

92-10-738

MOTC-IOT-IHMT-91-HB09

台灣地區波浪預警系統之應用研究(二)



交通部運輸研究所
國立交通大學
合作辦理

中華民國九十二年二月

92-10-738

MOTC-IOT-IHMT-91-HB09

台灣地區波浪預警系統之應用研究(二)

著者：張憲國、錢維安、何良勝

交通部運輸研究所
國立交通大學
合作辦理

中華民國九十二年二月

台灣地區波浪預警系統之應用研(二)

著 者：張憲國、錢維安、何良勝

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

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十二年二月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

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 2 號 B1•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市光復路 177 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

交通部輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

| | | | |
|---|--|-------------------------|---|
| 出版品名稱：台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(二) | | | |
| 國際標準書號（或叢刊號） | 政府出版品統一編號 1009200511 | 運輸研究所出版品編號 92-10-738 | 計畫編號 91-HB09 |
| 本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳主任 計畫主持人：何良勝科長 研究人員：林受勳 聯絡電話：04-26587123 傳真號碼：04-26571329 | 合作研究單位：國立交通大學 計畫主持人：張憲國副教授 研究人員：錢維安 地址：新竹市大學路 1001 號 聯絡電話：07-5712121 轉 54987 | | 研究期間 自 91 年 02 月 至 91 年 11 月 |
| 關鍵詞：神經模糊網路；波浪推算；波浪預報 | | | |
| <p>摘要：</p> <p>本研究是利用神經-模糊網路模式來推算颱風波浪，模式分成三個部分，第一部份為推算颱風湧浪的學習知識庫，這部分是利用過去對於颱風氣象或是波浪資料等的紀錄，建立一神經-模糊網路可以參考的知識庫，第二部份為推算颱風風浪的學習知識庫，這部分是利用過去對於颱風氣象資料等的紀錄建立一神經網路知識庫，這兩個部分的目的在提高輸入資料品質，第三部分是推算模式的計算核心，在於整合風浪及湧浪資料推算實際的波浪資料。</p> <p>其次本計畫建立颱風行為及氣象與颱風波浪間的關係，利用歷史颱風及氣象資料配合觀測站實測的颱風波浪資料進行模糊關係的比對及分析，其中分析資料使用花蓮海域長期之波浪紀錄中1998-2000年共十場颱風波浪的資料。</p> <p>本次研究發展的神經-模糊網路模式具有非線性模擬及描述物理現象的能力，可初探颱風與波浪的複雜關係，並由氣象資料可準確預測及補遺颱風波浪資料。</p> | | | |
| 出版日期 | 頁數 | 定價 | 本出版品取得方式 |
| 92 年 2 月 | 172 | 200 | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價購。 |
| <p>機密等級：</p> <p>限閱 機密 極機密 絕對機密</p> <p>（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）</p> <p>普通</p> | | | |
| 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: Application of Typhoon Wave Forecasting Model to Harbors in Taiwan (II) | | | |
| ISBN(OR ISSN) | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009200511 | IOT SERIAL NUMBER 92-10-738 | PROJECT NUMBER 91-HB09 |
| DIVISION: IHMT DIVISION CHIEF: Chiu, Yuang-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho, Liang-Sheng PROJECT STAFF: Lin, Shou-Shiun PHONE: +886-4-26587123 FAX: +886-4-26571329 | | | PROJECT PERIOD FROM 2002 / 02 TO 2002 / 11 |
| RESEARCH AGENCY: National Chiao Tung University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chang, Hsien-Kuo PROJECT STAFF: Luo, Jia-huey ADDRESS: National Chiao Tung University, 1001 TA HSUEH ROAD, HSINCHU, TAIWAN 30050,ROC PHONE: +886-7-5255067ext54987 | | | |
| KEY WORDS: neuro-fuzzy network ; wave calculation ; wave forecasting | | | |
| ABSTRACT: <p style="text-align: center;">A neuro-fuzzy network model of forecasting typhoon waves was developed in this project. The present model consists of three parts. The first part is to set up a database for typhoon data and the corresponding swell conditions. The second part is to set up a database for typhoon data and the corresponding wind wave conditions. The database is used to promote the prediction capability of the neuro network model. The other part is to connect the typhoon waves to typhoon condition by using neuro-fuzzy network. The wave data were collected from 1998 to 2000 at Hwalien harbor. A comparison with observed wave height shows that the present model has high capability to predict wave height of typhoon waves.</p> | | | |
| DATE OF PUBLICATION Feb. 2003 | NUMBER OF PAGES 172 | PRICE 200 | 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..... | |
| 圖目錄..... | |
| 表目錄..... | |
| 第一章 前言 | 1 |
| 1.1 計畫目的..... | 1 |
| 1.2 工作項目 | 2 |
| 1.3 歷年相關計畫比較..... | 2 |
| 1.4 本年度研究計畫..... | 3 |
| 1.5 文獻回顧..... | 3 |
| 第二章 氣象及波浪資料分析..... | 9 |
| 2.1 氣象資料分析..... | 9 |
| 2.2 颱風、波浪資料分析..... | 17 |
| 第三章 颱風模式的建立..... | 21 |
| 3.1 類神經網路..... | 21 |
| 3.2 模糊理論..... | 24 |
| 3.2 模式的架構..... | 29 |
| 3.2 類神經網路學習及測試..... | 39 |
| 第四章 結果與討論..... | 41 |
| 4.1 模式驗證..... | 41 |

| | |
|------------------|-----------|
| 4.2 結論..... | 71 |
| 4.3 建議..... | 72 |
| 參考文獻..... | 73 |

圖目錄

| | |
|---|----|
| 圖 1-1 颱風移動速度與風場結構變化 (見 Vickery 和 Skerlj ,2000)4 | 4 |
| 圖 1-2 模擬颱風風浪模型.....5 | 5 |
| 圖 1-3 颱風風場內波浪模擬圖.....6 | 6 |
| 圖 2-1 熱帶低壓及颱風生成區域及產生數量以及 15 年熱帶低壓平均生成數量 (引自 JTWC)9 | 9 |
| 圖 2-2 BOPHA 颱風 (2000/9/8/00 : 30 格林威治時間) 的衛星雲圖 (引自 JTWC)10 | 10 |
| 圖 2-3 BOPHA (2000/9/7/11 : 30 格林威治時間) 的風場分佈圖 (引自 NOAA) [註：箭頭為颱風移動方向].....11 | 11 |
| 圖 2-4 BOPHA 颱風的路徑圖 (引自 NOAA)11 | 11 |
| 圖 2-5 DAMREY 颱風 (2000/6/9/23 : 00 格林威治時間) 衛星雲圖...13 | 13 |
| 圖 2-6 DAMREY 颱風風場分佈圖 (引自 NOAA)13 | 13 |
| 圖 2-7 DAMREY 颱風的路徑圖 (引自 NOAA)14 | 14 |
| 圖 2-8 花蓮港觀測站颱風位置與示性波高分佈14 | 14 |
| 圖 2-9 颱風中心與觀測站方位角 θ_1 、颱風行進的方位角 θ_2 、颱風行進方向與觀測站間的夾角 θ_3 之定義示意圖16 | 16 |
| 圖 2-10 颱風位置與颱風移動速度關係圖.....17 | 17 |
| 圖 3-1 以步階函數描述四季的歸屬函數.....25 | 25 |
| 圖 3-2 以高斯函數描述四季的歸屬函數.....25 | 25 |
| 圖 3-3 一般常用的歸屬函數.....26 | 26 |
| 圖 3-4 模糊邏輯運算真值表.....27 | 27 |
| 圖 3-5 二個輸入函數經過最大值法則的模糊化結果示意圖27 | 27 |
| 圖 3-6 模糊網路結構示意圖.....28 | 28 |
| 圖 3-7 重心法解模糊化示意圖.....28 | 28 |
| 圖 3-8 模糊網路的操作流程示意圖.....28 | 28 |
| 圖 3-9 颱風推算模式的架構.....29 | 29 |
| 圖 3-10 模糊網路的結構示意圖.....31 | 31 |
| 圖 3-11 本模式最佳化所得颱風最大風速的歸屬函數.....31 | 31 |

| | |
|--|----|
| 圖 3-12 本模式最佳化所得颱風移動速度的歸屬函數 | 32 |
| 圖 3-13 本模式最佳化所得颱風與測站距離的歸屬函數 | 32 |
| 圖 3-14 本模式最佳化所得颱風與觀測站的方位角的歸屬函數 | 33 |
| 圖 3-15 本模式最佳化所得觀測站與颱風行進方向夾角的歸屬函數 .. | 33 |
| 圖 3-16 颱風波浪推算模式架構（風浪與湧浪獨立運算架構） | 34 |
| 圖 3-17 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈 | 36 |
| 圖 3-18 移動颱風內風場等值分佈圖..... | 36 |
| 圖 3-19 移動颱風內風場等值分佈圖..... | 37 |
| 圖 3-20 颱風風場剖面圖..... | 37 |
| 圖 4-1 BILIS（2000）碧利斯颱風路徑圖..... | 43 |
| 圖 4-2 BILIS 颱風中心位置至花蓮測站的距離與實測示性波高的時序 圖 | 44 |
| 圖 4-3 以 Model 1($I_6 H_{14} H_6 O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之 較 | 44 |
| 圖 4-4 以 Model 2($I_6 H_{20} H_{10} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之 較 | 45 |
| 圖 4-5 以 Model 3($I_6 H_{24} H_{12} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之 比較 | 45 |
| 圖 4-6 以 Model 4($I_6 H_{30} H_{12} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之 較 | 46 |
| 圖 4-7 以 2001 Model($I_6 H_{30} H_{12} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值 之比較 | 46 |
| 圖 4-8 FRED（1994）颱風的路徑圖 | 47 |
| 圖 4-9 FRED 颱風中心位置與花蓮測站的距離與實測示性波高的時序 圖 | 47 |
| 圖 4-10 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在花蓮測站的波高推算 值與觀測值之比較 | 51 |
| 圖 4-11 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在花蓮測站的週期推算 值與觀測值之比較 | 51 |

| | |
|---|----|
| 圖 4-12 XANGSANE (2000) 颱風的路徑圖 | 52 |
| 圖 4-13 XANGSANE(2000)颱風中心位置與花蓮測站的距離與實測示 性波高的時序圖 | 52 |
| 圖 4-14 以分離風浪與湧浪模式推算 XANGSANE 颱風在花蓮測站的波 高推算值與觀測值之比較 | 53 |
| 圖 4-15 以分離風浪與湧浪模式推算 XANESANE 颱風在花蓮測站的週 期推算值與觀測值之比較 | 53 |
| 圖 4-16 以分離風浪與湧浪模式推算 FRED 颱風在花蓮測站的波高推算 值與觀測值之比較 | 54 |
| 圖 4-17 以分離風浪與湧浪模式推算 FRED 颱風在花蓮測站的週期推算 值與觀測值之比較 | 54 |
| 圖 4-18 BILIS 颱風中心位置與蘇澳測站的距離與實測示性波高的時 序圖 | 55 |
| 圖 4-19 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在蘇澳測站的波高推算 值與觀測值之比較 | 57 |
| 圖 4-20 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在蘇澳測站的週期推算 值與觀測值之比較 | 57 |
| 圖 4-21 MAGGIE (1999) 颱風的路徑圖..... | 58 |
| 圖 4-22 MAGGIE(1999)颱風中心位置至蘇澳測站的距離與實測示性波 高的時序圖 | 58 |
| 圖 4-23 以分離風浪與湧浪模式推算 MAGGIE 颱風在蘇澳測站的波高 推算值與觀測值之比較 | 59 |
| 圖 4-24 以分離風浪與湧浪模式推算 MAGGIE 颱風在蘇澳測站的週期 推算值與觀測值之比較 | 59 |
| 圖 4-25 HAIYAN (2001) 颱風的路徑圖 | 61 |
| 圖 4-26 HAIYAN(2001)颱風中心位置至花蓮測站的距離與實測示性波 高的時序圖 | 62 |
| 圖 4-27 以分離風浪與湧浪模式推算 HAIYAN 颱風在花蓮測站的波高 推算值與觀測值之比較 | 62 |

| | |
|---|----|
| 圖 4-28 以分離風浪與湧浪模式推算 HAIYAN 颱風在花蓮測站的週期推算值與觀測值之比較 | 63 |
| 圖 4-29 TORAJI (2001) 颱風的路徑圖 | 63 |
| 圖 4-30 TORAJI(2001)颱風中心位置至花蓮測站的距離與推算示性波高的時序圖 | 64 |
| 圖 4-31 以分離風浪與湧浪模式推算 TORAJI 颱風在花蓮測站的週期推算值與觀測值之比較 | 64 |
| 圖 4-32 LEKMA (2001) 颱風的路徑圖 | 65 |
| 圖 4-33 LEKMA(2001)颱風中心位置至花蓮測站的距離與實測波高時序圖 | 65 |
| 圖 4-34 以分離風浪與湧浪模式推算 LEKMA 颱風在花蓮測站的波高推算值與觀測值之比較 | 66 |
| 圖 4-35 ZEB (1998) 颱風路徑 | 68 |
| 圖 4-36 ZEB (1998) 颱風中心位置至台北港測站的距離與實測示性波高的時序圖 | 68 |
| 圖 4-37 以分離風浪與湧浪模式推算 ZEB 颱風在台北測站的波高推算值與觀測值之比較 | 69 |

表目錄

| | |
|--|----|
| 表 2-1 1997-2000 年港研中心測量颱風波浪的時間 | 18 |
| 表 2-2 颱風氣象與波浪資料的各變數相關性 | 19 |
| 表 3-1 選擇四種類神經網路的結構..... | 30 |
| 表 4-1 颱風波浪推算模式波高推算學習結果相關係數比較 | 42 |
| 表 4-2 颱風推算模式對 BILIS (碧利斯) 颱風波高推算相關性比較 .. | 42 |

第一章 前言

台灣的經濟及貿易發展與航運有著密不可分的關係，而港灣內部靜穩的程度關係到船隻碇泊與貨物裝卸的作業，多變的環境現象為港灣內安定的主要影響變數之一。台灣的地理位置正處於颱風發生及主要行進的區域，颱風的豪雨、強風及其引起的巨浪，使台灣海域的漁撈、航運交通、建築物、農作物遭受損害，甚至造成人員的傷亡，颱風所引起的巨浪為破壞港灣的重要因素。

對颱風所產生的波浪可藉由推算波浪的計算模式提供波浪預警的波浪大小及到達時間，使人有較充裕時間來處理及應變必需的措施，以降低可能的損失。此種預警模式的預測是減少港灣及港內船隻損失的有效方法。目前對於波浪推算的方法多採用經驗公式配合現場資料分析，以迴歸或數值模擬方式計算。然而，此兩種方法對於中小尺度的地理位置差異並無法充分反應，所以本次計畫將建立一個以台灣港灣為主的颱風波浪推算模式，提供相關單位來預測颱風波浪，而能提高預警防災的能力。

1-1 計畫目的

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

由於目前颱風波浪數值推算分析的方法大多無法直接應用在台灣沿岸。本計畫主要建立一個符合區域特性的颱風波浪推算模式，藉由前二年模式發展的經驗，今年將能大幅提昇波浪算的準確性，有效增加預警的能力，而採用模糊理論及類神經網路為主要架構，利用模糊理論及類神經網路能夠處理非線性關係的優點，由分析颱風波浪、颱風波高、颱風週期、氣象及地理環境的關係特性輸入颱風推算模式，建立颱風與波浪的關係。

本颱風波浪推算模式以港灣內設置的波浪觀測站的及時波浪資料，連結至颱風波浪推算模式，以減少運算的時間，達到及時推算颱風波浪，提高預警的效果。

1-2 工作項目

本計畫為發展各港灣的颱風波浪推算模式，主要的工作項目細分為：

1. 整理分析港研中心現有海域颱風波浪資料的特性。
2. 整理往昔侵襲台灣颱風之氣象資料的特性。
3. 建立颱風特性與颱風波浪特性之關係。
4. 以類神經網路及模糊理論建立颱風推算模式。
5. 驗證應用推算模式。

1-3 歷年相關計畫比較

(1) 台灣東部波浪預警系統之應用研究 — 港外波浪動態特性 (2000 模式)

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

第二階段為了要能提高波浪資料的利用程度以及依照颱風進行路徑的區別，分別建立了串聯及並聯類神經架構的兩個推算模式，並同時考慮 1 個小時波浪延時的效應。由結果發現此兩種模式除了可提高

波浪推算的能力，對於相似路徑及規模相仿的颱風具有較高推算的能力，但對於未學習過的颱風，推算的颱風波浪還有較大的誤差。

（2）台灣地區波浪預警系統之應用研究（2001 模式）

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

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

1-4 本年度研究計畫

延續往昔的研究成果，今年的颱風波浪推算模式主要結構是混和（blend）模糊理論及類神經網路，推算模式的重點為滿足各個港口的地理環境特性及相對台灣地形的氣象關係，另一個重點是對颱風的機制或特性建立與各個測站間的關係，以提高模式應用的範圍及推算的準確性。

本文於第二章整理分析港言中心於花蓮港及蘇澳港現有颱風波浪資料的特性，及侵襲台灣之氣象資料特性。並於 2-2-2 節建立颱風特性與颱風波浪之基本統計特性。第三章說明類神經網路及模糊理論的基本原理，及本模式建立的架構，第四章驗證本模式的推算能力。

1-5 文獻回顧

在建立颱風波浪推算模式之前，先整理往昔文獻的研究，以做為研究發展模式的構想基礎。

颱風的行為受大氣環境與颱風結構特性所左右，而颱風風場內的最大風速與颱風波浪的發展有直接的關係。往昔研究颱風風場如 Shea 和 Gray (1973)採用 13 年 (1957-1969) 內 533 筆由飛機直接量測颱風風場的資料，對於颱風風場結構特性提出颱風最大風速與颱風行徑方向及切向速度、風場的相對溫度與中心氣壓相關，撰出最大風速半徑法 (Radius of Maximum Wind, RMW) 區分風場的指標，依風場條件及 RMW 法將颱風初步分類為 5 種等級的對稱及 5 種等級的非對稱颱風。Holland (1980)建立一個推算颱風風場內壓力與風速分佈的公式。Powell (1991,1996,1998)探討颱風結構與陸地的交互影響，分析陸地對颱風風場與行為的變化。由 Powell 統計觀察的結果發現，颱風對於波浪的作用多變且複雜，所以在建立颱風推算模式必須配合實測資料才能將許多的非線性的影響因素反應在波浪推算模式內。Vickery 和 Skerlj (2000)；利用有限差分法建立基本風場模式，如圖 1-1 所示。

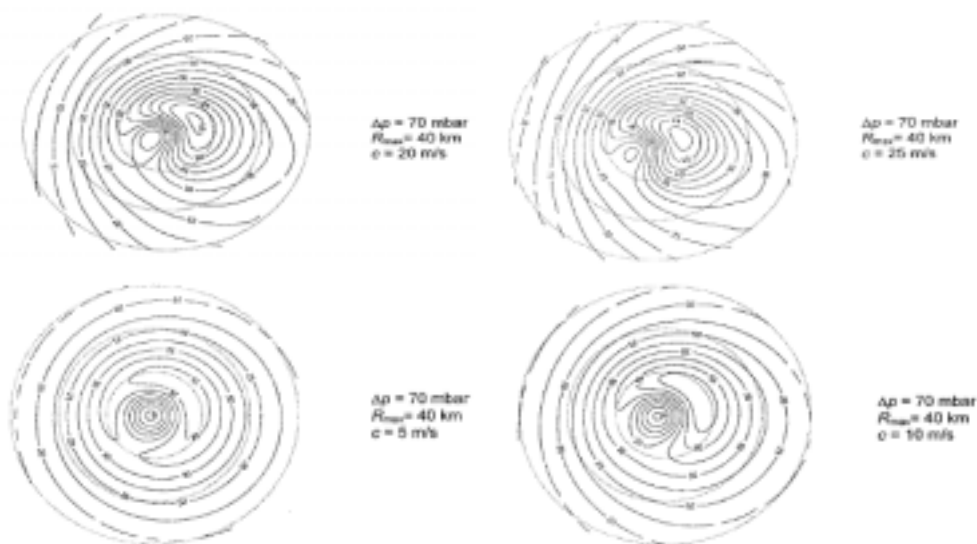


圖 1-1 颱風移動速度與風場結構變化 (見 Vickery 和 Skerlj, 2000)

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

WAMDIG 模式 (1988), SWAN 模式 (1996), WAVEWATCH III 模式 (1997)。

其中的 WAVEWATCH III 模式是目前 NOAA 用於全球即時預報的波浪推算模式，其中物理模式由兩個架構所組成，第一個架構為 WAM 模式(WAMDIG, 1988), 第二個架構則是使用 Tolman 和 Chalikov (1996) 的模式。模式中考慮波浪在暫態及空間的變化、水深及潮流、底床摩擦衰減等影響，及波浪間非線性的交互作用等。

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

Vladimir 和 Masjukov (2000)以式(1-1)波動方程式為基礎，配合颱風波浪模型(如圖 1-2)，模擬推算颱風風場內的颱風波浪，其結果是如圖 1-3。由結果可以看出其模式能良好地描述對稱風場的定性特性，但是對於推算非對稱風場時則受到相當的限制。

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

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

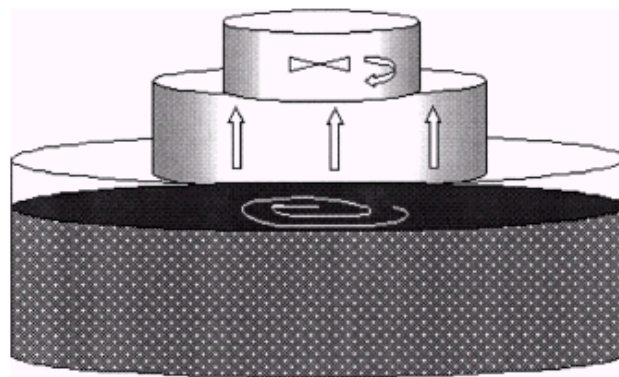


圖 1-2 模擬颱風風浪模型

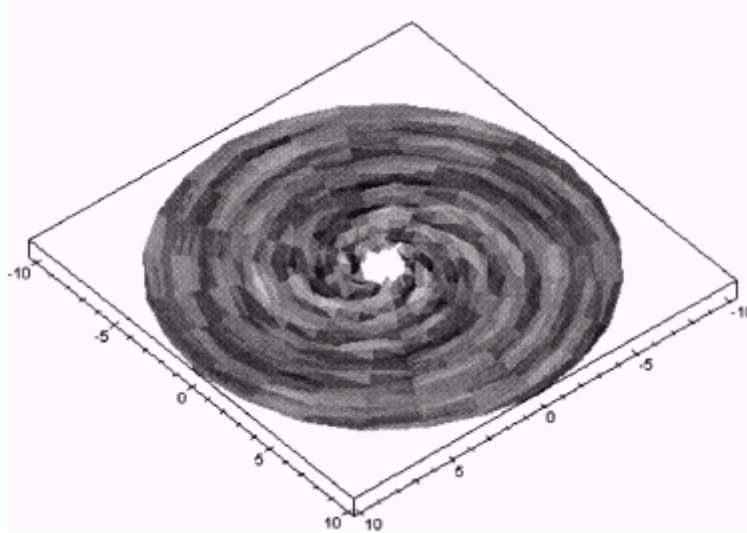


圖 1-3 颱風風場內波浪模擬圖

以經驗公式來推算波浪較常使用的推算式包括：

SPM (1984) 主要使用在淺水海域的波浪推算經驗式。Hurdle and Stive (1984)將 SPM (1984) 波浪推算經驗式修整，提出適合深水海域的波浪推算經驗式。SWAMP (1985)提出季節風波浪的示性波高、示性週期經驗式。美國海岸保護手冊(1984)指出，當颱風移動緩慢時，風域內最大示性波高及其週期與能量指標 $R\Delta p$ (Energy Index)相關。

衛星科技的提升使得許多氣象量測項目增加，而且量測品質也提升許多，如海面的風速量測、水位的量測、影像的辨識等，此類海洋氣象的衛星測量系統資料在氣象或波浪的預報上有相當大的幫助。由於衛星資料獲得與應用日益方便，許多的研究便利用衛星資料來當作推算模式的輸入資料或率定模式時的參考數據。Young 和 Burchell (1996)利用衛星偵測颱風時，由衛星量測當時的水位及波高，藉由颱風行為配合量測的波高數據修正 Young (1988a) 的經驗公式。Lee 和 Liu (1999)利用衛星影像辨識熱帶低壓 氣旋及颱風並進行分類以作為預報颱風的參考。在颱風發生過程及其運動行為非線性的交互作用下，一般的數值模式難以精確地描述颱風波浪，但隨著模糊理論以及類神經網路理論的新科技發展，在分析非線性關係的方法上有相當大的改善後，模糊理論及類神經網路的技術也被普遍的應用至各種工程領域。

Johnson 和 Lin (1996)利用倒傳遞類神經網路學習並且推測颱風運動路徑，並且與 ARIMA 做一比較，由比較的結果發現倒傳遞類神經網路有較好的推算結果。Hiraoka 等人(1999)利用兩個模糊規則對颱風的行進位置進行推測，而模糊規則中包括了颱風位置、颱風行進方向等交互作用規則。

第二章 氣象及波浪資料分析

2-1 氣象資料分析

2-1-1 颱風資料的觀測

由於台灣附近海域為熱帶低壓活躍的區域，也經常發展成為颱風威脅台灣並造成嚴重的損失，Joint Typhoon Warning Center (JTWC)將颱風主要生成的區域大致分為 A、B、C 三區，對於有傷害性的熱帶低壓與颱風出現的位置及頻率示如圖 2-1。從圖 2-1 發現統計的結果顯示 B 區是近年來颱風活躍的區域，也是對台灣產生威脅最大的區域。

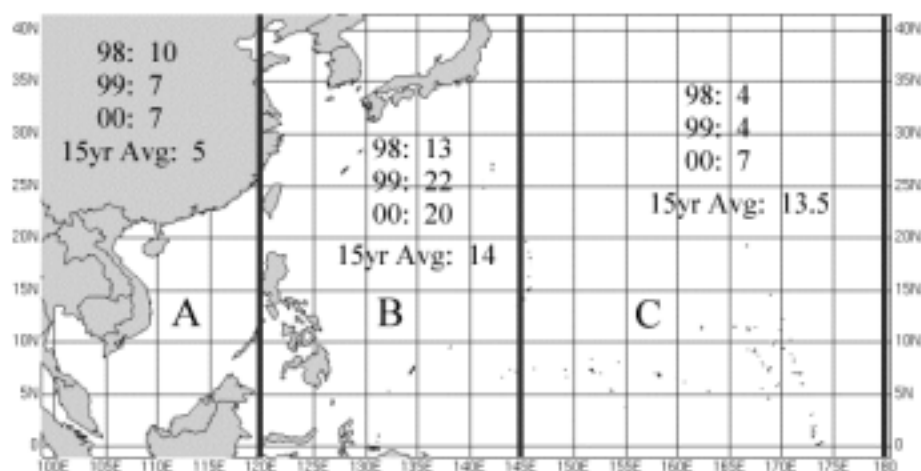


圖 2-1 熱帶低壓及颱風生成區域及產生數量以及 15 年熱帶低壓平均生成數量（引自 JTWC）

針對所收集到的相關氣象資料及衛星資料可以進一步分析不同颱風的路徑及特性，藉以提高分析計算的準確度。圖 2-2 為 BOPHA 颱風（2000/9/8/00：30 格林威治時間）的衛星雲圖，此圖顯示在颱風的高層雲系分佈相當廣泛。圖 2-3 為 BOPHA 颱風（2000/9/7/11：30 格林威治時間）的風場分佈圖，圖 2-3 可以看出颱風區域以外的風速大約在 10 *Knots*，近颱風中心最大風速略大於 50 *Knots*，隨著颱風半徑的增加快速的降低，且圖中可以清楚的區分颱風的左右半圓，在相同颱風半徑的左右半圓的風速相差 40 *Knots* 以上，在颱風的右半圓的部分風速在 5 個經度內就衰減至颱風外圍的風速，颱風尾部因為氣流的引入造成風速有較周圍高的現象並逐漸衰減。圖中風向顯示出低氣壓氣流運

動的一般特性為颱風風速方向以螺旋線的方式朝向颱風中心。在琉球群島的附近颱風風場結構似乎沒有受到明顯的影響，主要原因是群島的面積較小且不密集的群島地勢較低所致。圖 2-4 為 BOPHA 颱風的移動速度及最大風速圖，由圖 2-4 可以觀察出當颱風經過琉球群島後風速及移動速度並沒有明顯的改變，雖然颱風移動特性的影響因素包括陸地，但琉球島嶼的大小顯然遠小於颱風的尺度，所以陸地對颱風的影響也相當有限。

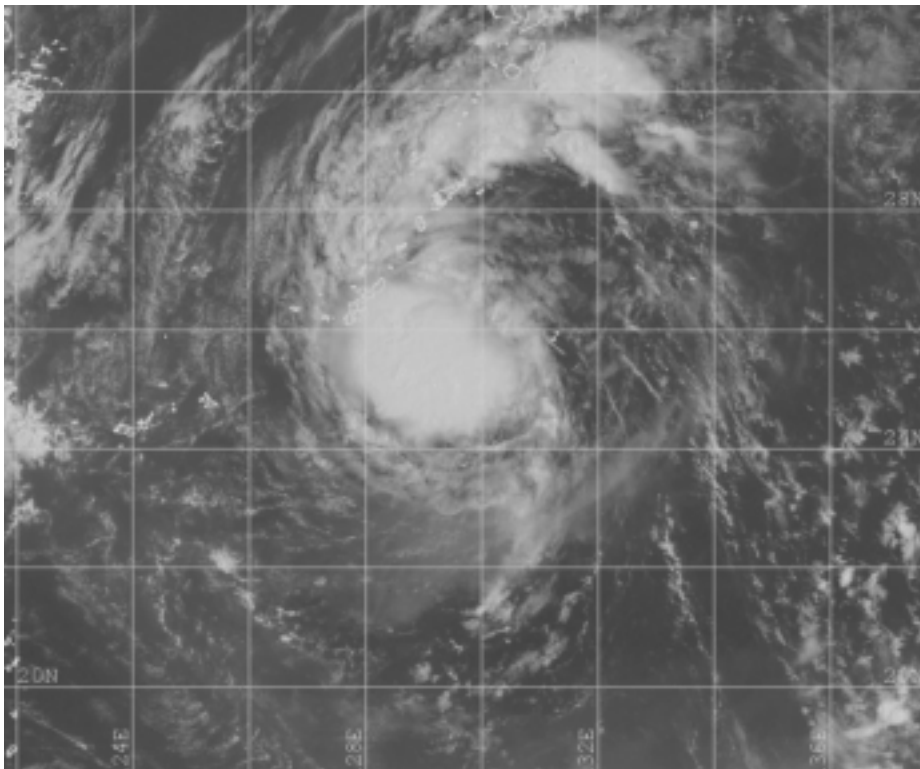


圖 2-2 BOPHA 颱風（2000/9/8/00：30 格林威治時間）的衛星雲圖
（引自 JTWC）

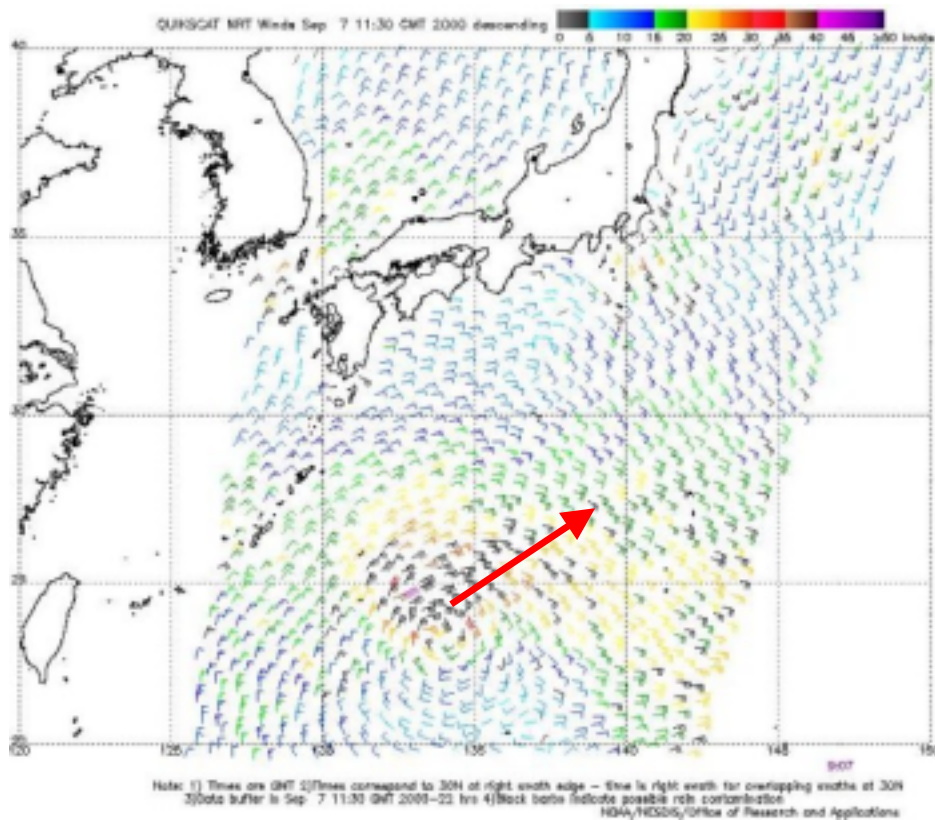


圖 2-3 BOPHA (2000/9/7/11 : 30 格林威治時間) 的風場分佈圖 (引自 NOAA) [註：箭頭為颱風移動方向]

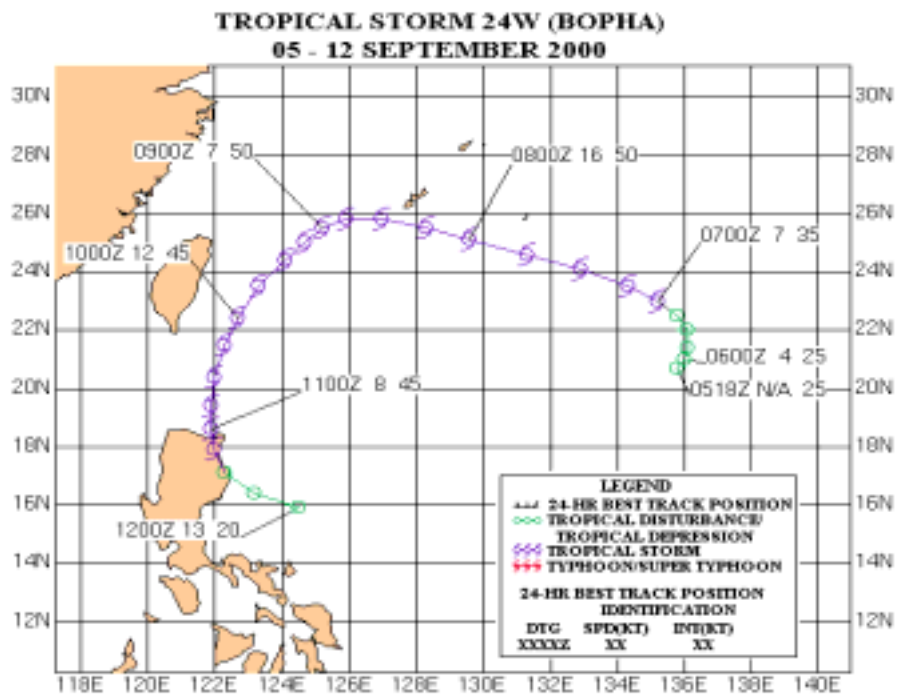


圖 2-4 BOPHA 颱風的路徑圖 (引自 NOAA)

圖 2-5 為 DAMREY 颱風 (2000/6/9/23 : 00 格林威治時間) 衛星雲圖 , 在 2000/6/9 的 DAMREY 颱風是一個超級颱風 , 由圖 2-5 可以發現颱風雲系相當巨大結實。當颱風在 2000/6/11/05 : 00 時 (格林威治時間) , 颱風風場如圖 2-6 所示。DAMREY 颱風的規模隨著北移變小且變成熱帶氣旋 , 此時的最大風速為 48 *Knots* , 風場分佈特性與 BOPHA 颱風相似。圖 2-7 為 DAMREY 颱風的移動速度及最大風速圖 , 由圖中可以發現 DAMREY 颱風在 2000/6/10/00:00 時由最大風速 140 *Knots* 在 2000/6/11/05 : 00 時風速成為 48 *Knots* , 仍然保有低氣壓的特性 , 也就是風場內的風向以螺旋線的方式指向中心。歸納相關資料在對應颱風風場分析颱風風速的分佈情形及運動特性 , 顯示因颱風內的風場有差異 , 所以會造成風場內的波浪大小分佈亦有所不同 , 所以 , 本模式則加入推算點在颱風內相對位置的輸入 , 讓模糊理論作有效合理的判斷 , 增加類神經的推算能力。

本計畫收集資料來源 , 有美國 www.unisys.weather、Joint Typhoon Warning Center (JTWC)及中央氣象局三個網站 , 收集有關颱風的位置及最大風速 , 所收集的颱風位置及最大風速資料擷取的間隔時間均為 6 小時。為提高颱風波浪預警的準確度 , 以及配合波浪觀測站波浪資料每小時一筆的時間格式 , 在假設颱風結構及運動不會在 6 小時內做瞬間的劇烈變化 , 也就是指颱風變動的最小頻率小於 1 小時 , 因此將獲得的颱風資料作多項式三次內差方式 (Lagrangian formula) , 取得每小時內差的颱風資料 , 由張、錢 (2001) 研究結果 , 優選出的推算颱風波浪模式的輸入參數 , 參數包括颱風的位置 (經度 *Lon.* , 緯度 *Lat.*) 及最大風速 (V_{\max}) , 並利用颱風的中心位置與觀測站的位置計算颱風的距離 (D) 以及方位角 (θ_1) 颱風移動的速度 (V_f) 颱風行進的方位角 (θ_2) 以及颱風行進方向與觀測站間的夾角 (θ_3) 。

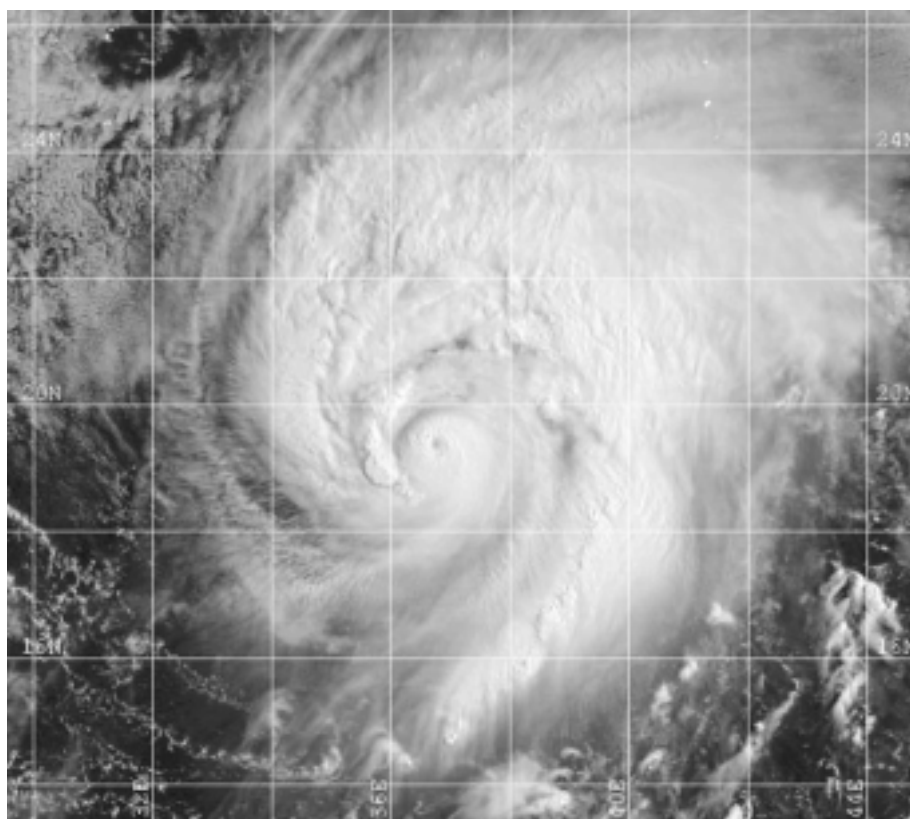


圖 2-5 DAMREY 颱風 (2000/6/9/23 : 00 格林威治時間) 衛星雲圖

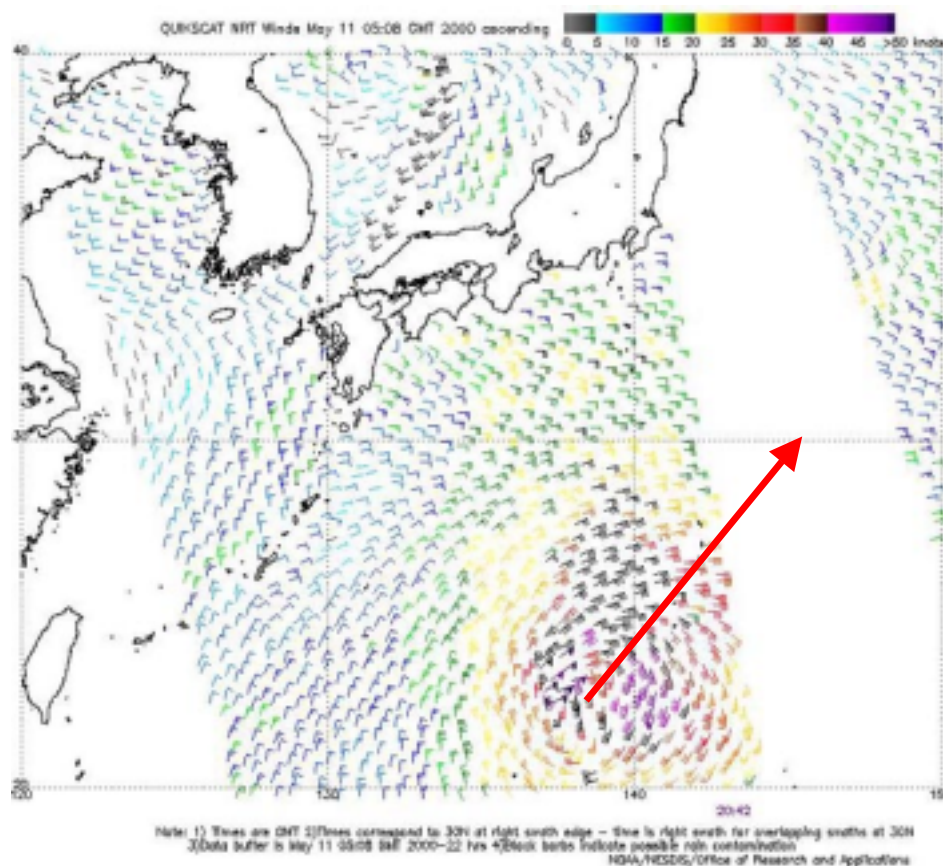


圖 2-6 DAMREY 颱風風場分佈圖 (引自 NOAA)

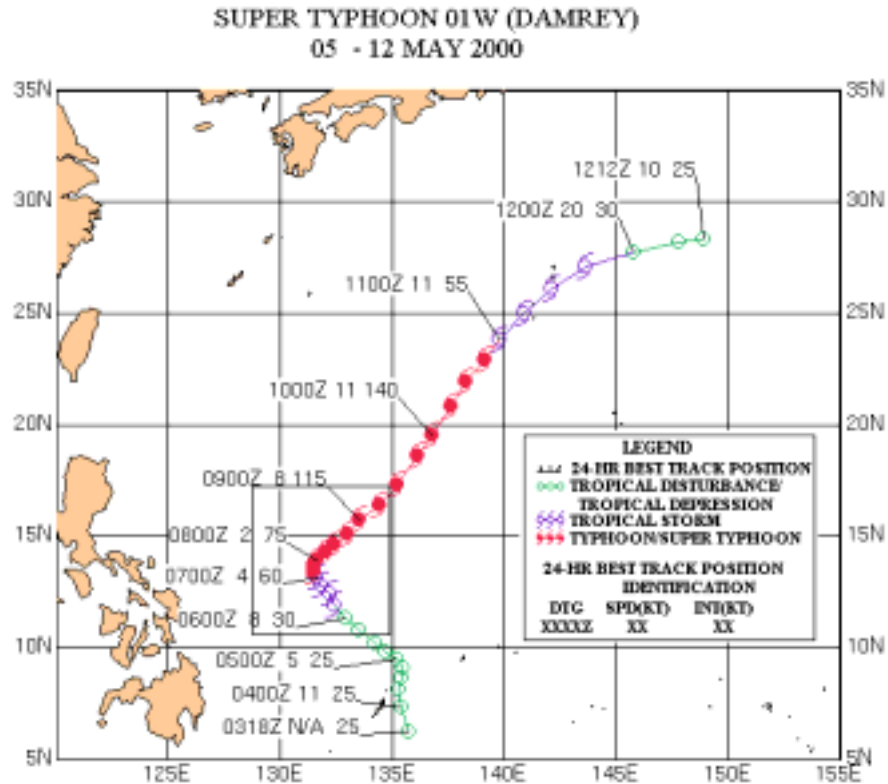


圖 2-7 DAMREY 颱風的路徑圖（引自 NOAA）

由圖 2-1 的西太平洋生成颱風的位置顯示，雖然颱風生成頻率較高的區間在 B 區，但是颱風運動可能受到地形的影響，颱風的規模改變，且波浪與颱風的距離和方位角有關，所以採用極座標表示颱風的位置與特性比應用經緯度的地理座標較佳。

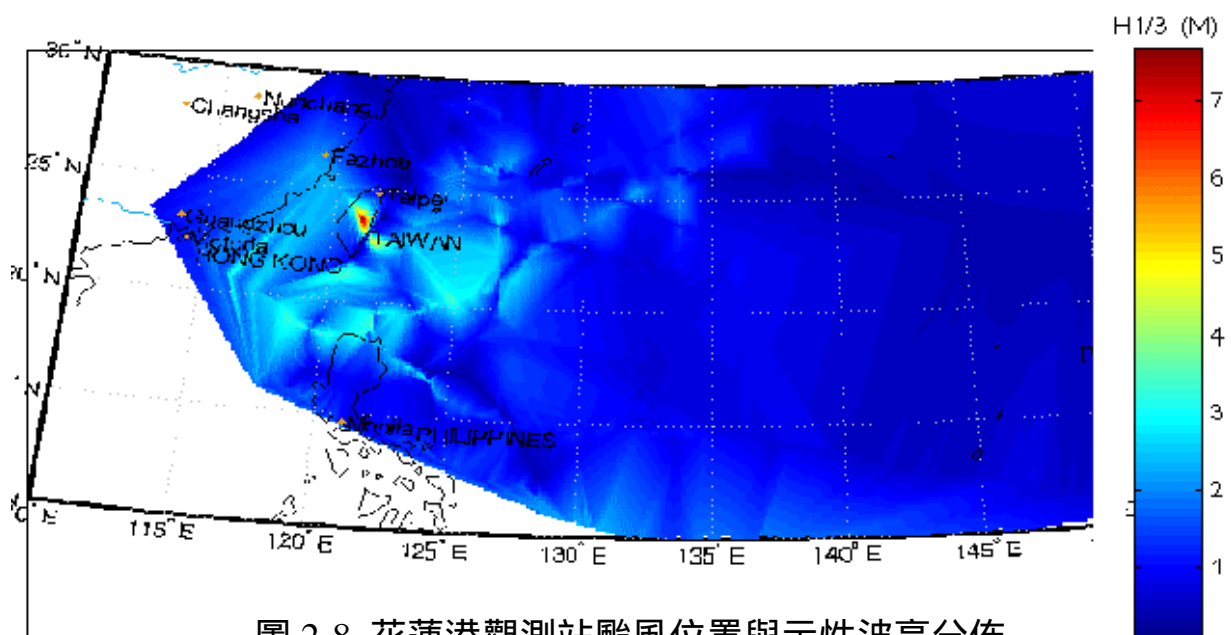


圖 2-8 花蓮港觀測站颱風位置與示性波高分佈

以經緯度計算地球表面上任意兩點的距離(D)的計算如公式 (2-1) 所示：

$$D = R_{\phi_m} \left\{ [\cos \phi_m \cdot (\lambda_2 - \lambda_1)]^2 + (\phi_2 - \phi_1)^2 \right\} \quad (2-1)$$

其中

$$\phi_m = \frac{\phi_1 + \phi_2}{2} \quad (2-2)$$

$$R_{\phi_m} = \frac{a(1 - e^2)^{1/2}}{1 - e^2 \sin^2 \phi_m} \quad (2-3)$$

$$e^2 = 2f - f^2 \quad (2-4)$$

ϕ_1 、 ϕ_2 為任意兩點的緯度， λ_1 、 λ_2 為兩點的經度，且式 (2-3) 中 $a = 6378.137 (km)$ 為地球之平均半徑。式 (2-4) 中的 $f = 1/298.2572221$ 為地球之扁平率。如果颱風中心位置為 1 小時的時間間距，颱風移動速度 $V_f (km/hr)$ 即每小時颱風中心位置變動的距離。

方位角 θ_1 定義北極為方位角基準，順時鐘方向為正，單位為徑度，其計算公式為

$$\theta_1 = a \tan^{-1} \left[\frac{R(\phi_2 - \phi_1)}{R \cos \phi_m (\lambda_2 - \lambda_1)} \right] \quad (2-5)$$

角度 θ_2 定義為颱風中心在 $t-1$ 時刻至 t 時刻的中心移動角度，也就是颱風行進的方位角。 θ_3 是 θ_2 與 θ_1 的差值。 θ_3 為正時，代表觀測站在颱風的左半圓，而為負值時，表示觀測站在颱風的右半圓。三種角度的定義示如圖 2-9。

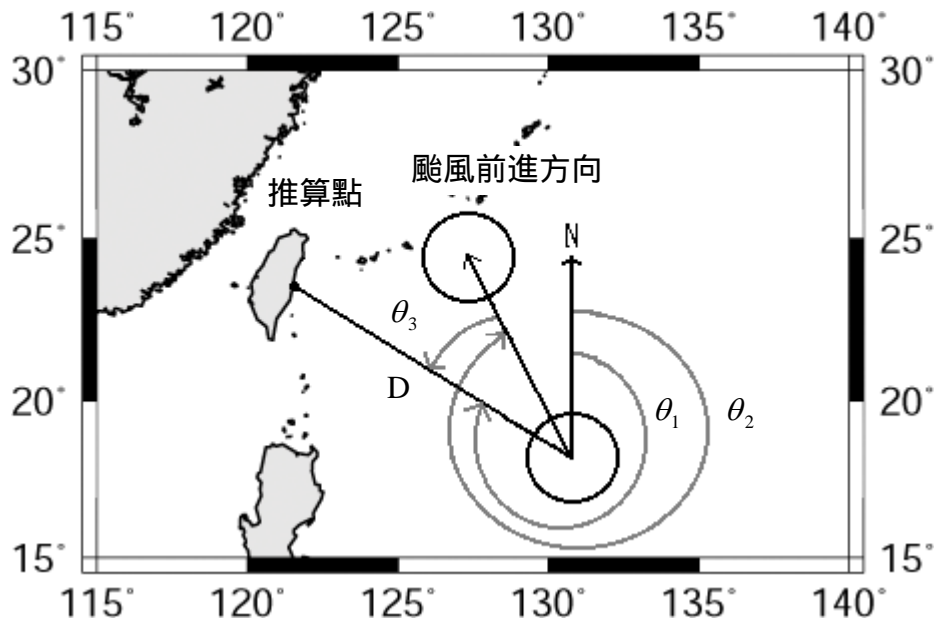


圖 2-9 颱風中心與觀測站方位角 θ_1 、颱風行進的方位角 θ_2 、颱風行進方向與觀測站間的夾角 θ_3 之定義示意圖

為能定性瞭解距離(D)與角度 θ_1 與颱風波浪的特性關係。將花蓮港觀測站波浪資料與相對應的颱風氣象資料線性內差後，颱風在不同位置上，花蓮港觀測站當時的波高值，示如圖 2-8。結果顯示颱風接近觀測站時，波浪最高，當颱風穿過中央山脈後花蓮港波高就迅速降低，最大波高發生的位置在颱風穿越台灣時，且在颱風右半圓。

颱風移動速度 (V_f) 對於颱風風場最大風速有相當程度的影響，若颱風規模不變的情形下，颱風移動的方向及速度直接受到大氣運動影響。所謂的駛流 (driver flow) 就是影響颱風的主要外力。當外力作用在颱風風場時，由於與風場的旋轉交互作用，因而使得颱風風場在右半圓的風速增加，也就造成最大風速在右半圓的現象。颱風移動速度對颱風波浪的影響主要左右颱風場內的波浪往外傳遞的程度，當颱風移動速度快，風場內的波浪相對的傳出風場較少；相反的，如果颱風的移動速度緩慢，風場內的颱風波浪容易傳遞出至風場外。當颱風接近台灣時，由於台灣高山的高度與颱風高度相當，所以颱風無法直接穿過台灣，造成颱風通過台灣時，其移動速度會減慢，颱風移動速度在不同的距離會有不同的影響程度。

圖 2-10 為本計畫分析颱風位置與颱風移動速度關係圖。圖 2-10 顯示颱風在台灣以外的區域移動相當快速，但是，颱風在接近台灣或穿越台灣時，颱風的移動速度就相對變慢。由圖 2-10 定性的描述可知地形及環境確實對颱風有影響。

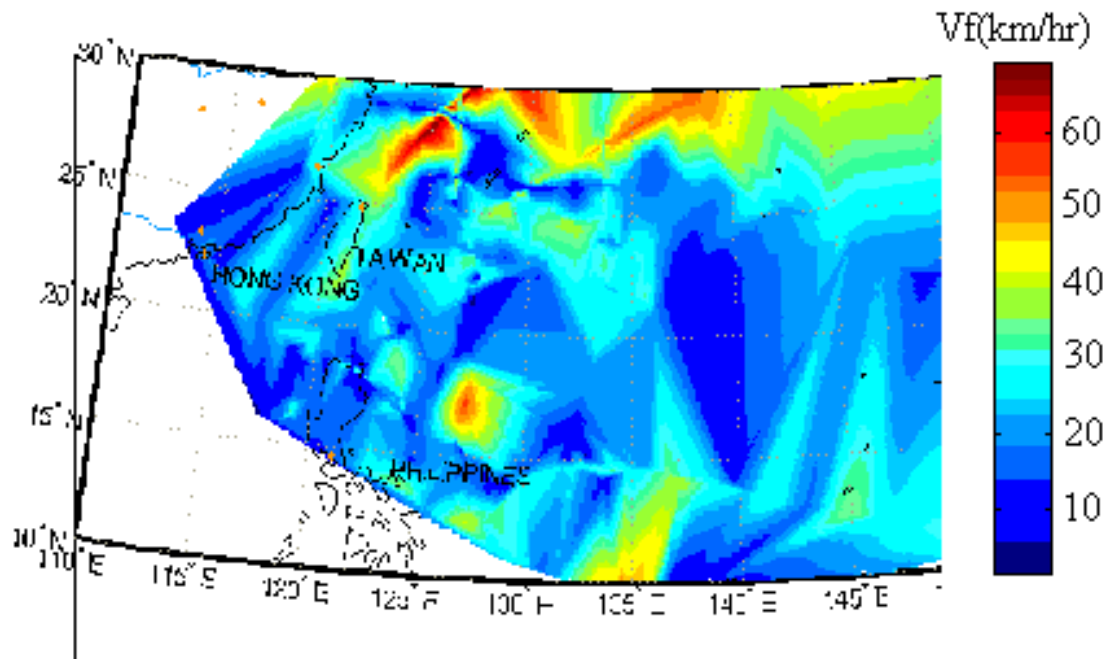


圖 2-10 颱風位置與颱風移動速度關係圖

2-2 颱風、波浪資料分析

2-2-1 颱風與波浪資料

本計畫收集整理颱風氣象及相對應颱風波浪資料的時間示如表 2-1。颱風波浪資料包括花蓮港及蘇澳港二個觀測站，配合颱風波浪推算選用的參數資料依颱風事件繪製相關參數歷時如附圖 1 至附圖 24 表示。

表 2-1 1997-2000 年港研中心測量颱風波浪的時間

| 花蓮港測站 | | | |
|-------|-----------|-------------------------|-------------------------|
| 年代 | 颱風名稱 | 颱風資料 | 波浪資料 |
| 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) |
| | IVAN | 10/13(0600)~10/24(1200) | 10/13(0600)~10/24(1200) |
| 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) |
| | XANGSANE | 10/25(1200)~11/01(1800) | 10/25(1200)~11/01(1800) |
| 蘇澳港測站 | | | |
| | 颱風名稱 | 颱風資料 | 波浪資料 |
| 1998 | BABS | 10/14(0600)~10/26(1800) | 10/14(0600)~10/23(0700) |
| 1999 | KATE | 04/22(0000)~04/28(0600) | 04/22(0000)~04/28(0600) |
| | LEO | 04/27(0000)~05/02(0600) | 04/27(0000)~04/30(2300) |
| | MAGGIE | 06/01(1200)~06/06(1800) | 06/01(1200)~06/06(1800) |
| | OLGA | 07/29(0000)~08/03(1800) | 07/29(0000)~08/03(1800) |
| | YORK | 09/11(1800)~09/18(1800) | 09/11(1800)~09/18(1800) |
| | DAN | 10/03(0600)~10/09(1800) | 10/03(0600)~10/09(1800) |
| 2000 | DAMREY | 05/05(1800)~05/12(0000) | 05/05(1800)~05/12(0000) |
| | KIROGI | 07/02(0600)~07/08(1800) | 07/02(0600)~07/08(1800) |
| | KAI_TAK | 07/04(0600)~07/10(0600) | 07/04(0600)~07/10(0600) |
| | JELAWAT | 08/01(0600)~08/11(0000) | 08/01(0600)~08/11(0000) |
| | BILIS | 08/18(0600)~08/24(0000) | 08/18(0600)~08/24(0000) |
| | PRAPIROON | 08/26(0000)~09/01(0600) | 08/26(0000)~09/01(0600) |
| | WUKONG | 09/05(0600)~09/10(0600) | 09/05(0600)~09/10(0600) |
| | SONAMU | 09/14(0600)~09/18(0000) | 09/14(0600)~09/18(0000) |

2-2-2 颱風氣象及波浪資料統計特性分析

表 2-2 為颱風氣象及波浪資料經多變數分析的統計特性。表 2-2 內之數據為 Pearson 相關係數，此數值介於-1 與 1 之間，表現各變數間的相關性。其中 Pearson 相關係數的絕對值越大即代表相關程度越高，正負號代表二者是呈正相關或是負相關。

表 2-2 颱風氣象與波浪資料的各變數相關性

| | | V_{\max} | V_f | D | $H_{1/3}$ | $T_{1/3}$ |
|------------|------------|------------|---------|---------|-----------|-----------|
| V_{\max} | Perason 相關 | 1.000 | -.190** | -.047 | .116** | .120** |
| | 顯著性 | . | .000 | .067 | .000 | .000 |
| V_f | Perason 相關 | -.190** | 1.000 | .420** | -.151** | -.073** |
| | 顯著性 | .000 | . | .000 | .000 | .010 |
| D | Perason 相關 | -.047 | .420** | 1.000 | -.499** | -.407** |
| | 顯著性 | .067 | .000 | . | .000 | .000 |
| $H_{1/3}$ | Perason 相關 | .116** | -.151** | -.499** | 1.000 | .578** |
| | 顯著性 | .000 | .000 | .000 | . | .000 |
| $T_{1/3}$ | Perason 相關 | .120** | -.073** | -.407** | .578** | 1.000 |
| | 顯著性 | .000 | .010 | .000 | .000 | . |

**在顯著水準為 0.01 時，相關顯著。

由表 2-2 可以明顯的看出颱風中心位置與測站的距離(D)與波高值(H)有較強的負相關性，此特性代表著測站與颱風間的距離與波高的變化呈現反比的關係；當颱風越靠近測站，波高值就會越高。除此之外，由表 2-2 我們也可看出除了波高與波浪的週期呈現較高正相關值，顯

示波高愈大，波浪週期愈大。

颱風影響波浪，除了主要的因子距離(D)外，颱風最大風速(V_{\max})也與波浪呈現正相關。若颱風最大風速越大，波浪即越大。此外，颱風移動速度(V_f)受到颱風移動方向與地形的影響，使得颱風移動速度負面影響波浪的波高。 V_{\max} ， V_f 與 D 跟示性波高沒有很強烈的關係。因此，無法利用基本的多變數迴歸方式，求得良好的線性或是非線性的關係。在此本計畫希望藉由類神經網路的高學習能力，建立適合的颱風波浪預測模式。

第三章 颱風模式的建立

3-1 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：

$$Y_i = f\left(\sum_j W_{ij} X_j - \theta_i\right) \quad (3-1)$$

Y_i ：人工神經元模型的輸出訊號。

f ：人工神經元模型的轉換函數（transfer function），將人工神經元的輸出，經由轉換函數處理後，得到輸出訊號。

W_{ij} ：人工神經元模型連結加權值。

X_j ：人工神經元模型的輸入訊號。

θ_i ：人工神經元模型的閾值。

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

倒傳遞類神經網路學習演算法中，加權值矩陣為 W_1 及 W_2 ，偏權值量為 θ_1 及 θ_2 ，輸入量為 X ，目標輸出量為 T ，轉換函數則採用雙曲函數

(hyperbolic tangent function) , 而網路輸出量為 Y , 網路的學習過程大致可分為下列幾個單元 :

(1) 計算隱藏層輸出量 Z 與網路輸出量 Y

$$net_1 = \sum_i W_{1i} X_i - \theta_1 \quad (3-2)$$

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

$$net_2 = \sum_j W_{2j} X_j - \theta_2 \quad (3-4)$$

$$Y = f(net_2) = \frac{e^{net_2} - e^{-net_2}}{e^{net_2} + e^{-net_2}} \quad (3-5)$$

(2) 計算隱藏層差距量 δ_1 與輸出層差距量 δ_2

$$\delta_1 = Z(1-Z) \sum_j (W_{2j} \delta_j) \quad (3-6)$$

$$\delta_2 = (1+Y)(1-Y)(Z-Y) \quad (3-7)$$

(3) 計算加權值矩陣的修正量 ΔW

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

$$E = \frac{1}{2} \sum_j (T_j - Y_j)^2 \quad (3-8)$$

此時加權值的修正量可表示為 :

$$\Delta W = -\eta \cdot \frac{\partial E}{\partial W} \quad (3-9)$$

$$\frac{\partial E}{\partial W_{ij}} = -\delta_j^n A_i^{n-1} \quad (3-10)$$

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

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

$$W_1 = W_1 + \Delta W_1 \quad (3-11)$$

$$\theta_1 = \theta_1 + \Delta \theta_1 \quad (3-12)$$

$$W_2 = W_2 + \Delta W_2 \quad (3-13)$$

$$\theta_2 = \theta_2 + \Delta \theta_2 \quad (3-14)$$

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

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：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_i^n (T_i - Y_i)^2} \quad (3-15)$$

其中 n 為學習資料的筆數

在類神經網路結構表達的方式大致分為兩種，本研究將以輸入參數當作輸入層以 I 表示，如 I_6 ，其中下標 6 表示 6 個輸入參數，隱藏層以 H 表示，如 H_{12} ，其中下標 12 表示 12 個神經原，輸出層以 O 表示，如 O_1 ，其中下標 1 表示 1 個輸出函數。以 $I_6 H_{14} H_6 O_1$ 為例，表示輸入有 6 個參數，第一個隱藏層有 14 個神經原，第二個隱藏層有 6 個神經原，輸出函數有 1 個。

3-2 模糊理論

3-2-1 模糊集合

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

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

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

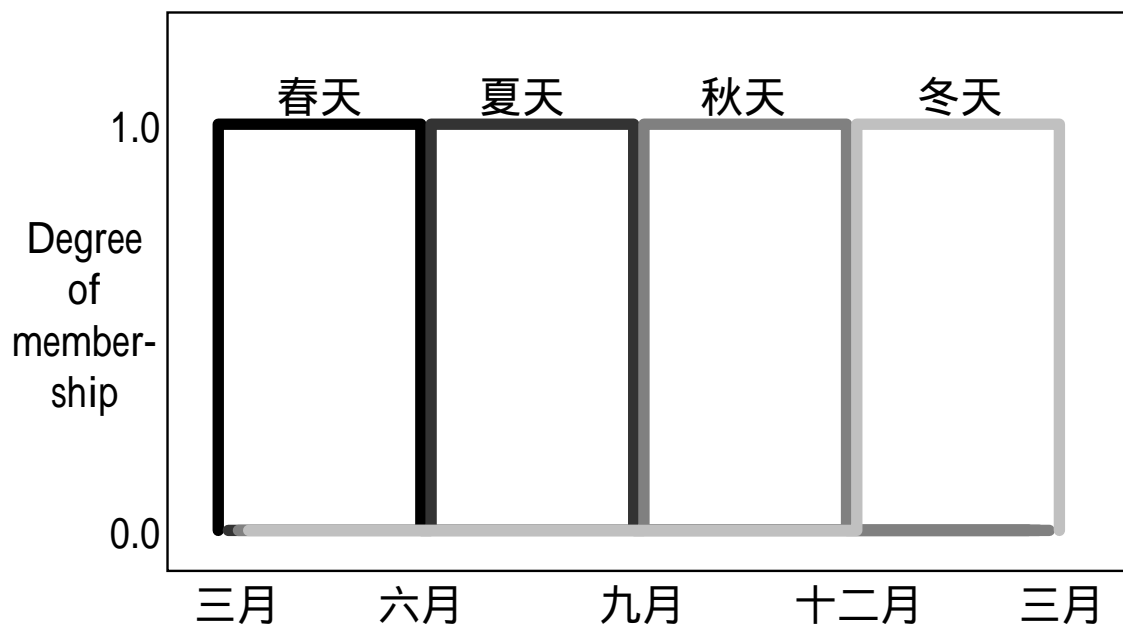


圖 3-1 以步階函數描述四季的歸屬函數

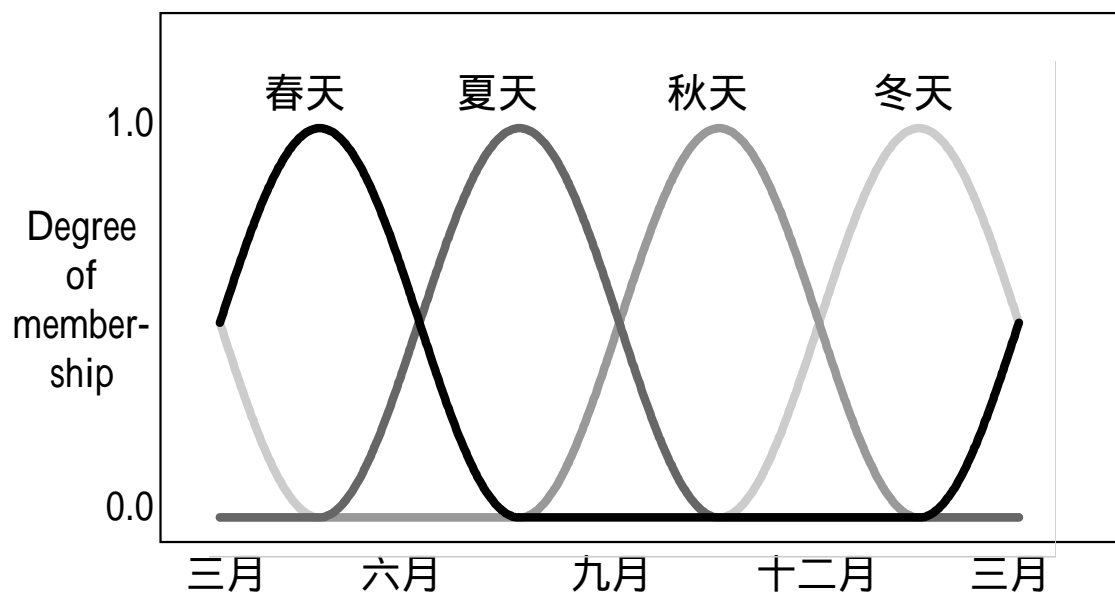
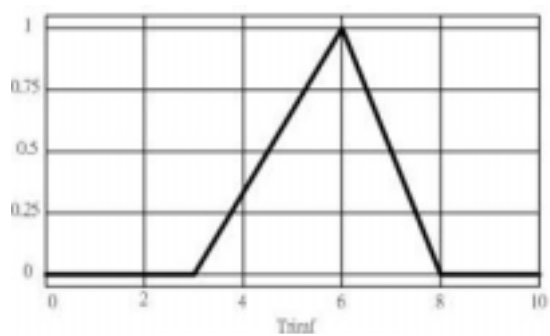
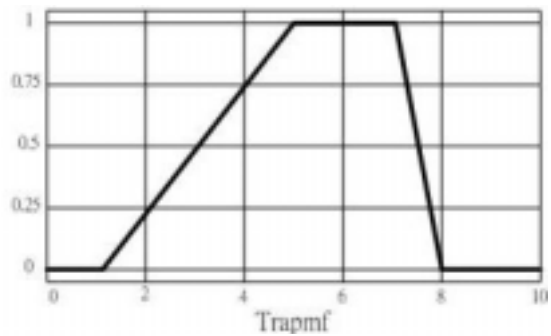


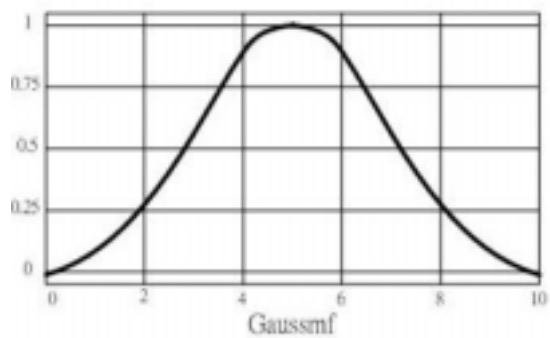
圖 3-2 以高斯函數描述四季的歸屬函數



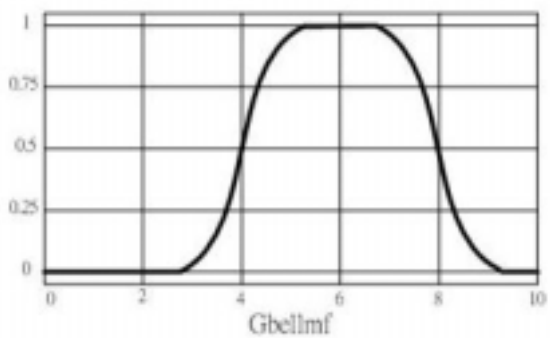
(a)三角函數



(b)梯形函數



(c)高斯函數



(d)鐘型函數

圖 3-3 一般常用的歸屬函數

3-2-2 模糊邏輯運算

兩個輸入函數及模糊化函數的邏輯運算值如圖 3-4 所示，其中包含邏輯運算規則 AND、OR、NOT。

| A | B | A and B | A | B | A or B | A | not A |
|---|---|---------|---|---|--------|---|-------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |

| AND | | | OR | | | NOT | |
|-----|---|----------|----|---|----------|-----|-----|
| A | B | min(A,B) | A | B | max(A,B) | A | 1-A |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |

| AND | | OR | | NOT | |
|-----|---|----|---|-----|-----|
| A | B | A | B | A | 1-A |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | | |
| 1 | 1 | 1 | 1 | | |

圖 3-4 模糊邏輯運算真值表

3-2-3 模糊化運算

當輸入值進行歸屬函數及模糊邏輯運算後，即是進行模糊化過程。如圖 3-5 所示為二個輸入值的模糊化，在最大值的法則下所得的模糊化結果。

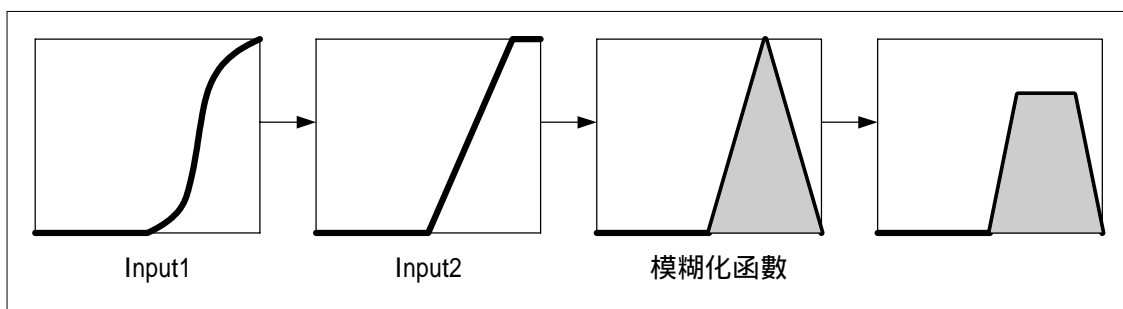


圖 3-5 二個輸入函數經過最大值法則的模糊化結果示意圖

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

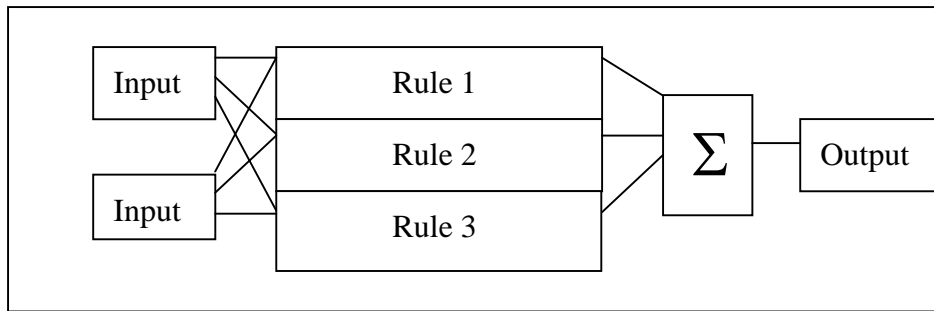


圖 3-6 模糊網路結構示意圖

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

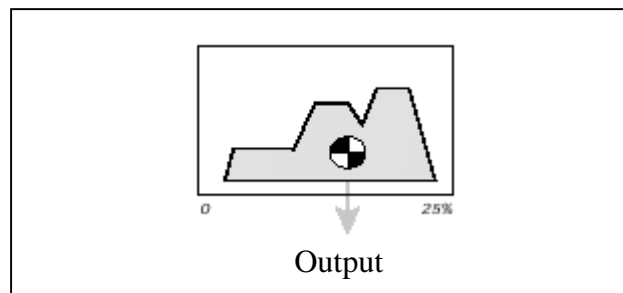


圖 3-7 重心法解模糊化示意圖

由上述的模糊網路的例子說明，不同輸入值經過模糊化，法則運算及解模糊化過程，其網路操作流程示如圖 3-8。

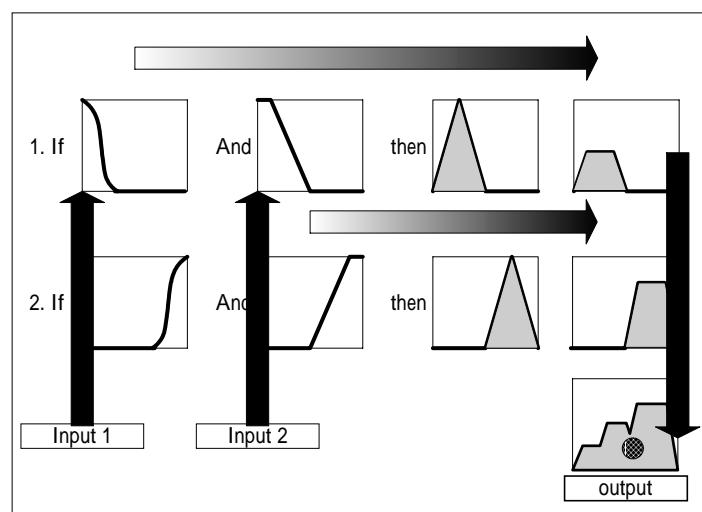


圖 3-8 模糊網路的操作流程示意圖

3-3 模式的架構

3-3-1 風浪、湧浪合併運算架構

在前期的計畫中張和錢 (2001)，主要是提供台灣東部沿海主要港灣的颱風波浪預警模式，所建立預警系統的方向是以各個港灣為主體來推算颱風的位置所帶來的波浪，所以在模式設計的考量，採用以觀測站為座標原點計算颱風中心的位置。參考張和錢 (2001) 的研究結論，本研究欲建立台灣地區整體的颱風波浪推算模式的目標下，在主要結構的部分仍然結合模糊理論與類神經網路的架構，首先先利用模糊理論建立模糊知識資料庫，藉以提供過去發生颱風的特性，再利用類神經網路建立波浪與氣象參數的時間序列關係。因此重新考量選用參數，颱風推算模式的架構如圖 3-9 所示。

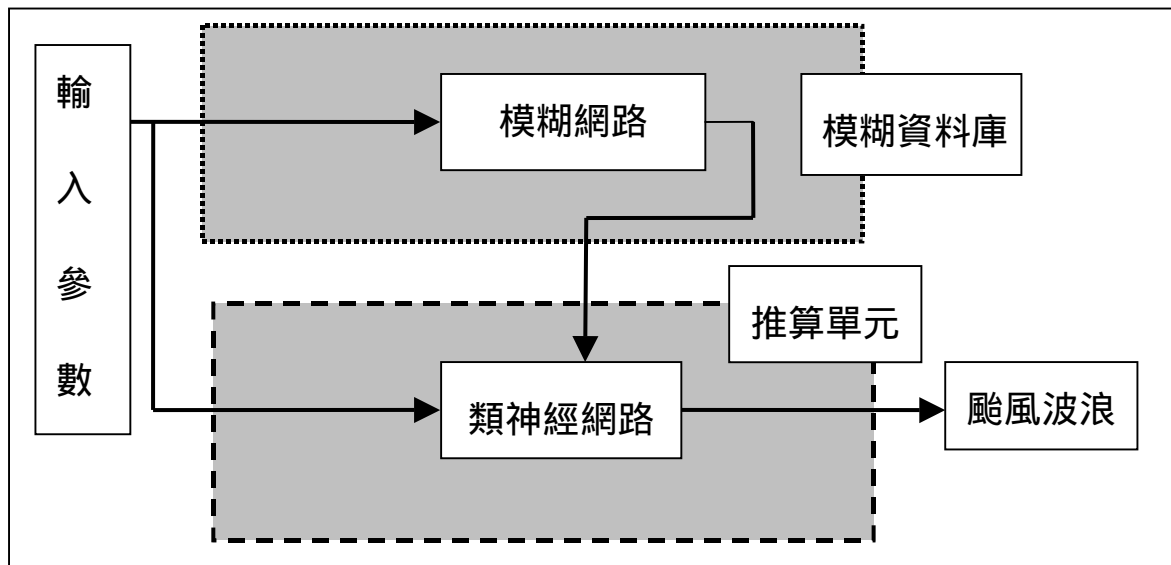


圖 3-9 颱風推算模式的架構

模糊資料庫

輸入參數的部份為颱風最大風速 V_{\max} ，颱風移動速度 V_f ，颱風到觀測站的距離 D ，颱風與觀測站的方位角 θ_1 以及觀測站與颱風行進方向的夾角 θ_2 ，模糊知識資料庫的輸出為示性波高 $H_{1/3}$ 。輸入與輸出值模糊網路結構如圖 3-10 所示，每個參數設定 8 個高斯函數的歸屬值函數。歸屬值函數主要依照學習資料的權重配置，經過模糊邏輯的運算

後，再解模糊化而得到示性波高輸出值，對於歸屬函數的最佳化，仍然採用倒傳遞類神經網路進行修正，其中 V_{max} 的 8 個歸屬值函數，示如圖 3-10，而其他輸入函數的歸屬函數分別如圖 3-11 至圖 3-15 所示。

類神經網路

輸入參數中增加模糊網路的輸出值，而類神經網路的輸入結構採用 1-6 個小時的延時作為輸入資料，採用 1-6 個小時延時資料的原因是因為颱風波浪的生成與颱風運動的歷史有關，為了能夠記憶不同行徑颱風的特性，但是又不至於只記憶有限颱風訓練資料，以及考慮推算模式結構的邏輯性，並降低複雜性而採用 1-6 個小時的延時資料。訓練採用資料共 10 場颱風 1522 筆資料，進行學習訓練，輸入層神經元與隱藏層的設立將做不同結構上的比較，在結構考量上輸入參數包括 5 個颱風氣象參數 V_{max} ， V_f ， D ， θ_1 ， θ_2 ，及 1 個模糊資料庫的輸出共 6 個輸入參數。本研究將選用 4 種輸入、隱藏層結構類神經網路，如表 3-1 所示。轉換函數選用區間線性轉換函數，範圍在 $(-1, 1)$ 之間。

表 3-1 選擇四種類神經網路的結構

| 風浪 湧浪合併運算模式架構 | 類神經輸入數目 | 隱藏層數目 | | 輸出數目 |
|-------------------------------------|---------|-------|----|------|
| | | 1 | 2 | |
| Model 1 ($I_6 H_{14} H_6 O_1$) | 6 | 14 | 6 | 1 |
| Model 2 ($I_6 H_{20} H_{10} O_1$) | 6 | 20 | 10 | 1 |
| Model 3 ($I_6 H_{24} H_{12} O_1$) | 6 | 24 | 12 | 1 |
| Model 4 ($I_6 H_{30} H_{12} O_1$) | 6 | 30 | 12 | 1 |

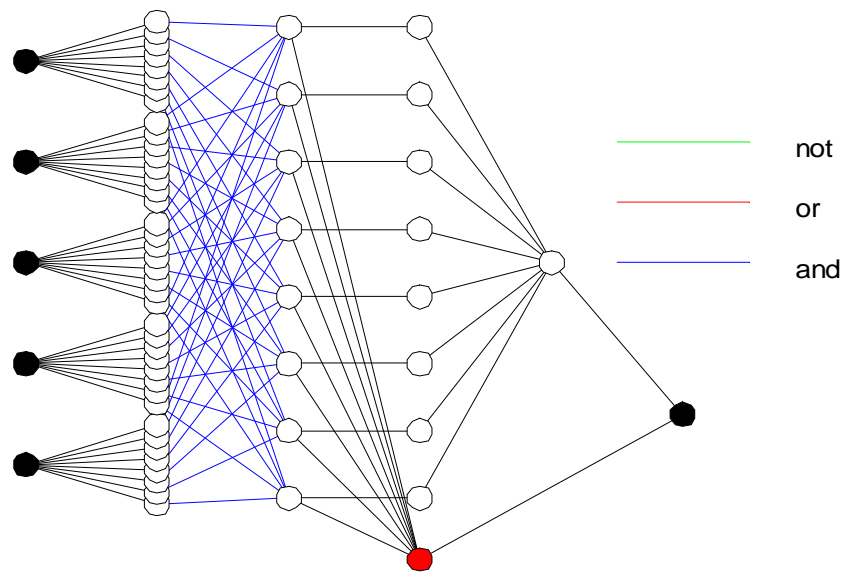


圖 3-10 模糊網路的結構示意圖

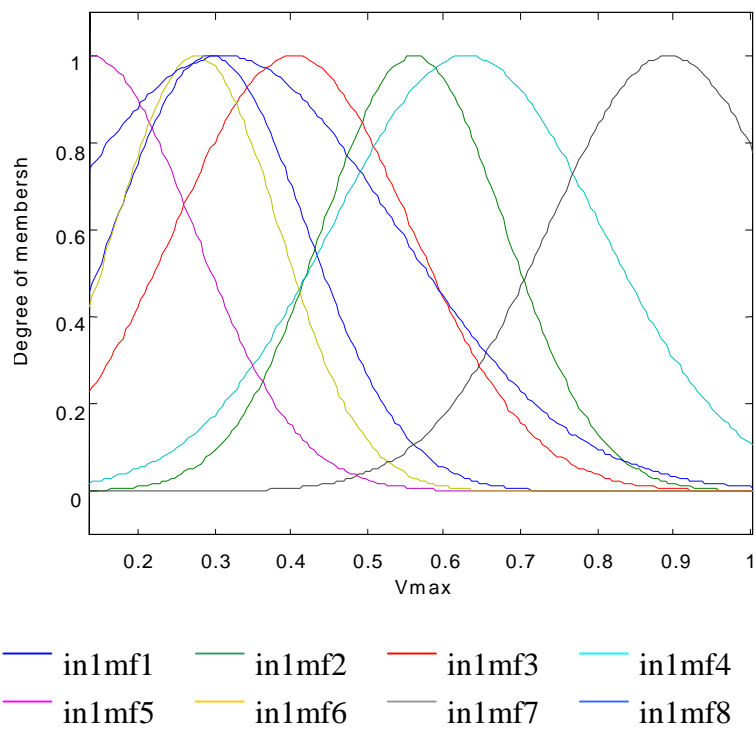


圖 3-11 本模式最佳化所得颱風最大風速的歸屬函數

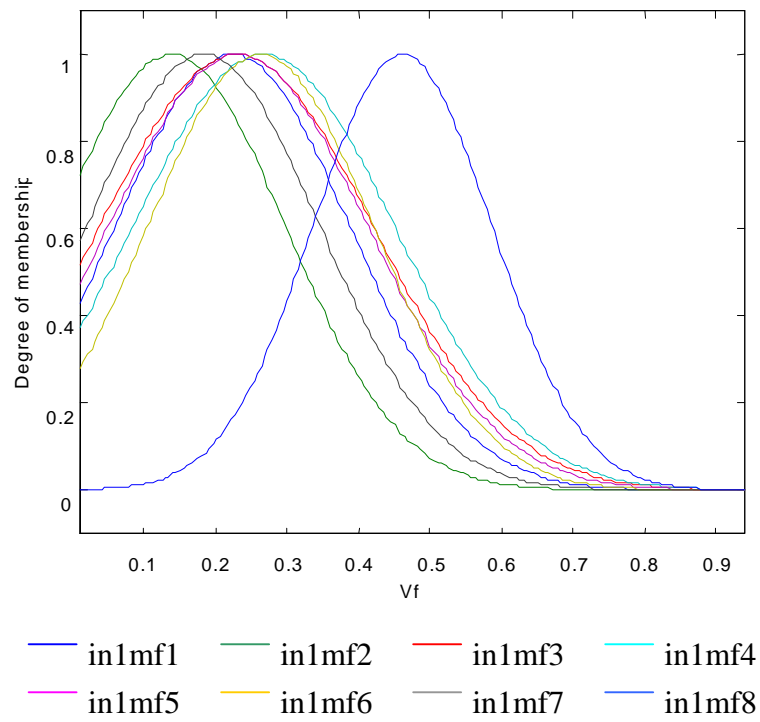


圖 3-12 本模式最佳化所得颱風移動速度的歸屬函數

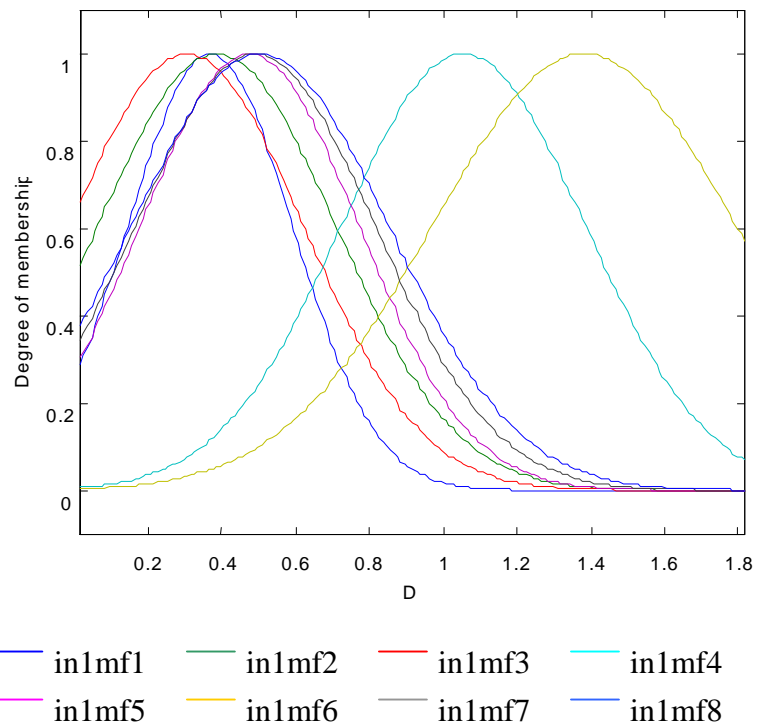


圖 3-13 本模式最佳化所得颱風與測站距離的歸屬函數

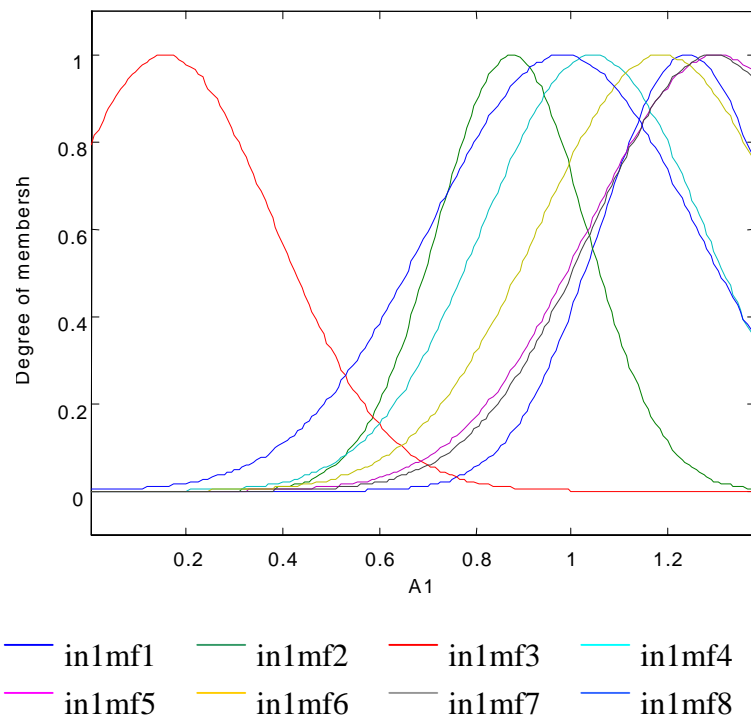


圖 3-14 本模式最佳化所得颱風與觀測站的方位角的歸屬函數

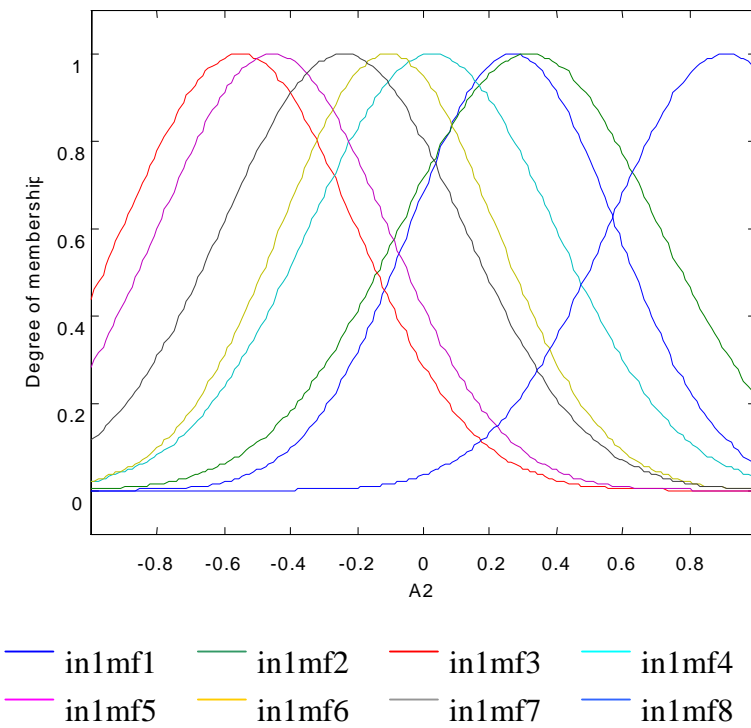
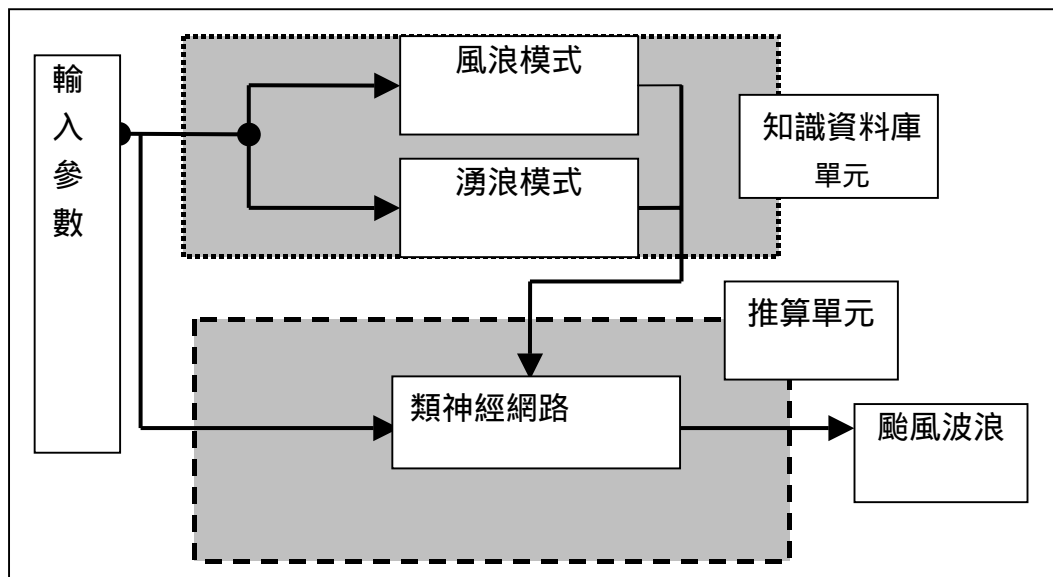


圖 3-15 本模式最佳化所得觀測站與颱風行進方向夾角的歸屬函數

3-3-2 風浪與湧浪獨立運算架構

若考慮颱風風場內及風場外的波浪特性有所不同，因此對於颱風波浪將區分風場內的風浪及風場外的湧浪計算，颱風波浪推算模式架構如圖 3-16 所示。推算模式主要由三個部分主成，首先是風浪的推算模式，將以颱風風場分佈為主要參考資料而建構，湧浪推算模式的建構，將以颱風氣象及波浪實測數據為主要參考資料，最後藉由類神經網路將風浪及湧浪模式計算的結果整合，推算出觀測站的波浪資料。

圖 3-16 颱風波浪推算模式架構（風浪與湧浪獨立運算架構）



1. 風浪模式

颱風移動速度 v_f 對於颱風風場最大風速有相當程度的影響，若颱風規模不變的情形下，颱風移動的方向及速度直接受到大氣運動影響。當駛流（driver flow）作用在颱風風場時，由於與風場的旋轉交互作用，因而使得颱風風場在右半圓的風速增加，也就造成最大風速在右半圓的現象。颱風移動速度對颱風波浪的影響主要左右颱風場內的波浪往外傳遞的程度，當颱風移動速度快，風場內的波浪相對的傳出風場較少；相反的，如果颱風的移動速度緩慢，風場內的颱風波浪容易傳遞出至風場外。

假設颱風風場內最大風速區域產生最大波浪，在考量颱風風場的非線性變化，颱風風浪模式將採用類神經網路作為推算核心，推算波浪使用參數包括颱風最大風速（ V_{\max} ）、颱風移動速度（ V_f ）、距颱風中心距離（ D ）及風場內推算位置的方位角（ θ_1 ），學習資料以美國海岸保護手冊(1984)內容中颱風示性波推算方式為基礎。首先考慮當颱風移動緩慢時，颱風圈內其他各處之示性波高分佈，示如圖 3-17。由圖 3-17 依相對座標位置查出相對波高值，再乘以最大示性波高即可獲得移動颱風內之波高，而此處波浪週期為

$$T_{1/3} = 3.83 \sqrt{H_{1/3}} \quad (3-16)$$

颱風移動速度增加時風場分佈將產生變化，如果颱風結構沒有破壞或是颱風運動行為沒有瞬間的改變，颱風風場內的風場分佈將只有位置的改變，圖 3-18 至圖 3-20 所示，颱風結構及風場分佈與最大風速的相對位置，大致依舊維持在颱風右半圓位置的關係，颱風的移動速度將影響最大風速的位置，所以移動颱風的風場分佈將以圖 3-18 至圖 3-20 為主要參考資料。

在考慮颱風風浪的範圍為有限區域，且在颱風風場內沒有不連續的波浪行為，所以颱風風浪模式的結構將採用倒傳遞類神經網路，輸入參數包括颱風最大風速（ V_{\max} ）、颱風移動速度（ V_f ）、距颱風中心距離（ D ）及風場內推算位置的方位角（ θ_1 ），輸出為正規化波高值，倒傳遞類神經網路的結構是 4 個參數的輸入層，第一層隱藏神經元為 16 個、第二層隱藏神經元為 6 個和一個輸出值（ $I_4 H_{16} H_6 O_1$ ）。

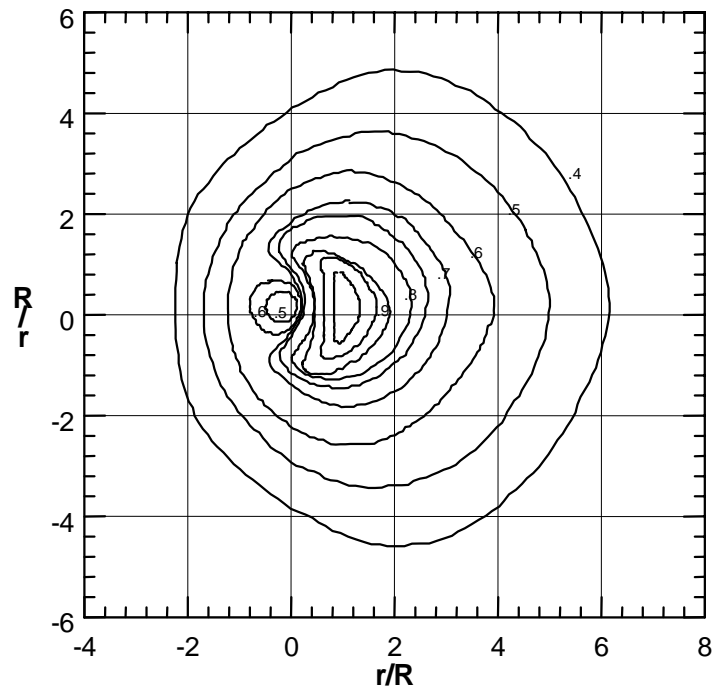


圖 3-17 緩慢移動颱風內示性波高等值分佈

(Shore Protection Manual ,1984)

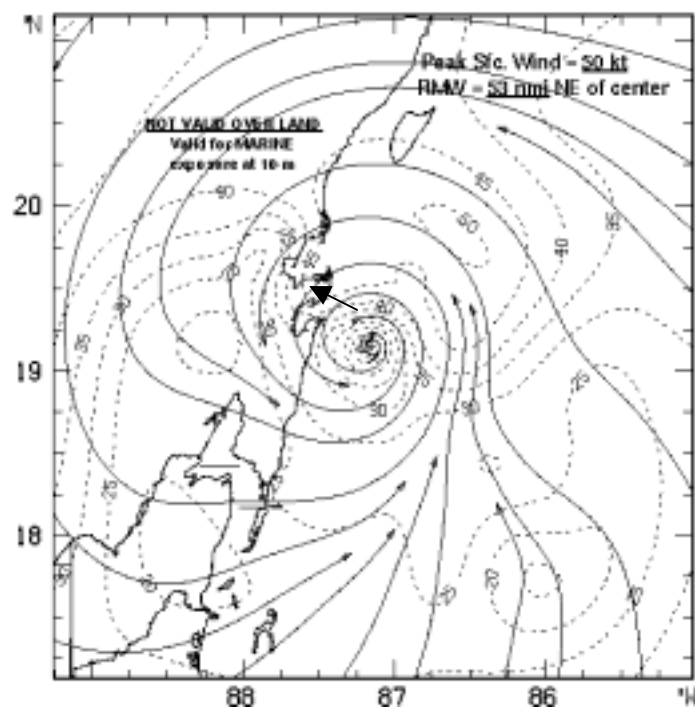


圖 3-18 移動颱風內風場等值分佈圖

(1996 Dolly /NOAA)

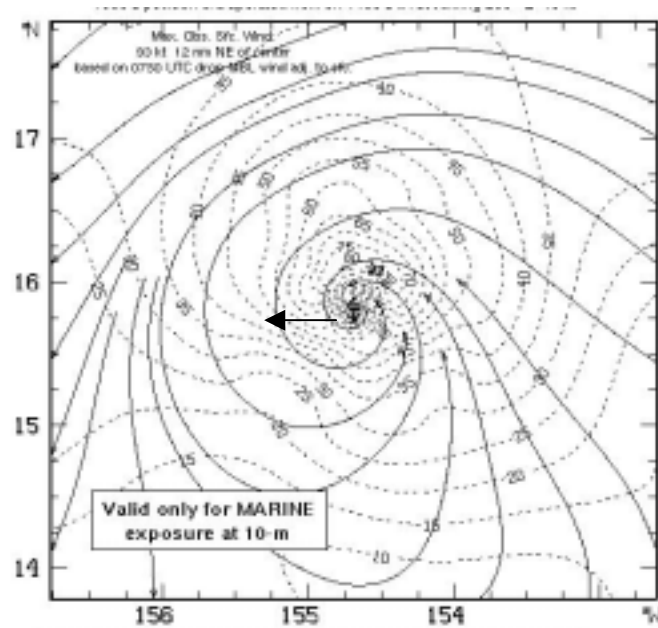


圖 3-19 移動颱風內風場等值分佈圖

(1999 Dora /NOAA)

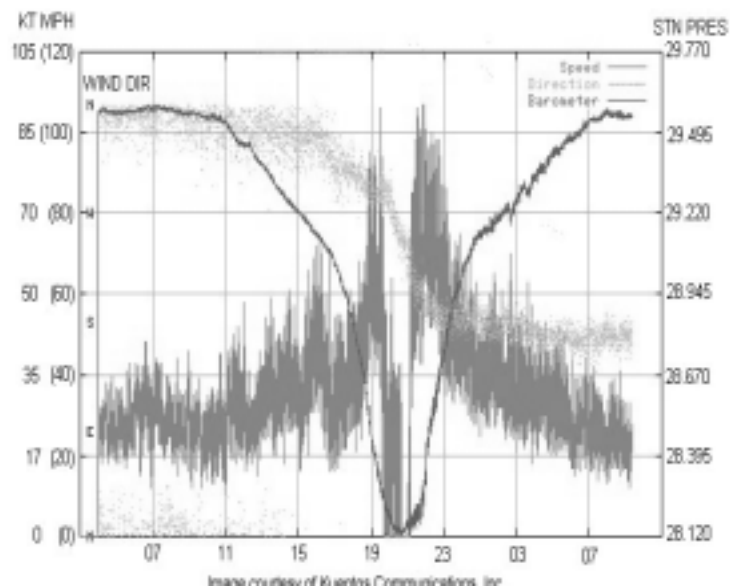


圖 3-20 颱風風場剖面圖

(取自 www.guam.net)

2.湧浪模式

如同風浪、湧浪合併運算架構中的模糊資料庫的結構，輸入參數的部份為颱風最大風速 V_{\max} ，颱風移動速度 V_f ，颱風到觀測站的距離 D ，颱風與觀測站的方位角 θ_1 以及觀測站與颱風行進方向的夾角 θ_2 ，模糊知識資料庫的輸出為示性波高 $H_{1/3}$ 。每個參數設定 8 個歸屬值函數。歸屬值函數主要依照學習資料的權重配置，經過模糊邏輯的運算後，再解模糊化而得到示性波高輸出值，對於歸屬函數的最佳化，仍然採用倒傳遞類神經網路進行修正。

3.類神經網路

輸入參數中增加風浪及湧浪模式的輸出值，而類神經網路的輸入結構採用 1-6 個小時的延時作為輸入資料，採用 1-6 個小時延時資料的原因是因為颱風波浪的生成與颱風運動的歷史有關，為了能夠記憶不同行徑颱風的特性，但是又不至於只記憶有限颱風訓練資料，以及考慮推算模式結構的邏輯性，並降低複雜性而採用 1-6 個小時的延時資料。訓練採用資料共 10 場颱風 1522 筆資料，進行學習訓練，輸入層神經元與隱藏層的設立將做不同結構上的比較，在結構考量上輸入參數包括 5 個颱風氣象參數 V_{\max} ， V_f ， D ， θ_1 ， θ_2 ，及 1 個風浪及湧浪模式的輸出值的輸出共 6 個輸入參數，轉換函數選用區間線性轉換函數，範圍在 $(-1, 1)$ 之間。

3-4 類神經網路學習及測試

颱風波浪推算模式採用的架構以前期研究及試誤的結果做為參考，因此對於兩種推算方法的推算核心採用類神經網路為 $I_6H_{30}H_{12}O_1$ 的架構進行學習，學習的內容為歷史颱風的氣象資料及波浪資料，對於資料的篩選將以氣象資料與波浪資料比對的方式進行分析，對於異常得波浪資料將移出學習資料的內容，為了能使模式學習到觀測站附近的地形地貌對波浪的影響，對於遺缺的資料並不採用內差或補遺技術進行資料填補。

由於颱風波浪預測模式選用的參數及學習目標皆為有限，參照第二章波浪與氣象資料的分析，瞭解輸入參數與輸出的相關性分析，因此在參照前期研究，並且希望模式以推算準確為目標的考慮下，類神經網路架構採用倒傳遞類神經網路 (BPN)，而決定對於類神經模式學習方式，即採用收斂誤差至目標值即完成學習過程，學習收斂誤差目標設定為 $1*10^{-4}$ ，學習速率為 0.01，最小性能梯度為 $1*10^{-10}$ ，為防止系統發散設定最大訓練時間為 5 小時。

模式學習時所採用的電腦硬體設備為，CPU 採用 AMD 1.2 GHz，RAM 的容量為 256 MB，作業平台為 WINDOWS 98，達到學習學習目標所需的時間為 2 小時 30 分，對於颱風波浪推算時，每筆資料輸入後每筆資料的計算時間為 0.6 秒，隨著硬體設施的提升將能縮短計算時間。

第四章 結果與討論

4-1 模式驗證

4-1-1 合併風浪及湧浪的運算架構

本計畫目前建立的 4 種不同結構的颱風波浪推算模式，以及前年發展的颱風波浪推算模式（2001 Model），針對花蓮港實測波浪及颱風氣象進行學習資料及模擬，比較每場颱風模擬結果與實測波浪之相關係數（ R^2 ），示如表 4-1。由表 4-1 為以 Model 1 至 Model 4 的推算學習颱風波浪與實測結果的相關係數。Model 1 由於神經元較少，模擬結果最差，其他模式隨著神經元的增加模擬的效果也較好。雖然，Model 4（ $I_6H_{30}H_{12}O_1$ ）的類神經網路結構與 Model 2001（ $I_6H_{30}H_{12}O_1$ ）相同，但是，Model 4 的模擬結果較 Model 2001 的模擬結果要好。其原因主要是選用參數的不同所致，在 Model 4 的座標系統是以颱風中心做為極座標的原點，因此在颱風移動的過程，其颱風的中心座標不斷的改變，直接影響相關參數間的關係，其次是增加參數 θ_2 對颱風的左右半圓的描述，此 θ_2 比 Model 2001 僅以颱風行進方向的方位角為參數，更能清楚表現颱風左右半圓的影響。但是，Model 2001 以觀測站為座標中心，對所選取的參數相關性，以及相對模式的描述能力較弱，就需要更多的神經元才會有更好的模擬效果。在考慮颱風的運動特性，以及為建立台灣沿岸的颱風波浪推算模式及預警範圍的考量，本計畫則採用以颱風中心為座標軸原點，使颱風推算模式較具有擴充的能力。

經過學習模擬的結果可以瞭解目前選用的 4 種類神經架構 Model 1 至 Mode 4 的模擬效果，但是對於推算或是預測未經學習過的颱風事件則需要再進一步的檢核，因此本研究選用未經學習過的 2000 年 BILIS（碧利斯）颱風當作測試。BILIS 颱風的波浪記錄在颱風接近花蓮時短缺，但是颱風氣象紀錄是相當完整的，所以針對 BILIS 颱風，本研究分為兩個方向進行比較，首先是 BILIS 颱風有波高紀錄的部份進行比較，藉以了解模式推算的準確性；另一個比較的部份是短缺波高紀錄

的部份，這個部分是測試模式推算的合理性。表 4-2 為各模式對 BILIS（碧利斯）颱風推算波高與實測值的相關性比較。

圖 4-1 為 BILIS 碧利斯颱風路徑圖。圖 4-2 為颱風生成後其中心位置離花蓮港之距離與實測波浪歷時圖。由圖 4-1 所示 BILIS 颱風的路徑是直撲台灣的東岸穿越台灣進入台灣海峽。圖 4-2 顯示實測波高最大值約在颱風最接近觀測站的時間約為 110 小時。

表 4-1 颱風波浪推算模式波高推算學習結果相關係數比較

| 年代 | 颱風名稱 | Model 1 I ₆ H ₁₄ H ₆ O ₁ | Model 2 I ₆ H ₂₀ H ₁₀ O ₁ | Model 3 I ₆ H ₂₄ H ₁₂ O ₁ | Model 4 I ₆ H ₃₀ H ₁₂ O ₁ | 2001 Model I ₆ H ₃₀ H ₁₂ O ₁ |
|------|--------------|---|--|--|--|---|
| 1997 | LEVI | 0.138 | 0.767 | 0.645 | 0.981 | 0.571 |
| | OPAL | 0.673 | 0.873 | 0.875 | 0.987 | 0.811 |
| | PETER（彼得） | 0.869 | 0.886 | 0.882 | 0.983 | 0.905 |
| | IVAN（艾文） | 0.910 | 0.957 | 0.949 | 0.992 | 0.958 |
| 1998 | OTTO（奧托） | 0.927 | 0.976 | 0.985 | 0.990 | 0.982 |
| 1999 | SAM（山姆） | 0.810 | 0.953 | 0.975 | 0.986 | 0.922 |
| 2000 | JELAWAT | 0.550 | 0.847 | 0.833 | 0.975 | 0.830 |
| | BOPHA（寶發） | 0.813 | 0.900 | 0.929 | 0.988 | 0.847 |
| | YAGI（雅吉） | 0.826 | 0.889 | 0.874 | 0.986 | 0.824 |
| | XANGSANE（象神） | 0.800 | 0.903 | 0.903 | 0.989 | 0.866 |

*註：如未附中文名稱者，為該颱風並未侵襲台灣。

表 4-2 颱風推算模式對 BILIS（碧利斯）颱風波高推算相關性比較

| 年代 | 颱風名稱 | Model 1 I ₆ H ₁₄ H ₆ O ₁ | Model 2 I ₆ H ₂₀ H ₁₀ O ₁ | Model 3 I ₆ H ₂₄ H ₁₂ O ₁ | Model 4 I ₆ H ₃₀ H ₁₂ O ₁ | 2001 Model I ₆ H ₃₀ H ₁₂ O ₁ |
|------|------------|---|--|--|--|---|
| 2000 | BILIS（碧利斯） | 0.290 | 0.532 | 0.589 | 0.941 | 0.731 |

以 4 個颱風推算模式推算的波高與實測波高的歷時比較如圖 4-3 至圖 4-6 所示。由圖 4-3 至圖 4-6 比較 4 種模式的推算波高，Model 4 ($I_6H_{30}H_{12}O_1$) 的推算結果與觀測值最為吻合，且此模式預測的波高會隨著颱風穿越中央山脈而迅速的減少，此結果與往昔颱風因地形阻礙風力變小，因此波高則變小的認知相似。

圖 4-7 為以 2001 年模式推算 BILIS 颱風波浪之波高與實測結果，雖然此結果在颱風接近前推算值頗與實測值吻合，但在颱風逐漸離開，推算波高尚維持一段再衰減，因此颱風並不滯留於花蓮港，故似乎不可能發生此現象。比較圖 4-6 及圖 4-7 可知，2001 年模式之推估能力較 Model 4 稍差。

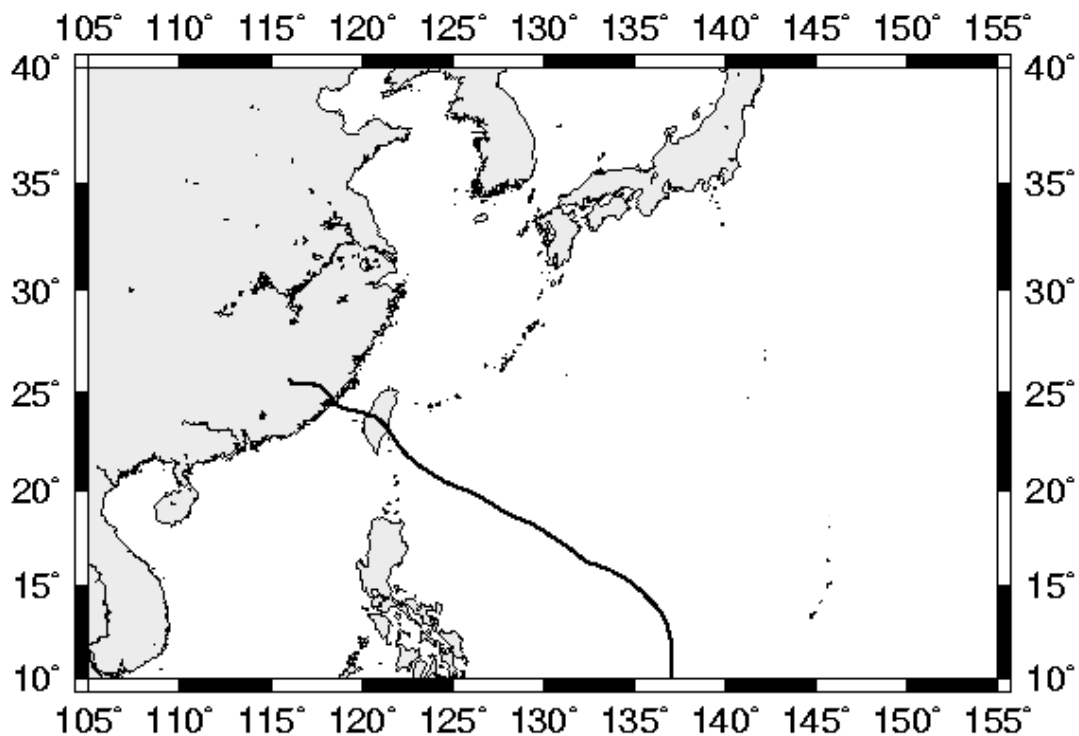


圖 4-1 BILIS (2000) 碧利斯颱風路徑圖

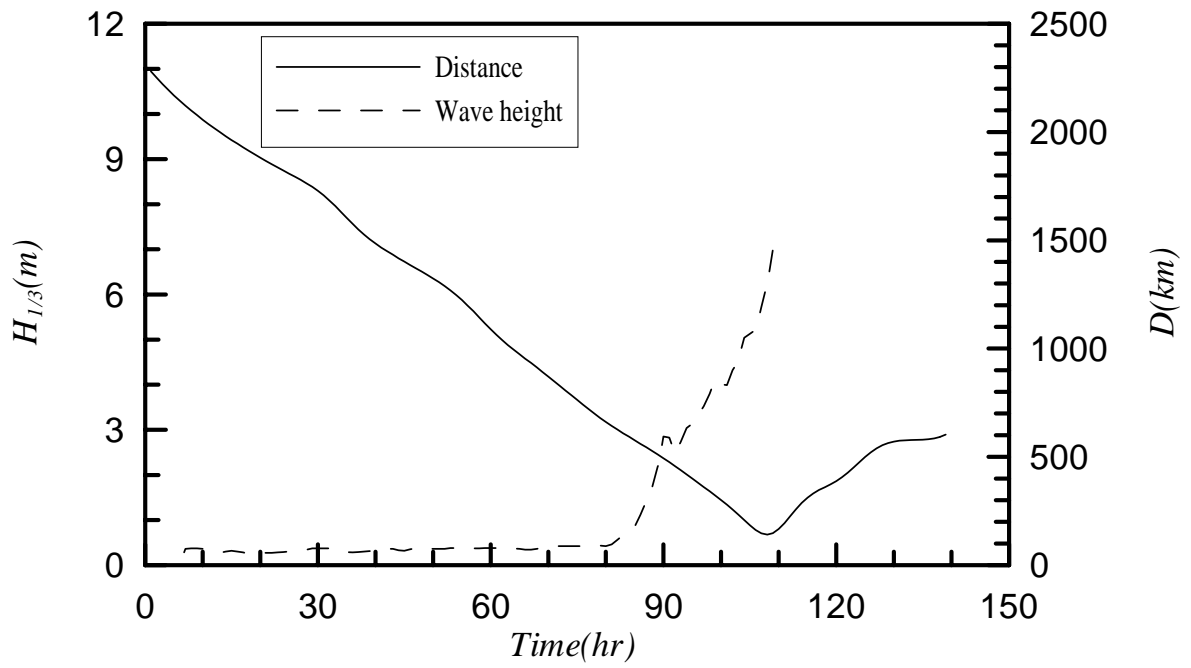


圖 4-2 BILIS 颱風中心位置至花蓮測站的距離與實測示性波高的時序圖

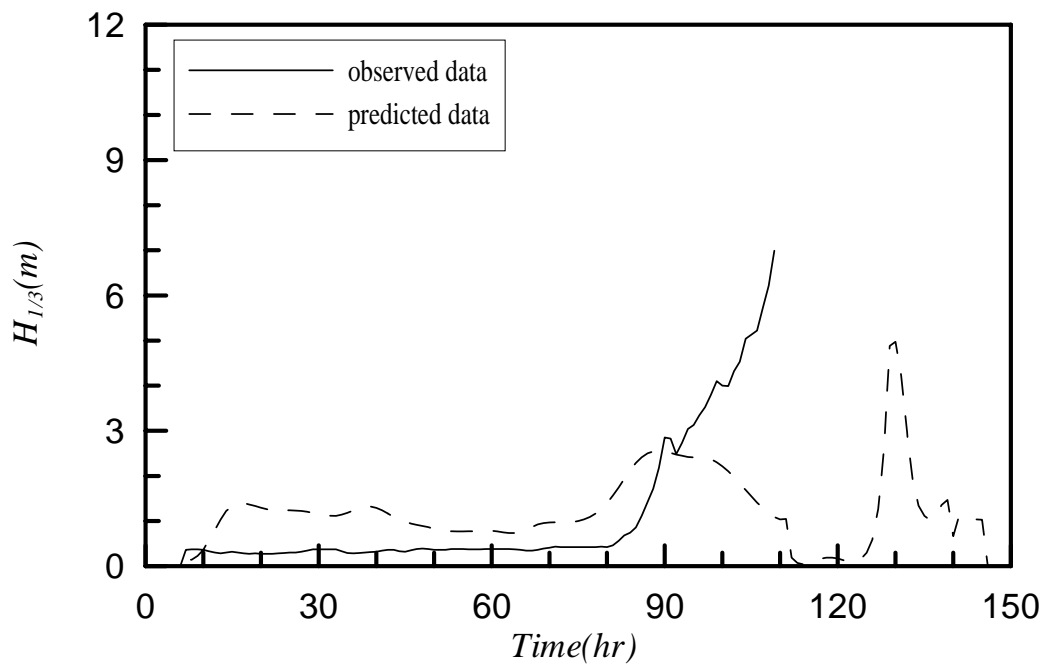


圖 4-3 以 Model 1($I_6 H_{14} H_6 O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之比較

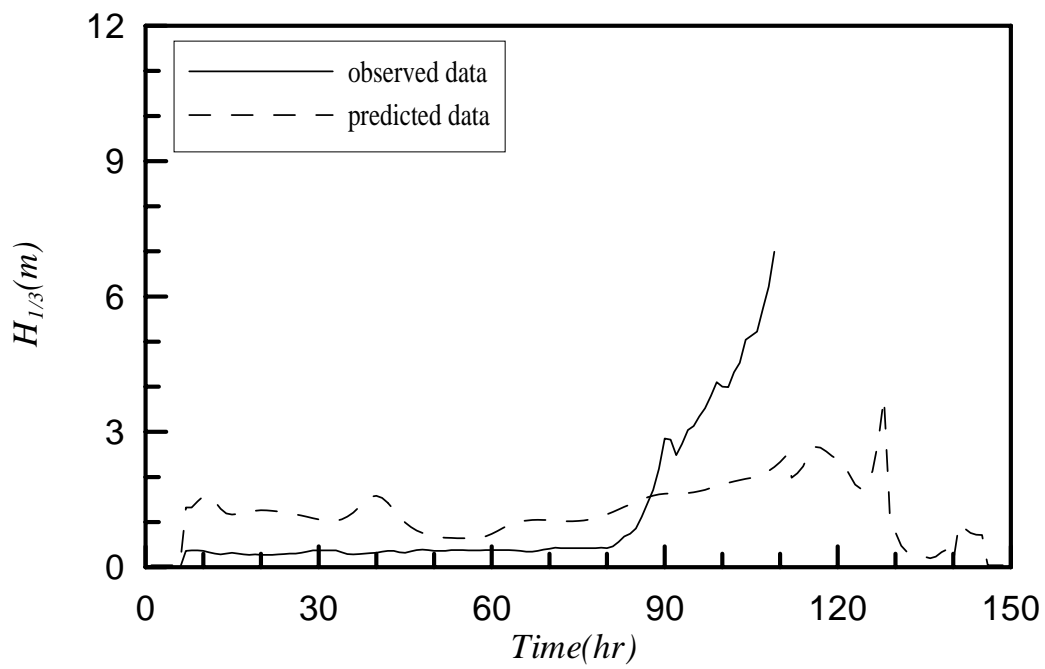


圖 4-4 以 Model 2($I_6 H_{20} H_{10} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之比較

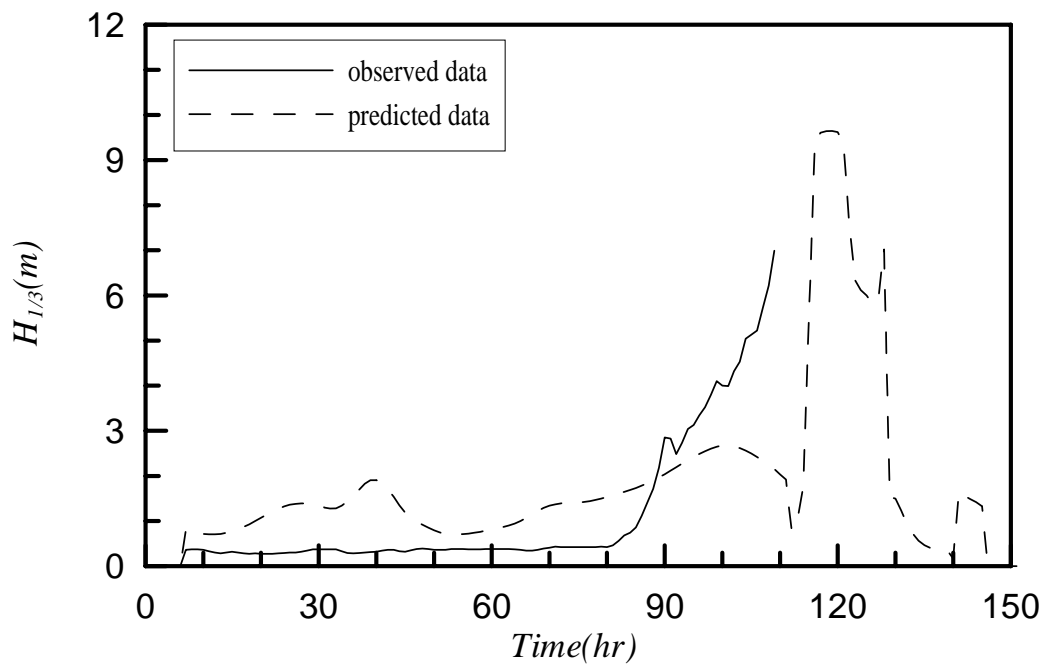


圖 4-5 以 Model 3($I_6 H_{24} H_{12} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之比較

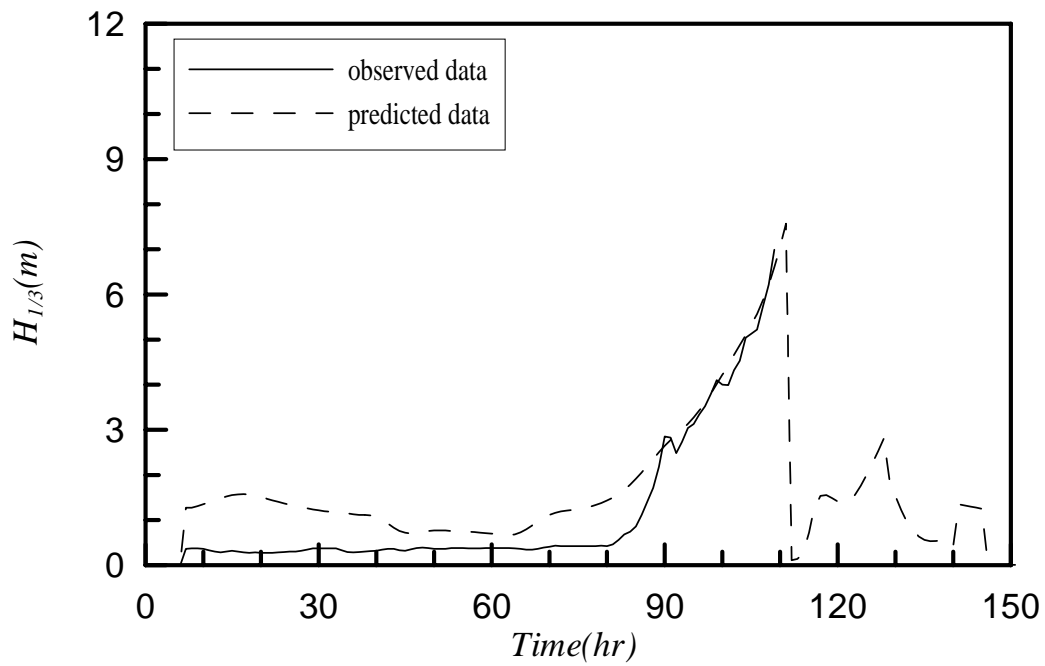


圖 4-6 以 Model 4($I_6 H_{30} H_{12} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之比較

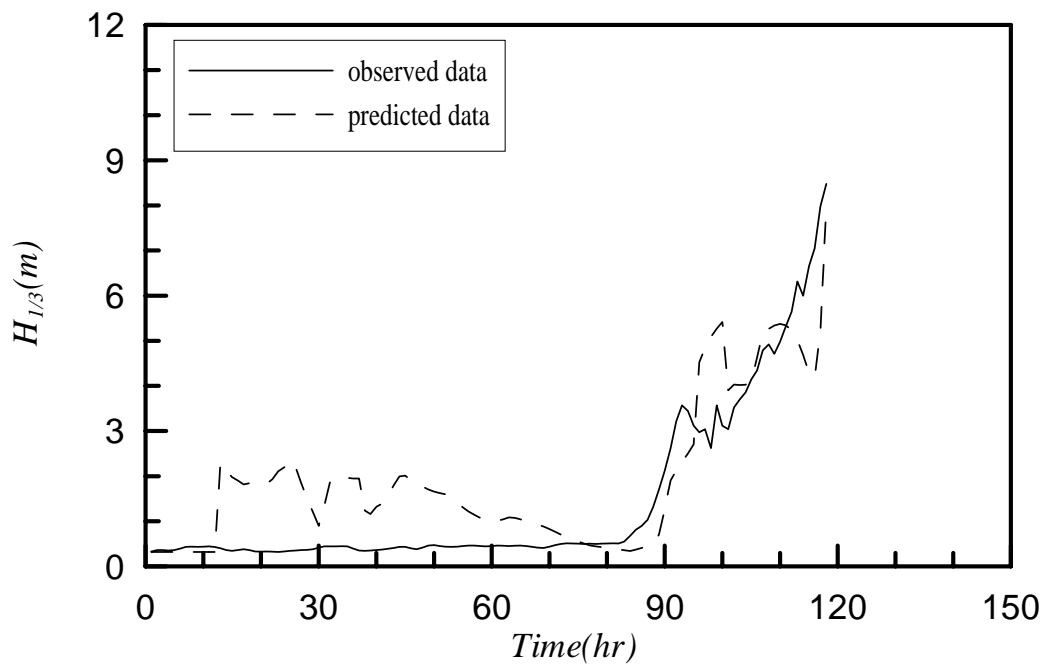


圖 4-7 以 2001 Model($I_6 H_{30} H_{12} O_1$)推測 BILIS 颱風的示性波高與觀測值之比較

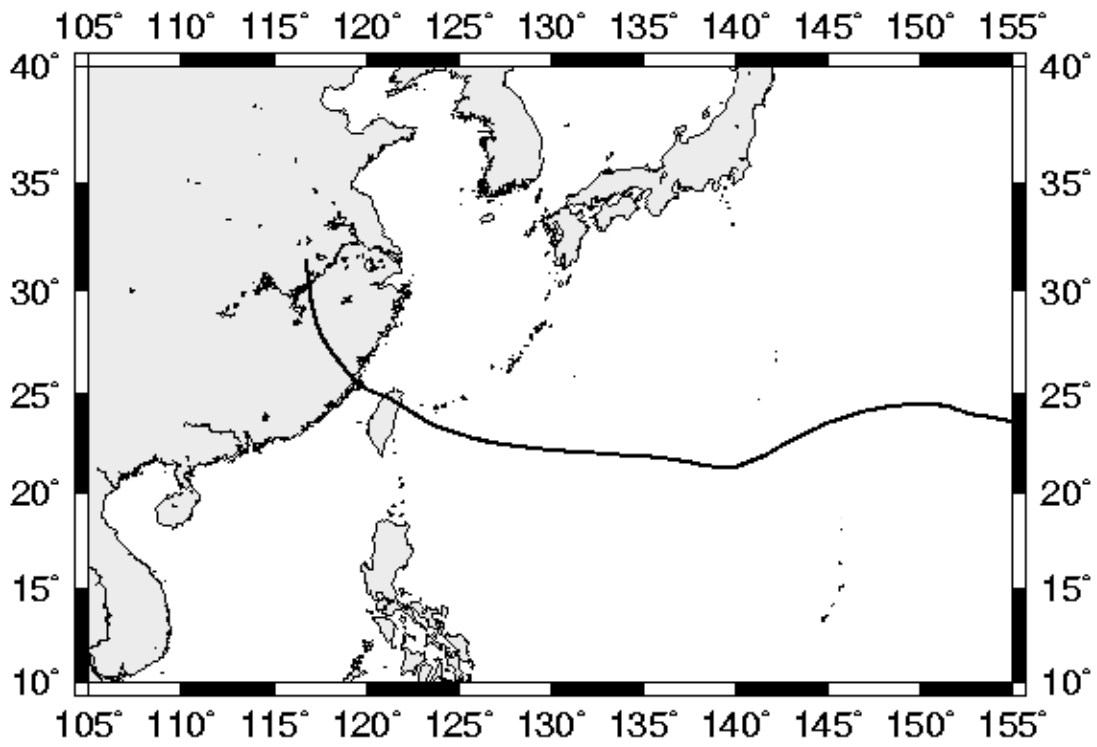


圖 4-8 FRED (1994) 颱風的路徑圖

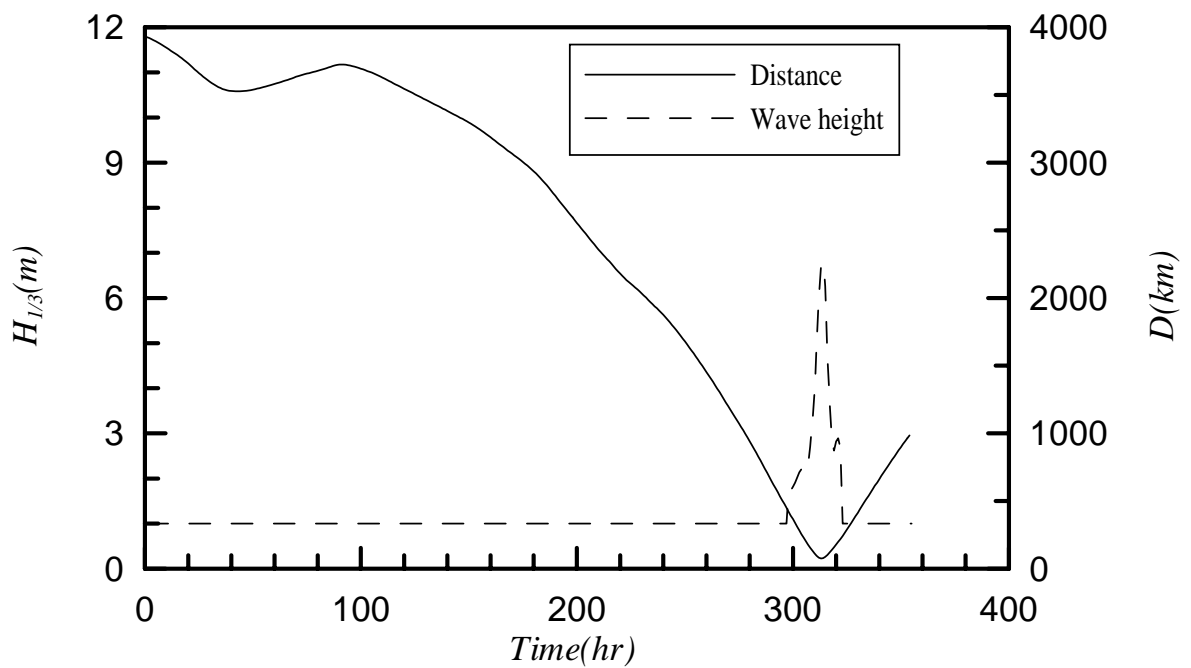


圖 4-9 FRED 颱風中心位置與花蓮測站的距離與實測示性波高的時序圖

雖然 Model 4 是 5 種模式推算颱風波浪的能力最佳的，但在颱風到達前之湧浪部分，推算尚偏高，而且在颱風離開時，推算值會迅速下降幾乎至零，此二種缺點尚須改善，以增加推算能力。

對 Model 4 的颱風推算模式進行另一場未學習的颱風事件測試，測試颱風為 FRED(1994) 颱風。圖 4-8 為 FRED 颱風的移動路徑。FRED 颱風特性在路徑上與 BILIS 颱風相似，為直撲台灣的路徑，但是颱風風場兩者之規模不同。BILIS 颱風接近花蓮時，觀測站在颱風的右半圓，但 FRED 颱風接近花蓮時觀測站在颱風的左半圓。其中 FRED 颱風的觀測值在颱風侵台前沒有資料，缺少實測資料之波高已定值 1 公尺為假設值，圖 4-9 可看出颱風快速逼近花蓮使得颱風產生的湧浪不明顯。模式推算結果如圖 4-10 所示，由圖中可以發現當颱風中心接近觀測站時波高推算出現相當大的誤差，探討原因是：1. 風浪與湧浪的作用機制相異，而模式同時學習包含兩種不同作用機制的資料，使得模式無法充分學習並分離風浪及湧浪作用機制。2. 風場的結構及變化是影響颱風波浪的主要因素，面對颱風風場學習資料不足的结果使的模式自行內差的計算錯誤，將導致推算結果錯誤。

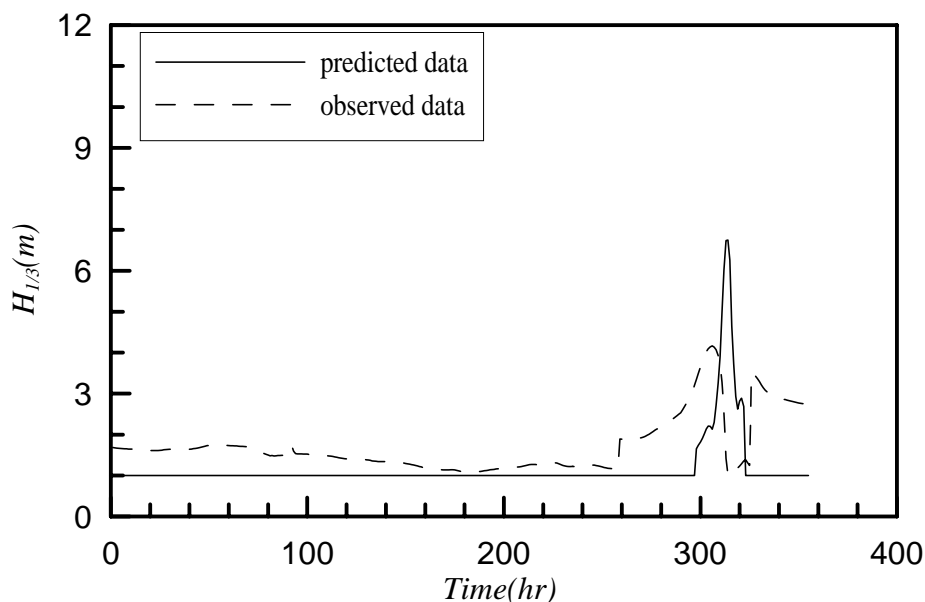


圖 4-10 Model 4 推算 Fred 颱風在花蓮測站的波高推算值與觀測值之比較

由以上的研究結果可以得到一個結論是，颱風波浪推算模式的架構採用結合的模糊理論與類神經網路能模擬台灣區域的颱風波浪，至於對颱風風場內的波浪描述的誤差，本計畫以風浪及湧浪分開學習的模式架構來改善。

4-1-2 獨立風浪及湧浪的運算架構

由表 4-1 以合併風浪及湧浪運算架構之模式的推算結果與實測值的相關性比較，發現 Model 2001 及 Model 4 ($I_6H_{30}H_{12}O_1$) 的颱風波浪推算模式有較佳的學習能力，所以，在這個階段的類神經網路的結構將採用 ($I_6H_{30}H_{12}O_1$) 的網路架構，嘗試分風浪及湧浪的獨立學習，看看是否能提高模式的推算能力。

將學習資料進行交錯學習的測試，也就是將學習資料共 10 場颱風，輪流去除某一場颱風進行模式的學習及測試，初步測試結果發現由於所收集到的颱風路徑的特性相似度低，且由於模式的擴增需要較多學習資料，因此學習內容先將 BILIS (2000) 颱風的資料納入學習資料內，藉以提高推算能力。

在學習的 BILIS (2000，碧利斯) 及 XANGSANE (2000，象神) 颱風資料中當颱風波浪接近花蓮港後，波浪資料未能量測，因此以資料補遺來測試模式推算的能力。圖 4-1 顯示 BILIS 颱風路徑穿越台灣。圖 4-11 及圖 4-12 分別為以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風的波高及週期與值測值之比較。由圖 4-11 及 4-12 中可以看出推算的波高值與波浪週期自颱風中心通過花蓮後迅速衰減。且圖 4-11 顯示在颱風未到達前之湧浪部分，推算值與實測值極為吻合，且當颱風離開花蓮港後，波浪衰減但不會到達零的現象。若與前 Model 4 之推算結果(圖 4-6)比較，可知分離風浪與湧浪的模式似乎有較高的推算能力。

圖 4-13 為 XANGSANE 颱風的路徑圖。圖 4-13 顯示 XANGSANE 颱風形成後經過呂宋島至巴士海峽，再從台灣南端沿著東岸北移最後離開台灣。圖 4-14 為 XANGSANE 颱風中心位置距離花蓮港測站隨時間之距離與對應波高之時序圖。從圖 4-14 可知大約在時間 140~165 小

時花蓮港在颱風半徑內，而實測波高在 145 小時達 3 公尺最高，即迅速下降約至零。圖 4-15 及圖 4-16 分別為比較推算颱風波浪的波高及週期與觀測值。當颱風波浪接近觀測站時實測波浪波高與推算波高相差較大，最大實測波高大約為 3 公尺，但推算最大波高可達約 7 公尺。XANGSANE 颱風中心在花蓮，其近中心最大風速為 148 km/hr ，而颱風半徑約為 200 公里，屬於中度颱風。此種颱風並不應只產生示性波高只有 3 公尺的波浪，而且此颱風順著台灣東海岸往北前進，波高似乎不應衰減很快。由本模式推算結果與實測之結果在颱風中心通過花蓮時，衰減趨勢並不同。由此例可知若當颱風期間，測量波浪資料若因儀器因素有異常不合理之處，本模式可以提供一個檢測之參考。

接著以未經過模式學習的 FRED (1994) 颱風為測試對象。圖 4-8 為 FRED 颱風的移動路徑。FRED 颱風特性在路徑上與 BILIS 颱風相似，為直撲台灣的路徑，但是颱風風場兩者之規模不同。BILIS 颱風接近花蓮時，觀測站在颱風的右半圓，但 FRED 颱風接近花蓮時觀測站在颱風的左半圓。推算 FRED 颱風波浪的波高及週期與實測值之比較，分別如圖 4-16 及圖 4-17 所示。其中 FRED 颱風的觀測值在颱風侵台前沒有資料，故缺少實測資料之波高已定值 1 公尺為假設值，而週期以 6 秒定值為假設值。颱風快速逼近花蓮使得颱風產生的湧浪不明顯，本推算之波高值在 1 公尺以下，週期約為 5 秒。而當風場接近時颱風波浪急速增加，波高最大可達 7 公尺，而週期最大約為 14 秒，在風浪期間觀測值及推算值頗為吻合，且推算最大值之時間也是接近的。

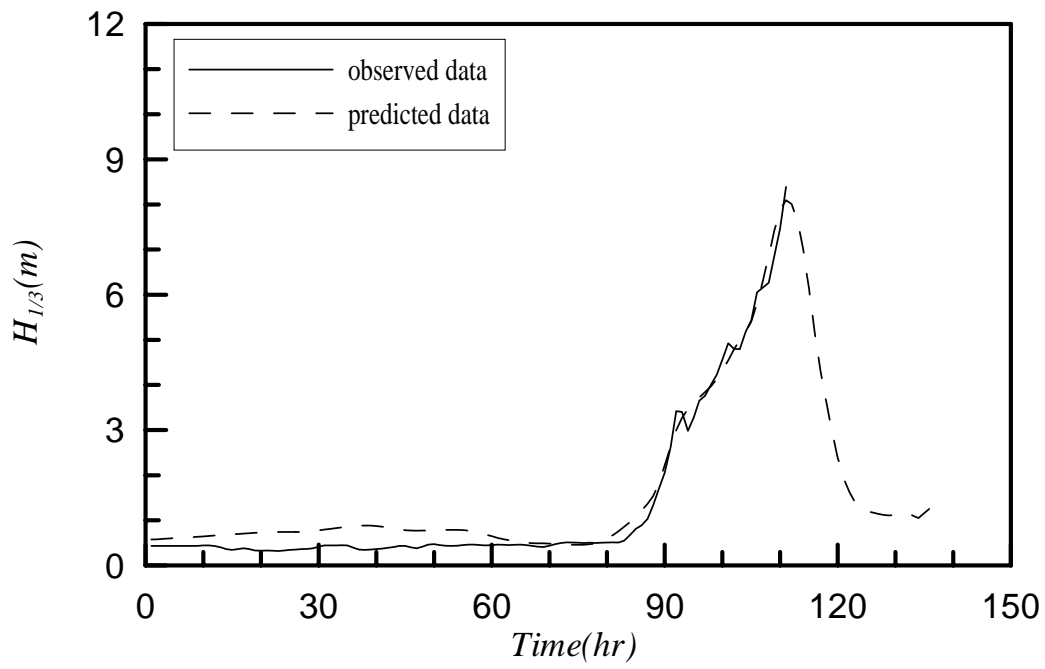


圖 4-10 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在花蓮測站的波高
推算值與觀測值之比較

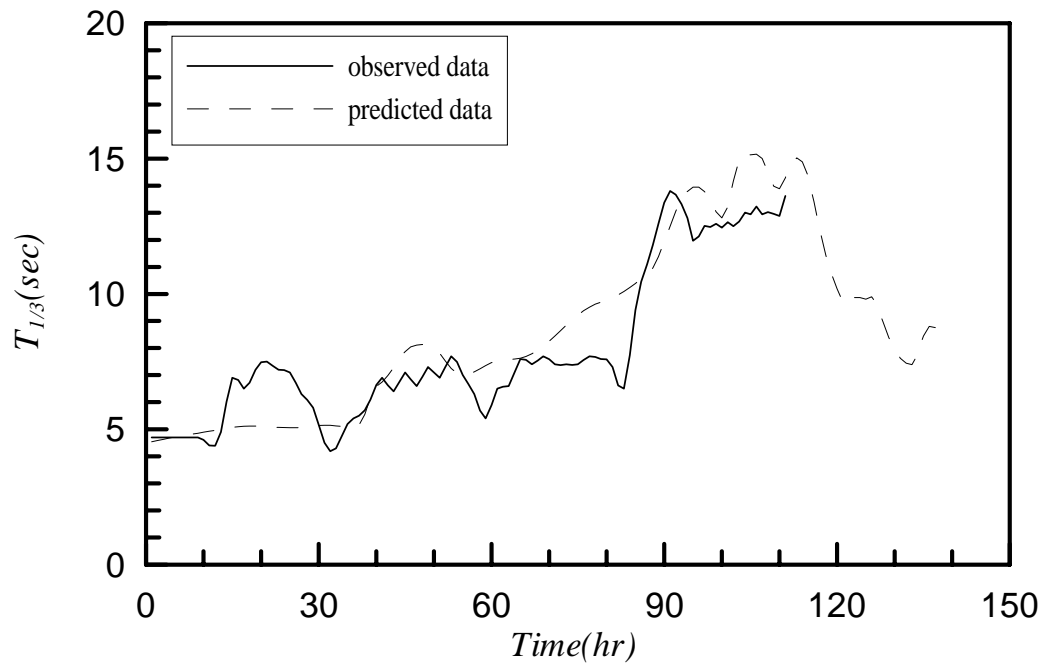


圖 4-11 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在花蓮測站的週期
推算值與觀測值之比較

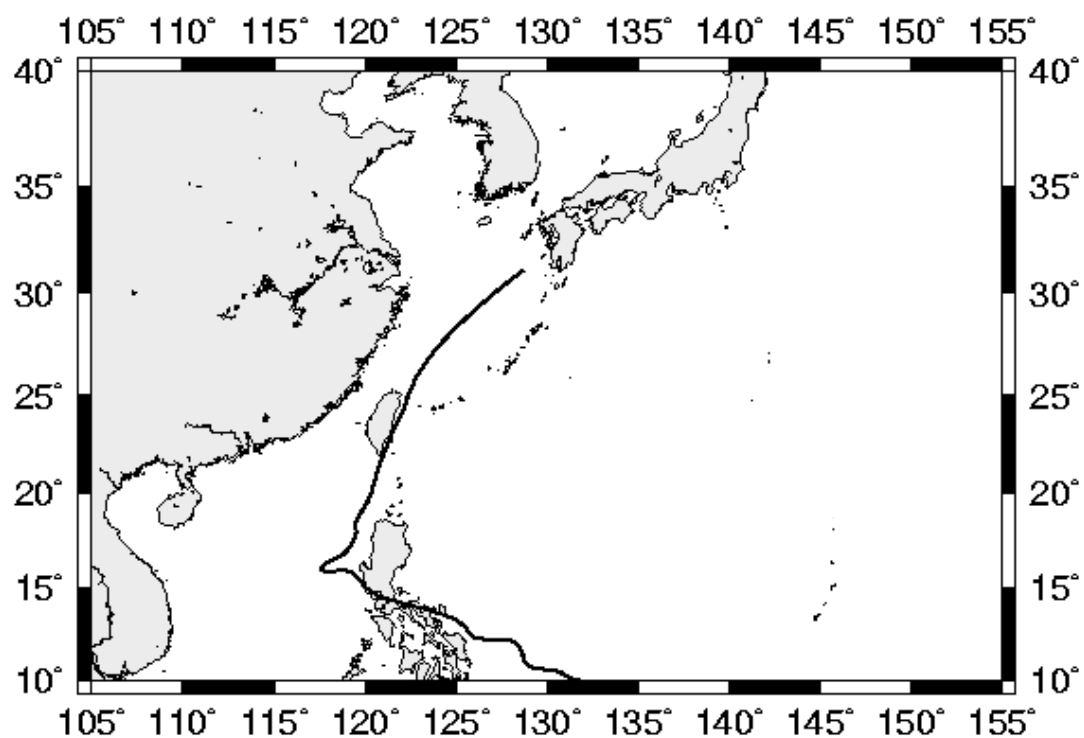


圖 4-12 XANGSANE (2000) 颱風的路徑圖

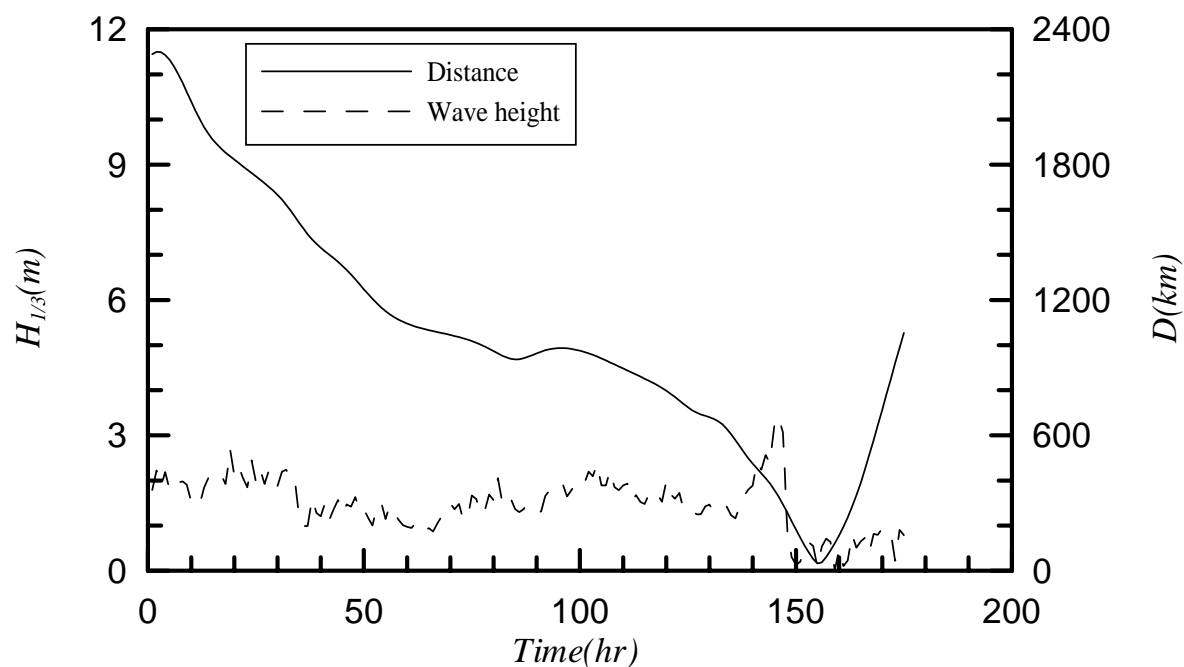


圖 4-13 XANGSANE(2000)颱風中心位置與花蓮測站的距離與實測示性波高的時序圖

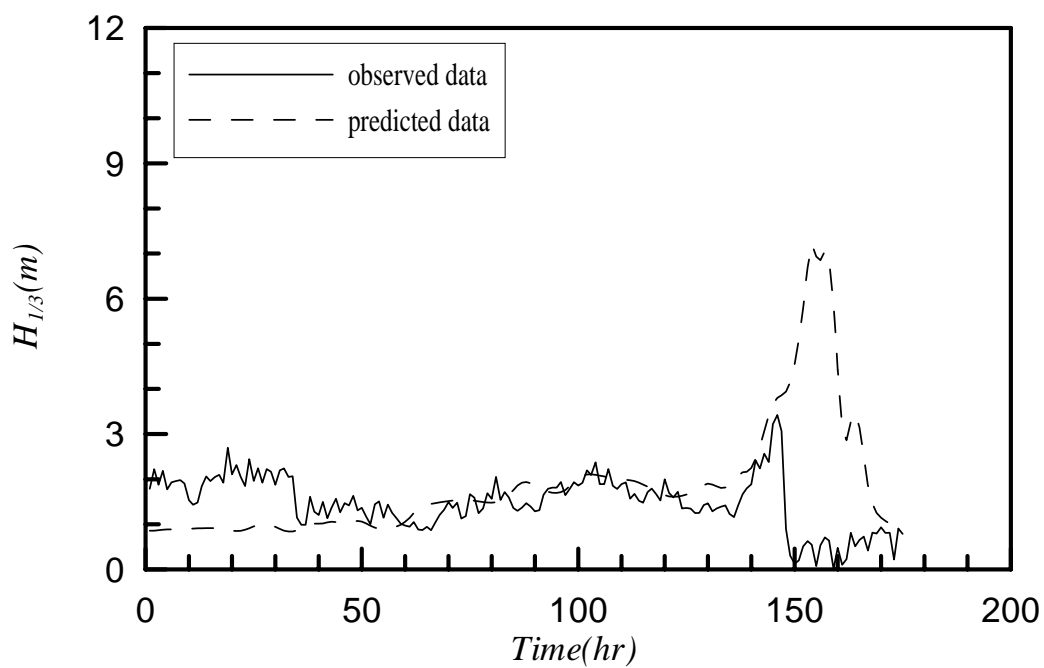


圖 4-14 以分離風浪與湧浪模式推算 XANGSANE 颱風在花蓮測站的波高推算值與觀測值之比較

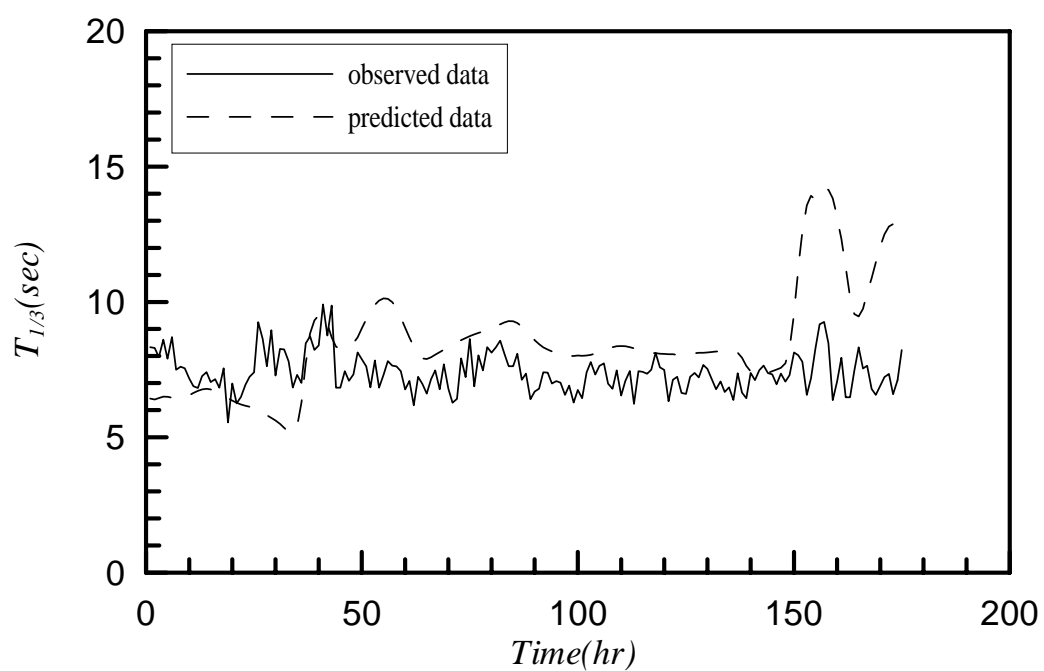


圖 4-15 以分離風浪與湧浪模式推算 XANESANE 颱風在花蓮測站的週期推算值與觀測值之比較

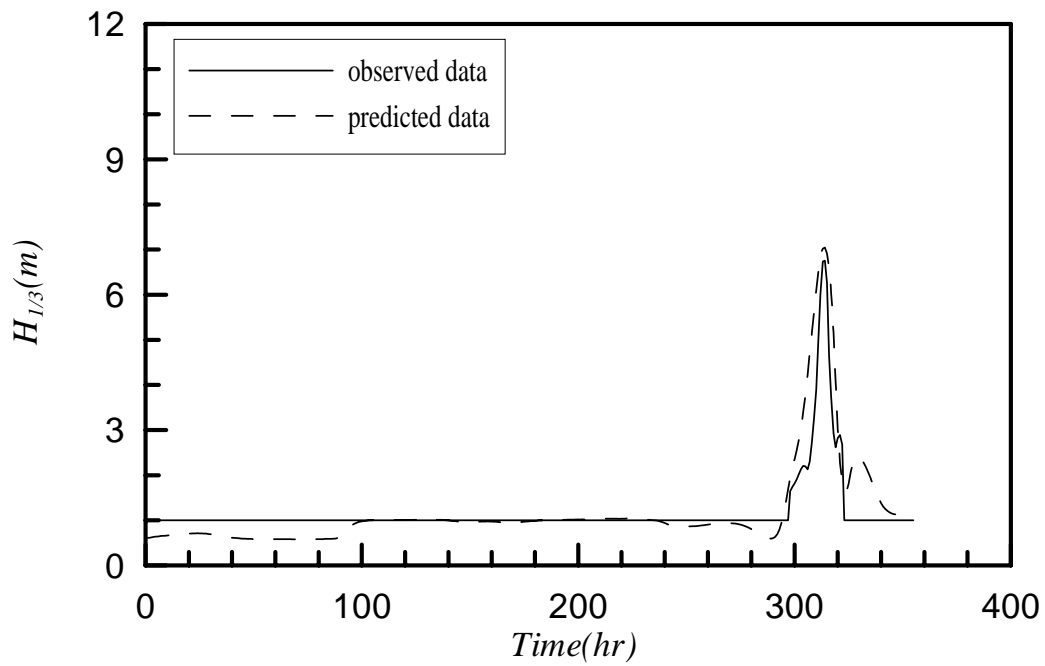


圖 4-16 以分離風浪與湧浪模式推算 FRED 颱風在花蓮測站的波高
推算值與觀測值之比較

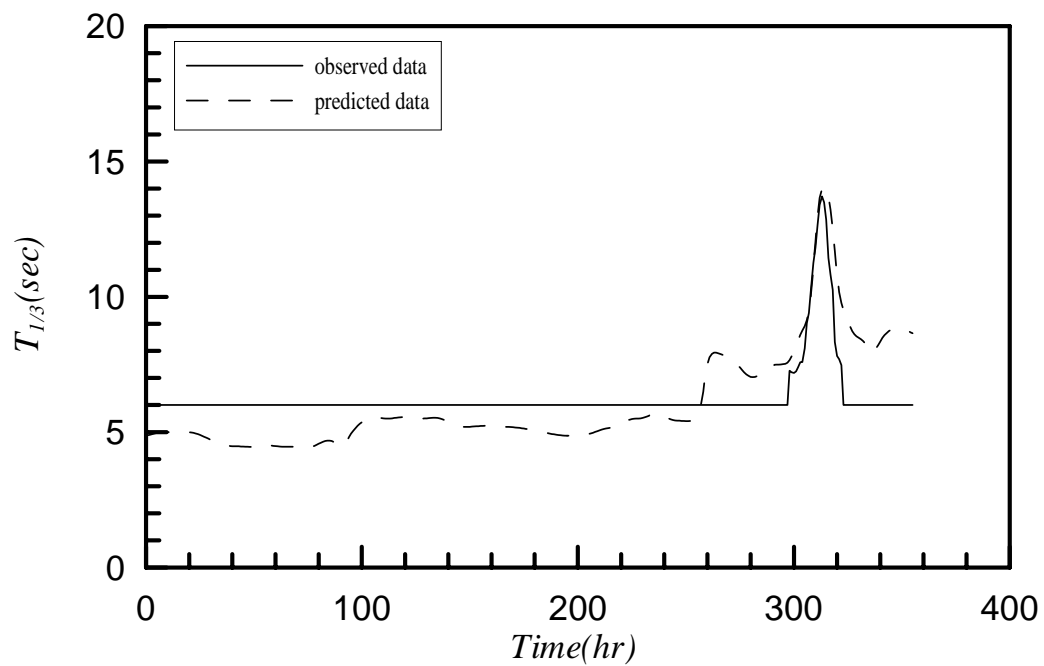


圖 4-17 以分離風浪與湧浪模式推算 FRED 颱風在花蓮測站的週期
推算值與觀測值之比較

4-2 以花蓮港模式應用至蘇澳港之波浪推算

本模式經過花蓮港的實測資料學習，可推算在花蓮港未經學習的颱風波浪，只能說明本模式推算固定點颱風波浪的能力佳，但利用本颱風波浪推算模式是否能延伸來推算花蓮觀測站附近的蘇澳的颱風波浪是值得探討的。蘇澳港距花蓮港約 66 公里，兩者均在台灣東海岸，面對太平洋，兩測站之地形和環境的相近，所以兩個觀測站的颱風波浪應該有相同的趨勢及相近的波高。因兩個觀測站同時有 BILIS 颱風的颱風波浪資料可做比較，所以本計劃首先選擇 BILIS 颱風來推算在蘇澳港的颱風波浪。BILIS 颱風中心位置與蘇澳測站之距離與實測示性波高之時序圖示如圖 4-18。由圖 4-18 顯示當颱風接近蘇澳港時無實測資料，實測波高最大值約為 6.3 公尺，發生於 103 小時，而颱風中心最近蘇澳測站之時間為 108 小時。

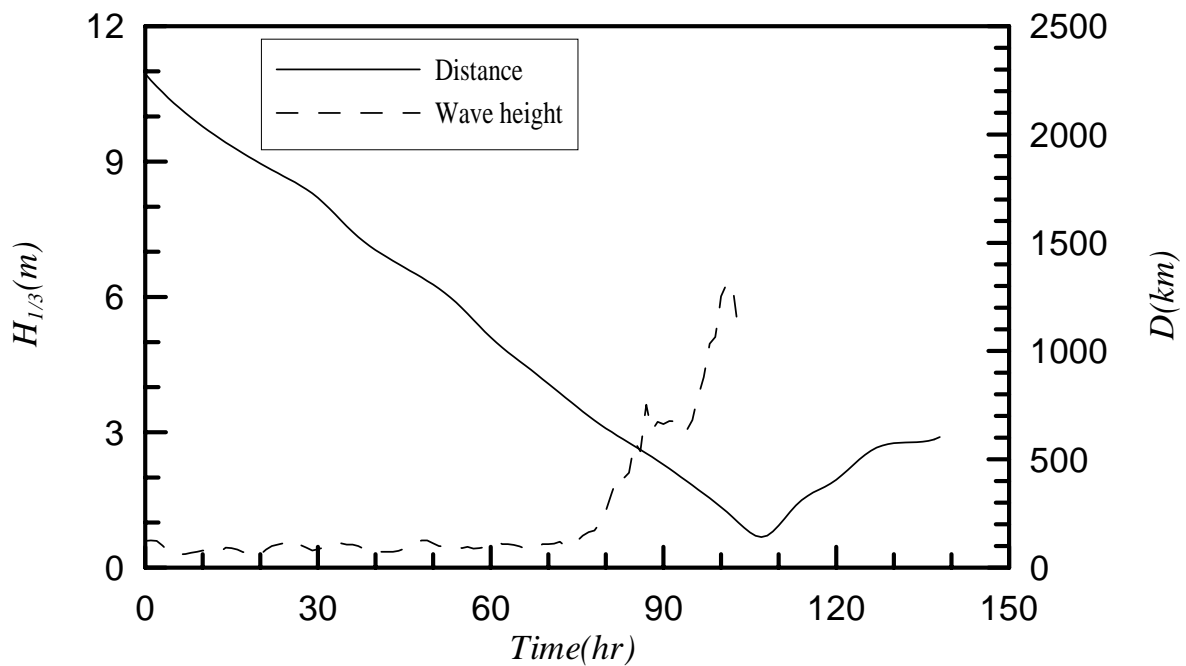


圖 4-18 BILIS 颱風中心位置與蘇澳測站的距離與實測示性波高的
時序圖

經過上節說明可知分離風浪與湧浪模式比合併模式較具推算颱風

波浪能力，所以爾後模式均以花蓮測站之波浪資料為學習對象所得分離風浪與湧浪之模式來推算蘇澳測站之颱風波浪。以分離風浪與湧浪之模式來推算 BILIS 颱風在蘇澳港之波高與週期結果並與觀測值的比較，分別如圖 4-19 及圖 4-20 所示。由圖 4-19 及圖 4-20 顯示用花蓮港模式去推算在蘇澳港之颱風波浪在有實測數據時間內，推算值與實測值均頗為吻合。由颱風後期無實測部分的推算值顯示，波高與週期尚會增加，當至達最大值約為 6.8 公尺後，再隨颱風遠離而衰減。推算波高最大值之時間約為 110 小時，此時約為 BILIS 颱風最近蘇澳測站的時間。由此結果顯示實測資料可能尚未達到最大波高前儀器已不能紀錄。由此比較推算及實測在蘇澳港的颱風波浪的波高與週期吻合結果顯示，本推算模式雖然是學習花蓮港的颱風波浪資料，然而應用至未學習資料的附近海域的波浪推算，仍然是可行的。

本計畫另外以在蘇澳港的 MAGGIE(1999)颱風波浪資料測試本模式的推算能力。圖 4-21 為 MAGGIE(1999)颱風之路徑圖，而此颱風中心位置其與蘇澳港之距離則示如圖 4-22。由圖 4-21 之颱風路徑圖顯示 MAGGIE 颱風由台灣南部海域巴士海峽西進往廣東方向。由圖 4-24 顯示此颱風距離蘇澳測站最近之前波高實測最大。以本模式推算蘇澳港 MAGGIE 颱風波浪的示性波高與週期並與實測資料比較分別示如圖 4-23 與圖 4-24。由圖 4-23 顯示本模式推算在蘇澳港 MAGGIE 颱風波浪之示性波高在颱風接近蘇澳港時增加而颱風遠離蘇澳港時波高衰減。推算的最大值約為 4 公尺，發生時間約在 100~110 小時，此時間約為颱風最近蘇澳港前 10 小時。MAGGIE 颱風最接近蘇澳港的距離為 350 公里，已超過當時之暴風半徑，故本模式之推算值才不可能太高。至於實測之波高，最大可達 6 公尺，發生於颱風最接近蘇澳測站時，時間約為 108 小時。實測與推算的趨勢相近，然而最大波高的實測值與推算值相差較大，約有 2 公尺之誤差。

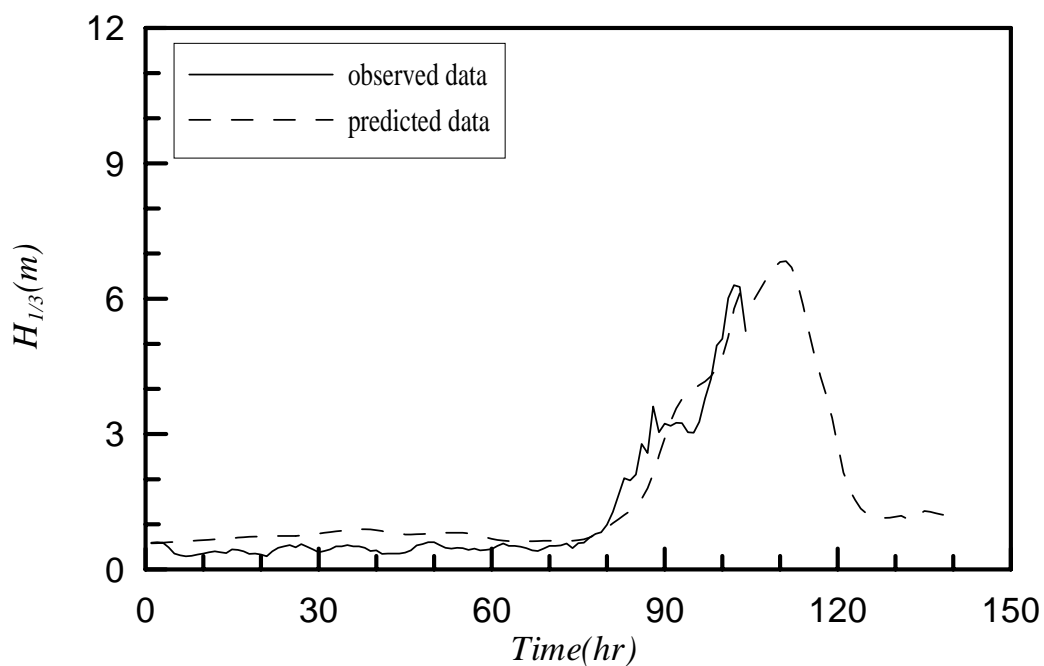


圖 4-19 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在蘇澳測站的波高
推算值與觀測值之比較

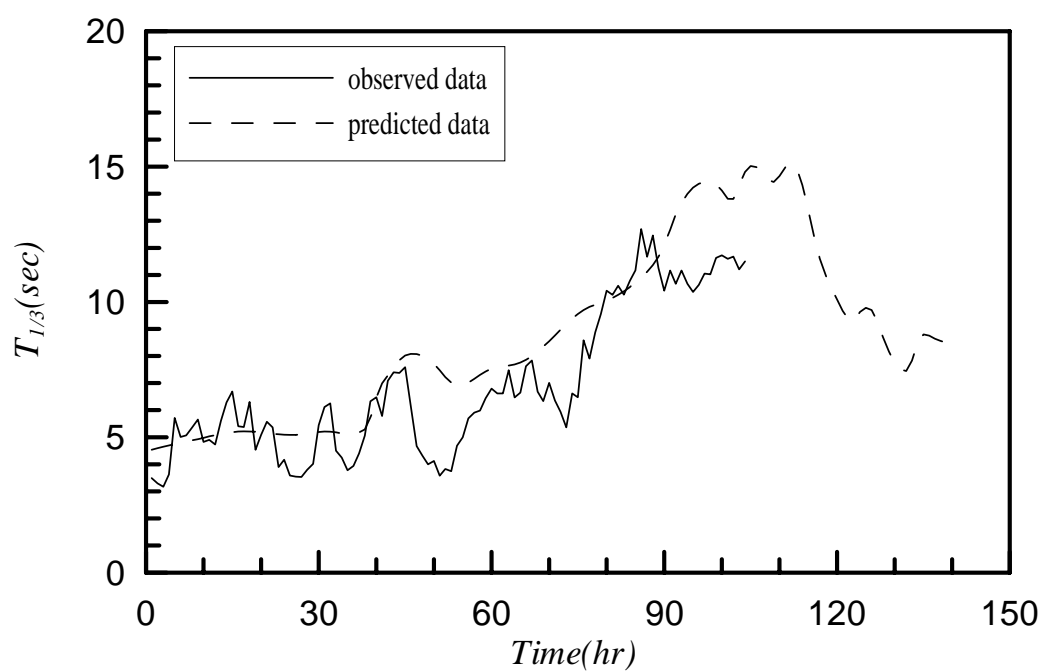


圖 4-20 以分離風浪與湧浪模式推算 BILIS 颱風在蘇澳測站的週期
推算值與觀測值之比較

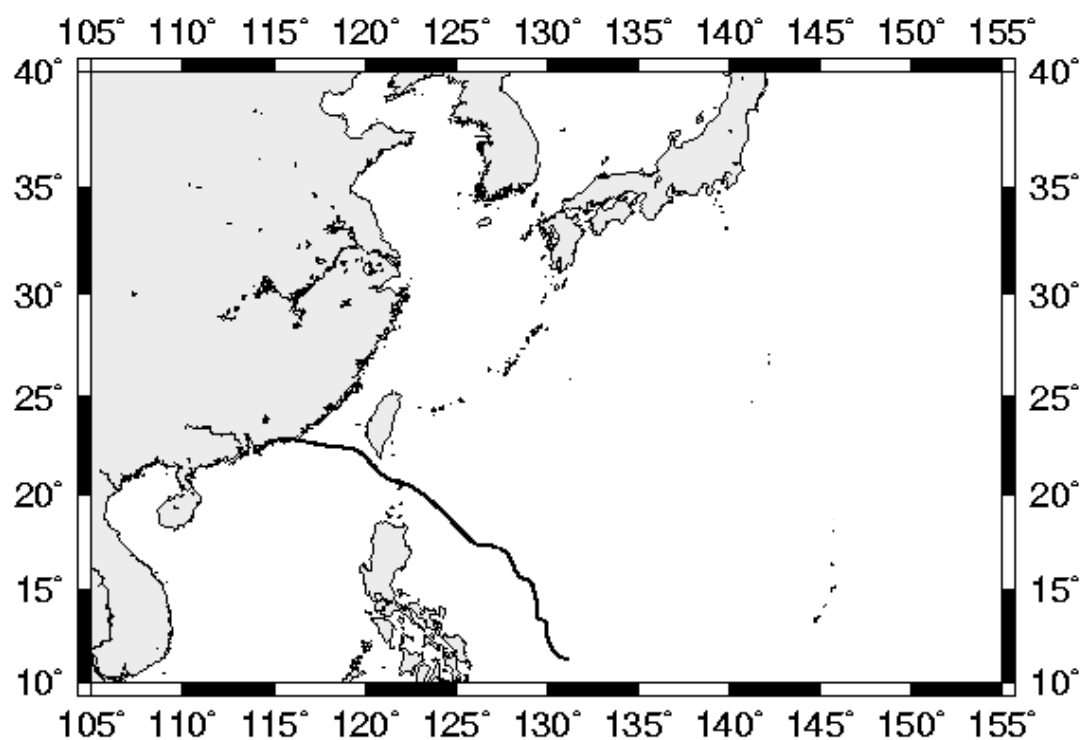


圖 4-21 MAGGIE (1999) 颱風的路徑圖

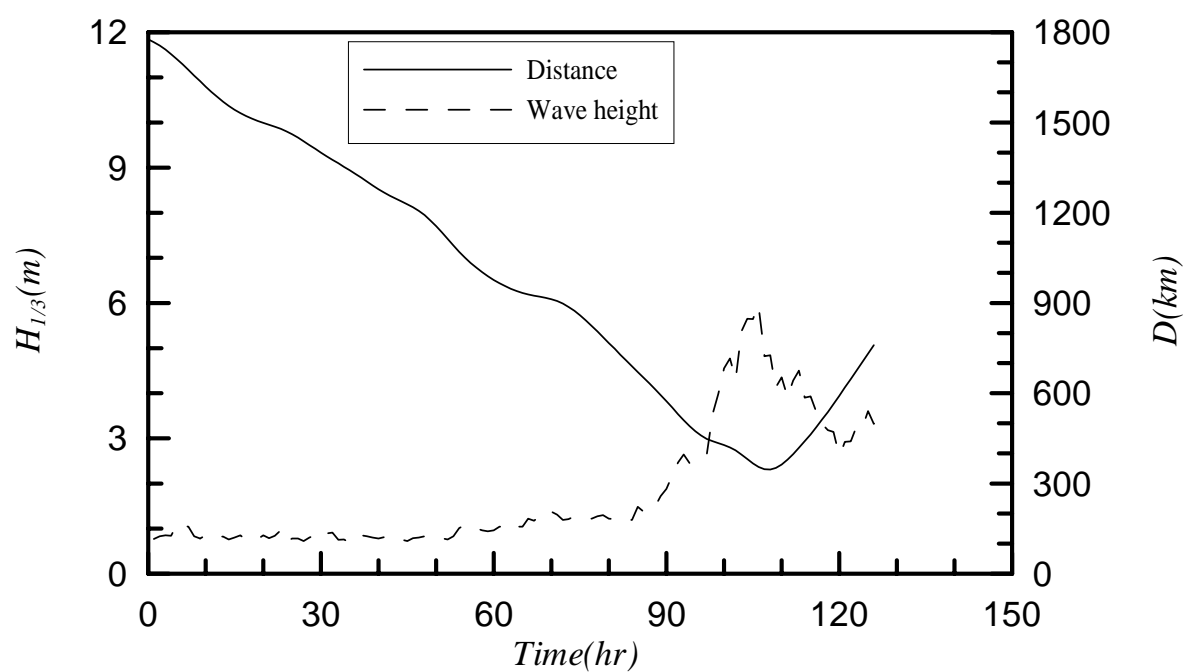


圖 4-22 MAGGIE(1999)颱風中心位置至蘇澳測站的距離與實測示性波高的時序圖

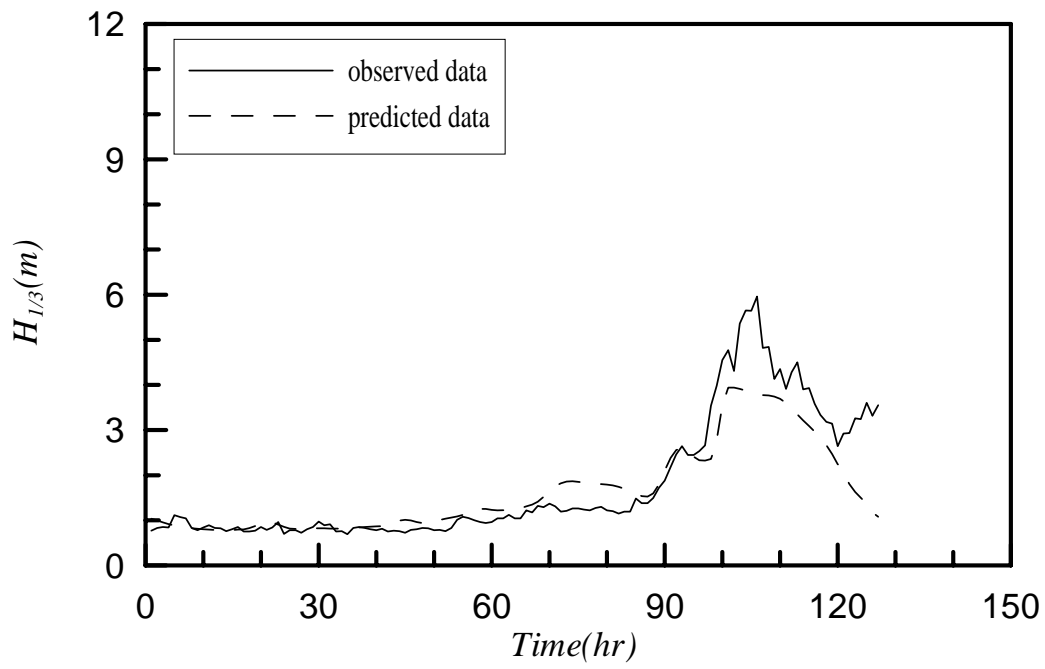


圖 4-23 以分離風浪與湧浪模式推算 MAGGIE 颱風在蘇澳測站的波高推算值與觀測值之比較

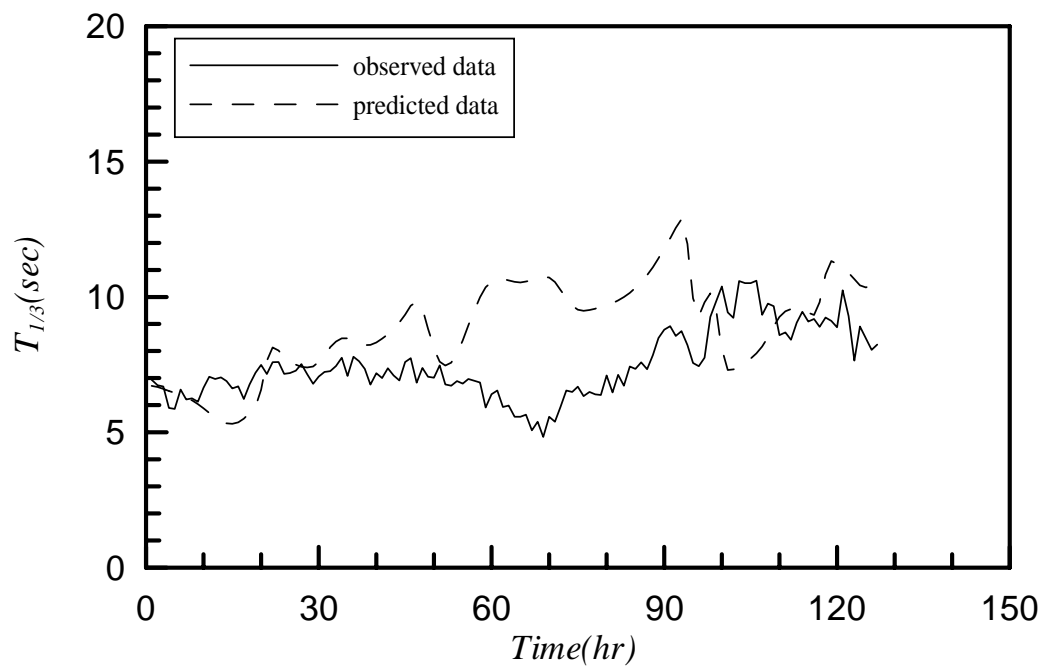


圖 4-24 以分離風浪與湧浪模式推算 MAGGIE 颱風在蘇澳測站的週期推算值與觀測值之比較

4-3 推算 2001 年花蓮測站之颱風波浪

至於在 2001 年花蓮港有測量到颱風波浪資料的颱風為 HAIYAN (海燕), 此颱風之行進路徑示如圖 4-25 , 其與蘇澳港之距離及實測波高示如圖 4-26。由圖 4-25 顯示此颱風直接西進至台灣, 當接近台灣東北海域時遠離台灣至日本。由圖 4-26 顯示此颱風在時間 110 小時最接近蘇澳測站, 距離約 300 公里, 此時有實測波高最大值約 4.5 公尺。以本模式推算 HAIYAN(2001)颱風在花蓮港之示性波高及示性週期分別示如圖 4-27 及圖 4-28。由圖 4-27 顯示本模式推算之波高峰值較實測值提前到達。此可能因為本模式中推算風浪的模組資料並無颱風風場快速變化及方向逆轉之學習對象, 所以對有此特性之颱風無法正確推算。而由圖 4-28 顯示本模式推算颱風波浪週期尚吻合。

模式推算 2001 年 TORAJI (桃芝) 颱風在花蓮港的示性波高及週期。因本計劃尚未取得此颱風之花蓮港之波浪實測數據, 故無法比較推算結果與實測結果。若以後有實測波浪數據便可比較, 則可評估本模式之推算能力。圖 4-29 及圖 4-30 分別為 TORAJI(2001)颱風的路徑圖及與其中心位置離花蓮測站之距離與推算波高之時序圖。由圖 4-29 顯示此颱風由台灣東南海域以西北方向前進通過花蓮港在穿過台灣至大陸。由圖 4-30 顯示最近花蓮測站的時間約為颱風生成後 95 小時, 以本模式推算出 TORAJI(2001)颱風之波浪示性波高及週期分別如圖 4-30 及圖 4-31。圖 4-30 顯示推算之示性波高當颱風到達花蓮港時可達 9 公尺左右, 發生時間約為 90 小時, 此颱風最接近花蓮測站前 5 小時, 若由圖 4-29 之颱風路徑圖比對, 發現在時間 90 小時花蓮測站剛位於颱風之右半圓, 其颱風波高理論上會比較大點。而此時週期約為 15 秒。

最後, 模式藉由推算 LEKMA (2001, 利奇馬) 颱風事件, 對模式的推算限制做一探討及說明。LEKMA 颱風行徑相當特別, 特別是在台灣本島上空滯留並打轉, 如圖 4-32 所示, 在台灣上空滯留的過程中, 其颱風規模及結構受到中央山脈的影響及破壞, 颱風規模一度降為熱帶性低氣壓, 使得風場結構出現相當大的變化, 而接近觀測站的距離

與波高的關係如圖 4-33 所示，實測值的資料顯示颱風作用期間颱風波浪多維持在 2-3 公尺之間，比較以往位置相近的颱風事件實測波浪資料有偏低的現象，假設實測資料沒有其他因素的干擾，經由模式推算的實測值與推算值比較如圖 4-34 所示，比較的結果發現推算值與實測值有相當大的差異，其中推算值的現象反映出颱風風場未被破壞時對觀測站的影響，而實際颱風風場降為熱帶低壓時的氣象條件已經有極大的差異了，因此在推算的結果出現不合理的現象。

所以模式在推算及應用時必須考慮：1. 颱風風場不會有結構上劇烈的變化，2. 颱風如果受台灣陸地影響，其中路徑與學習資料相似時，颱風波浪可以做出合理的推算，也就是指只要模式有學習過的颱風事件，行為相近的颱風就可以進行推算。本模式可以藉由學習資料陸續的增加，擴大推算颱風波浪的範圍，並達到自我修正的目標。對於風場產生的錯誤推算結果，將針對模式中風場變化機制作進一步的研究及改進。

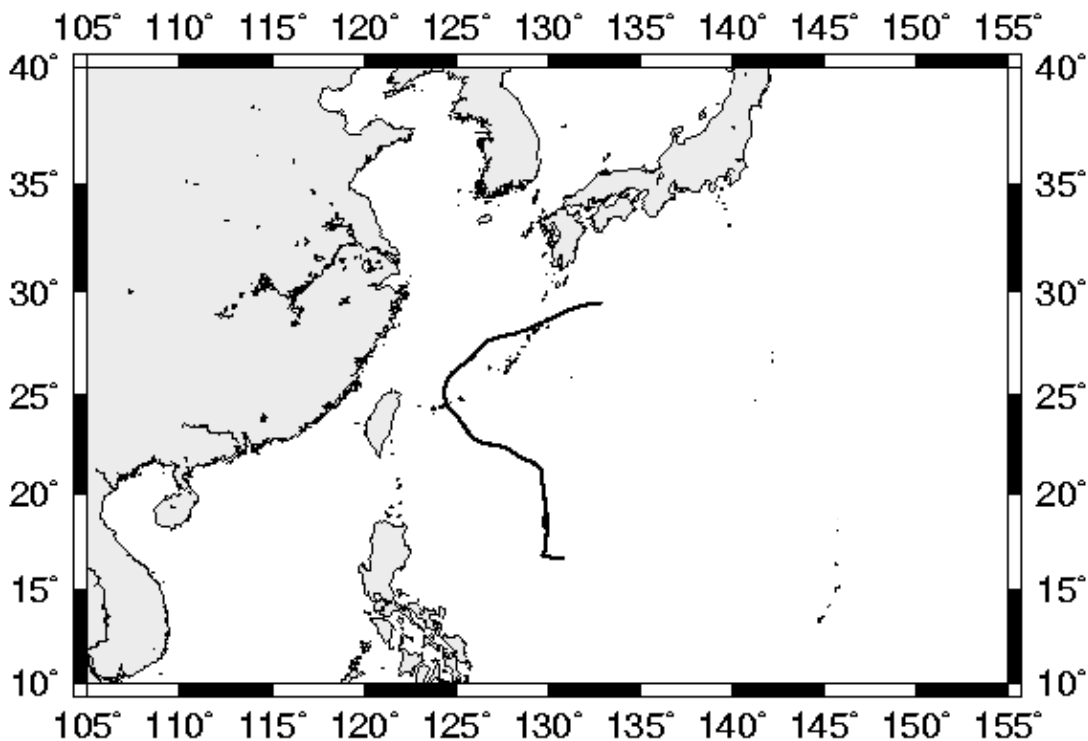


圖 4-25 HAIYAN (2013) 颱風的路徑圖

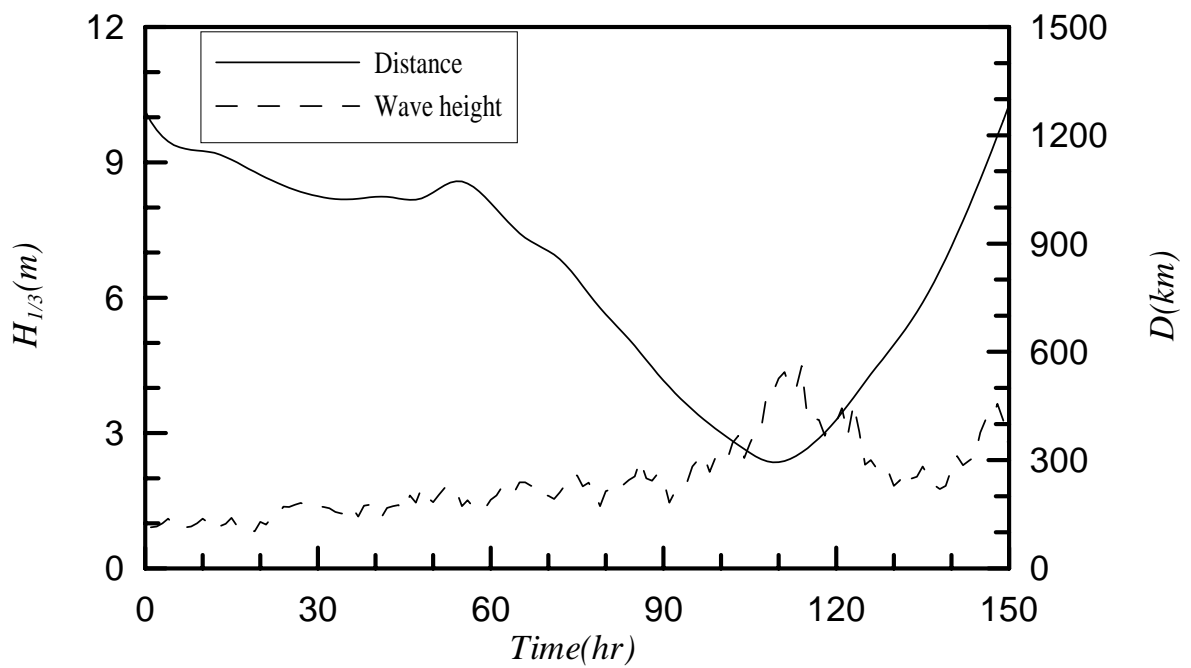


圖 4-26 HAIYAN(2001)颱風中心位置至花蓮測站的距離與實測示性波高的時序圖

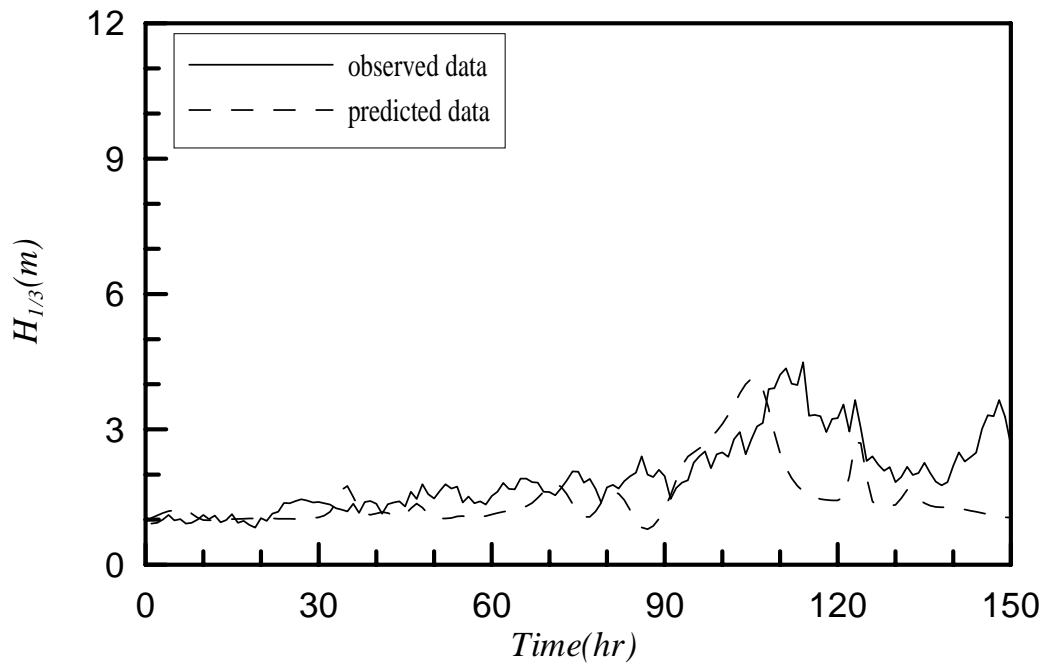


圖 4-27 以分離風浪與湧浪模式推算 HAIYAN 颱風在花蓮測站的波高推算值與觀測值之比較

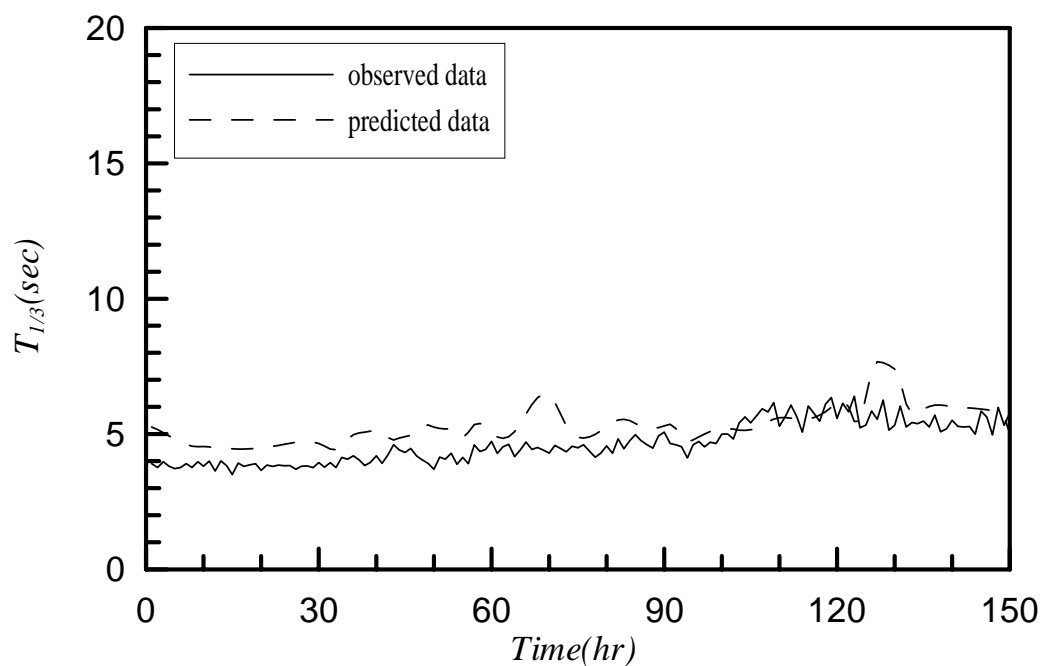


圖 4-28 以分離風浪與湧浪模式推算 HAIYAN 颱風在花蓮測站的週期推算值與觀測值之比較

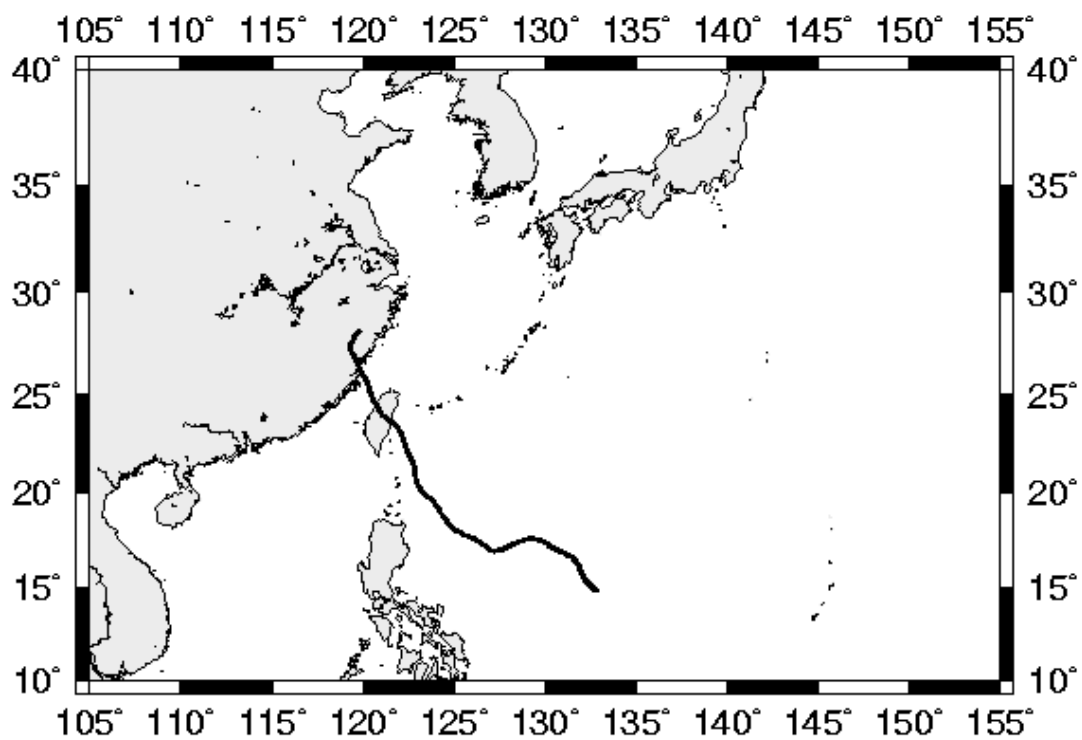


圖 4-29 TORAJI (2001) 颱風的路徑圖

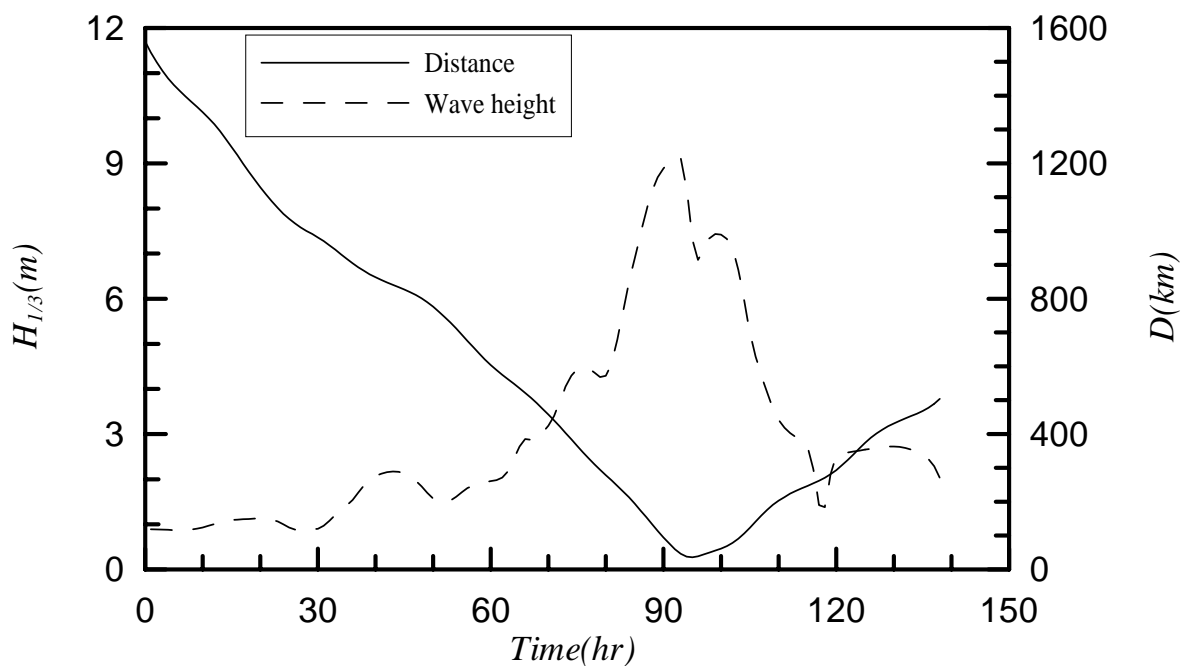


圖 4-30 TORAJI(2001)颱風中心位置至花蓮測站的距離與推算示性波高的時序圖

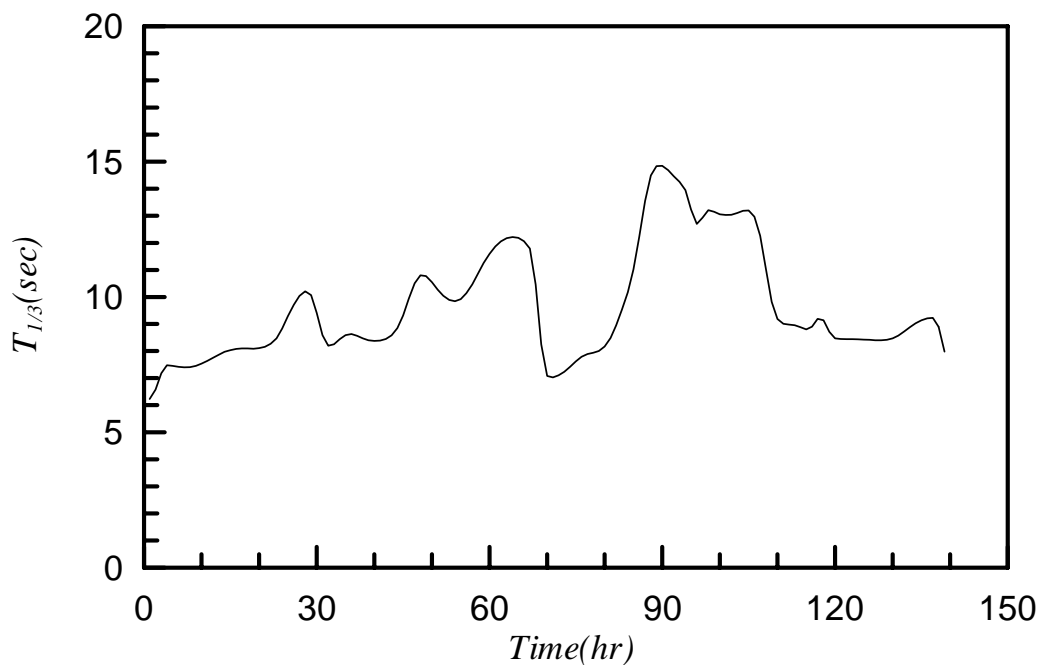


圖 4-31 以分離風浪與湧浪模式推算 TORAJI 颱風在花蓮測站的週期推算值與觀測值之比較

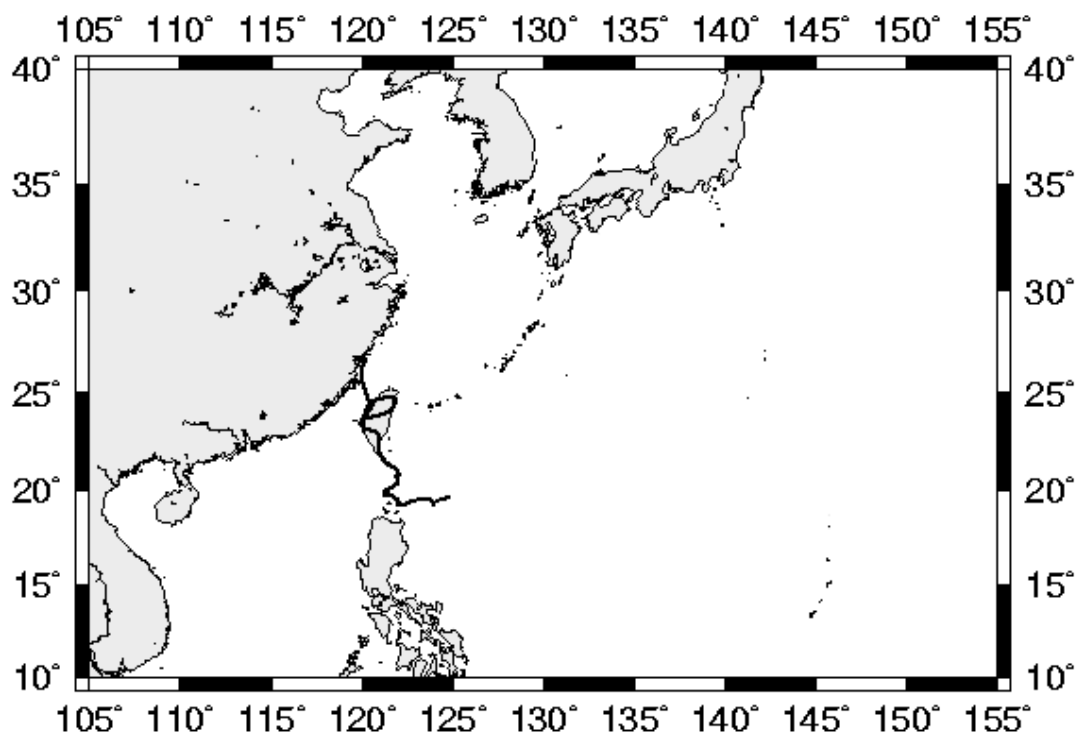


圖 4-32 LEKMA (2001) 颱風的路徑圖

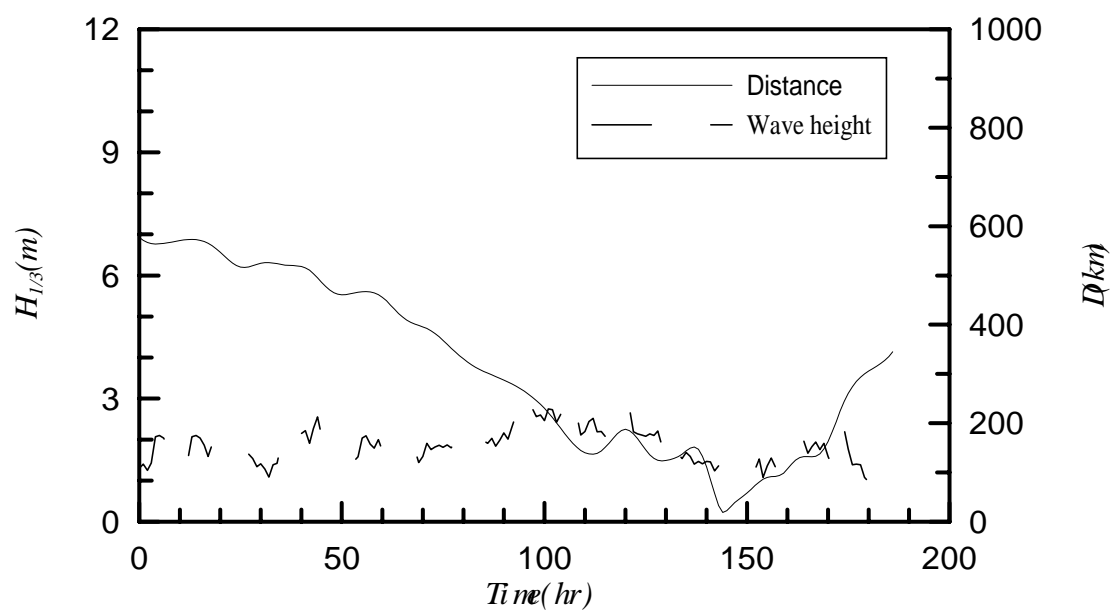


圖 4-33 LEKMA(2001)颱風中心位置至花蓮測站的距離與實測波高
 時序圖

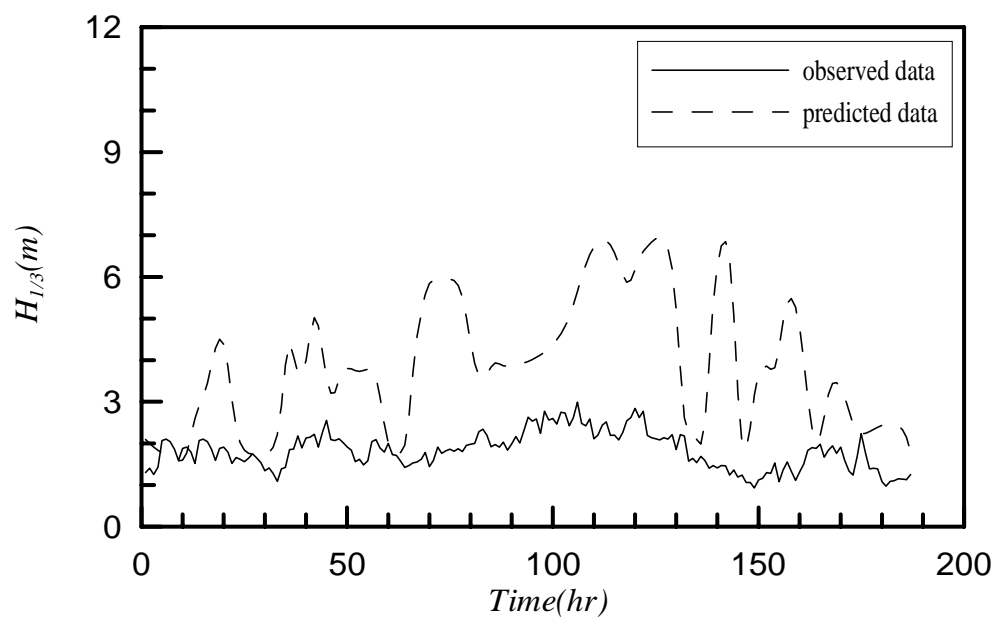


圖 4-34 以分離風浪與湧浪模式推算 LEKMA 颱風在花蓮測站的波高推算值與觀測值之比較

4-4 以花蓮港模式應用至台北港之波浪推算

本模式除了可合理推算在花蓮港未經學習的颱風波浪，此一颱風波浪推算模式亦能延伸計算範圍，合理推算花蓮觀測站附近的蘇澳的颱風波浪。接著對台灣北邊的台北港進行模式的測試，由於台北港的颱風波浪資料有限，因此以 ZEB（1998，瑞伯）颱風進行推算以及比較分析。台北港的位置位於淡水，在地形上是受到台灣東北角遮蔽，沒有直接受到太平洋波浪影響，所以模式的運算結果無法反應地形上的影響因素，但是我們可以應用推算結果及實測資料進行分析比對，藉以作為本模式日後修正的方向。

ZEB（1998）颱風路徑如圖 4-35 所示，颱風已接近東岸的海域由難往北移動，在影響台灣區域的颱風規模屬於中度颱風，而颱風中心位置至花蓮測站的距離與實測示性波高的時序如圖 4-36 所示，由 4-36 圖可以發現，颱風的實測示性波高最大值發生的位置，在颱風最接近觀測站的位置，也就是颱風風場涵蓋觀測區域時風浪才明顯轉強，這時波浪趨勢充分反應颱風受到陸地與中央山脈的影響，以及陸地對波浪遮蔽的效應，所以颱風到達前的湧浪現象並不明顯。

圖 4-37 是以分離風浪與湧浪模式推算 ZEB 颱風在台北測站的波高推算值與觀測值之比較，對於颱風波浪的波高最大值與發生時間的估算，模式可以推算出相當合理的結果，但是對於其他時間發生的波浪現象就出現相當的出入，首先對於颱風湧浪的推算差異來自台灣東部海域，面對來自於太平洋的颱風時湧浪的現象就相當明顯，相對於台灣西岸的區域受陸地阻隔，幾乎沒有任何影響。接著當颱風遠離時，颱風位置與花蓮測站的相對關係反應颱風波浪受到陸地影響，所以波高值迅速降低。由推算結果瞭解對於台北港受陸地遮蔽及風場變動的因素無法充分反映在模式推算上。

模式對於台灣西岸颱風波浪的推算的修改方向上大致可朝向：1. 大量收集颱風風場變化的相關資料 2. 完整收集影響台灣西部颱風的氣象以及波浪資料。藉由充分的資料就可以進一步探究颱風對台灣西岸

及東岸影響機制的差異。

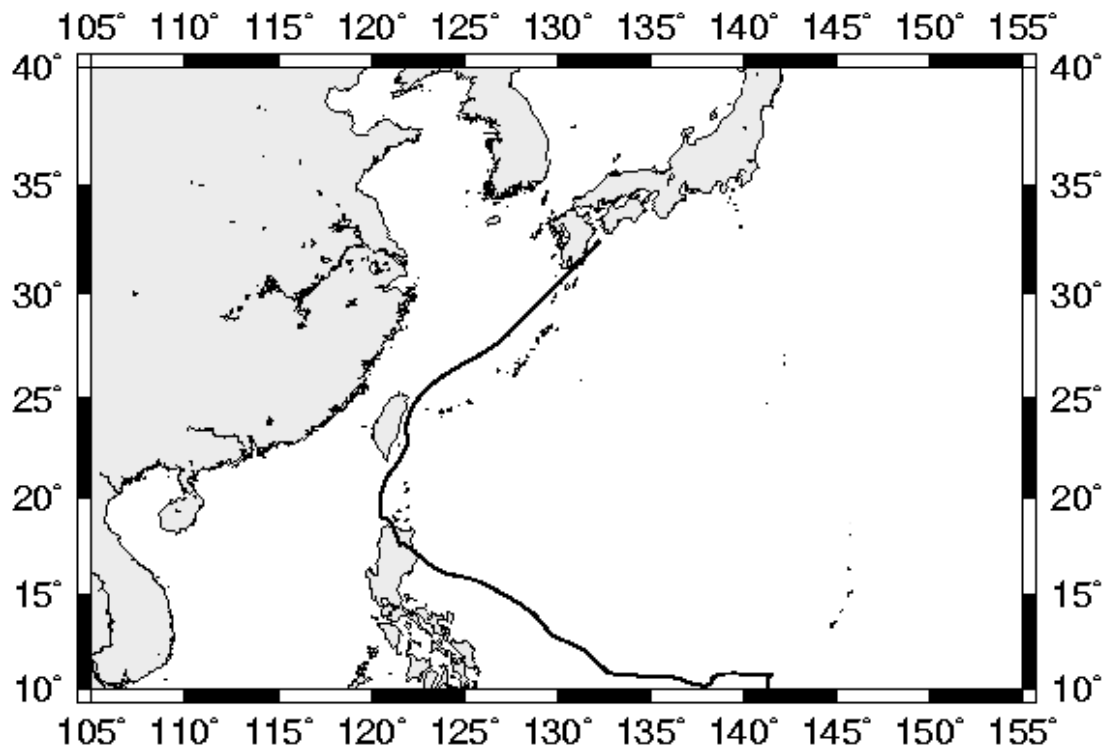


圖 4-35 ZEB (1998) 颱風路徑

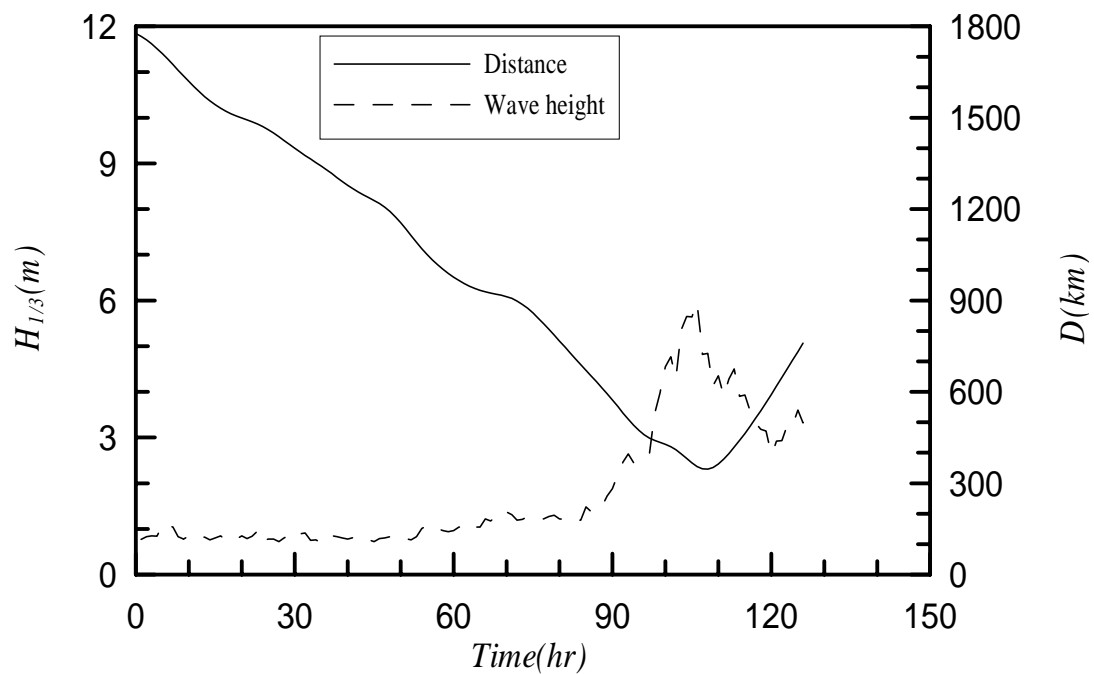


圖 4-36 ZEB (1998) 颱風中心位置至台北港測站的距離與實測示性波高的時序圖

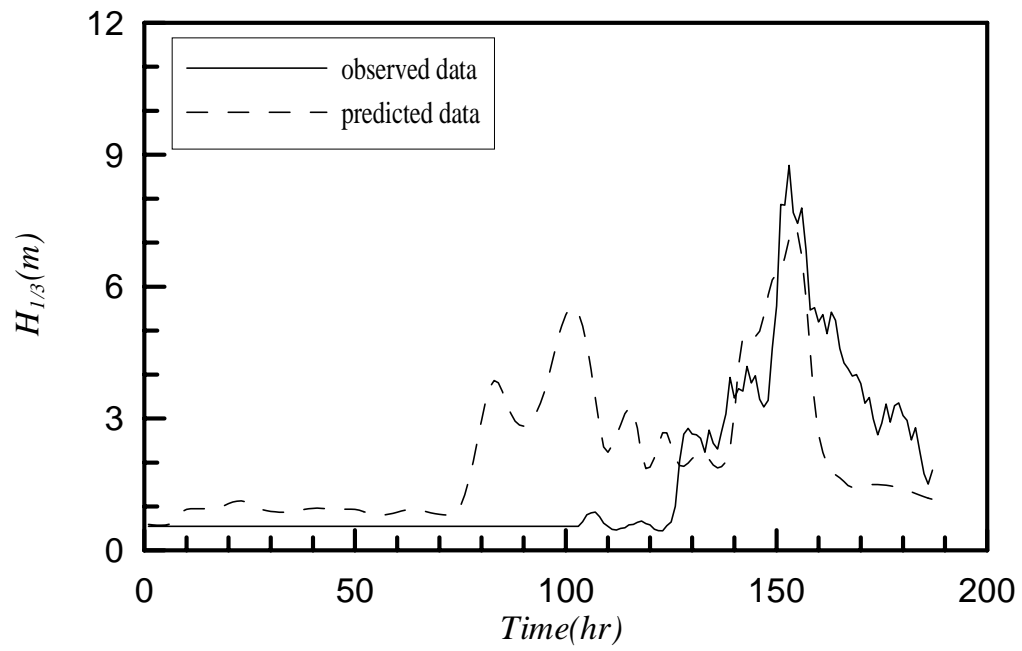


圖 4-37 以分離風浪與湧浪模式推算 ZEB 颱風在台北測站的波高推算值與觀測值之比較

第五章 結論與建議

5-1 結論

模糊網路及類神經網路對於學習或是模擬的資料有結構上最低程度的限制，隨著複雜的學習資料需要相對應的模式也較為複雜。大體來說較佳的學習結果主要來自兩個原因，一是颱風路徑相似的波浪資料充足。另一個原因是颱風路徑、氣象條件、運動特性變化較不劇烈的颱風型態。由目前研究結果顯示，當類神經網路結構逐漸增加時推算能力增加，但並不表示推算能力是按比例增加，而類神經網路結構的決定除了基本原則及錯誤嘗試外，與學習資料的型態也有相當大的關連。以類神經-模糊網路作為波浪推算的核心的特性是使波浪推算系統不易產生發散，也不會有推算過程中產生誤差累積的結果。

對於颱風波浪推算模式修正的方向大致上分為兩個部分，一是颱風風浪模式的建構需要較多的颱風風場資料進行修正，一般而言颱風風場在接近台灣陸地時受到陸地摩擦的效應，風場會產生局部的變化，如果颱風穿越台灣，受中央山脈的影響颱風風場就會發生相當大的變化，對於颱風的運動行為如滯留、迴轉、加速等，風場都會有顯著的變化，所以僅以最大風速及移動速度是無法還原風場分佈特性，因此提高颱風風浪模式的完整性將有助於提高波浪推算的準確性。

第二個部分是颱風路徑與湧浪間關係及資料的補強，雖然颱風及氣象資料相當豐富，但是相對應的波浪資料就顯的不足，所以應用目前已經發展的理論公式或是經驗公式，配合相關的颱風資料進行模式的修正及日後的更新。因此，利用相鄰近測站的資料以及衛星遙測資料進行台灣沿岸波浪資料推估及補遺，對於日後提升颱風波浪計算的準確性將有極大的幫助。

在台灣東部觀測站花蓮及蘇澳港互推的操作結果發現，本計畫發展的颱風波浪推算模式具備有相當的推算能力。

5-2 建議

為加強颱風波浪推算模式的推算能力，未來在模式的改善方向有下列幾點：

- 1.將颱風依照規模及風速區分影響距離，藉由颱風風場的分佈及趨勢建立不同的模糊資料庫，提高模式學習的能力。
- 2.藉由歷史颱風的氣象資料以及颱風運動特性分析，增加建立颱風的模糊資料庫。
- 3.探討選用的參數特性並決定參數的型態及比重，藉以改良模糊理論的關係函數以及類神經網路的架構。
- 4.收集颱風運動風場分佈資料藉以修正風浪特性。

參考文獻

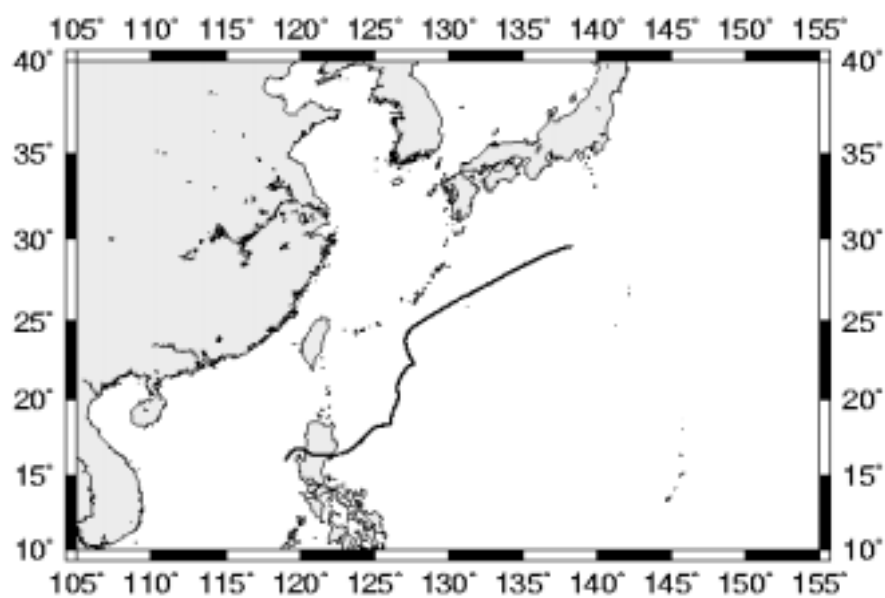
1. 張憲國、錢維安 (2001) 「台灣地區波浪預警系統之應用研究」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
2. 張憲國、錢維安 (2000) 「臺灣東部港灣預警系統之應用研究-港外波浪動態特性」, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。
3. 簡仲璟、曾相茂 (1999) 「花蓮港颱風波浪特性研究」, 第 21 屆海洋工程研討會論文集, 第 55-62 頁。
4. 王時鼎(1988) 「臺灣颱風風力特性及其預報研究 (二)」, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告, 70 頁。
5. 交通部中央氣象局(1998) 「颱風百問」, 第 10-20 頁。
6. 劉廣英、俞川心、李富城(1986) 「移近或登陸臺灣颱風強度變化及其成因之研究」, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告, 72 頁。
7. 羅俊雄, 張隆男(1987) 「颱風特性及風對結構物影響」, 行政院國家科學委員會防災科技研究報告, 70 頁。
8. Bretschneider, C. L. and E. E. Tamaye (1976) " Hurricane wind and wave forecasting techniques, " *Proceedings of the Fifteenth Conference on Coastal Engineering*, Hawaii, Vol. 1, pp. 202-237.
9. Chen, T., and H. Chen, (1995) " Approximation capability to functions of several variables, nonlinear functionals, and operators by radial basis function neural networks, " *Neural Networks*, Vol. 6, pp.904-910.
10. Chen, Y. H. and H. Wang (1983) " Numerical model for non-stationary shallow water wave spectral transformation, " *Journal of Geophysical Research*, Vol. 88, pp. 9851-9863.
11. Crandell, J. H., (1998) " Statistical assessment of construction characteristics and performance of homes in Hurricanes Andrew and Opal, " *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.

- 77, pp. 695-701.
12. Hiraoka, T., H. Maeda and N. Ikoma (1999) “ Two-stage prediction method of typhoon position by fuzzy modeling-Fusion of outline prediction and detailed prediction Systems, ” *Proceedings of IEEE SMC '99 Conference on Man, and Cybernetics*, Vol. 6, pp. 581 -585.
 13. Holland, G. J. (1980) “ An analytic model of the wind and pressure profiles in hurricanes, ” *Monthly Weather Review*, Vol. 108, No. 8, pp. 1212 – 1218.
 14. Hurdle, D.P. and M.J.F. Stive (1984) “ Revision of SPM 1984 wave hindcast model to avoid Inconsistencies in engineering applications, ” *Coastal Engineering*, Vol. 12, pp. 339-357.
 15. Graber, H.R. and I. M. Madsen (1988) “ A finite-depth end-wave model, Part I: Model description, ” *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1465-1483.
 16. Jones, W.L., J. Zec, V.J. Cardone and W.J. Pierson (1999) “ NASA Scatterometer measurements of ocean surface winds in tropical cyclones, ” *OCEANS '99 MTS/IEEE Riding the Crest into the 21st Century*, Vol. 1, pp.373 – 376.
 17. Johnson, G.P. and F.C. Lin (1996) “ Hurricane Tracking via Backpropagation Neural Network, ” *Proceedings of 1996 IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. 2, pp. 1103-1106
 18. Lee, R.S.T. and J.N.K. Liu (1999) “ An Elastic Graph Dynamic Link Model for Tropical Cyclone Pattern Recognition, ” *Proceedings of 6th International Conference on Neural Information, ICONIP ' 99*, Vol. 1, pp. 177-182.
 19. Masjukov, V.V. (2000) “ A mathematical and computer model of the

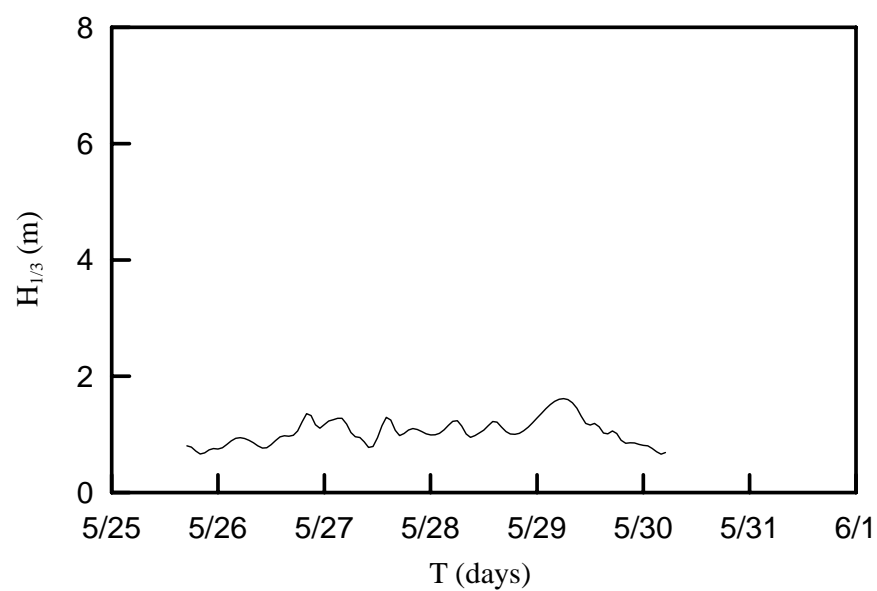
- main tropical hurricane wave system, " *Computer Physics Communications*, Vol. 126, pp. 121-125.
20. Nagai, K., S. Kono and, D. X. Quang (1998) " Wave characteristics on the central coast of vietnam in the south China sea, " *Journal of Coastal Engineering*, Vol. 40, No. 4, pp. 347-366.
 21. Niwa, Y. and T. Hibiya (1998) " Nonlinear processes of energy transfer from traveling hurricanes to the deep ocean internal wave field, " *Oceangraphic Literature Review*, Vol. 45, pp. 39.
 22. Powell, M.D., P.P. Dodge and L.B. Black (1991) " The landfall of Hurricane Hugo in the Carolinas: Surface wind distribution, " *Weather and Forecasting*, Vol. 6, pp. 379-399.
 23. Powell, M.D. and S.H. Houston (1998) " Surface wind fields of 1995 Hurricanes Erin, Opal, Luis, Marilyn, and Roxanne at landfall, " *Monthly Weather Review*, Vol. 126, No. 5, pp. 1529-1273.
 24. Powell, M.D., S.H. Houston and T.A. Reinhold (1996) " Hurricane Andrew ' s landfall in South Florida — Part I: Standardizing measurements for documentations of surface wind fields, " *Weather and Forecasting*, Vol. 11, No. 3, pp. 303-328.
 25. Russell, L. R. (1971). " Probability distributions for hurricane effects, " *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 97, 139 – 154.
 26. Shea, D.J. and W.M. Gray (1973) " The Hurricane ' s Inner Core Region. I. Symmetric and Asymmetric Structure, " *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 30, No. 8, pp. 1544-1564.
 27. Shore Protection Manual (SPM) (1984) *U.S. Army Coastal Engineering Research Center*, Fort Belvoir, Vol. I-III.
 28. SWAMP Group (24 Authors) (1985) *Ocean wave modeling*, Plenum

- Press, New York, 256 pp.
29. Tolman, H.L. (1997) *User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 1.15*, NOAA / NWS /NCEP / OMB Technical Note 151, 97pp.
 30. Vickery, P. J., P. F. Skerlj and L. A. Twisdale (2000) “ Simulation of hurricane risk in the U.S. using empirical track model, ” *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 126, No. 10, pp. 1222 – 1237.
 31. WAMDI group The WAM model (1988) “ A third generation ocean wave prediction model, ” *Journal of Physical Oceanography*, Vol. 18, pp. 1775-7810.
 32. Young, I.R. (1988b) “ A shallow water spectral wave model, ” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 93, pp. 5113-5129.
 33. Young, I.R. (1988c). “ A parametric hurricane wave prediction model, ” *Journal of Waterway Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 114, pp. 637-652.
 34. Young, I.R. (1988a) “ Observations of the spectra of hurricane generated waves, ” *Ocean Engineering*, Vol. 25, pp. 261-276.
 35. Young, I.R. and G.P. Burchell (1996) “ Hurricane generated waves as observed by satellite, ” *Ocean Engineering*, Vol. 23, pp. 761-776.
 36. Young, I.R. and G.P. Van Vledder (1993) “ A review of the central role of nonlinear interactions in windwave evolution, ” *Philosophical Transactions of the Royal Society London*, seriesA, Vol. 342, pp. 505-524.
 37. Zhou, Z., S. Chen and Z. Chen (1999) “ Mining typhoon knowledge with neural networks, ” *Proceedings of the 11th IEEE International Conference*, pp. 325-326.

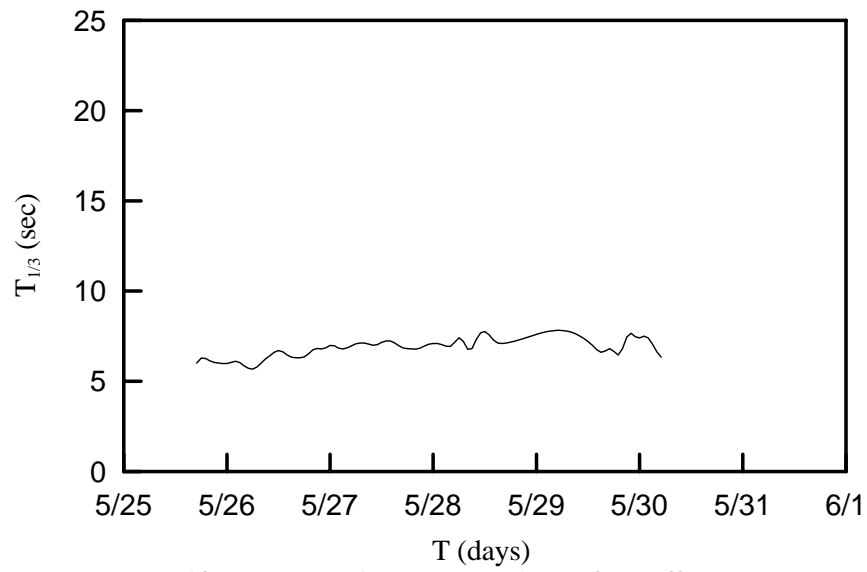
附錄 颱風示意圖



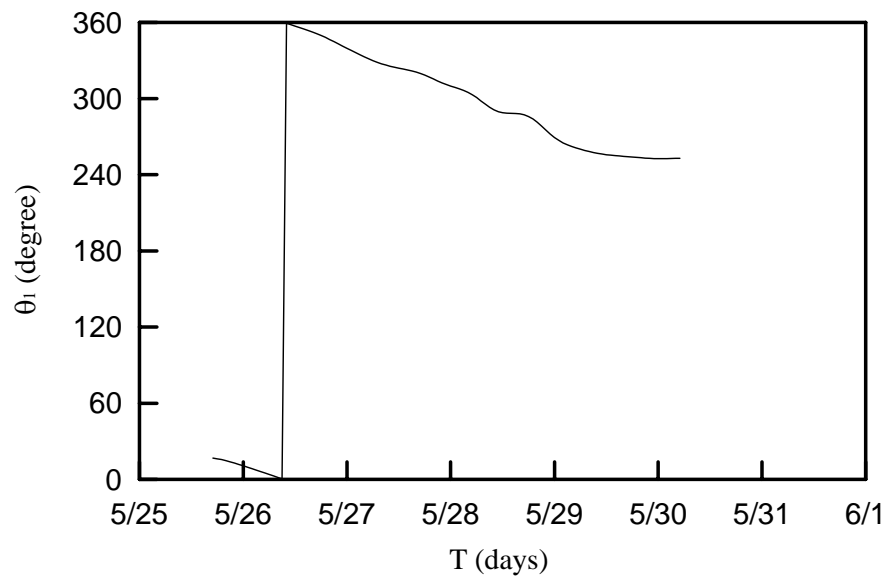
附圖 1(a) 颱風 LEVI 的路徑圖



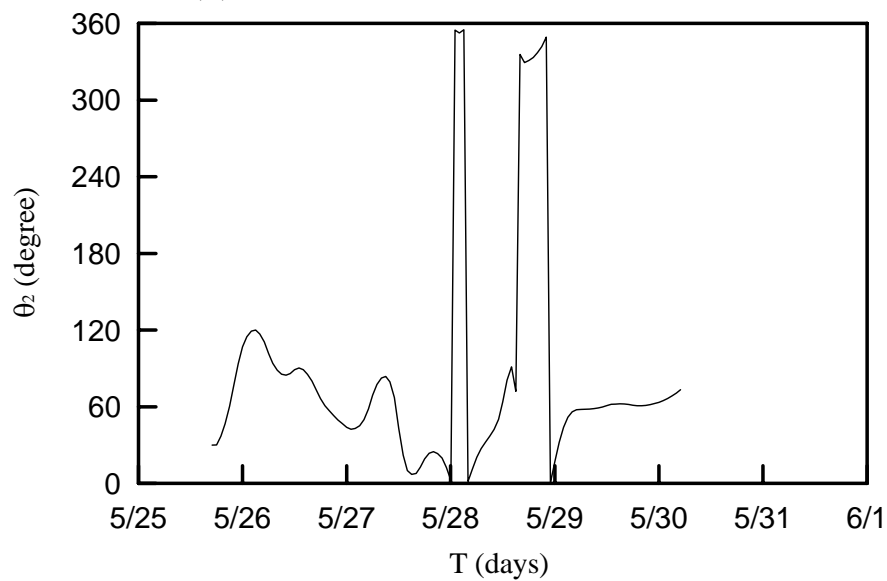
附圖 1(b) 颱風 LEVI 的示性波高



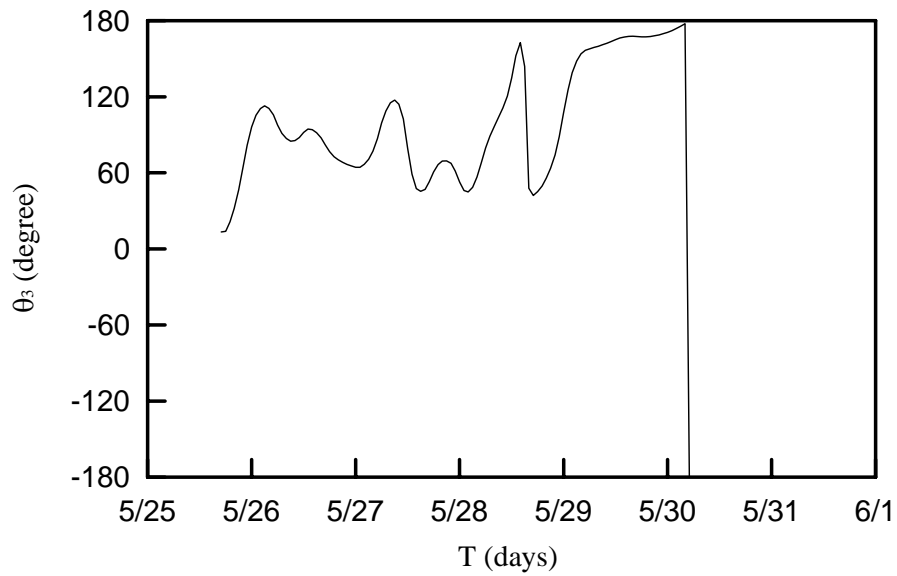
附圖 1(c) 颱風 LEVI 的示性週期



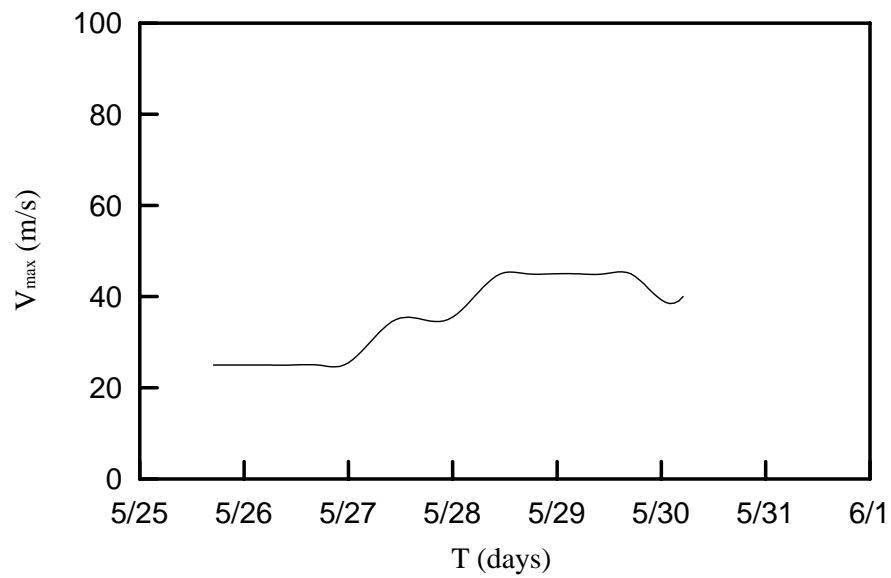
附圖 1(d) 颱風 LEVI 中心與觀測站的方位角



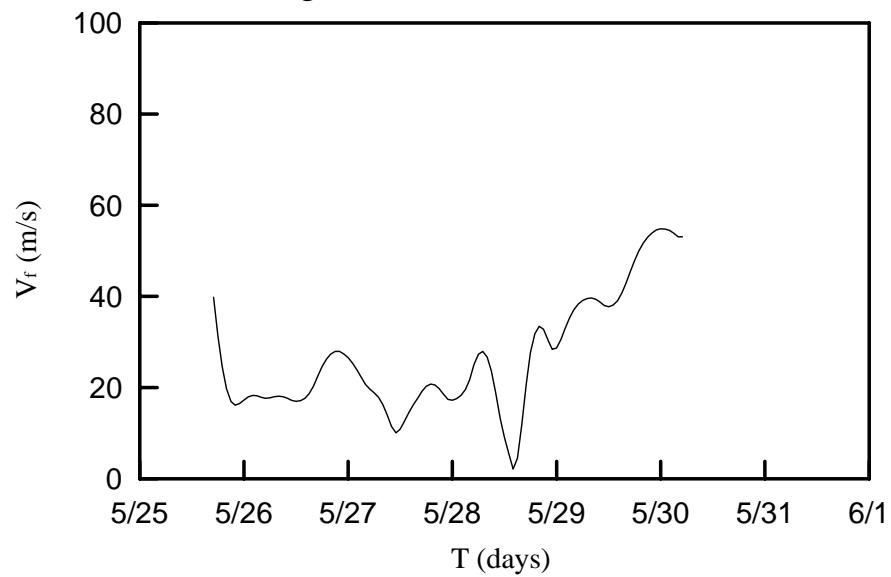
附圖 1(e) 颱風 LEVI 行進的方位角



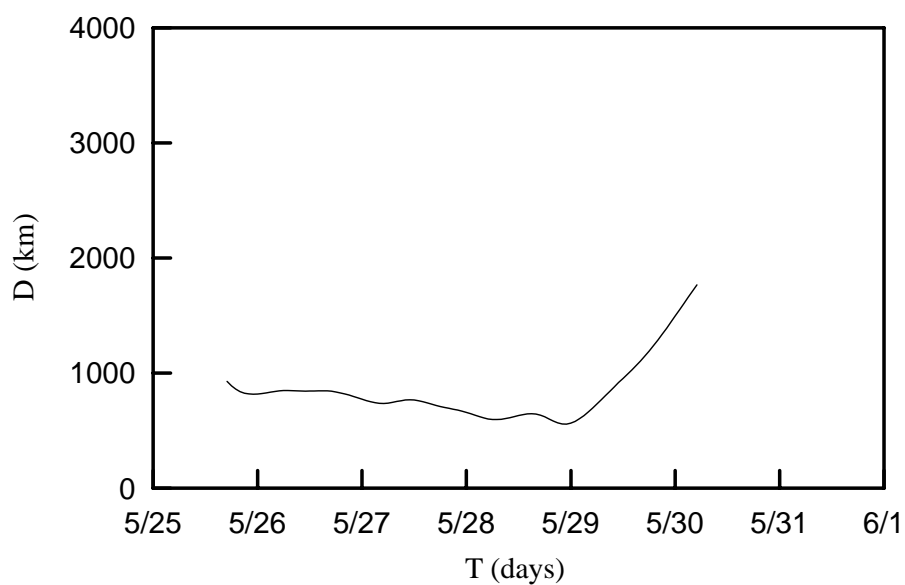
附圖 1(f) 颱風 LEVI 行進方向與觀測站間的夾角



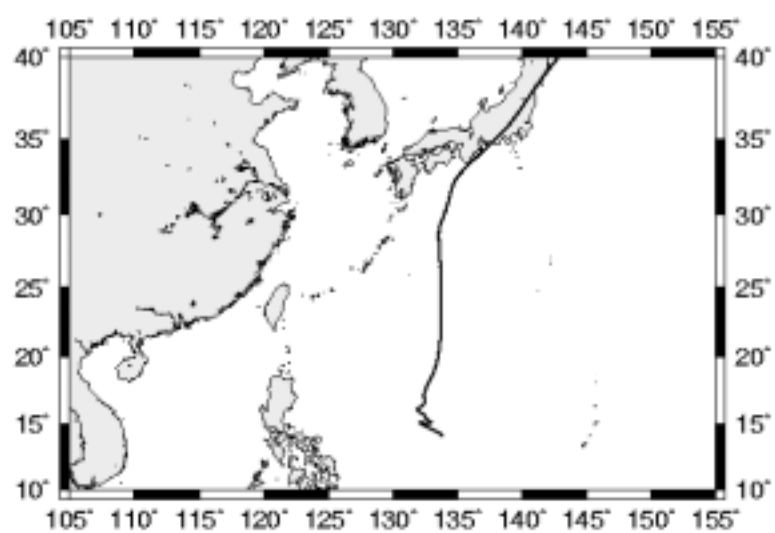
附圖 1(g) 颱風 LEVI 的最大風速



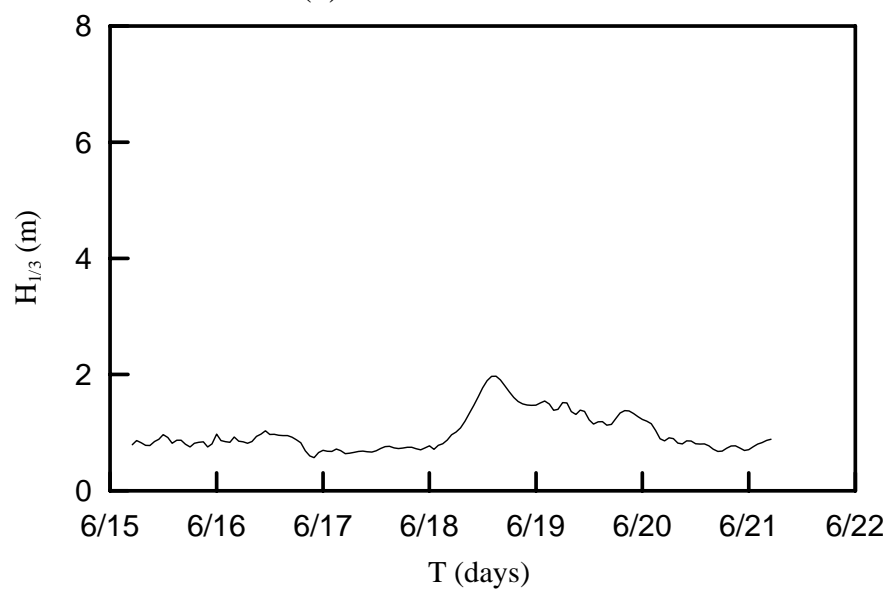
附圖 1(h) 颱風 LEVI 的移動速度



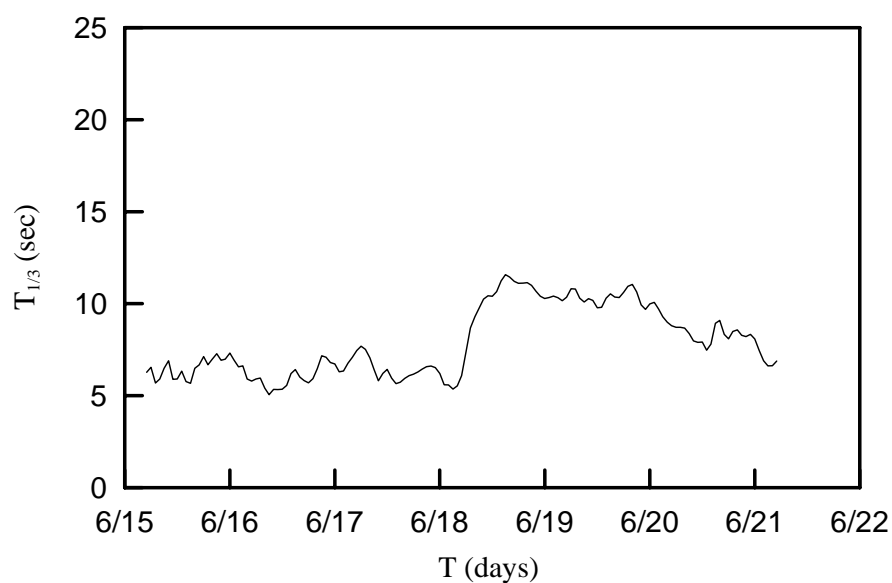
附圖 1(i) 颱風 LEVI 與測站的距離



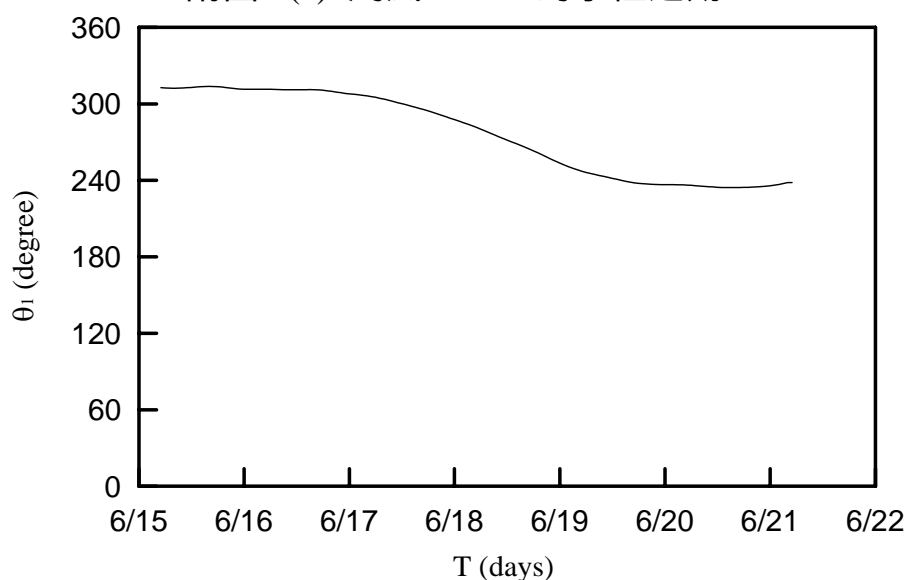
附圖 2(a) 颱風 OPAL 的路徑圖



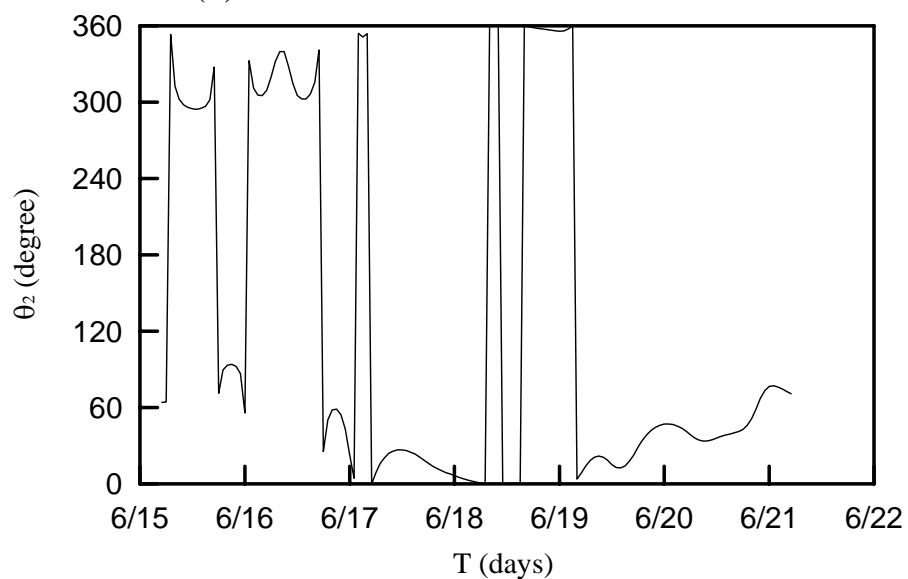
附圖 2(b) 颱風 OPAL 的示性波高



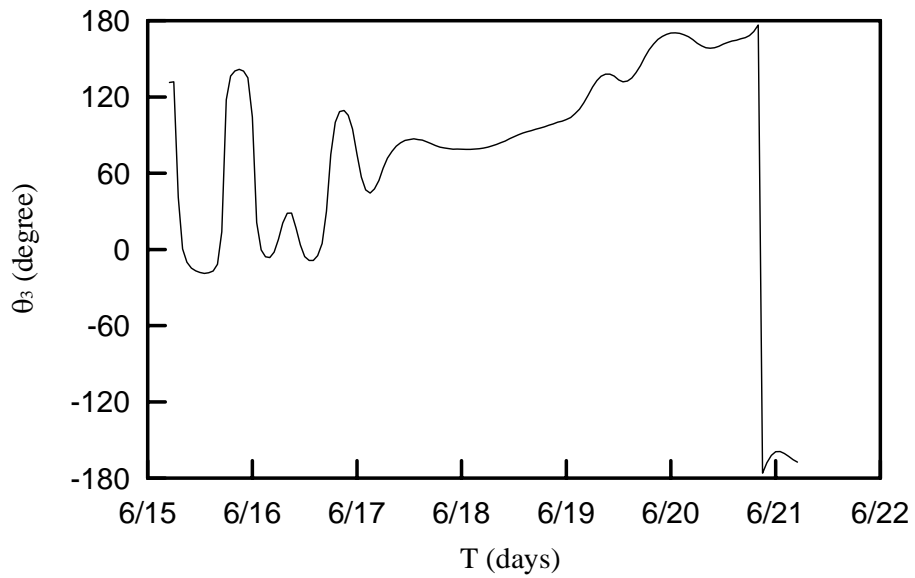
附圖 2(c) 颱風 OPAL 的示性週期



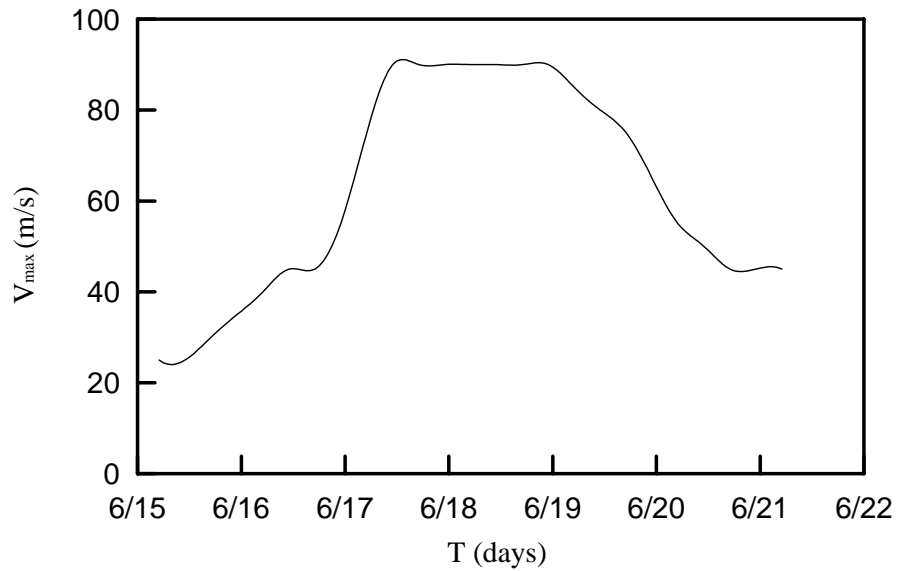
附圖 2(d) 颱風 OPAL 中心與觀測站的方位角



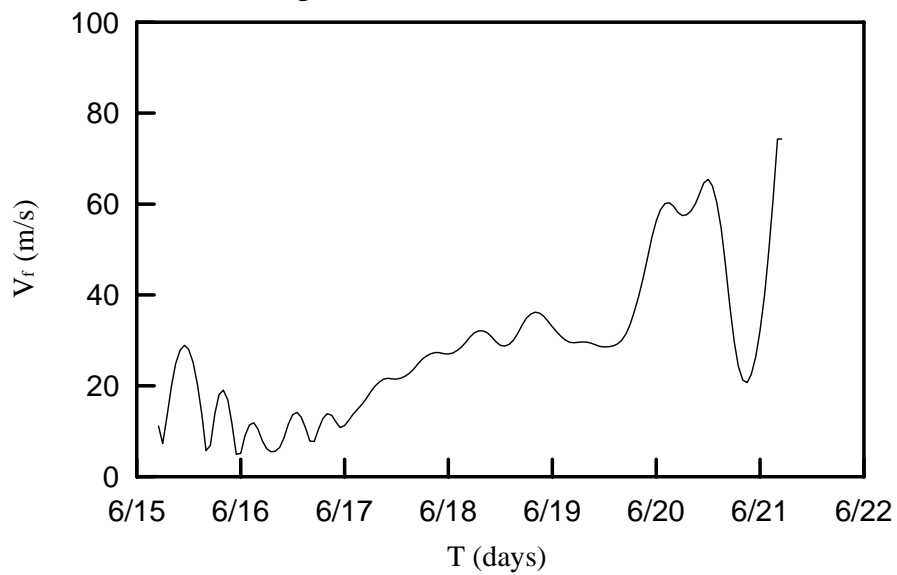
附圖 2(e) 颱風 OPAL 行進的方位角



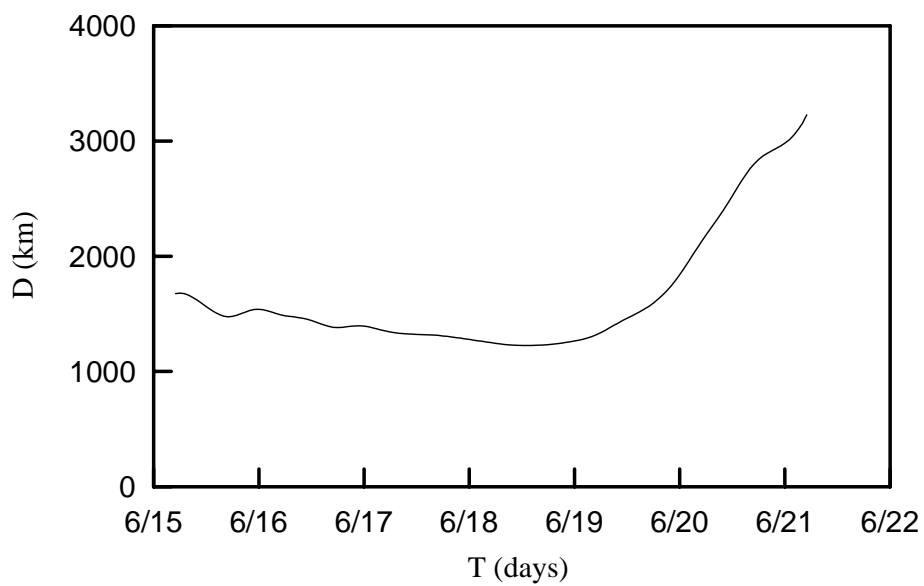
附圖 2(f) 颱風 OPAL 行進方向與觀測站間的夾角



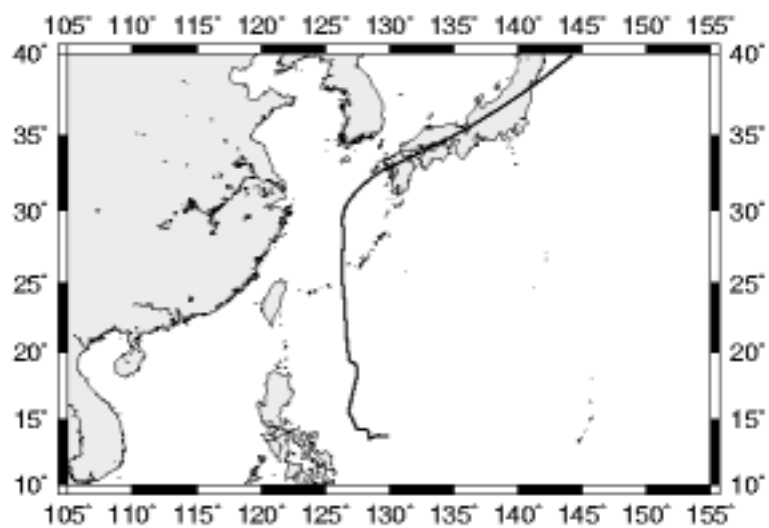
附圖 2(g) 颱風 OPAL 的最大風速



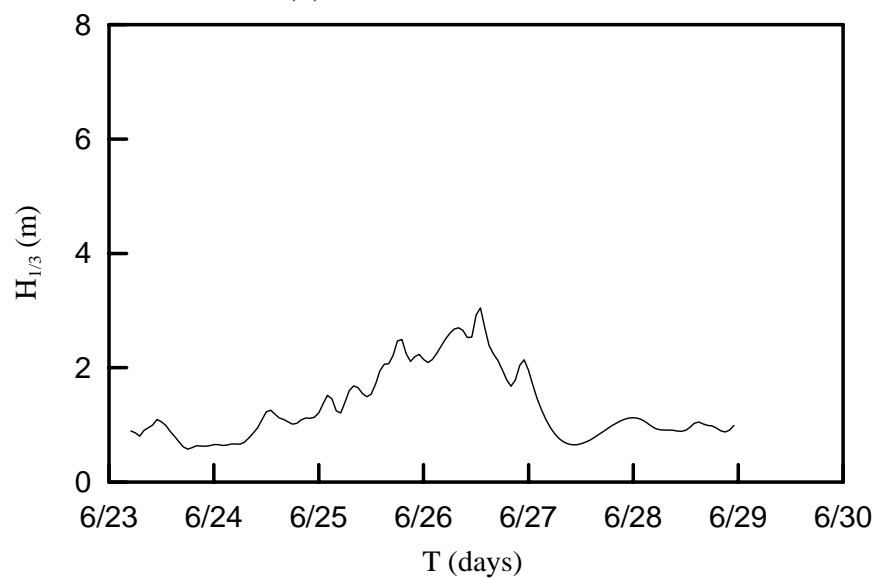
附圖 2(h) 颱風 OPAL 的移動速度



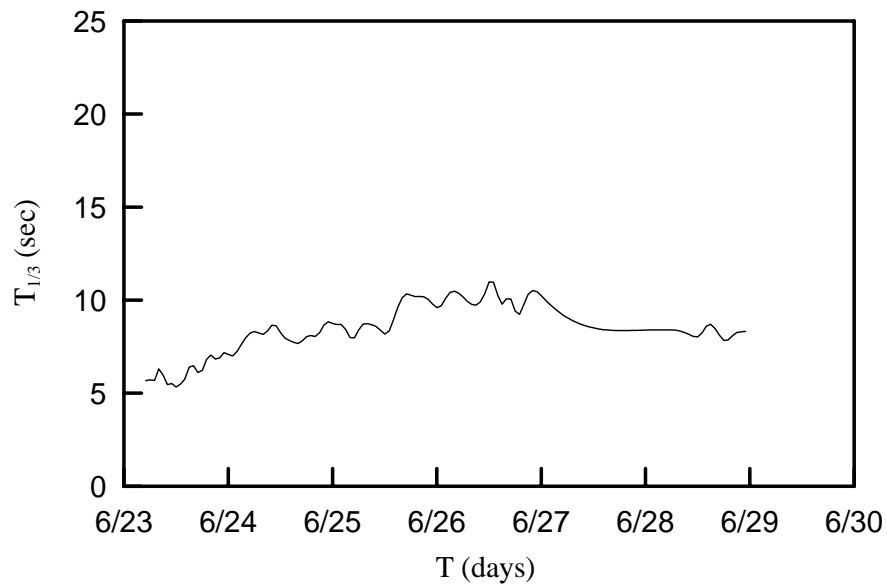
附圖 2(i) 颱風 OPAL 與測站的距離



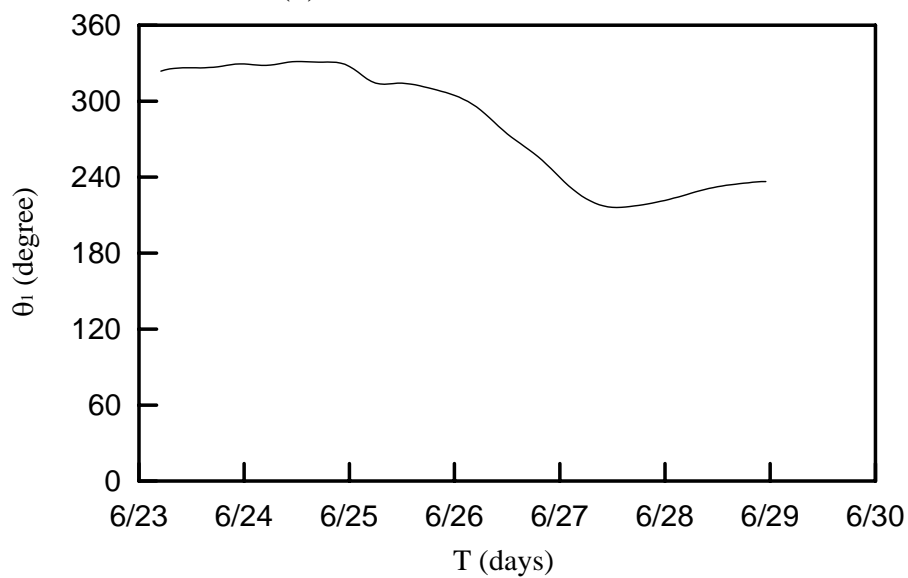
附圖 3(a) 颱風 PETER 的路徑圖



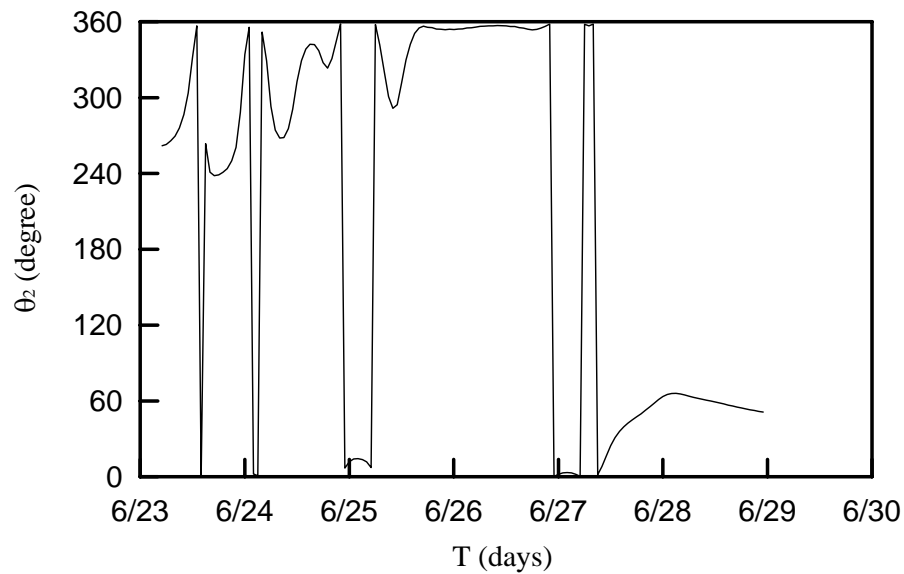
附圖 3(b) 颱風 PETER 的示性波高



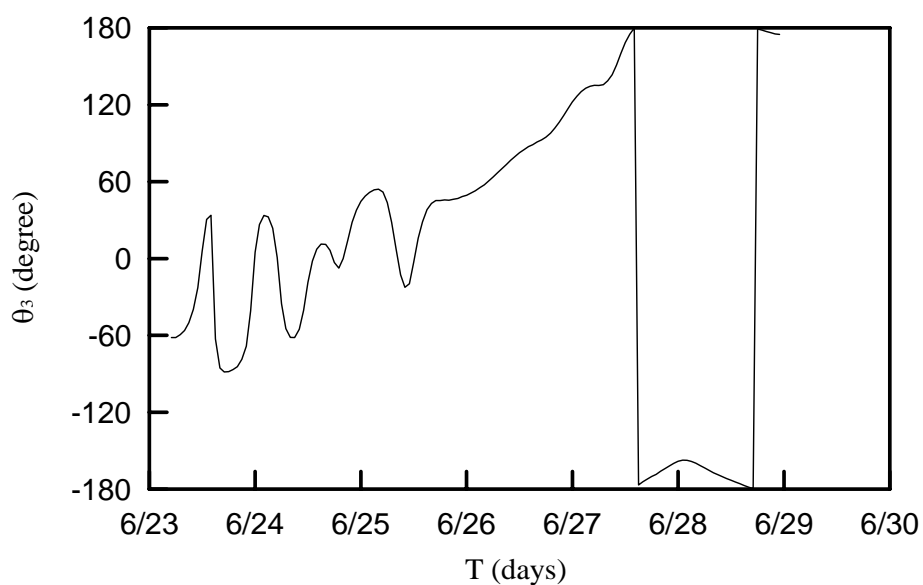
附圖 3(c) 颱風 PETER 的示性週期



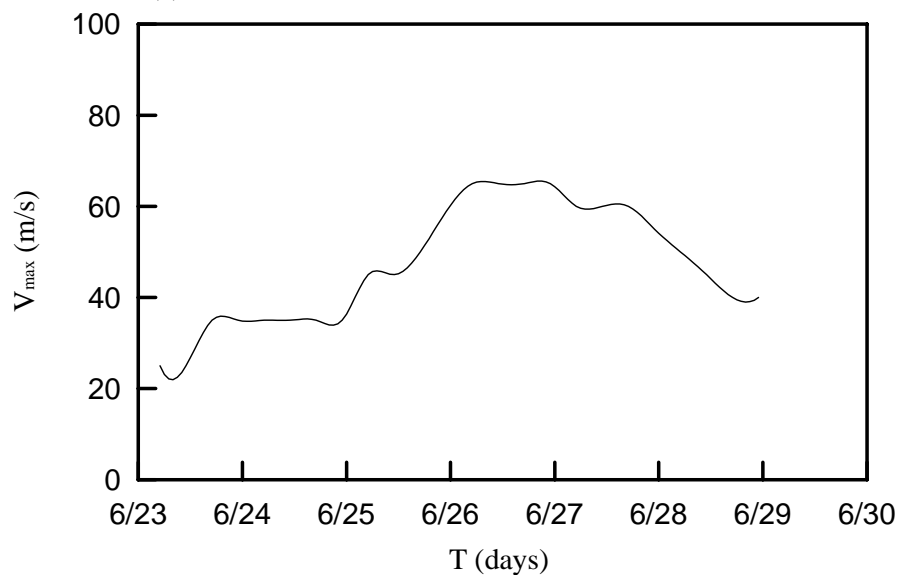
附圖 3(d) 颱風 PETER 中心與觀測站的方位角



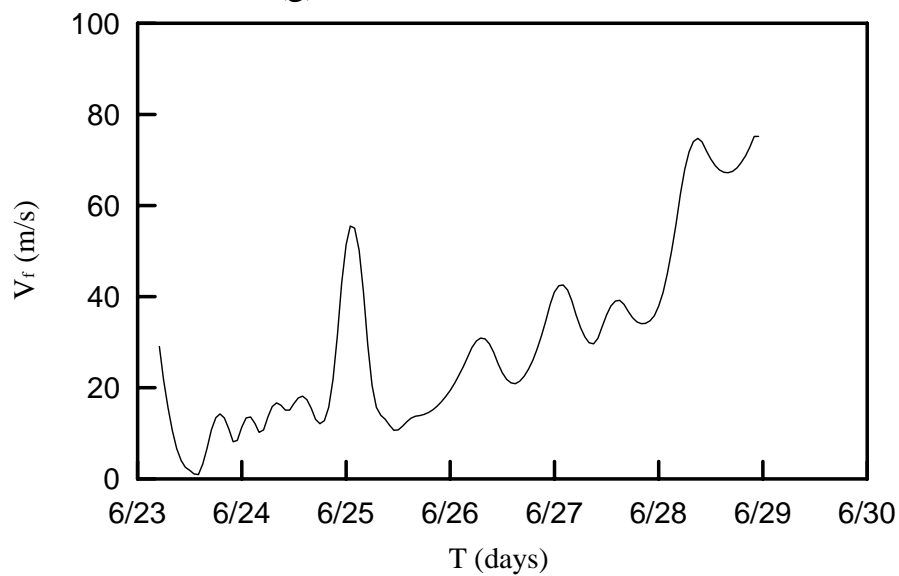
附圖 3(e) 颱風 PETER 行進的方位角



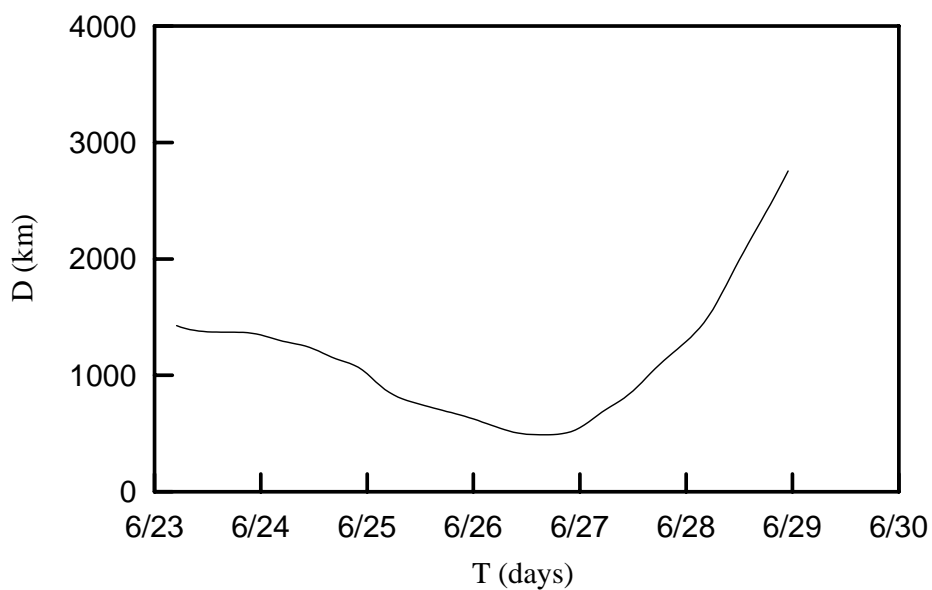
附圖 3(f) 颱風 PETER 行進方向與觀測站間的夾角



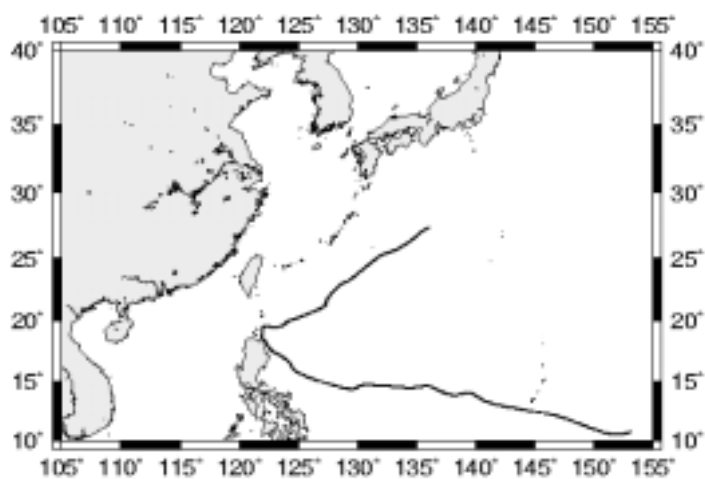
附圖 3(g) 颱風 PETER 的最大風速



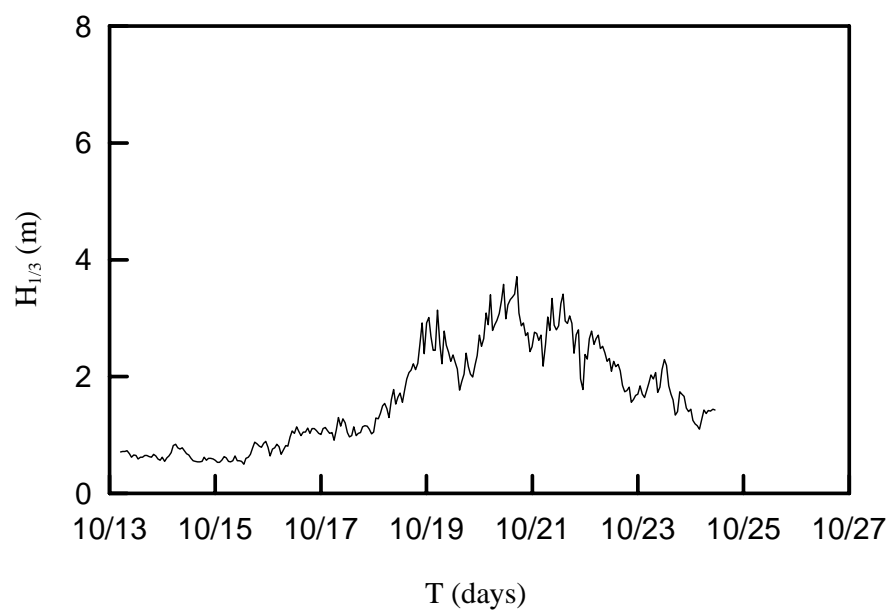
附圖 3(h) 颱風 PETER 的移動速度



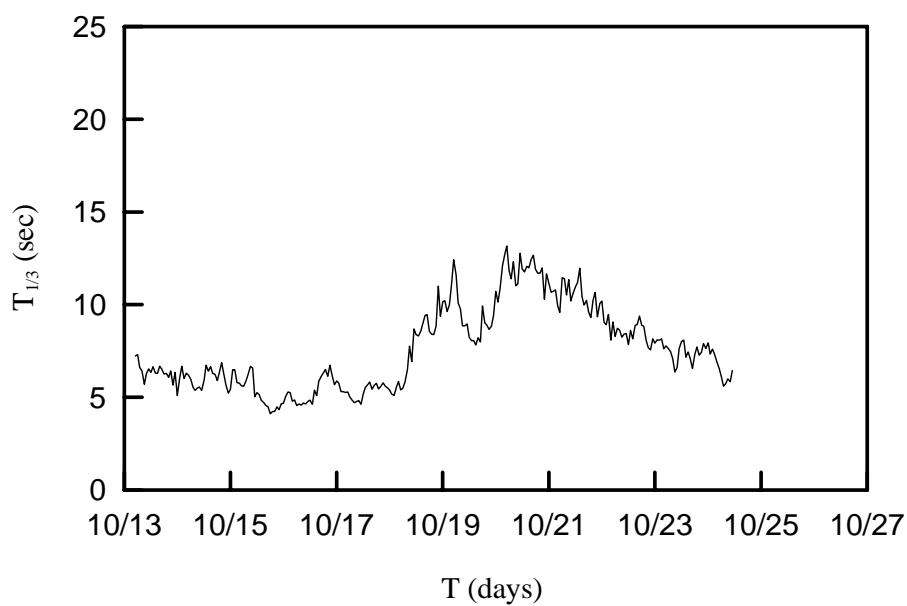
附圖 3(i) 颱風 PETER 與測站的距離



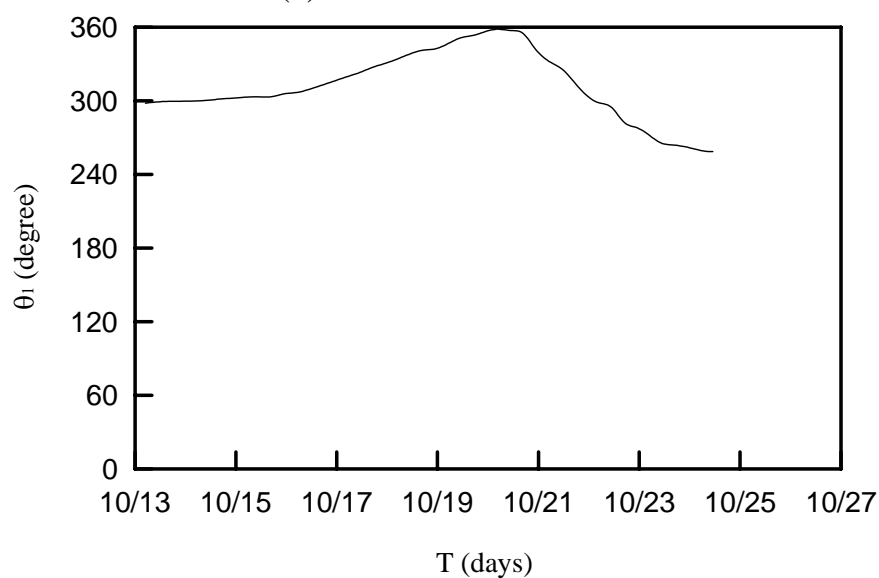
附圖 4(a) 颱風 IVAN 的路徑圖



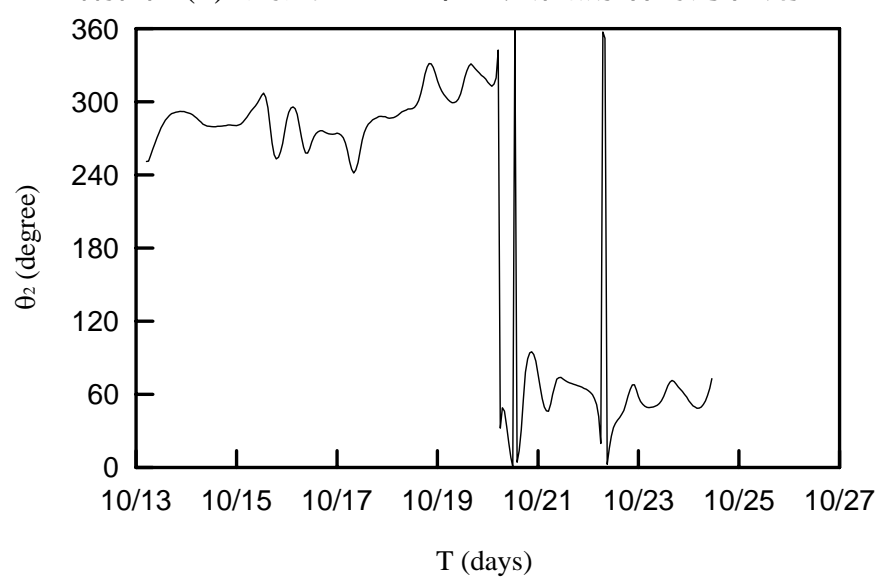
附圖 4(b) 颱風 IVAN 的示性波高



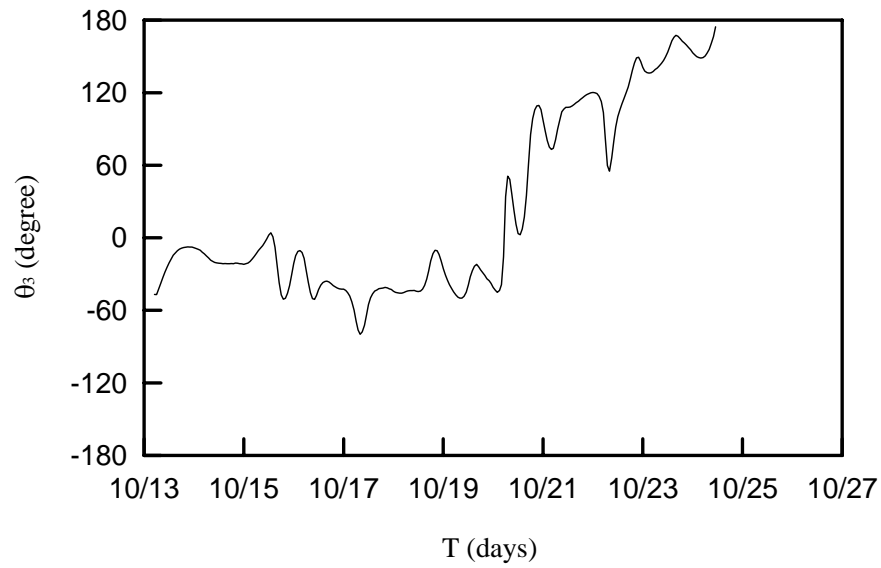
附圖 4(c) 颱風 IVAN 的示性週期



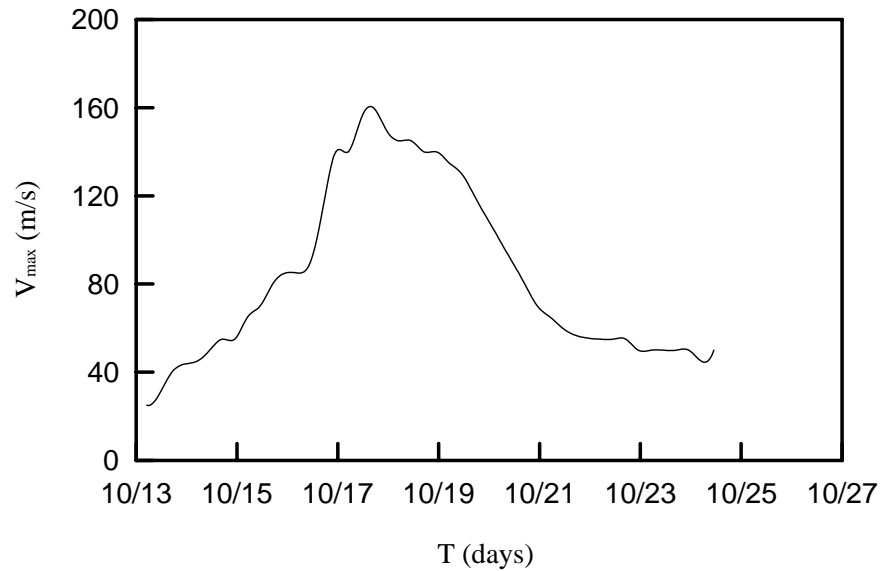
附圖 4(d) 颱風 IVAN 中心與觀測站的方位角



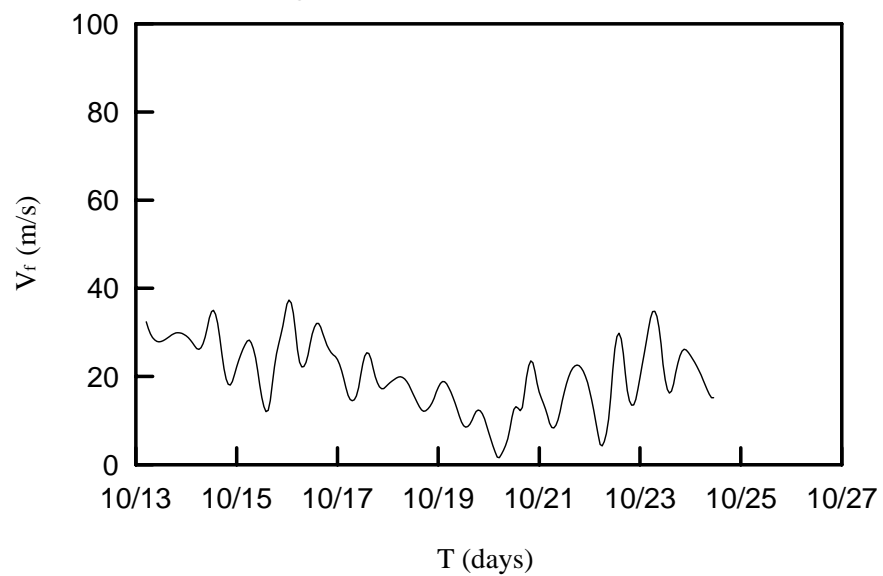
附圖 4(e) 颱風 IVAN 行進的方位角



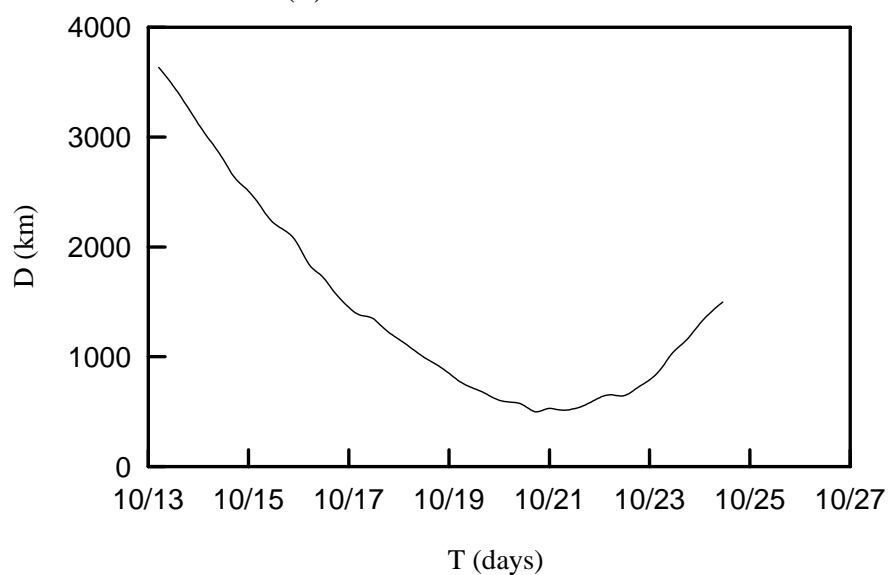
附圖 4(f) 颱風 IVAN 行進方向與觀測站間的夾角



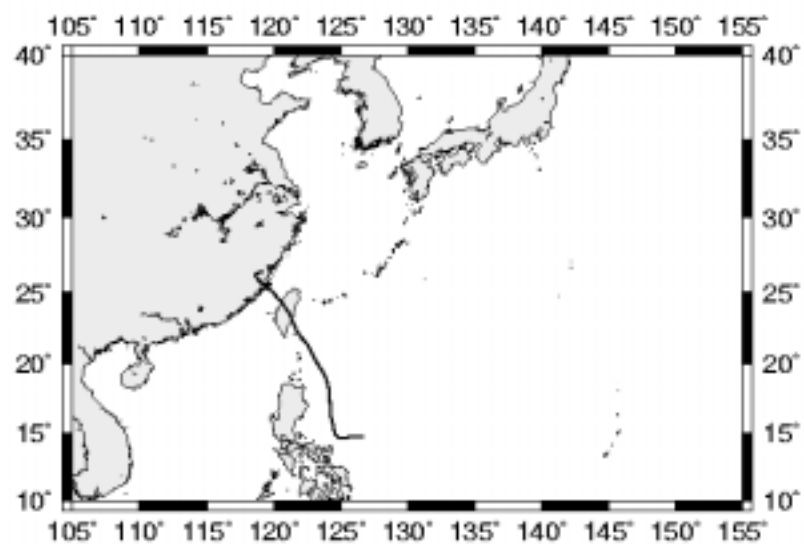
附圖 4(g) 颱風 IVAN 的最大風速



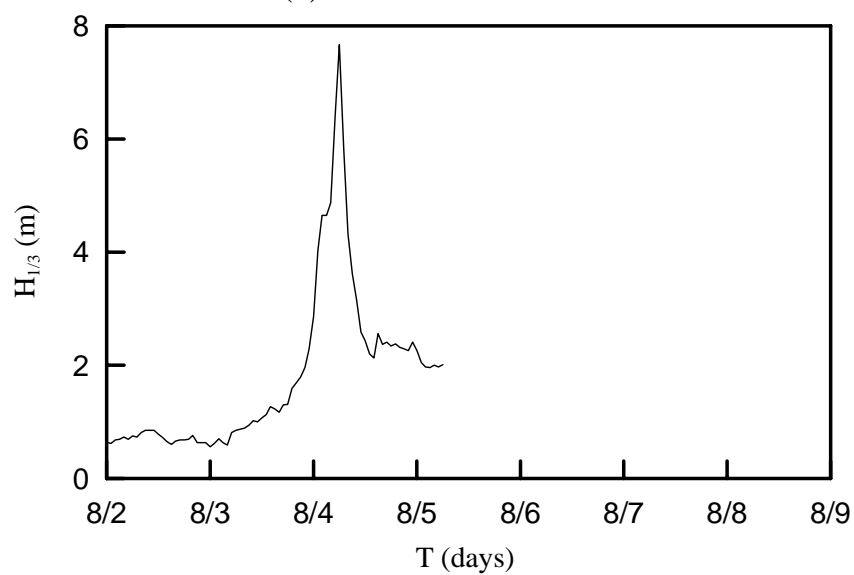
附圖 4(h) 颱風 IVAN 的移動速度



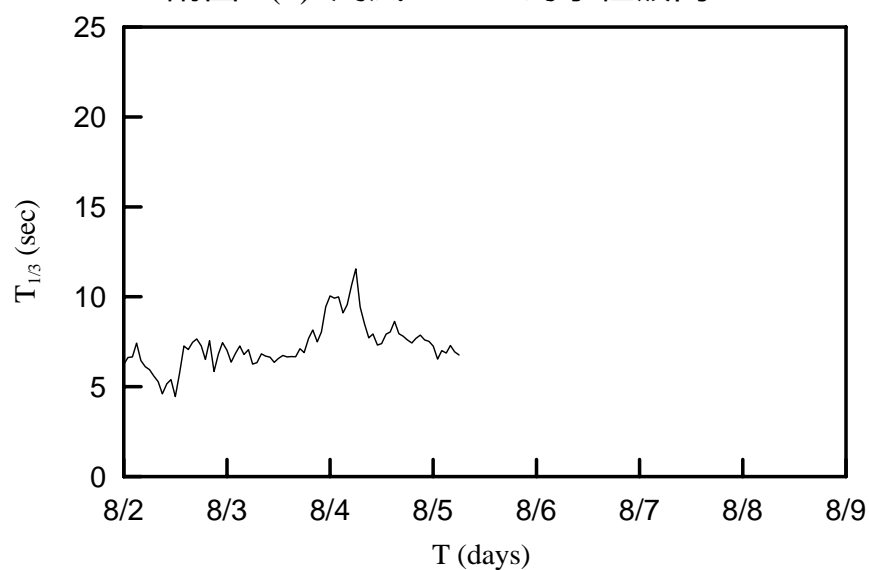
附圖 4(i) 颱風 IVAN 與測站的距離



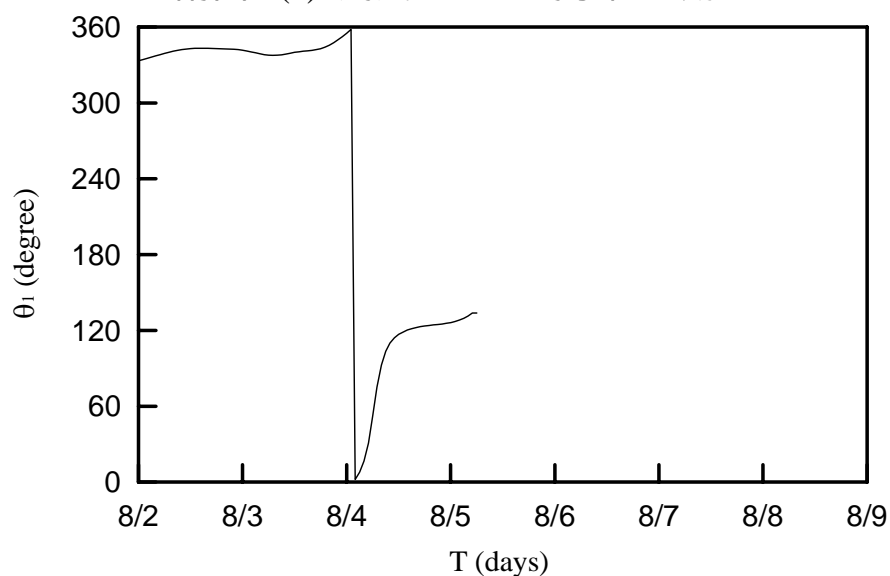
附圖 5(a) 颱風 OTTO 的路徑圖



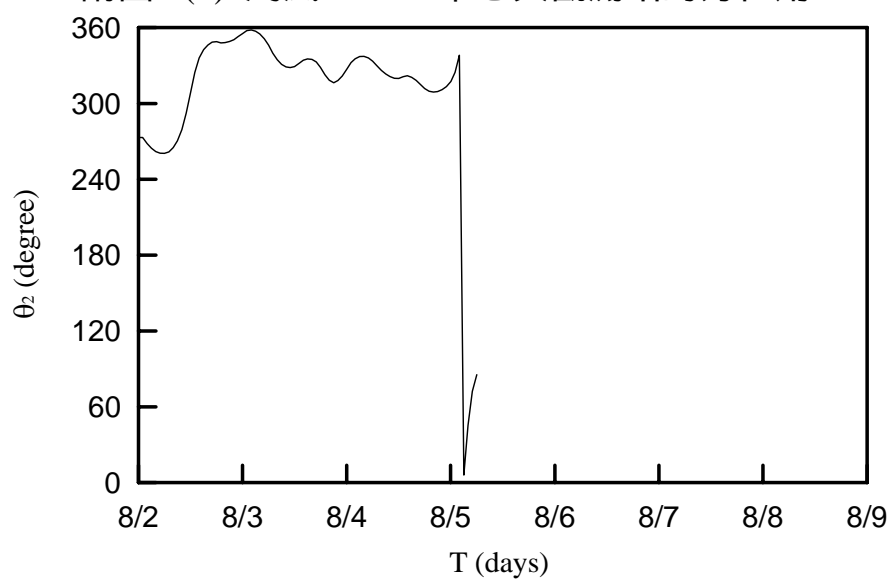
附圖 5(b) 颱風 OTTO 的示性波高



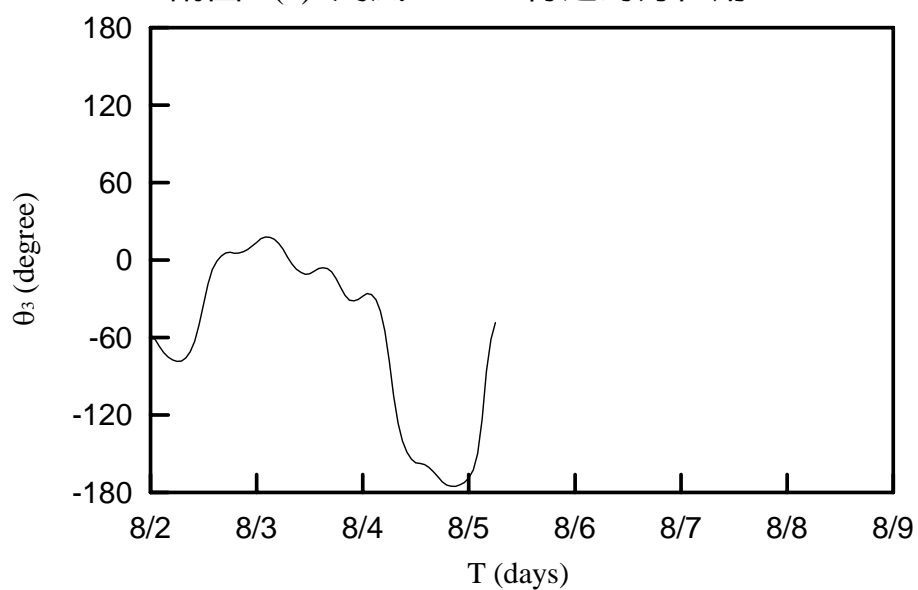
附圖 5(c) 颱風 OTTO 的示性週期



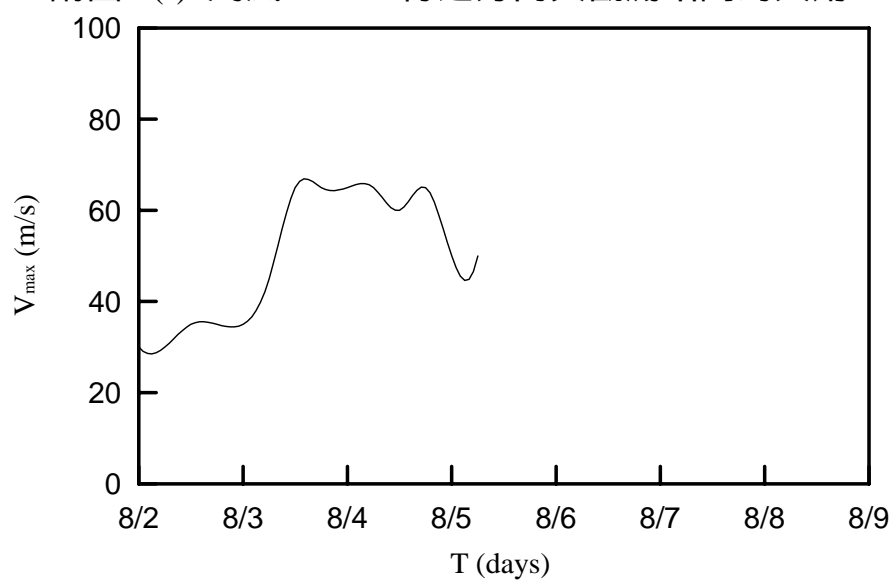
附圖 5(d) 颱風 OTTO 中心與觀測站的方位角



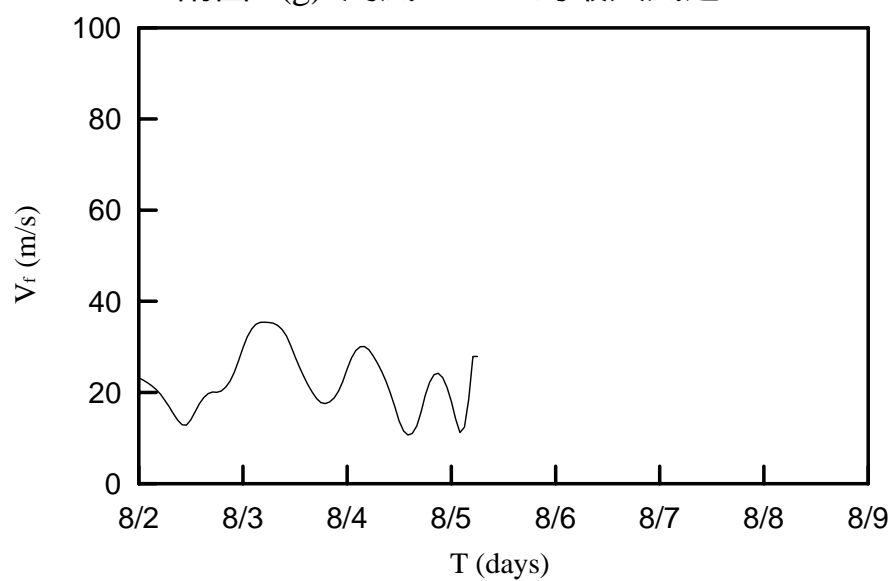
附圖 5(e) 颱風 OTTO 行進的方位角



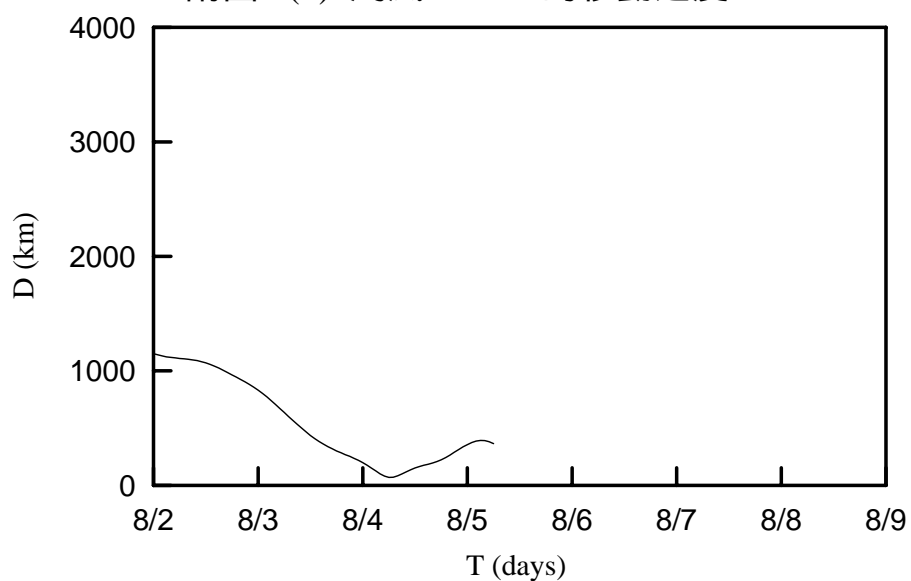
附圖 5(f) 颱風 OTTO 行進方向與觀測站間的夾角



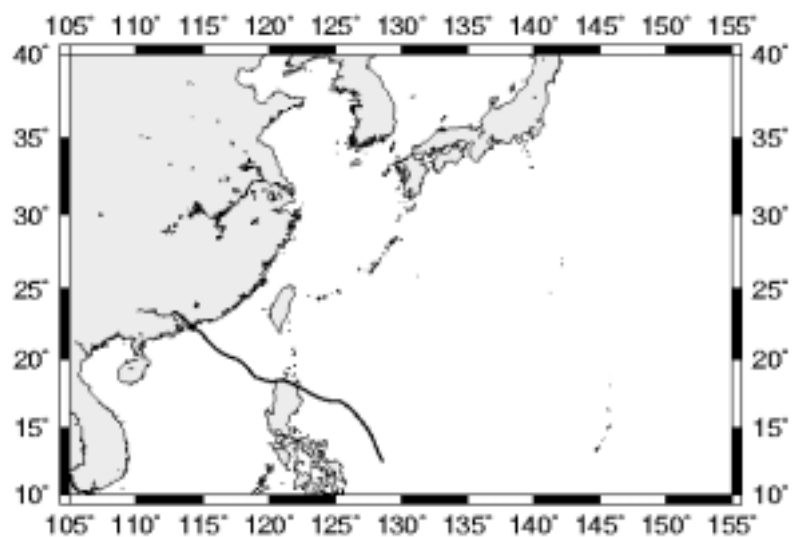
附圖 5(g) 颱風 OTTO 的最大風速



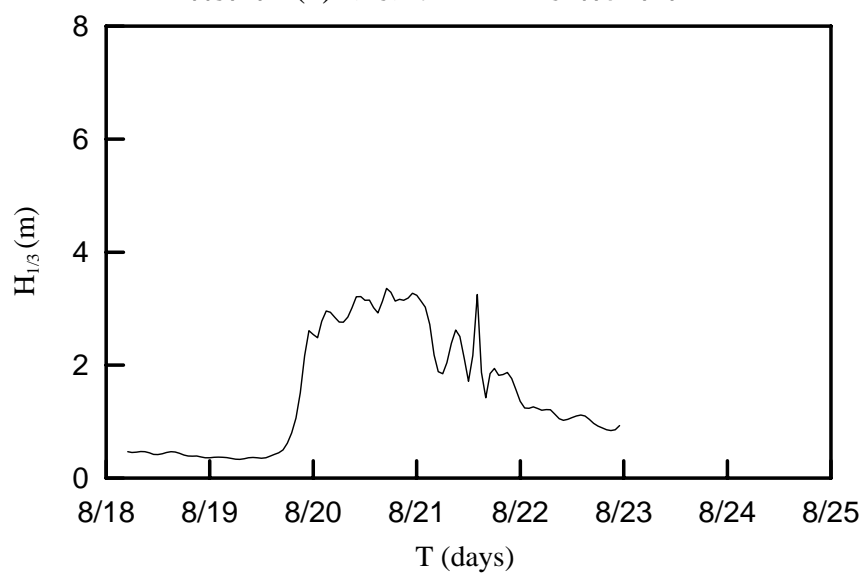
附圖 5(h) 颱風 OTTO 的移動速度



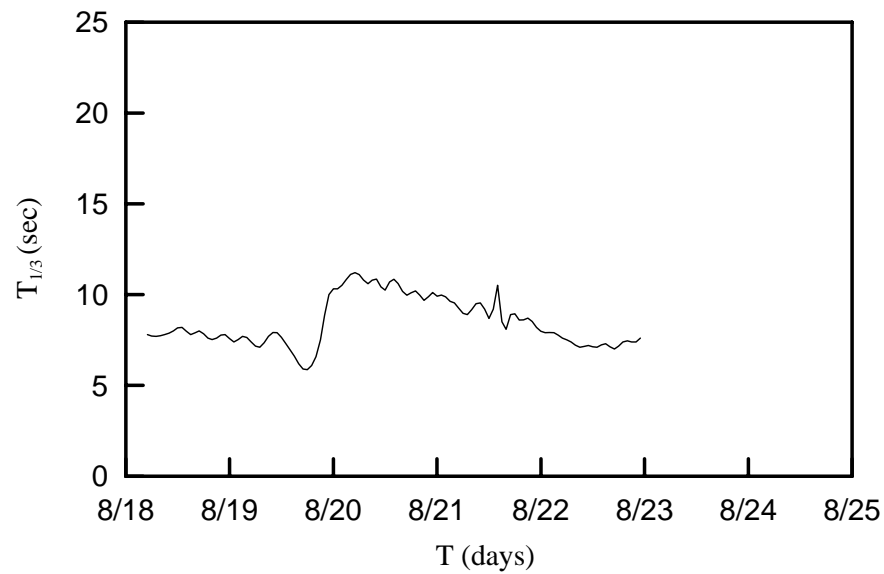
附圖 5(i) 颱風 OTTO 與測站的距離



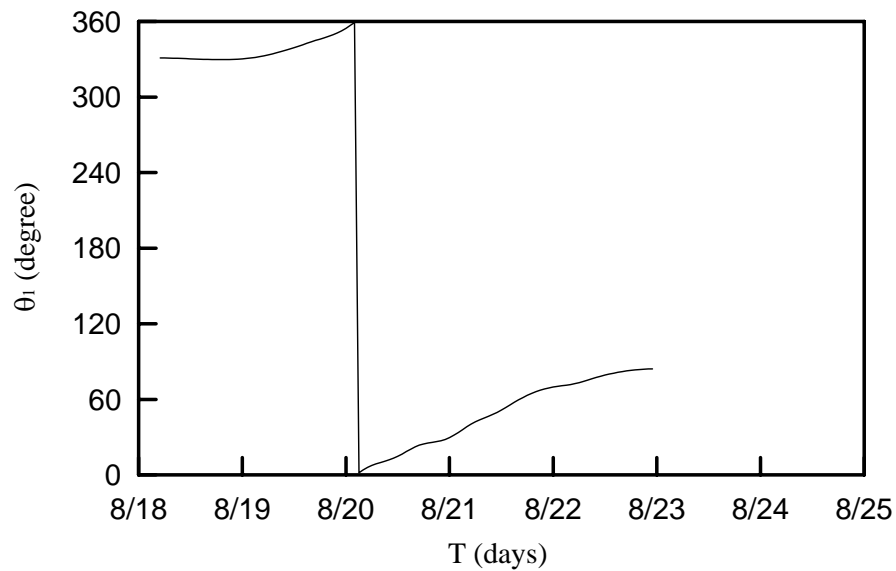
附圖 6(a) 颱風 SAM 的路徑圖



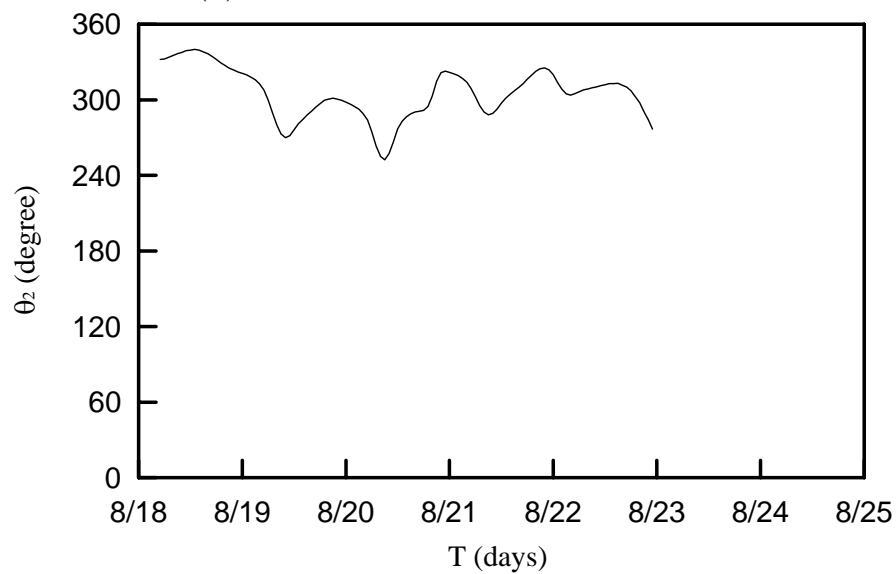
附圖 6(b) 颱風 SAM 的示性波高



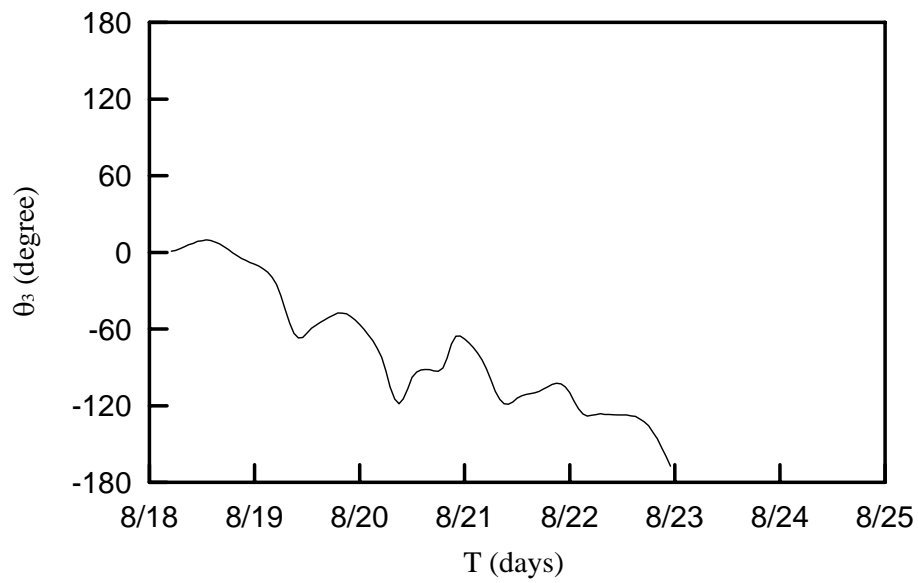
附圖 6(c) 颱風 SAM 的示性週期



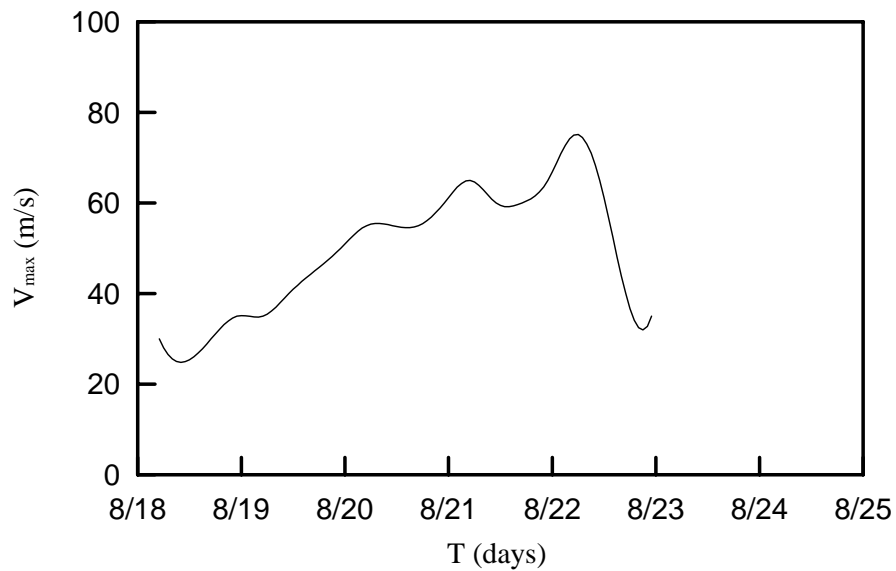
附圖 6(d) 颱風 SAM 中心與觀測站的方位角



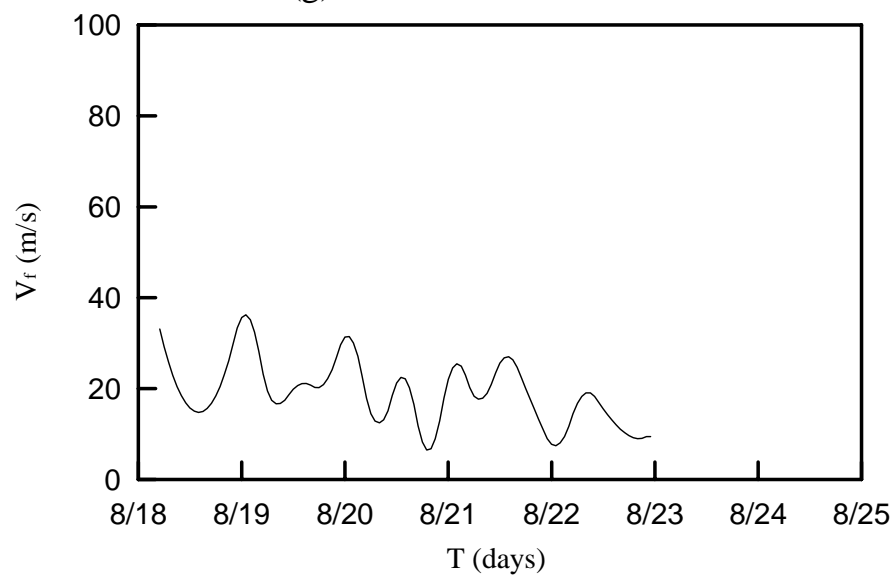
附圖 6(e) 颱風 SAM 行進的方位角



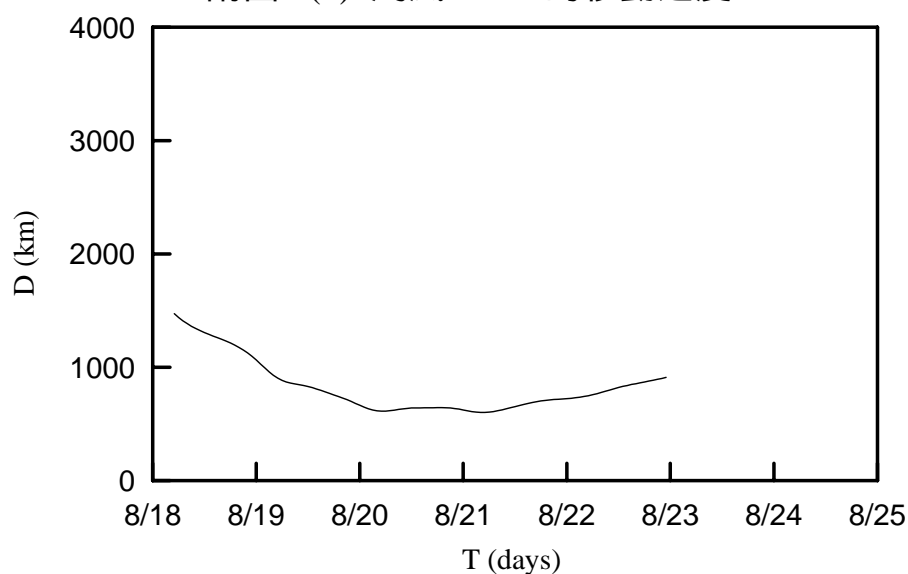
附圖 6(f) 颱風 SAM 行進方向與觀測站間的夾角



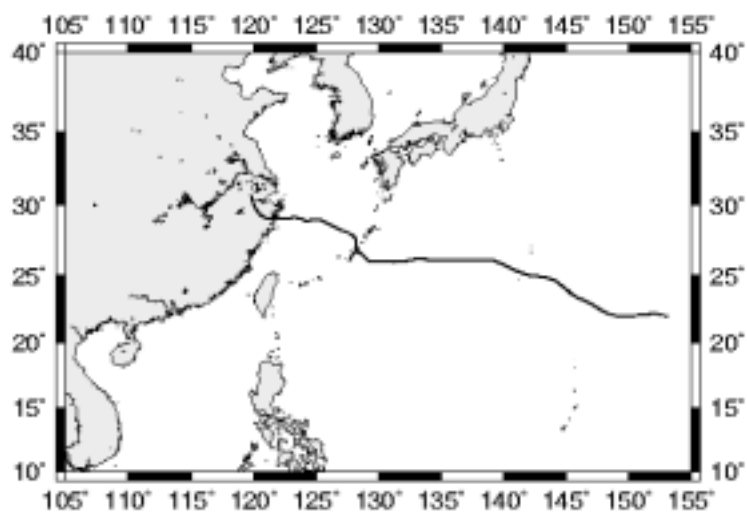
附圖 6(g) 颱風 SAM 的最大風速



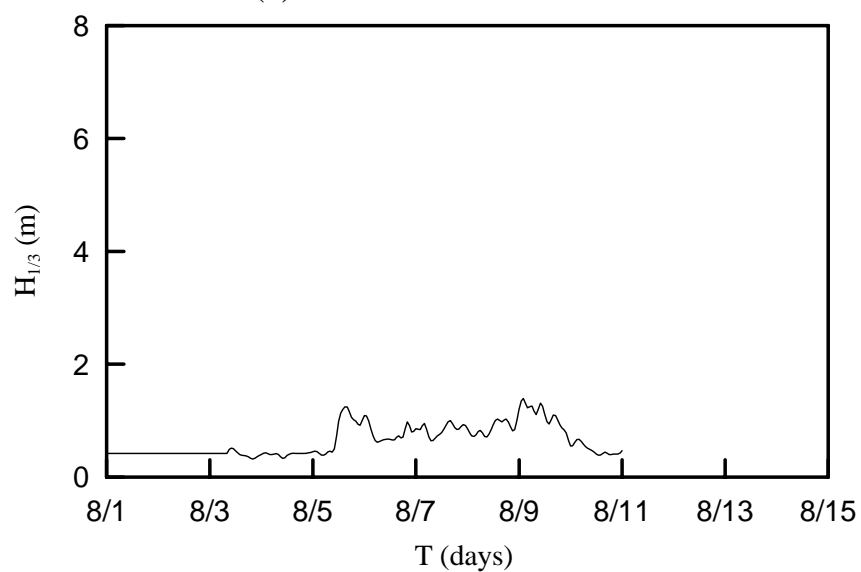
附圖 6(h) 颱風 SAM 的移動速度



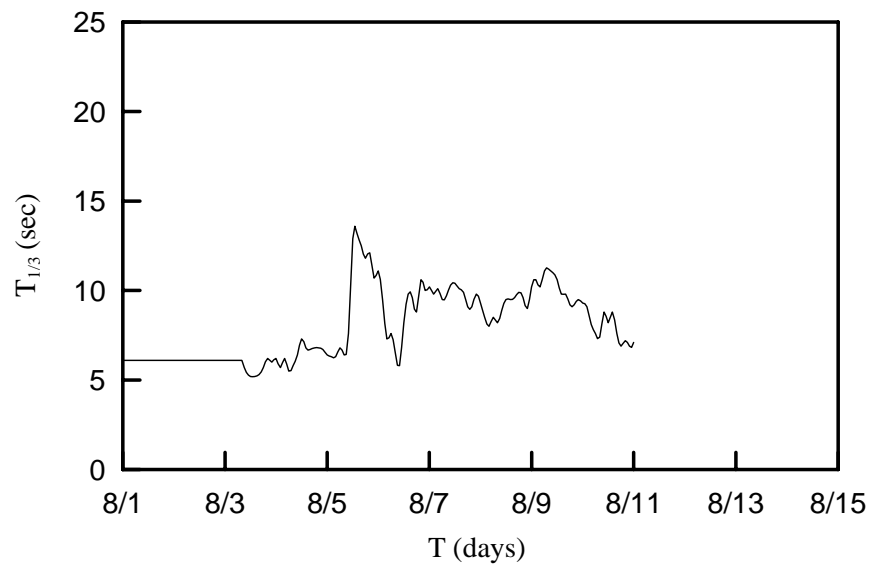
附圖 6(i) 颱風 SAM 與測站的距離



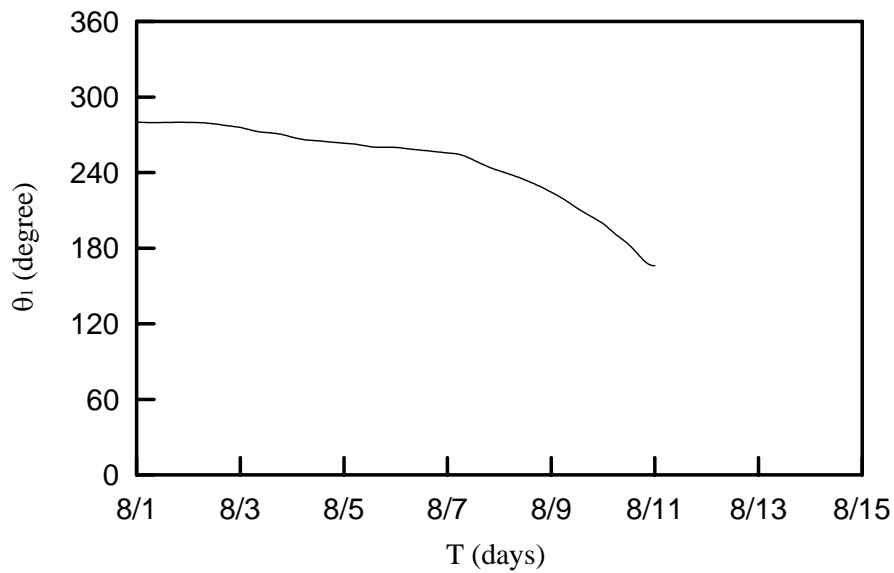
附圖 7(a) 颱風 JELAWAT 的路徑圖



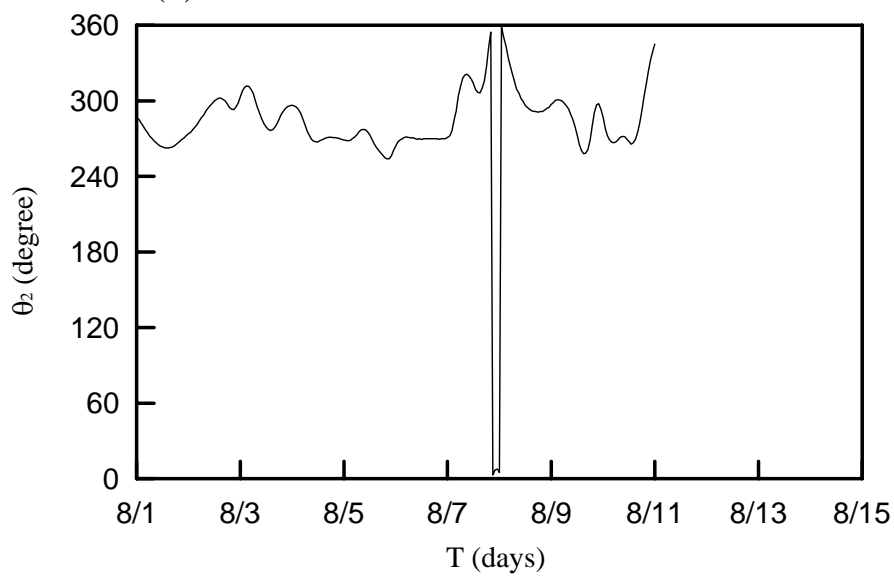
附圖 7(b) 颱風 JELAWAT 的示性波高

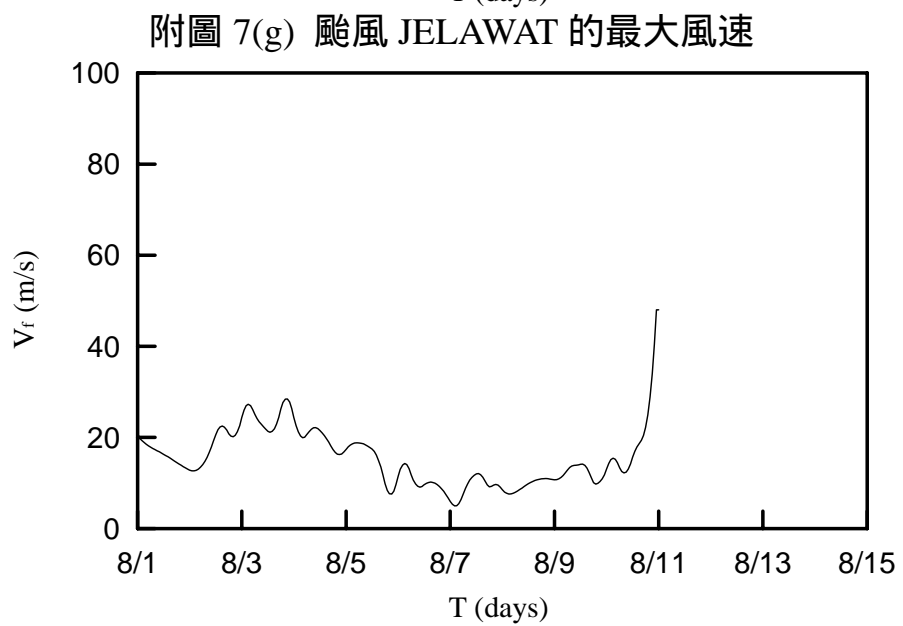
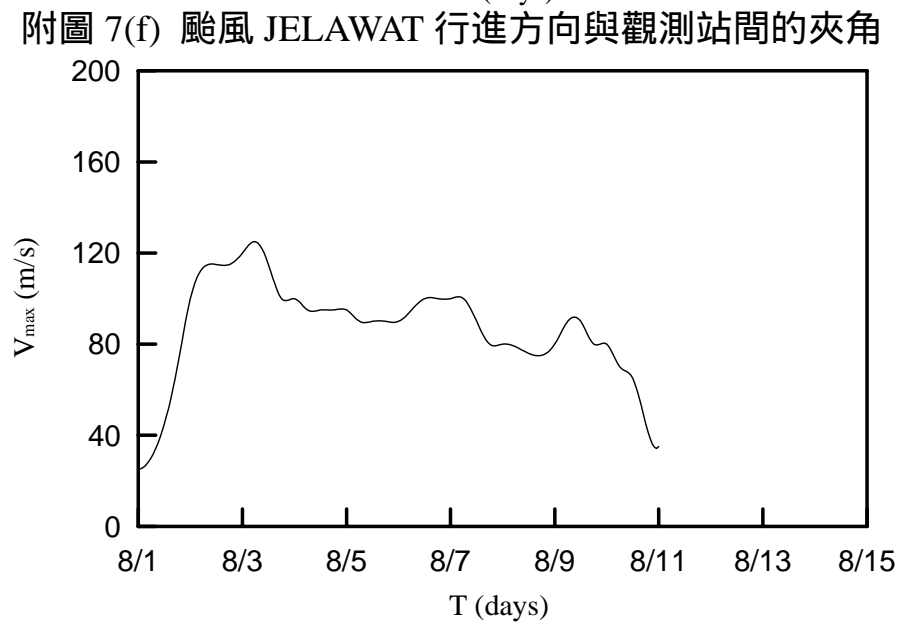
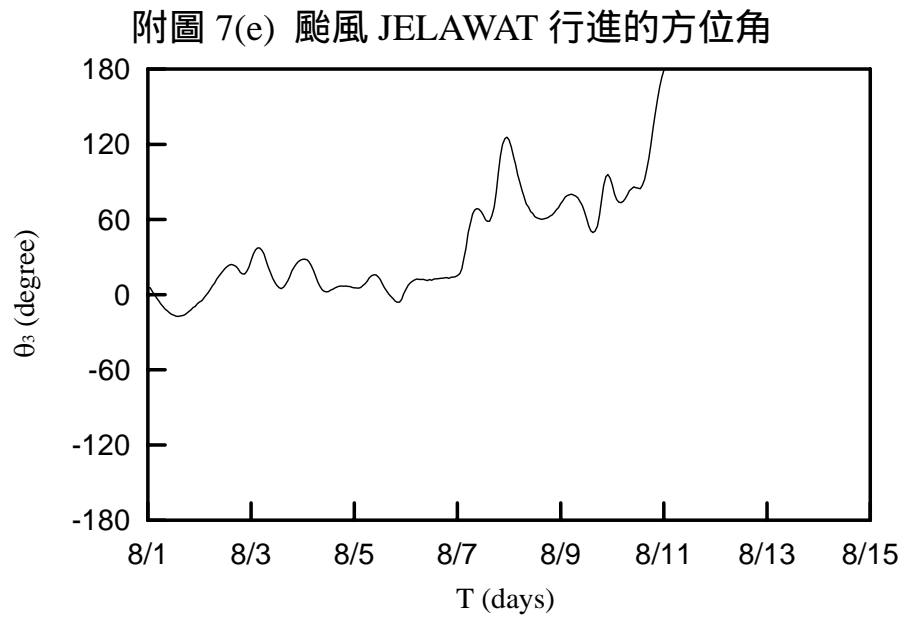


附圖 7(c) 颱風 JELAWAT 的示性週期

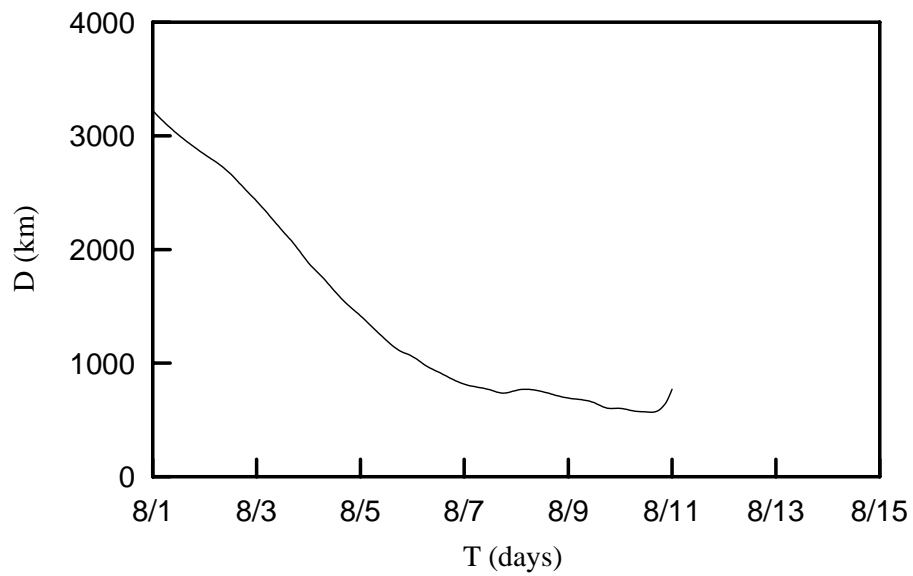


附圖 7(d) 颱風 JELAWAT 中心與觀測站的方位角

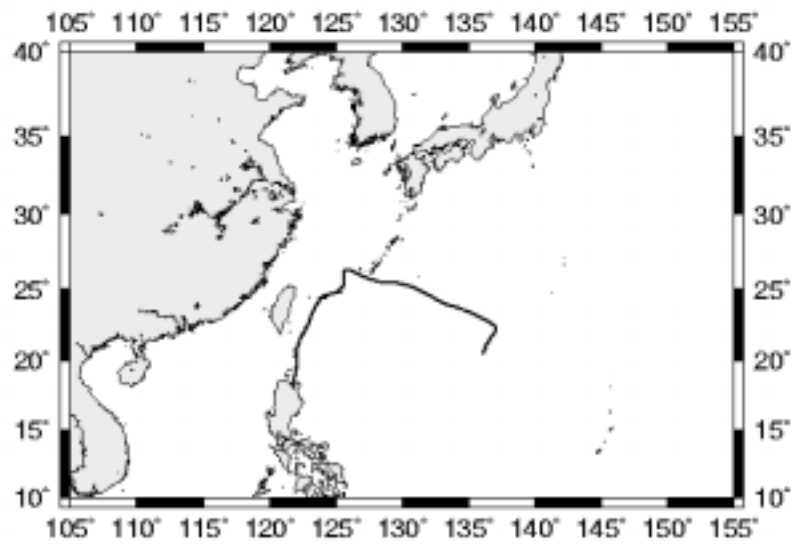




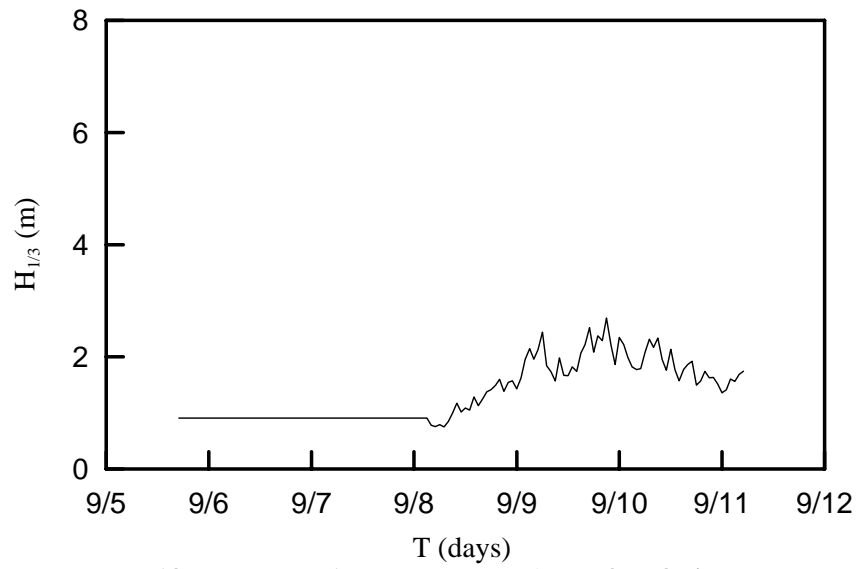
附圖 7(h) 颱風 JELAWAT 的移動速度



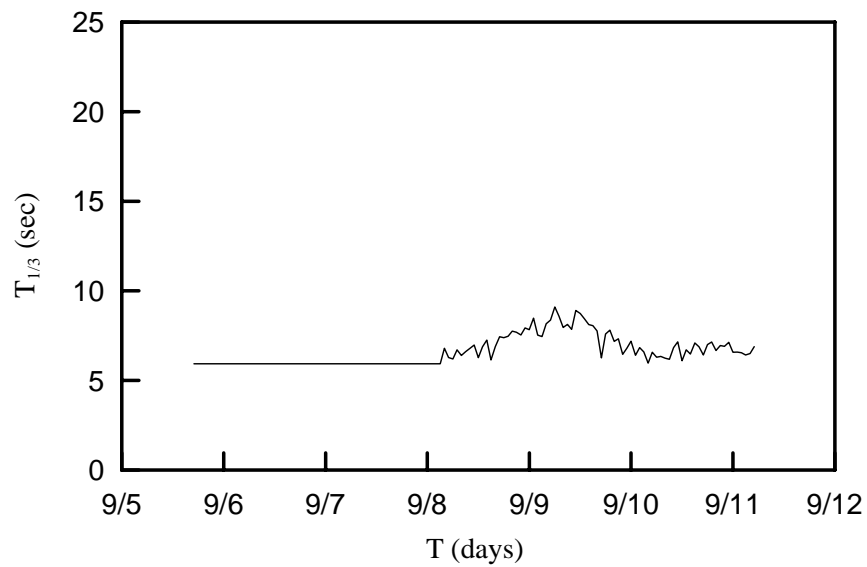
附圖 7(i) 颱風 JELAWAT 與測站的距離



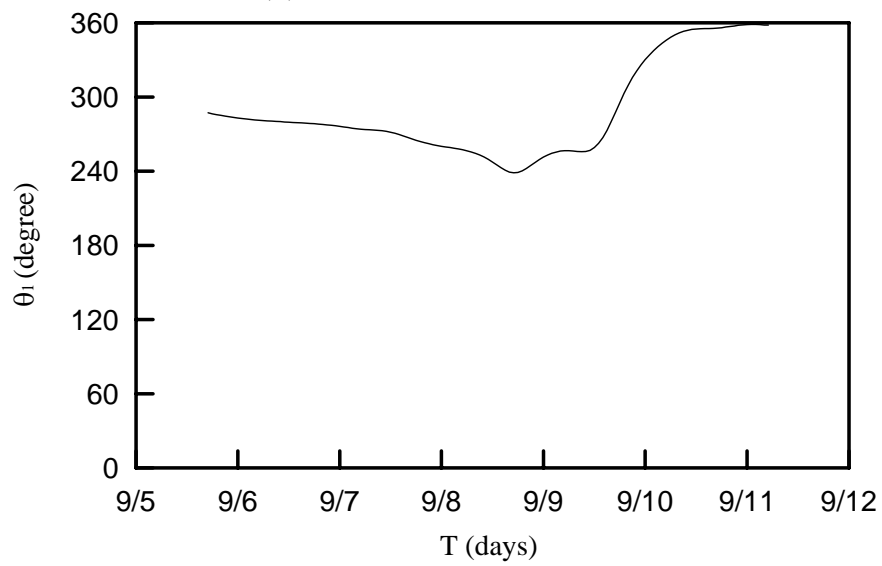
附圖 8(a) 颱風 BOPHA 的路徑圖



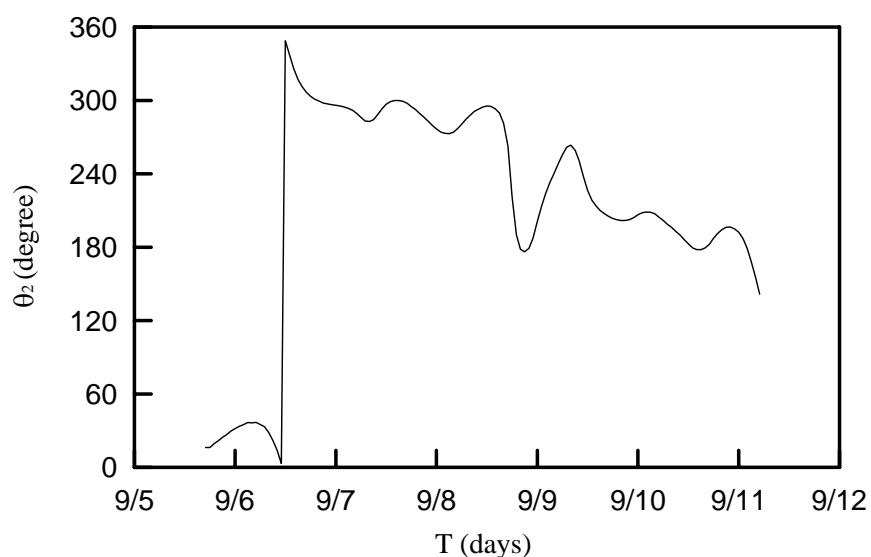
附圖 8(b) 颱風 BOPHA 的示性波高



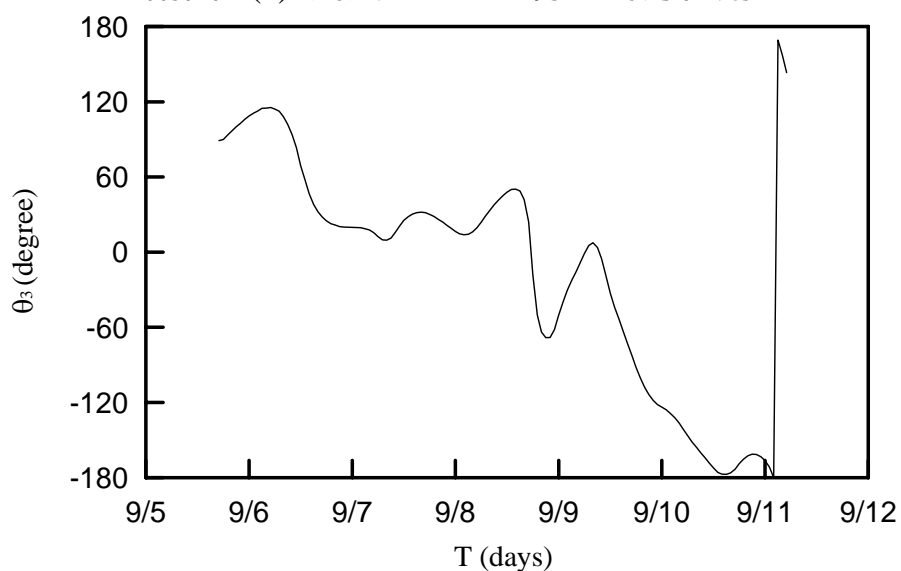
附圖 8(c) 颱風 BOPHA 的示性週期



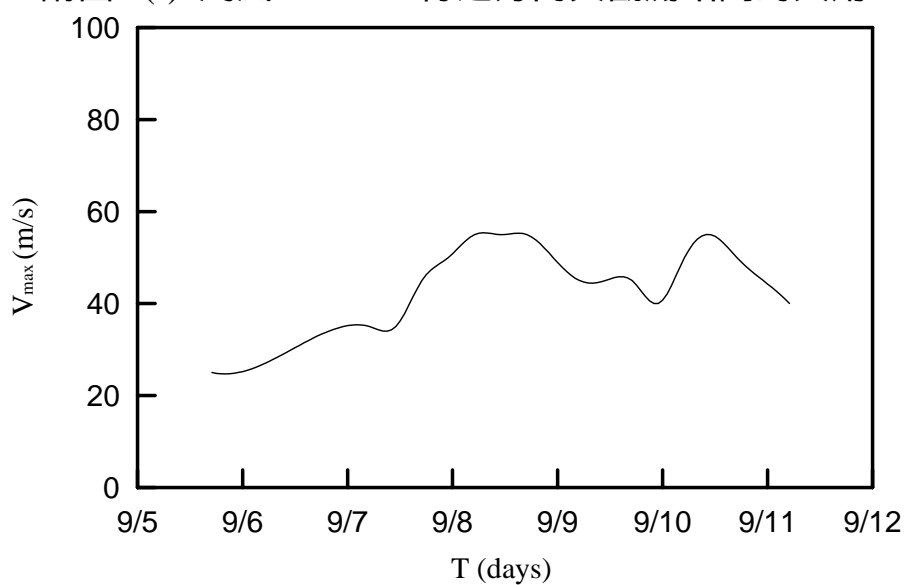
附圖 8(d) 颱風 BOPHA 中心與觀測站的方位角



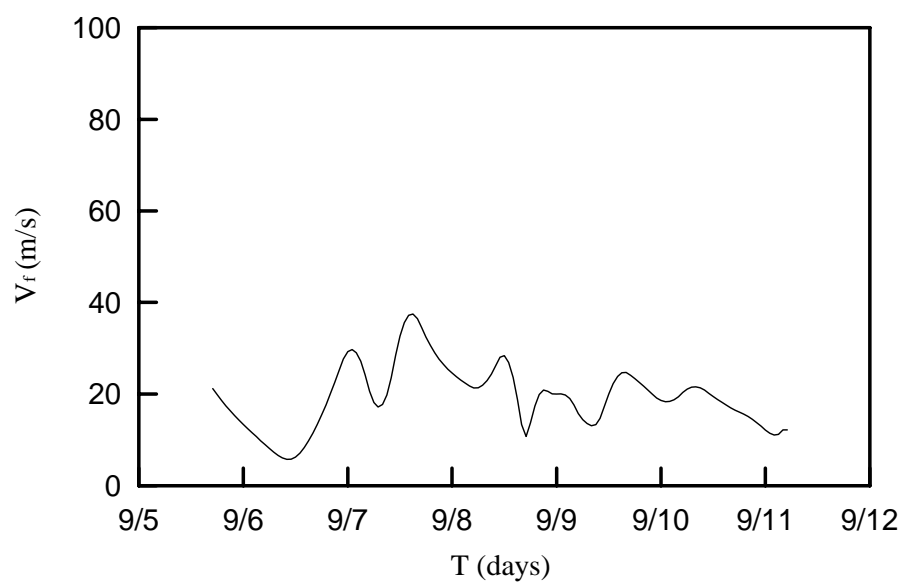
附圖 8(e) 颱風 BOPHA 行進的方位角



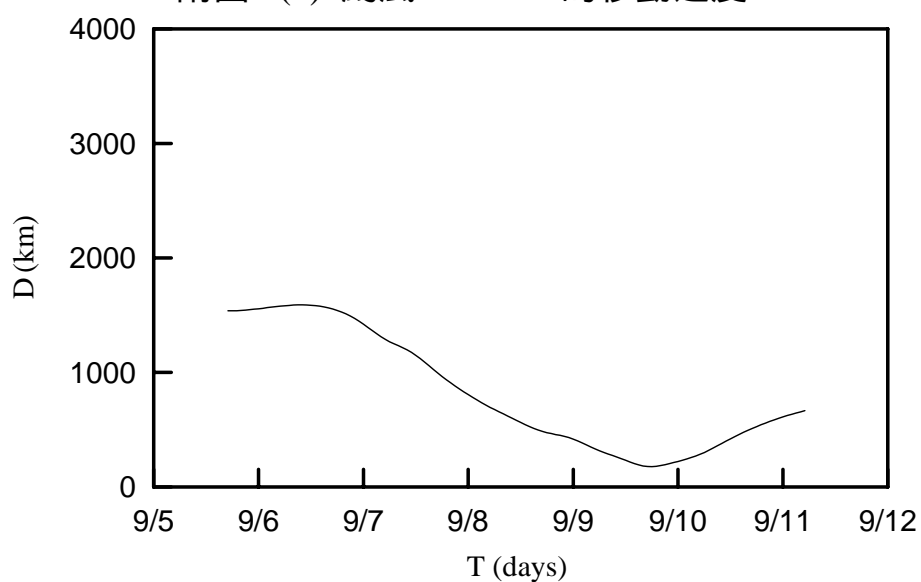
附圖 8(f) 颱風 BOPHA 行進方向與觀測站間的夾角



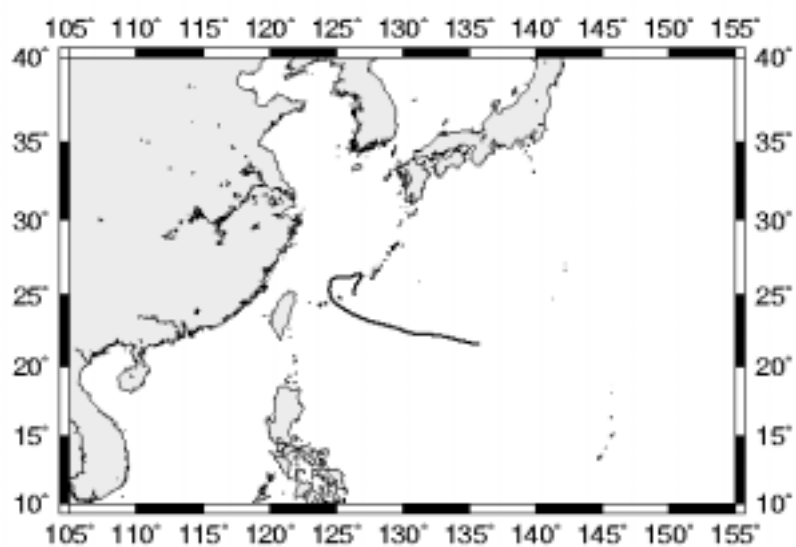
附圖 8(g) 颱風 BOPHA 的最大風速



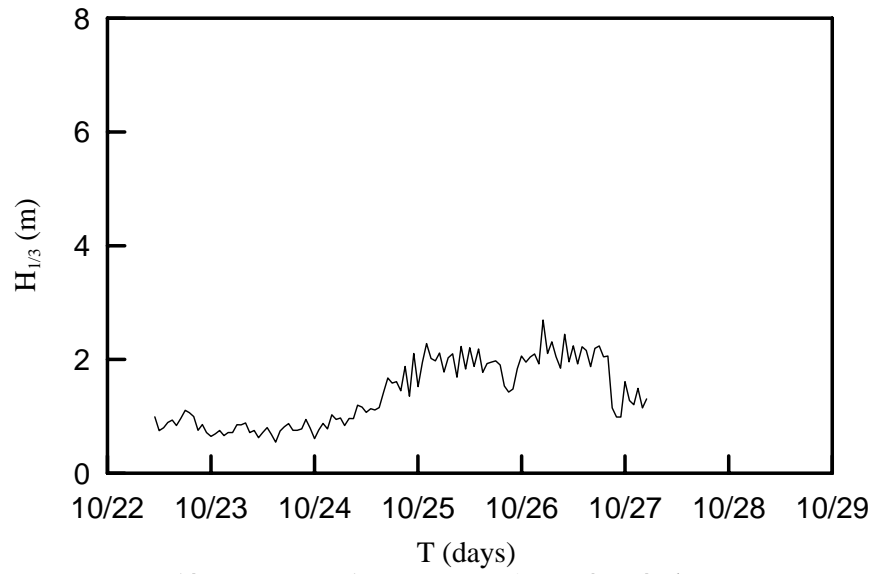
附圖 8(h) 颱風 BOPHA 的移動速度



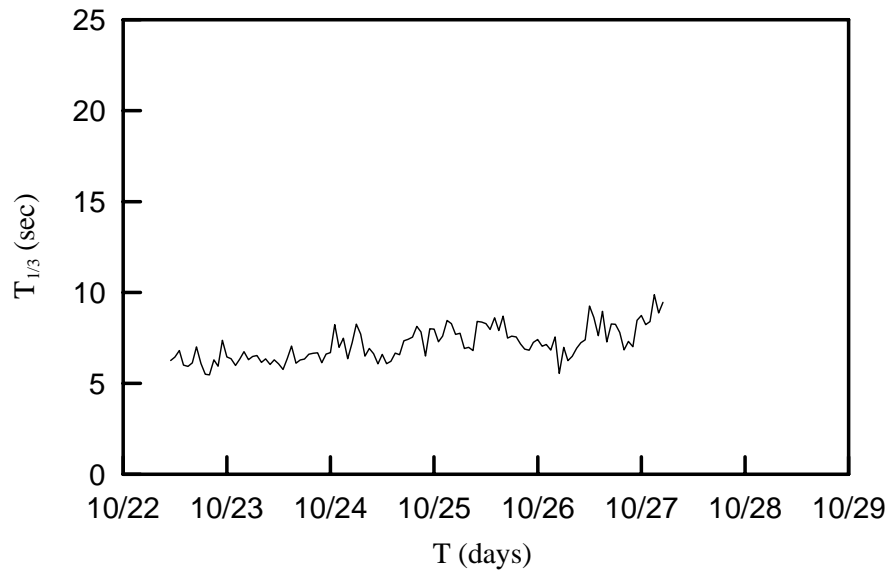
附圖 8(i) 颱風 BOPHA 與測站的距離



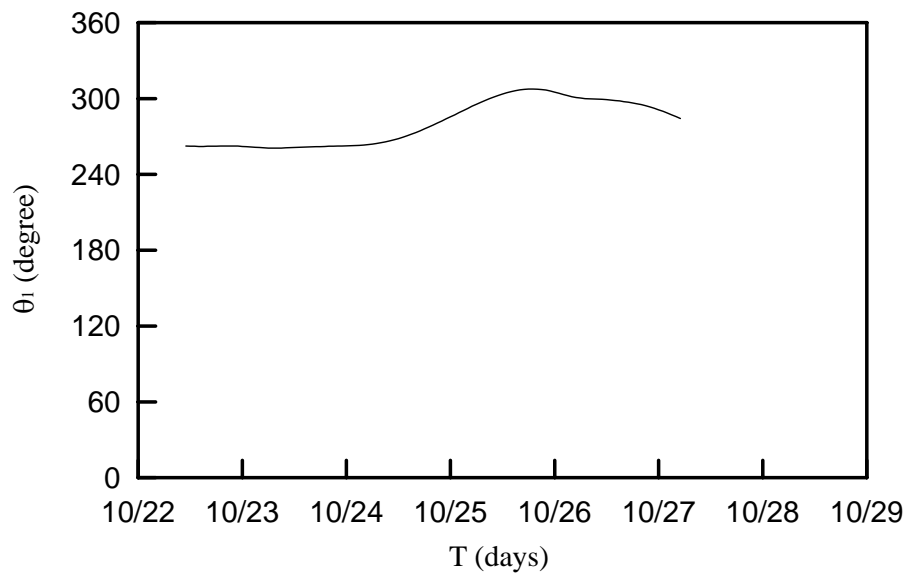
附圖 9(a) 颱風 YAGI 的路徑圖



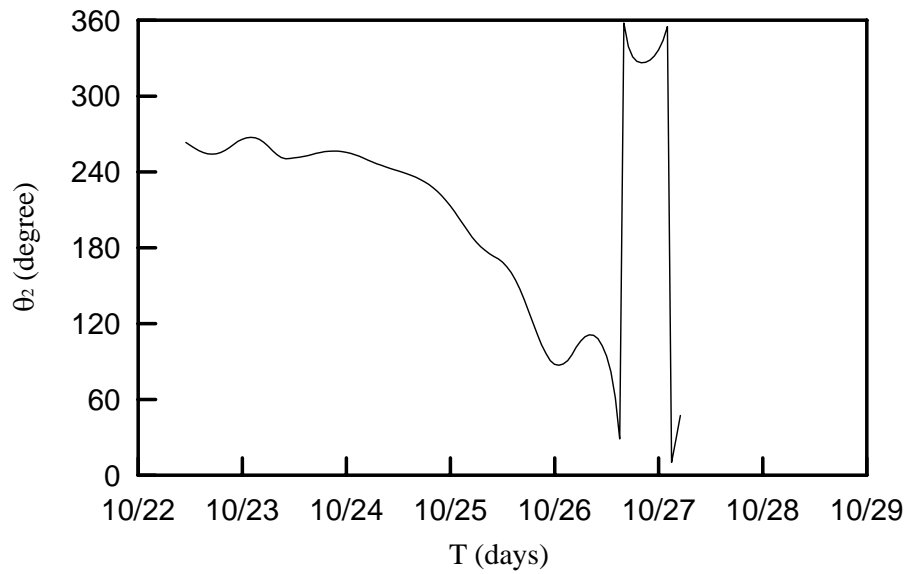
附圖 9(b) 颱風 YAGI 的示性波高



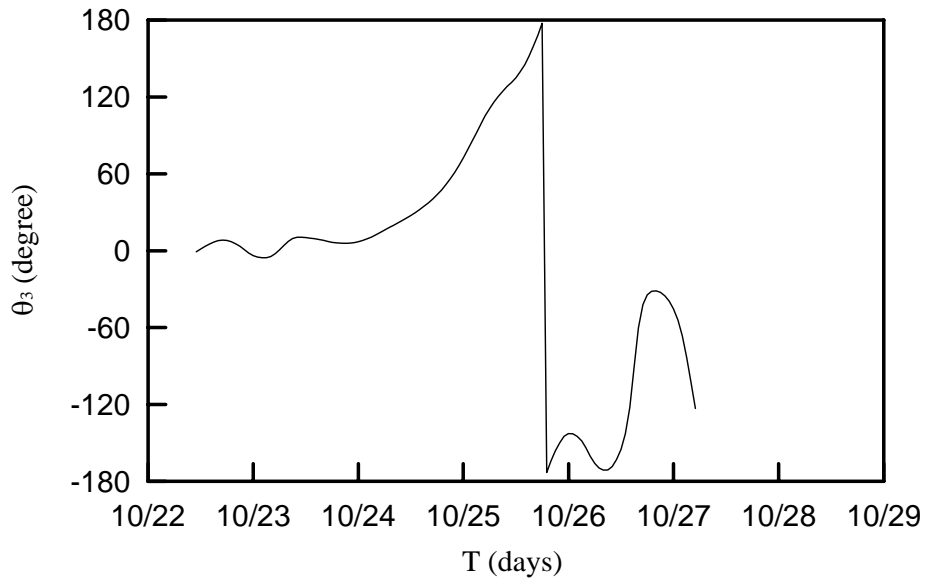
附圖 9(c) 颱風 YAGI 的示性週期



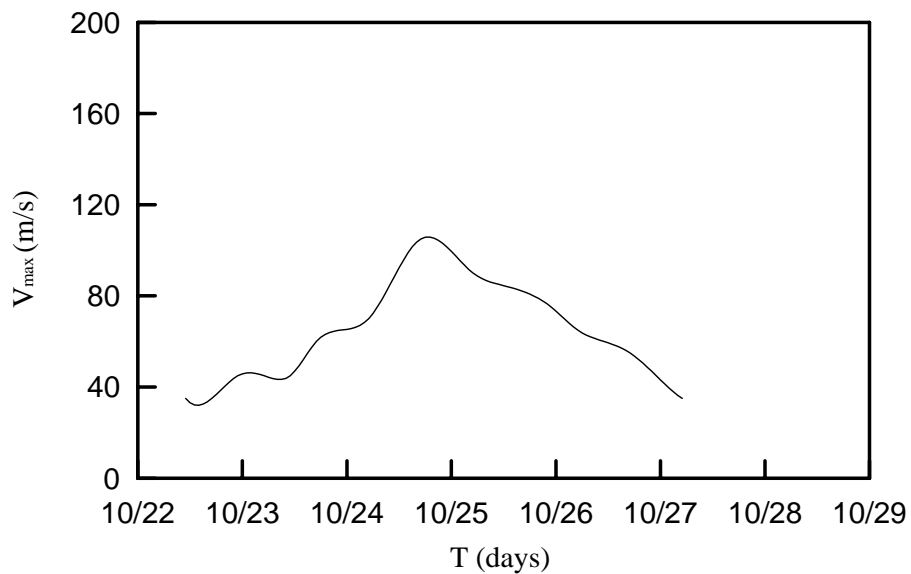
附圖 9(d) 颱風 YAGI 中心與觀測站的方位



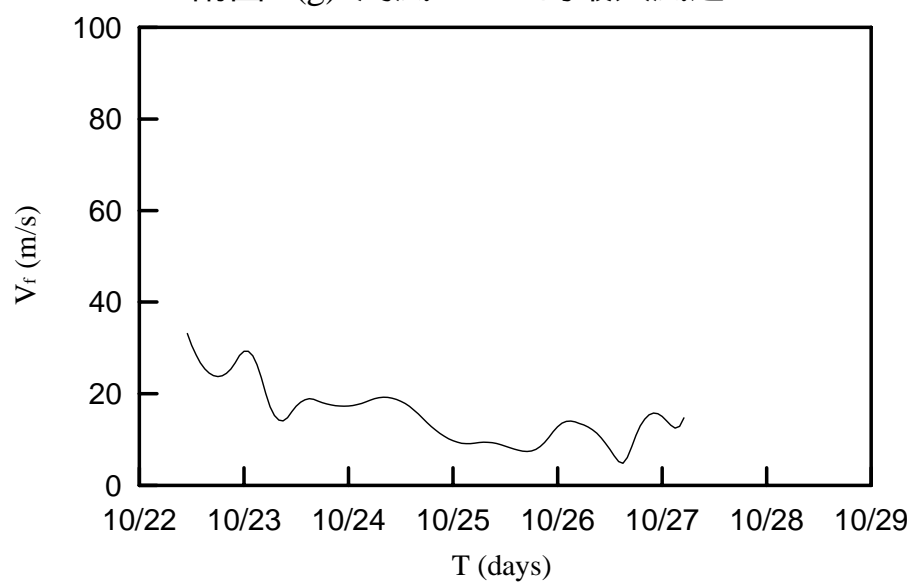
附圖 9(e) 颱風 YAGI 行進的方位角



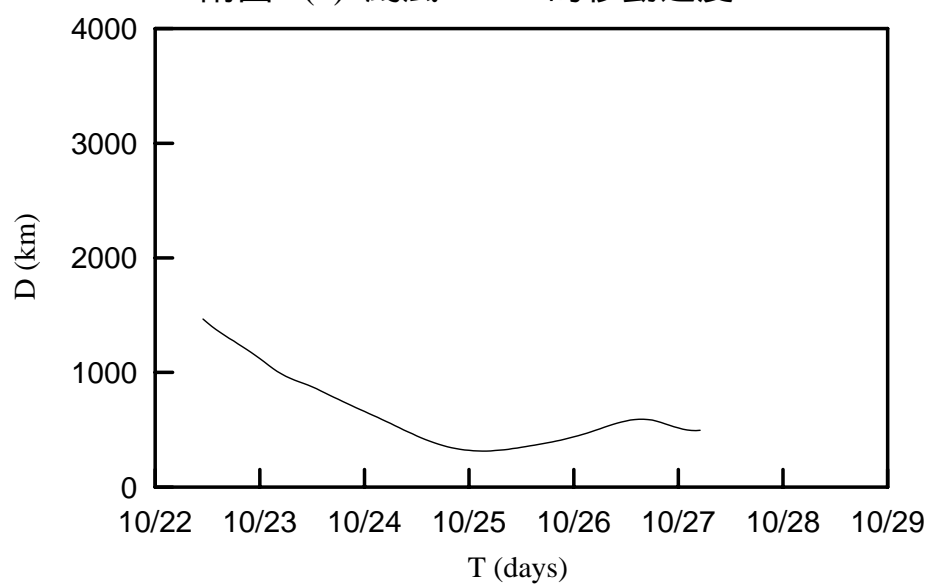
附圖 9(f) 颱風 YAGI 行進方向與觀測站間的夾角



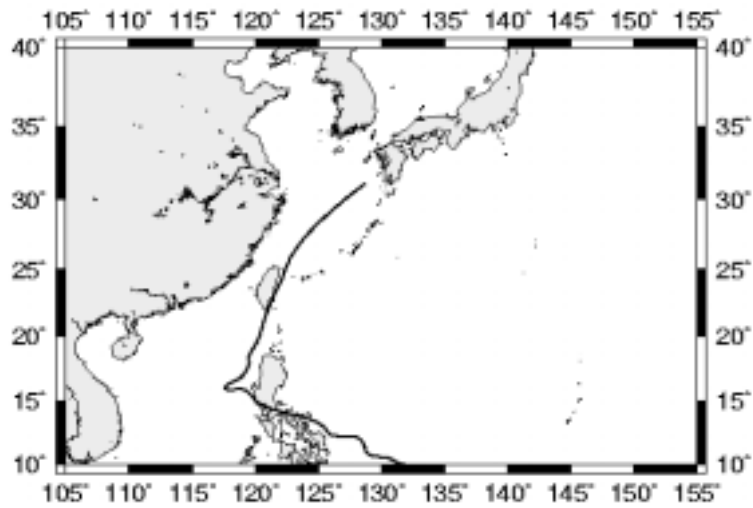
附圖 9(g) 颱風 YAGI 的最大風速



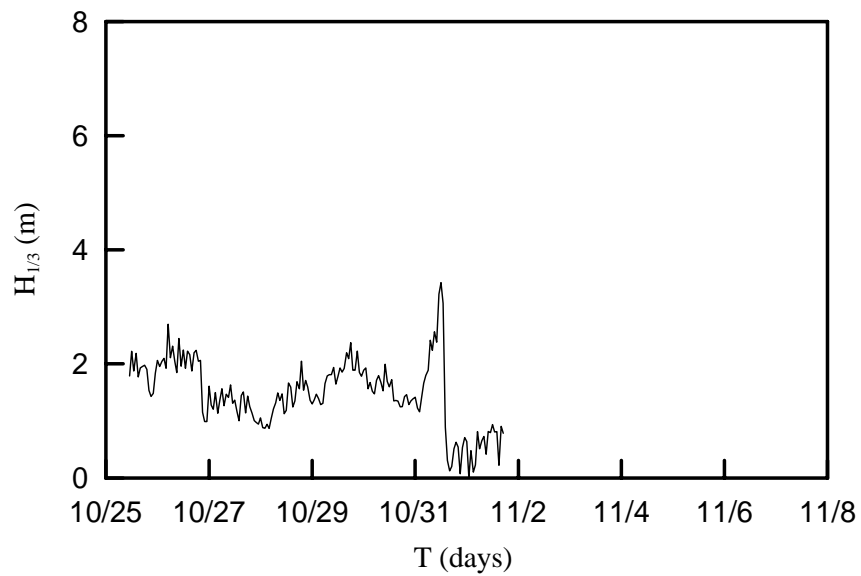
附圖 9(h) 颱風 YAGI 的移動速度



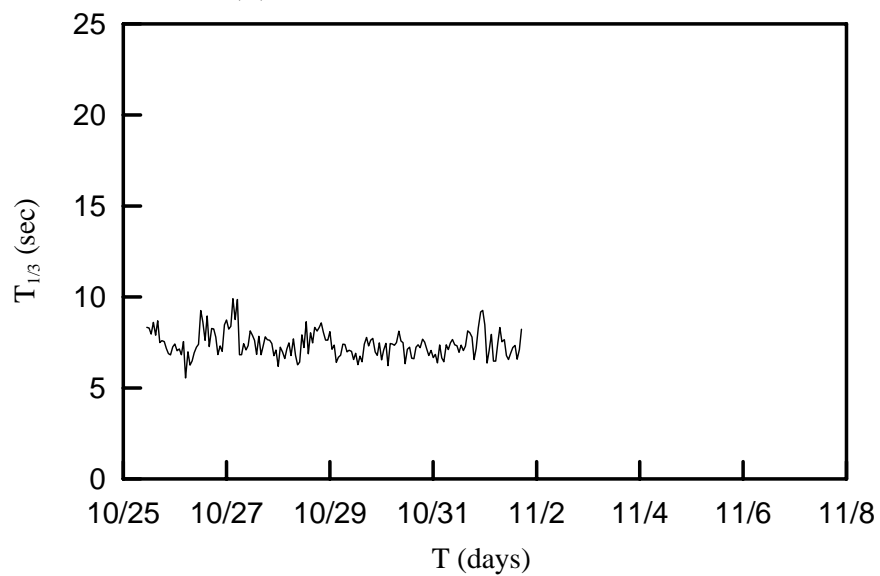
附圖 9(i) 颱風 YAGI 與測站的距離



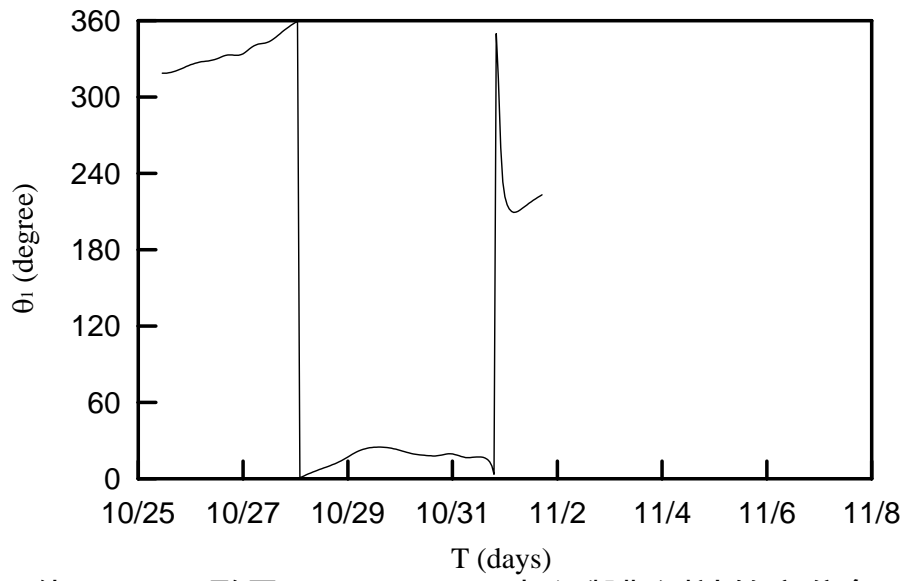
附圖 10(a) 颱風 XANGSANE 的路徑圖



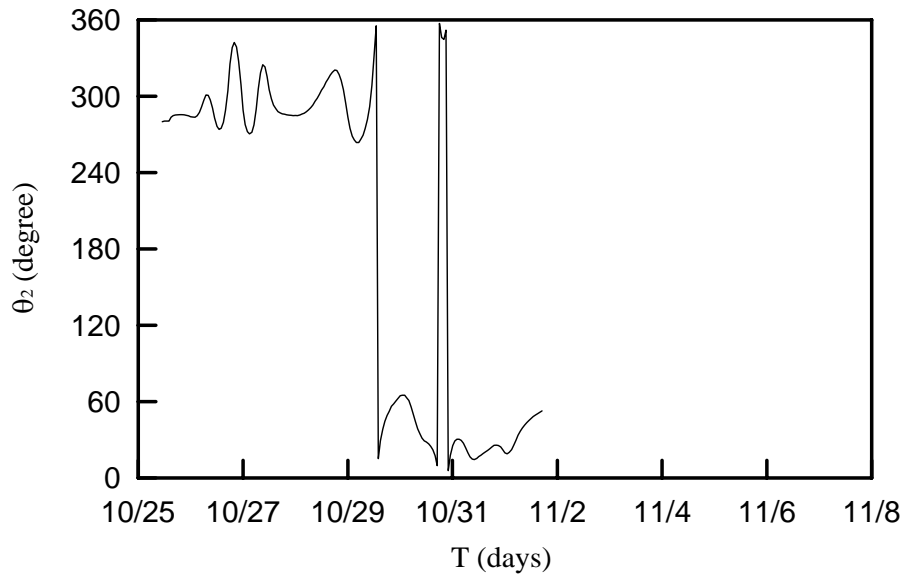
附圖 10(b) 颱風 XANGSANE 的示性波高



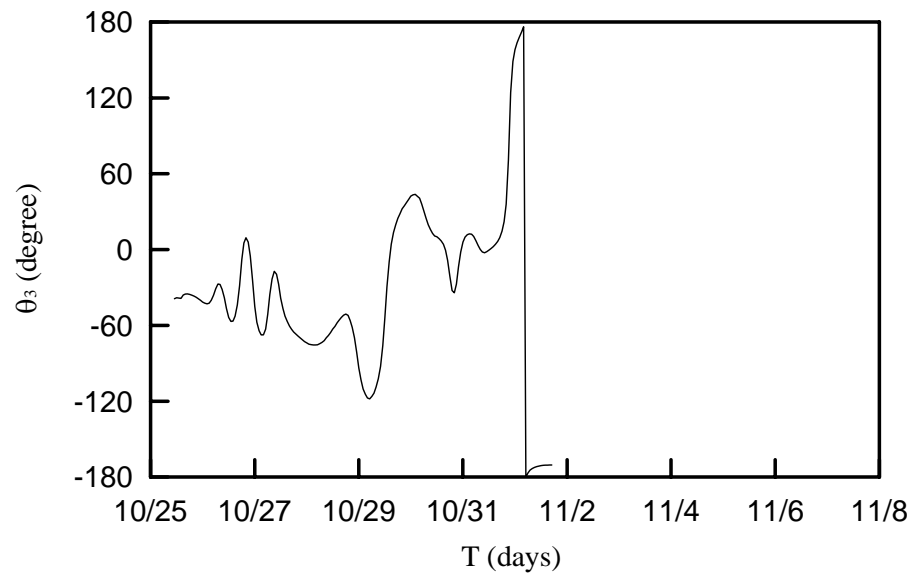
附圖 10(c) 颱風 XANGSANE 的示性週期



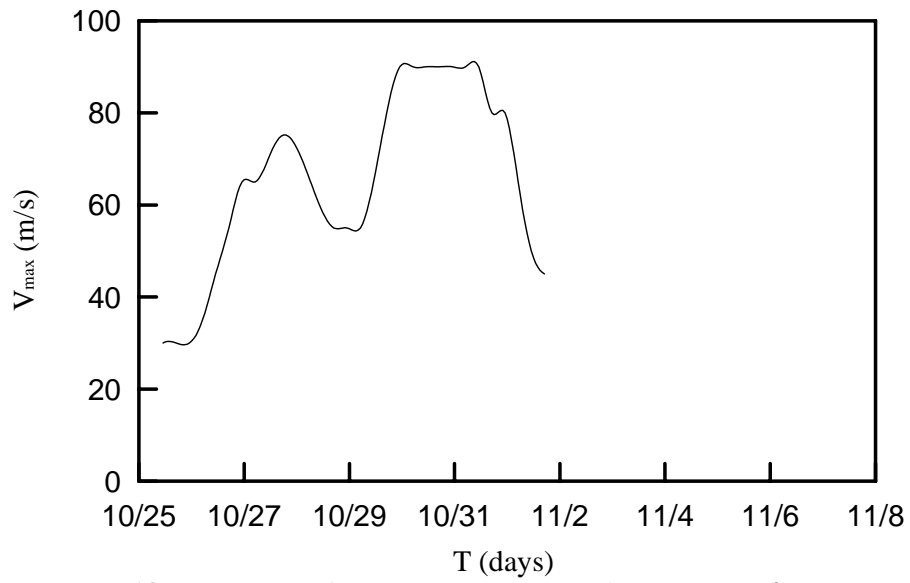
附圖 10(d) 颱風 XANGSANE 中心與觀測站的方位角



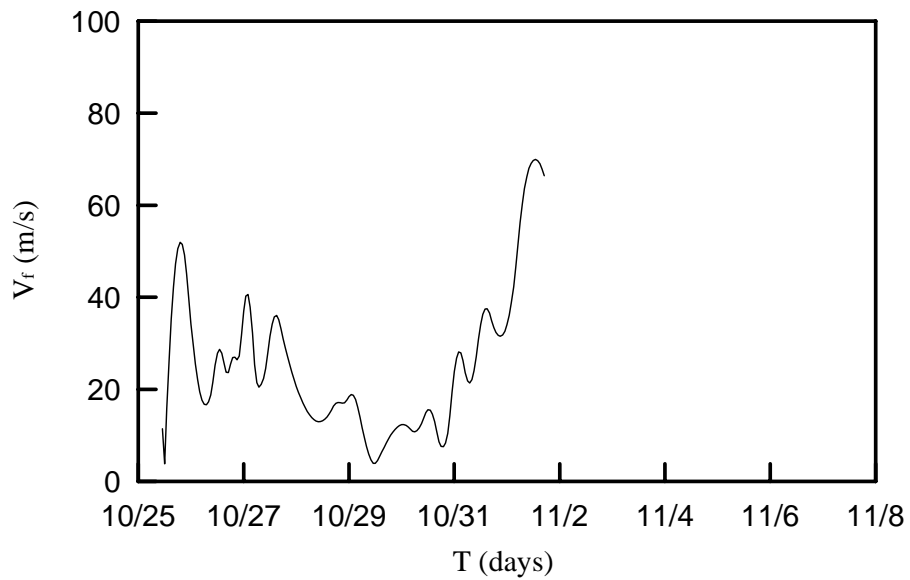
附圖 10(e) 颱風 XANGSANE 行進的方位角



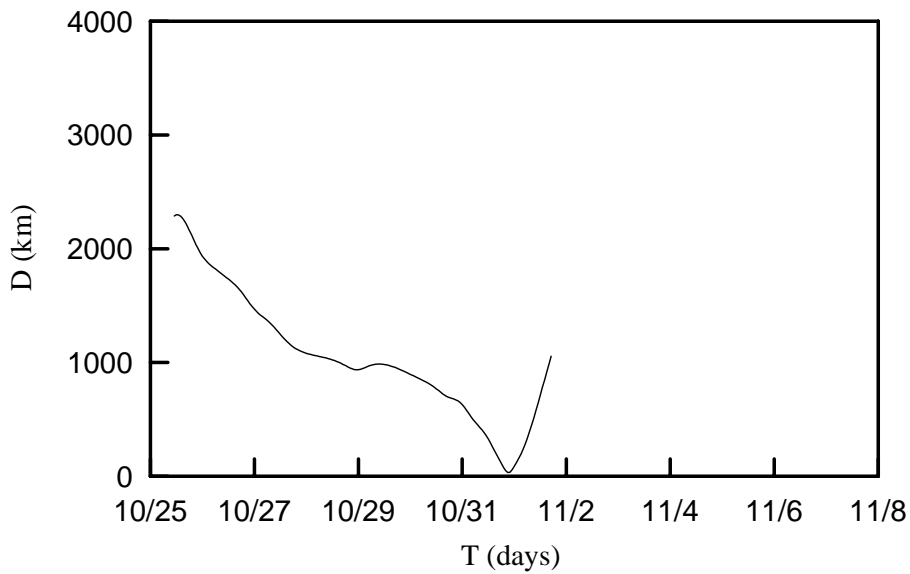
附圖 10(f) 颱風 XANGSANE 行進方向與觀測站間的夾角



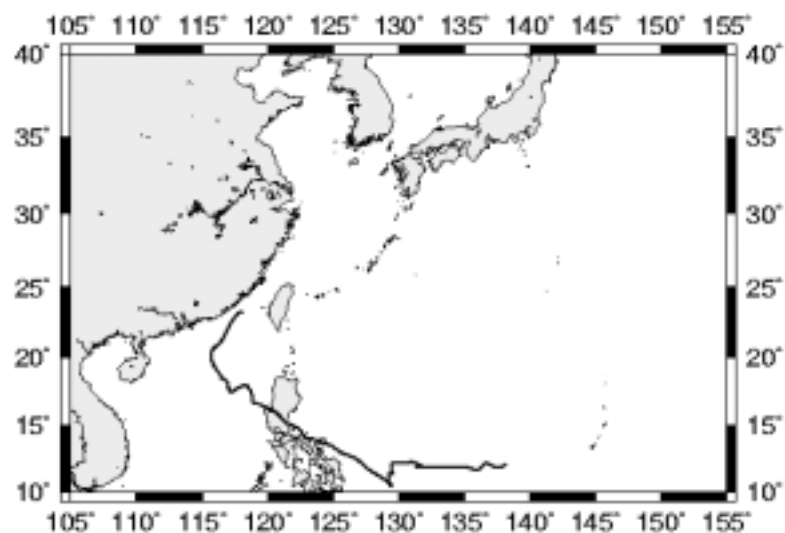
附圖 10(g) 颱風 XANGSANE 的最大風速



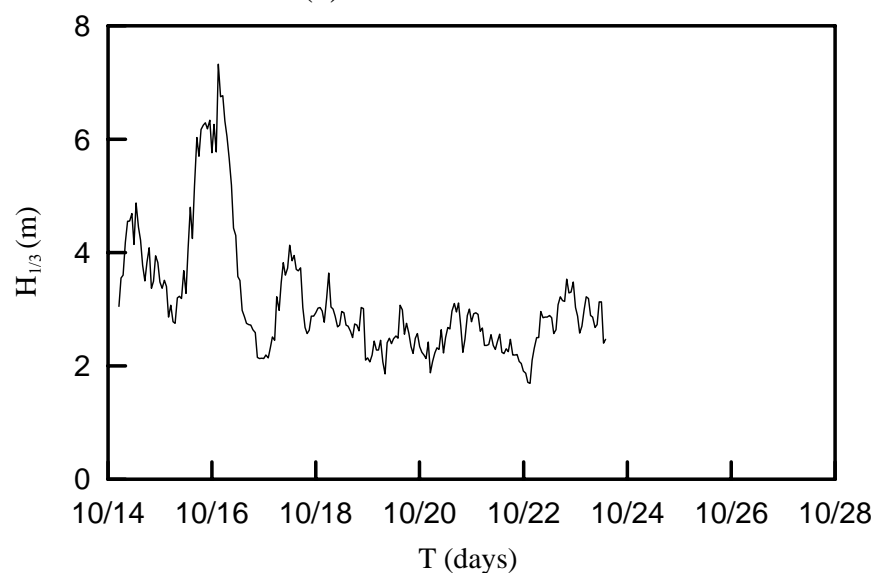
附圖 10(h) 颱風 XANGSANE 的移動速度



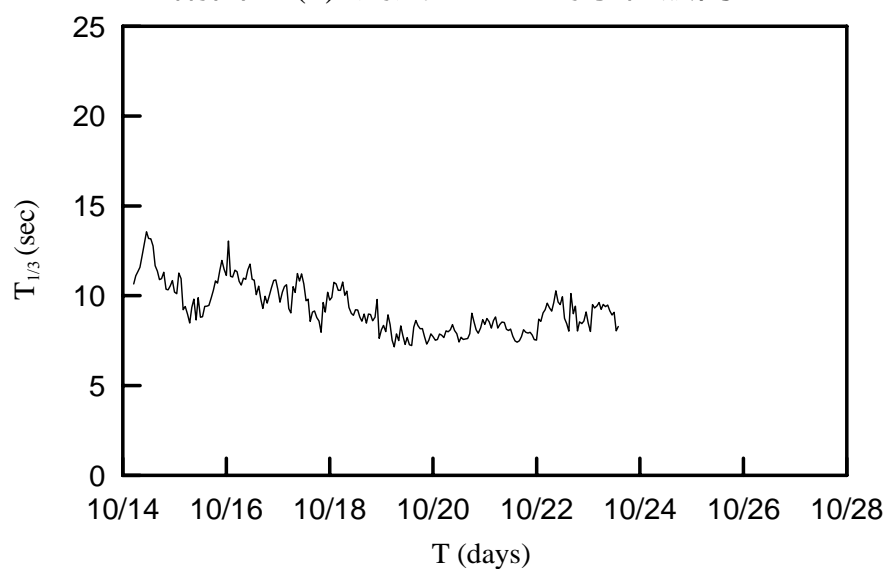
附圖 10(i) 颱風 XANGSANE 與測站的距離



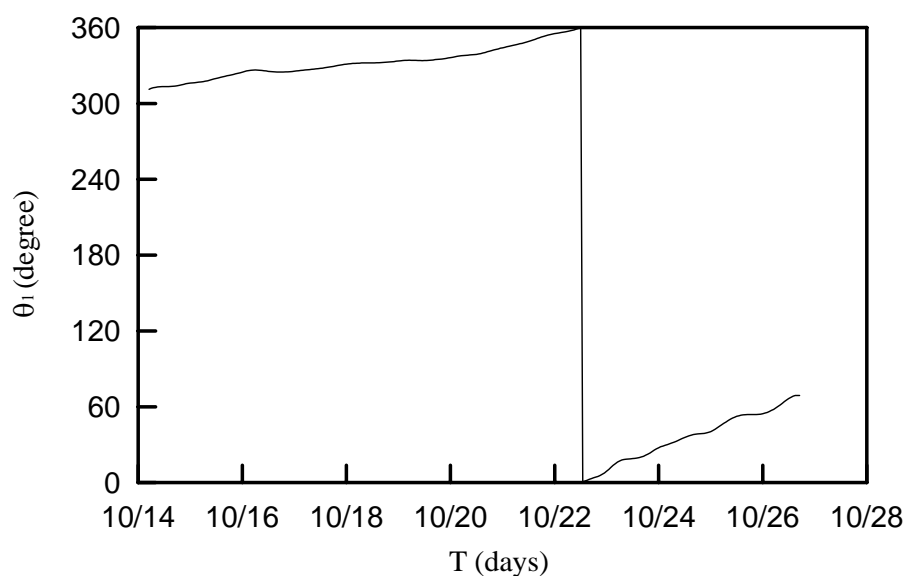
附圖 11(a) 颱風 BABS 的路徑圖



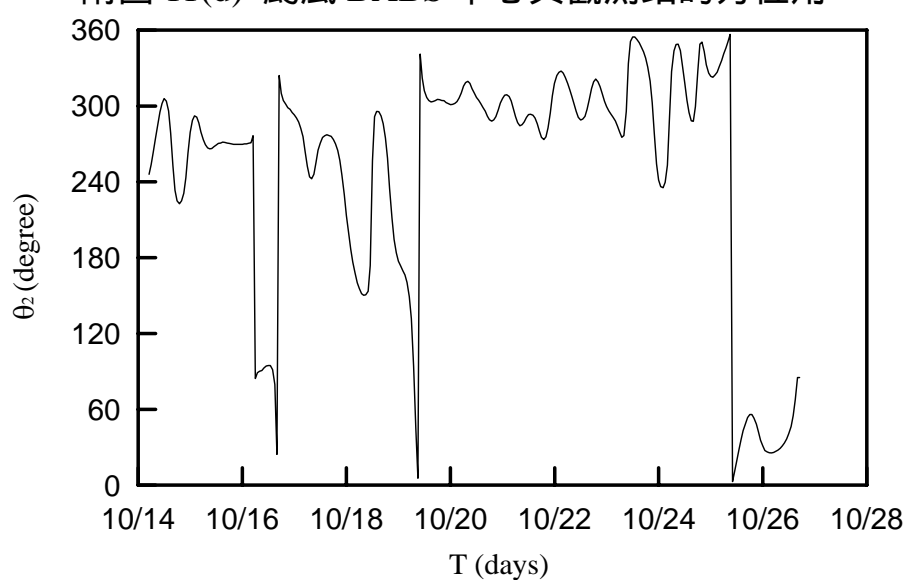
附圖 11(b) 颱風 BABS 的示性波高



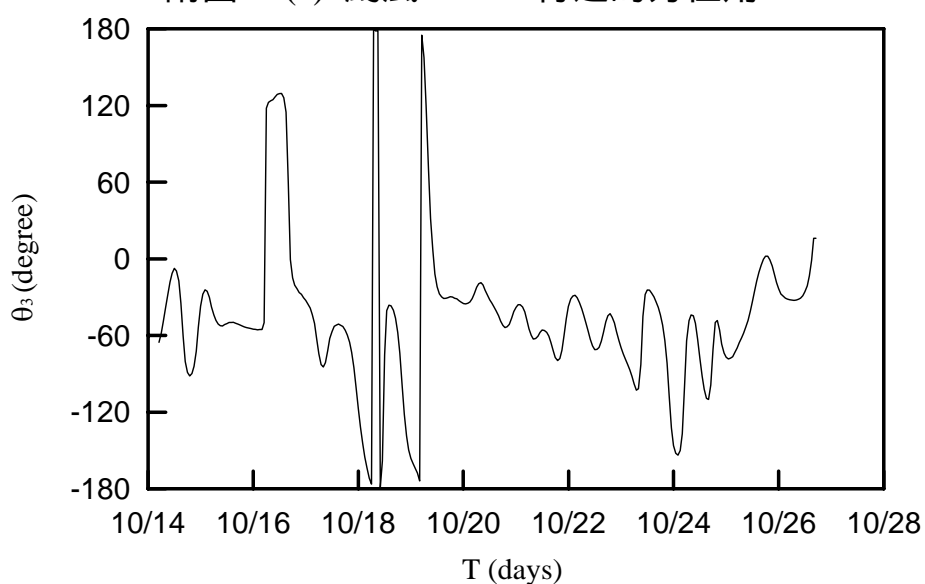
附圖 11(c) 颱風 BABS 的示性週期



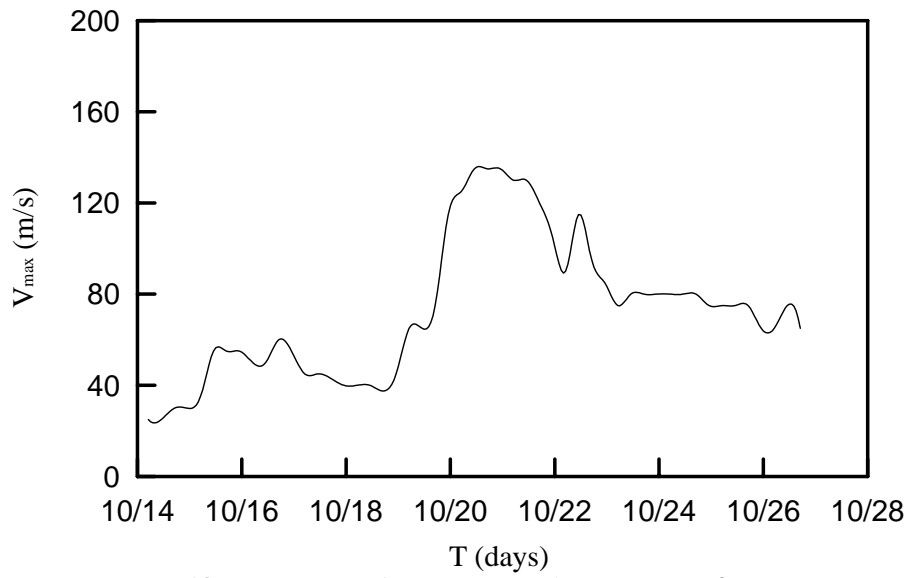
附圖 11(d) 颱風 BABS 中心與觀測站的方位角



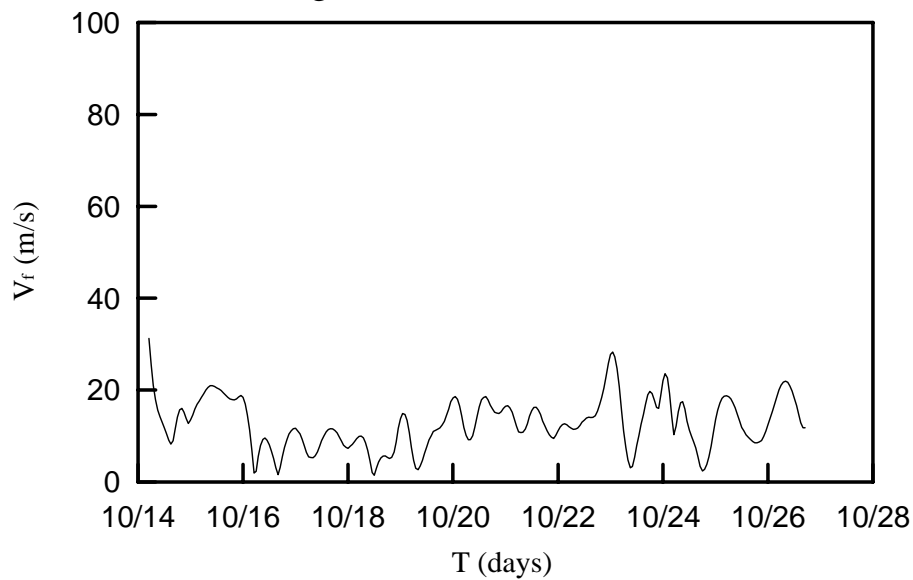
附圖 11(e) 颱風 BABS 行進的方位角



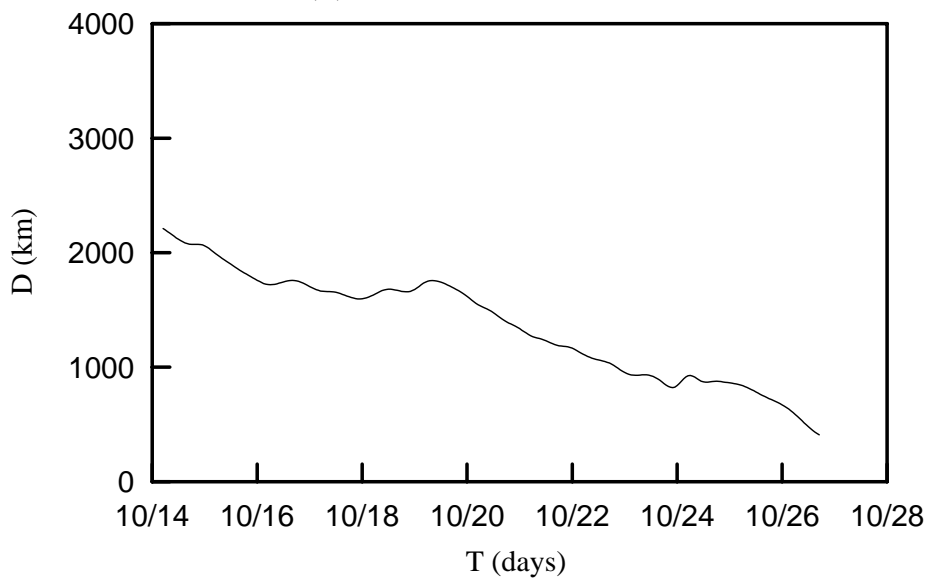
附圖 11(f) 颱風 BABS 行進方向與觀測站間的夾角



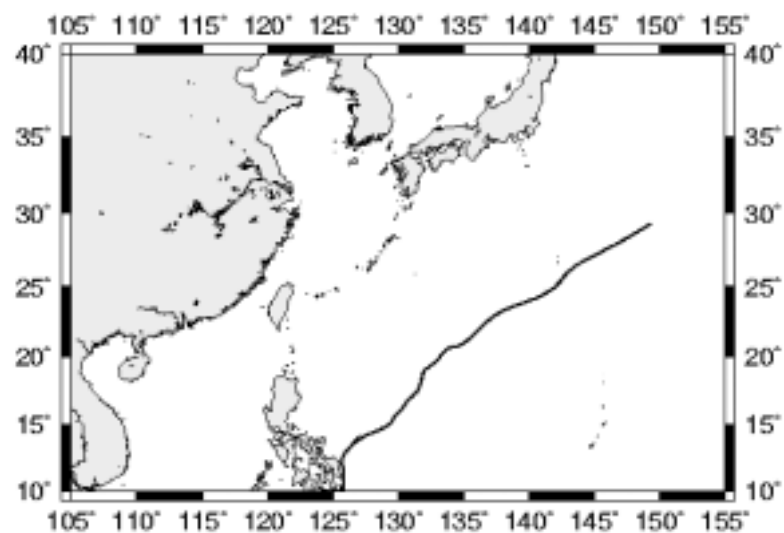
附圖 11(g) 颱風 BABS 的最大風速



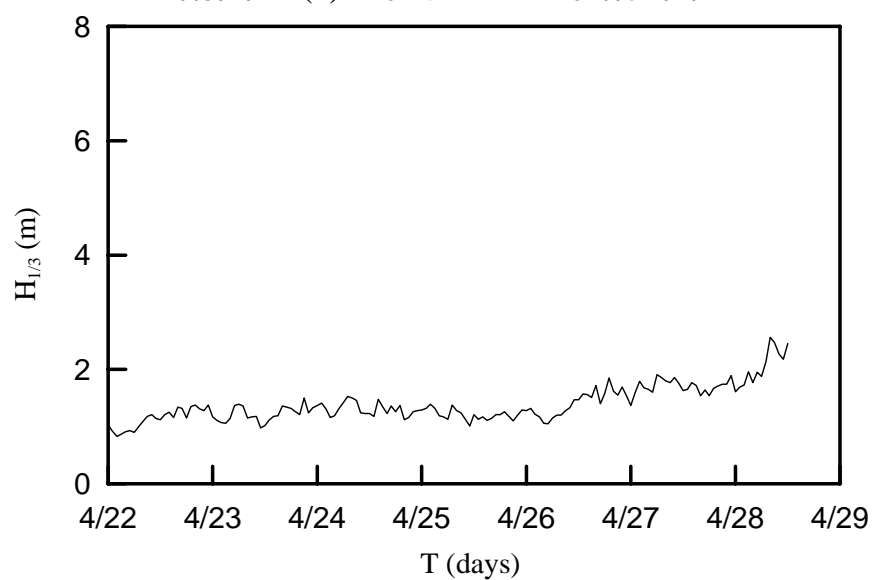
附圖 11(h) 颱風 BABS 的移動速度



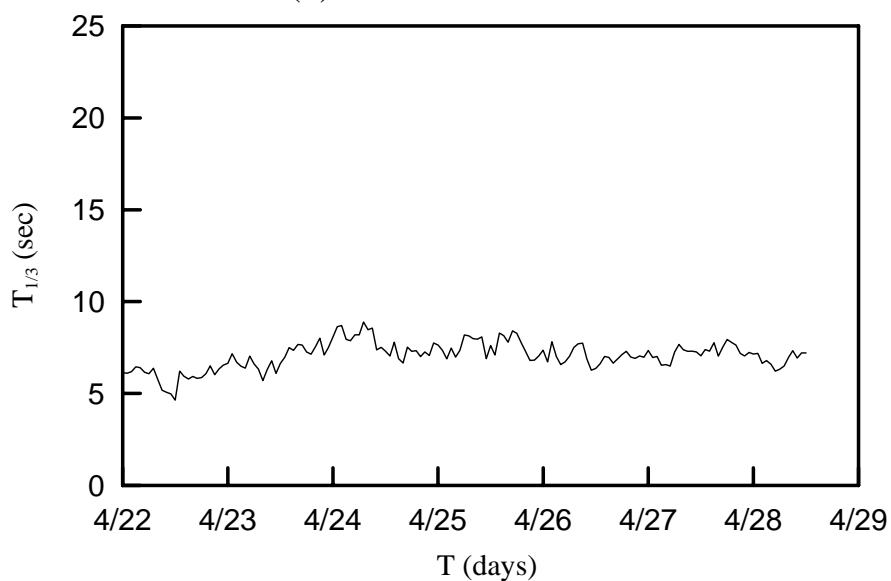
附圖 11(i) 颱風 BABS 與測站的距離



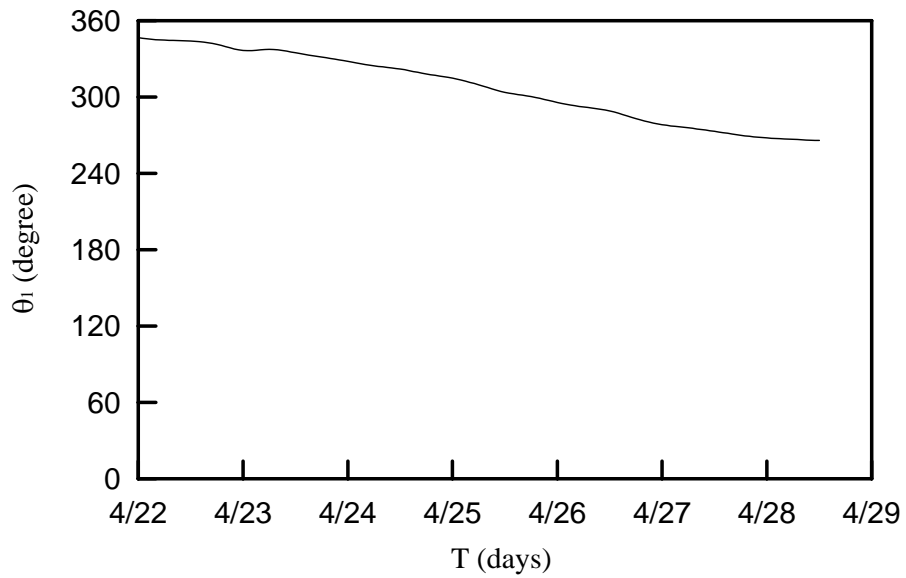
附圖 12(a) 颱風 KATE 的路徑圖



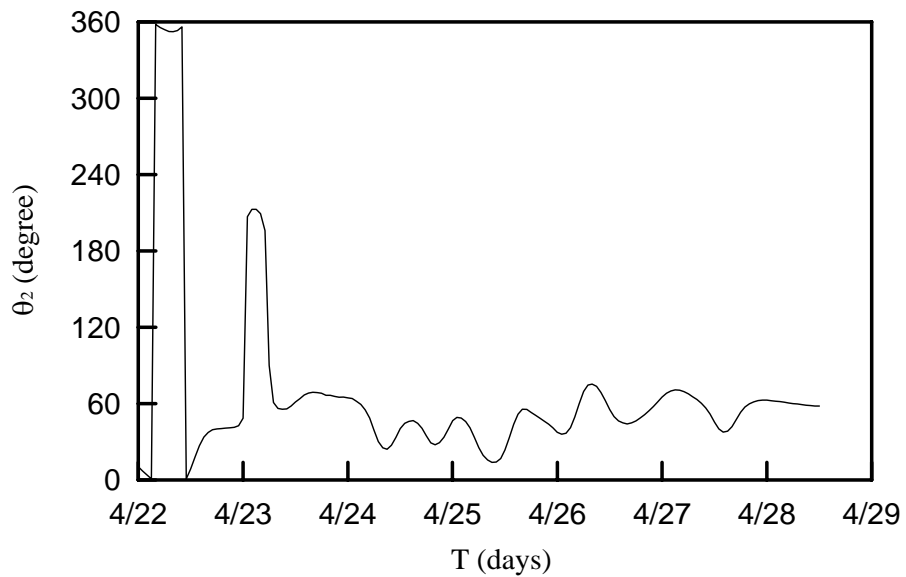
附圖 12(b) 颱風 KATE 的示性波高



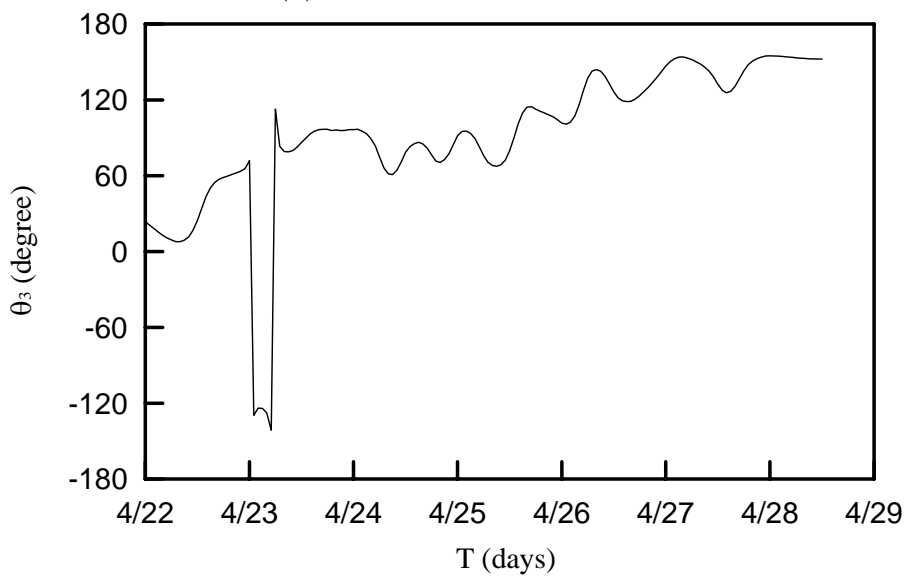
附圖 12(c) 颱風 KATE 的示性週期



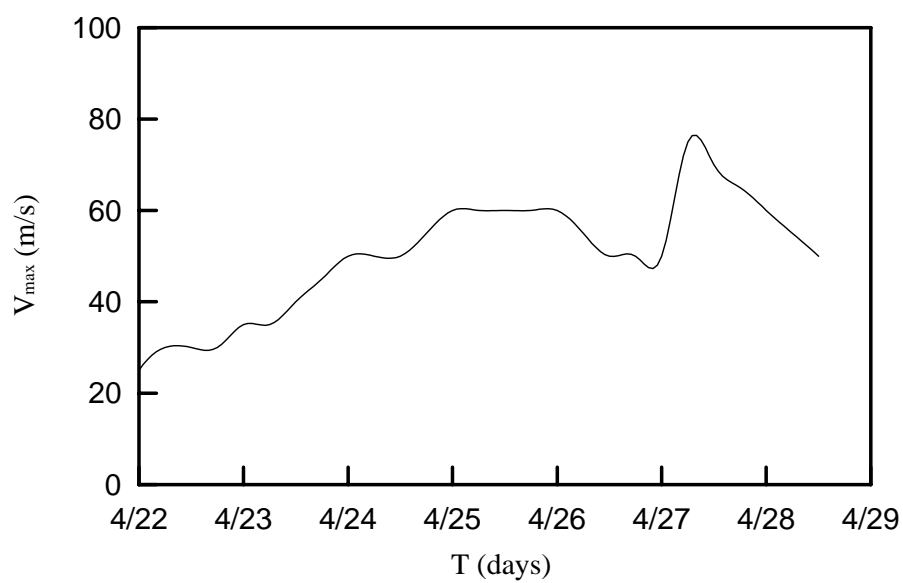
附圖 12(d) 颱風 KATE 中心與觀測站的方位角



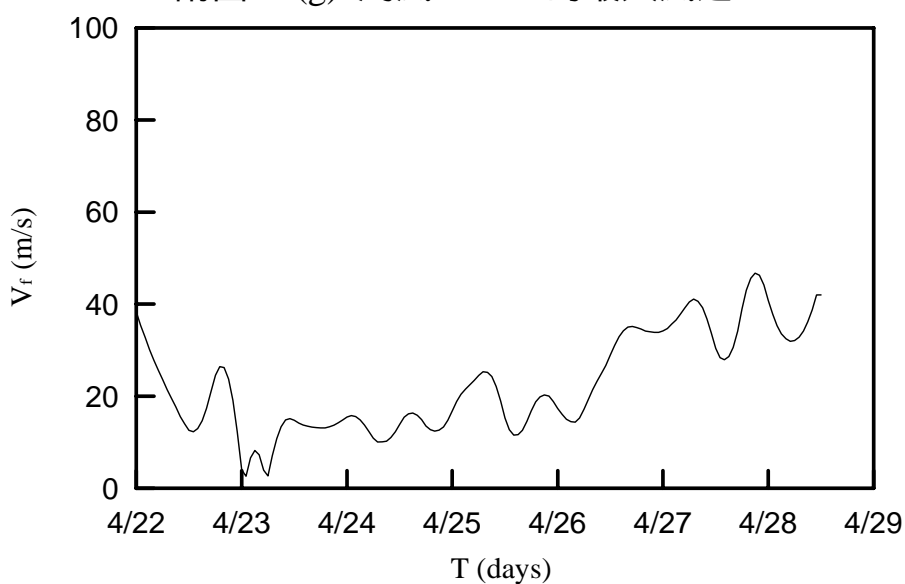
附圖 12(e) 颱風 KATE 行進的方位角



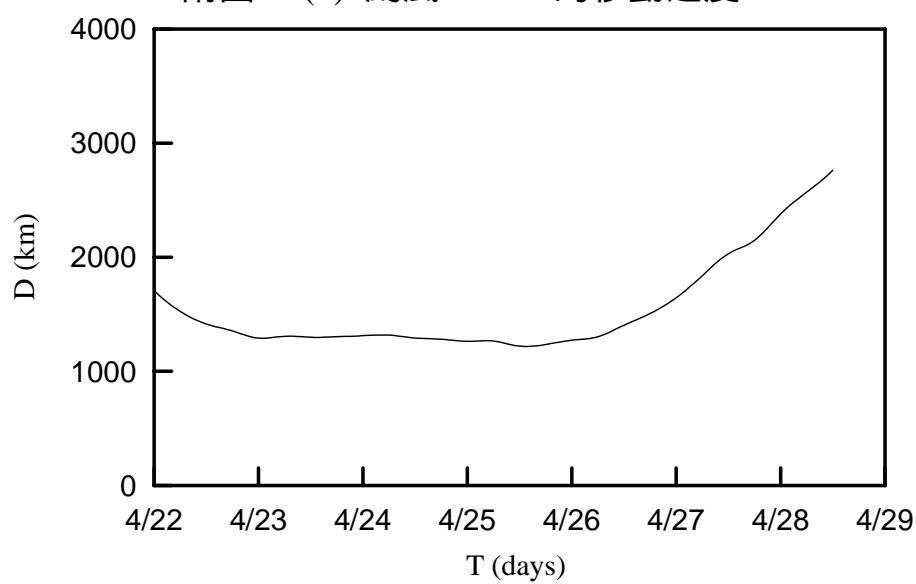
附圖 12(f) 颱風 KATE 行進方向與觀測站間的夾角



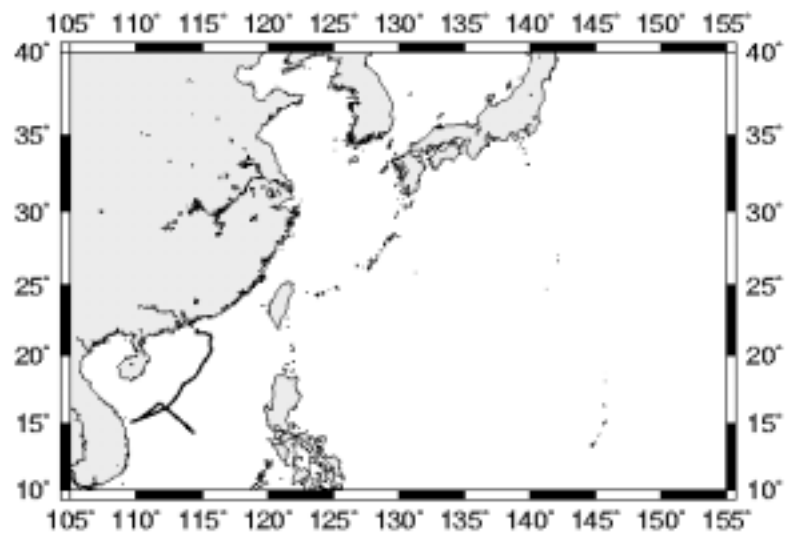
附圖 12(g) 颱風 KATE 的最大風速



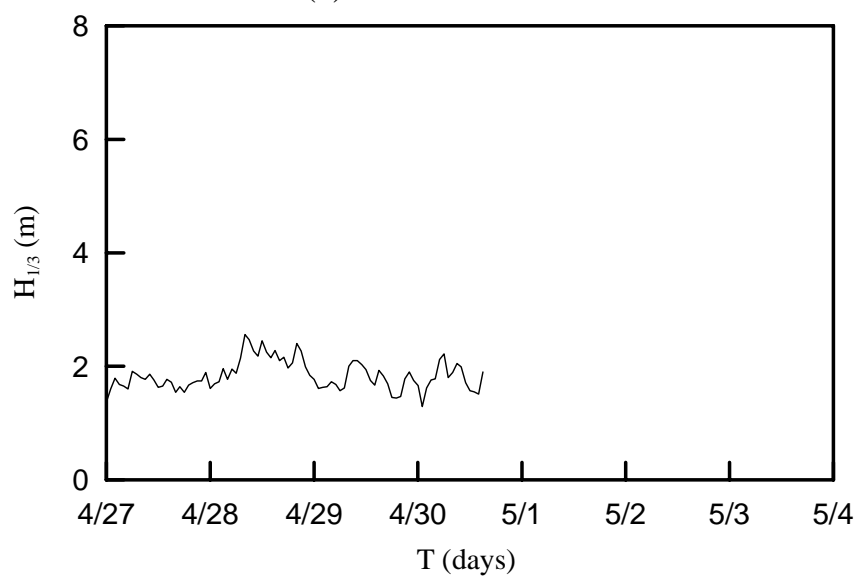
附圖 12(h) 颱風 KATE 的移動速度



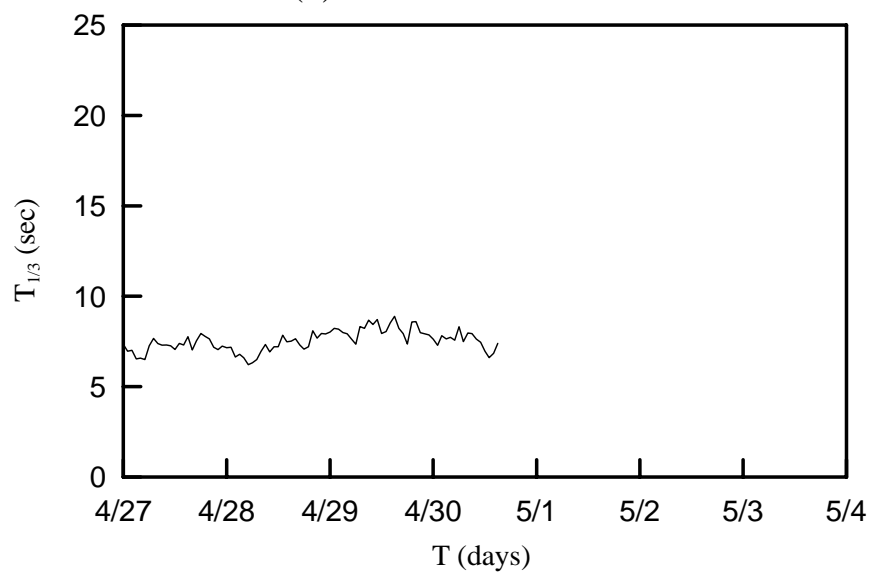
附圖 12(i) 颱風 KATE 與測站的距離



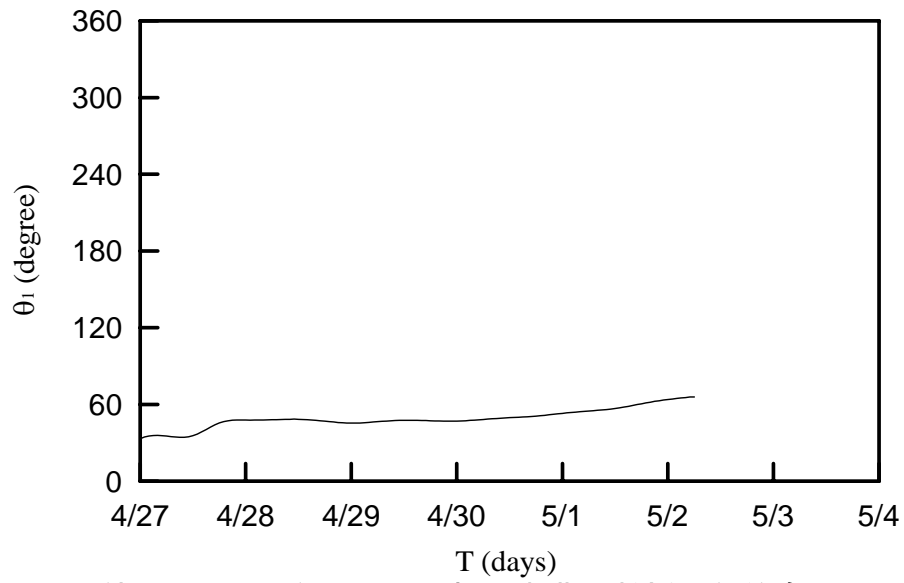
附圖 13(a) 颱風 LEO 的路徑圖



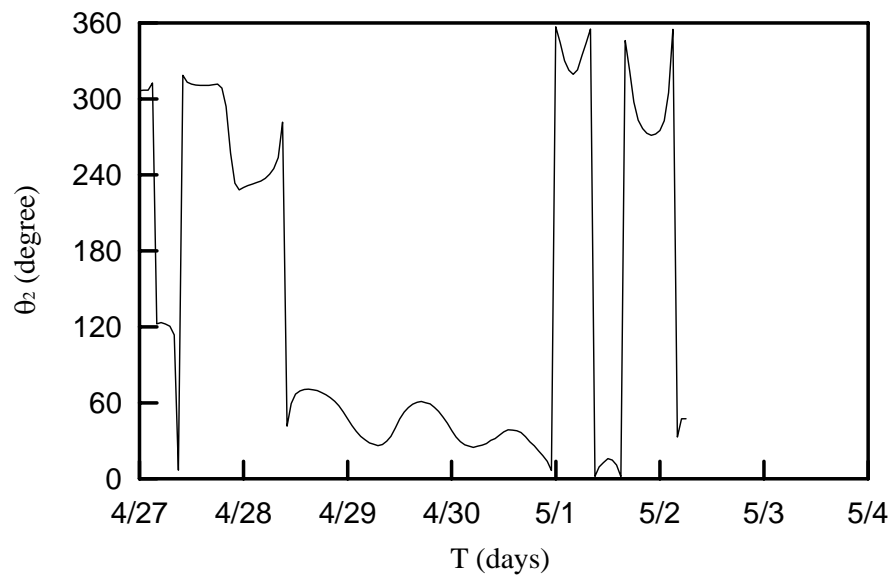
附圖 13(b) 颱風 LEO 的示性波高



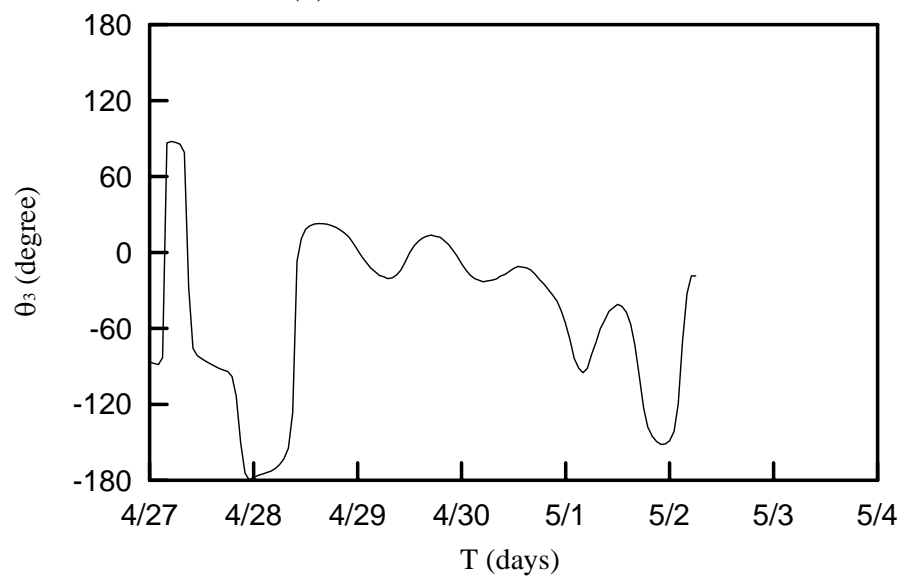
附圖 13(c) 颱風 LEO 的示性週期



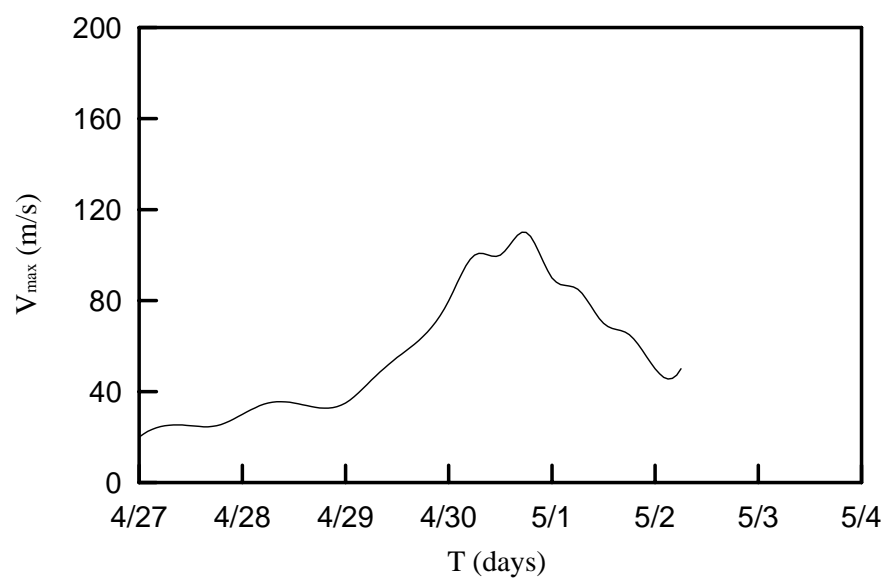
附圖 13(d) 颱風 LEO 中心與觀測站的方位角



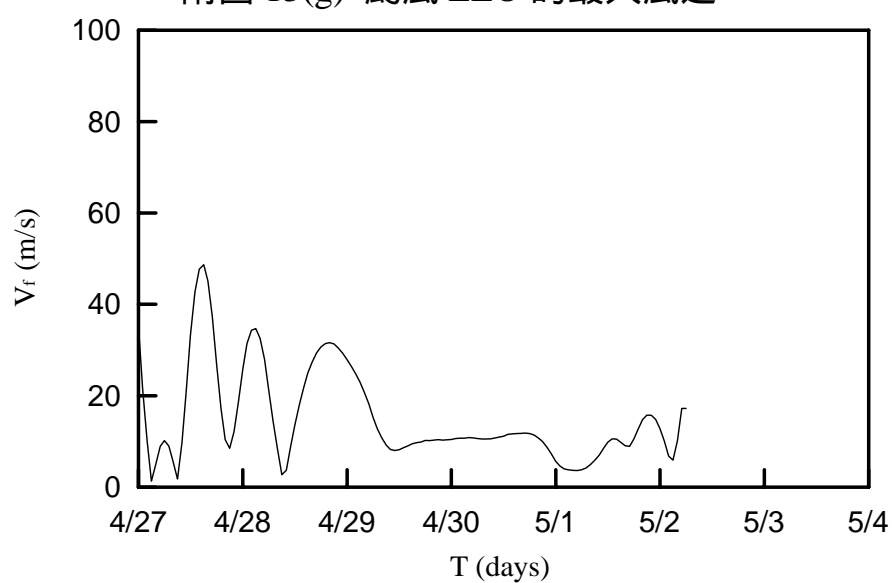
附圖 13(e) 颱風 LEO 行進的方位角



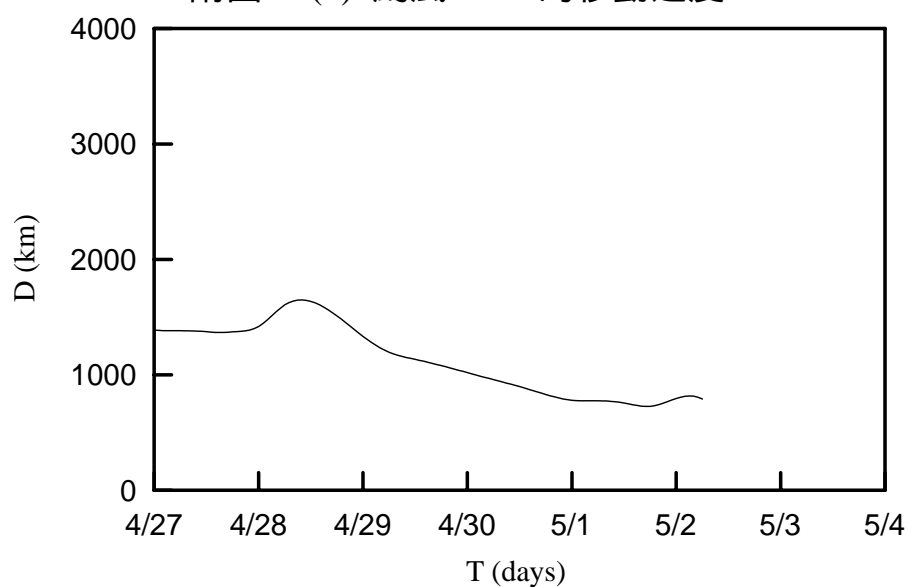
附圖 13(f) 颱風 LEO 行進方向與觀測站間的夾角



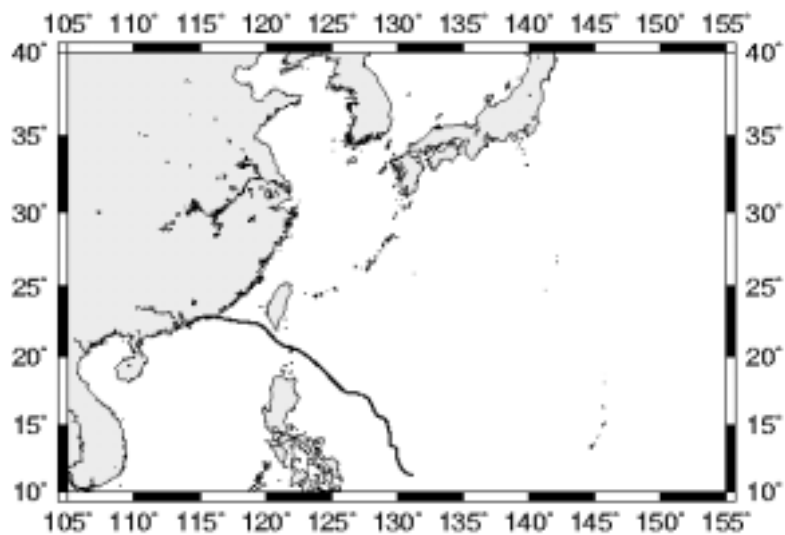
附圖 13(g) 颱風 LEO 的最大風速



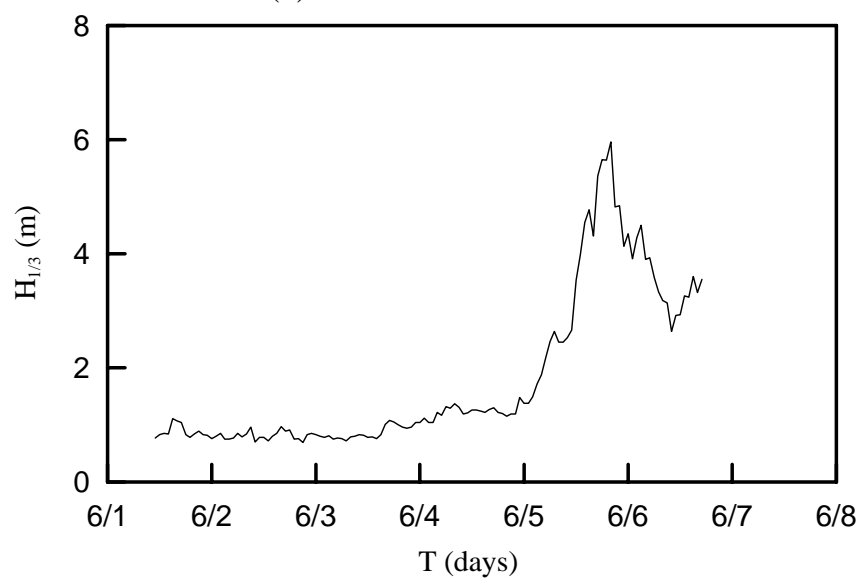
附圖 13(h) 颱風 LEO 的移動速度



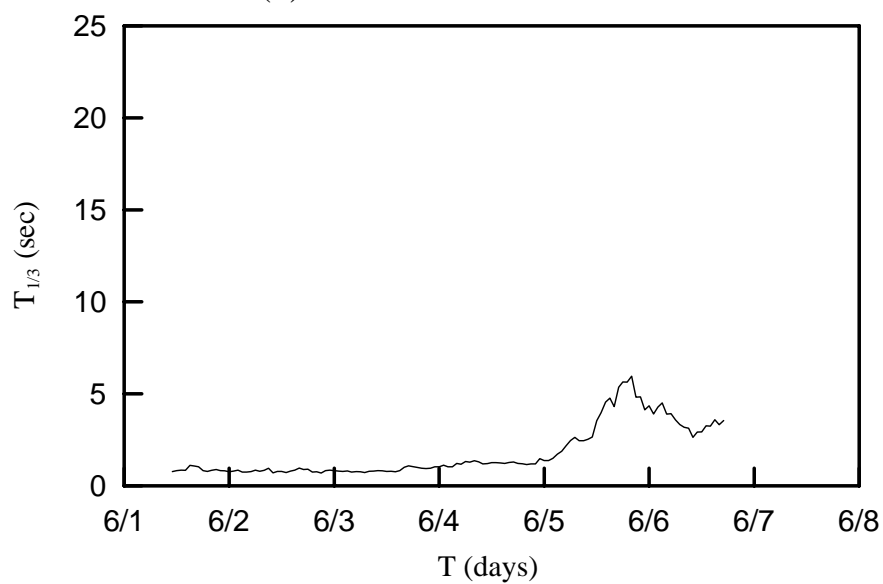
附圖 13(i) 颱風 LEO 與測站的距離



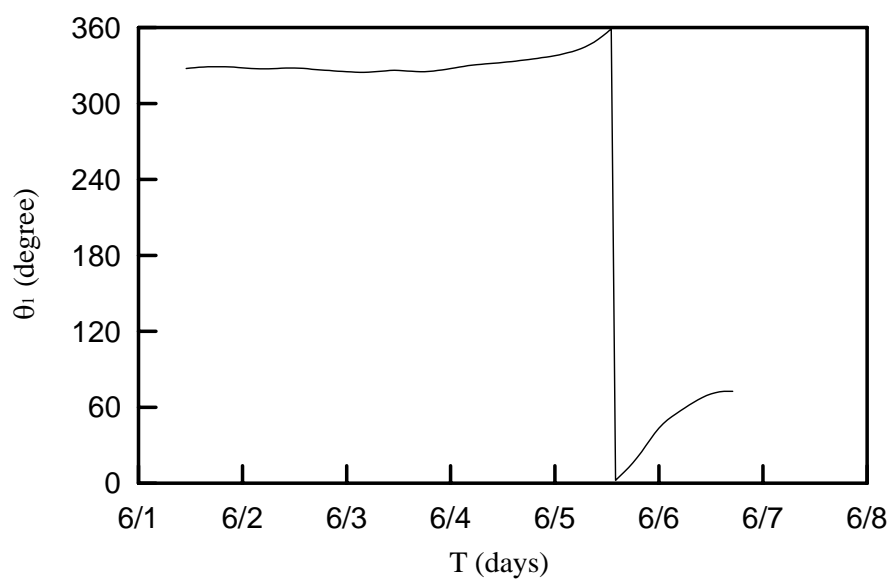
附圖 14(a) 颱風 MAGGIE 的路徑圖



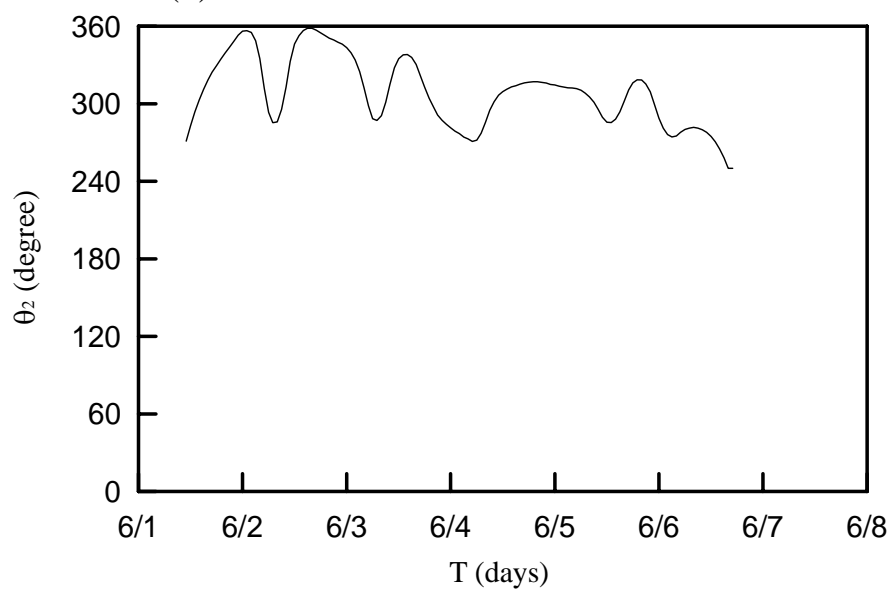
附圖 14(b) 颱風 MAGGIE 的示性波高



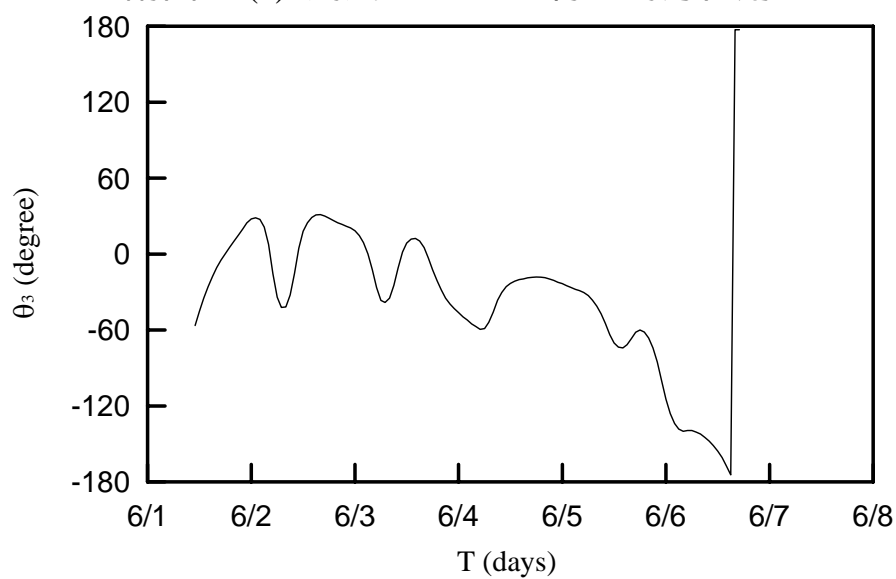
附圖 14(c) 颱風 MAGGIE 的示性週期



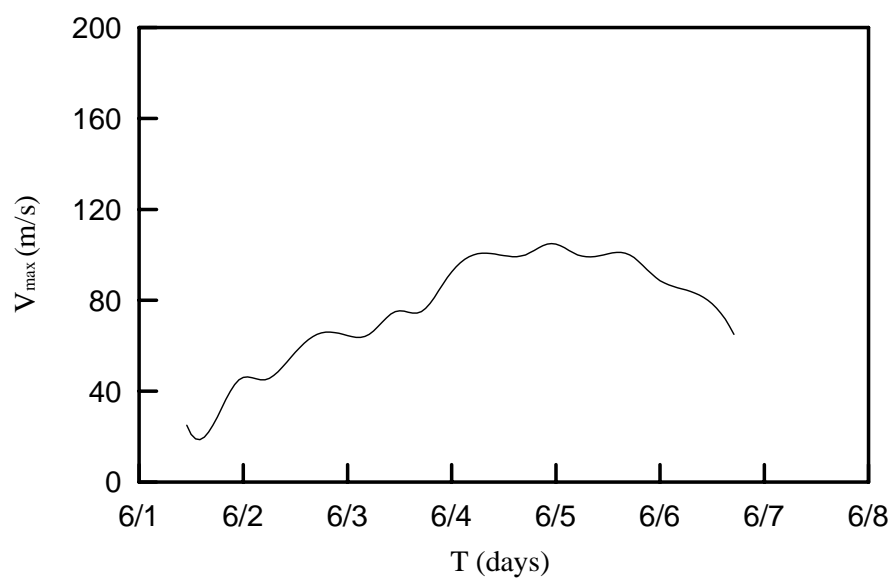
附圖 14(d) 颱風 MAGGIE 中心與觀測站的方位角



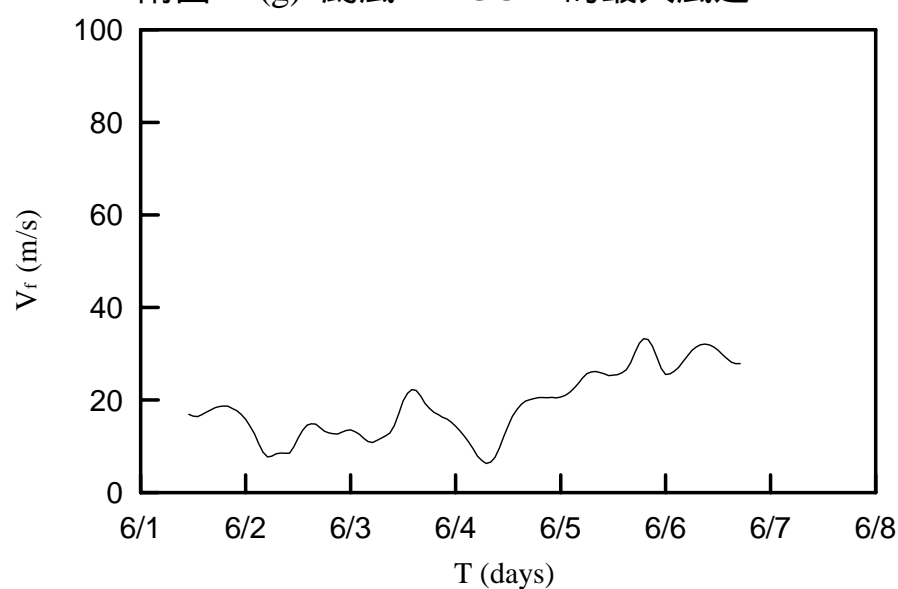
附圖 14(e) 颱風 MAGGIE 行進的方位角



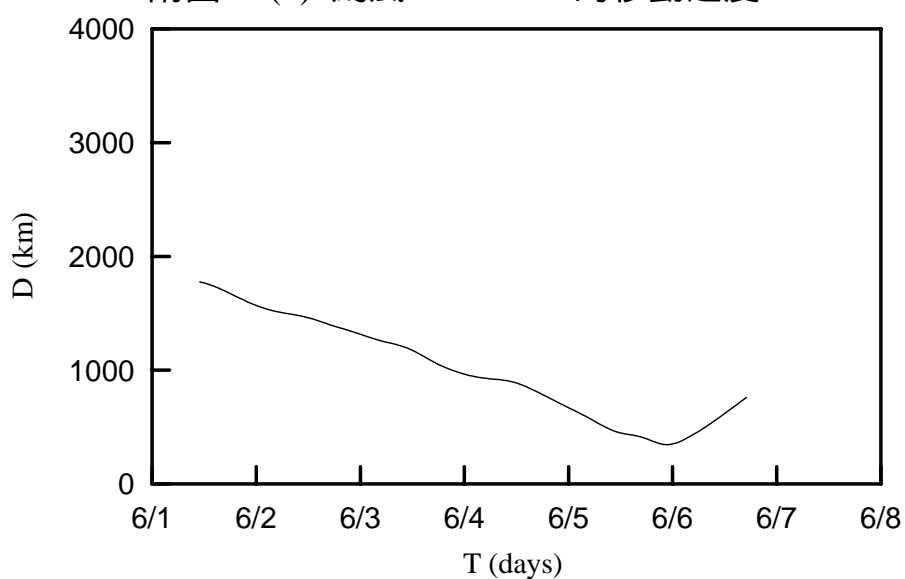
附圖 14(f) 颱風 MAGGIE 行進方向與觀測站間的夾角



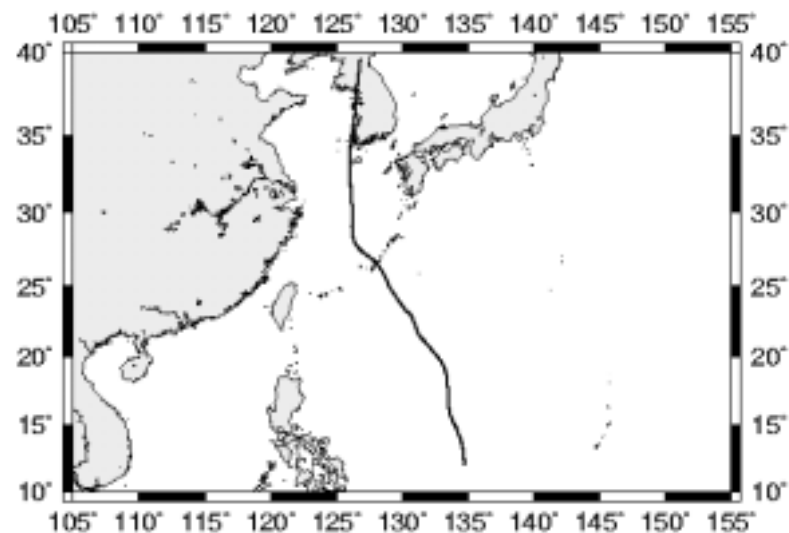
附圖 14(g) 颱風 MAGGIE 的最大風速



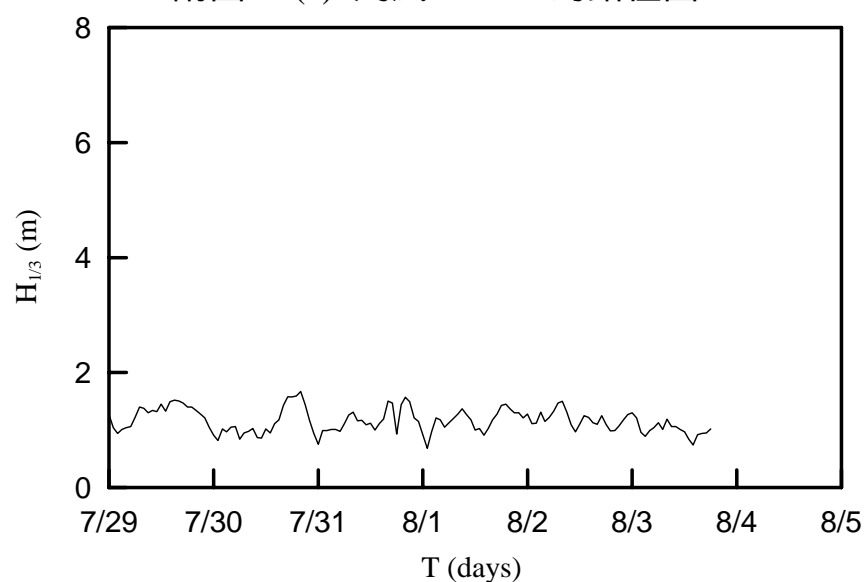
附圖 14(h) 颱風 MAGGIE 的移動速度



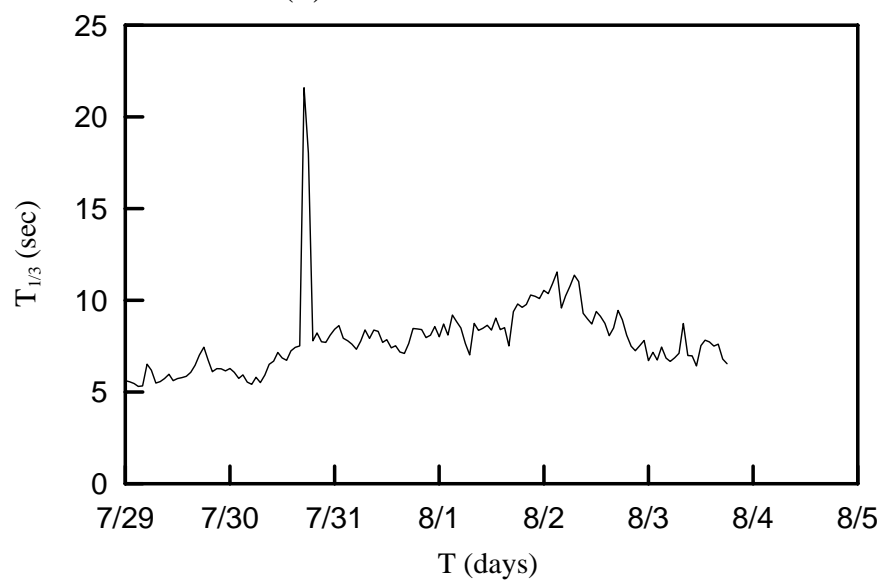
附圖 14(i) 颱風 MAGGIE 與測站的距離



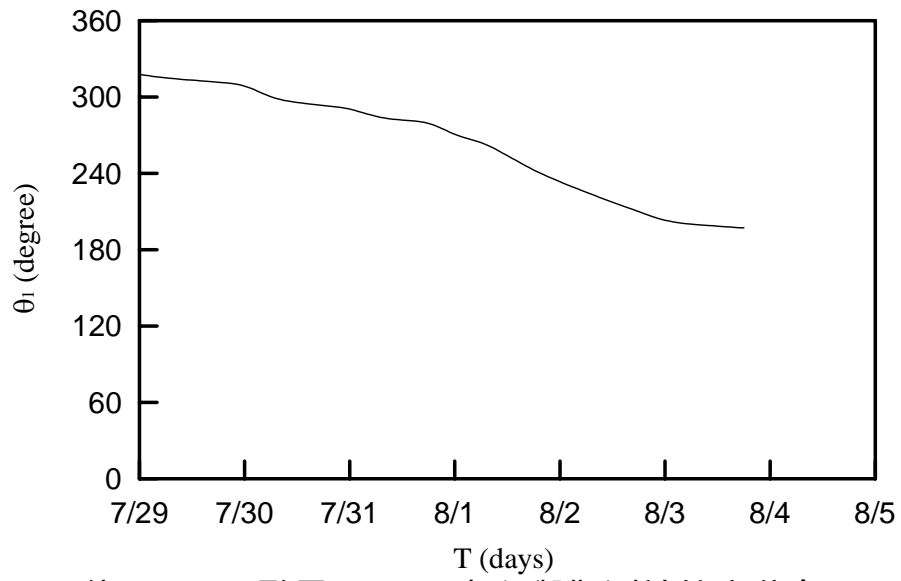
附圖 15(a) 颱風 OLGA 的路徑圖



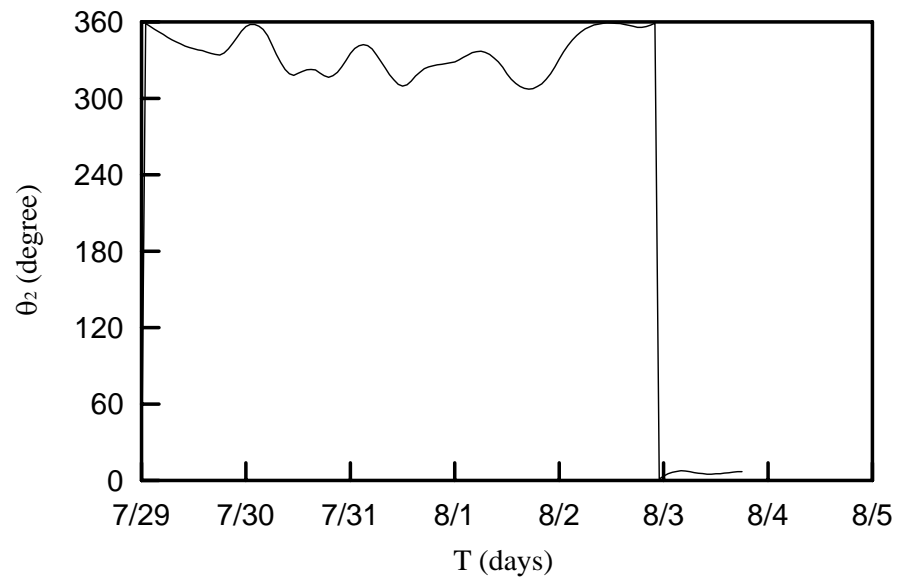
附圖 15(b) 颱風 OLGA 的示性波高



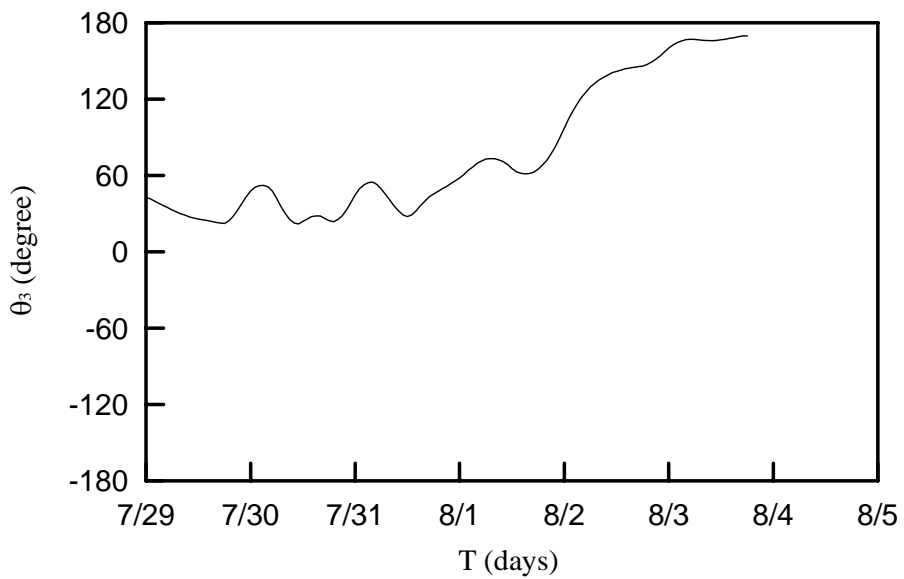
附圖 15(c) 颱風 OLGA 的示性週期



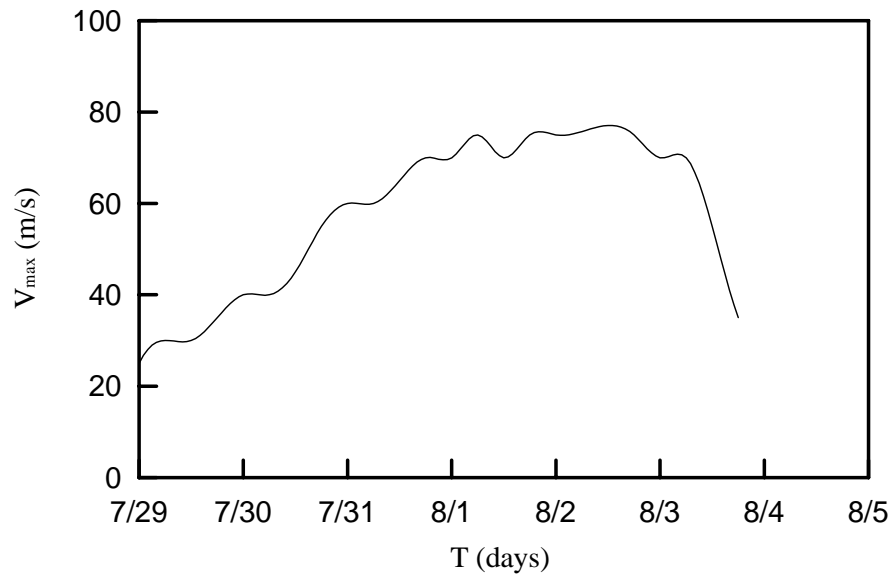
附圖 15(d) 颱風 OLGA 中心與觀測站的方位角



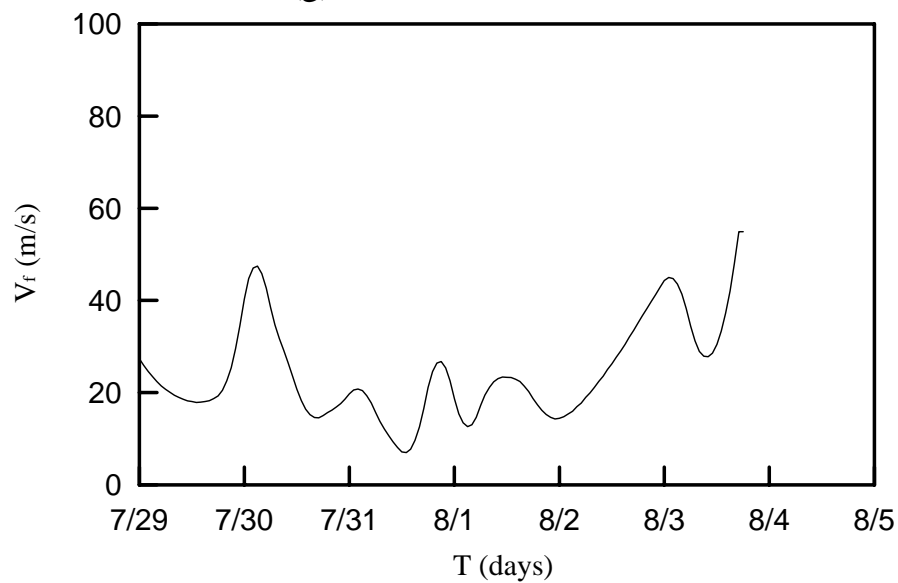
附圖 15(e) 颱風 OLGA 行進的方位角



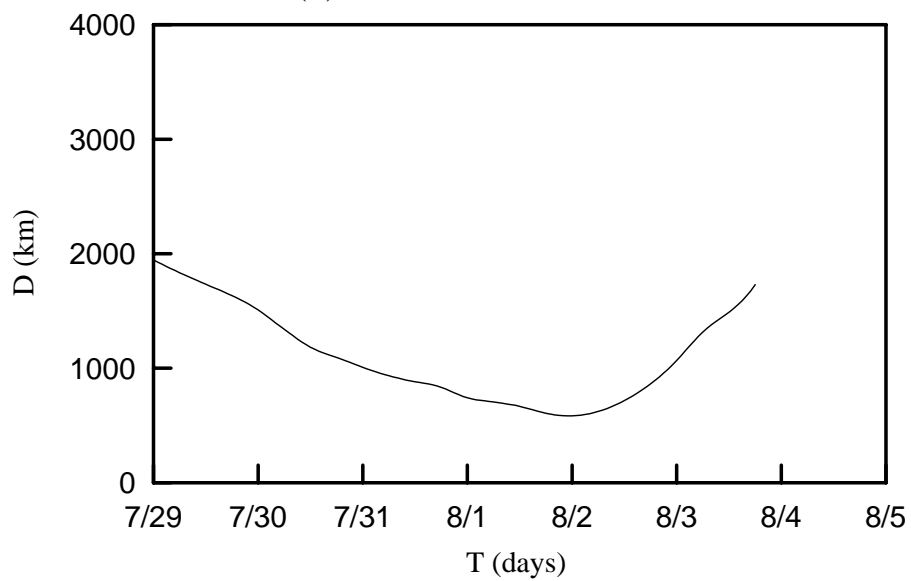
附圖 15(f) 颱風 OLGA 行進方向與觀測站間的夾角



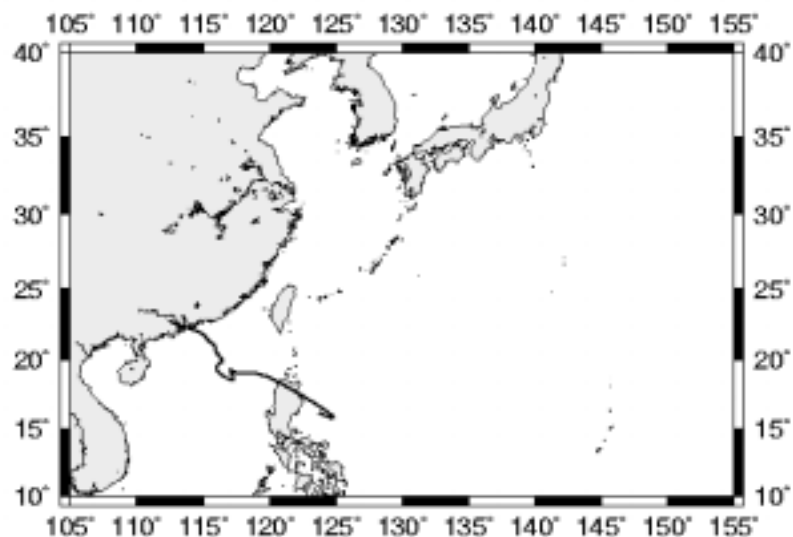
附圖 15(g) 颱風 OLGA 的最大風速



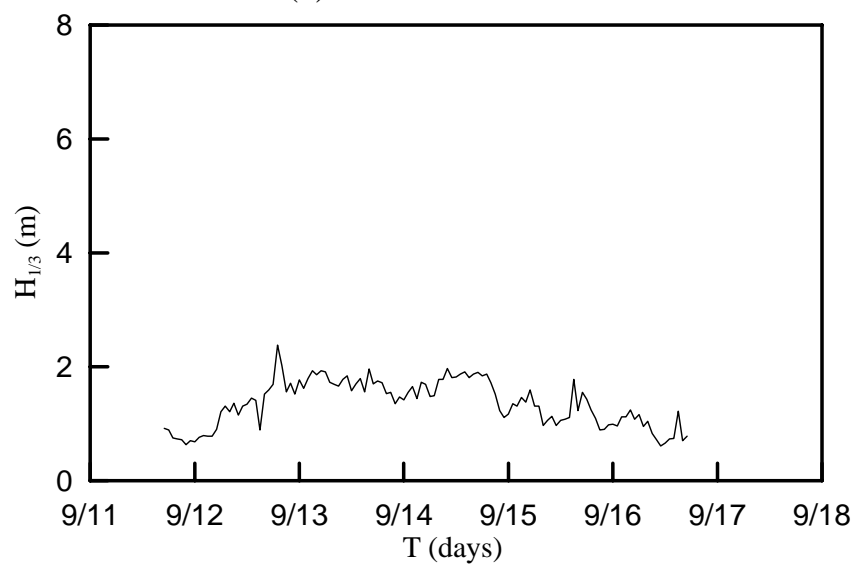
附圖 15(h) 颱風 OLGA 的移動速度



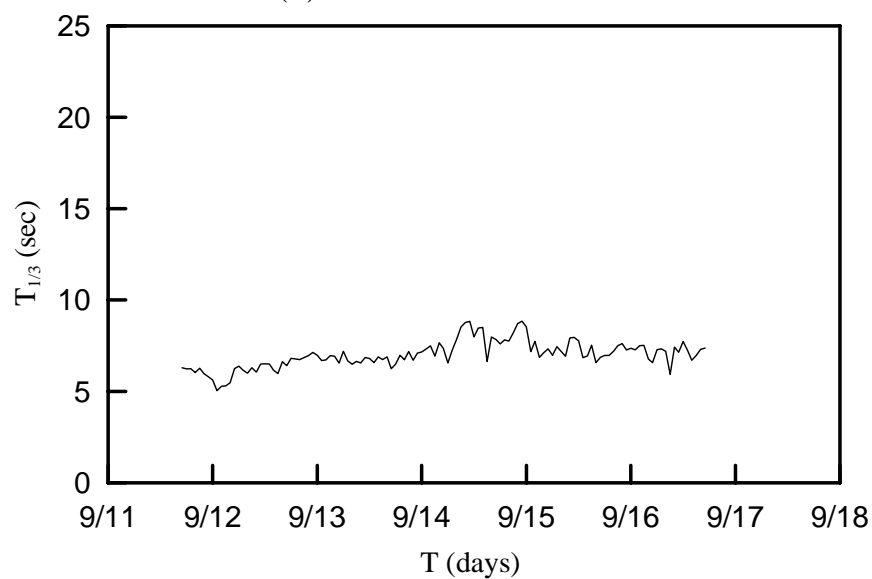
附圖 15(i) 颱風 OLGA 距離



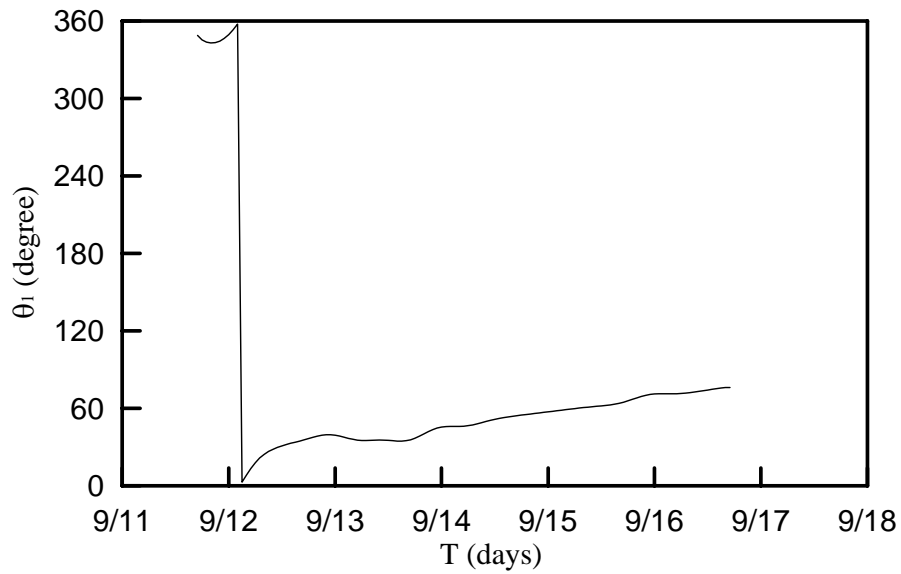
附圖 16(a) 颱風 YORK 的路徑圖



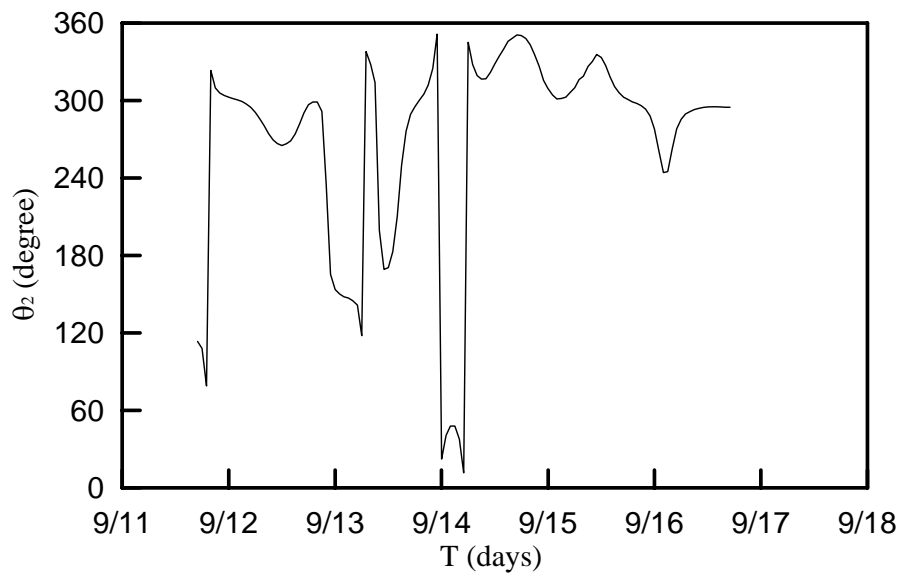
附圖 16(b) 颱風 YORK 的示性波高



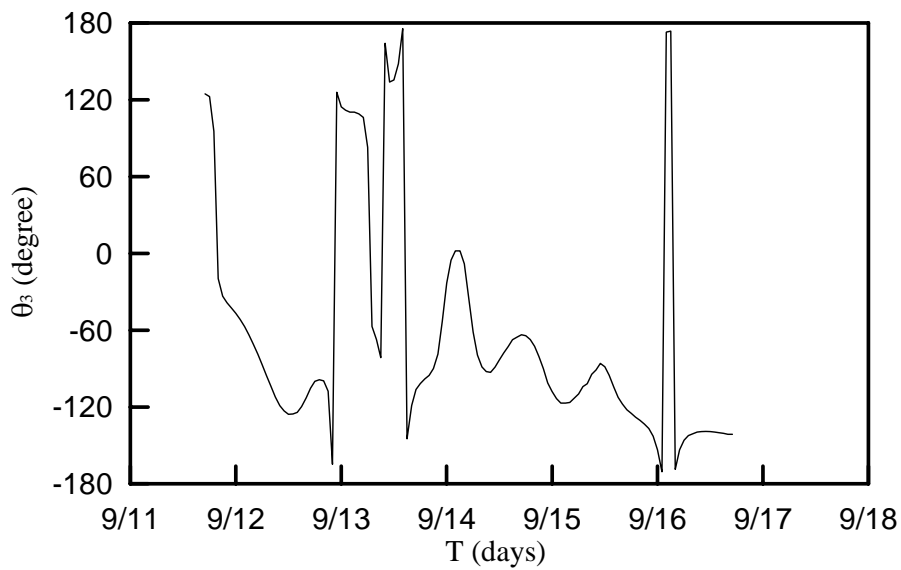
附圖 16(c) 颱風 YORK 的示性週期



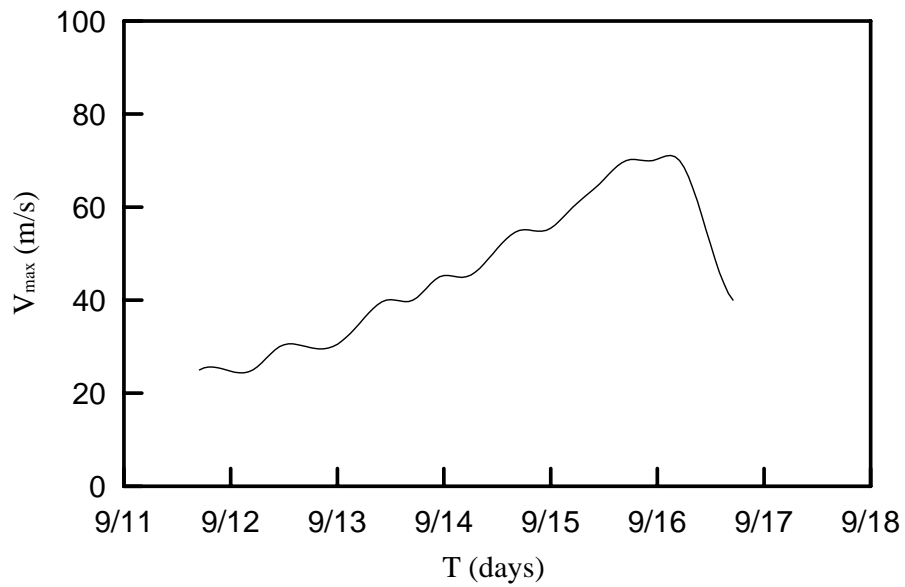
附圖 16(d) 颱風 YORK 中心與觀測站的方位角



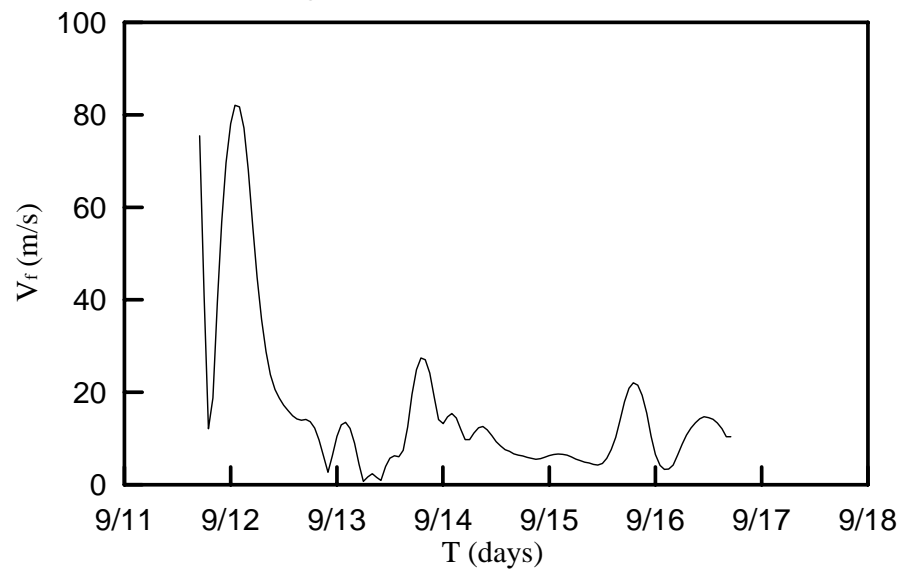
附圖 16(e) 颱風 YORK 行進的方位角



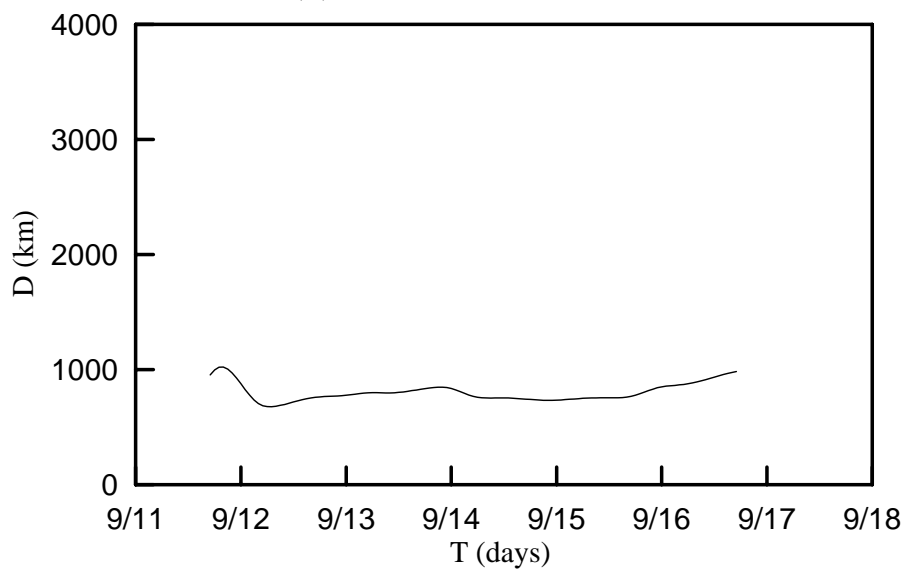
附圖 16(f) 颱風 YORK 行進方向與觀測站間的夾角



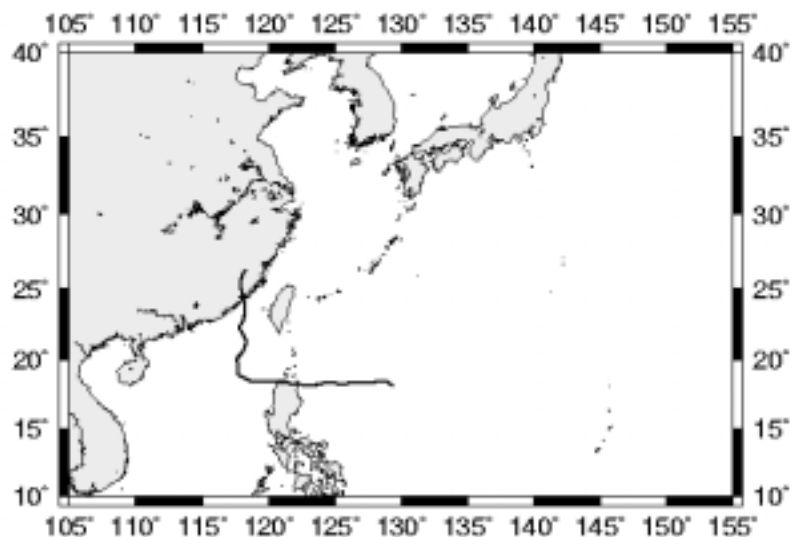
附圖 16(g) 颱風 YORK 的最大風速



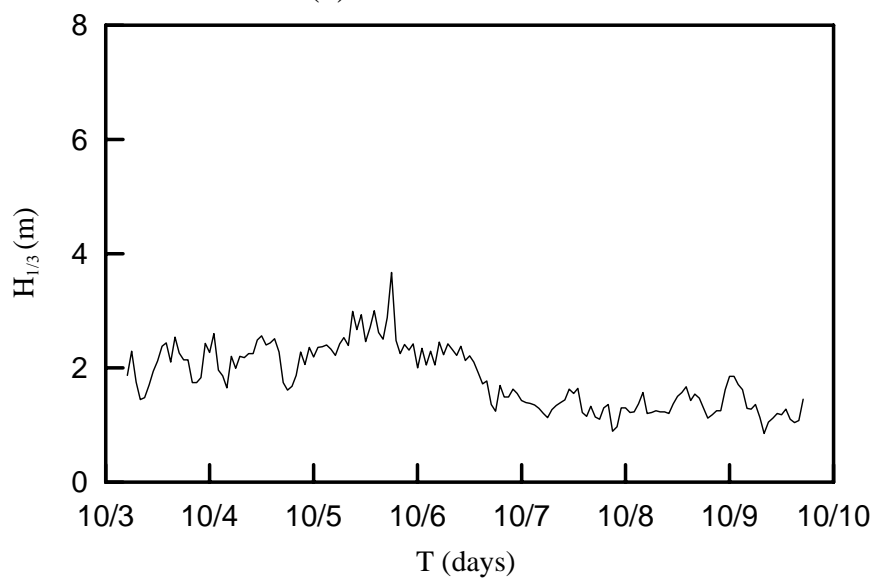
附圖 16(h) 颱風 YORK 的移動速度



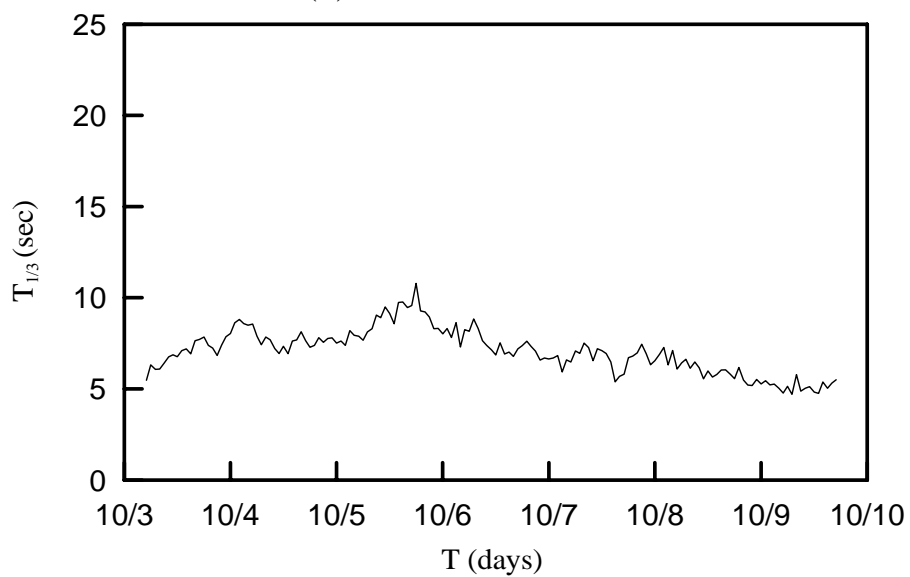
附圖 16(i) 颱風 YORK 與測站的距離



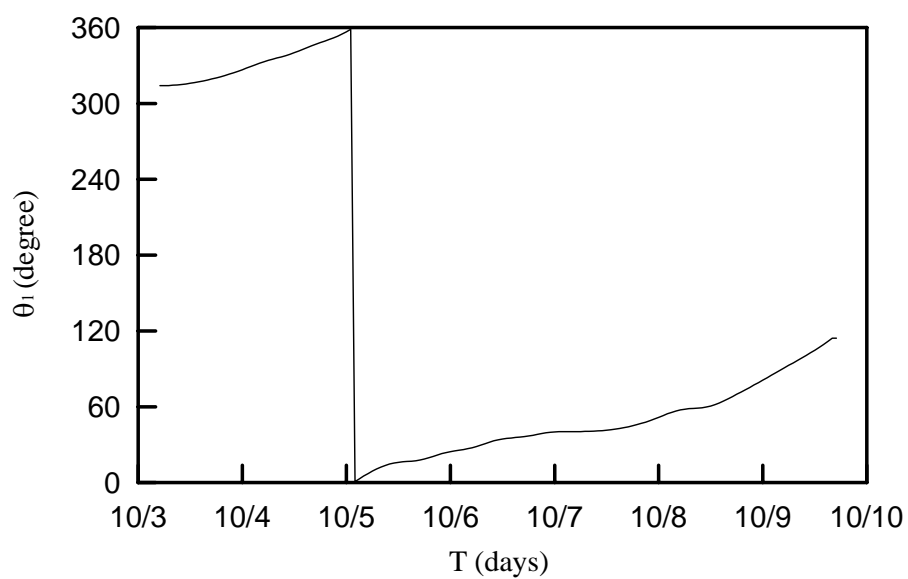
附圖 17(a) 颱風 DAN 的路徑圖



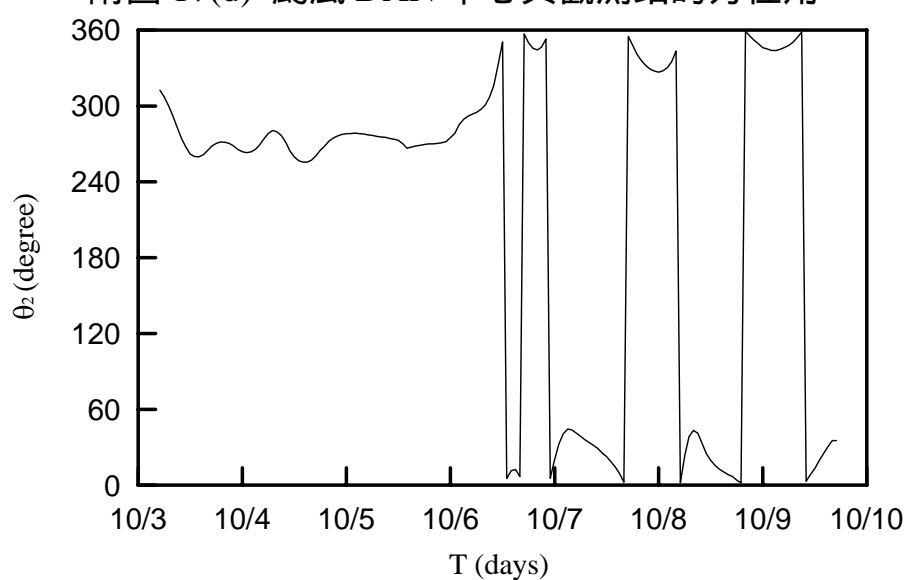
附圖 17(b) 颱風 DAN 的示性波高



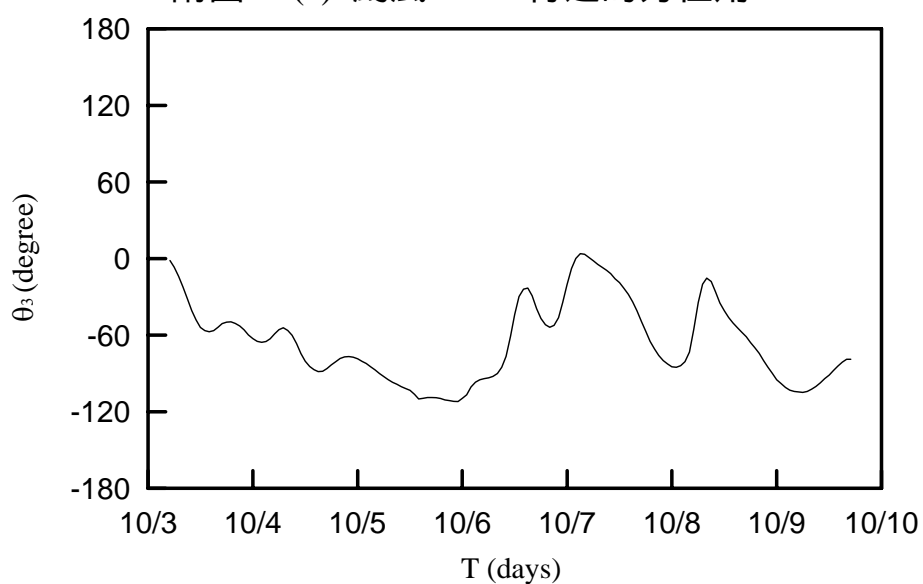
附圖 17(c) 颱風 DAN 的示性週期



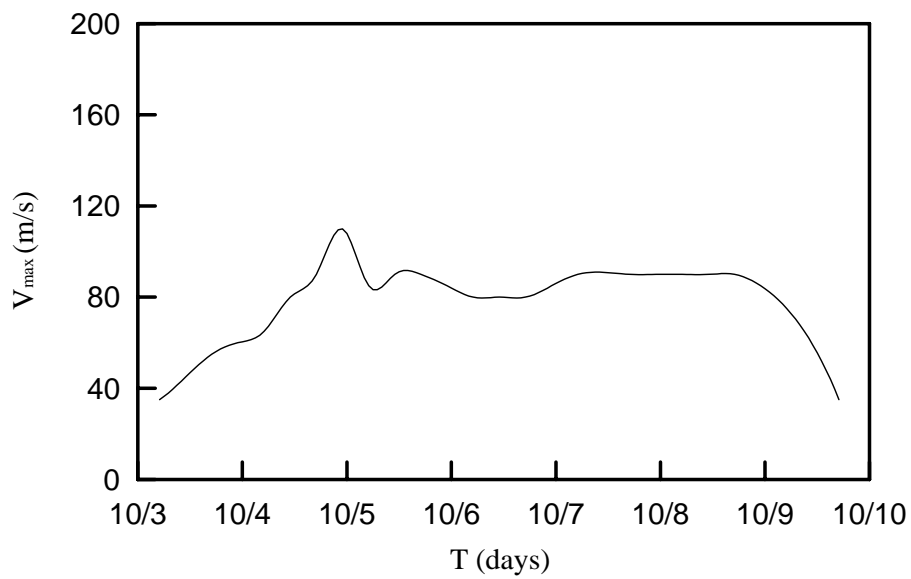
附圖 17(d) 颱風 DAN 中心與觀測站的方位角



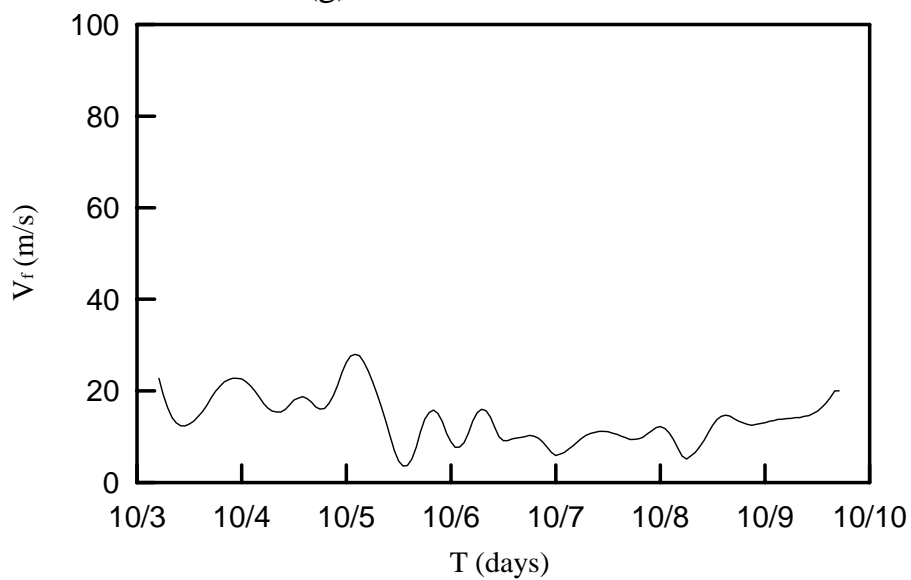
附圖 17(e) 颱風 DAN 行進的方位角



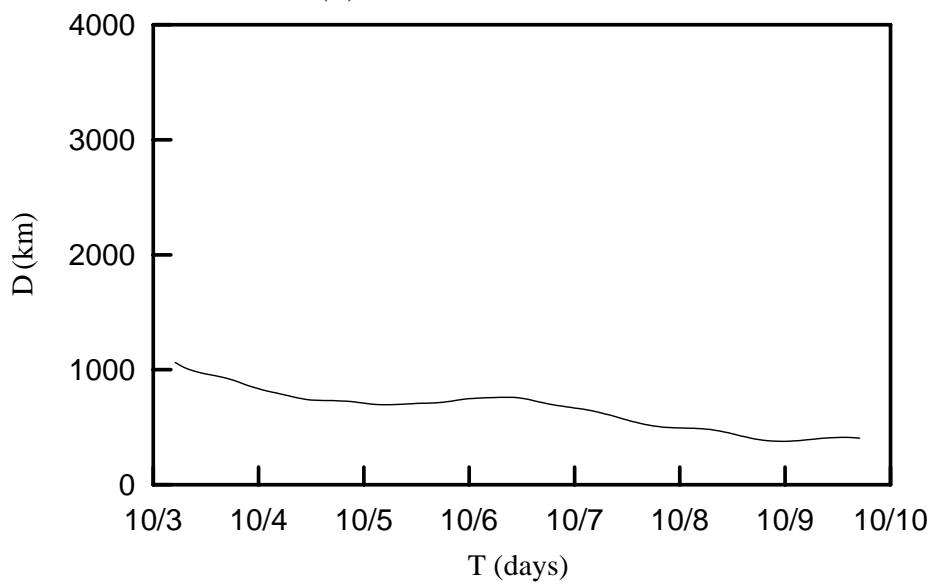
附圖 17(f) 颱風 DAN 行進方向與觀測站間的夾角



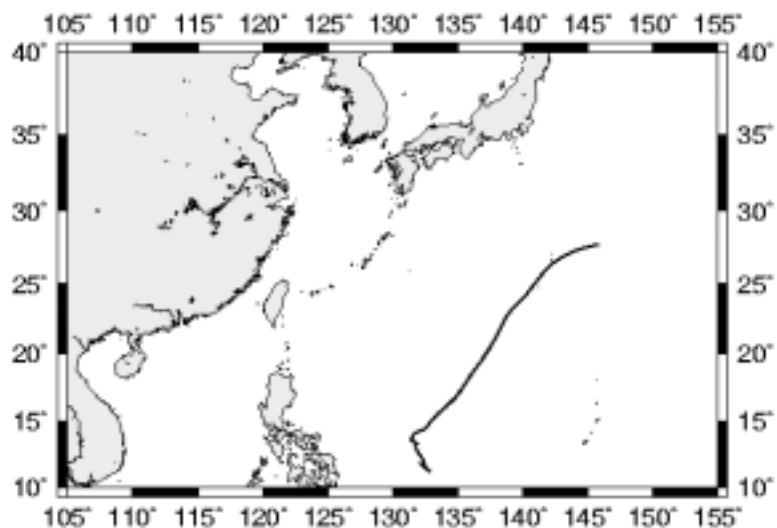
附圖 17(g) 颱風 DAN 的最大風速



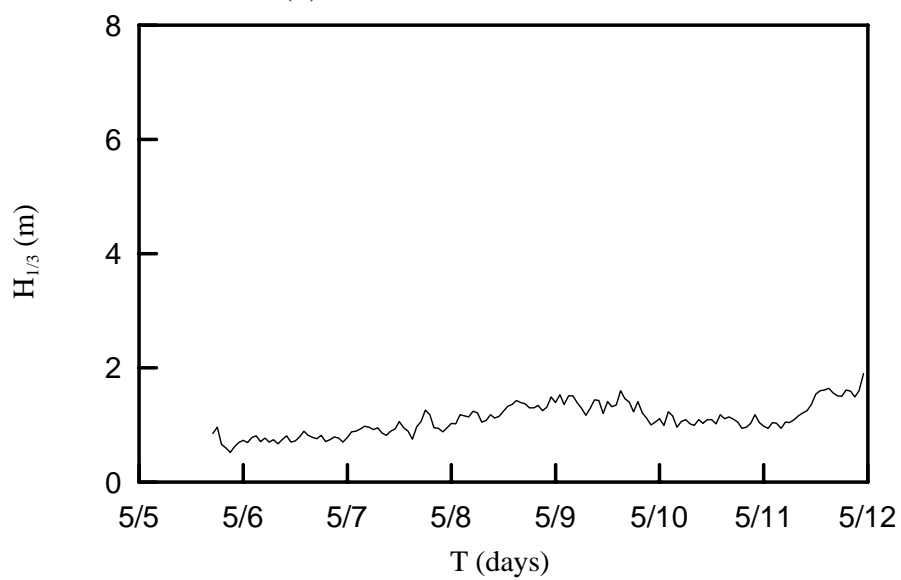
附圖 17(h) 颱風 DAN 的移動速度



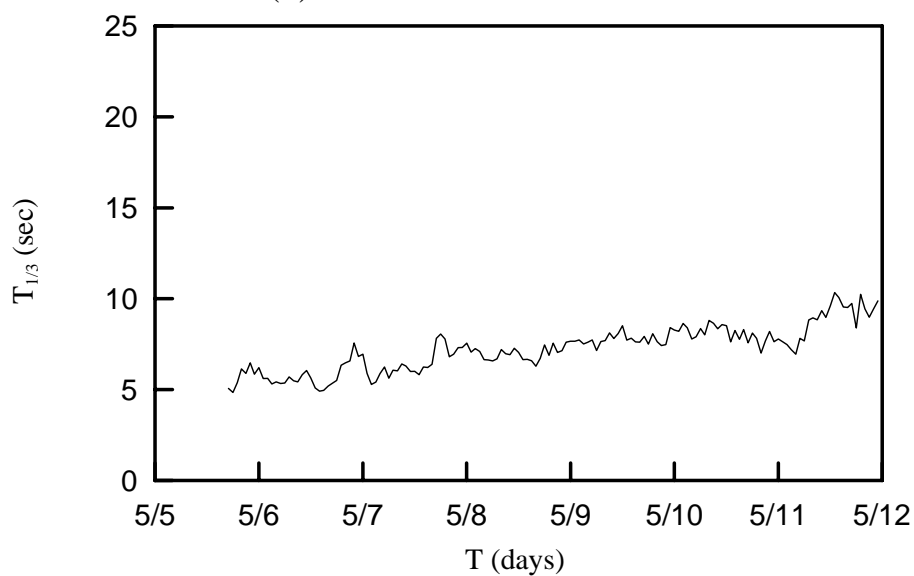
附圖 17(i) 颱風 DAN 的距離



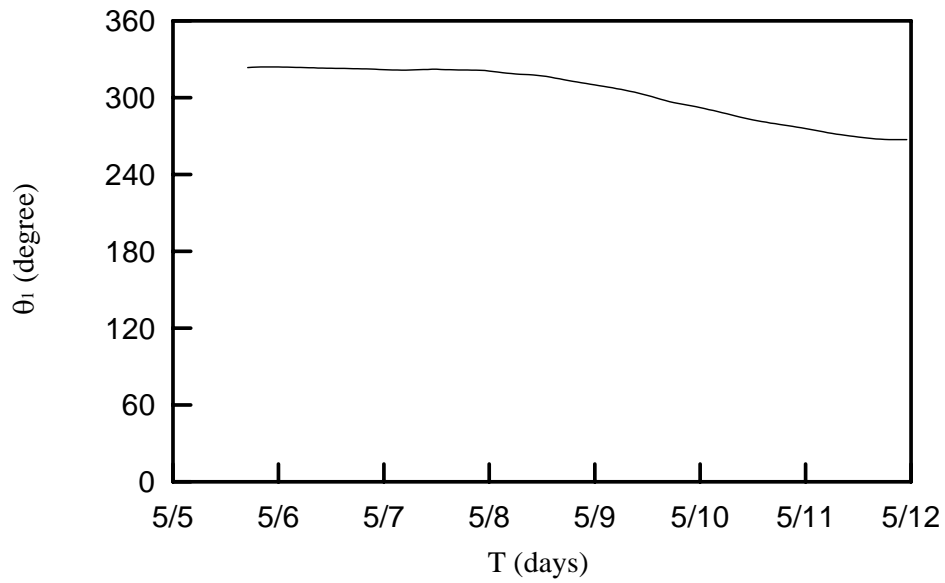
附圖 18(a) 颱風 DAMREY 的路徑圖



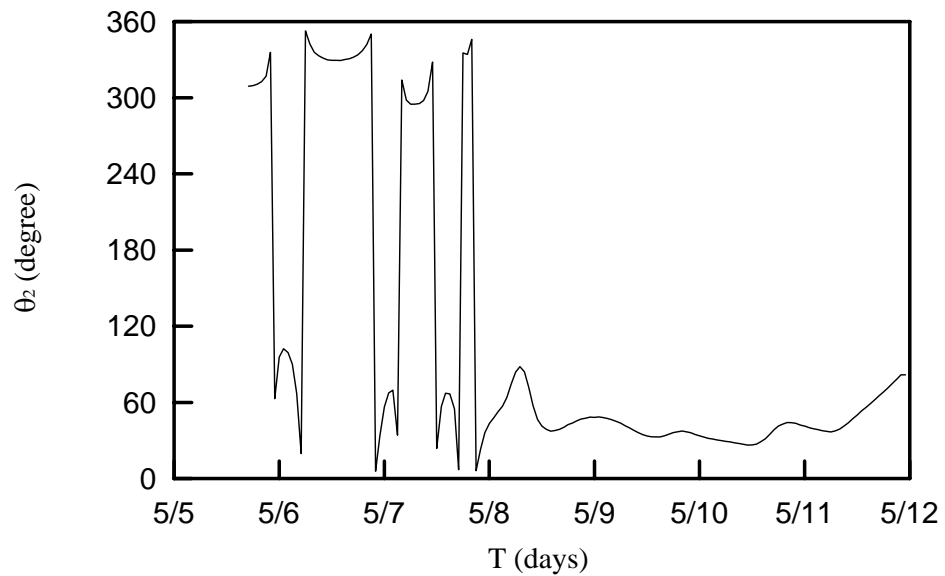
附圖 18(b) 颱風 DAMREY 的示性波高



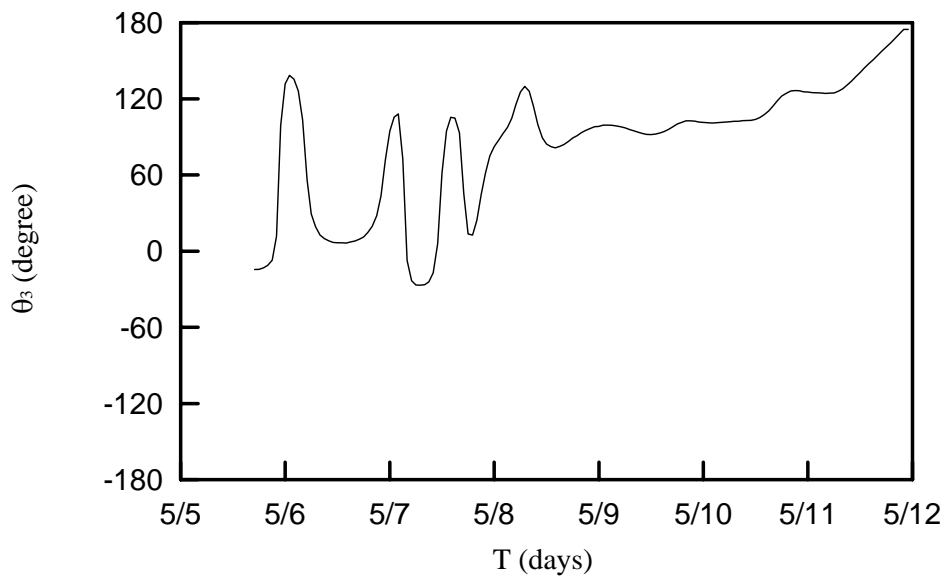
附圖 18(c) 颱風 DAMREY 的示性週期



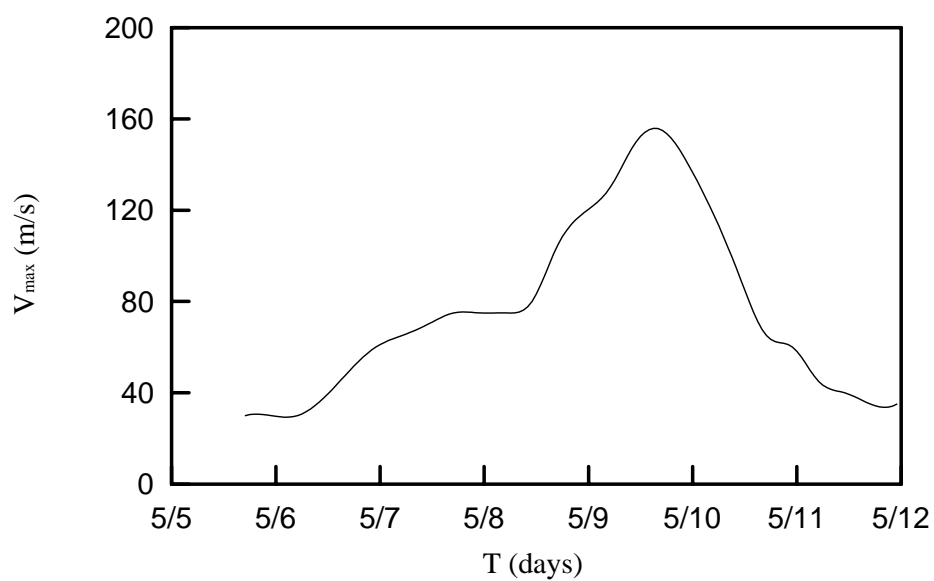
附圖 18(d) 颱風 DAMREY 中心與觀測站的方位角



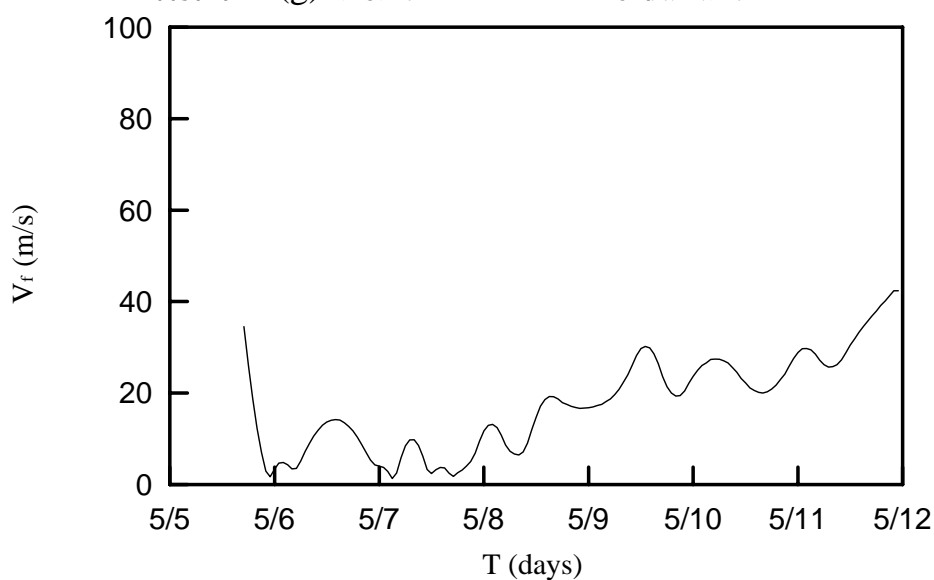
附圖 18(e) 颱風 DAMREY 行進的方位角



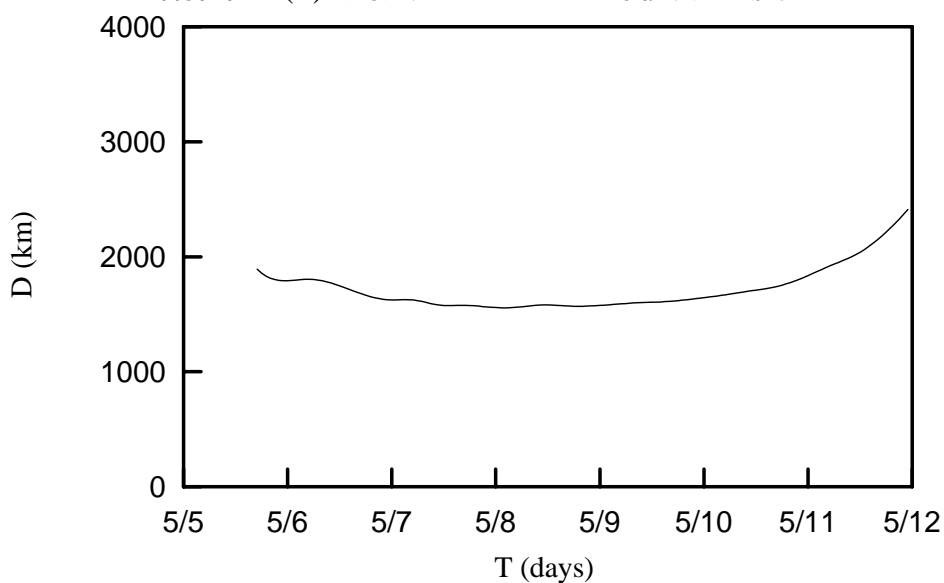
附圖 18(f) 颱風 DAMREY 行進方向與觀測站間的夾角



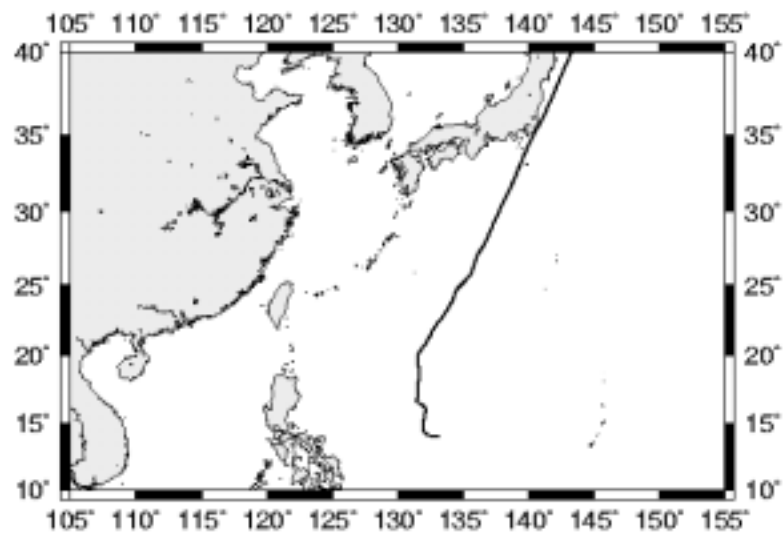
附圖 18(g) 颱風 DAMREY 的最大風速



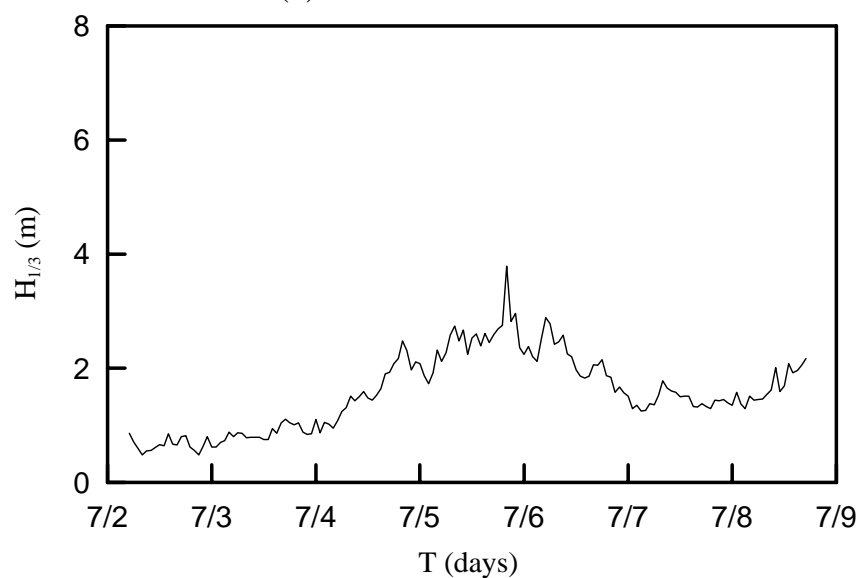
附圖 18(h) 颱風 DAMREY 的移動速度



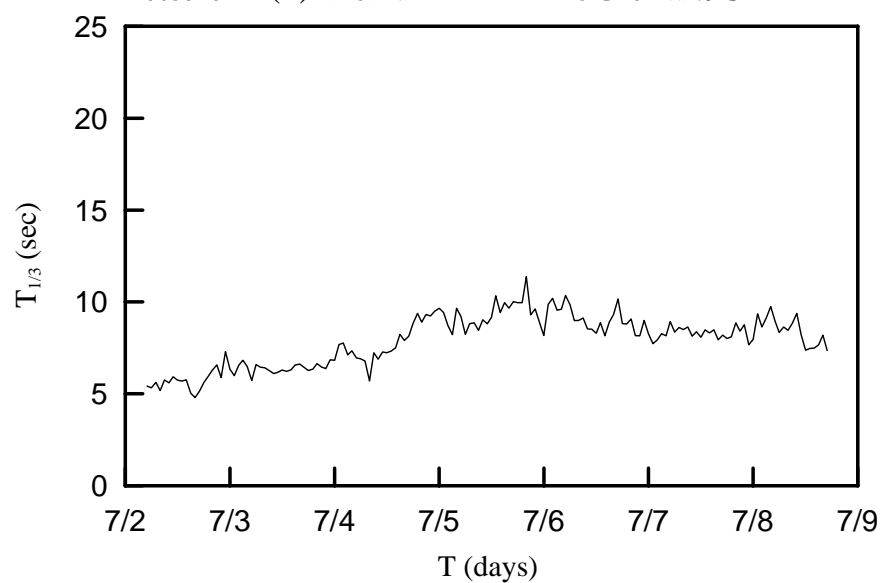
附圖 18(i) 颱風 DAMREY 與測站的距離



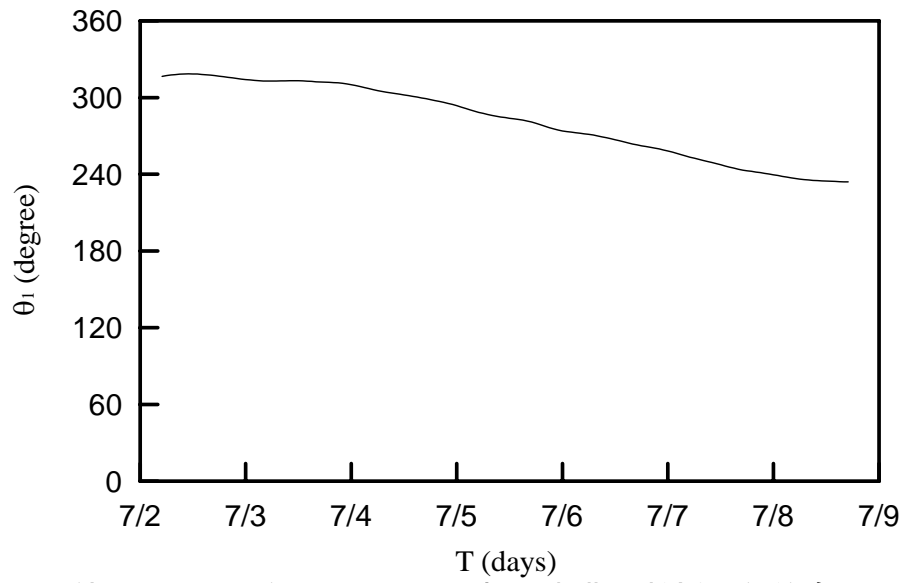
附圖 19(a) 颱風 KIROGI 的路徑圖



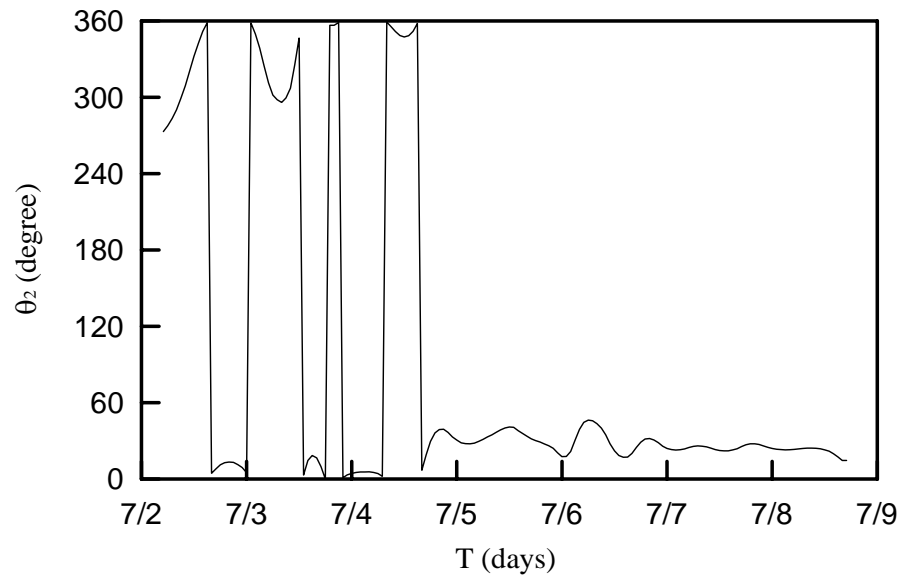
附圖 19(b) 颱風 KIROGI 的示性波高



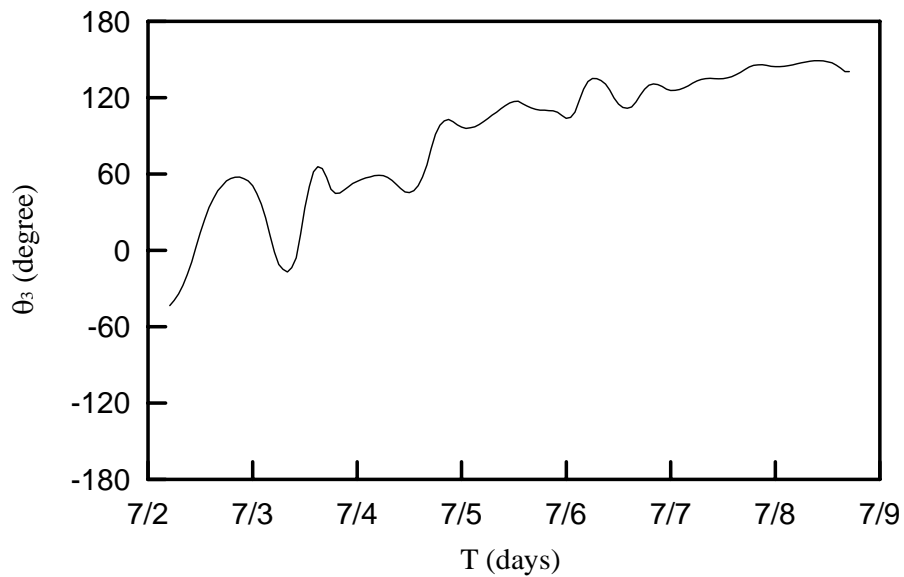
附圖 19(c) 颱風 KIROGI 的示性週期



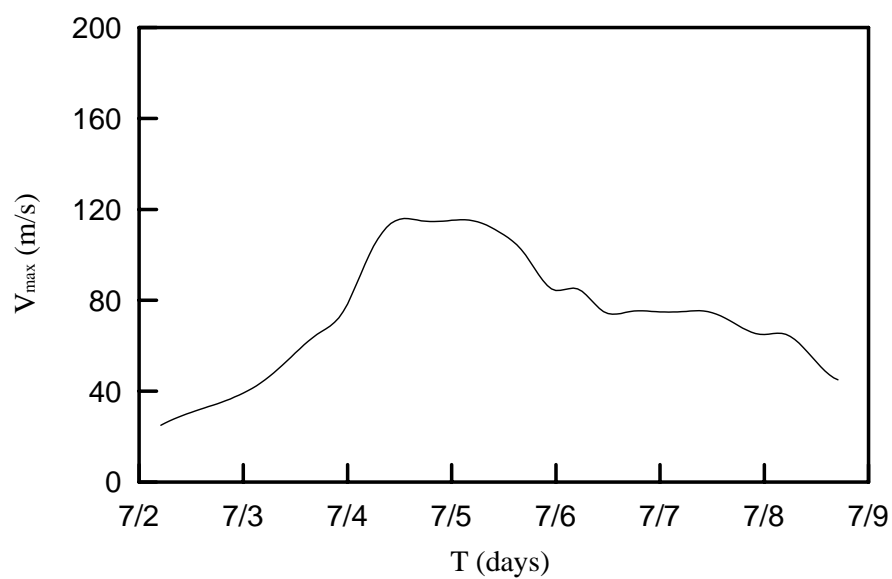
附圖 19(d) 颱風 KIROGI 中心與觀測站的方位角



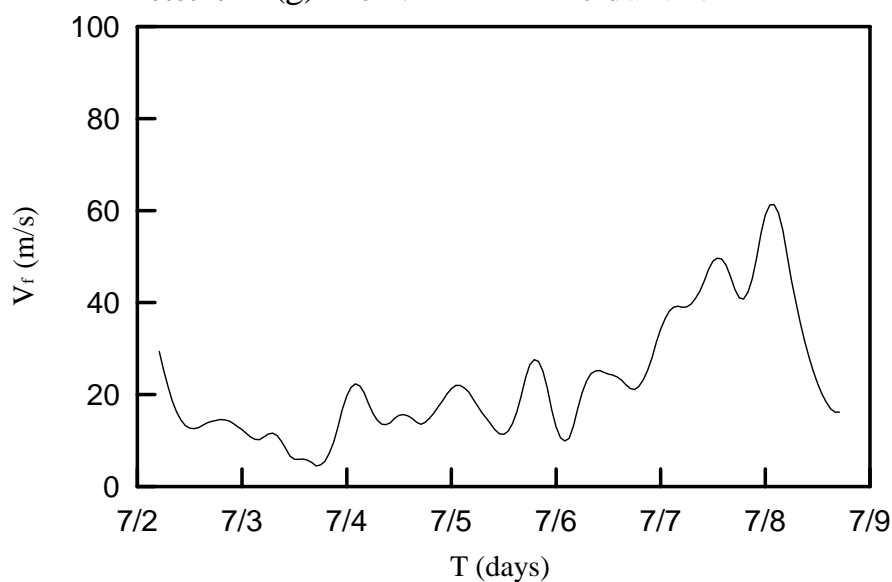
附圖 19(e) 颱風 KIROGI 行進的方位角



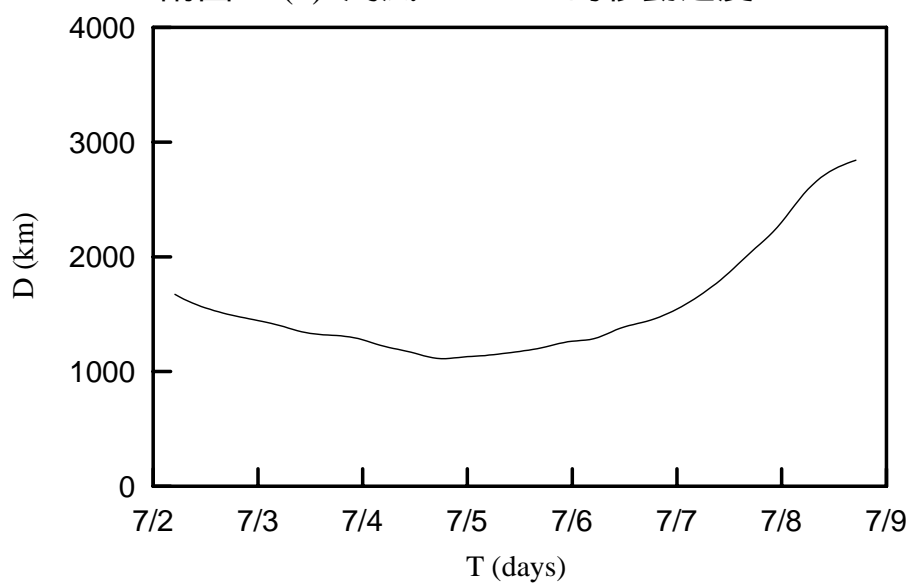
附圖 19(f) 颱風 KIROGI 行進方向與觀測站間的夾角



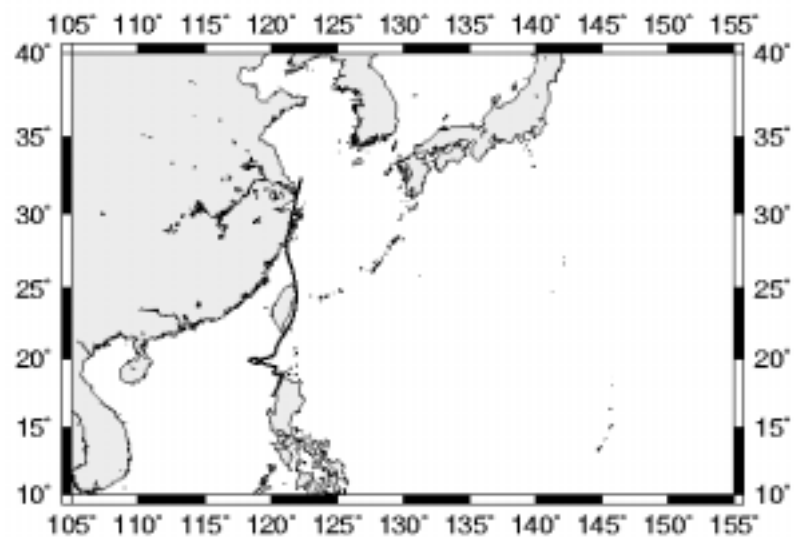
附圖 19(g) 颱風 KIROGI 的最大風速



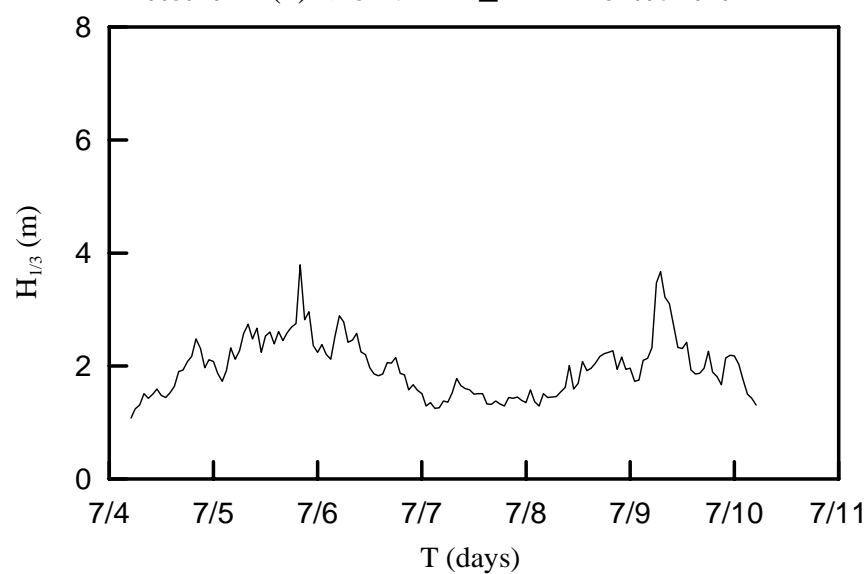
附圖 19(h) 颱風 KIROGI 的移動速度



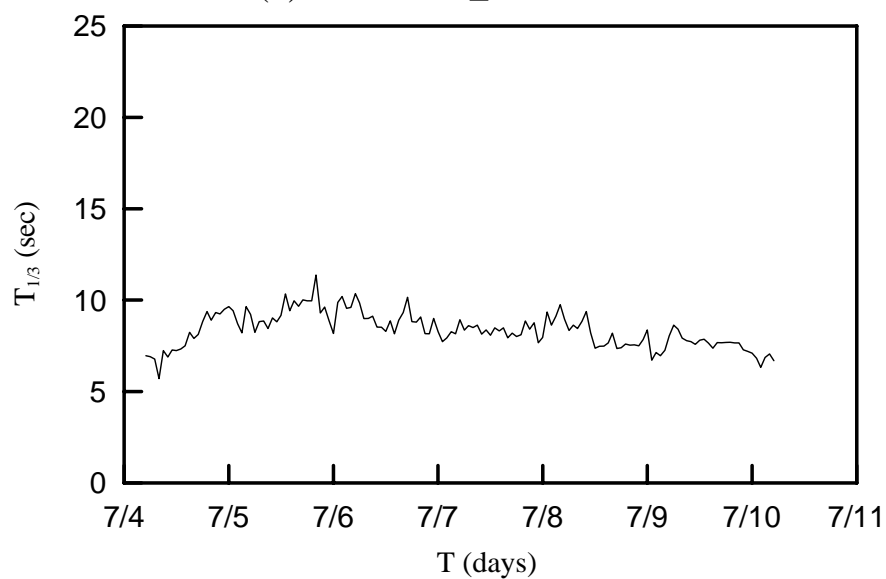
附圖 19(i) 颱風 KIROGI 與測站的距離



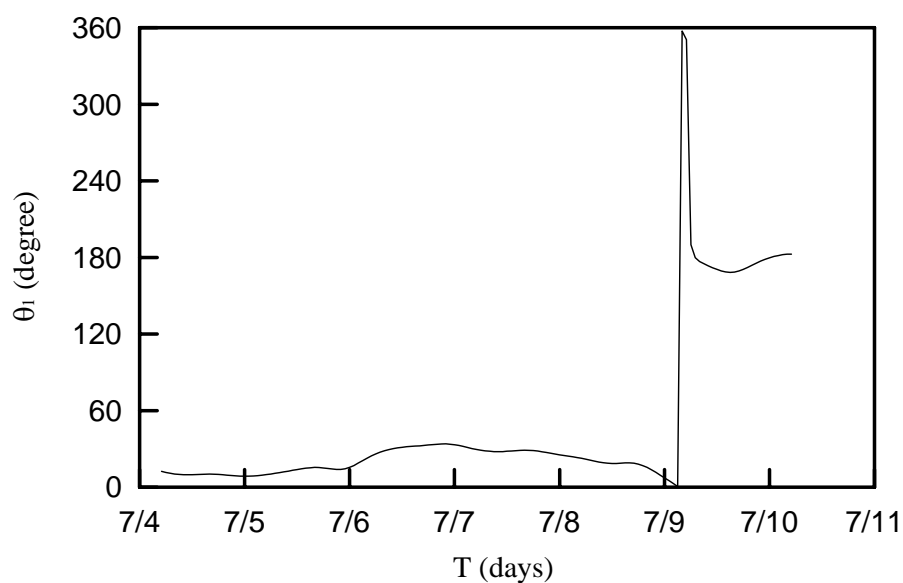
附圖 20(a) 颱風 KAI_TAK 的路徑圖



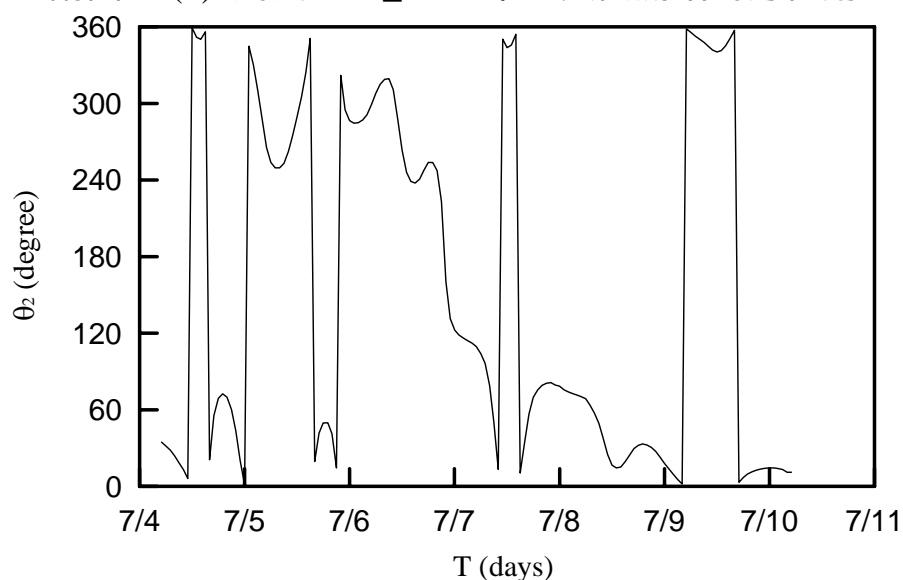
附圖 20(b) 颱風 KAI_TAK 的示性波高



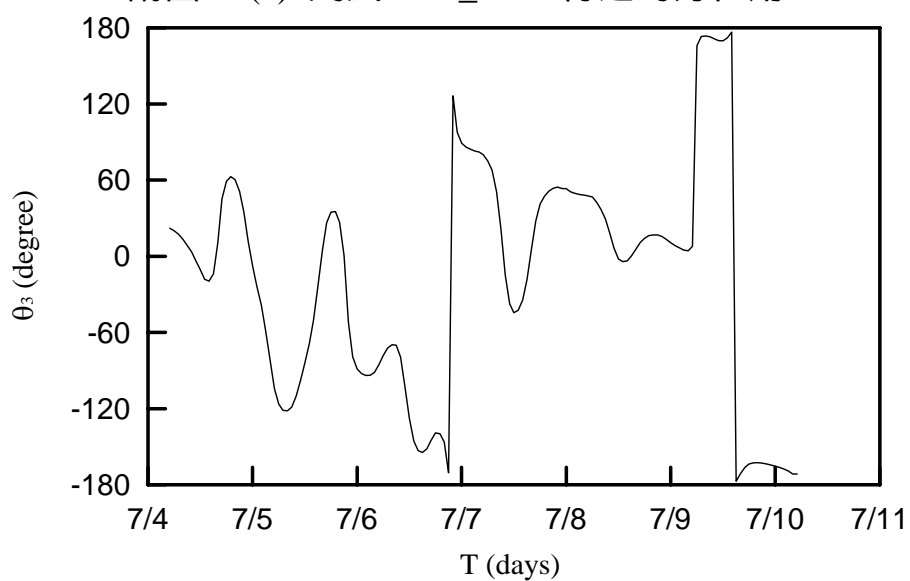
附圖 20(c) 颱風 KAI_TAK 的示性週期



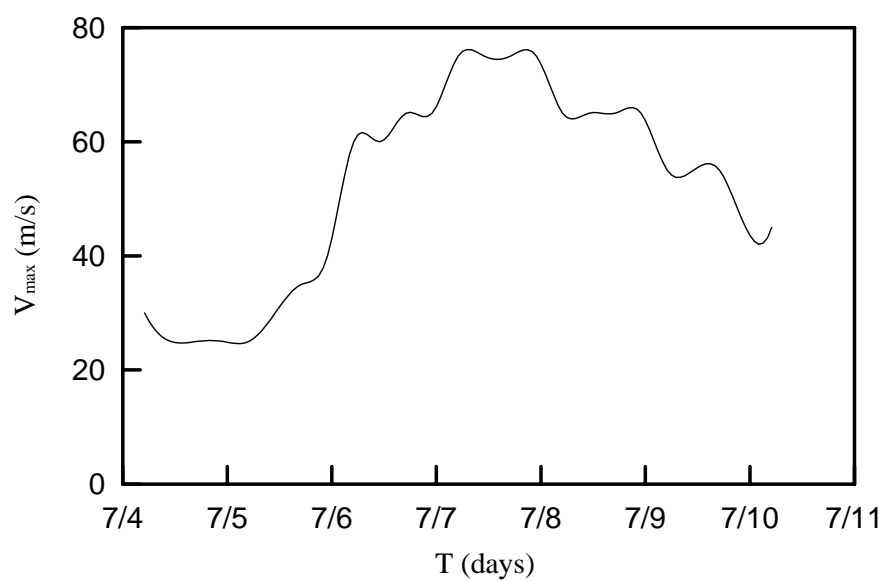
附圖 20(d) 颱風 KAI_TAK 中心與觀測站的方位角



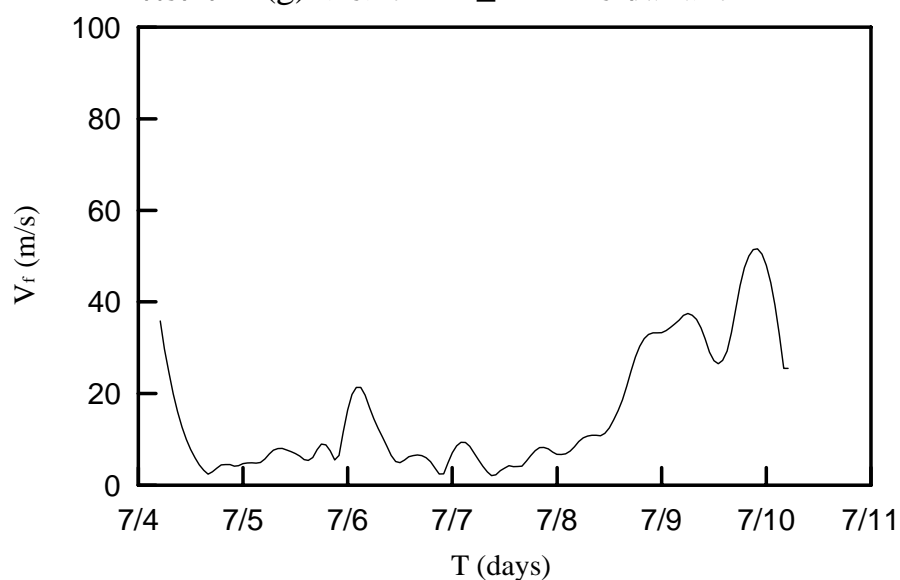
附圖 20(e) 颱風 KAI_TAK 行進的方位角



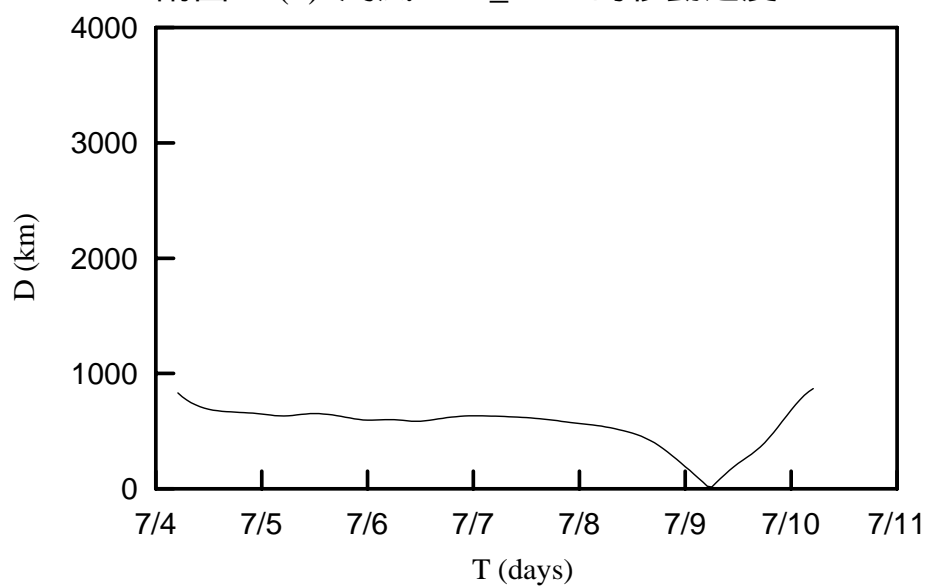
附圖 20(f) 颱風 KAI_TAK 行進方向與觀測站間的夾角



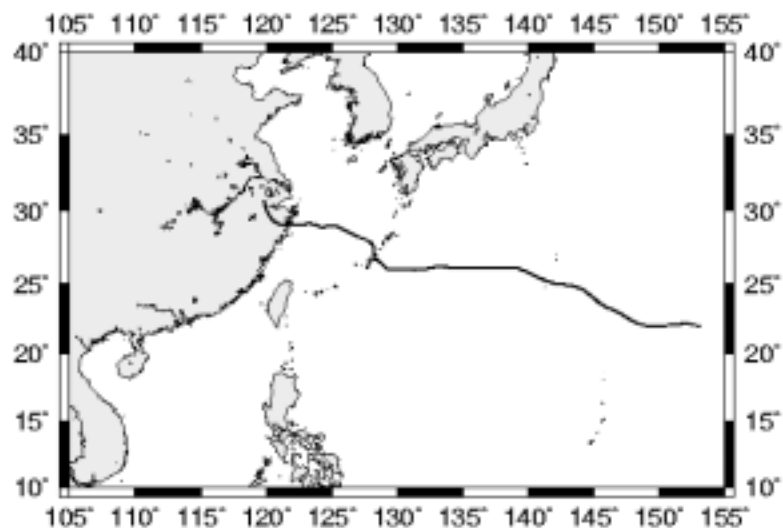
附圖 20(g) 颱風 KAI_TAK 的最大風速



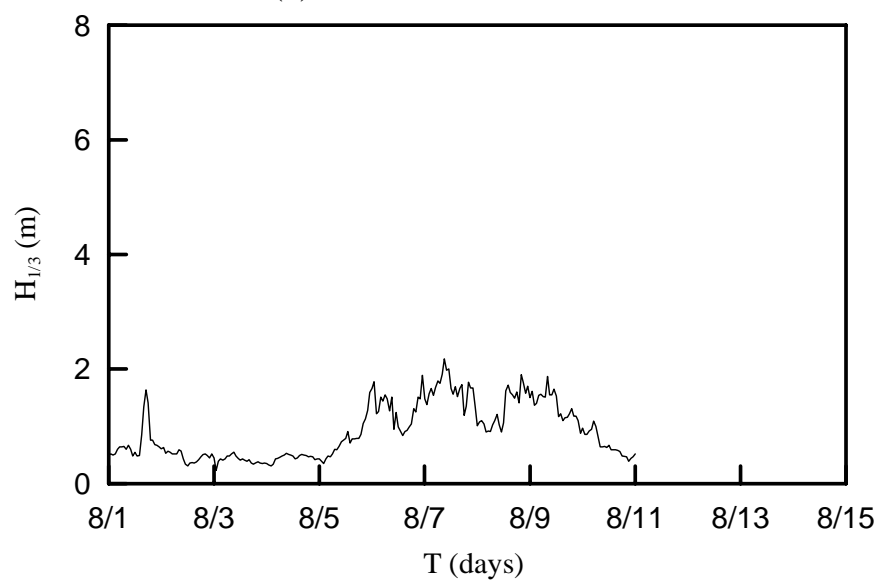
附圖 20(h) 颱風 KAI_TAK 的移動速度



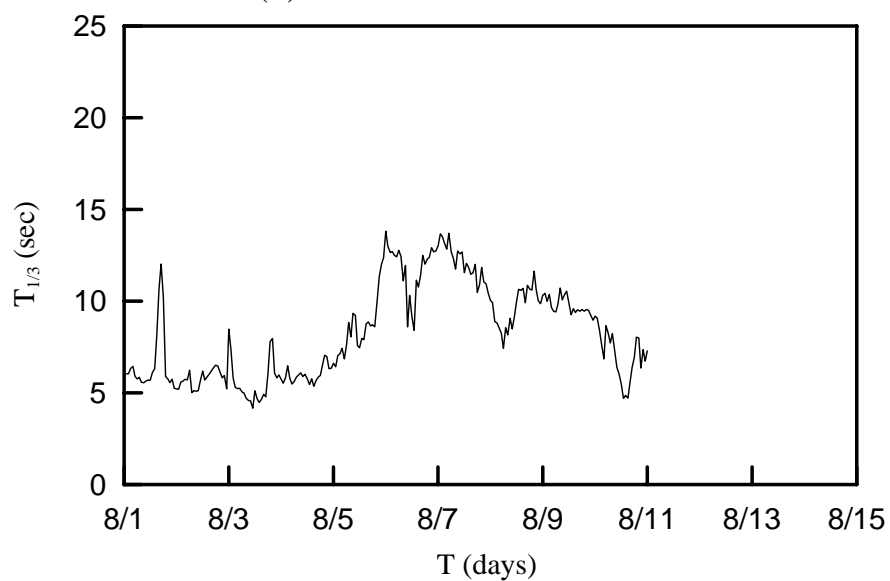
附圖 20(i) 颱風 KAI_TAK 與測站的距離



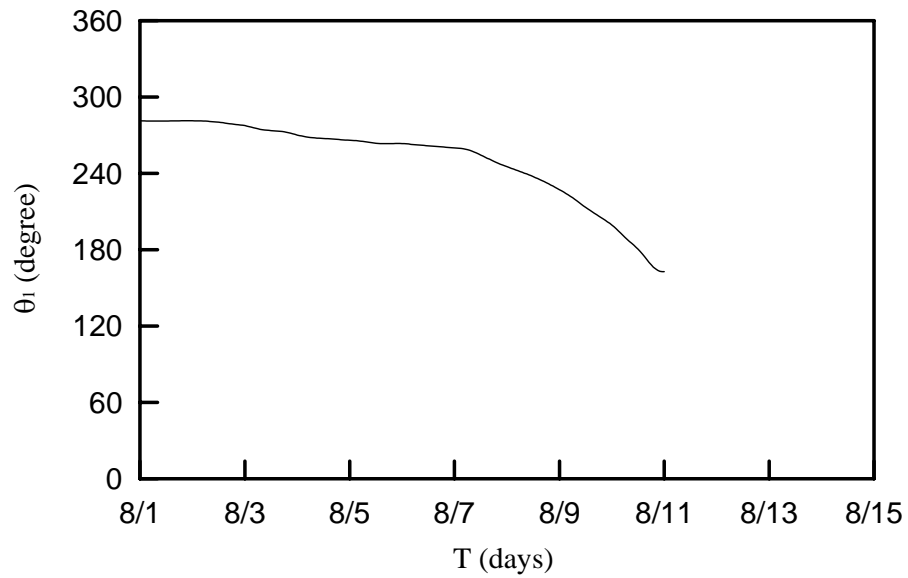
附圖 21(a) 颱風 JELAWAT 的路徑圖



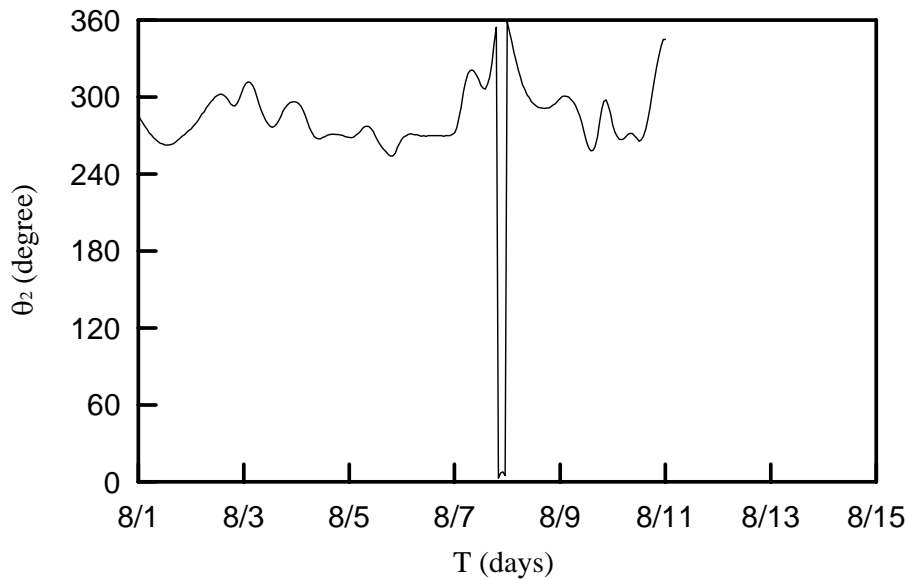
附圖 21(b) 颱風 JELAWAT 的示性波高



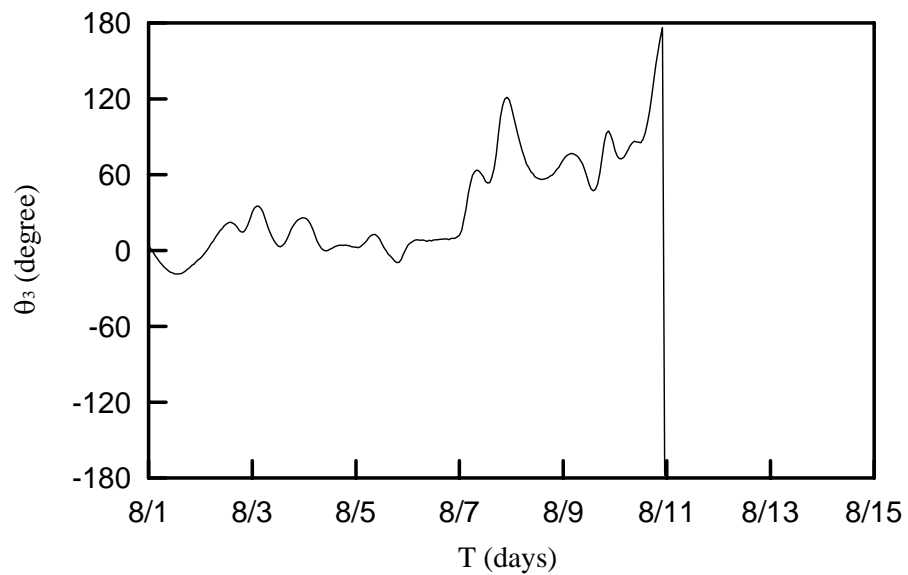
附圖 21(c) 颱風 JELAWAT 的示性週期



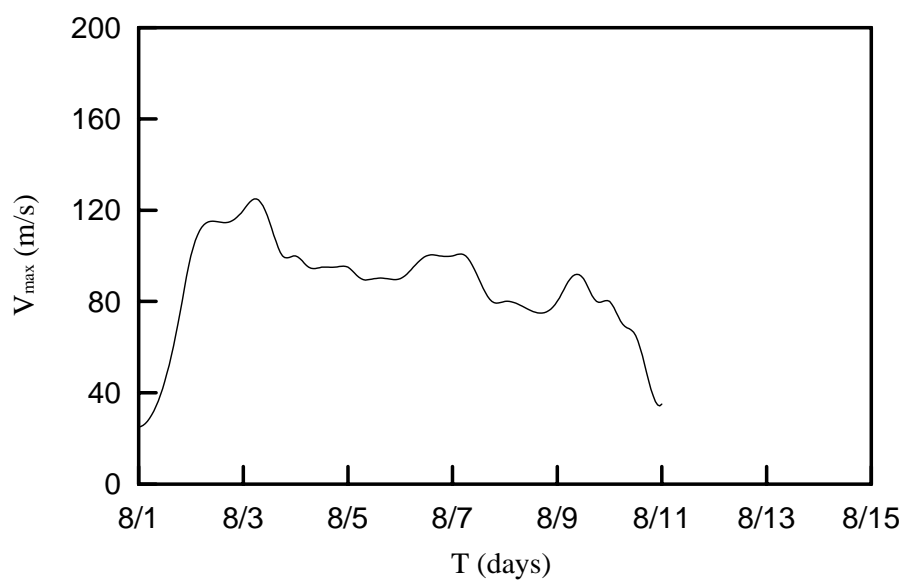
附圖 21(d) 颱風 JELAWAT 中心與觀測站的方位角



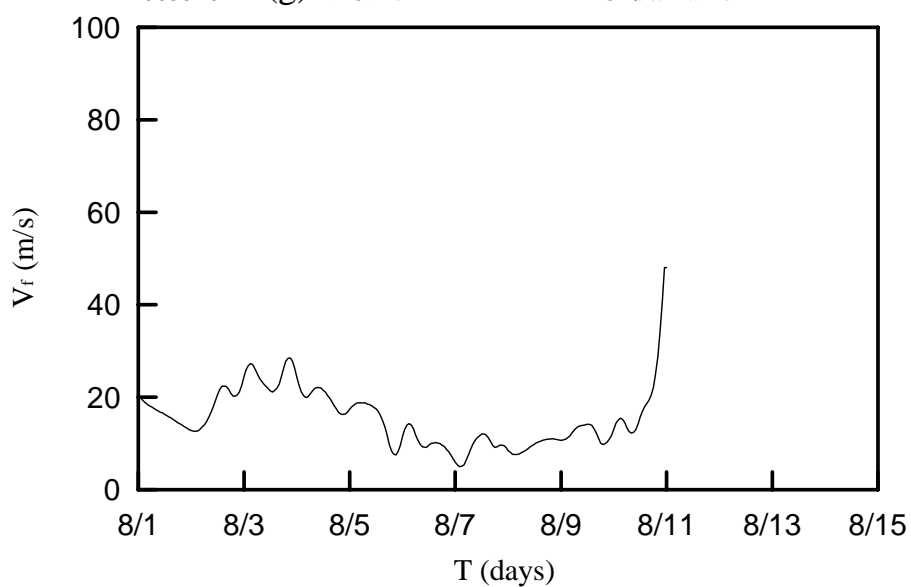
附圖 21(e) 颱風 JELAWAT 行進的方位角



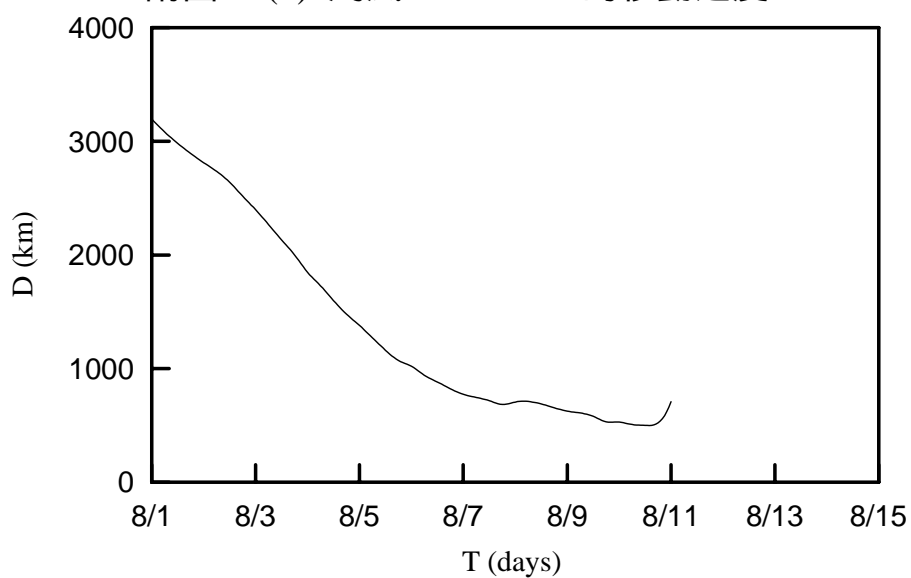
附圖 21(f) 颱風 JELAWAT 行進方向與觀測站間的夾角



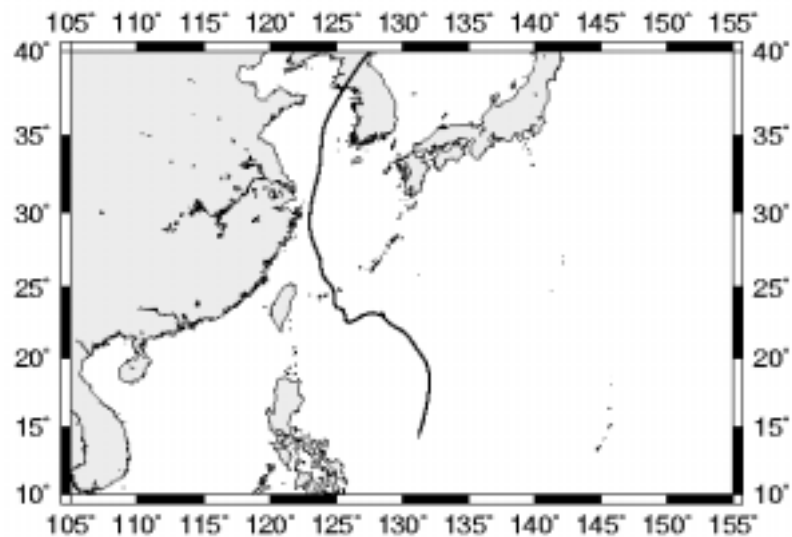
附圖 21(g) 颱風 JELAWAT 的最大風速



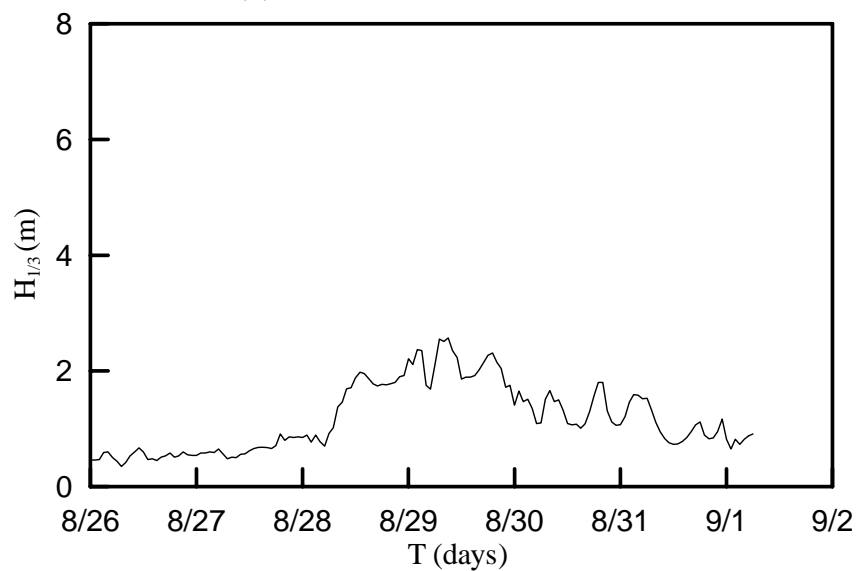
附圖 21(h) 颱風 JELAWAT 的移動速度



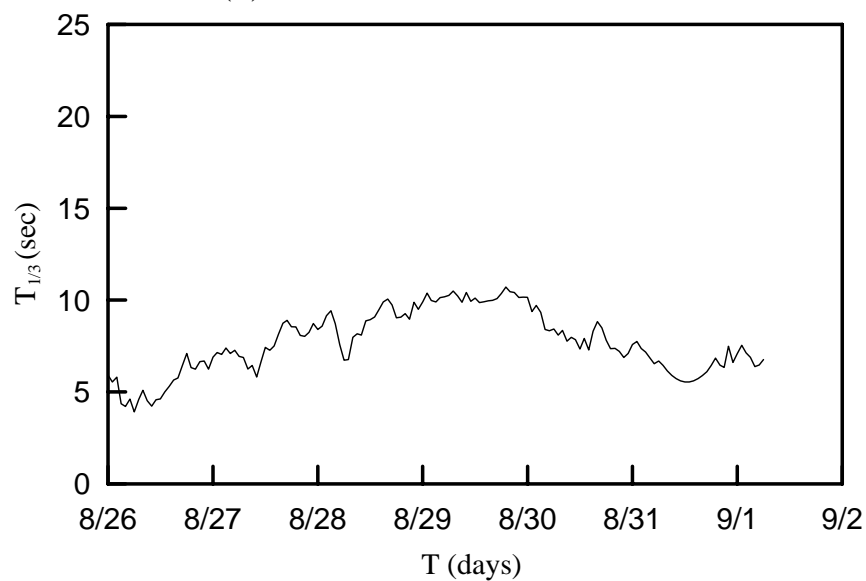
附圖 21(i) 颱風 JELAWAT 與測站的距離



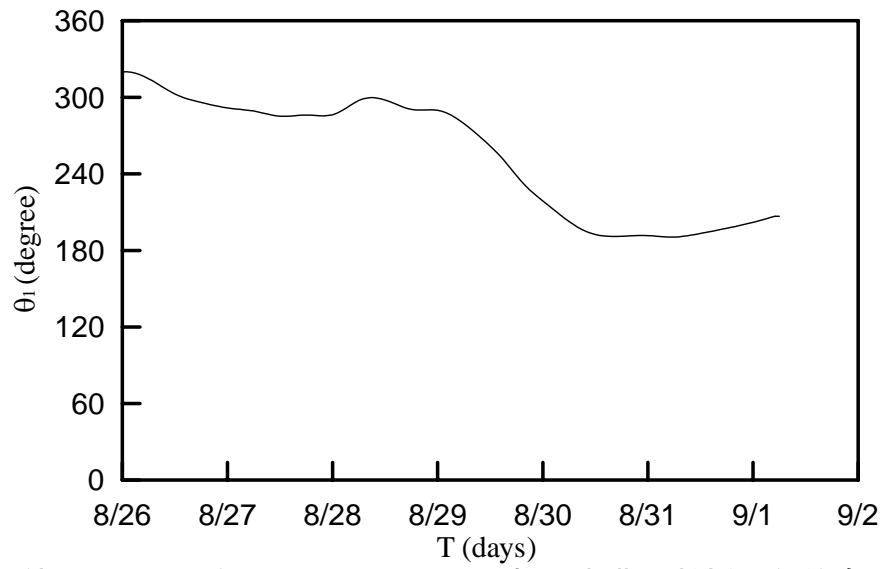
附圖 22(a) 颱風 PRAPIROON 的路徑圖



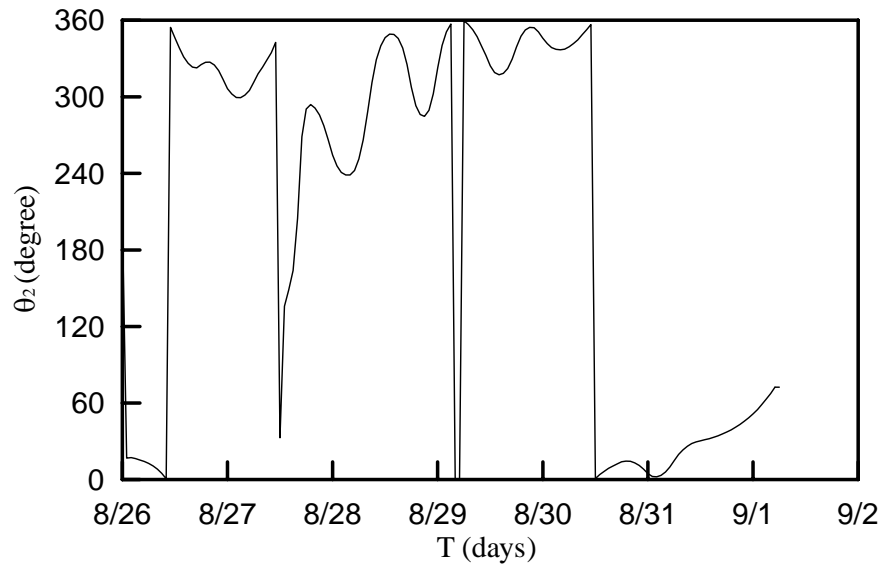
附圖 22(b) 颱風 PRAPIROON 的示性波高



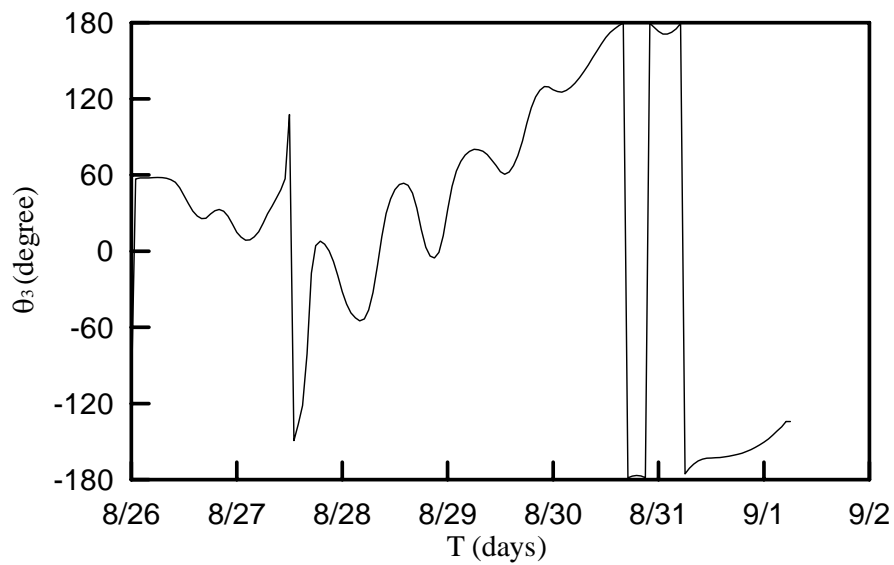
附圖 22(c) 颱風 PRAPIROON 的示性週期



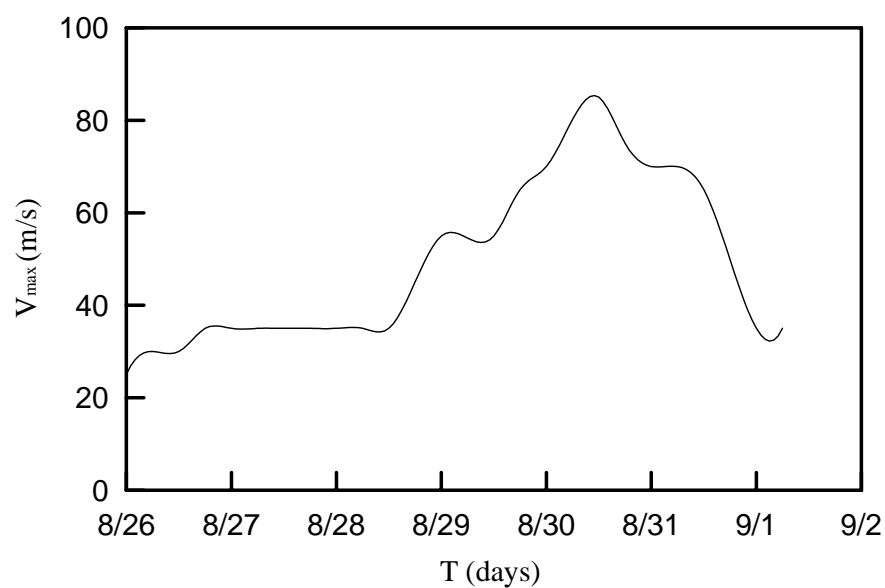
附圖 22(d) 颱風 PRAPIROON 中心與觀測站的方位角



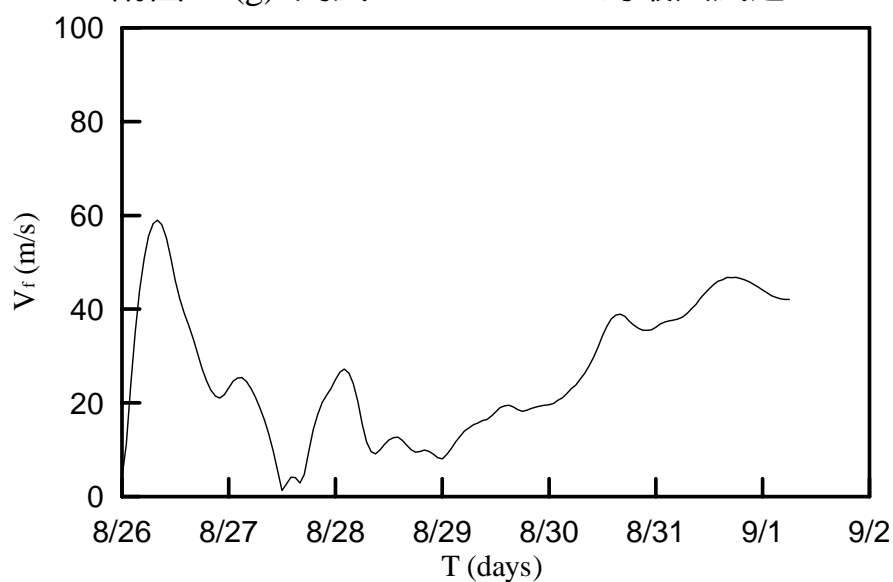
附圖 22(e) 颱風 PRAPIROON 行進的方位角



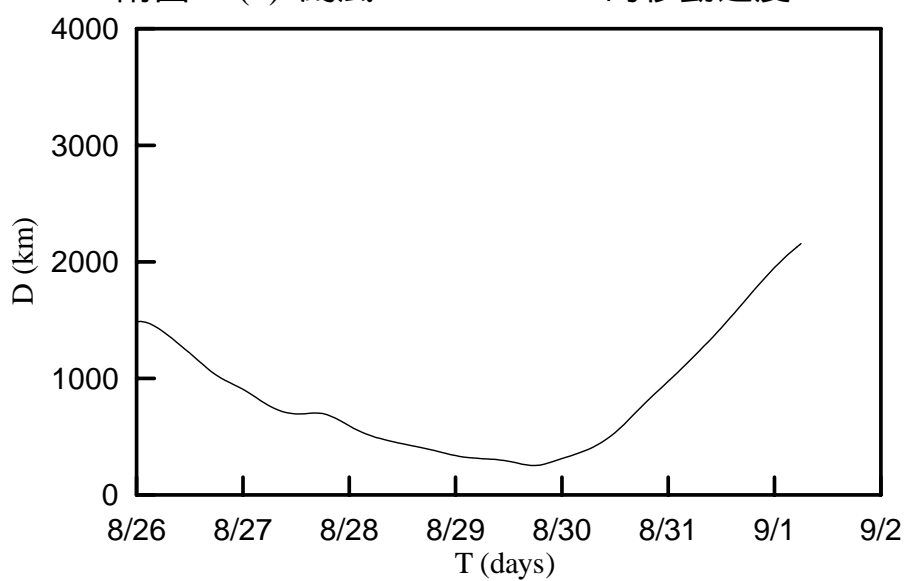
附圖 22(f) 颱風 PRAPIROON 行進方向與觀測站間的夾角



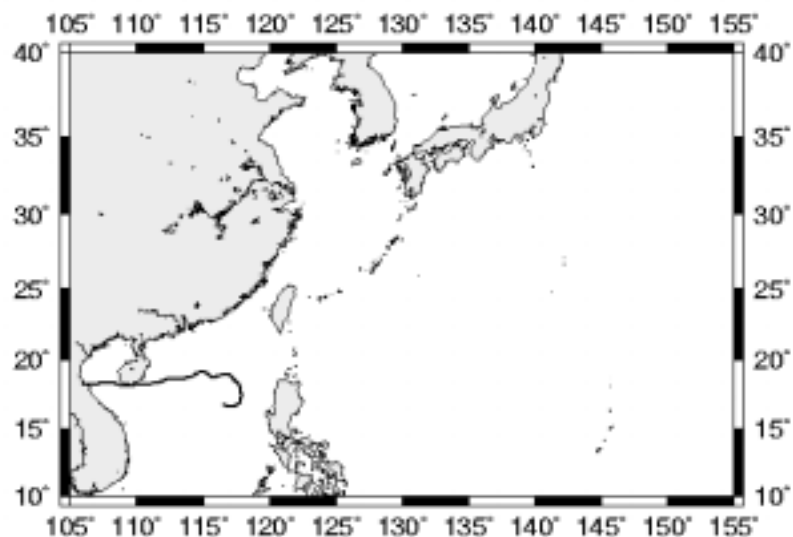
附圖 22(g) 颱風 PRAPIROON 的最大風速



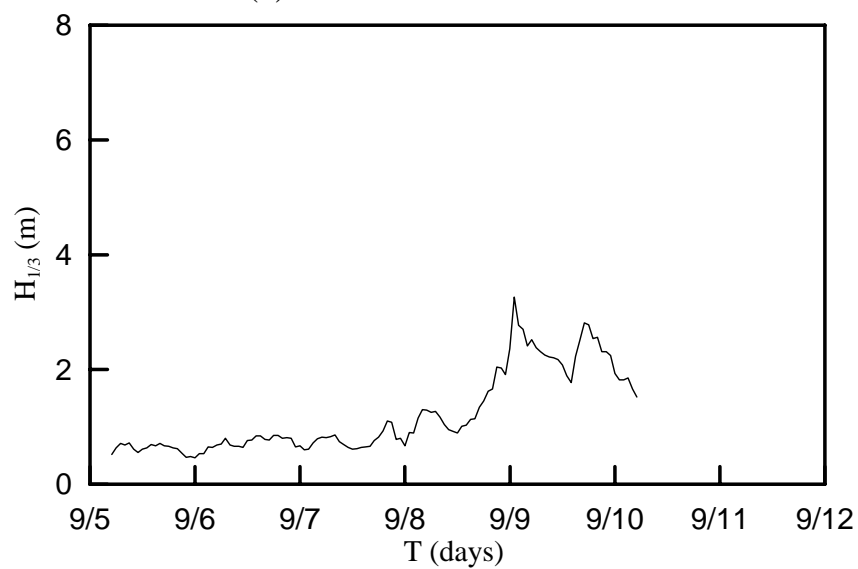
附圖 22(h) 颱風 PRAPIROON 的移動速度



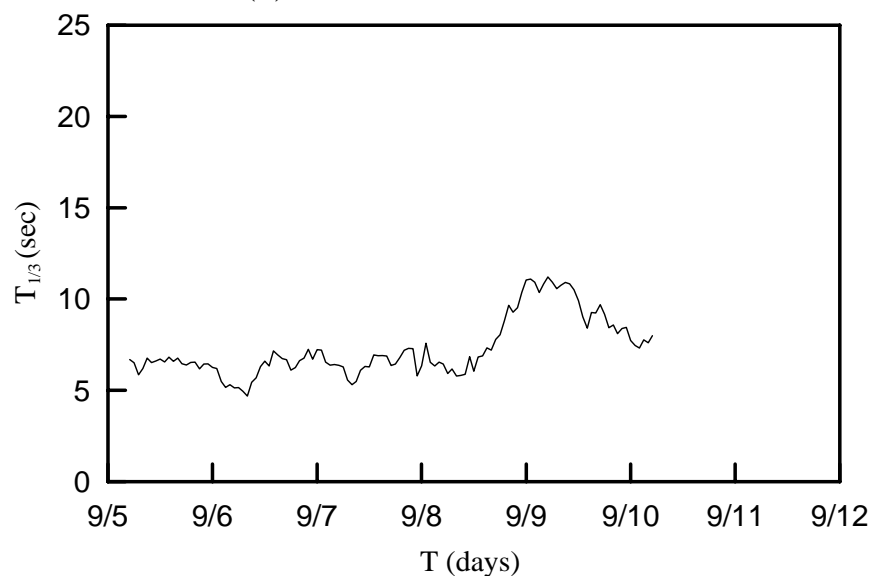
附圖 22(i) 颱風 PRAPIROON 與測站的距離



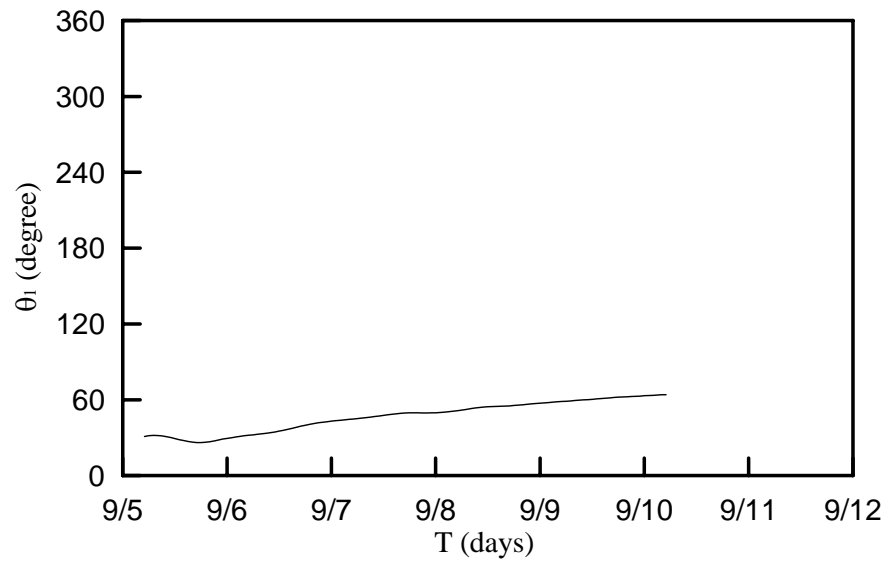
附圖 23(a) 颱風 WUKONG 的路徑圖



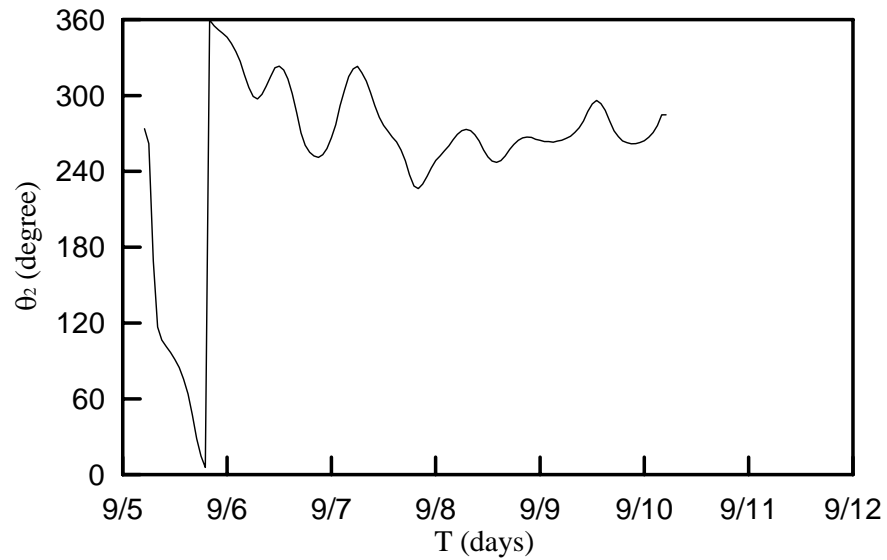
附圖 23(b) 颱風 WUKONG 的示性波高



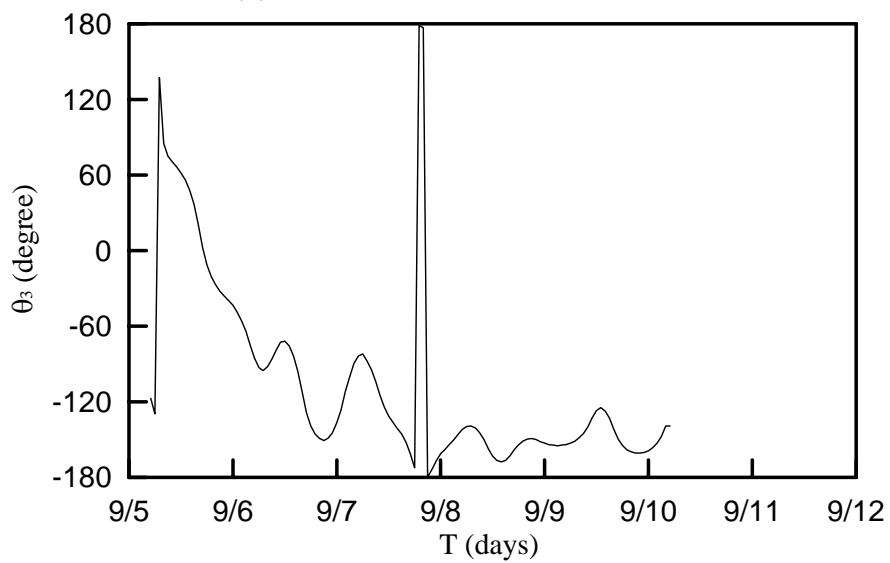
附圖 23(c) 颱風 WUKONG 的示性週期



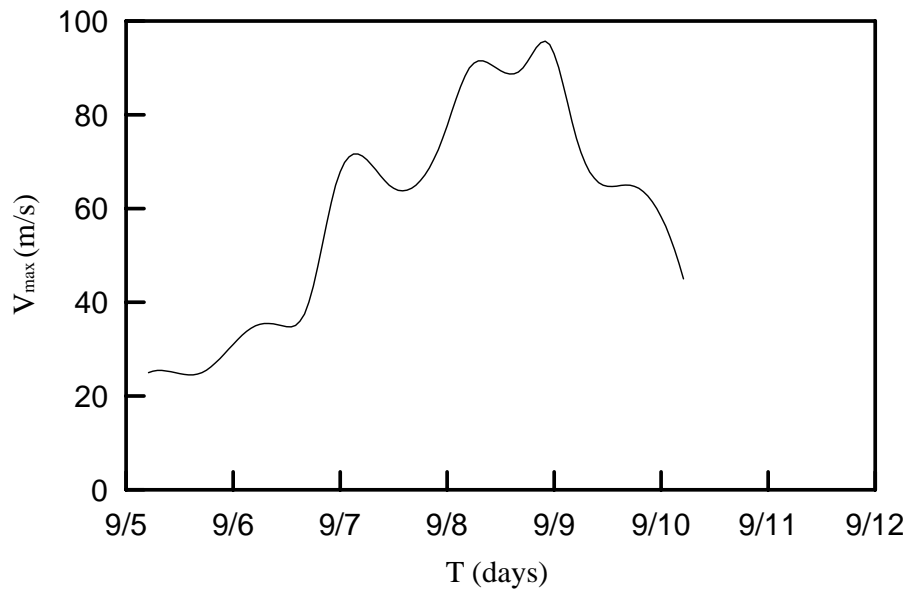
附圖 23(d) 颱風 WUKONG 中心與觀測站的方位角



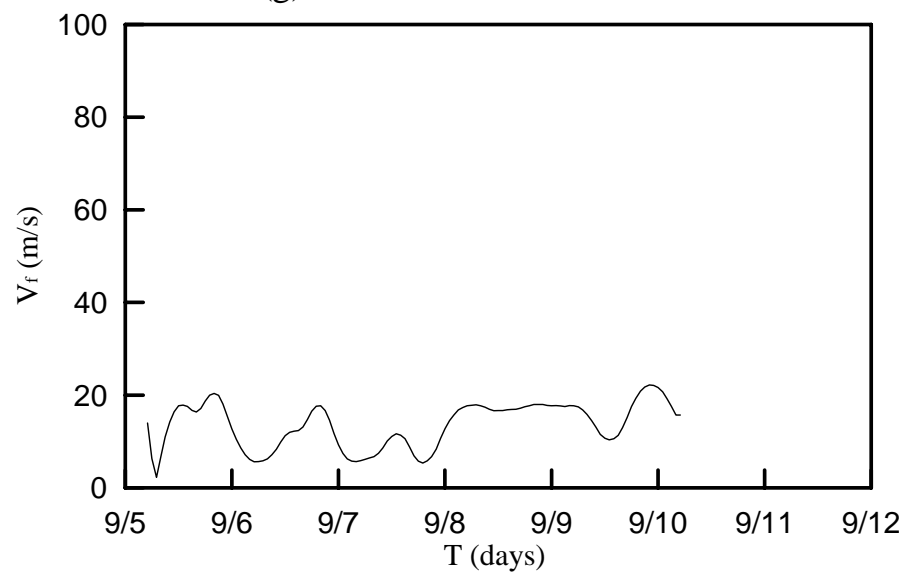
附圖 23(e) 颱風 WUKONG 行進的方位角



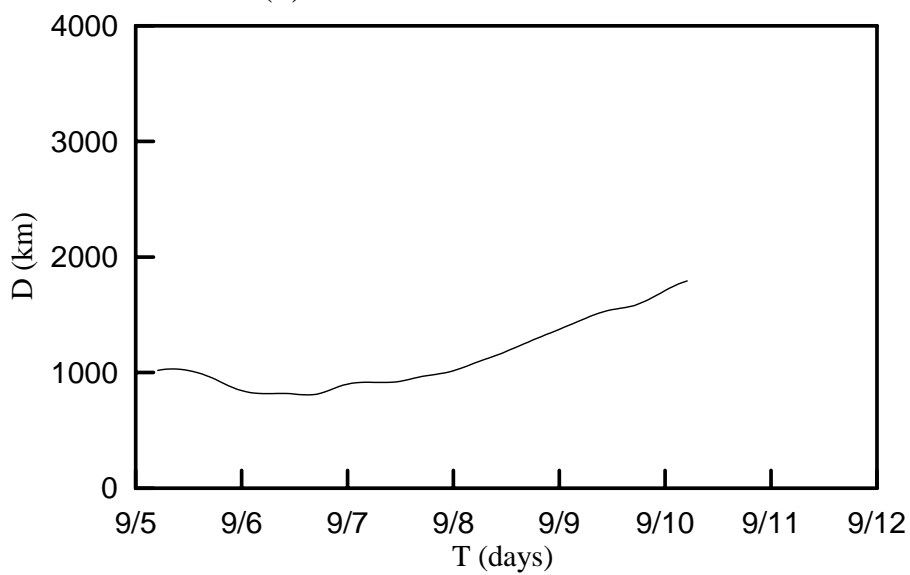
附圖 23(f) 颱風 WUKONG 行進方向與觀測站間的夾角



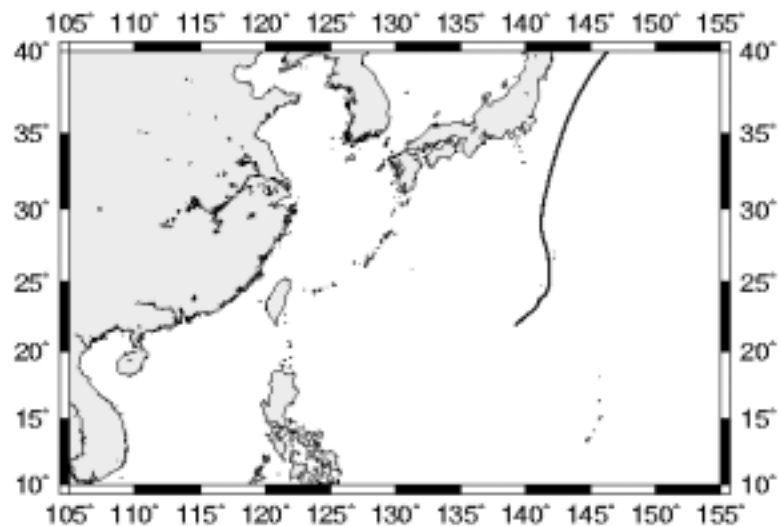
附圖 23(g) 颱風 WUKONG 的最大風速



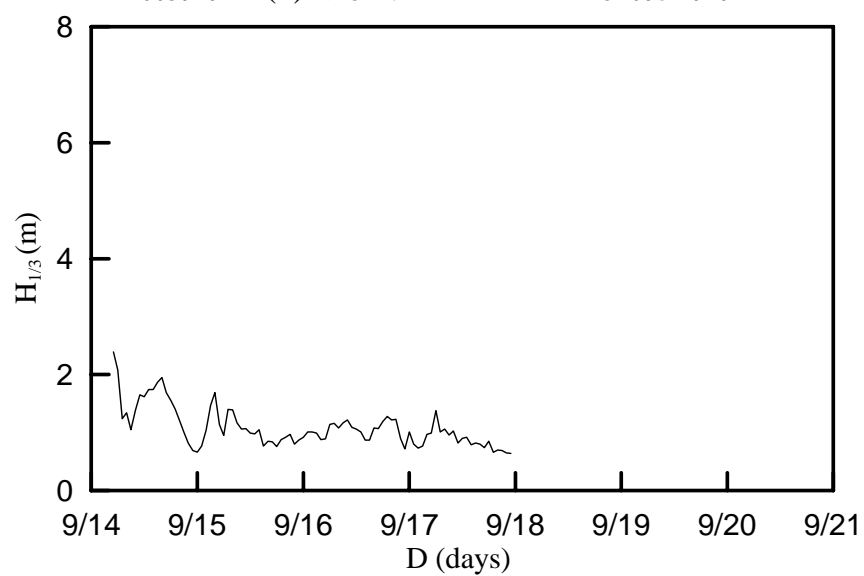
附圖 23(h) 颱風 WUKONG 的移動速度



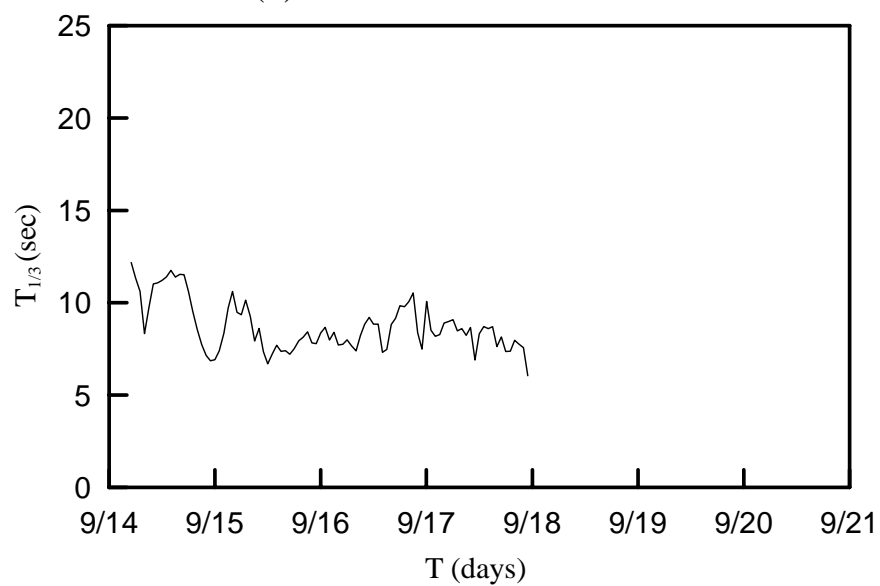
附圖 23(i) 颱風 WUKONG 與測站的距離



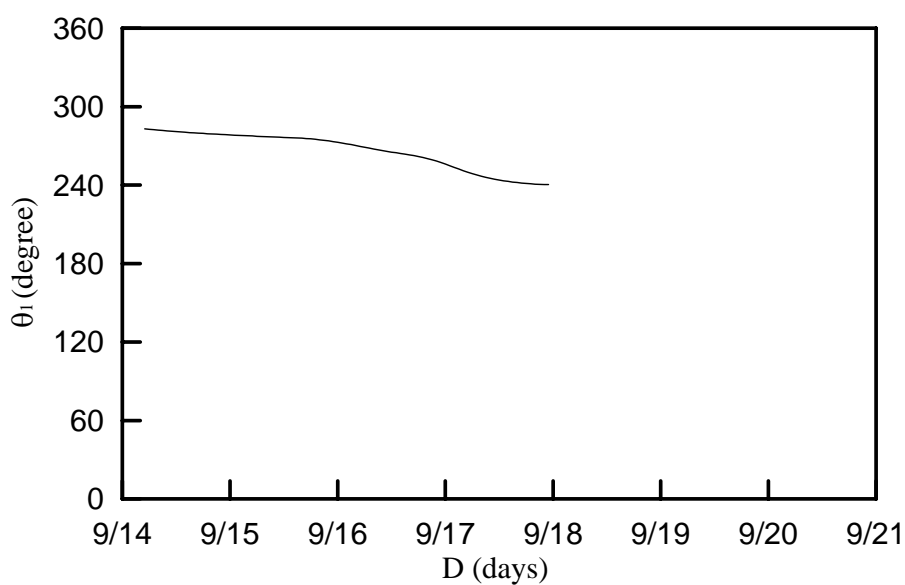
附圖 24(a) 颱風 SONAMU 的路徑圖



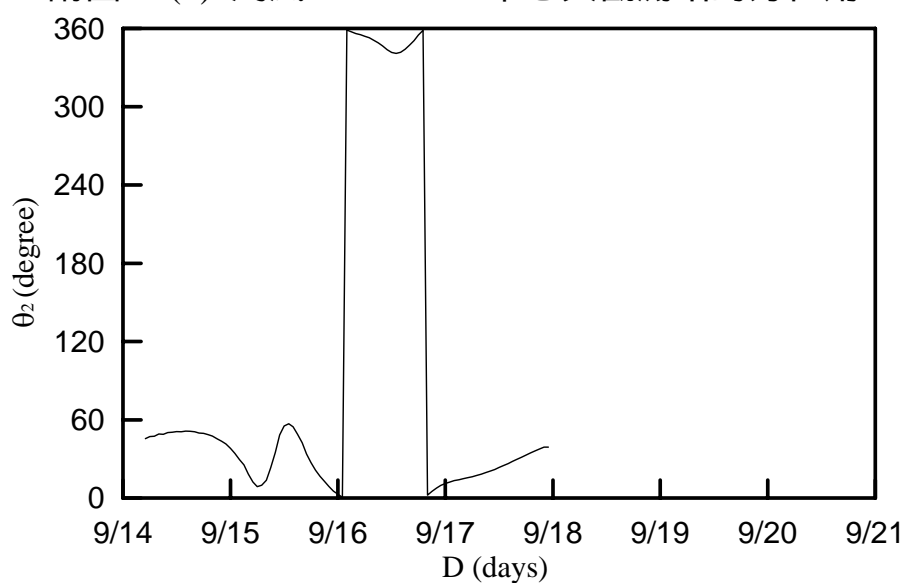
附圖 24(b) 颱風 SONAMU 的示性波高



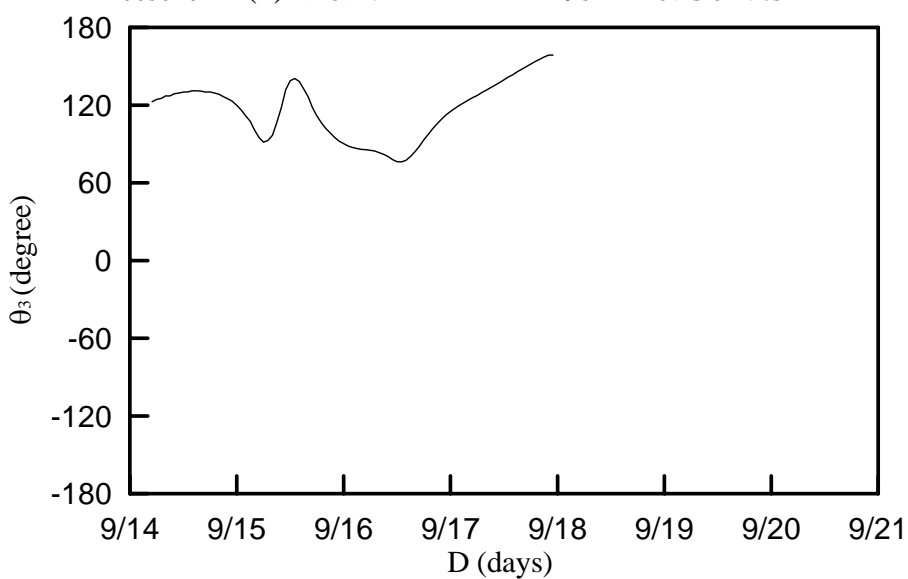
附圖 24(c) 颱風 SONAMU 的示性週期



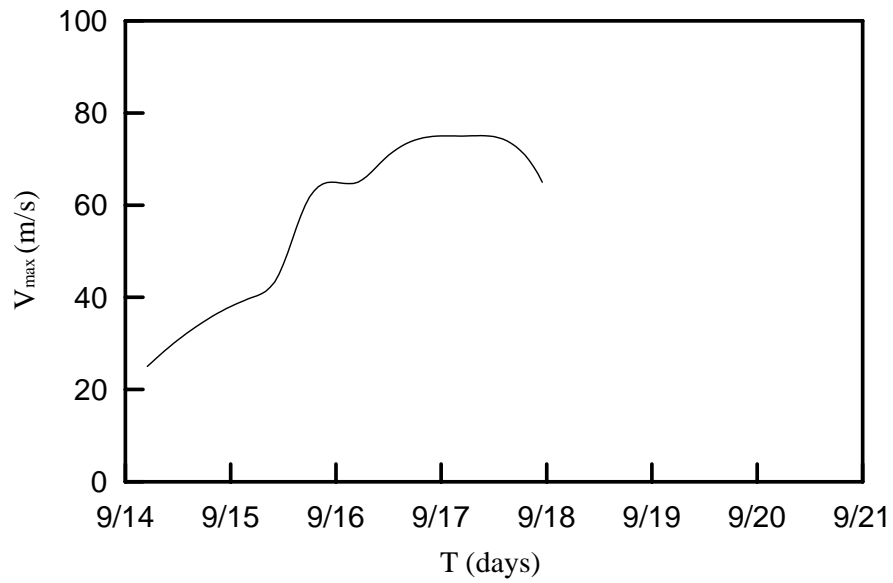
附圖 24(d) 颱風 SONAMU 中心與觀測站的方位角



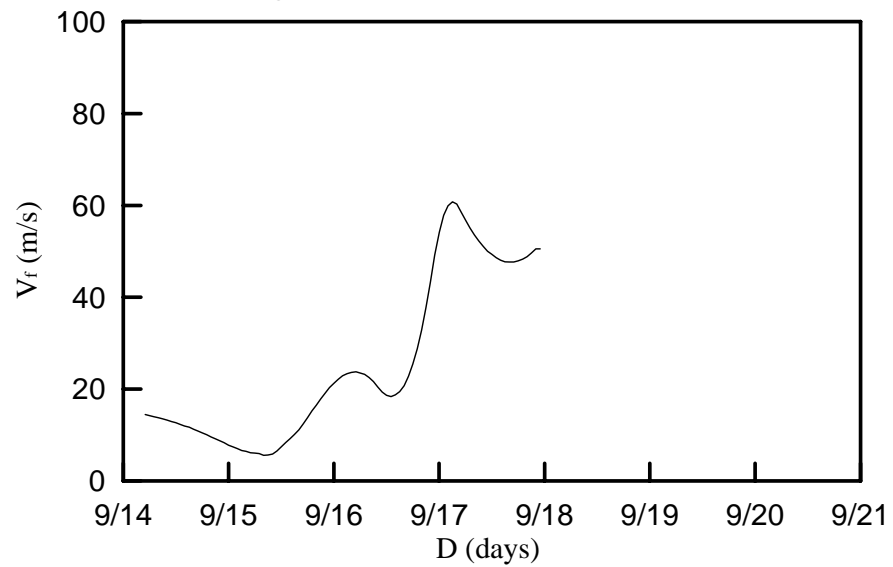
附圖 24(e) 颱風 SONAMU 行進的方位角



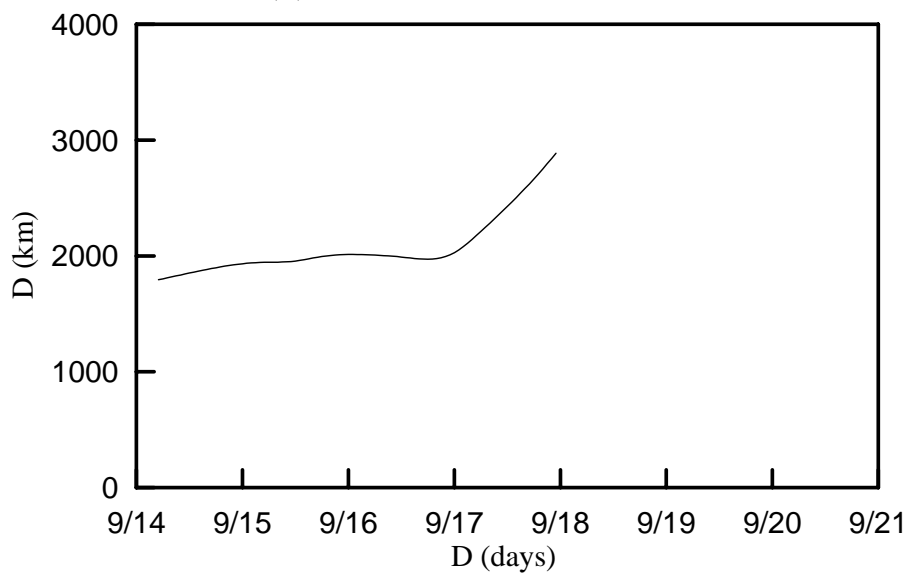
附圖 24(f) 颱風 SONAMU 行進方向與觀測站間的夾角



附圖 24(g) 颱風 SONAMU 的最大風速



附圖 24(h) 颱風 SONAMU 的移動速度



附圖 24(i) 颱風 SONAMU 與測站的距離

交通部運輸研究所合作研究計畫期中簡報內容重點表

台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究

(一)年度計畫預定與實際工作內容比較

| 預期成果工作項目 | 1. 分析港灣研究中心現有海域颱風波浪資料。 2. 整理往昔侵襲台灣颱風氣象資料。 | |
|----------------------------|---|--|
| 預定工作內容 | 實際工作內容 | 差異說明 |
| 1. 分析港灣研究中心現有海域颱風波浪資料。 | 1. 針對港灣研究中心現有海域颱風波浪資料進行數據分析，對於數據取樣時間不規則的部分進行內插修正。 | 1. 由於觀測站的波浪資料除了花蓮及蘇澳港有收集到1997至2000年的波浪資料外其他時間的資料及其他觀測站的資料尚缺。 |
| 2. 整理往昔侵襲台灣颱風氣象資料 | 2. 侵襲台灣的颱風氣象資料主要來自中央氣象局，並對颱風氣象資料與颱風波浪資料進行分類及相關性分析，尋找有效的推算參數及參數形態。 | 2. 對於颱風氣象資料的收集，中央氣象局的氣象資料格式及內容不足以完整描述颱風特性，所以配合網路氣象資料 (www.unisys.com)對氣象資料進行修正。 |
| 3. 配合前期計畫的颱風波浪推算模式進行修正及比較。 | 3. 利用前期計畫以模糊理論及類神經網路架構而成的颱風波浪推算模式，從優選的參數進行結構的修改並與前期計畫的波浪推算模式比較，比較結果修正後的模式有較高的準確性。 | |

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

2.若有分項計畫，請依分項計畫逐項填寫。

3.工作內容請儘量依條例舉、數量化方式具體說明。

4.差異說明應涵蓋研究工作之突破及研究進度之落後，所遭遇之困難等。

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

1. 計畫執行之貢獻、影響

研究計畫的目前成果希望能擴大颱風波浪推算的推算區域, 從花蓮港的觀測資料建立模式架構的流程, 並檢測所建立的颱風波浪推算模式達到描述及推算台灣東岸等地外海颱風波浪的能力。藉以提供對颱風波浪的模擬, 達到降低模擬操作成本以及預警防災的目的。

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

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

(三)資源運用探討

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

2.人力運用: 資料收集補遺、文獻收集檢索分析、資料處理運算。

(四)計畫之執行困難及其建議

1. 由於波浪及颱風資料的內容及結構有部分的誤差及遺缺，所以加強資料收集的完整性，以便規範檢核收集的資料避免誤差的擴大。
2. 對於其他的觀測颱風的資訊資料的再利用，由於提供判別及計算的颱風資料型態不一，建立資料庫將具有整合資料的功用，希望藉由資料庫的模組化提高颱風波浪推算模式的擴充性。
3. 為提高颱風波浪推算模式的準確性，將需要對颱風及波浪資料長期的收集提供模式繼續的學習，達到模式自我修正提高推算波浪的能力。

附錄 期中報告審查會意見回覆表
交通部運輸研究所合作研究計畫
期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：台灣地區波浪預警系統之應用研究

執行單位：國立交通大學土木系

| 參與審查人員 及其所提之意見 | 合作研究單位 處理情形 | 本所計畫承辦單位 審查意見 |
|--|---|------------------|
| 邱永芳主任 | | |
| 1. 依今年實測資料在帶入今年建置模式作校核。 2. 模式已有很好的改良，對模式稍有偏差部分再檢查。 | 1. 將於獲得今年資料後立刻進行波浪推算及校核的工作，以驗證模式的實用性。 2. 對於模式的偏差修正目前利用颱風的位置距離區分進行細部的校正及學習，藉以改善誤差的程度。 | |
| 何良勝組長： | | |
| 1. 本年度計畫發展不同的推算方式，進行校核比較，且獲致更好的結果，確屬難能可貴之處。 2. 建議期末報告修正之處 (1) 相關颱風發生時間加註台灣時間及中文名稱。 (2) 有些圖應用彩色如圖 2.3、2.6、2.8、2.10，另外圖 3.5、3.8 應更清晰一些。 (3) 文內誤植之處 P-9、P-14、P-15。 (4) 整理已有的颱風資料路徑圖及其相關統計資料如 H_{max} 發生時間 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ 等。 3. 預測模式推算時，是 | 1. 謝謝何組長的肯定。 2. 相關修正將立刻於報告中修改。 | |

| | | |
|--|--|--|
| <p>否可以應用其他統計資料進行佐證比對。</p> <p>例如全部颱風資料中，選取部分資料當作學習對象另一部分當作預測推算。又或作有模糊及無模糊區別的比較。</p> | <p>3. 何組長的建議將於目前的研究進度及內容整合，對於學習及預測的對象將作交叉的替換及比對，並於期末報告中整理並報告研究結果。</p> | |
| <p>簡仲璟組長：</p> | | |
| <p>1. 對於不容易確定之颱風動態以模糊理論處理，在結合利用類神經網路進行波浪推算，頗具創意，值得作進一步嘗試。</p> <p>2. 第三章 3-2 節，模糊理論的敘述及解說不夠詳盡，是使讀者愈看愈模糊。例如：p-26 模糊化運算中何謂最大值法則？『模糊網路』用語易混淆，是否改為『模糊運算流程』？</p> <p>3. 第三章 3-3 節模式架構說明不清楚，例如：(1) pp.28 為何每個參數要設定 8 個歸屬函數。</p> <p>(2)圖 3-11 至 3-15 中只有 7 個歸屬函數與文中敘述 8 個歸屬函數不符？又各個函數形似 Gauss 函數是何原因？各圖中橫座標值代表何意義？</p> <p>(3)表 3-1 中神經數目增加所描述模擬效果越佳，是否代表 $I_{36}H_{12}O_1$ 較 $I_{30}H_{12}O_1$ 更好？</p> <p>4. 第四章部分 Model4 的</p> | <p>1. 謝謝簡組長的指教及肯定。</p> <p>2. 第三章模糊理論的基礎說明將於期末報告書面說明中更詳盡的描述，對於易混淆的名詞將作詳細的描述，使讀者易於瞭解。</p> <p>3. (1) 歸屬函數的數目選用的方式主要依據數據的數量及嘗試法決定。</p> <p>(1)文中描述得 7 個參數是指輸入參數，而每個參數由 8 個歸屬函數表示，對於每個函數的變化情形屬於複雜且非線性的變化，所以利用 Gauss 函數的模糊關係進行描述可以得到較理想的模擬結果。</p> <p>(3)由理論演算的結果 $I_{36}H_{12}O_1$ 較 $I_{30}H_{12}O_1$ 有更好模擬效果，但是考慮過度學習而產生誤差以及合理的模擬預測結果目前推算模式採用 $I_{30}H_{12}O_1$。</p> | |

| | | |
|---|---|--|
| <p>學習模擬結果較 Model2001 為佳的原因解釋不夠明確。例如：</p> <p>(1)『Model4 以颱風中心為座標原點，故直接影響相關參數間的關係』，為何選取的參數會有較好的學習能力？</p> <p>(2) Model2001 為何相對 Model4 描述能力較弱？</p> <p>5. 颱風穿過中央山脈後花蓮測站波高會迅速變小，但為推算結果何會由 9m 降至 0m，延時 6 小時似乎沒發生作用？</p> | <p>4. 對於選取颱風描述座標原點對推算結果的差異，大致分為兩個原因，一是對於相同的座標系統颱風的運動行為參數相互關連性較高，其中 Model2001 是以測站為中心計算，但是對於颱風移動方向仍然以颱風中心為考量，以致相互關連性降低也使得推算能力較 Model4 略低。第二個原因是將颱風左右半圓正負 180 度表示取代 0 至 360 度的表示方法使得類神經網路更易於辨識颱風特性。</p> <p>5. 對於模式推算的結果雖然達到定性描述但對於輸出值的推算出現誤差的結果推論原因是學習資料未能反映相關特性以及推算架構不夠完整，目前將朝這兩個原因進行修正以提高準確性。</p> <p>6. 對於報告中未竟清楚之處，將於期末報告書面說明中作更詳盡的描述。</p> | |
| <p>李忠潘教授：</p> | | |
| <p>1. 應試圖找出颱風通過中央山脈後波高遽減的原因。</p> <p>2. 非常肯定計畫的價值及目前進度。</p> | <p>1. 如前述回覆，本研究將依誤差發生的原因，改進模式結構以提高推算的準確性。</p> <p>2. 謝謝李教授得肯定及指導。</p> | |
| <p>翁文凱教授：</p> | | |
| <p>1. 颱風風場權重比例如何定？</p> | <p>1. 風場參數權重的配比分為兩個階段，第一為模糊關係的建立，第二為</p> | |

| | | |
|--|---|--|
| <p>2. 在比對測點之實測值與推算結果是否可以亞洲衛星波場資料比對以提高模式的精確度及可靠度。</p> <p>3. 對於颱風到達前及通過後波浪推算值有較大的誤差，是否可以提高精確度。</p> | <p>類神經網路關係的建立，這兩個部分是利用 Steepest Descent Method 找出最近似值，以決定各個風場參數的權重。</p> <p>2. 若能取得正確且完整的資料將可以提高模式的推算能力。</p> <p>3. 對於颱風前後的波浪推算誤差，目前將利用颱風到達時間及距離分段計算避免模式推算產生系統誤差，藉以提高精確度。</p> | |
|--|---|--|

附錄 期末報告審查會意見回覆表

「台灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究」期末報告

審查會意見回覆表

| 委員意見 | 意見回覆 | 備註 |
|--|---|----|
| 許泰文委員： | | |
| <p>1. 波浪預測一般使用數值模式和統計方法進行推算,目前數值模式推算仍有許多盲點,例如颱風風場模擬或颱風登陸風場破壞模擬,以及波浪推算至近岸海域的折繞射效應等仍受限制,而傳統統計方法必須有足夠的資料長度,而本計畫以較為現代化的科技類神經網進行颱風波浪和湧浪推算,以有限資料發展類神經模式,執行成果良好。</p> <p>2. 輸入參數中,颱風規模如風場半徑和中心氣壓並未包含在參數中,是否有經過分析而發現這些參數無關?請補充說明。</p> <p>3. 颱風風場結構如遭受破壞,整個推算組織架構必然重新調整,建議能加強這方面的說明。</p> <p>4. 模式推算成果尖蜂值大部份有位相差,湧浪預測成果在時間開始時預測值大致偏高,請加以說明原因。</p> | <p>1.謝謝委員的肯定。</p> <p>2.經過經驗法及試誤法,配合:張憲國、錢維安(2000)「臺灣東部港灣預警系統之應用研究-港外波浪動態特性」,交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告。經比較優選輸入參數,相關資料將補充於報告中。</p> <p>3.如果每次颱風接近台灣時結構都不相同,模式就必須進行修正,如果經歷的颱風相似就能對颱風波浪作合理的推算,關於颱風風場結構影響的部分將再進一步分析討論,以提高推算的準確性。</p> <p>4.目前部分颱風波浪推算結果有相位或波高的偏差,探討原因大致為颱風風場結構出現較大的變化,以及學習資料中沒有設置描述完整風場的參數,日後將朝這兩個部分進行改進。</p> | |
| 蔡清標委員： | | |
| <p>1. 颱風波浪之推算,由於不確定因素多,本研究以模糊理論及倒傳遞類神經網路,判斷學習過程進而推算颱風波浪,研究頗具意義。</p> <p>2. 網路結構 ImHnOp 之選取,建議</p> | <p>1.謝謝委員的肯定。</p> <p>2.結構選取方式將於期末報告中補充。</p> <p>3.在分析推算效能時,考慮模式結構與分析方法及結果的關係,因此</p> | |

| | | |
|--|--|--|
| <p>在期末報告中仍應有適當之說明。P.38 中，I14、I30...等之輸入參數為哪些？</p> <p>3 . P.33，式 (3-16) 波浪之週期係由波高計算，神經網路為何不同時推算波高及週？</p> <p>4 . 本研究使用 BPN，是否有使用 learning rate、momentum factor 等參數？模擬之 epochs 如何？</p> <p>5 . 預測值與實測值之各圖比較，建議加入 RMSE 值及相關係數 (C.C.) 值。</p> <p>6 . P.28 表 3-1 中，為何用 2 個 hidden layer？是否有誤。</p> <p>7 . 報告中掃描的圖不清楚，應改正。</p> | <p>依照推算目標建構獨立的推算模式，對於模式的合併將在後續研究中進行及測試。</p> <p>4.對於 learning rate、momentum factor 及 epochs 選定，因使用 matlab 軟體，其有內建參考值，本文均使用其結果，而收斂值方面將補充於期末報告。</p> <p>5.6.7.對文章有文字錯誤的部分即刻於報告中修正。</p> | |
| 蕭松山委員： | | |
| <p>1 . 本研究利用類神經網路及模糊理論建立一適用於台灣地區之颱風波浪推算模式，有助於未來颱風波浪之預報及預警，可減少港灣相關設施及船舶之損失，研究成果頗具實用性，值得肯定。亦建議能持續進行研究，建立更通用模式。</p> <p>2 . (a) 圖 1-1、2-6、2-10 等引用自參考文獻，建議定稿本中能重製清楚。</p> <p>(b) P.59 圖 4-31 缺推算值曲線，P.62 參考文獻【2】有誤。</p> <p>3 . 學習颱風資料中若缺實測資料時，如何進行資料補遺，建議簡要說明。</p> | <p>1.謝謝委員的肯定。</p> <p>2.對文章有文字錯誤的部分即刻於報告中修正。</p> <p>3.目前學習的波浪資料為了能充分反應當地及當時的情況，對於有缺的資料並不採用補遺的技巧進行補遺的工作。</p> | |
| 何良勝委員： | | |
| <p>1 . 文章內容應修正或增列之處：</p> <p>(1) P-9 圖 2-2，括號內，TTWC 是否為 JTWC？</p> <p>(2) P-9 第四行，圖 2-3 為圖 2-4。</p> <p>(3) P-24 圖 3-3、3-5、3-8 不夠清晰。</p> <p>(4) P-40 圖 4-3~4-7 及表 4-1，括號</p> | <p>1.對文章有文字錯誤的部分即刻於報告中修正。</p> <p>2.目前模式的推算功能可以進行颱風波浪的追算以及即時颱風波浪推算，目前港研中心只需提供即時氣象資料就可已有即時的颱風波</p> | |

| | | |
|--|--|--|
| <p>內說明應和文內一致。</p> <p>(5) 表 2-1 之颱風，增列中文名稱。</p> <p>(6) 本計畫中所採用之模糊理論，採用何種歸屬函數，應於文內說明。</p> <p>2. 依據模式建構之能力，未來是否可提供作為即時性預測之功能？如何運作？本所應如何配合，方可達成？</p> <p>3. 就執行結果而言，有些颱風所預測之 peak 的時間和實測有些差異，但就實際而言，此時間往往是重要的。因此，建議未來應詳細探究？</p> | <p>浪資料輸出。</p> <p>3. 颱風所預測之 peak 的時間或實測有些差異，未來將分析成因並且詳細探究以提高預測的品質。</p> | |
| <p>簡仲璟委員：</p> | | |
| <p>1. 期中報告各委員之審查意見回覆應列表對照說明。期末報告中部分文字有誤請檢查更正（例如 pp.44 倒數第三行）。</p> <p>2. 學習過程中錯誤的實測波浪資料（例如象神颱風）是否剔除？而錯誤的資料又如何判定？請補充說明。</p> <p>3. 湧浪與風浪如何分離？若如報告中所言是以颱風風場內、外作區分，則颱風場大小是如何定義？應補充說明。在某些情況下（例如快速移動之颱風）波浪測站所測得之資料常夾雜著湧浪與風浪，此時若單以颱風風場內、外來區分湧浪或風浪似有不妥，請再考量。此外分離學習後又如何合併？也請補充說明。</p> <p>4. 分離湧浪與風浪模式較以往之 model 4 有較佳之推算結果，然報告中除 Bilis 颱風可參照圖 4-6 及圖 4-8 作比較，其他颱風之推算結果則無法比較。請補充其他颱風之 model 4 之推算結果，以便和分離</p> | <p>1. 對文章有文字錯誤的部分即刻於報告中修正。</p> <p>2. 目前對學習資料的篩選過程只針對，颱風氣象、颱風波浪資料不符合的部分進行排除，為了能充分反應當地及當時的情況，對於有缺的資料並不採用補遺的技巧進行補遺的工作。</p> <p>3. 對於颱風風場的範圍受到颱風規模的影響，而颱風規模大多直接反應在最大風速上，所以可以輸入參數中的最大風速進行風場規模的描述，對於颱風運動行為將改變風場結構，因應這樣的問題所以採用類神經網路記憶的特性，經過學習對於相似行為的颱風都能做出合理的推算。</p> <p>4. 相關修正及補充資料將於期末報告中訂正。</p> | |

| | | |
|--|--|--|
| 湧浪與風浪模式作比較,並請將兩模式之推算結果與實測資料繪製在同一圖中。 | | |
| 邱永芳委員： | | |
| <p>1.若資料補遺部份,使用美國 NOAA 數值結果來補充類神經網路學習,其可能性是否可行?</p> <p>2.台灣西部之颱風波浪推算,是否可以東部之資料推算模式後,經由建立新的函數轉換程式直接得到預測值,而不要使用類神經網路學習,其所得結果是否比較正確?其可行性如何?</p> | <p>1.只要能夠收即到相關屬性相同的資料,對於類神經網路都能有提高推算能力的效果。</p> <p>2.台灣西部之颱風波浪推算方式將可採用目前模式作為推算核心,不論直接推算或是利用轉換函數推算,都能在修正模式後達成。</p> | |
| <p>計畫主持人綜合答覆：</p> <p>一、對於中心氣壓及颱風半徑等參數在數值模式中為颱風規模的參數，但是於本模式中採用直接量測到的最大風速，此參數應更能反映出颱風的規模及特性，經過測試也有相同推論結果。</p> <p>二、目前對於風場破壞的推算無法直接克服，但對於有過類似行為的颱風，則可以藉由學習的過程做模式的修正。</p> <p>三、目前歸納的誤差原因，是對於颱風風場驟變的情形無法充分反應，或沒有學習的經驗所致。相關問題將於日後研究中改進，以提高推算的準確性。</p> <p>四、經過前期計畫測試後而發展至目前模式，目前及以往的模式測試將補充於本計畫報告中。</p> <p>五、對於將波高及週期的推算模式作合併的可行性相當高，將嘗試合併結構簡化計算的架構。</p> <p>六、將模式結合模糊理論的目的就是增加學習的空間，改善類神經在學習資料上的限制。</p> <p>七、學習資料的補充確可提高推算能力，但是對於西岸的資料不足將另尋其他方法修正推算的對策。</p> <p>八、對於波浪資料的處置將排除極端不合理值，但未對原始資料進行資料補遺。</p> <p>九、目前發展的颱風推算模式已具有即時推算的功能。</p> <p>十、對於推算誤差探究將於報告中補充。</p> <p>十一、目前實測資料僅作數據極端異常的篩選及排除的處置。</p> <p>十二、對於風浪、湧浪模式及以往發展模式的比較將補充於報告中。</p> <p>十三、將收集美國相關資料應用於模式中以提高推算能力。</p> <p>十四、目前仍然以推算模式為基礎，發展西岸的颱風波浪推算模式。</p> <p>十五、主席意見將於報告中補充並修改。</p> | | |