

四個波浪預報模式應用在台灣海峽之比較

梁乃匡¹、楊台興¹

呂理弘²、胡重威¹、林文宗³、黃華興²

¹ 台大海研所 ² 中央氣象局 ³ 台東師院

摘要

以 S.M.B、FAM、G2 及 WAM 等四個波浪預報模式，根據大氣區域波譜提供的網格點風場分析資料，推算東北季風期間(85.11.2~85.11.12)，台灣海峽 H1/3 波高，並利用烏坵及高雄外海中油鑽油平台附近實測波高值作比較，發現 WAM 推算結果最接近實際情形。S.M.B 及 FAM 尚可進一步調整經驗常數，以改善推算的準確度。

一、前言：

由於二十世紀之科技文明，陸上資源在大量開發利用下，部份非再生資源面臨枯竭，環境也遭到嚴重破壞；有識之士除大聲疾呼永續經營理念，並主張開發海洋資源。

雖然海洋蘊藏之資源極為豐富，但相對的開採技術之困難與開發成本之昂貴，絕非原有在陸地時所能比擬。因此，所有海洋國家，無不投入大量經費與人力，去從事海洋環境之調查與研究。當然國內也不例外，近年來中央氣象局與海軍氣象中心，都積極地發展海浪預報模式，也已具體顯示有相當之成效。

本研究之推算風場與波浪預報模式，即由海軍支持之研究計畫所提供。

二、波浪預報模式：

四個波浪預報模式(梁，1995)簡述如下：

(一)、S.M.B.波浪預報法：

風吹海面形成之風浪可以用指示波表示。S.M.B.法首先假設影響指示波高及週期之因素有下列三項(1)風速 U ，(2)吹風區域(Fetch) F ，(3)吹風歷時(Duration) t 。

由風浪形成的現象歸納得到，風速越大，歷時越長，風域越大，所形成之風浪越大。但一定的風速下所形成的風浪有一極限，即風浪不再隨歷時(t)及風域(F)的增大而成長，此時風浪已發展完全，稱之為完全成熟波。茲分述如下：

(1)定常狀態：

在定常狀態下之波浪雖風吹再久，波浪因已達飽和不再發展，故定常狀態下，波高週期為風域及風速之函數。

(2)變遷狀態：

變遷狀態下之波浪尚在發展階段中，海面仍可自風接受能量，只要稍予時間(歷時延長)，波浪還能繼續成長，故在變遷狀態下之波高、週期為風速及歷時之函數。

(3)成熟狀態：

當波浪發展到達成熟狀態時，波浪僅為風速 U 之函數。

(二)、面積風域法(F.A.M.)及參數化颱風波浪預報法：

本法將季風與颱風引起的波浪分開計算，平常只算季風波浪；有颱風侵襲時利用能量相加的原理，推算季風波浪與颱風波浪的合成效應。

季風波浪的推算是用梁乃匡(1973)所發展之面積風域法。颱風波浪可分成兩部分：一、颱風暴風圈內的波浪，二、颱風暴風圈內傳至暴風圈外的颱風湧浪。颱風暴風圈內的波浪是用 Bretschneider (1976)的方法推算，颱風暴風圈內傳至暴風圈外的颱風湧浪是用梁乃匡(1982)所發展之湧浪推算法推算。

(三)、第二代(G2)風浪波譜模式：

風浪波譜模式所採用的形式，為結合分離式之第二代波譜模式 (SWAMP, 1985)。模式發展是源於美國國家氣象中心現階段實際為阿拉斯加灣所做的波浪操作模式 (Chao, 1993)，此模式具有可擴充至對波與波間交互作用較複雜運算的第三代波譜模式的潛力，目前應用之範圍為 $0 \sim 45^\circ \text{N}$ ， $100 \sim 150^\circ \text{E}$ ； $1^\circ \times 1^\circ$ ，即西北太平洋區域。

模式中的控制方程及計算過程，取 Golding (1983) 提出的方式，但對波浪傳播及折射，則採 Duffy 及 Atlas (1984) 的理論。模式解能量平衡方程式之形態如下式：

$$\frac{\partial E_{ij}}{\partial t} = -\nabla \cdot (C_g E_{ij}) - \frac{\partial}{\partial \theta} \{ (C_g \cdot \nabla \theta) E_{ij} \} \quad (1)$$

$$+ S_{in} + S_{ds} + S_{ni}$$

其中 E_{ij} 為波浪場之能譜密度函數，由頻率 f_i 及方向 θ_j 所組成， C_g 為群速， S_{in} 表由風所生的能量部份， S_{ds} 表由碎波及海底磨擦所產生的能量損耗， S_{ni} 表波與波間之非線性交互作用所造成之能量重新分配，符號 ∇ 表水平座標中之運算元， t 為時間。能量平衡方程式經以下四個步驟求解，依序為：波浪傳播、波浪折射、波浪之成長與消散及波浪間之非線性交互作用。

(四)、WAM 波浪預報模式：

所謂 WAM 模式，係 WAVE Modeling 等字之縮寫，是由歐美等地以德國漢堡 Max-Planck 氣象研究所 K. Hasselmann 教授為首之 WAMDI 研究群 (Wave Model Development and Implementation group) 經多年研究所發展出來的第三代波浪模式 (WAMDI, 1988)。在 WAM 模式中，對於海面任一地點 (其緯度 ϕ 而經度為 λ) 之波浪場的二維頻率方向波譜， $F(f, \theta, \phi, \lambda, t)$ ，其隨時間 t 的演變情形是以 F 之能量平衡方程式來描述：

$$\frac{\partial F}{\partial t} + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi} (C_\phi \cos \phi F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (C_\lambda F) \quad (2)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial \theta} (C_\theta F) = S$$

而

$$S = S_{in} + S_{ni} + S_{ds} + S_{bim} \quad (3)$$

式中 f 為波浪成份波之頻率， θ 為該成份波傳播方向的方位角，以正北為準順鐘向旋轉， $C_\phi, C_\lambda, C_\theta$ 則為波浪成份波能量在 ϕ, λ, θ 空間之傳播速度。(2) 式右方之 S 稱為源函數，是由(3)式所述之四部份所組成，其中第一項 S_{in} 為海面風場所提供的能量輸入，第二項 S_{ni} 為由波與波之非線性交互作用所產

生的能量轉移，第三項為 S_{ds} ，係由碎波、白浪所造成的能量損耗，至於第四項 S_{bim} 則為經由底部磨擦作用所造成的波浪能量損失。

三、資料分析處理過程：

(一)、預報模式風場：

模式推算之風場由海軍氣象中心大氣區域波譜模式提供所需的網格點風場分析資料如圖 1，範圍為 $0 \sim 55^\circ \text{N}$ ， $100 \sim 155^\circ \text{E}$ ； $1^\circ \times 1^\circ$ ，時間間隔為 12 小時，自 85 年 11 月 1 日 8 時起至 85 年 11 月 11 日 20 時止，其中缺 8 日 8 時之資料。

(二)、實測風浪資料：

波浪觀測使用荷蘭 DATAWELL 公司之 6000FL 型浮球式波浪儀，風場之觀測係使用日本海上電機株式會社出品的 WA-200 型超音波風速儀，所有觀測數據均以個人電腦記錄儲存於磁碟內。

波浪觀測位址在高雄外海約 100 公里之中油鑽油平台 CFC-16 井位 (位置約在 22.5°N ， 119.3°E) 附近水深約 120 米及烏坵近岸水深約 25 米，85 年 11 月上旬之時間序列如圖 2 ~ 3；風場觀測位址在 CFC-16 井位海拔約 18 公尺及澎湖西嶼海拔約 60 公尺處，85 年 11 月上旬之時間序列如圖 4 ~ 5。

(三)、波浪預報模式推算結果：

為配合實際觀測資料來做驗證，模式選擇最接近烏坵及 CFC-16 井位之四個點 (如圖 6)，輸出推算之 H1/3 波高值，四個波浪預報模式在 St.1 (22°N ， 119°E) 及 St.2 (23°N ， 119°E) 時與 CFC-16 比較如圖 7 ~ 8，在 St.3 (25°N ， 119°E) 及 St.4 (25°N ， 120°E) 時與烏坵比較如圖 9 ~ 10，85 年 11 月 11 日 20 時之 H1/3 波高分析如圖 11 ~ 14。

四、討論及結語：

模式推算期間之天氣型態為 2 日清晨鋒面通過，海峽風力驟增，受東北季風影響；3 日持續，4 日上午減弱，5 ~ 7 日均受微弱東北季風影響，風力時強時弱；8 ~ 10 日受南海輕度颱風爾尼 (9628) 環流影響，海峽南部風力明顯增強；11、12 日受強烈颱風戴兒 (9627) 及輕度颱風爾尼環流與東北季風合成影響，海峽平均風力增強達八級以上。

圖 7 ~ 8 中，四個波浪模式分別在 St.1 及 St.2，所推算之趨勢與結果均極相近，除了 SMB 法 5 日時在 St.1 點多了一個起伏現象外；而 G2 與 WAM 兩者推算過程中，高低值之落點時間一致，與實測值比較開始之最大值約有 12 小時延遲，最後則相同。SMB 法開始時在 St.1 及 St.2，分別有 36 和 24 小時的延遲，FAM 法亦有延遲 24 小時的情形。

烏坵位置在 St.3 及 St.4 之間，由圖 9 ~ 10 可看出 WAM 開始時在近岸點與實測值同步，在 St.4 則落後 12 小時，且高點值比較偏小，其它模式並無此特性。

模式四個輸出網格點風場與西嶼及 CFC-16 實測資料比較之時間序列如圖 15 ~ 18，雖然趨勢相近，但仍有部份時段偏差頗大。例如：以 St.2 與西嶼比對，在 2 日 20 時偏小 5.67m/sec，在 7 日 8 時卻偏大 6.46m/sec。而西嶼及 CFC-16 間之趨勢，幾乎完全一致，兩者距離約 100 公里，CFC-16 偏小係因儀器設備安裝位置，受船體限制未盡理想。

將烏坵及 CFC-16 觀測之 H1/3 波高與西嶼實測之風速求相關如圖 19，兩者間並無太大差異，台灣海峽冬季之波高，直接受風影響呈線性成長。

綜上所述，四個波浪預報模式應用在台灣海峽，初步結論以 WAM 法較佳。而 S.M.B 與 FAM 仍延用過去的經驗係數，如依新風場再調整係數，相信將會大幅改善。此區在冬季時，風與浪間有直接之相關。因此，如何獲得比較更能代表實際海面狀況之風場資料，提供波浪模式作為推算的依據，實為影響推算結果最重要之關鍵所在。目前使用之網格點風場資料，在時間與空間上之間距，都有必要縮小，才能更符合實際之情形。

誌謝：

感謝海軍氣象中心支持研究計畫及提供推算風場資料，台大海研所李宏仁、協助繪圖，葉惟鏞、謝榮木，賴政芬文稿編排及打字。

參考文獻：

梁乃匡等（1995）：中華民國海軍「大氣與海浪預報模式」研發計畫專案第二年度結案報告（貳、海浪預報模式）。

梁乃匡等（1995）：中華民國海軍「大氣與海浪預報模式」研發計畫專案第二年度海浪模式個案測試驗證報告。

梁乃匡（1982）颱風湧浪的預報方法，第六屆海洋工程研討會論文集，PP.5-1 ~ 5-19。

Liang, N.K.(1973), Elementary wave model and the Definition of Fetch Area in wave prediction, ACTA OCEANOGRAPHICA TAIWANICA, Science Reports of the National Taiwan university No.3, PP.87-96.

Bretschneider, C.L., Tamage, E.E.(1976), Hurricane wind and wave forecasting techniques, proceedings 15th International Coastal Engineering Conference, 202-237.

Chao, Y.(1993): Implementation and evaluation of the Gulf of Alaska regional wave model. OPC Office Note No.85, 35pp. NMC, NOAA, Dept. of Commerce.

Collins, J. I.(1972): Prediction of shallow-water spectra, J. Geophys. Res. 77,2693-2707.

Duffy, D.G. and R. Atlas(1984): Surface wind and wave height prediction for the QEII storm using SE-ASAT scatterometer data. Proc. of Oceans, September 10-12,1984. refraction coefficients for sea waves. J. Geophys. Res. 65(2), 637-642.

Goldin, B.(1983): A wave prediction system for real-time sea state forecasting. Quart. J. Royal Meteor. Soc.,109,393-416.

SWAMP Group(1985): OceanWaveModeling. Plenum Press, New York,256 pp.

The WAMDI Group(1988):The WAM Model-A Third Generation Ocean Wave Prediction Model.J. Phys. Oceanogr.18,1775-1810.

圖1 網格點風場分析資料。

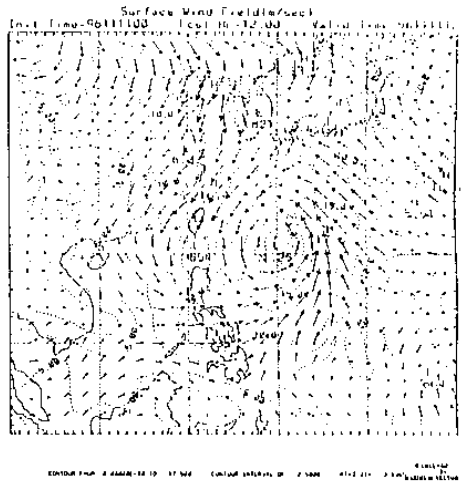


圖2 CFC-16 波浪觀測時間序列。

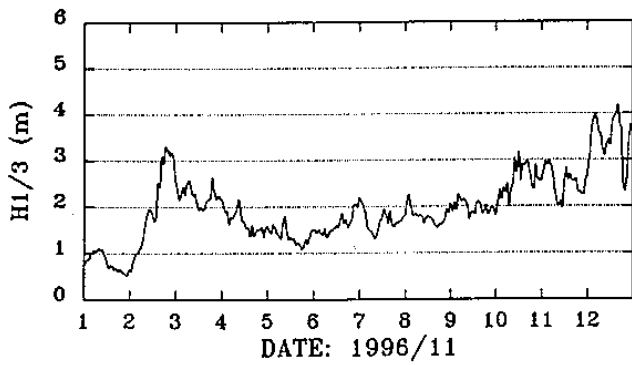


圖3 烏坵波浪觀測時間序列。

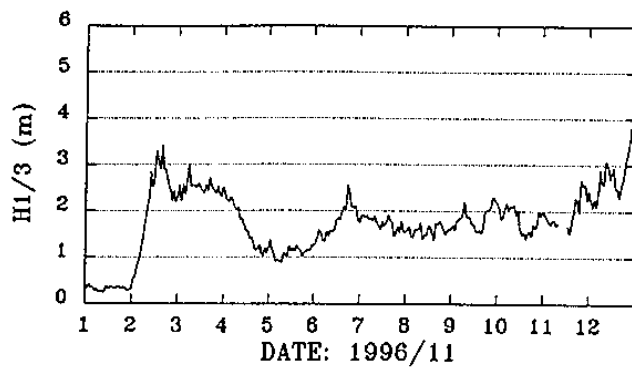


圖4 CFC-16 風場觀測時間序列。

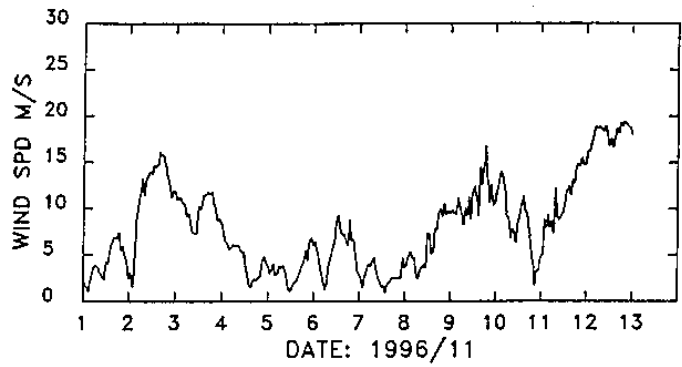


圖5 西嶼風場觀測時間序列。

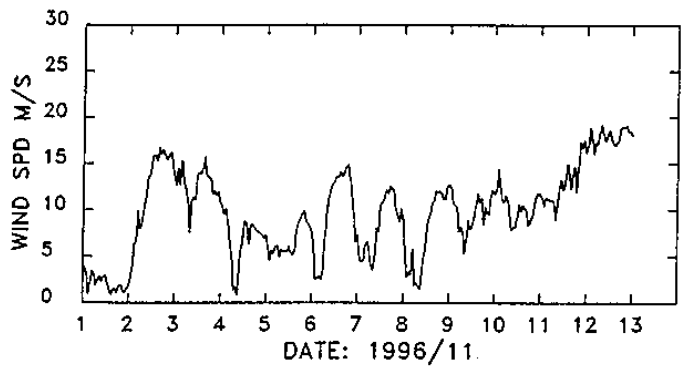


圖6 觀測點與模式輸出點位置。

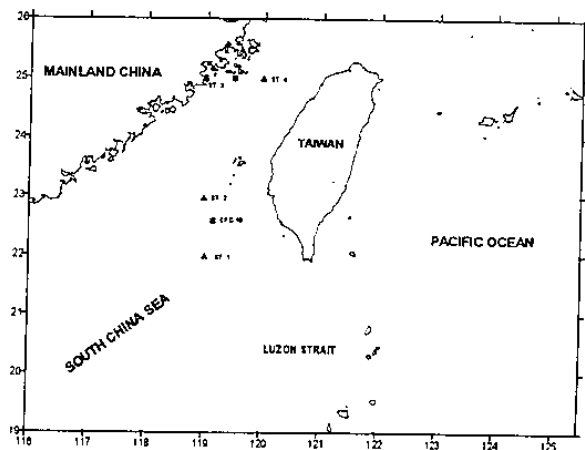


圖7 St.1 推算與CFC-16 實測波浪時間序列。 圖10 St.4 推算與烏坵實測波浪時間序列。

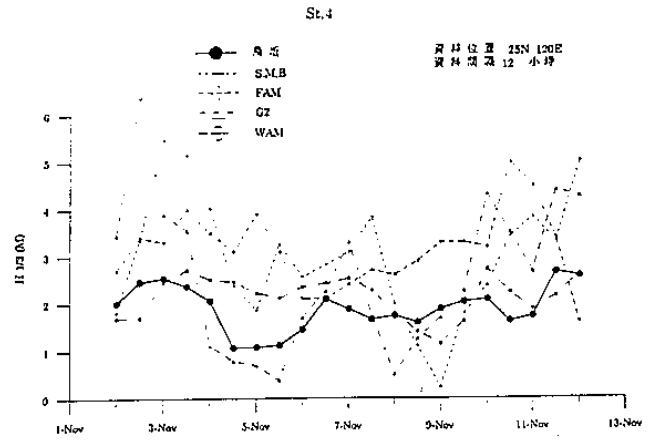
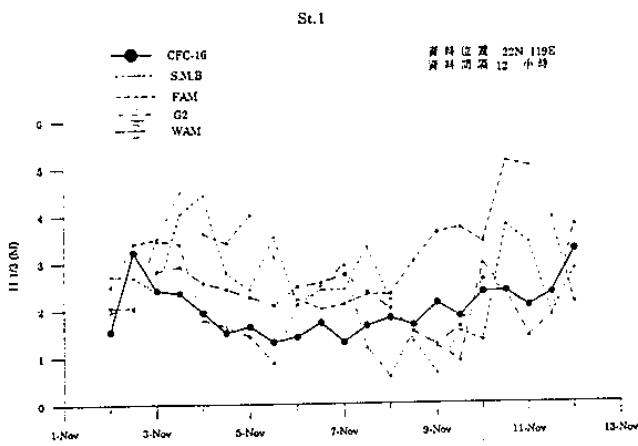
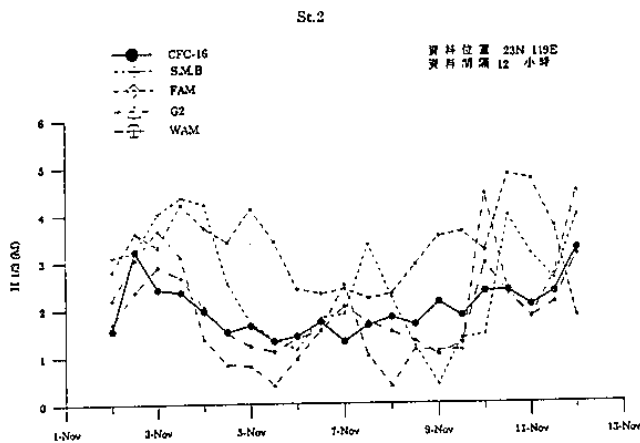


圖8 St.2 推算與CFC-16 實測波浪時間序列。 圖11 SMB法85年11月11日20時之推算



H1/3。

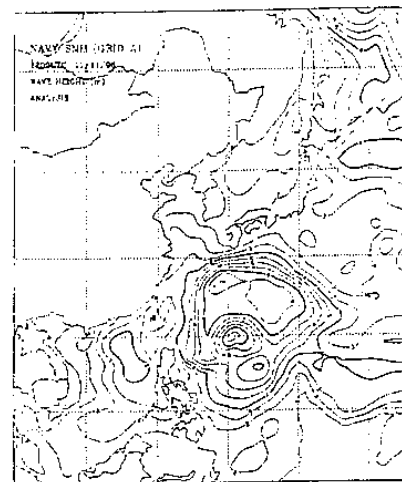


圖9 St.3 推算與烏坵實測波浪時間序列。

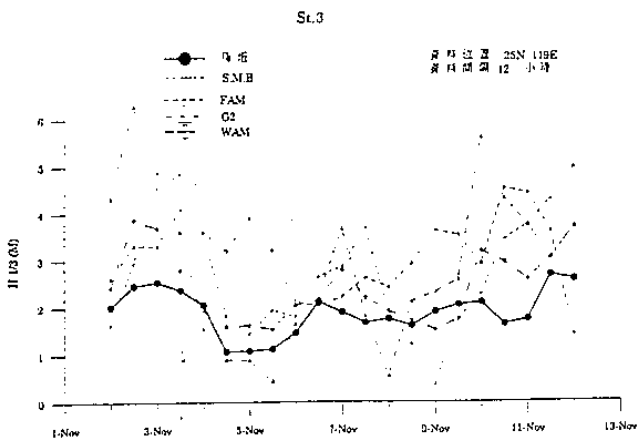


圖12 FAM法85年11月11日20時之推算

H1/3。

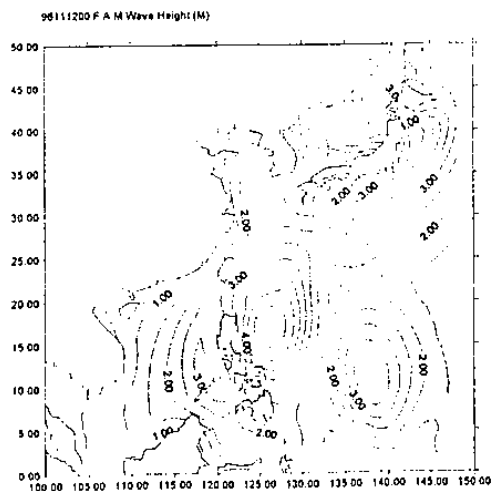


圖 13 G2 法 85 年 11 月 11 日 20 時之推算 H1/3 圖 16 St.2 推算與實測風場時間序列。

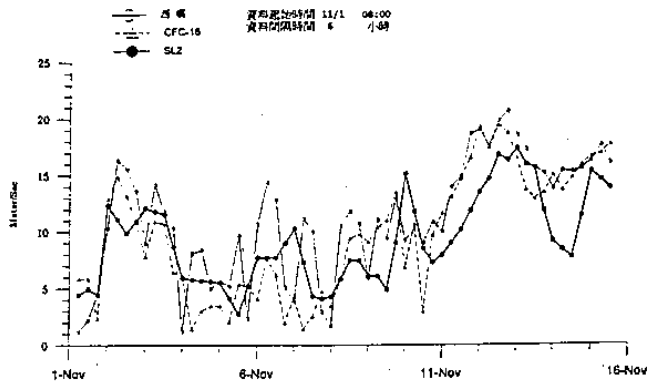
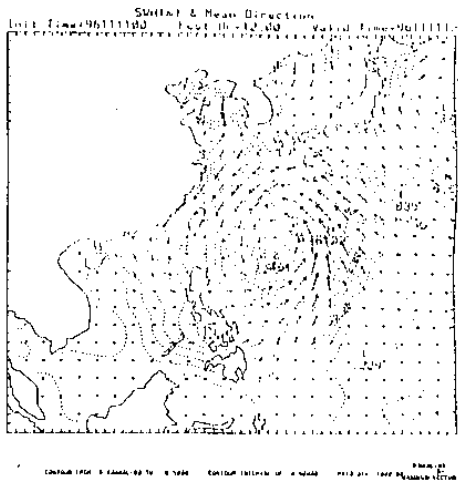


圖 14 WAM 法 85 年 11 月 11 日 20 時之推算 H1/3 圖 17 St.3 推算與實測風場時間序列。

H1/3。

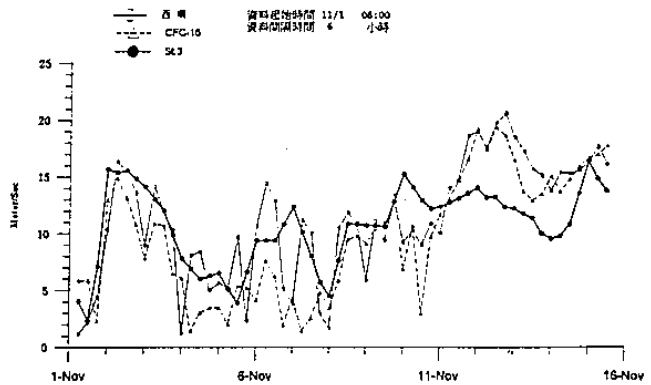
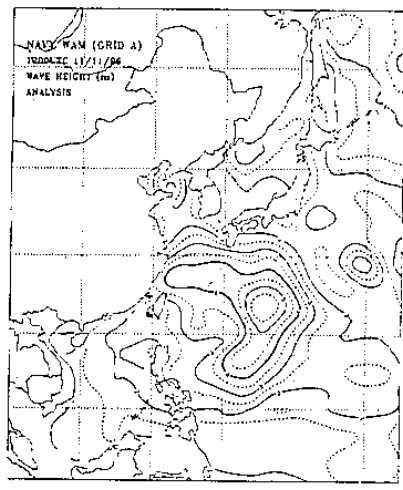


圖 15 St.1 推算與實測風場時間序列。

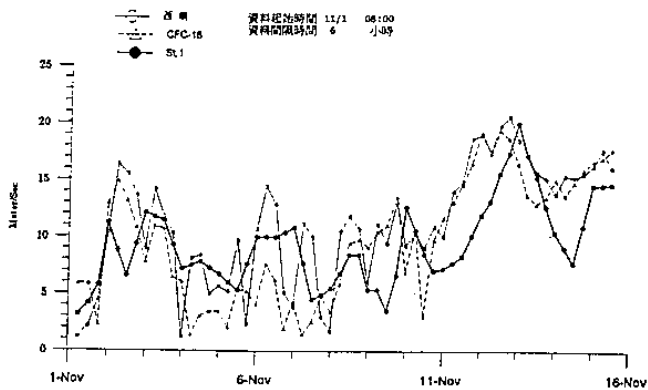


圖 18 St.4 推算與實測風場時間序列。

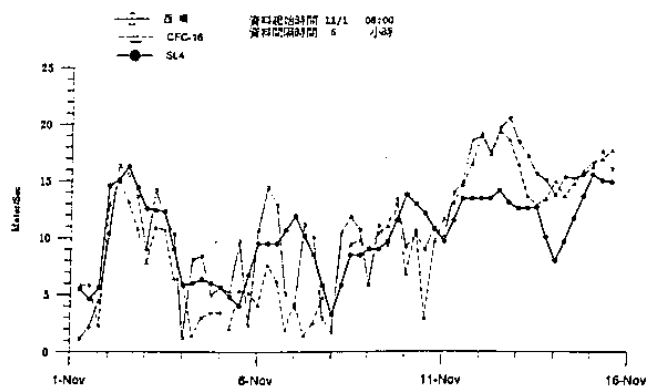
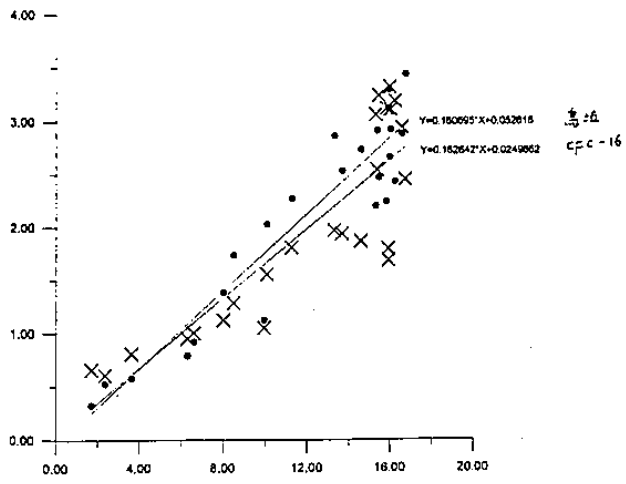


圖 19 實測風速與 H1/3 波高之相關。



A Comparison of Four Wave Models Applied in Taiwan Strait

N.K.Liang¹, T.S.Yang¹

L.H.Lu², C.W.Hu¹, W.C.Lin³, H.S.Hwang²

¹National Taiwan University

Institute of Oceanography

²Central Weather Bureau, ³National Taitung Teachers College

ABSTRACT

A comparison of four wave models: SMB, FAM, G2 and WAM, is based on the analyzed grid point wind data of the regional wind spectrum model by hindcasting the significant wave height ($H_{1/3}$) during northeasterly monsoon period (85.11.2 ~ 85.11.12). We used the measured data around a drilling Platform of CPC located offshore Kaoshiung and Wu-chiou island. The comparison between measured data and the hindcast of four wave models, WAM showed a better performance. However, we still can tune the empirical constants for SMB and FAM in order to get a better forecast accuracy.