

特集「沿岸防災業務強化に向けた業務改善」

日本沿岸における潮位偏差の地域性及び季節性について*

近澤 昌寿[※]・橋口 祥治・大久保 沙貴^{**}

要 旨

長期的な毎時潮位偏差データについて統計解析を行い、日本沿岸における潮位偏差の地域性及び季節性について調査した。

潮位偏差の標準偏差、歪度、尖度から、潮位偏差の出現分布はほとんどの地域で季節によらず正規分布に比べて正偏差側に裾の長い分布であり、地域差や季節変化は出現分布中央付近ではなく、裾部分の長さの変化として現れることが明らかになった。

潮位偏差の度数分布から算出した超過率やパーセンタイルなどの出現率に関する統計量を基にして地域や季節の特性を調査した結果、関東～九州南部の太平洋側で大きな正の潮位偏差が出やすく、東北太平洋側や日本海側、南西諸島では出にくい傾向があること、潮位偏差が大きいほど地域差や季節変化がより顕著に現れることなども明らかになった。

また、気象潮の要因である気圧、風の出現分布はそれぞれが正規分布よりも裾の長い非対称な分布であることが確かめられた。潮位偏差が裾の長い分布となることに気象潮が関与している可能性がある。

1. はじめに

気象じょう乱に伴う潮位の変動を気象潮と呼び、その中でも「台風や低気圧などの顕著な気象じょう乱に伴って発生し、数時間から時に数十時間の時間スケールをもつ海面の異常現象」が高潮(宇野木 1993)である。気象庁では実測潮位と天文潮位の差(以下、「潮位偏差」とする)が50cm以上の場合を「顕著な高潮」とし、高潮記録整理

表としてまとめている(気象庁 2007-2010)。「顕著な高潮」のしきい値は全国一律に50cmとしているが、地域ごとにその発生頻度が違うことが経験的に知られている。これは、地域ごとに内湾あるいは外洋に面しているなどの地形的特徴や海底地形、黒潮や暖水渦・冷水渦などの海洋要因の影響、発達した低気圧や台風の襲来頻度などの気象要因の影響が違っているためと考えられる。

* Regional and seasonal characteristics of sea level residual at tide stations in Japan

** Masatoshi Chikasawa, Shoji Hashiguchi, Saki Okubo

Office of Marine Prediction, Global Environment and Marine Department (地球環境・海洋部海洋気象情報室)
現所属 ※ 舞鶴海洋気象台海洋課

高潮の事例ごとの調査や研究は、宮崎 (2003) による過去 100 年の顕著事例の紹介を初め、最近でも 2004 年台風第 16 号による瀬戸内海の高潮を調査した高野ほか (2006) や伊勢湾台風による高潮再現を試みた別所ほか (2010) など数多くある。高潮の統計的な調査は少ないながらも、1953 年～1962 年の高潮について地域ごとに解析し、地域ごとの一般的特徴を調査した Isozaki (1970a ; 1970b) などが存在する。これら高潮の調査は潮位偏差を気象潮による偏差とみなしての議論がほとんどである。これは潮位偏差に影響する要因は様々あり分離が困難であること、調査対象となる潮位偏差 100cm を超えるような高潮であれば気象要因以外の寄与が比較的小さく無視できるとみなしたであろうことなどが理由と考えられる。

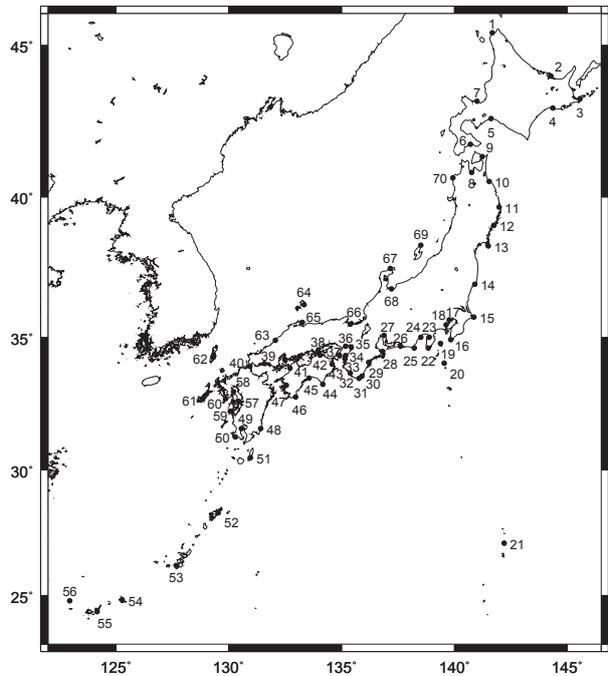
一方で、日常的な潮位偏差はせいぜい数十 cm 程度であり、気象潮以外の要因の寄与も大きいとみられる。また、そもそも沿岸防災の対象は潮位偏差そのものであり、その出現特性の統計的な把握は必要不可欠と考えられる。Pugh and Vassie (1978) や Pugh (1996) は英国の検潮所における潮位偏差について統計解析を行い、その出現特性を明らかにしている。しかし、日本沿岸では潮位偏差そのものに対する定量的な実態は十分に明らかになっていない。その一因として、潮位偏差の均質なデータセットを作成するためには、観測データへの適切な品質管理や、天文潮位算出方法の統一などのクリアすべき条件が複数あり、これまで長期的なデータセットが存在しなかったことが考えられる。

比屋定ほか (2011) は、過去の潮位観測データの再解析により均質なデータセット (以下、「歴史的潮位データセット」とする) を作成し、「顕著な高潮」(すなわち潮位偏差) に関する再評価を行うことで発生頻度や要因などの地域特性を明らかにした。しかし、調査は海域ごとに行われており、また地点ごとに統計期間が違うにもかかわらず 50cm 以上の潮位偏差の発生回数を数えるなどに留まっており、潮位偏差の地域的な特徴を統一的また定量的に評価できたとは言い難い。そこで今回、比屋定ほか (2011) により作成された歴史的潮位データセットを用いて潮位偏差の出現率

など統一的な統計量を調べることで、日本沿岸における潮位偏差の地域性及び季節性を明らかにすることを目的とした。

2. 対象地域及びデータセット

本調査の対象は、歴史的潮位データセットにより 2009 年までの数十年以上のデータが存在する 60 地点及び 1997 年から 2009 年までのデータが存在する気象庁 10 地点の計 70 地点である (第 1 図及び第 1 表)。解析には毎時の潮位偏差を用いた。欠測がないとすると、1 年 (365 日) 当たりのデータは 8760 個となり、13 年間で 11 万個強となる。次節で詳細を述べるが、潮位偏差の標本分布からの適切な確率分布推定が困難だったため、各地の標本から統計量を算出した。サンプル数が少ないと標本分布が十分に確率分布を再現できないと考えられることから、気象庁地点でも 2005 年以降に観測を開始した地点は調査の対象としなかった。また潮位観測は、海上保安庁、国土地理院、港湾局、水資源・国土保全局 (旧河川局)、自治体などでも行なわれているが、長期間の観測データ入手が困難であったため、これらの地点に



第 1 図 今回の調査対象地点
地点の数字は第 1 表と対応している。

第1表 本調査での観測地点一覧

灰色のセルは歴史的潮位データセットにはない地点. 地点の数字は第1図と対応している.

no	地点名	データ期間	no	地点名	データ期間
1	稚内	1955-2009	36	神戸	1965-2009
2	網走	1967-2009	37	洲本	1960-2009
3	花咲	1961-2009	38	宇野	1960-2009
4	釧路	1960-2009	39	防府	1963-1982, 1984-1991
5	苫小牧西	1967-1996	40	弟子待	1988-2009
6	函館	1955-2009	41	松山	1950-2009
7	小樽	1997-2009	42	高松	1947, 1949-1951, 1953-1979, 1981-2009
8	青森	1979-1996	43	小松島	1950-2009
9	下北	1997-2009	44	室戸岬	1968-2009
10	八戸	1960-2009	45	高知	1980, 1983-2001, 2003-2009
11	宮古	1937-2009	46	土佐清水	1961-2009
12	大船渡	1970-2009	47	宇和島	1964, 1967-2009
13	鮎川	1960-2009	48	油津	1930-1943, 1946-2009
14	小名浜	1951-2009	49	鹿児島	1960-2009
15	銚子漁港	1960-1971, 1973-1977, 1981-2009	50	枕崎	1956-2009
16	布良	1960-1966, 1968-2009	51	種子島	1997-2009
17	東京	1960-1965, 1968-2009	52	奄美	1997-2009
18	横浜	1984-2008	53	那覇	1967-2009
19	岡田	1941, 1942, 1953-1961, 1963-2009	54	平良	1959-1968, 1987-1991, 1997-1999, 2003-2009
20	三宅島	1997-2009	55	石垣	1969-2009
21	父島	1975-2009	56	与那国	1997-2009
22	石廊崎	1997-2009	57	三角	1961-2009
23	内浦	1960-2009	58	大浦	1970-2009
24	清水港	1951-2009	59	口之津	1968-2009
25	御前崎	1951-1954, 1958-2009	60	長崎	1961-2009
26	舞阪	1933-2009	61	福江	1964-2009
27	名古屋	1949-2009	62	対馬	1997-2009
28	鳥羽	1965-2009	63	浜田	1984-2009
29	尾鷲	1953-1959, 1966-2009	64	西郷	1958-2009
30	浦神	1963, 1964, 1967-2009	65	境	1961-2009
31	串本	1961-2009	66	舞鶴	1969-2009
32	白浜	1966-2009	67	能登	1997-2009
33	和歌山	1967, 1969-2009	68	富山	1967-2009
34	淡輪	1963-2009	69	佐渡	1997-2009
35	大阪	1970-2009	70	深浦	1972-2009

についても調査の対象としていない。

各地点のデータ期間を第1表に示す。潮位偏差データ算出方法の概略は下記のとおりである。

①毎時潮位データセットを調和分析して、地点ごとに調和定数を求める。調和分析の方法は気象庁海洋観測指針(第2部)(気象庁,1999)に則り最小2乗法であり、60分潮を算出している。

②①で求めた調和定数から地点ごとに推算潮位を算出する。

③②で求められた推算潮位は潮位表基準面からの値であるので、毎時潮位データセットより地点ごとに観測基準面への変換値を計算する。

④毎時潮位データから③の観測基準面上の推算潮位データを差し引くことで、毎時潮位偏差データを算出する。

歴史的潮位データセットの作成方法や潮位偏差データ算出方法の詳細については、比屋定ほか(2011)を参照されたい。

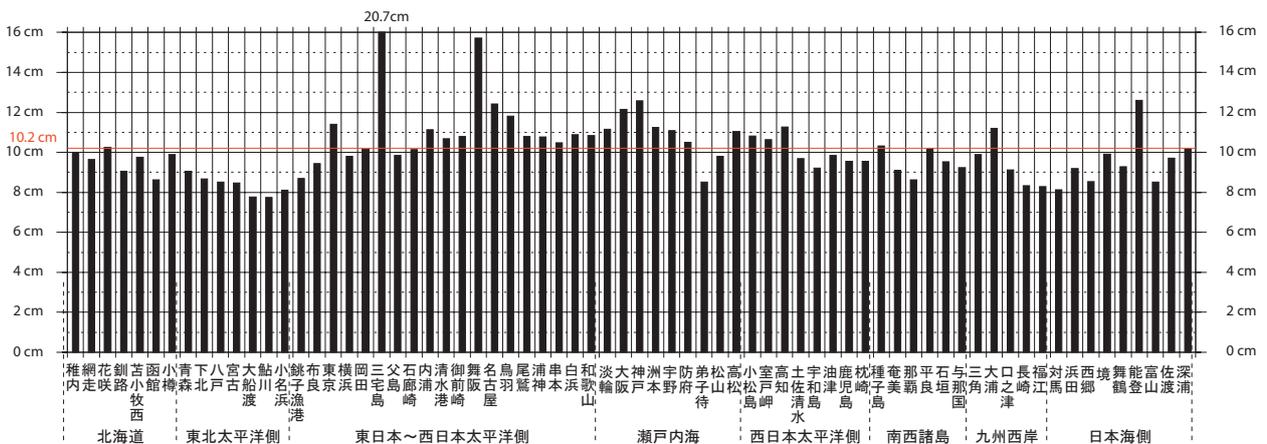
気象庁では潮位観測にあたり、フロート式、音波式、音波管式、電波式など様々な測器を用いているが、今回の対象は平滑処理が行われた毎時データであるため、測器の種類の違いによる影響は小さいと考え、区別せずに解析を行った。また、本調査での統計解析にはフリーソフトR(UNIX版 version 2.6.0)を使用した。

3. 各地点の潮位偏差の基礎統計量及び本調査で採用した出現率に関する統計量

3.1 基礎統計量

第2図は各地点の潮位偏差の標準偏差 σ の棒グラフである。潮位偏差の標準偏差は三宅島で20.7cm、舞阪で15.7cmなど一部地点で突出して大きい。しかし、その他のほとんどの地点では、東北太平洋側や九州西岸、日本海側の一部で8~9cm程度、東京湾や伊勢湾、瀬戸内海、有明海などの内湾で11~12cm程度と多少の地域差は存在するものの、概ね8~12cmの範囲で収まっている。英国沿岸7地点における潮位偏差の標準偏差は13.6~23.0cmであり(Pugh and Vassie 1978)、それに比べると小さい。Pugh(1996)は、熱帯海洋域では潮位偏差の標準偏差は数cm程度なのに対し、強風などの影響を受ける浅海域では十数cm~数十cmになるとして、熱帯海洋域の例にセイシェル諸島のMahe(標準偏差5cm)、浅海域の例として、英国の3地点Newlyn(同15cm)、Lerwick(同13cm)、Southend(同23cm)を紹介している。日本周辺の検潮所における標準偏差は両者の中間に相当する。

東京湾、伊勢湾、瀬戸内海や有明海などはSouthendと同じような強風などの影響を受ける浅海域と考えられるが、標準偏差は半分程度である。この違いの原因として、「吹き寄せ」による潮位



第2図 潮位偏差の標準偏差 σ の棒グラフ。

横軸は地点で左から右の順で第1図及び第1表の地点番号に対応する。縦軸は標準偏差を表し、単位はcmで一目盛2cm。また、標準偏差が16cmを超える地点はその値をグラフ上部に記載した。図中の赤字及び赤線は平均値(三宅島を含む)を示している。

上昇量が水深に反比例し、水平スケールに比例することが関係していると考えられる。水深 100m 以下の浅海域が数百 km に亘って広がっている英国周辺海域と数十 km 程度の日本の内湾とでは、同じ風速でも海底地形の違いから潮位上昇量が英国周辺海域の方が大きくなりやすいとみられ、その違いが標準偏差の差として現れていると考える。また、亜熱帯海洋域である父島や南西諸島では標準偏差は 10cm 前後で熱帯海洋域の Mahe のほぼ倍である。この熱帯海洋域と亜熱帯海洋域の違いを生じさせている一因として、熱帯低気圧の影響の有無が考えられる。三宅島は浅海域ではないが、Southend 並の潮位偏差となっている。これは後述するように黒潮流路の影響とみられる。

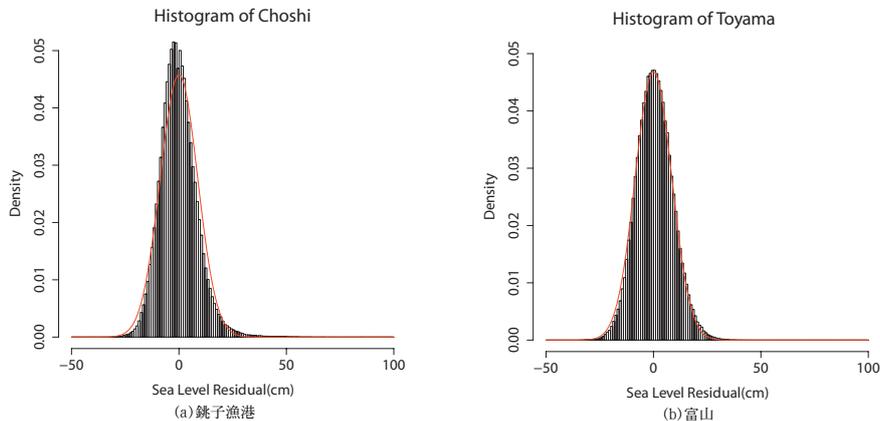
次に、太平洋側及び日本海側の代表として銚子漁港及び富山の潮位偏差のヒストグラムを第 3 図に、基本統計量を第 2 表に示した。以下で詳細を述べるが、潮位偏差は平均や標準偏差などがほぼ同じでも、歪度や尖度では様子が異なっている場合があり、出現分布などを議論するためには歪度や尖度まで考慮する必要がある。そこで、歪度及び尖度が正規分布に近い富山とその比較としてデ

ータ期間及び平均・標準偏差が富山に近い銚子漁港を以降の議論のための代表とした。

第 3 図にはヒストグラムとともにそれぞれの潮位偏差の平均及び標準偏差から算出される正規分布を表示している。銚子漁港と富山は、標準偏差は同程度であるが、歪度及び尖度では様子が大きく違っている。ここで、歪度、尖度とはそれぞれ式 (1)、式 (2) で示される分布の非対称性、尖り具合を表す統計量である (第 4 図)。歪度は正規分布では 0 で、正 (負) では正 (負) 偏差側に裾の長い分布であることを表す。尖度も正規分布では 0 で、正 (負) ではピークが鋭く (扁平で)、太くて長い (細くて短い) 裾を持った分布であることを表す。

$$(\text{歪度}) = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^3}{Ns^3} \quad (1)$$

$$(\text{尖度}) = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^4}{Ns^4 - 3} \quad (2)$$



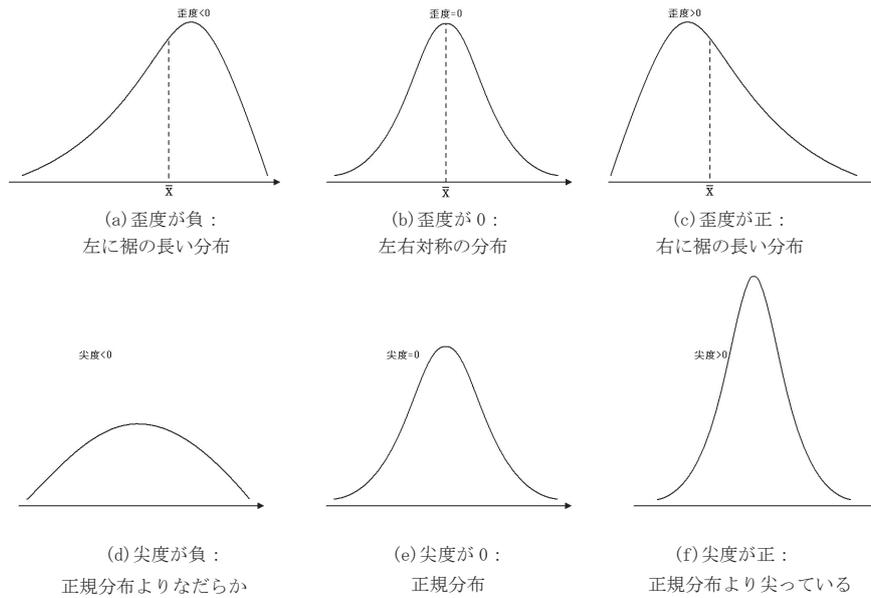
第 3 図 (a) 銚子漁港及び (b) 富山のヒストグラム

横軸は潮位偏差で 1 cm 間隔、縦軸は出現率。赤線はそれぞれのデータの標準偏差に対応した正規分布。

第 2 表 銚子漁港と富山の基本統計量。

平均、標準偏差、最大値、最小値の単位は cm。尖度は正規分布が 0 となるように調整してある。

	データ数	平均	標準偏差	最大値	最小値	歪度	尖度
銚子漁港	377050	0.36	8.70	86	-33	0.81	2.97
富山	368653	1.06	8.51	54	-36	0.18	0.25



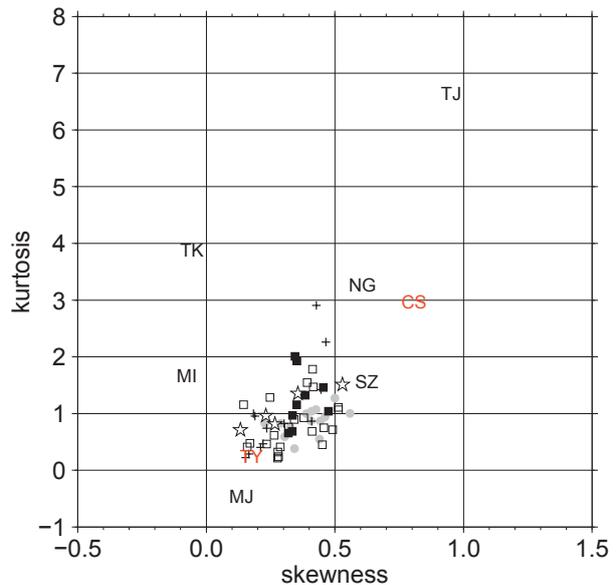
第4図 歪度（上段）及び尖度（下段）の概念図

歪度の \bar{x} は平均値.

なお、 x_i は各標本、 \bar{x} は標本平均、 s は標本標準偏差、 N はサンプル数である。

富山はヒストグラムの正規分布への当てはまり具合からも歪度、尖度からもほぼ正規分布が仮定できそうに見える。一方で、銚子漁港のヒストグラムは0付近で正規分布から大きく外れている。また、歪度、尖度からも銚子漁港の潮位偏差は正偏差側に長い裾を持つ分布であることが分かる。

第5図は各地点の歪度と尖度をプロットした図である。第5図をみると、東京及び舞阪では歪度が負、三宅島では尖度が負となっているが、それ以外の地点で歪度、尖度ともに正となっている。これは程度に差はあるにせよ潮位偏差は正偏差側に長くて太い裾を持つ分布であることを意味する。第5図では、「北海道と東北太平洋側」や「瀬戸内海」などのように5地域に区分してプロットしているが、地域ごとの違いは認められない。なお、これら潮位偏差の頻度分布や歪度、尖度の傾向は、英国検潮所の統計結果と一致しており (Pugh and Vassie 1978, Pugh 1996), 潮位偏差が正偏差側に長い分布となるのは、日本沿岸域に限った特徴ではないようである。



第5図 各地点の歪度-尖度散布図.

横軸は歪度、縦軸は尖度。図中の記号は次のとおり。灰色の○：北海道と東北太平洋側（第1表の1～14）、□：東日本～西日本太平洋側（同15～33, 43～50）、■：瀬戸内海（同34～42）、☆：南西諸島（同51～56）、+：九州西岸及び日本海側（同57～70）。また、顕著な地点及び銚子漁港、富山は第1表の地点記号で記しており、以下のとおり。CS：銚子漁港、TK：東京、MJ：三宅島、MI：舞阪、NG：名古屋、TJ：種子島、TY：富山。なお、銚子漁港及び富山は赤字で記している。

3.2 本調査で採用した出現率に関する統計量

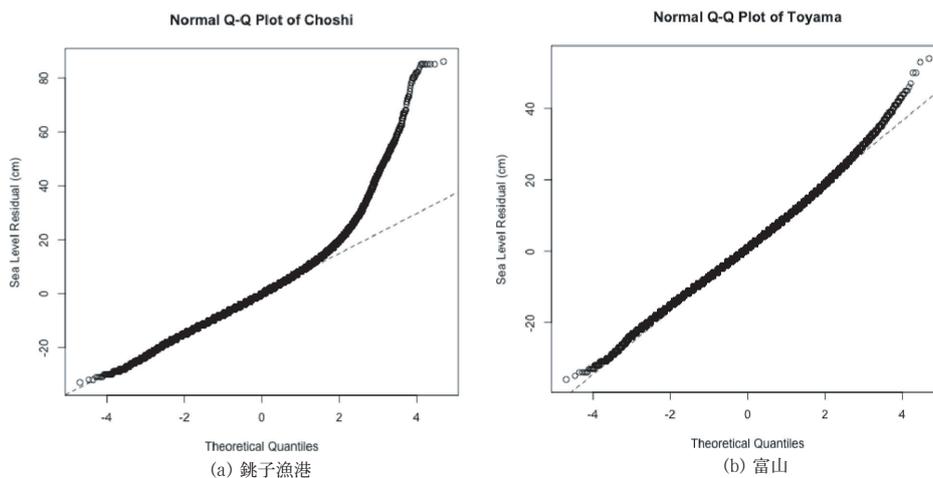
次に、潮位偏差の出現確率を算出するために、度数分布の確率分布への適合度について検討した。まずは正規分布に対する適合度の確認を行った。

第 6 図は銚子漁港及び富山の正規 Q-Q (Quantile-Quantile) プロットである。Q-Q プロットとは二つのデータセットが同じ確率分布に従うかをデータセットの分位点 (Quantile) を用いて調べる手法で、具体的には両データセットを昇順に並べその対応関係を検証する。二つのデータセットにおいて同一の確率分布が仮定できる場合は、例えば第 6 図の破線のように標本が第 1 四分位及び第 3 四分位を結んだ直線上に並ぶことになる。ここで、四分位数とはデータを小さい順に数えて四等分したときのそれぞれの値で、分布のばらつきを表すのに用いられる。正規 Q-Q プロットは片側に標準正規分布を採用しており、この場合標準正規分布側の目盛は標準偏差 σ を表す。第 6 図から銚子漁港では 2σ ですでに正規分布から乖離し、その度合いが大きくなっていることが分かる。さらに、富山では 3σ 以下では正規分布によく適合するが、 3σ 以上のところでは標本が直線よりも上に分布しており、正規分布よりも出現確率が大きいことが分かる。潮位偏差のうち特に

災害に結び付くのは正側の大きな潮位偏差であるから、正側を適切に評価できることが重要である。このため、歪度、尖度が 0 に近い富山でも正規分布の仮定は難しく、確率分布によって潮位偏差の出現確率などを調べるためには正規分布以外の分布を仮定する必要があることが確かめられた。

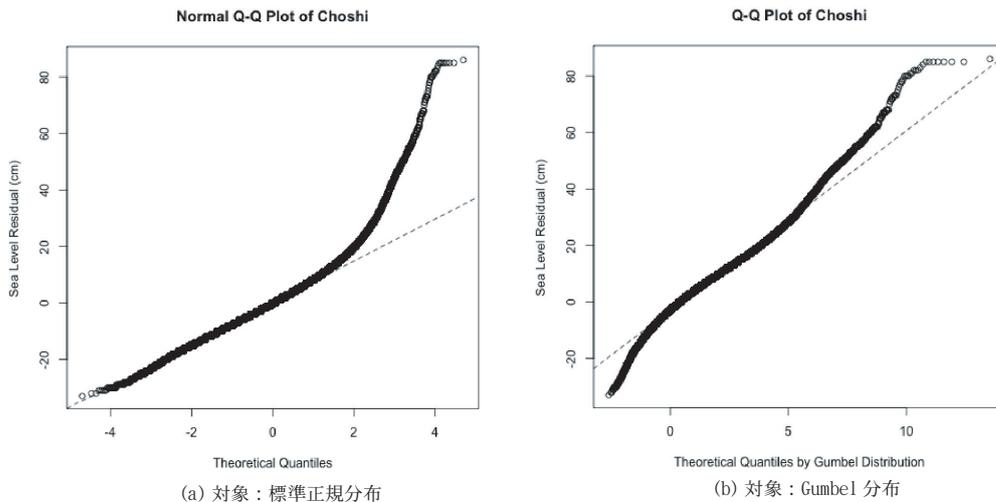
正負に分布域が存在し、正規分布よりも長い裾を持ち左右非対称の分布の一つに Gumbel 分布がある。第 7 図は銚子漁港に対する Gumbel 分布との Q-Q プロットの結果である。Gumbel 分布では、正規分布に比べて銚子漁港の分布の傾向を捉えてはいるものの、潮位偏差が 30cm を超えると十分ではない。また、他地点についても調べたところ、地点ごとにパラメータ調整が必要で対象地点全てについての検討は難しいことがわかった。正負に分布域が存在し、左右非対称な分布として非心 t 分布などもあるが、同様の理由から適用困難と判断した。

以上より、地点ごとに適切な確率分布を仮定して出現確率を求めるのは困難と考え、潮位偏差の 1cm 単位の度数分布から出現率を算出することにした。三宅島を除く各地点のサンプル数は少なくとも 11 万を超えており、最大値付近以外では確率分布を十分表現できていると考える。また、最大値付近でも潮位偏差 99.99 パーセントイル (地



第 6 図 (a) 銚子漁港及び (b) 富山の正規 Q-Q プロットの結果。横軸は標準正規分布の標準偏差

縦軸は潮位偏差 (cm)。正規 Q-Q プロットの破線は標準正規分布の理論値で、潮位偏差データが標準正規分布に従うのであれば直線上に乗る。銚子漁港では 2σ 付近、富山では 3σ 付近より標準正規分布から乖離しているのが分かる。



第7図 銚子漁港の潮位偏差と (a) 標準正規分布及び (b) Gumbel 分布との Q-Q プロット

Q-Q プロットの破線は標準正規分布及び Gumbel 分布の理論値で、潮位偏差データが標準正規分布や Gumbel 分布に従うのであれば直線上に乗る。

点によって上位 10 位～66 位の潮位偏差)程度であれば頑健 (サンプル値の変化に対する影響が小さい)であろうと考えた。ここで、パーセンタイルとはデータを小さい順に数えて百分率で表したものであり、上述の第 1 四分位と第 3 四分位はそれぞれ 25 パーセンタイルと 75 パーセンタイルとなる。なお、三宅島は欠測があるため 13 年間でのサンプル数が約 8 万 5 千であり、99.99 パーセンタイルが上位 8 位の潮位偏差となる。しかし、前述したように裾の短い分布であり最大値付近でも飛び値が少ないことから採用した。

以下では、同じ度数分布から導かれるしきい値以上の潮位偏差の出現率 (以下、「超過率」とする) 及び潮位偏差のパーセンタイルという二種類の統計量から数十 cm 程度の潮位偏差の地域的特徴について調査した。二種類の統計量を用いたのは出現率の高低に対する実際の潮位偏差の大小の対応関係を調べるためである。なお、値によって出現傾向に違いが生じるかどうかを調べるために、それぞれの統計量は二種類採用した。具体的に算出した統計量は 30cm 超過率、50cm 超過率、99.9 パーセンタイル、99.99 パーセンタイルの四つである。

潮位偏差 50cm は前述のように「顕著な高潮」の判断基準である。一方 30cm については、第 3

第 3 表 潮位偏差データ出現分布の全国統計
単位は cm.

平均値 μ の全国平均	平均値 μ の標準偏差	標準偏差 σ の全国平均	標準偏差 σ の標準偏差
0.83	1.35	10.15	1.85

表にあるように標準偏差 σ の全国平均は 10.15cm であり、正規分布での 3σ が約 30cm にあたるため正規分布に対する出現率比較も考慮し用いた。ちなみに、平均 0、標準偏差 10 の正規分布で 30 以上となる確率は約 0.13%、50 以上となる確率は約 0.00003% である。

99.9 パーセンタイルは 1/1000 の確率で発生することが想定される潮位偏差で、正規分布のほぼ 3σ に相当することから採用した。また、99.99 パーセンタイルは 1/10000 の確率で出現する潮位偏差で、前節でも記述したように上位 10 位～66 位と最大値に近い値の代表と考えられることから採用した。通常、潮位偏差は一つの要因によって一定の期間同程度の値が継続すると考えられるため、これらの潮位偏差 99.9 パーセンタイルや 99.99 パーセンタイルが 1000 時間 (約 42 日) や 10000 時間 (約 417 日) に一度起きる可能性を表している訳ではないことに注意されたい。

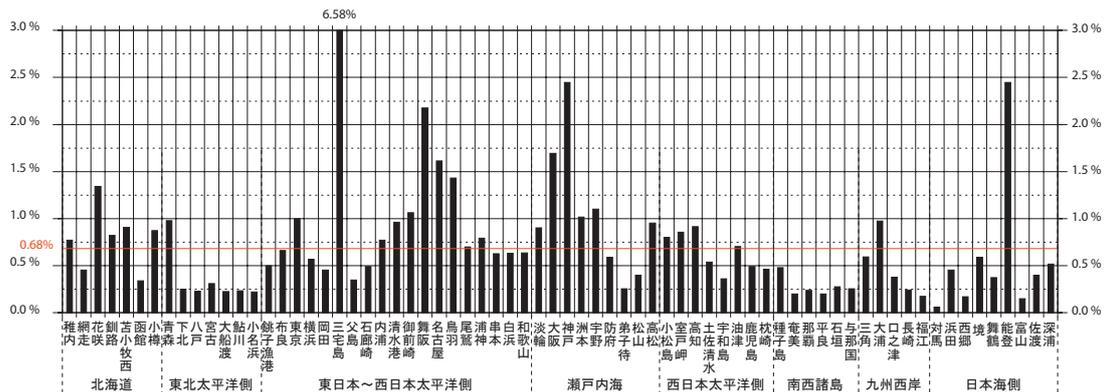
4. 年間データでみた潮位偏差の出現特性

4.1 潮位偏差 30cm 及び 50cm 超過率

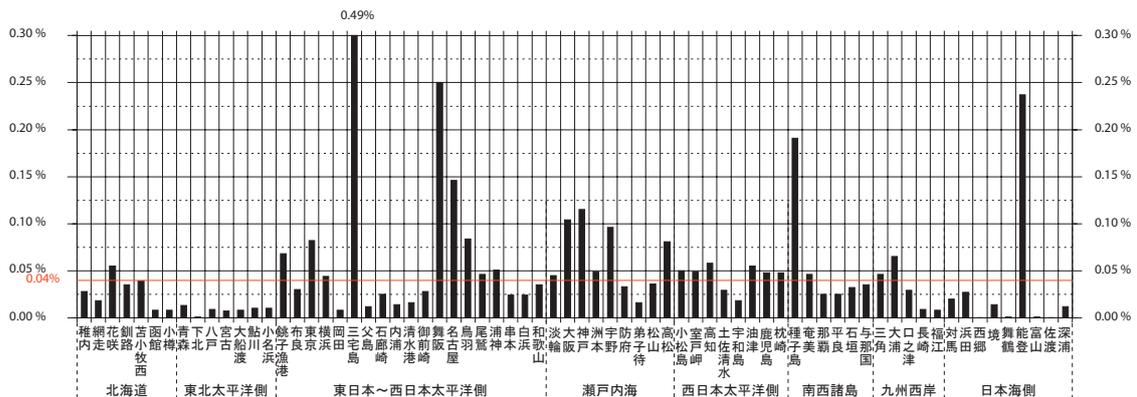
第8図は潮位偏差 30cm 及び 50cm 超過率のグラフである。30cm 超過率の最高は三宅島の 6.58%，最低は対馬の 0.06% である。第5図で見たように三宅島は尖度が唯一、負（裾の短い分布）になっており、他の地点との傾向が違っている。三宅島は黒潮流路により潮位偏差が正負に大きい状態が続きやすいため、このような高い超過率になったと考えられる。なお、三宅島を除いた最高は能登の 2.45% である。三宅島を除いて全国平均を計算すると 0.68% となり、平均 0、標準偏差 10 の正規分布から想定される出現確率の約 5 倍である。東北太平洋側、能登を除いた日本海側、九州南部～南西諸島、九州西部などは 0.2～

0.5% と全国平均よりも低いのにに対し、北海道太平洋側、東京湾奥の東京・伊勢湾・大阪湾・瀬戸内海・有明海湾奥の大浦などの内湾、東海地方の一部、能登などでは 0.9% 以上と高くなっている。

50cm 超過率では、舞阪が三宅島 (0.49%) を除いた地点のうち最高で 0.25%，最低は西郷と佐渡で 0% である。三宅島を除いた全体平均は 0.04% で平均 0、標準偏差 10 の正規分布から想定される発生確率の約 1300 倍と 30cm 超過率に比べてはるかに高い。北海道太平洋側を除いた北日本や能登を除いた日本海側、九州西部では 0.03% 以下と低く、関東太平洋側～九州西部にかけては概ね平均程度かそれより高い。全体的な傾向は 30cm 超過率に似ているといえる。違っている点としては、伊勢湾、瀬戸内海東部や有明海湾奥などの内



(a) 30cm超過率



(b) 50cm超過率

第8図 年間データで見た潮位偏差 (a) 30cm 超過率及び (b) 50cm 超過率の棒グラフ

横軸は地点で左から右の順で第1図及び第1表の地点番号に対応する。縦軸は超過率を表し、単位は%で一目盛が 30cm 超過率では 0.5%，50cm 超過率では 0.05%。また、30cm 超過率では 3.0%を、50cm 超過率では 0.30%を超える地点はその値をグラフ上部に記載した。図中の赤字及び赤線はそれぞれの平均値（三宅島を除く）を示している。

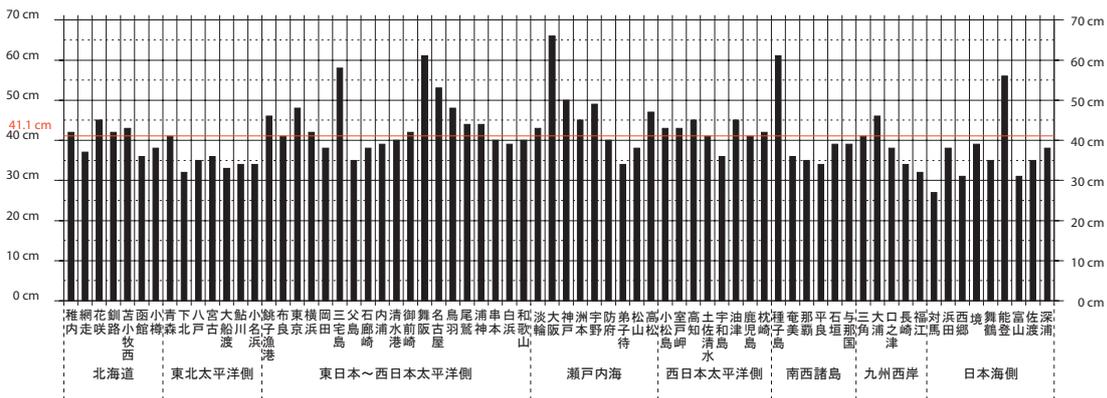
湾, 外洋側では銚子漁港, 能登, 種子島などの超過率が周辺に比べて目立って高くなっていることが挙げられる。逆に, 駿河湾周辺や紀伊半島南西岸などでは周辺よりも低くなるなど, 30cm 超過率に比べて地域差がより顕著である。

4.2 潮位偏差 99.9 及び 99.99 パーセンタイル

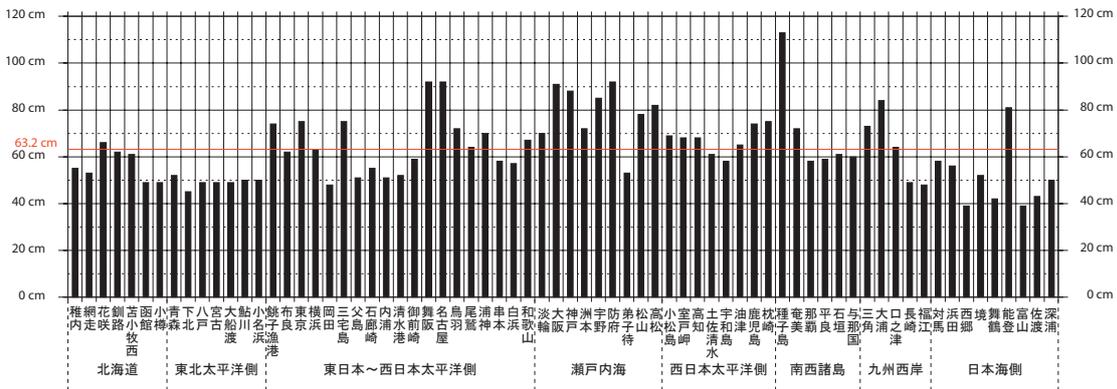
第9図は潮位偏差 99.9 及び 99.99 パーセンタイルのグラフである。潮位偏差 99.9 パーセンタイルの最大は大阪の 66cm, 最小は対馬の 27cm, 地点全体の平均は 41.1cm である。三宅島は 58cm で第4位であり, 99.9 パーセンタイルでは 30cm 及び 50cm 超過率ほど突出していない。平均 0, 標準偏差 10 の正規分布から想定される 99.9 パーセンタイルは約 30 であるため, 潮位偏差 99.9 パー

ーセンタイルの地域的な出現傾向は 30cm 超過率と似ており, 関東以西の太平洋側や内湾などで全国平均程度かそれより大きく, 東北太平洋側, 能登を除いた日本海側や南西諸島で全国平均より小さくなっている。99.9 パーセンタイルの標準偏差は 7.3cm と小さいため, 内湾などのごく一部を除いて 34cm ~ 48cm の約 15cm の範囲に収まっている。

潮位偏差 99.99 パーセンタイルでは最大が種子島の 113cm, 最小が西郷及び富山の 39cm, 地点全体の平均は 63.2cm である。三宅島は 75cm の 12 位で, 99.99 パーセンタイルの大きさは高い 50cm 超過率と対応していないことが分かる。これは, 第5図でみたように三宅島の出現分布が他の地点と様相が異なる(裾が短い)ことが原因と



(a) 99.9パーセンタイル



(b) 99.99パーセンタイル

第9図 年間データで見た潮位偏差 (a) 99.9 パーセンタイル及び (b) 99.99 パーセンタイルの棒グラフ

横軸は地点で左から右の順で第1図及び第1表の地点番号に対応する。縦軸は潮位偏差を表し, 単位は cm で一日盛が 99.9 パーセンタイルでは 10cm, 99.99 パーセンタイルでは 20cm。図中の赤字及び赤線はそれぞれの平均値(三宅島を含む)を示している。

みられる。関東以西の太平洋側や内湾で全国平均程度かそれより大きく、東北太平洋側や能登を除いた日本海側などでは全国平均より小さいという傾向は30cm超過率や99.9パーセントイルと似ているが、違う地域もある。九州南部～奄美地方（鹿児島、枕崎、種子島、奄美）にかけては、30cm超過率の全体平均以下（0.2～0.5%）に対し、99.99パーセントイルでは72～113cmと平均を超えており、この地域は正の潮位偏差となる頻度は低いが、発生すると偏差が大きくなりやすい地域であることが分かる。銚子漁港や防府、松山などでも同様の傾向がみられた。なお、標準偏差が14.7cmと大きいことから99.9パーセントイルに比べて地域差が顕著に表れている。

以上、年間を通じたデータを用いて、「超過率」及び「パーセントイル」から潮位偏差の地域的出現特性について調査した。30cm超過率や99.9パーセントイルにおいて潮位偏差の地域的特徴を認めることができた。さらに50cm超過率や99.99パーセントイルでは、より細かい地域差が生じることが確かめられた。

5. 季節別にみた潮位偏差の出現特性

年間データでは、潮位偏差の出現に地域差が生じていること、さらに正の潮位偏差が大きいほど地域差は大きくなることが確かめられた。本節では、潮位偏差の季節性に注目した統計解析の結果について論ずる。

その際に問題となるのが、サンプル数と統計量の頑健性の関係である。本調査ではサンプル数が多いことから度数分布が確率分布を概ね表現できているとした。季節ごとにデータを分けると、観測年数の少ない地点では2万8千程度のサンプル数となる。このため、潮位偏差99.99パーセントイルは上位2位や3位のデータとなってしまう十分な頑健性は得られないと考えられる。そこで、季節性については30cm超過率、50cm超過率、99.9パーセントイルについて検討することにした。なお、極端な外れ値がないことは年間値で確認済みであるので、標準偏差及び歪度と尖度についても頑健と考えた。季節としては3月～5月を春、6月～8月を夏、9月～11月を秋、12月～2

月を冬とした。

5.1 標準偏差

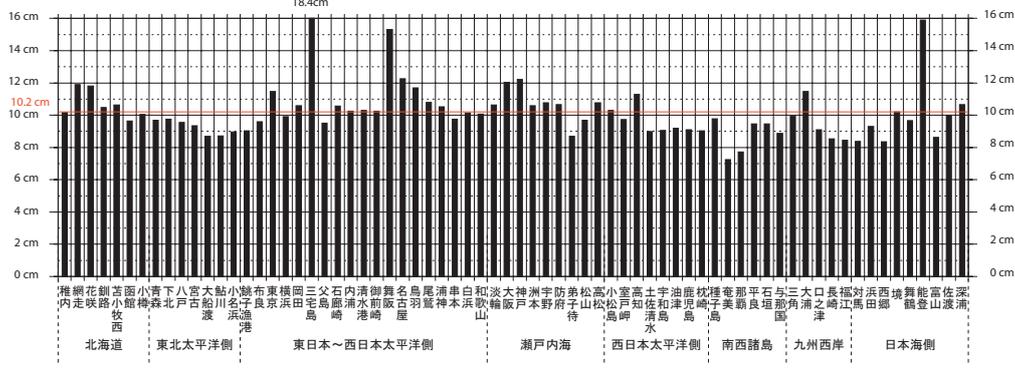
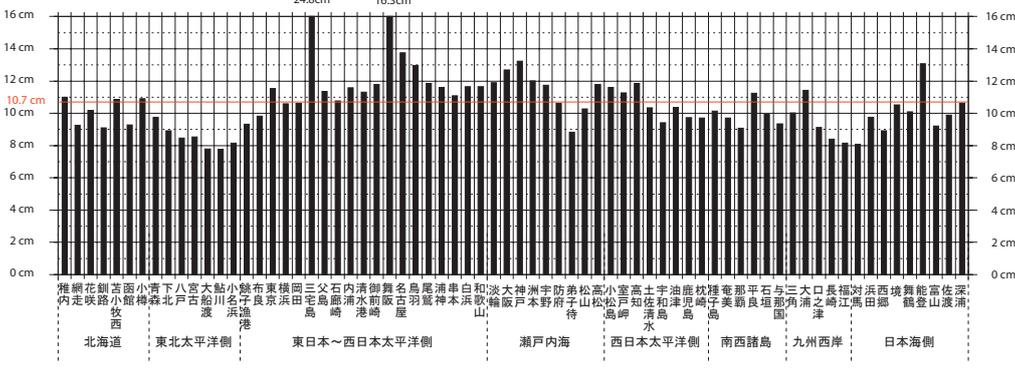
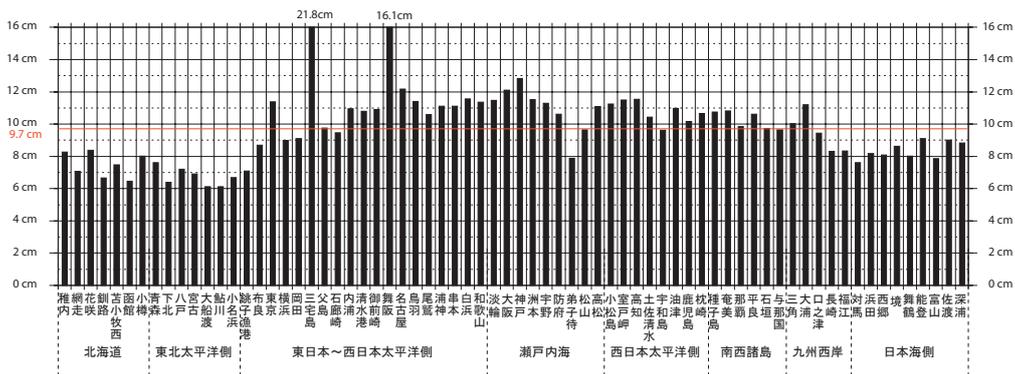
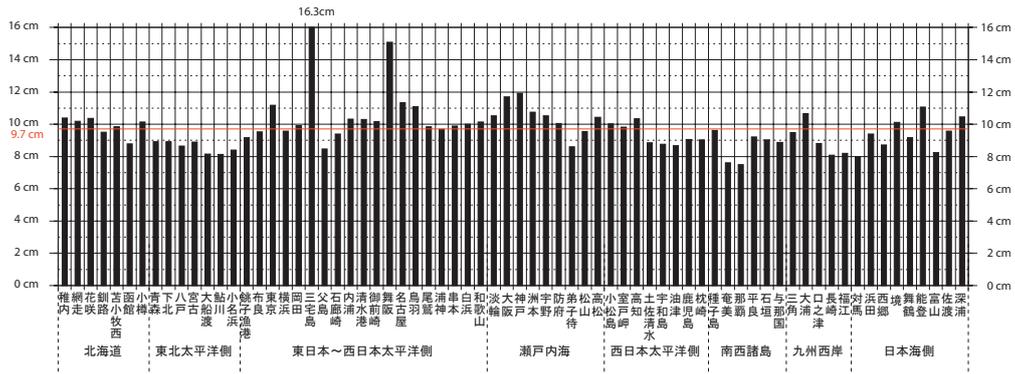
第10図は各地点の標準偏差の季節ごとの分布図である。東日本～西日本の太平洋側や九州西岸、南西諸島では春や冬に標準偏差が小さく、夏や秋に大きくなること、北日本や日本海側では、夏に標準偏差が小さく、秋から冬にかけて大きくなる傾向があることが分かる。

また、標準偏差の季節変化量（最大値と最小値の差）は東日本～西日本の太平洋側や日本海側ではほとんど2cm以下で、東京湾や瀬戸内海、有明海などでは1cm未満と標準偏差の季節変化はほとんどみられない（図略）。一方で、北海道や東北太平洋側は2cm以上と大きく、特に北海道太平洋側では夏の6～8cmに対して、冬は10～12cmと3～4cmも変化している。また、南西諸島では奄美や那覇、宮古島で2～3cmと大きな変化量なのに対して、種子島では1.1cm、石垣や与那国では1cm未満と島ごとの差が大きい。その他、三宅島では8.5cm、能登では6.8cmと季節変化が大きな地点も存在する。

5.2 歪度及び尖度

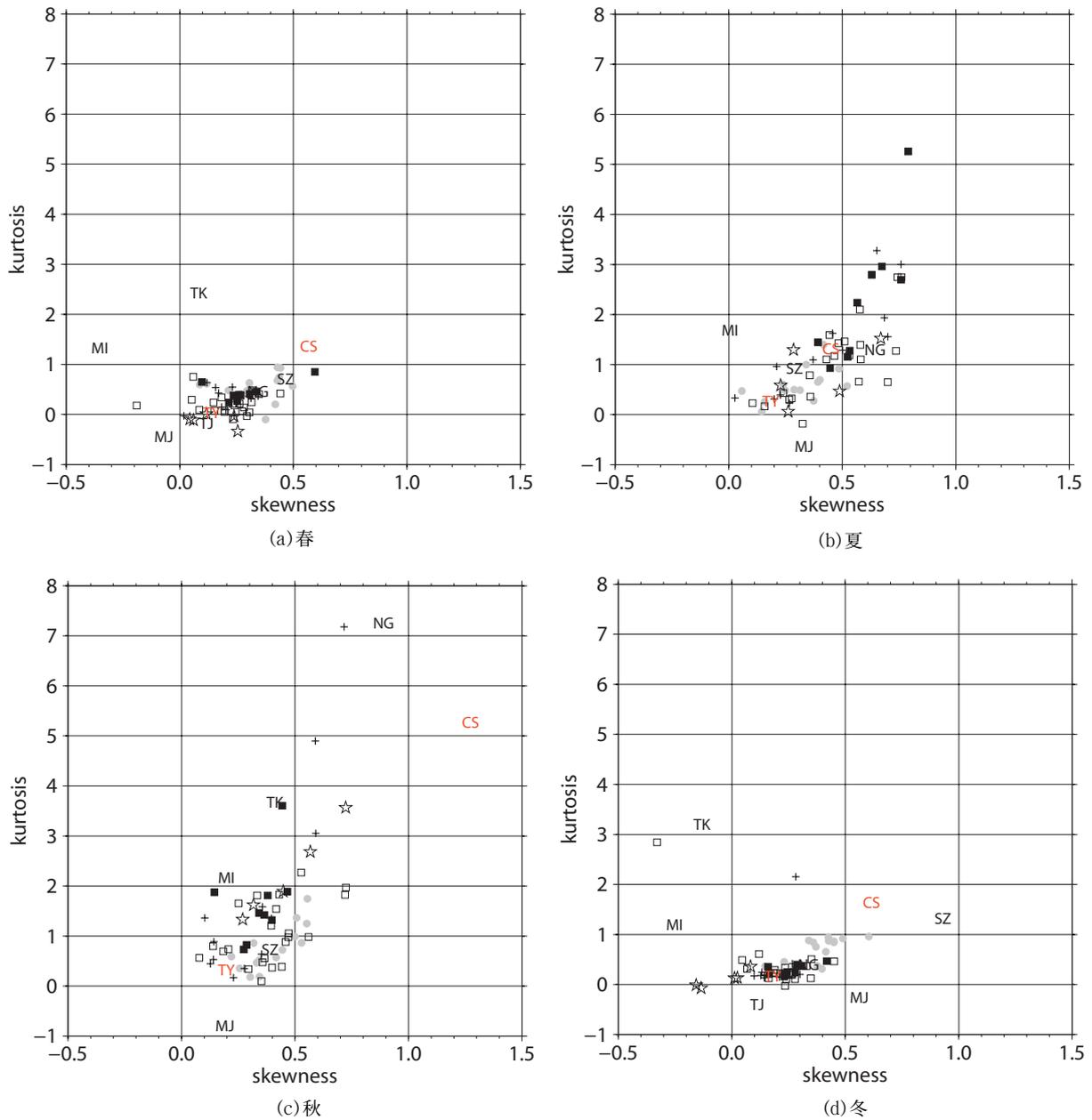
第11図は各地点の歪度と尖度を季節ごとにプロットした図である。歪度は季節的な変化は小さく、夏に0.0～0.8と若干範囲が広がる他はほとんどの地点で0.0～0.5の範囲に収まっている。一方、尖度は春と冬は0～1なのに対し、夏と秋は0～3若しくは4と季節変化が大きい。歪度・尖度ともに四季を通じてほぼ正の値となっており、潮位偏差は季節によらず正偏差側に裾の長い分布であり、その裾は夏や秋に長くなることを表している。また、季節ごとの地点の集まり具合を見ると、春や冬は歪度、尖度ともに0付近にかたまっているのに対し、夏や秋には地点ごとに散らばり具合が大きい。これらのことは、大きな正の潮位偏差は全国的に夏から秋にかけて起こりやすく、冬や春は正規分布に近いことから大きな正の潮位偏差が出にくいことを示唆していると考えられる。

なお、歪度・尖度の地域ごとの違いは春には認



第 10 図 潮位偏差の標準偏差 σ の季節変化。

詳細は第 2 図と同じで、棒グラフは標準偏差を表しており一目盛 2cm。標準偏差が 16cm を超える地点はその値をグラフ上部に記載した。図中の赤字及び赤線はそれぞれの平均値（三宅島を含む）を示している。



第 11 図 季節ごとの歪度-尖度散布図

詳細は第 5 図と同じで、横軸は歪度、縦軸は尖度。灰色の○：北海道と東北太平洋側（第 1 表の 1～14）、□：東日本～西日本太平洋側（同 15～33, 43～50）、■：瀬戸内海（同 34～42）、☆：南西諸島（同 51～56）、+：九州西岸及び日本海側（同 57～70）。CS：銚子漁港、TK：東京、MJ：三宅島、MI：舞阪、NG：名古屋、TJ：種子島、TY：富山。なお、秋の種子島は尖度が 15 を超えておりスケールアウトしている。

められないが、夏は瀬戸内海や日本海側では歪度・尖度ともに大きいのに対し、北海道と東北太平洋側では小さくなっている。また、秋は瀬戸内海や南西諸島では尖度が大きいのに対し、北海道と東北太平洋側では小さくなっており、冬には北海道と東北太平洋側では歪度・尖度が他地域に比べて大きく、春以外は地域差が確認できる。

5.3 潮位偏差 30cm 超過率

第12図は各地点の潮位偏差 30cm 超過率を季節ごとに示したものである。

1) 春

三宅島を除いた 30cm 超過率の全国平均は 0.51% で年間を通じて最低である。地域的な特徴は年間値とほぼ同じ傾向で、東北太平洋側、九州南部～南西諸島、九州西部～日本海側の一部で 0.25% 以下と低く、北海道、東京湾奥・伊勢湾・大阪湾などの内湾、能登で高くなっている。特徴的なのは北海道で、超過率が概ね年間値よりも高く、網走や函館を除いて 1% 前後となっている。一方、南西諸島では 0.05% 未満でほとんど発現していない。

2) 夏

北海道、東北太平洋側及び日本海側では超過率が 0.5% 未満で全国平均よりも低くなっている。またこれは年間値と比べても低い。1% 前後の地点が多い東海地方～九州南部及び伊勢湾・瀬戸内海東部・有明海などの内湾とは対照的である。南西諸島は概ね 0.5% で東海地方～九州南部と比べると低いが、同地域の年間値と比べると高くなっている。なお、三宅島を除く 30cm 超過率の全国平均は 0.63% である。

3) 秋

三宅島を除いた 30cm 超過率の全国平均は 0.90% と四季の中で最も高い値となっている。地域的な傾向は年間値と変わらず、東北太平洋側、周防灘・関門海峡、豊後水道～九州南部、南西諸島、大浦を除いた九州西部、能登を除いた日本海側で概ね 0.6% 以下で低いのに対し、北海道太平洋側、駿河湾・伊勢湾・瀬戸内海東部の内湾や、高知、能登などでは 1.2% 以上と高くなっている。際立っているのが伊勢湾周辺で超過率が 2% を超

えている。

4) 冬

30cm 超過率は三宅島を除いた全国平均で 0.69% である。全国平均よりも低い地域としては、関門海峡、豊後水道～九州南部、南西諸島、日本海側の一部で概ね 0.4% 以下である。東北太平洋側は 0.4～0.7% で宮古を除き全国平均以下であるが、他の季節に比べて超過率の低さが目立たない。南西諸島では 0.03% 以下でほとんど出現していない。一方、高い地域としては、北海道、東京湾奥・伊勢湾・大阪湾などの内湾及び能登で軒並み 1% を超えている。北海道では東部が高く、特に根室半島太平洋側に位置する花咲では 2.45% と際立っている。能登は超過率が 5.57% と極めて高くなっている。

5.4 潮位偏差 50cm 超過率

第13図は 50cm 超過率を季節ごとに示したものである。

1) 春

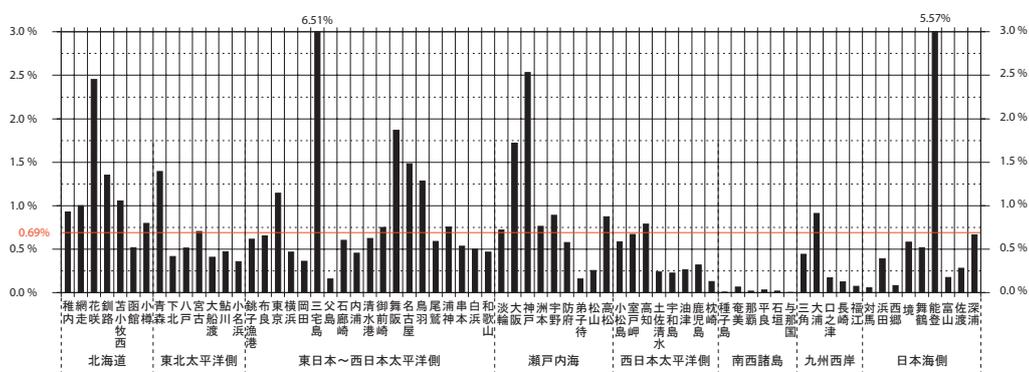
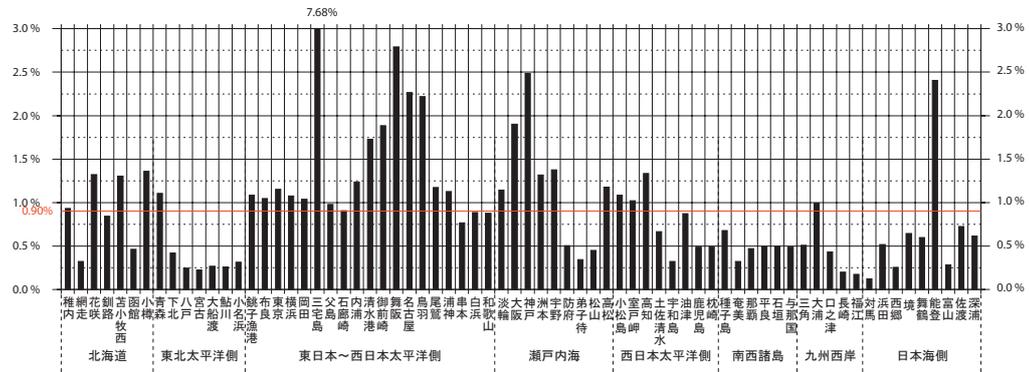
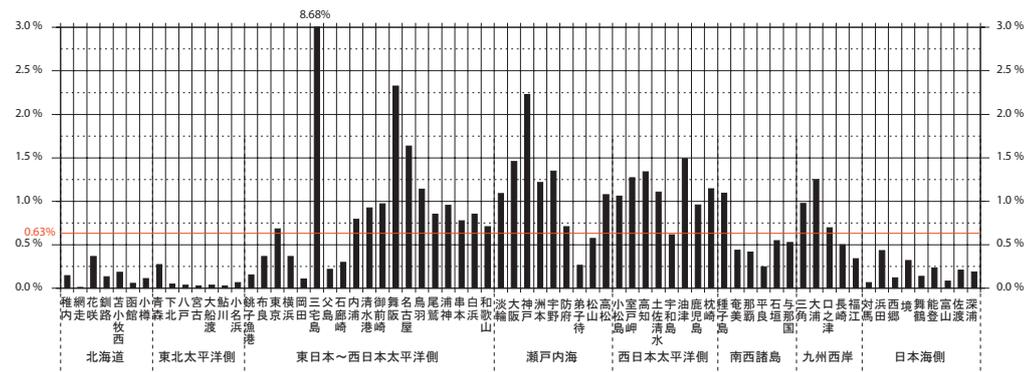
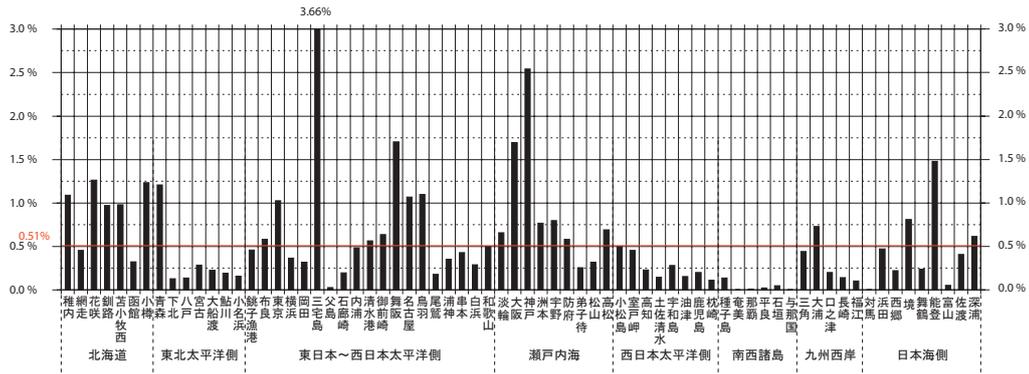
50cm 超過が見られるのは、北海道、青森、東京湾奥・伊勢湾・大阪湾・有明海などの内湾、三宅島、銚子漁港、舞阪、能登などごく限られた地点で、東北太平洋側、九州西部～日本海側の大部分、南西諸島などでは 0% となっている。年間値と比べて全国的に超過率が大幅に低くなっているが、稚内と青森では 0.04% と年間値と比べて高い。大阪と神戸では 0.1% 前後で突出しているが年間値と変わらない。三宅島を除いた全国平均は 0.01% で、四季の中で最も低い。

2) 夏

50cm 超過率は北海道、東北太平洋側及び日本海側の一部ではほとんど出現していない。東海地方西部～九州南部や内湾などの超過率は 0.1% 前後で、出現傾向は 30cm 超過率と概ね似ているが、駿河湾では 0.01～0.03% と周辺よりも低くなっている。南西諸島は 0.05% 前後で、相対的に超過率の高い季節となっている。三宅島を除いた全国平均は 0.06% である。

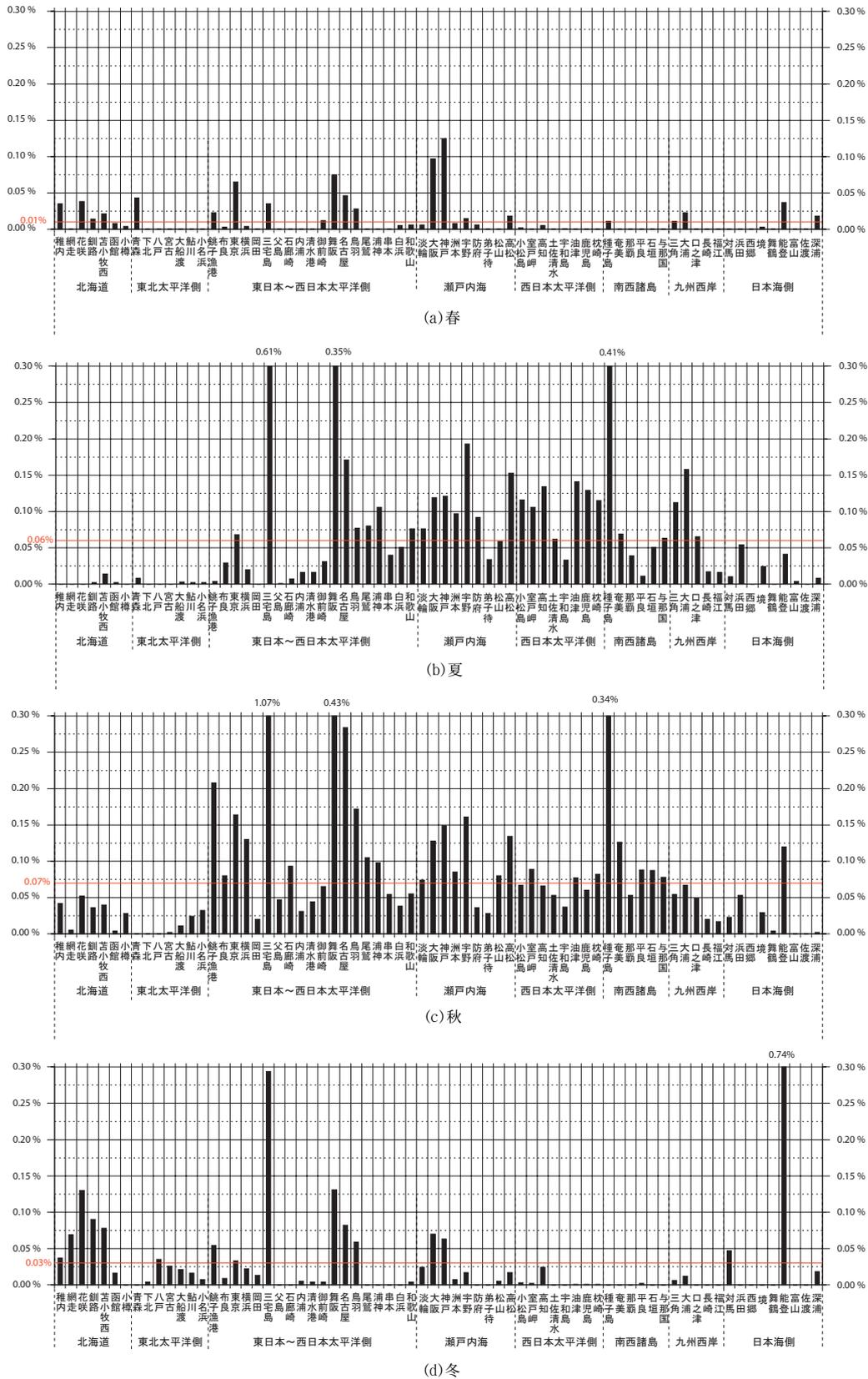
3) 秋

三宅島を除いた全国平均が 0.07% で、秋が最も高い。地域的な傾向は 30cm 超過率と概ね似て



第 12 図 季節ごとの潮位偏差 30cm 超過率

詳細は第 8 図 (a) と同じで、棒グラフは超過率を表しており一目盛 0.5%。超過率が 3.0% を超える地点はその値をグラフ上部に記載した。図中の赤字及び赤線はそれぞれの平均値（三宅島を除く）を示している。



第13図 季節ごとの潮位偏差50cm超過率

詳細は第8図(b)と同じで、棒グラフは超過率を表しており一目盛0.05%。超過率が0.30%を超える地点はその値をグラフ上部に記載した。図中の赤字及び赤線はそれぞれの平均値(三宅島を除く)を示している。

いるが、東北地方や日本海側の出現傾向は違っている。東北地方では、30cm 超過率は東北全体で出現しており、青森や深浦では太平洋側よりも若干高くなっているのに対し、50cm 超過率では東北北部での超過率は0%である。日本海側でも、30cm 超過率では日本海側全域で出現していたが、50cm 超過率では能登及び境以西以外ではほぼ0%となっている。

4) 冬

冬は北海道オホーツク海側、北海道太平洋側から東北太平洋側にかけてが特徴的で、これらの地域は概ね年間値よりも高くなっている。花咲と釧路では0.1%前後で伊勢湾や大阪湾と同程度以上である。他に高いのは伊勢湾・大阪湾などの内湾、銚子漁港、対馬、能登である。能登は超過率0.74%で三宅島の0.29%と比べても突出している。対馬や能登を除く日本海側、紀伊半島周辺、周防灘・関門海峡、豊後水道、九州南部～南西諸島では50cm 超過率が0%で概ね春と様相が似ている。三宅島を除いた50cm 超過率の全国平均は0.03%である。

5.5 潮位偏差 99.9 パーセンタイル

第14図は99.9パーセンタイルを季節ごとに示したものである。

1) 春

最大は51cmの神戸、最小は18cmの奄美、全国平均は35.4cm（標準偏差6.4cm）である。全国平均及び標準偏差は四季の中で最も小さい。このため、他の季節に比べると地点差は大きくない。全国平均に比べて、東北太平洋側、九州南部～南西諸島、九州西部～日本海側の一部では32cm以下と小さく、北海道、房総半島周辺、東京湾奥・伊勢湾・瀬戸内海東部、有明海湾奥、境や能登などでは39cm以上で大きくなっており、30cm超過率同様の傾向となっている。ただし、房総半島周辺の銚子漁港及び布良は30cm超過率が全国平均程度にもかかわらず、99.9パーセンタイルでは全国平均よりも大きくなっている。

2) 夏

最大は種子島の73cm、最小は網走、鮎川の24cm、全国平均は41.0cm（標準偏差10.6cm）で

地域差が大きいことが分かる。全国平均に対しては、北海道、東北太平洋側～銚子漁港及び浜田、境を除く日本海側では36cm以下と小さくなっている。東北太平洋側では25cm前後と全国で最も小さい。一方、東海地方西部～九州南部、伊勢湾・瀬戸内海東部・有明海などの内湾では概ね50cm以上と大きくなっており、全体的に30cm超過率と傾向が似ている。

3) 秋

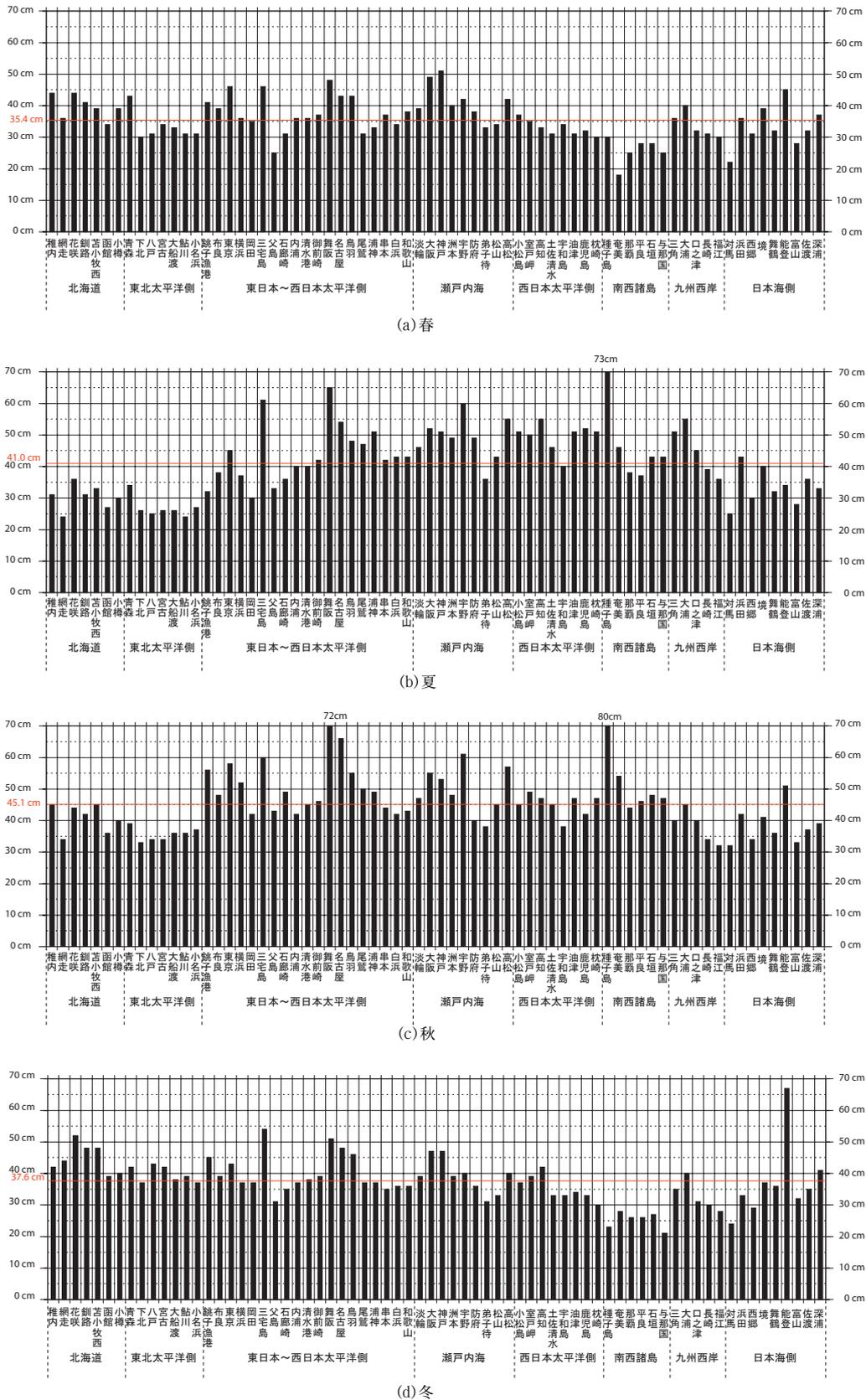
最大は種子島の80cm、最小は福江及び対馬で32cm、全国平均は45.1cm（標準偏差9.2cm）で平均値は四季の中で最も大きい。全国平均より小さい40cm以下の地域は、東北太平洋側、周防灘・関門海峡、豊後水道、九州西部～日本海側の一部などで、九州南部～南西諸島は全国平均程度となっている。また、全国平均より大きい50cm以上の地域は、東京湾・伊勢湾・瀬戸内海東部の内湾や能登などのほか、銚子漁港や種子島・奄美なども含まれている。全国的な傾向としては30cm超過率よりも50cm超過率に近い。この地域的な食い違いは、これらの地域では秋季により大きな正の潮位偏差が出現しており、出現分布の裾が長くなっていることによると考えられる。

4) 冬

最大は能登の67cm、最小は与那国の21cm、全国平均は37.6cm（標準偏差7.7cm）である。能登は三宅島の54cm、花咲の52cmに比べても際立って大きい。地域的にみると、関門海峡、豊後水道～九州南部、南西諸島、九州西部～山陰の一部で33cm以下と全国平均に比べて小さくなっている。特に南西諸島では30cm未満である。一方、北海道オホーツク海側～太平洋側、伊勢湾・大阪湾などの内湾、銚子漁港、能登では概ね45cm以上で全国平均より大きい。出現傾向としては30cm超過率に似ている。

5.6 季節別潮位偏差のまとめ

各地点の潮位偏差の標準偏差は季節変化が認められたが、その変化量は北海道や三宅島、能登などのごく一部で3cm以上の地点があったものの概ね3cm未満であり、全体的には季節的な変化は小さい。また、歪度はほとんど季節変化がない。



第 14 図 季節ごとの潮位偏差 99.9 パーセントイル

詳細は第 9 図 (a) と同じで、棒グラフは潮位偏差を表しており一目盛 10cm。潮位偏差が 70cm を超える地点はその値をグラフ上部に記載した。図中の赤字及び赤線はそれぞれの平均値（三宅島を含む）を示している。

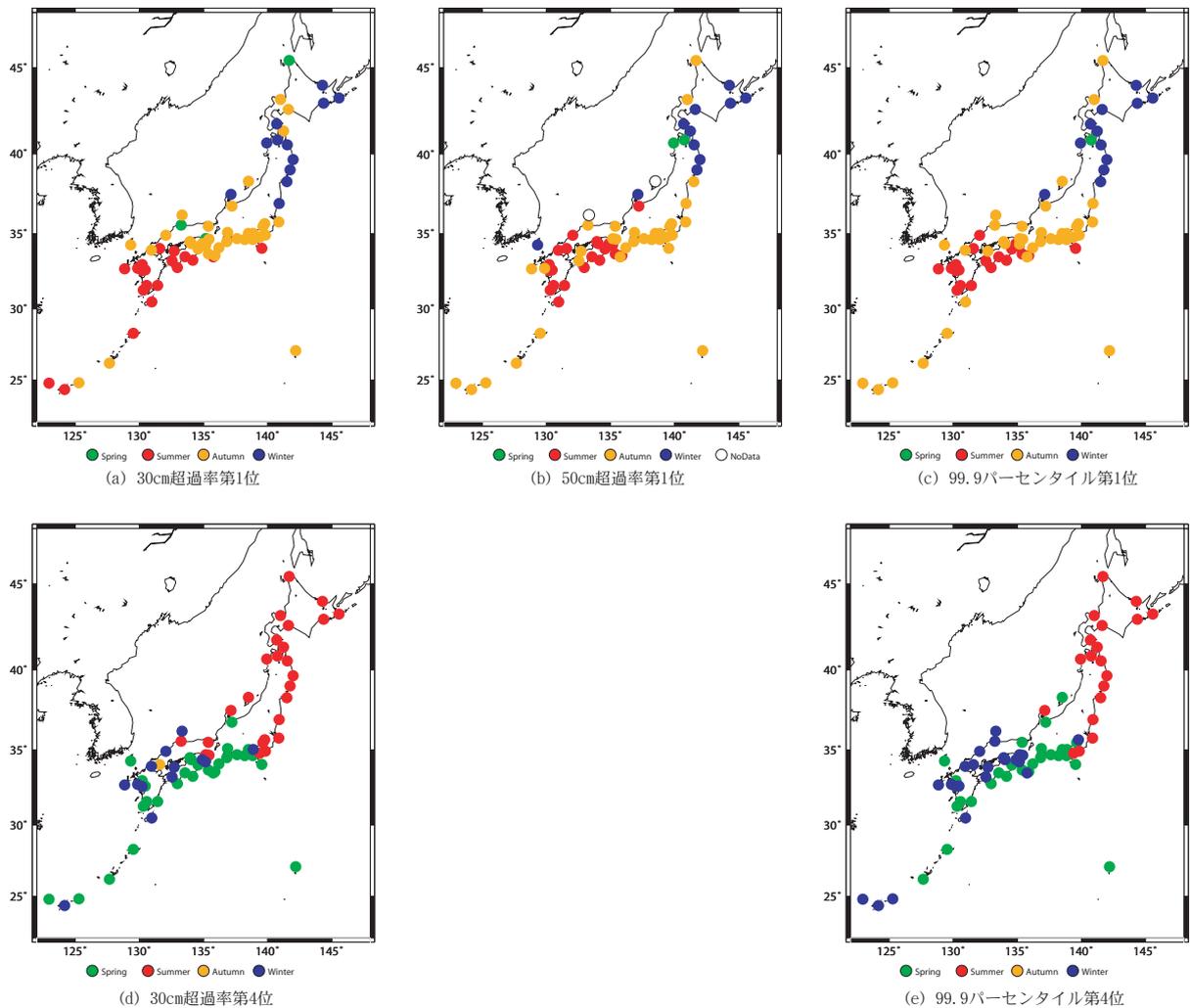
一方、尖度は春・冬が0～1なのに対し、夏・秋では0～4と大きく異なっており、季節変化が大きい。

潮位偏差 30cm 超過率, 50cm 超過率ともに季節変化が認められた。季節間の差は 50cm 超過率の方がより顕著である。また、超過率が関東～九州南部太平洋側や内湾などは相対的に高い状態で、東北太平洋側や南西諸島などは低い状態で推移するなどの特徴は、季節の影響をあまり受けず年を通じて認められることも確かめられた。99.9 パーセントイルでも季節変化が認められた。その傾向は概ね 30cm 超過率と似ているが、秋は

50cm 超過率に近くなっており、超過率と 99.9 パーセントイルの分布が対応していない場合もあることが明らかになった。99.9 パーセントイルの地域的な特徴は、超過率と同様になり、季節の影響をあまり受けないことが確かめられた。また、春や冬などは地域差がそれほど大きくないことも確認できた。

以上、潮位偏差の基礎統計量及び出現率に関する統計量の季節的な特徴により、潮位偏差の季節変化は、出現分布中央付近の系統的な変化ではなく、裾部分の長さの変化として現れると考える。

第 15 図は 30cm 超過率, 50cm 超過率及び 99.9



第 15 図 各出現率に関する統計量の第 1 位の季節（上段）と第 4 位の季節（下段）の地理的分布図

潮位偏差が最小となる季節に 50cm を超過しない地点が多数あるので、50cm 超過率の第 4 位についてはプロットしていない。色分けは春（緑）、夏（赤）、秋（橙）、冬（青）。また (b) については、1 年を通じて 50cm 超過がない地点は白とした。

パーセンタイルにおける第1位の季節、並びに30cm超過率及び99.9パーセンタイルにおける第4位の季節の地理的分布図である。出現率に関する統計量の大きい季節は北海道～東北太平洋側と能登では冬、銚子漁港～紀伊水道にかけての太平洋側、瀬戸内海東部及び日本海側では秋、四国太平洋側～九州南部、九州西部では夏となっている。また、小さい季節は、北海道、東北太平洋側～関東沿岸及び日本海側では夏、それ以外の地域では春と冬となっており、これらの地理的分布はともに季節性が明瞭である。その一因として、夏や秋の東日本～西日本太平洋側や南西諸島は台風、冬の北海道オホーツク海側や北海道太平洋～東北北部太平洋側は温帯低気圧の影響が考えられる。比屋定ほか(2011)は、潮位偏差50cm以上の発生原因にそのような傾向があるとしている。今回の結果から、潮位偏差30cmについても同様の傾向があることが確かめられた。

6. 議論と考察

第3節～第5節では潮位偏差についての基礎統計量や度数分布から算出される出現率に関する統計量について検討した。その結果、ほとんどの地点で潮位偏差の度数分布は正偏差側に長い分布であり、大きな正の潮位偏差の出現率やその季節変化は、出現分布の裾の季節による伸縮として現れることが明らかになった。

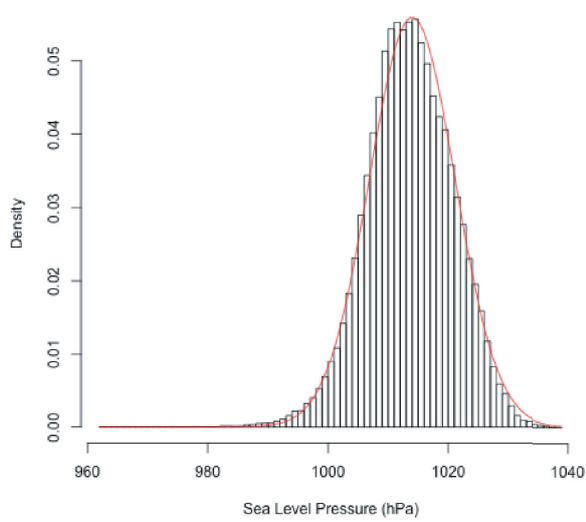
潮位偏差の大小は、内湾あるいは外洋に面しているなどの地形的特徴や海底地形、気象要因や海洋要因の影響に対する地理的条件などによって決まると考えられる。ここでは、それら要因の内で比較的理解のしやすい気象潮(「吸い上げ」と「吹き寄せ」と潮位偏差の出現分布との関係について考察する。

標準大気圧に対する高気圧及び低気圧の中心気圧の非対称性から、「吸い上げ」すなわち気圧による潮位上昇若しくは下降の出現分布は非対称になると考えられる。第16図は銚子漁港と富山の検潮所にそれぞれ近い銚子地方気象台及び富山地方気象台における海面気圧のヒストグラム及び正規Q-Qプロットの結果である。毎時の観測値が存在する1991年～2009年の毎時データを用いた。

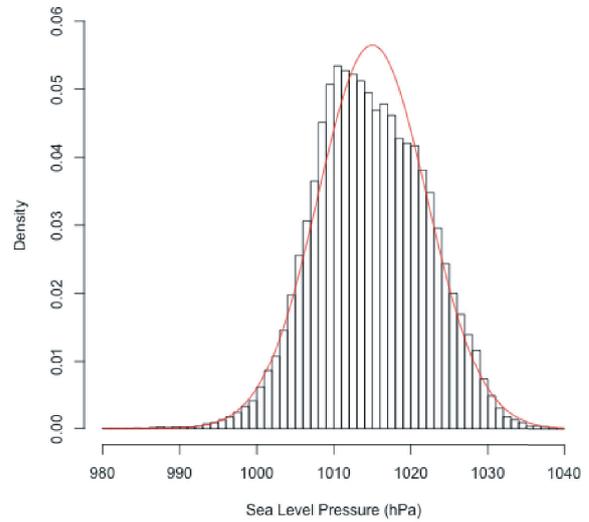
富山では非対称性は顕著ではないが、銚子では低気圧側に裾が長く、気圧による潮位変動は上昇側が卓越していることが分かる。

「吹き寄せ」では内湾で風によって海水が岸側に移動し、海岸などでせき止められることで潮位が上昇する。離岸風の場合には海水は沖側に移動し潮位は下がる。風速が同じであれば、風から海水に与えられる応力は「吹き寄せ」でも離岸風でも同じであるが、実際は、吹き寄せる場合には上流側は粗度が小さい海洋となるため風速が大きくなりやすく、一方で離岸風の場合は上流側が粗度の大きい陸地となるため風速が小さくなりやすいと考えられる。銚子地方気象台及び富山地方気象台における年間を通じての卓越風向は北北東～北東及び南南西～南西である(東京管区気象台2011)。第17図は銚子地方気象台と富山地方気象台における北北東～北東～南南西～南西の風速の二乗のヒストグラム及び正規Q-Qプロットである。海面気圧(第16図)と同様に、1991年～2009年の毎時データから算出している。風速を二乗としたのは、「吹き寄せ」が風速の二乗に比例するためである。なお、北北東～北東(南南西～南西)を正(負)とした。第17図から、銚子、富山ともに正負両側に裾が長い分布であるが、特に吹き寄せ側(風向:北北東～北東)に裾が長くなっていることが分かる。このことから、風向によって潮位偏差の非対称性が生じていることが示唆される。

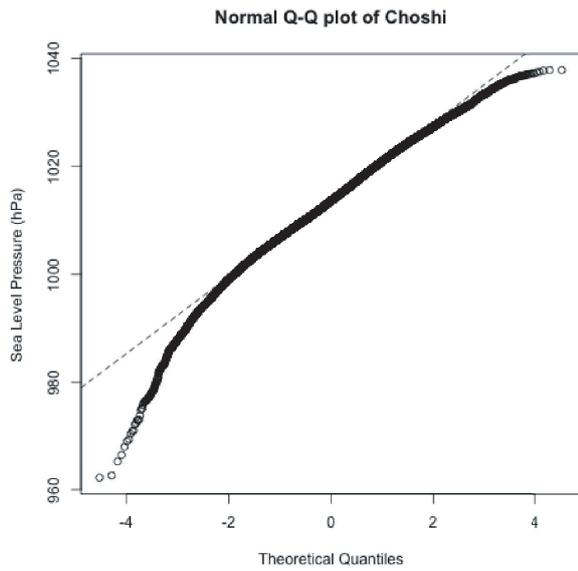
低気圧などの気象じょう乱接近時には「吸い上げ」、「吹き寄せ」のほか、外洋に面した海岸では波浪の碎波による潮位上昇「wave setup」も起きているとみられる(合田1975,小西1991)。「wave setup」は波浪によって碎波帯よりも岸側で発生する潮位上昇であり、「wave setup」に伴う潮位低下(wave setback)は碎波帯の上流で発生し海岸付近では起こらないことから、海岸付近での碎波による潮位偏差は正偏差が卓越すると考えられる。「wave setup」による潮位上昇量について合田(1975)は理論計算式を、小西(1991)は太平洋側の観測値を元にした実験式を提案しているが、「wave setup」は海底勾配などに大きく影響を受ける局地的な現象であり、全国的な発生の実態はま



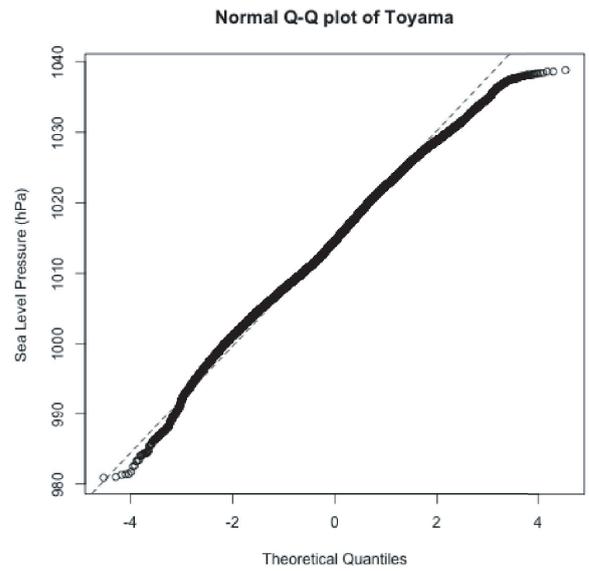
(a) 銚子地方気象台



(b) 富山地方気象台

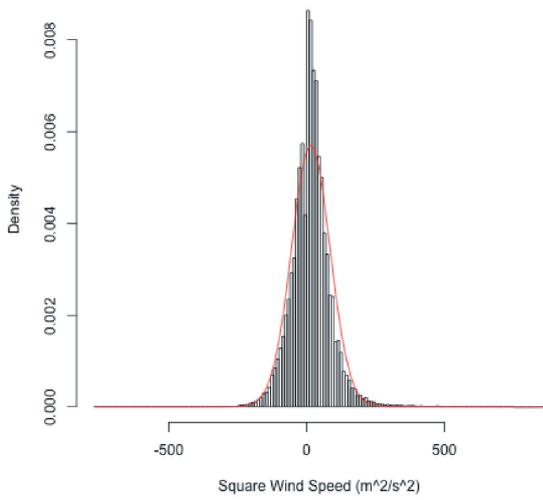


(c) 銚子地方気象台

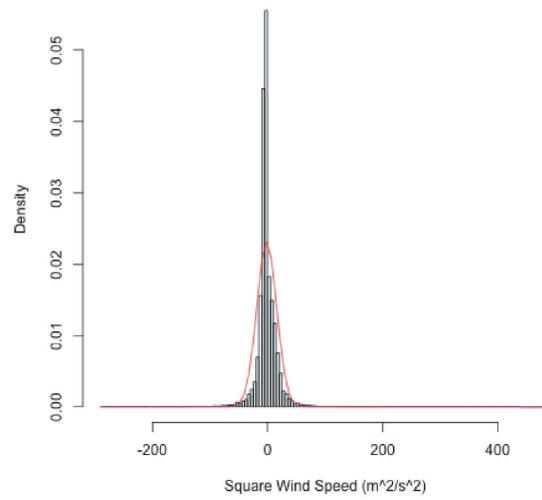


(d) 富山地方気象台

第 16 図 銚子地方気象台及び富山地方気象台における海面気圧のヒストグラム(上段)と正規 Q-Q プロット(下段). ヒストグラムは横軸が海面気圧 (hPa) で 1hPa 間隔, 縦軸が出現率. 赤線はそれぞれのデータの標準偏差に対応した正規分布. 正規 Q-Q プロットの横軸は標準正規分布の標準偏差, 縦軸は海面気圧 (hPa). 正規 Q-Q プロットの破線は標準正規分布の理論値. 期間は毎時データのある 1991 年~2009 年.

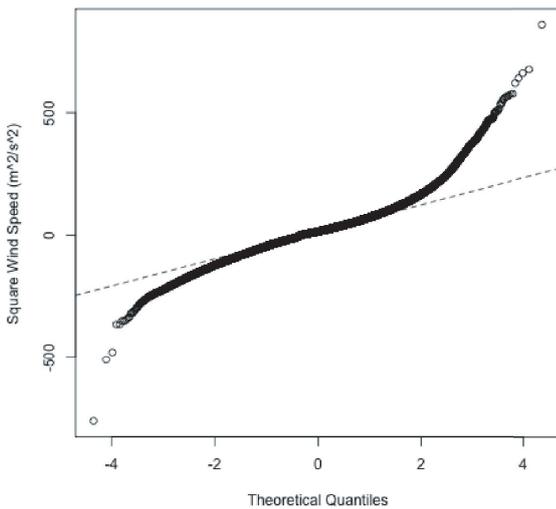


(a) 銚子地方気象台



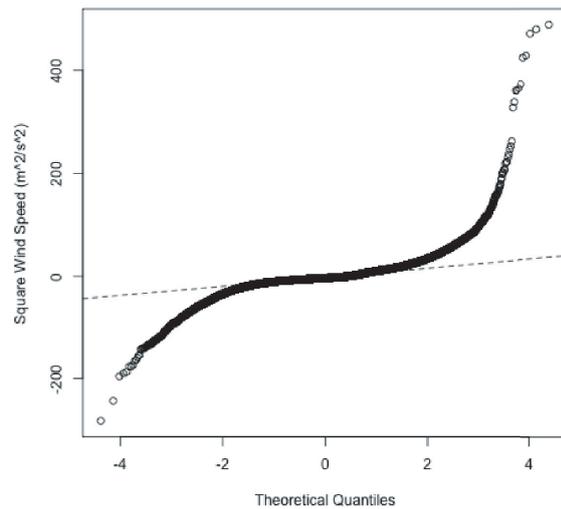
(b) 富山地方気象台

Normal Q-Q plot of Choshi



(c) 銚子地方気象台

Normal Q-Q plot of Toyama



(d) 富山地方気象台

第 17 図 銚子地方気象台及び富山地方気象台における年間卓越風向である北北東～北東風－南西～南南西風での風速の二乗のヒストグラム（上段）と正規 Q-Q プロット（下段）

北北東～北東（南西～南南西）風を正（負）としている．ヒストグラムは横軸が風速の二乗（ m^2/s^2 ）で銚子が $10 m^2/s^2$ 間隔，富山は $5m^2/s^2$ 間隔，縦軸が出現率．赤線はそれぞれのデータの標準偏差に対応した正規分布．正規 Q-Q プロットの横軸は標準正規分布の標準偏差，縦軸は風速の二乗（ m^2/s^2 ）．正規 Q-Q プロットの破線は標準正規分布の理論値．期間は毎時データのある 1991 年～2009 年．

だ十分に明らかになっていない。このため、「wave setup」による実際の潮位上昇量については今後の調査が待たれる。

以上、気象潮及び砕波に伴う潮位偏差について個別に検討した。高潮発生時にはこれらの現象が互いの効果を打ち消さずに働くため、結果としてより正偏差側に裾の長い分布になると考えられる。このことから、潮位偏差が正偏差側に長い分布となる原因に気象潮が寄与している可能性があると考えられる。

7. おわりに

長期的な毎時潮位偏差データの統計解析を行い、日本沿岸における潮位偏差の地域性及び季節性について調査した。年間データの基礎統計量及び出現率に関する統計量から、潮位偏差の出現分布は正偏差側に裾の長い分布であること、正の潮位偏差は地域ごとに出現特性が異なっていること、そして、潮位偏差が大きいほど地域差が顕著になることが確認できた。季節ごとの基礎統計量及び出現率の統計量からは、潮位偏差の季節変化は出現分布中央付近の系統的な変化ではなく、裾部分の長さの変化として現れること、出現率の大きい(小さい)季節は地域によって異なっており、その一因として地域ごとに影響を受ける気象じょう乱の種類が違っていることが考察できた。また、気象潮と潮位偏差の出現分布との関係について検討したところ、気象潮の要因である気圧、風の出現分布はそれぞれ裾の長い非対称な分布であり、それらが潮位偏差の出現分布に関与している可能性があることが確かめられた。

今回、潮位偏差自体の出現特性を知るためにデータに特段の前処理を施さずに統計解析を行った。潮位偏差に影響する要因は前述したように様々あり、要因同士の相互作用も考えられることから、これらの完全な分離は困難とみられる。しかし、フィルター処理をすれば、要因をある程度絞って検討できる。例えば、ハイパスフィルターを通すことで主に気象潮に対応すると考えられる高周波帯の統計解析が可能であろう。高潮モデルの出力結果についても同様の統計解析を行い、その出現特性についてフィルター処理を行った観測

データとの比較を行うことで、モデルのバイアスなどの検出が可能と考える。今後は、周波数帯ごとの統計解析も必要であろう。また、今回の調査結果を元に潮位偏差が大きな事例を地域ごとに抽出し、高潮モデルでの再現性について調査することで、高潮モデルでは再現されない海洋の影響や「wave setup」などを間接的に評価できると考えられる。今後の課題の一つである。

潮位偏差データの統計解析に関して言えば、データの密度が日本海側では低く、能登の特異性について十分に検討できなかった。日本海側では今回対象としなかった男鹿、柏崎、三国(いずれも国土地理院)など「wave setup」発生が経験的に知られている地点があり、今後はこれらの地点のデータセットを整えることで、日本海側の特徴についてさらに検証する必要がある。また、時代ごと(例えば10年ごと)に出現傾向の変化の有無について調べられていないなどの問題点もあり、今後の課題である。

謝辞

本調査をまとめるにあたり、海洋気象情報室の高野調査官及び潮汐班のみなさまには様々な助言をいただきました。また、本論文の構成及び表現に関して、海洋気象情報室の矢野室長、根本課長補佐、海洋気象課の小川沿岸防災情報調整官には多大な助言をいただきました。査読者及び編集担当委員には多くの貴重なご意見をいただき参考にさせていただきました。ここに記してお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- 別所康太郎・中澤哲夫・川畑拓矢・釜掘弘隆・高野洋雄・新藤永樹・國井勝・原昌弘・高橋清利・海老田綾貴・太田行哉・古林慎哉・守谷昌己・本田有機・澤田謙 (2010) : 伊勢湾台風再現実験プロジェクト. 天気, 57, 247-254.
- 合田良実 (1975) : 浅海域における波浪の碎波変形. 港湾技術研究所報告, 14-3, 59-106.
- 比屋定弘康・大久保沙貴・高佐重夫・小橋川豊・遠峯勉・西村文男・大門秀志・板垣真資・福田美奈・坂地忠・田口幸輝・江上浩樹・鈴木博樹・野崎太 (2011) : 歴史的潮位データの作成及び高潮の再評価. 測候時報, 78, 特別号, S1-S32.
- Isozaki, I., (1970a) : An Investigation on the Variations of Sea Level due to Meteorological Disturbances on the Coast of the Japanese Islands(V) — Storm Surges on the Coast of the Kanto and Tokai Districts —. Papers in Meteorology and Geophysics, 21, 1 - 32.
- Isozaki, I., (1970b) : An Investigation on the Variations of Sea Level due to Meteorological Disturbances on the Coast of the Japanese Islands(V) — Storm Surges on the Coast of West Japan Facing the Pacific and the East China Sea —. Papers in Meteorology and Geophysics, 21, 421 - 448.
- 気象庁 (2007-2010) : 2006 ~ 2009 年高潮記録整理表.
- 気象庁 (1999) : 海洋観測指針 (第 2 部). 90pp.
- 高野洋雄・鎌倉和夫・峯松宏明・依岡幸広・久重和久・清水栄一・佐藤祐一・福永昭史・谷脇由彦・谷條薫一 (2006) : 2004 年の台風第 16 号 (Chaba) による瀬戸内海における高潮の発生メカニズム. 天気, 53, 845-856.
- 小西達男 (1991) : 外洋に面した港湾で生じる高潮に対する Wave setup の寄与について. 海と空, 66, 255 - 267.
- 宮崎正衛 (2003) : 高潮の研究 その実例とメカニズム. 成山堂書店, 134pp.
- Pugh, D. T., (1996) : Tides, Surges and Mean Sea-Level(reprinted with corrections). Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, 486pp.
- Pugh, D. T. and J. M. Vassie, (1978) : Extreme Sea Levels from Tide and Surge Probability. Proc. of ICCE, 16, 911-930.
- 東京管区气象台 (2011) : 管内の風配図.
(http://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/fuuhai/index.htm)
- 宇野木早苗 (1993) : 沿岸の海洋物理学. 東海大学出版会, 672pp.