

97-27-7314

MOTC-IOT-96-H2EB002

96 年臺北港雷達遙感波浪監測研究



交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

97-27-7314

MOTC-IOT-96-H2EB002

96 年臺北港雷達遙感波浪監測研究

著者：徐如娟、周宗仁、翁文凱
尹 彰、何良勝

交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

臺北港雷達遙感波浪監測研究. 96年 / 徐如娟
等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所,
民97.03

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-01-3830-6(平裝)

1. 波動 2. 氣象雷達 3. 遙感探測 4. 臺灣

351.941

97006303

96 年臺北港雷達遙感波浪監測研究

著 者：徐如娟、周宗仁、翁文凱、尹彰、何良勝

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 97 年 3 月

印 刷 者：承亞興企業有限公司

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臺灣技術研究中心網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009700781

ISBN：978-986-01-3830-6 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：96 年臺北港雷達遙感波浪監測研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-3830-6 (平裝)	政府出版品統一編號 1009700781	運輸研究所出版品編號 97-27-7314	計畫編號 96-H2EB002
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：何良勝 研究人員：徐如娟 聯絡電話：04-26587125 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立臺灣海洋大學 計畫主持人：周宗仁 研究人員：尹章、翁文凱 地址：基隆市北寧路 2 號 聯絡電話：02-24622192-6126or6138		研究期間 自 96 年 3 月 至 96 年 12 月
關鍵詞：臺北港；雷達波觀測；方向頻譜			
摘要： 為因應臺北港環境影響評估以及工程規劃與施工之需求，交通部基隆港務局委託交通部運輸研究所港灣技術研究中心針對淡水、八里、林口附近海岸區域進行漂沙調查及海、氣象與地形變遷監測，以期能確實掌握八里、林口海岸漂沙及海、氣象與地形變遷之特性。港灣技術研究中心秉持本土研究開發之精神，除於臺北港北外擴防波堤外側設置有一觀測樁以量測當地之波浪與海流外，並委託學術單位著手開發雷達測波，而在觀測資料分析方面，影響雷達測波精確度之因素相當多，目前已逐漸釐清各影響因素之影響程度，並應用各種影像處理之方法加以克服，同時已可利用『波數譜』及『波數-頻率譜』（『方向頻譜』）估算波場的示性波高及主方向，。 本研究整理臺北港過去三年之觀測樁資料與雷達波資料，並找出相對應之參數，進行逐時比對分析，同時估計其波浪的統計性質，根據比對分析的結果，在波高與波向資料的分上，兩者的結果相當接近，顯示本分析流程大致已達成熟階段，未來將再針對表面流的精度上進一步驗證與確認。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
97 年 3 月	142	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價購。
機密等級： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密，☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☒普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Wave Characteristic in Taipei Harbor by Radar remote sensing			
ISBN (OR ISSN) ISBN 978-986-01-3830-6 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009700781	IOT SERIAL NUMBER 97-27-7314	PROJECT NUMBER 96-H2EB002
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-Sheng PROJECT STAFF: Hsu Ju-Chuan PHONE: (04) 26587125 FAX: (04) 26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2007 TO December 2007
RESEARCH AGENCY: National Taiwan Ocean University PRINCIPAL INVESTIGATOR: C-R Chou PROJECT STAFF: John Yim, W-K Weng ADDRESS: No. 2, Peining Road, Keelung City, Taiwan, R.O.C PHONE: 02-24622192-6126 or 6138			
KEY WORDS: Taipei Harbor, Radar remote sensing, directional spectra			
ABSTRACT: In order to fulfill the environmental impact assessments and engineering planning of Taipei Harbor task requirements, the Port Authority of Keelung Harbor contracted the Harbor and Marine Technology Center under the Institute of Transportation, MOTC, a long-term program that monitors the evolution of the nearby coastal environments (Danshui, Bali, Linkou) of Taipei Harbor. The task of using Radar to remotely sense ocean waves was developed by IHMT and the National Taiwan Ocean University through a cooperative study between two institutions, and installed at the Taipei Harbor. The images from the Radar wave system will be modified by orthographic projection theory, and data collected by this Radar wave system will be compared with wave measurements by a pressure type gauge, which was installed on an offshore pile. The statistical results received from the Radar wave system were confirmed by wave measurement systems, last year. However, it still has a bias between the results received from the Radar wave system and wave measurement system. The improvement of accuracy in wave data will be an important mission this year. Comparing measured data from correlative parameter between wave data from pile and radar data, its validity is confirmed by means of comparing wave data from the pile one by one. However, prediction of current in the ocean surface still has some bias in the boundary of analytic region. The degree of accuracy in the estimation of surface flow will get better in the future.			
DATE OF PUBLICATION March 2007	NUMBER OF PAGES 142	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those 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.....	V
表目錄.....	VIII
第一章 前言.....	1-1
1.1 研究背景.....	1-1
1.2 研究範圍與對象.....	1-2
1.3 研究內容.....	1-3
第二章 理論基礎.....	2-1
2.1 波數－頻率譜.....	2-4
2.2 影響雷達影像的因素.....	2-8
2.3 雷達影像的處理步驟.....	2-9
第三章 雷達波之分析處理.....	3-1
3.1 波浪資料之推算.....	3-1
3.2 海洋表層流的推算.....	3-3
3.3 分析步驟.....	3-4
3.4 不良影像的去除.....	3-6
3.5 波高迴歸係數.....	3-12
3.6 雷達波資料之逐時比對.....	3-26
第四章 雷達測波資料分析.....	4-1
4.1 雷達波波高資料之分析.....	4-2

4.2 主波向.....	4-6
4.3 表層流之分析.....	4-10
第五章 研究執行成果.....	5-1
第六章 結論.....	6-1
參考文獻.....	7-1
附錄一 期中簡報.....	附 1-1
附錄二 期末簡報.....	附 2-1
附錄三 期中報告審查意見回覆表.....	附 3-1
附錄四 期末報告審查意見回覆表.....	附 4-1

圖 目 錄

圖 2-1	模擬規則波平面圖(黃, 2002).....	2-7
圖 2-2	二維波數譜圖(黃, 2002).....	2-8
圖 2-3	波數 - 方向譜圖(黃, 2002).....	2-8
圖 2-4	由『波數-頻率譜』轉換的方向頻譜.....	2-11
圖 2-5	目標方向頻譜。實驗條件同上圖.....	2-11
圖 2-6	沒有受到流(圖 2-6a)與受到流影響後(圖 2-6b)『分散關係殼』 的示意圖 (Senet et al., 1997) 。	2-12
圖 2-7	Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域的量 測結果.....	2-14
圖 2-8	Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域從雷達 影像估算的示性波高與實測的比對.....	2-16
圖 3-1	包含表層流之分散關係殼.....	3-2
圖 3-2	雷達觀測波雜訊.....	3-2
圖 3-3	雷達波浪資料分析範圍圖.....	3-7
圖 3-4	2004 年 2 月份雷達波資料與觀測樁實測值之比對.....	3-8
圖 3-5	影像無法辨識波峰線者, 其灰階平均值約大於 0.6.....	3-9
圖 3-6	影像略可辨識波峰線者, 其灰階平均值約在 0.5~0.6 間.....	3-9
圖 3-7	影像呈亮灰色者, 其灰階平均值約小於 0.2.....	3-10
圖 3-8	波峰線清晰者, 其灰階平均值約在 0.2~0.5 間.....	3-10
圖 3-9	雷達波影像未去除不良影像時的觀測樁 $H_{1/3} - Gray_{mean}$ 圖.....	3-11
圖 3-10	2004 年 2 月 去除不良影像後的 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖.....	3-11
圖 3-11	2003 年 1 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖.....	3-12
圖 3-12	2003 年 3 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖.....	3-13

圖 3-13	2003 年 4 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-13
圖 3-14	2003 年 6 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-14
圖 3-15	2003 年 7 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-14
圖 3-16	2003 年 8 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-15
圖 3-17	2003 年 9 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-15
圖 3-18	2003 年 10 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-16
圖 3-19	2004 年 1 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-16
圖 3-20	2004 年 2 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-17
圖 3-21	2004 年 3 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-17
圖 3-22	2004 年 4 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-18
圖 3-23	2004 年 5 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-18
圖 3-24	2004 年 6 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-19
圖 3-25	2004 年 7 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-19
圖 3-26	2004 年 8 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-20
圖 3-27	2004 年 9 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-20
圖 3-28	2005 年 6 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-21
圖 3-29	2005 年 7 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-21
圖 3-30	2005 年 8 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-22
圖 3-31	2005 年 9 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-22
圖 3-32	2005 年 10 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-23
圖 3-33	2005 年 11 月 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-23
圖 3-34	2004 年全部可分析月份資料之 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-24
圖 3-35	2005 年全部可分析月份資料之 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖	3-25

圖 3-36	2004~2005 年全部可分析月份 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖.....	3-25
圖 3-37	2004 年 1 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-26
圖 3-38	2004 年 2 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-27
圖 3-39	2004 年 3 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-27
圖 3-40	2004 年 4 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-28
圖 3-41	2004 年 5 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-28
圖 3-42	2004 年 6 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-29
圖 3-43	2004 年 7 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-29
圖 3-44	2004 年 8 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-30
圖 3-45	2004 年 9 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-30
圖 3-46	2004 年 10 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖.....	3-31
圖 3-47	2005 年 6 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對.....	3-31
圖 3-48	2005 年 7 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對.....	3-32
圖 3-49	2005 年 8 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對.....	3-32
圖 3-50	2005 年 9 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對.....	3-33
圖 3-51	2005 年 10 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對.....	3-33
圖 3-52	2005 年 11 月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對.....	3-34
圖 4-1	雷達波迴波微弱時之影像.....	4-1
圖 4-2	下雨時之台北港雷達波影像資料.....	4-1
圖 4-3	雷達波回波疑似被干擾之影像.....	4-2
圖 4-4	雷達波回波疑似被干擾之影像.....	4-2
圖 4-5	雷達波資料分析擷取位置.....	4-3
圖 4-6	2007 年 1 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖.....	4-3

圖 4-7	2007 年 2 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖	4-4
圖 4-8	2007 年 3 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖	4-4
圖 4-9	2007 年 4 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖	4-5
圖 4-10	2007 年 8 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖	4-5
圖 4-11	各月雷觀影像轉換得的示性波高平均值與觀測樁示性波高 平均值群組直條圖	4-6
圖 4-12	雷達波資料與觀測樁一月份波向分佈圖	4-7
圖 4-13	雷達波資料與觀測樁二月份波向分佈圖	4-7
圖 4-14	雷達波資料與觀測樁三月份波向分佈圖	4-8
圖 4-15	雷達波資料與觀測樁四月份波向分佈圖	4-8
圖 4-16	雷達波五月份波向分佈圖	4-9
圖 4-17	雷達波六月份波向分佈圖	4-9
圖 4-18	雷達波七月份波向分佈圖	4-9
圖 4-19	雷達波八月份波向分佈圖	4-9
圖 4-20	雷達波九月份波向分佈圖	4-10
圖 4-21	台北港北防波堤流場量測位置	4-11
圖 4-22	雷達波分析範圍流速、流向分佈圖	4-11

表目錄

表 4-1	觀測樁與雷達波各月平均示性波高比較與誤差百分比	4-6
-------	-------------------------------	-----

第一章 前言

1.1 研究背景

在從事海事工程之規劃、設計時，現場海氣象資料的確實掌握為此項工程成敗之重要關鍵因素之一。近年來，隨著國內海洋科技的進步與對海洋環境之重視，各項重大海事工程之建設除需了解其安全性外，亦須對其週遭之環境影響與變化進一步了解，並以研擬因應之措施，以期能將該項工程所引起對環境之衝擊降至最低。因此在臺北港建港之初，交通部基隆港務局即委託本所辦理「八里、林口海岸漂沙調查及海氣象與地形變遷四年監測研究」。本所為國內對海事工程專門研究之行政機構，除需執行政府政策與命令外，並負有開發新項海事工程技術之使命，因此在接辦臺北港監測研究時，除於淡水河口設置固定樁及觀測儀器，以蒐集該海域之海氣象資料外，並時與固定樁上之觀測資料進行比對，以檢討雷達測波之可行性。

有關應用雷達從事波浪遙測方面之研究相當早，如井島等(1964)、Wright 等(1965)皆曾利用船用雷達遙測海洋波動現象。雷達測波之原理主要為利用雷達所發射出的電磁波觸及海面時，將因海面波動起伏所構成之粗糙面而產生散射作用。其散射強度又與海洋表面粗糙結構之物理特性有密切關係，因此可根據雷達之回波訊號來反算、推估海面的波動特性。其優點在於遙測波浪之雷達可設置於環境條件較為穩定之岸上。因此在各項海氣象觀測儀器中，其設置價格較為便宜，維修容易亦較為便宜。另一優點為雷達波為面之掃測，所蒐集之波浪資料範圍較廣，有助於了解整個海面波浪變化。尤其在近岸區域波浪易因地形變化而發生變形，雷達測波較諸單點測波儀器更具優勢。但其易受天候影響測波功能與品質，另外雷達測掃範圍與設置角度、回波訊號強弱、影像檔轉換等皆可能影響波浪資料分析之品質，凡此種種皆仍有進一步改進之空間。

為因應臺北港二、三期整體擴建工程之需求，同時兼顧海氣象資料須長期監測之連續性，基隆港務局仍委託本所繼續對臺北港海氣象資料進行監測。隨著臺北港聯合辦公大樓的完工與啟用，原先受外擴防波堤遮蔽的情況已可消除。本研究將測試設置於聯合辦公大樓頂樓之外之雷達，使其繼續進行維持雷達測波站之測波功能。另外，亦將改進雷達測波儀之資料之品質。

國外有關應用雷達從事波浪觀測之研究相當早就開始了。國內則有國立台灣大學及國立成功大學利用雷達觀測波浪，但其在精度上仍有改進的空間，且國內從事相關的基礎研究甚少。本所與國立臺灣海洋大學合作以獨力開發有關技術為目的，目前已可利用『波數譜』及『波數-頻率譜』（『方向頻譜』）估算波場中示性波高及主波向。

然而，目前之成果乃是一統計的結果。同時，由於無論是所得到之『波數譜』，亦或『波數-頻率譜』，均是一粗譜。藉由此粗譜所估計之結果，必然會與實測結果有差異。本年度延續上年度之成果，繼續改進雷達觀測波高、波向的準確度。

1.2 研究範圍與對象

本研究主要目的在於對臺北港之建港需求提供準確且長期之波浪資料。因此監測之波浪資料應位於臺北港附近之海域海面上，範圍則儘量以涵蓋臺北港附近水域。以往設置於臺北港之雷達測波站由於設置高程較低，隨著臺北港的陸續擴建，此測站之回波訊號有被遮蔽的情況。隨著臺北港聯合辦公大樓的啟用，原先設置較低受遮蔽之雷達將可移至高程較高、不受遮蔽之處以利正常運作，目前雷達測波站設置於聯合辦公大樓之頂樓屋頂上。

本研究擬針對新設於臺北港聯合大樓頂樓之雷達測波儀繼續測波，測波之範圍涵蓋整個臺北港區域，包括港內與港外近海區域，參考臺北港之主要影響波浪，並與本所設置之觀測樁觀測結果相互比對，在資料分析上，儘量選擇近觀測樁位置之區塊進行分析。而在資料處理與展示方面，除對原有資料擷取系統，即時顯示雷達測波圖像

繼續維護改進外，本研究亦針對網頁展示部分重新製作與設計。而在資料之分析進行檢討改進工作方面，本年度擬延去年所用『波數譜』及『波數-頻率譜』（『方向頻譜』）求波場的波高及主方向之方法進行初步分析，並消除影響雷達波資料準確性之資料，以提高其精準度，同時統合以往各年所量測之結果，以求其迴歸率定參數，並與觀測樁之結果相互比對，探討目前即時測波資料分析之準確性。

1.3 研究內容

本研究本年度之研究內容主要包括有現場監測、測波資料分析、維護網頁展示系統、比對雷達測波資料、及臺北港雷達測波站之維護保養等五項作業，各分項作業之進行步驟分述如下：

(一)現場監測作業部份：

臺北港雷達測波儀將繼續維持每日 24 小時連續作業狀態，以執行海洋波浪長期監測工作。同時將定期(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將進行資料備份、統計、能譜及綜合分析，製作波浪動畫以及統計資料繪圖等工作。每月並將處理後之產品以硬碟儲存方式寄交港研中心。另外，本年度將整理過去之雷達波影像資料，並藉由本所於臺北港外所設置樁測樁之觀測結果進行率定影像檔灰階與波高比之參數，以進行即時資料分析處理。

(三)網頁展示系統更新與維護部份：

本年度重新設計雷達測波即時顯像作業系統與網頁展示系統，在臺北港測站以建立完成，其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。本研究將繼續維護、改進網頁內容，並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，同時檢討其差異原因。

(五)臺北港雷達測波站之維護保養

設置於臺北港港務聯合辦公大樓樓頂上之雷達測波站定期維護保養，使其能正常運作。

第二章 理論基礎

一般而言，海面上的波動變化可以視為是由許許多多大小不同的、各自擁有自己的頻率(波長)及方向的自由波所造成的。這些波浪在偶然的機會裡聚集在一起，而在下個時間又各自依自己原有的方向行進。不過，由於海面上的波浪大多是都受到風力的作用纔產生的，而風多半有一個主要的方向，所以通常海面上的波浪都或多或少地會有一個主要的行進方向。因此，要完整地描述一個海面上波浪能量的分佈，就應該用三(二)維的能量譜。以往學者常用的一維(頻)譜，忽略了波浪能量的分佈，因而在估算海岸(洋)構造物所可能承受的波力時往往會造成較保守的估計。

有鑑於此，西方的學者在四十多年前就開始研究所謂的『方向波譜』(Pierson, 1960; Barber, 1963, Longuet-Higgins et al., 1963)。Mobarek (1965)探討了風波槽裡波場方向性；Simpson (1969)利用電磁式流速儀量測海岸附近的水粒子的流速。他另外用壓力計測定波壓後，利用壓力和速度的自我－以及相互相關關係求方向波譜。不過，他討論重點的是風波的成長，而不是波場能量的方向性分佈。

早先，量測方向波譜的時候，大多是在量測地點設置多個測站，再利用這些測站的自我－以及相互相關關係求方向波譜。Barber (1963)大概是第一位提議以儀器陣列來估算波場裡『散佈函數』形式的學者。Longuet-Higgins 等人(1963)則應該是首次建議採用所謂的『傅利葉級數展開法』，或稱為『離散傅利葉級數展開法』(the discrete Fourier expansion method，簡稱 DFE)來估算散佈函數形式的。Borgman (1969, 1979)和他的學生 Panicker (1970, 1974)則對這個方法做了詳盡的闡述。

雖然『離散傅利葉級數展開法』能夠估算出波場裡波浪能量的大致方向，不過因為：

A、傅利葉的級數與量測儀器(波高計、波壓計等)的數目有關。如果量測儀器太少了的話，所得到的結果就顯得太粗糙。另一方面，

如果裝置了太多量測儀器的話，不但會破壞波場原有的結構，同時花費也會增加。

B、同時，由於傅利葉級數有正、餘弦函數的關係，以致估算出的散佈函數有時會有負值，而這是沒有物理意義的。

所以現在學者幾乎都不再用這一個方法來估算波場的特性。近幾年來似乎只偶爾有極少數的學者（Stansberg，1998）還用這方法估算方向波譜。

而後許多學者都提出估算波場裡波浪能量分佈形式的方法。依照Benoit 等人(1997)的歸納結果，有：

A、最大概度估計法(Maximum Likelihood Method, MLM)；

B、反覆迭代最大概度估計法(Iterative Maximum Likelihood Method, IMLM)；

C、最大熵值估計法(Maximum Entropy Method, MEM)；

D、擴張最大熵值法(Extended Maximum Entropy Principle Method, EMEP)；

E、貝氏參數法(Bayesian Directional Method, BDM)。

一般而言，貝氏參數法(Hashimoto & Kobune, 1988)應該是目前所有估算波場中能量分佈方法中最準確的。不過，這個方法計算比較費時。許多學者都探討了這些估算方法的優劣(Nwogu, 1989a, b; Brissete, 1992; Hashimoto & Kobune, 1988; Hashimoto et al., 1988; Benoit et al., 1997; 黃，2003。)

嚴格地說，不論是在量測地點設置多個測站(Davis & Regier, 1977; Regier & Davis, 1977)，或是利用浮球不同形式的運動(Mistuyasu 等人, 1975; Brissette & Tsanis, 1994)來估算方向波譜，都是所謂的『點』的量測方式(point measurement)。這種量測方式只能用在變化不大，或是說合乎『遍歷性』(ergodic)假設的波場。如果想要知道變化比較複

雜，或是範圍比較大，的波場特性的話，就必需用所謂的『遙測』了。

遙測技術的發展，一般是透過各種雷達的偵測或是採用攝影的方式擷取所需的資料。這並不是新技術。早在半個世紀前 Cox 和 Munk (1954)就乘坐飛機，以空中攝影的方式，利用太陽反光的影像估算出海平面的斜率統計值。而後 Stilwell 和 Pilon (1974)、Sugimori (1975)等人從相片中估算出方向頻譜。近些年來，隨著遙測技術的進步，很多學者也開始利用衛星探測結果來討論波場的方向性(Young et al., 1985; Phillips, 1988)。

一般較常使用的雷達系統包括 SAR (Synthetic Aperture Radar)、SLAR (Side-Looking Aperture Radar) 和 HF (High Frequency radar)。HF 雷達由於裝置大小的問題，僅適合於架設於地面上使用；SAR 和 SLAR 則已成功的裝置於航空器或衛星上使用以利大範圍的觀測(Young et al., 1985)。

雖然裝置於航空器或衛星上的雷達可以一次就量測到廣大的海域，但是一方面由於這種設備較為昂貴，另一方面也因為一般的工程都比較靠近海岸地區，同時範圍也比較小，所以近些年來許多學者都開始研究利用商(船)用雷達(nautical radar, Borge et al., 2000; Dankert, 2003; Schulz-Stellenfleth, 2003; Dankert & Rosenthal, 2004)或是用 CCD 攝影機拍攝影像(Jähne et al., 1994; Holland et al., 1997; Dieter, J. 1998; Senet et al., 2000a, b, 2001; Curtis et al., 2002)，並從其中擷取有關海面上波浪能量分佈信息的可能性。

簡單地說，一張有關海面變化的影像是由許許多多明暗不同的『光點』(pixel, picture element)所組成的。每一點的色階與該瞬間波浪表面的斜率有關。一般來說，量測數據進行分析時，如果是『點』的量測紀錄－即所謂的『時間序列』－的話，可以分別從時間領域，或是頻率領域著手。前者可以藉著統計得到如二階統計特性(variance)則代表影像的偏離(水面)的程度；三階統計特性(skewness)是討論分佈的對稱性。四階的統計特性是討論分佈的平坦性(Gangerkar, 2000)等

等。後者則是把所得到的量測結果當成是由各種不同振幅、頻率的簡諧波的組合。藉著(自我)相關係數，求取通過這一量測點各個成份波的能量。如果是『面』的量測結果的話－即所謂的『圖像(時間)序列』(picture 或 image sequence)，則也可以分別從空間領域，或是頻率領域著手。前者所得到的空間的(統計)結構(特性)。不過，因為這時有瞬間各點的訊息，所以也可以藉著計算各點的(交互)相關係數，求取在這一瞬間海面上各種不同波長的分佈。後者則可以得到所謂的波數－頻率譜(wavenumber-frequency spectrum)，也就是一般所謂的『方向頻譜』。

除了上述的求取『波數譜』及『方向頻譜』之外，理論上來說，也可以藉著對量測紀錄做所謂的『主成份分析』(principal component analysis，簡稱 PCA)而找出(雷達)影像中主要成份波的振幅、波長及方向。

『主成份分析』也稱做『經驗正交函數』(empirical orthogonal function，簡稱 EOF)。它是多元統計分析裡的一種方法。簡單地說，就是『把一些具有複雜關係的因子(樣本或變量)歸結為少數幾個主要綜合因子，使分析方法大為簡化，而又使所丟失的信息達到最小限度』(陳和馬，1991)。

2.1 波數－頻率譜

如果把海面上的波動看成是無數個不同振幅、不同波長、不同頻率、以及不同相位的線性(微小振幅)波在某一個時刻的機率組合的話，那麼就可以把海面上任意一點的水面變化可以寫成：

$$\begin{aligned}\eta(\vec{x}, t) &= \sum_{j=1}^{\infty} a_j \left[\cos(\vec{k}_j \cdot \vec{x} - \omega_j t + \varepsilon_j) \right] \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} a_j \left\{ \cos[k_j x \cos(\theta_j) + k_j y \sin(\theta_j)] - \omega_j t + \varepsilon_j \right\}\end{aligned}\tag{2-1}$$

其中 a_j 是第 j 個成份波的振幅； $\bar{\mathbf{x}}=(x,y)$ 是平面座標的位置，
 $\bar{\mathbf{k}}_j=(k_{jx},k_{jy})=[k_j \cos(\theta_j), k_j \sin(\theta_j)]$ 是第 j 個成份波的波數向量，
 $k_j=\sqrt{k_{jx}^2+k_{jy}^2}=2\pi/\lambda_j$ ， λ_j 是波長； θ_j 是第 j 個成份波的與 x 軸的夾角； ω_j 是第 j 個成份波的角頻率， $\omega_j=2\pi f_j$ ， $f_j=1/T_j$ 是頻率； T_j 是它的週期；最後， ε_j 是第 j 個成份波的隨機相位， $0\leq\varepsilon_j\leq 2\pi$ 。

任意兩個測站的交互關係函數定義是：

$$R(\bar{\mathbf{r}},\tau)=\overline{\eta(\bar{\mathbf{x}},t_0)\eta(\bar{\mathbf{x}}+\bar{\mathbf{r}},t_0+\tau)} \quad (2-2)$$

其中 $\bar{\mathbf{r}}=(\Delta x,\Delta y)$ 是兩個測站的距離， $\overline{(\dots)}$ 表示期望值， τ 是延滯時間。
 從(2-2)式可以看出，交互關係係數與兩個測站分隔的距離及時間有關。

根據定義，可以把三維的頻譜寫成：

$$S(\bar{\mathbf{k}},\omega)=\frac{1}{(2\pi)^3}\iiint R(\bar{\mathbf{r}},\tau)\exp[-(\bar{\mathbf{k}}\cdot\bar{\mathbf{r}}-\omega t)]d\bar{\mathbf{r}}dt \quad (2-3-1)$$

或

$$S(k_x,k_y,\omega)=\frac{1}{(2\pi)^3}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} R(\Delta x,\Delta y,\tau)\exp[-(k_x\Delta x+k_y\Delta y-\omega t)]dk_xdk_ydt \quad (2-3-2)$$

(2-3)式和一般常用的方向頻譜， $S(f,\theta)$ ，有下面的關係：

$$S(\omega,\theta)=2\int_0^{\infty} S(\bar{\mathbf{k}},\omega)kdk \quad (2-4)$$

對一張影像來說，因為沒有時間上的差異所以(2-2)式變成：

$$R(\bar{\mathbf{r}})=\overline{\eta(\bar{\mathbf{x}})\eta(\bar{\mathbf{x}}+\bar{\mathbf{r}})} \quad (2-5)$$

而對(2-5)式做傅利葉轉換，則可以得到：

$$S(k_x, k_y) = \frac{1}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R(\Delta x, \Delta y) \exp[-(k_x \Delta x + k_y \Delta y - \omega t)] dk_x dk_y \quad (2-6)$$

(2-6)式就是所謂的『波數譜』。它是海面上各個成份波在波數領域所佔的成份。由於各個波的行進方向不同，所以它們在 x-和 y 方向分量的分量也不同。嚴格說起來，波數譜裡已經有波浪(主)方向的訊息了。只不過，二維圖上的影像是靜止的，不能從它那裡有關得到波浪行進的訊息。必須靠比對連續的圖像，才能消除這個所謂的『180°模糊性』(180° ambiguity)的問題。

舉個例來說，如果影像裡二維空間的訊號是 $M(x) \times N(y)$ 個，那麼，對每個像素裡的灰階值 $G(x_j, y_k)$ 進行二維傅立葉轉換：

$$F(k_x, k_y) = \frac{1}{M \times N} \sum_{x_m=1}^M \sum_{y_n=1}^N G(x_m, y_n) \exp\left[-i2\pi\left(\frac{r_m x_m}{M} + \frac{r_n y_n}{N}\right)\right] \quad (2-7)$$

其中

$$k_x = r_m \Delta k_m \quad (r_m = 1, 2, 3, \dots, M) \text{ 是平面座標橫軸波數} \quad (2-8)$$

$$k_y = r_n \Delta k_n \quad (r_n = 1, 2, 3, \dots, N) \text{ 是平面座縱橫軸波數} \quad (2-9)$$

$$\Delta k_x = \frac{2\pi}{M \Delta x} \text{ 是橫軸的單位長度} \quad (2-10)$$

$$\Delta k_y = \frac{2\pi}{N \Delta y} \text{ 是縱軸的單位長度} \quad (2-11)$$

Δx 和 Δy 分別代表每個像素的實際長度與寬度，二維波數譜則定義為：

$$S(k_x, k_y) = \frac{1}{T} |F(k_x, k_y)|^2 \quad (2-12)$$

圖 2-1 是為模擬的規則波平面圖。平面的長寬各為 100 公分，波浪振幅是 1 公分，波數 0.5 cm^{-1} ，波浪行進主方向與橫(x)軸夾角是 60° 。圖 2-2 則是由規則波平面圖所計算出來的二維波數譜。

由於波浪能量在波數領域表示時，較難提供波浪行進方向的具體概念，所以藉由進一步的因次轉換可將二維波數譜轉換成以極座標表示的波數－方向能譜(2-13 式)，而圖 2-3 則為轉換結果。由圖 2-3 上的峰值可以辨識出波浪的行進方向為 $\pi/3$ ，波數為 0.5cm^{-1} 。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(k_x, k_y) dk_x dk_y = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(k, \theta) k dk d\theta = \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(k, \theta) dk d\theta \quad (2-13)$$

其中

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (2-14)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{k_x}{k_y} \quad (2-15)$$

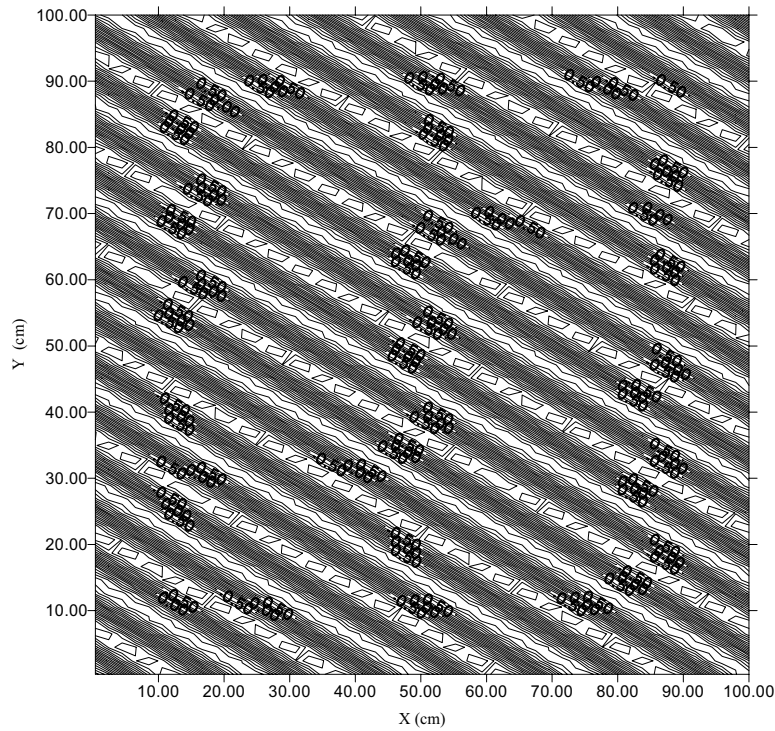


圖 2-1 模擬規則波平面圖(黃，2002)

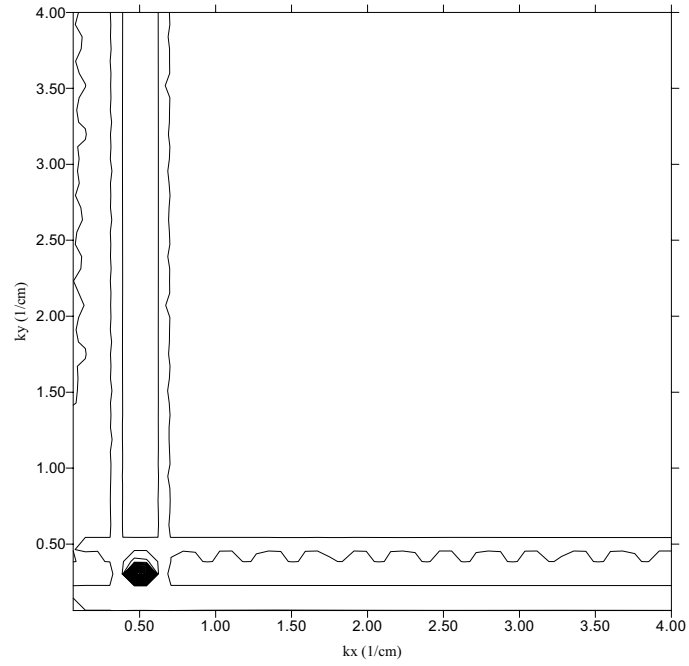


圖2-2 二維波數譜圖(黃，2002)

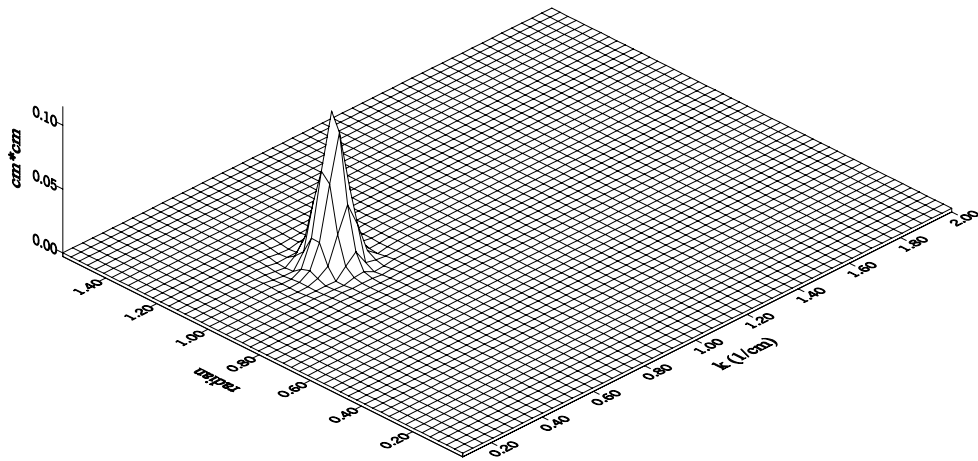


圖2-3 波數 - 方向譜圖(黃，2002)

2.2 影響雷達影像的因素

雷達測波之原理主要為利用雷達所發射出的電磁波觸及海面時，將因海面波動起伏所構成之粗糙面而產生散射作用。其散射強度又與

海洋表面粗糙結構之物理特性有密切關係。因此可根據雷達之回波訊號來反算、推估海面的波動特性。其優點在於遙測波浪之雷達可設置於環境條件較為穩定之岸上。因此在各項海氣象觀測儀器中，其設置價格較為便宜，維修容易亦較為便宜。另一優點為雷達波為面之掃測，所蒐集之波浪資料範圍較廣，有助於了解整個海面波浪變化。尤其在近岸區域波浪易因地形變化而發生變形，雷達測波較諸單點測波儀器更具優勢。

不過，雷達利用觀測海象時，也會受到許多因素的影響而減低它的精度。學者指出，雷達影像會受到：

- 距離的影響：雷達波的強度會隨著距離的增加而衰減。這會在雷達影像譜上造成所謂的『靜電雜訊』(static pattern)。
- 設置角度(方向，azimuth)的影響：雷達影像的強弱和風吹的方向有關。一般來說，回波如果是順風時，影像強度會增加；反之，則減弱。
- 風速的影響：風大時，雷達影像的強度會增加。
- 水面傾斜度 (tile) 的影響：這與波浪的有效斜率有關。這會使得波數 - 頻率譜中高波數地方的能量增加。
- 遮蔽效應的影響：這種效應是因為大波遮住了小波，因而使得後者不能受到雷達波的照射。它會使得波數 - 頻率譜中出現一些多餘的波數 $\bar{k}$ 及頻率 ω 。這是一種非線性的效應。對商用雷達來說，由於它的設置角度(較低)的關係，這種效應相當常見。
- 流體力學及運動軌跡的影響：由於水體粒子運動及波浪非線性的影響，在大波的波峰處會出現一些表面張力波。這會使得反射回來的電磁波失真。

2.3 雷達影像的處理步驟

許多學者指出(如：Nieto Borge 及 Guedes Soares，2000; Izquierdo

等人，2004, 2005)，從雷達影像序列估算波場的參數時有下列各個步驟：

- ◆ 影像正規化：把影像序列裡空間和時間的平均值去除。這樣可以減低隱含在影像序列空間裡的『趨勢』，進而減低波數－頻率譜裡的『靜電雜訊』(static pattern)。
- ◆ 估算波數－頻率譜：應用三維傅利葉轉換(3D FFT)估算三維的(影像)波數－頻率譜， $I(k_x, k_y, \omega)$ 。一般來說，在這個三維譜裡面有三種主要的成份。分別是：
 - 從波場反射回來的電磁波(backscatter modulation)；
 - 由於雷達影像非線性機制所造成的高階諧頻波(Higher harmonics)；
 - 海面所造成的背景雜訊(Background noise)。
- ◆ 估算表(水)面流速 這項工作可細分成下面幾個部份：
 - 計算所謂的『分散關係殼』。
 - 對三維的(影像)波數－頻率譜 $I(k_x, k_y, \omega)$ 進行低通濾波，藉以消除高頻的靜電雜訊。
 - 對三維的(影像)波數－頻率譜 $I(k_x, k_y, \omega)$ 進行插值。由於三維的(影像)波數－頻率譜 $I(k_x, k_y, \omega)$ 是藉由影像上像素的明亮估算出來的，所以每個像素在空間所佔的距離大小就等於在空間上的取樣大小， $(\Delta x, \Delta y)$ 。這也就說波數 $k_x = 2\pi/(M\Delta x)$ 和 $k_y = 2\pi/(N\Delta y)$ ，其中 M 和 N 分別是橫軸與縱軸的分割個數。由於受到了電腦計算能力及影像解析度雙重的影響，不論是在空間上，或是在時間上，分割的個數都不可能太大。因此所得出來的波數－頻率譜就會顯得參差不齊。圖 2-4 是由波數－頻率譜直接轉換成一般通用的方向頻譜 $I(f, \theta)$ ，而圖 2-5 則是理論的方向頻譜。

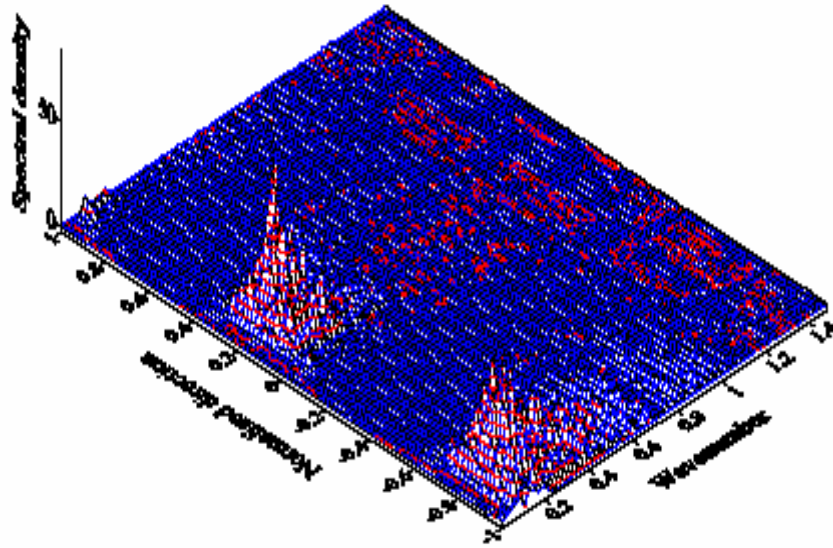


圖2-4 由『波數-頻率譜』轉換的方向頻譜。實驗條件：Bretschneider-Mitsuyasu 頻譜；主頻率 $f_0 = 0.2$ Hz，示性波高 $H_s = 1.50$ m，散佈參數(Spreading index, s_{max}) = 50，主方向 = 30度。

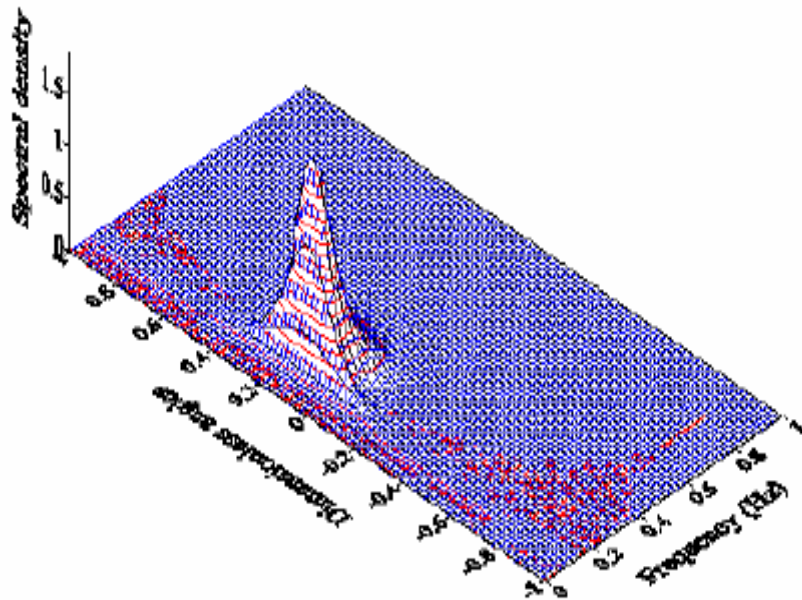


圖2-5 目標方向頻譜。實驗條件同上圖。

要說明是，模擬的方向頻譜並沒有去除所謂的『 180° 模糊性』，因此在無因次方向大約 $= -0.8$ 的地方還會有一個(虛假的)方向波譜出現。從這兩張圖可以看出來，模擬的方向頻譜因為受到了分割個數的影響，顯得有些參差不齊。為了避免在後續估算波場參數時失真起見，許多學者都用各種插值將這些空缺處補起來(Holthuijsen, 1981; Ziemer, 1987)。通常，二維線性插值 (two-dimensional linear interpolation) 是最常用的方法。

- 消除表面流對『分散關係殼』的影響。表面流會造成所謂的『都普勒』效應，使頻率改變，因而影響了對波場能量的評估。圖 2-6 分別是有沒有受到流(圖 2-6a)與受到流影響後(圖 2-6b)『分散關係殼』的示意圖。

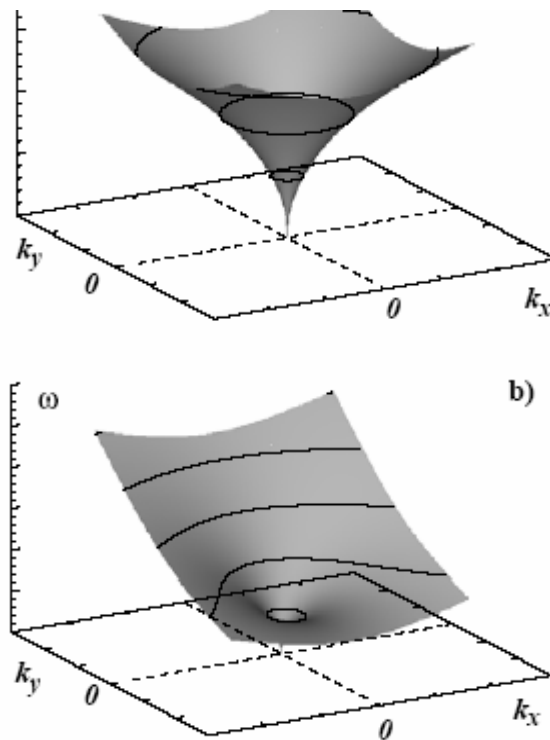


圖 2-6 沒有受到流(圖 2-6a)與受到流影響後(圖 2-6b)『分散關係殼』的示意圖 (Senet et al., 1997)。

假設海浪的能量在雷達影像中佔了大部份的話，就可以用最小二乘法藉著下面的式子估算出流 $\bar{U}$ ：

$$u = \sum_{j=1}^{N_r} \left[\omega_j - \omega(k_x, k_y) - k_{x_j} U_x - k_{y_j} U_y \right]^2 \quad (2-16)$$

其中， $\omega_0(k)$ 是沒有受到流影響的(線性)分散關係式，

$$\omega_0^2 = gk \tanh(kh) \quad (2-17)$$

U_x 及 U_y 分別是流在 x 及在 y 方向的分量。 N_r 是在三維空間 $(\vec{k}, \omega)$ 裡代表純波浪能量的總個數。Izquierdo 等人(2004, 2005)建議，用在 $I(\vec{k}, \omega)$ 中能量高於最大值 $I_{\max}(\vec{k}_p, \omega_p)$ 的 20% 來估算 N_r 的個數。

- ◆ 套配雷達影像波數－頻率譜於『分散關係殼』上：根據(線性)波理論，只有滿足分散關係式的，纔是(重力)波。因此，這一步驟等於是將所有不座落在『分散關係殼』上各個點的能量歸零。
- ◆ 求影像換方程式：一般來說，經過『分散關係殼』過濾後的賸下來的能量，只是與波場能量的分佈成正比。它並不是波場能量的真值。要把它和水面變化， $\eta(\vec{r}, t)$ ，或其波場裡它的參數－譬如說(波譜)零階矩， m_0 ，或是示性波高， H_s －連結起來，就必需再進行所謂的率定工作。率定工作有兩個步驟：

- 判斷雷達影像波數－頻率譜中的訊噪比(signal-to-noise ratio, SNR)：Ziemer (1987)指出，如果用 $\theta_0(k_0)$ 來表示雷達影像波數－頻率譜中能量最大地方，在 $\left[k_p - \frac{\Delta k}{2}, k_p + \frac{\Delta k}{2} \right]$ 之間角度的值的話，那麼在 $\Delta\theta_{1,2}^N = \left[\theta_{1,2}^N - \frac{\pi}{6}, \theta_{1,2}^N + \frac{\pi}{6} \right]$ 間隔之間的雜訊強度就是 $\frac{1}{\Delta\theta_1} \int_{\Delta\theta_1} I'(k_0, \theta) d\theta$ 及 $\frac{1}{\Delta\theta_2} \int_{\Delta\theta_2} I'(k_0, \theta) d\theta$ 。

其中 $\theta_1^N(k_0) = \theta_0(k_0) + \frac{\pi}{2}$, $\theta_2^N(k_0) = \theta_0(k_0) - \frac{\pi}{2}$, 而 $I'(k_0, \theta)$ 是由(補值後的) $I(k_x, k_y, \omega)$ 所轉換出來的波數 - 方向譜。得到了雜訊強度之後，訊噪比就可以藉著下式得到：

$$SNR = \frac{S(k_0)}{N(k_0)} = \frac{I'(k_0, \theta)}{\frac{1}{\Delta\theta_1} \int_{\Delta\theta_1} I'(k_0, \theta) d\theta + \frac{1}{\Delta\theta_2} \int_{\Delta\theta_2} I'(k_0, \theta) d\theta} \quad (2-18)$$

- 藉著與地面量測值，真值，比對，建立迴歸關係式

$$H_s = A + B\sqrt{SNR} \quad (2-19)$$

其中 A 和 B 是經驗常數。對每一個雷達來說，它們的值都不相同。

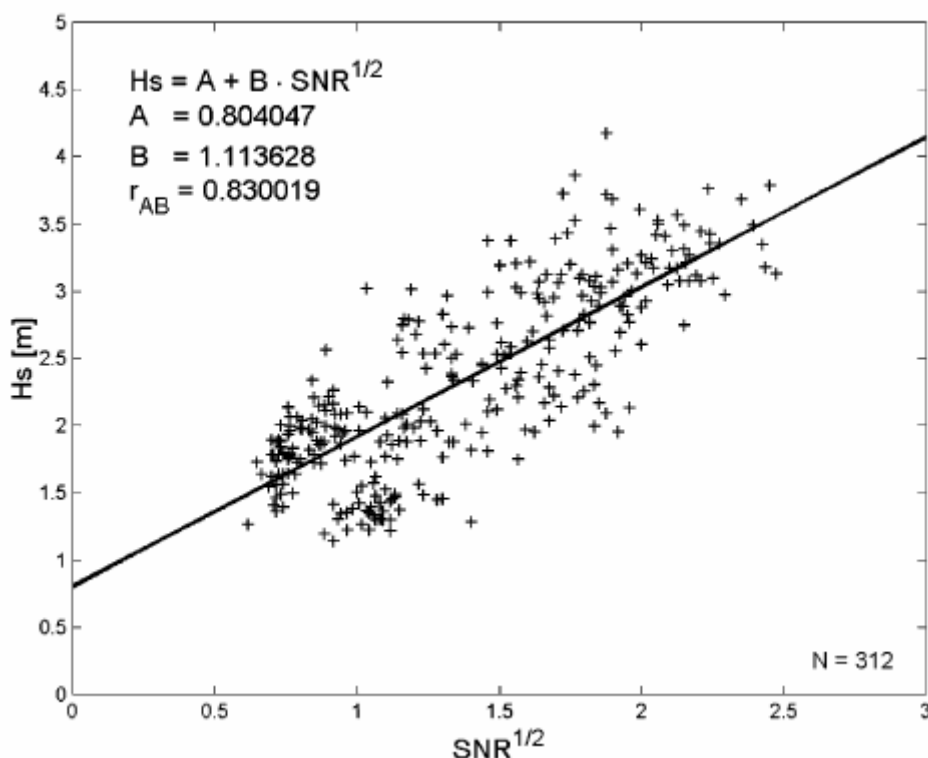


圖 2-7 Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域的量測結果

上面的式子是從與合成孔徑雷達(synthetic aperture radar, SAR)有關的理論藉用來的。它基本的假設是，『所量測到的訊噪比，SNR，與示性波高 H_s 成線性關係』。一般來說，學者發現上式大致合理。圖

2-7 是 Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域的量測結果。

- ◆ 求取波場其它參數：一旦求出只含有波浪能量的波數 - 頻率譜之後，就可以藉著各種譜之間的關係式計算頻率譜。假如把頻譜的 n 階『矩』(moment)寫成：

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df = \int_0^{f_N} f^n S(f) df \quad (2-20)$$

的話，那麼，波場的許多參數都可以藉著它估算出來。上式中，兩個等號的中間是理論的式子，右邊則是較實際的，而 f_N 則是所謂的截止頻率。例如：

- 示性波高：假設海面的波高是分佈的話，那麼就可以用下面的式子來估算波高

$$H_s = 4 \sqrt{\int_0^{f_N} S(f) df} = 4 \sqrt{m_0} \quad (2-21)$$

圖 2-8 是 Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域從雷達影像估算的示性波高與實測的比對。從圖中可以看出來，當實測波高較大或較小時，兩者之間的差距就比較明顯。

- 平均頻率 $\bar{f}$ ：這可以用 IAHR (1990)的定義估算。

$$\bar{f} = \frac{\int_0^{f_N} f S(f) df}{\int_0^{f_N} S(f) df} = \frac{m_1}{m_0} \quad (2-22)$$

- 平均周期 $\bar{T}$ ：這是藉用隨機波理論的結果。

$$\bar{T} = \frac{\int_0^{f_N} S(f) df}{\int_0^{f_N} f S(f) df} = \frac{m_0}{m_1} \quad (2-23)$$

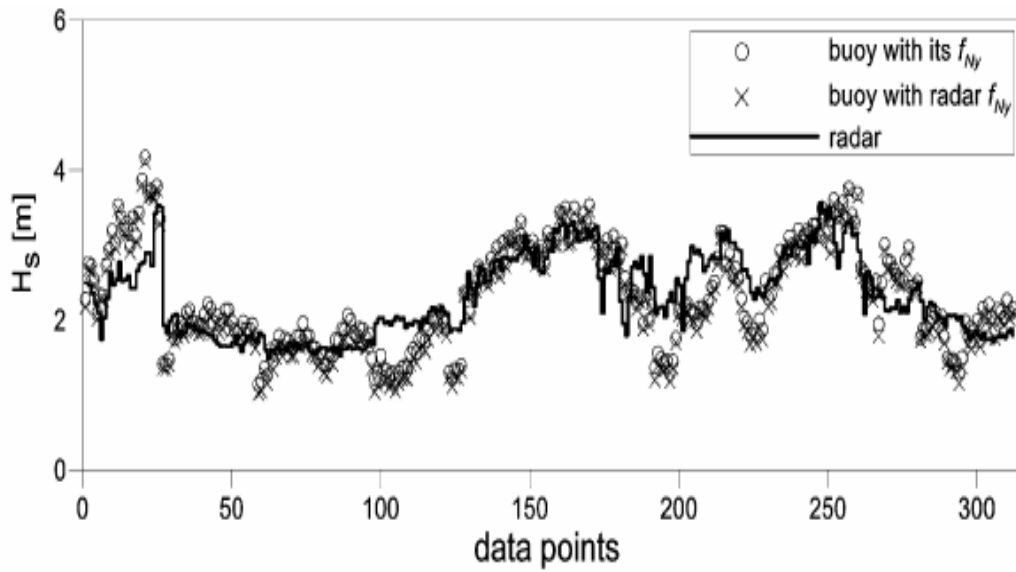


圖 2-8 Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域從雷達影像估算的示性波高與實測的比對

- 估算的頂點周期 T_{pc} 約略等於 f_p ， f_p 是所謂的頂點頻率，即頻譜中能量最大地方所對應的頻率(Tucker & Pitt, 2001)：

$$T_{pc} = \frac{m_{-2}m_1}{m_0^2} \quad (2-24)$$

Izquierdo 等人(2004)指出，在他們的比對中，平均周期的估算結果與實測結果最接近。

另外，值得一提的是，Nieto Borge 和 Guedes Soares(2000)指出，只有在有風的時候，纔能利用雷達來量測波場。雖然這個最小的風速與雷達的形式、雷達波的強弱、雷達波的入射角度等等有關。不過，對船用雷達來說，這個最小的風速大約是 3 m/sec 左右。

第三章 雷達波之分析處理

本研究利用船舶用雷達，即所謂 X-Band 雷達測得雷達的回波訊號(Sea Clutter)的影像(Seemann,1997)進行海洋表層流及波浪的方向波譜等的分析，除可了解該海域的海洋表層流分佈，並取得該海域的代表波浪波向、波高及週期等海象資料。而在應用上，除上述近海波浪資料之觀測外，進一步可進行碎波帶位置的觀測，碎波帶以內至海岸線間的海底地形觀測，甚至應用於近岸海中表層污染源之擴散分佈觀測等。

由於雷達波測波主要利用雷達回波所得海面訊號影像，因此在分析上，以分析所得影像之灰階為主，本章利用前章之理論分別針對影像灰階處理表層流與波浪資料進一步詳細說明。

3.1 波浪資料之推算

若對各時刻的回波訊號影響的散射強度分佈之灰階值 $G(x,t)$ ，進行 3D 傅利葉轉換，可得下列以向量波數 $k = (k_x, k_y)$ 及角週頻率 ω 表示的波數-頻率譜如下

$$S(k, \omega) = \int_t \int_x G(x, t) \exp(-ik \cdot x) dx \exp(-i\omega t) dt \quad (3-1)$$

若海洋表層流的流速 $U = (U_x, U_y)$ ，則將海洋表層流速考量在內的波浪分散關係式如下式所述，可以圖 3-1 之曲面(分散關係殼)表示。

$$\omega = \sqrt{gk \tanh(kh)} + k \cdot U \quad (3-2)$$

但波數 $k=|k|$ 。

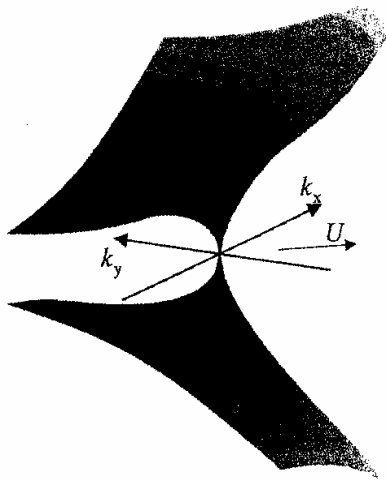


圖 3-1 包含表層流之分散關係殼

由觀測得到回波訊號的散射強度分佈的灰階值 $G(x,t)$ ，進行 3D FFT 所得 $S(k,\omega)$ 中，只有存在於曲面上的成份才是海洋波浪的成份，其他應為如下圖所示陰影(Shadowing)引起的雜訊，應去除。對 ω 方向只取 $\omega > 0$ ，可去除鏡像成份(180 度模糊)。

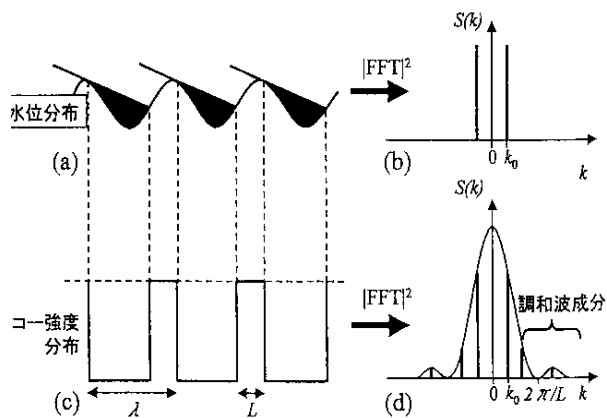


圖 3-2 雷達觀測波雜訊

經過上述過程可推算出回波訊號散射強度分佈的灰階值 $G(x,t)$ 之方向

波譜，可正確求出波向及週期。

$$\begin{aligned}
 m_0 &= \int S df \\
 m_2 &= \int S f^2 df \\
 H_{1/3gray} &= 4\sqrt{m_0} \\
 T_{1/3} &= \sqrt{m_0 / m_2}
 \end{aligned} \tag{3-3}$$

方向波譜只求得形狀，其絕對值並非實際海洋波高值，必須依經驗求之。本研究以下式推算有義波高。

$$H_{1/3} = a + bH_{1/3gray} \tag{3-4}$$

上式中，a,b 兩係數隨觀測條件而定，由觀測值迴歸分析決定。

3.2 海洋表層流的推算

要從觀測值求得表層流的流速向量 U ，可以從觀測值中找到最能滿足(3-2)式分散關係式的流速向量 U 即可，換言之，假定(3-2)式中的角週頻率 ω 若含有誤差 ε ，則(3-2)式可改寫成：

$$\omega = \sqrt{gk \tanh(kh)} + k \cdot U + \varepsilon \tag{3-5}$$

由觀測值取得的波譜 $S(k, \omega)$ ，利用最小 2 乘法，可以下式求得流速向量 U 。

$$\sum (S(k, \omega) \varepsilon^2) \rightarrow \text{最小}$$

$$\begin{bmatrix} U_x \\ U_y \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \sum S k_x^2 & \sum S k_x k_y \\ \sum S k_x k_y & \sum S k_y^2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum S k_x (\sqrt{gk \tanh(kh)} - \omega) \\ \sum S k_y (\sqrt{gk \tanh(kh)} - \omega) \end{bmatrix} \tag{3-6}$$

或

$$U_x = \left(\sum S k_x k_y \sum S k_y \left(\sqrt{gk \tanh(kh)} - \omega \right) - \sum S k_y^2 \sum S k_x \left(\sqrt{gk \tanh(kh)} - \omega \right) \right) / \left(\sum S k_x^2 \sum S k_y^2 - \left(\sum S k_x k_y \right)^2 \right) \quad (3-7)$$

$$U_y = \left(\sum S k_x k_y \sum S k_x \left(\sqrt{gk \tanh(kh)} - \omega \right) - \sum S k_x^2 \sum S k_y \left(\sqrt{gk \tanh(kh)} - \omega \right) \right) / \left(\sum S k_x^2 \sum S k_y^2 - \left(\sum S k_x k_y \right)^2 \right) \quad (3-8)$$

上式所示離散化波譜 S 是對 k_x, k_y 及 ω 方向別以 $\Delta k_x, \Delta k_y$ 及 $\Delta \omega$ 間隔加以離散,即

$$S = S(k_x, k_y, \omega) = S(j_{k_x} \Delta k_x, j_{k_y} \Delta k_y, j_\omega \Delta \omega) \quad (3-9)$$

3.3 分析步驟

本計畫再執行雷達波資料分析時，所採取之影像處理分析步驟大致如下：

1. 擷取雷達影像，一般使用影像擷取卡(視訊卡)，可將檔案儲存為 GIF、BMP 或 AVI 等型式，此時檔案為連續動畫檔，檔案儲存型式的不同將有不同的分析方式。
2. 將上述連續動畫檔分割成單獨的影像檔，此時可自寫程式將之分割，或利用 MatLab 的既有指令，宜注意的事是對不同型式的影像檔有不同的呼叫方式。
3. 針對各單獨的影像檔，可利用 MatLab 的既有指令，將圖檔轉換成灰階值(gray scale)
4. 針對各單獨的影像檔的灰階值利用濾網(Filter)進行平滑化，以便消

除影像雜訊 (noise)，濾網種類很多，一般常用的有高通率(high pass)、低通率(low pass)及中間值通率(median)等，其在 MatLab 有現成的函數(Function)可呼叫。對波浪影像，如果我們想要顯示波峰線，直接用影像處理方式分析波向，可利用高通率。欲進行波譜可利用低通率或中間值通率進行平滑化，低通率又分數種可自行設計，那一種最好，隨個案而不同必須測試，而且作幾次最適當，也要測試才能知道。根據以往測試結果以中間值通率的效果比低通率好。

5. 在完成影像平滑化的工作後，選定欲分析範圍，範圍可為正方形或長方形均可，例如 512x512 畫素，此大範圍是為分析波數-頻率譜，範圍越大越好。但是為分析海洋表層流分佈必須將此大範圍分割成 $M \times N$ 個小範圍，並測出各小範圍的平均水深，作為將來分析海洋表層流之用。
6. 針對大範圍，利用 MatLab 的既有指令 FFTN 對連續檔(32,48 張)做 3D 傅利葉轉換(複數)，取其絕對值的平方為頻譜密度，並找出最大頻譜密度值，將頻譜密度除以最大頻譜密度值而得無因次頻譜密度，此時對負的時間軸為虛像，故可去除，只考量正的時間軸(180 度模糊可不需考量)。
7. 第 4 步驟的平滑化工作是消除影像本身的雜訊，是影像處理的必要過程，不具物理意義。第 6 步驟所得頻譜密度中存在無法滿足分散關係(dispersion relation)的成分，必須加以去除，因此採用下列具有物理意義的濾網，即所謂分散關係殼。

不考量海洋表層流時，對各各 $\omega(2\pi/T)$ ，無法滿足 $\omega = \sqrt{gk \tanh kh}$ 分散關係的成份應去除。考量海洋表層流 U 時，考量 Doppler 效應，對各各 ω ，無法滿足 $\omega = \sqrt{gk \tanh(kh)} + k \cdot U$ 分散關係的成份應去除。

8. 尋找出經上列步驟求得頻譜密度的最大值，計算其相位角就可求得波向。

9. 利用波浪統計學理論，可求得示性波高及示性波週期，但要注意的是，此有義波高為灰階值的有義波高，不是真正的波高，必須經過轉換才可。
10. 進一步，可對經上列步驟求得頻譜密度進行補遺工作，以波浪統計學理論的立場而言，這是非常重要的工作，但對實務而言，最終一定要與觀測值進行比對轉換，因此可將補遺工作包含在內。
11. 與觀測值進行比對轉換，覓得示性波高的轉換公式。
12. 針對特定海域經過多年觀測比對，對冬季及夏季分別找出估算公式，爾後即使無觀測值亦可使用。
13. 對其他海域，進行同樣過程，調整轉換公式使其能通用，讓雷達測波系統有能如紅外線測溫的功能，為最終目標。

3.4 不良影像的去除

在分析雷達影像資料時，為確立台北港海域雷達觀測系統的波高迴歸係數值，本計畫利用前述研究步驟重新分析 2003~2005 年沙崙觀測雷達影像資料，並與港灣技術研究中心設置於台北港外之觀測樁所得之波高資料進行比對，分析的範圍如圖 3-3 所示之正方形範圍，此範圍共含 256x256 個畫素，以便確立該海域的雷達影像觀測系統的波高迴歸係數值。

由於影響雷達波浪資料之因素相當多，有些因素在實務操作時，影響並不大，可以加以忽略，如雷達波距離之影響，即微波衰減的影響，由於在分析影像時並不取全部影像進行，只針對局部範圍，其距離差異並不是很大，在實務上可忽略(井口，1991)。另外，雷達天線回轉速度只會對靠近天線附近的海域有影響，對較遠海域因天線回轉而使波譜形狀產生的變形量極微，實務上可忽略。然而有些因素並無法消除，如雨天因素，導致雷達回波訊號散亂，或夾雜過多之雜訊，使雷達波浪資料影像無法分析，以往在處理此部分時，並未特別加以

處理，本年度特別針對過去三年所得之雷達波影像，逐時加以檢討不清晰或無法判別之影像檔，今說明如下。

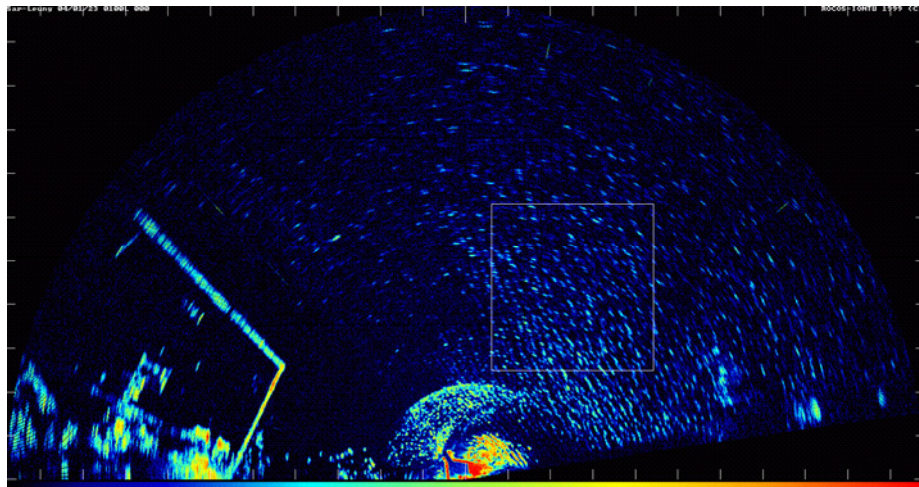


圖 3-3 雷達波浪資料分析範圍圖

本計畫首先以 2004 年 2 月份之雷達波資料進行分析，並將所得雷達波灰階影像之示性波高值 $H_{1/3gray}$ 與台北港觀測樁當月份之資料 $H_{1/3}$ 進行比對，其結果如圖 3-2 所示，由圖 3-2 中顯示，在觀測樁時測值之示性波高值在 1.0m 以下時，雷達波資料之灰階示性波高值可由 1.0 至 5.0 間，其變化相當大，若以此資料分析，則誤差將相當大，另外，在雷達影像灰階示性波高值在 1.0 附近時，其觀測樁實測值之示性波高可由 0.5 至 2.5m。

若進一步逐時檢討分析雷達波浪影像檔，可發現回波影像檔中存在有較不易判別或易造成誤差較大之資料，若將分析範圍內的雷達影像資料進行灰階分析，並以灰階平均值(mean gray scale)加以分類，其結果如圖 3-3~3-6 所示。

圖 3-3 所示整個雷達波影像資料呈現模糊，並無法判別海面波浪資料之波峰線，經分析結果，其灰階平均值大於 0.6。而圖 3-4 所示則略為可判別海面波浪之波峰線，其灰階平均值約在 0.5~0.6 間。圖 3-5 之影像檔呈灰白色，大致可判別其波峰線變化，經由中央氣象局資料查證結果，當天整天下雨，而以平均灰階分析結果，其平均灰階值在

0.2 以下。圖 3-6 所示為清晰可供分析之雷達輝波影像資料檔，經分析結果，此類可分析之回波資料檔，其平均灰階值皆介於 0.2 與 0.5 間。圖 3-7 所示則為雷達波各類影像之平均灰階分佈與示性波高之關係。本計畫依上述分類將灰階平均值小於 0.2、灰階平均值大於 0.5，及大於灰階平均值的標準偏差值的資料去除後，並與觀測樁所得示性波高相比對，並進行線性迴歸，圖 3-8 所示則為觀測樁資料與灰階波高代表值間的關係圖，圖中的直線表示該月份的迴歸線。

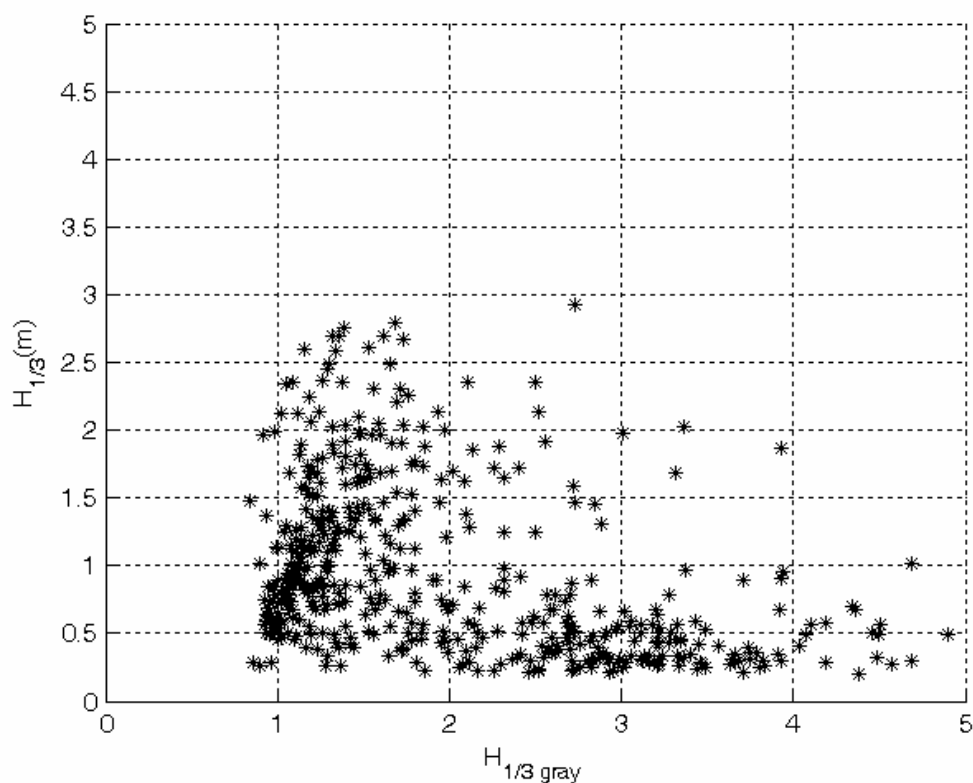


圖 3-4 2004 年 2 月份雷達波資料與觀測樁實測值之比對。

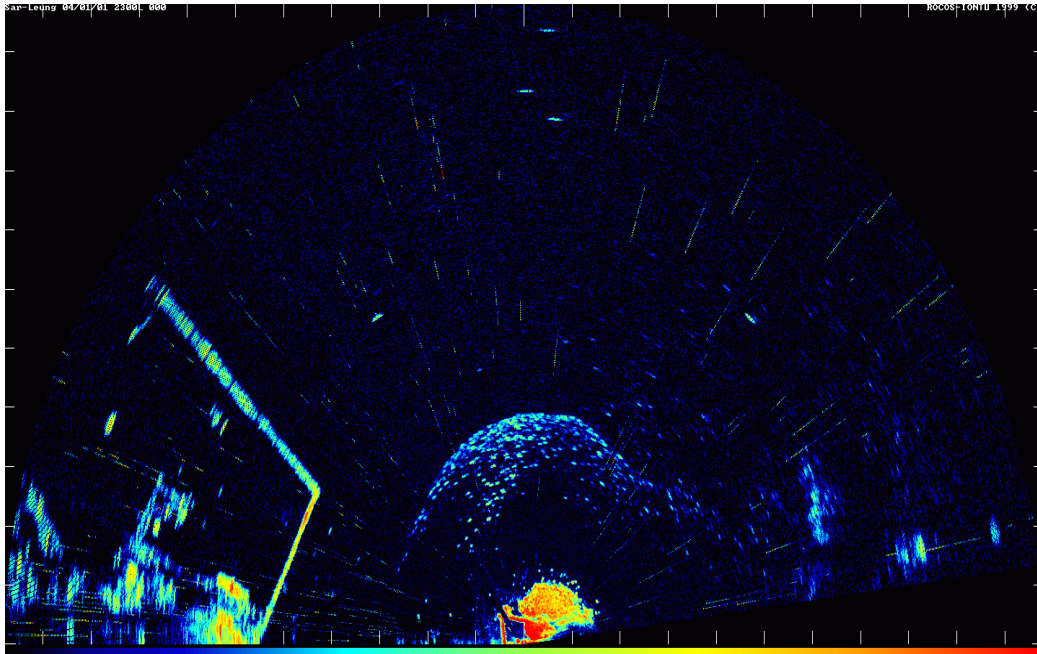


圖 3-5 影像無法辨識波峰線者，其灰階平均值約大於 0.6。

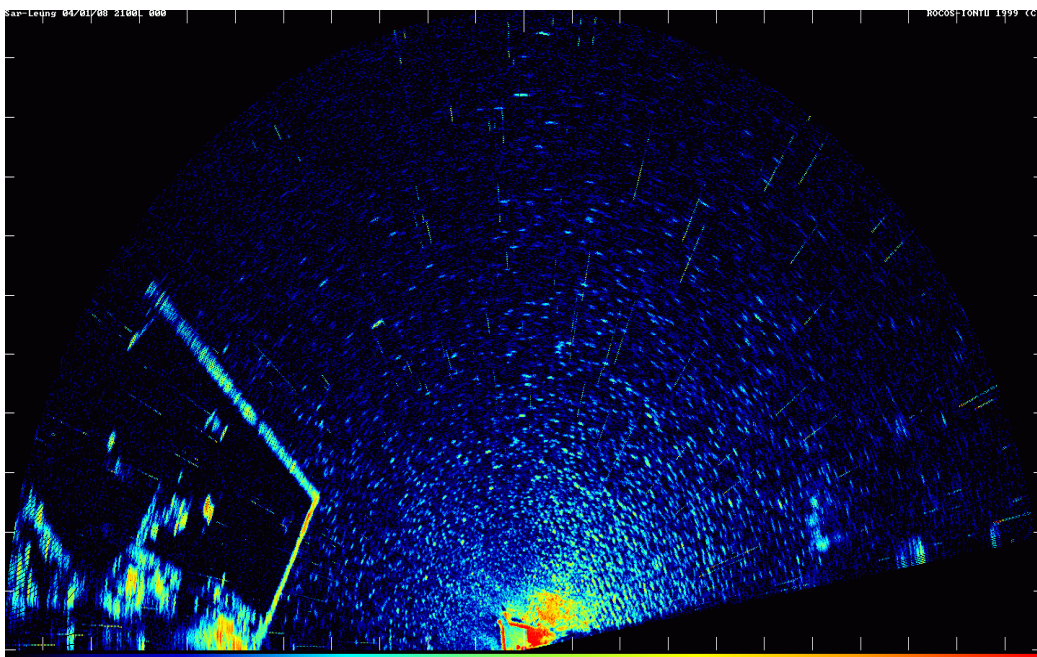


圖 3-6 影像略可辨識波峰線者，其灰階平均值約在 0.5~0.6 間。

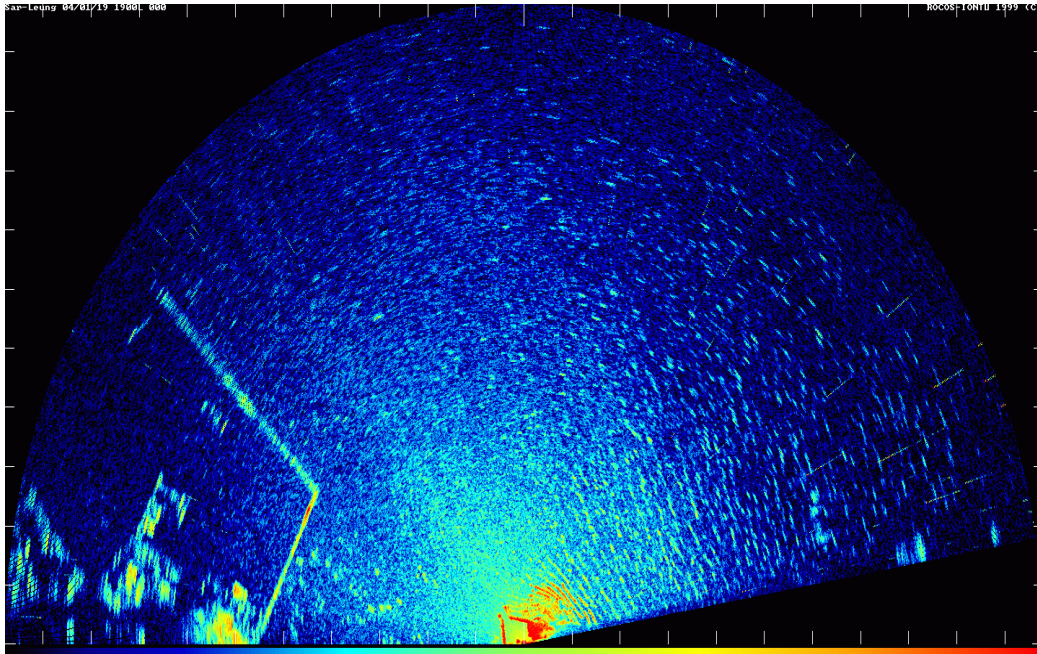


圖 3-7 影像呈亮灰色者，其灰階平均值約小於 0.2。
(經與中央氣象局的氣象資料比對，當天均屬雨天。)

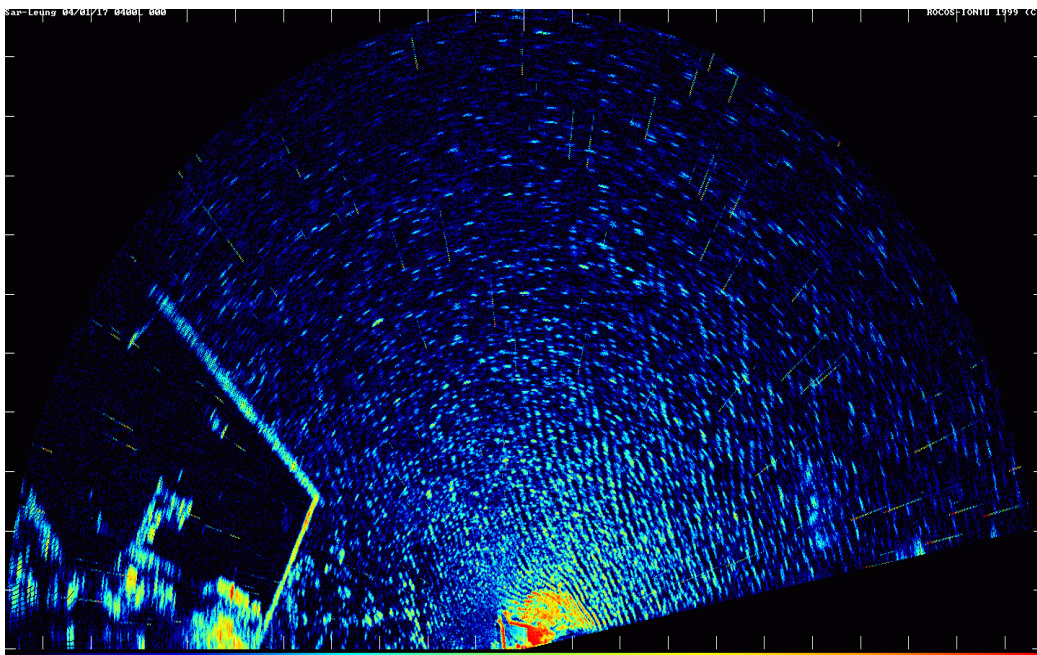


圖 3-8 波峰線清晰者，其灰階平均值約在 0.2~0.5 間。

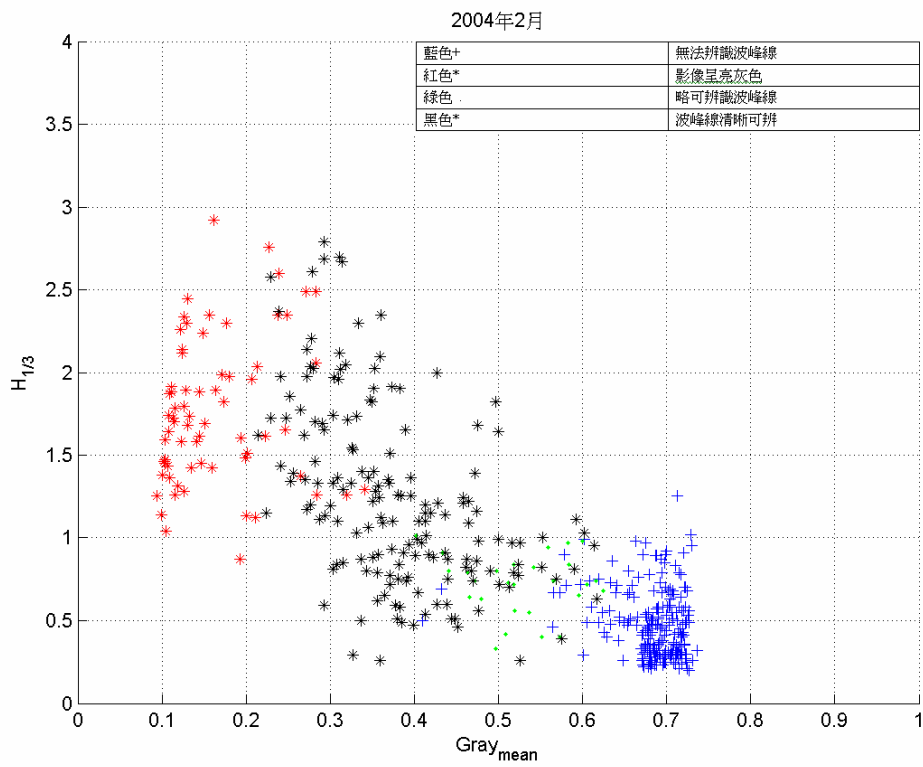


圖 3-9 雷達波影像未去除不良影像時的觀測樁 $H_{1/3} - Gray_{mean}$ 圖

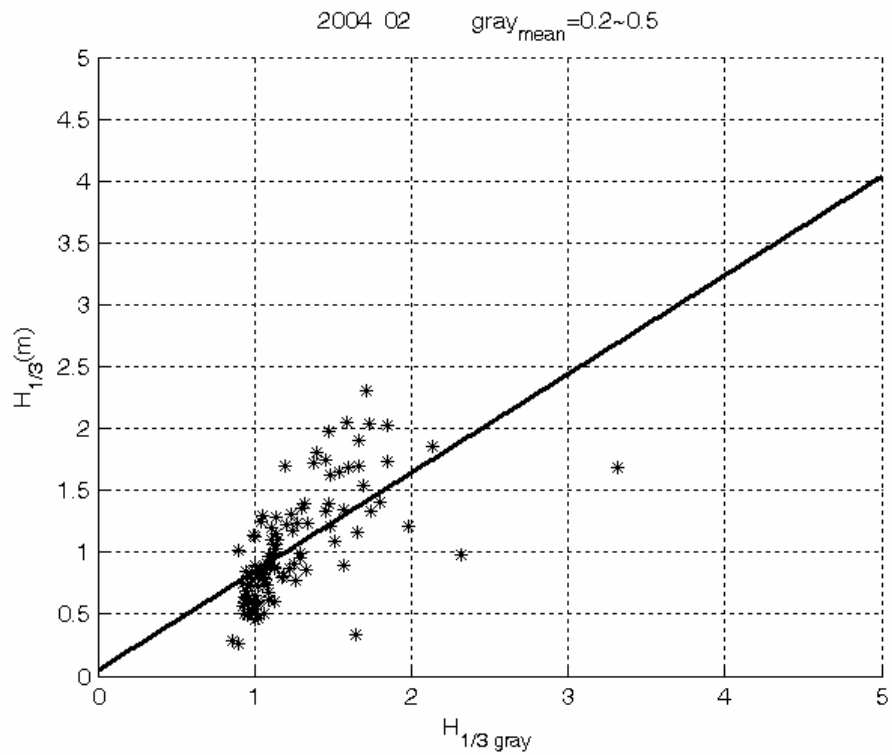


圖 3-10 2004 年 2 月 去除不良影像後的 $H_{1/3} - H_{1/3gray}$ 圖

3.5 波高迴歸係數

本計畫利用前述之分析理論及前節之影像分類方式，針對 2003～2005 年之雷達波回波訊號影像檔重新整理，並將所得之灰階示性波高代表值與觀測樁實測所得示性波高逐月分析比對，由於比對時需同有雷達觀測資料與觀測樁實測資料，整理結果，部分或因觀測樁資料或因雷達波資料較缺少，因此大致僅得到 24 月完整之資料，圖 3-9～3-16 所示為 2003 年各月之結果，圖 3-17～3-25 則為 2004 年各月之結果，而圖 3-26～3-31 則為 2005 年各月之結果。

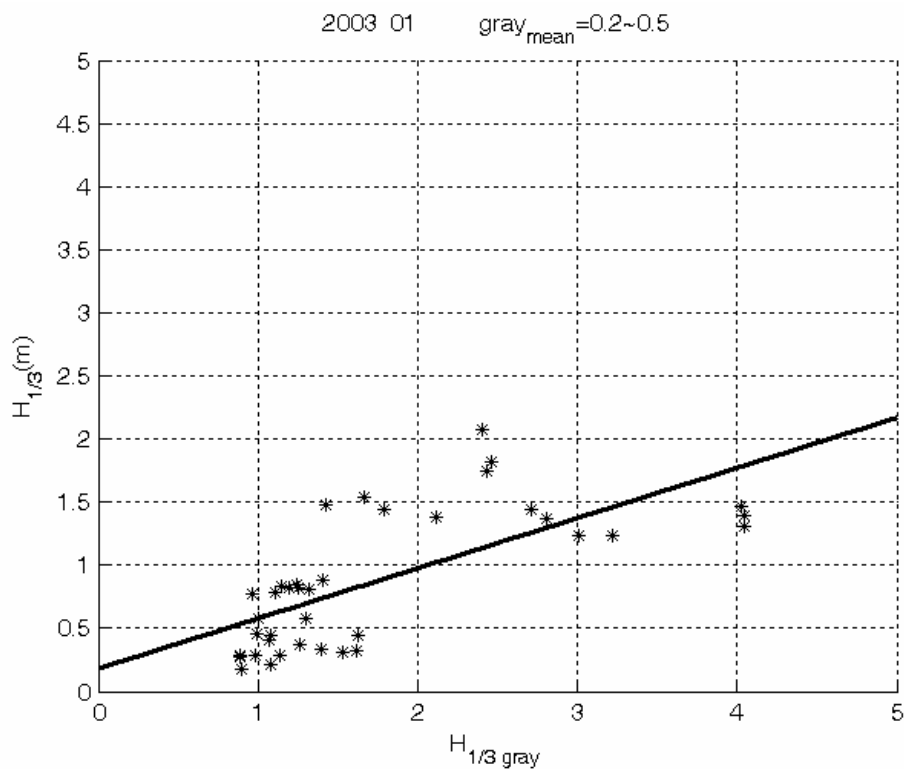


圖 3-11 2003 年 1 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

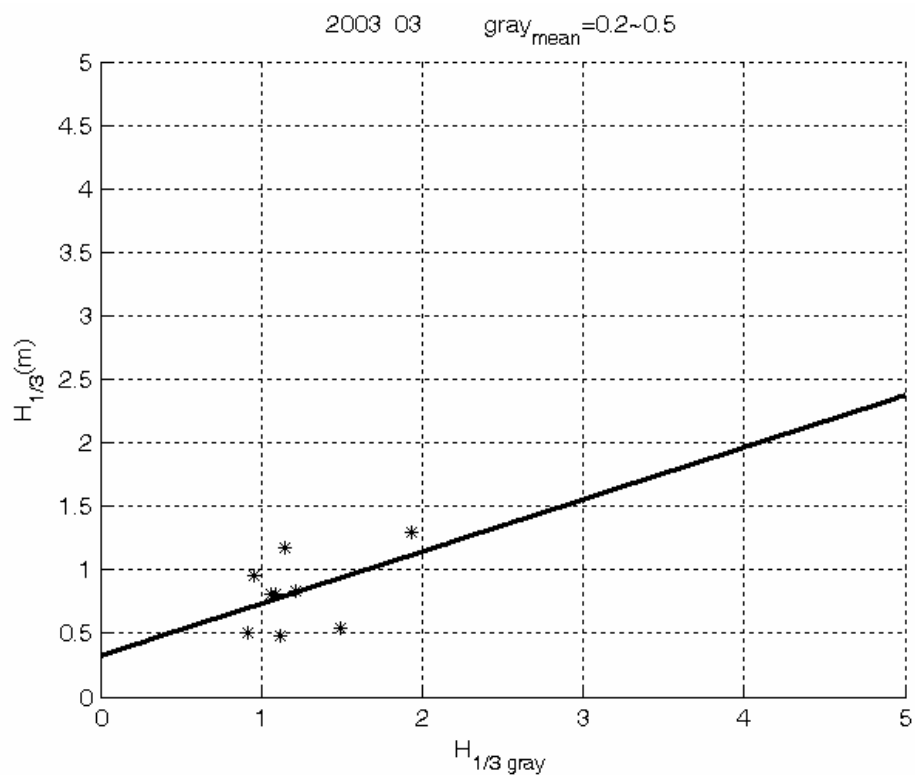


圖 3-12 2003 年 3 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

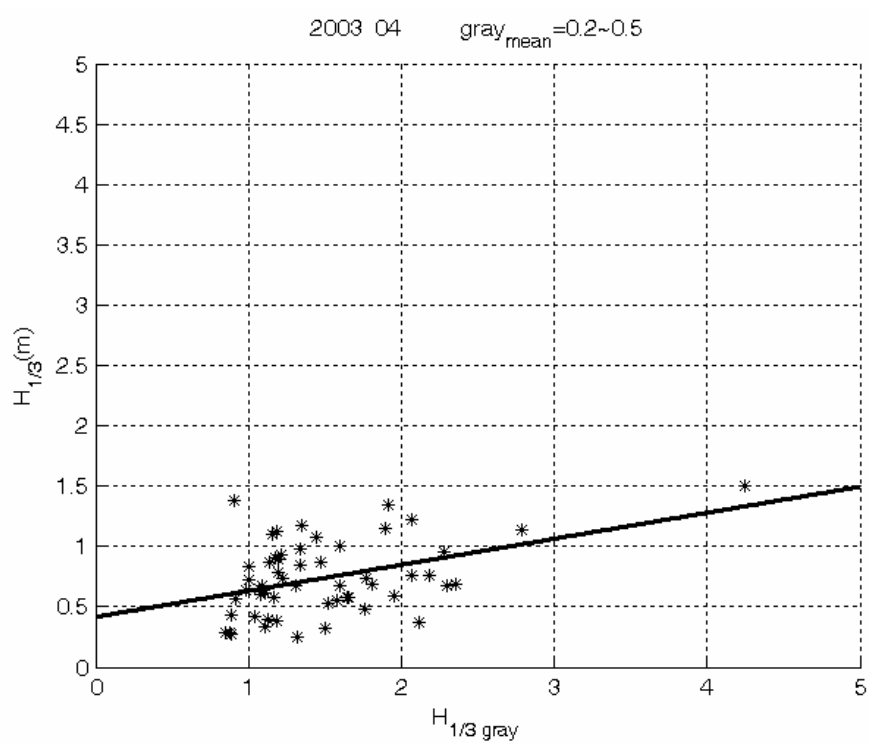


圖 3-13 2003 年 4 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

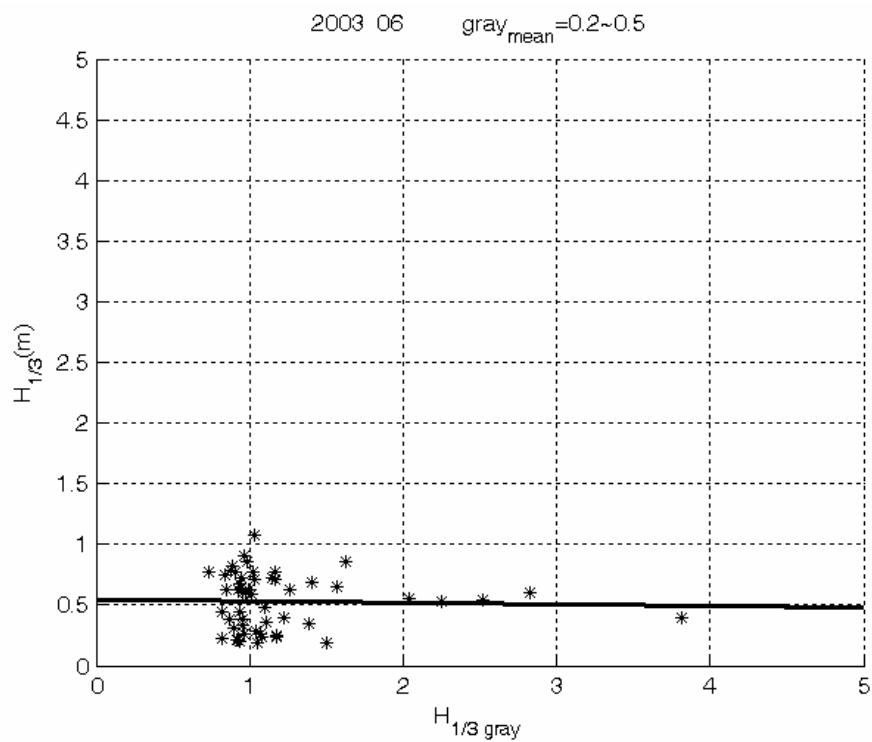


圖 3-14 2003 年 6 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

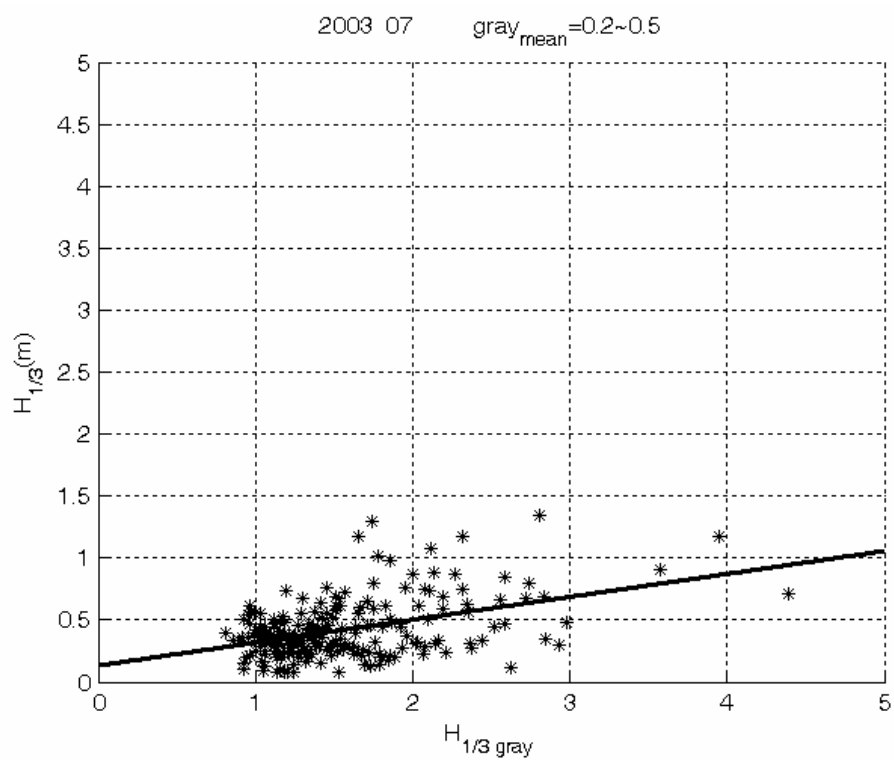


圖 3-15 2003 年 7 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

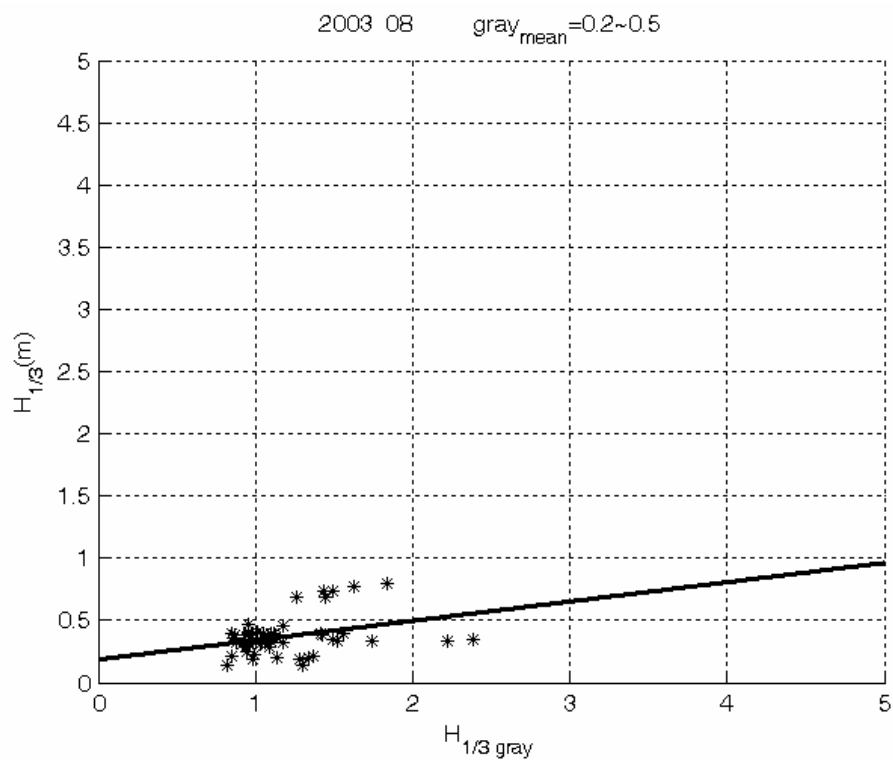


圖 3-16 2003 年 8 月 $H_{1/3} - H_{1/3\text{gray}}$ 圖

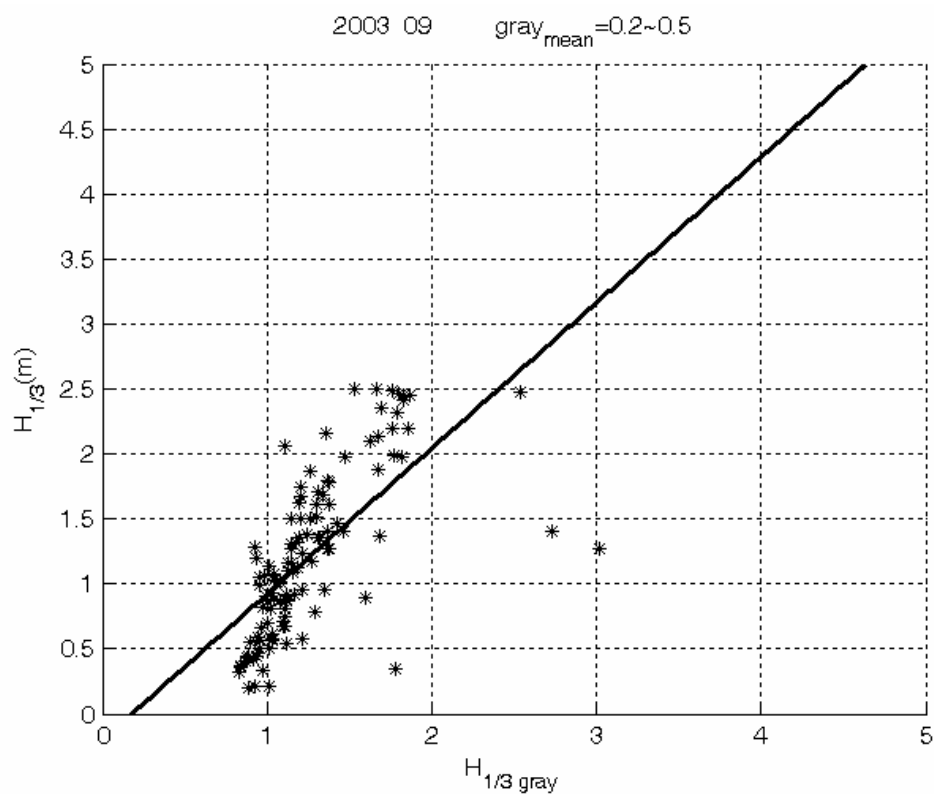


圖 3-17 2003 年 9 月 $H_{1/3} - H_{1/3\text{gray}}$ 圖

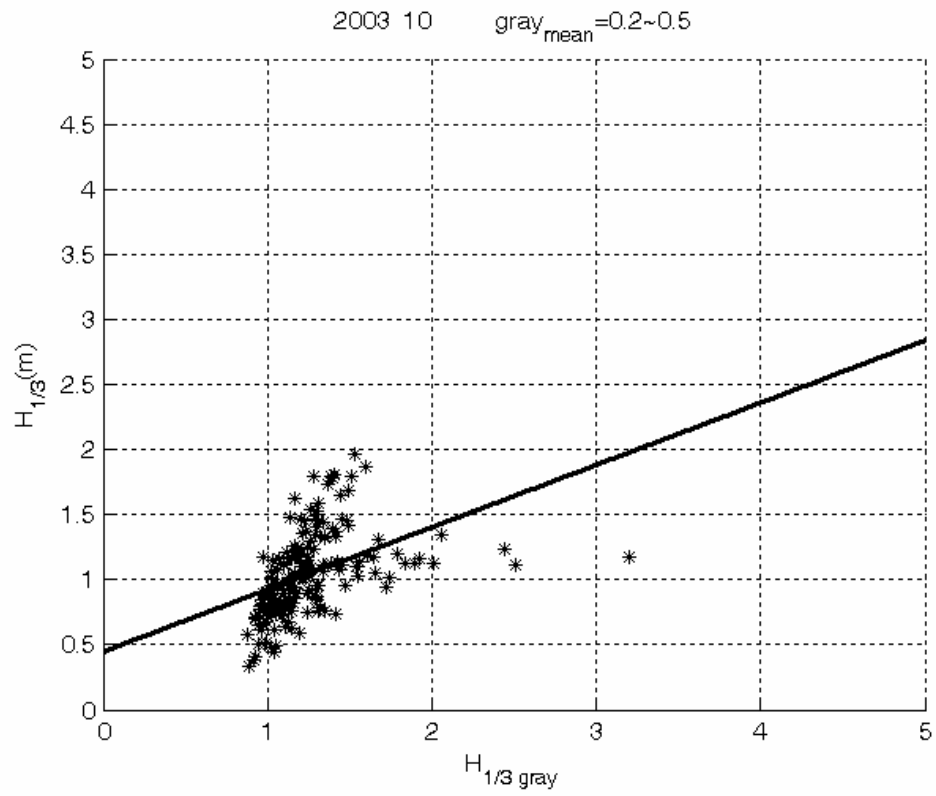


圖 3-18 2003 年 10 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

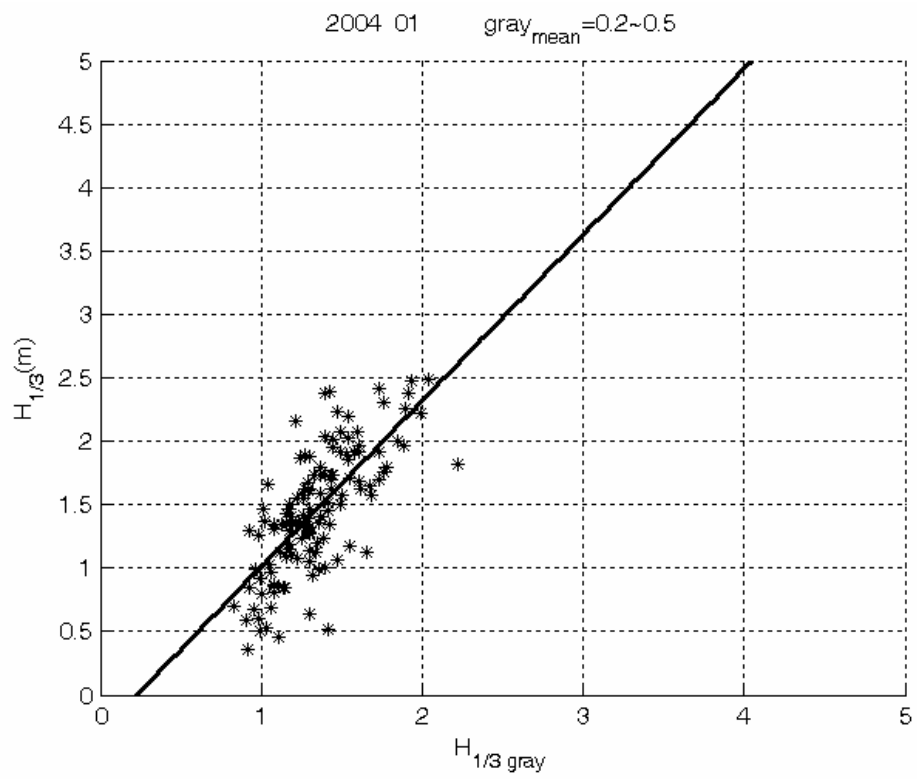


圖 3-19 2004 年 1 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

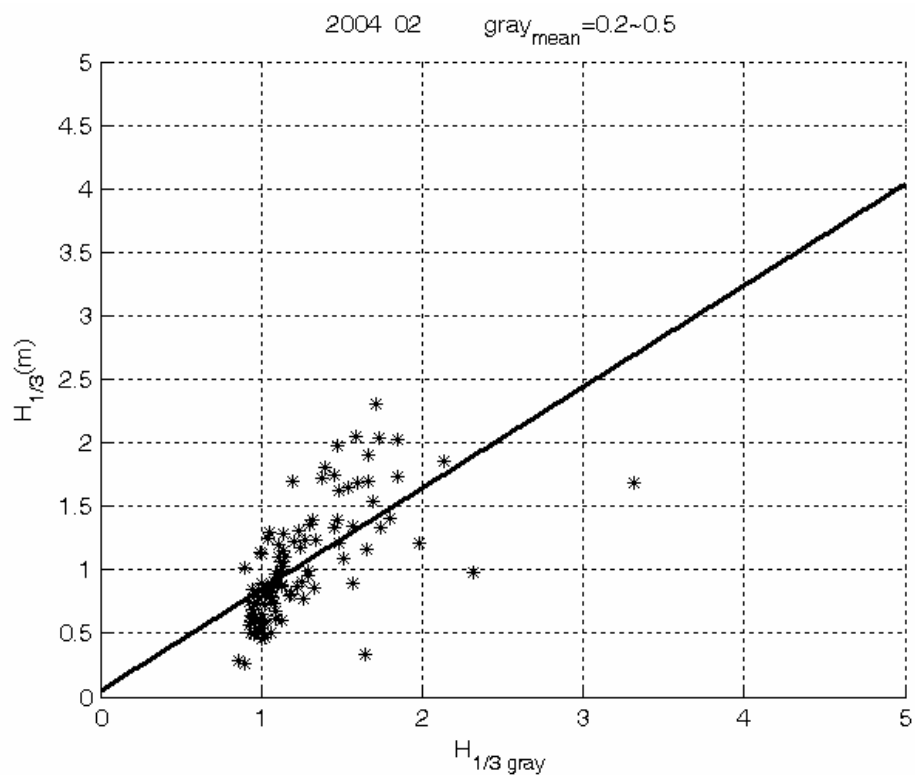


圖 3-20 2004 年 2 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

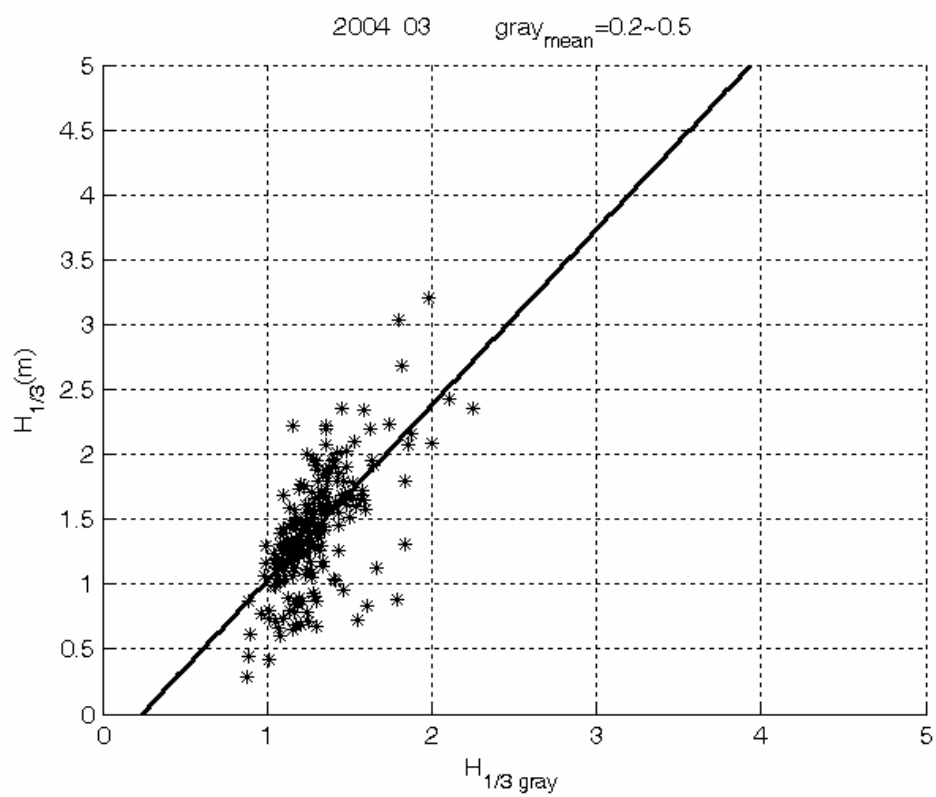


圖 3-21 2004 年 3 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

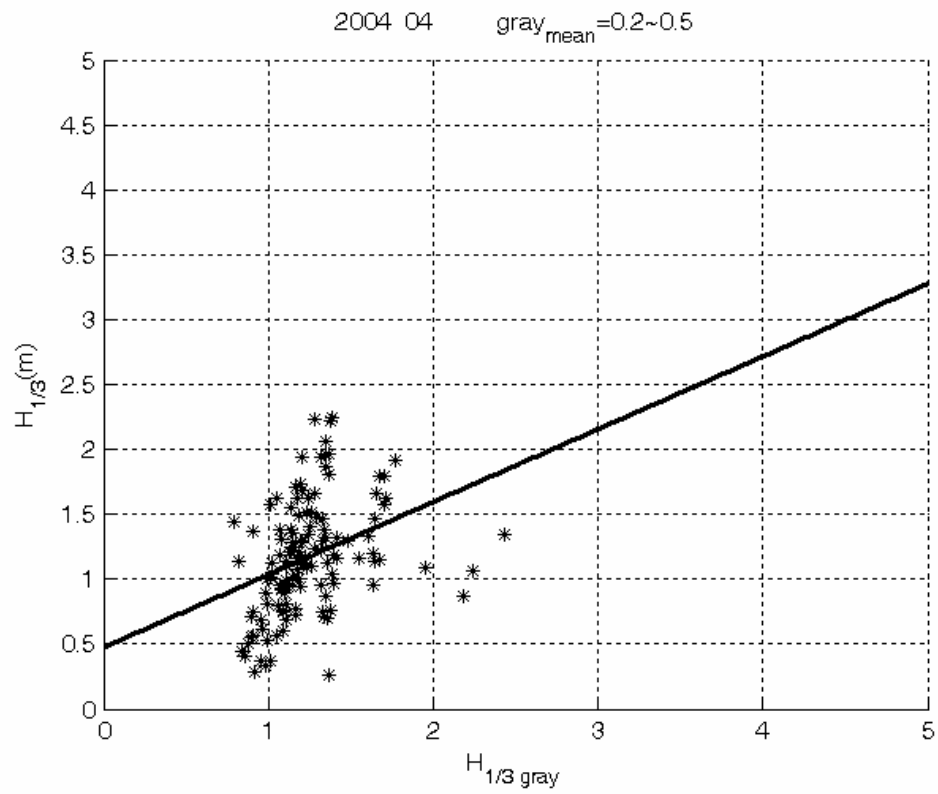


圖 3-22 2004 年 4 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

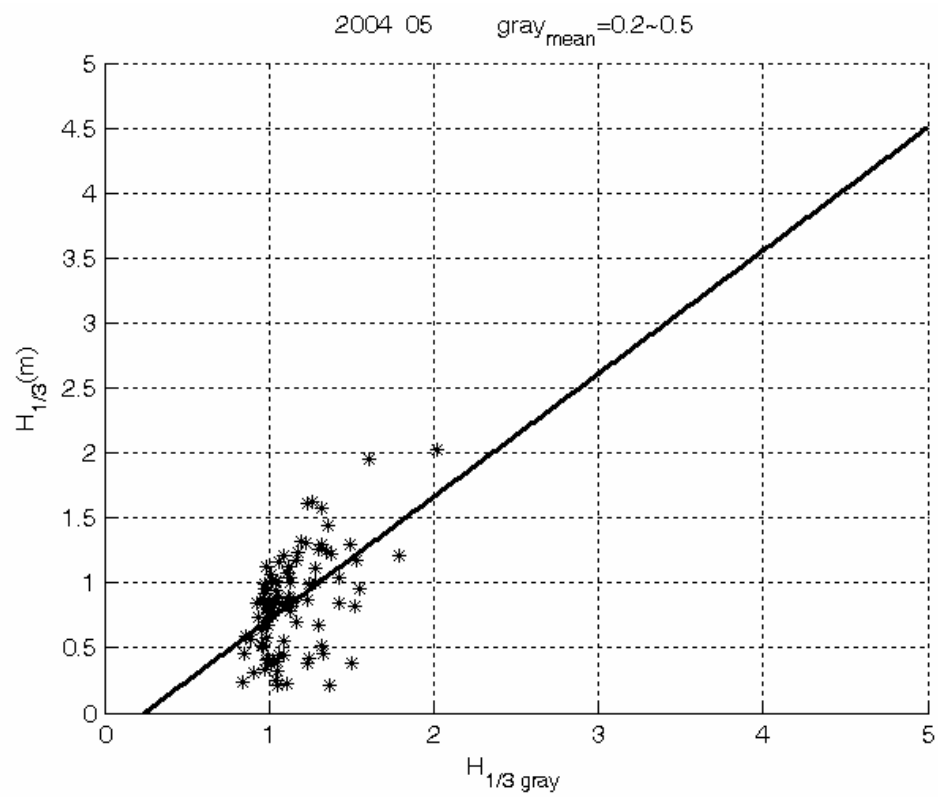


圖 3-23 2004 年 5 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

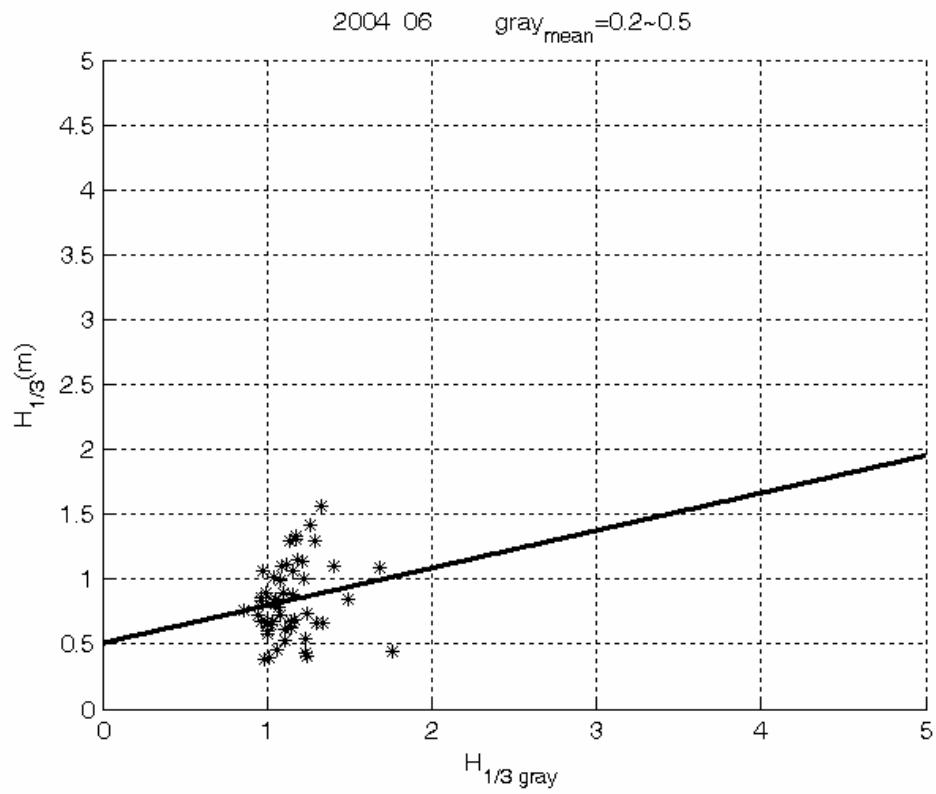


圖 3-24 2004 年 6 月 $H_{1/3} - H_{1/3\text{gray}}$ 圖

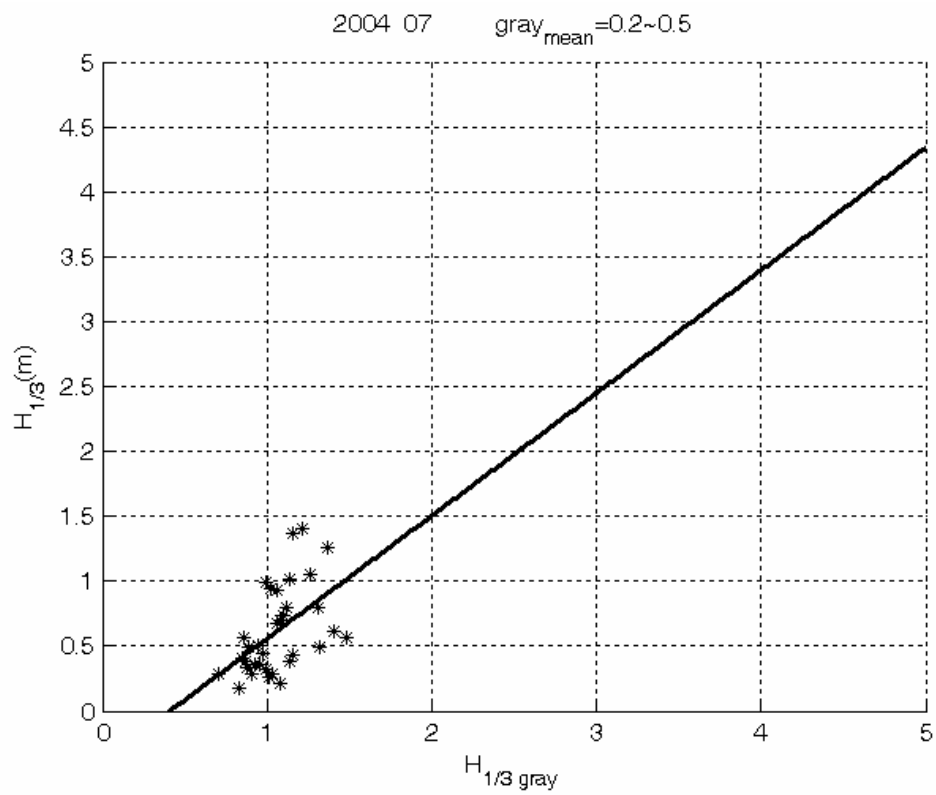


圖 3-25 2004 年 7 月 $H_{1/3} - H_{1/3\text{gray}}$ 圖

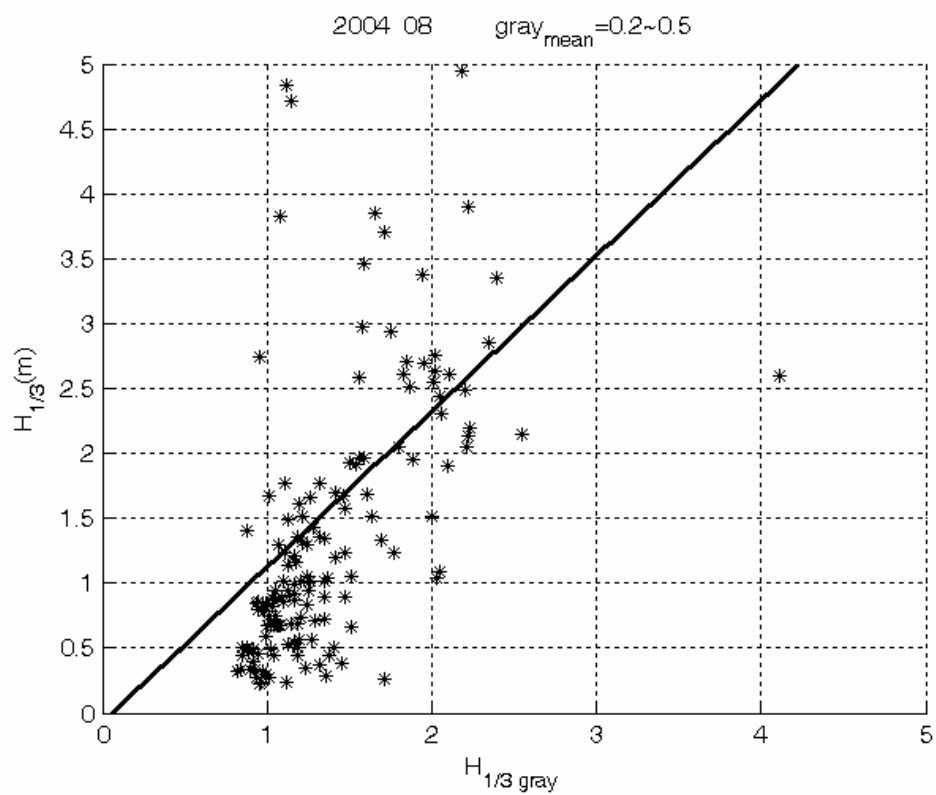


圖 3-26 2004 年 8 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

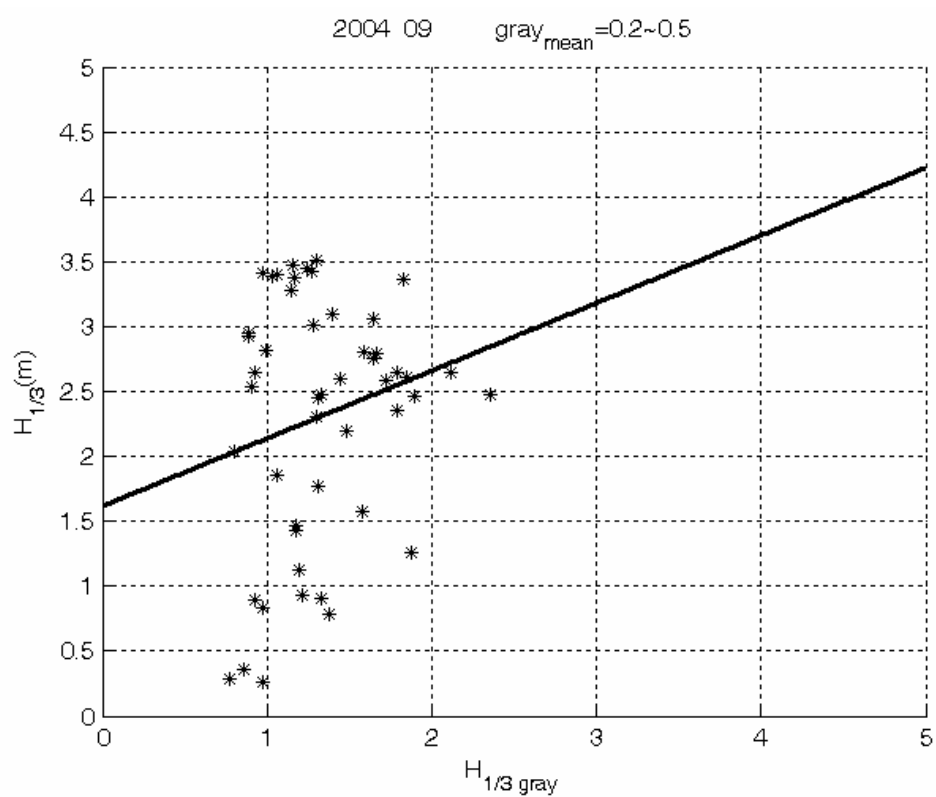


圖 3-27 2004 年 9 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

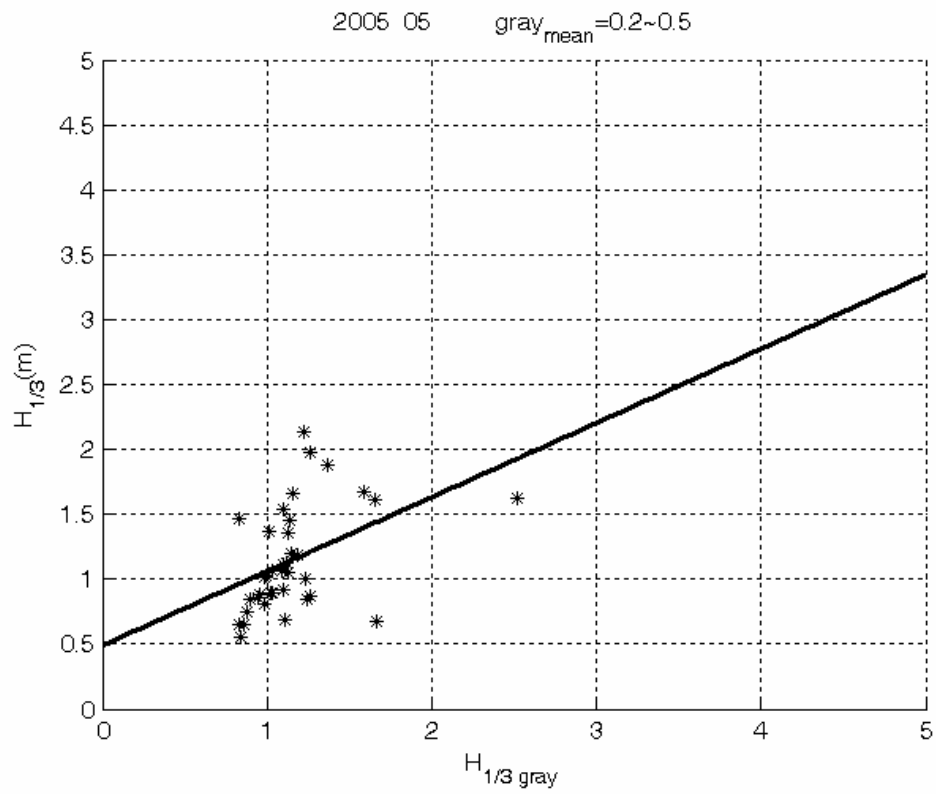


圖 3-28 2005 年 6 月 $H_{1/3} - H_{1/3\text{gray}}$ 圖

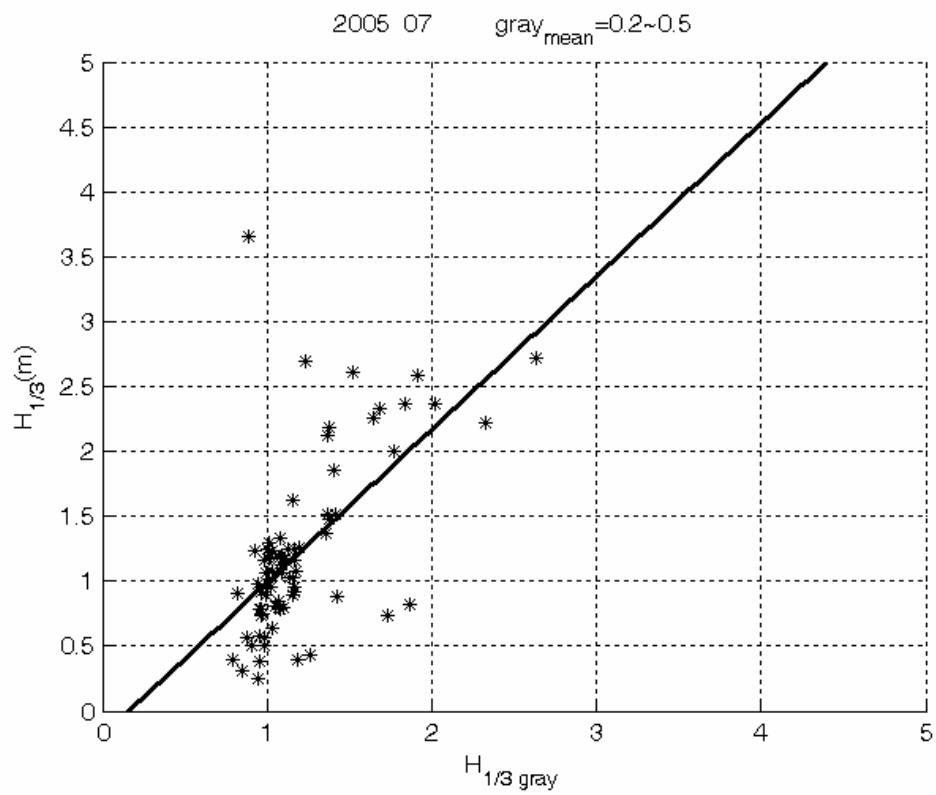


圖 3-29 2005 年 7 月 $H_{1/3} - H_{1/3\text{gray}}$ 圖

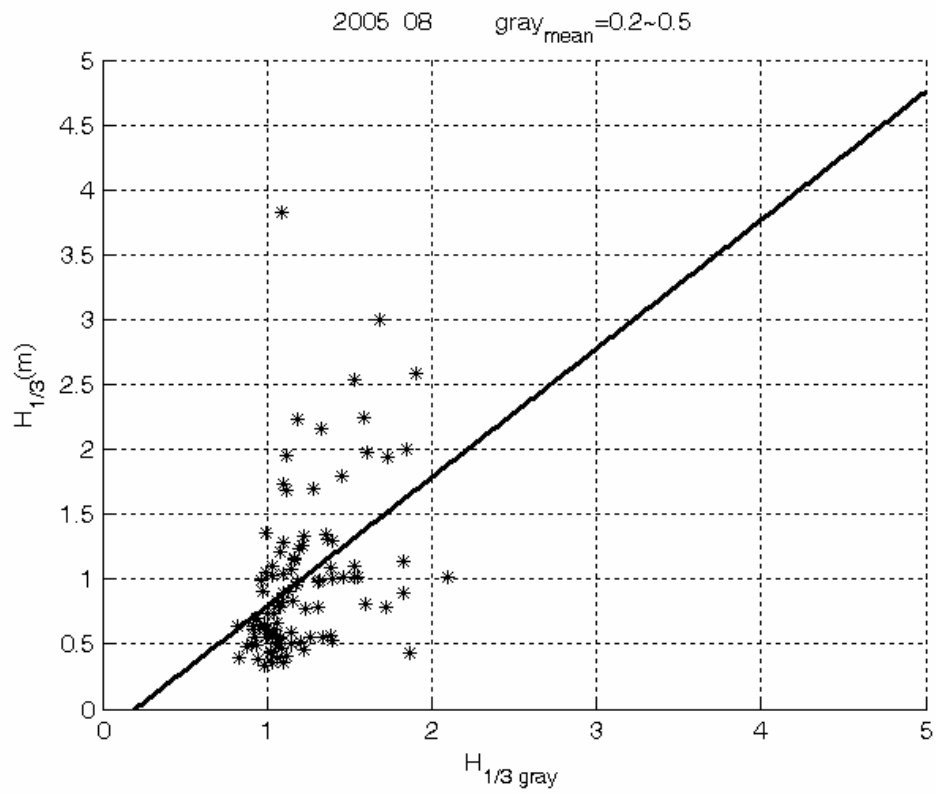


圖 3-30 2005 年 8 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

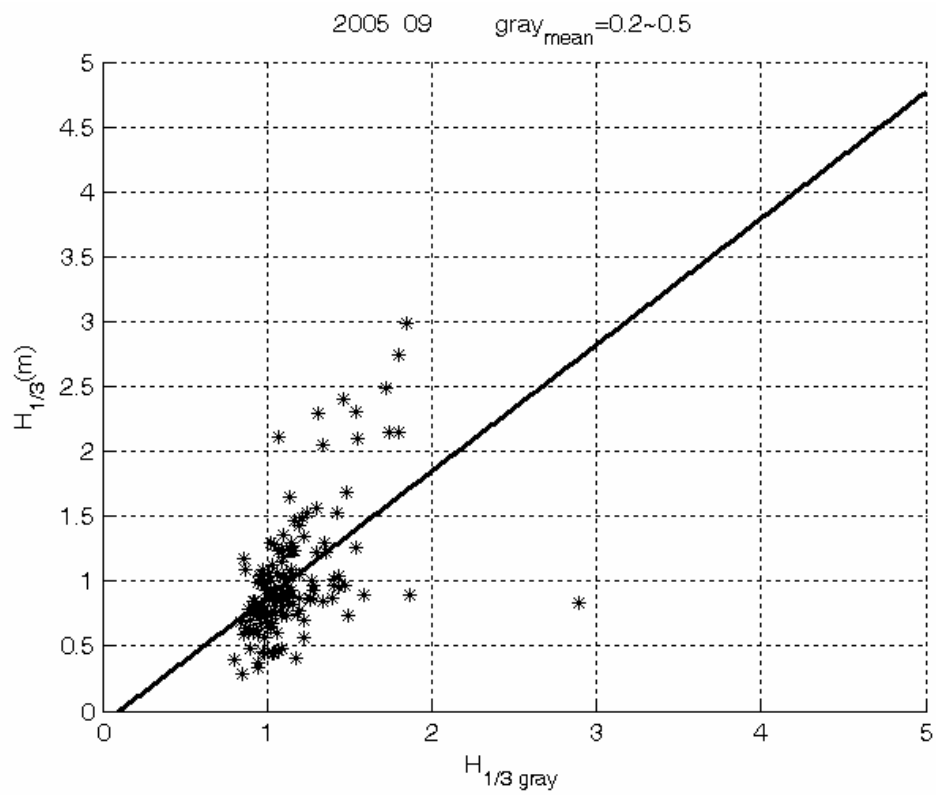


圖 3-31 2005 年 9 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

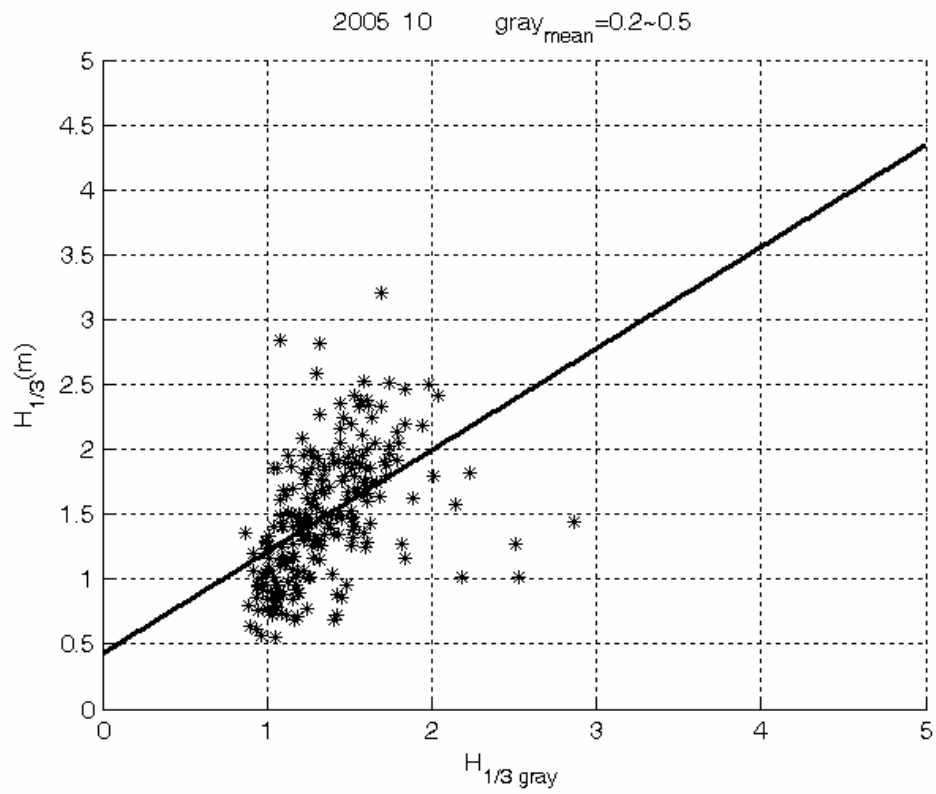


圖 3-32 2005 年 10 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

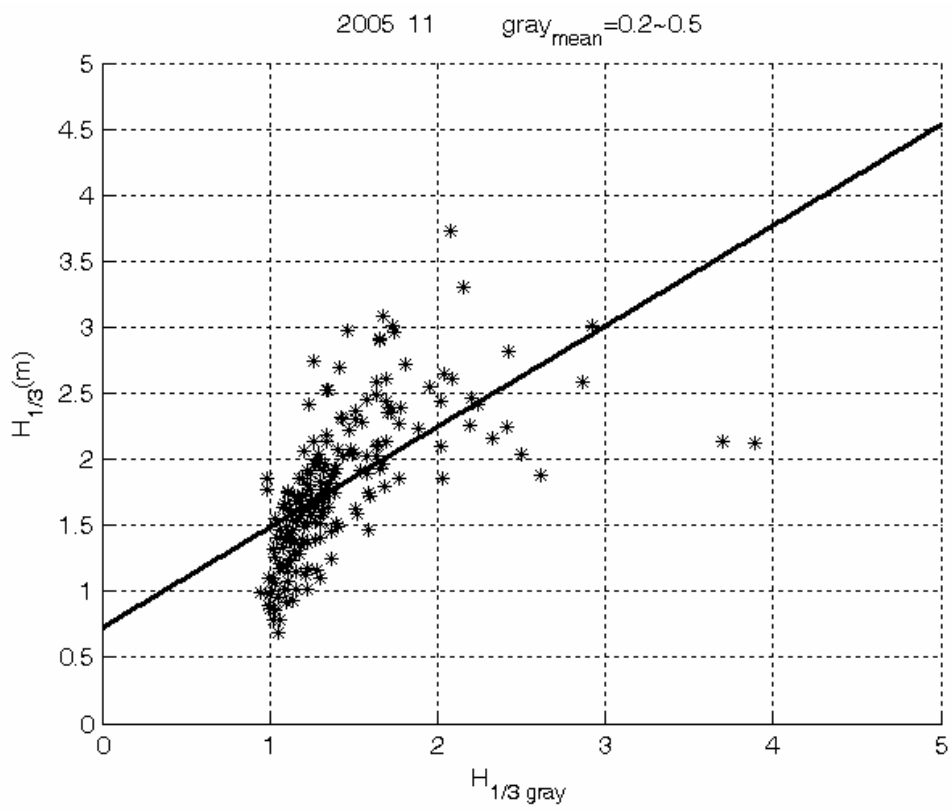


圖 3-33 2005 年 11 月 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

根據前述分析結果，由於 2003 年各月的觀測樁所得示性波高與灰階波高代表值間的關係，除 9 月可供參考外，其他各月資料欠缺極多，此外，2003 年 9 月的標準偏差值過大，因此本計畫在整理時並不參考其結果。

本計畫首先針對 2004 年可分析月份進行迴歸分析，如圖 3-34 所示，垂直軸為台北港觀測樁所得示性波高值，橫軸則為雷達影像灰階波高示性波代表值，圖中實線為線性迴歸線。圖 3-35 所示則為 2005 年雷達波灰階波高代表值與觀測樁示性波高比對迴歸分析結果。比較 2004 及 2005 年的迴歸分析結果，發現兩者趨勢相當一致，因此再對兩年資料合併進行迴歸分析，結果如圖 3-36 所示。

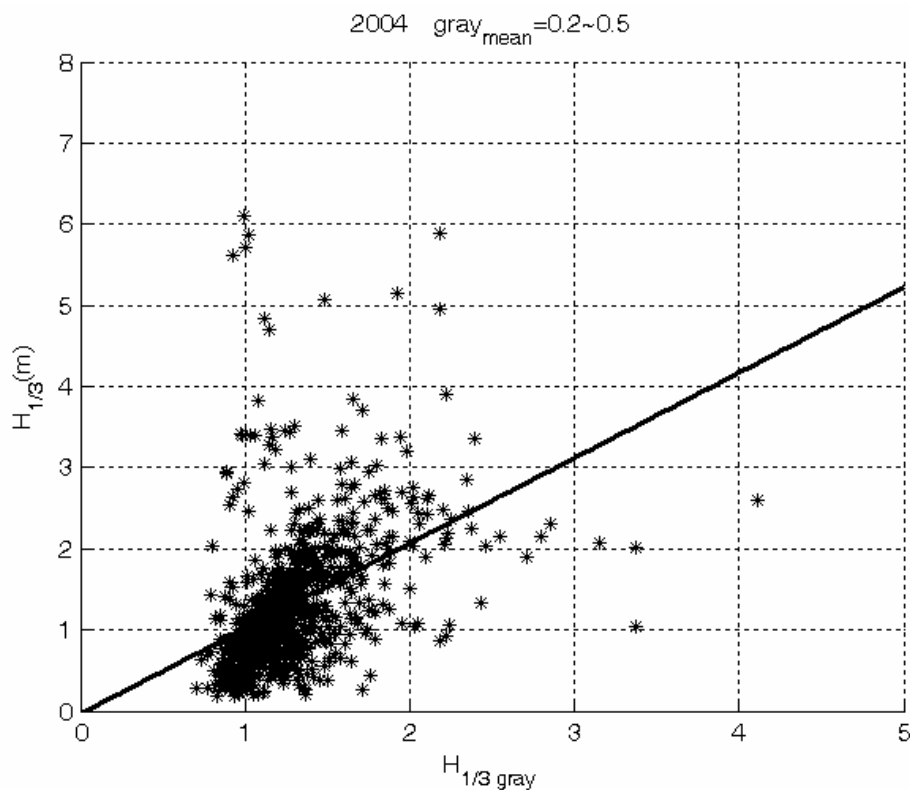


圖 3-34 2004 年全部可分析月份資料之 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

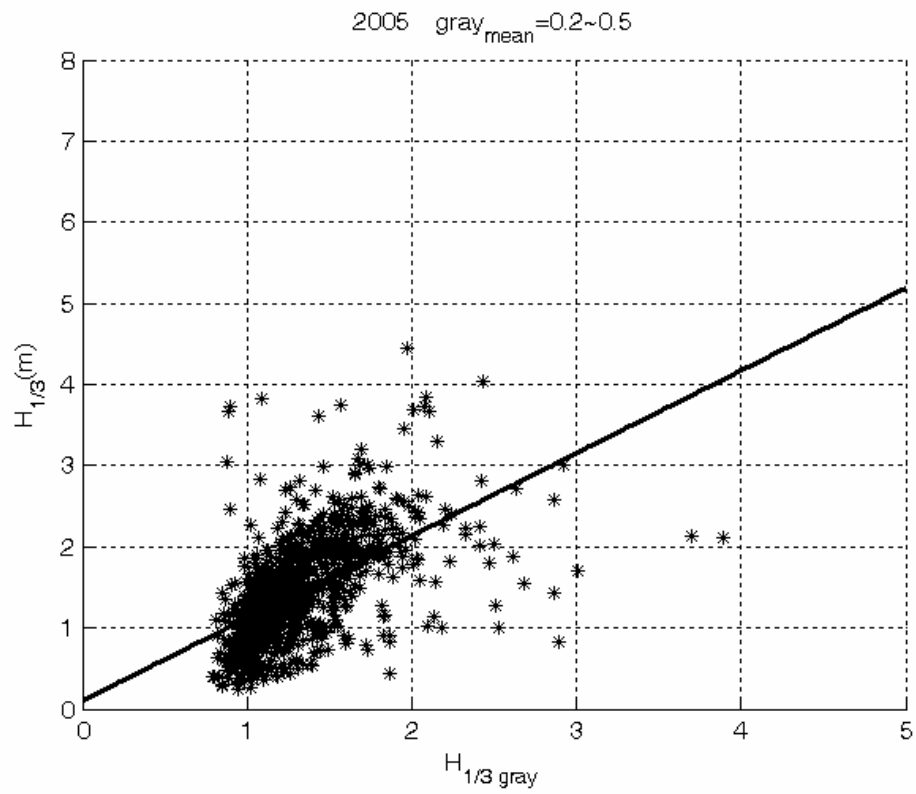


圖 3-35 2005 年全部可分析月份資料之 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

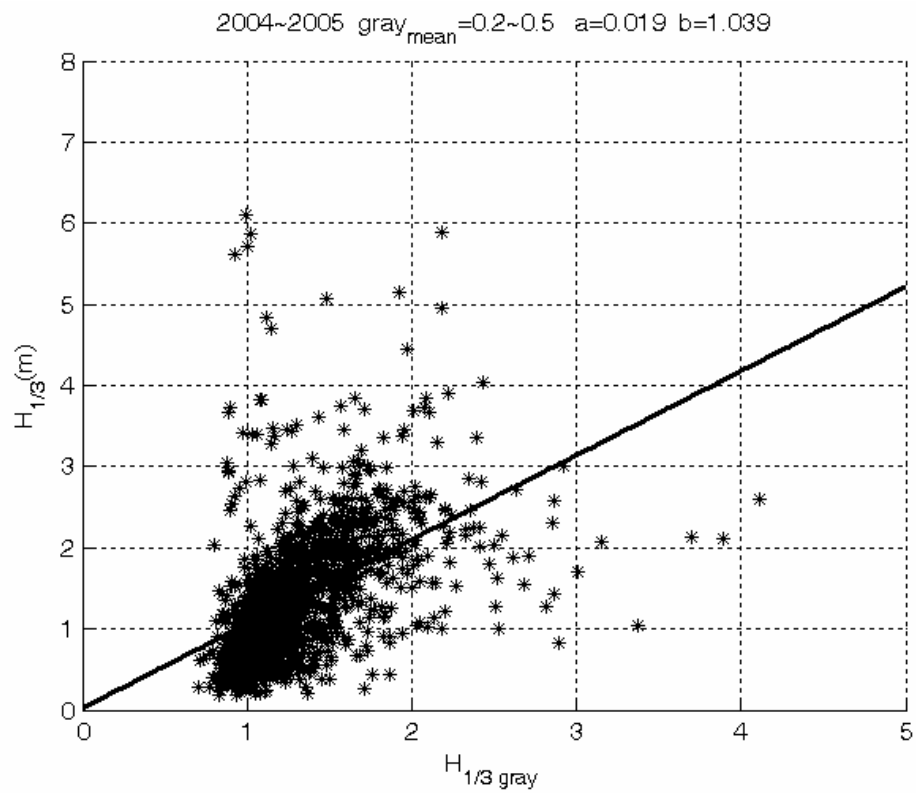


圖 3-36 2004~2005 年全部可分析月份 $H_{1/3} - H_{1/3 \text{ gray}}$ 圖

根據上列資料迴歸結果，得下列雷達波高迴歸方程式：

$$H_{1/3} = a + bH_{1/3gray} \quad (3-10)$$
$$a=0.019 \quad b=1.039$$

式中， $H_{1/3gray}$ 表示係雷達觀測的灰階值，經式(3-3)估算出的灰階波高代表值， $H_{1/3}$ 為推算波高高代表值，a 及 b 為觀測海域的經驗迴歸係數，對不同海域其值不同。

3.6 雷達波資料之逐時比對

利用前節所得本海域雷達波資料迴歸方程式對台北港觀測樁實測資料進行比對，其結果如圖 3-37~3-52 所示，其垂直軸為長度，表示示性波高值，單位為公尺，橫軸為時間軸，單位為小時，表示一個月之時間，其結果顯示在示性波高小於 1.0m 時，雷達波資料推估所得之示性波高有偏大之現象，其他情況下整體趨勢大致符合。

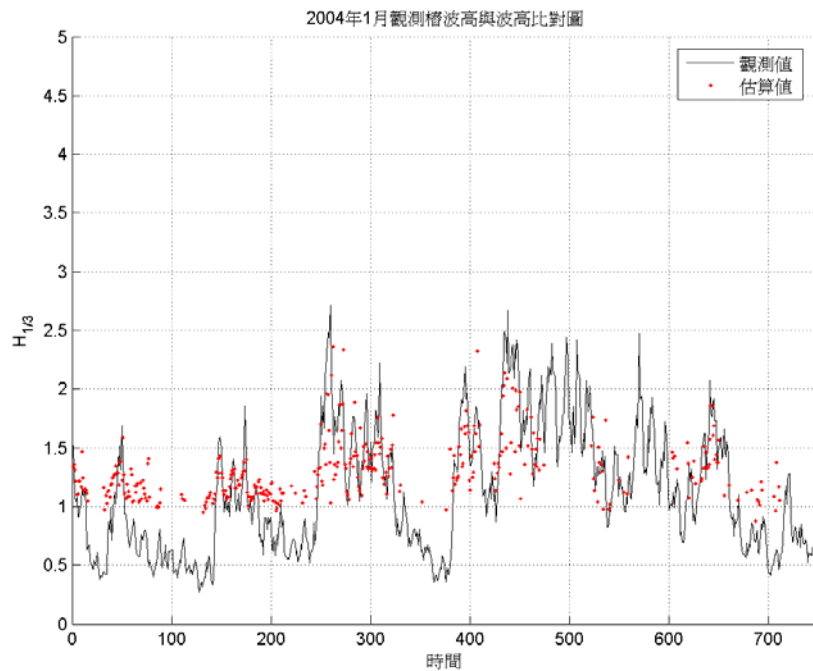


圖 3-37 2004 年 1 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

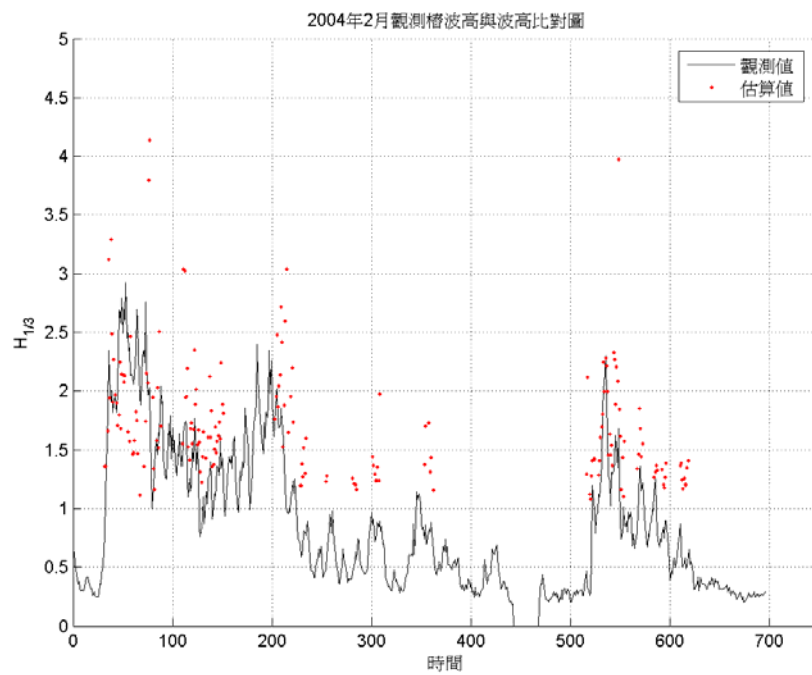


圖 3-38 2004 年 2 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

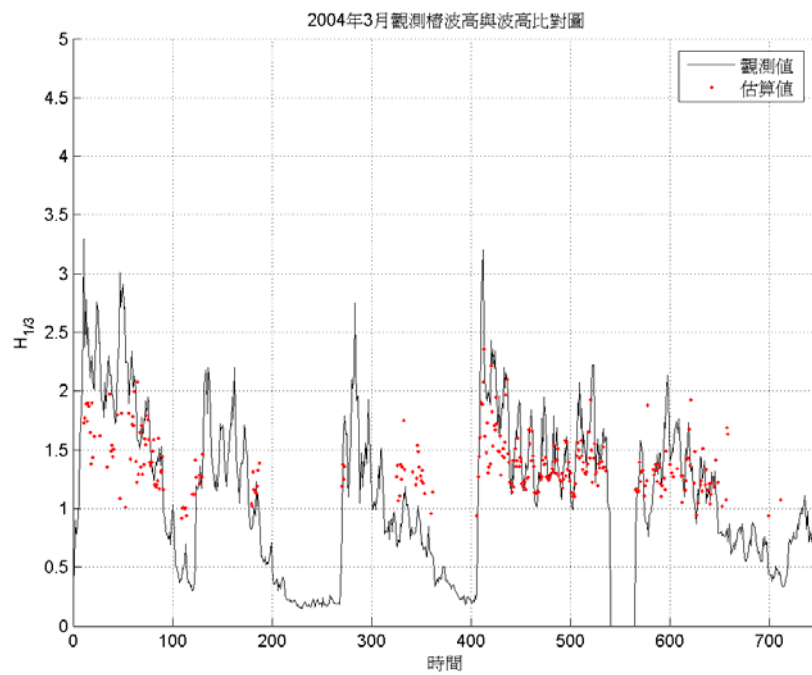


圖 3-39 2004 年 3 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

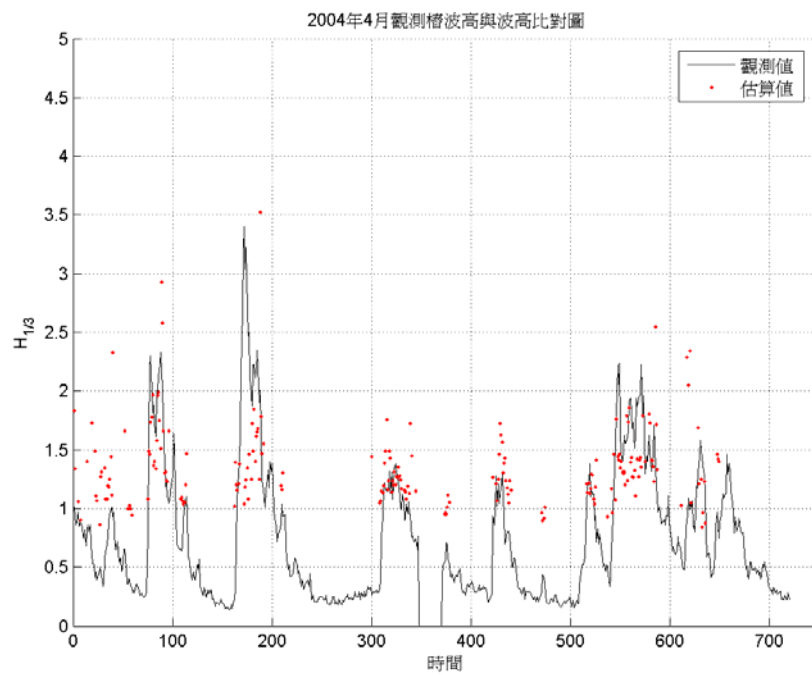


圖 3-40 2004 年 4 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

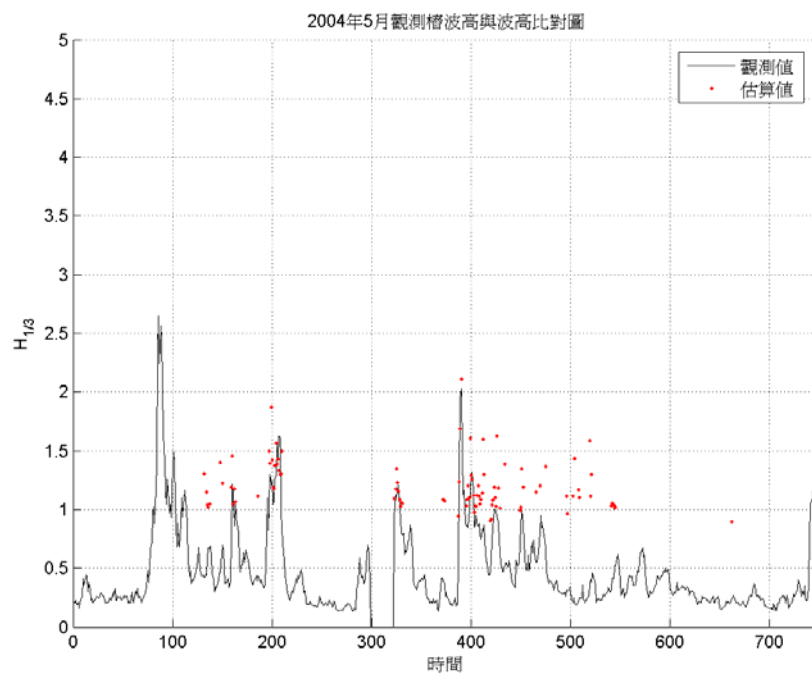


圖 3-41 2004 年 5 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

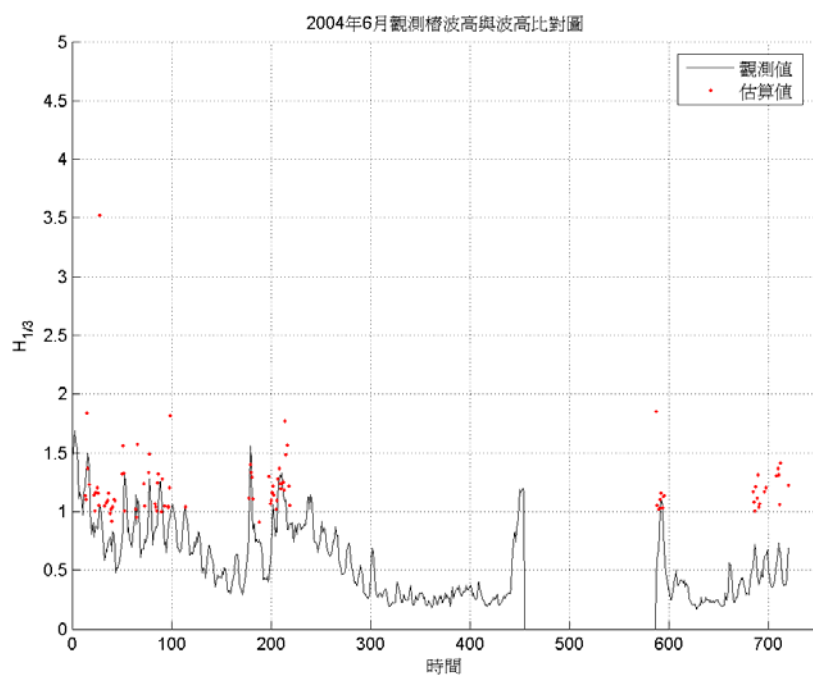


圖 3-42 2004 年 6 月觀測槽實測資料與雷達波資料逐時比對圖

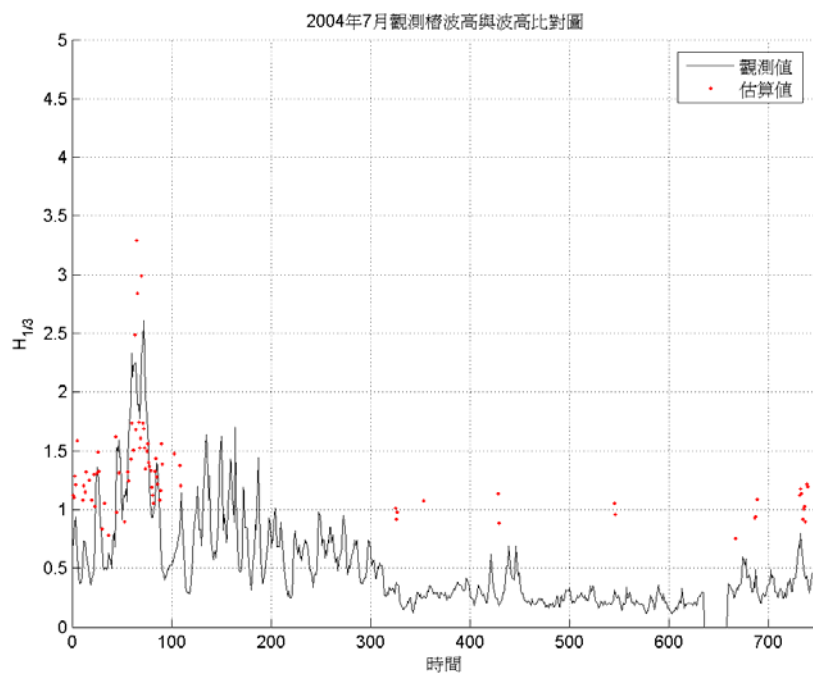


圖 3-43 2004 年 7 月觀測槽實測資料與雷達波資料逐時比對圖

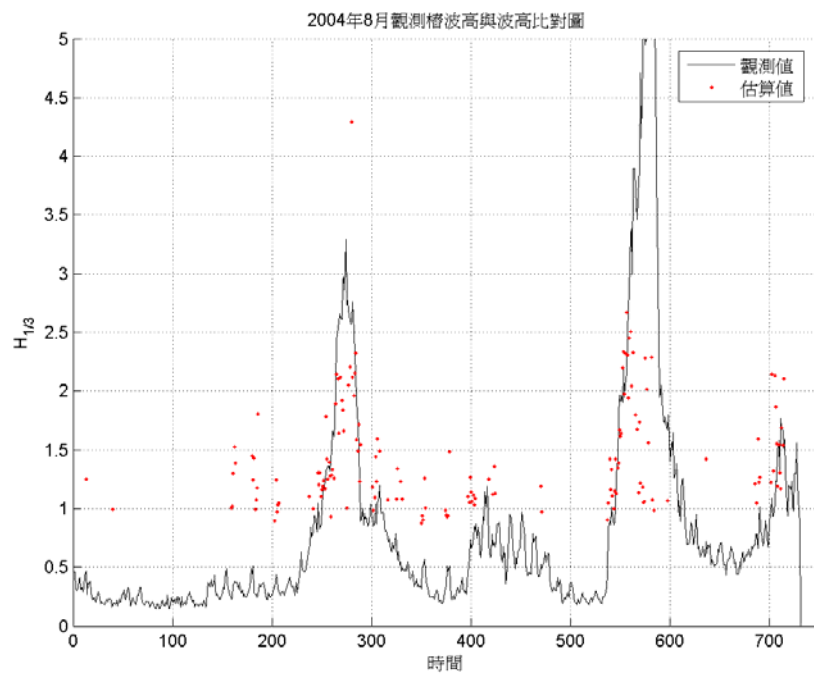


圖 3-44 2004 年 8 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

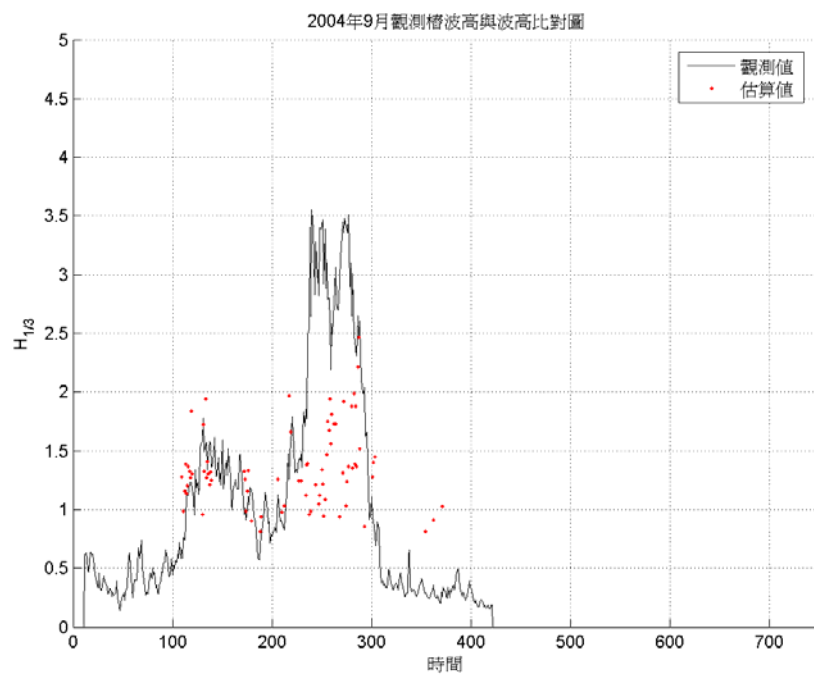


圖 3-45 2004 年 9 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

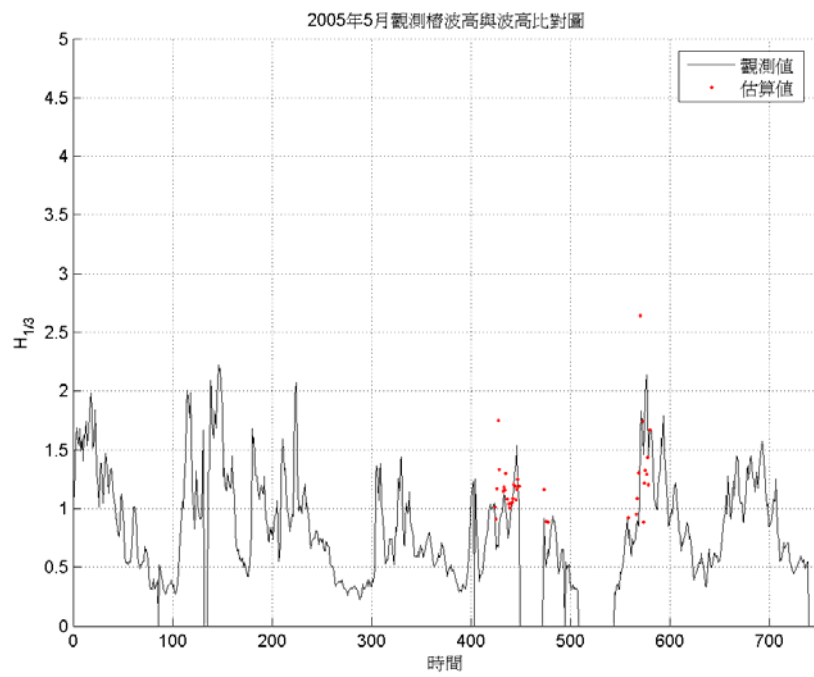


圖 3-46 2004 年 10 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

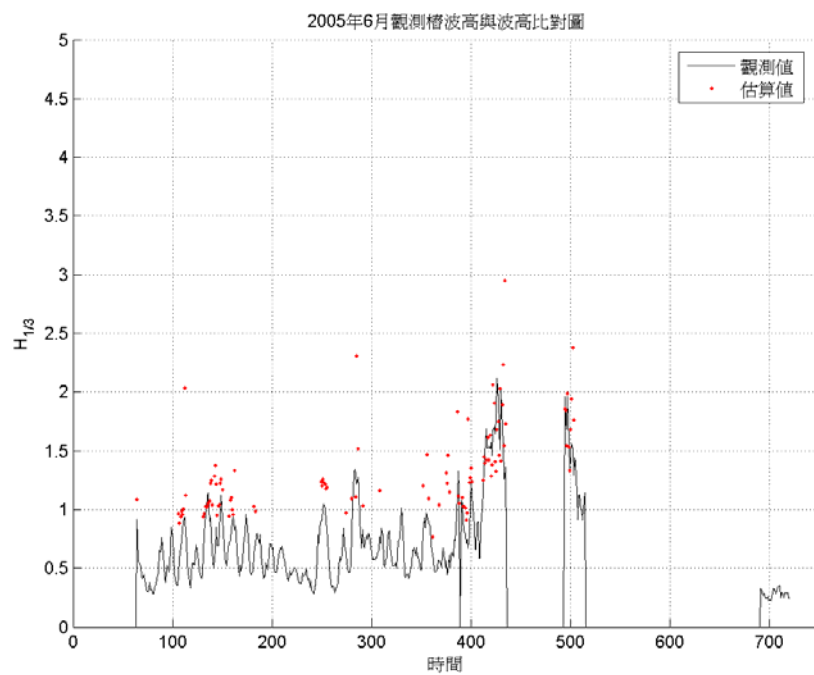


圖 3-47 2005 年 6 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

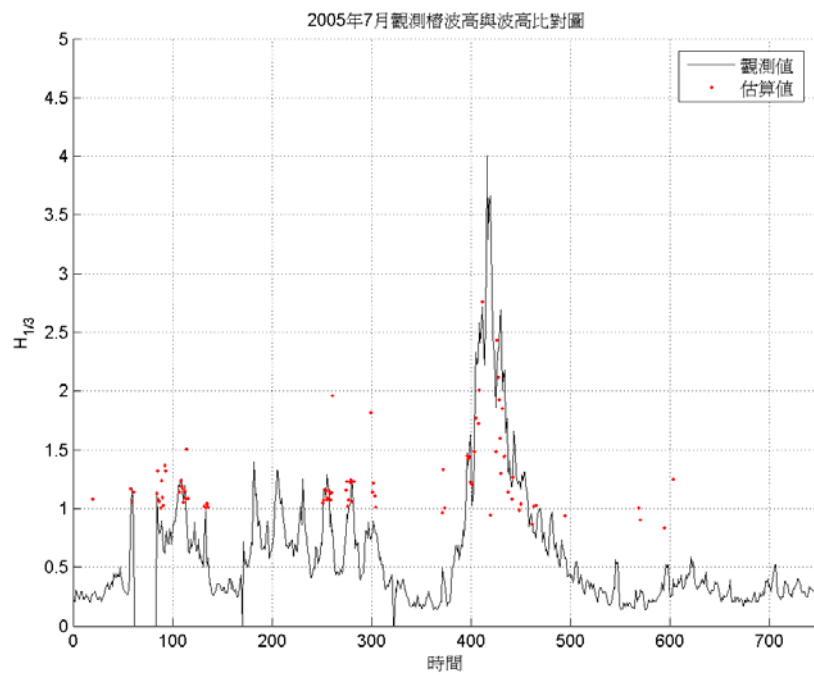


圖 3-48 2005 年 7 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

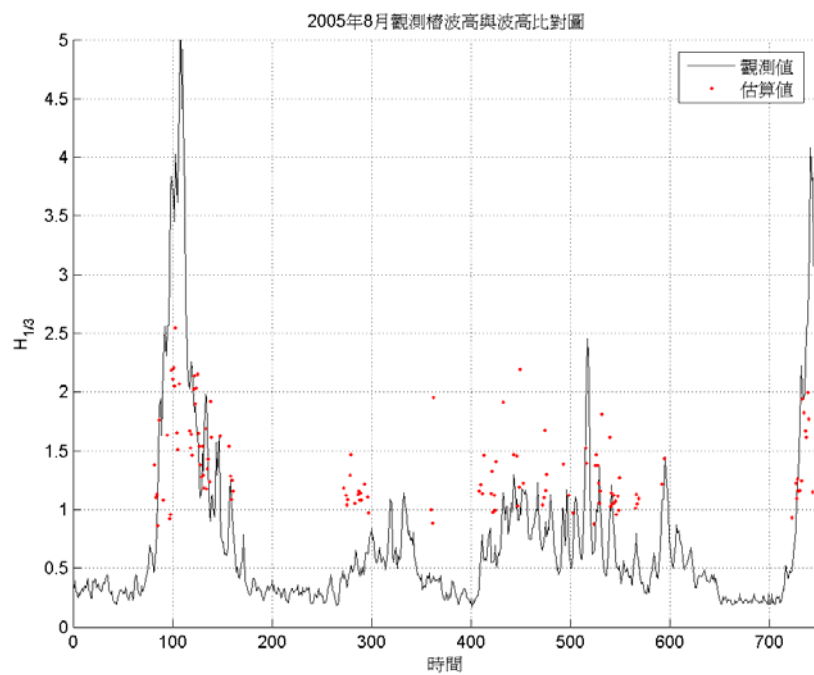


圖 3-49 2005 年 8 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

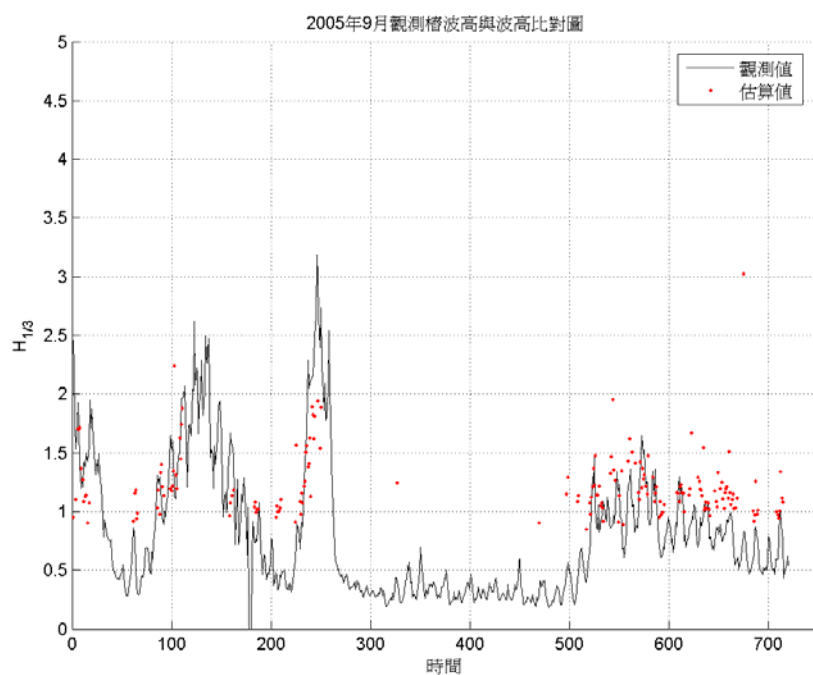


圖 3-50 2005 年 9 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

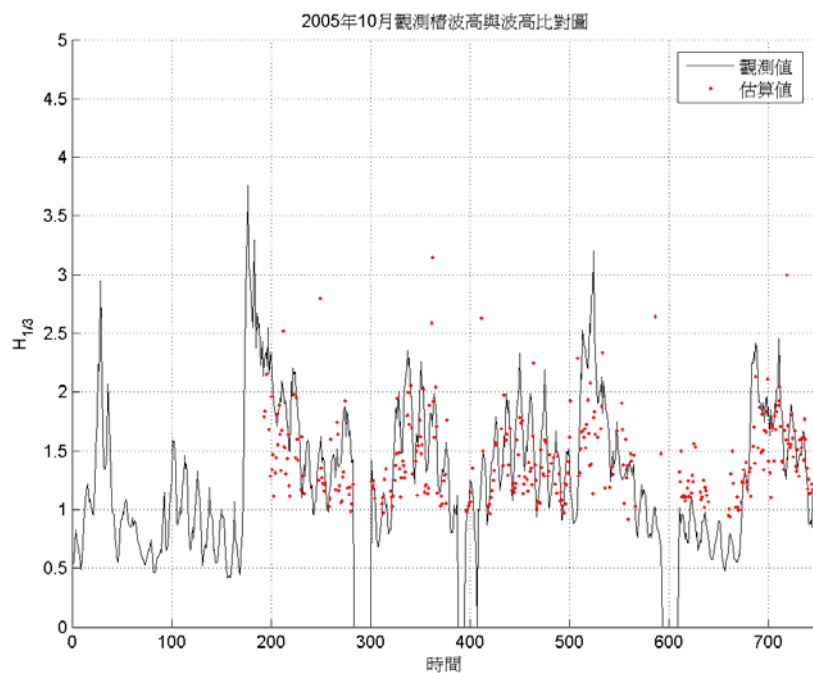


圖 3-51 2005 年 10 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

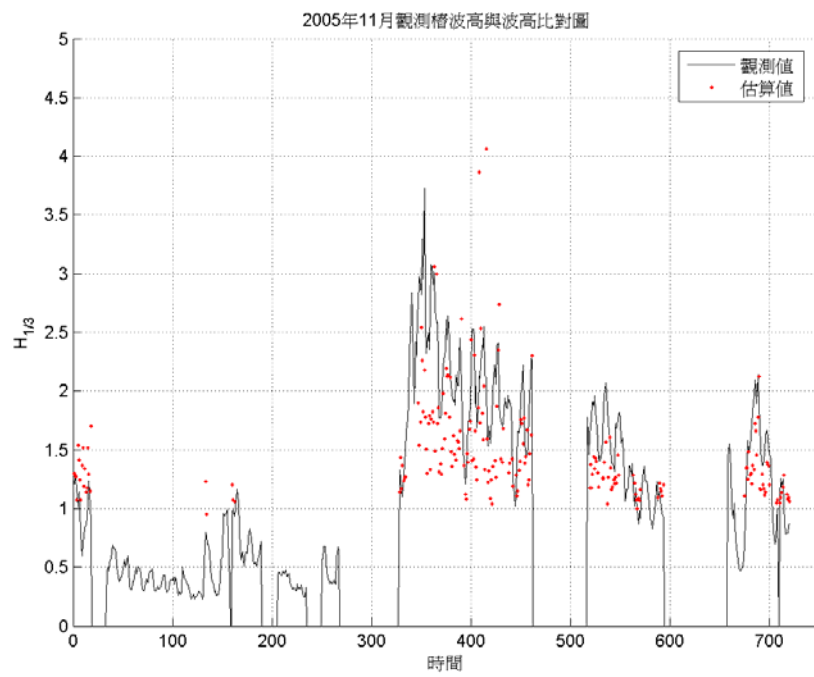


圖 3-52 2005 年 11 月觀測槽實測資料與雷達波資料逐時比對

第四章 雷達測波資料分析

本研究根據前述雷達波資料分析方式，針對本年度之雷達波資料進行分析，但在分析整理過程中發現雷達波影像在特定時刻，如偶數點時刻之雷達波影像常有被干擾的情形發生，造成分析上之困難與麻煩，而此現象與以往下雨或颱風時之雷達影像並不相同，由於台北港雷達站新設位置位於聯合辦公大樓之最頂樓的屋頂上，附近除港研中心所新設觀測樁指向天線外，並無其他可發射微波之干擾源，是否此造成影響，有待進一步察証，圖 4-1 及圖 4-2 所示分別下雨天回波微弱時的雷達波影像，而圖 4-3 及圖 4-4 所示則疑似被干擾之雷達波影像。

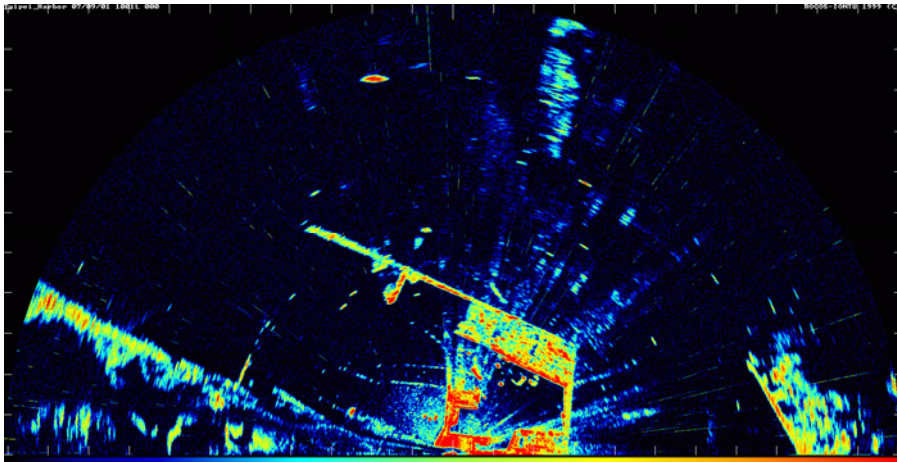


圖 4-1 雷達波迴波微弱時之影像。

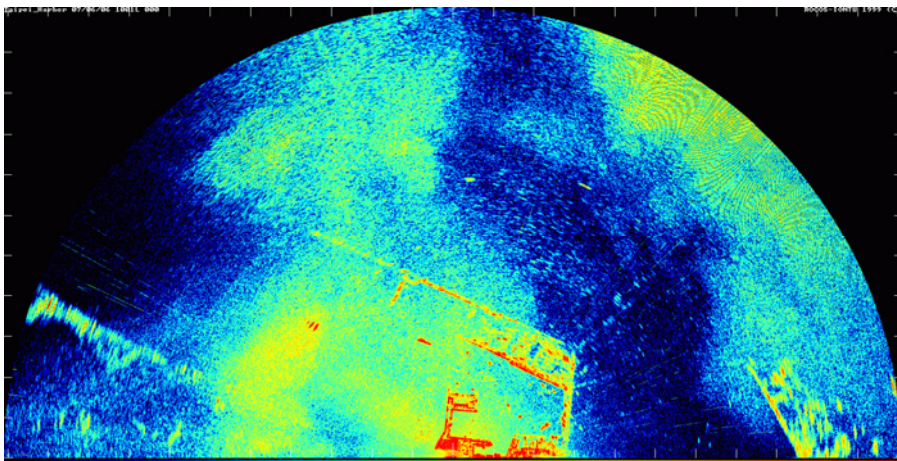
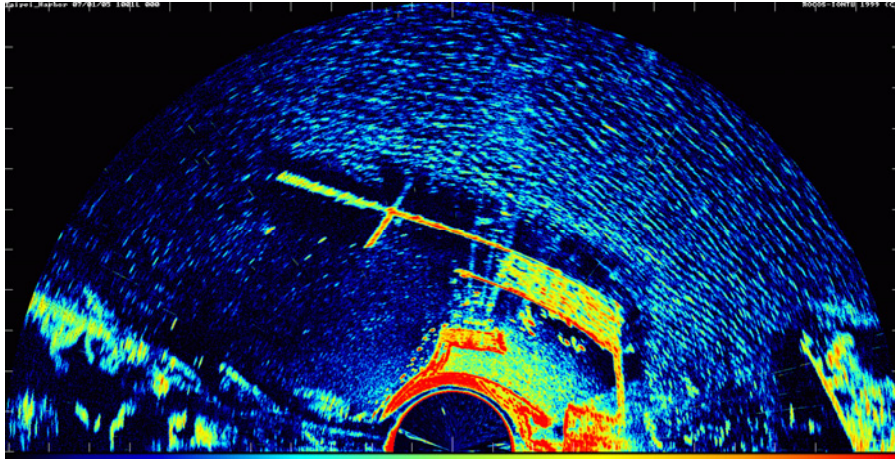
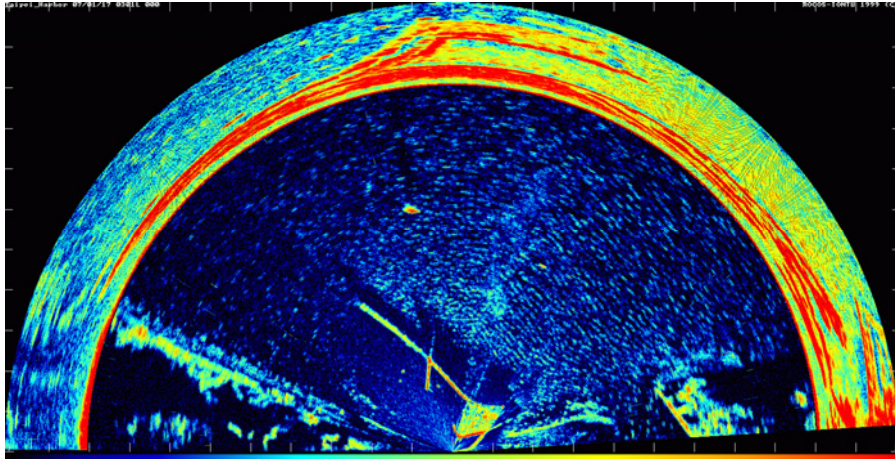


圖 4-2 下雨時之台北港雷達波影像資料。



4-3 雷達波回波疑似被干擾之影像



4-4 雷達波回波疑似被干擾之影像

4.1 雷達波波高資料之分析

本研究根據前節所述之分析方法針對本年度之雷達波資料進行分析，所擷取之雷達波影像分析位置如圖 4-5 所示，圖 4-6~4-10 所示為各月份示性波高雷達波資料與台北港觀測樁資料逐時比對之結果。圖 4-11 所示為各月雷觀影像轉換得的示性波高平均值與觀測樁示性波高平均值群組直條圖，表 4-1 所示為觀測樁與雷達波各月之平均示性波高與其誤差值，由表 4-1 中顯示，雷達波浪資料各月平均示性波高之誤差百分比，大都介於 10~20%間，除 8 月份外，平均示性波高在 1.0m 以下，其誤差有相對增大的趨勢。

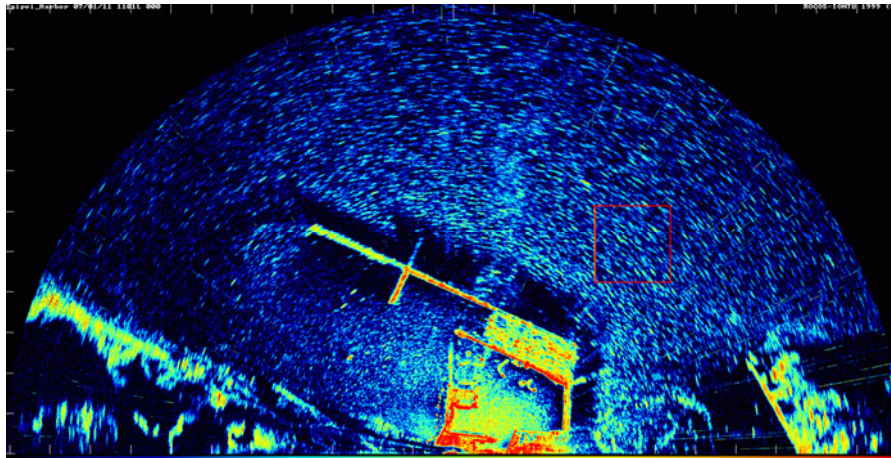


圖 4-5 雷達波資料分析擷取位置

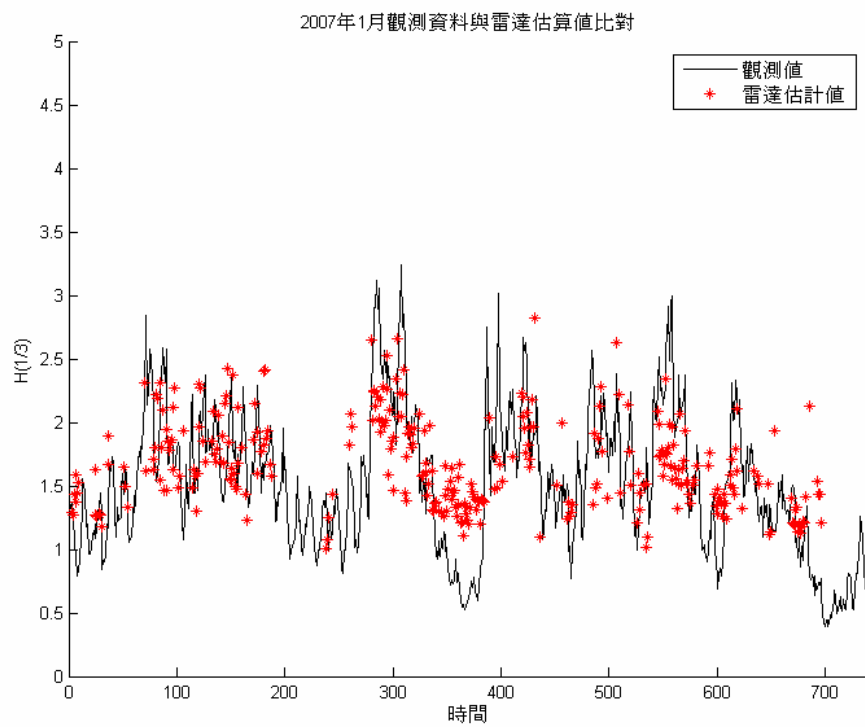


圖 4-6 2007 年 1 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

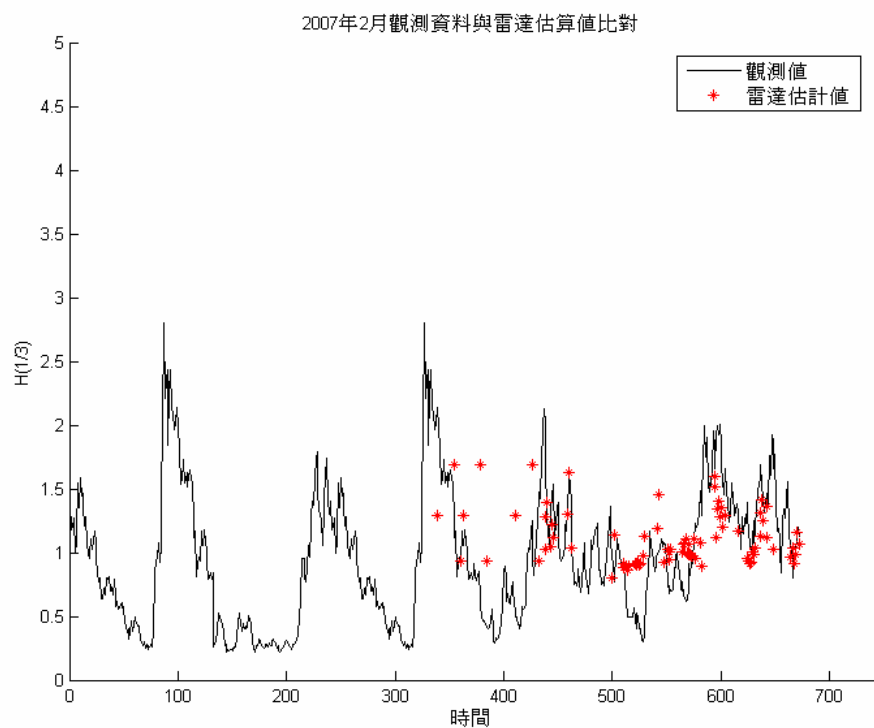


圖 4-7 2007 年 2 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

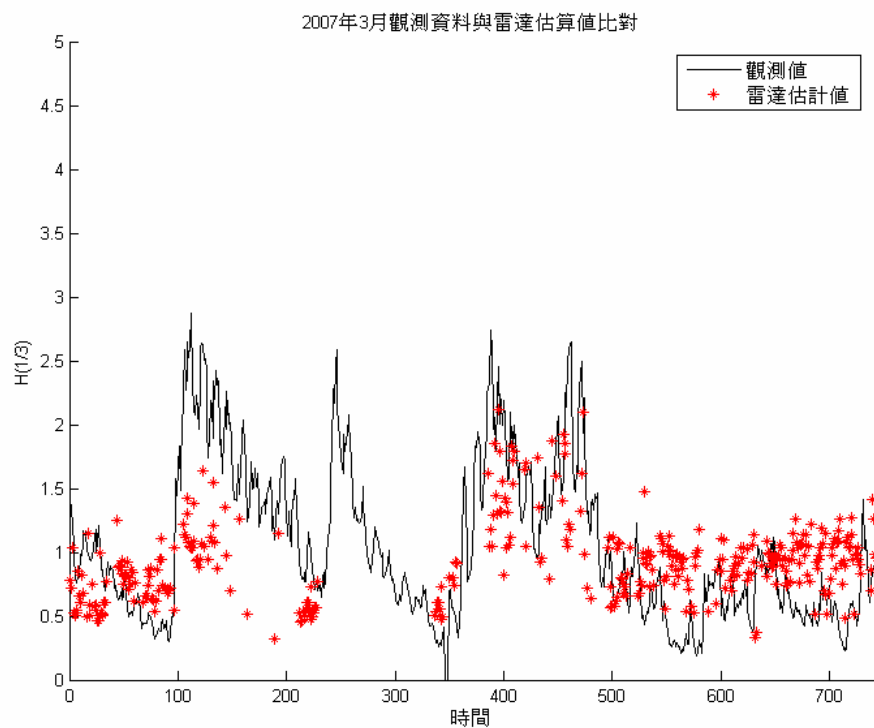


圖 4-8 2007 年 3 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

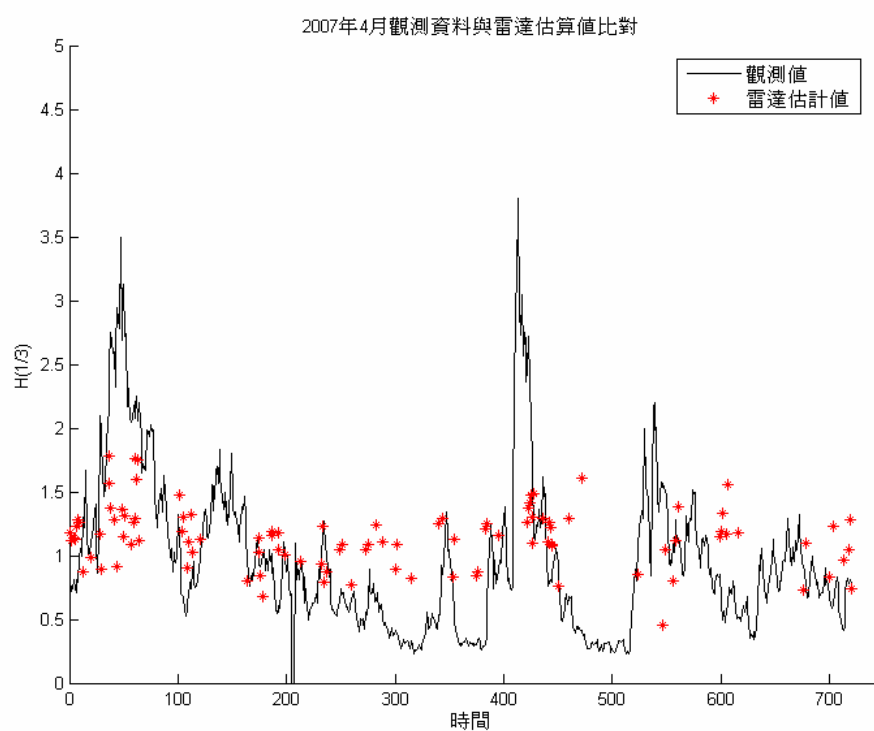


圖 4-9 2007 年 4 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

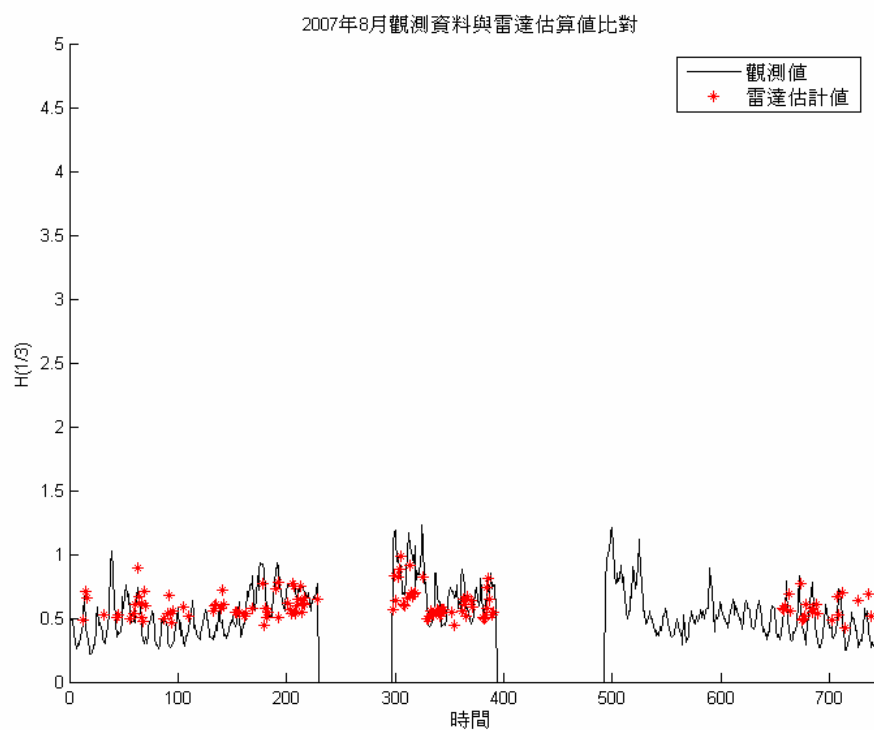


圖 4-10 2007 年 8 月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

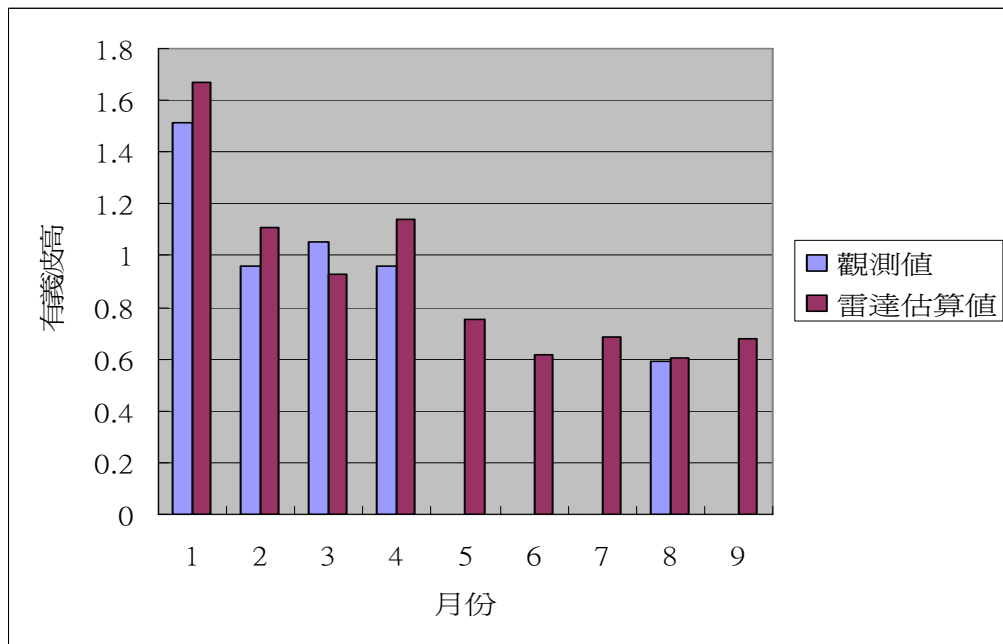


圖 4-11 各月雷觀影像轉換得的示性波高平均值與觀測樁示性波高平均值
群組直條圖

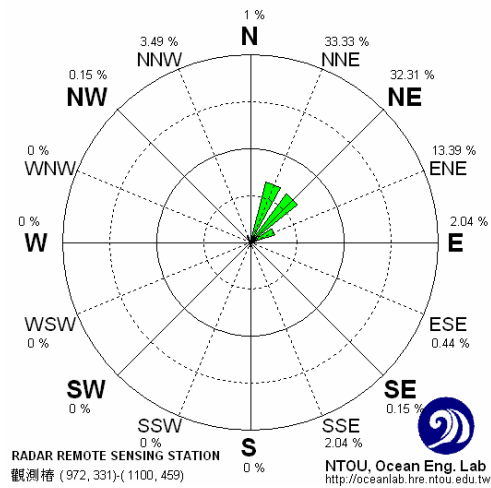
表 4-1 2007 年觀測樁與雷達波各月平均示性波高比較與誤差百分比

	1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月	7 月	8 月	9 月
觀測樁	1.51	0.96	1.06	0.96				0.59	
雷達波	1.67	1.11	0.93	1.14	0.75	0.62	0.69	0.60	0.68
誤差(%)	10.6	15.6	12.2	18.7				1.7	

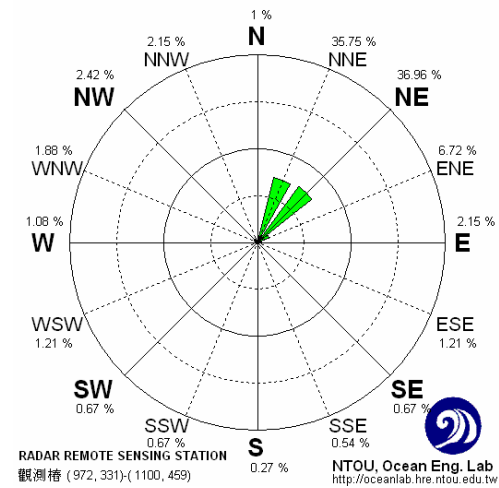
4.2 主波向

本年度之雷達波向統計分析結果與觀測樁結果比較如圖 4-12～圖 4-18 所示，根據統計分析結果，一月份雷達波之主要波向在 NNE 向(佔 33.3%)及 NE 向(佔 32.31%)，而觀測樁分析所得之主波向亦集中於 NNE(36.75%)及 NE(36.96%)向，兩者之差距並不大，而二月份觀測樁與雷達波分析所得之主波向亦相當接近，皆集中於 NE 及 NNE 向，所佔百分比亦相當接近，但三月份及四月份雷達波主波向與觀測樁主波向則稍有差距，雷達波主波

向大致集中在 N 及 NE 向，而觀測樁之主波向則仍集中在 NE 及 NNE 向，雷達波資料分析所得之 NNE 向波向雖仍佔有一定之比例，但其比例不及觀測樁分析所得結果。

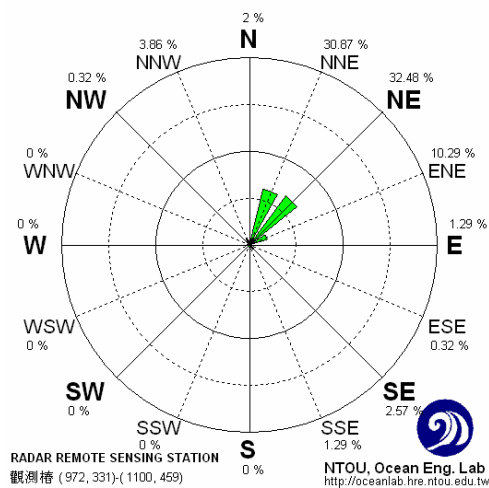


(a)雷達波

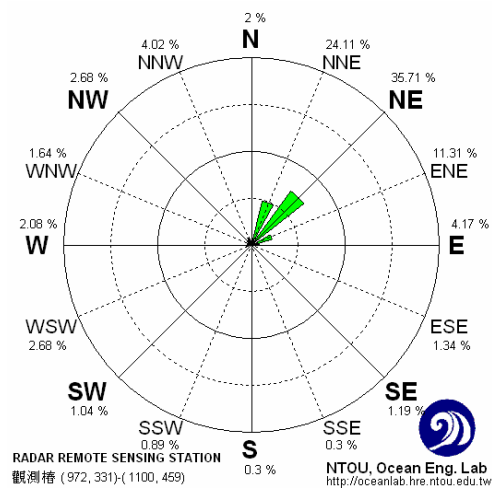


(b)觀測樁

圖 4-12 雷達波資料與觀測樁一月份波向分佈圖

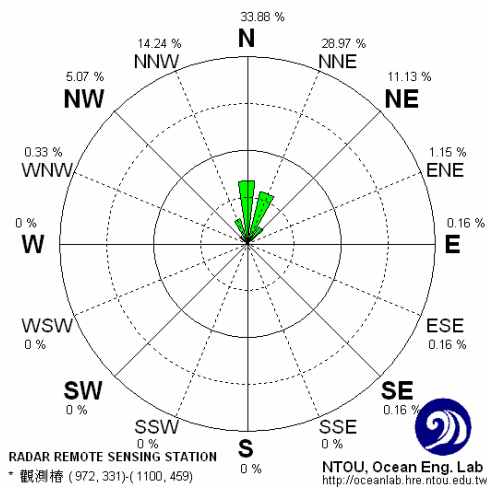


(a)雷達波

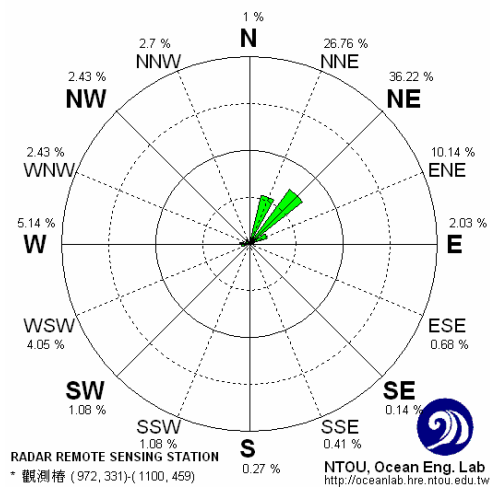


(b)觀測樁

圖 4-13 雷達波資料與觀測樁二月份波向分佈圖

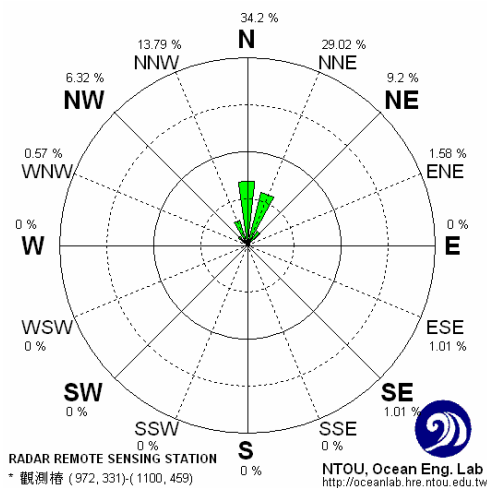


(a)雷達波

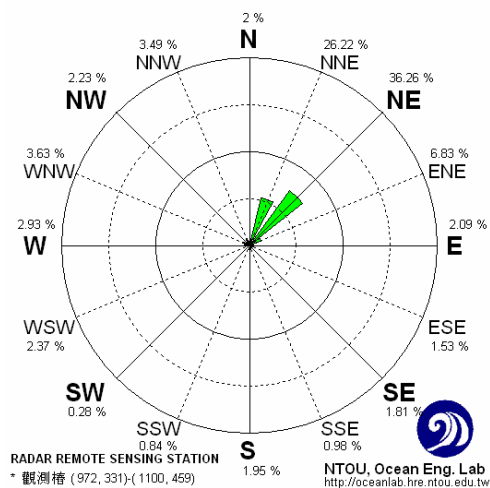


(b)觀測樁

圖 4-14 雷達波資料與觀測樁三月份波向分佈圖



(a)雷達波



(b)觀測樁

圖 4-15 雷達波資料與觀測樁四月份波向分佈圖

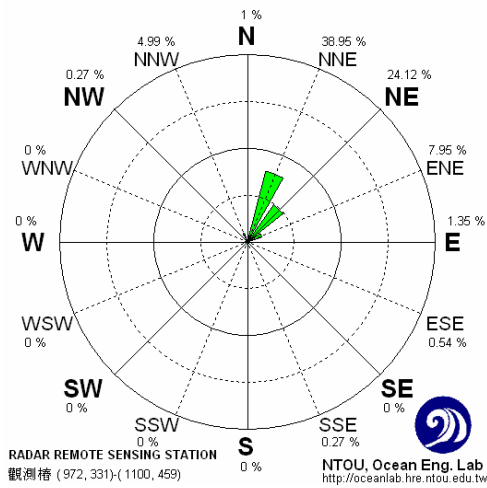


圖 4-16 雷達波五月份波向分佈圖

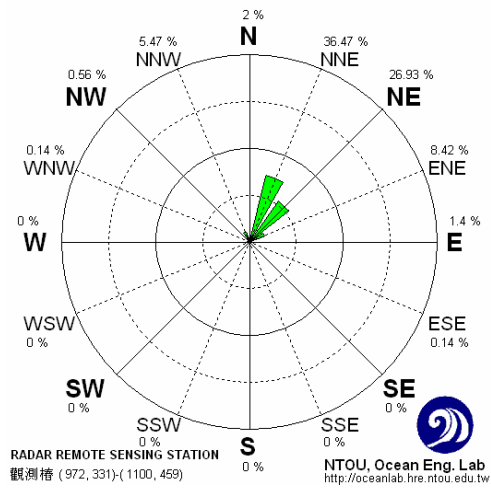


圖 4-17 雷達波六月份波向分佈圖

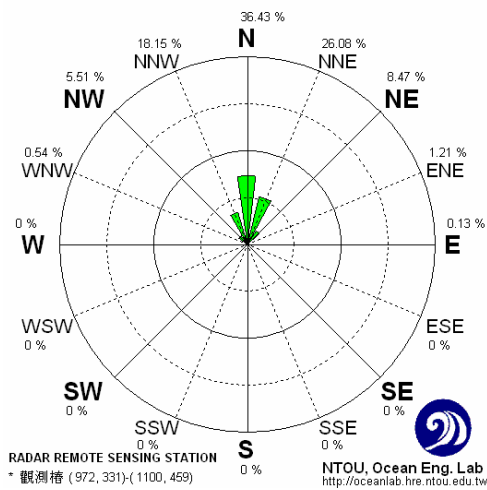


圖 4-18 雷達波七月份波向分佈圖

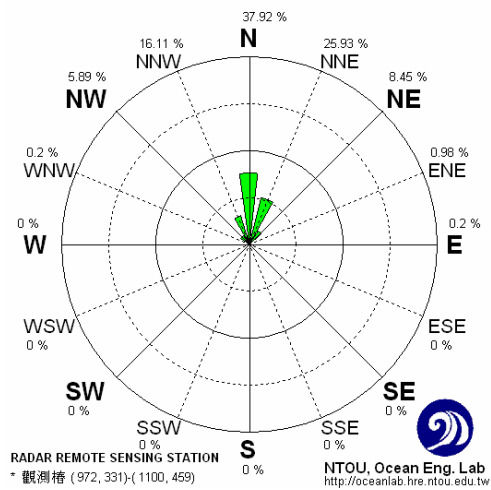


圖 4-19 雷達波八月份波向分佈圖

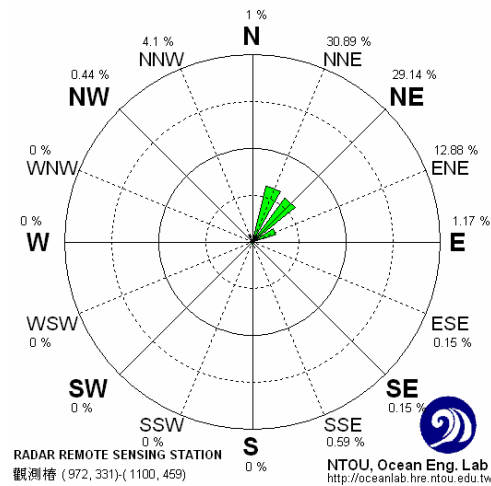


圖 4-20 雷達波九月份波向分佈圖

4-3 表層流之分析

本研究以雷達波分析表層流時，與港研中心於台北港所測流速、流向進行比對工作，期能改進分析之精度，但經查證結果，本年度所測之流場位置皆相當接近防波堤位置或靠近淡水河口，其量測位置如圖 4-21(a)、(b)、(c)所示，此區域由於結構物遮蔽雷達回波的結果，雷達影像大都不清晰，並不容易分析，未來再尋找適合區域進行針對工作。

本研究針對雷達波分析範圍進行表面流之分析，其結果如圖 4-22 所示，其流速大致介於 10-40cm/sec 間，但如圖所示，在分析範圍之邊界有相當大之流速出現，此現象為不合理現象，將在進一步檢討，另外，在分析表層流時，分析範圍內元素切割的大小亦將影響計算的準確度，此部分亦有待進一步檢討。

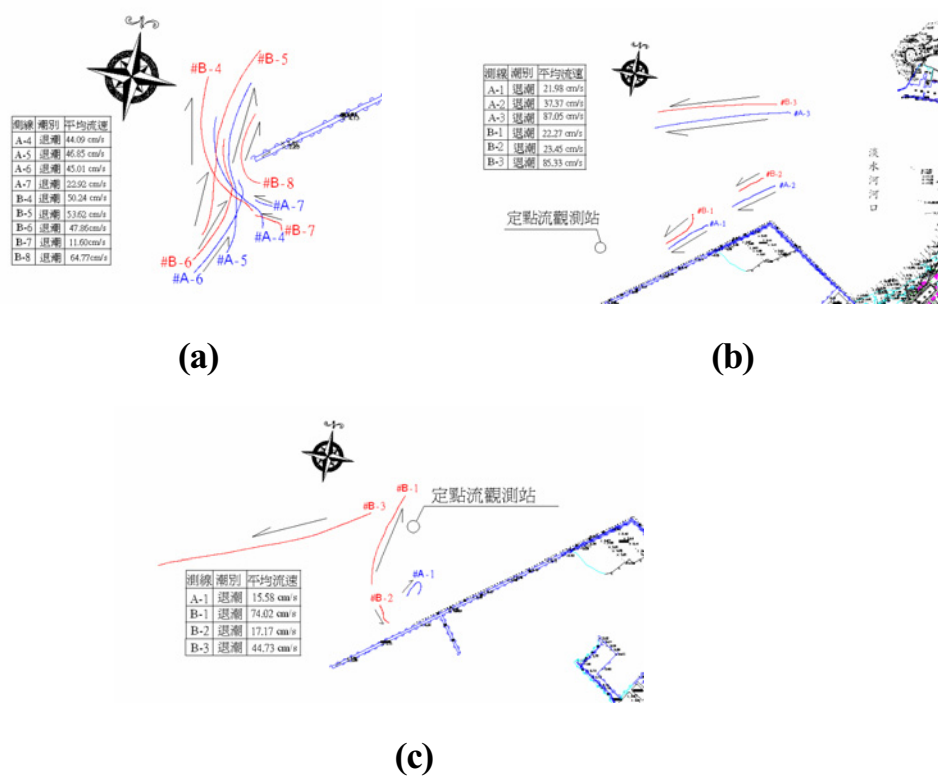


圖 4-21 台北港北防波堤流場量測位置

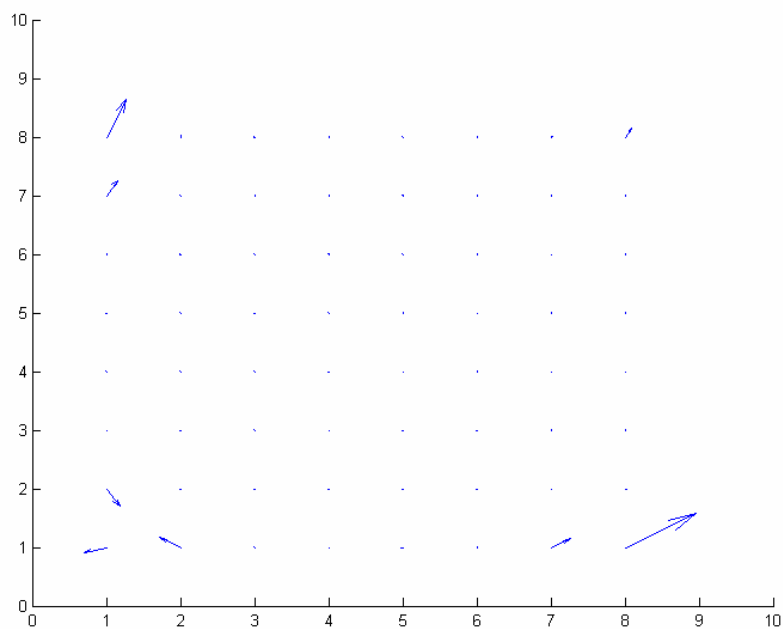


圖 4-22 雷達波分析範圍流速、流向分佈圖

第五章 研究執行成果

本研究本年之研究內容主要包括有現場監測、測波資料分析、維護網頁展示系統、比對雷達測波資料、及臺北港雷達測波站之維護保養等五項作業。

(一) 現場監測作業部份

雷達維持每日 24 小時連續作業狀態，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，圖 5-1 所示為遠端監控電腦螢幕顯示目前波浪與資料分析結果。

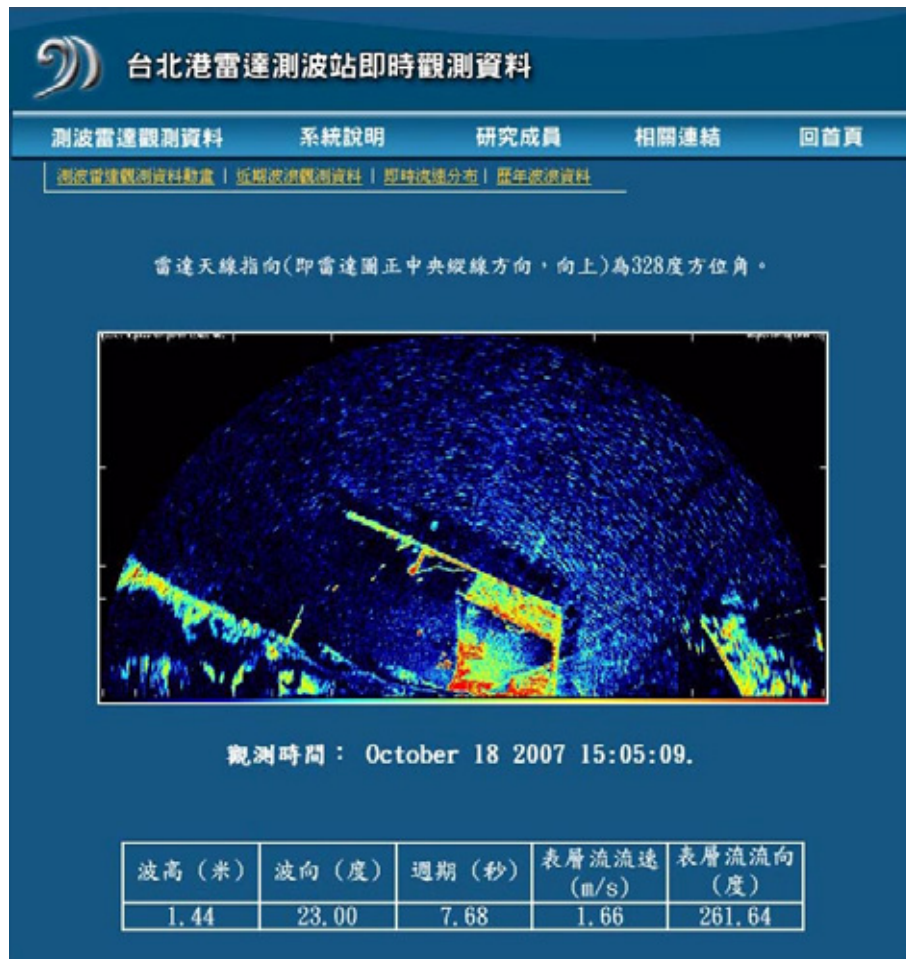


圖 5-1 雷達資料顯示系統

(二)測波資料分析部份：

目前的分析系統已經將舊有的程式分析時間過長的缺點加以改正，現有的分析程式可以對每小時的資料進行即時分析。並於每天晚上 11 時 55 分，將全日的分析結果記錄於該日的雷達資料夾中儲存，已達成自動化執行的目的。若碰到長時間停電或系統當機的情形時需派專人至現場處理。

(三)維護網頁展示系統部份：

現有的臺北港雷達測波站之網頁已重新製作完成，即時觀測資料已放置於臺北港雷達測站的觀測電腦中，圖 5-2～圖 5-8 所示大致為網頁中主要內容部份，目前部份仍在更新中。



圖 5-2 臺北港雷達測波站網站首頁

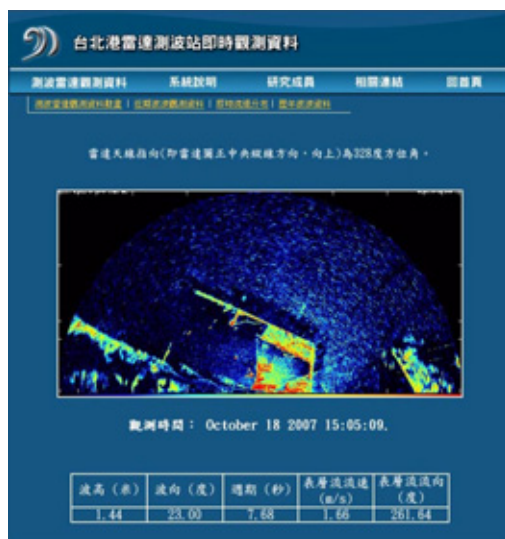


圖 5-3 雷達即時觀測影像



圖 5-4 雷達測波系統說明

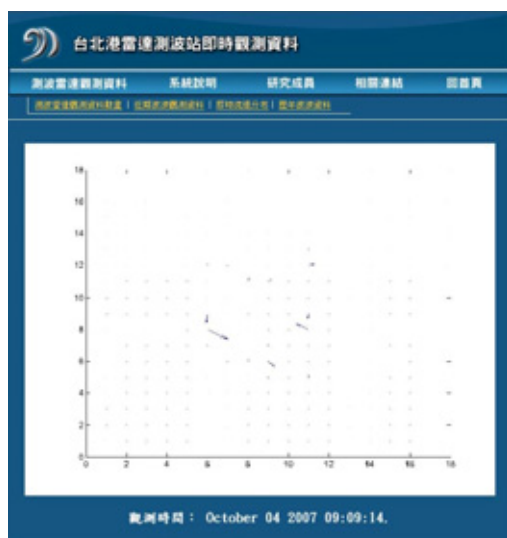


圖 5-5 臺北港流場流速分佈



圖 5-6 臺北港波浪歷年資料庫



圖 5-7 臺北港雷達測波原理簡介



圖 5-8 測波雷達

(四)比對雷達測波資料部份：

本年度綜合過去三年所得雷達波影像資料與觀測樁測得之波浪資料進行迴歸分析而求得率定係數，並利用此迴歸係數轉換過去三年之雷達波影像，同時與觀測樁資料相比對，最後並分析本年度之各項波浪資料。

(五)臺北港雷達測波站

臺北港雷達測站架設於臺北港聯合辦公大樓最頂樓上方，如圖 5-9 所示，其平面配置圖如圖 5-10 所示，由於與觀測樁指向天線相當靠近，兩者之訊號可能產生干擾情況。架設完成後的完工照片及分析儀器及雷達主機如圖 5-11 及 5-12 所示。



圖 5-9 臺北港聯合辦公大樓

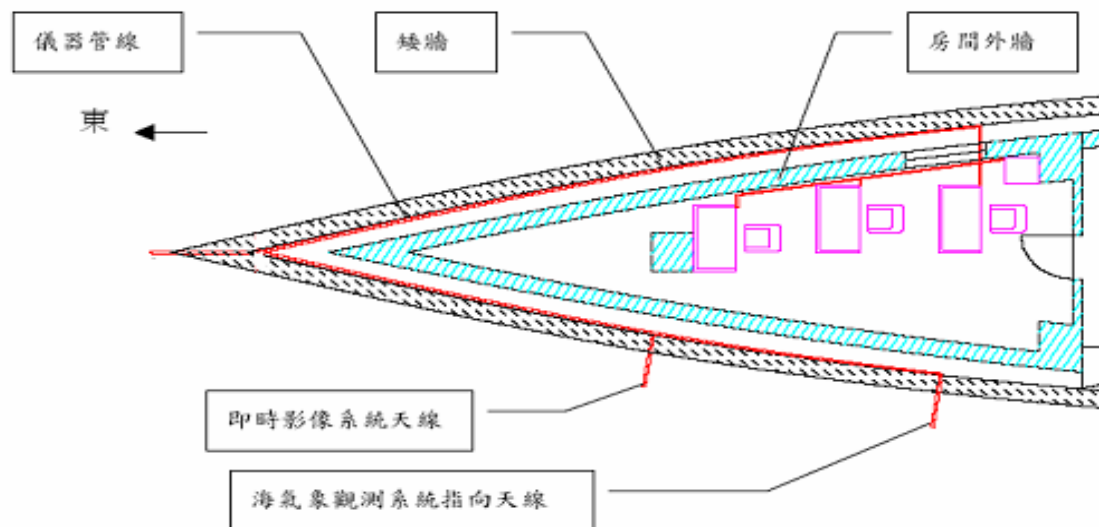


圖 5-10 雷達架設的平面配置圖



圖 5-11 雷達測波儀



圖 5-12 雷達測波控制系統

第六章 結論

1. 新的雷達網頁即時擷取系統與顯示系統目前已設計完成，網頁主要內容大致如第五章所述，細節部分將隨著瀏覽及使用之便利性而改進更新。
2. 根據 2003 年～2005 年雷達波資料分析結果，其雷達波灰階波高代表值與示性波高迴歸結果，兩者關係幾成線性 1:1 之關係，而即時比對資料結果顯示，實際示性波高小於 1.0m 時，雷達波資料顯然高估於實際波高，其餘部分雖大致接近，但仍有部分有待改善討論之空間。
3. 臺北港現有雷達測波站設置位置似乎有受觀測樁指向天線干擾的現象，須加以探討其原因，必要時將移動設置位置。
4. 表面流流速與流向之計算結果目前亦大致完成，但目前在計算範圍邊界上有奇異的流速分佈出現，將持續檢討改進，並尋找適合之觀測資料加以比對。

參考文獻

1. Barber, N. F. 1963 "The directional resolving power of an array of wave detectors" Proc. "*Ocean Wave Spectra*", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J. pp. 137-150
2. Benoit, M., Frigaard, P. and Schäffer, H.A., 1997 "Analysing multidirectional wave spectra: A tentative classification of available methods" In: E. P. D. Mansard (ed.), *IAHR Seminar Multidirectional waves and their interaction with structures*, 27th IAHR Congress, San Francisco, pp. 131-158.
3. Borge, J. C. N., R. S. González, K. Hessner, K. Reichert & C. Guedes Soares 2000 "Estimation of sea state directional spectra by using marine radar imaging of sea surface" *Proceedings of ETCE/OMAE2000 Joint Conference "Energy for the New Millenium"*, February 14-17, 2000, New Orleans, LA, ASME, pp. 1-6
4. Borgman, L. E. 1969 "*Directional spectra models for design use*" Hydraulic Engineering Laboratory, University California, Technical Report, No. HEL 1-12, pp. 56
5. Borgman, L. E. 1979 "Directional spectra from wave sensors" in "*Ocean wave climate*" M. D. Earle & A. Malahoff (eds.), Plenum Press, New York, pp. 269-300
6. Brissette, F. P. 1992 "*Estimation of wave directional spectra and applications to the study of surface gravity water waves*" Ph.D. Thesis, Dept. Civil Engineering, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada, pp. 333
7. Brissette, F. P. & I. K. Tsanis 1994 "Estimation of wave directional spectra from pitch-roll buoy data" *J. Waterway, Port, Coastal & Ocean Eng.*, ASCE, Vol. 120, pp. 93-115
8. Cox, C. & W. Munk 1954 "Statistics of the sea surface derived from sun glitter" *J. Marine Res.*, Vol. 13, pp. 198-227
9. Curtis, W. R., K. K. Hathaway, K. T. Holland & W. C. Seaberth 2002 "*Video-based wave direction measurements in a scale physical model*" Coastal and Hydraulics Engineering Technical Note. ERDC/CHL CHETN IV-49, U. S. Army Engineer Research & Development Center, Vicksburg, MS., pp. 10
10. Dankert, H. 2003 "*Measurement of waves, wave groups and wind fields using nautical radar-image sequences*" PhD dissertation, University of Hamburg, pp. 103
11. Dankert, H. & W. Rosenthal 2004 "Ocean surface determination from X-band radar-image sequences" *Journal of Geophysical Research*, Vol. 109, C04016, doi:10.1029/2003JC002130, 2004

12. Davis, R. E. & L. Regier 1977 "Methods of estimating directional wave spectra from multi-element arrays" *J. Mar. Res.*, Vol. 35, pp. 453-477
13. Dieter, J. 1998 "*Analysis of small ocean wind waves by image sequence analysis of specular reflections*" PhD. dissertation, Universität Heidelberg, pp. 120
14. Emery, W. J. & R. E. Thomson 1998 "*Data analysis methods in physical oceanography*" Pergamon Press, Kent, pp. 634
15. Gangeskar, R. 2000 "Wave height derived by texture analysis of X-band radar sea surface images" *Geoscience and Remote Sensing Symposium 2000, Proceedings IGRASS 2000*, IEEE, Vol. 7, pp. 2952-2959
16. Hashimoto, N. & K. Kobune 1988 "Estimation of directional spectrum through a Bayesian approach" *Coastal Eng. Japan*, Vol. 31, pp. 183-198
17. Hashimoto, N., K. Kobune & Y. Kameyama 1988 "Examination of the various directional spectral estimation methods for field wave data" *Rep. Port & Harbour Res. Inst. Japan*, Vol. 27(2), pp. 59-94 (in Japanese)
18. Holland, K. T., R. A. Holman, T. C. Lippmann, J. Stanley & N. Plant 1997 "Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies" *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 22 (1), pp. 81-92
19. Holthuijsen, L. H. 1981 "*The directional energy distribution of wind generated waves as inferred from stereophotographic observations of the sea surface*" PhD dissertation, Technical University Delft, 193 pp.
20. IAHR working group on wave generation and analysis 1990 "List of sea-state parameters" *J. Waterway, Port, Coastal & Ocean Eng.*, ASCE, Vol. 115, pp. 793-808
21. Izquierdo, P., Guedes Soares, C., Nieto Borge, C., and Rodríguez, G. R. 2004 "A comparison of sea-state parameters from nautical radar images and buoy data" *Ocean Engineering*, Vol. 31, pp. 2209-2225
22. Izquierdo, P., Nieto Borge, C., Guedes Soares, C., Sanz González, R. & Rodríguez, G. R. 2005 "Comparison of wave spectra from nautical radar images and scalar buoy data" *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, ASCE, Vol. 131 (3), pp. 123-131
23. Jähne, B., J. Klinker & S. Waas 1994 "Imaging of short ocean wind waves: a critical theoretical review" *J. Optical Soc. Amer.*, Vol. 11, pp. 2197-2209
24. Longuet-Higgins, M. S., D. E. Cartwright & N. D. Smith 1963 "Observations of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy" *Proc "Ocean Wave Spectra"*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, pp. 111-132

25. Mitsuyasu, H., F. Tasai, T. Suhara, S. Mizuno, M. Ohkusu, T. Honda & K. Rikiishi 1975 "Observations of the directional spectrum of ocean waves using a Cloverleaf buoy" *J. Phys. Oceanogr.*, Vol. 5, pp. 750-760
26. Mobarek, I. E.-S. 1965 "Directional spectra of laboratory wind waves" *J. Waterway & Harbors Div., ASCE*, Vol. 91, pp. 91-116
27. Nieto Borge, J. C. & C. Guedes Soares 2000 "Analysis of directional wave fields using X-band navigation radar" *Coastal Engineering*, Vol. 40, pp. 375-391
28. Nwogu, O 1989a "*Analysis of fixed and floating structures in random multi-directional waves*" Ph.D. Thesis, University of British Columbia, Vancouver, B. C. Canada, pp. 261
29. Nwogu, O. 1989b "Maximum entropy estimation of directional wave spectra from an array of wave probes" *Appl. Ocean Res.*, Vol. 11, pp. 176-182
30. Panicker, N. N. & L. E. Borgman 1970 "Directional spectra from wave gauge arrays" *Proceeding of the 12th International Conference on Coastal Engineering*, Washington, ASCE, New York, Vol. 1, pp. 117-136
31. Paniker, N. N. & L. Borgman 1974 "Enhancement of directional wave spectrum estimates" *Proceeding of the 14th Coastal Engineering Conference*, ASCE, Vol. 1, Chap. 14, pp. 258-279
32. Phillips, O. M. 1988 "Remote sensing of the sea surface" *Ann. Rev. Fluid Mech.*, Vol. 20, pp. 89-109
33. Pierson, Jr. W. J. (ed.) 1960 "*The directional spectrum of a wind Observation Project*" Meteor. Papers, Vol. 2, Univ. N.Y., pp. 1-88
34. Preisendorfer, R. W. & C. D. Mobley 1988 "*Principal component analysis in meteorology and oceanography*", Developments in Atmospheric Science, Vol. 17, Elsevier Science Pub. B. V., Amsterdam, pp. 425
35. Regier, L. A. & R. E. Davis 1977 "Observations of the power and directional spectrum of ocean surface waves" *J. Marine Res.*, Vol. 35, pp. 433- 451
36. Schulz-Stellenfleth, J. 2003 "*Ocean wave measurements using complex synthetic aperture radar data*" PhD thesis, University Hamburg, pp. 132
37. Senet, C. M., J. Seemann & F. Ziemer 1997 "An iterative technique to determine the near surface current velocity from time series of sea surface images" *Oceans '97*, pp. 66-72
38. Senet, C. M., J. Seemann & F. Ziemer 2000a "Dispersive surface classification: local analysis of optical image sequences of the water surface to determine hydrographic parameter maps" *OCEANS 2000*, MTS/IEEE Conference and

Exhibition, Vol. 3, pp. 1769 -1774

39. Senet, C. M., J. Seemann & F. Ziemer 2000b “Hydrographic parameter maps deduced from CCD image sequences of the water surface supplemented by in-situ wave gauges” *Geoscience and Remote Sensing Symposium 2000, Proceedings. IGARSS 2000*, IEEE 2000 International, Vol. 2, pp. 843 -846
40. Senet, C. M., J. Seemann & F. Ziemer 2001 “The near-surface current velocity determined from image sequences of the sea surface” *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 39, pp. 492-505
41. Simpson, J. H. 1969 “Observations of the directional characteristics of sea waves” *Geophys. J. Royal Astr. Soc.*, Vol. 17, pp. 93-120
42. Stansberg, C. T. 1998 “On the Fourier series decomposition of directional wave spectra” *Proc. 8th Int'l Offshore & Polar Eng. Conf.*, Montreal, Canada, Vol. III, pp. 227-234
43. Stilwell, D. Jr., and R. O. Pilon, 1974 “Directional spectra of surface waves from photographs” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 79, No. 9, pp.1277-1284
44. Stockdon, H. F. & R. A. Holman 2000 “Estimation of wave phase speed and nearshore bathymetry from video imagery” *J. Geophys. Res.*, Vol. 105 (C9), pp. 22015-22033
45. Sugimori, Y., 1975 “A study of the application of the holographic method to the determination of the directional spectrum of the ocean waves” *Deep-Sea Research*, Vol. 22, pp.339-350
46. Tucker, M. J. & E. G. Pitt 2001 “*Waves in ocean engineering*” Elsevier, Amsterdam, pp. 521
47. Young, I. R., W. Rosenthal and F. Ziemer, 1985 “A three-dimensional analysis of marine radar images for the determination of ocean wave directionality and surface currents” *Journal of Geophysical Research*, Vol. 90, No. C1, pp. 1049-1059
48. Ziemer, F. 1987 “Untersuchung zur quantitativen Bestimmung zweidimensionaler Seegangsspektren aus Messungen mit nautischem Radar” Dissertation, Universität Hamburg, 151 pp.
49. 李智勇、沈振康、楊衛平、譚海新 1999 “動態圖像分析” 國防工業出版社 北京 257 頁
50. 陳上及、馬繼瑞 1991 “海洋數據處理分析及其應用” 海洋出版社 北京 660 頁

51. 黃偉柏 2002 “離岸堤對波場特性影響之研究” 博士論文，國立臺灣海洋大學，河海工程學系，89 頁

附錄一 期中簡報

96臺北港雷達遙感波浪監測研究

MOTC-IOT-96-H2EB002

期中簡報

計畫主持人：周宗仁
協同主持人：尹 彰
協同主持人：翁文凱



國立台灣海洋大學

計畫背景

・在從事海事工程之規劃、設計時，現場海氣象資料的確實掌握為此項工程成敗之重要關鍵因素之一。

・因應台北港二、三期整體擴建工程之需求，同時兼顧海氣象資料須長期監測之連續性，基隆港務局乃委託運研所港灣技術研究中心對台北港海氣象資料進行監測。

・雷達測波優點:設置於環境條件較為穩定之岸上，其設置價格較為便宜，維修容易亦較為便宜，另一優點為雷達波為面之掃測，雷達測波較諸單點測波儀器更具優勢；但其易受天候影響測波功能與品質，另外雷達測掃範圍與設置角度、回波訊號強弱、影像檔轉換等皆可能影響等可能影響波浪資料品質。

整體研究目標與以往研究成果

研究目標：發展雷達測波即時監測與分析系統

以往研究成果：

1. 利用『波數譜』及『波數-頻率譜』(『方向頻譜』)估算波場中示性波高及主波向，波浪資料月統計結果與觀測樁實測結果相當接近，然其結果仍是一統計結果，在時間領域的比對上仍有差距
2. 雷達影像正規化
3. 估算波數-頻率譜
4. 計算『分散關係殼』
5. 對三維的(影像)波數-頻率譜進行低通或中值濾波
6. 對三維的(影像)波數-頻率譜進行插值
7. 計算風速對雷達測波精度之影響
8. 估算表面流之流速與流向(本年度繼續求其正確性)

本年度工作項目

在既有之研究基礎與所建立模式下：

- (1) 台北港雷達測波儀波浪監測作業。
- (2) 校核波浪條件分析與驗證工作。
- (3) 完成即時性網頁展示系統上線作業。
- (4) 雷達測波儀及網頁展示系統之維護保養。

本年度工作執行進度與概況

(一)現場監測作業與維護保養部份：

目前台北港雷達測波儀維持每日24小時連續作業狀態，每月定期裝備檢查與保養外，期間曾於元月18日與3月15日因停電後，雷達無法自行啟動，於遠端監控系統發覺後，即派人處理，更換系統零件。

在資料擷取上，目前每小時擷取32張影像檔，並儲存於硬碟中，以彙整觀測數據。

(二)測波資料分析與即時比對部份：

綜合以往之研究成果，消除影響雷達影像資料品質之因素，並整理過去三年之雷達波影像檔進行分析，並與同時期台北港觀測樁測波儀所得資料進行分析比對，藉以找出迴歸參數，並進行逐時比對。另外，並對表面流場進行分析，目前已可計算表面流場，將進一步與現場量測資料進行比對。

(三)維護網頁展示系統部份：

網頁即時顯示雷達遙測波浪圖像之作業系統在台北港測站已建立完成，其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，本計畫將繼續維護、改進網頁內容，並確保網頁展示系統正常運作。

目前除繼續維護舊網頁外，並著手進行新網頁之設計。

雷達波浪資料之分析步驟

- 以影像擷取卡擷取雷達影像，將檔案儲存為GIF、BMP或AVI等型式。
- 將連續動畫檔分割成單獨的影像檔，可自寫程式或利用MatLab的既有指令。
- 利用MatLab既有指令，將圖檔轉換成灰階值。
- 針對各影像檔的灰階值利用濾網進行平滑化，以便消除影像雜訊，根據以往測試結果以中間值通率的較佳。
- 選定欲分析範圍，分析波數-頻率譜。分析海洋表層流分佈必須將此大範圍分割成 $M \times N$ 個小範圍，並測出各小範圍的平均水深，作為將來分析海洋表層流之用。
- 利用MatLab的既有指令對連續檔做3D傅利葉轉換取其絕對值的平方為頻譜密度，並找出最大頻譜密度值，將頻譜密度除以最大頻譜密度值而得無因次頻譜密度，去除負的虛像。

- 以分散關係去除所得頻譜密度中無法滿足分散關係(dispersion relation)的成分。
- 尋找出經上列步驟求得頻譜密度的最大值，計算其相位角就可求得波向。
- 利用波浪統計學理論，可求得灰階值示性波高及示性波週期。
- 對經上列步驟求得頻譜密度進行補遺工作，以波浪統計學理論的立場而言，這是非常重要的工作，但對實務而言，最終一定要與觀測值進行比對轉換，因此可將補遺工作包含在內。
- 與觀測值進行比對轉換，覓得示性波高的轉換公式。

雷達波資料分析

- 逐時整理2003~2005年雷達影像資料，並與港灣技術研究中心設置於台北港外之觀測樁所得之的波高資料進行比對。
- 分析的範圍如圖3-3所示，此範圍共含256x256個畫素，以確立該海域的雷達影像觀測系統的波高迴歸係數值。
- 逐月比對結果，2003年由於有時觀測樁資料或雷達波資料不足，最後不以其資料進行迴歸分析。

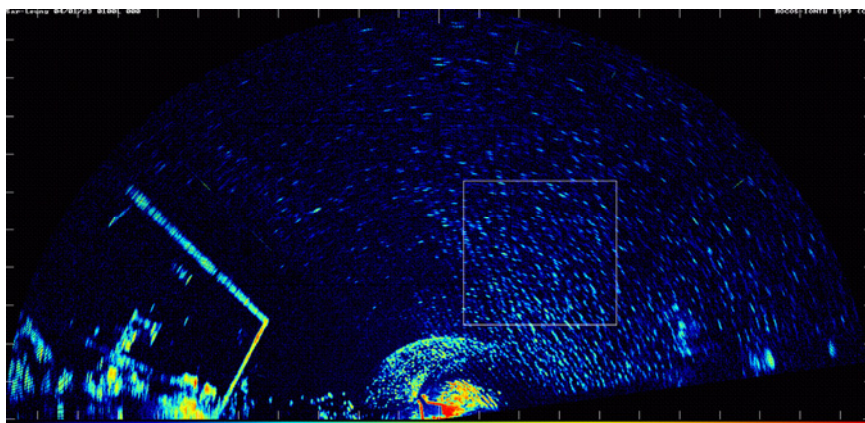


圖3-3 雷達波浪資料分析範圍圖

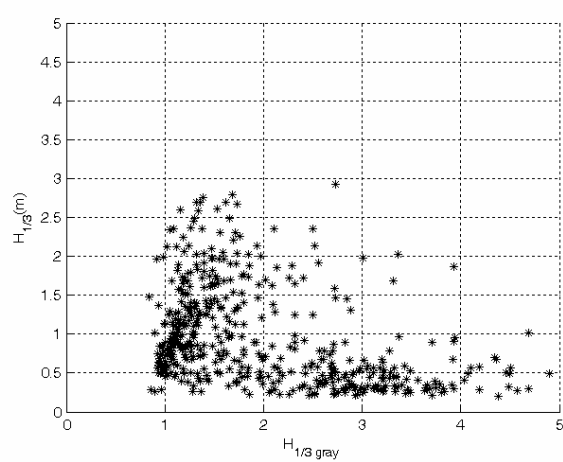


圖3-4 2004年2月份雷達波資料與觀測樁實測值之比對。

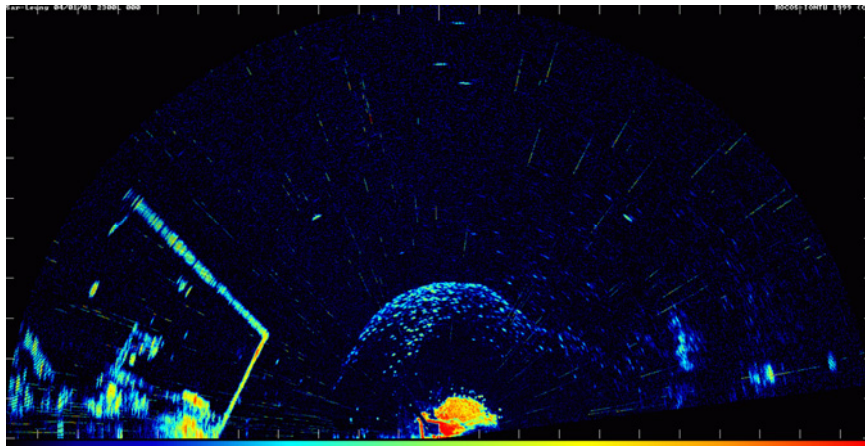


圖3-5 影像無法辨識波峰線者，其灰階平均值約大於0.6。

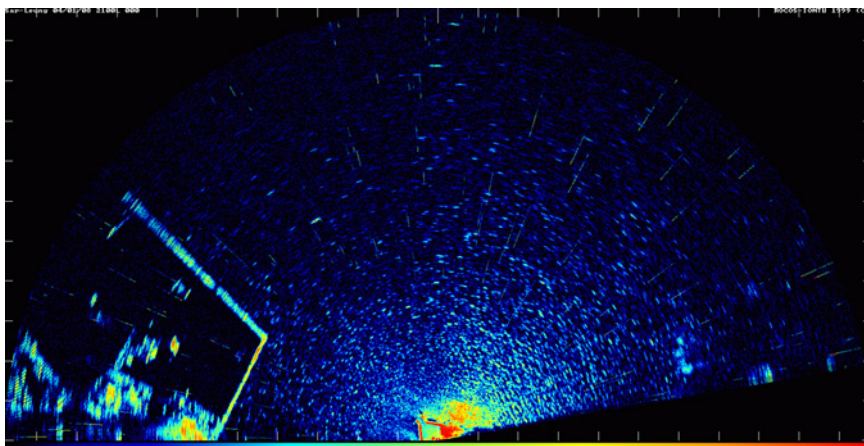


圖3-6 影像略可辨識波峰線者，其灰階平均值約在0.5~0.6間。

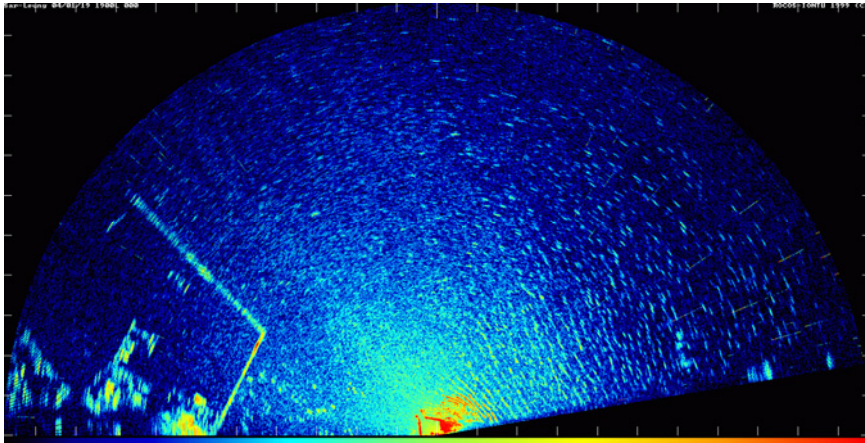


圖3-7 影像呈亮灰色者，其灰階平均值約小於0.2。
(經與中央氣象局的氣象資料比對，當天均屬雨天。)

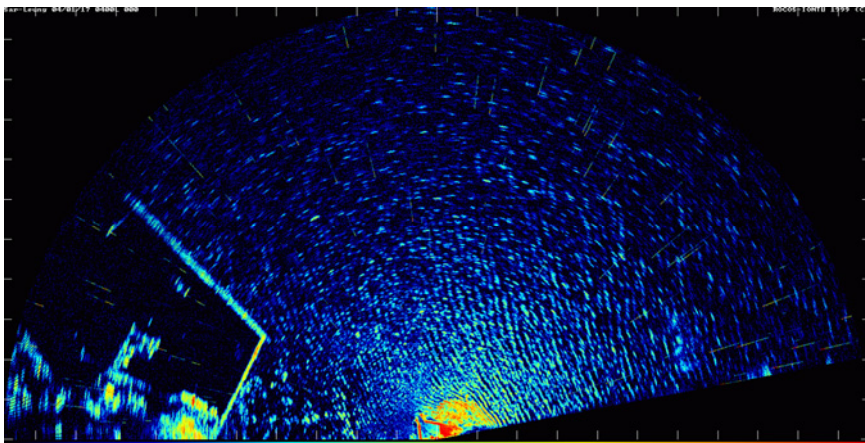


圖3-8波峰線清晰者，其灰階平均值約在0.2~0.5間。

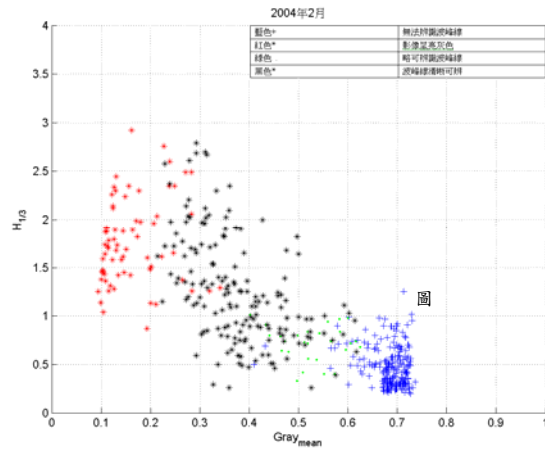


圖3-9雷達波影像未去除不良影像時

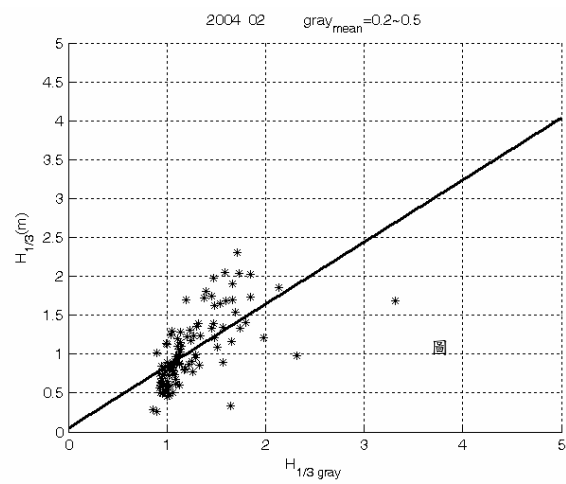


圖 3-10 2004年2月 去除不良影像後

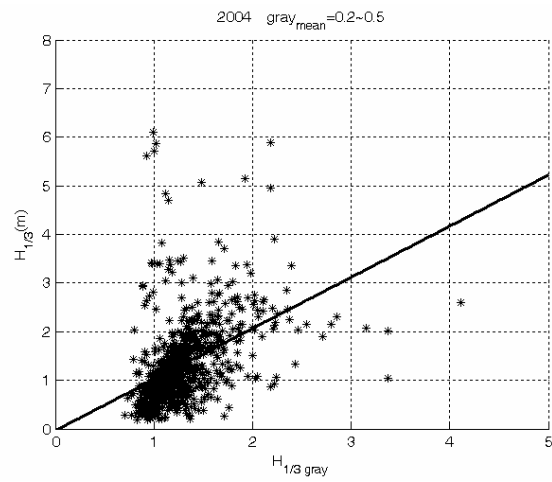


圖3-34 2004年全部可分析月份資料之迴歸比對結果

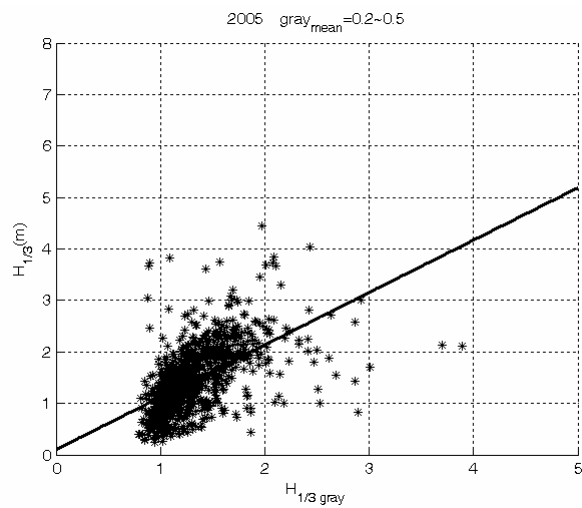


圖3-35 2005年全部可分析月份資料之迴歸比對結果

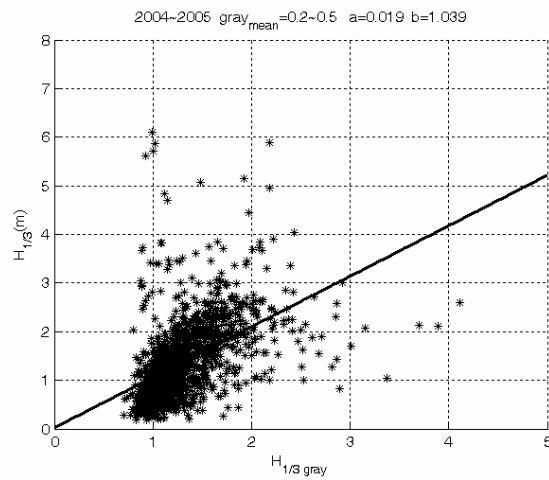


圖3-36 2004-2005年全部可分析月份資料之迴歸比對結果

雷達波資料之即時比對

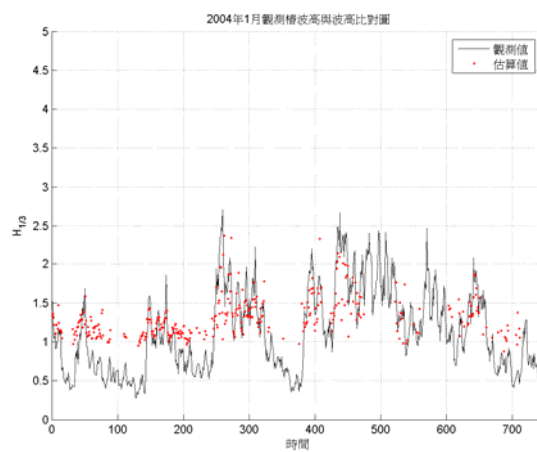


圖3-37 2004年1月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖

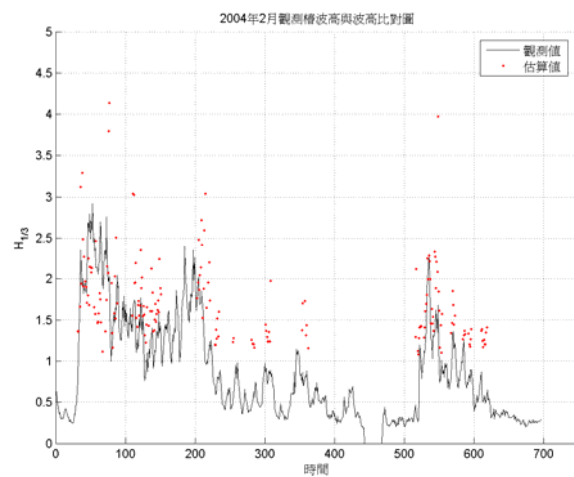


圖3-38 2004年2月觀測槽實測資料與雷達波資料即時比對圖

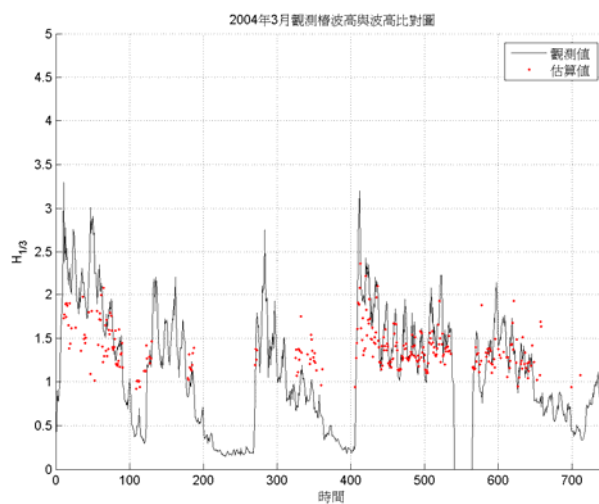


圖3-39 2004年3月觀測槽實測資料與雷達波資料即時比對圖

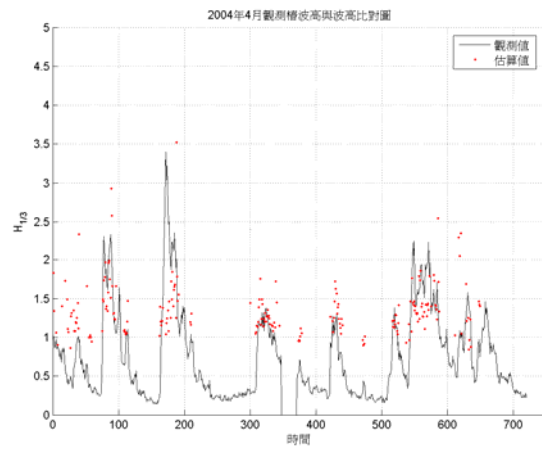


圖3-40 2004年4月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖

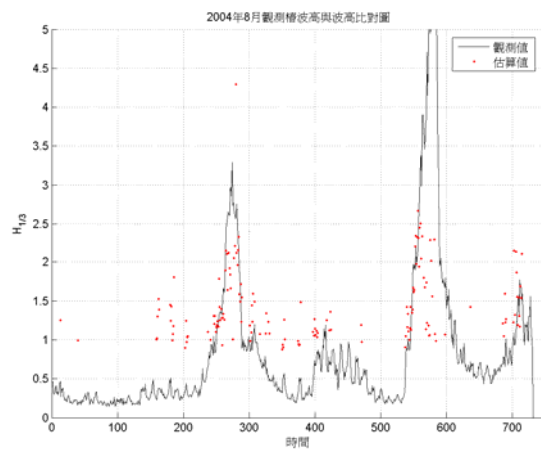


圖3-44 2004年8月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖

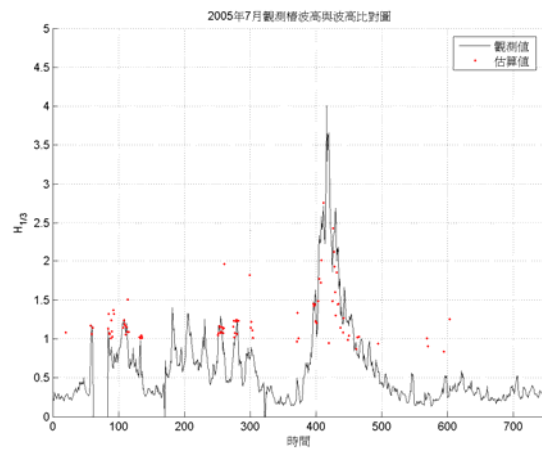


圖3-48 2005年7月觀測槽實測資料與雷達波資料即時比對

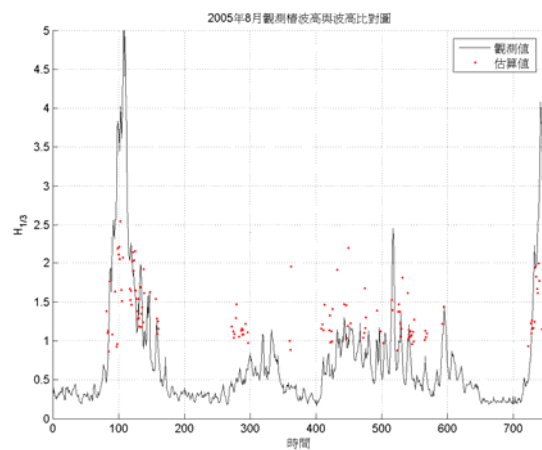


圖3-49 2005年8月觀測槽實測資料與雷達波資料即時比對

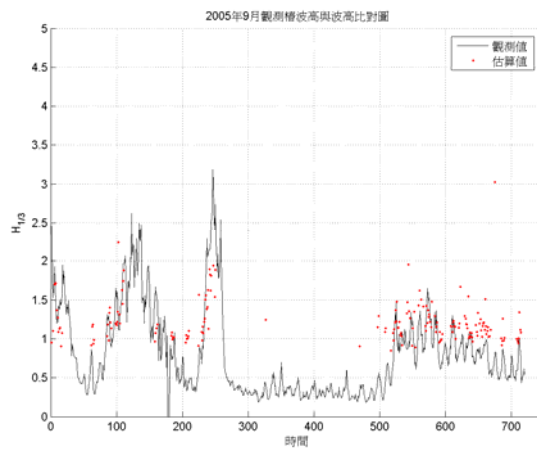


圖3-50 2005年9月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對

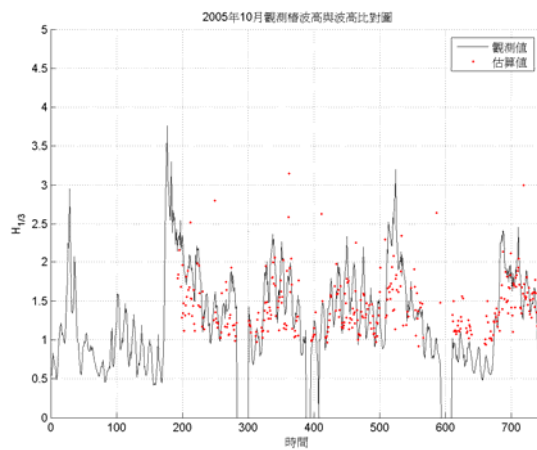


圖3-51 2005年10月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對

後續工作與結論

本計畫針對幾項工作項目逐一進行，未來之工作進度與檢討如下：

- 雷達網頁即時擷取系統與顯示系統目前亦進行中，其中即時顯示系統所顯示之項目及網頁內容需與港灣技術研究中心內部討論後再行定案。
- 根據2003年～2005年雷達波資料分析結果，其雷達波灰階波高代表值與示性波高迴歸結果，兩者關係幾成線性之關係，而即時比對資料結果顯示，實際示性波高小於1.0m時，雷達波資料顯然高估於實際波高，其餘部分雖大致接近，但仍有部分有待改善討論之空間。前述所得結果並未對有表面流情形進行修正，往後將針對此部分繼續檢討。
- 表面流流速與流向之計算結果目前亦大致完成，在與台北港附近流場實測結果比對後，將附於期末報告中。

報告完畢
敬請指教

附錄二 期末簡報

96臺北港雷達遙感波浪監測研究

MOTC-IOT-96-H2EB002

期末簡報

計畫主持人：周宗仁

協同主持人：尹 彰

協同主持人：翁文凱



國立台灣海洋大學

計畫背景

・在從事海事工程之規劃、設計時，現場海氣象資料的確實掌握為此項工程成敗之重要關鍵因素之一。

・因應台北港二、三期整體擴建工程之需求，同時兼顧海氣象資料須長期監測之連續性，基隆港務局乃委託運研所臺灣技術研究中心對台北港海氣象資料進行監測。

・雷達測波優點：

設置於環境條件較為穩定之岸上，價格較為便宜、維修容易另一優點為雷達波為面之掃測，雷達測波較諸單點測波儀器更具優勢；但其易受天候影響測波功能與品質，另外雷達測掃範圍與設置角度、回波訊號強弱、影像檔轉換等皆可能影響等可能影響波浪資料品質。

整體研究目標與以往研究成果

研究目標：發展雷達測波即時監測與分析系統

以往研究成果：

1. 利用『波數譜』及『波數-頻率譜』(『方向頻譜』)估算波場中示性波高及主波向，波浪資料月統計結果與觀測樁實測結果相當接近，然其結果仍是一統計結果，在時間領域的比對上仍有差距
2. 雷達影像正規化
3. 估算波數-頻率譜
4. 計算『分散關係殼』
5. 對三維的(影像)波數-頻率譜進行低通或中值濾波
6. 對三維的(影像)波數-頻率譜進行插值
7. 計算風速對雷達測波精度之影響
8. 估算表面流之流速與流向(本年度繼續求其正確性)

本年度工作項目

在既有之研究基礎與所建立模式下：

- (1) 台北港雷達測波儀波浪監測作業。
- (2) 校核波浪條件分析與驗證工作。
- (3) 完成即時性網頁展示系統上線作業。
- (4) 雷達測波儀及網頁展示系統之維護保養。

本年度工作執行進度與概況

(一)現場監測作業與維護保養部份：

目前台北港雷達測波儀維持每日24小時連續作業狀態，每月定期裝備檢查與保養外，期間曾於元月18日與3月15日因停電後，雷達無法自行啟動，於遠端監控系統發覺後，即派人處理，更換系統零件。

在資料擷取上，目前每小時擷取32張影像檔並儲存於硬碟中，以彙整觀測數據。

(二)測波資料分析與即時比對部份：

綜合以往之研究成果，消除影響雷達影像資料品質之因素，並整理過去三年之雷達波影像檔進行分析，並與同時期台北港觀測樁測波儀所得資料進行分析比對，藉以找出迴歸參數，並進行逐時比對。另外，並對表面流場進行分析，目前已可計算表面流場，將進一步與現場量測資料進行比對。

(三)維護網頁展示系統部份：

網頁即時顯示雷達遙測波浪圖像之作業系統在台北港測站已建立完成，其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，本計畫將繼續維護、改進網頁內容，並確保網頁展示系統正常運作。

目前除繼續維護舊網頁外，並著手進行新網頁之設計。

雷達波浪資料之分析步驟

- 以影像擷取卡擷取雷達影像，將檔案儲存為GIF、BMP或AVI等型式。
- 將連續動畫檔分割成單獨的影像檔，可自寫程式或利用MatLab的既有指令。
- 利用MatLab既有指令，將圖檔轉換成灰階值。
- 針對各影像檔的灰階值利用濾網進行平滑化，以便消除影像雜訊，根據以往測試結果以中間值通率的較佳。
- 選定欲分析範圍，分析波數-頻率譜。分析海洋表層流分佈必須將此大範圍分割成 $M \times N$ 個小範圍，並測出各小範圍的平均水深，作為將來分析海洋表層流之用。
- 利用MatLab的既有指令對連續檔做3D傅利葉轉換取其絕對值的平方為頻譜密度，並找出最大頻譜密度值，將頻譜密度除以最大頻譜密度值而得無因次頻譜密度，去除負的虛像。

- 以分散關係去除所得頻譜密度中無法滿足分散關係(dispersion relation)的成分。
- 尋找出經上列步驟求得頻譜密度的最大值，計算其相位角就可求得波向。
- 利用波浪統計學理論，可求得灰階值示性波高及示性波週期。
- 對經上列步驟求得頻譜密度進行補遺工作，以波浪統計學理論的立場而言，這是非常重要的工作，但對實務而言，最終一定要與觀測值進行比對轉換，因此可將補遺工作包含在內。
- 與觀測值進行比對轉換，覓得示性波高的轉換公式。

雷達波資料分析

- 逐時整理2003~2005年雷達影像資料，並與港灣技術研究中心設置於台北港外之觀測樁所得之的波高資料進行比對。
- 分析的範圍如圖3-3所示，此範圍共含256x256個畫素，以確立該海域的雷達影像觀測系統的波高迴歸係數值。
- 逐月比對結果，2003年由於有時觀測樁資料或雷達波資料不足，最後不以其資料進行迴歸分析。

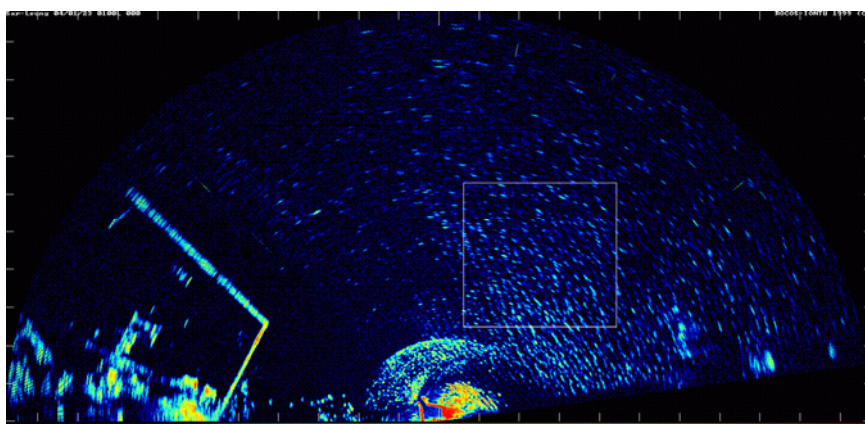


圖3-3 雷達波浪資料分析範圍圖

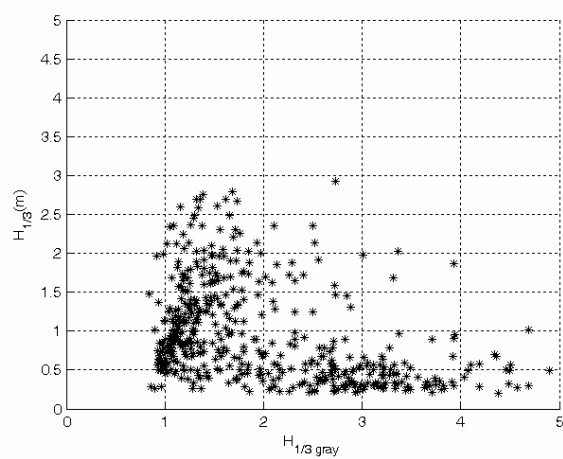


圖3-4 2004年2月份雷達波資料與觀測樁實測值之比對。

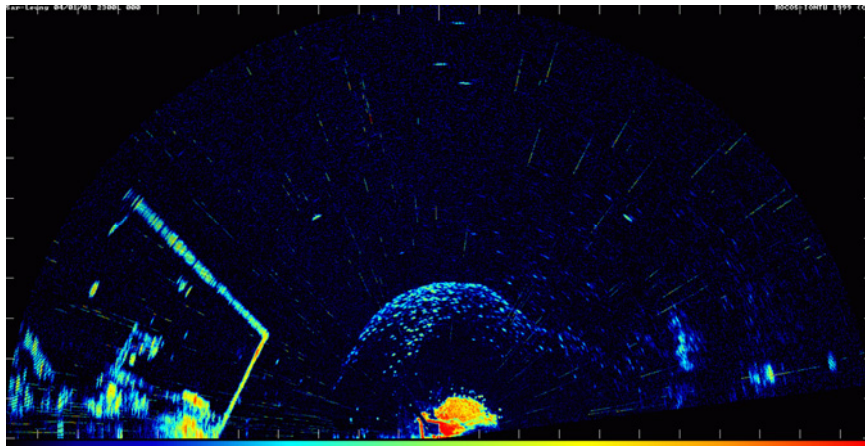


圖3-5 影像無法辨識波峰線者，其灰階平均值約大於0.6

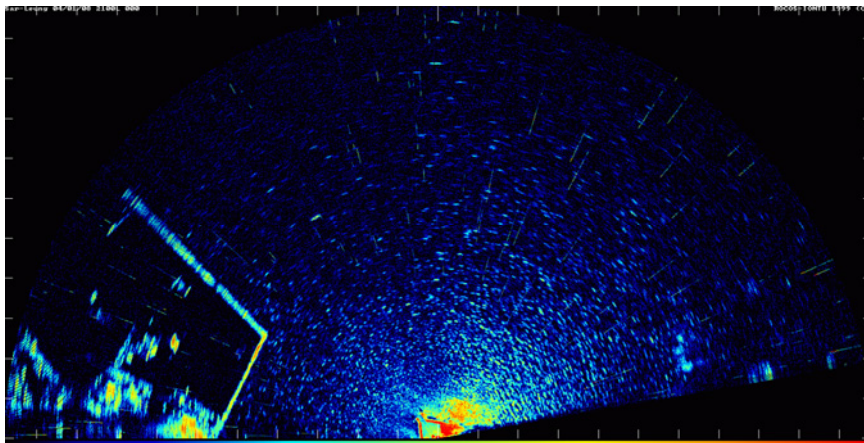


圖3-6 影像略可辨識波峰線者，其灰階平均值約在0.5~0.6間。

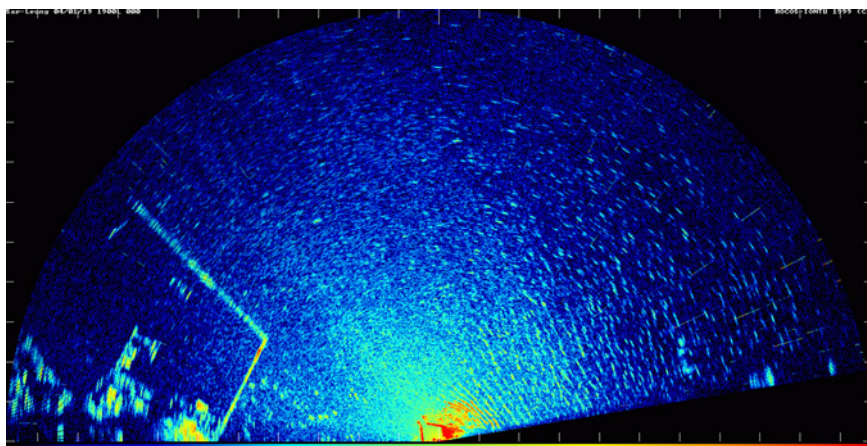


圖3-7 影像呈亮灰色者，其灰階平均值約小於0.2。
(經與中央氣象局的氣象資料比對，當天均屬雨天。)

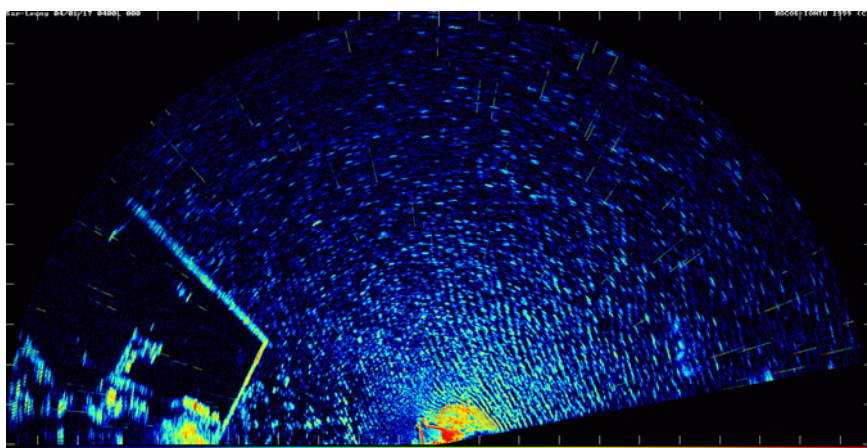


圖3-8波峰線清晰者，其灰階平均值約在0.2~0.5間。

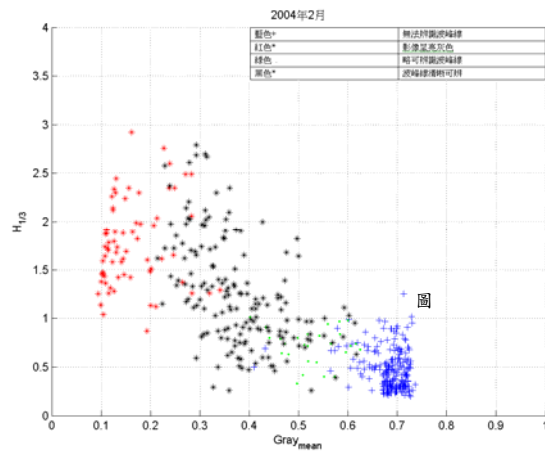


圖3-9雷達波影像未去除不良影像時

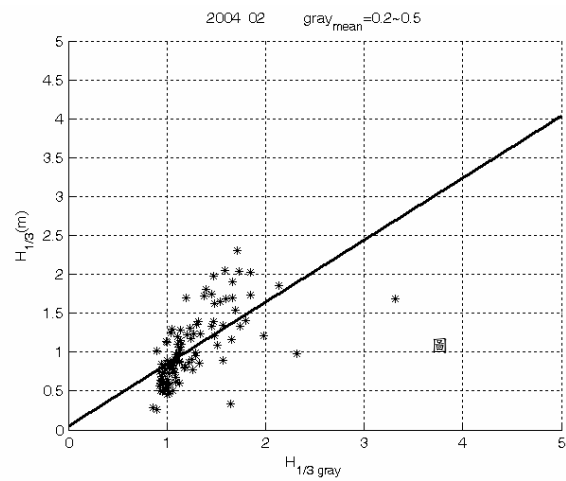


圖 3-10 2004年2月 去除不良影像後

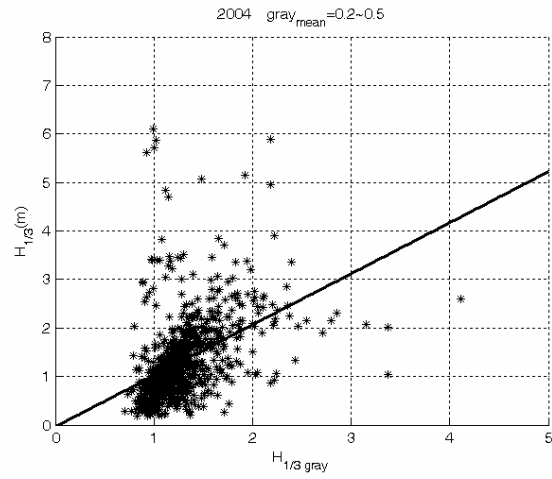


圖3-34 2004年全部可分析月份資料之迴歸比對結果

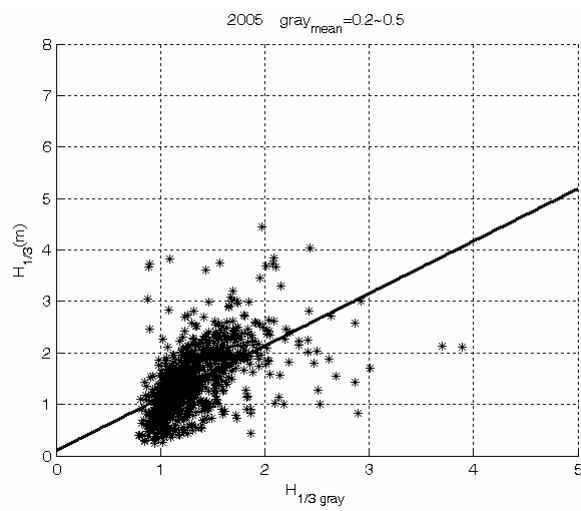


圖3-35 2005年全部可分析月份資料之迴歸比對結果

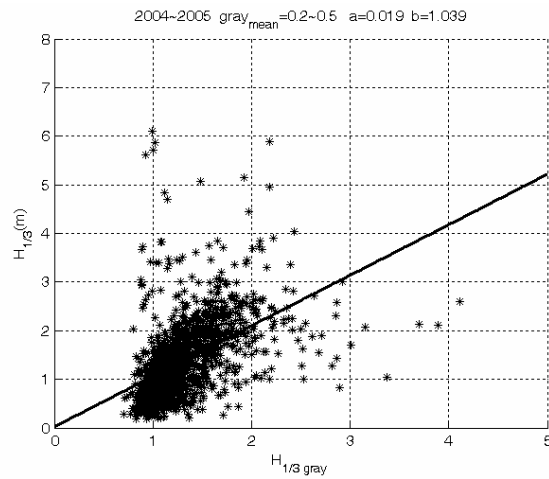


圖3-36 2004-2005年全部可分析月份資料之迴歸比對結果

雷達波資料之即時比對

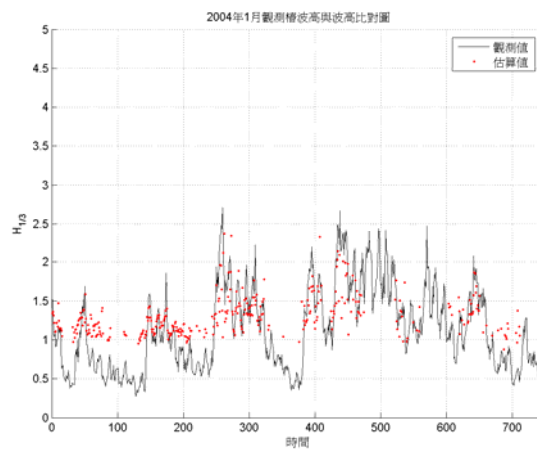


圖3-37 2004年1月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖

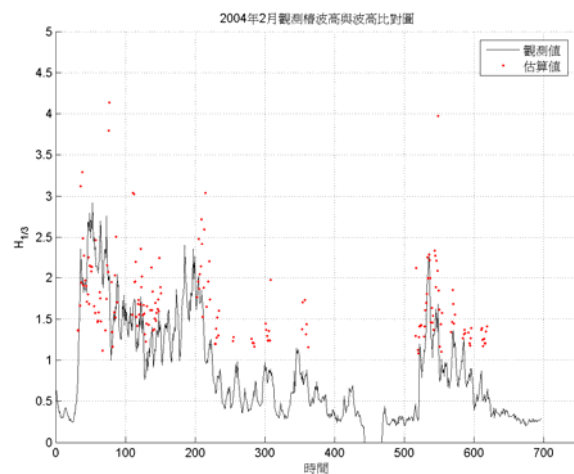


圖3-38 2004年2月觀測槽實測資料與雷達波資料即時比對圖

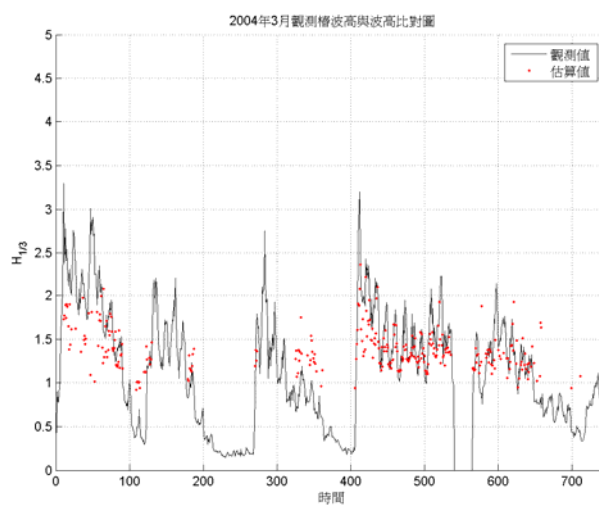


圖3-39 2004年3月觀測槽實測資料與雷達波資料即時比對圖

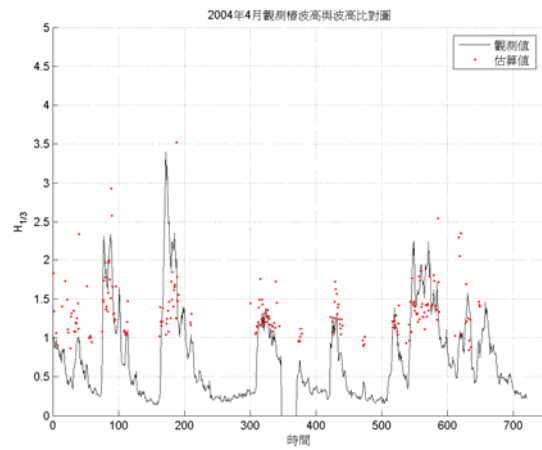


圖3-40 2004年4月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖

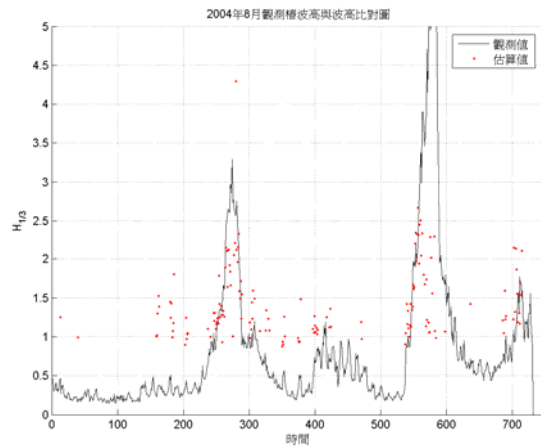


圖3-44 2004年8月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對圖

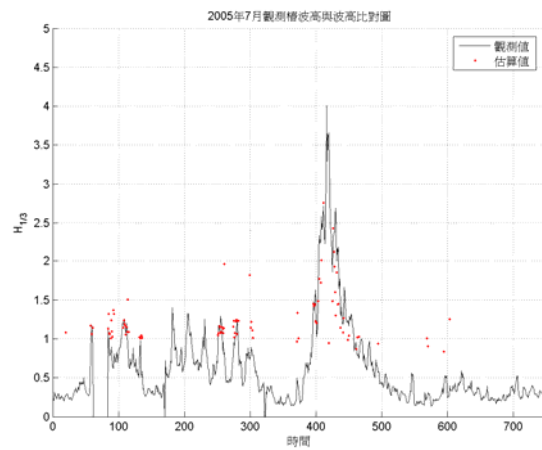


圖3-48 2005年7月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對

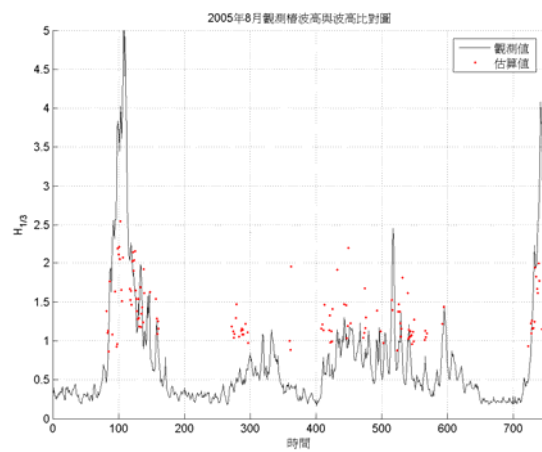


圖3-49 2005年8月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對

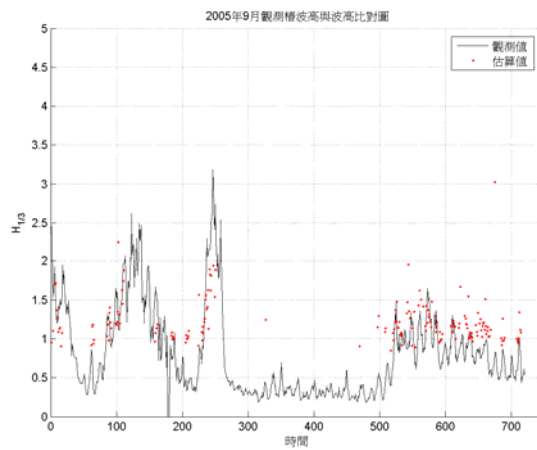


圖3-50 2005年9月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對

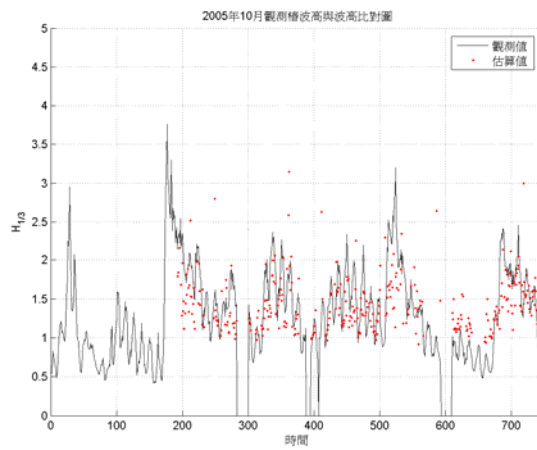


圖3-51 2005年10月觀測樁實測資料與雷達波資料即時比對

本年度雷達測波資料分析

- 針對本年度之雷達波資料進行分析，但在分析整理過程中發現雷達波影像在特定時刻，如偶數點時刻之雷達波影像常有被干擾的情形發生，而此現象與以往下雨或颱風時之雷達影像並不相同，由於台北港雷達站新設位置位於聯合辦公大樓之最頂樓的屋頂上，附近除港研中心所新設觀測樁指向天線外，並無其他可發射微波之干擾源，是否此造成影響，有待進一步察証

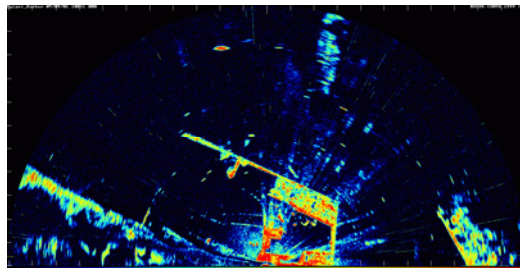


圖4-1 雷達波迴波微弱時之影像

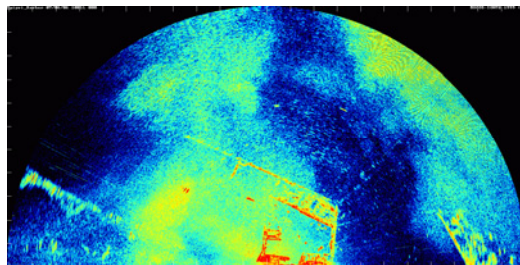
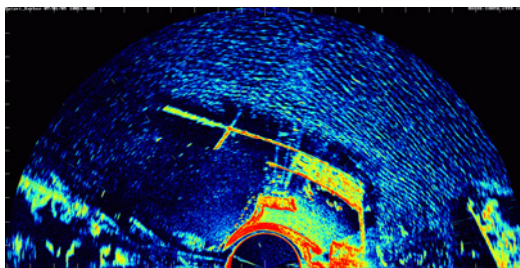
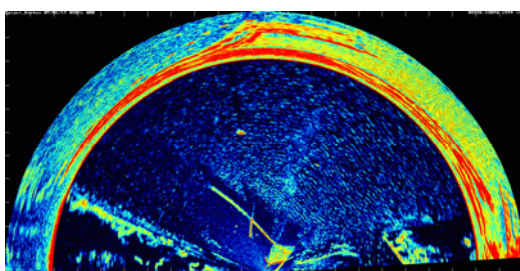


圖4-2 下雨時之台北港雷達波影像資料



4-3雷達波回波疑似被干擾之影像



4-4雷達波回波疑似被干擾之影像

雷達波波高資料之分析

- 擷取之雷達波影像分析位置。

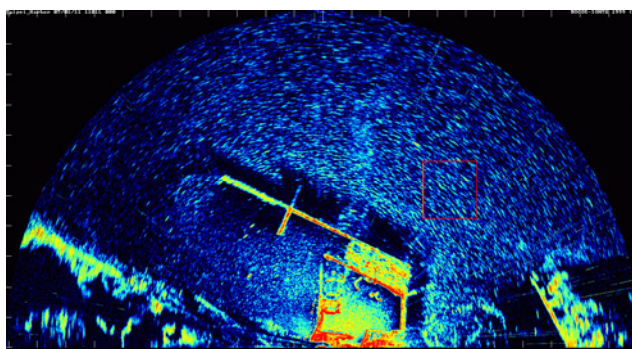


圖4-5雷達波資料分析擷取位置

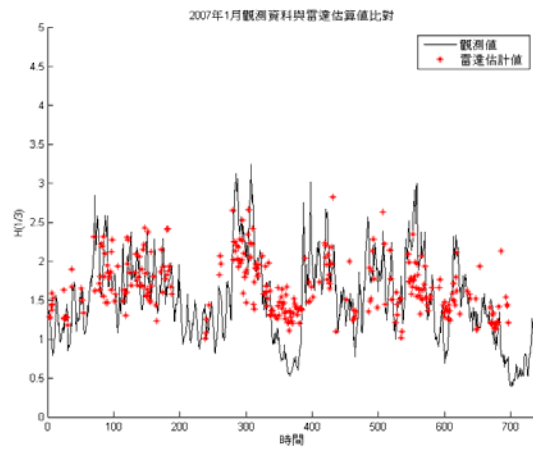


圖4-6 2007年1月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對圖

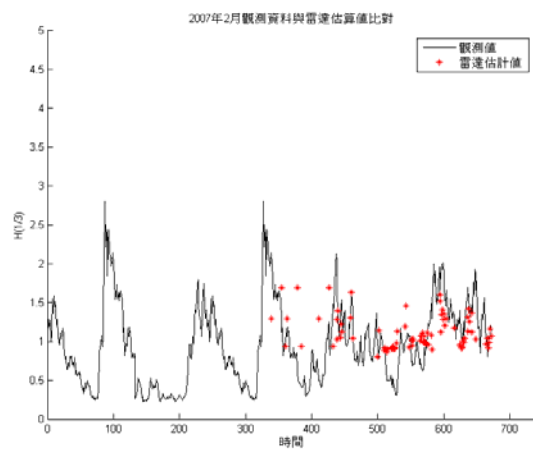


圖4-7 2007年2月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

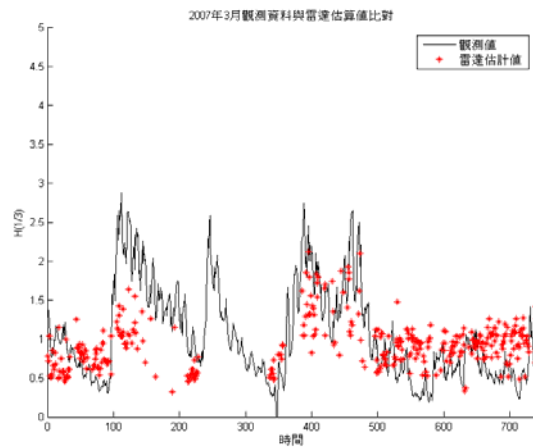


圖4-8 2007年3月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

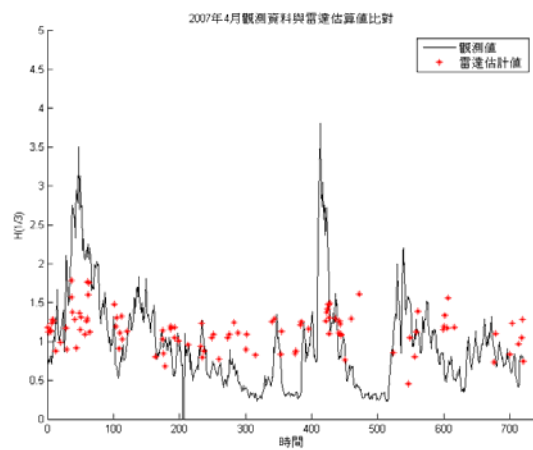


圖4-9 2007年4月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

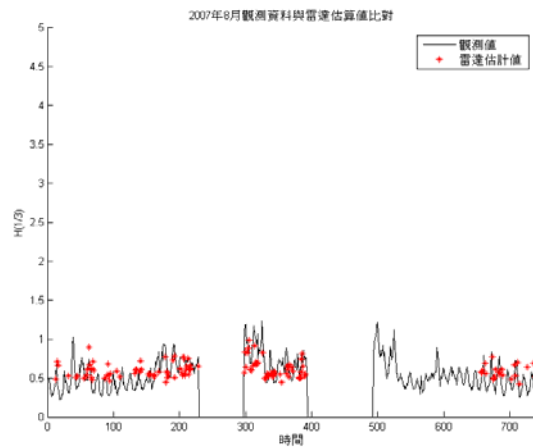


圖4-10 2007年8月觀測樁實測資料與雷達波資料逐時比對

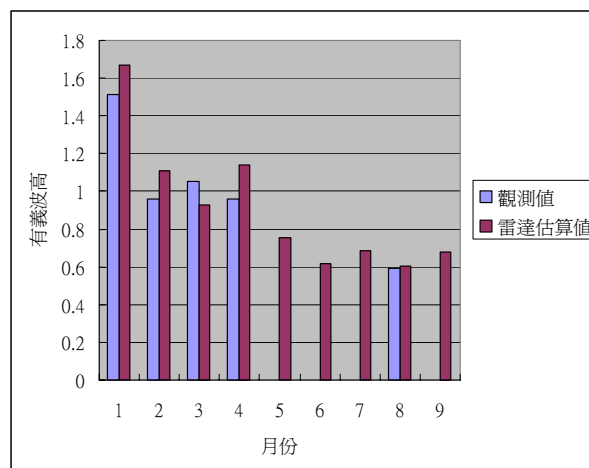


圖 4-11 各月雷觀影像轉換得示性波高平均值與觀測樁示性波高平均值群組直條圖

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月
觀測樁	1.51	0.96	1.06	0.96				0.59	
雷達波	1.67	1.11	0.93	1.14	0.75	0.62	0.69	0.60	0.68
誤差(%)	10.6	15.6	12.2	18.7				1.7	

表4-1 觀測樁與雷達波各月平均示性波高比較與誤差百分比



(a)雷達波



(b)觀測樁

圖4-12 雷達波資料與觀測樁一月份波向分佈圖



(a)雷達波



(b)觀測樁

圖4-13 雷達波資料與觀測樁二月份波向分佈圖

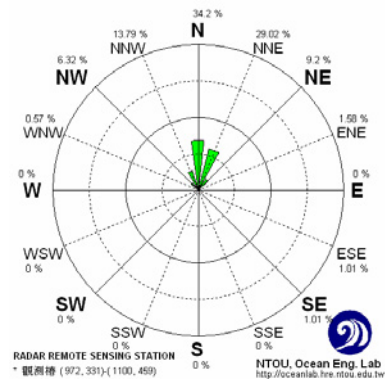


(a)雷達波



(b)觀測樁

圖4-14 雷達波資料與觀測樁三月份波向分佈圖



(a)雷達波



(b)觀測樁

圖4-15 雷達波資料與觀測樁四月份波向分佈圖



圖4-16 雷達波五月份波向分佈圖



圖4-17 雷達波六月份波向分佈圖



圖4-18 雷達波七月份波向分佈圖



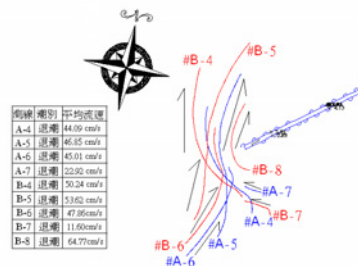
圖4-19 雷達波八月份波向分佈圖



圖4-20 雷達波九月份波向分佈圖

表層流之分析

- 本研究以雷達波分析表層流時，與港研中心於台北港所測流速、流向進行比對工作，期能改進分析之精度，但經查證結果，本年度所測之流場位置皆相當接近防波堤位置或靠近淡水河口，其量測位置如圖4-21(a)、(b)、(c)所示，此區域由於結構物遮蔽雷達回波的結果，雷達影像大都不清晰，並不容易分析，未來再尋找適合區域進行針對工作。



測線	測別	平均流速
A-1	退潮	21.98 cm/s
A-2	退潮	37.37 cm/s
A-3	退潮	87.05 cm/s
B-1	退潮	22.27 cm/s
B-2	退潮	23.45 cm/s
B-3	退潮	85.33 cm/s

定點流觀測站

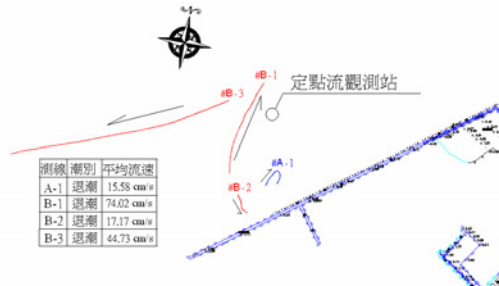


圖4-21 台北港北防波堤流場量測位置

- 本研究針對雷達波分析範圍進行表面流之分析，其流速大致介於10-40cm/sec間

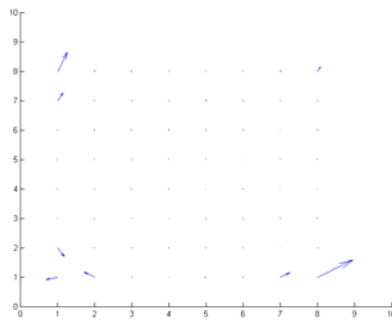


圖4-22 雷達波分析範圍流速、流向分佈圖

計畫執行成果

- 本計畫本年度之研究內容主要包括有現場監測、測波資料分析、維護網頁展示系統、比對雷達測波資料、及台北港雷達測波站之維護保養等五項作業。

(一)現場監測作業部份

- 雷達維持每日24小時連續作業狀態，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，圖5-1所示為遠端監控電腦螢幕顯示目前波浪與資料分析結果

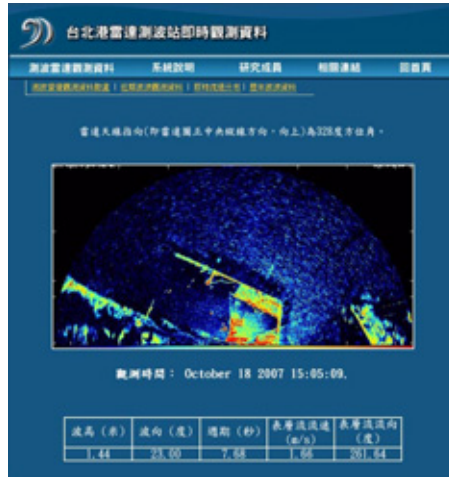


圖5-1 雷達資料顯示系統

(二)測波資料分析部份：

- 目前的分析系統已經將舊有的程式分析時間過長的缺點加以改正，現有的分析程式可以對每小時的資料進行即時分析。並於每天晚上11時55分，將全日的分析結果記錄於該日的雷達資料夾中儲存，已達成自動化執行的目的。若碰到長時間停電或系統當機的情形時需派專人至現場處理。

(三)維護網頁展示系統部份：

現有的台北港雷達測波站之網頁已重新製作完成，即時觀測資料已放置於台北港雷達測站的觀測電腦中，圖5-2～圖5-8所示大致為網頁中主要內容部份，目前部份仍在更新中。



圖5-2台北港雷達測波站網站首頁

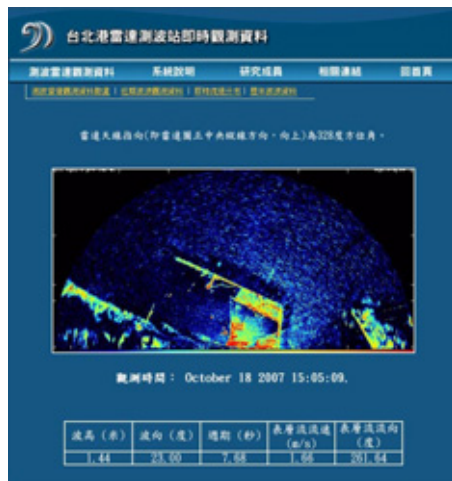


圖5-3雷達即時觀測影像



圖5-4雷達測波系統說明

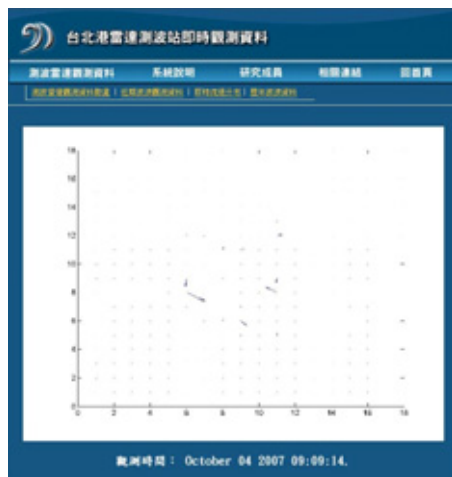


圖5-5台北港流場流速分佈



圖5-6 台北港波浪歷年資料庫 圖5-7 台北港雷達測波原理簡介



圖5-8 測波雷達

(四)比對雷達測波資料部份：

- 本年度綜合過去三年所得雷達波影像資料與觀測樁測得之波浪資料進行迴歸分析而求得率定係數，並利用此迴歸係數轉換過去三年之雷達波影像，同時與觀測樁資料相比對，最後並分析本年度之各項波浪資料。

(五)台北港雷達測波站

- 台北港雷達測站架設於台北港聯合辦公大樓最頂樓上方，如圖5-9所示，其平面配置圖如圖5-10所示，由於與觀測樁指向天線相當靠近，兩者之訊號可能產生干擾情況。架設完成後的完工照片及分析儀器及雷達主機如圖5-11及5-12所示。



圖5-9 台北港聯合辦公大樓

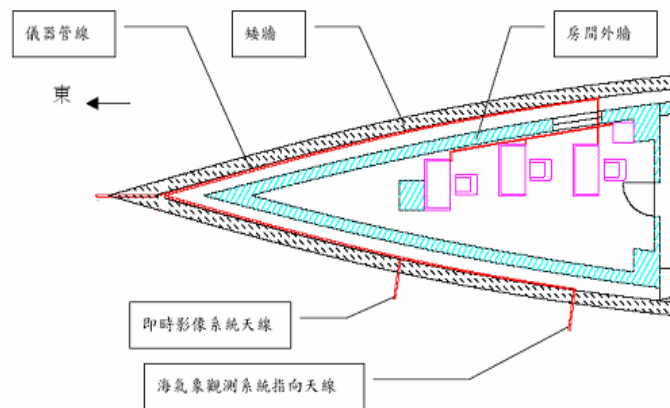


圖5-10 雷達架設的平面配置圖



圖5-11雷達測波儀



圖5-12雷達測波控制系統

報告完畢
敬請指教

附錄三交通部運輸研究所合作研究計畫期中報告審查意見處理情形表

■期中 □期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：96 年臺北港雷達遙感波浪監測研究

執行單位：國立台灣海洋大學

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
高瑞棋委員		
一、利用雷達遙測波浪，使波浪觀測由點測進階至面向之觀測，相關技術開發誠屬不易，對研究團隊之努力，給予肯定。	一、感謝肯定。	符合
二、簡報資料中，對資料補遺，係採何種方式？資料是否足夠？資料間格夠否？	二、採線性內插補遺方式，之理論而言資料越多越好，但在實務應用上限於經費是不可能的。以目前之儀器設備及理論基礎，在大波高方面可達 10% 以內之誤差應呈可接受的。	符合
三、同一波高灰階分佈較寬長？似乎大都出現在 $H_{1/3}=0.5$ 左右，大於 0.5m，則現象較佳，是否因雷達電磁波散射反映在小波浪效果較寬之成果？	三、雷達波原理主要以海面上波動產生布拉格共振所得迴波訊號，波高小時其波弱，誤差較大是可理解的，國外研究亦為同一成果。	符合
四、觀測樁之觀測資料供雷達波分析比對用之基準，然其資料品質是否經校驗？另一單點資料欲供雷達測面之比對，較為薄弱，建議增加二臨時測點，較易使面	四、此牽涉港研中心計畫經費，將與中心研討後，再由中心決定。	符合

的資料校驗出成果。 五、雷達波浪觀測資料須經後置處理，並非直接訊號資料展現，建議網站展示則採”現況資訊”為宜，以便與 Real-time 即時之區別。 六、未來若欲真正即時傳輸，建議在硬體 Data-log 及傳輸系統稍微改良。	五、遵照辦理。 六、雷達波資料傳輸系統並非以 Data-log 方式傳輸，而是直接儲存於電腦之硬碟中，一般雷達由於機動性高，因此天線與電腦皆相當接近，直接以速接方式傳輸即相當方便。	符合 符合
黃材成委員 一、宜增加雷達監測站照片及儀器設備照片，以增加閱讀性。 二、不良影像去除原則是有 Logical 依據嗎？ 三、迴歸直線的 Correlation Coefficient 是多少？宜加以說明。	一、遵照辦理，於期末報告中增加。 二、不良影像去除原則主要是根據影響因素，再加上各時刻雷達波影像資料長期分析統計而確定。 三、於期末報告中增加說明。	符合 符合 符合

何良勝委員 一、建議除了加強波高驗證外，並應進行週期資料之比對驗證。 二、有關波高資料比對驗證方面，由於雷達測波受風速等氣候影響，因此，可否去除較小波向之數據，進行迴歸比對。	一、遵照辦理。 二、在資料比對過程中，受季節風浪較小結果亦相對較差，主要是回波訊號較弱，亦易受其他因素影響，但其時期相當長，若去除可能影響資料統計數目，針對此問題本計劃可試試看。	符合 符合
吳基委員 一、本年度研究重點除雷達測波外，是否尚包括測表面流之部分，期中報告中較少著墨，希望在期末作較詳盡討論。 二、沿岸海流現象或隨水深、海岸走向結構物等之影響，未來做與觀測樁實測資料比對之區域應儘量靠近（未來觀測樁會加放AWAC，可觀測較近表層流狀況）。	一、遵照辦理。 二、遵照辦理。	符合 符合

附錄四 交通部運輸研究所合作研究計畫期中報告審查意見處理情形表

☐期中 ☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：96 年臺北港雷達遙感波浪監測研究

執行單位：國立台灣海洋大學

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
李忠潘委員 一、肯定成果。 二、雷達測波與觀測樁波比對轉換的關係，可否應用於其他海域？ 三、颱風天時，雷達波的限制為何？有效測波的效率為何？	一、感謝肯定。 二、基本上由於環境地形水深因素，相同色階所代表的波高並不一定一致，因此若移至其他位置可能仍必須先行率定。 三、颱風天時，常伴隨相當大的雨勢，致使雷達回波受大相當大的干擾，因此大都無法清楚的分析。至目前為止僅有效的接收一清楚的台風波浪資料影像檔，而且是颱風離台時的結果。	符合 符合 符合

林炤圭委員 一、本年為三年計畫之第二年，建議第三年工作項目能包含分析程序之自動化。 二、建議加入一雷達測波站之位置示意圖。 三、$H_{1/3} - H_{1/3\text{gray}}$ 若干月份之關係圖中回歸曲線請再檢討。 四、波高與能量關係建議用實測波高與推算波譜。 五、文字修正： 1、p. 6 例資料第二行「…雷達測波暫…」→「…雷達測波站…」。 2、報告中「回歸」→「迴歸」請修正。 3、圖 3-37~圖 3-52 時間橫軸請標單位，其他亦同。	一、其為本計畫最終目標之一，本計畫先利用平均色階分析即是為來自動化分析的處理步驟之一，但本年度干擾問題，致使較多的影像檔需要人為判斷。 二、雷達測波站位置位於台北港聯合辦公大樓頂樓上，於報告中計畫執行成果中有說明與圖示。 三、遵照辦理。 四、實測波高為港研中心其他計畫所量測分析，其與波譜間之關係係數並為有明確之係數關係直被分析研究出來，因此本報告仍沿用較為通用之係數分析。 1. 已於報告中修正。 2. 已於報告中修正。 3. 已於文章中說明圖 3-57~圖 3-525 中垂直軸與橫軸之意義與單位。	符合 符合 符合 符合 符合
何良勝委員 一、內文建議修正部分： 1、依港研中心格式，修正中英文摘要。 2、加強說明摘要及結論部分。 3、圖 3-4~圖 3-6 請查對修正。	1. 已於報告中修正。 2. 已於報告中修正。 3. 已查明。	符合 符合 符合

4、部分圖示請調整位置（如 Fig3-9 與 Fig3-10）。 5、修正部分圖示橫、縱座標符合，如 Fig3-9。 6、增列表 4-1 之年份時間。 二、第 3-5 節請配合圖示加強內文說明。 三、請補充說明 Fig3-34、Fig3-35 所謂相當一致的說法。 四、建議未來利用雷達測波資料，進一步辦理二維波浪分析。	4. 圖 3-9 與圖 3-10 為先後關係與處理結果，先有圖 3-9 再有圖 3-10。 5. 已於報告中修正。 6. 已於報告中修正。 二、已於 3-5 節加強說明。 三、已於報告中加強說明。 四、遵照辦理。	符合 符合 符合 符合 符合 符合
吳基委員： 一、有關雷達影像受干擾問題，觀測樁觀測得的資料係每小時傳輸，傳輸時間為固定，風資料為整點+10 分鐘，波浪資料為整點+20 分鐘，非兩小時傳送一次，故其原因應再查明。 二、除了干擾問題外，新雷達位置所測得影像用于分析是否理想。 三、有關雷達測表面流部分，以往計畫執行較少涉及，未來研究空間上多所討論，所謂表面流定義可否加以說明。	一、此部分將繼續追查其原因。 二、發生較多干擾問題，造成較多雷達波影像檔模糊，資料亦有缺失，分析時亦較有偏差。 三、理論上可利用不同時刻所得的波譜求得表面流，本計畫在本年度以部分呈現結果，維尚須實測資料加以驗證。由於僅是以水面水位變化所求得的流速、流向，因此定義為表面流。	符合 符合 符合