

兩個海波數值模式的比較

鄭子山, 張家文

香港天文台

一. 前言

過去數年間, 南中國海沿岸石油勘探及鑽油活動急劇發展。在鑽油台設計及操作方面, 都需要知道海洋氣象要素, 特別是海浪的資料。香港天文台於1983年年底開始, 利用本身擁有大量的船舶天氣報告, 颱風及其他氣象數據的優越條件, 積極發展海波預報方法。其中包括引進日本氣象廳和西德漢堡大學的兩個深水海波數值模式(以下分別簡稱JMA及HYPA模式), 結合自行研究的結果, 應用到西北太平洋及中國南海地區。本文利用這兩個模式, 模擬了8505號颱風(T. Hal)海浪產生和衰減過程。藉此對兩模式作出初步比較。

二. JMA 模式

有關JMA模式的詳細情形, 可參考Isozaki and Uji^[1]、Sakurai^[2]及小野田^[3]等文章。原來的JMA模式並沒有計算湧浪參數。但為了滿足業務需要, 所以在引進時, 特別設計簡單方案, 抽取湧浪資料(Cheng^[4])。以下簡單描述經修改後的JMA模式的一些特點。

JMA模式根據譜組成波的能量平衡方程, 以數值方法計算組成波的成長、傳播和衰減, 從而算出波高及周期。所用能量方程組為

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial S}{\partial t} &= -C_g \nabla S + (A + BS) [1 - (S/S_\infty)^2] \cos^2 \phi, & \phi \leq 90^\circ, & S \leq S_\infty \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= -C_g \nabla S - Df^4 S, & \phi \leq 90^\circ, & S > S_\infty \\ \frac{\partial S}{\partial t} &= -C_g \nabla S - [B \cos^2 \phi + Df^4] S, & \phi > 90^\circ & \end{aligned} \right\} (1)$$

其中 S 為譜值, S_∞ 代表充分成長的譜值(PM譜), C_g 為羣速度。A反映

Phillips 共振機制。令譜隨時間線性地成長的作用。B 反映 Miles 不穩定性機制，令譜作指數成長。 ϕ 為組成波浪向與風向間的夾角， $\cos^2 \phi$ 為方向譜分佈函數。 $Df^4 S$ 代表波浪破碎所引致的能量消耗，而 D 是一實驗常數。

方程組(1)之第一式代表風浪處於成長階段。第二式表示風浪衰減。而第三式則代表逆風傳播情形。JMA 模式並未考慮波浪間的非線性相互作用。

根據 Inoue^[5] 結果，

$$A = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} 9.84 \times 10^{-15} \omega^{5.25} u^{2.25} d\theta / \{ [(\omega/u)^2/4 + (k \sin \theta)^2] [(\omega/u)^{2.5}/9 + (k \cos \theta - \omega/u)^2] \} \quad (2)$$

$$B = \{ 0.00139 \exp[-7000(u_* / c - 0.031)^2] + 0.725(u_* / c)^2 \exp[-0.0004(c/u_*)^2] \} f \quad (3)$$

其中 ω 為角速度， θ 為波向， u 為 19.5 米高處風速， $k = \frac{\omega}{g}$ 為波數， u_* 為摩擦速度， c 為波速。

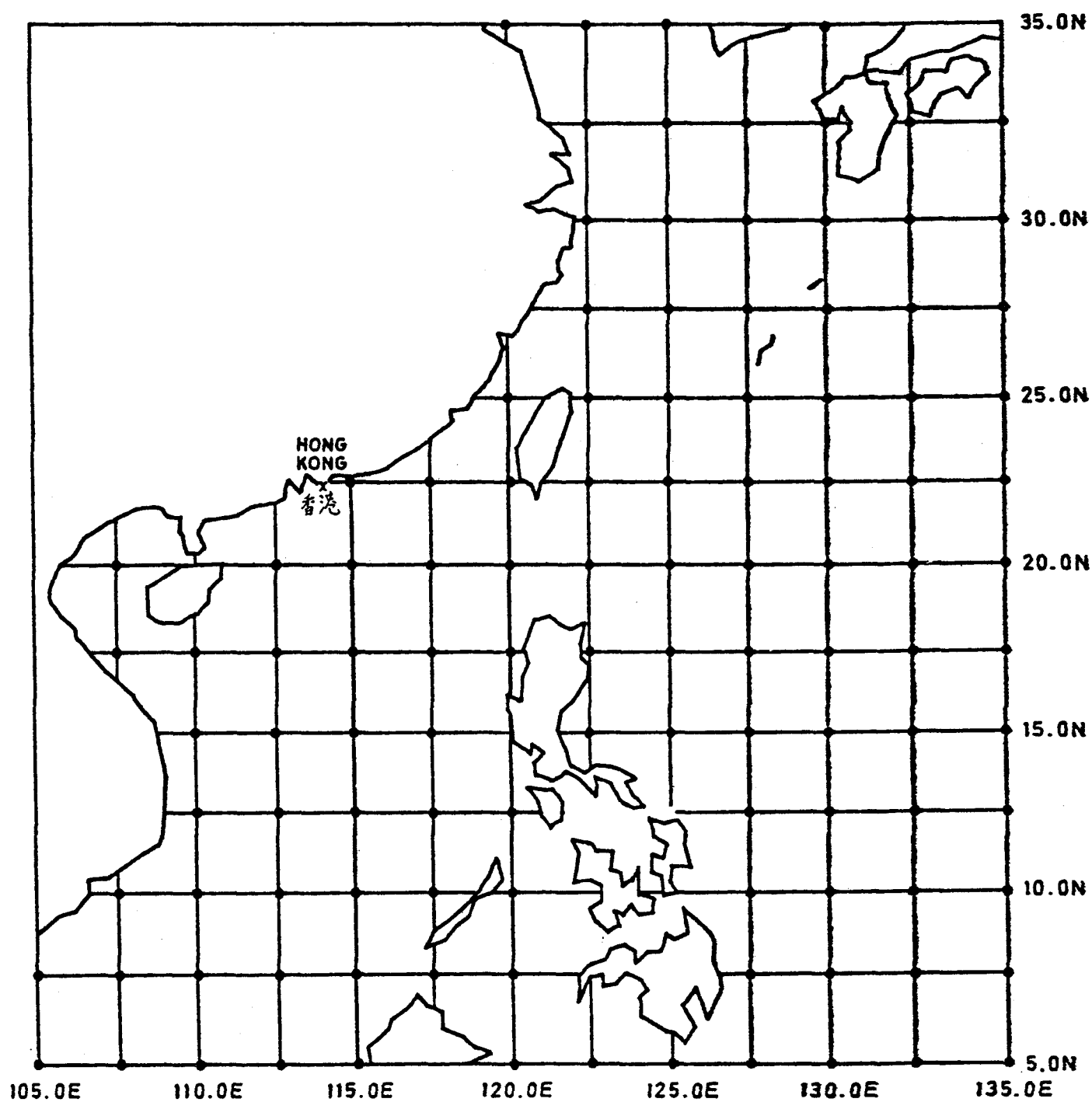
本文所用 JMA 模式網格點長度為 278 公里，時間步長為 6 小時，計算地區為 $5^\circ N - 35^\circ N$ ， $105^\circ E - 135^\circ E$ (圖一)。組成波頻率範圍為 0.04 至 0.25 赫，分成間隔為 0.01 赫之 22 個頻率。模式並考慮 16 個方向。因此共有 352 個組成波。每個網格點需要解方程組(1) 352 次，求出各組成波的能量及總能量 E 。有效波高可從下式算出：

$$H_s = 4 \sqrt{E} \quad (4)$$

為了計算湧浪參數，必須先對湧浪作出定義。假設所有頻率 $f \geq 0.8 f_m$ (f_m 為 PM 譜峰值) 而 $\phi \leq 90^\circ$ 的組成波為風浪，其他組成波為湧浪。則湧浪波高可利用(4)式從湧浪組成波能量和算出。風浪波高可以取有效波高及湧浪波高兩者平方的差的平方根。

周期方面，先算出每一個頻率所有風浪組成波的能量和，對應於這些能量和的最大值的頻率定義為風浪頻率，它的倒數為風浪周期。湧浪周期可用同一方法求出。

另找出每一個方向所有湧浪組成波的能量和。有最大能量的方向定為湧浪向。



圖一. 模擬範圍及網格點分佈

三、HYPA模式

Hasselmann 等^[6]基於波-波間能量傳遞對譜形有穩定作用，將描述組成波的傳輸方程投影成波譜中的參量。源函數及波-波間非線性相互作用都用參量表示。利用 JONSWAP 譜^[6]

$$S = \alpha g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp \left\{ -1.25 (f/f_m)^{-4} + \ln \gamma \exp \left[-(f/f_m - 1)^2 / (2\sigma^2) \right] \right\} \quad (5)$$

$$\text{其中 } \sigma = \begin{cases} \sigma_a, & f \leq f_m \\ \sigma_b, & f > f_m \end{cases} \quad (6)$$

Günther 等^[7]導出式(5)中5個參量($f_m, \alpha, \gamma, \sigma_a, \sigma_b$)的傳輸方程，及它們與波高、周期、總能量、風區等重要參量的關係。Günther 及 Rosenthal^[8]其後對HYPA再加以改進，加入波向為第6個參量。香港天文台所採用的HYPA模式就是這個6參量模式^[9]。

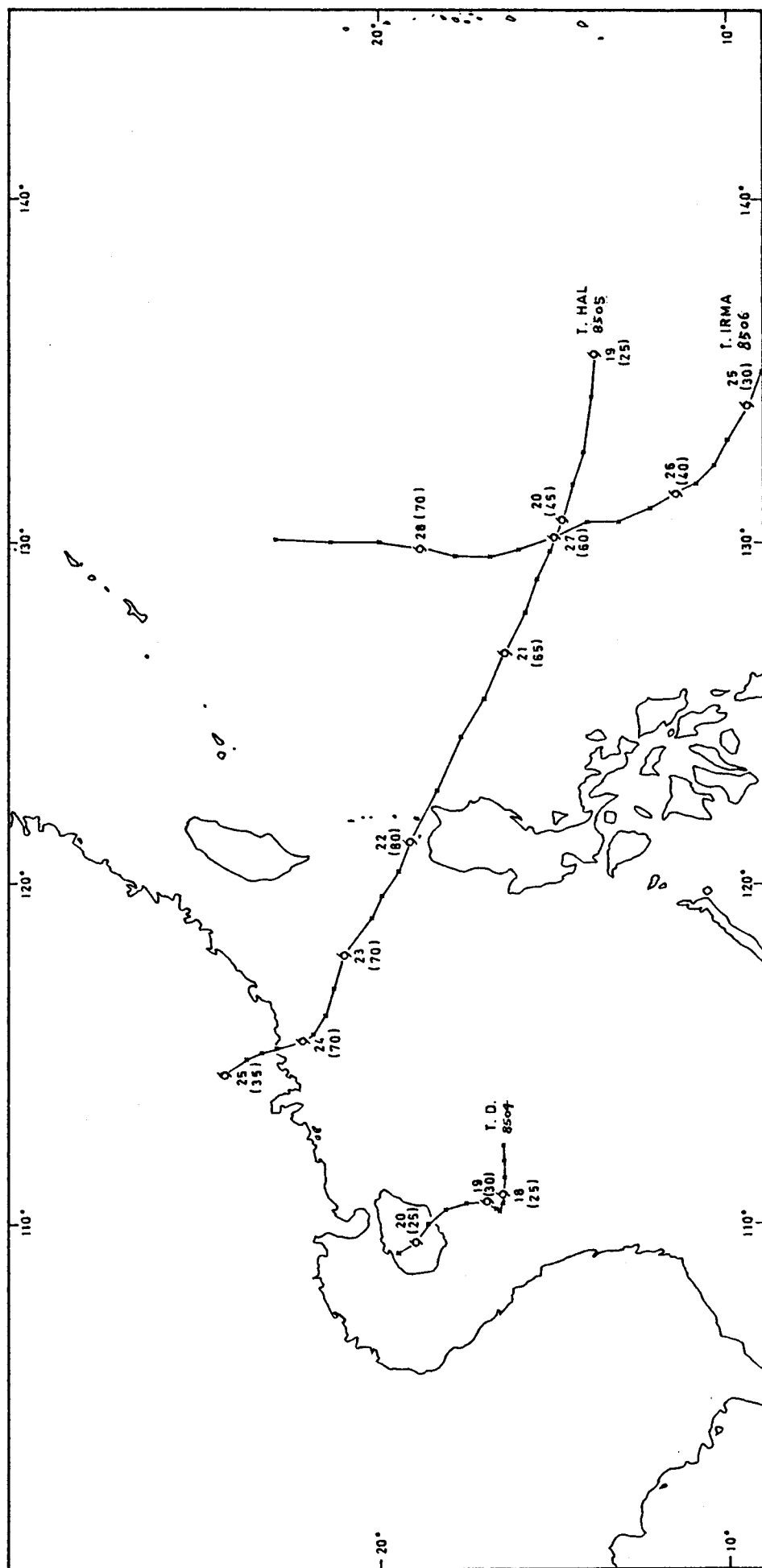
HYPA 模式容許風浪與湧浪互換能量。計算風浪方法為解參量化的傳輸方程，湧浪方面，則採用特徵線方法，將能量沿大圓傳播，而不考慮衰減。

本文所用的HYPA 模式有不等間隔的頻率19個及16個方向。時間步長為3小時。計算地區及網格點長度與JMA 模式相同。要特別指出的是HYPA模式用的是10米高風速，與JMA模式所用19.5米不同。

四、模擬個例

本文所選擇的個例為8505 號颱風(T. Hal)。計算時段由1985年6月15日00 GMT至28日18 GMT。在此期間另外還有一個8504號熱帶低氣壓及8506號颱風(T. IRMA)在南中國海及西北太平洋出現。三個氣旋的移動路徑見圖二。

模式計算所用的地面風場是利用香港天文台儲存之6小時氣壓場網格點資料計算梯度風^[10]所得。颱風附近風場用 Anthes 式^[11]及小野田^[3]的方法計算。颱風移動對風場的影響已考慮在內，另參考各氣象站及船舶天氣報告，對風場作出適度更改。



圖二、 1985年6月熱帶低氣壓、T. Hal及T. Irma的路徑
 (☆符號表示00 GMT的位置、一旁數字代表
 日期、括號內數字為最大風速、單位為海里/時)

五. 討論

由於天文台在橫瀾島 ($22^{\circ}11'N$ $114^{\circ}18'E$) 西南二百多米遠28米水深處裝有海波計，所以選取了在 $22.5^{\circ}N$ $115.0^{\circ}E$ 的網格點(以下簡稱A點)的模式模擬結果作為比較。根據 Isozaki and Uji^[1]，JMA模式計算在開始四天比較不穩定，所以以下討論只基於19日至28日的計算結果。

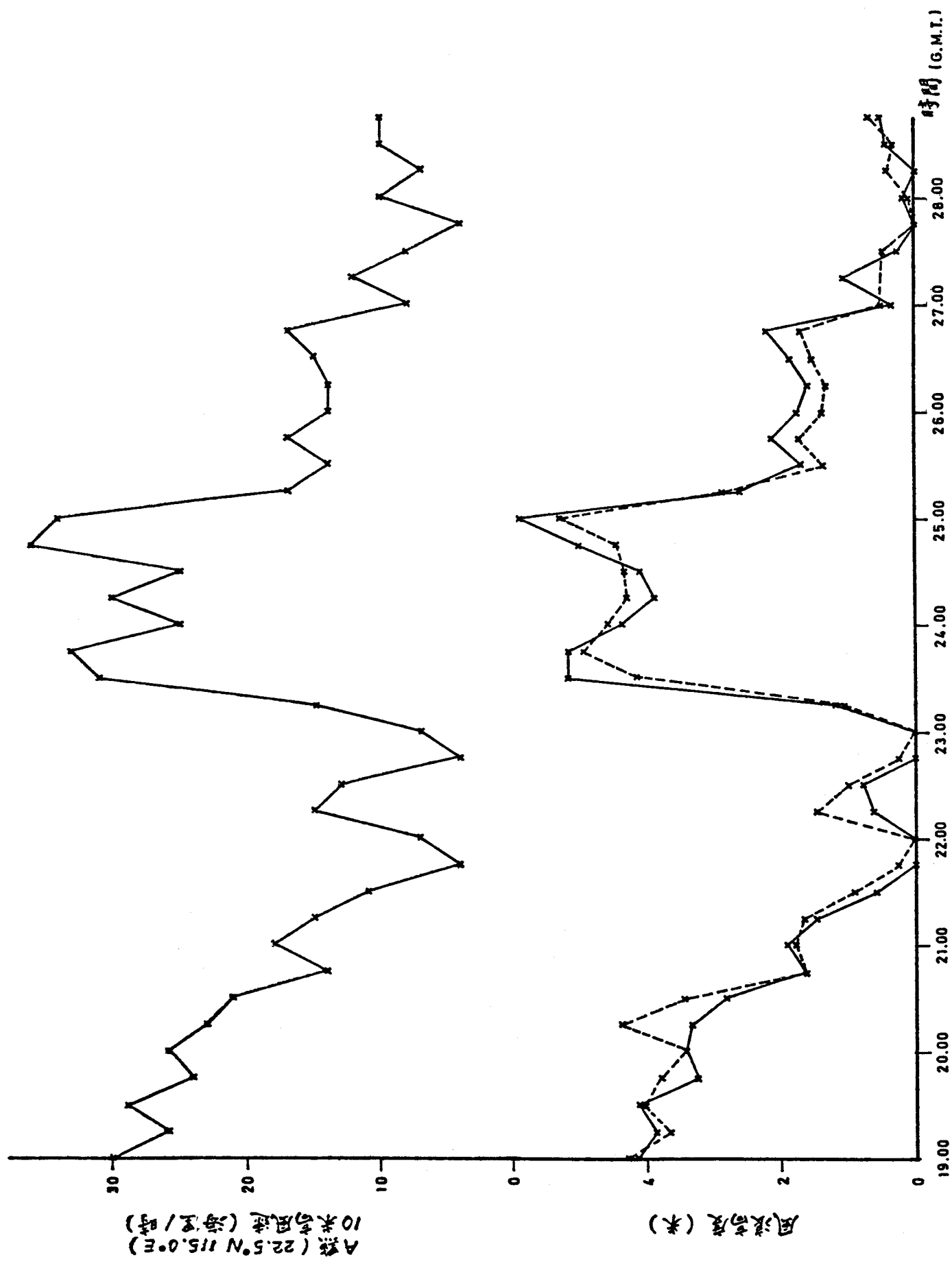
圖三顯示用兩模式計算A點之風浪高度。兩個模式的計算結果非常接近，而趨勢亦與風速變化趨勢大致同步。圖四劃出A點之實測風向、風速、風浪向、有效波高及周期的時間序列，以及橫瀾島實測及目測有效波高及平均周期。橫瀾島23日00GMT之海波記錄甚短，所以只能將當時最大波高乘以0.6得出有效波高作為比較。JMA模式浪向與風向定義為一致，而HYPA模擬浪向亦與風向相當接近。有效波高方面，JMA模式與HYPA模式最大分別在20日18GMT至22日12GMT之間。原因似乎是後者在將原來大風所產生的海浪轉化為湧浪的過程中，沒有適當地加以衰減。22日18GMT以後兩模式之大湧浪數值相信來自T.Hal的計算用風場。目測數值與模式結果相差較大，部份原因與目測法準確度有關。

24日00GMT至12GMT時A點為北風。風區短所以實測有效波高小，兩模式模擬結果卻甚大，可能是模式所取風區值太大。此外，模式波高高於實測，與模式沒有考慮淺水效應亦可能有關係。

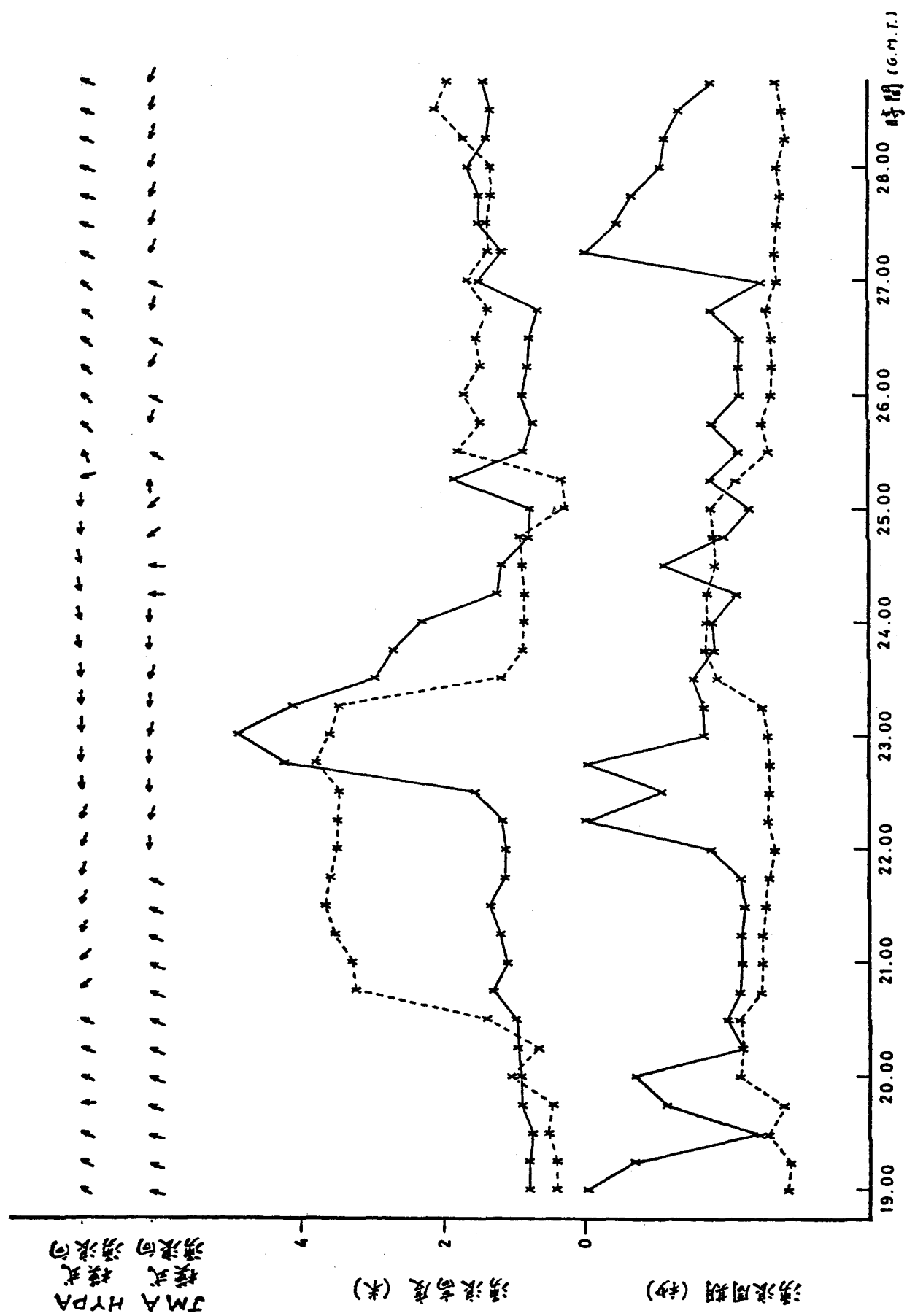
風浪周期方面，HYPA結果與實測數字較接近，平均絕對差為1秒。JMA周期變化很大，與橫瀾島數字相距亦大。湧浪周期方面亦是JMA結果變化較大。

六. 小結

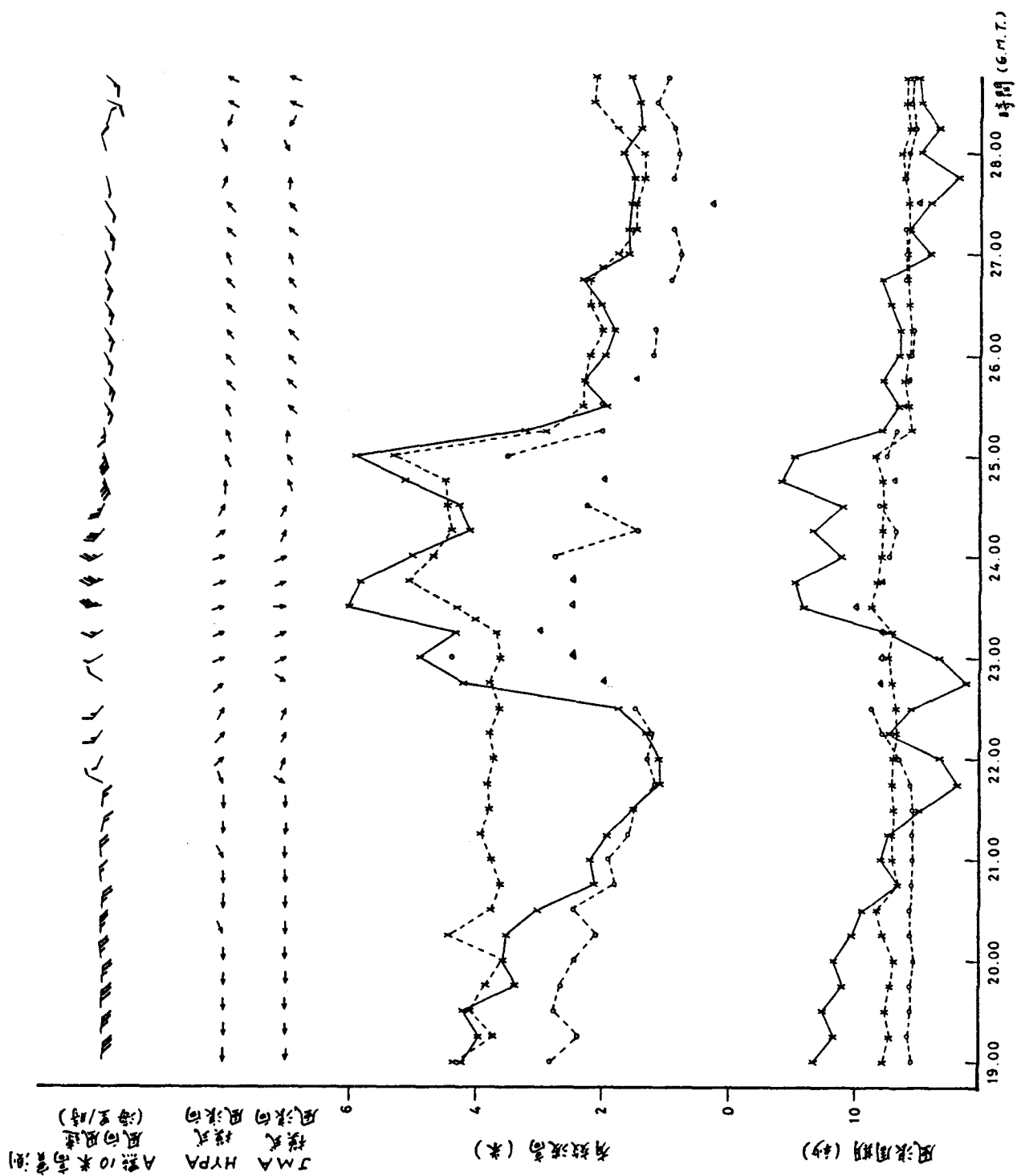
從以上的個例看，兩個模式計算風浪高度能力各有優點，但在處理風區、邊界條件及淺水效應上可能仍須改善。周期方面，HYPA模式結果較可取。湧浪方面，JMA有考慮衰減，而HYPA則沒有，計算結果有一定分別。至於兩模式優劣取捨，仍須作更詳細試驗和比較。



圖三、 JMA 及 HYPA 模式模擬 A 點風浪高度與 A 點風速
(—x— JMA 模式結果, - -x- - HYPA 模式結果)



圖五 A點模擬湧浪結果



圖四. A點模擬風浪結果與橫瀾島實測數據比較
(—•— JMA 模式結果, - - - × - - - HYPA 模式結果, △ 橫瀾島實測數據)

鳴謝

在將模式轉移引進到香港天文台的電腦機的過程中，日本氣象廳 K. Sakurai 及西德漢堡大學 H. Günther 及 W. Rosenthal 等先生給予方便及多方指導，謹致謝意。

參考文獻

1. Isozaki, I. and T. Uji 1973 Numerical prediction of ocean wind waves. *Pap. Meteor. Geophys.*, 24, 207-231.
2. Sakurai, K. 1982 Weather routing and wave forecasting for shipping. WMO Regional Training Seminar for National Meteorological Instructors for Regional Associations II and V, Colombo, Sri Lanka, 15-26 November.
3. 小野田 仁 1983 數值波浪予報について（氣象庁における現況）。海岸，169-196。日本全國海岸協會。
4. Cheng, T.S. 1985 An adaptation of a spectral model for the computation of ocean waves. Royal Observatory, Hong Kong (in print)
5. Inoue, T. 1967 On the growth of the spectrum of a wind generated sea according to modified Miles-Phillips mechanism and its applications to wave forecasting. *Geophys. Sci-Lab. Report No. TR 67-5*, New York Univ.
6. Hasse(l)mann, K. 等 1973 Measurements of wind-wave growth and swell decay during the Joint North Sea Wave Project (JONSWAP). *Deut. Hydrogr. Zeit. A18°*, No. 12.

7. Günther, H. 等 1979 A hybrid parametrical wave prediction model. *J. Geophys. Res.*, 84, 5727-5730.
8. Günther, H. and W. Rosenthal 1981 The hybrid parametrical (HYPA) wave model. *Proc. Symp. Wave Dynamics and Radio Probing of Ocean Surface*, Miami, Fl.
9. Sham, P. and T. S. Cheng 1985 An approach to the study on joint-probability of wind and waves in the South China Sea. *E & P Forum Workshop Meeting on the Application of Joint Probability of Metocean Phenomena in the Oil Industry's Design Work*, London, 20 November 1985.
10. 磯崎一郎, 宇治豪 1974 海上風数値モデルの波浪予報への應用.
日本気象研究所研究報告, 第25巻, 197-231頁。
11. Anthes, R. A. 1982 Tropical cyclones - their evolution, structure and effects. *Amer. Meteor. Soc.*