
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」

MOVE/MRI.COM を用いた沿岸潮位変動の原因調査*

原口 慶子 **・櫻井 敬三 ***

要 旨

日本沿岸の 69 地点の検潮所の潮位データ, 及び 2008 年 3 月より運用を開始した新海洋データ同化システム (以下 MOVE/MRI.COM) のデータを用い, 日本沿岸の潮位の年間偏差の変動と日本近海の海面高度の年間偏差の変動の相関や, そうした変動への海水密度・海流の影響を調査した.

潮位と MOVE/MRI.COM の海面高度の年間偏差の相関係数分布は, 検潮所の位置する地域によって分布に特徴が見られ, 北海道東部と島しょ部を除き黒潮と対馬暖流に挟まれたごく狭い沿岸域を中心に高い相関の分布が広がる. また, 日本海沿岸と三陸沿岸の潮位の年間偏差の変動は, 日本海沿岸から三陸沿岸にかけての水深が浅い海域の海面高度の年間偏差の変動と相関が高かった. 三陸沿岸の潮位については, 近海の親潮より, 日本海の対馬暖流から分岐した津軽暖流の影響が大きいことを示唆する結果であった.

MOVE/MRI.COM の塩分・水温を用いて 740m を基準に算出したジオポテンシャルアノマリー (以下 ΔD) と海面高度の年間偏差の水平分布は特徴が良く一致し, 外海の海面高度が 740m 若しくはそれ以深を基準にした ΔD でほぼ説明できることを確認した.

深さが 740m 以上の海域で, 沿岸の潮位の年間偏差と相関係数の高い海面高度の場所を特定すると, その多くは日本近海のいくつかの狭い海域に集中する. その中でも特に関東地方から四国地方の太平洋沿岸で潮位と ΔD の年間偏差との相関が高い海域があることが分かった.

一方, 海洋表層の密度分布以外にも, 黒潮の沿岸に向かう流れが強化したり, 沿岸での東向きの流れが弱まった際に沿岸潮位が上昇する事例があり, 潮位の年間偏差の変動に浅海域の海流の変動が影響している可能性も示唆された.

* Investigation of variation of sea level around Japan through the use of MOVE/MRI.COM

** Keiko Haraguchi

Office of Marine Prediction, Global Environment and Marine Department (地球環境・海洋部海洋気象情報室)

*** Keizo Sakurai

Marine Division, Global Environment and Marine Department (地球環境・海洋部海洋気象課)

1. はじめに

2007年2月に発表されたIPCC第4次評価報告書(IPCC, 2007)で世界海面水位の上昇が報告される中、地球温暖化に伴う日本沿岸の水位の長期変動の監視・評価への関心が高まっている。

野崎ほか(2005)は、沿岸の検潮所で観測された季節平均・年平均潮位と海洋気象観測船によって観測された検潮所に近傍の観測地点のジオポテンシャルアノマリー(以下 ΔD)が良く対応していることを報告した。

一方で、2005年9月より気象庁ホームページの海洋の健康診断表に「日本沿岸の月平均潮位の変動」の掲載を開始した。各検潮所で観測された月平均潮位偏差の変動を説明するために、杉本と吉田(2005)による現場水温を用いた表層水温の客観解析値を元に海水の熱膨張量の分布図を作成し、これを参考資料として利用しているが、沿岸の潮位変動は必ずしも海水の熱膨張量の分布と一致しない海域があるなど、月平均の潮位変動の要因に結びつかない例も見られる。

2008年3月より運用を開始した気象庁の新海洋データ同化システムでは、海面高度が陽に表現され、衛星の海面高度データが水温、塩分の現場観測データと一括して変分法によって同化されている。また、表層水温・塩分の鉛直結合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反映させている(石崎ほか, 2008)。

この同化システムから得られる海面高度を利用して、沿岸の潮位変動と海面高度との相関が最も高い格子点(領域)を特定する。また同化システムの水温だけではなく塩分も加味した海水密度から、その格子点(領域)の ΔD を算出し、海洋表層の密度変化がどのように沿岸の潮位変動に寄与するかを調査する。また、密度変化以外にどのような変動要因が沿岸の潮位に影響を与えるかについてもあわせて検討する。

2. データ

2.1 MOVE/MRI.COM

本調査では、北西太平洋を解析領域としたMOVE/MRI.COM(以下MOVE/MRI.COM-WNP)

の海面高度・水温・塩分などの1997年から2006年の10年間の月平均値を使用する。なお海面高度のデータに関しては、次のような理由で全球を解析領域としたMOVE/MRI.COM(以下MOVE/MRI.COM-G)を用い、補正を施した。

MOVE/MRI.COM-WNPの海面高度データは、北太平洋を解析領域としたMOVE/MRI.COM(以下MOVE/MRI.COM-NP)より側面境界値を得ており、このMOVE/MRI.COM-NPは計算の破たんを防ぐために便宜上、各タイムステップでの海面高度データの格子点値の総和を0としている。また、MOVE/MRI.COM-Gも同様に計算の各タイムステップで海面高度データの格子点値の総和を0としている。このため、MOVE/MRI.COM-WNPの海面高度の季節変動や経年変動を調査する場合は、MOVE/MRI.COM-Gの塩分・水温データを用いた海水の密度変化に伴う海面高度変動量などを補正值として加え、再計算する必要がある。

まず、MOVE/MRI.COM-Gの塩分・水温データより、海水の密度変化に伴う全球一様の海面高度変動の長期トレンドの補正量を、Mellor and Ezer(1995)の手法を用いて求める。計算式は下記のとおり。

$$\eta_E = -H \left\langle \frac{\delta \rho}{\rho_0} \right\rangle$$

η_E : 海面高度の補正量

ρ_0 : 標準の密度 (1000kgm⁻³)

H : 水深

— : 鉛直平均

$\delta \rho$: 標準の密度からの差

$\langle \rangle$: 領域平均

また、MOVE/MRI.COM-Gの解析領域は全球のため、海面高度の格子点値の総和が0であっても、北半球・南半球における季節の違いは現れる。よって、MOVE/MRI.COM-Gの海面高度データをMOVE/MRI.COM-WNPの解析領域で平均し、北西太平洋領域の季節スケールの補正量とする。さらに、MOVE/MRI.COM-WNP海面高度の領域平均値(0ではない)を算出する。以上より、各タイムステップで求めた η_E 、MOVE/MRI.COM-G海面高度の領域平均値を、MOVE/MRI.COM-WNPの海面高度の全格子点に加算、MOVE/MRI.

COM-WNP 海面高度の領域平均値を減算して、季節変動・経年変動の補正值を求めた(第 2.1 図)。以下の解析では、MOVE/MRI.COM-WNP の海面高度にこの補正值を加えたものを利用している。

なお、MOVE/MRI.COM-WNP の鉛直層は 54 層あるが、沿岸での潮位との関係を調査することを主眼にしていることから、今回の解析では海洋表層を代表する 100m, 400m, 740m までの水深層を主に利用している。このほかに海底層からのデータも一部比較に用いている。

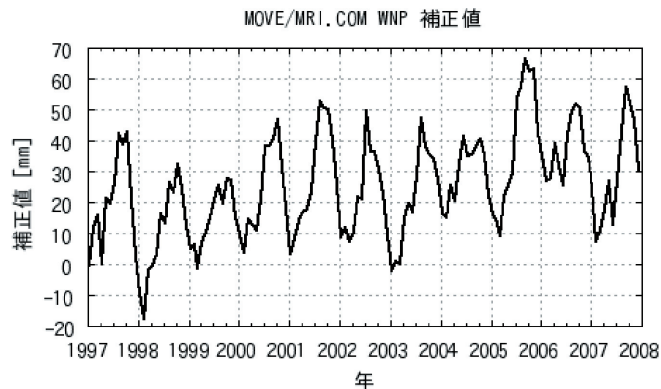
2.2 潮位データ

潮位観測データは、1997 年から 2006 年までの 10 年間の月平均潮位を用いる。月平均潮位に連続して 2 か月以下の欠測がある場合は、線形補間をした値を用い、連続して 3 か月以上の欠測がある検潮所のデータは用いない。

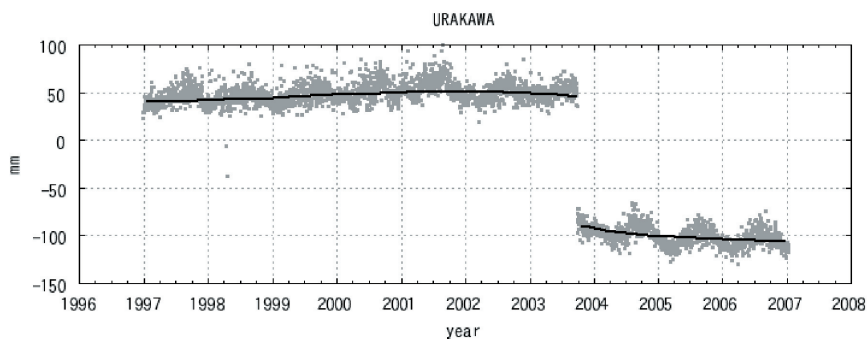
この月平均潮位に、検潮所近傍の気象官署等の海面気圧データを用いて 1013hPa を基準とした気

圧補正を施し、69 地点(気象庁並びに部外機関所管の検潮所)の潮位データセットを作成した。

さらに、検潮所の近傍で国土地理院の GEONET (GPS 連続観測システム) の地盤変動データを利用できる 42 地点については、地盤補正を実施したデータセットを作成する。畑中ほか(2005)によると GEONET のデータは、固体地球潮汐補正のバグや GEONET の基準の固定点(つくば 1) 周辺の地下水のくみ上げによる地盤の上下変動などにより、年周期の変動が生じる。この変動の影響を取り除くため地盤変動補正值は 1 日 1 回の解析値を 3 次式で近似し、各月の代表値を作成することで潮位データの地盤変動補正值とする。なお、地震などにより地盤に急激な変動が起こった場合は、変動前後でそれぞれ別に近似し補正值を求める(第 2.2 図)。鮎川については、2005 年 8 月 16 日の宮城県沖の地震の前後で近似を別にしたが、2005 年 8 月 16 日以降は統計期間が短いために 2 次式で近似をしている。



第 2.1 図 MOVE/MRI.COM-WNP の海面高度補正值
1997 年 1 月を 0 とする。



第 2.2 図 浦河検潮所近傍の GPS 観測地点における地盤変動(鉛直成分)の日報析値(灰色点)と近似曲線(実線)
データの不連続は、2003 年 9 月 26 日の十勝沖地震により発生した地盤沈下による。

2.3 平年偏差の作成方法

本調査では、平常の季節変動からの差を解析するため、MOVE/MRI.COM データ、潮位データ共に、1997年から2006年の各月の平均からの偏差を用いる（以下「平年偏差」とする）。

3. 解析結果

3.1 潮位と海面高度の相関係数

2.3 で述べた平年偏差について、潮位と MOVE/MRI.COM-WNP の海面高度（2.1 のとおり補正したもの。以下「海面高度」とする）の相関係数を求め、その空間分布を第 3.1 図に示す。検潮所の地域ごとに特徴が見られたため、以下の地点で代表して特徴を説明する。

①父島（太平洋島しょ部、地盤補正なし）

父島を中心として、相関係数 0.9 以上の海域が周辺およそ 200km の範囲に広がっている。

②網走（オホーツク海沿岸、地盤補正あり）

北海道のオホーツク海沿岸宗谷岬から根室海峡にかけて、相関係数が 0.6 以上と高い。

③舞鶴（日本海沿岸、地盤補正あり）

相関係数 0.6 以上の海域が九州南岸から青森県沖まで日本海沿岸に沿って帯状に広がり、対馬暖流の沿岸分枝との関係を強く示唆している。

④土佐清水（四国沿岸、地盤補正あり）

瀬戸内海との相関は 0.8 以上と高く、四国の太平洋沿岸でも潮岬より西側では高い。その一方、黒潮の南側は 0.5 以下と低く、黒潮再循環域では -0.5 と逆相関となっている。これは黒潮を挟んだ沖合側の海洋変動は、沿岸の潮位とは逆の関係にあることを意味している。

⑤舞阪（関東・東海沿岸、地盤補正あり）

相関係数 0.8 以上の海域が、東海から伊豆半島と伊豆半島沖から三宅島にかけて広がり、また相関係数 -0.6 以下の領域が紀伊半島沖に広がっていることから、これらの海域では沿岸の潮位と黒潮流路循環の変動との関係が高いと考えられる。また、同じ太平洋側の土佐清水と同様に相関の高い海域が紀伊半島の潮岬を境に明りように分離されている。

Zhang and Ichikawa (2005) は、紀伊半島の潮岬以西の太平洋沿岸に位置する油津、土佐清水、

串本検潮所の潮位と海面高度の平年偏差との相関を調査した。その結果、沿岸潮位は九州東岸～紀伊半島の沿岸～平均的な黒潮流軸位置の海域の海面高度と、0.3 から 0.4 の相関係数の分布を示した。一方、潮岬以東の浦神、尾鷲検潮所の潮位は、紀伊半島～房総半島の沿岸～平均的な黒潮流軸位置の海域の海面高度と、0.3 から 0.4 の相関係数の分布を示している。④と⑤の解析結果は、この報告と整合的である。

⑥八戸（三陸沿岸、地盤補正あり）

三陸沿岸では、日本海沿岸を北上する対馬暖流の能登半島東から北海道西にかけての沿岸と、対馬暖流から津軽海峡を抜け三陸沿岸を南下する津軽暖流のそれぞれの流路に沿って、相関が 0.6 以上の領域が延びている。このことは、三陸沿岸の潮位は近海の親潮より、対馬暖流から分岐した津軽暖流の影響がより大きいことを示唆する。

3.2 海面高度と ΔD

次に、MOVE/MRI.COM-WNP の塩分・水温データより ΔD を算出して、海面高度の変動との関係を調べた。 ΔD は各格子点の塩分・水温から算出した比容と、塩分 35‰・水温 0℃における比容との差の鉛直（圧力）積算で定義され、式は下記のとおりである。 ΔD の単位 $10^{-1} \text{m}^2/\text{s}^2$ は潮位の単位 cm と 2% しか変わらないので、本報告中では潮位と同等の量として扱う。

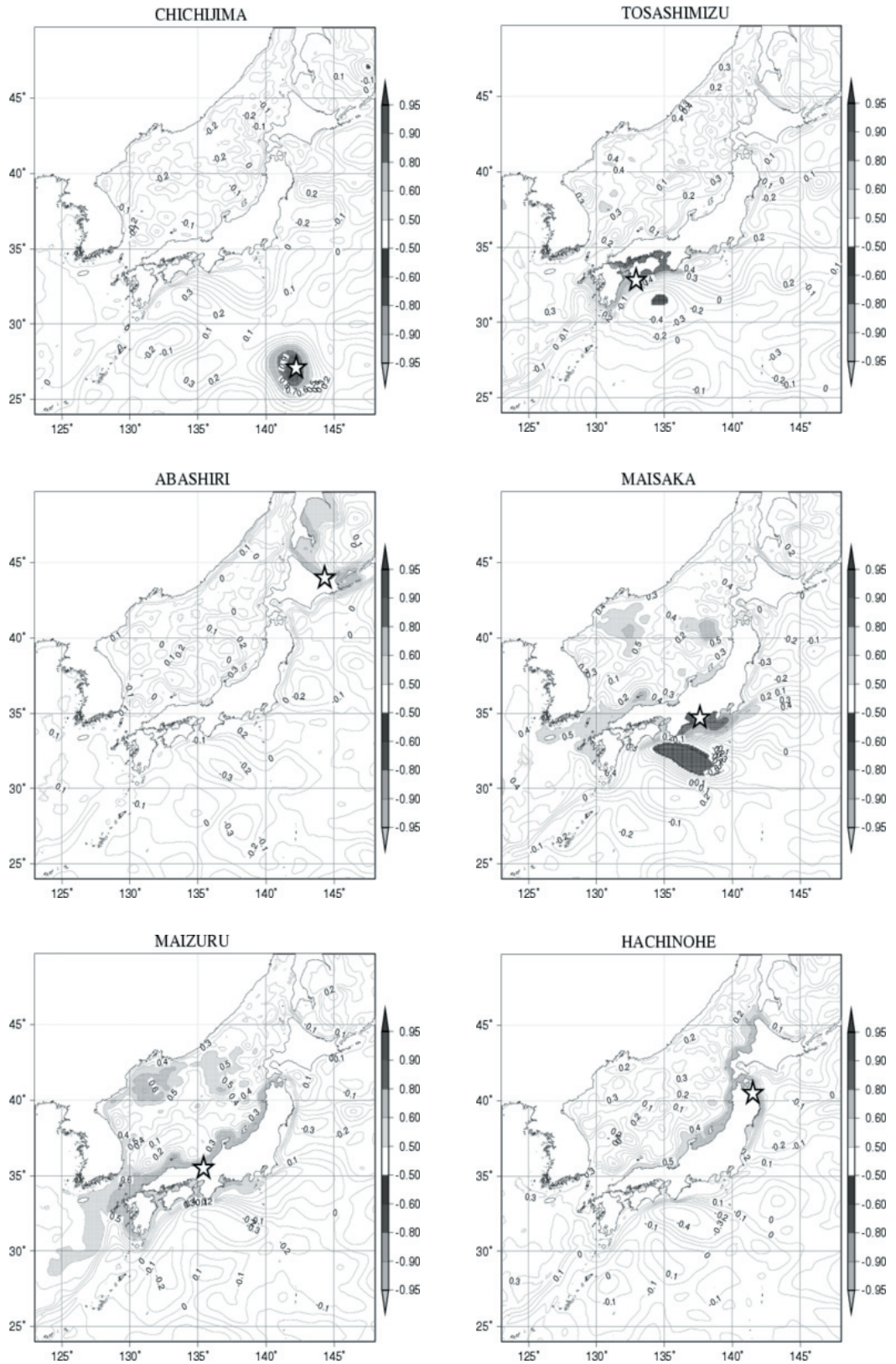
$$\Delta D = 10^5 \int_0^p \{ \alpha(S, t, p) - \alpha(35, 0, p) \} dp$$

ΔD : ジオポテンシャルアノマリー ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$)

p : 水圧 ($\text{bar} = 10^5 \text{Pa}$) S : 塩分 (‰)

α : 比容 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) t : 水温 (℃)

第 3.1 図に示した、父島の潮位と海面高度の平年偏差の相関係数が最も高い格子点において、MOVE/MRI.COM-WNP の水深層に設定されている 400m, 740m, 及び海底を基準とした ΔD と、海面高度の平年偏差の時系列を第 3.2 図に示す。海底を基準とした ΔD と海面高度との差は 30mm 以内であり、740m を基準とした ΔD との差も 80mm 以内であるため、海面高度は 740m を基準とした ΔD で十分に説明できることが分かる。一方、400m を基準とした ΔD と海面高度との差は



第 3.1 図 左上: 父島 (地盤補正なし), 左中: 網走 (地盤補正済み), 左下: 舞鶴 (地盤補正済み), 右上: 土佐清水 (地盤補正済み), 右中: 舞阪 (地盤補正済み), 右下: 八戸 (地盤補正済み) の, 平年偏差の, 潮位と海面高度の相関係数の空間分布
星印は検潮所の位置.

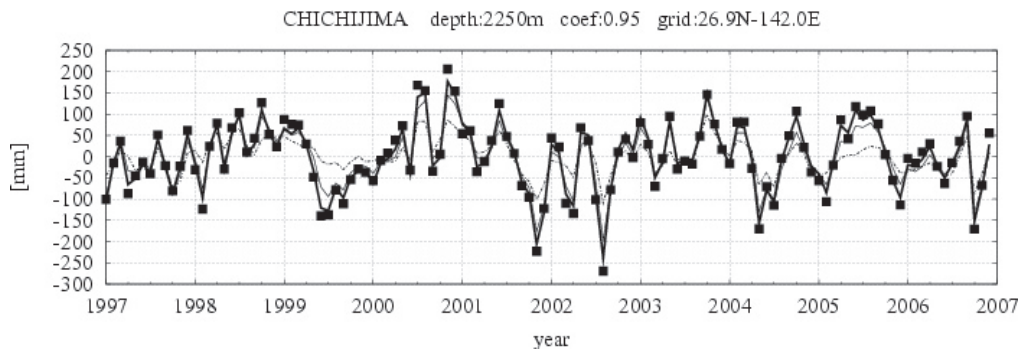
200mm 以上になる場合があり、400m を基準とした ΔD では海面高度との関係を十分に説明できないことが分かる。

ΔD の水平分布に対しても父島の例と同様に、740m を基準とした ΔD で海面高度を十分に説明できるかどうか確かめるため、2006 年 8 月の海面高度の年平均偏差と 740m を基準とした ΔD の年平均偏差の空間分布を第 3.3 図に示す。 ΔD の基準を海底ではなく 740m としているために正偏差の極大域と負偏差の極小域は ΔD の方が海面高度より値は小さいが、その分布パターンは細部に至るまで非常に良く一致している。月平均の年平均偏差と比較した場合、外海の海面高度は 740m を基準にした ΔD でほぼ説明できる。

3.3 潮位と ΔD

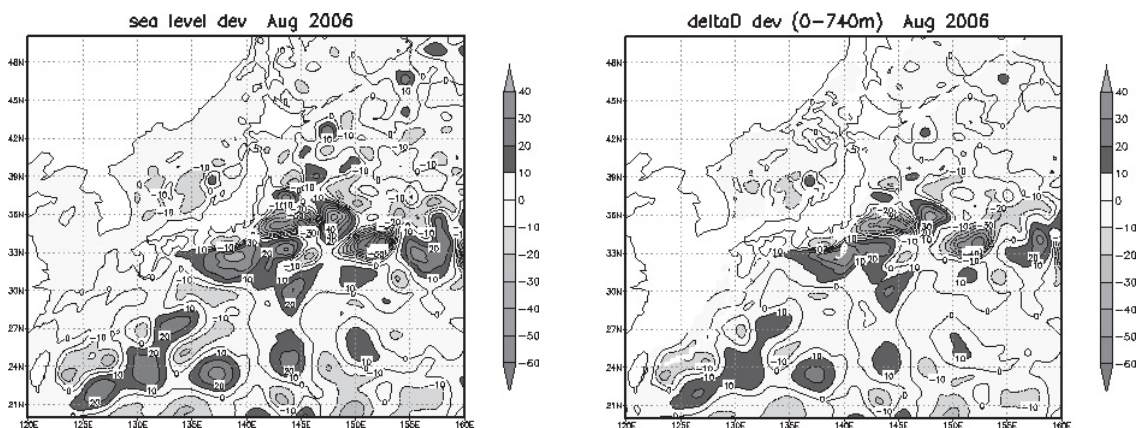
3.1 では、各検潮所の潮位と海面高度の年平均偏差の関係を相関係数の空間分布を示し、3.2 ではその海面高度の年平均偏差は 740m を基準とした ΔD でほぼ説明できることを示した。本節では、深さが 740m 以上の海域で ΔD を調査し、各検潮所の潮位とのかかわりを検討する。

MOVE/MRI.COM-WNP の深さが 740m 以上の格子点のうち、各検潮所の潮位と海面高度の相関係数が最も高い格子点について、海面高度、潮位、最も深い深度を基準とした ΔD の年平均偏差の 3 要素の時系列を、検潮所ごとに時系列で示す（第 3.4 図）。本節以降は、海面高度と ΔD の一致についてより詳しく検討するため、 ΔD の基準は海面



第 3.2 図 父島の潮位と海面高度の、年平均偏差の相関係数が最も高い格子点における、400m (破線)、740m (細実線)、海底を基準とした ΔD (太実線)、海面高度 (黒四角) の年平均偏差の時系列グラフ

表題の相関係数は潮位と海面高度の年平均偏差の相関係数が最も高い格子点の海底の深さ、相関係数の値及び格子点の緯度、経度。



第 3.3 図 2006 年 8 月の海面高度の年平均偏差 (左) と 740m を基準とした ΔD の年平均偏差 (右) 空間分布 単位は mm.

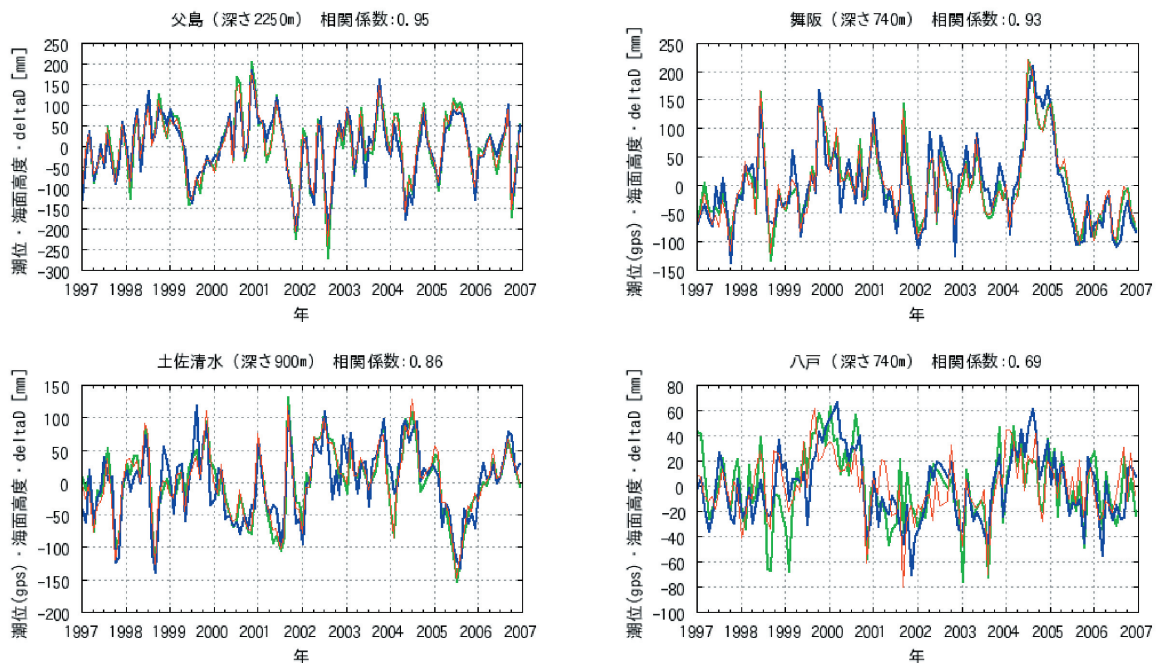
高度と値が最もよく一致する海底とする。

父島、土佐清水、舞阪の潮位・海面高度は ΔD の変動とよく一致している。一方、八戸は ΔD と潮位を比べると差が大きい時期がある。八戸近海は浅い海域が広く、最も相関の高い格子点は $43^{\circ} 0' N, 140^{\circ} 2' E$ の積丹半島沖合の日本海に位置し、その距離は 300km 以上となる。3.1 の③では八戸を含む三陸沿岸は、能登半島東から北海道西岸にかけての対馬暖流と津軽暖流の影響を強く受けている結果を示したが、740m 以深を基準とした場合に最大の相関となる積丹半島沖合の格子点の海況は、むしろ北海道西岸を流れる対馬海流の影響を受けて変動しているため、 ΔD と潮位との差の大きな期間は検潮所近傍と格子点付近の海況の違いが現れていると考えられる。

地盤補正を行った 42 地点の検潮所について、深さが 740m 以上の格子点のうち、潮位と海面高度の年間偏差と相関係数が最も高い格子点を決定し、その格子点における最も深い深度を基準とし

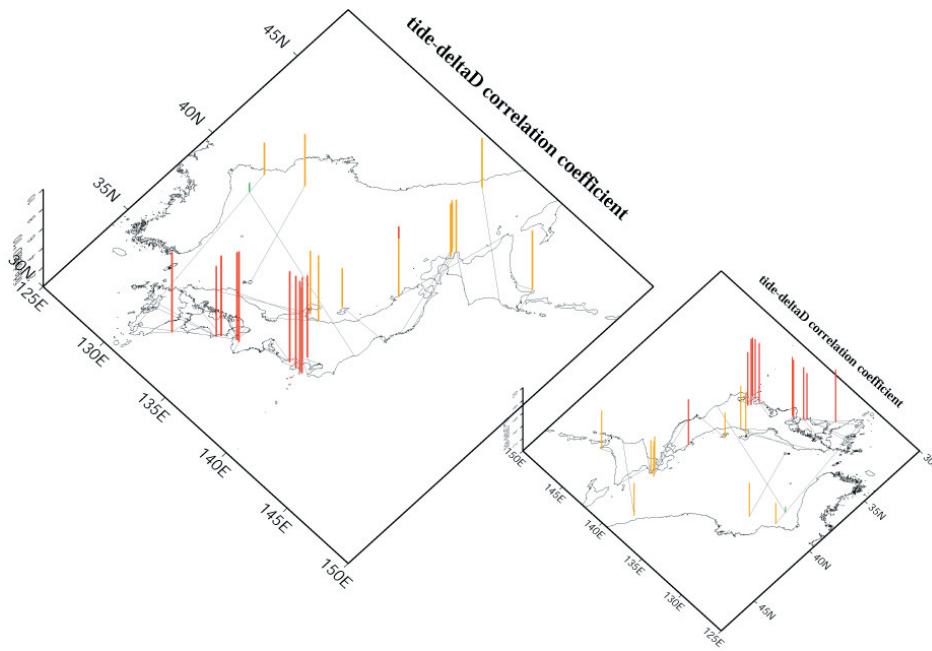
た ΔD と潮位の年間偏差の相関係数を第 3.5 図に示す。多くの地点の相関係数は 0.32 から 0.93 の範囲で、東海より西の太平洋沿岸では 0.7 以上となる。

関東～東海の検潮所は伊豆半島の東に相関係数の最も高い格子点が集中し、四国～瀬戸内及び九州の検潮所の多くは、紀伊水道付近の海域に相関係数の最も高い格子点が集中していることから、これらの格子点付近の海況が、それぞれの検潮所の潮位変動に影響を与えていることを示唆する。また、日本海側沿岸の検潮所は、富山湾、男鹿半島沖合を中心に相関係数の最も高い格子点が集中し、相関係数は 0.7 より小さい地点が多い。3.3 の八戸の例で示したように北海道、三陸沿岸の検潮所は、比較的遠方の格子点との相関係数が最も高い。一方で釧路、小名浜、西郷、鹿児島検潮所は日本海の沿海州～朝鮮半島側の沖合の格子点との相関が高いが、 ΔD との相関係数は 0.09 から 0.53 とほかの検潮所に比べ低い。



第 3.4 図 左上:父島 (地盤補正なし), 左下:土佐清水 (地盤補正済み), 右上:舞阪 (地盤補正済み), 右下:八戸 (地盤補正済み) の、年間偏差の、潮位と海面高度の相関係数が最も高い格子点の、海面高度 (緑線)・潮位 (紺線)・ ΔD (赤線) の時系列図

図右上の数値は格子点の深さ及び、潮位と海面高度との相関係数。

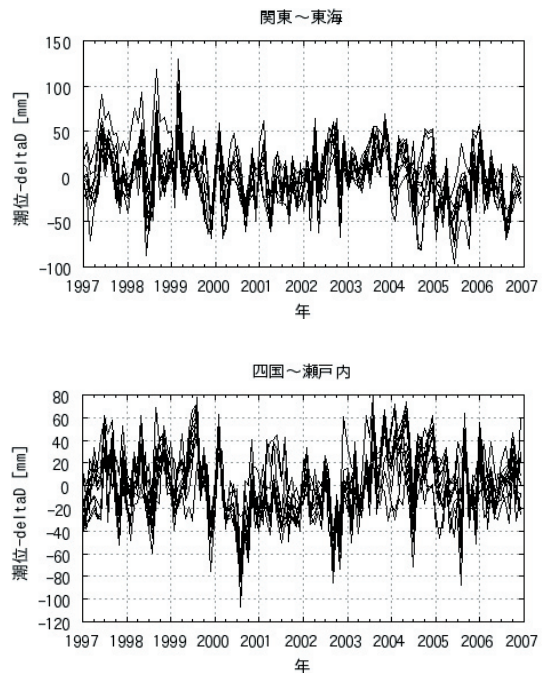


第3.5図 潮位（地盤補正済み）と ΔD の年平均偏差の相関係数。左図は太平洋側から、右図は日本海側から見た図
相関係数を表す縦棒は、相関をとった格子点に配置し、相関係数が0.7を超える場合は赤、0.7以下の場合は黄、0.2以下の場合は緑で示す。灰色線は、検潮所と相関係数が最大の ΔD の格子点を結ぶ直線。

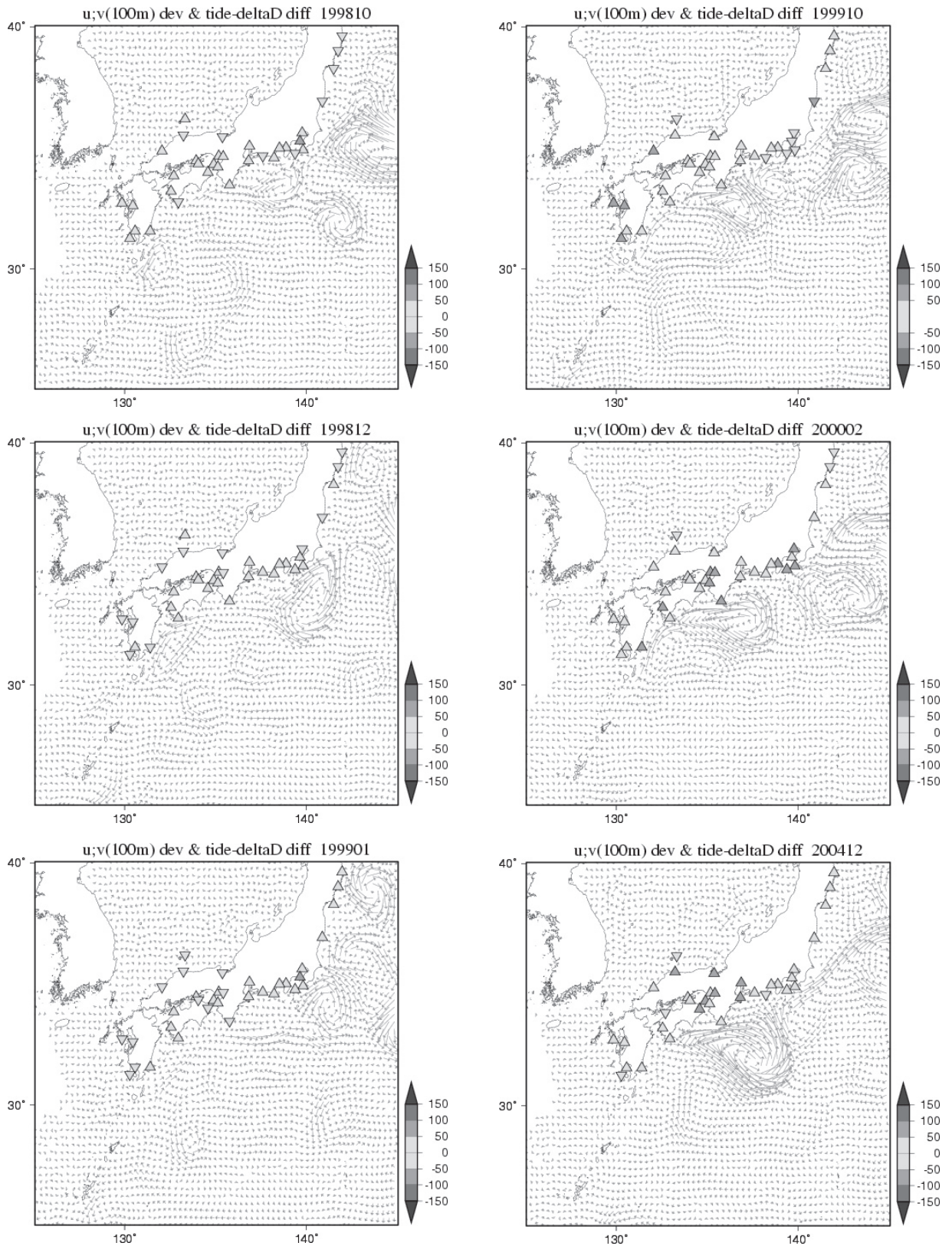
3.4 そのほかの変動要因

関東～東海、四国～瀬戸内の各地域に位置するすべての検潮所について、潮位と ΔD の年平均偏差の差の時系列を第3.6図に示す。関東～東海（舞阪、布良、名古屋、大島、御前崎、清水港、鳥羽、東京、内浦、横須賀）、四国～瀬戸内（神戸、小松島、串本、松山、大阪、洲本、高松、土佐清水、宇野、宇和島、和歌山）では、年平均偏差の潮位と ΔD の差は各地域でおおむね似た変動となり、その値は60mm以内であることから、沿岸の潮位は近海の密度変化によって大部分は説明ができる。一方、年平均偏差の潮位と ΔD の差は密度変化以外の現象が潮位の変動に影響している可能性を示しており、ここでは、MOVE/MRI.COM-WNPの ΔD に必ずしも反映されない沿岸浅海域の流れの影響について、いくつかの事例を挙げて考察する。

第3.7図に潮位と ΔD の年平均偏差の差と、MOVE/MRI.COM-WNPの100m深の海流の年平均偏差の分布図を示す。1998年10月は黒潮の蛇行による循環が伊豆諸島西方の沿岸に見られ、関



第3.6図 関東～東海（舞阪、布良、名古屋、大島、御前崎、清水港、鳥羽、東京、内浦、横須賀）（上）と四国～瀬戸内（神戸、小松島、串本、松山、大阪、洲本、高松、土佐清水、宇野、宇和島、和歌山）（下）のすべての検潮所の、潮位年平均偏差と ΔD 年平均偏差との差の時系列図



第3.7図 MOVE/MRI.COM-WNPの100m深の海流の年偏差と、検潮所の潮位と ΔD の年偏差との差(mm)の、平面分布

差が正の場合は三角, 負の場合は逆三角で表す. 左上から順に1998年10, 12月, 1999年1, 10月, 2000年2月, 2004年12月.

東南方では沖から沿岸に向かう流れが強化されている。北半球では、流れの向きに対して左側より右側で海面高度が高くなり、こうした流れが関東沿岸の潮位の上昇に影響したと考えられる。1998年12月、1999年1月には房総半島沿岸で北東から南西に向かう流れが、また、1999年10月、2000年2月には潮岬から室戸岬にかけての沿岸で西向きの流れが平年より強く見られる。これらの流れも、沿岸での潮位上昇に影響したと考えられる。また、2004年12月は、黒潮の大蛇行によって東海～関東沖に反時計回りの循環が解析されている。このため、黒潮大蛇行時に見られる潮岬沖での黒潮流軸の離岸に伴う潮岬から室戸岬にかけての沿岸での東向きの流れの弱まりと、関東付近での黒潮流路の接近による沿岸の表層水温の上昇が、関東から四国の太平洋沿岸の潮位の上昇に影響したと考えられる。

4. まとめと今後の課題

日本沿岸の月平均潮位の平年偏差と、MOVE/MRI.COM-WNPの日本周辺の海面高度の平年偏差の相関係数分布を調べたところ、検潮所の位置する地域によって相関係数の分布に特徴が見られ、北海道東部と島しょ部を除くと、黒潮と対馬暖流に挟まれたごく狭い海域で高い相関の分布が広がることが分かった。その中でも、三陸沿岸の潮位は近海の親潮より、日本海の対馬暖流から分岐した津軽暖流の海域との相関が高いことが分かった。

沿岸の潮位と、MOVE/MRI.COM-WNPの深さが740m以上の格子点における海面高度の最も相関の高い格子点を特定すると、その多くは日本近海のいくつかの狭い海域に集中し、特に関東地方から四国地方の太平洋沿岸で相関の高い海域が見出され、これらの海域では沿岸の潮位変動の大部分は近海の海水密度変化に起因することが分かった。また、沿岸浅海域の流れが潮位変動に影響を与えた可能性のある事例があった。ただし、日本海や北日本は水深の浅い地形が広がり、潮位と740mより深い格子点の海面高度の最も相関の高い格子点を特定すると、比較的遠方となることが多い。このため、遠方の地点との相関が高い事例

についてどのような因果関係があるか、またこれらの海域に対する沿岸の潮位変動について、 ΔD 以外に海流の流量などを加味した指標を作成する事が今後の課題である。

また、沿岸潮位に対する黒潮・対馬暖流の位置・流速の影響、10年以上の長期の海面高度のトレンドと潮位のトレンドの比較などについて調査する必要がある。さらに、MOVE/MRI.COMの85日先までの予測値を用いた沿岸の潮位の予測指標の検討についても、今後取り組むべき課題として挙げられる。

参 考 文 献

- 畑中雄樹・山際敦史・湯通堂亨・宮原伐折羅 (2005) : GEONETのルーチン解の精度評価. 国土地理院時報, 108, 49-56.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007) : Climate Change 2007: The Physical Science Basis, 5.5 Changes in Sea Level, p408-p419.
- 石崎士郎・曾我太三・碓井典久・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.
- Mellor, G. L. and T. Ezer (1995) : Sea level variations induced by heating and cooling: An evaluation of the Boussinesq approximation in ocean models. Journal of Geophysical Research, 100, No. C10, PAGES 20,565-20,577.
- 野崎太・志賀達・荒木則孝・習田恵三・安田毅彦・児玉裕樹・川江訓・小西靖・中館明・田中清・熊谷正光・前田幸良・佐々木泰憲・木立兼徳・三浦雄美利・岩尾尊徳・小西達男 (2005) : 日本沿岸の検潮所で観測された海面水位と定線データに基づく海面力学高度偏差 (ΔD) の長期変動の比較解析. 測候時報, 72, 特別号, S35-S71.
- 杉本悟史・吉田久美 (2005) : 日本近海における表層水温の長期変動 —海面水位の長期変動との関係—. 測候時報, 72, 特別号, S17-S26.
- Zhang, Z. and K. Ichikawa (2005) : Influence of the Kuroshio Fluctuations on Sea Level Variations along the South Coast of Japan. Journal of Oceanography, 61, 979-985.