ISSN 1346-7328 国総研資料 第1205号 令 和 4 年 4月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of National Institute for Land and Infrastructure Management

No.1205

April 2022

気候変動を踏まえた治水計画のための 降雨量変化倍率に関する技術資料

水循環研究室

Technical Note on the Rate of Change in Heavy Rainfall Intensity for Flood Control Planning to Cope with Climate Change

国土交通省 国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国土技術政策総合研究所資料

Technical Note of NILIM

第 1205 号 2022 年 4 月

No.1205

April 2022

気候変動を踏まえた治水計画のための降雨量変化倍率に関する 技術資料

川崎将生* 前田裕太** 猪股広典*** 秋田桜彩**** 幕内加南子***** 山地秀幸****** 工藤俊***** (研究期間:平成 28 (2016)年度~令和 3 (2021)年度)

Technical Note on the Rate of Change in Heavy Rainfall Intensity

for Flood Control Planning to Cope with Climate Change

KAWASAKI Masaki* MAEDA Yuta ** INOMATA Hironori *** AKITA Saaya **** KUDO Shun ***** MAKUUCHI Kanako ***** YAMAJI Hideyuki ******

概要

本資料は、国土技術政策総合研究所が国土交通省「気候変動を踏まえた治 水計画に係る技術検討会」に提供した降雨量変化倍率に関する技術資料を補 足、再整理したものである。

- キーワート: : 降雨量変化倍率、気候変動、治水計画

Synopsis

NILIM prepared the technical reports on the ratio of the intensity of heavy rainfall in future to that in the past, and provided them for the expert meeting on flood control planning to cope with climate change. This technical note contains the re-edited version of the reports with supplementary information.

Key Words :

the Rate of Change in Heavy Rainfall Intensity, Climate Change, Flood Control Planning

役職(研究当時)		担当期間	Job Title (at that time)
*河川研究部 水循環研究室長	Ŧ	平成 28 年度~ 令和 3 年度	Head, Water Cycle Division, River Department
**河川研究部水循環研究室 当	主任研究官	令和 2 年度~ 令和 3 年度	Senior Researcher, Water Cycle Division, River Department
***河川研究部水循環研究室 当	主任研究官	平成 28 年度~ 平成 28 年度	Senior Researcher, Water Cycle Division, River Department
****河川研究部水循環研究室 硕	研究官	令和 2 年度~ 令和 3 年度	Researcher, Water Cycle Division, River Department
*****河川研究部水循環研究室 硕	研究官	平成 29 年度~ 令和 2 年度	Researcher, Water Cycle Division, River Department
******河川研究部水循環研究室 砑	研究官	平成 30 年度~ 令和元年度	Researcher, Water Cycle Division, River Department
*******河川研究部水循環研究室 砙	研究官	平成 28 年度~ 平成 30 年度	Researcher, Water Cycle Division, River Department

気候変動を踏まえた治水計画のための降雨量変化倍率に関する技術資料

目次

1	総説・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	1.1 本資料の背景と位置づけ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1-1
	1.2 技術検討会における降雨量変化倍率の設定値・・・・・・・・・・・・・・・1-2
2	降雨量変化倍率の検討にあたっての背景・考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・-2-1
	2.1 治水計画において気候変動予測モデルを活用するにあたっての観点・・・・2-1
	2.2 降雨量変化倍率の活用イメージ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・2-3
3	降雨量変化倍率の算出に用いたデータ、地域区分の設定および解析手法・・・・3-1
	3.1 降雨量変化倍率の算出に用いたデータ・・・・・・・・・・・・・・・・・3-1
	3.1.1 気候変動予測技術の発展・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・-3-1
	3.1.2 データの諸元・・・・・3-3
	3.1.3 データの現況再現性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・-3-7
	3.1.4 誤差の取扱い・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・
	3.1.5 ダウンスケーリング手法の比較・・・・・・・・・・・・・・・・・・・-3-9
	3.2 降雨量変化倍率を算出する地域区分・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・-3-11
	3.2.1 地域区分の考え方・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-11
	3.2.2 地域区分の検討ケース・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-11
	3.2.3 地域区分の検討に用いたデータ・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-15
	3.2.4 地域区分内の降雨の類似性評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-16
	3.2.5 地域区分ケースの評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-18
	3.3 DAD 解析及び降雨量変化倍率の算出・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・3-22
4	降雨量変化倍率の算出結果及び考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-1
	4.1 降雨量変化倍率の整理方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-1
	4.2 大河川流域における降雨量変化倍率・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-2
	4.2.1 算出結果・・・・・4-2
	4.2.1.1 d4PDFの算出結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-2
	4.2.1.2 d2PDFの算出結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-8
	4.2.2 北海道の降雨量変化倍率に関する考察・・・・・・・・・・・・・・4-16
	4.2.2.1 気温と飽和水蒸気圧の関係からの考察・・・・・・・・・・4-16
	4.2.2.2 海面水温からの考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-18
	4.2.3 九州北西部の降雨量変化倍率に関する考察・・・・・・・・・・・4-20

	4.2.3.1 海面水温からの考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-20
	4.2.3.2 気象擾乱からの考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-25
	4.3 中小河川流域における降雨量変化倍率・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-31
	4.3.1 気候変動による短時間、小面積での降雨量変化・・・・・・4-31
	4.3.2 短時間の降雨量変化倍率・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-31
	4.3.3 小面積の降雨量変化倍率・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-37
	4.4 島しょ部(沖縄)における降雨量変化倍率・・・・・・・・・・・・・・・-4-40
	4.4.1 島しょ部(沖縄)の検討に使用したデータ・・・・・・・・・・-4-40
	4.4.2 島しょ部(沖縄)の降雨量変化倍率・・・・・・・・・・・・・・・・4-43
5	結語・・・・・・・・・・・・5-1

謝辞

1 総説

1.1 本資料の背景と位置づけ

近年、平成29(2017)年九州北部豪雨、平成30(2018)年7月豪雨、令和元(2019)年東 日本台風、令和2(2020)年7月豪雨等、毎年のように豪雨災害による甚大な人的被害・社 会経済被害が生じている。今後、気候変動の影響による豪雨の更なる激甚化・頻発化に伴う 被害拡大が懸念される中、気候変動に適応した治水計画への転換は喫緊の課題である。

国土交通省においては、平成 19 (2007)年の国連気候変動に関する政府間パネル(以下、「IPCC」という。)の第4次評価報告書を踏まえ、同年に社会資本整備審議会河川分科会に「気候変動に適応した治水対策検討小委員会」が設置され、平成 20 (2008)年に同審議会より「水災害分野における地球温暖化に伴う気候変化への適応策のあり方について答申」として、気候変動適応策の基本的考え方が示された。また、平成 25~26 (2013~2014)年の IPCC第5次評価報告書を受け、上記小委員会が平成26 (2014)年に再開され、平成27 (2015)年に「水災害分野における気候変動適応策のあり方について~災害リスク情報と危機感を共有し、減災に取り組む社会へ~答申」が出された。ここでは、「想定最大外力での浸水想定区域」といったソフト対策の必要性や「施設計画、設計等のための気候変動予測技術の向上」の必要性等が示された。その後、平成30 (2018)年に「施設能力を上回る外力に対して(中略)ハード対策も含めた気候変動適応策の検討が進められる環境を整える必要がある」として「気候変動を踏まえた治水計画の前提となる外力の設定手法」等を検討するための「気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会」(以下、「技術検討会」とする)が設置され、令和元 (2019)年10月に「気候変動を踏まえた治水計画のあり方提言」(以下、

「提言」とする)が出され、その後、同提言については、暫定値を精査した改訂版が令和3 (2021)年4月に出された。

国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」とする。)は、気候変動を踏まえた治水計画の 立案において重要な役割を果たす「現在気候と将来気候との降雨量の比」(以下、「降雨量変 化倍率」とする)について、大量アンサンブル気候変動予測データを用いて算出し、その結 果について、地域区分ごとの値の分布傾向を明らかにした上で、その要因を気温・飽和水蒸 気圧の関係や海面水温等の観点から分析した技術資料を技術検討会に提供してきた。そし て、同資料などをもとに、技術検討会において議論が行われ、気候変動を踏まえた治水計画 に用いる降雨量変化倍率が設定された。

本資料は、技術検討会に提供した国総研作成の技術資料について、算出方法や考え方を提 供者の立場から詳述するものである。そのため、必ずしも技術検討会において明示的に議論 を経た内容のみで構成されるわけではなく、国総研独自の解釈が含まれうることに注意い ただきたい。

気候予測技術の発展はめざましく、日進月歩である。今後、新たな技術的知見が得られた 際に、気候変動を踏まえた治水計画の立案について、過去の手法を参考とし、更なる改善を 行うため、本資料がその一助となることを期待する。

1.2 技術検討会における降雨量変化倍率の設定値

技術検討会では、気候変動を踏まえた治水計画の前提となる外力の設定手法や気候変動 を踏まえた治水計画に見直す手法等について検討が行われ、提言(令和3年4月改訂)¹⁾に おいて表-1.1に抜粋する降雨量変化倍率が設定された。提言の本文及び別紙1~3の全文は、 原典を参照されたい。

		降雨継続時間 12時間以上	降雨継続時間 3時間以上12時間未満	降雨継続時間 3時間未満
4℃上昇		1.3	1.4	—
	北海道、九州北 西部	1.4	1.5	—
	その他の地域 (沖縄含む)	1.2	1.3	—
2℃上昇		1.1	1.1	1.1
	北海道	1.15	1.15	1.15
	その他の地域 (沖縄含む)	1.1	1.1	1.1

表-1.1 降雨量変化倍率¹⁾

【適用範囲】

- ・4℃上昇時における降雨継続時間12時間未満の値は、3時間未満では適用できない。
- ・雨域面積 100km2 以上について適用する。ただし、100km2 未満の場合についても降雨量 変化倍率が今回設定した値より大きくなる可能性があることに留意しつつ適用可能とす る。
- ・年超過確率 1/200 以上の発生頻度の降雨を対象とする計画に適用する。

【留意事項】

・降雨量変化倍率は、現在気候に対する将来気候の状態を表す。なお、4℃上昇時の降雨量 変化倍率は、21世紀末時点の将来気候であり、2℃上昇時の降雨量変化倍率については、 RCP2.6では2040年頃以降の気温上昇が横ばいとなることから、2040年以降の値として 適用可能。

【計算条件】

- ・現在気候の実験期間は、d4PDF(5km,SI-CAT)が1980~2011年(中間年1995年)、 d4PDF(5km,yamada)が1951~2010年(中間年1980年)であり、中間年でみると15年 の差があるが、現在の治水計画では主に戦後以降のデータを対象としているため、 d4PDF(5km,yamada)の実験期間である1951~2010年を基準とする。なお、1951~1980 年を基準とすると、d4PDF(5km,SI-CAT)の降雨量変化倍率は約0.02倍低く評価されてい るが、それも考慮した上で上表のとおりとする。
- ・降雨量変化倍率は年超過確率1/100規模の降雨量を用い設定しているが、適用対象の治水計画の目標規模に幅があるため、確率規模を変化させて降雨量変化倍率の感度分析を実施した。これらの結果は、いずれの確率規模においても年超過確率1/100の降雨量変化倍率と同程度の値となっていること、及び降雨量変化倍率の算定に用いたアンサンブル数を踏まえ、年超過確率1/200以上の規模の計画へ適用することが可能と考える。
- ・沖縄は、d4PDF等の計算領域外であるためNHRCM02を用いて年超過確率1/30~1/50 規模の降雨量変化倍率を算定、その他の地域はd4PDF等を用いて年超過確率1/100規模 の降雨量変化倍率を算定。

【参考文献】

1) 国土交通省「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」提言(令和3年4月改訂)

2 降雨量変化倍率の検討にあたっての背景・考え方

2.1 治水計画において気候変動予測モデルを活用するにあたっての観点

気候変動は、社会経済発展や放射強制力のシナリオによっては、異なる水準をとることが 予測されている¹⁾。そのため、気候変動を踏まえた治水計画(河川整備基本方針や河川整備 計画)の立案にあたっては、過去の実績データのみに頼ることはできず、各種シナリオを考 慮できる気候変動予測モデルによる予測結果が必要となる。

治水計画において気候変動予測モデルを活用するにあたっては、治水計画として必要と される性質<治水1~3>と気候変動予測モデルの技術水準<気候1~3>とを踏まえて、活 用方法を検討する必要がある。下記にその観点を示す。

<治水1>治水計画は低頻度かつ極端な豪雨を対象としている 治水計画は、一般に低頻度かつ極端な豪雨による洪水に対して、洪水防御が図られるよう 計画されており、河川整備基本方針で対象とする降雨の生起確率は、一級河川において 1/100~1/200 となっている。

<治水 2>長期方針に頻繁な見直しはなじまない

治水計画のうち、特に河川整備基本方針は、一般に数十年以上の長期に渡り、水系ごとの 河川整備に適用される方針である。河川整備基本方針は、基本方針流量を超過する洪水が発 生した場合や、降雨-流出特性や洪水の流下特性などの基本高水等を算定する条件が大き く変化した場合など、必要な見直しは適宜行われるものの、長期方針という性質から頻繁な 見直しはなじまない。

<治水3>治水計画の対象とする水系の特徴は様々である

治水計画に関する検討は従来から水系単位で発生した降雨イベントを基に検討されるこ とが多く、水系が位置する地域や流域面積、対象とする降雨イベントの降雨継続時間などの 特徴は様々に異なる。これらの特徴により、気候変動による影響の程度が無視できないほど 変化する可能性があるため注意が必要である。

<気候1>気候変動予測モデルにより大量アンサンブル計算を行ったデータが整備された 3.1.1 項に後述するが、近年の気候変動予測技術の発展はめざましく、大量アンサンブル 計算を行った d4PDF 等が整備・公表されたことによって、治水計画の対象とするような低 頻度かつ極端な豪雨についても直接評価できるようになってきている。なお、国総研が平成 25(2013)年に公表した気候変動による降雨量変化の評価は、当時としては最先端の気候変 動予測モデルを用いたものであったが、大量アンサンブル計算が行われておらず、降雨量の 確率評価までは行えていなかった²⁾。 <気候2>気候変動予測モデルによる計算結果には系統誤差(バイアス)が含まれている 気候変動予測モデルは現実の大気や海洋の運動を完璧に再現できるものではなく、計算 結果には気候モデル特有の系統誤差(バイアス)が含まれているため、気候モデルによる予 測値をそのまま利用するのは適切ではないと指摘されている³⁾。

<気候3>小スケールにおける気候変動予測では不確実性が大きくなる 地域的な気候の変化には、世界規模や大陸規模で平均的に現れる変化に比べて、大気・海 洋の自然変動の影響が現れやすくなることや、気候モデルで再現できる現象のスケールは 水平解像度の数倍程度以上のものであり、都道府県レベルなどある程度の広がりを持つ領 域を対象として結果を解釈する必要があることが指摘されている³⁾。

これらの観点を踏まえて、本資料における分析方針を整理した。詳細は、3章に示す。 ①気候変動予測モデルによる大量アンサンブル計算結果の活用(3.1節参照)

<治水1>、<気候1>を踏まえて、治水計画の対象とするような低頻度かつ極端な豪雨 を評価するため、気候変動予測モデルによる大量アンサンブル計算結果を用いる。

②降雨量変化倍率の算出(3.2~3.3節参照)

<気候2>を踏まえて、バイアスに対処するため、次の2種類の手法が考えられる。1つ は、気候変動予測モデルからメッシュ時系列データで出力される予測結果にバイアス補正 を行った上で評価する手法である。もう1つは、気候変動による影響を予測結果から指標 として抽出し、既往の計画立案手法に対して変化分として適用する手法である。

前者は、例えば、降雨のメッシュ時系列データにバイアス補正を行った上で、水系ごとの 流出解析モデルへ直接入力することなどが考えられる。大量アンサンブルデータを捨象す ることなく最大限活用できる点がメリットである一方、特に小面積の水系にとっては不確 実性が大きくなる可能性がある(<気候 3>)とともに、今後の気候変動予測技術の発展に よって値が大きく変動する可能性がある(<治水 2>)。また、バイアス補正手法は様々な ものが提案されており、その特徴や仮定をよく理解して選択する必要がある。

後者は、例えば、気候変動予測モデルから出力される降雨データより、気候変動に伴う降 雨量の増加率及びその全国的な変化傾向を分析し、現在気候の降雨量に乗じることなどが 考えられる。降雨量変化倍率はこの手法に属している。前者の手法と比較し、降雨の時空間 パターンなど、対象とした指標以外の変化を十分に活用できない点がデメリットであるが、 気候変動による大局的な変化傾向を掴むことで安定的な指標となり(<治水 2>)、変化要 因の説明もしやすくなることがメリットである。

降雨量変化倍率が採用された経緯は提言に記載されているが、補足的に本資料では<治水 2><気候 2,3>の観点から降雨量変化倍率という手法の特徴を理解した上で、以降の検討を進めた。

③地域区分の導入(3.2節参照)

<治水 2><気候 3>を踏まえて、ある程度の広がりを持つ領域を対象とし、極力安定した降雨量変化倍率の値を得る観点から、降雨特性が類似する複数の地域への分割区分(地域区分)を導入する。

④DAD 解析を用いた分析(3.3節参照)

<治水 3>を踏まえて、③の地域区分で発生する降雨に対して、DAD 解析を行い雨域面 積や降雨継続時間ごとに降雨量変化倍率を求め、地域区分や雨域面積・降雨継続時間による 違いがどの程度あるか傾向の分析を行う。

2.2 降雨量変化倍率の活用イメージ

降雨量変化倍率は、水系ごとに策定される河川整備基本方針において、実績雨量から算出 される確率雨量に乗じることが活用手法の一つとして念頭に置かれている。技術検討会の 提言(令和3年4月改訂)が出された以降、実際に、新宮川水系、五ヶ瀬川水系、球磨川水 系において、現時点での技術開発の水準を踏まえて気候変動の影響を考慮した基本高水の 検討フロー(図-2.1)において降雨量変化倍率が活用されている⁴⁾。本資料においても、降 雨量変化倍率についてこのような活用手法を想定した上で検討を行った。



図-2.1 降雨量変化倍率の活用イメージ⁴⁾

【参考文献】

- 1) IPCC WG I : Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers, 2021
- 2) 国土技術政策総合研究所:気候変動適応策に関する研究(中間報告),国土技術政策総合 研究所資料第749号,2013
- 3) 気象庁:地球温暖化予測情報第9巻, 2017, http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vo l9/pdf/all.pdf
- 4) 社会資本整備審議会 河川分科会 河川整備基本方針検討小委員会:第115 回資料1「河 川整備基本方針の変更の考え方について」,2021

3 降雨量変化倍率の算出に用いたデータ、地域区分の設定および解析手法

3.1 降雨量変化倍率の算出に用いたデータ

3.1.1 気候変動予測技術の発展

気候変動による将来の降雨の変化については、文部科学省、気象庁、環境省、各大学等に より様々な予測計算が行われ、そのデータは、文部科学省の地球環境情報プラットフォーム であるデータ統合・解析システム (DIAS) ¹⁾等を通じ公表されてきた(表-3.1)。

近年は、気候変動予測モデルの開発など、将来の気候状況を予測するための技術開発が急 速に進展している。例えば、モデルに観測誤差の範囲内の摂動を与え、大量のアンサンブル 計算を行ったデータの整備により、台風や集中豪雨等の災害をもたらすような極端現象の 確率的な評価が可能となっている。さらに、モデルによる力学的ダウンスケーリング(以下、

「ダウンスケーリング」とする)を行ったデータの整備により、力学的な整合性を維持した 上でデータを時間的、空間的に詳細化することが可能となっている。

具体的には、平成 27(2015)年に、IPCC 第5次評価報告書で示された 4 つの RCP シナ リオを前提として、解像度 20km で計算されたデータが、環境省、気象庁により「21 世紀 末における日本の気候²⁰」として整備、公表された。

平成 28(2016)年には、RCP8.5 を前提として、これまでにない大量のアンサンブル計算 を、解像度 20km で行った d4PDF (d4PDF: 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))が、 気象庁気象研究所、京都大学防災研究所等が参画する「気候変動リスク情報創生プログラム ³⁾」により整備、公表された。これにより、台風や集中豪雨等の極端現象の将来変化につい て、確率的に、かつ高精度に評価することが可能となった(以下、「d4PDF(20km)」とする)。

平成 29(2017)年には、RCP8.5 を前提として解像度 5km で計算されたデータ(気象庁気 象研究所が開発した水平解像度 5km の非静力学地域気候モデル(NonHydrostatic Regional Climate Model: NHRCM05)を利用))が、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラ ム」において、気象庁気象研究所により整備され、解析結果が「地球温暖化予測情報第9巻 ⁴⁾」として気象庁より公表された(以下、「NHRCM05」とする)。さらに、RCP8.5 を前提 として、解像度 2km で計算されたデータ(NHRCM02: 水平解像度 2km の非静力学地域気 候モデルを利用)が同プログラムにおいて、気象庁気象研究所により作成された(以下、

「NHRCM02」とする)。加えて、文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム 5」 において、RCP2.6を前提として、解像度 2km の予測データ (NHRCM02) が作成された。

平成 30(2018)年には、RCP8.5 における近未来の気候(2℃上昇時:およそ 2040 年頃、 世界平均の地上気温が産業革命当時と比べて 2℃上昇)を前提として、解像度 20km の大量 アンサンブル気候予測データが文部科学省「SI-CAT 気候変動適応技術社会実装プログラム ⁶」において整備、公表された(以下、「d2PDF(20km)」とする)。

さらに、d4PDF(20km)を北海道及び九州地方について解像度 5km にダウンスケーリン グしたデータを、「SI-CAT」及び海洋研究開発機構の「地球シミュレータ特別推進課題(成 果創出課題)」において北海道大学が整備している(以下、「d4PDF(5km,yamada)」とする)。 また、北海道、沖縄を除く地域について解像度 5km にダウンスケーリングしたデータが「SI-CAT」(以下、「d4PDF(5km,SI-CAT)」とする)により地球シミュレータを用いて整備され ている。

令和元(2019)年には、d2PDF(20km,SI-CAT)を解像度 5km にダウンスケーリングしたデ ータが、北海道大学(以下、「d2PDF(5km,yamada)」とする)及び「SI-CAT」(以下、

「d2PDF(5km,SI-CAT)」とする)によって整備された。さらに、令和 2(2020)年には、令 和 2 年度地球シミュレータ公募課題の支援を受け、関東地方を対象とした 5km 解像度の d4PDF が整備された。

なお、いずれのデータについても、計算モデルによって将来の気候変動後の予測実験とと もに、現在気候に関する再現実験が行われ、将来と現在の比較によって気象現象やハザード の変化を評価できるようになっている。

本資料では、これらの気候変動予測モデルの整備状況を踏まえ、d4PDF(20km)・d2PDF (20km)を解像度 5km にダウンスケーリングしたデータを検討に用いることとした (3.1.2 項で詳述)。また、NHRCM02 は、複数のパターンでの計算は行われているものの、大量アンサンブル計算は行われていないことから、短時間・小面積域や島しょ部(沖縄)における 降雨量変化倍率の検討を行う目的で活用した (4.3 節、4.4 節で詳述)。

検討・公表の枠組	気候変動	解像度	アンサン	検討地域	通称
み	シナリオ		ブル計算		(以下この通称を使用する)
21世紀末における	RCP	20km		全国	NHRCM20
日本の気候	$2.6 \sim 8.5$				
【環境省・気象庁】					
気候変動リスク情	RCP8.5	20km	0	全国	d4PDF(20km)
報創生プログラム		5km		全国	NHRCM05
【文部科学省】		2km		全国	NHRCM02
統合的気候モデル	RCP2.6	5km	0	全国	NHRCM05
高度化研究プログ		2km	0	全国	NHRCM02
ラム					
【文部科学省】					
気候変動適応技術	RCP8.5	5km	0	全国(北海道、	d4PDF(5km,SI-CAT)
社会実装プログラ	(4度上昇			沖縄除く)	
ム (SI-CAT)	時点)		0	北海道、関東	d4PDF(5km,yamada)
【文部科学省】				九州	
	RCP8.5	20km	0	全国	d2PDF(20km)
	(2度上昇	5km	0	全国(北海道、	d2PDF(5km,SI-CAT)
	時点)			沖縄除く)	
			0	北海道、	d2PDF(5km,yamada)
				九州	

表-3.1 整備された気候変動予測モデル

3.1.2 データの諸元

使用したデータの諸元を表・3.2 に示す。今回用いたのは、d4PDF 及び d2PDF 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、各々d4PDF(20km)、d2 PDF(20km)とする)⁹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 種類の出力結果である。

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)、及び海洋研究開発 機構の「地球シミュレータ特別推進課題(成果創出課題)」において、北海道および九州を 対象領域として d4PDF(20km)及び d2PDF(20km)をそれぞれ水平解像度約 5km にダウン スケーリングした出力結果 ⁷⁾¹⁰⁾¹¹⁾(以降、各々d4PDF(5km, yamada)、d2PDF(5km, yam ada)とする) である。d4PDF(5km, yamada)、d2PDF(5km, yamada)は、それぞれ d4PD F(20km)、d2PDF(20km)の各年の 6 月 1 日から 12 月 1 日の期間中、北海道領域は石狩川 流域、常呂川流域、十勝川流域、九州領域は筑後川流域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、力学的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-3.1 および図-3.2 に示す。

もう一つは、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 及び d2PDF を 力学的ダウンスケールした出力結果⁸⁾¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾(以降、各々d4PDF(5km, SI-CAT)、d2PD F(5km, SI-CAT)とする)である。d4PDF(5km, SI-CAT)及び d2PDF(5km, SI-CAT)は、 それぞれ d4PDF(20km)及び d2PDF(20km)について、計算年数および摂動数を絞った上 で、通年でダウンスケーリングを行ったものである。ここで、摂動とは気候モデルの計算 条件に与える小さな揺らぎを指し、それぞれの計算結果のばらつきにより予測の不確実性 を表現することができる。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-3.3 に示す。

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,yam ada)	5km	 ・北海道 ・九州 	現在気候: 1950年9月~ 2011年8月	現在気候:3,000 年 (60 年×50 摂動) 将来気候:5,400 年 (60 年×6SST×15 摂動) ※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 月のデ ータを用いる。

表-3.2 使用したデータの諸元

			将来気候: 60年間(産業革 命以前から全球平 均地上気温が4℃ 上昇した気候)	※各年の6月1日から12月1日の間について、北海 道領域は石狩川流域、常呂川流域、十勝川流域、九州 領域は筑後川流域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)の領域モデル(現在50摂動、将来1 5摂動)をダウンスケーリングしている。
d4PDF (5km,SI-C AT)	5km	 ・北海道、 沖縄以外 	現在気候: 1980年9月~ 2011年8月 将来気候: 30年間(産業革 命以前から全球平 均地上気温が4℃ 上昇した気候)	現在気候:360年(30年×12摂動) 将来気候:360年(30年×12摂動) ※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月のデ ータを用いる。 ※d4PDF(20km)の領域モデルの現在50摂動、将来 15摂動から、現在及び将来それぞれについて、無作 為に12及び2摂動を抽出しダウンスケーリングして いる。
d2PDF (5km,yam ada) (d4PDF2 度上昇実 験)	5km	 北海道 ・九州 	現在気候: 1950年9月~ 2011年8月 将来気候: 60年間(産業革 命以前から全球平 均地上気温が2℃ 上昇した気候)	現在気候:3,000年(60年×50摂動) 将来気候:3,240年(60年×6SST×9摂動) ※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、北海 道領域は石狩川流域、常呂川流域、十勝川流域、九州 領域は筑後川流域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。 ※d2PDF(20km)の領域モデル(現在50摂動、将来9 摂動)をダウンスケーリングしている。
d2PDF (5km,SI-C AT) (d4PDF2 度上昇実 験)	5km	 ・北海道、 沖縄以外 	現在気候: 1980年9月~ 2011年8月 将来気候: 30年間(産業革 命以前から全球平 均地上気温が2℃ 上昇した気候)	現在気候:360年(30年×12摂動) 将来気候:360年(30年×12摂動) ※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月のデ ータを用いる。 ※d2PDF(20km)の領域モデルの現在50摂動、将来 9摂動から現在及び将来それぞれについて、無作為に 12及び2摂動を抽出しダウンスケーリングしてい る。



図-3.1 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-3.2 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)



図-3.3 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)

地域区分ごとの降雨量変化倍率の算出にあたっては、可能な限り全国一律のデータを用 いる観点から、表・3.3 に示すとおり、北海道北部・北海道南部については d4PDF(5km,ya mada)及び d2PDF(5km,yamada)を用い、その他の 13 地域区分については d4PDF(5km,S I-CAT)及び d2PDF(5km,SI-CAT)を用いることとした。そのため、北海道北部・北海道 南部とその他の 13 地域区分の解析結果を併せて俯瞰的に解釈する際は、使用したデータ の期間や詳細の計算条件が異なる点について留意する必要がある。なお、地域の区分方法 については、3.2 節で詳説する。

地域区分	使用したデータ
・北海道北部	• d4PDF(5km,yamada)
・北海道南部	• d2PDF(5km,yamada)
・その他の 13 地域区分	• d4PDF(5km,SI-CAT)
	• d2PDF(5km,SI-CAT)

表-3.3 地域区分ごとの降雨量変化倍率の算出に使用したデータ

3.1.3 データの現況再現性

治水計画が対象とするような前線や台風、集中豪雨等の降雨をモデルで表現するために は、少なくとも5km程度の空間解像度が必要であるとされている¹⁵⁾。現時点において、 治水計画が対象とする極端現象を再現できるような大量アンサンブル気候予測データは、 d4PDF・d2PDFのみであることから、本資料での降雨量変化倍率の算出にはこれらのデ ータを用いることとした。一方で、データを使用するにあたり、これらのモデルにおいて 実際にどの程度降雨現象を表現できているのか把握する必要があるため、複数の手法でd4 PDF・d2PDFの現在気候と実測データの比較を行い、現況再現性を確認した。

図-3.4 は、気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会(山田委員提供資料)で提示 された、d4PDF(20km)及び d4PDF(5km,yamada)の再現性を示したものである。各モデ ルの現在気候と、2006~2016 年のレーダーアメダス解析雨量について、流域内の各格子 点の1時間降雨強度の相対頻度分布を比較している。ダウンスケーリング前の d4PDF(20 km)は、降雨強度が強くなるにしたがって、レーダーアメダス解析雨量よりも過小評価す る傾向にあるが、5km にダウンスケーリングした後は、レーダーアメダス解析雨量に近い 値となっており、再現性が向上している。



※レーダーアメダス解析雨量は、北海道エリアでは50mm/h以上、筑後川流域では70mm/h以上の強度の降雨が計算されていない。 ※「気候変動を踏まえた治水計画のあり方」提言 参考資料(令和元年10月)(山田委員提供資料)¹⁶⁾より引用 図-3.4 d4PDF(20km)と d4PDF(5km, yamada)の再現性の比較 また、水系ごとの計画降雨継続時間における年最大流域平均雨量について、実測データと d4PDF(20km)および d4PDF(5km,SI-CAT)の現在気候データを用い、2標本

KS(Kolmogorov-Smirnov)検定を行い、「累積相対度数の分布形が同じである」という帰無 仮説を有意水準 5%で評価した結果を地域区分毎に整理した(図-3.5)。

なお、標本のばらつきの影響を減少させるため、d4PDF(20km)・d4PDF(5km)の現在 気候データの各年において、12 摂動から無作為に値を選択するリサンプリングを行い、30 年×1000 通りの標本を作成した上で、実測データと比較した。

20km から 5km へのダウンスケーリングにより、95 水系の中で分布形が異なる水系数 が 62 から 37 に減少するなど全体としては再現性が改善される傾向にあった。一方で、東 北東部、中部、瀬戸内、中国西部では分布形が異なる水系数が増加しており、気候変動予 測モデルや実測データ自体の不確実性が影響していることが考えられる。



図-3.5 d4PDF (20km)と d4PDF (5km, SI-CAT)の再現性の比較

3.1.4 誤差の取扱い

誤差は、系統誤差(バイアス)と偶然誤差に大別することができる。本資料では、系統誤 差(バイアス)は、モデル化の不完全性など気候変動予測モデルの持つ特性により生じる偏 向的な誤差を指し、偶然誤差はランダムに発生する誤差を指す。

d4PDF・d2PDFの将来気候は、表・3.4の6つのSST(Sea Surface Temperature)パタ ーン毎に計算が行われている。各SSTは、CMIP5の様々な大気海洋結合モデル(CGCM) において計算された海面水温分布から、海面水温変化パターンのクラスター分析(Mizuta et al. 2014)¹⁷⁾をもとに、パターンが互いに似ていないモデルが選定されており、それぞ れのSSTごとに異なる系統誤差(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と、系統誤差(バイアス)が異なるSSTパター ン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。

CMIP5 モデル	実験名略称	機関名 (国名)
CCSM4	CC	National Center for Atmospheric Research (USA)
GFDL-CM3	GF	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (USA)
HadGEM2-AO	НА	Met Office Hadley Centre (UK)
MIROC5	MI	AORI, NIES, JAMSTEC (Japan)
MPI-ESM-MR	MP	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)
MRI-CGCM3	MR	Meteorological Research Institute (Japan)

表-3.4 d4PDF・d2PDFのSSTパターン

「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 (d4PDF)の利用手引き」¹⁸⁾より引用

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し 偶然誤差の影響を軽減する目的で与えられるものであり、d4PDFでは海面水温の年々変動 の標準偏差の30%が与えられている。同一のSSTパターンであれば摂動が異なっていても 系統誤差(バイアス)は同等と考えられるため、摂動についてはまとめて扱うこととした。

3.1.5 ダウンスケーリング手法の比較

今回の検討では、北海道では d4PDF・d2PDF(5km,yamada)、その他の地域では d4PD F・d2PDF(5km,SI-CAT)を用いている。しかし、両モデルはダウンスケーリングに使用さ れた地形データや期間設定が異なるため、同じデータに対してダウンスケーリングを行っ たとしても、年最大雨量や降雨量変化倍率の値が異なるおそれがある。そこで、両モデル に共通して含まれる地域である筑後川流域を対象に、3.3 節に示す手法で DAD 解析を実施 し、4℃上昇時の年超過確率 1/100 における降雨量変化倍率の比較を行った。計算条件 は、雨域面積 400、1600km²、降雨継続時間 12、24、48 時間とした。 両モデルの降雨量変化倍率の 6SST の平均値及び最小値・最大値の幅を図-3.6 に示す。 d4PDF(5km,SI-CAT)の方が d4PDF(5km,yamada)よりも SST による幅が大きい傾向にあ る。SST による幅に違いが生じる理由としては、d4PDF(5km,SI-CAT)の場合、4℃上昇実 験の SST 毎の計算年数が各 60 年であるのに対し、d4PDF(5km,yamada)では、各 900 年 と多いことが考えられる。また、6SST の平均値については、d4PDF(5km,SI-CAT)と d4P DF(5km,yamada)とで降雨継続時間 24 時間、雨域面積 400km2 のときに最大約 0.1 の差 が見られた。ダウンスケーリング手法の違いにより、こうした差異があることに留意しつ つ、検討を進めることとした。



図-3.6 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)

3.2 降雨量変化倍率を算出する地域区分

3.2.1 地域区分の考え方

2.1 節に前述の通り、降雨量変化倍率は、気候変動による大局的な変化傾向を捉えた安定 した値であることが望ましいと考えられる。しかしながら、気候変動予測技術の発展は日進 月歩であり、数年後には新しい気候変動予測モデルによる新しい出力結果が公表されるこ とも想定される。こういった状況の中、極力安定した降雨量変化倍率の値を得る観点から、 降雨量変化倍率を算出する空間区分は、水系単位のように細かくしすぎず、全国一律かそれ に準ずる区分が好ましいと考えられる。

一方で、降雨量変化倍率の算出を全国一律とすると、地域ごとの降雨特性の違いによる降 雨量変化倍率の地域性を考察することができない。そのため、降雨量変化倍率の算出は、降 雨特性が類似する複数の地域への分割区分(以下、「地域区分」という。)ごととし、既往検 討をもとに適切な地域区分を比較検討した。

3.2.2 地域区分の検討ケース

比較検討を行う地域区分は、既往検討をもとに3つの地域区分ケースとした(図-3.7~3.9 参照)。各地域区分ケースにおける地域区分名及びNHRCM20での陸上での格子点数を表-3.5に示す。

地域区分ケース1(図-3.7)は想定最大規模降雨に関する地域の区分方法¹⁹、地域区分 ケース2(図-3.8)は降雨特性の同一性の割合が高くなるように地域別比流量図の区分方 法を修正した区分²⁰⁾、地域区分ケース3(図-3.9)は気象庁・地方季節予報の予報区分²¹⁾ である。





(点は NHRCM20 での陸上での格子点を示す)



(点は NHRCM20 での陸上での格子点を示す)

地域	地域区分ケ	ース1	地域区分ケ	地域区分ケース2 地域区分ケー		-ス3
番号	地域区分名	格子点数	地域区分名	格子点数	地域区分名	格子点数
1	北海道北部	96	北海道オホーツク海側	30	北海道オホーツク海側	29
2	北海道南部	97	北海道日本海側	76	北海道日本海側	78
3	東北西部	69	北海道太平洋側	82	北海道太平洋側	86
4	東北東部	69	東北北	38	東北日本海側	76
5	関東	82	東北東	49	東北太平洋側	78
6	北陸	95	東北西	54	関東甲信地方	119
\bigcirc	中部	74	北陸東	44	北陸地方	59
8	近畿	30	北陸西	34	東海地方	69
9	紀伊南部	21	関東	77	近畿日本海側	19
10	山陰	40	長野盆地	32	近畿太平洋側	48
11	瀬戸内	55	中部東	29	山陰	22
12	中国西部	20	中部西	30	山陽	37
13	四国南部	34	山陰	54	四国	46
14	九州北西部	66	瀬戸内	86	九州北部地方	76
15	九州南東部	31	九州北	66	九州南部・奄美地方	42
16	南日本	11	西南日本	90	沖縄地方	5

表-3.5 地域区分ケースごとの地域区分名及び NHRCM20 での陸上での格子点数

3.2.3 地域区分の検討に用いたデータ

地域区分の検討では、気象庁気象研究所の地域気候モデル NHRCM20 を用いた環境省地 域気候変動予測データ(うち、現在気候及び将来気候(RCP8.5)の降水量データ)を用い た。主な諸元は以下のとおりである。

<主な諸元>

・データ名称:環境省地域気候変動予測データ(協力:気象庁)²²⁾

計算年数:

(現在) 1984年9月~2004年8月のうち19年分(1985年1月~2003年12月)を使用 (将来) 2080年9月~2100年8月のうち19年分(2081年1月~2009年12月)を使用

・時間解像度:1 時間 ・空間解像度:20km

- ・現在気候^{**1}:HPA_m02、将来気候^{**1}:HFA_rcp85_c3(RCP8.5)
- ※1 各シナリオ (RCP2.6~RCP8.5) 間で共通して実験条件に含まれる積雲対流スキー ムは YS (Yoshimura Scheme) であることから、本データにおいても積雲対流ス キーム YS が用いられている HPA_m02、HFA_rcp85_c3 (RCP8.5) を使用した。

本データを使用した理由は、1) 当該データも後述する d4PDF も、ともに気象庁気象研 究所の気候変動予測モデル(MRI-NHRCM)を使用していること、2) 当該データの現在気 候データと観測値との比較結果は公表され、一定の再現性が確認されていること、3) 地域 区分の検討が行われた過去の既往研究²³⁾のデータと計算年数や空間解像度等が類似してお り、比較分析がしやすいこと、などを考慮したためである。なお、島しょ部については格子 点がほとんどないことから沖縄等一部を除き地域区分の対象としていない。

3.2.4 地域区分内の降雨の類似性評価

地域区分内の降雨の類似性を評価するため、現在気候・将来気候における降雨継続時間 (6,12,24,48,72時間)別の年最大雨量について、Wilcoxonの順位和検定により地域区分内 格子点の全データと各格子点のデータの確率分布の同一性を検定し、5%及び1%有意水準 により「有意ではない」すなわち「同一でないとは言えない」格子点数の地域区分内格子点 数に対する割合(以下、「適合割合」とする)を地域区分ごとに算出した。具体的な手順は 以下のとおりである。

- ① 地域区分内の各格子点について、以下の2つの標本を設定する。
 - ・標本Ai:任意の格子点iの計算年数分のデータ
 - ・標本 B:地域区分内の全格子点×計算年数分のデータ
- ② 標本 Ai と標本 B を混合し、値の小さい順に順位を付ける。同じ値については、順位の 平均値を求める(例:3番目~6番目にあたる数値が同じ値であれば、順位は (3+4+5+6)÷4 = 4.5で割り振る)。

標本 Ai について、計算年数分の順位の和 Wi を計算する。

③ 標本 B の標本数が比較的大きいことから、Wi の平均値を E(Wi)、分散を V(Wi)とすると、Wi は E(Wi)と V(Wi)の正規分布に従うとみなす。Wi の平均値からの差を標準化した値をzとすると、

$$Z = \frac{|W_i - E(W_i)|}{\sqrt{V(W_i)}}$$
$$\left[E(W_i) = \frac{m(m+n+1)}{2}, V(W_i) = \frac{mn(m+n+1)}{12}\right]$$

となる。m及びnは、対象とするデータ群のデータ数で、ここではm:標本Aiの標本数、n:標本Bの標本数である。すなわち、この場合の同一性の判定は、地域区分内のある格子点の確率分布(計算年数が19年であるため、19個で構成される分布)が、その地域区分の確率分布(19×地域区分内格子点数で構成される)と同一とみなせるかを判定するものである。両側有意水準が a%の時の標準正規分布での正規変量 $Z_{1-\alpha/2}$ に対し、 $Z < Z_{1-\alpha/2}$ が成立する場合、a%有意水準において同一性があるとみなす。

各地域の区分方法における降雨継続時間別の適合割合の全国平均値及びばらつきを表-3.6~3.7に示す。全国平均値は、各区分方法の地域番号 16 を除く 15 地域を対象に算出し、 ばらつきは 15 地域の最小値と最大値を幅として示している。

	降雨継続時間	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間	平均
有意水準5%	地域区分ケース 1	0.73 (0.56~0.94)	0.67 (0.46~0.89)	0.61 (0.41~0.88)	0.57 (0.35~0.85)	0.55 (0.34~0.80)	0.63
現在気候	地域区分ケース2	0.72 (0.50~0.97)	0.68 (0.47~0.87)	0.63 (0.41~0.82)	0.62 (0.37~0.79)	0.58 (0.33~0.76)	0.65
	地域区分ケース3	0.71 (0.49~0.89)	0.64 (0.46~0.82)	0.61 (0.39~0.79)	0.58 (0.37~0.79)	0.54 (0.32~0.73)	0.62
	降雨継続時間	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間	平均
有意水準5% 将来気候	地域区分ケース 1	0.79 (0.53~1.00)	0.72 (0.47~0.90)	0.64 (0.38~0.90)	0.59 (0.38~0.90)	0.57 (0.33~0.88)	0.66
	地域区分ケース 2	0.77	0.73	0.67 (0.43~0.93)	0.64 (0.43~0.97)	0.61 (0.41~0.93)	0.68
		(111- 1117)	,,				

表-3.6 各地域の区分方法における適合割合(有意水準5%)

表-3.7 各地域の区分方法における適合割合(有意水準1%)

	降雨継続時間	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間	平均
有意水準1%	地域区分ケース 1	0.84 (0.65~0.98)	0.81 (0.57~0.95)	0.76 (0.55~0.95)	0.72 (0.49~0.90)	0.69 (0.46~0.88)	0.76
現在気候	地域区分ケース2	0.83 (0.56~1.00)	0.80 (0.53~0.98)	0.76 (0.53~0.97)	0.74 (0.43~0.97)	0.71 (0.43~0.90)	0.77
	地域区分ケース3	0.82 (0.66~1.00)	0.78 (0.57~0.93)	0.73 (0.54~0.92)	0.70 (0.45~0.91)	0.67 (0.43~0.86)	0.74
	降雨継続時間	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間	平均
有意水準1% 将来気候	地域区分ケース 1	0.90 (0.70~1.00)	0.86 (0.68~1.00)	0.78 (0.53~0.95)	0.72 (0.41~0.93)	0.69 (0.41~0.90)	0.79
	地域区分ケース2	0.89 (0.77~1.00)	0.85 (0.74~0.97)	0.78 (0.39~0.97)	0.77 (0.59~1.00)	0.73 (0.52~1.00)	0.81
	地域区分ケース3	0.87 (0.72~1.00)	0.81 (0.68~1.00)	0.75 (0.52~1.00)	0.70 (0.48~0.91)	0.68 (0.46~0.91)	0.76

3.2.5 地域区分ケースの評価

降雨量変化倍率の算出における地域区分の妥当性は、次の観点から評価した。

- (1) 地域区分内の降雨の類似性が高いこと
- (2) 現在と将来とで降雨の類似性に極端に差がないこと
- (3)地域区分が水系を分断しないこと。
- (1) 地域区分内の降雨の類似性が高いこと

表-3.6~3.7のとおり、降雨継続時間(6,12,24,48,72時間)ごとに算出した適合割合の平均値は地域区分ケース 2 が若干高かったものの、短時間域では地域区分ケース1の適合率が高くなるなど、明確な優劣はなかった。

(2) 現在と将来とで降雨の類似性に極端に差がないこと

降雨量変化倍率の算出に当たっては、現在気候と将来気候に同じ地域区分を適用するため、現在気候と将来気候の双方において、地域区分の妥当性が保たれることが望ましい。表 -3.6~3.7 のとおり、いずれの地域区分ケースにおいても、現在と将来における適合割合に 極端な差はなかった。

(3)地域区分が水系を分断しないこと。

河川計画に関する検討は従来から水系単位で発生した降雨イベントを基に検討されるこ とが多いため、降雨量変化倍率の算出においても、同一水系内で降雨イベントが分断されな いことが望ましい。表-3.8 に示すとおり、地域区分ケース2及び地域区分ケース3は地域 区分を跨ぐ水系が存在するため、降雨量変化倍率の算出にあたっていくつかの水系で降雨 イベントの分断が発生するのに対し、地域区分ケース1は地域区分を跨ぐ水系がなかった。

以上の観点を踏まえて、降雨量変化倍率の算出に用いる地域区分は地域区分ケース 1 を 採用した。各地域区分の拡大図を図-3.10~3.14 に示す²⁴。

* 玄景县	+ 5.2	該	当地域番	号	业工業具	+50	該	当地域番	号	业委要具	+50	該	当地域番	号	业委要具	+ 5.4	該	当地域番	号
小术留与	小宋石	区分①	区分②	区分(3)	小术留写	7578-12	区分①	区分②	区分(3)	小宗留写	小宋石	区分①	区分②	区分(3)	小求留亏	7578-10	区分①	区分②	区分3
1	天塩川	1	1,2	2	31	鶴見川	5	9	6	61	大和川	8	14	10	86	肱川	11	16	13
2	渚滑川	1	1	1	32	相模川	5	10,11	6	62	円山川	10	13	9	87	物部川	13	16	13
3	湧別川	1	1	1	33	荒川	6	6,7	4,7	63	加古川	11	13,14	10	88	仁淀川	13	16	13
4	常呂川	1	1,3	1	34	阿賀野川	6	6,7,9	4,7	64	揖保川	11	13,14	10	89	渡川	13	16	13
5	網走川	1	1,3	1	35	信濃川	6	7,8,10	6,7	65	紀ノ川	8	14,16	10	90	遠賀川	14	15	14
6	留萌川	1	2	2	36	関川	6	7	6,7	66	新宮川	9	16	8,10	91	山国川	14	15	14
7	石狩川	1	1,2,3	2	37	姫川	6	8	6,7	67	九頭竜川	6	8,13	7	92	筑後川	14	15	14
8	尻別川	1	2	2	38	黒部川	6	8	7	68	北川	10	13	7	93	矢部川	14	15	14
9	後志利別川	2	2	2	39	常願寺川	6	8	7	69	千代川	10	13	11	94	松浦川	14	15	14
10	鵡川	2	2,3	2,3	40	神通川	6	8,10	7,8	70	天神川	10	13	11	95	六角川	14	15	14
11	沙流川	2	3	3	41	庄川	6	8	7,8	71	日野川	10	13	11	96	嘉瀬川	14	15	14
12	釧路川	2	3	3	42	小矢部川	6	8	7	72	斐伊川	10	13	11	97	本明川	14	15	14
13	十勝川	2	3	3	43	手取川	6	8	7	73	江の川	10	13,14	11,12	98	菊池川	14	15	14
14	岩木川	3	4,6	4	44	梯川	6	8	7	74	高津川	12	13	11	99	白川	14	15	14
15	高瀬川	3	4	5	45	狩野川	7	11	8	75	吉井川	11	13.14	12	100	緑川	14	15	14
16	馬淵川	4	4	5	46	富士川	7	10,11	6,8	76	旭川	11	13,14	12	101	球磨川	14	15	14
17	北上川	4	4,5,6	5	47	安倍川	7	11	8	77	高梁川	11	13,14	12	102	大分川	15	15	14
18	鳴瀬川	4	5,6	5	48	大井川	7	11	8	78	芦田川	11	14	12	103	大野川	15	15	14
19	名取川	4	5	5	49	菊川	7	11	8	79	太田川	11	13,14	12	104	番匠川	15	16	14
20	阿武隈川	4	5,9	5	50	天竜川	7	10,11	6,8	80	小瀬川	12	14	12	105	五ケ瀬川	15	15,16	15
21	米代川	3	4,6	4,5	51	豊川	7	11	8	81	佐波川	12	13	14	106	小丸川	15	16	15
22	雄物川	3	6	4	52	矢作川	7	11,12	6,8	82	吉野川	13	14,16	13	107	大淀川	15	15,16	14,15
23	子吉川	3	6	4	53	庄内川	7	12	8	83	那賀川	13	16	13	108	川内川	14	16	15
24	最上川	3	6	4	54	木曽川	7	8.10.12	6.8	84	土器川	11	14	13	109	肝鳳川	15	16	15
25	赤川	3	6	4	55	鈴鹿川	7	12	8	85	重信川	11	14	13					
26	久慈川	5	5,9	5,6	56	雲出川	7	12,16	8										
27	那珂川	5	9	6	57	櫛田川	9	16	8										
28	利根川	5	7,9,10	6	58	宮川	9	16	8										
29	荒川	5	9	6	59	由良川	10	13	9,10										
00	47 050111		0.10		0.0	Selected.	0	1014	0010										

表-3.8 全国一級水系と地域番号との対応



図-3.10 地域区分拡大図(北海道北部·北海道南部)



図-3.11 地域区分拡大図(東北西部・東北東部)



図-3.12 地域区分拡大図(関東・北陸・中部)



図-3.13 地域区分拡大図(近畿・紀伊南部・山陰・瀬戸内・中国西部・四国南部)



図-3.14 地域区分拡大図(九州北西部・九州南東部)

3.3 DAD 解析及び降雨量変化倍率の算出

本節では、d4PDF・d2PDF(5km)の降雨量データに DAD 解析を行い、流域面積や降雨継 続時間に応じた降雨量変化倍率を算出する手法について述べる。

DAD 解析は、解析対象地域の降雨における積算雨量 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とで、雨域面積と降雨継続時間を 指定したときの積算雨量の最大値を得ることができる手法である

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」²⁵⁾において、 これまで我が国で実施された手法 ²⁶⁾や WMO(世界気象機関:World Meteorological Organization)が示すマニュアル²⁷⁾をもとに表・3.9 の通り 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 増やしながら雨域の形状に応じた積算雨量を求めていくことで、他の手法と比べて一つの 雨域の積算雨量の最大値をより厳密に評価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 ²⁶⁾²⁸⁾で採用された手 法を参考に、表・3.9 のうち FRM 法(雨量固定法)を使用することとした。ただし、表・3.9 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、FRM 法に修正を加え、雨量閾値以上の複数の雨域について集約せずに、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した。

DAD 解析及び降雨量変化倍率の算出について、具体的な解析手順を次の 1)~7)に示す。

解析手法	特徴							
FEM 法(変形面積法)	 ・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)	 ・対象区域内で同心円状に一定形状を隈なく移動させ、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) 強雨域の 。。。	 ・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 							

表-3.9 面積雨量の解析手法

「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>」」

より引用 25)

- 1) d4PDF・d2PDF(5km)を用いて、各地域区分の陸域の格子ごとに、毎時刻(1時間間隔)を起点として降雨継続時間(1,2,3,6,12,24,48,72)ごとの積算雨量を算出した。
- 2) d4PDF(5km,SI-CAT) 、d2PDF(5km,SI-CAT)は通年データであることから、データ 中の全時刻を DAD 解析の対象とすると膨大な時間がかかるため、データ処理時間を 短縮する観点から、図-3.15 に示すフローに従い、DAD 解析対象時刻を大雨の上位事 例の発生時刻から選定した。
- 3) 2)で選定した DAD 解析対象時刻を起点とする、格子ごとの降雨継続時間ごとの積算 雨量に対して、表・3.10に示す雨量閾値を用いて、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・3.16)。なお、抽出された雨域が閾 値未満の雨量の格子を囲むように閉じている場合は、その格子も同一の雨域に含まれ るものとして整理した。
- 4) 抽出した雨域の面積(格子点数×25km²) および面積平均積算雨量(以下、本節では 単に降雨量と呼ぶ)を求めた。
- 5) 3)、4)により雨域面積と降雨量の多数のデータサンプリングを行い、地域区分ごと、 年ごと、降雨継続時間ごとに図-3.17 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降雨量が少なくなるようにデータを包絡し、図-3.17 右図のよう に、任意の雨域面積に対応し降雨量の最大値を抽出した。なお、上記の手順で最大降 雨量を抽出した結果、間引かれることとなる面積の最大降雨量については、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 19)を参考とし、一次補間法に より算出した。
- 6) 現在気候・将来気候のそれぞれにおいて、地域区分ごと、雨域面積ごと、降雨継続時 間ごとに年超過確率 1/100 の降雨量を算出した。年超過確率 1/100 の降雨量は、年最 大降雨量に 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 ²⁹⁾した。
- 7) 降雨量変化倍率は、年超過確率 1/100 の降雨量について、現在気候と将来気候の比 (将来気候/現在気候)をとり算出した。

t時間積算雨量の算出 t:1,2,3,6,12,24,48,72

d4PDF(5km,yamada) d2PDF(5km,yamada)

DAD解析

d4PDF(5km,SI-CAT) d2PDF(5km,SI-CAT)

t時間積算雨量の領域内最大値(d4PDFの場合)または空間平均値(d2PDFの場合)の
上位事例から、以下の時刻のデータをDAD解析対象時刻として選定
・d4PDF(領域内最大値)
1,2,3,6,12時間積算雨量:上位20時刻
24,48,72時間積算雨量:まず日最大(365時刻)を求めた上で、その約5%に相当する上位18時刻
・d2PDF(雨域面積(25,100,225,400,1600,3600km²)毎の空間平均値)
1,2時間積算雨量:上位2%
3,6,12時間積算雨量:上位5%
24,48,72時間積算雨量:上位10%

____↓ DAD解析

図-3.15 DAD 解析対象時刻の選定フロー

表-3.10 雨量閾値の設定

(d4PDF の場合^{*1})

199時間建賞西昌	雨量(R)範囲[mm]	$2 \leq R < 10$	$10 \leq R \leq 250$	$250 \leq \mathbf{R}$	
1,2,3时间俱异的里	刻み幅[mm]	2	10	50	
c 味明建質 五星	雨量(R)範囲[mm]	$10 \leq R \leq 250$	$250 \leq R$	-	
0时间惧异的里	刻み幅[mm]	10	50	-	
12,24,48,72 時間積	雨量(R)範囲[mm]	$10 \leq R$	-	-	
算雨量	刻み幅[mm]	50	-	-	

(d2PDF の場合*1)

109吐眼建營五星	雨量(R)範囲[mm]	$4 \leq R$	-		
1,2,3 时间慎异的里	刻み幅[mm]	4	-		
c時間建賞両是	雨量(R)範囲[mm]	$10 \leq R$	-		
0时间很异的里	刻み幅[mm]	10	_		
10.04 味明建質玉昌	雨量(R)範囲[mm]	$10 \leq R \leq 20$	$20 \leq \mathbf{R}$		
12,24 时间俱异阳里	刻み幅[mm]	10	20		
48,72 時間積算雨量	雨量(R)範囲[mm]	$10 \leq R \leq 40$	$40 \leq R$		
*2	刻み幅[mm]	30	40		

※1 対象とする降雨をより効率的に抽出できるよう、両モデルで異なる閾値を設定

※2 例えば、d2PDFの48,72時間積算雨量の雨量閾値は、10,40,80,120,160・・・最大値



図-3.16 閾値以上の積算雨量となる雨域抽出のイメージ図


【参考文献】

- 1) DIAS: データ統合・解析システム (Data Integration and Analysis System), https://diasjp.net/
- 2) 環境省・気象庁: 21 世紀末における日本の気候, 2015, http://www.env.go.jp/earth/on danka/pamph_tekiou/2015/jpnclim_full.pdf
- 3) 気候変動リスク情報創生プログラム, https://www.jamstec.go.jp/sousei/
- (4) 気象庁:地球温暖化予測情報第9巻, 2017, http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/ Vol9/pdf/all.pdf
- 5) 統合的気候モデル高度化研究プログラム, http://www.jamstec.go.jp/tougou/index.ht ml
- 6) SI-CAT:気候変動適応技術社会実装プログラム (Social Implementation Program on Climate Change Adaptation Technology), https://www.restec.or.jp/si-cat/index.html
- d4PDF(5km,yamada)及び d2PDF(5km,yamada)のデータは、北海道大学大学院工学 研究院・山田朋人准教授より提供を受けた。
- d4PDF(5km,SI-CAT)及び d2PDF(5km,SI-CAT)のデータは、気候変動適応技術社会実 装プログラム(SI-CAT)より提供を受けた。
- 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: http://www.mirocgcm.jp/~pub/d4PDF/index.html
- 山田朋人ほか: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/chapt er3/3-3-2_yamada.pdf
- 山田朋人ほか:気候変動による今後の極端降水および洪水リスクの変化,地球シミュレ ータ 平成 30 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, 2018, https://www.jamstec.go.jp/ceist/j/publication/annual/annual2018/pdf/2project/chapt er3/3-3_yamada.pdf
- 12) T. Sasai, H. Kawase, J. Yamaguchi, S. Sugimoto, H. Sasaki, M. Fujita, T. Yamasaki: Future Projection of Extreme Heavy Snowfall Events With a 5 - km Large Ensemble Regional Climate Simulation, 2019, Geophysical Research Letters, 46(1), 435-442
- 13) H. Kawase, T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka : Characteristics of Synoptic Conditions for Heavy Snowfall in Western to Northeastern Japan Analyzed by the 5-km Regional Climate Ensemble Experiments, 2018, Journal of the Meteorological Society of Japan, 96(2), p161-178
- 14) S. Sugimoto, R. Ito, K. Dairaku, H. Kawase, H. Sasaki, S. Watanabe, Y. Okada, S. Kawazoe, T. Yamazaki, T. Sasai : Impact of Spatial Resolution on Simulated Consecutive Dry Days and Near-Surface Temperature over the Central Mountains

in Japan, 2018, SOLA 14, p46-51

- 15) 気象庁「気象に関する数値予報モデルの種類」 http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/whitep/1-3-4.html
- 16) 国土交通省「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」提言 参考資料(令和元年10月)
 https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/pdf/06_sankousiryou.
 pdf
- 17) R. Mizuta, O. Arakawa, T. Ose, S. Kusunoki, H. Endo, and A. Kitoh, Classification of CMIP5 Future Climate Responses by the Tropical Sea Surface Temperature Changes, 2014, SOLA 10, 167-171
- 18) 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(d4PDF)の利用手引き: http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/img/d4PDF_Chap2_20151214.pdf
- 19) 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 力の設定手法,平成 27 年 7 月
- 20) 国土交通省国土技術政策総合研究所:気候変動適応策に関する研究(中間報告)、国土 技術政策総合研究所資料第749号,2013
- 21) 気象庁 地方季節予報の予報区分:http://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/kisetsu_riy ou/image/png/chihou_kubun.png
- 22)本データは、「平成 25 年度環境省地球温暖化影響の理解のための気候変動予測等実施 委託業務」及び「平成 26 年度環境省地球温暖化影響の理解のための気候変動予測等実施委託業務」において、気象庁及び文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムの協力のもと、気象庁気象研究所開発の気候モデルを利用して作成・提供されたものである。 またこのデータセットは、文部科学省の委託事業により開発・運用されているデータ統 合解析システム (DIAS (Data Integration and Analysis System)、課題番号:JPMX D0716808999、https://diasjp.net/)の下で、収集・提供されたものである。
- 23) 国土技術政策総合研究所:気候変動による豪雨時の降雨量変化予測-GCM20による評価を中心に-,国土技術政策総合研究所資料第462号,2008
- 24)国土交通省「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」提言(令和3年4月改訂)別紙1(改訂)
- 25) 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
- 26) 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
- 27) World Meteorological Organization (WMO) : MANUAL FOR DEPTH-AREA-DURATION ANALYSIS OF STORM PRECIPITATION, p49, 1969

- 28) 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,2018,土木学会論文集 B1(水工学) Vol.74, No.5, I_13-I_18
- 29) 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

4 降雨量変化倍率の算出結果及び考察

4.1 降雨量変化倍率の整理方法

3章の手法により、地域区分別に、雨域面積別・降雨継続時間別の降雨量変化倍率が得ら れることとなる。ここで、実際の水系における治水計画を想定すると、流域面積と対象とす る降雨イベントの降雨継続時間には、概ね正の関係が見られる。具体的には、一級河川の河 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をみると、 流域面積 400km² 未満は降雨継続時間 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る場合が多い(図-4.1)。

このため、降雨量変化倍率は次の区分に分けて整理した。

1 つは大河川流域を想定し、雨域面積が 400km²、1,600km²、3,600km²の 3 ケースと、 降雨継続時間が 12 時間、24 時間、48 時間の 3 ケースの合計 9 ケースを用いて整理するこ ととした(4.2 節)。

もう1つは中小河川流域を想定し、小さい雨域面積(400 km²以下)と短い降雨継続時間(12時間以下)の範囲で、降雨量変化倍率の変化傾向を整理した(4.3 節)。

島 しょ 部 (沖 縄) に つ い て は 、 d4PDF ・ d2PDF(5km,SI-CAT) 、 d4PDF ・ d2PDF(5km,yamada)のいずれの領域にも含まれないため、当該地域を含む別のモデルを用 いて検討を行った (4.4 節)。



図-4.1 基準地点上流面積と降雨継続時間の関係¹⁾

4.2 大河川流域における降雨量変化倍率

4.2.1 算出結果

4.2.1.1 d4PDF の算出結果

d4PDFの降雨量変化倍率の算出結果を示す。降雨継続時間 12、24、48 時間、雨域面積 400、1600、3600km²を対象に、現在気候に対する将来気候の年超過確率 1/100 の降雨量 の変化倍率を算出した。降雨継続時間ごとに、全国 15 地域区分の SST ごとの降雨量変化 倍率を図-4.2~4.4 及び表-4.1~4.3 に示す。



図-4.2 各地域区分における降雨継続時間 12 時間の SST 毎の降雨量変化倍率 (左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
CC_12hr_400	1.37	1.33	1.20	1.26	1.22	1.17	1.18	1.09	1.08	0.89	1.01	1.12	1.19	1.43	1.20
GF_12hr_400	1.54	1.57	1.28	1.21	1.13	1.27	1.37	1.40	1.27	1.40	1.45	1.43	1.38	1.41	1.20
HA_12hr_400	1.38	1.33	1.36	1.26	1.20	1.28	1.26	1.33	1.10	1.12	1.16	1.13	1.38	1.25	1.14
MI_12hr_400	1.58	1.58	1.37	1.63	1.23	1.66	1.42	1.46	1.17	1.36	1.31	1.10	1.32	1.28	1.15
MP_12hr_400	1.40	1.37	1.20	1.31	1.43	1.29	1.41	1.47	1.16	1.08	1.17	1.35	1.43	1.25	1.15
MR_12hr_400	1.42	1.41	1.38	1.45	1.43	1.24	1.21	1.28	1.23	1.08	1.17	1.23	1.52	1.36	1.15
CC_12hr_1600	1.36	1.31	1.24	1.23	1.27	1.18	1.10	1.09	1.04	0.89	1.07	1.14	1.16	1.50	1.09
GF_12hr_1600	1.55	1.53	1.42	1.18	1.21	1.36	1.25	1.45	1.25	1.25	1.49	1.38	1.43	1.46	1.25
HA_12hr_1600	1.39	1.34	1.39	1.25	1.30	1.19	1.24	1.27	1.09	1.07	1.17	1.15	1.32	1.32	1.15
MI_12hr_1600	1.58	1.57	1.39	1.55	1.22	1.49	1.39	1.39	1.21	1.30	1.29	1.07	1.22	1.30	1.04
MP_12hr_1600	1.39	1.36	1.23	1.24	1.45	1.30	1.43	1.39	1.20	1.14	1.28	1.34	1.40	1.42	1.21
MR_12hr_1600	1.43	1.42	1.48	1.29	1.39	1.23	1.23	1.19	1.20	1.06	1.14	1.27	1.48	1.42	1.13
CC_12hr_3600	1.31	1.28	1.33	1.20	1.25	1.24	1.08	1.08	1.00	0.85	1.09	1.12	1.07	1.43	0.98
GF_12hr_3600	1.50	1.51	1.38	1.12	1.28	1.37	1.23	1.47	1.30	1.26	1.35	1.39	1.40	1.47	1.27
HA_12hr_3600	1.37	1.35	1.37	1.27	1.33	1.17	1.22	1.20	1.07	1.09	1.22	1.31	1.25	1.33	1.17
MI_12hr_3600	1.53	1.51	1.41	1.46	1.18	1.40	1.32	1.33	1.22	1.25	1.18	1.05	1.26	1.29	0.96
MP_12hr_3600	1.37	1.36	1.30	1.15	1.41	1.34	1.39	1.38	1.16	1.18	1.27	1.27	1.36	1.41	1.24
MR_12hr_3600	1.38	1.38	1.54	1.21	1.36	1.16	1.23	1.16	1.11	1.07	1.11	1.31	1.37	1.39	1.21

表-4.1 各地域区分における降雨継続時間 12 時間の SST 毎の降雨量変化倍率



図-4.3 各地域区分における降雨継続時間 24 時間の SST 毎の降雨量変化倍率 (左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北 陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
CC_24hr_400	1.32	1.31	1.16	1.21	1.20	1.13	1.18	1.06	1.01	0.88	0.99	1.05	1.14	1.50	1.20
GF_24hr_400	1.49	1.50	1.29	1.16	1.10	1.16	1.34	1.38	1.26	1.39	1.50	1.29	1.40	1.37	1.20
HA_24hr_400	1.35	1.30	1.30	1.22	1.21	1.22	1.21	1.23	1.06	1.08	1.13	1.10	1.34	1.27	1.15
MI_24hr_400	1.51	1.51	1.25	1.60	1.17	1.52	1.39	1.39	1.12	1.45	1.31	1.02	1.31	1.28	1.13
MP_24hr_400	1.33	1.35	1.13	1.27	1.38	1.23	1.33	1.44	1.14	1.09	1.14	1.34	1.37	1.25	1.12
MR_24hr_400	1.36	1.37	1.25	1.38	1.35	1.21	1.14	1.18	1.11	1.01	1.13	1.13	1.45	1.43	1.18
CC_24hr_1600	1.29	1.26	1.15	1.22	1.22	1.10	1.15	1.04	0.96	0.86	0.98	1.05	1.10	1.47	1.10
GF_24hr_1600	1.50	1.48	1.42	1.17	1.12	1.21	1.21	1.43	1.22	1.25	1.47	1.24	1.39	1.42	1.22
HA_24hr_1600	1.36	1.30	1.36	1.25	1.26	1.19	1.23	1.22	1.04	1.03	1.08	1.06	1.28	1.33	1.18
MI_24hr_1600	1.51	1.51	1.27	1.54	1.12	1.42	1.37	1.37	1.09	1.34	1.25	0.99	1.26	1.25	1.04
MP_24hr_1600	1.33	1.34	1.13	1.26	1.39	1.26	1.42	1.41	1.16	1.07	1.21	1.33	1.34	1.36	1.17
MR_24hr_1600	1.37	1.36	1.38	1.28	1.29	1.21	1.11	1.16	1.11	0.99	1.09	1.13	1.40	1.46	1.14
CC_24hr_3600	1.27	1.25	1.18	1.18	1.23	1.10	1.14	1.04	0.91	0.83	0.97	1.08	1.05	1.42	1.00
GF_24hr_3600	1.46	1.47	1.39	1.16	1.17	1.22	1.13	1.49	1.22	1.24	1.39	1.30	1.36	1.38	1.23
HA_24hr_3600	1.32	1.30	1.36	1.26	1.27	1.17	1.19	1.21	0.99	0.97	1.13	1.13	1.23	1.32	1.24
MI_24hr_3600	1.46	1.48	1.27	1.40	1.12	1.37	1.32	1.36	1.09	1.24	1.14	0.94	1.25	1.21	0.98
MP_24hr_3600	1.31	1.32	1.14	1.21	1.37	1.24	1.41	1.37	1.11	1.07	1.20	1.27	1.32	1.39	1.22
MR_24hr_3600	1.34	1.33	1.40	1.25	1.26	1.19	1.06	1.15	1.07	0.96	1.09	1.14	1.30	1.42	1.15

表-4.2 各地域区分における降雨継続時間 24 時間の SST 毎の降雨量変化倍率



図-4.4 各地域区分における降雨継続時間 48 時間の SST 毎の降雨量変化倍率 (左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
CC_48hr_400	1.34	1.38	1.32	1.23	1.21	1.02	1.18	1.10	1.02	0.90	1.09	1.06	1.08	1.41	1.11
GF_48hr_400	1.46	1.50	1.31	1.18	1.04	1.07	1.14	1.33	1.25	1.43	1.47	1.26	1.35	1.42	1.18
HA_48hr_400	1.35	1.34	1.38	1.27	1.20	1.23	1.16	1.23	0.99	1.03	1.13	1.13	1.30	1.28	1.17
MI_48hr_400	1.51	1.54	1.22	1.64	1.23	1.41	1.36	1.36	1.11	1.46	1.32	1.08	1.29	1.29	1.13
MP_48hr_400	1.31	1.38	1.10	1.30	1.30	1.17	1.24	1.20	1.14	1.12	1.19	1.38	1.27	1.23	1.08
MR_48hr_400	1.37	1.42	1.21	1.35	1.31	1.19	1.14	1.16	1.10	1.01	1.11	1.09	1.47	1.40	1.18
CC_48hr_1600	1.29	1.28	1.24	1.24	1.24	1.03	1.14	1.06	0.99	0.86	1.00	1.01	1.03	1.42	1.02
GF_48hr_1600	1.46	1.44	1.40	1.21	1.09	1.11	1.17	1.41	1.20	1.27	1.44	1.24	1.32	1.43	1.25
HA_48hr_1600	1.34	1.29	1.43	1.32	1.27	1.25	1.23	1.23	0.99	0.98	1.08	1.11	1.24	1.32	1.22
MI_48hr_1600	1.50	1.50	1.20	1.60	1.21	1.44	1.40	1.39	1.06	1.36	1.21	1.02	1.23	1.33	1.09
MP_48hr_1600	1.29	1.34	1.07	1.32	1.28	1.24	1.35	1.24	1.17	1.08	1.22	1.42	1.26	1.34	1.14
MR_48hr_1600	1.36	1.36	1.27	1.32	1.26	1.24	1.12	1.19	1.10	1.01	1.06	1.07	1.44	1.40	1.19
CC_48hr_3600	1.26	1.25	1.26	1.18	1.23	1.03	1.16	1.03	0.93	0.88	1.01	1.05	1.01	1.38	0.98
GF_48hr_3600	1.42	1.41	1.40	1.21	1.11	1.11	1.16	1.49	1.21	1.27	1.37	1.28	1.31	1.45	1.29
HA_48hr_3600	1.30	1.28	1.44	1.32	1.27	1.25	1.26	1.24	0.97	0.95	1.11	1.14	1.20	1.31	1.27
MI_48hr_3600	1.46	1.47	1.20	1.47	1.18	1.40	1.40	1.44	1.05	1.28	1.15	0.94	1.22	1.33	1.09
MP_48hr_3600	1.26	1.31	1.07	1.31	1.30	1.24	1.43	1.25	1.14	1.10	1.20	1.38	1.26	1.35	1.17
MR_48hr_3600	1.33	1.33	1.29	1.26	1.25	1.22	1.03	1.22	1.02	1.02	1.04	1.07	1.36	1.38	1.21

表-4.3 各地域区分における降雨継続時間 48 時間の SST モデル毎の降雨量変化倍率

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-4.5 に示す。 倍率は 6SST の平均値を点で示し、幅は 6SST の最大値・最小値を示している。



_____12hr _____24hr _____48hr

図-4.5 地域区分毎の雨域面積(km²)と降雨量変化倍率の関係性

また、SST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-4.6に示す。



図-4.6 各地域区分の SST6 パターンによる降雨量変化倍率の平均値

表-4.1~4.3 から降雨継続時間 12、24、48 時間、雨域面積 400、1600、3600km²の9 通りの倍率値について、SST ごとに平均した結果及び変動幅を、図-4.7、表-4.4 に示す。 全地域区分の算術平均は約 1.25 倍であるが、北海道北部と北海道南部、九州北西部につい ては 6SST のいずれのケースでも全国平均値を超過する結果となった。



	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
СС	1.31	1.30	1.23	1.22	1.23	1.11	1.15	1.07	0.99	0.87	1.03	1.08	1.09	1.44	1.08
GF	1.49	1.49	1.37	1.18	1.14	1.21	1.22	1.43	1.24	1.31	1.44	1.31	1.37	1.42	1.23
HA	1.35	1.31	1.36	1.27	1.26	1.22	1.22	1.24	1.03	1.06	1.14	1.14	1.28	1.30	1.19
MI	1.52	1.52	1.29	1.54	1.18	1.46	1.37	1.39	1.13	1.30	1.24	1.02	1.26	1.28	1.07
MP	1.33	1.35	1.15	1.26	1.37	1.26	1.38	1.36	1.15	1.13	1.21	1.34	1.33	1.33	1.17
MR	1.36	1.37	1.36	1.31	1.32	1.21	1.14	1.19	1.12	1.03	1.11	1.16	1.42	1.41	1.17
平均值	1.39	1.39	1.29	1.30	1.25	1.24	1.25	1.28	1.11	1.11	1.19	1.18	1.29	1.36	1.15
中央値	1.36	1.36	1.32	1.27	1.24	1.21	1.22	1.29	1.12	1.07	1.17	1.15	1.31	1.37	1.17
最小値	1.31	1.30	1.15	1.18	1.14	1.11	1.14	1.07	0.99	0.87	1.02	1.02	1.09	1.28	1.07
最大値	1.52	1.52	1.38	1.54	1.37	1.46	1.38	1.43	1.24	1.34	1.44	1.34	1.42	1.44	1.23

表-4.4 SST 毎の降雨量変化倍率(4℃上昇)

4.2.1.2 d2PDF の算出結果

d2PDFによる降雨量変化倍率の算出結果を図-4.8~4.10及び表-4.5~4.7に示す。計算条件は d4PDF と同様に、降雨継続時間 12、24、48 時間、雨域面積 400、1600、3600km² である。



図-4.8 各地域区分における降雨継続時間 12 時間の SST 毎の降雨量変化倍率 (左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
CC_12hr_400	1.14	1.11	0.98	0.98	1.04	0.99	1.13	1.00	1.05	0.99	1.04	1.01	1.21	1.19	1.09
GF_12hr_400	1.21	1.25	0.96	1.13	1.12	1.18	1.18	1.09	1.12	1.12	1.24	1.14	1.09	1.10	1.13
HA_12hr_400	1.13	1.11	1.00	1.01	1.13	1.13	1.28	1.02	1.08	1.03	1.31	1.28	1.36	1.21	0.98
MI_12hr_400	1.21	1.19	1.07	1.21	1.05	1.17	1.18	1.23	1.16	1.07	1.11	1.00	1.17	1.17	1.26
MP_12hr_400	1.21	1.17	1.10	1.05	1.39	1.16	1.07	1.10	0.98	1.00	1.15	1.03	1.26	1.06	1.29
MR_12hr_400	1.21	1.17	1.14	1.17	1.17	1.08	1.09	1.01	1.04	1.10	1.12	0.97	1.24	1.18	1.26
CC_12hr_1600	1.14	1.13	0.99	0.94	1.03	1.03	1.14	0.95	1.00	0.99	1.14	0.97	1.12	1.17	1.15
GF_12hr_1600	1.20	1.25	1.03	1.13	1.15	1.21	1.14	1.16	1.13	1.12	1.09	1.12	1.13	1.10	1.09
HA_12hr_1600	1.14	1.14	1.04	1.01	1.13	1.09	1.32	0.98	1.09	1.02	1.29	1.25	1.39	1.22	1.09
MI_12hr_1600	1.22	1.18	1.18	1.21	1.09	1.16	1.09	1.09	1.16	1.03	1.13	0.93	1.07	1.23	1.22
MP_12hr_1600	1.22	1.17	1.23	1.15	1.30	1.15	1.02	1.07	1.02	0.95	1.28	1.08	1.24	1.03	1.20
MR_12hr_1600	1.20	1.19	1.17	1.21	1.18	1.11	1.12	1.04	1.07	1.04	1.26	1.00	1.29	1.24	1.16
CC_12hr_3600	1.12	1.13	1.03	0.94	1.02	1.03	1.13	0.94	0.97	1.06	1.21	0.99	1.07	1.12	1.14
GF_12hr_3600	1.18	1.25	1.06	1.15	1.16	1.21	1.10	1.18	1.10	1.12	1.07	1.10	1.12	1.08	1.09
HA_12hr_3600	1.12	1.15	1.08	1.02	1.06	1.05	1.25	1.03	1.02	1.05	1.22	1.22	1.30	1.19	1.11
MI_12hr_3600	1.20	1.18	1.24	1.23	1.06	1.16	1.10	1.08	1.16	1.00	1.12	0.95	1.03	1.23	1.18
MP_12hr_3600	1.20	1.16	1.30	1.16	1.20	1.14	1.04	1.04	1.03	0.98	1.32	1.11	1.22	1.07	1.21
MR_12hr_3600	1.18	1.19	1.23	1.23	1.14	1.11	1.11	1.10	1.05	1.04	1.28	1.05	1.22	1.24	1.15

表-4.5 各地域区分における降雨継続時間 12 時間の SST 毎の降雨量変化倍率



図-4.9 各地域区分における降雨継続時間 24 時間の SST 毎の降雨量変化倍率 (左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
CC_24hr_400	1.14	1.11	0.94	0.97	1.04	0.96	1.14	1.07	0.96	1.01	1.03	1.00	1.12	1.22	1.14
GF_24hr_400	1.17	1.23	0.98	1.07	1.05	1.21	1.21	1.08	1.05	1.12	1.17	1.11	1.14	1.16	1.13
HA_24hr_400	1.11	1.12	0.99	0.96	1.07	1.04	1.24	1.00	1.06	0.94	1.32	1.19	1.29	1.23	1.00
MI_24hr_400	1.18	1.18	1.03	1.12	1.07	1.13	1.17	1.15	1.12	1.03	1.14	0.94	1.17	1.12	1.28
MP_24hr_400	1.17	1.15	1.03	1.01	1.30	1.10	1.00	1.03	0.90	0.91	1.09	0.97	1.23	1.03	1.24
MR_24hr_400	1.18	1.18	1.04	1.11	1.16	1.09	1.09	1.03	1.02	1.06	1.20	1.01	1.14	1.14	1.28
CC_24hr_1600	1.15	1.12	0.94	0.96	1.04	0.98	1.15	1.04	0.93	1.04	1.08	0.97	1.07	1.21	1.16
GF_24hr_1600	1.16	1.23	1.00	1.10	1.06	1.19	1.16	1.15	1.05	1.09	1.03	1.09	1.19	1.11	1.12
HA_24hr_1600	1.11	1.14	1.03	1.00	1.08	1.01	1.23	1.04	1.03	0.96	1.26	1.18	1.34	1.19	1.05
MI_24hr_1600	1.21	1.17	1.16	1.14	1.09	1.15	1.12	1.08	1.05	1.00	1.07	0.92	1.08	1.17	1.22
MP_24hr_1600	1.19	1.15	1.14	1.07	1.26	1.05	1.01	1.03	0.93	0.86	1.17	0.99	1.19	0.99	1.18
MR_24hr_1600	1.18	1.18	1.15	1.14	1.19	1.07	1.15	1.07	1.06	0.99	1.25	1.02	1.20	1.20	1.19
CC_24hr_3600	1.13	1.12	0.97	0.94	1.07	0.99	1.11	1.04	0.89	1.06	1.13	0.97	1.05	1.16	1.14
GF_24hr_3600	1.14	1.22	1.08	1.14	1.10	1.21	1.11	1.18	1.04	1.08	1.00	1.09	1.18	1.07	1.12
HA_24hr_3600	1.09	1.15	1.08	1.02	1.05	0.99	1.20	1.08	0.99	0.98	1.19	1.14	1.28	1.14	1.08
MI_24hr_3600	1.19	1.17	1.20	1.16	1.07	1.17	1.10	1.07	1.07	0.95	1.08	0.95	1.04	1.16	1.19
MP_24hr_3600	1.16	1.14	1.15	1.06	1.17	1.04	1.02	1.03	0.91	0.88	1.23	1.01	1.19	1.01	1.18
MR_24hr_3600	1.17	1.19	1.16	1.16	1.15	1.06	1.12	1.11	1.05	0.99	1.26	1.04	1.17	1.17	1.12

表-4.6 各地域区分における降雨継続時間 24 時間の SST 毎の降雨量変化倍率



図-4.10 各地域区分における降雨継続時間 48 時間の SST 毎の降雨量変化倍率 (左から雨域面積 400km²、1600km²、3600km²)

	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
CC_48hr_400	1.15	1.14	0.94	1.01	0.99	1.02	1.10	1.11	0.93	1.03	1.06	0.97	1.16	1.20	1.12
GF_48hr_400	1.17	1.24	1.00	1.06	0.97	1.16	1.17	1.05	0.97	1.12	1.14	1.19	1.13	1.08	1.11
HA_48hr_400	1.10	1.13	1.07	0.96	1.04	0.98	1.15	1.02	1.08	0.95	1.29	1.21	1.23	1.14	1.02
MI_48hr_400	1.17	1.19	1.01	1.12	1.02	1.10	1.15	1.11	1.20	1.05	1.23	1.05	1.11	1.14	1.25
MP_48hr_400	1.15	1.14	0.95	1.01	1.24	1.08	1.06	0.98	0.97	0.91	1.21	1.06	1.21	1.01	1.16
MR_48hr_400	1.16	1.15	0.99	1.14	1.12	1.05	1.08	1.03	1.07	1.02	1.25	1.11	1.10	1.08	1.25
CC_48hr_1600	1.14	1.13	0.93	0.99	1.00	0.99	1.16	1.08	0.91	1.06	1.09	0.96	1.11	1.20	1.14
GF_48hr_1600	1.14	1.20	0.98	1.07	0.97	1.19	1.14	1.13	0.96	1.09	1.04	1.12	1.15	1.08	1.12
HA_48hr_1600	1.10	1.14	1.03	0.96	1.01	1.00	1.16	1.07	1.04	0.96	1.25	1.18	1.26	1.09	1.07
MI_48hr_1600	1.19	1.17	1.08	1.16	1.03	1.10	1.13	1.13	1.14	1.05	1.15	1.04	1.07	1.21	1.17
MP_48hr_1600	1.16	1.14	0.99	1.05	1.17	1.04	1.05	1.01	1.00	0.89	1.25	1.06	1.17	0.98	1.10
MR_48hr_1600	1.15	1.15	1.05	1.15	1.13	1.01	1.13	1.06	1.14	0.97	1.25	1.15	1.14	1.13	1.14
CC_48hr_3600	1.12	1.12	0.94	0.99	1.05	0.99	1.16	1.08	0.86	1.09	1.11	0.99	1.08	1.20	1.11
GF_48hr_3600	1.12	1.18	1.05	1.10	0.98	1.19	1.09	1.19	0.92	1.07	0.98	1.12	1.15	1.06	1.12
HA_48hr_3600	1.08	1.14	1.10	0.94	1.00	0.99	1.17	1.07	0.97	1.00	1.18	1.10	1.24	1.10	1.12
MI_48hr_3600	1.18	1.16	1.17	1.16	1.01	1.14	1.07	1.12	1.11	0.96	1.09	1.04	1.05	1.21	1.17
MP_48hr_3600	1.13	1.12	1.04	1.04	1.10	1.03	1.03	0.99	0.96	0.90	1.21	1.04	1.16	0.98	1.10
MR_48hr_3600	1.14	1.16	1.04	1.15	1.11	1.01	1.12	1.10	1.12	1.00	1.24	1.11	1.11	1.13	1.07

表-4.7 各地域区分における降雨継続時間 48 時間の SST 毎の降雨量変化倍率



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-4.11に示す。

図-4.11 地域区分毎の雨域面積(km²)と降雨量変化倍率の関係性

また、SST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-4.12に示す。



図-4.12 各地域区分の SST6 パターンによる降雨量変化倍率の平均値

表-4.5~4.7 から降雨継続時間 12、24、48 時間、雨域面積 400、1600、3600km²の 9 通 りの倍率値について、SST ごとに平均した結果及び変動幅を、図-4.13、表-4.8 に示す。全 地域区分の算術平均は約 1.10 倍であるが、北海道北部と北海道南部については 6SST のい ずれのケースでも全国平均値を超過する結果となった。



図-4.13 SST 毎の降雨量変化倍率(2°C上昇)

	北海道北部	北海道南部	東北西部	東北東部	関東	中部	北陸	紀伊南部	山陰	近畿	瀬戸内	中国西部	四国南部	九州北西部	九州南東部
CC	1.14	1.12	0.96	0.97	1.03	1.00	1.14	1.03	0.94	1.04	1.10	0.98	1.11	1.19	1.13
GF	1.17	1.23	1.02	1.11	1.06	1.19	1.14	1.13	1.04	1.10	1.08	1.12	1.14	1.09	1.11
HA	1.11	1.14	1.05	0.99	1.06	1.03	1.22	1.03	1.04	0.99	1.26	1.19	1.30	1.17	1.06
MI	1.19	1.18	1.13	1.17	1.05	1.14	1.12	1.12	1.13	1.02	1.12	0.98	1.09	1.18	1.22
MP	1.18	1.15	1.10	1.07	1.24	1.09	1.03	1.03	0.97	0.92	1.21	1.04	1.21	1.02	1.18
MR	1.17	1.17	1.11	1.16	1.15	1.07	1.11	1.06	1.07	1.02	1.23	1.05	1.18	1.17	1.18
平均值	1.16	1.16	1.06	1.08	1.10	1.09	1.13	1.07	1.03	1.01	1.17	1.06	1.17	1.14	1.15
中央値	1.17	1.16	1.08	1.09	1.06	1.08	1.13	1.05	1.04	1.02	1.17	1.05	1.16	1.17	1.16
最小値	1.11	1.12	0.96	0.97	1.03	1.00	1.03	1.03	0.94	0.92	1.08	0.98	1.09	1.02	1.06
最大値	1.19	1.23	1.13	1.17	1.24	1.19	1.22	1.13	1.13	1.10	1.26	1.19	1.30	1.19	1.22

表-4.8 SST 毎の降雨量変化倍率(2℃上昇)

上記の降雨量変化倍率の値は、年超過確率 1/100 の降雨量を想定し検討されたものであ るが、治水計画(河川整備基本方針)の目標規模は、二級水系も含めると年超過確率 1/10~ 1/200と幅がある。そのため、2℃上昇時については、年超過確率 1/100と同様の手法で d2 PDF(5km,SI-CAT)、d2PDF(5km,yamada)により、年超過確率を変えて降雨量変化倍率を 算出し、変化傾向を確認した。治水計画の目標規模とは異なるが、平均年最大雨量を対象と した倍率と、年超過確率 1/1000の倍率も参考として算出した。ただし、今回使用したモデ ルの SST 毎の計算年数は d2PDF(5km,SI-CAT)で 30 年×2 摂動、d2PDF(5km,yamada)で も 60 年×9 摂動しかなく、年超過確率 1/1000 に相当する値を適切に算出できるだけのデ ータ数がないことから、参考値であることに留意する必要がある。

図-4.14 に、確率規模を変えて算出した降雨量変化倍率を示す。図中の点は 6SST の平均 値を、幅は SST による幅を示している。年超過確率が小さくなるほど SST による幅が大き くなる傾向が見られた。一方で、地域区分によって差はあるものの、6SST の平均値はいず れの確率規模においても、年超過確率 1/100 の降雨量変化倍率と同程度の値となっている。



4.2.2 北海道の降雨量変化倍率に関する考察

4.2.2.1 気温と飽和水蒸気圧の関係からの考察

4.2.1 項の算出結果の通り、d4PDF・d2PDF の両方において、北海道の降雨量変化倍率 が全国平均値を上回る結果となった。

ここで、内海ら(2011)²によると、日本域においてある程度の気温までは極端な1時間 降水強度と地上気温の関係は正の関係を示すこと、また冬季においては本州〜北海道で気 温上昇に伴う降水強度の増加率は、Clausius-Clapeyronの関係から予想される飽和水蒸気 量変化率(7%℃⁻¹)に近い値を中心に分布していたことが報告されている。

そのため、北海道の降雨量変化倍率が高い値を示したことについて、Clausius-Clapeyronの関係から予想される気温上昇に伴う飽和水蒸気圧・量の変化率の観点、気温上昇量の観点、 で考察を行った。

図-4.15 に、Clausius-Clapeyron 関係の実用的な実験式として用いられているテテンの式 で算出した気温と飽和水蒸気圧の関係を示す。



テテンの式において、現在の気温と飽和水蒸気圧を $T_1(^{\mathbb{C}}), E_1(hPa)$ 、将来の気温と飽和水 蒸気圧を $T_2=T_1+K(^{\mathbb{C}}), E_2(hPa)$ とし、飽和水蒸気圧の変化率(E_2/E_1)を変形すると、下記 の通りとなる。そのため、気温上昇量 $K(^{\mathbb{C}})$ が一定であれば、現在の気温 $T_1(^{\mathbb{C}})$ が低いほど、 飽和水蒸気圧の変化率は大きくなる。

$$E_{2}/E_{1} = \left(6.11 \times 10^{\frac{7.5T_{2}}{T_{2}+237.3}}\right) / \left(6.11 \times 10^{\frac{7.5T_{1}}{T_{1}+237.3}}\right)$$
$$= 10^{\left(\frac{7.5T_{2}}{T_{2}+237.3} - \frac{7.5T_{1}}{T_{1}+237.3}\right)}$$
$$= 10^{\left(\frac{7.5(T_{1}+K)}{T_{1}+K+237.3} - \frac{7.5T_{1}}{T_{1}+237.3}\right)}$$
$$= 10^{\left(\frac{7.5(T_{1}+K)(T_{1}+237.3) - 7.5T_{1}(T_{1}+K+237.3)}{(T_{1}+K+237.3)(T_{1}+237.3)}\right)}$$
$$= 10^{\left(\frac{7.5(K+237.3)}{T_{1}+237.3} - \frac{7.5K}{T_{1}+237.3}\right)}$$

 $= 10^{\overline{(T_1 + K + 237.3)(T_1 + 237.3)}}$

次に、表-4.9を見ると、日本においては一般に高緯度地域ほど年平均気温の上昇量が大き いと予測されており、RCP8.5における年平均気温の将来変化は、札幌が 5.0℃に対して、 東京は 4.4℃、福岡は 4.2℃、沖縄は 3.5℃となっている。高緯度地域は現在の気温が低いこ とに加え、気候変動による気温上昇量が大きいことから、北海道における飽和水蒸気量の増 加率が他地域と比べて高くなり (RCP8.5 のとき札幌:+33%、東京~沖縄:+28%~+21%)、 降雨量変化倍率が高まっている可能性が考えられる。

		現在気候	RPC2.6	RCP8.5
札幌	平均気温(6月 ~10 月)	18.2° ℃ ^{≭1}	19.6° ℃ [⋇] ₂	23.2 ℃ [⋇] ³
	飽和水蒸気圧	20.9hPa	22.8hPa (+9%)	28.4hPa (+36%)
	飽和水蒸気量	15.6g/m³	16.9g/m ³ (+8%)	20.8g/m ³ (+33%)
東京	平均気温(6月~10 月)	24.2 ℃ ^{≭1}	25.5 ℃ [⋇] 2	28.6° ℃ [⋇] ³
	飽和水蒸気圧	30.2hPa	32.6hPa (+8%)	39.2hPa (+30%)
	飽和水蒸気量	22.0g/m ³	23.7g/m ³ (+8%)	28.2g/m ³ (+28%)
福岡	平均気温(6月~10 月)	25.3° ℃ ^{≭1}	26.6℃ [%] 2	29.5℃ ^{% 3}
	飽和水蒸気圧	32.3hPa	34.8hPa (+8%)	41.2hPa (+28%)
	飽和水蒸気量	23.5g/m ³	25.2g/m ³ (+7%)	29.6g/m ³ (+26%)
沖縄	平均気温(6月~10 月)	27.4° ℃ ^{≭1}	28.5℃ [%] 2	30.9° C [⋇] ³
	飽和水蒸気圧	36.5hPa	38.9hPa (+7%)	44.7hPa(+22%)
	飽和水蒸気量	26.4g/m ³	28.0g/m ³ (+6%)	31.9g/m ³ (+21%)

表-4.9 テテンの式で算出した気温上昇時の飽和水蒸気量

- ※1:気象庁の2018年の6月~10月(出水期)の平均気温
- ※2:現在気候の気温に、RCP2.6シナリオにおける将来の年平均変化量の平均値^{※4}及び0.2℃^{※5}を加えたもの
- ※3:現在気候の気温に、RCP8.5 シナリオにおける将来の年平均変化量の平均値^{※4} 及び 0.2℃^{※5}を加えた もの
- ※4:環境省・気象庁「21世紀末における日本の気候」⁴⁾における各地点の年平均気温の変化(NHRCM20に よる1984~2004年と2080~2100年の差分)
- ※5:NHRCM の基準期間(1984~2004年)の平均値と d4PDF 現在気候の対象期間(1951~2010年)の平均値 の差分

4.2.2.2 海面水温からの考察

d4PDF・d2PDFの両方において、北海道の降雨量変化倍率が高い値を示したことについて、海面水温の観点から考察を行った。

d4PDF・d2PDFの将来予測における海面水温は、観測された海面水温からトレンド成分 を除いたものに、CMIP5(第5次結合モデル相互比較計画)の主要 6SST モデルに基づく 将来の海面水温変化パターンを加えた値を、海面水温の境界値として与えることで設定さ れている。d4PDF(20km)・d2PDF(20km)において、SST モデル毎の夏季(6~8月)海面 水温上昇量を見ると、4℃上昇時(図-4.16)では、いずれのモデルでも北海道周辺の海面水 温の上昇量が大きくなっている。他方、太平洋沿いのエリアではモデルによって海面水温の 上昇量の違いが大きくなっている。一方、2℃上昇時(図-4.17)では、特に SST モデル CC、 GF、MP において北海道周辺の海面水温の上昇量が大きくなっており、MI の北海道南東部 海域、MR の北海道東部海域でも海面水温の上昇量が大きい領域が見られる。

海面水温が高くなるほど、海水が蒸発し、空気中の水蒸気量が増加することから、海面水 温が豪雨に影響を及ぼしうることは推察できるものの、本資料のような地域単位の豪雨に 対してどの領域の海面水温がどの程度影響を与えるかについて、それほど多くの知見は見 られない。ただし、いくつかの研究があり、Manda et al. (2014)⁵によると、東シナ海の水 温上昇が梅雨期に九州で起こる集中豪雨の発生に影響していると報告されている。また、 Iizuka and Nakamura(2019)⁶によると、平成 25 年 8 月秋田岩手豪雨を対象として気候モ デルによる海面水温の感度分析を行った結果、暖水バイアスケースの方が東北北部の総雨 量が増加すると報告されている。

これらの知見を踏まえて、より正確には海面水温変化に伴う降水メカニズムの変化など 詳細の分析を要するが、北海道の降雨量変化倍率が高い値を示したことについて、北海道周 辺の海面水温の上昇量が大きいことが影響している可能性が考えられる。



※d4PDF (20km) 現在気候(1991 年~2010 年の平均) と 4℃上昇実験(2091 年~2110 年:定常)の夏季 (6~8 月平均) 海面水温の差

※気象庁気象研究所提供資料をもとに体裁を修正

図-4.16 SST ごとの海面水温の上昇度(4℃上昇)



※d2PDF (20km) 現在気候(1991 年~2010 年の平均)と2℃上昇実験(2071 年~2090 年:定常)の夏季(6~8 月平均)海面水温の差 ※気象庁気象研究所提供資料をもとに体裁を修正

図-4.17 SST ごとの海面水温の上昇度(2℃上昇)

4.2.3 九州北西部の降雨量変化倍率に関する考察

4.2.3.1 海面水温からの考察

九州北西部については、d4PDF において降雨量変化倍率が高い値を示したが、d2PDF においては北海道を除く他地域と同程度の値であった。

前掲の図-4.16(4℃上昇時)では、北海道周辺ほどではないが、北海道周辺から九州北 西部周辺にかけた日本海一帯の海面水温の上昇量が大きくなっている。加えて、九州北西 部は、偏西風が九州を南北に走る九州山地に当たることで西側に雨が降りやすい気候であ ることから、九州北西部周辺(特に東シナ海)の海面水温の上昇による影響を敏感に受け ることが推察される。

一方、図-4.17(2℃上昇時)では、九州北西部周辺の海面水温の上昇量は他地域と比べ て大きいとはいえない。d4PDFにおいてのみ、九州北西部の降雨量変化倍率が高い値を示 したのは、この海面水温の上昇量の違いが影響している可能性がある。

<d4PDF・d2PDFの東シナ海の海面水温設定の妥当性>

d4PDF等の海面水温は、解像度が 100km~200km 程度のモデルに基づき設定されたも のであるため、大部分が水深 200m 以浅の大陸棚に占められ、気候変動の影響を受けやす いと考えられる東シナ海の海面水温変化を十分に捉えられているか、より解像度の高い海 洋モデルを用いて比較確認を行った。使用した海洋モデルは、SI-CAT のもと海洋研究開 発機構により作成された FORP (Future Ocean Regional Projection data set) -NP10 version2 (以降、FORP-NP10) ^{7/8)} である。FORP-NP10 は、水平解像度約 10km の北 太平洋海域モデルによる 1981 年から 2100 年までの連続計算により作成された、北太平洋 海域の海洋将来予測データセットであり、CMIP5 の 4 つの SST モデルによる大気データ を外力として与えている。FORP-NP10 の諸元を表-4.10 に示す。d4PDF・d2PDF の海面 水温設定に用いられている CMIP5 の 6 モデルの水平解像度(海洋)(表-4.11)と比較し て、FORP-NP10 の水平解像度が高いことが分かる。また、図-4.18 においても、FORP-NP10 は CMIP5 のオリジナルモデルと比べて水平解像度が高く、より詳細に海面水温を 捉えていることが分かる。

ただし、d4PDF・d2PDFとFORP-NP10とで採用されたSSTモデルは、一部重複して いるものの全体としては異なっており、この違いが大きいとd4PDF・d2PDFとFORP-N P10とを比較する意義が弱まる。図-4.19は、Mizutaら(2014)⁹⁹が CMIP5に提出された約 60モデルの予測計算結果のうち、現在気候、RCP2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP 8.5シナリオが計算されている28モデルを対象としてクラスター分析したものに、d4PD F・d2PDF及びFORP-NP10で採用されたSSTモデルが分かるよう筆者らが追記したも のである。d4PDF・d2PDFでは、このクラスター分析結果を元に、互いにパターンが似 ていない6種類のモデルが選定されている。FORP-NP10のSSTモデルは、海面水温図か ら判断した黒潮パターンの代表性や、大気外力として必要なパラメータの利用可能性の観 点から選ばれており、このクラスター分析結果と比べても、CMIP5のモデルの中から満 逼なく選出されていることがわかる。これらにより、d4PDF・d2PDF と FORP-NP10 と で採用された SST モデル群に極端な偏りはないと考えられるため、以降では d4PDF・d2 PDF と FORP-NP10 とで SST モデル群の海面水温上昇量の全体傾向を比較することとし た。

表-4.10 FORP-NP10の諸元

項目	FORP-NP10 諸元
領域	100 [°] E-75 [°] W , 15 [°] S-70 [°] N
モデル	MRI.COM (Tsujino et al., 2017)
水平解像度	1/10 [°] ×1/10 [°] (約 10km)
鉛直解像度	1m(表層) - 600m(海底)
格子点数	水平 1852×852、鉛直 54 層
地形データ	JTOPO2
その他	海氷あり。河川流入、潮汐、熱膨張、大気圧力効果は無し。

表-4.11 d4PDF の海面水温設定に用いられている CMIP5 の6 モデルの水平解像度(海洋)

CMIP5 モデル	水平解像度(海洋)
CCSM4	Nominal1 $(1.125^{\circ} \text{ in longitude}, 0.27-0.64^{\circ} \text{ variable in latitude})$
GFDL-CM3	1 [°] tripolar360×200L50
HadGEM2-AO	1.875 \degree in longitude by 1.25 \degree in latitude N96
MIROC5	1.4 °(zonally)×0.5-1.4 °(meridionally)
MPI-ESM-MR	Approx.0.4 ° TP04
MRI-CGCM3	1×0.5

※「IPCC Climate Change 2013」¹⁰⁾より抜粋



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 101112131415161718192021222324252627 [deg.C]

※上段 2 図は CMIP5 のオリジナルモデル、下段 2 図は CMIP5 モデルを大気外力として与えた 10km 海洋 モデルのアウトプット

※Nishikawa et al. (2021)⁷⁾より引用

図-4.18 海洋表層水温(海面から水深 700m の平均)の10 年平均(1996-2005)



図-4.19 d4PDF・d2PDFとFORP-NP10のSSTの関係

FORP-NP10における将来の海面水温変化予測、及び d4PDF・d2PDF における将来の 海面水温設定を図-4.20~4.23 に示す。図中の四角は、東シナ海南西部を示しており、本領 域の 6 月から 7 月にかけての季節的な海面水温上昇が九州の集中豪雨発生に寄与すると指 摘されている ⁵⁾。本領域の海面水温上昇量は表-4.12 の通りであり、高解像度でより詳細に 海面水温を捉えている FORP-NP10 と、d2PDF・d4PDF との間に大きな海面水温上昇量の差は見られなかった。この結果は、d2PDF・d4PDF の東シナ海における海面水温設定の妥当性を支持するものと考えられる。



※各図の左側に東シナ海南西部(27°N-31°N, 123°E-128°E)(図中の四角)における温度上昇量を示す
 図-4.20 RCP2.6 実験における夏季の海面水温の変化(FORP-NP10)



※各図の左側に東シナ海南西部(27°N-31°N, 123°E-128°E)(図中の四角)における温度上昇量を示す ※d2PDF(20km)の現在気候(1991年~2010年の平均)と2℃上昇実験(2071年~2090年:定常)の夏季 (6~8月平均)海面水温の差

図-4.21 2℃上昇実験における海面水温の変化(d2PDF)



※各図の左側に東シナ海南西部(27°N-31°N, 123°E-128°E)(図中の四角)における温度上昇量を示す 図-4.22 RCP8.5 実験(4℃上昇)における夏季の海面水温の変化(FORP-NP10)



※d4PDF (20km)の現在気候(1991 年~2010 年の平均)と4℃上昇実験(2091 年~2110 年:定常)の夏季 (6~8 月平均)海面水温の差

※各図の左側に東シナ海南西部(27°N-31°N,123°E-128°E)(図中の四角)における温度上昇量を示す 図-4.23 4℃上昇実験における海面水温の変化(d4PDF)

d4PDF/d2PDF	2℃上昇	4℃上昇
CCSM4	0.5 ~ 2.0°C	2.25 ~ 3.0°℃
GFDL-CM3	1.0 ~ 2.0°C	3.0 ~ 5.0°C
HadGEM2-AO	0.5 ~ 2.0°C	2.25 ~ 4.0°℃
MIROC5	1.0 ~ 2.25℃	3.0 ~ 5.0°C
MPI-ESM-MR	0.5 ~ 2.0°C	2.25 ~ 3.5℃
MRI-CGCM3	1.0∼2.0°C	2.75 ~ 4.0°℃
平均	0.8~2.0°C	2.6 ~ 4.1°C

表-4.12 各モデルによる東シナ海の海面水温上昇量

FORP-NP10	RCP2.6	RCP8.5	
GFDL-ESM2M	0.5 ~ 1.5°℃	2.5 ~ 3.5℃	
IPSL-CM5A-MR	0.5 ~ 1.5°℃	3.5 ~ 5.0°C	
MIROC5	1.0 ~ 2.0°C	2.75 ~ 4.0°℃	
MRI-CGCM3	0.5 ~ 1.5°℃	2.25 ~ 3.5℃	
平均	0.6 ~ 1.6°C	2.8 ~ 4.0°℃	

4.2.3.2 気象擾乱からの考察

九州北西部について、d4PDFにおいて降雨量変化倍率が高い値を示したが、d2PDFに おいては北海道を除く他地域と同程度の値であった。この要因として、d2PDFの降雨量変 化倍率の算出過程で、九州北西部の豪雨要因として特徴的な前線性降雨を捉えられていな い可能性について、検証をおこなった。九州北西部・筑後川流域(治水基準点(荒瀬)上 流域)(図-4.24)を対象として、d4PDF・d2PDF及び実績データによる年最大流域(雨 域)平均雨量をもたらす降雨イベントの擾乱タイプ(台風・前線等)を整理した。対象デ ータを表-4.13に示す。



図-4.24 九州北西部及び筑後川流域(治水基準点(荒瀬)上流域)の位置

対象地域	九州北西部	筑後川流域 (治水基準点(荒瀬)上流域)	筑後川流域 (治水基準点 (荒瀬)上流域)	
対象データ	d4PDF, d2PDF 現在気候:360 年 2 ℃上昇:360 年 4 ℃上昇:360 年	d4PDF, d2PDF 現在気候:上位 20 年 [※] 4 ℃上昇:上位 20 年 [※] ※年最大流域平均雨量による	実績降雨 1943~2019 年:77 年	
流域(雨域) 面積、降雨 継続時間	400㎞²、12 時間 (DAD 解析)	約 1, 440km²、48 時間	約 1, 440km²、48 時間	
分類手法	機械分類	目視	目視	
分類種数	3 種類 (台風、前線、その他)	8 種類 (台風、台風と停滞前線、台風と移 動性低気圧、停滞前線、停滞前線 (台風の影響あり)、停滞前線と移 動性低気圧、移動性低気圧、暖湿気 流)	3 種類 (台風、前線、低気圧)	

表-4.13 擾乱タイプ分類の対象データ

機械分類では、Utsumiら(2016)¹¹⁾による手法のパラメータを一部変更した手法(表-4.14)を用いた。この手法の適用にあたっては、精度検証のため、なるべく全国的に地域 の偏りが生じないよう十勝川・利根川・筑後川水系における現在気候及び4℃上昇実験の 豪雨上位各 20 事例(計 120 事例)から 100 事例を選定し、目視分類の結果と比較を行っ た。目視分類は表・4.15 の判定基準に従い、気象予報士の資格保有者が行ったことから、 目視分類の結果を正しい(真値)とみなすこととした。選定した 100 事例の生起時刻と、 DAD 解析による各地域区分の年最大降雨生起時刻とを比較し、100 事例が対応する地域区 分を調べ、地域区分別の事例数をカウントした(図-4.25)。また、選定した 100 事例の擾 乱タイプ(真値)は、台風 37 事例、前線 55 事例、その他 8 事例であり、現在気候 51 事 例、将来気候 49 事例を含んでいる。

精度検証の結果を表-4.16 に示す。真値どおり分類できた事例は 100 事例中 77 事例であり、的中率は 77%である。

手順	内海ら(2016)による手法の一部変更 (変更部分は赤字、論文で明確でなく今回設定した部分は青字で示す。)
	(1) 1°格子に再配置 (地上気圧、850hPa相対渦度・水平風・温度、500hPa水平風・温度、300hPa水平風・温度)
①気象擾乱の抽出判定 (台風)	(2) 地上気圧極小値の格子点を低気圧中心として抽出 [※] 格子点が(3)-(7)を満たせば台風 ※ 7°四方のエリア内で地上気圧最小をとる格子点にフラグをたてる。フラグをたてた格子が隣接していれば同一エリアと する。各エリアで地上気圧最小の格子点を抽出する。
	 (3) 850hPa相対渦度がしきい値(1.0×10-4)を超える (4) 9°四方の平均風速が、850hPaで300hPaの80%より大きい (5) 850, 500, 300hPa各高度における中心の温度と9°四方の平均温度の差を算出、3高度の差の総和がしきい値(0°C)を超える (6) 同一の低気圧※が連続する48時間以上存在
	 (6) 前のの後気にからも15日移動平均した500hPa水平風×0.5で移流する。移流先の500km以内に次の時刻の低気圧中心があれば、同一の低気圧とする。前時刻の低気圧中心が複数ある場合、移流先と現時刻の低気圧中心が最も近く、かつ500km以内であれば同一とする。 (7) 低気圧中心が日本付近の領域で初めて検出された場所・時刻の月平均海面温度がしきい値以上(25℃)
②気象擾乱の抽出判定 (前線)	 (1) 1°格子に再配置 (2) 700hPa相当温位・850hPa比湿の水平勾配を算出 (3) 水平勾配の大きさがしきい値を超える格子点に前線が存在するとする[※] ※局所的に勾配が大きくなっている領域を除くため、隣接した格子点の数が20未満のものを除く
 ③気象擾乱と 降雨発生域の紐づけ 	 (1) 降雨継続時間の総雨量で重みづけした位置を特定 (2) (1)の位置と擾乱の距離により気象擾乱を紐づける ① 台風中心から1,000km以内:台風 ② ①を満たしておらず、前線から600km以内:前線 ③ ①・②を満たしていない:その他

表-4.14 擾乱タイプの判定方法(機械分類)

表-4.15 目視による判定基準

擾乱タイプ	判定基準
台風	 地上気圧で極小域の周囲の等圧線が同心円状 700hPa 相当温位図で地上気圧極小域の上空に暖気核があり、かつ 500hPa で 地上気圧極小域の上空が高度の極小域となっており、寒気が入り込んでいない 降水域の分布で対象流域の降雨が台風の周囲でもたらされる降雨に含まれる
前線	 ① 850 / 700hPa 等相当温位線の間隔が狭く、風向きが不連続 ② ①付近で、地上気圧の谷や地上降水域の分布から前線の位置を決定 ③ 降水域の分布で対象流域の降雨が前線付近でもたらされる降雨に含まれる
その他	台風及び前線に分類されないもの



図-4.25 精度検証事例の地域別の事例数

			÷⊥		
		台風	前線	その他	ĒΤ
機械分類 結果	台風	30	2	0	32
	前線	6	43	4	53
	その他	1	10	4	15
計		37	55	8	100

表-4.16 機械分類の精度検証結果

※太字は真値どおり分類できた事例数

ここで、実績降雨イベントに関して、筑後川流域において年最大雨量をもたらした気象擾 乱について整理した結果は、1943年~2019年の計77イベント中、台風が9イベント(12%)、 前線が63イベント(82%)、低気圧が5イベント(6%)であり、実績降雨イベントにおい ては「前線」が主要な気象擾乱タイプであることが確認されている(図-4.26)。

一方、気候モデル出力値である d4PDF・d2PDF の、機械分類・目視による擾乱タイプの 分類結果を表・4.17~4.19 に示す。機械分類・目視の両手法において、現在気候では、九州 北西部・筑後川流域では「前線」が主要な気象擾乱タイプであった(表・4.17、表・4.18)。機 械分類において、上位 1/10 の豪雨事例に対象を絞っても、その傾向は同じであった(表・ 4.19)。

また、将来気候では、筑後川流域を対象とした目視分類において「前線」の割合が6割に 減る(表-4.18)が依然として「前線」が主要な気象擾乱タイプであり、九州北西部を対象と した機械分類では「前線」の割合が現在気候の5~6割から2℃上昇の6~7割、4℃上昇の 8~9割へと増加する傾向であった(表-4.17、表-4.19)。



図-4.26 筑後川流域における年最大雨量をもたらした降雨イベントの擾乱タイプ

擾乱タイプ	現在気候	2℃上昇実験	4℃上昇実験
台風	49(14%)	37(10%)	34(9%)
前線	219(61%)	260(72%)	291(81%)
その他	92(26%)	63(18%)	35(10%)
合計	360(100%)	360(100%)	360(100%)

表-4.17 機械分類による擾乱タイプの分類結果(九州北西部、全360事例)

表-4.18 目視による擾乱タイプの分類結果(筑後川流域、上位20事例)

擾乱タイプ	現在気候	4℃上昇実験	
台風		2(10%)	
台風と停滞前線	1(5%)	2(10%)	
台風と移動性低気圧			
停滞前線	16(80%)	11(55%)	
停滞前線(台風の影響あり)	1(5%)	1(5%)	
停滞前線と移動性低気圧			
移動性低気圧	2(10%)	3(15%)	
暖湿気流		1(5%)	
 合計	20(100%)	20(100%)	

擾乱タイプ	現在気候	2℃上昇実験	4℃上昇実験
台風	2(6%)	5(14%)	1(3%)
前線	18(50%)	23(64%)	34(94%)
その他	16(44%)	8(22%)	1(3%)
合計	36(100%)	36(100%)	36(100%)

表-4.19 機械分類による擾乱タイプの分類結果(九州北西部、上位1/10:36事例)

なお、図-4.26の比率は、表-4.17 や表-4.19の機械分類の現在気候の比率と必ずしも一致 していないが、これは目視分類が筑後川流域の77年の実績データを対象とする一方、機械 分類が九州北西部の360年あるいは36年の気候モデルデータを対象としており各対象の データ数が異なることや、機械分類では前線と低気圧の判定が難しい場合があること等が 原因として考えられる。なお、図-4.26、表-4.17、表-4.19どれを見ても、九州においては「前 線」が主要な気象擾乱タイプである傾向は変わらなかった。

以上の結果から、d2PDFの降雨量変化倍率の算出過程で、九州北西部の豪雨要因として 特徴的な前線性降雨を十分に考慮できていると考えられた。

4.3 中小河川流域における降雨量変化倍率

4.3.1 気候変動による短時間、小面積での降雨量変化

気候変動による降雨量への影響は、降雨イベントの対象時間が短く、対象面積が小さい場合により強く現れることが、山田らが行った北海道における研究において報告されている。 また、降雨の時空間的な集中化の傾向は、2℃上昇時より 4℃上昇時の方が顕著に生じると されている(図-4.27)¹。

そのため、4.3節では、中小河川流域を想定し、短い降雨継続時間(12時間以下)と小さい雨域面積(400km²以下)の範囲で、降雨量変化倍率の変化傾向を整理する。



+勝川帯広基準地点集水域(200[~]250mm/72hrのみを対象) ・<u>過去実験(</u>DS後71事例の中央値), <u>2℃上昇実験</u>(DS後110事例の中央値)の比較

4.3.2 短時間の降雨量変化倍率

本項では、降雨継続時間に着目して分析を行う。4℃上昇時において、雨域面積 400km²、 年超過確率 1/100 について、d4PDF(5km,SI-CAT)、d4PDF(5km,yamada)により、降雨継 続時間ごとの降雨量変化倍率を整理し、6SST パターンの結果の幅と平均値を算出した(図 -4.28、表-4.20)。12 時間未満の降雨継続時間のとき、降雨量変化倍率の増加傾向がやや顕 著となり、特に北海道北部、北海道南部、東北西部では、顕著に大きくなる傾向が見られる。 短時間降雨のデータの中でも、特に 3 時間と 6 時間のデータは、概ね全国的に 12 時間~48 時間の降雨量変化倍率と比較して増加傾向にある。降雨継続時間 3~6 時間と、12~48 時 間の比率を全 15 地域区分で平均すると 1.05 であった(表-4.20)。

温暖化の進行度合いに応じて、計画規模の降雨の時空間的な集中化の度合いは高まる (気候変動を踏まえた治水計画に係る技術検討会(参考資料) 山田委員提供資料¹⁾) 図-4.27 気候変動による降雨の時空間的な集中化



図-4.28 降雨継続時間(横軸)と降雨量変化倍率(縦軸)の関係性(4℃上昇)

400km2	1h	2h	3h	6h	12h	11-	<u>(2</u>)3–	312-	比率
						2h	6h	48h	(②/
						平均	平均	平均	(3)
北海道北部	1.69	1.66	1.63	1. 55	1. 45	1.68	1.59	1.41	1. 128
北海道南部	1.66	1.64	1.61	1. 53	1.43	1.65	1.57	1.42	1. 106
東北西部	1.63	1.62	1.56	1.44	1.30	1.62	1.50	1.26	1. 195
東北東部	1. 28	1. 30	1. 31	1.36	1.35	1. 29	1.33	1.33	1.003
関東	1. 25	1. 28	1. 29	1.30	1. 27	1. 27	1.30	1.24	1. 044
北陸	1. 31	1.30	1. 31	1.33	1.31	1.31	1. 32	1.26	1.046
中部	1.26	1. 27	1.26	1. 28	1. 32	1.26	1. 27	1. 25	1.019
近畿	1. 25	1.26	1. 25	1. 21	1.15	1.26	1. 23	1.16	1.063
紀伊南部	1. 22	1. 28	1. 32	1.37	1.34	1. 25	1.35	1. 29	1. 048
山陰	1. 25	1. 22	1. 21	1. 20	1.17	1. 24	1.20	1.13	1.066
瀬戸内	1. 20	1. 23	1. 25	1. 25	1. 21	1. 22	1. 25	1. 22	1. 027
中国西部	1. 30	1. 30	1. 27	1. 25	1. 23	1.30	1.26	1.18	1.063
四国南部	1. 22	1. 24	1. 27	1.34	1.37	1. 23	1.30	1.33	0. 979
九州北西部	1. 26	1. 29	1.31	1. 33	1.33	1. 28	1. 32	1.34	0. 987
九州南東部	1. 11	1. 12	1. 13	1.14	1.16	1.11	1.14	1.16	0. 982
	-							平均値 (割増 係数)	1. 05

表-4.20 短時間降雨に関する降雨量変化倍率の割増係数(4℃上昇)

一方、降雨継続時間1、2時間については、12時間~48時間の降雨量変化倍率と比べる と、地域区分によって、増加傾向と減少傾向とに分かれる結果となった。ただし、降雨継続 時間が1、2時間の降雨は、d4PDF(5km)モデルの解像度では、十分に解明できているかど うか明らかではない。そのため、アンサンブル数は少ないもののより細かな解像度のモデル である NHRCM02 (RCP8.5、4℃上昇時)(モデルの詳細は4.4.1項を参照)による倍率を 雨域面積 100km² 以下で確認し、明確な傾向が見られるかを確認した。この結果、 d4PDF(5km)と同様に、増加傾向と減少傾向に分かれ、明確な傾向は見られなかった(図-4.29)。


※雨域面積毎の倍率値を平均(d4PDF: 25, 100km2の平均、NHRCM02: 4, 16, 36, 64, 100km2の平均)
 ※海面水温パターンの平均値を点で、幅をエラーバーで示す(d4PDF: 6SST、NHRCM02: 4SST)
 図-4.29 短時間降雨に関する降雨量変化倍率(4°C上昇時)

次に、2℃上昇時について、4℃上昇時と同様に、d2PDF(5km, SI-CAT)、d2PDF(5km, yamada)により、雨域面積 400km² において降雨継続時間別に降雨量変化倍率を算出した (図-4.30)。その結果、3~6 時間の短時間降雨の変化倍率が大きくなる傾向は、4℃上昇時 ほど顕著には見られなかった。また、1、2 時間の降雨についても、変化倍率の顕著な増減 は見られなかった。



図-4.30 降雨継続時間(横軸)と降雨量変化倍率(縦軸)の関係性(2℃上昇)

4.3.3 小面積の降雨量変化倍率

雨域面積 400km²以下を対象に、降雨継続時間 3、6、12 時間かつ年超過確率 1/100 の条件において、d4PDF(5km)・d2PDF(5km)と NHRCM02 により降雨量変化倍率を算出したものを図-4.31,4.32 に示す。いずれのモデルにおいても、雨域面積の違いによる降雨量変化倍率の顕著な増減は見られなかった。このため、今回雨域面積 400km²以上を対象に算出した降雨量変化倍率は、より小面積の場合でも同程度の値であると考えられる。ただし、特に雨域面積 100km²未満は、d4PDF(5km)・d2PDF(5km)の解像度(1メッシュ 25 km²)のため、十分な評価ではないことに留意する必要がある。



※海面水温パターンの平均値を点で、幅をエラーバーで示す(d4PDF:6SST、NHRCM02(RCP8.5):4SST)
図-4.31 雨域面積による降雨量変化倍率の変化(4℃上昇時)



※体内総統時間毎0倍率値を中均(3,0,12 時間)
※海面水温パターンの平均値を点で、幅をエラーバーで示す(d4PDF:6SST、NHRCM02(RCP2.6):4SST)
図-4.32 雨域面積による降雨量変化倍率の変化(2℃上昇時)

4.4 島しょ部(沖縄)における降雨量変化倍率

4.4.1 島しょ部(沖縄)の検討に使用したデータ

島しょ部(沖縄)については、d4PDF・d2PDF(5km,SI-CAT)、d4PDF・d2PDF(5km,y amada)のいずれの領域にも含まれないため、当該地域を含む別のモデルを用いて検討を行い、降雨量変化倍率を算出した。

本検討で使用するモデル NHRCM02 は、文部科学省の「気候変動リスク情報創生プログ ラム」及び「統合的気候モデル高度化プログラム」において、島しょ部(沖縄)を含む全国 を対象領域として作成された気候データである¹²⁾。これは、20km 格子全球モデル実験(A GCM20)の日本周辺域を気象庁非静力学地域気候モデル(NHRCM)によって解像度 5km にダウンスケーリングし(NHRCM05)、さらにその結果を解像度 2km にダウンスケーリ ングしたものである(図-4.33)。

d2PDF は RCP8.5 の 2℃上昇時点を前提としたアンサンブル計算であったが、NHRCM 02 の将来気候は、RCP8.5 と RCP2.6 の 2 つのシナリオで計算されている(図-4.34)。また、d4PDF・d2PDF のように温暖化の程度が実験期間を通して一定ではなく、d4PDF 等 と条件が異なることに注意が必要である。

NHRCM02 の将来気候の SST 設定は 4 パターンあるが、d4PDF 等の設定方法とは異な る。図-4.35 は、Mizuta ら(2014)⁹によるクラスター分析の結果と、NHRCM02 の SST の 関係を示したものである。NHRCM02 では、全 28 種類の海面水温を平均したもの(C0)、 クラスター毎に平均したもの(C1、C2、C3)の4 種類の SST パターンが設定されており、 各 SST の熱帯域の昇温量が同じになるように規格化されている(図-4.36)。

今回の検討では、令和 3(2021)年 4 月時点で使用可能であった現在気候 60 年分(1981~1999 年の 20 年×3 摂動)、将来気候(RCP2.6、RCP8.5)各 80 年分(2076~2095 年の 20 年×4SST パターン)のデータを使用し、DAD 解析及び降雨量変化倍率の算出は 3.3 節と同様の手法とした。NHRCM02 は、d4PDF・d2PDF に比べて計算年数は少ないものの、解像度が高いため、短時間降雨や局所的な強雨の表現に適しているといえる。なお、d4PDF・d2PDF では陸上の格子点を抽出して DAD 解析を行ったが、島しょ部(沖縄)は陸上の格子点が少ないこと、海洋の影響を考慮することから、島しょ部(沖縄)の DAD 解析では海洋も含めたデータを使用した。



※中北ら (2018)¹³より引用 図-4.33 AGCM20、NHRCM05、NHRCM02の関係



図-4.34 NHRCM02 のシナリオ設定







※Mizuta et al. (2014)⁹⁾より引用

※a~d は各クラスター(C0~C3)の現在気候からの SST 変化量、e~g は全モデル平均 C0 と各クラスター (C1~C3)の SST の差を示す。

図-4.36 NHRCM02 における海面水温

4.4.2 島しょ部(沖縄)の降雨量変化倍率

NHRCM02を用いて、4℃上昇時(RCP8.5)において、SSTごとに全国の降雨量変化倍率を算出した結果を図-4.37に示す。島しょ部(沖縄)の治水計画における基準点上流面積(約 2~50km²)や確率規模(1/30~1/50)を考慮し、雨域面積 4~64km²、降雨継続時間 1~24 時間、年超過確率 1/30~1/50 の条件で降雨量変化倍率を算出している。4.2.1.1 の d4PDF で見られた北海道や九州北西部の降雨量変化倍率が高い値となる傾向は、NHRCM02 でも確認できた。また、沖縄の降雨量変化倍率は、それらの高倍率地域を除いた全国と概ね同程度の値となっている(表-4.21)。

2℃上昇時についても、4℃上昇時と同様の方法で RCP2.6 の NHRCM02 の降雨量変化倍率を算出したところ、4.2.1.2 の d2PDF で見られた北海道の降雨量変化倍率が高い値となる傾向は、NHRCM02 では確認できなかった(図-4.38)。これは NHRCM02 が小アンサンブルであることなどのモデルの違いが影響している可能性がある。また、沖縄の降雨量変化倍率は北海道を除いた全国と同程度の値であり、d2PDF との比較においても大きな差は見られなかった(表-4.22)。



※海面水温パターン毎(4SST)に、降雨継続時間別(1,2,3,6,12,24時間)、雨域面積別(4,16,36,64km²)、
 年超過確率別(1/30,1/50)の倍率の平均値を算出

図-4.37 NHRCM02 (RCP8.5) による降雨量変化倍率

	d4PDF (1/100)			NHRCM02 RCP8.5 (1/30、1/50)		
地域区分	(25•100km², 1•2•3•6•12•24hr)			(4•16•36•64km², 1•2•3•6•12•24hr)		
	平均值	中央値	6SST	平均值	中央値	4SST
北海道北部	1.56	1. 52	1.47 ~ 1.75	1.69	1.65	1.48 ~ 1.97
北海道南部	1. 58	1.53	1.46 ~ 1.77	1.59	1.56	1.50 ~ 1.73
東北西部	1.46	1.51	1.26 ~ 1.58	1.44	1.40	1.34 ~ 1.61
東北東部	1. 38	1.34	1. 27 ~ 1. 53	1. 26	1.26	1.13 ~ 1.38
関東	1. 25	1.26	1.15 ~ 1.35	1.39	1.33	1.26 ~ 1.65
北陸	1.32	1.35	1.24 ~ 1.37	1.36	1.38	1. 20 ~ 1. 47
中部	1. 28	1. 25	1.20 ~ 1.50	1. 18	1. 20	1.02 ~ 1.31
近畿	1.26	1. 18	1. 12 ~ 1. 47	0. 98	0.99	0.86 ~ 1.07
紀伊南部	1. 29	1.31	1. 12 ~ 1. 42	1.10	1.11	1.04 ~ 1.15
山陰	1. 21	1.19	1.14 ~ 1.33	1. 38	1. 41	1.23 ~ 1.49
瀬戸内	1. 24	1.24	1.06 ~ 1.43	1. 20	1. 25	0.96 ~ 1.31
中国西部	1. 27	1.24	1.15 ~ 1.41	1.26	1.24	1.14 ~ 1.40
四国南部	1. 29	1.30	1. 21 ~ 1. 33	1.03	1.03	0.97 ~ 1.08
九州北西部	1. 25	1.25	1.18 ~ 1.35	1.42	1.39	1.38 ~ 1.50
九州南東部	1.13	1. 13	1.08 ~ 1.20	1. 30	1. 31	1.13 ~ 1.44
沖縄			_	1.13	1.13	1.03 ~ 1.23

表-4.21 d4PDF と NHRCM02 による降雨量変化倍率



 [※]海面水温パターン毎(4SST)に、降雨継続時間別(1,2,3,6,12,24時間)、雨域面積別(4,16,36,64km²)、
 年超過確率別(1/30,1/50)の倍率の平均値を算出

図-4.38 NHRCM02 (RCP2.6) による降雨量変化倍率

	d2PDF(1/100)			NHRCM02 RCP2.6 (1/30-1/50)			
地域区分	(25•10	0km², 1•2•	3•6•12•24hr)	(4•16•36•64km², 1•2•3•6•12•24hr)			
	平均值	中央値	6SST	平均值	中央値	4SST	
北海道北部	1.21	1.23	1.14 ~ 1.25	1.14	1.16	1.02 ~ 1.22	
北海道南部	1.20	1.22	1.11 ~ 1.30	1.02	1.05	0.87 ~ 1.12	
東北西部	1.14	1.12	1.07 ~ 1.25	1.17	1.12	1.08 ~ 1.35	
東北東部	1.12	1.11	0.98 ~ 1.24	1.14	1.13	1.11 ~ 1.17	
関東	1.13	1.10	1.07 ~ 1.27	1.14	1.14	1.09 ~ 1.19	
北陸	1.16	1.18	1.07 ~ 1.24	1.07	1.06	1.01 ~ 1.13	
中部	1.10	1.11	1.02 ~ 1.15	1.01	0.98	0.89 ~ 1.17	
近畿	1.07	1.08	0.99 ~ 1.14	0.97	0.97	0.91 ~ 1.05	
紀伊南部	1.10	1.10	1.04 ~ 1.21	0.94	0.90	0.85 ~ 1.11	
山陰	1.08	1.10	1.00 ~ 1.13	1.12	1.12	1.07 ~ 1.18	
瀬戸内	1.15	1.14	1.07 ~ 1.26	1.17	1.16	1.12 ~ 1.25	
中国西部	1.07	1.05	0.99 ~ 1.23	1.04	1.08	0.90 ~ 1.11	
四国南部	1.17	1.15	1.10 ~ 1.27	1.02	0.99	0.96 ~ 1.16	
九州北西部	1.10	1.11	1.03 ~ 1.17	1.16	1.12	1.11 ~ 1.27	
九州南東部	1.12	1.11	0.99 ~ 1.22	1.17	1.16	1.10 ~ 1.24	
沖縄	—	_	_	1.08	1.10	0.93 ~ 1.20	

表-4.22 d2PDF と NHRCM02 による降雨量変化倍率

【参考文献】

- 国土交通省「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」提言 参考資料(令和元年 10 月) https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/pdf/06_sankousiryou. pdf
- 内海信幸、瀬戸心太、鼎信次郎、沖大幹:日本における1時間降水量の極値と地上観測 気温の関係,2011,土木学会論文集B1(水工学),Vol.67, No.4, I_307-I_312
- 3) 二宮洸三:豪雨と降水システム、東京堂出版、2001
- 4) 環境省、気象庁: 21 世紀末における日本の気候、2015、http://www.env.go.jp/earth/ond anka/pamph_tekiou/2015/jpnclim_full.pdf
- 5) Manda, A., Nakamura, H., Asano, N., Iizuka, S., Miyama, T., Moteki, Q., Yoshi oka, M., Nishii, K., and Miyasaka, T., 2014: Impacts of a warming marginal se a on torrential rainfall organized under the Asian summer monsoon. Scientific. Reports., 4, 5741, doi:10.1038/srep05741.
- 6) Iizuka, S., & Nakamura, H. 2019: Sensitivity of midlatitude heavy precipitation to SST: A case study in theSea of Japan area on 9 August 2013. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 124, 4365–4381. https://doi.org/10.1029/2018 JD029503
- 7) Nishikawa S., Wakamatsu T., Ishizaki H. et al., Development of high-resolution future ocean regional projection datasets for coastal applications in Japan,2021, Progress in Earth and Planetary Science 8:7
- 8)本検討では、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)(課題番号:J PMXD0715667163)のもと国立研究開発法人海洋研究開発機構により作成された、海洋 将来予測データセット(FORP)を使用した。またこのデータセットは、文部科学省の委 託事業により開発・運用されているデータ統合解析システム(DIAS,課題番号:JPMXD 0716808999)の下で、収集・提供されたものである。
- 9) R. Mizuta, O. Arakawa, T. Ose, S. Kusunoki, H. Endo, and A. Kitoh, Classifica tion of CMIP5 Future Climate Responses by the Tropical Sea Surface Temperat ure Changes, 2014, SOLA 10, 167-171
- Flato G., J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S.C. Chou, W. Collins, P. Cox, F. Driouech, S. Emori, V. Eyring, C. Forest, P. Gleckler, E. Guilyardi, C. Jakob, V. Kattsov, C. Reason and M. Rummukainen, 2013: Evaluation of Climate Models In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United

Kingdom and New York, NY, USA.

- 11) Utsumi, N., H. Kim, S. Kanae, and T. Oki, Which weather systems are projec ted to cause future changes in mean and extreme precipitation in CMIP5 simu lations?, 2016, JGR Atmospheres, 121(18), 10,522-10
- 12) 本検討で使用した NHRCM02 データは、統合的気候モデル高度化プログラムより提供 を受けたものである。
- 13) 中北英一、森元啓太朗、野坂伸也:マルチ解像度 RCM におけるゲリラ豪雨の再現特 性の解析及び生起頻度の将来変化推定, 2018, 京都大学防災研究所年報第 61 号 B, 479 -499
- 14) 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.j p/~pub/d4PDF/design.html

5 結語

国総研が技術検討会に提出した降雨量変化倍率に関する各種データの算出方法や考え方 について詳述した。技術検討会においては、これらのデータも踏まえた議論が行われ、1.2 節に示した降雨量変化倍率が設定された。技術検討会の提言(令和3年4月改訂)が出さ れた以降、実際に、降雨量変化倍率を活用した河川整備基本方針の変更が始まっている。

降雨量変化倍率は、気候変動を踏まえた治水計画の立案という課題に対応するため、従来 からの治水計画立案方法や近年の気候変動予測技術の発展など、現時点の様々な状況が考 慮された妥当な手法であると考えられる。

ただし、降雨量変化倍率は、雨量に着目した指標であり、降雨の時空間分布なども含めた 気候変動予測モデルの出力結果を十分に活用できているわけではない。気候変動を踏まえ た治水計画の立案や河川整備にあたっては、今後の気候変動予測技術の発展とあわせて、引 き続き様々な観点から検討を進める必要がある。

謝辞

本資料で示した研究成果は、気候変動予測技術の進展によるところが大きい。本研究で使 用した気候変動予測データ並びにその基となっている気候変動予測モデルに関係する全て の研究機関・研究者に対し、心より敬意を表する。特に、北海道大学の山田朋人准教授や文 部科学省の各プログラム(「気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)」、「気候変動 リスク情報創生プログラム」、「統合的気候モデル高度化プログラム」)におかれては、弊所 の研究に賛同いただき快く d4PDF のダウンスケーリングデータや NHRCM データの提供 をいただいた。また、降雨量変化倍率の検討については、技術検討会の各委員や国土交通省 水管理・国土保全局河川計画課、気象庁気象研究所からもご助言いただいた。これら様々な 関係機関・関係者に対し、深甚なる謝意を表する。

国土技術政策総合研究所資料 TECHNICAL NOTE of NILIM No. 1205 April 2022

編集·発行 ©国土技術政策総合研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは 〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地 企画部研究評価・推進課 TEL 029-864-2675