
特集「新海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM) の業務への活用について」

日本近海における MOVE/MRI.COM-WNP の検証*

榎田 貴郁 **・菅野 能明 **・今泉 孝男 **・石崎 士郎 **
・木村 未夏 **・大森 正雄 **・吉岡 典哉 **・服部 宏之 **
・齋藤 幸太郎 ***・倉賀野 連 ****

要 旨

気象庁では、平成 19 年度末より、新海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM) の運用を開始した。新海洋データ同化システムの北西太平洋版 (MOVE/MRI.COM-WNP) が従来の海洋データ同化システム (COMPASS-K) からどの程度改善したのかを、2002 年～2007 年の現場観測データ (気象庁の定線観測データ) を使用して、日本近海について概観した。

表層の水温、塩分、流速の変動 (標準偏差) は観測と比肩しうるほどに増大し、その空間構造も観測と類似するようになった。また、日本近海のほぼ全域で、表層塩分について観測との相関が改善された。さらには、トカラ海峡、四国沖、東海沖での海流 (黒潮) についても、観測との相関が改善された。一方、房総沖の黒潮には、明確な改善が認められなかった。北海道南方では、従来見られていた親潮域の高温・高塩バイアスが大幅に解消されていたが、反面、津軽暖流域の低温・低塩バイアスは改善されていなかった。

MOVE/MRI.COM では、新たに海面高度の直接表現・直接同化が導入されており、その精度の検証を 1993 年～2006 年の衛星海面高度計データを使用して実施した。MOVE/MRI.COM-WNP と海面高度計の変動 (標準偏差) は同程度で、もともと変動が小さい海域を除けば、MOVE/MRI.COM-WNP と海面高度計の相関は 0.6 以上であった。

* Verification of oceanographic features around Japan produced by MOVE/MRI.COM-WNP

** Takafumi Umeda, Yoshiaki Kanno, Takao Imaizumi, Shiro Ishizaki, Mika Kimura, Masao Oomori, Noriya Yoshioka, Hiroyuki Hattori
Office of Marine Prediction, Global Environment and Marine Department (地球環境・海洋部海洋気象情報室)

*** Koutarou Saitou
Meteorological Satellite Center (気象衛星センター)

**** Tsurane Kuragano
Climate Prediction Division, Global Environment and Marine Department (地球環境・海洋部気候情報課)

1. はじめに

気象庁では、2001年1月から、海況監視業務において中高緯度海洋データ同化システムを運用してきた。このデータ同化システムは、海況を力学的に記述する海洋大循環モデルを利用して、海洋の現場観測データと衛星観測データを総合的に解析するため、「海洋総合解析システム」(COMPASS-K)と名付けられた。COMPASS-Kの水平解像度は、日本近海では0.25度(東西、南北とも)で、それまで困難であった黒潮等の海流の詳細な解析をある程度可能にした。一方、海面高度は海洋大循環モデルにおいて直接表現されておらず、かわりにrigid-lid近似¹が用いられていた(蒲地ほか, 1998)。また、衛星観測の海面高度データの同化については、海面高度データを客観解析により格子化し、それを統計的回帰式で表層水温・塩分に鉛直投影して、その表層水温・塩分をデータ同化に用いる方法をとっていた(倉賀野ほか, 2001)。

杉本ほか(2003)は、COMPASS-Kの結果²を、気象庁の海洋気象観測船が2001年に実施した水温・塩分・流速等の観測結果と比較した。中規模渦より大きいスケールではCOMPASS-Kの結果と観測結果はおおむね一致していた。反面、中規模渦及びフロント等のスケールで見ると、水温・塩分・流速の分布の傾向はとらえられているが、定量的には一致していないことが明らかになった。

こうした課題をふまえ、気象庁は平成19年度末に新海洋データ同化システム(MOVE/MRI.COM)を導入した。その北西太平洋版(MOVE/MRI.COM-WNP)の水平解像度は日本近海では0.1度(東西、南北とも)で、黒潮の動向の詳細な表現はもとより、中規模渦も十分に表現可能な解像度となり、それらのシャープな空間分布や、速い流速が表現できるようになった。また、海面高度を海洋大循環モデルで直接表現しており、変分法によって海面高度データを表層水温・塩分データと一括して同化している。さらには表層水温・

塩分の結合鉛直 EOF モードの振幅を変分法の制御変数とすることで、水温観測の情報を塩分解析にも反映させることができるようになる等、様々な改良がなされている(石崎ほか, 2009)。

MOVE/MRI.COM-WNPを海況監視業務に十分活用するには、その性能評価を実施することが不可欠である。統計的に精度を検証するには、特定の海域で繰り返し観測しているデータが有効である。気象庁では、5隻の海洋気象観測船で、毎年、日本周辺の10程度の測線を、年4回程度観測してきている。本稿では、これらの観測結果(水温、塩分、海流)を真値とし、COMPASS-K、MOVE/MRI.COM-WNPの精度検証を行う。COMPASS-K、MOVE/MRI.COM-WNPの結果がともに保存されている期間(2002年~2007年)について、MOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kよりどの程度改善されたかを中心に概観する。なお、サンプル数の制約から季節ごとに分けた評価は行っていない。

MOVE/MRI.COM-WNPで新たに導入された海面高度は、日本の沿岸及び近海の海面水位変動の実況監視、要因分析に役立つことが期待される。MOVE/MRI.COM-WNPの海面高度についても、1993年~2006年の衛星海面高度計データで、精度検証する。

なお、水温、塩分、衛星海面高度データは、海洋データ同化の入力でもあるため、独立な検証データではないが、海洋データ同化に使用されていない海流データは、独立な検証データであることに留意されたい。

2. データと解析方法

2.1 COMPASS-Kのデータ

COMPASS-Kの計算領域は119°E-109°W, 12.5°N-55.5°Nで、水平分解能は日本近海で0.25度(東西、南北とも)であり、鉛直方向には4550m深までに21層を有している。同化期間は5日である。計算結果は2002年以降について保存されている。

¹ 海面にふたをして海面の昇降を許さず、海面の圧力はふたを押す圧力として診断的にもとめる方法。

² 2001年時点では、モデルに与える強制力として気候値(月平均)の風応力(Hellerman and Rosenstein, 1983)が用いられていた。

水温, 塩分の現場観測データとして, 気象庁海洋気象情報室が全球通信システム (GTS) を通じて収集したデータ, 及び国内関係機関から電子メール, 郵送などの手段により入手したデータを用いている。また, 全球日別海面水温解析 (栗原, 2000; 栗原ほか, 2006) も使用している。海面高度データには, TOPEX/Poseidon, Jason-1 の海面高度計データを客観解析したものを使用している。

数値海洋モデルを駆動するための強制力 (大気データ) として, 気象庁数値予報課が日々の天気予報のために現業的に実施している全球大気客観解析のデータ (GANAL) を用いている。

COMPASS-K のシステムの概要については, 蒲地ほか (1998), 杉本ほか (2003) を参照されたい。なお, 塩分の現場観測データを COMPASS-K で使用し始めたのは 2004 年であるが (杉本ほか, 2005), 本稿で紹介する 2002 年~2007 年の統計は 2004 年~2007 年の統計と大きな差がなかった。2004 年以降では, 例えば東経 137 度線の黒潮流軸付近での水温フロントと塩分フロントの位置が整合 (一致) するようになるなど, 塩分の COMPASS-K と観測との相関が改善したが, それ以外は明確に改善したといえるところはなかった。このため, 本稿では期間を分けずに評価する。

2.2 MOVE/MRI.COM-WNP のデータ (長期再解析の結果)

MOVE/MRI.COM-WNP の計算領域は 117° E- 160° W, 15° N- 65° N で, 水平分解能は日本近海で 0.1 度 (東西, 南北とも) であり, 鉛直方向には 6000m 深までに 54 層を有している。同化期間は 5 日である。計算は 1985 年~2007 年の 23 年間について行った。

水温, 塩分の現場観測データとして, COMPASS-K で使っていたデータに加えて,

World Ocean Database 2001 (WOD01: Conkright *et al.*, 2002) や Global Temperature Salinity Profile Program (GTSP) から得られるデータを用いている³。さらに全球日別海面水温解析 (栗原ほか, 2006) も使用している。また, 海面高度データには, COMPASS-K で使っていた TOPEX/Poseidon, Jason-1 に加え, ERS-1/2 及び ENVISAT 衛星搭載の海面高度計による軌道直下データを使用している。

なお, 数値海洋モデルを駆動するための強制力として長期大気再解析及び気候データ同化システムのデータ (JRA-25/JCDAS; Onogi *et al.*, 2007) を用いている。

MOVE/MRI.COM のシステムの概要については, 石崎ほか (2009) を参照されたい。

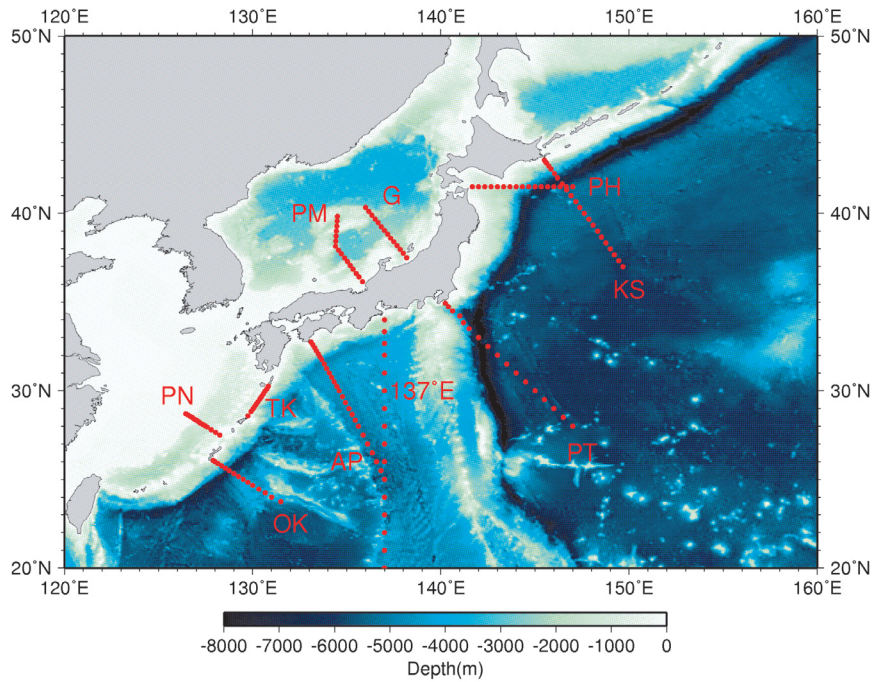
2.3 現場観測データ

現場観測データとしては, 気象庁の観測船が実施した定線観測 (第 1 図) の結果を用いた。水温, 塩分は, 5 隻の観測船によって電気伝導度水温水深計 (CTD) で観測されたものを使用している。水温, 塩分データは, e-folding スケールが 10dbar のガウシアンフィルターで鉛直方向に平滑化している。流速データについては, 凌風丸, 啓風丸の 2 隻に搭載されている RD Instruments 社製の表層海流計 (ADCP) のデータ⁴ を CODAS 処理⁵ (Firing *et al.*, 1995) して, 水平方向には緯度 0.1 度ごとに平均し, 鉛直方向には 30m 深から 10m ごとに内挿処理したものを使用している。それぞれの観測項目, 定線の観測回数を第 1 表に示す。定線 (ただし, 東経 137 度線は北緯 20 度以北のみ) の観測に要した日数は, 1 日~5 日前後である。一部測点しか観測が行われなかった航海や, 途中寄港などによって 10 日以上かかった航海の観測データは, 今回の検証から除外した。

³ 日本近海の現場観測データは, GTS, 電子メール, 郵送で国内機関から集めたものがほとんどで, COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP とも, これらが十分集まった時点での解析結果である。日本近海については, 現場観測データの差異の解析へのインパクトは小さいとみてよい。

⁴ 凌風丸は第 1 層 29m 深, 層厚 16m, 啓風丸は第 1 層 27m 深, 層厚 12m 深で, ともに最大 64 層観測している。平均時間は 5 分。船舶との相対的な速度と, 船位情報が得られる。

⁵ ここで, 船舶からの相対的な速度と船速から, 地球座標系に対する流速を算出させている。



第1図 調査に使用した観測定線

赤丸はCTD測点を示す。観測定線の略号は、それぞれ、PN：沖永良部島北西線，TK：トカラ海峡線，OK：沖縄南東線，AP：足摺沖線，137E：東経137度線，PT：房総沖線，PM：越前岬沖線，G：佐渡沖線，KS：釧路南東線，PH：北緯41度30分線を示す。

第1表 観測定線 (Line)，観測項目 (Obs.) ごとの観測回数 (2002～2007年)

冬季 (Winter, 12～2月)，春季 (Spring, 3～5月)，夏季 (Summer, 6～8月)，秋季 (Autumn, 9～11月) ごとに集計。一部測点しか観測が行われなかった航海，途中寄港などで10日以上かかった航海は除外。

Line	Obs.	Winter	Spring	Summer	Autumn	Total
PN	CTD	6	6	6	6	24
TK	CTD	6	6	6	6	24
OK	CTD	5	7	6	4	22
AP	CTD	5	6	6	5	22
137E	CTD	6	6	6	6	24
PT	CTD	4	6	6	5	21
PM	CTD	4	6	6	6	22
G	CTD	4	6	6	6	22
KS	CTD	2	4	5	4	15
PH	CTD	6	6	6	6	24
TK	ADCP	0	4	1	3	8
AP	ADCP	4	1	2	4	11
137E	ADCP	4	6	5	5	20
PT	ADCP	3	3	5	4	15

2.4 COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP と 現 場 観 測 の 比 較 方 法

COMPASS-K の結果は水温, 塩分, 流速の日別のデータが保存されており, これを利用した. MOVE/MRI.COM-WNP の結果は, 半旬ごとのものを利用した. MOVE/MRI.COM-WNP が高解像度であり, 日別の全層データは容量が膨大になるため保存されていない.

COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP と 現 場 観 測 データの比較においては, COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP とともに, 定線観測実施期間のほぼ中間の日付のデータを定線観測との比較に使用した⁶. CTD データは, 水平方向には離散的, 鉛直方向には連続的であるため, 水平方向には COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP の結果を観測地点に内挿し, 鉛直方向には CTD データを COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP の格子 (モデル層) に内挿した. ADCP データは水平方向, 鉛直方向とも連続的であるため, いずれの方向にも ADCP データを COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP の格子に内挿した.

2002-2007 年における各定線での現場観測データとそれに対応する COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP のデータについて, それぞれ平均と標準偏差を算出するとともに, COMPASS-K, MOVE/MRI.COM-WNP については, 観測データからのバイアス (bias), 根二乗平均誤差 (RMSE) と相関係数 (CC) を算出した. 本稿では海況業務と関連する変動の大きな表層に着目し, 海面から 600m 深までの断面を示すことにする.

新海洋データ同化システムが, 現実の黒潮, 中規模渦を表現しうるほどに高解像度になったことから, 今回は, 観測地点若しくは格子ごとに比較する方法をとることにした.

2.5 MOVE/MRI.COM-WNP と 衛 星 観 測 の 比 較 方 法

MOVE/MRI.COM-WNP の海面高度は日別のものを利用した. 衛星観測データとしては 1993 年～2006 年の TOPEX/Poseidon, Jason-1 の海面高⁶ 同化結果どうしに最大 2 日間の差が生じるが, 同化の解析期間 (= 5 日) より短く無視しうる差である. 一方, 同化結果と現場観測との間には数日間の差が生じうるが, どちらの同化結果に対しても若干評価を低くする可能性はある.

度計の軌道直下データを使用した. MOVE/MRI.COM-WNP のデータを衛星軌道上に内挿した. MOVE/MRI.COM-WNP, 衛星観測それぞれの海面高度の 1993 年～2006 年の標準偏差を算出するとともに, MOVE/MRI.COM-WNP の観測からのバイアス, 根二乗平均誤差, 観測との相関係数を算出した.

3. 結果

3.1 MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の検証 (現場観測データとの比較)

3.1.1 九州・沖縄海域

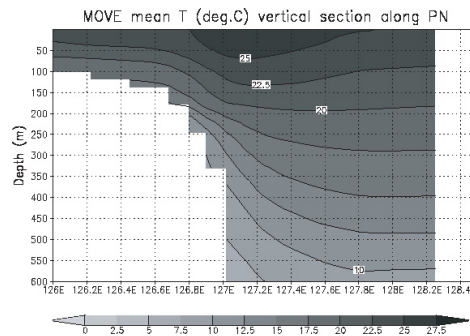
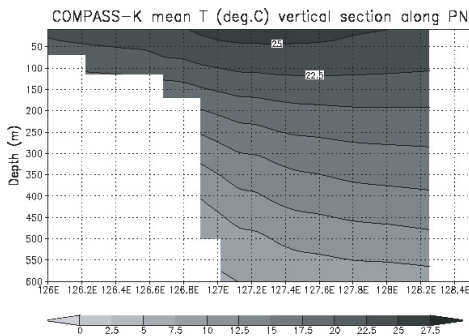
第 2 図に, 沖永良部島北西線 (PN 線) の 2002 年～2007 年に観測した水温の平均, 及び対応する MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の結果を示す. 東経 126.5 度～127 度の大陸棚斜面において等温線の傾きが急になっているところが黒潮流軸であるが, MOVE/MRI.COM-WNP ではフロント構造 (大陸棚斜面部でのはい上がり構造) が明りょうに再現されている. COMPASS-K では, 杉本ほか (2003) も指摘していたとおり, フロント構造が十分に表現されていない. 第 3 図に, 水温の観測からのバイアスを示す. COMPASS-K ではフロント構造が再現できていないことに伴い, 大陸棚斜面で正のバイアス, その沖側で負のバイアスが顕著だが, MOVE/MRI.COM-WNP では大幅に改善されている. 第 4 図に, 水温の標準偏差を示す. 観測では, 大陸棚斜面に, 黒潮流軸の変動に対応する変動の極大が見られる. この極大は COMPASS-K では全く見られなかったが, MOVE/MRI.COM-WNP ではやや弱めではあるが表現されるようになった.

黒潮は東シナ海を北東進したあと, トカラ海峡を東に流れ太平洋に出る. 第 5 図にトカラ海峡線 (TK 線) で観測した流速の東西成分の平均及び対応する MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の結果を示す. 観測では, Nakano *et al.* (1994) や Feng *et al.* (2000) が指摘しているように, トカラ海峡北部 (北緯 29.9 度付近) と海峡南部

(北緯 29.2 度付近) に流速の極大域が見られる。MOVE/MRI.COM-WNP にもこの特徴が見られているが、やや北部、南部に通過が限定され過ぎている。一方、COMPASS-K では、南部の流れは識別できない。第 6 図に、MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の流速の東西成分の観測との相関係数を示す。MOVE/MRI.COM-WNP は、前述したトカラ海峡北部、南部で観測との相関が高い。COMPASS-K は北部でも相関がさほど無い。このことから、MOVE/MRI.COM-WNP では、COMPASS-K で見ることができなかったトカラ海峡の黒潮の流速や流路の変動がかなりよく再現されているといえる。この要因の一つとして、

MOVE/MRI.COM-WNP では海底地形の表現が COMPASS-K より改善されていることが挙げられる。

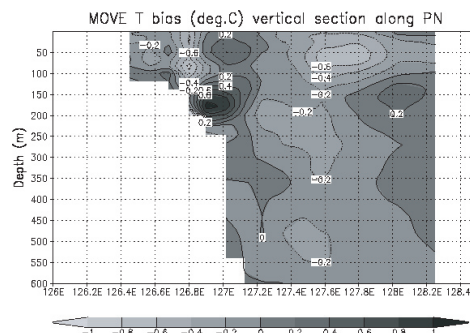
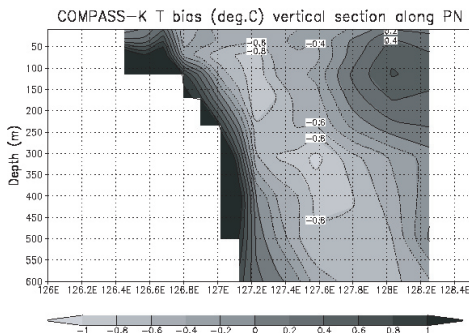
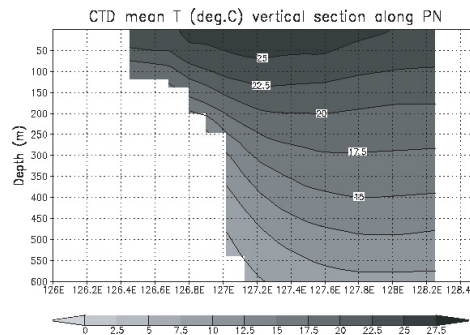
第 7 図に、沖縄南東線 (OK 線) の塩分の標準偏差を示す。観測では、東経 129.3 度の 500m 深付近に変動の極大が見られる。MOVE/MRI.COM-WNP ではやや弱めだがこの極大が表現されている (図には示さないが水温にも同様のことがいえる)。沖縄の南東では、亜表層に北東に流れる琉球海流系とその沖側の反流が指摘されており (Nagano *et al.*, 2007), 沖縄の南東の 500m 深付近の水温、塩分変動は、これらの海流の存在と関連している可能性がある。



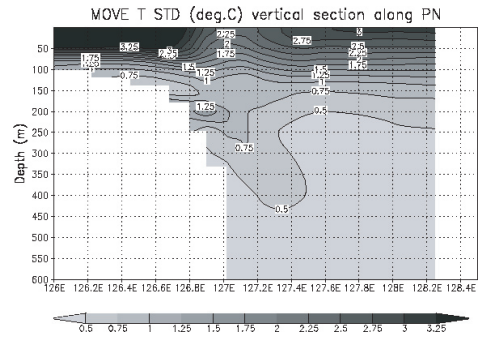
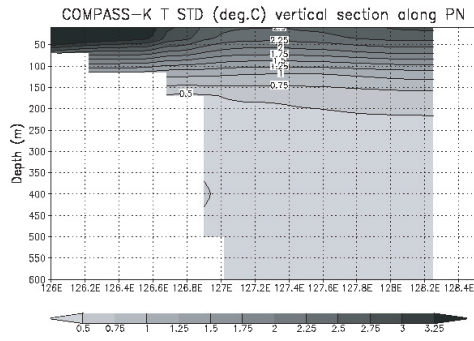
第 2 図 沖永良部島北西線 (PN 線) における平均水温断面図

統計は 2002 年～2007 年の観測した時期について。

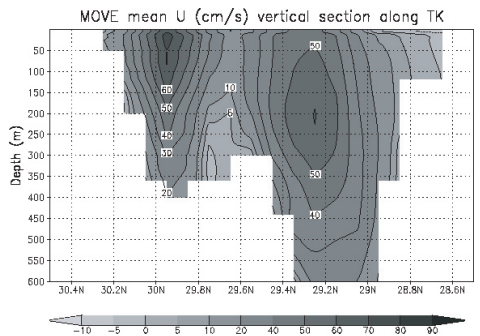
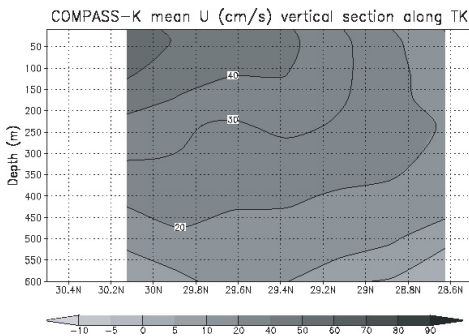
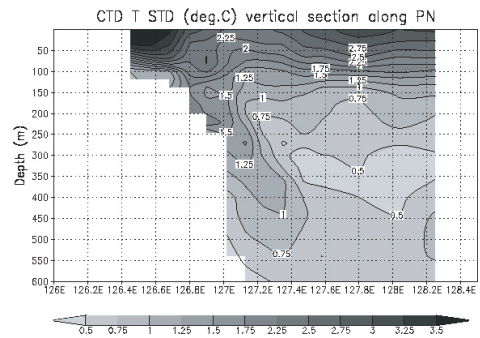
COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上), 観測 (右下). 単位: °C.



第 3 図 第 2 図と同じ。ただし、水温の観測からのバイアス。COMPASS-K (左), MOVE/MRI.COM-WNP (右). 単位: °C.



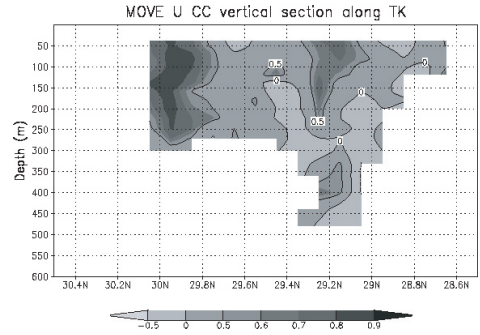
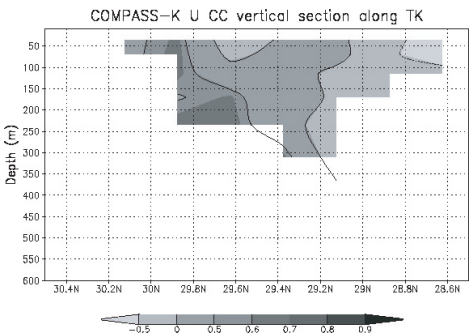
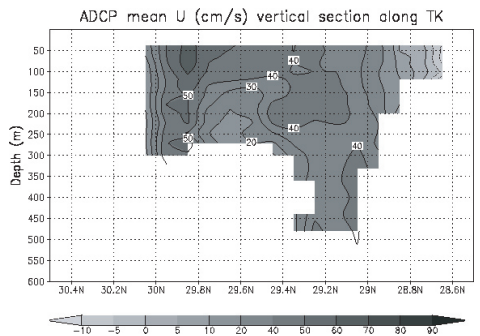
第4図 第2図と同じ。ただし、水温の標準偏差。
COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
観測 (右下)。単位: °C。



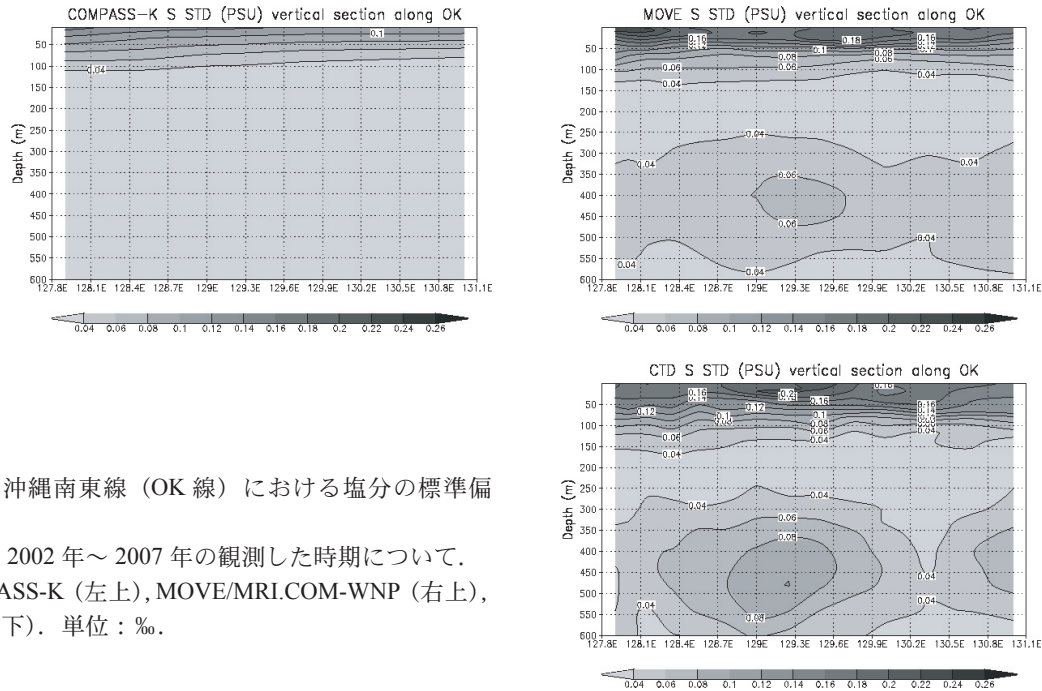
第5図 トカラ海峡線 (TK 線) における平均東西流速断面図 (東向きを正)

統計は 2002 年～ 2007 年の観測した時期について。

COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
観測 (右下)。単位: cm/s。



第6図 第5図と同じ。ただし、東西流速の観測との相関係数。
COMPASS-K (左), MOVE/MRI.COM-WNP (右)。



第7図 沖縄南東線 (OK 線) における塩分の標準偏差
 統計は 2002 年～2007 年の観測した時期について。
 COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
 観測 (右下). 単位: %.

3.1.2 日本南方海域

トカラ海峡を通過して太平洋に出た黒潮は、九州南東から四国の南岸を東に流れる。しばしば九州南東で小蛇行等が発生し東進するため、四国の南岸では離岸・接岸を繰り返す。また、北緯 30 度付近は中規模渦が西進してくる場所であり、そのあつこの中規模渦が黒潮と相互作用し、小蛇行等の発生につながる可能性があることが知られている (Ebuchi and Hanawa, 2003)。第 8 図に足摺沖線 (AP 線) で観測した流速の東西成分の平均、及び対応する MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の結果を示す。北緯 31 度以北では黒潮の東向きの流れが現れており、それ以南では西向きの流れになっている。第 9 図に流速の東西成分の標準偏差を示す。観測では北緯 31.5 度以北で変動が大きくなっており、MOVE/MRI.COM-WNP でもその特徴が現れている。一方、COMPASS-K はかなり小さい。第 10 図に、流速の観測との相関係数を示す。東西成分を見ると、北緯 31 度以北では、MOVE/MRI.COM-WNP のほうが COMPASS-K より相関が高い。一方、北緯 30 度～31 度では MOVE/MRI.COM-WNP の東西成分の相関はよくないが、南北成分の相関は

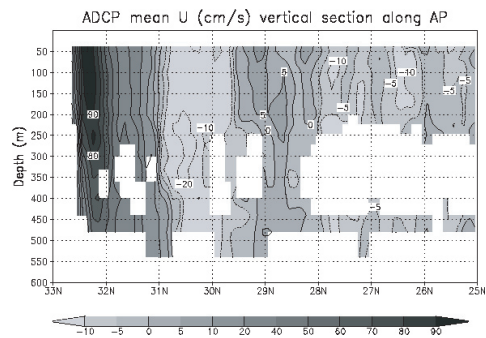
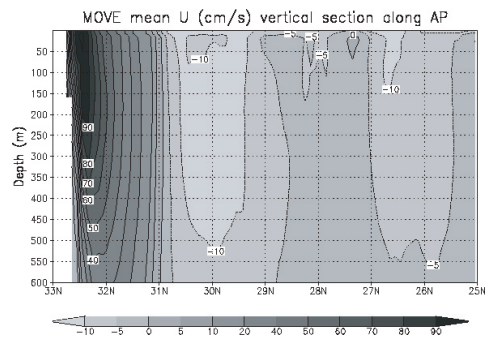
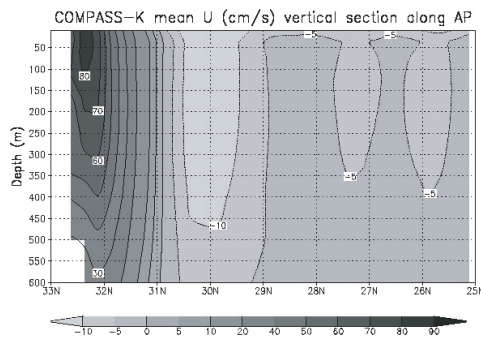
高い。第 11 図に北緯 31 度以北の代表点と北緯 30 度～31 度の代表点における表層流速の東西成分、南北成分の散布図を示す。北緯 31 度以北では東北東への流れが強まったり弱まったりしており、北緯 30 度～31 度では東西方向だけではなく南北方向にも変動する流れがあることが分かる。MOVE/MRI.COM-WNP では COMPASS-K よりこれらの変動がよく表されており (北緯 30 度～31 度については、東西成分、南北成分の標準偏差は、北緯 30.625 度での MOVE/MRI.COM が 17cm/s, 21cm/s, 観測が 21cm/s, 21cm/s。一方、北緯 30.550 度での COMPASS-K が 16cm/s, 10cm/s, 観測が 20cm/s, 21cm/s。), 四国の南岸における黒潮の離岸・接岸や、北緯 30 度付近の中規模渦がよく表現されていることを示唆する。Usui *et al.* (2008) は、MOVE/MRI.COM-WNP やその予報モデルを用い、北緯 30 度付近を西進してきた冷水渦や東シナ海からのじょう乱が 2003 年 12 月の九州南東での黒潮の小蛇行につながり、2004 年の黒潮大蛇行のきっかけとなったことを示唆した。MOVE/MRI.COM-WNP では、Ebuchi and Hanawa (2003) が指摘した、中規模渦の西進から小蛇行等の発生につながる過程が表現でき

ているとみられる。なお、大崎ほか (2009) は、MOVE/MRI.COM-WNP の九州の東から四国沖での黒潮流路変動を、宮崎県水産研究所「浮漁礁うみさちブイ」と高知県水産研究所「土佐黒潮牧場ブイ」の流れのデータで検証しており、そちらも参照されたい。

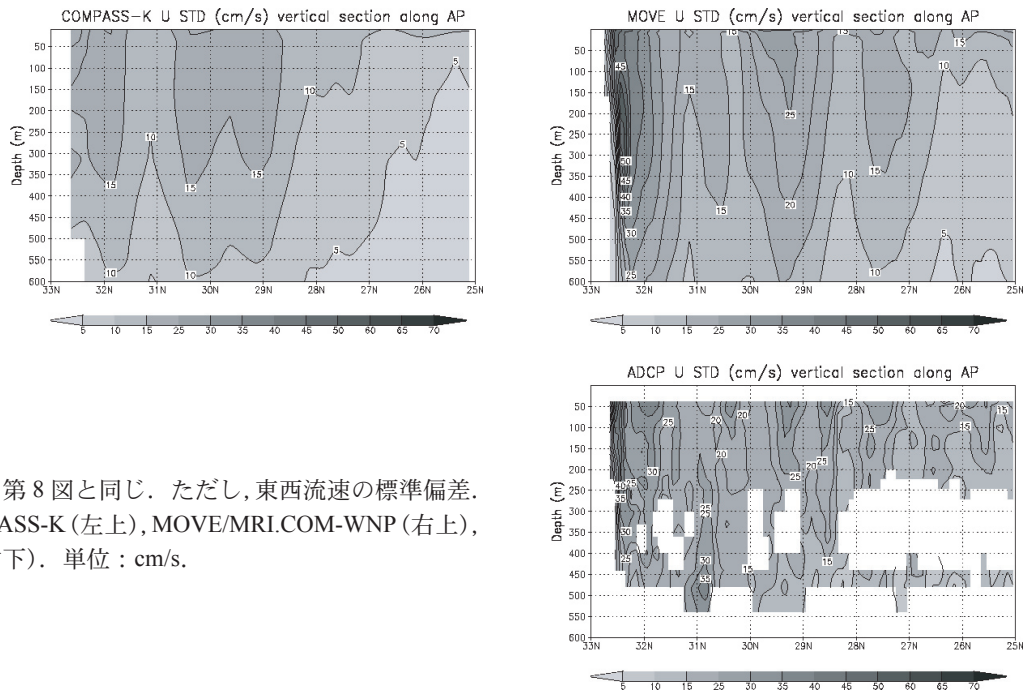
東海沖は、大蛇行流路と非大蛇行流路といった黒潮の流路変動が顕著に現れる海域である。2004年7月～2005年8月には、13年ぶりに黒潮大蛇行が発生した。第12図に東経137度線(137E線)で観測した流速の東西成分の標準偏差、及び対応するMOVE/MRI.COM-WNP、COMPASS-Kの結果を示す。観測には黒潮の非大蛇行流路に対応する北緯33度付近の変動の極大と黒潮大蛇行に対応する北緯31度付近の変動の極大が現れている。MOVE/MRI.COM-WNPでは分布のシャープさ・変動の大きさとも、観測に合致しているといえるが、COMPASS-Kの変動の大きさは不十分である。第13図に、流速の観測との相関係数を示す。東西成分、南北成分とも黒潮域も含め全般に、MOVE/MRI.COM-WNPはCOMPASS-Kより相関が高い。黒潮の変動のみならず南方の中規

模渦などの現象も、MOVE/MRI.COM-WNPではCOMPASS-Kより表現が改善されていることを示唆する。なお、大崎ほか (2009) は、MOVE/MRI.COM-WNPの伊豆諸島付近の黒潮流路変動を潮位観測データで検証しており、そちらも参照されたい。

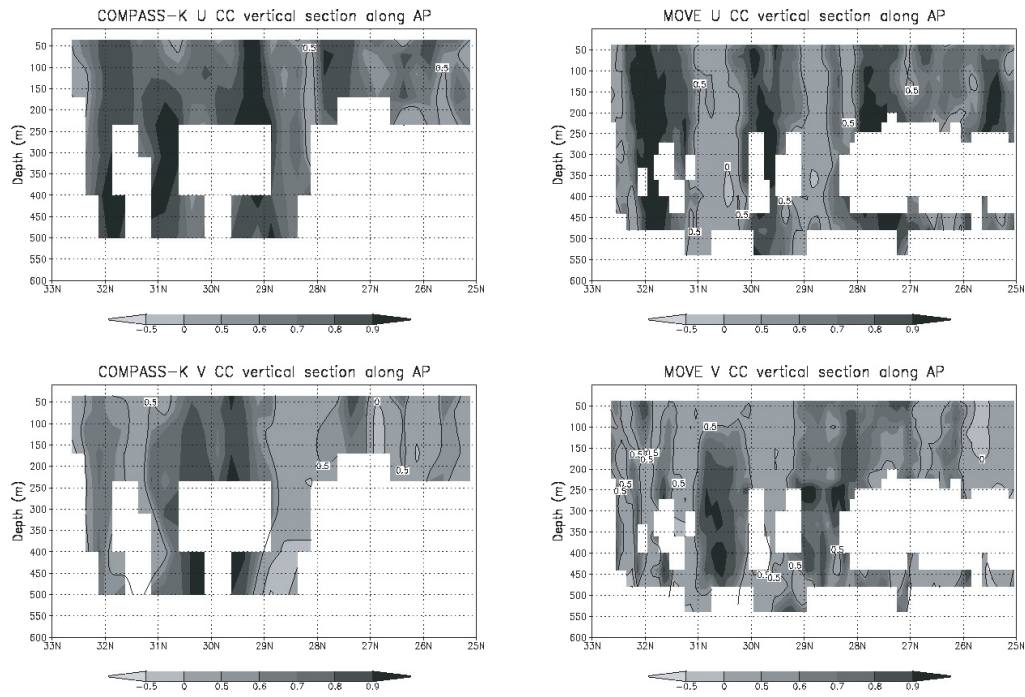
黒潮は、房総半島沖から本州を離れて東へ流れる。房総沖線(PT線)での流速の観測からの根二乗平均誤差を見ると(第14図)、北緯34度付近(黒潮が流れているところ)で、MOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kより誤差が顕著に大きくなっている。水温、塩分の観測との相関(第15図)を見ると、水温は北緯32度～33.5度でMOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kより悪く、それ以外の海域では同程度となっている。一方、塩分は北緯32度～33.5度を除けば全般にMOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kより改善している。このことは、塩分の解析手法においてMOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kより大幅に向上したことを示唆している。ただし、北緯32度～33.5度で水温、塩分の観測との相関が低い理由はよく分かっていない。



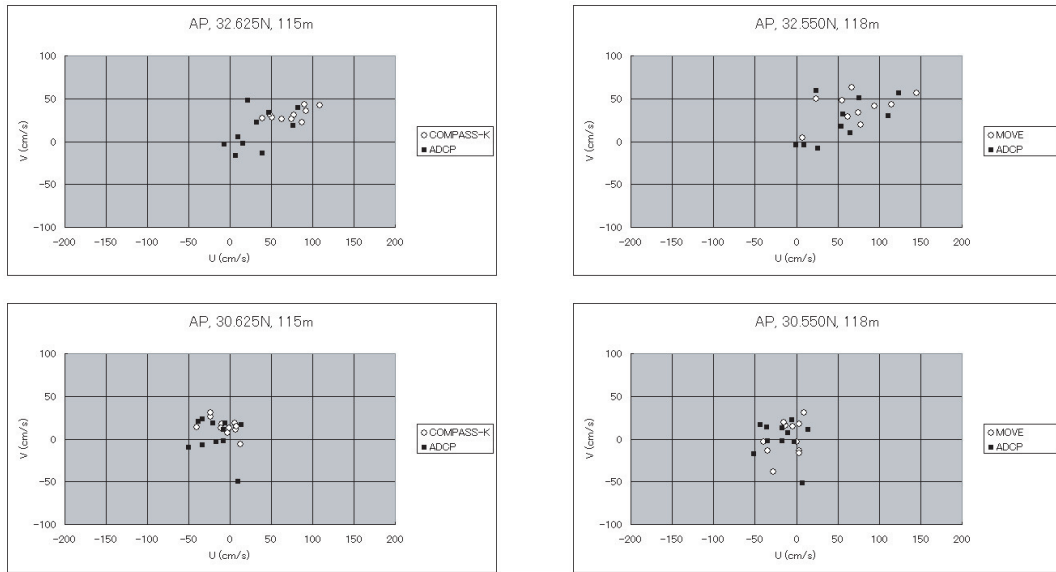
第 8 図 足摺沖線 (AP 線) における平均東西流速断面図 (東向きを正)
統計は 2002 年～2007 年の観測した時期について。
COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
観測 (右下)。単位 : cm/s.



第 9 図 第 8 図と同じ。ただし、東西流速の標準偏差。
COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
観測 (右下)。単位: cm/s.

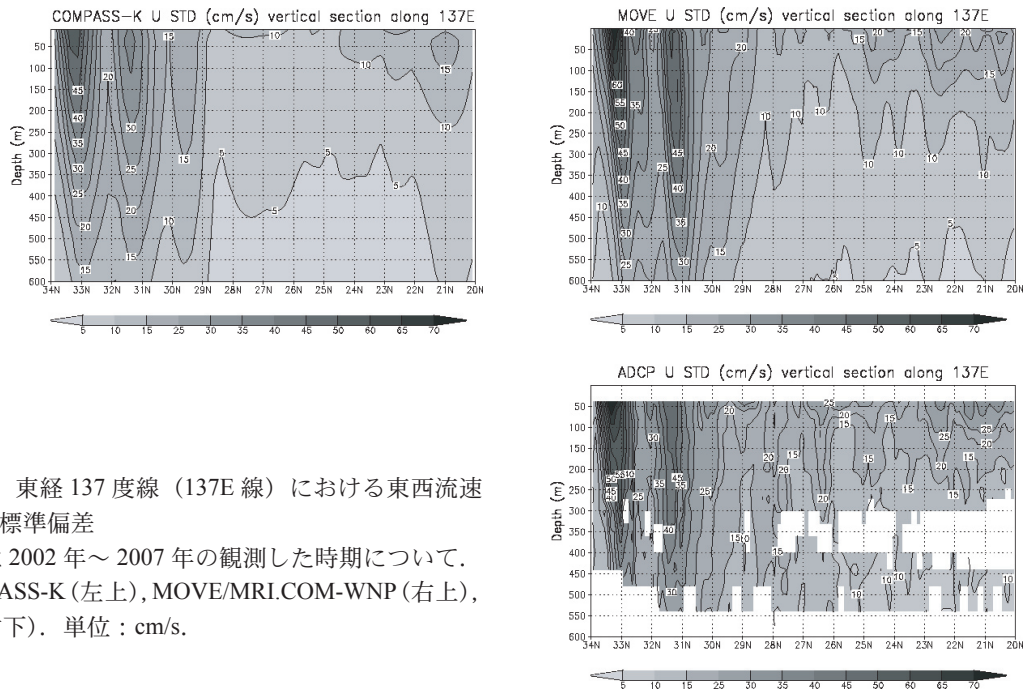


第 10 図 第 8 図と同じ。ただし、流速の観測との相関係数。
COMPASS-K の東西成分 (左上), MOVE/MRI.COM-WNP の東西成分 (右上).
COMPASS-K の南北成分 (左下), MOVE/MRI.COM-WNP の南北成分 (右下).



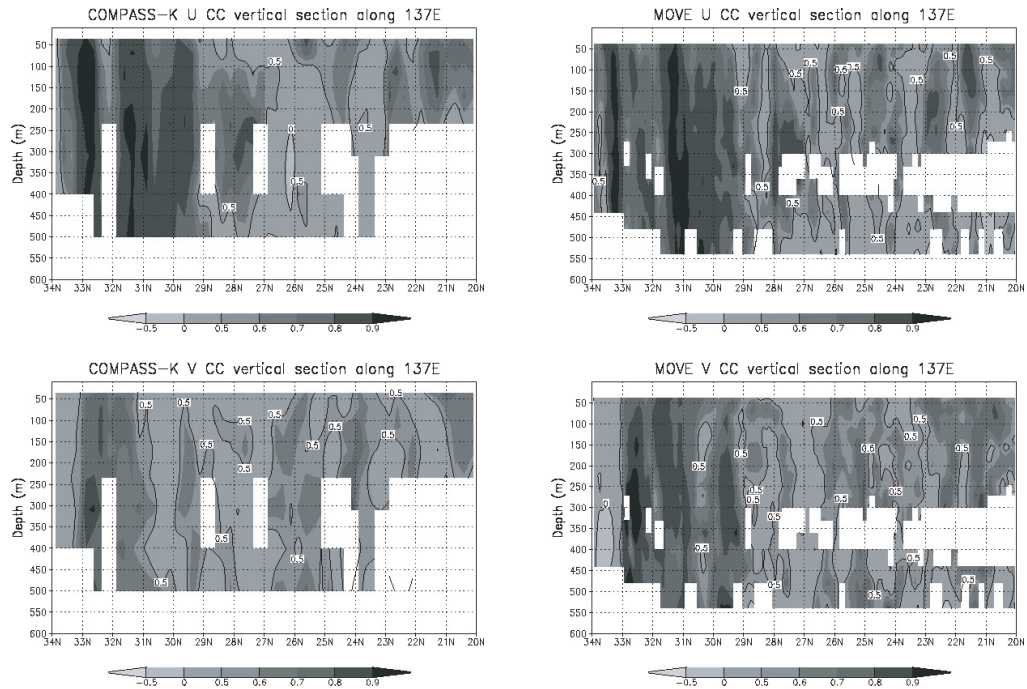
第11図 足摺沖線(AP線)の北緯31度以北の代表点と北緯30度～31度の代表点での表層流速の東西成分(U, 東向きを正), 南北成分(V, 北向きを正)の散布図

それぞれ北緯32.550度, 115m深のCOMPASS-KとADCP(左上), 北緯32.625度, 118m深のMOVE/MRI.COM-WNPとADCP(右上), 北緯30.625度, 115m深のCOMPASS-KとADCP(左下), 北緯30.550度, 118m深のMOVE/MRI.COM-WNPとADCP(右下).

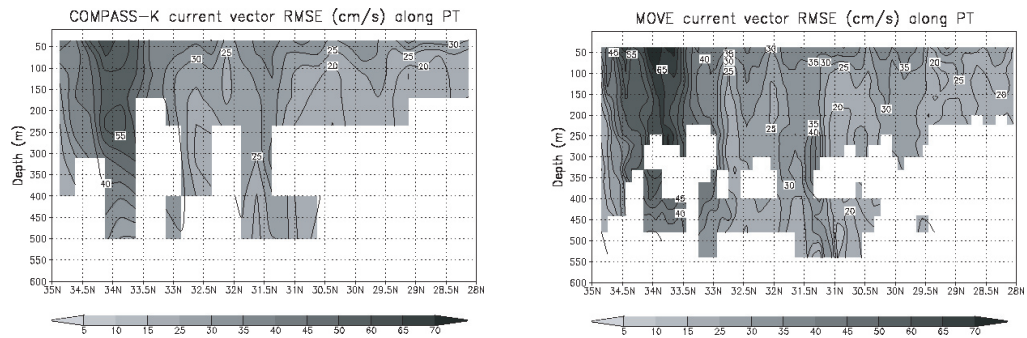


第12図 東経137度線(137E線)における東西流速の標準偏差

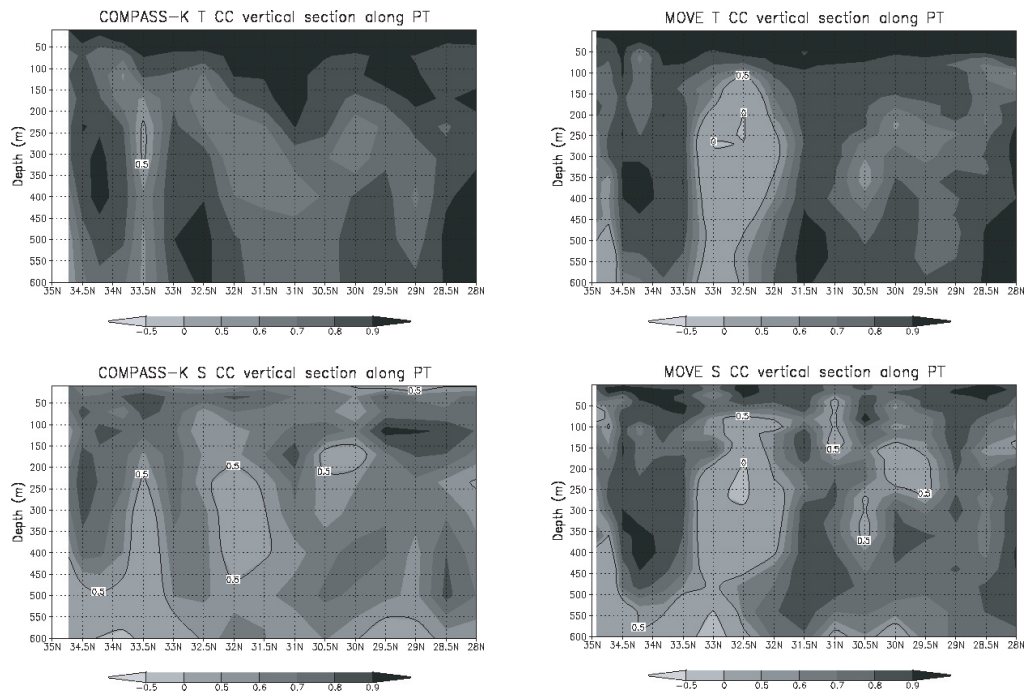
統計は2002年～2007年の観測した時期について, COMPASS-K(左上), MOVE/MRI.COM-WNP(右上), 観測(右下). 単位: cm/s.



第 13 図 第 12 図と同じ。ただし、流速の観測との相関係数。
 COMPASS-K の東西成分 (左上), MOVE/MRI.COM-WNP の東西成分 (右上)。
 COMPASS-K の南北成分 (左下), MOVE/MRI.COM-WNP の南北成分 (右下)。



第 14 図 房総沖線 (PT 線) における流速ベクトルの根二乗平均誤差
 統計は 2002 年～ 2007 年の観測した時期について。
 COMPASS-K (左), MOVE/MRI.COM-WNP (右)。単位 : cm/s。



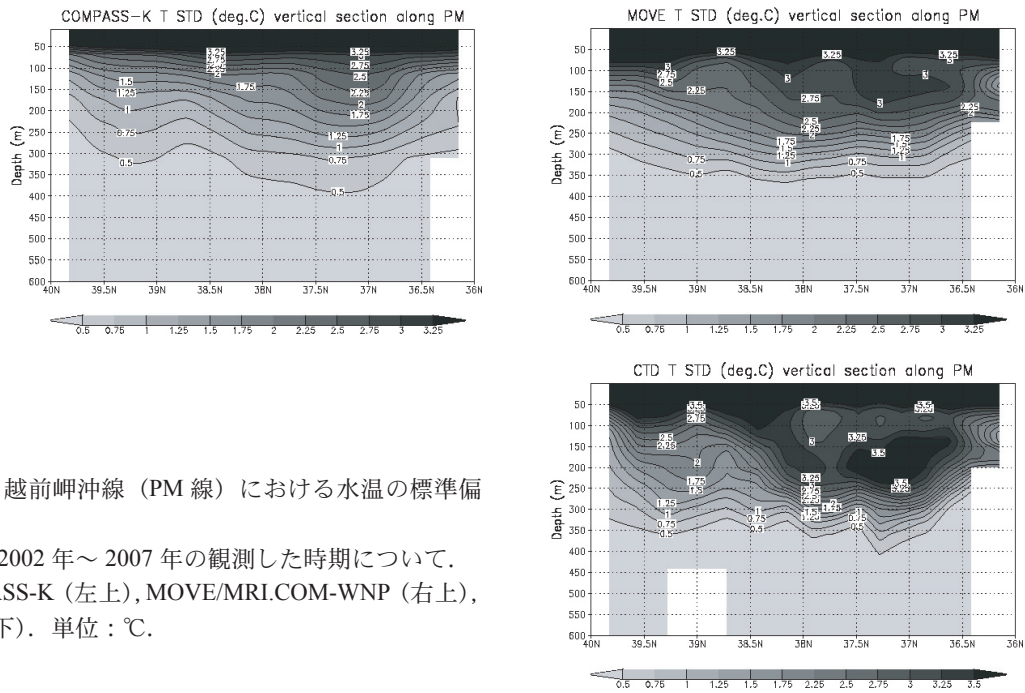
第15図 第14図と同じ。ただし、水温、塩分の観測との相関係数。
COMPASS-K の水温 (左上), MOVE/MRI.COM-WNP の水温 (右上)。
COMPASS-K の塩分 (左下), MOVE/MRI.COM-WNP の塩分 (右下)。

3.1.3 日本海

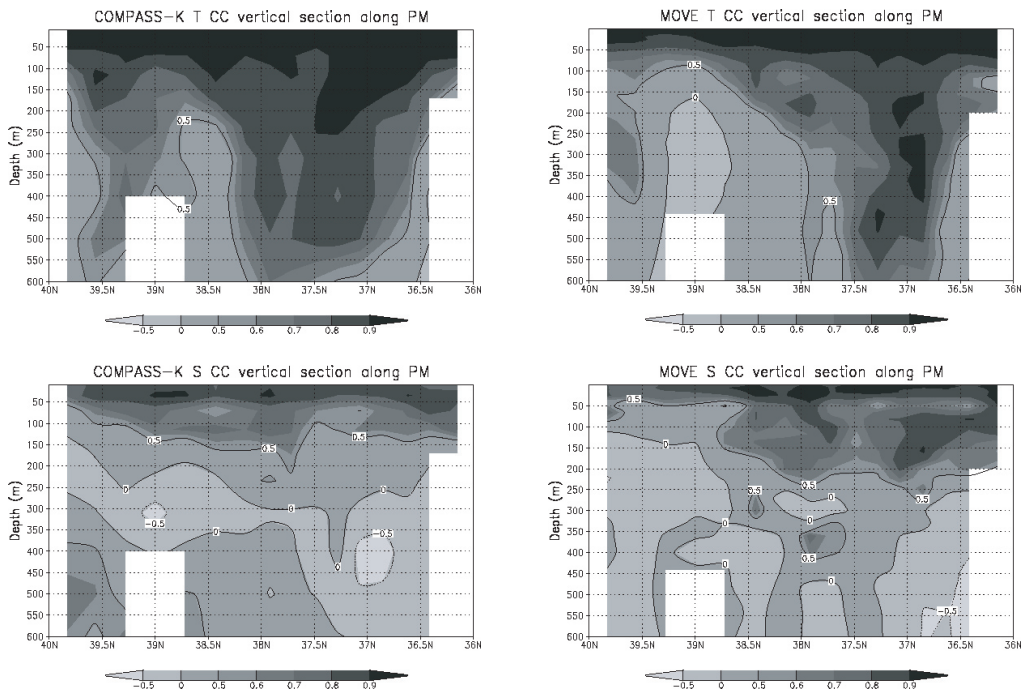
日本海南部では、対馬海峡より流入した高温・高塩分の海水が、対馬暖流として、水深約300m以浅を東へ流れている。対馬暖流は数多くの暖水渦を伴った流れであり、また表層の状態に影響を与える風や日射等の季節変動も大きいことから、日本海南部の表層は変動に富んでいる。第16図に、越前岬沖線 (PM線) で観測した水温の標準偏差及び対応するMOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-Kの結果を示す。MOVE/MRI.COM-WNPのほうがCOMPASS-Kより、表層の変動が大きくなって観測に類似していた。第17図に水温、塩分の観測との相関を示す。水温の観測との相関は、MOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kより低い。この理由についてはよく分かっていない。一方、塩分は、表層全般に、MOVE/MRI.COM-WNPはCOMPASS-Kより観測との相関が

改善しており、MOVE/MRI.COM-WNPの塩分解析手法の変更が効果的だったことがうかがえる。

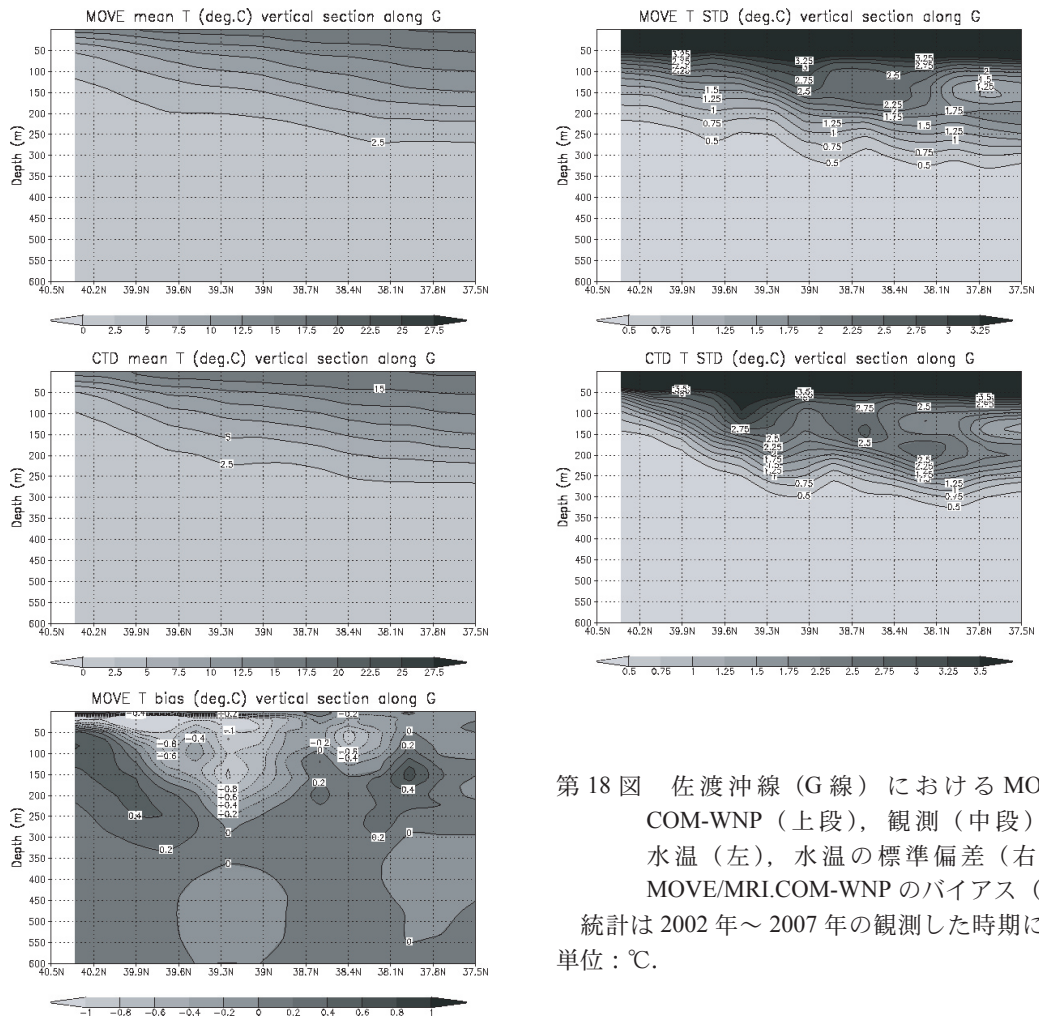
第18図に佐渡沖線 (G線) の観測とMOVE/MRI.COM-WNPの水温の平均、標準偏差を示す。平均水温を見ると、観測では北緯39.3度付近の表層で等温面がやや下に凸になっているのに対し、MOVE/MRI.COM-WNPはその傾向が弱い。そのため、MOVE/MRI.COM-WNPに低温バイアスが現れている。北緯39.3度付近は、観測では深くまで変動 (標準偏差) が大きくなっているが、MOVE/MRI.COM-WNPはそうになっていない。この海域は、暖水塊の出現頻度が高いことが知られているが (磯田・西原 (1992) の Fig.6 (b) のN海域の北端に相当)、MOVE/MRI.COM-WNPでは、この海域の暖水塊の規模若しくは出現頻度がやや不十分である可能性がある。



第16図 越前岬沖線 (PM線) における水温の標準偏差
 統計は2002年～2007年の観測した時期について。
 COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
 観測 (右下). 単位: °C.



第17図 第16図と同じ。ただし、水温、塩分の観測との相関係数。
 COMPASS-K の水温 (左上), MOVE/MRI.COM-WNP の水温 (右上)。
 COMPASS-K の塩分 (左下), MOVE/MRI.COM-WNP の塩分 (右下)。



第18図 佐渡沖線 (G線) における MOVE/MRI.COM-WNP (上段), 観測 (中段) の平均水温 (左), 水温の標準偏差 (右), 及び MOVE/MRI.COM-WNP のバイアス (下段)
統計は 2002 年～2007 年の観測した時期について。
単位: °C.

3.1.4 日本東方海域

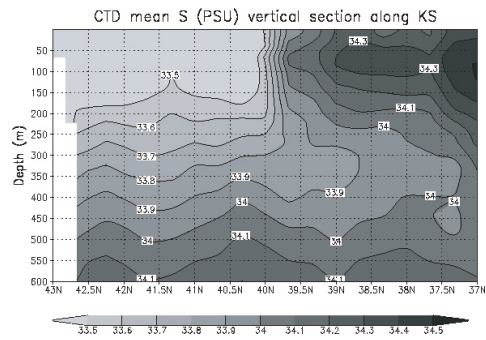
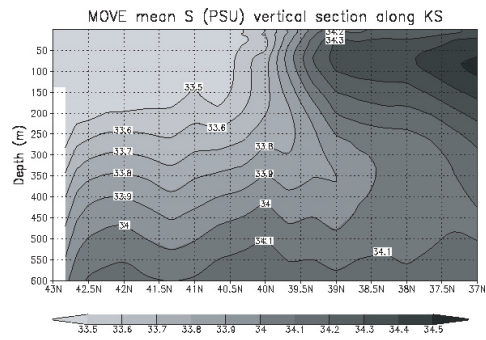
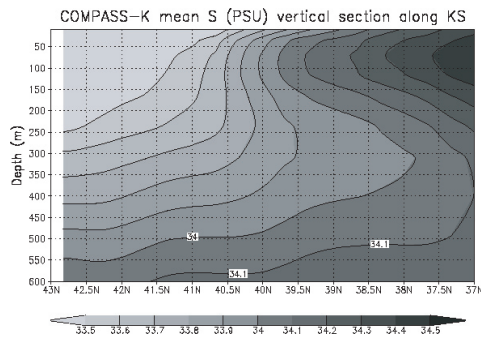
日本東方海域には、低温、低塩分の亜寒帯水である親潮が存在している。親潮及びそれから切り離された冷水は、黒潮続流から切り離されて北上する暖水塊や津軽暖流がもたらす暖水との境界に顕著なフロントを形成する。第19図に釧路南東線 (KS線) の観測した塩分の平均及び対応する MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の結果を示す。観測では、海面から 200m 深において、親潮系の低塩分水とその南方の高塩分水の間のフロント (亜寒帯前線) が北緯 40 度付近に見られている。MOVE/MRI.COM-WNP はややブロードであるがフロントが表現されており、位置もかな

り正確である。一方、COMPASS-K は、杉本ほか (2003) が東経 144 度線で指摘していたように、フロントがほとんど再現されていない。

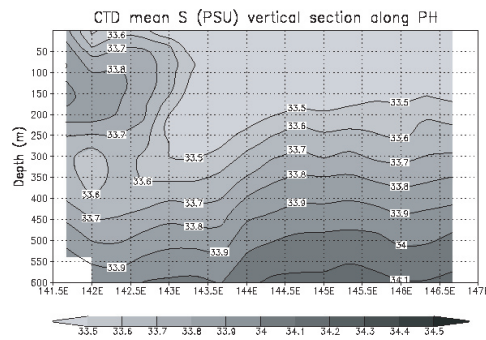
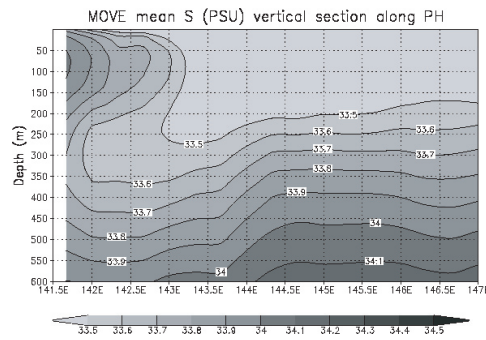
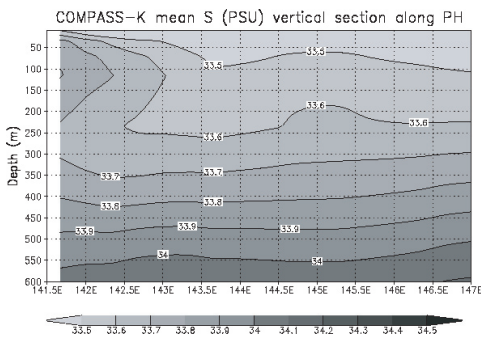
第20図に、北緯 41 度 30 分線 (PH線) の観測した塩分の平均及び対応する MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の結果を示す。観測では表層の 200 ~ 300m 以浅の東経 143.5 度付近以東に低塩分水が見られ、それ以西は高塩分水が見られており、前者が親潮域、後者が津軽暖流域に対応する。MOVE/MRI.COM-WNP では両者の間のフロントが明りょうであるが、COMPASS-K では不明りょうである。また、津軽暖流域の下層に親潮水が潜り込む様子も MOVE/MRI.COM-WNP では

よく表現されているが、COMPASS-K は不十分である。第 21 図に北緯 41 度 30 分線 (PH 線) での MOVE/MRI.COM-WNP, COMPASS-K の水温, 塩分のバイアスを示す。表層では, 東経 143.5 度以西の津軽暖流域で, MOVE/MRI.COM-WNP,

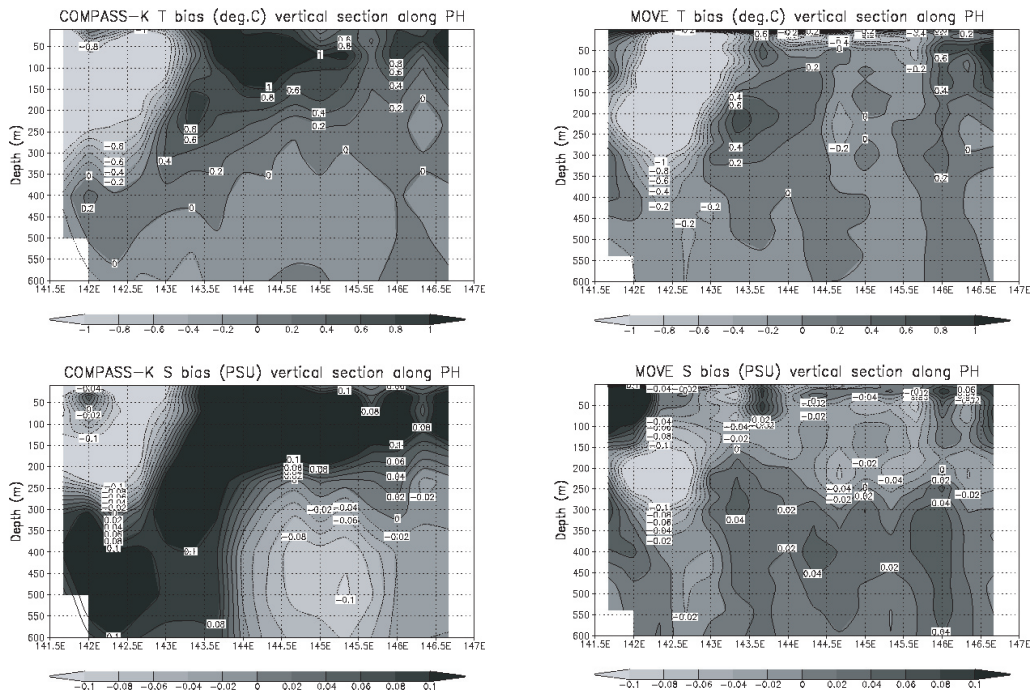
COMPASS-K とも, 低温, 低塩バイアスが見られている。一方, 東経 143.5 度以东の親潮域では, COMPASS-K に高温, 高塩バイアスが見られているが, MOVE/MRI.COM-WNP では改善されている。



第 19 図 釧路南東線 (KS 線) における平均塩分断面図
統計は 2002 年～2007 年の観測した時期について。
COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
観測 (右下)。単位: %。



第 20 図 北緯 41 度 30 分線 (PH 線) における平均塩分断面図
統計は 2002 年～2007 年の観測した時期について。
COMPASS-K (左上), MOVE/MRI.COM-WNP (右上),
観測 (右下)。単位: %。



第21図 第20図と同じ。ただし、水温、塩分の観測からのバイアス。

COMPASS-K の水温のバイアス (左上), MOVE/MRI.COM-WNP の水温のバイアス (右上). 単位: °C.
COMPASS-K の塩分のバイアス (左下), MOVE/MRI.COM-WNP の塩分のバイアス (右下). 単位: ‰.

3.1.5 日本近海全般

すべての図は示さなかったが、全般に、水温、塩分、流速の変動(標準偏差)はMOVE/MRI.COM-WNPのほうがCOMPASS-Kより大きく、観測に近かった。水温の観測との相関については、九州・沖縄海域、房総沖を除く日本南方海域で、MOVE/MRI.COM-WNPはCOMPASS-Kと同等かそれ以上であった。一方、房総沖、日本海、日本東方海域では、MOVE/MRI.COM-WNPはCOMPASS-Kより相関が低かったが、その理由はよく分かっていない。塩分の観測との相関は、日本近海のほぼ全域で、MOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kより高かった。このことは、塩分の解析手法においてMOVE/MRI.COM-WNPがCOMPASS-Kより大幅に向上したことを示唆している。

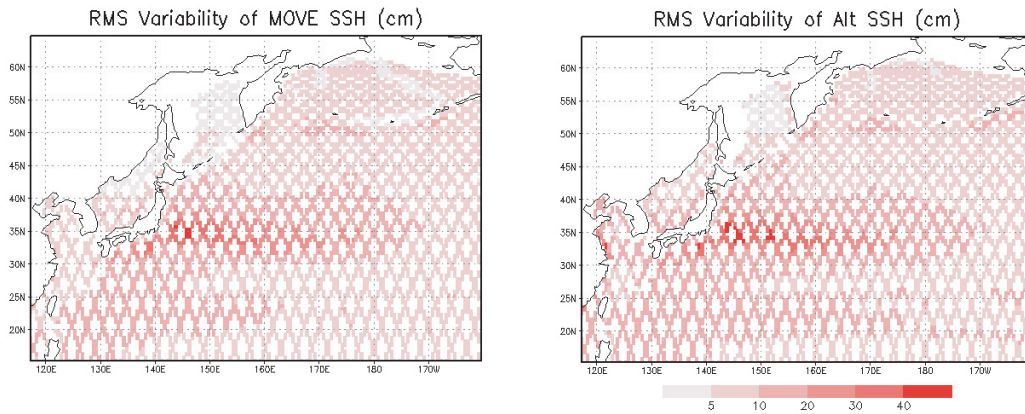
3.2 MOVE/MRI.COM-WNPの海面高度の検証(衛星データとの比較)

第22図に衛星観測、MOVE/MRI.COM-WNPの海面高度の変動(根二乗平均)を示す。両者の変動はほぼ同程度の大きさ⁷で、日本周辺ではほとんどの海域で10cm~20cm程度、東海沖、黒潮続流域では30cm~40cm程度となっていた。

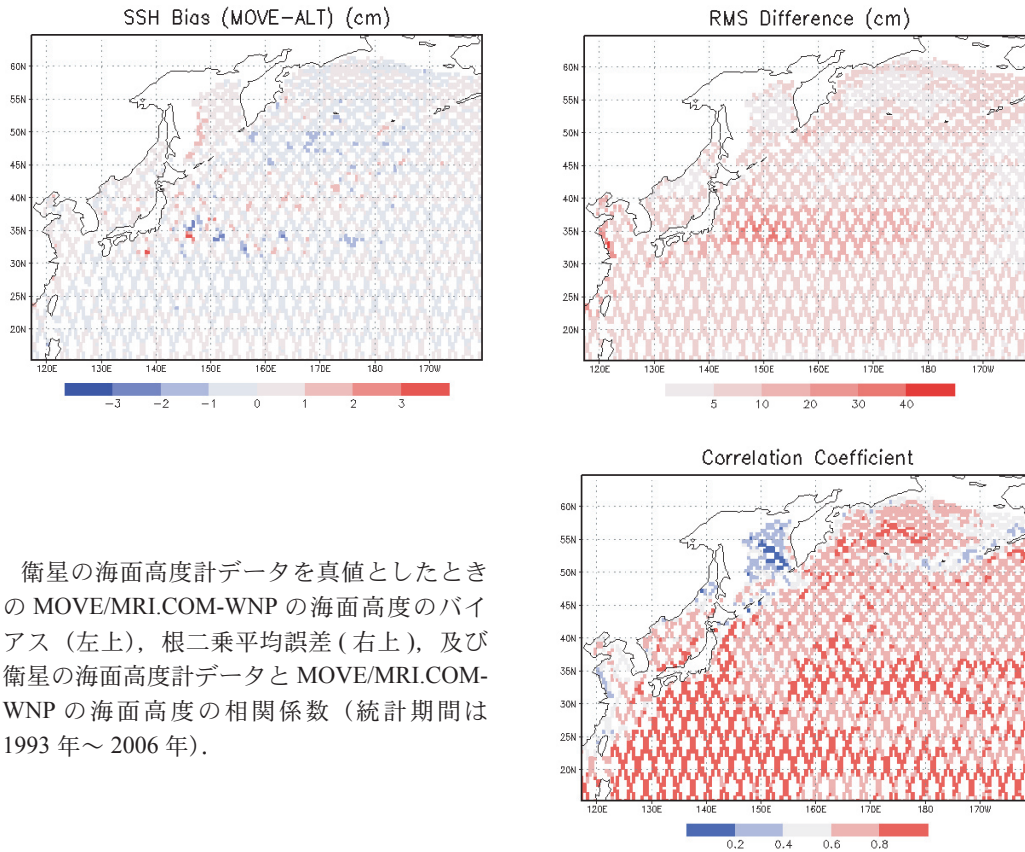
第23図に、MOVE/MRI.COM-WNPの海面高度の衛星観測からのバイアス、根二乗誤差、衛星観測との相関係数を示す。バイアスはほとんどの海域で1cm未満であった。根二乗平均誤差は、ほとんどの海域で10cm未満、黒潮続流を中心とした海域で10cm~20cm程度であった。相関係数は、もともと変動が小さいオホーツク海など(第22図)を除けば0.6以上であった。

以上は、日本近海全般に、MOVE/MRI.COM-WNPが現実の海面高度変動をよく再現していることを裏付けている。

⁷ 衛星の海面高度計のデータには5cm程度の誤差があり(Kuragano and Kamachi (2000)のFigure 12を参照のこと)、衛星の海面高度の変動をMOVE/MRI.COM-WNPの海面高度の変動よりやや大きなものにする一因となっている。



第22図 MOVE/MRI.COM-WNP (左), 衛星観測 (右) の1993年～2006年の海面高度変動の根二乗平均



第23図 衛星の海面高度計データを真値としたときの MOVE/MRI.COM-WNP の海面高度のバイアス (左上), 根二乗平均誤差 (右上), 及び衛星の海面高度計データと MOVE/MRI.COM-WNP の海面高度の相関係数 (統計期間は1993年～2006年).

4. まとめ

気象庁では、平成 19 年度末に、新海洋データ同化システム (MOVE/MRI.COM) の運用を開始した。新海洋データ同化システムの北西太平洋版 (MOVE/MRI.COM-WNP) では、水平格子が従来の同化システム (COMPASS-K) の 0.25 度間隔から 0.1 度間隔に高解像度化され、フロント及び中規模渦等のスケールの現象も明りょうに表現できるようになった。こうしたことが定量的に改善といえるのかどうか、2002 年～2007 年の現場観測データ (気象庁の定線観測データ) を使用して、日本近海について概観した。

その結果、MOVE/MRI.COM-WNP では COMPASS-K よりも、表層の水温、塩分、流速の平均場は観測と類似するようになり、黒潮や亜寒帯前線などのフロント構造もよく再現されていることが分かった。中規模渦や季節変動などの変動 (標準偏差) は、観測と比肩しうるほどに増大して、その空間構造も観測と類似するようになった。水温については、MOVE/MRI.COM-WNP の観測との相関が COMPASS-K のそれよりも低い海域が見られたが (房総沖、日本海、日本東方海域)、塩分の観測との相関は、すべての海域で全般に改善していた。これは、塩分の解析手法の変更によって塩分の再現性が大幅に向上したことを示唆している。

トカラ海峡、四国沖、東海沖の海流 (黒潮) の変動についても観測との相関が改善された。一方、房総沖の黒潮の変動には明確な改善が認められなかった。北海道南方では、COMPASS-K で見られていた親潮域の高温・高塩バイアスが大幅に解消されたが、反面、津軽暖流域での低温・低塩バイアスは改善されていなかった。

MOVE/MRI.COM では新たに海面高度の直接表現・直接同化が導入されており、その精度の検証を 1993 年～2006 年の衛星観測データ (海面高度計データ) を使用して実施した。MOVE/MRI.COM-WNP と海面高度計の変動 (標準偏差) は同程度で、かつ、もともと変動が弱い海域を除けば MOVE/MRI.COM-WNP と海面高度計の相関係数は 0.6 以上であった。これらは、日本近海全般に、MOVE/MRI.COM-WNP が現実の海面高度変動を

よく再現していることを裏付けている。

今回の調査では海洋データ同化システムの改善の検証が目的であったため、水温、塩分、流速については、COMPASS-K、MOVE/MRI.COM-WNP の結果がともに保存されている 2002 年～2007 年の 6 年間を対象とした。このため、サンプル数の制約から季節ごとに分けた評価は行わなかった。しかし、MOVE/MRI.COM-WNP 自体は 1985 年～2007 年の解析結果が保存されている。今後は、MOVE/MRI.COM-WNP と現場観測の比較を季節ごとに長期にわたり実施し、“季節変動を除外した”精度調査 (“平年差”の精度調査) も試みたい。また、MOVE/MRI.COM-WNP は、東シナ海、トカラ海峡、沖縄南東海域、四国沖、東海沖で総じて改善されたといえるのに対し、房総沖、日本海、日本東方海域の流速、水温の観測との相関には改善と見えない面も見られた。この理由としては、MOVE/MRI.COM-WNP は変動を詳細に表現できるようになったため、わずかな位置のズレが評価を下げることもある反面、COMPASS-K は詳細な変動を表現できないので逆にその部分で評価を下げないで済んでいる可能性がある。すなわち、MOVE/MRI.COM-WNP は、COMPASS-K より劣っているわけではないが、詳細な変動の表現に難が残ることを示しているのかもしれない。一方、房総沖での黒潮の強流帯の位置が正確に表現されない、日本海、日本東方海域の暖水塊、冷水塊そのものを表現できない等の理由も考えられるが、具体的に何が起きているのか、事例解析を積み上げ、それに基づき本システムを改良していくことも今後の課題である。

参 考 文 献

- Conkright, M. E., J. I. Antonov, O. Baranova, T. P. Boyer, H. E. Garcia, R. Gelfeld, D. Johnson, R. A. Locarnini, T. D. O'Brien, I. Smolyar, and C. Stephens, In: Sydney Levitus (Ed.) (2002) : World Ocean Database 2001, vol. 1, Introduction. NOAA Atlas NESDIS, 42, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, USA, 167pp.
- Ebuchi, N. and K. Hanawa (2003) : Influence of mesoscale eddies on variations of the Kuroshio path south of Japan. *J. Oceanogr.*, **59**, 25-36.
- Feng M., H. Mitsudera, and Y. Yoshikawa (2000) : Structure and variability of the Kuroshio current in Tokara Strait. *J. Phys. Oceanogr.*, **30**, 2257-2276.
- Firing E., Ranada J. and P. Caldwell (1995) : Processing ADCP data with the CODAS software system version 3.1. unpublished manuscript, pp.218.
(http://currents.soest.hawaii.edu/docs/adcp_doc/codas_doc/manual.ps, accessed 2008-11-26)
- Hellerman, S. and M. Rosenstein (1983) : Normal monthly wind stress over the world ocean with error estimates. *J. Phys. Oceanogr.*, **13**, 1093-1104.
- 石崎士郎・曾我太三・碓氷典久・藤井陽介・辻野博之・石川一郎・吉岡典哉・倉賀野連・蒲地政文 (2009) : MOVE/MRI.COM の概要と現業システムの構築. 測候時報, **76**, 特別号, S1-S15.
- 磯田豊・西原正彦 (1992) : 日本海の暖水渦の挙動について. *海と空*, **67**, 231-243.
- 蒲地政文・倉賀野連・吉田隆・Francesco Uboldi・吉岡典哉 (1998) : 中・高緯度海洋データ同化システムの開発. 測候時報, **65**, 特別号, S1-S19.
- Kuragano, T., and M. Kamachi (2000) : Global statistical space-time scales of oceanic variability estimated from the TOPEX/POSEIDON altimeter data. *J. Geophys. Res.*, **105**, 955-974.
- 倉賀野連・杉本悟史・吉岡典哉・吉田隆・蒲地政文 (2001) : 高度計データと現場表層観測データを用いた太平洋表層水温・塩分の客観解析. 測候時報, **68**, 99-119.
- 栗原幸雄 (2000) : リモートセンシングデータを用いた日本近海日別海面水温解析. 測候時報, **67**, 特別号, S11-S15.
- 栗原幸雄・桜井敏之・倉賀野連 (2006) : 衛星マイクロ波放射計, 衛星赤外放射計及び現場観測データを用いた全球日別海面水温解析. 測候時報, **73**, 特別号, S1-S18.
- Nagano, A., H. Ichikawa, T. Miura, K. Ichikawa, M. Konda, Y. Yoshikawa, K. Obama, and K. Murakami (2007) : Current system east of the Ryukyu Islands. *J. Geophys. Res.*, **112**, doi : 10.1029/2006JC003917.
- Nakano, T., I. Kaneko, and Y. Takatsuki (1994) : The Kuroshio structure and transport estimated by inverse method. *J. Phys. Oceanogr.*, **24**, 609-618.
- Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira (2007) : The JRA-25 Reanalysis. *J. Meteorol. Soc. Japan*, **85**, 369-432.
- 大崎晋太郎・有吉正幸・志賀達・岩尾尊徳 (2009) : MOVE/MRI.COM-WNP を用いた日本南方における黒潮流路変動の解析. 測候時報, **76**, 特別号, S37-S54.
- 杉本悟史・蒲地政文・吉田久美・村上潔・川江訓・三浦雄美利・谷政信・吉岡典哉・湊信也・宮城直文・瀬河孝博・岡野克彦 (2003) : 海洋総合解析システムの検証. 測候時報, **70**, 特別号, S71-S105.
- 杉本悟史・倉賀野連・源泰拓・桜井敏之 (2005) : 海洋総合解析システムの改良—現場塩分の導入—. 測候時報, **72**, 特別号, S115-S130.
- Usui, N., H. Tsujino, Y. Fujii, and M. Kamachi (2008) : Generation of a trigger meander for the 2004 Kuroshio large meander. *J. Geophys. Res.*, **113**, C01012, doi:10.1029/2007JC004266.