

氏名	藤井陽介
学位の種類	博士(理学)
学位記番号	論理博第1428号
学位授与の日付	平成15年7月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文題目	結合鉛直EOFモードを用いた水温場及び塩分場の推定に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 淡路敏之 助教授 秋友和典 教授 植田洋匡

### 論文内容の要旨

近年の衛星計測技術等の進歩により海洋観測は大きく進展したが、海洋内部の時空間変動の把握は未だ重要な研究課題である。本研究では、水温と塩分の結合EOFモードと変分法を組み合わせることにより、比較的数量多くデータベース化されている現場観測による水分・塩分の鉛直プロファイルデータや衛星による海面情報のデータから、海洋内部の水温場および塩分場を推定する新たな手法の開発を試みた。

まず初めに、複雑な変動を呈する東北沖を対象に、結合鉛直EOFモードが海洋内部のどのような物理変動を表現しているのか、その対応関係について検討した。その結果、結合鉛直EOFモードは、水塊の鉛直移動に起因する傾圧モードの他に、大気との相互作用や海水混合起源の水塊の変質に関連した変動を表すモードを表現していることがわかった。このことは、結合EOFモードを利用して海洋内部場の推定を行うことにより、他の推定手法では困難であった水塊の変質に関連する変動の表現が可能であることを示唆している。推定された東北沖の水温・塩分の時系列プロファイルは、水塊の変質を表すモードの寄与率が他のモードのそれに比べて小さく、水塊変質起源の変動成分全体を表現できないものの、水温と塩分の主要な鉛直構造を再現しており、さらに、水温プロファイルから塩分プロファイルが推定できること、海面力学高度と海面水温・海面塩分の観測データから海洋の内部構造の推定が可能であることを示した。このような複雑系海域における結合EOFモード展開の物理的妥当性とそれによる鉛直プロファイルの推定に関する徹底した検討は本研究が初めてである。

次に、周囲の観測データから未観測点における水温・塩分場の推定を行えるよう上記の手法を3次元に拡張し、東北沖に適用することにより、その可能性を調べた。その結果、3次元結合EOFモードと海面高度・海面水温データから、現実的な水温・塩分場の3次元構造の推定が可能であることを明らかにするとともに、衛星観測等による精度のよい海面高度と海面水温データを用いて、従来の客観解析手法の推定精度を大きく上回る高品質の3次元解析データを作成することに成功した。また、1次元および3次元の場合について、海面高度と水温・塩分との関係の非線形性に着目した比較実験を行い、従来の線形解析は海洋変動の詳細な力学解析に求められる精度の確保は難しく、解析精度を高めるには非線形性を考慮する必要があることを明らかにした。

さらに、海域毎に異なる複雑の組のEOFモードを利用することにより、一層広範囲の海域への適応ができるよう推定手法を発展させ、その検証も兼ねて、モンスーンやエルニーニョ南方振動(ENSO)等の季節・経年変動が卓越する赤道太平洋の水温・塩分場のデータセットの作成を試みた。調査の結果、データセットは、ENSOの発達に伴い、バリエイヤーが赤道太平洋西部から東部に移動する様子を良好に再現するものであった。申請者は、これにより、大気海洋結合過程の理解に重要な海洋垂表層塩分場の時空間変動過程の記述に成功し、さらに、バリエイヤーの厚さと表層貯熱量との間に有意な相関関係があることを示した。このような3次元塩分場の時間変動を観測データのみから構築したデータセットは希少であり、価値の高いものである。また、本解析により明らかにされたバリエイヤーと表層蓄熱量との有意な相関は、赤道太平洋域における海面水温の変動にバリエイヤーが大きな影響を与えることを意味しており、従来注目されてこなかった塩

分場の変動の把握が、エルニーニョの消長や気候変動のメカニズムの解明に極めて重要であることを指摘している。

## 論文審査の結果の要旨

地球表面の約70%を占める海洋は地球気候における熱・水の巨大なプールであり、その現況の把握は気候変動のメカニズムの解明と予測に欠かせず、これまで様々な方法による観測がなされてきた。とりわけ、20世紀後半には、技術革新に伴い、人工衛星による全球・準同時観測が国際連携のもとになされるようになり、海面水温や海面高度及び海上風等に関する時空間変動の把握が大きく前進した。しかしながら、人工衛星計測は海面付近の情報に限定されているために、季節スケール以上の気候変動の理解に重要な海洋亜表層以深の構造の推定は、依然として、重要な研究課題である。

申請者は、この問題に関して、比較的数量多くデータベース化されている現場観測による水温・塩分データの統計情報と衛星計測情報を、変分法の手法を用いて結合EOFモードと融合し、海洋内部の水温場と塩分場を推定する新たな手法の開発に成功した。

まず初めに、北太平洋亜熱帯域および亜寒帯域の西岸境界流である黒潮と親潮が接触する東北沖を対象に、水温及び塩分の鉛直プロファイルデータから結合鉛直EOFモードを求め、各モードが海洋内部のどのような物理変動を表現しているのかを調べた。この海域は北太平洋における複雑系海域の代表とみなされている。解析の結果、水分・塩分の結合鉛直EOFモードが、水塊の鉛直移動に起因する傾圧モードの他に、大気との相互作用や海水混合起源の水塊の変質に関係した変動を表すモードを表現していることを初めて示した。推定された東北沖の水温・塩分の時系列プロファイルは、水塊の変質を表すモードの寄与率が他のモードのそれに比べて小さく、水塊変質起源の変動成分全体を表現できないものの、水温と塩分の主要な鉛直構造を再現しており、さらに、水温プロファイルから塩分プロファイルを推定できること、海面力学高度と海面水温・海面塩分の観測データから海洋の内部構造の推定が可能であることを申請者は明らかにした。これらは海洋変動に関する研究の進展に意義深い結果である。

次に、未観測点における水温・塩分場の推定を行えるように上記の手法を3次元に拡張し、結合EOFモードと海面高度・海面水温データを用いて、東北沖における水温・塩分場の現実的な3次元構造の推定が可能であることを示した。この手法と衛星観測等による精度のよい海面高度と海面水温データから、従来の客観解析手法の推定精度を大きく上回る高品質の3次元解析データの作成に成功したことは特筆される。また、1次元および3次元の場合の双方について、海面高度と水温・塩分との関係の非線形性に着目した比較実験を行うことにより、従来の線形解析では海洋変動の詳細な力学解析に求められる精度の確保は難しく、解析精度を高めるには非線形性を考慮する必要があることを初めて明らかにした。この成果は、変分法による最適解探索の難題であった非線形降下法の開発に申請者が成功したことを示すものである。

申請者はさらに進んで、海域毎に異なる複数の組のEOFモードを利用することにより、一層広範囲の海域への適応ができるよう推定手法を発展させ、その検証も兼ねて、モンスーンやエルニーニョ南方振動(ENSO)等の季節・経年変動が卓越する赤道太平洋の水温・塩分場のデータセットを構築した。解析の結果、構築したデータセットは、ENSOの発達に伴いバリエイヤーが赤道太平洋西部から東部に移動する時空間過程を明示していた。これによって申請者は、本研究の推定手法により、大気海洋結合過程の理解に重要な亜表層塩分場の変動過程を記述できることを示すとともに、バリエイヤーの厚さと表層貯熱量との間に有意な相関関係があることを明らかにした。このような3次元塩分場の時間変動を、観測データのみから作成したデータセットは希少であり、価値の高いものであると言える。また、本研究により明らかにされたバリエイヤーと表層蓄熱量との有意な相関は、赤道太平洋における海面水温の変動に、バリエイヤーが大きな影響を与えている事実を明確に示すものであり、エルニーニョの消長や気候変動のメカニズムに関する今後の研究に重要な結果である。

以上のように、本研究は、海洋の現況解析に重要な水温・塩分場の精度の良い3次元推定に新たな道を拓くものであり、海洋データ同化システムによる21世紀の海洋変動の発展に大きく貢献する研究であると評価できる。

よって、本申請論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。

なお、関連分野の学識確認のための試問を行い、博士課程修了者と同等の学識を有すると判定するとともに、論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。