

風波砕波による3次元乱れを考慮した 新しい海洋モデルの開発

Development of new ocean model concerning 3D turbulence due to wind wave breaking

主任研究員名:水谷 夏樹

分担研究員名:宮島 昌弘

本研究課題の目的は、海洋における波面を挟んだ気流および水流の現象をモデル化し、それらを組み込んだ海洋モデルの開発である。本研究課題の研究段階は主として二段階があり、(1)気流および水流の各種現象のモデル化、(2)新しい海洋モデルの開発である。

本研究課題で念頭に置いている新しい海洋モデルの開発に際して、流れ場の基本モデルは既に数多く提案されたものが世界中に存在しており、乱流モデルについても数多くの乱流モデルが提案されている。商用モデルやフリーで配布されているモデルも数多い。しかしながら、海洋に存在する大規模な流れが原因で生じる比較的低周波数の乱流についてはよく知られているが、海面から進入する風波砕波に起因する高周波数の乱流については、風波砕波という現象そのものがまだよく分かっていないために十分にモデル化されているとは言えない。したがって、風波砕波現象を明確にすることが何より重要である。

本研究課題においては、風波波面上の気流特性の把握から始めている。これまで風波波面上の気流の剥離現象および剥離の発生頻度について検討してきた。波面上の気流が波面の形状に応じて波面から離れていくことを「気流の剥離」と呼ぶが、本研究課題では、これまで以下の点について明らかにしてきた。

- (1) 気流の剥離現象とは何か(規模、渦強度などの乱流構造)
- (2) 気流の剥離が発生する頻度
- (3) 気流の剥離の発生要因

特に気流の剥離現象が波面の形状に大きく依存していることを明らかにし、波高と波長の比である波形勾配が $1/8$ の時に剥離の発生頻度がピークを迎え、海面抵抗係数もピークを持つことを明らかにした。既存の気流に関するモデルでは、単純に風速と波齢(波の速度と摩擦速度の比)ぐらいしか考慮されておらず、波形勾配が気流速度に与える影響が大きいとすれば、気流から水面への運動量の入力項としてのモデル化の意味は非常に大きい。

また、波面上の気流速度分布については、これまで対数則が成り立つものと考えられてきたが、波形勾配(これも $1/8$ 付近)によっては対数則が成り立たないことを明らかにした。Powellら(2004)が、ハリケーンのような極めて強風速な条件下では、海面抵抗係数が減衰することを示し、この分野の研究者に衝撃を与えたが、彼らが示したような強風下の条件では、波形勾配がかなり大きくなる($1/20$ ~)。本研究課題で取り組んでいる条件は室内実験でもあり、それほど強風の条件ではないが、室内実験のような小規模の水槽では低風速でも風速の増加とともに波形勾配が大きくなる領域が存在する。

本研究課題ではこの低風速領域に着目し、気流や波面形状、水流の状況を計測して、高風速領域における諸現象も含めたモデル化を目指している。

分担研究者には矩形粗度を用いた人工粗度上の流れ場の特性について検討していただき、風波波面上の流れに対して実施できないような底面形状と流れ場の関係について類似点や相違点を明らかにしていきたい。同時に気液界面を挟んだ極微小領域の可視化技術の開発についても検討を行っていただいている。シリンドリカルレンズを用いた拡大視計測は、計測後の画像処理も含めて計測精度の評価を行う必要があり、主に転波列現象を対象に計測ノウハウの獲得を行っている。

今後は、波形勾配とともに波速の効果について検証する必要がある。水面付近の流速と波速の比が 1 を超えると風波砕波が発生するため、それによる乱流現象についても検証する必要がある。最終的には、海洋モデルに組み込むための現象のモデル化を行い、新しい海洋モデルの開発につなげていきたい。

風波界面上の気流の剥離とその特性の解明

水谷 夏樹(工学部)

本研究課題において、研究分担者としては、風波波面上の気流の剥離現象および剥離の発生頻度について検討してきた。波面上の気流が波面の形状に応じて波面から離れていくことを「気流の剥離」と呼ぶが、本研究課題では、これまで以下の点について明らかにしてきた。

- (1) 気流の剥離現象とは何か(規模、渦強度などの乱流構造)
- (2) 気流の剥離が発生する頻度
- (3) 気流の剥離の発生要因

特に気流の剥離現象が波面の形状に大きく依存していることを明らかにし、波高と波長の比である波形勾配が $1/8$ の時に剥離の発生頻度がピークを迎え、海面抵抗係数もピークを持つことを明らかにした。既存の気流に関するモデルでは、単純に風速と波齢(波の速度と摩擦速度の比)ぐらいしか考慮されておらず、波形勾配が気流速度に与える影響が大きいとすれば、気流から水面への運動量の入力項としてのモデル化の意味は非常に大きい。

また、波面上の気流速度分布については、これまで対数則が成り立つものと考えられてきたが、波形勾配(これも $1/8$ 付近)によっては対数則が成り立たないことを明らかにした。Powellら(2004)が、ハリケーンのような極めて強風速な条件下では、海面抵抗係数が減衰することを示し、この分野の研究者に衝撃を与えたが、彼らが示したような強風下の条件では、波形勾配がかなり大きくなる($1/20$ ～)。本研究課題で取り組んでいる条件は室内実験でもあり、それほど強風の条件ではないが、室内実験のような小規模の水槽では低風速でも風速の増加とともに波形勾配が大きくなる領域が存在する。本研究課題ではこの低風速領域に着目し、気流や波面形状、水流の状況を計測して、高風速領域における諸現象も含めたモデル化を目指している。

今後は、波形勾配とともに波速の効果について検証する必要がある。水面付近の流速と波速の比が 1 を超えると風波砕波が発生するため、それによる乱流現象についても検証する必要がある。最終的には、海洋モデルに組み込むための現象のモデル化を行い、新しい海洋モデルの開発につなげていきたい。

極微小領域に対する可視化計測を用いた人工粗度上の流れの特性の解明

宮島 昌弘(工学部)

これまでの研究において研究分担者として実施している内容は、主に以下の2点である。以下に各項目について説明する。

(1) 水表面近傍の極微小領域における可視化計測技術の開発

水面とその上を吹く風との相互作用に関してモデル化することが、この研究課題の目的の一つである。水面には波が存在するが、波面の形状に沿って気流が流れる場合と波面から気流が離れて(剥離するという)流れる場合がある。これらの二つのケースでは気流が波面に与える影響が当然ながら異なるが、現状では風速のみでモデル化が行われており、これらを別々にモデル化されてはいない。

気流と水面の接する領域で気流速度を計測することが極めて重要になるが、水面から数 mm 以内の気流速度を計測することは既存の計測機器ではかなり困難である。

研究分担者は、長年にわたって水路における転波列を研究対象としてきた。転波列は水深数 mm 程度の極めて薄く、しかし非常に高速な流れ場に生じる波列である。これを可視化画像計測によって定量的に流速を計測することを試みている。極めて微小な水深の非常に高速な流れ場のため、既存のカメラレンズでは現象を捉えることができず、様々な手法を試みている中で、水槽の前面にシリンダカルレンズ(かまぼこ型の拡大レンズ)を設置するなどして、現象を捉える試みを継続中である。これらの可視化計測技術についてノウハウが得られれば、本研究課題に対する計測にも応用可能となる。

(2) 人工粗度上の流れ特性の解明

本研究課題を遂行する中で、波面上の気流の流れ場は、その特性が波面の凹凸の度合いに強く依存することが明らかになってきた。中でも波高 H と波長 L との比である波形勾配 H/L が $1/8$ を境に波面上の気流特性が大きく変わることが分かったことは気流から波面への運動量輸送をモデル化する上でかなり重要である。一方、石原ら(1972)は、矩形の人工粗度上の流れ場に対する抵抗力に関して類似した整理を行っている。しかしながら、人工粗度の結果は波面のような移動するものではなく、固定した底面境界に対するものである。

研究分担者としては、従前より人工粗度上の水の流れについて河川工学の観点から研究を行ってきた。本研究課題としては、石原ら(1972)の結果を改めて参考にし、本研究課題で見えてきた波形勾配とその上の流れ場に関する課題を、人工粗度上の流れ場に対して検討し直すことにより明らかにすることを試みている。具体的には、水流の中の底面に矩形の高さと矩形間距離の比率の異なるいくつかの人工粗度を設置し、粗度上の水の流速について計測を行っている。その上で、気流特性との類似点、相違点などについて検討を行う。以上の結果については、波面上の気流速度のモデル化の際に利用する予定である。