
報 告

日本沿岸の海面水位の長期変化傾向について —最近の研究レビュー及び GPS 観測による地盤変動量を用いた補正—

奥中 裕佳 *1・平原 隆寿 *2

要 旨

最近の世界平均及び日本沿岸の海面水位の変化に関する研究についてレビューし、現在の解析方法の問題点を明らかにした。世界平均の海面水位変動に関する研究では、検潮儀データを補正して解析していた。これに対し、気象庁が行っている日本沿岸の海面水位の長期変化傾向の解析では、地盤変動が少ない検潮所を選択することで地盤変動を無視できるとしているため、検潮儀データの補正は行っていない。日本沿岸は地震等により急激な地盤変動が起きていることから、近年、利用可能となった GPS (Global Positioning System) データから海面水位の変化に対する地盤変動の影響を調査した。その結果、海面水位の長期変化傾向を解析する上で、地盤変動の影響は無視できないことがわかった。つまり、気候変動に伴う日本沿岸における海面水位の長期変化傾向をより正確に把握するためには、GPS データによる検潮儀データの補正が不可欠であることが明らかになった。

1. はじめに

地球温暖化の進行に伴う海水の熱膨張や氷河・氷床の縮退、等による海面水位の上昇は、近年その上昇率が大きくなっている。人口が集中し社会活動の中心となっている沿岸域における海面水位上昇は、海岸侵食、高潮・高波・異常潮位などの沿岸災害の激化や、沿岸湿地喪失などによる沿岸生態系への影響等を引き起こすことが予想されている。

気候変動に関する政府間パネル第 5 次評価報告書 (以下「IPCC (2013)」という。) は、世界平均の海面水位について「平均上昇率は、1901～2010 年の期間で 1 年当たり 1.7 [1.5～1.9] mm (角括弧内は 90% の信頼区間の範囲を示す)、1971

～2010 年の期間で 1 年当たり 2.0 [1.7～2.3] mm, 1993～2010 年の期間で 1 年当たり 3.2 [2.8～3.6] mm であった可能性が非常に高い。」と結論付けた。また、極端な高潮位現象の大きさは 1970 年以降増大している可能性が高いこと、一部の地域では、2100 年までに、高潮等の海面水位の極端現象の発生が有意に増加する可能性が高いことも報告された。世界的に地球温暖化及びそれによって引き起こされる海面水位の上昇に関心が高まっている中、日本沿岸におけるこれまでの海面水位の長期変化傾向を評価することは、我が国における沿岸防災や海岸保全を考える上で重要である。

我が国においては、地球温暖化に伴う海面上昇

*1 地球環境・海洋部海洋気象情報室, *2 地球環境・海洋部海洋気象情報室 (現 福岡管区気象台)

の問題は、地球温暖化が社会的に話題になり始めた1980年代より取り上げられてきた。気象庁では、2003年度には地球温暖化に伴う海面上昇の監視に関わる施策を強化するなど、地球温暖化による海面水位の上昇のシグナルを検出し、評価しようとして取り組んできた。

日本沿岸の100年を超える海面水位の観測記録には、全ての観測期間を通じた明瞭な上昇傾向は見られない。このことから、「日本沿岸の海面水位は上昇していないのか?」、「日本沿岸の海面水位には地球温暖化の影響が見られないのか?」、「何故、日本沿岸と世界平均は変化傾向が違うのか?」など疑問が呈されている。

これらの疑問に答えるためには、過去の研究から得られた知見を整理すると共に、近年利用可能となった観測技術から得られた成果を取り入れ、日本沿岸の海面水位の変化について理解を深めることが必要である。本報告では、第2章で最近の世界平均及び日本沿岸の海面水位の変化に関する研究をレビューし、第3章で、近年、利用可能となった全地球測位システム(GPS: Global Positioning System)による観測結果を用いて、日本沿岸の海面水位の変化における地盤変動の影響を考察する。最後に第4章で、今後、日本沿岸の海面水位の変化の更なる理解のための課題について考える。

2. 海面水位の変化に関する研究

検潮所で観測された検潮儀(海面の昇降を観測する機器)による海面水位の観測データ(以下「検潮儀データ」という。)は、海面水位の100年規模の長期変動を記録している唯一の観測データであり、100年規模の海面水位変動を理解する上で必要不可欠である。検潮儀データには、気候変動に伴う海面水位の変化だけでなく、地盤変動や大気圧の変化に伴う変化も含まれる。検潮儀データに含まれる海面水位の変化の要因は、次のとおりである。

- (1) 海洋の密度変化(海洋熱膨張, 海洋循環の変化を含む)
- (2) 山岳氷河の融解
- (3) グリーンランド・南極氷床の融解

- (4) 気候変動に伴う降水・蒸発の変化

- (5) 陸域貯水量の変化

- (6) 地盤変動

(ア) 地震を伴うような短い時間規模の地殻やプレートの変動

(イ) 地下水の汲み上げや港湾工事などによる人為的地盤変動

(ウ) より長い時間規模の地殻変化(最終氷期以降の氷河性地殻均衡(GIA: Glacial Isostatic Adjustment, 解説 URL http://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/knowledge/sl_trend/GIA.html, 2015.10.1 閲覧)によるものを含む)

- (7) 大気圧の変化

地球温暖化を含む気候変動に伴う海面水位の変化は(1)~(5)によるので、これらに着目する場合、要因(6)の地盤変動及び要因(7)の大気圧の変化による海面水位の変化を取り除く必要がある。以下の各節では、要因(6)の取扱いに特に着目し、第2.1節で世界平均の海面水位の変化について、第2.2節で日本沿岸の海面水位の変化に関する研究をレビューする。

2.1 世界平均の海面水位の変化の研究

2.1.1 20世紀から現在にかけての世界平均の海面水位の変化の解析方法

20世紀の世界平均の海面水位の変化を調べるため、IPCC(2013)で引用されている論文では、次のような解析が行われてきた。

- ・非常に長期ではほぼ連続的な検潮儀データを平均する方法(Douglas, 2001; Holgate, 2007)。
- ・短い期間ではあるがより多くのデータと、非線形トレンドを十年規模の準周期的な変動から分離するためのフィルターを使用する方法(Jevrejeva et al., 2006; Jevrejeva et al., 2008)。
- ・特定の沿岸域の海面水位を計算し、その後、平均する方法(Jevrejeva et al., 2006; Jevrejeva et al., 2008 (第1図); Merrifield et al., 2009; Wöppelmann et al., 2009)。
- ・近年の衛星海面高度計で観測された海面水位変動の経験的直交関数 EOF(Empirical Orthogonal Function)を用いて過去の海面水

位の変化を求める方法 (Church et al., 2004; Church and White, 2011 (第1図); Ray and Douglas, 2011 (第1図)).

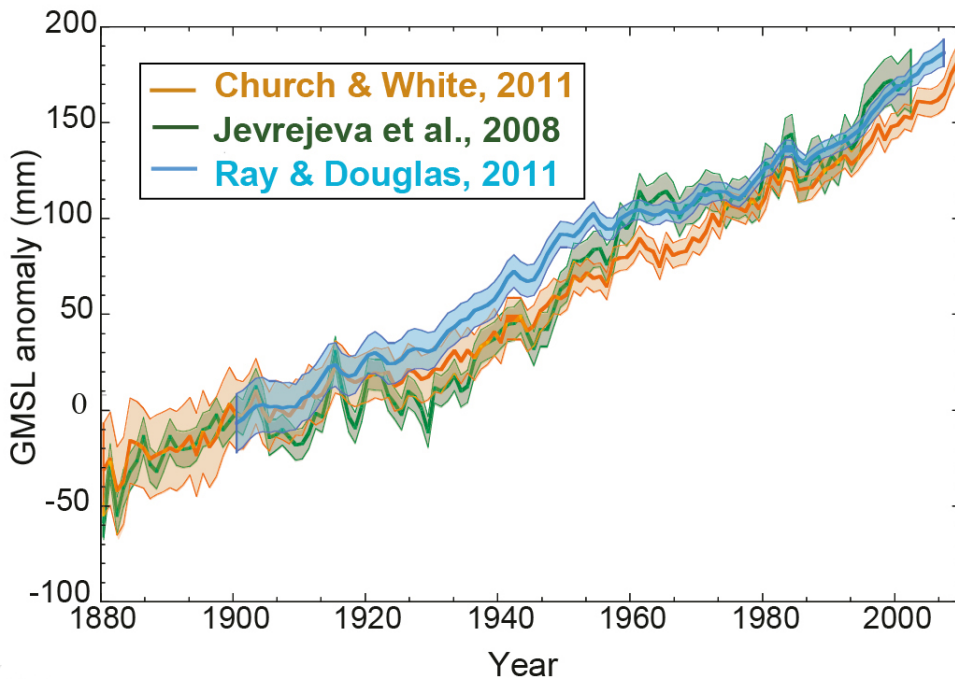
- ・ 検潮儀データを海洋モデルから求めた EOF にあてはめる方法 (Llovel et al., 2009; Meysignac et al., 2012).

各解析方法により, 経年変化並びに十年規模の変動の振幅及び位相は異なるが, 海面水位の上昇率は不確かさの範囲の中で一致している. IPCC (2013) では, Church and White (2011) の結果を 2010 年まで延長した時系列の値を採用している.

2.1.2 世界平均の海面水位の変化の研究における検潮儀データの扱い方

20 世紀の世界平均の海面水位の変化を求める際, 検潮儀データの時系列をそのまま使うことは稀である. 例えば, Church and White (2011) で

は, 各検潮儀データのある月から次の月の間の変化を用いている. その際, 1 年当たり 10 mm 以上変化するデータや月変化が 250 mm より大きいデータを除外するなどの品質管理を行っている. この品質管理は異常データを除去することを目的としているが, これにより, 急激な地盤変動も除去されていると考えられる. さらに, 最終氷期以降の GIA による地盤変動と大気圧の変化を補正している. Wöppelmann et al. (2009) では, 地盤変動は 100 年程度の期間では基本的に線形であるとして, 検潮儀データを GPS の観測から得られた 1997 ~ 2006 年の期間の地盤変動量で, 観測データの期間分, それぞれの検潮儀データを補正している. また, 地盤の変化に関する情報が不十分な地点のデータを除外することも行っている. 例えば Jevrejeva et al. (2006) では, 地震に関連した地盤変動量の不確かさを理由に, 日本沿岸の検



第 1 図 世界平均海面水位の変化

Church and White(2011), Jerejeva et al.(2008), Ray & Douglas(2011) の解析方法による検潮儀データから見積もった世界平均海面水位の変化. 網掛け部分は 1 標準偏差の誤差を示す.

IPCC (2013), 図 3.13(a) より

潮儀データを除外している。

このように、気候変動に伴う海面水位変動を抽出するため、検潮儀データから地盤変動による変動成分を取り除く様々な工夫がなされている。

2.2 日本沿岸の海面水位の変化の研究

日本沿岸の海面水位に関わる研究は大きく二つに分類される。一つは海面水位の長期変化傾向に関わるもの、もう一つはその変動成分に関わるものである。本報告は、日本沿岸の海面水位の長期変化傾向そのものについて論じることを主旨としているため、前者について主なものを以下に記述する。

2.2.1 気象庁 (2004)

気象庁 (2004) では、日本沿岸の海面水位の長期変化傾向を求めるため、まず、過去 100 年程度の記録が残されている検潮所のうち、海面水位の経年変化を確認し、明瞭な地盤変動や地盤沈下が見られず、比較的、安定していると考えられる 5 検潮所 (忍路、輪島、浜田、細島、串本) を選択し、検潮所ごとに毎年の年平均海面水位の偏差を求めた。その後、年ごとに 5 検潮所の偏差を平均し、得られた時系列を日本沿岸の海面水位の長期変化とした。その結果、日本沿岸の海面水位は、1980 年代半ば以降、上昇傾向が見られる一方、過去約 100 年の期間で明瞭な上昇傾向は見られないという結論となった。

2.2.2 気象庁 (2013)

気象庁 (2013) では、気象庁 (2004) で求めた日本沿岸の海面水位の長期変化傾向を再検討した。1906～1959 年については、気象庁 (2004) の方法と同様だが、その後地盤変動の影響を大きく受けていることが判明した串本のデータを除外している (第 2 図左)。より多くの検潮所の検潮儀データが使用可能となった 1960 年以降については、まず、1960 年以降の検潮儀データから、加藤・津村 (1979) の方法 (全国 58 地点の検潮所を領域分けし、領域内では偏差成分が共通していることに着目して海況による影響を除去し、気圧補正した検潮儀データを用いて、直線トレンド

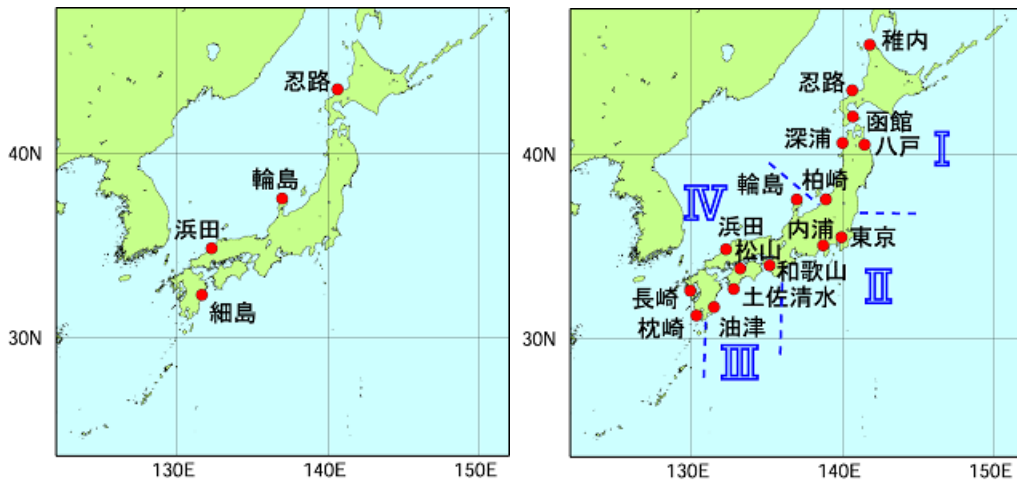
を求め、その地点における地殻上下変動を推定する方法) を用いて得られた地盤変動量が、2006 年時点で、1 年当たり $\pm 2\text{mm}$ 以内に収まる 16 検潮所を、地盤変動が少ない検潮所として選定した。次に、選定された 16 の検潮儀データに対し、クラスター分析を行い、日本沿岸を 4 つの海域に分けた (第 2 図右図)。その後、各検潮儀データの年平均海面水位の偏差を求め、海域ごと・年ごとに各検潮儀データの偏差を平均し、海域ごとの年平均海面水位の偏差を求めた。最後に、年ごとに各海域の偏差を平均し、これにより得られた時系列を日本沿岸の海面水位の長期変化とした (第 3 図)。その結果、日本沿岸の海面水位は 1960 年以降については上昇傾向があり、特に 1980 年代以降、明瞭な上昇傾向であると結論付けている。なお、気象庁 (2004, 2013) のどちらの解析においても、1960 年以降の日本沿岸の海面水位の長期変化傾向に大きな違いはなく、1960～2012 年の期間における両者の相関係数は 0.94 であった。また、海面水位の上昇率は 1971～2010 年の期間で 1 年当たり 1.1 mm、1993～2010 年の期間で 1 年当たり 2.8 mm であり、1993 年以降の上昇率は、世界平均の海面水位の上昇率と同程度であった。

2.2.3 岩崎ほか (2002)

岩崎ほか (2002) では、日本沿岸の海面水位の長期変化傾向を検出するために、まず、国土地理院の水準測量データから、各検潮所の基準面がどの程度地盤変動の影響を受けていたのか見積もった。この結果を使って、地盤変動の影響を除去した 30 年間 (1969～1998 年) の各検潮所における年平均海面水位 (各年の日本水準原点に相対的な値) を求め、東経 137 度を境に西日本では 1 年当たり 2.4mm で上昇、東日本では 1 年当たり 3.1mm で下降していることを示した。

2.2.4 三浦・川本 (2013)

三浦・川本 (2013) では、検潮所に取り付けられた GPS 連続観測点を用いて検潮所の地盤上下変動を除去した上、気圧補正、潮汐補正を行った。その結果、2003～2010 年の期間での海面水位の上昇率は全検潮所平均で 1 年当たり 1.1mm であ

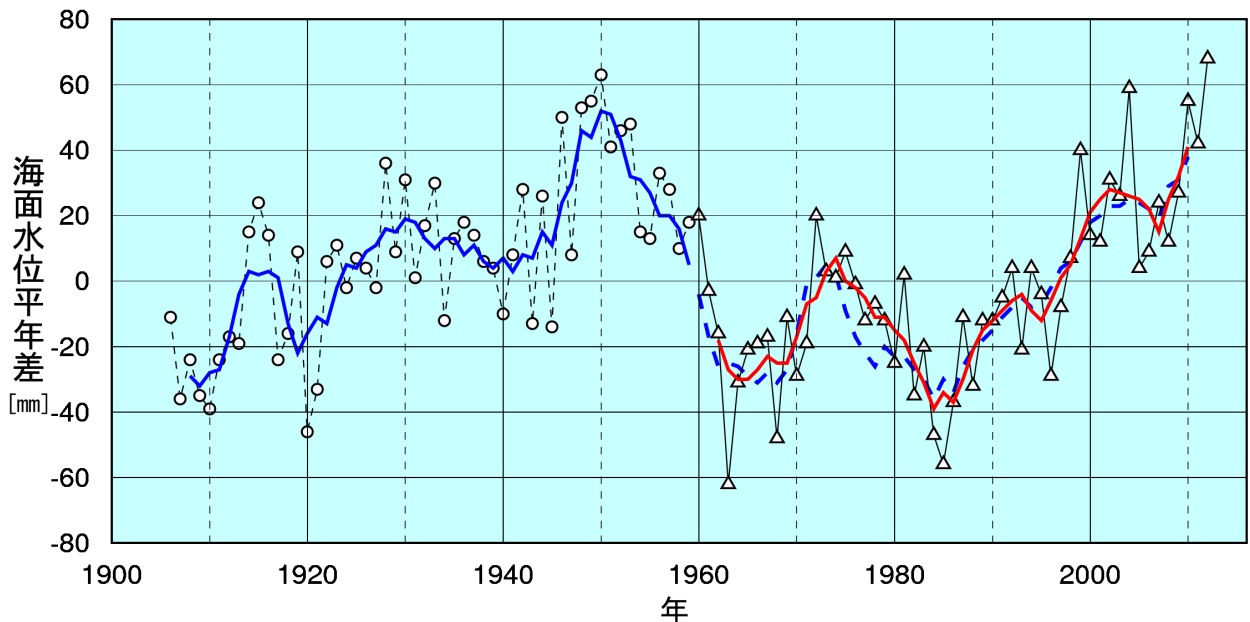


第2図 診断に用いた海面水位観測地点

日本沿岸で地盤変動の影響が小さい検潮所を選択した。1906年から1959年までは4地点（左図）、1960年以降は16地点（右図）の検潮所を選択。1960年以降については、海面水位の長期変動パターンが類似している海域別に日本周辺をⅠ：北海道・東北地方の沿岸、Ⅱ：関東～東海地方沿岸、Ⅲ：近畿～九州地方の太平洋側沿岸、Ⅳ：北陸～九州地方東シナ海側沿岸の4海域に分類（右図）。

忍路、柏崎、輪島、細島は国土地理院の所管。東京は1968年以降のデータを使用している。

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震の影響を受けた可能性のある函館、深浦、柏崎、東京は、2011年と2012年のデータから除外している。八戸は、検潮所が流失したため欠測としている。気象庁（2013）の図1.2-4より



第3図 観測された海面水位に基づく日本沿岸海面水位の変化

1906年から1959年までは、4検潮所（忍路、輪島、浜田、細島）の地点ごとに求めた年平均海面水位の年平均差を4地点で平均した値（白丸・黒破線）の推移、1960年以降については、4海域ごとに求めた年平均海面水位の年平均差の平均値（白三角・黒線）の推移を示す。1981年から2010年までの期間で求めた年平均値を0としている。青線は4地点平均の年平均差の5年移動平均値（1960年以降の5年移動平均値を青破線で示す）、赤線は4海域平均の年平均差の5年移動平均値を示す。

気象庁（2013）の図1.2-5より

った。また、検潮所の海面水位の変化傾向には地域によって異なる分布が見られ、日本海側では1年当たり1～3mmの海面水位の上昇傾向があった。一方、静岡県西部から四国にかけての太平洋側では下降傾向があり、これは黒潮の流路変動が大きく影響しているとしている。

2.2.5 小西ほか(2004)

小西ほか(2004)では、GIAによる地盤変動及び水準測量の結果から得た地盤変動での海面水位の補正を試みている。GIAによる地盤変動の影響の除去については、Peltier(2001)による氷河縮退に伴う地盤変形の計算に基づき、補正を行っている。Peltier(2001)は、世界の各検潮所ごとにその評価を行っており、日本周辺は全て地盤が上昇すると評価している(沖縄が1年当たり0.2mmで最も小さく、尾鷲が1年当たり0.5mmで最も大きい)。したがって、日本沿岸の海面水位の上昇率は、検潮儀データそのものから求めた上昇率よりこれらの値分が増加することになる。その結果、地盤変動や10年未満程度の海洋変動を除いた1970～2002年の期間の日本沿岸で平均した海面水位の上昇率は、1年当たり1.9～2.0mmであるとしている。

水準測量の結果から得た地盤変動の影響の除去については、まず、国土地理院が1969年及び2000年に実施した水準点標高の見直しの結果(以下それぞれ「昭和44年度平均成果」、「2000年度平均成果」という。)を利用して検潮所の最寄りの一等点の地盤変動を推定している。次に、一等点から検潮所の球分体について、各機関が測量を行った結果を基に、1970年からの比高変化を求めて、地盤変動量を算出している。この二つから各検潮所の地盤変動量を見積もり、検潮儀データから求めた海面水位の変化から地盤変動分を除いて、海洋変動起源の海面水位の変化を算出している。地盤変動の補正については期間を分けて議論できる根拠となる資料がないので、地盤変動の速さは一定であるとしている。この結果、1970～2002年の期間で、九州や四国西部を中心とする西日本の沿岸では1年当たり4～6mmの海面水位の上昇傾向、その他の沿岸では、わずかな上昇

又は下降傾向(最も大きかったのは、北日本の太平洋岸で1年当たり1～6mmの低下)と報告している。

2.2.6 安田ほか(2015)

安田ほか(2015)では、世界平均と日本沿岸の海面水位の変化を比較するため、世界平均の海面水位の変化を求めたHolgate(2007)と同様の解析方法(検潮儀データにGIA補正を行い、時間軸をずらしながら10年上昇率を計算し、これらの上昇率を全期間で平均する解析方法)により、1906～2004年の期間での日本沿岸の海面水位の変化を求め、1年当たり0.97mmの上昇となつたと報告している。

2.3 日本沿岸の海面水位の変化の解析における課題

第2.1節と第2.2節では、世界平均及び日本沿岸の海面水位の変化について、これまでどのような解析が行われてきたかレビューした。世界平均の解析方法では、検潮儀データにGIA等の補正を行っているのに対して、気象庁(2004)及び気象庁(2013)では、地盤変動が少ない検潮所のデータだけを選択して解析に用いる方法をとっている。このように検潮儀データの使用に当たっては、世界平均及び日本沿岸のどちらの海面水位の変化の解析においても、地盤変動に対する考慮がなされてきた。しかしながら、日本沿岸は特に地殻変動による地盤変動の大きい地域であり、検潮儀データから気候変動に伴う海面水位の変化だけを抽出する場合は、より注意深く地盤変動の影響を評価する必要がある、その方法を見つけ出すことが課題である。次章では、三浦・川本(2013)と同様に、近年利用可能となつたGPS観測データから検潮所設置地点の地盤変動量を求め、これまでの地盤変動の補正方法と比較し、日本沿岸の海面水位の変化について考察を行う。

3. GPS観測から得た地盤変動量を補正した日本沿岸の海面水位

3.1 解析結果

気象庁では、全国13地点の検潮所(稚内、網

走, 釧路, 函館, 大船渡, 布良, 父島, 串本, 浜田, 富山, 長崎, 那覇, 油津) で, 国土地理院が設置した GPS 観測装置を用いて地盤変動の監視を行っている. 検潮所に併設された国土地理院の GPS 観測装置から得られるデータ (以下「GPS データ」という.) を使用して, 年平均の検潮儀データから年平均の地盤変動量を補正すると, 気候変動に伴う海面水位の変化を得ることができる.

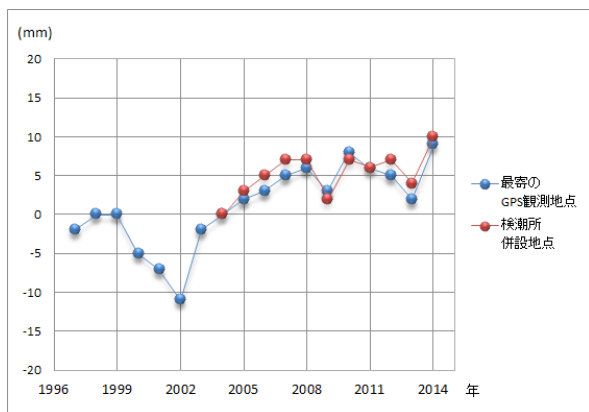
13 検潮所に GPS 観測装置が設置されたのは 2003 年であるが, 国土地理院では 1996 年度から GPS 観測点を高密度に配置してきた. これらのデータを活用することで, 2004 年以降の地盤変動量の補正が可能である. 最寄りの GPS 観測データを用いて, さらに延長して 1997 年～2004 年までの検潮所の地盤変動量の見積もりが可能かどうか検討した. 検潮所併設の GPS 観測地点と最寄りの GPS 観測地点の 2004 年～2014 年の地盤変動を年平均データを使って比較した. ここでは, ある基準を設定 (2004～2014 年の期間の両者の GPS データの相関係数が 0.90 以上で, かつ 1 年当たりの地盤変動量の差が ± 0.1mm 以内) して, それを満たした地点について, 1997 年～2004 年の間も同様の地盤変動をしていたものと仮定して補正量を試算した. その結果, 3 検潮所 (稚内, 串本, 浜田) が, 補正可能であると判断された.

相関の良い地点例を第 4 図に, 悪い地点例を第 5 図に示す. GPS データを使用して地盤変動分を補正した海面水位の変化の時系列グラフを第 6 図に示す. また, 各検潮所の地盤変動量及び海面水位の上昇率を第 1 表に示す.

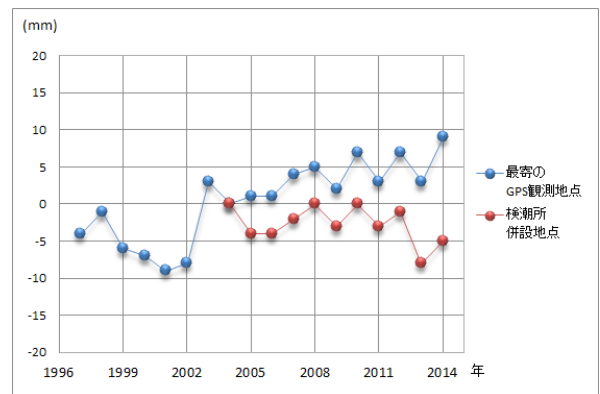
2004～2014 年の, 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震の影響の大きかった函館, 大船渡, 布良を除いた 10 検潮所における地盤変動量は, 1 年当たり -3.4～+4.0mm であった. また, 1997～2014 年の上述の 3 検潮所 (稚内, 串本, 浜田) における地盤変動量は, 1 年当たり -4.4～+0.8 mm であった (第 1 表).

各地点の地盤変動量で検潮儀データを補正すると, 1997～2014 年の期間に対し, 3 検潮所の海面水位の上昇率は 1 年当たり +2.7～+3.6 mm となった.

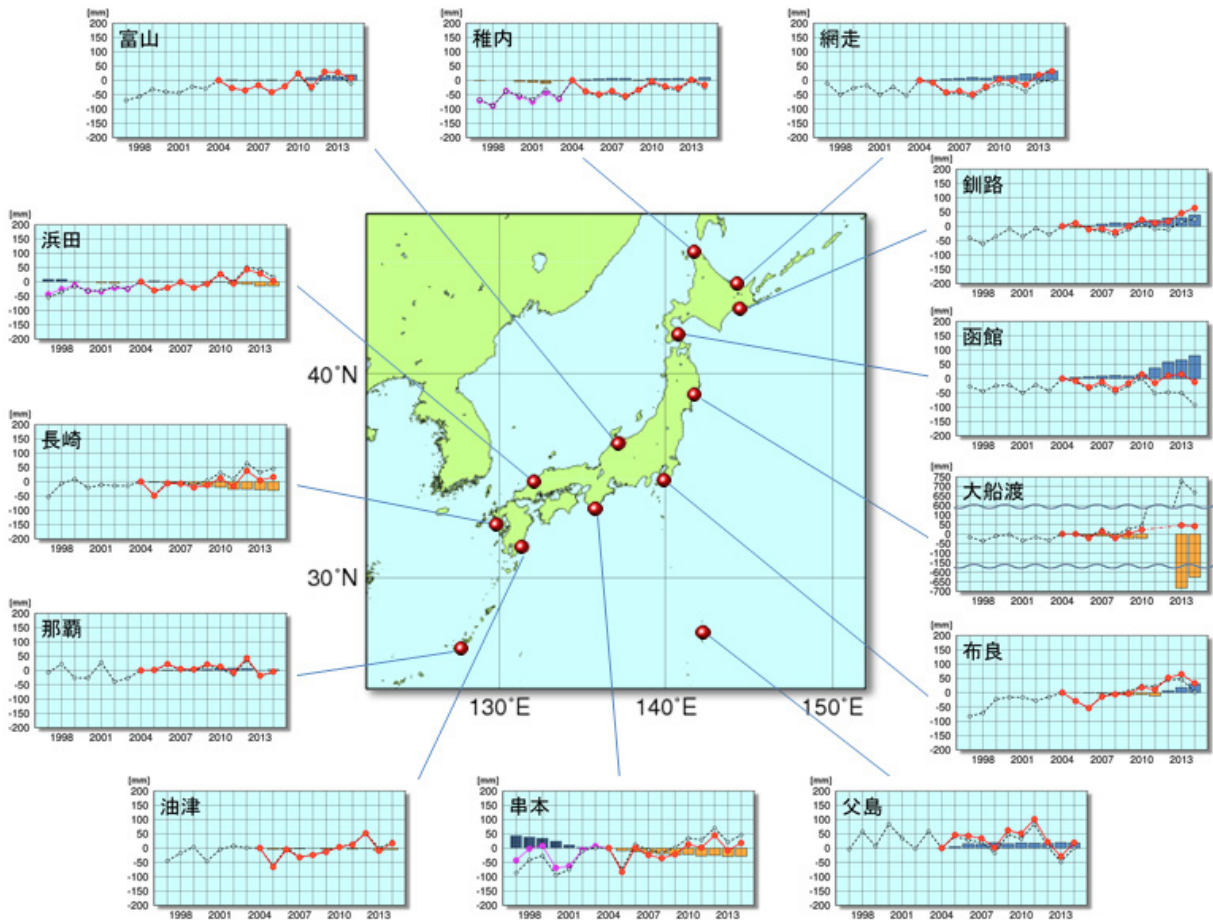
検潮所ごとに変化傾向をみると, これまで地盤変動の影響が小さいとして, 気象庁 (2004) 及び気象庁 (2013) の解析でも使用してきた浜田は, 2004～2014 年の期間と 1997～2014 年の期間で, 1 年当たり 1.0～1.6 mm の地盤の低下が見られた. このことは, 検潮儀データをそのまま利用すると, 浜田の場合には気候変動に伴う海面水位の上昇率が 1 年当たり 1.0～1.6 mm 大きく見積もられることを意味する.



第 4 図 検潮所併設 GPS 観測地点と最寄りの GPS 観測地点の相関が良い地点例
稚内の検潮所併設 GPS 観測データ時系列と最寄りの GPS 観測データ時系列



第 5 図 検潮所併設 GPS 観測地点と最寄りの GPS 観測地点の相関が悪い地点例
油津の検潮所併設 GPS 観測データ時系列と最寄りの GPS 観測データ時系列



第 6 図 地盤変動を補正した海面水位偏差の時系列グラフ (1997～2014 年)

黒点線は地盤変動補正前、赤実線は 2004 年以降の補正後の海面水位偏差、紫実線は 2003 年以前の補正後の海面水位偏差、棒グラフの青はプラスの地盤変動量、黄色はマイナスの地盤変動量を示す。2004 年の値を 0 としている。

地盤上下変動量は、検潮所周辺の GPS 観測データ (国土地理院の電子基準点日々の座標値データ) をもとに気象庁で計算した値。

第 1 表 各地点の地盤変動量と地盤変動除去後の海面水位上昇率

| 検潮所 | 2004～2014年 | | 1997～2014年 | |
|-----|------------|---------|------------|---------|
| | 地盤変動量 | 海面水位上昇率 | 地盤変動量 | 海面水位上昇率 |
| 稚内 | +0.5 | +2.1 | +0.8 | +3.6 |
| 網走 | +3.0 | +4.3 | - | - |
| 釧路 | +4.0 | +5.7 | - | - |
| 函館 | +7.8 | +1.8 | - | - |
| 大船渡 | - | +5.5 | - | - |
| 布良 | +2.1 | +8.5 | - | - |
| 父島 | +1.4 | -0.8 | - | - |
| 串本 | -2.6 | +5.7 | -4.4 | +2.7 |
| 油津 | -0.3 | +5.5 | - | - |
| 那覇 | +0.4 | -0.5 | - | - |
| 長崎 | -3.4 | +4.0 | - | - |
| 浜田 | -1.6 | +4.4 | -1.0 | +3.4 |
| 富山 | +1.9 | +4.6 | - | - |

3.2 考察

IPCC (2013) によると、世界平均の海面水位の上昇率は1901～2010年の期間で1年当たり1.7 mm, 1993～2010年の期間で1年当たり3.2 mmである。また、気象庁(2004)及び気象庁(2013)の解析によると日本沿岸の海面水位に過去約100年の期間で明瞭な上昇傾向は見られず、1993～2010年の期間での海面水位の上昇率は1年当たり2.8 mmであった。このように、世界平均及び日本沿岸の海面水位の上昇率は1年当たり数 mmのオーダーである。一方、日本沿岸の地盤変動量は、前節で示したとおり、平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の影響の大きかった検潮所を除いても1年当たり数 mmに達するところがあり、海面水位の変化に対して無視できないほどに大きい。

日本沿岸では、第3図で示されているように各地点の地盤変動量は年によってばらつきがある。また、大きな地震があった場合、地盤変動の傾向が大きく変わることがある。よって、気象庁(2004, 2013)や小西ほか(2004)のように数十年間の地盤変動量を一定として扱った場合、結果として得られた海面水位の上昇率は相応の誤差を含むことになる。三浦・川本(2013)は、Wöppelmann et al. (2009)でGPSの観測がない期間の海面水位を、異なった期間で算出した地盤上下変動速度で補正していることに対して、地震が多く、地殻変動の傾向が変化する日本では適した方法ではなく、検潮儀データとGPSデータの期間は整合している必要があると指摘している。

これまででも、地盤変動の影響を除去するための工夫がなされてきたが、地震が多く、地殻変動の傾向が変化する日本では、海面水位の変化をより正確に把握するためには、GPSデータのように十分な時間分解能を有する地盤変動の情報をもとに検潮儀データを補正する必要がある。

4. おわりに

第2章では、世界平均と日本沿岸の海面水位の変化の研究についてレビューし、世界平均の海面水位の変化の研究において、どのような解析方法が用いられているか述べた。ま

た、地盤変動による変動成分を取り除くために様々な方法が用いられているが、日本沿岸は特に地殻変動の影響を大きく受ける地域であり、日本沿岸において海面水位を解析する場合は、より注意深く地盤変動の影響を評価する必要があることを述べた。

第3章では、GPSデータを用い日本沿岸の地盤変動の傾向を調べた。その結果、日本沿岸で海面水位の長期変化傾向を解析する上で、地盤変動の影響は無視できず、気候変動に伴う海面水位変化を正確に解析するためには、GPSデータにより検潮儀データを補正、する必要があることを示した。

海面水位の変化の更なる理解のためには、地盤変動、気候や海洋の変動等、地球物理全般に関わる総合的、学際的な知見が必要となる。まず、地盤変動については、今後もGPSによる観測データを長期に亘って蓄積し、地盤変動が日本沿岸の海面水位にどの程度影響しているのか引き続き調べていくことが重要である。次に、海面水位は温暖化に伴う海水の熱膨張による水位上昇のみならず、気候や海洋の変動によっても影響を受けている。それぞれの原因が海面水位にどのような影響を及ぼすのか理解し、またその変化を定量的に見積もることが重要である。既に、日本沿岸海面水位の20年周期の変動については、主に北太平洋の冬季偏西風の南北移動や強度変動が原因であることが明らかになっている(Yasuda and Sakurai, 2006; Sasaki et al., 2014)。日本沿岸の太平洋側では、黒潮流路の変動により海面水位が影響を受けるが、実際にどれくらい日本沿岸の海面水位の変動に寄与しているか、より具体的な影響について調べることも必要と考える。これら様々な要因による海面水位の変動の仕組みを明らかにすることで、日本沿岸における地球温暖化による海面水位の変動をより正確に把握することができるよう、引き続き調査に取り組んでいきたい。

謝辞

気候情報課の安田珠幾エルニーニョ情報管理官からは、海面水位に関する最新の研究や海面水位の変化のメカニズム等、多くの点を教えていただ

きました。海洋気象課 海洋環境解析センターの中野俊也調査官及び福田義和調査官からは、海面水位の解析に関し、有益なコメントを頂きました。篤く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- Church, J. A., N. J. White, R. Coleman, K. Lambeck, and J. X. Mitrovica (2004) : Estimates of the regional distribution of sea level rise over the 1950–2000 period. *J. Clim.*, **17**, 2609–2625.
- Church, J. A., and N. J. White (2006) : A 20th century acceleration in global sea-level rise. *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01602.
- Church, J. A., and N. J. White (2011) : Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surveys in Geophysics*, **32**, 585–602.
- Douglas, B. C. (2001) : Sea level change in the era of recording tide gauge, in *Sea Level Rise: History and Consequences*, Int. Geophys. Ser., vol. **75**, edited by B. Douglas, M. Kearney, and S. Leatherman, vhap. 3, pp. 37–64, Academic, San Diego, Calif.
- Holgate, S. J. (2007) : On the decadal rates of sea level change during the twentieth century. *Geophys. Res. Lett.*, **34**, L01602
- IPCC (2013) : The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jevrejeva, S., A. Grinsted, J. C. Moore, and S. Holgate (2006) : Nonlinear trends and multiyear cycles in sea level records. *J. Geophys. Res. Oceans*, **111**, C09012.
- Jevrejeva, S., J. C. Moore, A. Grinsted, and P. L. Woodworth (2008) : Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? *Geophys. Res. Lett.*, **35**, L08715.
- 岩崎伸一・松浦知徳・渡辺勲, 2002 : 地殻変動を除去した長期海面水位変動と海面水温の関係—本州沿岸域—. *海の研究*, **11**, 529–542.
- 加藤照之・津村建四郎 (1979) : 潮位計記録から推定される日本の垂直地殻変動 (1951–1978) . *地震研究所彙報*, **54**, 559–628
- 気象庁 (2004) : 海洋の健康診断表 総合診断表, 35–43
- 気象庁 (2013) : 海洋の健康診断表 総合診断表 第2版, 59–68
- 小西達男・桜井敬三・内藤俊太 (2004) : 日本沿岸の長期海面水位変動について—関連研究の現状と日本沿岸の海面水位変化の特徴—. *測候時報*, **71**, 特別号, S173–S195
- Llovel, W., A. Cazenave, P. Rogel, A. Lombard, and M. B. Nguyen, 2009: Two dimensional reconstruction of past sea level (1950–2003) from tide gauge data and an Ocean General Circulation Model. *Clim. Past*, **5**, 217–227.
- Meysignac, B., M. Becker, W. Llovel, and A. Cazenave (2012) : An assessment of two-dimensional past sea level reconstructions over 1950–2009 based on tide-gauge data and different input sea level grids. *Surv. Geophys.*, **33**, 945–972.
- Merrifield, M. A., S. T. Merrifield, and G. T. Mitchum (2009) : An anomalous recent acceleration of global sea level rise. *J. Clim.*, **22**, 5772–5781.
- 三浦優司・川本智司 (2013) : 験潮場の GPS 連続観測点を用いた潮位データ解析手法の検討 . *国土地理院時報*, No. **123**, 21–33
- Peltier W. R. (2001) : Global Glacial Isostatic Adjustment and Modern Instrumental Records of Relative Sea Level History. *Sea Level Rise*, edited by Douglas et al., Academic Press., 65–95.
- Richard D. Ray and Bruce C. Douglas (2011) : Experiments in reconstructing twentieth-century sea levels, *Progress in Oceanography* **91** (2011) 496–515
- Sasaki, Y. N., S. Minobe and Y. Miura, 2014: Decadal sea-level variability along the coast of Japan in response to ocean circulation changes, *J. Geophys. Res. Oceans*, **119**, doi:10.1002/2013JC009327.
- Yasuda, T. and K. Sakurai, 2006: Interdecadal variability of the sea surface height around Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01605, doi:10.1029/2005GL024920.
- 安田珠幾・平原隆寿・奥中裕佳・福田義和・中野俊也 (2015) : 20 世紀における日本沿岸の海面水位トレンド . *日本海洋学会春季大会要旨集*
- Wenzel, M., and J. Schroeter (2010) : Reconstruction of regional mean sea level anomalies from tide gauge using neural networks. *J. Geophys. Res. Oceans*, **115**, C08013.
- Wöppelmann, G., et al. (2009) : Rates of sea-level change

over the past century in a geocentric reference frame.
Geophys. Res. Lett., **36**, L12607.