

全国沿岸域における異常潮位の広域的出現特性

下野 隆 司* ・ 仲 井 圭 二** ・ 永 井 春 生***
松 本 英 雄**** ・ 渡 邊 和 重***** ・ 磯 部 雅 彦*****

気圧の季節変動を考慮した新たな気圧補正方法を用いて異常潮位を算出し、全国沿岸域の異常潮位の出現特性を調べた。11 の海域毎に、出現回数、継続時間、大きさ (偏差) の統計処理を行い、海域毎の違いを明らかにした。また、2001 年 1 年間の太平洋側、日本海側の異常潮位の時系列データを用いて CEOF 解析を行い、異常潮位の時空間的変動特性を調べた。両海域とも、第 1 モードは空間的に伝播しない変動、第 2 モードは岸を右に見る形で伝播する変動が解析された。伝播する変動については、西日本の方が、東日本よりも伝播速度が大きかった。

1. はじめに

ここ数年、広島県の厳島神社や沖縄の岸壁が冠水するなど、気象擾乱によらない高潮位による被害が発生している。このような現象は「異常潮位」として以前からその存在が知られていたが、その出現特性、発生機構に関する研究はようやく始まったばかりである。著者らは昨年、2001 年に広島で発生した異常潮位を取り上げ、高潮位発生原因の分析を行った (末永ら, 2003)。しかし、今後異常潮位の対策を効果的に行うためには、日本全国沿岸における異常潮位の特性を明らかにしておく必要がある。本研究では、25 年間にわたる全国の潮位データを用いて、異常潮位の出現特性を明らかにするとともに、2001 年のデータを用いて、異常潮位の時空間変動特性解析を行った。

2. 用いたデータと異常潮位の算出方法

本研究では、1978 年～2002 年 (25 年間) の気象庁、海上保安庁、国土地理院、国土交通省地方整備局等の 128 箇所の実測潮位データを用いて異常潮位の出現特性解析を行った。異常潮位の算出方法は以下のとおりである。

- ①各年の毎時の実測潮位データを用いて調和解析を行う (60 分潮)。
- ②この結果を用いて毎時の推算潮位を計算する。但し、推算潮位の計算に用いる調和定数は、当該年を含み、9 年間遡った合計 10 年間のベクトル平均値を用いる (平均潮位は当該年のもの)。ベクトル平均には測得率が 50% 以上の年だけを用いる。また、測得率が 50% 以下の年の平均潮位は、その前後の年の平均潮位の平均値とする。観測期間が 10 年に満たない地点は解析対象

- 外とする。
 - ③毎時の実測潮位から推算潮位を引いて潮位偏差を求める。
 - ④毎時の潮位偏差に気圧補正を行った後、後述のローパスフィルターを施して異常潮位とする。気圧補正は、現在の気圧から 3. に示す基準気圧を引いたものを、1 hPa を 1 cm と換算して、潮位偏差に加える処理である。気圧補正を行うのは、気圧変動に伴う潮位変動の原因が明らかであるため、気圧変動によらない成分のみを異常潮位とした方が、今後の解析の見通しが良くなると予想されるからである。
- 本研究では、このようにして算出された毎時の時系列を「異常潮位」と呼ぶことにする。従って、異常潮位は正負いずれの値を取ることもある。5. で、正の異常潮位が大きい場合を取り出して各種統計を行うが、それは特に「高い異常潮位」と呼んで「異常潮位」とは区別することにする。

3. 気圧補正の方法

気圧補正には、通常 1,010 hPa、1,013 hPa 等の一定値や、地点毎に年平均気圧が基準気圧として用いられることが多いが、ここでは、季節変動を考慮した気圧を基準気圧とした。基準気圧とは、現在の気圧との差を水位に換算して潮位偏差の補正を行い、気象擾乱の影響を除去するためのものであるため、季節的な変動を含んだ平常時 (気象擾乱が来ていない時という意味) の気圧を取るのが適切であるからである。また、調和解析の対象となる分潮で、1 日より周期の長い成分には、1 年、半年、1 か月、半月等の成分があり、推算潮位にはこれらの周期変動が反映されている。気圧変動のうち、1 年～半月の周期を持つ変動は、潮位の変動と関連していると考えるのが自然なので、基準気圧も半月程度以上の周期変動を含んだものを採用するのが良いと考えられる。

季節変動を考慮した基準気圧を決定するために、いくつかの地点における気圧の季節変動を調べた。八戸、鹿児島島の結果を図 1 に示す。この図には、2 地点における 1993 年～2002 年 (10 年間) の日平均気圧と、15 日の移動

* 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所
** 正 会 員 理修 (株)エコー 環境水工部
*** (財)沿岸技術研究センター 調査部
**** 正 会 員 工修 国土交通省 中国地方整備局 広島港湾空港技術調査事務所 所長
***** 正 会 員 鳥取県 県土整備部 (前国土交通省 九州地方整備局)
***** フェロー 工博 東京大学教授 大学院新領域創成科学研究科

平均を示してある。移動平均後の気圧変動を見ると、1年周期の変動が卓越していることが解る。

累年平均の期間を10年としたのは、調和定数のベクトル平均の期間に合わせるためであり、移動平均の期間を15日としたのは、上述のように、基準気圧には半月程度以上の変動が含まれているのが望ましいからである。ここでは、移動平均後の日平均気圧を、各地点の2002年の基準気圧として用いることにする。移動平均後の年間の気圧変動の振幅(最大値と最小値の差を2で割ったもの)は、八戸で5 hPa、鹿児島で8 hPa程度である。季節変動を考慮した気圧を用いる場合と、年平均気圧を用いる場合で、異常潮位の値として、最大この程度の差が生ずることが解る。気圧変動の振幅と、 S_a 潮(1年周期)の振幅(1993年～2002年の期間についてベクトル平均したもの)の比較を表-1に示す。 S_a 潮の季節変動の原因としては、気圧変動の他に、水温変動、海水の密度成層の状態等が関係している。ここで示した気圧の振幅も、1年周期のものだけを取り出したわけではないので厳密な議論はできないが、気圧変動に伴う水位変動の振幅は、 S_a 潮の振幅の半分程度であることが解る。

4. ローパスフィルターの選定

気圧補正を施すことによって、気圧変動に伴う潮位変動の影響を静力学的に除去したが、風による吹き寄せ、波浪による水位上昇等の効果は除去することができない。そこで気象擾乱に相当する時間規模を決定し、それ以下の周期成分を除去することにより、潮位偏差から気

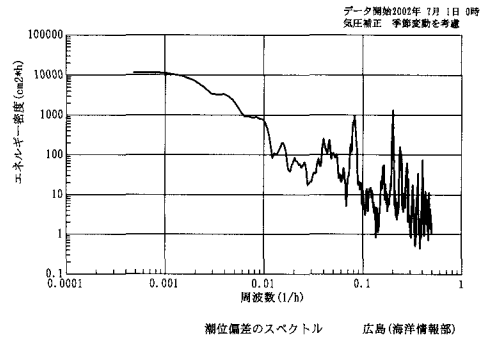


図-2 偏差のスペクトル解析結果 (2002年, 広島)

象擾乱の影響を除くことを試みた。

フィルターの遮断周波数を決定するに当たり、潮位偏差の周波数特性を調べた。広島の解析結果例を図-2に示す。毎時の潮位偏差に3. で示した気圧補正を施したデータを用いて解析を行っている。データ期間は、2002年7月1日0時から2048データ(85.3日)である。短周期(高周波)側では、25時間、12.5時間及び数時間にピークが見られ、長周期(低周波)側では、数日にピークが見られるが位置は一定していない。

気象擾乱による影響を除くためには2日程度以下の成分を遮断する必要がある。また末永ら(2003)が解析した陸棚波と思われる数日程度の時間規模を持つ変動は残す必要がある。これらのことから、本研究では遮断周期を48時間としたローパスフィルターを用いるものとする。

ローパスフィルターは、末永ら(2003)と同様に、花輪・三寺(1985)の提案した48 tkを用いた。

5. 高い異常潮位の出現特性

以上の手順で異常潮位の毎時の時系列を作成した。そして、異常潮位の大きさが10 cmを超える場合を「高い異常潮位」と定義し、その出現特性解析を行った。「高い異常潮位」毎に、図-3に示すような出現回数、継続時間、偏差(異常潮位の大きさ)を抽出し、それについての統計処理を行った。統計処理は地点毎に行った後で、海域毎に平均して整理した。海域は、加藤・津村(1979)を基本にして設定した(図-4)。加藤・津村(1979)から変更した主な点は以下の通りである。

①海域2では、小名浜と銚子漁港の間で偏差の特性が大きく異なることが分かったので、小名浜から北を2A、銚子漁港から南を2Bとした。

②加藤・津村(1979)にはなかった南西諸島を追加して海域10とした。

海域毎の出現特性を図-4に示す。

これらの図から、異常潮位の出現特性について以下の

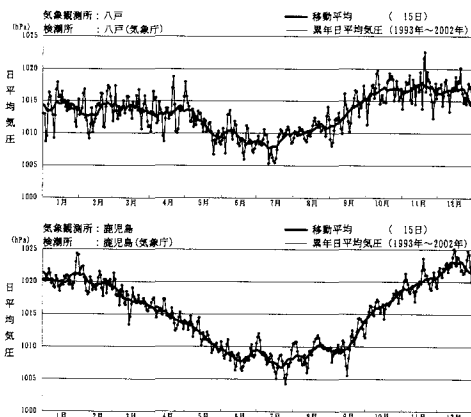
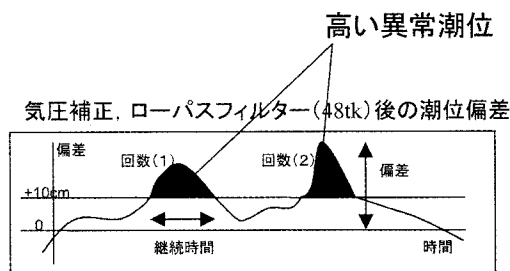


図-1 八戸と鹿児島における気圧の季節変動

表-1 気圧の振幅と S_a 潮の振幅の比較

地点	気圧の振幅	S_a 潮の振幅
八戸	5 hPa	10.3 cm
鹿児島	8 hPa	16.4 cm



図一三 高い異常潮位の継続時間と大きさ（偏差）

ことが解る。

- ①日本海側では、継続時間の短い異常潮位が数多く発生している。
- ②北海道、東北太平洋側では、出現回数が少ない上に継続時間も短く、偏差の大きさも小さい。このことからこれらの海域は異常潮位が余り発達しない海域であることが解る。
- ③南西諸島では出現回数が少なく、偏差も小さいが、継続時間が非常に長い。
- ④東北太平洋側と房総半島太平洋側は隣接しているが、後者の方が前者よりも出現回数が不連続的に多く、偏差も後者の方が不連続的に大きい。このことから、両海域の間で、海況が大きく変わっていることが示唆される。

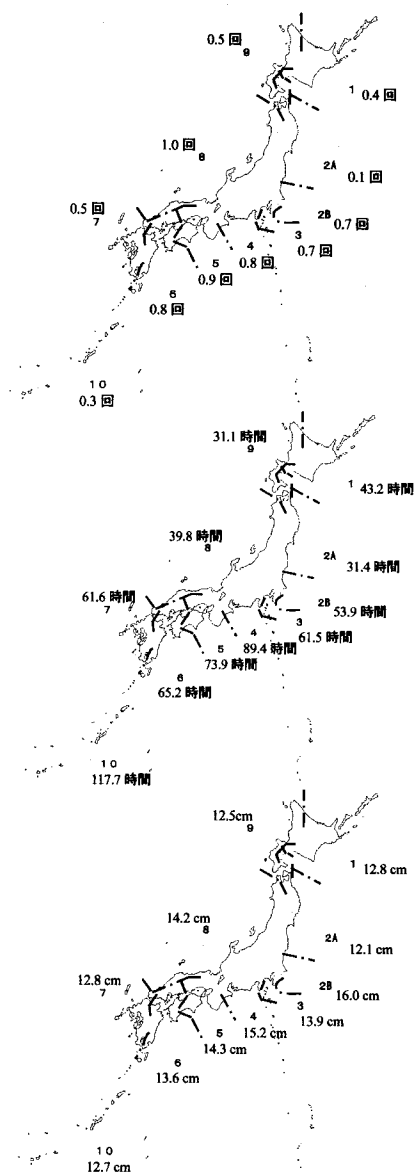
出現特性の経年変化について見ると、海域4では年間出現回数が増加傾向にあり、30年間で2.3回である。海域6でも増加傾向が見られ、逆に海域10（南西諸島）では減少傾向が見られる（図省略）。

大きさ（偏差）については、海域2B、3、4、5、6、7で増加傾向である。海域4で最大となり、30年間で10.3 cmとなる（図省略）。大きさが減少傾向を示す海域はない。

6. 異常潮位の時空間変動特性

5.では異常潮位の出現特性の把握を行った。予測等を念頭に置いた場合、異常潮位の要因分析を行うことが必要である。一般に自然現象には、色々な時間変動、空間変動成分が複雑に絡み合って混在している。異常潮位に関しても例外ではないと思われる。従って、複数地点の異常潮位の時系列と、要因と思われる気象・海象とを関連付けようとするよりも、これらをいくつかの単純な成分に分けた上で要因と関連付けた方が見通しは良くなると考えられる。

ここでは、伝播する波動が存在しない自然現象の解析に用いられるEOF解析（主成分分析）を拡張したもので、伝播する波動成分が存在する場合にも対応できる解析手法として知られているCEOF解析（複素EOF解析）



図一四 海域別異常潮位の出現特性(上：月別出現回数，中：継続時間，下：大きさ（偏差）)

を用いた（柳，1993）。

（1）太平洋側のデータを用いた解析

厳島神社が冠水した2001年9月17日を含む9月1日0時～10月20日23時の毎時の異常潮位の時系列を用いて解析を行った。対象とした観測所は、東北から関東の太平洋側、紀伊半島、四国南岸を通り、瀬戸内海に入る経路に位置する観測所である。

解析された第1モードを図一5に示す。時間が経つとともに、変動が西（南）に位置する観測所に移動している、即ち、変動が岸を右に見る形で、東日本から西日本

に移動している。また、前後の日の変動図と併せて、場所を固定して時間変化をみると、数日～10日程度の周期で変動していることが解る。

空間位相の分布を図-6に示す。これは、第1モードの観測所間の伝播特性を示したもので、横軸は八戸からの距離で表現してある。傾きは全海域で一定ではない。これまでの調査から、いくつかの海域の境で異常潮位の出現特性に差が見られることが分かった。ここでは、串本以東と白浜以西とで分割した場合の結果を示す。それぞれの海域で回帰式の傾きを求め、 360° に相当する距離を求めると、それが波長になる。串本以東の波長は約2,800 km, 白浜以西では約10,000 kmとなる。

一方、時間位相の分布を図-7に示す。上図における位相角は $-180^\circ \sim 180^\circ$ の範囲で表現しており、位相角を連続的に表現すると下図となる。9月15日(350時間後頃)前後は傾きが急で(周期が他より短め)、他の期間と異なった現象が起きている可能性があるが、全期間の平均的な傾きを求め、空間位相の場合と同様、 360° に相当する時間を計算して周期としたところ、11日程度となった。

従って、既に求めた波長と組み合わせることによって、変動の伝播速度が計算される。すなわち、串本以東では約3 m/s, 白浜以西では約11 m/sとなる。

このように、海域によって、位相速度に大きな違いが見られる。すなわち、北(東)日本に対して、南(西)日本の海域の方が伝播速度は速い。

以上述べた解析以外に、2001年1年間の日平均異常潮位のデータを用いた解析も行った。得られた第1モードの時空間変動のうち、7月以後の分を取り出したものを図-8に示す。上記の解析では見出せなかった周期の長い変動が第1モードとして解析された。このモードには空間的な伝播特性は見られず、ほぼ全地点で同時に時間変動が発生している。しかし、銚子付近を境に、その両側で特性が大きく異なっている。即ち、銚子より北側では、南側と比べて変動の振幅が急に小さくなっており、5.で述べた特徴と良く一致している。360日の間に出現する変動の回数から、その周期は40日～60日程度と見積もることができた。

上述の、岸を右に見て伝播するモードは第2モードとして解析された(図省略)。

(2) 日本海側のデータを用いた解析

2001年1年間の日本海側(九州～東北)の日平均異常

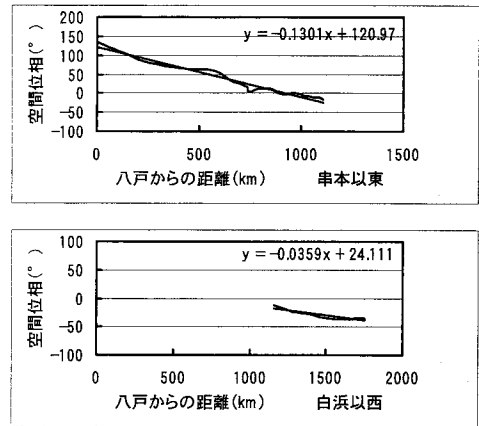


図-6 空間位相の分布

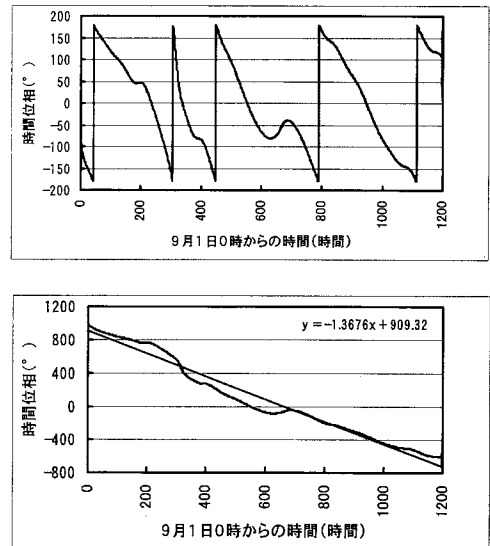


図-7 時間位相の分布

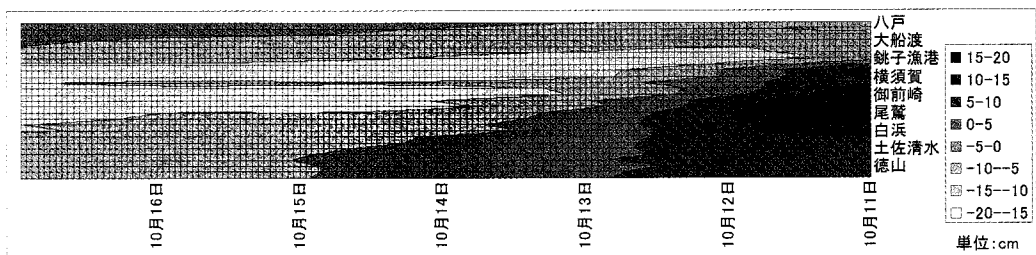


図-5 CEOF 解析結果 (2001年9月1日～10月20日のデータを使った解析結果のうち、10月11日～16日の分を表示)

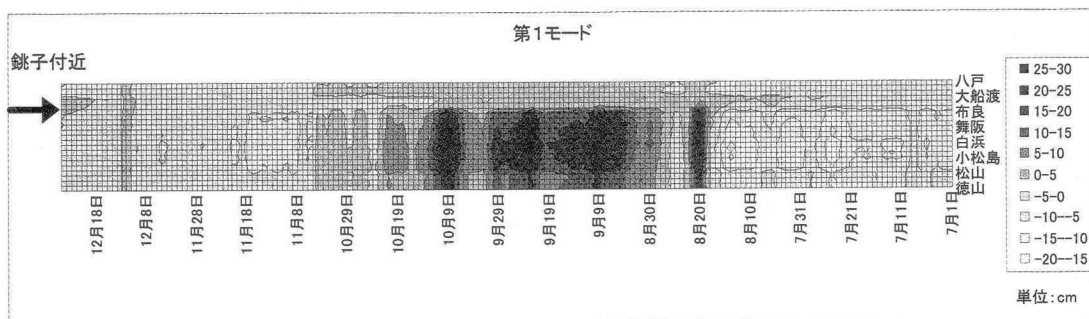


図-8 CEOF 解析結果 (2001 年 1 年間のデータを使った解析結果のうち, 7 月以後の分を表示)

潮位のデータを用いた解析を行った。第 1, 第 2 モードの特徴は以下の通りである (図省略)。

- ①第 1 モード：空間的な伝播特性は見られず、ほぼ全地点で同時に時間変動が発生している。360 日の間に出現する変動の回数から、その周期は 10 日程度と見積もることができる。この周期は太平洋側と比べて明らかに短く、5. で述べた、日本海側では異常潮位の継続時間が短く、出現回数が多いという特徴と対応している。
- ②第 2 モード：全体的に、岸を右に見る形で (西から東、南から北へ) 変動が伝播している。舞鶴付近を境に、西側では東側と比べて非常に伝播速度が速い。あるいは、西側全域でほぼ同時に変動が発生している。360 日の間に出現する変動の回数から、その周期は 10 日程度と見積もることができ、第 1 モードと周期的には同程度である。

7. ま と め

本研究の主な結果を以下に示す。

- ①気圧の季節変動を考慮した新たな気圧補正方法を用いた異常潮位の算出方法を提案した。
- ②算出した異常潮位を用いて全国の高い異常潮位の出現特性解析を行い、海域毎の特性を明らかにした。
- ③東北から四国に至る太平洋側を対象に CEOF 解析を行ったところ、第 1 モードとして、空間的に伝播しない周期 40~60 日の波動現象が見出された。第 2 モードとしては、岸を右に見て伝播する周期 10 日程度の波動

現象が抽出され、その位相速度は、東日本に比べて西日本の方が大きい。

- ④九州から東北に至る日本海側を対象に CEOF 解析を行ったところ、第 1 モードとして、空間的に伝播しない周期 10 日程度の波動現象が見出された。第 2 モードとしては、岸を右に見て伝播する周期 10 日程度の波動現象が抽出され、その位相速度は、東日本に比べて西日本の方が大きい。

謝辞：本研究を行うに際しては、平成 15 年度に設置された異常潮位検討委員会の委員の方々から貴重な意見を頂いた。特に九州大学の柳哲雄教授からは、全般について懇切丁寧なご指導を頂いた。

CEOF 解析のプログラムは東海大学の轡田邦夫教授からご提供頂いた。轡田教授及び東海大学の久保田雅久教授からは、解析方法、プログラムの使い方についてご指導頂いた。ここに心から感謝する次第である。

参 考 文 献

- 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), 地震研究所集報, 第 54 巻, pp. 559-628.
- 末永正次・松本英雄・板橋直樹・三原正裕・梅木康之・磯部雅彦 (2003): 広島湾における異常潮位について, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp. 1316-1320.
- 花輪公雄・三寺史夫 (1985): 海洋資料における日平均値の作成について, 沿岸海洋研究ノート, 第 23 巻, 第 1 号, pp. 79-87.
- 柳 哲雄 (1993): 海洋観測データの処理法, 恒星社厚生閣, 113 p.