

氏名	上野武夫 うえのたけお
学位の種類	理学博士
学位記番号	論理博第136号
学位授与の日付	昭和41年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	<b>Non-linear Numerical Studies on Tides and Surges in the Central Part of Seto Inland Sea</b> (瀬戸内海中部における潮汐および高潮の非線形数値計算による研究)
論文調査委員	(主査) 教授 速水頌一郎 教授 田村雄一 教授 山元龍三郎

### 論文内容の要旨

複雑な陸岸地形と海底地形とをもつ沿岸海洋の領域で、台風に伴う高潮や天体の起潮力に起因する潮汐がどのような様相を示すかという問題を研究する有力な手段として、高速電子計算機を用いた数値計算による研究方法が、近年急速に発達している。主論文は、この研究方法を、運動方程式の非線形項まで含むものに発展させ、これを来島海峡から明石海峡にいたる瀬戸内海中部海域に適用して、この海域の潮汐および高潮の全体的な様相を明らかにしたものである。

申請者はまず、回転する座標系に対する Navier-Stokes 型の運動方程式と連続の式とから出発して、潮汐や高潮の現象に果す方程式各項の意味を吟味しながら、それらを鉛直方向に積分し、量の大きさに関する十分な検討をして、最終的に、気圧と風の応力とを外力として含む流量と水位とに関する非線形の基礎方程式系を導いた。

ついで、外力である台風時の海面における気圧分布と海面におよぼす風の応力分布とを数式に表現する方法を論じた後、実際の数値計算に必要な微分方程式の差分化に関する新しい方式を提案した。全体の計算方法は、空間的な格子上に交互に配列された水位点と流量点との値を、時間的にも交互に計算してゆく primitive method がとられている。ある時刻の差分にはすべて中央差分法を適用しているが、このとき、第一に起こる困難は、コリオリの力と海底摩擦との項のために、流量を求める計算のステップで、水位しか求まっていない1時刻以前の流量の値が必要となることである。申請者の第一の提案は、これにその前後の時刻の平均値を用いることで、それによって相隣る格子線間の結合が強められ、単に前の時刻の既知流量の値で代用していた従来の方法ではさけることのできなかつた共役な格子系、すなわち、一つおきの格子線で構成される二つの系の間の不均衡が合理的に是正されることを示した。

申請者の第二の提案は非線形項の計算の方法に関するもので、座標系を  $45^\circ$  回転し、最も近い斜め方向の流量点を用いようとする提案である。これによって、切断誤差を少なく、また、計算量をも少なくできること、とくに、境界に非線形項計算のための特別な格子点を必要としないこと、さらに、水深の浅い境

界付近とならんで非線形項が大きい役割をする海峡部のかなり複雑な形状に対しても計算が可能であることを示した。そして、この方法は前述の共役格子系間の結合を強め、両系の不均衡を緩和する効果も同時に持つことを明らかにした。申請者は、また、非線形項の流量項に対する比が小さいことから、基礎方程式を近似的な線形方程式の系にひき直して、計算安定度の理論的吟味を行ない、このような場合の計算安定の必要条件を導いている。瀬戸内海中部海域にこの計算方法を適用する場合、格子間隔を  $\Delta s/2=4\text{km}$  とすると、時間ステップは  $\Delta t=100\text{sec}$  ととるべきことを結論した。

申請者は以上の計算方法を実際に瀬戸内海中部の潮汐と高潮とに適用して多くの結論を得たのであるが、その主なものを記すとつぎのようである。すなわち、

(1) 一般に本計算方法の安定度は十分であり、とくに、共役格子系間の結合が強められている結果、これまで行なわれていた理由のない計算結果の平滑化は全く必要がない。

(2) 内海中部の潮汐はほとんど定常波的で、潮位の腹は備讃瀬戸と燧灘との中間にある。また、潮時については計算と実測とに1時間程度の差が認められたが、潮差については両者はよく一致している。

(3) 非線形項の効果は潮位よりも潮流にいちじるしく、とくに、海峡部の潮流には、線形の近似ではとうてい期待できない観測とのよい一致が得られた。

(4) 高潮については代表的な5例の台風について研究しているが、最高高潮位とその起時とはほぼ観測値と一致している。しかし、全体的な一致は必ずしも十分ではない。これは湾口条件に起因するもので、その是正は今後の観測の進歩にまたなければならない。

(5) 内海中部は他の主要内湾と比較して、最も高潮の起こりにくい海域であるが、台風時には播磨灘の四国沿岸でも高潮が生じ、また、燧灘の南北方向および備讃瀬戸の東西方向に2時間周期の振動が発達する。

参考論文その1は、潮汐の調和分解に関するダーウィン法の慣用表の誤りを発見して、訂正したものである。

参考論文その2およびその3は、理論的な起潮力を与えて、主論文に示された数値計算法を用い、地球上の全海洋に起こる潮汐を計算したもので、無潮点や節の存在を示している。

参考論文その4は、主論文の基礎となった研究である。

参考論文その5は、主論文で確立した計算法を関門海峡周辺に適用したものであるが、そのなかで、申請者の確立した計算方法の安定に関する必要条件是、非線形項を無視した場合、コリオリの力や摩擦の項の存在に影響されない特性をもつことを明らかにしている。

### 論文審査の結果の要旨

潮汐や高潮を運動方程式に基づいて計算することは潮汐学の重要な問題であるが、解析的な方法には限界があって、現実の海湾にみられる複雑な形の境界のなかで、その詳細な状況を求め、予測することは、ほとんど不可能に近かった。近年、高速電子計算機の発達に伴って、この問題の研究は新しい局面をむかえたが、この方面に関する W. Hansen の最初の研究からまだ日の浅い今日、なお、未解決のままに残されている面が多い。その一つは非線形項の導入の問題である。

主論文は非線形項をも含む計算方法を確立し、これを瀬戸内海中部海域の潮汐、高潮の計算に適用してその有用性を実証したものである。すなわち、運動方程式と連続方程式を潮位と流量の方程式に変換し、中央差分法を適用して、これから潮位と流量の差分方程式を導いて数値計算を行なっているのであるが、その計算方法として、これまで用いられてきた空間的な格子点上に交互に配列された水位点と流量点との値を、時間的にも交互に計算していく primitive method をとった場合、非線形項の差分化に、座標系を $45^\circ$ 回転して、問題の流量点に最も近い斜め方向の四つの流量点を用いるのが有利なことを示し、実用的な非線形項を含む計算方法を確立した。また、この方法を水平混合項の差分化にも応用しているが、水平方向に境界のあることが本質的な役割をするこの種の問題にとって、これら流量の勾配の計算を必要とする項の差分化をどのように行なうかは重要な点であって、申請者の方法は、境界にそのための特別な格子点を必要としないこと、切断誤差の少ないこと、かなり複雑な形の海峡部でも計算が可能であることなど多くの利点をもっている。

申請者は、また、運動方程式の差分化に当って、コリオリの力や摩擦項の存在によって必要となる水位しか求まっていない時刻の流量の値を、その前後の時刻の平均値で与えるという方法を用いているが、これら二つの方法は一つおきの格子線で構成される二つの共役な格子系相互の結合を強め、これまで行なわれていた計算結果の理由のない平滑化を不必要にした。

申請者はさらに、この非線形項を含む計算方法の実際的な計算安定の条件を理論的に導き、計算不安定を克服する実際的な基準を見出した。申請者の計算方法は、非線形項が無視できる場合、計算安定の基準がコリオリの力や摩擦項の存在に無関係となる特性をもっている。

申請者はこの新しい計算方法を来島海峡から明石海峡にいたる瀬戸内海中部海域の潮汐と高潮の計算に適用し、この計算方法が実際に安定であることを示した。数値計算の結果によると潮差や最高高潮位およびその起時などはよく実測に合っており、とくに、海峡部の潮流は線形の近似ではえられない実測とのよい一致を示している。このことは、船舶の航行などについても問題となる海峡部の流れの詳細な研究の可能性に途を開いたものと考えられる。そのほか、台風時に燧灘の南北方向および備讃瀬戸の東西方向に2時間周期の振動が発達することなど多くの新しい事実を見出している。

参考論文はいずれも潮汐に関するもので、その多くは主論文で確立された方法を他の海域に適用して重要な結果を得た価値ある研究である。

以上を要するに、申請者上野武夫の主論文は、潮汐や高潮に関する数値実験に非線形項の効果を含めた計算方法を確立し、これを瀬戸内海中部の潮汐および台風時の高潮に適用して多くの新知見を得たもので、参考論文とともに潮汐学の進歩に寄与するところが大きい。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値があるものと認める。