

広島湾の異常潮位について

末永正次* ・松本英雄** ・板橋直樹***
三原正裕**** ・梅木康之***** ・磯部雅彦*****

2001 年 9 月 17～19 日に広島湾で発生した異常潮位について、潮位実測データを用いて現象の実態を把握するとともに、異常潮位の発生要因の分析を行った。その結果、2001 年 9 月の広島検潮所の月平均潮位は 1980 年～2001 年の間で最大であることを明らかにした。また、広島検潮所における厳島神社冠水時の潮位偏差は約 40 cm であり、このうち約 20 cm は約 40 年間におよび地盤高の変動が含まれていたことが明らかとなったほか、残りの 20 cm のうち、約 7 cm が太平洋沿岸を伝播した陸棚波の影響が豊後水道から伝わったもの、残りの約 13 cm は、黒潮の接岸・蛇行、北西太平洋振動の影響等による水位上昇であることを示した。

1. はじめに

2001 年 9 月～10 月にかけて、東海から九州の太平洋沿岸で異常潮位が観測された。豊後水道と紀伊水道を通じて太平洋の影響を受ける瀬戸内海でも同様に異常潮位が観測されており、広島湾(図-1 参照)にある世界遺産「厳島神社」では、2001 年 9 月 18～19 日の満潮時間前後に回廊が冠水し、拝観停止となった。

今回の厳島神社の冠水は、一年で最も平均潮位が高い秋の大潮期(9 月 17 日前後)の満潮時に発生しており、第六管区海上保安本部によると、この日の潮位偏差は約 40 cm であった。

本研究は、広島湾で観測された異常潮位を主対象として、発生実態を具体的なデータを用いて把握するとともに、その発生要因を明らかにすることを目的とした。そして、これまで原因の特定が困難なために発生が予測できなかった黒潮の接岸・蛇行、暖水塊、陸棚波等の数週間から数ヶ月規模での水位変動、並びにより長期的な水位変動として北西太平洋の水位振動(日比野, 2002)を対象として解析を行った。

2. 異常潮位の定義付けとその発生状況

(1) 異常潮位の定義付け

気象庁では異常潮位を「高潮や津波以外の原因により、潮位偏差の高い(または低い)状態が広範囲で比較的時間続く現象」と定義している。しかし、一般的に知られている高潮や津波以外の水位上昇要因だけでは、冠水などの被害は発生しにくい。そこで、異常潮位によって被害が発生する状況について整理する。潮位現象を図-2 に示すように「天文潮」、「高潮・津波」、「その他の水位上昇要因(天文潮、高潮・津波以外)」の 3 つに分けて考

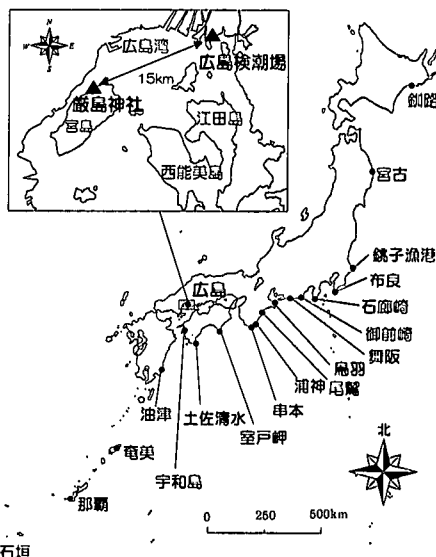


図-1 広島湾およびその検潮所の位置

える。「天文潮」は変動波形およびその振幅とも精度良く予測可能で、秋の大潮の満潮時に最も水位が高くなる。「高潮・津波」は、発生規模の予想は困難であるが、そのメカニズムは学術的に説明されていて、気象擾乱や断層の規模が与えられれば定量的な解析も可能である。そして、「その他の水位上昇要因」となる黒潮、陸棚波、暖水塊・渦、気圧、風などは、ある程度学術的に説明されているものの、複数要因の同時生起性については未解明の部分が残されており、定量的な評価は難しいが異常潮位とされる現象との関係が深いと思われる。なお、「高潮・津波」は、単一の現象のみの発生により災害を起こし得るが、「天文潮」や「その他の水位上昇要因」は、それぞれ単独の現象のみでは、災害が発生する規模の水位上昇が生じるとは考えにくい。

一般的に異常潮位と呼ばれるのは①の部分であり、気象擾乱が無いにもかかわらず、秋の大潮の満潮時刻前後にいくつかの水位上昇要因が重なることによって冠水な

* 国土交通省九州地方整備局(前中国地方整備局)
** 正 会 員 国土交通省中国地方整備局
*** 正 会 員 工 修 パシフィックコンサルタンツ(株)港湾部
**** (株)エコー環境水工部
***** 正 会 員 (財)沿岸開発技術研究センター
***** 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

どの被害が発生する。そして、最も懸念されているのが、単独でも災害を起こし得る“高潮・津波”と“その他の水位上昇要因”による顕著な水位上昇が同時に発生した場合（図中の②、③）であり、甚大な被害の発生が予想される。これらの現象はこれまでに発生していたと考えられるが、“高潮・津波”の現象が顕著であるのに比して、“その他の水位上昇要因”による現象は認識されにくいことから、これまでに議論される機会が少なかった。

(2) 異常潮位およびその被害の発生頻度

気象庁の定義でいう異常潮位の発生頻度は比較的高く、ほぼ毎年ように発生している（吉田，1971）が、前節で記したように、偏差のみでなく天文潮などとの関係で絶対潮位が高くなれば冠水などの被害は発生しない。異常潮位によって浸水被害が発生するのは、“その他の水位上昇要因”による顕著な水位上昇が大潮期の満潮や、台風による高潮と同時に発生した場合である。それらの中で、今回のように大潮期の満潮と“その他の水位上昇要因”の幾つかが同時生起した結果、気象擾乱が無いにもかかわらず冠水するような現象の発生頻度は、決して高くはないと考えられる。

3. 厳島神社の冠水実態

広島湾の潮位は、黒潮などの外洋からの影響を強く受けていると考えられること、近年の異常潮位は西日本の太平洋沿岸に多いことから、太平洋沿岸の潮位観測データを中心に解析を行った。

解析に使用した検潮所の位置、広島湾の位置と拡大図（検潮所と厳島神社の位置）を図-1に示す。冠水した厳島神社の現象整理には広島検潮所（第六管区海上保安本部海洋情報部）のデータを用いたが、この広島検潮所と厳島神社は直線距離で約15 kmほど離れている。

広島検潮所における1970～2001年の月平均潮位の変動状況を図-3に示す。図中の細線は1980年～2000年の月平均潮位、太実線+●が2001年を示しており、これらは、1980年～2001年の22ヵ年の平均水位変化のトレンドを差し引くことにより、地盤変動などの長期変動成分を除外している。また、太実線は22ヵ年の月別平均潮位である。この図によると、2001年の9月は、この22年間で最も月平均潮位が高かったことがわかる。

2001年9月15～22日の広島検潮所の潮位観測値と朔望平均満潮位（H.W.L.=D.L.+380 cm）を図-4に示す。9月17日は秋の大潮期であり、その満潮時刻である17日22時にこの期間の最大潮位D.L.+436 cmを観測したほか、18日10時および19日11時にもD.L.+420 cmが観測された。これらのことは、厳島神社の回廊がD.L.+420 cm（簡易測量による）であるから、18、19日の日中に回廊が冠水したこと、また、夜を含めると17日夜～19

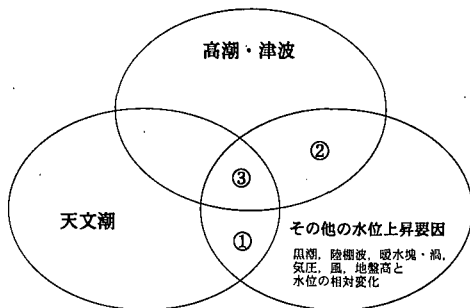


図-2 異常潮位問題発生概念図

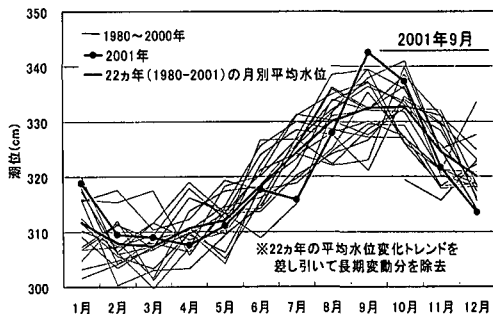


図-3 2001年の月平均潮位とそれ以前との比較

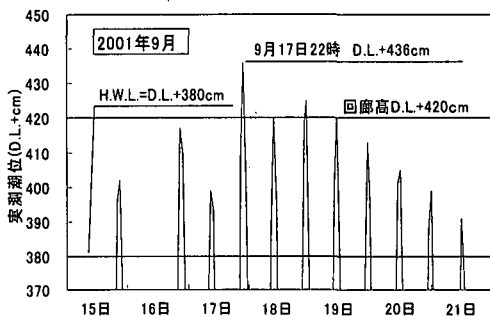


図-4 広島検潮所の観測潮位と厳島神社の回廊高

日の日中の満潮時までの間に回廊が4回程度冠水したことを示しており、厳島神社の冠水状況と整合している。

4. 異常潮位の発生要因分析

(1) 潮位偏差の算出

潮位偏差は、観測潮位と予報潮の差であり、予報潮は観測潮位の調和分解結果である調和定数を用いた予報計算により算定される。本研究では、主要4分潮から、 S_a 、 S_{2a} のような1年、半年周期まで、観測潮位から求めた23分潮を用いて年毎に予報潮とした。この際、 S_a 、 S_{2a} は気象による潮位変動を含むが、潮位偏差の経年変動を検討するためには、予報潮は特異な変動を含まない平均的な変動が望ましい。そこで、全23分潮の調和定数の振幅を過

去 10 年間についてベクトル平均し、経年変動を平滑化した。また、予報潮算出に用いる平均潮位は、観測潮位を年毎に単純平均したものを用いた。ただし、1ヶ月間に240時間以上欠測の場合その月を欠測扱いとし、平均値算定には用いなかった。なお、本論文においては、この手法で算定した潮位偏差を算出偏差と記し、海上保安庁発表の潮位偏差と区別した。

(2) 異常潮位発生要因の整理と算出偏差の関連解析

既往の知見から水位上昇の発生要因を整理すると、風の吹き寄せ、暖水塊、黒潮接岸・蛇行、陸棚波、北西太平洋振動の影響などが考えられる。これらの要因の指標となる風速、海水温、黒潮の流軸距離、算出偏差の平面的な時系列変動の比較、算出偏差の振幅の平面分布解析を試みた。

風速については南風が強いときの水位上昇が一部で見られたものの、解析対象期間での例が極めて少なく、明確な相関も確認できなかったことから、今回の異常潮位の要因から除外した。

水温については、算出偏差の減少とともに水温が低下する状況が確認されたものの、水温の観測期間が短く、算出偏差上昇時の確認ができていないほか、他の期間での相関解析等による裏づけが得られていないことから、今回水温に関する影響については言及しない。

一方、黒潮流軸距離の変化、算出偏差の伝播状況、および算出偏差の平面分布特性から、黒潮接岸・蛇行、陸棚波、北西太平洋振動の影響があることが示唆されたことから、これらについてより詳しく解析を行った。

(3) 黒潮の影響

海上保安庁発行の海洋速報をもとに、2001年の8月末～10月末までの黒潮の流軸変動を図-5に整理した。図中の●は流軸までの距離データの起点を示す。解析対象とした全期間で、黒潮は四国から紀伊半島沖に接岸した後、石廊崎沖の冷水渦を迂回して八丈島の沖合まで蛇行してから房総半島沖合に再び接する蛇行型である。

詳細に見ると、9月～10月はその前後に比べて四国沖と紀伊半島への接岸傾向が強いほか、遠州灘沖の蛇行の形状が渦の発達しやすい楕円形状に近い形状となっている。

これらに対し、ほぼ同じ時期に布良一油津の間の太平洋沿岸で算出偏差が上昇している(図-6参照)ことから、この水位上昇に黒潮が大きく影響していると考えられる。

(4) 北西太平洋振動による影響

図-1に示した検潮所の算出偏差の時系列変化状況を図-6に示す。このグラフは、毎時の算出偏差時系列データに24時間の移動平均処理をしたもので、太線は広島、太点線は銚子漁港、太破線は布良を示している。広島で

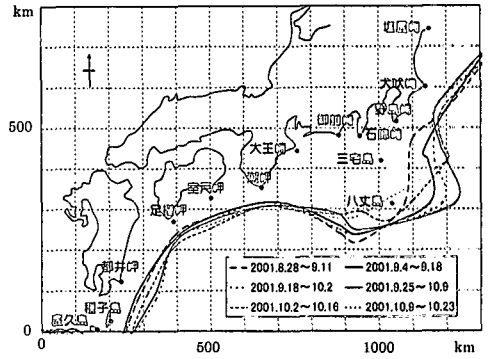


図-5 黒潮流路の変動

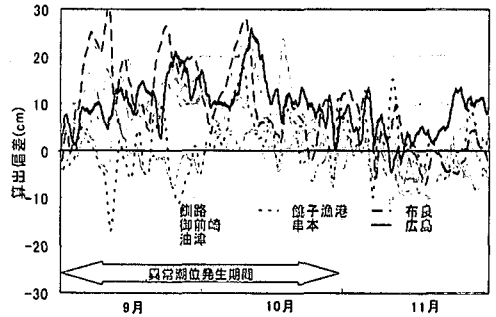


図-6 太平洋沿岸の算出偏差の時系列比較 (2001年9月)

は、2001年9月～10月末の約2ヶ月にわたって10 cm程度の算出偏差が継続的に観測されているほか、9月末には20 cm、10月10日前後には25 cmにおよぶ算出偏差が観測されている。そして厳島神社が冠水した9月17～19日では、13～15 cmの算出偏差(移動平均処理前の値では15～20 cm)が発生している。

他の地点を見ると、布良と銚子漁港を境に算出偏差の発生状況が異なり、布良より南西側では広島と同様に正の算出偏差が生じているが、銚子漁港から北側では、算出偏差はあまり生じていない。また、北側と南西側では、銚子付近を支点とした水位の振動現象のように見える算出偏差の反対称的な変動が見られ、この変動は銚子に近づくほど振幅が大きい。これらの現象について、算出偏差の日平均値を平面的に再整理したものを図-7に示す。

油津一布良の間で算出偏差が高いほか、全体的には南西側がやや高い傾向となっている。これは、油津一布良の間は黒潮の影響が大きいことに加え、釧路付近を節とした北太平洋振動のような海洋現象の影響があることを示唆している。

(5) 陸棚波の伝播状況(算出偏差の平面的変動特性)

1970年に発生した異常潮位の発生要因分析の結果には、銚子の南西側の太平洋沿岸に沿って、水位上昇変動

が東から西へ2~4 m/s程度の伝播速度で伝播する陸棚波が異常潮位発生要因の一つとして整理されている(吉田, 1971)。

今回の異常潮位においても、1970年の異常潮位発生時に観測された水位上昇の東から西への伝播と同様の現象が見られ、瀬戸内海沿岸の海象は、豊後水道もしくは紀伊水道を通じて外洋(太平洋)の海洋現象の影響を受けると考えられることから、この影響の有無について調べた。

a) 陸棚波の特性解析方法

陸棚波の伝播解析においては、ピークの発生時刻や位相差などの情報が重要となることから、花輪ら(1985)によるタイドクリアフィルター(TK48)を用いることにより、48時間より短い周期の変動成分を除去した。

図-8の縦軸は算出偏差の規模を示しており、図中央付近に示した目盛が20 cmの算出偏差量を示す。また、右側の縦軸は広島からの累計の距離を示しており、破線で示したそれぞれの観測地点の偏差基準線が広島からの検潮所からそれぞれの検潮所までの累計の距離を示している。

b) 算出偏差の伝播特性の解析

具体的には、図-1に示した検潮所のうち、顕著な算出偏差が観測された領域の北側境界となっている銚子漁港から、今回の調査対象地広島までの検潮所の算出偏差の時系列グラフを比較することにより、陸棚波による水位上昇の伝播状況を整理した。この際、紀伊水道、豊後水道それぞれからの影響について解析したが、紀伊水道側からの陸棚波の影響は不明確(もしくは影響がない)であったため、ここでは豊後水道側からの影響の解析結果を図-8に示した。

c) 伝達速度の解析

図中の▲はそれぞれの検潮所における9月14~18日の算出偏差のピークを示している。ピークの出現状況を見ると、銚子漁港から浦神までの太平洋沿岸と、室戸岬から広島に至る豊後水道では明らかにその伝達速度が異なっている。ピークの出現時間と検潮所間の距離から陸棚波、およびその影響と思われる偏差の伝達速度を求めると、銚子漁港一浦神間の太平洋沿岸では2.3 m/s、室戸岬一広島間の豊後水道では6.4 m/sであり、太平洋沿岸よりも、豊後水道の方が伝達速度が速い。銚子漁港一浦神間については、吉田(1971)において整理されている太平洋沿岸の陸棚波の伝達速度(2~4 m/s)とほぼ同じ数値を示している。一方、この陸棚波の影響と思われる豊後水道の算出偏差の伝播については、陸棚波の伝達速度より速い。これについては、豊後水道からの地形の影響により波動現象のメカニズムが異なっているものと思われる。

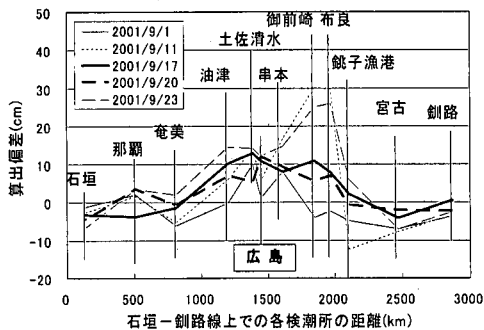


図-7 太平洋沿岸での算出偏差の分布

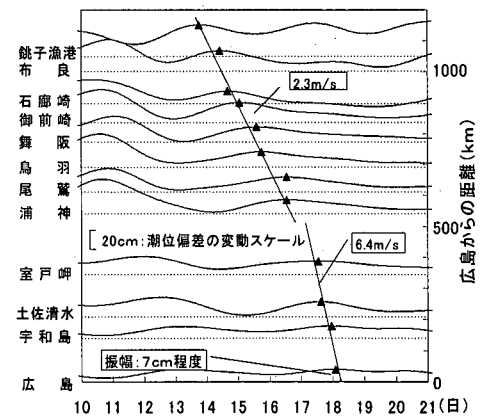


図-8 陸棚波の伝播状況(2001年9月)

d) 振幅の解析

陸棚波の振幅について見ると、銚子漁港一浦神間の太平洋沿岸では10~15 cmの水位上昇が伝播しているが、室戸岬一広島間の豊後水道では7~10 cm程度と水位上昇量は小さくなっており、豊後水道を通じて広島に到達した陸棚波の影響は7 cm程度であった。

以上から、9月14~17日にかけて、銚子漁港から南西の太平洋沿岸に15 cm程度の陸棚波が伝播し、その影響が豊後水道を通じて広島湾に約7 cm程度の規模で到達したことがわかった。

5. 地盤変動高と水位変動について

前述のように、このときの潮位偏差は40 cmと報道されていたが、本研究で算定した算出偏差は半分の20 cm程度であったことから、この差の20 cmは長期的な地盤高と水位の変動によるものと考えられる。そこで、広島検潮所の年平均水位の経年変化を図-9に整理した。

広島検潮所では1965年から2001年までの40年間で、水位が約20 cm上昇(平均5 mm/yr)している。

そして、この約20 cmについての地盤変動分と水位変

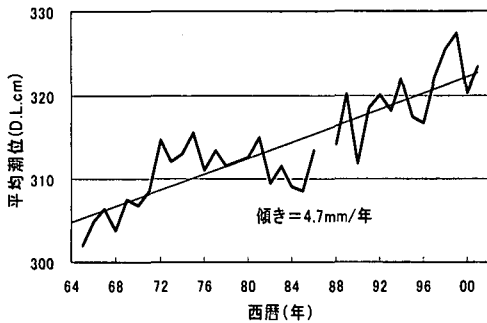


図-9 広島検潮所の地盤高と水位の相対変化の長期傾向

動分の分離については、海面昇降検知センターで取りまとめている加藤・津村の方法による地盤変動状況でも、広島検潮所の地盤は年間約5mmの割合で沈下しているという結果が出ている。

また、海上保安庁は2003年4月に広島検潮所の最低水面を約20cm改定しているが、異常潮位が発生した2001年時点の最低水面は1960年代の前半頃に定められたものであり、新聞等で報道された潮位偏差には1960年頃から約40年の期間に生じた地盤高と水位の相対的な変動が含まれた値と考えられる。

以上から、40年間で20cmという地盤高と水位の相対的な変動量のほぼ全体が地盤の沈下であると推定される。

6. 結 論

- ①広島検潮所における、2001年9月の月平均潮位は、1980年～2001年の22年間では最大であった。
- ②銚子漁港から油津の太平洋沿岸では、2001年9月から10月の約2ヶ月にわたり、数週間から数ヶ月規模の水位変動により、10cmを越える算出偏差が発生した。
- ③厳島神社が冠水した2001年9月17～19日の広島検潮所の算出偏差は15～20cmであった。このうち、太平洋沿岸を伝播した陸棚波からの影響と思われる、豊後

水道を経て広島に到達した算出偏差は約7cmであり、残りの約8～13cmは黒潮の蛇行・接岸、北西太平洋振動等によるものと考えられる。

- ④厳島神社の冠水は、秋の大潮の満潮時刻前後に発生しているほか、陸棚波、黒潮接岸、北西太平洋振動の影響など、複数の水位上昇要因が重なって発生している。
- ⑤海上保安庁による厳島神社冠水時刻前後の潮位偏差は約40cmであり、この値には1965年以降の長期的な地盤高と水位の相対的な変動が約20cm含まれている。
- ⑥厳島神社の回廊は、元来水面との高低差が少なく、通常の護岸に比べると冠水し易い状況にあったことに加え、広島地区では地盤高と水位の相対的な変動により水位が上昇する傾向であることから、以前より冠水し易くなっている。
- ⑦今後は日本の沿岸について、広域かつ高度な異常潮位発生特性の解析を進めるとともに、その影響度を推定し、どのような対応策が必要かを早急に検討する必要がある。

謝辞：本論文は、国土交通省が設置した「異常潮位検討委員会」での検討の一部を取りまとめたものである。検討を進めるにあたり、貴重なお意見・ご指導を頂いた委員並びに関係者に謝意を表します。

また、気圧、風データは気象庁から、黒潮流路情報および広島検潮所の情報は第六管区海上保安本部から、厳島神社周辺の測量情報は広島県からそれぞれご提供いただいたものを活用させていただきました。ここに記して、謝意を表します。

参 考 文 献

- 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.
 日比野忠史 (2001): 北～西太平洋での水位振動と日本沿岸域での水位変化特性, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 446-450.
 吉田耕造 (1971): 異常潮位, 海洋科学, Vol. 5, No. 4, pp. 7-59.