

パソコンを利用したエネルギー平衡方程式に基づく波浪推算モデル

愛媛大学工学部 正員 山口 正隆
 愛媛大学工学部 正員 畑田 佳男
 愛媛大学工学部 大福 学
 愛媛大学大学院 学生員○宇都宮好博

1.はじめに：方向スペクトルの時空間変化を推定するために使用される現代の波浪推算モデルはエネルギー平衡方程式に基づくスペクトル法とハイブリッドパラメータ法に大別されるが、とくに成分波の伝播、発達および減衰を追跡する前者の方法は長時間の計算機使用を必要とすると考えられており、事実大部分のモデルではそれは事実である。しかし、近年のパーソナルコンピュータの性能向上は目覚ましいものがあることから、波浪推算モデルの種類および数値計算法の工夫によっては方向スペクトルの経時変化を計算できるパソコン用波浪推算モデルを開発することが可能になる。こうした観点から、本研究ではパソコンにより計算可能なエネルギー平衡方程式に基づく波浪推算モデルを作成し、それを太平洋岸での台風時における波浪追算に適用した結果について述べる。

2.モデルおよび数値計算法の概要：波浪推算をパソコンで実行させるためには、記憶容量および計算時間の少いモデルを作成する必要がある。そこで、本研究では個々の成分波の方向スペクトルを独立に計算する decoupled propagation model (D.P.モデル) として波浪推算モデルを定式化するとともに、波浪を深海波として扱う。この結果、D.P.モデルを採用することにより、対象地点に到達する各成分波の波向線上における計算から対象地点での方向スペクトルの経時変化を求める1点法が数値計算法として使用できる。また、深海波を仮定することにより成分波の伝播経路が直線となるので、伝播計算が浅海波の場合より容易になる。まず、本モデルの基礎方程式は深海波に対するエネルギー平衡方程式であり、次式で表される。

$$\frac{\partial E(f, \theta)}{\partial t} + C_g \cos \theta \frac{\partial E(f, \theta)}{\partial x} + C_g \sin \theta \frac{\partial E(f, \theta)}{\partial y} = G(f, \theta) \quad (1)$$

ここに、 f :周波数、 θ :方位角、 $E(f, \theta)$:方向スペクトル、 C_g :成分波の群速度、および $G(f, \theta)$:source function, である。source function としては、エネルギー流入機構に対しPhillips機構による風波の発生項およびMiles機構による風波の発達項が、エネルギー減衰機構に対し発達段階における風波の碎波減衰項、順風状態におけるうねりの減衰項および逆風による減衰項が考慮される。つぎに、式(1)の数値積分は1タイムステップ Δt 内で移流伝播方程式と発達・減衰方程式を交互に解く時間分割法によって行い、前者に対してpiecewise ray methodを、後者に対して解析解を使用する。すなわち、波浪推算点から放射状に伸びる波向線上に等間隔で設けられた波浪計算格子点の間に、成分波が Δt で伝播する微小距離($\Delta s = C_g(f) \Delta t$)を考える。まず計算格子点より Δs 離れた位置における方向スペクトルを、隣接する計算格子点での方向スペクトルに対する1次元3次Lagrange補間式の適用から内挿し、これを Δs 離れた計算格子点の方向スペクトルとする。ついで、この結果を初期値として発達・減衰方程式の解析解から Δt 後の方向スペクトルを求めれば1タイムステップの計算が完了する。この場合、発達段階では計算結果がP-Mスペクトルおよび $\cos^4 \theta$ 型方向分布関数で表される平衡方向スペクトルを越えないとすることにより碎波の影響を評価する。そして、この計算過程を全時間、全周波数および全方向について繰り返せば、方

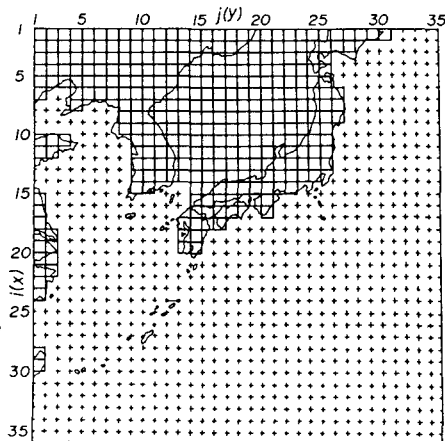


図-1 水深格子網

向スペクトルの経時変化が算出される。さて、実際の計算は、パソコンの記憶容量に対する制約から2段階に分けて実施される。すなわち、第1段階では移流伝播計算と発達・減衰計算を交互に行って波浪推算点で得られた方向スペクトルの経時変化を各成分波ごとにディスクに記憶させる。第2段階ではディスクのデータを読み込んで同時刻の方向スペクトルを抽出し、これを方向および周波数に関して積分することにより周波数スペクトルおよび平均波特性を求める。

3. 台風に伴う外洋波浪の追算結果：ここでは、近年日本付近を通過した台風に対する波浪追算を実施し、観測結果との比較からその適用性を検討する。台風時を対象としたのは、台風モデルにより海上風が容易に計算できるためである。実際の計算は0.045Hz～0.7Hzの20個の周波数、波浪推算点周囲の地形状況を考慮して限定された成分波の到達方向幅を等分割した19個の方向に対し、図-1に示す水深格子網

(格子間隔80km)で行われた。図-2は台風8013号時の上川口、高知沖および佐喜浜における有義波高の比較を示したものである。観測結果と追算結果の経時変化における位相が若干ずれることや発達の初期段階で計算結果が観測結果より小さいことを除けば、両者はかなりよく一致する。図-3は、8013号など4台風時の最大有義波高の沿岸分布を比較したものであり、いずれの台風時における計算結果も観測結果をよく再現する。図-4は7916号～8310号の11台風時の各波浪観測点における波浪追算結果と観測結果との対応を最大有義波高について示したものであり、ほとんどのケースにおいて計算結果と観測結果との相違は±20%以下である。また、データは $H_{1/3\text{cal.}} = H_{1/3\text{obs.}}$ に関してほぼ対称に分布し、特定の偏りを示さない。図-5は台風8013号時の高知沖パイによる周波数スペクトルの比較を示したものであり、計算結果は観測結果の周波数スペクトル形状を良く再現する。以上の比較から、本モデルは、海上風を台風モデルにより推定する場合でも、台風時の波浪をかなりの精度で評価すると結論される。なお、ここで示した計算結果は時間節約のため大型計算機により行われたものであるが、本モデルをMS-FORTRANでプログラミングし、20×25の領域で周波数16個、方向分割

数19個として台風8013号時の高知沖での波浪追算をNEC PC-9801Mで実施した結果、計算時間は約46時間であった。したがって、計算時間の面で若干問題があるが、上位機種や浮動小数点処理装置の使用および複数のパソコンの同時使用によりこの問題を解決することができるので、本モデルはパソコンを用いた波浪推算法として十分な実用性を有すると考える。

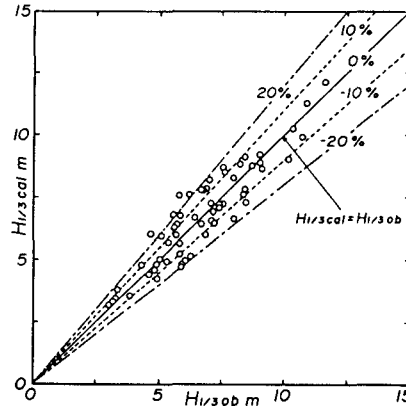


図-4 最大有義波高の比較

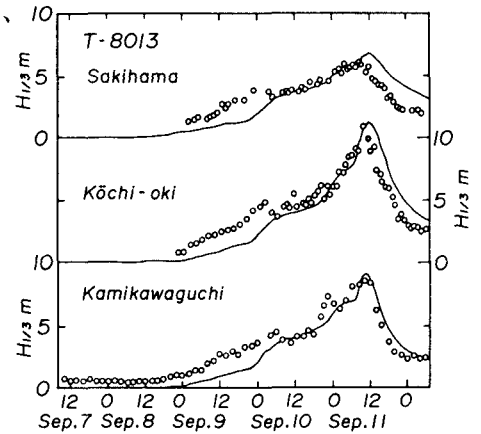


図-2 有義波高の比較

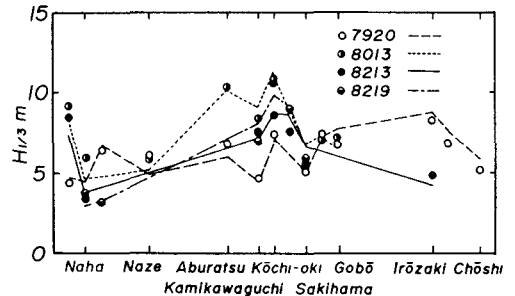


図-3 最大有義波高の沿岸分布

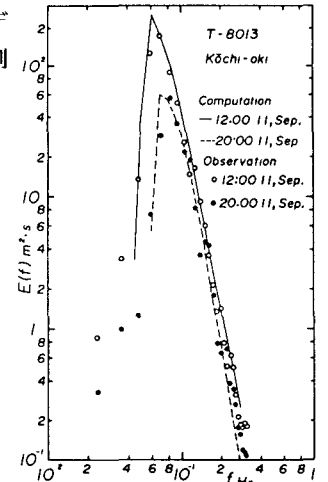


図-5 周波数スペクトルの比較