

日本沿岸潮位の確率的特性と統計期間に関する 一考察

片山 裕之¹・鵜飼 亮行²・菅原 弘貴³

¹正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

E-mail: Hiroyuki.Katayama@mail.penta-ocean.co.jp (Corresponding Author)

²正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

E-mail: Akiyuki.Ukai@mail.penta-ocean.co.jp

³正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町1534-1)

E-mail: Hiroki.Sugahara@mail.penta-ocean.co.jp

港湾の潮位特性の把握は重要である。設計潮位は所定の再現期間を有する確率潮位を採用することが多く、長期間の潮位観測記録が求められるが、データの統計年数が不足することが多く外挿予測とならざるを得ない。本検討では、日本沿岸の気象庁験潮所の潮位データ(1998~2020年)を整理し、全国の潮位特性の把握を主に高潮偏差の確率的観点から試みた。また潮位データの統計年数についても考察を加えた。その結果、類似地形の近隣では確率高潮偏差の値や最適分布関数が類似する傾向があり、最適分布関数はワイブル分布が多く、極値Ⅱ型が最適分布関数となる地点では観測最大高潮偏差の再現期間が50年を超える傾向が見られた。確率値の検討には長期間の統計データが必要だが、期間が短くても極大値統計によりMIR基準が下れば推定誤差を同等にできる可能性がある。

Key Words : tide level, tide deviation, analysis of extreme values, exact tide deviation

1. はじめに

港湾の潮位特性の把握は重要である。潮位には天文潮位と気象による海面変化の気象潮に区分され、観測潮位と天文潮位の差を潮位偏差と呼ぶ。気象潮の中で台風や低気圧の通過に伴い発生するものが高潮である。高潮と天文潮位は独立な事象のため、設計潮位を設定する際には、観測潮位とともに、高潮による潮位偏差(高潮偏差)の出現特性についても整理することが推奨されている¹⁾。

港湾設計における潮位の設定で考慮する高潮については、30年以上の実測値か、既往最大級以上の台風や低気圧による高潮推算、あるいは既往の災害時に記録等によって設定することが標準とされている²⁾。

実測値を用いての検討では、高潮の実測値を用い極値統計解析を実施し、所定の再現期間を有する確率高潮偏差を採用することが多い。設計耐用期間である港湾の50年確率や漁港の30年確率の検討を行うには、当然ながら長期間の観測記録が求められる。ただし、確率的検討にはデータの統計年数が不足することが多く外挿予測とならざるを得ないのが実情である。

潮位観測は比較的多くの地点で実施されているが、平均潮位や設計潮位の設定は個別に検討される。そのため、

全国の潮位特性を俯瞰できる資料は少ないが、検討の妥当性を確認する上で有用である。近澤ら³⁾は、2009年以前の数十年の験潮データがある60地点と1997年から2009年までのデータが存在する10地点、計70地点の験潮データを用いて、日本沿岸の高潮偏差の統計解析から地域性や季節性、超過率による出現特性などの整理を行っているが、設計で必要となる再現期間に応じた確率高潮偏差までは検討されていない。

全国の気象庁による験潮所の験潮データのうち、1998年以降2020年までの23年間の潮汐概況(年別の最高潮位や最大高潮偏差など)は地点によっては連続した統計データではないが75地点が整理されており⁴⁾有用である。必要とされている30年以上の統計データには若干不足しているが、多くの地点が参照できる点でも有用であり、この統計データを用いた確率高潮偏差の整理は必要である。一方、1998年以前の験潮データがある地点についての情報も経時データとして公開されている⁵⁾が、地点数は1998年以降の潮汐概況掲載地点よりは少ない。

本検討では、日本沿岸の気象庁験潮所の潮位データ(1998~2020年)のうち比較的欠測の少ない60地点(図-1)について整理を行い、全国の潮位特性の把握を、主に高潮偏差の確率的観点から試みた。また、確率的検討に用

いる高潮偏差データの統計年数についても、1998年以前の験潮データがある地点のうち、1950年代からの験潮データを用いることができる46地点を対象に最大高潮偏差や確率高潮偏差の整理を行い、考察を加えた。

2. 日本沿岸の潮位特性

(1) 平均潮位の出現特性

気象庁験潮データ(1998~2020年)のうち、比較的欠測の少ない60地点について、各地点のDL基準として年平均潮位の整理を行った。

IPCC第5次評価における各シナリオの海面上昇を見ると、2000年から2020年で5~10 cm程度海面上昇が予測されており、実測潮位からも海面上昇の傾向が読み取れる可能性がある。1998年以降の年平均潮位について、1998年あるいは観測開始年の年平均潮位からの変化量を経時的に整理した(図-2)。その結果、地殻変動等の影響が考えられる北海道から東北地方太平洋側の函館、大船渡、鮎川、小名浜および三宅島を除く多くの地点で漸増する傾向が見られ、平均で2000年に比べ2020年で7.8 cmの上昇であり、IPCCの海面上昇シナリオと同程度となった。年平均水位の増加が15 cm以上あった地点は、花咲、石廊崎、清水港、御前崎、浦神、室戸岬の6地点であった。また日本海側の福江、浜田、境、西郷、舞鶴、能登、富山でも5~10 cm程度の増加が見られた。逆に減少傾向が見られたのは、舞阪、名古屋、鳥羽、尾鷲で2000年頃から継続して1998年より低くなっていた。ただし、これら

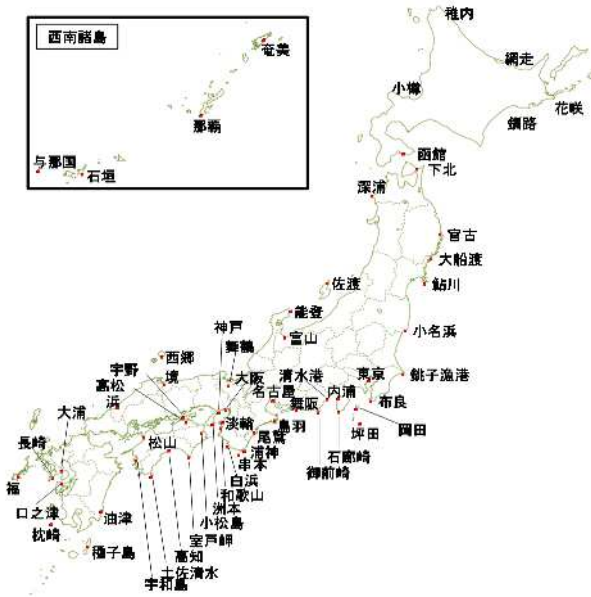


図-1 対象とした潮位地点位置図

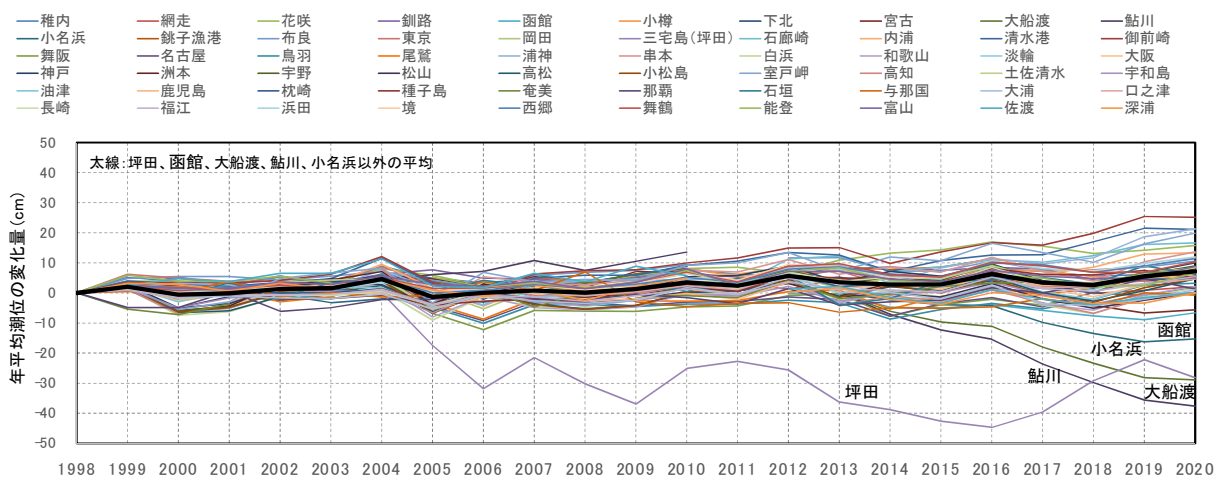


図-2 平均潮位の変化傾向(1998年からの変化量)

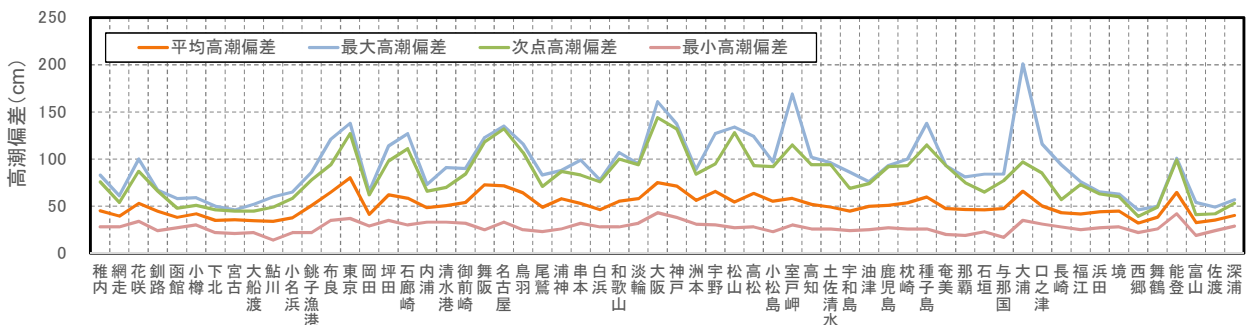


図-3 1998~2020年の各地点の年最大高潮偏差の諸量(最大値・2位・平均値・最小値)

各地の最適分布関数に関して海域毎に共通の母分布関数が考えられるとしており、最適分布関数だけでなく、適合度2位の分布関数まで俯瞰した検討を行っている。高潮偏差でも同様に、最適分布関数や確率高潮偏差について海域共通の傾向が見られる可能性がある。図-4から海域毎の観点で結果をみると、地形的に近隣の地点では確率高潮偏差の値が近かったり、最適分布関数が同じ傾向が見られた。例えば函館から小名浜までの北海道から東北地方の太平洋側は50年確率高潮偏差が50~70 cm程度で、10年から100年までの再現期間の異なる確率高潮偏差間の差が小さく、最適分布関数が極値Ⅰ型かワイブル分布が多く、函館の2位を除き極値Ⅱ型は選択されていない。また御前崎から串本の太平洋側も最適分布関数が極値Ⅰ型かワイブル分布になっており、極値Ⅱ型は採択されていない。淡輪から洲本までは最適分布関数がワイブル分布になっている。その中の大阪と神戸は確率高潮偏差値や、2位が極値Ⅱ型となるまで同じである。室戸岬から宇和島の四国太平洋側は2位までに極値Ⅱ型が多くみられ、分布形状の特徴から1位と2位の差が20~50 cm程度と大きい。鹿児島から与那国の南西九州海域はワイブル分布が比較的多く採択されている。大浦、口之津、長崎は1位、2位とも極値Ⅱ型が採択されている。福江から深浦までの日本海側では、湾内の富山を除き極値Ⅰ型かワイブル分布が採択されている。また西郷以北は10年確率潮位偏差と100年確率高潮偏差までの差が小

さい。以上のように、比較的近い海域の験潮所では、確率高潮偏差の特徴が類似する傾向があると考えられる。

また1998年以降の統計期間内における各地点の最大高潮偏差について、最適分布関数による再現期間を整理してみた(図-5)。その結果、各地点の最大高潮偏差の再現確率は100年は超えない程度となり、全地点の平均は34.4年であった。また最適分布関数は全体的にはワイブル分布が多くなっているが、極値Ⅱ型が最適な地点は最大高潮偏差の再現期間が大きいものが多く、1位が突出している傾向が見られた。なお、図-6には最適分布関数として極値Ⅱ型およびワイブル分布が選択された清水港

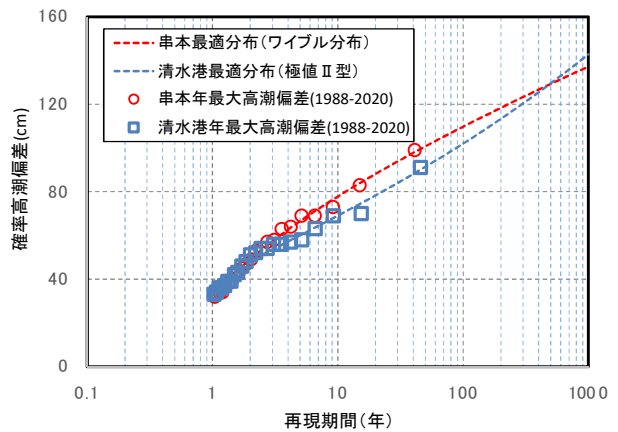


図-6 最適極値分布あてはめ例

表-1 各地点の年最大高潮偏差に対する極値分布関数のあてはめ結果

	データ数		適合・棄却検定									確率高潮偏差		
	N	B	C	D	E	A	F	G	H	I	10年	30年	50年	
稚内	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	58.31	73.94	83.05	
網走	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	51.32	59.30	62.94	
花咲	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	72.35	91.25	101.41	
釧路	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	59.11	68.77	73.18	
函館	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	48.07	54.67	57.69	
小樽	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	51.13	57.38	60.22	
下北	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	44.12	50.32	53.16	
宮古	20	■	■	■	■	▼	■	■	■	▼	44.83	49.85	51.89	
大船渡	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	46.08	52.02	54.45	
鮎川	21	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	47.33	56.89	61.25	
小名浜	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	53.08	63.48	68.23	
鏡子漁港	22	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	67.93	81.92	88.85	
布良	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	96.46	116.89	125.73	
東京	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	119.93	140.51	148.92	
岡田	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	53.96	64.22	69.31	
坪田	21	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	91.43	111.67	120.40	
石廊崎	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	92.88	121.90	135.24	
内浦	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	65.38	74.08	77.64	
清水港	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	69.01	83.94	91.35	
御前崎	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	78.01	93.54	100.26	
舞阪	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	113.01	133.82	142.34	
名古屋	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	111.31	136.89	147.94	
鳥羽	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	98.65	116.49	123.78	
尾鷲	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	71.39	83.03	87.79	
浦神	23	■	■	■	▼	▼	■	■	▼	▼	85.46	99.72	105.55	
串本	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	77.76	93.79	100.71	
白浜	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	63.35	77.26	84.15	
和歌山	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	82.46	104.57	115.52	
淡輪	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	83.25	96.39	101.76	
大阪	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	119.90	157.72	175.31	
神戸	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	111.73	145.76	161.57	
洲本	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	80.61	93.22	98.37	
宇野	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	99.06	121.37	131.56	
松山	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	90.69	131.20	151.69	
高松	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	96.36	118.38	128.43	
小松島	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	85.06	104.25	112.55	
室戸岬	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	87.76	130.58	157.59	
高知	22	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	80.73	100.03	108.36	
土佐清水	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	70.53	91.57	102.88	
宇和島	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	64.43	80.41	88.32	
油津	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	69.83	80.12	84.33	
鹿児島	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	80.43	99.41	107.62	
枕崎	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	84.96	105.15	113.88	
種子島	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	97.54	128.21	143.41	
奄美	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	78.59	98.68	107.37	
那覇	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	70.95	83.66	88.86	
石垣	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	66.77	80.63	86.96	
与那国	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	73.70	87.20	92.72	
大浦	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	97.47	143.52	172.57	
口之津	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	71.53	96.88	111.66	
長崎	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	55.96	74.76	86.62	
福江	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	62.43	75.74	81.50	
浜田	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	58.07	67.56	71.89	
境	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	58.75	66.05	69.04	
西郷	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	40.05	44.13	45.80	
舞鶴	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	46.38	50.58	52.30	
能登	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	86.98	101.54	107.84	
富山	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	38.25	46.30	51.38	
佐渡	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	43.59	47.99	49.79	
深浦	23	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	◇	49.22	55.21	57.94	

A: FT-II型(k=2.50), B: FT-II型(k=3.33), C: FT-II型(k=5.00), D: FT-II型(k=10.00), E: FT-I型分布
 F: ワイブル分布(k=0.75), G: ワイブル分布(k=1.00), H: ワイブル分布(k=1.40), I: ワイブル分布(k=2.00)
 ◎: MIR基準最適, ○: MIR基準次点, ◇: ◎以外で非棄却, ▲: REC基準棄却, ▼: DOL基準棄却, ■: 両基準棄却

と串本の例を示した。

表-1には、全地点の9つの分布関数へのあてはめ結果と、10年、30年、50年確率の確率高潮偏差値を整理した。今回の統計期間においては、DOLあるいはREC棄却基準であてはめが棄却されたのは宮古と浦神の2地点だけであった。またこの表からも最適分布関数と適合度2位の分布関数が分かるが、極値I型とワイブル分布のk=1.4あるいはワイブル分布のk=2.0の組合せが60地点中20地点と多いことが分かった。

3. 統計年数の検討

(1) 検討に用いたデータ

再現確率50年の推算に対し、統計期間23年間（1998～2020年）では推定誤差も大きくなるが、中には1998年以前の潮位記録がある地点もある。ここでは、1950年代まで遡り、1998年以前の潮位記録がある46地点について、確率高潮偏差に与える統計期間による違いを調べた。なお、期間中の年最大高潮偏差が欠測の年については、その年を統計年数から差し引き、統計期間から除外して極値統計解析を実施した。

(2) 統計期間別の最大高潮偏差出現特性

1998～2020年（統計期間①）に加え、1975年以降（統

計期間②）、1951年以降（統計期間③）の比較を行った。1951年以降の年最大高潮偏差の時系列を図-7に示した。1998年以降に最大高潮偏差が発生していたのが19地点、1975～1997年に最大高潮偏差が発生していたのが11地点、1951～1974年に最大高潮偏差が発生していたのが16地点であり、必ずしも統計期間を遡る程、上位の高潮偏差が増える訳でないことがわかった。

(3) 統計期間別の確率高潮偏差の検討

統計期間別の50年確率高潮偏差の大小は、統計期間内における年最大高潮偏差の中の1位の発生した年によるが、本検討では名古屋、浦神、和歌山、淡輪、大阪、神戸、高知では統計期間を遡るほど確率高潮偏差値が大きくなる傾向が見られ、その他の地点では大きく変わらな

いか小さくなる傾向であった（図-8）。また、分布関数のあてはめにおける推定誤差を示すMIR基準値は、統計期間が長くなると定性的には小さくなる傾向が見られる。一方で、今回は年最大資料を用いていることから、統計期間が長くなることにより低レベルのデータも増えるため推定誤差が大きくなることもある。統計期間が長くとれない地点における確率高潮偏差の検討においては、まずは近隣の統計期間を長くとれる験潮所のデータを参考にすることが考えられるが、例えば毎年の年最大高潮偏差に加えて、毎年の2位の高潮偏差を加えた極大値統計を行うことが考えられる。ここでは、

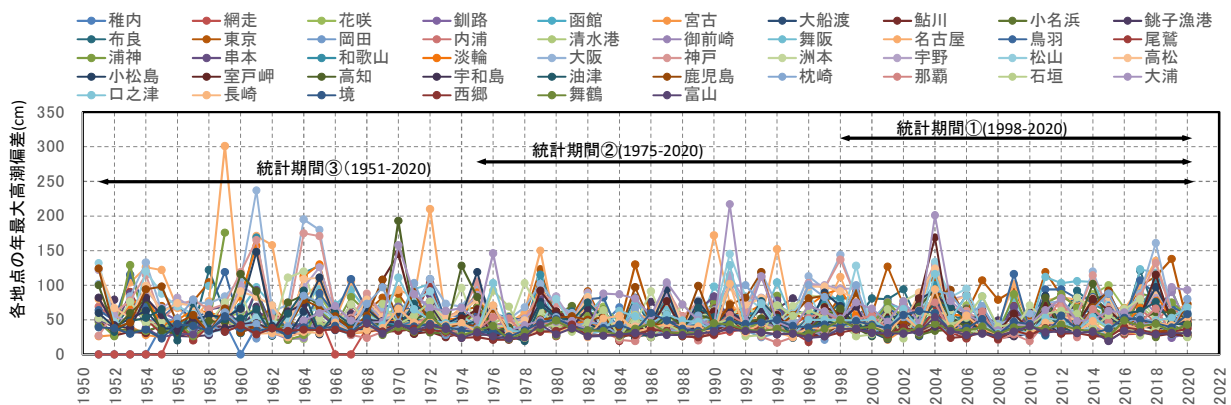


図-7 1998-2020年以前を追加した年最大高潮偏差の経時変化および各統計期間

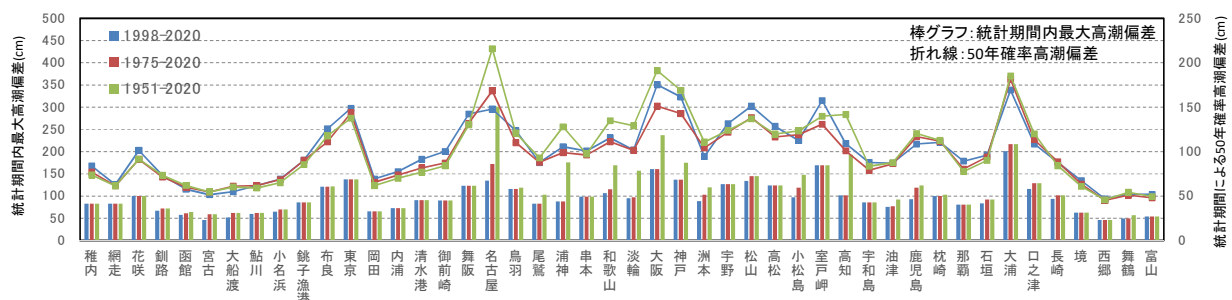


図-8 1998-2020年以前を追加した年最大高潮偏差

統計期間①, ②, ③に対する極値統計解析に加えて, 一番統計期間の短い統計期間①に各年の2位を追加したケースの検討も比較のため行った. なお, 第2位は毎年の月最大高潮偏差の2位を採用した. その結果, 平均的には統計期間①に2位まで追加した場合のMIR基準は, 統計期間③のMIR基準までは低減しなかったが, 統計期間②に近いMIR基準まで低減する傾向が見られた (図-9). これは, 2位を追加することで仮想的な統計期間を長くする効果によるあてはめ精度向上と, 低レベルデータの増加によるあてはめ精度低下の両面があるためと思われるが, 後者は採用する極値に下限値を設けるなどすることにより緩和できると考えられる. 定性的には, 統計期間が十分長い場合は年最大値統計で良いが, 統計期間が不足していると考えられる場合には, 例えば2位を追加した極値統計解析を実施することによりあてはめの推定誤差であるMIR基準を低減させ, 仮想的に統計期間を長くすることに近い結果が得られる可能性が確認された.

4. おわりに

気象庁験潮データ (1998~2020年) を用いて日本沿岸の潮位特性の把握を試みた結果, 以下の結果を得た.

- ① 平均潮位は高くなる傾向の地点が多い.
- ② 50年確率高潮偏差値に50~150cm程度の幅があるが類似地形の近隣では値や最適分布関数が類似する傾向が見られた. 最適分布関数はワイブル分布が多く, 少例だが極値II型が最適分布関数となる地点では, 観測最大高潮偏差の再現期間が50年を超える傾向もある.
- ③ 確率値の検討には長期間の統計データが必要であるが, 期間が短くても極大値統計によりMIR基準が下があれば推定誤差を同等にできる可能性がある

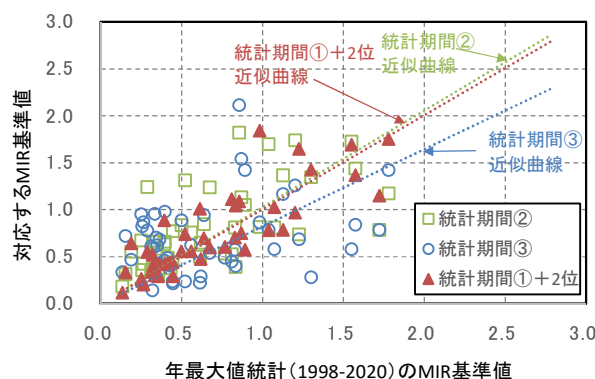


図-9 統計期間による確率高潮偏差の違い

参考文献

- 1) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説, pp.108-113, 2018.
- 2) 河田恵昭：高潮の極値統計, 水工学に関する夏季研修会講義集, 土木学会水理委員会, 1987.
- 3) 近澤昌寿・橋口祥治・大久保沙貴：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, 測候時報, 第79巻, 特別号, pp.S1-S24, 2012.
- 4) 気象庁：各年の潮汐, <https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/gaikyo/nenindex.php>, 参照：2022-05-23.
- 5) 気象庁：歴史的潮位資料, https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/tide/sea_lev_var/index_download.php, 参照：2022-05-23.
- 6) 気象庁：IPCC 第5次評価報告書第一作業部会報告書政策決定者向け要約 (気象庁訳), 2015.
- 7) 合田良実：耐波工学, 鹿島出版会, pp.327-329, 2008.
- 8) 合田良実・小舟浩治：波浪の極値統計における分布関数のあてはめ基準, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.134-138, 1989.
- 9) 合田良実・小長谷修・永井紀彦：極値波浪統計の母分布関数に関する実証的研究, 海岸工学論文集, 第45巻, pp.211-215, 1998.

(Received March 17, 2022)

(Accepted July 21, 2022)

A STUDY ON PROBABILISTIC CHARACTERISTICS AND STATISTICAL PERIODS OF JAPANESE COASTAL TIDE LEVELS

Hiroyuki KATAYAMA, Akiyuki UKAI and Hiroki SUGAHARA

It is important to understand the tidal characteristics of ports and harbors. The design tide level is often based on a stochastic tide level with a specified return period, and long-term tide level observation records are required, but the statistical years of the data are often insufficient, so extrapolations must be made. In this study, we attempted to understand the characteristics of tidal levels in Japan mainly from the viewpoint of the probability of tide level anomaly by organizing tide level data (1998-2020) from JMA tide stations along the coast of Japan. The statistical years of the tide level data are also discussed. As a result, the values of probability tide level anomaly and the optimal distribution function tended to be similar in the vicinity of similar topography, and the optimal distribution function was often Weibull distribution. Although statistical data over a long period of time is necessary to examine probability values, even if the period is short, if the MIR criterion is lowered by the extreme value statistics, there is a possibility that the estimation error can be equalized.