

93-77-7110
MOTC-IOT-92-H3BA03

近岸防救災預報系統之建立(1/5)



交通部運輸研究所
中華民國九十三年五月

93-77-7110
MOTC-IOT-92-H3BA03

近岸防救災預報系統之建立(1/5)

著 者： 邱永芳、蘇青和

交 通 部 運 輸 研 究 所

中華民國九十三年五月

近岸防救災預報系統之建立(1/5)

著 者：邱永芳、蘇青和

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

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

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十三年五月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價： 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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

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

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

五南文化廣場：台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市中正路二段 5 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

近岸防救災預報系統之建立
(1/5)

交通部運輸研究所

GPN:1009301564
定價 元

交通部運輸研究所出版品摘要表

出版品名稱：近岸防救災預報系統之建立(1/5)			
國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號 1009301564	運輸研究所出版品編號 93-77-7110	計畫編號 92-H3BA03
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳 研究人員：蘇青和、李忠潘、陳陽益、許泰文、張憲國、劉景毅 薛憲文、王兆璋、于嘉順、廖建明、劉正琪、錢維安 聯絡電話：04-26587175 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 92 年 01 月 至 92 年 12 月
關鍵詞：近岸、防救災、預報系統、風浪預報、暴潮預報、流場預報			
摘要： 本計畫是依據近年國家科技發展計畫，在交通部有關促進海洋及海岸科技研發、建立良好海岸環境、減低海洋污染及海岸天然災害等目標，以五年期間擬建立一套適用於台灣海域之近岸海域防救災預報系統。本年度(第一年)主要工作包括海象觀測網分區規劃、建立本土化之風浪預報數值模式及數值計算結果校驗與修正。另外建置防救災預報系統網站、台灣環島現場觀測資料蒐集分析、近岸地形及水深資料蒐集，藉以建置完整的環島近岸數值網格及水深資料庫，完成防救災預報系統之基礎。 未來將引用風浪預報模式，以提供環島藍色公路全年航行之風浪資訊需求。並建立區域性之風浪模式，迅速的提供港口航運安全所需之風浪預警資訊。其次建立本土化之水位預報模式，以整合台灣環島海岸觀測水位資料，及數值模擬結果，迅速且經確的提供海岸溢淹之預警資訊。配合數值模式推算長期颱風波浪及暴潮水位，以檢討現有沿海防護設施的設計水位、設計波高標準，並做為海岸災害防護措施的依據。建立大域及區域性之流場及污染物擴散模式，迅速的提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全所需之預警資訊。最後配合本所海情中心業務，建立近岸防救災預報系統，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
93 年 5 月	176		凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 限閱 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 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: Building a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention and Salvage			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009301564	IOT SERIAL NUMBER 93-77-7110	PROJECT NUMBER 92-H3BA03
DIVISION: INSTITUTE OF HARBOR & MARINE CENTER DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu PRINCIPAL INVESTIGATOR: Yung-Fang Chiu PROJECT STAFF: Ching-Ho Su, Chung-Pan Lee, Y.Y Chen, T. W. Hsu, C. Y. Liu, S.W. Shyue, C.C. Wang, C.S. Yu PHONE: 886-4-26587175 FAX: 886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM Jan. 2003 TO Dec. 2003
KEY WORDS: Near-shore area, Disaster Prevention and Rescue, Forecast system, Wind-wave forecast, Storm surge forecast, Flow forecast			
ABSTRACT: The sea exploration activities and coastal development projects in Taiwan have become attentive. In order to protect human lives and properties coastal engineering measures had to be taken to prevent disasters such as dangers of attack from high waves, surges and coastal erosion. Enough knowledge about marine meteorology is crucial. Therefore, development of an integrated coastal ocean modeling system is urgently needed. For years the IHMT has been putting a lot of efforts in building on-line marine meteorological observation networks for the five commercial ports in Taiwan. Conventionally, these data are analyzed and applied by coastal engineers using analytical methods that cannot cover a complete temporal and spatial coverage. A few near-shore navigation systems, dubbed Blue Highway, have been established. However, necessary sea-state information to operate these systems is still not available. In addition, sea-state information for the management of coastal area is also insufficient. Therefore, It is now the right time to establish a forecast system for near-shore disaster prevention, recovery, and salvage in Taiwan. This year the focuses are to make plans and establish an island-wide observation network, and a local wind-wave forecast model, which can provide necessary information for the Blue-Highway. Particular plan is to collect observation data for wave, island-wide water depth and numerical grids, which are the preprocessing part of the forecast system. Storm surge forecast and flow forecast will be established soon. Then integrating these three process models in Geographic Information System for predicting the marine meteorology surround Taiwan will be the major objective for the project.			
DATE OF PUBLICATION May 2004	NUMBER OF PAGES 176	PRICE	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目錄

中文摘要	
英文摘要	
目錄	
表目錄	
圖目錄	
第一章 前言	1-1
1.1 計畫背景	1-1
1.2 國內外海象預報系統	1-3
1.3 台灣環島海象預報系統規劃	1-7
第二章 颱風風場模式	2-1
2.1 李賢文模式 (1979)	2-1
2.2 劉肖孔模式 (1985)	2-2
2.3 美國聯邦危機管理署模式(FEMA,1988)	2-3
2.4 陳孔沫模式 (1994)	2-4
2.5 賴宗慶模式 (1995)	2-4
2.6 颱風風場模式比較 (1979)	2-5
第三章 全域波浪模式	3-1
3.1 數值網格、水深資料及氣象資料	3-1
3.2 WAM 風浪模式	3-7
3.3 SWAM 風浪模式	3-8
第四章 類神經網路颱風波浪模式	4-1
4.1 類神經網路預報模式系統	4-1
4.2 類神經網路	4-6
4.3 類神經網路預報模式架構	4-9
4.4 類神經網路預報模式計算	4-11
4.5 類神經網路預報模式的限制及發展	4-16
第五章 風域推算半經驗颱風波浪模式	5-1
5.1 風域推算半經驗模式系統	5-1
5.2 各港口颱風波浪推算	5-10
5.3 模式之限制	5-11
第六章 各類風浪模式比較	6-1
第七章 海象預報模式資訊系統	7-1
7.1 資訊系統架構	7-1
7.2 網站架構	7-7
7.3 颱風資料模擬網頁	7-27
第八章 台灣海域海象觀測網的配置規劃	8-1
8.1 觀測網的配置規劃	8-1
8.2 海象觀測網的觀測站設置現況分析	8-1

8.3 海象觀測站分布現況分析	8-4
8.4 海象觀測站網規劃	8-4
第九章 結論與建議	9-1
參考文獻	10-1

表目錄

表 3.1	SWAN 模式學說與參數	3-10
表 4.1	波浪預報模式--花蓮測站颱風與波浪學習資料	4-11
表 4.2	波浪預報模式--花蓮測站颱風與波浪檢測資料	4-12
表 5.1	花蓮港颱風波浪推算結果	5-12
表 5.2	台北港颱風波浪推算結果	5-12
表 5.3	基隆港颱風波浪推算結果	5-12
表 5.4	蘇澳港颱風波浪推算結果	5-13
表 5.5	高雄港颱風波浪推算結果	5-13
表 5.6	安平港颱風波浪推算結果	5-13
表 5.7	台中港颱風波浪推算結果	5-14
表 5.8	各港口杜鵑及梵高颱風之波浪推算結果	5-14

圖目錄

圖 1.1	台灣近海海象預報系統架構圖	1-9
圖 1.2	台灣海域海象預報及觀測系統建置之規劃時程	1-10
圖 2.1	八個颱風路徑圖 (引自中央氣象局網站資料)	2-9
圖 2.2	賀伯颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-10
圖 2.2 (續)	賀伯颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-11
圖 2.3	瑞伯颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-12
圖 2.3 (續)	瑞伯颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-13
圖 2.4	西馬隆颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-14
圖 2.4 (續)	西馬隆颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-15
圖 2.5	奇比颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-16
圖 2.5 (續)	奇比颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-17
圖 2.6	桃芝颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-18
圖 2.6 (續)	桃芝颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-19
圖 2.7	利奇馬颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-20
圖 2.7 (續)	利奇馬颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對	2-21
圖 2.8	賀伯、瑞伯及西馬隆颱風期間各模式與測站之 RMS 值	2-22
圖 2.8 (續)	奇比、桃芝及利奇馬颱風期間各模式與測站 RMS 值	2-23
圖 3.1a	大域(大尺度固定網格) WAN 模式計算範圍	3-3
圖 3.1b	小域(中尺度固定網格) WAN 模式計算範圍	3-4
圖 3.1c	小域(小尺度巢狀網格) SWAN 模式計算範圍	3-5
圖 3.2	典型大域計算範圍之等水深圖	3-6
圖 3.3	侵台颱風路徑分類統計圖 (1897~2001)	3-11
圖 3.4	賀伯颱風路徑圖	3-12
圖 3.5	賀伯颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖	3-13
圖 3.6	賀伯颱風於台西海域之示性波高變化時序列圖	3-13
圖 3.7	桃芝颱風路徑圖	3-15
圖 3.8	桃芝颱風於彭佳嶼地區之風速變化時序列圖	3-16

圖 3.9	桃芝颱風於彭佳嶼地區之風向變化時序列圖	3-16
圖 3.10	桃芝颱風於基隆地區之風速變化時序列圖	3-17
圖 3.11	桃芝颱風於基隆地區之風向變化時序列圖	3-17
圖 3.12	桃芝颱風於蘇澳地區之風速變化時序列圖	3-18
圖 3.13	桃芝颱風於蘇澳地區之風向變化時序列圖	3-18
圖 3.14	桃芝颱風於花蓮地區之風速變化時序列圖	3-19
圖 3.15	桃芝颱風於花蓮地區之風向變化時序列圖	3-19
圖 3.16	桃芝颱風於成功地區之風速變化時序列圖	3-20
圖 3.17	桃芝颱風於成功地區之風向變化時序列圖	3-20
圖 3.18	桃芝颱風於大武地區之風速變化時序列圖	3-21
圖 3.19	桃芝颱風於大武地區之風向變化時序列圖	3-21
圖 3.20	桃芝颱風於蘭嶼地區之風向變化時序列圖	3-22
圖 3.21	桃芝颱風於蘭嶼地區之風向變化時序列圖	3-22
圖 3.22	桃芝颱風於恆春地區之風向變化時序列圖	3-23
圖 3.23	桃芝颱風於恆春地區之風向變化時序列圖	3-23
圖 3.24	桃芝颱風於東吉島地區之風速變化時序列圖	3-24
圖 3.25	桃芝颱風於東吉島地區之風向變化時序列圖	3-24
圖 3.26	桃芝颱風於安平地區之風速變化時序列圖	3-25
圖 3.27	桃芝颱風於安平地區之風向變化時序列圖	3-25
圖 3.28	桃芝颱風於澎湖地區之風速變化時序列圖	3-26
圖 3.29	桃芝颱風於澎湖地區之風向變化時序列圖	3-26
圖 3.30	桃芝颱風於梧棲地區之風速變化時序列圖	3-27
圖 3.31	桃芝颱風於梧棲地區之風向變化時序列圖	3-27
圖 3.32	桃芝颱風於淡水地區之風速變化時序列圖	3-28
圖 3.33	桃芝颱風於淡水地區之風向變化時序列圖	3-28
圖 3.34	桃芝颱風於龍洞海域之指示波高變化時序列圖	3-29
圖 3.35	桃芝颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖	3-29
圖 3.36	桃芝颱風於安平海域之示性波高變化時序列圖	3-30
圖 3.37	桃芝颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖	3-30
圖 3.38	利奇馬颱風路徑圖	3-32
圖 3.39	利奇馬颱風於安平海域之指示波高變化時序列圖	3-32
圖 3.40	利奇馬颱風於新竹海域之指示波高變化時序列圖	3-32
圖 3.41	利奇馬颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖	3-33
圖 3.42	瑞伯颱風路徑圖	3-33
圖 3.43	瑞伯颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖	3-35
圖 3.44	瑞伯颱風於東吉島海域之指示波高變化時序列圖	3-35
圖 3.45	奇比颱風路徑圖	3-36
圖 3.46	奇比颱風於基隆地區之風速變化時序列圖	3-37
圖 3.47	奇比颱風於基隆地區之風向變化時序列圖	3-37
圖 3.48	奇比颱風於彭佳嶼地區之風速變化時序列圖	3-37
圖 3.49	奇比颱風於彭佳嶼地區之風向變化時序列圖	3-38

圖 3.50	奇比颱風於花蓮地區之風速變化時序列圖	3-38
圖 3.51	奇比颱風於花蓮地區之風向變化時序列圖	3-38
圖 3.52	奇比颱風於成功地區之風速變化時序列圖	3-39
圖 3.53	奇比颱風於成功地區之風向變化時序列圖	3-39
圖 3.54	奇比颱風於安平地區之風速變化時序列圖	3-39
圖 3.55	奇比颱風於安平地區之風向變化時序列圖	3-40
圖 3.56	奇比颱風於東吉島地區之風速變化時序列圖	3-40
圖 3.57	奇比颱風於東吉島地區之風向變化時序列圖	3-40
圖 3.58	奇比颱風於澎湖地區之風速變化時序列圖	3-41
圖 3.59	奇比颱風於澎湖地區之風向變化時序列圖	3-41
圖 3.60	奇比颱風於淡水地區之風速變化時序列圖	3-41
圖 3.61	奇比颱風於淡水地區之風向變化時序列圖	3-42
圖 3.62	奇比颱風於龍洞海域之指示波高變化時序列圖	3-42
圖 3.63	奇比颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖	3-42
圖 3.64	奇比颱風於安平海域之指示波高變化時序列圖	3-43
圖 3.65	奇比颱風於新竹海域之指示波高變化時序列圖	3-43
圖 3.66	西馬隆颱風路徑圖	3-44
圖 3.67	西馬隆颱風於龍洞海域之指示波高變化時序列圖	3-44
圖 3.68	西馬隆颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖	3-45
圖 3.69	西馬隆颱風於新竹海域之指示波高變化時序列圖	3-45
圖 3.70	杜鵑颱風路徑圖	3-46
圖 3.71	杜鵑颱風於新竹海域之指示波高變化時序列圖	3-47
圖 3.72	杜鵑颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖	3-47
圖 3.73	杜鵑颱風於龍洞海域之指示波高變化時序列圖	3-47
圖 3.74	梵高颱風路徑圖	3-48
圖 3.75	梵高颱風於新竹海域之指示波高變化時序列圖	3-49
圖 3.76	梵高颱風於花蓮海域之指示波高變化時序列圖	3-49
圖 3.77	梵高颱風於龍洞海域之指示波高變化時序列圖	3-49
圖 4.1	緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖	4-4
圖 4.2	花蓮觀測站之颱風中心位置區分圖	4-6
圖 4.3	賀伯颱風示性波高歷線圖	4-13
圖 4.4	瑞伯颱風示性波高歷線圖	4-13
圖 4.5	西馬隆颱風示性波高歷線圖	4-14
圖 4.6	利奇馬颱風示性波高歷線圖	4-14
圖 4.7	桃芝颱風示性波高歷線圖	4-15
圖 4.8	奇比颱風示性波高歷線圖	4-15
圖 4.9	杜鵑颱風示性波高歷線圖	4-16
圖 4.10	梵高颱風示性波高歷線圖	4-16
圖 5.1	R2 與 關係圖	5-15
圖 5.2	各港口推算點位置示意圖	5-15
圖 5.3	各港口推算點吹風距離線示意圖	5-16

圖 6.1	賀伯颱風於花蓮測站模式計算結果比對	6-2
圖 6.2	桃芝颱風於花蓮測站模式計算結果比對	6-3
圖 6.3	利奇馬颱風於花蓮測站模式計算結果比對	6-4
圖 6.4	利奇馬颱風於安平海域模式計算結果比對	6-4
圖 7.2.1	Taicoms 首頁架構.....	7-8
圖 7.2.2	Taicoms 網站架構概念.....	7-8
圖 7.2.3	以主題為概分概念圖	7-9
圖 7.2.4	資料呈現方式	7-10
圖 7.2.5	Flash 多媒體首頁.....	7-10
圖 7.2.6	Taicoms 主網頁.....	7-11
圖 7.2.7a	Taicoms 系統說明.....	7-11
圖 7.2.7b	Taicoms 系統說明 2.....	7-12
圖 7.3.1	實驗架構圖	7-28
圖 8.1	花蓮港潮位站	8-2
圖 8.2	波浪資料浮標觀測	8-2
圖 8.3	海峽中線序列潮位及潮流觀測站示意圖	8-6
圖 8.4	大陸棚邊緣潮位及潮流觀測站示意圖	8-7
圖 8.5	深海及遠洋波浪觀測站示意圖	8-8
圖 8.8	港研中心所屬觀測站	8-9

第一章 前 言

1.1 計畫背景

近岸海域地區依照 2000 年 2 月 24 日由內政部以台八十九字第○五六七五號函送立法院審議的「海岸法」(草案)中,即明訂我國的海岸地區主要劃分為「濱海陸地」及「近岸海域」兩部分,其中,定義「濱海陸地」以平均海水面至最近之山稜線,或至地形、植被有顯著變化處,或至濱海主要公路、行政區界、溝渠、宗地界線明確之處為界,並含擴界內劃定之土地及地下水域;「近岸海域」以平均海水面至等深線三十公尺,或者平均海水面向海六公里,取其距離較長者為界,並不超過領海範圍,且含擴界內劃定支水域與水域下之海床及底土。

台灣四面環海,陸域面積約 3 萬 6 千平方公里,在這狹小的地區卻塞了 2 千 4 百萬的人口,因為如此,往海的那個方向發展就變得很自然了,所以很多人居住於海濱,為了保護人民的生命財產,必須在海岸興建人工建築物來抵擋海岸侵蝕、海水倒灌等等的災害,所以對於近海的海象狀況比需要有一定程度的了解;另一方面領海的面積約為 17 萬平方公里,比起陸域面積大上許多,提供了許多能源、資源及遊憩活動空間,如台灣海峽廣大的漁場、填海造陸、各縣市政府推行的藍色公路等等,皆將人民的生活空間由陸地漸漸的推向海洋,所以為了讓政府決策單位及人民有一個依據,發展一套近岸海域海象預報系統是迫切需要的。

近海海水水位產生變化的原動力為由太陽及月球引力產生潮汐,由風及大氣壓力變化產生的風暴潮(可影響水位變化由數小時到數天),另外就是風產生的風浪(週期可達到 25 秒,波長範圍由 10 公尺到 1000 公尺)。波浪比起潮汐及風暴潮更有威力的地方就是波浪在碎波的同時會釋放出大量的能量,這個能量可以破壞岸邊的人工結構物,並且會造成海岸侵蝕;在各種浪中,以颱風產生的颱風浪最為值得注意,因為颱風的風力強大,在海面產生的風剪力也相對較大,所以可以產生週期較長且波高較高能量也較大的颱風浪,若再經

由地形的淺化效應，使其波高加大，所造成的影響就更大了；另外一方面，波浪的產生不像潮汐一樣為週期性的，由於這種不確定因素，所以在本計畫中列為年度優先考量的因素。

目前台灣並沒有一套很完善的系統來預測波浪的發生，在本所港灣技術研究中心的努力下已經在台灣五大商港去建立觀測站來觀測及紀錄波浪的資料，並藉著解析的方法來重現波浪的產生情況，這種方式往往只適用於單點產生的波浪推算，對於整個台灣海域全面的波浪情況便無法掌握了。

目前世界許多國家皆採用數值模式做為預報波浪的方式，國內也有一些學者開始進行這方面的研究，中央氣象局也引進美國海洋及大氣總署（NOAA）所發展的波浪預報模式 NWW3 做為海象波浪測報的工具。本所港灣技術研究中心長期為國內港灣建設、海岸開發及航運安全提供所需的資訊與服務，為保護和利用近岸海域，邁向 21 世紀的海洋國家，除近岸海域的使用外，應著重百姓生命財產的保護，以補往昔之不足。由於全球環境變遷，藉由過去觀測的資料加以統計分析所得的結果已不足為憑，各項回歸週期之設計基準也將不足以應付新的自然條件所加諸之嚴酷挑戰。因此，近岸防救災系統的建立是在 21 世紀配合台灣要邁向海洋國家最重要的施政項目之一。本研究擬以五年期間，結合國內專家學者，藉由國外的發展經驗，擬建立一套適用於台灣海域之近岸海域防救災預報系統。主要研究目的有以下幾項：

1. 建立本土化之風浪預報模式，以提供環島藍色公路全年航行之風浪資訊需求。並建立區域性之風浪模式，迅速的提供港口航運安全所需之風浪預警資訊。
2. 建立本土化之水位預報模式，以整合台灣環島海岸觀測水位資料，及數值模擬結果，迅速且經確的提供海岸溢淹之預警資訊。
3. 配合數值模式推算長期颱風波浪及暴潮水位，以檢討現有沿海防護設施的設計水位、設計波高標準，並做為海岸災害防護措施的依據。

4. 建立大域及區域性之流場模式，迅速的提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全所需之流場預警資訊。
5. 建立近岸與港區包括油污及不同污染物擴散數值模式，以能迅速正確掌控海岸各種污染擴散現象，以提供救災必要之資訊。
6. 配合本所海情中心業務，建立近岸防救災預報系統，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。

1.2 國內外海象預報系統

數值模式的優點在於可以得到完整的時空特性並可根據過去的模擬參數預測未來的發展趨勢，由於現在電腦的運算能力比起從前強大許多，再加上數值計算方法的進步，使得數值模式的精度與執行效率較以往大幅的增加，所以世界各國，尤其是歐、美、日等先進國家，的近海預報系統皆已使用數值模式來模擬，台灣鄰近的韓國、香港、泰國、新加坡等國亦都已有相當的發展，而國內中央氣象局海象測報中心，近幾年來致力於發展近海預報模式也有相當的成果。

近海預報模式包含了波浪、水位、流場等現象的預報。歐洲在這方面起步較早，所以近海預報系統也較為完備，美國現在亦以歐洲發展的基礎根據美國的地區特性加以改善成為美國本土性的近海預報模式系統，以下就國內外近海海象預報系統的發展情況概述如下：

1.2.1 挪威

挪威氣象中心（Norwegian Meteorological Institute, DNMI）發展的三維海洋模式 ECOM（Estuarine, Coastal and Ocean Model）預報風暴潮及海流情況（Engedahl, 1995；Martinsen et al., 1997），預報使用的平面網格解析度為 20 公里的卡氏座標系統，包含了大部分西北歐的大陸棚。在風暴潮的預報部分，ECOM 使用三維正壓項模擬（垂直分為 12 層），於海流預報則加入斜壓項分為 17 層，預報結果提供海流、海水水位變化及溫度、鹽度等資料。同時，挪威氣象中心並使用 WAM 波浪模式做為預報波浪的工具，網格解析度為 0.45 度，範圍包

含了北大西洋、北海，挪威海、格林蘭海及白令海。

預報的時程部分則是一天做兩次預報，分別在 00 及 12 UTC 預報未來 48 小時的海象狀況。其輸入的風場及氣壓場資料則是由挪威氣象中心執行的 HIRLAM 氣象預報模式所提供。

1.2.2 荷蘭

自 1990 年開始荷蘭皇家氣象研究所(KNMI)即使用一套由 Delft Hydraulics 及 Rijkswaterstaat (Gerritsen et al., 1995 ; Phillippart and Gebraad, 1997) 發展的 Dutch Continental Shelf Model (DCSM) 來預報潮汐及暴潮。模式模擬的範圍為西北歐洲大陸棚，網格解析度為緯度為 1/6 度，經度為 1/4 度。

自 1977 年起 KNMI 就已經開始預報北海的波浪，到了 1990 年，開始使用由第三代 WAM 修改的局部區域模式 - NEDWAM 做為波浪預報的工具 (Komen et al., 1994 ; Voorrips et al., 1997)。模式的模擬範圍包含了北海、挪威海、格林蘭海及英吉利海峽，網格解析度則為 32 公里。風場則由 KNMI - HIRLAM 大氣模式產生。

自 1993 年起，風場由 KNMI 的 HIRLAM 大氣模式產生。預報的時間為每天四次，進行 12 小時的現況模擬並預報未來 48 小時的海象狀況。從 1998 年起使用浮標監測的波浪紀錄與預報模式的現況模擬結果進行資料同化過程，以達到較佳的預報效果。

1.2.3 比利時

自 1970 年代開始，隸屬比利時國家研究院的數值模式管理中心，MUMM (Management Unit of the North Sea Mathematical Model) 即使用垂直平均的 2D 水動力模式預報潮汐及風暴潮，預報範圍為北海 (Adam, 1979)，網格的解析度為北海北部使用 20 分網格大小，南部則使用 7 公里網格。1998 年新版本的 2D 水動力模式 (Yu et al, 1994) 在 MUMM 及 AWK (公共工程部海岸及航道工程處 Afdeling Waterwegen Kust ; Ministry of the Flemish Government) 正式啟用 (Ozer et al., 1997 ; van den Eynde et al., 1998)。網格解析度為緯度

方面為 2.5 分，經度方面則是 5 分。在風場及氣壓場的部分，使用英國氣象局（UKMO）所提供的資料。每天預報兩次，每次預報未來 4 天。

自 1992 年起，MUMM 及 AWK 使用由 GKSS（van den Eynde, 1992）發展的第二代風浪模式 HYPAS 預報波浪。使用了波浪浮標監測記錄及衛星 ERS-1 波高計的資料進行模式線上校正，並使用 HTML 發展使用者介面，讓使用者可以很容易的讀取模式產生的資料，現在亦積極發展以 WAM 結合 SWAN 的近海波浪模式系統上線預報。

1.2.4 英國

自 1978 年開始，英國氣象局（UKMO）即使用由 POL（Proudman Oceanographic Laboratory）發展的二維風暴潮模式與潮汐模式預報潮位變化，模擬的範圍自北緯 48 度至北緯 63 度，西經 12 度至東經 13 度，模式解析度在緯度方面為 1/9 度，經度方面為 1/6 度。模式預報時間為每天兩次，每次預報未來 36 小時。於 1999 年以後，使用新的模式來預報風暴潮，此模式已將潮汐的變化考慮進去，所以可以得到更為準確的暴潮水位。

對於波浪的預報，英國氣象局使用由 Golding（1983）為基礎的第二代波浪模式，其後此模式由 Holt（1994）來維持更新。此模式不但可以模擬大尺度的範圍，同時也可以模擬水深 200 公尺以內的大陸棚區。在大尺度範圍方面，使用的網格點為 0.833 度 X 0.56 度，風場部分使用同樣尺度的全球數值氣候預報模式（NWP）預報風場，並且使用 ERS-2 波高計的資料來做同化。此模式每天預報兩次，分別為 00 UTC 及 12 UTC，預報未來五天的波浪。小尺度區域模式，包含西北歐洲大陸棚、地中海、波羅的海及黑海，網格解析度為 0.4 度 X 0.25 度，也是每天預報兩次，分別於 0230 UTC 及 1430 UTC 做預報，預報時間亦為未來 48 小時，風場使用全球數值氣候預報模式（NWP）預報風場，邊界部分則是使用大尺度模式的模擬結果。

1.2.5 美國

美國的近海海岸預報系統，目前是由 Ocean Modeling Branch of the National Weather Service's Environmental Modeling Center、the National Ocean Service's Coast Survey Development Lab、Princeton University、以及 Naval Oceanographic Office (NAVOCEANO) 所共同發展的 Regional Ocean Forecast System (ROFs)，此套系統是由 1991 年開始發展，並於 1993 年開始作實驗性的預報。此系統為一三維水動力模式，模擬的範圍為北緯 30 度至 47 度，由美國東岸海岸線向外延伸至西經 50 度，網格解析度為 20 公里，在近岸的部分則變為 10 公里，海水表面的驅動力則是由 NCEP (National Centers for Environmental Prediction) 的 Eta 中尺度大氣模式提供。此套系統一天預報一次，每次預報其後時間 48 小時。

在波浪的部分，則是使用由 NCPE 下的環境模式中心 (EMC) 中的海洋模式及分析部門 (MMAB) 所發展的 WAVEWATCH III，此模式為第三代風浪預報模式 WAM 的修正版本，目前發展至 2.22 版本。

1.2.6 中央氣象局海象測報中心

中央氣象局海象測報中心的波浪預報是根據數值天氣預報所預測之海面風場，代入二種模式：一種是依據風向、風速、吹風歷時、風域長度與波高、週期關係之面積風域法；另一種是以能量平衡方程式為基礎之波譜數值模式。自民國八十四年起，每日提供一次上午八時之波浪分析圖及未來二十四小時波浪預報圖，波浪圖涵蓋範圍自東經 105 度至 140 度，北緯 5 度至 35 度，包括了台灣海峽、東海、黃海、南海及部分西北太平洋海域，對於我國海域航行安全有相當大之助益。自九十年起改進為三十六小時預報，提供次日上午八時及下午八時之波浪預報圖，含 1 公尺以上波高等值線及波向。民國九十一年引進美國氣象局 NWW3 (NOAA Wave Watch III) 波浪模式並加以本土作業化，與原先使用之 WAM 模式並行測試(中央氣象局海象測報中心網站資料)。預計民國九十二年底 SWAN 模式上線預報，研究東北

角海岸模式範圍由東經 121.5 度到 122.5 度，北緯 24.5 度到 25.5 度，網格格點為 500 公尺，每天預報兩次，每次提供未來 24 小時及 36 小時的波浪預報場(中央氣象局海象測報中心提供)。

1.3 台灣環島海象預報系統規劃

由上述幾個國家的近海域報系統可以發現，目前在預報近海海象仍然使用不同的模式來提供預報資料，但是就事實來看，近海海域的作用是由波浪、水位及海流相互影響所造成的，所以要實際呈現海象變化，就要將這三種模式耦合起來同時考慮，這也是目前各個國家在努力的目標，如歐洲的 PROMISE(Pre-Operational Modelling In the Sea of Europe) 計劃便包含了整合各個模式的目標。這個目標也於本計劃中規劃，希望能與世界先進各國並駕齊驅。

參考各國近海海象預報系統的發展狀況，規劃完整的台灣近海海象預報系統應包括數值預報模式的建立及驗證、觀測網的架設及資料庫的整合。整體規劃的架構如圖 1.1 所示。

觀測網路部分預計可以得到的觀測資料為地形、水深、氣壓、颱風、風場(風速、風向)、波場(波高、週期及波向)、水位(天文潮位、暴潮位)及流場(流速、流向)等現場資料，經同步連線回傳整理後統一輸入資料庫中以便未來提供查詢及模式的應用。

模式部分則包含了風場、波浪、水位、流場及擴散等模擬，其中風場的模擬包含了季風及颱風，同樣波浪的模擬包含了季風波浪及颱風波浪，水位的模擬則包含天文潮位及暴潮位潮位，海流的模擬則包含天文潮流、風驅流(暴潮流)、長週期恒流及波浪引起之沿岸流等。擴散模式主要重點為油污，其次為一般污染濃度。風場的部分由於氣象局可以提供資訊，所以本計畫不擬執行一般風場的預報模擬，但是由於氣象局在颱風風場的預報僅提供颱風路徑、中心最大風速與暴風半徑等資料，颱風場仍須以颱風風場解析模式根據氣象局的預報資料輸入進行海象預測，模式產生的資料同樣也進入資料庫中，如此便可以將模式預測的資料與觀測網路得到的現場資料做同化，以增加模式

模擬的精確度。

模式系統的規劃時程則表示於圖 1.2，各年所欲達成的目標如下所述，本年(2003 年)已完成建立 WAN 模式、SWAN 模式、類神經網路颱風波浪模式、半經驗颱風波浪模式等 4 種風浪模式，波浪模式之大小網格最佳化及水深資料建立，並規劃觀測網，及建置防救災預報系統網站。第二年(2004 年)將推廣風浪預報模式，以提供環島藍色公路全年航行之風浪資訊需求。另建立區域性之風浪模式，迅速的提供港口航運安全所需之風浪預警資訊。並建立本土化之水位預報模式，以台灣環島海岸觀測水位資料，較驗數值模擬結果。第三年(2005 年)將建立三維全域水動力模式，並完成流場模式之驗證。波浪方面配合數值模式推算長期颱風波浪以檢討現有沿海防護設施的設計波高標準，並做為海岸災害防護措施的依據，水位方面以整合台灣環島海岸觀測水位資料，及數值模擬結果，迅速且經確的提供海岸溢淹之預警資訊。第四年(2006 年)建立近岸與港區包括油污及不同污染物擴散數值模式，以能迅速正確掌控海岸各種污染擴散現象，以提供救災必要之資訊；並建立區域性之流場模式，迅速的提供港區油污擴散及港口航運安全所需之流場預警資訊。水位方面配合數值模式推算長期暴潮水位，以檢討現有沿海防護設施的設計水位標準，做為海岸災害防護措施的依據。第五年(2007 年)將模式及觀測網的資料作圖形化展示，採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用，同時為求整個預報系統的最佳預報時效，進行高速計算的可行性研究，力求近海海象預報模擬系統的預報時間能夠在氣象局發佈氣象預報後三至六小時之內完成。

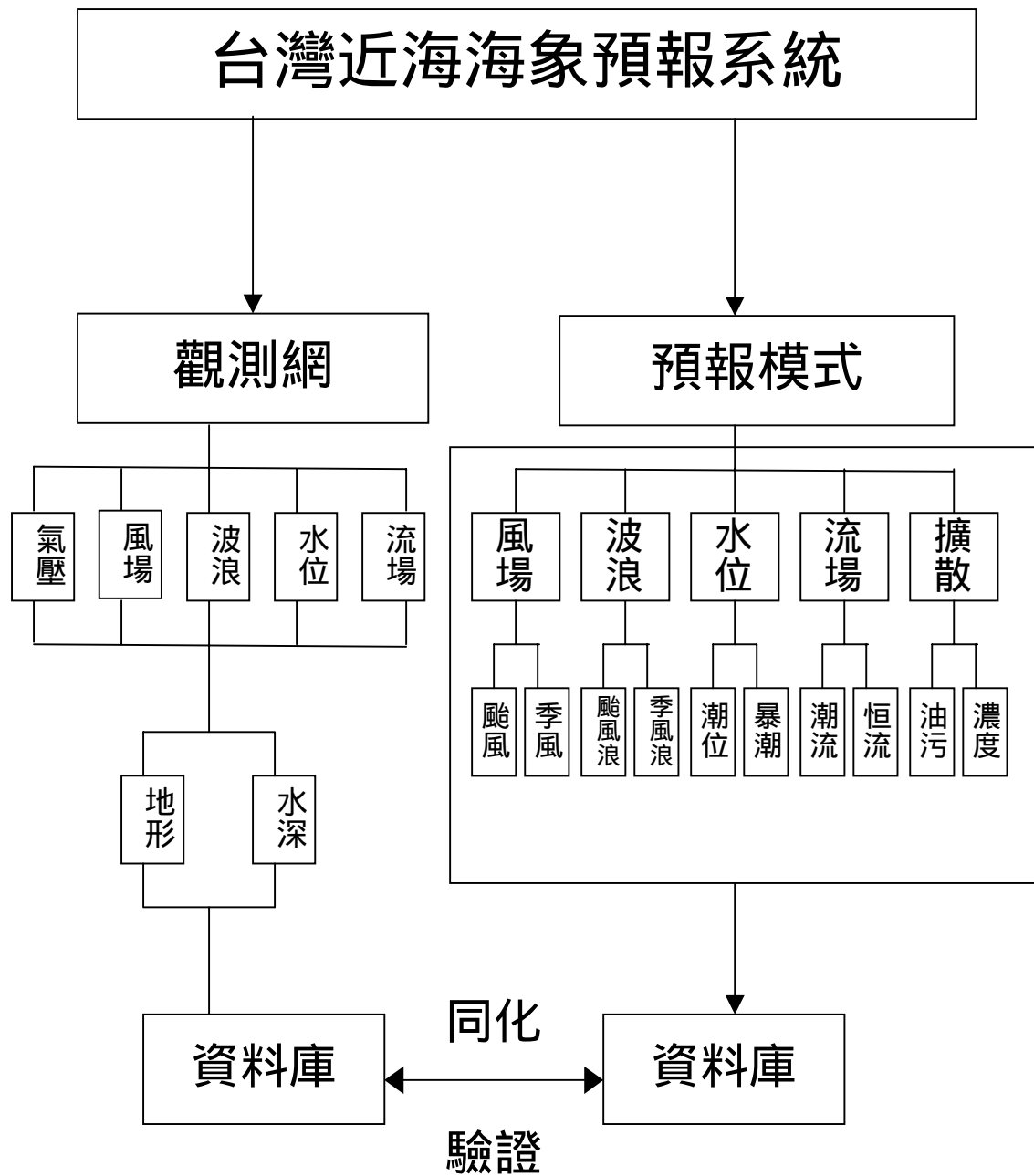


圖1.1 台灣近海海象預報系統架構圖

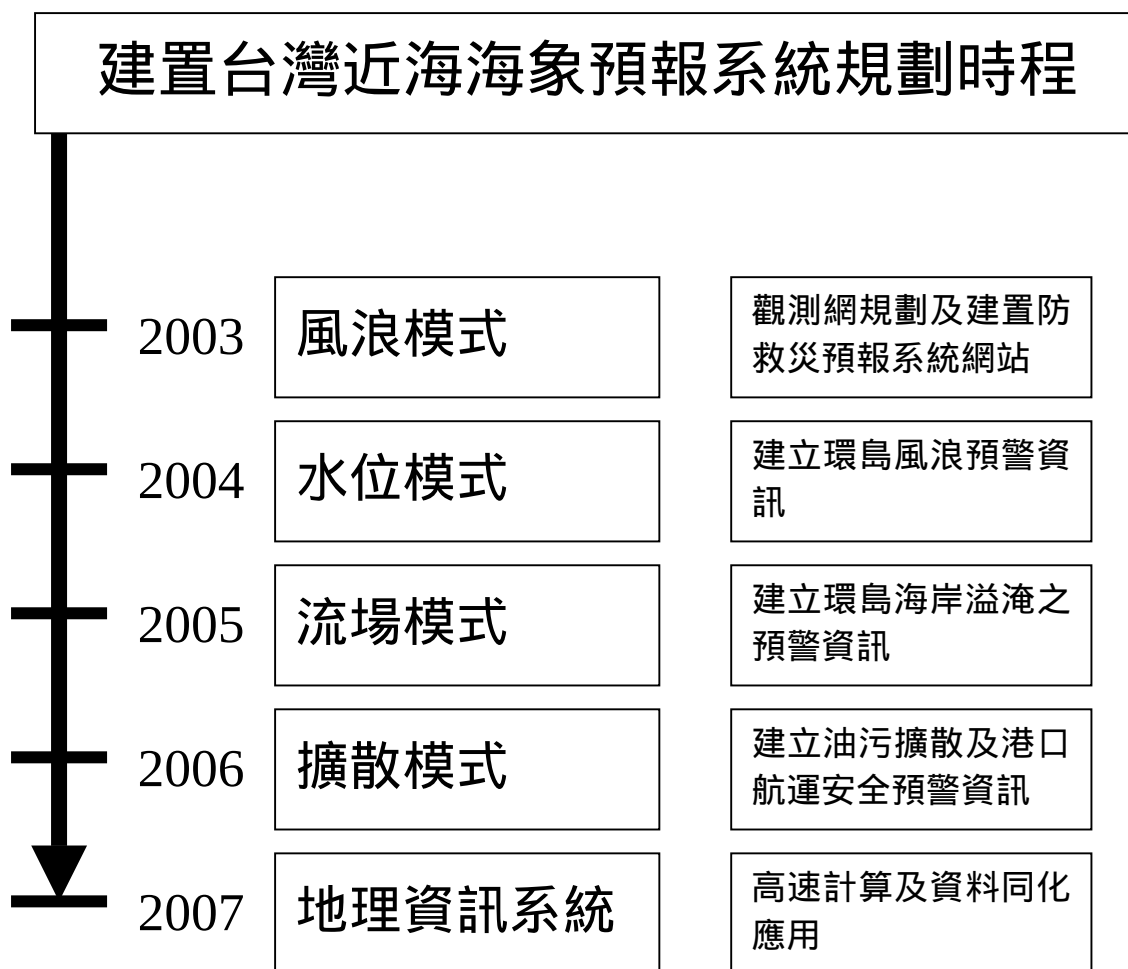


圖1.2 台灣海域海象預報及觀測系統建置之規劃時程

第二章 颱風風場模式

由於目前中央氣象局所提供的颱風預報資料僅為颱風預測路徑及可能的暴風半徑，並不足以用於海象預測模擬的波浪模式計算，所以仍然需要使用傳統的颱風解析模型來模擬颱風內部的風場分布，本計畫收集了近年來國內外所使用的颱風解析模型，並與中央氣象局測站的實測資料作比對，以便找出一個較為符合台灣海象預測模擬的颱風解析模式。僅就各個颱風解析模型簡述如下：

2.1 李賢文模式 (1979)

採用 Chester P. Jelesnianski (1965) 所發展的圓形颱風解析模式。
風場部分：

軸對稱風場分佈：

$$V = V_m \left(\frac{r}{R} \right)^{3/2}, \quad 0 \leq r \leq R \quad (2.1.1)$$

$$V = V_m \left(\frac{r}{R} \right)^{1/2}, \quad r \geq R \quad (2.1.2)$$

偏角修正：

$$V = V_m \left(\frac{r}{R} \right)^{3/2} \frac{1}{r} [Ai + Bj], \quad 0 \leq r \leq R \quad (2.1.3)$$

$$V = V_m \left(\frac{r}{R} \right)^{1/2} \frac{1}{r} [Ai + Bj], \quad r \geq R \quad (2.1.4)$$

移動颱風風場：

$$V = V_m \left(\frac{r}{R} \right)^{3/2} \frac{1}{r} [Ci + Dj] + \frac{r}{R+r} [U_0 i + V_0 j], \quad 0 \leq r \leq R \quad (2.1.5)$$

$$V = V_m \left(\frac{r}{R} \right)^{1/2} \frac{1}{r} [Ci + Dj] + \frac{R}{R+r} [U_0 i + V_0 j], \quad r \geq R \quad (2.1.6)$$

r ：距颱風中心的距離

R ：最大暴風半徑

V_m ：最大風速

$C = r \sin(\theta + \phi)$, $D = r \cos(\theta + \phi)$

θ ：軸對稱風與 Y 軸的夾角

ϕ ：軸對稱風穿過等壓線的向心偏角

U_0 、 V_0 ：颱風移動速度的分量

2.2 劉肖孔模式 (1985)

梯度風場：

$$V_g = \sqrt{\left(\frac{R}{r}\right)^B \frac{B}{\rho_a} (P_n - P_c) \exp\left[-\left(\frac{R}{r}\right)^B\right] + \frac{r^2 f^2}{4} - \frac{rf}{2}} \quad (2.2.1)$$

其中 $B = 2.7 + 0.016667(940 - P_c)$, 加入移動颱風風場：

$$\vec{V}_{gs} = \vec{V}_g + \vec{V}_s$$

並利用海水與空氣垂直溫差來修正風速：

$$|\vec{V}_{gs}| = a|\vec{V}_g| + b$$

$$a = 0.7 - 0.012\Delta T_{a-s}$$

$$b = 1.68 - 0.105\Delta T_{a-s}$$

偏角修正：

$$\alpha_0 = \cot^{-1}\left(\frac{f}{C_\tau}\right) \quad (2.2.2)$$

$$\alpha = -\left\{\left(\alpha_0 - \frac{\alpha_0}{2}\right) + \frac{\alpha_0}{2} \cos\left[\left(\frac{\Delta T_{a-s} + 0.7}{4.1}\right)180^\circ\right]\right\}, \quad 3.4^\circ C > \Delta T_{a-s} > -4.8^\circ C$$

$$\alpha = 0, \quad \Delta T_{a-s} > 3.4^\circ C \text{ 或 } \Delta T_{a-s} < -4.8^\circ C$$

修正完後之風向量為

$$\vec{V} = |\vec{V}_{gs}| \frac{1}{r} (Ci + Dj)$$

B ：常數

f ：科氏力

ρ_a ：空氣密度

P_c ：颱風中心氣壓

P_n ：颱風影響範圍外之氣壓

r ：距颱風中心的距離

R ：最大暴風半徑

ΔT_{a-s} ：長期月平均空氣海水垂直溫差

α_0 ：垂直穩定條件下風穿過等壓線的向心偏角

α ：垂直不穩定條件下風穿過等壓線的向心偏角

C_r ：海面粗糙度

$$C = r \sin(\theta + \alpha_0) \quad , \quad D = r \cos(\theta + \alpha_0)$$

2.3 美國聯邦危機管理署模式 (FEMA, 1988)

美國聯邦危機管理署發展(FEMA) 暴潮模式來模擬颱風暴潮，其中颱風風場的模擬分布為以下式計算：

$$V_g = \sqrt{\frac{R(P_n - P_c) \exp\left(-\frac{R}{r}\right)}{\rho_a r} + \frac{r^2 f^2}{4} - \frac{rf}{2}} \quad (2.3.1)$$

考慮颱風前進速度後風場為

$$\vec{V} = 0.91\vec{V}_g + 1.5|\vec{V}_o|^{0.63} \cos \beta$$

f ：科氏力

ρ_a ：空氣密度

P_c ：颱風中心氣壓

P_n ：颱風影響範圍外之氣壓

r ：距颱風中心的距離

R ：最大暴風半徑

V_o ：颱風前進速度

β ： V_o 和 V_g 的夾角

2.4 陳孔沫模式 (1994)

修正 Rankine 與 Jelesnianski 模式：

$$V = V_m \frac{r}{R} \frac{3}{(R/r)^{1/2} + r/R + (r/R)^{5/2}} \quad , \quad 0 \leq r \leq R \quad (2.4.1)$$

$$V = V_m \frac{r}{R} \frac{3}{(R/r)^{5/2} + r + (r/R)^{1/2}} \quad , \quad r \geq R \quad (2.4.2)$$

颱風移動風速加成量：

$$V_{sch} = V_s \frac{3(Rr)^{3/2}}{R^3 + r^3 + (Rr)^{3/2}} \quad (2.4.3)$$

r ：距颱風中心的距離

R ：最大暴風半徑

V_m ：最大風速

V_s ：颱風移動速度

2.5 賴宗慶模式 (1995)

假設為軸對稱的旋衡風：

$$V_c = V_m \sqrt{\left(\frac{R}{r}\right)^B \exp\left[1 - \left(\frac{R}{r}\right)^B\right]} \quad (2.5.1)$$

$$V_m = 5.735\sqrt{B(P_n - P_c)}$$

B ：常數

P_c ：颱風中心氣壓

P_n ：颱風影響範圍外之氣壓

r ：距颱風中心的距離

R ：最大暴風半徑

2.6 颱風風場模式比較

颱風風場模式比較本階段選擇六個歷史颱風，包括賀伯(9608)、瑞伯(9810)、西馬隆(0101)、奇比(0102)、桃芝(0108)及利奇馬(0119)等，及今年度兩個侵台颱風，其中之一為影響範圍涵蓋南台灣的杜鵑颱風(0313)；另外基於路徑的考量選擇掠過台灣東北部海面的梵高颱風(0311)。以上八個颱風之路徑圖如圖 2.1 所示。並選擇澎湖、高雄、花蓮、蘇澳、蘭嶼及彭佳嶼等六個測站，現場量測風速來比對，各個颱風解析模式的模擬結果。圖 2.2 至圖 2.7 為以五個颱風風場模式，模擬六個歷史颱風的風速結果，並與中央氣象局測站的實測風速比對。圖 2.8 則為五個颱風風場模式於六個颱風期間模擬結果與各測站的 RMS (Root Mean Square) 值。

賀伯颱風期間，由圖 2.2 可以了解各個模式在模擬各個颱風風場的表現，五個模式在彭佳嶼的結果都相當不錯，尤其是 Li 跟 Chen 的結果最吻合實測風速，Lai 及 FEMA 雖然趨勢吻合，但是風速皆有高估的情況，Lau 則是大部分時間皆低估風速，在颱風接近時卻又有高估的現象，不過整體來說趨勢也是符合實測資料；在另一個外島測站蘭嶼，除了 Lau 明顯低估風速，其餘四個模式皆有不錯的結果，由

RMS 值可以得到 Li 的誤差最小，但是若對照圖 2.2 的風速比對，則可以發現 Lai 及 FEMA 有比較好的趨勢表現，不過五個模式皆沒有模擬到最大風速；位於本島測站以 Lau 的結果表現最好，除了颱風最接近台灣時有明顯的高估情況，其餘時間解有很不錯的表現，Lai 及 FEMA 雖然趨勢正確，但是卻很明顯的高估風速，Li 及 Chen 的結果則介於中間，趨勢正確但也有些許高估。

瑞伯颱風期間，在彭佳嶼的結果與賀伯颱風類似，Li 與 Chen 的結果最符合實測值，不過最大值並沒有模擬到，FEMA 及 Lai 趨勢符合，最大值的部分也相當的接近，其他時間風速則是高估，Lau 則是有模擬到最大值，但是大部分的時間風速都是低估的；位於蘭嶼測站，五個模式模擬出來的結果都蠻接近的，Lai 及 FEMA 在颱風行經台灣時風速接呈現高估的情形，當颱風遠離時結果便相當的接近，Li、Lau 及 Chen 的結果剛好相反，颱風行經本島時模擬結果相當的良好，颱風遠離時則有高估風速的情況。島內測站的結果與賀伯颱風期間類似，Lau 的結果仍然是最接近實測風速，除了在澎湖測站前期低估風速之外，另外雖然 Lau 在花蓮及蘇澳的 RMS 值不若 Li 及 Chen 那麼小，不過若由圖 2.3 的風速圖可發現除了 10/16 號的值偏大，其他時間皆是 Lau 的結果比較好，Lai 與 FEMA 的結果與賀伯颱風相同。

西馬隆颱風期間，彭佳嶼的模擬結果依舊是相當不錯，特別是 Lai 及 FEMA 的結果幾乎完全符合實測資料，其他三個模式則是趨勢符合但是皆低估了風速，不過 RMS 值則與賀伯以及瑞伯差不多；蘭嶼測站的部分，五個模式的結果趨勢很接近實測資料，高估的部分也不會差距很大；島內測站的模擬結果，花蓮、蘇澳及澎湖都有不錯的結果，特別是 Li、Lau 及 Chen 的模擬結果，Lai 及 FEMA 對於島內測站的模擬結果依舊是相當的不好，但是比起賀伯及瑞伯期間準確度提高不少，

同時西馬隆颱風期間各測站的RMS值也是所有颱風裡面最小的。

奇比颱風期間，彭佳嶼測站的比對結果還是相當的良好，Lai及FEMA的結果趨勢相當符合實測風速，除了颱風初期有高估風速的傾向，Li、Lau及Chen的結果也還不錯，趨勢正確但是風速低估不少；蘭嶼測站的部分剛好跟彭佳嶼測站相反，Lai及FEMA變為高估風場，Li、Lau及Chen則比較接近實際風速，以Li的RMS最小；島內測站的結果依舊是Li、Lau及Chen結果比較貼近實測風速，特別是蘇澳測站趨勢及風速大小跟實際資料很接近，其他測站的部分皆有不小的高估值。

桃芝颱風期間，彭佳嶼測站以Li、Lau及Chen的結果比較好，以Lau的結果最近接實測值，而Lai及FEMA則不若前四個颱風的模擬結果，高估風速不少；位於蘭嶼測站，模擬結果的趨勢不若前四個颱風那麼好，模擬結果最好的為Li，不過差距不明顯；位於島內的測站，五個模式的結果皆只有趨勢有符合，風速大小皆高估很多，特別是Lai及FEMA的結果高估最多。

利奇馬颱風期間，於彭佳嶼測站，五個模式所模擬的趨勢並不若前五個颱風的結果，只有Lai及FEMA所模擬的風速值有部分貼近實測資料，Li、Lau及Chen的風速值皆小於實測資料；蘭嶼測站的部分則比彭佳嶼來的好，五個模式的趨勢皆符合實測的風速值，Chen的表現最接近實測資料；在島內的部分，Li、Lau及Chen在颱風接近台灣的期間皆有不錯的模擬結果，除了高雄測站有很明顯的高估以外，另外三個測站皆滿接近實測風速，當颱風進入台灣本島之後，五個模式的結果便與實測風速相差不少，以澎湖測站的結果最為明顯。

由圖2.8的RMS值可以了解，當颱風路徑不一樣時，對於模式的模擬結果有蠻大的影響，六個颱風路徑當中以西馬隆的路徑最為準

確；另外由島內測站的比對結果也可以發現，颱風模式並無法將地形所造成的影響表現出來，模擬的結果往往只有趨勢符合，模擬的風速則普遍大於實測的風速，除非如彭佳嶼及蘭嶼等較不受地形變化的外島才能得到趨勢符合風速也差不多的結果。

由於目前台灣並沒有很足夠的海面風速資料，只有陸地測站的風速資料，因此海面風速的比對有其困難度，且本計畫主要的目的是颱風波浪的模擬，海面的風速是否準確，對於波浪的模擬結果影響相當的大，所以未來若能取得海面風速的風場預報及海預測站的實測資料，特別是颱風期間的資料，應能對颱風模式做較為精確的修正，模擬颱風波浪的結果也會比較精確。

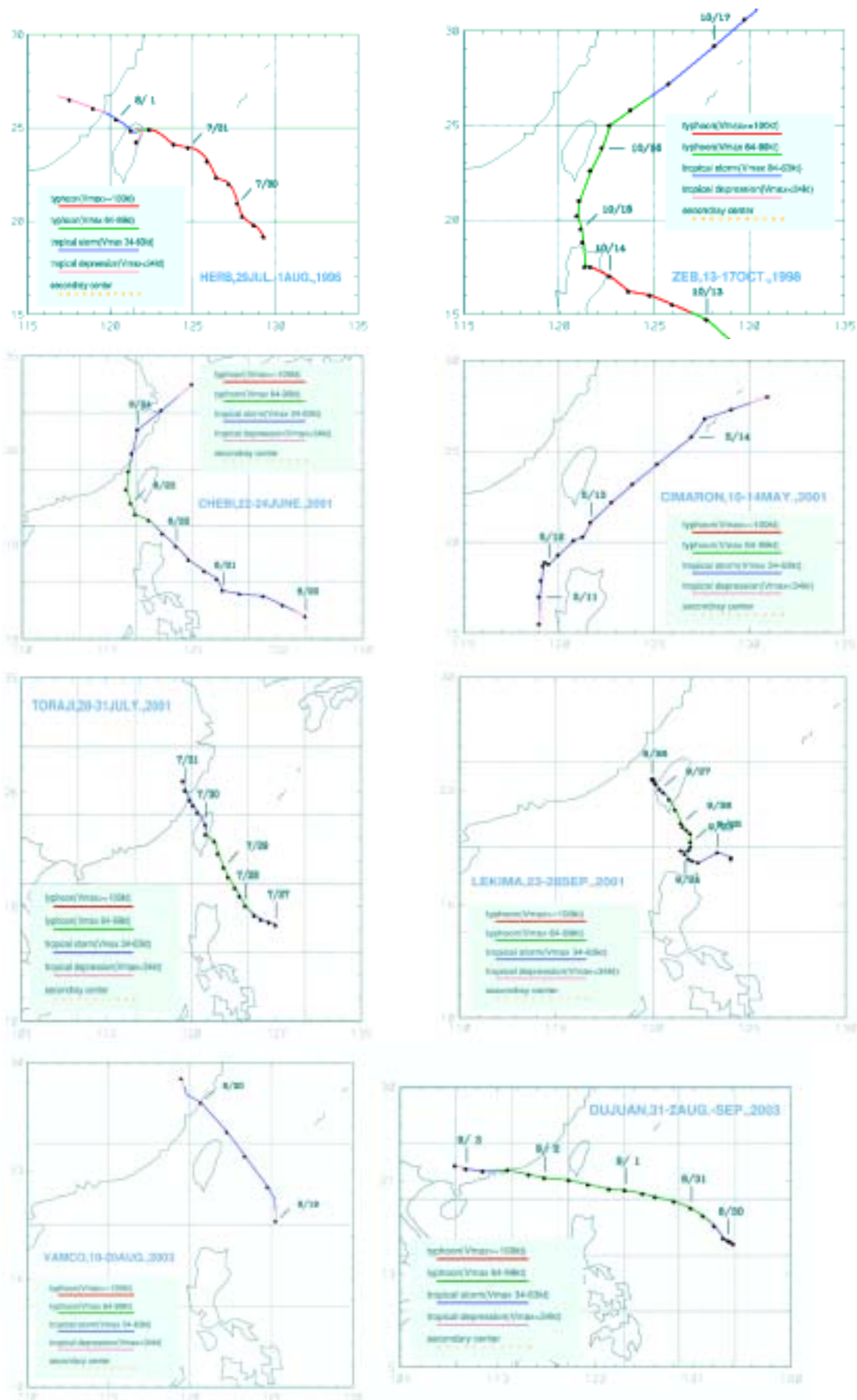


圖2.1 八個颱風路徑圖 (引自中央氣象局網站資料)

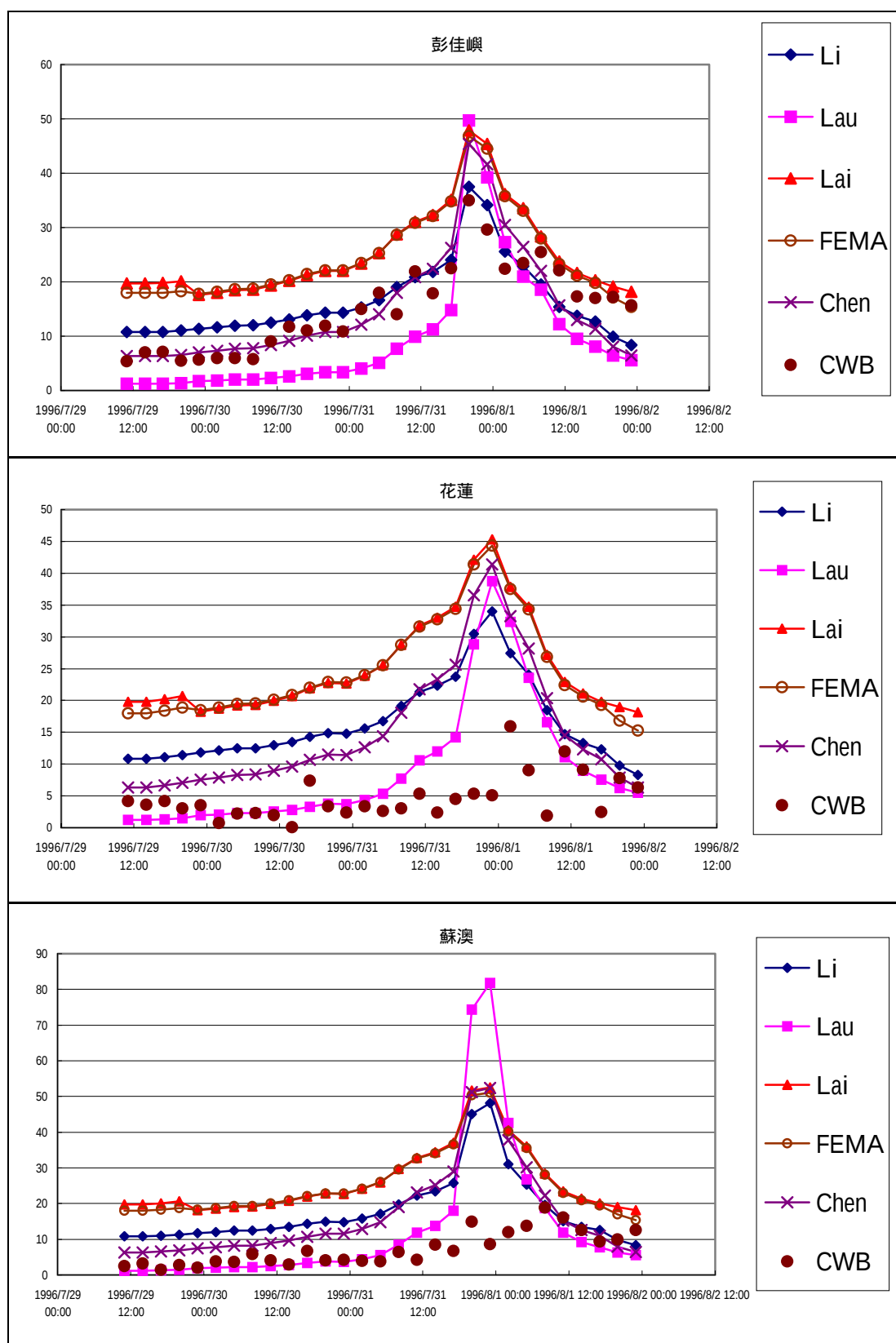


圖2.2 賀伯颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

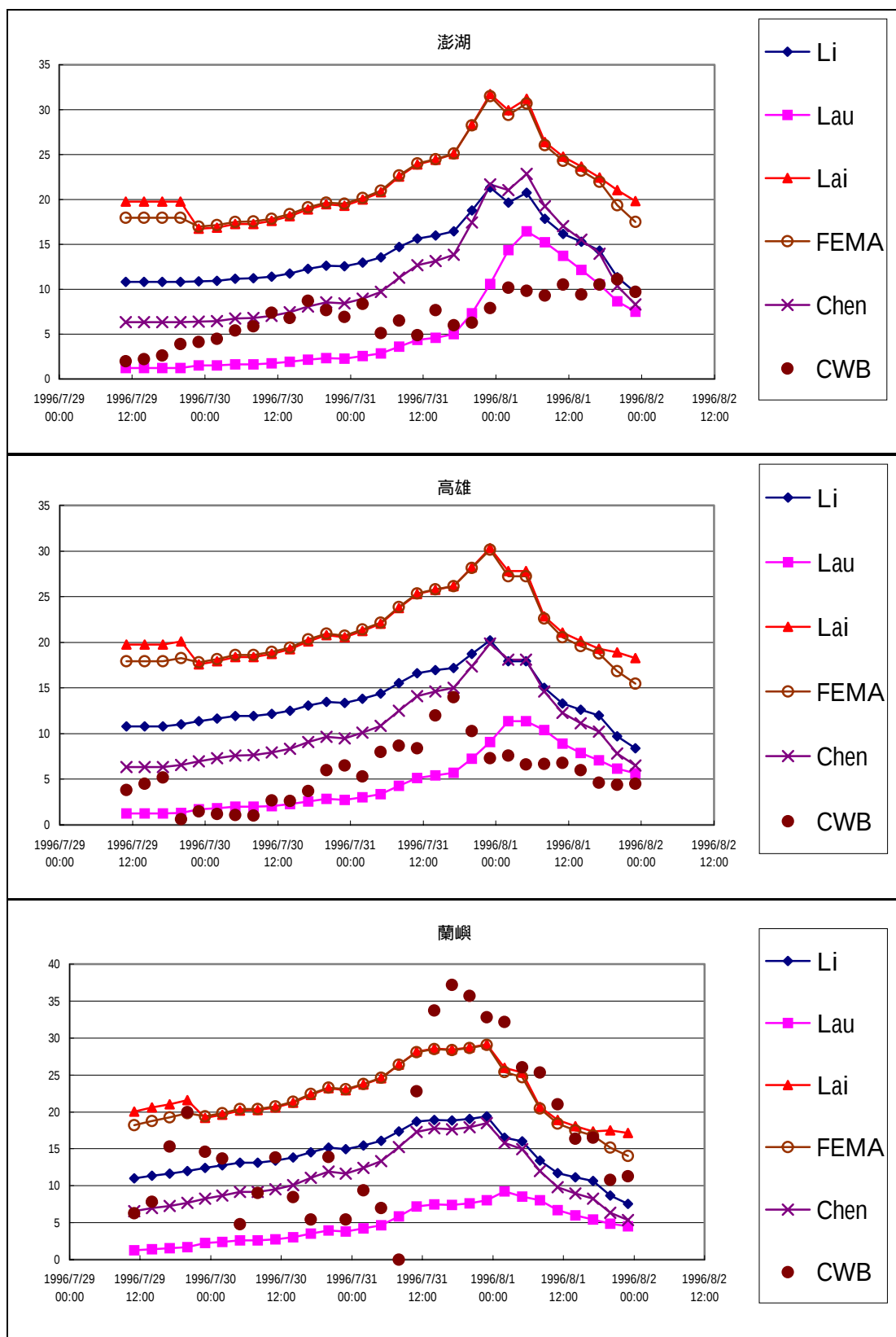


圖2.2 (續) 賀伯颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

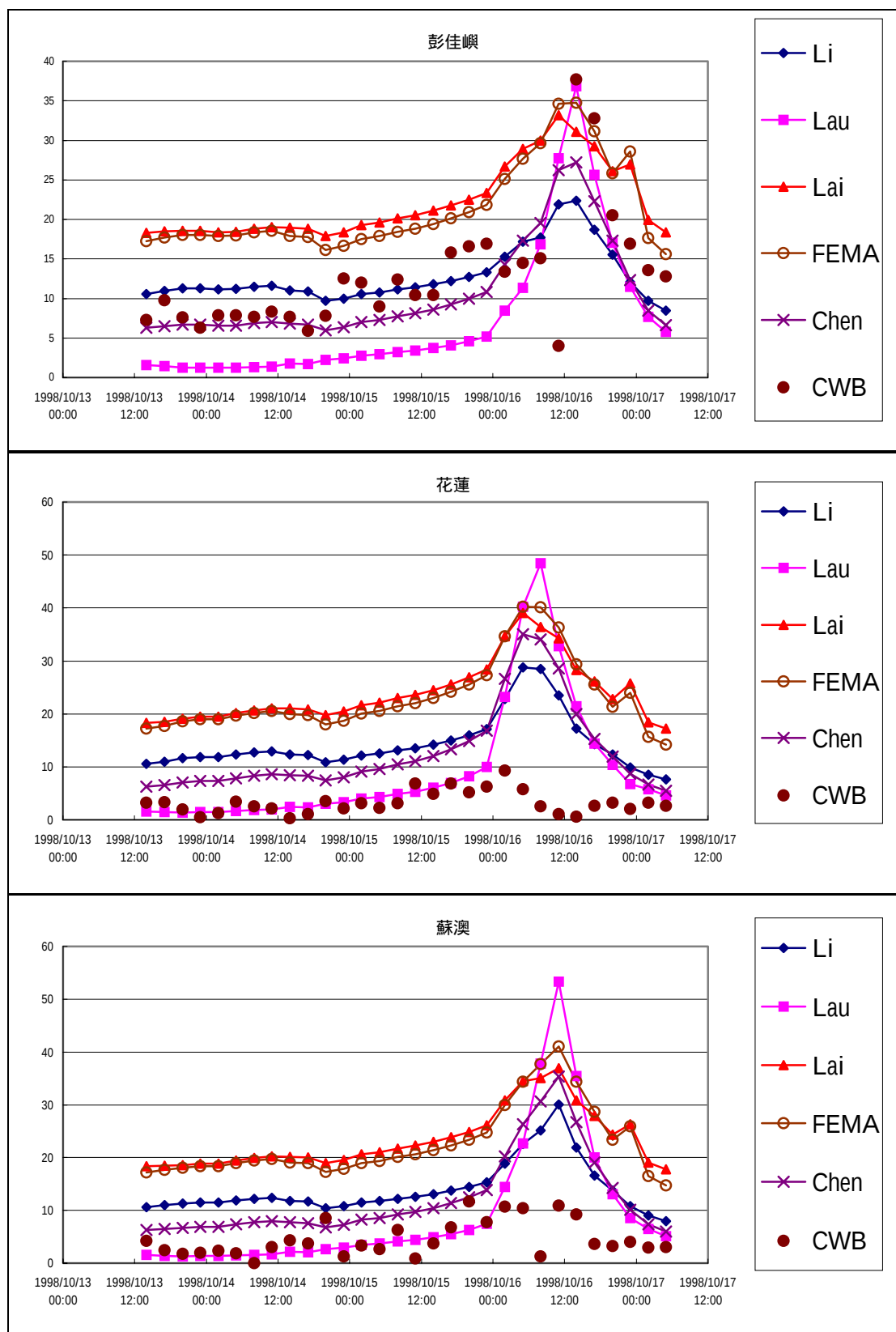


圖2.3 瑞伯颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

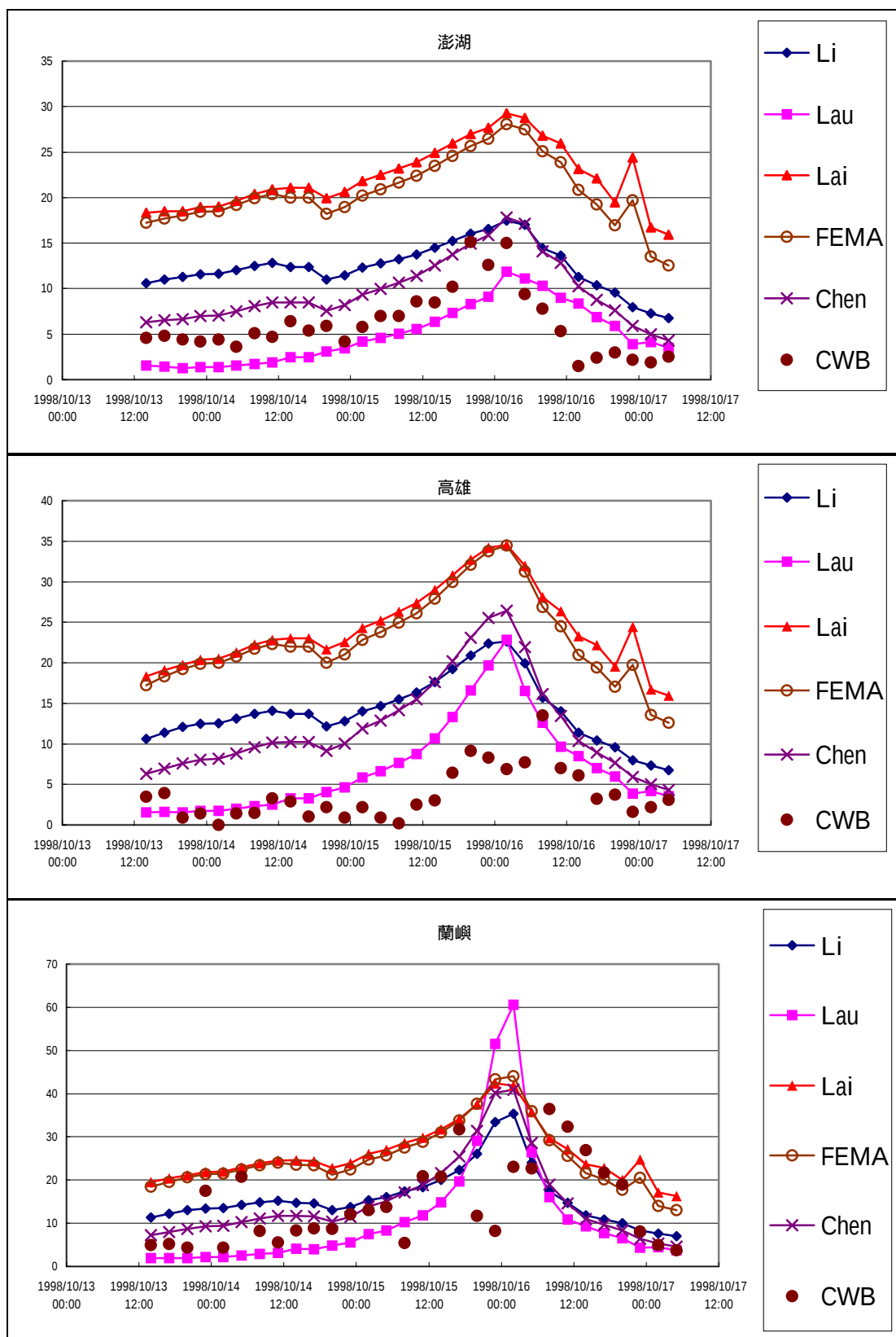


圖2.3 (續) 瑞伯颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

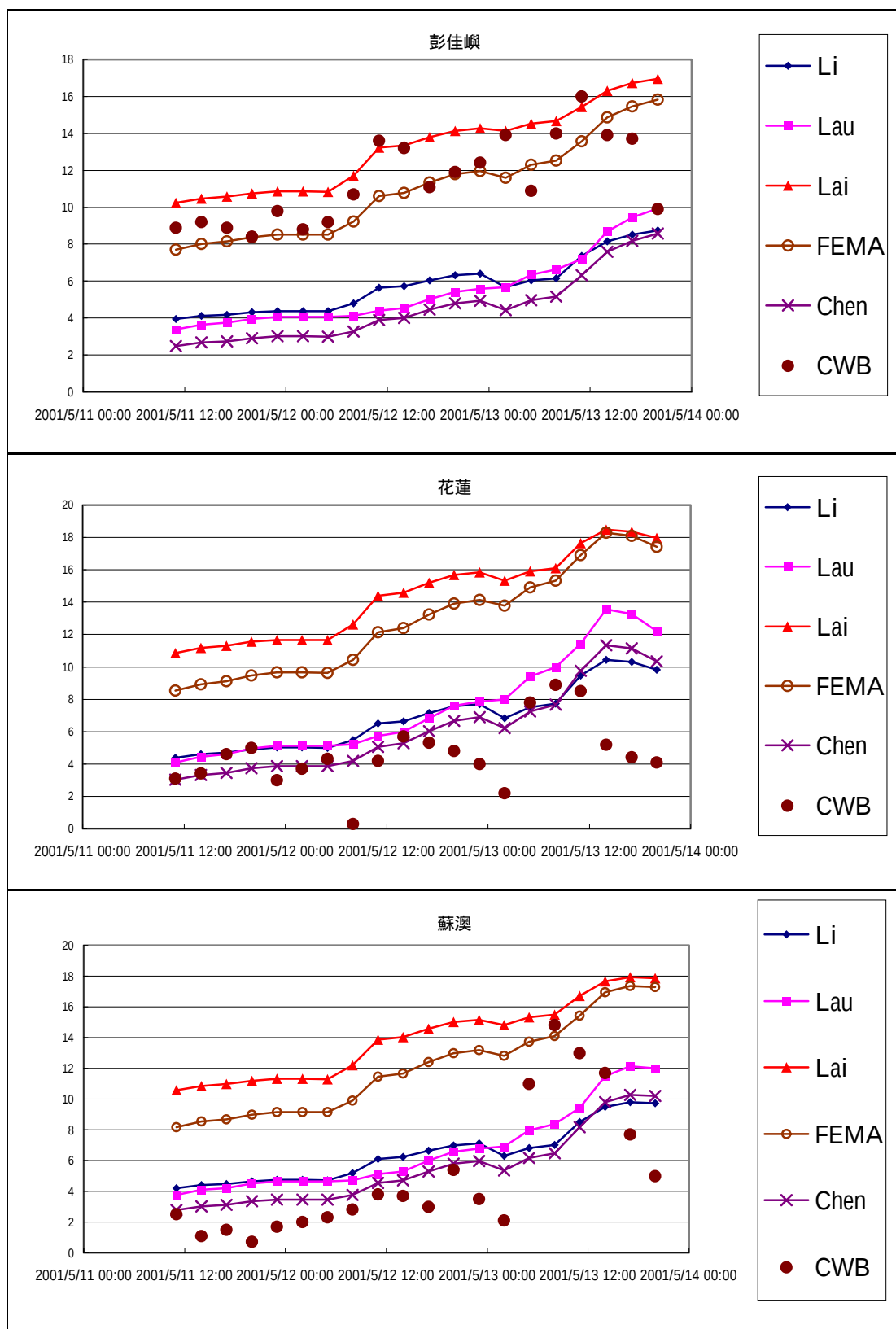


圖2.4 西馬隆颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場
模式計算結果比對

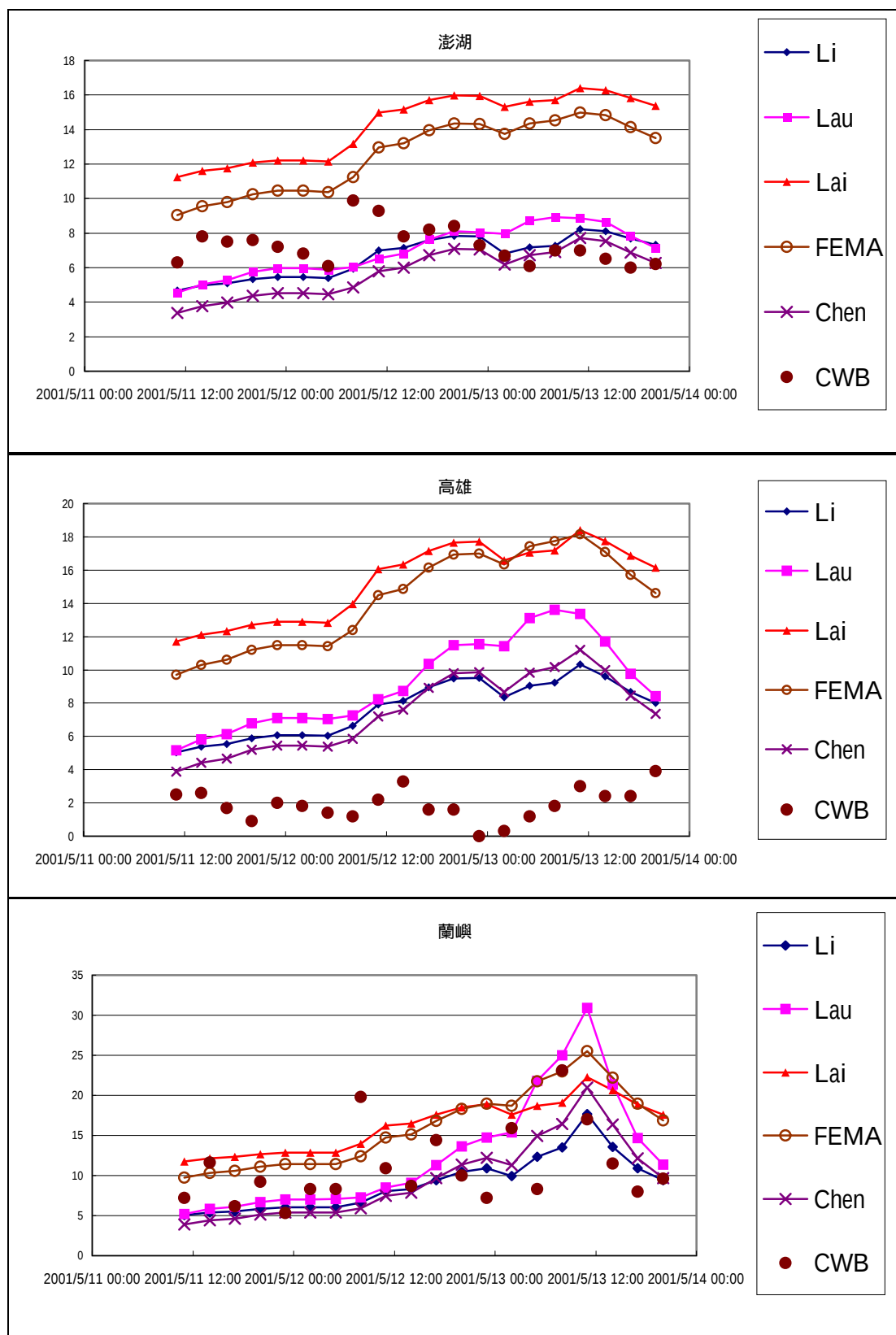


圖2.4 (續) 西馬隆颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

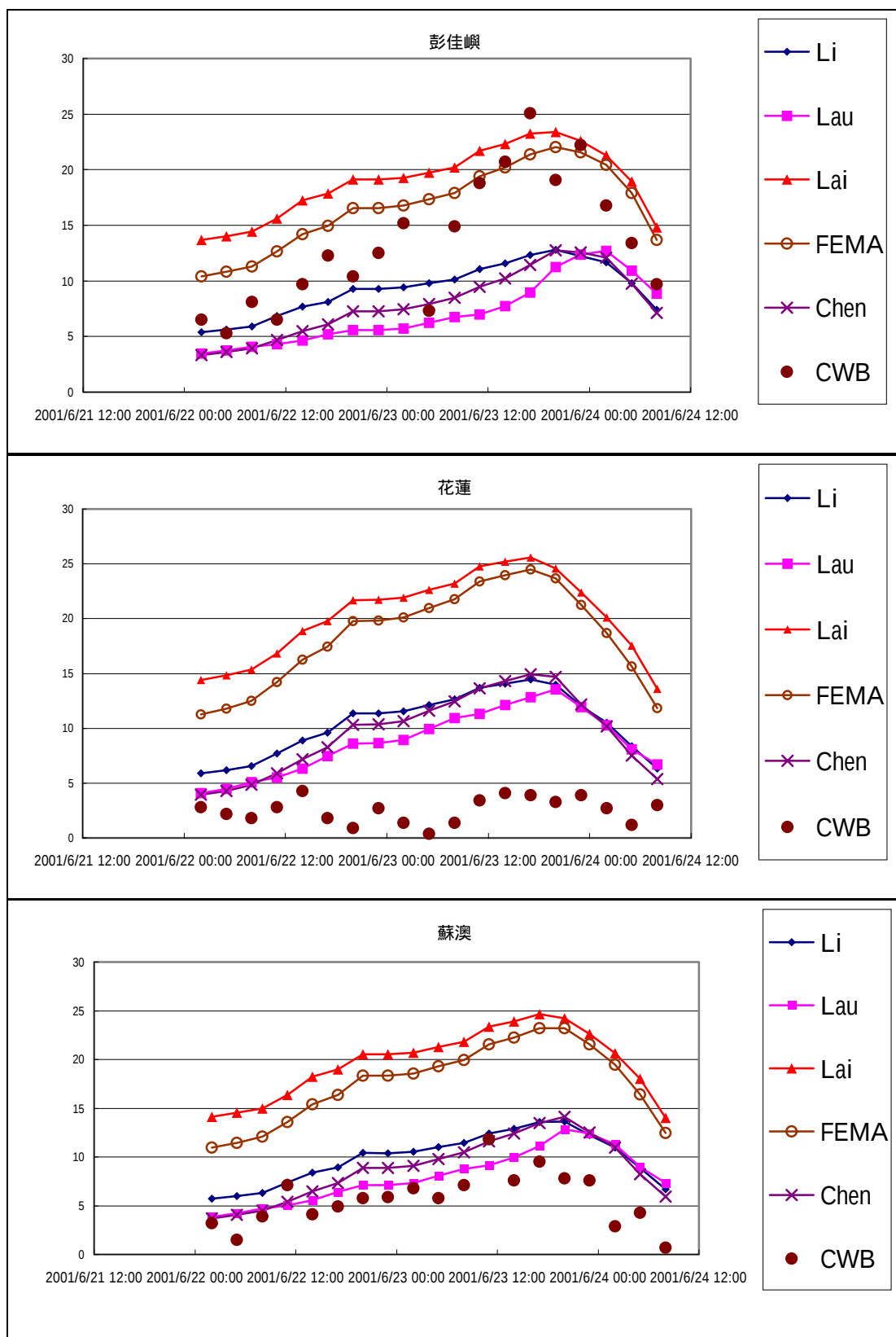


圖2.5 奇比颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

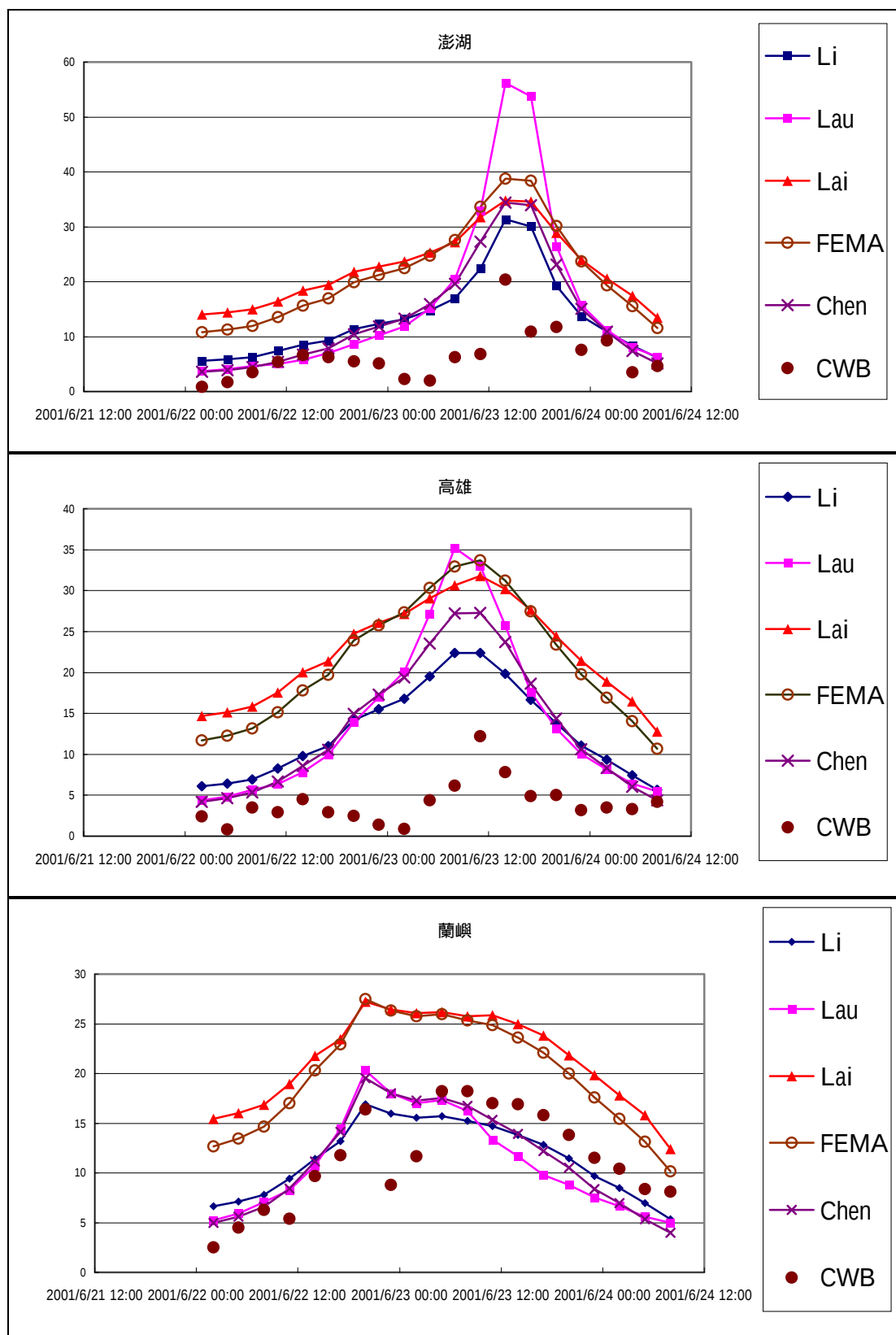


圖2.5 (續) 奇比颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場
模式計算結果比對

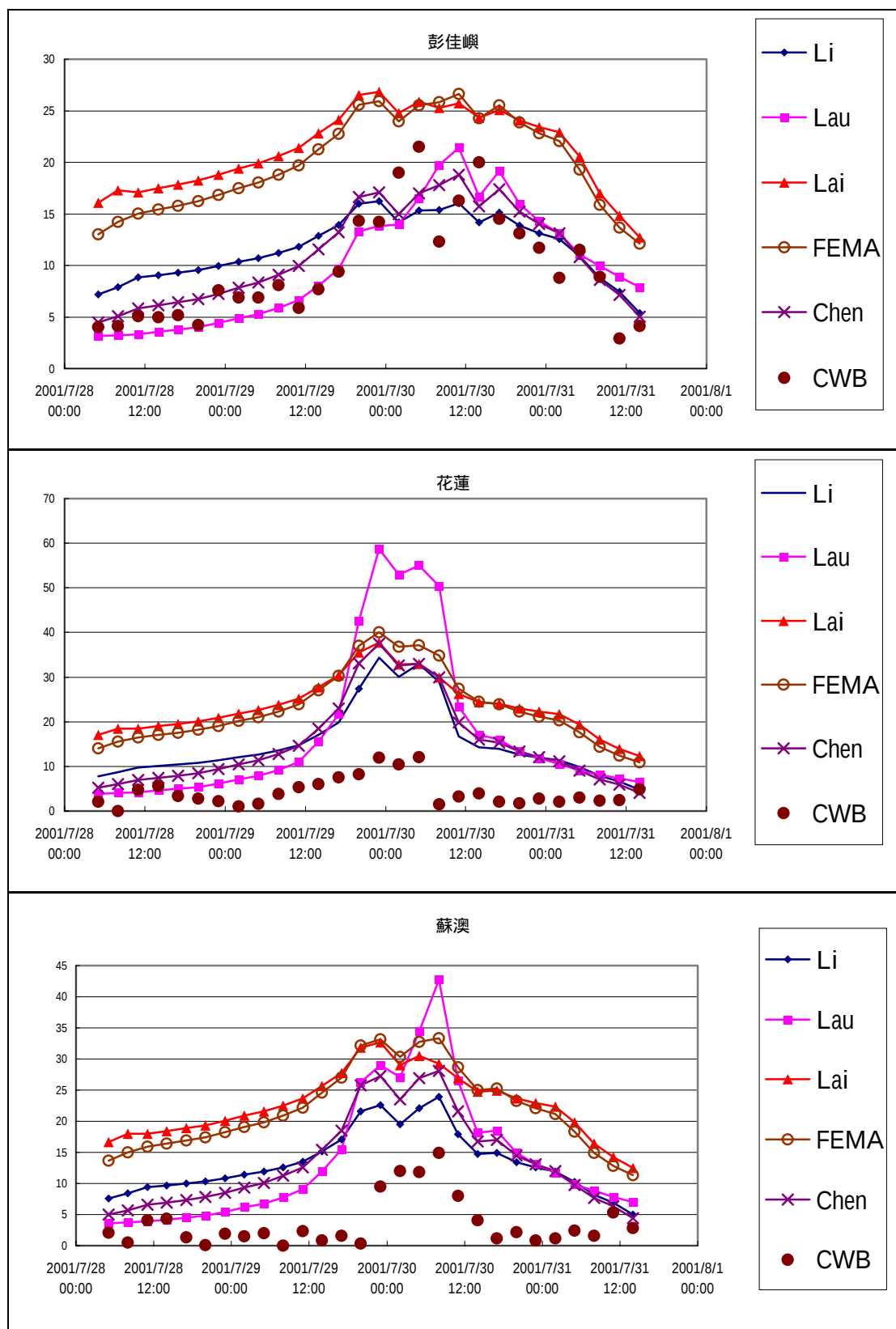


圖2.6 桃芝颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

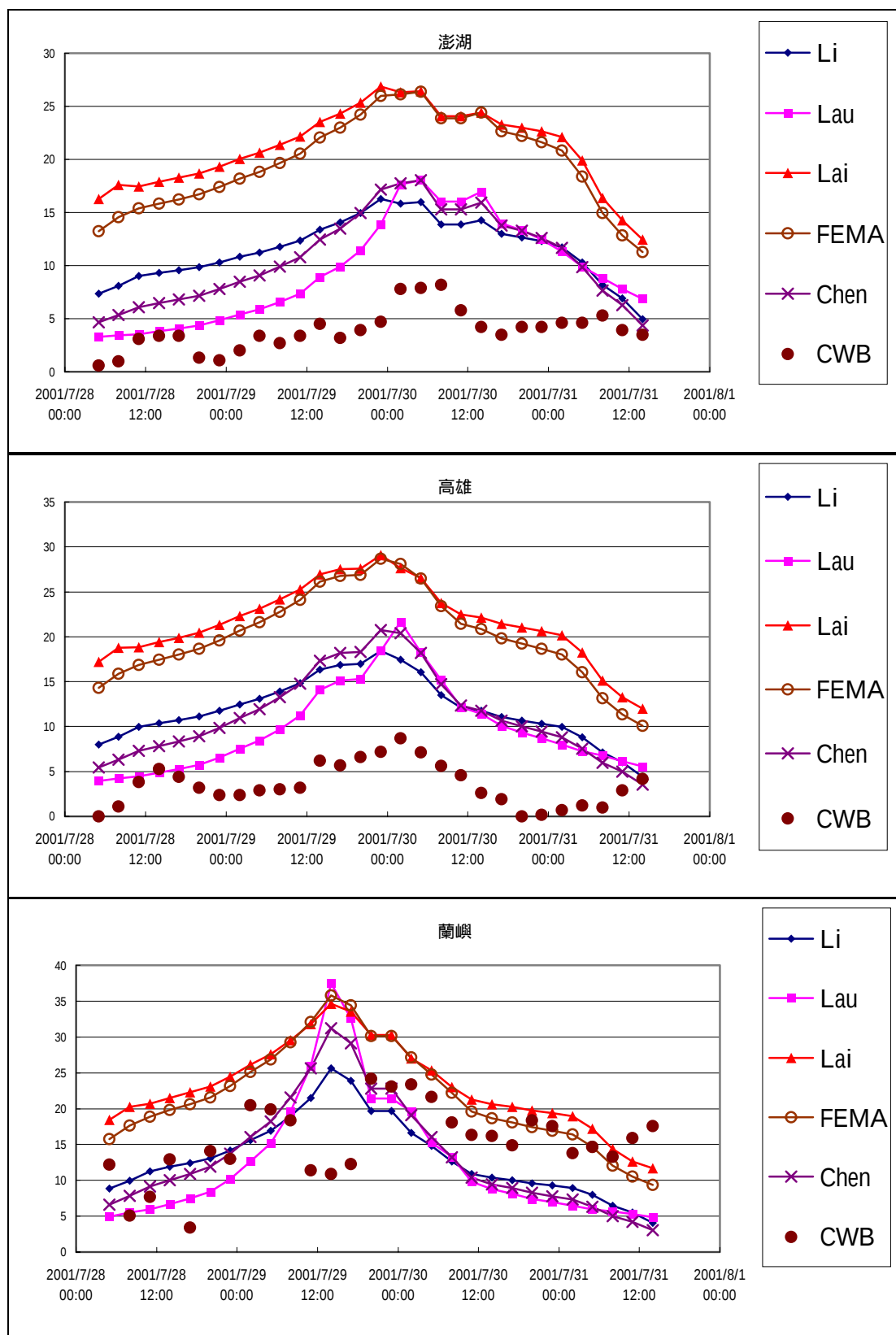


圖2.6 (續) 桃芝颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

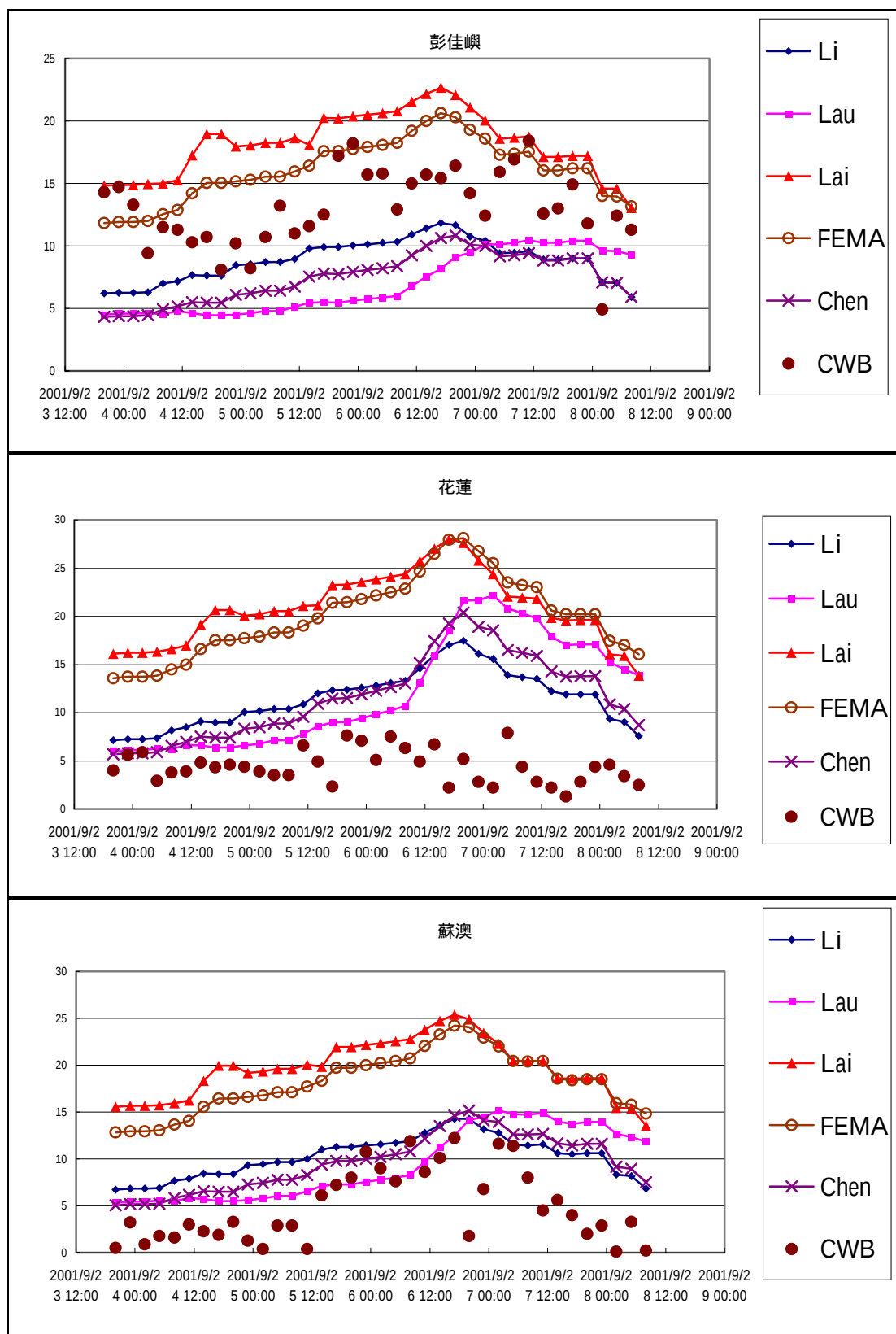


圖2.7 利奇馬颱風期間彭佳嶼、花蓮及蘇澳各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

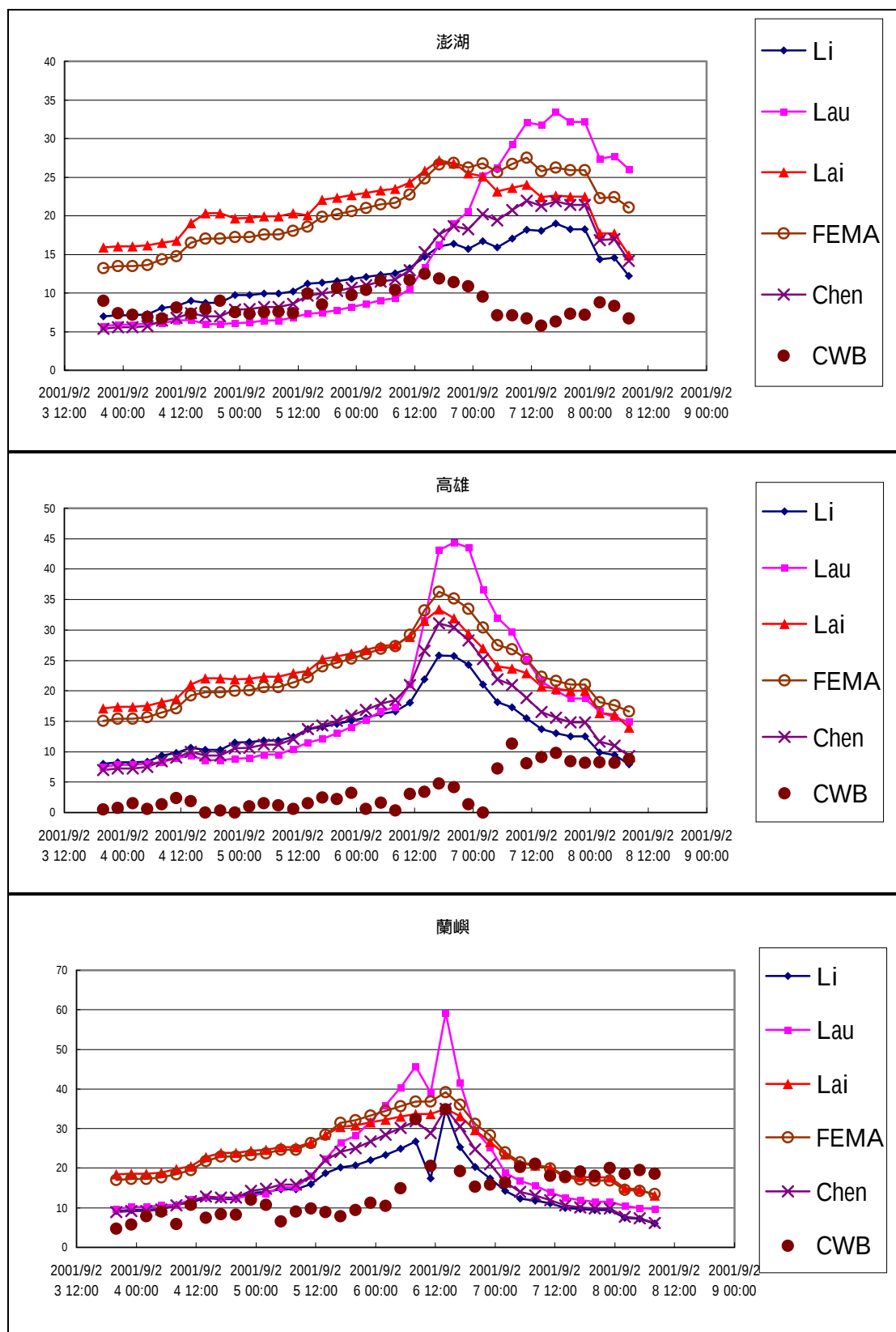


圖2.7 (續) 利奇馬颱風期間澎湖、高雄及蘭嶼各測站風速與颱風風場模式計算結果比對

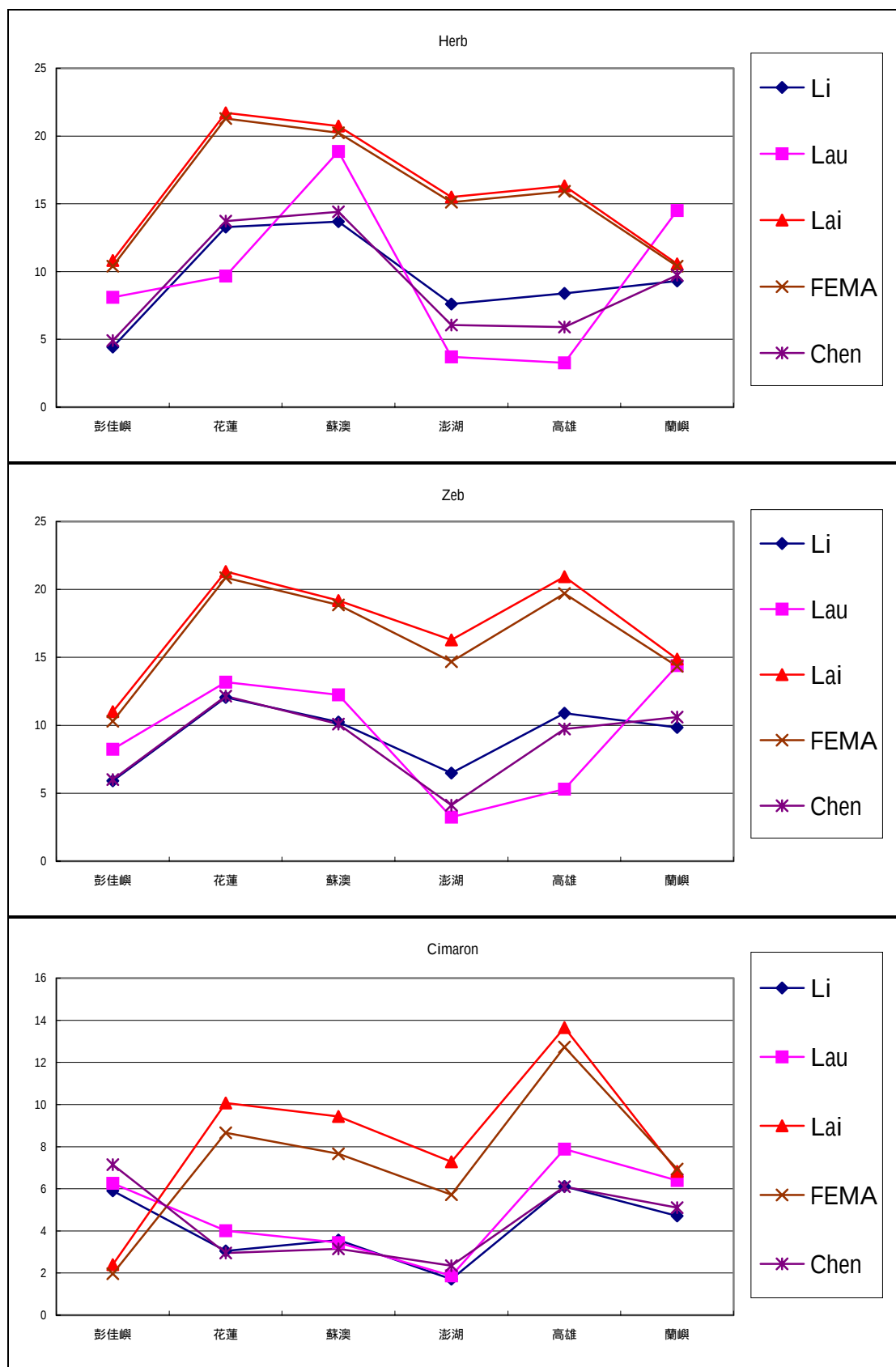


圖2.8 賀伯、瑞伯及西馬隆颱風期間各模式與測站之RMS值

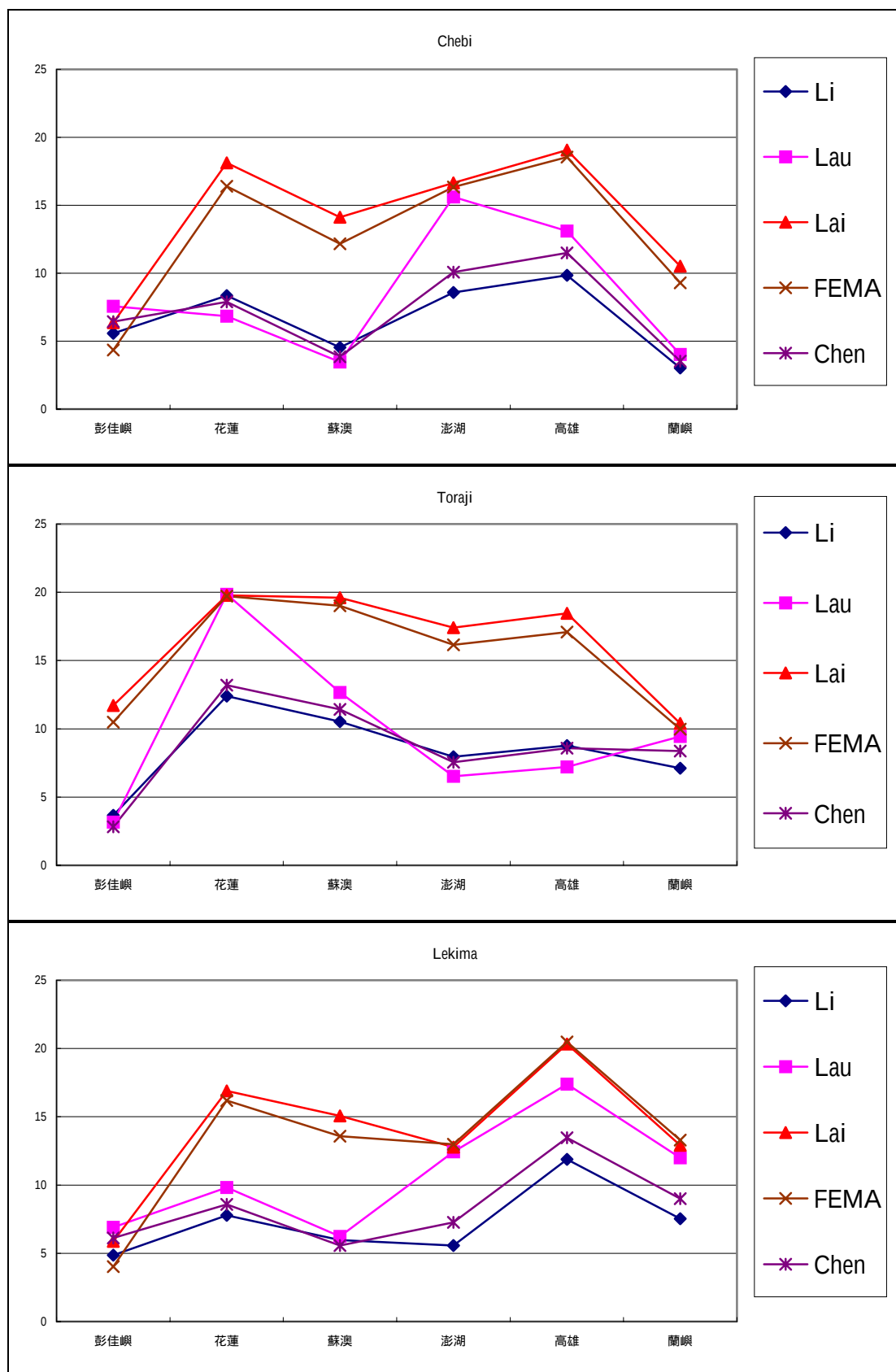


圖2.8 (續) 奇比、桃芝及利奇馬颱風期間各模式與測站RMS值

第三章 全域風浪模式

3.1 數值網格、水深資料及氣象資料

全域風浪模式主要引用 WAM 及 SWAM 兩種風浪模式，並規劃大中小等三種尺度的網格點，及大域與小域兩種數值計算範圍，以期將台灣海域所有可能預報的的波浪狀況包含在其中。今將數值網格、水深資料及氣象資料等說明如后。

3.1.1 數值網格系統

在數值網格系統方面，擬規劃三種尺度的網格點，以期將台灣海域所有可能預報的的波浪狀況包含在其中。在大域(大尺度固定網格)模式範圍，為了將近 20 年的侵台颱風路徑包含在預報模式的計算範圍內，擬採用的解析度為二十分的地球座標弧形網格，範圍由北緯 0 度至北緯 35 度，東經 105 度至 150 度（如圖 3.1a 所示），使用現在世界各國在海洋波浪預測模式評價相當好的 WAM 來模擬。

小域(中尺度固定網格)模式採用的解析度為五分網格，範圍由北緯 21 度至 26 度，東經由 118 度至 123 度（如圖 3.1b 所示），同樣使用 WAM 來做模擬，邊界的部分則可使用大尺度範圍的模擬結果做內差。

小域(小尺度巢狀網格)模式的近岸區域模式系統則是依據個各地區不同特性來規劃，圖 3.1c 為模式之計算範圍，南至北緯 20°，北至北緯 27°，西至中國大陸約在東經 118°，東至東經 124°。模式所應用的格網大小 $\Delta x = \Delta y = 0.05^\circ$ 約為 5 公里，由於 WAM 較不適合模擬近岸的淺海地形，所以擬採用以荷蘭 Delft 大學發展的近海風浪模式 SWAN 做為基礎所改善發展的可變網格系統來模擬，同時也使

用類神經網路模式及風域推算之半經驗模式等傳統模式來做模擬比對，以補足 SWAN 無法模擬的區域範圍，並可比較各模式的模擬結果。

3.1.2 水深資料庫建置

根據以上三種尺度及兩種範圍的海象預報模式，依其格點之大小與涵蓋的範圍所需之地形水深，已建置三種尺度之水深資料庫，資料乃綜合深海部分使用美國國家地理資訊中心（NGDC）所發表的全球水深資料庫，並在台灣海域配合國科會海洋科學研究中心利用三艘海洋研究船歷年蒐集之水深量測資料分析整理所發表的台灣海域水深資料，製作三種尺度的水深資料，均以其規劃格點之解析度建置水深資料，並放置於本計畫網頁提供各單位下載使用。圖 3.2 為典型大域計算範圍之等水深圖。

3.1.3 氣象資料

風場及氣壓場的輸入則採用中央氣象局的預報資料，稱海面風場模式(WFM) 產生風場進行風浪模擬。另外颱風波浪的風場及氣壓場部分，由於中央氣象局目前提供大眾的颱風預報資料精度並不足以滿足模式的需求，所以仍然需要使用第二章所列之模型化颱風風場模式(RVM)，來做模擬颱風內部的風場及氣壓場。

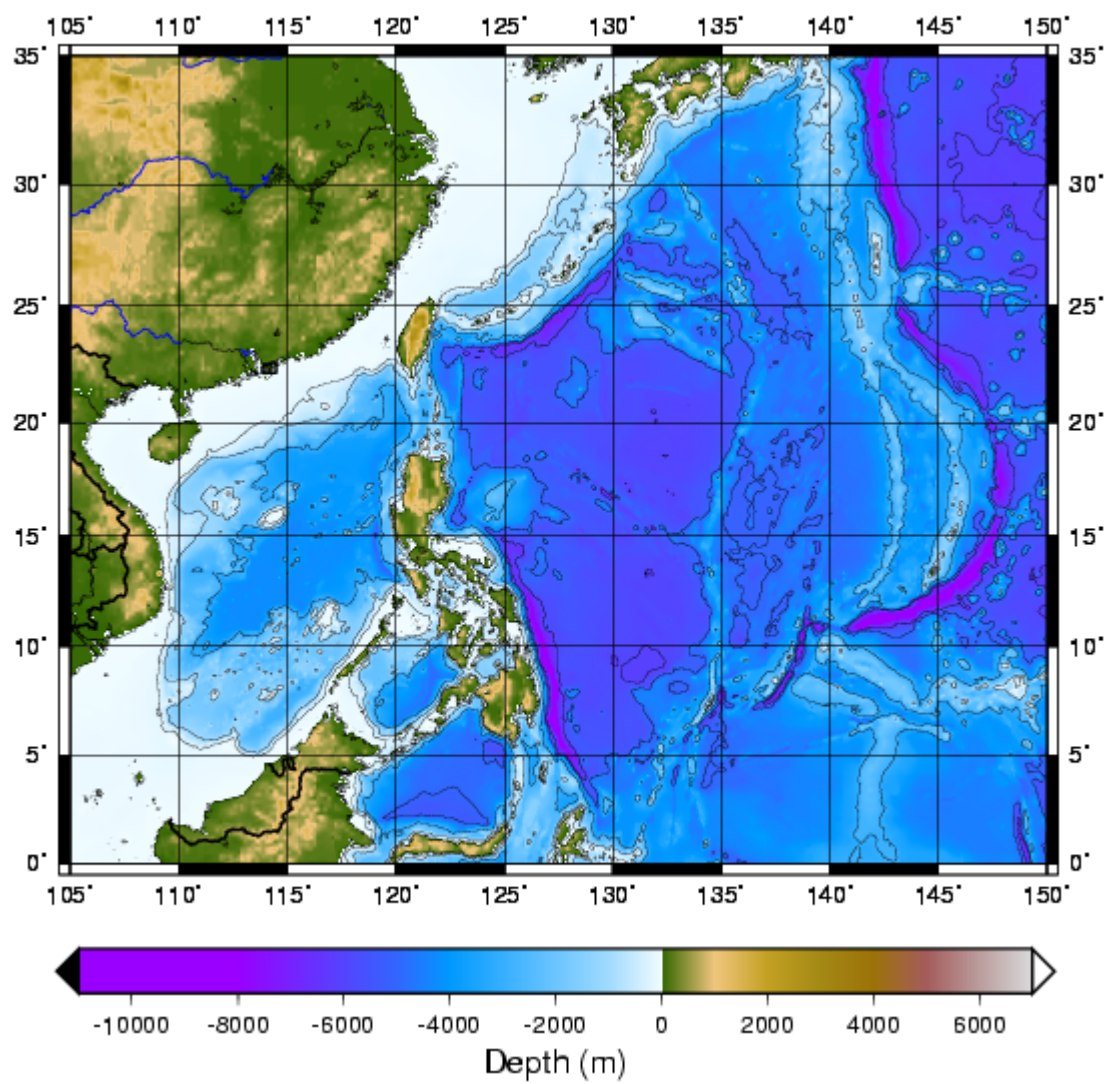


圖3.1a 大域(大尺度固定網格) WAN模式計算範圍

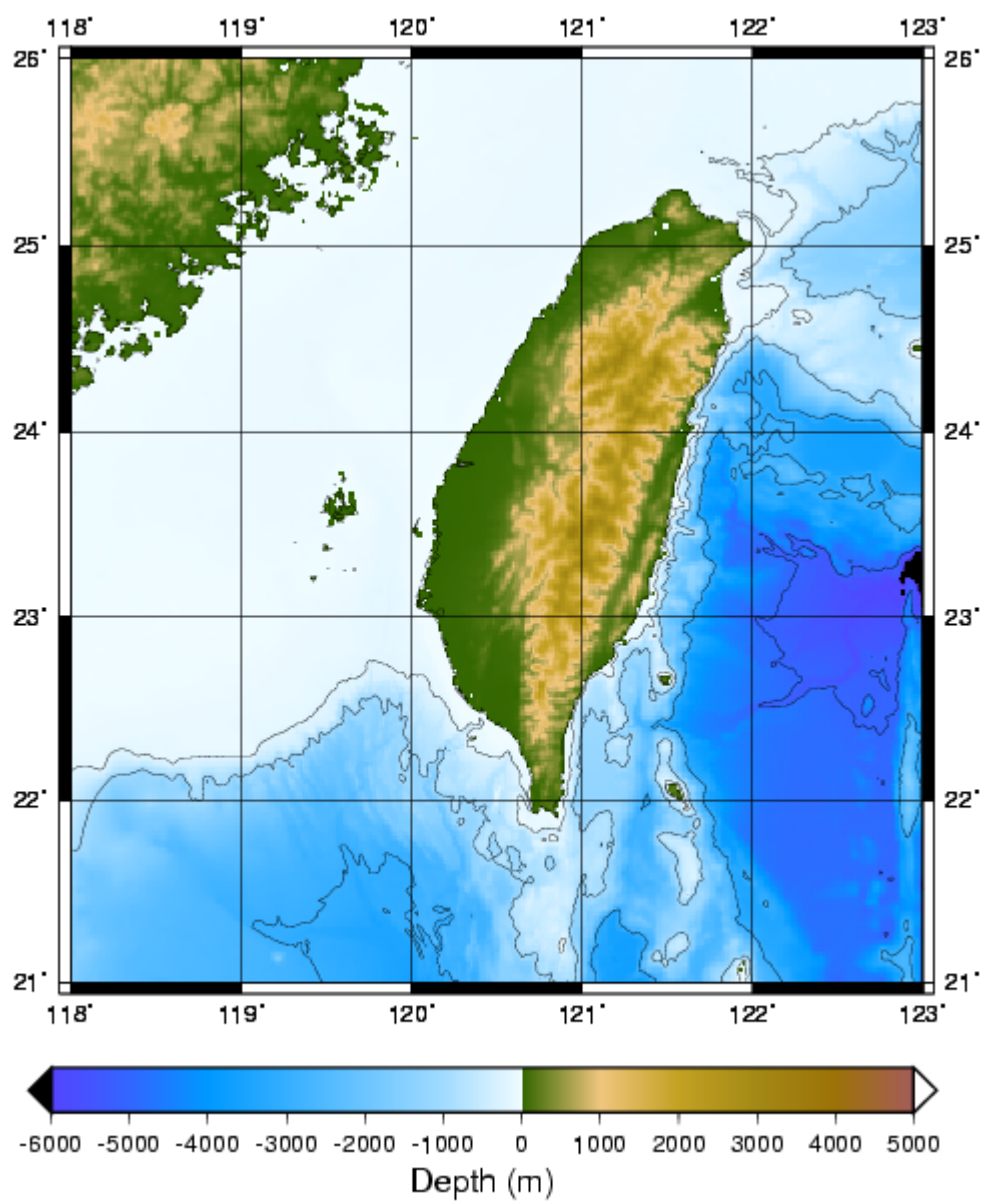


圖3.1b 小域(中尺度固定網格)WAN模式計算範圍

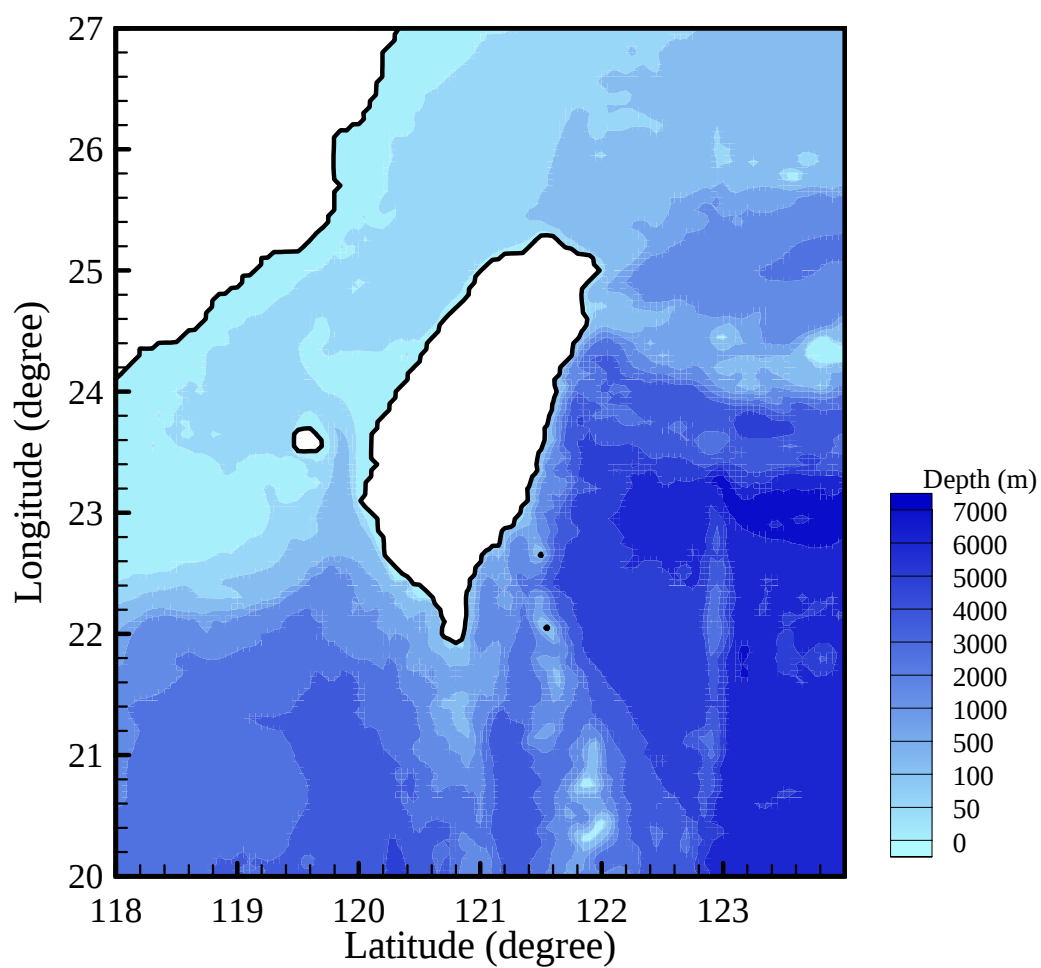


圖3.1c 小域(小尺度巢狀網格)SWAN模式計算範圍

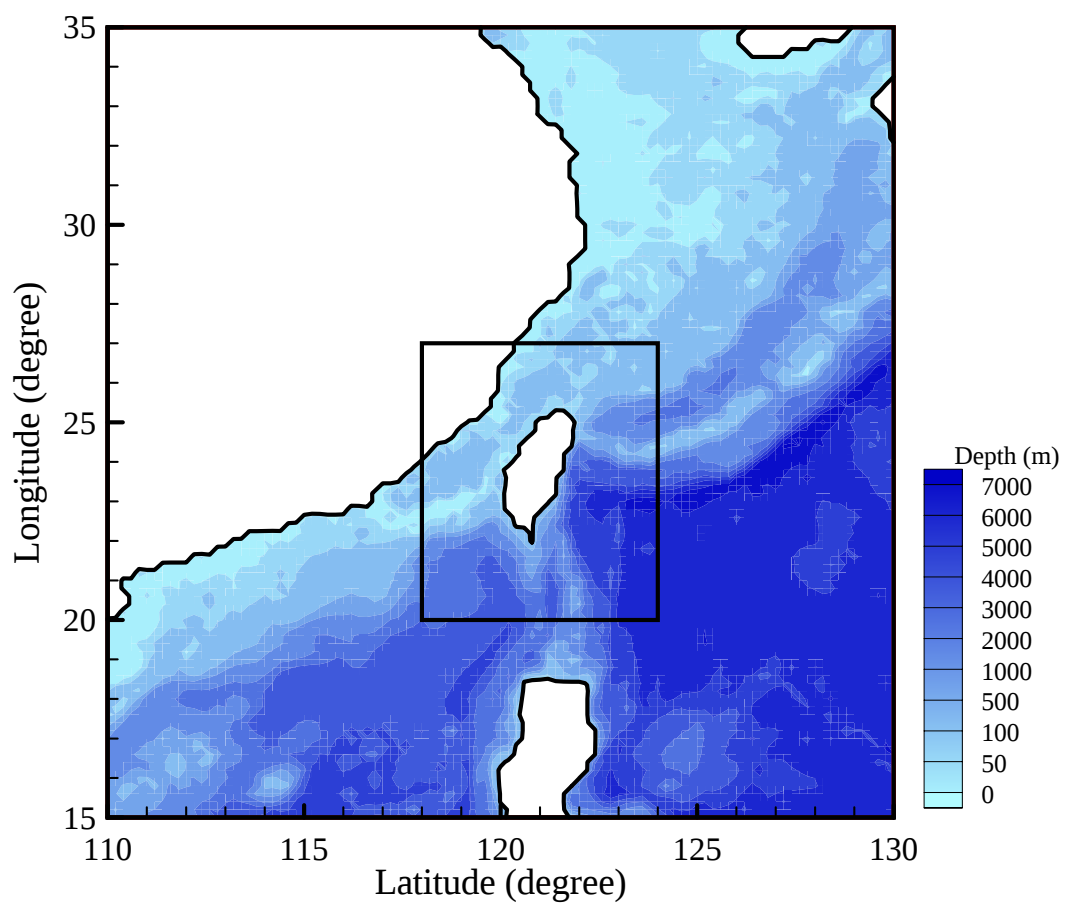


圖3.2 典型大域計算範圍之等水深圖

3.2 WAM 風浪模式

WAM 是第一套可以完整解決非線性波與波之間交互作用的模式，它是由一個名為 WAM group 的歐洲波浪預報群於 1980 年中期所提出的構想，並於 1990 初完成整套模式。WAM 的完成也解決了以前波浪模式所無法達到的成果，包含變動範圍很大的波高分布（8 公尺至 25 公尺）藉著現在電腦運算能力的進步，利用數值方式解決了能量守恆方程式以及與衛星遙測的資料相互驗證等。由於 WAM 可以用來預測全球網格及區域網格的海上波浪，所以對於本計劃所規劃的大尺度網格及中尺度網格模擬是非常適合的。

由於颱風的風力非常強大，雖然生成的地方離台灣海域有一段距離，但是其產生的風浪卻仍然可以藉著海水的傳遞而進入台灣海域，在考量這個因素之後，便由中央氣象局最近 20 年的颱風路徑統計資料，將颱風影響台灣最遠的可能距離給包含進來，因此規劃了這個大尺度的模式，以便讓近海預報系統的精確度更為完善，同時大尺度模式運算所產生的資料可以提供給中尺度的模式作為其邊界條件。

在網格的解析度部分，由於模擬範圍很大，所以需考慮使用的電腦的運算能力是否足以勝任，因此本計劃在大尺度網格，使用 20 分解析度來做運算，若是電腦的運算時間可以在預報的時間內，便可以使用更小的網格大小來模擬，以便提高模擬的精確度。

規劃大尺度的網格系統主要在於希望能把颱風的影響範圍包含進去，模擬的範圍很大但是網格解析度也比較大，因此若要在台灣海峽能有比較詳細的波浪模擬資料，便需要使用更精細的網格解析度，所以本計劃便決定於台灣海峽的部分使用 5 分的網格大小來做為中尺度模擬系統的網格。台灣海峽雖然大部分的區域皆為地形平坦的大陸棚區域，但是在海峽的南方地形的變化變的相當大，使用 5 分的網

格大小可以確實的將地形的變化表現出來，這樣一來便可完整的將地形的影響考慮到模式中，更能增進模擬的精確度。

3.3 SWAN 風浪模式

3.3.1. 控制方程式與計算方式

由荷蘭 Delft 大學主導發展之波浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore) (Booij 等人, 1996), 統合以往學者之研究再加以改良, 模式具有第三代風浪模式的特徵, 而在能量成長及消散項的參數選擇上比其他模式更具彈性, 同時提供第一代、第二代與第三代的相關波浪成長與消散參數供使用者應用, 可以計算波浪在時間與空間領域中之傳遞、淺化、波與波之間的非線性交互作用、波浪受風之成長、碎波與底床造成波浪能量衰減及波浪受到海流與地形變化而產生之頻率位移與折射, 因此模式具有預報近岸海域風浪之功能。此模式也經過學者 Holthuijsen 等人 (1997) 和 Booij 等人 (1998) 應用實測風浪資料加以驗證 而歐等人 (1999, 2000, 2001) 也曾利用 SWAN 模式對侵襲台灣之颱風風浪做過一系列之研究與模擬, 並且已有初步成果。

SWAN 模式所用之控制方程式為求解二維之簡化波浪作用力平衡方程式 (action balance equation), 如下式

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} C_x N + \frac{\partial}{\partial y} C_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} C_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} C_\theta N = \frac{S_{total}}{\sigma} \quad (3.1)$$

上式左側之第一項為運動波譜密度函數之時變項, 第二與第三項為傳導項, 第四與第五項分別表示由於地形與洋流所造成的波浪頻率位移與折射效應, $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$ 為波浪作用力密度波譜 (action density spectrum), $E(\sigma, \theta)$ 為能量密度波譜 (energy density

spectrum), σ 與 θ 分別表示成份波之頻率與角度, $S_{total}(\sigma, \theta)$ 表示波浪傳遞時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象之源函數。在波浪成長與消散之源函數項中, SWAN 模式提供了許多選擇, 包括風浪線性成長項、風浪指數成長項、白沫消散項、四個波波非線性交互作用項、底床摩擦項、三個波波交互作用項、碎波消耗項等。

在 SWAN 波浪數值模式中, 主要是利用有限差分法來求解, 對於邊界之處理, SWAN 模式中假定波浪能量遇陸地邊界為完全消散, 亦即無任何波浪能量反射, 而外海開放邊界條件則假設沒有任何波能可以由邊界外進入, 且波能可以由邊界內自由離開計算領域。

由於計算網格的大小會影響計算結果與精度, 故其需要與解析問題互相配合。例如在模擬颱風波浪時, 在颱風中心處所形成的波浪向外傳遞形成湧浪 (swell), 其可傳遞至相當遠的距離, 因此計算領域亦需夠大才可模擬此一現象。較小計算網格距離固然可以提高波浪解析的精度, 但計算時間較長。此外在海岸工程的應用上, 複雜的地形與多變的海岸線也需要較小的網格距離才能加以描述, 使近岸推算處的波浪能達到適當精度。巢狀網格 (nested grid) 與非結構性網格的應用可以有效解決網格大小問題。較粗的網格應用在起始計算領域, 使得計算能快速模擬大範圍的波浪演變, 較細的巢狀網格可以插入其中, 以適當模擬海岸之波浪變化, 如此可以更精確地預報波浪, 也可以有效率地解決問題。

本計畫應用 WAM 模式能快速模擬風浪能力與 SWAN 模式能解析近岸較小格網之功能, 利用兩者相互配合模擬海面風浪, 使用 WAM 模式模擬大範圍海域風浪演變, 利用 SWAN 模式內插 WAM 模式所計算出來的二維頻譜, 獲得小範圍 SWAN 模式所需之邊界入

射條件，使用巢狀網格進行計算，可清楚模擬出颱風波浪於近岸處的分佈情形。WAM 模式計算中大範圍及數位化水深如上節所述，圖 3.2 為大小計算範圍之關係圖，圖中方框為 SWAN 模式計算範圍，而小範圍 SWAN 模式之計算範圍與數位化水深如圖 3.1c 所示，南至北緯 20°，北至北緯 27°，西至中國大陸約在東經 118°，東至東經 124°。模式所應用的格網大小 $\Delta x = \Delta y = 0.05^\circ$ 約為 5 公里，最小與最大頻率解析度為 0.05 Hz 和 0.5 Hz，並採指數遞增分佈共 20 個頻率帶，方向波譜之解析度採用 $\Delta\theta = 18^\circ$ ，共計 20 個方位角，計算時間間隔為 $\Delta t = 10$ 分鐘，模式中所需之風速與風向則採用海面風場推算法(WFM)與模型化颱風風場模式(RVM)，而數值計算針對波浪模式所採用學說與參數設定值之修正如表 3.1 所示。

表3.1 SWAN 模式學說與參數

波浪能量 授受機制	SWAN 模式所採用的學說與參數值
風的線性成長項	Cavaleri 和 Malanotte-Rizzoli (1981)
風的指數成長項	Komen 等人 (1984)
白沫消散項	Komen 等人 (1984) $\bar{s}_{PM} = 3.02 \times 10^{-3}$, $C_{ds} = 2.33 \times 10^{-5}$
四個波波交互作用項	Hasselmann 等人 (1985) $C_{nl4} = 3 \times 10^7$, $C_{sh1} = 5.5$ $C_{sh2} = 6/7$, $C_{sh3} = -1.25$
三個波波交互作用項	Eldeberky (1996) $\alpha_{EB} = 0.1$
碎波消耗項	Battjes 和 Stive (1985) $r_b = 0.73$
底部摩擦項	Hasselmann 等人的 JONSWAP (1973)

3.3.2 計算結果

本節利用不同路徑侵襲台灣的颱風所產生的風浪來驗證模式適用性，根據歷年來（1897～2001年）侵襲台灣之颱風，其路徑由中央氣象局之颱風路徑分類法，大致上可分為 9 種，如圖 3.3 所示。考量實測波浪資料來源與颱風路徑的代表性，一共選擇六個歷史颱風及兩個今年颱風：第二類路徑之1996年賀伯 (Herb) 颱風、第三類路徑之2001年桃芝 (Toraji) 颱風、第四類路徑之利奇馬 (Lekima) 颱風、第六類路徑之1998年瑞伯 (Zeb) 颱風、第七類路徑之奇比 (Chebi) 颱風、第八類路徑之2001年西馬隆 (Cimaron) 颱風、第五類路徑之2003年杜鵑 (Dujuan) 颱風、第一類路徑之2003年梵高 (Vamco) 颱風等。今將八個颱風在考慮模型化颱風風場模式 (RVM) 與海面風場模式 (WFM) 產生兩種風場，引用WAN及SWAN兩種數值模式，以進行風浪模擬之結果，並與觀測資料比較說明如后。

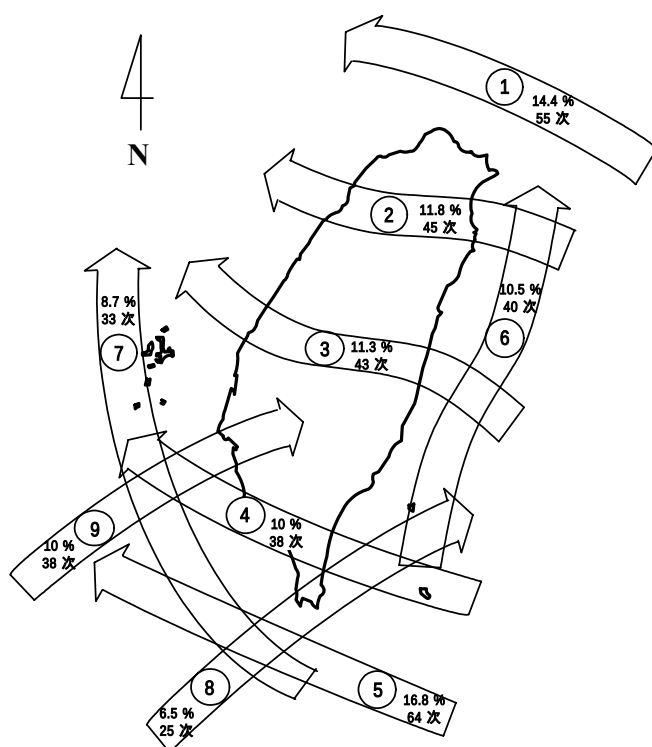


圖3.3 侵台颱風路徑分類統計圖 (1897~2001)

1. 第二類路徑之 1996 年賀伯 (Herb) 颱風

1996 年之賀伯颱風最大強度為強烈颱風，近中心最大風速為 53 公尺/秒，屬於中央氣象局第二類路徑，其於 31 日 20 時 44 分在基隆與蘇澳間登陸，強度開始減弱，繼續偏西進行，8 月 1 日 04 時在新竹附近出海後，以西北西方向前進，圖3.4為賀伯颱風路徑圖。颱風風場為利用模型化颱風方式產生，圖 3.5 為賀伯颱風於花蓮海域示性波高變化時序列圖，圖中圓黑點為花蓮測站之實測值，資料來源為中央氣象局，黑實線為 WAM 模式所推算結果，黑虛線為 SWAN 模式所推算結果。由圖中所示，兩者推算結果趨勢相近，但 WAM 模式所推算結果大於 SWAN 模式所推算結果，尤其在颱風中心靠近花蓮測站時更為明顯。圖 3.6 為賀伯颱風於台西海域示性波高變化時序列圖，圖中實測資料來源為成大水工試驗所，由圖中可知，由於格網解析度影響，大範圍 WAM 模式較無法表現出測站附近水深變化，利用 SWAN 模式進行巢狀模擬，可以明顯改善格網解析度，進一步改善由於水深變淺所產生的底床摩擦與碎波的影響機制，對於提高風浪模擬精度有相當助益。

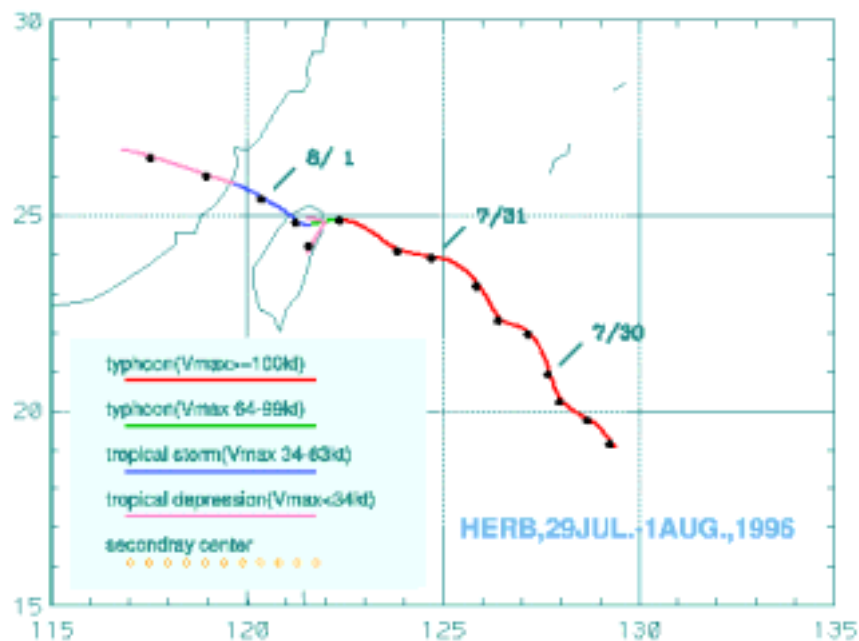


圖3.4 賀伯颱風路徑圖

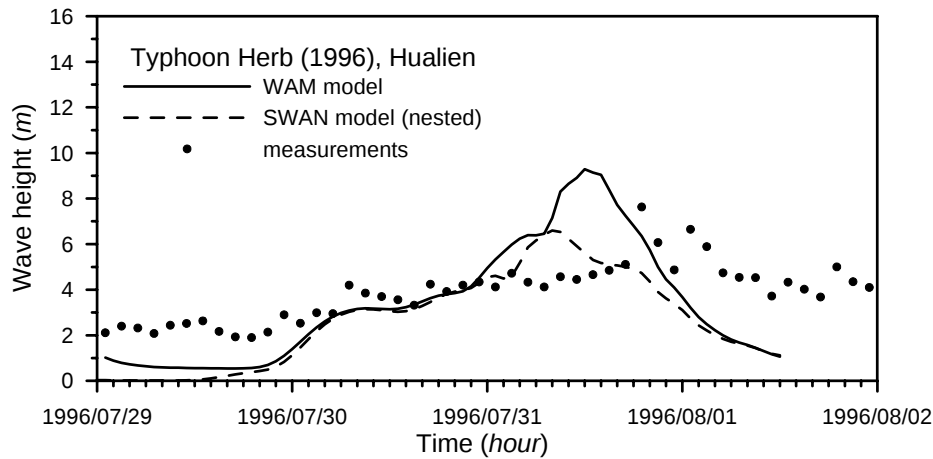


圖3.5 賀伯颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

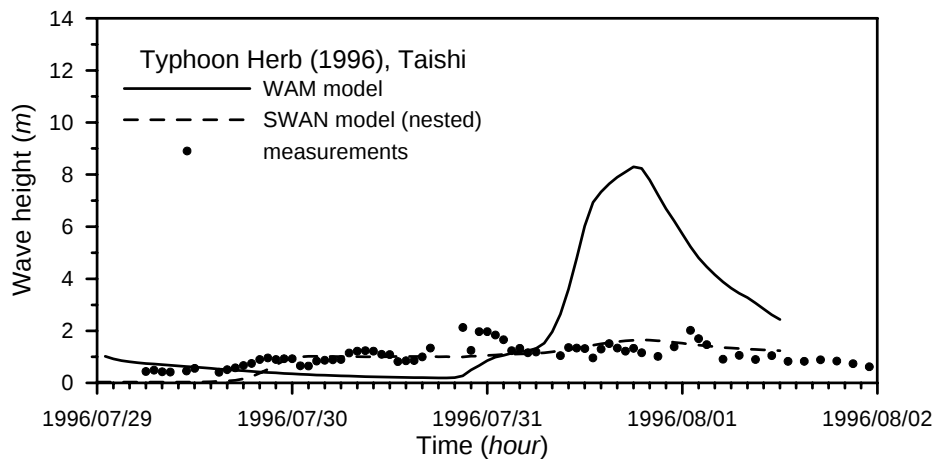


圖3.6 賀伯颱風於台西海域之示性波高變化時序列圖

2. 第三類路徑之 2001 年桃芝 (Toraji) 颱風

2001 年桃芝颱風為中度颱風，近中心最大風速為 38 公尺/秒，屬於中央氣象局第三類路徑，於 7 月 30 日 0 時 10 分左右登陸花蓮秀姑巒溪口，並於當日 10 時 20 分左右由新竹附近離開本島進入台灣海峽北部，圖 3.7 為桃芝颱風行進路徑圖。

分別利用上節所介紹之模型化颱風風場模式 (RVM) 與海面風場模式(WFM) 產生風場進行風浪模擬，圖 3.8 至圖 3.33 分別為各風速測站實測值與模型化颱風風場模式計算值及海面風場模式計算值之比較圖，沿著台灣本島依序由東到西且由北到南，分別有彭佳

嶼、基隆、蘇澳、花蓮、成功、大武、蘭嶼、恆春、東吉島、安平、澎湖、梧棲、淡水等測站，其實測風速與風向資料來源為中央氣象局。

由圖中比較分析可知，由於模型化颱風風場模式並不考慮地形對風場的影響，僅由颱風中心氣壓與位置控制風場變化，對於地形影響較大處的風場有偏高之預測，如基隆與淡水測站。而海面風場模式乃是由氣象局所提供之海面大氣壓資料轉換而成，對於地形所產生風速影響較容易反應其變化。由颱風行進路徑來分類，東部測站且位於颱風行進路徑右側者，在模型化颱風風場模式中皆有預測值偏大趨勢，如基隆、蘇澳與花蓮測站。而在左側者，預測值較為接近實測風速，如成功恆春與蘭嶼測站。在台灣西部測站之準確性而言，在桃芝颱風此方案中，預測值皆與實測相當接近，如東吉島、澎湖、安平與梧棲測站，而位於左側之淡水測站有明顯高估現象。若以風速成長與消散趨勢而言，模型化風場模式預測值皆與實測值具有一致性，表示若能改善參數設定應可更準確預測風場大小。比較海面風場與模型化風場預測值，由於海面風場模式受限於大氣模式格網約為45公里限制，海面風場模式在靠近颱風中心處測站之風速預測能力不若模型化風場為佳，如花蓮與成功測站，其不能適當描述風速成長與消散趨勢，為仍需改善缺點。對於風向之模擬，模型化與海面風場模式皆能適當模擬，與實測值具有一致性。

圖 3.34 至圖 3.37 分別為龍洞、花蓮、安平與新竹海域之示性波高變化時列圖，圖中除安平測站資料來源為港研中心外，皆為中央氣象局所提供。由圖中波高模擬與實測比較中發現，與風速測站模擬有相當一致性。如彭佳嶼風速模擬較佳則龍洞測站波高模擬結果亦佳，花蓮測站在模型颱風風速模擬較大則波高模擬亦較大，而海面風場模式不能適當模擬最大風速出現時間，在波高模擬上亦有此現象

等。在台灣西部海域測站而言，模擬結果在 SWAN 模式上有較佳之一致性，表示格網解析度能提高風浪解析精度，對於近岸波浪受水深與岸線影響有較好模擬能力。

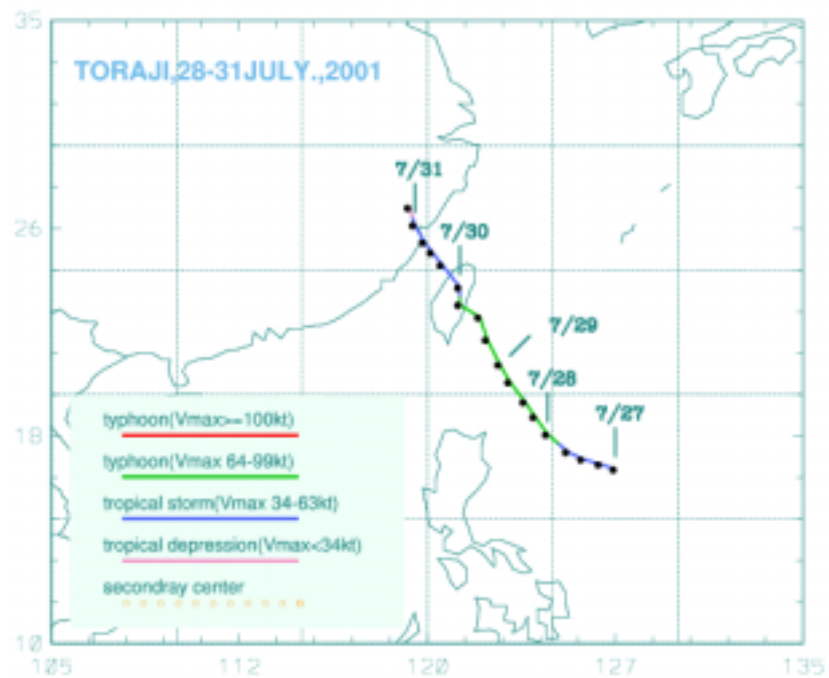


圖3.7 桃芝颱風路徑圖

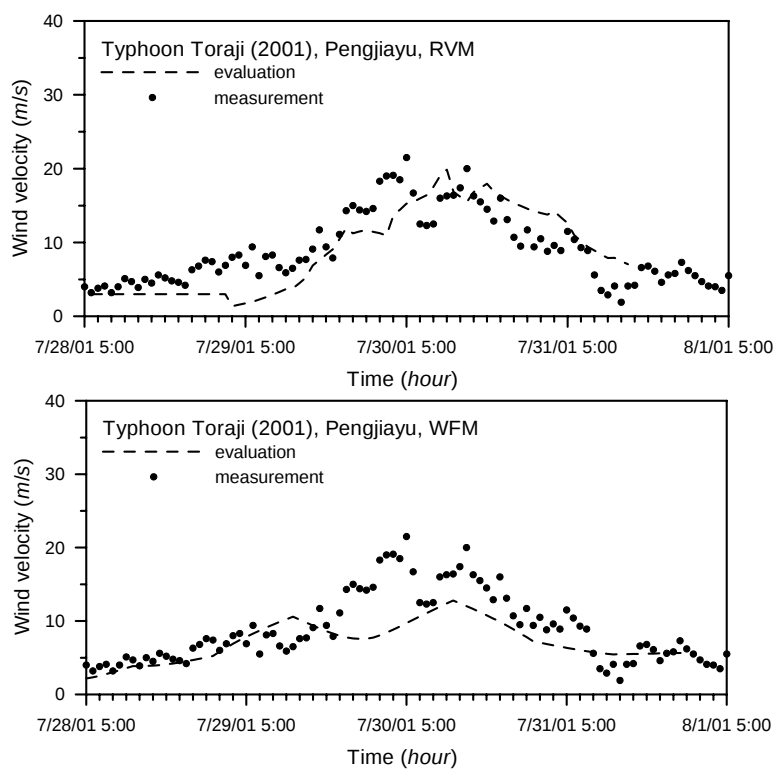


圖3.8 桃芝颱風於彭佳嶼地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

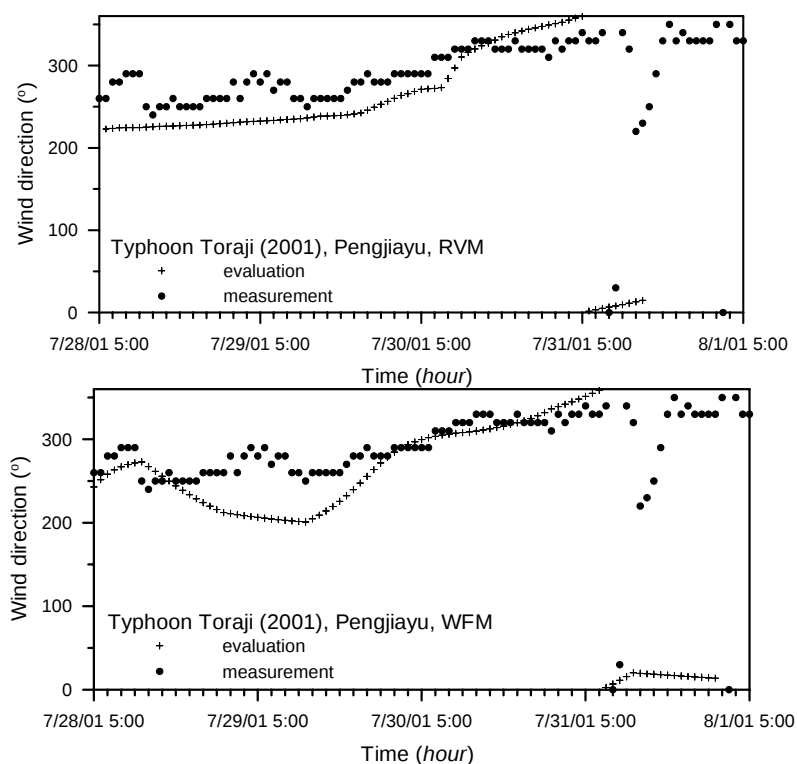


圖3.9 桃芝颱風於彭佳嶼地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

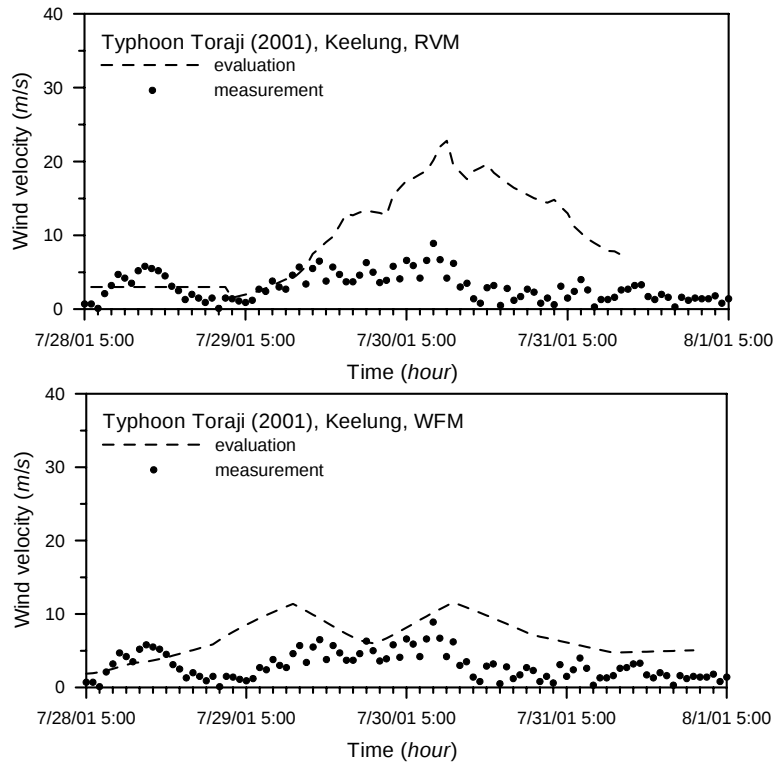


圖3.10 桃芝颱風於基隆地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

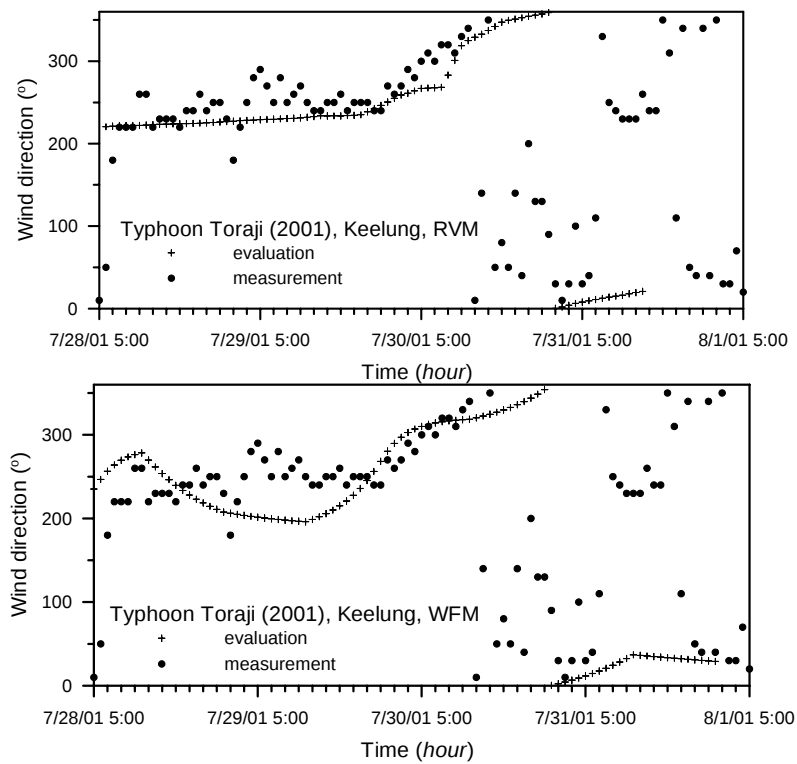


圖3.11 桃芝颱風於基隆地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

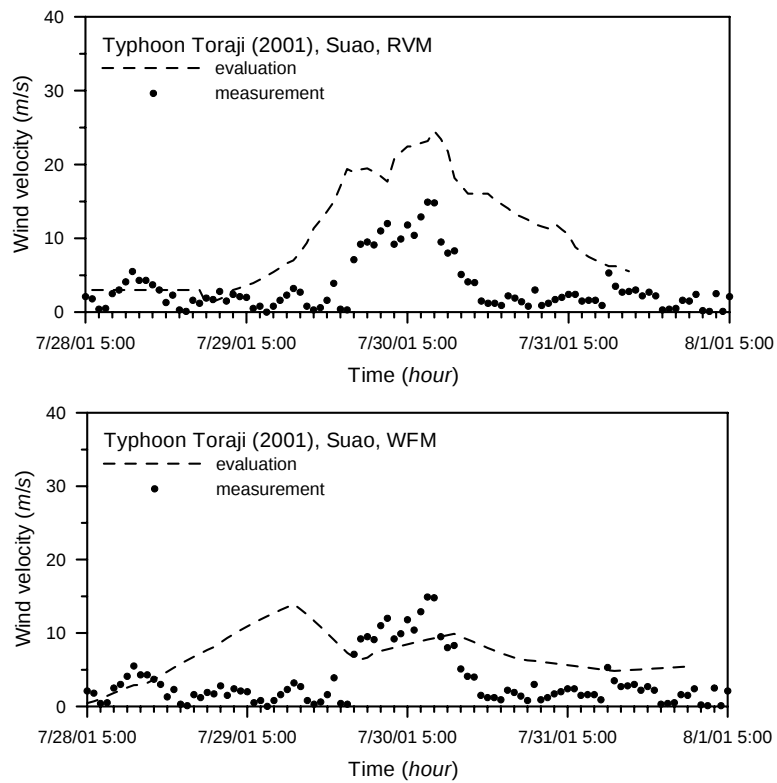


圖3.12 桃芝颱風於蘇澳地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

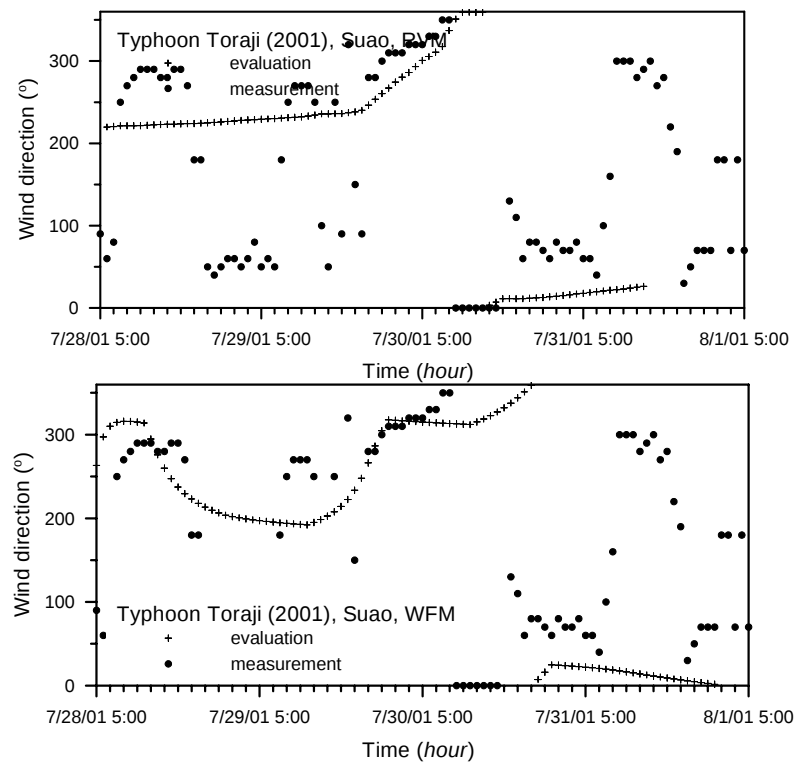


圖3.13 桃芝颱風於蘇澳地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

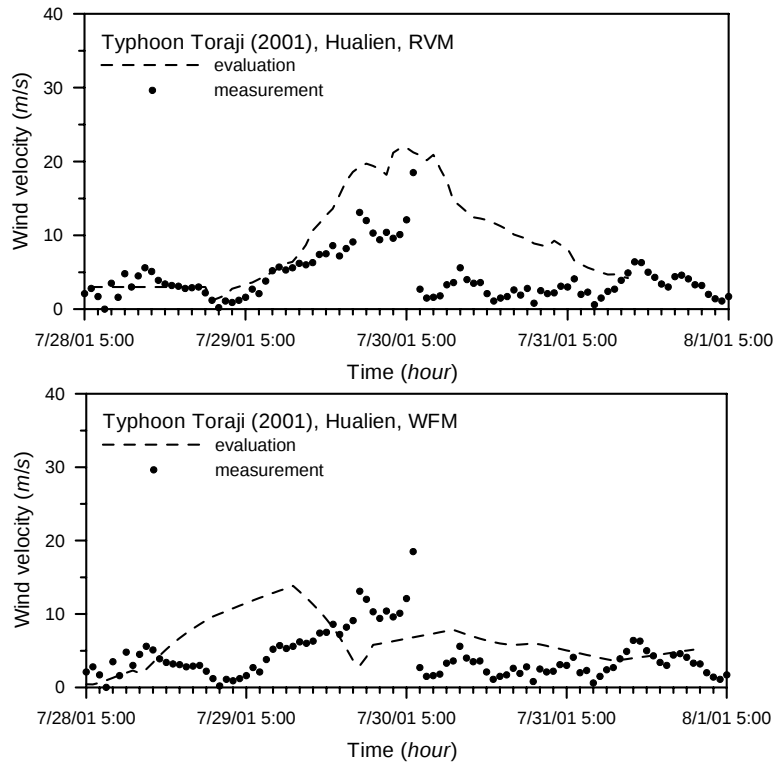


圖3.14 桃芝颱風於花蓮地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

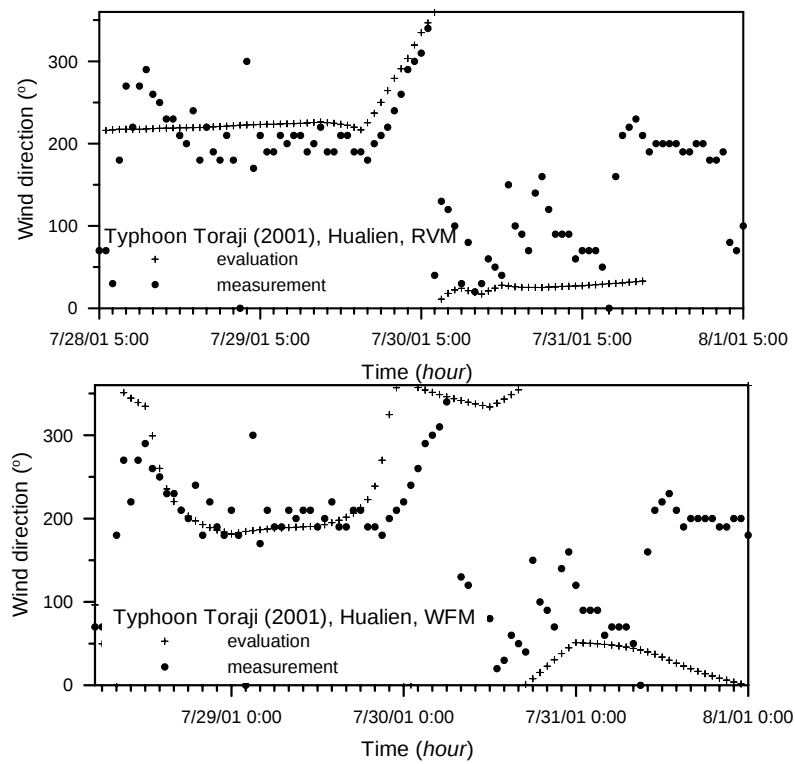


圖3.15 桃芝颱風於花蓮地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

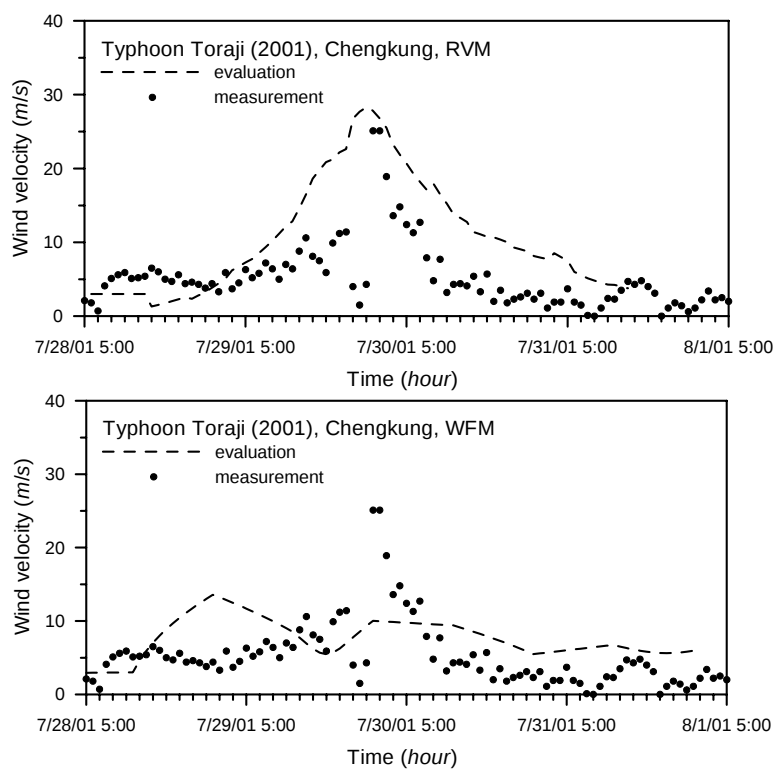


圖3.16 桃芝颱風於成功地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

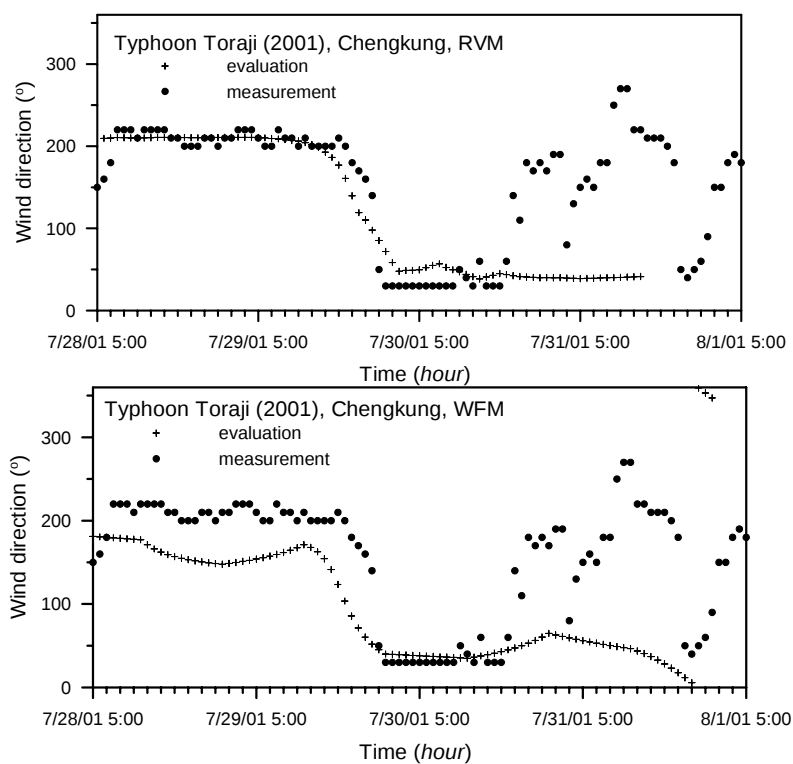


圖3.17 桃芝颱風於成功地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

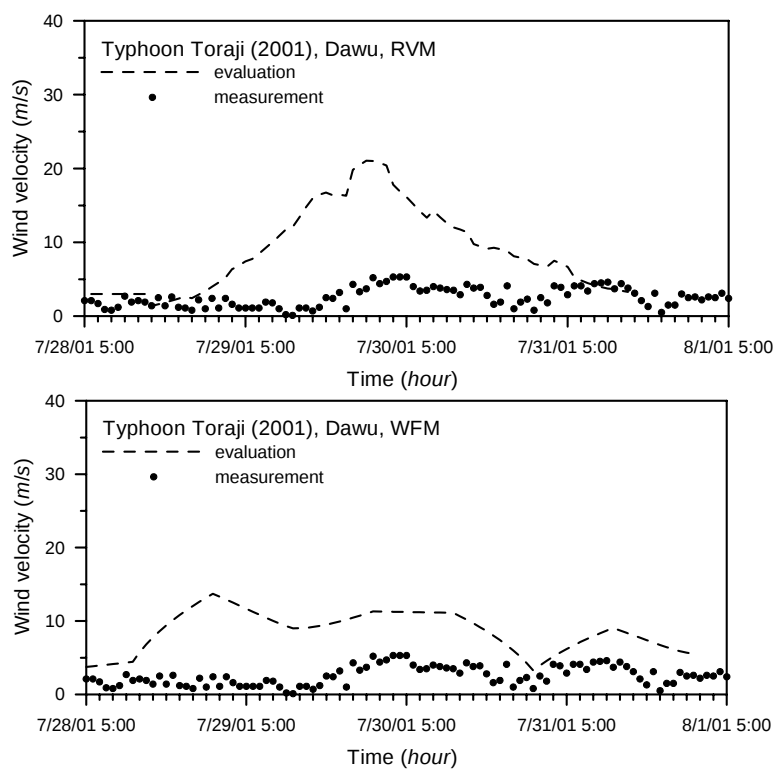


圖3.18 桃芝颱風於大武地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

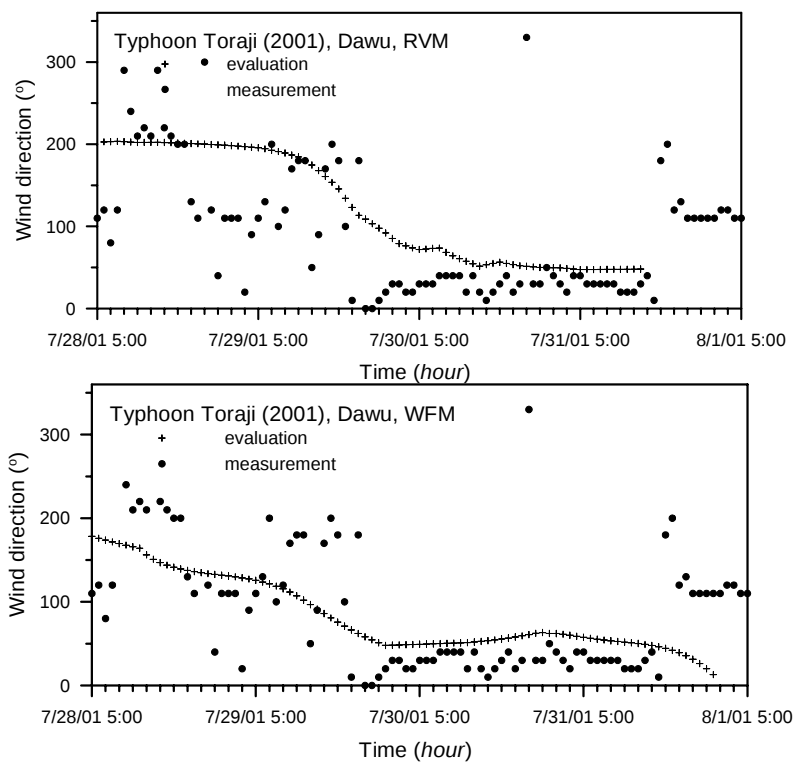


圖3.19 桃芝颱風於大武地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

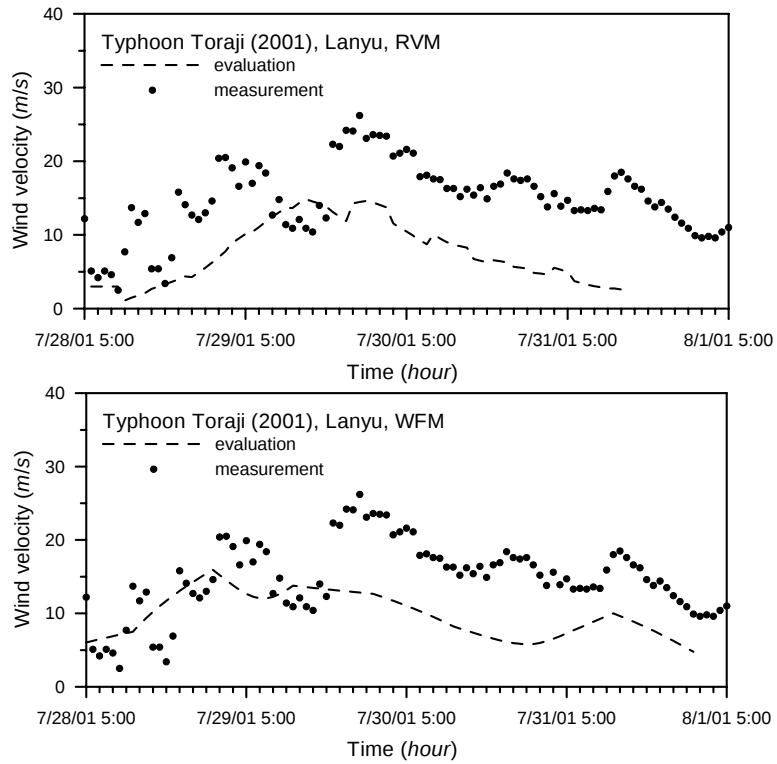


圖3.20 桃芝颱風於蘭嶼地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

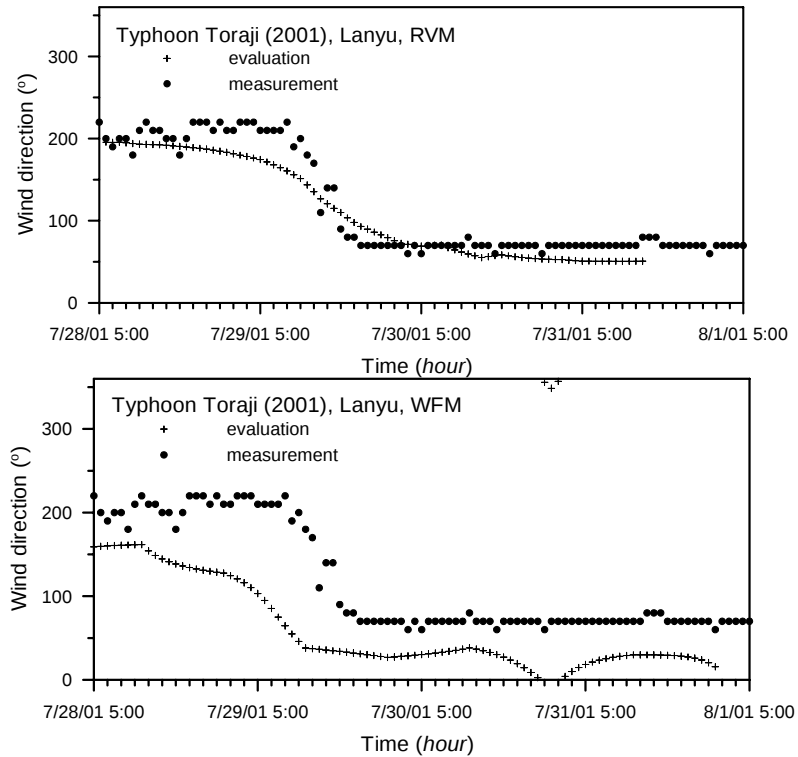


圖3.21 桃芝颱風於蘭嶼地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

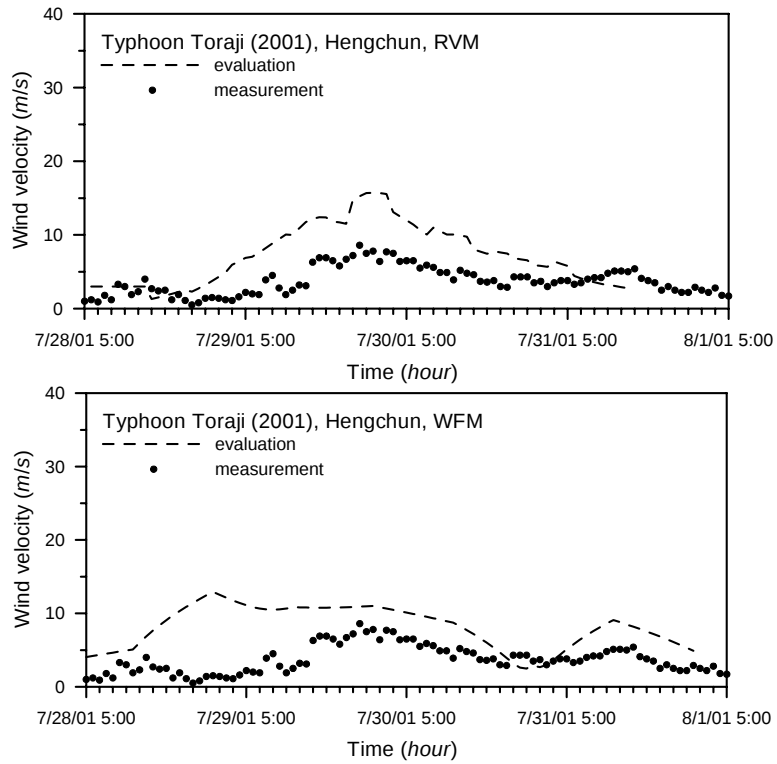


圖3.22 桃芝颱風於恆春地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

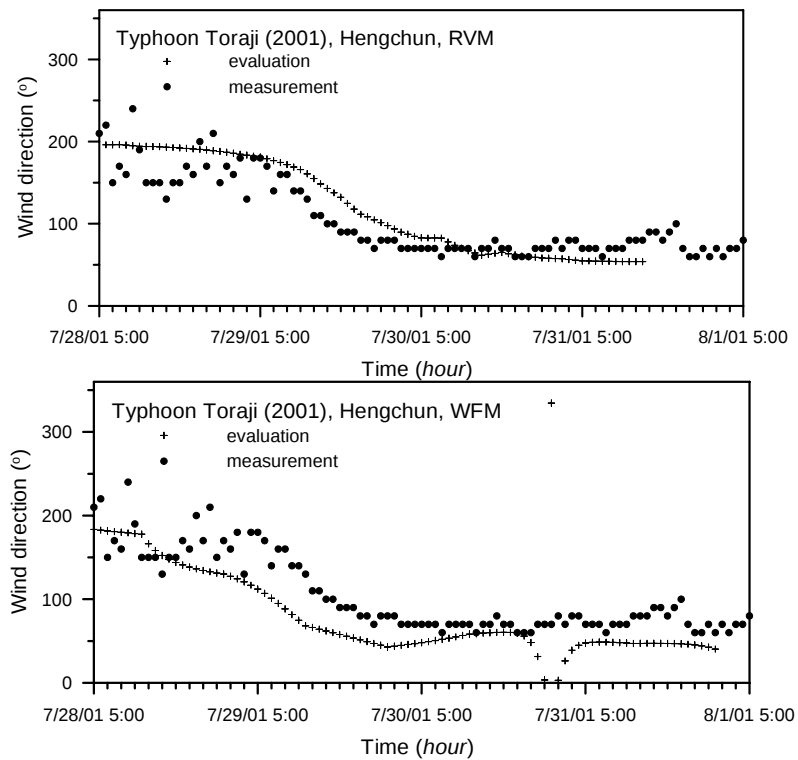


圖3.23 桃芝颱風於恆春地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

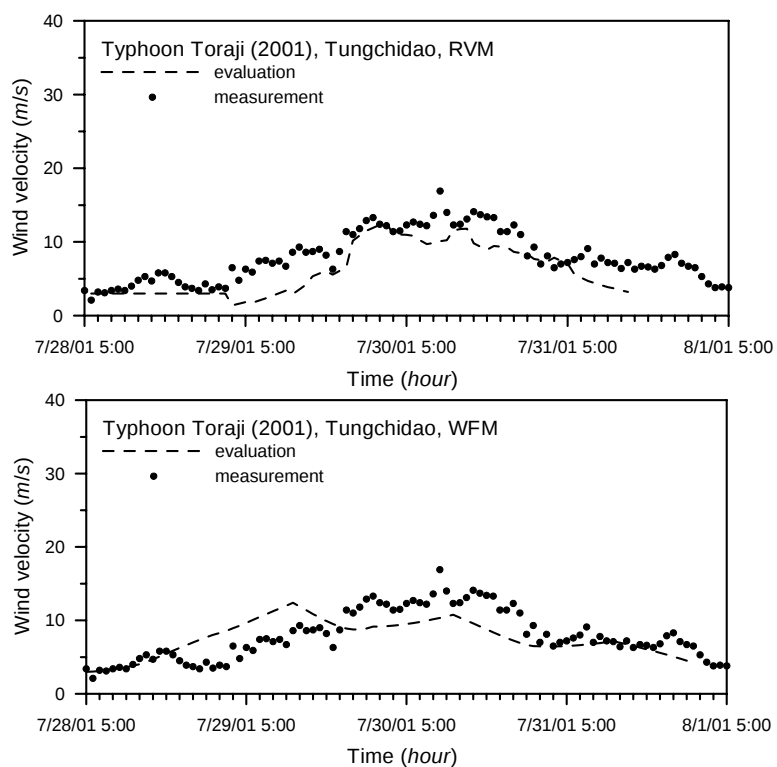


圖3.24 桃芝颱風於東吉島地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

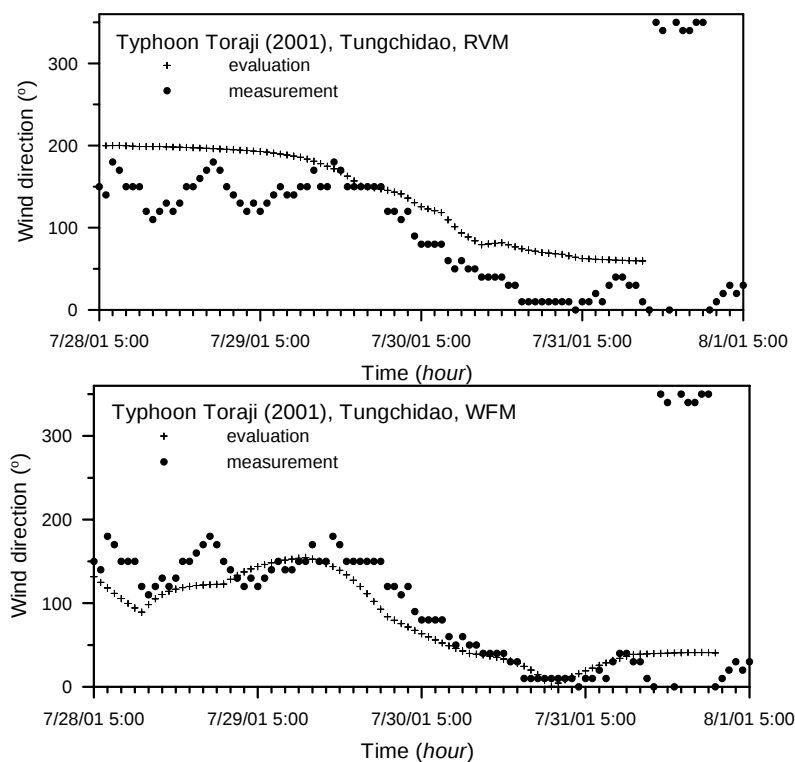


圖3.25 桃芝颱風於東吉島地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

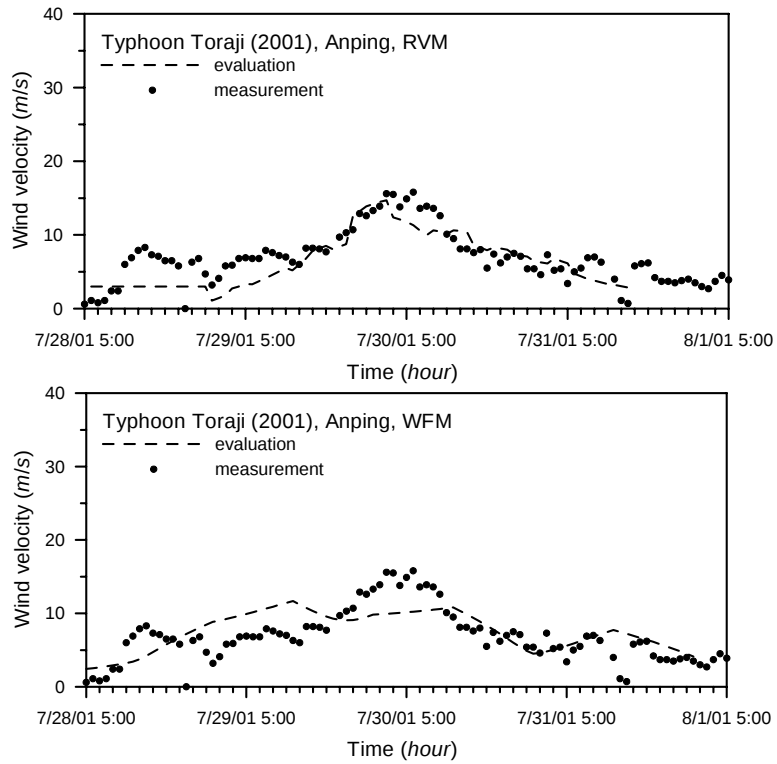


圖3.26 桃芝颱風於安平地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

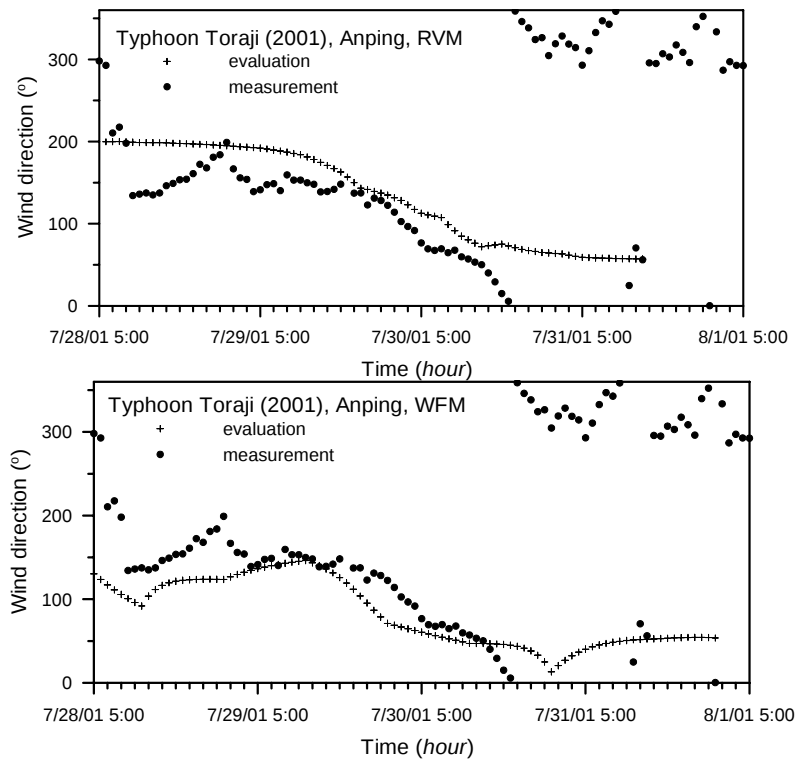


圖3.27 桃芝颱風於安平地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

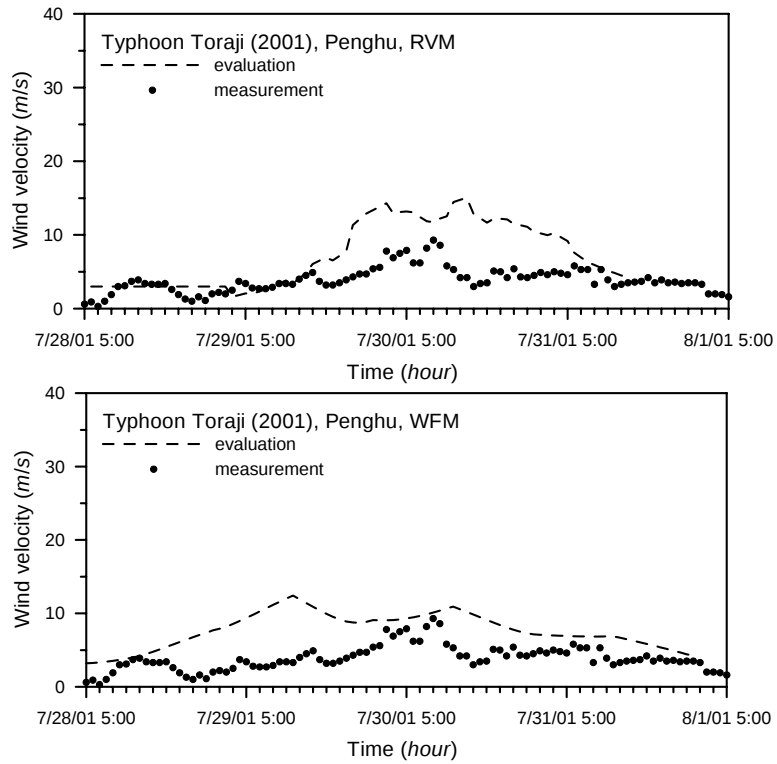


圖3.28 桃芝颱風於澎湖地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

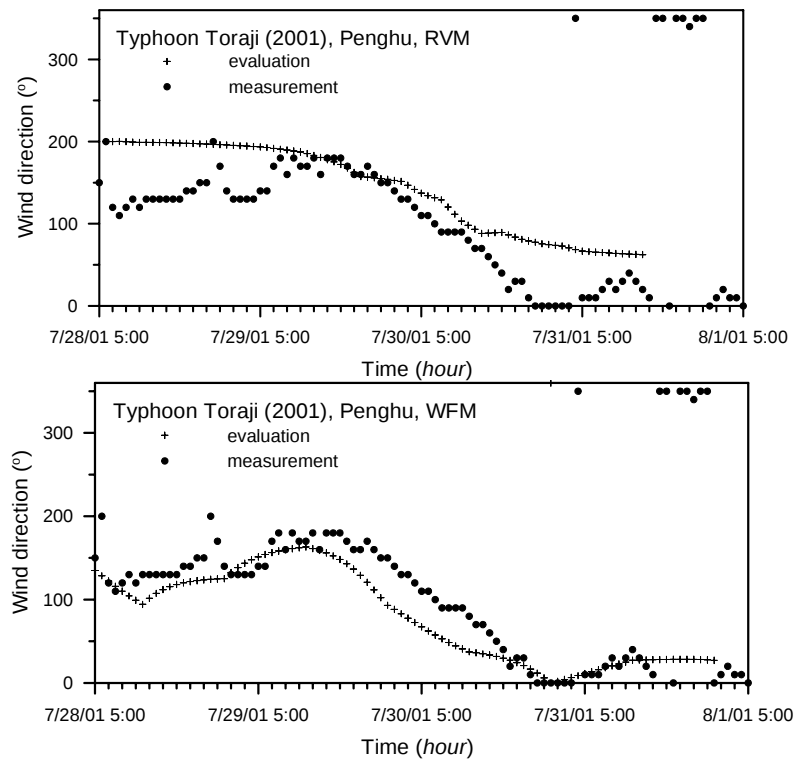


圖3.29 桃芝颱風於澎湖地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

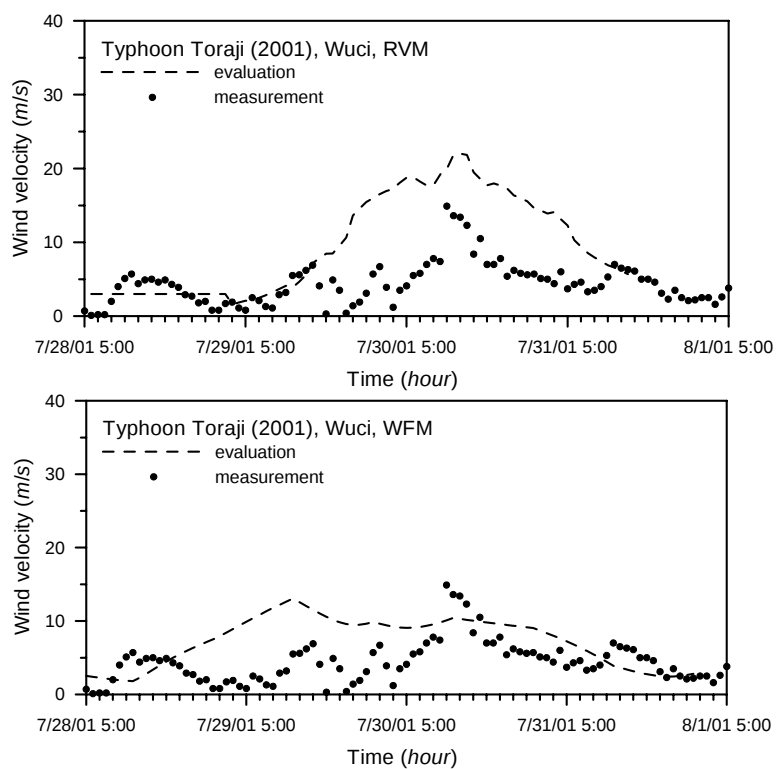


圖3.30 桃芝颱風於梧棲地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

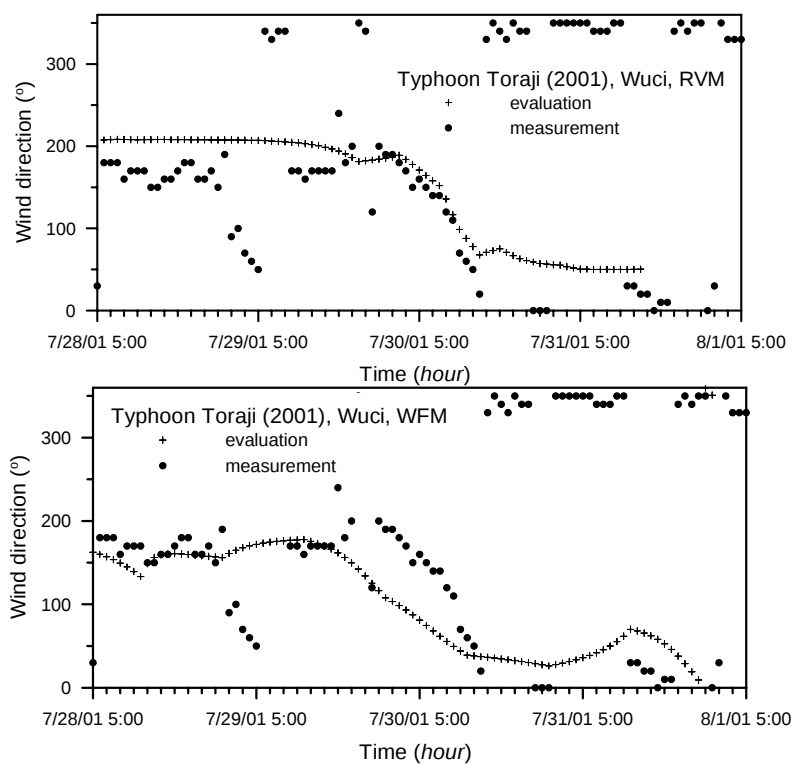


圖3.31 桃芝颱風於梧棲地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

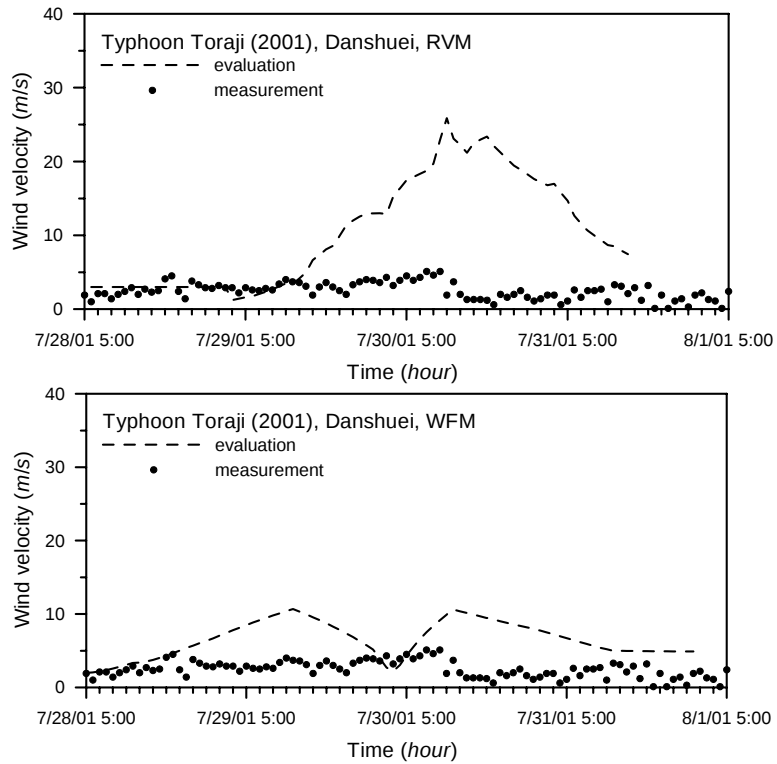


圖3.32 桃芝颱風於淡水地區之風速變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

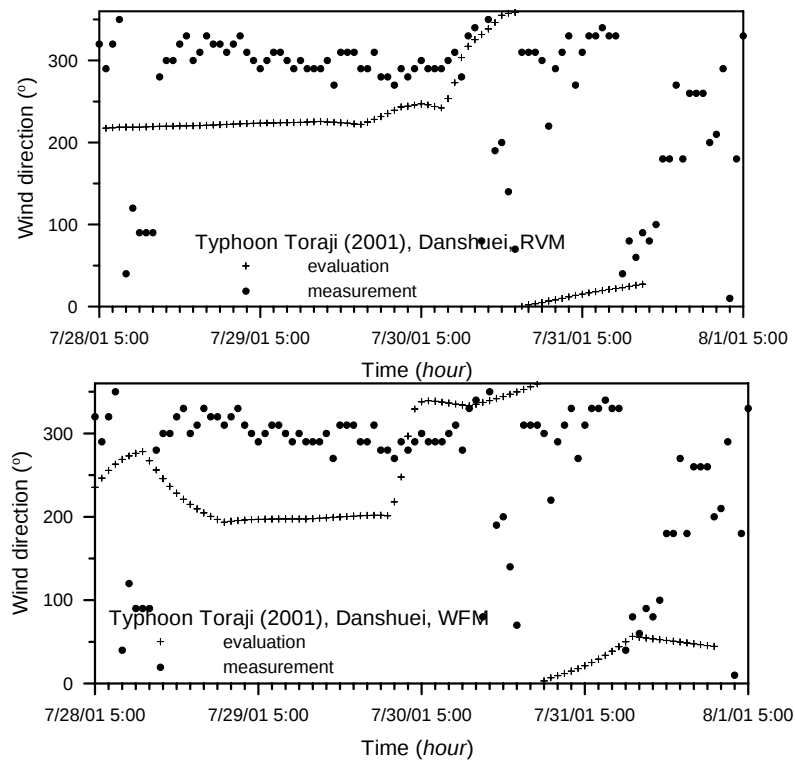


圖3.33 桃芝颱風於淡水地區之風向變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

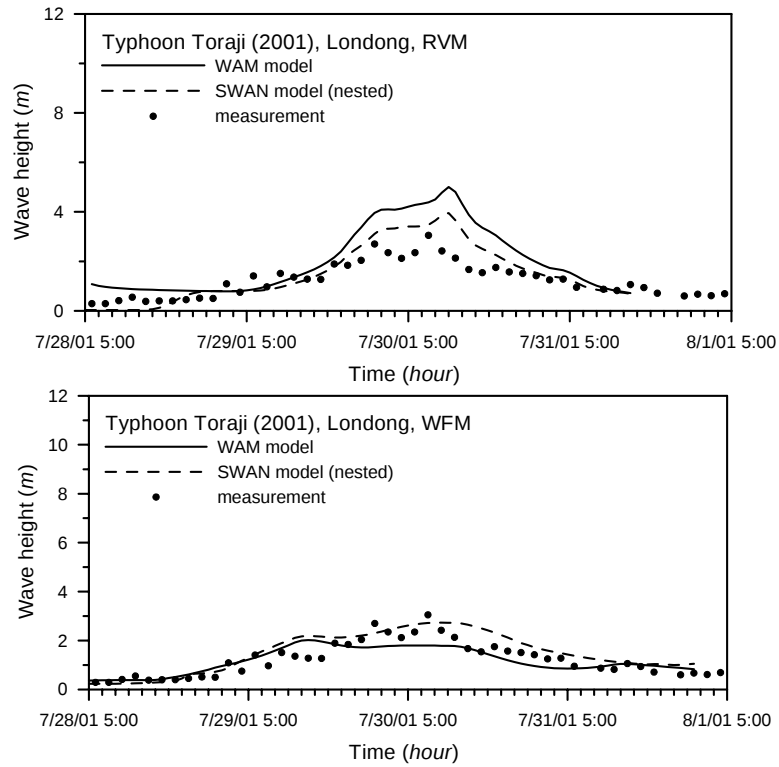


圖3.34 桃芝颱風於龍洞海域之示性波高變化時序列圖

(上:颱風風場模式, 下:海面風場模式)

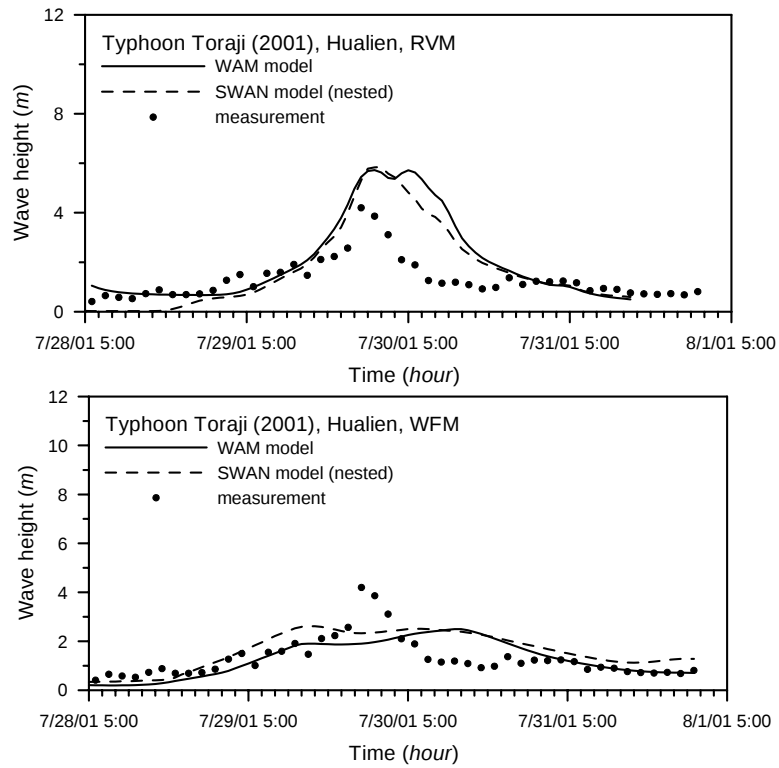


圖3.35 桃芝颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

(上:颱風風場模式, 下:海面風場模式)

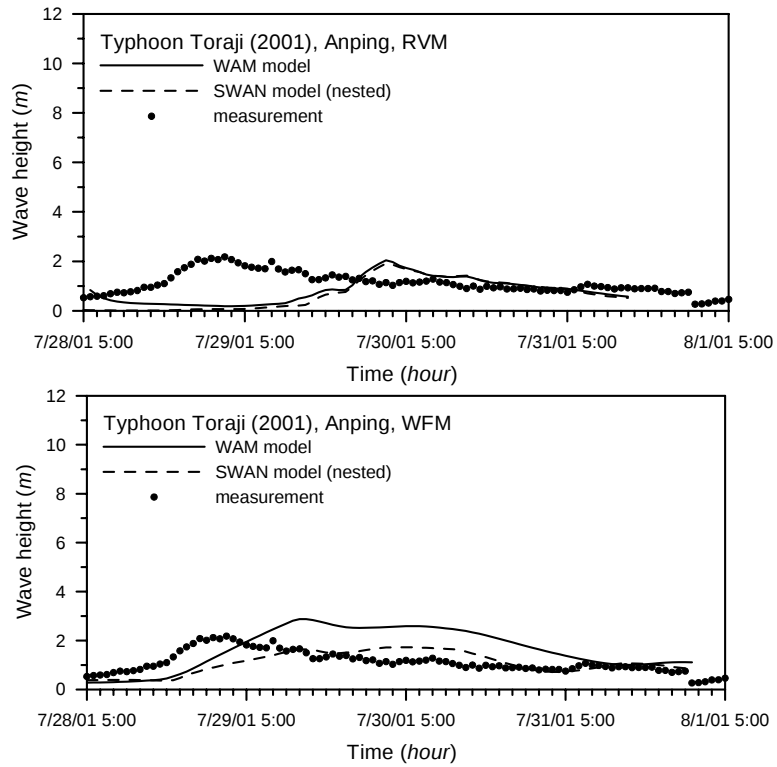


圖3.36 桃芝颱風於安平海域之示性波高變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

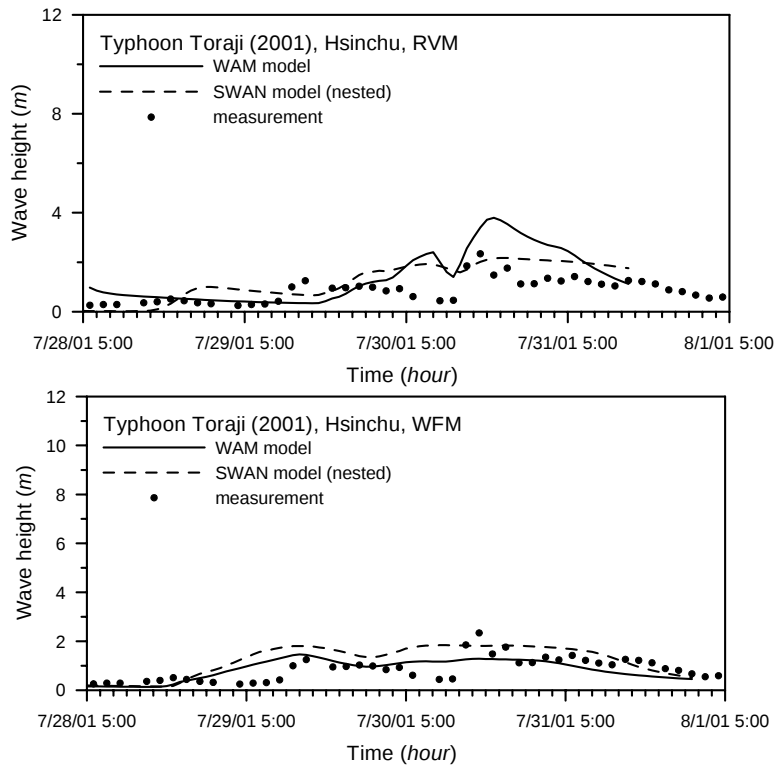


圖3.37 桃芝颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖

(上:颱風風場模式，下:海面風場模式)

3. 第四類路徑之利奇馬 (Lekima) 颱風

2001 年利奇馬颱風為中度颱風，近中心最大風速為 35 公尺/秒，屬於中央氣象局第四類路徑。9 月 22 日於菲律賓呂宋島東北方海面形成，緩慢偏西移動，24 日轉向偏北和北北西方向，直撲台灣東南部地區，26 日 18 時 30 分左右在台灣東南部台東大武之間登陸，經歷約 23 小時後，由中部濁水溪口進入台灣海峽，隨後於 28 日 8 時在海峽上減弱為熱帶性低氣壓，其颱風路徑圖如圖 3.38 所示。

圖 3.39 為利奇馬颱風於安平海域之示性波高變化時序列圖，其實測資料來源為港研中心安平觀測樁。由圖中可知 SWAN 模式之模擬結果趨勢相近於實測資料，而圖 3.40 利奇馬颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖，其模擬結果較實測資料為小。而花蓮測站由於無實測值可比較，僅以預測值提供參考。綜合東西部模擬結果，在西部測站由於水深影響，WAM 模式計算結果皆大於 SWAN 模式計算結果；而在東部測站，因 SWAN 模式格網遠小於 WAM 模式，在靠近颱風中心處測站預測值皆較大，由於格網間距較小對於颱風中心風速較大處的模擬較為明顯，故容易產生在最大波高的模擬亦會較 WAM 模式為大。

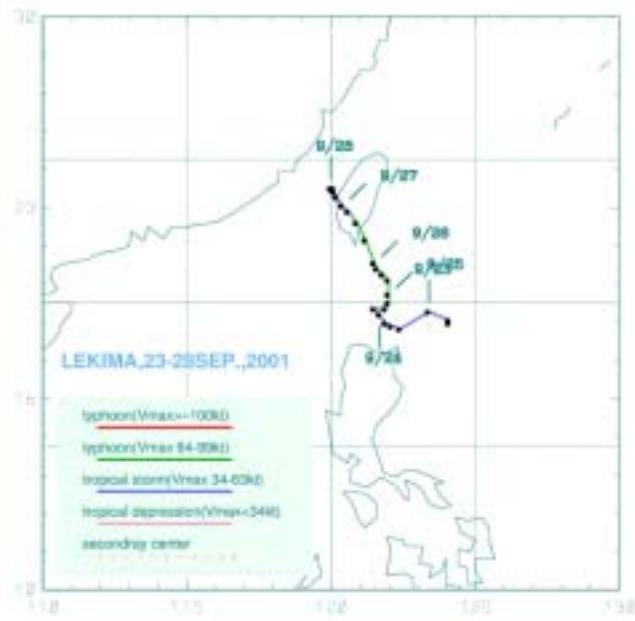


圖3.38 利奇馬颱風路徑圖

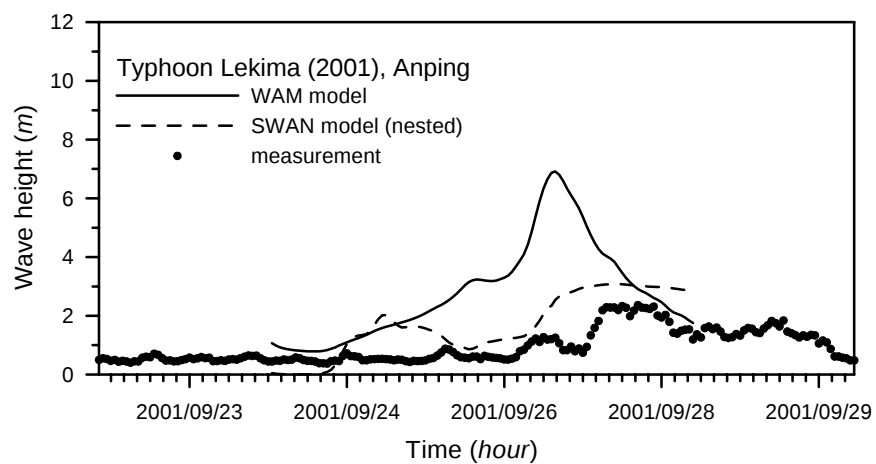


圖3.39 利奇馬颱風於安平海域之示性波高變化時序列圖

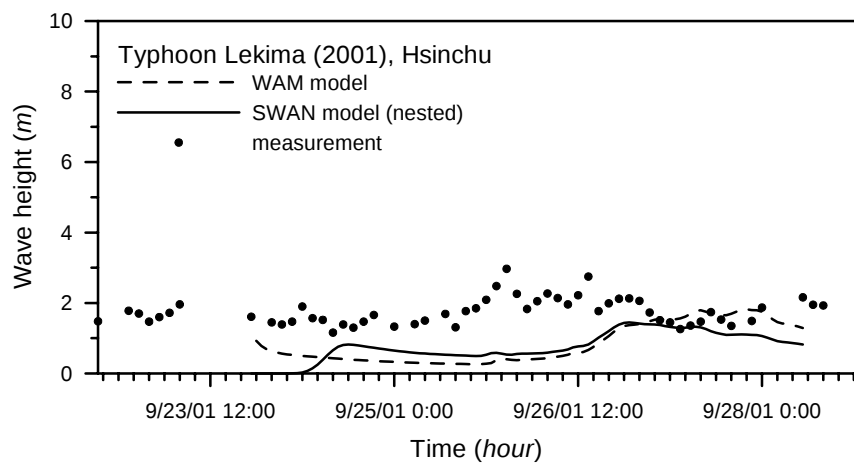


圖3.40 利奇馬颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖

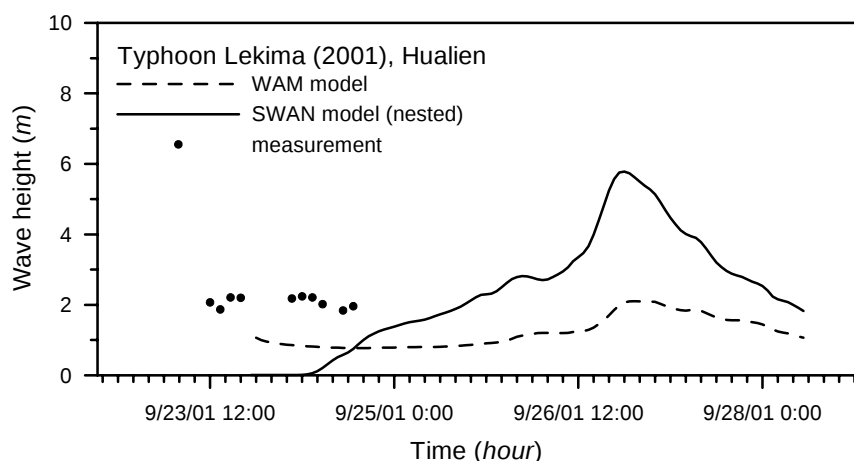


圖3.41 利奇馬颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

4. 第六類路徑之 1998 年瑞伯 (Zeb) 颱風

1998 年瑞伯颱風最大強度為強烈颱風，近中心最大風速為 55 公尺/秒，屬於中央氣象局第六類路徑。經呂宋島北部受地形影響減弱為中度颱風並轉向北方移動，經台東東方近海時轉為北北東方向進行，此時暴風圈籠罩全台，於 10 月 16 日晚間轉向東北移行並減弱為輕度颱風，10 月 17 日凌晨全台脫離其暴風圈，圖 3.42 為瑞伯颱風路徑圖。

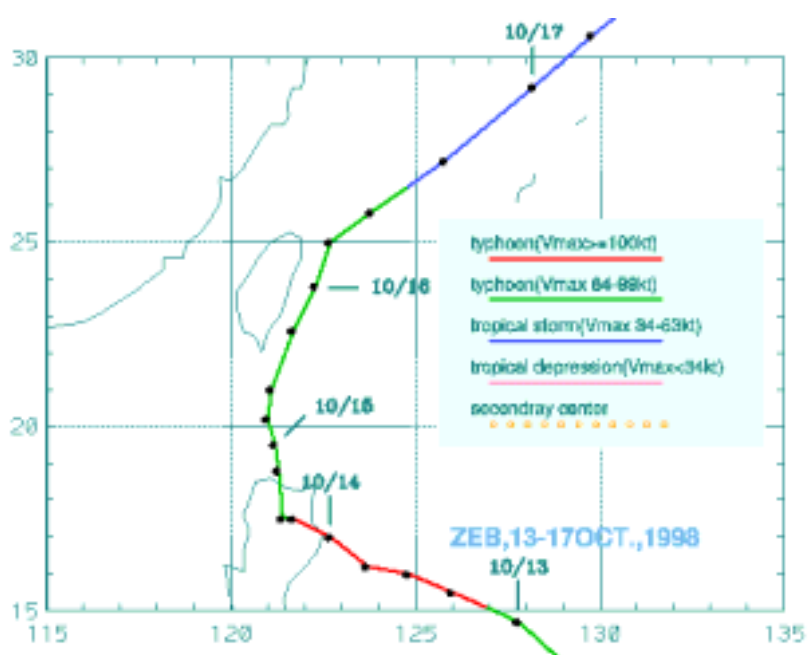


圖3.42 瑞伯颱風路徑圖

圖 3.43 為瑞伯颱風於花蓮測站之示性波高圖，由於實測值在 10 月 15 日 18 時至 10 月 16 日 2 時有中斷之現象，並無法精確的判斷最大波高之發生時間，但從實測波高變化之趨勢應可看出最大波高應該發生在此時間段中。從量測資料分析，最大示性波高發生時間為 10 月 16 日 2 時，波高為 9.6 米，至於模式計算出的最大示性波高為 10.2 米，而發生時間為 10 月 16 日 10 時。模式計算比實測最大波高發生時間約晚了 6 小時以上，但與颱風中心至測站最短距離的時間 10 月 16 日 11 時非常接近。從圖中之比較中可看出，模式計算在最大波高值之預測有合理之一致性，但其發生時間有略晚之現象，因為瑞伯颱風從台灣東部近海通過，其颱風結構已經被台灣陸地所影響，導致風場模式預測之準確度較差，使得波浪推算產生誤差。由於瑞伯颱風來襲時，台灣已進入夏秋交替之時節，受輕微東北季風之影響，使得背景風場所產生之影響較前述推算颱風為大。

圖 3.44 為瑞伯颱風於東吉島測站之示性波高分佈圖，實測值的最大示性波高發生時間為 10 月 15 日 21 時，波高為 5.7 米，而模式計算出最大示性波高發生時間為 10 月 15 日 22 時，波高為 3.8 米。實測值與模式計算出的最大波高發生時間相當接近，然而實測數據中途有訊號中斷現象，故發生時間還難以斷定，不過整體趨勢十分相近，而波高有低估之現象。由於東吉島測站位於台灣海峽中，受東北季風之影響較小，且颱風湧浪之傳遞也會受台灣陸地所阻擋，使得波高不如花蓮測站來得高。

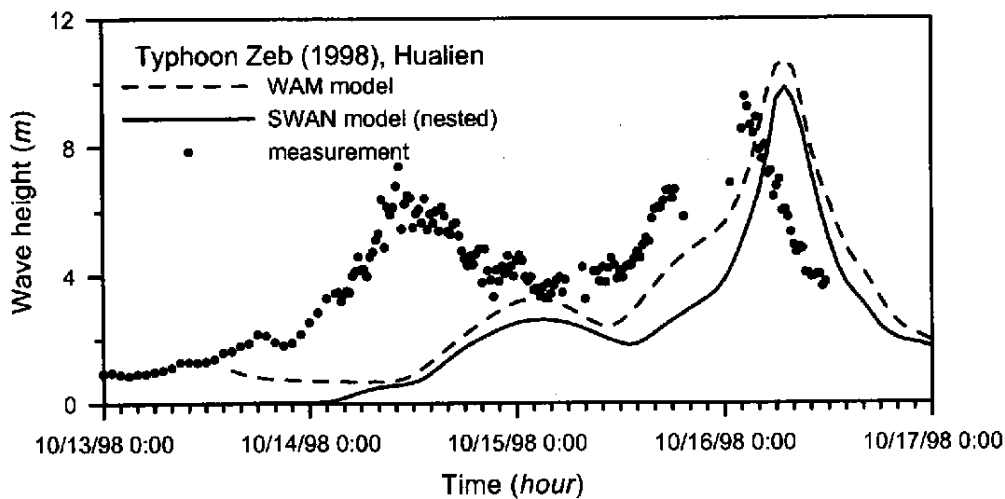


圖3.43 瑞伯颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

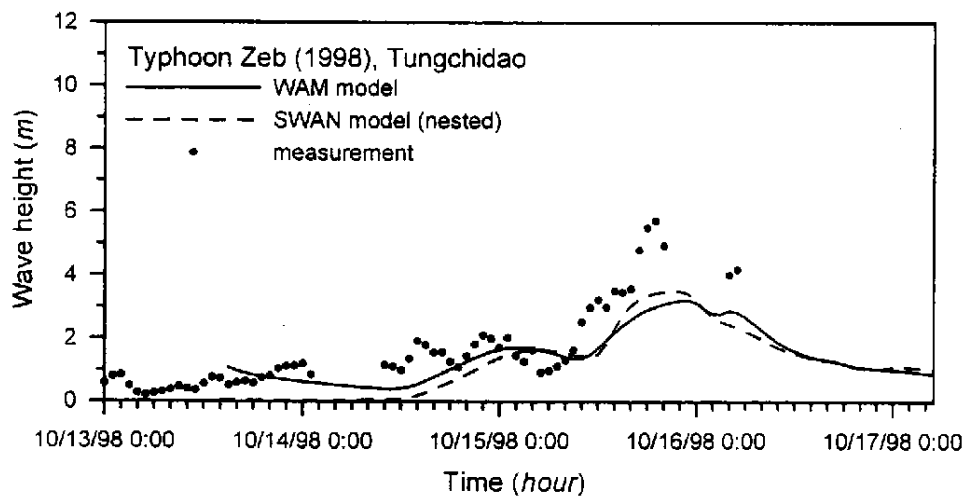


圖3.44 瑞伯颱風於東吉島海域之示性波高變化時序列圖

5. 第七類路徑之奇比(Chebi)颱風

2001 年之奇比颱風最大強度為中度颱風，近中心最大風速為 53 公尺/秒，屬於中央氣象局第七類路徑，其形成後，向西北方向移動，其中心進入巴士海峽後，以偏西方向通過巴士海峽；再以偏北的路徑通過台灣海峽，於馬祖附近進入大陸，颱風路徑圖如圖 3.45 所示。

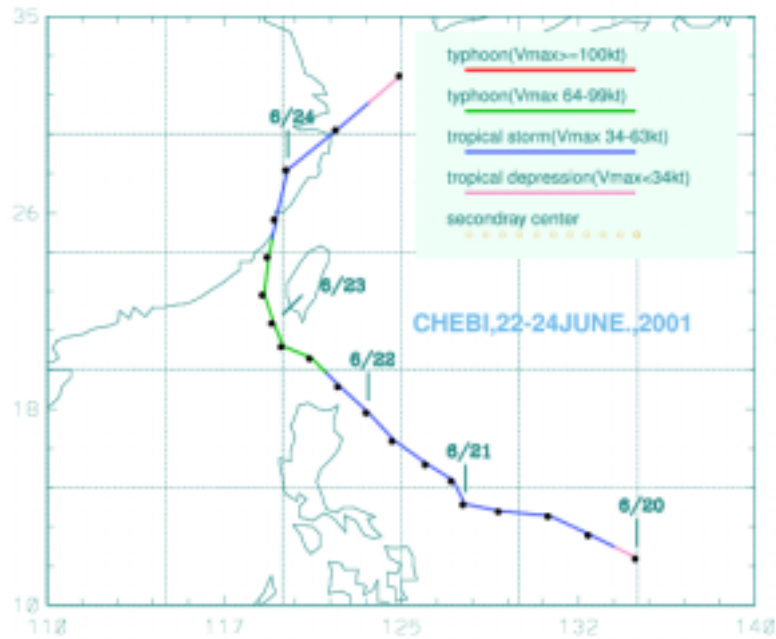


圖3.45 奇比颱風路徑圖

關於奇比颱風計算方案，輸入風場為大氣壓所轉換之海面風速，圖 3.46 至圖 3.61 分別為基隆、彭佳嶼、花蓮、成功、安平、東吉島、澎湖與淡水等測站之風速與風向比較圖，大致上模擬風速與風向與實測值具有合理之一致性，但由於奇比颱風中心路徑通過台灣海峽，靠近中心路徑之測站，如東吉島、安平、澎湖等測站之最大風速預測有偏低現象，其與桃芝颱風推算案例有相同趨勢，原因應為大氣壓力格網解析度偏低所致。在波高預測方面，圖 3.62 至圖 3.65 分別為龍洞、花蓮、安平與新竹測站示性波高時序列變化圖，波高模擬大致上相當合理，除安平測站在接近奇比颱風中心處有偏低預測外，在颱風未侵襲台灣與過境後之波高亦能適當描述，表示模式具有相當預測能力。

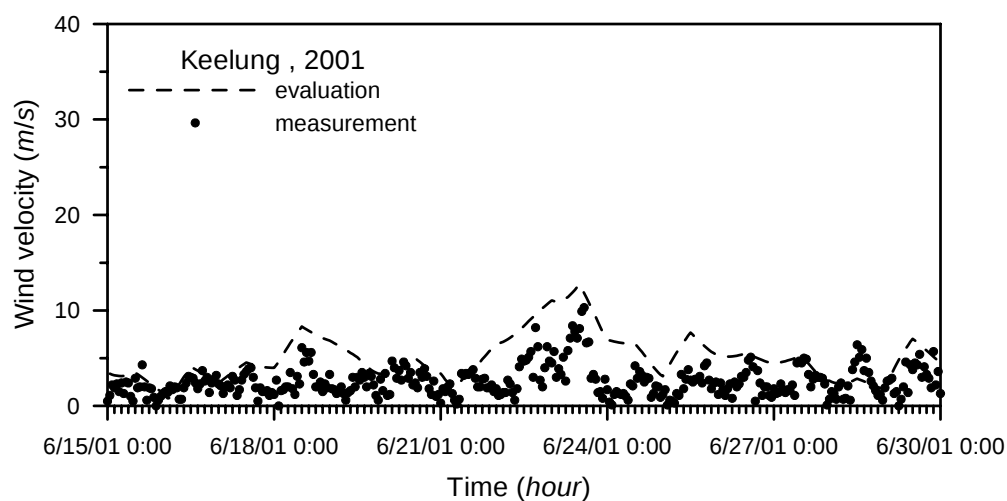


圖3.46 奇比颱風於基隆地區之風速變化時序列圖

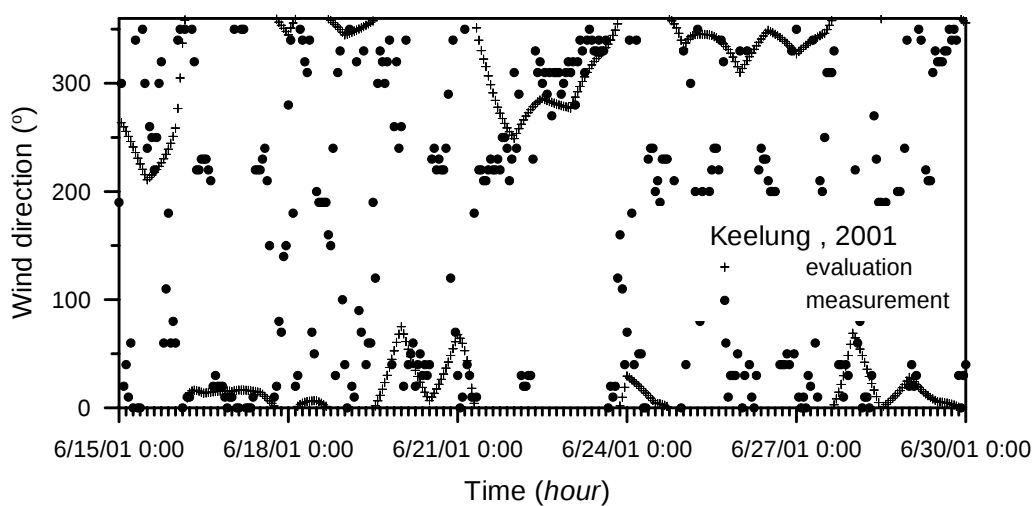


圖3.47 奇比颱風於基隆地區之風向變化時序列圖

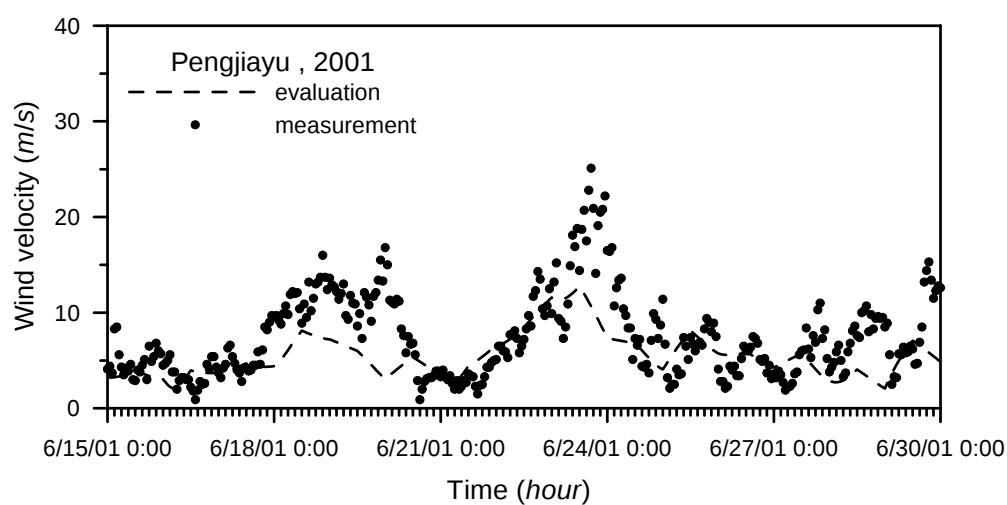


圖3.48 奇比颱風於彭佳嶼地區之風速變化時序列圖

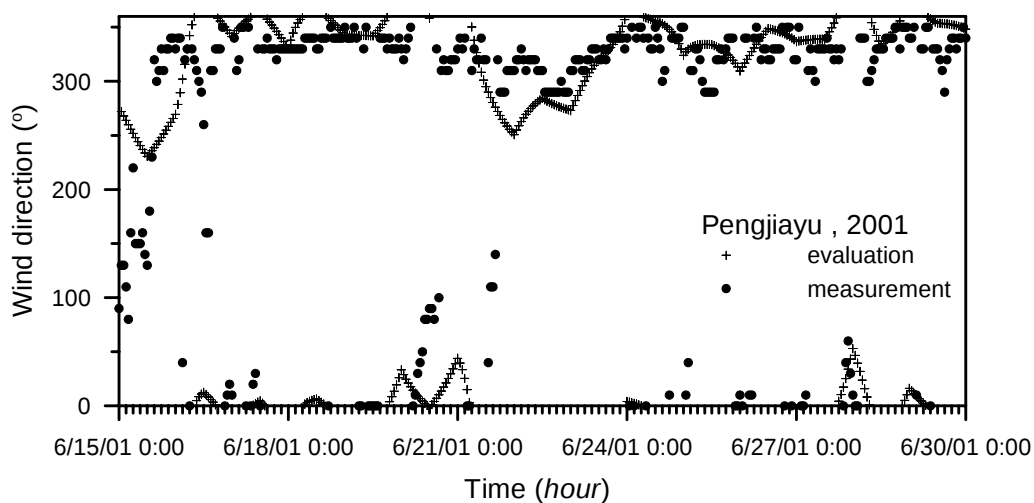


圖3.49 奇比颱風於彭佳嶼地區之風向變化時序列圖

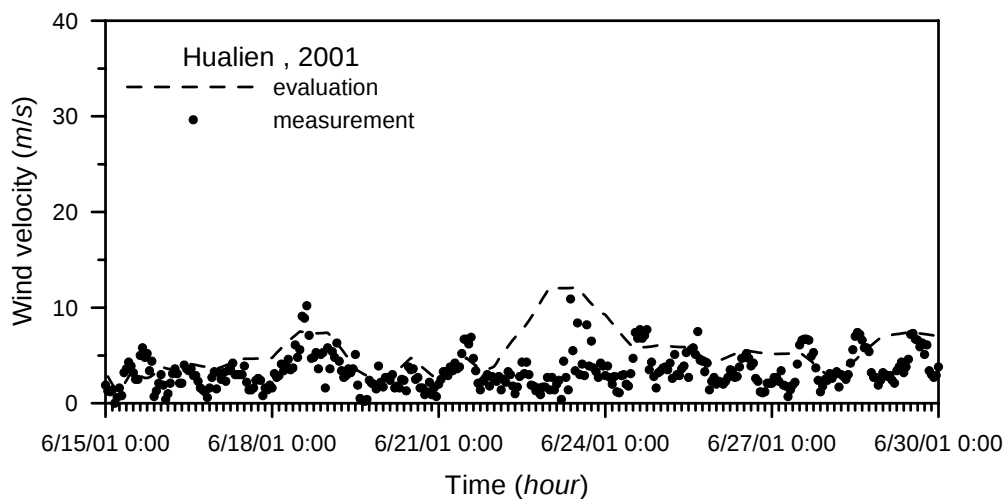


圖3.50 奇比颱風於花蓮地區之風速變化時序列圖

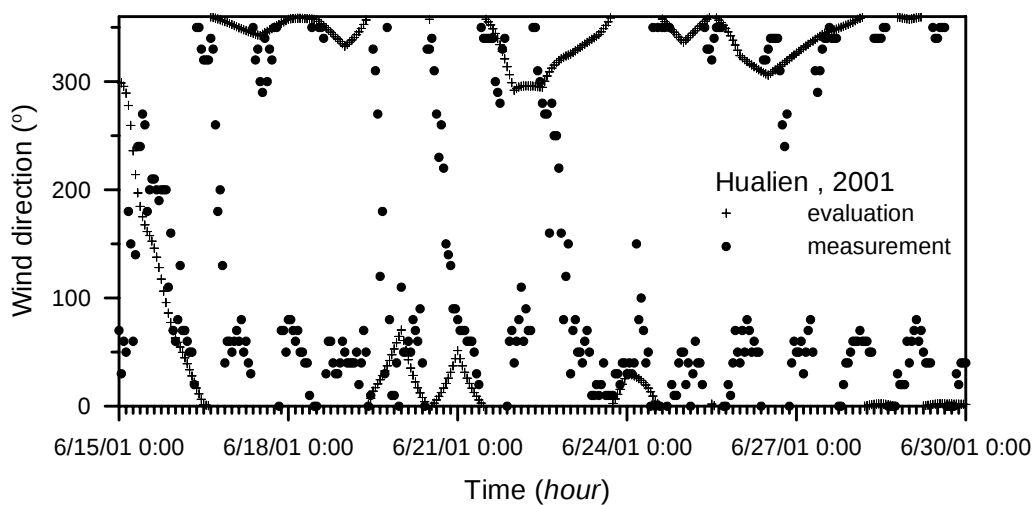


圖3.51 奇比颱風於花蓮地區之風向變化時序列圖

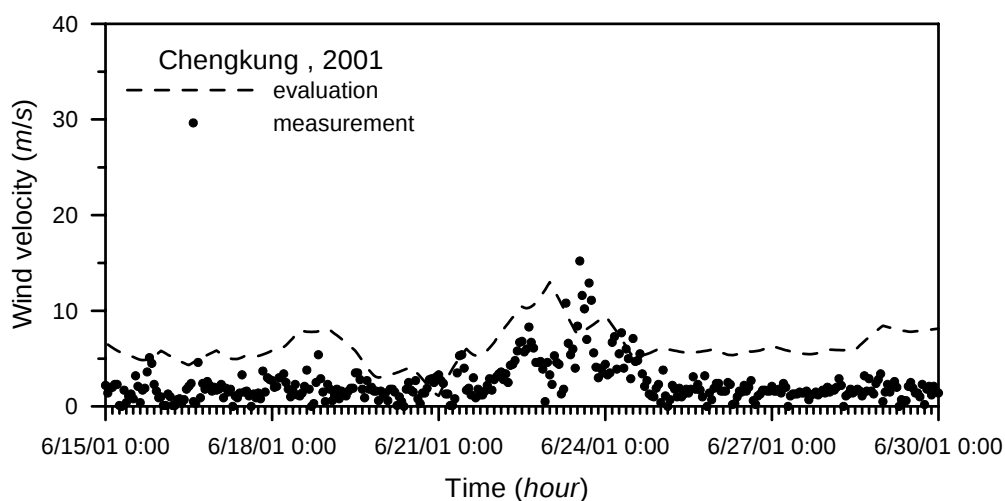


圖3.52 奇比颱風於成功地區之風速變化時序列圖

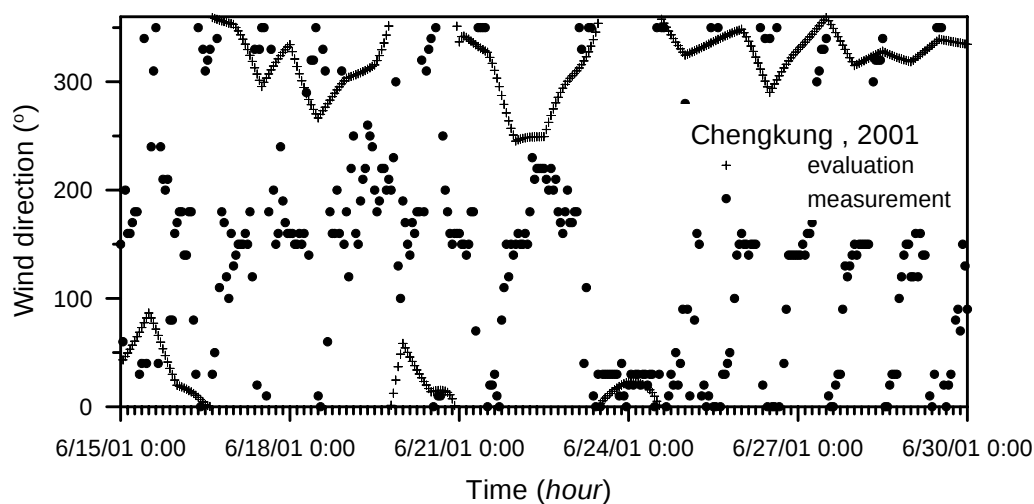


圖3.53 奇比颱風於成功地區之風向變化時序列圖

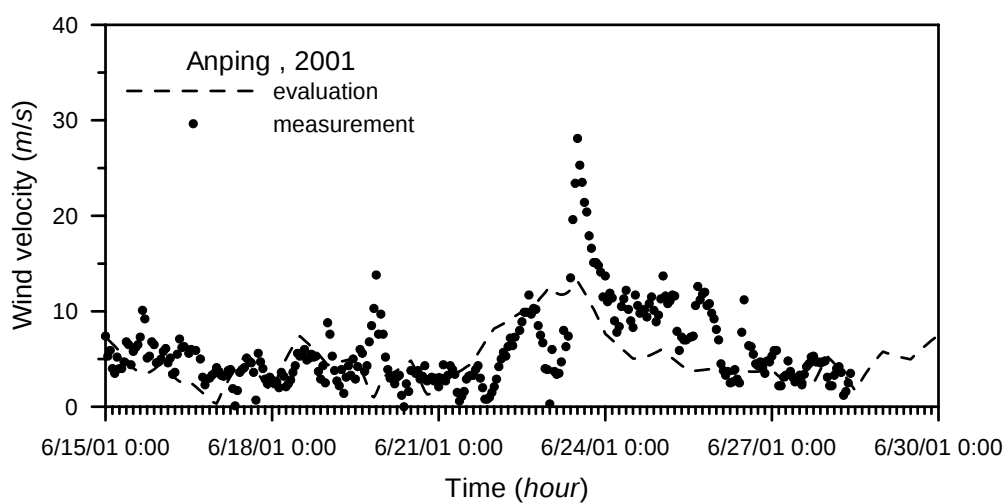


圖3.54 奇比颱風於安平地區之風速變化時序列圖

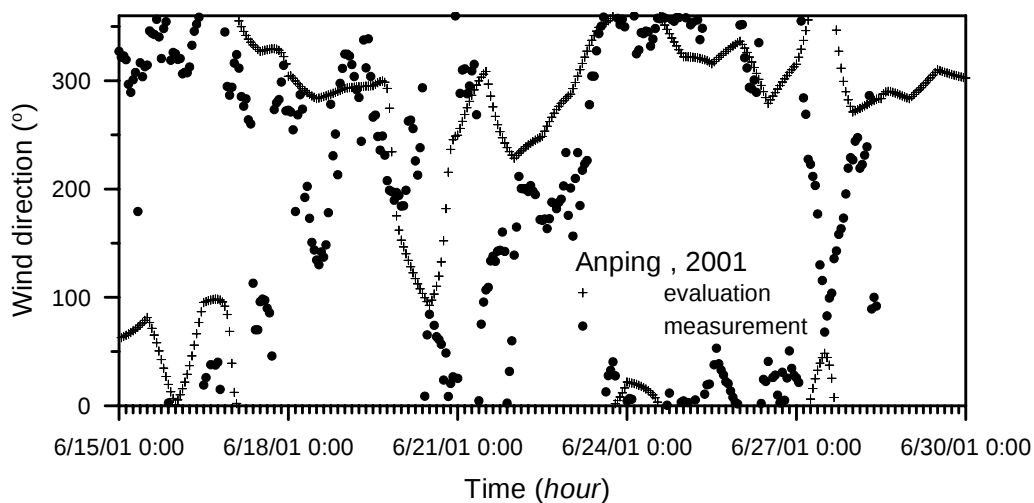


圖3.55 奇比颱風於安平地區之風向變化時序列圖

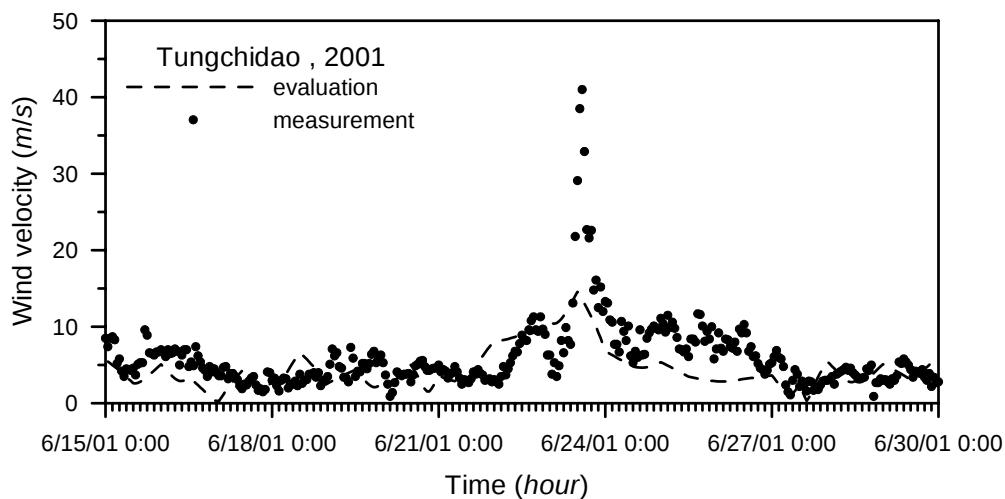


圖3.56 奇比颱風於東吉島地區之風速變化時序列圖

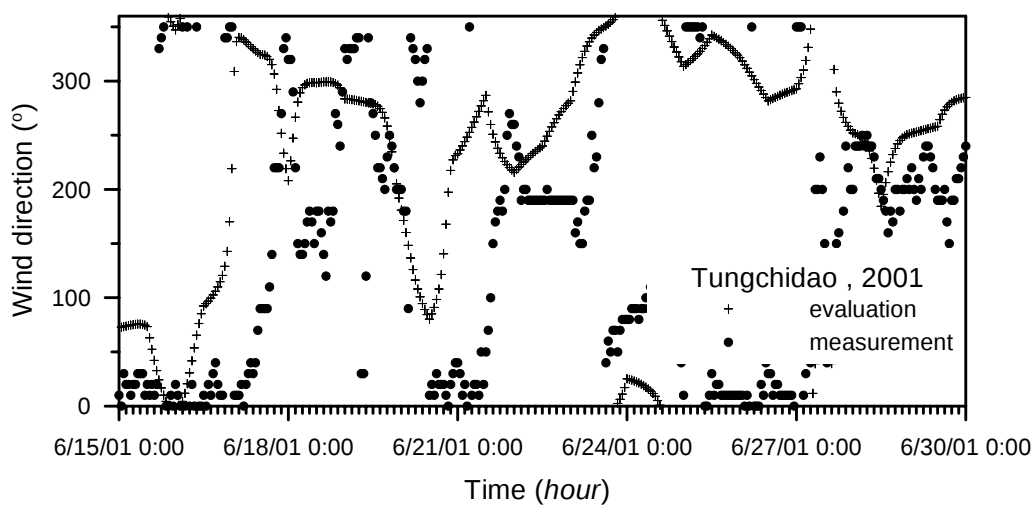


圖3.57 奇比颱風於東吉島地區之風向變化時序列圖

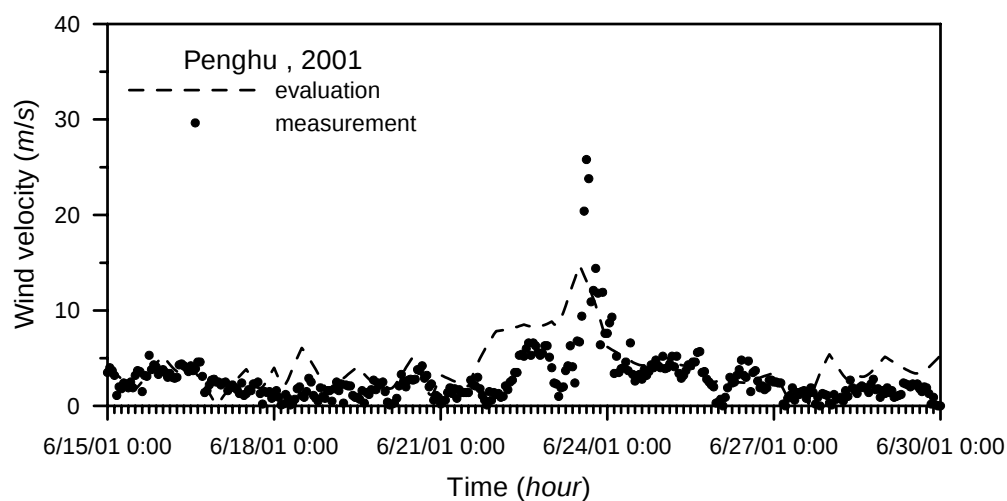


圖3.58 奇比颱風於澎湖地區之風速變化時序列圖

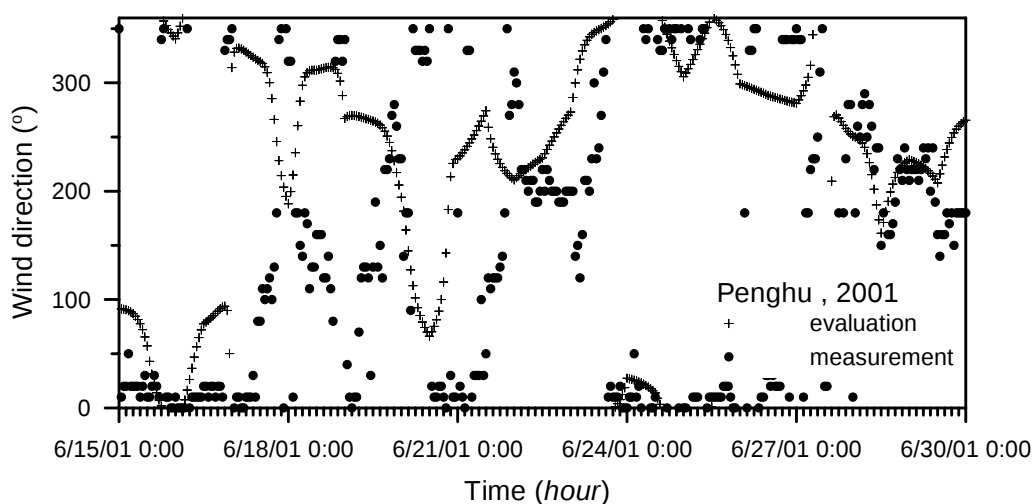


圖3.59 奇比颱風於澎湖地區之風向變化時序列圖

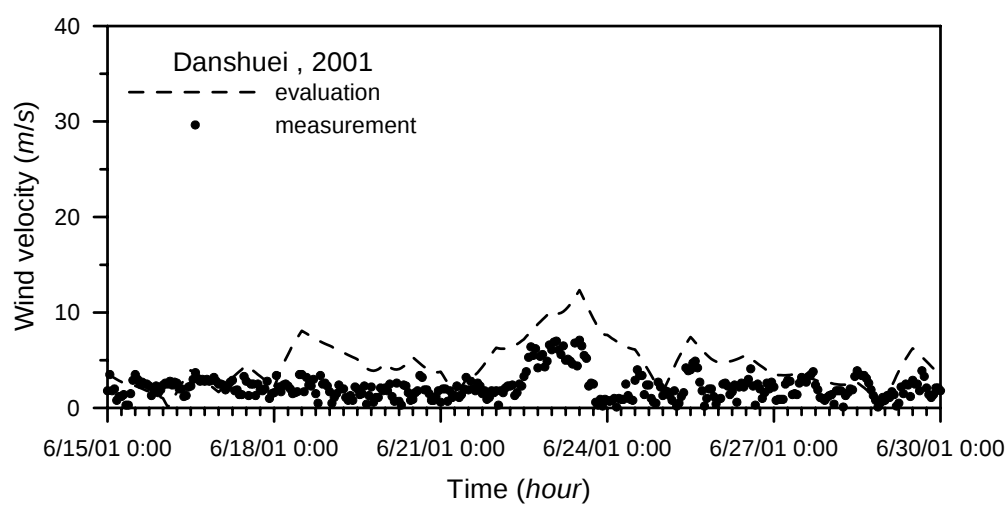


圖3.60 奇比颱風於淡水地區之風速變化時序列圖

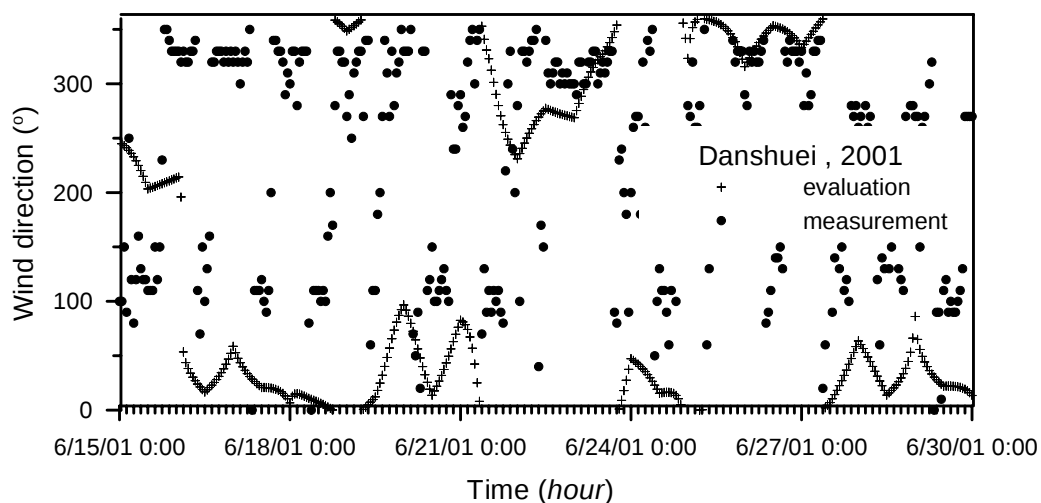


圖3.61 奇比颱風於淡水地區之風向變化時序列圖

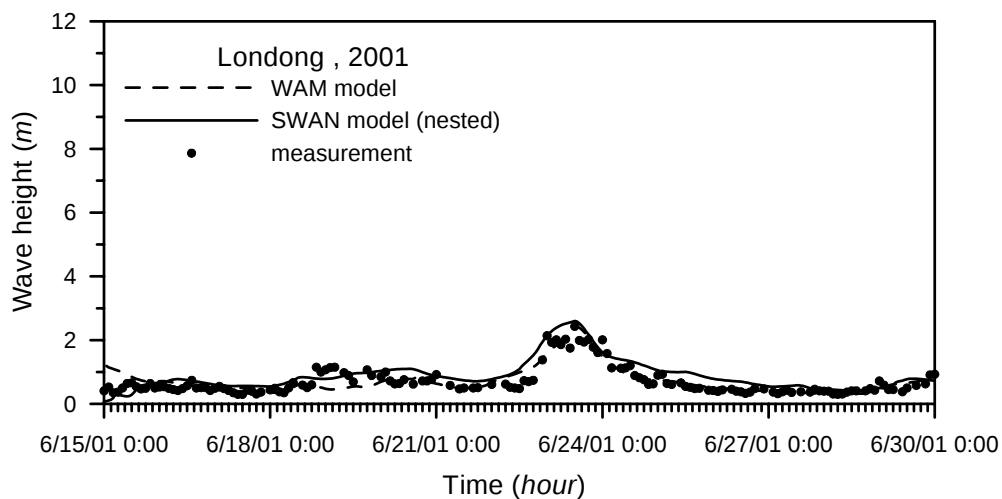


圖3.62 奇比颱風於龍洞海域之示性波高變化時序列圖

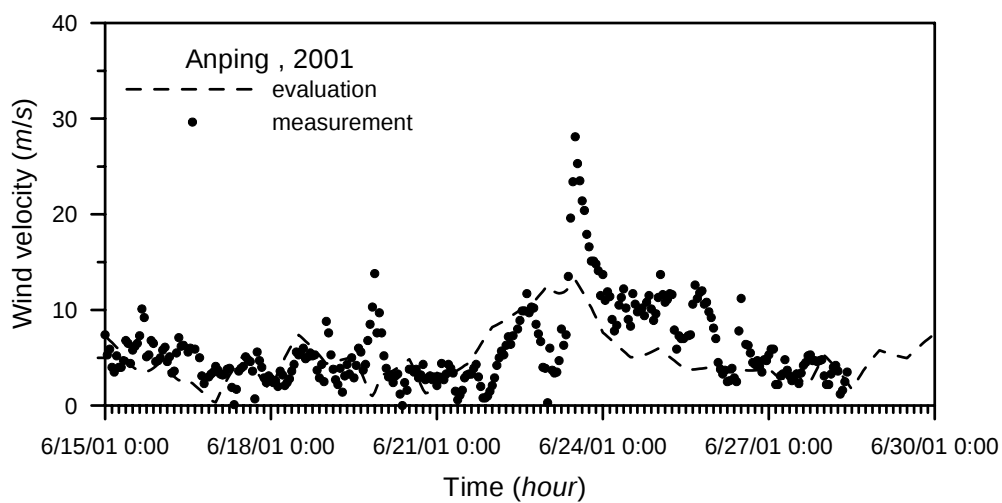


圖3.63 奇比颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

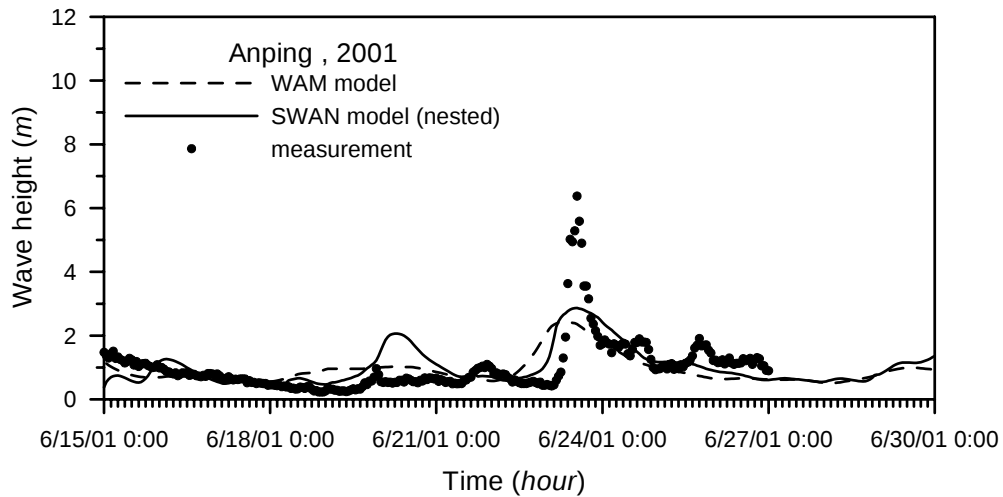


圖3.64 奇比颱風於安平海域之示性波高變化時序列圖

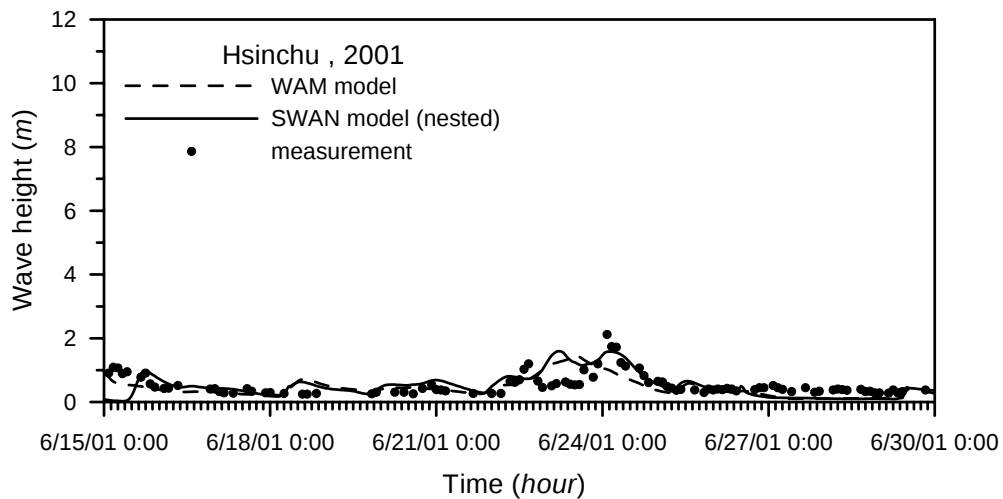


圖3.65 奇比颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖

6. 第八類路徑之 2001 年西馬隆 (Cimaron) 颱風

2001 年之西馬隆颱風最大強度為輕度颱風，近中心最大風速為 23 公尺/秒，屬於中央氣象局第八類路徑，在呂宋島西方海面生成後緩慢北上，移動至呂宋島東北方近海時，中心呈現滯留打轉的現象，再以緩慢北上至巴士海峽後，轉向東北加速通過台灣東南部海面，朝琉球方向移動，颱風路徑圖如圖 3.66 所示。

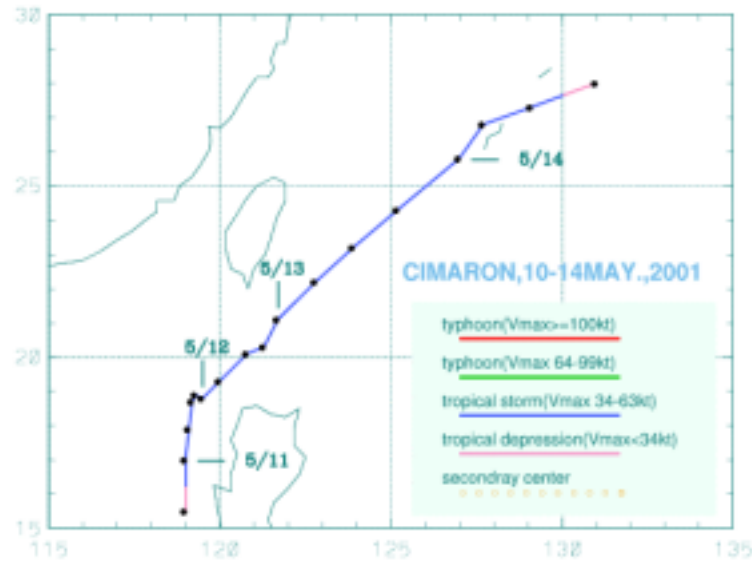


圖3.66 西馬隆颱風路徑圖

關於西馬隆颱風計算方案，輸入風場為大氣壓所轉換之海面風速，圖 3.67 至圖 3.69 分別為龍洞、花蓮與新竹海域之示性波高時序列比較圖。由圖中比較可知，SWAN 模式與 WAM 模式之結合具有快速推算且合理模擬風浪之能力。相較於瑞伯颱風推算案例，兩者颱風路徑相似，但西馬隆颱風推算結果略佳於瑞伯颱風方案。比較兩者差異，除颱風強度瑞伯颱風大於西馬龍颱風之外，瑞伯颱風中心路徑亦較靠近台灣，且風場產生來源的不同亦可左右推算結果，故應以更多範例來歸納出本計畫使用之模式推算風浪的缺點與優點。

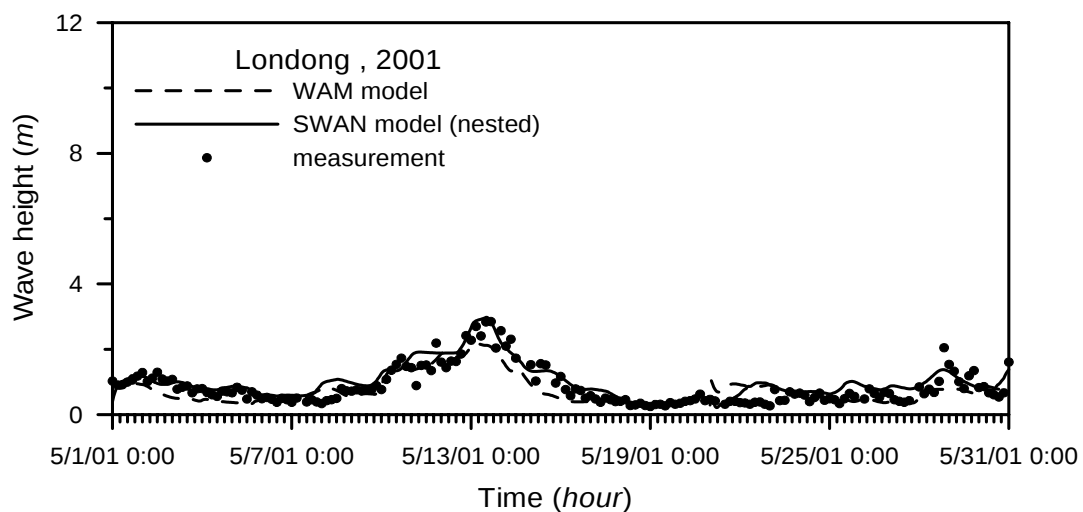


圖3.67 西馬隆颱風於龍洞海域之示性波高變化時序列圖

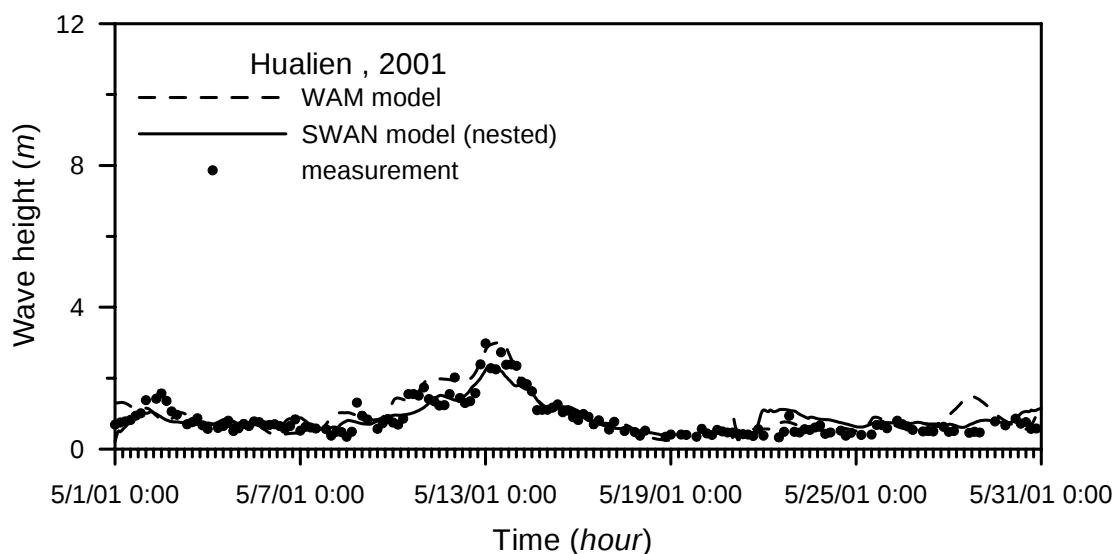


圖3.68 西馬隆颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

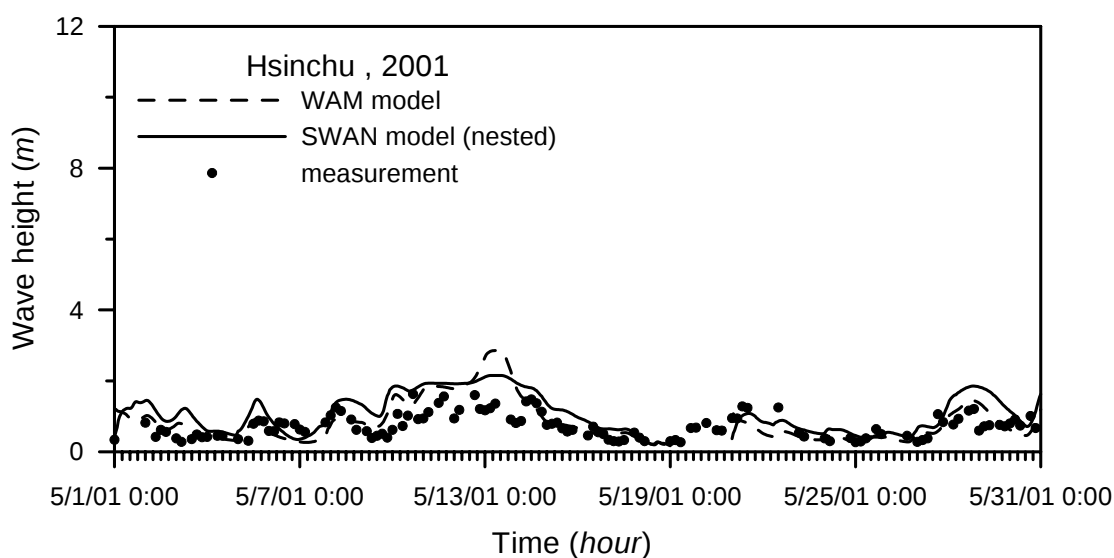


圖3.69 西馬隆颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖

7. 第五類路徑之 2003 年杜鵑 (Dujuan) 颱風

2003 年之杜鵑颱風最大強度為中度颱風，近中心最大風速為 43 公尺/秒，屬於中央氣象局第五類路徑，在菲律賓東方海面形成後，朝西北方向移動，其強度快速增強，且朝台灣南方海面移動，颱風路徑圖如圖 3.70 所示。

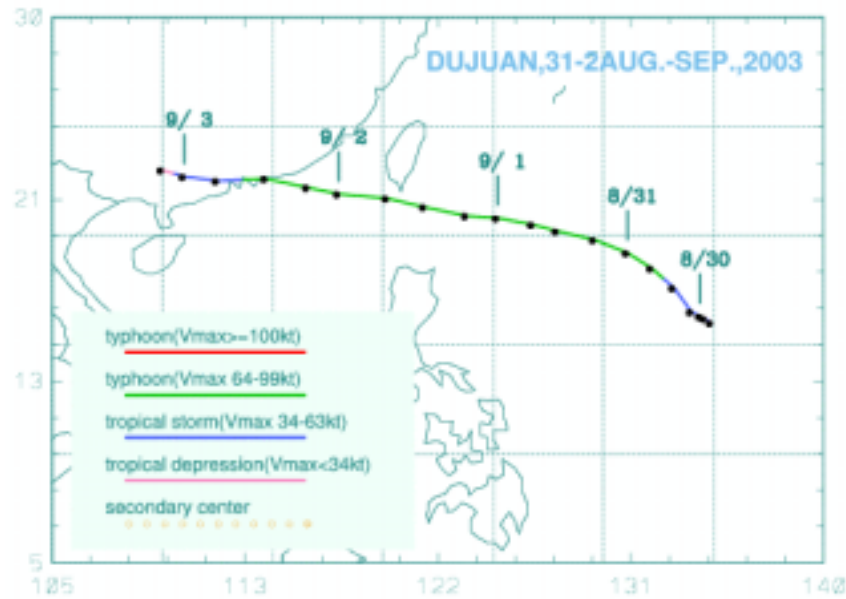


圖3.70 杜鵑颱風路徑圖

由於 2003 年之波浪實測資料尚未蒐集完整，故利用大氣壓轉換海面風速作為輸入風場，以 SWAN 模式與 WAM 模式模擬杜鵑颱風侵台之過程。圖 3.71 至圖 3.73 分別為杜鵑颱風於新竹、花蓮及龍洞海域之示性波高圖。從圖中之比較中可看出，在東部海域，SWAN 與 WAM 模式計算最大波高值之預測較具一致性。在新竹海域，利用 WAM 模式計算的結果無法得知最大波高發生的時間；而在東部海域，杜鵑颱風從台灣南方海面襲過，進入大陸後減弱為熱帶性低氣壓，此時受到颱風外圍環流的影響，故東部海域之最大波高發生時間均在颱風遠離台灣後發生。

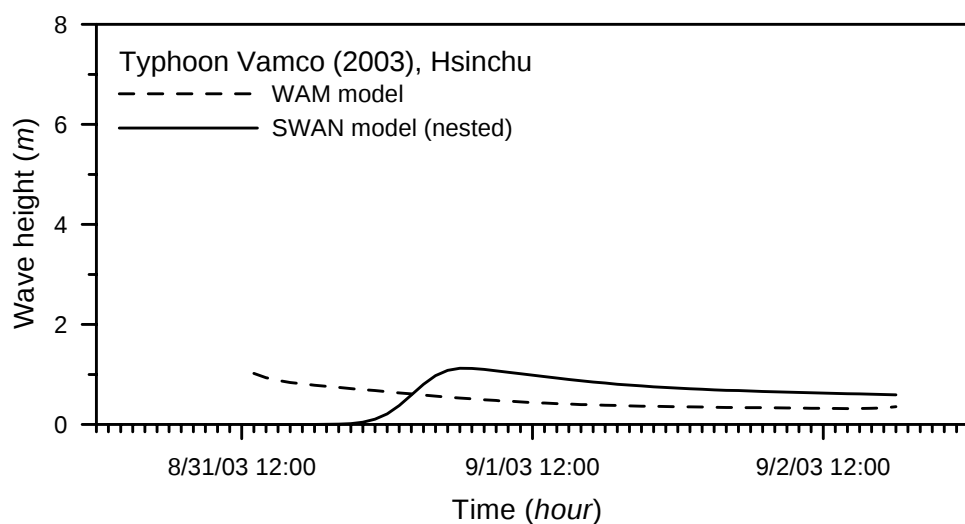


圖3.71 杜鵑颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖

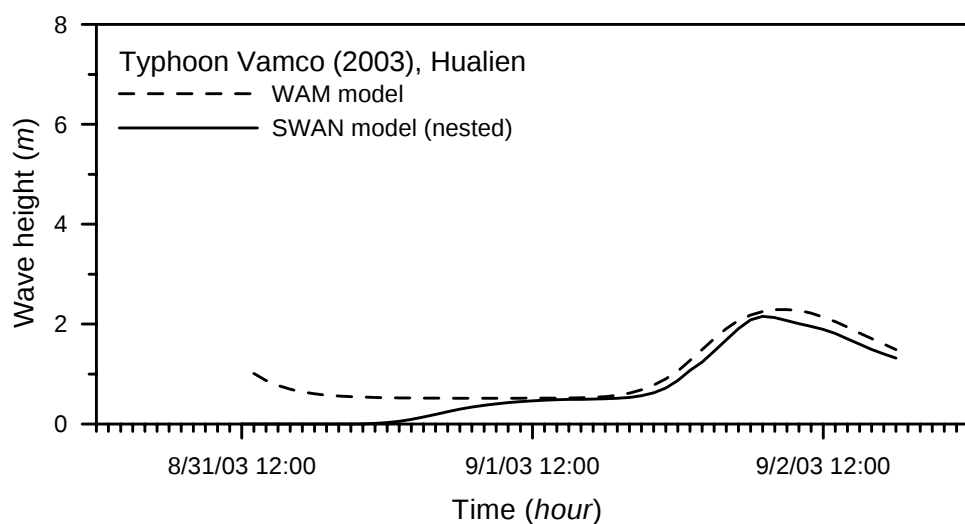


圖3.72 杜鵑颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

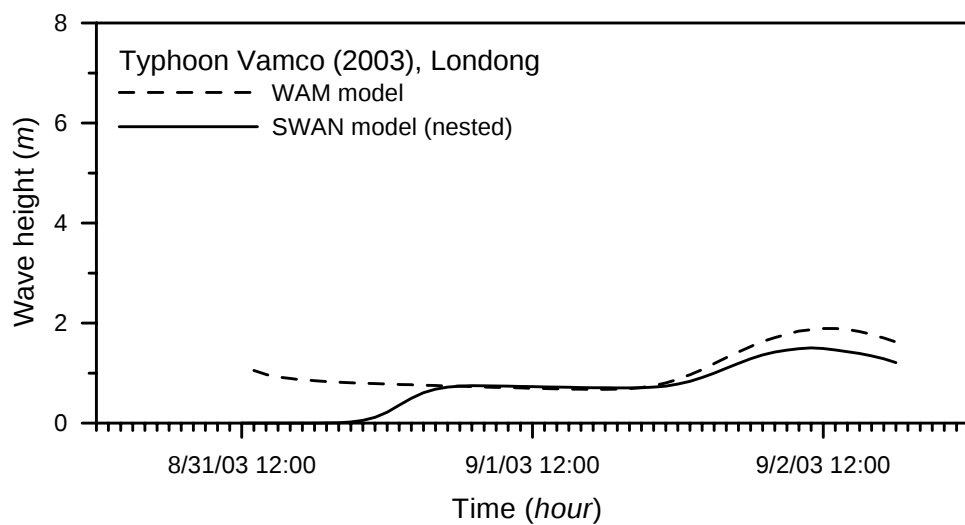


圖3.73 杜鵑颱風於龍洞海域之示性波高變化時序列圖

8. 第一類路徑之 2003 年梵高 (Vamco) 颱風

2003 年之梵高颱風最大強度為輕度颱風，近中心最大風速為 18 公尺/秒，屬於中央氣象局第一類路徑，在台灣東南方海面形成後，朝西北方移動，通過台灣東北海面及台灣北部海面，最後於馬祖北方進入大陸，並快速減弱為熱帶性低氣壓，颱風路徑圖如圖 3.74 所示。



圖3.74 梵高颱風路徑圖

同樣利用大氣壓轉換海面風速作為輸入風場，並以 SWAN 模式與 WAM 模式模擬梵高颱風侵台之過程。圖 3.75 至圖 3.77 分別為梵高颱風於新竹、花蓮及龍洞海域之示性波高圖。從圖中之比較中可看出，在新竹海域，SWAN 與 WAM 模式計算最大波高值之預測較具一致性，而在東部海域，利用 SWAN 模式計算的結果均略低於 WAM 模式之計算結果，且均在颱風遠離台灣後發生最大波高，此與杜鵑颱風有相同的模擬趨勢。

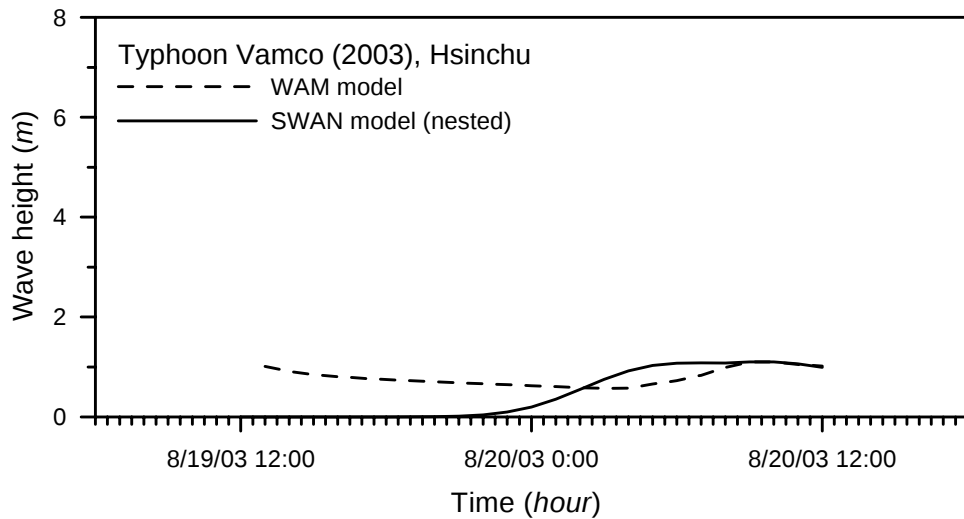


圖3.75 梵高颱風於新竹海域之示性波高變化時序列圖

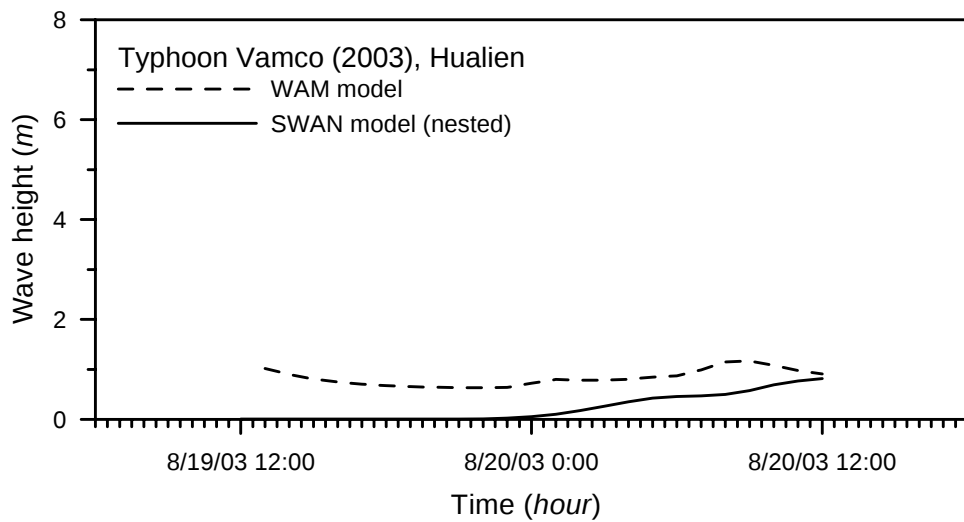


圖3.76 梵高颱風於花蓮海域之示性波高變化時序列圖

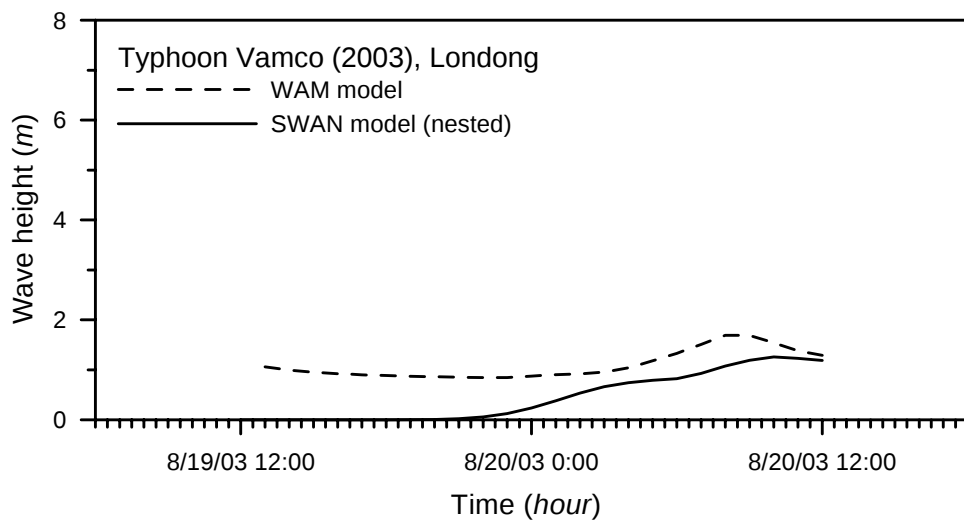


圖3.77 梵高颱風於龍洞海域之示性波高變化時序列圖

第四章 類神經網路颱風波浪模式

4.1 類神經網路預報模式系統

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

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

類神經網路預報模式系統以目前較常使用的波浪預報模式包括數值模式及參數模式作為建構的基礎，參考的預報模式整理如下：

1. WAN、WW3 能量守恆二維條件下波譜 $N(t, \phi, \theta, \lambda)$ 其關係式為：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{1}{\cos \phi} \frac{\partial}{\partial \phi} (\dot{\phi} N \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\dot{\lambda} N) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta} N) = \frac{S}{\sigma} \quad (4.1)$$

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

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} \quad (4.2)$$

S_{in} 為風波作用項， S_{nl} 為波波間非線性交互作用項， S_{ds} 為波浪能量散

逸，包括白沫現象或是碎波， s_{bot} 來自底床摩擦的能量消耗。

2. Bretshneider(1976)提出推算滯留颱風波浪之方法為

$$H_s = K' \sqrt{R\Delta P} \quad (4.3)$$

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

$$K' = 0.3335 - 0.4493(X) + 0.4346(X)^2 - 0.153(X)^3 \quad (4.4)$$

$$X = \frac{2\Omega R \sin \phi}{V_{max}} \quad (4.5)$$

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

$$H_s' = H_s \left(1 + \frac{V_f \cos(\theta + \beta)}{2V_{max}} \right) \quad (4.6)$$

θ 為等壓切線與颱風移動方向之夾角， β 為傾斜風向中心之夾角。

至於颱風內之波高，則由颱風內示性波高等值分佈圖之相對位置查比值即得該區域波高。波浪週期 T_s 與 H_s 及風速關係如下

$$T_s = 0.734V_{max} \tanh \left[1.07 \tanh^{-1} \left(\frac{34.81H_s}{V_{max}^2} \right)^{0.6} \right] \quad (4.7)$$

3. 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

$$H_{1/3} = 5.03e^{\frac{R\Delta p}{4700}} \left[1 + \frac{0.29V_f}{\sqrt{V_{max}}} \right] \quad (4.8)$$

$$T_{1/3} = 8.60e^{\frac{R\Delta p}{9400}} \left[1 + \frac{0.145V_f}{\sqrt{V_{max}}} \right] \quad (4.9)$$

式(4.8)及式(4.9)中， $H_{1/3}$ 單位為 m ， V_{max} 為海面上10公尺處之最大風速，其單位為 m/s 。 V_{max} 可由下式求得

$$V_{\max} = 0.387(14.5\Delta p^{1/2} - 0.62R\Omega \sin \phi) + 0.5V_f \quad (4.10)$$

至於颱風圈內其他各處之示性波高分佈，可由緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖(Shore Protection Manual, 2002)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(4.11)表示

$$T_{1/3} = 3.83 \sqrt{H_{1/3}} \quad (4.11)$$

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

$$\frac{F}{R'} = aV_{\max}^2 + bV_{\max} + cV_f^2 + dV_{\max} + eV_f + f \quad (4.12)$$

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

$$R' = 22.5 \times 10^3 \log R - 70.8 \times 10^3 \quad (4.13)$$

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

$$\frac{gH_s}{V_{\max}^2} = 0.0016 \left(\frac{gF}{V_{\max}^2} \right)^{0.5} \quad (4.14)$$

5. 美國海岸保護手冊(2002) (Shore Protection Manual, 2002)除了配合利用Young(1988)的半經驗公式外，配合模擬緩慢移動風場的波浪分佈圖表如圖 (4.1)，即可獲得風域內波浪分佈。

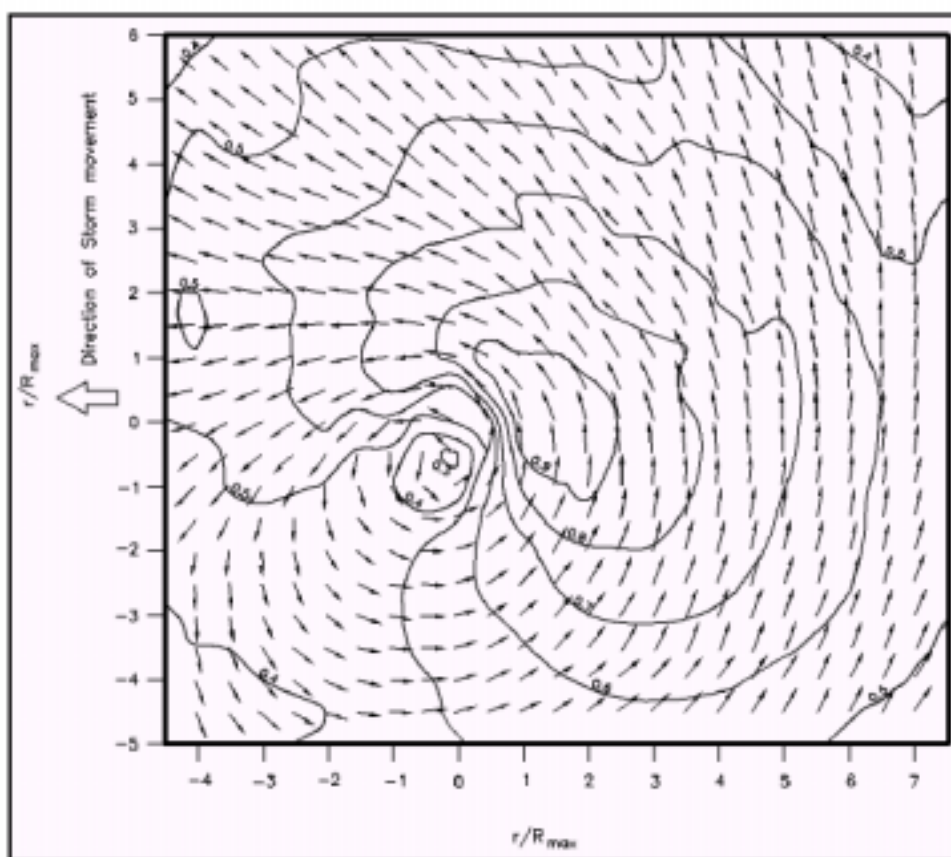


圖4.1 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈圖

(Shore Protection Manual, 2002)

6. Global Guide to Tropical Cyclone Forecasting(Bureau of Meteorology Research Centre) 估算颱風近中心最大風速的最大示性波高為：

$$H_s = 0.20(p_n - p_c) \quad (4.15)$$

p_n 為颱風外環境大氣壓， p_c 為颱風中心氣壓 (hPa)

觀察公式 (4.1) 至 (4.15) 可以發現，推算過程中輸入資料的正確性以及完整性相當重要，如海底地形資料、颱風規模及風場變化、波浪的交互作用及能量的消散等，若將各個公式影響颱風波浪的因素整合，並考慮波浪推算位置海面10公尺高的風速 V_{10} ，颱風波浪示性波高的變化可以表示為：

$$H_s(t) = f_h(\Delta p, V_{\max}, V_f, V_{10}, R, \phi, \lambda, S_{in}, S_{nl}, S_{ds}, S_{bot}, t) \quad (4.16)$$

式 (4.16) 中， Δp 、 $V_{\max}$ 、 V_f 、 V_{10} 、 R 、 S_{in} 主要是描述颱風風場與波

浪推算位置關係的參數，如果利用參數式颱風模型則可將這6個參數整合於颱風模型中，而颱風模型計算颱風風場所需的主要參數為 V_f 、 Δp 或 $V_{\max}$ ，而 R 、 V_{10} 或 S_{in} 就可以被計算出來。若將計算範圍、條件限制於固定區域內，地形及地理位置對颱風波浪的影響就可以假設為固定值，因此（4.16）式中 S_{bot} 的特性就可以直接反應在波浪行為。為描述颱風位置並因應颱風風場的特性，將 ϕ 、 λ 改以颱風眼為中心的極座標， r 、 θ 代表從颱風眼到波浪推算位置的距離及方位角，另外，假設相同或相似的颱風規模以及颱風路徑和行為，對於相同的地形、環境等具有相似的波浪特性及行為，所以波浪間的交互作用與能量散逸與颱風規模與行為有關，因此可以假設 S_{nl} 、 S_{ds} 的影響包括在計算颱風風場及颱風位置的關係中，且假設颱風波浪不具有記憶效應，也就是不考慮延時的影響。另外考慮颱風移動速度 V_f 、颱風最大風速 $V_{\max}$ 與颱風波浪傳遞行為有關，所以（4.16）式可以簡化為：

$$H_s = f_h(V_{\max}, V_f, V_{10}, r, \theta) \quad (4.17)$$

若考慮颱風路徑及颱風停滯、加速、轉向等行為時，就必須考慮颱風過去時刻的行為，若考慮延時的效應則式（4.17）可以成寫：

$$H_{s1}(t) = F_h[f_h(V_{10}, r, \theta, t), f_h(V_{10}, r, \theta, t-1), \dots, f_h(V_{10}, r, \theta, t-n)] \quad (4.18)$$

假設颱風風場內風浪行為會因為颱風行進方向改變，進而影響風場內發展中的風浪時，就必須考慮颱風風場角度的變動，若颱風角度的變動量為 θ_1 則式（4.18）可以進一步描述為：

$$H_{s2}(t) = F_h[f_h(H_{s1}, r, \theta, \theta_1, t), f_h(H_{s1}, r, \theta, \theta_1, t-1), \dots, f_h(H_{s1}, r, \theta, \theta_1, t-n)] \quad (4.19)$$

為了要分離陸地對颱風風場的影響，將對颱風中心與陸地位置對波浪

推算位置與台灣的相對位置進行分類及限制，區分的方式以花蓮港為例如圖（4.2）所示，當颱風中心落在第一區時顯示颱風被陸地遮蔽，對花蓮測站的影響相對較小，當颱風位於第二區時則表示颱風可以直接影響花蓮測站，而對於第一區與第二區的交界位置可以利用位置的時間序列變動描述颱風波浪的特性。所以可以將（4.19）式修正為：

$$H_s(t) = F_h[f_h(H_{s2}, f(r, \theta), t), f_h(H_{s2}, f(r, \theta), t-1), \dots, f_h(H_{s2}, f(r, \theta), t-n)] \quad (4.20)$$

本文將針對式（4.20）的架構建立類神經網路模式，並利用收集的颱風氣象與波浪資料進行類神經網路模式的測試與驗證。

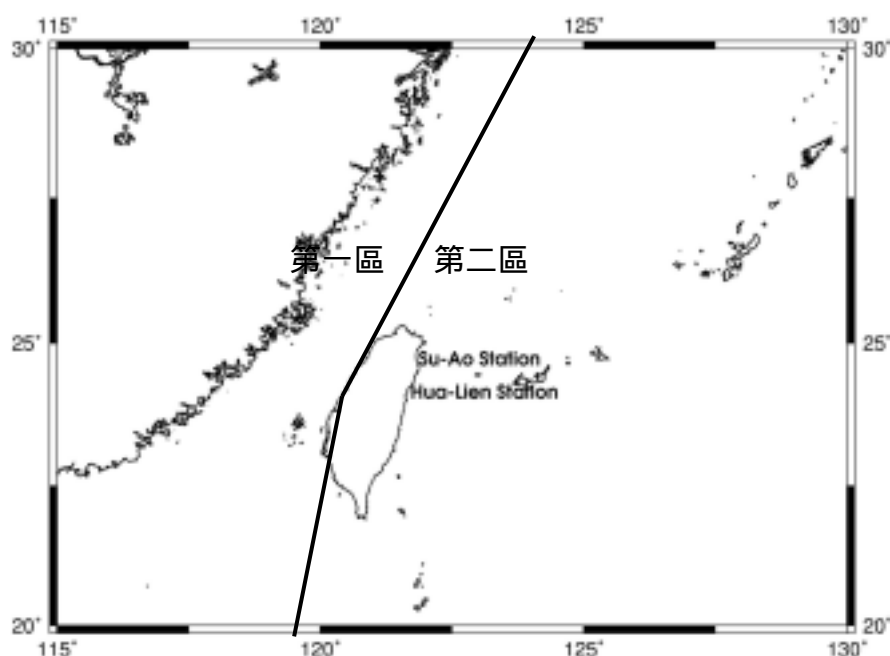


圖4.2 花蓮觀測站之颱風中心位置區分圖

4.2 類神經網路

推算模式主要核心採用類神經網路理論及模糊理論二者合併。類神經網路具備著一些優良的特性其中包括（1）高速的計算能力（2）自我學習能力（3）高容量的記憶力（4）容錯的能力。

人工神經元輸出值與輸入值的關係式，可以表示如下：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (4.21)$$

Y_i ：人工神經元模型的輸出訊號。

f ：人工神經元模型的轉換函數（transfer function），將人工神

經元的輸出，經由轉換函數處理後，得到輸出訊號。

W_{ij} ：人工神經元模型連結加權值。

X_j ：人工神經元模型的輸入訊號。

θ_i ：人工神經元模型的閾值。

本研究使用MATLAB類神經網路軟體，選擇其中的工具程式庫之倒傳遞網路作為颱風推算的工具。倒傳遞類神經網路（back-propagation neural network, BPN），屬於前向監督式學習網路，其基本原理是利用最陡坡降法（gradient steepest descent method），疊代修正誤差函數而使誤差函數達到最小。倒傳遞類神經網路的總體運作學習方式有兩種，一為學習過程，就是網路依既定的學習演算法，從使用的輸入資料中學習，並藉以調整網路連結的加權值；使得網路演算結果與目標輸出值相同；另一種為回想過程，網路依照設定的回想法則，以輸入資料來決定網路的輸出值。

倒傳遞類神經網路學習演算法中，加權值矩陣為 w_1 及 w_2 ，偏權值量為 θ_1 及 θ_2 ，輸入量為 X ，目標輸出量為 T ，轉換函數則採用雙曲函數（hyperbolic tangent function），而網路輸出量為 Y ，網路的學習過程大致可分為下列幾個單元：

（1）計算隱藏層輸出量 z 與網路輸出量 Y

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (4.22)$$

$$Z = f(net_1) = \frac{e^{net_1} - e^{-net_1}}{e^{net_1} + e^{-net_1}} \quad (4.23)$$

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (4.24)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (4.25)$$

(2) 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

$$\delta_1 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \delta_j) \quad (4.26)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (4.27)$$

(3) 計算加權值矩陣的修正量 ΔW

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

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (4.28)$$

此時加權值的修正量可表示為：

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (4.29)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (4.30)$$

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

(4) 隱藏層與輸出層加權值矩陣 W_1 、 W_2 及偏權值向量 θ_1 、 θ_2 的更新：

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (4.31)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (4.32)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (4.33)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (4.34)$$

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

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (T_i - Y_i)^2} \quad (4.35)$$

其中 n 為學習資料的筆數

4.3 類神經網路預報模式架構

具有一個隱藏層的倒傳遞類神經網路通常表示為：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (4.36)$$

其中 $O_{P \times 1}$ 為神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣， f 為轉移函數， $I_{R \times 1}$ 為具有 R 個向量的輸入矩陣， $W_{S \times R}$ 為具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣， $b_{S \times 1}$ 為網路偏權值矩陣，而 (4.36) 式簡單的表示方法為 ”S-P”，所以一個具有 2 個隱藏層神經元的個數為 10、20，一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

(4.17)、(4.18) 式中的 $V_{\max}$ 、 V_f 、 V_{10} 、 r 具有連續的特性， θ 為颱風中心與波浪推算位置的方位角，在颱風行進的路徑可能發生角度不連續的現象，因此類神經網路採用兩個隱藏層的架構解決不連續的

問題，若將颱風示性波浪與週期合併考量於推算模式時，因此(4.18)至(4.20)的類神經網路模式可以表示為三個計算階段：

$$O_1 = f_1(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{1R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (4.37)$$

$$O_2 = f_2(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{2R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (4.38)$$

$$O = f_3(W_{S2 \times S1} \cdot f_1(W_{S1 \times (R \cdot n)} [I_{3R \times 1}]_{n \times 1} + b_{S1 \times 1}) + b_{S2 \times 1}) \quad (4.39)$$

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

以式(4.18)至(4.20)為基礎的模式，假設風場作用測站在相同風速及相同颱風運動軌跡條件下，波浪分佈會有相同的變化，所以模式利用測站的風速 V_{10} 、颱風位置 r 、 θ 、颱風行進方向變動 θ_1 及地形修正函數 $f(\theta, r)$ 作為輸入參數，以颱風24個小時內移動的位置作為颱風位置及軌跡的特性，建立颱風軌跡、風速與示性波高及週期間的關係。第一階段模式的輸入為24個小時內的 V_{10} 、 r 及 θ 的資料，為降低類神經網路結構的複雜性，將以每2小時的 V_{10} 、 r 及 θ 的資料值為輸入資料，即 t 、 $t-2$ 、 $t-4$ $t-24$ 時刻的 V_{10} 、 r 及 θ 共39個。在類神經組織結構第一個隱藏層使用80個神經元，第二個隱藏層採用40個神經元，輸出為 O_1 ，網路結構可表示為(39-80-40-2)。

第二階段為每2小時的 O_1 、 r 、 θ 及 θ_1 的資料值為輸入資料，即 t 、 $t-2$ 、 $t-4$ $t-12$ 時刻的資料共28個，輸出為 O_2 ，網路結構可表示為(28-80-40-2)。第三階段為每2小時的 O_2 及 $f(\theta, r)$ 的資料值為輸入資料，即 t 、 $t-2$ 、 $t-4$ $t-12$ 時刻的資料共28個，輸出為颱風波浪之示性波高與週期 O ，網路結構可表示為(28-80-40-2)。

4.4 類神經網路預報模式計算

類神經網路預報模式學習過程中以花蓮港為例，學習的颱風場次共有9場颱風波浪資料，如表4.1所示。

對花蓮觀測站進行颱風波浪檢驗的颱風場次共有8場颱風，如表4.2所示，含2003年颱風波浪測試共8場，颱風波浪的示性波高歷線圖分別為圖（4.3）-（4.10）。

表4.1 波浪預報模式--花蓮測站颱風與波浪學習資料

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

表4.2波浪預報模式--花蓮測站颱風與波浪檢測資料

花蓮港測站			
年代	颱風名稱	颱風資料時段	模式計算時段
1996	Herb	07/23(0600)~08/01(1200)	07/23(0600)~08/01(1200)
1998	Zeb	10/09(1800)~10/17(1200)	10/09(1800)~10/17(1200)
2001	Cimaron	05/07(0000)~05/14(1200)	05/07(0000)~05/14(1200)
	Lekima	09/22(0000)~09/29(1800)	09/22(0000)~09/29(1800)
	Toraji	07/25(1800)~07/31(1200)	07/25(1800)~07/31(1200)
	Chebi	06/19(1800)~06/24(0000)	06/19(1800)~06/24(0000)
2003	Dujuan	08/30(0000)~09/03(0000)	08/30(0000)~09/03(0000)
	Vamco	08/19(0000)~08/20(1200)	08/19(0000)~08/20(1200)

在模式推算結果與實測的比較的颱風場次包括Herb颱風與Cimaron颱風，颱風波浪示性波高分別如圖4.3與4.5所示，Herb颱風經由台灣北部登陸而花蓮港位於颱風的左半圓範圍內，圖4.3顯示模式推算波高值較實測波高值低且波高峰值到達時間亦較實測值晚，進一步分析颱風至觀測站的距離與觀測站風速變化可以發現，模式推算在颱風最接近觀測站以及觀測站發生最大風速時發生最大波高值，因此可以推估颱風風場模式無法對於實際颱風風場分佈充分描述，特別在颱風受到陸地直接影響時，模型颱風將造成模式推算結果的誤差。

Cimaron颱風相對應的模式推算示性波高與觀測值比較如圖4.5所示，由於忽略在菲律賓陸地遮蔽對颱風風場的效應影響，因此對於颱風接近花蓮港前的波高有高估的現象，在接近及遠離花蓮港時模式推算的颱風波浪與實測波高值趨勢與大小相近。

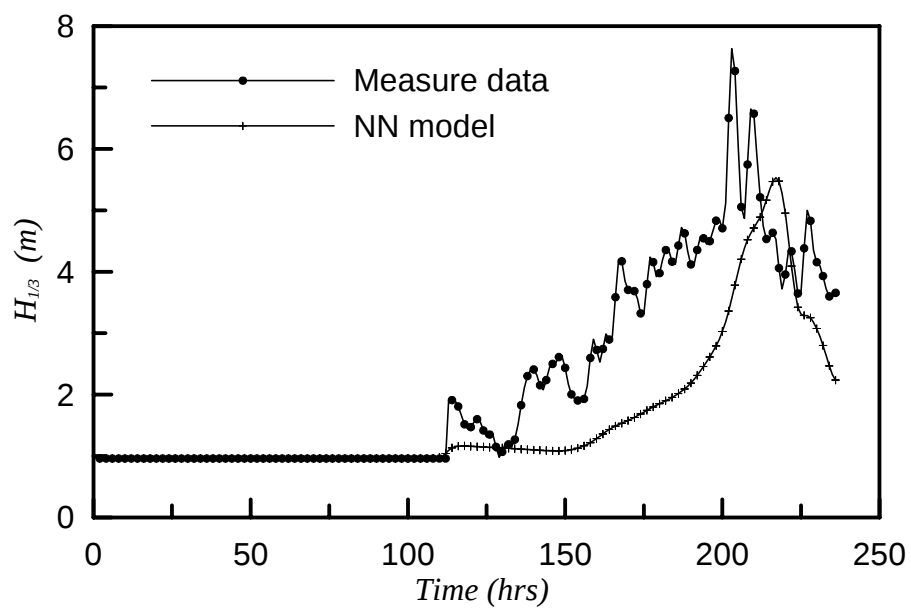


圖4.3 賀伯颱風示性波高歷線圖

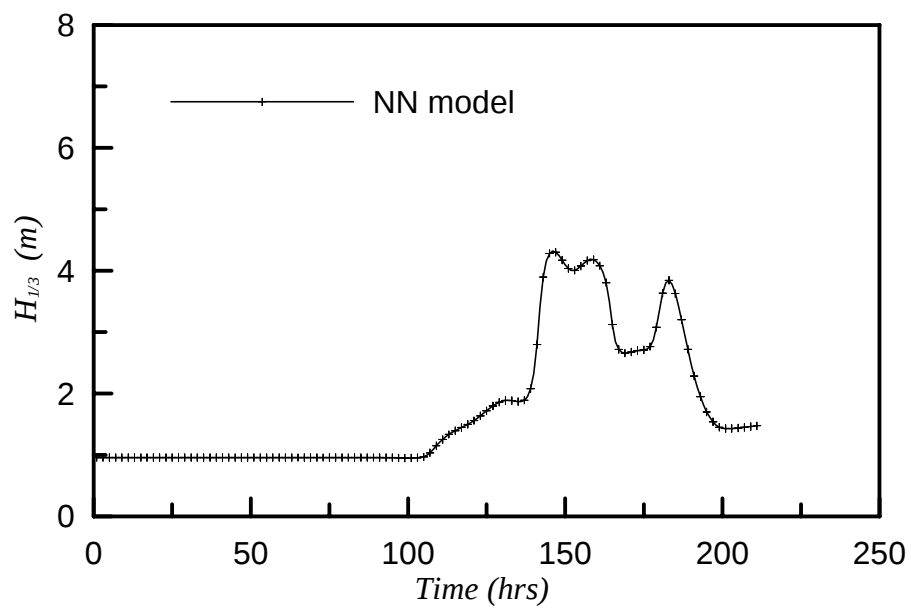


圖4.4 瑞伯颱風示性波高歷線圖

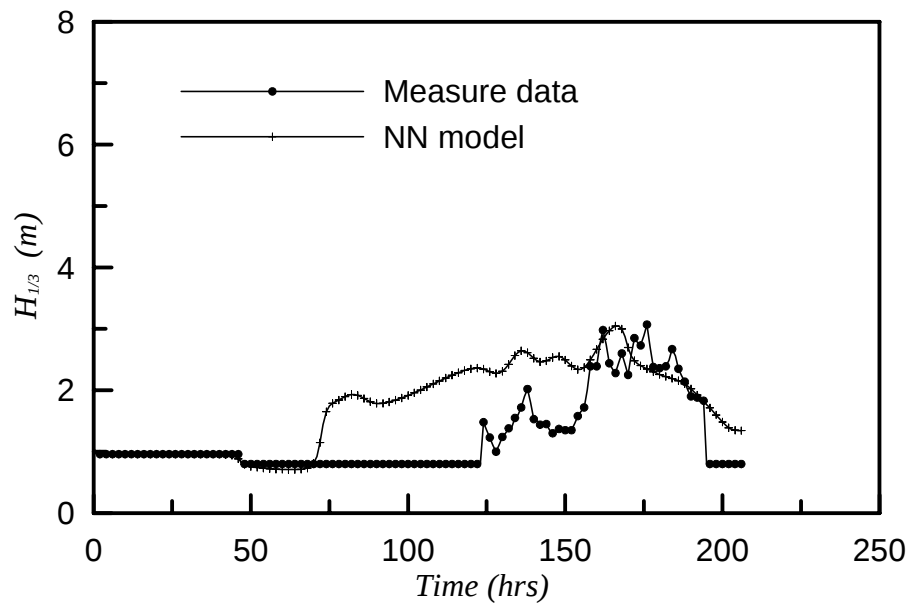


圖4.5 西馬隆颱風示性波高歷線圖

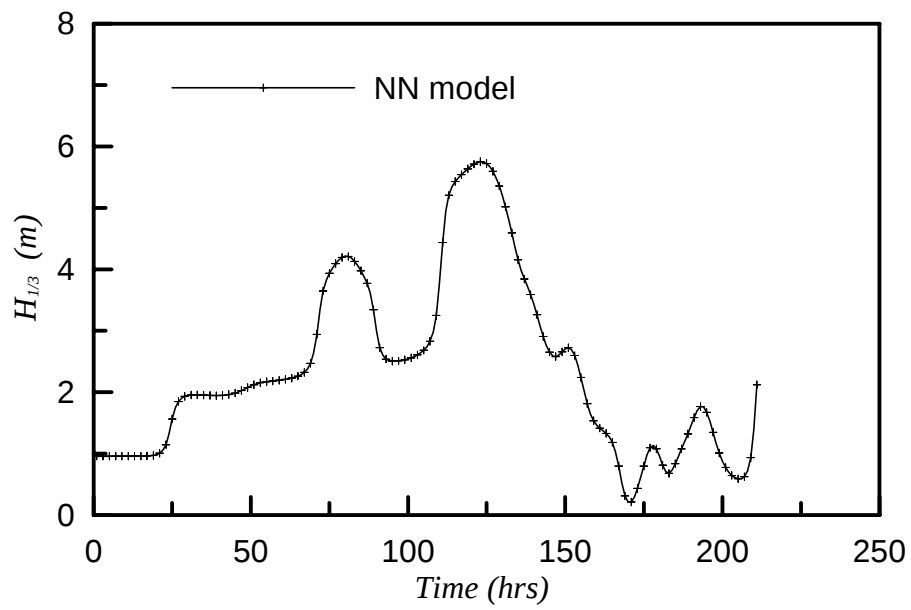


圖4.6 利奇馬颱風示性波高歷線圖

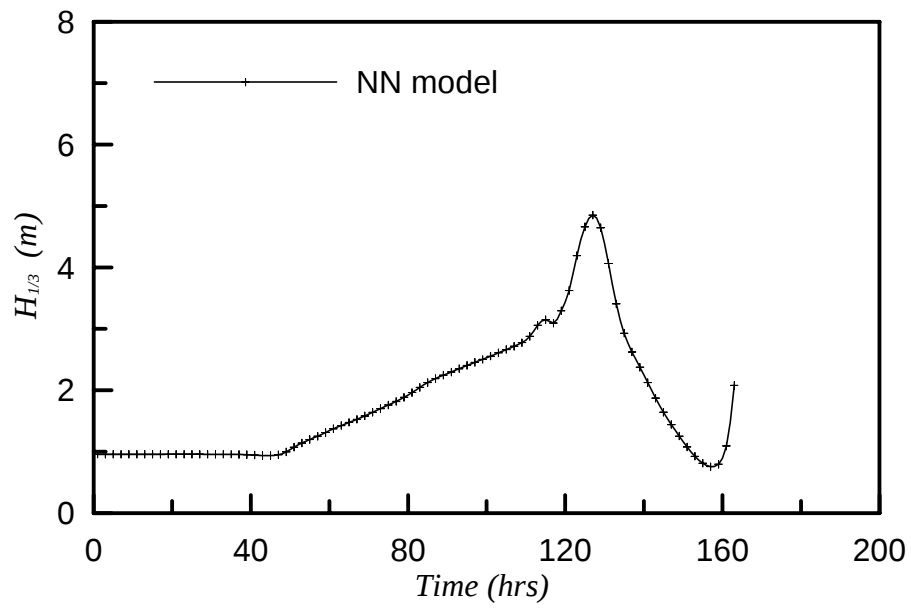


圖4.7 桃芝颱風示性波高歷線圖

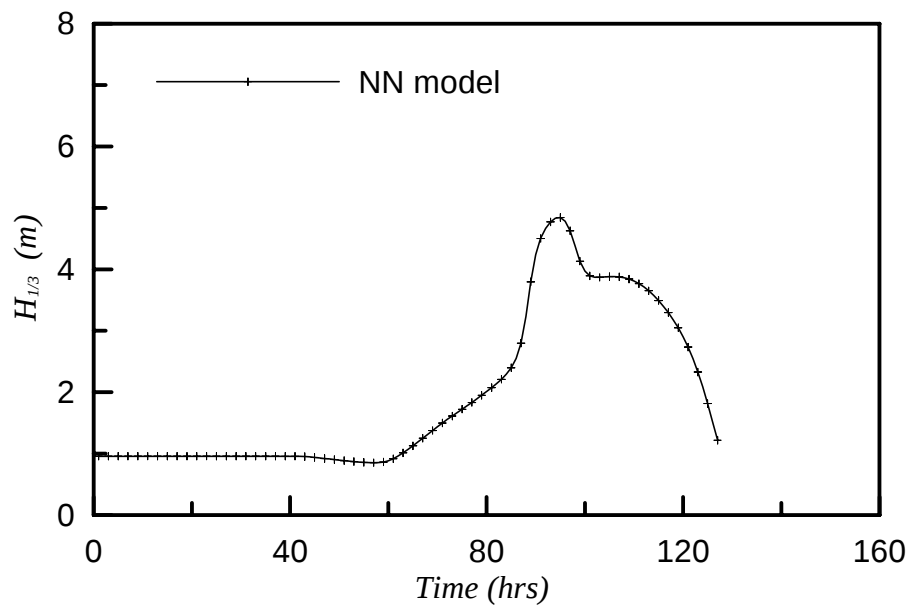


圖4.8 奇比颱風示性波高歷線圖

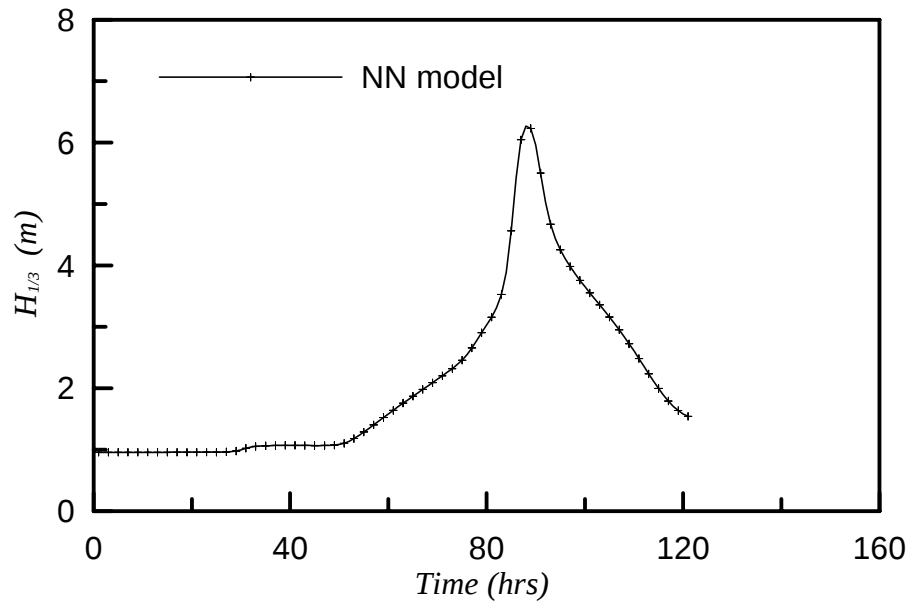


圖4.9 杜鵑颱風示性波高歷線圖

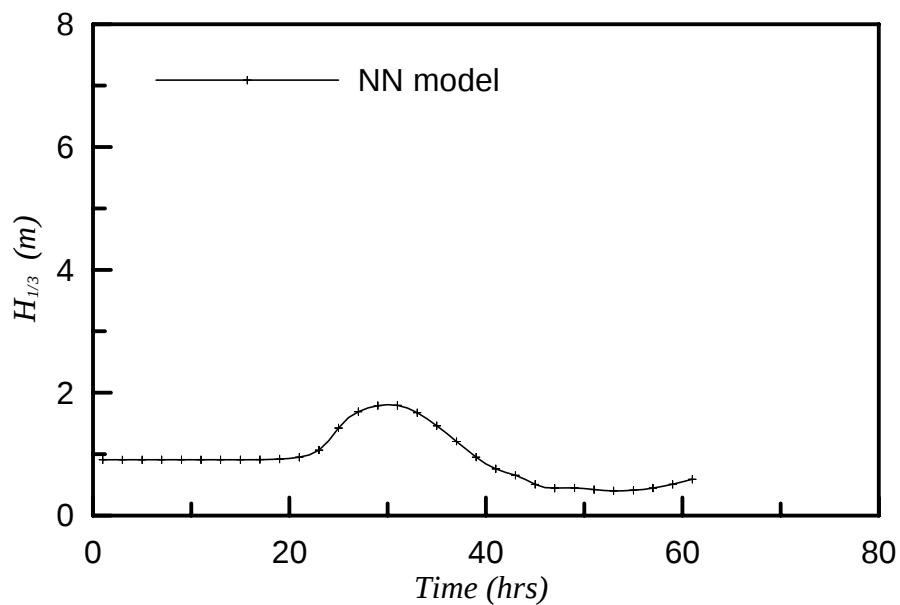


圖4.10 梵高颱風示性波高歷線圖

4.5 類神經網路預報模式的限制與發展

類神經網路預報模式的準確度依賴學習資料的完整及準確，當模式進行颱風波浪推算的建構時，因應更複雜的颱風行為就需要更充足的相關學習資料，以花蓮港觀測站為例，對於花蓮觀測站9場的颱風

波浪資料學習內容作為類神經網路架構的基礎，推算9場颱風的示性波高結果亦相當合理。

由於風場模式對實際颱風風場的描述有相當的限制，而颱風模型與實際風場的差異就成為推算誤差的來源，特別是當颱風的運動行為劇烈變化或是颱風與陸地交互作用時，更顯現出波浪實測值與模式推算結果的差異。關於颱風風場模式的挺這個部分將是下階段改進的目標。

對於波浪行為推算結果的誤差，可將該場颱風波浪資料加入學習資料中，藉由模式的再學習過程提高對類似行為的颱風波浪推算結果。面對颱風資料及波浪資料收集技術及內容逐漸完備，促使利用類神經網路建構的波浪推算模式擁有更準確、快速的推算過程及結果。目前類神經網路波浪預報模式受限於波浪資料的數量及內容，僅能滿足小區域的波浪推算及預報，對於大區域的波浪預報將藉由改善模式架構，結合其他數學及計算技術，如模糊理論、遺傳演算法等，配合氣象及波浪資料的收集，將可以達到預報較大區域的波浪行為。

第五章 風域推算半經驗颱風波浪模式

5.1 風域推算半經驗模式系統

常見之半經驗颱風波浪推算模式有Bretschneider參數法(1958)、井島武士之追蹤法(1961)、湯麟武(1970)之移動風域數值推算法及梁乃匡(1993)之颱風湧浪預報法等。其中湯麟武(1970)鑑於Wilson之方法只能推算深海風浪，不能直接推算海岸前之波浪狀況，故綜合Wilson及Bretschneider等經驗公式，配合淺海中之風浪關係、海底摩擦之影響、湧浪之推算方式及碎波後波浪之計算法，直接由氣象資料推算在移動風域中海岸前任何水深地點之波浪狀況。因此本計畫採用湯麟武(1970)之移動風域數值推算法為本計畫之風域推算半經驗模式系統。有關移動風域數值推算法之基本原理簡述如下：

一、深海波浪

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

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2} \right] \quad (5.1)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3} \right] \quad (5.2)$$

式中 H 為示性波高 $H_{1/3}$ ， T 為示性波週期 $T_{(H_{1/3})}$ ， F 為吹風距離； U 為風速， g 為重力加速度； α, β, k_1 及 k_2 為常數值，分別等於0.26、1.40、0.01及0.578。

二、淺海波浪

當波浪進入淺水區後，依風、浪、水深間之關係為(湯麟武,1968)

$$\frac{gH}{U^2} = \alpha \tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right] \tanh \left\{ \frac{k_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/2}}{\tanh \left[k_3 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/4} \right]} \right\} \quad (5.3)$$

$$\frac{gT}{2\pi U} = \beta \tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right] \tanh \left\{ \frac{k_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{1/3}}{\tanh \left[k_4 \left(\frac{gD}{U^2} \right)^{3/8} \right]} \right\} \quad (5.4)$$

式中 D 表示水深，常數 $k_3 = 0.578$ ， $k_4 = 0.52$ 。當 $D \rightarrow \infty$ 時此二式可簡化為(5.1)及(5.2)式。

三、數值計算法

在深海中若已知某一時間在海面第 n 點 ($x = x_n$ ， $t = t_n$) 之波高 H_n 、週期 T_n 、群速度 G_n 及風速 U_n ，則順風方向 Δx 距離處 (即 $x_{n+1} = x_n + \Delta x$ ，如 Δx 甚小時風速及水深可視為常數) 之波高 H_{n+1} 及群速度 G_{n+1} 分別為

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{dH}{dx} \right)_n \Delta x \quad (5.5)$$

$$G_{n+1} = G_n + \left(\frac{dG}{dx} \right)_n \Delta x \quad (5.6)$$

式中 $(dH/dx)_n$ 及 $(dG/dx)_n$ 可由(3-1)及(3-2)式得到，即

$$\left(\frac{dH}{dx} \right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha} \frac{(\alpha + gH_n/U_n^2)(\alpha - gH_n/U_n^2)}{\ln(\alpha + gH_n/U_n^2) - \ln(\alpha - gH_n/U_n^2)} \quad (5.7)$$

$$\left(\frac{dG}{dx} \right)_n = \frac{8k_2^3 g}{3\beta U_n} \frac{(\beta/2 + G_n/U_n)(\beta/2 - G_n/U_n)}{[\ln(\beta/2 + G_n/U_n) - \ln(\beta/2 - G_n/U_n)]} \quad (5.8)$$

當風浪進入淺海區後，波高仍可依(5.5)式計算之，其中 $(dH/dx)_n$

可由(5.3)式求得如下：

$$\left(\frac{dH}{dx}\right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha} \frac{(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2)(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2)}{(\alpha\mu_n)^3 [\ln(\alpha\mu_n + gH_n/U_n^2) - \ln(\alpha\mu_n - gH_n/U_n^2)]} \quad (5.9)$$

式中 $\mu_n = \tanh\left[k_3(gD_n/U_n^2)^{3/4}\right]$ 。

唯在淺海中之群速度與在深海中不同，無法直接計算 G 或 T ，故需藉由下列關係式求得。

$$\frac{G}{U} = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{2kD}{\sinh(2kD)} \right] \frac{gT}{2\pi U} \tanh(kD) \quad (5.10)$$

式中 k 為週波數 ($k = 2\pi/L$ ， L 為水深 D 處之波長)。由於(5.10)式為非線性方程式，無法直接求得 G 值，必須將 G 改為 $f(x, U, d)$ 之形式，始可進行計算。令

$$S = \frac{2\pi D}{L_0} \quad ; \quad y = \frac{2\pi D}{L}$$

其中 L_0 為深海處之波長 ($= gT^2/2\pi$)，則 S 可改寫

$$S = \frac{4\pi^2 D}{gT^2} = \frac{gD/U^2}{(gT/2\pi U)^2} \quad (5.11)$$

由(5.11)式可得到下列關係式

$$\frac{gT}{2\pi U} = \left(\frac{gD/U^2}{S} \right)^{1/2} \quad (5.12)$$

同樣地由波浪之延散關係式知

$$S = \frac{2\pi D}{L} \tanh\left(\frac{2\pi D}{L}\right) = y \tanh(y) \quad (5.13)$$

將(5.12)及(5.13)式代入(5.10)式得到

$$\frac{G}{U} \frac{1}{(gD/U^2)^{1/2}} = \frac{1}{2yS^{1/2}} (S - S^2 + y^2) \quad (5.14)$$

上式等號右手邊可以表示為 S 之函數，等號左手邊可改寫為

$$Z = \frac{G/U}{(gD/U^2)^{1/2}} = \frac{G}{\sqrt{gD}} = f(S) \quad (5.15)$$

其中 $G/\sqrt{gD}$ 為群速度與長波波速之比，因此 Z 又稱為無因次群速度。當波浪為深水波時， $S \geq \pi$ ， $S = y$ ，則 $Z = \sqrt{S}/2$ ；水深甚淺時， $\tanh(y) \approx y$ ， $S = y^2$ ，則 $Z = 1 - S/2 \approx 1$ 。當波浪為長波時 $G = \sqrt{gD}$ ， $Z = 1$ ，故 Z 可用於表示波浪特性。當水深 $D = L_0/2$ 時，則 $S = \pi$ 為深水波與淺水波之限界，此時 $Z = 1/(2\sqrt{\pi}) = 0.2821$ 。即

$Z < 0.2821$ 波浪為深水波

$0.2821 \leq Z < 1$ 波浪為淺水波

$Z = 1$ 波浪為淺灘波

在 $0 < S < \pi$ 之區間內(即淺海波浪狀況下)，由於(5.15)式無法用理論求解，因此 Z 與 S 間之關係可以多項式型式表示其近似式為：

$$Z = 1 - a_1 S - a_2 S^2 - \dots - a_6 S^6 \quad (5.16)$$

式中常數 $a_1 = 0.4536$ 、 $a_2 = 0.0931$ 、 $a_3 = -0.2745$ 、 $a_4 = 0.17033$ 、 $a_5 = -0.0476$ 及 $a_6 = 0.005067$ 。

同理， S 亦可表示為 Z 之函數，其近似式為：

$$S = b_1(1 - Z) + b_2(1 - Z)^2 + \dots + b_7(1 - Z)^7 \quad (5.17)$$

其中 $b_1 = 2.464857$ 、 $b_2 = -7.35305$ 、 $b_3 = 52.74583$ 、 $b_4 = -162.2$ 、 $b_5 = 275.83$ 、 $b_6 = -247.2$ 及 $b_7 = 101.190476$ 。

如已知 S 即可求出 Z ，則波浪之群速度 $G = Z\sqrt{gD}$ ，故欲求淺水波之

週期及群速度時須先求出 S 。因此在淺水波之計算中，已知第 n 點之波高 H_n 及群速度 G_n ，可先求出第 n 點在風域圖上之位置 x_n 、 t_n 處之風速 U_n 及水深 D_n ，再進一步計算第 $n+1$ 點之波浪特性如下：

波高之計算如前述，以(5.5)及(5.9)式計算之，即

$$H_{n+1} = H_n + \left(\frac{dH}{dx} \right)_n \Delta x$$

$$\left(\frac{dH}{dx} \right)_n = \frac{k_1^2}{\alpha (\alpha \mu_n)^3} \frac{(\alpha \mu_n + gH_n/U_n^2)(\alpha \mu_n - gH_n/U_n^2)}{[\ln(\alpha \mu_n + gH_n/U_n^2) - \ln(\alpha \mu_n - gH_n/U_n^2)]}$$

式中 $\mu_n = \tanh[k_3(gD_n/U_n^2)^{3/4}]$ 。

已知 G_n 、 D_n 可計算 $Z_n = G_n/\sqrt{gD_n}$ ，由(5.16)式計算出 S_n 後利用積分觀念求 S_{n+1} ：

$$S_{n+1} = S_n + \left(\frac{dS}{dx} \right)_n \Delta x \quad (5.18)$$

將(5.4)式代入(5.11)式得到

$$S = \left(\frac{gD}{U^2} \right) \left\{ \beta \tanh[k_4(gD/U^2)^{3/8}] \tanh \left\{ \frac{k_2(gF/U^2)^{1/3}}{\tanh[k_4(gD/U^2)^{3/8}]} \right\} \right\}^{-2} \quad (5.19)$$

則

$$\left(\frac{dS}{dx} \right)_n = -\frac{8k_2^3}{3\beta} \frac{g}{U_n^2} \frac{S_n}{(\nu_n)^4 [(1/S_n)(gD_n/U_n^2)]^{1/2}} \times \quad (5.20)$$

$$\frac{[\beta \nu_n + (1/S)^{1/2}(gD_n/U_n^2)^{1/2}][\beta \nu_n - (1/S_n)^{1/2}(gD_n/U_n^2)^{1/2}]}{\left\{ \ln[\beta \nu_n + (1/S_n)^{1/2}(gD_n/U_n^2)^{1/2}] - \ln[\beta \nu_n - (1/S_n)^{1/2}(gD_n/U_n^2)^{1/2}] \right\}^2}$$

式中 $\nu_n = \tanh[k_4(gD_n/U_n^2)^{3/8}]$ 。

當 S_{n+1} 求出後，再由(5.16)式計算 Z_{n+1} 。因在 Δx 區域內水深均假設

為 D_n ，故當波浪接近 $n+1$ 點時，波浪之群速度及週期分別為

$$G_{n+1} = Z_{n+1} \sqrt{gD_n} \quad (5.21)$$

$$T_{n+1} = 2\pi \sqrt{(D_n / gS_{n+1})} \quad (5.22)$$

於上述計算中要決定 Δx 及 Δt 之前，需先決定 Δx 及 Δt 之最大值，即在 $(\Delta x)_{\max}$ 之區間內，海面風速可作為常數，在 $(\Delta t)_{\max}$ 之時間內可視為沒有變化。如以颱風為例超過20分鐘以上風速風向必有變化，故 $(\Delta t)_{\max}$ 決不能超過20min(即1200sec)；而海面在5km之範圍內，如不考慮水深之影響，風速可視為常數，因此 $(\Delta x)_{\max}$ 應為5km以下。已知 G_n 時， Δx 及 Δt 可由以下決定：

$$G_n \geq \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{ 時, } \Delta x = (\Delta x)_{\max}, \Delta t = \frac{(\Delta x)_{\max}}{G_n} \quad (5.23a)$$

$$G_n < \frac{(\Delta x)_{\max}}{(\Delta t)_{\max}} \text{ 時, } \Delta x = G_n (\Delta t)_{\max}, \Delta t = (\Delta t)_{\max} \quad (5.23b)$$

須注意：由於 Δx 之區間內水深須視作常數而計算，故如海底比降較陡時， $(\Delta x)_{\max}$ 須甚小，例如海底比降為 $s=1/100$ 時， $(\Delta x)_{\max}$ 如定為1000m則 D_n 與 D_{n+1} 即須相差10m之多，故必要時 $(\Delta x)_{\max}$ 須小至100m左右，此時 $(\Delta t)_{\max}$ 亦應相對減少。

當 $n+1$ 點之波浪求出後，可用同樣方法求出 $n+2$ 點之波浪，因自該點起之 Δx 區間內，均以水深 D_{n+1} 計算，故之前所求之 S_{n+1} 及 Z_{n+1} 均不適用，須重新以 $G_{n+1} / \sqrt{gD_{n+1}}$ 作為 Z_{n+1} ，再計算 S_{n+1} 。

四、湧浪及風浪之發達與減衰之辨別

波浪變成湧浪狀態時之辨別條件，在深海中為

$$\alpha \leq \frac{gH_n}{U_n^2} \quad (5.24)$$

或

$$\frac{\beta}{2} \leq \frac{G_n}{U_n} \quad (5.25)$$

在淺海中

$$\alpha \tanh\left[k_3(gD_n/U_n^2)^{3/4}\right] \leq \frac{gH_n}{U_n^2} \quad (5.26)$$

或

$$\beta \tanh\left[k_4(gD_n/U_n^2)^{3/8}\right] \leq \sqrt{\frac{1}{S_n} \frac{gD_n}{U_n^2}} \quad (5.27)$$

如在計算過程中遇到上述兩種情況時(即波浪已變為湧浪)，須改由下列公式計算其波高及週期：

$$\frac{H_{n+1}}{H_F} = \cosh^{-1} \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_F} \right)^{0.05} \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3.0 \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.30} \right] \right\} \quad (5.28)$$

$$\frac{T_{n+1}}{T_F} = \cosh^{1/2} \left\{ 1.74 \left(\frac{2\pi F}{gT_F^2} \right)^{-0.05} \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.20} \tanh \left[1.02 \left(\frac{2\pi F}{gT_F^2} \right)^{-0.04} \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.32} \right] \right\} \quad (5.29)$$

式中 H_F 與 T_F 分別為甫脫出風域時之波高及週期， F 為風域長度， $A_n + \Delta x$ 表示第 $n+1$ 點在脫離風域後之距離。

如在淺水區內則須考慮因底床摩擦引起之能量消散，可採用 Bretschneider 及 Reid(1954)之方法計算損失之波高 $(\Delta H)_f$ 如下：

$$H_{n+1} = \cosh^{-1} \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_F} \right)^{0.05} \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3.0 \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.30} \right] \right\} H_F$$

$$-\left[1 - \frac{1}{fH_n\Delta x\Phi + 1}\right]H_n \quad (5.30)$$

其中

$$\Phi = \frac{16\pi^2}{3g} \frac{1}{G_n T_n} \left\{ \sinh \left[Z_n \sqrt{S_n} + \sqrt{(Z_n^2 - 1)S_n + S_n^2} \right] \right\}^{-3} \quad (5.31)$$

(5.30)式之常數 f 為底床摩擦係數，通常可採用 Bretschneider 所假設之值 $f = 0.01$ 。

此外，如果波浪狀況屬於下列條件：

$$\alpha \tanh \left[k_3 (gD_n/U_n^2)^{3/4} \right] \leq \frac{gH_n}{U_n^2} < \alpha \quad (5.32)$$

時，表示波浪屬於衰減風浪，此時波高之計算須修正為

$$H_{n+1} = \cosh^{-1} \left\{ 0.66 \left(\frac{F}{H_F} \right)^{0.05} \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.25} \tanh \left[3.0 \left(\frac{A_n + \Delta x}{F} \right)^{0.30} \right] \right\} H_n + \frac{k_1^2 \Delta x (\alpha + gH_n/U_n^2)(\alpha - gH_n/U_n^2)}{\alpha [\ln(\alpha + gH_n/U_n^2) - \ln(\alpha - gH_n/U_n^2)]} - \left[1 - \frac{1}{fH_n\Delta x\Phi + 1} \right] H_n \quad (5.33)$$

五、吹風距離線上之風速決定

已知計算颱風之中心氣壓 P_c (單位為 mb)、進行路徑及速度 V 時，求各吹風距離線上之風速之具體步驟如下：

1. 由各地測候站、所報告之氣壓 P 及發生時間與颱風中心之距離 R ，求出壓力分佈公式：

$$P = P_c + A_0 \exp(-R/R_0) \quad (5.34)$$

式中之常數 A_0 及 R_0 。其中常數 A_0 之單位為 mb， R_0 為最大風速處距離中心低氣壓之距離，單位為 km。

2. 以 A_0 及 R_0 代入傾度風計算公式， ϕ 為颱風所經過之緯度平均值。

$$V_g = \left[\frac{A_0}{\rho_a} \frac{R_0}{R} \exp(-R_0/R) + R^2 \Omega^2 \sin^2 \phi \right]^{1/2} - R \Omega \sin \phi \quad (5.35)$$

式中 V_g 為傾度風之風速(m/sec)， Ω 為地球自轉角速率(sec^{-1})， ρ_a 為空氣密度(kg/m^3)， R 為與颱風中心之距離(km)。

3.以計算點前方水深約15m處作為原點，如計算較深處之波浪時，即以計算點為原點，以吹風距離線為 x 軸，與之垂直之線為 y 軸，決定 $t=0$ 時刻之颱風中心位置為 $x=\hat{a}$ 、 $y=\hat{b}$ ，則任何時間、地點之吹風距離線上風速均可由下列公式求出為：

$$U(x,t) = 0.6 \left\{ -\frac{1}{R} \left[\sin(\alpha)(x - V_x t - \hat{a}) + \cos(\alpha)(-V_y t - \hat{b}) \right] + \frac{V_x}{(V_g)_{\max}} \right\} V_g \quad (5.36)$$

其中

$$R = \left[(x - V_x t - \hat{a})^2 + (-V_y t - \hat{b})^2 \right]^{1/2} \quad (5.37)$$

式中 V_x 及 V_y 各為颱風移動速度在 x 與 y 軸之分量， $(V_g)_{\max}$ 為 $R=R_0$ 時之值； α 在北緯 25° 以南為 35° ，在北緯 25° 以北為 30° 。

六、計算起點之決定

由於此計算方法不用風域圖，故必須以計算方法求出波浪前進線之起始點。如假設以吹風距離線上 $U=U_0$ 處為波浪計算之起始點，則此點對應之位置 x_0 及時間 t_0 可由下列方程式求出：

$$U_0 = 0.6 \left\{ -\frac{1}{R} \left[\sin(\alpha)(x_0 - V_x t_0 - \hat{a}) + \cos(\alpha)(-V_y t_0 - \hat{b}) \right] + \frac{V_x}{(V_g)_{\max}} \right\} V_g \quad (5.38a)$$

$$R = \left[(x_0 - V_x t_0 - \hat{a})^2 + (-V_y t_0 - \hat{b})^2 \right]^{1/2} \quad (5.38b)$$

由於上列方程式無法由解析的方求解，故須採用近似解法。令

$\Theta = \sin(\alpha)(x_0 - V_x t_0 - \hat{a}) + \cos(\alpha)(-V_y t_0 - \hat{b})$ ，則(5.38a)式可簡化為

$$U_0 = -0.6 \left\{ \frac{\Theta}{R} - \frac{V_x}{(V_g)_{\max}} \right\} V_g \quad (5.39)$$

式中 V_g 僅為距離 R 之函數，因此上式可以表示成 $F(R, \Theta) = 0$ 之函數型式。代入數值後計算 Θ ， R^2 繪成圖表如圖3-1所示。由結果得知在 $R = 100\text{km} \sim 500\text{km}$ 之範圍內，可以用 Θ 之二次曲線表示之，即

$$\Theta^2 + c_1 \Theta + c_2 R^2 + c_3 = 0 \quad (5.40)$$

其中 Θ^2 、 R^2 為 x_0 與 t_0 之二次函數， Θ 為 x_0 與 t_0 之一次函數，則(5.40)式為 x_0 與 t_0 之二次方程式，其解為

$$x_0 = c_6 t_0 + c_7 \pm \sqrt{c_8 t_0^2 + c_9 t_0 + c_{10}} \quad (5.41)$$

因此已知 t_0 即可求出 x_0 ，每一吹風距離線必須求一次，路徑有變動時亦須另求一次。

5.2 各港口颱風波浪推算

基本上，以移動風域數值法推算颱風波浪僅需颱風之風場資料如颱風位置(經、緯度)、颱風中心氣壓(P_c)、颱風移動速度(V_F)與方向(θ_F)等，即可推算自推算點延伸出去之吹風距離線上之風速與時間位置，然後推算各吹風距離線上至推算點之示性波高及週期。

本計畫的第一階段選擇台北港、基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港及台中港等七個港口，分別針對賀伯(9608)、瑞伯(9810)、西馬隆(0101)、奇比(0102)、桃芝(0108)及利奇馬(0119)等六個颱風進行颱風波浪推算，並根據現有觀測之颱風波浪資料進行模式之校驗。各港口颱風波浪推算點位置如圖5.2所示，各推算點之吹風距離線如圖5.3所示。

鑑於各港口現有颱風波浪資料中以花蓮港資料較為完整，因此本計畫先以花蓮港颱風波浪資料進行模式率定，再根據率定結果計算其餘各港口颱風波浪。表5.1所示為花蓮港颱風波浪推算結果，顯示模式針對瑞伯、西馬隆及奇比等三個颱風所推算之最大示性波高與實測值相當接近，惟對於桃芝及利奇馬颱風模式模擬結果則明顯地較實測值偏大。本計畫依據上述花蓮港颱風波浪率定結果推算其餘各港口颱風波浪，模式推算結果如表5.1至5.7所示，其中奇比颱風模擬結果經與實測颱風波浪比較，顯示安平港及高雄港颱風波浪推算結果有明顯低估之現象，故對於通過臺灣海峽之颱風波浪，本模式參數之率定應以西部海岸實測波浪資料進行模式之率定較為適宜。此外，模式針對桃芝及利奇馬颱風之模擬結果經安平港實測值比較，仍有高估之現象，顯示模式參數之率定仍須進一步檢討。

另外，本計畫針對今年度侵台颱風杜鵑及梵高進行颱風波浪推算結果如表5.8所示。計算結果顯示杜鵑颱風侵台期間，模式推算結果高雄港波浪最大示性波高約為5.2m；梵高颱風侵台期間，模式推算結果台北港波浪最大示性波高約為1.9m。

5.3 模式之限制

本計畫移動風域數值半經驗模式基本上屬於線風域法，各吹風距離線上波浪推算之時間延時與實測波浪之時間延時有顯著之差異，因此並不適用於針對整個海域進行全面性模擬。此外，模式計算結果與颱風模式之參數及颱風行進路徑有密切關係，因此模式對於各推算點最大示性波高之推算，在經由適當之模式率定後可獲得與實測波浪較為接近之結果；惟台灣東部及西部海域之颱風波浪特性存在有顯著之差異性，因此模式之率定宜分別進行之，方可降低推算結果之誤差。

表5.1 花蓮港颱風波浪推算結果

	賀伯	瑞伯	西馬隆	奇比	桃芝	利奇馬
最大示性 波高(m)	11.1	8.8	3.3	2.8	6.8	4.1
週期 (sec)	15.1	16.4	12.5	7.8	11.5	9.3
波向	NNE	S	S	SSE	E	SSE
波浪資料		9.57 (13.0sec)	3.27 (7.6sec)	2.49 (9.3sec)	4.2 (8.7sec)	2.2 (8.2sec)

表5.2 台北港颱風波浪推算結果

	賀伯	瑞伯	西馬隆	奇比	桃芝	利奇馬
最大示性 波高(m)	6.6	3.2	＝	1.0	3.3	＝
週期 (sec)	9.4	5.8	＝	8.4	9.3	＝
波向	NNE	N	＝	WN	W	＝
波浪資料	無					

表5.3 基隆港颱風波浪推算結果

	賀伯	瑞伯	西馬隆	奇比	桃芝	利奇馬
最大示性 波高(m)	13.2	4.0	1.5	＝	5.6	＝
週期 (sec)	8.4	11.3	10.0	＝	8.2	＝
波向	NE	E	E	＝	ENE	＝
波浪資料	無					

表5.4 蘇澳港颱風波浪推算結果

	賀伯	瑞伯	西馬隆	奇比	桃芝	利奇馬
最大示性 波高(m)	11.6	8.8	3.3	2.6	6.8	4.5
週期 (sec)	17.6	16.4	12.5	7.5	12.2	10.2
波向	ENE	S	S	SSE	S	ES
波浪資料				2.49 (9.3sec)		

表5.5 高雄港颱風波浪推算結果

	賀伯	瑞伯	西馬隆	奇比	桃芝	利奇馬
最大示性 波高(m)	2.9	7.0	2.7	4.2	3.8	3.8
週期 (sec)	7.7	15.1	12.1	9.8	8.7	8.3
波向	WNW	N	S	WS	WN	W
波浪資料				7.95 (7.8sec)		

表5.6 安平港颱風波浪推算結果

	賀伯	瑞伯	西馬隆	奇比	桃芝	利奇馬
最大示性 波高(m)	3.2	6.5	2.6	4.4	3.5	3.5
週期 (sec)	7.4	11.3	12.3	10.1	8.3	8.3
波向	WNW	SSW	S	WS	WNW	WN
波浪資料				6.37 (9.4sec)	2.18 (5.3sec)	2.36 (5.4sec)

表5.7 台中港颱風波浪推算結果

	賀伯	瑞伯	西馬隆	奇比	桃芝	利奇馬
最大示 性波高 (m)	5.4	3.4	＝	2.4	4.1	2.2
週期 (sec)	8.3	6.1	＝	9.5	5.9	5.6
波向	N	NNW	＝	W	WNW	WNW
備註						

表5.8 各港口杜鵑及梵高颱風之波浪推算結果

颱風名稱	杜鵑		梵高	
波高(週期) 推算點	最大示性波 高(m)	週期 (sec)	最大示性波 高(m)	週期 (sec)
台北港	＝	＝	1.9	3.9
基隆港	＝	＝	1.6	7.4
蘇澳港	3.4	13.6	1.6	9.7
花蓮港	3.6	13.2	1.5	10.0
高雄港	5.2	11.6	＝	＝
安平港	3.7	11.7	＝	＝
台中港	1.9	13.1	＝	＝

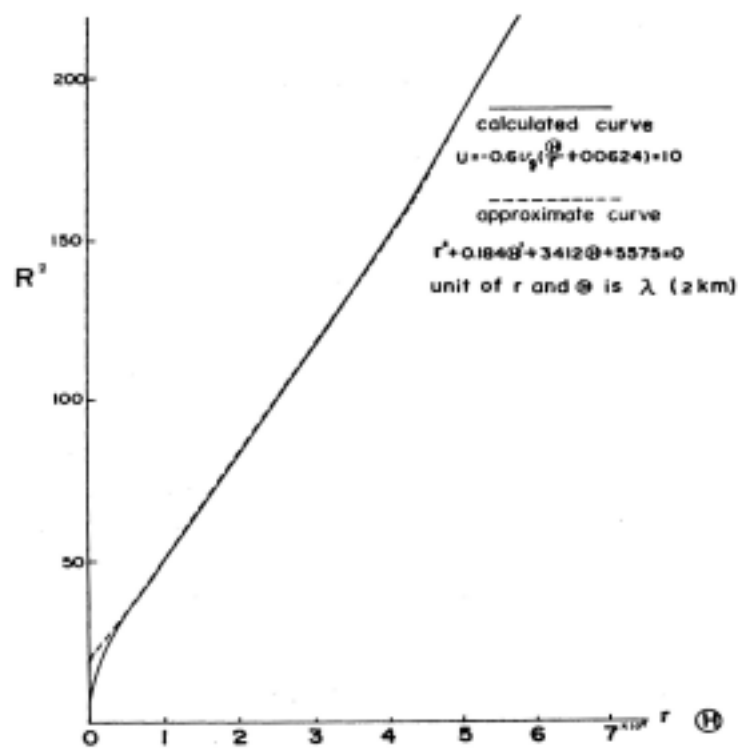


圖5.1 R^2 與 H 關係圖

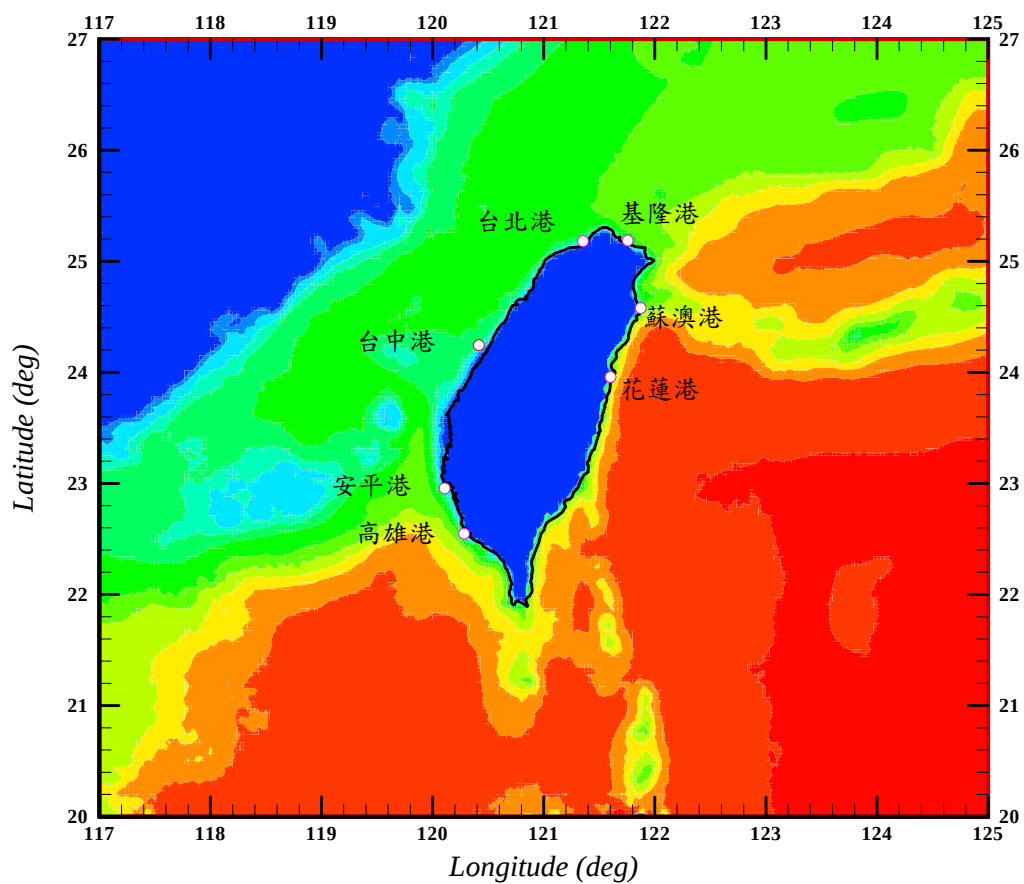


圖5.2 各港口推算點位置示意圖

第六章 各類風浪模式比較

今年預定完成之風浪預報模式系統建置及初步驗證，目前已經初步完成利用輻射傳遞(radiative-transfer)方程之數值模式分為大尺度的 WAM 及中小尺度的 SWAN、類神經網路模式、風域推算之半經驗模式等四種波浪預報模式系統的架構，並選擇了六個歷史颱風及二個今年發生的颱風做為模式系統測試比較的範例。僅就這些模式的部分結果與幾個測站資料綜合比對(詳圖 6.1 至 6.4)，由這些比對圖形可大致上歸納幾個結論：

- WAM 與 SWAN 均能展示與量測資料的趨勢性
- WAM 有高估波高的現象，但是主要是因為本計畫僅使用 WAM 模式做為有效引進遠洋波浪的工具，格點解析度較大無法完全解析近岸水深的影響，尤以東部波浪更為明顯(如圖 6.3, 6.4)。
- 類神經網路模式、風域推算之半經驗模式在目前所蒐集的波浪觀測資料的情況下，並無法完整的表現其預測的精度，主要是受限於風場資料的不確定性及觀測資料的短缺所致(如圖 6.1, 6.2)。

綜觀這四種模式各有其適用性及適用範圍，WAM 及 SWAN 都是全域計算模式，可以提供整個模式範圍內的預報資料(波高、波向)，因此應用範圍較廣，但是執行費時並需要大量的觀測資料及技術進行校驗工作；但是類神經網路與半經驗風域推算模式則是根據台灣與附近島嶼沿岸所有波浪測站或是氣象局大域波浪模式之網格節點位置為起點，對所有可能之入射波浪方向和週期進行演算，並將演算結果儲存於電腦，以應用在有實測波浪數據，或是有氣象局大域波

浪模式之結果可資利用之情況，並與實測資料比對後建立兩者間的轉換函數，因此計算迅速，但是僅能根據已有的颱風與波浪資料進行比對及建立轉換函數，不但需要大量的實測資料，且僅適用於已經建立的預報點位，無法提供全部海域的預報資料。在預報作業上來說，全域模式是完全適用於線上操作的預報系統，就如同世界各國的發展，但是其他二種轉換函數模式卻可以提供快速的預警訊息，如何搭配應用尚待未來長期的校對與驗證。

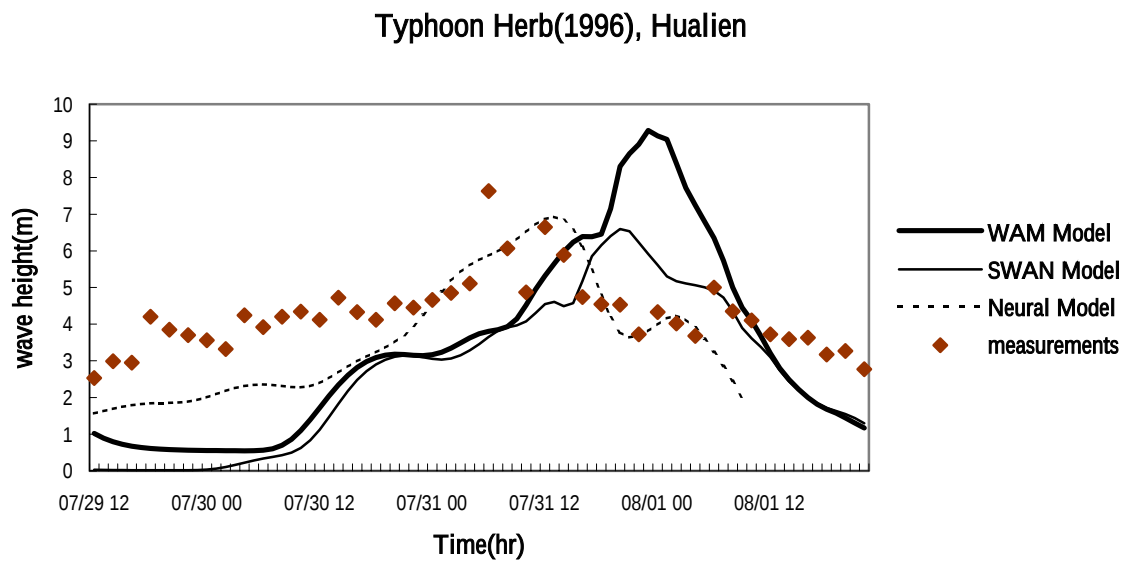


圖6.1 賀伯颱風於花蓮測站模式計算結果比對

(實測資料來源：中央氣象局)

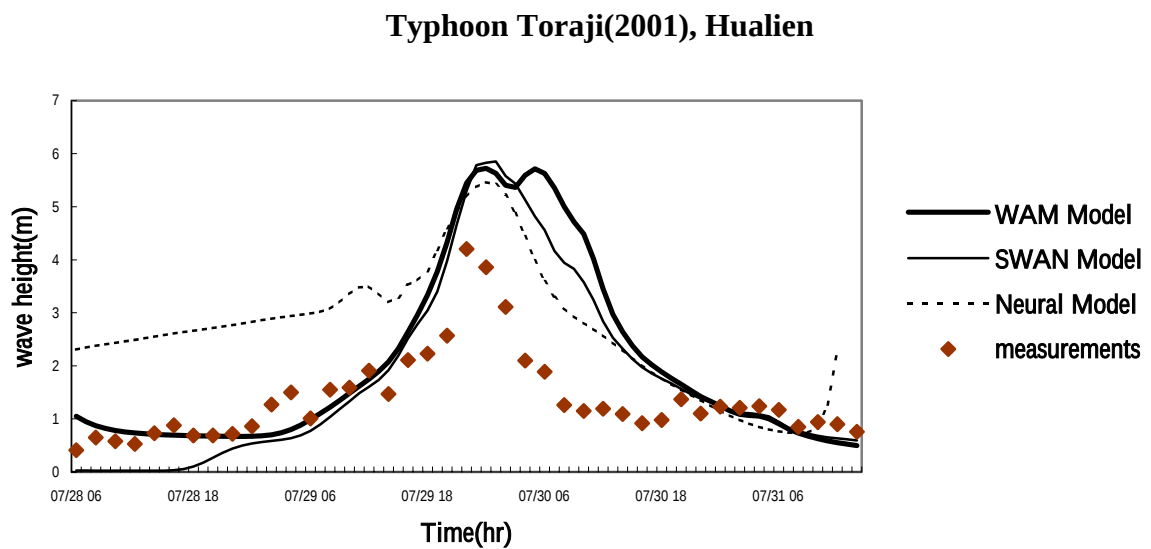


圖6.2 桃芝颱風於花蓮測站模式計算結果比對

(實測資料來源：中央氣象局)

Typhoon Lekima(2001), Hualien

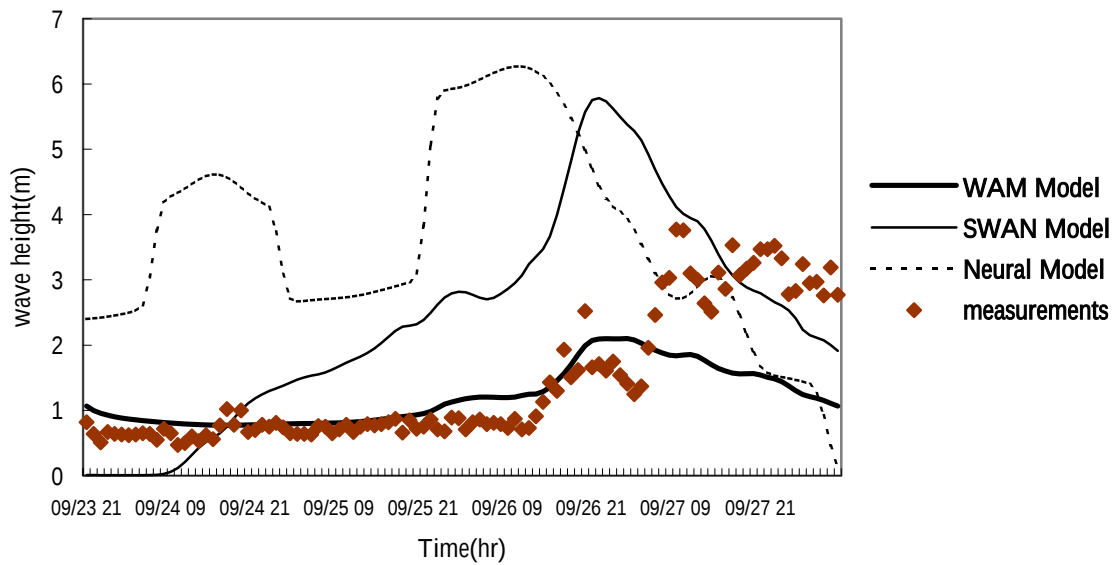


圖6.3 利奇馬颱風於花蓮測站模式計算結果比對

(實測資料來源：港研中心)

Typhoon Lekima(2001), Anping

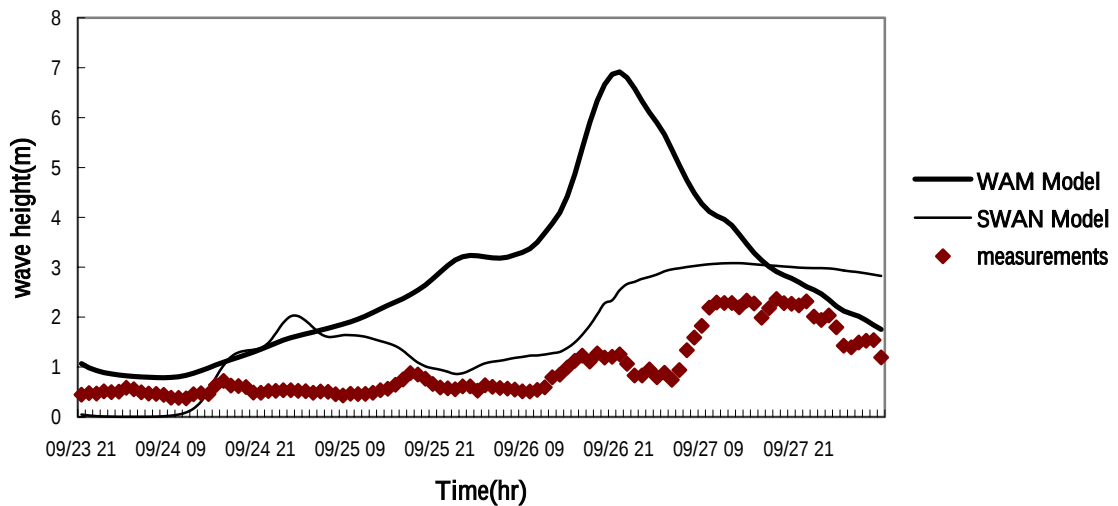


圖6.4 利奇馬颱風於安平海域模式計算結果比對

(實測資料來源：港研中心)

第七章 海象預報模式資訊系統

7.1 資訊系統架構

台灣四周海岸由不同單位依其個別需求而佈置許多海象觀測站。由於缺乏整體性的整合，往往形成觀測站分布不均、觀測項目、經度與資料格式不同，造成觀測結果無法相互支援提供防災使用，而顯現資源重複投資卻沒有發揮應有的功能現象。本計畫的另一目標是建置本土化颱風波浪預報系統，透過模式的預測模擬可提供台灣沿海波浪在時間及空間上完整的資料，模式預報資料與現場觀測資料的比對與展示可以提供使用者參考，亦可作為模式修正的資訊。因此，本計畫嘗試規劃出一個以網路為溝通媒介的環境讓專家學者及各單位使用者能透過此系統輕鬆地掌握、瞭解所需的資料。

本模式介面的目標希望能藉由相關人員所建議且討論的資料架構圖，來建構一套符合需求的網站介面。資料呈現的架構是利用分門別類的方式將每個主題突顯出來，然後在針對每個主體內容做細部資料的呈現或查詢。資料架構圖說明如后：

7.1.1 第一層下拉式表單

- 系統說明
- 觀測資料
- 颱風查詢
- 風場模式
- 波場模式
- 水位模式
- 流場模式
- 擴散模式
- 回首頁

7.1.2 第二層下拉式表單

- 系統說明
 - ◆ 系統概述
 - ◆ 研究計畫
- 觀測資料
 - ◆ 觀測網站
 - ◆ 水深資料
 - ◆ 颱風資料
 - ◆ 氣壓資料
 - ◆ 風場資料
 - ◆ 波場資料
 - ◆ 水位資料
 - ◆ 流場資料
 - ◆ 污染擴散
- 颱風查詢
 - ◆ 即時資料
 - ◆ 歷史資料
 - ◆ 更新資料
- 風場模式
 - ◆ 模式說明
 - ◆ 歷史風壓
 - ◆ 風壓預報
- 波場模式
 - ◆ 模式說明
 - ◆ 歷史波場
 - ◆ 波浪預報
- 水位模式
 - ◆ 模式說明
 - ◆ 歷史水位
 - ◆ 水位預報

- 流場模式
 - ◆ 模式說明
 - ◆ 歷史流場
 - ◆ 流場預報
- 擴散模式
 - ◆ 模式說明
 - ◆ 歷史擴散
 - ◆ 擴散預報
- 回首頁

7.1.3 第三層下拉式表單

- 系統說明
 - ◆ 系統概述→輸出結果
 - ◆ 研究計畫
 - 計畫緣由→輸出結果
 - 計畫目的→輸出結果
 - 參與人力→輸出結果
- 觀測資料
 - ◆ 觀測網站
 - 風力測站→輸出風力測站位置圖
 - 波浪測站→輸出波浪測站位置圖
 - 水位測站→輸出水位測站位置圖
 - 海流測站→輸出海流測站位置圖
 - 水深測區→輸出水深測區位置圖
 - ◆ 水深資料→表單點選→輸出等深線圖
 - ◆ 颱風資料
 - 颱風路徑→選年→表單點選→輸出颱風路徑圖
 - 風速風向→選測點(或區域)→選年→表單點選→輸出風速、風向歷線圖(或風向量圖)。
 - ◆ 氣壓資料→選區域→選年→表單點選→輸出等氣壓圖
 - ◆ 風場資料→選測點(或區域)→選年→表單點選→輸出風速、風

向歷線圖(或風向量圖)。

- ◆ 波場資料→選測點(或區域)→選年→表單點選→輸出波高、週期、波向歷線圖(或等波高、等週期、波向量圖)。
- ◆ 水位資料→選測點(或區域)→選年→表單點選→輸出水位歷線圖(或等水位線圖)。
- ◆ 流場資料→選測點(或區域)→選年→表單點選→輸出流速、流向歷線圖(或海流向量圖)。
- ◆ 污染擴散→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出等值圖(或歷線圖)。

➤ 颱風查詢

- ◆ 即時資料→選颱風或颱風波浪或颱風水位
- ◆ 歷史資料→選颱風或颱風波浪或颱風水位
- ◆ 更新資料

➤ 風場模式

- ◆ 模式說明→輸出結果
- ◆ 歷史風壓
 - 歷史颱風→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
 - 歷史風場→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
 - 歷史氣壓→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出等氣壓圖(或氣壓歷線圖)。
- ◆ 風壓預報
 - 颱風預報→選 24 時(或 72 時)→輸出颱風路徑圖→選區域(或測點)→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
 - 風場預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
 - 氣壓預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)→輸出等氣壓圖(或氣壓歷線圖)。

➤ 波場模式

- ◆ 模式說明→輸出結果
- ◆ 歷史波場
 - 歷史波浪→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出等波高圖、等週期圖、波向線圖、波向量圖(或波高、週期、波向歷線圖)。
 - 歷史風場→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出風向量

圖(或風速、風向歷線圖)。

◆ 波浪預報

- 風浪預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)選→輸出等波高圖、等週期圖、波向線圖、波向量圖(或波高、週期、波向歷線圖)。
- 近岸波場→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)選→輸出等波高圖、等週期圖、波向線圖、波向量圖(或波高、週期、波向歷線圖)。
- 港區波場→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)選→輸出等波高圖、等週期圖(或波高、週期歷線圖)。

➤ 水位模式

◆ 模式說明→輸出結果

◆ 歷史水位

- 歷史天文潮→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出等天文潮位線圖 (或天文潮位歷線圖)。
- 歷史暴潮位→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出等暴潮位線圖 (或暴潮位歷線圖)。
- 歷史總水位→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出等總水位線圖 (或總水位歷線圖)。
- 歷史風力場→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。

◆ 水位預報

- 天文潮預報→選區域(或測點)→選 3 天(或 7 天)→輸出等天文潮位線圖 (或天文潮位歷線圖)。
- 暴潮位預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)→輸出等暴位線圖 (或暴潮位歷線圖)。
- 總水位預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)→輸出等總水位線圖 (或總水位歷線圖)。

➤ 流場模式

◆ 模式說明→輸出結果

◆ 歷史流場

- 歷史潮流→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出潮流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 歷史恒流→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出恒流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 歷史風驅流→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出風驅流向

量圖(或流速、流向歷線圖)。

- 歷史暴潮流→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出暴潮流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 歷史沿岸流→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出沿岸流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 歷史總海流→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出總海流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 歷史風力場→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
- 歷史波浪場→選區域(或測點)→選年→表單點選→輸出等波高圖、等週期圖、波向量圖(或波高、週期、波向歷線圖)。

◆ 流場預報

- 潮流預報→選區域(或測點)→選 3 天(或 7 天)→輸出潮流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 恒流預報→選區域(或測點)→選 3 天(或 7 天)→輸出恒流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 風驅流預報→選區域(或測點)→選 3 天(或 7 天)→輸出風驅流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 暴潮流預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)→輸出暴潮流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 沿岸流預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)→輸出沿岸流向量圖(或流速、流向歷線圖)。
- 總海流預報→選區域(或測點)→選 24 時(或 72 時)→輸出總海流向量圖(或流速、流向歷線圖)。

➤ 擴散模式

◆ 模式說明→輸出結果

◆ 歷史擴散

- 歷史油污→選區域(或測點)→表單點選→輸出油污擴散圖(或歷線圖)。
- 歷史溫度→選區域(或測點)→表單點選→輸出溫度擴散圖(或歷線圖)。
- 歷史風場→選區域(或測點)→表單點選→輸出風向量圖(或風速、風向歷線圖)。
- 歷史流場→選區域(或測點)→表單點選→輸出流向量圖(或流速、流向歷線圖)。

◆ 擴散預報

- 油污預警→選區域(或測點)→ 選 3 天(或 7 天)→輸出油污擴散圖(或歷線圖)。
- 溫度預警→選區域(或測點)→ 選 3 天(或 7 天)→輸出溫度擴散圖(或歷線圖)。

➤ 回首頁

[註]:

1. ”輸出結果”一般為”圖檔”或”說明檔”或”報表檔”，僅提供固定之結果，不提供選擇功能。
2. ”表單點選”，以固定之各種表單提供選取。
3. ” 選年”，以固定西元年之表單提供選取。
4. ” 選測點(或區域)”，以固定之觀測(計算)點或觀測(計算)區域提供選取。
5. ” 選區域”，以固定之觀測區域提供選取。
6. ” 選 24 時(或 72 時)”，以 24 時或 72 時兩種預報之時間長度提供選取。
7. ” 選 3 天(或 7 天)”，以 3 天或 7 天兩種預報之時間長度提供選取。
8. ”波高”代表”示性波高”， ”週期”代表”示性週期”。

7.2 網站架構

7.2.1 網站架構概念

設計TaicomS網站架構時，預先考量到往後如果開放給一般民眾參觀，如何在使用者進入到此網站後，便可以一目了然的理解網站所要呈現的內容，同時可以符合港研中心所建議的資料架構。現今的網頁均會在首頁，利用一些多媒體技術來加強網頁的生動、活潑性。因此，網頁設計之初也將此概念加入，利用flash的動畫來加強本網站的豐富性。網站的設計也可以讓使用者一目了然的架框結構來當作開發基礎。本網頁設計時將網頁切割成三個FRAME(頁框)；左頁框放計

劃執行相關單元選單，右頁框則當作顯示頁面，上頁框則是作為本網站BANNER顯示處。概念圖如下圖所示。

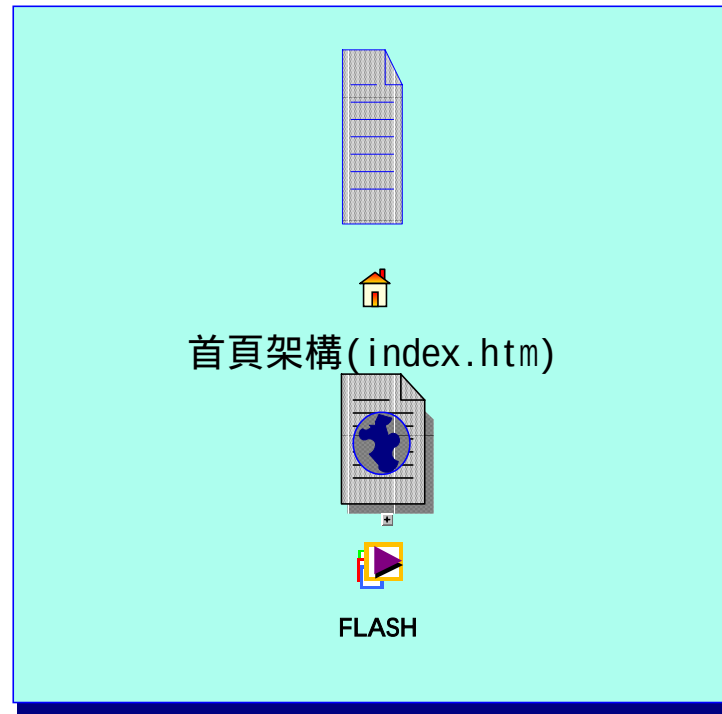


圖7.2.1 Taicoms首頁架構

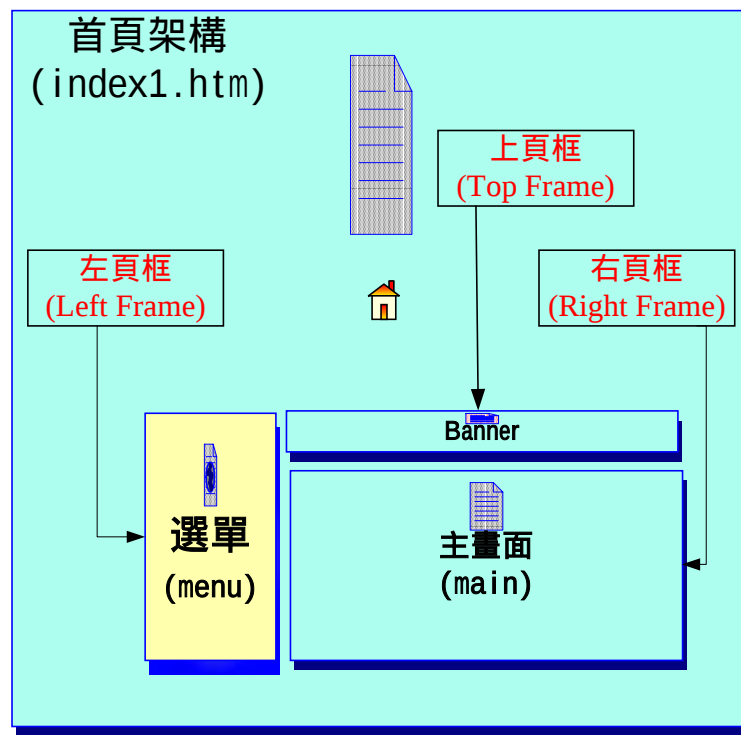


圖7.2.2 TaiCOMS網站架構概念

7.2.2 階層概念選單

本計劃中很多資料都必須利用階層式的概念，一層一層的將東西呈現。為了方便使用者在進入此網站後，可以馬上找到所需要的資料，設計時，先將所有主題分門別類，利用專業的概分方式(示意圖如下)將本計劃的主題呈現出來。一般的政府機關網站也是利用此方式幫助使用者來找尋資料，所以使用者在使用上會有熟悉的感覺，操作較易。

主題概分概念圖

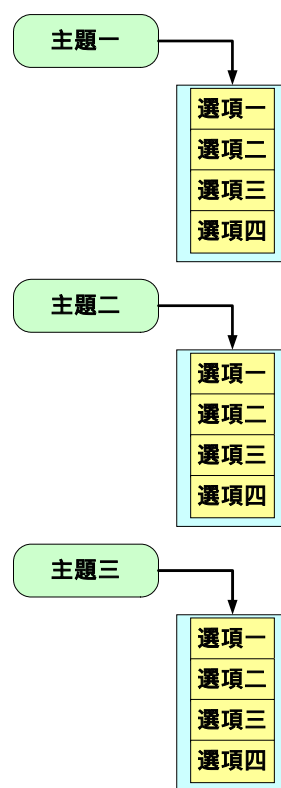


圖7.2.3 以主題為概分概念圖

7.2.3 資料呈現方式

網站在資料的呈現部分完全以使用者的直覺化反應來作設計。當使用者在選單上點選所要觀看的主題後，往往希望能馬上在網頁看到選單選項的內容資料。所以網站設計上才會將視窗以架框的格式來實現，

當使用者點選左邊架框的選單後，右手邊的頁框會馬上呈現資料。

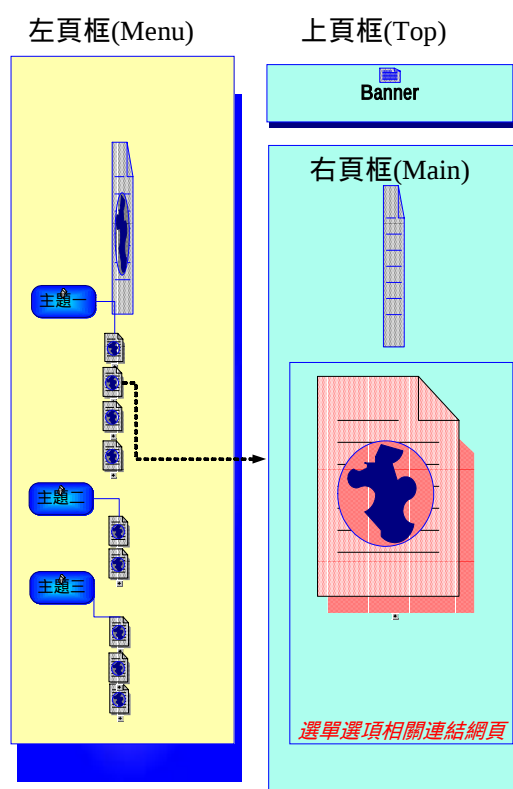


圖7.2.4 資料呈現方式

7.2.4 網站內容

本章節將所規劃的概念，實際利用Homepage的方式呈現。本網站中，將主題分成下列幾項：

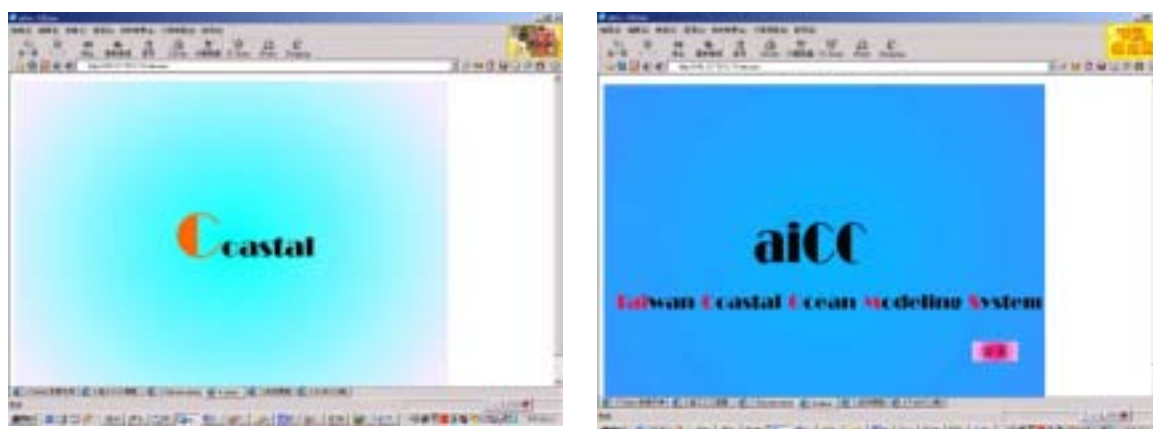


圖7.2.5 Flash多媒體首頁

主網頁(<http://taicoms.iut.nsysu.edu.tw/index1.htm>)



圖 7.2.6 Taicoms 主網頁

➤ 系統說明

在系統說明的選項中，包含有系統概述及研究計畫。



圖 7.2.7a Taicoms 系統說明



圖 7.2.7b Taicoms 系統說明 2

➤ 系統說明

◆ 系統概述

其中系統概述包含台灣近海海象預報系統及台灣近海海象預報系統規劃時程。



圖 7.2.8 台灣近海海象預報系統概述



圖 7.2.9 台灣近海海象預報系統示意圖

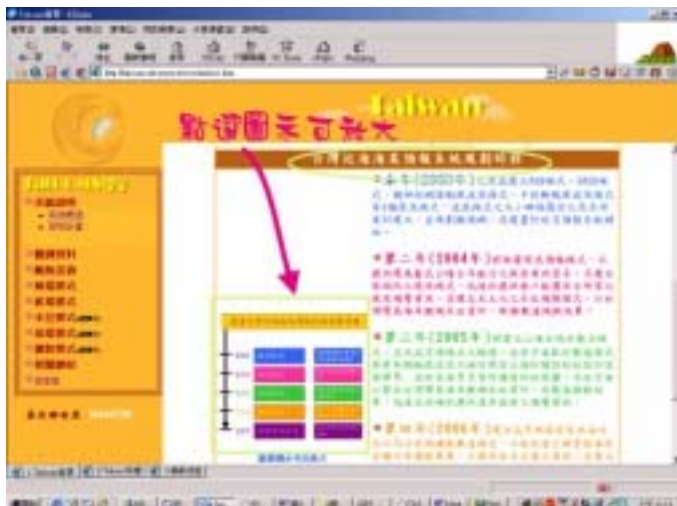


圖 7.2.10 台灣近海海象預報系統規劃時程



圖 7.2.11 台灣近海海象預報系統規劃時程圖

◆ 研究計畫



圖 7.2.12 研究計畫

- 計畫緣由

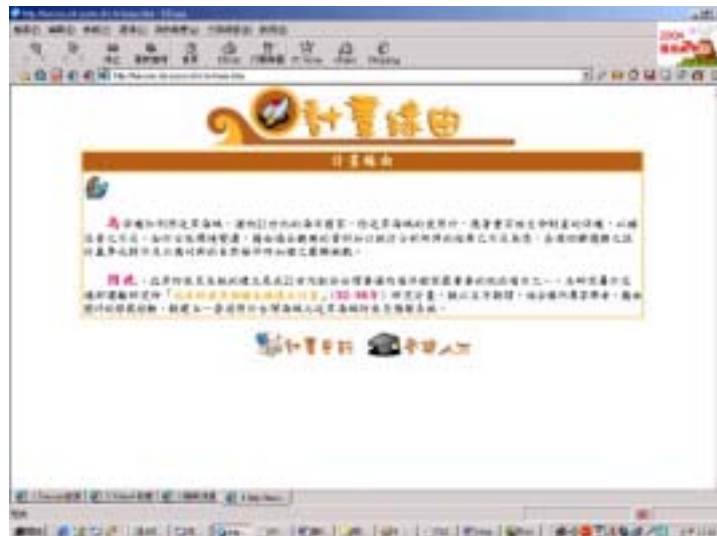


圖 7.2.13 計畫緣由

- 計畫目的



圖 7.2.14 計畫目的

- 參與人力

圖7.2.15 參與人力

► 觀測資料

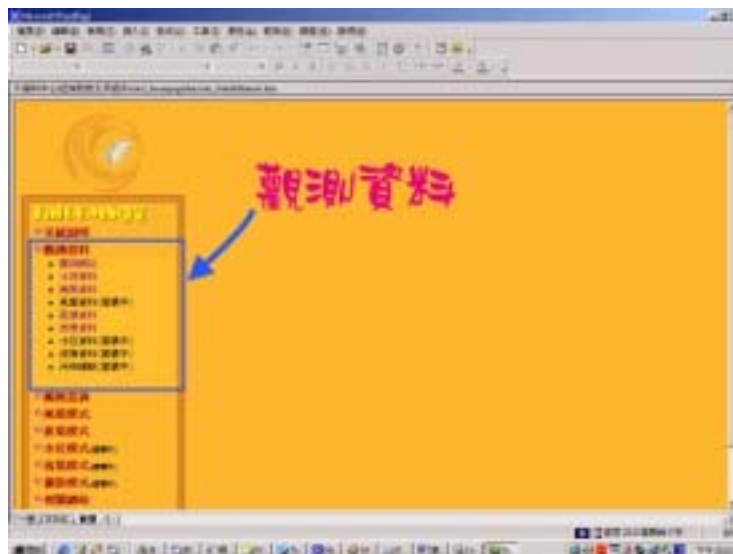


圖 7.2.16 觀測資料選項

◆ 觀測網站



圖 7.2.17 觀測網站(觀測網站中共包含有下列幾個不同形式的測站)

- 風力測站



點選前



點選後

圖 7.2.18 風力測站

- 波浪測站



點選前



點選後

圖 7.2.19 波浪測站

- 水位測站



點選前



點選後

圖 7.2.20 水位測站

- 海流測站



點選前



點選後

圖 7.2.21 海流測站

- 水深測區

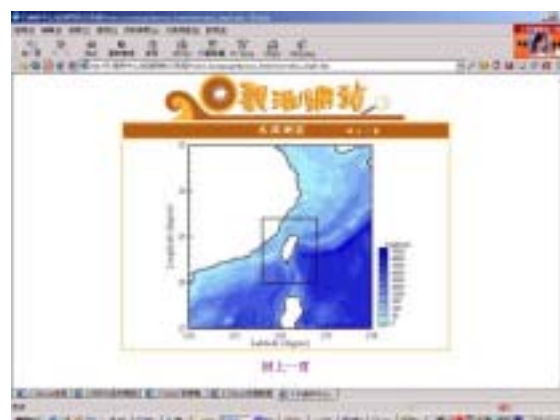


圖 7.2.22 水深測區

◆ 水深資料



圖 7.2.23 水深資料

◆ 颱風資料

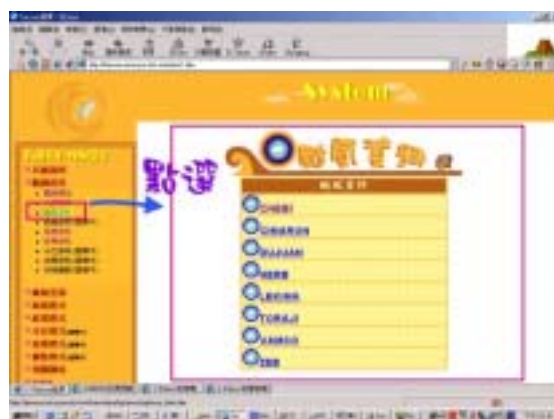


圖 7.2.24 颱風資料

◆ 氣壓資料(建構中)

◆ 風場資料

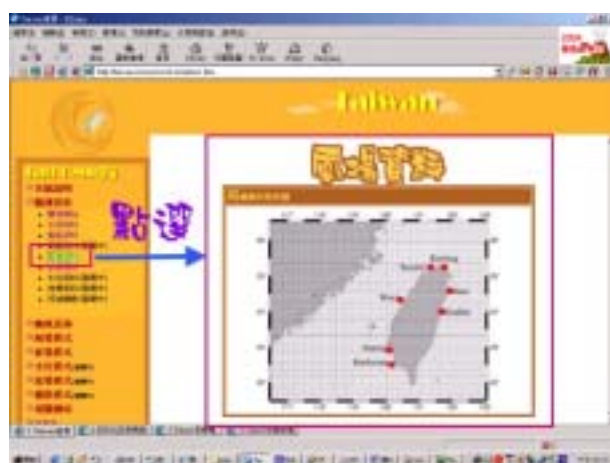
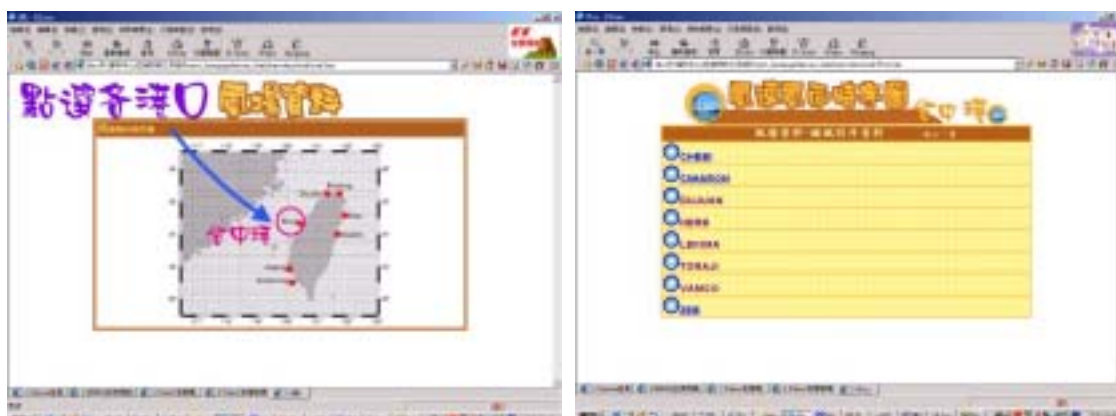


圖 7.2.25 風場資料

點選各港口的名稱，將可以看到近幾年來颱風在此港口的風速風向時序圖。下面以點選**台中港**為例，將可在網站看到如下畫面：



點選前

點選後

圖 7.2.26 風場資料(以點選**台中港**為例)

◆ 波場資料

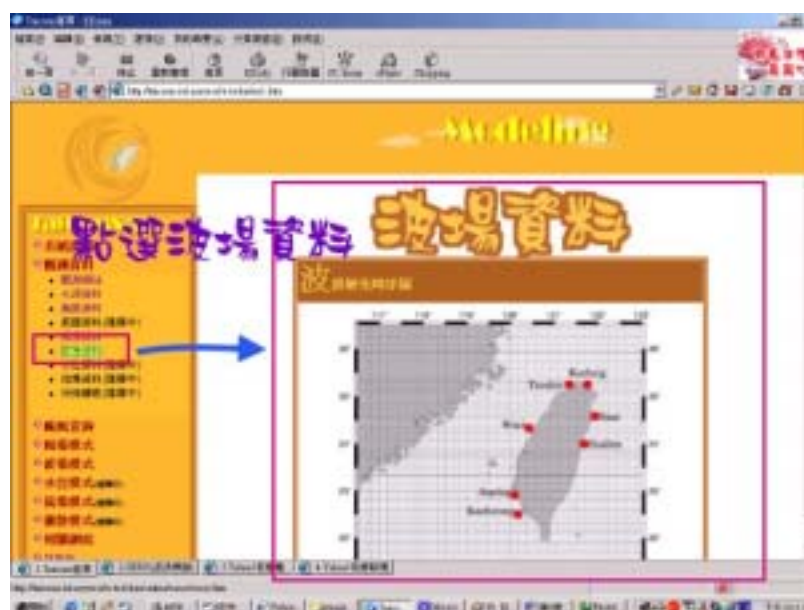
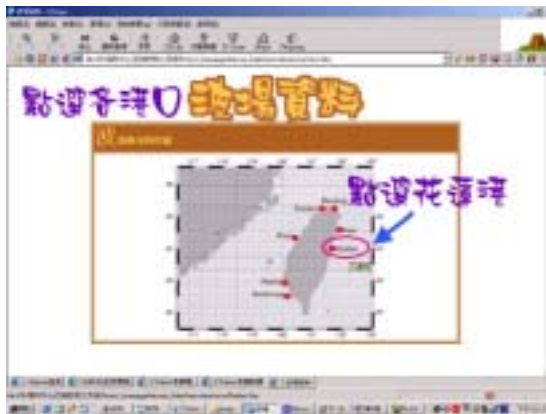


圖 7.2.27 波場資料

點選各港口的名稱，將可以看到近幾年來颱風在此港口的波場變化時序圖。下面以點選**花蓮港**為例，將可在網站看到如下畫面：



點選前



點選後

圖 7.2.28 波場資料(以點選花蓮港為例)

- ◆ 水位資料(建構中)
- ◆ 流場資料(建構中)
- ◆ 污染擴散(建構中)

➤ 颱風查詢

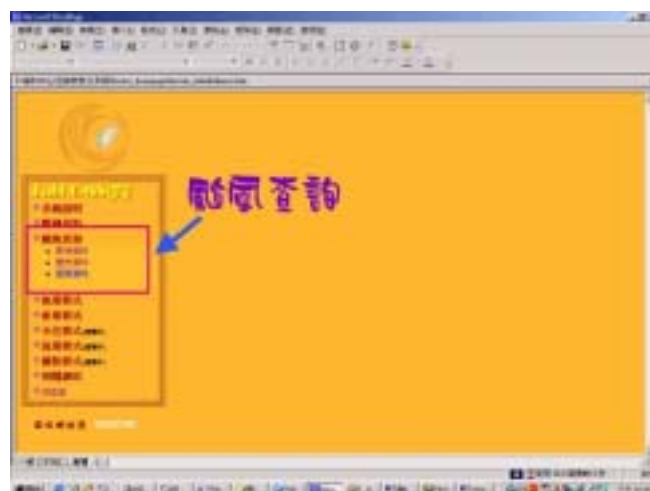


圖 7.2.29 颱風查詢

- ◆ 即時資料

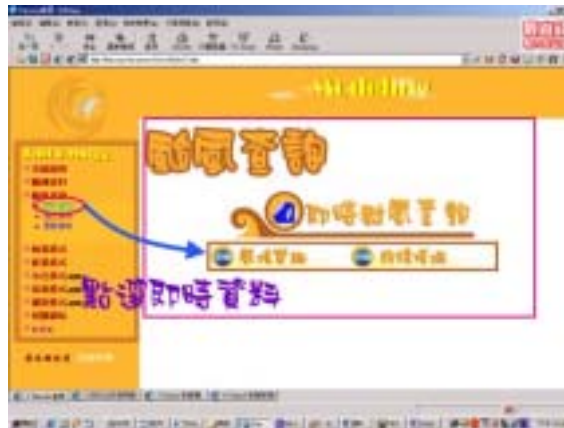


圖 7.2.30 颱風即時資料

◆ 歷史資料



圖 7.2.31 颱風歷史資料

其中，點選風場資料及波浪模擬後所呈現的畫面如下：

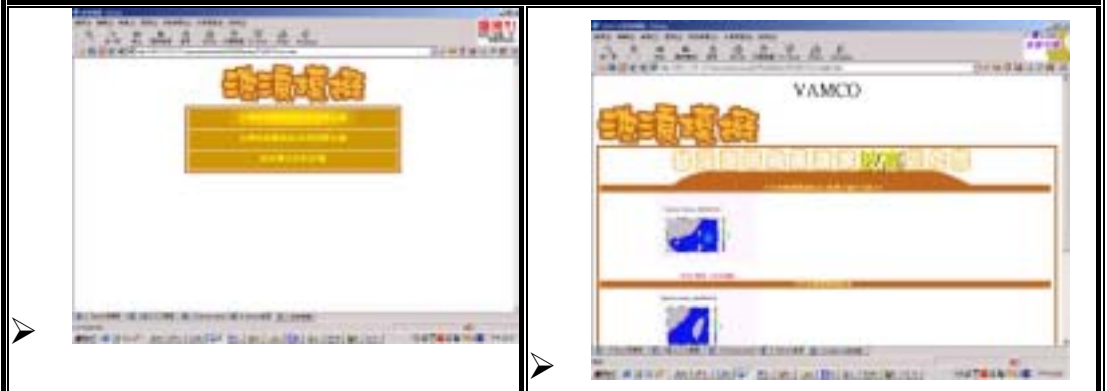
◆ 風場資料



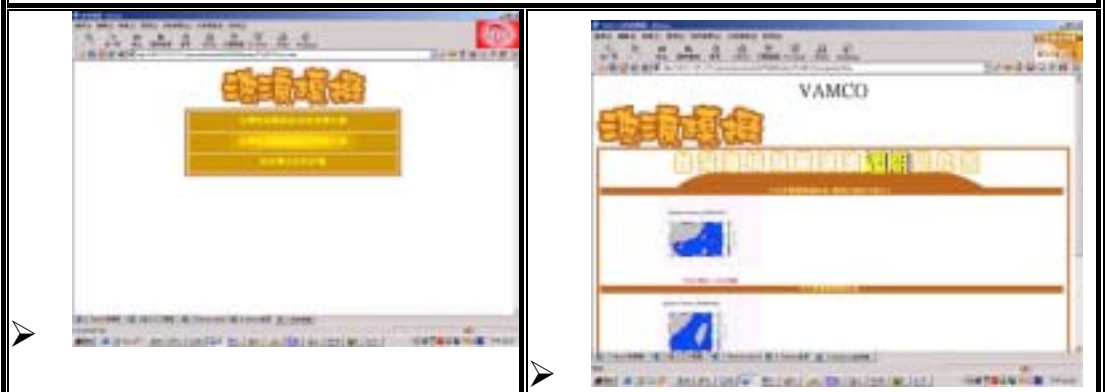
圖 7.2.32 颱風風場資料

◆ 波浪模擬

➤ 台灣海域颱風波浪波高變化圖



➤ 台灣海域颱風波浪週期變化圖



➤ 波浪變化時序圖

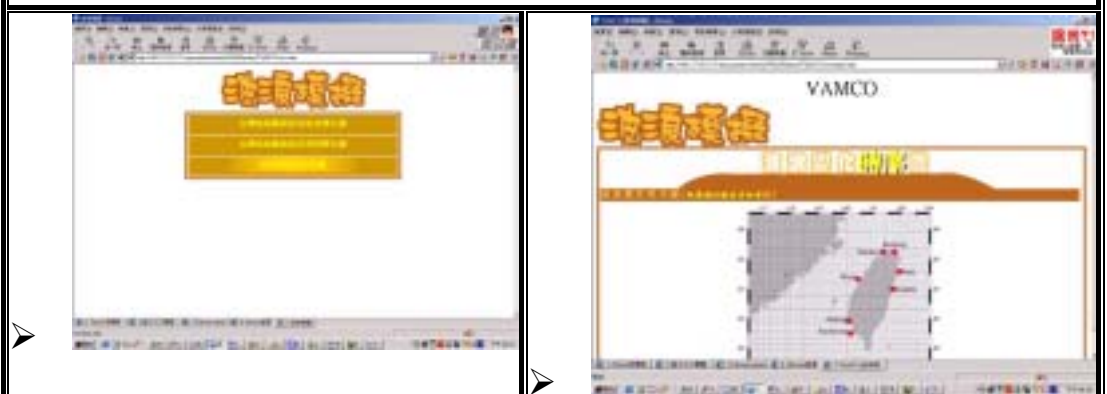


圖 7.2.33 颱風波浪模擬

◆ 更新資料(用來模擬即時資料更新)

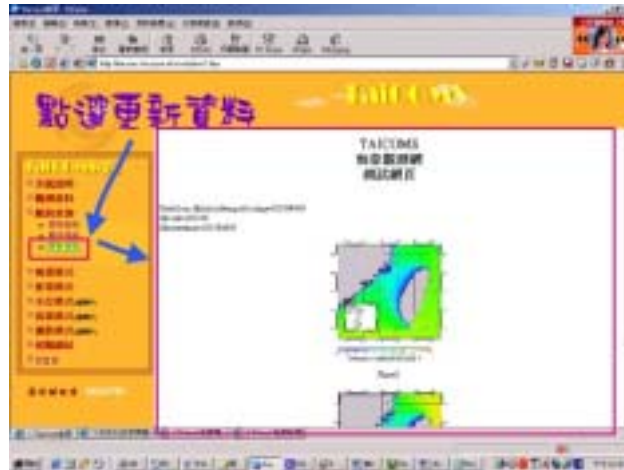
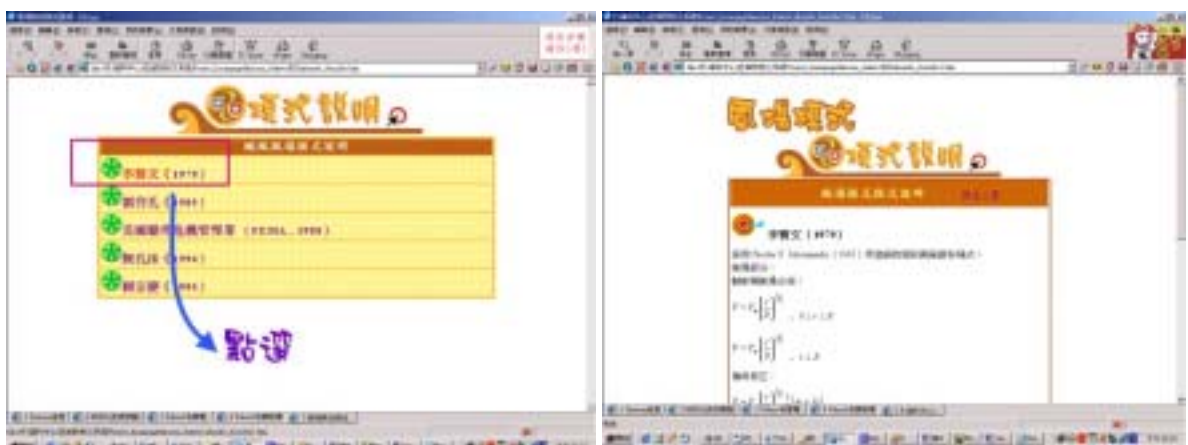


圖 7.2.34 颱風更新資料

- 風場模式
 - ◆ 模式說明



圖 7.2.35 風場模式說明



點選模式前

點選模式後

圖 7.2.36 風場模式說明 2

◆ 歷史風壓



圖 7.2.37 風場模式歷史風壓

◆ 風壓預報(建構中)

➤ 波場模式

◆ 模式說明



圖 7.2.38 波場模式模式說明



點選模式前



點選模式後

圖 7.2.39 波場模式模式說明 2

◆ 歷史波場



圖 7.2.40 波場模式歷史波場

◆ 波浪預報(建構中)

➤ 水位模式（建構中）

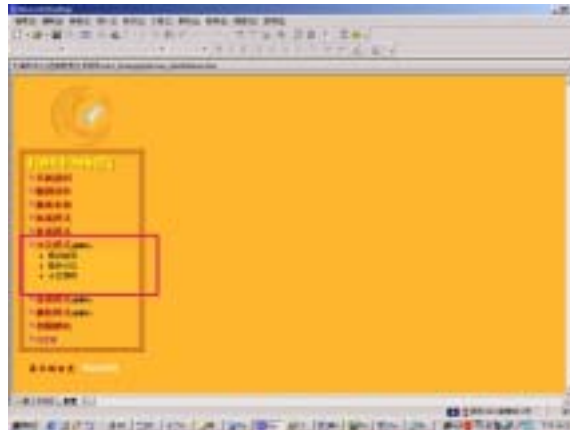


圖 7.2.41 水位模式

➤ 流場模式（建構中）

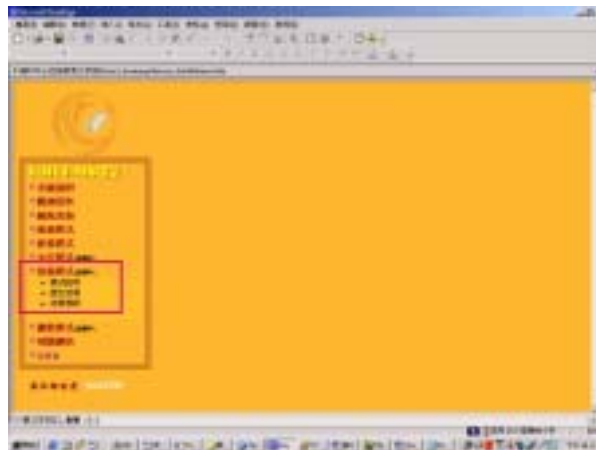


圖 7.2.42 流場模式

➤ 擴散模式（建構中）

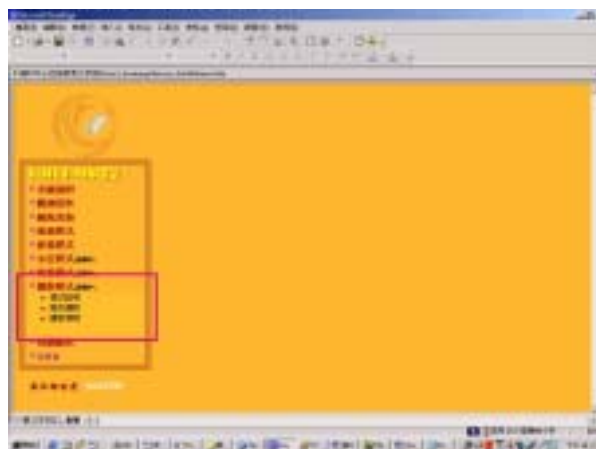


圖7.2.43 擴散模式

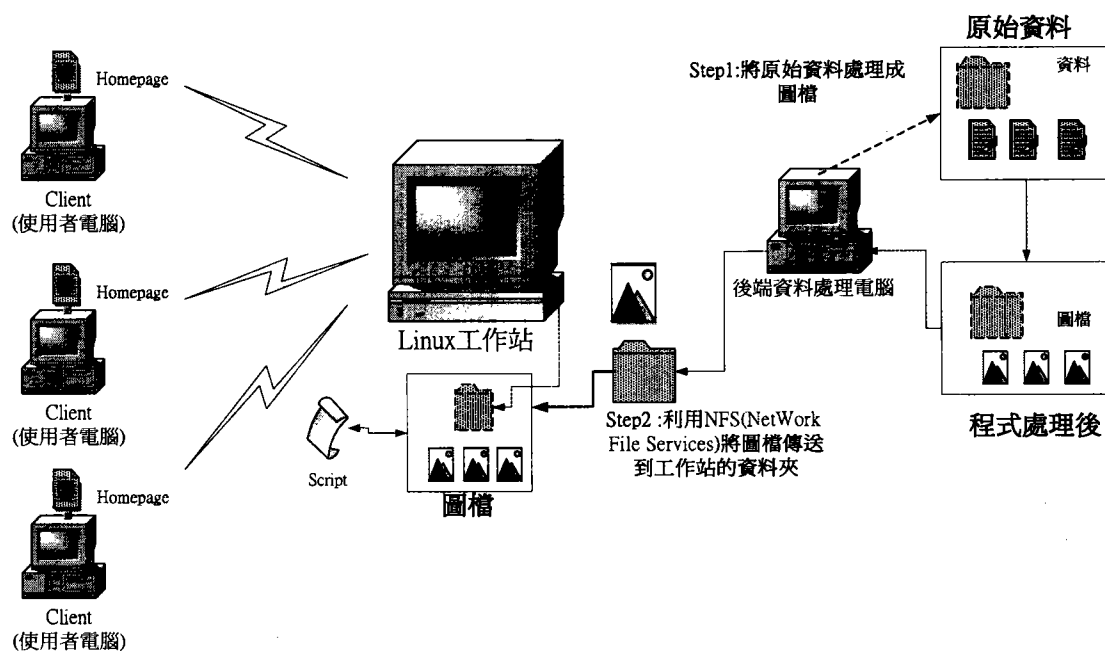
7.3 颱風資料模擬網頁

計劃的初步架構，希望能提供最新的海象、氣象資料供使用者查看。所以希望在架構的背後資料的呈現可以不用透過手動的尚在更新資料，完全利用機制來達成自動化。為了實現初步構想，所以做了一個模擬實驗。

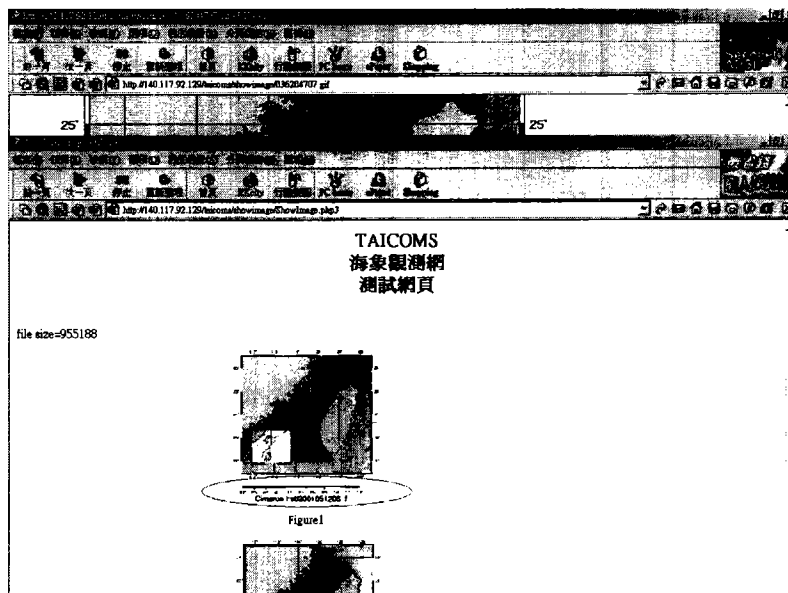
7.3.1 實驗架構

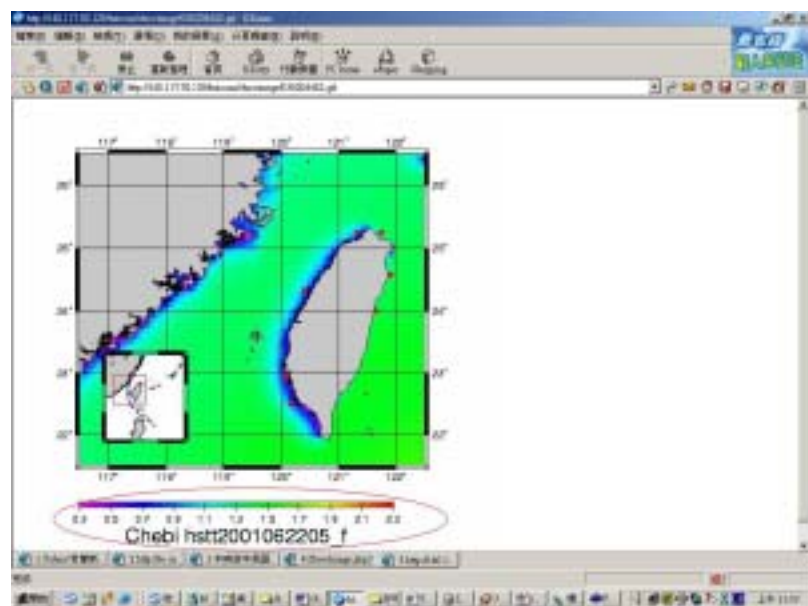
當使用者點選Taicomms所架設的網站並點選觀看颱風動向時，就必須有一個機制能夠將最新處理過的颱風動態圖送到網站上，使用者只要打開瀏覽器，系統每隔一段時間會自動refresh我們的網頁，讓使用者看到的動態圖永遠是最新的。為了實現此機制，我們架構了一個機制來模擬。

當處理後端資料的程式處理好資料，將原始資料轉變成圖檔後，便將產生的新圖檔送到事先溝通好的工作站資料夾內。伺服器再撰寫一程式，當使用者打開此網頁要觀看最新資料動態時，便會啟動此程式，程式每隔30秒會去所協定的資料夾內抓取最新的圖檔，當發現圖檔已經被更動後，此程式便會將此圖檔取回來網頁所存放的路徑，當30秒一到，網頁自動更新後，使用者所看到的資料便會是最新的。



7.3.2 網頁實際操作





第八章 台灣海域海象觀測網的配置規劃

8.1 觀測網的配置規劃

台灣擁有相當多的海象觀測站，所紀錄的觀測資料也相當的完整，但是最大的缺點就是很多測站的觀測系統不一樣，導致資料無法互相交流整合，往往造成資源的重複浪費，所以將台灣現有的海象觀測站整合起來也是本計劃的一個相當重要的議題，整合起來的海象觀測資料不但可以作為學術機構的研究參考，同時也可以提供近海預報系統模式的校正，使模式精確度更高。

另一個台灣觀測站的問題就是以前在設置觀測站的時候並沒有一個整體的考量，所以會造成某些地方觀測站密集，某些地方缺乏觀測站，因此本計劃也除了整合台灣現有測站的資料外，另外也希望規劃出一個完整的觀測網。

8.2 海象觀測網的觀測站設置現況分析

海象觀測站儀器之安裝、操作關係著儀器是否可正常運作量測資料，而設置環境則決定了安裝儀器的種類與使用之量測原理，良好之設置環境將可使觀測儀器不需頻頻進行檢校及維護工作，反之不良之設置環境將使得檢校及維護週期減短，同時亦影響資料可利用的範圍。因此本計畫將討論觀測站位置之設置及常見之問題，作為日後施行之參考。

8.2.1 潮位觀測站現況分析

台灣沿岸目前很多潮位站都選擇設至在港口內，如圖8.1所示之潮位站，港口內固然是一個安全及易於維護之場所，但由於船隻出入造成之波浪、人為好奇之破壞及颱風之破壞，仍可能造成資料品質受影響，更由於潮汐之潮型更會受到地形及水



圖8.1 花蓮港潮位站

深改變之影響，無法充分記錄顯示港外的正確潮型及潮時。而若以外海測站適合之位置觀測海氣象，則雖然可將環境之影響降低，但維修卻較為不易。

8.2.2 波浪觀測站現況分析

波浪之特性與風場及海底地形之變化息息相關，故在地形、風場不同之情況下，波浪特性亦因地而異。波浪觀測站的位置選擇，基本上是隨著觀測目的之不同，而有不同之考量，以長期之波浪觀測站而言，須以能夠綜觀臺灣本島之波浪變化，提供海岸工程設計之需，用以校正及驗證



圖8.2 波浪資料浮標觀測

大尺度波浪預報模式，提高波浪預報之精確度；而短期之波浪觀測站，則以獲得區域波浪特性為主，如圖8.2所示之波浪站。

為獲得基本波浪資料所設置之長期波浪觀測站，應注意：

- (1) 可作為持續及長時間觀測的地點，有利於波浪觀測網之建置。
- (2) 波浪觀測網之位置，應考慮能涵蓋波浪之區域性變化。

因特定目的而臨時設置的波浪觀測站，設站時則應考慮：

- (1) 能夠充分掌握地區之波浪特性。
- (2) 依波浪資料應用之不同，選擇目標水深附近之海域。

選擇波浪觀測站之設置場所、位置時，至少應注意下列事項：

- (1) 事先蒐集測站附近海域之波浪歷史資料，預先研判波浪資料之可能變化範圍，以利於測站、儀器之規劃設計。
- (2) 能夠容易地獲得正確資料的場所
 - a. 若非有特殊目的，短期觀測站仍應選擇水深較深之地點，特殊結構物附近、河口及可能影響波浪入射之海岸地形突變附近，應避免設站。
 - b. 若為長期觀測站，應選擇水深較深之地點，以避免海底地形變化對波浪之影響。
 - c. 應選擇水質較佳之地點，以避免儀器之感應器為海中生物附著。
- (3) 易於佈放及回收的場所
 - a. 波浪站地點最好設置於進出容易之港口附近，且容易進行觀測之地點，並儘可能避開漁業活動頻繁之場所，避免漁民糾紛。
 - b. 選擇於不致有劇烈漂砂活動之地點，以避免底碇式儀器為

漂砂所掩蓋。

- c. 選擇於海底平坦之區域，佈放底碇式儀器，方便水下作業之進行。

(4)安全的地點

- a. 選擇於漁撈作業較不頻繁之處，以避免水下觀測儀器為漁網拖曳離開佈放位置，導致儀器固障甚至於遺失儀器。
- b. 避開海溝或地形突變之地點，以避免過大之海流衝擊儀器。

8.3 海象觀測站分布現況分析

目前國內的海象觀測站以交通部運輸研究所港灣技術研究中心(詳港研中心網站說明)、交通部中央氣象局及經濟部水利署所設置之長期固定測站為主(詳中央氣象局網站說明)，其他學術及研究單位及一些海事顧問公司等，亦有以計畫為目的(如數值計算、水深測量、浚深工程 等)所設置之短期觀測站，這些觀測站除了使用不同型式的儀器，並沒有一共同之水準基點，因此在使用上必須非常小心注意。在整體觀測站的分布上均以近岸或港內之測站為主，因此在模式應用上僅有部分測站的資料能做為驗證之用，無法作為設定邊界條件或是資料同化系統的基礎資料。

8.4 海象觀測站網規劃

就數值預報模式的觀點來考量，理想的海象觀測站網應涵蓋不同層次(水深、離岸距離)的分布，在不同模式的應用上亦會有各自不同的考量，試分類如下：

- (1)一等觀測站：水深在一百公尺以上，適用於做為建立近岸潮汐模式所需之邊界條件，亦可做為大尺度暴潮模式之校驗與預警模式

之推算基點。在波浪觀測上，一方面可提供模式作為資料同化的參考，亦可用於衛星資料之校驗。由於台灣海域目前並沒有這一類型的海象觀測站，建議在未來能在預算容許的情況下，儘早實施以提昇台灣海洋工程界的模式發展能量，僅就潮汐、潮流、風暴潮及風浪預報模式系統所需之觀測站規劃如下：

(a)海峽中線序列潮位及潮流觀測站：台灣目前大部分的潮位站除港研中心所屬的觀測站外均設於港灣內，海流的量測亦僅有港研中心的測站提供，無法完整的提供台灣海峽內的潮汐潮流模式所需之外海邊界條件，目前的做法有些僅以海岸測站資料分析重組潮汐邊界，較大計算能力者則將模式邊界推至太平洋再由大尺度模式計算區域模式。前者誤差可期，尤其是台灣海峽的潮汐狀況非常複雜，錯誤引用將會造成模式的錯估，後者亦需離岸資料做為校驗所需的基本資料。自阿瑪斯號船難以及華航空難事件後，台灣海域的海流資料及預測已經成為熱門的話題，當然是本計畫完成後可服務的項目之一，因此建議南自澎湖北至基隆嶼馬祖的中線每隔 0.5 度建置一短期潮位及潮流觀測站，由於潮汐分析僅需約 30 天的逐時資料即可進行調和分析，並足以將大多數的分潮分析，所以可以每季進行一個月，執行二年後就可以將台灣海峽的潮汐及潮流基本資料建立，另外再選擇三個點位進行長期觀測。由於台灣海峽外海觀測站易遭漁民拖網損壞，建議可使用底碇防托式的設備，並不需要即時測站資料。(詳圖 8.3)

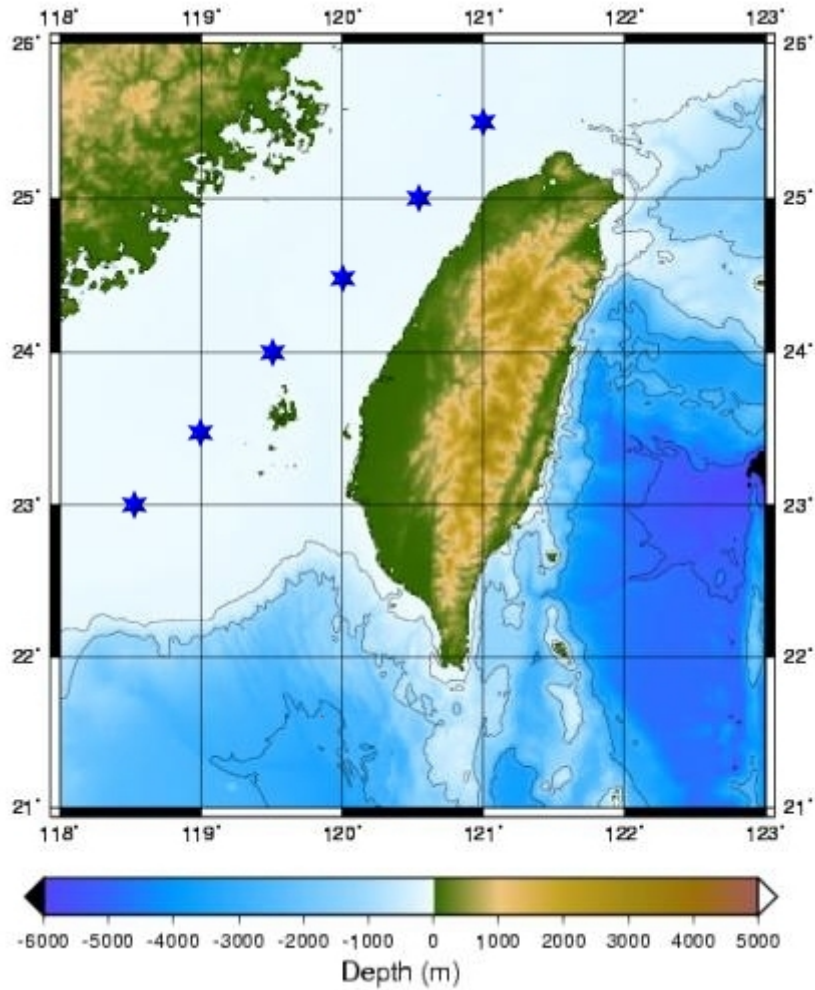


圖8.3 海峽中線序列潮位及潮流觀測站示意圖

(b)大陸棚邊緣潮位及潮流觀測站：台灣南部及東北海域鄰近大陸棚邊緣，受到湧昇流的影響，潮位及潮流的變化很大，但是這方面的資料則根本沒有，但是這二個海域卻是漁業及遊憩活動最為頻繁的海域，藍色公路基本上就是在這二個海域上規劃，因此在大陸棚邊緣設置潮位及潮流觀測站是極為重要的基礎建設，建議在基隆、蘇澳、宜蘭外海水深二百公尺處設置四站，高雄至屏東外海水深二百公尺處設置五站，使用底碇式的潮位及潮流觀測儀器，同樣進行四季每季 30 天的量測，執行二年後這些資料將會大量提昇台灣的預報能量及精確度(詳圖 8.4)。

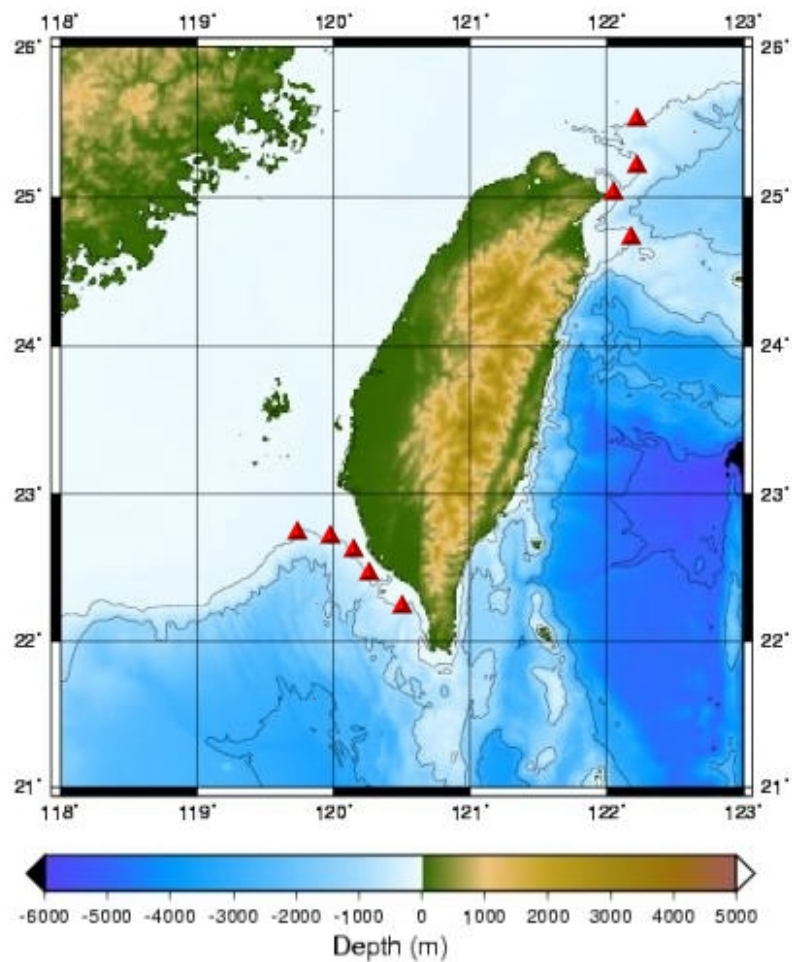


圖8.4 大陸棚邊緣潮位及潮流觀測站示意圖

(c)深海或遠洋波浪觀測站：台灣海域的波浪除冬季受東北季風及夏季受西南季風的影響外，在海岸防災及航行安全的議題上來說，颱風波浪的預報是最重要的，如何能夠提昇波浪預報模式的準確性必須仰賴充足的外海觀測資料來做模式的校驗工作，一方面是檢驗模式在由外海傳遞至近岸的過程是否正確，另一方面深海及遠洋測站的資料亦可應用於波浪預報的資料同化計算系統。根據經驗，有效的同化計算通常是在 24 小時之內，因此，遠洋波浪觀測站的距離應該是要設在波浪能量傳遞到海岸前的 24 小時才有被線上操作模式利用的實質意義。但是，深海

波浪站不論是施放或是維護都是極為昂貴的工作，因此不太可能做得很密，僅需在大多數颱風能夠影響到的點位選擇幾點設置深海觀測站即可達成初步的目的。由於侵台颱風大多從太平洋或南中國海形成，因此建議在東沙島的東南面與台灣東岸深海地區各設一觀測站，以便進行模式校驗與同化的工作。另外，由於深海波浪站非常昂貴，或許可以嘗試透過國際合作的方式來取得，例如：大多數的北太平洋颱風均在關島西部海域形成，可以國際合作的方式來取得關島附近觀測到的資料，就可大幅提昇模式預報的精確度(詳圖 8.5)。

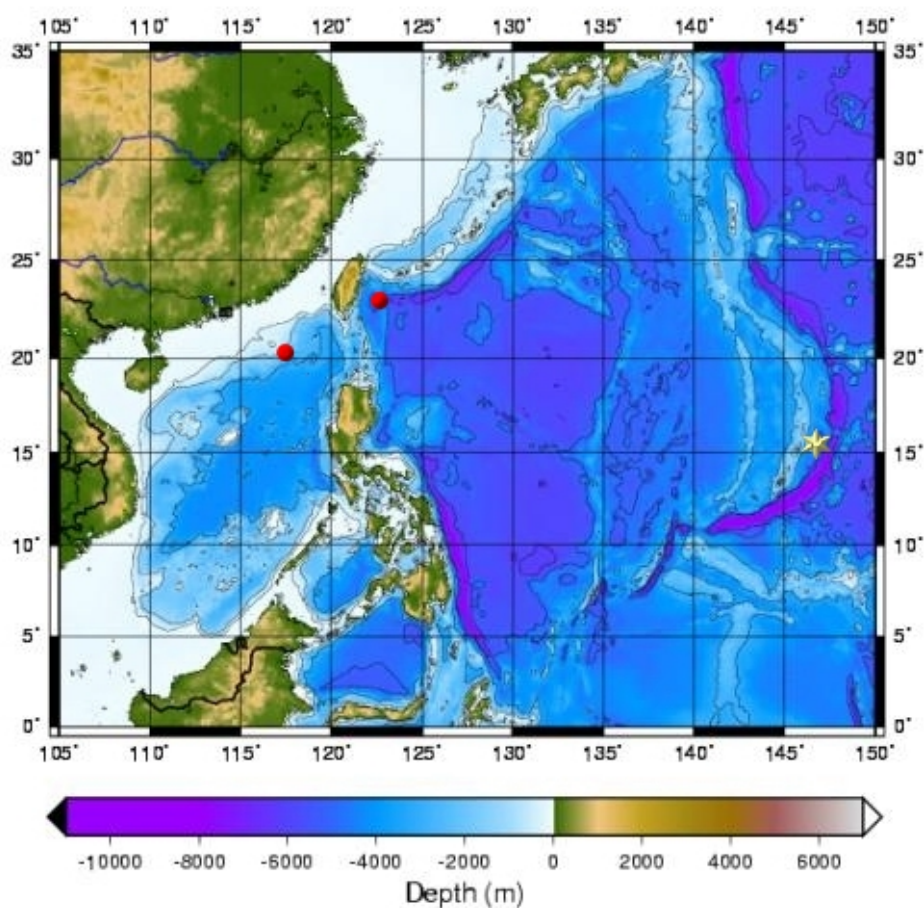


圖8.5 深海及遠洋波浪觀測站示意圖

- (2) 二等觀測站：水深在十公尺以上，並且不受近岸碎波影響的沿岸觀測站，如港研中心目前在七個商業港區所設置的觀測站(圖 8.6)。
- (3) 三等觀測站：在碎波帶以內的波浪觀測站、港灣內的潮位站，或是為各類型暫時性的目的所設置之臨時性測站。

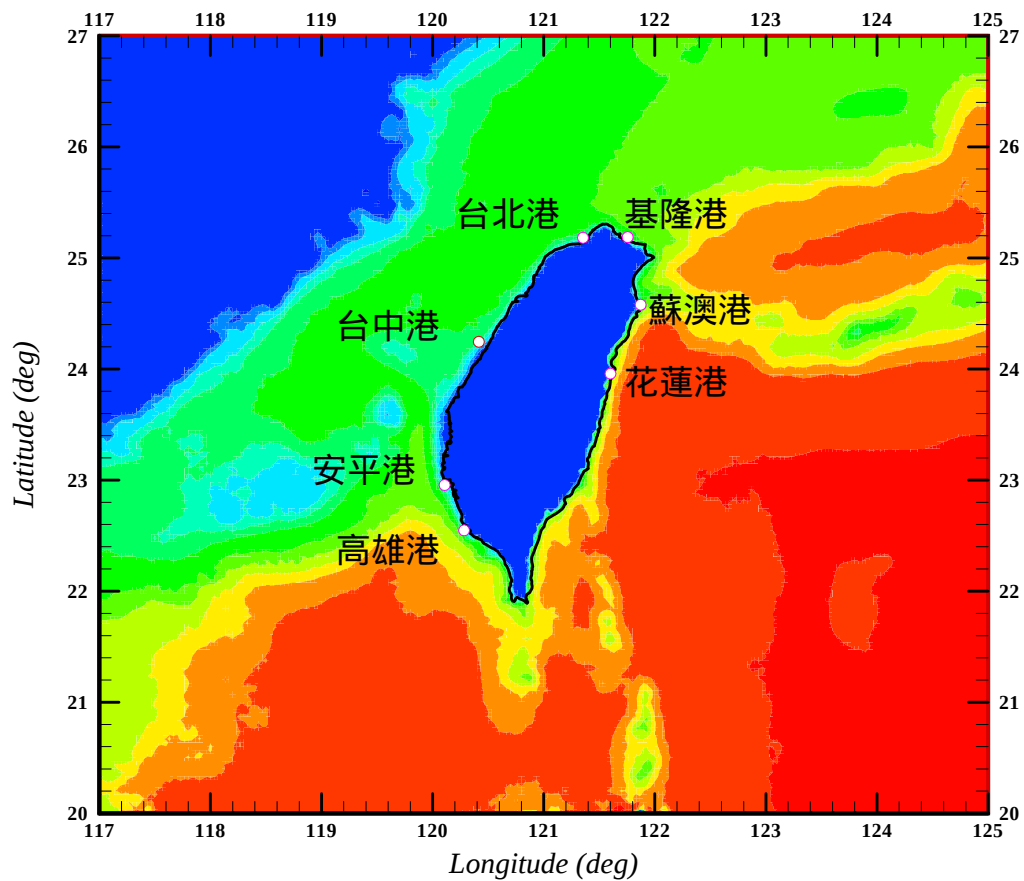


圖8.6 港研中心所屬觀測站

第九章 結論與建議

1. 由於建構近海海象預報系統所要完成的項目相當的多，且波浪的模擬為海象預報中較複雜的，本計劃列為第一年優先執行的目標，第一年預定完成風浪預報模式系統的建置及初步驗證。目前已經初步完成之數值模式分為大尺度的 WAM 及中小尺度的 SWAN、類神經網路模式、風域推算之半經驗模式等四種波浪預報模式系統。
2. 波浪模式之大小網格最佳化及水深資料建置方面，完成三個不同尺度及解析度適用於台灣海域海象模式應用的網格系統，並結合美國、英國及台灣的海洋水深資料，依據這三個模式的網格需求建製三套水深資料放置於水深資料庫網頁下，供海象模式應用。
3. 綜觀四種模式各有其適用性及適用範圍，WAM 及 SWAN 都是全域計算模式，可以提供全區範圍內的預報資料，應用範圍較廣，但是執行費時；類神經網路與半經驗風域推算模式，以應用在有實測波浪數據之情況，並與實測建議轉換函數，因此計算迅速，但是僅能適用於已經建立的預報點位，無法提供全部海域的預報資料。在預報作業上來說，全域模式是完全適用於線上操作的預報系統，就如同世界各國的發展，但是其他二種轉換函數模式卻可以提供快速的預警訊息，如何搭配應用尚待未來長期的校對與驗證。
4. 根據模式需求的觀點規劃理想的台灣海域海象觀測網，期待觀測網的建置可以提昇模式預報的能量及精確度。
5. 本預報模式資訊系統的目標希望能建構一套符合方便始用需求的網站介面。資料呈現的架構是利用分門別類的方式將每個主題突顯出來，然後在針對每個主體內容做細部資料的呈現或查詢。
6. 未來將引用風浪預報模式，以提供環島藍色公路航行之風浪資訊，建立區域風浪模式，迅速提供港口航運安全所需之風浪預警資訊。其次建立本土化之水位預報模式，以整合台灣環島觀測水位及數值模擬結果，迅速且經確的提供海岸溢淹之預警。並在配合模式推算長期颱風波浪及暴潮位，以檢討現有沿海防護設施的設計水位、設計波高標準，並做為災害防護措施的依據。建立大域及區域性之流場及污染物擴散模式，迅速的提供緊急海難、油污擴散、港口航運安全所需之預警資

訊。最後配合本所海情中心業務，建立近岸防救災預報系統，並採用地理資訊系統之人性化操作界面，以利各界之使用。

參考文獻

1. 井島武士 (1972), 台中港設計波浪計算報告書, 日本港灣顧問公司。
2. 李汴軍 (1997), 中央氣象局第二代波譜模式特性探討, 中華民國第十九屆海洋工程研討會論文集, 80-84 頁。
3. 蔡丁貴、莊文傑、蘇清和 (2002), 近海災害防救系統構想。第 24 屆海洋工程研討會專題講座論文集, 43-54 頁。
4. 廖建明 (2001), 近岸風浪模式之研究, 國立成功大學水利及海洋工程研究所博士論文。
5. 廖建明、歐善惠、許泰文、方介群、臧效義 (2002), 應用 SWAN 模式模擬台灣附近颱風波浪之特性, 中華民國第二十四屆海洋工程研討會論文集, 469- 476 頁。
6. Booij, N., L.H. Holthuijsen and R.C. Ris (1996), “The SWAN Wave Model for Shallow Water,” *Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Orlando, Vol. 1, pp. 668-676.
7. Chen, Guan-Yu、Chiu, Yung-Fang (2002), ” Building a Forecast System for Near-shore Disaster Prevention, Recovery, and Rescue in Taiwan—Plan of the Center of Harbor and Marine Technology ”。第 24 屆海洋工程研討會專題講座論文集, 105-110 頁。
8. Flather, Roger A. , ” Existing operational oceanography “ , *Coastal Engineering* 41 (2000), pp 13-40
9. Holland, G.J. (1980), “An Analytical Model of the Wind and Pressure Profiles in Hurricanes,” *Monthly Weather Review*, No. 108, pp. 1212-1218.

10. Holthuijsen, L.H., N. Booij, R.C. Ris, J.H. Andorka Gal and J.C.M. de Jong (1997) , “A Verification of the Third-Generation Wave Model SWAN along the Southern North Sea Coast,” *Proceedings 3rd International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES’97*, ASCE, pp. 49-63.
11. Janssen, Peter (1995) , ”The wave model” , European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
12. Ou., S.H., J.M. Liao, T.W. Hsu and S.Y. Tzang (2002) , “Simulating Typhoon Waves by SWAN wave model in Coastal Waters of Taiwan,” *Ocean Engineering*, Vol. 29, pp. 947-971.
13. Prandle, David , ” Introduction Operational oceanography in coastal waters ” , *Coastal Engineering* 41 (2000) , pp 3-12
14. Prandle, David , ” Operational oceanography---a view ahead ” , *Coastal Engineering* 41 (2000) , pp 353.359
15. WAMDI Group (1988) , “The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model,” *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1775-1810
16. Yu. C.S., M. Marcus and J. Monbaliu (1994) Numerical modelling of storm surges along the Belgium coast. In : *Computational Methods in Water Resources X*, Peters et al. (eds), Water Science Technonogy Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1331- 1338.