

96-59-7273
MOTC-IOT-95-H2EB002

95 年臺北港雷達遙感波浪監測 研究



交通部運輸研究所
國立臺灣海洋大學
合作辦理

中華民國 96 年 4 月

96-59-7273

MOTC-IOT-95-H2EB002

95 年臺北港雷達遙感波浪監測 研究

著者：徐如娟、周宗仁、尹彰、翁文凱
陳泰宏、連啟睿、何良勝

交通部運輸研究所
國立臺灣海洋大學
合作辦理

中華民國 96 年 4 月

96

95年臺北港雷達遙感波浪監測研究

交通部運輸研究所

GPN :
定價 元

95 年臺北港雷達遙感波浪監測研究

著 者：徐如娟、周宗仁、尹彰、翁文凱、陳泰宏、連啟睿

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587176

出版年月：中華民國 96 年 4 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 30 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價： 元

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：95 年度臺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	運輸研究所出版品編號 96-59-7273	計畫編號 95-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：04-26587122 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立台灣海洋大學 計畫主持人：周宗仁、尹彰、翁文凱 研究人員：陳泰宏、連啟睿 地址：基隆市北寧路二號 聯絡電話：02-24622192	研究期間 自 95 年 01 月 至 95 年 12 月	
關鍵詞：雷達遙測、分散關係殼			
摘要： <p>在進行雷達遙測時，影響其雷達回波精度的因素，包括了風、表層流及靜電雜訊分佈等影響。其中靜電雜訊的影響部分可透過濾波等方式加以改進，而風速大小僅能在於遙測可信度上進行判斷。目前風速對於遙測精度的研究方式，是以逐時比對的方式進行。但以往分析時之風速資料採用陸地測站所得風速資料，其風速值有偏小的現象，因此本計畫在分析時採用 2005 年的資料重新分析比對。靜電雜訊對雷達影像的影響，本研究採用模擬波面的方式進行。在波面上加入大大小小不同的高斯雜訊，再以濾波器濾波及分散關係殼將影像雜訊濾除。在前一年的計畫中是以低通濾波的方式進行，將雷達影像中不連續的部分以模糊處理的方式使其連續。而本研究中以高通濾波、中值濾波及低通濾波三種濾波器過濾影像雜訊，再與原始影像進行比對其訊噪比(SNR)值。比對的結果顯示以低通濾波的方式所獲得的 SNR 值較為合理。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
96 年 4 月	114		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【限】條件： 年 月 日解密， 公布後解密， 附件抽存後解密， 工作完成或會議終了時解密， 另行檢討後辦理解密） 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Remote Sensing of Coastal Waves by Marine Radar at Taipei Harbor in 2006			
ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER 96-59-7273	PROJECT NUMBER 95-H2EB002
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ho Liang-sheng PROJECT STAFF: Hsu Ju-chuan PHONE: (04) 26587115 FAX: (04) 26564418			PROJECT PERIOD FROM January 2006 TO December 2006
RESEARCH AGENCY: National Taiwan Ocean University PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chou Chung-ren, J.Z. Yim, W. K. Weng PROJECT STAFF: T.H. Chen, C.J. Lian ADDRESS: 2, PEI-NING RD., KEELUNG 202, Taiwan, REPUBLIC OF CHINA PHONE: (02) 24622192 # 6126			
KEY WORDS: REMOTE SENSING, RADAR, X-BAND			
ABSTRACT: <p>The influence factor of radar remote sensing survey, include the wind, surface flow or white noise, etc. The white noise can be corrected by filter and wind velocity only to use for judging the precision.</p> <p>This paper is divided into two parts. The first half, it is about the wind velocity affecting the precision to the remote sensing, we using the same method with interim report, just using the materials of the year of 2005.</p> <p>As the second part, it describes the effects of white noise to the precision of the remote sensing. Analyses have been carried out on the possible effect of the noises on the simulation surface wave's picture. It is using the low, median and high digital filter to get the pictures. Finally, compare the results with each other. The result shows low pass filter is the best.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2007	NUMBER OF PAGES 114	PRICE	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.....	
英文摘要.....	
目錄.....	
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	IX
第一章 研究主旨.....	1
1.1 計畫背景分析.....	1
1.2 研究範圍與對象.....	2
1.3 工作內容.....	3
第二章 理論基礎.....	5
2.1 波數 – 頻率譜.....	9
2.2 影響雷達影像的因素.....	13
2.3 雷達影像的處理步驟.....	14
第三章 風速對雷達遙測示性波高的影響.....	23
3.1 資料比對.....	23
3.2 風速資料對實際雷達影像的影響.....	33
第四章 使用分散關係殼的初步探討.....	35
第五章 影像受靜電雜訊影響的探討.....	47
5.1 模擬影像加入高斯雜訊後 SNR 值的變化及濾波處理.....	49
5.2 濾波後影像經波數頻譜計算後的結果.....	56
5.3 影像受靜電雜訊破壞對量測上所產生的影響.....	56

第六章 計畫執行結果	61
第七章 結論與建議	67
參考文獻	69
附錄 A 期末報告簡報	
附錄 B 期中報告審查意見處理情形表	
附錄 C 期末報告審查意見處理情形表	

圖 目 錄

圖 2.1	模擬規則波平面圖(黃, 2002).....	14
圖 2.2	二維波數譜圖(黃, 2002).....	14
圖 2.3	波數 – 方向譜圖(黃, 2002).....	15
圖 2.4	由『波數-頻率譜』轉換的方向頻譜。.....	18
圖 2.5	目標方向頻譜。實驗條件同上圖。.....	18
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)。.....	19
圖 2.7	Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域的 量測結果.....	21
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.....	23
圖 3.1	2005 年 2 月潮波儀現地觀測示性波高值與雷達遙測所 得的灰階像素示性波高值除 100 後, 取 $\pm 15\%$ 區間的比對 圖.....	24
圖 3.2	2005 年 8 月潮波儀現地觀測示性波高值與雷達遙測所 得的灰階像素示性波高值除 100 後, 取 $\pm 15\%$ 區間的比對 圖.....	25
圖 3.3	2 月潮波儀示性波高值與雷達轉換所得的灰階示性波高 值相減後所得的結果(以藍色十字表示之).....	26
圖 3.4	8 月潮波儀示性波高值與雷達轉換所得的灰階示性波高 值相減後所得的結果(以藍色十字表示之).....	27
圖 3.5	2005 年 2 月風速(m/s)及雷達求得的示性波高 $\pm 15\%$ 與潮 流儀示性波高資料差值比較圖.....	28
圖 3.6	2005 年 8 月風速(m/s)及雷達求得的示性波高 $\pm 15\%$ 與潮 流儀示性波高資料差值比較圖.....	29

圖 3.7	各月 1 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖.....	30
圖 3.8	各月 1.5 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖.....	30
圖 3.9	各月 2 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖.....	31
圖 3.10	各月 3 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖.....	31
圖 3.11	各月 4 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖.....	32
圖 3.12	2004 年 4 月 27 日早上 6 時風速 4 m/s 的雷達影像圖	33
圖 3.13	2004 年 4 月 13 日早上 7 時風速 0.2 m/s 的雷達影像圖	33
圖 4.1	多方向不規則波面的模擬.....	35
圖 4.2	由波數頻率譜轉換所得的頻譜.....	36
圖 4.3	由波數頻譜計算後，頻率為 0.2 Hz 時的波數圖.....	37
圖 4.4	由波數頻譜計算後，頻率為 0.1875 Hz 時的波數圖.....	37
圖 4.5	由波數頻譜計算後，頻率為 0.175 Hz 時的波數圖.....	38
圖 4.6	由波數頻譜計算後，頻率為 0.1625 Hz 時的波數圖.....	38
圖 4.7	由波數頻譜計算後，頻率為 0.15 Hz 時的波數圖.....	39
圖 4.8	由波數頻譜計算後，頻率為 0.1375 Hz 時的波數圖.....	39
圖 4.9	由波數頻譜計算後，頻率為 0.125 Hz 時的波數圖.....	40
圖 4.10	由波數頻譜計算後，頻率為 0.1125 Hz 時的波數圖.....	40
圖 4.11	由波數頻譜計算後，頻率為 0.1 Hz 時的波數圖.....	41
圖 4.12	由波數頻譜計算後，頻率為 0.0875 Hz 時的波數圖.....	41
圖 4.13	由波數頻譜計算後，頻率為 0.075 Hz 時的波數圖.....	42

圖 4.14	由波數頻譜計算後，頻率為 0.0625 Hz 時的波數圖.....	42
圖 4.15	由波數頻譜計算後，頻率為 0.05 Hz 時的波數圖.....	43
圖 4.16	由波數頻譜計算後，頻率為 0.0375 Hz 時的波數圖.....	43
圖 4.17	由波數頻譜計算後，頻率為 0.025 Hz 時的波數圖.....	44
圖 4.18	由波數頻譜計算後，頻率為 0.0125 Hz 時的波數圖.....	44
圖 4.19	由波數頻譜計算後，頻率為 0 Hz 時的波數圖.....	45
圖 4.20	增加 $\pm\Delta k$ 能量截取範圍後所得的結果.....	45
圖 5.1	高斯雜訊分佈(Umbaugh, 1998).....	46
圖 5.2	模擬的不規則波面(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$).....	47
圖 5.3	經高斯雜訊破壞後的模擬影像.....	48
圖 5.4	經低通濾波器處理後所得的影像.....	49
圖 5.5	經中值濾波處理後所得的影像.....	50
圖 5.6	經高通濾波圖處理後所得的影像.....	51
圖 5.7	受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$ ，加入變方(σ^2)為 0.005 的高斯雜訊).....	54
圖 5.8	受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$ ，加入變方(σ^2)為 0.05 的高斯雜訊).....	54
圖 5.9	受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$ ，加入變方(σ^2)為 0.5	55

	的高斯雜訊).....	
圖 5.10	受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s , 示性波高 1 m , 主波向 0 度 , Smax=20 , 加入變方(σ^2)為 0.9 的高斯雜訊).....	55
圖 5.11	經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.005).....	56
圖 5.12	經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.05).....	56
圖 5.13	經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.5).....	57
圖 5.14	經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.9).....	57
圖 6.1	雷達資料截取系統.....	61
圖 6.2	台北港雷達測波站網頁.....	62
圖 6.3	雷達即時觀測影像.....	63
圖 6.4	台北港雷達測波站最近一日內的波浪觀測圖檔.....	63
圖 6.5	台北港港務行政大樓.....	64
圖 6.6	雷達架設的平面配置圖.....	65
圖 6.7	雷達架設完工照片.....	65
圖 6.8	雷達控制系統架設完工照片.....	66

表 目 錄

表 3.1	各月份 $\pm 15\%$ 以內的資料數佔資料數百分比(%)及 3m/s 以上風數資料佔各月總資料數百分比統計表.....	32
表 5.3	雜訊對示性波高的影響.....	59

第一章 研究主旨

1.1 計畫背景分析

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」。本中心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計畫時，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。同時與臺大海研所合作開發雷達遙測波浪之技術，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。該計畫已執行完畢，並獲至良好之結果。

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等

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。本次監測期程為期三年。而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。本計畫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。國內則有國立臺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。國立臺灣海洋大學、河海工程學系以獨力開發有關技術，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

本計畫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。92年起於臺北港的沙崙地區以租用方式另外設置一雷達測波站。隨著臺北港聯合辦公大樓於今年初啟用，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，所設置位置於聯合辦公大樓之頂樓。

本計畫擬針對新設於臺北港聯合大樓頂樓之兩座雷達測波儀繼續測波。而在資料處理與展示方面，除對原有資料展示系統，即網頁即時顯示雷達測波圖像繼續維護改進外，另外，在資料之分析進行檢討改進工作方面。本年度擬延去年度所用『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，同時探討影響雷達波資料準確性之因素，並提出方法消除之以提高其精準度。

1.3 工作內容

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、及臺北港一號雷達測波站之遷移等五項作業，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 DAT 磁帶及 CD 光碟片方式寄交港研中心。另外，本年度擬沿用『波數譜』及『波數-頻率譜』（『方向頻譜』）求波場的波高及主方向，同時研擬提高資料準確度之方法，並與現有建置於系統中的分析模式作一比較，最後並建置波浪分析與驗證模式。

(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。本計畫將繼續維護、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)臺北港一號雷達測波站之遷移

將原本受遮蔽影響的雷達重新放置於臺北港港務行政大樓的至高點以恢復運作。

第二章 理論基礎

一般來說，可以把海面上的變化當成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流向，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)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了。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。

接下來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)。

一般來說，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了。接下來，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) - 的話，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)。

本研究團隊去年度曾分別針對上述的兩種方法找出(雷達或 CCD 攝影機)影像(灰階)變化所代表的波場特徵參數，但由於時間上之限制，『波數 - 頻率譜』法得到較豐富的結果，而『主成份分析』法則僅進行至理論的分析與檢討，為集中研究能量，本年度將僅針對『波數 - 頻率譜』法進行更深入的檢討。接下來將先簡單地敘述一下『波數 - 頻率譜』法的理論。

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：

$$\begin{aligned}\eta(\bar{x}, t) &= \sum_{j=1}^{\infty} a_j \left[\cos(\bar{\mathbf{k}}_j \cdot \bar{\mathbf{x}} - \omega_j t + \varepsilon_j) \right] \\ &= \sum_{j=1}^{\infty} a_j \left\{ \cos[k_j x \cos(\theta_j) + k_j y \sin(\theta_j)] - \omega_j t + \varepsilon_j \right\}\end{aligned}\tag{2.1}$$

其中 a_j 是第 j 個成份波的振幅； $\bar{x}=(x,y)$ 是平面座標的位置，
 $\bar{k}_j=(k_{jx},k_{jy})=[k_j \cos(\theta_j),k_j \sin(\theta_j)]$ 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：

$$R(\bar{r},\tau)=\overline{\eta(\bar{x},t_0)\eta(\bar{x}+\bar{r},t_0+\tau)} \quad (2.2)$$

其中 $\bar{r}=(\Delta x,\Delta y)$ 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：

$$S(\bar{k},\omega)=\frac{1}{(2\pi)^3}\iiint R(\bar{r},\tau)\exp[-(\bar{k}\cdot\bar{r}-\omega t)]d\bar{r}dt \quad (2.3.1)$$

或

$$S(k_x,k_y,\omega)=\frac{1}{(2\pi)^3}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}R(\Delta x,\Delta y,\tau)\exp[-(k_x\Delta x+k_y\Delta y-\omega t)]dk_xdk_ydt \quad (2.3.2)$$

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

$$S(\omega,\theta)=2\int_0^{\infty}S(\bar{k},\omega)kdk \quad (2.4)$$

對一張影像來說，因為沒有時間上的差異所以(2.2)式變成：

$$R(\bar{r})=\overline{\eta(\bar{x})\eta(\bar{x}+\bar{r})} \quad (2.5)$$

而對(2.5)式做傅利葉轉換，則可以得到：

$$S(k_x,k_y)=\frac{1}{(2\pi)^2}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}R(\Delta x,\Delta y)\exp[-(k_x\Delta x+k_y\Delta y-\omega t)]dk_xdk_y \quad (2.6)$$

(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

$$k_x = r_m \Delta k_m \quad (r_m = 1, 2, 3, \dots, M) \text{ 是平面座標橫軸波數} \quad (2.8)$$

$$k_y = r_n \Delta k_n \quad (r_n = 1, 2, 3, \dots, N) \text{ 是平面座標縱軸波數} \quad (2.9)$$

$$\Delta k_x = \frac{2\pi}{M \Delta x} \text{ 是橫軸的單位長度} \quad (2.10)$$

$$\Delta k_y = \frac{2\pi}{N \Delta y} \text{ 是縱軸的單位長度} \quad (2.11)$$

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 0.5 cm^{-1} 。

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(k_x, k_y) dk_x dk_y = \int_{-\pi-\infty}^{\pi-\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(k_x, k_y) k dk d\theta = \int_{-\pi-\infty}^{\pi-\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S(k, \theta) dk d\theta \quad (2.13)$$

其中

$$k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (2.14)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{k_x}{k_y} \quad (2.15)$$

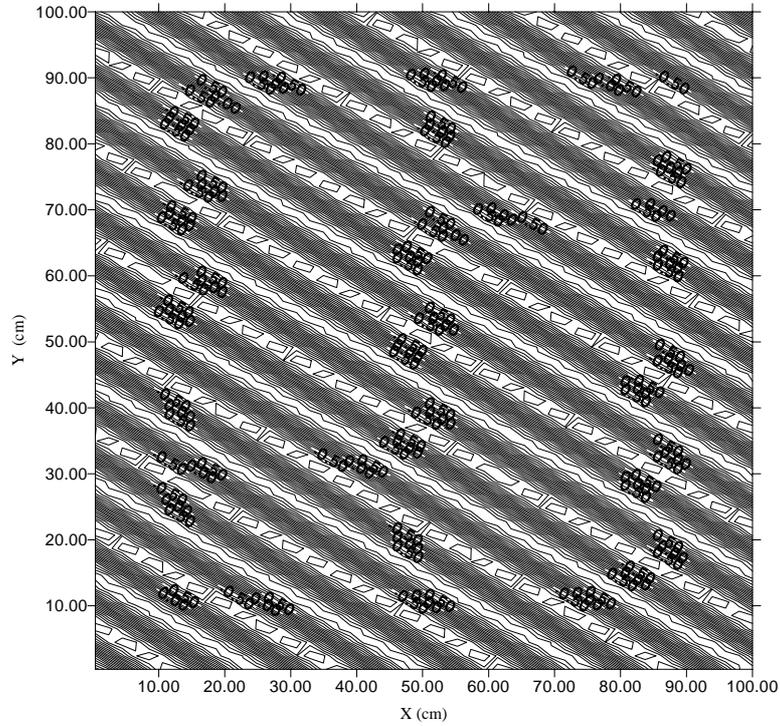


圖 2.1 模擬規則波平面圖(黃, 2002)

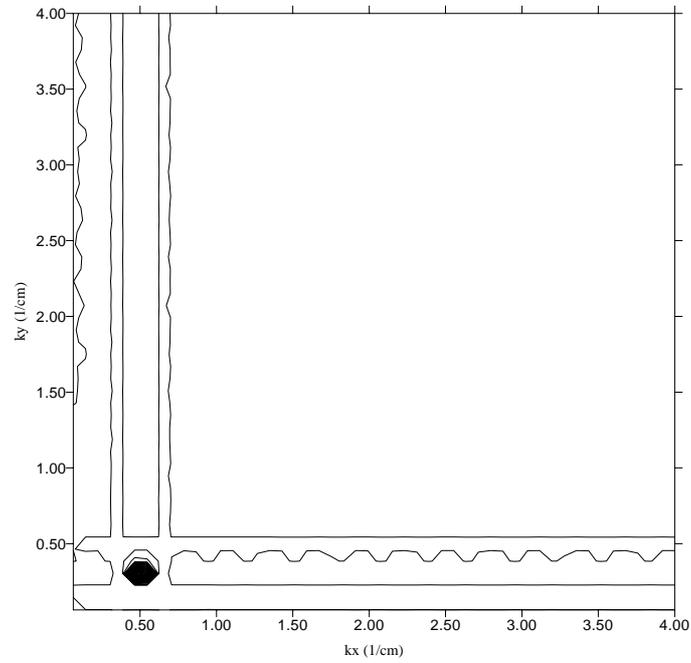


圖 2.2 二維波數譜圖(黃, 2002)

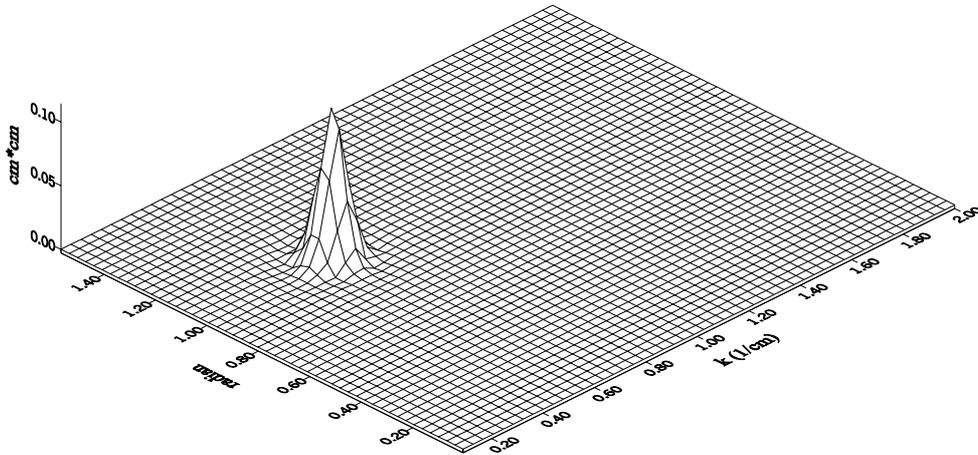


圖2.3 波數 - 方向譜圖(黃，2002)

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(請參考如：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。

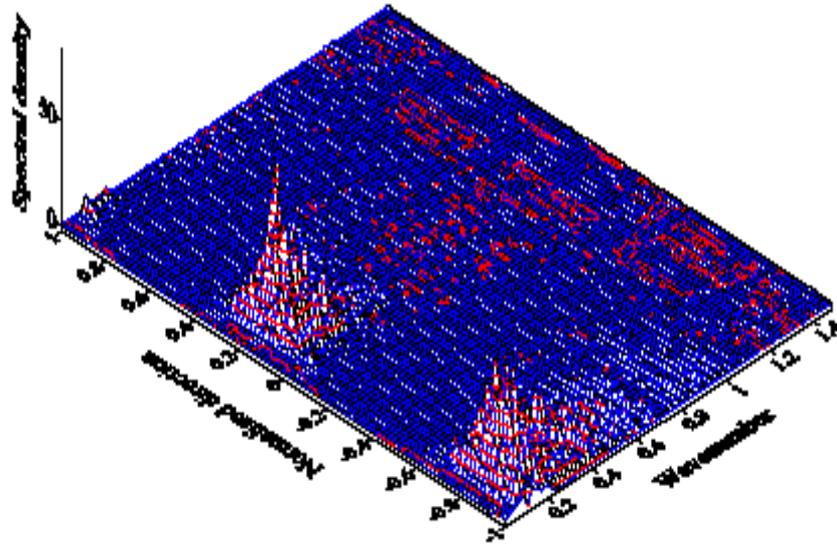


圖2.4 由『波數-頻率譜』轉換的方向頻譜。實驗條件：Bretschneider-Mitsuyasu 頻譜；主頻率 $f_0 = 0.2$ Hz，示性波高 $H_s = 1.50$ m，散佈參數(Spreading index, s_{max}) = 50，主方向 = 30度。

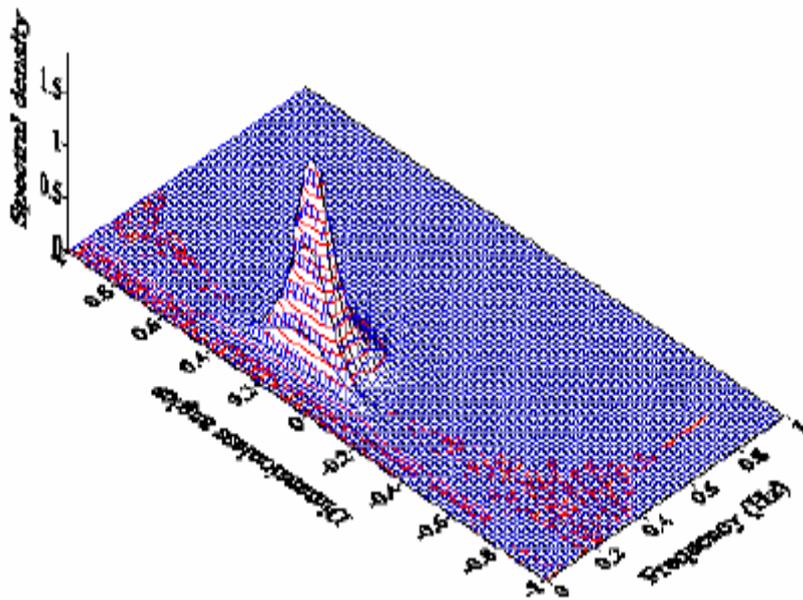


圖2.5 目標方向頻譜。實驗條件同上圖。

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。

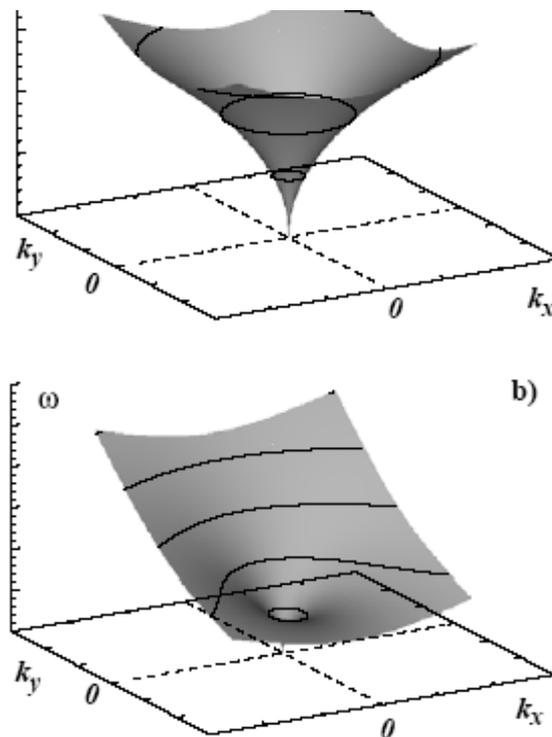


圖 2.6 沒有受到流(圖 2.6a)與受到流影響後(圖 2.6b)『分散關係殼』的示意圖 (Senet et al., 1997)。

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 $(\bar{\mathbf{k}}, \omega)$ 裡代表純波浪能量的總個數。Izquierdo 等人(2004, 2005)建議，用在 $I(\bar{\mathbf{k}}, \omega)$ 中能量高於最大值 $I_{\max}(\bar{\mathbf{k}}_p, \omega_p)$ 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』過濾後的騰下來的能量，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， $\eta(\bar{\mathbf{r}}, t)$ ，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，建立回歸關係式

$$H_s = A + B\sqrt{SNR} \quad (2.19)$$

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。

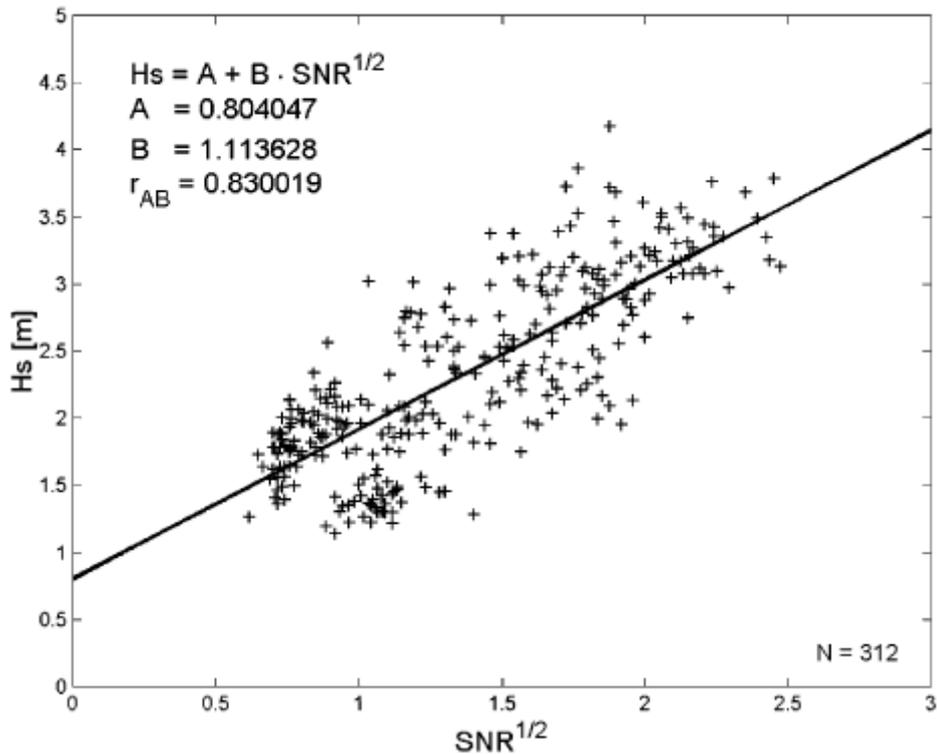


圖 2.7 Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域的量測結果

上面的式子是從與合成孔徑雷達(synthetic aperture radar, SAR)有關的理論借用來的。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。

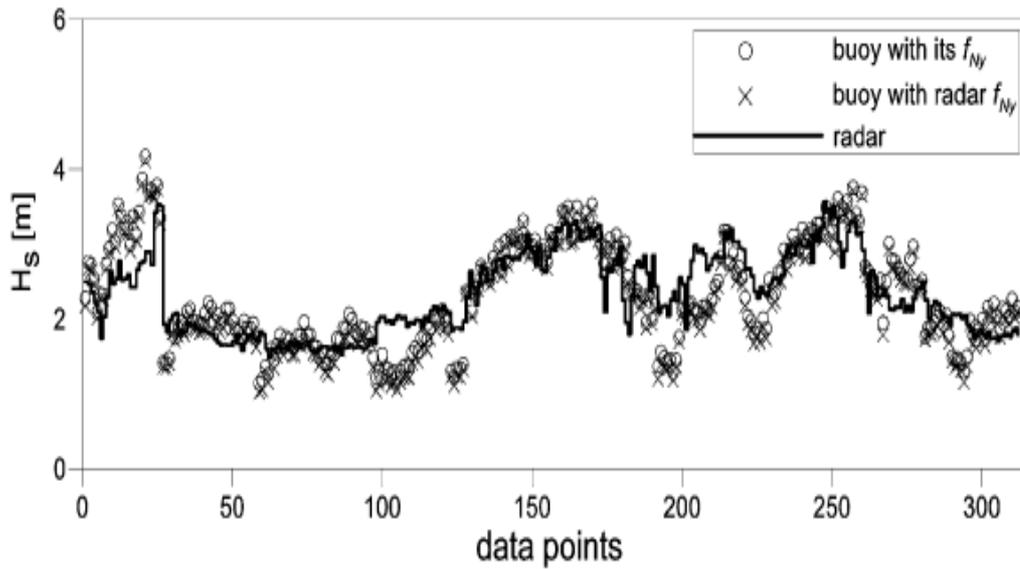


圖 2.8 Izquierdo 等人(2004)在西班牙北部 Cabo de Peñas 海域從雷達影像估算的示性波高與實測的比對

- 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。

$$\bar{T} = \frac{\int_0^{f_N} S(f) df}{\int_0^{f_N} f S(f) df} = \frac{m_0}{m_1} \quad (2.23)$$

- 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，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。故在下一章節中，將針對風速大小對示性波高間是否有所影響來加以討論，看兩者間是否有直接的相互關係，進而改進雷達遙測精度。

第三章 風速對雷達遙測示性波高的影響

3.1 資料比對

依 Reichert et al. (1997) 文中所示風速的大小與雷達遙測的精確度，有一定程度的影響。由於期中報告中所使用的比對資料是以 2004 年陸地上的風速觀測站為主所以風速值偏小，依評審委員的要求此次以 2005 年的風速資料與示性波高進行比對，其結果如下所述。

處理的方式是假定雷達遙測所得的灰階示性波高值除 100 後取 $\pm 15\%$ 為合理的區間，如圖 3.1 及 3.2 所示。為了更清楚表達雷達遙測與潮波儀資料間的相關性。潮波儀資料點座落於此區間中則表示為 0，於此區間以外者潮波儀示性波高值扣除雷達遙測所得的示性波值。大於以正，小於以負表示之(圖 3.3 及 3.4 所示)。

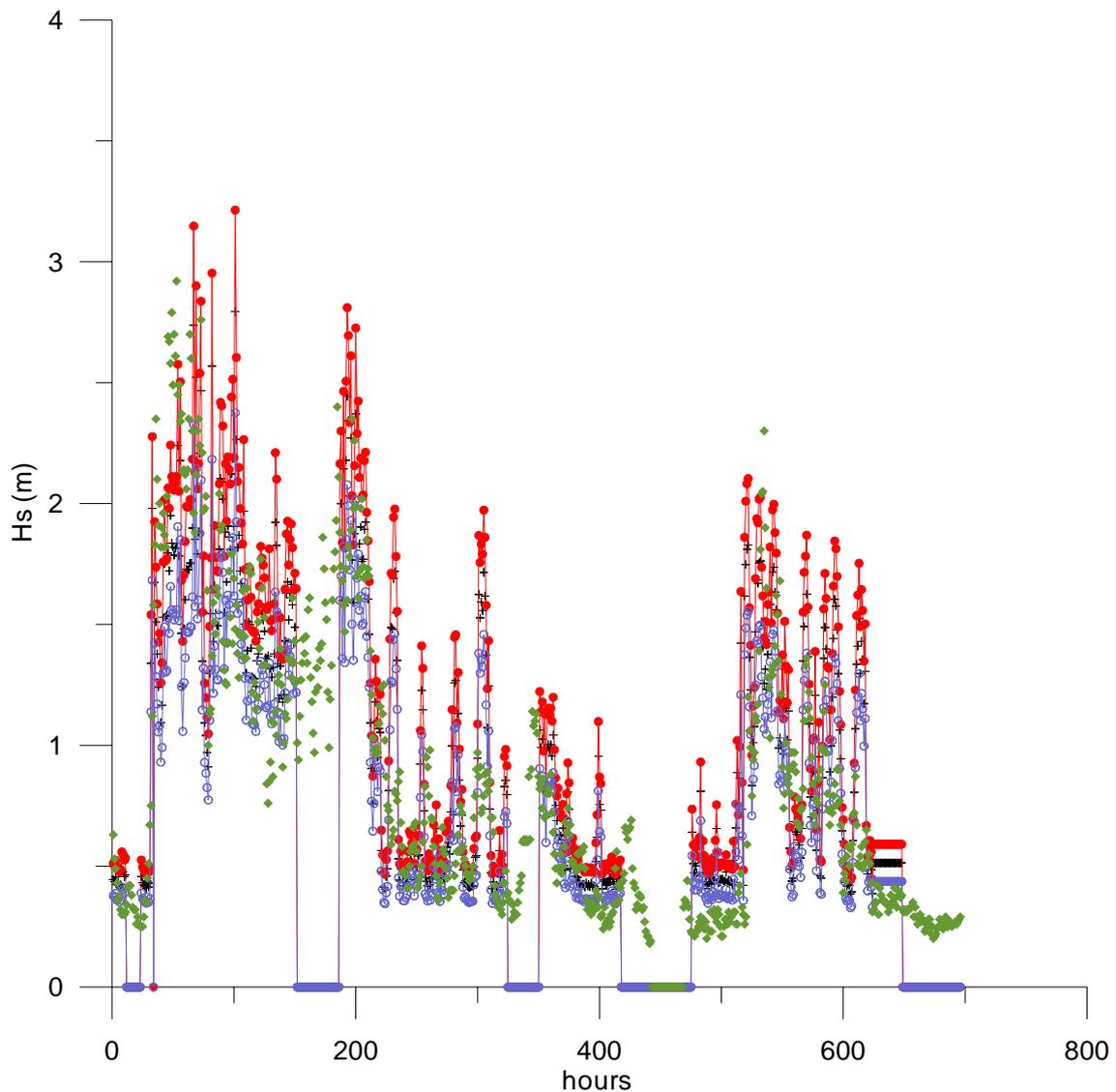


圖 3.1 2005 年 2 月潮波儀現地觀測示性波高值與雷達遙測所得的灰階
像素示性波高值除 100 後，取 $\pm 15\%$ 區間的比對圖

(註：黑色 + -雷達影像所求得的示性波高值；紅色 -雷達影像所求得的示性波高值增加 15%的可信度界限；藍色 -雷達影像所求得的示性波高值降低 15%的可信度界限；綠色 -潮波儀所測得的資料)

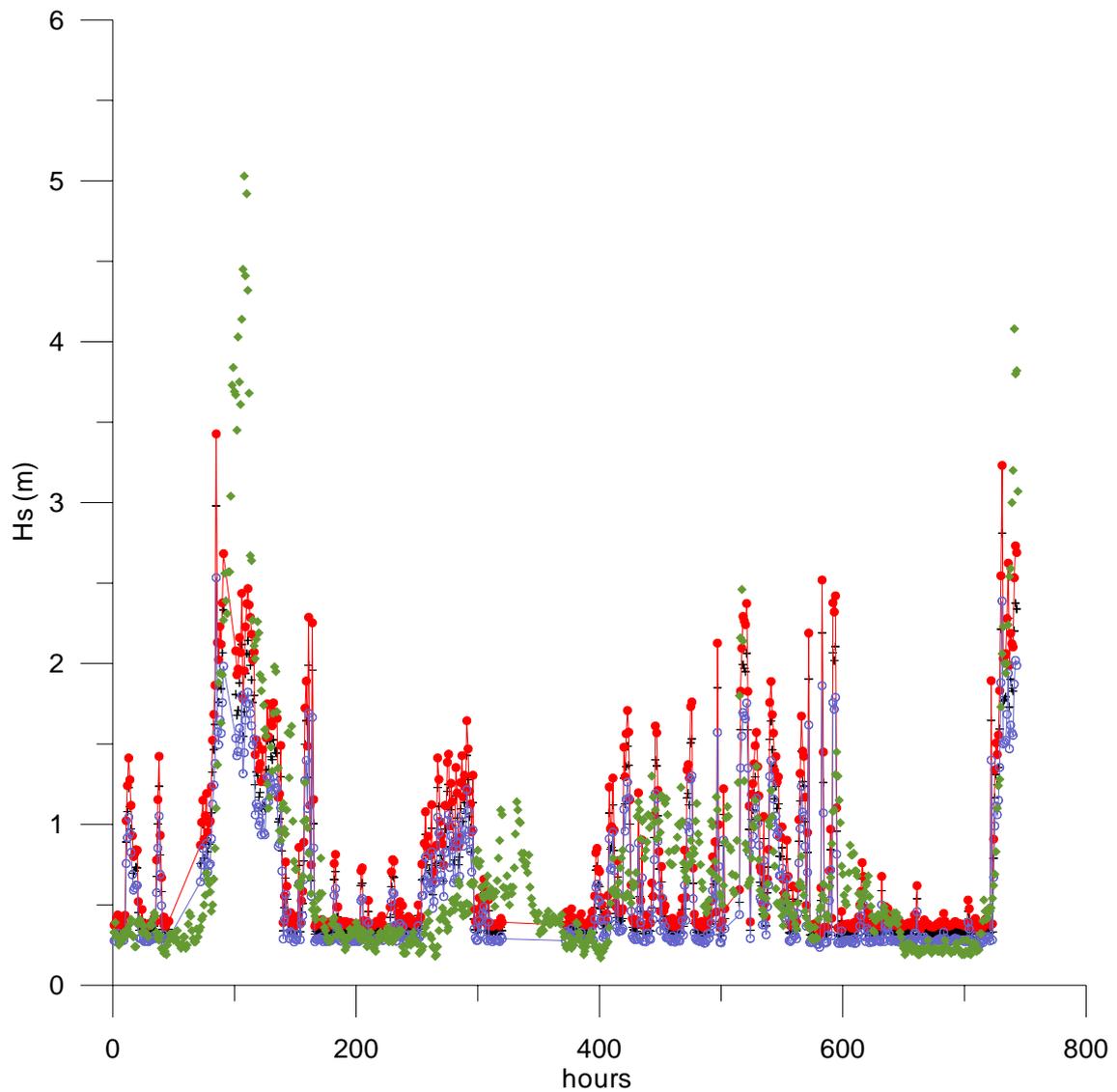


圖 3.2 2005 年 8 月潮波儀現地觀測示性波高值與雷達遙測所得的灰階
 像素示性波高值除 100 後，取 $\pm 15\%$ 區間的比對圖

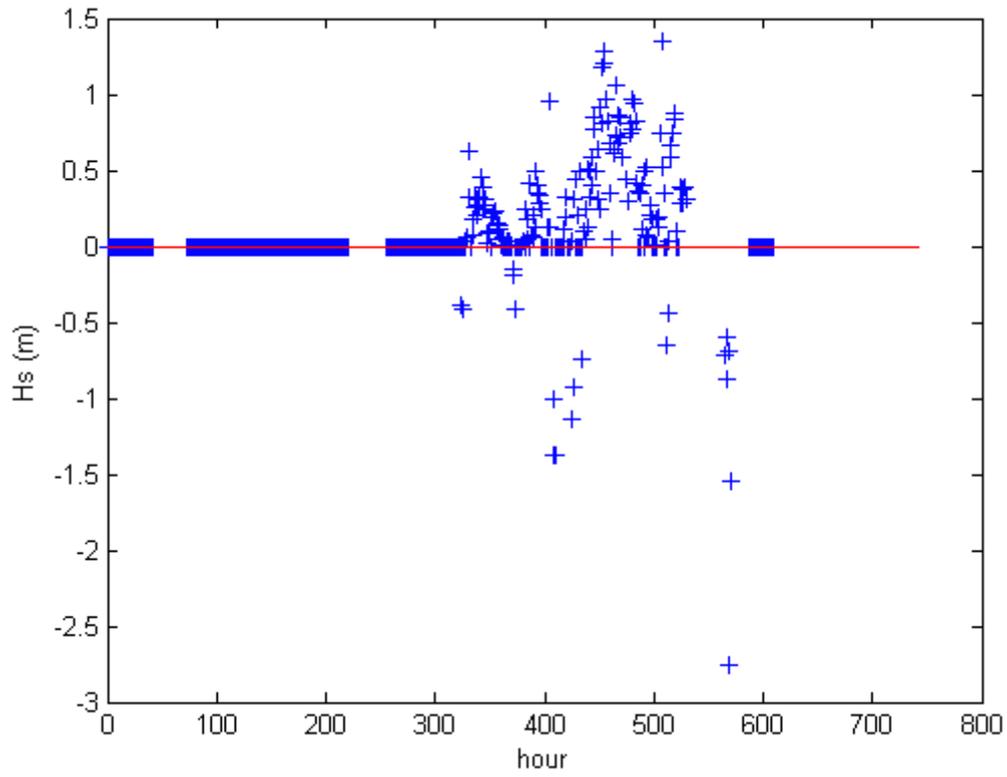


圖 3.3 2 月潮波儀示性波高值與雷達轉換所得的灰階示性波高值相減後所得的結果(以藍色十字表示之)

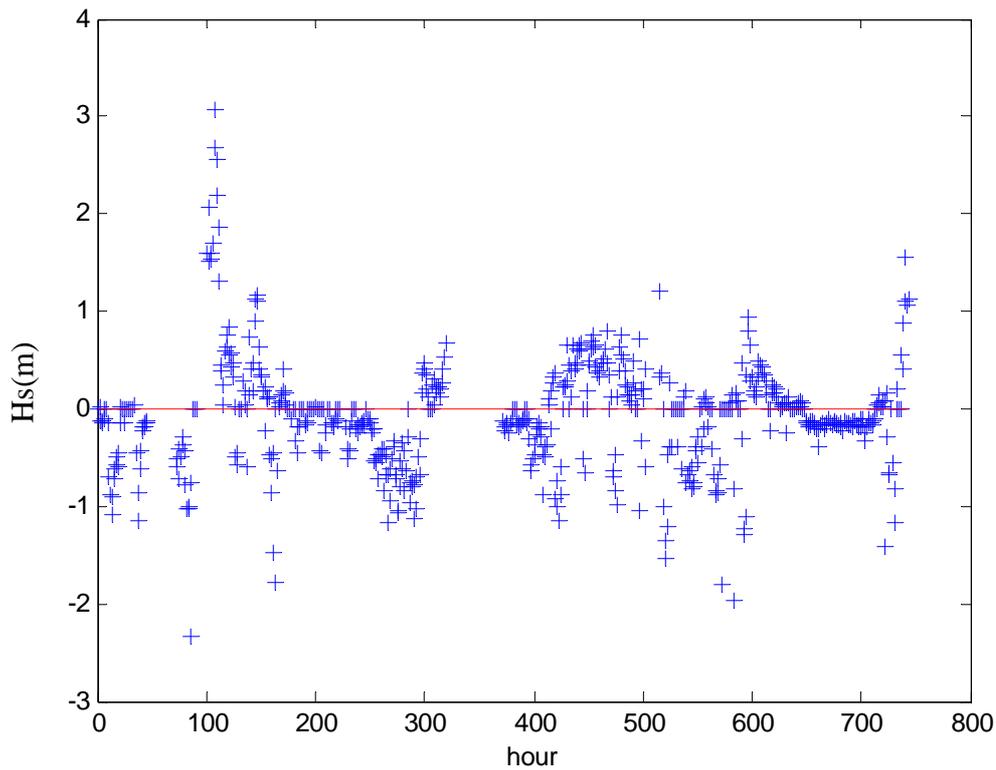


圖 3.4 8 月潮波儀示性波高值與雷達轉換所得的灰階示性波高值相減後所得的結果(以藍色十字表示之)

將以上的結果與風速資料合併比較。由圖 3.5 中 2 月份的比對資料結果，其中包含 3 m/s 以上的資料點有 587 個，座落於合理區間範圍內的點共有 333 個。圖 3.6 中，8 月份的風速資料中包含 3 m/s 以上的資料點有 542 個，座落在合理區間範圍內僅有資料點 115 個。所以風速與遙測間應該有所關係。

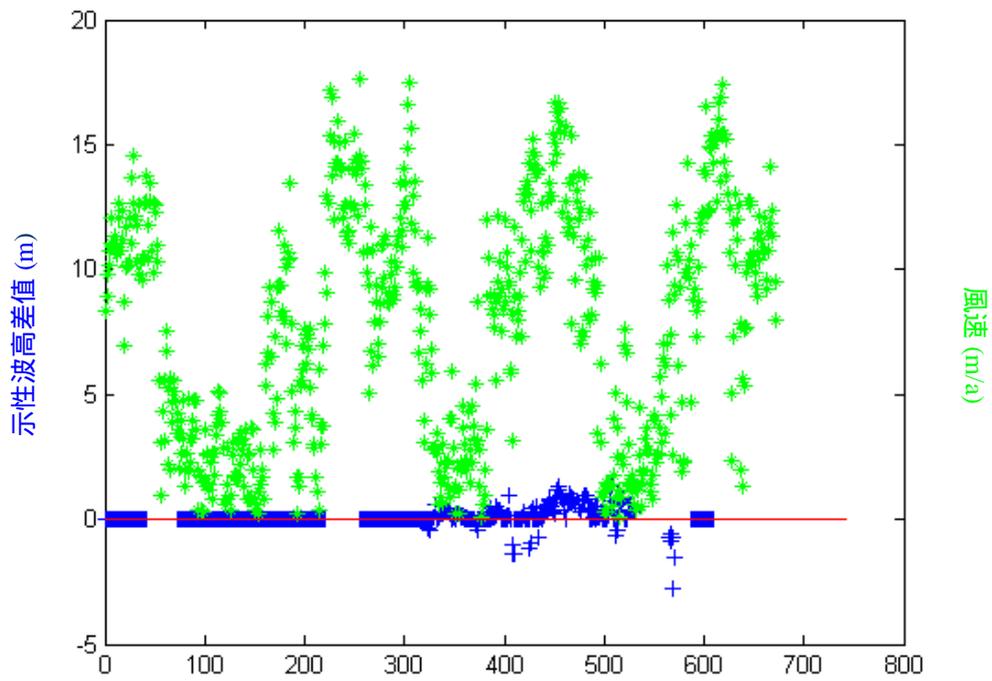


圖 3.5 2005 年 2 月風速(m/s)及雷達求得的示性波高 $\pm 15\%$ 與潮流儀示性波高資料差值比較圖

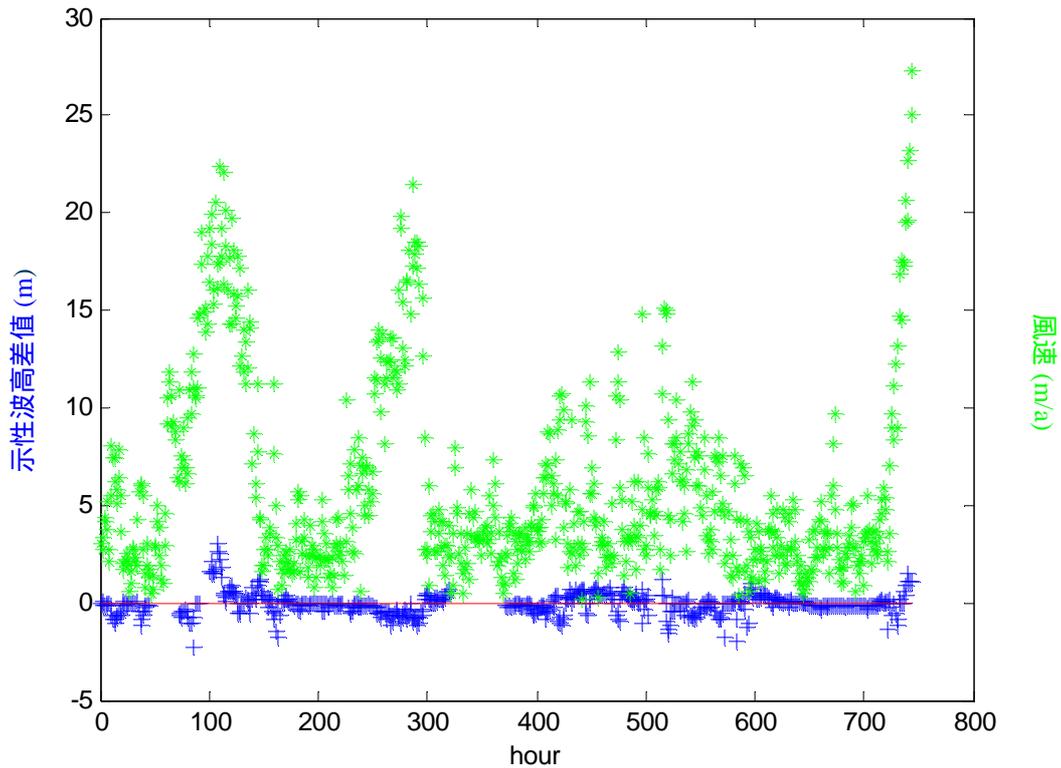


圖 3.6 2005 年 8 月風速(m/s)及雷達求得的示性波高 $\pm 15\%$ 與潮流儀示性波高資料差值比較圖

將 1 至 8 月等各月平均風速資料與位於 $\pm 15\%$ 中的資料總數依不同的風速分別繪製成曲線圖，由圖 3.7~3.11 中可知在風速愈高的條件下，雷達遙測所獲得的結果愈準確(綠色線部分代表各月 1 m/s 以上風速資料佔各月資料比值曲線，藍色線部分代表各月位於正負 15% 區間內的比值曲線)。其中由圖 3.10 所示可看出，大致是以風速 3 m/s 為量測時精度的分界點，在大於 3 m/s 以上的風速所獲得的曲線結果將更吻合實際示性波高繪製成的曲線。接著將所有資料製成表 3.1，但一月份的資料過少所以不列入表中。雖然比對的結果未呈現百分之百完相同的趨勢，但在大體上風速大於 3 m/s 以上的資料愈多遙測所得到的結果應該會愈接近於實測值。

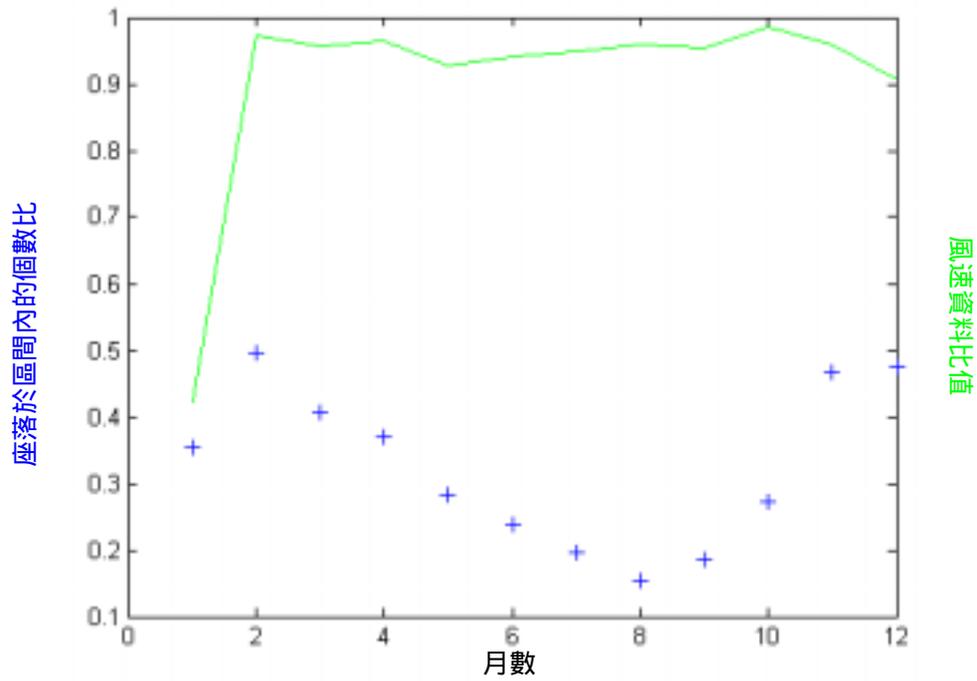


圖 3.7 各月 1 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

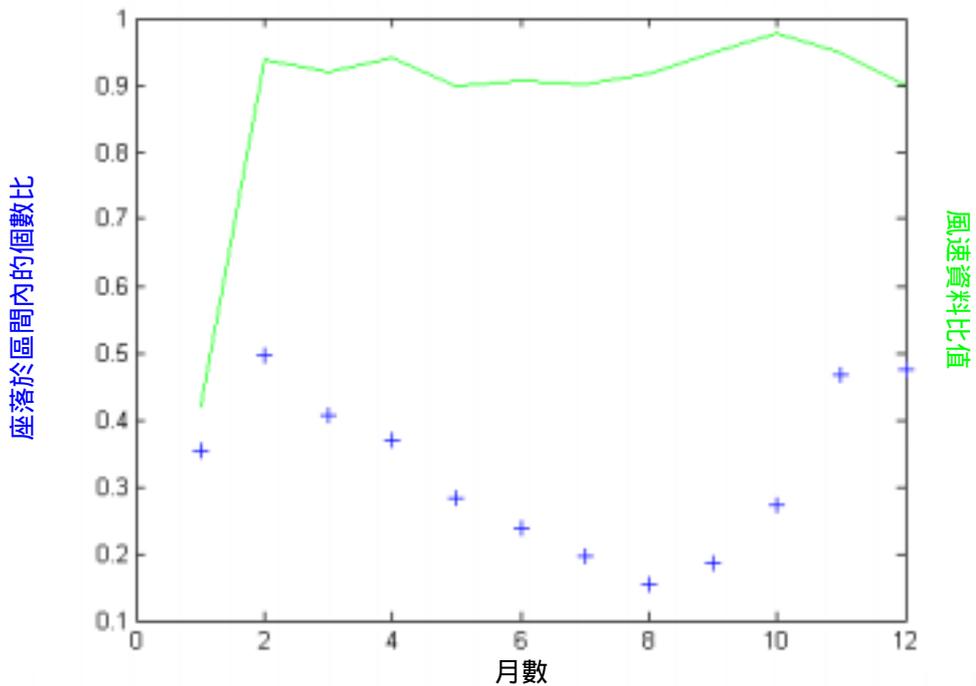


圖 3.8 各月 1.5 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

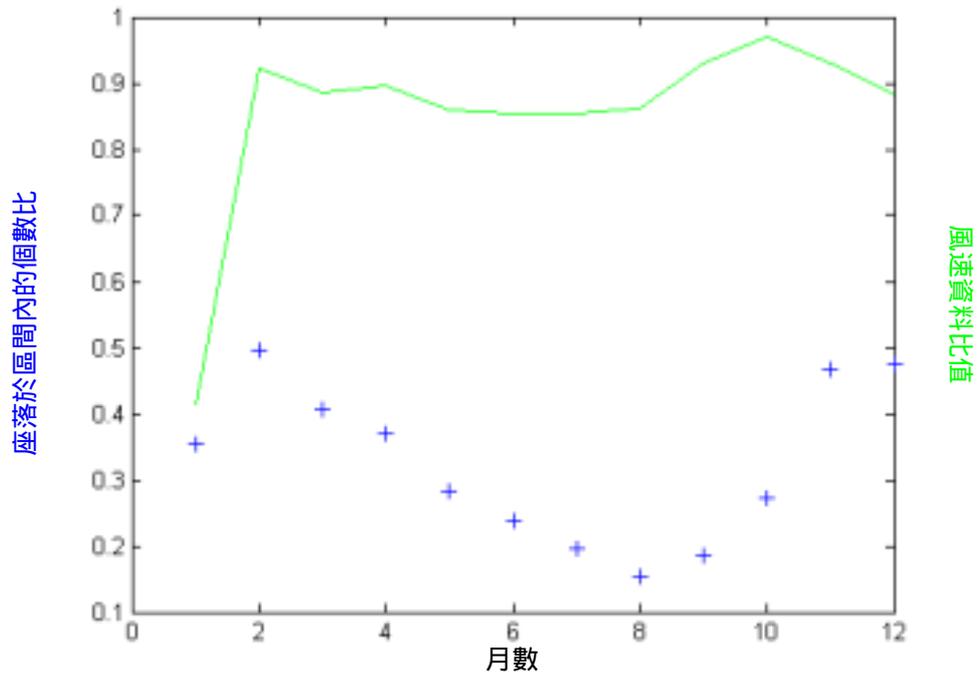


圖 3.9 各月 2 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

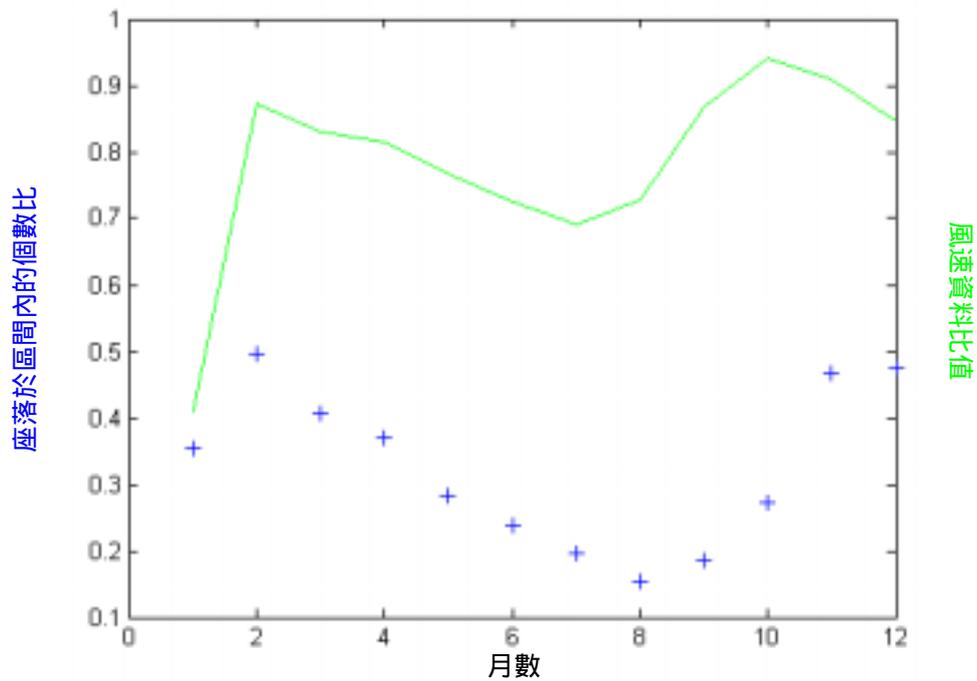


圖 3.10 各月 3 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

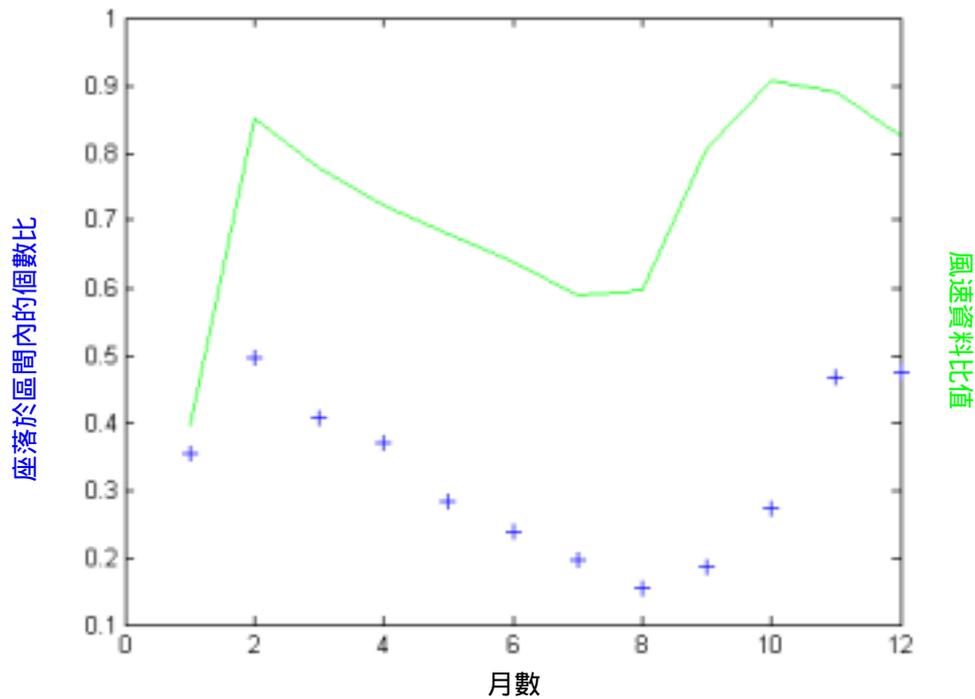


圖 3.11 各月 4 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

表 3.1 各月份 $\pm 15\%$ 以內的資料數佔資料數百分比(%)及 3m/s 以上風數資料佔各月總資料數比值統計表

月份	$\pm 15\%$ 以內的資料總數	$\pm 15\%$ 以內的資料數佔資料數比值	3m/s 以上的風速資料總數	3m/s 以上風數資料佔各月總資料數比值
2	333	0.49554	587	0.87351
3	303	0.40726	617	0.8293
4	266	0.36944	586	0.81389
5	211	0.2836	570	0.76613
6	172	0.23889	522	0.725
7	146	0.19624	514	0.69086
8	115	0.15457	542	0.72849
9	134	0.18611	624	0.86667
10	202	0.27151	700	0.94086
11	337	0.46806	655	0.90972
12	353	0.47446	630	0.84677

3.2 風速資料對實際雷達影像的影響

風速的大小與雷達影像間似乎所關連，當風速大時波浪運動軌跡較為明顯，所以雷達電磁波回波後所得到的雷達影像較為清晰，如圖 3.12 所示，其風速達到了 4 m/s，波紋較為明顯。相反地，若風速較小時，由於波浪運動軌跡較小，所產生的影像較不明顯。如圖 3.13 所示，該影像因風速僅有 0.2 m/s，影像上幾乎看不到波浪的運動，遙測所得的結果將會受到影響。

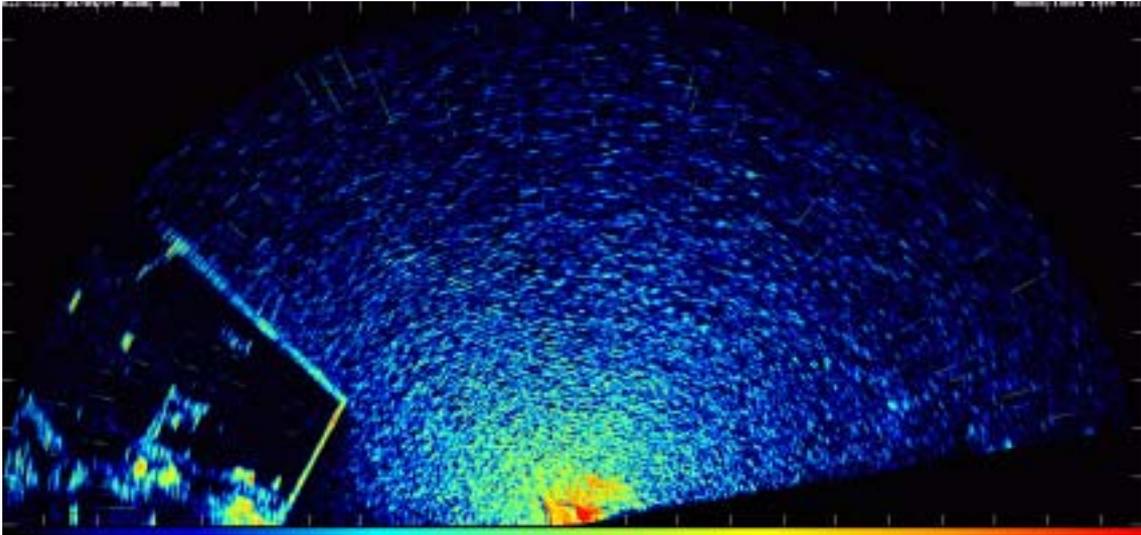


圖 3.12 2004 年 4 月 27 日早上 6 時風速 4 m/s 的雷達影像圖

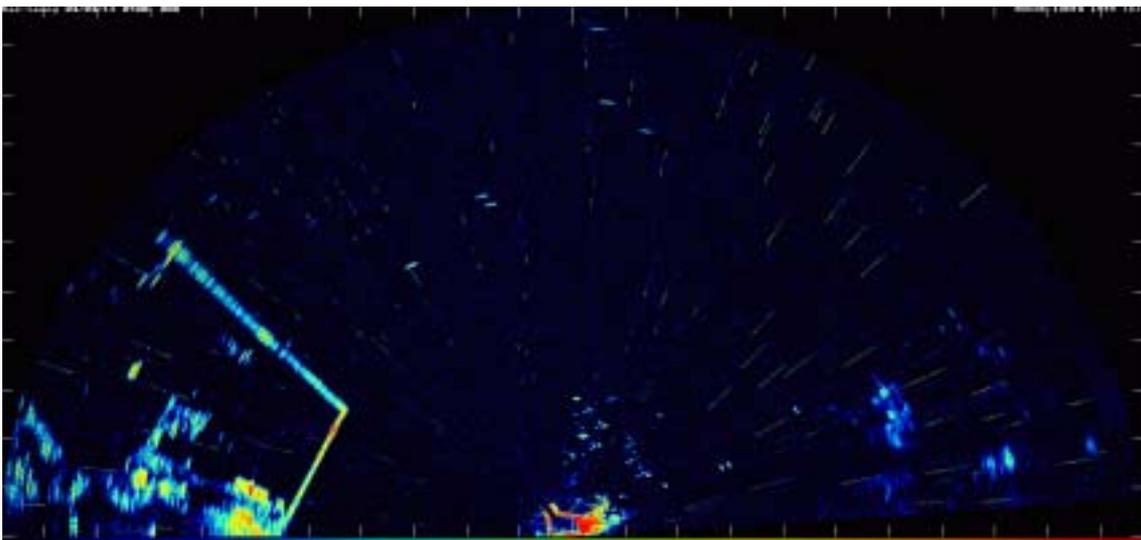


圖 3.13 2004 年 4 月 13 日早上 7 時風速 0.2 m/s 的雷達影像圖

第四章 使用分散關係殼的初步探討

本年研究的主要目的在於提高雷達遙測精度。故為了消除雜訊，須使用分散關係殼將不合於分散關係式譜能量的部份去除。但要如何將主成分的部分保留，及將雜訊部分去除將是本章討論的重點。

首先以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數所模擬的 32 張波面圖(圖 4.1)進行波數-頻率譜的分析。結果如圖 4.2 所示，紅色線為原始的目標頻譜，藍色+表示經頻譜分析後將各頻率上譜能量累加後所得的結果，綠色 表示僅累積分散關係殼上譜能量所得的結果。

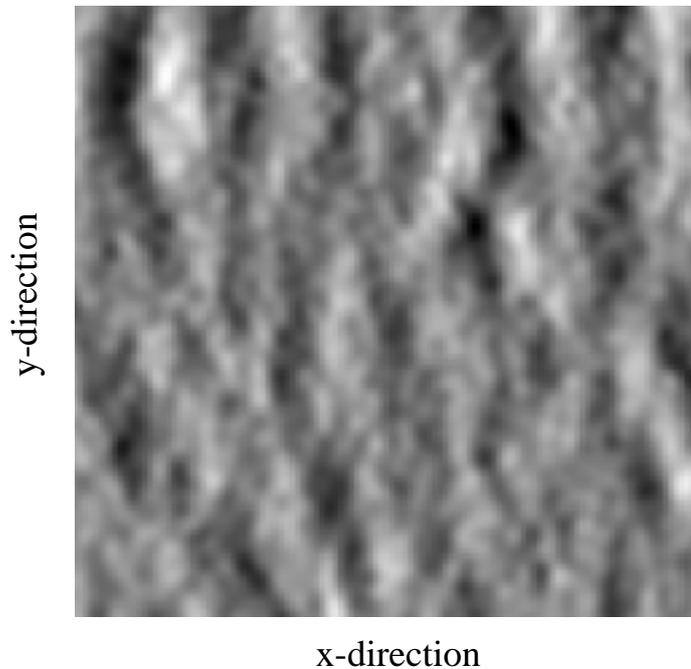


圖 4.1 多方向不規則波面的模擬(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$)

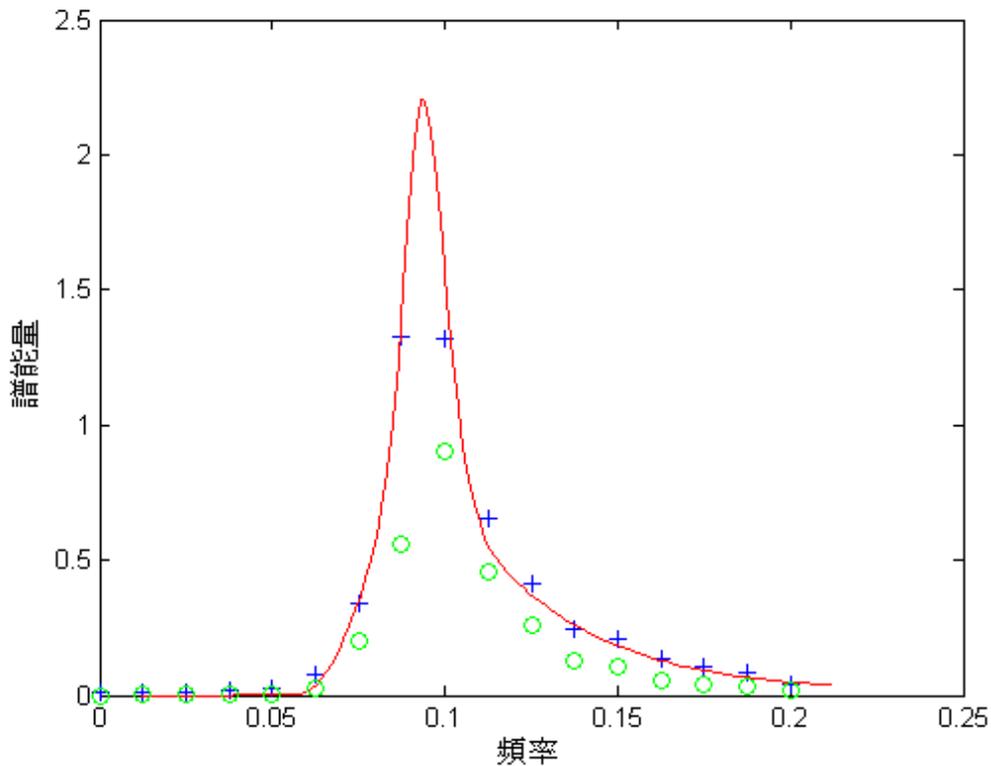


圖 4.2 由波數頻率譜轉換所得的頻譜(紅色線為原始的目標頻譜，藍色+表示經頻譜分析後將各頻率上譜能量累加後所得的結果，綠色表示僅累積分散關係殼上譜能量所得的結果。)

由以上的頻譜可發現能量似乎減少許多(總譜能量僅剩餘 50%)，為檢討其中的原因故將分散關係殼套上波數頻率譜繪製成平面圖(圖 4.3~4.18)。其中藍色線表示為分散關係殼上的譜能量位置，所以可看出頻譜譜能量的大小有些是座落於分散關係殼外但又相當靠近，依 Nieto & Guedes (2000) 文中所述分散關係殼上除原始的能量之外需增加 $\pm\Delta k$ 的部份加入其中。結果如圖 4.19 所示，與目標頻譜相較之下譜能量已提升至 80%。

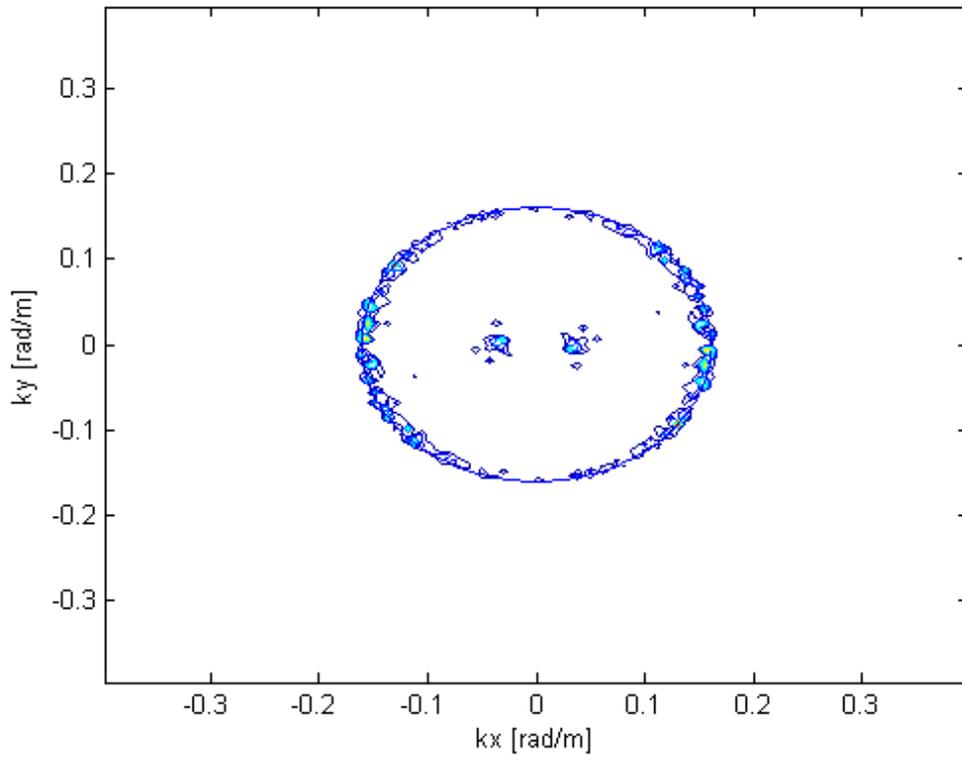


圖 4.3 由波數頻譜計算後，頻率為 0.2 Hz 時的波數圖

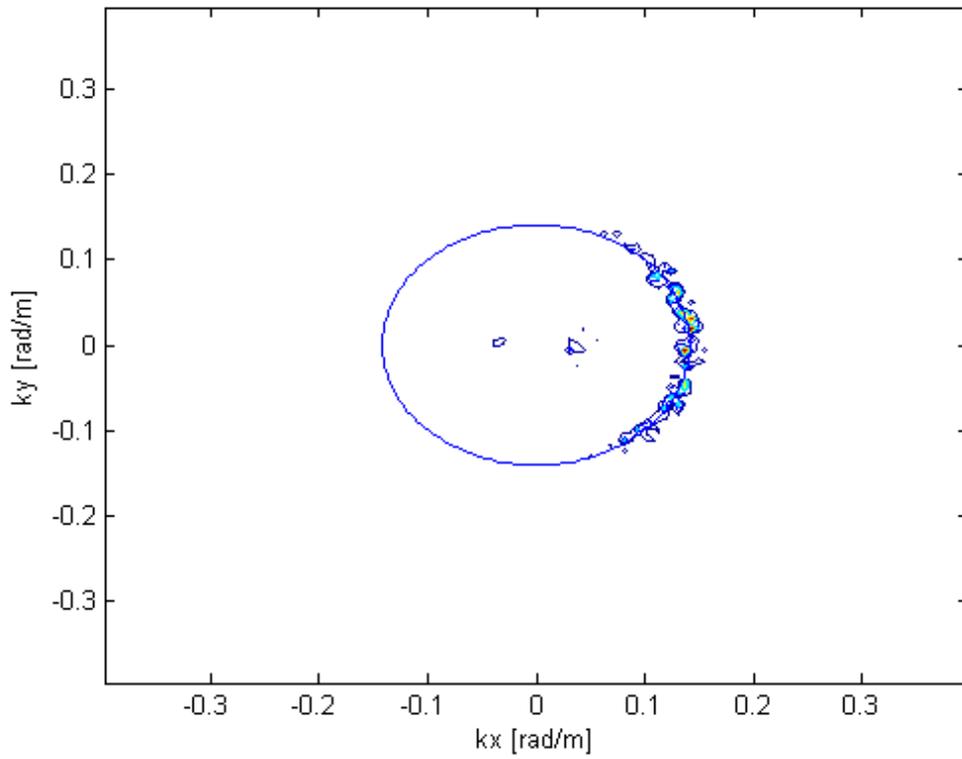


圖 4.4 由波數頻譜計算後，頻率為 0.1875 Hz 時的波數圖

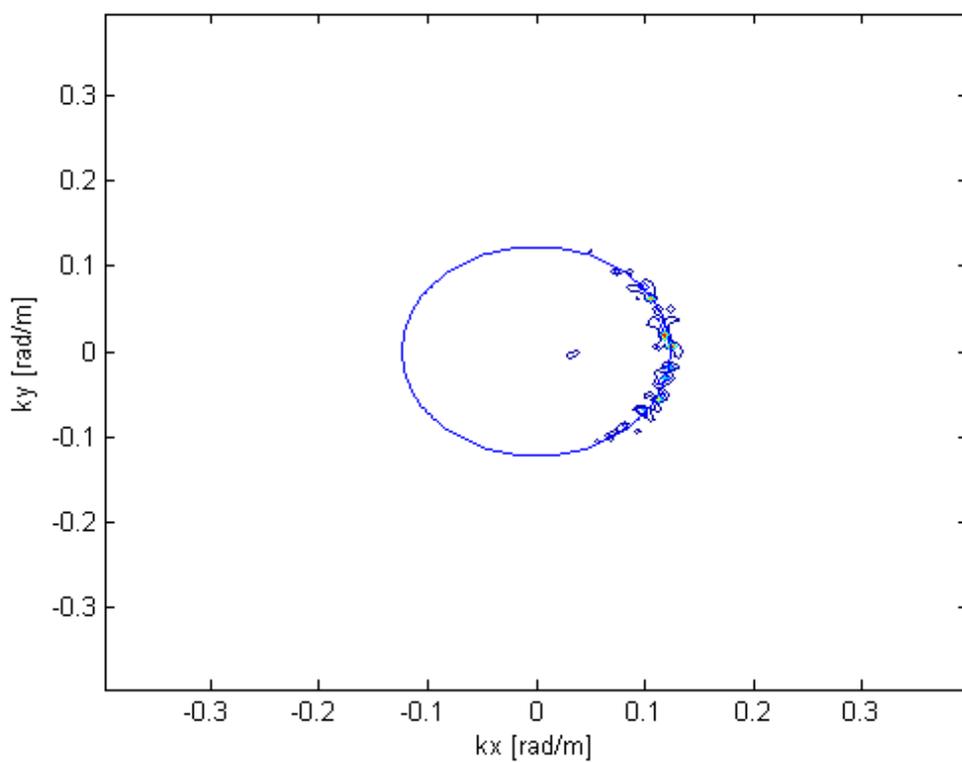


圖 4.5 由波數頻譜計算後，頻率為 0.175 Hz 時的波數圖

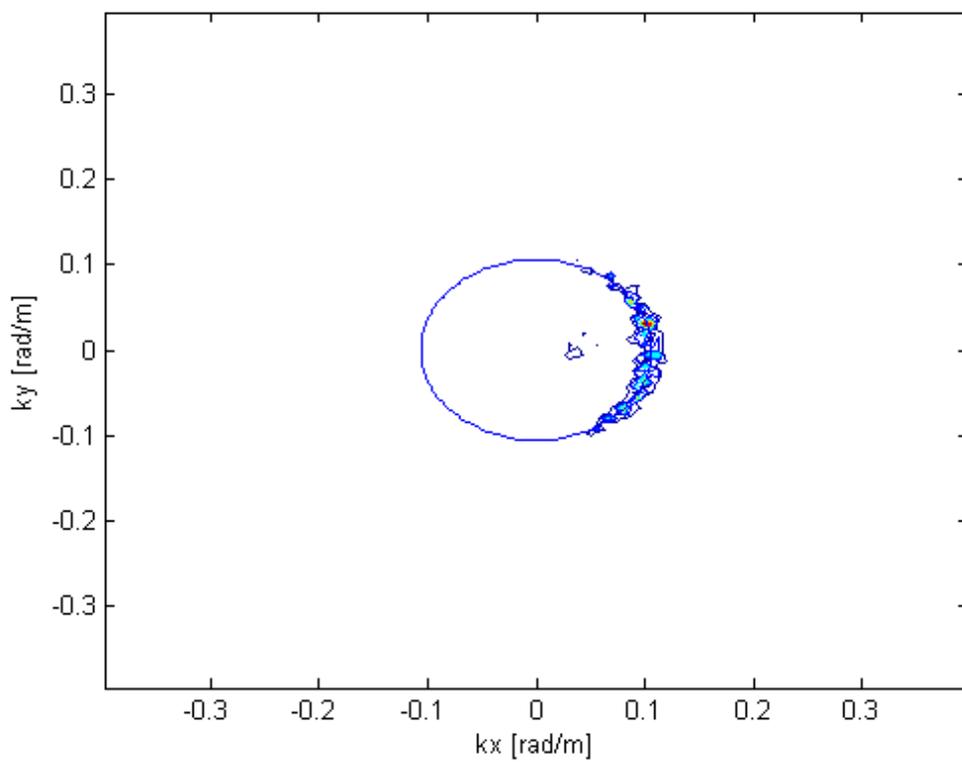


圖 4.6 由波數頻譜計算後，頻率為 0.1625 Hz 時的波數圖

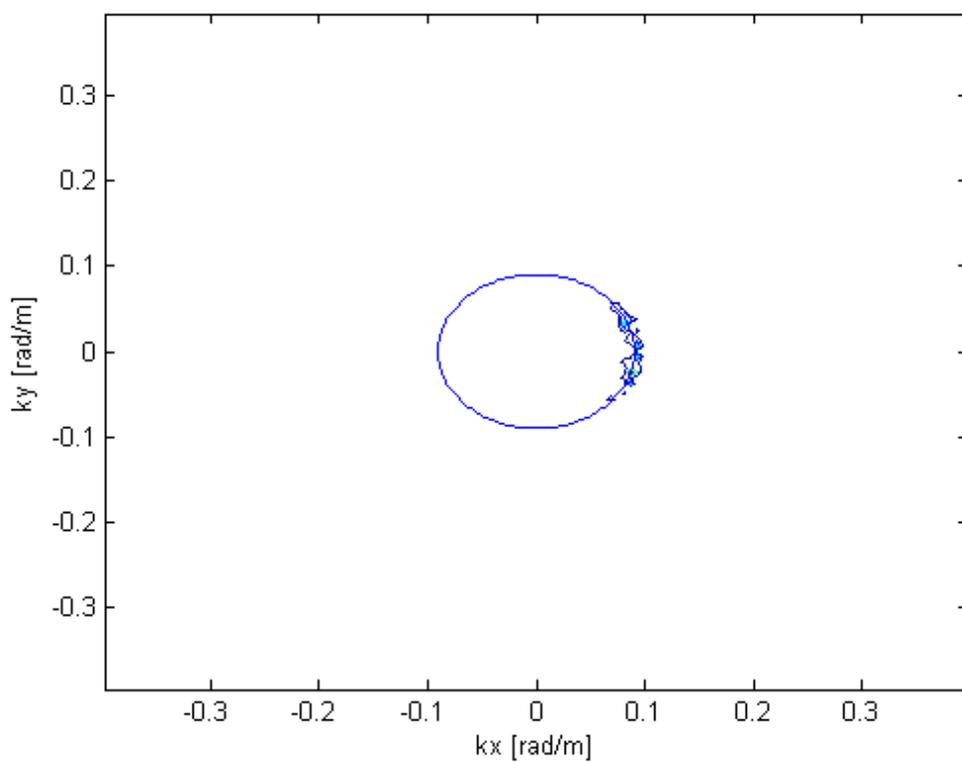


圖 4.7 由波數頻譜計算後，頻率為 0.15 Hz 時的波數圖

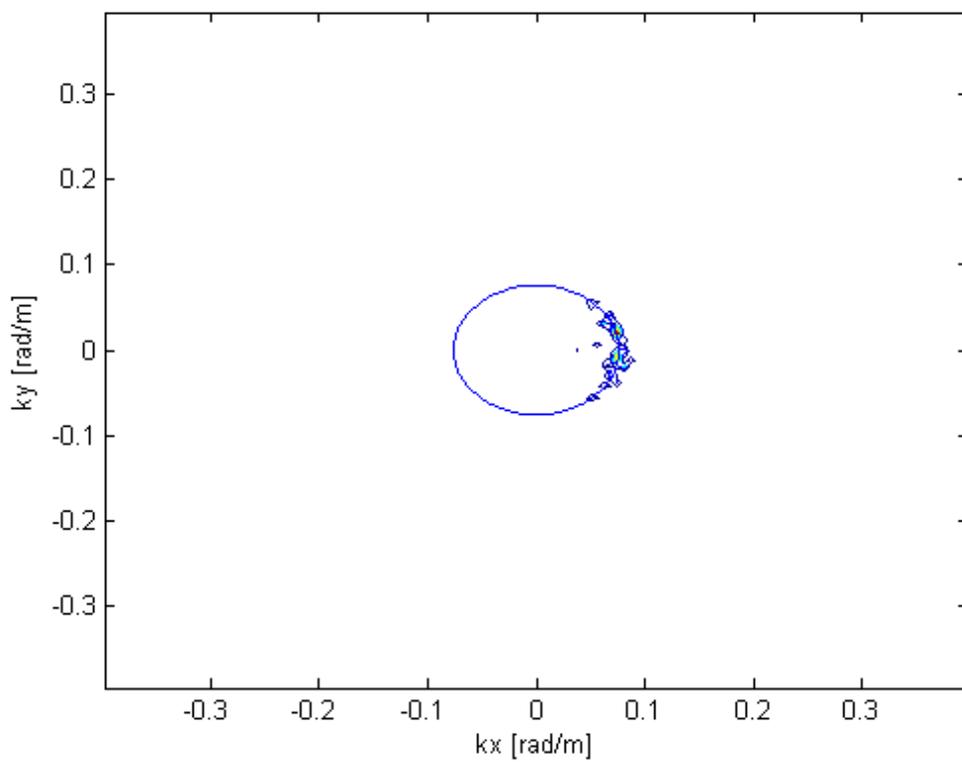


圖 4.8 由波數頻譜計算後，頻率為 0.1375 Hz 時的波數圖

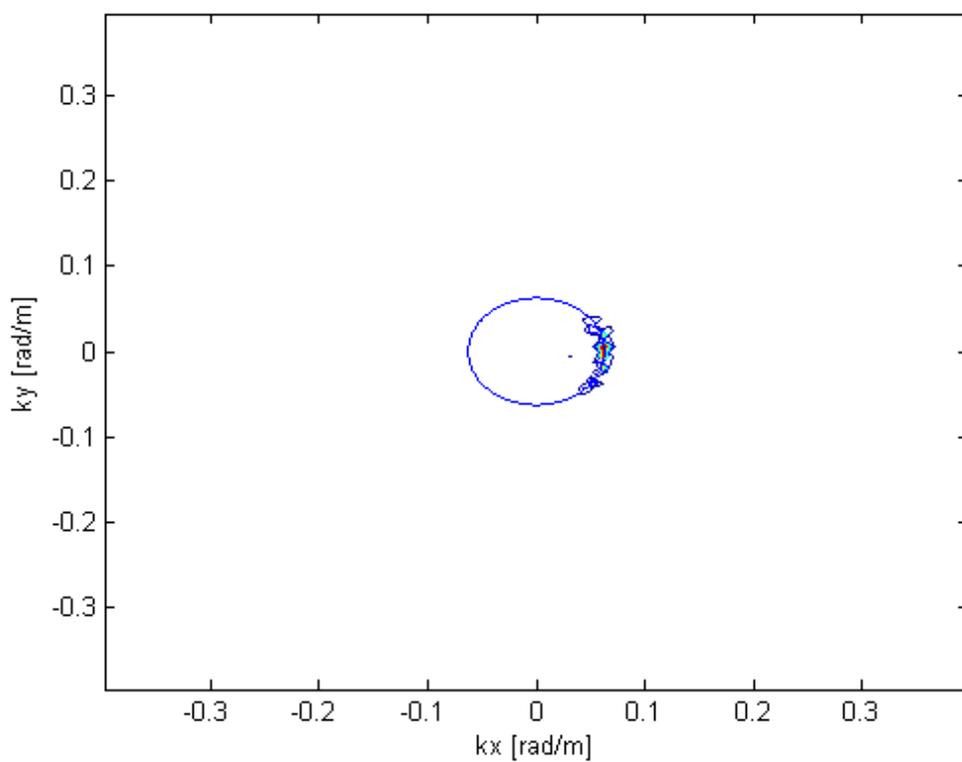


圖 4.9 由波數頻譜計算後，頻率為 0.125 Hz 時的波數圖

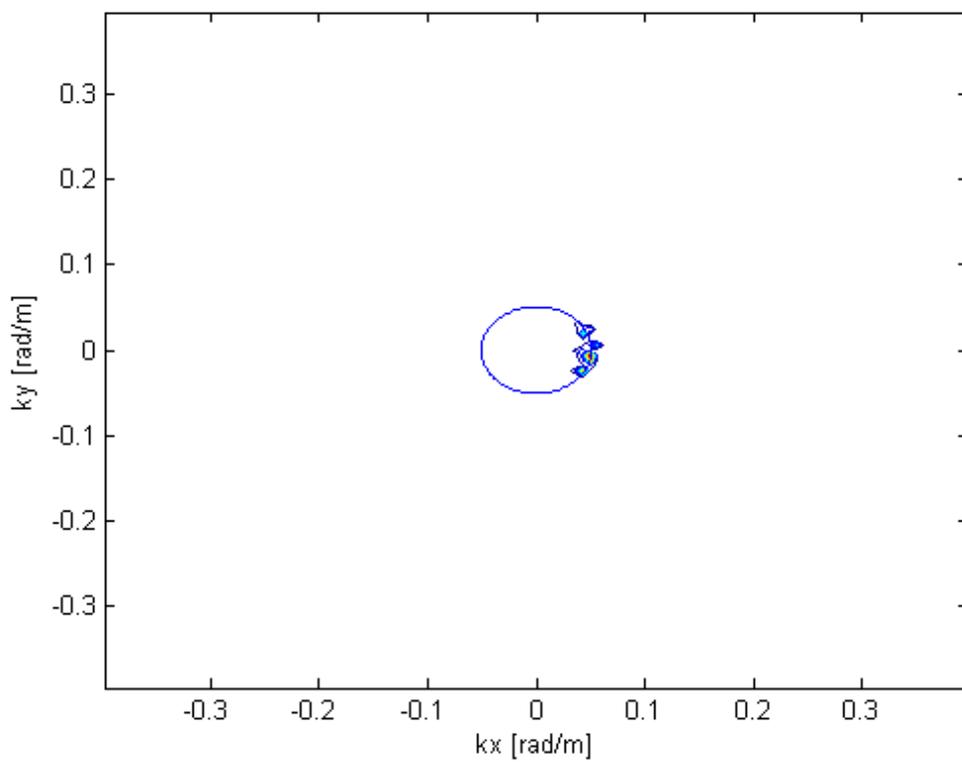


圖 4.10 由波數頻譜計算後，頻率為 0.1125 Hz 時的波數圖

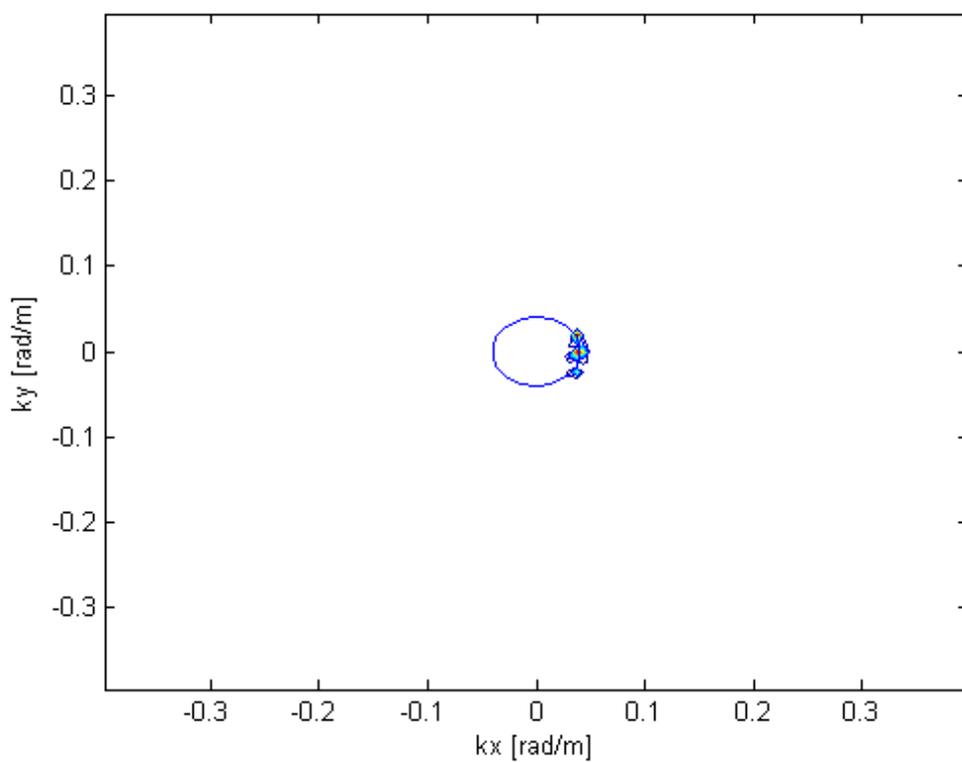


圖 4.11 由波數頻譜計算後，頻率為 0.1 Hz 時的波數圖

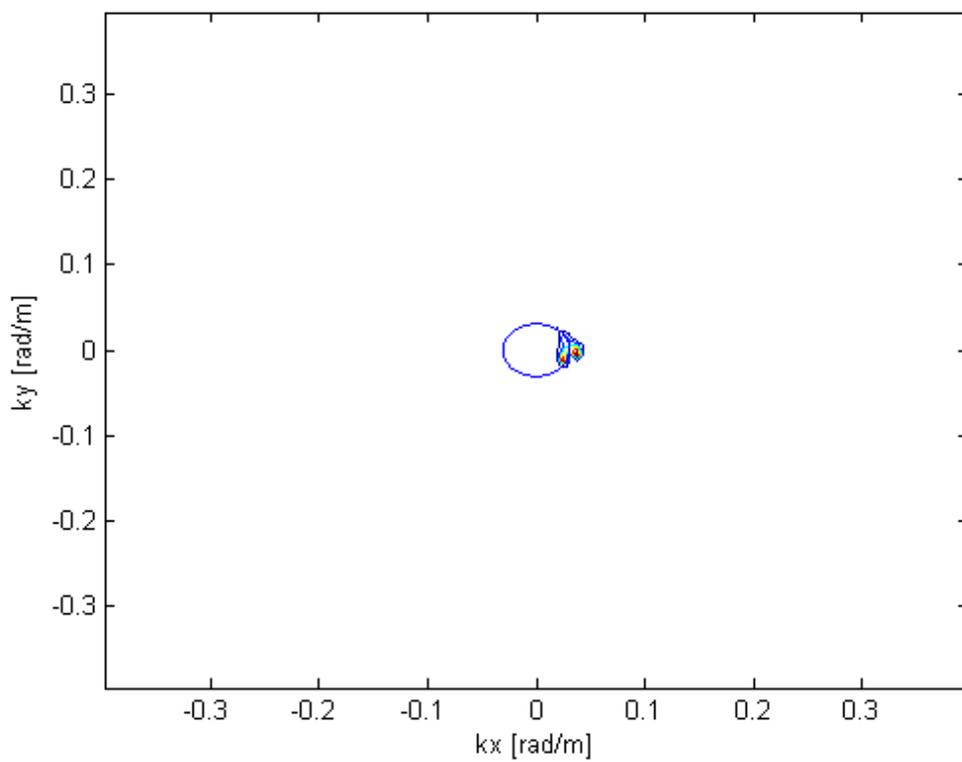


圖 4.12 由波數頻譜計算後，頻率為 0.0875 Hz 時的波數圖

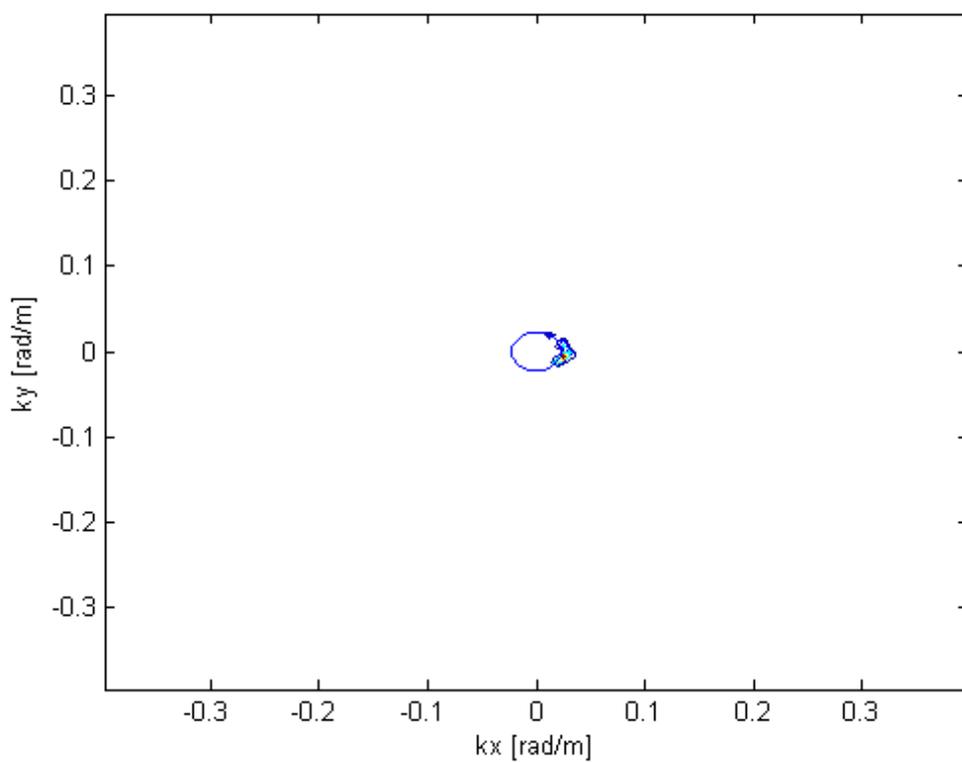


圖 4.13 由波數頻譜計算後，頻率為 0.075 Hz 時的波數圖

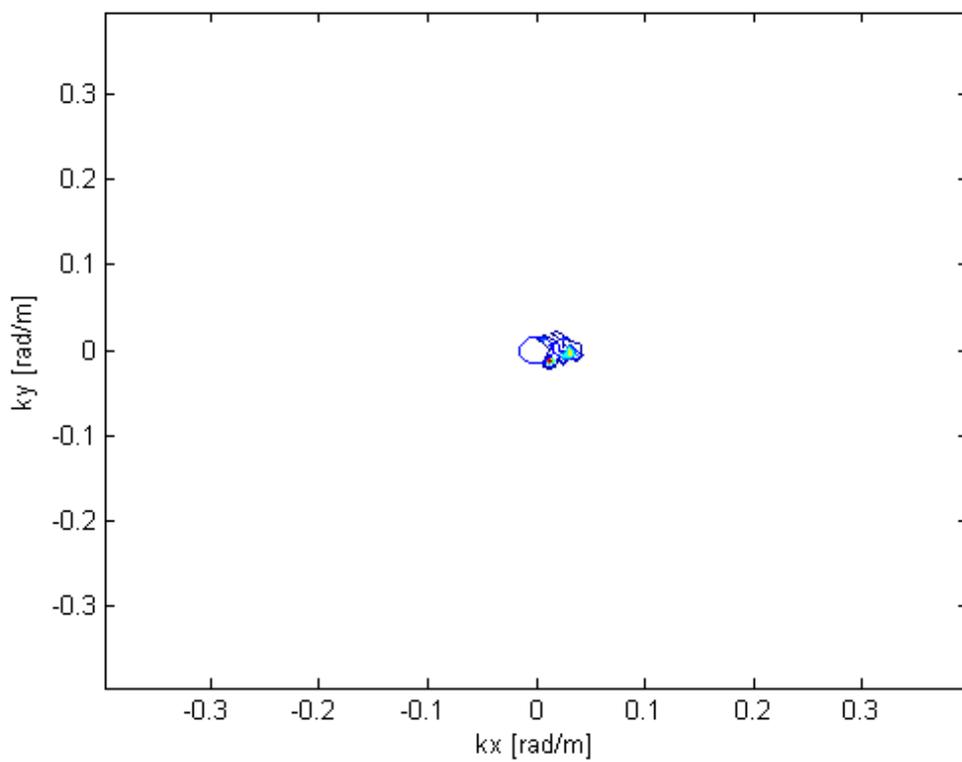


圖 4.14 由波數頻譜計算後，頻率為 0.0625 Hz 時的波數圖

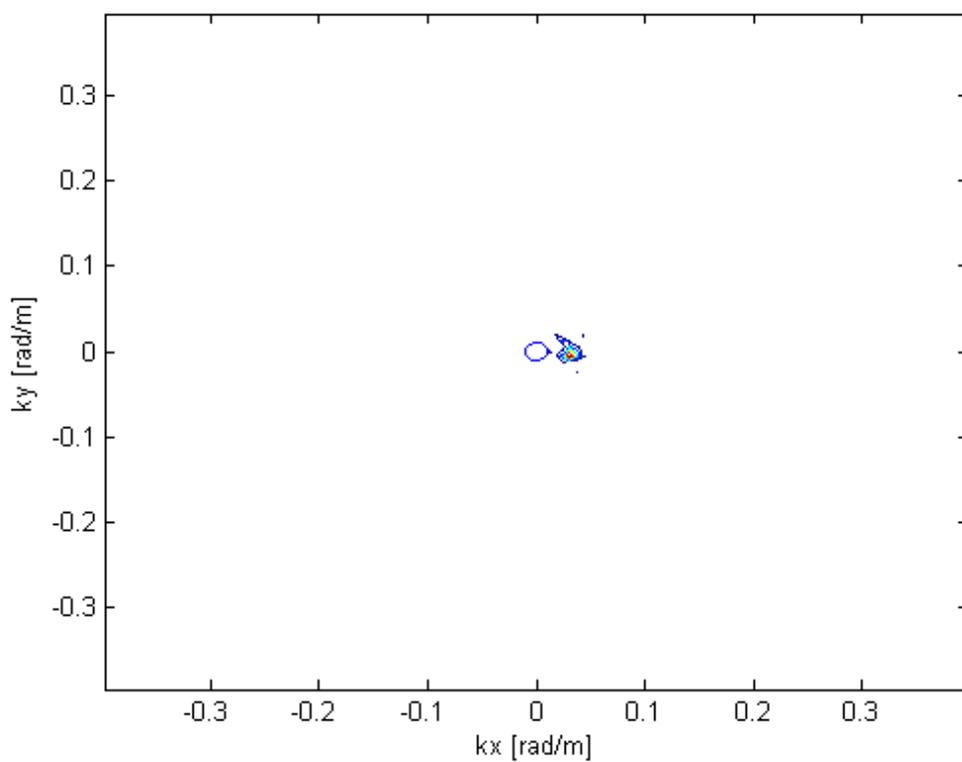


圖 4.15 由波數頻譜計算後，頻率為 0.05 Hz 時的波數圖

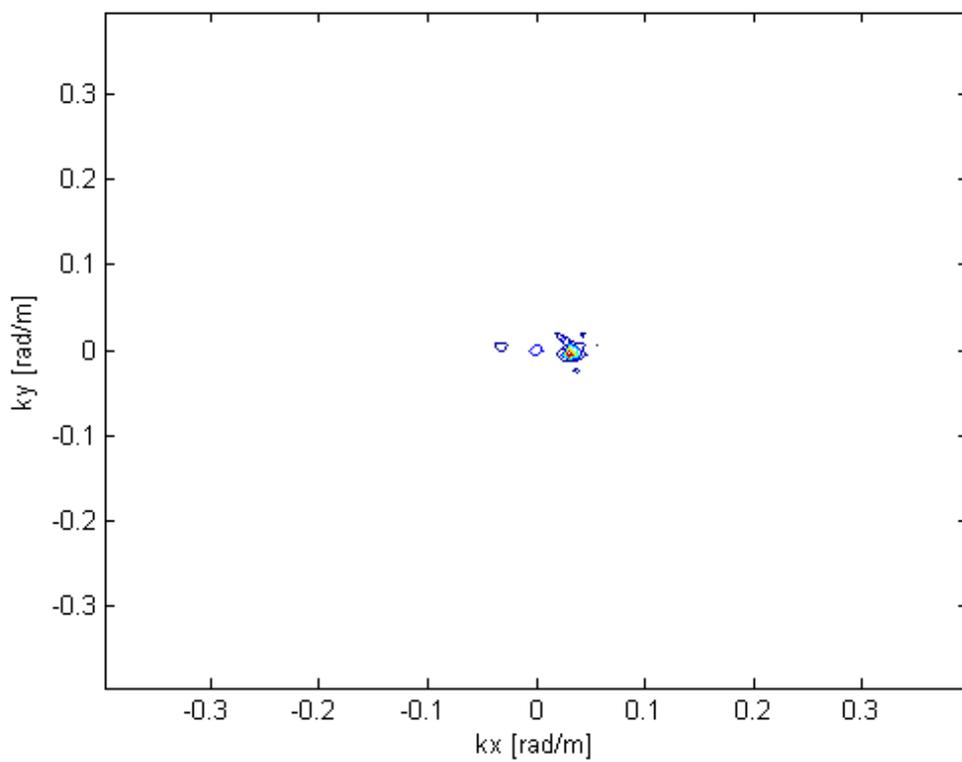


圖 4.16 由波數頻譜計算後，頻率為 0.0375 Hz 時的波數圖

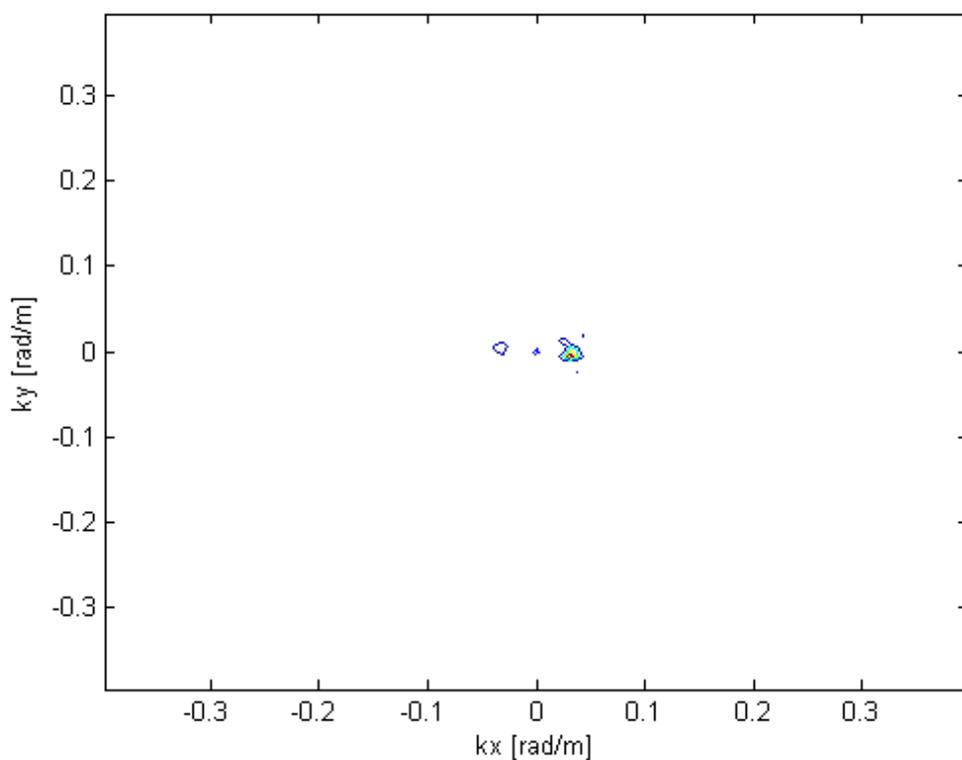


圖 4.17 由波數頻譜計算後，頻率為 0.025 Hz 時的波數圖

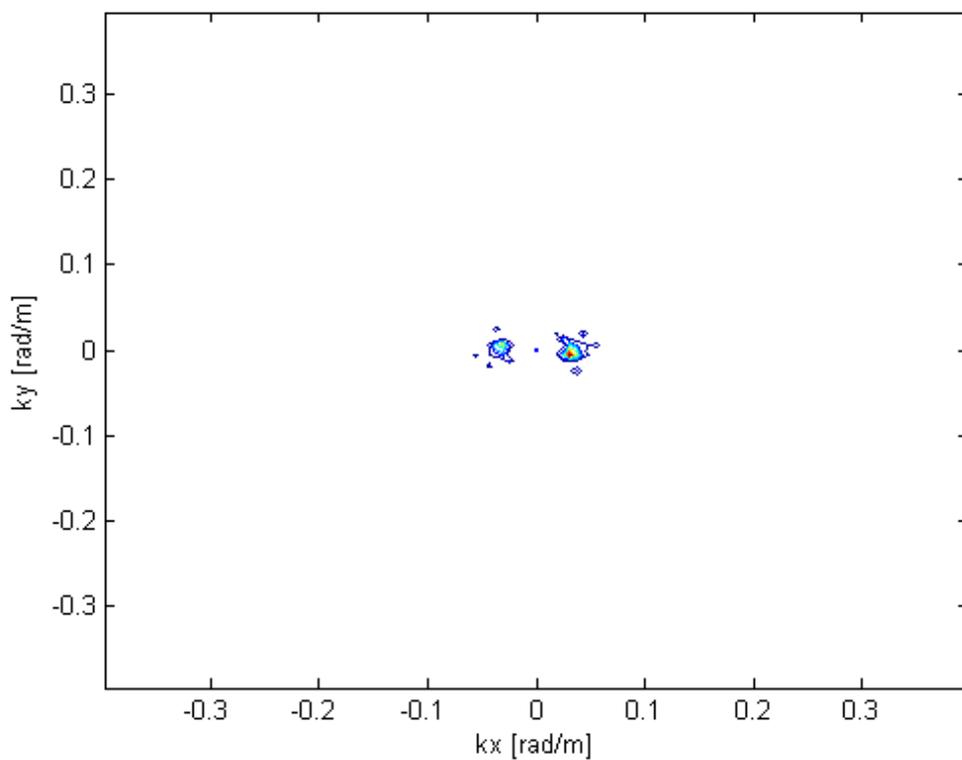


圖 4.18 由波數頻譜計算後，頻率為 0.0125 Hz 時的波數圖

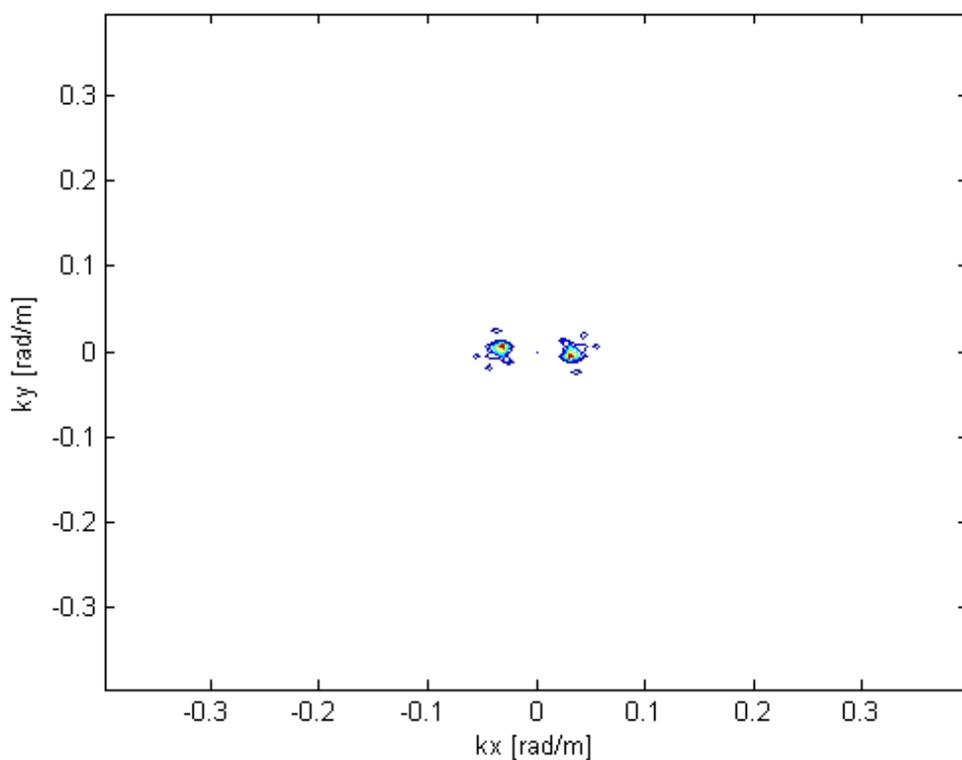


圖 4.19 由波數頻譜計算後，頻率為 0 Hz 時的波數圖

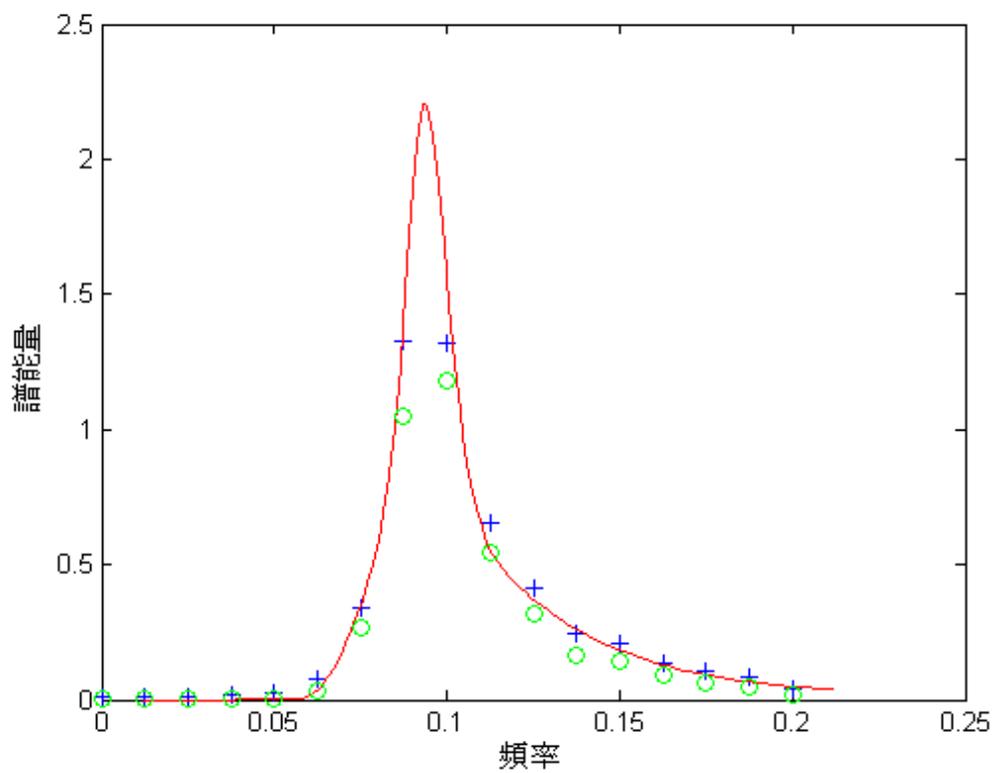


圖 4.20 增加 $\pm\Delta k$ 能量截取範圍後所得的結果

第五章 影像受靜電雜訊影響的探討

雷達影像的影響因素中，以雜訊來說在靜電上有相當大的影響。為了解決此問題需經由濾波等影像處理方式進行影像還原，提高影像分析時的可信度。

在本章節主要是以前章節所模擬的多方向不規則波面加上影像雜訊，探討訊噪比(SNR)的變化。接著以高通濾波、中通濾波及低通濾波進行影像處理，比較處理後的結果，選擇最佳的濾波方式套入雷達影像中比較其變化。之後比較 32 張雜訊影像經濾波前後波數頻譜所計算出 SNR 的變化。

5.1 模擬影像加入高斯雜訊後 SNR 值的變化及濾波處理

在雷達影像及各種電子儀器所截取的影像中最常見的為靜電雜訊。為了瞭解並解決該雜訊所造成的影響，本文在模擬的影像中加入各種不同標準偏差值的高斯雜訊破壞影像。高斯分佈雜訊簡述如下：

高斯雜訊通常用來模擬影像中固定會產生的雜訊，例如由影像獲取時的電子雜訊所產生的雜訊，其分佈如下圖 5.1 及(5.1)式所示：

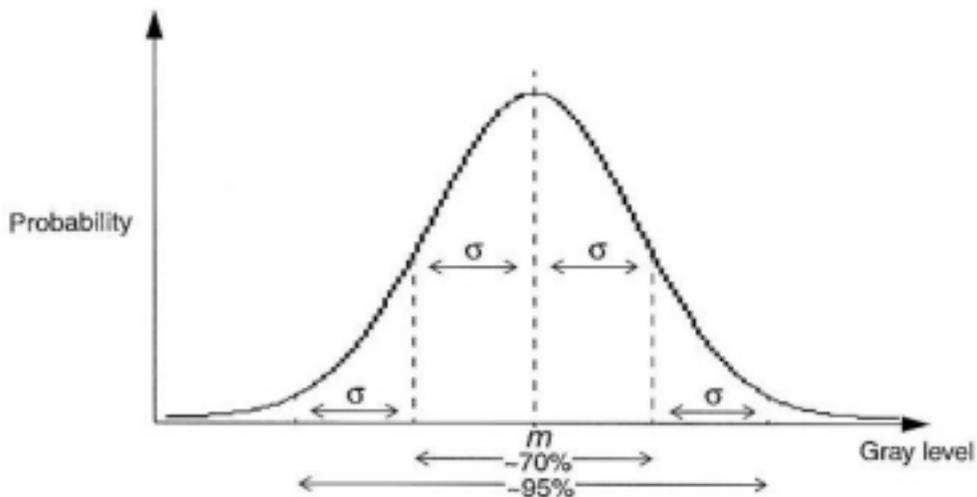


圖 5.1 高斯雜訊分佈(Umbaugh, 1998)

$$HISTOGRAM_{Gaussian} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-(g-m)^2 / 2\sigma^2} \quad (5.1)$$

其中 g 為灰階值；

m 為灰階平均值；

σ 為標準偏差。

下圖 5.2 所示為模擬的不規則波面，設定以中值(m 值)為 0、變方(σ)為 0.0035(即標準偏差為 15 個灰階)的高斯雜訊進行影像的破壞(圖 5.3)

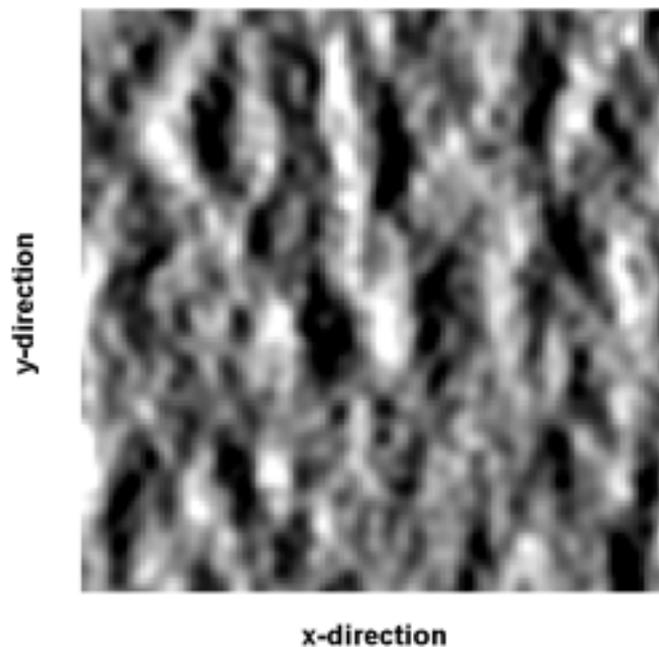


圖 5.2 模擬的不規則波面(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$)

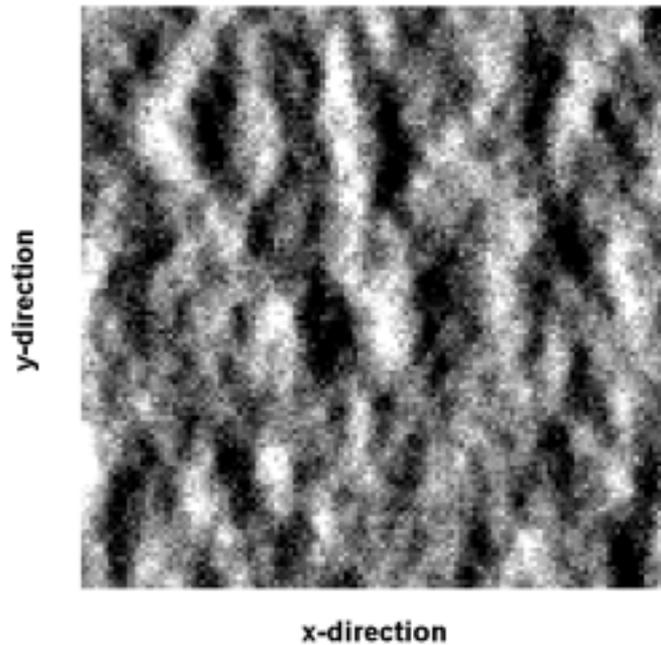


圖 5.3 經高斯雜訊破壞後的模擬影像

當影像遭受靜電雜訊的影像時，為了要獲得與原始影像最近似的資料故必須以濾波的方式進行影像還原。影像還原的方式一般採是以平滑濾波進行處理通常包括了低通濾波、中值濾波及高通濾波等三種濾波器。

5.1.1 低通濾波器

低通濾波器中較常見的為均化遮罩，是將遮罩中所有灰度值加總後求其平均，然後將平均值寫入遮罩中間所對應的像素值。又因為一次只處理一像素的值，旁邊的像素在下一次的遮罩移動後再作處理，因此又稱為移動平均濾波器。此濾波器可將雜訊去除，但也會產生影像模糊的反效果(如圖 5.4)。

常用的空間遮罩是由 3*3 共 9 個 $1/9$ 的係數所組成(5.2)：

$$\begin{bmatrix} 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \\ 1/9 & 1/9 & 1/9 \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

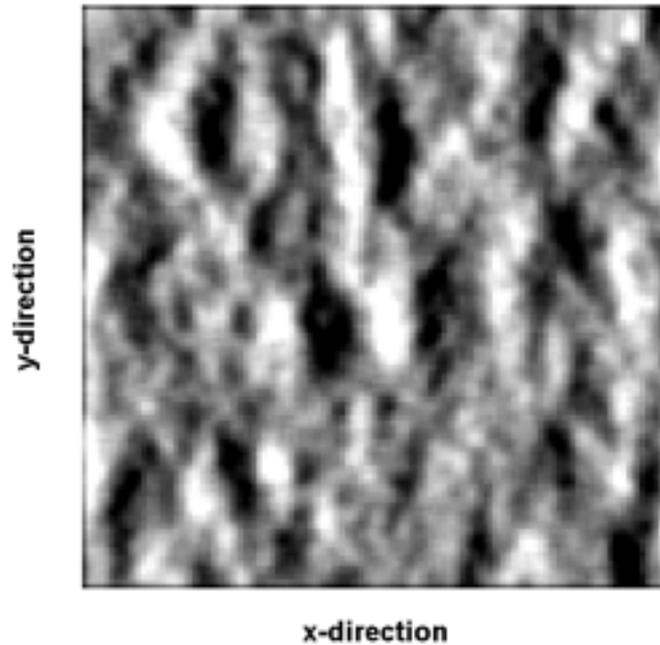


圖 5.4 經低通濾波器處理後所得的影像

5.1.2 中值濾波器

此種濾波器為一種非線性的濾波方式，首先對在遮罩裡所有像素的灰階值做大小排序，接著採用排序在中間的灰度值，再將這些值代入所對應的像素裡，如此便完成像素的濾波動作。此法可以濾掉影像中突起的高頻雜訊部份，而對於影像的邊緣，通常也有較好的處理結果(如圖 5.5)。

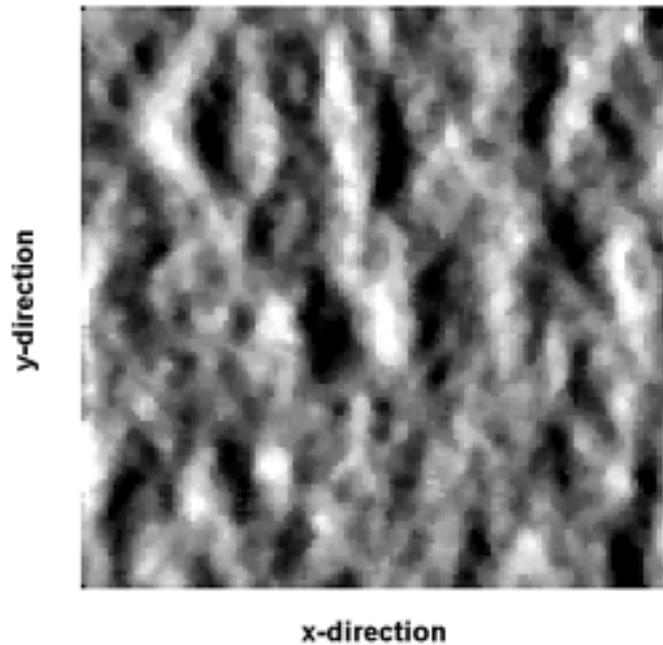


圖 5.5 經中值濾波處理後所得的影像

5.1.3 高通濾波器

影像經此濾波後，此像素與其旁邊像素之間的灰階度的差異會被放大。反之，若此遮罩使用於灰階度變化相當小的平滑區域，其輸出將非常小。比較特殊的狀況是，如果遮罩所含蓋範圍內的灰階度都一樣的時候，不管原來是多大灰階值，其輸出皆為零，這表示此種遮罩有降低整體影像平均值使影像整體變暗的缺點。另外計算出的結果有負值的可能性(如圖 5.6)。

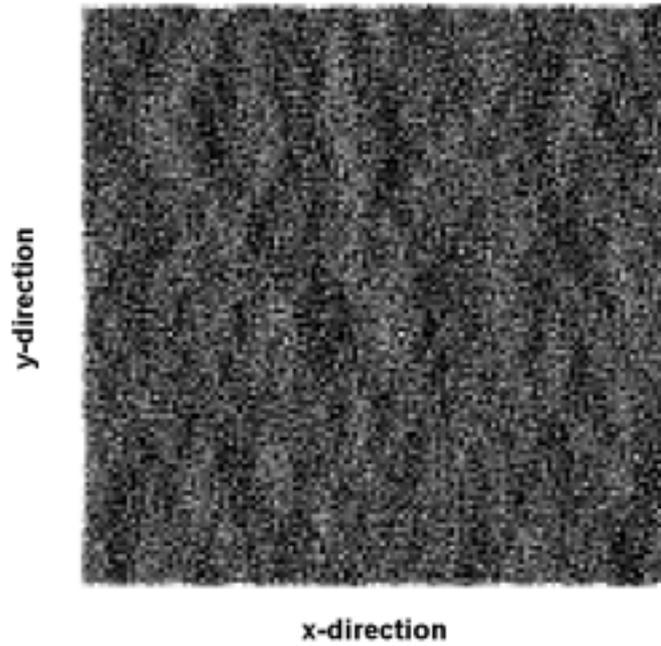


圖 5.6 經高通濾波圖處理後所得的影像

5.1.4 優劣的判斷方式及影像濾波結果

判別還原的好壞方式依(張, 2001)文中所述是用以下的參考指標來對雜訊過濾後的影像做一客觀的評斷：

(1)均方根誤差 (root mean square error, RMSE)：

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2} = \sigma_e \quad (5.3)$$

其中 $f(x, y)$ 表示原始影像之灰階值

$\hat{f}(x, y)$ 表示雜訊過濾後影像之灰階值

(2)訊號雜訊比 (signal-to-noise ratio, SNR)：

$$SNR_{db} = S / MSE = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{\sigma_f^2}{\sigma_e^2} \right] \quad (5.4)$$

$$\text{其中 } \sigma_f^2 = \frac{1}{MN} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2$$

$\bar{f}(x, y)$ 表示原始影像之灰階平均值

而 SNR 值的數值愈大表示過濾雜訊的效果愈好。

為了能分辨出各濾波器的優劣，本文採用了多組的不同的高斯雜訊做為分析的資料。使用高期雜訊變方(σ^2)分別為：0.0035、0.007、0.01、0.05、0.1、0.3、0.5、0.8、1 等十組數據，結果如表 5.1 所示。

表 5.1 三種濾波器處理後的結果

變方(σ^2)	0.0035	0.007	0.01	0.05	0.1	0.3	0.5	0.8	1	
標準偏差 (σ , 灰階)	15	21	26	57	81	140	180	228	255	
RMSE	低通	10.373	11.42	12.121	20.337	26.104	35.096	39.566	43.425	43.596
	中值	8.3788	10.606	11.973	24.78	34.701	55.596	67.198	78.695	82.377
	高通	162.76	214.97	252.97	511.91	675.28	888.4	953.18	1003.8	1028.6
SNR	低通	11.053	10.118	9.4882	5.3067	3.0625	0.3217	-0.424	-1.412	-1.754
	中值	12.883	10.79	9.66	3.5173	0.6389	-3.467	-5.093	-6.687	-7.218
	高通	-12.86	-15.31	-16.7	-22.76	-25.10	-27.50	-28.17	-28.74	-28.88
尚未過濾 前的 SNR 值	7.7905	4.8776	3.3008	-3.304	-5.616	-8.137	-8.838	-9.422	-9.541	

由上表中可看出，當使用了高通濾波器所得的結果為最差的。使用了中值濾波所得的結果在較低的雜訊影響時所得的 SNR 值是最大的，即影像最接近於原始影像，但在較高雜訊使所使用的效果較差。低通濾波所得的結果，雜訊較小時所得的結果與中值濾波所得的 SNR 值相近，但在較高雜訊時所獲得的結果卻較中值濾波來得好。

所以最後的比較結果是以低通濾波較符合實際使用上的效果，以下將會以低通濾波器處理前後的 32 張影像，以波數頻譜計算後比對 SNR 值的差異。

5.2 濾波後影像經波數頻譜計算後的結果

波數頻譜進行訊噪比(SNR)值的計算，是以座落於分散關係殼上的能量視為真實的訊號，即以第四章中所使用的方式進行計算。再除以殼外的雜訊總能量。但為了瞭解在濾波前後的影像對波數頻譜分析時的影響，所以特別將影像濾波前後分別以波數頻譜進行計算。結果如下表 5.2 所示。

表 5.2 影像濾波前後以波數頻譜計算所得的結果

變方(σ^2)	0.0035	0.007	0.01	0.05	0.1	0.3	0.5	0.8	1
標準偏差 (σ , 灰階)	15	21	26	57	81	140	180	228	255
濾波前的 SNR 值	1.99	1.40	1.12	0.30	0.16	0.057	0.037	0.025	0.022
濾波後的 SNR 值	2.468	2.326	2.212	1.341	0.883	0.384	0.249	0.171	0.150

由上表中可看出影像進行濾波前由波數頻譜計算所得的 SNR 值，較濾波後所得的 SNR 值小。所以若影像未進行濾波在分散關係殼上的能量將會減小，分析計算所得的結果將會低估實際的能量。

5.3 影像受靜電雜訊破壞對量測上所產生的影響

在真實的雷達影像中有存在著靜電所產生的雜訊影響，除了上述影像處理前處的探討外，在量測時對頻譜及示性波高的影響是值得深入研究的。所以本研究擬以低雜訊破壞的影像，再漸漸加重成高雜訊破壞的方式比對由波數頻譜轉換後所得的頻譜及示性波高的差異。

圖 5.7~5.10 所示分別加入變方各為 0.005、0.05、0.5 及 0.9 高斯雜訊的模擬圖。之後再使用波數頻譜進行計算，所得的結果如圖 5.11~5.14 所示。由圖中可發現頻譜的在譜能量的變化上漸漸的減小了，所以在量測時如果靜電的雜訊過多，所得的頻譜大小相對的也會受到影響。由示性波高上更可以看出有相當大的影響，隨著雜訊的增加在示性波高上也是隨著變小，如表 5.3 所示。

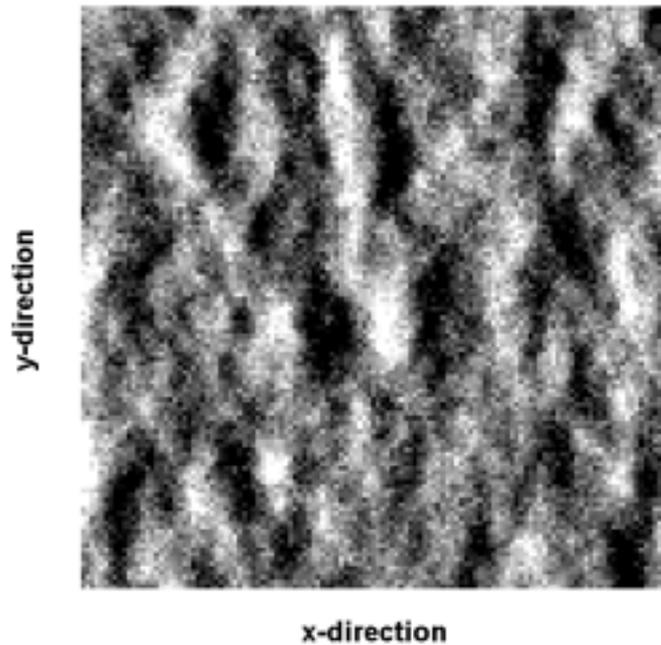


圖 5.7 受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$ ，加入變方(σ^2)為 0.005 的高斯雜訊)

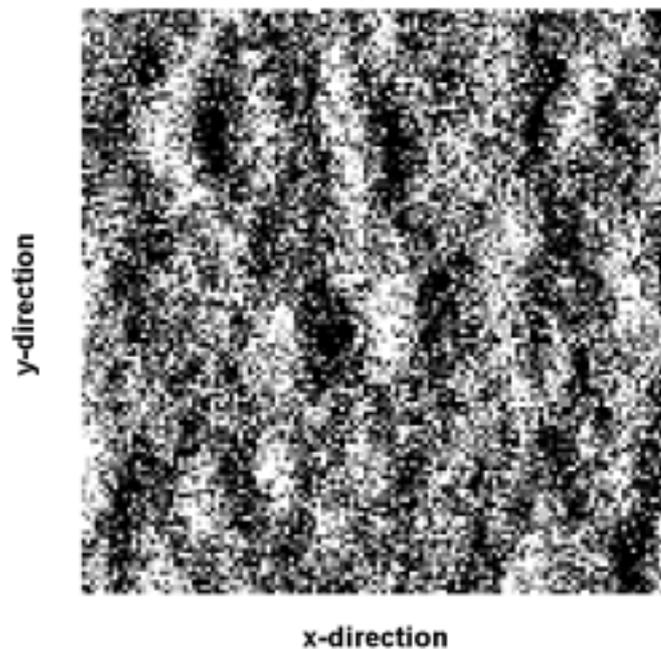


圖 5.8 受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度， $S_{max}=20$ ，加入變方(σ^2)為 0.05 的高斯雜訊)

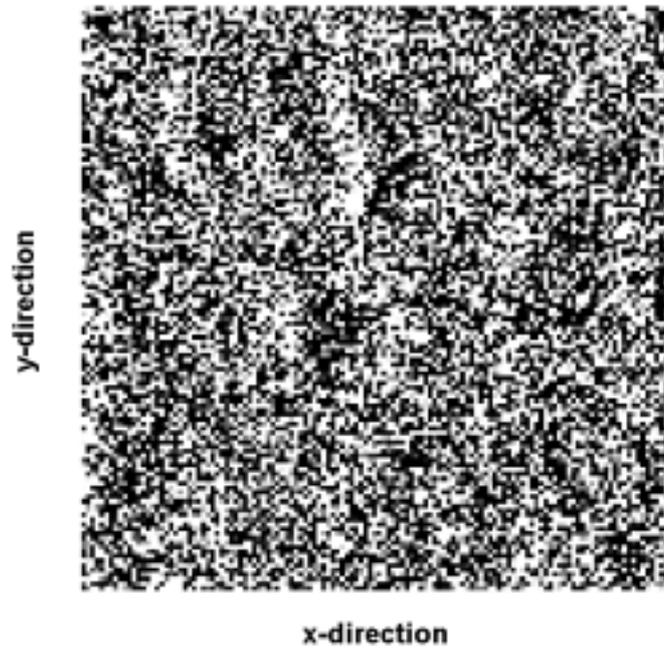


圖 5.9 受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度，Smax=20，加入變方(σ^2)為 0.5 的高斯雜訊)

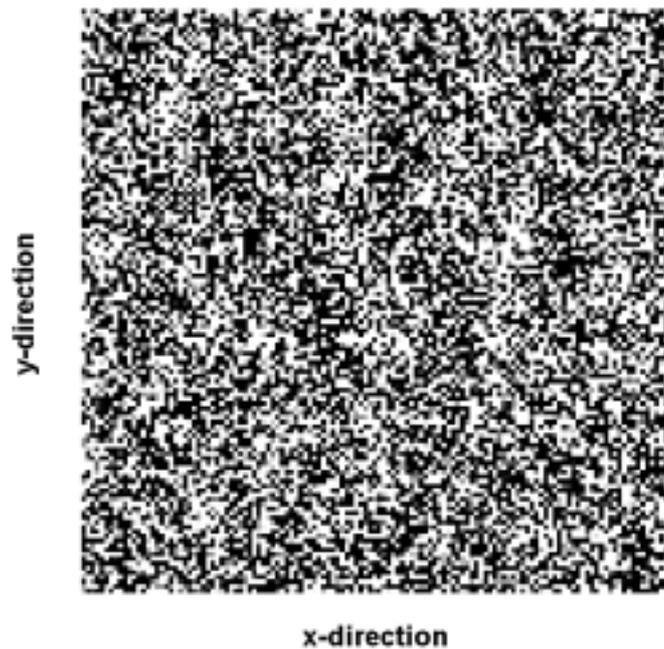


圖 5.10 受靜電雜訊破壞後的模擬影像(模擬條件以 JONSWAP 頻譜搭配 Mitsuyasu 方向散佈函數設定示性週期 10s，示性波高 1 m，主波向 0 度，Smax=20，加入變方(σ^2)為 0.9 的高斯雜訊)

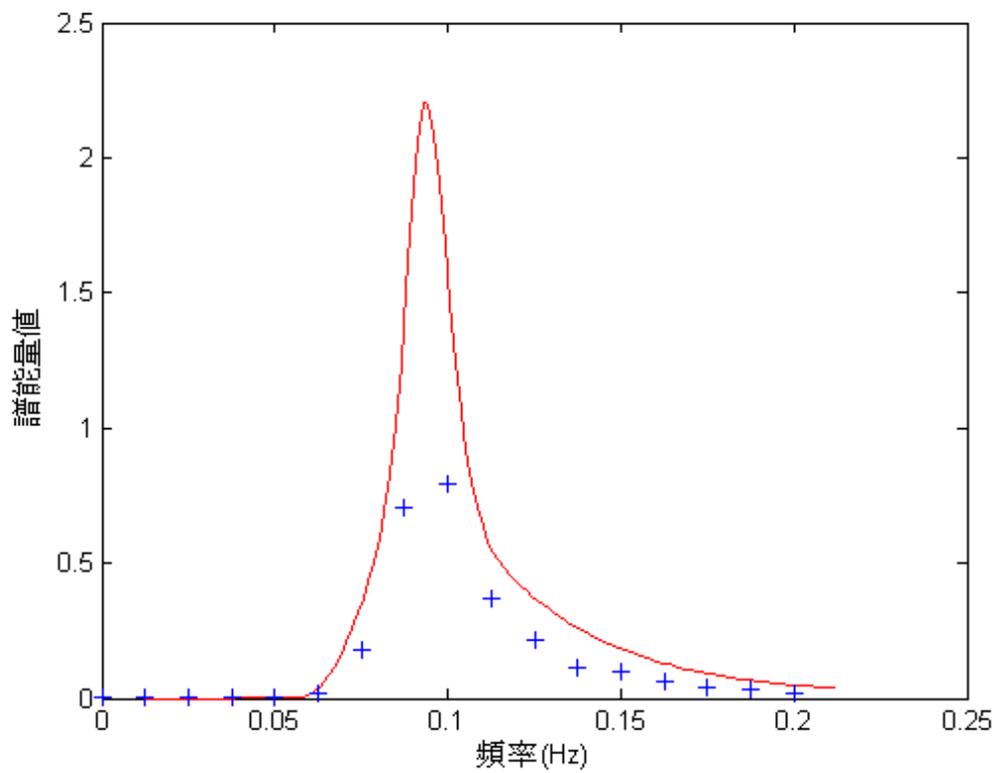


圖 5.11 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.005)

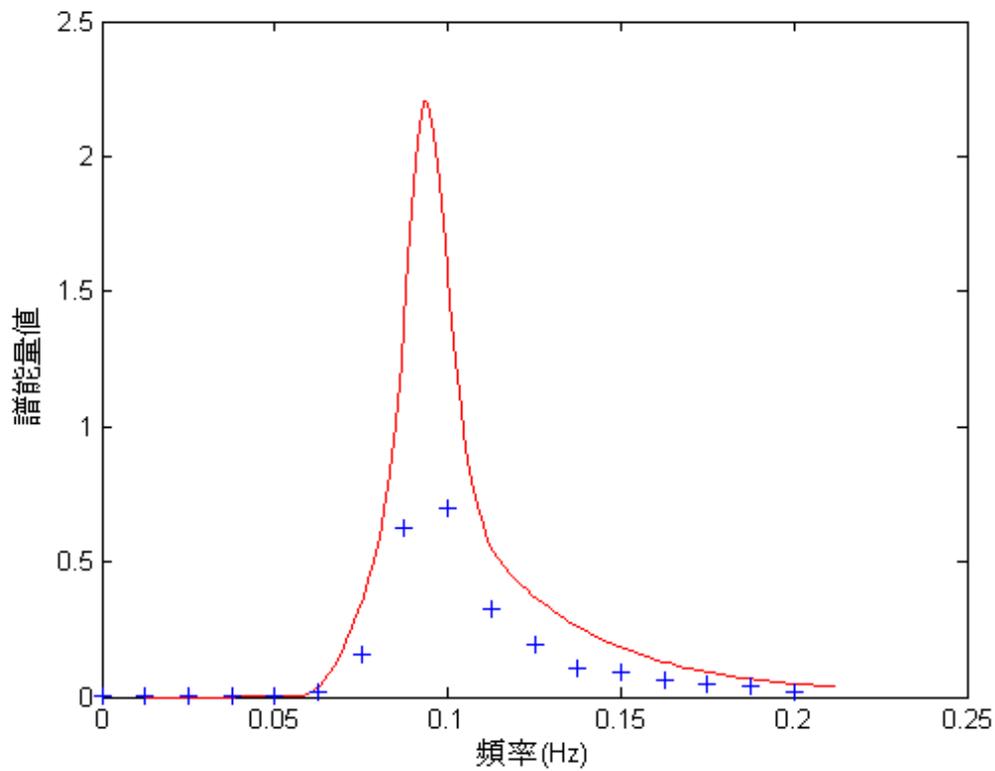


圖 5.12 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.05)

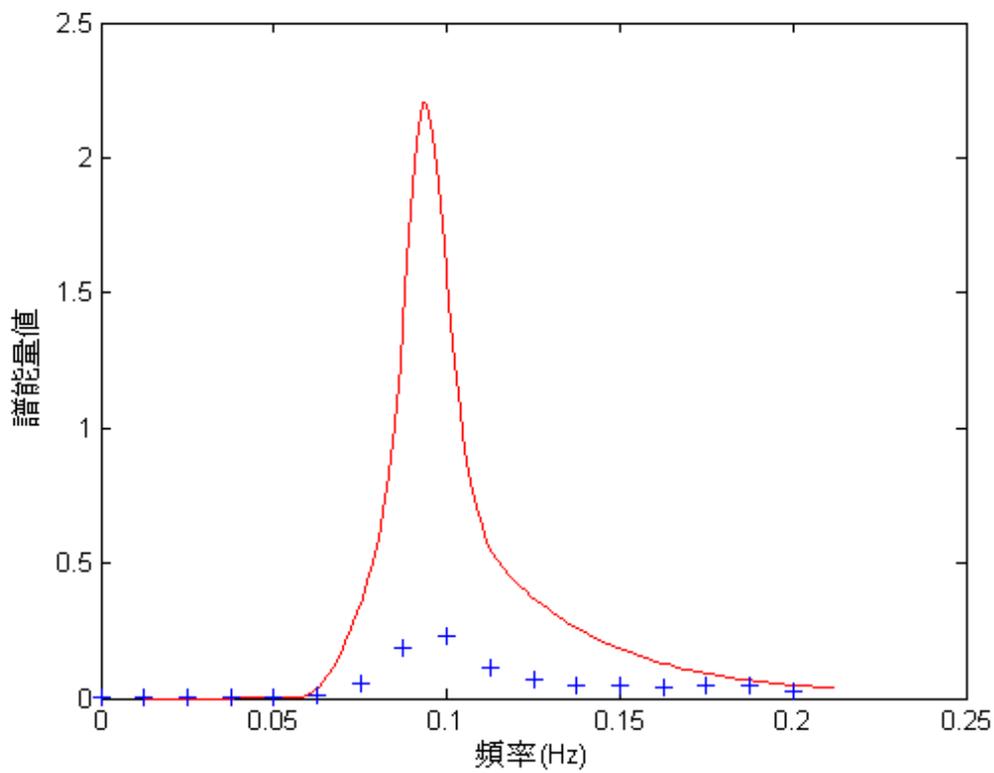


圖 5.13 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.5)

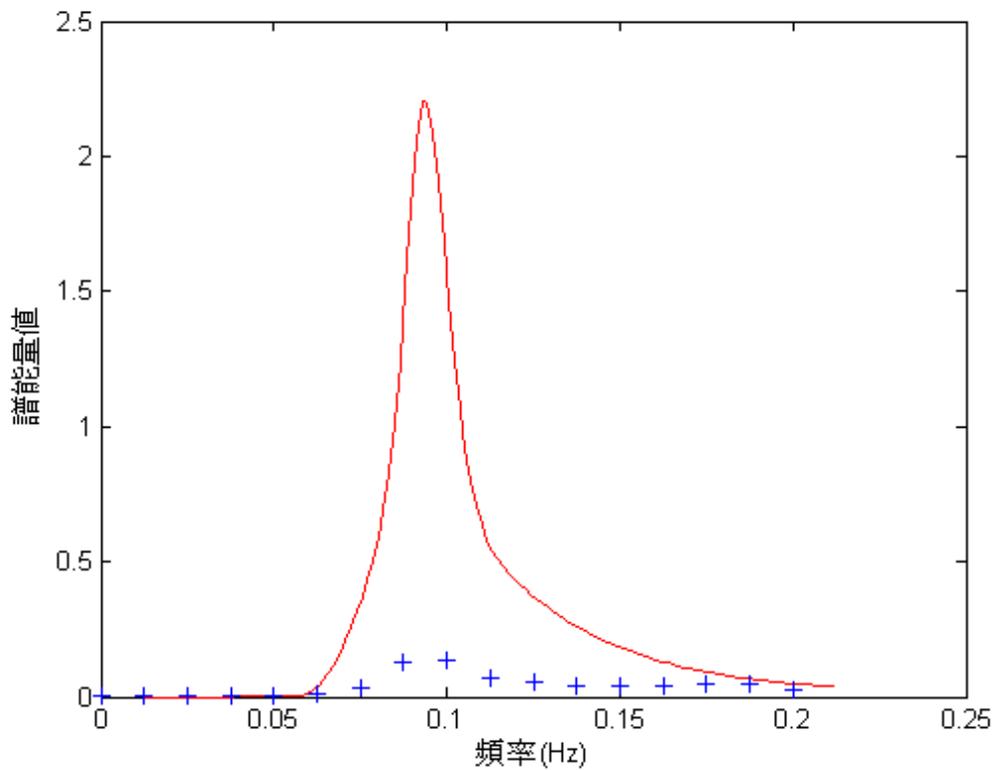


圖 5.14 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.9)

表 5.3 雜訊對示性波高的影響

變方(σ^2)	0.005	0.007	0.01	0.05
示性波高(m)	0.7268	0.6908	0.4331	0.3678

第六章 計畫執行結果

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、及台北港一號雷達測波站之遷移等五項作業。

(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(圖 6.1)工作狀態。

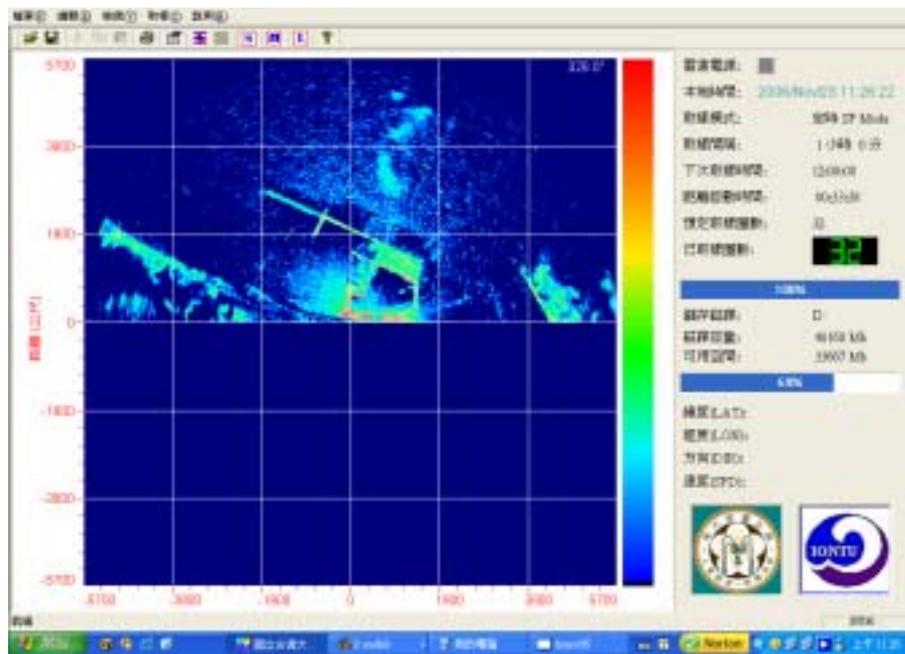


圖 6.1 雷達資料截取系統

(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。但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相當耗時，關於此問題還需要進一步的克服。

(三)維護網頁展示系統部份：

現有的台北港雷達測波站即時觀測資料已放置於台北港雷達測站的觀測電腦中(圖 6.2~6.4)，由於現在沒有可利用的網域空間可供使用，所以尚未將網頁資料上傳至網路上供查閱使用，希望能介由中心提供該網域空間以供架設該網站。

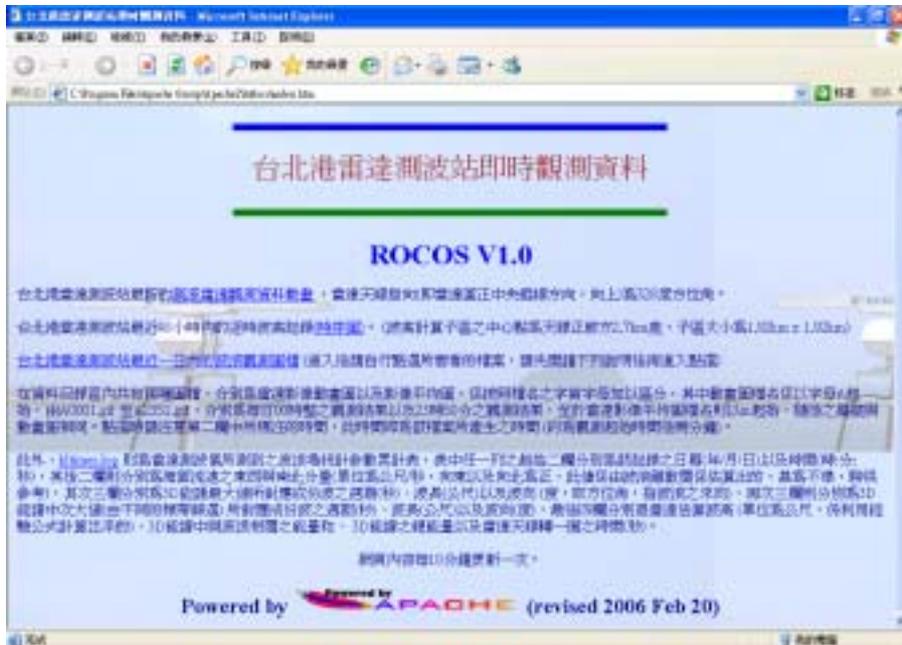


圖 6.2 台北港雷達測波站網頁

(四)比對雷達測波資料部份：

此次雷達測波資料的結果因為了配合與風速資料進行比對改正，所以將 2005 年的沙崙測站雷達資料加入分析中，示性週期、示性波高及波向的結果將顯示於附錄 A 中，並將波向資料繪製成玫瑰圖，其中附錄 C 為沙崙雷達影像分析波向所得的圖，附錄 D 為觀測樁分析所得的圖。台北港遷移後的雷達測站資料的分析結果放置於附錄 B 中，而計算後所得的波向玫瑰圖繪製於附錄 E 中。

(五)台北港一號雷達測波站之遷移

台北港一號雷達測站架設於台北港港務行政大樓(圖 6.5)，其平面配置圖如圖 6.6 所示，架設完成後的完工照片及分析儀器及雷達主機如圖 6.7 及 6.8 所示。



圖 6.5 台北港港務行政大樓

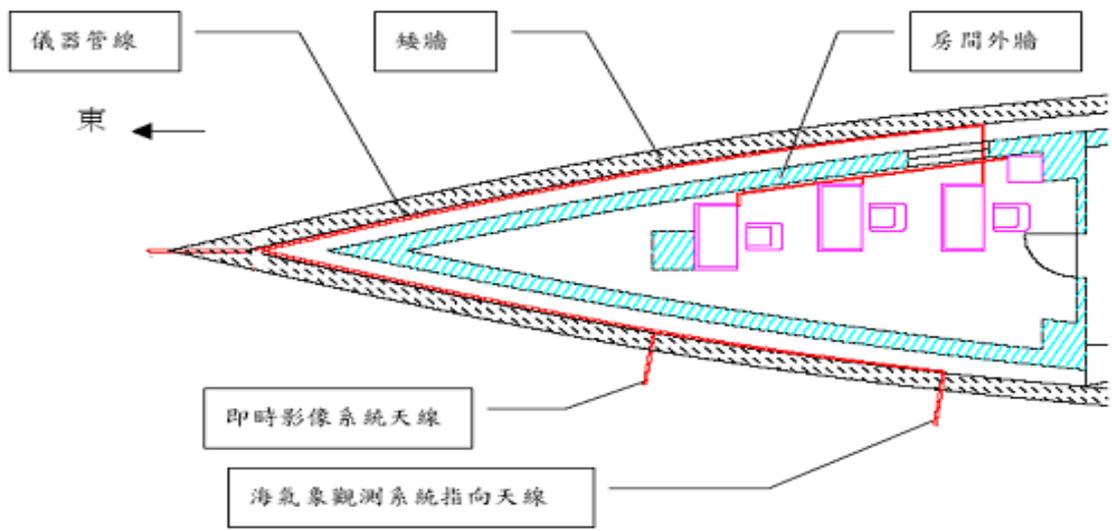


圖 6.6 雷達架設的平面配置圖



圖 6.7 雷達架設完工照片



圖 6.8 雷達控制系統架設完工照片

第七章 結論與建議

雷達遙測精度會受到的影響，包括了風、雨、表層流及靜電雜訊分佈等影響。其中靜電雜訊的部分是可以改進的，而風速的大小僅能在於遙測可信度上進行判斷。所以在未來的程序上希望能將要分析的雷達資料先進行風速的判斷，若風速過低則先予以去除，不列入分析結果考量。之後再去除雷達影像的靜電雜訊提高分析精度。

目前的研究方式，是以逐時比對的方式進行。為了能更瞭解實際風速資料與遙測精度間的關係，所以用 2005 年的遙測結果與當年的風速資料比對，由結果大致可看出風速確實有影響，而大致以 3 m/s 做為分界點。在 3 m/s 以上所獲得的雷達遙測示性波高可信度較高。相反的，在 3 m/s 以下的遙測精度將會下降。

分析雷達影像以分散關係殼過濾出實際訊號的部分。由於像素間間距相同，分析所得的譜能量不會直接座落在分散關係殼上。依 Nieto Borge 和 Guedes Soares(2000) 文中所述，需於波數譜上將 $\pm\Delta k$ 的譜能量加入考慮，所得的結果將會更接近於實測結果。本研究經由模擬波面的方式，以分散關係殼過濾影像資訊，所得的結果也需將波數譜上的 $\pm\Delta k$ 的譜能量加入，才能接近原始頻譜。

靜電雜訊對雷達影像的影響，本研究以模擬一般波面的方式進行。在一般的波面上加入大大小小不同的高斯雜訊，再以濾波器濾波及分散關係殼將影像雜訊濾除。在前一年的計畫中是以低通濾波的方式進行，將雷達影像中不連續的部分以模糊處理的方式使其連續。而本文中以高通濾波、中值濾波及低通濾波三種濾波器過濾影像雜訊，再與原始影像進行比對其訊噪比(SNR)值。比對的結果顯示以低通濾波的方式所獲得的 SNR 值較為合理。所以在之後的影像過濾雜訊的部分還是採用低通濾波的方式處理。在影像處理上雖然有以低通濾波

及分散關係殼濾除影像雜訊，但隨著影像雜訊的增強影像也被破壞影響。最後所得的頻譜及示性高也隨著雜訊的增強而有愈來愈小的趨勢，這將是目前無法進行處理的部分。

今年由於研究上在於表層流的部分面臨了些許問題，但已於找到解決的方法。所以預計於明年的八月份時將受表層流影響的部分處理模式加入程式中分析再比對是否能改善精度。

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. Klinken & 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
- 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

27. 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
28. Nwogu, O. 1989b "Maximum entropy estimation of directional wave spectra from an array of wave probes" *Appl. Ocean Res.*, Vol. 11, pp. 176-182
29. 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
30. 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
31. Phillips, O. M. 1988 "Remote sensing of the sea surface" *Ann. Rev. Fluid Mech.*, Vol. 20, pp. 89-109
32. Pierson, Jr. W. J. (ed.) 1960 "The directional spectrum of a wind Observation Project" *Meteor. Papers*, Vol. 2, Univ. N.Y., pp. 1-88
33. 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
34. 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
35. Schulz-Stellenfleth, J. 2003 "Ocean wave measurements using complex synthetic aperture radar data" PhD thesis, University Hamburg, pp. 132

- 36.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
- 37.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
- 38.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
- 39.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
- 40.Simpson, J. H. 1969 “Observations of the directional characteristics of sea waves” *Geophys. J. Royal Astr. Soc.*, Vol. 17, pp. 93-120
- 41.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
- 42.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
- 42.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
- 43.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

44. Tucker, M. J. & E. G. Pitt 2001 “Waves in ocean engineering” Elsevier, Amsterdam, pp. 521
45. Umbaugh, S. E., 1998, “Computer Vision and Image Processing: a Practical Approach Using CVIPtools”, Prentice Hall.
46. 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
47. Ziemer, F. 1987 “Untersuchung zur quantitativen Bestimmung zweidimensionaler Seegangsspektren aus Messungen mit nautischem Radar” Dissertation, Universität Hamburg, 151 pp.
48. 李智勇、沈振康、楊衛平、諶海新 1999 “動態圖像分析” 國防工業出版社 北京 257 頁
49. 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
50. 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
60. 紀凱屏 2001 “影像雜訊過濾方法與效果之探討” 碩士論文，國立成功大學，測量工程學系，89 頁

95 年臺北港雷達遙感波浪監測研究

MOTC-IOT-95 H2EB002

期末報告

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

工作內容與項目

- (1)現場監測作業部分
- (2)測波資料分析部分
- (3)維護網頁展示系統部分
- (4)比對雷達測波資料並修正影響因子提高遙測精度

將雷達遙測結果與觀測樁的監測結果相互比較驗證，並檢討各影響因素提高遙測精度

今年度研究方式

➤ 本研究團隊本年度將繼續以「波數-頻率譜」法分析雷達影像。

➤ 主要目的在於修正影響因素以提高分析精度。

➤ 分析步驟：

(1) 風速對雷達精度的影響

風速資料是採 2005 年的雷達資料及觀測樁資料比對分析

(2) 使用分散關係式的初步探討

要如何將主成分的部分保留，及將雜訊部分去除將是討論的重點。

(3) 影像受靜電雜訊的影響

靜電於雷達影像分析上有相當大的影響。為了解決此問題需經由濾波等影像處理方式進行影像還原

(4) 雷達影像求解表層流速的結果

表層流的分佈以小林(2000)文中所述的方式進行求解，得到整個區域的表層流速分佈

風速對雷達精度的影響

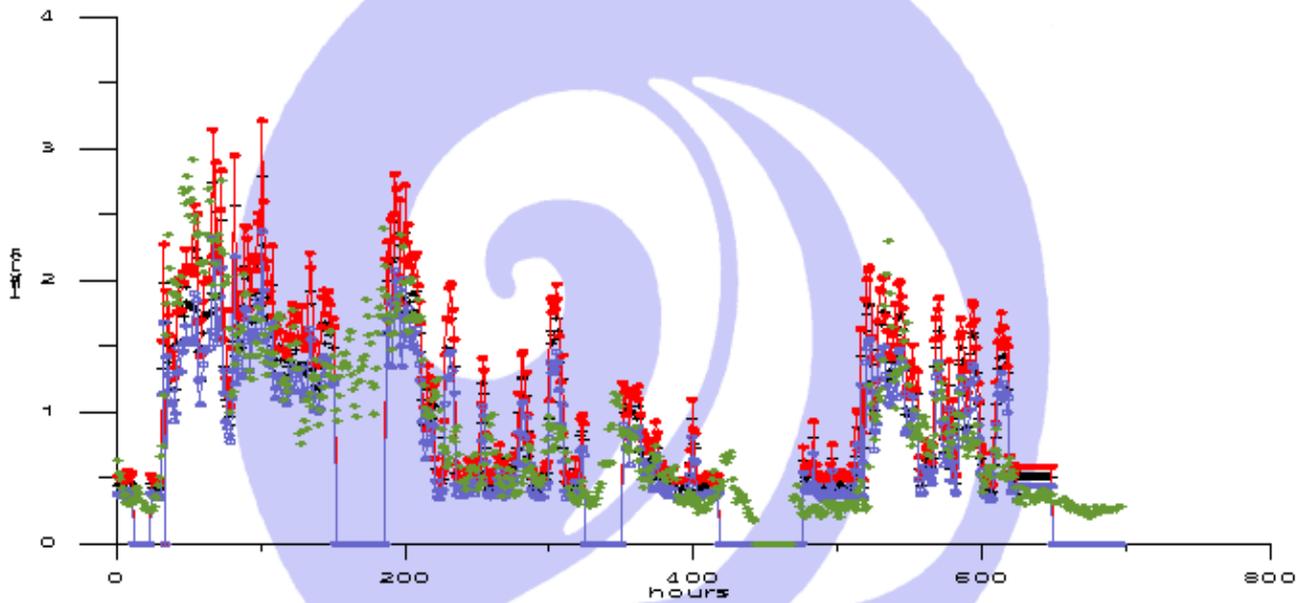


圖 3 2005 年 2 月潮波儀現地觀測示性波高值與雷達遙測所得的灰階像素示性波高值除 100 後，取 $\pm 15\%$ 區間的比對圖

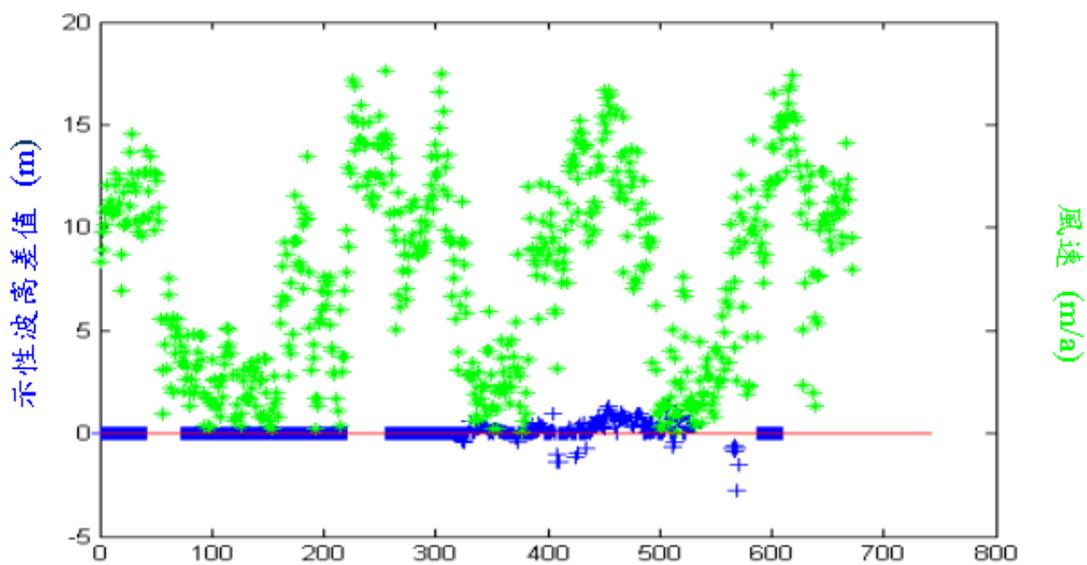


圖 4 2005 年 2 月風速 (m/s) 及雷達求得的示性波高 $\pm 15\%$ 與潮流儀示性波高資料差值比較圖

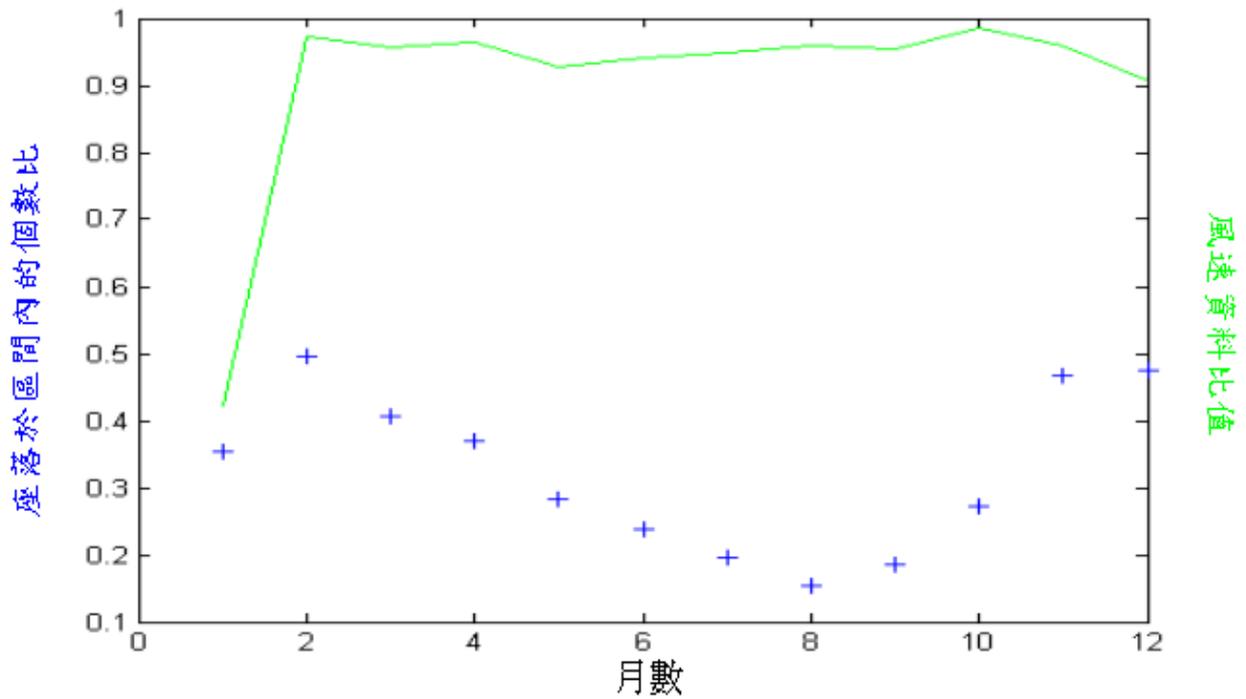


圖 5 各月 1 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

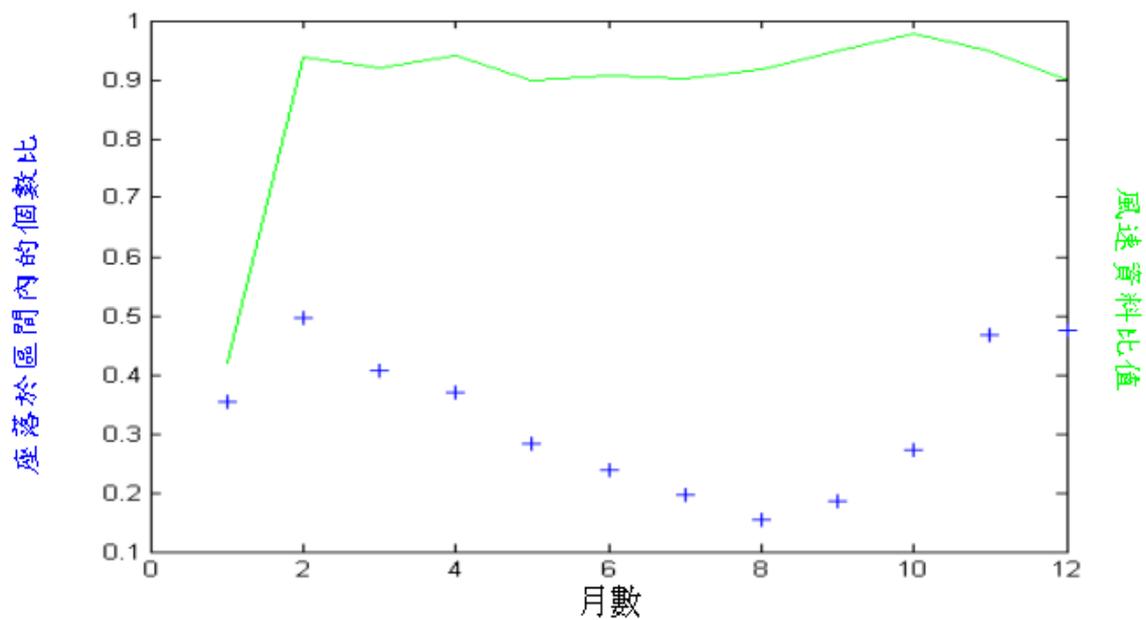


圖 6 各月 1.5 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

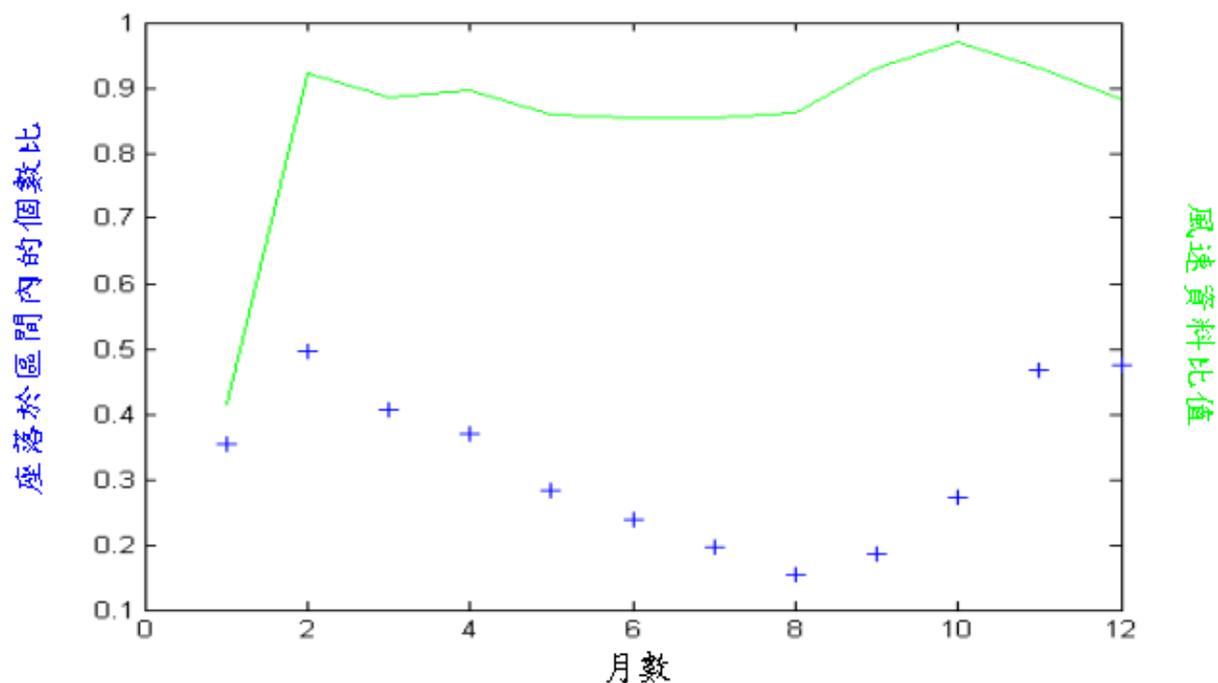


圖 7 各月 2 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

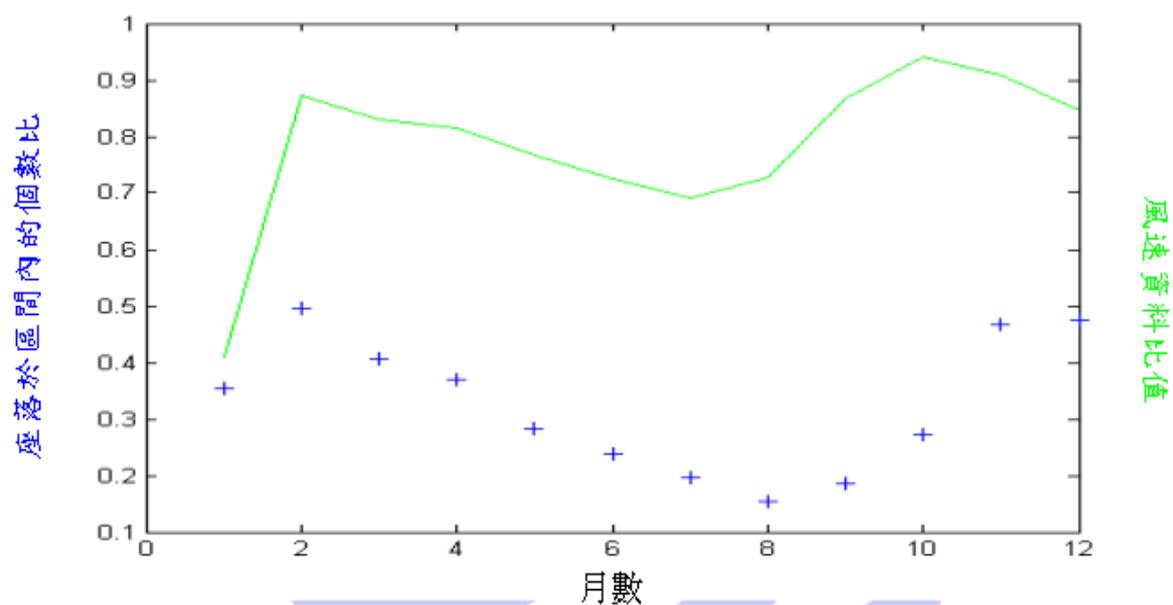


圖 8 各月 3 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

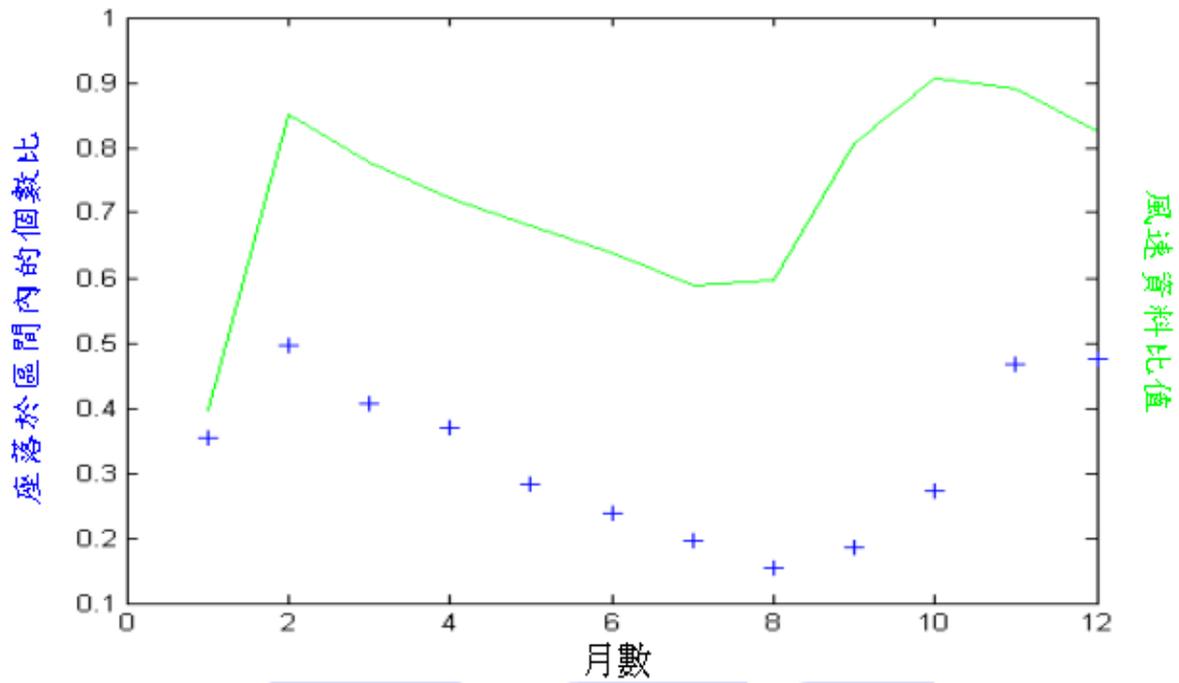
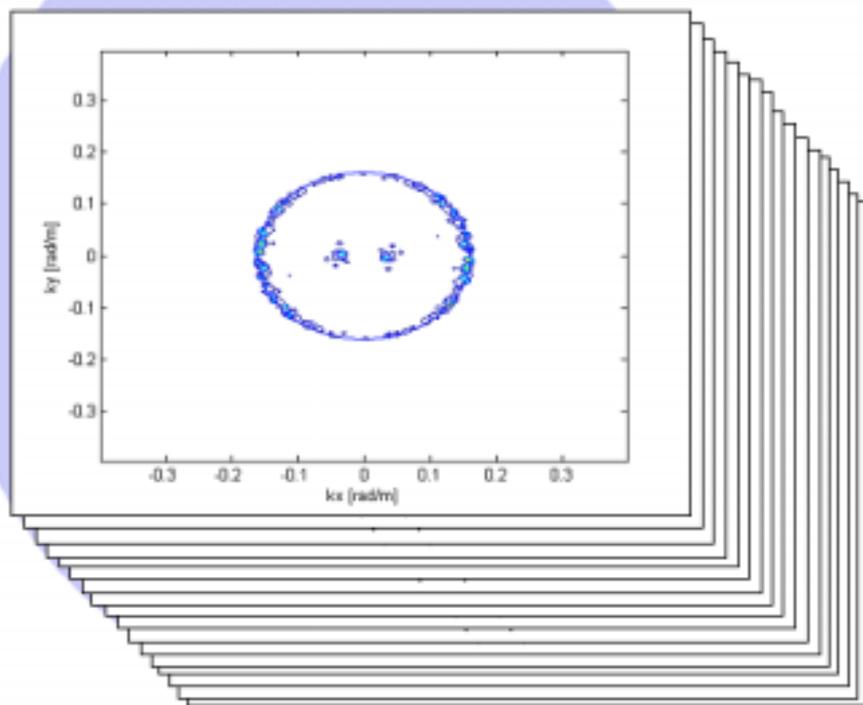


圖 9 各月 4 m/s 以上風速資料佔各月資料比重與各月位於正負 15% 區間內的比重的比較圖

使用分散關係殼的初步探討



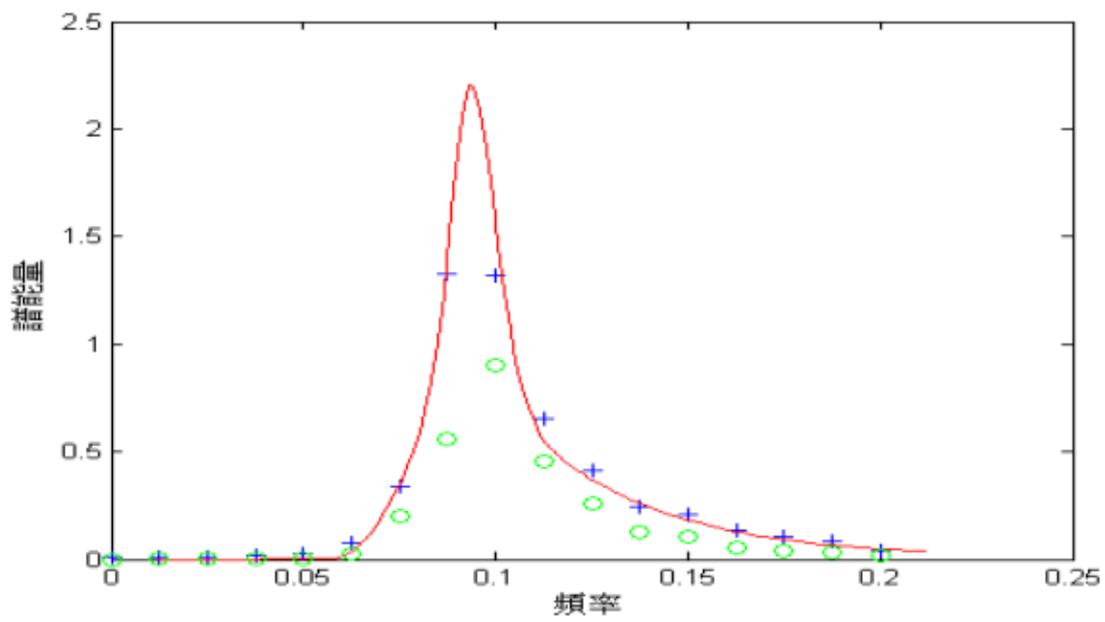


圖 10 由波數頻率譜轉換所得的頻譜

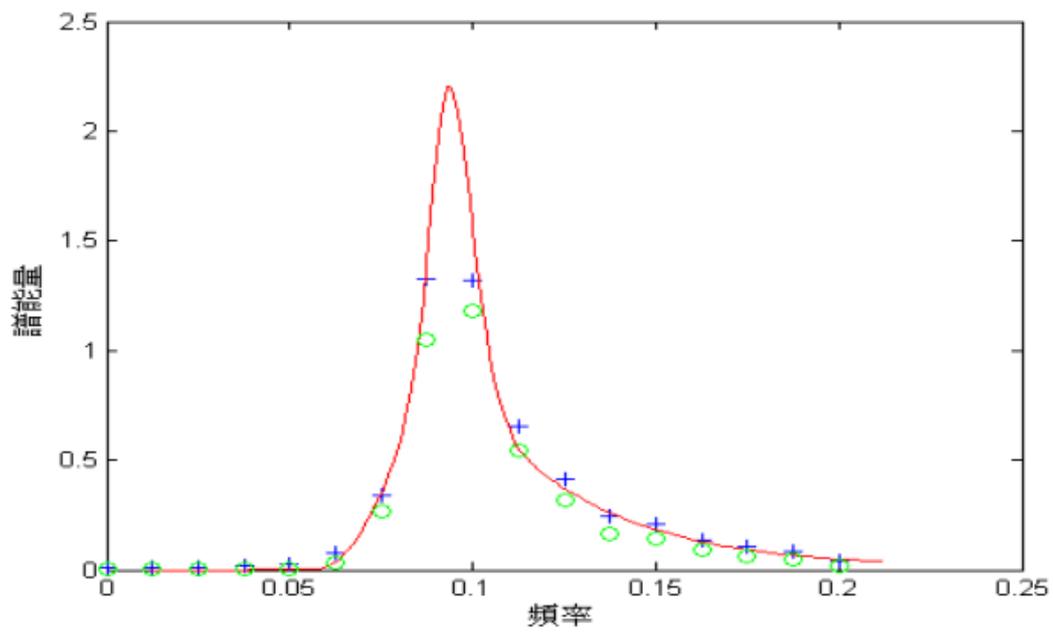


圖 11 增加 $\pm\Delta k$ 能量截取範圍後所得的結果

影像受靜電雜訊的影響

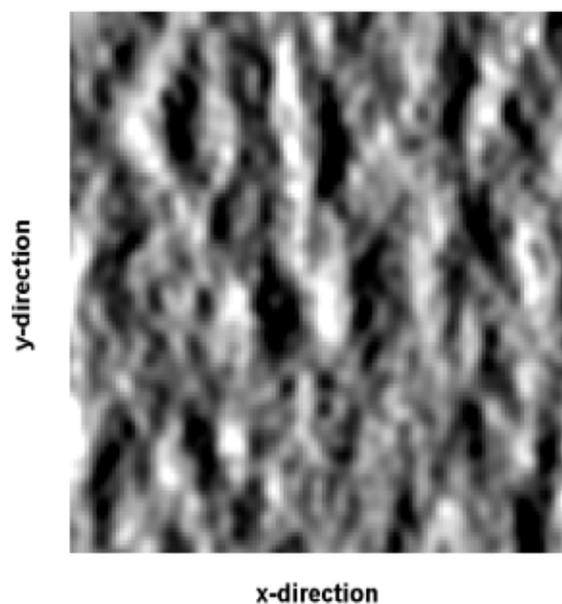


圖 12 模擬的不規則波面

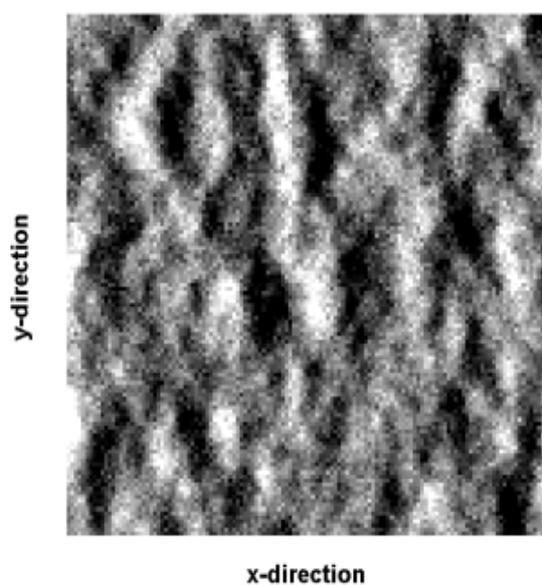


圖 13 經高斯雜訊破壞後的模擬影像

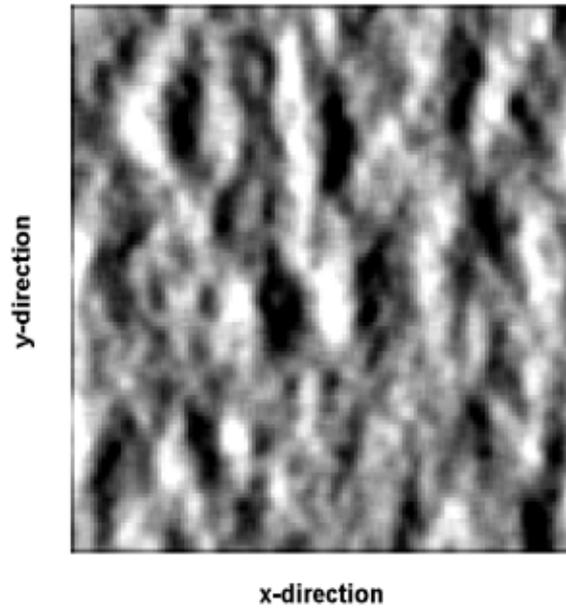


圖 14 經低通濾波器處理後所得的影像

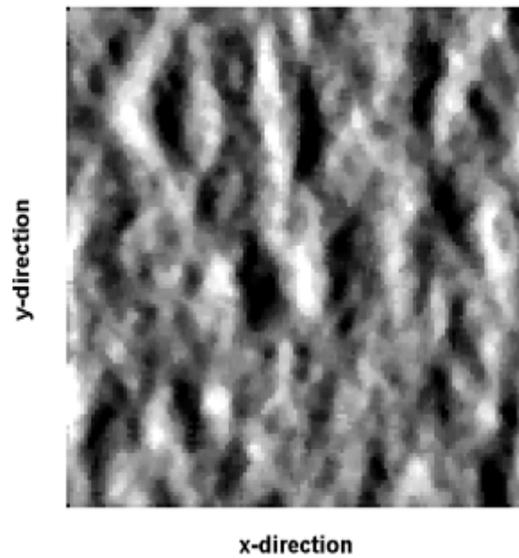


圖 15 經中值濾波處理後所得的影像

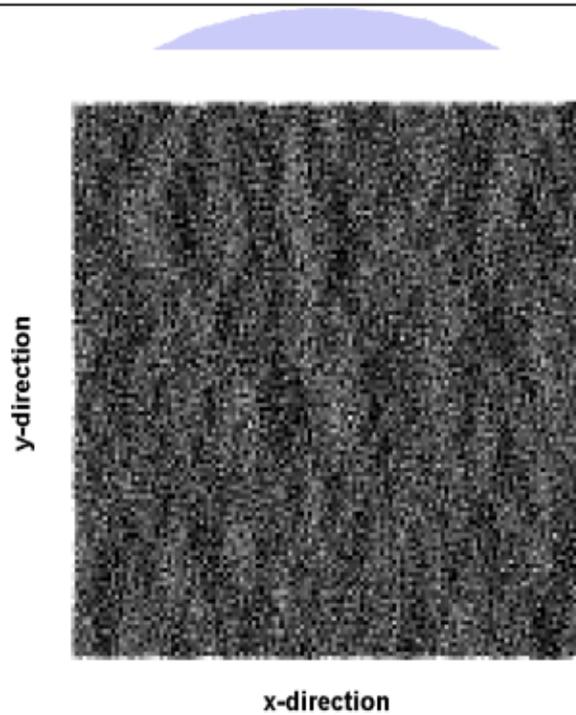


圖 16 經高通濾波圖處理後所得的影像

優劣的判斷方式

(1)均方根誤差 (root mean square error, RMSE) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2} = \sigma_e \quad (1)$$

(2)訊號雜訊比 (signal-to-noise ratio, SNR) :

$$SNR_{\text{dB}} = S / MSE = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{\sigma_f^2}{\sigma_e^2} \right] \quad (2)$$

$$\text{其中 } \sigma_f^2 = \frac{1}{MN} \sum_{y=1}^N \sum_{x=1}^M [f(x, y) - \bar{f}(x, y)]^2$$

$\bar{f}(x, y)$ 表示原始影像之灰階平均值

表 1. 三種濾波器處理後的結果

變方(σ^2)		0.0035	0.007	0.01	0.05	0.1	0.3	0.5	0.8	1
標準偏差 (σ , 灰階)		15	21	26	57	81	140	180	228	255
RMSE	低通	10.373	11.42	12.121	20.337	26.104	35.096	39.566	43.425	43.596
	中值	8.3788	10.606	11.973	24.78	34.701	55.596	67.198	78.695	82.377
	高通	162.76	214.97	252.97	511.91	675.28	888.4	953.18	1003.8	1028.6
SNR	低通	11.053	10.118	9.4882	5.3067	3.0625	0.3217	-0.424	-1.412	-1.754
	中值	12.883	10.79	9.66	3.5173	0.6389	-3.467	-5.093	-6.687	-7.218
	高通	-12.86	-15.31	-16.7	-22.76	-25.10	-27.50	-28.17	-28.74	-28.88
尚未過濾前的 SNR 值		7.7905	4.8776	3.3008	-3.304	-5.616	-8.137	-8.838	-9.422	-9.541

影像受靜電雜訊破壞對量測上所產生的影響

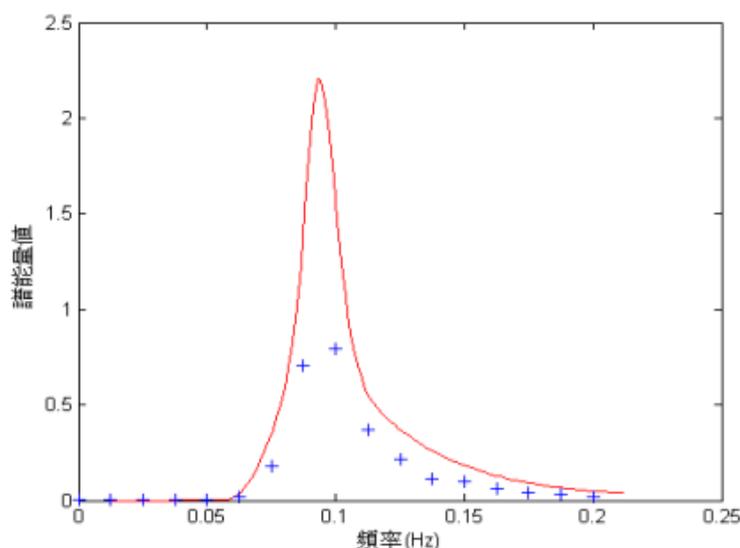


圖 17 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.005)

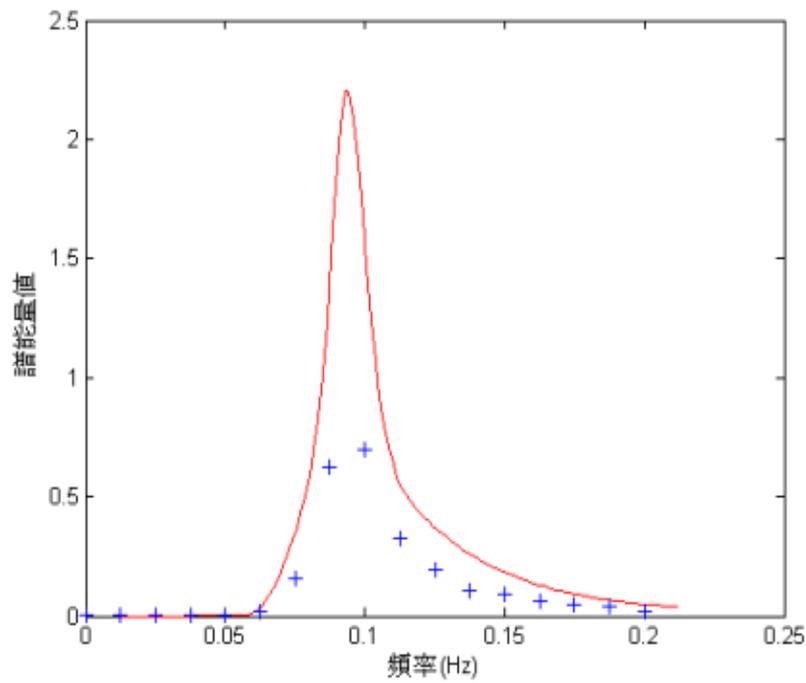


圖 18 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.05)

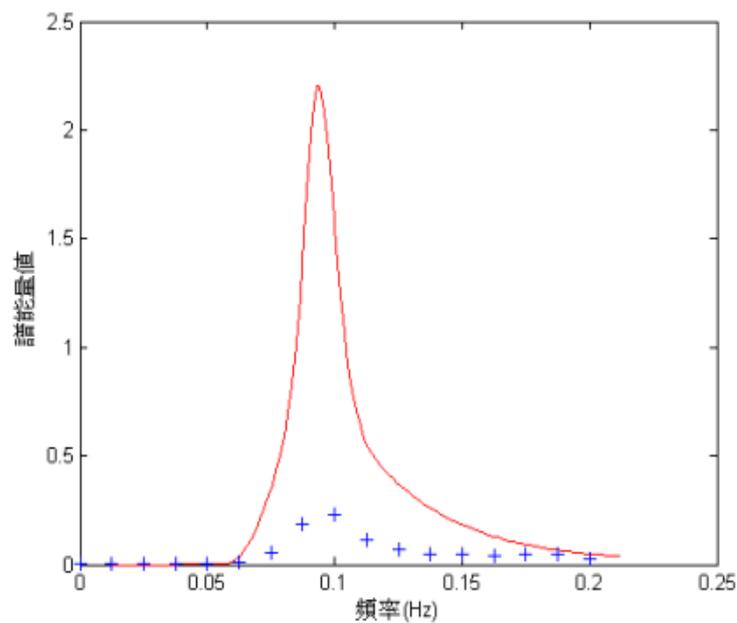


圖 19 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.5)

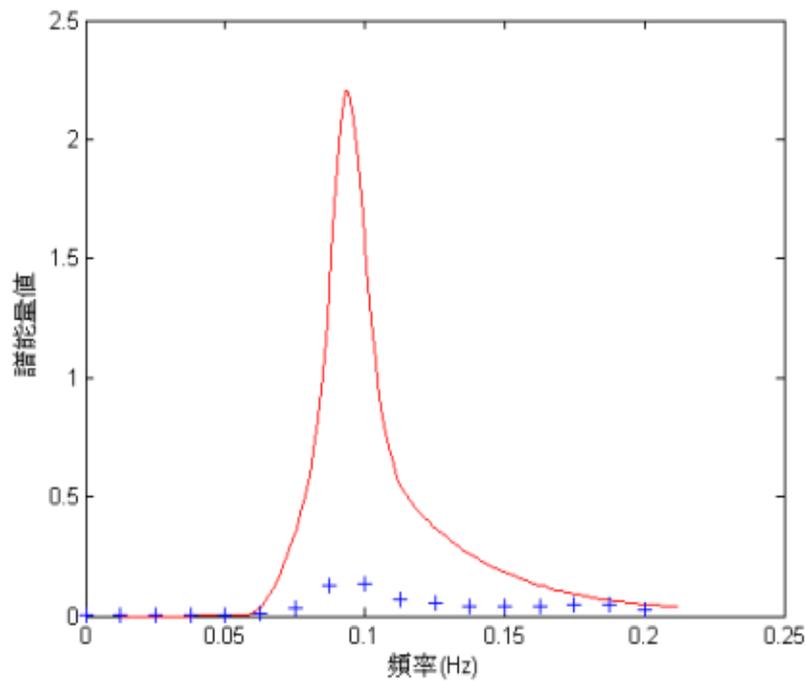


圖 20 經波數頻譜過濾後所得的頻譜圖(加入的雜變方(σ^2)為 0.9)

各濾波器對實際雷達影像處理後的結果

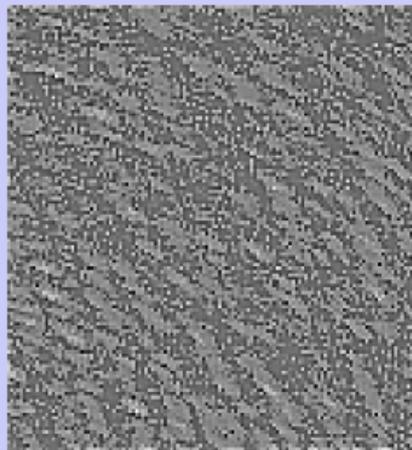


圖 21 雷達影像經高通濾波器處理結果(Hs=5.19 m，波向=358.5 度，Ts=5.95 s)

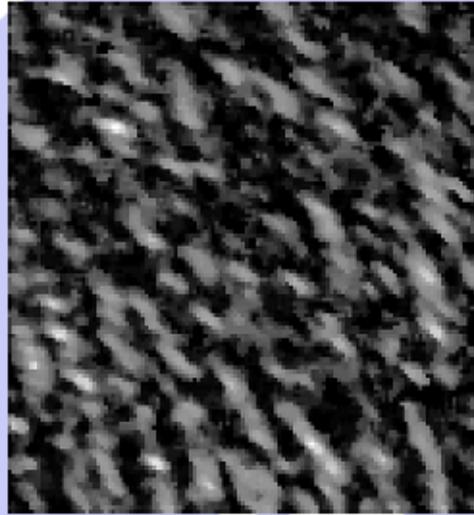


圖 22 雷達影像經高通濾波器處理結果($H_s=1.21$ m，波向=358.5 度， $T_s=9.06$ s)

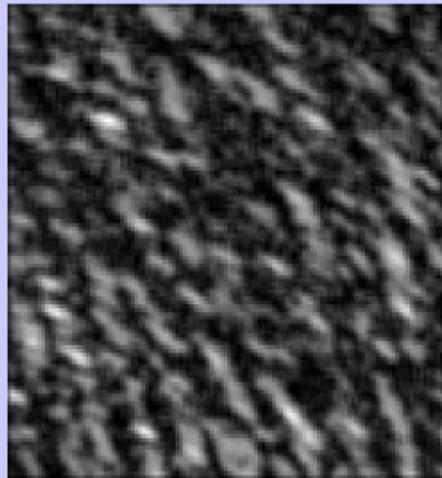


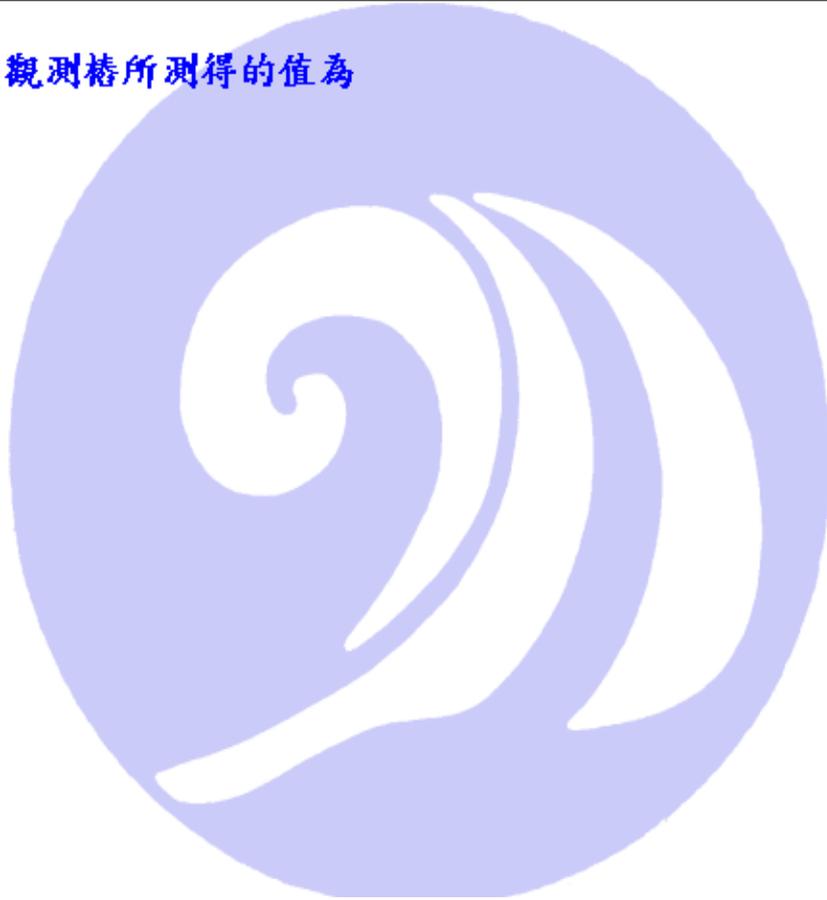
圖 23 雷達影像經高通濾波器處理結果($H_s=1.15$ m，波向=358.5 度， $T_s=10.77$ s)

2004/1/23 1:00 觀測樁所測得的值為

$H_s=1.27$ m

波向=356.1 度

$T_s=7.4$ s



雷達影像求解表層流速

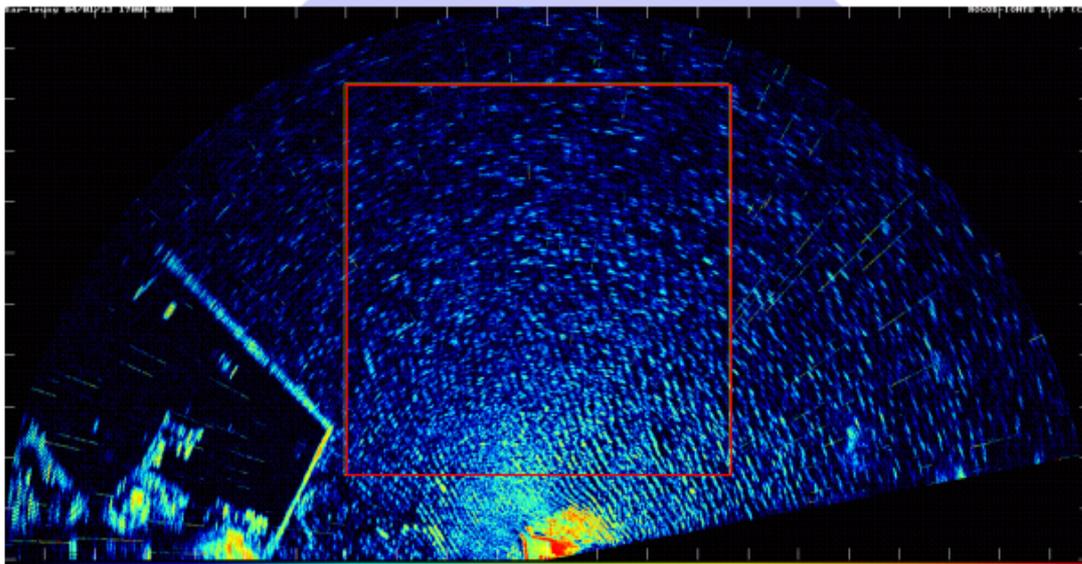


圖 24 欲分析的區域

將該區塊分為 128*128 像素的小區塊共 16 等分

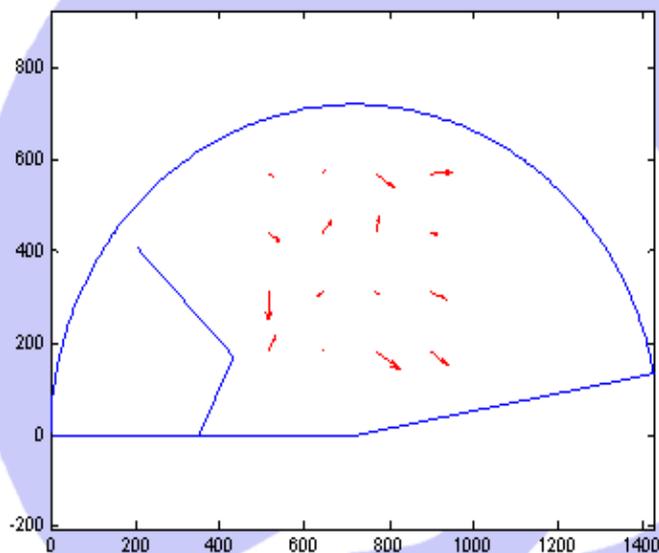


圖 25 該區域中劃分 128*128 像素共 16 等分的分析結果流速圖

將該區塊分為 64*64 像素的小區塊共 64 等分

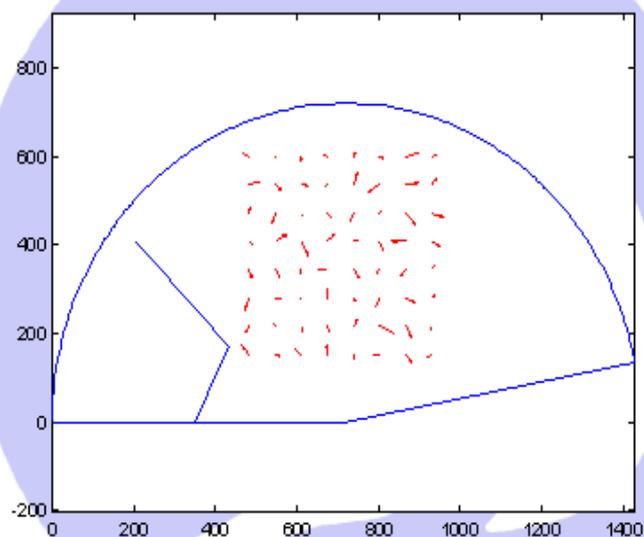


圖 26 該區域中劃分 64*64 像素共 64 等分的分析結果流速圖

將該區塊分為 32*32 像素的小區塊共 256 等分

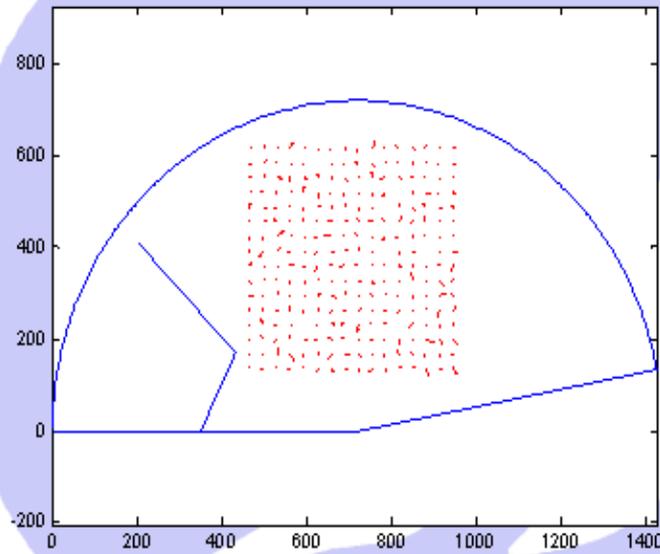


圖 27 該區域中劃分 32*32 像素共 256 等分的分析結果流速圖

計畫執行結果

(一)現場監測作業部份

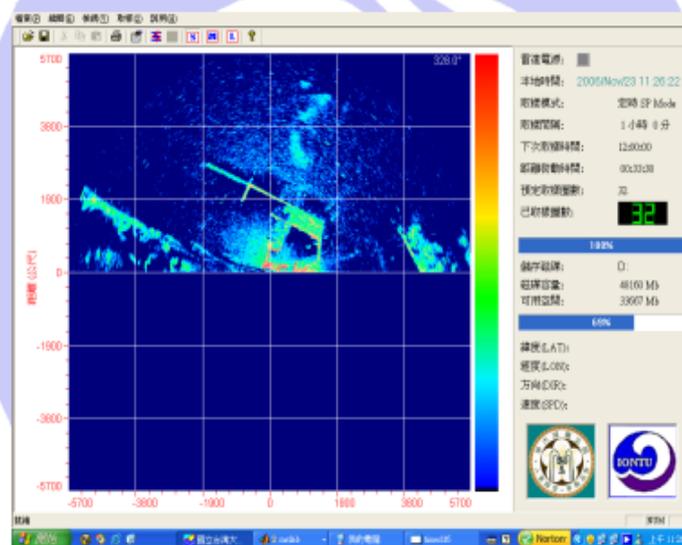


圖 28 雷達資料截取系統

(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。

(三)維護網頁展示系統部份

現有的台北港雷達測波站即時觀測資料已放置於台北港雷達測站的觀測電腦中

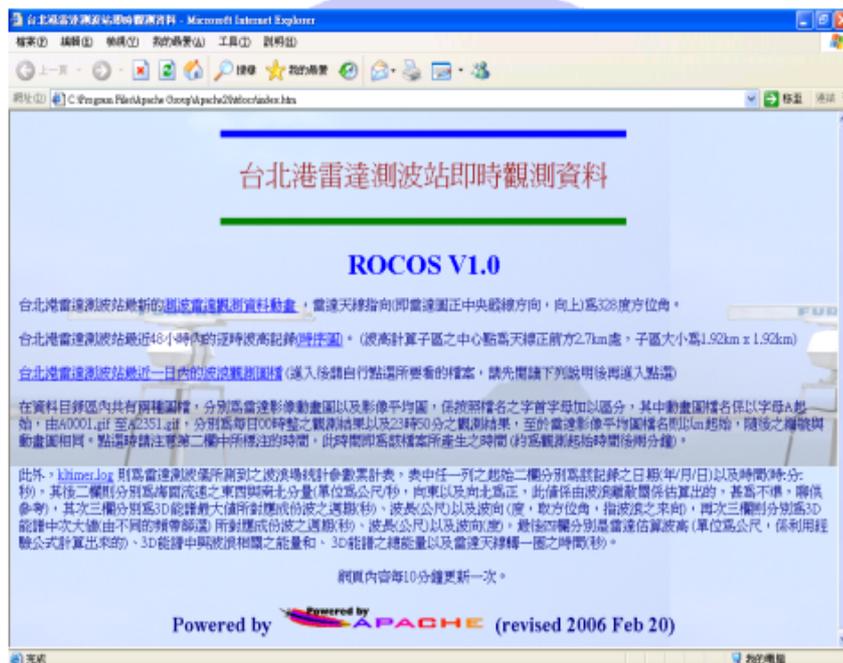


圖 29 台北港雷達測波站網頁

(四)比對雷達測波資料部份

示性週期、示性波高及波向的結果將顯示於附錄 A 中，並將波向資料繪製成玫瑰圖，其中附錄 C 為沙崙雷達影像分析波向所得的圖，附錄 D 為觀測樁分析所得的圖。台北港遷移後的雷達測站資料的分析結果放置於附錄 B 中，而計算後所得的波向玫瑰圖繪製於附錄 E 中。

(五)台北港一號雷達測波站之遷移

台北港一號雷達測站架設於台北港港務行政大樓(圖 6-5)，其平面配置圖如圖 6-6 所示，架設完成後的完工照片及分析儀器及雷達主機如圖 6-7 及 6-8 所示。



圖 32 台北港港務行政大樓

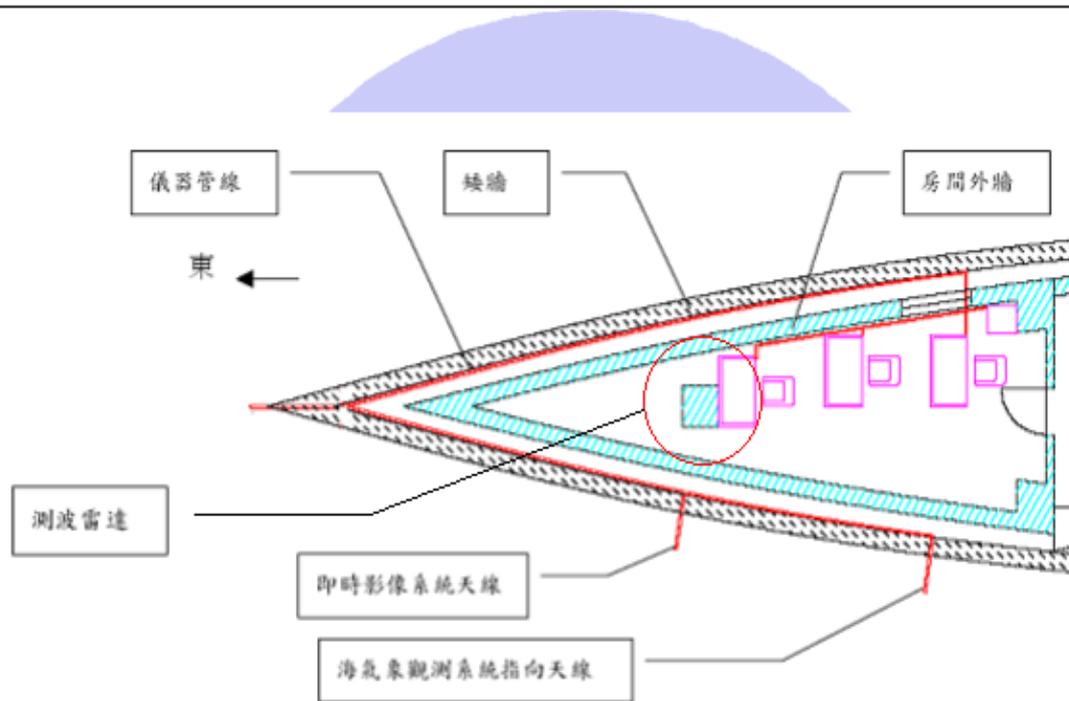


圖 33 雷達架設的平面配置圖



圖 34 雷達架設完工照片



圖 35 雷達控制系統架設完工照片

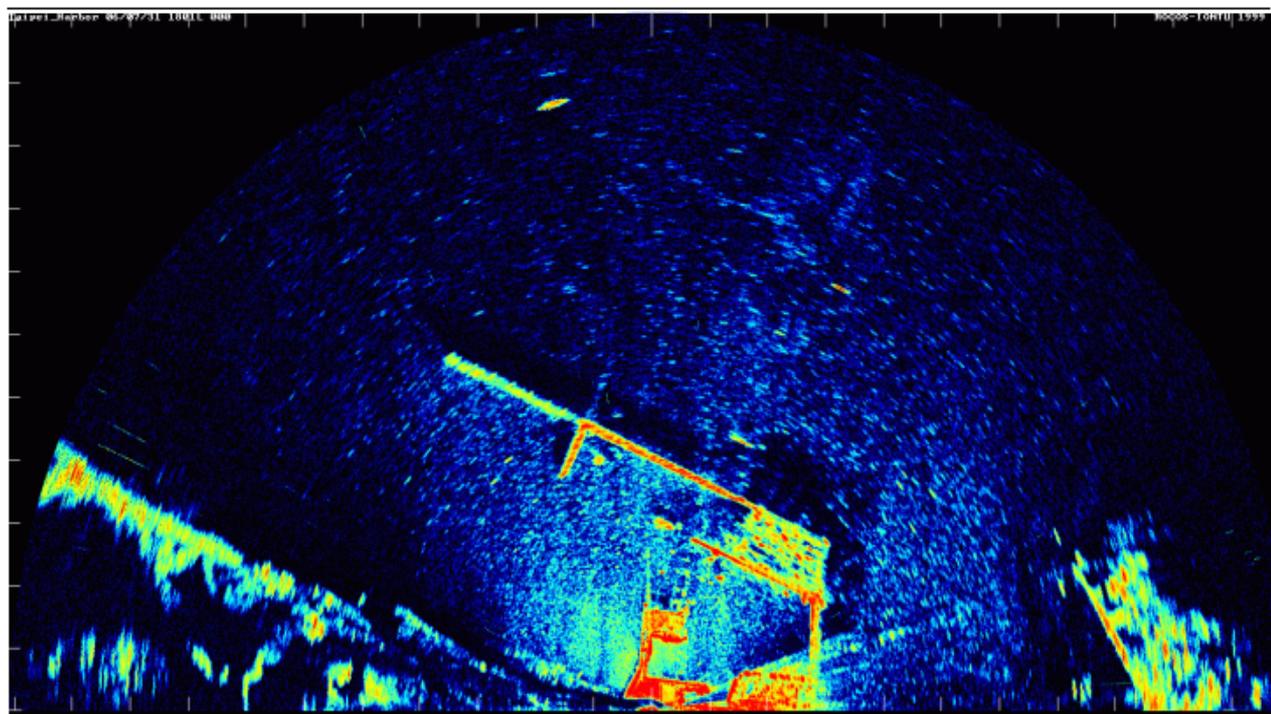


圖 36 台北港雷達測站顯示雷達遙測波浪圖像(雷達正向為 328 度)

結論與建議

- (1)目前的研究方式，是以逐時比對的方式進行。用 2005 年的遙測結果與當年的風速資料再次比對，由結果大致可看出風速確實有影響。
- (2)分散關係殼過濾出實際訊號的部分，需於波數譜上將 $\pm\Delta k$ 的譜能量加入考慮，所得的結果將會更接近於實測結果。
- (3)靜電雜訊對雷達影像的影響，三種濾波器使用後的比對的結果顯示以低通濾波的方式所獲得的 SNR 值較為合理。
- (4)表層流的計算，已經可以計算出一大流場中的分佈，於明年度將做更深入的比對分析，確認比對的結果。



附錄 B 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：95 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
<p>一、梁乃匡委員： 已按預定計畫執行，宜加強解釋為何 3m/s 風速以上觀測資料比較正確，建議風速採用當時的平均風速來分析而非統計資料。</p>	<p>本報告中風速已為每小時之平均風速。</p>	<p>符合</p>
<p>二、張憲國委員： 1. 圖橫縱軸座標明物理量。 2. 波高分佈已有多位學者指出為 Weibull 分佈較佳於理論的 Rayleigh 分佈，故比較波高或週期特性，請參考符合現場的分佈。 3. 圖 2-7 之比較 Hs 與 SNR 是故有區域性的結果。</p>	<p>1. 將予以改正 2. Forristall (1978) 應該是第一位建議用 Weibull 分佈來套配波高的學者。而 Longuet-Higgins (1980) 認為，Rayleigh 分佈是窄頻頻譜的理論結果，而 Forristall 所考慮的(暴風雨)波場應該算是寬頻的波場。Longuet-Higgins 指出，針對這種情況，只要把稍加修改一下就可以解決此問題了，即： $P(H < H_{ref}) = 1 - \exp\left[-\frac{H_{ref}^2}{8K^2 m_0}\right]$ Tucker & Pitt(2001) 認為，實際應用時可以用 K=0.9。故與 Rayleigh 分佈原相關的式子可以發現，此時的分佈可能會變成：</p>	<p>符合</p>

	$f'(H) = \frac{H}{4k^2 m_0} \exp\left[-\frac{H^2}{8k^2 m_0}\right]$ <p>則 $\frac{1}{p}$ 大波的平均波高則變成：</p> $H'_{\frac{1}{p}} = \frac{\int_{H_p}^{\infty} H f'(H) dH}{\int_{H_p}^{\infty} f'(H) dH}$ $= \sqrt{8K^2 m_0 \ln(p)}$ $+ p \sqrt{2\pi K^2 m_0}$ $\{1 - \text{erf}[\sqrt{\ln(p)}]\}$ <p>粗略地估計從上式所得的結果大約是：</p> $H'_{\frac{1}{3}} = H'_s \approx 4.0 \times K \sqrt{m_0} = 0.9 H_s$ <p>雖然這似乎表示，對量測誤差在 10% 左右的現場資料來說，若採用 Weibull 分佈求示性波高的結果應該是已經包含在所謂的『量測誤差』了，故採用以上的關係式應該可以得到較合理的結果。</p> <p>3. 是，但目前本研究團隊尚未達到此階段，所以對此問題還有待深入研究。</p>	
<p>三、涂盛文委員</p> <p>1. 本計畫上半期主要工作在分析探討雷達影像清晰度與風速大小之關係，有具體成果表現，對改善雷達遙感波浪確有正面意義。</p> <p>2. 今年七月有兩次颱風經</p>	<p>1. 感謝委員的肯定</p> <p>2. 雷達在今年 7 月 18 日正式由海大遷至台北港所以這兩次颱風的資料有所缺失，將於安裝完成後，再對記錄影像中的颱風資料，個別提出討論。</p> <p>3. 感謝委員的肯定，下半期將</p>	<p>符合</p>

<p>過臺灣，建議取用該批實測紀錄與雷達測波結果進行比對。</p> <p>3. 下半期將研究下雨及表層流對遙測精度上之影響，期望研究團隊努力付出，以獲得豐碩成果，對於日後雷達遙測波浪工作將有實質貢獻。</p>	<p>會付出更多的心力持續研究。</p>	
<p>四、蔡立宏委員：</p> <p>1. 建議圖說及文章內容之時間應增加年份。</p> <p>2. 建議潮波儀與雷達波高分析應再增加其它季節月份以及近年 2005 年資料。</p> <p>3. P. 29 “合理區”的定義請說明。</p> <p>4. 建議潮波儀與雷達所測得波高比較，可再利用不同波高加以分析討論，或探討其相關性及準確性。</p> <p>5. 封面題目“台北”及“九十五”應依照規定編寫為“臺北”及“95”。</p>	<p>1. 將予以改正</p> <p>2. 將於下期內容中新增分析資料。</p> <p>3. 由於上年度的執行結果中的可信度達 14% 左右，所以定 $\pm 15\%$ 為分析時的合理區間。</p> <p>4. 如果潮波儀的示性波高是依 $H_s = 4\sqrt{m_0}$ 的關係式求得的，而其它的不同波高的資料是依 Rayleigh 分佈的關係式求得的，故當然可以以同樣的方式求得各種不同的波高值與其比較。不過，因為這些波高都是示性波高的再乘上一個常數而已，而示性波高又是從頻譜的零階動差求出來的，所以等於是在一個等式的兩邊同時乘上一個常數而已，意義似乎不大。</p> <p>5. 將予以修正</p>	<p>符合</p>
<p>五、吳基委員：</p>	<p>1. 將於期末報告中加入</p> <p>2. 將收集今年度受颱風影響</p>	<p>符合</p>

<p>1. 報告中用於分析之 2004 年 1~8 月風資料為中央氣象局淡水陸上測站觀測數據，與海上樁歷年觀測結果相差甚多，期末報告建議以 2005 年觀測樁實測資料作相關之分析。</p> <p>2. 颱風侵襲歷程，逼近時期與遠離階段之風、流、波變化及雷達影像反應，建議作進一步研究。</p>	<p>的雷達影像圖，再進行討論。</p>	
<p>六、莊甲子委員書面審查：</p> <p>1. 摘要內容宜改用本年度研究成果內容結果加以摘述不宜使用類似計畫緣起之詞句。</p> <p>2. 第 1.2 節(研究範圍與對象)中所有”擬”字宜去除。</p> <p>3. 工作內容(第 1.4 節)中第五項作業宜補述其進行步驟。</p> <p>4. 第二章理論基礎內第 2.1 節之前的介紹性敘述宜加精簡。</p> <p>5. 圖 3-2 及 3-3 中紅(+15%)紫(-15%)二種標示似無需要，徒增混淆，建議去除或改繪其範圍曲線。</p> <p>6. 除風速外，其餘因子如距</p>	<p>1. 將予以修正。</p> <p>2. 將予以修正。</p> <p>3. 將予以修正。</p> <p>4. 將予以修正。</p> <p>5. 將予以修正。</p> <p>6. 此部分尚在研究中，有新的研究成果將於期末報告中加入討論。</p> <p>7. 將予以修正。</p> <p>8. 將予文中說明。</p>	<p>符合</p>

<p>離、方向、海流、流速等的影響程度，應宜有所交待。</p> <p>7. 部份圖形之座標軸符號標示有誤。</p> <p>8. 風速分界點(3m/s)如何訂出宜加補充說明。</p>		
--------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

附錄 C 交通部運輸研究所合作研究計畫期末報告審查意見處理情形表
交通部運輸研究所合作研究計畫

期中 期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：95 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
<p>一、梁乃匡委員書面意見：</p> <p>已按預定計畫完成工作項目，雷達資料分析基礎研究已有進展，希望未來繼續努力。。</p>	<p>感謝委員的肯定</p>	<p>符合</p>
<p>二、涂盛文委員</p> <p>1. 測波資料分析，已達成自動化執行的目標，惟部分網頁資料尚未能上傳至網頁上供查閱使用，宜盡力克服。</p> <p>2. 表層流因素的影響，風速 3m/sec 以下之遙測值準確性太差，目前無法突破，未知將來有無解決方法？</p> <p>3. 大致上，按預定進度執行。</p>	<p>1. 將於下年度盡力改進。</p> <p>2. 未來將考慮把風速 3m/sec 以下風速的雷達影像資料拿出來個別分析，再研擬更好的解決方式。</p> <p>3. 感謝委員的肯定。</p>	<p>符合</p>
<p>三、蔡立宏委員：</p> <p>1. p18 之圖 2-4 及圖 2-5 圖形建議再清晰，圖說 f0 應為 f₀，散佈參數文中未提及請說明。</p> <p>2. p21 式中(2-19)上一列中，請說明「真值」，圖 2-7 為前人研究結果，請問本研究台北海域之結果如何，建議下年度增加</p>	<p>1. 有關 p.18 內文已加以修正，而文中是使用了 Mitsuyasu 散佈函數來配合目標波譜的模擬，該散佈函數式為：</p> $G(f, \theta) = G_0 \cos^{2sp} \left(\frac{\theta}{2} \right)$ <p>其中 θ 為波的行進主方向</p>	<p>符合</p>

<p>探討。</p> <p>3. 圖 3-1、圖 3-3、圖 3-5 及圖 3-6 文章中未見說明，圖 3-5 中圖說之示性波高±15%，繪圖實際所用之值為何？</p> <p>4. p37~p44 之圖 4-3 圖 4-18 文章中請補充說明，以及圖中色階單位。</p>	$G_0 = \left[\int_0^{2\pi} \cos^{2sp} \left(\frac{\theta}{2} \right) d\theta \right]^{-1}$ <p>參數 sp 代表方向頻譜在主頻能量的集中度。Goda(2000)為將參數 sp 修正為：</p> $sp = \begin{cases} S_{\max} \cdot (f / f_p)^{-2.5} : f \geq f_p \\ S_{\max} \cdot (f / f_p)^5 : f \leq f_p \end{cases}$ <p>其中 S_{\max} 為方向散佈參數 sp 尖峰值。方向散佈參數 S_{\max} 愈大，表示波浪於行進主方向的能量愈集中，反之則否。</p> <p>2. 關於「真值」在本文中是指觀測樁所測得的數據資料，包括了示性波高、週期、波向等實測資料；下年度將考慮做深入的探討。</p> <p>3. 圖 3-1、圖 3-3、圖 3-5 及圖 3-6 文中的說明已在第三章內文中予以修正；繪圖實際所用的亦為±15%。</p> <p>4. 已於該文中補充說明，並於圖 4-3~4-18 中加入顏色映色對照圖，而該色階的單位為</p> <p>[$m^2 \text{ sec}$]</p>	
<p>四、吳基委員：</p> <p>1. 研究團隊對影像處理之技術作過許多努力，值得肯定。</p>	<p>1. 感謝委員的肯定。</p> <p>2. 將於附錄中將該資料予以刪除。</p>	<p>符合</p>

<p>2. 月波向(實測)應為錯誤，可刪除，如發現問題，隨時與提供人聯絡確認。</p> <p>3. 與實測資料比對，不同季節風狀況下之誤差建議作一些討論。</p> <p>4. 簡報中 show 出之表層流，流向較混亂，正確性如何？</p>	<p>3. 由於目前僅討論一年的風速資料與波高之比對，將收集更多的相關資料再做更深入的探討。</p> <p>4. 今年目標是將表層流計算模式建立，將於明年度對所計算出表層流的正確性做討論分析，</p>	
<p>五、莊甲子委員：</p> <p>1. 第三章中僅有 3.1 節內容，缺 3.2 及以後各節內容。</p> <p>2. 圖 3.3 及 3.4 中風速的影響效應如何宜加補充說明。</p> <p>3. 圖 3.5 及 3.6 所代表意義的文句說明宜加補充。</p> <p>4. 表 3-1 所代表的意義與各圖(圖 3.7 至 3.11)分析結果的相關性宜加說明。</p> <p>5. 圖 3.7~3.11 中綠線與藍點所代表的意義及其相關性宜加文句補充說明。</p> <p>6. 第 36 頁“80%”部份宜加佐證資料並加文句說明。</p> <p>7. 表 5-3 顯示靜電產生之雜訊影響頻譜及示性波高之大小不小，於後續研究分析時應如何防止宜有所說明。</p> <p>8. 整體而言，本計畫工作項目、內容與執行成果均甚充實，值得肯定。</p>	<p>1. 已添加 3.2 節風速資料對實際雷達影像的影響於該章中。</p> <p>2. 該說明已加於該章節 p.25 頁中。</p> <p>3. 該說明已加於該章節 p.29 頁中。</p> <p>4. 表 3-1 所代表的為在風速 3m/s 時的詳細資料即繪製圖 3-10 的資料。</p> <p>5. 已於 p.31 頁中加入該說明</p> <p>6. 已於該 p.36 頁中予以補充說明，但該 80%為目前所得的最佳結果，在一般的參考資料中僅提及其修正方式其回升的比率與影像的前處理(影像濾波、選取區塊)有著相當程度的關係，所得的結果也會因此而不同。</p> <p>7. 目前所預定的方式還是以濾波的方式進行，而後續將研擬更好的處理方式進行，以得到更好的結果。</p> <p>8. 感謝委員的肯定。</p>	<p>符合</p>