第6章「地域気候変動予測データ」の解析

6.1 はじめに

地球温暖化による影響は、日本でも既に現れ始めており、今後様々な分野で拡大することが従前から指摘さ れている。このため、気象庁は、文部科学省、環境省とともに、日本を中心とする近年の気候変動の影響と将 来の予測及び気候変動が及ぼす影響について体系だった最新の科学的知見を「温暖化の観測・予測及び影響評 価統合レポート『日本の気候変動とその影響』(2012年度版)」として取りまとめた。また、環境省は、平成27 年夏に政府全体の適応計画を策定すべく、平成25年7月2日に開催された中央環境審議会地球環境部会(第 114回)にて気候変動影響評価等小委員会を設置した。この小委員会においては、既存の研究による気候変動 予測や影響評価等について整理するとともに、気候変動が日本に与える影響及びリスクの評価についての審議 を行っている。これらの結果は、平成26年3月に「日本における気候変動による将来影響の報告と今後の課題 について(中間報告)」として取りまとめられ、最終的には平成27年2月を目途に「日本における気候変動に よる将来影響及びリスク評価に関する報告と今後の課題について(意見具申)(仮)」として中央環境審議会地 球環境部会に報告される予定である。また、国土交通省や農林水産省などでは、政府全体の適応計画の策定に 合わせて、省内での適応策の検討を行っているところである。

これら適応策は気候変動による影響評価結果に基づいて検討されるが、そのためには定量的な地球温暖化予 測が不可欠である。気象庁は、前述の通り、水平解像度5kmのNHRCM05を用いた詳細な予測結果を平成25 年3月に「地球温暖化予測情報第8巻」として公表しており、既に多くの影響評価研究に利用されている。一 方、環境省は、より多くの気候変動予測結果を利用可能とすべく、IPCC第5次報告書(AR5)(IPCC, 2013) での評価に用いられたRCPシナリオを踏まえ、気象研究所の気候モデルを用いた21世紀末の日本周辺におけ る気候予測をさらに追加的に実施した。これらの結果のうち世界全体を対象とした水平解像度60kmモデルの 結果は「環境省 全球気候変動予測データ(協力:気象庁)」、日本域のみを対象とした水平解像度20kmモデ ルの結果は「環境省 地域気候変動予測データ(協力:気象庁)」として既にDIAS(データ統合・解析システ ム)を通じて公開されている。

地球温暖化に伴う気候変動予測には不確実性を伴うため、AR5においてもシナリオ、モデル間のばらつきを 不確実性の幅として考慮した予測結果を示している。しかし、我が国を対象とした詳細な予測に関しては、大 規模な計算が必要となることから、これまで十分に行われてこなかった。このため、RCPシナリオ全4種類、 同一シナリオでの境界条件等を変えた「マルチシナリオ&マルチラン」という大がかりなアンサンブル予測計 算は、我が国を対象とした予測では初めてのケースであると言える。このため、これら複数の予測結果に基づ く系統だった評価においては確立された手法はまだないものの、今後のより活発な影響評価研究、適切な温暖 化情報の作成に資するべく、環境省とともに不確実性を含めた解析を試みに行った。本章ではその手法等につ いて紹介する。

6.2 気候モデルと予測実験の概要

6.2.1 全球気候モデルと地域気候モデル

本章で解析する予測は、気象庁気象研究所の全球気候モデル(AGCM)と地域気候モデル(NHRCM)を使用した結果であり、両気候モデルの概要を表6.2.1に示す。

AGCM には温室効果ガス(GHG)、オゾン、エーロゾル濃度、海面水温(SST)、海氷密接度、海氷厚等を入 力条件として与えた。今回使用するモデルは大気モデルであるため、海面の状態(海面水温、海氷)は「文部

	全球気候モデル (AGCM)	地域気候モデル (NHRCM)
モデル名称	MRI-AGCM60 (MRI-AGCM3.2H)	MRI-NHRCM20
空間解像度	約60km	20km
計算領域	全球	日本周辺
格子数	640×320(水平) 60層(鉛直)	211×175(水平) 40層(鉛直)
積雲対流スキーム	Yoshimura スキーム Kain-Fritsch スキーム Arakawa-Shubert スキーム	Kain-Fritsch スキーム
主な入力条件	温室効果ガス・オゾン・エーロゾル濃度 (現在と RCP) 海面水温、海氷密接度、海氷厚	 温室効果ガス濃度(現在と RCP) オゾン、エーロゾル濃度(現在固定) 海面水温(AGCM と同様) 大気場は AGCM 計算結果

表6.2.1	気候変動予測モデ	ルの概要
10.0.1		1

科学省 気候変動リスク情報創生プログラム 領域テーマ C:気候変動リスク情報の基盤技術開発」の成果に 基づき、現在値については観測値、将来変化についてはAR5のために提出された第5期結合モデル相互比較計 画(CMIP5)のモデル結果を利用している。

NHRCMを駆動するために必要な入力情報は、GHG 濃度および領域境界における気象条件等である。領 域境界における気象条件はAGCMによる全球の計算結果から抽出した。SSTはAGCM60で用いたSSTと同 じものを与えた。全球は格子間隔が約60kmのAGCM(AGCM60)、日本周辺は格子間隔が20kmのNHRCM (NHRCM20)を用いて、現在気候(1984年9月~2004年8月)と将来気候(2080年9月~2100年8月)の気候 を再現ないし予測した。

6.2.2 予測実験の概要

温暖化予測の不確実性を定量化するため、表6.2.2のように同じ対象期間の計算を異なる条件を設定して複 数行うアンサンブル実験を実施した。具体的には、温室効果ガス排出シナリオとして全 RCP シナリオ (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5)、積雲対流スキームとして3種類 (KF: Kain-Fritsch Scheme, YS: Yoshimura Scheme, AS: Arakawa-Schubert Scheme)を用いた。また、境界条件として与えた海面水温は、CMIP5モデルの結果を主 成分分析することによって得られた3パターン (Mizuta *et al.*, 2014)を用いており (図6.2.1)、予測実験はこ れらの組み合わせで行っている。中でも、RCP8.5は最も温暖化が明瞭に現れるシナリオであり、災害のリス クを評価する上で最も重要なシナリオであることから9通りの予測を行っている。

6.2.3 地域区分

本章では、日本全域(JP)のほか、全国日本列島の気候特性と行政界を考慮して設定した Z つの地域区分(NJ:北日本日本海側、NP:北日本太平洋側、EJ:東日本日本海側、EP:東日本太平洋側、WJ:西日本日本 海側、WP:西日本太平洋側、OA:沖縄・奄美)を対象(図6.2.2)として、陸上の計算格子点(海陸比50%以上)を統計した結果を示す。

番号	ケース名	期間	排出シナリオ	海面水温	積雲対流スキーム
1	HPA_m02	【現在実験】			YS
2	HPA_kf_m02	1984年9月	観測値	観測値	KF
3	HPA_as_m02	2004年8月			AS
4	HFA_rcp85_c1			SST1	YS
5	HFA_kf_rcp85_c1				KF
6	HFA_as_rcp85_c1				AS
7	HFA_rcp85_c2			SST2	YS
8	HFA_kf_rcp85_c2		RCP8.5		KF
9	HFA_as_rcp85_c2	-			AS
10	HFA_rcp85_c3			SST3	YS
11	HFA_kf_rcp85_c3	【顺本宝驗】			KF
12	HFA_as_rcp85_c3	2080年9月			AS
13	HFA_rcp60_c1	2100年8月		SST1	
14	HFA_rcp60_c2	2100平 8 万	RCP6.0	SST2	
15	HFA_rcp60_c3			SST3	
16	HFA_rcp45_c1			SST1	
17	HFA_rcp45_c2		RCP4.5	SST2	YS
18	HFA_rcp45_c3			SST3	
19	HFA_rcp26_c1			SST1	
20	HFA_rcp26_c2		RCP2.6	SST2	
21	HFA_rcp26_c3			SST3	

表6.2.2 予測実験の設定



図6.2.1 主成分分析によって得られた21世紀末の海面水温パターン。 (文科省「気候変動リスク情報創生プログラム」 平成25年度成果報告会資料より)



図6.2.2 本章で解析に用いた地域区分(気象庁「地球温暖化予測情報第8巻」より引用)。

6.3 現在気候の再現性

6.3.1 再現性の評価方法

NHRCM20の現在気候における計算結果をアメダス観測値と比較して、NHRCM20の再現性を評価した。観測 値は1980年9月から2000年8月までの20年間のデータを用いた。また、NHRCM20の計算値から以下の方法で 観測地点に対応する値を算出して、観測値と比較した。

観測地点から20km以内の陸上の計算格子点(海陸比50%以上)を対象に、以下の式の逆距離荷重法(IDW) を用いる。*z*はアメダス観測地点に対応する値、*z_i*は格子点*i*での計算値、*d*は距離である。距離 *d*が小さい ほど格子点 *i*の重み *w_i*は大きくなる。また、αには2を用いた。

$$egin{aligned} &z = \sum_i w_i z_i \ &w_i = rac{d_i^{-lpha}}{\sum_k d_k^{-lpha}} \end{aligned}$$

6.3.2 平均気温の再現性

アメダス観測値とNHRCM20計算値の相関図を図6.3.1に、地域毎の再現性比較を表6.3.1に示した。相関図で はどの積雲対流スキームでも正のバイアスを示すものの、概ねy = x に沿っており、これから大きく離れる地 点はみられない。再現性比較では夏を中心に春から秋に正バイアスが見られ、また、冬には北日本と東日本に 負のバイアスが見られるが、全国平均ではどの季節でも1.5の範囲内に収まっている。積雲対流スキームによ





Tave	ANN			MAM			JJA			SON			DJF		
diff/SD	KF	YS	AS	KF	YS	AS	KF	YS	AS	KF	ΥS	AS	KF	YS	AS
JP	0.46	0.34	0.77	0.52	0.14	0.65	1.11	1.08	1.13	0.67	0.50	0.98	-1.32	-1.15	-0.56
NJ	0.01	0.04	0.37	-0.13	-0.37	0.11	0.97	1.11	1.11	0.59	0.40	0.78	-2.52	-2.13	-1.77
NP	0.59	0.56	0.93	0.62	0.34	0.85	1.50	1.54	1.58	0.82	0.58	1.00	-2.19	-1.80	-1.40
EJ	0.36	0.23	0.66	0.32	-0.05	0.49	0.90	0.89	0.89	0.58	0.40	0.89	-0.93	-0.80	-0.30
EP	-0.04	-0.29	0.34	0.03	-0.49	0.20	0.82	0.67	0.79	0.15	-0.02	0.64	-1.41	-1.36	-0.67
WJ	0.91	0.74	1.13	1.02	0.64	1.03	1.02	0.93	0.98	0.96	0.83	1.29	0.00	0.00	0.56
WP	0.93	0.77	1.14	1.07	0.73	1.06	1.09	0.97	1.04	0.86	0.77	1.18	0.17	0.17	0.72
OA	0.53	0.45	0.68	0.38	0.17	0.29	0.66	0.64	0.67	0.70	0.73	0.95	-0.22	-0.28	0.09

表6.3.1 地域ごとの再現性比較(年平均気温)

* NHRCM20計算値からアメダス観測値を引いたものを、アメダス観測値の年々変動の標準偏差で割ったもので、単位 は割合である。正(負)の偏差の大きさに応じて赤色(水色)で塗りつぶしている。 る大きな違いは見られない。

6.3.3 日最高気温の年平均値の再現性

アメダス観測値とNHRCM20計算値の日最高気温の年平均値の相関図を図6.3.2に、地域毎の再現性比較を表 6.3.2に示した。相関図ではどの積雲対流スキームでも概ねy = x に沿っており、これから大きく離れる地点は みられない。再現性比較では冬に負のバイアスが見られ、特に北日本や東日本太平洋側では2.5を超えている が、それ以外の季節では全国平均ではほとんどが0.5の範囲内に収まっている。積雲対流スキームによる違いは、 KF と YS で冬の負バイアスが AS よりもやや大きいものの、それ以外では大きな違いは見られない。



表6.3.2 地域ごとの再現性比較(日最高気温の年平均)

Tmax	Tmax ANN			MAM			JJA			SON		DJF			
diff/SD	KF	ΥS	AS	KF	ΥS	AS	KF	Ŋ	AS	KF	γ	AS	KF	Ś	AS
JP	-0.35	-0.47	-0.19	-0.30	-0.60	-0.22	0.48	0.41	0.34	-0.04	-0.18	0.15	-1.88	-1.77	-1.25
NJ	-0.55	-0.52	-0.30	-0.68	-0.84	-0.52	0.34	0.46	0.35	-0.01	-0.15	0.16	-2.64	-2.25	-1.85
NP	-0.15	-0.19	0.06	-0.13	-0.33	0.03	0.97	0.98	0.93	0.13	-0.06	0.26	-3.01	-2.64	-2.20
EJ	-0.31	-0.43	-0.14	-0.35	-0.68	-0.29	0.35	0.32	0.17	-0.09	-0.21	0.16	-1.02	-0.95	-0.50
EP	-1.00	-1.26	-0.83	-0.82	-1.29	-0.72	0.14	-0.08	-0.11	-0.58	-0.72	-0.32	-2.51	-2.52	-1.84
WJ	-0.05	-0.22	0.04	-0.01	-0.33	-0.03	0.41	0.28	0.21	0.10	-0.02	0.29	-0.74	-0.77	-0.31
WP	0.08	-0.09	0.15	0.23	-0.04	0.21	0.43	0.24	0.19	0.19	0.11	0.36	-0.61	-0.66	-0.20
OA	-0.02	-0.12	0.02	0.05	-0.14	-0.09	0.22	0.20	0.17	0.21	0.20	0.31	-0.60	-0.68	-0.36

* 塗りつぶしは表6.3.1と同様。

6.3.4 日最低気温の年平均値の再現性

アメダス観測値とNHRCM20計算値の日最低気温の年平均値の相関図を図6.3.3に、地域毎の再現性比較を表 6.3.3に示した。相関図ではどの積雲対流スキームでも正のバイアスを示すものの、概ねy = x に沿っており、 これから大きく離れる地点はみられない。再現性比較では夏を中心に春から秋に正バイアスが見られ、また、 冬には北日本と東日本に負のバイアスが見られるが、全国平均ではどの季節でもほとんどが1.5の範囲内に収まっ ている。積雲対流スキームによる違いは、ほとんどの季節・地域で AS が KF と YS よりも正方向に振れている。

6.3.5 降水量の再現性

アメダス観測値とNHRCM20計算値の相関図を図6.3.4に、地域毎の再現性比較を表6.3.4に示した。相関図で はどの積雲対流スキームでも正のバイアスを示し、3,000mmを超えるNHRCM20計算値が多数みられ、5,000mm



図6.3.3 図6.3.1と同様。ただし、最低気温の年平均。

表6.3.3 地域ごとの再現性比較(日最低気温の年平均)

Tmin	ANN				MAM			JJA			SON			DJF		
diff/SD	KF	YS	AS	KF	YS	AS	KF	YS	AS	KF	YS	AS	KF	YS	AS	
JP	0.97	0.86	1.49	1.09	0.64	1.26	1.36	1.39	1.63	1.00	0.81	1.47	-0.64	-0.45	0.17	
NJ	0.46	0.44	0.96	0.38	0.01	0.67	1.27	1.40	1.58	0.97	0.73	1.18	-1.81	-1.50	-1.17	
NP	1.18	1.13	1.68	1.26	0.86	1.50	1.64	1.72	1.90	1.25	0.97	1.48	-1.07	-0.75	-0.39	
EJ	0.69	0.55	1.16	0.75	0.35	0.99	1.16	1.16	1.36	0.89	0.70	1.31	-0.97	-0.80	-0.24	
EP	0.30	0.11	0.93	0.31	-0.17	0.51	0.96	0.91	1.26	0.19	0.05	0.91	-0.53	-0.45	0.20	
WJ	1.59	1.44	2.02	1.83	1.40	1.85	1.35	1.33	1.55	1.47	1.33	2.01	0.62	0.65	1.30	
WP	1.52	1.39	1.95	1.67	1.30	1.68	1.48	1.46	1.70	1.19	1.09	1.73	0.85	0.88	1.54	
OA	0.96	0.90	1.23	0.64	0.42	0.59	1.00	1.01	1.09	1.13	1.21	1.55	0.08	0.01	0.47	

* 塗りつぶしは表6.3.1と同様。



図6.3.4 図6.3.1と同様。ただし、降水量年合計。

6000

表6.3.4 地域ごとの再現性比較(降水量年合計)

Pre		ANN			MAM			JJA			SON			DJF	
diff/SD	KF	ΥS	AS	KF	YS	AS	KF	Ś	AS	KF	γ	AS	KF	YS	AS
JP	1.32	1.85	1.62	0.73	1.08	1.09	0.37	0.64	0.43	0.04	0.15	0.19	3.46	4.14	3.66
NJ	0.91	0.70	0.49	1.54	1.43	2.01	-0.46	-0.61	-0.44	-0.38	-0.53	-1.18	4.00	3.94	2.99
NP	0.82	0.72	0.49	0.50	0.60	0.91	-0.62	-0.86	-1.01	0.35	0.16	-0.24	4.55	5.14	4.84
EJ	1.16	1.38	1.63	1.40	1.75	1.84	1.38	1.12	2.27	-0.64	-0.36	-0.65	0.60	0.95	-0.09
EP	2.01	2.50	2.52	0.66	0.97	0.79	1.31	1.61	1.41	0.48	0.52	0.98	2.79	3.44	3.19
WJ	-0.53	0.14	-0.06	-0.09	0.44	0.32	-0.55	-0.29	-0.29	-0.62	-0.49	-0.63	1.42	1.90	1.64
WP	0.74	1.57	1.12	0.23	0.57	0.45	0.34	0.85	0.23	-0.05	0.21	0.34	1.61	2.10	2.18
OA	0.91	0.60	0.08	0.37	-0.38	-0.47	1.87	1.46	0.19	-0.07	0.02	0.08	-0.13	-0.08	0.06

* 塗りつぶしは表6.3.1と同様。

を超える地点もある。再現性比較では冬に多くの地域で負のバイアスが見られ、特に北日本太平洋側ではどの 積雲対流スキームでも4.5を超えているが、この他の季節では全国平均で概ね1の範囲内に収まっている。積 雲対流スキームによる違いは、ほとんどの季節・地域でASが KFと YSよりも正方向に振れている。

6.4 ブートストラップ法を用いた不確実性評価

6.4.1 バイアス補正

本節では、全国平均した年平均気温及び年降水量のみを対象として、サンプリングに伴う不確実性の評価を 試みる。

ここで、降水量は、積雲対流スキーム間の再現性やバイアスが大きいことを考慮し、バイアスの補正をすべ てのデータに施した後に不確実性の評価を行った。この補正に関しては、アメダス観測値とそれに対応する観 測格子点における現在気候での再現値が、それぞれの日降水量を多いほうから順に並べると線形関係になると 仮定して、最小自乗法による補正係数を現在気候と将来気候の両方に対して適用するという手法を採用してい る。ある地域に対して降水量を補正する場合のイメージを、図6.4.1に示す。

なお、今回は、平均気温に対しては補正を行っていない。

6.4.2 評価手法

将来予測結果における不確実性を考える際には、実験から得られた値そのものから分散を計算した上で、実 験年数が有限(20年)であることによる不確実性も考慮する必要がある。

まず、実験年数が有限であることによる不確実性を考慮しない場合、実験結果の分散から確率情報を得ることができる。単独実験のみを見る場合にはそのまま分散 δ^2 を計算し、その2 乗根(標準偏差)に定数(約1.64。 正規分布の場合、標準偏差の約1.64倍は90%の信頼区間に相当する。)をかけて信頼区間を算出する。

また、さらに複数存在する SST や積雲対流スキームの違いによる不確実性を考慮する場合、それらの確率 情報を合成する必要があることから、本章では、混合分布の考え方を用いて複数実験の確率情報を合成する。 これは、合成の対象となる各実験結果それぞれが独自の真の値を持つものではなく、将来変化の可能性の一部 として捉えられるためである。

一般に、混合分布における平均 m_{eq} と分散 δ_{eq}^2 は、



図6.4.1 降水量バイアス補正の一例。

$$egin{aligned} m_{_{eq}} &= \sum_{_{j=1}^{k}}^{^{k}} w_{_{j}} m_{_{j}} \ \delta_{_{eq}}^{^{2}} &= \sum_{_{j=1}^{k}}^{^{k}} w_{_{j}} (\delta_{_{j}}^{^{2}} + m_{_{j}}^{^{2}}) - m_{_{eq}}^{^{2}} \end{aligned}$$

で得られる。ここで、 m_i は平均、 δ_i は標準偏差、 w_i は全ての和が1になる重み付け、kは混合対象とする分布の数を表す。今回は、複数存在するSSTと積雲対流スキームの設定は、将来それぞれ同様の確率で起こりうると考えて、重み付けは均等に振り分けることとする ($w_i = \frac{1}{k}$)。

次に、実験年数が有限であることによる不確実性を考慮する場合は、上記で算出した分散 δ^2 に対して、その分散を構成している20年平均値自体が持つ分散 δ_M^2 を加算して

 $\delta^2 + \delta_M^2$

を求め、そこから信頼区間を算出する。加算する分散 δ²_Mは、ブートストラップによるサンプリングによって 見積もる。この解析におけるブートストラップによるサンプリングとは、年別値20個(モデル計算期間は20年 間であるので、個数は20である。ブートストラップを行う前のこの年別値を、今後は「生データ」と呼ぶこと にする。)から重複を許して20個取り出す操作を、複数回(今回は計算結果が十分に安定する1万回で設定) 行うことを指す。これにより、生データ(20個)以外に存在し得たと考えられる年別値20年分が、1万通り得 られることになる。この1万回のサンプル間でそれぞれ平均すると、20年平均値が1万回分得られることにな る。ブートストラップによって得られた20年平均値ヒストグラムを描くと、ランダム抽出した各平均値を計算 しているために、釣鐘型の正規分布となる。この分布における分散が、20年平均値自体が持つ不確実性である。 複数の実験の確率情報を合成する場合には、前述の混合分布の考え方を用いて、次式によって計算する。

$$\delta^2_{_M} pprox rac{1}{N} \sum_{\scriptscriptstyle n=1}^{\scriptscriptstyle N} igg(\sum_{\scriptscriptstyle j=1}^{\scriptscriptstyle k} w_{_j} m_{_{j,n}} - m igg)^2$$

ここで、 $m_{j,n}$ はブートストラップサンプルによる平均、mは生データの平均、 δ_M^2 は20年平均値自体が持つ分散、 w_j は全ての和が1になる重み付け(今回は $w_j = \frac{1}{k}$ とする。)、Nはブートストラップの試行回数(今回は $N = 10000_{\circ}$)、kは混合対象とする分布の数を表す。今回行ったブートストラップによる確率情報の取得方法について、その概略を図6.4.2に示す。



図6.4.2 ブートストラップ手法の概念図。

6.4.3 年平均気温の評価結果

上記の手法を年平均気温に適応した結果得られた現在気候と将来気候との差は図6.4.3、表6.4.1のとおりである。

図6.4.3(a)では物理実験をすべて YS スキームに揃えた場合の各 RCP シナリオでの将来変化を見ることがで きるが、これを見ると、将来気候の年平均では、RCP シナリオが想定する排出量が多くなるほど、将来の昇 温量が増加していることが分かる。図6.4.3(c)においては、積雲対流スキームによる将来変化の違いを見るこ とができるが、これを見る限り、平均値においても信頼区間においても、年平均気温においては明確なスキー ム間の差が見られないことが分かる。図6.4.3(b)は、全ての現在気候実験と全ての RCP8.5シナリオ実験を混合 した場合の将来変化である。

また、気象庁(2013)の「地球温暖化予測情報第8巻」における予測情報では、21世紀末(2076~2095年を 想定)における将来変化として、SRESのA1Bシナリオを用いて、現在気候(1980~1999年を想定)から3℃



図6.4.3 年平均気温の将来変化(°C)

棒グラフの下には対応する実験名(表6.2.2参照)が記されており、縦に実験名が並んでいる棒グラフではそ れらの実験が混合分布によって合成された後の結果になっていることを示している。棒グラフは現在気候と 将来気候との差を表しているが、これはブートストラップを行う前の生データから算出したものである。こ こでの差は、現在気候と将来気候それぞれで使用している積雲対流スキームを揃えてから計算している(各 図において示されている棒グラフの高さは、各図の最も左側に位置する現在気候実験からの差である。)。また、 縦棒は年々変動の信頼区間を示しており、生データの分散に対してブートストラップによって見積もられた 不確実性の分散を上積みしてから算出されている。

(a) YS スキームの結果。RCP による違い。(b) RCP8.5の全実験を平均。(c) 積雲対流スキームによる違い。

実験名	将来変化(℃)	信頼区間
HPA_m02		± 0.7
HPA_as_m02		± 0.7
HPA_kf_m02		± 0.7
HPA_as_m02 HPA_kf_m02 HPA_m02		± 0.7
HFA_rcp26_c1 HFA_rcp26_c2 HFA_rcp26_c3	1.1	± 0.6
HFA_rcp45_c1 HFA_rcp45_c2 HFA_rcp45_c3	2.0	± 0.7
HFA_rcp60_c1 HFA_rcp60_c2 HFA_rcp60_c3	2.6	± 1.0
HFA_rcp85_c1 HFA_rcp85_c2 HFA_rcp85_c3	4.4	± 1.0
HFA_as_rcp85_c1 HFA_as_rcp85_c2 HFA_as_rcp85_c3	4.4	± 1.0
HFA_kf_rcp85_c1 HFA_kf_rcp85_c2 HFA_kf_rcp85_c3	4.5	± 0.9
HFA_as_rcp85_c1 HFA_kf_rcp85_c1 HFA_rcp85_c1 HFA_as_rcp85_c2 HFA_kf_rcp85_c2 HFA_rcp85_c2 HFA_as_rcp85_c3 HFA_kf_rcp85_c3 HFA_rcp85_c3	4.4	±1.0

表6.4.1 年平均気温の将来変化(℃)

* 実験名(表6.2.2参照)において、横に実験名が並んでいる行ではそれらの実験が混合 分布によって合成された後の結果となっている。将来変化とは、現在気候と将来気候 との差を表しているが、これはブートストラップを行う前の生データから算出したも のである。ここでの差は、現在気候と将来気候それぞれで使用している積雲対流スキー ムを揃えてから計算している。また、信頼区間は、生データの分散に対してブートス トラップによって見積もられた不確実性の分散を上積みしてから算出されている。

程度の上昇を予測していた。この結果を図7.4.3(a)と比較すると、今回の実験における RCP6.0シナリオの高温 側の範囲に相当することが分かる。このことは、SRES シナリオにおける A1B シナリオは RCP6.0シナリオに おおよそ対応すると報告した論文(van Vuuren and Carter, 2013)とも整合する。

6.4.4 年降水量の評価結果

年降水量に適応した結果得られた現在気候と将来気候との差は図6.4.4、表6.4.2のとおりである。図6.4.4(a) では積雲対流スキームをすべて YS に揃えた場合の各 RCP シナリオでの将来変化を見ることができるが、これ を見る限り、将来気候の年積算では、どの RCP シナリオにおいても平均値で見ると将来の積算降水量は現在 を上回ってはいるものの、年々変動による影響が大きいために、どの RCP シナリオにおいても将来の積算降 水量の増減については年々変動以上の効果としては捉えることができていない。図6.4.4(c)は、積雲対流スキー ムによる積算降水量の将来変化の違いである。この場合においても、将来の積算降水量の増減は年々変動によ る幅の範囲内となっている。将来変化量に着目すると、積雲対流スキームの違いによって雨の降り方に違いが 現れており、例えば Kain-Fritsch スキームでは、将来における積算降水量の増加が他のスキームに比べて大き く現れている。なお、積算降水量の変化量ではなく絶対値で見た場合、現在気候においても将来気候におい ても、Arakawa-Shubert スキーム、Yoshimura スキーム、Kain-Fritsch スキームの順で、積算降水量の絶対値は より大きくなっている(表略)。図6.4.4(b)は、全ての現在気候実験と全ての RCP8.5シナリオ実験を混合した 場合の将来変化であるが、こちらも同様に、積算降水量の将来変化については年々変動以上の変化は見られな かった。











図6.4.4 年積算降水量の将来変化(mm)

棒グラフの下には対応する実験名(表6.2.2参照)が記されており、縦に実験名が並んでいる棒グラフではそ れらの実験が混合分布によって合成された後の結果になっていることを示している。棒グラフは現在気候と 将来気候との差を表しているが、これはブートストラップを行う前の生データから算出したものである。こ こでの差は、現在気候と将来気候それぞれで使用している積雲対流スキームを揃えてから計算している(各 図において示されている棒グラフの高さは、各図の最も左側に位置する現在気候実験からの差である。)。また、 縦棒は年々変動の信頼区間を示しており、生データの分散に対してブートストラップによって見積もられた 不確実性の分散を上積みしてから算出されている。

(a) YS スキームの結果。RCP による違い。(b) RCP8.5の全実験を平均。(c) 積雲対流スキームによる違い。

表642	年積寛隆水量の将来変化	(mm)
120.4.4	十個异性小里~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	(111111)

実験名	将来変化 (mm)	信頼区間
HPA_m02		± 353.3
HPA_as_m02		± 360.7
HPA_kf_m02		± 272.0
HPA_as_m02 HPA_kf_m02 HPA_m02		± 325.9
HFA_rcp26_c1 HFA_rcp26_c2 HFA_rcp26_c3	48.7	± 297.8
HFA_rcp45_c1 HFA_rcp45_c2 HFA_rcp45_c3	30.3	± 297.0
HFA_rcp60_c1 HFA_rcp60_c2 HFA_rcp60_c3	58.3	± 306.8
HFA_rcp85_c1 HFA_rcp85_c2 HFA_rcp85_c3	71.3	± 337.7
HFA_as_rcp85_c1 HFA_as_rcp85_c2 HFA_as_rcp85_c3	-10.4	± 304.4
HFA_kf_rcp85_c1 HFA_kf_rcp85_c2 HFA_kf_rcp85_c3	194.6	± 334.9
HFA_as_rcp85_c1 HFA_kf_rcp85_c1 HFA_rcp85_c1	85.2	± 359.3
HFA_as_rcp85_c2 HFA_kt_rcp85_c2 HFA_rcp85_c2 HFA_as_rcp85_c3 HFA_kt_rcp85_c3 HFA_rcp85_c3		

* 実験名の見方は表6.4.2と同様。

参考文献

- 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, 2013: Climate change, 2013: The physical science basis. Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5) (Cambridge Univ Press, New York).
- Mizuta, R., O. Arakawa, T. Ose, S. Kusunoki, H. Endo, and A. Kitoh, 2014: Classification of CMIP5 future climate responses by the tropical sea surface temperature changes. *SOLA*, **10**, 167–171, doi:10.2151/sola.2014-035.
- van Vuuren, D. P., and T. R. Carter, 2014: Climate and socio-economic scenarios for climate change research and assessment: reconciling the new with the old. *Climatic Change*, **122**, 415-429.

気象庁, 2013: 地球温暖化予測情報 第8卷.

- 中央環境審議会・地球環境部会・気候変動影響評価等小委員会,2014:日本における気候変動による将来影響の報告と今後の課題について(中間報告).
- 文部科学省・気象庁・環境省,2013:気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート「日本の気候変動とその影響」(2012年度版).
- 文部科学省,2014: 文部科学省委託事業 気候変動リスク情報創生プログラム 平成25年度研究成果報告会資料.