

14.アンサンブル気候予測データベースを用いた 降水量地域区分の妥当性に関する検証

本田 洋平^{1*}・渡部 哲史¹・知花 武佳³

¹東京大学工学部社会基盤学科 (〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1)

²東京大学大学院工学系研究科 特任講師 (〒113-8656東京都文京区本郷7-3-1)

³東京大学大学院工学系研究科 准教授 (〒113-8654 東京都文京区本郷7-3-1)

* E-mail: honda@hydra.t.u-tokyo.ac.jp

大規模アンサンブル気候予測データを用いて、既存と同様の手法によって地域区分の妥当性の検証を行った。計算年数が少ない一つのアンサンブルデータのみで行われた検証と今回の検証の結果を比較すると、前者では地域区分の妥当性が過大に評価される可能性があることが明らかとなった。現在治水計画等に利用されている地域区分はこれまでの降雨データを基に作成されたものであることから、将来降雨予測データを基に設定外力の見直しを行う場合、現行の地域区分に変更の必要があるか検証が必要である。この際にアンサンブル実験結果を適切に用いることの重要性が本研究により示された。

Key Words : d4PDF, climate change, flood control, Mann-Whitney U test, rainfall

1. はじめに

近年、浸水被害による家屋の倒壊や数多くの犠牲者が発生している。これまでに経験したことのない規模の降雨が各地で発生しており、地球温暖化の進行による水害の激甚化が示唆されている。現在、洪水や内水における浸水被害の想定においては、平成27年に国土交通省が公表した「浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法」¹⁾に掲載されている想定最大規模降雨を基に行われている。この想定最大規模降雨は、アメダスの降雨データに基づいて降雨の類似性と流域界を参考に作成した、全国を15の地域に区分した想定最大規模降雨に関する地域区分²⁾の各地域に対して、日雨量100mmを超えた過去の降雨データをもとに降雨継続時間別に最大となる降雨量と降雨面積の関係を求めることで算出されている²⁾。しかし、近年では過去の時間降雨を更新する規模の降雨が多発していることもあり、再起確率の低い降雨に関する情報が少ない既往の降雨データをもとに行われた浸水想定では気候変動に対応できない可能性が考えられる。これらを受け、令和元年に、「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討委員会によって気候変動を踏まえた治水計画のあり方に関する提言」³⁾

(以下提言)が公表された。この提言では、平成28年に公開された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(以下d4PDF)⁴⁾を活用し、d4PDFの現在の再現実験と将来実験の比較から過去の降水量に対して将来降雨の倍率を算出している。この提言では全国的に適応可能な手法の検討にとどまっているが、過去の降雨を利用した統計的な手法から大規模なアンサンブルデータを持つ将来データを利用した手法への転換として、意義があると考えられる。

提言においては、想定最大規模降雨に関する地域区分に対して、気象庁気象研究所の地域気候モデル⁵⁾(以下NHRCM20)のデータのうち現在気候に関してはHPA_m02、将来気候に関してはHFA_rcp85_c3の19年分のデータを用いて、地域区分内のある格子点における降雨特性が、地域区分内のすべての格子点における降雨特性とどの程度類似しているかを年最大積算降雨を用いて検証し、これを適合割合として算出している。なお、将来実験のデータに関しては温室効果ガス排出シナリオのうち、RCP8.5を想定し作成されたものである。NHRCM20はd4PDFに対して計算年数およびアンサンブル数が少なく、その上提言においてはそのうち1つのアンサンブルのみで検証が行われている。そこで今回はNHRCM20と

同じ空間解像度であり、多数のアンサンブルを持つd4PDFを利用し、提言で行われたものと同様の計算手法を用いてアンサンブルおよびSSTによって適合割合がどの程度変化するかを検証した。

2. 手法

(1) 地域区分の作成

図-1に、地域の区分方法の妥当性に関する検証に関する既存の資料⁹⁾を基に作成した地域区分を示す。本研究では既存の資料を目視で確認し、d4PDFにおける海陸分布に基づく格子点に対して、額等する地域区分を設定した。

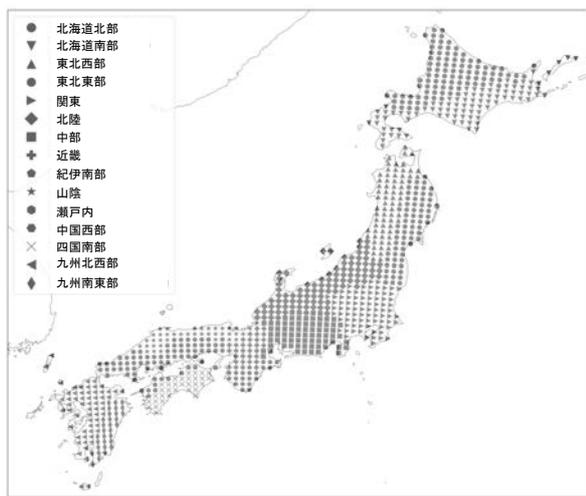


図-1 既存資料より作成したd4PDF各格子点が所属する地域区分

(2) 利用データ

d4PDFの日本域ダウンスケーリング結果であるd4PDFの領域実験⁹⁾(水平解像度が約20km)の出力値を用いる。このd4PDF領域実験結果には、50のアンサンブルメンバを持つ60年分の現在再現実験結果、および6つの海面水温(SST)パターンに対してそれぞれ15のアンサンブルメンバを持つ60年分の将来実験データがある。本研究ではこれらの全てを利用した。

(3) 適合割合の計算方法

地域区分の妥当性を検証するために、本研究では国土交通省による検証⁹⁾と同様に、各格子点の降水量の特性が同一の地域区分におけるそれと統計的に同一かどうか(以下、これを適合割合とする)を確認する。

具体的には、降水量過去実験と将来実験の両方に対して、まず一つのアンサンブルにおける各格子点の60年間

すべての年最大6, 12, 24, 48, 72時間積算最大降雨を算出する。算出された各時間積算最大降雨に対して、各地域区分内の一つの格子点における各年の時間積算最大降雨60年分のデータと、その地域区分内全体の格子点における各年の時間積算最大降雨60年分のデータをそれぞれ標本A、標本Bとし、帰無仮説を標本Aと標本Bの母集団は同じであるとして設定し、Mann-WhitneyのU検定を用いて有意水準を5%に定めて検定した。まずはじめに、標本Bと標本Aを混ぜ合わせ、標本Aに該当するデータの順位の総和 W を計算する。このとき、同じ値のデータが存在した場合はそれらのデータの順位の平均値を用いている。標本Bの標本サイズが大きいことから、 W の平均値を $E(W)$ 、 W の分散を $V(W)$ とすると、 W は E と V の正規分布に近似できる。基準化変量を Z とすると、(1)式のように表すことができる。

$$Z = \frac{|W - E(W)|}{\sqrt{V(W)}} \quad (1)$$

ここで、 E および V は式(2)および(3)で与えられる。

$$E(W) = \frac{m(m+n+1)}{2} \quad (1)$$

$$V(W) = \frac{mn(m+n+1)}{12} \quad (1)$$

ここで、 m および n はそれぞれ標本Aおよび標本Bの標本数である。地域区分内のすべての格子点に対して検定を実施し、帰無仮説が採択された格子点の数を地域内の全格子点の数で割った数値を適合割合として定義する。

3. 結果

(1) 19年分のデータを利用した適合割合

過去、将来の両実験に関して、国土交通省の利用したデータと同数である19年分のd4PDFのデータを利用して適合割合を算出した。現在再現実験に関しては1985年から2003年、将来実験に関しては2051年から2069年のデータを利用した。国土交通省では将来実験に関してNHRCM20のデータのうち2081年から2109年の降雨予測の結果を利用しており、今回利用したd4PDFのデータと年度が異なっているが、d4PDFのデータに関しては全計算年に対して2090年の諸条件を境界条件として利用しており、60年分のうちどの19年分を取り出してもほぼ等価なデータが得られると考えられるため、今回は最初の19年分とした。

図-2に過去実験における関東、中国西部、九州南東部における適合割合を、図-2から図-5に将来実験における関東、中国西部、および九州北西部における適合割合を示す。図中の横軸は年積算最大降雨を計算する際の降雨継続時間を、縦軸は適合割合を表す。またNHRCMは国

国土交通省の算出結果、d4PDFは今回の計算結果であり、プロットは中央値、エラーバーの上下はそれぞれアンサンブル実験結果における最大・最小値を表す。なおこれらの地域は過去実験・将来実験ともに、適合割合の中央

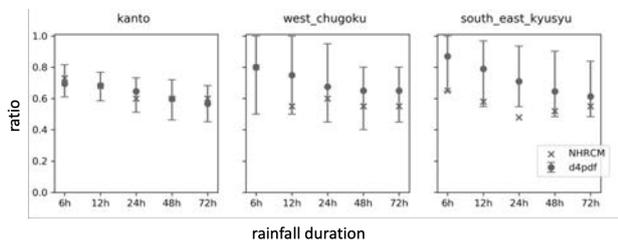


図-2 関東、中国西部、九州南東部における60年分の過去実験に対する降雨継続時間別の適合割合

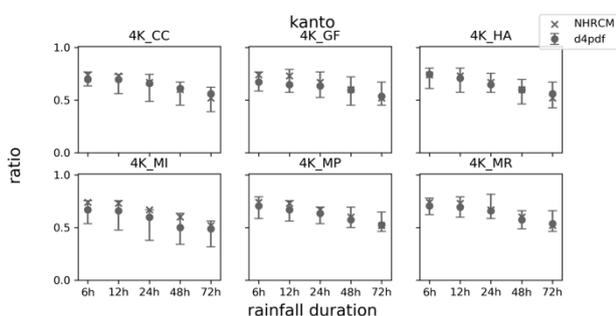


図-3 関東における、19年分のデータを使用した際の各SSTの各降雨継続時間の適合割合

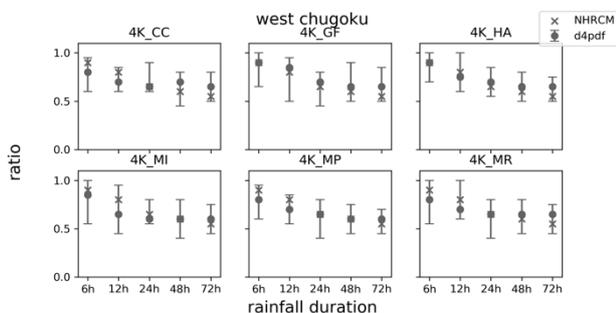


図-4 中国西部における、19年分のデータを使用した際の各SSTの各降雨継続時間の適合割合

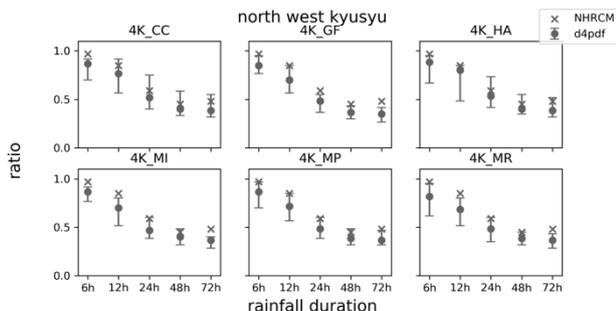


図-5 九州北西部における、19年分のデータを使用した際の各SSTの各降雨継続時間の適合割合

値に近いが幅が広い地域（中国西部），最大値および最小値付近に国土交通省の結果が存在する地域（九州北西部）の例として表している。

図-2から図-5に表されているように、一部の例外を除いて国土交通省の算出した適合割合は、現在実験に関してはd4PDFの50アンサンブルの適合割合の範囲内に、将来実験に関しては各SSTにおいて15アンサンブルの適合割合の範囲内に収まった。その他の地域においても、図-2から図-5と同様に中央値の傾向が国土交通省の算出結果の傾向とやや異なっている場合も存在しているが、概ねd4PDFの適合割合の中に国土交通省の結果は含まれている。

(2) 60年分の現在再現実験データにおける適合割合

現在再現実験に関して、d4PDFの各アンサンブルに対する各地域の適合割合を、全アンサンブルにおいて平均したものを表-1のdの列に表す。表-1のNの欄には国土交通省が算出したNHRCM20の19年分のデータを利用した場合の適合割合⁶⁾を示す。

九州南東部の降雨継続時間が24時間の場合を除き、全降雨継続時間、全地域区分においてd4PDFのデータにおける各アンサンブルの適合割合の平均値が国土交通省算出の適合割合よりも小さい値となった。特に東北東部、瀬戸内、四国南部においては12時間以下の積算降雨に関して平均値が国土交通省の算出値を大きく下回る結果となった。これは中央値に対しても同様である。

次に、d4PDFの計算結果における、各降雨継続時間に対する各アンサンブルのとりうる値の幅を全地域区分に対して平均したものを表-2に表す。下段には比較として19年分のデータを利用した際の結果を示す。

表-1 降雨継続時間別の各地域区分に対する各データセットにおける適合割合の平均

降雨継続時間	6時間		12時間		24時間		48時間		72時間	
	d	N	d	N	d	N	d	N	d	N
北海道北部	0.53	0.73	0.53	0.74	0.57	0.78	0.55	0.77	0.51	0.74
北海道南部	0.46	0.64	0.44	0.62	0.43	0.55	0.42	0.58	0.41	0.59
東北西部	0.42	0.75	0.36	0.62	0.32	0.51	0.26	0.46	0.24	0.39
東北東部	0.40	0.64	0.39	0.62	0.39	0.67	0.41	0.64	0.41	0.64
関東	0.54	0.73	0.50	0.68	0.42	0.6	0.37	0.6	0.34	0.6
北陸	0.32	0.56	0.31	0.56	0.29	0.47	0.27	0.44	0.29	0.47
中部	0.35	0.57	0.30	0.46	0.25	0.42	0.22	0.42	0.21	0.34
近畿	0.64	0.8	0.58	0.77	0.51	0.63	0.48	0.67	0.45	0.67
紀伊南部	0.55	0.81	0.47	0.71	0.39	0.52	0.29	0.48	0.26	0.48
山陰	0.68	0.78	0.67	0.8	0.65	0.88	0.64	0.85	0.63	0.8
瀬戸内	0.62	0.93	0.57	0.89	0.52	0.8	0.49	0.69	0.48	0.64
中国西部	0.52	0.8	0.44	0.55	0.39	0.6	0.35	0.55	0.33	0.55
四国南部	0.45	0.71	0.38	0.65	0.32	0.41	0.29	0.35	0.28	0.35
九州北西部	0.67	0.94	0.53	0.86	0.37	0.77	0.28	0.53	0.26	0.45
九州南東部	0.61	0.65	0.56	0.58	0.52	0.48	0.49	0.52	0.45	0.55

表-2 降雨継続時間別の全アンサンブルがとりうる適合割合の幅の全地域区分に対する平均値

	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間
d4PDF(60年分)	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17
d4PDF(19年分)	0.28	0.29	0.29	0.28	0.27

60年分のデータを利用して50のアンサンブルに対して適合割合を計算した場合、平均しておおよそ0.2ほどばらつきが発生することがわかる。なお、今回の計算の結果においてほぼ全ての地域および降雨継続時間に対して国土交通省算出の適合割合がd4PDFを用いた場合の適合割合の値の範囲に入っていない。例外として近畿の6時間、紀伊南部の24時間、山陰の6時間、中国西部の12および24時間、そして九州南東部の全時間の積算降雨においては国土交通省算出の適合割合がd4PDFを用いた場合の適合割合の値の範囲に含まれる。

また、同じd4PDFの19年分のデータによる適合割合と比較すると、年数が増えることで使用するデータ数が増えると適合割合の平均値は各降雨継続時間に対し平均して0.22ほど低下し、また長い積算降雨に対して値の幅が小さくなる傾向が見られた。

(3) 60年分の将来予測実験データにおける適合割合

将来実験に関してd4PDFの各SSTごとに算出した全15アンサンブルに対する各地域の適合割合の平均を、全6SSTに対して平均を取ったものが表-3である。dおよびNは現在実験と同様それぞれd4PDF、NHRCMのデータを利用したものであることを表す。

全降雨継続時間、全地域においてd4PDFで算出した適合割合の平均値が国土交通省算出の適合割合を下回っている。これは中央値に関しても同様である。

次に、d4PDFの計算結果における、各SSTにおける各降雨継続時間に対する全アンサンブルのとりうる値の幅を全ての地域区分に対して平均を取ったものを表-4に表す。SSTの欄は計算に利用されたSSTの将来変化パターンの略称を表している。各SSTにおいて、下段には19年分のデータを利用した際の結果を示す。

適合割合のばらつきは、現在実験の場合と比較するとやや小さい値を取っているが、平均して0.1~0.2ほどは幅が存在していることがわかる。なお、将来実験においては紀伊南部と四国南部の一部を除く全ての国土交通省の算出結果が、d4PDFを用いた場合の適合割合の範囲内に含まれていない。四国南部に関しては、12時間以下の積算降雨においてはほぼ全てのSSTにおいて範囲内に含まれている。

表-3 降雨継続時間・地域別の全SSTおよびアンサンブルにおける適合割合の平均値

降雨継続時間	6	6	12	12	24	24	48	48	72	72
使用データ	d	N	d	N	d	N	d	N	d	N
北海道北部	0.63	0.79	0.59	0.74	0.58	0.84	0.54	0.86	0.50	0.85
北海道南部	0.54	0.75	0.46	0.68	0.42	0.63	0.41	0.58	0.41	0.61
東北西部	0.47	0.7	0.39	0.57	0.33	0.46	0.29	0.48	0.24	0.46
東北東部	0.45	0.58	0.43	0.61	0.42	0.58	0.43	0.61	0.42	0.58
関東	0.49	0.74	0.47	0.73	0.41	0.67	0.34	0.6	0.30	0.52
北陸	0.41	0.72	0.38	0.55	0.33	0.54	0.30	0.52	0.31	0.44
中部	0.37	0.65	0.29	0.57	0.23	0.47	0.20	0.39	0.18	0.38
近畿	0.69	0.9	0.62	0.9	0.55	0.87	0.51	0.77	0.49	0.77
紀伊南部	0.60	0.91	0.49	0.71	0.30	0.43	0.25	0.43	0.23	0.33
山陰	0.68	0.88	0.65	0.9	0.62	0.9	0.61	0.9	0.60	0.88
瀬戸内	0.60	0.86	0.53	0.85	0.47	0.84	0.45	0.67	0.44	0.67
中国西部	0.55	0.9	0.46	0.8	0.39	0.65	0.33	0.6	0.30	0.55
四国南部	0.47	0.53	0.39	0.47	0.32	0.38	0.29	0.38	0.28	0.41
九州北西部	0.63	0.97	0.41	0.85	0.27	0.59	0.21	0.45	0.20	0.48
九州南東部	0.70	1	0.58	0.9	0.49	0.71	0.44	0.61	0.41	0.61

表-4 SST・降雨継続時間別の、全アンサンブルがとり得る適合割合の幅の、全地域区分に対する平均値

	SST	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間
d4PDF(60年)	CC	0.21	0.18	0.15	0.14	0.14
d4PDF(19年)		0.21	0.24	0.25	0.24	0.23
d4PDF(60年)	GF	0.20	0.18	0.16	0.15	0.14
d4PDF(19年)		0.20	0.24	0.24	0.22	0.21
d4PDF(60年)	HA	0.22	0.21	0.17	0.14	0.14
d4PDF(19年)		0.21	0.24	0.23	0.22	0.21
d4PDF(60年)	MI	0.22	0.19	0.17	0.13	0.13
d4PDF(19年)		0.22	0.26	0.25	0.22	0.21
d4PDF(60年)	MP	0.23	0.19	0.18	0.18	0.15
d4PDF(19年)		0.22	0.23	0.23	0.21	0.19
d4PDF(60年)	MR	0.24	0.19	0.16	0.14	0.13
d4PDF(19年)		0.24	0.26	0.26	0.24	0.23

同じd4PDFの19年分のデータによる適合割合と比較すると、過去実験と同様に年数が増えることで適合割合の平均値は各降雨継続時間に対し平均して0.23ほど低下し、また長い積算降雨に対して値の幅が小さくなる傾向が見られた。

4. 考察

現在実験、将来実験ともに国土交通省が利用したNHRCM20のデータと分析の年数を合わせて適合割合を算出したところ、概ね国土交通省の結果がd4PDFの複数のアンサンブルによって生じる適合割合の幅の範囲内に収まった。一方で、国土交通省の算出結果がd4PDFによる適合割合の最大値や最小値に近い値を取っている地域が存在したが、これは一つのアンサンブルのみで計算を行ったことによって適合割合が過小評価や過大評価されてしまったためであると考えられる。

60年分のd4PDFのデータを用いて計算した場合とNHRCM20のデータを利用した場合で適合割合を比較すると、過去実験、将来実験の双方においてほぼ全地域の全積算降雨においてNHRCM20による結果に対してd4PDFの結果の平均値は低くなり、またd4PDFの結果の範囲にNHRCM20の結果が含まれなくなった。これは計算年数の増加によって極端現象の再現率が高まり、年最大積算降雨の分布形が変化したこと起因するのではないかと考えられるが、特に将来実験に関しては地域内での各格子点における降雨傾向が気候変動によって変化する可能性も否定できない。また、適合割合がとりうる幅に関しては将来実験の方が過去実験に比べて狭くなる傾向が見られたが、これは実測値をもとにした境界条件を与えているために計算期間内での気候変動が再現されている現在実験に対して、将来実験においては計算時間内での気候変動を想定していないことが要因として考えられる。

計算年数を19年から60年に増やしたことによる適合割合の変化を過去実験と将来実験と比較した場合、全体の傾向として、適合割合の平均値、適合割合のとり得る幅の平均値ともに両実験において同程度の低下となり、過去実験と将来実験の間で大きな違いは現れなかった。

60年間のデータを利用した場合、過去実験における東北東部および四国南部の12時間以下の積算降雨、将来実験における北海道北部の24時間以上の積算降雨および九州北西部の全積算降雨においてd4PDFとNHRCM20のデータ間で適合割合に大きな乖離が発生しているが、19年間のデータを利用した場合にはd4PDFの結果の範囲内にNHRCM20の結果が含まれていたことから、これは計算年数が少なかったために、積算降雨の分布の再現性が低かったことが原因として挙げられる。また、中国西部において過去実験と将来実験の両方において、計算年数を変化させた場合でも適合割合の幅が他地域と比較して広がったのは、特にこの地域において降雨予測の複雑性が高く、アンサンブル間で積算最大降雨の分布が大きく変化してしまうことが考えられる。

5. まとめ

大規模アンサンブル気候予測データであるd4PDFを用いて現在の治水計画において利用されている地域区分の妥当性を、その地域内の年最大積算降雨の同一性の観点から検証したところ、NHRCM20の一つのデータのみを

利用した場合と比較して計算年数を等しくした場合は同程度の同一性を示した一方で60年全てのデータを利用した場合には同一性は低下し、またアンサンブル間で一定程度の幅が生じることがわかった。また異なるSST間の差よりも、同じSSTのもとで初期条件を変えた場合の方が地域内の降雨の特性に大きな違いを生じ得るといったことも明らかになった。

今回は国土交通省が利用している地域区分を用いて地域内の降雨の同一性を検証したが、この結果でこの地域区分が将来降雨予測データを用いた外力設定において適切なものであると述べることはできない。各地域区分を他地域と結合および分割することで適合割合がどのように変化していくのか引き続き検証していく必要があり、また大規模アンサンブル気候予測データを用いて再度クラスター分析を行うことも今後の展望として考えられる。

謝辞：本研究は東京大学社会連携講座「水循環データ統融合の展開学」、JSPS科研費（18K13834, 18H01543）、文部科学省委託統合的気候モデル高度化研究プログラムにより実施された。本研究では、文部科学省による複数の学術研究プログラム（「創生」、「統合」、SI-CAT、DIAS）間連携および地球シミュレータにより作成されたd4PDFを使用した。

参考文献

- 1) 想定最大外力（洪水、内水）の設定に係る技術検討会：浸水想定（洪水、内水）の作成等のための想定最大外力の設定手法。2015
- 2) 想定最大外力（洪水、内水）の設定に係る技術検討会：参考資料1 想定最大規模降雨に関する地域区分について。2015
- 3) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方。2019
- 4) Mizuta R, and co-authors: Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. Bull. Amer. Meteor. Soc., 98, 1383–1398, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-16-0099.1>. 2017.
- 5) Sasaki H, Murata A, Hanafusa M, Oh'izumi M, Kurihara K: Reproducibility of present climate in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmosphere general circulation model. SOLA 7:173–176. <https://doi.org/10.2151/so1a.2011-044>. 2011
- 6) 気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会：気候変動を踏まえた治水計画のあり方 別紙1。2019