

気候モデル d4PDF 気象場より得られた潮位・波浪推算値の累積確率特性 について*

八戸工業大学 佐々木 幹夫
八戸工業高等専門学校 南 将人

1. 緒言

本論文では d4PDF 気象場の波浪や海面上昇推算値の利用方法についてのこれまでの調査研究結果を述べている。再現期間 6000 年の波浪や潮位偏差が図示¹⁾されているのを見てそんなに長い期間の再現値が取り扱われて良いのだろうかという疑問が本研究の発端である。6000 年で 1 度起きるような高波浪や高潮位の実証は不可能に近いことは確かであろう。継足し 6000 年標本の疑問に理論的に答えられるようにはなっていない。しかし、本研究では波浪や潮位の実測値の確率分布が対数正規分布をなしていることから d4PDF 波浪・潮位推算値の適正な利用方法について答えを出しているように思える。第2節では d4PDF の概要を示し、気象場の風向、風力、気圧等の気象条件の取り出し・利用方法について述べ、有義波高の推算例を示している。第3および4節では波浪・潮位の実測値が対数正規分布をなしていること、d4PDF 継足し 6000 年標本は再現期間の検討や再現値の予測には使用が不適当であることを示している。

2. d4PDF の概略および利用事例

2.1 d4PDF の概要²⁾

気候変動予測と影響を考慮し、それに伴う不確実性の定量評価「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース、database for Policy Decision making for Future climate change (d4PDF)」が公開されている。その中で、水平解像度約 60km の気象研究所全球大気モデル MRI-AGCM3.2 の全球実験から、過去実験と温度上昇の実験結果を用いて、実験結果のテキスト化と波浪推算への応用を実施した。なお、過去実験は、1951 年～2011 年 8 月×100 メンバ、4℃上昇実験は 2051 年～2111 年 8 月×90 メンバとなっている（図1）。



図1 d4PDF

2.2 風速データの取り出し事例

データベース(d4PDF)を用いて、青森県八戸地域の風速データを取り込み、過去と 4℃上昇時の風速のテキスト化を行い、波浪推算を行った。DIAS³⁾に登録し、様々なデータの中から「6 時間瞬間値 2 次元データ:sfc_snp_6hr_2byte」で 2008 年の実験結果を用いた。なお、アンサンブ

* Cumulative probability characteristics of tide and wave estimates obtained from the climate model d4PDF weather field by Mikio Sasaki and Masato Minami

ルは全 100 メンバーあるが、その中で m001、m011 と 10 メンバー間隔で全 10 メンバーのデータを用いた。ダウンロードしたデータを気象・気候の分野で用いられてきた、「グリッド解析表示システム（ソフト）Grid Analysis and Display System(GrADS)」を用いて図化した。図 2 はその一例で、2008 年 1 月の海水面での圧力と風速ベクトルを示したものである。図化範囲は、青森県を対象として東経 139.20～141.90 度、北緯 40.10～41.60 度とした。また、八戸地域は東経 141.71 度、北緯 40.16 度と設定した。さらにバイナリー形式からテキスト形式に変換するソフトを作成して八戸地域の風速をテキスト化した。

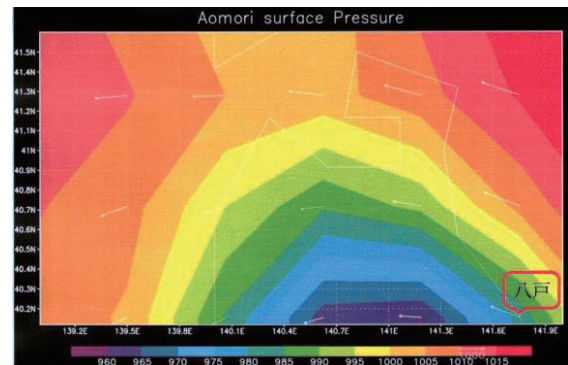


図 2 青森県の海水面圧力と風速分布図例

4℃上昇実験 2051 年 1 月の風速をテキスト化した例を図 3 に示す。6 時間毎に東西方向 U と北南方向 V の風速（単位：cm/s）が取り出されている。このテキスト化したデータの時系列変化図を図 4 に示す。図中の青線が東西方向成分 U を赤線が北南方向成分 V の風速を示している。

Hachinohe	205101	lon=141.75	lat=40.156	t=1:124
00Z01JAN2051	760	-84	1	
06Z01JAN2051	688	-198	2	
12Z01JAN2051	574	80	3	
18Z01JAN2051	465	255	4	
00Z02JAN2051	422	270	5	
06Z02JAN2051	234	186	6	
12Z02JAN2051	47	351	7	
18Z02JAN2051	106	500	8	
00Z03JAN2051	871	-15	9	
06Z03JAN2051	980	-462	10	
12Z03JAN2051	759	-198	11	
18Z03JAN2051	734	-129	12	
00Z04JAN2051	777	-229	13	
06Z04JAN2051	643	-439	14	
12Z04JAN2051	549	79	15	
18Z04JAN2051	494	204	16	
00Z05JAN2051	380	317	17	
06Z05JAN2051	126	390	18	
12Z05JAN2051	289	510	19	

海上風速
UとV成分
6時間毎

2.3 波浪推算の応用事例

テキスト化した風速データを用いて波浪推算を行った。

波浪推算には風波の発生・発達に用いられる S.M.B.法を

適用した。この方法では、風速と吹送距離 F あるいは吹送時間 t が支配的な要素であり、発生した風波の大きさは有義波高 $H_{1/3}$ と有義波周期 $T_{1/3}$ で表す事ができる。これらの諸量に対してウィルソンが 1965 年に信頼度が高い観測値を用いて $H_{1/3}$ と $T_{1/3}$ の算定式を提案している。吹送距離 F を設定するために、2022 年の風速と波浪の観測値を用いて吹送距離 F を求めた。なお、風速は気象庁の「過去の気象データ検索」⁴⁾を、波浪は「全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHA)」⁵⁾の観測値を用いた。算出された吹送距離 F を用いて、前述のテキスト化された風速から 4℃上昇実験での有義波諸元の波浪推算を行った。その結果を図 5 に示す。

以上の手順により、データベースから風速データを取得し波浪推算をする事ができた。

図 3 テキスト化した風速データ

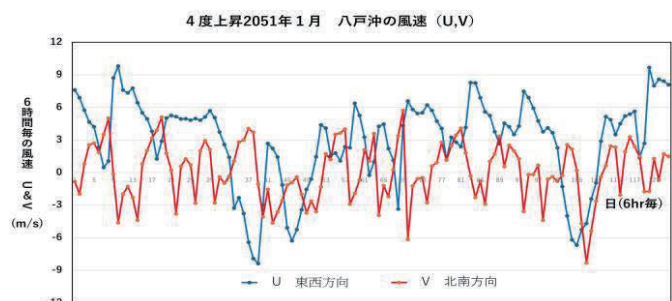


図 4 4℃上昇実験の風速の時系列(2051 年 1 月)

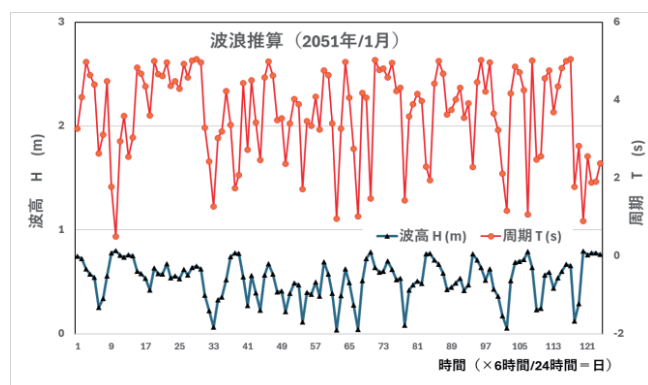


図 5 4℃上昇実験の波浪推算(2051 年/1 月)

3. 潮位・波浪実測値の累積確率特性

青森県の太平洋岸沿岸、日本海沿岸、および陸奥湾沿岸における波浪および潮位の実測値の確率特性を調べた結果を図6、図7および図8に示す。図8(a)には深浦波浪、(b)にはむつ小川原潮位の実測値がそれぞれd4PDF推算値とともに図示されている。全図とも横軸は対数目盛でとられており、縦軸は確率紙の目盛、すなわち、目盛線は標準偏差1、平均値0の確率密度関数 $f(y)$ で与えられる非超過確率 F

$$F = \int_{-\infty}^y f(y) dy \quad (1)$$

により%で表示されており、実際の距離は確率変数 y で座標がとられている。この確率紙にプロットされている実測値が直線状になっていれば現象は対数正規分布をなすことになる。図に示した実線(赤)は自動で引かせた内挿線であり、図中にこの式が表示されている。ここに、式中の y は式(1)に示した確率変数で縦軸の座標であり、 x は横軸の値であり、波高および潮位偏差を示している。図6(a)は八戸港沖太平洋沿岸、(b)はむつ小川原港沖太平洋沿岸、(c)は下北沖太平洋沿岸、(d)は陸奥湾青森港沖の実測値を示している。また、図6(e)および図8(a)には日本海沿岸の竜飛沖および深浦沖の実測値が示されている。

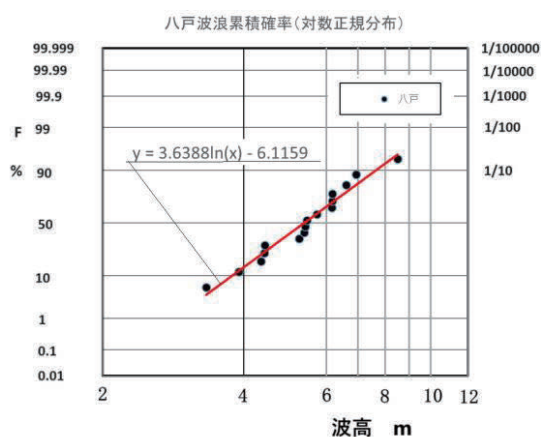


図6(a) 波浪八戸実測値(2008-2023)

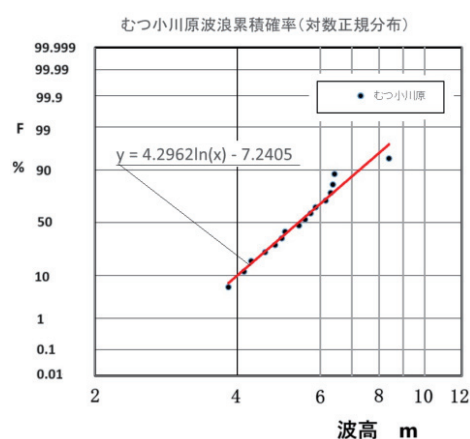


図6(b) 波浪むつ小川原実測値(2008-2023)

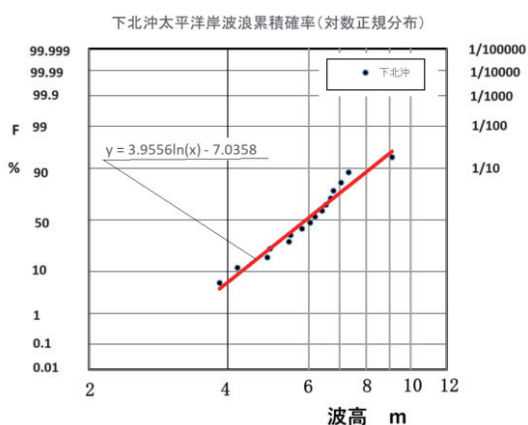


図6(c) 波浪下北沖実測値(2008-2023)

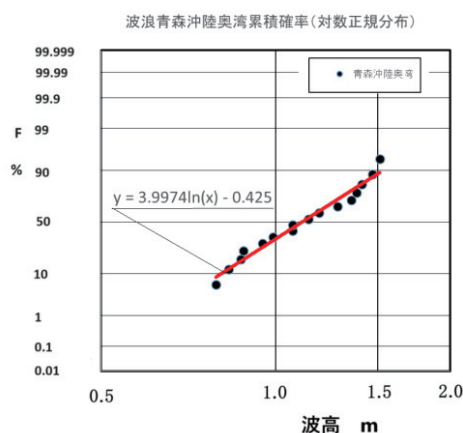


図6(d) 波浪陸奥湾青森実測値(2008-2023)

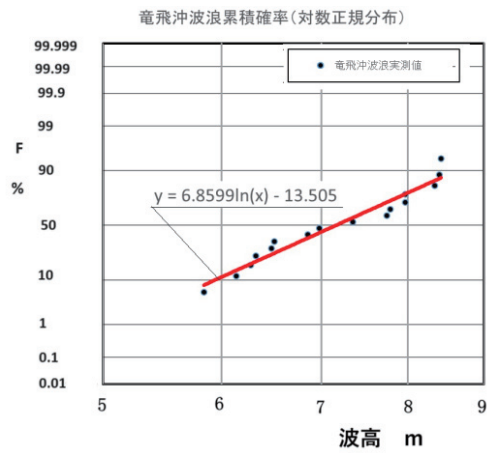


図 6 (e) 波浪日本海沿岸竜飛実測値

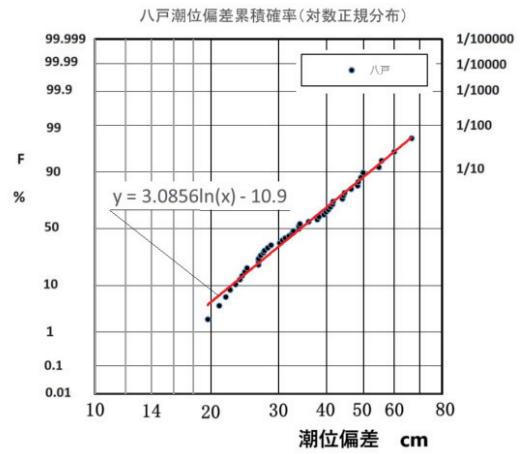


図 7 (a) 潮位八戸実測値 (1963-2011:47 年)

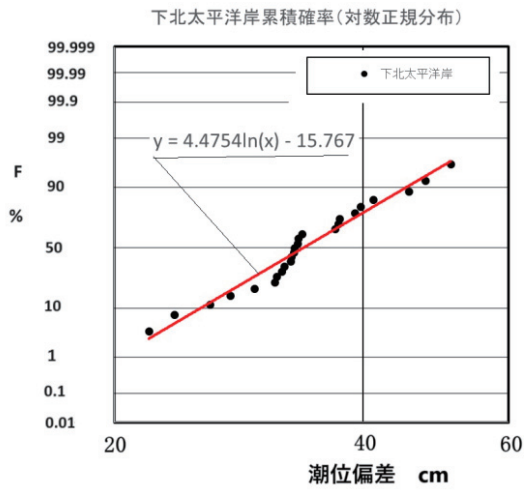


図 7 (b) 潮位下北沖実測値 (1997-2021)

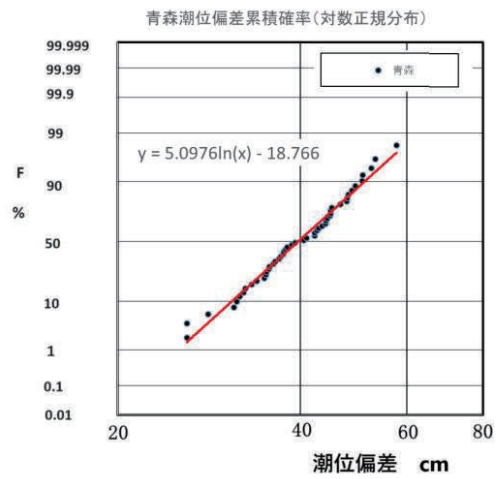


図 7 (c) 潮位陸奥湾青森実測値 (1971-2020)

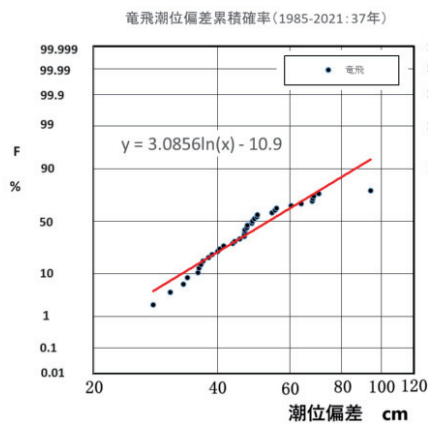


図 7 (d) 潮位竜飛実測値 (1985-2021)

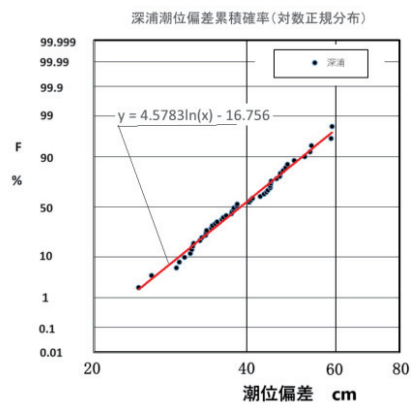


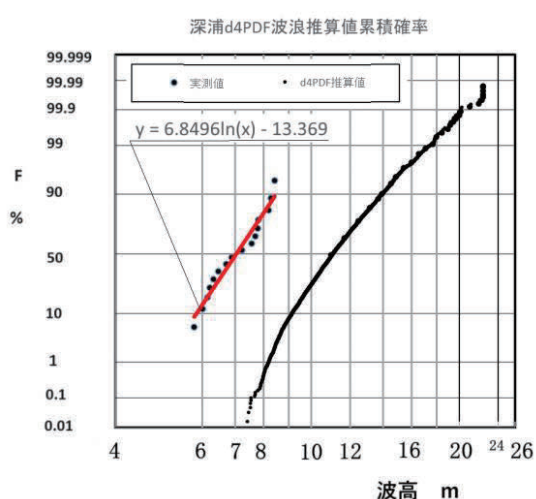
図 7 (e) 潮位深浦実測値 (1972-2021)

図において、波高の大きい側のプロットが内挿線の上側にあればその波高は小さすぎ、下側にきていれば大きすぎる波高を意味している。また、逆に、波高の小さい側においてプロットが内挿線より上側にきていればそれは値が小さすぎていること、および、直線の下側にきていれば大きすぎていることを意味する。大きい方の最後の値が図 6 (d) 青森、(e) 竜飛、および図 8 (a) 深浦で小さ目に、図 6 (b) むつ小川原では大きめになっている。しかし、全体をみればプロットは直線上にあり、波高は対数正規分布をなしているといえる。図 6 (a) 八戸および (c) 下北沖は見事な直線状のプロットとなっている。故に、波高実測値は対数確率紙上で直線分布をなす、よって、この極値の現象は対数正規分布といえる。

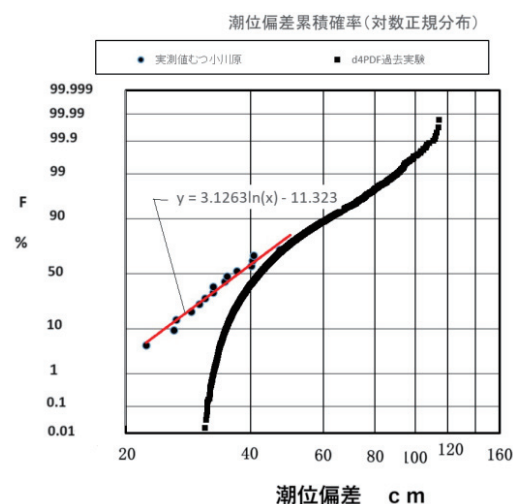
図 7 に潮位の実測値を潮位偏差にし、その確率特性を示した。図 7 (e) 竜飛日本海沿岸、及び図 8 (b) むつ小川原では最後の値が 100 年相当の大きな値となっているため直線から下側に離れている。これら 2 つの観測を除き、同図他の観測値に着目すると観測値は直線上にある。以上により、図 7 (a)～(e)、及び図 8 (b) の潮位偏差は直線分布となっているといえる。したがって、潮位偏差も対数正規分布をなしているといえる。

4. 波浪・潮位の d4PDF 推算値の累積確率特性

図 8 に波浪および潮位の d4PDF 推算値の継足し 6000 年標本値 (60 年×100 メンバ、2011 年除く) の累積確率を示した。図よりこの継足し 6000 年標本値は直線とは認められず対数正規分布をなしているとは言えない。実現象の確率分布と異なるため再現値の予測に用いることは不適当といえる。また、大きめの値と小さ目の値の分布よりこの標本値にはエルゴード性は認められず、それは無いといえる。従って、エルゴード性が無いので継足しでなくメンバ単位で扱うことが可能となる。



(a) 波浪 深浦



(b) 潮位偏差 むつ小川原

図 8 過去実験継足し 6000 年標本

図 9 は対数確率紙上の各メンバの直線性を調べたもので縦軸の R はそれぞれのメンバの残差の二乗和で次式により定義されている・

$$R = \sum_{i=1}^{60} (y_i - (a \ln(x_i) + b))^2 \quad \text{ここに、} a, b : \text{定数} \quad (2)$$

ここに、上式(2)の定数 a 及び b はメンバ 60 年標本値の確率紙上内挿線の傾き、および切片をであり、これら定数 a および b は各メンバ毎に最小二乗法により求まる。添え字 i は 1951 年から 2011 年まで各年を意味している。式(2)は R が大きいと対数正規分布から外れていること、小さいと確率紙上で直線性が良く対数正規分布をなすメンバであることを意味している。図よりメンバ m070 が最小の R を与え、このメンバの確率特性は図 10 に示すように、ほぼ完全な直線分布となり実測値との確率特性は一致している。これにより再現値の予測が可能となる。ただし、d4PDF 予測値はさらなる精度の良い推定が必要になっているようにみえる。

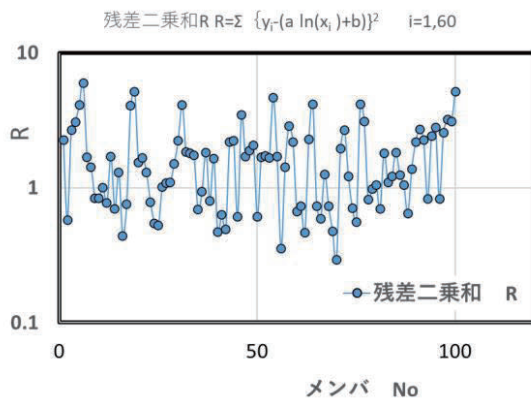


図 9 波浪過去実験各メンバの直線性調べ

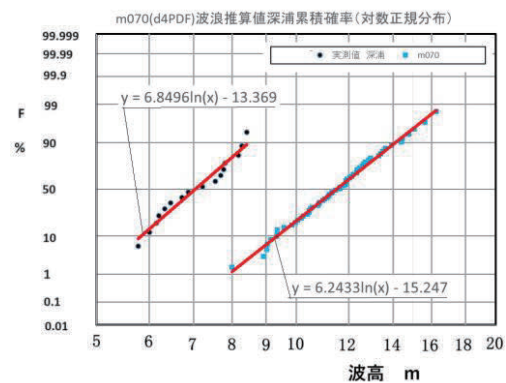


図 10 波浪メンバ m070(d4PDF)の確率特性

5. 結言

波浪・潮位の累積確率特性を調べた結果、実測値は対数正規分布をなしていること、d4PDF 推算値継足し 6000 年標本は実測値の確率特性と異なるため再現値の予測に使用するのは不適当であること、100 メンバの中には確率特性が実現象と一致するメンバが存在し、それを見出すことにより再現値の予測が可能となることを示した。

謝辞 本研究では青森県河川砂防課が収集・整理した波浪・潮位の实測値を用い、また、同課より提供いただいた d4PDF 気象場波浪・潮位推算値を使用している。ここに県河川砂防課に深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) 五十嵐 雄介他 6 名, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 78, No. 2, 1 — 967T_972, 2022.
- 2) <https://climate.mri-jma.go.jp/d4PDF/design.html>
- 3) <https://auth.diasjp.net/cas/login?service=https%3a%2f%2fd4pdf.diasjp.net%2fd4PDF.cgi>
- 4) https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=31&block_no=47581&year=2022&month=1&day=27&view=
- 5) <https://www.mlitt.go.jp/kowan/nowphas/>