

冬半年季風波浪預報法之比較

馬武成 柯巨重 林進昇 張石軍

海軍氣象中心

摘要

影響波浪成長之因素很多，其中風乃是主要因素；本文利用冬半年東北季風盛行時之資料，分別使用SMB法、PNJ波譜法、美空軍預測法加以研判推算，再與實測資料做一比較，嘗試找出其應用於台灣附近海域之可行性。

一、前言：

冬半年，就大尺度而言，台灣主要受北來氣流所控制（如圖1.）；當大陸冷高壓系統南下，因梯度增大，風勢凶猛強勁，甚至最大陣風可達十二級，由於能量之授受，造成海面狀況惡劣，致使航行困難，作業受阻，對於船隻及人員構成相當大之威脅，所以正確的預測海面狀況及其變化情形，實為當急之務。

二、一般海面狀況之性質：

當水受某種外力之作用，水分子產生攪動，水面便發生高低之運動，將攪動之外形向他處傳播；當外力除去後，仍因重力及表面張力之作用繼續保持運動。此種以水為媒介將其外形傳播之現象，稱之為水波。但是實際海面則為一極不規則之變化，幾乎無法以函數式表示其波動狀態，但如加以剖折，則可認為由不同週期、振幅及相位之波動重疊而成，可由統計處理找出一特性波代表之；如從所有資料中，找出數值較大之三分之一的資料，加以平均，則稱為顯著浪高（ $H_{1/3}$ ）。

然而風吹海面，因能量之授受而產生波動，通常風速愈強，歷時愈長，風域愈大，所形成之波浪

也會愈大，當波浪持續在風力作用之下，自風力接受之能量超過損失之能量時，波浪屬於發達狀態中；而波浪並非可無限制自風力接受能量，在其能量收支平衡時，波浪便不再發達；當風力減弱，由於能量供應無源，波浪本身之能量因速度分散或方向分散而次第消失，再加上空氣之阻抗，粘性摩擦，波浪便逐漸衰減。

三、波浪預報法簡介：

由於本文重點在於實作比較，對於波浪成長與預測之理論不加以探討，只將SMB法、PNJ波譜法、美空軍預測法之作法分別說明如下：

(一) SMB法：

由Sverdrup, Munk 提出，再加上Bretschneider之修正，而做成圖2之預報曲線，其使用說明如下：

1. 由風速 U （垂直軸）及歷時 t （斜實直線）決定波浪之週期（細虛曲線）及波高（實曲線）。
2. 由風速 U 及風域（橫軸）決定波高及週期。
3. 由1. 2.之結果，選擇較小一組之波浪為結果。
4. 如風速改變為 U_2 時，應將3.之結果沿等能量曲線（虛曲線）平行移動到與改變後之風速 U_2 之水平線相交，由此交點算出等值之有效歷時（或風域

)。

5. 由4.算出等值之歷時加上改變風速後之歷時，反覆1. 2. 3.之步驟。

(二) P N J 波譜法：

為 Pierson, Neumann 與 James 所建立，其作法如下：

1. 由已知風速查圖3.，比較已知之風域 F 及歷時 t 是否大於 F_{min} 及 t_{min} ，如是則為完全成熟波浪；由風速 U 之水平線與各曲線之交點所得橫座標各值，即可求得波浪諸元。

2. 如 $F < F_{min}$ ，或 $t < t_{min}$ ，則利用圖4.，由風速 U 之 C.C.S 曲線與 F 及 t 可得二交點；選擇較小能量（縱軸較低）者為結果。由交點之縱軸可得 \sqrt{E} 及 $H/3$ ，由交點之橫軸可得 f 及 T_e 。

3. 如 T_e 比 $T_{0.5}$ （C.C.S 曲線與虛線 $T_{0.5}$ 之交點）大時， T_e 即為週期上限 T_u ，如 $T_e < T_{0.5}$ ，則以 T_e 除以 0.85 為週期上限。

4. 由 $0.03 E$ 或 $0.173\sqrt{E}$ 與 C.C.S 曲線之交點可得週期下限 T_L 。

5. 成熟波時，平均週期 $T_{av} = 0.555 U$ ；未成熟波時，可由 T_e/U 查圖5. 可得 ϕ ($15.6 T_e/U$)，則 $T_{av} = 0.555 \phi (15.6 T_e/U)$ ；波浪週期在 $T_L \sim T_u$ 間均存在。

6. 如風速變化為 U_2 時，將以上所求出能量 E （或 \sqrt{E} ）水平延長到新風速 U_2 之 C.C.S 曲線，由其交點求出等值之 $F_{0.2}$ 及 $t_{0.2}$ ，再加上應加之歷時，反覆以上之步驟。

(三) 美空軍預測法：

此法係美國 Scripps Institution of Oceanography 研究發展而成，其作法如下：

1. 自地面圖判定推算點之風域 F ，並找出氣溫 θ ，海水溫度 θ_s 及等壓線曲度。

2. 由圖6. 地轉風標尺 自等壓線間隔求取地轉風 U_g ；再利用圖7. 加以校正，求出經曲度以及穩定度訂正後之海面風速 U_s 值。

3. 若海水溫度高於氣溫時空氣將呈不穩定；若海水溫度較低時，空氣將呈穩定；若兩者溫度相

等，則空氣呈中性。

4. 已衡風 U 之換算：現在風速為 U_s ，前次風速為 (U_s) 兩者之差值為 d 。

若 $U_s > (U_s)$ 則：

$U = U_s -$ 自下列中得出之因數

若 $d < 3$ ，自 U_s 中減去 0

$d = < 3$ 至 6，自 U_s 中減去 1

$d = 7$ 至 11，自 U_s 中減去 2

$d = 12$ 至 17，自 U_s 中減去 3

$d > 17$ ，自 U_s 中減去 4

若 $U_s < (U_s)$ 則：

$U = \frac{1}{4}d + U_s$

5. 利用計算獲得之已衡風速值及風域長度值，自圖8. 求出最低持續期 t_{min} 。若實際持續期 t_d 等於或大於 t_{min} 時，表示浪高將達其最大值。

6. 利用圖9.，以已衡風 U 分別與 t_{min} 及 t_d 之交點決定浪高（實曲線），週期（虛曲線）；選擇較小之一組結果。

四資料來源及作法：

從事波浪預報，首先要有可靠之海面風場資料；本文選擇75年11月7日 0600 Z 至75年11月12日 0000Z，75年12月24日 1800Z 至75年12月29日 0000Z 及76年2月24日 0600 Z 至76年2月28日 1200 Z 之實際天氣圖加以分析處理，再與中央氣象局之鼻頭角、東吉嶼、小琉球、新港等四個測站之實測波浪統計資料（超音波波高計）相比較，其中由於船舶資料有限，所以海水溫度以月平均值代替。

如此有了正確的天氣系統為起步，可避免不必要之誤差；再加上以可靠之實測資料為標準，可使評估比較，更為客觀。首先將選定之資料加以區分；76年2月間之資料為 case 1，75年12月間為 case 2，75年11月間為 case 3。

由實際天氣圖中分析推算之已衡風 U ，與實測波浪資料相比較（如圖10.，11.），發現風與浪之間有延遲效應，所以本文以天氣圖中求取之各項因子（資料時間間隔為6小時），應用 S M B 法，P N J 波譜法，美空軍預測法，分別與當時、6小時以後、

12小時以後之實測資料做一比較。

五、推算之結果：

- (一)分別對三個 case，四個推算點，三個不同延時之各別平均誤差而言；其推算結果與實測資料之平均誤差範圍如表12，其中浪高 ($H\frac{1}{3}$) 之單位為公尺，週期 ($T\frac{1}{3}$) 之單位為秒。
- (二)不分 case 和推算點，以不同之延時對所推算之結果與實測資料之誤差，加以平均，如表13。
- (三)以不同之推算點，分別與不同之延時對所有推算所得 (不分 case) 與實測資料之誤差，加以平均，如表14~17。
- (四)其中 P N J 波譜法所推算之週期，只有 T_U , T_L 及 \bar{T} ，而沒有 $T\frac{1}{3}$ ，本文以 \bar{T} 代入比較；($T\frac{1}{3} > \bar{T}$)。

六、結果之分析：

以 case 1 為例：

- (一)以4個推算點之實測浪高、週期、分別比較，如圖18, 19。其中A為鼻頭角，B為東吉嶼，C為小琉球，D為新港。
 - 1.由圖18中，可以看出因推算點緯度之不同，致使在同一天氣系統影響下，波浪成長有著時間上的延遲。
 - 2.再配合圖19更可明顯指出，推算點地理位置不同，所受地形之影響亦不同。
- (二)分別以4個推算點所推算之結果，與當時實測之浪高、週期比較，如圖20~27。
 - 1.由圖20、22中，可以看出有延遲效應，但配合表14~17中之各延時平均誤差，其中12HR之誤差已明顯增大，但6HR與0HR之結果相差不多，部分6HR資料較為吻合，但不甚明顯。
 - 2.由圖25中發現，所有推算結果均比實測資料低，值得另案研究探討。
 - 3.由圖26中可以明顯看出受台灣之遮蔽影響，實測結果並沒有預期的高。
 - 4.就前面資料顯示，各預報法對於浪高所得之趨勢較為吻合，而對於週期，則誤差起伏太大。

七、結論

- (一)一般預測法，大多適用於開闊洋面，但台灣附近海域相當特殊，可謂每一面海域皆不相同；由前面提出推算之結果，更可明白顯示受地形影響甚鉅，所以各預測法要應用於台灣附近海域，必需先修正地形所造成之影響。
- (二)對於風速較小或變化很大時，其推算結果不甚理想，所以對於湧浪及能量轉換方面，必須加以修訂。
- (三)各預測法幾乎只考慮風速之效應，忽略了風向的存在，造成了風向改變後，其推算的結果過大。
- (四)由本文推算所得之結果，並無法代表孰優？孰劣？原因在於尚待我們克服與修正的因素太多；一般而言，代表性波法較為簡便，而波譜法之理論架構較為完整，但適用於台灣附近各海域之預測法，仍待我們極力去發展。

致謝：

本文承蒙中央氣象局提供完整之波浪實測資料，單位長官之指導與同事之協助，方能順利完成，謹致最大的謝意。

參考文獻：

- 1.郭金棟，1982：海岸工程（中國工程師手冊水利類第十篇）。
- 2.梁乃匡，1985：台灣附近海域波浪預報模式研究。
- 3.劉復誠，1986：台灣附近海面風力與冬春兩季天氣系統之相關研究。
- 4.陳金堂，張昭仁，1981：東北季風對台灣海峽風浪之影響。

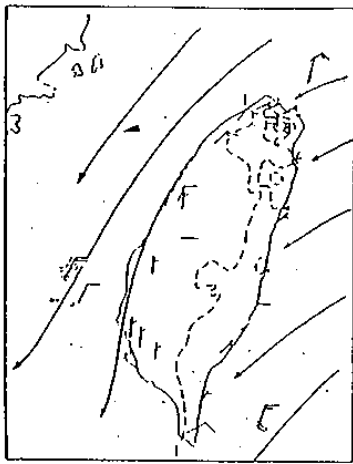


圖 1：冬半年台灣附近海面平均氣流。

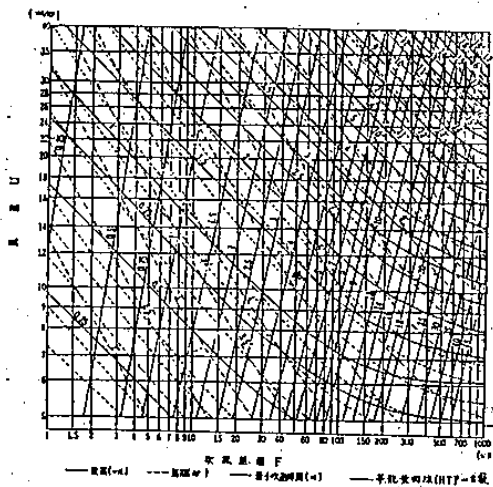


圖 2：SMB 風浪預報曲線圖

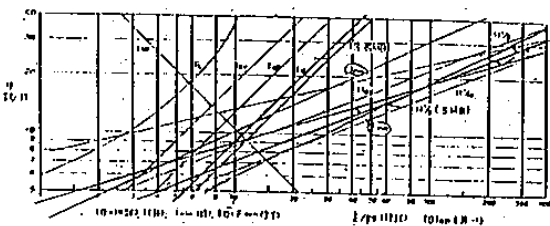


圖 3：Neumann 波譜完全成熟波之各元與風速關係圖。

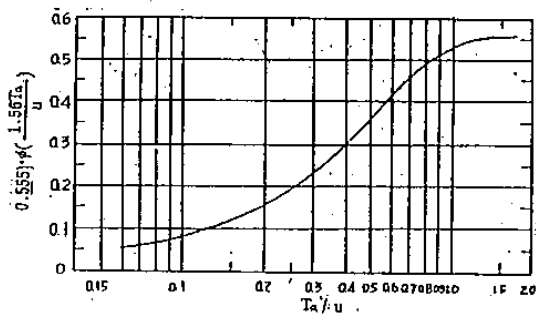


圖 5：T_a 關係係數圖

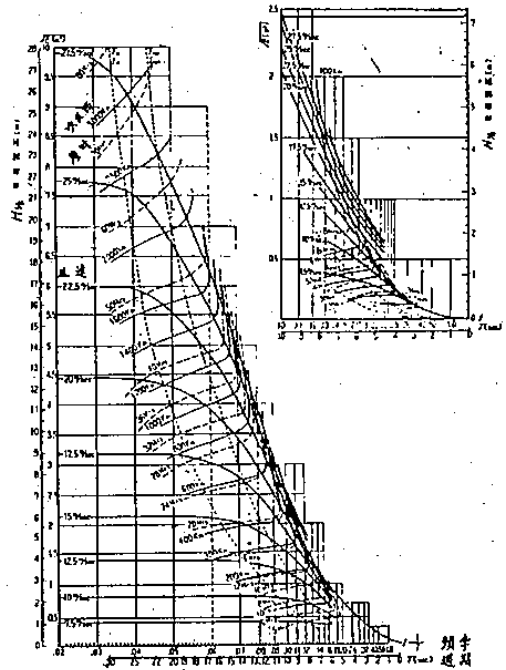


圖 4：PNJ C.C.S. 曲線圖

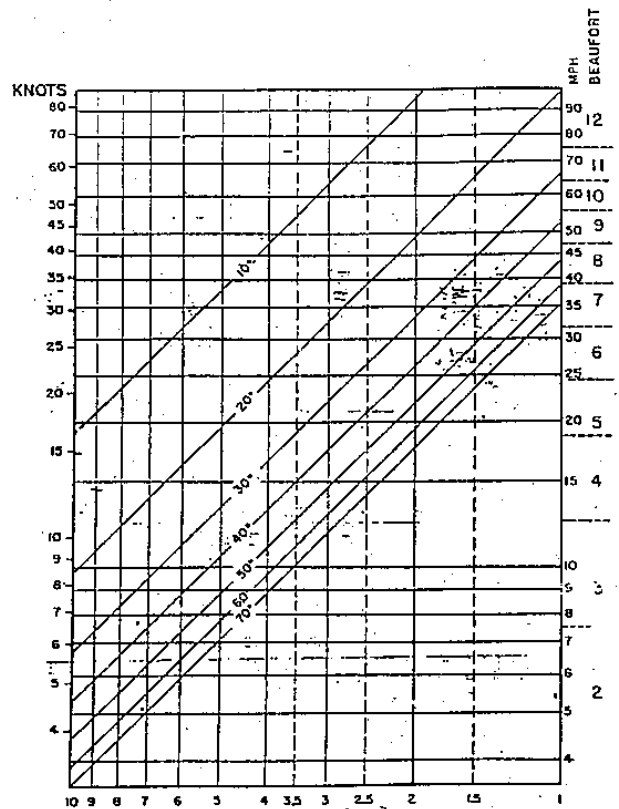


圖 6：地轉風標尺

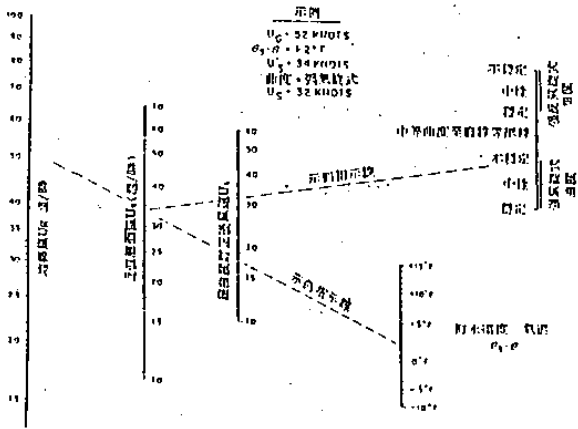


圖 7：風速校正圖

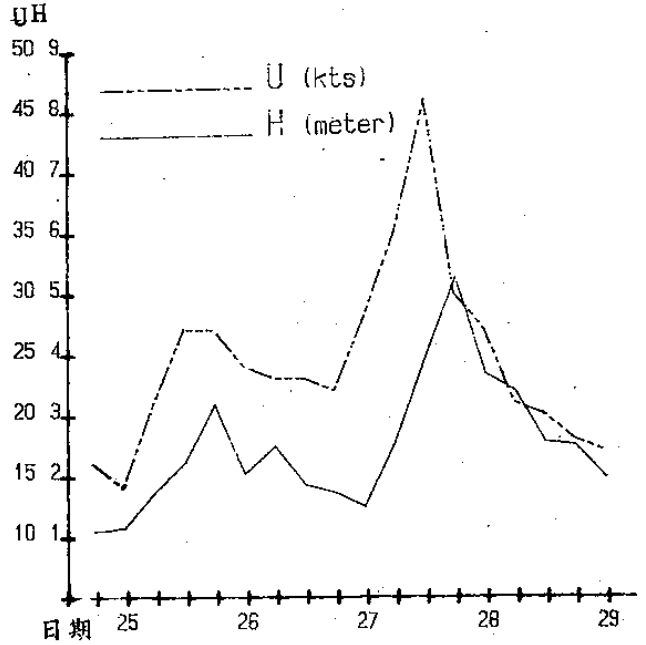


圖 10：cas E 1 鼻頭角
風速與浪高相關圖

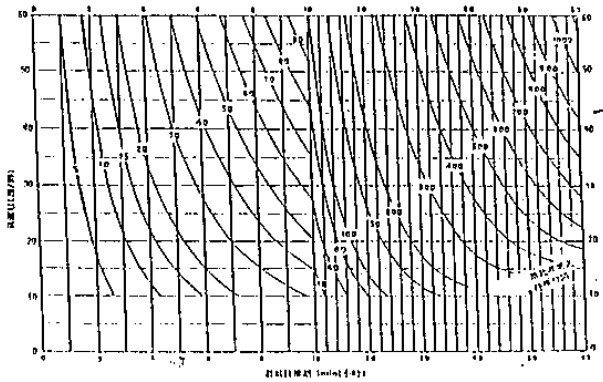


圖 8：由風速及起浪區求 t_{min}

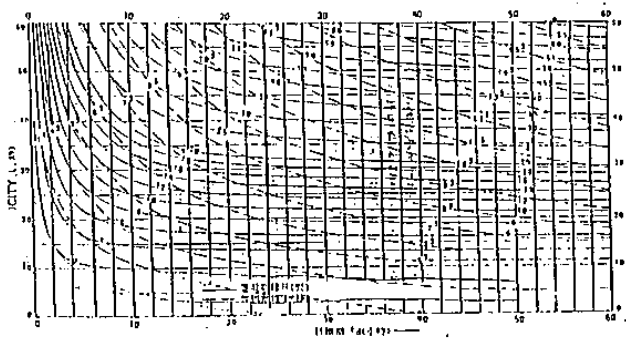


圖 9：由持續期及風速求浪高與週期

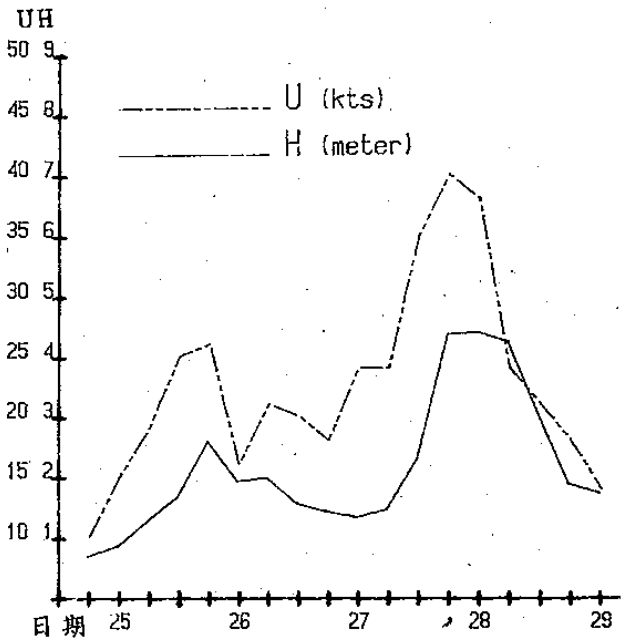


圖 11：cas E 1 東吉嶼
風速與浪高相關圖

METHOD \ ERROR		MIN	MAX
SMA	H 1/3	0.60	1.18
	T 1/3	0.53	2.20
PNJ	H 1/3	0.63	1.40
	T 1/3	0.76	3.24
USA	H 1/3	0.37	0.84
	T 1/3	0.95	2.98

表12：各預測法之平均誤差範圍

METHOD \ ERROR LATE		OHR	6HR	12HR
SMB	H 1/3	0.80	0.82	1.06
	T 1/3	0.76	0.81	0.96
PNJ	H 1/3	1.01	0.95	1.07
	T 1/3	0.93	0.89	0.98
USA	H 1/3	0.60	0.61	0.80
	T 1/3	1.36	1.54	1.68

表15：東吉嶼之平均誤差

METHOD \ ERROR LATE		OHR	6HR	12HR
SMB	H 1/3	0.90	0.91	1.06
	T 1/3	1.00	1.03	1.15
PNJ	H 1/3	1.03	1.00	1.09
	T 1/3	1.47	1.50	1.57
USA	H 1/3	0.52	0.56	0.70
	T 1/3	1.70	1.83	1.93

表13：各延時之平均誤差

METHOD \ ERROR LATE		OHR	6HR	12HR
SMB	H 1/3	0.91	0.94	1.05
	T 1/3	1.50	1.59	1.66
PNJ	H 1/3	0.91	0.94	0.99
	T 1/3	2.47	2.53	2.56
USA	H 1/3	0.42	0.51	0.62
	T 1/3	2.51	2.56	2.61

表16：新港之平均誤差

METHOD \ ERROR LATE		OHR	6HR	12HR
SMB	H 1/3	0.97	0.93	1.08
	T 1/3	1.03	1.02	1.12
PNJ	H 1/3	1.12	1.10	1.19
	T 1/3	1.55	1.63	1.71
USA	H 1/3	0.54	0.53	0.69
	T 1/3	1.73	1.85	1.95

表14：鼻頭角之平均誤差

METHOD \ ERROR LATE		OHR	6HR	12HR
SMB	H 1/3	0.96	1.02	1.07
	T 1/3	0.53	0.61	0.74
PNJ	H 1/3	0.92	1.01	1.09
	T 1/3	0.83	0.81	0.86
USA	H 1/3	0.46	0.55	0.59
	T 1/3	0.95	1.12	1.26

表17：小琉球之平均誤差

浪高 (m)

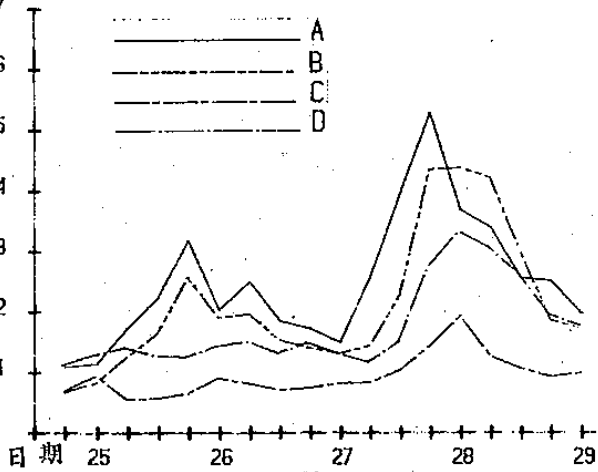


圖18: cas E 1, 4個推算點
實測浪高之比較

週期 (S)

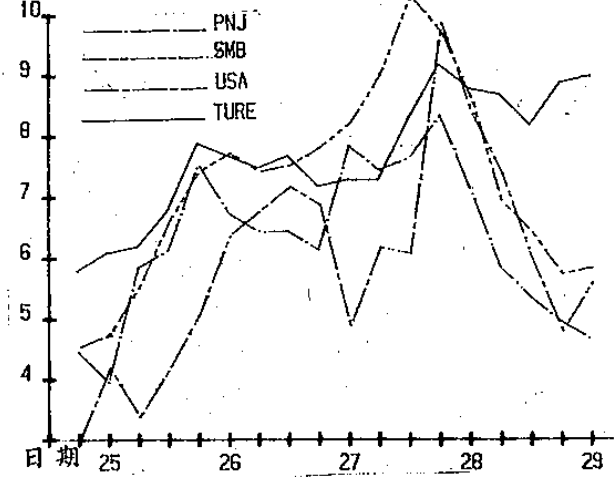


圖21: cas E 1, 鼻頭角實測週期
與各推算結果之比較

週期 (S)

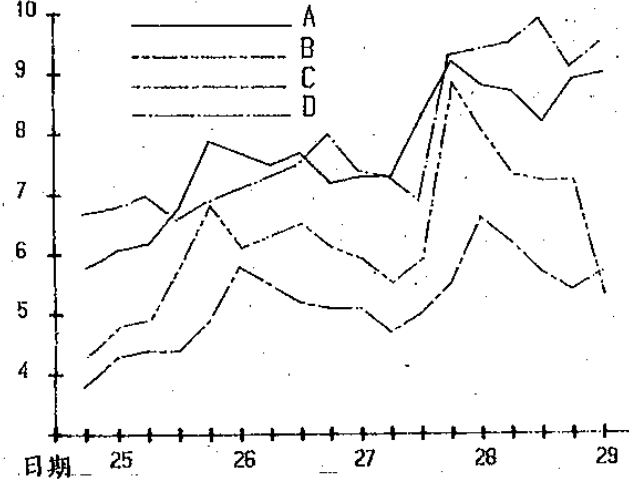


圖19: cas E 1, 4個推算點
實測週期之比較

浪高 (m)

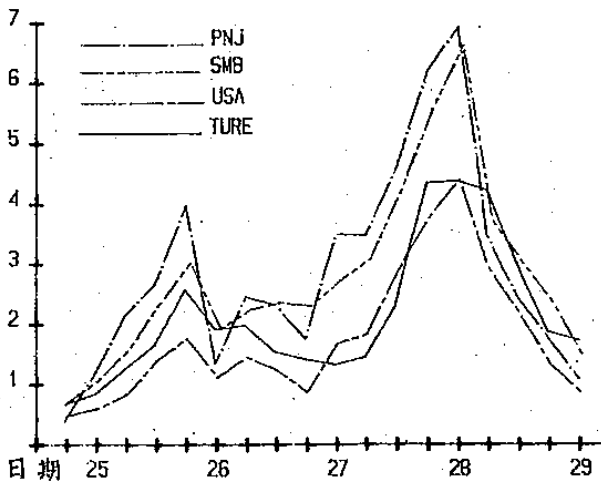


圖22: cas E 1, 東吉嶼實測浪高
與各推算結果之比較

浪高 (m)

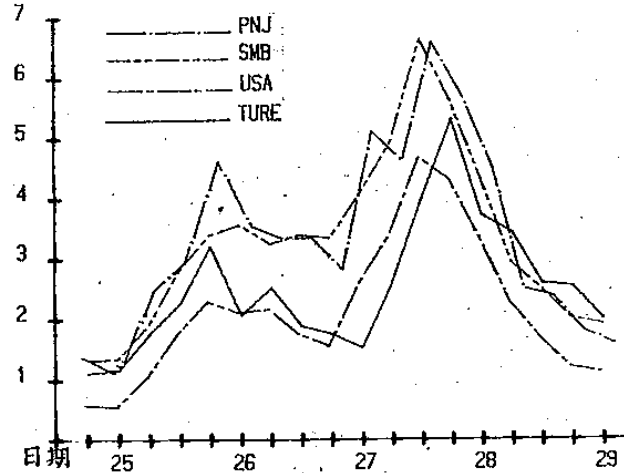


圖20: cas E 1, 鼻頭角實測浪高
與各推算結果之比較

週期 (S)

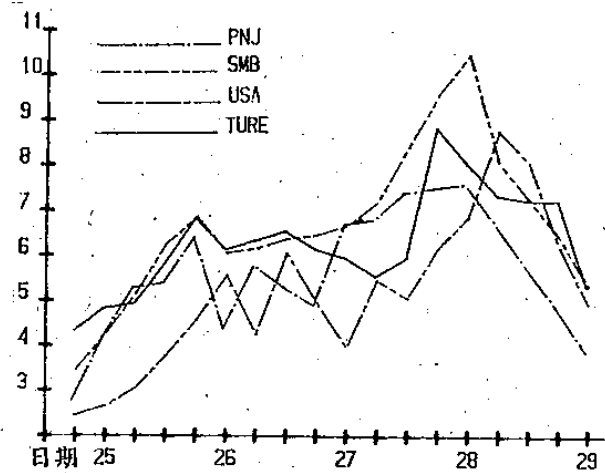


圖23: cas E 1, 東吉嶼實測週期
各推算結果之比較

浪高 (m)

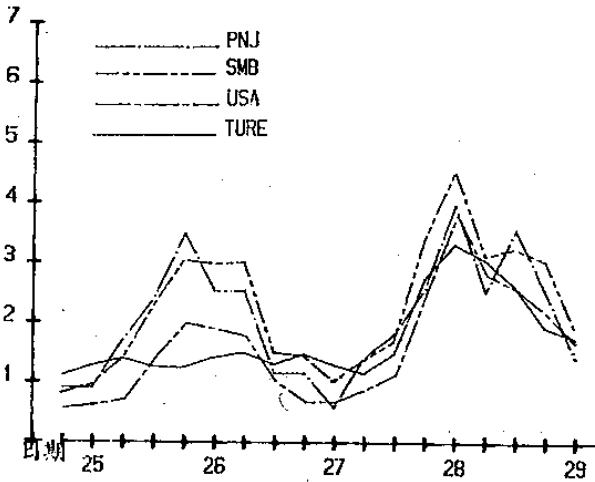


圖24.: cas E 1, 新港實測浪高與各推算結果之比較

週期 (S)

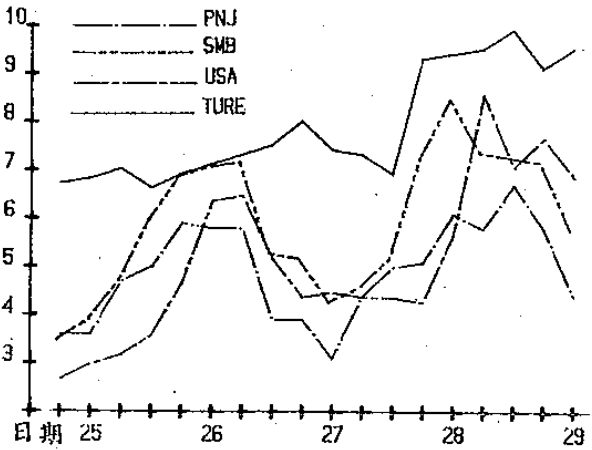


圖25.: cas E 1, 新港實測週期與各推算結果之比較

浪高 (m)

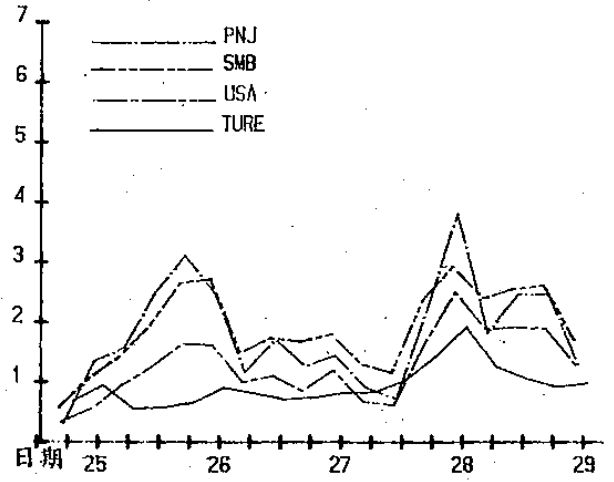


圖26.: cas E 1, 小琉球實測浪高與各推算結果之比較

週期 (S)

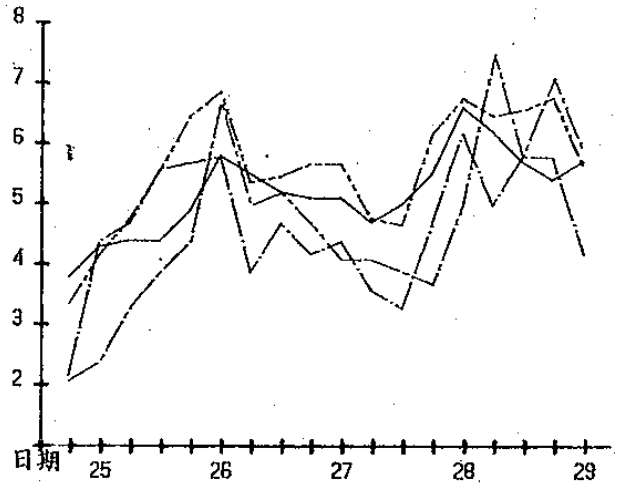


圖27.: cas E 1, 小琉球實測週期與各推算結果之比較

The Comparison Among Different Methods
in Wave Forecast during Winter Season
over the Sea Around

Wu-Cheng Ma Ken-Chung Ko Chin-Sheng Lin Shih-Chun Chang

CHINESE NAVY WEATHER CENTER

ABSTRACT

There are many factors that cause the growth of wave, among them, wind is the most important one. This study is to use S.M.B., PNJ, and the Method used in the US Air Force to make wave forecast utilizing the data during North-East monsoon season over the sea around Taiwan. These forecasts will be compared with real data to see their feasibility in practice.