

学 位 論 文 題 名

Assimilation of Velocity Data into a
Rankine Vortex Model

(水平流速データの Rankine Vortex モデルへの同化)

学位論文内容の要旨

海洋表層に見られる、数 10 km から数 100 km 程度の空間スケール持つ中規模渦は熱や淡水、渦度などの海洋循環の状態を決める重要な物理量の運搬及び混合に対し重要な役割を担っていると考えられており、その空間的構造や時間変動をモニタすることが必要であると考えられている。

本研究では予め仮定した海洋循環モデルを観測データに対し最小二乗法的に投影し、連続的な循環場を再構成するデータ同化手法を用いて中規模渦が卓越する水平流速場の時空間方向の連続的な流速場の変動を推定する方法の開発を目的とする。本研究で提出された新しいデータ同化手法は随伴法を基礎としており、この随伴法を Rankine Vortex モデルへ適用することにより開発された。Rankine Vortex モデルは、準地衡流力学に対して渦の構造を仮定することにより導出される近似モデルで、渦の卓越する場を再現するのに必要なモデルの持つ独立変数の数を元の支配方程式に対して大幅に少なくできるという特徴がある。データ同化では一般に、モデルの持つ自由度に対する同化する観測数が少ないことが大きな問題となっているため、このような単純な構造を持つモデルを同化へ応用することで場の推定を少ない観測数の場合にも可能にする可能性があると考えられる。本研究ではこの手法の性能を一連の数値実験により確かめた。

数値実験ではまず準地衡流数値モデルを用いて、データ同化で用いられる観測データを”観測”するための”真”の解を作成した。初期値には異なる符合で同じ強さの循環を持つ渦対構造を与え、約 45 日間の積分を行った。この”真”の解に対し、観測領域内に展開した水平流速計から構成される、異なる解像度を持つ 2 種類の観測網を設定し、各々の観測点において流速データの時系列を取得した。観測網のうち一つは”真”の解に与えた渦の半径と同程度の測点間隔を持ち、もう一つは渦の直径と同程度の測点間隔を持つ。この観測データに対し、Rankine Vortex モデルを用いて作成したデータ同化手法を適用し、”真”の解に含まれる渦構造の復元を試みた。ここでは渦の構造を予め仮定したことにより同化の性能が向上するかどうかを調べるために Rankine Vortex モデルが導出された元の力学である準地衡流方程式に対しても同様の同化手法を作成し、比較した。

実験の結果、次の点が明らかになった。観測網の解像度が、渦の半径と同程度の

場合には、Rankine Vortex モデルを用いた同化手法と、元の準地衡流モデルを用いた同化手法はどちらも”真”の解に存在する渦対構造の構造を復元することができた。しかし、観測網の解像度が渦の直径と同程度の場合には、Rankine Vortex モデルを用いた同化手法のみが渦対構造の再現に成功することが示され、同じ力学から導かれた同化手法にもかかわらず、予め渦の構造を仮定することで、より粗い空間分布を持つ観測網に対して場の推定が可能になることが示された。また、Rankine Vortex モデルの特徴として、予めモデルが再現する渦の数を定めなければならないという制限があるが、同化により再現しようとしている渦の数が未知の場合でも、初期推定値として予想される渦の数よりも十分大きな数の渦を予め分布させておくことで、目的とする渦構造を再構築できることが示された。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 播磨屋 敏 生

副 査 教 授 浦 上 晃 一

副 査 助教授 見 延 庄士郎

副 査 教 授 池 田 元 美 (大学院地球環境科学研究科)

副 査 金 成 誠 一 (北海道大学名誉教授)

学 位 論 文 題 名

Assimilation of Velocity Data into a Rankine Vortex Model

(水平流速データの Rankine Vortex モデルへの同化)

水平スケールが高々 200 キロメートルの海洋中規模現象を限られた観測点数のデータから推定するのは極めて困難であり、また、こうした変動場を記述しうるほどの高解像度の観測網を構成すること自体、現状では不可能に近い。このような状況のもとでは、こうした中規模現象の変動場をなるべく少ない観測点数のデータによって記述しうる同化モデルは極めて重要な解析手段となる。しかしながら、中規模場は、ロスビー波と孤立渦が卓越した場と考えられ、従来の差分モデル型の同化手法では、場の再現が難しいという問題がある。

著者は、一様渦位の Rankine Vortex を導入することによって、従来の同化手法に代わる新しい同化方法を提案し、数値実験によってこの手法の有効性を確認し、新手法の実用化への道を開いたものである。

一般に、データ同化は、観測値とモデル内の対応する予報変数との差が、適当な時間間隔の中で最小になるようモデルを修正し、その軌跡の最適値を得るという技術である。そこでは、力学的拘束条件を用いてデータの内挿が行われるが、オイラー系の差分モデルでは、データを内挿点にうまく配分されず、モデルと観測値の差を修正する場が観測点近傍に集約されてしまうという傾向から逃れられない。これに対し、著者は、中規模渦それ自身は強い移流速度を持つものの、場自体はロスビー波程度の移動速度しか持たないという観測事実と理論的裏付けに基づいて、1.5 層準地衡流モデルに Rankine Vortex を導入し、数少ない観測点での同化期間内に得られた流速データのみから、渦の流速場を推定するための、Lagrange 系に基づく新しい同化モデルを構築した。このモデルは、渦構造をあらかじめ仮定するために、モデルの自由度(制御変数の数)を差分モデルに比べ大幅に少なくすることができるという利点があ

る。この新しいモデルに基づいて、従来の Euler 系 1.5 層準地衡流差分同化モデルとの比較実験を行い、場の再現の優劣を数値的に詳細に検討した。実験では、520km × 520km の仮想中緯度海域の内部に係留型の流速観測点を設け、その領域内の中規模渦の規模及び移動経路を流速データのみから推定するという設定で、同化期間中に観測領域を北西方向に渦対が 4 5 日間で横切るという状況を同化期間として設定した。4 5 日間の観測期間に対し、一辺が 110km の粗な格子（渦の直径程度のスケール）で構成される 13 の観測点網及び、一辺が 52km の密な格子で構成される 49 の観測点網 2 種類について、上記二つの同化手法の比較実験を行った結果、密な観測点網の場合には、いずれの方法でも比較的良い推定が可能であったが、観測点数が少ない場合、従来の差分モデルでは推定不能に落ちるのに対し、Rankine Vortex モデルでは、粗・密いずれの場合も満足すべき精度で場の推定が可能であることを明らかにした。

この成果は、今後の海洋中規模渦度場の解析に極めて重要な解析手段を提供したもので、地球惑星科学分野に大きな貢献をしたものと高く評価できる。

よって、著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。