

# 利用影像決定近海波向

翁文凱<sup>1</sup> 林騰威<sup>2</sup> 周宗仁<sup>3</sup> 邱永芳<sup>4</sup> 何良勝<sup>5</sup>

## 摘要

一般分析雷達回波的影像時，大多採用頻譜分析的方法，本研究使用不同於一般從頻率域出發的作法，成功地直接從空間域找到簡易的方法來判斷波向，初步地測試以此方法分析結果與歷年統計結果相當吻合。

## Wave Direction Determined by Radar Image Sequences

W.K. Weng T.W. Lin C.R. Chou Y.F. Chiu L.S. Ho

## ABSTRACT

Almost published papers determined the wave direction by radar images were often analyzed the data via FFT (Fast Fourier Transform). However, this study tried a simple way through image processing in the space domain successfully. The results were corresponded with the data of wave observing pile.

## 一、前言

從事海事工程之規劃及設計時，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，而近年來，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。現場海象資料的蒐集，除了建立觀測樁之外，現在也能運用雷達遙測的方法取得。

隨著科技的發展，遙測的儀器不斷進步，最大的特點即是-不用架設在特定的觀測點上，並且可架搭在任何交通工具或陸上，另外在儀器的維修及資料擷取上也較為方便簡易。此外，能夠一次蒐集大範圍的資料也是其優點之一。

有關應用雷達從事波浪遙測方面之研究相當早

，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，同時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。

使用雷達來遙測波浪，可選擇設置於環境條件較為穩定之岸上以觀測近岸的波向，雷達所蒐集之範圍較廣，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。

吳等人(2003)曾經做過相同研究，該研究是利用影像所得資料做頻譜分析，本研究則有別於一般做法，不經由頻率域著手，找出更容易判別波向底方法。

本研究團隊曾經於實驗水槽利用 CCD (Charged Coupled Device) 攝影機拍攝規則波與不規則波波場變化，並配合波高計的量測，將這兩種系統量測的數據做分析，並回歸出轉換函數，並成功的驗證利用攝影機遙測波高變化的可行性

1. 國立台灣海洋大學河海工程學系副教授
2. 國立台灣海洋大學河海工程學系博士班研究生
3. 國立台灣海洋大學河海工程學系教授
4. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
5. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長

(Chou et al., 2004, 2003a, 2003b, 2002)。本研究則運用相同的原理及手法，將此技術移轉至雷達遙測，利用雷達影像判定波向。

## 二、研究方法

### 2.1 實驗設備

#### 2.1.1 雷達遙測

本研究是使用國立台灣大學海洋研究所研發之 Wave Scanner 雷達海象觀測系統(ROCOS, Radar Ocean Climate Observation System)，該系統採用 Furuno 公司之型號 FR-8251 的船用雷達，FR-8251 雷達所發射之雷達波在垂直及水平方向上的射束寬度分別為 25.0°及 1.2°，天線的轉速為 24 rpm，為 X-band 雷達，發射與接收之電磁波皆為水平偏振，發射頻率為 9.41Ghz(波長約為 3.2 cm)，最大發射功率為 25 KW。

FR-8251 雷達具有多重測距範圍選擇，測距越遠則所需發射功率越強，而發射波之脈衝寬度也越大，空間解析度相對地變差。為了觀測波浪，在考量解析度要好以及量測範圍不可以太小得情況下，我們設定量測範圍在 1.5 海浬（約 5.7 公里），發射脈衝寬度為 0.08  $\mu$  sec，脈衝頻率為 2100 Hz。

ROCOS 測波系統每小時整點時自動開始波浪量測工作，紀錄 80 秒（共 32 張圖片）。

本試驗共設置兩處雷達測站，如圖 1 所示，一處設置在台北港，命名為台北港一號雷達測站，雷達天線主方向為 310°方位角，但隨著台北港的陸續完工，受到外廓防波堤的阻隔，此測站已逐漸失去作用；而另一處設置在淡水第二漁港，與台北港相隔著淡水河，命名為台北港二號雷達測站，此地點可以毫無障礙地觀測到整個淡水河口，以及台北港外廓防波堤以西北和觀測樁一帶的海域，雷達天線主方向為 290°方位角。本研究主要針對台北港二號雷達測站做分析。

#### 2.1.2 觀測樁

觀測樁設置在台北港外廓防波堤外，北緯 25°10'44"、東經 121°22'41"、水深 16 公尺處，搭載 Inter Ocean 公司之 S-4 ADW 潮流儀，可記錄波浪、海流，另外由風速計紀錄風資料。

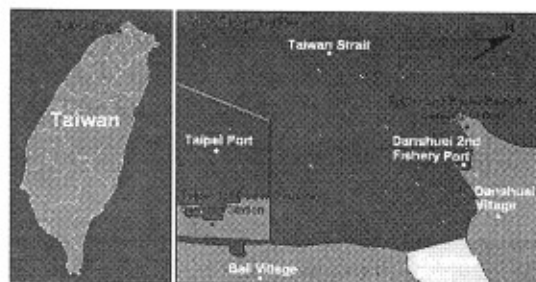


圖 1 雷達遙測站位置

### 2.2 分析方法

本實驗分析方法是從時間域著手，分析雷達影像中雷達回波反應出的波峰走向，透過影像的處理及解讀，使電腦可自動判讀波浪前進的方向。

由於所取得的雷達影像所包含的雜訊可能影響判讀得結果，必須藉由一些影像處理的手法，如灰階化、低通濾波、及二值化，來改善影像的視覺效果，最後利用線性回歸決定波向，以達到電腦自動由影像分析和處理。

雷達所拍攝的範圍大，圖像所包含的實際範圍廣大，造成影像中表現波浪的特徵較不明顯，且有被忽略的趨勢，如波峰線之間雷達回波應該反應波谷的部份，往往會受到波峰的遮蔽而無法反應出，造成在電腦判讀上的障礙，此時我們透過低通濾波來試圖還原波谷的部份，然後直接使用二值化將波峰與波谷兩者的影像以強烈的對比表現出來，這不連續界面平行波峰線，藉以替代波峰線的表示，最後在藉由線性回歸的方式找出波峰線的走向(斜率)，再求得波向。

#### 2.2.1 灰階化

本研究所使用的雷達影像表現方式為紅綠藍(RGB)三元色所組成的色階變化，在雷達影像下方有一條代表雷達回波強弱的顏色尺標，但一般所使用的彩色轉灰階的公式採用線性疊加的方式，如：

$$\text{Gray} = \frac{(R + G + B)}{765} \times 255 \quad (1)$$

其中

Gray:轉換後的灰階值

R:轉換前的紅色值

G:轉換前的綠色值

B:轉換前的藍色值

此結果則會遮蔽了一些原有的性質，如圖 2 為原始圖，圖 3 則是一般轉換公式轉換後的結果，可以發現緊臨二號測站周圍，應該回波最強，顏色為的紅色，在轉換後反而變成了灰色，而不是白色(灰階中代表回波最強的顏色)；由圖片底下的顏色尺標也可以發現，原本應該由左而右呈現漸強的狀態，現在反而變成了弱-強-弱(灰-白-灰)的表現型態，這與全彩色板下的強弱不同，如圖 4 所示，R、G、B 三顏色的值是先後出現，灰色線是一般轉換公式轉換的結果，呈現近似二次的線性變化，並非近似一次的線性變化，此線性疊加的方法並不正確。

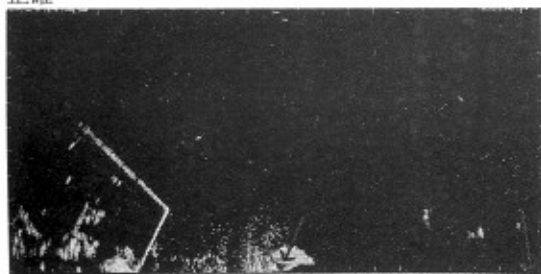


圖 2 雷達回波之彩色影像

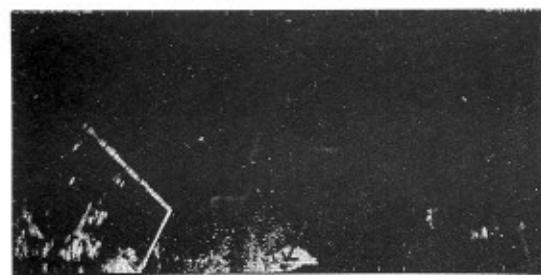


圖 3 雷達回波之灰階影像(一般轉換公式)

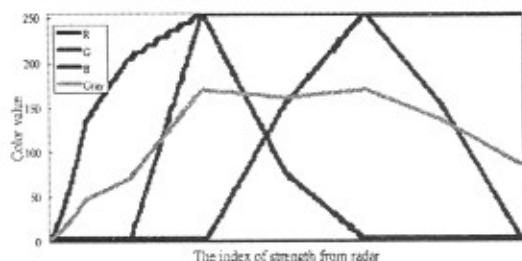


圖 4 雷達回波的彩色 RGB 色板及灰階(一般轉換公式)色板變化

經過研究，我們修改了疊加方式，由於三元色的表現時機略有些相位差，當藍色值增加到最大且開始減小時，綠色值才開始增加，而當綠色值增加

到最大且開始減小時，紅色值才開始增加，因此將轉換式修改成：

$$B' = \begin{cases} B & (G < 255) \\ 255 + (255 - B) & (G \geq 255 \text{ or } R \geq 255) \end{cases} \quad (2)$$

$$G' = \begin{cases} G & (R < 255) \\ 255 + (255 - G) & (R \geq 255) \end{cases} \quad (3)$$

$$Gray' = \frac{(R + G' + B')}{1275} \times 255 \quad (4)$$

轉換出的灰階圖片(圖 5)，於緊臨二號測站附近，轉換前回波最強的部份(紅色)，在轉換後為白色；由圖片底下的顏色尺標也可以發現，尺標也由左而右呈現漸強的狀態。另外在圖 6 也可以看到，修正後的灰階變化呈現近似一次的線性變化，而原始模式則呈現近似二次變化線性的形式。



圖 5 雷達回波之灰階影像(修正後轉換公式)

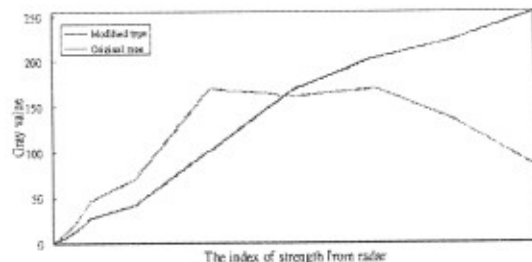


圖 6 雷達回波的灰階(一般轉換公式及修正後轉換公式)色板變化

## 2.2.2 影像濾波

功能在於凸顯或是濾除影像中某些部份之訊號，例如低通濾波在於濾除高頻雜訊，高通過濾波在於濾除影像中之低頻雜訊，於中間值濾波則在於去除影像中雪花般之雜訊；而邊緣強化，在於強化影像中物體之邊緣軌跡。

空間定義域濾波運作的方法是以罩遮(Mask)來處理每一格素像，本研究採用 3X3 的罩遮來處

理，將每一像素及其鄰近八點均乘上一權重 (Weight)，所得之和即為該像素新灰階值，亦即

$$f(x, y) = k_{11}f(x-1, y-1) + k_{12}f(x, y-1) + k_{13}f(x+1, y-1) + k_{21}f(x-1, y) + k_{22}f(x, y) + k_{23}f(x+1, y) + k_{31}f(x-1, y+1) + k_{32}f(x, y+1) + k_{33}f(x+1, y+1) \quad (5)$$

其中

$f(x, y)$ : 為原始影像之點  $(x, y)$  的灰階值

$f'(x, y)$ : 為運算後為影像之點  $(x, y)$  的灰階值

$k_{ij}$ : 為權重

### 2.2.2.1 低通濾波 (Low Pass-Filter)

一般影像可能會受到各種雜訊的干擾，透過低通濾波來做影像平滑處理，可以減小這些雜訊。我們平均權重的罩遮 (Mask) 來平滑，每個格子內的值代表式 (2-5) 中的權重值：

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

圖 7 低通濾波之權重值

### 2.2.2.2 二值化

將所有的影像灰階透過二值化的方式，將圖片轉換成只有黑與白兩種顏色的模式，以凸顯波峰與波谷的影像差異及利於電腦的判別，即：

$$\begin{cases} f'(x, y) = 255 & (f(x, y) \geq V_{TLV}) \\ f'(x, y) = 0 & (f(x, y) < V_{TLV}) \end{cases} \quad (6)$$

其中

$V_{TLV}$ : 為臨界值 (Threshold limit value)

而臨界值則是考量整體影像而定。

### 2.2.3 波向的決定

藉由二值化後將邊界點標示出來，再使用線性回歸的方式，找出回歸線的斜率，將其定義為波峰的走向，再求波向。

、線性回歸是使用最小平方法，即：

$$Y = b_0 + b_1 X \quad (7)$$

其中

$$b_1 = \frac{\sum [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{(X_i - \bar{X})^2}$$

$$b_0 = Y - b_1 X$$

而波峰線相對於圖片座標的走向 (角度) 則可定義為：

$$\theta = \tan^{-1}(b_1) \quad (8)$$

為了避免雜訊對造成波向統計上的影響，在此我們亦加入樣本相關係數 (Sample correlation coefficient) 來作檢定，即：

$$r = \frac{\sum [(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (9)$$

將相關係數較差及樣本數 (Sample) 較少的母體 (Population) 剔除。

反正切 (Arc tangent) 的角度範圍  $-\pi/2 \sim \pi/2$ ，所以只能決定波峰線走向，未決定波向。對此可以使用連續的兩張畫面做疊加後分析，就能夠確認波向，將兩張連續的畫面疊加後，灰階值較小 (Gray=50) 的部份為  $t$  時刻的畫面，灰階值較大 (Gray=100) 的部份是  $t+1$  時刻的畫面，疊加後會產生灰階值大於兩者的值 (Gray=200)，藉此可以利用三者的排列順序來判斷，如圖 8，灰階值排列由左向右為 150-200-50，此波的前進方向是由左向右進行，反之，灰階值排列為 50-200-150，此波的前進方向是由右向左進行。

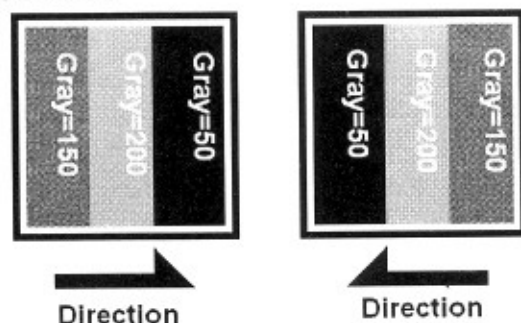


圖 8 利用兩張不同時刻圖片判別波峰前進方向示意圖

## 三、結果討論

### 3.1 分析範圍

檢視過所有雷達影像資料後發現，以冬季季風時的雷達影像較容易看出波峰線，在影像的判讀上較容易，所以就選定去年 11 月份進行分析測試，而分析範圍如圖 9 所示，第一區 (Area-1) 的位置在

淡水河出海口，第二區(Area-2)位於於沙崙海水浴場以北的海域。



圖 9 分析範圍示意圖

畫面中每一格像素(pixel)所對應的真實面積大約是  $6.273 \times 10^{-5}$  平方公里(7.92 m x 7.92 m)，分析的範圍為 10000 像素(100 pixel x 100 pixel)，所以真實範圍大約是 0.6273 平方公里。

表 1 92 年 11 月部分雷達分析結果與觀測樁作逐時比對

MM-DD -Time	Radar image							Main Direction	S4ADW	
	The percentage of wave direction (%)								Angle (degree)	Main Direction
	W	WNW	NW	NNW	N	NNE	NE			
11-25-00	0.0	4.5	19.4	0.0	47.3	25.9	3.0	(N)	10.3	(N)
11-25-06	0.0	12.1	13.1	0.0	32.5	42.3	0.0	(NNE)	36.3	(NE)
11-25-12	0.0	6.0	14.1	0.0	38.6	39.9	1.4	(NNE)	358.7	(N)
11-25-18	0.0	7.6	17.0	0.0	43.1	26.4	5.9	(N)	358.8	(N)
11-26-00	2.5	7.3	15.9	0.0	29.5	42.6	2.1	(NNE)	4.9	(N)
11-26-06	0.0	15.7	21.8	1.3	31.0	28.9	1.2	(N)	344.4	(NNW)
11-26-12	0.0	10.1	18.5	0.0	34.5	35.2	1.6	(NNE)	14.2	(NNE)
11-26-18	0.0	4.7	16.4	0.0	39.4	37.4	2.2	(N)	7.1	(N)
11-27-00	0.0	10.3	14.3	0.0	52.0	23.4	0.0	(N)	10.1	(N)
11-27-06	0.0	8.3	13.5	0.0	36.7	41.5	0.0	(NNE)	26.0	(NNE)
11-27-12	0.0	6.6	23.1	0.0	27.3	43.0	0.0	(NNE)	354.5	(N)
11-27-18	1.7	16.5	16.6	0.0	38.0	27.2	0.0	(N)	16.0	(NNE)
11-28-00	0.0	7.6	10.7	2.0	41.4	34.6	3.7	(N)	350.9	(N)
11-28-06	0.0	18.2	10.5	0.0	37.2	28.3	5.7	(N)	14.1	(NNE)
11-28-12	1.4	14.0	16.5	0.0	31.3	34.7	2.1	(NNE)	5.0	(N)
11-28-18	0.0	5.0	14.9	0.0	34.0	44.7	1.3	(NNE)	12.6	(NNE)
11-29-00	0.0	11.1	14.6	0.0	39.3	31.5	3.5	(N)	344.2	(NNW)
11-29-06	0.0	14.9	13.0	0.0	30.6	41.5	0.0	(NNE)	12.9	(NNE)
11-29-12	0.0	4.6	22.4	0.0	37.2	33.8	2.0	(N)	359.1	(N)
11-29-18	0.0	7.4	7.2	0.0	42.8	40.1	2.4	(N)	11.5	(N)
11-30-00	0.0	9.3	11.1	0.0	44.0	31.5	4.0	(N)	9.9	(N)
11-30-06	1.5	10.3	17.0	0.0	39.7	31.6	0.0	(N)	7.1	(N)
11-30-12	0.0	9.3	13.4	0.9	38.2	38.2	0.0	(N)	32.6	(NNE)
11-30-18	0.0	7.1	15.8	0.0	36.1	39.4	1.6	(NNE)	13.7	(NNE)

### 3.2 分析結果

分析結果如圖 10 及 11 所示，Area-1 的波向主要分布在 NNE、N、NW，尤其以 N 較為明顯。Area-2 的波向主要分布在 N、NNE，尤其以 N 較為明顯，圖 12 為台北港觀測樁同時間的玫瑰圖，由圖中可看出，該區域的波向分布在 N、NNE、NNW，以 N 為主，由雷達影像分析的結果與觀測樁所測得的資料結果相當吻合。

表 1 為 92 年 11 月部分雷達分析結果與觀測樁作逐時比對，結果也顯示以雷達分析結果相當吻合。另外圖 13、14、及 15 為 93 年 3 月之分析結果，雷達分析結果與觀測樁之結果都顯示主波向在 N 的方向。

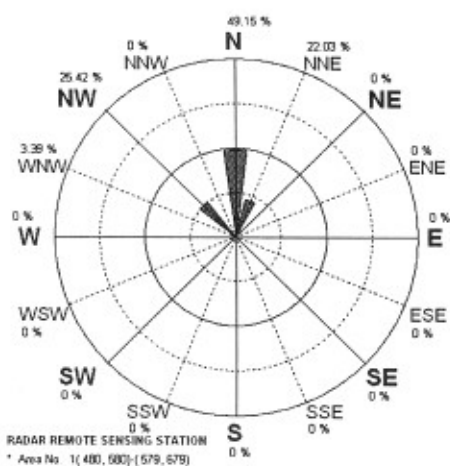


圖 10 92 年 11 月台北港二號雷達站於 Area-1 的分析結果

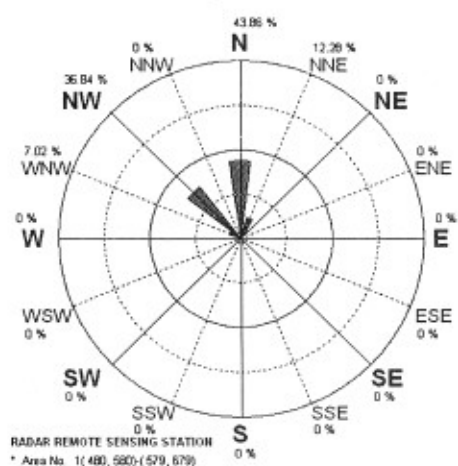


圖 13 93 年 3 月台北港二號雷達站於 Area-1 的分析結果

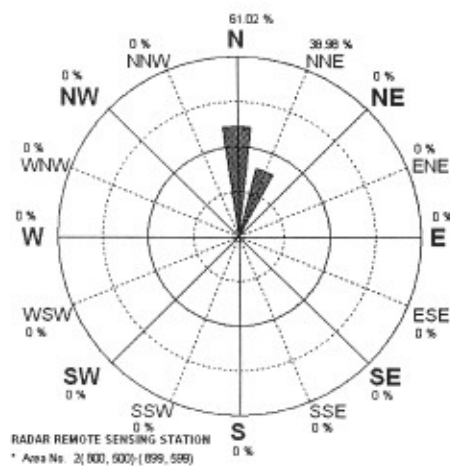


圖 11 92 年 11 月台北港二號雷達站於 Area-2 的分析結果

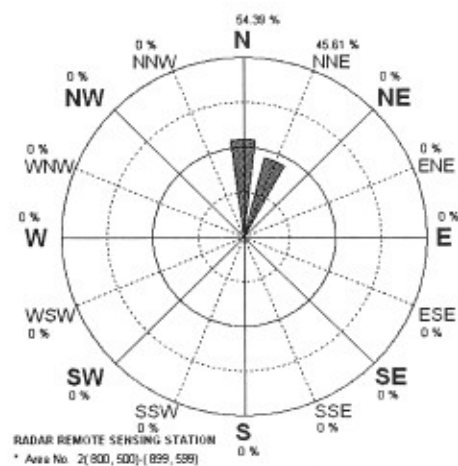


圖 14 93 年 3 月台北港二號雷達站於 Area-2 的分析結果

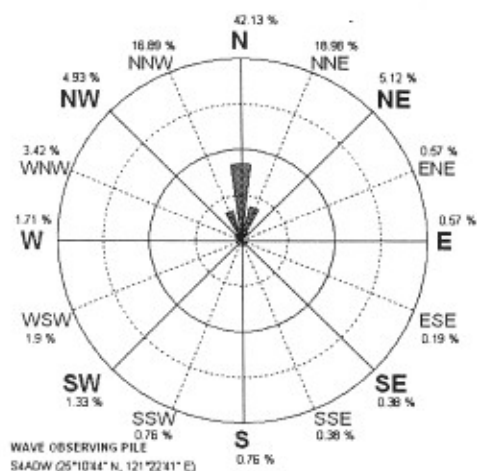


圖 12 92 年 11 月台北港觀測樁之波向分布

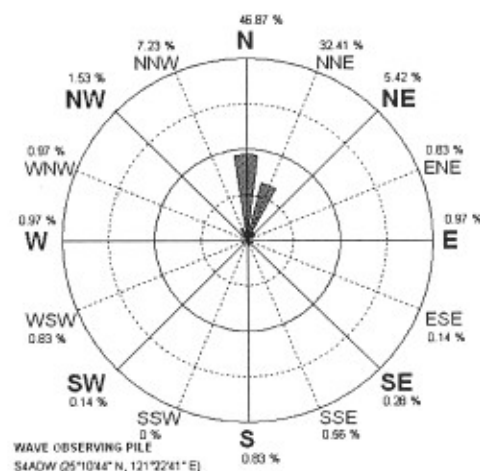


圖 15 92 年 11 月台北港觀測樁之波向分布

### 3.3 討論

造成影像無法分析的原因有很多，主要都與雷達的回波有關，例如：在王等(2001)的報告中提到，雨天時，雷達的回波則會較為明亮，如圖 16，造成較無明顯的色差變化，於電腦處理中較難以辨識。另外於波浪波高較小時，回波的強度弱，該情況也無法表現其波浪的情形，如圖 17，這個情形下雖然肉眼還能看出波峰的移動情形，但在電腦的自動判讀上就無法正確地判斷。另外還有人為的因素，當增益值調校失當時，也會造成無法看出波浪的現象，如圖 18，所以這些必須將該種情形去除。至於如何克服雨天時雷達回波受干擾的情形，以目前的技術仍是有待努力的方向。

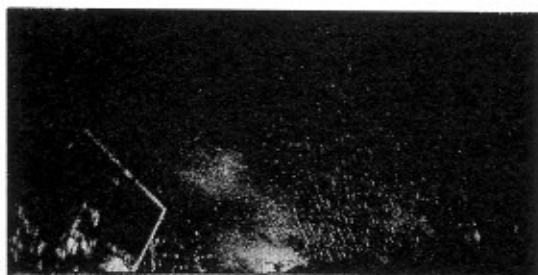


圖 16 雨天時之雷達影像

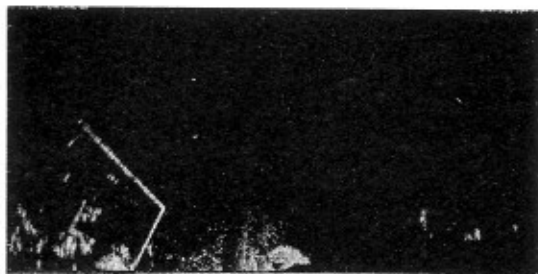


圖 17 波高較小時之雷達影像

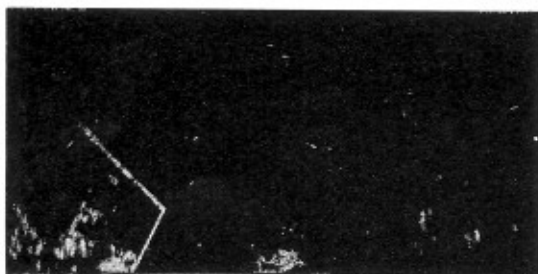


圖 18 增益值調校不當之雷達影像

### 四、結論

本研究有別於一般由頻率域的處理方法，而是由空間域著手，直接由影像得到波向資料，並比較觀測格歷年的統計結果，其結果相當符合。該方法有別於一般將資料作 Fourier 轉換等複雜的頻譜分析，直接從空間域作分析，透過影像處理的手法，成功地獲得良好的結果。

### 謝誌

本研究承交通部運輸研究所委託研究計畫「93 年台北港雷達遙感波浪監測研究」(MOTC-IOT-93-H2EB015)補助，僅致感謝之意。

### 參考文獻

- 1.王胄、邱永芳、蘇青和，2002，九十一年台北港雷達遙感波浪監測研究(第四年)，交通部運輸研究所港灣技術研究中心出版，台中縣梧棲鎮。
- 2.吳立中、董東璟、高家俊、莊士賢，2003，應用岸基測波雷達於方向波譜觀測之研究，第二十五屆海洋工程研討會，第 251-257 頁。
- 3.周宗仁、尹彰、黃偉柏，2003a，CCD 影像遙測波浪之研究，海洋工程學刊，第 3 卷，第 1 期，第 53-71 頁。
- 4.周宗仁、林騰威、尹彰、石瑞祥，2003b，CCD 遙測波浪系統之開發與研究，第二十五屆海洋工程研討會，第 7-13 頁。
- 5.周宗仁、尹彰、黃偉柏，2002，CCD 遙測規則波波之研究，第二十四屆海洋工程研討會，第 57-62 頁。
- 6.Chou, C. R., J. Z., Yim, and W. P., Huang, 2004, Determining the hydrographic parameters of the water surface from image sequences of CCD camera, *Experiments in Fluids*, Vol. 36, pp.515-527.
- 7.Ijima, T., T. Takahashi and H. Sasaki (1964) Application of radars to wave observations, Proc. Conf. Coastal Eng., 11th, 30, 1, 10-22.
- 8.Wright, F. F., 1965, Wave observations by shipboard radar, *Ocean Eng.*, Vol.1, pp.506-514.