

第2章 治水への影響と適応に関する研究

2.1 気候変動予測の進展とそれを踏まえた検討

2.1.1 気候変動予測の概要

気候変動予測は、大気循環モデル(General Circulation Model: GCM)を用いて、大気現象(大気循環、気温変化、物質の相変化、放射収支、物質の化学変化等)と海洋現象(海流、熱、物質循環)または大気現象のみについて力学、熱力学、化学等の物理方程式に基づいて計算し、将来の気候を予測するものである。GCMでは大気現象を3次元で計算することが一般であり、日々の天気予報に使われる数値予報モデル(GSM, MSM)とは用いる物理過程等が若干異なっている。

GCMは以下のように、大きくは2種類に整理することができる。

- ・ 大気海洋結合モデル (CGCM, AOGCM: Coupled Atmosphere and Ocean GCM)
- ・ 大気モデル (AGCM: Atmospheric GCM)

基本的にGCMは、地球全体を計算対象としており、一部の地域の大気現象を計算対象とするモデルは、領域気候モデル(RCM: Regional Climate Model)と呼ばれる。

2.1.1.1 大気海洋結合モデル

大気海洋結合モデルとは、大気物理モデルと海洋物理モデルを結合し、大気と海洋の相互作用による現象(例えばエルニーニョ現象)を表現可能な気候モデルである。温暖化予測実験は、計算初期値と温暖化シナリオ(温暖化ガスの時間変化)を与えて行う。大気、海洋現象が相互作用も含めて扱われるため、温暖化予測の信頼性が高いと言えるが、扱う現象が多いため計算負荷が大きく高解像度の計算が難しい(ただし、CMIP(2.1.1.5参照)への登録や温暖化研究のため長期間の温暖化予測実験を行っている)。また、海洋物理モデルによって海面上昇量を計算することが可能となっている。

2.1.1.2 大気モデル

大気モデルとは、大気物理モデルのみの気候モデルであり、初期値、温暖化シナリオを与え、CGCMのSST(海面温度)の予測値を底面境界として温暖化予測実験を行う。CGCMと比較して計算負荷が軽いため、CGCMよりも高解像度で、より詳細な大気物理過程を扱った計算が可能であるが、海洋物理モデルを扱っていないことから海面上昇量は計算されない。

2.1.1.3 領域気候モデル

領域気候モデルは、一部の地域を対象とした気候モデルであり、初期値、温暖化シナリオを与え、CGCMのSSTを底面境界に、AGCMやCGCMの予測値を側面境界として温暖化予測実験を行う。RCMは、計算対象が限られた領域であることからCGCMやAGCMよりも高解像度で詳細な大気物理過程を扱った計算が可能であるが、AGCM、CGCMの予測値が境界値となるためAGCM、CGCMの予測結果の影響を受ける。

2.1.1.4 国内の気候モデル

国内の気候モデルの一覧を表-II.2.1.1.1に示す。国内では、気象研究所、CCSR/NIES/FRCGC(東大気候システムセンター、国立環境研究所、地球環境フロンティア研究センター)により開発された気候モデルが存在する。気象研究所は、CGCM、AGCM、RCMを開発しており、CCSR/NIES/FRCGCはMIROCと呼ばれるCGCMを開発している。

表-II-2.1.1.1 国内の気候モデル一覧(国土交通省水管理国土保全局水資源部(2012)を一部改変して掲載)
(ピンクの網掛けは、表-I.5.1に示した気候モデルのうち4つ(21世紀気候変動予測革新プログラムの)に当たる)

気候変動モデル	MRI-GCM2.3.2	MRI-GCM20	MRI-AGCM3.1S/H	MRI-AGCM3.2S/H	FORM20 (地球温暖化予測情報 第6版)	MRI-ORCM (地球温暖化予測情報 第7版)	RCM5、RCM2	ROMS、ROM2	MIROC3.2medres	MIROC4h	MIROC5 mid
提供元	気象庁 気象研究所	気象庁 気象研究所	気象庁 気象研究所	気象庁 気象研究所	気象庁 気象研究所	気象庁 気象研究所	気象庁 気象研究所	気象庁 気象研究所	CCSR、NIES、FRCGC	CCSR、NIES、FRCGC	CCSR、NIES、FRCGC
発行年	1851~2000年 2001~2100年	1979年-1998年 2000年-2099年	1979年-2003年 2015年-2039年 2075年-2099年	1979年-2003年 2015年-2039年 2075年-2099年	1981~2000年 2031~2050年 2081~2100年	1981~2000年 2031~2050年 2081~2100年	1981~2000年 2031~2050年 2081~2100年	1981~2000年 2031~2050年 2081~2100年	1981~2000年 2031~2050年 2081~2100年	1981~2000年 2031~2050年 2081~2100年	1981~2000年 2031~2050年 2081~2100年
計算対象期間											
モデル 種別	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル	大気海洋結合モデル
計算エリア	全球	全球	全球	全球	日本周辺	日本周辺	日本周辺	日本周辺	全球	全球	全球
水平 解像度	約280km	約20km	約20km/約60km	約20km/約60km	RCM5:5km RCM2:2km	RCM5:5km RCM2:2km	RCM5:5km RCM2:2km	RCM5:5km RCM2:2km	約110km	約60km	約150km
鉛直層数	30層	60層	60層	64層	36層	36層	36層	36層	56層	56層	40層
水平 解像度	経度2.5° 緯度0.5~2.0°								約20km	約20km	約100km
鉛直層数	23層								47層	47層	49層
主な提供 気象要素	地上気温、降水量、地 表面温度、蒸発量、海 面気温、海面水温、海 面水位など	降水量、気温、日最高 気温、日最低気温、風 速、流出発生量、大気 湿度、降雪水当量、大気 圧など	気温、降水量、日射 量、海面水温など	降水量、日平均気温、 日最高気温、日最低気 温、降雪量、積雪量な ど48要素	降水量、日平均気温、 日最高気温、日最低気 温、降雪量、積雪量な ど	降水量、日平均気温、 日最高気温、日最低気 温、降雪量、積雪量な ど	気温、降水量など	気温、降水量など	地上気温、降水量、地 表面温度、蒸発量、海 面気温、海面水温、海 面水位など	地上気温、降水量、水蒸気 量、河川流量、海面水 温など	地上気温、降水量、水 蒸気量、河川流量、海 面水温など
SERS排出シナリオ	A1B、A2、B2	A1B	A1B	A1B	A2	A1B1	A1B	A1B	A1B、A2	RCP4.5、RCP8.5	RCP4.5、RCP8.5
研究実績	日本全体のシミュレー ションが多い	再生プロジェクトでの採 択実績が多数有 り	IPCC-AR5向け	IPCC-AR5向け	地層学的検証実績が多 数有	寒冷期のみしかないと め、あまり実績がない	夏季の豪雨が対象	夏季の豪雨が対象	IPCC-AR4で使用	IPCC-AR5向け	IPCC-AR5向け
参考文献	Yukimoto, S. and A. Noda (2002) Yukimoto et al. (JMU 2006)	Mizuta et al. (JMSJ); Kusunoki et al. (JMSJ); 和田ほか(水文・水資 源、2008)	気象研究所技術報告 第64号(2011) Mizuta et al. (2011)	Kurihara et al. (SOLA; 2005)	Sasaki et al. (2006)	Sasaki et al. (2011)	Kanada et al. (2011). Sasaki et al. (2011)	Kanada et al. (2011) Sasaki et al. (2011)	K-1 model developers (2004)	Sakamoto et al. (2011)	Watanabe et al. (2010)
その他	http://www- pcmdi.llnl.gov/ipcc/mo del_documentation/MRI- GCM2.3.2.htm	人・自然・地球共生 プロジェクトで開発され たモデル	21世紀気候変動予測 革新プログラム ■ MRI-CO3.1Sで 使用しているスキーム が異なる	所謂、気候統一 ナリオ第2版 ■ MRI-CGM2.0.0の結 果を再発見条件としてダ ウンスケールしている ■ 一般的に用いられて いる	■ 寒冷期のみしか ない	■ 21世紀気候変動予測 革新プログラム ■ MRI-AGCM3.1Sを 5km/2kmにネステイン グしたモデル ■ RCM2は、限られた 領域しかない(仙台以 南)	■ 21世紀気候変動予測 革新プログラム ■ MRI-AGCM3.2Sを 5km/2kmにネステイン グしたモデル ■ RCM2は、限られた 領域しかない(仙台以 南)	■ 21世紀気候変動予測 革新プログラム ■ MRI-AGCM3.2Sを 5km/2kmにネステイン グしたモデル ■ RCM2は、限られた 領域しかない(仙台以 南)	http://www- pcmdi.llnl.gov/ipcc/mo del_documentation/MIR OC3.2_hires.htm	■ 21世紀気候変動予測 革新プログラム ■ 新しい物理モデル を開発・使用	■ 21世紀気候変動予測 革新プログラム
データ入手の 可能性	入手不可	入手可能 (DIASプロジェクト)	入手可能	入手可能	一般に提供されている	一般に提供されている	利用可能だが、季節が 限られている	利用可能だが、季節が 限られている	入手可能	入手可能	入手可能

2.1.1.5 海外の気候モデル

CMIPとは、Coupled Model Intercomparison Projectの略で、各国各研究機関のGCMの出力結果を相互比較するための枠組みである。各国各研究機関のGCMの出力結果は、CMIPに登録され、研究者等はデータをダウンロードし、各GCMにおける気温、降水量等の変化やその影響等を相互評価する。CMIP3(CMIP Phase 3)はIPCC第4次報告書(AR4)に向けたGCMの相互比較プロジェクトであり、CMIP5(CMIP Phase 5)はAR5に向けた相互比較プロジェクトを示す。CMIP5に登録されているデータは近未来予測実験(2030年まで)と長期予測実験(2100年までとそれ以降)からなる。CMIP3ではCGCMのみであるが、CMIP5ではAGCMについても登録されている。CMIPのフェーズはIPCCと合わせるようになったためCMIP4は存在しない。

表-II.2.1.1.2にCMIP3に登録された各国のGCMの一覧を示す。日本の気候モデルであるMIROCの計算解像度が110kmメッシュ程度であり、CMIP3においては最も計算解像度が高い。

表-II.2.1.1.2 CMIP3に登録された各国のGCM (IPCC AR4に使われたCGCM)

Num	GCM	Country	Atmosphere Spatial Res. (deg)	Ocean Spatial Res. (deg)
1	BCCR-BCM2.0	Norway	1.9*1.9	0.5-1.5*1.5
2	CGCM3.1 (T42)	Canada	2.8*2.8	1.9*1.9
3	CGCM3.1 (T63)	Canada	1.9*1.9	0.9*1.4
4	CNRM-CM3	France	1.9*1.9	0.5-2.0*2.0
5	CSIRO-MK3.0	Australia	1.9*1.9	0.8*1.9
6	CSIRO-MK3.5	Australia	1.9*1.9	0.8*1.9
7	GFDL-CM2.0	U.S.A. (NOAA)	2.0*2.5	0.3-1.0*1.0
8	GFDL-CM2.1	U.S.A. (NOAA)	2.0*2.5	0.3-1.0*1.0
9	GISS-AOM	U.S.A (NASA)	3.0*4.0	3.0*4.0
10	INMCM3.0	Russia	4.0*5.0	2.0*2.5
11	IPSL-CM4	France	2.5*3.75	2.0*2.0
12	MIROC3.2 (Hires)	Japan (U. of Tokyo...)	1.1*1.1	0.2*0.3
13	MIROC3.2 (Medres)	Japan (U. of Tokyo...)	2.8*2.8	0.5-1.4*1.4
14	MIUB-ECHO-G	German and Korea	3.9*3.9	0.5-2.8*2.8
15	MPI-ECHAM5	German	1.9*1.9	1.5*1.5
16	MRI-CGCM2.3.2	Japan (MRI)	2.8*2.8	0.5-2.0*2.5
17	NCAR-PCM	U.S.A (NCAR)	2.8*2.8	0.5-0.7*1.1

表-II.2.1.1.3にCMIP5に登録された各国のGCMの一覧を示す。多くのGCMの解像度は200～300kmメッシュであるが、日本のMIROCは60km、MRI-CGCMは120kmメッシュであり、日本の気候モデルは世界的に最も高解像度の温暖化予測実験が行われていることがわかる。

表-Ⅱ.2.1.1.3 CMIP5に登録された各国のCGCM

ID	モデル	格子数(大気)	ID	モデル	格子数(大気)
A	bcc-csm1-1	128x64	N	HadGEM2-CC	192x145
B	CNRM-CM5	256x128	O	HadGEM2-ES	192x145
C	CSIRO-Mk3-6-0	192x96	P	inmcm4	180x120
D	CanCM4	128x64	Q	IPSL-CM5A-LR	96x96
E	CanESM2	128x64	R	IPSL-CM5A-MR	144x143
F	FGOALS-g2	128x60	S	MIROC-ESM	128x64
G	FGOALS-s2	128x108	T	MIROC-ESM-CHEM	128x64
H	GFDL-CM3	144x90	U	MIROC4h	640x320
I	GFDL-ESM2G	144x90	V	MIROC5	256x128
J	GFDL-ESM2M	144x90	W	MPI-ESM-LR	192x96
K	GISS-E2-H	144x89	X	MRI-CGCM3	320x160
L	GISS-E2-R	144x90	Y	NorESM1-M	144x96
M	HadCM3	96x73			

2.1.1.6 気候変動予測計算の特徴

a) 降水量、気温の予測計算

IPCCAR4で採用されたモデルの温暖化予測実験結果の特徴について述べる。採用されたモデルは全部で24モデルあるが、このうち現在気候については19モデル、将来(A1Bシナリオ)気候については17モデルの結果を用いている。先にも述べたように、IPCCで採用されている気候モデルの計算格子間隔は大きく、日本国土上では数点程度しかない。そこで、日本周辺の海域のデータも含めて特徴を整理する。設定した日本周辺領域例を図-Ⅱ.2.1.1.1に示す。図-Ⅱ.2.1.1.1は、気象研究所のCGCM2.3.2の例である。図-Ⅱ.2.1.1.2・図-Ⅱ.2.1.1.3に、それぞれ各モデルの20世紀(1900~1999年)及び21世紀(2000~2099年)の日本周辺年平均降水量の時系列変化を示す。図は、1990~1999年の10年間の平均値を基準とした比率で示しており、データ数が少ないことによるばらつきを軽減するため、10年間の移動平均により平滑化している。図中の青線は各世紀内で増加傾向が見えるもの、赤線は減少傾向が見えるものを示しており、実線はMann-Kendallのトレンド検定により有意水準5%で有意な傾向となったものを、破線は有意な傾向とならなかったものをそれぞれ表している。モデルによる比率のばらつきは大きいですが、これによると、20世紀において日本周辺の年降水量が増加傾向を示すモデルは8モデル、減少傾向を示すのは11モデルであり同程度のモデル数となっている。一方、21世紀については、1モデルを除き、全て増加傾向となっており、11モデルは有意水準5%で有意な傾向となっている。

図-Ⅱ.2.1.1.4は日本周辺年平均の気温変化を示したものである。ただし、1980~1999年の平均値を基準としている。図より、日本周辺の気温は2000年前後から上昇が顕著になっており、年降水量変化と符合していることが分かる。図には、RCM20で用いられているA2シナリオの結果も併せて示しているが、2080年程度までは両者の差はほとんどなく、21世紀末に差が見られるのみである。また、その差も平均値で1℃程度以下と小さい。こうした傾向は、IPCC第4次報告に示されている全球的な傾向と同様である。日本周辺での気温上昇が若干大きいように思えるが、IPCC第4次報告とは対象モデル数が異なるので一概には言えない。

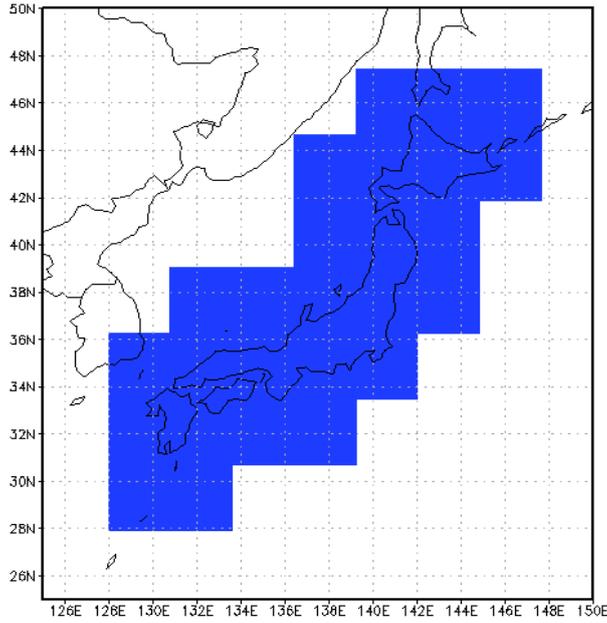


図-Ⅱ.2.1.1.1 設定した日本周辺領域の例 (MRI-CGCM2.3.2)

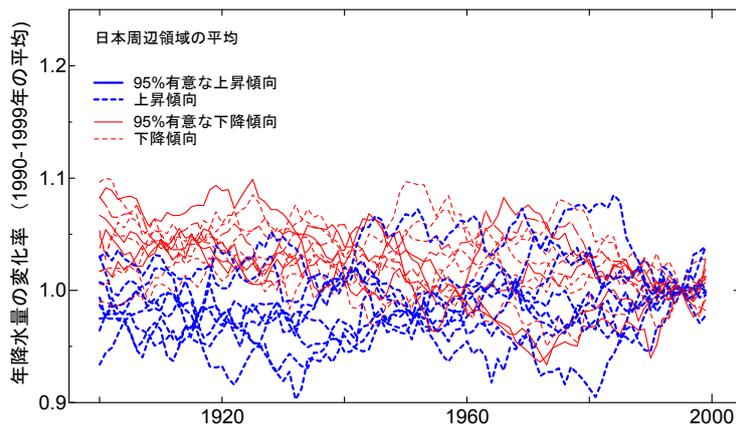


図-Ⅱ.2.1.1.2 日本周辺年平均降水量の時系列変化 (1900~1999年)

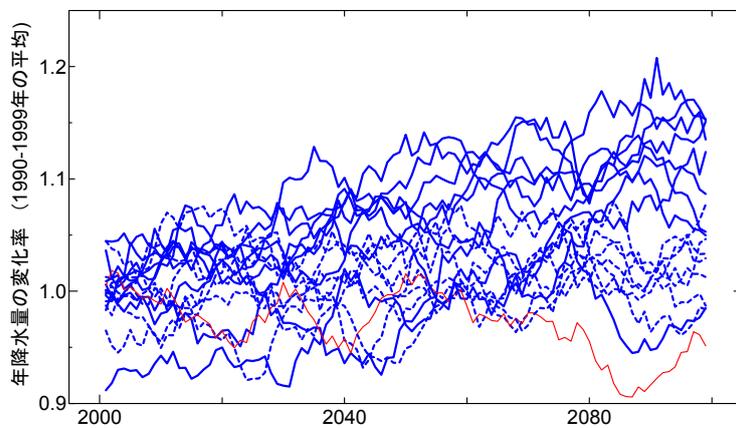


図-Ⅱ.2.1.1.3 日本周辺年平均降水量の時系列変化 (2000~2099年)

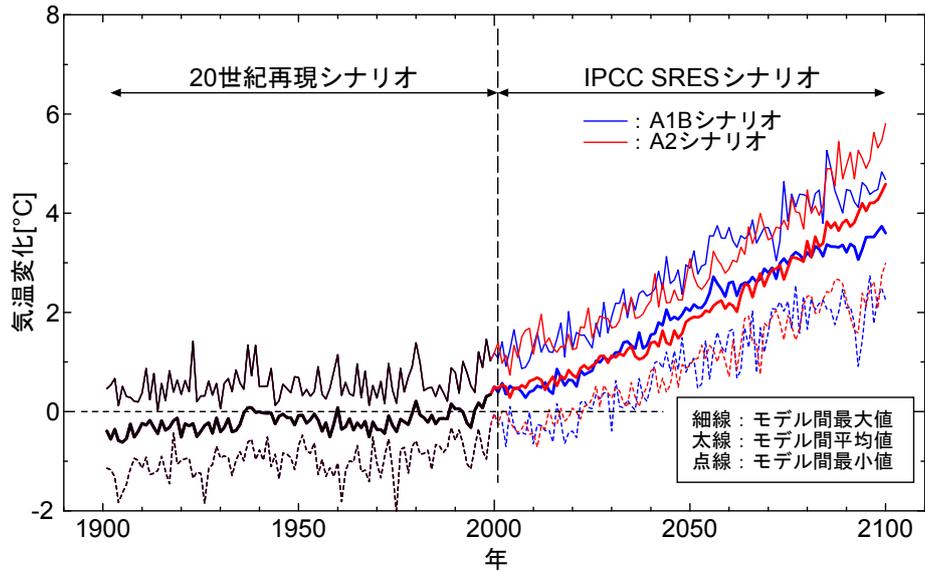


図-Ⅱ.2.1.1.4 日本周辺年平均の気温変化

b) 計算解像度

図-Ⅱ.2.1.1.5は、革新プログラムで行われたGCM20及びRCM5による温暖化予測実験（前期実験）の結果の一例であり（表-I.5.1参照）、2095年における72時間最大雨量の空間分布を示している。5kmメッシュモデルは20kmモデルと比較して、地形による降雨の増大効果（地形性降雨）が再現されていることが確認できる。そもそも20kmや5kmというメッシュサイズは図-Ⅱ.2.1.1.1に示したメッシュサイズに比較してはるか小さく、気候変動予測に用いられるGCMの最近の高解像度化は、少なくとも気象現象を表現する空間スケールという点において、日本の代表的な河川流域のサイズに対応するレベルに達しつつあると言える。

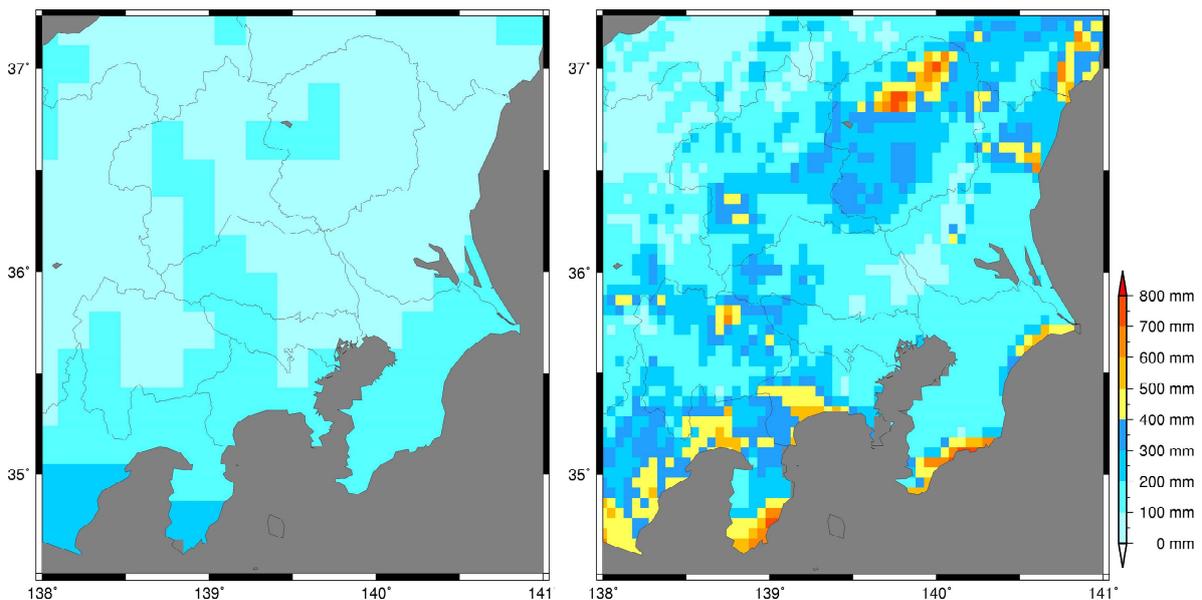


図-Ⅱ.2.1.1.5 GCM20とRCM5による降水量分布の比較

2.1.2 気候変動予測結果の翻訳

2.1.2.1 はじめに～気候変動予測結果の翻訳にあたって～

気候変動に伴い、将来的に豪雨が増加傾向にあると予測されており、それは結果的にこれまで積み上げてきた河川および流域の治水安全度を引き下げる方向に働く。また、我が国は、現時点において目標とした治水安全度の確保に向けた河川整備の途上にある。上記2つの事項を勘案した上で、治水安全度の向上を目指すことが、今後、治水施策を検討する上で必要不可欠であるといえる（例えば、社会資本整備審議会河川分科会 2008）。

欧州では、影響評価を活用して施策化に向けた検討がなされており、それを受けた動きも認められる状況である（Defra 2006, Netherlands Assessment Agency 2005, Bavarian Environment Agency 2007）。また日米英蘭4か国の治水施策に携わる機関によってとりまとめられた施策事例集（Japan, Netherlands, United Kingdom and United States 2011）には、適応策として活用しうる施策メニューが提示されている。こうした検討の進捗を踏まえ、種々の課題を克服し、気候変動さらには大規模洪水に対する施策をより一層進展させることが望まれる。

その際、気候変動に対する適応策の検討にあたっては、既往の治水計画とは質的に異なることを踏まえる必要がある。治水計画の対象として取り込む出水規模は、過去の降雨・流量観測値に基づく生起頻度を踏まえて、甚大な災害をもたらした既往の大規模出水の規模も勘案するなど「実態」に即して検討されている。それに対して適応策においては、気候変動モデルによる「予測」を主軸に据えての検討とならざるを得ない。

加えて、将来気候下の豪雨の予測は2.1.1で述べたように長足の進歩を遂げてきているものの、さらなる信頼性向上の途上でもあり、予測結果にある一定の幅や変化が認められる（文部科学省研究開発局 2012）。したがって、施策の検討上、無視し得ない不確実性を有する外力規模に対して治水・減災施策を検討する考え方を早急に詰めることが重要である。

そうした考え方についてこれまでも議論されている（国土交通省 2010、辻本 2010）ところであるが、さらに深めて施策に反映できるまでかみ砕き具体化することが求められる。そのための方策の一つとして、将来予測に伴う不確実性がどの程度、治水施策に影響を及ぼすか、定量的な評価を行うことが有効と考えられる。

本研究は、不確実性を有する将来予測降雨に基づいて河川整備における適応策を立案する上で踏まえておくべき要点を明確にすることを目的として、定性的な議論に終始するのを避けるために後述する4つの定量的指標すなわち豪雨量倍率、流量倍率、河川整備労力倍率、氾濫可能性倍率を導入し、その評価結果に基づいて考察を加えたものである。指標の算定にあたっては、複数の気候モデルによる将来予測結果を用いており、各モデルによる年最大降雨量の予測値の違いが指標に及ぼす影響を評価し、考察を加えたものである。

2.1.2.2 日本全国マクロ評価の基本的考え方と分析の流れ

a) 治水施策への影響把握の基本的考え方

気候変動による降水量変化が治水施策に与える影響を考える際には、我が国においては、河川整備が未だ途上にあることをまず理解しておくことが重要である。目標とした治水安全度の確保に向けて今後とも治水整備を進捗させる必要があり、整備を完遂させるには過去の進捗状況から見て数十年以上を要すると推定される。

この間に気候変動が顕在化して降雨量が増加すれば、当初と同一の目標到達までの時間が有意に延びる可能性が出てくる。すなわち、図・II.2.1.2.1に模式的に示すように、現在気候下で「当初整備」によって治水整備率が100%に到達したとしても、気候変動の影響によって現在と同一の整備目標（確

率規模) に対応する将来の最大降雨量が増加し、それに伴って目標流量も増大するため、これを吸収するための「付加的整備」を実施する必要があるためである。この点において、洪水に対する防護施設が既に完成している流域における適応策や、これから本格的な開発並びに治水整備等が同時進行する流域における適応策のあり方との質的な差異が生じる。

そこで、本研究課題の検討においては、図-Ⅱ.2.1.2.2 に示すように「一定の年数の後に河川整備により到達するはずであった治水安全度を、気候変動の下で降雨に関する極端現象が顕著になった状況においても獲得するための付加的な整備必要量」を算出し、「当初、設定されていた整備必要量からの増大率」と定義される“河川整備労力倍率”を共通指標として、河川整備という多様な実務的施策群（河道の流下能力向上、洪水調節施設の整備、それら維持管理など）に対する気候変動の影響を把握することとする。

河川整備労力倍率は、一義的には、施設整備（いわゆるハード対応）による気候変動への適応の困難度を概括的に表す指標である。施設整備による適応が困難であることは投入が必要となるソフト的施策（施設整備によらない施策）の質・量が増すことを理解すれば、この指標はまた、ハードとソフトを組み合わせた適応策全般の困難度をも評価しうるものとする。このように、河川整備労力倍率という指標は、気候変動適応の困難度に基づき適応策の方向性の検討を行いやすくすることを狙ったものであり、適応策全てを河川の施設整備（ハード対策）によって行うことを意図したものではない。

また「目標水準相当の流量を超える洪水の発生確率が現在に比べて将来では何倍になるのか」を“氾濫可能性倍率”として定義し、豪雨の増加により氾濫が生じる可能性がどの程度高まるのかを確率規模で算出し、治水安全度の低下とそれを補うために必要な河川整備労力の関係を評価する。

上記指標を算出する際には気候予測モデルを使用するが、この予測値には「幅」があり、その幅は他の評価指標へ増幅して伝播するため、指標別に予測の幅も算定している。

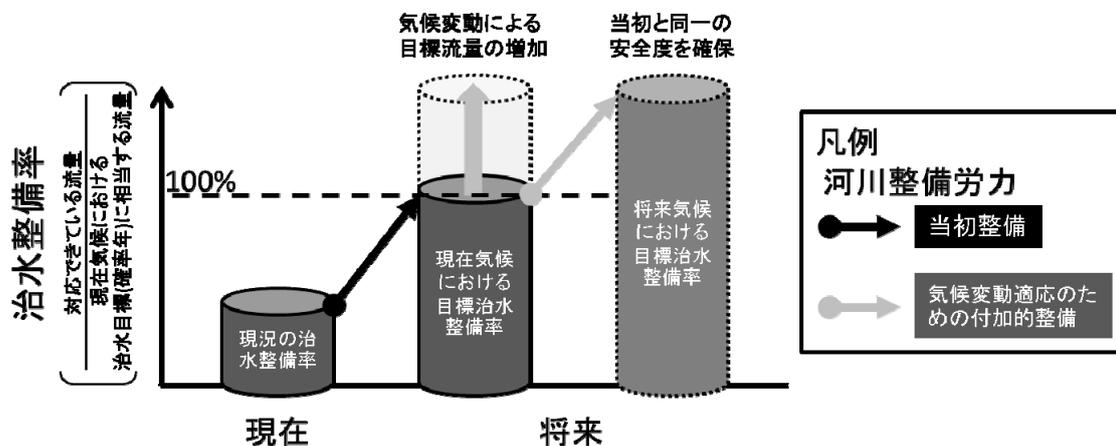


図-Ⅱ.2.1.2.1 河川整備必要量の定義

気候変動適応のための
必要整備労力の増大率

$$\frac{\left(\begin{array}{c} \text{当初整備} \\ + \\ \text{付加的整備} \end{array} \right)}{\text{当初整備}}$$

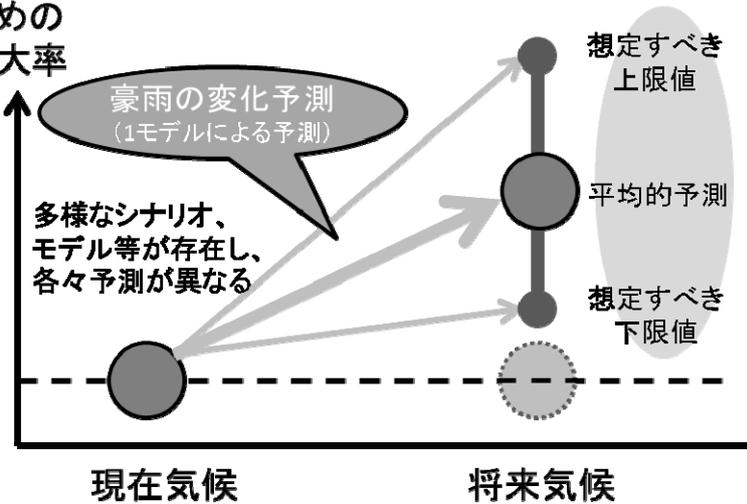


図-Ⅱ.2.1.2.2 整備労力増大率を用いた気候変動の影響把握

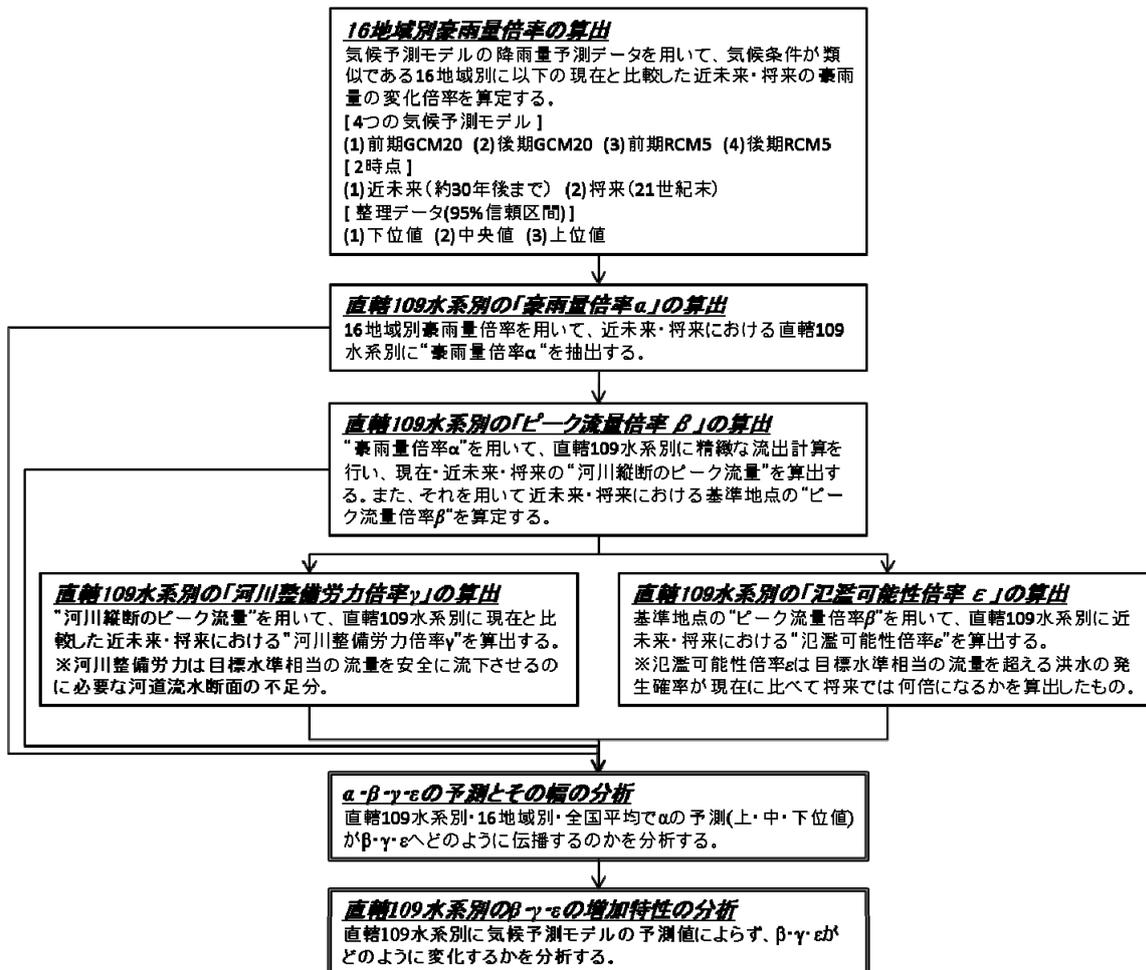


図-Ⅱ.2.1.2.3 本分析の流れ

表-Ⅱ.2.1.2.1 流出計算に用いた資料

資料	備考
流出解析手法	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水検討時のモデル 例)貯留関数法、準線形貯留型モデル等 注:洪水調節施設は基本高水、計画工水流量算出時に対象とした既存施設を対象とする。
流域・河道モデル	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水検討時のモデル(現況) 流域分割図(現況) 注:洪水調節施設は基本高水、計画工水流量算出時に対象とした既存施設を対象とする
流域定数 (貯留関数モデルの場合)	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水検討時の値 流域面積A、K、P、Tl、f1、Rsa、Qb
流域定数 (準線形貯留型モデルの場合)	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水検討時の値(現況) 流域面積A、流域分割毎の土地利用面積、土地利用毎のf1、fsa、Rsa、Qb(現況)
流域定数 (その他のモデルの場合)	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水検討時の値(現況) 流域面積A、流出計算に使用する定数(現況)
河道定数 (貯留関数モデルの場合)	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水検討時の値 河道延長L、K、P、Tl
河道定数 (不流計算モデルの場合)	<ul style="list-style-type: none"> 粗度係数(低水路、高水敷)(現況を基本) 下流端水位(現況河道検討時)
確率規模別雨量	<ul style="list-style-type: none"> 計画降雨継続時間 計画降雨継続時間内確率規模別雨量
計画のハイトグラフ	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水決定に用いた"実績"ハイトグラフ(洪水波形、時間分布) 引き延ばし等をやっていたら、引き延ばし後のハイトについても記載
流出解析関係 ダム操作方式 (対象としているすべてのダム)	<ul style="list-style-type: none"> 洪水調節方式(定量カット、定率定量、自然放流、その他) 洪水調節方式毎の諸元 治水容量 H-V関係 貯留池運用方法(初期水位の設定) 注:基本高水、計画高水流量算出時に対象とした既存の直轄、水機構、補助ダムを対象とする。
遊水地	<ul style="list-style-type: none"> 位置 洪水調節の計算方法(定量カット、水位を用いた洪水調節) 洪水調節開始流量、越流堤の諸元(長さ、高さ) 治水容量 H-V関係 注:基本高水、計画高水流量算出時に対象とした既存の遊水地を対象とする。
湖、自然調節池等の流入量-流出量関係式	<ul style="list-style-type: none"> H-V関係 流入量-流出量関係式 注:基本高水、計画高水流量算出時に対象とした既存施設を対象とする。
放水路等の分派	<ul style="list-style-type: none"> 位置 放水路への分派比率 注:基本高水、計画高水流量算出時に対象とした既存施設を対象とする。
流域対策 (防災調整池、浸透施設等)	<ul style="list-style-type: none"> 流域対策により流量低減を見込んでいる場合のみに該当 位置 集水面積、施設規模
内水域からの流出量	<ul style="list-style-type: none"> 基本高水、計画高水決定に用いた内水域からの流出量、排水位置
河道形状 横断座標	<ul style="list-style-type: none"> 基本方針策定に用いた現況河道 直轄区間すべて
断面毎のH-Q関係式	<ul style="list-style-type: none"> 基本方針策定に用いた現況河道 直轄区間すべて 水位H-流量Q関係(現況河道)
距離標、区間距離、計画高水位	<ul style="list-style-type: none"> 直轄区間全て

b-3) 流量倍率

直轄 109 水系を対象に河川計画の実務で用いた流出計算モデル及び河道追跡モデルのモデル定数、計画決定洪水降雨、洪水調節施設諸元(既設)等の流出計算に必要な諸量のデータ(表-Ⅱ.2.1.2.1)に基づき、 R_p 、 R_f を与え、流出計算を行い、ピーク流量 Q を算定した。本稿では流出計算に関する詳細な説明を省略する。現在気候におけるピーク流量を Q_p 、近未来・将来気候におけるピーク流量を Q_f 、 Q_f/Q_p を「流量倍率 β 」と設定した。また確率規模別雨量データが存在する水系では、各雨量で流出計算を行い、雨量-流量-確率年の関係式を構築した。

b-4) 河川整備労力倍率

河川整備基本方針に示されている計画規模に相当する洪水を現況の整備途上の河道に流下させると、図-Ⅱ.2.1.2.5 に示すように最高水位 H_p が計画高水位 H_{HWL} を上回る区間が生じる。本研究では、その区間が長大でありかつその区間の川幅が広いほど、さらに計画高水位を上回った水深が大きいくほど、今後必要な整備規模が増大すると単純化して取り扱うこととした。そこで整備規模の大きさを表す指標としての灰色部分の水量 W を用いることとし、以降、 W を整備必要労力と呼び、式-Ⅱ.2.1.2.1により算定する。

$$W = \int_0^L B \cdot f(H_P - H_{HWL}) dx$$

式-II.2.1.2.1

ここで、 B は水位 $H_P \sim H_{HWL}$ 間の平均川幅、 $f(z)$ は $z > 0$ の場合 $f(z) = z$ 、 $z \leq 0$ の場合 $f(z) = 0$ となる関数である。 H_P 、 H_{HWL} 、 B はいずれも河口からの距離 x の関数であり、国管理区間の河川総延長 L に渡って定義される。

現在気候下および近未来・将来気候下における河川整備労力 W_P 、 W_F は、それぞれ当初の整備規模とそれに気候変動の影響を吸収する拡充分を加えた整備規模に対応すると考え、これらの比 W_F/W_P を「河川整備労力倍率 γ 」と設定した。高瀬川は河道全体のほとんどが汽水湖である小川原湖であるため、河川整備労力を算出していない。

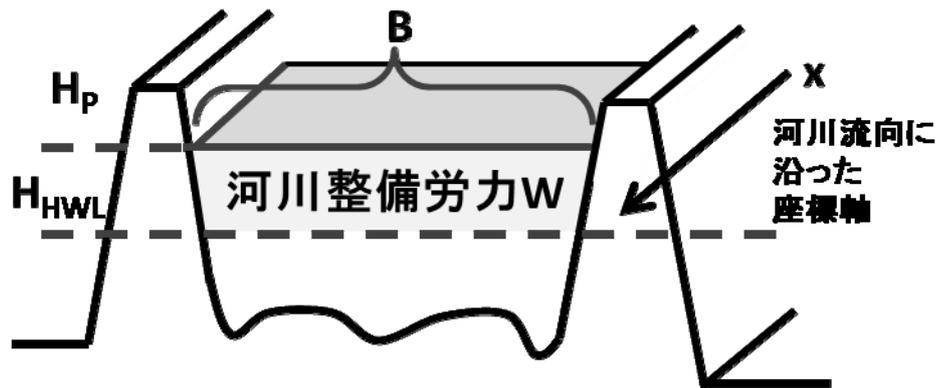
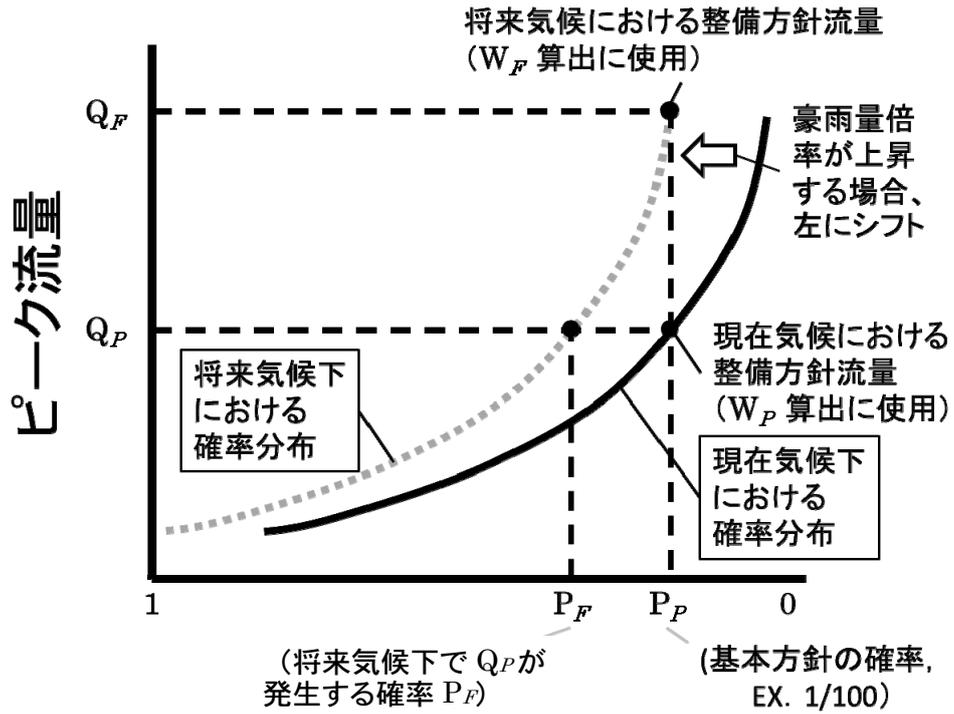


図-II.2.1.2.5 河川整備労力の定義

b-5) 氾濫可能性倍率

b-3) で算出した雨量—流量—確率年の関係式を用いて、将来気候における流量—確率年の関係を算定する。氾濫可能性 P は超過確率年 T の逆数で $1/T$ とし、現在気候における氾濫可能性を P_P ($1/T_P$ 、計画確率規模と同値)、近未来・将来気候における氾濫可能性を P_F ($1/T_F$)、 P_F/P_P を「氾濫可能性倍率 ε 」と設定した。図-II.2.1.2.6 に現在と将来の確率規模とピーク流量の関係を示す。例えば、計画確率規模が 1/100 年確率である場合、 P_P は 1/100 であり、将来気候における氾濫可能性 P_F が 1/50 であった場合、 ε は 2.0 倍となる。この倍率が大きくなるほど、将来において Q_P 規模の洪水が発生しやすいことを意味する。



氾濫可能性

図-Ⅱ.2.1.2.6 氾濫可能性-ピーク流量の関係

2.1.2.3 豪雨量変化倍率の算定

a) 気候予測モデルデータの仕様

日本の豪雨は複雑な地形の影響を強く受けることから、2.1.2.2 に示した分析を行うにあたり、使用する気候予測モデルは、地形の空間スケールに見合う解像度を有し、詳細な標高データを有し、極端現象を再現するものが好ましい。本分析では、表-II.2.1.1.1 中のピンク網掛け部分に当たる「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究(21世紀気候変動予測革新プログラム、2007～2011年度、以後、革新プログラム)(文部科学省研究開発局 2012)」で開発された、高解像度の将来予測をした水平解像度 20km メッシュの(i)21世紀気候変動予測革新プログラム GCM20 前期実験(以下、前期 GCM20)、(ii)同後期実験(以下、後期 GCM20)、また前期 GCM20、後期 GCM20 をそれぞれ境界条件として実験された水平解像度 5km メッシュの(iii)前期 RCM5、(iv)後期 RCM5 の4つの気候予測モデルデータを使用する(表-I.5.1に示した気候モデルのうち上4つ)。4つの気候予測モデルの概要を表-II.2.1.2.2 に改めて示す。気候予測モデルの予測データは水平解像度 5km と 20km の2種類で、現在・近未来・将来の3時点が存在し、それぞれ計算期間が異なる。4モデルのグリッド数、計算期間が異なることから、4モデルの比較を行う際には確率統計上、標本数の違いにより信頼区間の差異が大きく現れる。本研究では4つの気候モデル各々の予測結果とその幅が治水施策を検討する上でいかにほどのインパクトを持つのかを調べる。

表-II.2.1.2.2 4気候モデルの解像度・計算期間等の概要

	前期GCM20	後期GCM20	前期RCM5	後期RCM5
計算領域	全球		日本領域	
水平解像度	20km		5km	
SRES	A1B			
計算期間	年数	25年間	10年間	25年間
	月	通年	6～10月	
	現在	1979～2003年	1990～1999年	1979～2003年
	近未来	2015～2039年	2026～2035年	2015～2039年
	将来	2075～2099年	2086～2095年	2075～2099年
境界条件	—		前期GCM20	後期GCM20
グリッド数 (日本国土相当分)	1054grids		14,896grids	

b) 気候予測モデルの予測値の統計処理方法

気候予測モデルの予測データはグリッド別にデータが保存されており、例えば、前期 RCM5 は当該グリッドの年最大降雨量は当該時点において 10 個(10年間分)であり、この標本数で当該グリッドの年最大降雨量に関して議論するには、あまりにデータ数が不足している。そこで本研究では日本全国を同等の気候特性を持つ地域別に分割し、当該地域周辺の複数のグリッドデータを統計処理することで、多くの標本数を確保した上で、地域の年最大降雨量を算出することとした(国土交通省国土技術政策総合研究所 2008)。

同等の気候特性を持つ地域分割を行うための基本ベースとして、ダムの超過洪水検討の際に参考として用いられる地域別比流量図の地域分割(建設省河川局監修 1997)(北海道・東北・関東・北陸・中部・近畿・紀伊南部・山陰・瀬戸内・四国南部・九州)を採用し、順位和検定とスピアマン検定を用いて当該地域内のグリッドデータ間に同一性と独立性がみられるかを検証した。

水平解像度が 20km である前期 GCM20 の予測データを上記の地域に分割し、各時点で当該グリッドの降雨生起確率が地域全体の降雨生起確率と同一と見なせるか順位和検定を行った。同一と見なせるグリッド数の地域全体のグリッド数に対する割合を適合割合といい、地域分割の第一の指標とした。

《順位和検定》

[検定に用いた標本]

標本 1 : 各グリッドの計算期間 (10 年もしくは 25 年間) のデータ

(例えば、前期 GCM20 データの場合、25 個)

標本 2 : 地域内の計算期間 (10 年もしくは 25 年間) × グリッド数の全データ

(例えば、前期 GCM20 データで北海道を検定する場合、

計算期間 : 25 年間、グリッド数 : 246 個であるため、 $25 \times 246 = 6,150$ 個)

[順位和検定式]

$$\frac{m \cdot (m+n+1)}{2} - a \sqrt{\frac{m \cdot n(m+n+1)}{12}} \leq T \leq \frac{m \cdot (m+n+1)}{2} + a \sqrt{\frac{m \cdot n(m+n+1)}{12}} \quad \text{式-II.2.1.2.2}$$

m , n : 対象とするデータ群のデータ数で、ここでは m : 標本 1 の標本数、 n : 標本数 2 の標本数である。すなわち、この場合の同一性の判定は、地域に属するあるグリッドの降雨確率分布 (計算期間が 25 年間の場合、25 個で構成される分布) が、その地域の降雨確率分布 (25 × 地域内地点数で構成される) と同一と見なせるかを判定するものである。 T : 順位和、 a : 検定の有意水準に対応する定数で、5%有意水準のとき 1.96、1%有意水準のとき 2.57 である。

その一方で、地域の適合割合が大きい場合、地域内のデータ間の独立性が小さくなる可能性がある。そこで地域内の 2 点間の全ての組み合わせについて、そのデータの独立性検定をスピアマンの順位相関係数の有意性検定を適応して実施した。独立性仮説が棄却されなかった組み合わせ数の地域内 2 点間の全ての組み合わせ数に対する比を独立割合といい、これが大きくなる地域分割を適切な地域分割の第 2 の指標とした。

《スピアマン検定》

[検定に用いた標本]

同じ地域内で異なるグリッド 2 点間の年最大降雨量の順位相関係数を求める。ある地域内において、順位相関係数を求める組み合わせの数は、地域内の地点数を n とすると、 $n(n-1)/2$ である。

[スピアマンの順位相関係数 r_s の算出]

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad \text{式-II.2.1.2.3}$$

ここに、 d_i : 同じ年に発生した年最大降雨量の、それぞれの地点での順位の差、 n : データ年数 (=10 or 25)、また母相関係数=0 を帰無仮説とすると検定統計量 t_0 は次式で表される。

$$t_0 = \frac{|r_s| \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_s^2}} \quad \text{式-II.2.1.2.4}$$

t_0 は自由度が $n-2$ の t 分布に従い、 $n=10$ の場合、有意水準 5% では $t_0 \geq 2.306$ 、有意水準 1% では $t_0 \geq 3.355$ で帰無仮説が棄却される。

上記2つの検定を行い、基本ベースの地域別比流量図の地域分割から try and error で適合割合、独立割合が良好となるように様々な地域分割を検討したところ、以下の知見、改善案が得られた。

- 1) 北海道・東北・北陸・中部の大きい地域分割では適合割合が小さい。
- 2) 地域の特性を考慮し、地域分割の考えるための、標高分布および豪雨量の全国分布を考慮する。
- 3) 日本海側と太平洋側で降雨特性が大きく異なることから山脈で分割する。
- 4) 近畿と瀬戸内は雨の少ない地域で、近畿の地点数が少ないことから、近畿と瀬戸内は併合し、瀬戸内近とする。
- 5) 北海道は、東西に分割するよりもオホーツク海側、太平洋側、日本海側に3分割した方が、各降雨継続時間とも適合割合が大きくなる傾向を示す。
- 6) 東北は東西で影響を及ぼし合うことから山脈で区切られる日本海側と太平洋側へと分割する。また青森を中心とする地域の降雨が少ないことから東北北として分割する。
- 7) 北陸、中部とも高い山脈によって東西に区切られていることから標高データを参考に分割する。
- 8) 中部東は太平洋側の降雨量の多い地域と長野盆地を中心とする年間降水量 1800mm 以下の地域として分割する。
- 9) 紀伊南部、四国南部、九州南部をまとめた紀四九南は元の地域分割の適合割合と大差がない。
- 10) 九州北は元の九州と比較して、高い適合割合となっている。

以上の検定結果等より地域分割を北海道オホーツク海側・北海道日本海側・北海道太平洋側・東北北・東北東・東北西・北陸東・北陸西・関東・長野盆地・中部東・中部西・山陰・瀬戸内・九州北・西南日本の16地域に分割することとした(図-II.2.1.2.7)。

c) 豪雨量倍率の算定

気候予測モデル予測値を用いて、16地域別に、3時点(現在・近未来・将来)、7種類の降雨継続時間(1・3・6・12・24・48・72時間)、上位値・平均値・下位値の豪雨量倍率を算定する(表-II.2.1.2.3)。ここで、上位値と下位値の幅は95%信頼区間の幅にあたる。図-II.2.1.2.8にモデルの降雨時間と豪雨量倍率の関係を示す。図では95%信頼区間の幅も合わせて表示している。9時間降雨は6・12時間降雨の平均値として算出した。4モデル、降雨時間により、中央値と信頼区間の幅がそれぞれ大きく異なる。RCM5は高解像度でグリッド数が多いため、GCM20と比較して信頼区間は小さくなっている。

16地域別の豪雨量倍率を用いて、直轄109水系別の豪雨量倍率を算定する。豪雨量倍率は当該水系の基本方針の降雨継続時間を採用し、2地域以上をまたぐ水系は面積で按分することで算定する。

- ① 北海道オホーツク海側
- ② 北海道日本海側
- ③ 北海道太平洋側
- ④ 東北北
- ⑤ 東北東
- ⑥ 東北西
- ⑦ 北陸東
- ⑧ 北陸西
- ⑨ 関東
- ⑩ 長野盆地
- ⑪ 中部東
- ⑫ 中部西
- ⑬ 山陰
- ⑭ 瀬戸内
- ⑮ 九州北
- ⑯ 西南日本

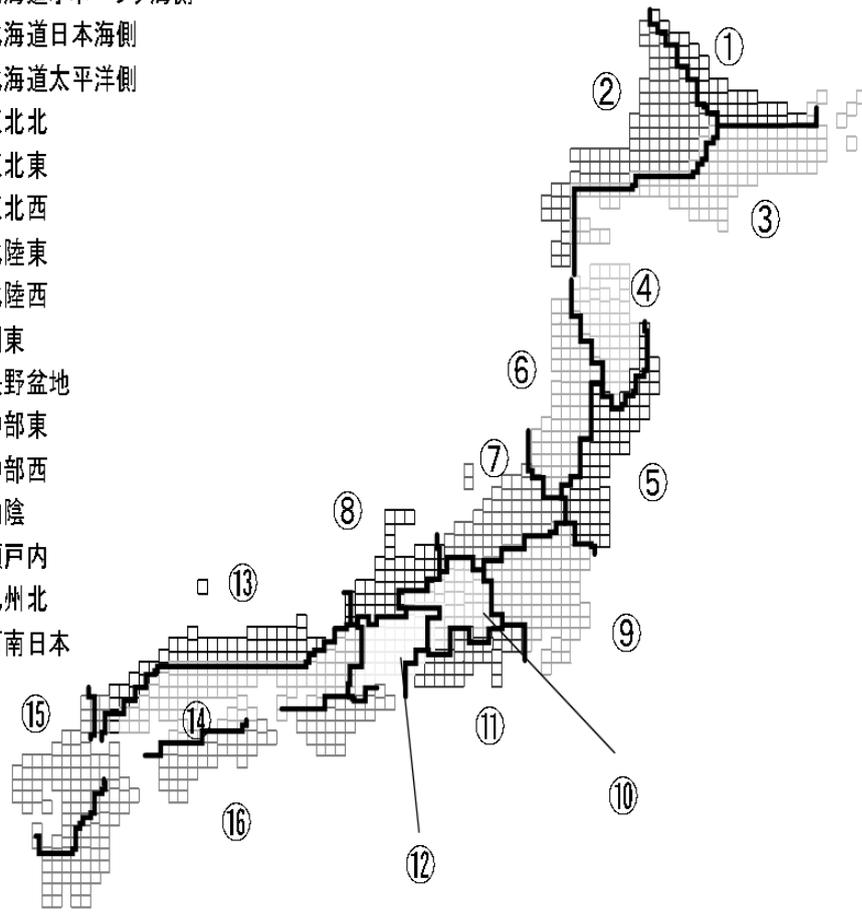


図-Ⅱ.2.1.2.7 日本全国16地域分割図

表-Ⅱ. 2. 1. 2. 3(1) 16 地域別豪雨量倍率(1 時間) ※上位値と下位値の幅は 95%信頼区間の幅

16 地域	前期GCM20						後期GCM20						前期RCM5						後期RCM5					
	近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来		
	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位
北海道オホーツク海側	1.01	1.06	1.11	1.26	1.33	1.40	1.11	1.17	1.22	1.25	1.30	1.36	1.07	1.09	1.11	1.24	1.26	1.29	1.31	1.33	1.35	1.52	1.54	1.57
北海道日本海側	1.07	1.10	1.14	1.25	1.30	1.34	1.15	1.19	1.23	1.30	1.34	1.39	1.08	1.09	1.10	1.29	1.31	1.32	1.33	1.35	1.37	1.51	1.53	1.56
北海道太平洋側	0.99	1.02	1.06	1.11	1.15	1.19	1.04	1.08	1.10	1.27	1.31	1.34	1.14	1.16	1.17	1.23	1.24	1.26	1.25	1.26	1.28	1.39	1.41	1.43
東北北	0.97	1.03	1.10	1.18	1.25	1.31	0.95	0.99	1.05	1.23	1.28	1.34	0.91	0.92	0.94	1.10	1.12	1.14	1.13	1.15	1.17	1.43	1.45	1.47
東北東	0.93	0.99	1.04	0.96	1.03	1.09	0.91	0.94	0.98	1.10	1.15	1.19	1.04	1.05	1.07	1.17	1.19	1.20	1.15	1.16	1.18	1.44	1.47	1.49
東北西	1.08	1.12	1.17	1.26	1.31	1.36	1.02	1.06	1.10	1.20	1.25	1.30	0.98	0.99	1.00	1.15	1.16	1.18	1.09	1.11	1.13	1.27	1.29	1.30
北陸東	0.99	1.05	1.11	1.09	1.15	1.21	1.07	1.13	1.19	1.10	1.15	1.20	0.92	0.93	0.95	1.22	1.24	1.26	1.19	1.21	1.23	1.28	1.31	1.33
北陸西	1.04	1.10	1.16	1.14	1.22	1.29	1.01	1.07	1.13	1.06	1.11	1.17	0.99	1.01	1.02	1.13	1.15	1.17	1.16	1.18	1.21	1.31	1.34	1.36
関東	0.99	1.04	1.08	1.13	1.19	1.25	1.00	1.04	1.07	1.09	1.13	1.17	1.02	1.03	1.05	1.22	1.24	1.25	1.20	1.22	1.24	1.46	1.49	1.52
長野盆地	0.99	1.09	1.22	1.08	1.18	1.29	0.96	1.02	1.09	1.10	1.19	1.28	0.96	0.98	1.00	1.13	1.15	1.18	1.20	1.22	1.24	1.27	1.29	1.32
中部東	0.96	1.09	1.24	1.13	1.24	1.36	0.98	1.07	1.16	1.14	1.25	1.36	0.96	0.98	1.00	1.32	1.34	1.37	1.31	1.33	1.35	1.43	1.45	1.48
中部西	0.93	1.05	1.19	1.08	1.18	1.29	1.02	1.09	1.18	1.12	1.19	1.28	0.95	0.97	0.99	0.90	0.92	0.93	1.19	1.22	1.24	1.32	1.35	1.38
山陰	1.13	1.18	1.24	1.28	1.33	1.39	0.96	0.99	1.03	1.20	1.25	1.30	1.07	1.08	1.10	1.07	1.08	1.10	1.15	1.17	1.19	1.34	1.37	1.39
瀬戸内	1.05	1.09	1.13	1.21	1.25	1.29	1.05	1.08	1.11	1.19	1.23	1.26	1.04	1.05	1.07	0.97	0.98	0.99	1.14	1.16	1.17	1.26	1.28	1.30
九州北	0.98	1.02	1.06	1.27	1.33	1.39	0.87	0.90	0.93	1.11	1.14	1.18	0.99	1.00	1.02	1.13	1.15	1.16	1.09	1.10	1.12	1.33	1.34	1.36
西南日本	1.02	1.06	1.09	1.23	1.27	1.30	1.00	1.03	1.06	1.18	1.22	1.25	1.05	1.07	1.08	1.02	1.03	1.05	1.12	1.14	1.16	1.29	1.31	1.32

表-Ⅱ. 2. 1. 2. 3(2) 16 地域別豪雨量倍率(3 時間) ※上位値と下位値の幅は 95%信頼区間の幅

16 地域	前期GCM20						後期GCM20						前期RCM5						後期RCM5					
	近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来		
	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位
北海道オホーツク海側	0.97	1.01	1.06	1.18	1.24	1.31	1.10	1.15	1.21	1.19	1.24	1.30	1.03	1.04	1.06	1.19	1.22	1.24	1.27	1.29	1.30	1.45	1.47	1.49
北海道日本海側	1.08	1.11	1.14	1.23	1.27	1.31	1.13	1.16	1.20	1.27	1.32	1.36	1.06	1.07	1.08	1.26	1.27	1.29	1.28	1.30	1.31	1.43	1.45	1.46
北海道太平洋側	0.97	1.00	1.04	1.07	1.10	1.14	1.01	1.04	1.07	1.22	1.26	1.30	1.09	1.10	1.11	1.22	1.23	1.25	1.25	1.26	1.27	1.38	1.40	1.41
東北北	1.01	1.06	1.12	1.14	1.20	1.27	0.89	0.94	0.99	1.16	1.22	1.27	0.89	0.91	0.92	1.03	1.05	1.06	1.09	1.11	1.12	1.35	1.37	1.39
東北東	0.92	0.96	1.01	0.97	1.03	1.09	0.92	0.96	0.99	1.11	1.15	1.20	1.02	1.04	1.05	1.17	1.18	1.20	1.13	1.15	1.16	1.37	1.38	1.40
東北西	1.06	1.10	1.14	1.19	1.24	1.28	1.02	1.06	1.10	1.18	1.23	1.27	0.95	0.96	0.98	1.08	1.09	1.11	1.09	1.11	1.12	1.24	1.25	1.27
北陸東	0.93	0.98	1.03	1.01	1.07	1.13	1.06	1.12	1.18	1.08	1.13	1.19	0.91	0.92	0.93	1.17	1.19	1.20	1.17	1.19	1.21	1.22	1.24	1.26
北陸西	1.01	1.07	1.12	1.13	1.19	1.26	0.98	1.04	1.09	1.08	1.14	1.19	0.96	0.98	1.00	1.06	1.08	1.10	1.15	1.17	1.19	1.28	1.30	1.32
関東	0.97	1.01	1.05	1.11	1.16	1.22	1.00	1.04	1.08	1.13	1.17	1.21	0.99	1.00	1.02	1.23	1.25	1.26	1.18	1.20	1.21	1.42	1.44	1.46
長野盆地	1.00	1.08	1.16	1.04	1.11	1.20	0.92	0.99	1.06	1.10	1.18	1.27	0.95	0.97	0.98	1.13	1.15	1.17	1.21	1.23	1.25	1.26	1.28	1.30
中部東	0.99	1.10	1.23	1.11	1.21	1.32	0.97	1.07	1.18	1.13	1.24	1.36	0.91	0.93	0.94	1.26	1.28	1.31	1.34	1.36	1.38	1.43	1.45	1.48
中部西	0.92	1.02	1.14	1.04	1.13	1.22	0.98	1.07	1.18	1.11	1.19	1.29	0.95	0.97	0.99	0.89	0.91	0.93	1.19	1.21	1.24	1.29	1.32	1.34
山陰	1.05	1.10	1.15	1.20	1.25	1.30	0.93	0.97	1.01	1.19	1.23	1.28	1.01	1.03	1.04	1.00	1.02	1.03	1.12	1.14	1.15	1.29	1.31	1.33
瀬戸内	0.98	1.01	1.05	1.17	1.20	1.24	1.04	1.07	1.11	1.21	1.24	1.28	0.98	0.99	1.00	0.92	0.93	0.94	1.12	1.14	1.15	1.24	1.25	1.27
九州北	0.97	1.01	1.05	1.22	1.28	1.34	0.86	0.90	0.93	1.11	1.14	1.18	0.96	0.97	0.98	1.11	1.13	1.14	1.06	1.08	1.09	1.31	1.33	1.34
西南日本	1.00	1.03	1.06	1.13	1.17	1.20	1.02	1.05	1.07	1.20	1.24	1.27	1.02	1.04	1.05	1.00	1.01	1.02	1.11	1.13	1.15	1.29	1.31	1.32

表-Ⅱ. 2. 1. 2. 3 (3) 16 地域別豪雨量倍率 (6 時間) ※上位値と下位値の幅は 95%信頼区間の幅

16地域	前期GCM20						後期GCM20						前期RCM5						後期RCM5					
	近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来		
	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位
北海道オホーツク海側	0.98	1.02	1.06	1.15	1.21	1.27	1.13	1.18	1.24	1.19	1.25	1.31	0.99	1.01	1.03	1.18	1.21	1.23	1.26	1.27	1.28	1.41	1.43	1.45
北海道日本海側	1.11	1.13	1.16	1.20	1.24	1.28	1.13	1.18	1.22	1.27	1.32	1.37	1.03	1.04	1.06	1.21	1.22	1.24	1.25	1.27	1.28	1.38	1.39	1.41
北海道太平洋側	0.98	1.00	1.03	1.05	1.09	1.12	1.02	1.05	1.09	1.19	1.23	1.26	1.07	1.08	1.09	1.23	1.24	1.25	1.26	1.27	1.28	1.39	1.40	1.42
東北北	1.00	1.06	1.11	1.13	1.18	1.23	0.95	0.90	0.95	1.11	1.17	1.22	0.90	0.92	0.93	1.01	1.03	1.05	1.06	1.07	1.07	1.31	1.32	1.34
東北東	0.92	0.96	1.00	0.97	1.02	1.07	0.93	0.97	1.01	1.07	1.11	1.16	1.01	1.03	1.04	1.16	1.17	1.19	1.12	1.14	1.15	1.30	1.31	1.33
東北西	1.04	1.09	1.12	1.13	1.18	1.22	1.03	1.07	1.11	1.16	1.21	1.25	0.94	0.96	0.97	1.05	1.06	1.08	1.06	1.07	1.08	1.22	1.23	1.24
北陸東	0.91	0.96	1.00	0.99	1.05	1.10	1.04	1.10	1.16	1.05	1.09	1.14	0.89	0.91	0.92	1.10	1.12	1.13	1.15	1.16	1.18	1.18	1.20	1.21
北陸西	1.02	1.04	1.09	1.10	1.16	1.22	0.99	1.05	1.10	1.12	1.18	1.24	0.93	0.94	0.96	0.99	1.01	1.03	1.14	1.16	1.18	1.25	1.27	1.28
関東	0.98	1.01	1.04	1.11	1.16	1.20	0.98	1.02	1.07	1.12	1.16	1.21	0.97	0.98	1.00	1.20	1.22	1.23	1.16	1.18	1.19	1.40	1.41	1.43
長野盆地	1.01	1.08	1.16	1.04	1.11	1.18	0.90	0.97	1.05	1.11	1.18	1.26	0.91	0.93	0.94	1.07	1.09	1.11	1.21	1.23	1.25	1.25	1.27	1.29
中部東	0.98	1.07	1.16	1.08	1.16	1.25	0.96	1.07	1.19	1.09	1.21	1.35	0.87	0.89	0.91	1.15	1.17	1.20	1.33	1.35	1.36	1.41	1.43	1.45
中部西	0.95	1.01	1.09	1.04	1.12	1.20	0.98	1.08	1.21	1.09	1.19	1.30	0.92	0.94	0.95	0.88	0.89	0.91	1.16	1.18	1.20	1.25	1.27	1.29
山陰	1.05	1.08	1.12	1.18	1.23	1.28	0.93	0.96	1.00	1.19	1.24	1.29	0.96	0.97	0.99	0.95	0.96	0.98	1.08	1.09	1.11	1.23	1.25	1.26
瀬戸内	0.97	0.99	1.03	1.14	1.18	1.21	1.02	1.05	1.08	1.19	1.22	1.26	0.93	0.94	0.95	0.89	0.90	0.91	1.10	1.12	1.13	1.20	1.22	1.23
九州北	0.95	0.99	1.03	1.19	1.24	1.30	0.85	0.89	0.92	1.10	1.14	1.18	0.93	0.94	0.95	1.09	1.10	1.12	1.04	1.06	1.07	1.29	1.30	1.32
西南日本	0.96	1.00	1.02	1.08	1.11	1.14	1.01	1.04	1.07	1.19	1.22	1.25	0.97	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	1.11	1.12	1.14	1.26	1.27	1.29

表-Ⅱ. 2. 1. 2. 3 (4) 16 地域別豪雨量倍率 (12 時間) ※上位値と下位値の幅は 95%信頼区間の幅

16地域	前期GCM20						後期GCM20						前期RCM5						後期RCM5					
	近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来		
	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位
北海道オホーツク海側	0.99	1.03	1.07	1.11	1.17	1.22	1.14	1.20	1.26	1.15	1.21	1.27	0.94	0.96	0.98	1.11	1.13	1.16	1.25	1.27	1.28	1.39	1.40	1.42
北海道日本海側	1.12	1.15	1.18	1.21	1.25	1.29	1.12	1.17	1.21	1.21	1.26	1.31	0.98	1.00	1.01	1.14	1.15	1.16	1.26	1.27	1.28	1.33	1.35	1.36
北海道太平洋側	0.98	1.01	1.04	1.06	1.09	1.13	1.06	1.10	1.13	1.15	1.18	1.21	1.04	1.06	1.07	1.22	1.23	1.24	1.27	1.28	1.29	1.39	1.40	1.41
東北北	0.99	1.04	1.08	1.07	1.12	1.17	0.85	0.90	0.96	1.13	1.19	1.24	0.91	0.93	0.95	1.00	1.02	1.04	1.03	1.04	1.05	1.29	1.30	1.32
東北東	0.93	0.97	1.01	0.97	1.02	1.06	0.94	0.98	1.02	1.02	1.06	1.10	1.08	1.09	1.11	1.19	1.21	1.23	1.16	1.17	1.18	1.29	1.30	1.32
東北西	1.04	1.07	1.11	1.11	1.14	1.18	1.05	1.09	1.12	1.17	1.22	1.26	0.97	0.98	0.99	1.06	1.08	1.09	1.07	1.08	1.09	1.19	1.21	1.22
北陸東	0.92	0.96	1.00	0.97	1.01	1.06	1.01	1.07	1.13	1.00	1.05	1.10	0.91	0.92	0.94	1.07	1.08	1.10	1.14	1.15	1.16	1.16	1.17	1.19
北陸西	1.04	1.09	1.14	1.11	1.16	1.22	0.96	1.01	1.07	1.12	1.18	1.24	0.90	0.92	0.93	0.95	0.96	0.98	1.14	1.15	1.17	1.22	1.24	1.26
関東	0.98	1.01	1.04	1.05	1.09	1.12	0.95	1.00	1.04	1.08	1.13	1.17	0.96	0.97	0.98	1.16	1.18	1.19	1.16	1.17	1.18	1.36	1.38	1.39
長野盆地	1.02	1.08	1.14	1.02	1.08	1.14	0.90	0.97	1.05	1.09	1.15	1.22	0.86	0.88	0.90	0.97	0.99	1.01	1.21	1.23	1.24	1.24	1.26	1.27
中部東	0.98	1.06	1.15	1.07	1.15	1.22	0.88	1.02	1.18	0.99	1.13	1.28	0.85	0.87	0.89	1.05	1.07	1.09	1.31	1.33	1.34	1.38	1.40	1.42
中部西	0.96	1.02	1.09	1.04	1.12	1.20	0.97	1.05	1.14	1.03	1.11	1.20	0.87	0.89	0.90	0.85	0.87	0.89	1.13	1.15	1.17	1.20	1.22	1.24
山陰	1.06	1.10	1.15	1.15	1.19	1.24	0.91	0.95	0.99	1.15	1.20	1.24	0.94	0.96	0.97	0.91	0.93	0.94	1.06	1.08	1.09	1.18	1.20	1.21
瀬戸内	0.97	1.00	1.03	1.11	1.15	1.17	0.97	1.00	1.03	1.13	1.16	1.19	0.93	0.94	0.95	0.88	0.89	0.90	1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	1.19
九州北	0.94	0.98	1.02	1.14	1.18	1.23	0.84	0.88	0.91	1.08	1.12	1.16	0.91	0.92	0.93	1.05	1.07	1.08	1.03	1.04	1.05	1.26	1.28	1.29
西南日本	0.95	0.97	1.00	1.06	1.09	1.11	0.97	0.99	1.02	1.11	1.14	1.17	0.93	0.94	0.95	0.94	0.95	0.96	1.10	1.11	1.13	1.24	1.25	1.26

表-Ⅱ. 2. 1. 2. 3 (5) 16 地域別豪雨量倍率(24 時間) ※上位値と下位値の幅は 95%信頼区間の幅

16 地域	前期 GCM20						後期 GCM20						前期 RCM5						後期 RCM5					
	近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来		
	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位
北海道オホーツク海側	0.99	1.03	1.08	1.09	1.15	1.20	1.16	1.22	1.28	1.14	1.19	1.26	0.90	0.92	0.94	1.10	1.12	1.15	1.29	1.30	1.32	1.37	1.38	1.40
北海道日本海側	1.11	1.14	1.17	1.20	1.24	1.24	1.15	1.19	1.23	1.20	1.24	1.28	0.99	1.00	1.01	1.18	1.19	1.21	1.32	1.33	1.34	1.33	1.34	1.35
北海道太平洋側	1.01	1.04	1.07	1.10	1.13	1.14	1.11	1.15	1.19	1.14	1.17	1.21	1.05	1.06	1.08	1.25	1.27	1.28	1.31	1.32	1.33	1.38	1.40	1.41
東北北	1.04	1.09	1.15	1.13	1.18	1.23	0.85	0.90	0.96	1.11	1.16	1.22	0.97	0.99	1.01	1.20	1.22	1.25	1.01	1.02	1.03	1.24	1.26	1.27
東北東	0.92	0.96	1.00	0.96	1.01	1.06	0.94	0.98	1.03	0.98	1.03	1.08	1.08	1.09	1.11	1.27	1.29	1.32	1.19	1.21	1.22	1.30	1.31	1.33
東北西	1.01	1.04	1.07	1.07	1.11	1.14	1.06	1.10	1.13	1.16	1.21	1.25	0.97	0.98	1.00	1.26	1.27	1.29	1.08	1.08	1.09	1.20	1.21	1.22
北陸東	0.86	0.90	0.94	0.89	0.93	0.97	1.00	1.06	1.11	1.01	1.05	1.10	0.86	0.87	0.89	1.13	1.15	1.17	1.12	1.13	1.15	1.16	1.17	1.19
北陸西	1.03	1.07	1.12	1.06	1.10	1.15	0.91	0.96	1.02	1.04	1.09	1.14	0.92	0.94	0.96	1.10	1.12	1.14	1.13	1.15	1.16	1.22	1.24	1.25
関東	0.96	1.00	1.03	0.99	1.03	1.07	0.92	0.97	1.02	1.04	1.08	1.13	0.91	0.92	0.94	1.19	1.21	1.23	1.17	1.18	1.19	1.36	1.37	1.38
長野盆地	1.00	1.06	1.13	0.97	1.03	1.09	0.85	0.93	1.01	1.03	1.09	1.17	0.84	0.86	0.88	1.01	1.03	1.05	1.19	1.21	1.22	1.22	1.23	1.25
中部東	0.96	1.05	1.14	1.05	1.12	1.20	0.86	1.02	1.21	0.93	1.11	1.32	0.83	0.85	0.86	1.08	1.10	1.13	1.27	1.29	1.30	1.35	1.37	1.39
中部西	0.99	1.05	1.12	1.04	1.12	1.19	0.91	1.00	1.11	1.00	1.07	1.15	0.94	0.96	0.98	1.03	1.05	1.08	1.12	1.14	1.15	1.16	1.18	1.20
山陰	1.08	1.12	1.16	1.09	1.13	1.17	0.91	0.95	0.99	1.13	1.17	1.22	1.05	1.06	1.08	1.05	1.07	1.08	1.06	1.07	1.08	1.17	1.18	1.19
瀬戸内	1.02	1.05	1.07	1.09	1.12	1.15	0.94	0.98	1.01	1.09	1.12	1.16	1.00	1.01	1.02	0.98	0.99	1.01	1.09	1.10	1.12	1.15	1.17	1.18
九州北	0.95	0.98	1.02	1.12	1.16	1.21	0.82	0.86	0.89	1.05	1.09	1.14	0.97	0.98	0.99	1.14	1.16	1.17	1.02	1.03	1.04	1.27	1.28	1.29
西南日本	0.97	0.99	1.02	1.06	1.09	1.12	0.94	0.97	1.00	1.06	1.09	1.12	0.98	0.99	1.00	1.05	1.06	1.07	1.12	1.13	1.14	1.24	1.26	1.27

表-Ⅱ. 2. 1. 2. 3 (6) 16 地域別豪雨量倍率(48 時間) ※上位値と下位値の幅は 95%信頼区間の幅

16 地域	前期 GCM20						後期 GCM20						前期 RCM5						後期 RCM5					
	近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来		
	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位
北海道オホーツク海側	1.01	1.06	1.11	1.09	1.14	1.20	1.15	1.21	1.28	1.14	1.20	1.27	0.88	0.90	0.92	1.11	1.14	1.17	1.29	1.31	1.32	1.34	1.35	1.37
北海道日本海側	1.11	1.15	1.18	1.14	1.19	1.23	1.13	1.17	1.22	1.19	1.23	1.28	0.97	0.98	0.99	1.17	1.19	1.20	1.33	1.34	1.35	1.36	1.37	1.38
北海道太平洋側	0.99	1.02	1.05	1.09	1.12	1.15	1.14	1.18	1.22	1.12	1.16	1.19	0.98	0.99	1.00	1.23	1.24	1.26	1.35	1.36	1.37	1.41	1.42	1.43
東北北	1.10	1.15	1.20	1.18	1.23	1.29	0.88	0.94	0.99	1.09	1.15	1.20	0.97	0.99	1.01	1.17	1.20	1.22	1.04	1.05	1.06	1.21	1.22	1.23
東北東	0.95	1.01	1.06	1.03	1.08	1.14	0.98	1.02	1.07	0.98	1.03	1.07	1.12	1.14	1.16	1.30	1.33	1.35	1.27	1.29	1.30	1.33	1.34	1.36
東北西	1.00	1.03	1.07	1.04	1.07	1.11	1.11	1.15	1.20	1.18	1.22	1.27	0.98	1.00	1.01	1.22	1.24	1.26	1.10	1.11	1.12	1.22	1.23	1.24
北陸東	0.88	0.92	0.97	0.91	0.95	0.99	1.03	1.09	1.14	1.02	1.06	1.11	0.82	0.83	0.85	1.09	1.11	1.14	1.13	1.14	1.15	1.19	1.20	1.21
北陸西	1.00	1.05	1.11	1.04	1.08	1.13	0.90	0.96	1.02	1.01	1.06	1.12	0.93	0.95	0.96	1.07	1.09	1.11	1.16	1.18	1.19	1.25	1.26	1.28
関東	0.99	1.02	1.06	1.02	1.06	1.11	0.93	0.99	1.06	1.07	1.13	1.19	0.93	0.94	0.96	1.15	1.17	1.19	1.21	1.22	1.22	1.39	1.40	1.41
長野盆地	0.96	1.03	1.10	0.93	0.99	1.06	0.87	0.96	1.05	1.01	1.09	1.18	0.84	0.86	0.88	1.02	1.04	1.07	1.22	1.23	1.25	1.22	1.24	1.25
中部東	0.97	1.06	1.15	0.98	1.07	1.16	0.95	1.09	1.26	0.97	1.13	1.33	0.83	0.85	0.87	1.09	1.11	1.14	1.33	1.34	1.36	1.35	1.36	1.38
中部西	0.96	1.03	1.11	0.98	1.05	1.13	0.94	1.04	1.17	0.94	1.03	1.13	0.94	0.96	0.98	1.06	1.08	1.11	1.17	1.19	1.20	1.18	1.19	1.21
山陰	1.06	1.11	1.15	1.07	1.12	1.17	0.93	0.97	1.01	1.11	1.16	1.20	1.04	1.05	1.07	1.01	1.03	1.05	1.06	1.07	1.08	1.16	1.17	1.18
瀬戸内	1.04	1.07	1.10	1.12	1.15	1.18	0.95	0.99	1.02	1.07	1.11	1.15	1.05	1.06	1.08	0.99	1.00	1.02	1.10	1.11	1.12	1.16	1.17	1.18
九州北	0.96	1.00	1.04	1.11	1.15	1.19	0.81	0.84	0.87	1.03	1.08	1.12	0.92	0.93	0.94	1.14	1.16	1.17	1.03	1.04	1.05	1.29	1.30	1.32
西南日本	0.99	1.01	1.04	1.08	1.11	1.13	0.96	0.99	1.02	1.05	1.08	1.11	1.02	1.03	1.04	1.11	1.12	1.14	1.18	1.19	1.21	1.28	1.30	1.31

表-Ⅱ. 2. 1. 2. 3(7) 16 地域別豪雨量倍率(72 時間) ※上位値と下位値の幅は 95%信頼区間の幅

16地域	前期GCM20						後期GCM20						前期RCM5						後期RCM5					
	近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来			近未来			将来		
	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位	下位	中位	上位
北海道才ホーツク海側	0.99	1.04	1.10	1.07	1.13	1.19	1.13	1.19	1.25	1.14	1.19	1.25	0.82	0.84	0.86	1.03	1.05	1.08	1.28	1.29	1.30	1.35	1.36	1.37
北海道日本海側	1.10	1.13	1.17	1.16	1.21	1.25	1.11	1.15	1.19	1.17	1.22	1.27	0.94	0.95	0.97	1.15	1.16	1.18	1.30	1.31	1.32	1.39	1.40	1.41
北海道太平洋側	0.99	1.02	1.05	1.10	1.14	1.17	1.12	1.16	1.20	1.11	1.14	1.18	0.98	0.99	1.01	1.21	1.22	1.24	1.31	1.32	1.33	1.41	1.42	1.44
東北北	1.08	1.13	1.18	1.18	1.23	1.28	0.90	0.96	1.02	1.08	1.14	1.19	0.95	0.97	0.99	1.16	1.19	1.21	1.07	1.08	1.09	1.22	1.23	1.24
東北東	0.95	1.01	1.07	1.03	1.09	1.14	0.98	1.03	1.08	0.98	1.02	1.07	1.11	1.13	1.15	1.25	1.28	1.30	1.31	1.32	1.34	1.35	1.37	1.38
東北西	0.99	1.02	1.06	1.02	1.05	1.08	1.14	1.18	1.23	1.19	1.24	1.28	0.95	0.97	0.98	1.23	1.25	1.27	1.11	1.12	1.13	1.22	1.23	1.24
北陸東	0.88	0.92	0.96	0.91	0.95	0.99	1.05	1.10	1.15	1.03	1.07	1.12	0.79	0.81	0.82	1.05	1.07	1.09	1.14	1.15	1.16	1.20	1.21	1.22
北陸西	0.99	1.04	1.09	0.99	1.04	1.09	0.88	0.94	1.00	0.99	1.05	1.11	0.92	0.94	0.95	1.08	1.11	1.13	1.19	1.21	1.22	1.25	1.27	1.28
関東	0.99	1.03	1.07	1.04	1.08	1.13	0.94	1.01	1.09	1.07	1.13	1.19	0.92	0.94	0.95	1.12	1.14	1.16	1.20	1.21	1.22	1.37	1.39	1.40
長野盆地	0.95	1.01	1.08	0.91	0.97	1.05	0.87	0.96	1.05	0.98	1.07	1.16	0.84	0.86	0.88	1.00	1.03	1.05	1.22	1.23	1.25	1.22	1.24	1.25
中部東	0.97	1.06	1.15	0.96	1.04	1.13	0.99	1.13	1.29	0.98	1.14	1.33	0.83	0.85	0.87	1.05	1.07	1.10	1.37	1.38	1.40	1.35	1.36	1.38
中部西	0.95	1.02	1.09	0.95	1.02	1.10	0.92	1.06	1.22	0.95	1.04	1.14	0.97	1.00	1.02	1.06	1.09	1.12	1.19	1.21	1.22	1.19	1.21	1.22
山陰	1.06	1.11	1.16	1.05	1.10	1.15	0.94	0.98	1.02	1.11	1.16	1.21	1.04	1.05	1.07	1.02	1.03	1.05	1.07	1.08	1.09	1.15	1.16	1.17
瀬戸内	1.06	1.09	1.12	1.13	1.16	1.19	0.94	0.98	1.01	1.03	1.07	1.11	1.08	1.09	1.10	1.00	1.01	1.02	1.10	1.11	1.12	1.14	1.15	1.17
九州北	0.99	1.03	1.08	1.13	1.17	1.21	0.79	0.82	0.85	1.01	1.05	1.10	0.91	0.92	0.94	1.18	1.20	1.22	1.06	1.07	1.08	1.29	1.30	1.32
西南日本	1.00	1.02	1.05	1.10	1.13	1.15	0.97	1.00	1.03	1.04	1.07	1.10	1.03	1.04	1.05	1.14	1.16	1.17	1.23	1.25	1.26	1.31	1.33	1.35

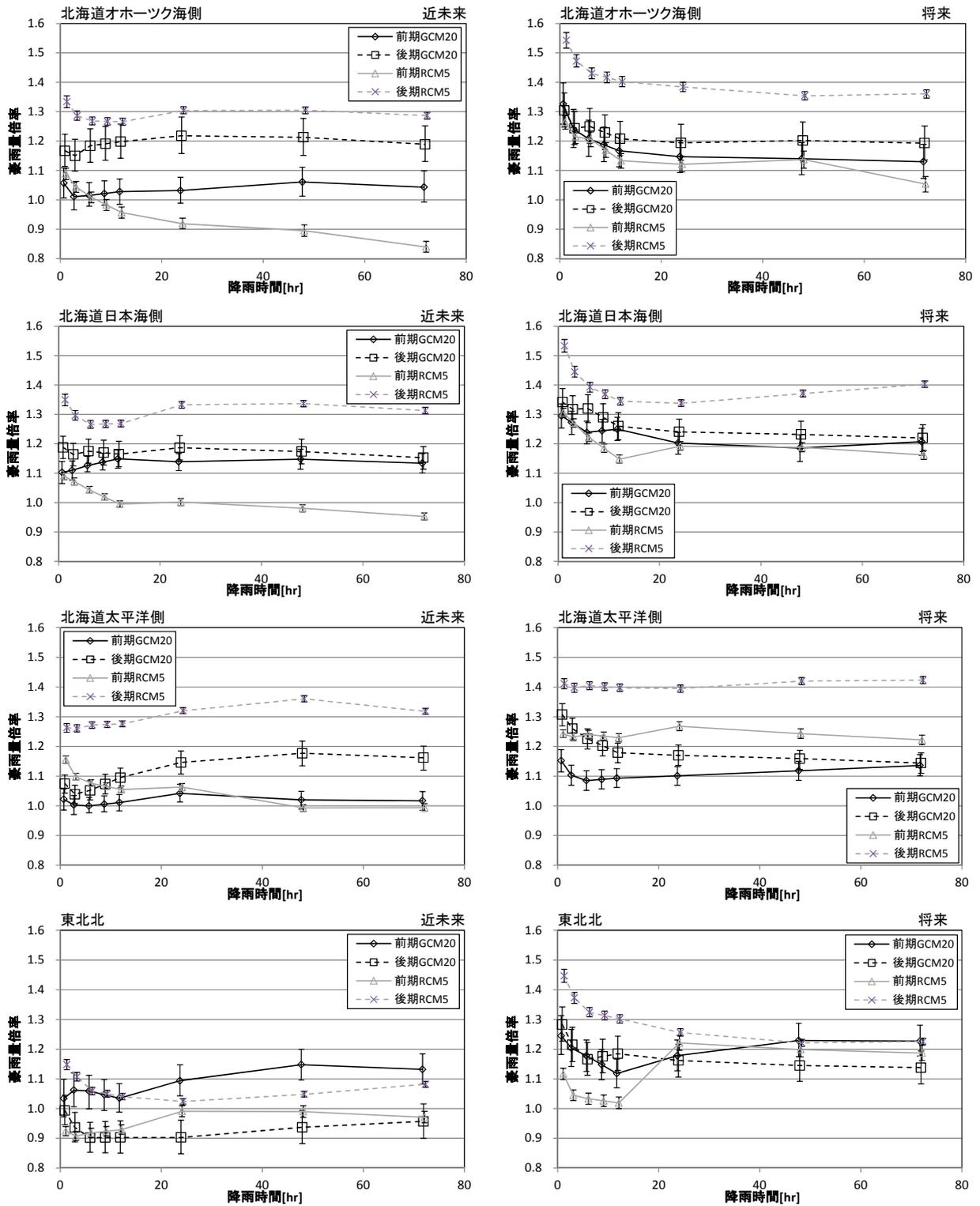


図-Ⅱ.2.1.2.8(1) 16地域別降雨時間と豪雨量倍率の関係(1)

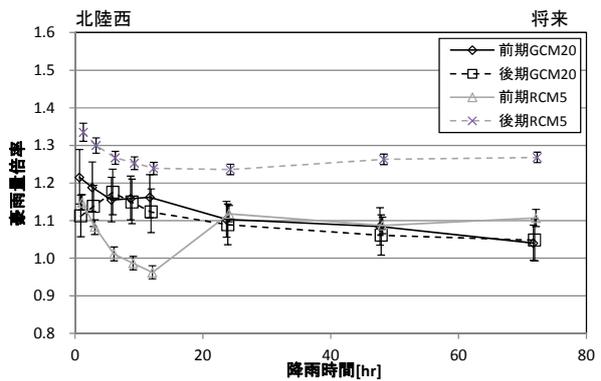
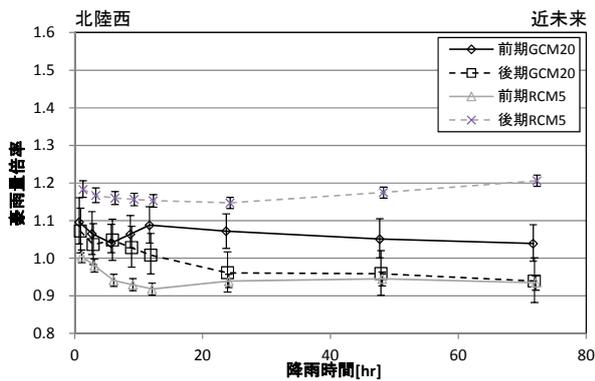
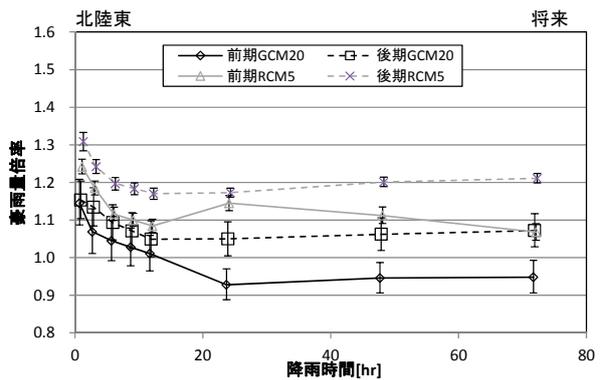
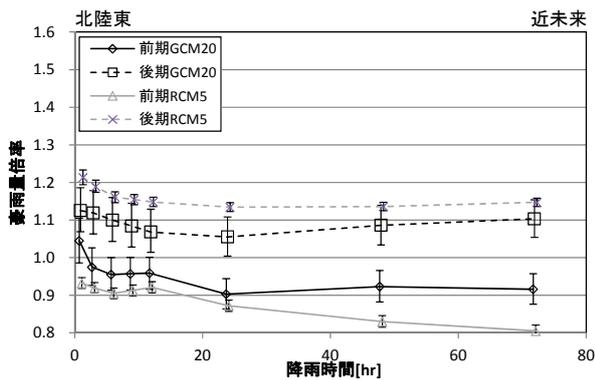
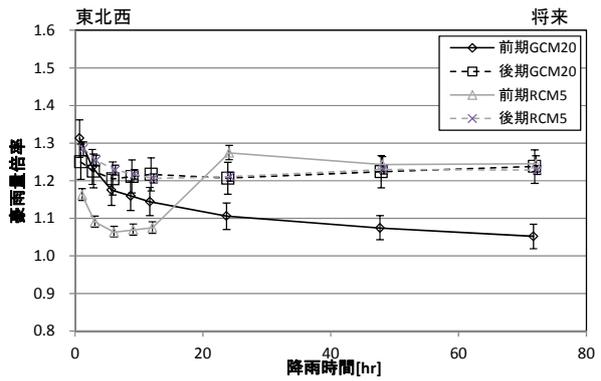
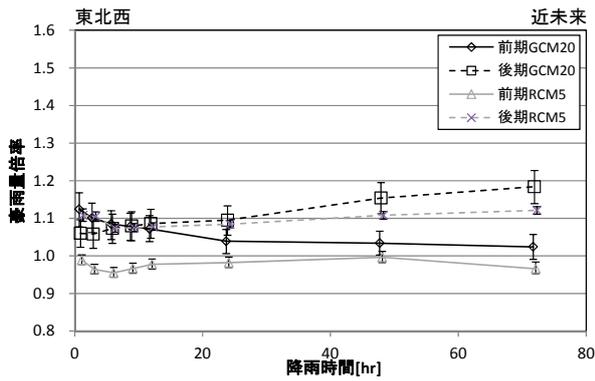
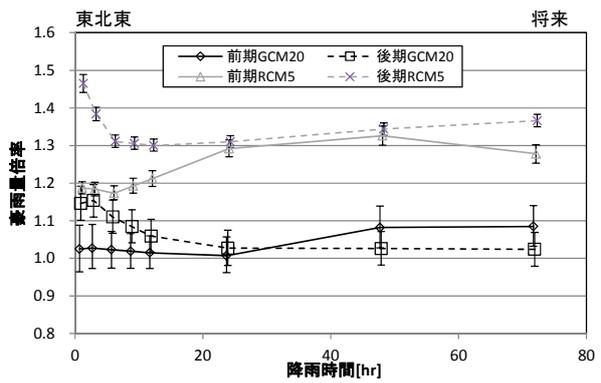
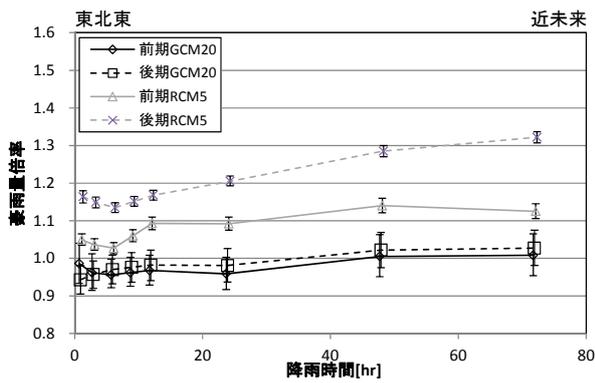


図- II . 2 . 1 . 2 . 8 (2) 16 地域別降雨時間と豪雨量倍率の関係(2)

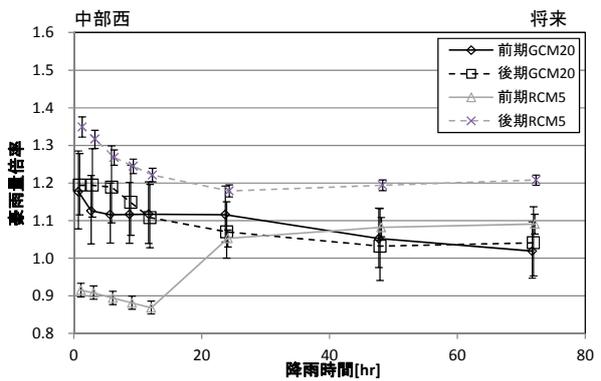
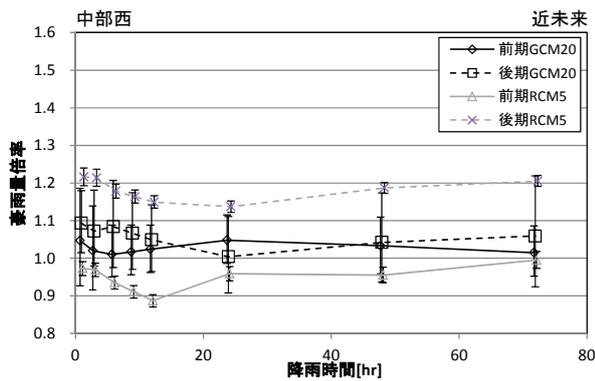
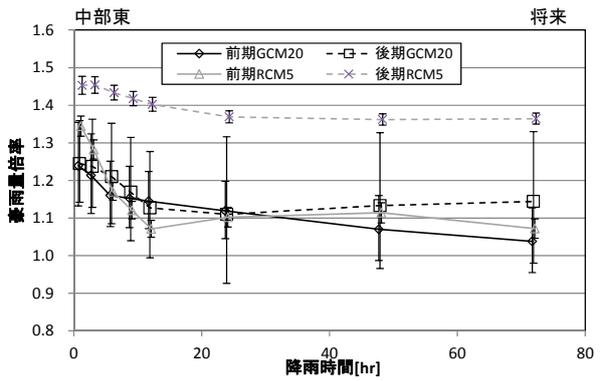
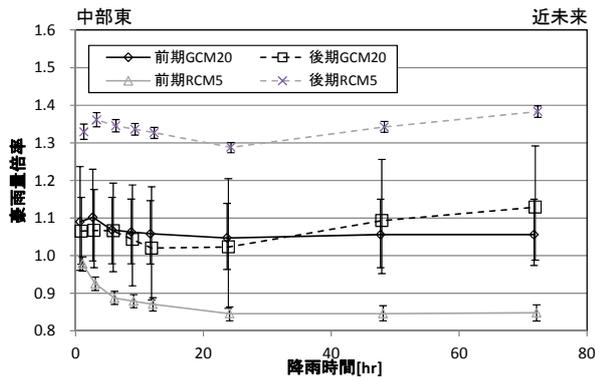
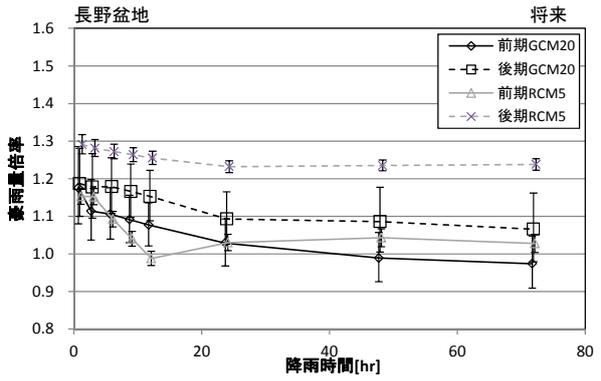
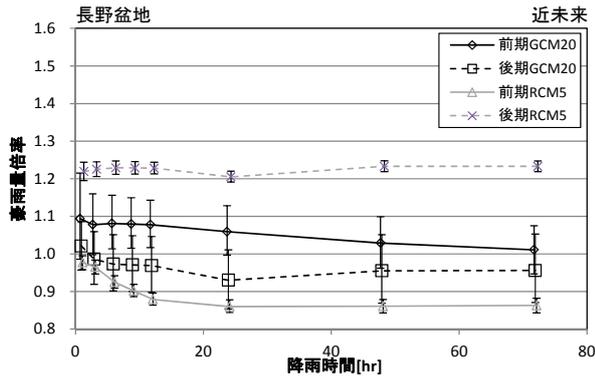
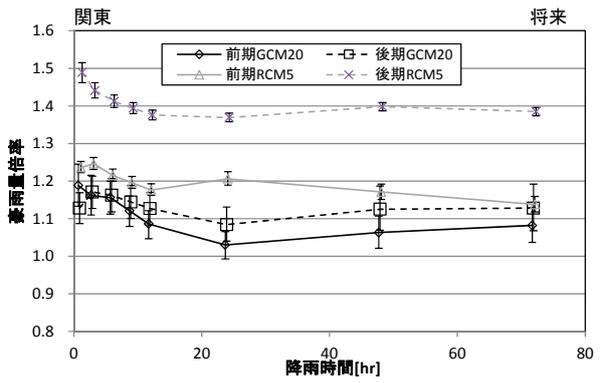
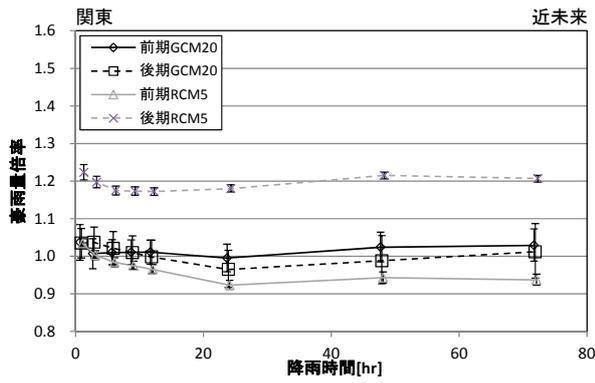


図- II . 2 . 1 . 2 . 8 (3) 16 地域別降雨時間と豪雨量倍率の関係(3)

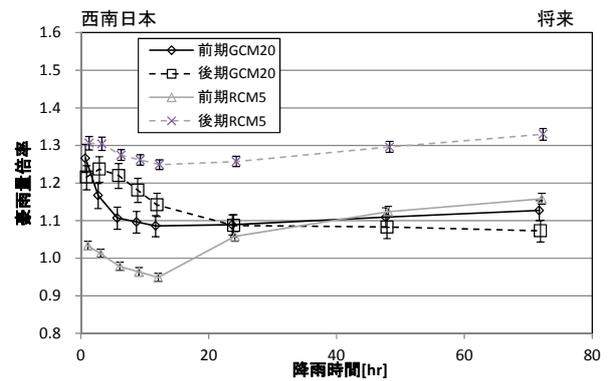
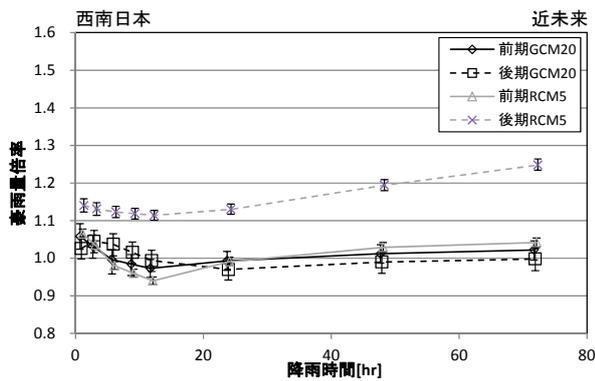
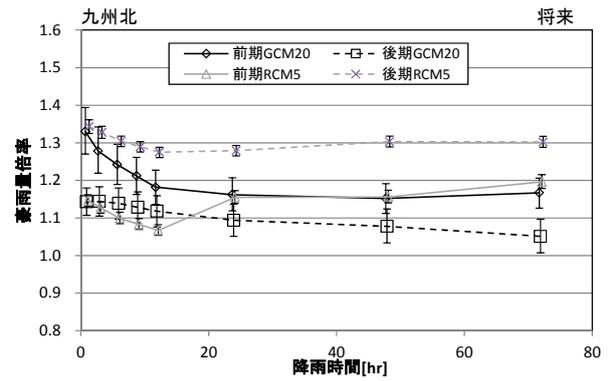
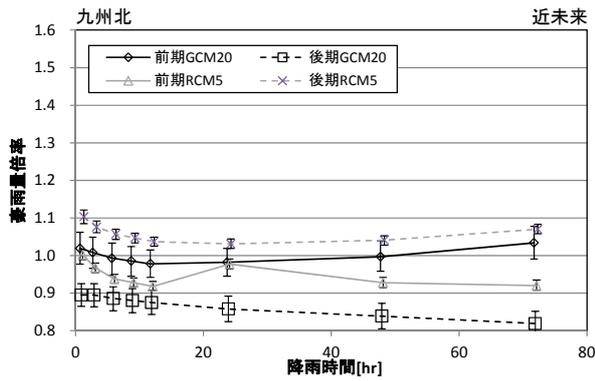
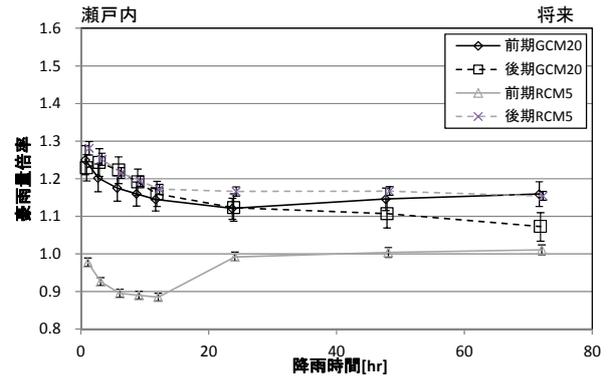
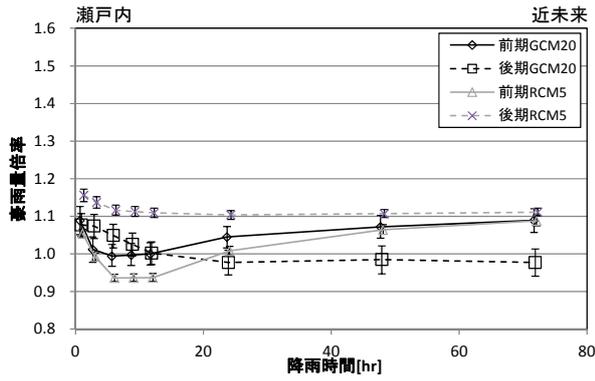
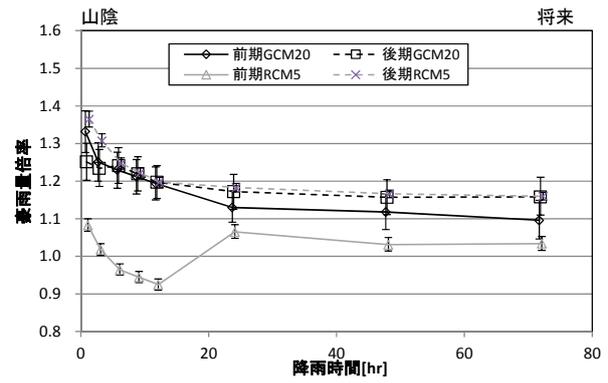
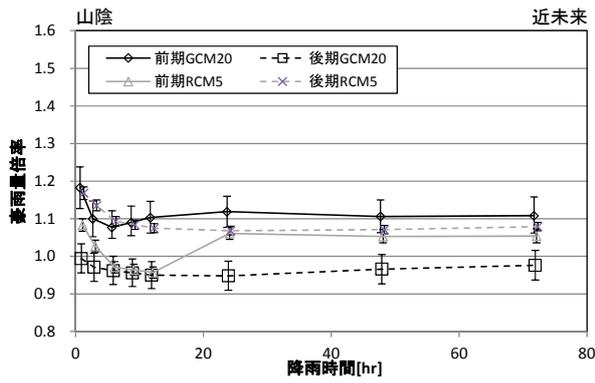


図- II . 2 . 1 . 2 . 8 (4) 16 地域別降雨時間と豪雨量倍率の関係(4)

2.1.3 翻訳結果に基づく流域特性の類型化と特徴

2.1.3.1 直轄 109 水系別の評価指標の算定結果

a) 豪雨量倍率

図Ⅱ.2.1.3.1、Ⅱ.2.1.3.2に河川整備基本方針における計画降雨継続時間に対応した直轄 109 水系別の豪雨量倍率 α (4 気候モデル、上・中・下位、近未来・将来) を示す。近未来においては、後期 RCM5 の全流域は豪雨量倍率 α が 1 倍を上回り、現在よりも計画降雨量が増加する。しかし、他モデルでは豪雨量倍率 α が 1 倍を下回り、現在よりも降雨量が減少する流域が多く存在する。例えば、中部ではモデルによって 0.9 倍以下と 1.2-1.3 倍の流域が存在し、予測値がモデルによって大きく異なることがわかる。将来においては全モデルを通じて、概ね増加傾向であり、近未来と比較し、将来の方が増加する予測である。北海道、東北地方は全国と比較して、いずれのモデル・時点においても豪雨量倍率 α が大きい。豪雨量倍率 α は近未来・将来とも後期 RCM5 が他モデルよりも高い値を示している。

4 モデルの中位値は全く異なる分布であり、モデルにより予測降雨が大きく異なることを表している。各モデルの上・下位値は予測値の信頼幅を示しており、両 RCM5 では差が小さく、両 GCM20 では大きな差がある。これは気候予測モデルの空間分解能の差から標本数が 10 倍以上異なることに起因する。

b) 流量倍率

図-Ⅱ.2.1.3.3、Ⅱ.2.1.3.4に流量倍率 β (4 気候モデル、上・中・下位、近未来・将来) を示す。高瀬川に関しては河川整備基本方針の小川原湖の高水位の変化倍率を示している。豪雨量倍率 α の増減倍率に対して、増幅した形で流量倍率 β は変化する。例えば、豪雨量倍率 α が 1.1 倍であれば、流量倍率 β は 1.1 倍以上の値を示し、豪雨量倍率 α が 0.9 倍であれば流量倍率 β は 0.9 以下の値を取る。

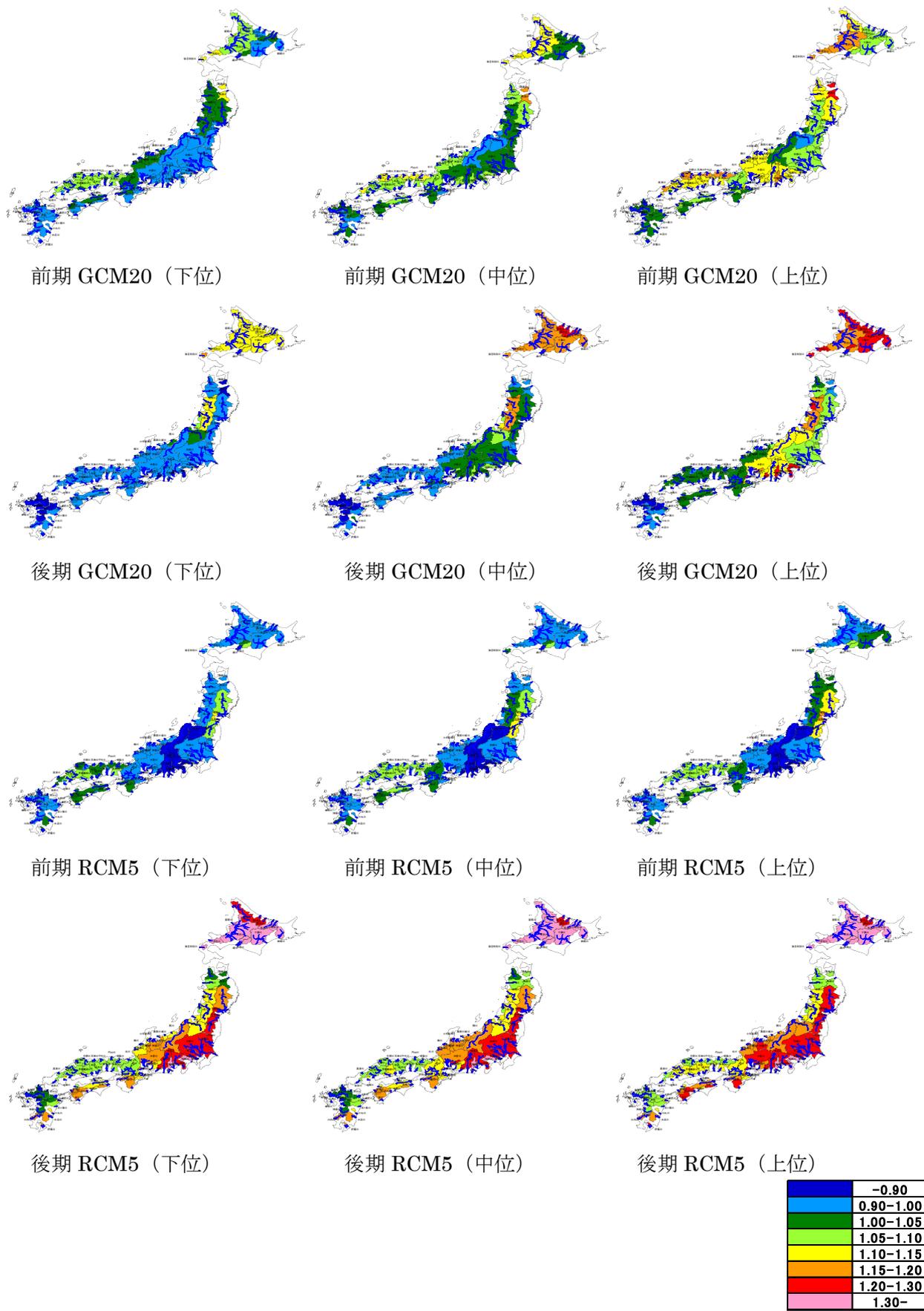
近未来では豪雨量倍率 α の分布同様、1 倍を下回る流域が多く、将来では多くの流域で 1 倍を上回る。特に豪雨量倍率 α が大きい北海道は、将来のすべてのモデルの結果において流量倍率 β が 1.2 倍以上と予測されている。

c) 河川整備労力倍率

図-Ⅱ.2.1.3.5、Ⅱ.2.1.3.6に河川整備労力倍率 γ (4 気候モデル、上・中・下位、近未来・将来) を示す。河川整備労力倍率 γ はピーク流量 β よりも増幅して変化する。ただし、現況の河川整備の完成が近ければ、現在の河川整備必要量 W_p は小さくなるため、 γ が大きな値だとしても将来における河川整備必要量の絶対値が必ずしも大きいとは限らない。逆に河川整備の完成度が低い流域では W_p が大きくなり、 γ は小さくなり得る。そのことに関してはⅡ.2.1.3.3 b)に詳細に後述する。

d) 氾濫可能性倍率

図-Ⅱ.2.1.3.7、Ⅱ.2.1.3.8に氾濫可能性倍率 ε (4 気候モデル、上・中・下位、近未来・将来) を示す。河川整備基本方針で確率別降雨が設定されていない流域においては超過確率を算出できないため、地図は空欄としている。豪雨量倍率 α に対する増幅の度合いについての考察はⅡ.2.1.3.3 c)に詳細に後述する。



図Ⅱ.2.1.3.1 豪雨量倍率 α (近未来予測値) の日本全国分布

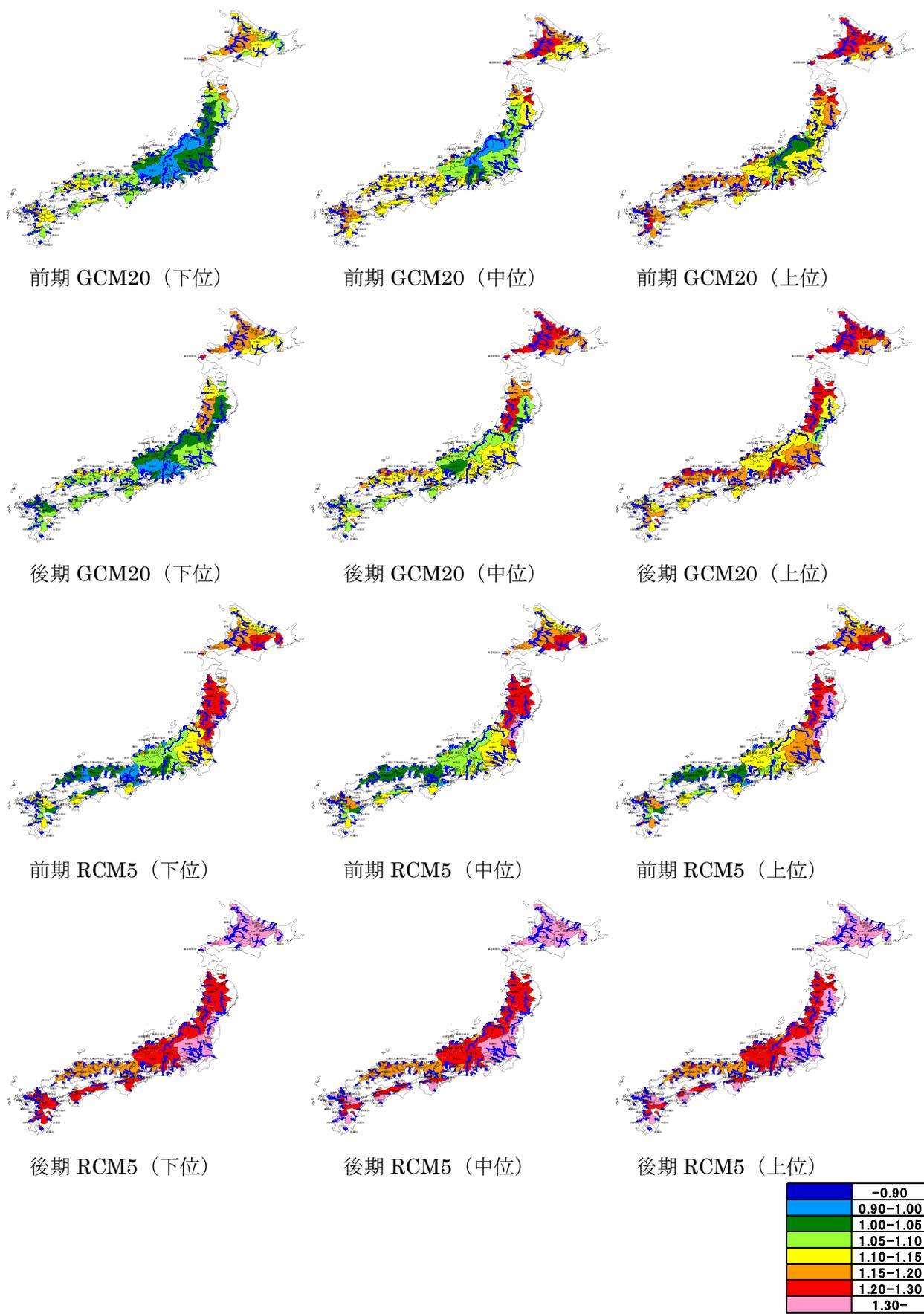
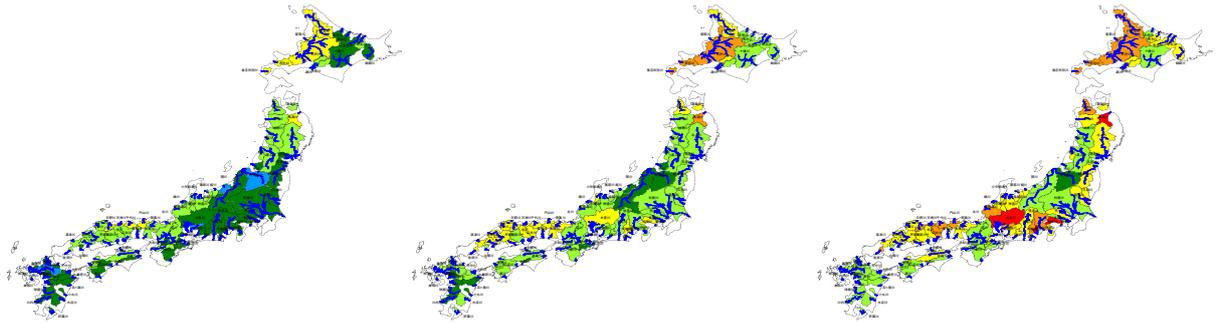


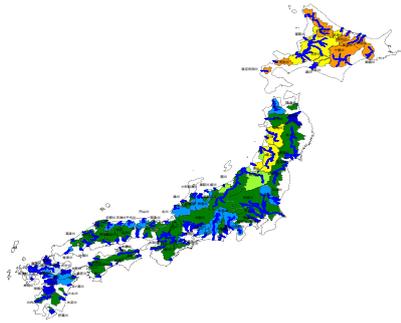
図-Ⅱ.2.1.3.2 豪雨量倍率 α (将来予測値) の日本全国分布



前期 GCM20 (下位)

前期 GCM20 (中位)

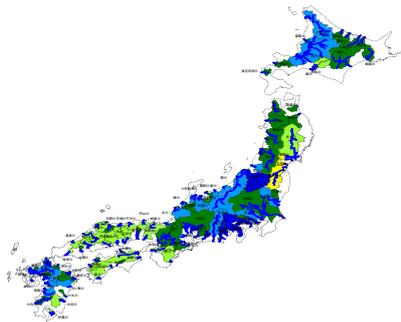
前期 GCM20 (上位)



後期 GCM20 (下位)

後期 GCM20 (中位)

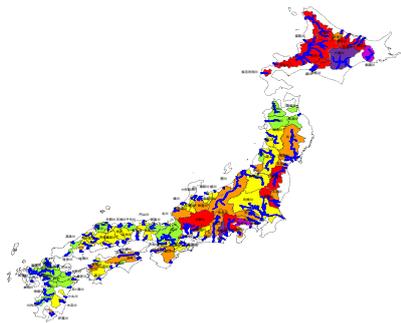
後期 GCM20 (上位)



前期 RCM5 (下位)

前期 RCM5 (中位)

前期 RCM5 (上位)



後期 RCM5 (下位)

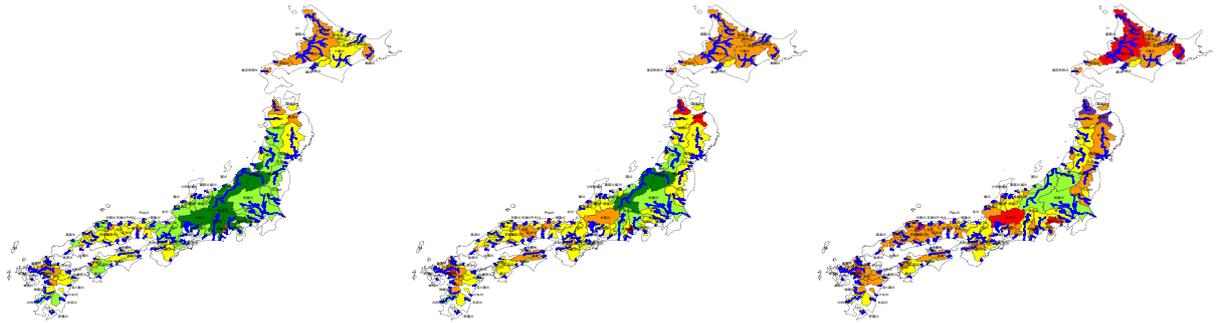
後期 RCM5 (中位)

後期 RCM5 (上位)

	-0.6
	0.6-0.8
	0.8-0.9
	0.9-1.0
	1.0-1.1
	1.1-1.2
	1.2-1.4
	1.4-1.6
	1.6-1.8
	1.8-2.0
	2.0-

※高瀬川のみ水位の変化倍率を表示

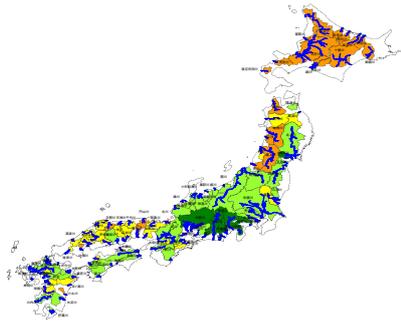
図-Ⅱ.2.1.3.3 流量倍率 β (近未来予測値) の日本全国分布



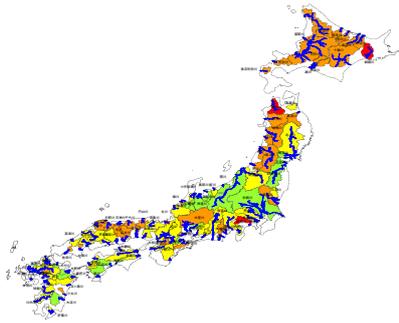
前期 GCM20 (下位)

前期 GCM20 (中位)

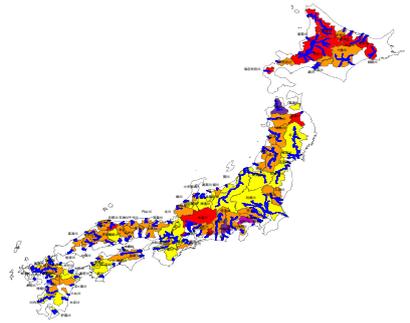
前期 GCM20 (上位)



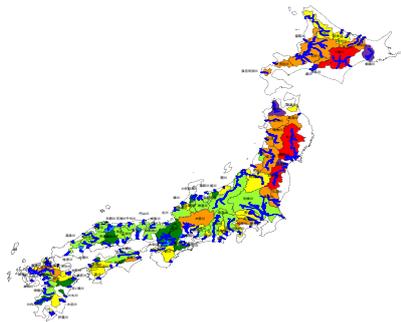
後期 GCM20 (下位)



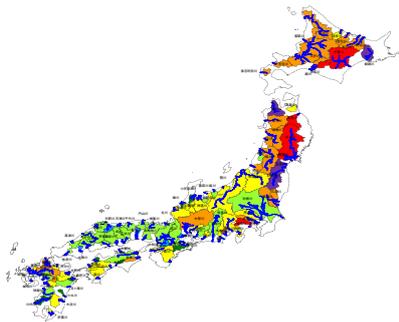
後期 GCM20 (中位)



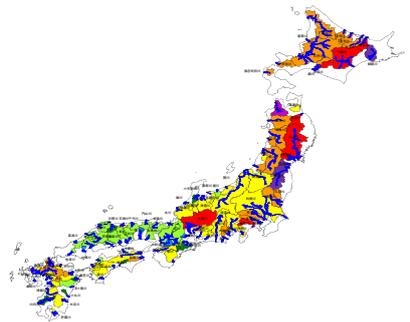
後期 GCM20 (上位)



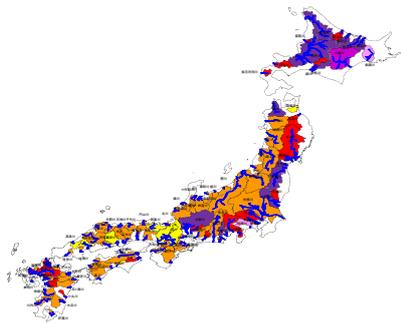
前期 RCM5 (下位)



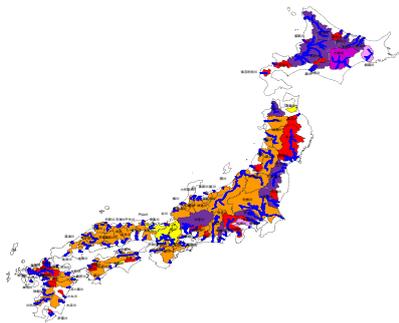
前期 RCM5 (中位)



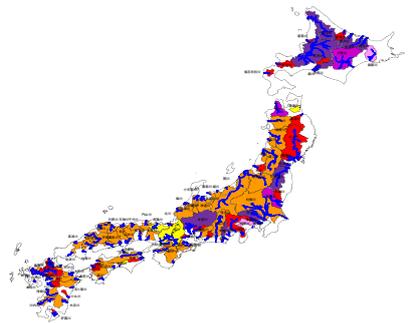
前期 RCM5 (上位)



後期 RCM5 (下位)



後期 RCM5 (中位)



後期 RCM5 (上位)

	-0.6
	0.6-0.8
	0.8-0.9
	0.9-1.0
	1.0-1.1
	1.1-1.2
	1.2-1.4
	1.4-1.6
	1.6-1.8
	1.8-2.0
	2.0-

※高瀬川のみ水位の変化倍率を表示

図-Ⅱ.2.1.3.4 流量倍率 β (将来予測値) の日本全国分布

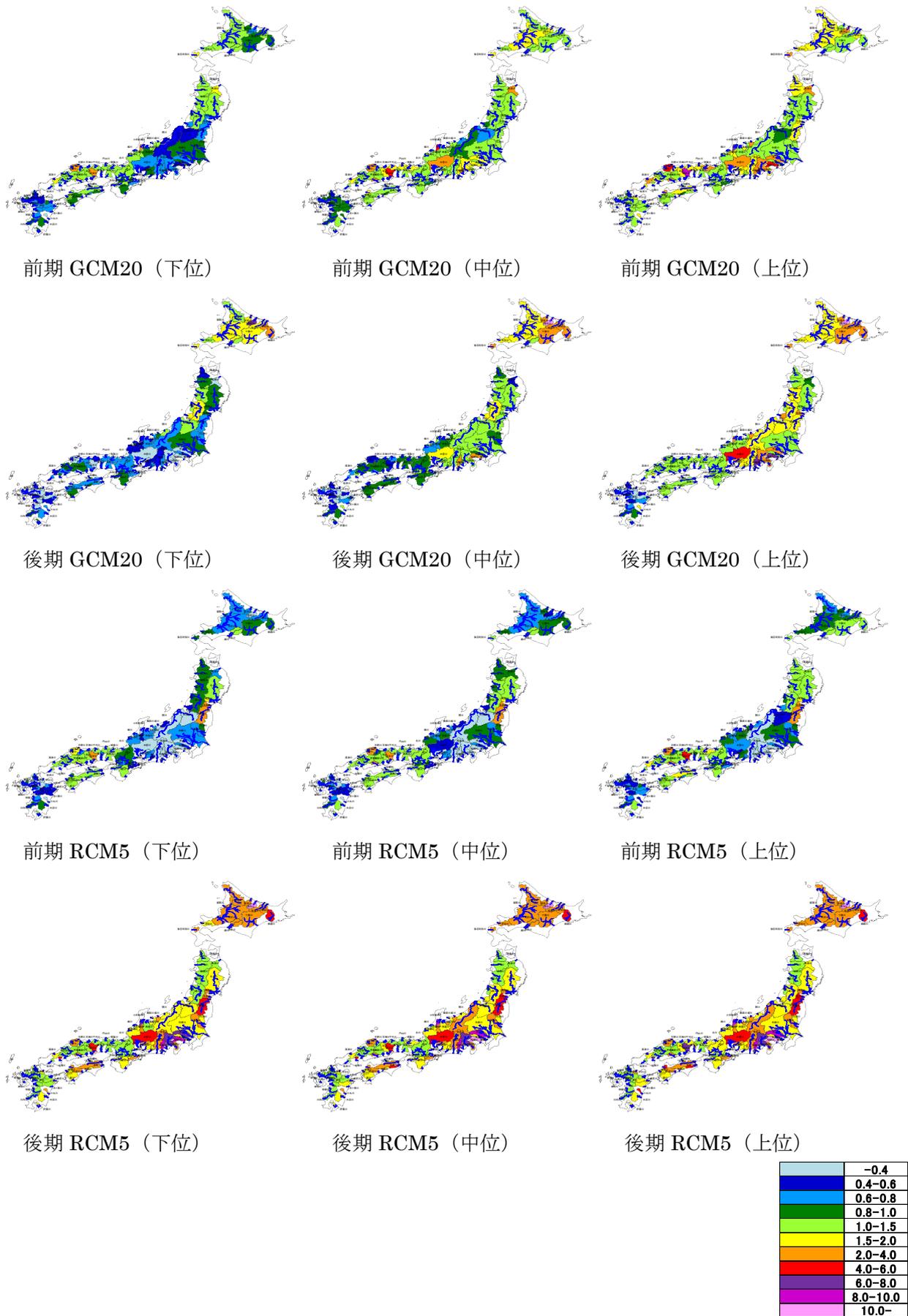


図-Ⅱ.2.1.3.5 河川整備労力倍率 γ (近未来予測値) の日本全国分布

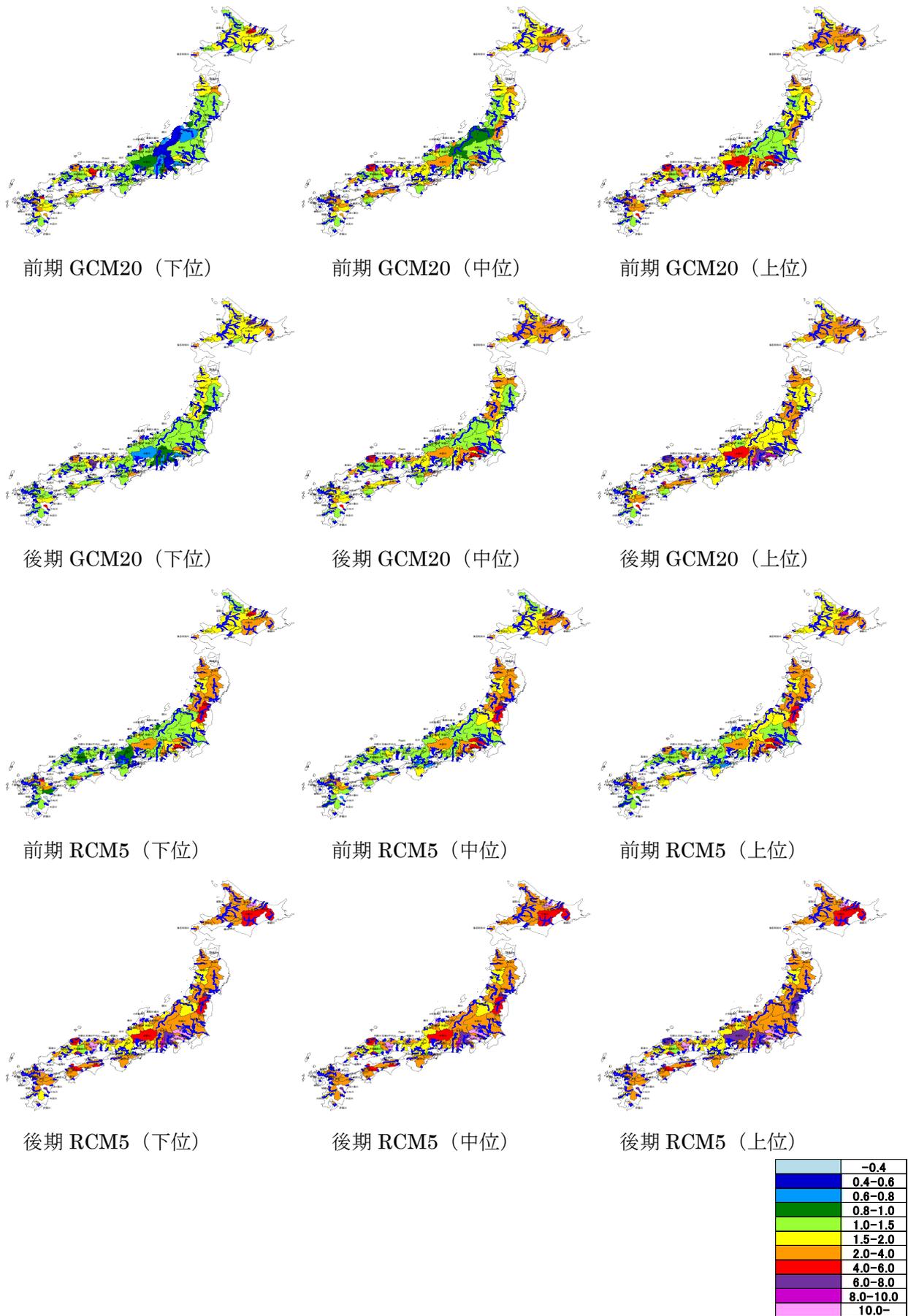


図-Ⅱ.2.1.3.6 河川整備労力倍率 γ (将来予測値) の日本全国分布

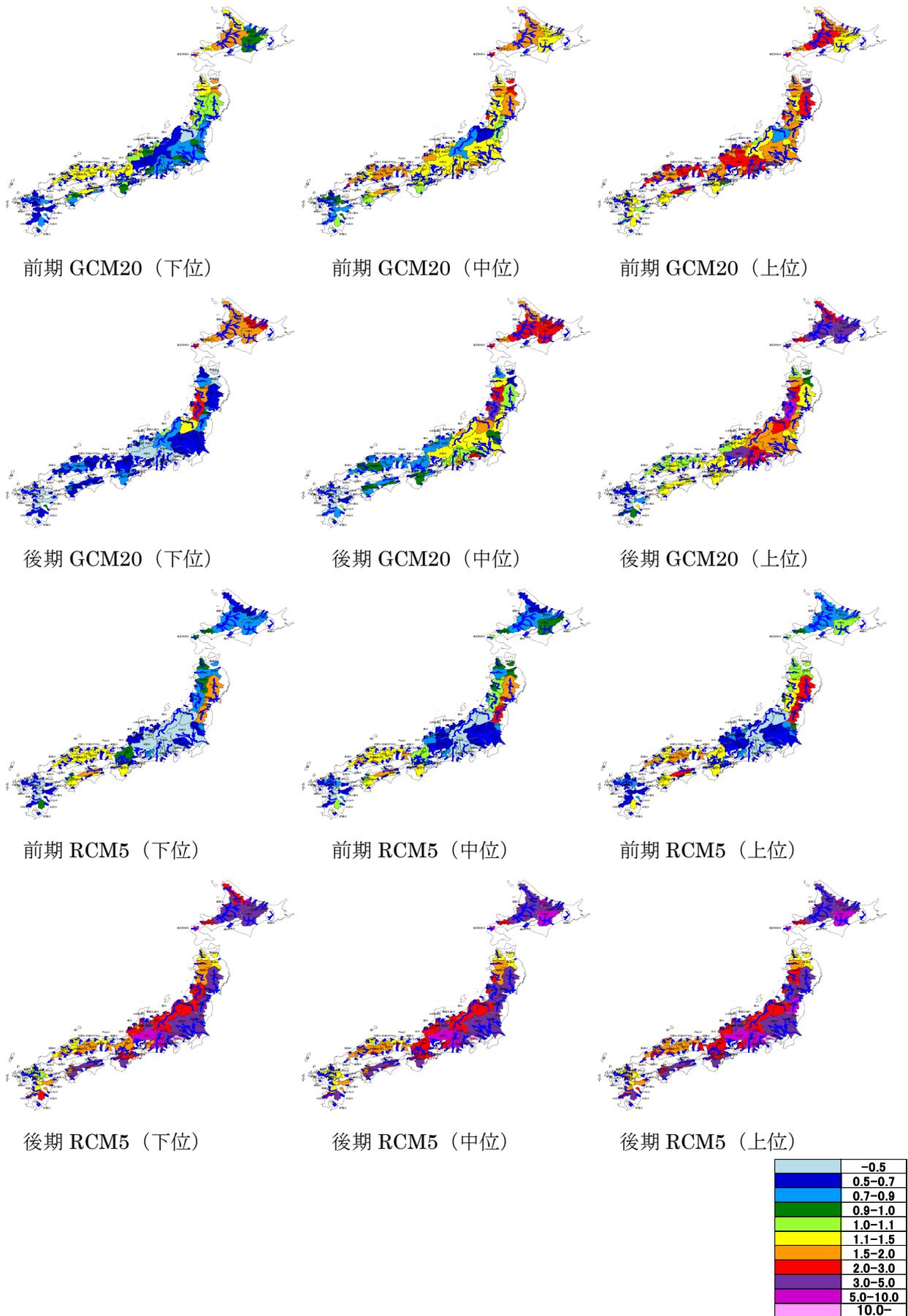


図-Ⅱ.2.1.3.7 氾濫可能性倍率 ε (近未来予測値) の日本全国分布

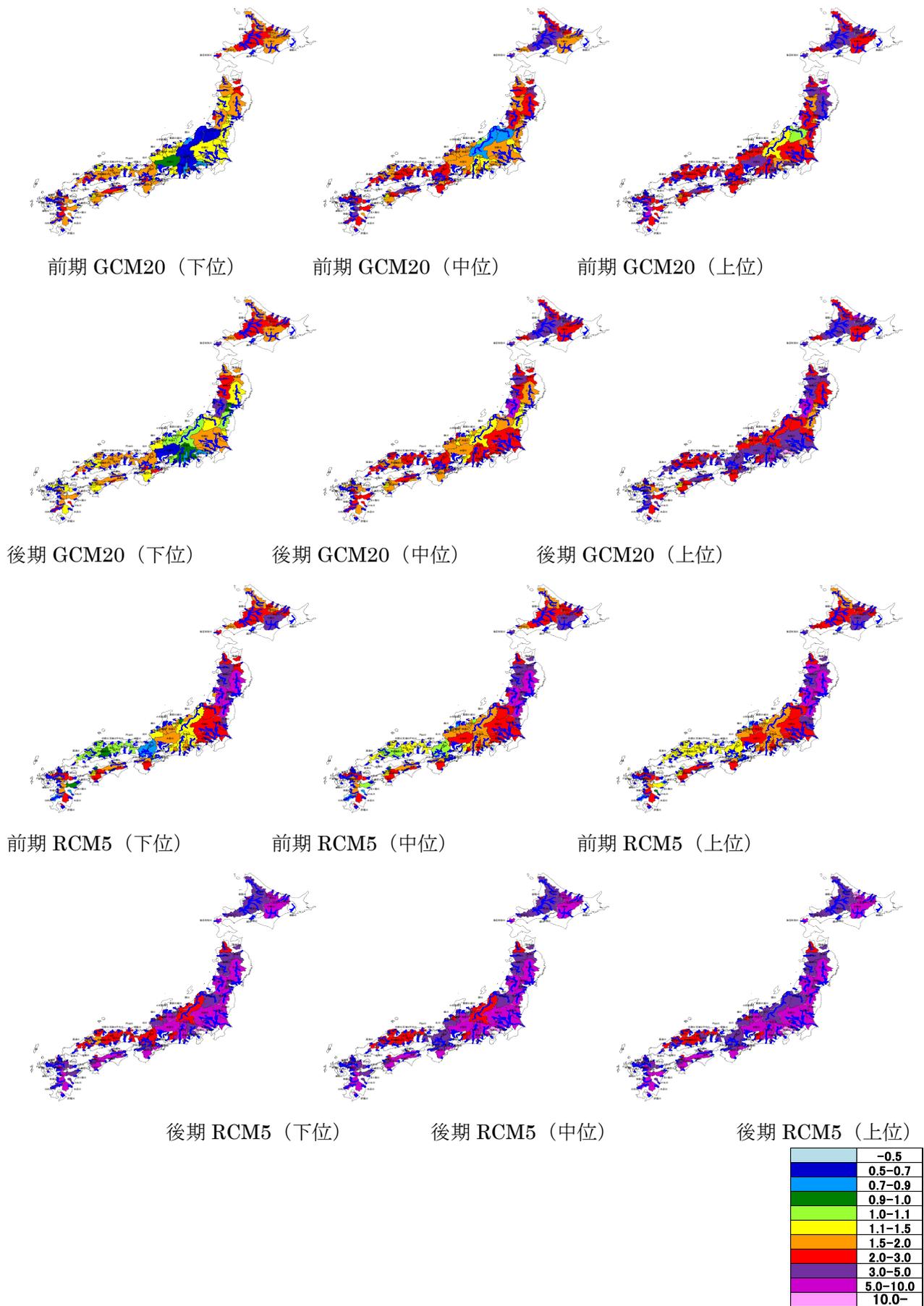


図-Ⅱ.2.1.3.8 氾濫可能性倍率 ε (将来予測値) の日本全国分布

2.1.3.2 評価指標の地域別・全国平均の分析

a) 16 地域別評価

109 水系を気候特性が似通った 16 地域に区分し直し、豪雨量倍率 α 、流量倍率 β 、河川整備労力倍率 γ 、氾濫可能性倍率 ε の上・中・下位値それぞれを単純平均したものを図-Ⅱ.2.1.3.9・Ⅱ.2.1.3.10 に示す。地域分割番号は図-Ⅱ.2.1.2.7 に対応している。

両 RCM は気候予測モデルデータの統計に用いる標本数が両 GCM と比較して 10 倍以上であるため、どの指標においても、上位値と下位値の差は両 GCM よりも小さい。豪雨量倍率 α は全気候予測モデル、全地域を通して 0.8 から 1.4 と幅広い倍率を得た。 β 、 ε は、大局的には α の地域分布に対応して値が変化する傾向が認められる。

b) 全国評価

大まかに現象の理解をするため、4 指標 α 、 β 、 γ 、 ε の上・中・下位値それぞれの直轄 109 水系の中央値を算出した。図-Ⅱ.2.1.3.11、Ⅱ.2.1.3.12 に、近未来・将来別、4 気候モデル別、直轄 109 水系の中央値を示す。これらの図から、 α の 1 からの増加量が増幅して他の指標へ伝播すること、したがって上・下位値の差は α においては僅かなものであっても β 、 γ 、 ε になるとその差が増幅して伝播することがわかる。図-Ⅱ.2.1.3.13～Ⅱ.2.1.3.16 には 4 指標の現在・近未来・将来の 3 時点の変化を示す。全体として、近未来よりも将来の指標値がそれぞれ大きくなる傾向があるが、気候モデル毎のバラツキもかなり大きい。

こうした伝播特性をより明確に把握するために「変化の伝播」つまり、各指標の増加率について着目した。この増加率を $\alpha-1$ 、 $\beta-1$ 、 $\gamma-1$ 、 $\varepsilon-1$ で表し、 $\alpha-1$ の増加に対する $\beta-1$ 、 $\gamma-1$ 、 $\varepsilon-1$ の増加をここでは伝播率と称し、直轄 109 水系別について近未来と将来における豪雨量の変化が流量、河川整備労力、氾濫可能性の伝播率をプロットしたものを図-Ⅱ.2.1.3.17、Ⅱ.2.1.3.18 に示す。伝播率は水系によってかなりばらつくものの、流量、河川整備労力、氾濫可能性の間には明確な差が存在することがわかる。それぞれの伝播率 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ は 20 以上の値を省いたもの、他伝播率は全水系の単純平均値) は、近未来において、 $(\beta-1)/(\alpha-1)$ は 1.59 倍、 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ は 6.02 倍、 $(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$ は 15.5 倍、将来においては $(\beta-1)/(\alpha-1)$ は 1.51 倍、 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ は 6.11 倍、 $(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$ は 12.24 倍となった。近未来・将来ともに豪雨量の変化が流量変化 1.5 倍、河川整備労力変化 6 倍、氾濫可能性変化 12～15 倍程度に増幅して現れている。伝播率は α 、 β 、 γ 、 ε の値に因らず、流域の特性から決定するためである。これら原因の分析は 2.1.3.3 に詳述する。

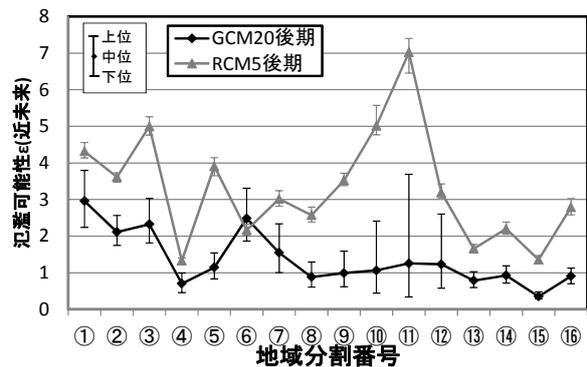
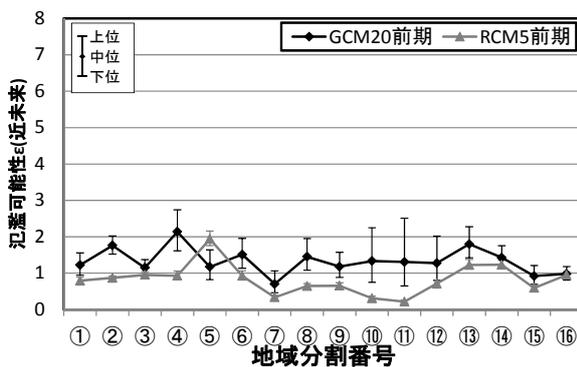
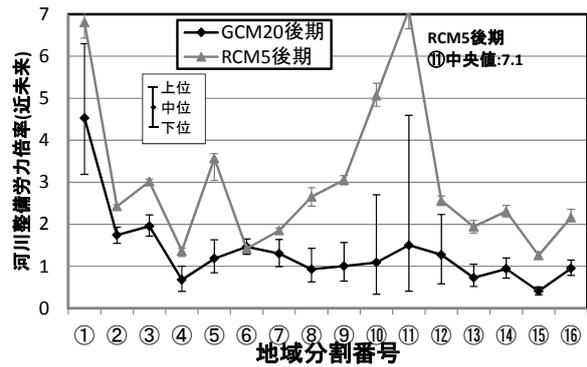
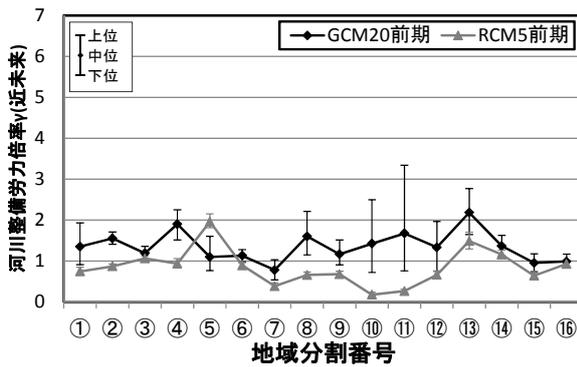
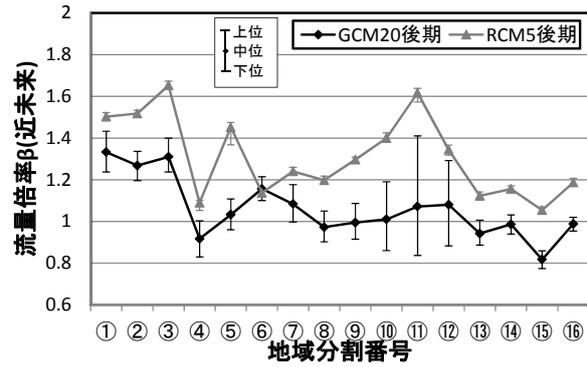
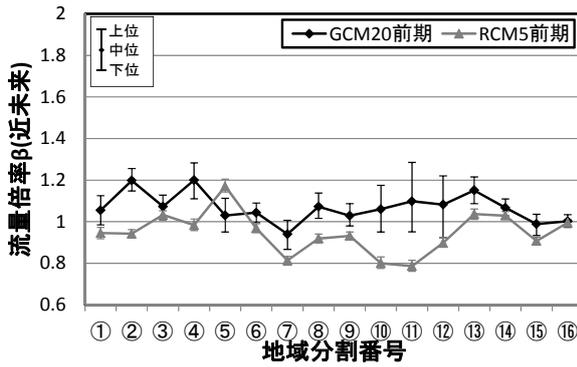
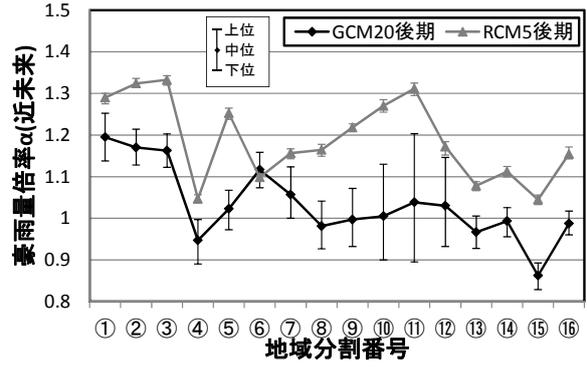
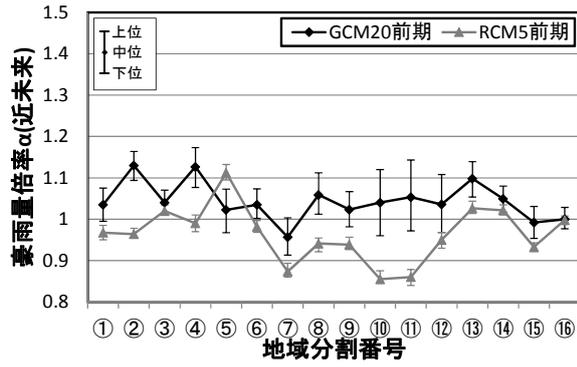


図-Ⅱ.2.1.3.9 地域分割平均の豪雨量・流量・河川整備労力・氾濫可能性倍率（近未来）

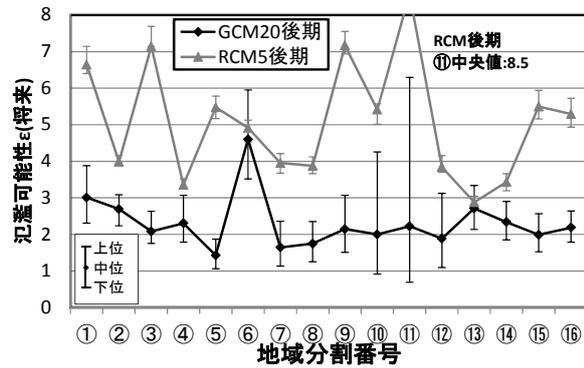
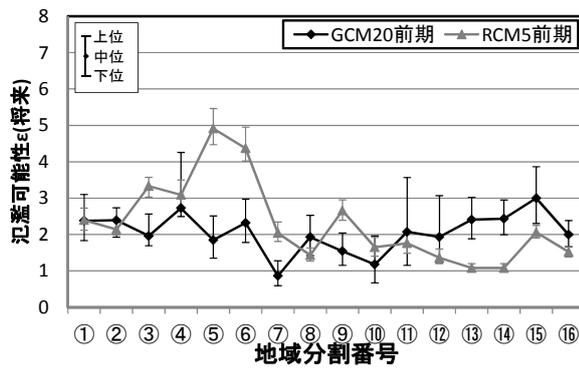
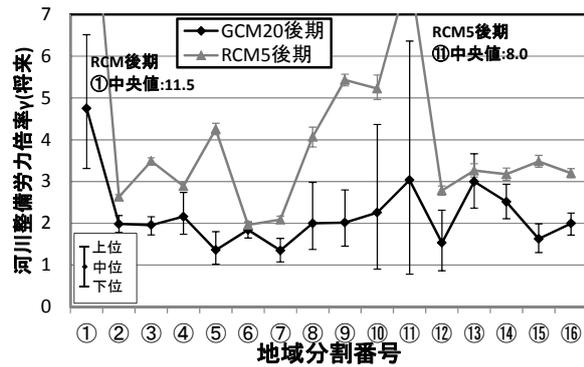
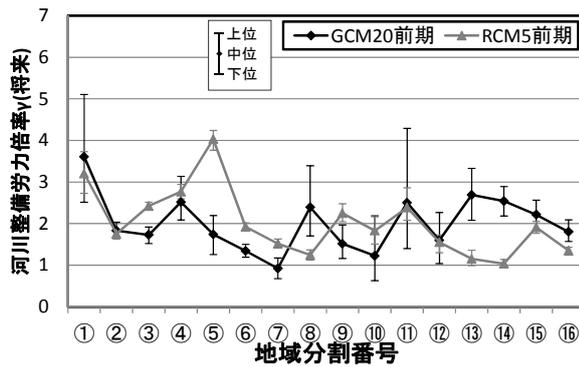
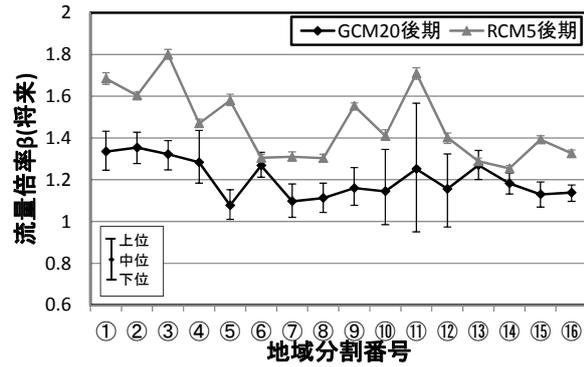
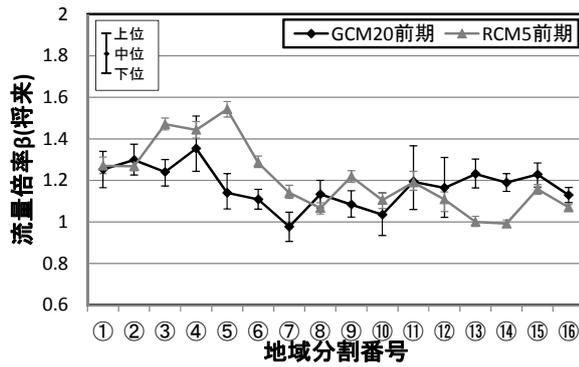
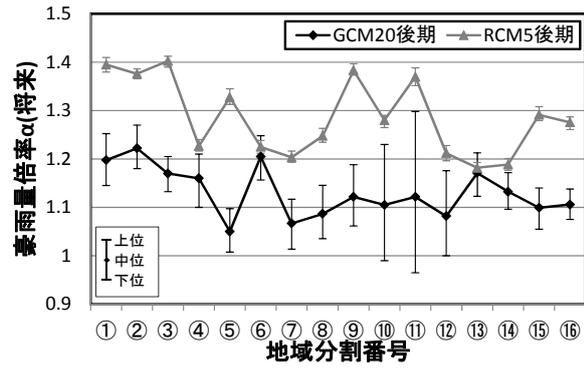
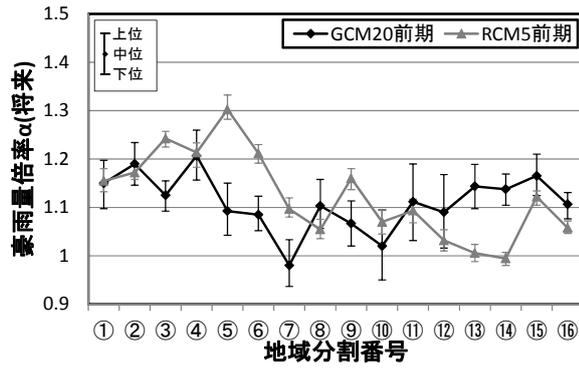
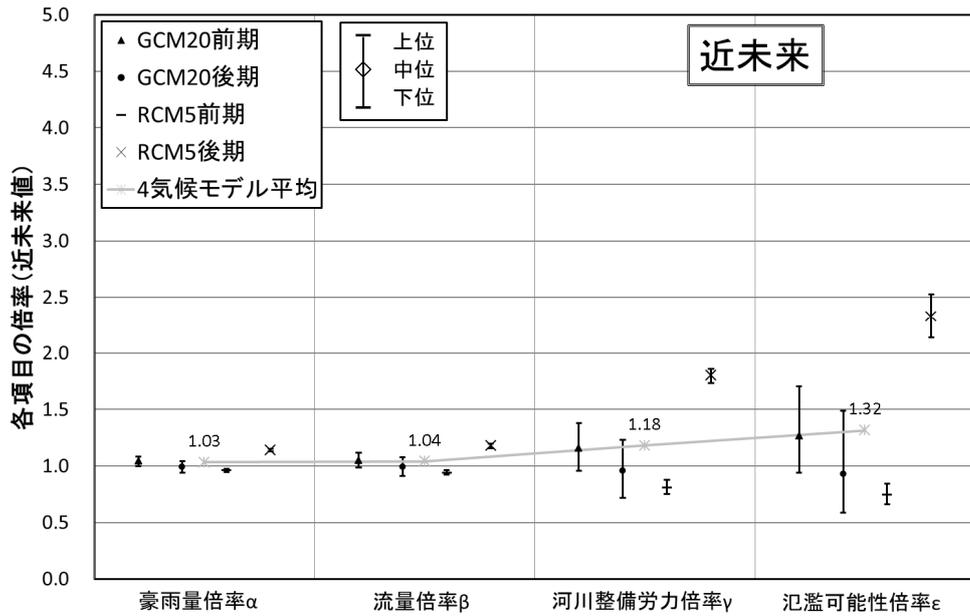
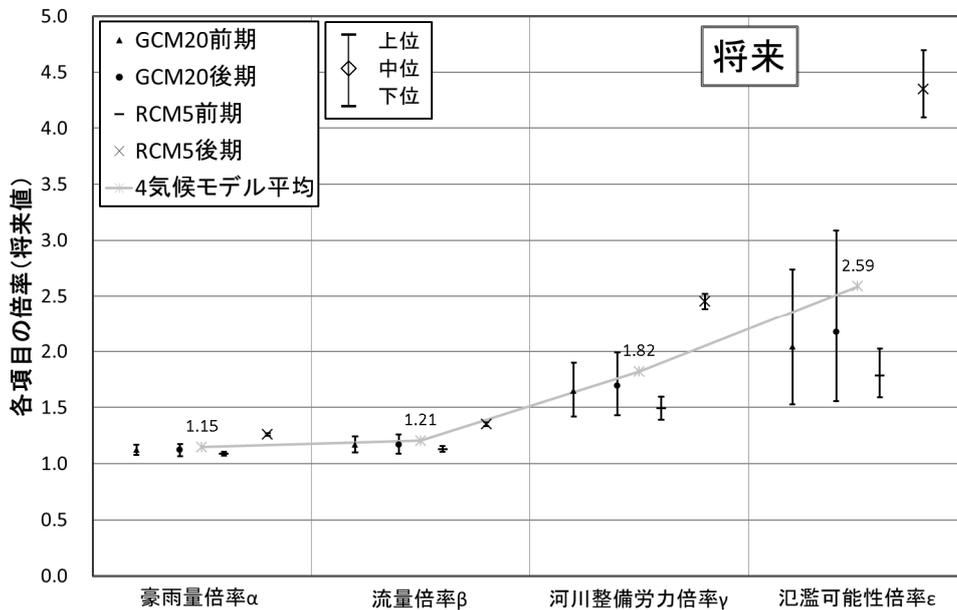


図-Ⅱ.2.1.3.10 地域分割平均の豪雨量・流量・河川整備労力・氾濫可能性倍率(将来)



	豪雨量倍率 α				流量倍率 β				河川整備労力倍率 γ				氾濫可能性倍率 ϵ			
	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後
上限値	1.07	1.02	0.98	1.16	1.12	1.03	0.96	1.20	1.40	1.19	0.86	1.87	1.61	1.20	0.83	2.56
中央値	1.04	0.99	0.96	1.14	1.05	0.99	0.94	1.18	1.16	0.96	0.81	1.80	1.27	0.93	0.75	2.33
下限値	0.99	0.94	0.94	1.13	0.98	0.92	0.93	1.16	0.94	0.70	0.75	1.72	0.91	0.64	0.66	2.17

図-Ⅱ.2.1.3.11 4モデルの豪雨量・流量・河川整備労力・氾濫可能性倍率の比較（全国1級水系の中央値：近未来）



	豪雨量倍率 α				流量倍率 β				河川整備労力倍率 γ				氾濫可能性倍率 ϵ			
	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後	GCM前	GCM後	RCM前	RCM後
上限値	1.17	1.17	1.11	1.28	1.24	1.25	1.15	1.37	1.88	2.02	1.61	2.52	2.63	2.86	2.00	4.55
中央値	1.12	1.12	1.09	1.26	1.17	1.17	1.13	1.35	1.65	1.70	1.50	2.45	2.04	2.17	1.79	4.35
下限値	1.08	1.08	1.07	1.25	1.12	1.09	1.10	1.33	1.41	1.40	1.39	2.38	1.69	1.67	1.59	4.00

図-Ⅱ.2.1.3.12 4モデルの豪雨量・流量・河川整備労力・氾濫可能性倍率の比較（全国1級水系の中央値：将来）

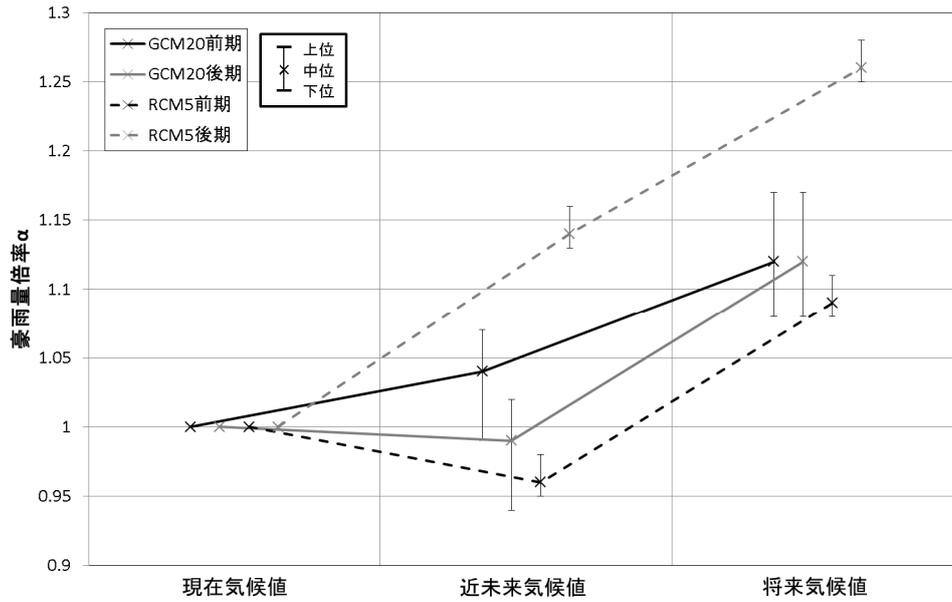


図-Ⅱ.2.1.3.13 4モデルの豪雨量倍率 α の時点変化（全国1級水系の中央値）

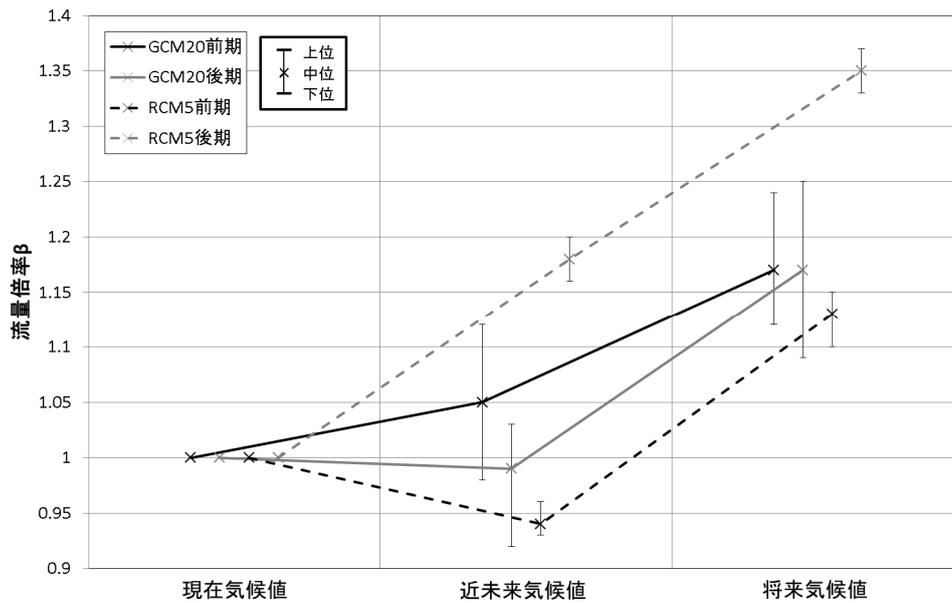


図-Ⅱ.2.1.3.14 4モデルの流量倍率 β の時点変化（全国1級水系の中央値）

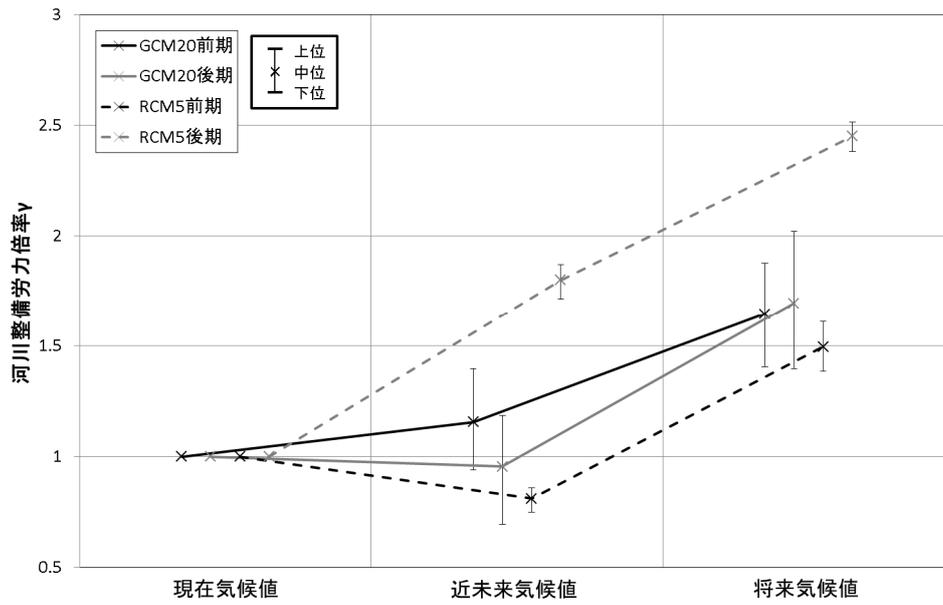


図-Ⅱ.2.1.3.15 4モデルの河川整備労力倍率 γ の時点変化(全国1級水系の中央値)

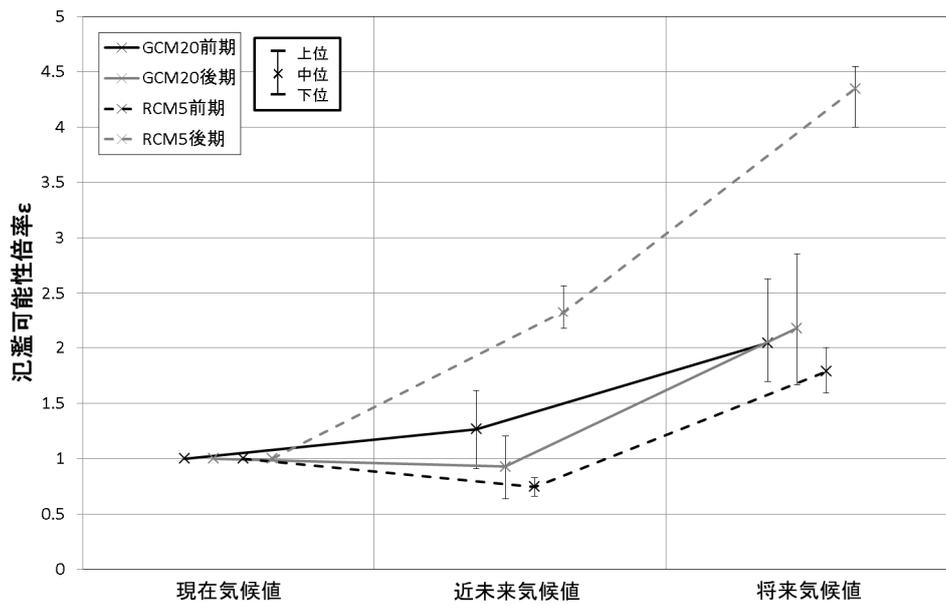


図-Ⅱ.2.1.3.16 4モデルの氾濫可能性倍率 ϵ の時点変化(全国1級水系の中央値)

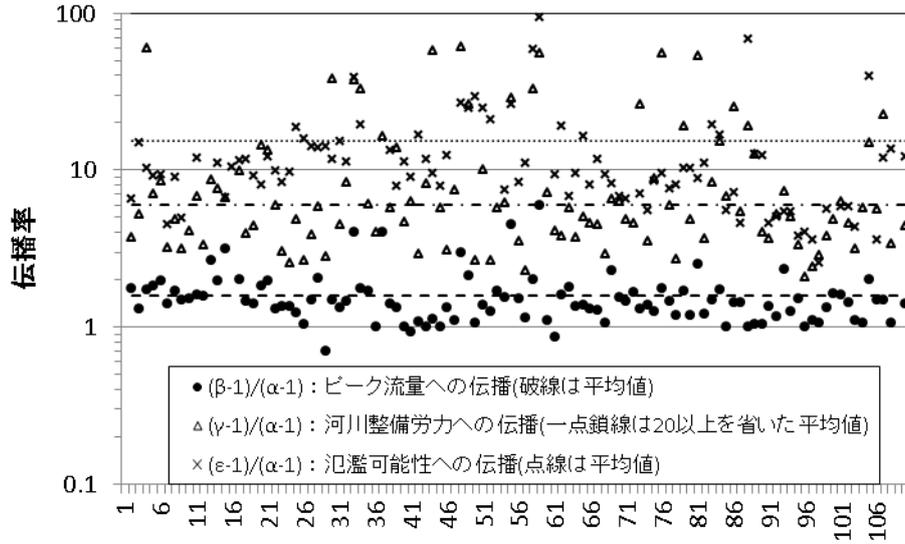


図-Ⅱ. 2. 1. 3. 17 豪雨量倍率変化が流量・河川整備労力・氾濫可能性の変化へ与える影響（近未来）
（各水系についての4気候モデル中位値の平均値から算出）

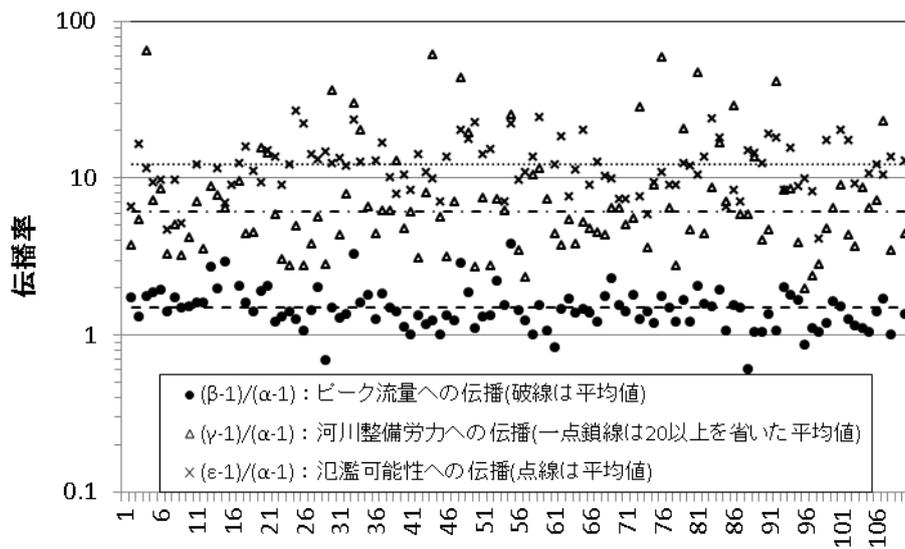


図-Ⅱ. 2. 1. 3. 18 豪雨量倍率変化が流量・河川整備労力・氾濫可能性の変化へ与える影響（将来）
（各水系についての4気候モデルの中位値の平均値から算出）

2.1.3.3 評価指標を用いた 109 水系の類型化

a) 評価指標の相互関係

図-Ⅱ.2.1.3.19～Ⅱ.2.1.3.23 は、5つの水系を取り上げて、2.1.3.1 で算出された 109 水系の 4 気候予測モデル、近未来・将来、上・中・下位値、24 種類の計算結果すべてを $\alpha-\beta$ 、 $\alpha-\gamma$ 、 $\alpha-\varepsilon$ 、 $\beta-\gamma$ 、 $\beta-\varepsilon$ に関する散布図としてまとめたものである。古くから降雨量と河川流量は線形関係 ($\alpha-\beta$ の傾きが 1) にないと一般的にいわれており (例えば山田 2003)、本検討の豪雨量とピーク流量の関係も非線形な流出形態を示し、図-Ⅱ.2.1.3.19 のように $\alpha-\beta$ の関係として整理すると、 α の増大に対する β 増加の傾きが 1 以上となる水系がほとんどである。ここで示した $\alpha-\beta$ 関係は概ね直線上に乗るのに対し、図-Ⅱ.2.1.3.20～Ⅱ.2.1.3.23 の $\alpha-\gamma$ 、 $\alpha-\varepsilon$ 、 $\beta-\gamma$ 、 $\beta-\varepsilon$ の関係の中には指数関数的曲線に乗るものが混ざっている。

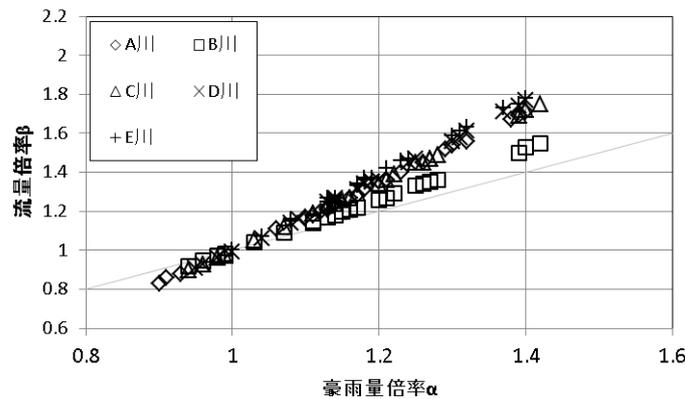


図-Ⅱ.2.1.3.19 豪雨量倍率 α と流量倍率 β の関係 (一例)

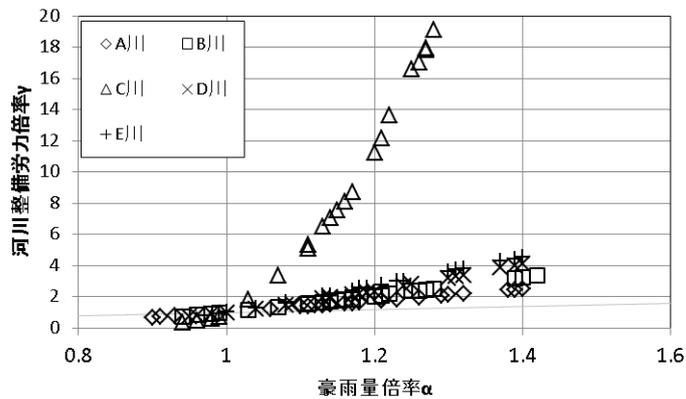


図-Ⅱ.2.1.3.20 豪雨量倍率 α と河川整備労力倍率 γ の関係 (一例)

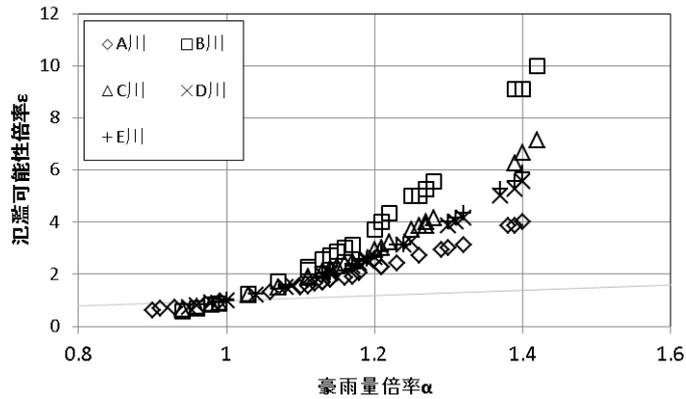


図-Ⅱ. 2. 1. 3. 21 豪雨量倍率 α と氾濫可能性倍率 ε の関係 (一例)

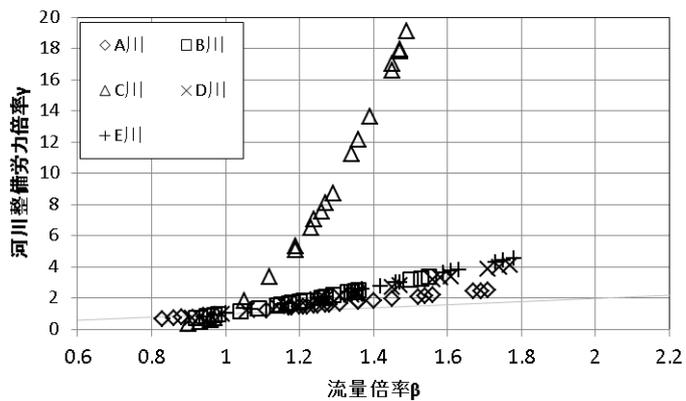


図-Ⅱ. 2. 1. 3. 22 流量倍率 β と河川整備労力倍率 γ の関係 (一例)

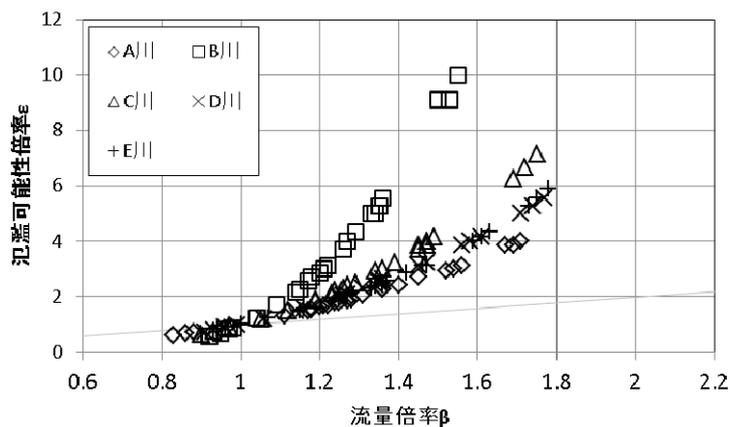


図-Ⅱ. 2. 1. 3. 23 流量倍率 β と氾濫可能性倍率 ε の関係 (一例)

b) 豪雨量倍率の変化に対する流量・河川整備労力倍率の応答

藤田 (2010)、藤田ほか(2011) に倣い、気候変動に伴う降雨現象の変化が河川整備労力 γ に与える影響を本質的な意味合いが失われない程度に簡略化し、以下に説明をする。

長さ L 、川幅 B 、勾配 i の一様幅の広矩形断面を有する河道を想定する。ピーク流量 Q の流下時における水深 h が、次式に示すように等流水深として算定できると単純化する。

$$h = \left(\frac{nQ}{i^{0.5}B} \right)^{\frac{3}{5}} \quad \text{式- II. 2. 1. 3. 1}$$

ここで、 n はマンニングの粗度係数である。

γ の変化率を α で表現する。

$$\begin{aligned} \gamma - 1 &= \frac{W_F}{W_p} - 1 = \frac{\Delta h_F BL}{\Delta h_p BL} - 1 = \frac{h_F - h_{HWL}}{h_p - h_{HWL}} - 1 = \frac{Q_F^{0.6} - Q_{HWL}^{0.6}}{Q_p^{0.6} - Q_{HWL}^{0.6}} - 1 \\ &= \frac{\frac{Q_F^{0.6}}{Q_p^{0.6}} - \frac{Q_{HWL}^{0.6}}{Q_p^{0.6}}}{1 - \frac{Q_{HWL}^{0.6}}{Q_p^{0.6}}} - 1 = \frac{\beta^{0.6} - \chi^{0.6}}{1 - \chi^{0.6}} - 1 = \frac{\{p(\alpha - 1) + 1\}^{0.6} - 1}{1 - \chi^{0.6}} - 1 \end{aligned} \quad \text{式- II. 2. 1. 3. 2}$$

ここで、 χ は治水目標上の流下能力に対する現況流下能力の比である。

また、 p は豪雨量変化からピーク流量変化への伝播率として、以下の式とする。

$$p = \frac{\beta - 1}{\alpha - 1} \quad \text{式- II. 2. 1. 3. 3}$$

ここで α 、 β は豪雨量倍率、流量倍率である。 p は 4 モデル×2 時点×上・中・下位値の 24 種類の計算結果より水系別に算定できる。109 水系の α は約 1.08~1.25 で平均値は 1.16、 p は約 0.6~3.3 で平均値は 1.49 となった。

式- II. 2. 1. 3. 2 において、 p と α にいくつかの代表値を与え、豪雨量変化から河川整備労力変化への伝播率 $(\gamma - 1)/(\alpha - 1)$ を χ との関係で表すと、図- II. 2. 1. 3. 24 のようになる。 α の違いによる差は小さく、河川整備労力変化に関する伝播率は治水整備率に対応するパラメータ χ に大きく依存することがわかる。この図から、前述の伝播率 $(\gamma - 1)/(\alpha - 1)$ の特性も概ね式- II. 2. 1. 3. 2 により説明できそうであることがわかる。治水整備が進捗している状況では、治水目標に到達するための残りの整備労力が相対的に小さいので、気候変動による豪雨量増加は γ に増幅して現れる。逆に治水整備がほとんど進んでいない状況では、 $\chi = 0$ のとき、 $(\gamma - 1)/(\alpha - 1)$ がほぼ 1 となっていることからわかるように、豪雨量変化から河川整備労力変化への有意な増幅は見られなくなる。

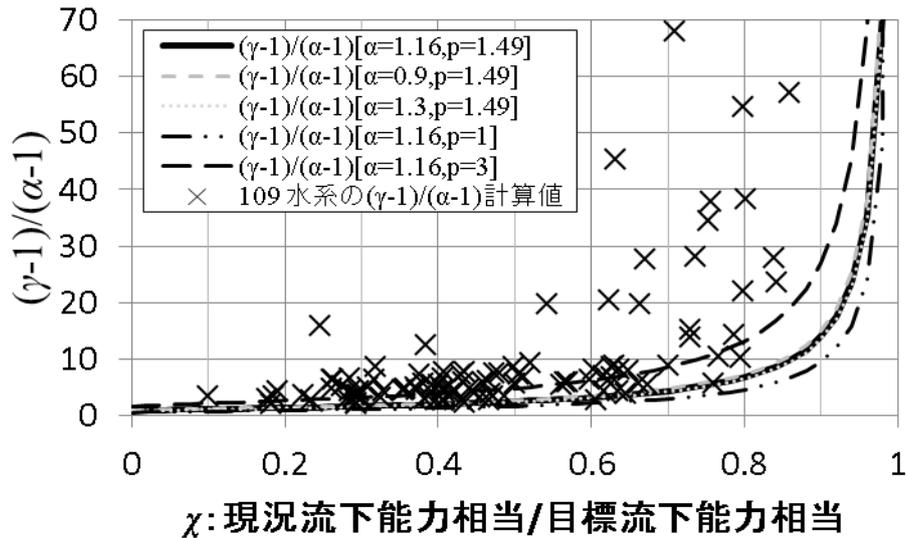


図-Ⅱ. 2. 1. 3. 24 目標・現況流下能力比と豪雨量・河川整備労力増加率の伝播率の関係

c) 豪雨量倍率の変化に対する氾濫可能性倍率の応答

豪雨量変化から氾濫可能性変化への伝播率が 10 のオーダーになることについては次のように理解できる。ある継続時間の降雨量 R と超過確率年 T との関係をも、式型が単純なフェア式タイプにより次のように表現する。

$$R(T) = \theta \cdot T^m \quad \text{式-Ⅱ. 2. 1. 3. 4}$$

ここで θ 、 m はフェア式のパラメータであり、気候変動が降雨に与える影響が θ のみに現れるとする。現在気候 Q_P 、将来気候 Q_F の超過確率年 T が両方とも基本方針の超過確率年 T_B である時、 $R_F(T_B) = \alpha R_P(T_B)$ であるから、 $\theta_F / \theta_P = \alpha$ となる。式-Ⅱ. 2. 1. 3. 4 を T の式に変換すると、

$$T = \left(\frac{R(T)}{\theta} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \text{式-Ⅱ. 2. 1. 3. 5}$$

であり、氾濫可能性 ε 、現在気候 T_P 、将来気候 T_F について以下の関係が得られる。

$$\varepsilon = \frac{T_F}{T_P} = \frac{\left(\frac{\theta_F R_P(T_P)}{\theta_P R_F(T_F)} \right)^{\frac{1}{m}}}{\left(\frac{\theta_P R_P(T_P)}{\theta_P R_F(T_F)} \right)^{\frac{1}{m}}} = \alpha^{\frac{1}{m}} \left(\frac{R_P(T_P)}{R_F(T_F)} \right)^{\frac{1}{m}} \quad \text{式-Ⅱ. 2. 1. 3. 6}$$

気候変動後も変動前と同じ降雨量になるために超過確率年をどれだけ減じる必要があるかは、上式で $R_P(T_P) / R_F(T_F) = 1$ と置いた次式の関係から求めることができる（概念図は図-Ⅱ. 2. 1. 2. 6 を参照すること）。

$$\varepsilon = \alpha^{\frac{1}{m}} \quad \text{式-Ⅱ. 2. 1. 3. 7}$$

日本の降雨特性に対応した m 値は一般的に 1 を大きく下回り、0.2 前後になることが多い（土木研究所 2001）。109 水系の確率降雨量から m を算出したところ、約 0.1~0.31 の範囲で平均は 0.19 であった。 $m=0.19$ 、上述の $\alpha=1.16$ を与えると、 ε は 3.08 となり、図-Ⅱ. 2. 1. 3. 12 とおおよそ合致する。図-Ⅱ. 2. 1. 3. 25 に示す豪雨倍率と氾濫可能性倍率の関係より、式-Ⅱ. 2. 1. 3. 7 によって計算結果の傾

向を概ね表現できることがわかる。また図-Ⅱ.2.1.3.26 に示すフェア式定数の m と氾濫可能性変化の伝播率 $(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$ の関係を見ると指数関数的な減衰曲線を描いており、 m の値が氾濫可能性倍率に大きく寄与することがわかる。

以上のように、式-Ⅱ.2.1.3.4 に代表される降雨量～超過確率年関係において、超過確率年が降雨量変化に敏感に応答する特性をそもそも持つことが、豪雨量変化から氾濫可能性変化への伝播率が上記のように大きな値を持つ基本的な理由である。

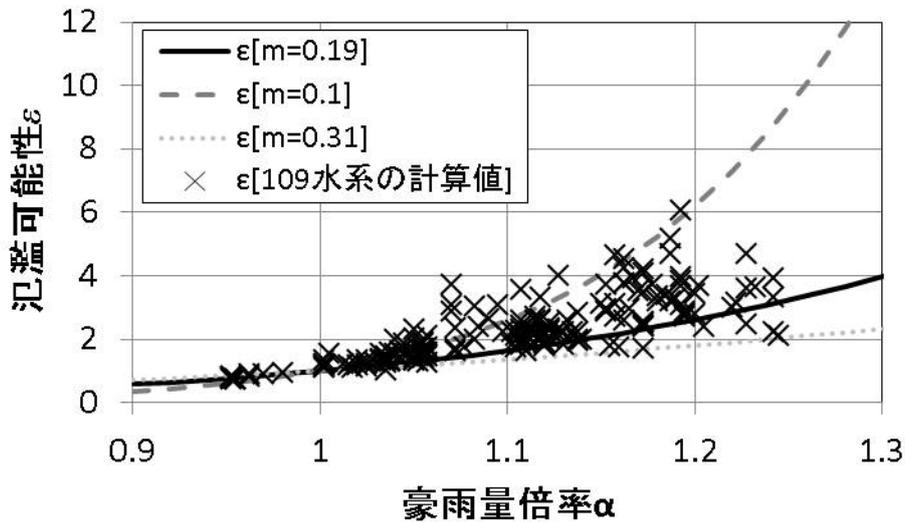


図-Ⅱ.2.1.3.25 豪雨量倍率 α ・ 氾濫可能性倍率 ε の関係

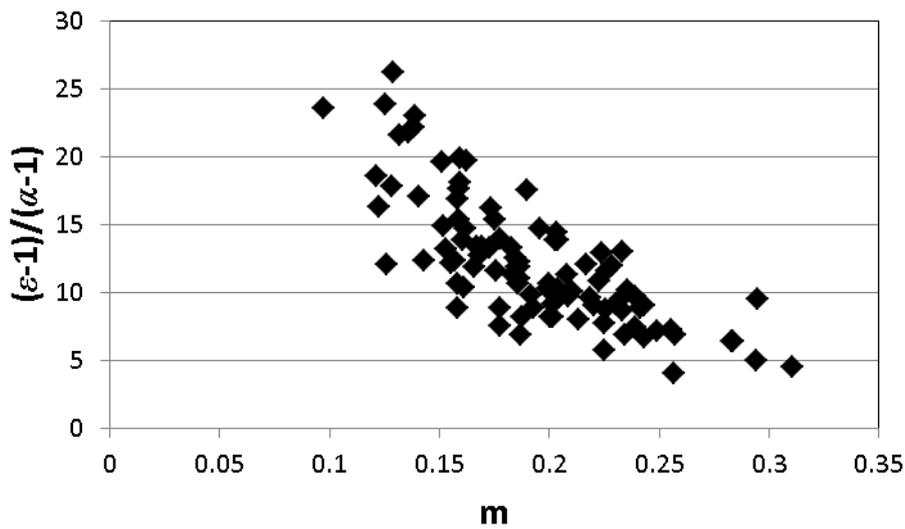


図-Ⅱ.2.1.3.26 フェア式定数 m と豪雨量・氾濫可能性変化の伝播率 $(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$ の関係

d) 河川整備労力変化・氾濫可能性変化の伝播率に着目した類型化

図-Ⅱ.2.1.3.27 に、豪雨量倍率 α の変化が他指標へ伝播する概念図を示す。

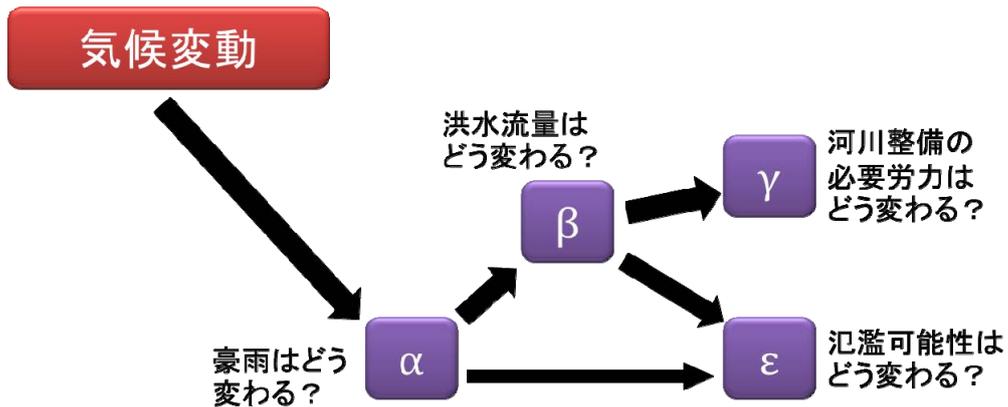


図-Ⅱ.2.1.3.27 気候変動による豪雨量の変化（増大）の治水方策に関する指標への伝播

α の変化による影響度を表すため、河川整備労力変化の伝播率 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ と氾濫可能性変化の伝播率 $(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$ を算定し、その関係から 109 水系の類型化を試みた（高瀬川と川内川は計算の都合上分類から除した）。全水系の各々の伝播率を上位・下位 50% に分類した（表-Ⅱ.2.1.3.1）。確率規模別の降雨がない水系は ε が算定できないため、 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ のみの分類である。さらに式-Ⅱ.2.1.3.3 における χ と、式-Ⅱ.2.1.3.9 の m が全水系中で上・下位 50% のグループに分類し、全部で 20 分類とした。 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ が上位 50% に属している水系は、 α の増加に対して、 γ が鋭敏に上昇しやすく、 $(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$ が上位 50% に属している水系は、 α の増加に対して、 ε が高くなりやすいことを示している。両方とも上位 50% である水系は α の増加により、氾濫可能性が高まりやすく、また氾濫を防ぐための河川整備労力も高まりやすい。 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ が上位である時、 χ が上位の水系数が多く、 m もまた同様の傾向である。このことから概算的には χ と m により α の増加に対する γ および ε 増加の鋭敏性を推し量ることができる。 χ と m は、各河川流域について概算値であれば比較的容易に得ることができるので、表-Ⅱ.2.1.3.1 で表される類型化手法は、 α 値増加という気候変動影響に対する治水状況の「鋭敏性」「脆弱性」を把握することに活用できると期待される。

表-Ⅱ.2.1.3.1 $(\gamma-1)/(\alpha-1)$ と $(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$ の関係（水系の数）

		$(\varepsilon-1)/(\alpha-1)$				確率規模別降雨データなく、不計算	
		上位50%		下位50%			
		m : 上位50%	m : 下位50%	m : 上位50%	m : 下位50%		
$(\gamma-1)/(\alpha-1)$	上位50%	χ : 上位50%	16	4	3	14	2
		χ : 下位50%	2	0	1	6	5
	下位50%	χ : 上位50%	8	1	2	4	0
		χ : 下位50%	14	4	3	15	3

※高瀬川と川内川は計算の都合上分類から除いている。

2.1.3.4 豪雨量変化予測に要求される精度を適応策検討の側から考えるという視点について

議論を単純にするため、上述の伝播率の代表値に基づいて、洪水ピーク流量、河川整備労力、氾濫

可能性それぞれの変化率と豪雨量の変化率との関係を図化したのが図-Ⅱ. 2. 1. 3. 28 である。この図を縦軸から横軸の方向に読むことによって、洪水ピーク流量、河川整備労力、氾濫可能性に与える気候変動影響を一定の精度をもって把握しようとする時に、豪雨量変化率に対しどの程度の精度を求めることになるかを考えることができる。たとえば、氾濫可能性および河川整備労力の変化率推定が±0.5以内のズレでよしとするならば、それでも豪雨量変化率に求められる許容誤差はそれぞれ±0.04 と±0.1 程度以下となり、もしこれを±0.1 以内に抑えようとする場合、それぞれ±0.01 と±0.02 程度以下にしなければならないことになる。後者は、気候変動による豪雨量倍率 α の誤差をそれぞれ±1%と±2%程度以下に、前者であっても、それぞれ±4%と±10%程度以下に抑えることに当たる。こうした要求水準は、図-Ⅱ. 2. 1. 3. 9~10 に示した α 値の状況に照らし、気候変動予測が急速に発達してきている今日においてなお高いハードルと言える。

以上のことは、しかし、豪雨などの極端現象に関する気候変動予測の営為と成果の価値を減じることにはならない。豪雨生起確率の分析について、気候変動予測だけについて厳密に議論することもフェアとは言えない面がある。ここで重要なことは、気候変動による豪雨予測の精度が顕著に向上してきている一方、それを治水の適応策に直接関係する指標に翻訳すると、前述の伝播率が $\alpha \rightarrow \beta \rightarrow \gamma \rightarrow \varepsilon$ に向けて増幅するという特性が一因となって、未だ精度不十分な状況にあると理解することであろう。そしてこのことは、新しい高度なモデルによる気候変動予測結果が出るたびに一喜一憂するのではなく、予測精度の向上の根幹的トレンドを適切に把握し、信頼性のより高い情報とそうではない情報を適切に使い分けるというスタンスにつながる。さらには、気候変動予測の進展を待つだけでなく、適応策を検討するために具体的にどのような情報（精度を含む）が必要となるかを治水方策の実務に近い側から積極的に発信していくというスタンス、加えて、2. 1. 3. 3 で扱ったような気候変動影響に対する応答特性から河川・流域特性を類型化し、当該河川・流域がどのような脆弱性を持っているかをあらかじめ把握した上で、気候変動予測を踏まえた適応策検討をできるようにすることの重要性にも行き着くと考えられる。

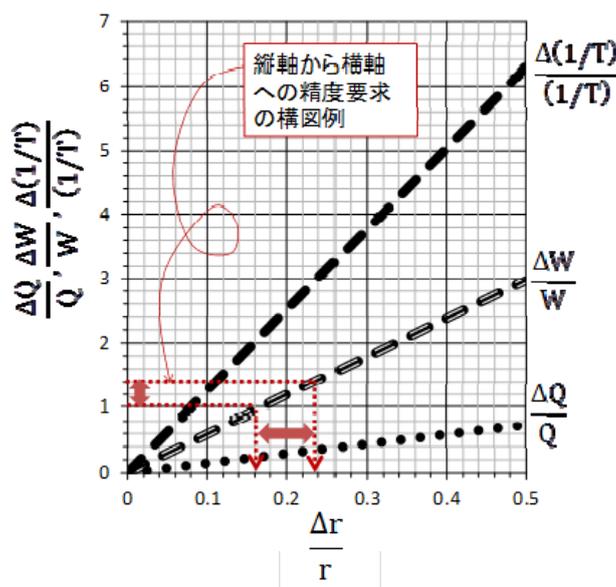


図-Ⅱ. 2. 1. 3. 28 洪水ピーク流量，河川整備労力，氾濫可能性それぞれの変化率と豪雨量変化率との関係の代表例示

2.1.3.5 まとめと今後の課題

以上に示してきた内容を踏まえると、治水方策に与える気候変動の影響度が全体としては相当に大きくなる可能性が高いこと、同時に、その影響度の予測に相当に大きな幅がある、すなわち不確実性があることを認識した上で、気候変動に関わる適応策検討を行わなくてはならないと言える。そして、このことには、 p や m などにより表される自然的特性と、 x に代表される人間が積み重ねてきた営為に関わる特性がモザイク的に関係している。そのために、気候変動による豪雨量の変化以上に、河川水系ごとに影響の出方が違ってくる。このことは個々の水系の状況把握の重要性を改めて示すものである。

施策を立案・遂行する立場から見ると、予測の信頼性がさらに向上して α の推定幅が十分小さくなる状況、また、モデル更新の度に各地域の α 値が違ってくる状況から脱却することが好ましい。しかし一方、豪雨量の増加が治水方策に近い指標値になるほど鋭敏に増幅して表れるという特性と、地球温暖化に伴う極端かつ低頻度事象の変化予測の本質的困難さを踏まえると、この先の極端現象変化予測の急速なレベル向上を引き続き期待する一方で、それをただ待つだけではなく、並行して極端現象の変化予測に実務上無視し得ない有意な幅があることを前提とした種々の検討を行うことが大事になってくる。このために、予測の不確実性を前提にした施策の“取り組み方”に関する議論を本格化させることが求められる。そして、気候変動影響に対して、当該河川・流域がそもそもどのような応答特性を持っているか（鋭敏性、安定性、脆弱性など）を把握しておくというアプローチを並行して進めることが必要であろう。

2.1.4 高潮外力に対する気候変動の影響についての検討

2.1.4.1 はじめに

将来予測については、IPCCにより地球温暖化効果ガスシナリオが想定され、これに基づき大気海洋結合モデルにより気温と海面の水温の変化が得られる。これを境界条件として、全球の気候予測モデルが降雨、台風、風を計算する。しかし、海岸の外力はこの結果からさらに計算を行う必要がある。不確定性を排除するために確率台風モデルを用いた橋本ら(2005)や河合ら(2009)によりいくつかの研究がなされている。しかし、高潮偏差の値と極値統計値に着目したものがほとんどで全体像として頻度階級の変化を示したものはなかった。また、我々がしばしば確率台風モデルの活用において問われる「本当にそれは実態を表現しているのか」という素朴かつ本質的な疑問に答える必要がある。本研究では、確率密度分布に立ち返り変化の内容を明らかにする。

本研究を行うにあたり、安田ら(2009 または 2010)により確率台風モデルで作成された現在・将来各10,000年分の台風の提供を受けた(以下、確率台風)。安田ら(2009)は、気象研究所が行った超高解像度全球大気循環モデル(GCM20)で得られた現在気候と将来気候の予測計算結果から、台風を抽出した。これらの台風特性の地球温暖化による変化を解析し、既往台風から確率台風モデルにより発生させた10,000年分の台風に変化解析結果を適用させ将来気候における10,000年分の台風を作成したものである。

本研究では、これらの台風のうち三大湾(東京、伊勢、大阪)に来襲するものについて高潮偏差を推算した。高潮計算の対象とした各湾に来襲した台風の個数を表-II.2.1.4.1に示す。表中の緯度経度の範囲を中心気圧深度が10hPa以上で通過した台風を対象に高潮計算した。高潮偏差の値は、来襲した各台風がもたらした図-II.2.1.4.1中の各地点での台風毎の最大値を採用している。

表II.2.1.4.1 各湾への来襲台風数の比較(高潮計算対象)

気候分類	既往台風	現在気候確率台風	将来気候確率台風
対象期間 (再現年数)	1951~2009年 (59年間)	仮想1979~2003年 (10000年拡張)	仮想2075~2999年 (10000年拡張)
大阪湾 E133°30'-136°30' N33°10'-35°00'	52	12343	9103
伊勢湾 E134°50'-137°50' N33°20'-35°30'	58	13686	8997
東京湾 E138°10'-141°00' N34°30'-35°00'	49	9230	7009

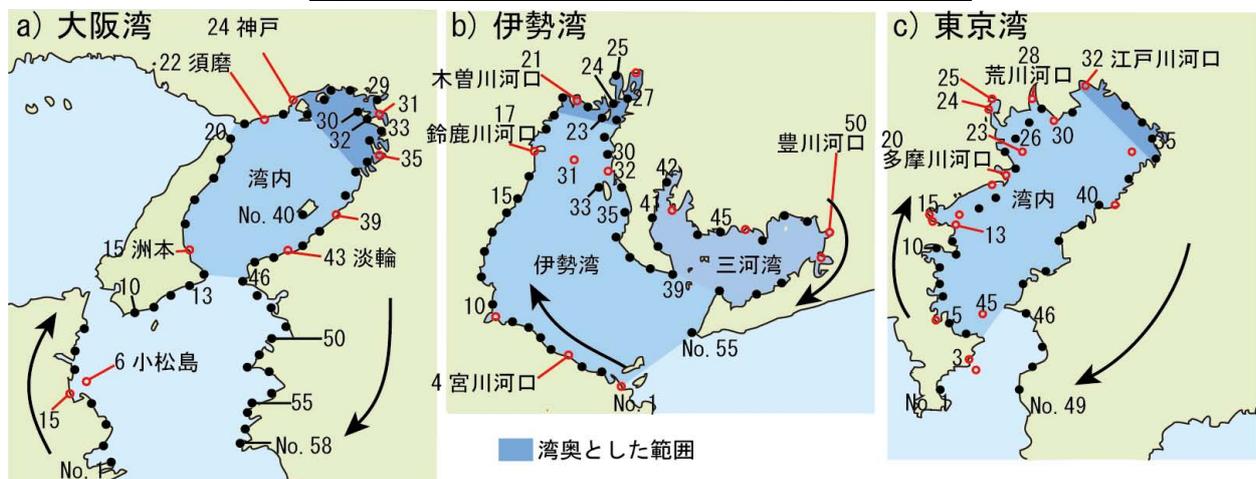


図-II.2.1.4.1 解析に用いた沿岸の測定点

2.1.4.2 得られた高潮偏差データセットの妥当性の検討

本研究スキームで用いている気象研究所の気候予測モデルは、気象予報の現業に用いられている実績に裏打ちされた信頼性が相対的に高い物理モデルである。しかし、確率台風モデルは研究・調査では実績が増しているものの、事業等の計画に用いられるまでに至っていない。そのため、確率台風モデルで得られた高潮偏差が妥当であるかを判定する必要がある。これは図-II.2.1.4.2 に示すように確率台風は現状の台風情報から大量の台風を仮想し高潮を推算することが出来るが、果たしてそれが既往高潮の拡張となっているかの確認が必要である。

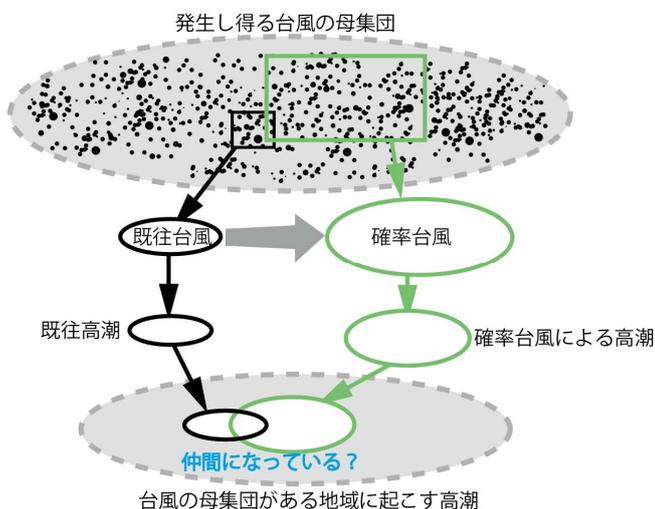


図-II.2.1.4.2 確率台風モデルによる高潮推算結果の妥当性検討の必要性

そこで、既往台風で得られた高潮と確率台風現在気候で得られた高潮の同一性を調べることにした。統計における検定手法の多くは、有意差を示すために同一性を帰無仮説として棄却基準と比較する p 値を算定するものである。ここでは確認したいことは同一性であり、厳密には逆の有意差を帰無仮説とする必要がある。そこで、既往台風で得られた高潮偏差と現在気候確率台風の高潮偏差が同じ母集団である可能性が棄却されなければ十分とした。言い換えると、得られた高潮偏差の結果が現実離れしていないことを示すことにした。なぜならば、確率台風モデルで得た高潮偏差のサンプル数が十分に多いとしても、既往台風による高潮偏差がそこから抽出した集団として選び出された訳ではない。また、確率台風によるものと既往台風によるものは真の母集団の一部を形成する別々の集団といえる。さらに、逆に確率台風モデルの作成から見ても、実現象を物理機構により再現するものではなくストーリー設定が存在することが否す、得られる集団も一意に決まらない。

既往台風高潮偏差と現在確率台風確率偏差の間の同一性を、Brunner-Munzel 検定 (Brunner et al., 2000) により検定した。計算は、統計用言語の R とそのパッケージを用いた (奥村 2011)。帰無仮説を「統計的に優位」とする一般的な閾値 ($p=0.05$) (奥村 2008) で評価すると、図-II.2.1.4.3 に示すようにほとんどの地点で 0.05 を上回る結果となった。そこで、 p 値が大きいことから、検定は帰無仮説に対して行われるので、「有意差は認められず同一性が否定できない」となる。同一性の主張を補強するために、既往台風高潮偏差のデータセットのみ各地点の隣接両側データをその地点のデータとして追加した集団と現在気候確率台風 (以下、現在台風) の高潮偏差を比較検定した。全ての点において p 値がほぼ 0 であり帰無仮説が棄却でき、両者に有意差があることが示される。高潮偏差の沿岸分布は隣接点との著しい差が生じ無いと考えられるが、単独では高い p 値を得たが既往台風高潮偏差に隣接地点のデータを追加したところ p 値が著しく低下し圧倒的に棄却でき、両者が異なる集団であることを示している。類似性が高いと考えられる隣接のデータを追加についても、本検定手法が多少の異質デー

タの混入に対し高い感度で有意差を示すことが分かる。これらより、現在確率台風高潮偏差は、既往台風高潮偏差と同一の母集団である可能性があり、したがって現在気候の特性を示しているとした。

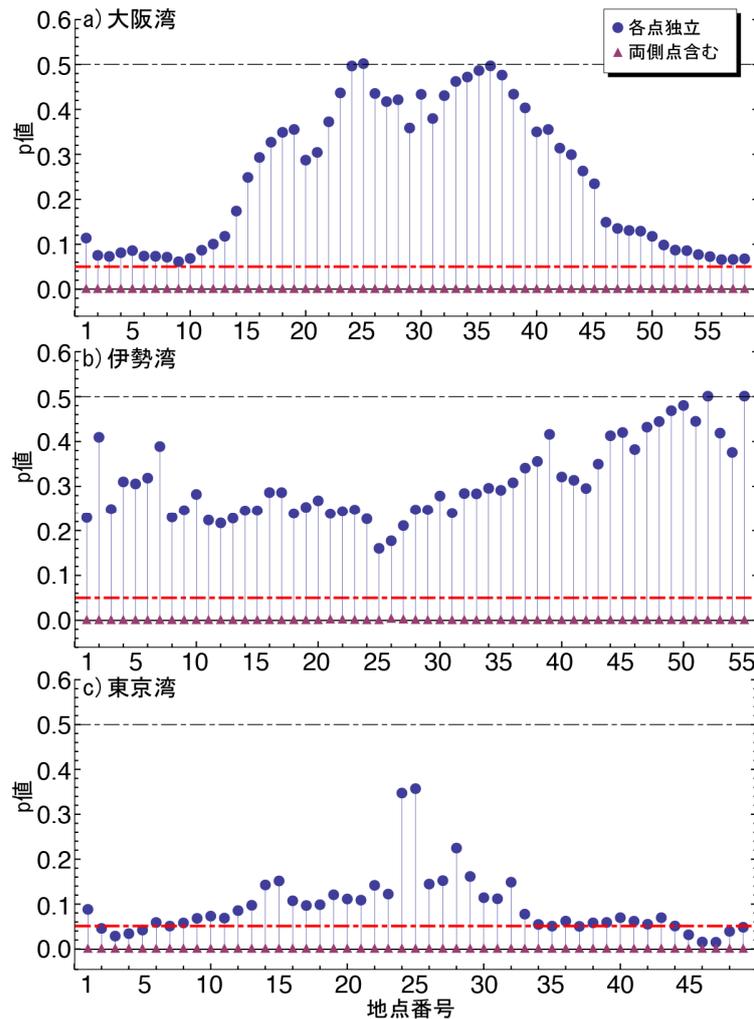


図-Ⅱ.2.1.4.3 各地点の Brunner-Munzel 検定で得られた p 値

2.1.4.3 高潮偏差の階級別頻度の変化

一般に計画・設計上の視点としては、既往最大値や30年再現確率規模等の大きな偏差が着目される。前半に述べた本研究のアプローチでは、値は高いが頻度は低い偏差については信頼性が低下すると考えられる。そこで、現段階では中程度規模から上位にわたる変化を俯瞰することで高潮偏差の特性を把握することとする。

現在気候と将来気候の確率密度の分布を重ね合わせ変化を把握した。ヒストグラムの階級は、各気候と各地点を同様に比較する必要ため、0.05m刻みに固定した。

各地点のヒストグラムを示す代わりに偏差を大きく区分し、それら区分内の頻度の変化を図-Ⅱ.2.1.4.4に示した。現在気候から将来気候への頻度の変化を「頻度の変化量」を「現在気候と将来気候の頻度の和」で除したもので表現している。このようにしたのは、「頻度の変化量」のみにした場合に元来頻度が高い地点と低い地点で「頻度の変化量」が同じ場合について、これらを区別したいと考えたからである。したがって「頻度の変化量」ならば、同じ元来頻度が低い場合には高く示されることになる。これにより現在気候では発生せず将来気候では発生した場合は1で表現され、逆に現在気候で存在したが将来で発生しない場合には-1として表現することが可能となる。0.5は、将来気候の頻度が現

在気候の3倍となる。1となったものについてはマークの大きさにより頻度を示した。この図では、変化を確率密度ではなく頻度の実数により求めている。

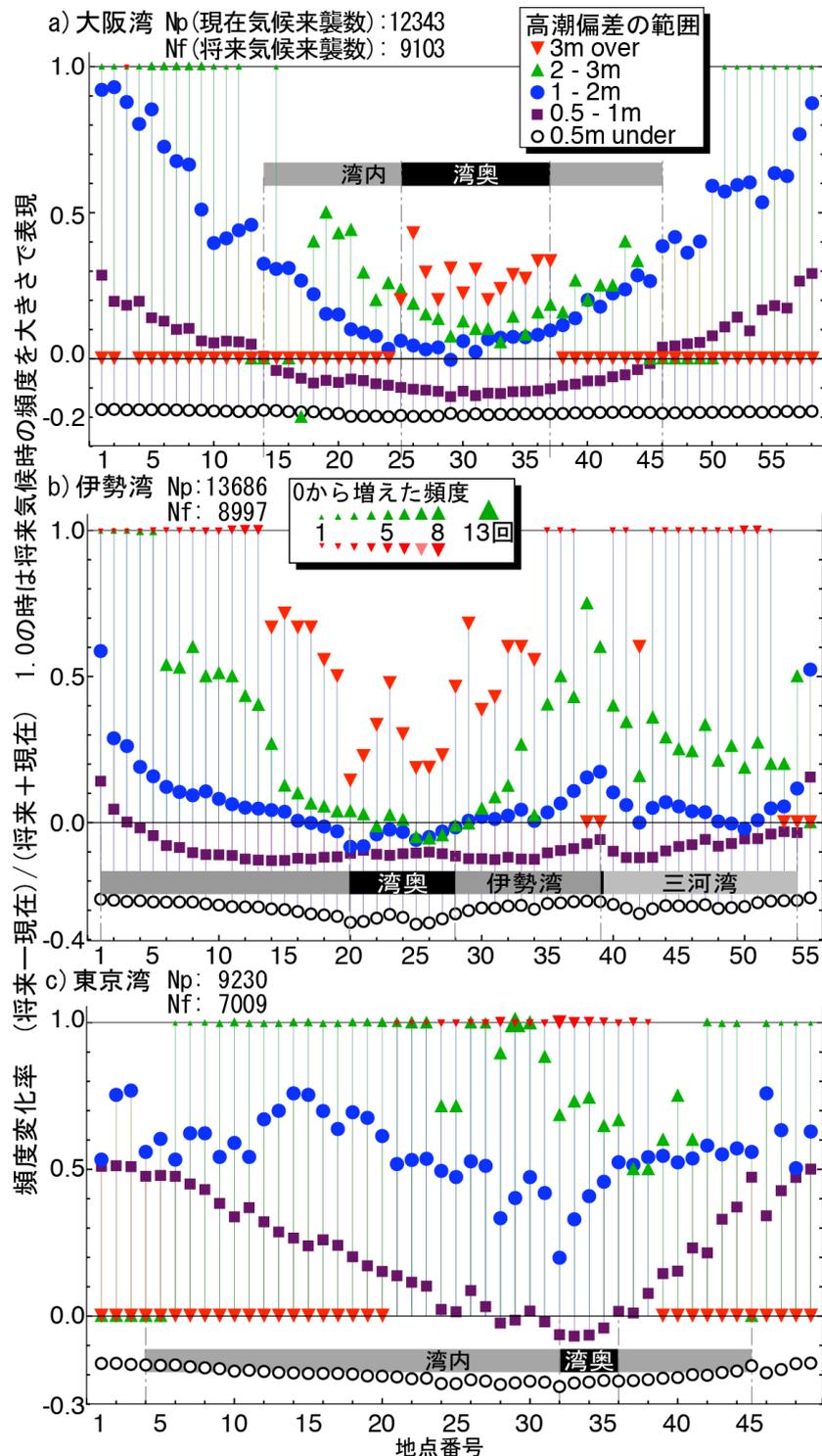


図-Ⅱ.2.1.4.4 高潮偏差範囲毎のイベント個数の変化率

高潮偏差が0.5mまでの低い区分では3つの湾とも負の値となっており減少している。東京湾では現在気候で出現しない2m以上の偏差が将来気候では沿岸のほぼ全体で生じている。このように、現在気候では高潮偏差が大きい湾口部や来襲頻度が低い東京湾で、将来において中程度以上の高潮偏差

の頻度が上がる可能性を示している。一方、大阪湾および伊勢湾の湾奥部では現在気候でも 3m を越える偏差が発生しており、将来気候では頻度が増す結果となっている。

各湾における変化特性を代表する地点を選んで確率密度分布を示した（図-Ⅱ.2.1.4.5）。この図では変化の状況を確認し易い最頻度付近を含む 1m 前後を中心に示している。大阪湾については、最頻度ランクが最も低下した No.36 を選んだ。この地点は、大阪湾の湾奥に位置しており 1m 以上の高潮偏差の頻度はあまり増加していない。伊勢湾については、大阪湾とは逆に最頻度階級が最も増加した No.30 を選んだ。東京湾については、1m 以上の高潮偏差の頻度の増加が最も少なかった No.33 と 3 つの湾を通じて最も大きくなった No.2 を示した。伊勢湾の No.30 も東京湾の No.33 も同様な変化となっており、高潮偏差が高い側へ潰れた形状と表現できる。東京湾の No.2 は元々 1m を上回る頻度が少なかったために大きな変化率となったことが分かる。

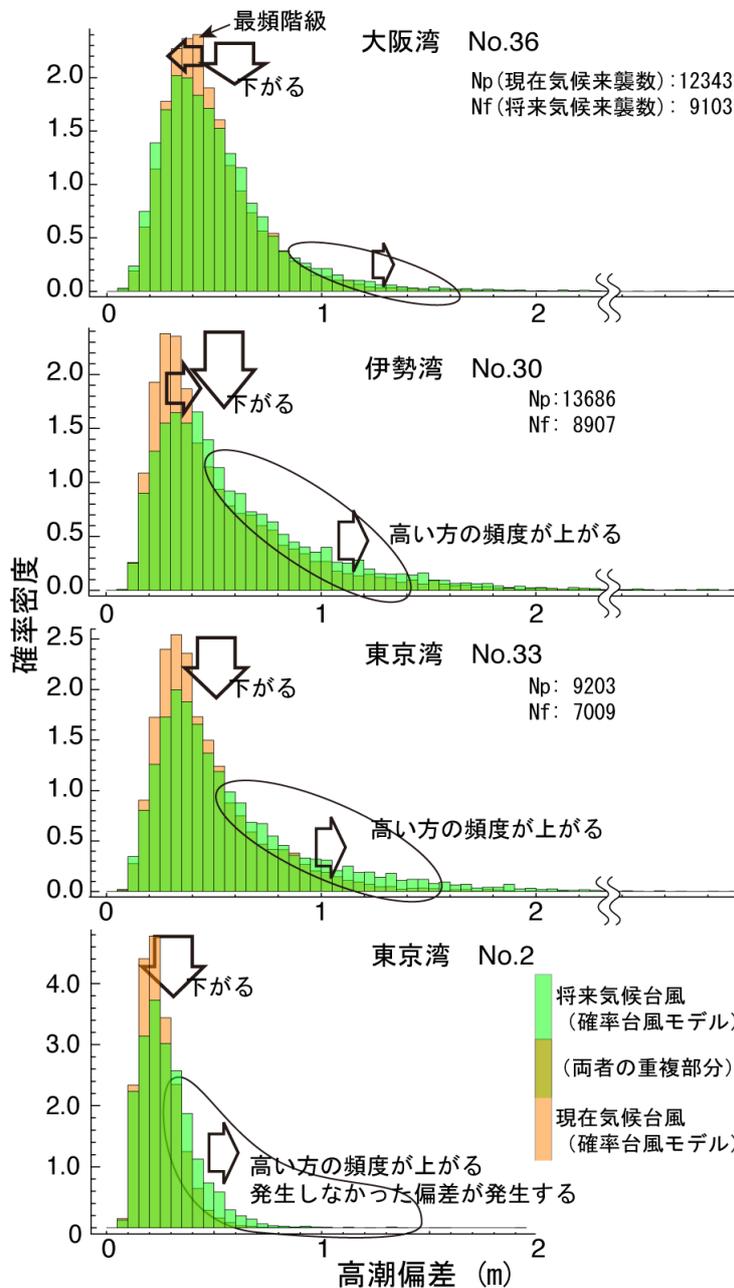


図-Ⅱ.2.1.4.5 各湾の代表的な変化特性

2.1.4.4 極値解析を用いた高潮偏差の変化

高潮偏差の値の変化について調べるため極値解析により偏差を求めてそれを代表値として変化を見た。極値解析は実務的に行われている手法により再現期間を5年、10年、30年、50年、100年とした確率高潮偏差を求め将来気候時の現在気候に対する変化率として示した(図-Ⅱ.2.1.4.6)。モデルの確からしさの点から50年、100年の値は参考である。適合分布の採択は、合田(2008)を参考にした。適合分布形は、Weibull分布か極値Ⅱ型となった。

大阪湾 No.45 は図-Ⅱ.2.1.4.4 から見て取れるように1-2mの階級だけ頻度が増したことで将来気候において全体的に高い偏差となる分布形が採用されている。逆に、東京湾 No.33 と No.34 は現在気候において低偏差に合わせ小さめに算出される分布形が採用されている。そのため3地点では隣接点と比べ大きめの変化率となった。これらの将来気候の30年確率偏差は、大阪湾 No.45 が1.5m、東京湾 No.33 が1.8m、No.34 が1.6mとなっている。

極値解析の結果からの偏差の値の変化率が高い地域(大阪湾外岸、伊勢湾西岸)は、図-Ⅱ.2.1.4.6の高潮偏差の高いランクについても頻度の変化率もしくは新たに生じた偏差(変化率が1.0)の頻度が周辺に比べ高くなっている。また、東京湾の湾奥部では、頻度も偏差も増加する。

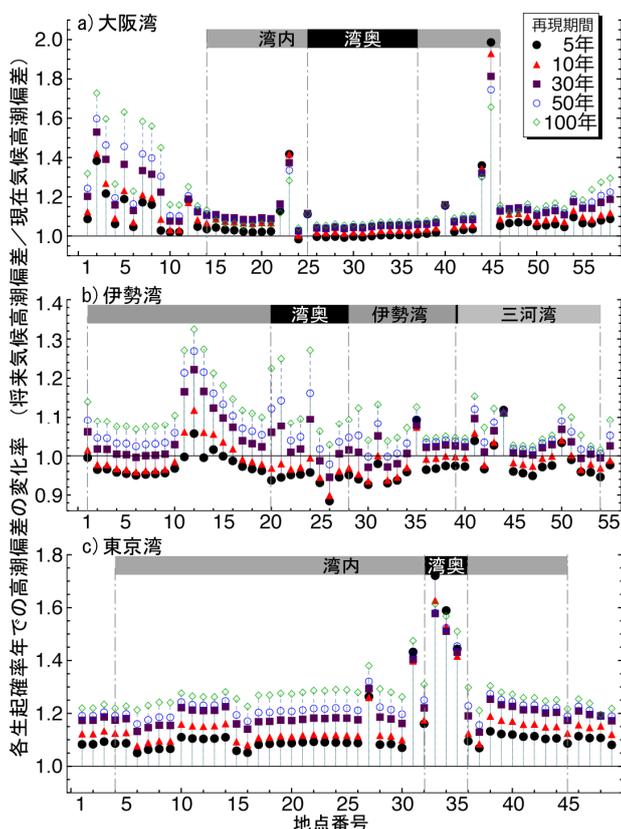


図-Ⅱ.2.1.4.6 再現期間別による高潮偏差変化率の特性

2.1.4.5 まとめ

本研究は次のようにまとめられる。

- 1) 確率台風モデルで得られた現在気候台風は既往台風と同一性が高いことを示した。
- 2) 最頻度階級を中心とした低い偏差では頻度が低下し、偏差が大きい方では頻度が増す。
- 3) 現在では高潮偏差が大きくない場所でも、将来において中程度以上の高潮偏差の頻度が上がる可能性がある。

本研究の結果は、本文中に述べた通り気候予測モデルや研究スキーム、確率台風モデルに依存している。このため、これらや初期条件の違いで異なる結果が得られることを留意する必要がある。

参考文献

- 奥村晴彦 2008. : Brunner-Munzel 検定、
<http://oku.edu.mie-u.ac.jp/~okumura/stat/brunner-munzel.php>、参照 2011-04-29.
- 河合弘泰、橋本典明、山城賢、安田誠宏 2009. : 確率台風シミュレーションの風場モデルと将来の台風出現特性による確率高潮偏差の変化、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.65、No.1、pp.1256-1260.
- 建設省河川局監修 1997 : 改定新版建設省河川砂防技術基準 (案) 同解説一設計編 I 一、山海堂、pp.152
- 合田良實 2008. : 耐波工学-港湾・海岸構造物の耐波設計、鹿島出版会、430p.
- 国土交通省河川局 2008. : 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、
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf、参照 2011-04-29.
- 国土交通省国土技術政策総合研究所 2008: 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一、国土技術政策総合研究所資料、No.462
- 国土交通省 2010 : 洪水に関する気候変化の適応策検討ガイドライン
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/english/pdf/guigelines_jpn.pdf
- 国土交通省水管理・国土保全局水資源部 2012 : 気候変動による水資源への影響検討会、第1回、資料2 (<http://www.mlit.go.jp/common/000217691.pdf>)
- 社会資本整備審議会河川分科会 2008 : 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)
http://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/kikouhendou/pdf/toshin.pdf、
- 辻本哲郎 2010 : 気候・社会条件変化への対応を含む流域総合目標の達成に向けた河川整備手法について、河川技術論文集、第16巻、pp.11-16
- 土木研究所 2001 : アメダス確率降雨量解析プログラム
(<http://www.pwri.go.jp/jpn/seika/amedas/top.htm>)
- 野口賢二、福濱方哉、竹内一浩、山本享 2008. : 天気図から抽出した擾乱データセットを用いた近年の海岸災害と気象の関係、海岸工学論文集、第 55 巻、pp.1336-1340.
- 野口賢二、諏訪義雄、五味久昭、松藤絵理子 2010. : 気候変動適応に向けたわが国沿岸の既海面上昇基準量の設定にむけて、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.66、No.1、pp.1256-1260.
- 橋本典明、河合弘泰、松浦邦明 2005. : 地球温暖化を考慮した将来の台風特性の解析と確率台風モデルへの導入、海工論文集、第 52 巻、pp.1221-1225.
- 藤田光一 2010 : 気候変動に伴う河道計画への影響、21世紀気候変動予測革新プログラム 超解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究、平成21年度研究成果報告書、pp.144-150
- 藤田光一、服部敦、菊森佳幹、野口賢二、土屋修一 2011 : 気候変動に伴う河川管理等への影響評価、21世紀気候変動予測革新プログラム 超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究 (課題代表者: 鬼頭昭雄)、平成22年度研究成果報告書、pp.76-88
- 文部科学省研究開発局 2012 : 21世紀気候変動予測革新プログラム「超高解像度大気モデルによる将来の極端現象の変化予測に関する研究、平成23年度研究報告書
- 安田誠宏、安藤圭、森信人、間瀬肇 2009. : 地球温暖化予測に基づく将来台風変化予測とその確率モデリング、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.65、No.1、pp.1281-1285.
- 安田誠宏、林祐太、森信人、間瀬肇 2010. : 地球温暖化による高潮・高波推算に対応可能な確率台風モデル、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、Vol.66、No.1、pp.1241-1245.
- 山田正 2003 : 山地流出の非線形性に関する研究、土木学会水工学論文集、第47巻、pp.259-264
- Bavarian Environment Agency 2007: *Flood Protection and Climate Change-The Bavarian Adaptation Strategy*、

the Federal State of Bavaria, Germany

Brunner, E. and Munzel, U. 2000., The Nonparametric Behrens-Fisher Problem: Asymptotic Theory and a Small-Sample Approximation. Biometrical Journal, Vol.42, pp.17-25.

Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) 2006: Flood and Coastal Defence Appraisal Guidance FCDPAG3 Economic Appraisal Supplementary Note to Operating Authorities – Climate Change Impacts, U.K.

IPCC AR4 (2007): IPCC fourth assessment report (AR4), <http://www.ipcc.ch/>.

Japan, Netherlands, United Kingdom and United States 2011: Flood Risk Management Approaches –as being practiced in Japan, Netherlands, United Kingdom and United States -, IWR Report, No.2011-R-08. <http://www.iwr.usace.army.mil/Portals/70/docs/iwrreports/2011-R-08.pdf>

Netherlands Environment Assessment Agency 2005: The effects of climate change in the Netherlands.

発表論文

野口賢二、諏訪義雄 2011.: 気候予測モデルの結果を用いて算出した三大湾の将来高潮偏差の変化特性、土木学会論文集 B2 (海岸工学)、第 67 巻、pp.1186-1190.