

<別紙 2>DAD 解析の手法と結果

1. 利用データ

DAD 解析に用いたデータを表-1 に示す。

表-1 DAD 解析に用いたデータ

データの種類	空間解像度	対象領域	計算期間	解析に用いたデータ年数
d4PDF (5km,yamada)	5km	・北海道 ・九州	現在気候： 1950年9月～2011 年8月 将来気候： 2050年9月～2111 年8月	現在気候：3,000年 (60年×50アンサンブル) 将来気候：5,400年 (60年×6SST×15アンサンブル) ※今回の解析では、1月～12月を1年単位とし、 現在気候については1951年1月～2010年12月、 将来気候については2051年1月～2111年12月 のデータを用いる。 ※各年の6月1日から12月1日の間について、 石狩川流域、常呂川流域、十勝川流域、筑後川流 域それぞれにおける流域平均雨量が最大となる 15日間のデータを抽出。 ※d4PDF(20km)の全球モデルの100アンサンブ ルから現在及び将来それぞれについて、無作為に 50及び15アンサンブルを抽出した領域モデルを ダウンスケーリングしている。
d4PDF (5km,SI-CAT)	5km	・北海道、 沖縄以外	現在気候： 1980年9月～2011 年8月 将来気候： 2080年9月～2111 年8月	現在気候：360年 (30年×12アンサンブル) 将来気候：360年 (30年×6SST×2アンサンブル) ※今回の解析では、1月～12月を1年単位とし、 現在気候については1981年1月～2010年12月、 将来気候については2081年1月～2110年12月 のデータを用いる。 ※d4PDF(20km)の領域モデルの50アンサンブ ルから現在及び将来それぞれについて、無作為に 12及び2アンサンブルを抽出しダウンスケーリ ングしている。

今回の検討では、d4PDF¹⁾の、水平解像度約20kmで日本域をカバーする領域実験の出力結果

(以降、d4PDF(20km))のうち、過去実験および将来4°C上昇実験に対して、気象研究所の非静力学地域気候モデルNHRCMを用いて水平解像度約5kmにダウンスケーリングした2種類の出力結果を用いた。一つは、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)において、地球シミュレータを用いて北海道および九州を対象領域としてd4PDF(20km)を水平解像度約5kmにダウンスケーリングした出力結果²⁾(以降d4PDF(5km,yamada))である。

d4PDF(5km,yamada)は、d4PDF(20km)の各年の6月1日から12月1日の間について、石狩川流域、常呂川流域、十勝川流域、筑後川流域それぞれにおける流域平均雨量が最大となる期間を含む15日間について、年ごとにダウンスケーリングを行ったものである。なお、地形モデルは、各格子内の標高の平均値を用いたGrid meanモデルである。対象領域を図-1および図-2に示す。

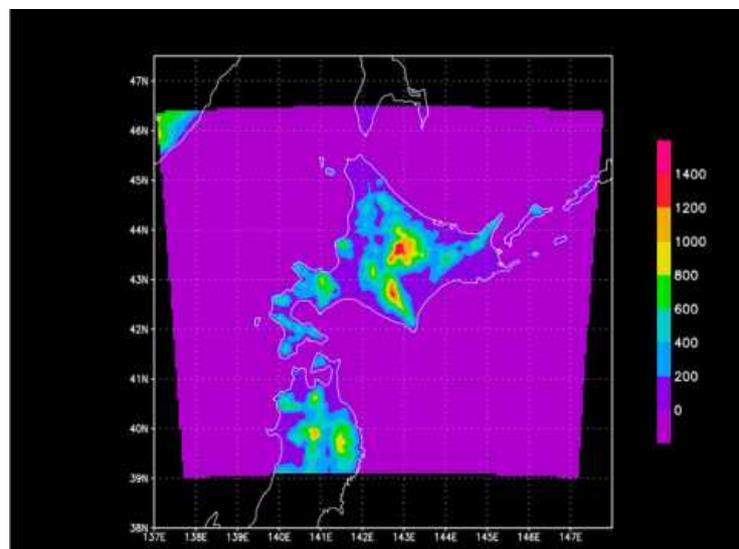


図-1 d4PDF(5km, yamada)の北海道における対象領域
(カラーコンター(標高)の範囲が対象領域)

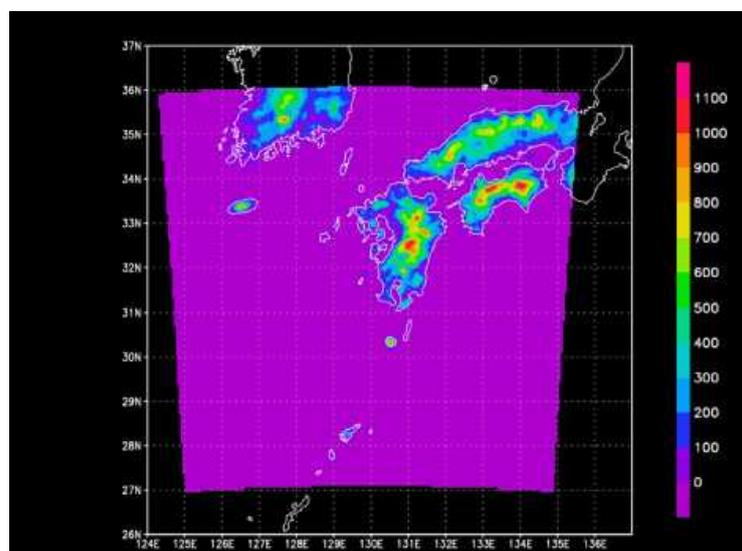


図-2 d4PDF (5km, yamada) の九州における対象領域
(カラーコンター (標高) の範囲が対象領域)

もう一方は、文部科学省の気候変動適応技術社会実装プログラム (SI-CAT) において北海道、沖縄を除く地域を対象領域として地球シミュレータを用いて d4PDF を力学的ダウンスケールした出力結果³⁾⁴⁾ (以降、d4PDF(5km,SI-CAT)) である。

d4PDF(5km,SI-CAT)は、d4PDF(20km)について、計算年数およびアンサンブル数を絞った上で、通年でダウンスケーリングを行ったものである。なお、標高データは GTOPO30 を使用し、地形モデルは、格子内平均値に各格子内の標高の分散を加えて山地の高さをより強調した Envelope mountain モデルである。対象領域を図-3 に示す。

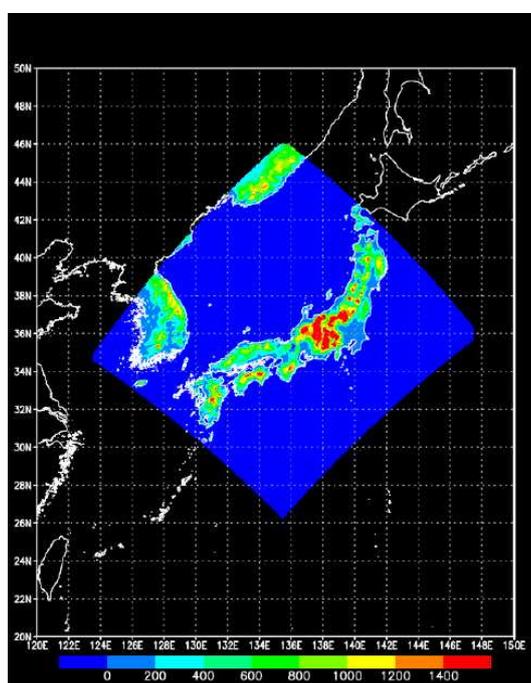


図-3 d4PDF (5km, SI-CAT)における対象領域
(カラーコンター (標高) の範囲が対象領域)

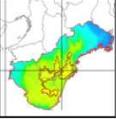
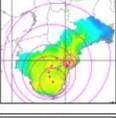
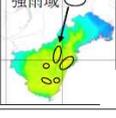
2. 解析方法

雨域の形状に応じた面積を考慮するために、任意の積算雨量以上のまとまった雨域の抽出を繰り返し、積算雨量 D (Depth) と雨域面積 A (Area) および降雨継続時間 D (Duration) の関係を整理する。

この DAD 解析手法については、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<参考資料 2>地域ごとの最大降雨量に関する解析方法等について 5)において、これまで我が国で実施された手法⁶⁾や WMO (世界気象機関 : World Meteorological Organization) が示すマニュアル⁷⁾をもとに表-2 に示す 3 タイプの解析手法とその特徴が整理されている。このうち FEM

法（変形面積法）は空間的に連続する雨域を1格子ずつ増やしながらかつて雨域の形状に応じた積算雨量を求めていくことで極めて緻密なDA関係を求めることができる解析手法と言えるが、今回の検討で使用する膨大な長期アンサンブル気候データに本手法を適用することは計算時間の観点から非現実的であると考えられた。そこで今回の検討では、既往の類似研究⁶⁾⁸⁾で採用された手法を参考に、表-2⁵⁾のうちFRM法（雨量固定法）を使用することとした。ただし、表-2で指摘されているFRM法の留意点（全く別の雨域を1つの雨域と評価することがあること）を考慮し、抽出された複数の強雨域について空間的連続性が認められないものは別の雨域として整理するようにした。具体的な解析手順を次の1)~7)に示す。

表-2 面積雨量の解析手法

解析手法		特徴
FEM法（変形面積法）		<ul style="list-style-type: none"> 降雨量の最大値を追跡して連続する任意形状に雨域を設定し、最大となる面積雨量を算定
CAM法（面積固定法）		<ul style="list-style-type: none"> 対象区域内で同心円状に一定形状を限なく移動させ、最大となる面積雨量を算定 解析結果が実河川流域での実績の面積雨量を下回る場合がある
FRM法（雨量固定法）		<ul style="list-style-type: none"> 雨量閾値以上の雨域を集約して最大となる面積雨量を算定 集計範囲を広域にとる場合、全く別の雨域を1つの雨域と評価することがある

- 1) 計算格子毎、1時間毎に雨量積算時間(1,2,3,6,12,24,48,72)毎の積算雨量を算出した。
- 2) データ中の全時刻を対象にするとデータ数が膨大であるため、図-4に示すフローに従い、雨量積算時間毎、解析範囲毎、年毎にDAD解析対象時刻の選定を行い、選定された時刻を対象として解析を行った。

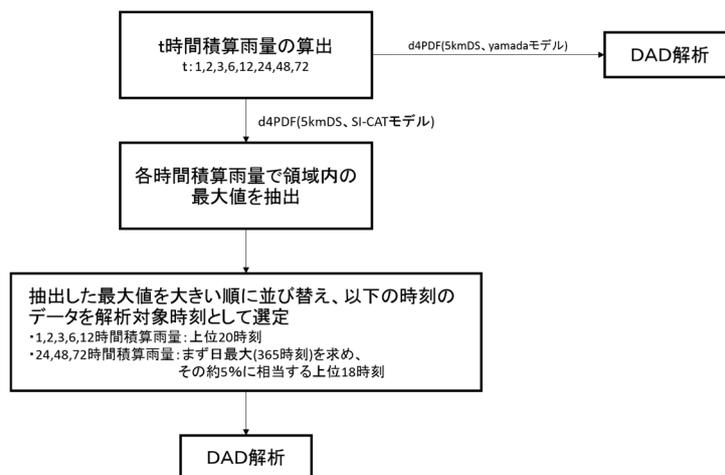


図-4 DAD 解析対象時刻の選定フロー

- 3) 解析対象時刻の降雨分布に対して表-3に示す雨量閾値を設定し、降雨分布から閾値以上の積

算雨量をもつ隣接した格子をひとまとまりの雨域として抽出した (図-5)。なお、抽出された雨域の中に閾値未満の雨量の格子点が存在する場合は、その格子点も雨域に含まれるものとして雨域面積を算出した。

表-3 雨量閾値の設定

1,2,3 時間積算雨量	雨量(R)範囲[mm]	$2 \leq R < 10$	$10 \leq R < 250$	$250 \leq R$
	刻み幅[mm]	2	10	50
6 時間積算雨量	雨量(R)範囲[mm]	$10 \leq R < 250$	$250 \leq R$	
	刻み幅[mm]	10	50	
12,24,48,72 時間積算雨量	雨量(R)範囲[mm]	$10 \leq R$		
	刻み幅[mm]	50		

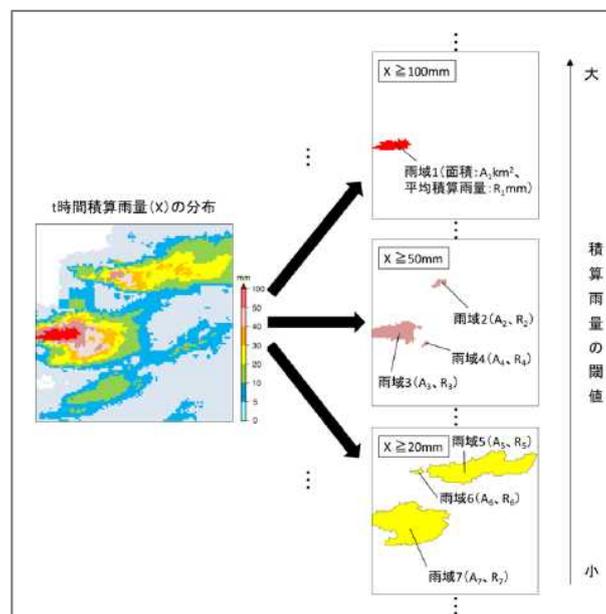


図-5 閾値以上の積算雨量となる雨域抽出のイメージ図

- 4) 抽出した雨域の面積および雨域の平均雨量を求めた。
- 5) 3)、4)を解析対象時刻毎に実施し、多数の積算雨量と雨域面積のデータサンプリングを行い、年毎に図-6 左図を作成した。この図をもとに、雨域面積が大きくなるにつれて積算雨量が少なくなるようにデータを包絡し、図-6 右図のように、任意の雨域面積に対応した積算雨量の最大値を抽出した。なお、上記の手順で最大雨量を抽出した結果、間引かれることとなる面積の最大雨量については、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 9)を参考とし、一次補間法により算出した。

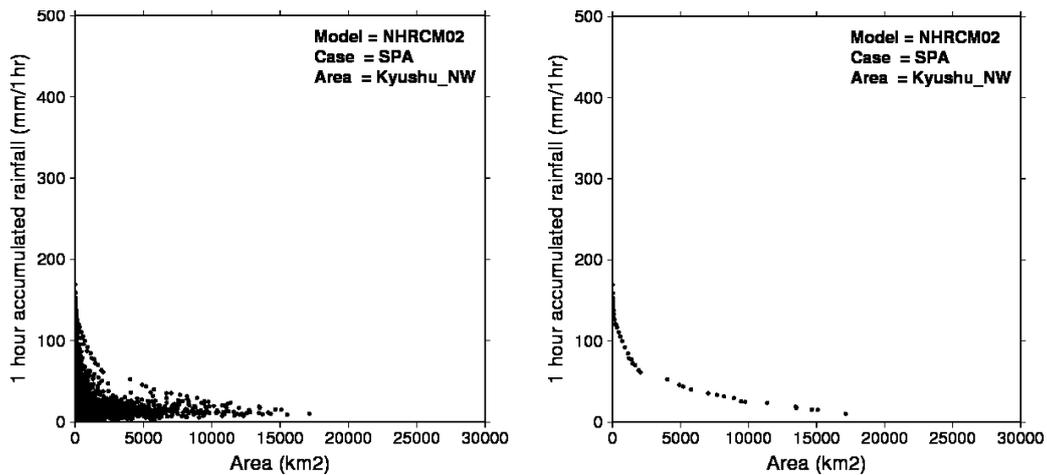


図-6 最大雨量の抽出方法の例（左図：DAD 解析の結果、右図：最大雨量を抽出した結果）

- 6) 現在気候・将来気候の各年において 100 年確率雨量を算出した。100 年確率雨量は、年最大雨量データに Gumbel 分布の確率密度関数を当てはめることで算出し、Gumbel 分布の母数は L 積率法で推定⁵⁾した。
- 7) 積算雨量の平均年最大雨量および 100 年確率雨量について、現在気候と将来気候の比（将来気候/現在気候）を求めた。

3. 解析条件

<地域区分>

DAD 解析による降雨量変化倍率の算出は、想定最大規模降雨に関する地域区分⁶⁾を用いた全国 15 地域区分毎に行った。図-7 に用いた地域区分の図を示す。

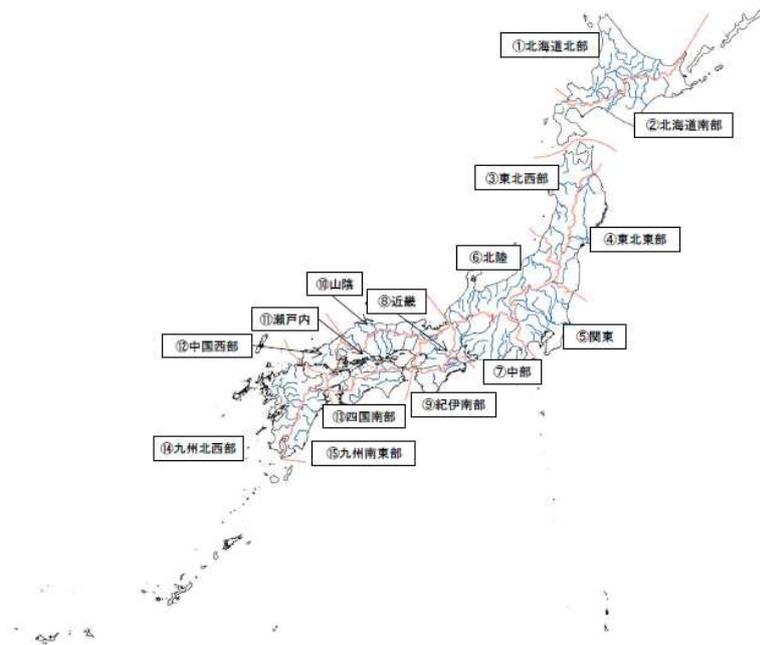


図-7 想定最大規模降雨に関する地域区分

<地域区分ごとの使用するデータ>

北海道北部・北海道南部については d4PDF(5km,yamada)、その他の地域区分については d4PDF(5km,SI-CAT)の結果を用いることとした。

※d4PDF(5km,yamada)と d4PDF(5km,SI-CAT)ではデータの期間や詳細の計算条件が異なるため、北海道北部ブロックおよび北海道南部ブロックと他の 13 地域の解析結果を併せて俯瞰的に解釈する際は、この点について留意する必要がある。なお、筑後川流域を対象として、d4PDF(5km,yamada)と d4PDF(5km,SI-CAT)の解析を比較した結果を〈参考1〉に示した。

<流域面積と降雨継続時間>

1 級河川の河川整備基本方針における、基準地点上流面積と対象降雨の降雨継続時間との関係から、流域面積 400km² までは降雨継続時間は 6～12 時間、流域面積 400km² 以上は降雨継続時間 12 時間以上が採用されている (図-8)。

このため、降雨量倍率を評価する対象を 2 区分し、大河川流域を対象に、流域面積が 400km²、1,600km²、3,600km² の 3 ケースと、降雨継続時間は 12 時間、24 時間、48 時間の 3 ケースの合計 9 ケースを用いて評価を、さらに、中小河川流域を対象に、400km² については、より短時間の降雨を評価することとした。

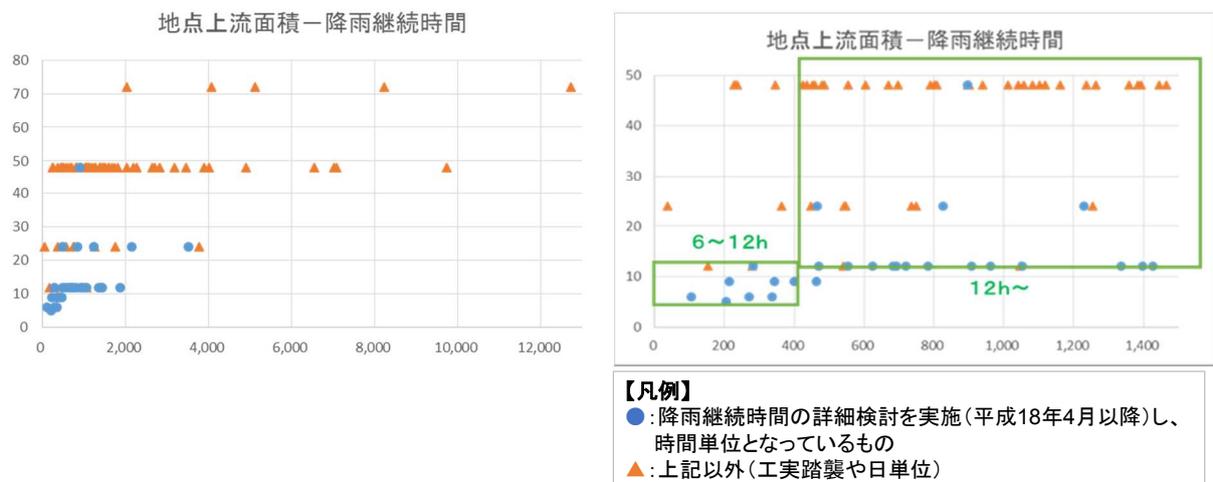


図-8 基準地点上流面積と降雨継続時間の関係

<SST と摂動の取り扱い>

各 SST は世界の様々な CGCM において計算された日本近海の海面水温分布について分類分けされたものであるが、それぞれの SST ごとに異なる系統的誤差 (バイアス) を有すると考えられる。各 SST により算出した結果を同一母集団のサンプルとして扱う場合、バイアスが異なるモデルの出力結果を混合して統計解析してしまうため、SST ごとに扱うこととした。

一方、摂動は SST ごとにあくまで観測誤差よりも小さい範囲で計算サンプル数を増やす目的で与えられるものであり、同一モデルであればバイアスは同等と考えられる。また、統計解析のサンプル数を確保する観点からも、摂動ごとの評価とはせず、まとめて扱うこととした。

4. 解析結果

<大河川流域の降雨量変化倍率の算出>

全国 15 地域を対象に、降雨継続時間が 12 時間、24 時間、48 時間の積算雨量を用いて現在気候に対する将来気候の 100 年確率雨量の変化倍率を算出した。降雨継続時間ごとに、各地域区分の海面水温毎の降雨量変化倍率を図-9~11 に示す。

地域区分毎に比較すると、北海道北部、北海道南部は他の地域に比べ変化倍率が大きくなる傾向を示し、地域毎の海面水温モデルによる変化倍率の幅には差がみられる。

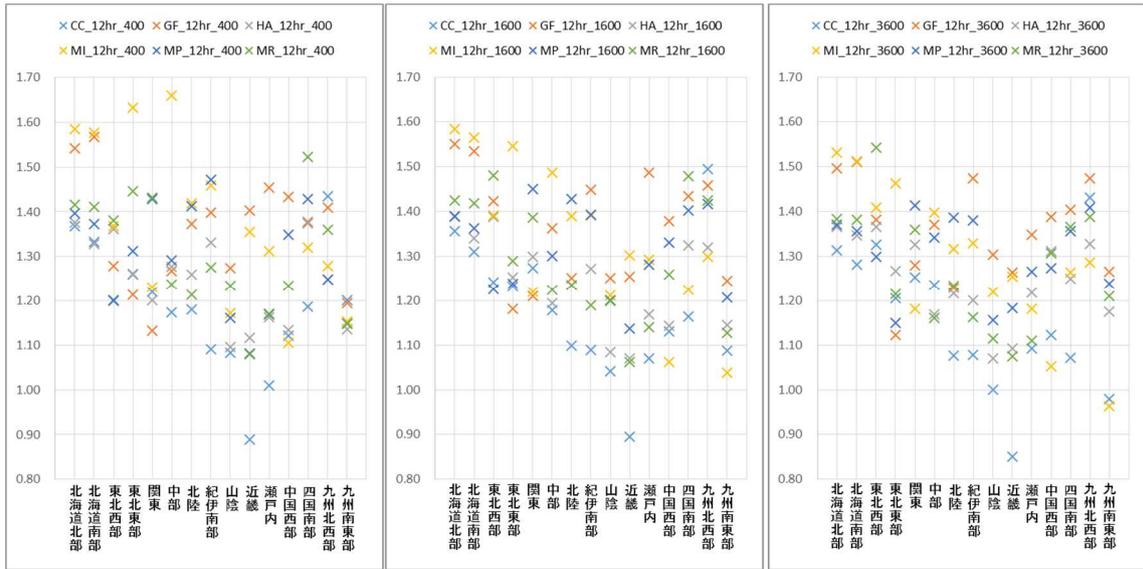


図-9 各地域区分における降雨継続時間 12 時間の海面水温モデル毎の降雨量変化倍率
(左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

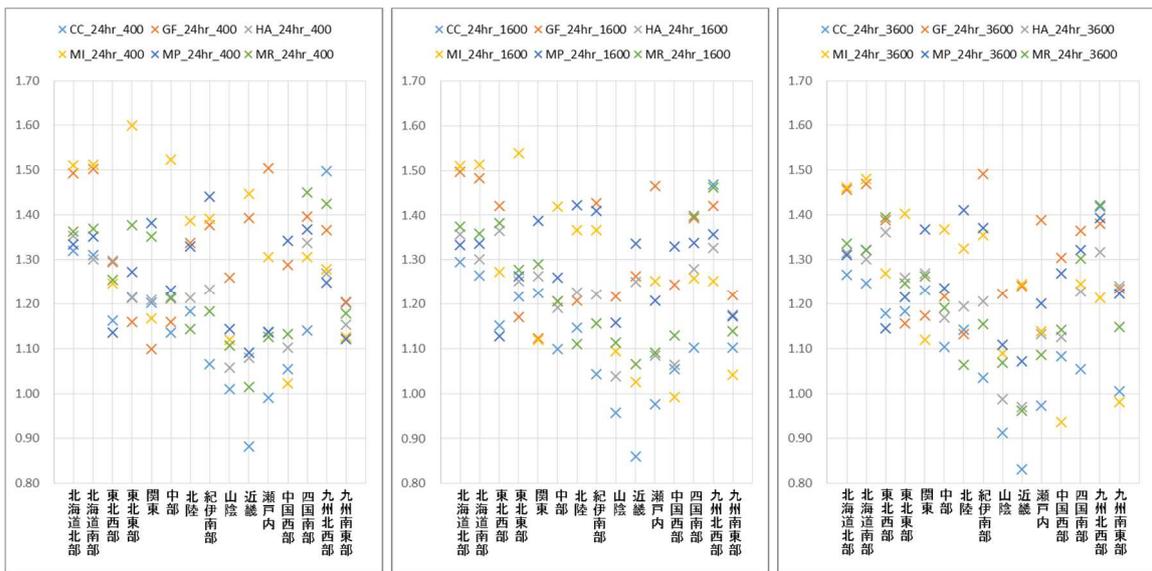


図-10 各地域区分における降雨継続時間 24 時間の海面水温モデル毎の降雨量変化倍率
(左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

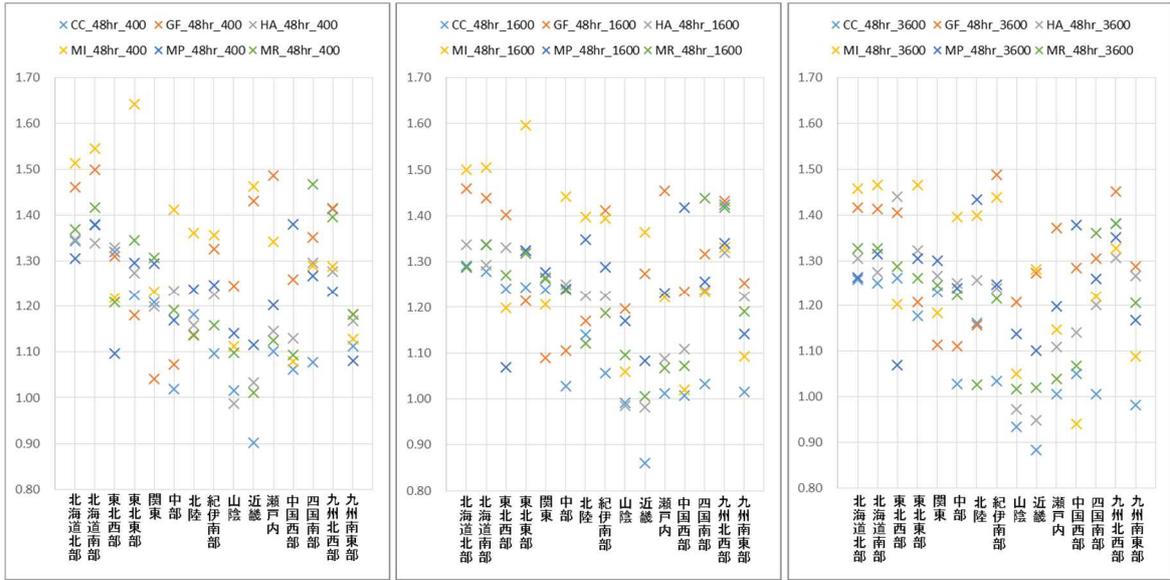


図-11 各地域区分における降雨継続時間48時間の海面水温モデル毎の降雨量変化倍率
(左から雨域面積400km²、1600km²、3600km²)

次に、地域区分ごとに、雨域面積と降雨継続時間ごとの降雨量変化倍率を図-12に示す。

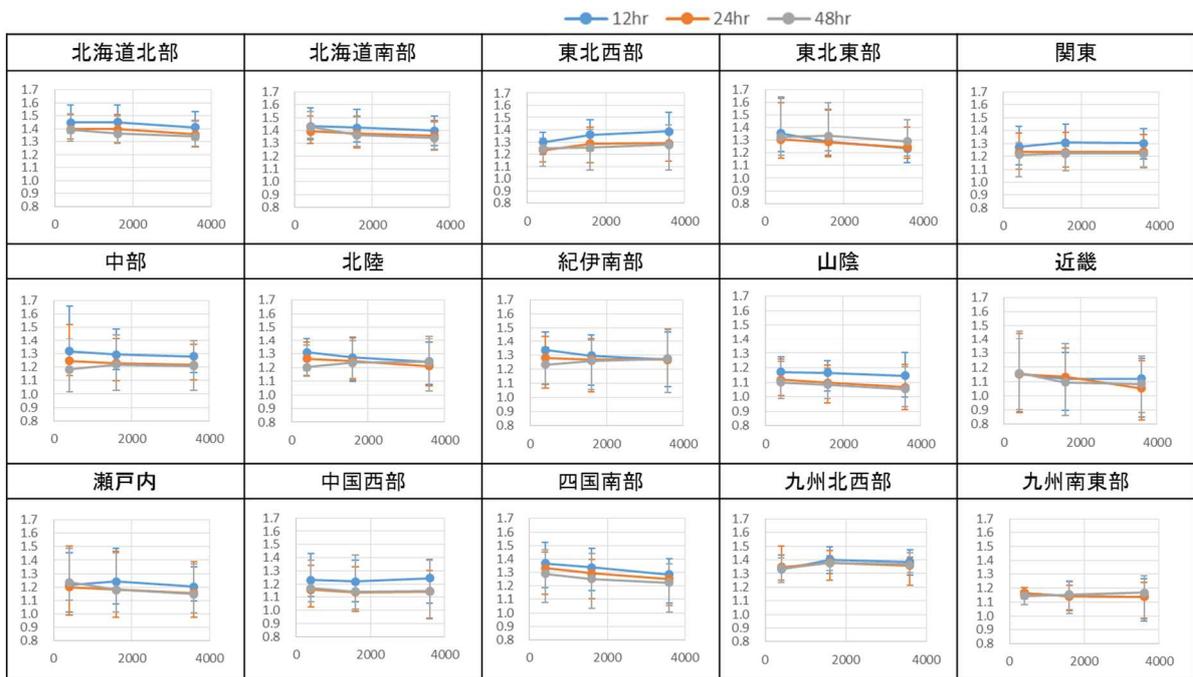


図-12 地域区分毎の雨域面積と降雨量変化倍率の関係性
(降雨継続時間12時間を青線、24時間を橙線、48時間を灰線で表している)

また、海面水温ごとの降雨量変化倍率の平均値を、雨域面積(400・1600・3600km²)・降雨継続時間(12・24・48時間)の組み合わせ毎に整理した結果を図-13に示す。

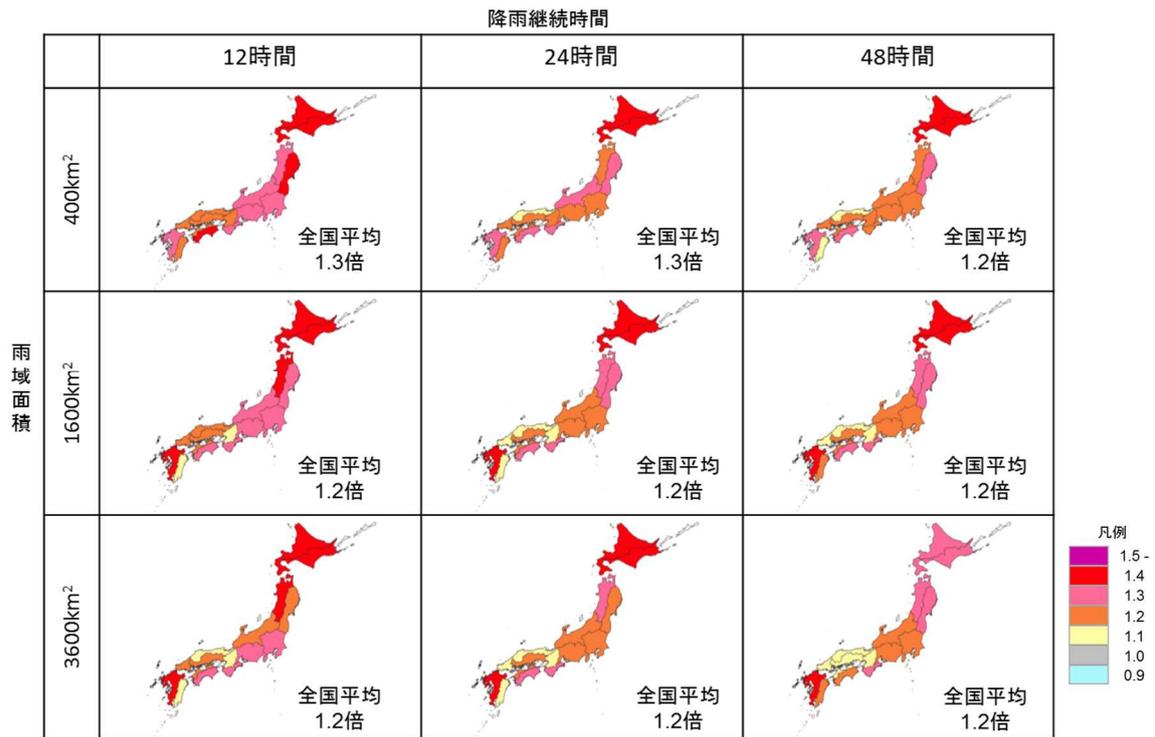


図-13 各地域区分の海面水温 6 パターンによる降雨量変化倍率の平均値

< 中小河川の降雨量変化倍率の算定 >

全国 15 地域を対象に、雨域面積が 400km²、降雨継続時間が(1,2,3,6,12,24,48,72 時間)毎の積算雨量を用いて現在気候に対する将来気候の 100 年確率雨量の変化倍率を算出した。降雨継続時間ごとに、各地域区分の海面水温毎の降雨量変化倍率を図-14~16 に示す。

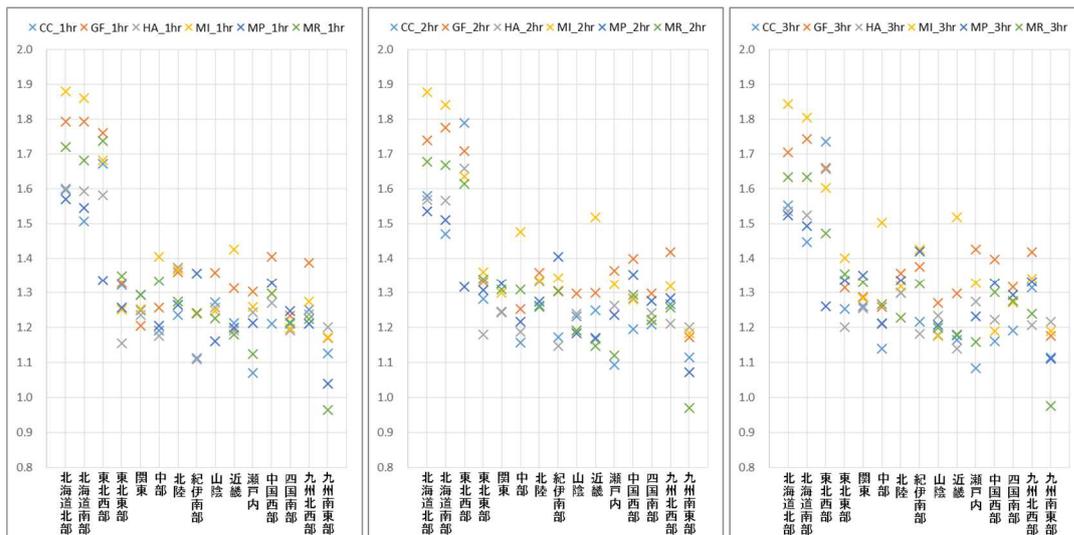


図-14 各地域区分における雨域面積 400km²の海面水温モデル毎の降雨量変化倍率
(左から降雨継続時間 1 時間、2 時間、3 時間)

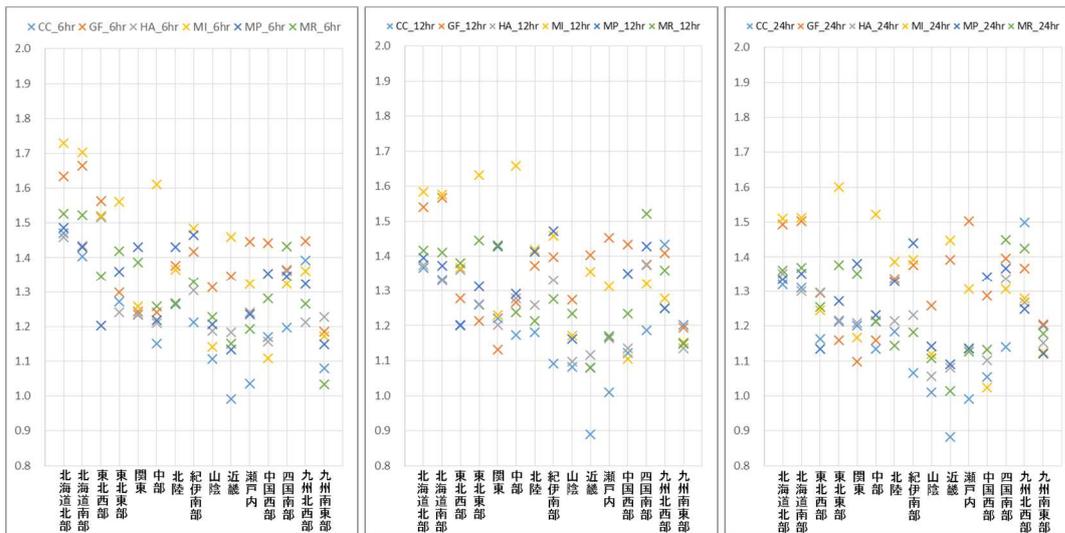


図-15 各地域区分における雨域面積 400km²の海面水温モデル毎の降雨量変化倍率
 (左から降雨継続時間 6 時間、12 時間、24 時間) ※降雨継続時間 12 時間、24 時間は再掲

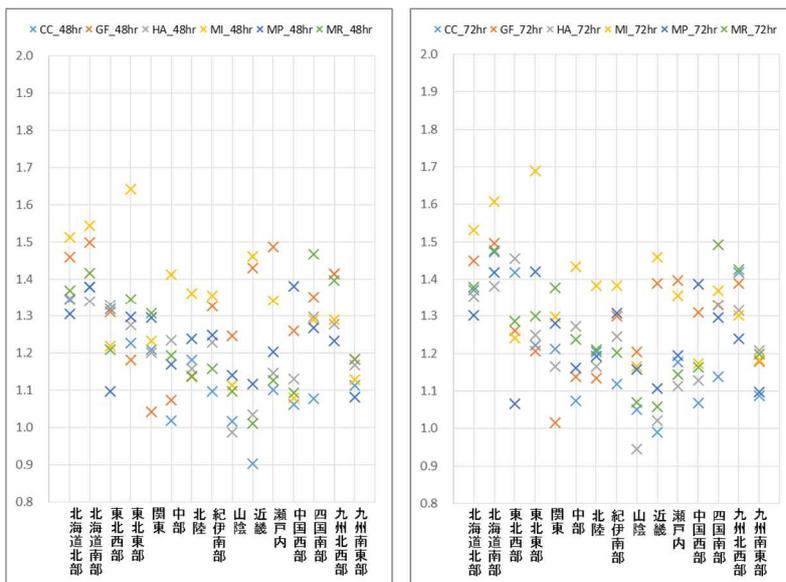


図-16 各地域区分における雨域面積 400km²の海面水温モデル毎の降雨量変化倍率
 (左から降雨継続時間 48 時間、72 時間) ※降雨継続時間 48 時間は再掲

次に、地域区分ごとに、雨域面積が 400km²の 100 年確率雨量について、降雨継続時間ごとの降雨量変化倍率を整理し、将来気候の海面水温 6 パターンによる結果の幅と平均値を図-17 に示す。

3～6 時間の降雨継続時間における変化倍率について、12～48 時間の降雨継続時間における変化倍率と比較すると、北海道北部、北海道南部、東北西部では変化倍率が顕著に大きくなる傾向を示している。

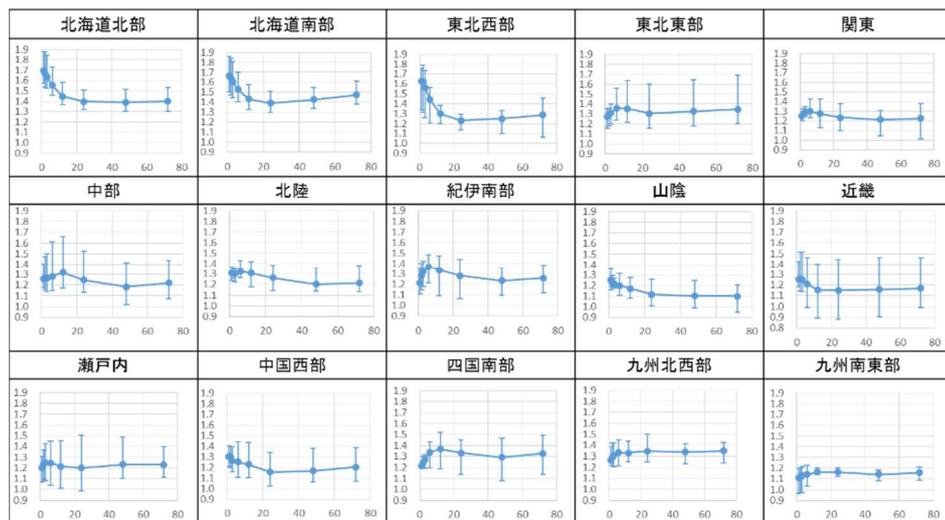


図-17 地域区分毎の降雨継続時間と降雨量変化倍率の関係性

〈参考1〉 筑後川流域における d4PDF(5km,SI-CAT)、d4PDF(5km,yamada)の比較

筑後川流域を対象に、降雨継続時間が12時間、24時間、48時間の積算雨量を用いて現在気候に対する将来気候の100年確率雨量の変化倍率を算出した。将来気候の海面水温6パターンによる結果の幅と平均値を図-18に示す。

d4PDF(5km,SI-CAT)、d4PDF(5km,yamada)による結果を比較すると、d4PDF(5km,SI-CAT)の結果は海面水温の違いによる変化倍率の幅が大きい傾向を示している。

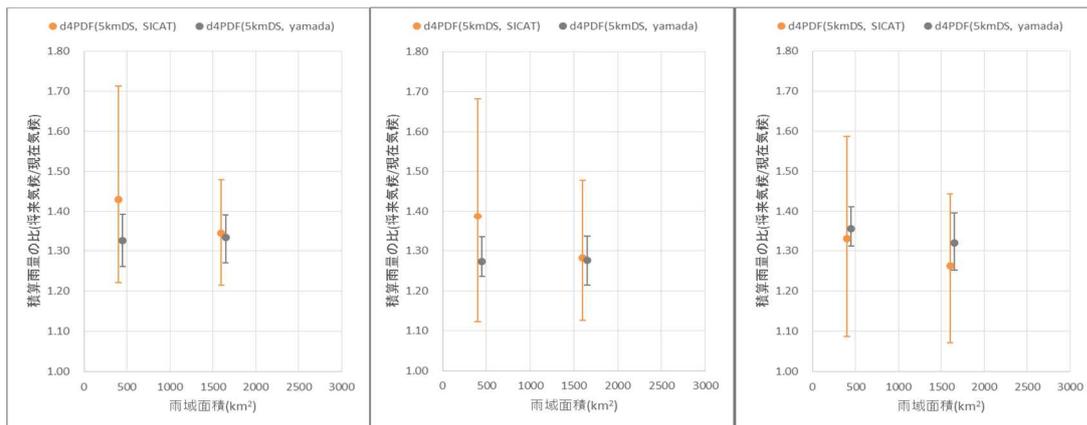


図-18 筑後川流域における d4PDF(5km, SI-CAT)、d4PDF(5km, yamada)を用いた降雨量変化倍率の比較
(左から降雨継続時間12時間、24時間、48時間)

〈参考2〉 筑後川流域と九州北西部における d4PDF(5km,SI-CAT)を用いた降雨量変化倍率

筑後川流域と九州北西部を対象に、降雨継続時間が12時間、24時間、48時間の積算雨量を用いて現在気候に対する将来気候の100年確率雨量の変化倍率を算出した。将来気候の海面水温6パターンによる結果の幅と平均値を図-19に示す。

筑後川流域と、筑後川流域を含む九州北西部ブロックを解析エリアとした降雨量変化倍率を比較したところ、九州北西部ブロックを解析エリアとした結果は、筑後川流域を解析エリアとした結果より海面水温の違いによる変化倍率の幅が小さいものの、それぞれの降雨継続時間ごとに平均的な変化倍率の値を見た場合には大きな乖離は見受けられない。

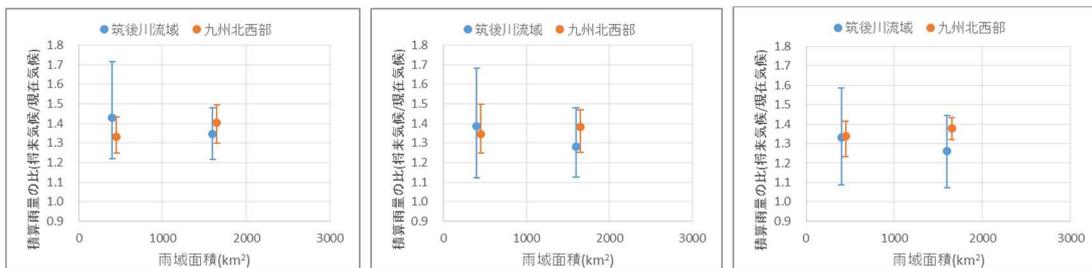


図-19 筑後川流域と九州北西部における d4PDF (5km, SI-CAT) を用いた降雨量変化倍率
(左から降雨継続時間 12 時間、24 時間、48 時間)

5. 参考文献

- 1) 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：<http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html>
- 2) 山田ほか：「北海道における気候変動による洪水リスク変化の評価」『地球シミュレータ 平成29年度アニュアルレポート 地球シミュレータ特別推進課題』, 2017[https://www.jamstec.go.jp/ceist/j/publication/annual/annual2017/pdf/2project/chapter3/3-3-2_yamada.pdf]
- 3) Kawase et al. : Characteristics of Synoptic Conditions for Heavy Snowfall in Western to Northeastern Japan Analyzed by the 5-km Regional Climate Ensemble Experiments ,2018,[<https://doi.org/10.2151/jmsj.2018-022>]
- 4) Sugimoto et al. : Impact of Spatial Resolution on Simulated Consecutive Dry Days and Near-Surface Temperature over the Central Mountains in Japan,2018,[<https://doi.org/10.2151/sola.2018-008>]
- 5) 国土交通省水管理・国土保全局：「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方法〈参考資料2〉地域ごとの最大降雨量に関する解析方法等について」, 平成27年7月
- 6) 宝馨, 端野典平, 中尾忠彦：「DAD 解析におけるレーダ雨量と非線形最適化手法の適用」, 土木学会論文集 No.691/II-57, pp.1-11, 2001.11

- 7) WMO : MANUAL FOR DEPTH-AREA-DURATION ANALYSIS OF STORM PRECIPITATION, p49
- 8) 星野剛, 山田朋人, 稲津將, 佐藤友徳, 川瀬宏明, 杉本志織 : 「大量アンサンブル気候予測データを用いた大雨の時空間特性とその将来変化の分析」, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_13-I_18, 2018.
- 9) 国土交通省水管理・国土保全局 : 「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方法」, 平成 27 年 7 月
- 10) 例えば、国土交通省水管理・国土保全局 : 「河川砂防技術基準（調査編）第 3 章水文解析」, 平成 24 年 6 月改定