

愛媛大学工学部 正員 ○畑 田 佳 男

愛媛大学工学部 正員 山 口 正 隆

ACEコンサルタント 佐々木 吉 宏

1. まえがき：現在世界各国で多くの波浪推算法が開発され、実用に使われており、そのうち観測結果などの比較からその妥当性を主張している。Hasselmann はこのような波浪推算法の開発現状から1979年に、簡単なモデルに対して数値計算を行い、相互の特性を比較する Intercomparison Study of Wave Prediction Models (後に SWAMP と名づけられた) を提案 (1)。著者の1人もこの中でエネルギー平衡方程式に基づく波浪推算法を開発してきた。そこで、本研究では SWAMP で与えられた似た条件のもとで行った2つのケース (i) free propagation, (ii) 静止台風 に対する計算結果を報告する。

2. 伝播テスト：波浪の数値計算に用いる格子網は波浪のスケールに比べてはるかに大きいので、エネルギーの移流伝播計算は注意深く行われなければならない。そこで、既知のエネルギー分布を与えてその伝播特性を検討する。伝播テストは1次元および2次元の場合に行い、初期のエネルギー分布は (i) Ewing より用いられた Gauss 分布および (ii) SWAMP におけるより鋭い分布の2つである。また使用した差分法は (i) 著者の1人によって使用された Fromm の零平均値相減差法、(ii) Golding より用いられた Golding の修正2段階 Lax-Wendroff 法および (iii) 通常の2段階 Lax-Wendroff 法、の3つである。さて、成分波のエネルギーが微小振幅波理論による群速度で自由伝播するものとするならば、波エネルギーの伝播は移流伝播方程式、

$$\frac{\partial E}{\partial t} + C_g \frac{\partial E}{\partial x} = 0; \text{1次元伝播}, \quad \frac{\partial E}{\partial t} + C_g \cos \alpha \frac{\partial E}{\partial x} + C_g \sin \alpha \frac{\partial E}{\partial y} = 0; \text{2次元伝播}$$

であらわされる。ここに C_g は深海波の群速度の絶対値である。(i) 1次元伝播テスト；初期エネルギー分布として Gauss 分布を与えた場合の Fromm 法と修正2段階法による計算結果とそれそれ示したのが図-1 および図-2 であり、図中のピーク付近の丸印はピーク値を含む点に2次曲線とあてはめて推定した真のピーク値である。これらの図によると、修正2段階法は分布形状に若干の非対称性ともたうものの、最大値および分布形状をよく保存することから、非常に優れた特性をもつことがわかる。一方 Fromm の差分法は振幅減衰が前者に比べて大きい、分布形状の対称性もよく保存している。ついで各種の差分法の特性をより明確にするためにピーク位置と経過時間の関係およびピーク値とピーク伝播距離の関係を示したものがそれぞれ図-3 および図-4 である。これから修正2段階法は理論値より速い速度で、一方通常の2段階法は遅い速度をもつのに対し、Fromm の差分法はその導出過程から明らかなように、ほぼ理論値と一致している。しか(ピーク値についてみると、前述のように修正2段階法が最も優れている、この場合のクーラン数 ($Cr=0.6$) に対して Fromm 法は通常の2段階法より振幅減衰が小さい。ただし Cr が小さい場合、後者の関係は逆転する。また SWAMP で与えられたエネルギー分布に対する図-4 と同様の結果が図-5 である。

この図によると、振幅減衰に対して前述した傾向がそのまま現われているものの、尖鋭な分布であるため、振幅減衰は図-4 に比べてかなり大きい。なお、修正2段階法は $Cr=1$ の場合初期分布とそのまま伝播させる。

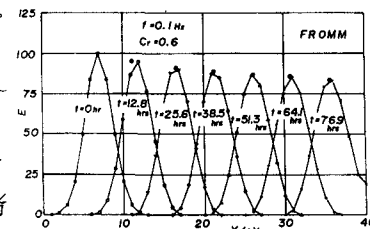


図-1 Gauss分布波形の伝播 (1)

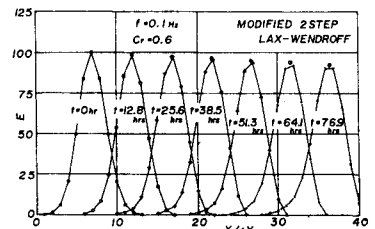


図-2 Gauss分布波形の伝播 (2)

(1) 2次元伝播テスト：図-6 および 7 は Fromm 法と修正 2 段階法による方向 $\theta=30^\circ$ の場合のエネルギー等値線の時間変化を示したものの 1 例である。これらの図によると、振幅減衰の点では 1 次元伝播テストで見出されたように、修正 2 段階法の方が小さいけれども、位相誤差の点では等値線の対称性から Fromm 法が優れていることがわかる。また修正 2 段階法の収束域は Fromm 法に比べてかなり小さいので、計算時間の面で Fromm 法に比べて著しく不利である。

3. 静止台風モデルの場合の波浪計算：静止台風モデルとしては台風内の気圧分布として Meyer 式を用いた通常のものが採用された。この場合の気圧差 $\Delta p=60\text{mb}$ 、 $R_0=80\text{km}$ であり、格子長 ($\Delta x=\Delta y=80\text{km}$) での最大風速は 23.6 m/s である。また、波浪推算モデルは著者の 1 人によるモデルを修正して使用した。すなわち、右辺の 4 関数として、Phillips, Miles による風波の発生・発達項、非線型干渉項、碎波項 (平衡スペクトルとして Pierson-Moskowitz スペクトルおよび $\cos^2\theta$ 型方向分布関数も使用) および逆風による減衰項を考慮している。エネルギーの初期分布および境界上の値は前述の風特性に対応した Ross のハリケーンモデルにより与えられたが、

図-8 はこの場合の波高・波向ベクトルの平面分布 (カスター図) であり、風向・風速と同様な分布特性を示している。図-9 および 10 は Fromm 法により計算した 12 時間後の等波高線分布および 24 時間後のカスター図であり、これらの図から波高の平面分布は依然軸対称であることや最大波高域が中心から周辺に

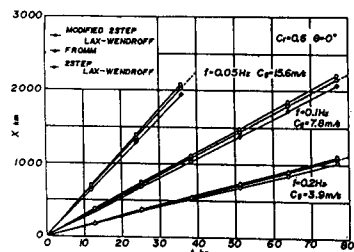


図-3 ピーク位置の伝播特性

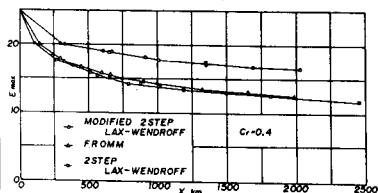


図-5 ピーク値と伝播距離の関係(2)

図-4 ピーク値と伝播距離の関係(1)

移動することおよび時間の経過とともに、波高ベクトル分布が開き、波向と風向とがかなり相違してくることがわかる。図-11 は修正 2 段階法による 12 時間後の等波高線分布で、波高の平面分布の対称性が失われつつある。

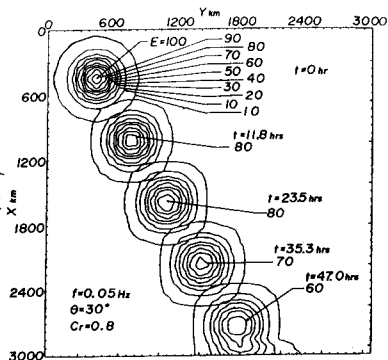


図-6 Gauss 分布波形の 2 次元伝播(1)

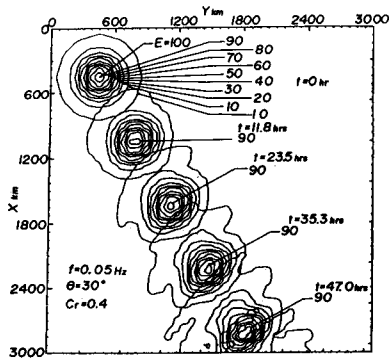


図-7 Gauss 分布波形の 2 次元伝播(2)

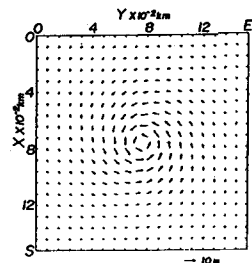


図-8 波高ベクトルの初期平面分布

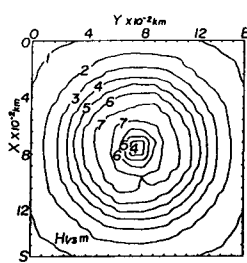


図-9 等波高線(1) (t=12 hrs)

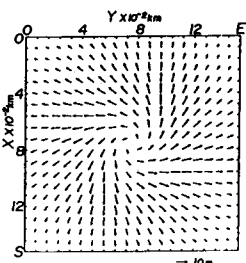


図-10 波高ベクトルの平面分布 (t=24 hrs)

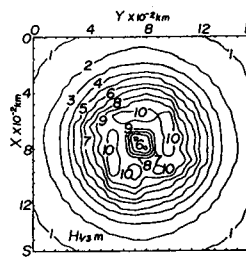


図-11 等波高線(2) (t=12 hrs)