

日本沿岸の潮汐調和定数の長期変動特性

中 野 晋*・片 岡 孝 一**・宇 野 宏 司***

日本沿岸の 44 港を対象に 1970～2000 年の 31 年間の潮汐データを対象に潮汐調和定数, 特に年周潮である S_0 潮と半日周潮の M_2 潮の潮汐振幅に関する長期変動特性について検討した。 S_0 潮の振幅はほぼ全海域で減少傾向にあること, 海面水温の年較差と高い相関があること, エルニーニョなどの広域的気候変動の影響を受け, 5～9 年の周期変動をしていることが明らかになった。 M_2 潮振幅も多く多くの港で減少傾向にあるが, 地震変動の大きい場所では増加傾向を示した。 また M_2 潮振幅の経年変化からは明確な周期性や平均海面変動との応答関係は見いだせなかった。

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, そのためにも潮位の基準となる平均海面や潮汐調和定数の正確な把握が必要である。 昨年著者ら (2002) は太平洋沿岸を対象に主要な 42 港について平均海面の長期変動特性について調査し, 1980 年以降, 海水温上昇等の影響を受けて, 多くの地点で年平均数 mm を超えるペースで海面上昇が生じていることを報告した。 一方, 岩崎ら (2002) は地殻変動の効果を丁寧に除去した結果, 主として海水面の変動に伴い, 1970 年以降の 30 年平均として西日本では 2.4 mm/y の上昇, 東日本では 3.1 mm/y の下降が生じていると述べており, 両者が違いが生じている。 著者らの調査では最近特に問題となっている瀬戸内海や有明海周辺ほか, 日本海沿岸の潮位について未調査であった。 そこで今回新たに 43 港のデータを加えて合計 85 港の潮位変動について精査し, 観測所の位置変更などのなかった全国 44 港を対象に調査を行った。 なお, 昨年は平均海面上昇の経年変化の状況を把握することを目的としたが, 岩崎らが指摘しているように地殻変動量の正確な把握が困難であることを考慮し, 今回は潮汐調和定数のうち, 海況の年変動と密接な関係がある S_0 潮, 潮汐観測地点周辺の地形改変等の影響を受ける M_2 潮に着目して, これらの中長期的変動特性を 7 つの海域に区分して検討した。

2. 調査方法

国土地理院, 気象庁, 海上保安庁の計 85 港の時刻潮位データ (主に 1970～2001 年) を日本海洋データセンターより収集し, 潮汐調和定数の経年変化について分析した。 その内, 41 港では観測場所の移転や大幅な基準高の変更があったため, 解析対象から除外し, 合計 44 港のデータについて分析した。

中野ら (2002) は 5 年間の連続潮位データを用いて調

* 正 会 員 博(工) 徳島大学助教授 工学部建設工学科
** 学生会員 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻
*** 学生会員 修(工) 徳島大学大学院 工学研究科マクロ制御工学専攻

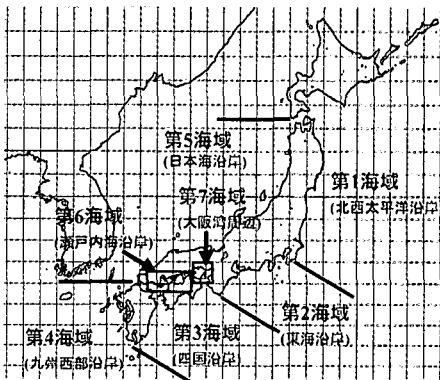


図-1 潮位データの海域区分

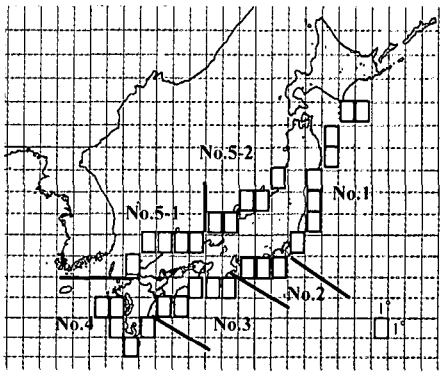


図-2 SSTデータの海域区分

和解析した。 5 年間のデータを用いる場合, 短期的な気象擾乱の影響が無視できるなどの長所があるが, 解析期間の長期化に伴い, 太陰の昇交点の黄経によって変化する潮汐補正係数に一定値を用いると誤差が大きくなるという問題が生じる。 そこで今回は 1 年間のデータを用いて調和定数を求めた後, 前後各 1 年を含めた合計 3 年間の調和定数を移動平均することにより, 短期的な気象擾乱の影響が少ない調和定数を求めた。

こうして求めた 3 年移動平均の調和定数について類似した経年変化特性を示す 7 つの海域に区分して主成分分析 (EOF 解析) を行い, 調和定数の長期変動特性の抽出

を行った。区分した海域は図-1に示すとおり、親潮に近い紋別から鮎川までの第1海域(北西太平洋沿岸)、黒潮に近い布良から浦神までの第2海域(東海沿岸)と串本から油津までの第3海域(四国沿岸)、門司から枕崎を含む東シナ海に接する第4海域(九州西部沿岸)、そして、日本海沿岸の第5海域、瀬戸内海周辺の第6海域と大阪湾周辺の第7海域である。

また、潮位変動と表面水温の関係を考察するため、気象庁解析 SST データ (1950~2000 年) を No.1 から No.5-1, No.5-2 の6つの海域に区分し、各海域全体の年最低値、年最高値、年較差について主成分解析を行った。図-2に SST データに対する海域区分を示す。なお、瀬戸内海、大阪湾については気象庁の SST データにおける空間分解能の制約から解析できないため、除外した。また、1980 年以降の長期トレンドの考察では平均海面上昇との関係についても検討を行った。

3. 日本沿岸海面水温の経年変化

図-3に海域ごとの海水温の年較差 T_D 、年最高値 T_{max} 、年最低値 T_{min} の第1主成分の経年変化を示す。すべての海域で1970~1983年には海面水温は平年値とほぼ等しく、変動幅は小さい。1984~1985年に冬季水温の低下と夏季水温の上昇により、No.4海域を除いて年較差は極大値を示す。また1992年から1993年には夏季水温の低下と冬季水温の上昇により年較差が極小値を示している。これらの特徴は日本沿岸全域に共通しており、広域的な気候変動と関連があることを示唆している。

図-4はエルニーニョの発生と関連の深い南方振動指数 (SOI) (●印) と北太平洋の長周期気候変動の指標となっている北極振動指数 (AOI) (○印) の経年変化である。SOI は熱帯太平洋の西部海域と東部海域の気圧差を表す指数であり、これが負となる時にエルニーニョが、正となる時にラニーニャが発生する可能性がある。1970年以降のエルニーニョの発生期間は1972年、1976~1977年、1982~1983年、1986~1988年、1991~1992年、1993年、1997~1998年の7回である(気象庁ホームページより)。エルニーニョ発生時には日本周辺の気候は高い確率で冷夏および暖冬傾向が強まり、ラニーニャ発生時には猛暑で厳寒傾向が高いことが報告されている(たとえば、日本海洋学会、1991)。

年較差が極大値を示した1984~1985年はラニーニャの発生時期と一致し、年較差が極小値を示す1992~1993年はエルニーニョ発生時期と一致する。このことはラニーニャ現象、エルニーニョ現象により、日本沿岸全域で大きな気候変動の影響を受けた結果、年較差の極大値、極小値が発生したと考えることができる。

一方、AOI は北極を極小とする気圧配置のずれに起因

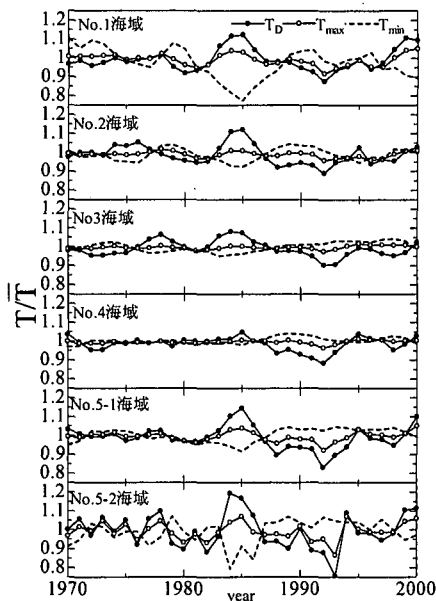


図-3 海域別 SST 代表量の経年変化

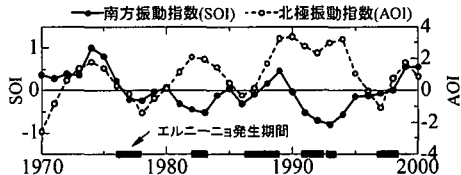


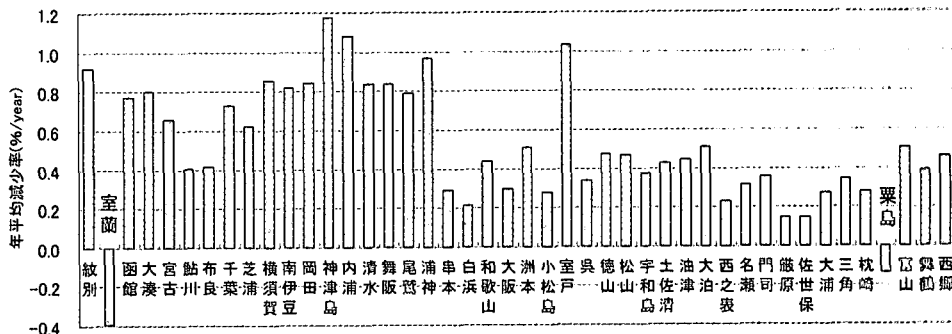
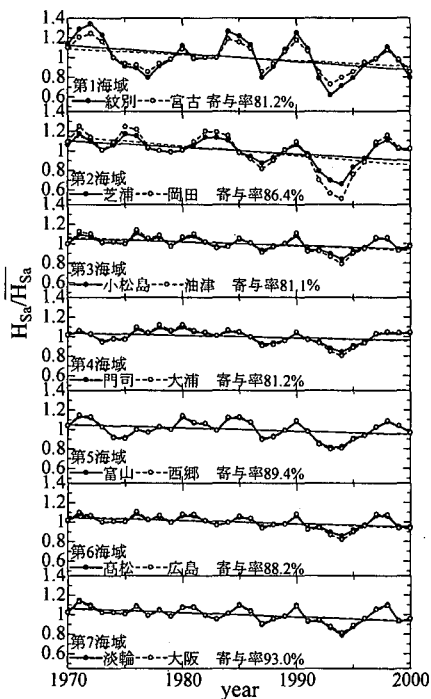
図-4 南方振動指数と北極振動指数の経年変化

する10年程度の長周期変動を表す指数でこれが極大となる時には冬季のシベリア高気圧及びアリューシャン低気圧の勢力がともに弱まり、暖冬となることが知られている(たとえば、日本海洋学会、2001)。1970年以降では1974年、1982~1983年、1989~1994年に極大値を示している。北部海域に対応するNo.1海域とNo.5-2海域について海水温の最小値 T_{min} に注目するとこれが高温な年に対応しており、北部海域の冬季の海水温がAOIと関係があることがわかる。

4. 潮汐調和定数の経年変化

(1) 年周潮 S_a 潮

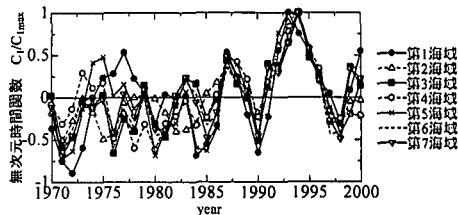
図-5に日本沿岸44港の S_a 潮振幅 H_{sa} について一次回帰分析により求めた年平均減少率を示す。図から明らかなように室蘭と粟島を除いて全域で30年平均では S_a 潮振幅は減少傾向にあることがわかる。特に浦神と串本の間を境に東日本沿岸での減少率は高くなっている。岩崎らは名古屋を境に海面上昇や海水温変動の傾向が異なることから、ここを境に東日本と西日本を区分し、長期的な海面変動を東日本では下降、西日本では上昇傾向に

図-5 年周潮 S_a 潮振幅の年平均減少率 (1970~2000 年)図-6 海域別 H_{S_a} 潮振幅の経年変化

あることを報告している。 S_a 潮振幅も紀伊半島東部に境に傾向が変化しており、これから S_a 潮振幅の長期トレンドが海面上昇や海水温変動と関係があることがわかる。

図-6 は主成分分析により抽出された H_{S_a} の第 1 主成分の経年変化を海域別に示している。いずれの海域でも第 1 主成分の寄与率は 80% 以上であり、第 1 主成分だけでは経年変化の特徴を表すことができる。なお、平均値からの変化をみるために 31 年間の平均値 H_{S_a} で規格化して表示している。

どの海域でも 5~9 年程度の周期変動を伴いながら振幅が減少していることがわかる。周期的な変動は第 1, 第 2 海域で大きく、第 3, 第 4, 第 6 海域で小さいが、

図-7 H_{S_a} の時間関数の経年変化

全海域で 1985 年, 1990 年, 1998 年で極大値, 1997 年, 1993~1994 年で極小値を有するのが特徴である。海面水温の年較差では 1985 年に極大, 1992~1993 年に極小となっており, 海面水温の年較差とも一部対応している。

さらに詳しく S_a 潮振幅の経年変化の特徴を調べるため, 次式で示される第 1 主成分の時間関数 $C_1(t)$ について全海域をまとめて図-7 に示す。

$$H_{S_a}(x, t) = \sum_i C_i(t) E_i(x) \quad (1)$$

ここで, $C_i(t)$ は第 i 主成分の時間関数, $E_i(x)$ は空間固有関数である。図-7 では全海域をまとめて示すために時間関数の最大値で規格化して表示している。すべての港で空間固有関数は負の値を示しており, 時間関数が増加する期間は潮汐振幅が減少し, 時間関数が減少する期間は増加することを表している。このことから時間関数が極小となる年に S_a 潮振幅は極大となる。この図から 1985 年以前は海域間の相関は低く, 海域によって異なる経年変化を示しているが, 1985 年以降は全海域で共通な周期的変化を示し, 特に 1985 年, 1990 年, 1998 年に S_a 振幅は極大, 1987 年, 1993 年に極小となることがわかる。これは前者がラニーニャの期間, 後者がエルニーニョの期間に概ね一致しており, 海水温変動と両者との関係以上に S_a 潮振幅と広域的な気候変動は密接な関係があることがわかる。

(2) 半日周潮 M_2 潮

最近, 諫早湾干拓事業に関連して有明海の潮汐減少の

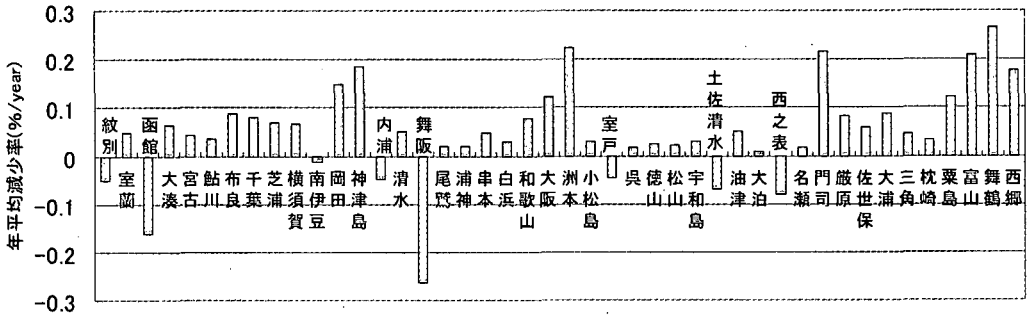
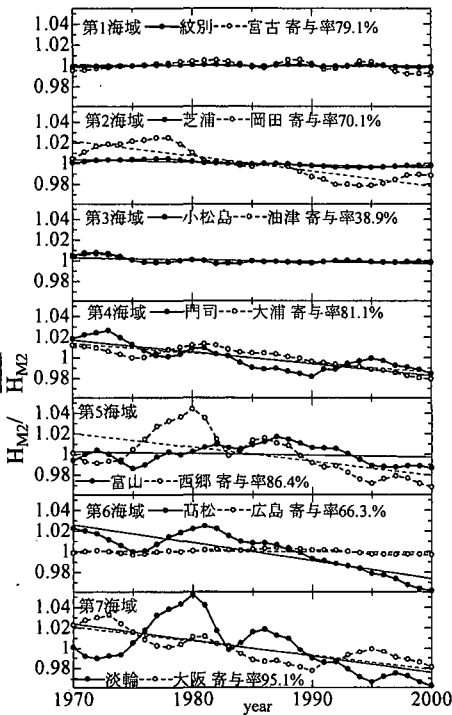
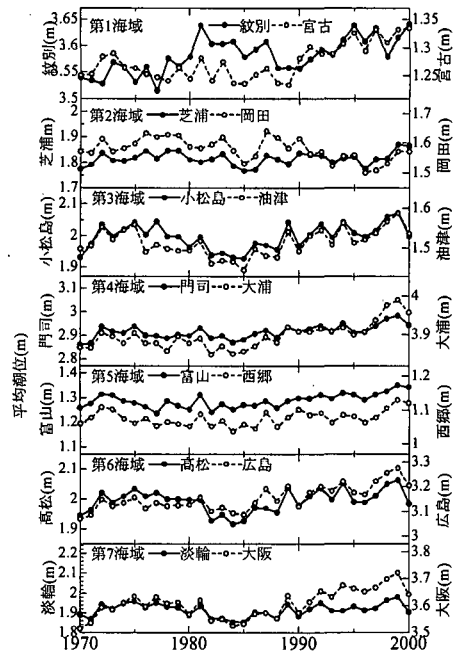
図-8 半日周潮 M_2 潮振幅の年平均減少率 (1970~2000 年)図-9 海域別 M_2 潮振幅の経年変化

図-10 海域別平均海面の経年変化

原因究明が注目されている (磯部, 2001; 灘岡・花田, 2002; 宇野木, 2003)。これによると内湾部の M_2 潮の潮汐振幅の減少要因には①埋立や干拓による海水面積の減少, ②平均海水面の上昇による湾奥増幅率の減少, ③外洋潮汐振幅の減少, などが考えられている。この内②と③は海水温の上昇に伴う海面上昇と関係するため, 広域的な気候変動との関連についても検討する必要がある。

図-8には S_a 潮と同様, 31年間のデータから M_2 潮振幅の年平均減少率を算定したものを示す。 S_a 潮に比べると小さいが, 多くの港で長期的には減少傾向にあることがわかる。年平均で振幅が大幅に増加している舞阪は浜名湖の湾口拡幅工事後, 潮汐が大きくなったことが青

木・上野 (2003) により報告されている。また紋別, 函館, 内浦, 室戸, 土佐清水はいずれも地殻変動量の大きい場所であるが, ここでは潮汐振幅が増加しており, 地盤の隆起等が潮汐振幅に間接的に影響を与える可能性はあるが, そのメカニズムはよく分からない。

図-9には海域別に代表的な港の M_2 潮振幅の経年変化を示す。 S_a 潮と同様, 第1主成分のみを抽出して示しているが, S_a 潮に比べて寄与率が低くなっている。特に四国沿岸の第3海域では38.9%と半分以下となっている。これは串本, 室戸, 土佐清水とその他の港の間で空間固有関数の符号が逆になっており, 相関が極めて低いのである。先にも述べたが, 3港はいずれも太平洋プレートの沈み込みにより, 地盤の下降が続いている場所となっているのが原因ではないかと思われる。

周期的な変動は S_a 潮に比べて明確でない、特に全海域で共通に極大、極小となる年は見られないため、半日周潮の M_2 潮には数年周期の広域的な気候変動の影響は小さいものと考えられる。図-10 には海域別に平均海面の経年変化の状況を示す。前報でも述べたように平均海面の上昇は 1985 年以降顕著になる海域が多い。また海域内ではほぼ同様な変化を示す。一方、 M_2 潮振幅は海域ごとに周期性を示すものとそうでないものがあることや同一海域内でも経年変化の状況が異なることなど、これと平均海面の経年変化との因果関係を論じることには無理がある。

5. ま と め

日本沿岸 44 港の潮汐データを対象に潮汐調和定数を求め、これの長期変化特性について検討した。前報では平均海面の変動に及ぼす温暖化の影響を検討したが本論文では年周潮の S_a 潮及び半日周潮の M_2 潮に絞って潮汐振幅の長期変動特性と変動要因について考察した。

はじめに海面水温の年較差と最高・最低水温の経年変化について考察し、水温年較差が極大(極小)となる時期とラニーニャ(エルニーニョ)発生期間とが一致することを示した。

潮汐調和定数に関しては S_a 潮、 M_2 潮は日本沿岸の大半の港で 1970 年以降、両者共に振幅は減少傾向であることがわかった。また S_a 潮は海面水温の年較差との相関が高く、ラニーニャの発生時期には S_a 潮振幅は極大となり、エルニーニョの発生時期には振幅は極小となる傾向があることがわかった。また 1985 年以前は海域によって

経年変化特性の相関は低かったが、1985 年以降、周期性が顕著になり、全海域でほぼ同じ 5~9 年周期で極大、極小を繰り返すようになった。

一方、 M_2 潮は同一海域でも港により経年変化特性は異なることが多く、 S_a 潮で見られたような日本沿岸全体で生じる周期性は示さなかった。また平均海面の経年変化と比較したが、両者で明確な相関関係は見いだせなかった。

謝辞：日本海洋データセンターからは貴重な潮汐データをご提供いただきました。ここに謝意を表します。

参 考 文 献

- 青木伸一・上野成三 (2003): 伊勢湾・三河湾の干潟環境, 沿岸連第 9 回ジョイントシンポジウム資料集, pp. 18-34.
- 磯部雅彦(2001): 有明海の調査と評価の現状, 沿岸連第 3 回ジョイントシンポジウム資料集, pp. 25-30.
- 岩崎伸一・松浦知徳・渡部 勲 (2002): 地殻変動を除去した長期海水位変動と海面水温の関係—本州沿岸域—, 海の研究, Vol. 11 (5), pp. 529-542.
- 宇野木早苗 (2003): 有明海の潮汐減少の原因に関する観測データの再解析結果, 海の研究, Vol. 12 (3), pp. 307-313.
- 中野 晋・田所真路・宇野宏司・藤本雅彦 (2002): 日本沿岸における潮位に見られる長周期変動と温暖化の影響, 海岸工学論文集, Vol. 49, pp. 1351-1355.
- 灘岡和夫・花田 岳 (2002): 有明海における潮汐振幅減少要因の解明と諫早堤防締め切りの影響, 海岸工学論文集, Vol. 49, pp. 401-405.
- 日本海洋学会 (1991): 海と地球環境—海洋学の最前線—, 東京大学出版会, 409 p.
- 日本海洋学会 (2001): 海と環境, 講談社サイエンティフィク, 244 p.