

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400472

研究課題名(和文) データ同化による日本沿岸の10日から10年スケールの水位変動メカニズムの解明

研究課題名(英文) Study of mechanism for sea level variability along the Japanese coast on the timescales from 10 days to a decade using data assimilation

研究代表者

碓氷 典久 (Usui, Norihisa)

気象庁気象研究所・海洋・地球化学研究部・主任研究官

研究者番号：50370333

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：世界初となる北西太平洋域における高解像度長期海洋再解析データ(FORA-WNP30)を作成し、日本沿岸における10日から10年スケールの水位変動メカニズムを調べた。2011年の異常潮位について調べたところ、房総半島沖の黒潮流路変動により生じた沿岸捕捉波の伝播により水位上昇がもたらされたことが分かった。また、黒潮変動により励起される沿岸捕捉波を考慮することで、黒潮続流の十年規模変動と同期する日本沿岸の水位変動メカニズムを説明しうることが分かった。さらに、沿岸水位変動は、対馬海峡の通過流量の変化を通じて、日本海貯熱量の長期変動にも多大な影響を及ぼしていることが分かった。

研究成果の概要(英文)：Four-dimensional variational ocean reanalysis for the western North Pacific (FORA-WNP30) was produced to study sea level variability along the Japanese coast on the timescales from 10 days to a decade. It is the first-ever dataset covering the western North Pacific over 3 decades at eddy-resolving resolution. FORA-WNP30 clarified a generation mechanism of an unusual tide that occurred in 2001. It was caused by a coastal-trapped waves (CTWs) induced as a result of a short-term fluctuation of the Kuroshio path. The CTWs play an important role not only in the unusual tide on 2011 but also in the long-term variability of the Japanese coastal sea level, which synchronizes with the decadal variability of the Kuroshio extension. It is also shown that the long-term coastal sea-level variability has a significant impact on long-term variability of ocean heat content in the Japan Sea by changing volume transport at the Tsushima Strait.

研究分野：海洋物理学

キーワード：沿岸水位 沿岸捕捉波 異常潮位 黒潮続流 十年規模変動 貯熱量 対馬暖流 データ同化

1. 研究開始当初の背景

四方を海で囲われた我が国にとって、沿岸の水位変動の実態を正しく理解し、予測することは、極めて重要な課題である。日本沿岸の水位は、上昇トレンドと共に顕著な10年規模の変動を示すことが知られており (Yasuda and Sakurai 2006)、近年では2010年以降、10年規模変動が正の位相となり、2012年の平均潮位は、過去最高となった。このような状況のもと、2000年以降、日本南岸では、異常潮位が度々発生し、浸水等の被害が報告されている。この異常潮位の発生要因として、日本南岸の黒潮流路との関係がこれまで指摘されてきた (板橋ら 2005) が、異常潮位の具体的な発生機構については不明のままである。

一方、沿岸水位の10年規模変動は、偏西風の南北変動と良い対応があることが知られている (Yasuda and Sakurai 2006)。また、この偏西風の南北変動に対する海洋の傾圧応答として、黒潮続流域に顕著な10年規模変動が存在し、黒潮続流流路の南北変位と流路形態の変化 (安定または不安定流路) を伴うことが、これまでの研究で明らかとなっている (Qiu and Chen 2010)。結果として、黒潮続流と日本沿岸水位の10年規模変動は良い対応を見せているが、両者を結び付ける物理機構についても不明のままである。

このように、日本沿岸水位は、異常潮位に代表される10日程度のスケールの変動から、10年規模の変動まで、外洋の黒潮・黒潮続流循環系の変動と密接に関係している事実は広く認識されつつあるが、外洋の変動を沿岸に伝えるメカニズムは未解明の問題として残されていた。

2. 研究の目的

海盆スケールの黒潮・黒潮続流循環系の変動と沿岸スケールの水位変動を一貫した力学で記述可能な高解像度データ同化システムを用いて、外洋の変動が沿岸水位に影響を及ぼす素過程を明らかにし、10日から10年スケールの沿岸水位変動メカニズムの解明を目的とする。

3. 研究の方法

高解像度データ同化システムを用いて、本研究の基盤データとなる長期再解析データを作成する。このデータを用いて、まず、過去の異常潮位事例の解析を行い、黒潮および黒潮続流の流路変動が沿岸水位の短期変動に影響を及ぼすメカニズムを解明する。この短期変動メカニズムから、黒潮流路および黒潮続流の状態と日本沿岸の水位の関係を導き、その関係を元に、日本沿岸水位の10年規模変動と黒潮・黒潮続流循環系の長期変動との対応を明らかにし、日本沿岸水位の10日から10年スケールの変動メカニズムを解明する。

4. 研究成果

(1) 北西太平洋海洋長期再解析データセット FORA-WNP30 (FORA-WNP30; Usui et al. 2017) の作成

渦解像度海洋モデルを用いた4次元変分法に基づく海洋データ同化システム MOVE-4DVAR (Usui et al. 2015) を用いて、1982年以降の期間について、高解像度長期海洋再解析データ Four-dimensional variational ocean re-analysis for the Western North Pacific over 30 years (FORA-WNP30; Usui et al. 2017) を作成した。独立観測データによる検証から、従来の3次元変分法による同化解析値に比べて、黒潮・黒潮続流域の中規模現象、沿岸水位変動等の再現精度が飛躍的に向上していることが確認された。

FORA-WNP30は、世界初の北西太平洋域における渦解像度の長期再解析データであり、現在、広く一般に公開し、多くのユーザに利用して頂いている。

(2) 2011年異常潮位の発生メカニズム

MOVE-4DVAR および瀬戸内海周辺域を対象とした水平解像度2kmの沿岸モデルを用いて、2011年9月に瀬戸内海周辺で生じた異常潮位の再現実験を行った。

沿岸潮位計による観測水位との比較から本異常潮位事例が良好に再現されていることが確認された。モデル結果の解析から、本異常潮位は、伊豆諸島付近での黒潮流路変動の結果生じた沿岸捕捉波が日本南岸を伝播することによりもたらされた事が分かった。

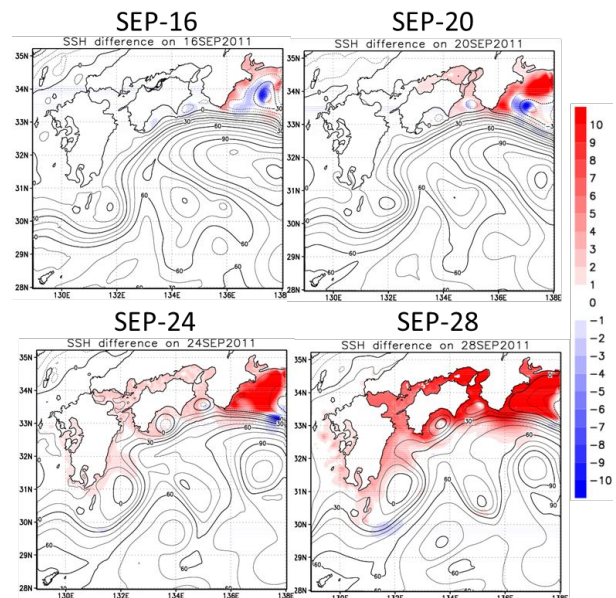


図1: 沿岸モデルで再現された日本南岸を伝播する沿岸捕捉波。沿岸捕捉波による水位上昇分布の時系列を示す (単位: cm)

また、沿岸捕捉波の特性に関する解析から、この波動が、内部に密度偏差を伴った、第1モードの沿岸捕捉波の特性を有していることが分かった。さらに、瀬戸内海東部では、

紀伊半島沖の黒潮が接岸することによる局所的な効果による水位変化が生じていたことも分かった。すなわち、黒潮の接岸により紀伊半島の西岸沿いに北西向き反流（振り分け潮）が生じ、この反流が黒潮系の暖水を紀伊水道周辺に供給することで、瀬戸内海東部の水位が上昇する。

(3) 日本沿岸水位の十年規模変動

FORA-WNP30 を用いて、日本沿岸における経年から十年規模変動の水位変動の解析を行った。沿岸水位の EOF 解析から、第 1 モードとして日本沿岸全域が同期するモード、第 2 モードとして日本南岸の東西ダイポールパターンが抽出された。第 1 モードは、黒潮統流および日本海、東シナ海の水位変動と同期し、第 2 モードは日本南岸における黒潮大蛇行と密接に関わっていることが分かった。

さらに、第 1 モードの水位変動は、房総半島沖の黒潮流軸変動と高い相関を持つことが分かった。このことは、2011 年の異常潮位の事例でみたように、黒潮変動により励起された沿岸捕捉波が第 1 モードの水位変動に深く関わっていることを示唆する。また、房総半島沖の黒潮流軸の位置は、下流の黒潮統流の十年規模変動と密接に関わっている。黒潮統流では、中緯度偏西風の変動に対する傾圧応答として、十年程度の時間スケールで、流路が安定する時期と不安定化する時期が交互に出現することが知られている（例えば Qiu and Chen 2010）。黒潮統流の安定期には、房総半島周辺で黒潮が接岸傾向となり日本沿岸水位が上昇し、不安定期には、離岸傾向となり沿岸水位は低くなる。そのため、日本沿岸水位と黒潮統流の十年規模変動が良い対応関係にあると考えられる。

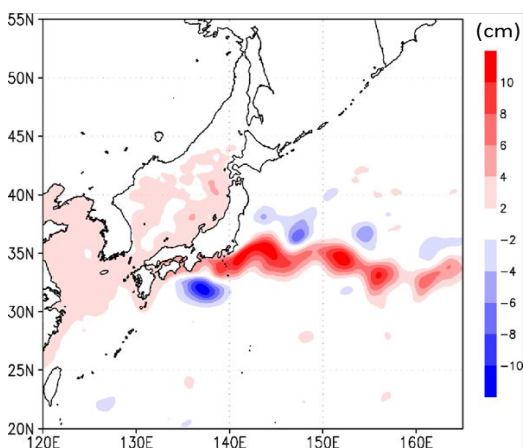


図 2 : 沿岸水位 EOF 第 1 モードの時係数に対する海面高度の回帰係数分布。

(4) 日本海貯熱量の十年規模変動

沿岸水位の解析から、日本沿岸水位が、黒潮統流および日本海、東シナ海の水位と同期して変動していることが分かった。このことは、日本海の海洋貯熱量にみられる十年規模

変動が沿岸水位変動と関わっていることを示唆する。そこで、FORA-WNP30 を用いて、日本海貯熱量の十年規模変動について調べた。

FORA-WNP30 の熱収支解析から、対馬海峡における熱輸送変動が、日本海貯熱量の長期変動の主要因であり、海面熱フラックスは、貯熱量変動に受動的に反応していることが分かった。また、対馬海峡における海峡通過流量と日本沿岸水位の第 1 モードの時係数との間に高い相関関係があり、第 1 モードの水位変動により九州と朝鮮半島の水位差が変化し、海峡通過流量および熱輸送量の長期変動を引き起こしていることが分かった。

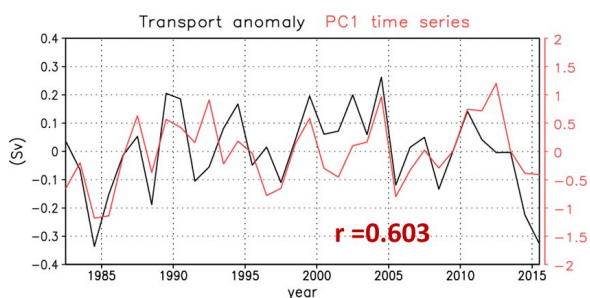


図 3 : (黒線) 対馬海峡通過流量および (赤線) 沿岸水位 EOF 第 1 モードの時係数の時系列。両者は良い対応関係にあり、相関係数は 0.603。

これまでの知見をまとめると、日本沿岸水位および北西太平洋における十年規模変動に関して、以下のメカニズムが導かれる。

- 中緯度偏西風の変化に対する傾圧応答として黒潮統流に顕著な十年規模変動が存在
- 黒潮統流の安定(不安定)期に房総半島沖の黒潮流軸が接岸(離岸)傾向となる
- 房総半島沖の黒潮が接岸(離岸)時には、黒潮の短期的な流路変動により沿岸捕捉波が生じ易い(難い)状態となり、日本沿岸水位が高い(低い)状態となる
- 日本沿岸水位の変化により、九州と朝鮮半島の水位差が変化し、対馬海峡の通過流量および熱輸送量が変化する
- 対馬海峡の熱輸送量が変化することで日本海貯熱量に十年規模変動が生じる

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Usui, N., T. Wakamatsu, Y. Tanaka, N. Hirose, T. Toyoda, S. Nishikawa, Y. Fujii, Y. Takatsuki, H. Igarashi, H. Nishikawa, Y. Ishikawa, T. Kuragano, M. Kamachi, 2017: Four-dimensional variational ocean reanalysis: a 30-year high-resolution dataset in the western North Pacific (FORA-WNP30), Journal of Oceanography,

73, 205-233, DOI: 10.1007/s10872-016-0398-5, 査読有
Usui, N., Y. Fujii, K. Sakamoto, M. Kamachi, 2015: Development of a Four-Dimensional Variational Assimilation System for Coastal Data Assimilation around Japan, Monthly Weather Review, 143(10), 3874-3892, DOI: 10.1175/MWR-D-14-00326.1, 査読有
〔学会発表〕(計 22 件)
Usui, N., N. Hirose, Y. Fujii, K. Sakamoto, and S. Urakawa: Development of a four-dimensional variational assimilation system with a high resolution coastal ocean model, RIKEN International Symposium on Data Assimilation 2017, 2017 年 2 月 27 日, 兵庫県神戸市
Hirose, N., N. Usui, T. Wakamatsu, Y. Tanaka, T. Toyoda, Y. Fujii, Y. Takatsuki, T. Kuragano, and M. Kamachi: Intercomparison of sea level variation across the Tsushima Strait among tide gauge data, a coastal altimetry product and an ocean reanalysis FORA-WNP30, RIKEN International Symposium on Data Assimilation 2017, 2017 年 2 月 27 日, 兵庫県神戸市
Hirose, N., N. Usui, T. Wakamatsu, Y. Tanaka, T. Toyoda, Y. Fujii, Y. Takatsuki, T. Kuragano, and M. Kamachi: Intercomparison of sea level variation across the Tsushima Strait among tide gauge data, a coastal altimetry product and an ocean reanalysis FORA-WNP30, 10th Coastal Altimetry Workshop, 2017 年 2 月 22 日, イタリア, フィレンツェ
碓氷典久: 海洋モデル・同化を用いた黒潮研究 - 川辺先生の描いた黒潮像にどこまで近づけたか? -, この 10 年の海洋物理学を振り返る(杉ノ原伸夫・川辺正樹記念シンポジウム), 2017 年 1 月 28 日, 千葉県柏市
碓氷典久, 広瀬成章, 豊田隆寛, 藤井陽介, 高槻靖, 倉賀野連: 日本海表層貯熱量の十年規模変動, 日本海及び日本周辺海域の海況モニタリングと波浪計測に関する研究集会, 2016 年 12 月 15 日, 福岡県大野城市
Hirose, N., Y. Takatsuki, N. Usui, T. Wakamatsu, Y. Tanaka, T. Toyoda, S. Nishikawa, Y. Fujii, H. Igarashi, H. Nishikawa, Y. Ishikawa, T. Kuragano, and M. Kamachi: Four-dimensional variational Ocean ReAnalysis for the Western North Pacific over 30 years (FORA-WNP30), 2016 AGU Fall Meeting, 2016 年 12 月 15 日, アメリカ, サンフランシスコ
碓氷典久, 高槻靖, 若松剛, 田中裕介, 広瀬成章, 豊田隆寛, 藤井陽介, 倉賀野連: 1970 年代の渦解像再解析は可能

か?: 1971 年異常潮位再現実験から, 日本海洋学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 12 日, 鹿児島県鹿児島市
広瀬成章, 碓氷典久, 豊田隆寛, 藤井陽介, 高槻靖, 倉賀野連: 海洋長期再解析における日本海の流量 貯熱量の長期変動について, 日本海洋学会 2016 年秋季大会, 2016 年 9 月 12 日, 鹿児島県鹿児島市
広瀬成章: データ同化の基礎, 第 20 回データ同化夏の学校, 2016 年 8 月 22 日, 青森県下北市
Usui, N., N. Hirose, T. Toyoda, Y. Fujii, K. Sakamoto, Y. Takatsuki, G. Yamanaka, and T. Kuragano: Assimilation experiment for the largest-ever abnormal sea-level at the south coast of Japan in September 1971, Asia Oceania Geosciences Society 13th Annual Meeting, 2016 年 8 月 4 日, 中国, 北京
広瀬成章, 碓氷典久, 豊田隆寛, 藤井陽介, 高槻靖, 倉賀野連: 日本海の貯熱量と海峡通過流量の関係について, 研究集会「宗谷暖流を始めとした対馬暖流系の変動メカニズム」, 2016 年 7 月 1 日, 北海道札幌市
Hirose, N., N. Usui, Y. Tanaka, Y. Ishikawa, T. Toyoda, Y. Fujii, S. Nishikawa, H. Igarashi, H. Nishikawa, Y. Takatsuki, T. Kuragano, and M. Kamachi: Relationship between upper ocean heat content in the Japan Sea and volume transport through the Tsushima Strait, JpGU meeting 2016, 2016 年 5 月 24 日, 千葉県千葉市
Usui, N., K. Ogawa, T. Yasuda, N. Hirose, and T. Kuragano: Mechanism of interannual to decadal sea level variability along the Japanese coast, Ocean Sciences Meeting 2016, 2016 年 2 月 26 日, アメリカ, ニューオーリンズ
碓氷典久, 藤井陽介, 広瀬成章, 坂本圭, 高槻靖: 気象研における高解像度海洋データ同化システム開発の現状と今後に向けて, 第 6 回データ同化ワークショップ, 2016 年 2 月 1 日, 神奈川県横浜市
碓氷典久: FOR A から見えてきた海の 30 年の歴史, 最先端計算科学が描き出す海の 30 年 長期再解析 FORA シンポジウム, 2016 年 1 月 20 日, 東京都千代田区
碓氷典久, 若松剛, 田中裕介, 広瀬成章, 豊田隆寛, 藤井陽介, 西川史朗, 五十嵐弘道, 西川悠, 石川洋一, 高槻靖, 倉賀野連, 蒲地政文: 北西太平洋海洋長期再解析 (FORA-WNP30) IV: 黒潮・黒潮統流の再現性, 日本海洋学会秋季大会, 2015 年 9 月 27 日, 愛媛県松山市
Usui, N., Y. Fujii, T. Kuragano, M. Kamachi: Development of a four-dimensional variational assimilation

system in the western North Pacific, 1st GODAE OceanView Data Assimilation Task Team (DA-TT) Workshop, 2015年5月20日, イギリス, エクセター

Usui, N., K. Ogawa, K. Sakamoto, Y. Fujii, T. Kuragano: Mechanism for an unusual tide around the Seto Inland Sea in 2011 revealed by a coastal-assimilative model, 18th Pacific-Asia Marginal Seas Meeting, 2015年4月21日, 沖縄県那覇市

Usui, N.: Development of a coastal monitoring and forecasting system at MRI/JMA, OOPC2015 workshop "Future Prospects of Coastal Ocean Observations and Modeling in Japan", 2015年4月17日, 宮城県仙台市

Usui, N., K. Ogawa, T. Yasuda, T. Kuragano: Sea level variability along the Japanese coast in response to changes in the Kuroshio-Kuroshio Extension system, 2014 AGU Fall meeting, 2014年12月17日, アメリカ, サンフランシスコ

- 21 碓氷典久、小川浩司、安田珠幾、倉賀野連：日本沿岸水位と黒潮・黒潮続流変動との関係, 2014年日本海洋学会秋季大会, 2014年9月15日, 長崎県長崎市

- 22 Usui, N., K. Ogawa, K. Sakamoto, T. Kuragano, M. Kamachi: Covariations in sea-level along the Japanese coast and the Kuroshio-Kuroshio Extension system, AOGS 11th Annual Meeting, 2014年7月31日, 北海道札幌市

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

北西太平洋海洋長期再解析データセット FORA-WNP30

<http://synthesis.jamstec.go.jp/FORA/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

碓氷 典久 (USUI, Norihisa)

気象庁気象研究所・海洋地球化学研究部・主任研究官

研究者番号：50370333

(2) 研究分担者

研究者番号：

(3) 連携研究者

広瀬 成章 (HIROSE, Nariaki)

気象庁気象研究所・海洋地球化学研究部・研究官

研究者番号：20748074

(平成28年度より連携研究者)

(4) 研究協力者

安田 珠幾 (YASUDA, Tamaki)

気象庁・地球環境海洋部・情報課
エルニーニョ情報管理官

(平成26年度は連携研究者、平成27年度より研究協力者)

福田義和 (FUKUDA, Yoshikazu)

気象庁・地球環境海洋部・海洋気象課
調査官

(平成27年度まで研究協力者)

本山龍也 (MOTOYAMA, Tatsuya)

気象庁・地球環境海洋部・海洋気象情報室
技術専門官