

日本沿岸の潮位に見られる長周期変動と温暖化の影響

中野 晋*・田所真路**・宇野宏司***・藤本雅彦****

太平洋沿岸の潮位と表面水温のデータを用いて、長周期潮の振幅や平均潮位の長期変動特性について検討した。その結果、1 年周期の S_a 潮の振幅は 1980 年以降、全ての調査地点で減少している。この原因には海水温の年較差の減少が挙げられる。経験的固有関数を用いた主成分分析により、平均潮位の長期変動特性の抽出を行った。関東以西の太平洋岸の平均海面変動は 10~15 年の長周期性が認められた。九州~潮岬間の太平洋岸では 1985 年以降、海水温の上昇の影響を受け、平均海面の上昇が生じている。北日本太平洋岸では長周期的な変動は認められないが、1990 年以降に海水温上昇に伴い、顕著な平均海面上昇が始まっている。

1. はじめに

不知火海の高潮災害を契機として設計潮位の見直し作業が一部が始まっているが、その場合にも潮位の基準となる平均潮位や潮汐調和定数は正確に把握される必要がある。日本沿岸の平均潮位の長期的変動に関して、宇多ら (1992) や村上・山田 (1992) は地球温暖化の沿岸影響を検討するため、1990 年以前の 40 年程度の潮位データをもとに日本沿岸の海面変動の長期変動特性を整理している。宇多らの研究では 1955~1989 年の平均海面上昇速度は全国平均で 2.2 mm/yr であること、太平洋沿岸や瀬戸内海の潮位変動には黒潮の影響が大きいことを明らかにしている。一方、村上・山田 (1992) は中部~北日本で海面が上昇する地点が多く、西日本では逆に海面の下降地点が多いと述べている。この理由として 1961~1980 年の 20 年間では海水温が低下傾向にあり地球温暖化とは逆の傾向となっているためではないかと説明している。両者の研究がなされてから 10 年が経過したが、この間地球温暖化の進行速度が早まっているとの報告が相次いだほか、昨春秋には西日本の広い範囲で異常高潮位が観測された。また 2000 年に有明海では赤潮の大量発生によるノリ不作が問題となり、海岸工学委員会対外連携小委員会主催のシンポジウムなどで意見交換が行われているが、原因の 1 つに有明海の潮汐振幅が減少していることが挙げられている (たとえば、磯部, 2002)。これによると潮汐振幅の減少は干潟減少に伴う潮汐増幅率の低下に加えて、東シナ海の外洋潮汐の減少も影響していることが明らかにされている。

このように温暖化の進展や沿岸環境問題の中で日本沿岸の潮汐変動について注目が集まっている。そこで改めて日本沿岸の潮位変動に関して宇多ら (1992) と同様の整理を行い、地球温暖化との関連について検討することとした。特に本研究では平均海面に加えて HWL や CDL

の評価に必要な潮汐調和定数の経年変化状況についても検討を加え、日本沿岸での潮位の長期変動特性とこれに及ぼす地球温暖化の影響について考察する。

2. データの収集とその解析

(1) 潮位データ

日本海洋データセンター (JODC) より太平洋沿岸を中心とした計 44 港について毎時潮位データをダウンロードして使用した。収集した潮位観測地点を図-1 に示す。枕崎から根室までの太平洋沿岸 32 港、オホーツク海沿岸、瀬戸内海、日本海沿岸など 12 港、合計 44 港である。入手したデータの観測期間は最長で 1961 年から 1999 年の 39 年間であるが、小松島港については徳島気象台から提供されたデータを含めて 1951 年から 2001 年までの 51 年間のデータを解析した。毎時潮位データより潮汐調和定数、年平均潮位の出現特性の経年変化について解析した。その際、短期間の欠測データがある場合は 40 分潮を用いた推算潮位で補間して与えた。潮汐調和定数の分析でははじめにデータ解析期間長を 1 年~10 年と変化させて解析し、データ長の違いが調和定数に与える影響

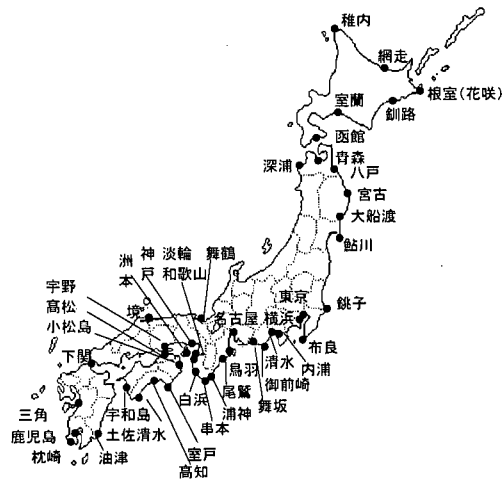


図-1 潮位データ収集地点

* 正会員 工博 徳島大学助教授 工学部建設工学科
** 正会員 工修 国土交通省四国地方整備局野村ダム管理所
*** 学生会員 工修 徳島大学大学院工学研究科マクロ制御工学専攻
**** (株)アルス製作所工事部

を考察した。その後は5年連続データによる調和解析結果を用いて、主要4分潮と長周期潮(Sa潮)の経年変化について調べた。年平均潮位は年ごとの潮位観測基準面(DL)とTP基準高との関係を用いて、TP基準の高度に換算した。年平均潮位も年ごとのばらつきが大きいため、宇多ら(1992)と同様に3年間の移動平均を行った後、類似した経年変化特性を示す海域別に主成分分析(EOF解析)を行い、年平均潮位の長期変動特性の抽出を行った。

(2) 海水温データ

海水温変動は気象庁(2001)がまとめた表面水温(SST)データを用いて整理した。これは1950~2000年の51年間について旬単位、1°メッシュで整理されている。

3. 潮汐調和定数の経年変化

1年間の連続した毎時潮位データが利用できる場合には十分に正確な潮汐調和定数が60分潮に対して求められると言われている。しかし、実際に計算してみると年毎にばらつきが大きく、潮汐振幅の長期変動のための解析には適さない。そこで、データ解析期間の潮汐調和定数値への影響を検討した。図-2は小松島の潮位データに対する M_2 潮振幅、 S_2 潮振幅の解析結果である。このように1~7年に対する分析値は約10年の周期変動成分を有することがわかる。この周期は月の軌道の変化に伴う18.6年周期の“章動”の倍周波数に当たるため、章動に影響を受けたものと考えられる。この結果から10年間

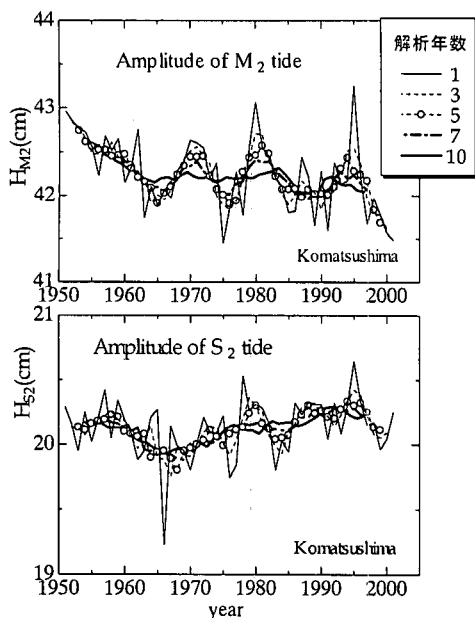


図-2 データ解析期間が調和定数に及ぼす影響
(小松島港データ、1951~2001年)

程度のデータを用いて分析の方が望ましいが、連続するデータ数が多量になりすぎることや潮汐調和定数の経年変化がある場合にはあまり長期間のデータを用いることは逆に問題が生じる可能性などを考慮し、以後の考察では5年間の時刻潮位データを用いることにした。

図-3は小松島における主要4分潮(M_2 , S_2 , K_1 , O_1)と太陰年周潮(S_a)の経年変化を示す。主要4分潮では M_2 以外の潮汐振幅は大きな経年変化はないが、 M_2 潮は年平均 -0.0089 (cm/yr.) の割合で振幅が減少している。潮汐推算では各分潮の潮汐振幅は太陰の昇交点の黄経によって変わる補正係数 f_i との積 $f_i H_i$ で表される。 f_i は18.6年周期の関数で、観測地点に影響を受けない量である。これを考慮した分潮の振幅は M_2 分潮の場合には1960年、1979年、1996年などに最大になり、 K_1 分潮、 O_1 分潮の場合には最小になることがわかる。一方、年周潮

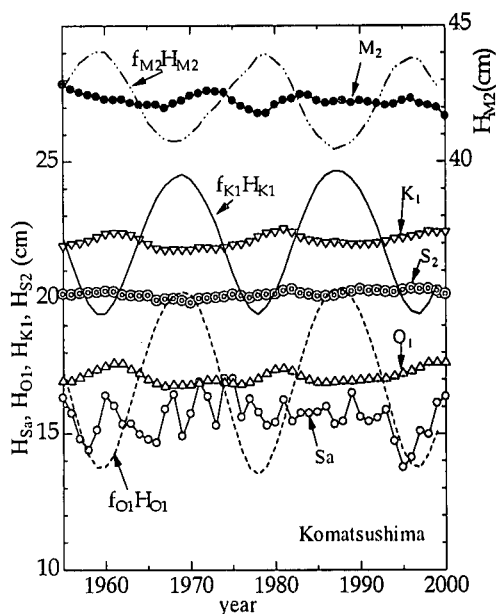


図-3 潮汐調和定数の経年変化と周期性

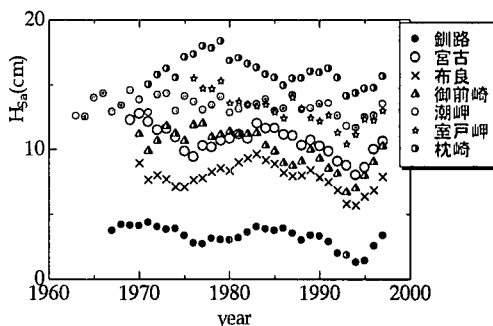
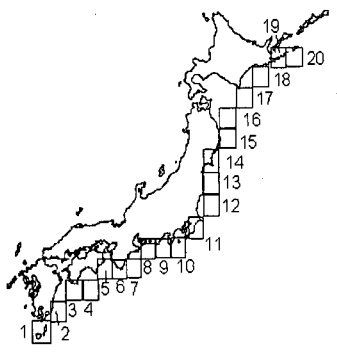
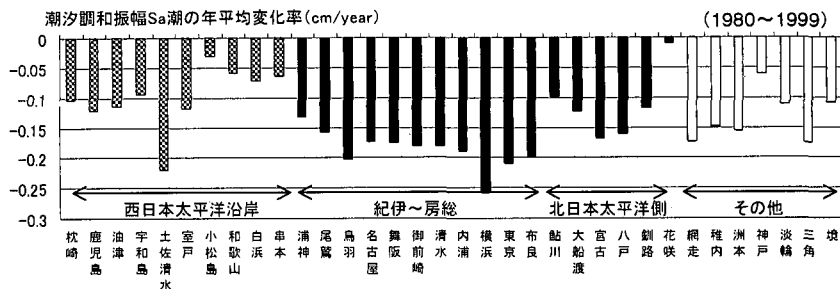


図-4 長周期潮 S_a 振幅の経年変化



の S_a 分潮の振幅は平均潮位の年較差を表すため、年毎のばらつきが大きい。図—4 は太平洋沿岸の代表的な観測地点の S_a 分潮振幅 H_{sa} の経年変化である。 H_{sa} は多くの地点で 1980 年過ぎから 1994 年にかけて減少し、数年前からは上昇傾向に転じていることがわかる。また、図—5 は 1980～1999 年の 20 年間の S_a 潮振幅年平均変化率を観測地点別にまとめたものである。日本沿岸の全ての地点で年周期の潮汐振幅が減少している。特に紀伊半島から房総半島までの東海沿岸の振幅年平均変化率は -0.2 cm/yr. である。これは夏と冬の潮位差が小さくなっていることを表しており、この原因には冬場に海水温が高温化することなどが考えられる。そこで、気象庁がまとめた海況解析データを用いて考察する。

図-6 に解析対象海域とその海域番号を示す。図-7 に主な海域における表面水温の年較差（月平均最高水温から月平均最低水温を引いたもの）の経年変化を示す。なお、1980 年より過去のデータを○、1980 年以降のデータを●と区別している。図中には 1950～2000 年の全データと 1980～2000 年の 2 つの期間に対する年平均の水温年較差変化率を示している。1950 年以降の長期的な傾向として全国的に水温年較差は減少傾向にある。関東以西の太平洋岸（海域 1, 6, 10）では 1980 年以降も水温年較差は減少傾向が続いており、図-5 の結果と概ね対応する。これより、関東以西の Sa 潮振幅の減少は水温年較差の

減少によるものと考えられる。北日本太平洋岸(海域 15, 18)は 1994 年以降に年較差が大きくなっており、図-4 の Sa 振幅が 1994 年以降に増加する傾向と一致している。

4. 年平均潮位の長周期変動

年平均潮位の変動特性を詳しくみるため、宇多ら(1992)及び村上・山田(1992)と同様、経験的固有関数を用いた主成分分析(EOF法)を行った。すでに述べたように長期的変動を調べるため、年平均潮位は前もって3年移動平均を行ったデータを用いた。また解析期間は1970～1999年の30年間で、対象とする海域は枕崎から稚内までの太平洋(一部オホーツク海)沿岸である。EOF法では30年平均潮位を基準に各年の平均潮位 η を

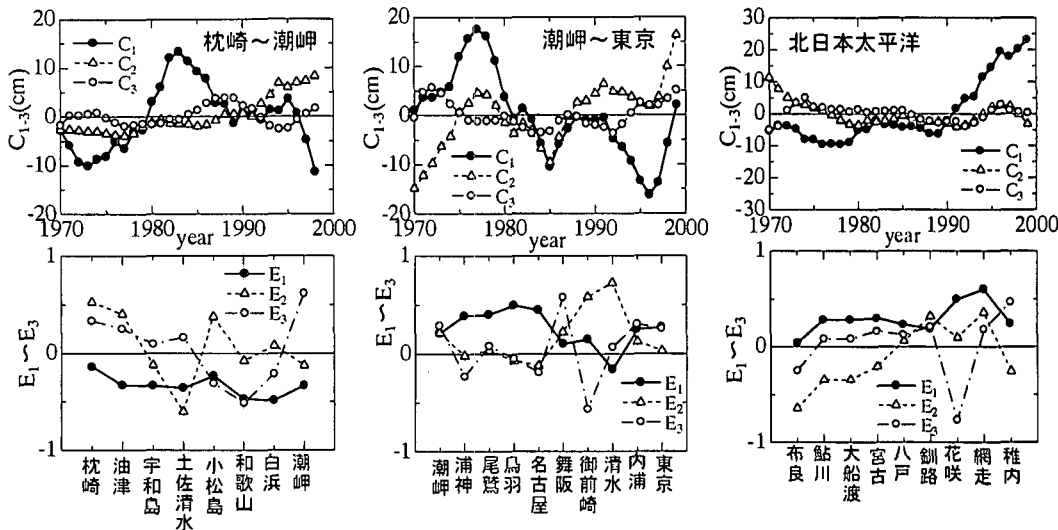


図-8 第1～第3主成分の固有ベクトルと時間関数

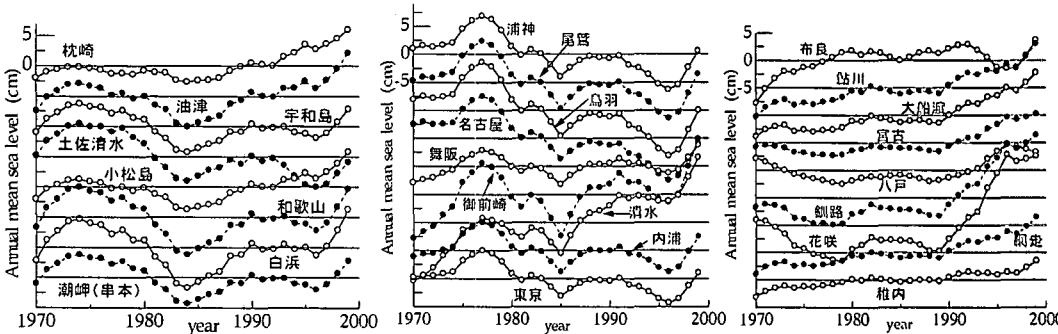


図-9 太平洋沿岸部の平均潮位経年変化 (第1主成分と第2主成分を合成)

$$\eta(x,t)=\sum_n C_n(t)E_n(x)\cdots\cdots\cdots (1)$$

として、時間関数で潮位変化の振幅を表す C_n と基本モード関数 E_n の積として表す。

沿岸の類似性を考慮して解析対象海域を九州～潮岬、潮岬～東京、北日本の3つに区分して解析を行った。図-8に第1～3主成分の時間関数 C_n 、固有ベクトル E_n ($n=1\sim 3$)を海域別に示す。また図-9には第2主成分までを合成した各地点別平均潮位の経年変化を示す。

九州～潮岬の場合、主成分ごとの寄与率は第1主成分から順に65.1%、19.9%、5.5%である。 E_1 は全ての地点で負の良く似た値である。従ってこの海域の平均潮位は1973～1983年には低下、1983～1988年と1995年以降は上昇、1989～1995年には横ばいかやや低下傾向を示すこと、10～15年の長周期性を有することが第1主成分の特徴である。一方、約20%の寄与を持つ第2主成分の時間関数は1985年以降に単調に増加しており、地殻変動や温暖化など単一方向へのトレンドを表す主成分と考えられ

る。
次に潮岬～東京の場合、寄与率は順に57.3%、33.1%、5.6%であり、九州～潮岬に比べると第1主成分の寄与率はやや小さい。第1主成分は九州～潮岬とほぼ同様の周期性を示すが、清水以外の E_1 は全て正であり、この海域では清水の平均潮位変動が他の地点と異なることがわかる。東京以西の全域で10～15年程度の長周期変動が顕著であることから、黒潮の流路変動や北太平洋の10年スケール振動(北極振動の準10年変動)などの影響を受けていると考えられる。なお、清水と御前崎は他の地点に比べ、 E_2 の値が大きく、潮位変動に第2主成分の影響が大きいようである。特にこの2地点が相模トラフの地殻変動の影響が強いことを考えると、第2主成分は地殻変動等の影響を表していると推察される。

北日本の場合、78.6%、10.4%、4.9%で第1主成分の寄与率が最も高い。第1主成分の時間関数は1990年以降単調増加しており、 E_1 が0に近い布良を除いて1990年以降に平均潮位の上昇が激しくなったことを示している。

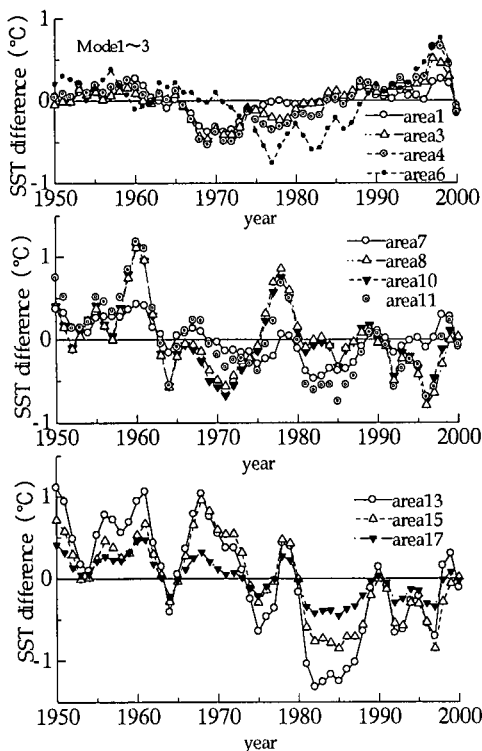


図-10 海域別 SST 偏差の経年変化

またこの海域では東京以西で顕著に現れた周期性は認められない。

地球温暖化と平均潮位との関連を調べるため、海域別の年平均 SST データについても EOF 法により、長期変動特性の抽出を行った。図-10 は第3主成分までを再合成して作成した年平均 SST 偏差(年平均 SST から 50 年平均 SST をひいたもの)の経年変化である。

上段の図は九州～潮岬周辺海域の SST 偏差である。これによるとこの海域では 1970 年以降、SST は増加傾向にあり、周期性はあまり見られない。図-8 の第2主成分は単調な増加傾向を示す点、これと類似している。

中段の図は潮岬～房総周辺海域の SST 偏差で、平均潮位と同様に 10～15 年の周期的変動が見られる。またその極大、極小値を示す年もほぼ一致しており、海況変動が潮位、海水温の両方に影響を及ぼしているものと考えられる。

下段の図は北日本の太平洋岸の年平均 SST 偏差を示しており、潮岬～房総周辺海域とほぼ同じ変動特性を示す。経年変化を詳しく見るとこの海域では 1980 年過ぎまで SST は低下傾向にあったが、1985 年以降 SST は上昇に転じている。これはこの海域の平均潮位が 1990 年以降に顕著な上昇が始まったことに対応している。

全国の平均潮位の上昇速度を取りまとめたのが図-11

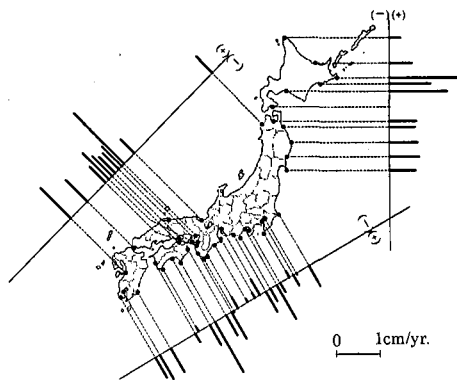


図-11 日本沿岸の 1980 年以降の平均海面上昇速度

である。この図では南日本で平均潮位の上昇が始まる 1980 年以降のデータで平均海面上昇速度を算定した。図より、潮岬～東京の海域を除いて全国的に海面上昇が生じていることがわかる。図-9 からわかるように南日本では 1985 年以降、北日本では 1990 年以降特に海面上昇が顕著になっているが、この傾向が今後も継続するかどうかについて長期的なモニタリングが必要である。

5. まとめ

本研究では主として太平洋沿岸の潮位と表面水温のデータを用いて、長周期潮の振幅や平均潮位の長期変動特性について検討した。以下に本研究で明らかになったことを記す。

① 1 年周期の Sa 潮の振幅は 1980 年以降、全ての地点で減少しており、この原因として海水温の年較差の減少が考えられる。

② 関東以西の太平洋岸の平均海面変動は 10～15 年の周期性をもつ。九州～潮岬間の太平洋岸では 1985 年以降、海水温の上昇の影響を受け、平均海面上昇が生じている。北日本太平洋岸では周期性は認められないが、1990 年以降に海水温上昇に伴う顕著な平均海面上昇が始まっている。

謝辞：本研究で用いた潮位データは日本海洋データセンター、海洋データオンライン提供サービス (J-DOSS) により入手したことを付記し、深謝の意を表する。

参考文献

- 磯部雅彦 (2002): 有明海の調査と評価の現状, 水産学会誌, 68 巻, 1 号, pp. 104-105.
- 宇多高明・伊藤弘之・大谷靖郎 (1992): 日本沿岸における 1955 年以降の海水準変動, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 1021-1025.
- 気象庁 (2001): 海況解析データ (1950-2000), CD-ROM 版.
- 日本海洋学会 (2001): 海と環境, 講談社, 244 p.
- 村上和男・山田邦明 (1992): 我国沿岸の海面水位の長期変動の特性とその要因, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 1026-1030.