

MOTC-IOT-91-HB01

九十一年台北港雷達遙感波浪監測研究

交通部基隆港務局 委託
交通部運輸研究所
國立台灣大學
合作辦理

中華民國九十二年六月

MOTC-IOT-91-HB01

九十一年台北港雷達遙感波浪監測研究

著者：王 胃、邱永芳、蘇青和

交通部基隆港務局 委託
交通部運輸研究所
國立台灣大學
合作辦理

中華民國九十二年六月

交通部運輸研究所港灣技術研究中心委託研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：九十一年台北港雷達遙感波浪監測研究			
國際標準書號（或叢刊號）		政府出版品統一編號	出版品編號 MOTC-IOT-91-HB01
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 主辦人員：蘇青和 聯絡電話：(04)26587175 傳真號碼：(04)26571329		委託研究單位：台灣大學海洋研究所 計畫主持人：王 胃 研究人員：張宏毅 地址：台北市羅斯福路四段一號 聯絡電話：(02)23636040-125	研究期間 自 91 年 5 月 至 92 年 4 月
關鍵詞：遙測、海洋波浪、雷達、台北港			
摘要： 交通部基隆港務局為因應台北港未來環境影響評估以及工程規劃需求，委託交通部運輸研究所港灣技術研究中心(港研中心)辦理「八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫」，以求確實掌握八里、林口海岸漂沙及海氣象與地形變遷特性。在此計畫中，有關雷達遙感波浪監測部份則由港研中心與國立台灣大學海洋研究所合作辦理。在第四年度(91年)內收集了連續12個月的雷達測波資料，並進行了能譜計算、波浪參數轉換以及製作波浪動畫與雷達觀測平均圖像等工作。此外，為改善觀測死角本年度我們亦在淡水沙崙港邊設置了輔助測站，藉著雙雷達測波儀資料可以深入了解在東北風作用之大浪情形下，外海波浪入射到台北港附近時波浪特性之演變情形。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
92年6月	85	400	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本中心免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐ 限閱 ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密【限】條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部運輸研究所之意見。			

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

TITLE: OCEAN WAVE MONITORING AT TAIPEI HARBOR BY A MARINE RADAR (IV)			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	SERIAL NUMBER MOTC-IOT-91-HB01	
DIVISION: Institute of Harbor & Marine Technology DIVISION CHIEF: Chiu, Yung-Fang ADMINISTRATION STAFF: Su, Chin-Ho PHONE: 886-4- 26587175 FAX: 886-4-2657-1329			PROJECT PERIOD FROM May, 2002 TO April, 2003
RESEARCH AGENCY: Institute of Oceanography, National Taiwan University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wang, Joe PROJECT STAFF: Chang, Hung-I ADDRESS: 1, Roosevelt Road, Sec.4, Taipei PHONE: (02) 2363-6040, Ext. 125			
KEY WORDS: Remote Sensing, Ocean Waves, Radar, Taipei Harbor			
ABSTRACT: To assess the impacts of harbor construction on coastal environments, the Port Authority of Kee-lung Harbor contracts with the Center of Harbor and Marine Technology, Institute of Transportation (CHMTIT) a four-year, long-term project monitoring the evolution of the adjacent coastal environments of Taipei Harbor. The task of monitoring ocean waves by Radar remotely, a minor part of the foregoing project, is conducted cooperatively by the CHMTIT and the Institute of Oceanography, National Taiwan University (IONTU). This is the fourth year report on the monitoring of ocean waves by Radar, in which firstly an overview of the project history of the is given; then descriptions on the regular procedures of the monitoring works as well as the background information associating with remote sensing tools, and what and why we concern in this project follow. During the fourth year observation, IONTU had put many efforts on maintaining the Radar system operating smoothly and collected more than 12 months Radar imageries; the latter were then retrieved and post-processed at the laboratory on a monthly basis. The end products of the post-processing include a 3-D spectrum of Radar Intensity, wave parameters (such as significant wave height, wave direction, and wave period.) as well as the animated and averaged hourly Radar images, all of these were delivered routinely to CHMITT monthly. Additionally, since last spring the Radar observation at Taipei Harbor was hampered by the blockage of the outer breakwater since the latter induces a shadow region northwest of the harbor, to cope with this problem, the IONTU had installed an extra Radar system at Sarluen (Tanshui); both systems can cover the whole regions surrounding Taipei harbor, such as the estuarine region of the Tanshui river, and the area southwest of the harbor entrance, therefore the data set helps our observation of the evolution of incoming waves from the open sea to the near shore region.			
DATE OF PUBLICATION June, 2003	NUMBER OF PAGES 85	PRICE 400	CLASSIFICATION ☐ SECRET ☐ CONFIDENTIAL ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the I.O.T.of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目 錄	III
圖目錄	IV
表目錄	VI
第一章 研究主旨(動機、緣起與目的)	1
第二章 台北港雷達測波作業簡介.....	3
第三章 問題之性質與背景	5
第四章 研究綱目	7
第五章 監測作業執行狀況.....	10
第六章 轉移函數以及波高之估算法.....	15
第七章 雷達測波與觀測樁測波值之比對	29
第八章 討論.....	43
第九章 結論.....	52
參考文獻	56
附錄一 期末報告審查意見執行情形.....	57
附錄二 期末審查簡報資料.....	65

圖目錄

圖 4-1 91 年 9 月 5 日港研中心人員參與現場操作講習作業。·····	9
圖 5-1 台北港外廓防波堤施工時(89 年 1 月)之雷達圖像。·····	13
圖 5-2 沙崙港雷達測波圖像(91 年 8 月 24 日)。·····	14
圖 6-1 根據麥寮港 68 組同步觀測資料所求出之 $T^{-1}(k)$ 實驗曲線。···	18
圖 6-2 根據麥寮港資料求出之 $T^{-1}(k)$ 平均曲線與三段式曲線。·····	19
圖 6-3 台北港觀測樁 S4 波流儀觀測波高，91 年 12 月。·····	20
圖 6-4 沙崙港雷達測波儀波高以及觀測樁波高，91 年 12 月。·····	21
圖 6-5 91 年 12 月 7 日 2000L 中央氣象局地面天氣圖。·····	21
圖 6-6 沙崙港下雨時之雷達圖像(91 年 12 月 8 日，0600L)。·····	22
圖 6-7 圖 6-6 資料對應之雷達波數能譜以及 S4 之波數能譜。·····	22
圖 6-8 沙崙港晴天之雷達圖像(91 年 12 月 12 日，2000L)。·····	23
圖 6-9 圖 6-8 資料對應之雷達波數能譜以及 S4 之波數能譜。·····	23
圖 6-10 根據 64 組未下雨資料所求出之 $T^{-1}(k)$ 實驗曲線。·····	24
圖 6-11 根據 42 組下雨資料所求出之 $T^{-1}(k)$ 實驗曲線。·····	24
圖 6-12 根據 64 組未下雨資料所求出之 $T^{-1}(k)$ 平均曲線。·····	25
圖 6-13 根據 42 組下雨資料所求出之 $T^{-1}(k)$ 平均曲線。·····	26
圖 6-14 台北港雷達測波儀 R_s 讀數與實測波高比較圖。·····	28
圖 7-1 91 年 1 月，台北港雷達波高時序圖。·····	32
圖 7-2 91 年 2 月，台北港雷達波高時序圖。·····	33
圖 7-3 91 年 3 月，台北港雷達波高時序圖。·····	33
圖 7-4 91 年 4 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。·····	34
圖 7-5 91 年 5 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。·····	34
圖 7-6 91 年 6 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。·····	35
圖 7-7 91 年 7 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。·····	35
圖 7-8 91 年 8 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。·····	36
圖 7-9 91 年 9 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。·····	36
圖 7-10 91 年 10 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。···	37
圖 7-11 91 年 11 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。···	37

圖 7-12	91 年 12 月，台北港波流儀 $H_{1/3}$ 波高與雷達波高時序圖。...	38
圖 7-13	92 年 1 月，台北港雷達波高時序圖。.....	38
圖 7-14	91 年 8、9 月，沙崙雷達波高與波流儀 $H_{1/3}$ 波高時序圖。...	39
圖 7-15	91 年 10 月，沙崙雷達波高與波流儀 $H_{1/3}$ 波高時序圖。...	39
圖 7-16	91 年 11 月，沙崙雷達波高與波流儀 $H_{1/3}$ 波高時序圖。.....	40
圖 7-17	91 年 12 月，沙崙雷達波高與波流儀 $H_{1/3}$ 波高時序圖。.....	40
圖 7-18	92 年 1 月，沙崙雷達波高與波流儀 $H_{1/3}$ 波高時序圖。.....	41
圖 7-19	92 年 12 月，波流儀 $H_{1/3}$ 波高與沙崙雷達波高點聚圖。.....	41
圖 7-20	波流儀 $T_{1/3}$ 週期與沙崙雷達所測波浪週期時序圖。.....	42
圖 7-21	波流儀所測波向與沙崙雷達所測波向時序圖。.....	42
圖 8-1	89 年 1 月 26 日 04 時雷達測波圖像。.....	44
圖 8-2	90 年 1 月 15 日 18 時雷達測波圖像。.....	44
圖 8-3	90 年 11 月 9 日 20 時雷達測波圖像。.....	45
圖 8-4	91 年 7 月 4 日 02 時雷馬遜颱風接近之雷達測波圖像。...	45
圖 8-5	91 年 7 月 4 日 0830 時中央氣象局發佈之颱風警報單。...	46
圖 8-6	91 年 12 月 25 日 20 時中央氣象局地面天氣圖。.....	47
圖 8-7	91 年 12 月 25 日 17 時台北港雷達測波圖像。.....	47
圖 8-8	91 年 12 月 25 日 17 時台北港雷達所測波浪方向能譜。...	48
圖 8-9	91 年 12 月 25 日 17 時沙崙港雷達測波圖像。.....	49
圖 8-10	沙崙港雷達所測波浪方向能譜(圖 8-9 中 3、4 號子區)。...	49
圖 8-11	沙崙港雷達所測波浪方向能譜(圖 8-9 中 5、6 號子區)。...	50

表 目 錄

表 5-1	91 年台北港雷達測波儀所收集測波資料清單。.....	12
表 5-2	91 年沙崙港雷達測波儀所收集測波資料清單。.....	14

第一章 研究主旨(動機、緣起與目的)

交通部基隆港務局因台北港工程施工，需要確實掌握八里、林口海岸漂沙及海氣象與地形變遷特性，於是在 88 年初委託交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱為運研所港研中心，或更簡稱為港研中心，而交通部運輸研究所則簡稱為運研所)前身之台灣省政府交通處港灣技術研究所(以下簡稱為前港研所)¹ 辦理「八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫」，藉以進行台北港環境影響評估以及因應而後工程規劃之用。在此監測計畫中有一項研究綱目：「雷達遙感波浪監測及海況數值模擬」，其構想係基於雷達遙測技術業已逐漸發展成熟，應可實際用於監測海洋波浪，因此擬使用測波雷達以觀測台北港現場波浪並將其結果進行統計、能譜計算以及綜合分析等工作，如此除了可將遙感監測結果與數值模擬結果相互比較驗證外，尚能藉此精進雷達遙測波浪技術。這項研究任務中關於雷達遙測之部份，前港研所再與國立台灣大學海洋研究所(以下簡稱為台大海洋所或海洋所)簽約合作辦理。

88 年 7 月起，海洋所即按照預定進度陸續製作了觀測用之儀器(係使用海洋所自行研發的雷達海象觀測作業系統，Radar Ocean Climate Observation System，簡稱為 ROCOS)，經組裝、測試後於 88 年 9 月 17 日安裝於台北縣八里鄉台北港工地現場，隨後歷經九二一地震以及連續三年多的實地觀測作業考驗，證明此系統具有實用性，其功能足以勝任監測現場波浪之任務。有關 ROCOS 系統之特性規格、測量原理、各項設備配置情形以及前三年度所陸續完成之工作細目、工作過程以及資料比對、特性等詳情均請參閱前三期之研究報告(王等，1999，2000，2001)。

91 年 5 月運研所與海洋所再次簽約繼續合作辦理本(91)年度之監測任務。本年度計畫內台大海洋所負責之主要任務有二，其一為繼續協

¹ 前港研所於精省後改隸交通部運研所，以下將視文意敘述所指時間而變換稱呼，在改隸之前稱為前港研所，改隸後則稱港研中心。

助港研中心代為維持台北港之雷達測波儀長期監測波浪作業，同時代為處理數量龐大的雷達觀測資料，協助人員訓練工作，並將雷達測波數據轉化為相關圖檔以及進行波譜分析和執行與現場實測比對等作業，其次則為精進、改善雷達測波技術，藉以改善量測精度。本期末報告之主要內容包括觀測工作之執行狀況以及作業進度、詳細之資料處理方法以及波譜分析和與現場實測比對等作業內容。目前台北港第一期工程之外廓防波堤部份已於 90 年底合龍，同時堤線也不斷加高，至 91 年中，外堤之高度已對測波雷達掃瞄觀測樁附近海域造成了遮蔽效應，因此自 91 年中以後在海況較平靜時台北港之雷達測波儀幾乎已無法測到觀測樁附近的波浪信號。海洋所為解決此遮蔽問題，乃在台北港東北方之淡水沙崙漁港旁又加裝了一台雷達測波儀，自 91 年 8 月 20 日起開始觀測作業。沙崙漁港旁這台雷達測波儀完全可掌握到台北港外廓防波堤外海域之波浪變化情形，至於台北港原先設置之雷達測波儀則負責監測港區西南側的海域，有關情形將在相關章節(如第五章至第八章)內詳述。

第二章 台北港雷達測波作業簡介

基隆港務局台北港分局辦公室區位於台北港入口崗哨左側後方約二百公尺處，該地區係填海而成，地勢平坦且低，共有三排辦公室房舍呈口字形排列，係由一般工地常見之臨時性鐵皮屋所構成，區域內目前最高之建築物為位於台北港分局港航課辦公室（係位於口字形正中部份，其背面為向海）後方之無線電鐵塔，雷達測波儀之雷達天線即裝設在此塔上，至於雷達主機以及相關之控制電路與電腦主機等則安裝在港航課隔壁之船員休息室內(相關之室內、外圖片均請參閱第一期報告，王等 1999)。

安裝在台北港現場之 ROCOS 測波系統，雷達天線主方向(heading)設定為 315 度方位角，此方向大致與台北港北防波堤走向相平行，而雷達主機則設定為使用窄脈衝寬度之 SP Mode，有效發射距離為 3 海浬(5.6 公里)，使用 10 MHz 的高速採樣所對應之空間相素(Pixel)大小約為每點 15 公尺，由於天線高度較低故每條掃瞄線只設定為採集 256 點相素(系統設計之最大允許值為 1024 點)，因此實際記錄之量測範圍僅為 3.84 公里。此外，控制電路之取樣時序係採用交錯式(Interlace)，即取樣時在相鄰的掃瞄線上採用不同的時相，也就是故意將偶數條掃瞄線之取樣時間延後 0.05 微秒，相當於把相素向後偏移 7.5 公尺(奇數條則不變)，如此一來在製作雷達回跡圖時就可以利用此功能把空間相素之尺寸大小縮小一倍而變為只有 7.5 公尺(早期許多電腦監示器亦均採用類似這種的方法以提供「較高」解析度之顯示功能)，這樣可使輸出畫質較為清晰，然而實際有效的空間解析度係取決於雷達之實際發射脈衝寬度，在 SP Mode 時仍然是 12 公尺。

ROCOS 測波系統正常作業係設定在每小時整點時自動開始波浪量測工作，系統每次會連續採集 32 張圖片(雷達天線轉速為 24 RPM，每轉一圈約需 2.5 秒，32 張共耗時 80 秒)，每小時均儲存完整(R, θ)座標型態(R, θ 分別代表距離與角度)之原始數據，如此每天儲存之資料量(經壓縮處理後)約在 800 Mega Bytes 左右，而一顆 30 Giga Bytes

的硬碟約可儲存一個多月的觀測資料，海洋所作業人員大約每月均定期赴現場一次，進行定保維護以及抽換資料硬碟之工作。資料硬碟回收實驗室後，工作人員先以高密度 DAT 磁帶機將資料備份，然後再將原始資料轉成動畫圖檔(以方便研究人員檢視資料特性)、將 (R, θ) 座標型態之原始數據轉換為計算子區 (X, Y) 座標型態之數據、再根據子區數據計算波浪能譜、繼而由波浪能譜以及經驗公式估算出波高、主波波向、波長、對應週期等波浪參數，最後再將以上這些資料分別燒錄在唯讀光碟片上送交港研中心。由於資料量甚為龐大，通常每顆資料硬碟回收後都需要花費一週以上的處理時間才能大致完成上述的基本作業步驟。

為避免供電不穩定而影響到雷達測波作業，海洋所工作人員亦為台北港之 ROCOS 系統加裝了外接式 UPS 不斷電系統以及設定了斷電後當來電時會自動起動之功能(每隔兩年左右需更新外接電瓶)，但有時(雖然次數很少)斷電後仍可能會發生系統無法自動開啟的情況，目前的處理方式是透過數據機、電話線進行遠端連線，使用 pcAnywhere 作業軟體以不定時之方式人工連線來監控(另外自 90 年 6 月 3 日起亦啟用了 ADSL 連線，測波電腦每小時觀測完畢後均會自動回傳即時測波圖像資料回海洋所波浪資料伺服器主電腦)，遇嚴重狀況(即觀測中斷又無法自行啟動)則再煩請台北港現場值班人員協助。作業方式如下：工作人員通常每天會人工連線一至二次以檢視現場作業情形，如遇特殊情況(如遇到不能以遙控方式排除故障之情形)，此時工作人員則以電話聯絡台北港分局港航課當值人員，請其協助以人工方式開關電源重新開機，自 89 年 3 月起即以此種方式運作，迄今為止成效頗佳。

第三章 問題之性質與背景

雷達是一種重要的遙測工具，根據成像原理一般將其分為兩類討論，即合成孔徑雷達(Synthetic Aperture Radar)以及真實孔徑雷達(Real Aperture Radar, RAR)，其中前者多用於衛星以及航空遙測，而通常所見的雷達(例如船舶上的航海雷達)則屬後者。研究人員使用 RAR 影像來研究海洋現象其實已有多年的歷史，遙測原理如下：雷達天線發射出的電磁波在接觸海面粗糙構造時會產生後向散射，而此散射回波之強度則又與一些外在的、會影響海面粗糙構造性質與分佈的物理因子(如波浪、風力、雨滴、水流分佈等等)間有密切關係，所以可以根據雷達回波訊號強度來反算、估求這些外在物理因子的分佈特性。早在卅七年前，文獻上即有應用航海雷達於海洋波浪方面的研究報導(例如 Ijima et al. 1964, Wright 1965)等，近來坊間更陸續出現了許多種不同的商用雷達測波系統(例如 WAMOS 系統以及 CODAR 系統等等，其中前者即為使用航海雷達，有關系統規格詳情可參見德國 Dittmer Oceanographic Instruments 公司網頁 <http://www.oceanwaves.de> 或先進入 <http://w3g.gkss.de> 後再轉連接，而後者則為使用高頻雷達，其詳細規格請參見 <http://www.codaros.com> 或先進入 <http://marine.rutgers.edu/mrs/codar.html> 再轉連接至其它與 CODAR 相關網頁)，均可在近岸地區設置波浪監測站以長期觀測現場波浪狀況。

由前述知，本計畫緣起於交通部基隆港務局委託運研所港研中心前身台灣技術研究所辦理的「八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫」。這是為了台北港第一期工程施工，必需確實掌握八里、林口海岸漂沙及海氣象與地形變遷特性，藉以因應台北港環境影響評估工作以及工程規劃之需求。鑑於遙測工具漸具實用價值，因此業主(基隆港務局)在監測計畫中也規劃了雷達遙感波浪監測之研究綱目，擬使用測波雷達以觀測台北港現場波浪並將其觀測結果進行統計、能譜計算以及綜合分析等。雷達測波儀是近岸海洋學研究上未來一個充滿發展潛力的量測工具，目前歐美多國(例如美國、英國、德國、挪威等)甚至大陸地區都在開發各式各樣的系統以及發展相關的探測技術，國內方面則有台大海洋所一直致力於相關的研發工作，並在四年前自行開發出了 ROCOS

雷達測波儀系統，因此當年這項雷達遙感波浪監測任務前港研所便與台大海洋所合作辦理。

由前期報告(王等，1999，2000，2001)可知，這些年來 ROCOS 系統經不斷增加功能後，基本上已是一個發展頗為完備的雷達測波系統，目前第一代機型所具備的功能並不亞於國外同類型的商用產品。台大海洋所現已在國內安裝了三套 ROCOS 系統，分別裝設在花蓮和平港、雲林麥寮工業港以及台北港海邊。自 88 年 7 月下旬起和平站之雷達測波儀已持續進行了將近三年半以上的長期海象監測工作，台北港站(88 年 9 月下旬起)也不停地運轉了三年時間(以上二站均為每小時觀測一次)，麥寮工業港站(90 年 1 月起)則已工作了兩年以上的時間(每小時觀測四次)，另外還有一套硬體相同但作業軟體不同的探測系統則裝設在海研一號研究船上，隨著不同航次不定期地執行海面雷達遙測作業。

傳統上一般現場波浪觀測作業多使用單點量測，也就是在海域中選擇一個特定位置然後施放觀測儀器，例如在該處海底或海中觀測樁上置放壓力式測波儀或超音波式測波儀，或是在當地海面上佈放測波浮筒或是浮球式測波儀。如果海域環境複雜需要得到比較全面性的觀測資料，那麼就得在該海域選擇多處地點，然後均施放觀測儀器以執行准同步(如果儀器相距頗遠，而又需要將所有儀器之觀測取樣時間均能同步，其實是一項相當不容易的工作，一般僅能做到近似同時啟動儀器，並不能保證每筆原始數據記錄均能同步)觀測作業，不管如何這種作法由於要使用許多觀測儀器，因此作業成本是很高的，是以海上測波作業多侷限於單點量測方式。由前幾期的觀測結果(王等，2000，2001)知，雷達測波儀由於係使用遙測方法來量測海洋波浪在大面積海域上的分佈構造，雖然其觀測精確度比使用傳統之單點量測儀器為差，但所測到的波浪特性在空間上之相對分佈變化卻是可信的，也就是說雷達測波可以用比較低的作業成本而得到全面性的觀測資料，如果能將上述二種觀測方法結合，利用雷達測波儀之特長以量測波浪場在較大面積海面上之相對變化，而以定點觀測資料作為絕對校正之根據，如此則應當可以同時滿足既掌握空間變化的需求而也有合理的精確度。本年度作業將偏重於加強雷達測波資料在面上的分析結果，將選擇大浪時的資料作為分析之依據。

第四章 研究綱目

本項合作研究工作為四年期計畫，其中第一年係由海洋所為前港研所製作了一套 ROCOS Wave Scanner 雷達測波系統並安裝在淡水八里台北港現場，另外亦協助前港研所建立雷達遙測波浪觀測作業的實地操作技術能力(本項工作業已完成)。第二年起至第四年止，則將所發展之雷達遙測波浪設備以及技術正式上線作業，除了執行海洋波浪監測工作外，並利用監測資料進行統計、能譜及綜合分析，將遙感監測結果與觀測樁上實測結果相互比較驗證。各年度之研究綱目具體條列如下：

第一年度(88 年 6 月至 12 月)：

(一)製作一套 ROCOS Wave Scanner 雷達測波系統，(二)將製作好之雷達測波系統安裝在基隆港務局台北港分局辦公區現場，並進行作業訓練講習，(三)進行系統短期測試比對工作，藉以初步評估雷達測波技術之可信度(以上工作均已完成)。

第二年度(89 年 6 月至 12 月)：

(一)將所發展好之雷達遙測波浪設備以及技術正式上線作業，(二)執行海洋波浪長期監測工作，(三)利用監測資料進行統計、能譜及綜合分析，將遙感監測結果與觀測樁上實測結果相互比較驗證，(四)維護、保養雷達遙測波浪設備，(五)完善資料處理方法以及規劃網頁即時顯示雷達遙測波浪圖像作業系統(以上工作亦已完成)。

第三年度(90 年 6 月至 91 年 4 月)：

(一)將雷達遙測波浪設備以及技術上線作業，(二)執行海洋波浪長期監測工作，(三)利用監測資料進行統計、能譜及綜合分析，將遙感監測結果與觀測樁上實測結果相互比較驗證，(四)維護、保養雷達遙測波浪設備，(五)完善資料處理方法以及建立網頁即時顯示雷達遙測波浪圖像作業系統(以上工作亦已完成)。

第四年度(本年度，91 年 5 月至 92 年 4 月)：

係延續上年度之工作，即(一)雷達遙測波浪設備以及技術上線作業，(二)執行海洋波浪長期監測工作，(三)利用監測資料進行統計、能譜及綜合分析，(四)將遙感監測結果與觀測樁上實測結果相互比較驗證，(五)維

護、保養雷達遙測波浪設備，(六)完善資料處理方法以及網頁即時顯示雷達遙測波浪圖像作業系統，(七)協助辦理人員訓練講習。本年度之研究內容主要包括有現場監測、測波資料分析、對轉換函數進行研究、維護網頁展示系統、比對雷達測波資料、裝備保養以及協助辦理人員訓練等七大類作業，其中裝備保養為每月資料回收時合併進行，因此在本報告中將與監測作業一同敘述。六分類作業之進行步驟分述如下：

(一)現場監測作業部份：

雷達測波儀維持上線狀態(每日 24 小時連續作業)以執行海洋波浪長期監測工作，台大海洋所定期(每月)派人赴現場彙整觀測數據，定期進行裝備檢查保養之工作，每日並透過電話數據機以遠端監控方式掌握測波系統工作狀態，如遇故障情形則儘快派員去現場維修，或以備用系統暫代，儘可能維持監測作業不致中斷。

(二)測波資料分析部份：

測波資料定期回收後進行資料備份、統計、能譜及綜合分析，製作波浪動畫以及統計資料繪圖等後製作工作，每月並將處理後之產品以 DAT 磁帶及 CD 光碟片方式寄交港研中心。

(三)維護網頁展示系統部份：

本計畫在第三年度已建立好網頁即時顯示雷達遙測波浪圖像之作業，可提供使用單位透過電腦網路即能獲得有關即時海況之訊息，對規劃日常海上工程作業或是現場施工方面應有助益。本年度繼續維護、改進網頁內容，並每日監控伺服器運作狀況，確保網頁展示系統正常工作。

(四)比對雷達測波資料部份：

將雷達遙感監測結果與觀測樁監測結果相互比較驗證。這項工作之進度視港研中心所提供之觀測樁監測結果而定，原則上於期中報告時將提出上半年資料之比對結果，而期末報告時則提交全年資料之比對結果。

(五) 對轉換函數進行研究：

將由雷達遙感監測結果所計算出之雷達回波能譜與由觀測樁波浪儀監測結果所計算出之波浪能譜相互比較，以統計方法估求二者間最佳的關係式，並應用此式修正雷達測波系統所用之波高計算公式。另方面也將針對風、雨對雷達測波功能之影響加以研究。以上這些均是精進雷達測波技術所需的基礎，也是海洋所一直持續不斷進行中的研究工作。

(六) 人員訓練講習部份：

由港研中心派員至台大海洋所實地參與作業，以實作兼訓練成效最好，同時亦請港研中心人員參與撰寫台北港雷達測波系統之新版操作手冊。圖 4-1 即為 91 年 9 月 5 日港研中心人員在台北港波浪觀測站參與現場操作講習作業之情形。



圖 4-1 91 年 9 月 5 日港研中心人員在台北港波浪觀測站參與現場操作講習作業。

第五章 監測作業執行狀況

本期計畫合約係自 91 年 5 月底生效，但在此之前(上期計畫係於 90 年 12 月底提出期末報告)台大海洋所仍持續調派人手維持台北港雷達測波作業之運作，例行性工作包括每月定期派員赴現場保養裝備、抽換資料硬碟、執行資料備份以及進行波浪數據轉換、燒錄製作圖像光碟等等，同時每日亦透過數據機經電話線路監看台北港雷達測波系統之工作狀況，如遇有不能以遙控方式排除之故障情形，則以電話聯絡台北港分局港航課當值人員協助，改以人工方式重新啟動電源，使電腦重開機恢復正常運作。由 90 年 12 月迄今(91 年 12 月 15 日回收資料硬碟)為止，台北港雷達測波儀所收集到的測波資料清單如表 5-1 所示，表中第三欄「說明」所列即為該月資料欠缺的時段。過去的經驗發現造成資料缺失的主要原因泰半都是由於停電導致系統當機，然而來電後系統又未能自動開啟，因此就造成在相當長的時間內均無記錄資料(一般每日僅連線檢查一次)。91 年度初電腦曾多次當機，之後雖經多次檢查但並未找出確實原因，91 年 5 月底時台大海洋所工作人員再將電腦重新澈底清潔整理，此後迄今為止系統電腦便未再發生過嚴重當機狀況。由表 5-1 所示之資料統計情形可知，91 年度台北港雷達測波系統資料收集率可達 94.2% (計算方式為：將 91 年 1 月至 92 年 1 月之資料總時數除以觀測總時數，即 8798/9327)，由此看來本雷達測波系統之穩定性尚稱不錯。雖然表 5-1 亦指明 91 年 10 月間曾有兩次長達連續六天記錄中斷事件，其一是發生在本所工作人員隨海研一號出海工作期間(9 月 29 日至 10 月 7 日)，當工作人員返所發現台北港雷達狀況有異後，次日上午便前往台北港處理解決。其次則是 12 月 15 日至 20 日期間，因工作人員在外作業未能及早發現，但返回後亦隨即處理。

雷達遙測波浪資料處理過程如下：資料回收後，海洋所工作人員先以高密度磁帶機將資料備份(存於 DAT 磁帶上)。由於硬碟十分精細十分脆弱，抽換回來的硬碟資料很容易損毀，所以要儘快備份。備份後再將原始資料轉成動畫圖檔，以方便研究人員檢視資料特性以及資料品質狀況。動畫圖檔檔案格式為 GIF，檔名為 TSmmddhh.gif，其中

TS 代表淡水, mmddhh 則為月日時, 代表該圖所對應記錄之觀測時間, 而平均圖檔亦為 GIF 格式, 其檔名類同動畫圖檔, 僅在動畫檔名前再加一 m 字以代表平均, 即 mTSmmddhh.gif。然後再將(R, θ)座標型態之原始數據轉換為計算子區(X, Y)座標型態之數據(此類資料檔案名稱定為 ddhhmmss.sub, 檔名即為該筆觀測資料開始記錄之時間, 其中 dd 為日, hh 為時, mm 為分, ss 為秒, sub 則為延伸檔名)、接著又根據各子區數據計算波浪能譜(能譜檔之檔名前八位數字與 sub 檔完全相同, 但延伸檔名則改為 bin)、由波浪能譜以及經驗公式估算波高、主波波向、波長、對應週期等(又有兩類產品, 其一是 binyymm.dat, 其次則為 tsyymm.dat, 上述檔名中 yy 代表年, 例如 02 表示為公元 2002 年, mm 代表月, 此二種檔案均為 ASCII 文字檔, 內容為波浪計算結果)同時繪製一些相關圖片, 最後海洋所工作人員再將所有這些資料均燒錄在唯讀光碟片上送交港研中心。由於資料量甚為龐大, 通常每顆資料硬碟回收後都需要花費一週以上的時間才能處理完畢。

台北港雷達測波作業係自 88 年 9 月下旬起開始執行, 迄今已進行了將近三年半以上的時間。在這段期間內台北港建港工程也不斷地在持續進行, 外廓防波堤由 89 年 1 月時的一小截(圖 5-1), 隔年而漸增長, 再半年餘(90 年 11 月)而連成一氣, 此後堤線又繼續向西南方延伸, 同時外廓防波堤的高度也不斷升高, 堤岸高度的這種變化情形對台北港雷達測波作業當然會造成影響。主要是因為台北港測波雷達所裝設之鐵架高度不足(見第二章), 因此當防波堤(介於觀測樁以及鐵架之間)高度增高以後便不可避免地會在堤線後方(觀測樁附近)造成了較大的遮蔽區域。自 91 年初起, 台大海洋所就一直密切注意台北港相關地形變化對雷達測波作業所造成之影響, 但因新合約未定之故是以暫時不便採取任何改善方案。合約簽定後, 台大海洋所於 91 年 6 月規劃了幾項可行補救方案, 其中一案是將雷達測波儀遷移到較高地點, 目前港區內確有幾棟興建中的建築物, 因此就長遠計, 未來的確可以將雷達測波儀遷移到新的地點, 但眼前尚不可行。其次一案則為另選輔助地點, 藉以補充被遮蔽區域之波浪觀測工作。經多次勘察後, 台大海洋所認為在淡水沙崙漁港旁的建築物(海巡署訓練中心)視界最好, 如能安裝另

一台雷達測波儀，那麼當可有效涵蓋到觀測樁附近之被遮蔽區域。經內部討論，作業人員咸認為這是目前最可行的輔助方案。方案確定後，台大海洋所便接洽海巡署相關人員探詢可行性，經與討論並蒙口頭同意後始正式行文，又因海巡署尚需進行內部協調及審查作業，待確定不會干擾到海巡署其他相關裝置後，始於 91 年 8 月中旬回文准予安裝

表 5-1、91 年台北港雷達測波儀所收集測波資料清單。N_O：資料筆數(小時)，N_T：該月觀測總時數。

資料時間(年與月)	N _O /N _T	當月記錄中斷時段
2001 年 12 月	718/744	12/6 18L-12/7 10L, 12/9 10L - 20L
2002 年 1 月	703/744	1/19 11L - 1/20 11L, 1/13 05L-20L
2002 年 2 月	666/672	2/11 17-22L
2002 年 3 月	704/744	3/10 07L - 3/11 10L
2002 年 4 月	632/720	4/14 03L - 4/15 13L, 4/17 11L - 4/18 14L, 4/23 21L - 4/24 21L
2002 年 5 月	734/744	5/21 13L – 22L
2002 年 6 月	720/720	
2002 年 7 月	744/744	
2002 年 8 月	744/744	
2002 年 9 月	670/720	9/17 15L – 9/18 10L, 9/24 04L – 9/25 10L
2002 年 10 月	603/744	10/2 15L – 10/8 11L
2002 年 11 月	689/720	11/18 04L – 11/19 10L
2002 年 12 月	622/744	12/15 11L – 12/20 12L
2003 年 1 月	567/567	1/24 14L 回收資料

台大海洋所接獲海巡署核准公文後隨即於 91 年 8 月 20 日將另一台雷達測波儀安裝在海巡署訓練中心樓頂上，與設在台北港之雷達測波儀一起同步執行波浪觀測作業。此台測波雷達之天線主方向設定為 290 度方位角，使用 SP Mode，由於天線高度較高故每條掃描線設定為採集 380 點相素，實際之量測範圍為 5.7 公里。初步測量結果顯示該處視界甚為良好(圖 5-2)，確如初勘時所推測可以毫無障礙地觀測到整個淡水河口以及台北港外廓防波堤以西北和觀測樁一帶的海域，但外廓防波堤以南的港內水域以及八仙樂園附近海域則還是會受到堤線的遮蔽，如果要有效涵蓋到整個台北港內、外側海域，就目前的現實條件來看，必需使用兩台以上雷達同步觀測才可行。由於本計畫為雙方合作辦理，台大海洋所針對這一部份增加的工作並未再另收取費用，同時所收資料(表 5-2)也列入報告內提供港研中心使用。

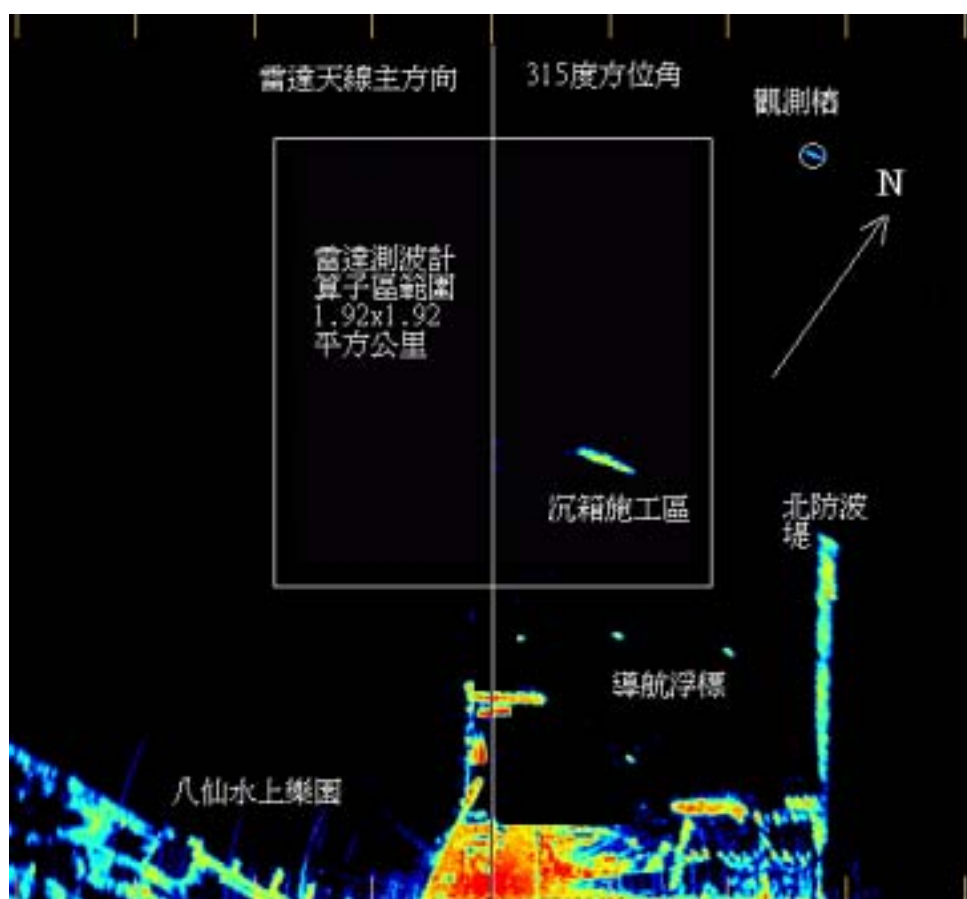


圖 5-1 台北港外廓防波堤施工時(89 年 1 月)之雷達圖像。

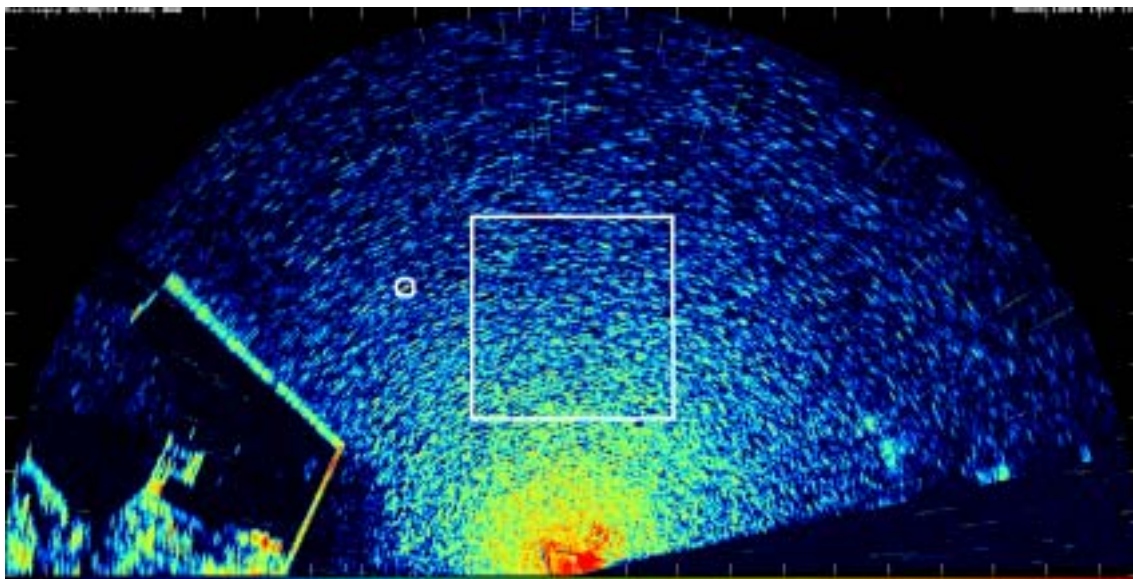


圖 5-2 沙崙港雷達測波圖像(91 年 8 月 24 日)，圖中白框為觀測子區，白圈所示則為觀測樁位置。

表 5-2 91 年沙崙港雷達測波儀所收集測波資料清單。 N_O ：資料筆數(小時)， N_T ：該月觀測總時數。

資料時間(年與月)	N_O/N_T	當月記錄時段
2002 年 8 月	270/270	8/20 16L- 8/31 23L
2002 年 9 月	69/720	9/1 00L – 9/3 20L
2002 年 10 月	340/744	10/8 11L – 10/22 14L
2002 年 11 月	276/720	11/19 12L – 11/30 23L
2002 年 12 月	659/744	12/1 00L – 12/17 01L , 12/20 14L– 12/31 23L
2003 年 1 月	345/345	1/1 00L – 1/15 08L(回收資料)

第六章 轉移函數以及波高之估算法

轉移函數是 ROCOS 系統在估算波高過程中必需使用到的一項關係式，目前我們所用的轉移函數型式是過去根據麥寮港資料以半經驗方式估求出來的，有關詳情可參看上期報告(王等，2001)。由於受到雷達高度以及海堤遮蔽等效應的影響，過去我們並未使用台北港雷達資料來進行轉移函數之估算工作。本年度內由於有沙崙港雷達觀測資料以及觀測樁同步波浪資料之助，我們嘗試以這些資料來作驗證工作。為便於讀者參考起見，首先摘述上期報告中相關分析結果，接著則論述本期計畫之工作成果。

6.1 轉移函數之理論

ROCOS 系統所採用之 FR-8251 雷達原係設計給船舶航行使用的，雷達觀測訊號中除了各型目標物之回波外，尚包括了海面波浪之回波訊號(稱為 Sea Clutter)以及下雨時之雨滴回波(稱為 Rain Clutter)。Sea Clutter 主要是經由兩種物理機制所造成的，其一稱為鏡面反射(Specular reflection)，當雷達波以近乎貼著海面的角度向外發射(稱為 Grazing incidence，低掠照射，導因於雷達天線高度甚低)，此時如海面波形較陡(例如在碎波前緣)，那麼波面就有可能正好形成類似平面鏡或凹面鏡的狀況而對雷達來波產生很強的反射作用，這就是鏡面反射。其次另一種最常見的情形則稱為布拉格散射(Bragg Scattering)。當雷達波接觸到海面上之粗糙體(小波)時會發生後向散射(Backscattering)，如果海面小波之波長和雷達波之波長間能滿足共振關係(參見上期報告，王等 2001)那麼此時雷達波之回波便會產生建設性的加成作用(稱為布拉格共振，Bragg Resonance)，因此 ROCOS 雷達測波儀所觀測之 Sea Clutter 回訊強度主要是反映雷達照射區海面上具有多少能夠產生布拉格共振作用的小波(波長約在 1.6 至 2.0cm 之間)以及這些小波的強度分佈變化。由於小波的分佈情形和海面風應力大小以及大波所引起之水分子運動分佈情形有密切關係(Phillips 1977)，是以可透過重重的理論關係

將 Sea Clutter 回訊強度與海面波浪場特性聯結起來。Alpers (1985)曾指出雷達是海面粗糙度的感應器，如果用雷達截面積率(Normalized Radar Cross Section，簡稱 NRCS) σ 來表示雷達回訊強度，假如海面水平流速 $\vec{u}$ 之輻散為 $\nabla_H \cdot \vec{u}$ ，式中 ∇_H 為水平梯度運算，則根據第一階近似之雷達成像原理，可得出海面上 NRCS 之相對變化($\Delta\sigma/\sigma_o$)和水平流速輻合量間具有正比關係，即

$$\frac{\Delta\sigma}{\sigma_o} = -A\nabla_H \cdot \vec{u}, \quad (6-1)$$

式中 A 為一正值的函數，其數值大小和雷達波長、雷達波掠角、方位角、以及海面風速等等因素均有關， σ_o 則為具一代表性的海面 NRCS 值(Brandt et al.1996)。海面大波會造成水平流速輻合或輻散，後者則又和波場特性間有密切的關係，此外，海面大波起伏也會改變雷達波入射掠角，因此又會改變 NRCS 值，是以雷達回訊強度可以有效地反應出波浪場的特性。

實際觀測作業時，我們每次連續擷取 32 張雷達圖像，每張圖像間隔時間 2.5 秒，如此得到一組 Sea Clutter 回訊強度(2D 資料)的時間序列 $I(x, y, t)$ ，式中 I 為雷達回波強度， x 與 y 則為空間座標， t 為時間。由雷達測波原理知，雷達回波強度 $I(x, y, t)$ 應是海面水平流速輻合量之函數，而後者也是海面起伏 $\zeta(x, y, t)$ 的函數。假設 $\zeta(x, y, t)$ 是一個處於平穩狀態下的隨機函數，為簡化計令 $\vec{x} = (x, y)$ ，那麼可將海面起伏 $\zeta(x, y, t)$ 以 Fourier-Stieljes 積分表達如下(Phillips 1977)：

$$\zeta(\vec{x}, t) = \int \int_{\vec{k} \omega} dA(\vec{k}, \omega) \exp\{i(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega t)\}, \quad (6-2)$$

式中 $\vec{k}$ 與 ω 分別為成份波之波數(wave number)向量以及角頻率，積分範圍則為對所有的 $\vec{k}$ 與 ω 。當 $\vec{k}, \omega \neq \vec{k}', \omega'$ 時， $\overline{dA(\vec{k}, \omega)dA^*(\vec{k}', \omega')} = 0$ ；但是當 $\vec{k} = \vec{k}', \omega = \omega'$ 時，則 $\overline{dA(\vec{k}, \omega)dA^*(\vec{k}', \omega')} = \Phi(\vec{k}, \omega)d\vec{k}d\omega$ ，式中 $\Phi(\vec{k}, \omega)$ 為 $\zeta(x, y, t)$ 之三維能譜密度函數，上標*代表共軛複數，而頂橫線則表示樣本平均(ensemble average)。同法，雷達回波強度 $I(x, y, t)$ 也可表為：

$$I(\vec{x}, t) = \int \int_{\vec{k} \omega} dB(\vec{k}, \omega) \exp\{i(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega t)\}. \quad (6-3)$$

另外，由 Phillips (1977)，根據波浪控制方程式配合適當的波浪邊界條件，則可求出水深 d 情況下，在海面處($z = 0$)由(6-2)式所描述之複雜水面波形所對應之水平流速 $\vec{u}(\vec{x}, t)$ 為：

$$\vec{u}(\vec{x}, t) = \iint_{\vec{k} \omega} \frac{\omega \vec{k}}{k} \coth kd \cdot dA(\vec{k}, \omega) \exp\{i(\vec{k} \cdot \vec{x} - \omega t)\} , \quad z = 0 , \quad (6-4)$$

式中 z 為垂直座標(Phillips 1977)。由(6-2)式知 $I(\vec{x}, t)$ 與 $\vec{u}(\vec{x}, t)$ 之水平輻合有關，即 $I(\vec{x}, t) \propto -(\nabla_H \cdot \vec{u})$ ，因此理論上可以根據這些關係式再將雷達回波強度 $I(\vec{x}, t)$ 與海面波形 $\zeta(\vec{x}, t)$ 聯結起來。實測資料亦顯示在定性上 $I(\vec{x}, t)$ 與 $\zeta(\vec{x}, t)$ 間確呈正比關係，因此由(6-1)至(6-4)等式，我們可以假設 $dB(\vec{k}, \omega)$ 與 $dA(\vec{k}, \omega)$ 之關係也可以用一個簡單的正比響應函數來近似，亦即 $dB(\vec{k}, \omega) = H(\vec{k}, \omega)dA(\vec{k}, \omega)$ ，式中之 $H(\vec{k}, \omega)$ 即為一未知的響應函數，由(6-1)知此響應函數又和雷達掠角、風速等等參數有關，需使用實驗方法來估算，再將響應函數關係式代入(6-3)式，經簡單運算後得出，

$$(1) \text{ 當 } \vec{k} = \vec{k}', \omega = \omega' \text{ 時 } \overline{dB(\vec{k}, \omega)dB^*(\vec{k}', \omega')} = P(\vec{k}, \omega)d\vec{k}d\omega , \quad (6-5)$$

以及

$$(2) \quad P(\vec{k}, \omega) = H^2(\vec{k}, \omega)\Phi(\vec{k}, \omega) , \quad (6-6)$$

上式中 $P(\vec{k}, \omega)$ 為雷達回波強度 $I(\vec{x}, t)$ 所對應之三維能譜密度函數。換言之，如果我們知道響應函數的型式，那麼就可從實測之雷達回波強度能譜再反算波浪能譜。

實際上的作法則比較直覺，假設雷達波與海面反應之非線性效應不很強，那麼雷達回波強度與海面起伏間或可用迴轉積分(Convolution)型式的數學關係式來表示，亦即 $I(x, y, t) = \zeta(x, y, t) * G(x, y, t)$ ，式中 $G(x, y, t)$ 為某反應函數，而符號*則代表迴轉積分運算。對此關係式再作 Fourier 轉換後，由迴轉積分法則另可得出， $F\{I\} = F\{\zeta\} \cdot F\{G\}$ ，式中 $F\{\}$ 代表 Fourier 轉換，而 $F\{G\}$ 即為上述之 H 函數。令 $I(x, y, t)$ 所對應之能譜為 $P(k_x, k_y, \omega)$ ， $\zeta(x, y, t)$ 所對應之能譜為 $\Phi(k_x, k_y, \omega)$ ，而 $G(x, y, t)$ 所對應之能譜則為 $T(k_x, k_y, \omega)$ ，式中 (k_x, k_y, ω) 分別為 x 與 y 方向上之波數分量以及頻率，而 T 即等於前述之 H^2 ，那麼再由上述經 Fourier 轉換後的關係式又可再得到譜函數間的關係，即 $P(k_x, k_y, \omega) = \Phi(k_x, k_y, \omega) \cdot T(k_x, k_y, \omega)$ 。我們

係藉助實驗資料來估算轉移函數 $T(k_x, k_y, \omega)$ 的型態。

6.2 轉移函數經驗式(上期結果)

在上期報告(王等 2002)中，我們根據台大海洋所於 90 年 6、7 月間在麥寮港以雷達測波儀和潮波儀同步觀測的實驗資料組，選取了其中 68 組較有代表性(大浪期間)的觀測數據，再分別求出對應之波浪(一維)波數能譜($\Phi(k)$)以及雷達波數能譜($R(k)$)，然後將二者相除便得出轉移函數之倒數 $T^{-1}(k)$ (圖 6-1)。

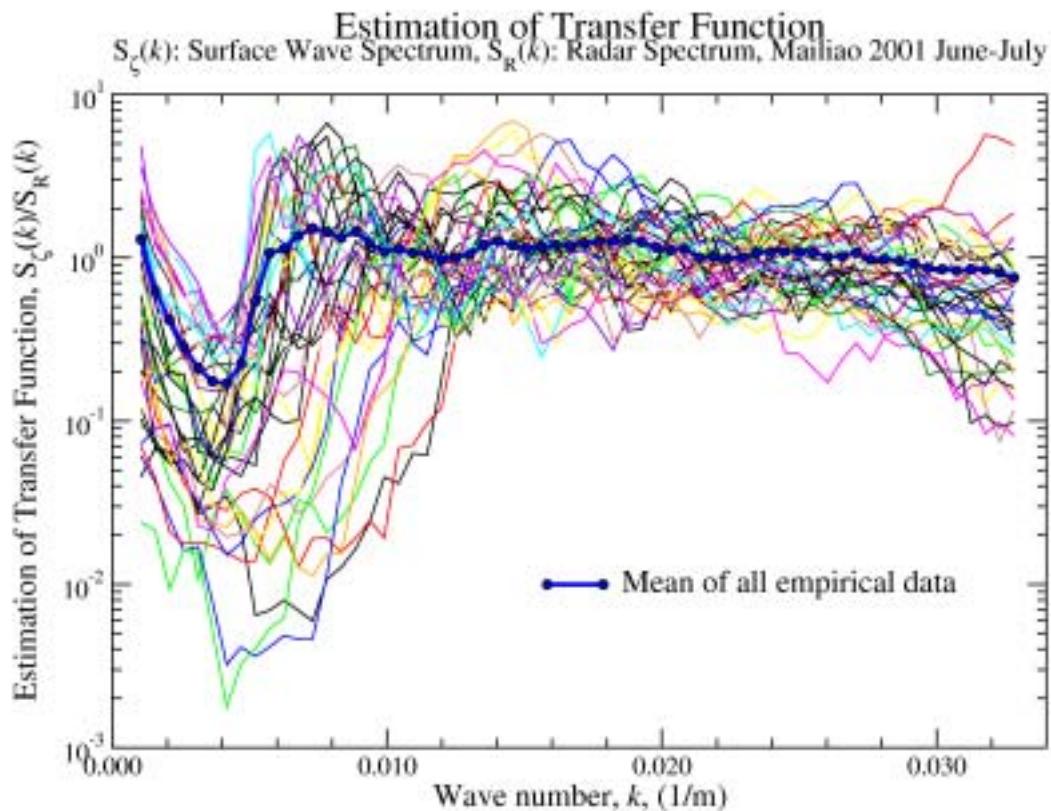


圖 6-1 根據麥寮港 68 組同步觀測資料所求出之 $T^{-1}(k)$ 實驗曲線(各色細實線)以及平均曲線(粗實線加實心圓點)(引自王等，2001)。

圖 6-1 顯示出幾個頗有意思的特性：(1)在 $0.013 \text{ m}^{-1} < k < 0.029 \text{ m}^{-1}$ 頻帶內， $T^{-1}(k)$ 的實驗曲線分佈較為集中，且曲線走勢較為平坦，(2)在 $k = 0.004 \text{ m}^{-1}$ 附近， $T^{-1}(k)$ 的實驗曲線呈現下凹形態，(3)在更低波數 ($k < 0.004 \text{ m}^{-1}$) 頻帶內， $T^{-1}(k)$ 呈現與波數反比之趨勢，(4)在 $k > 0.029 \text{ m}^{-1}$ 的最高頻頻帶內，隨著 k 增加， $T^{-1}(k)$ 反具有輕微下降的趨勢。針對這些特性，我們採用三段曲線來近似這樣的統計關係(圖 6-2)，此關係式

為：(1)低頻部份($k < k_a$)， $T^{-1}(k) \propto k^{7.4}$ ，(2)中頻部份($k_a < k < k_b$)， $T^{-1}(k) \propto 1$ ，以及(3)高頻部份($k_b < k$)， $T^{-1}(k) \propto k^{-1.25}$ ，式中 $k_a = 0.0058 \text{ m}^{-1}$ ， $k_b = 0.023 \text{ m}^{-1}$ 。假設這個三段式的 $T^{-1}(k)$ 關係公式具有等向性(isotropic)，能適合到各種波向，那麼就可假定 $T^{-1}(k_x, k_y, \omega) = T^{-1}(k)$ ，然後便可根據實測之雷達能譜再反算波浪能譜，即 $\Phi(k_x, k_y, \omega) = P(k_x, k_y, \omega) \cdot T^{-1}(k_x, k_y, \omega)$ 。

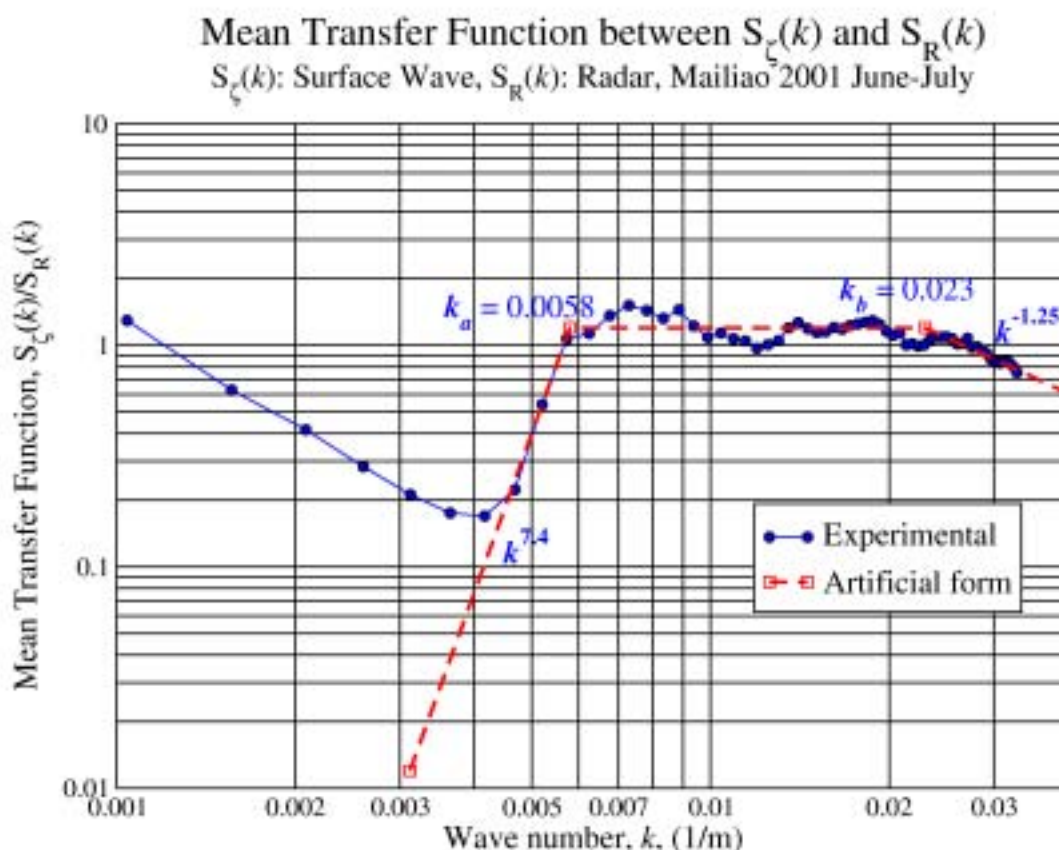


圖 6-2 根據麥寮港 68 組同步觀測資料所求出之 $T^{-1}(k)$ 平均實驗曲線(粗實線加實心圓點)，以及三段式 $T^{-1}(k)$ (紅色虛線)。(王等，2001)

6.3 轉移函數之驗證(本期結果)

在 6.2 節中我們所列出之轉移函數的近似型式是根據過去在麥寮港所獲之同步資料所估算出來的經驗公式，目前台北港雷達測波儀也是沿用此式。台北港雷達測波儀由於受到天線高度以及海堤遮蔽等效應的影響，過去一直沒有機會來實地驗證此經驗式是否合用。本年度增設之沙崙港雷達測波儀觀測效果甚好，因此可嘗試用沙崙港觀測資

料來進行實地驗證工作。我們初步選用了 91 年 12 月期間沙崙港雷達測波儀所測到的原始數據以及港研中心在台北港觀測樁使用 S4 波流儀所測之同步觀測資料，按照 6.2 節類同的實驗方法便可估算轉移函數經驗曲線。圖 6-3 即為該期間內 S4 所測的 $H_{1/3}$ 代表波高之時序變化圖，我們選用 $H_{1/3} > 1\text{ m}$ (圖中之水平虛線)作為判別波浪事件是否為有意義之標準，也就是只分析此期間內當波高大於 1 m 之波浪事件，依此標準共篩選出了 106 組同步觀測數據。在進行下一步分析前，我們從 S4 波高與沙崙雷達測波儀所估波高(應用圖 6-2 之轉移函數以及舊有之估算公式，即 6-7 式，計算所得)之同步變化情形可以看出(圖 6-4)，這兩組時序資料間之正比關係並不穩定，例如有些時段內(如圖 6-4，12 月 7 日下半日至 9 日中午期間)二組波高時序資料之比例係數大小就會和其餘時段內二者之比例係數大小頗不一致，這種正比關係係數會發生階段性變化的原因究竟是由什麼因素所造成的？根據當時之天氣演變情形，我們覺得這種變化主要應當是受到降雨與否的影響，有關降雨影響之詳情將說明如下。

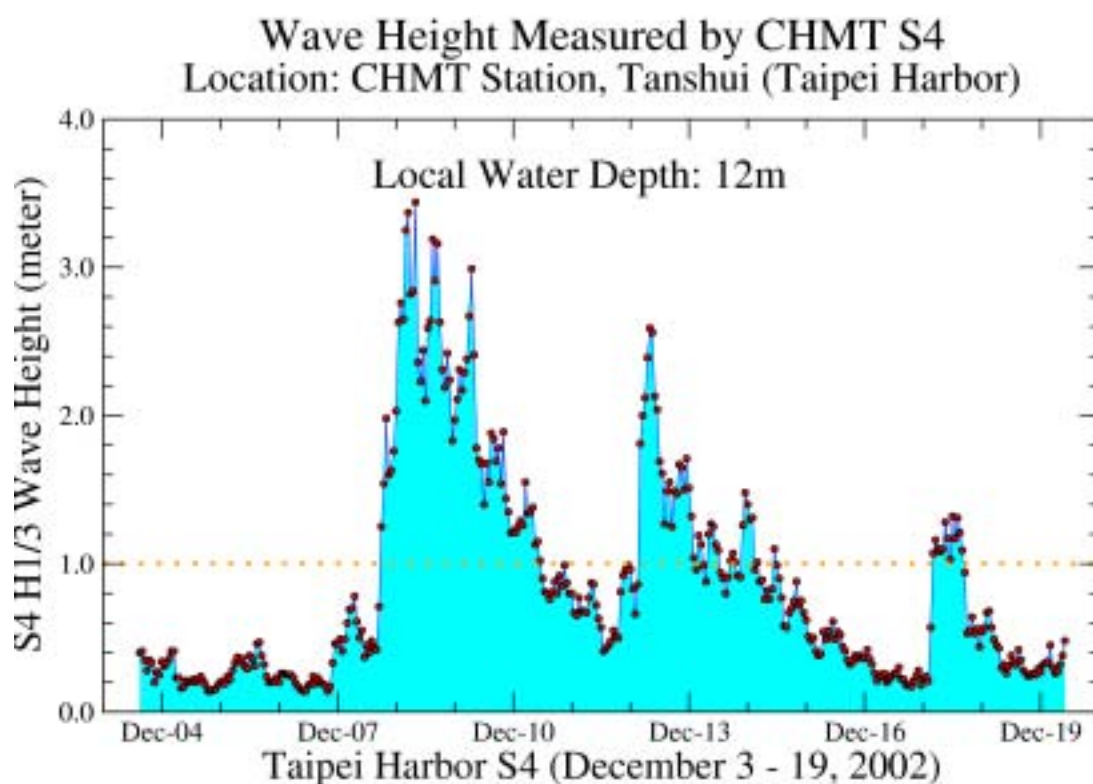


圖 6-3 台北港港研中心觀測樁 S4 波流儀觀測波高，91(2002)年 12 月。

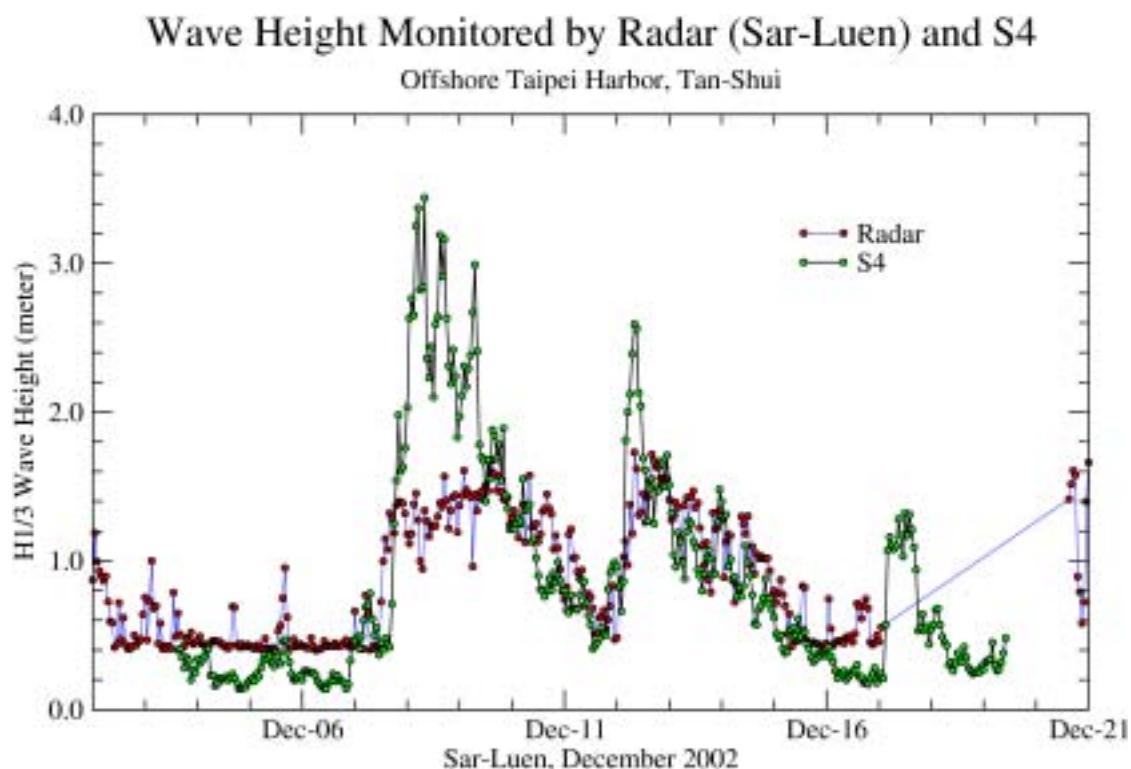


圖 6-4 沙崙港雷達測波儀波高以及台北港港研中心觀測樁 S4 波流儀同步觀測波高，91(2002)年 12 月。

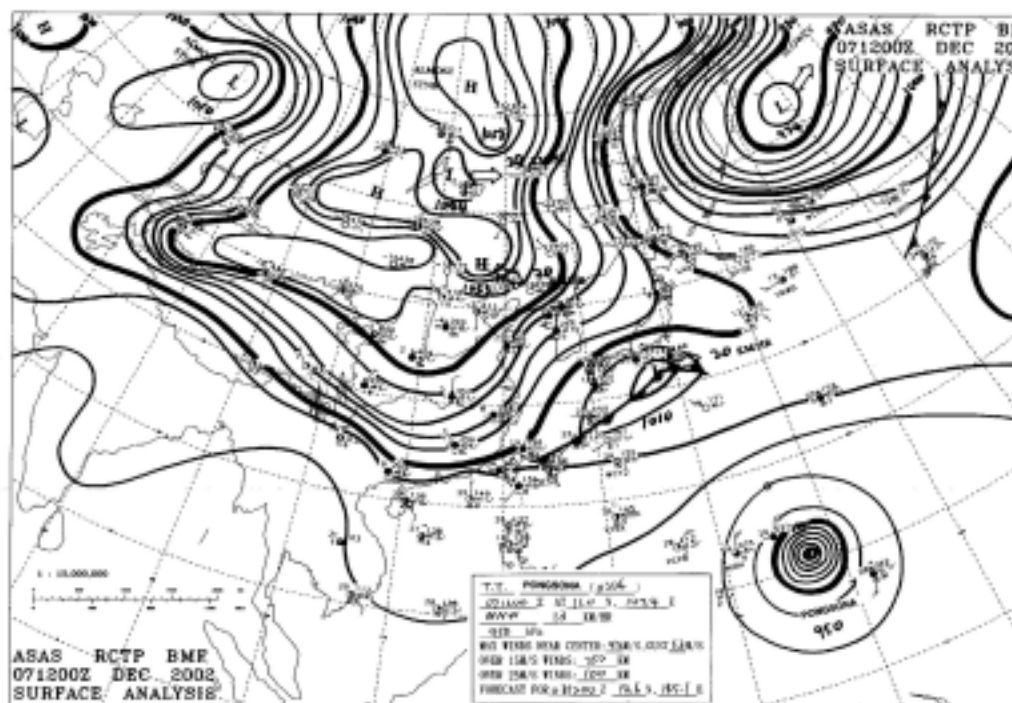


圖 6-5 91(2002)年 12 月 7 日 2000L 中央氣象局地面天氣圖(摘自中央氣象局網頁<http://www.cwb.gov.tw>)。

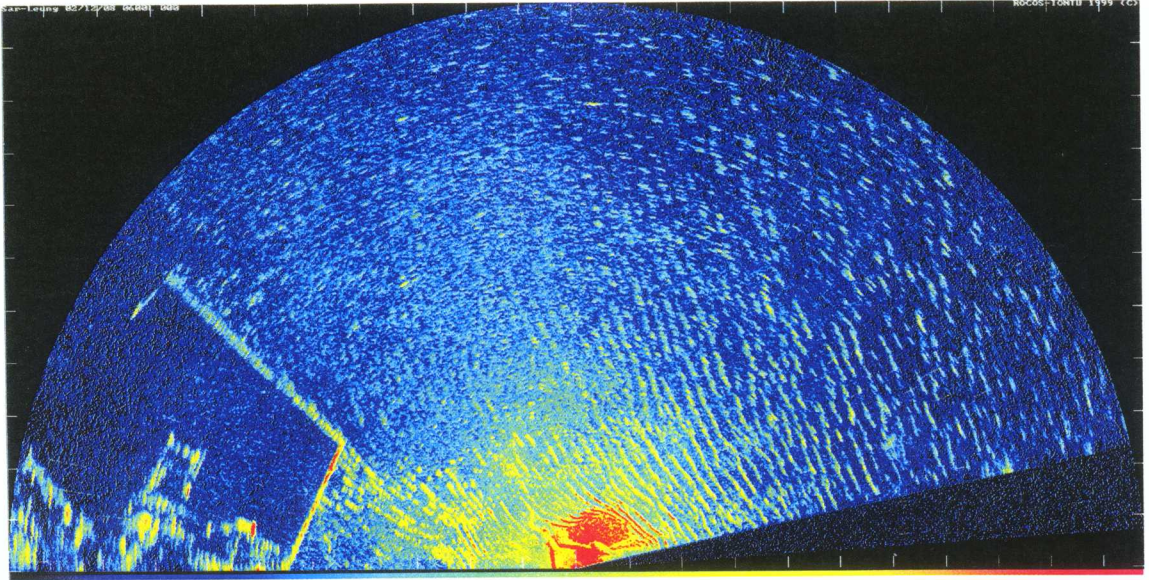


圖 6-6 沙崙港雷達所測下雨時之雷達圖像(91 年 12 月 8 日，0600L)。

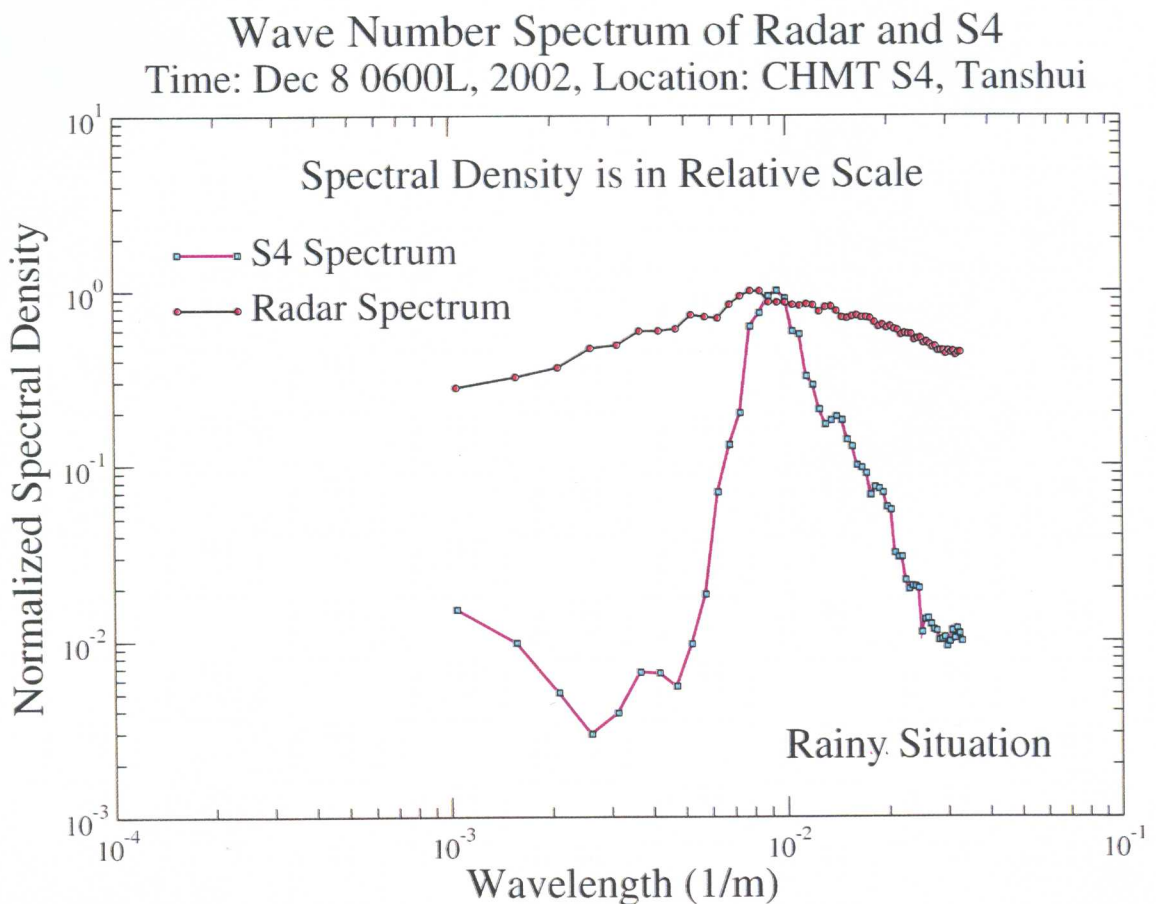


圖 6-7 根據圖 6-6 資料所估算之 5 號子區(圖 8-9)雷達波數能譜以及觀測樁 S4 同時段所測之波數能譜，91 年(2002)12 月 8 日，0600L。

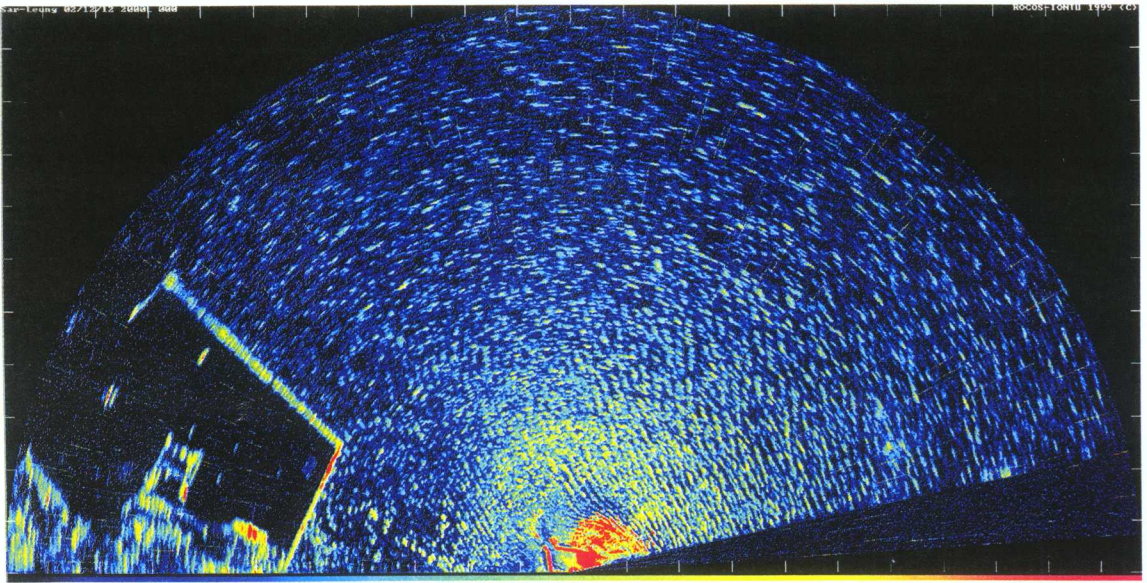


圖 6-8 沙崙港雷達所測晴朗情形之雷達圖像(91 年 12 月 12 日, 2000L)。

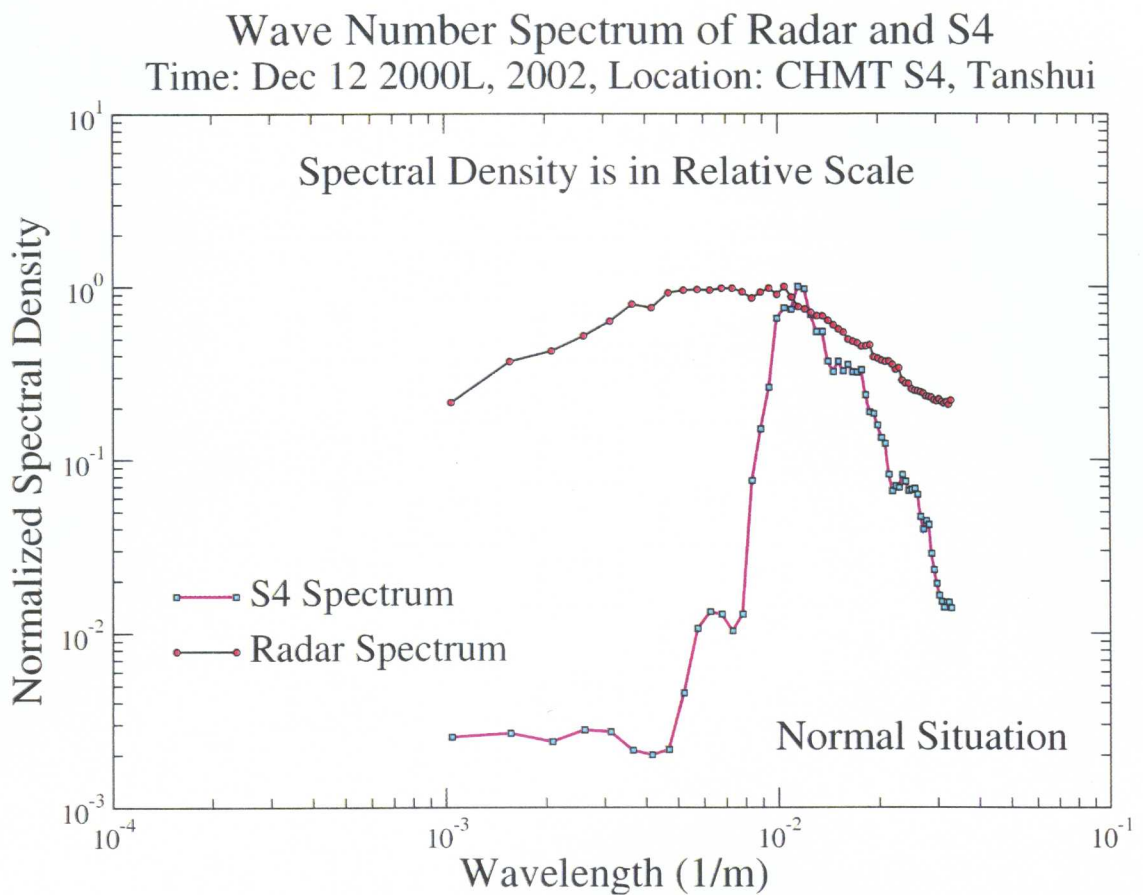


圖 6-9 根據圖 6-8 資料所估算之 5 號子區(圖 8-9)雷達波數能譜以及觀測樁 S4 同時段所測之波數能譜, 91(2002)年 12 月 12 日, 2000L。

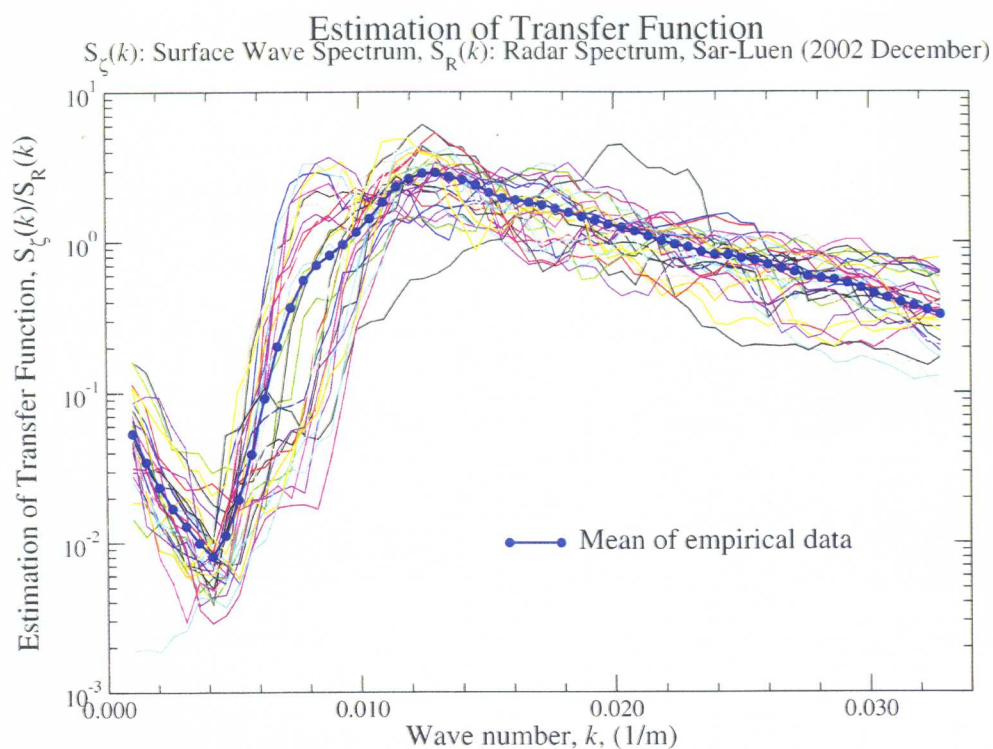


圖 6-10 根據 64 組未下雨之同步觀測資料求出的 $T^{-1}(k)$ 實驗曲線(各色細實線)以及平均曲線(粗實線加實心圓點)。

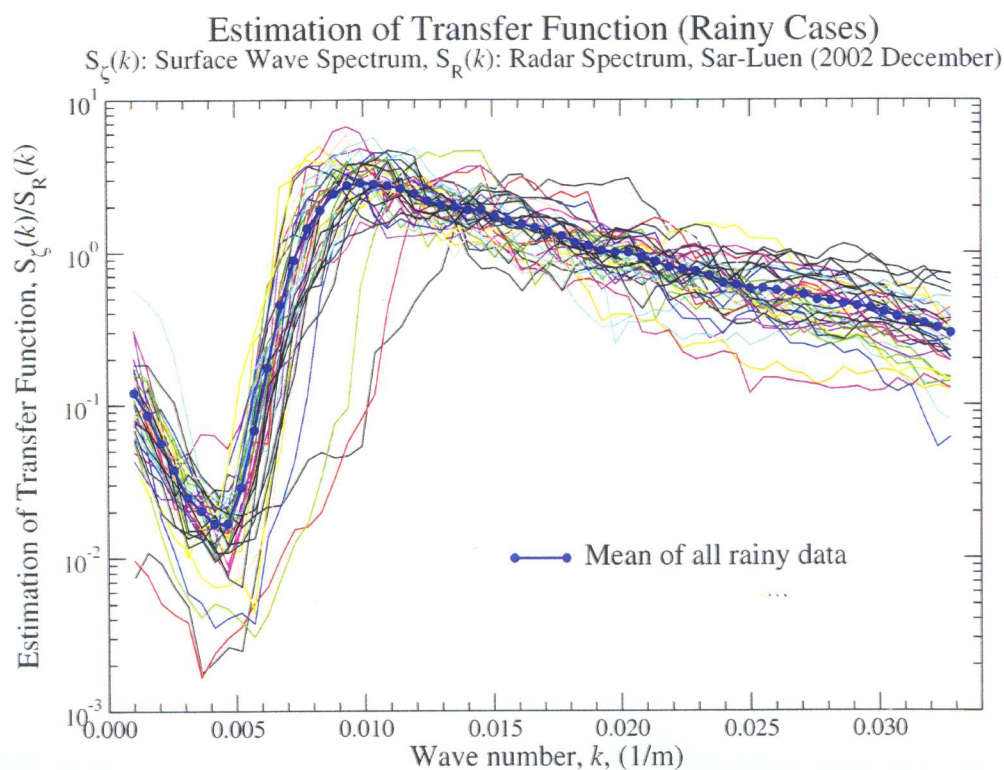


圖 6-11 根據 42 組下雨之同步觀測資料求出的 $T^{-1}(k)$ 實驗曲線(各色細實線)以及平均曲線(粗實線加實心圓點)。

Mean Transfer Function between $S_{\zeta}(k)$ and $S_R(k)$
 $S_{\zeta}(k)$: Surface Wave, $S_R(k)$: Radar (Sar-Luen 2002 December)

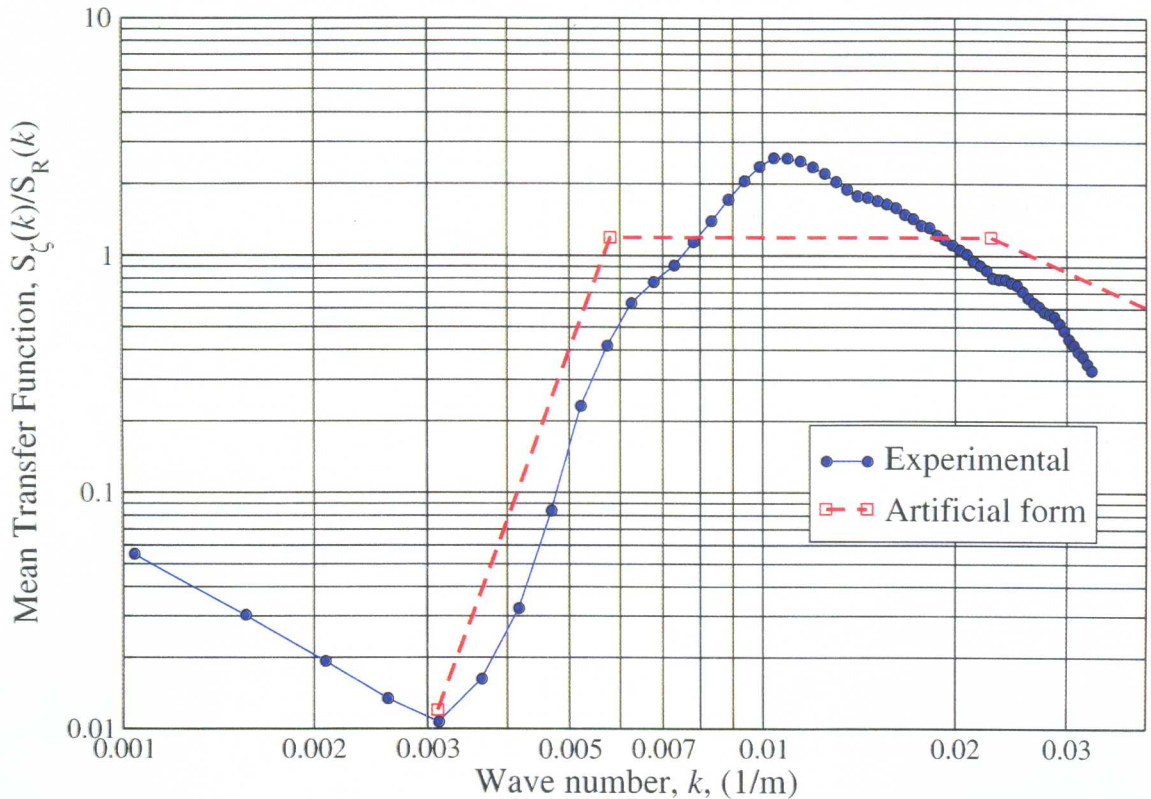


圖 6-12 根據 64 組未下雨同步觀測資料求出之 $T^{-1}(k)$ 平均實驗曲線(粗實線加實心圓點)，以及圖 6-2 之三段式 $T^{-1}(k)$ (紅色虛線)。

由圖 6-5 之天氣圖可知，91 年 12 月 7 日午後一道冷鋒面通過台灣北部，隨後東北季風增強因此造成了一次淡水地區波高快速增高的事件(圖 6-3)。當冷鋒通過時淡水地區轉為陰雨天氣，圖 6-6 即為 12 月 8 日 0600L 時沙崙港所測之雷達圖像，舉例說明了發生降雨時的海面狀況情形，由該圖可看出觀測樁附近之波列圖像顯然受到降雨的影響，以致波浪信號多被雨跡回波所遮掩，圖 6-7 則為圖 6-6 所對應之雷達能譜以及 S4 所測波浪能譜。與此呈對比的例子則為 12 月 9 日午後之資料(如圖 6-8 與 6-9，係 12 月 12 日 2000L 時的沙崙港雷達測波圖像以及對應之能譜曲線)，這些是顯示沒有受到降雨效應下的情形。茲比較圖 6-7 與 6-9，顯然有降水時雷達能譜之形狀變得比較平坦，換言之也就是當發生降水時雷達所測到的波浪信號會被雨跡雜訊所覆蓋，因此造

成能譜形狀改變。

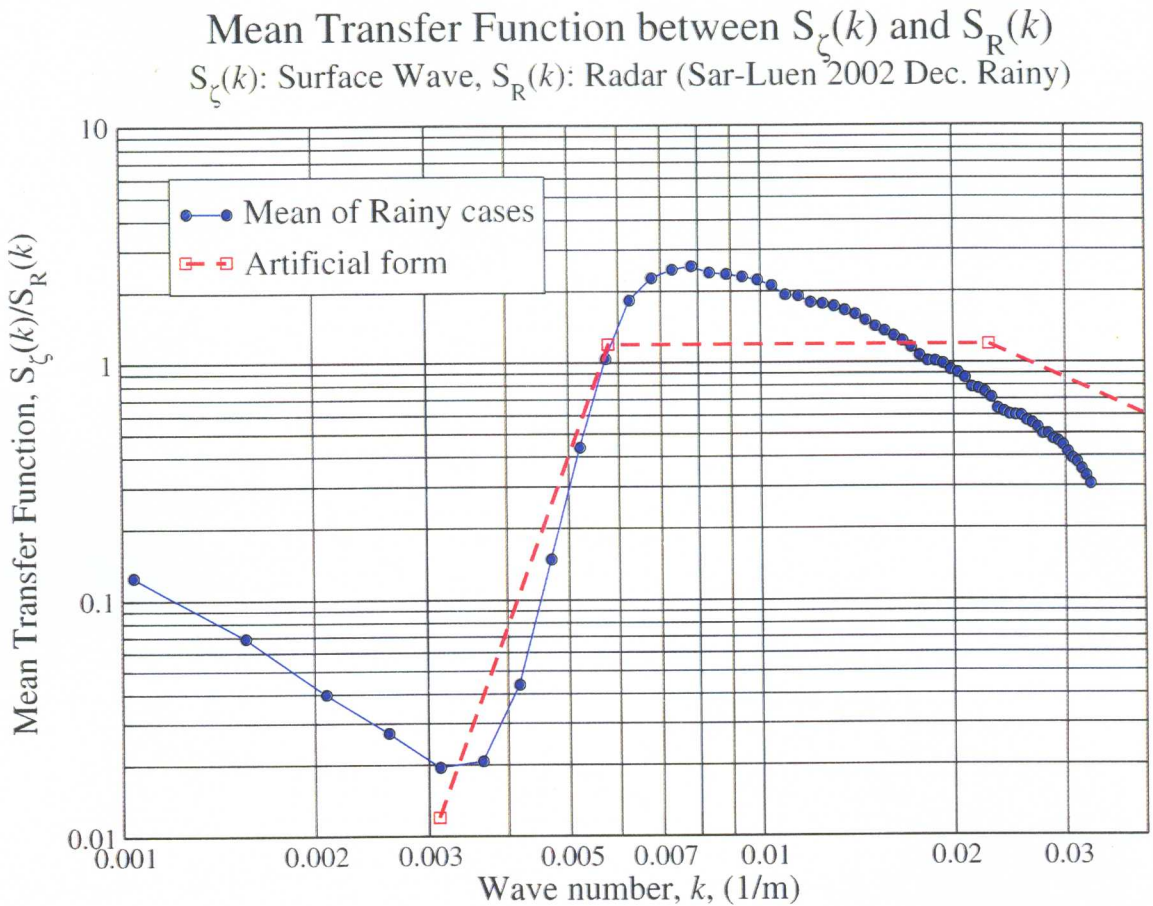


圖 6-13 根據 42 組下雨同步觀測資料求出之 $T^{-1}(k)$ 平均實驗曲線(粗實線加實心圓點)，以及圖 6-2 之三段式 $T^{-1}(k)$ (紅色虛線)。

基於這個理由，我們必須把觀測資料按照天氣狀況(下雨與否)重新篩選分組，經整理後共得出 42 組下雨(或疑似下雨，係以肉眼觀看雷達圖像來研判)時的資料以及 64 組沒有下雨的資料。圖 6-11 以及 6-12 即分別為未下雨以及下雨情況下之轉移函數實驗曲線和其平均值曲線，另外我們也把這兩組(未下雨以及下雨)平均實驗曲線繪製在全對數圖上(圖 6-12 與 6-13)，二圖中之紅色虛線則為 6.2 節中所述之三段式近似曲線(也就是雷達測波儀目前所用之轉移函數型式)。由圖 6-12 與 6-13 可看出，下雨情況時雷達在波數 0.006 至 0.01 m^{-1} 頻帶內對海面波浪反應之衰減較大(所以 $T^{-1}(k)$ 之數值就會變得比較大)，另外不論是否下雨，沙崙雷達測波儀之轉移函數實驗平均曲線和過去所用之三段式近似曲線(即圖 6-12 與 6-13 中之紅色虛線)均頗有差距，經詳細檢查比對

雷達能譜以及 S4 能譜(如圖 6-7 與 6-9)後,我們認為其原因很可能是由於 S4 能譜寬度較為狹窄(如圖 6-7, S4 能譜曲線高頻部份近似為 k^{-4} , 和一般習見之 k^{-3} 相比確實比較窄, Phillips 1977)所造成, 另方面也可能是因為計算子區面積較大, 是以將 S4 頻率譜反算波數譜時就很難決定水深該選用多少? (如水深選用不對就可能造成 S4 能譜與雷達能譜之尖峰位置發生偏差), 因此也會造成轉移函數實驗曲線變形, 也就是使後者呈現出具有尖峰的形狀。總之, 目前的初步分析結果似乎尚不足以作出定論, 我們還需要改進分析方法(例如比對計算似乎應改選用較小的計算子區, 如此則較能適應淡水河口海域這種波浪特性分佈較為複雜的地區, 參見第八章)以及使用更多的同步資料來分析, 這些工作未來將持續進行。目前我們仍沿用 6.2 節中所述之三段式轉移函數型式將雷達波譜轉換為海面波浪能譜。

6.4 波高估算公式

當我們規範出了響應函數之型態便可將雷達波譜轉換為海面波浪能譜, 然後尚需求出雷達觀測值與實際物理量間的比例係數關係式才能估算出波高大小。我們的作法是根據 Ziemer and Gunther (1994), 由於波浪傳播時應遵守離散關係式, 故波能係分佈在 $(\vec{k}, \omega)$ 空間中由波浪離散關係式 $\omega = \omega(k)$ 所規範的曲面上, 實測能譜 $\Phi_0(k_x, k_y, \omega)$ 中與波浪場最相關的能量成份就應當都沿著此曲面附近分佈。因此, 利用波浪場這種離散關係特性便可將能譜中與波浪場最相關的能量成份部份篩選出來, 接著再將篩出部份積分, 其總和值即應與實測之波浪能量成正比, 而其方根值(R_s)則與波高成正比, 再根據 R_s 與實測波高比對後之迴歸關係式就可作為率定公式(Ziemer and Gunther 1994)。

我們目前使用之率定公式係根據台北港 88 年 10 至 11 月的同步觀測資料所統計出來的, 其關係式為:

$$H_{1/3}(m) = 0.65991 - 2.4093 \times 10^{-4} R_s + 4.7377 \times 10^{-6} R_s^2 - 7.4388 \times 10^{-10} R_s^3 \quad (6-7)$$

再將 R_s 值代入(6-7)式並與台北港觀測樁上壓力式波流儀實測波高相比對, 二者間誤差值之標準偏差(standard deviation)為 0.38m (圖 6-14)。前

段所述圖 6-4 中之雷達觀測波高就是根據 6-7 式估算出來的。同樣地，第七章中所有的雷達觀測波高(台北港以及沙崙港)也都是根據此式所估算。

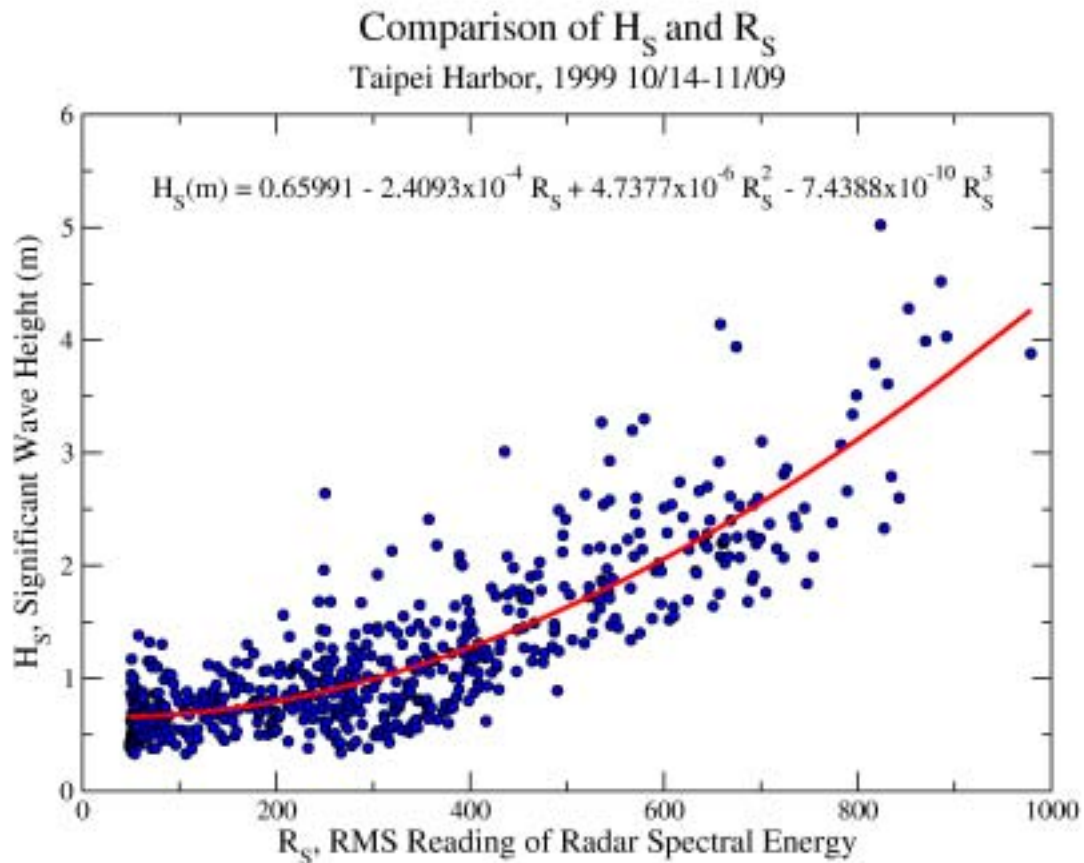


圖 6-14 台北港雷達測波儀 R_S 讀數與觀測樁實測波高比較圖，紅色實線為三階迴歸曲線，資料起迄時間：88(1999)年 10 月 14 日 11 時至 11 月 9 日 1 時。(王等，2001)

第七章 雷達測波與觀測樁測波值之比對

自 88 年 9 月 17 日在台北港安裝雷達測波儀起，迄本年度撰寫期末報告前回收資料硬碟(92 年 1 月 24 日)止，台北港雷達測波儀以及相關電路、電腦等設備總計已持續運轉了將近 40 個月的時間。此外，港研中心在台北港外海觀測樁上亦維持了與雷達測波近似同步之單點波浪觀測記錄，由於觀測樁上的波浪記錄係儲存在自記儀器(目前係使用 Inter-Ocean S4 系列電磁、壓力式波流儀)內，必需等待儀器回收後才能下載觀測數據，目前我們只收到了由 91 年 4 至 12 月中旬的單點波浪觀測記錄，可以作為雷達測波儀比對之用。雷達測波儀電腦端輸出之讀數與雷達截面積(RCS)係成正比，在第六章內我們曾簡述了雷達能譜與波浪能譜間的轉移函數，以及如何將雷達測值轉換成波高的方法(詳見上年度報告，王等 2001)。

7.1 波高之比對

為便於讀者觀看起見，我們將台北港 91 年度監測作業期間(自 91 年 1 月 1 日起至 92 年 1 月 24 日止，後者即為撰寫本報告前最後一次回收資料之時間)所有由雷達測波儀估測之 $H_{1/3}$ 波高值均按月繪製成分月時序圖(圖 7-1 至 7-13)以供參考。同觀測時段內如果也獲有港研中心外海觀測樁上 S4 壓力式波流儀所測到的 $H_{1/3}$ 波高資料的話，那麼這些 S4 數據也被繪製在同圖上以供比較。為了便於分辨起見，當兩種不同來源的資料均繪在同一張時序圖上時，前者(Radar)係以紅色圓點來表示，而後者(S4)則為綠色圓點。

這些時序圖顯示雷達估測波高曲線在 91 年 1 至 2 月間猶呈現出比較明顯的高低起伏狀態，但至 91 年 3 月以後波高曲線卻變成了比較平坦以及和緩。我們知道台北港外廓防波堤(係分為海、陸兩段分別興建)大約是在 90 年 11 月上旬完全合龍的(見上期報告，王等 2000)，因此雷達所觀測到的波高曲線這種變化情形似乎顯示，在 91 年 2 月以前或許由於隆冬東北風仍然盛行之故，台北港堤線雖已合龍但堤防高度尚未增加，因此對雷達測波並未造成重大的影響。91 年 3 月以後東北風

開始減弱，一方面海況變得較為平靜，另方面則因海堤高度被加高了，是以自 3 月起雷達測波儀便開始受到了比較嚴重的遮蔽效應影響。

由於 91 年 1 至 3 月間並無 S4 實測資料，同時觀測樁之波浪測值也要過後很久才能取得，是以海洋所工作人員在 91 年初作業期間雖然已警覺到遮蔽效應可能會造成很大影響，但在新合約未簽定前尚不宜採取行動，直到 5 月時由觀測資料確定遮蔽問題無法避免了，因此海洋所作業人員立即著手規劃補救方案，準備另行架設輔助測站事宜(見第五章)。縱然如此，但新增測站之事又涉及需取得設站地點管理單位之同意，實非一蹴可及，因此海洋所作業人員乃先將台北港雷達測波儀改設定為每小時均完整記錄原始觀測資料一次(原先之設定為每兩小時一次)，這樣一來在後處理階段仍可以重新選擇子區(例如選擇八仙樂園外海，此處並未被遮蔽到)再根據原始記錄重算未遮蔽區內之波浪參數值。圖 7-4 至 7-12 所顯示的便是 91 年 4 至 12 月期間根據圖 5-1 所示子區所估算出的雷達測波波高，由於受到了堤岸遮蔽的影響，這些記錄明白表示出已幾乎完全不能反映出觀測樁所測到的波高變化了。圖 7-14 至 7-17 則為 91 年 8 至 12 月沙崙港雷達測波儀所測波高(子區位置見圖 5-2)與觀測樁 S4 所測波高相對比情形，由此後四圖顯然可看出沙崙港雷達測波儀之波高記錄在定性上完全可以反映出外海波高之變化情形，然而在波高之大小數值上二者間尚存有較大偏差，為了解此偏差情形我們又再選用 91 年 12 月 3 日至 13 日期間的資料來分析台北港觀測樁 S4 波流儀之波高記錄與沙崙港雷達測波儀之同步波高數值的相比對情形，圖 7-19 即為二者之點聚圖，經簡單之統計計算後得出二者間的相關係數達 0.73，另外亦可求出二者之線性迴歸關係式為：

$$H_S \text{ (m)} = -0.2385 + 0.81717 \times H_R \text{ (m)}$$

式中 H_S 為觀測樁 S4 所測之波高值，而 H_R 則為沙崙港雷達測波儀之估算波高。

一般而言，根據歷年觀測資料知，當 H_S 波高值小於 0.7-0.8 m 時雷達測波儀所估算出之波高即無多大意義。此外，如果海上為完全靜風，海面非常平滑且沒有任何小波存在，那麼雷達測波儀觀測效果也不會很好。另方面，由波高比對圖(圖 7-1 至 7-13)亦可看出雷達測波儀

根據 6-7 式所估算出的波高值幾乎沒有小於 0.5m 的情形，這當然是因為所用的波高迴歸曲線(6-7 式)並沒有通過零點之故。不過主要的原因還在於雷達掃描區內(特別是台北港港區)有許多的堅硬物體(沈箱、海堤、防護塊...等等)均會造成強烈的回波信號，這些干擾使得雷達回波信號中背景雜訊過強，因此就造成雷達觀測之均方根讀數值大增，乃使偏差值變大。修改轉移函數以及改良濾除雜訊之方法或許可以改善這種偏差。

7.2 波向與波週期之比對

在上(7.1)節內我們以時序圖方式比對了雷達遙測所推估之波高以及同時段在外海觀測樁上由 S4 波流儀所測之 $H_{1/3}$ 波高(圖 7-1 至 7-18)，另方面我們亦選用了沙崙港資料繪製了二者之點聚圖(圖 7-19)以及計算其迴歸關係式，根據這些比對結果可知台北港雷達測波結果深受堤岸增高所產生之遮蔽效應所苦，因此將台北港雷達測波儀所推估之波浪參數與觀測樁所測者相比並無太大意義，只有沙崙港雷達測波儀所推估之波高與後者間有不錯的統計關係，因此我們亦選用沙崙港之資料作為波浪週期與波向比對之根據。

圖 7-20 為沙崙港雷達測波儀所推估之波浪週期與觀測樁 S4 所測波浪週期之比對時序圖，而圖 7-21 則為二者之波向比對時序圖。這些比對結果顯示雷達所估算出的週期和 S4 所測者基本上是呈正比關係，但由雷達能譜所估出之主波週期數值相對較大，另外圖中尚有許多顯著偏離點(雷達估值偏大太多)，這些大偏差點多發生在波高小時(試同時觀看比較圖 7-18 之波高變化)，但當 S4 波高大時則雷達所估測之週期與 S4 所測值就較為一致。至於波向比對亦和週期比對具有類似的趨勢，即波高大時二者分佈比較一致，但波高小時則偏差較大。因此可認為在大波情況下雷達測波儀所測之波向、週期等數值較為可信。造成此種偏差的主要原因有二：其一為所用轉移函數形式並不理想，其次則為所用之觀測子區內的水深值不當所致。由於週期是根據波長以及水深代入波浪離散關係式後算出來的，潮汐效應當然會改變水深，但我們根據雷達能譜尖峰波數反算波浪週期時卻是採用固定水深，因

此就會產生偏差。另外在反算波浪能譜時，如果轉移函數形式不佳也會造成反算之波浪能譜形狀產生偏差，那麼週期估算也就會造成偏差。總之，根據雷達資料所算出來的是波數能譜，由其所估算之波長值其為甚為精準，但轉換為週期就會受到很多因素的影響，同理將週期轉為波長亦然。

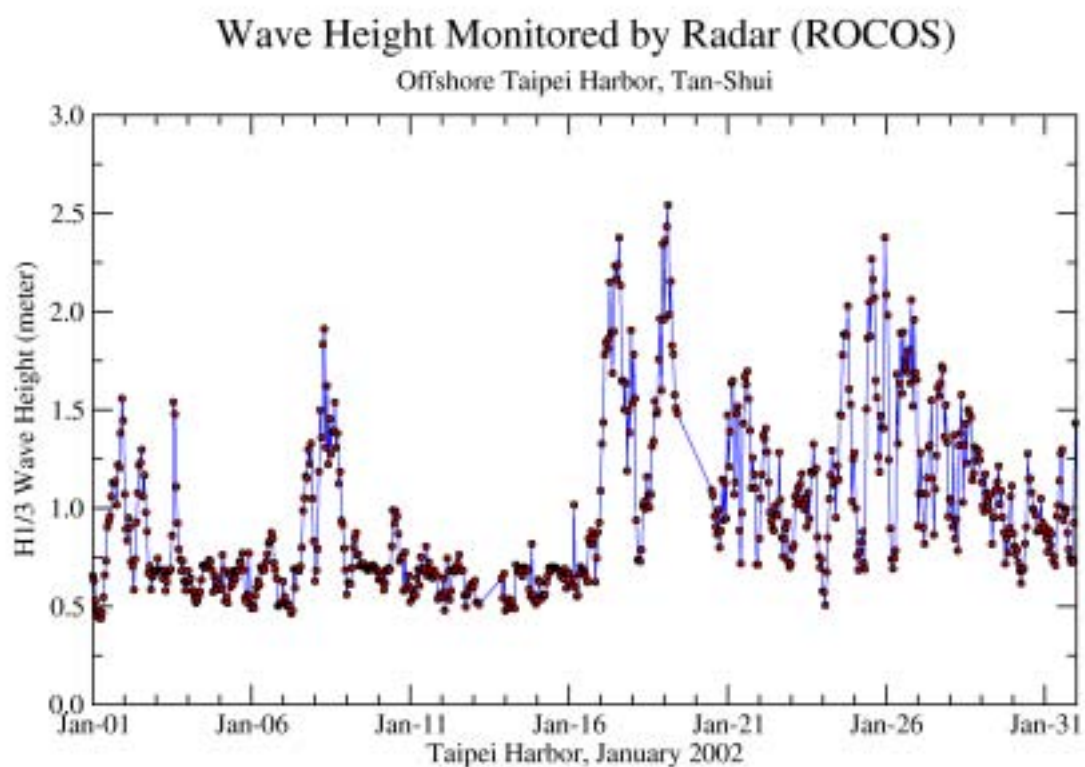


圖 7-1 91(2002)年 1 月，雷達波高(Radar)時序圖。

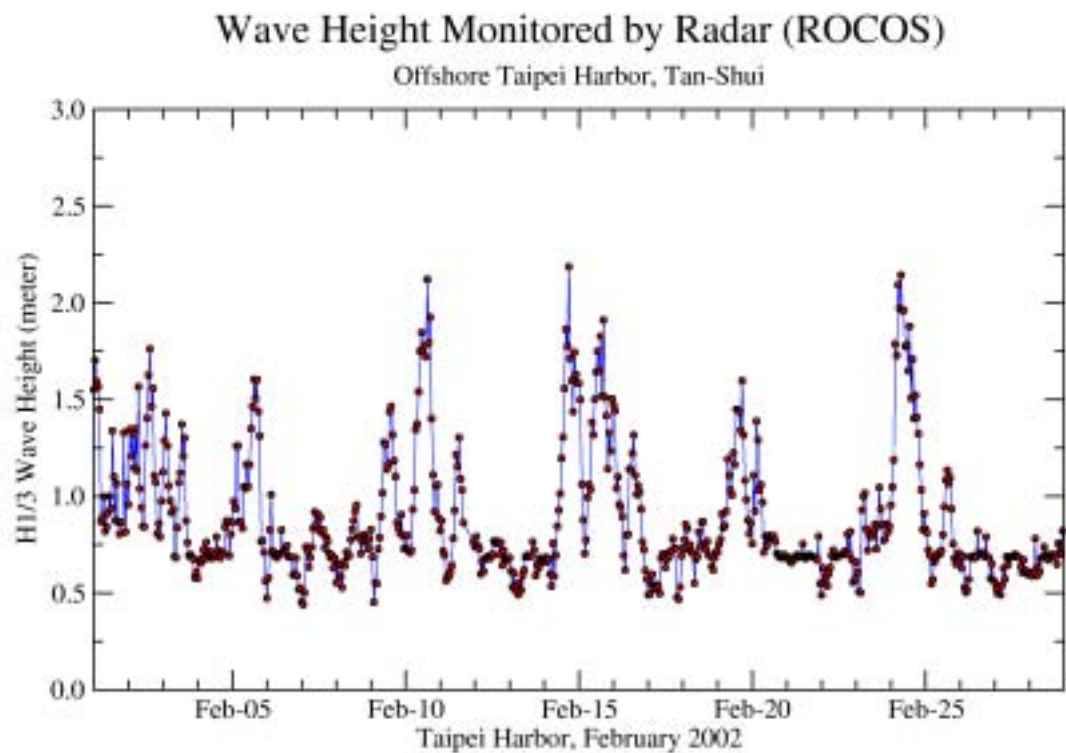


圖 7-2 91(2002)年 2 月，雷達波高(Radar)時序圖。

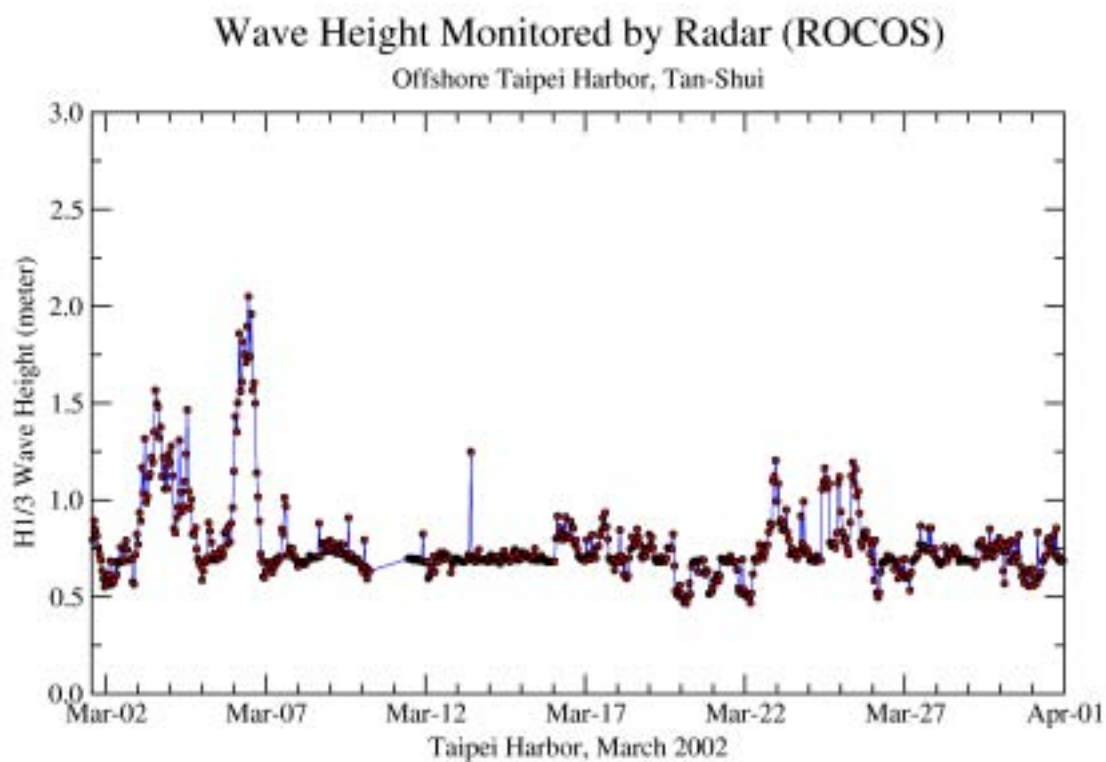


圖 7-3 91(2002)年 3 月，雷達波高(Radar)時序圖。

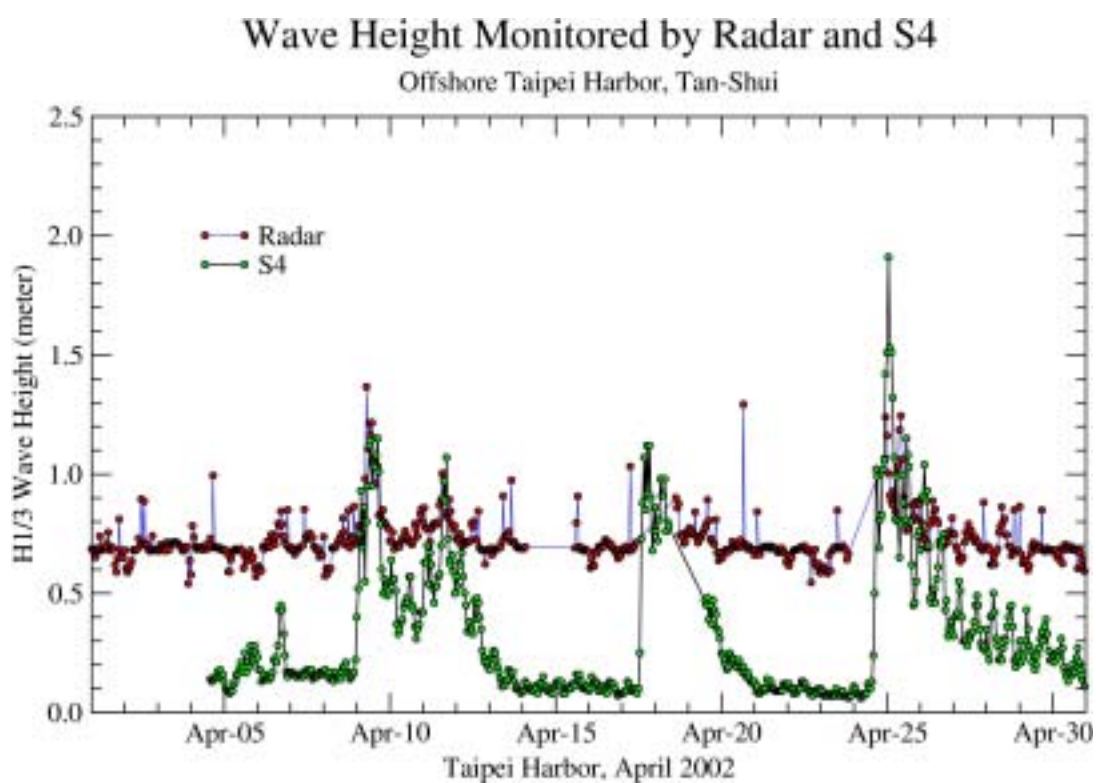


圖 7-4 91(2002)年 4 月波流儀 $H_{1/3}$ 波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖

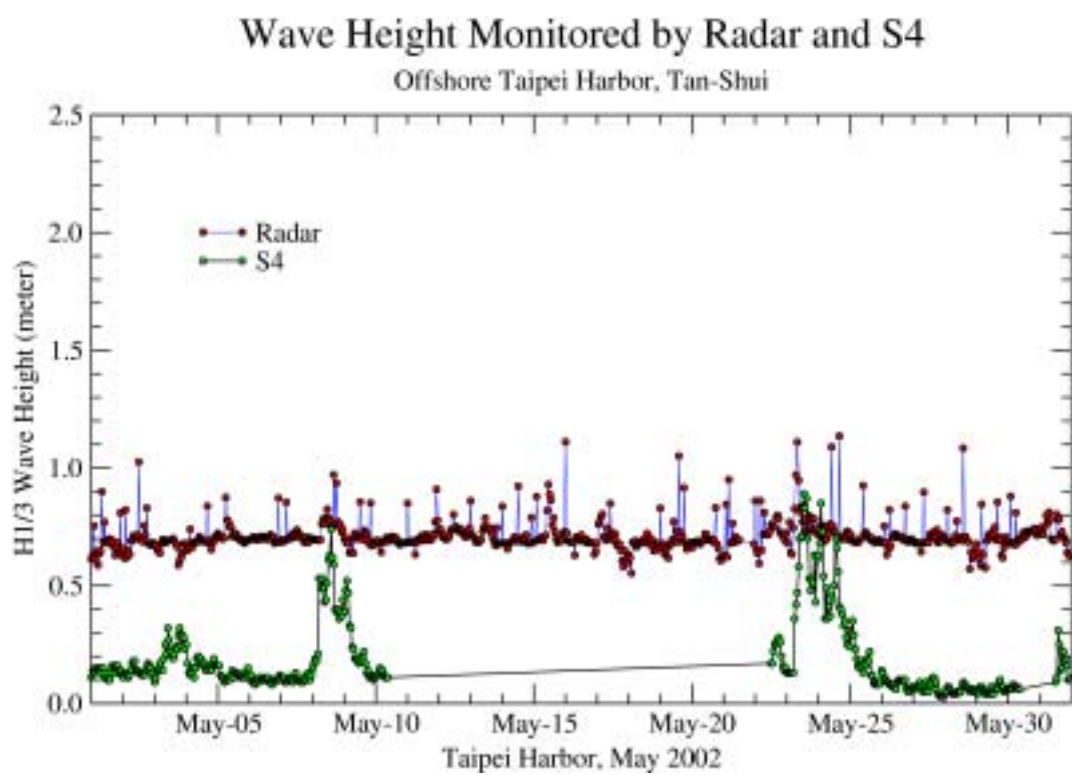


圖 7-5 91(2002)年 5 月波流儀 $H_{1/3}$ 波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖

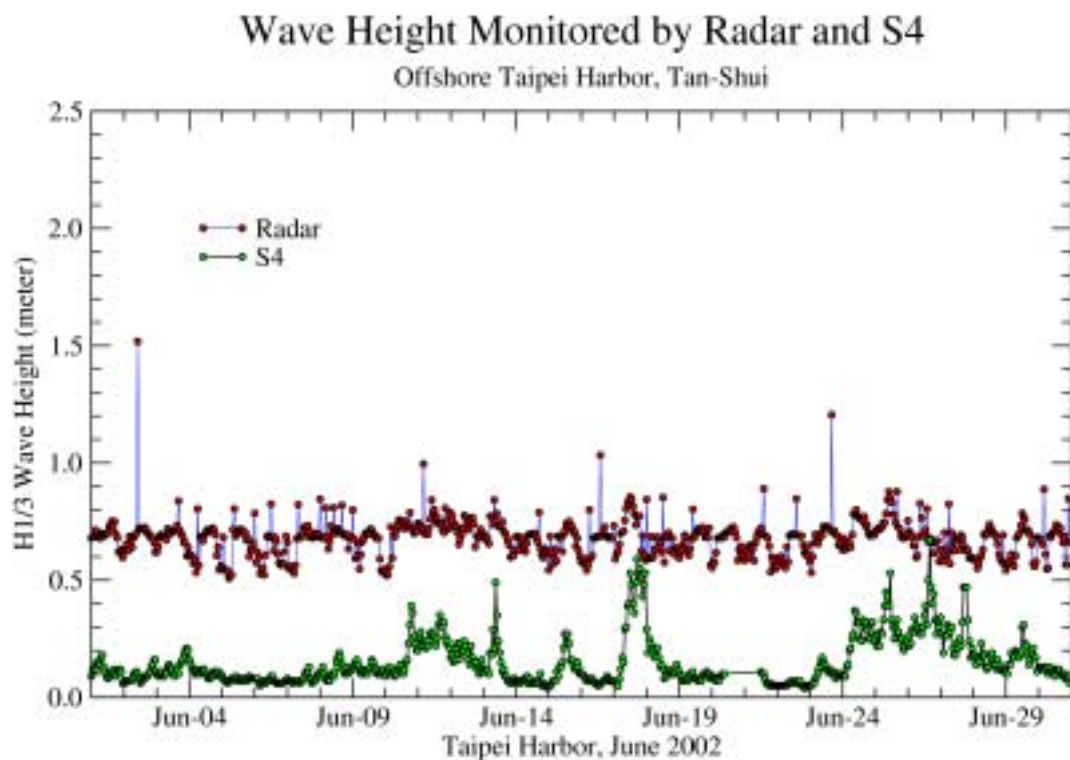


圖 7-6 91(2002)年 6 月波流儀 $H_{1/3}$ 波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖

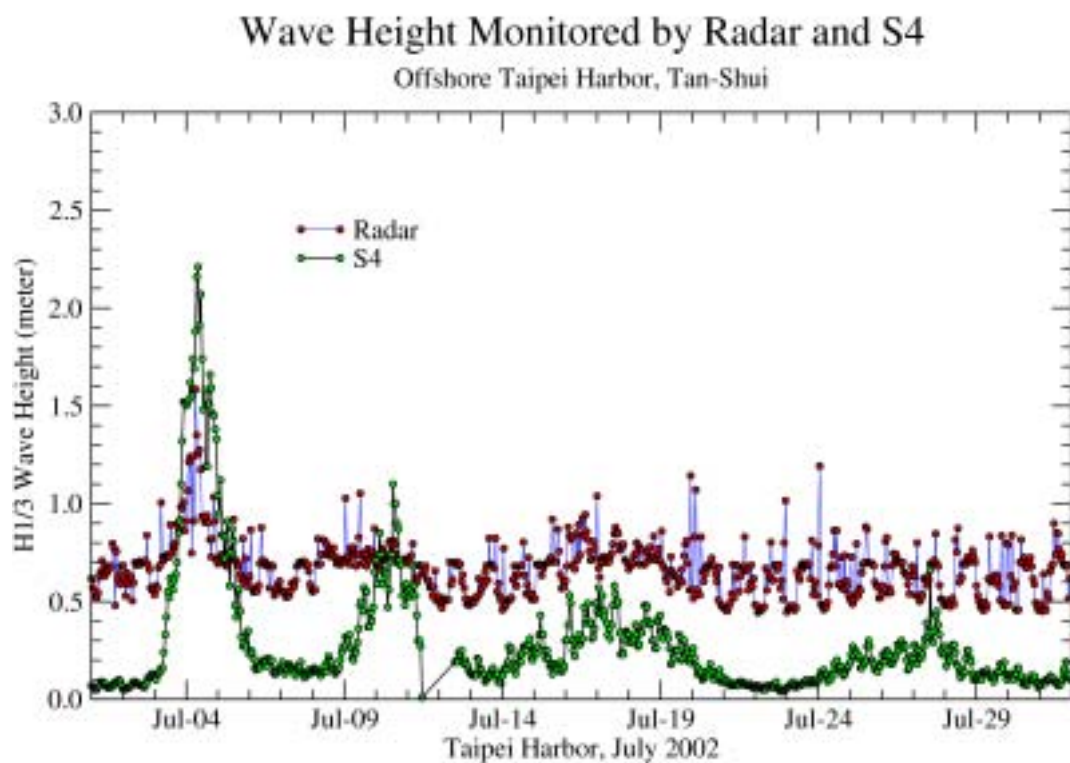


圖 7-7 91(2002)年 7 月波流儀 $H_{1/3}$ 波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖

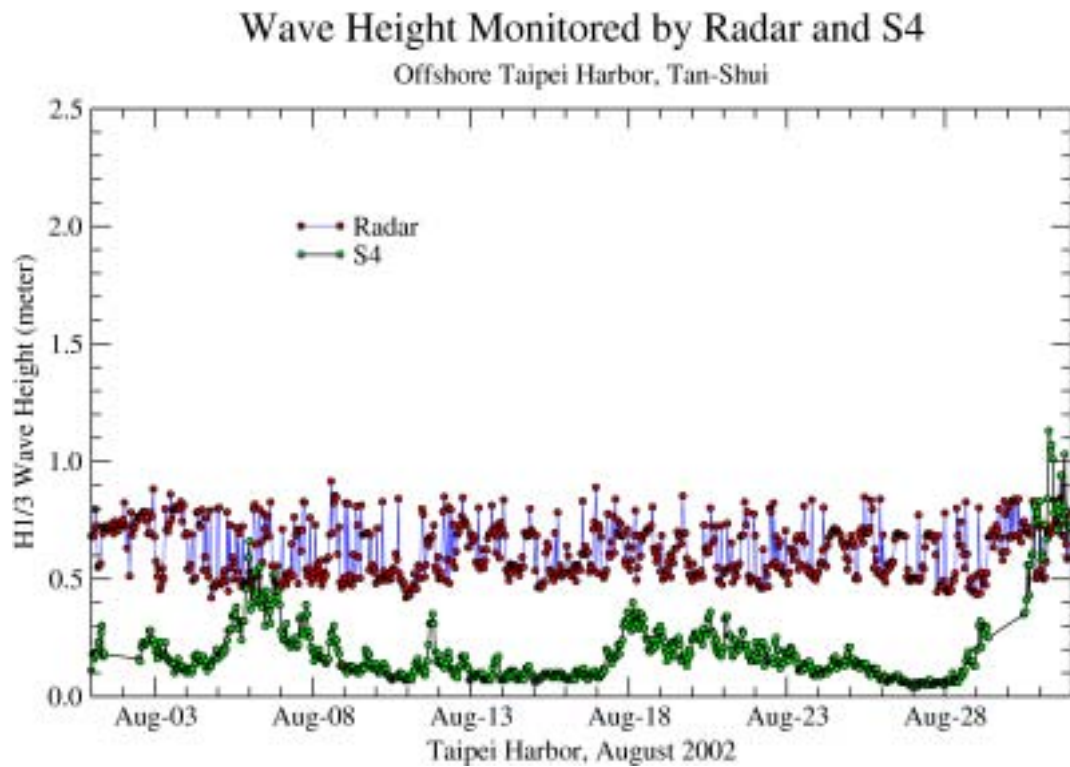


圖 7-8 91(2002)年 8 月波流儀 $H_{1/3}$ 波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖

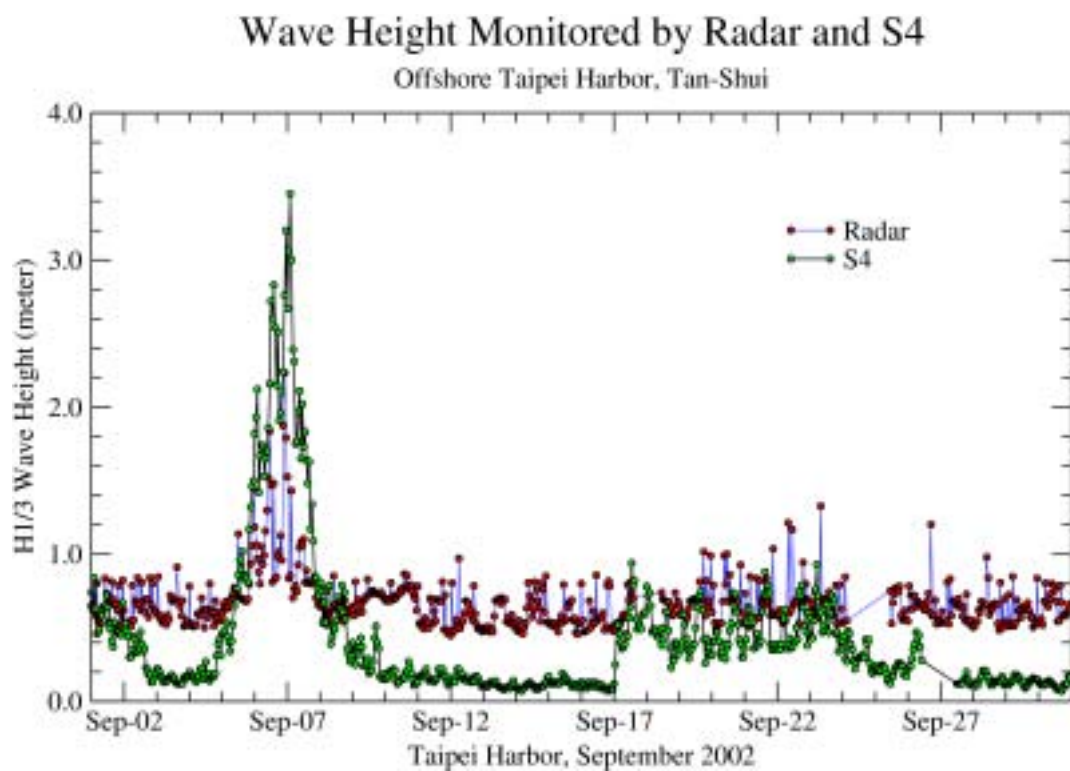


圖 7-9 91(2002)年 9 月波流儀 $H_{1/3}$ 波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖

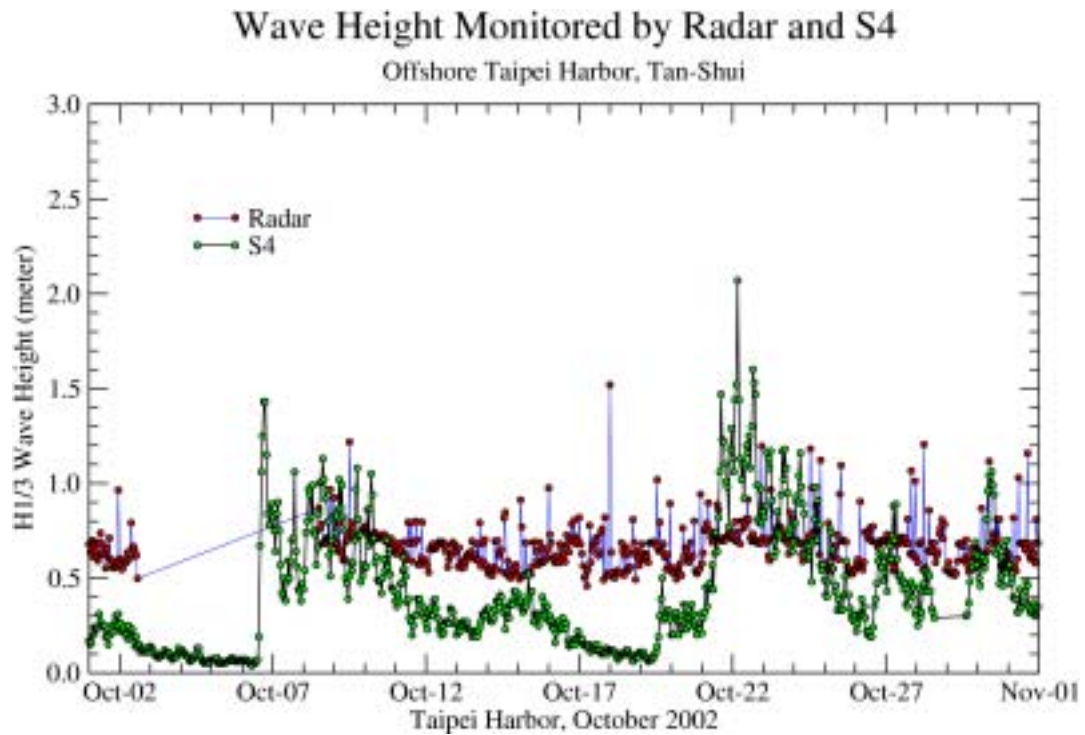


圖 7-10 91(2002)年 10 月波流儀波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖。

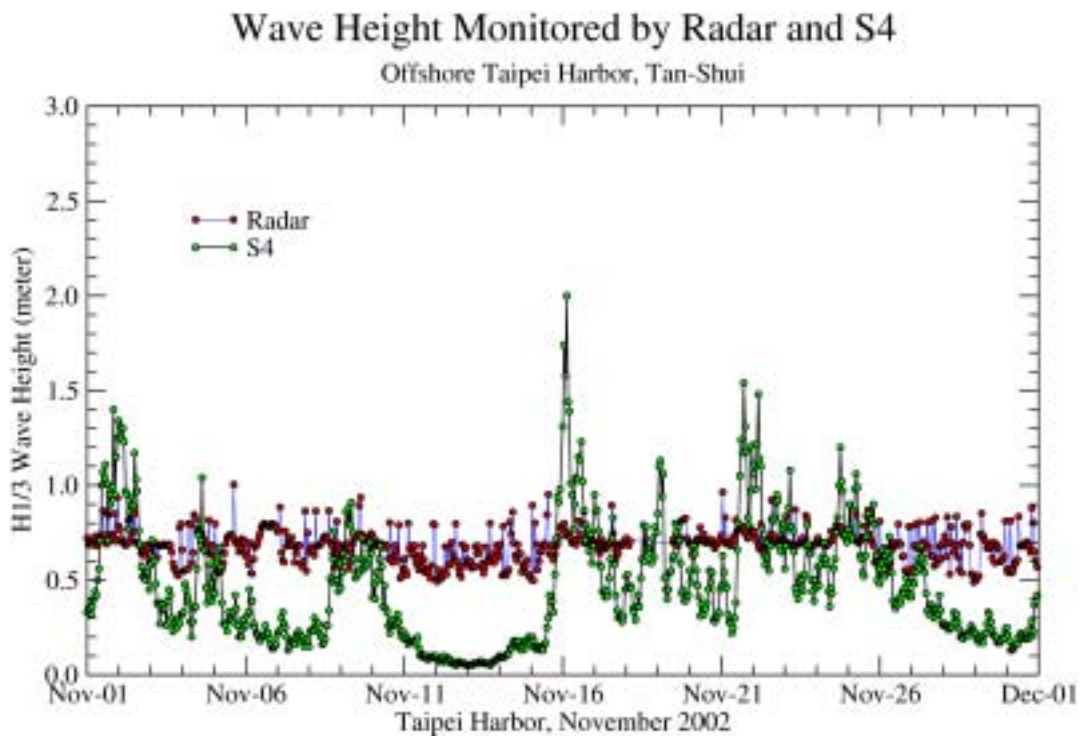


圖 7-11 91(2002)年 11 月波流儀波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖。

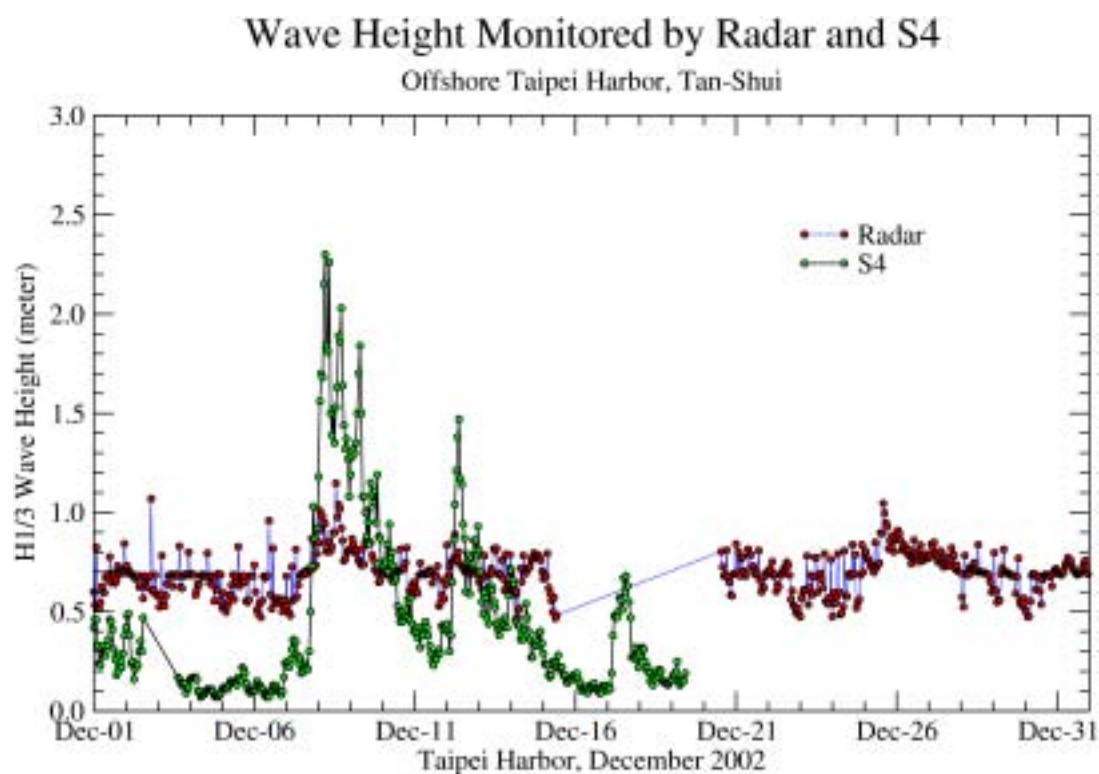


圖 7-12 91(2002)年 12 月波流儀波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖。

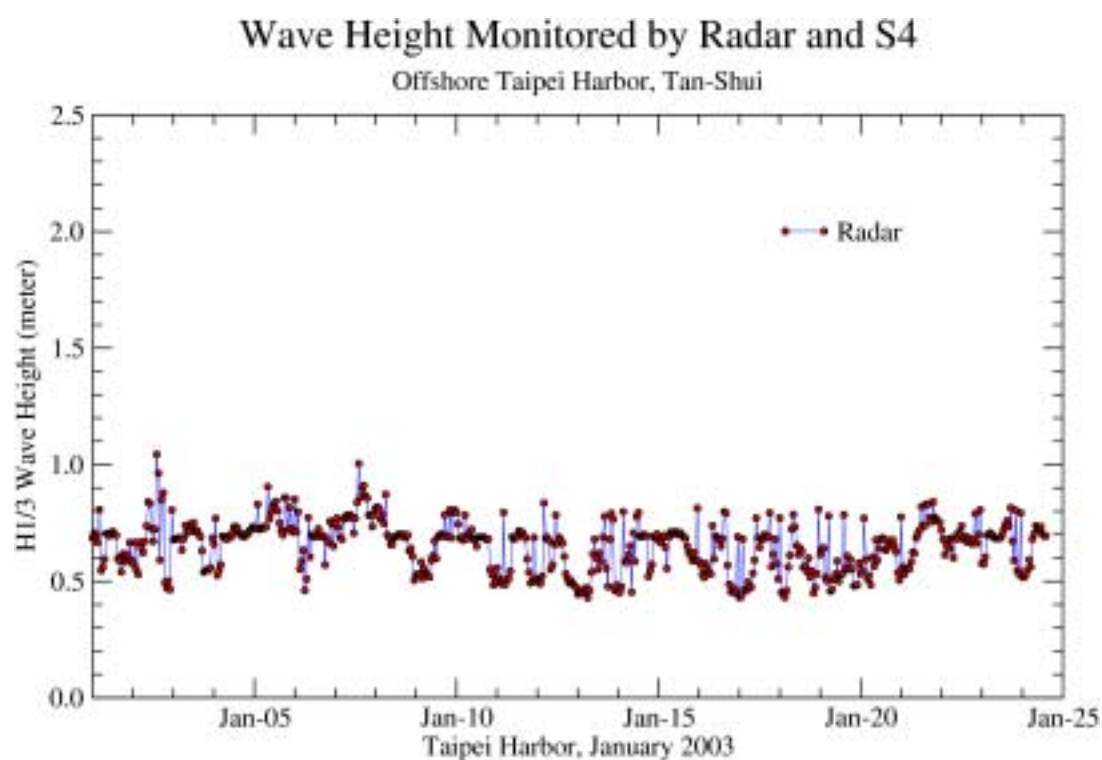


圖 7-13 92(2003)年 1 月波流儀波高(S4)與雷達波高(Radar)時序圖。

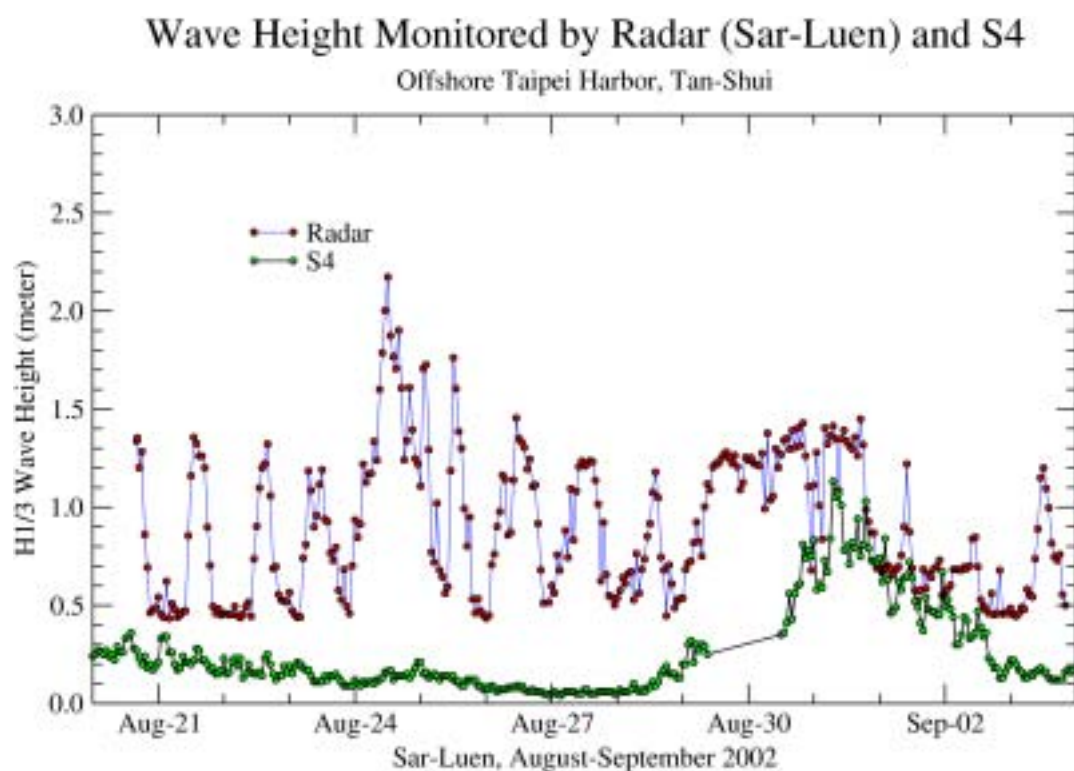


圖 7-14 91(2002)年 8、9 月，波流儀 $H_{1/3}$ 波高與沙崙雷達波高時序圖。

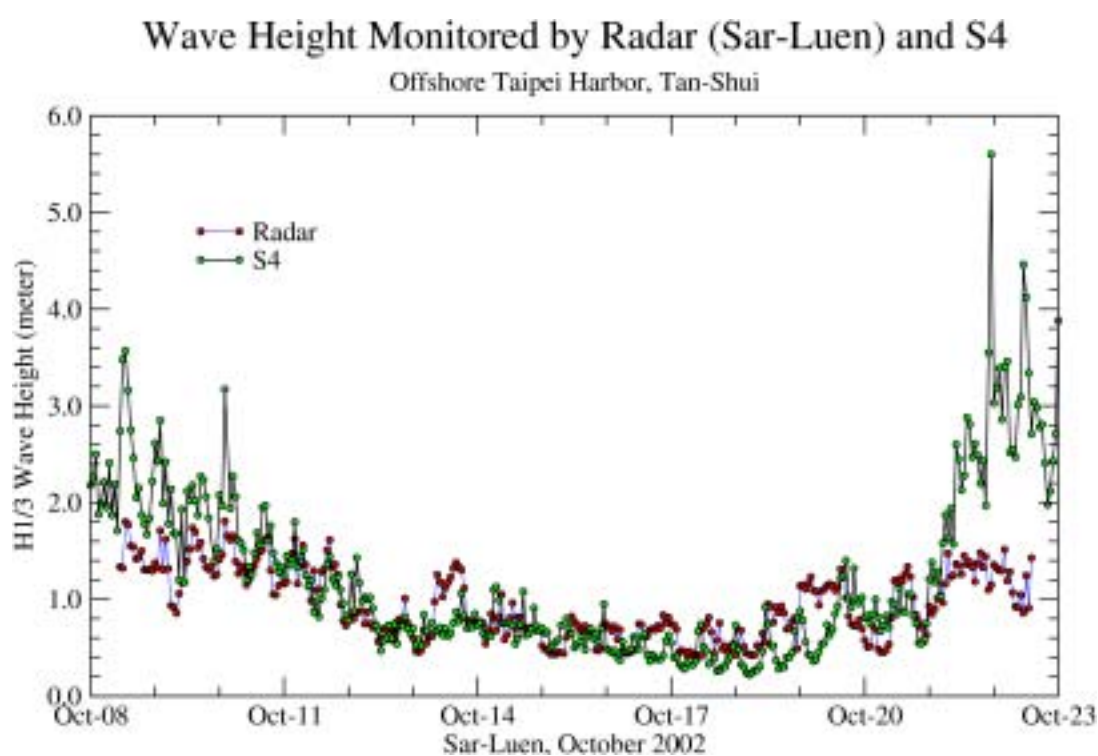


圖 7-15 91(2002)年 10 月，波流儀 $H_{1/3}$ 波高與沙崙雷達波高時序圖。

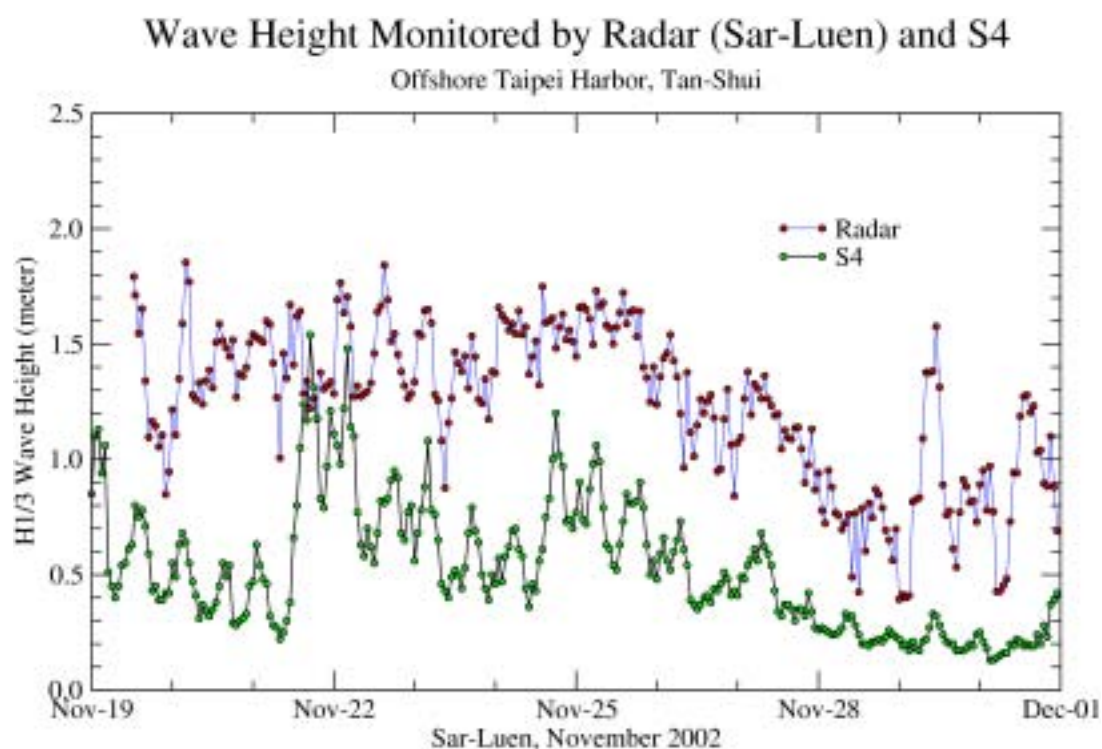


圖 7-16 91(2002)年 11 月，波流儀 $H_{1/3}$ 波高與沙崙雷達波高時序圖。

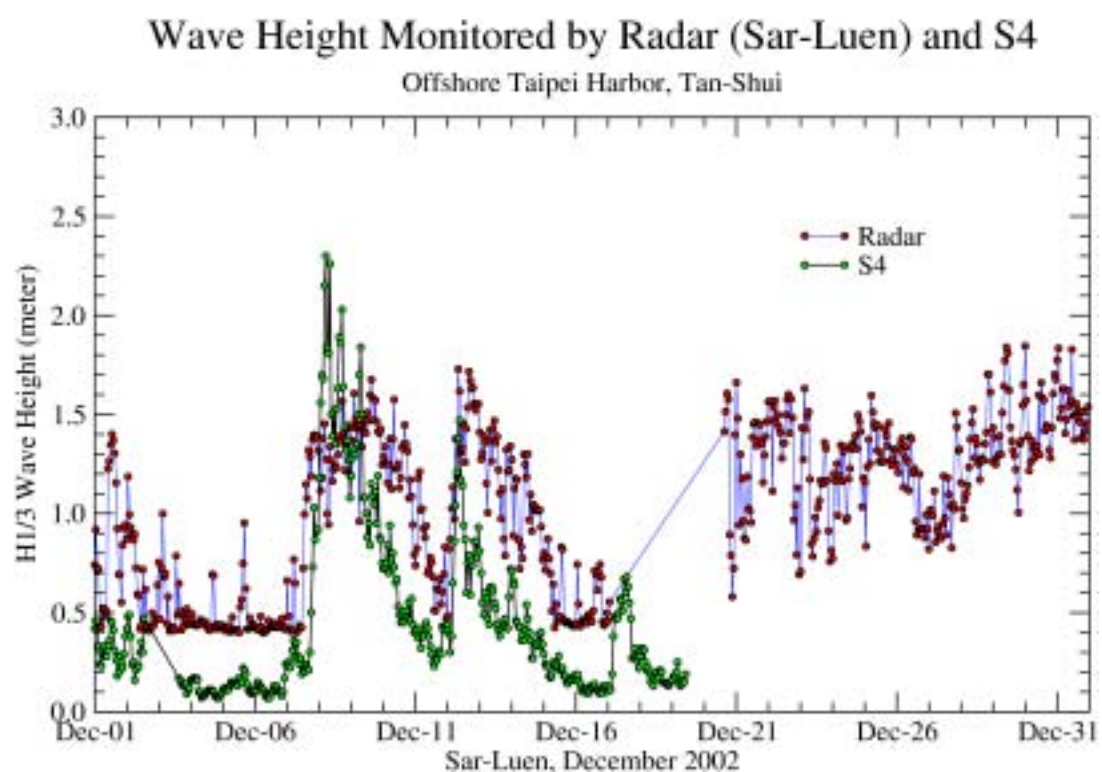


圖 7-17 91 年 12 月，波流儀 $H_{1/3}$ 波高與沙崙雷達波高時序圖。

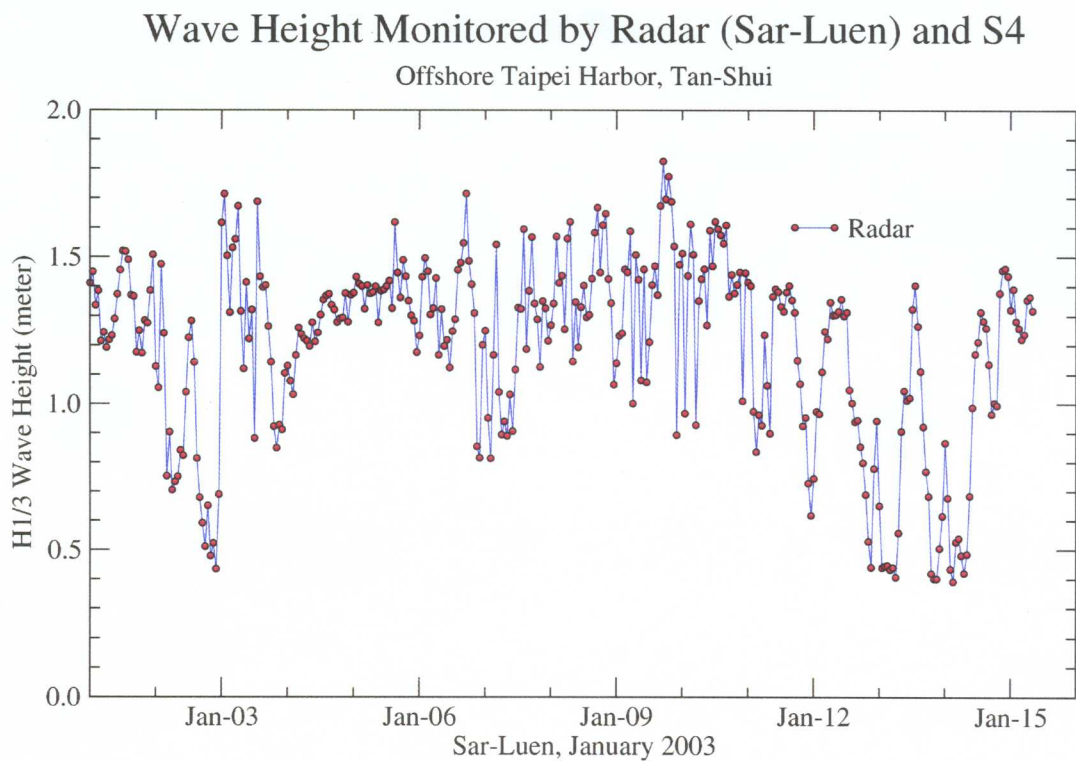


圖 7-18 92(2003)年 1 月，波流儀 $H_{1/3}$ 波高與沙崙雷達波高時序圖。

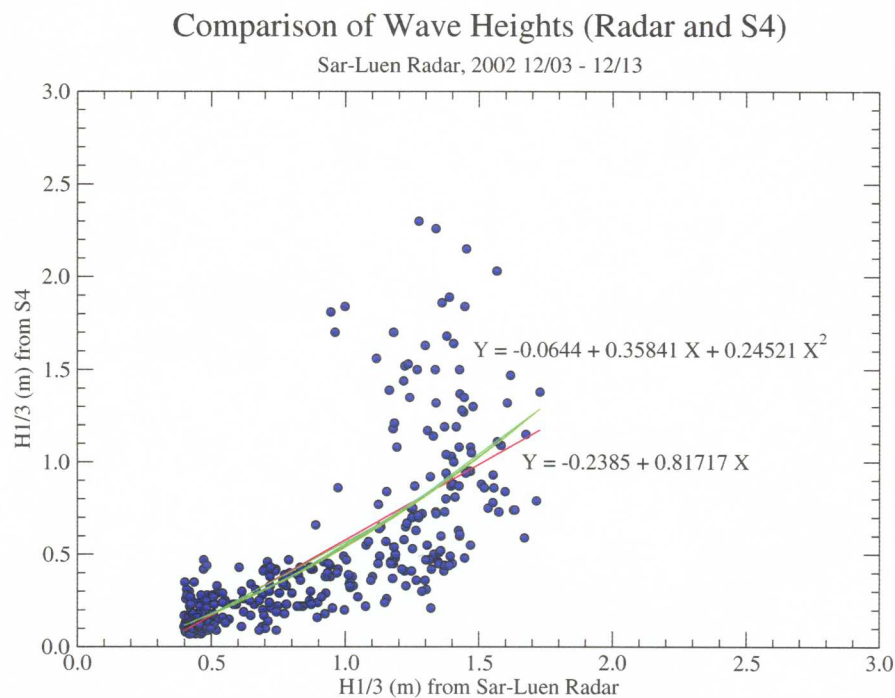


圖 7-19 91 年 12 月 3-13 日，波流儀 $H_{1/3}$ 波高(Y)與沙崙雷達測波儀波高(X)之點聚圖，二者間統計相關係數可達 0.73。紅線為線性迴歸，綠線為二次曲線迴歸。

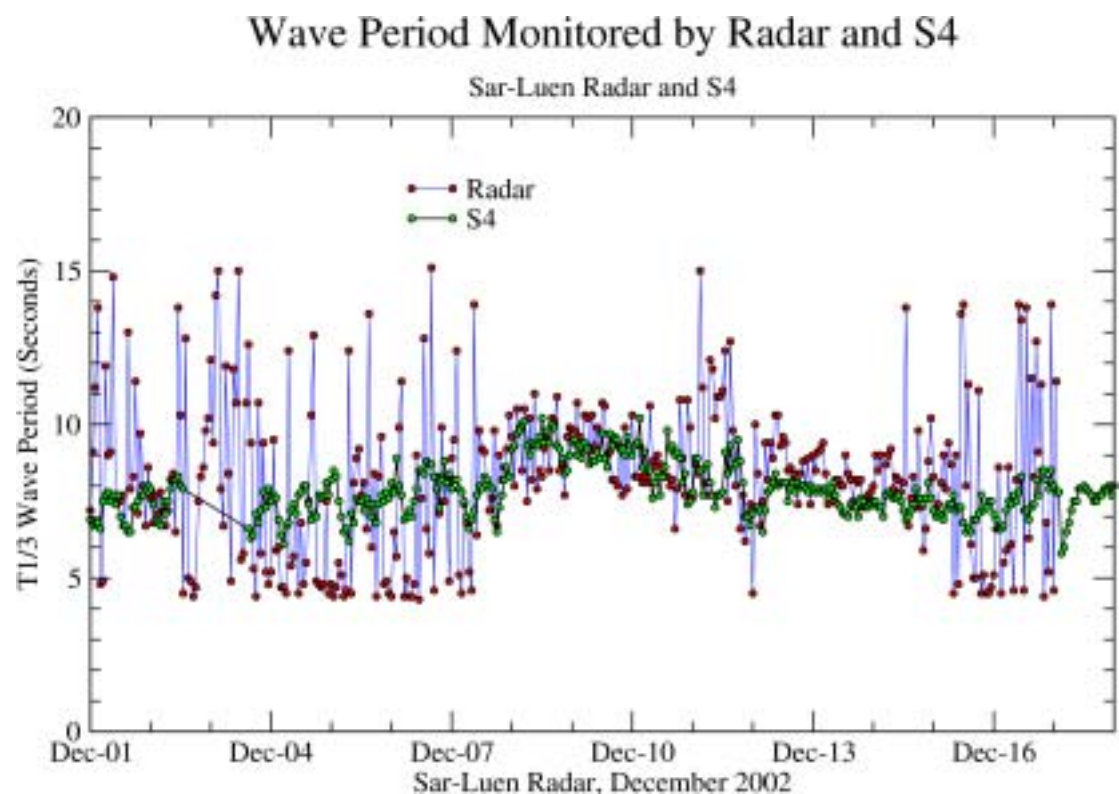


圖 7-20 91(2002)年 12 月波流儀 $T_{1/3}$ 週期與沙崙雷達所測週期時序圖

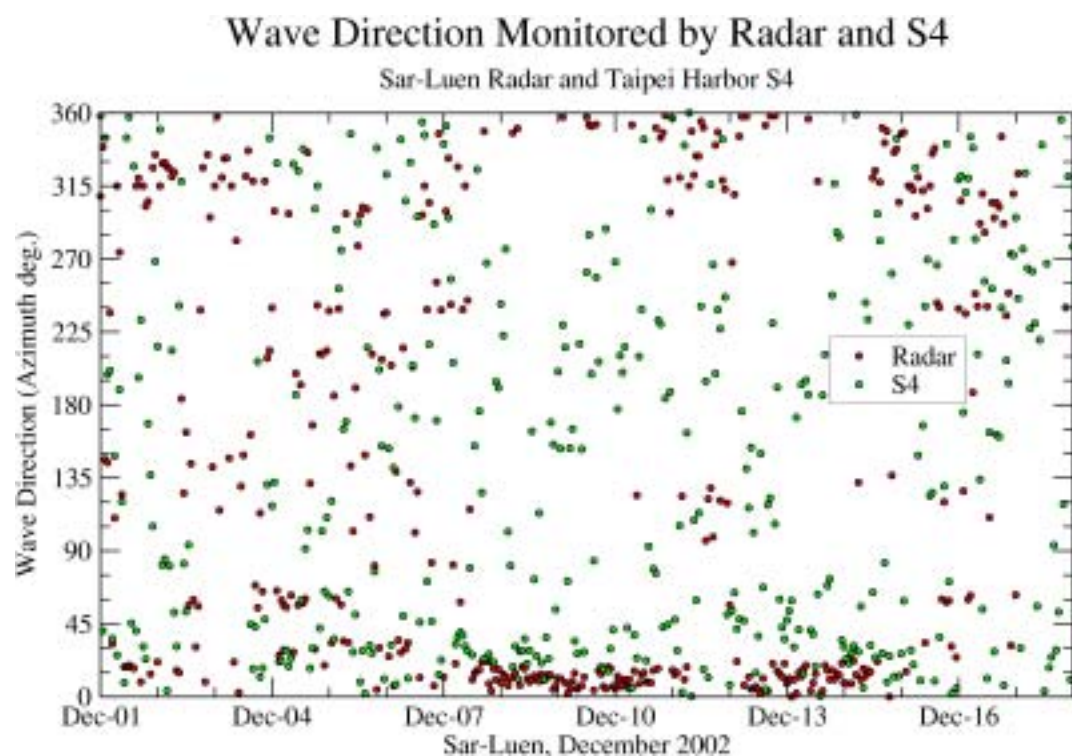


圖 7-21 91(2002)年 12 月波流儀所測波向與沙崙雷達所測波向時序圖。

第八章 討論

台北港雷達測波作業已進行了三年多(自 88 年 9 月下旬起)的時間了，在此期間內台北港建港工程也不斷地持續進行，外廓防波堤由一小截(圖 8-1，89 年 1 月)，隔年而漸增長(圖 8-2，90 年 1 月)，再半年餘而連成一氣(圖 8-3，90 年 11 月)，這種地貌變化對觀測樁附近之波候統計當然會造成相當顯著的影響，另方面，隨著海堤加高對雷達所發射的電磁波也會造成遮蔽效應，使得界於觀測樁和海堤間的大片海域由於受到海堤的遮擋因此在雷達圖像上就形成了幾乎永遠照射不到的陰影區，只有在大浪情況下稍好一點，但是仍不能作定量分析之用。圖 8-4 為 91 年 7 月 4 日 02 時台北港之雷達測波圖像，當時台灣北部海域正受中度颱風雷馬遜(RAMMASUN，0205)外圍環流的影響(颱風中心位於台灣東北部外海，見圖 8-5)，此次事件中觀測樁上 S4 所測到之最大 $H_{1/3}$ 波高在 2.2m 左右(4 日 09 時)，然而由雷達資料所估算者僅為 1.2m 左右，兩者數值相差頗大。另外再比較圖 8-3 以及 8-4 上外廓防波堤之回訊強度分佈情形，後者幾乎整條堤線均偏紅，表示雷達發射之電磁波在此堤區幾乎全被反射了，由此可知台北港雷達測波儀雷達天線高度已經不夠，除非能有效提昇天線高度否則就得更換觀測地點。

考量到目前港區內尚無更高的建築物(港區內雖然有兩座正在建造中的房舍，但需俟建好後才能評估是否適宜設站及架設天線)，另方面外海之觀測樁亦拆遷在即，新的站位應當配合新觀測樁位置。鑑於這些原因，我們覺得比較妥當的作法就是暫時不更動台北港雷達測波儀站位，並持續觀測作業以維持觀測(圖像)資料之一致性，雖然對外廓防波堤外海有遮蔽問題，但港區以及港區西南卻不受影響，同時也可藉機評估、探討遮蔽效應的影響程度與效應。然而遮蔽問題還是得解決，我們覺得比較可行的作法就是另外架設一臨時性的輔助測站，經評估後認為台北港隔淡水河口的沙崙港附近是最理想的設站地點。

選定輔助測站地點後我們又再赴現場實地勘察找尋當地較佳之制高點，後來找到海巡署海洋總局訓練中心，該建築物樓層夠高且就位於港邊，面海視界遼闊且無任何阻礙，再經洽詢公文往返後始於 91 年

8 月 20 日完成設站事宜，並自當日下午 4 時起開始監測作業，目前獲准之架設期限為至 92 年 5 月底止。目前此臨時測站尚欠缺對外通訊連線，因此無法即時了解系統作業狀況，我們只有派員每月定期赴現場取回資料硬碟。另方面，由於當地無人監看雷達測波電腦狀況，因此無法確保監測作業能夠長期保持不中斷(如發生電腦當機即無資料)。

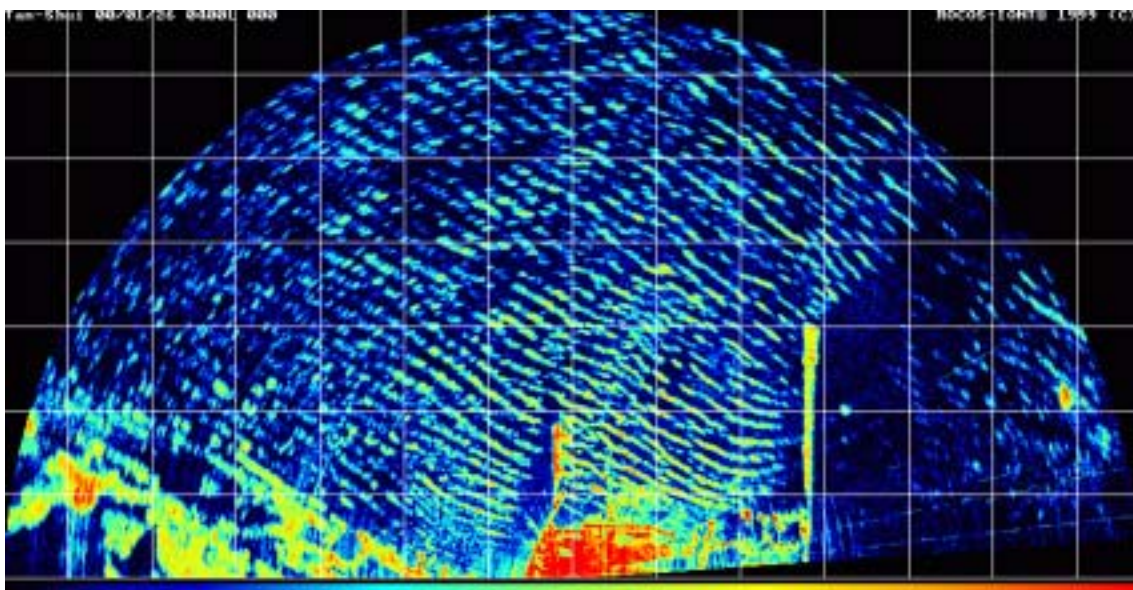


圖 8-1 89 年 1 月 26 日 04 時雷達測波圖像。

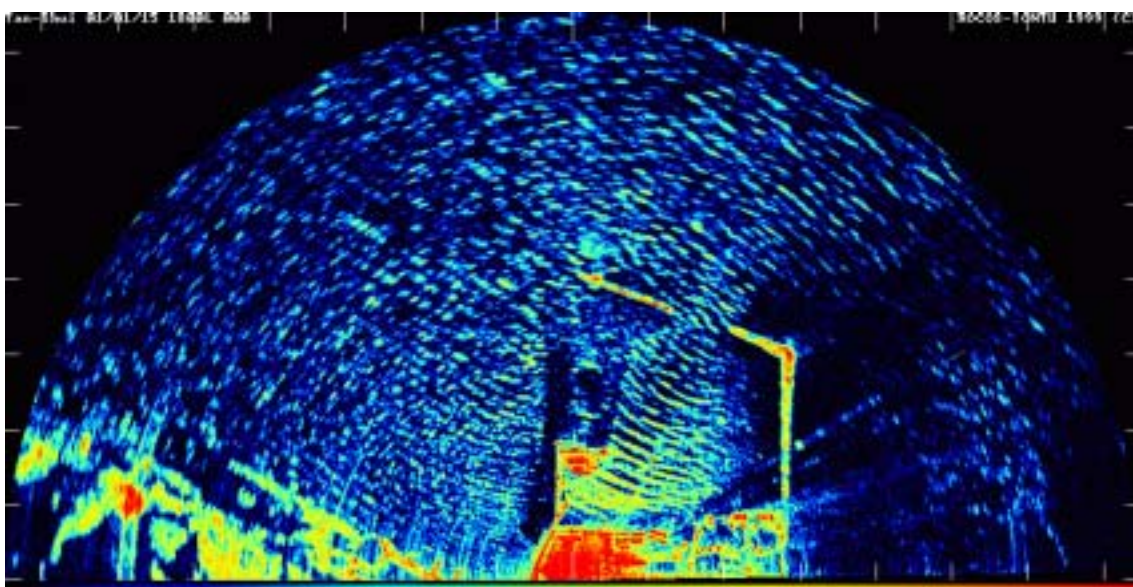


圖 8-2 90 年 1 月 15 日 18 時雷達測波圖像。

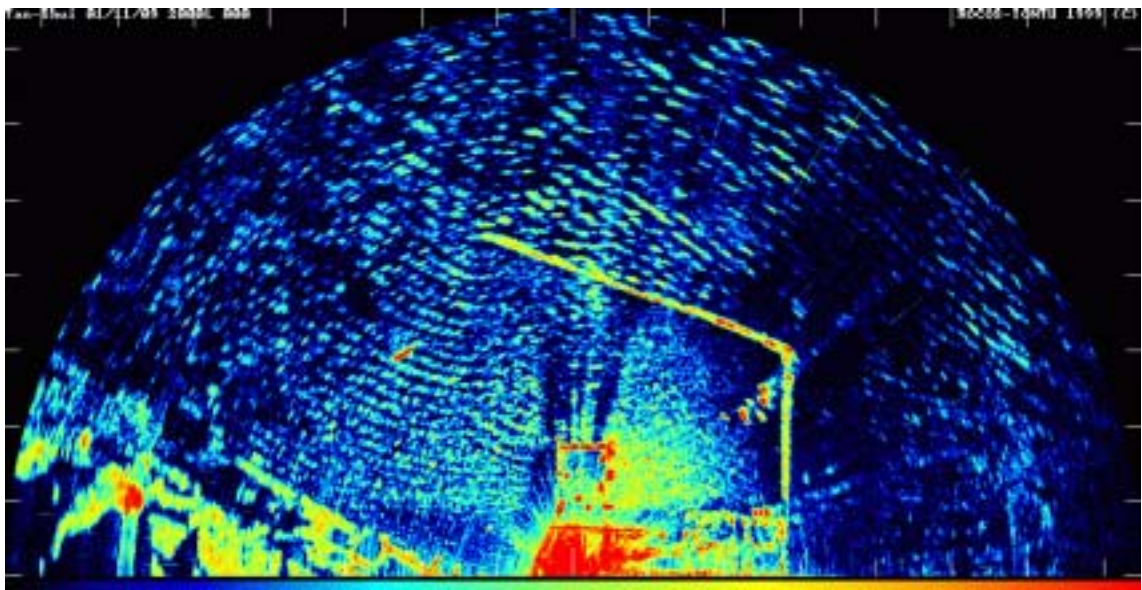


圖 8-3 90 年 11 月 9 日 20 時雷達測波圖像。

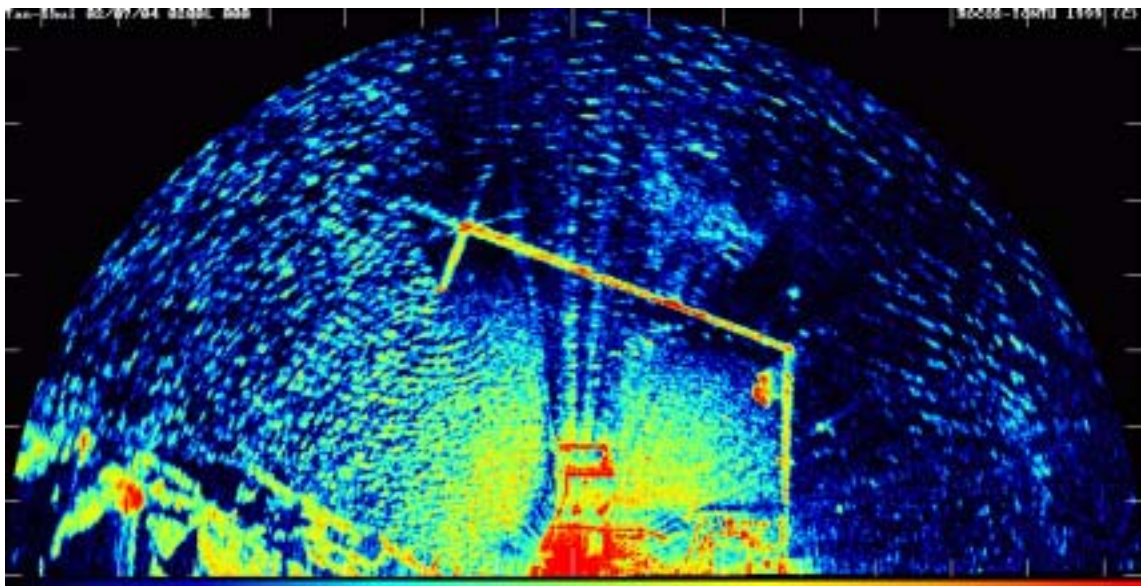


圖 8-4 91 年 7 月 4 日 02 時中度颱風雷馬遜(RAMMASUN, 0205)中心位於台灣東北部外海時台北港雷達測波圖像。

台北港雷達測波之歷史資料(如圖 8-1 至 8-4)對於觀察外海入射之波浪場因台北港堤線延伸而發生之影響情形甚有幫助。在上期報告(王等 2001)內,我們曾選用了不同年份之東北風季節時的波場資料計算出海面波浪之方向能譜,然後再從這些方向能譜之演變得出下述結論:台北港外海波浪場由於海堤加長而使波浪能譜中反射波所佔份量逐年加大。換言之,隨著堤線增長,台北港外廓防波堤附近外海之波浪特

性亦隨之變化，反射波增強當然就會對近岸過程、沈積環境等均造成影響，因此值得深入研究。

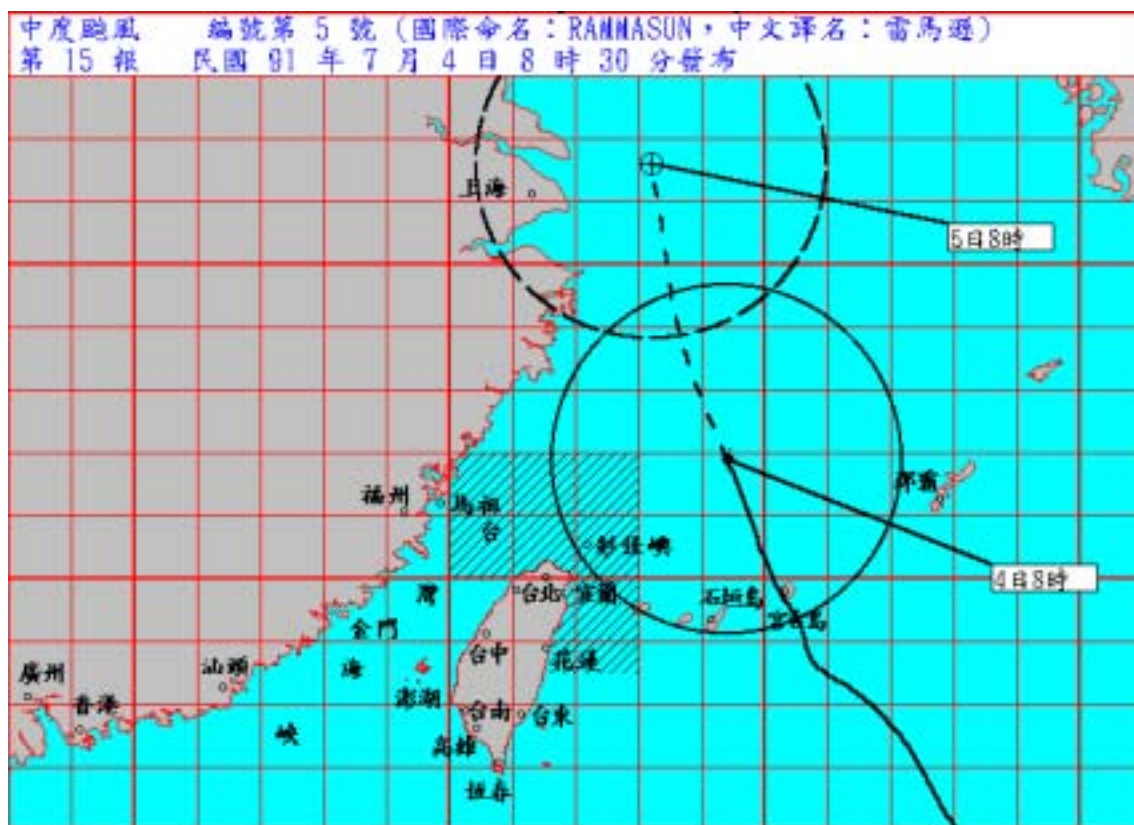


圖 8-5 91 年 7 月 4 日 0830L 中央氣象局發佈之颱風警報單。(摘自中央氣象局網頁，<http://www.cwb.gov.tw>)

91 年 8 月 20 日起我們在沙崙漁港旁又架設了一台額外的雷達測波儀(如前段所述)，這台測波雷達之觀測範圍恰好彌補了台北港測波雷達的觀測死角(被遮蔽區)，因此這兩台測波雷達可互為犄角，共同組成了一片完整的觀測區，涵括了由台北港北側之淡水河口海域、西側外海以迄港區西南側整片的海域，我們可藉此觀察到波浪入射後在不同區域內所呈現之特性。然而，由於沙崙港設站初期常有資料中斷的情形(表 5-2)，因此我們目前尚未掌握到比較好的、強西南風事件下之波浪場資料。隨著時序進入東北風季節後，東北風事件是一波強過一波，在本報告內我們選用了 91 年 12 月 25 日的一次強東北風事件(圖 8-6)作為範

例，藉以說明波浪入射到港區外圍不同區域時特性變化之情形。

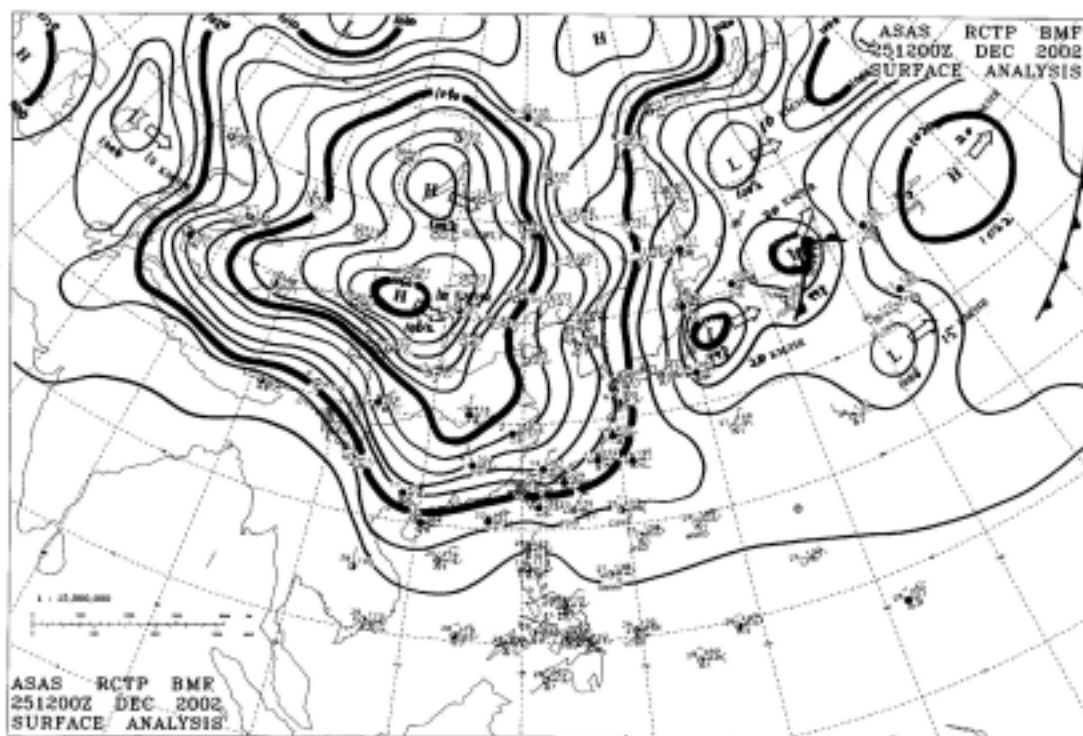


圖 8-6 91 年 12 月 25 日 2000L 中央氣象局地面天氣圖(摘自中央氣象局網頁<http://www.cwb.gov.tw>)。

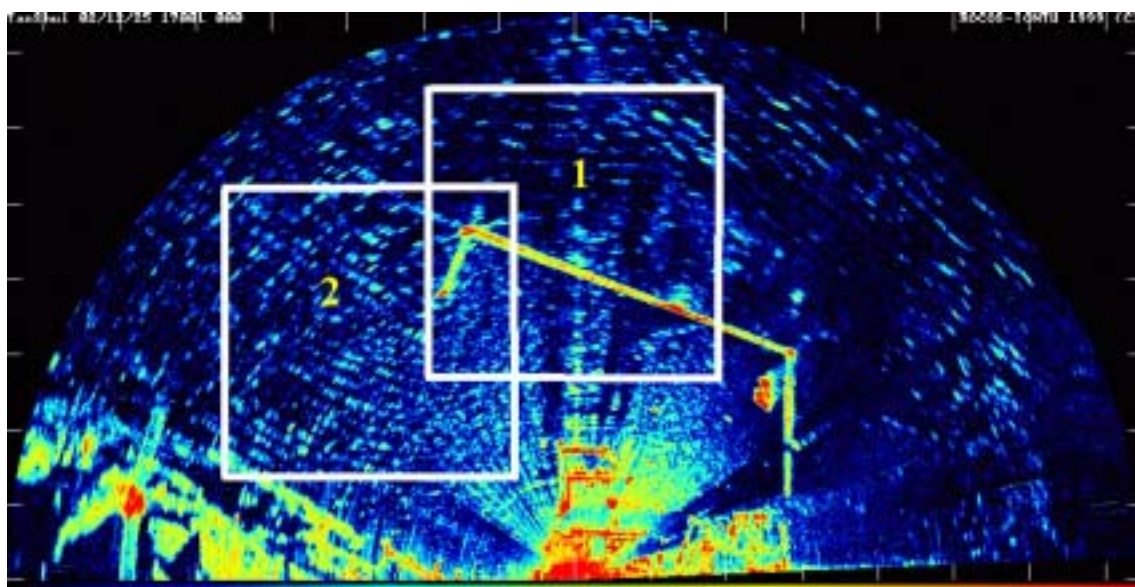


圖 8-7 91 年 12 月 25 日 1700L 台北港雷達測波儀所測雷達圖像。1 號子區即為台北港雷達測波儀計算子區。

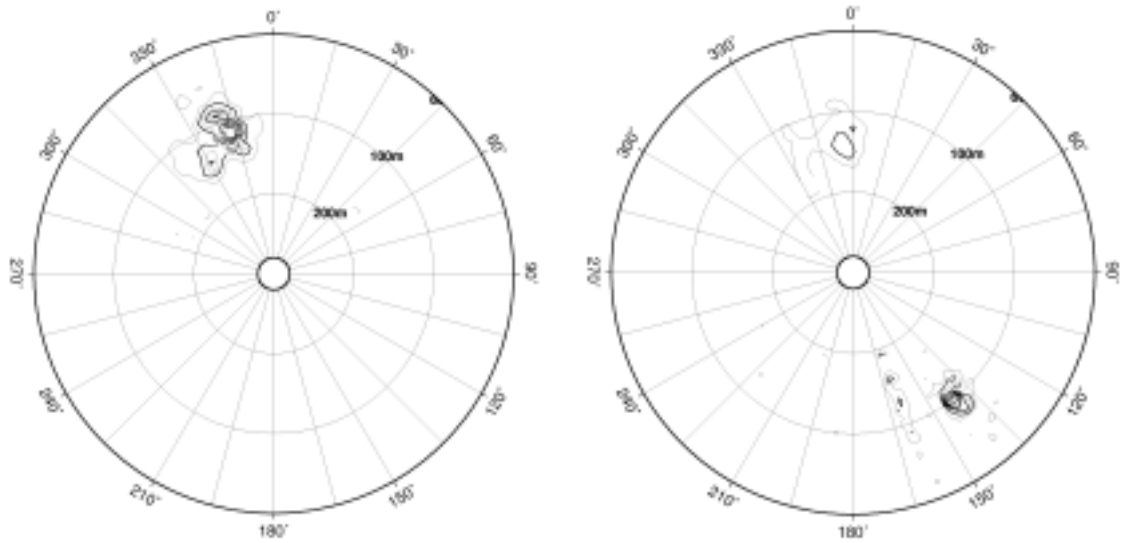


圖 8-8 91 年 12 月 25 日 1700L 台北港雷達測波儀所測波浪方向波譜(a) 2 號子區(左圖)，(b)1 號子區(右圖)。

為了解不同區域之波浪特性，我們在這兩站之雷達圖像上分別共設定了六塊不同的子區，每區均為 128 點 x 128 點(對應之面積為 1.92 km x 1.92 km)，其中圖 8-7 為台北港雷達測波儀雷達圖像，我們在此切割了兩區，其中 1 號子區即為雷達測波儀所用之計算子區，2 號子區則代表台北港西南側水域。此外，在沙崙港雷達測波儀雷達圖像(圖 8-9)上則又另切割了四塊子區，其中 4 號子區為沙崙港雷達測波儀所用之計算子區，而 5 號子區之中心點則為港研所觀測樁。圖 8-8b 為台北港 1 號子區(此資料受堤岸遮蔽影響)之波浪方向能譜，圖 8-8a 則為台北港西南側之 2 號子區的波浪方向能譜。由此二圖可看出 1 號子區存有頗強的反射波成份(在 140°方位角上有波浪成份，此角度所指的是波浪來向)，而入射波之波向則約為正北(354°方位角)，由此二數值可估算出入射波與反射波二波射線中線(法線)之角度為 $((140+180)+354)/2=337^\circ$ 方位角，和外廓防波堤(走向為 243°方位角)之法線方向(243+90=333°方位角)值非常相近，表示上述方向能譜計算是十分可信的。雖然角度估算很準，但圖 8-8b 所示入射波之能譜值甚小，這就是受堤岸遮蔽效應而造成的影響。此外，圖 8-8a 顯示入射波到達 2 號子區時波長變短了(能譜尖峰位置向高頻平移)、波向也發生向左偏轉(面隨波向，波向角度變小表示波射線向左偏)，同時能譜尖峰區底面積亦加大，明顯表示出入

射波浪發生淺化(波長變短)以及折射(波向偏轉)作用後的效應。

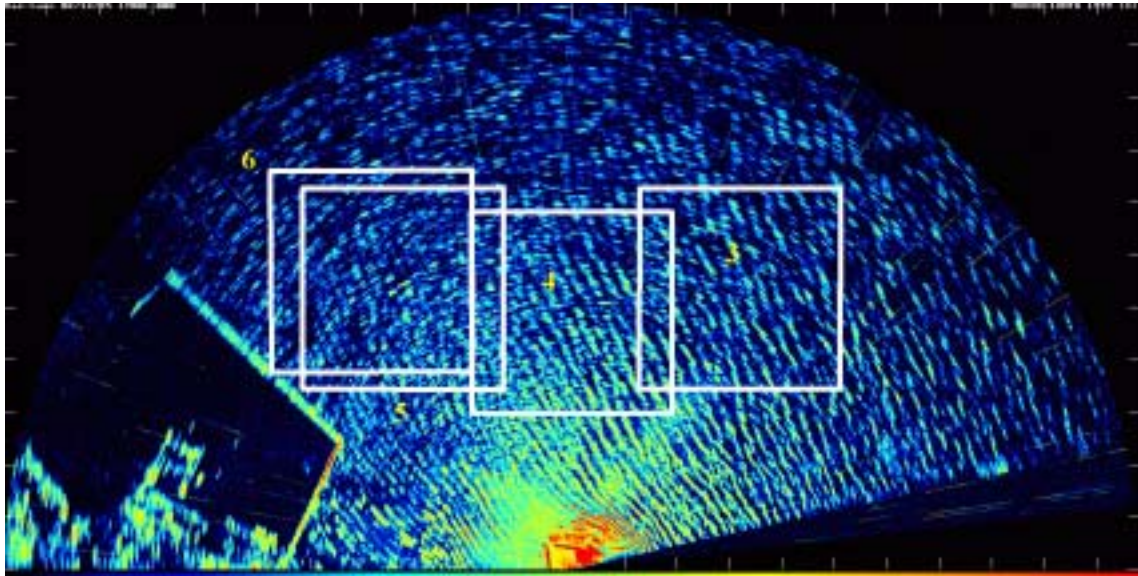


圖 8-9 91 年 12 月 25 日 1700L 沙崙雷達測波儀所測雷達圖像, 4 號子區為沙崙雷達測波儀計算子區、5 號子區中心點則為港研中心觀測樁。

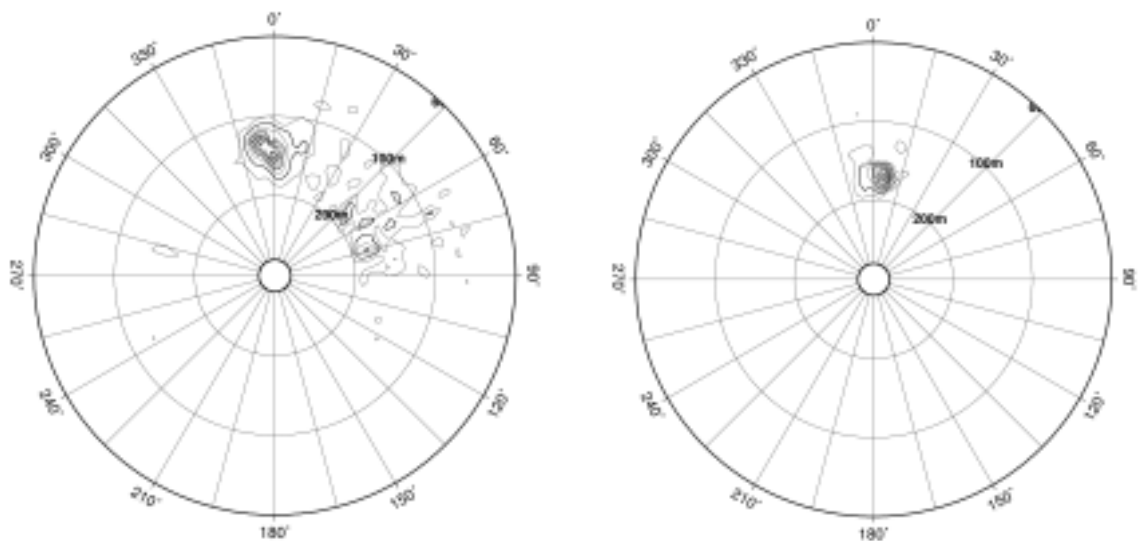


圖 8-10 91 年 12 月 25 日 1700L 沙崙雷達測波儀所測波浪方向波譜(a) 4 號子區(左圖), (b)3 號子區(右圖)。

同理，我們再觀看根據沙崙港雷達測波儀同步所測資料所計算出的波浪方向能譜特性。在沙崙雷達觀測範圍內，我們初步選擇了四塊子區分別進行計算工作，這些子區之相關位置參閱圖 8-9，由右至左其

編號分別為 3、4、5 以及 6，其中 3 號子區位於最上風海域(對東北風事件而言)，因此可作為入射波之代表，4 號子區為沙崙港雷達測波儀日常觀測作業計算波浪參數時所用之子區，5 號子區之中心點即為港研中心外海觀測樁所在處，至於 6 號子區則可作為 5 號子區與 1 號子區(圖 8-7)中央的啣接區。

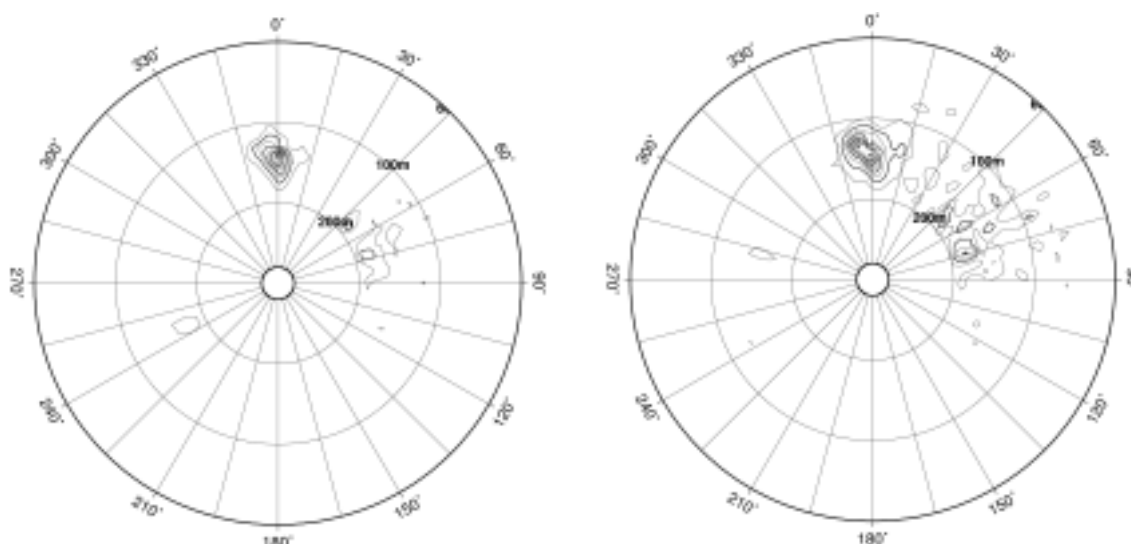


圖 8-11 91 年 12 月 25 日 1700L 沙崙雷達測波儀所測波浪方向波譜(a) 6 號子區(左圖)，(b)5 號子區(右圖)。

由圖 8-10b 可看出 12 月 25 日 17 時(3 號子區)入射波波向約為 5° 方位角，這些波傳進 4 號子區後波向轉為 355° 方位角(圖 8-10a)同時在東北方象限內也出現了許多波浪成份的能量，這些新增的波浪成份有可能是當地之風浪成份，也有可能是一些散射波成份(後述)。其次再看 5 號以及 6 號子區之波浪特性，圖 8-11b 一如圖 8-10a，5 號子區內除了顯著的入射波成份(355° 方位角)外，在東北象限內也有許多的波浪成份，然而在 5 號子區西北僅隔了 300m 的 6 號子區內，散射波成份減少了很多，而入射波波向也較偏向正北。這些方向能譜圖還顯示出了一個相當有趣的現象，也就是在 4、5、6 號等子區內均出現一組波長約為 180m 而波向則約為 75° 方位角的波浪成份(圖 8-10a, 8-11a 與 8-11b) (以下簡稱為西向波)，然而這組西向波浪成份在 3 號子區內卻完全看不出來，換言之這股長波成份好像應當是在當地所產生的。由於 4、5、6

號子區均係位於淡水河沖淡水舌的影響範圍內，因此我們當然可以根據波浪學上的一些動力模式來合理研判或猜想，這些散射波有可能是入射波在沖淡水舌鋒面區附近經由波流交互作用後所發生的，當然也有可能是因為入射波與河口淺灘地形發生作用、或是受到海堤反射後入射波與反射波經複雜的非線性交互作用後所造成的結果，目前我們並不知道造成這股西向波的真正原因為何？但這項觀測事實確實可以構成一個值得繼續深入探討的研究課題。

第九章 結論

「八里 林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫」(本計畫之總計畫)之執行期限全程為四年，但因需另辦合約之故，實際上本計畫係自 88 年 7 月起始開始執行的。在第一年期間內，台大海洋所按照進度分別完成雷達測波儀系統組裝、所內測試以及現場安裝、現場測試以及系統初步上線等工作，並於 88 年底將雷達測波儀系統正式上線執行台北港外海波浪監測任務(王等，1999)。在第二年(89 年 1 月至 12 月)內，我們又持續改善不斷電系統，並且增加了透過電話數據機以執行遠端監控即時監測作業的功能，後者對維護系統能長期保持正常工作是非常重要的，該年度內監測資料之達成率為 93.7%(由 89/1/1 – 89/10/22)。此外，我們亦根據波浪理論初步推估出了轉移函數的型態，並根據 88 年 10 月以及 11 月之觀測樁上波流儀之波高實測值導出了將雷達觀測值換算成實際波高之經驗公式(此公式一直沿用至今)，另方面亦開發了有關網頁顯示雷達即時觀測圖像之相關系統以及作業程式，以及將雷達測波平均圖像製作列為固定產品，這些圖像可顯示出淡水河沖淡水所形成之近岸鋒隨潮流擺動情形，對解釋台北港外海觀測樁所測海流資料甚有幫助(王等，2000)。至於在第三年度(90 年 1 月至 12 月)內，台北港雷達測波系統資料達成率為 98.4%(由 90/1/1-90/11/28)，而當年內我們亦建構完成了一套自動化的準即時展示觀測資料的工作系統，雷達測波儀電腦可經由 ADSL 寬頻線路將現場觀測之雷達圖像上傳給中繼站工作站電腦，後者再將這些圖像併入網頁並會每小時定期更新網頁資料內容，藉以提供外界經由網路來瀏覽即時資訊。此外，在精進、改善測波技術方面，我們採用了台大海洋所在麥寮港所收集到的雷達測波資料以及潮波儀同步觀測數據以估算轉移函數型態，但這些初步分析結果並未能大幅改進雷達測波估算精度，表示在改善測波技術方面猶有許多工作待發展(王等，2001)。

至於本年度計畫(91 年 1 月至 92 年 4 月)之作業狀況申述如下。綜

合而言，本年度基本任務有二，其一為提供技術支援方面的服務以維持台北港雷達測波作業以及網頁即時展示之正常運作，其次則為精進、改善測波相關作業系統並加強探討台北港四周波浪特性在不同空間上之分佈情形。本期(由 91 年 1 月 1 日 00 時起至 92 年 1 月 24 日 14 時止)台北港雷達測波現場監測作業累積共計收集了 8798 小時之觀測資料(全部觀測時間共 9327 小時)，資料收集率高達 94.2%，因此就第一項任務所述之監測作業而言，基本上應屬圓滿達成。至於自動化的網頁即時展示系統方面，本年度並未對網頁展示系統添加新功能，但工作人員每日均需檢視網頁自動作業是否正常，以確保系統安全，一年來工作正常未曾發生駭客入侵事件。只不過由於業主要求，網頁展示系統之即時測波資訊目前暫不提供外界經由網路自由瀏覽。至於本年度所列之人員訓練講習已於 91 年 9 月 5 日辦理完畢，由於 ROCOS 雷達測波系統在設計時即充份考量到要求操作簡便，因此學習訓練過程非常順利。

此外，由於台北港雷達天線高度不足，當外廓防波堤加高後雷達測波儀已無法順利測到堤外波浪，我們針對此問題也提出了因應的解決方案。我們提出的改善方案是在台北港對面的淡水河口沙崙港附近另外找尋一處適合地點架設臨時性的輔助雷達測波儀，如此可以順利監測到台北港外廓防波堤外海以及觀測樁附近的波浪特性。經多次現場勘察後我們覺得位於淡水沙崙港漁人碼頭旁的海巡署訓練中心樓頂可能是附近最佳地點，如果在此架設雷達測波儀當可順利解決台北港測波雷達因地貌變化導致雷達測區遭受遮蔽之問題。確定地點後，台大海洋所乃接洽海巡署海洋巡防總局，並獲後者慨允准予使用。此項輔助觀察作業自 91 年 8 月 20 日正式開始觀測工作，但由於受到通訊限制目前尚無法即時控管的影響(沙崙站目前尚無法向外傳輸觀測資料，因此無法從遠端遙控了解系統工作狀況，僅能每月維護一次)，觀測初期測波記錄並不完整，常有系統中斷情形，然根據目前所回收之資料，經統計分析後得出雷達觀測波高與觀測樁實測波高間之相關係

數可達 0.73，表示雷達所觀測到的波高時序資料確能反映出波浪場之演變情形，至於雷達遙測與儀器實測之波浪週期以及波向方面則在大浪時段二者比較一致，但在波浪比較平靜時段二者間關係不良，此點或和這兩種不同裝備（雷達與 S4）之儀器特性反應不同有關。雷達遙測的優點在於可以在短瞬間量測出整個面上的觀測數據，因此我們宜藉助著雷達測波儀這項特點以了解台北港四週不同海域上的波浪特性相對分佈情形，至於精確之定量波高數據則仰賴定點之儀器觀測。

為探討台北港附近之波浪場特性在空間上分佈情形，我們從沙崙觀測資料中選出了一組大浪期間較有代表性的資料予以特別分析，在台北港週遭共分割出了六塊計算子區，其中之一正好涵括了觀測樁因此可作為校正之根據，另外五塊則包括了最上風海域、觀測樁東、西兩側，以及台北港西北與西南側等(如圖 8-7 與 8-9)區塊。我們根據從這些子區資料所計算出的波浪方向能譜，觀察到強東北風情況下外海入射波浪向岸傳播時會因折射效應波向逐漸向左偏轉(面隨波向)，而在外廓防波堤西北端附近海域則出現頗為強烈的反射波(圖 8-8b)，另方面也可觀察到入射波浪在通過外廓防波堤堤頭後，會繼續向著台北港港內產生繞射波以及向著後者左側之海岸傳播與折射的情形(圖 8-8a)，值得注意的是位於淡水河出海口附近受到淡水河沖淡水舌鋒面影響的海域，此處之波浪方向能譜圖顯現存在一股向西傳的長波分量(如圖 8-10a 以及圖 8-11)，這股波能從何而來？這倒是頗值得未來繼續深入探討的研究課題。

雷達能譜與波浪能譜間之轉移函數以及如何從雷達能譜中篩選出與波浪相關之資訊，此二者是 ROCOS 雷達測波儀在估算波高時必需使用到的重要關係式，也是雷達測波儀能否精準估算出波高的關鍵。在上年度內(王等，2001)，我們曾根據麥寮港資料以半經驗方式估求出了一組轉移函數的實驗式，並將其實際使用在波高估算作業上，但與實測值比對結果卻顯示新轉移函數式對波高估算值之準確度改善方面甚為有限，表示改善準確度之最大關鍵應當在於能譜篩選之處理過程。本年度內，我們使用了上述同樣的方法分析了沙崙港雷達觀測資料以

及觀測樁上同步所測的波浪資料，分析結果証實天空降雨與否對轉移函數之形狀確有影響，因此針對不同天候採用不同的轉移函數應當可以得出比較精準的波高估算值，然而要使用這種方式，我們是必要設計出分析法則使電腦可以前從雷達圖像上自動研判雨況，這是未來值得投入的研發方向。此外，目前我們計算雷達能譜時是使用 $1.92 \times 1.92 \text{ km}^2$ 大的子區資料，然而對台北港外海觀測樁而言，在這種規模大小的子區範圍內水深變化頗大，由於波長/週期轉換牽涉到使用波浪離散關係，後者即為水深之函數，如水深不易確定那麼雷達測波儀估測出之波高、週期等數值(尤其是後者)與觀測樁上之實測資料相比即可能有很大的偏差產生，因此使用較小的子區(例如 $1/4$ 大，即 $0.96 \times 0.96 \text{ km}^2$)來分析亦是未來應投入的方向。

參考文獻

1. 王胄、邱永芳、洪憲忠、張宏毅 (1999) 淡水港遙感波浪監測研究(第一年), 72 頁, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心出版, 台中縣梧棲鎮, 網址: www.ihmt.gov.tw, 編號: MOTC-IOT-IHMT-89-012, 政府出版品統一編號: 009259880043。
2. 王胄、邱永芳、洪憲忠、張宏毅 (2000) 八十九年台北港雷達遙感波浪監測研究(第二年), 81 頁, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心出版, 編號: MOTC-IOT- IHMT-89-015, 政府出版品統一編號: 1008900354。
3. 王胄、邱永芳、洪憲忠、張宏毅 (2001) 九十年台北港雷達遙感波浪監測研究(第三年), 110 頁, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心出版, 編號: MOTC-IOT-IHMT -90-007, CHMT-9103。
4. Alpers, W. (1985) Theory of radar imaging of internal waves. *Nature*, 314, 245-247.
5. Brandt, P., W. Alpers and J.O. Backhaus (1996) Study of the generation and propagation of internal waves in the Strait of Gibraltar using a numerical model and synthetic aperture radar images of the European ERS1 satellite. *J. Geophys. Res.*, 101, C6, 14237-14252.
6. Ijima, T., T. Takahashi and H. Sasaki (1964) Application of radars to wave observations, *Proc. Conf. Coastal Eng.*, 11th, 30, 1, 10-22.
7. Phillips, O.M. (1977) **The Dynamics of The Upper Ocean**, second edition. Cambridge University Press, London.
8. Wright, F. F. (1965) Wave observations by shipboard radar, *Ocean Sci. Ocean Eng.*, 1, 506-514.
9. Ziemer, F. and H. Gunther (1994) A system to monitor ocean wave fields, in: **Proc. of the 2nd International Conf. on Air-Sea Interaction and Meteorology and Oceanography of the Coastal Zone**. Lisbon.

附錄一、期末報告審查意見執行情形

審查委員及審查意見	意見回覆
翁文凱教授： 一、雷達測波，目前在觀測資料分析技術方面有多重困擾，其中分別為雨、霧，甚至颱風來臨時期，對其結果之精確性有很大之影響，建議針對此方面之技術進一步改進。 二、在轉換函數中，由於分析範圍過大，水深大小之因素不易定義。因此，此部份與觀測樁所測之資料比對結果不易相同，即代表以此較大範圍來完全表示波高、週期、波向等波浪條件，有其困難性，且不易得正確之結果，建議縮小其分	王胃教授： 一、謝謝翁教授指出此點。大氣降水確實會對雷達回波訊號造成干擾。雷達原先是設計為追蹤目標物用，對偵搜之目的而言，海面波浪以及下雨所造成的回波均為不需要的雜訊，因此雷達主機上裝設有消除 sea clutter 以及 rain clutter 的旋鈕，但 sea clutter 才是我們所需要的訊號，如果用低通過濾方式消除 rain clutter 那麼 sea clutter 訊號強度也會受到影響，因此可知雷達遙測波浪之回波反應會依天候不同而異，有關這方面的研究工作確實是未來值得繼續深入的課題。 二、確實如此，當初為了考量波浪能譜在波數域中之解析度，因此分析時所選用之子區範圍設定為 1.92km x 1.92km，此值用在淡水河口似乎過大了一些，將來我們將嘗試將子區大小縮減為 1/4，看是否可以再改善比對效果。

析範圍。 三、是否可確定多少浪高以下之波浪，在本系統運作下是無意義的？	三、一般而言在 $H_{1/3}$ 波高小於 0.7-0.8 m 時雷達測波即無多大意義。另外，如果海上為完全靜風，海面非常平滑沒有任何小波存在，那麼觀測效果也不會很好。
許泰文教授： 一、本計畫建立雷達遙測系統，用以監測台北港波浪，並將觀測成果進行統計分析，能譜計算以及綜合分析，同時協助人員進行雷達測波技術訓練工作，計畫執行成果可觀，對資料庫建立和台北港海況監測有所貢獻。 二、建議於正式報告能附上期中、期末報告委員意見及修改情形，以便參考。 三、轉換函數波數 k 與水深有密切關係，雷達計算子區如範圍太大，則涵蓋水深範圍太廣，波數代表性太低，故建議能縮小範圍，以提高精度。 四、雷達觀測波浪解析度在近海是個問題，目前觀測格距為 15m，而近岸波數可能為幾十米，因此描述波形的格點數似乎不足，以後能否改善這個盲點。	王胃教授： 一、謝謝許教授肯定。 二、遵照辦理。 三、謝謝許教授指出關鍵，此點已列入下年度研發方向，未來將朝此改善。 四、台大海洋所目前正在進行相關的研發準備工作，我們將採用新一代的電子元件以提高採樣率，另外尚需修改雷達電路以增加解析度。但此部份儀器開發設計工作非本計畫項

	目，係台大海洋所本身一直持續在執行的研發工作。
李忠潘教授： 一、圖 7-1~7-18 之結果顯示，Radar 所測之波高幾乎均大於 0.5m，而與 S-4 所測結果有明顯差異，是否可由 transfer 函數內反應出來而消除？	王胃教授： 一、這是因為觀測區內(特別是台北港內)有許多的堅硬物體(沈箱、海堤、防護塊...)均會造成強烈的回波信號，這些干擾使得雷達回波訊號中背景雜訊過強，因此造成雷達觀測之均方根讀數值大增，使得偏差值變大。修改轉移函數以及改良濾除雜訊之方法或許可以改善。
邱永芳主任： 一、四年計畫已完成，建議將四年研究過程做一整合，提出較完整的結果與未來建議。 二、轉換函數的研究空間還很大，不同參數之影響性或其分離方法如何再進一步討論，請在正式報告中提出建議。 三、在整個區域內，各子區取得會有不同結果，如何確信觀測結果具有代表性，子區縮小後其空間點是否足夠分析？	王胃教授： 一、遵照辦理。 二、這些分析工作均需花費大量人力與時間，將在正式報告中說明可行作法。 三、雷達遙測在定量方面容或有所不足，但其所顯示之面上的相對變化情形卻仍是十分可信的，因此我們應當強化此項優點。將子區縮小後能譜之波數解析度跟著變差，但和現地觀測比對卻或許會比較更有意義，總之日後只有尋求一個折衷點。

簡仲璟博士：

一、工作歷經四年的持續研究，大致已達成計畫預定目標。台大海研所全體工作人員的辛勞及努力值得肯定。

二、波浪觀測一般包括波高、週期及波向等項目，依此針對波高方面本報告有如下幾點建議。

(1) 波高估算之率定公式 (pp.21, (6-7) 式) 是否隨選取不同時段之觀測資料及不同觀測地點，而有所不同？以圖 6-3 而言應有不錯之波高估算值，然圖 7-19 (pp.33) 顯示沙崙雷達測波之估算波高與觀測樁之波流儀實測波高比較並非接近線性 1:1 (另有一次及二次迴歸式，且實測波高較大時，估算波高有偏小趨勢)。

(2) 第八章討論，指出 91 年 7 月 4 日 02 時因雷馬遜颱風影響，觀測樁實測波高達 6.3m，然而，圖 7-7(pp.27) 僅達 2.2m，請再查驗。

(3) 由圖 7-4~圖 7-12 顯示雷達測波波高值大部分較實測波高為大，其原因是否

王胃教授：

一、謝謝簡博士肯定。

二、分項回答如後：

(1) 根據連續幾年觀測結果知，(6-7) 式之應用性和時段以及地點似乎無關，但對是否有雨卻很敏感，圖 7-19 即包含有下雨以及無雨兩種情況，因此造成許多偏差點。

(2) 謝謝指正，6.3m 為根據港研中心最初所提供之數據所得，後來中心發現最初數據有誤，2.2m 為修正後之數值，但 6.3m 處未跟著更正造成錯誤，正式報告將訂正。

(3) 主要是受防波堤胸牆阻擋所致。

為率定公式不理想？或是受防波堤阻擋所致？請再查明。 三、週期方面圖 7-20 顯示雷達測波之週期與實測值相較，有較大之跳動，此問題可嘗試加以改進。 四、波向方面由圖 7-21 難以比較波向之差異。建議改用角度相差值 ($\pm 180^\circ$) 可能較容易判別。 五、各時序圖中若出現資料中斷時，其連線也應中斷，避免混淆。年份表示請統一用西元年或民國年。 六、本報告為計畫之第四年報告，	三、問題的關鍵有二，一為轉移函數，另一為水深大小。由於週期是根據波長以及水深代入波浪離散關係式後算出來的，潮汐效應會改變水深，而我們在計算時卻是採用固定水深，因此就有偏差。另外反算波譜時如果造成形狀偏差那麼週期估算也會造成偏差。總之，雷達所測到的是波長，其值甚為精準，但轉換為週期就會受到很多因素的影響，同理將週期轉為波長亦然。 四、大浪時雷達所測波向與觀測樁所測波向較一致，但小浪時則關係很差，如改以角度差方式來表示，在小浪時資料分佈仍然十分凌亂並無法有效改善。 五、時序圖係使用套裝程式所繪，資料中斷部份較難處理。年份方面則因繪圖程式無法處理民國紀元，所以無法改用民國年，我們將在圖例文字中以民國年(西元年)方式來表示，至於本文中則一律採民國年。 六、本計畫係分年辦理之監測工
--	--

或是該計畫四年來之總結報告？因牽涉編寫內容與方式會有所不同，請研究單位再斟酌。此外期中、期末各評審委員意見及答覆辦理情形說明應納入報告中。	作，故本報告僅為第四年之期末報告，但在討論部份亦加入了有關四年來本地區波浪特性演變情形。期中、期末各評審委員意見及答覆辦理情形說明將納入正式報告中。
何良勝博士： 一、應用雷達特性觀測大範圍之海面資料，有關軟硬體之研發並有成果展現，此為可肯定之處。 二、是否可將波向之比對以角度差方向表示？ 三、請於正式報告增加相關量測技術或解析比對方面未來將如何改進辦理部份。 四、結論中有關雷達與觀測樁之波高的相關係數值，因應用資料時間太短，應作適度說明。	王胃教授： 一、謝謝何博士。 二、雷達所測波向與觀測樁所測波向在大浪時二者較一致，但小浪時則幾乎無統計關係，如以角度差方式表達在小浪時資料分佈仍然會十分凌亂並無法有效改善。 三、未來將朝縮小計算子區方面改進，另方面將偏重雷達遙測在面方面觀測上的優點，藉以探討波浪場在不同位置上之特性演變情形，此部份將在正式報告中加強。 四、正式報告中將加強。

林繼國主任秘書意見： 一、請本所承辦單位說明期末報告完成之成果,是否達成契約書規定之項目。 二、代表本所感謝台灣大學在四年之期間協助本所完成台北港雷達遙感波浪監測研究工作。 三、請研究單位就維護網頁展示系統及人員訓練講習這兩部份研究工作之辦理情形及研究成果作一補充說明。 四、研究單位就沙崙雷達測波觀測站之運作情形及目前無法達到即時傳輸功能原因作一補充說明。	承辦單位： 一、本研究期末報告完成之成果,已達成契約書規定之要求。 王胃教授： 二、謝謝主席。 三、第一項已為例行性作業，本年度內網頁展示系統並未新增功能，但每日需檢視網頁自動作業是否正常，確保系統安全，一年來工作正常亦未發生駭客入侵事件。至於本年度之人員訓練講習已於 91 年 9 月 5 日辦理完畢，由於本雷達系統在設計時即充份考量到要求操作簡便，因此學習訓練過程非常順利。 四、沙崙雷達測波觀測站係架設在海巡署沙崙港訓練中心樓頂，視界良好，觀測效果佳，但因通訊傳輸問題尚未解決因此目前尚無法即時傳輸。
主席林繼國主任秘書結論： 一、期中與期末報告審查會議，各位委員之意見及修改情形，納入正式報告附錄。 二、研究四年計畫已完成，請將四	

年間之研究主要成果作一整合，將完整的結果與未來研究方向之建議等納入正式報告。 三、雷達監測之波高值幾乎均大於 0.5m 之原因，請於正式報告作較詳細說明。 四、研究計畫期末報告審查原則通過，請研究單位就各位委員所提之意見，根據本所相關作業規定加以修正補充，並且在合約規定期限內，完成提送定稿正式報告。	
---	--

附錄二、期末審查會簡報資料

「91年台北港雷達遙感波浪監測研究」 四年期合作研究計畫 (第四年) 期末報告

執行單位：台灣大學海洋研究所

報告內容

- 第一章 研究主旨(動機、緣起與目的)
- 第二章 台北港雷達測波作業簡介
- 第三章 問題之性質與背景
- 第四章 研究綱目
- 第五章 監測作業執行狀況
- 第六章 轉移函數以及波高之估算法
- 第七章 雷達測波與觀測樁測波值之比對
- 第八章 討論
- 第九章 結論

第一章 研究主旨(動機、緣起與目的)

- 基隆港務局為台北港工程所需，委託港研中心辦理「八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測計畫」，其中雷達遙感波浪監測任務委由台大海洋所執行。
- 第一年度(88年):台大海洋所製作並安裝雷達測波儀。
- 第二年度(89年):雷達測波儀正式上線執行監測作業。
- 第三年度(90年):雷達測波儀正式上線執行監測作業。

第一章 研究主旨(動機、緣起與目的)

- 本年度(第四年度，91年)之任務：
- 維持台北港雷達測波作業正常運作。
- 精進測波技術、改善作業系統功能。
- 協助人員進行雷達測波技術訓練工作。

第二章台北港雷達測波作業簡介

- 安裝地點：台北港分局港航課旁。
- 雷達特性：X-band, H-H, 6呎天線，SP mode(水平解析度12公尺)，24 rpm。
- 系統設定：每小時整點定時觀測，每次取32張畫面(約80秒)，每掃描線256點，10MHz取樣(15公尺)，觀測範圍3.84 km。
- 每月赴現場檢查、保養、更換資料硬碟。
- 每日遠端監控，分析、處理回收資料。

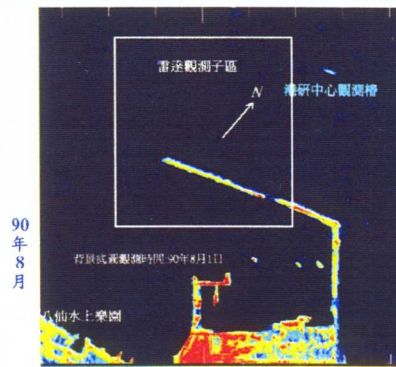
雷達天線架在室外無線電天線鐵塔上



八里台北港ROCOS系統全景
(安裝於基隆港務局台北港分局工地現場)



台北港測波儀相關位置



第三章 問題之性質與背景

- ROCOS系統國內現已裝設四套，分別在和平、台北港、麥寮與東沙進行波浪監測工作，累積不同海域之觀測與實作經驗。
- 台北港外海觀測樁實測波浪資料與雷達測值可進行同步測試比對工作。
- 雙方合作共同推廣雷達測波在海岸工程上實際應用。

第四章 研究綱目(二至四年)

- 維持雷達測波設備正常作業，執行海洋波浪長期監測工作。
- 監測資料進行統計、能譜及綜合分析。
- 將遙感監測結果與觀測樁上實測結果相互比較驗證。
- 維護、保養雷達遙測波浪設備。
- 完善資料處理方法以及建立網頁即時顯示雷達遙測波浪圖像作業系統。

91年9月5日港研中心人員在台北港波浪站參與現場操作講習



台北港波浪站現場作業情形



91年9月5日港研中心人員在台北港波浪站參與現場操作講習



第五章 監測作業執行狀況

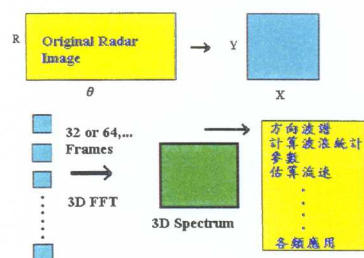


雷達測波資料後處理之產品

- DAT磁帶：雷達測波原始資料檔及即時統計資料檔(TStimer.log)。
- 光碟片：雷達測波GIF動畫(.gif)，子區資料(.sub)，3D能譜(.bin)，按GIF，SUB以及BIN分類製作。雷達測波月統計參數檔、波高分佈圖檔(PostScript與gif兩種格式)以及雷達平均圖(gif格式)。
- 新增產品：顯示即時觀測資料，網址為：
<http://140.112.68.68/taipei.htm>。(但應基隆港務局要求目前不對外開放)

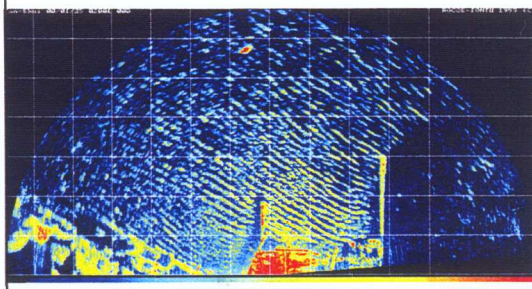
資料處理過程：

- 一、原始(R, θ)資料轉為(X, Y)資料。
- 二、以(X, Y)資料作3D FFT轉換。

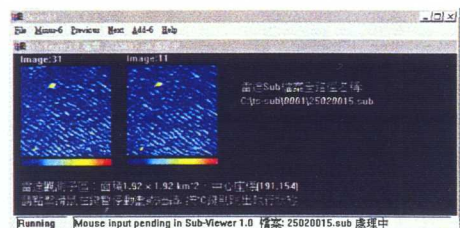


步驟一：(R, θ) $\rightarrow$ (X, Y)

產品：GIF動畫圖檔以及三維能譜資料檔



轉換成子區資料檔(.sub檔)



步驟二： $(X, Y, t) \rightarrow (k_x, k_y, \omega)$
 $\rightarrow$ 一維波數能譜 $S(k)$

雷達測波估算值

H1/3波高：3.3 m

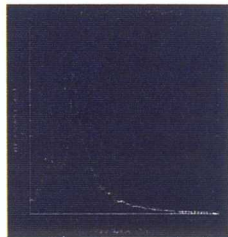
主波波長：105 m

主波週期：10.7秒

(以水深12m估算)

主波波向：354°

觀測時間：2000年1月25
 日0200L，32Frames

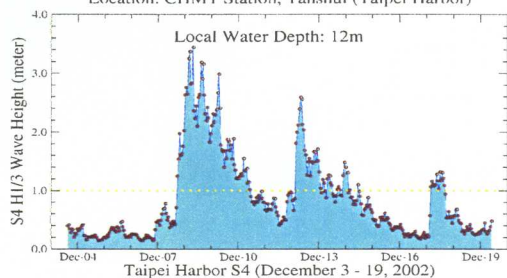


第六章 轉移函數以及波高之估算法

- 步驟一、頻譜修正(Transfer Function)。
- 步驟二、利用波浪之離散關係(Dispersion Relation)，藉以篩選出計算能譜中與波浪特性最為相關部份之能量和。
- 步驟三、再將上項結果與現場同步觀測(Wave Rider或壓力式測波儀等)之實測波高相比對，求出二者間經驗關係式。
- 步驟四、以上關係式用於日後之計算。

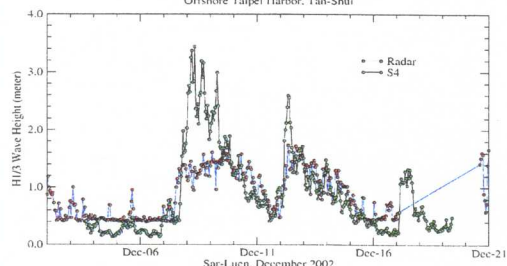
港研中心觀測格S4波高(91年12月)

Wave Height Measured by CHMT S4
 Location: CHMT Station, Tanshui (Taipei Harbor)

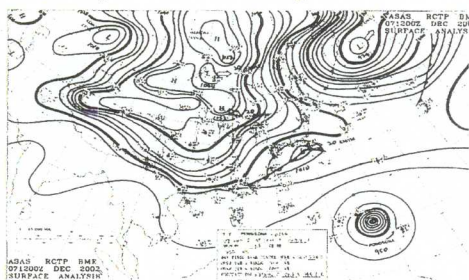


91年12月沙崙雷達估測波高與觀測樁實測波高逐時記錄

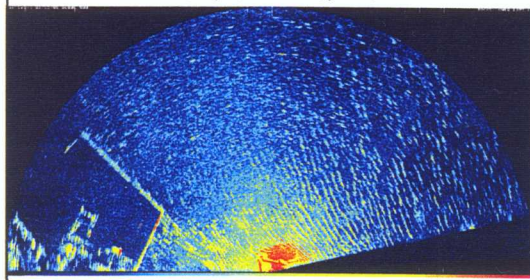
Wave Height Monitored by Radar (Sar-Luen) and S4
 Offshore Taipei Harbor, Tan-Shui



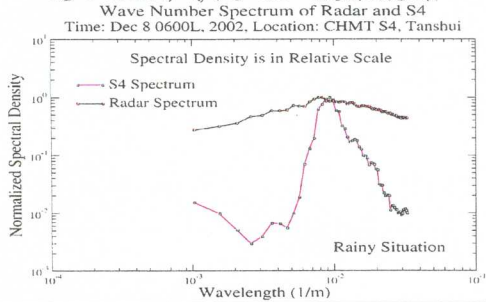
91年12月7日2000L地面天氣圖 (<http://www.cwb.gov.tw>)



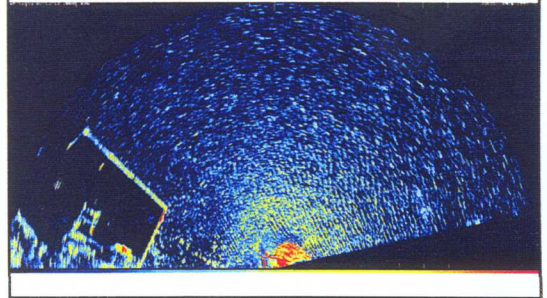
91年12月8日0600L沙崙港雷達 圖像(小雨情況)



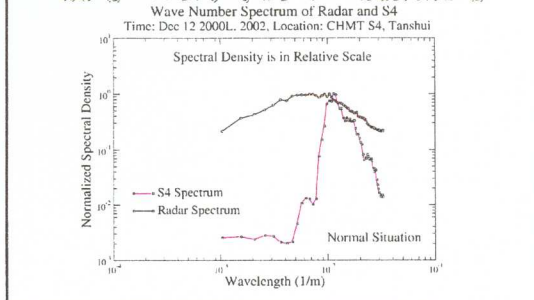
91年12月8日0600L雷達波數能譜以及同時段之S4波數能譜



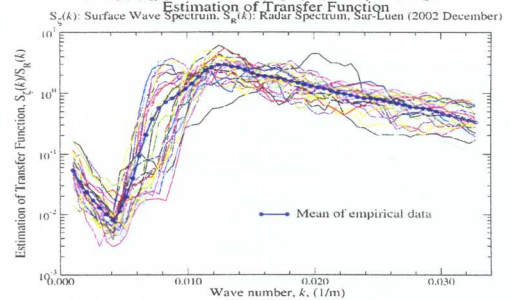
91年12月12日2000L沙崙港雷達圖像(無雨情況)



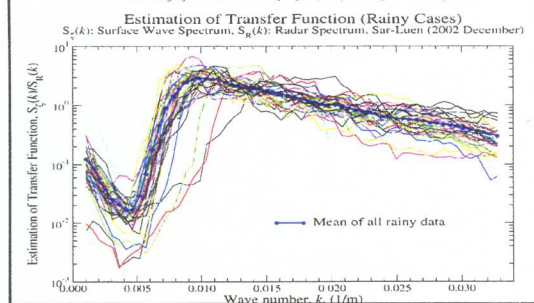
91年12月12日2000L雷達波數能譜以及同時段之S4波數能譜



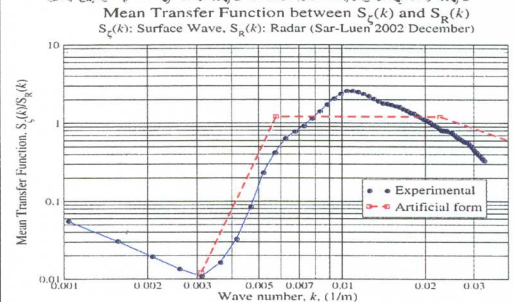
根據64組無雨資料估出之轉移函數實驗曲線與平均曲線



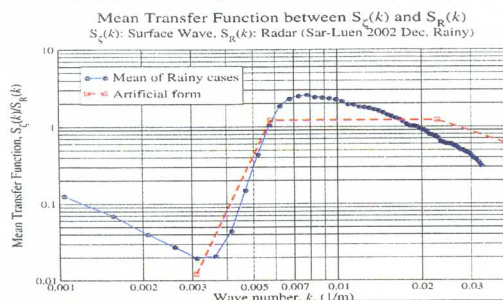
根據42組下雨資料估出之轉移函數實驗曲線與平均曲線



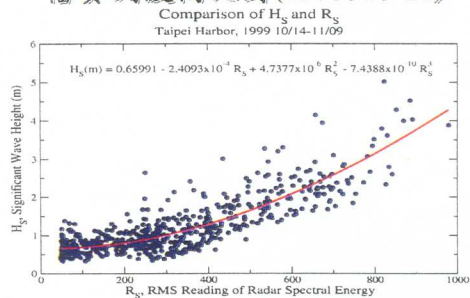
根據64組無雨資料估出之轉移函數平均曲線以及三段式曲線



根據42組下雨資料估出之轉移 函數平均曲線以及三段式曲線



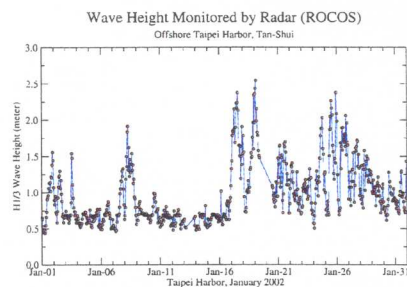
台北港雷達測波RMS值與觀測 樁實測波高比對(1999/10-11)



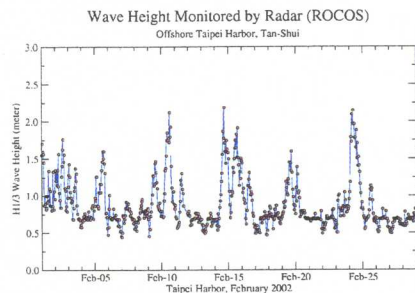
第七章 雷達測波與觀測 樁測波值之比對

- 執行台北港雷達測波例行性作業，每月定保、更換硬碟、資料備份、數據轉換、製作光碟、遠端監看。
- 台北港外廓防波堤延長加高後已對雷達測波造成遮蔽效應，對觀測產生干擾。
- 91年8月20日起另在淡水沙崙漁人碼頭旁海巡署訓練中心樓頂裝設另一台雷達測波儀輔助觀測作業。

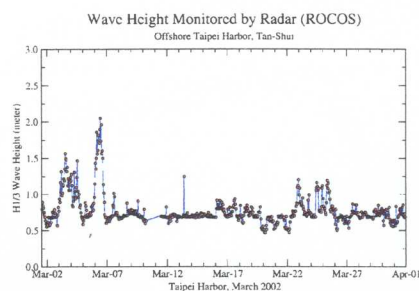
91/1 S4波高與雷達波高比對



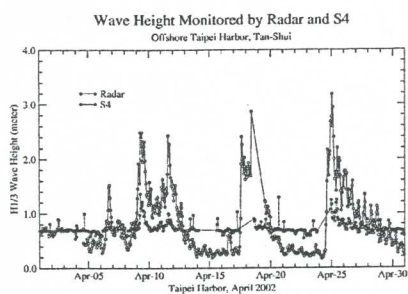
91/2 S4波高與雷達波高比對



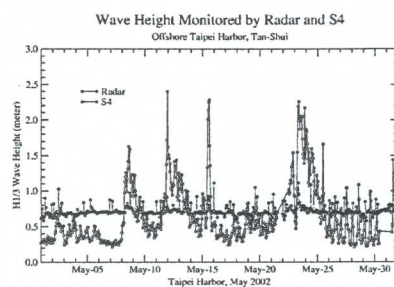
91/3 S4波高與雷達波高比對



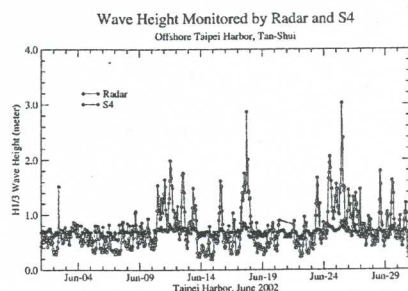
91/4 S4波高與雷達波高比對



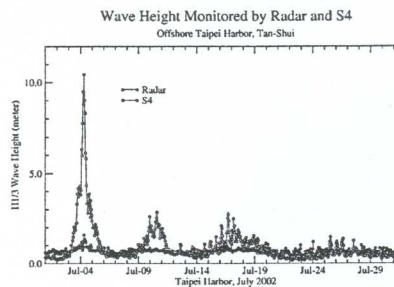
91/5 S4波高與雷達波高比對



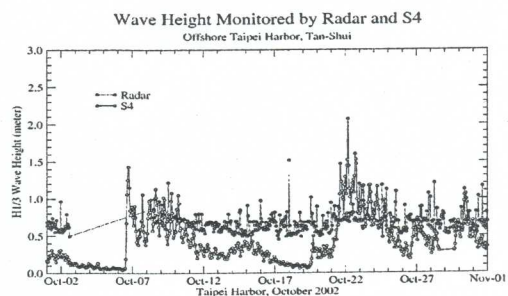
91/6 S4波高與雷達波高比對



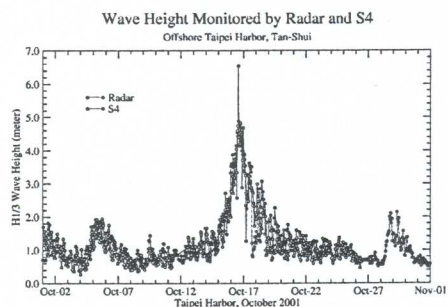
91/7 S4波高與雷達波高比對



91/10 S4波高與雷達波高比對

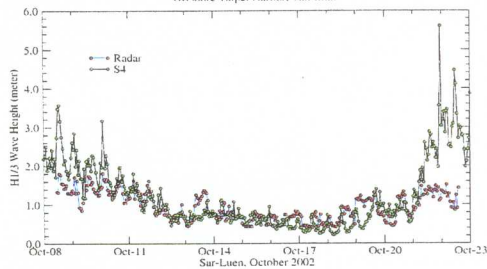


90/10 S4波高與雷達波高比對



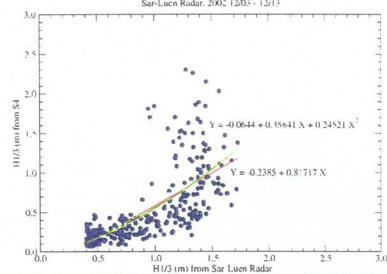
91/8 沙崙與台北港雷達波高比對

Wave Height Monitored by Radar (Sar-Luen) and S4
Offshore Taipei Harbor, Tan-Shui



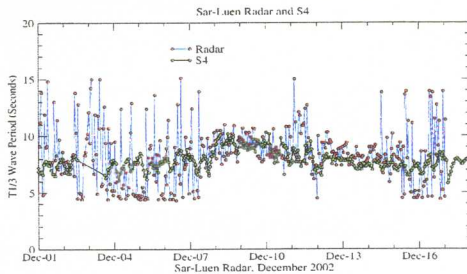
91年12月3-13日 S4波高(Y)與沙崙雷達波高(X)之點聚圖

Comparison of Wave Heights (Radar and S4)



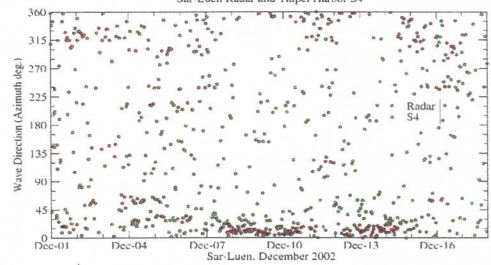
91年12月 S4波流儀 T1/3 週期與沙崙雷達所測波週期時序圖

Wave Period Monitored by Radar and S4



91年12月 S4波流儀所測波向與沙崙雷達所測波向時序圖

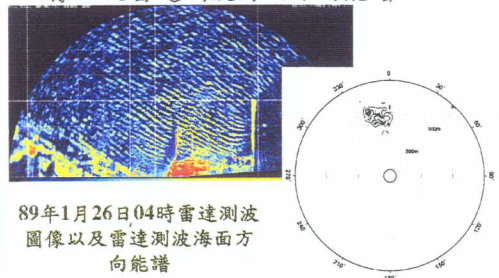
Wave Direction Monitored by Radar and S4



第八章 討論

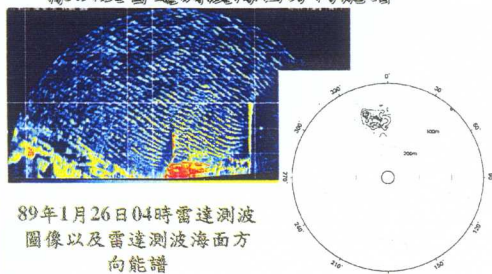
三年來台北港外廓防波堤由無至完工，地形變化對本地波候特性造成影響。堤線加高已影響到雷達觀測，故在沙崙港加設雷達測波儀輔助觀測。使用沙崙港觀測資料以及台北港資料進行波浪在空間上分佈特性之分析研究。

89年1月26日04時雷達測波圖像以及雷達測波海面方向能譜



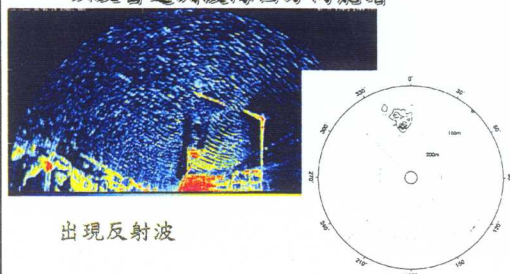
89年1月26日04時雷達測波圖像以及雷達測波海面方向能譜

89年1月26日04時雷達測波圖像
以及雷達測波海面方向能譜



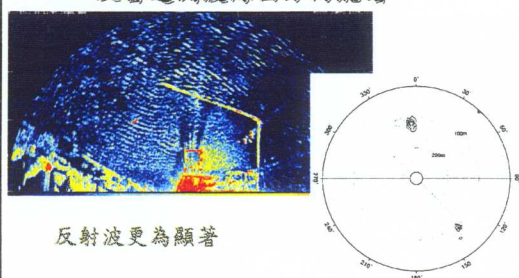
89年1月26日04時雷達測波
圖像以及雷達測波海面方
向能譜

90年1月15日18時雷達測波圖像
以及雷達測波海面方向能譜



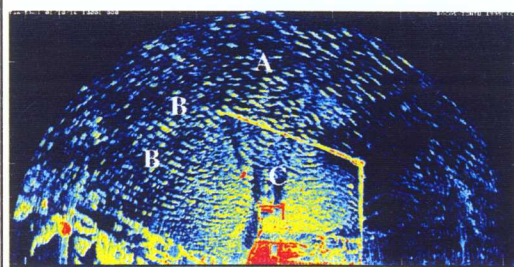
出現反射波

90年11月9日20時雷達測波圖像以
及雷達測波海面方向能譜

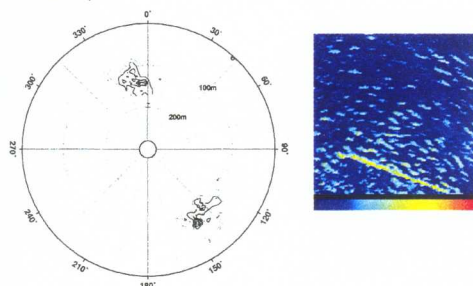


反射波更為顯著

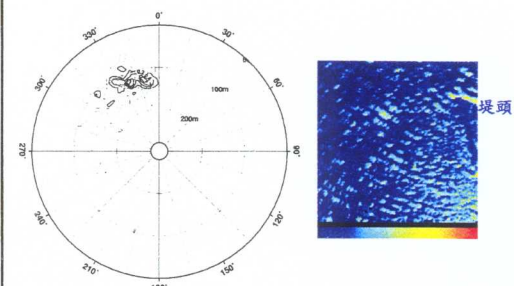
90年10月16日14時雷達測波圖像，
當時S4所測： $H_{1/3}$ 6.54m， $T_{1/3}$ 9.1秒



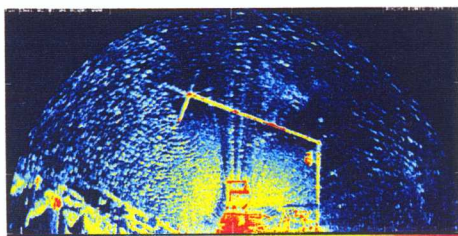
外廓防波堤外海，A區



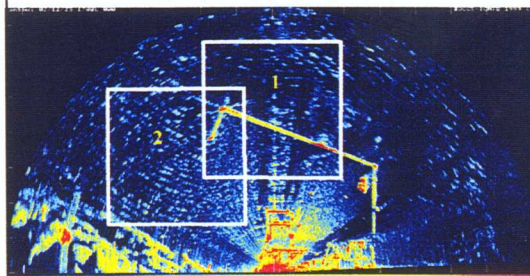
堤頭左側，B區



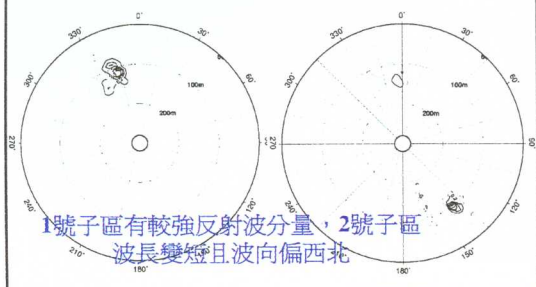
91/07/04 02L 雷達測波圖像



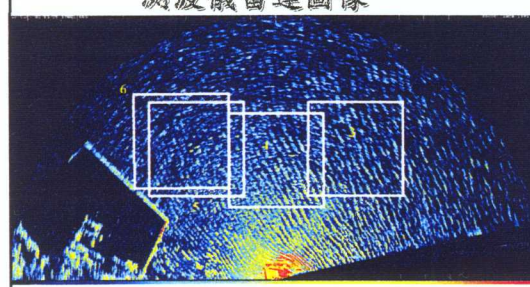
91年12月25日1700L 台北港雷達測波儀雷達圖像



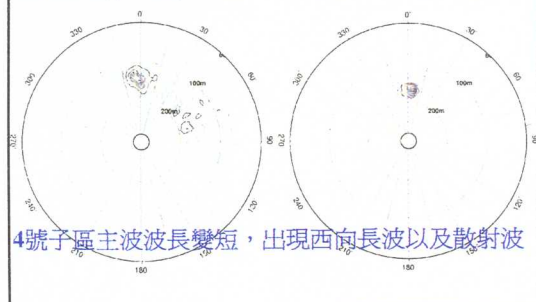
(左圖) 2號子區, (右圖) 1號子區



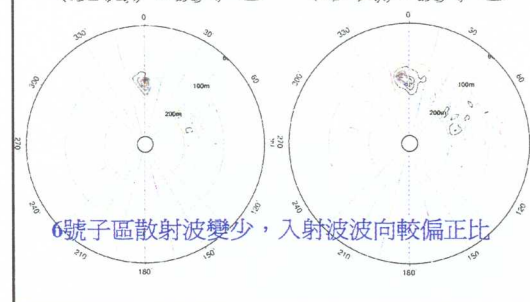
91年12月25日1700L 沙崙雷達測波儀雷達圖像



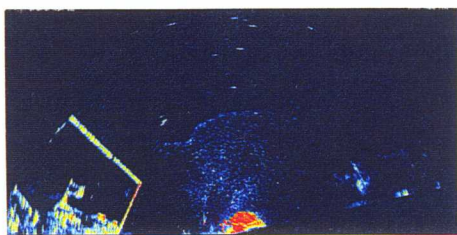
(左圖) 4號子區, (右圖) 3號子區



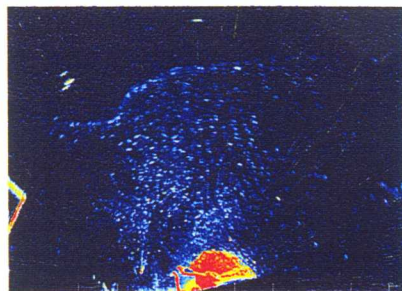
(左圖) 6號子區, (右圖) 5號子區



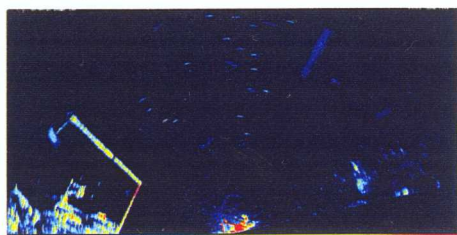
90年9月2日 1107L 沙崙外海



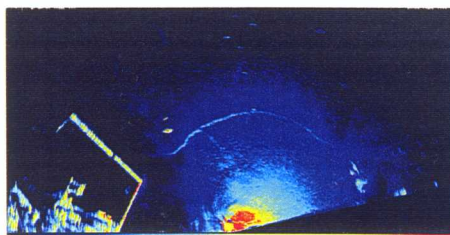
90年9月2日 1107L 沙崙外海



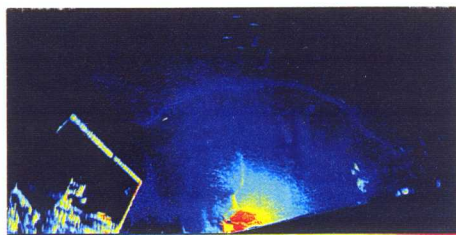
2002年9月3日 0800L，使用平均圖可看出沖淡水舌變化情形。



2002年9月3日 1200L



2002年9月3日 1300L



第九章 結論

- 本階段(91年1月1日至92年1月24日)共收集8798小時測值(總觀測時數9327小時)，達成率為94.2%。
- 採用沙崙港觀測資料以及觀測樁資料進行轉移函數重估，和原用公式相比差異不大。
- 使用沙崙港觀測資料以及台北港資料可觀察到波浪特性在空間上之分佈情形。
- 沙崙港輔助觀測效果甚佳，值得繼續。
- 淡水河口附近之波浪能譜出現一股向西傳的長波分量，此波由何而來值得深入研究。