

浮標測波資料處理之評介

王維紀

美國電腦科學中心

摘 要

浮標測波所得海上波浪資料，是從事海洋開發，海上氣象預報，自然災害防治，海岸保護規劃，遙感技術開發，基礎海洋科學研究所不能缺少的資料。本文介紹了浮標測波的資料處，其中包含了測波理論，波浪參數推導及計算，資料處理過程之設計，及資料品質管制。

一、緒 論

對一個四面環海的台灣來說，人們的日常生活不可避免的與海洋環境有著密切關係。波浪是在海洋環境中影響最大而且變化最為複雜的自然外力之一（高家俊、林憲男及劉文明，1988）。對波浪有充份深入的瞭解，才能在從事海洋開發、外海結構設計、海岸管理規劃、航運、漁業、自然災害防治預警及休閒活動時達到安全經濟的目標。

從事現場測波 (wave measurement)，收集波浪資料 (wave data)，是深入瞭解波浪特性的必經之路，利用浮標 (buoy) 在波浪作用下的運動 (motions) 求得海面波浪資料，是一種常被使用的測波方法，特別是在深海現場長期觀測上，由於浮標測波的可靠性、持久性及經濟，迄今還沒有其他可以取代的方法。

美國國家資料浮標中心 (National Data Buoy Center, NDBC) 自七十年代初期即開始從事海上浮標測波的工作，目前在美國沿岸及外海各地有五十多個錨定浮標測波站 (moored buoy station) 每個小時進行固定的測波及其他海象資料的觀測，而在一至二小時之內將資料經由衛星送回處理再傳送到使用者。(Hamilton, 1990)。

這五十多個站中，有近二十個站提供波向測量的資料，這種多站式網格 (network) 海上波浪及其他海象資料的觀測，能對任何方向來的巨大風暴提供詳細的現場觀測資料，而即時送達氣象預報中心以做防災預警。在風暴過後，從各測站收集的資料，從不同時間及角度提供了海上風暴中的實測資料，對學術研究，數值預報模式校正，及工程設計規劃有莫大助益 (Wang et al. 1989, Carolan and Wang, 1990, Wang and Mettlach, 1992)。長期定點觀測所累積的資料成立一個資料庫，對波候 (wave climate) 的研究 (wang, 1992) 及海上

特殊狀況的概率推算 (Wang and Gilhousen 1993) 有莫大幫助。

NDBC 也進行測波技術上的研究開發。在浮標的設計上 (Timpe and Teng, 1993) 進行改進，發展測試新的測波系統 (Chaffin, et al. 1992, Wang, 1993a)，研發新的測波方法 (Steele and Earle, 1991, Wang et al. 1993)。

本文以 NDBC 浮標測波系統為藍本，對浮標測波的資料處理做一全面性的評介，在第二章中介紹浮標測波的理論、背景、計算的技巧及方向能譜和方向參數 (parameters) 的計算方法，在第三章則介紹資料處理實作上的三個階段的設計，第四章則對測波資料的品質管制提出探討。

二、浮標測波理論

一般在海上從事測波 (wave measurement) 可分成二種方式 (高家俊及李政運, 1988)。
一種為固定式測量，在 Eulerian 座標系統上進行。線式、音波式、及壓力式波高計等皆為此種方式。另外一種則為移動式測量，在 Lagrangian 座標系統上進行浮標測波即為這種方式，這二種不同的測波方式所測得結果也不盡完全相同。Crabb et al. (1983), Haver (1985), James (1986), Longuet-Higgins (1986), Rademakers (1993), 王鎬章 (1984) 及高家俊與李政運 (1988) 等人對這二種方式有詳細的討論。一般而言，比較明顯 (significant) 的差異在時域 (time domain) 的波形測量。浮標測波所得到的波形比較平緩 (smooth) 對非線性波形 (non-linear wave) 測定比較不足。但是在頻域 (frequency domain) 上所得到的結果則差別有限，一般在波浪能譜 (wave spectrum) 測定上，只有在高頻密度 (spectral density) 部份才會有較明顯的不同 (高家俊及李政運, 1988)。

當只利用浮標的上下垂直運動 (heave) 的資料，可以求得波浪的單維非方向性能譜 (non-directional wave spectrum)，如果同時測取浮標的擺動 (pitch, roll, yaw) 則可以求得波浪的三維方向能譜 (directional wave spectrum)。這方向能譜代表波浪能量在頻率及方向上的分佈，更確切的描述了海面波浪的狀況。對氣象預報及工程設計十分重要 (Forristall et al. 1978, Cardone and Haring, 1982, Barstow and Guddal, 1987, 及 Kjeldsen 1991)。方向能譜資料也有助於對風浪理論的基礎研究 (Hasselmann et al. 1980, Holthuijsen, 1983, 及 Ewing and Laing, 1987)，在以下的三節中將以浮標方向能譜測量理論及計算技巧，及波浪參數做一詳細介紹。

(一)、理論

假定水面的垂直方向水面變化 (vertical displacement) 是由不同方向，不同週期及振幅的微小振幅波線性組合而成，則水面變化在三維 (x,y,t) 座標上可寫成 (Tucker, 1989)。

$$\eta(x,y,t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(K_n \cos(\theta_n)x + k_n \sin(\theta_n)y - \omega_n t - \varphi_n) \quad (1)$$

其中 A_n : 振幅
 K_n : 波數 (wave number)
 θ_n : 波向
 ω_n : 角頻率
 φ_n : 相位差

因此在 $x = 0$ 及 $y = 0$ 處的水面位移及在 x 及 y 方向的斜度 Z_x 及 Z_y 可以寫成：

$$\eta(x,y,t) = \sum A_n \cos(\omega_n t + \varphi_n)$$

$$Z_x = \frac{\partial \eta}{\partial x} = \sum -A_n K_n \cos(\theta_n) \sin(\omega_n t + \varphi_n) \quad (2)$$

$$Z_y = \frac{\partial \eta}{\partial y} = \sum -A_n K_n \sin(\theta_n) \sin(\omega_n t + \varphi_n)$$

如果將波浪方向能譜 (directional wave spectrum) , $S(f, \theta)$, 以 Fourier series 展開：

$$S(f, \theta) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\theta) + b_n \sin(n\theta)] \quad (3)$$

則下列公式可以用來計算 $S(f, \theta)$ 展開式的係數 (coefficient) (Longuet-Higgins et al. 1963)。

$$a_0 = \frac{C_{11}}{\pi}$$

$$a_1 = \frac{Q_{12}}{K\pi}$$

$$b_1 = \frac{Q_{13}}{K\pi}$$

$$a_2 = \frac{C_{22} - C_{33}}{K^2 \pi} \quad (4)$$

$$b_2 = \frac{2 C_{23}}{K^2 \pi}$$

其中 C_{11} : 波浪垂直位移能譜密度 (spectral density of wave elevation) , 也就是一般通用的波浪能譜 (wave spectrum) 。

C_{22} : 波浪東西斜度能譜密度 (spectral density of east-west slope) 。

C_{33} : 波浪南北斜度能譜密度 (spectral density of north-south slope) 。

C_{23} : co-spectral density of east-west and north-south slope 。

Q_{12} : quadrature spectral density of elevation and east-west slope 。

Q_{13} : quadrature spectral density of elevation and north-south slope 。

因此從波浪的垂直位移及二個斜度中，在波浪能譜的 Fourier series 展開式中的前五個係數 (coefficient) 可以由式 (4) 求得。假定波浪能譜可以被這前五項近似 (approximate) 在式 (3) 的 $S(f, \theta)$ 可以改寫成

$$S(f, \theta) = C_{11} \cdot D(f, \theta) \quad (5)$$

其中 $D(f, \theta)$ 代表波浪能量的方向分佈函數 (wave energy directional distribution function) 可以寫成

$$D(f, \theta) = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2} + r_1 \cos(\theta - \theta_1) + r_2 \cos 2(\theta - \theta_2) \right] \quad (6)$$

其中

$$r_1 = \frac{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}}{a_0} = \frac{1}{K} \frac{\sqrt{Q_{12}^2 + Q_{13}^2}}{C_{11}}$$

$$r_2 = \frac{\sqrt{a_2^2 + b_2^2}}{a_0} = \frac{1}{K^2} \frac{\sqrt{(C_{22} - C_{33})^2 + (2C_{23})^2}}{C_{11}} \quad (7)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(b_1, a_1) = \tan^{-1}(Q_{12}, Q_{13})$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}(b_2, a_2) = \tan^{-1}(C_{22} - C_{33}, 2C_{23})$$

這裡的 θ_1 及 θ_2 代表波能傳送去的方向， r_1 及 r_2 則是代表波浪能量方向分散度 (directional spreading) 的參數 (parameter)，其值在 0 與 1 之間，當值愈接近於 1 時表示分散度愈小而波能愈集中在波浪傳送的方向 θ_1 及 θ_2 。一般而言 θ_1 與 θ_2 的值十分接近，爲了與風速的方向表示法一致，我們可以把公式 (6) 中的 $D(f, \theta)$ 改寫成：

$$D(f, \theta) = \frac{1}{\pi} \left\{ \frac{1}{2} + r_1 \cos(\alpha - \alpha_1) + r_2 \cos 2(\alpha - \alpha_2) \right\} \quad (8)$$

其中 $\alpha_1 = 270^\circ - \theta_1$

$\alpha_2 = 270^\circ - \theta_2$

這裡的 α_1 及 α_2 代表波浪傳送來的方向， 0° 表示波浪來自北方， 90° 表示來自東方， 180° 表示波浪來自南方。

根據式 (2) 的線性波表示關係，下列二個關係式可以成立

$$k^2 C_{11} = C_{22} + C_{33} \quad (9)$$

$$C_{12} = C_{13} = C_{23} = 0 \quad (10)$$

(二)、浮標與波浪之關係

上述的討論中表明了波浪能譜參數與波浪垂直位移及斜度的關係。浮標測波則在於如何從浮標上下及左右擺動的運動中 (heave, pitch, roll, yaw) 求得波浪的垂直位移及斜度資料。

浮標的東西及南北斜度與浮標的 pitch 及 roll 的轉換關係如下

$$(Z_x)_m = \frac{\sin(A) \sin(P)}{\cos(P)} - \frac{\cos(A) \sin(R)}{\cos(P) \cos(R)} \quad (11)$$

$$(Z_y)_m = \frac{\cos(A) \sin(P)}{\cos(P)} + \frac{\sin(A) \sin(R)}{\cos(P) \cos(R)}$$

其中 A：浮標 bow 的方向 (azimuth)

P：浮標的 pitch angle

R：浮標的 roll angle

m：代表浮標的運動 (motion)

因爲這裡浮標測波以在頻域 (frequency domain) 的測量爲主。因此浮標與波浪的關係也以頻域的轉換函數來表示 (transfer function)。假定浮標與波浪的作用是一個線性系統 (linear system)。浮標與波浪的轉換函數 (transfer function) 在振幅上有 R_h (垂直位移) 及 R_s (斜度)，在相位移動上 (phase shift) 有 ϕ_n (垂直位移的相位移動) 及 ϕ_s (斜度的相位移動)。因此我們以 (2) 式爲基準，以 R_h 及 R_s , ϕ_n 及 ϕ_s 代入則浮標與波浪的關係式可寫成

$$\begin{aligned}\eta_m(x,y,t) &= \sum (R_h)_n A_n \cos(\omega_n t + \varphi_n(\phi_h)_n) \\ (Z_x)_m &= \sum - (R_s)_n A_n K_n \cos(\theta_n) \sin(\omega_n t + \varphi_n + (\phi_s)_n) \\ (Z_y)_m &= \sum - (R_s)_n A_n K_n \sin(\theta_n) \sin(\omega_n t + \varphi_n + (\phi_s)_n)\end{aligned}\quad (12)$$

其中的 m 代表浮標的運動 (motion)，這裡假定浮標是軸對稱，在兩個斜度的浮標與波浪作用的 R_s 及 ϕ_s 是一致的。

從式 (12)，在式 (4) 中的能譜密度可以寫成下列關係式

$$\begin{aligned}C_{11} &= \frac{C_{11m}}{(R_h)^2} \\ C_{22} &= \frac{C_{22m}}{(R_s)^2} \\ C_{33} &= \frac{C_{33m}}{(R_s)^2} \\ C_{23} &= \frac{C_{23m}}{(R_s)^2} \\ Q_{12} &= \frac{Q_{12m} \cos(\phi_h - \phi_s) + C_{12m} \sin(\phi_h - \phi_s)}{R_h R_s} \\ Q_{13} &= \frac{Q_{13m} \cos(\phi_h - \phi_s) + C_{13m} \sin(\phi_h - \phi_s)}{R_h R_s}\end{aligned}\quad (13)$$

其中 m 表示浮標的運動

利式 (13)，在式 (7) 中的參數 (parameter) 則可以寫成

$$r_1 = \frac{R}{k} \frac{\sqrt{Q_{12s}^2 + Q_{13s}^2}}{C_{11m}}$$

$$r_2 = \frac{R^2}{K^2} \frac{\sqrt{(C_{22m} - C_{33m})^2 + (2C_{23m})^2}}{C_{11m}} \quad (14)$$

$$\theta_1 = \tan^{-1}(Q_{12s}, Q_{13s})$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}(C_{22m} - C_{33m}, 2C_{23m})$$

其中

$$Q_{12s} = Q_{12m} \cos \phi + C_{12m} \sin \phi$$

$$Q_{13s} = Q_{13m} \cos \phi + C_{13m} \sin \phi$$

$$R = \frac{R_h}{R_s} \quad (15)$$

$$\phi = \phi_h - \phi_s$$

式 (14) 展示了如何從浮標的運動 (motion) 求得波向能譜參數 (parameter) 及浮標與波浪轉換關係的影響，在波向 θ_1 的計算上，在振幅上的影響 R_h 及 R_s 並不能影響到 Q_1 的結果，在波向 θ_2 的計算時，可以完全不受到振幅及相位移的影響，至於在計算與波向分散 (directional spreading) 有關的參數時， r_1 會同時受到振幅變化及相位移的影響，但 r_2 只會受到振幅變動的影響，當振幅的變化在垂直水位上與斜度上是一致時，即

$$R_h = R_s = 0 \quad (16)$$

而在垂直水位及斜度的相位移也一致時，即

$$\phi_h = \phi_s = 0 \quad (17)$$

則會造成

$$R=1, \phi=0 \quad (18)$$

在這種情形之下，式 (7) 與 (14) 並沒有分別，也就是說在計算波向參數時，浮標的上下振動及二個斜度的能譜密度可以直接代入式 (7)。

一般對於式 (14) 中的 R_h ， R_s ， ϕ_h ，及 ϕ_s 的處理有三種 (steele, et al., 1992) 方式，第一種是假設從浮標轉變到波浪之間的 R_h ， R_s ， ϕ_h ， ϕ_s 十分小，也就是假定浮標完完全全跟隨波浪的表面 (perfect surface-following)，因此

$$R_h = R_s = 1 \quad (19)$$

$$\phi_h = \phi_s = 0$$

第二種方式是求取 R_h ， R_s ， ϕ_h ，及 ϕ_s 的資料，一般多用數值模式的模擬，或是由現場實驗求得經驗值 (Barstow et al., 1986)。但由於浮標施放時的錨定 (mooring) 設計，常會因水深的變動而改變，而影響到 R_h ， R_s ， ϕ_h ，及 ϕ_s 的值，此外浮標受到風及海流的影響也會改變浮標與波浪之間的轉換關係，因此這種事先求到的固定式 (constant) 的浮標和波浪的轉換關係往往不能完全正確的代表在現場施放時的各種不同的設計及狀況。

第三種方式是利用式 (9) 及 (10) 的關係式取代 R 及 ϕ 將式 (13) 代入式 (9) 中，得到

$$K = \frac{R_h}{R_s} \sqrt{\frac{C_{22m} + C_{33m}}{C_{11m}}} = R \sqrt{\frac{C_{22m} + C_{33m}}{C_{11m}}} \quad (20)$$

將此關係代入式 (14) 中的 r_1 及 r_2 可以得到

$$r_1 = \frac{\sqrt{Q_{12s}^2 + Q_{13s}^2}}{\sqrt{C_{11m}(C_{22m} + C_{33m})}} \quad (21)$$

$$r_2 = \frac{\sqrt{(C_{22m} - C_{33m})^2 + (2C_{23m})^2}}{C_{22m} + C_{33m}}$$

由此可見 R_h 及 R_s 對 r_1 及 r_2 的影響已經消除，另外從

$$C_{12} = C_{13} = 0$$

可以得到下列關係式

$$C_{12m} \cos \phi - Q_{12m} \sin \phi = 0 \quad (22)$$

$$C_{13m} \cos \phi - Q_{13m} \sin \phi = 0$$

所以

$$\phi = \tan^{-1}(C_{12m}, Q_{12m}) \quad (23)$$

$$\phi = \tan^{-1}(C_{13m}, Q_{13m})$$

至於在式 (23) 中所得到的兩個 ϕ 可能不完全一致，(Steele et. al., 1992) 利用座標轉變的方法求得最佳的 ϕ 值，因此利用式 (23) 得到的 ϕ 代入式 (14) 及 (21) 中則 r_1 ， r_2 ， Q_1 ， Q_2 可以求得，這種方法不需事先求得浮標與波浪之間的作用關係，隨著不同的浮標設計及當地狀況式 (20) 及 (23) 可以隨時求得正確的轉換關係，只要波浪是線性波而浮標與波浪的作用是在線性系統之內，這種方法是可以得到正確的波向資料。

在使用第一種和第二種方式時，常用式 (9) 及式 (10) 的關係式來作一個檢定，根據式 (9) 及線性波的 dispersion relationship，

$$\omega^2 = gk$$

得到

$$R = k \sqrt{\frac{C_{11}}{C_{22} + C_{33}}} = \frac{\omega^2}{g} \sqrt{\frac{C_{11}}{C_{22} + C_{33}}} = 1 \quad (24)$$

如果 R 的值遠超過或低於 1（通常在 10 % 到 20 % 之間），就有可能是使用的轉換關係不正確或者受到噪音雜質的影響，或是受到海流的 Doppler 效應 (Longuet-Higgins et al 1963, Allender et al. 1989 及 Tucker, 1989, 1993)

如果使用第三種方法， R 則代表了浮標與波浪轉換函數在垂直水面位移及斜度上振幅的變化比值（式 (20)）。

$$R = \frac{R_h}{R_s} \quad (25)$$

圖 1 及 2 是從 NDBC 浮標的實測資料中得到的 R 及 ϕ 的值 (Wang, 1993b)，三種浮標的體積大小，錨定設計 (mooring design) 及施放地點都不相同，由圖可見到所得到的浮標與波浪之關係也大不相同，圖 3 及 4 則是二個體積相同，但施放地點不同的 NDBC 浮標，

R 及 ϕ 的值也不盡完全相同，這些例子顯示出浮標與波浪間的轉換關係受到許多因素之影響而有不同的結果，因此使用第一或是第二種方法時，必須多加注意，但是第三種方法則不需要固定的轉換關係，而會隨著設計條件，現場環境做出自動調整。

(三)、波浪方向參數及能譜計算

對一般工程上的設計應用而言，多半使用波向參數 (wave directional parameter) 來代表波浪方向特性，當波浪的能譜是窄波譜 (narrow band spectrum) 時，大部分的能量集中於波譜尖頻 (peak frequency) 附近，則在尖頻的波浪方向及方向散度 (directional spreading) 足以能代表整個波浪的主要特性，在式 (7) 中的 θ_1 及 r_1 是最為常用的參數，對這些參數的討論及一些其他波向參數可參看 Longuet-Higgins et al.(1963)，Goda. et al. (1981)，Ewing(1986)，IAHR(1986)，Tucker(1987)，Kuik et al.(1988)，Wang(1993a)，及 Wang et al.(1993)。

至於進行描述波能的方向能譜（即求取波能方向分佈函數）一般可分成二種方法：

第一種是先假定方向分佈的模式 (model) 而在模式中的參數可以由直接觀測取得，或是與其他海洋環境條件相連，一般最常使用的是 Longuet-Higgins et al.(1963) 提出的模式：

$$D(f, \theta) = G(s) \left| \cos \frac{\theta - \theta_1}{2} \right|^{2S} \quad (25)$$

其中

$$G(S) = \frac{2^{2S} \Gamma^2(S+1)}{2\pi \Gamma(2S+1)}$$

$$S = \frac{r_1}{1 - r_1}$$

$$r_1, \theta_1 : \text{波向參數式 (14)}$$

Mitsuyasu et al.(1975) 根據現場資料的研究提出計算 S 的經驗公式，Wang(1992a) 利用在風暴 (storm) 中的波浪資料導出 S 與波浪尖度 (significant steepness) 的關係。

Pierson et al.(1955)，Cote'(1960，Ou et al. (1974) 及 Donelan et al.(1985) 等人也分別提出了不同的模式，這些模式基本上都假定只有一個主要波向 (dominate wave direction)。Niedzwecki and Whatley(1991) 對各種模式有一詳細討論。

第二種方式是直接利用式 (4) 中的波浪能譜來直接計算，並不預先假定任何模式，最直接的方式是用式 (3) 中的前五項（即式 (6)）來直接計算 Longuet-Higgins et al.(1963) 為

了消除在分佈函數的負值 (negative value) 提出下列修正式

$$S(f, \theta) = \frac{a_0}{2} + \frac{2}{3} (a_1 \cos \theta + b_1 \sin \theta) + \frac{1}{6} (a_2 \cos \theta + b_2 \sin \theta) \quad (27)$$

這二種計算所得的分佈函數過於平坦，在方向的解析度 (resolution) 不足，而且當同一頻率上有二個主要波向出現時，(two dominate wave directions)，這種計算不能適用，爲了補足這個缺失，不少新的方法提出。基本上這些方法可分成 Maximum Likelihood Method (MLM) 及 Maximum Entropy Method (MEM)。在 MLM 方面 Jefferys et al. (1981)，Isobe et al. (1984) Oltman-Shay and Guza (1984)，Marsden and Juseko (1987)，Glad and Krogstad (1992) 及 Skarsoulis and Athanassoulis (1993) 等人。在 MEM 方面則有 Konube and Hashimoto (1986) Lygre and Krogstad (1986)，Nwagu et al. (1987) 及 Kim et al. (1993) 等人。

這些計算方法所得到的波向分佈函數有較高的解析度 (resolution)。尤其對於有二個主要波向同時出現的狀況最爲適合。但一般在計算時較爲費時，有時會因爲方法本身的特性造成不正確的波向結果。Benoit (1992, 1993) 用數值模擬對 12 種方法進行了非常仔細的比較。Krogstad (1991) 對從浮標上測的波方向參數，及各種對方向分佈函數的計算方法的可靠性 (reliability) 及解析度 (resolution) 給予討論。基本上這些方法都提供了可以接受的結果，但何者最適用於浮標測波的實測現場資料，有待進一步研究。

Ochaa and Delgado-Gonzalez (1991) 從另外一個角度提出討論，指出這些方法弱點在於利用新的數學技巧來處理浮標測波資料，求得更高的方向解析度 (directional resolution)，但無法得知高的解析度是否代表高的精確性。Huang et al. (1991) 指出從物理的意義上來探求波浪在三維上的分散以求得處理方法的準則，才是該加強之處。

圖 5 是一組從 NDBC 浮標測波的資料 (Earle, 1993)。由式 (25)，MLM (Oltman-shay and Guza, 1984)，及 MEM (Lygre and Krogstad, 1986) 三種方法處理的結果，MEM 很明顯表示出了二個主要的波向，MLM 次之，但在用式 (27) 的結果則沒有辦法表示出二個波向。

最後用一組實測的資料，來對本章做個總結。圖 6 是一組從 NDBC 3m 浮標上，由 Datawell Hippy 40 所測得的資料 (Wang & Mettlach, 1993) 包含了浮標的上下左右擺動及轉動 (heave, pitch, roll and yaw) 的時間序列 (time series) 資料，以式 (11) 中的關係可以得到圖 7 中的東西及南北的斜度。用 Fast Fourier Transform (FFT) 求得圖 8 中的各種波浪能譜，再用式 (14)，(21)，(22) 及 (23) 的計算公式求得圖 9 中的 α_1 ， α_2 ， r_1 ， r_2 ，波向參數，再用 MEM (Lygre and Krogstad, 1986) 方法得到圖 10 中的波向分佈函數， $D(\xi, \theta)$ 最後以式 (5) 求得圖 11 中的波向能譜。

三、資料處理過程設計

在上章中對浮標測波的理論及計算技巧做一番討論。在實際運作時，如何有系統有計劃的將上述的理論及計算過程執行出來，得到想要測取的資料送到使用者，則是本章的重點。

從廣義的角度來看，資料處理的過程應從儀器輸出信號的處理開始而結束於資料的建檔儲存。整個過程可分為三大階段(一)、浮標上現場處理 (on-board data processing) (二)、岸上處理 (shore-side data processing) (三)、儲存管理。

(一)、浮標上現場處理

一般從事浮標測海測波多半是在離岸得遠的海域，資料的傳送必須靠無線電或是人造衛星。在這種情形之下將儀器所測得時列數據 (time series data)，全數送回岸上再處理，往往不合經濟原則。在時效上也較拖延，有時也因傳送時信號的干擾造成資料的失誤。因此有必要先在浮標上對資料做初步處理，簡化傳送資料的數量。

在浮標上資料處理設計上，基本的限制在於浮標上所配置的計算器能量，及傳送資料空間長度。以 NDBC 為例，每小時測波的資料必須在 10 到 15 分鐘處理完畢。將資料以在二分鐘的人造衛星資料長度內傳回地上接收站。如何在這些限制條件之下將最多最有價值的資料傳送回來是資料處理的目標。

NDBC 目前是將在時域 (time domain) 中的資料轉換成頻域 (frequency domain) 資料，除此之外一些有關儀器測量在時域的統計資料，也一併求得，然後再轉換成 (encoding) 特別設計的資料型態 (message format) 送回到岸上 (Wang et al., 1993)

(二)、岸上資料處理

岸上資料處理就是將浮標上處理過傳送來的資料做進一步處理及修正 (Steele et al. 1985, 1992, Wang and Chaffin, 1993)，求得各種波浪參數資料及對資料進行分析檢定，做品質管制（在下章中有詳細討論）。因此在資料處理設計上，浮標上及岸上資料處理應當成一體來看。

在設計資料處理時，先要決定何種資料必須求得，這些資料可分二類，第一類是與波浪有關的資料，第二類則用來進行品質管制及對測波系統的儀器進行監控 (monitor)。由於浮標測波所得到的是以在頻域 (frequency domain) 的資料為主，因此對於所涵蓋的「頻率範圍」 (frequency range)，在計算波譜時所需的時間長度 (record length)，頻譜密度之間隔 (frequency interval)，及譜密度自由度 (degree of freedom) 都必需事先規劃。Allender et al. (1989) 例舉了幾種目前在商業市場上使用的浮標測波系統，可以供參考。Steele et al. (1992)，Steele and Mettlach (1993) 也提供了有關 NDBC 的資料，至於有關於波浪資料的需求可以參看 Barstow and Gudal (1987)，IAHR (1989) 及 Tucker (1993)。

第二類資料是用以對測量儀器表現 (performance) 的監控 (monitor) 以作品質管制基本上多為統計資料如最大值、最小值及平均值等 (Wang et al. 1993) 這些資料幫助我們瞭解儀器的操作是否正常，對測波資料的品質十分重要。

(三)、儲存管理

這是浮標測量資料處理過程中最後的階段，但也是常被忽略的一環，浮標測波或是其他海象測量的資料，如果缺乏有系統的儲存、管理、展示，往往會造成資源的浪費，阻礙資料的整合與交流，不能發揮整體研發效能。(呂黎光、郭一羽，及歐陽餘慶，1991)。

將浮標測波所得的資料，在最短的時間內送到使用者以利氣象預報或是其他防災預警是短期資料處理設計上的考慮。而如何有效率有系統的建檔、儲存、及展示浮標測波資料，以便建立資料庫 (data bank) 協助海洋科技發展，則是長期資料處理設計上的考慮。

以 NDBC 為例，浮標測波的資料在處理過後，立刻換成 World Meteorological Organization (WMO) 所制定的 WAVEOB 型態 (code) 送到各地 (Earle, 1990)，從測取資料到送達使用者大約在 1 到 2 小時之內。這種即時的傳送對氣象防災預告十分重要。

在長期資料儲存上，NDBC 每月將處理過及品質管制過的資料以固定的資料格式 (format) 送到美國 National Oceanographic Data Center (NODC) 及 National Climate Data Center (NCDC) 建檔存放，供大眾參考。高家俊、林憲男及劉文明 (1988) 利用氣象局的二個測站的波浪水位連續變化資料，進行有系統的整理建檔工作。建立了初步的現場波浪特性資料庫。

一個成功的浮標測波系統有賴於完善的資料建檔管理。一個好用的波浪資料才是從事測波工作的最終目標。

四、波浪資料之品質管制

在浮標測波或是任何海象測量系統中常因儀器中雜音 (noise) 干擾故障 (failure) 或是一些不明原因，而造成資料的偏差，這些偏差資料的出現多半是偶發的 (random)。這些有偏差的資料的存在有時可能造成氣象預報的偏大或偏小，或提供工程設計上偏差的準則，或誤導學術研究的結果，或對數值模式 (numerical model) 做成錯誤的修正。因此嚴重偏差的資料所造成的損害，很可能超過資料不足所造成的損害。這也是從事測波工作的最不希望看到的結果。因此對所測得的資料進行檢測做品質管制是有其必要性。

在消極的意義上，資料品質管制的目的在找出並除去可疑的資料。在積極的意義上，資料品質管制的目的在於對可疑的資料進行驗正 (verify) 及修正 (correct)。並從過程中累積經驗用於未來改進及開發 (develop) 測波技術。

可疑的資料，有可能是有誤差的資料。但是也有可能是十分罕見自然現象的珍貴資料。如何從可疑的資料中，分別出確實有誤的資料，而保存稀有珍貴資料，以供學術上進一步

探討，有賴於各方面知識的配合。對測量儀器特性及設計、資料處理過程及限制、浮標設計、錨定 (mooring) 裝備、現場海洋環境，相關海洋物理理論等方面的瞭解都是從事浮標測波品質管制所需的知識。

對大量的測波資料進行及時 (near time) 的資料檢定及品質管制，必須有計劃有系統的在資料處理過程中找出可疑的資料，縮小資料檢定的數量盡量利用電腦自動化 (automation) 進行資料檢定是一種經濟又可靠的方法，以下提出三個大原則 (rule) 可以用來與電腦結合來進行自動化品質管制。

(一)、限度原則 (Limitation)

1、儀器測量的上下限

每個測量儀器都有其設定的測量範圍。一般這些範圍遠超過所要測取資料的最大及最小值。因此當任何測量資料接近或是大於這些設定的儀器上下限都有可能是可疑資料。例如：一般 Datawell HIPPY 40 所能測定的水面垂直上下位移是 $\pm 10\text{m}$ 。因此浮標測波得到的波高若超過 20m ，這必定是資料處理過程或是測波儀器上的某一部分有誤差。

2、海洋環境的限制

由於浮標所在的地理及海象環境，往往限制了所測資料的範圍，例如長週期湧浪 (swell) 必定多半來自外海方向，因此若浮標測波在花蓮外海所測的湧浪的方向來自花蓮港，這就是十分可疑的資料，又如近海時，波浪受到水深的影響而破碎 (breaking)，波高不可能超過水深的某種比值。

這些原則是用於做十分基本的檢定，一般在施放之前都可以事先規劃，如能輸入電腦資料庫中，在資料處理時就可以自動的把一些可疑的資料濾出。

(二)、連續性原則 (Continuity)

1、時間連續性

一般而言自然現象的變化都是漸進的。波浪的能量變化在一個短時間內有一定的範圍。過度劇烈的上下起伏都有可能是可疑資料。例如每小時測得的平均波高，或有意義波高都不該有急劇的改變。如果這小時的值與前個小時的值相比，超過某一經驗限值，都可以視為可疑資料。又如測波儀器中的加速儀 (accelerometer) 所測得的平均加速度應是一個很穩定而近於零的值，如果有任何巨大的變動，都可以視為可疑資料。

2、空間連續性

比較大型海上風暴所造成的波浪往往會影響到一個很大範圍，在這空間範圍中的各個測站所量到的資料都有一定的相互關係。例如從深海而來的大湧浪，在外海的測站應先觀測到，而在近海的測站應隨後觀測到。其在時間上的差距與波浪方向，週期及二站距離有一定的關係 (Wang and Carolan, 1991, Mettlach et al. 1993)。這種在空間上的連續性可以用來檢測多站測波的結果，從而發現可疑資料。

應用這時間連續性的原則需要浮標測波最好能連續性的小等距 (small time interval)

測波，對於空間連續性原則，則要求多站浮標測波，即使如此，仍然可以事先將一些設定好的連續性條件寫成自動化程式，以便在資料處理過程中自動發現可疑資料。

(三)、相關原則

1、內部相關 (Internal Correlation)

在波浪參數上彼此之間常有一定的關係，此外從時域 (time domain) 所得的波浪統計參數和在頻率 (frequency domain) 所得的參數也有一定關係 (Goda, 1974) 這些在波浪參數之間的關連都可以加以利用來檢定資料，Tucker(1993) 利用波譜的形狀 (shape) 提出了對低頻及高頻部分的檢測方法，Wang(1992b) 從長期的 NDBC 波浪資料中得到有意義波高， H_s ，與平均週期， T_z ，平方的比值上下限，可以用來檢定波譜是否受到雜音 (noise) 的干擾或是波浪與浮標之間轉換關係是否有偏差。

2、外部相關 (External Correlation)

波浪的變化多半是反應海洋環境的變化，因此如能同時測取其他當地的海象資料（如風速、氣壓、空氣、溫度、水溫等），則可以用其相關性來品質管制，例如波浪的高頻能量及方向與現場的風速及風向有著密切的關連，Palao and Gilhousen(1993) 利用長期現場實測風速與高頻能譜密度的關係，發現了資料處理的偏差，Wang et al.(1993) 利用現場測定水溫的變化，判定了浮標測波受到了灣流 (Gulf stream) 的影響產生了波方的折射現象，此外，浮標本受風力的作用也可以導致浮標傾斜或是迎向風向，這種關係可以用來檢定在浮標上的軸向 (azimuth) 及傾斜儀 (slope sensor) 的結果 (Wang, 1990, Wang and Wilson, 1990) 或是相對的對風速風向的資料進行檢定。

這些相關原則不論是從測波系統內部的波浪參數的相關或是與其他海象資料的關連，都可以很容易的加以公式化，交由電腦自動化處理品質管制。

以上這三大原則只是許多品質管制方法中的一個大體分類，還有很多從實作上累積的經驗都可以加以利用 (Tucker, 1993)，資料的品管是一個長期性的工作，唯有靠累積實作經驗，常加改進，才能使這工作更有效率更趨嚴密。

五、結論

對一個四面環海的台灣，從事海上浮標測量，對波浪及其他海洋環境有關資料進行有計劃有系統的收集，以增加對海洋環境的研究及瞭解是有其迫切的必要性。

本文針對在海洋環境中變化最大影響最廣的自然外力—波浪—的浮標測量中的資料處理提出全面的評介，先是介紹了浮標測波的理論及計算技巧，再從實作之資料處理過程分成三個階段加以介紹，最後對資料的品質管制提出討論，本文將浮標測波資料處理中的理論及實作做一均衡的介紹。

浮標測波是一個典型的科技整合例子，從事浮標測波需要軟體及硬體在各個層次，各

個階段做有系統有組織的配合，因此推動發展浮標測波必能帶動其他相關科技的開發，進而推動了對海洋環境觀測技的進展。

六、誌謝

中央氣象局及國立成功大學高家俊教授提供作者機會參與國內浮標測波的技術開發，促成本文之完成，本文的中文打字及排版承中央氣象局協助完成。

參考文獻

- 呂黎光，郭一羽，歐陽餘慶(1991) "台灣海域海象資料普查與分析" 工業技術研究院，能源與資源研究所調查報告(ITRI-092-S108(80))，39 頁。
- 高家俊，李政運(1988) "浮球測波儀特性探討" 國立成功大學水利及海洋工程研究所報告(CKHOTR-88-003)，57 頁。
- 高家俊，林憲男，劉文明(1988) "波浪現場觀測資料庫之建立" 國立成功大學水利及海洋工程研究所報告(CKHOTR-88-002)，91 頁。
- 王鎬章(1984) "利用浮標測波造成的波形畸變及其漂移" 海洋技術第三卷第一期，海洋出版社，中國，40 - 54。
- Allender, J., Audunson, T., Barstow, S.F., Bjerken, S., Krogstad, H.E., Steinbakke, P., Vartdal, L., Borgman, L.E. and Graham, C. (1989) "The WADIC project: a comprehensive field evaluation of calibration of directional wave instrumentation." *Ocean Engineering*, Vol. 16, 505-536.
- Barstow, S.F., and Guddal, J. (1987) "A global survey on the need for and application of directional wave information." *World Meteorological Organization, Marine Meteorology and Related Oceanographic Activities Report No. 19*, WMO/TD-No.209.92pp.
- Barstow, S.F., Ueland, G. and Fossum, B. (1986). "The WAVESCAN second generation directional wave buoy." in *Proc. of the Oceanology International Conference*, Brighton, U.K., March.
- Benoit, M. (1992). "Practical comparative performance survey of methods used for estimating directional wave spectra from heave-pitch-roll data," in *Proc. 23rd Coastal Engineering Conference*, New York, ASCE, 62-75.
- Benoit, M. (1993). "Extensive comparison of directional wave analysis methods from gauge array data." in *Proc. WAVES'93 Symposium*, New Orleans (in press).
- Cardone, V.J. and R.E. Haring (1982). "Directional wave information: engineering needs and hindcast model capabilities," in *Proc. of Ocean Structural Dynamics Symposium '82*, Oregon State University, 103-117.
- Carolan, R. and Wang, D. W. (1990). "NDBC buoy and C-MAN observation during hurricane Hugo." in *Proc. of MTS'90*, Mar. Tech. Soc., 370-377.
- Chaffin, J.N., Bell, W., and Teng, C.C. (1992). "Development of NDBC's wave

- processing module. " in Proc. of MTS'92, Mar. Tech. Soc., 966-970.
- Cote', L.J., Davis, J.O., Marks, W., McGough, R.J., Mehr, E., Pierson, W.J., Ropek, J.F., Stephenson, G. and Vetter, R.C. (1960). " The Directional spectrum of a wind-generated sea as determined from data obtained by the Stereo Wave Observation Project, " Meteor. Pap., 2, No. 6, New York University, College of Engineering.
- Crabb, J.A., Driver, J.S. and Haine, R. A. (1983). " An intercomparison between six wave recorders at NMI Tower, Christchurch Bay. " Institute of Oceanographic Science, Report No. 154, 74pp.
- Donelan, M.A., Hamilton, J. and Hui, W.H. (1985). " Directional spectra of wind-generated waves, " Phil. Trans. R. Soc. Lond. A 315, 509-562.
- Earle, M.D. (1990). " NDBC real-time directional wave information user's guide. " NDBC Technical Report.
- Earle, M.D. (1993). " Use of advanced methods of estimating directional wave spectra from NDBC pitch-roll buoy data. " NDBC Technical Report.
- Ewing, J.A. (1986) " Presentation and interpretation of directional wave data. " Underwater Technology, Vol. 12, No. 3, 17-12.
- Ewing, J.A. and Laing, A.K. (1987). " Directional spectra of seas near full development, " J. Phys. Oceanogr. Vol. 17, 1696-1706.
- Forristall, G.Z., Ward, E.G., Cardone, V.J. and Borgmann, L.E. (1978). " The Directional spectra and kinematics of surface gravity waves in tropical storm Delia, " J. Phys. Oceanogr. Vol. 8, No. 5, pp. 888-909.
- Glad, K.I. and Krogstad, H.E. (1992). " The maximum-likelihood property of estimators of wave parameters from heave, pitch, and roll buoys. " J. Atmospheric and Oceanic Technology, April, 169-173.
- Goda, Y. (1974). " Estimation of wave statistics from spectral information. " in Proc. of International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis (WAVES'74), New Orleans, 320-337.
- Goda, Y., Miura, K., and Kato, K. (1981). " On-board analysis of mean wave direction with discus buoy. " International Conference on Wave and Wind Directionality, Edition Technic Co., 339-359.
- Hamilton, G.D. (1990). " Guide to moored buoys and other ocean data acquisition systems. " World Meteorological Organization, WMO-No. 750, 57pp.
- Hasselmann, D.E., Dunckel, M. and Ewing, J.A. (1980). " Directional wave spectra observed during JONSWAP 1973, " J. Phys. Oceanogr., Vol. 10, 1264-

- Haver, S.(1985). " Wave climate off northern Norway. " *Applied Ocean Research*, Vol.7,No.2,85-92.
- Holthuijsen,L.H.(1983). " Observation of the Directional Distribution of Ocean-Wave Energy in Fetch-Limited Conditions, " *J.Phys. Oceanogr.*, Vol.13, 191-207.
- Huang, N.E.,Tung, C.C.and Long,S.R.(1991). " Wave Spectra, " in *The Sea*, Vol.9, *Ocean Engineering Science*, B. Le Mehaute and D.M.Hanes, eds, Wiley, New York.
- IAHR working group on wave generation and analysis (1989). " List of sea-state parameters. " *J.Waterway, Port. Coastal, and Ocean Engineering*, Vol.115, No. 6.November., 793-808.
- Isobe,M., Kondo,K.,and Horikawa, K.(1984). " Extension of the MLM for estimating directional wave spectrum. " *Symp.on Description and Model of Directional Seas*,Tech. University, Denmark, A-6, 1-15.
- James, I.D.(1986). " A note on the theoretical comparison of wave staffs and wave rider buoys in steep gravity waves. " *Ocean Engineering*, Vol. 13, No.2, 209-214.
- Jefferys, E.R.,Wateham,G.T.,Ramsden,M.A.,and Platts, M.J.(1981). " Measuring directional spectra with the MLM. " in *Proc. of Directional Wave Spectra Application Confrence*, University of California, Berkeley, California, 203-219.
- Kim, T., Lin,L.H., and Wang, H.(1993). " Comparisons of directional wave analysis methods. " in *Proc. of WAVES'93 Symposium*, New Orleans (in press).
- Kjeldsen, S.P.(1991). " The practical value of directional ocean wave spectra. " in *Proceeding of Directional Ocean Wave Spectra*, 13-19.
- Konube,K.,And Hashimoto,N.(1986). " Estimation of directional spectra from the maximum entropy principle. " in *Proc. 5th International offshore Mechanics and Arctic Engineering (OMAE)Symposium*, Tokyo, 80-85.
- Krogstad,H.E.(1991). " Reliability and resolution of directional wave spectra from heave, pitch, and roll data buoys. " in *Proceeding of Directional Ocean Wave spectra*, 66-71.
- Kuik, A.J., van Vledder, G.Ph., and Holthuijsen, L. H.(1988). " A method for the routine anslysis of pitch-and-roll buoy wave data. " *J.Phys.O-*

- ceanogr., Vol.18,1020-1034.
- Longuet-Higgins, M.S., Cartwright, D.E. and Smith N.D. (1963). " Observation of the directional spectrum of sea waves using the motions of a floating buoy, " in *Ocean Wave Spectra*, Prentice-Hall, 111-122.
- Longuet-Higgins, M.S. (1986). " Eulerian and Lagrangian aspects of surface waves. " *J. Fluid Mech.*, Vol. 173, 683-707.
- Lygre, A. and Krogstad, H.E. (1989). " Maximum entropy estimation of the directional distribution in ocean wave spectra. " *J. Phys. Oceanogr.*, 16, 2052-2060.
- Marsden, R.F. and Juszko, B.A. (1987) " An eigenvector method for the calculation of directional spectra from heave, pitch, and roll buoy data. " *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 2157-2167.
- Mettlach, T., Wang, D.W. and Wittmann, P. (1993) " Analysis and prediction of ocean swell using instrumented buoys. " *J. Atmospheric and Oceanic Technology*, (in press).
- Mitsuyasu, H., Tasai, T., Suhara, S., Mizuno, M., Ohkusu, T., Honda, T. and Rikiishi (1975). " Observation of the directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy, " *J. Phys. oceanogr.*, Vol. 5, 750-760.
- Niedzwecki, J.M. and Whatley, C.P. (1991). " A comparative study of some directional sea models. " *Ocean Engineering*, Vol. 18, No 1/2, 111-128.
- Nwogu, O.U., Mansard, E.P.D., Miles, M.D., and Isaacson, M. (1987) " Estimation of directional wave spectra by the maximum entropy method. " in *Proc. 17th IAHR Seminar-Lausanne*.
- Ochoa, J. and Delgado-Gonzalez, O.E. (1991). " Pitfalls in the estimation of wind wave directional spectra by variational principles. " *Applied Ocean Research*, Vol. 12, No. 4, 180-187.
- Oltman-Shay, J. and Guza, R.T. (1984). " A data adaptive ocean wave directional spectrum estimator for pitch/roll type measurements. " *J. Phys. Oceanogr.* 14, 1800-1810.
- Ou, S.H., Bretschneider, C.L., and Tang, F.L.W. (1974). " Relationship between the significant waves and the directional wave spectrum. " in *Proc. of International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis (WAVES'74)*, New Orleans, 728-743.
- Palao, I.M. and Gilhousen, D.B. (1993). " The re-derivation of the NDBC wind-wave algorithm. " in *Proc. WAVES'93 Symposium*, New Orleans. (in

press).

- Pierson, W.J., Neumann, G. and James, R.W. (1955). "Practical Methods for Observing and Forecasting Ocean Waves by means of Wave Spectra and Statistics," U.S. Navy Hydrographic Office. Publ. No. 603.
- Rademakers, P.J. (1993). "Waverider-wavestaff comparison." *Ocean Engineering*, Vol. 20, No. 2, 187-193.
- Skarsoulis, E.K. and Athanassoulis, G.A. (1993). "The use of classical maximum likelihood method for estimating directional wave spectra from heave-pitch-roll time series." in *Proc. of the 3rd International Offshore and Polar Engineering Conference*, Singapore, Vol. 3, 1-8.
- Steele, K.E., Lau, J.C., and Hsu, L. (1985). "Theory and application of calibration techniques for an NDBC directional wave measurements buoy." *IEEE J. of Oceanic Engineering*, OE-10, 382-396.
- Steele, K.E. and Earle, M.D. (1991). "Directional Ocean wave spectra using buoy azimuth, pitch and roll derived from magnetic field components." *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 16(4), 427-433.
- Steele, K.E., Teng, C.C. and Wang, D.W. (1992). "Wave Direction measurements using pitch-roll buoys." *Ocean Engineering*, 19, 349-375.
- Steele, K.E. and Mettlach, T. (1993). "NDBC wave data-current and planned." in *Proc. WAVES'93, Symposium*, New Orleans. (in press).
- Timpe, G. and Teng, C.C. (1993). "Considerations in data buoy hull design," in *Proc. of MTS'93. Mar. Tech. Soc.*, 402-412.
- Tucker, M.J. (1987). "Directional wave data: the interpretation of the spread factors." *Deep Sea Research*, Vol. 13, No. 4, 633-636.
- Tucker, M.J. (1989). "Interpreting directional data from large pitch-roll-heave buoys." *Ocean Engineering*, Vol. 16, No. 2, 173-192.
- Tucker, M.J. (1993). "Recommended standard for wave data sampling and near-real-time processing." *Ocean Engineering*, Vol. 20, No. 5, 459-474.
- Wang, D.W. (1990). "Estimating wind direction from a small discus buoy." in *Proc. of Marine Instrumentation'90*, San Diego, 168-177.
- Wang, D.W. (1992a). "Estimation of wave directional spreading in severe seas." in *Proc. of 2nd International Offshore and Polar Engineering Conference*, San Francisco, Vol. 3, 146-153.
- Wang, D.W. (1992b). "Long-term directional wave statistics from NDBC buoy stations." in *Proceeding of MTS'92, Mar. Tech. Soc.*, 477-485.

- Wang,D.W.(1993a). " Field evaluation of NDBC's wave processing module-magnetometer-only version. " NDBC technical report (in press)
- Wang, D.W.(1993b). " Field Data study on the hull-mooring dynamic response of NDBC discus buoys. " CSC Technical Report (in preparation)
- Wang D.W. and Carolan, R.(1991). " Estimation of swell direction by a small discus buoy in high seas. " in Proc. of 5th Conference on Meteorology and Oceangr. of the Coastal Zone, American Meteorological Society. 53-59.
- Wang,D.W.and Chaffin,J.(1993). " Development of a noise correction algorithm for NDBC buoy directional wave measurement system. " in Proc. of MTS'93, Mar. Tech. Soc. 413-419.
- Wang, D.W.and Gilhousen, D.(1993). " Estimation of occurrences of high and steep waves off the California Coast. " in proc. of International Conference on Stochastic And Statistical Methods in Hydrology and Environmental Engineering, Waterloo, Canada (in press).
- Wang, D.W. and Mettlach, T.(1992). " Halloween storm data observation from NDBC stations. " in Proc. of 3rd International Workshop on Wave Hind-casting and Forecasting, Vol. 2, 71-88.
- Wang, D.W. and Mettlach, T. (1993). " Evaluations and applications of time series data from an NDBC pitch-roll buoy. " CSC Technical Report.(in preparation)
- Wang, D.W.and Wilson, B.(1990). " Estimating ocean surface wind speed from a small discus buoy. " in Proc. of MTS'90,Mar.Tech. Soc.378-387.
- Wang, D.W., Teng, C.C., and Ladner, R.(1993). " Buoy directional wave measurements using magnetic field components. " in Proc. WAVES'93 Symposium, New Orleans (in press)
- Wang, D. W., Teng, C.C., and Steele, K.E. (1989) " Buoy directional wave observations in high sea. " in Proc. Oceans'89, Seattle, Mar. Tech. Soc. And IEEE, 1416-1420.
- Wang, D.W., Liu, A., Peng, C. and Meindle, E., (1993). " A case study on wave -current interaction near the Gulf Stream during SWADE. " J. Geophysical Research (in press)
- Wang, D.W., Chaffin, J, William, B, Mark, B, And Strahan, R.(1993) " Wave Message for NDBC WPM directional wave measurement system. " CSC Technical Report.

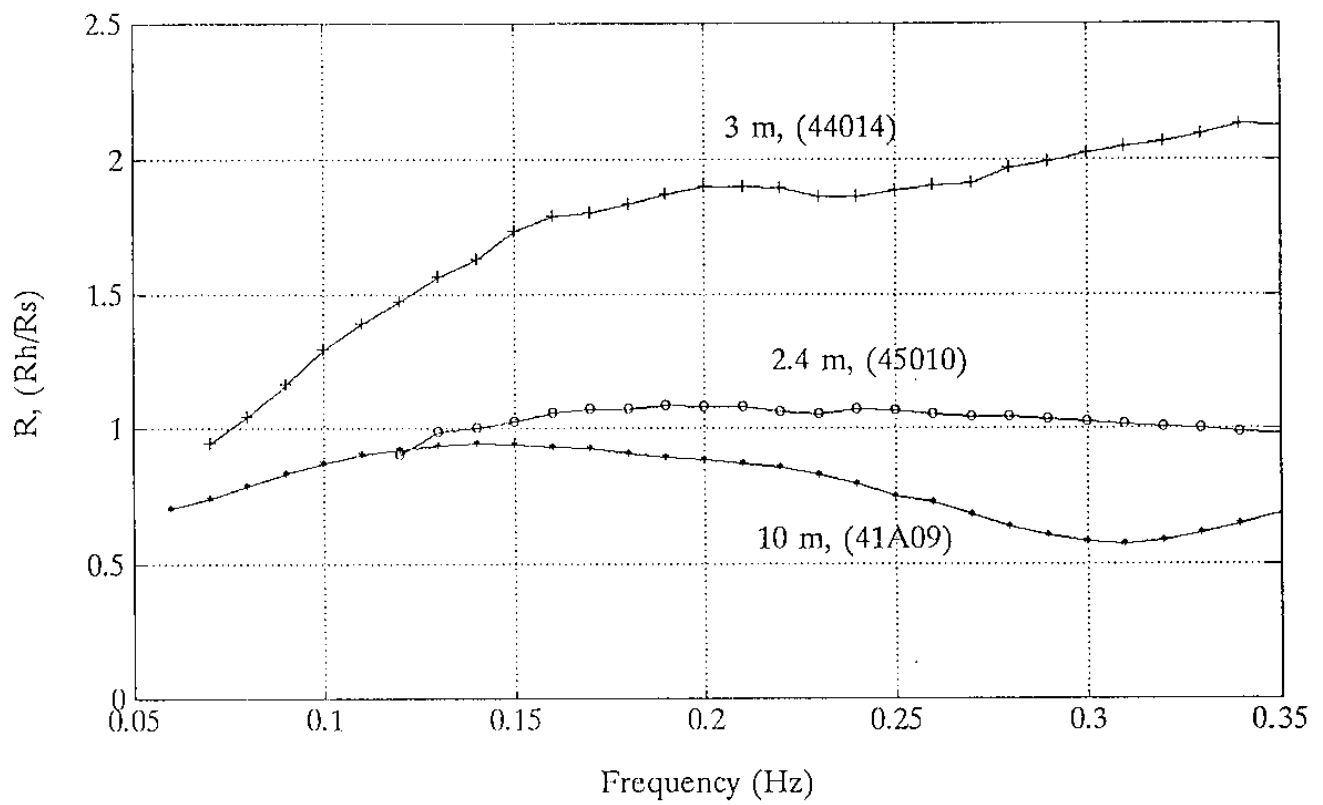


圖 1、從三個大小不同的 NDBC 浮標上得到的 R 值。

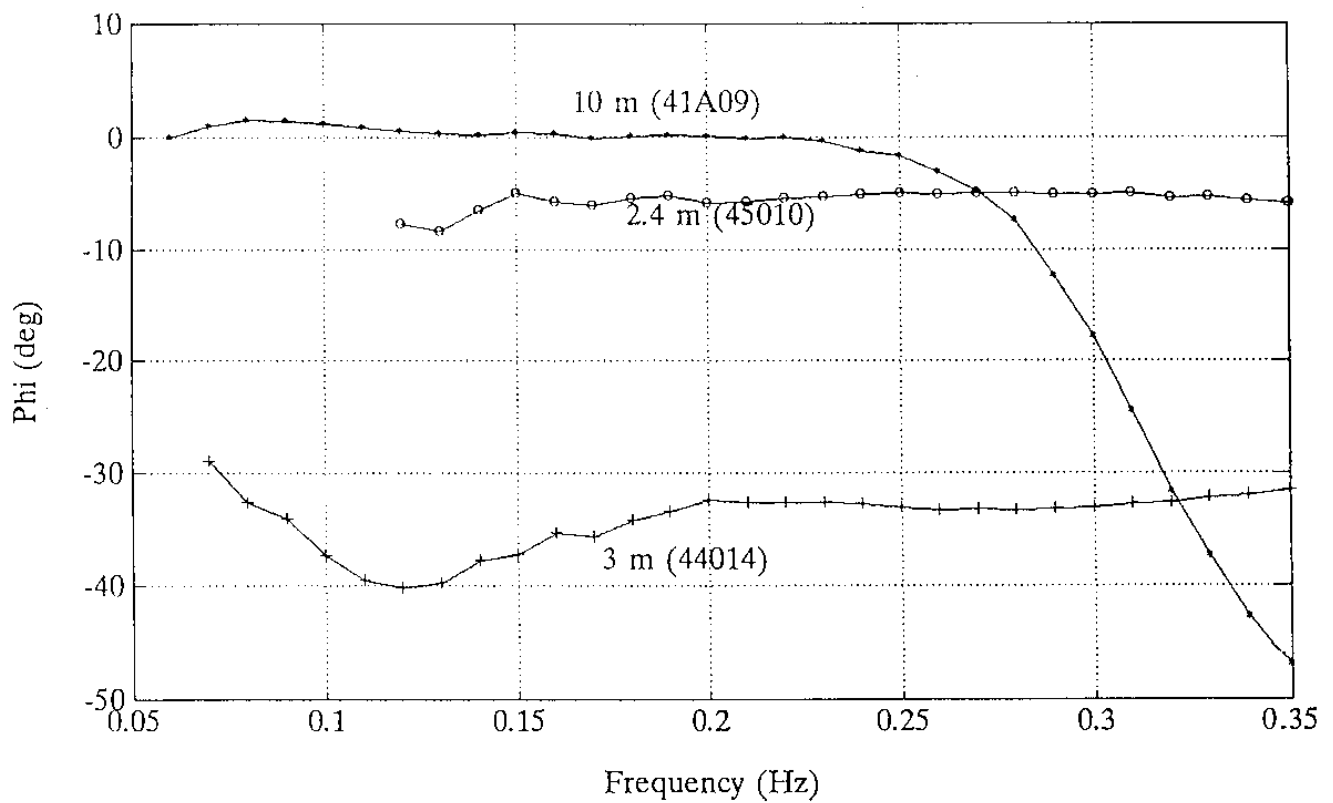


圖 2、從三個大小不同的 NDBC 浮標上得到的 ϕ 值。

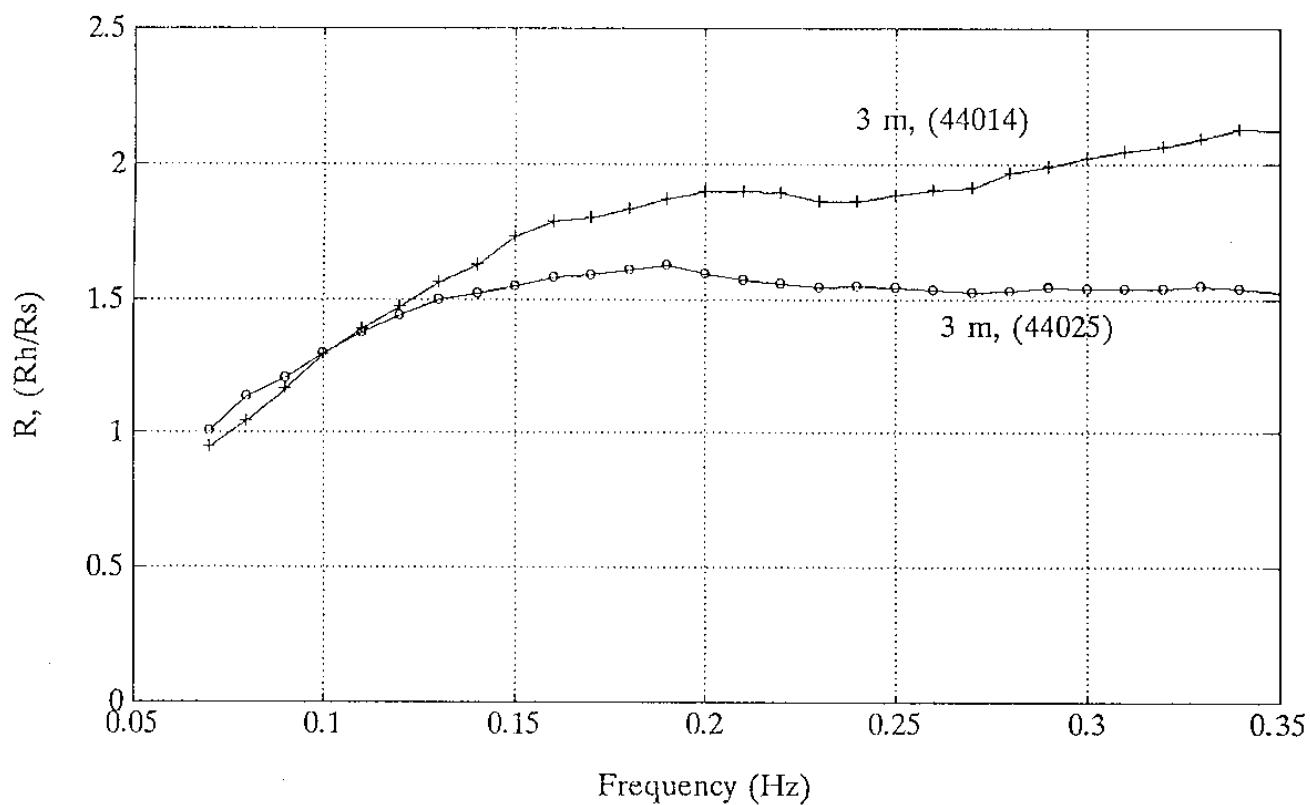


圖 3 、從二個 NDBC 3m 浮標上得到的 R 值。

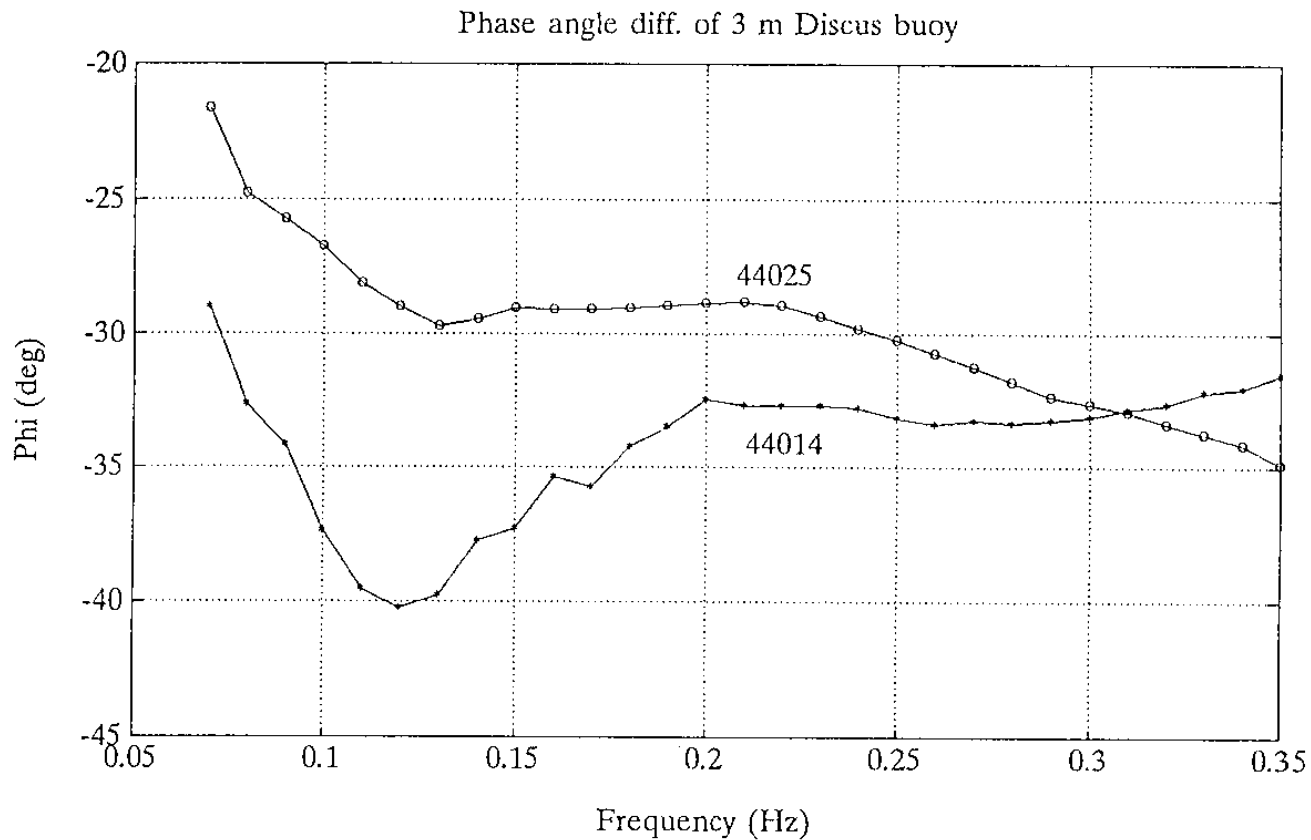


圖 4 、從二個 NDBC 3m 浮標上得到的 ϕ 值。

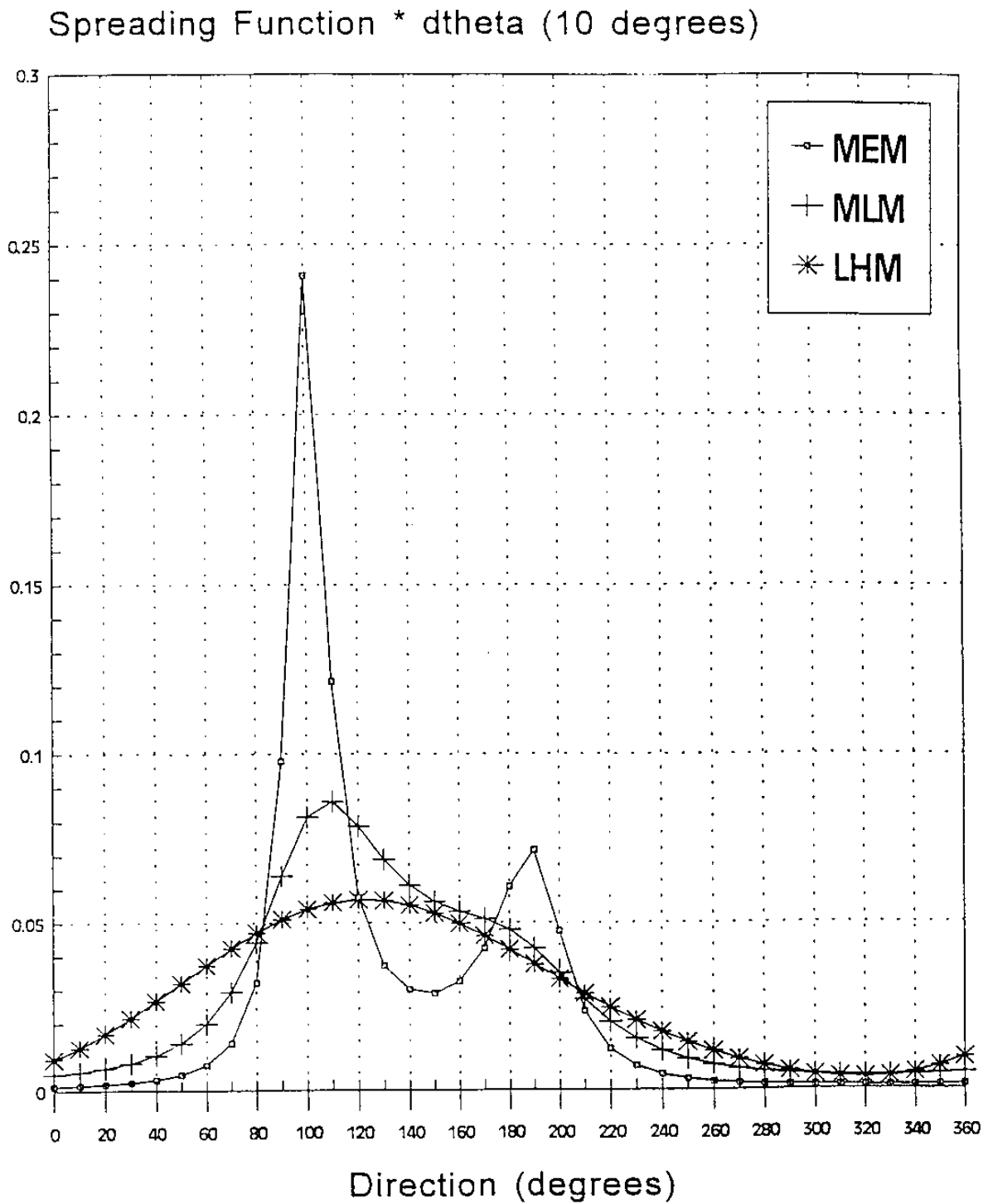


FIGURE 6. Directional Spreading Function
 $f_{\text{peak}} = 0.08 \text{ Hz}$, 03/14/93 0000
 Station 44014

圖5、三種不同計算方法所得波向分佈函數。(本圖取自 Eavle, 1993)。

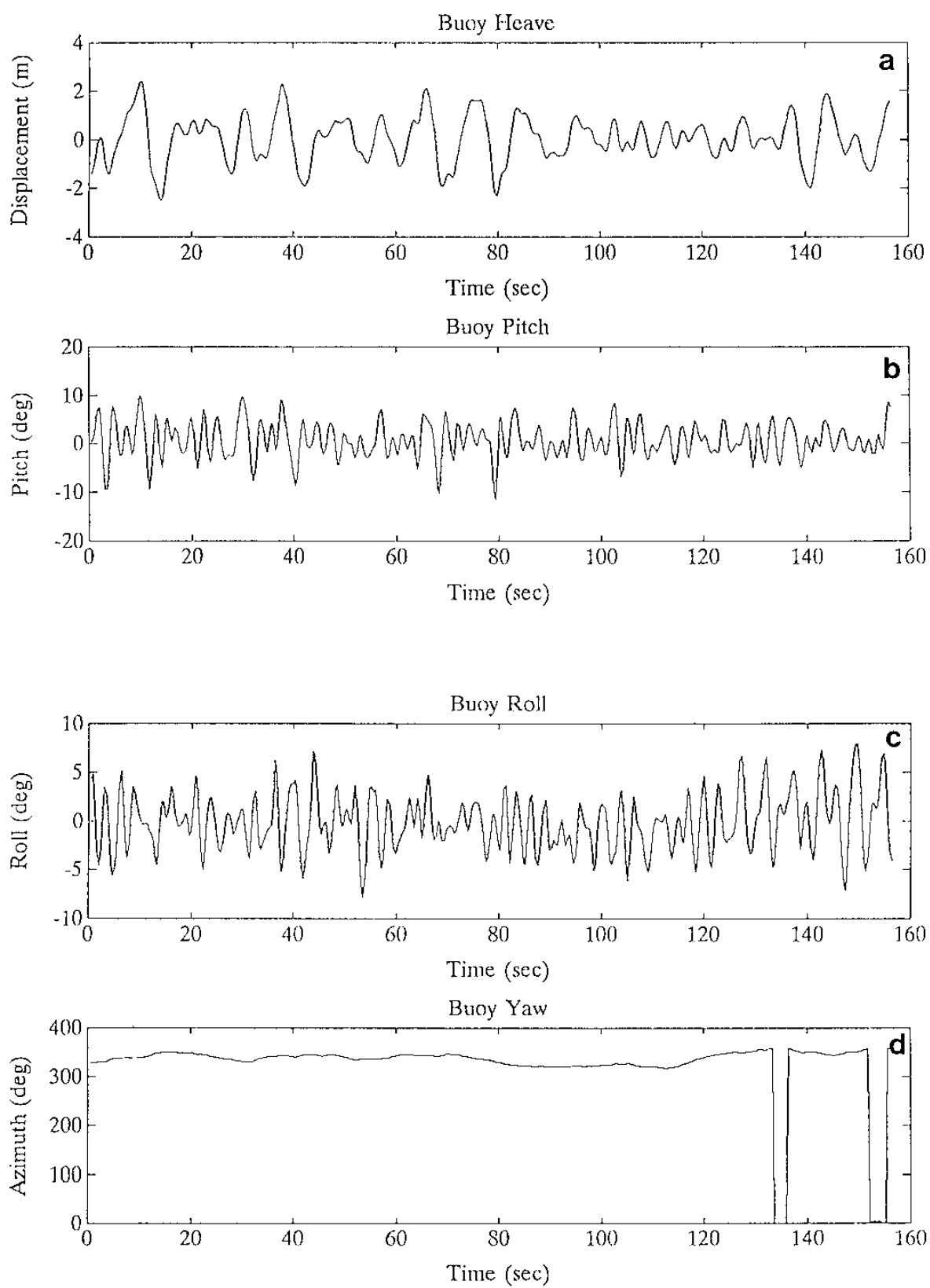


圖 6、浮標運動實測資料。

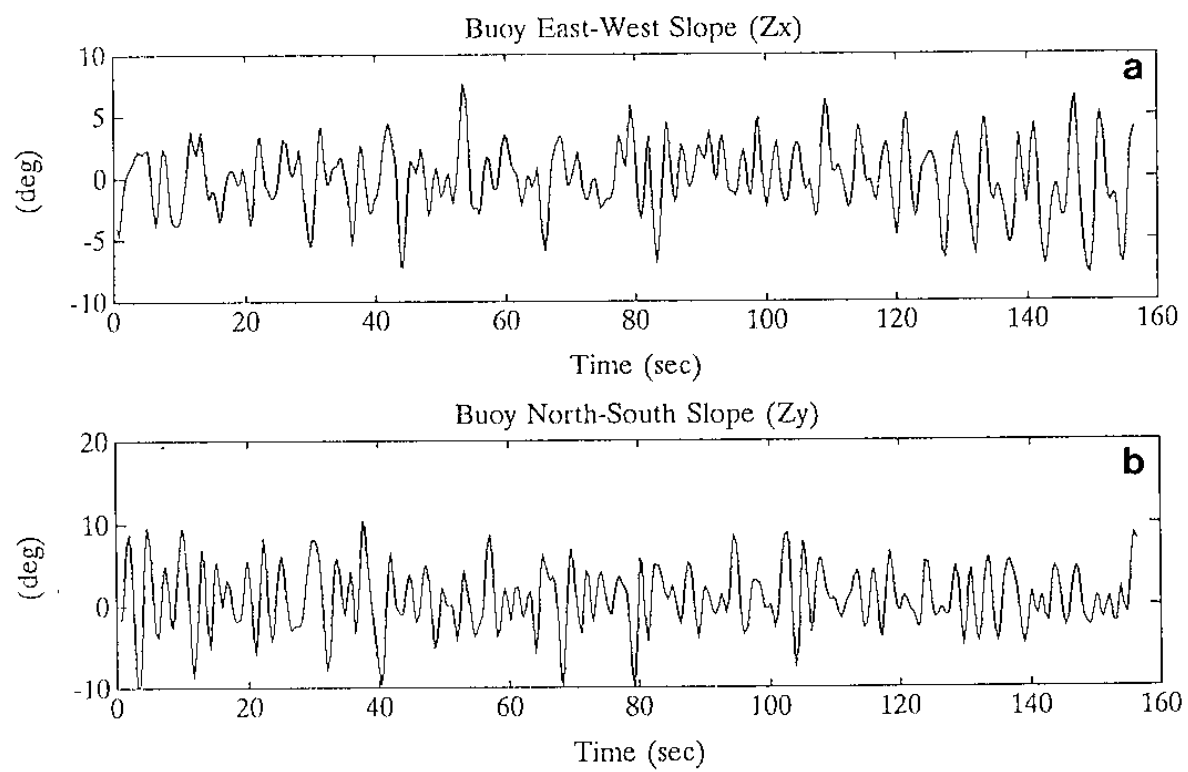


圖 7、浮標南北及東西方向斜率。

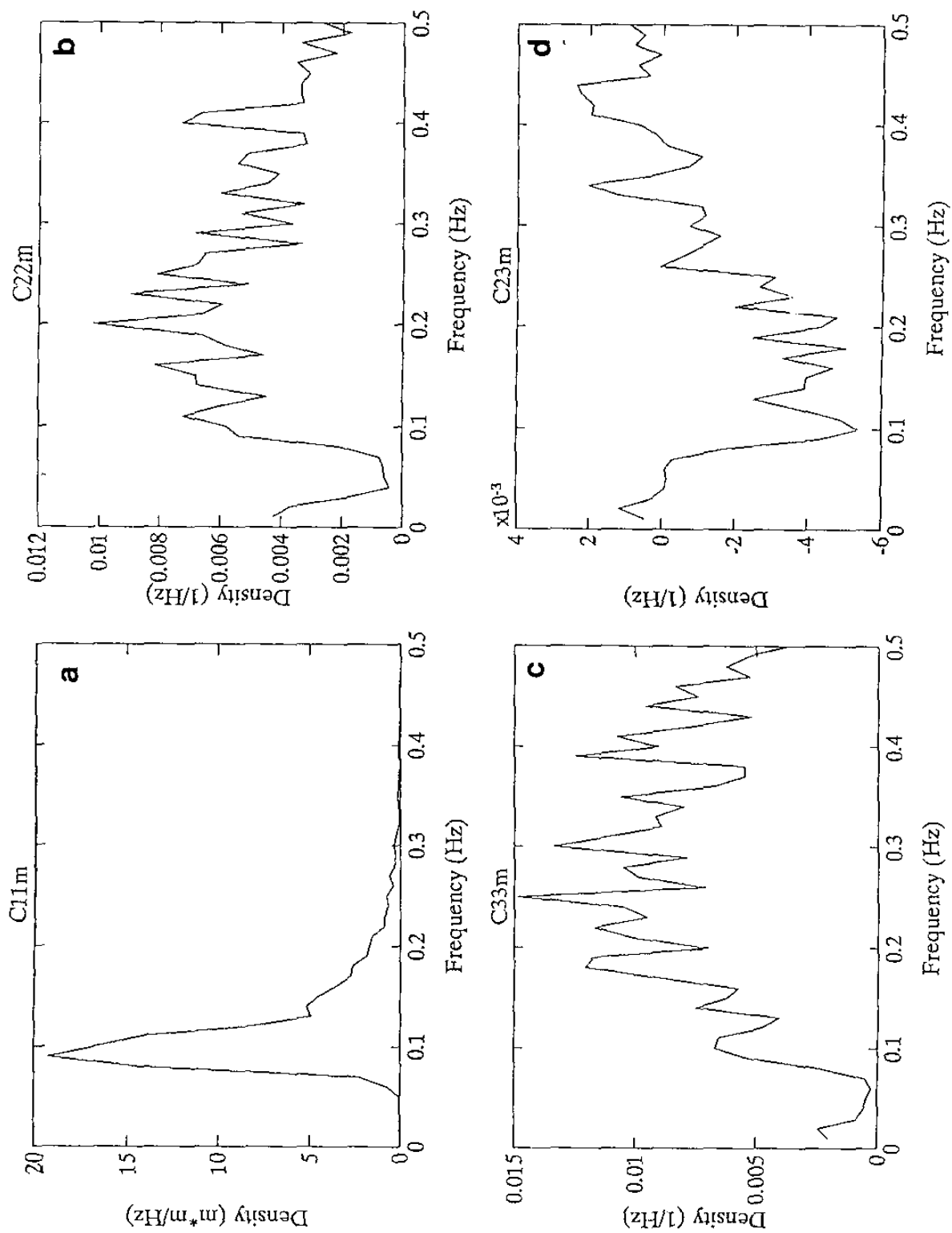


圖 8、浮標運動各個能譜。

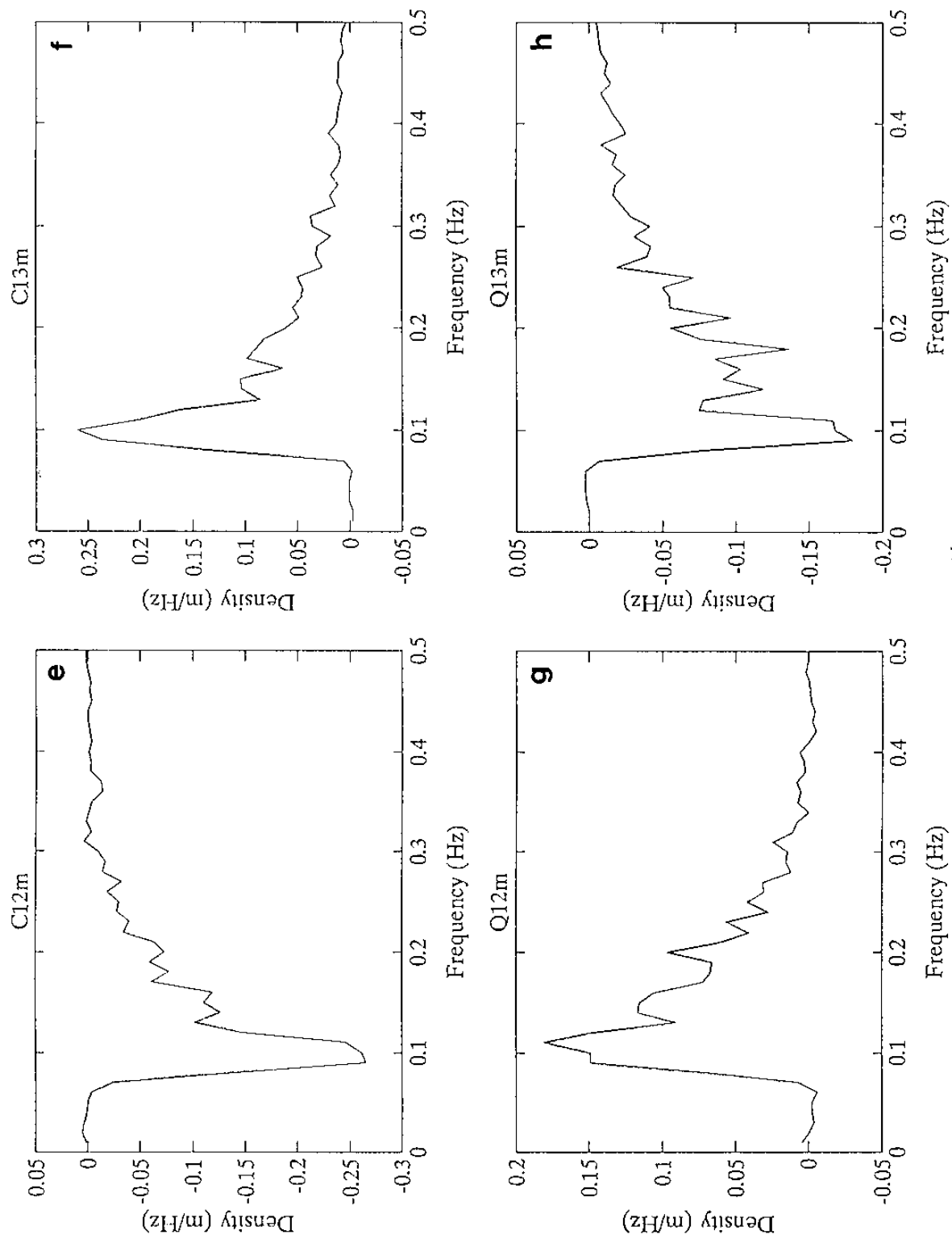


圖 8、(續)

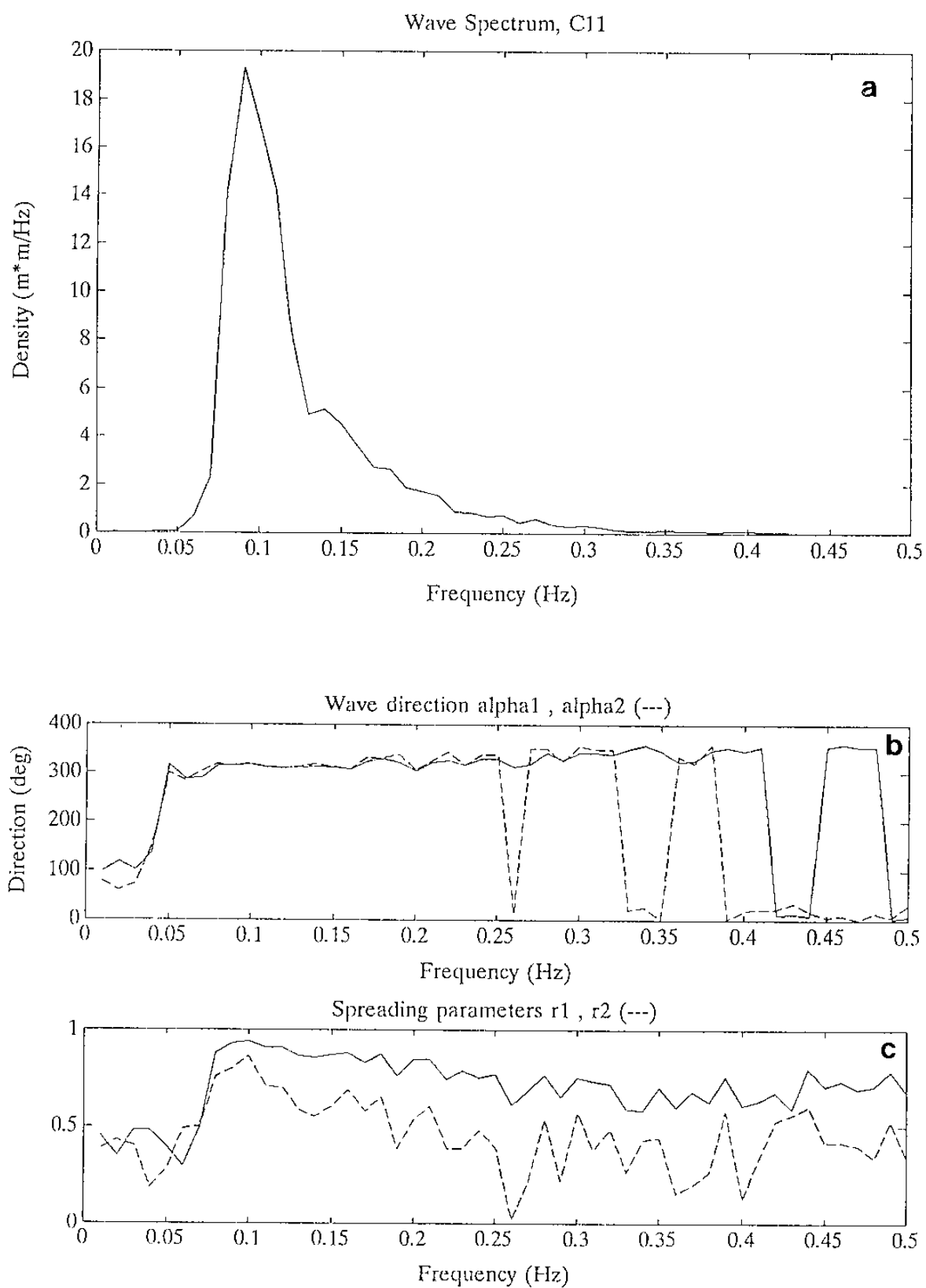


圖 9、浮標測波結果 (a) 能譜 (b) 波方 (c) 方向散度。

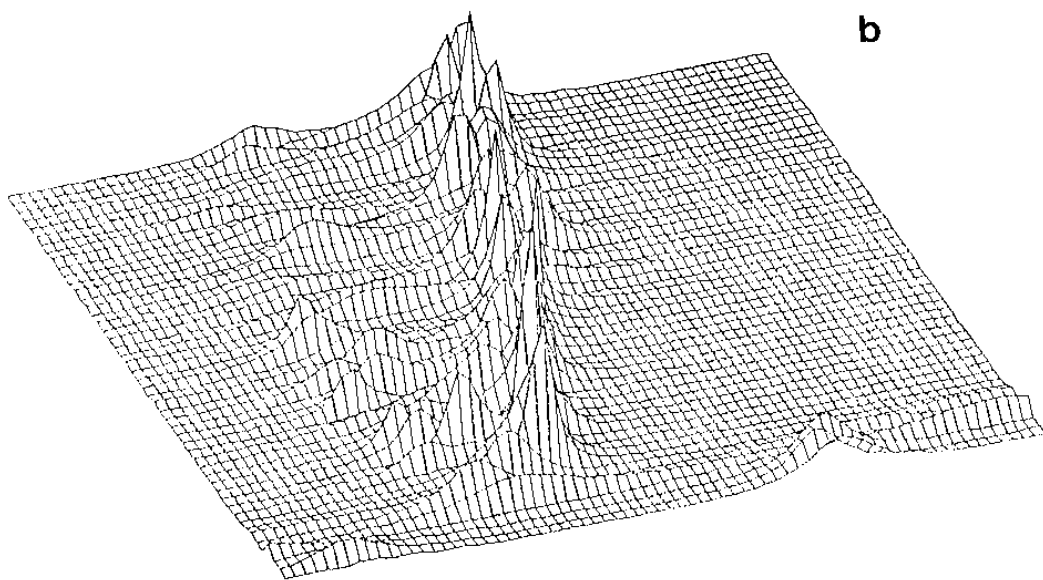
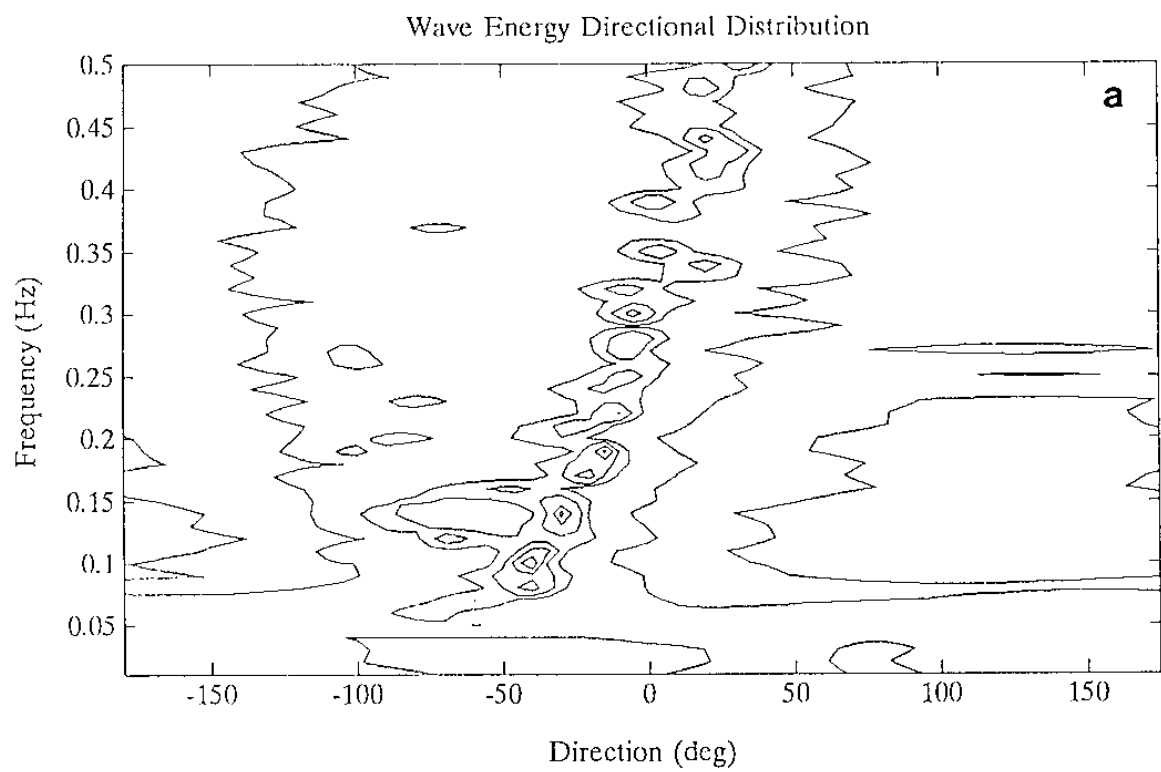


圖 10 、波能方向分佈的等高線及三維圖。

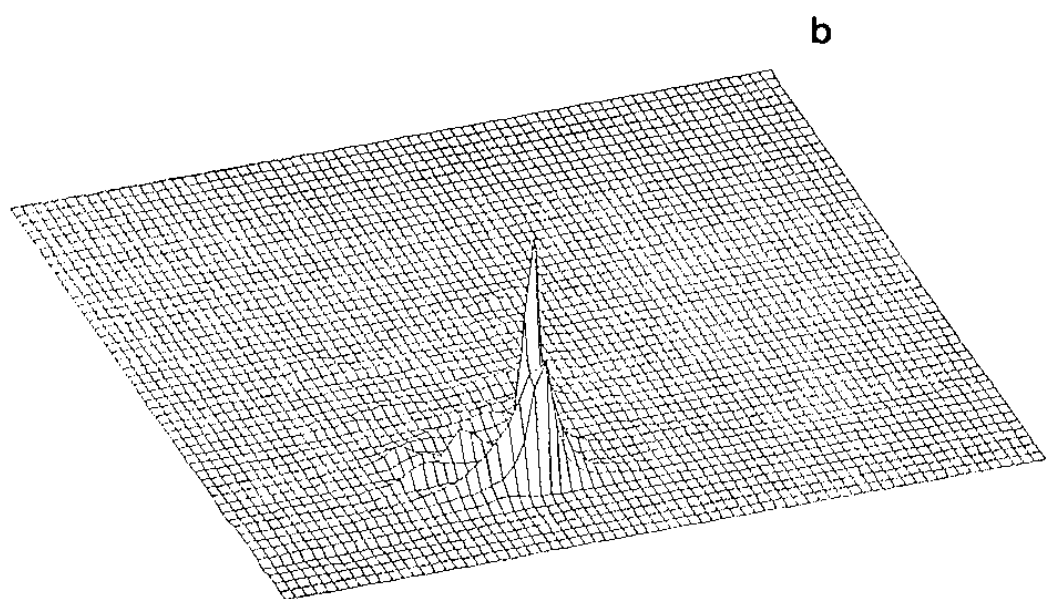
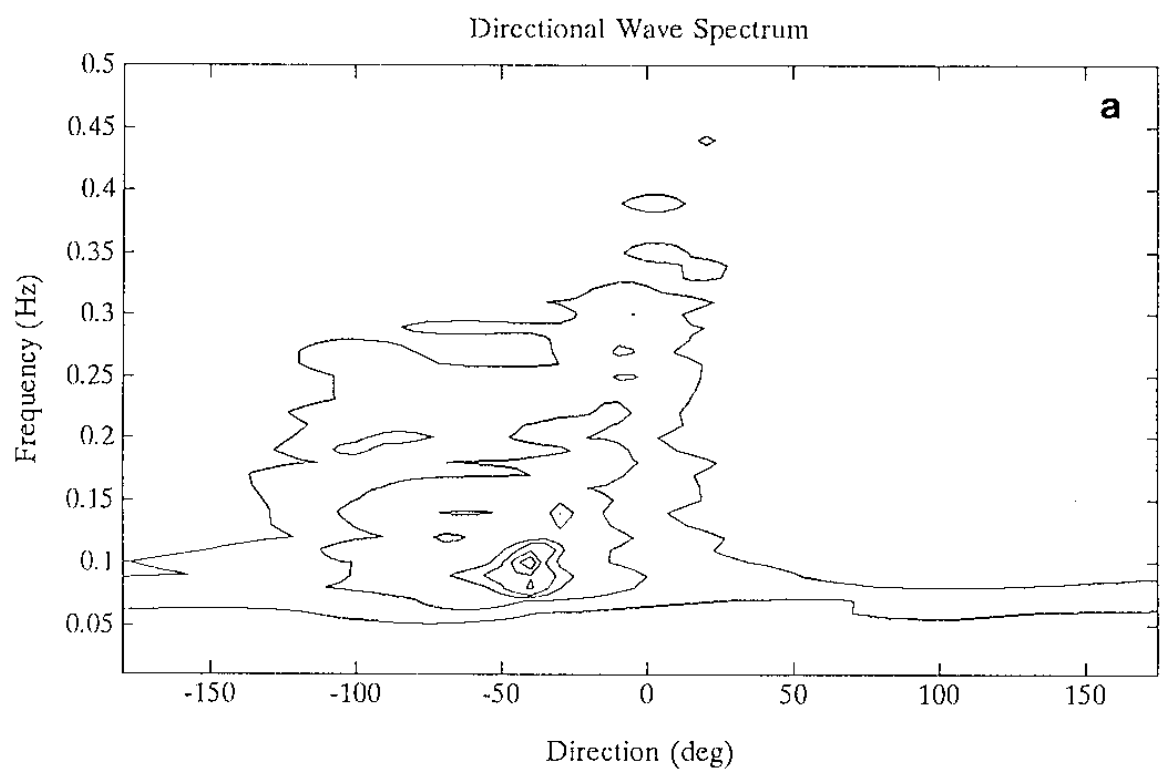


圖 11 、波浪能譜的等高線及三維圖。

ON THE DATA PROCESSING OF BUOY WAVE MEASUREMENT SYSTEM

Wei-Chi Wang

Computer Sciences Corporation

Abstract

In-situ wave measurements from moored buoys provide vital information for marine weather forecasting, safety design of offshore structures, calibration and verification of numerical models, wave climate study, development of remote sensing techniques, and coastal zone management and development. In this paper, an overview of the data processing of an operational buoy wave measurement system is presented. This paper introduces and discusses the buoy wave measurement theory, the derivations and computations of directional wave spectrum and wave parameters, the procedures for data processing, and the automation of wave data quality assurance.

