

海洋データ同化システムの高精度化と海洋現象の季節から経年変動の解析

蒲地政文、中野俊也、藤井陽介、松本 聡、碓氷典久（海洋研究部）
石崎士郎（気象庁地球環境・海洋部）

1. はじめに

本研究では、気象庁の現業で用いられる海洋データ同化システムを開発・改良すること、及びそのシステムを用いて海洋中の気候変動を理解することを目的としている。

海洋の観測に関しては、船舶等の現場観測は海の中の一部のみを表し、衛星等のリモートセンシングによる観測では海洋表面だけが測定される。一方、数値モデルでは海洋中の格子点における水温・塩分・流速をくまなく算出可能である。しかし、モデリング技術は近年著しく進歩したものの、格子点間隔以下の小さな現象をどのようにモデルに取り込むかというパラメータ化や、運動量と水温・塩分の支配方程式の項（例えば非線形移流項）に関するスキームの精度がまだ不十分であり今後も開発の継続が必要である。このため、海洋のモデル（海洋大循環モデル）と海洋観測データの双方から有用な情報を引き出し、それらを最適に組み合わせる同化手法の開発が世界中で精力的に続けられている。本研究でも精度の高い海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM）を開発改良してきた。

従来、観測データのみ、あるいは海洋モデルのみの結果で、海洋の現象を解明しようという努力がなされてきたが、同化結果を用いることにより、それらの欠点を補い、かつ新しい情報・理解が得られるものと考えられる。そのため、本研究では、北太平洋表層における代表的な物理量（水温・塩分・流速・海洋蓄熱量・水塊（水温・塩分の特別な範囲で特徴づけられる水の塊）の時空間変動を、海洋データ同化システムによる同化実験で得られたデータを用いて解析することにより、海面で刻印され、海洋の循環経路に沿って伝播する海洋中の気候シグナルを抽出し、気候変動を理解しようと試みてきた。

ここでは、気象研究所で開発された海洋データ同化システムの概要と、そのシステムにより作成された4次元データセットを用いて解析した海洋中の変動について報告する。

2. 海洋データ同化システムとその結果の解析

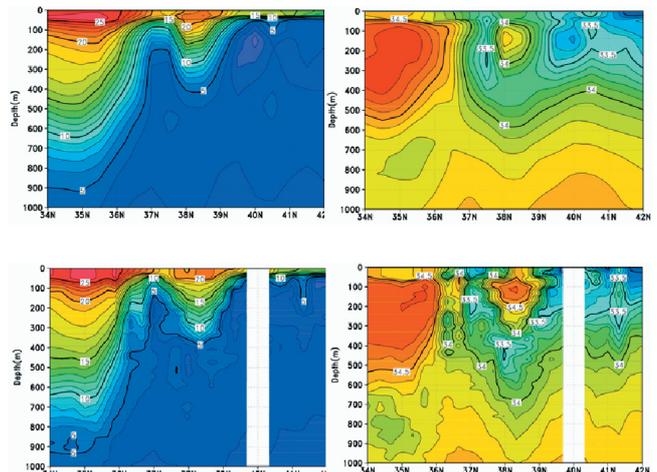
2.1. 海洋データ同化システム（MOVE/MRI.COM）の概要

この研究で開発された海洋データ同化システムは3次元変分法という手法を用いている。このシステムの特徴は、海域毎

に現象の代表的な構造の組み合わせ（すなわち経験直交関数展開による主成分の振幅）を、観測と海洋大循環モデルから最小自乗法的な考え方で求めて、海洋の状態を推定する手法を採用していることである。この手法では、水温と塩分を組み合わせるため、（海洋では観測数の少ない）塩分の観測を水温で補う（すなわち塩分の観測がなくても過去の水温と塩分との関係を主成分ごとに求める）ことができるため、塩分の精度が格段に向上したことである。また、同化過程で観測データの選別を行える変分品質管理等の特徴を備えている。このシステムは、全球、北太平洋、北西太平洋とそれぞれの目的に応じて解像度が異なるシステムとして開発された。

2.2. 同化実験結果の解析

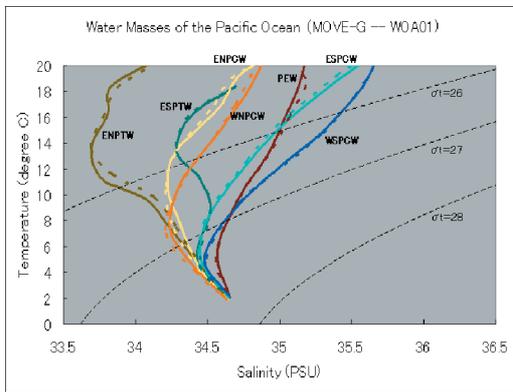
過去の大気・海洋間の運動量・熱・水のフラックスでモデルを駆動しながら、船舶・フロート・衛星等の海洋観測データを同化し、4次元データセットを作成した。全球（解像度1度）と北太平洋（解像度0.5度）では1948-2006年、北西太平洋（解像度0.1度）では1992-2006年で同化実験を行い、4次元のデータセットを作成した。それらのデータセットに現れる各海域での特徴的な現象の構造・変動に関する再現性、及びその変動の特徴を捉え、その原因を探った。その中から、いくつかの例を以下に示す。



第1図 黒潮・中規模渦と親潮系の水の分布の比較例（2000年10月、144モ測線の断面図）。上段（下段）が同化（観測）結果、右列（左列）が塩分（水温）の分布。暖色系は高い水温・塩分を、寒色系は低い水温・塩分をあらわす。

第1図は、東北沖の東経144度に沿った南北鉛直断面の水・塩分分布を示す。表層の高温・高塩分水は黒潮系とそれから切離された中規模渦の水を表し、その下に低温・低塩分の親潮系の水が入り込んでいる状況がよく再現されている。この例に示されるように、海洋の中の構造とそれらの変動が、このシステムによるデータセットではよく再現されている。

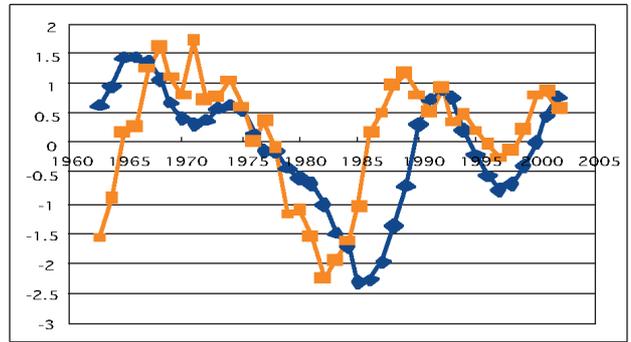
第2図は、太平洋での水塊を、過去の海洋観測データから算出された気候値と比較したものである。図中、実線（破線）が同化（観測）であり、縦（横）軸は水温（塩分）を表す。水塊はこの水温・塩分ダイアグラム上で1本の線として表される。太平洋での水塊がよく再現されていることがわかるが、海域によってはバイアスがあり、今後更なる同化手法と海洋モデルの改良が必要である。



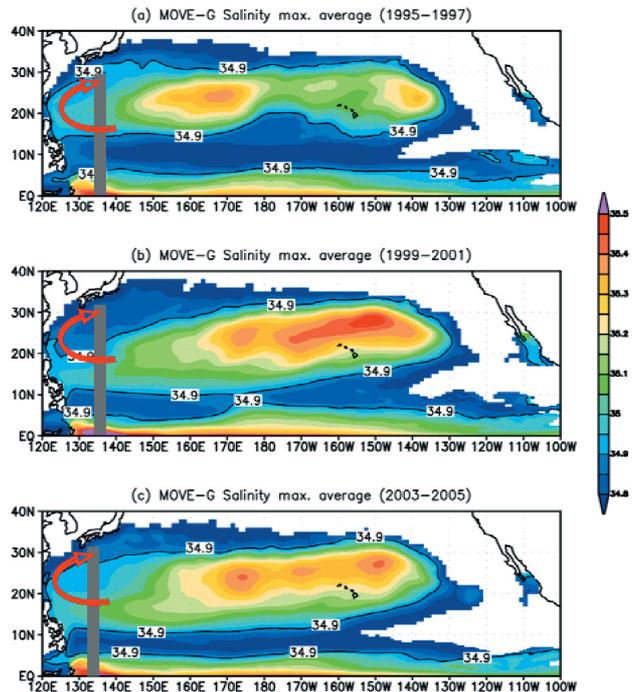
第2図 太平洋での水塊の気候値についての同化結果（実線）と観測（破線）との比較。

気候変動に関わる物理量の1つに海洋蓄熱量(OHC)が挙げられる。同化結果から算出した表層700mのOHCと、海上風応力の回転成分に対して主成分分析を行い、それぞれについて北太平洋での特徴的な構造（主成分）を抽出し、その時間変化を求めた。海上風応力の回転成分の主成分は主に偏西風の南北移動と強弱に関連しており、その変動により太平洋の海洋循環が応答（変動）し、その流れに従ってOHCの変動が移動していた（図省略）。OHCは、偏西風の変動から5~10年程度の遅れで変動していることが明らかとなった（第3図）。

次に、北太平洋の表層近くの高塩分の特徴づけられる水塊である、北太平洋回帰線水の構造と変動について報告する。気象庁の観測船による（例えば）東経137度に沿った観測データの解析から高塩分の変動は知られてきたが、その変動がどのように起こり、どこから伝わってきたのかが明らかでなかった。同化結果の解析から、北太平洋回帰線水の量を北太平洋で3年ごとに平均して見ると、第3図で解析した海上風の経年変動に応じて北太平洋亜熱帯循環の構造（形）と強さが変動し（図省略）それに伴ってこの高塩分の水塊も変動していることが明らかとなった（第4図）。



第3図 北緯40度、日付変更線付近における、風応力回転成分（オレンジ色：符号を反転して表示）とOHC（青色）の時系列。



第4図 同化結果から得られた北太平洋回帰線水の塩分最大値の分布。上から1995-1997、1999-2001、2003-2005年の平均値を表す。灰色縦線は137°Eの測線を、赤矢印は、その付近での亜熱帯循環の流れの向きを表す。

3. まとめ

今回の研究成果のうち、海洋データ同化システムの概要と同化結果の解析（海洋の変動）について紹介した。ここで開発・改良された海洋データ同化システムは、気象庁での熱帯太平洋海面水温（エルニーニョ）予測と日本付近の海況予測に平成20年から用いられる。また、ここで述べたような解析は、今後気象庁での観測・モデル・同化を合わせた解析を行う業務に反映される予定である。

※本研究は、経常研究「海洋データ同化システムの高精度化と海洋現象の季節から経年変動の解析」として行われた。主任研究者：蒲地政文、研究分担者：中野俊也、藤井陽介、碓氷典久、松本聡（海洋研究部）、倉賀野連、石崎士郎、坂元賢治、熊谷正光（気象庁地球環境・海洋部）、大山準一（函館海洋気象台）