

日本沿岸の平均潮位と朔望満潮位の経年変化

中 野 晋*・片 岡 孝 **

純粋な海面上昇速度を評価するために電子基準点データを用いて地殻変動速度を求めた。これによる地殻変動速度は加藤・津村 (1979) の方法による値と最大 7 mm/y の差異があった。地殻変動の影響を除くと 1970 年以降の 33 年平均では日本沿岸全域で海面は低下傾向であったが、海水温の上昇が顕著となった 1985 年以降は、北部太平洋沿岸の一部を除いて最大 1.2 mm/y の海面上昇が生じている。月別の朔望満潮位は 9 月が最高となり、H.W.L. に比べても 10~20 cm 高い。また 9 月の朔望満潮位の経年変化は平均海面と同様、1985 年以降上昇傾向となり、西日本沿岸でその傾向が強い。

1. はじめに

日本沿岸の海水準は 1985 年前後より、上昇傾向が続いており、例年秋の大潮期には異常潮位による沿岸部での冠水が報告されている。これは 1985 年以降に顕著となった沿岸海水温の上昇に伴う海水の膨張が一因とされるが、海水温上昇に伴う気圧低下や地殻変動の影響など複数の因子が関係している。一昨年、中野ら (2002) は太平洋沿岸を対象に平均潮位の長期変動特性を調べ、1980 年以降、多くの地点で年平均数 mm を超えるペースで平均潮位の上昇が生じていることを報告した。しかし、地殻変動の影響を丁寧に除去して分析した岩崎ら (2002) の結果とは違いが見られ、再検討の必要性があった。また平均潮位に加えて、朔望平均満潮位のような代表潮位は海岸構造物設計上、防災計画に特に重要な量であり、複数の機関で研究が進められている。しかし、これらの量の中長期的な変動要因の解明は現時点でも不十分である。また台風災害の多い東海から九州の太平洋沿岸では台風期の朔望満潮位は H.W.L. より 20 cm 程度高く、高潮に対する設計高潮位を考える上で台風期の朔望満潮位の特性を把握し、設計に反映することが望ましい。本研究では平均潮位と朔望平均満潮位 (台風期の朔望平均満潮位を含む) の経年変化の現状を把握するため、公表されている潮位、海水温、大気圧、地殻変動のデータを分析し、設計上基準となる代表潮位の経年変化の特徴とその要因について検討する。

2. データの収集と解析方法

(1) データの収集

日本海洋データセンターと国土地理院のホームページより気象庁、海上保安庁及び国土地理院が管理する験潮所 (合計 90 港) の毎時潮位データを収集した。90 港の潮位データの内、長期間のデータの欠損及び験潮所の移転があった地点を除く 85 港のデータを用いた。解析対象の験潮所の所在地を図-1 に示す。



図-1 解析対象の験潮所

海水温データには気象庁がまとめた海表面水温 (SST) データ (1950~2000 年) を用いた。このデータは旬ごとに、1°メッシュでまとめられているが、これより年平均値や年最高水温などを求めて利用した。

潮位の気圧補正を行うために、気象庁の気象観測資料毎時海面気圧データ (1961~2000 年) を収集した。1990 年以前は 3 時間ごとのデータとなっているため、必要に応じて前後の気圧データから線形補間して利用した。なお、潮位に及ぼす気圧の影響は 45 港について調べた。

地殻変動のデータは国土地理院により提供されている電子基準点データを用いた。これは 1996 年 3 月から提供が始まっており、現在 1000 地点以上の地殻変動データが入手できる。各験潮所と近接した電子基準点データで地殻変動量が近似できるとして解析に用いた。

(2) 解析内容と方法

SST と海面気圧はそれぞれの年平均値を求めた後、特性の類似した海域別に EOF (経験的固有関数) 法により、第 1 主成分の抽出を行い、これの経年変化を調べた。潮位と海面気圧は図-2 のように第 1 海域 (北西太平洋沿岸)、第 2 海域 (東海沿岸)、第 3 海域 (四国沿岸)、第 4 海域 (九州西部沿岸)、第 5 海域 (日本海沿岸)、第 6 海域 (大阪湾)、第 7 海域 (瀬戸内海) の 7 海域に区分した。一方、SST は図-3 に示すように第 5 海域を兵庫県以西と京都府以東の 2 海域に区分し、6 海域に区分して解析

* 正会員 博(工) 徳島大学助教授 工学部建設工学科

** 正会員 修(工) (株)エム・テック 東日本支店

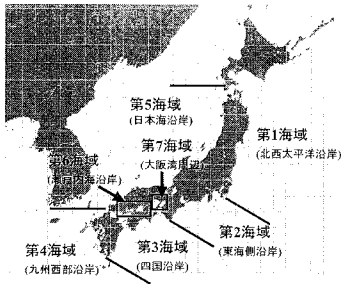


図-2 潮位・海面気圧データの海域区分

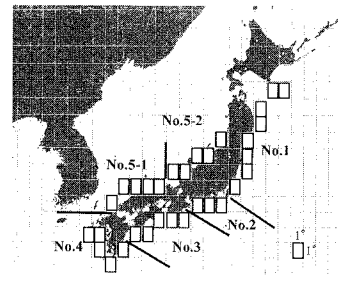


図-3 SST データの海域区分

した。大阪湾と瀬戸内海は SST データが得られていないため、解析対象外とした。

平均潮位の変化状況を把握するため、年平均潮位の経年変化から地盤変動を含んだ見かけの海面上昇速度を 1970～2002 年の 33 年間、1985～2002 年の 18 年間の 2 期間に分けて最小自乗法により求めた。一方、地盤変動速度には国土院 (2003) が潮位観測データから加藤・津村 (1979) の方法を用いてまとめた値と電子基準点データ (1996～2003) から最小自乗法により求めた値の 2 種類を用いた。その際、図-4 のような地震等による急激な地盤変動は含まないように注意した。

朔望平均満潮位は朔または望の日から 5 日以内に観測された各月の最高満潮位を 1 年以上にわたって平均して求められるが、本調査では季節による満潮位の変化を把握するため、各月の最高満潮位を 1970～2000 年の 31 年間について平均し、月別の朔望平均満潮位を求めた。

3. 海面水温と海面気圧

図-5 に 1950～2000 年の海域別の年平均海面水温 (SST) の経年変化を示す。平均値からの変化をみるため、図中の値は 1970～2000 年の 31 年間の平均値 T_{mean} で規格化している。また同時に 1961～2000 年の年平均海面気圧 (以下では SSP) の 40 年平均値からの偏差を示している。SST では四国沿岸の第 3 海域を除いて 10～15 年ほどの周期性が顕著に見られる。またこれまでも言われているように第 2 海域を除く海域で 1980 年前後まで水温が低下し、その後増加に転じている様子がよくわかる。一般に SST が高くなると SSP が低下する傾向があるが、SST の周期性が明確でない第 3 海域を除いて SST と SSP は逆位相となっており、SSP が SST に強く影響を受けることがわかる。一方、SSP は第 3 海域でも他の海域と同様な経年変化を示しており、日本沿岸の気象が広域的な長周期変動を有することがわかる。第 2 と第 3 海域で多少他の海域と異なる挙動を示しているが、これは黒潮の強く影響する海域であり、黒潮の流路変動の影響が他の海域に比べ強いものと考えられる。

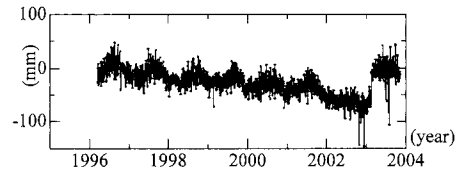


図-4 急激な地盤変動の観測例 (串本)

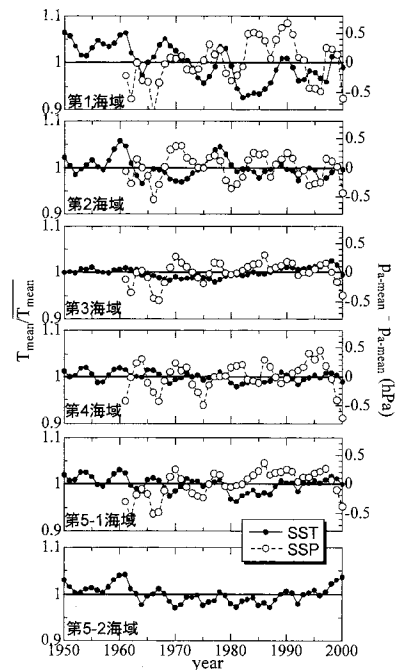


図-5 平均海水温と平均海面気圧偏差の経年変化

図-6 はエルニーニョの発生と関係する南方振動指数 (SOI) と北太平洋の長周期気象変動の指標である北極振動指数 (AOI) の経年変化を示す。AOI は 20°N より北での海面気圧偏差の経年変化を示す指数であり、第 1, 2, 4 海域の海面気圧偏差とはほぼ一致した変化を示している。詳しく見るとほぼ全海域で SSP は 1985 年、1990 年、

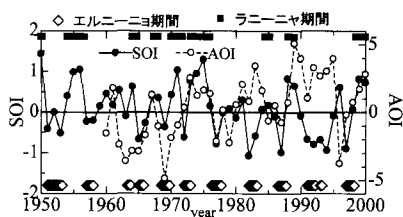


図-6 南方振動指数と北極振動指数の経年変化

1995～2000年で極大値、1965年と1975年で極小値を示している。SSPが極大値を示す年はSOIが極大値を示すラニーニャが発生しやすい年にあたる。このように日本沿岸のSSTとSSPは広域的な気象変動と明確な関係を有している。

4. 平均潮位の変動速度

(1) 日本沿岸の地殻変動

岩崎ら(2002)は加藤・津村(1979)の方法を用いて地殻変動量を推定し、日本沿岸の海水面上昇速度を評価している。これによると東経137度を境に平均海面は東日本では3.1 mm/yの下降、西日本では2.4 mm/yの上昇が生じていることを報告している。特に、この東西で異なる変動が主に海水温変化による膨張、収縮に起因すると述べている。加藤・津村(1979)の方法は近隣の海面変動量、水温、気圧等がほぼ等しいことを利用し、近隣の験潮所間の潮位データで補正して地殻変動量を推定する方法である。原理的にはこの方法では正確な地殻変動量が推定できるが、近接する験潮所間で海況が異なる場合には海面変動量が一部含まれることがある。

一方、1996年から運用が開始した電子基準点データは絶対的な位置が評価できる。運用開始後、7年余りであるため、地殻の長期変動特性を把握するには無理があるが、その利用可能性について検討した。

図-7は国土地理院海岸昇降検知センター(2003)が加藤・津村(1979)の方法を用いて推定した地殻変動速度と近接した電子基準点で測定された地盤高さから算出した地殻変動速度を比較したものである。加藤・津村(1979)の方法による変動速度が少し大きめで、最大7 mm/y程度の誤差があるが、図-4で示したように地震などにより地盤高さが急変することを考えれば両者の一致は良いと考えられる。

(2) 平均海面の変動速度

図-8は代表的な験潮所で得られた年平均潮位の経年変化である。この図では数年に1度の頻度で改定される観測基準位のみ修正して作成した見かけの平均潮位である。これより見かけの変動速度を求めた後、これに電子基準点データにより推定した地殻変動速度を加えて、平

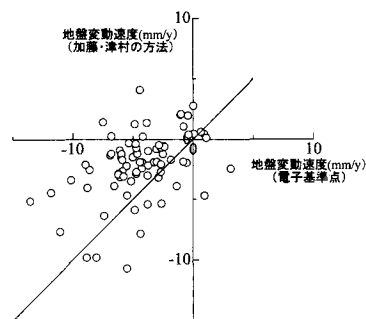


図-7 地殻変動速度推定値の比較

加藤・津村の方法(国土地理院, 2003)と電子基準点データからの推定値の比較

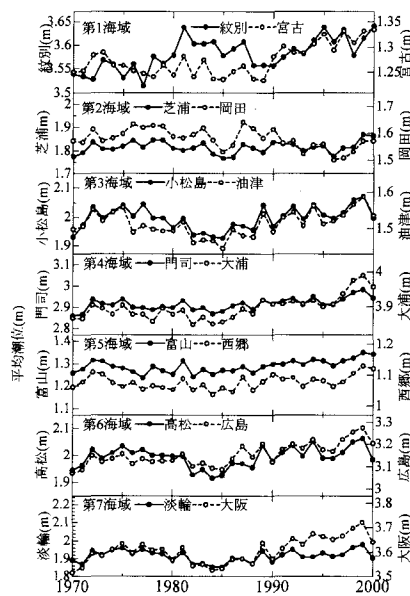


図-8 海域別年平均潮位の経年変化

均海面の変動速度を求めた。なお、電子基準点データは1996年以降の短期間のデータであるため、観測対象外の期間にも最近の地殻変動速度が適用できると仮定した。

図-9に1970～2002年の33年間についての見かけの海面上昇速度、これを地殻変動速度で補正した海面変動速度、さらに1985年以降の平均潮位データから計算した見かけの海面変動速度を補正したものの3種の海面変動速度を示した。なお、図中では上昇を正と扱っているため、海面上昇速度と記している。また表-1に海域別の平均海面上昇速度をまとめた。見かけの海面上昇速度は33年平均で0.18～2.31 mm/y、平均1.51 mm/yと日本沿岸全域で上昇傾向にあるが、地殻変動量を考慮した海面上昇速度は全域で負となり、過去33年平均では低下傾向

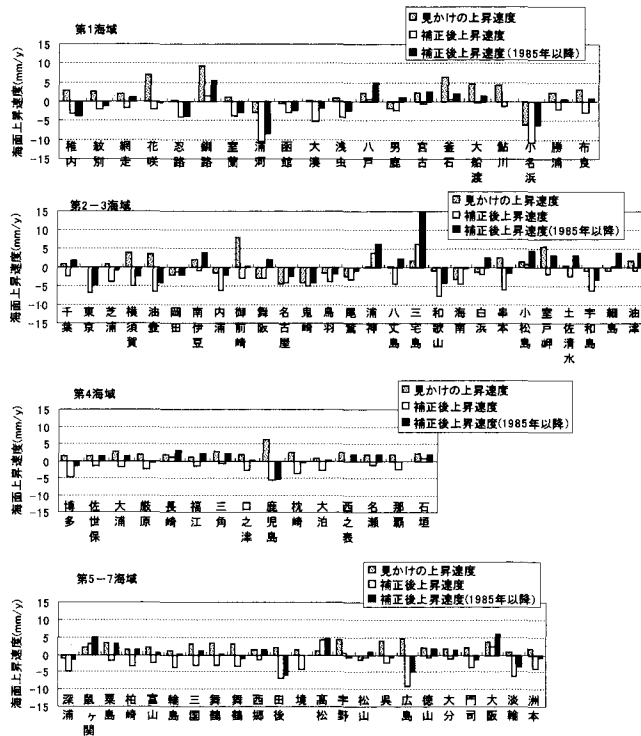


図-9 日本沿岸の海面上昇速度

表-1 海域別の海面上昇速度

(単位: mm/y)					
	観測所数	①	②	③	④
第1海域	20	2.00	-2.81	-0.62	-4.81
第2海域	17	0.18	-2.50	0.33	-2.67
第3海域	10	0.49	-2.94	1.22	-3.43
第4海域	15	2.18	-1.94	0.54	-4.12
第5海域	12	1.90	-2.90	0.37	-4.80
第6海域	8	2.31	-1.60	0.16	-3.91
第7海域	3	2.27	-2.55	0.51	-4.82
全海域	85	1.51	-2.50	0.24	-4.01

- ①見かけの海面上昇速度 (1970～2002年)
 ②補正後海面上昇速度 (1970～2002年)
 ③補正後海面上昇速度 (1985～2002年)
 ④電子基準点での地殻上昇速度 (1996～2003年)

であったことになる。一方、海水温上昇が顕著になった1985年以降だけで見ると東日本太平洋沿岸の第1海域を除いてわずかであるが、上昇傾向となっている。また地殻は日本全域で海面低下を上回る速度で沈降しており、見かけの海面上昇の主要因となっていることがわかる。本研究で得られた結果は岩崎ら(2002)の結果と多くの点で異なっており、地殻変動速度の評価方法での問題点も含め、さらに検討を続ける必要がある。特に、比較的大きな地震が発生した地点で見かけの上昇速度が

大きくなる傾向がある。たとえば、釧路、小名浜、広島などでは特に地殻変動量が大きく、推定された海面上昇速度にも誤差が多く含まれている可能性がある。

5. 朔望平均満潮位と台風期朔望満潮位

朔望平均満潮位(H.W.L.)は設計高潮位を決定する上で特に重要な量である。昨年、著者らは潮汐調和定数のうちSa潮とM₂潮の長期変動特性について調べたが、両潮汐振幅がともに減少傾向にあることがわかった。H.W.L.や月別の朔望満潮位がこれらと関係があることから、朔望満潮位の長期変動特性についても明らかにする必要がある。

図-10は毎月の朔望満潮位を1970～2000年の31年間について平均して求めた月別の朔望満潮位である。海面気圧を補正しない場合は概ね9月の朔望満潮位が年最高値である。台風期である9月のものはどの海域でもH.W.L.より10～20cm程度高いため、高潮対策では朔望満潮位の月別変化に対する考慮が必要である。また海面気圧分を吸い上げ効果として補正した場合も9月頃に最高潮位が出現しており、9月の朔望満潮位を知ることが重要である。そこで、図-11に9月の朔望満潮位の経年変化を示す。これによると、海水温上昇が顕著になってきた1985年以降に9月の朔望満潮位が上昇している。特に

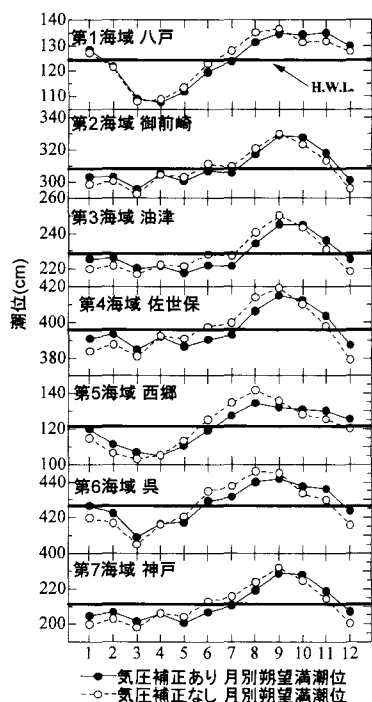


図-10 月別朔望満潮位と朔望平均満潮位

第3, 第4 海域など西日本沿岸ではその傾向が強い。また, 台風の影響の受けやすい西日本沿岸では気圧低下による吸い上げ効果が大きいいため, 海面気圧による補正を行った場合, 10 cm 程度の差異が生じており, 設計高潮位の決定の際には海面気圧の効果を考慮しておく必要がある。

6. おわりに

本研究では設計高潮位の決定に重要である平均海面と朔望満潮位の経年変化特性に注目して調べた。平均海面の変動速度を知る上では地殻変動速度を正確に知る必要があり, 1996 年から運用が始められている電子基準点データを利用した。利用できる期間は不十分であるが, 絶対的な高度が利用できることや毎日のデータが提供されることなど利用価値は高い。まだ問題点は多く残されているが, 積極的な利用に努めたいと考えている。朔望満潮位の季節変化は大きく, 台風災害の1つである高潮

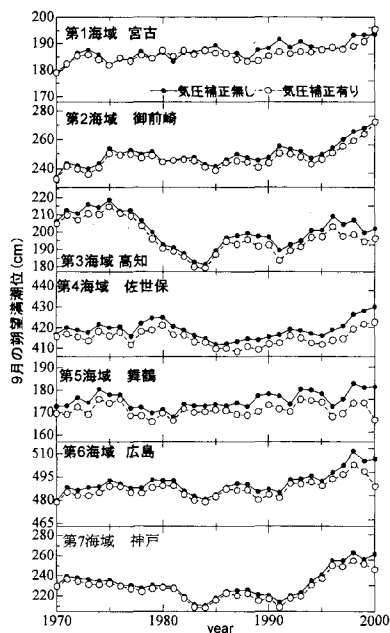


図-11 台風期朔望満潮位の経年変化

対策を考える上では台風期の朔望満潮位の経年変化を明らかにすることは重要であるが, その一端を示したに他ならない。今後, 確率的な取り扱いなどを行ってきたい。

謝辞: 日本海洋データセンターや国土地理院から貴重なデータを提供いただいた。ここに厚く謝意を表する。

参考文献

- 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.
- 加藤照之・津村建四朗 (1979): 潮位記録から推定される日本の垂直地殻変動 (1951~1978), 地震研究所彙報, Vol. 54, pp. 559-628.
- 国土地理院海岸昇降検知センター (2003): 潮位観測から推定された地盤変動, <http://cais.gsi.go.jp/cmdc/centerindex.html>
- 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, 第 49 巻, pp. 1351-1355.
- 中野 晋・片岡孝一・宇野宏司 (2003): 日本沿岸の潮汐調和定数の長期変動特性, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 1286-1290.