

日本沿岸水位の十年規模変動と長期変化傾向

安田珠幾（気象研究所）

1. はじめに

地球温暖化に伴う海面水位上昇は、島しょや海岸線を持つ国々にとって最も重要な問題の一つである。20 世紀の全球平均海面水位は 1.7mm/年で上昇し、近年 20 年間は海面水位上昇が加速している (Church and White, 2011; IPCC, 2013)。しかしながら、水位変化の長期変化傾向は海域によって異なるため、各海域の海面水位変動とそのメカニズムを理解することが重要である。日本は北太平洋の亜熱帯循環系と亜寒帯循環系の境界の緯度にあり、日本沿岸水位はこれらの循環系の変化の影響を受ける。また、地球温暖化に伴う将来の海面水位上昇も海域によって異なり、日本周辺の海面水位の将来変化も海洋循環の変化の影響を受けることが指摘されている (Sueyoshi and Yasuda, 2012)。ここでは、日本沿岸水位の変動と長期変化傾向及びこれらの要因について解説するとともに、将来予想される日本周辺の水位変化について述べる。

2. 観測された日本沿岸水位の変動と長期変化傾向

図 1a は、20 世紀初めから日本沿岸での海面水位の観測が続いている沿岸潮位計 (忍路、輪島、浜田、細島) の 4 点で平均した年平均海面水位偏差時系列を示す。1900 年代以降、全球平均海面水位が上昇しているのに対して、日本沿岸水位は有意な上昇傾向を持っていない (気象庁, 2013)。また、日本沿岸水位

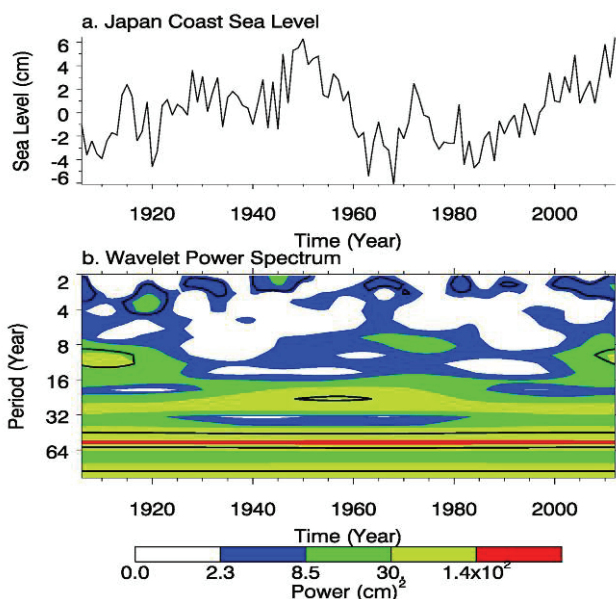


図 1 (a) 日本沿岸の潮位計 4 点で平均した年平均海面水位偏差時系列。(b) Wavelet 解析で得られた日本沿岸水位の卓越周期 (年) と変動強度 (cm²)。

は十年、二十年、五十年など、さまざまな時間規模の変動や変化が混在している (図 1b)。

2.1 十年から二十年規模の海面水位変動

20 世紀の日本沿岸水位変動には、数 cm の振幅を持つ十年から二十年規模の変動や、1980 年代以降の水位上昇が見られる。十年から二十年規模の変動の要因については、観測された沿岸水位や北太平洋の海面水位のデータや海洋大循環数値モデルを用いた数値実験によって調べられてきた。ここでは、1993 年以降に観測された海面水位変動を例に解説する

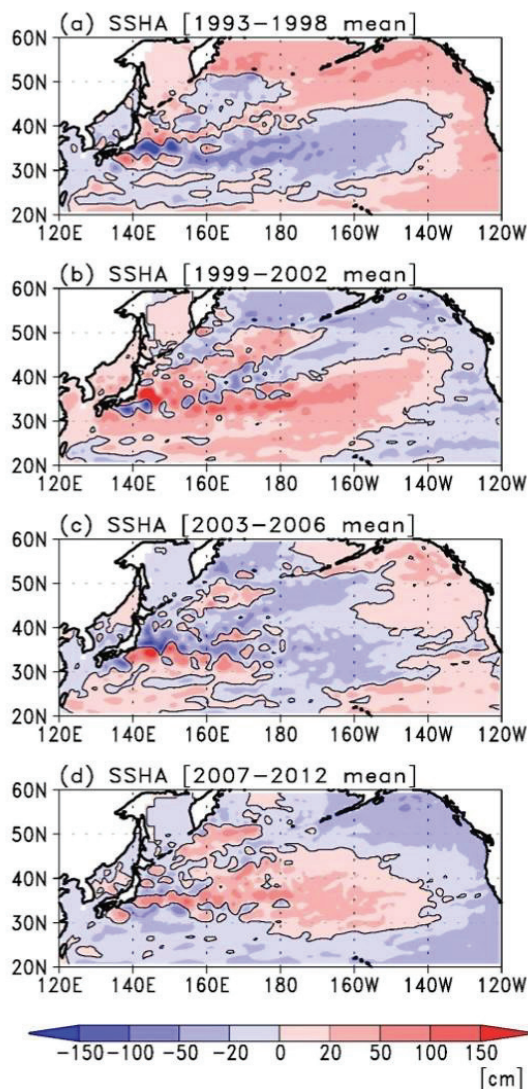


図 2 北太平洋海面水位偏差。(a) 1993-1998 年平均、(b) 1999-2002 年平均、(c) 2003-2007 年平均、(d) 2008-2012 年平均。それぞれ、全球平均水位を除いて示す。実線は 0 を表す。

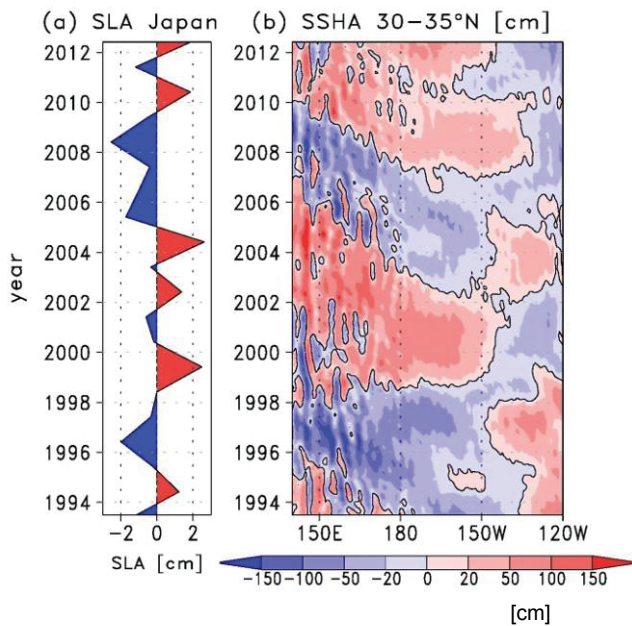


図 3 (a) 年平均日本沿岸平均水位偏差。1993 年から 2012 年までの長期変化傾向を除いて示す。(b) 北緯 30 度から 35 度で平均した海面水位偏差。全球平均海面水位を除き、13 か月の移動平均を掛けて示す。実線は 0 を表す。

(図 2)。北太平洋中央部(北緯 25 度から 45 度、東経 170 度から西経 150 度の海域)の海面水位が十年規模で変動していることがわかる。図 3 に示されるように、北太平洋中央部の海面水位偏差がロスビー波として西方に伝播し、数年かけて日本東方海域まで達する(Qiu, 2003; Sasaki et al., 2013 など)。日本沿岸水位は、東方からの海面水位偏差が北緯 30 度から 35 度にかけての太平洋岸に到達するのと同期して変動する(図 3)。九州から北海道にかけての日本沿岸上では、水位偏差は沿岸に沿って時計回りに伝播するが、その伝播速度が速いため、年平均値で見た場合は北海道から九州にかけての沿岸水位は概ね似たような変動傾向を示す(ただし、領域によって、黒潮大蛇行などの海流変動の影響を受ける)。1993 年以前の日本沿岸水位変動についても、北太平洋における海面水位偏差の西方伝播が要因であることが、海洋大循環数値モデルを用いた研究によって明らかとなっている(Yasuda and Sakurai, 2006)。

北太平洋において十年から二十年規模で海面水位が変動する原因は、北太平洋上の大気大循環の変動である。北太平洋では、冬季はアリューシャン低気圧が発達し、中緯度偏西風が卓越する。この大気循環の変動によって、北太平洋中央部では海面水位変動が生じる(図 2)。例えば、北太平洋において生じた高気圧偏差は、海面水位の低下をもたらす(図 2b 及び 2d)。こうして生じた負の海面水位偏差は図 3 で示されるように西方に伝播し、日本沿岸水位の低下をもたらすのである。北太平洋では大気と海洋が十年から二十年規模で変動することが知られている(太平洋十年規模振動(PDO; Mantua et al., 1997)や北太平洋循

環振動(NPGO; Di Lorenzo et al., 2008)。したがって、十年から二十年規模の日本沿岸水位変動は大気と海洋の気候システムが作り出す自然変動と考えることができる。

また、ひとまとめに十年から二十年規模変動といっても、1990 年代以前は二十年規模の変動が卓越していたが、1990 年代以降は十年規模変動が卓越している(図 1b)。1990 年代以降は十年規模で変動する NPGO の振幅が大きくなったことが明らかとなっており(Yeh et al., 2011)、日本沿岸水位の変動特性の変化は北太平洋の大気海洋の変動特性の変化と関連があると考えられる。

以上のように、日本沿岸水位の十年から二十年規模の変動は北太平洋の大気海洋の大規模な変動と密接な関係がある。しかしながら、東方から伝播してきた海面水位偏差が日本沿岸付近でのどのような過程を経て日本沿岸水位変動をもたらすかについては十分解明されておらず、今後明らかにすべき重要な課題である。

2.2 百年規模の海面水位変化と五十年規模の海面水位変動

1906 年以降の日本沿岸水位には、全球平均海面水位に見られるような顕著な上昇傾向が見られない(図 1a)。沿岸潮位計で観測された海面水位データには、最終氷期以降の地球規模の地盤変化の影響も含まれていると考えられるが、現時点の研究結果からは、このような日本沿岸と全球平均の海面水位変化の違いを説明するには至っていない。また、1950 年代に日本沿岸水位は 2000 年代と同程度の水位偏差を記録した。PDO は 50 年規模の変動を持つことが指摘されている(Minobe, 1999)。一方で、20 世紀半ばと後半に北大西洋やインド洋でも水位上昇が加速し、全球水位上昇率の変動との関連が議論されている(Chambers et al., 2012)。日本沿岸水位が 1950 年代に比較的高い状態にあったことは、これらの変動と関連があるかもしれない。

1980 年代以降の日本沿岸水位は、十年から二十年規模で変動しながら全球平均水位と同様の水位上昇を示している。特に、1993 年代以降の日本沿岸水位は 1 年間に 2.8mm の割合で上昇しており、全球平均水位の上昇率(1 年間に 3.2mm)と同程度である。このことは、近年の日本沿岸水位上昇が地球温暖化に伴う全球平均水位上昇によるものであることを示唆するが、上述の五十年規模の水位変動が日本沿岸水位上昇に影響している可能性もある。

このように、長い時間規模の日本沿岸水位変動や変化の要因は十分に明らかにはなっていないのが現状である。気候モデルを用いた水位の将来予測では、百年規模では、全球平均水位と同様に、日本沿岸水位も上昇すると予測されているが、数十年の近未来においては、全球平均水位と同様の上昇率が続くのか、五十年規模の水位変動の影響で水位上昇が減速するのか、注意深く正確に監視し続けることが重要である。

3. 北太平洋海面水位の将来変化予測

気候モデルによる地球温暖化予測では、日本東方海域の水位上昇は全球平均に比べて大きいことが知られているが、モデルによるバラつきが大きい(Yin, 2012; IPCC, 2013)。本研究では、地球温暖化に伴う北太平洋の海面水位将来変化とモデル間のバラつきについて、第5次結合モデル相互比較プロジェクト(CMIP5)に参加した世界各国の大気海洋結合モデルによる地球温暖化予測実験を解析した。

本研究では30個のCMIP5マルチモデルデータにおける20世紀再現実験(historical 実験)及び25個の将来変化予測実験(rcp8.5 シナリオ)の結果を使用した。解析には、1960-1999年(以下、20世紀)と2060-2099年(以下、21世紀)の各冬季平均を用い、将来変化はこれら2平均の差とした。図4に、CMIP5における海面水位と海面気圧の将来変化(21世紀-20世紀)のマルチモデル平均場を示す。地球温暖化に伴い、日本の東方から南方の海域で相対的に水位が上昇し、北緯40-60度の亜寒帯循環系では相対的な水位は下降する(図4a)。このため、水位変化の南北差は20cmに達する。また、アリューシャン低気圧及び中緯度偏西風が強化・北上し(図4b)、亜熱帯・亜寒帯循環系が強化し黒潮続流が強化する。さらに、北太

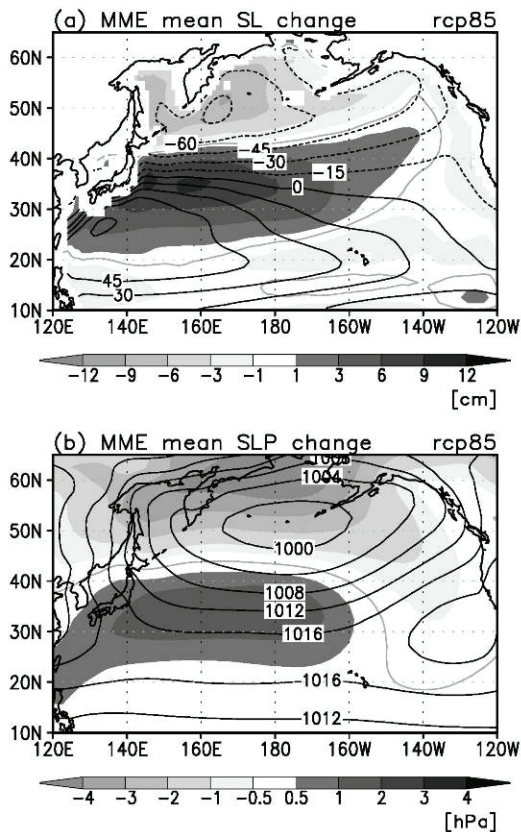


図4 25の気候モデルで平均した(a) 海洋循環の変化による海面水位の将来変化(北太平洋平均を除く)と(b) 海面気圧の将来変化(陰影部)。海面水位は全球平均からの相対値を表す。黒線:20世紀気候値。rcp8.5シナリオ実験に基づく。

平洋西部における水位将来予測のモデル間バラつきの要因は、地球温暖化に伴う北太平洋上風系の変化のバラつきであることが明らかとなった(図略)。

次に、海面水位の将来変化の要因の一つである「海洋密度変化(主に海洋熱膨張)による全球平均海面水位変化」との比較を行った(15モデル)。図5aは、海洋循環の変化による海面水位変化(図4a)に「海洋密度変化による全球平均海面水位変化」を加えたものである。海洋循環の変化による日本東方海域の海面水位上昇は、海洋密度変化による全球平均海面水位上昇より最大40%高くなる(図5b)。一方、北緯40-60度の亜寒帯循環系では海洋密度変化による全球平均海面水位上昇より約30%低くなる(図5b)。このように、日本東方海域の海面水位の将来変化を評価する上で、海洋循環の変化による領域的湖面水位上昇を無視することはできないことが明らかとなった。

4. まとめ

これまでの研究から、日本沿岸水位は主に十年、二十年、五十年規模で変動しており、北太平洋の大規模な大気海洋変動と関係がある一方で、地球温暖化と関連のある百年規模の海面水位上昇は見られないことが示された。また、21世紀末の日本東方の海面水

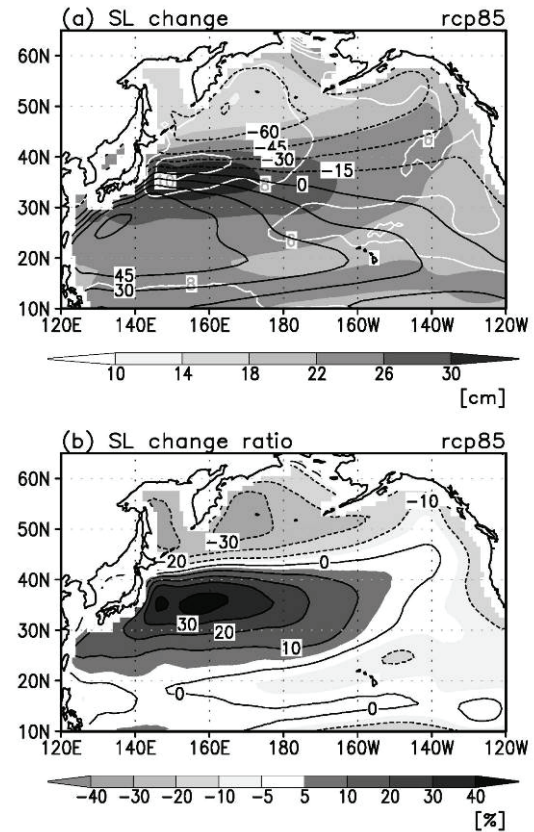


図5 15の気候モデルで平均した(a) 海面水位の将来変化[海洋循環による変化成分+海洋密度変化による全球平均海面水位変化成分](陰影部)。(b) [海洋循環による海面水位変化]/[海洋密度変化による全球平均海面水位変化](%)。rcp8.5シナリオ実験に基づく。

位は、全球平均海面水位に比べ 10cm ほど高くなる (rcp8.5 シナリオ) が明らかとなった。

日本沿岸水位変動、特に海洋変動の影響を調べる上で、観測される海面水位変動を正確に把握することは非常に重要であるが、最も難しい問題である。沿岸潮位計で観測されるデータは必ずしも海洋の影響だけを表しているわけではない。地震のような非常に短い時間規模から、最終氷期以降の氷床の融解に対する地球の応答のような長い時間規模まで、さまざまな地盤変動・変化の影響が含まれている。近年は、衛星海面高度計による観測や GPS 観測による地盤変動の除去によって、海洋の影響による水位変動・変化を把握することができるようになってきた。しかしながら、それ以前の地盤変動・変化を除いて海面水位変化を評価することは難しいため、大気海洋の変動、数値モデルなどを利用することで、海洋変動による海面水位の変動・変化を解明することが重要であろう。

また、日本沿岸水位変動の変動メカニズムを完全に明らかにするには、外洋から沿岸までの海面水位変動の過程を詳細に把握する必要がある。今後、高解像度海洋モデルの著しい発達や新しい衛星海面高度計 (COMPIRA: 従来のものより沿岸付近まで観測可能) の観測により、沿岸変動メカニズムが明らかになるものと期待される。

第 3 節で述べた地球温暖化に伴う海面水位の将来変化予測では、海洋モデルの解像度不足により、日本沿岸水位そのものを予測することはできない。全球高解像度モデルによる日本沿岸水位の将来予測はまだ難しいが、今後、日本付近を高解像度化した海洋モデルの組み込みやダウンスケールなどの手法などによって、日本沿岸水位の将来変化予測も可能になることが期待される。

謝辞 本研究は環境省環境研究総合推進費 (2A-1201) の支援によって行われた。

参考文献

Chambers, D. P., M. A., Merrifield, R. S. Nerem, 2012: Is there a 60-year oscillation in global mean sea level? *Geophys. Res. Lett.*, 39, L18607, DOI: 10.1029/2012GL052885.

Di Lorenzo E., Schneider N., Cobb K. M., Chhak, K., Franks P. J. S., Miller A. J., McWilliams J. C.,

Bograd S. J., Arango H., Curchister E., Powell T. M. and P. Rivere, 2008: North Pacific Gyre Oscillation links ocean climate and ecosystem change. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L08607, doi:10.1029/2007GL032838

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC 5th Assessment Report - Changes to the Underlying Scientific/Technical Assessment".

Mantua, N. J., and S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, pp. 1069-1079.

Minobe, S., 1999: Resonance in bidecadal and pentadecadal climate oscillations over the North Pacific: Role in climatic regime shifts, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 855-858.

Qiu, B., 2003: Kuroshio Extension variability and forcing of the Pacific decadal oscillations: Responses and potential feedback. *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 2465-2482.

Sasaki, Y. N., S. Minobe, and N. Schneider, 2013: Decadal response of the Kuroshio Extension jet to Rossby waves: Observation and thin-jet theory. *J. Phys. Oceanogr.*, 43, 442-456.

Sueyoshi, M., and T. Yasuda, 2012: Inter-model variability of predicted sea level changes in the western North Pacific in CMIP3 coupled climate models. *J. Oceanogr.*, 68, 533-543.

Yasuda, T., and K. Sakurai, 2006: Interdecadal variability of the sea surface height around Japan, *Geophys. Res. Lett.*, 33, L01605, doi:10.1029/2005GL024920.

Yeh, S.-W., Y.-J. Kang, Y. Noh, and A. J. Miller, 2011: The North Pacific climate transitions of the winters of 1976/77 and 1988/89. *J. Climate*, 24, 1170-1183.

Yin, J. J., 2012: Century to multi-century sea level rise projections from CMIP5 models, *Geophys. Res. Lett.*, 39, L17709, doi:10.1029/2012GL052947.

気象庁, 2013: 気候変動監視レポート 2012, 気象庁, pp.68.