

水面の波に見られるさまざまな非線形現象

Various Nonlinear Phenomena observed in Surface Water Waves

田中 光宏[1]

Mitsuhiro Tanaka[1]

[1] 岐阜大・工・土木

[1] Civil Eng., Gifu Univ.

<http://civil.cive.gifu-u.ac.jp/~tanaka/>

水面の波動現象を扱う場合、通常、水は非圧縮性で非粘性の流体であり、その運動は渦なしのポテンシャル流であると仮定される。この仮定のもとでは、速度場のポテンシャルはラプラス方程式を満足するために、水内部の速度ポテンシャル場は、自由表面(水面)における速度ポテンシャルの値のみからディリクレ問題の解として決定される。したがって、刻々と変化する水面波形およびそれに付随する内部の流速場の時間発展を追跡することは、各時刻における自由表面形状およびそこにおける速度ポテンシャルという、空間的には水平面内で定義される2つのスカラー場の時間発展を追跡することに帰着される。

自由表面においては、水粒子が水面を突き抜けないという運動学的条件および、水側から見た表面における圧力が大気側の圧力に等しいという動力学的条件の2つの境界条件が課され、これが水面形状および速度ポテンシャルの時間発展に対する支配方程式を与える。この二つの境界条件が、波によって変位した自由表面において課されるところから、水面波動現象の無限次の非線形性が生じてくる。

本講演においては、水の波の非線形性が本質的役割を果たすさまざまな現象の中から、特に筆者自身が直接取り扱ったことのあるいくつかの現象を取り上げて簡単に紹介する。具体的には(1)大振幅定常進行波解とその安定性の問題、(2)水面孤立波の斜め反射の問題、(3)成分波間の非線形相互作用による不規則波浪場のスペクトル変動の問題を取り上げる予定である。

(1)では、波形を変えることなく水面を一定のスピードで定常的に伝播する美しい波として、深水域における周期的な「ストークス波」と、浅水域における「孤立波」を取り上げ、これらの波の持つエネルギーは、振幅が大きくなると振幅の単調増大関数ではなくなり、ある振幅で極値を持つこと、この極値を与える振幅において定常進行波解は線形不安定になること、また数値シミュレーションによるとこの不安定性はその非線形発達段階において、波の砕波を引き起こすことなどを紹介する。

(2)では、まず浅水長波のモデルとしてよく知られるK-dV方程式の2次元版であるK-P方程式を紹介し、それにもとづいてソリトンの斜め相互作用、ソリトン共鳴などについて述べる。またこれに関連する実現象として、津波(孤立波)が防波堤に斜めに入射する問題を取り上げ、浅い角度で入射する場合に起こる「マッハ反射」と呼ばれる特異な反射形態についての理論および数値シミュレーション結果も紹介する。

(3)では、海洋波浪場のスペクトル変動を支配する主要なファクターの一つであり、波浪数値予報においても重要な役割を果たすと考えられている、成分波間の非線形相互作用によるエネルギー輸送の問題を取り上げる。現在現業で運用されている数値予報モデルの根拠となっている理論を紹介するとともに、水面波動運動を支配する基礎方程式系の直接数値シミュレーションによってその理論の正当性を検証しようとする最近の試みについても紹介する。