

## 日本沿岸水位の季節変動<sup>†</sup>

寄高博行\*, 工藤宏之\*

Seasonal variation of sea-level along the Japanese coast<sup>†</sup>

Hiroyuki YORITAKA\* and Hiroyuki KUDO\*

### Abstract

Annual and semi-annual variations of sea-level along the Japanese coast are investigated. The Japanese coast is divided into eight areas by the amplitude level of annual variation. Distribution of the amplitude / phase in annual variation for coastal sea-level almost coincides with one for sea surface height anomaly at coastal region from satellite altimeter with some bias.

It is indicated from distribution of the amplitude / phase of annual variation in sea surface height anomaly that the variation along the Japanese coast is affected by ocean currents such as the Kuroshio and the Tsushima Warm Current.

### 1 はじめに

日本の沿岸水位の支配的な長周期変動として季節変動があげられる。水位の季節変動は、海面からの加熱・冷却による海水の膨張・収縮と、海流による熱・海水の収束・発散を反映して生じており、海域毎に異なる特徴を持っている。Tomizawa et al. (1984) は、沿岸水位の季節変動のレンジと最低・最高を取る月から、日本と韓国の沿岸を 14 の海域に分けた。一方、沿岸水位の季節変動のうち、年周期変動 (Sa) と半年周期変動 (Ssa) は、潮汐を構成する分潮として調和分解が行われてきた (例えば、津村, 1963)。常設験潮所以外での沿岸水位の季節変動を推定するためには、海域毎の特徴を年周期変動・半年周期変動の振幅・位相として整理する必要がある。

また、沿岸水位の季節変動は、近傍海域の力学

的海面高の季節変動とほぼ一致することが報告されている (例えば, Toba et al., 1982)。近年では、1992 年に打ち上げられた TOPEX/POSEIDON 衛星以降の、海面高度計による継続的な観測により、極沿岸域を除く海域での水位変動もとらえられるようになった。このため、沿岸水位の季節変動の空間スケールを把握することも可能となっている。

本研究では、沿岸水位の季節変動のうち、年周期変動と半年周期変動によって海域毎の変動の特性を把握し、衛星海面高度計による周辺海域の水位の年周期変動・半年周期変動と比較して、沿岸水位変動の要因を検討した。

### 2 データ

沿岸水位データは、海岸昇降検知センターが公

<sup>†</sup>Received November 26, 2010 ; Accepted January 20, 2011

\* 海洋研究室 Ocean Research Laboratory

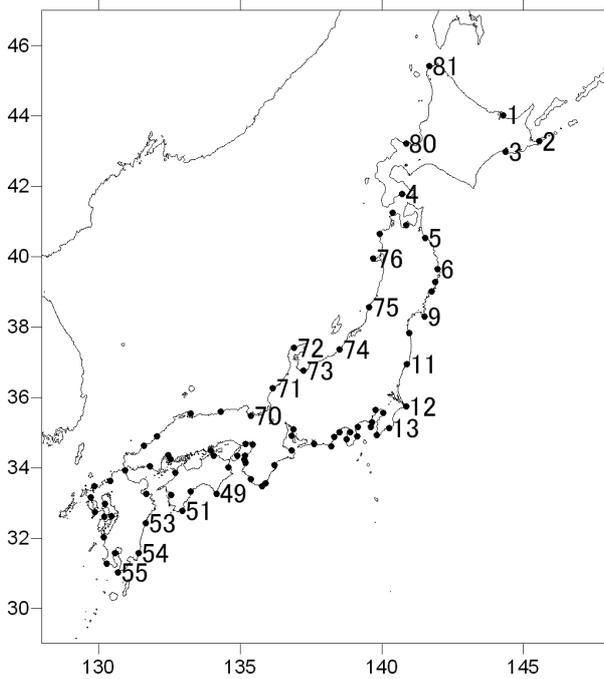


Fig. 1 Location of tidal stations.

表している月平均潮位のうち、後述の衛星海面高度計データの期間を含むように、1999年1月～2009年12月の11年分を対象とした。利用した験潮所は、海上保安庁、気象庁、国土地理院が管理する81か所である。Fig.1に験潮所の位置を、Table 1に験潮所の地名と本稿での番号を示す。オホーツク海沿岸の網走から時計回りに番号をつけてある。験潮所に最も近い気象台・測候所で観測されている気圧の月平均値を用い、1 cm = 1 hPa として気圧補正を行った。

衛星海面高度計データには、フランスの AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data) において、 $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ} \times 7$  days のグリッドに内挿された DT-MSLA “Upd” (Updated Delayed Time Maps of Sea Level Anomalies) を用いた。“Upd”には、TOPEX/POSEIDON, Jason - 1, 2, ERS, Envisat に加えて、GFO

Table 1 List of tidal stations.

No.	Station		No.	Station		No.	Station	
1	Abashiri	網走	28	Nagoya	名古屋	55	Odomari	大泊
2	Hanasaki	花咲	29	Toba	鳥羽	56	Kagoshima	鹿児島
3	Kushiro	釧路	30	Owase	尾鷲	57	Makurazaki	枕崎
4	Hakodate	函館	31	Uragami	浦神	58	Akune	阿久根
5	Hachinohe	八戸	32	Kushimoto	串本	59	Misumi	三角
6	Miyako	宮古	33	Shirahama	白浜	60	Oura	大浦
7	Kamaishi	釜石	34	Kainan	海南	61	Kuchinotsu	口之津
8	Ofunato	大船渡	35	Wakayama	和歌山	62	Nagasaki	長崎
9	Ayukawa	鮎川	36	Tannowa	淡輪	63	Sasebo	佐世保
10	Soma	相馬	37	Osaka	大阪	64	Kariya	仮屋
11	Onahama	小名浜	38	Kobe	神戸	65	Hakata	博多
12	Choshigyoko	銚子漁港	39	Uno	宇野	66	Susa	須佐
13	Katsuura	勝浦	40	Kure	呉	67	Hamada	浜田
14	Mera	布良	41	Hiroshima	広島	68	Sakai	堺
15	Chiba	千葉	42	Tokuyama	徳山	69	Tajiri	田後
16	Tokyo	東京	43	Shimonoseki	下関	70	Maizuru	舞鶴
17	Yokosuka	横須賀	44	Oita	大分	71	Mikuni	三国
18	Aburatsubo	油壺	45	Matsuyama	松山	72	Wajima	輪島
19	Manazuru	真鶴	46	Takamatsu	高松	73	Toyama	富山
20	Ito	伊東	47	Sumoto	洲本	74	Kashiwazaki	柏崎
21	Tago	田子	48	Komatsushima	小松島	75	Nezugaseki	鼠ヶ関
22	Uchiura	内浦	49	Murotomisaki	室戸岬	76	Oga	男鹿
23	Shimizuminato	清水港	50	Kure	久礼	77	Fukaura	深浦
24	Yaizu	焼津	51	Tosashimizu	土佐清水	78	Tappi	竜飛
25	Omaezaki	御前崎	52	Uwajima	宇和島	79	Asamushi	浅虫
26	Maisaka	舞阪	53	Hosojima	細島	80	Oshoro	忍路
27	Onisaki	鬼崎	54	Aburatsu	油津	81	Wakkanai	稚内

による観測データが用いられ、3~4の衛星データが合成されている。対象期間は1999年11月~2009年7月である。このデータにはECMWFのデータによる気圧補正がなされている (AVISO, 2010)。

### 3 年周期変動と半年周期変動

#### (1) 年周期変動

験潮所における月平均潮位と、7日毎の海面高度計データから、最小自乗法を用いて年周期変動と半年周期変動を抽出した。沿岸水位の年周期変動の振幅と極大を取る通日を Fig.2 に示す。年周期変動の振幅分布では、海域毎に同様の値をとること、海域間にギャップが存在する様子が見られる。海域毎の振幅平均値は、

- (a) 網走 (1 番) ~ 函館 (4 番) : 6 cm,
- (b) 八戸 (5 番) ~ 銚子漁港 (12 番) : 11 cm,
- (c) 勝浦 (13 番) ~ 浦神 (31 番) : 9 cm,
- (d) 串本 (32 番) ~ 小松島 (48 番) : 13 cm,
- (e) 室戸岬 (49 番) ~ 大泊 (55 番) : 11 cm,

(f) 鹿児島 (56 番) ~ 富山 (73 番) : 14 cm,  
 (g) 柏崎 (74 番) ~ 深浦 (77 番) : 12 cm,  
 (h) 竜飛 (78 番) ~ 稚内 (81 番) : 10 cm,  
 となっている。この8つの海域は、Tomizawa et al. (1984) による14の海域をいくつかまとめたものとなっている。全測点の振幅平均値は約11 cmで、東シナ海~日本海沿岸 (f) (g) と瀬戸内海・紀伊水道沿岸 (d) で平均よりも大きくなっており、北海道岸・津軽海峡 (a) (h) と紀伊半島東岸~房総半島沿岸 (c) で平均よりも小さくなっている。ただし、伊勢湾の鬼崎 (27 番) ~ 鳥羽 (29 番) は振幅10 cm以上と比較的大きくなっている。

年周期変動の位相を見ると、振幅の大きい地点ほど位相が早いという相関が見られる。全測点の平均として、極大は270日頃(9月下旬)であるが、北海道オホーツク海~太平洋沿岸 (a) では310日頃(11月上旬)である。これは、海面加熱と宗谷暖流の流量が大きい効果による夏季(8月, 9月)の水位極大と、Itoh and Ohshima

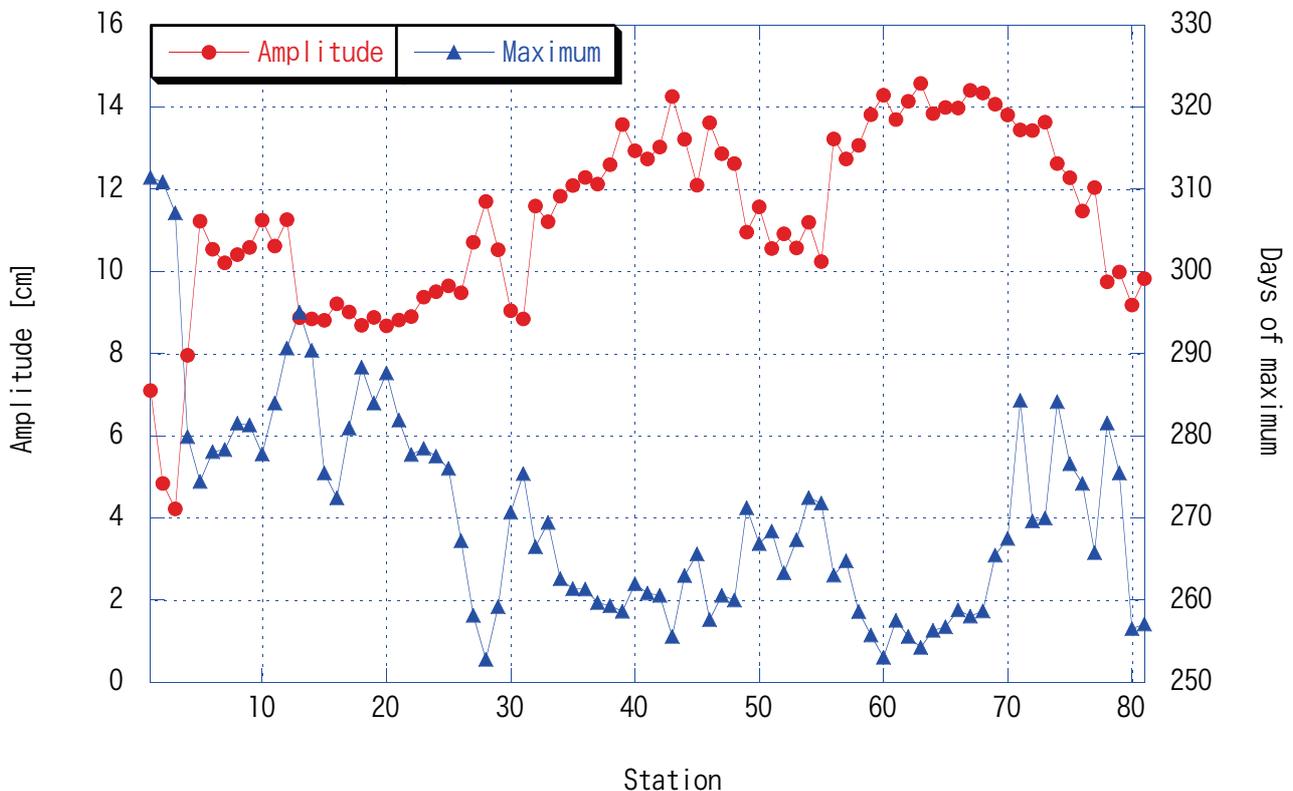


Fig. 2 Amplitude and phase of annual variation in the coastal sea-level.

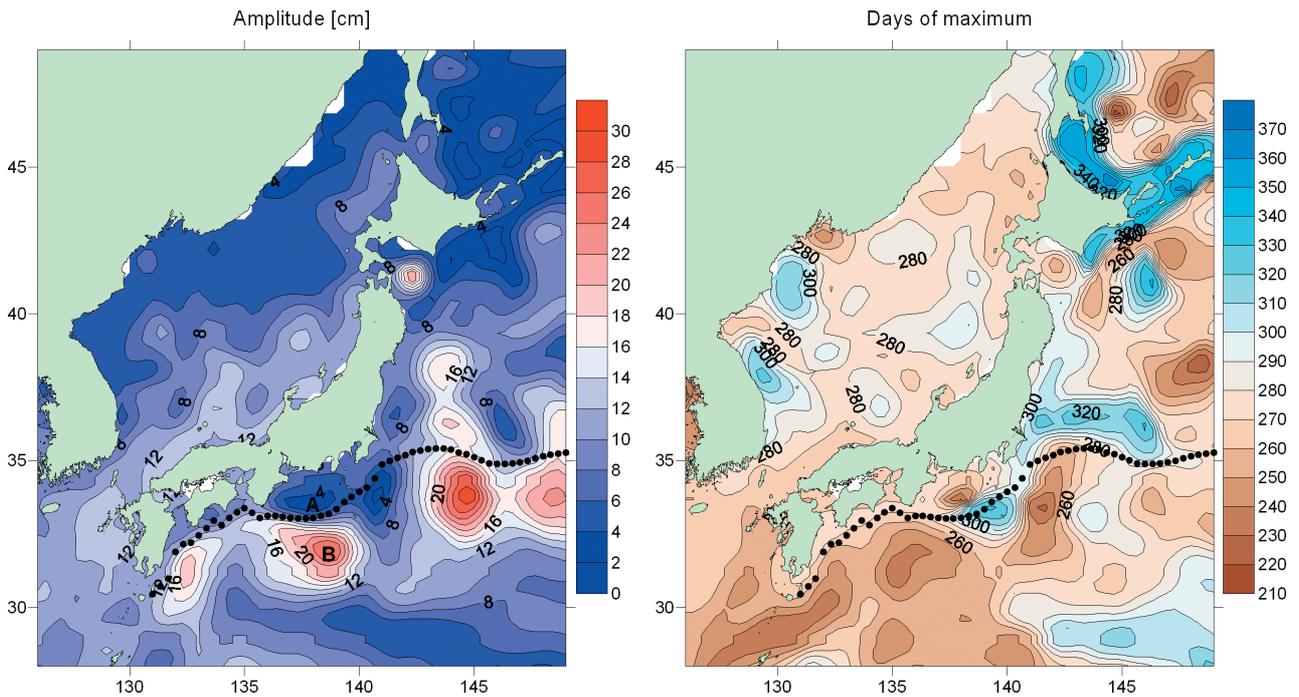


Fig. 3 Amplitude (left panel) and phase (right panel) of annual variation in the sea surface height anomaly. Closed circles indicate the climatological axis of the Kuroshio.

(2000) の示した低塩分水の流入による冬季（12月，1月）の水位極大の2つの極大を反映している。伊勢湾の鬼崎（27番）から鳥羽（29番）で極大が250～260日頃（9月上旬～中旬）と周辺海域よりもわずかに早くなっているのは，振幅が比較的大きいことと併せ，Unoki and Isozaki（1965）の示した河川からの低密度水の流入量の季節変動に対応していると考えられる。

海面高度計による海面高アノマリの年周期変動の振幅と極大を取る通日を Fig. 3 に示す。図中に●で示したのは，表層漂流ブイのデータと衛星海面高データを組み合わせて求めた1992年10月～2005年1月の黒潮・黒潮続流の流軸位置である。本州東方及び本州・四国南方では，黒潮・黒潮続流の年周期変動による最大30 cmの振幅が見られる。また下北半島東沖では，8月～11月に発達する津軽暖流渦モードに伴う約22 cm振幅の年周期変動が見られる。太平洋では沿岸側の方が沖合側よりも振幅が小さいという分布に対し，東シナ海～日本海では日本の沿岸に近づくほど振幅が大きくなっている。沿岸域においては，それぞれの海域において，沿岸水位の年周期変動より

2 cm程小さい振幅，10日程度遅い位相が見られ，補正に用いた気圧データの相違と考えられる。沿岸域で最も振幅が大きいのは，九州西岸～佐渡島南方にかけての12 cm以上の海域で，最も振幅が小さいのは，北海道オホーツク海～太平洋沿岸にかけての4～6 cmの海域である。紀伊半島東岸～房総半島にかけての黒潮流軸の北側では年周期変動の振幅は小さく，沿岸域においても振幅8 cm以下となっている。伊勢湾の周辺に振幅の増大や位相の早まりは見られず，河川水の影響は湾の近傍に限定されると考えられる。

年周期変動の位相についても，沿岸域においては，沿岸水位の位相分布に近い分布を示し，北海道オホーツク海～太平洋沿岸にかけて300日以降の極大が見られる。九州西方で極大が250～260日と最も早く，日本海を東に向かうにつれ遅くなるという分布もよく似ている。

## (2) 半年周期変動

沿岸水位の半年周期変動の振幅と極大を取る通日を Fig. 4 に示す。ほとんどの測点で振幅3 cm以下と，年周期変動に比べて小さい。比較的大き

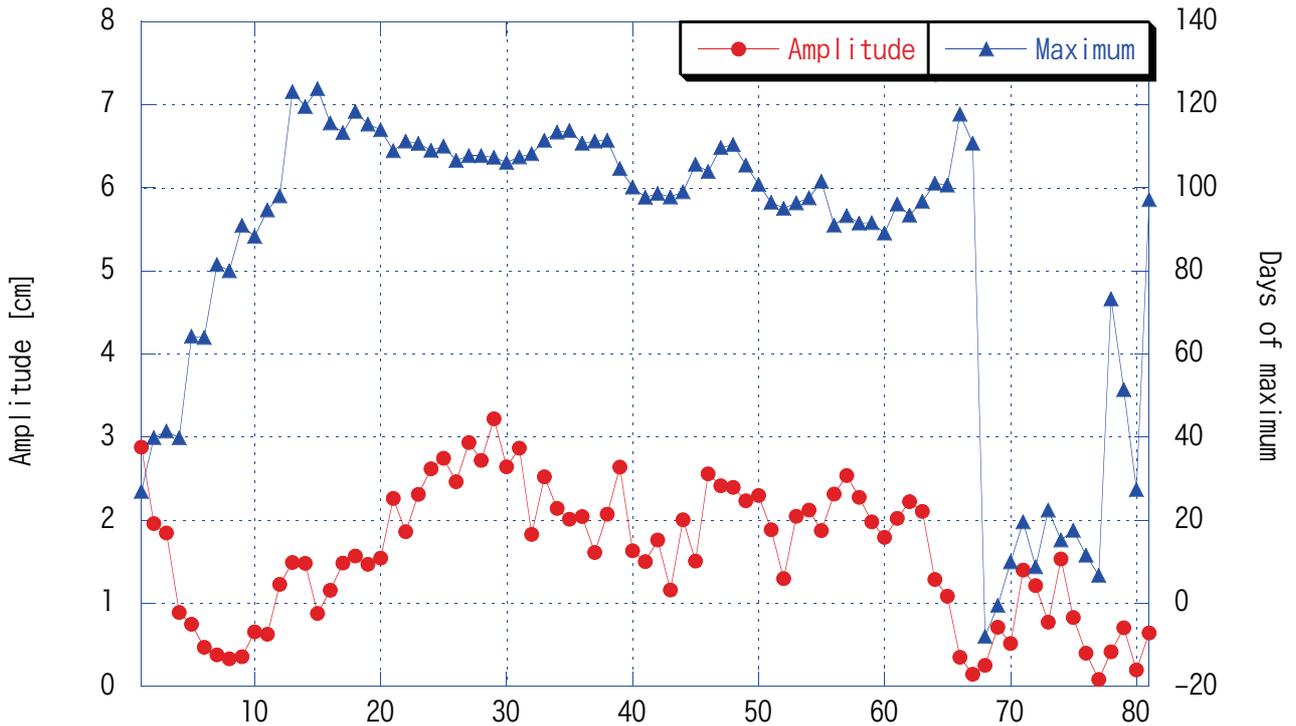


Fig. 4 Amplitude and phase of semi-annual variation in the coastal sea-level.

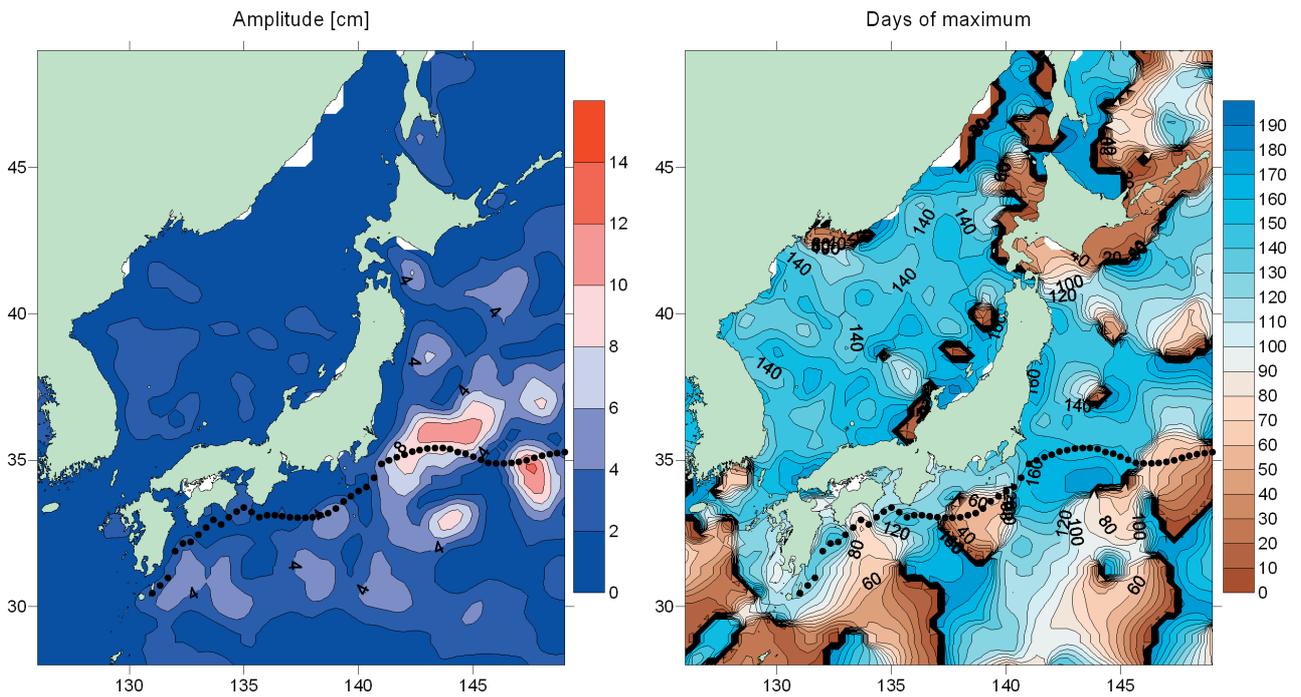


Fig. 5 Amplitude (left panel) and phase (right panel) of semi-annual variation in the sea surface height anomaly.

い値を示すのは、北海道オホーツク海沿岸の網走（1番）と本州南岸の焼津（24番）～浦神（31番）の海域で、振幅 2.5 cm 以上となる。網走における半年周期変動の極大は 30 日頃（1月下旬と 7 月下旬）で、月平均水位の 2 つの極大を反映

している。駿河湾～熊野灘にかけての半年周期変動は 110 日頃（4 月中旬と 10 月中旬）に極大を取る。

海面高度計による海面高アノマリの半年周期変動の振幅と極大を取る通日を Fig. 5 に示す。黒潮

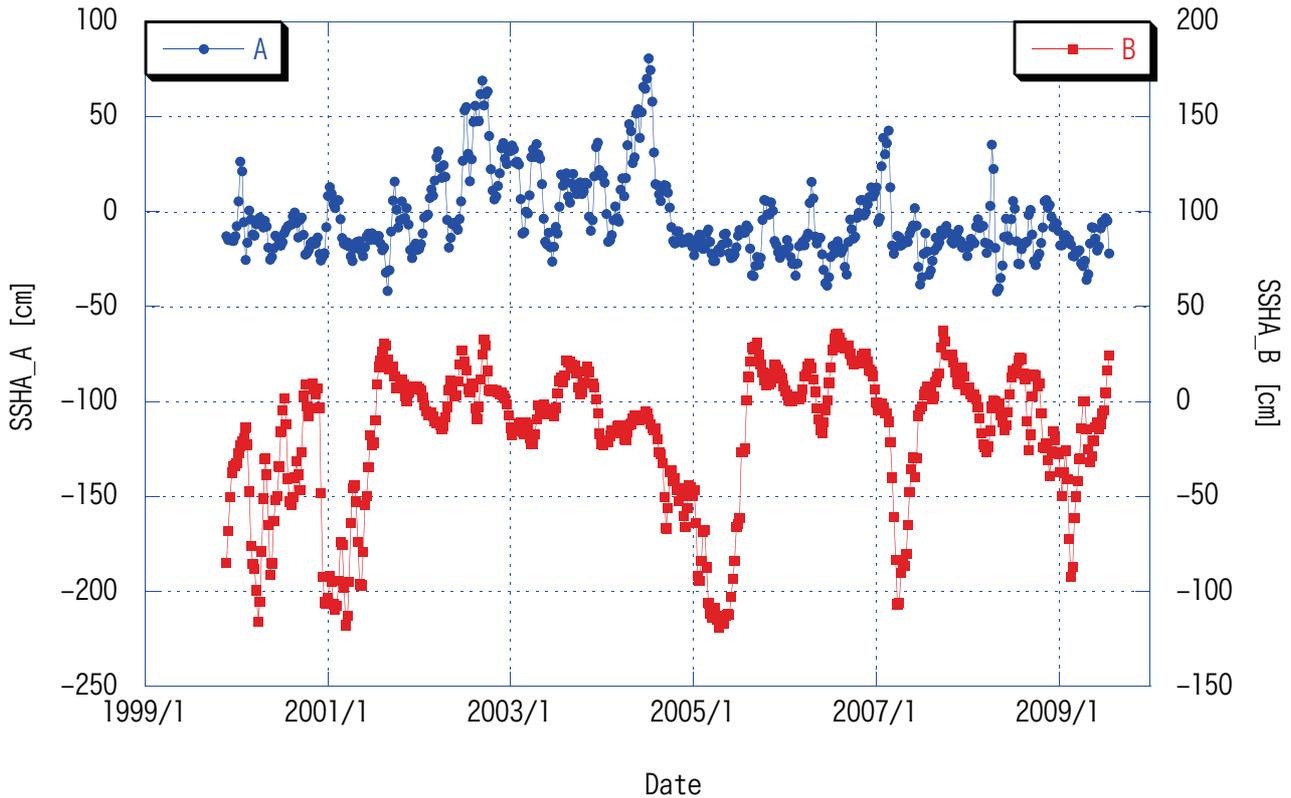


Fig. 6 Time series of sea surface height anomaly at point A and B in Fig. 3.

続流域に最大振幅 13 cm の半年周期変動が見られる。沿岸域においては、ほぼ全域で振幅 2 cm 以下となっている。北海道オホーツク海沿岸で 2 cm 以上の振幅が見られ、網走の沿岸水位の振幅が比較的大きいことと対応している。駿河湾～熊野灘にかけて振幅 2 cm 以上の半年周期変動は検出されず、沿岸水位に見られた振幅は極沿岸域に限定された現象と考えられる。

#### 4 考察

沿岸水位の年周期変動で、東シナ海～日本海西部沿岸の振幅が最も大きいのは、対馬暖流の影響と考えられる。Takikawa et al. (2005) は、フェリー搭載 ADCP データから、対馬海峡を通過する対馬暖流の流量が 10 月に最大となることを示した。この対馬暖流の年周期変動が、9 月にピークとなる海水膨張・収縮の位相と近いため、振幅が大きくなったと考えられる。Takikawa et al. (2005) は、対馬海峡東水道では 4 月頃の春季にも対馬暖流流量のピークがあることを示している

が、沿岸水位にも、衛星海面高データにも対応するような半年周期変動は見られない。

日本海東部沿岸では、日本海西部沿岸よりも年周期変動の振幅が小さくなっている。Hirose et al. (1996) による日本海の海面熱フラックス分布では、冬季の海面冷却は日本海西部沿岸域よりも日本海東部沿岸域の方が大きくなっているため、対馬暖流の変動の位相が異なることが示唆される。石川・他 (2007) は本州と離島の水位差から、日本海東部沿岸域においては 11 月～12 月にかけても対馬暖流が強化されることを示している。

瀬戸内海で沿岸水位の年周期変動の振幅が比較的大きいのは、位相の早さと併せて伊勢湾と同様に河川水の影響が考えられる。本州・四国南岸において、沿岸水位の年周期変動の振幅が、浦神以東で小さく、串本以西で比較的大きいのは、黒潮の影響によると見られる。遠州灘沖における年周期変動振幅極小 (Fig. 3 左の A 点) と極大 (同 B 点) の海面高アノマリの時系列を Fig. 6 に示す。

B点における海面高アノマリの年周期変動は、黒潮の典型的な大蛇行期（2004年7月～2005年8月）と黒潮が紀伊半島から離岸していた時期（1999年10月～2001年5月）を除いて明瞭である。B点における海面高アノマリの年周期変動は260日頃（9月中旬）に極大を取り、黒潮の表層流速が大きくなることを示している。一方、黒潮の北縁では年周期変動振幅は極小で、沿岸域における振幅も小さくなっており、海水の膨張・収縮とは全く異なる位相の影響を黒潮から受けている可能性を示す。九州東方における海面高アノマリの年周期変動振幅極大では、250日頃（9月上旬）に極大を取り、遠州灘沖と同様に黒潮が強化されている。

沿岸水位との関係は明らかではないが、日本周辺海域で年周期変動、半年周期変動ともに最も振幅が大きい海域は、黒潮続流域にある。海面高アノマリの年周期変動の極大は、黒潮続流の峰（143°E）と谷（146°E）の間（34°N, 145°E）にあり、極大を280日頃（10月上旬）にとる。Tatebe and Yasuda (2001) は、TOPEX/POSEIDON 衛星による1992年10月～1998年10月までの海面高データから、ちょうど峰と谷付近に季節変動の振幅極大が存在することを示し、145°E付近は変動の節となっているとした。この相違は、観測期間の違いか、または複数衛星による空間分解能の違いによって生じたと考えられる。

## 6 まとめ

1999年～2009年の日本の沿岸水位から年周期・半年周期変動を抽出し、分布を調べた。年周期変動の振幅レベルにより、日本の沿岸は8つの海域に分けられる。沿岸水位の変動を、衛星海面高データによる日本周辺海域の海面高アノマリの変動と比較したところ、沿岸水位の年周期変動の振幅・位相は、近傍海域の海面高アノマリの年周期変動の振幅・位相に一定のバイアスをもって、同様の分布をしていた。本州・四国南岸の沿岸水位の年周期変動は、浦神以東と串本以西で振幅が異なり、沖合の黒潮の変動を反映している。東シ

ナ海～日本海では、日本の沿岸に近い程年周期変動が大きく、最も振幅が大きいのは東シナ海～日本海西部沿岸で、対馬暖流の年周期変動の位相が影響している。また、半年周期変動の振幅は、沿岸水位でも沿岸域の海面高アノマリにおいてもほぼ全域で3cm以下と小さい。北海道オホーツク海～太平洋沿岸では、冬季の低塩分水の流入により、年周期変動の位相が他の海域より遅れ、比較的大きな半年周期変動が表れる。

## 参考文献

- AVISO (2010), SSALT/DUCAS user handbook : (M) SLA and (M) ADT near-real time and delayed time products.
- Hirose, N., C.-H. Kim and J.-H. Yoon (1996), Heat budget in the Japan Sea, *J. Oceanogr.*, **52**, 553-574.
- 石川浩平・磯田豊・相木智一 (2007), 沿岸水位から見た対馬暖流沿岸分枝流の季節変化, *海の研究*, **16**, 223-236.
- Itoh, M. and K. I. Ohshima (2000), Seasonal variations of water masses and sea level in the southwestern part of the Okhotsk Sea, *J. Oceanogr.*, **56**, 643-654.
- 海岸昇降検知センター, 潮位年報平成11年～平成21年.
- Takikawa, T., J.-H. Yoon and K.-D. Cho (2005), The Tsushima Warm Current through Tsushima Straits estimated from ferryboat ADCP data, *J. Phys. Oceanogr.*, **35**, 1154-1168.
- Tatebe, H. and I. Yasuda (2001), Seasonal axis migration of the upstream Kuroshio Extension associated with standing oscillations, *J. Geophys. Res.*, **106**, 16685-16692.
- Toba, Y., K. Tomizawa, Y. Kurasawa and K. Hanawa (1982), Seasonal and year-to-year variability of the Tsushima-Tsugaru Warm Current system with its possible cause, *La Mer*, **20**, 41-51.

- Tomizawa, K., K. Hanawa, Y. Kurasawa and Y. Toba (1984), Variability of monthly mean sea level and its regional features around Japan and Korea, in *Ocean Hydro. Japan and East China Seas*, edited by T. Ichiye, pp. 273-285, Elsevier, Amsterdam.
- 津村建四郎 (1963), 日本沿岸の平均海面およびその変動の研究 (I) —潮位変化の地域分布—, *測地学会誌*, 9, 49-79.
- Unoki, S. and I. Isozaki (1965), Mean sea level in bays, with special reference to the mean slope of sea surface due to the standing oscillation of tide, *Oceanogr. Mag.*, 17, 11-35.

#### 要 旨

日本の沿岸水位から年周期・半年周期変動を抽出し、分布を調べた。年周期変動の振幅レベルにより、日本の沿岸は8つの海域に分けられる。沿岸水位の変動を、衛星海面高データによる日本周辺海域の海面高アノマリの変動と比較したところ、沿岸水位の年周期変動の振幅・位相は、近傍海域の海面高アノマリの年周期変動の振幅・位相に一定のバイアスをもって、同様の分布をしていた。海面高アノマリの年周期変動の振幅・位相の分布から、日本の沿岸水位の年周期変動には、黒潮、対馬暖流等の海流の変動が大きく影響していることが示された。