

<別紙3>地域区分ごとの降雨量変化倍率の設定

1. RCP8.5（4℃上昇相当）における降雨量変化倍率の設定の考え方

今回、気候変動による降雨量変化倍率の算定に活用した d4PDF データを用いた解像度 5km ダウンスケールモデルは、計算条件の設定方法が確立しておらず、各機関が研究している途上の計算結果を活用した。現時点では、現在気候の再現性についても、様々な角度から十分な評価されているわけではなく、物理過程の表現力の課題や、台風の再現が不十分など解像度 20km モデルの持つバイアスを一部取り込んでしまう可能性があることや、地形の設定条件によっても大幅に降雨結果が変化することも確認されている。このため、今回の検討においては計算結果をそのまま活用するのではなく、そのバイアスを打ち消すため現在気候と将来気候の実験の降雨量の比をとって評価することを基本とした。まずは、SST 毎に算出される値やその分散、それらの平均値を算出した。なお、SST 毎に幅が大きい地域も含まれることから、中央値も算出したが、平均値と大きな相違がないことを確認した。

これらの結果から降雨量変化倍率を算出するにあたって、該当する流域面積における降雨量のデータ数を増加させることによりその精度を高めることができる。それにより、地域区分に分類することとしたが、明らかに全国的な傾向とは異なる地域区分については、そのメカニズムの解明や理解を平行して進めた上で、別途の値を設定することとした。

具体的には、全地域区分の雨域面積、降雨継続時間毎の平均値は約 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 6 SST の何れのケースでも全国平均値を超過する結果となったため、別途 3 地域で評価を行い 1.4 倍とした。これらの地域については、気温の上昇割合や海面水温の上昇度が高いとされるエリアであり、気候変動の影響が高いエリアであると判断した。また、近年、大災害が発生しているエリアであることもすでにその影響を裏付けている可能性もある。なお、山陰地方等の残りの 12 地域については計算された値が低いところもあるが、どの地域区分においても、SST モデルの違いによる幅に平均値約 1.22 倍が入っていることを確認しており、1.2 倍と評価した。地域区分ごとの評価を図-1、図-2、表-1 に示す。

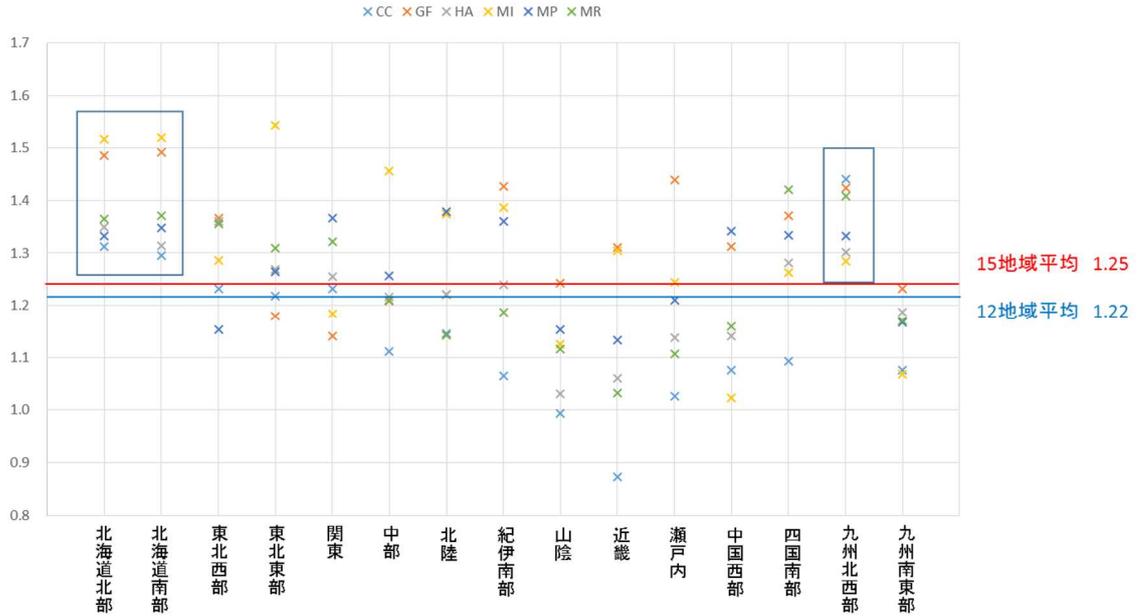


図-1 SST 毎の降雨量変化倍率

表-1 地域区分毎の降雨量変化倍率と考察

4°C 上昇	計算結果			決定値	考察
	平均値	中央値	6SST		
北海道 北部	1.39	1.36	1.31~1.52	1.4	・試算結果は 1.3~1.5 の6SST の幅で平均値は 1.39 と、全国平均 1.25 と比べて高い傾向にあり、6SST の幅にも収まっていないため、各ブロックの平均的な値として 1.4 とした。 ・これは、北海道地域は気温が低く、気候変動による気温上昇が大きいことから、飽和水蒸気量の増加率が高くなることが寄与していると考えられる。
北海道 南部	1.39	1.36	1.29~1.52	1.4	
東北西部	1.29	1.31	1.15~1.41	1.2	・試算結果は 1.1~1.4 の6SST の幅で平均値は 1.29 と、3地域を除く全国平均値 1.22 と比較するとやや高い傾向にあるが、全国平均値は6SST の幅に収まっている。 ・これは北海道ほどではないものの、東北地方も気温が低く、気候変動による気温上昇が大きく、飽和水蒸気量の増加率が比較的高くなることと同様であると考えられる。
東北東部	1.29	1.26	1.18~1.54	1.2	
関東	1.25	1.25	1.12~1.37	1.2	・3地域を除く全国平均値 1.22 と比較すると、各ブロックの試算結果はやや高い傾向を示しているが、6SST の分散幅に収まっている。
中部	1.24	1.23	1.10~1.46	1.2	
北陸	1.25	1.22	1.11~1.40	1.2	
紀伊南部	1.28	1.29	1.07~1.45	1.2	

4°C 上昇	計算結果			決定値	考察
	平均値	中央値	6SST		
山陰	1.11	1.11	0.99~1.24	1.2	・3地域を除いた全国平均値 1.22 と比較すると、試算結果はやや低い傾向を示しているが、6SST の分散の幅には収まっている。
近畿	1.12	1.09	0.87~1.35	1.2	
瀬戸内	1.19	1.16	1.03~1.36	1.2	
中国西部	1.18	1.15	1.02~1.37	1.2	
四国南部	1.29	1.31	1.09~1.49	1.2	平均値は 1.29 と、3地域を除いた全国平均値 1.22 と比較するとやや高い傾向を示しているが、6つの SST の分散の幅に収まっている。
九州 北西部	1.37	1.37	1.27~1.45	1.4	<ul style="list-style-type: none"> ・試算結果は 1.3~1.5 の幅にあり、平均値は 1.39 と全国平均値 1.25 と比べて高い傾向にあり、6SST の幅にも収まっていないため、同様の傾向の北海道北部、北海道南部の3つの地域で平均をとった。 ・これは、九州北西部は付近の海面水温が高く、水蒸気量が豊富に供給されるとともに、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くなることに寄与している。
九州 南東部	1.15	1.17	1.04~1.23	1.2	・試算結果は 1.0~1.2 の6SST の幅で平均値は 1.15 と、3地域を除いた全国平均値 1.22 と比較するとやや低い傾向にあるが、6SST の分散の幅には収まっている。

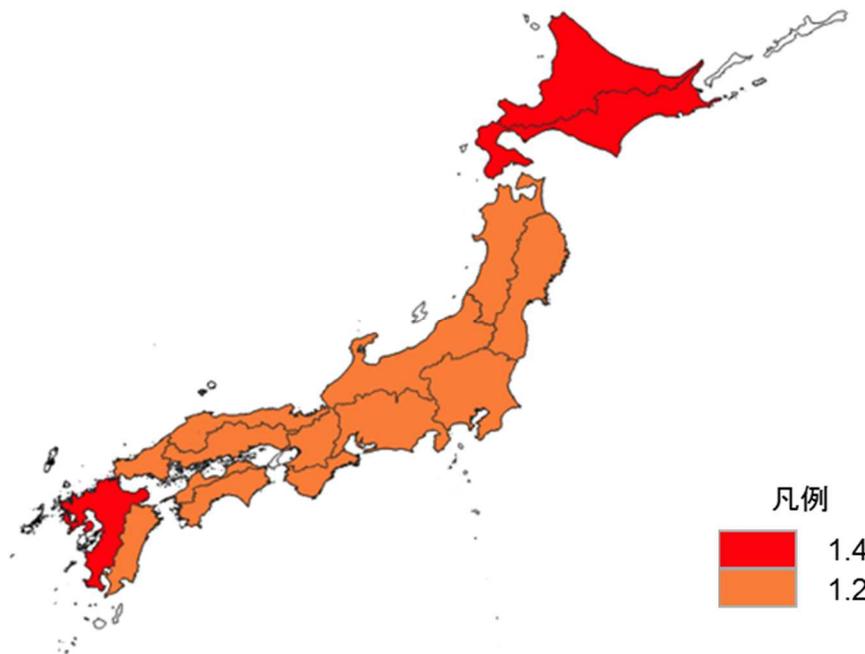


図-2 RCP8.5における降雨量変化倍率（決定値）

2. RCP2.6（2℃上昇相当）に関する降雨量変化倍率の設定の考え方

現時点では RCP2.6 を前提とした大量アンサンブル計算は行われていない。このため、「21 世紀末における日本の気候」の、RCP8.5 と RCP2.6 における上位 5% の降水イベントによる日降水量の値（表-2）を活用し、4℃上昇相当の降雨量変化倍率から 2℃上昇相当の降雨量変化倍率を算出するための地域区分毎の換算係数を算出することとした。

「21 世紀末における日本の気候」と今回の降雨量変化倍率の算出では、採用している地域区分が異なる。そのため、面積案分で補正を行った（表-3）。

なお、上位 5% の降水イベントとは、1 年間に発生する日降水量の上位 5%、つまり、7 日間程度は発生する比較的発生頻度の高い日降水量であり、本イベントは、治水計画で考える、1/100 等の規模の降水量とは異なるものであるが、活用可能なデータが本データしかないことから採用することとしたものである。

表-2 上位 5% の降水イベントによる日降水量の変化率

	全国	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側
RCP2.6	10.3(7.9~14.5)	7.8(5.2~9.4)	11.3(9.2~12.8)	8.5(7.4~10.6)	10.9(7.4~14.6)	7.5(3.5~14.6)	12.4(7.3~18.9)
RCP4.5	13.2(8.0~16.0)	13.0(9.0~15.5)	16.4(6.8~24.5)	11.1(8.8~14.4)	12.7(8.1~15.3)	12.6(7.6~16.9)	12.7(8.6~15.9)
RCP6.0	16.0(14.8~18.2)	18.1(16.5~19.0)	18.2(16.7~19.5)	19.0(15.7~22.4)	14.7(13.0~16.2)	13.2(9.2~18.6)	16.5(14.1~19.0)
RCP8.5	25.5(18.8~35.8)	28.9(18.0~38.9)	25.7(13.6~37.5)	29.9(23.8~38.3)	22.4(15.3~36.0)	24.0(16.7~30.3)	27.2(18.8~38.6)

※RCP2.6、4.6、6.0（3 ケース）、RCP8.5（9 ケース）における将来気候の予測（2080～2100 年平均）と現在気候（1984～2004 年平均）の変化率を示す

※各シナリオにおける全ケースの平均値、括弧内に平均値が最小のケースと最大のケース（年々変動等を含めた不確実性の幅ではない）を示す

出典：日本国内における気候変動予測の不確実性を考慮した結果について（お知らせ）【環境省、気象庁】

表-3 補正を行った地域別換算値

	北日本 日本海側	北日本 太平洋側	東日本 日本海側	東日本 太平洋側	西日本 日本海側	西日本 太平洋側	地域別 換算値
換算値	0.25	0.45	0.3	0.5	0.3	0.45	
①北海道北部	74%	26%					0.30
②北海道南部	13%	87%					0.42
③東北西部	87%	13%					0.28
④東北東部		100%					0.45
⑤関東		1%		99%			0.50
⑥北陸	15%		58%	27%			0.35
⑦中部				100%			0.50
⑧近畿			5%	19%	75%		0.34
⑨紀伊南部			38%		62%		0.30
⑩山陰					76%	18%	0.31
⑪瀬戸内					1%	99%	0.45
⑫中国西部					88%	1%	0.27
⑬四国南部						100%	0.45
⑭九州北西部					78%	22%	0.33
⑮九州南東部					28%	72%	0.41

RCP2.6 は、気温上昇の影響が RCP8.5 と比較すると小さく、計算による誤差の影響をより受けやすくなる。このため、現象の理解を進める上でも、RCP8.5 を用いた分析によって、その変化の傾向分析を行い、その結果も踏まえて、RCP2.6 の値を設定する考え方には合理性がある。

RCP2.6 の降雨量変化倍率は、RCP8.5 において算出された降雨量変化倍率の計算値に、地域区

分毎の換算係数を乗じて算出した。RCP2.6 は RCP8.5 よりも影響の程度は小さいが、その傾向は一致していると想定し、RCP8.5 の降雨量変化倍率の決定値が同じ地域区分毎で 2 度上昇相当の値を設定した。その結果、4 度上昇時に高い傾向にあった北海道北部と北海道南部、九州北西部の平均値は 1.15 倍、その他の 12 地域区分の平均値は 1.1 倍と設定した（表-4、図-3、図-4）。

表-4 RCP2.6 の地域区分毎の降雨量変化倍率

2°C上昇換算値	計算結果		決定値
	平均値	6SST	
北海道北部	1.12	1.09~1.16	1.15
北海道南部	1.17	1.12~1.22	1.15
東北西部	1.08	1.04~1.11	1.1
東北東部	1.13	1.08~1.24	1.1
関東	1.12	1.06~1.18	1.1
中部	1.12	1.05~1.23	1.1
北陸	1.09	1.04~1.14	1.1
紀伊南部	1.08	1.02~1.13	1.1
山陰	1.03	1.00~1.07	1.1
近畿	1.04	0.96~1.12	1.1
瀬戸内	1.09	1.01~1.16	1.1
中国西部	1.05	1.01~1.11	1.1
四国南部	1.13	1.04~1.22	1.1
九州北西部	1.12	1.09~1.15	1.15
九州南東部	1.06	1.02~1.10	1.1

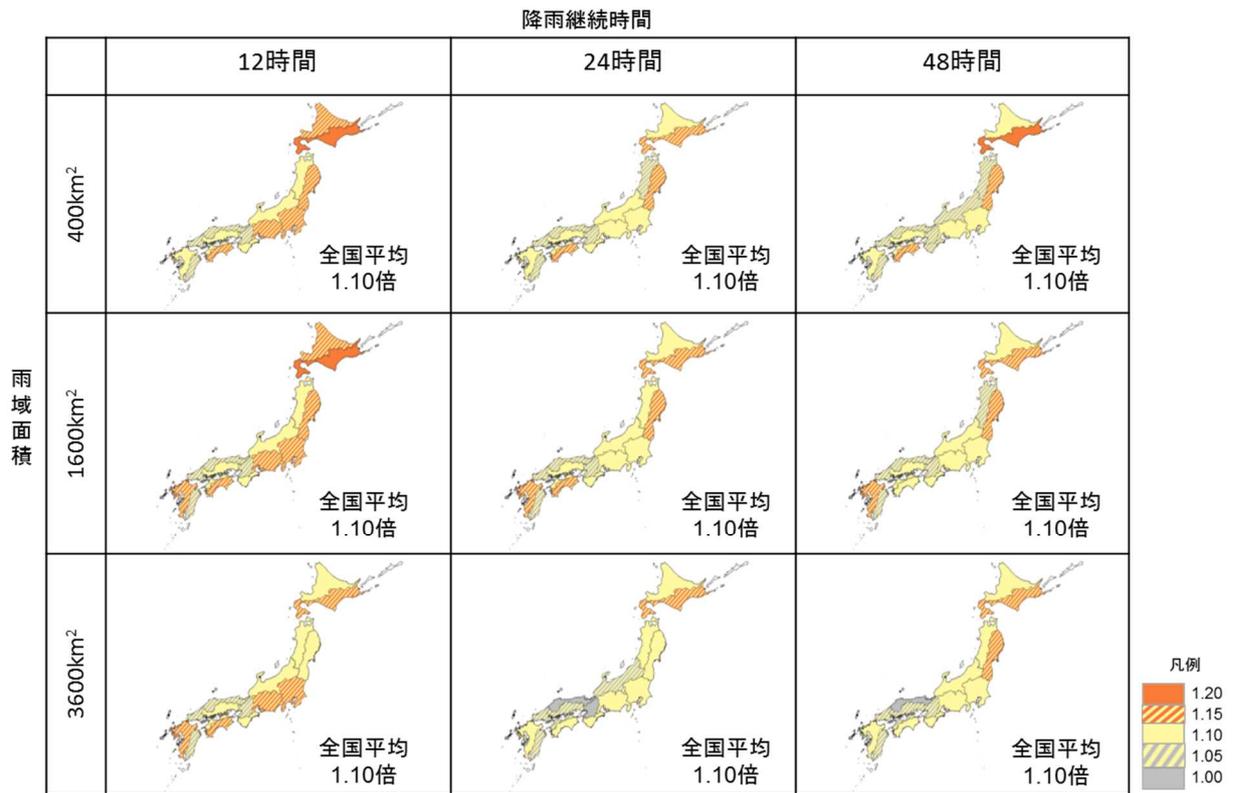


図-3 RCP2.6における雨域面積・降雨継続時間毎の降雨量変化倍率

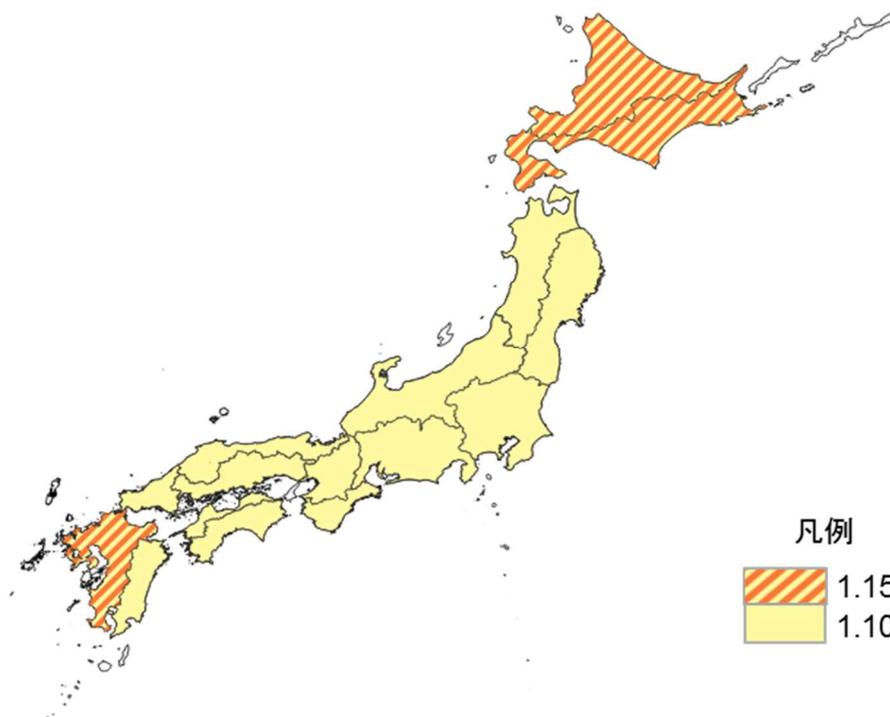


図-4 RCP2.6における降雨量変化倍率（決定値）

3. 小流域・短時間の対象降雨の取り扱い方

治水計画における降雨継続時間と流域面積とは相関関係があり、一般に流域面積が小さいほど降雨継続時間が短い傾向にある。将来の降雨量変化倍率では、流域が小さく降雨継続時間が短いほど、降雨の増加率が高い傾向がみられるため、より小さい流域では大河川と異なる降雨量変化倍率の検討を行う必要がある。山田らが行った北海道における研究では、小流域の短時間降雨は変化倍率が高いとされていることから、以降は降雨継続時間に着目して分析を行った。

4度上昇の場合、降雨継続時間が12時間未満になると、降雨量変化倍率の増加傾向がやや顕著となり、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り、全国的に1.05の割増係数を設定する(表-5)。

しかし、1、2時間の降雨継続時間の流域は、12時間～48時間の降雨量変化倍率と比べると増加傾向と減少傾向とに分かれる結果となった。これは降雨継続時間が1、2時間の降雨はd4PDF(5km)モデルによって十分に解明できているかどうかは明らかではなく、今後、より細かな解像度のモデルを活用したアンサンブル計算を行って、その現象の解明とメカニズムの評価が必要であると判断し、今回の検討の結果、値の設定は見送ることとした。なお、河川計画においては、多くの河川で3時間以上の降雨継続時間が用いられており、当面、実用上問題も少ないと考えられる。

表-5 短時間降雨に関する降雨量変化倍率の割増係数

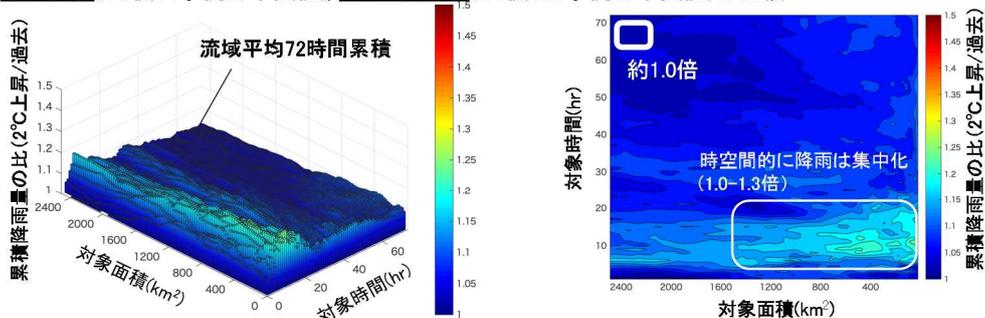
400km ²	3h	6h	12h	①3h～6h 平均	②12h～48h 平均	差分(①/②)
北海道北部	1.63	1.55	1.45	1.59	1.41	1.128
北海道南部	1.61	1.53	1.43	1.57	1.42	1.106
東北西部	1.56	1.44	1.30	1.50	1.26	1.195
東北東部	1.31	1.36	1.35	1.33	1.33	1.003
関東	1.29	1.30	1.27	1.30	1.24	1.044
北陸	1.31	1.33	1.31	1.32	1.26	1.046
中部	1.26	1.28	1.32	1.27	1.25	1.019
近畿	1.25	1.21	1.15	1.23	1.16	1.063
紀伊南部	1.32	1.37	1.34	1.35	1.29	1.048
山陰	1.21	1.20	1.17	1.20	1.13	1.066
瀬戸内	1.25	1.25	1.21	1.25	1.22	1.027
中国西部	1.27	1.25	1.23	1.26	1.18	1.063
四国南部	1.27	1.34	1.37	1.30	1.33	0.979
九州北西部	1.31	1.33	1.33	1.32	1.34	0.987
九州南東部	1.13	1.14	1.16	1.14	1.16	0.982

平均値	1.05
-----	------

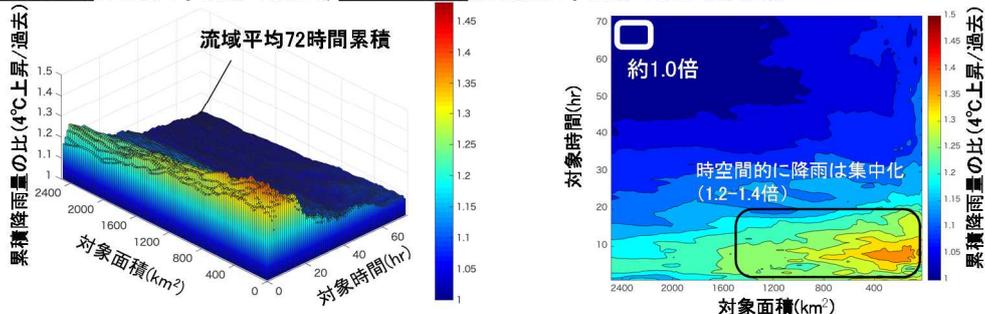
また、2度上昇の場合、山田らが行った北海道における研究によると、短時間の降雨量変化倍率が大きくなる傾向は、2℃上昇時は4℃上昇時ほど顕著には生じないとされている（図-5）ことから、割り増し係数は導入しない。このため、2℃上昇時に関する降雨量変化倍率は、より小流域やより短時間の降雨に流用することも可能である（表-6）。

十勝川帯広基準地点集水域(200~250mm/72hrのみを対象)

・過去実験(DS後71事例の中央値), 2℃上昇実験(DS後110事例の中央値)の比較



・過去実験(DS後71事例の中央値), 4℃上昇実験(DS後314事例の中央値)の比較



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

図-5 降雨継続時間の短い雨の2℃上昇時と4℃上昇時の違い

表-6 降雨継続時間ごとの降雨量変化倍率

		降雨継続時間 12時間以上	割増係数	降雨継続時間 12時間未満
4℃上昇 (RCP8.5)		1.3	1.05	1.4
	北海道、九州北西部	1.4		1.5
	その他の地域	1.2		1.3
2℃上昇 (RCP2.6) (暫定値)		1.1	1.0	1.1
	北海道、九州北西部	1.15		1.15
	その他の地域	1.1		1.1

4. 気温や海面水温の上昇から降雨量変化倍率の評価

d4PDF(5km)の計算結果について、地域区分毎に降雨量変化倍率が異なる要因を分析するため、

将来の気温の変化に基づく飽和水蒸気量の変化や海面水温の変化について整理した。

(ア) 気温の変化

一般的に、緯度が上昇するにつれて気温の上昇度合いが高くなっており、RCP8.5における将来の年平均気温の変化は、札幌が約 5°C に対して、東京は約 4.4°C、福岡は 4.2°C となっている。この結果、気温と飽和水蒸気圧の関係（テテン式）から、北海道における降雨量変化倍率が高まっている可能性がある（図-6）。

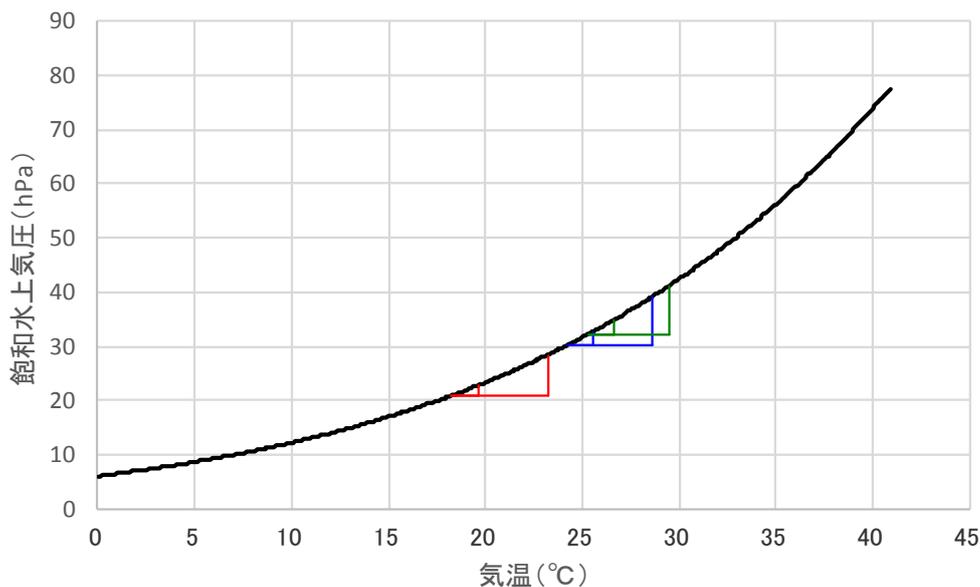


図-6 気温と飽和水蒸気圧の関係

表-7 テテンの式で算出した気温上昇時の飽和水蒸気圧

		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%)
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%)
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%)

※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及び 0.2°C^{※4} 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及び 0.2°C^{※4} を加えたもの

※4：NHRCM の基準期間（1984～2004 年）の平均値と d4PDF 過去実験の対象期間（1951～2010 年）の平均値の差分

(イ) 海面水温の変化

SST モデルを見ると、何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、また、九州北西部も大きくなっている。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。

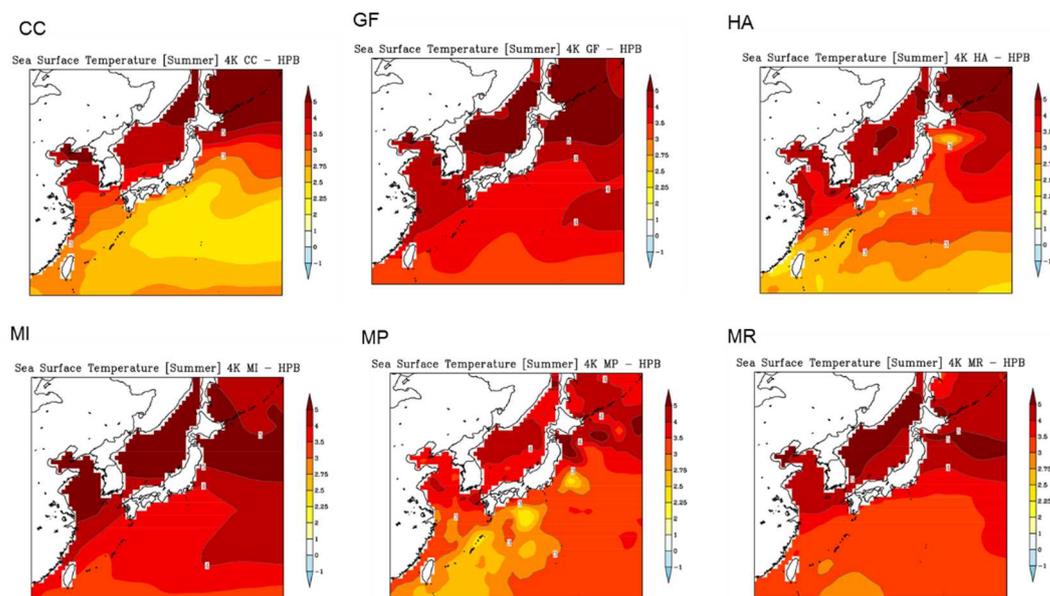


図-7 SST ごとの海面水温の上昇度

5. 現在や近未来の気候変動影響

気候変動による豪雨の影響は徐々に進行しており、今後もその影響が年々変化することが想定されているため、その影響については、気温の変化を活用して、降雨量変化倍率を内挿する手法を提案する。

RCP2.6 では 2050 年頃の気温は 21 世紀末の気温とあまり相違がないことや、シナリオにかかわらず 2040 年頃の気温に大きな相違はない。また、2040 年頃までは気温の上昇割合は概ね一定と考え、気温の観測結果と将来予測結果を用いて直線近似をとり、近未来の気温変化を算出する。観測結果は、気象庁の年平均気温偏差の 10 年平均値を、将来予測結果は「21 世紀末における日本の気候（環境省・気象庁）」における RCP2.6 の年平均気温の変化量を用いる。

次に、気温と飽和水蒸気量の関係から降雨の変化割合も一定であると仮定し、近未来の降雨量変化倍率を算出する。近未来の倍率の算出においては、降雨量変化倍率の基準年である 1980 年 (d4PDF(5km,yamada)の過去実験期間 1951~2010 年の中間年)、2045 年の降雨量変化倍率 (RCP2.6 では 2050 年頃の気温は 21 世紀末の気温とあまり相違がないことから 2045 年における変化倍率として流用。3 地域は 1.15 倍、その他 12 地域は 1.1 倍。)、上記で算出した近未来の気温変化を活用し、それらを直線近似することで算出する (図-8、9、10、表-8)。ちなみに、JRA-55 を用いて平成 30 年 7 月豪雨の再現実験と非温暖化実験の差を算出した気象研究所の結果を見ると、降水量の増加率は 6.5%となっており、今回算出した近未来の降雨量変化倍率と近い値となっていることが分かる。

なお、近未来の気温変化の算出に使用した「21世紀末における日本の気候（環境省・気象庁）」の基準期間（1984～2004年）とd4PDF(5km,yamada)の過去実験期間が異なることから、気象庁の年平均気温偏差を用いて補正を行った。

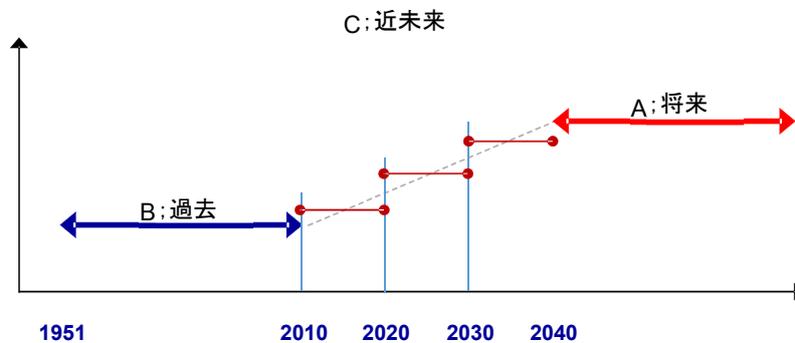


図-8 現在や近未来の気候変動影響の概念図

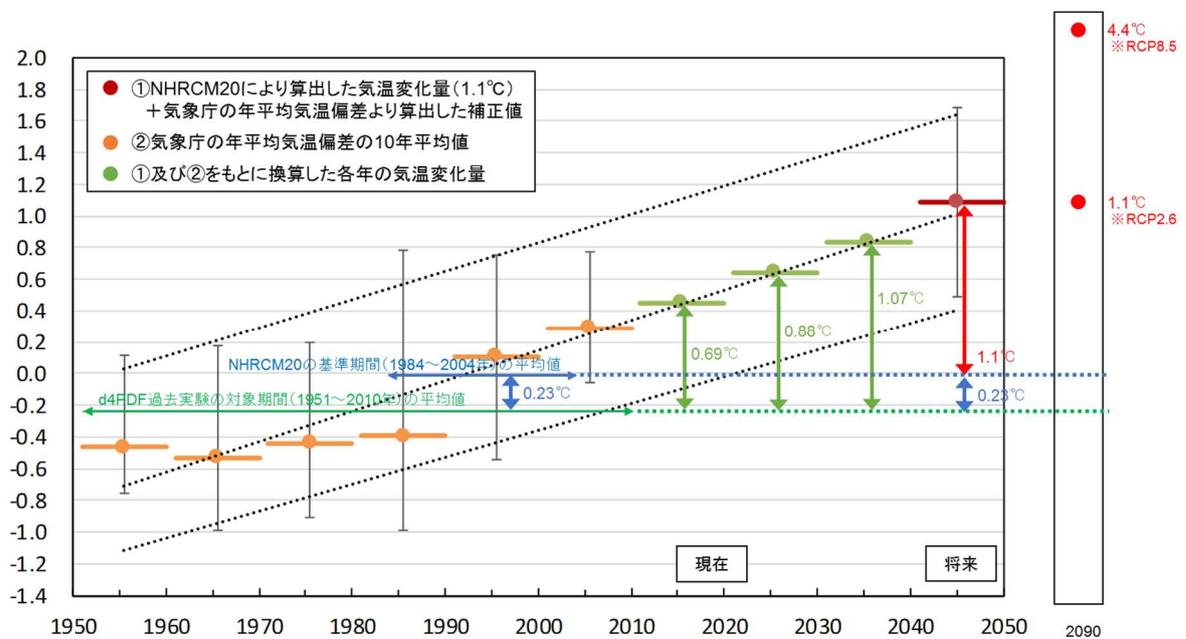


図-9 気温の観測結果と将来予測結果を用いた内挿値

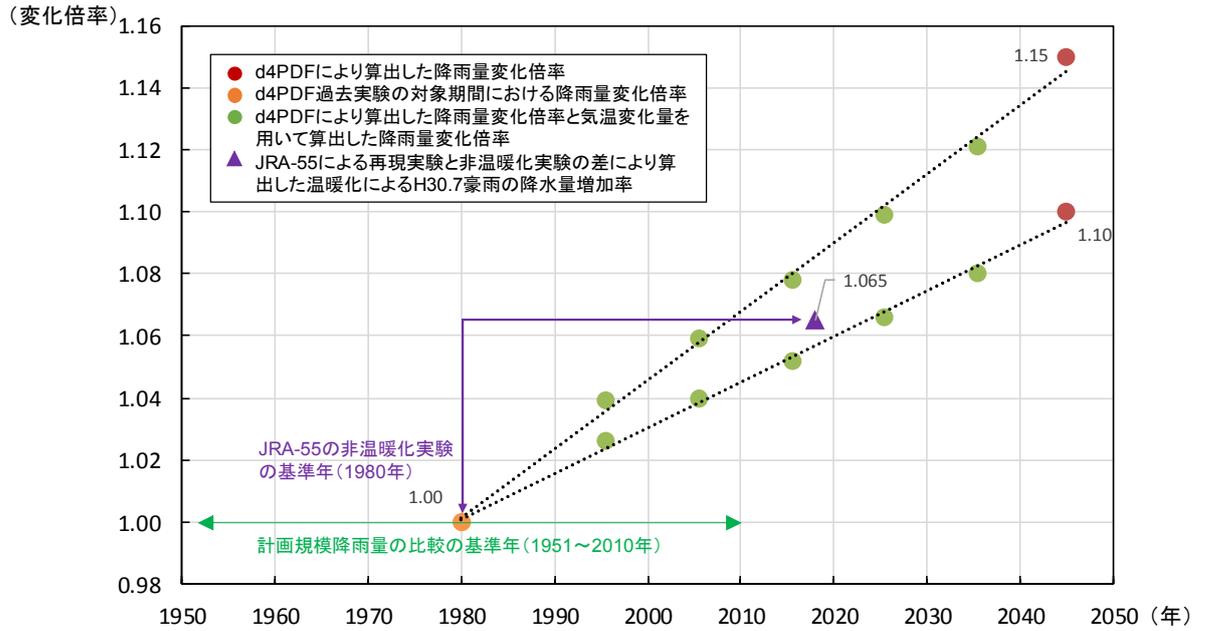


図-10 気温の内挿値を活用した降雨量変化倍率の内挿値

表-8 目標設定年に応じた降雨量変化倍率

目標設定年	1.15 倍の場合 (3 地域)	1.1 倍の場合 (12 地域)
2011 年～2020 年	1.08	1.05
2021 年～2030 年	1.10	1.07
2031 年～2040 年	1.12	1.09
2041 年～2050 年	1.15	1.10