1$ 時刻的輸出值

串並聯型類神經波推算模式

模擬結果

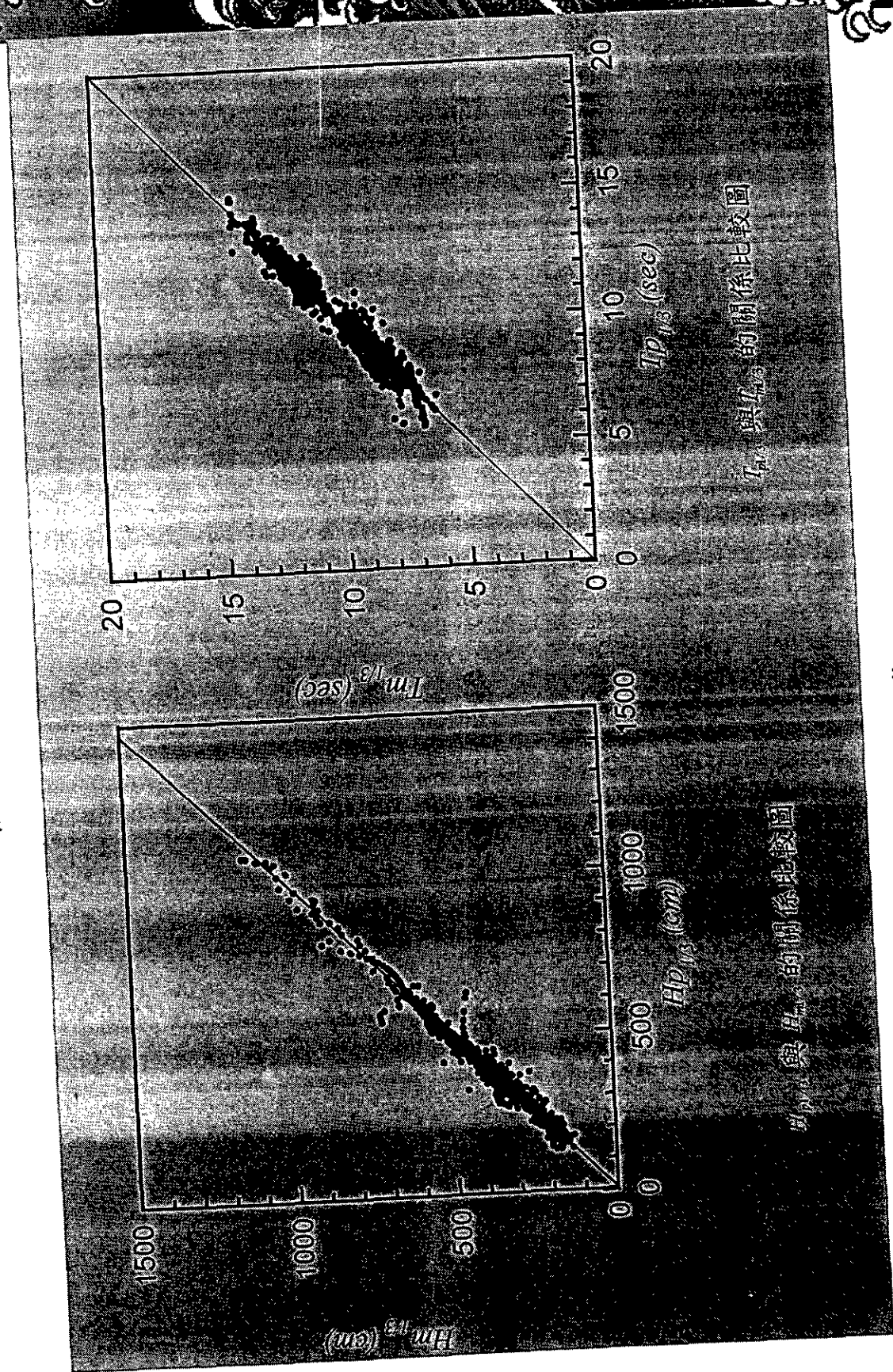


圖 1 與 H_{lp} 的關係比較圖

圖 2 與 T_{lp} 的關係比較圖

精簡模式

簡化模式採用串連類神經架構，輸入端減為七個參數（取消颱風速度參數）。

目的為：

- ▶ 簡化類神經網路結構。
- ▶ 簡化颱風資料的處理。
- ▶ 增加學習效率。
- ▶ 增加推算的速度。

精簡模式的檢驗

- ▲ 精簡模式的學習內容，將採用所有量測資料依時間序列排列順序，以奇數資料為學習目標。
- ▲ 精簡模式的檢驗將採用量測資料的偶數部分作為模式的檢測，藉以判定此一精簡模式的推算能力。



精簡模式波高模擬推算結果

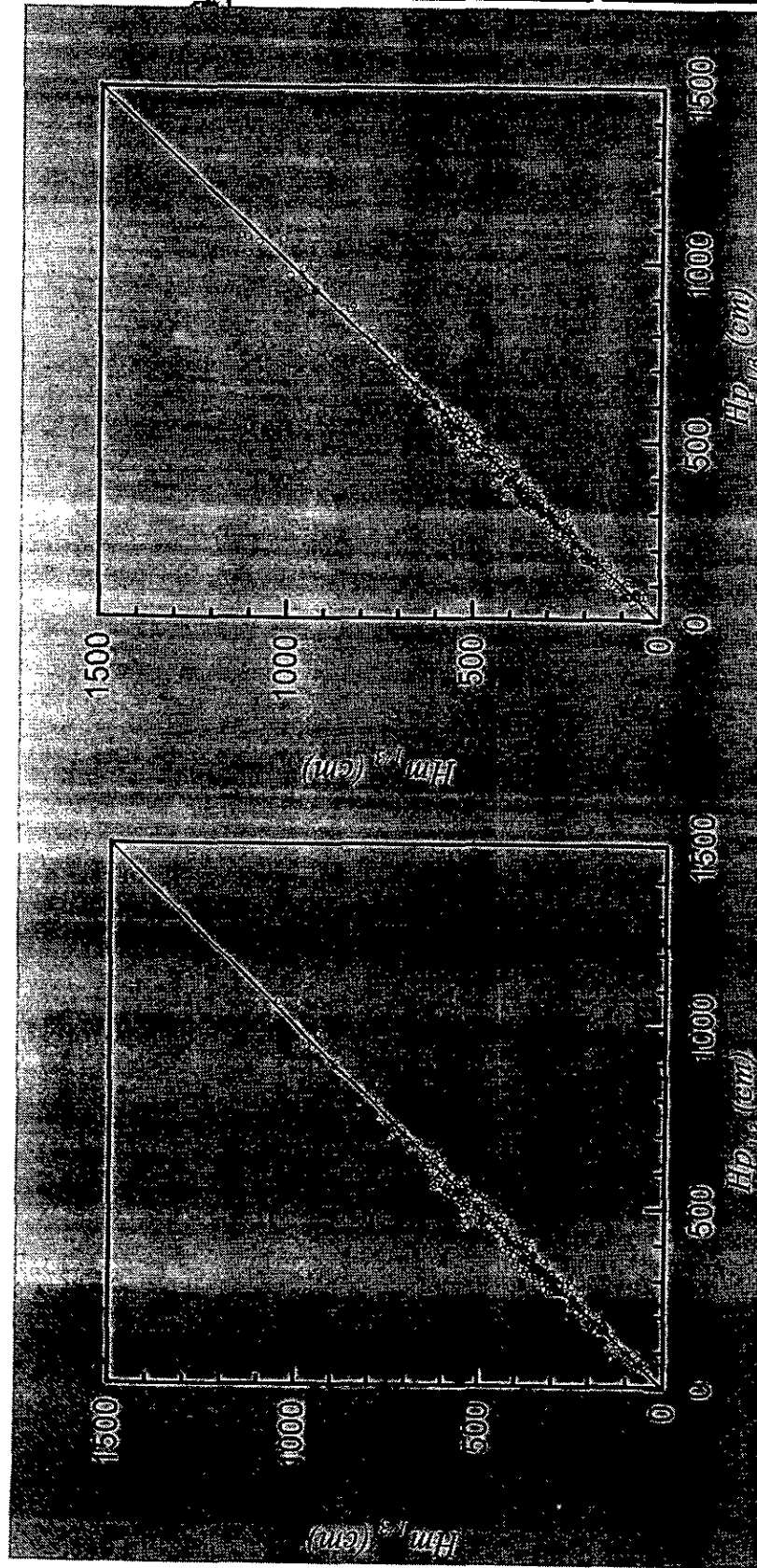


圖4-17波高學習值與量測值的關係

圖4-18波高推算值與量測值的關係

精簡模式週期模擬推算結果

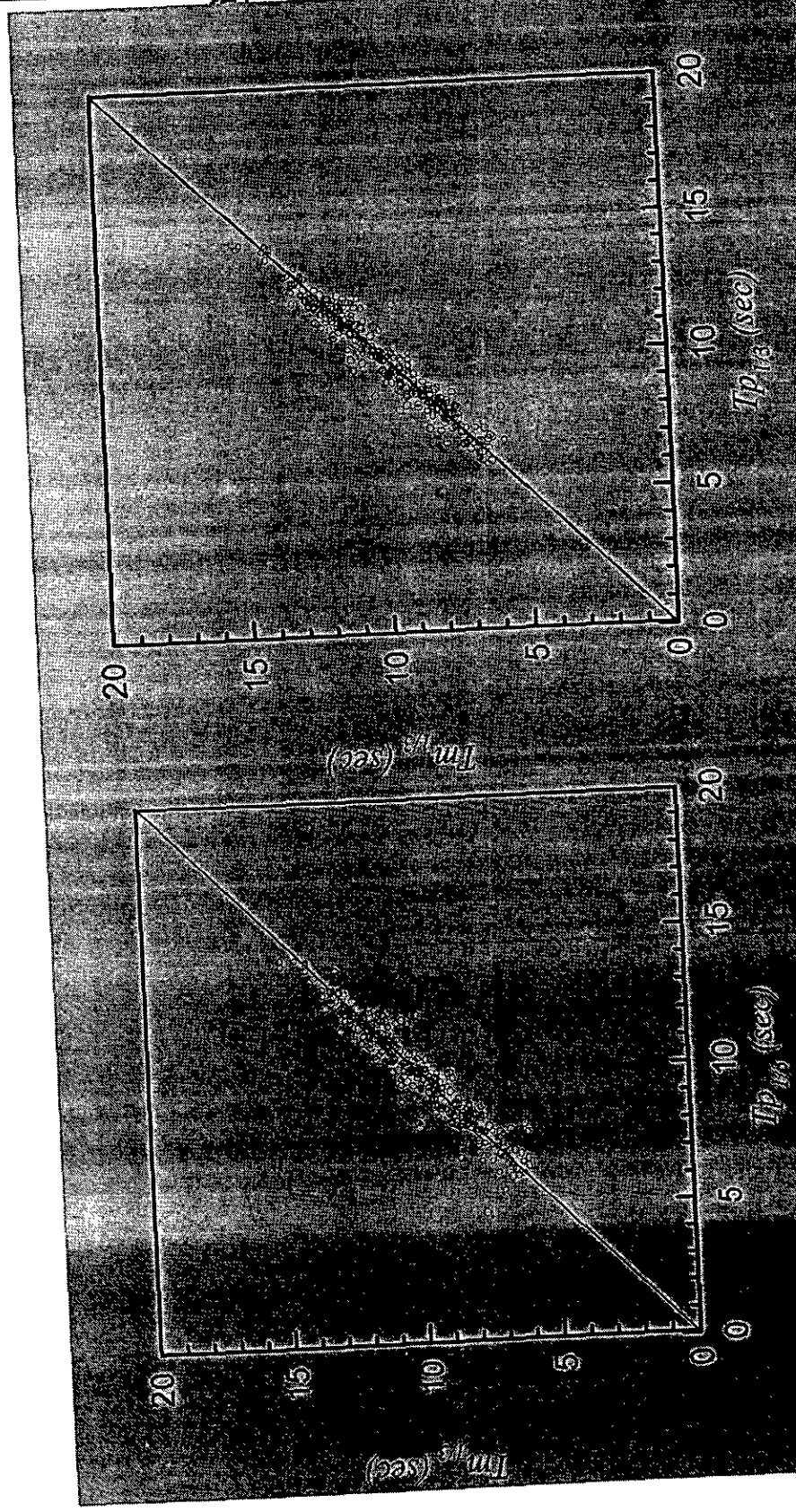



圖4-19週期的學習值與量測值的關係

圖4-20週期的推算值與量測值的關係

結論

人類神經網路颶風波浪推算模式的建立，必須依賴完整的學習資料以及測試，若學習資料不足或內容有錯誤時，所建立的推算模式亦可能有不正確的輸出值。

當建立波浪推算模式的海域內有多個波浪測站時，可以採用建立多個測點的波浪推算模式交互驗證波浪時序列的變化趨勢，以提高該海域的波浪推算準確度，並可瞭解該海域波浪分佈及傳達情形。

- 
- 人串並聯類神經與串聯類神經結構最大的差別，在於對輸入的氣象資料進行時間序列相關性的連結，採用這種模擬方式方式較符合真實的物理環境。
- 人類神經網路建立的颱風波浪推算模式，可以隨著新的颱風資料繼續學習及調整，以因應海域內某些影響波浪的因子產生變遷如海域內地形變化或海岸結構物的興建。

模式的限制

▲ 本研究關於學習資料的取得內容在颱風氣象資料與波浪資料無法完全配合的情形下，針對此一推算模式產生的限制包括：遠離學習路徑的颱風推算結果會有較大的誤差，推算未曾學習的颱風波浪亦會有較大的誤差，若要提高推算的精確率就必須建構完整的波浪及氣象資料。

模式的調整及擴增

- ▶ 針對日後港灣有天然或人爲的變化亦可將變化由參數的方式表現推算波浪與港灣變化的關係。
- ▶ 對於同時有多個低氣壓或是多個颱風入侵亦可藉由原始模式架構配合量測資料建立新的推算模式。
- ▶ 隨著波浪資料、氣象資料、地理環境資料的健全及增加，將可調整或增加影響參數，作進一步分析。

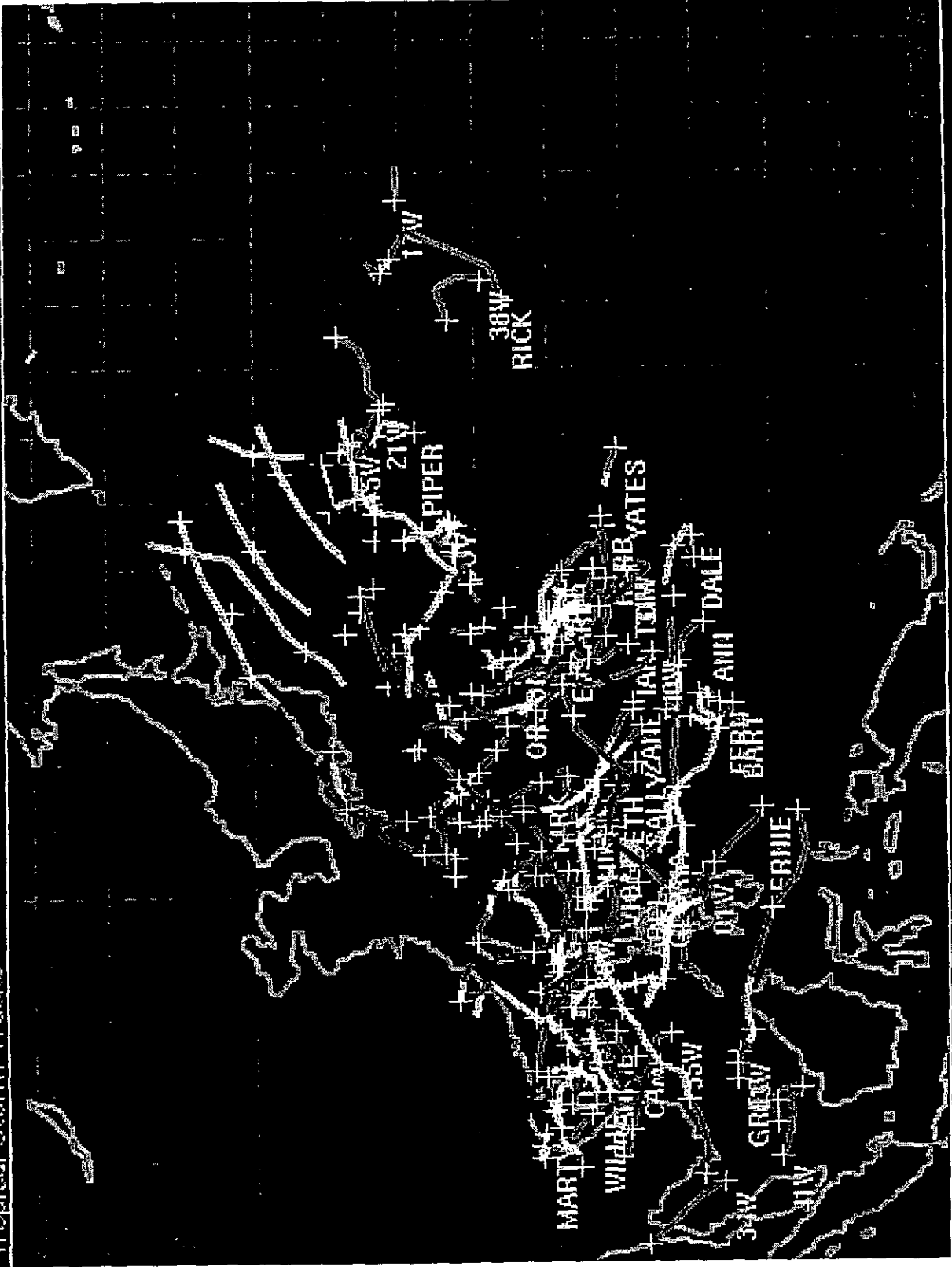


蘇澳港量測颱風波浪時間

年代	颱風名稱	波浪記錄時間	測站
87	瑞伯(Zeb)	10月13日18時-10月14日9時	1
88	瑪姬(Maggie)	6月4日14時-6月5日10時	1
	丹恩(Dan)	10月5日14時-10月8日20時	1

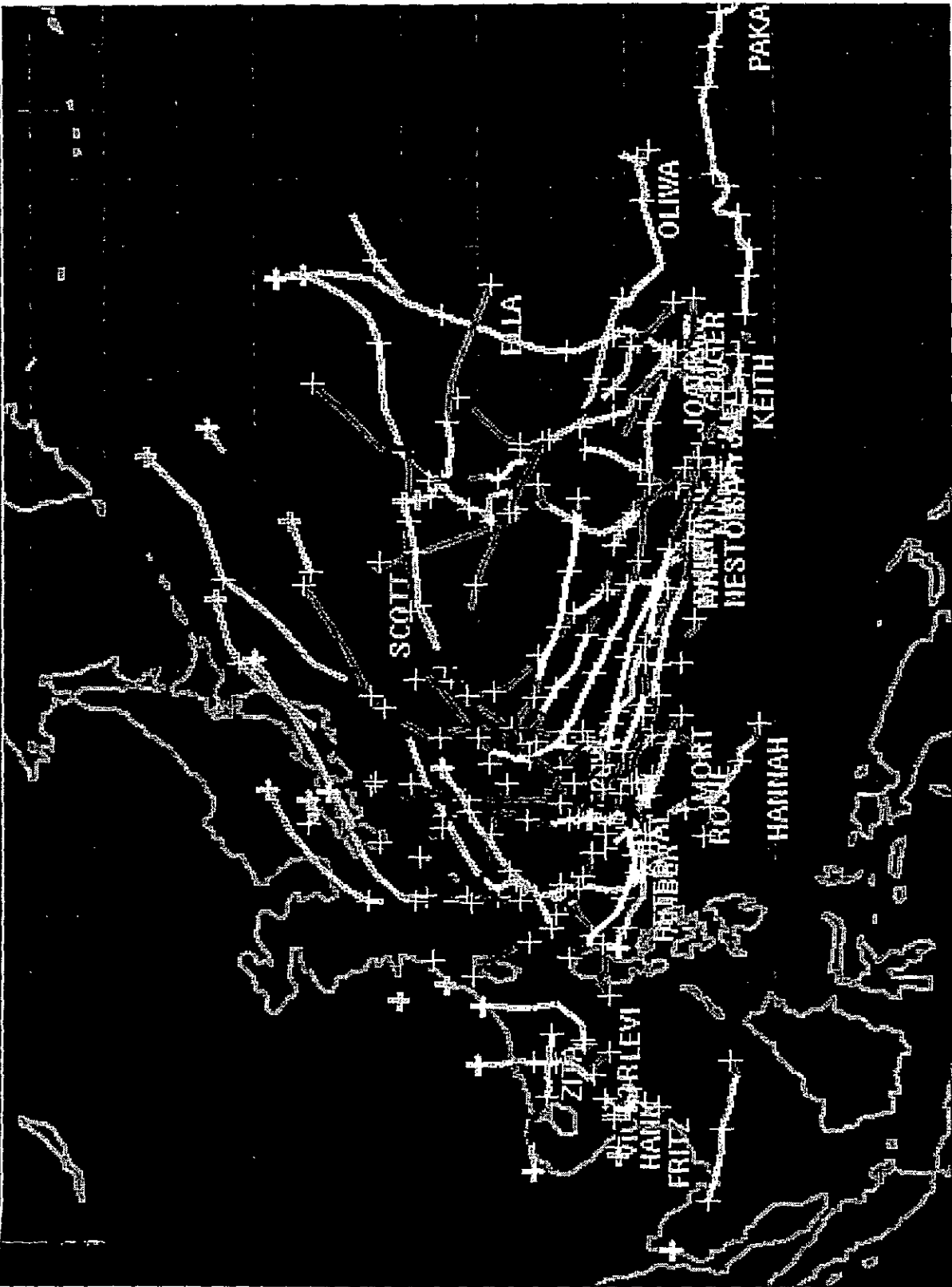
Year 1996

Tropical Storm Tracks



Tropical Storm Tracks

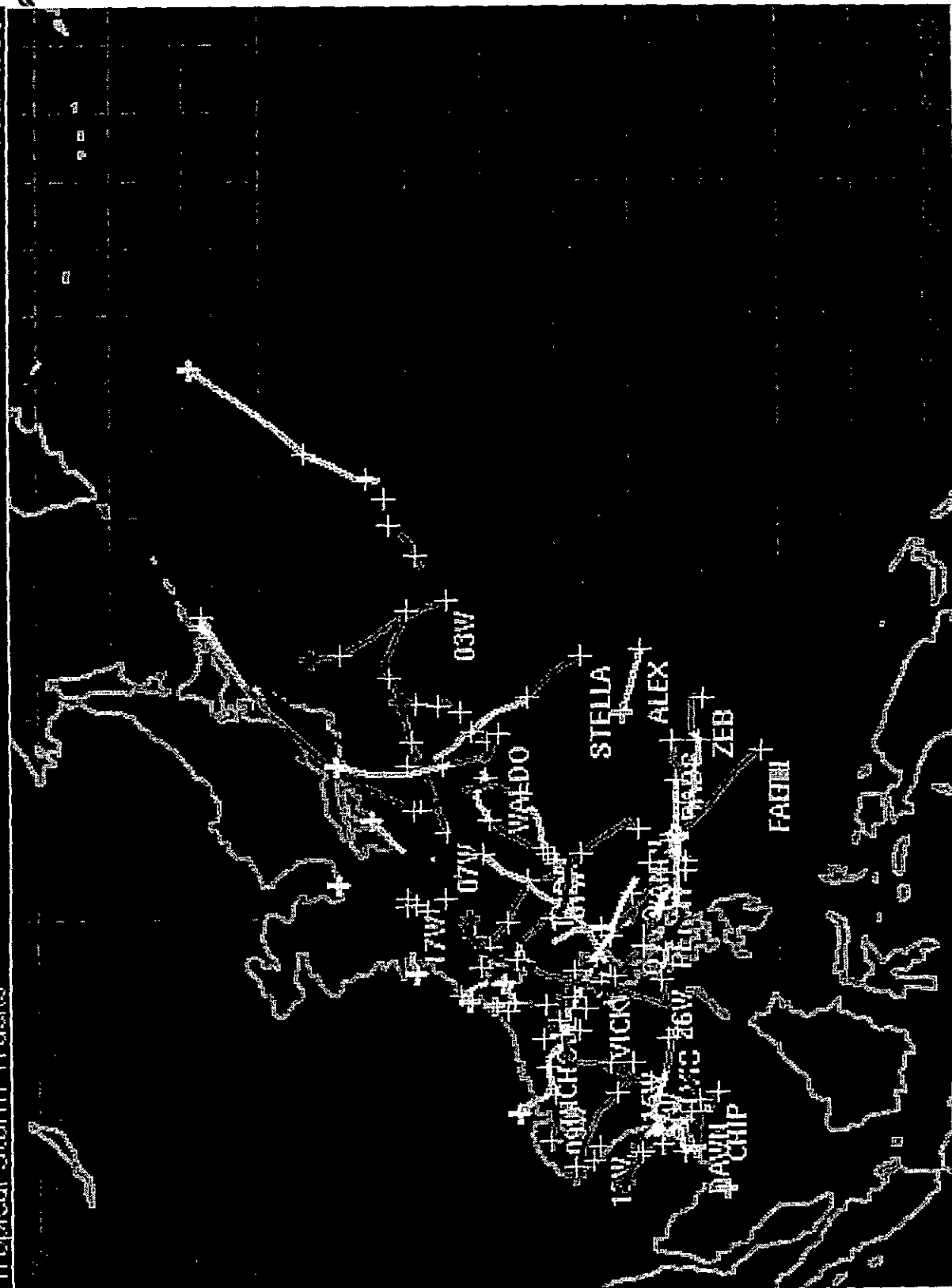
Year 1997





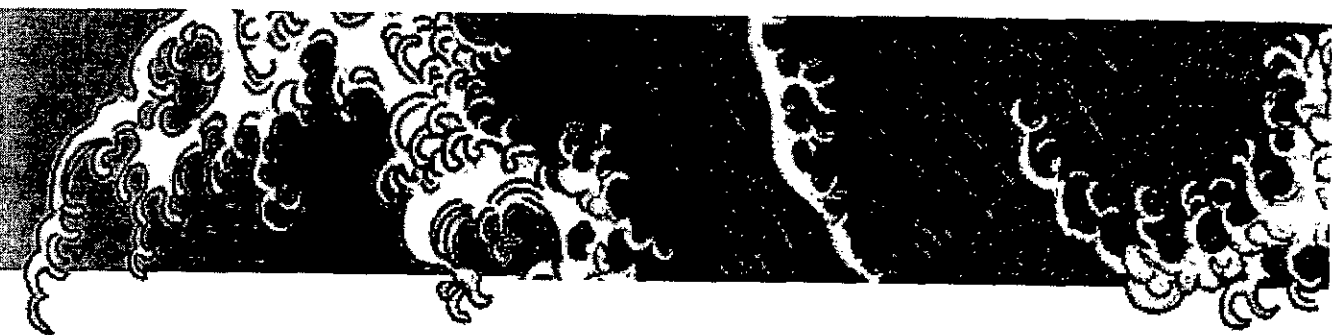
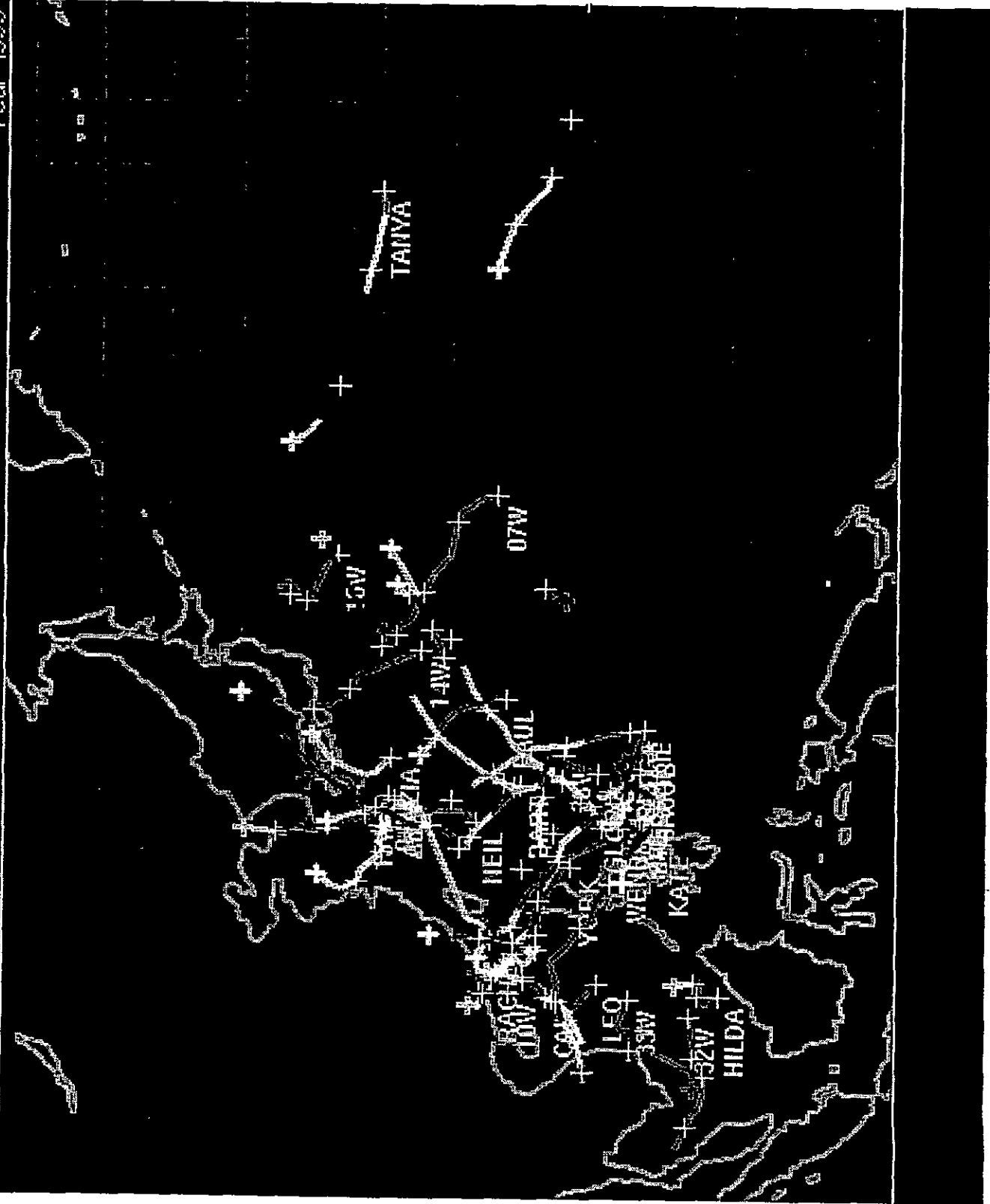
Year 1998

Tropical Storm Tracks



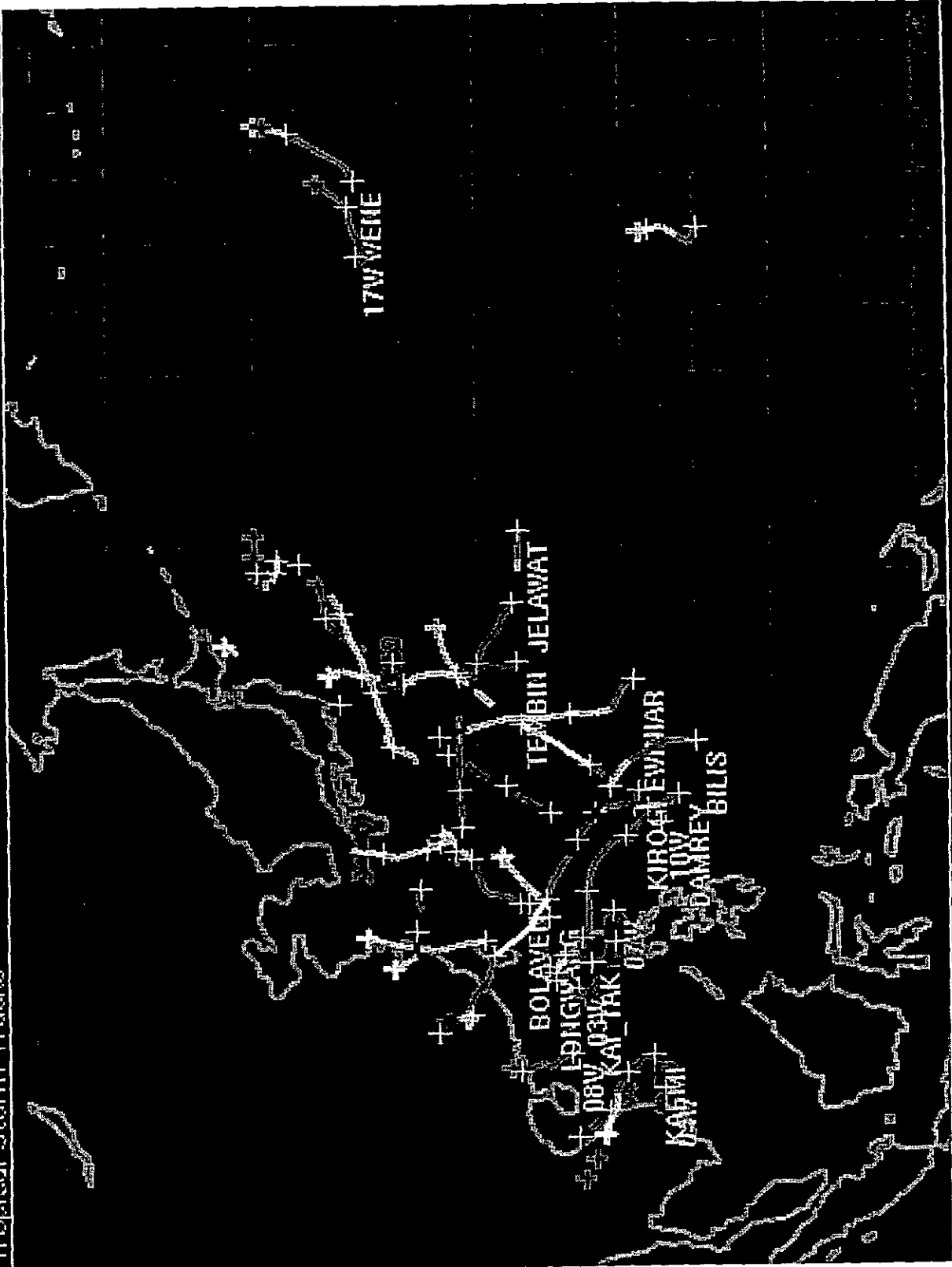
Tropical Storm Tracks

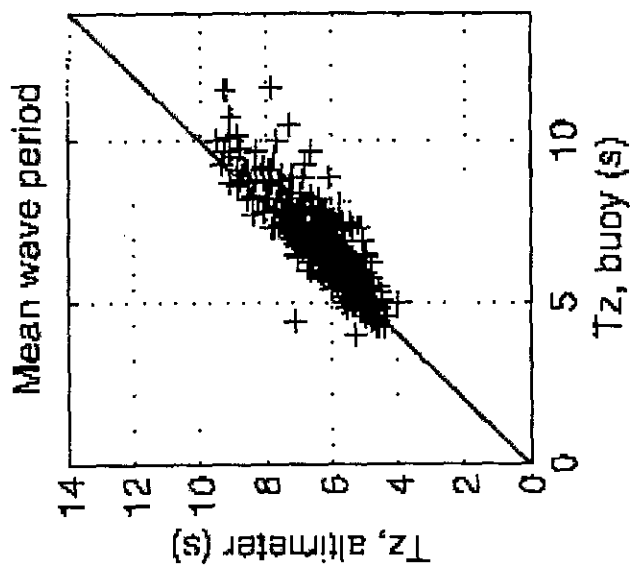
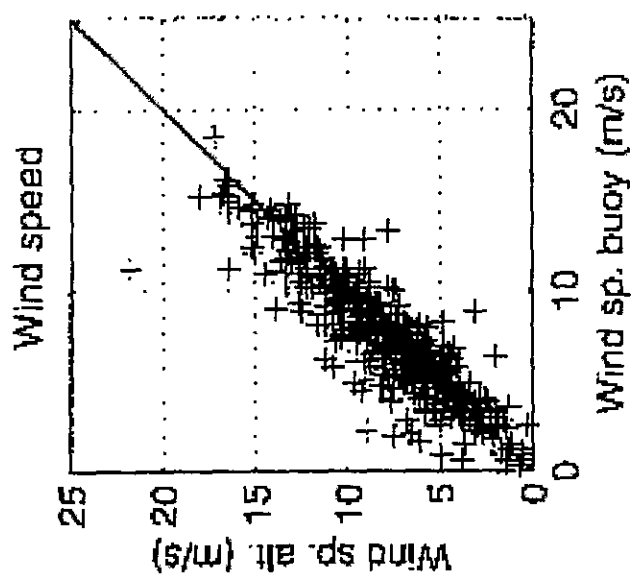
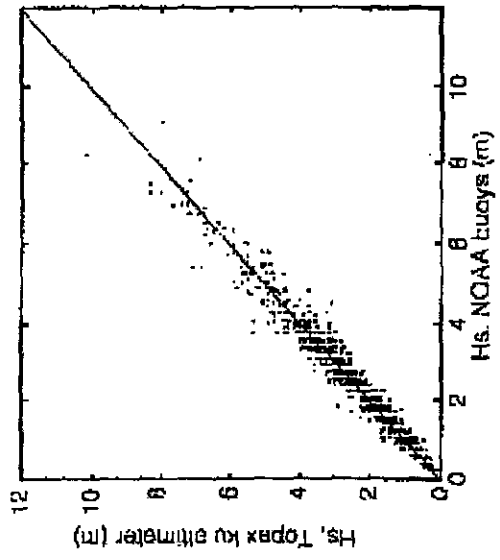
Year 1999



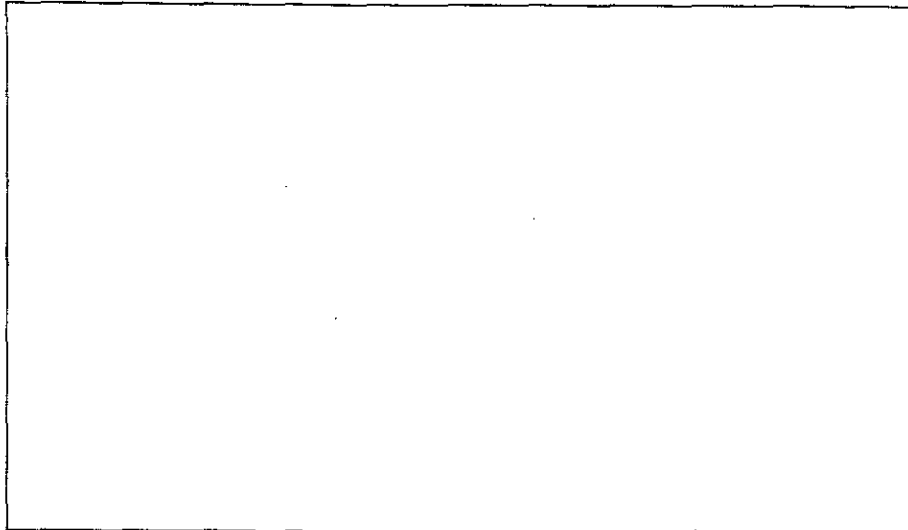
Year 2000

Tropical Storm Tracks





國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料



台灣東部港灣預警系統之應用研究—港外波浪動態特性

著者：張憲國、錢維安、蘇莎琳、何良勝
出版機關：交通部運輸研究所港灣技術研究中心
地址：台中縣梧棲鎮中橫十路二號
網址：www.ihmt.gov.tw
電話：(04)6564216

出版年月：中華民國八十九年十一月二十四日

印刷者：建州印刷股份有限公司

地址：台中縣清水鎮高美路 174~10 號

電話：(04)6270966

版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊

工本費：300 元

展售處：

交通部運輸研究所港灣技術研究中心 電話：(04)6564216

GPN : 009254890152