

特に積極的な方向づけは現在のところ考えて居りません。それぞれがどの様な意味を持っているかを模索して居ります。

(4) 種々の仮定を設けてコスト試算を行った事はありま

す。非常に間接的な表現になりますが、決して容易に負担出来るコストではなく、また経済的に成り立たないと言いつけるコストでもない判断される結果でした。

37 多層モデルによる海水流動の数値解析

—東京湾内の海水流動への応用—

【討論】大垣眞一郎 君 (1) 東京湾奥の船橋沖などでは、貧酸素水塊の海底での発生と吹送流によるその湧昇現象(青潮)が重大な問題となっている。Fig. 11のような吹送流による鉛直流計算は、このモデルの場合、どの程度まで沿岸(境界)近くの浅い水深のところまで表現可能(海底摩擦係数の影響、計算可能水深、計算精度など)であると考えられるか。

(2) 富栄養化に関連し、栄養塩(窒素やリン)の濃度評価上、東京湾全体の水の滞留時間(交換時間)の推定が求められることがある。この種の巨視的な評価の場合、多層モデルはどこまで簡略化(層数と格子点数の節約、相対的に感度の小さなパラメーターの省略など)が可能であると想定できるか。

【回答】(1) 今回用いたようなレベルモデルの場合、場所によって層の数が変わってくる。例えば、5層(a)のときには、水深45m以上のところでは5層あるが、15m~25mでは3層になり、3m未満のところでは1層になってしまう。鉛直流計算が有効であるのは少なくとも2層以上の層が存在する水深であるので、この場合は水深9m以上のところ(Fig. 11で流速分布が示されている範囲)の鉛直流が計算できることになる。5層(b)や10層のような場合には3mまで計算できる。このように、上層の層厚を薄くとればかなり水深の浅い境界近くまで計算は可能である。吹送流による湧昇現象では、海底地形が大きな影響をもつと思われる。層の数が同じとき上層を細かくとると下層の層厚が厚くなってしまいが、最下層の層厚は厚くなくても海底地形の影響は入っている。幸い吹送流の問題では海面付近に比べて海底付近での現象の変化が少ないので、あまり精度は悪くならないとも考えられる。海底摩擦係数の影響については今回用いた0.0026という値が非常に水深が浅いときに必ずしも適当であるかはわからない。これについては今後検討したい。

ところであまり層厚を薄くとると計算が不安定になりやすいという問題があるが、今回の計算に関しては最も薄い層厚1mのときでも問題にならなかった。

(2) 海水交換の計算は試みていないので、はっきりしたことは言えない。当然のことだが、モデルがどの程度簡略化できるかは、どのくらいの精度で推定するかにかかると考えられる。

ごく狭い水域での部分的な停留などはあまり気にせず、湾内の全体的な海水交換にのみ注目するならば、水平方向の格子は、湾全体の形状が損なわれない程度に粗くともそんなに精度は落ちないのではないと思われる。一方、海水交換には吹送流や密度流の効果が大きいと考えられるので、鉛直方向の層構造には気を使う必要があるのではないか。また、瞬間的な流れ場には寄与の少ない非線形項などの影響が長時間の現象を考えるときには逆に大きく現れてくる可能性があるので、このような項を省略して計算するのはどうかと思う。同様な理由で渦動粘性係数などの値にも注意する必要があるであろう。

【討論】細川恭史、古川恵太 君

数値モデルも、現象そのものを再現しているわけではない。再現しようとする現象のスケールや物理特性に応じたモデルの選択・パラメーターの振る舞い等のキャリブレーション・現象再現性の確認・その上での予測計算といった検討手続が必要である。こうした前提の上で以下の点についてのお考えを伺いたい。

(1) 式(33, 34)により攪乱の数値的減衰を行っている。物理的意味の明確化のために拡散項での減衰という手法も考えられるが、減衰の利かせかたのパラメーターが新たに必要等の別の問題もでてくる。どちらが有利と考えられるか。

(2) このモデルのシステム的特性について、鉛直の層数・層厚や不確定パラメーター値に対する応答を調べている。応答性についての定性的な評価は納得できるが、どのような値を選ばべきなのかの知見が有ったら教えて欲しい。特に、海底摩擦係数は、流速の鉛直分布形と最下層層厚との関係で、必ずしも断面平均流速を用いた通常海底摩擦係数(0.0026)を使えないと思われるが如何か。

【回答】(1) リーフログ法は数値的な安定性が中立的な差分法なので、海水運動の数値計算にはよく用いられている。一方、そのために一度生じた攪乱がいつまでも残ってしまう。さらに、この方法にはtime-splitting(2つの異なる解が独立に成長する)が生じるといった性質がある。

数ステップおきに本計算で用いた逐次近似法による後方差分を行えば、攪乱を減衰させると同時に、time-splittingを防止する効果もある。ただ、この方法には、物理的意味は全くない。

そこで、攪乱を減衰させる別の方法として、人工粘性をつけ加えて拡散項で減衰させるという手法が考えられる。ご指摘のとおり、その際にはどの程度の人工粘性を効かせるかという新たな問題が生じる。また、この方法をとったときには、time-splittingを防ぐためにまた別の何らかの処置をとらなくてはならないであろう。

(2) 計算の精度の点からみれば鉛直方向の層の数は多い程良いのだが、計算機の容量や計算時間との兼ね合いも考えなくてはならない。海面から海底まで比較的一様な流れである潮流の計算では単層モデルで十分であるとも言われているが、今回の計算では層の数を5層、10層にすることによって、2層や3層の時には現れなかった現象がみられるということがあった。計算の対象や目的にもよるが、単なる潮流計算でも3から5層以上の多層モデルでの計算は意味のあることであると考えられる。さらに流れの鉛直構造が重要となる密度流、吹送流などの計算では、一概にはいえ

ないが、2、3層では不十分なのではないかという感じがする。

層厚や鉛直渦動拡散係数、海底摩擦係数などに対する定量的な評価は非常に難しい問題で、どういう値が最適であるかは対象とする海域や現象によっても異なってくるものが考えられる。しかし、水平方向のメッシュサイズによって水平渦動粘性係数が異なってくるように、層数や層厚とこれらの係数のとり方には何らかの関係があると考えられ、今後も引き続き検討していきたい。特にご指摘のあった海底摩擦係数については、本計算で用いた値が必ずしも妥当であるかはわからない。従来の潮流の数値計算では0.0026 或いはそれに近い値が用いられており、今回の計算でも最下層内での断面平均流速に対する摩擦係数という意味でその値をそのまま用いた。海底摩擦をどのようにモデルに取り入れるかは、大きな問題でありこれも今後の課題である。

38 砕氷船舶首部に作用する氷圧力に関する研究 (その1)

【討論】 山口 一 君 (1) せん断強度については、塩分濃度、歪速度とも一定の傾向がありませんが、直観的には塩分濃度が増加するとブライン体積が増し、せん断強度が低下するものと思われまふ。今回の解析によるせん断強度には、どの程度の物理的意味があるのでしょうか。特にせん断の方向と結晶柱の方向の関係について、お聞かせ下さい。

(2) 氷の試験はバラツキが大きいのですが、それだからこそ、結果の精度評価は大切だと思います。計測値そのものの精度 (Figs. 3~6) と、解析結果の精度 (Fig. 8~16) は、どの程度でしょうか。

【回答】 (1) せん断強度 τ は、純粋せん断を作用させたときのせん断面上における抵抗と考えられます。Mellor⁽¹⁾によれば、せん断強度を測定するのによく用いられる一面せん断試験では、応力状態に問題があり、的確にせん断強度を測定できないとされています。その意味で本方法は伝統的な一面せん断試験よりも的確にせん断強度を測定できる可能性を有していると考えています。

しかしながら、本研究で得たせん断強度は少なくとも2つの点で予想に反しています。一つは、討論者のご指摘のように、塩分濃度の増加と共に小さくなっていない、もう一つは、垂直供試体に対するせん断強度が水平供試体に対するそれよりも小さいという点です。もしも供試氷が理想的な柱状氷であれば、せん断面は Fig. A に示したように、垂直供試体では柱状結晶を斜めにせん断し、水平供試体に対しては結晶粒界をせん断すると考えられ、その結果垂直供試体に対するせん断強度が水平供試体に対するそれより

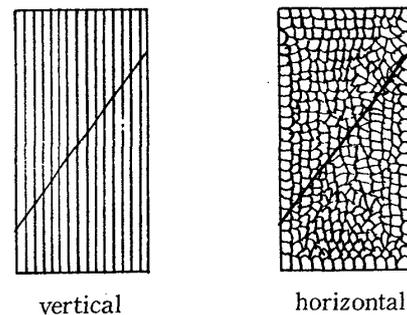


Fig. A せん断面と結晶構造の関係を表す模式図

も大きくなると予想されます。また、塩分濃度が増加すると、相対的に個体部分が減少するのでせん断強度は低下すると予想されます。

これらの予想との相違の原因は現状では定かではありません。可能性としては、供試氷が必ずしも理想的な柱状氷とはなっておらず、このずれが係数 α に対してはあまり影響を与えないが、せん断強度に対しては影響を与える。また、第2のご質問に関連しますが、せん断強度の精度が必ずしも様ではない。この二つが相まってこのような結果になったのではないかと考えられます。いずれにせよ、せん断強度に対する供試体種別及び塩分濃度の影響はそんなに大きくないのではないかと想像されます。蛇足ながら、Saeki et al.⁽²⁾ が実海水を用いて行った一面せん断試験の結果では、塩分濃度数 ppt にわたる試験結果を同列視しており、塩分濃度による一面せん断強度の差異を見いだせなかったものと思われまふ。