

地球温暖化予測情報 第9巻

IPCCのRCP8.5シナリオを用いた
非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測

刊行にあたって

2016 年の世界と日本の年平均気温は、統計開始以来、最も高い値となった。世界の年平均気温は、3 年連続での最高値の更新であった。また、日本では大雨の頻度が増加しており、地球温暖化による影響が既に現れていると考えられる。

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第 5 次評価報告書（2013～2014 年）では、気候システムの温暖化には疑う余地がなく、人間による影響が 20 世紀半ば以降に観測された温暖化の支配的な原因であった可能性が極めて高いことが示されている。また、追加的な緩和策を行わず、温室効果ガス濃度が最も多くなるシナリオの場合（RCP8.5 シナリオ）、21 世紀末における世界平均気温が 20 世紀末に比べ 2.6～4.8℃ 上昇するとしている。

2015 年 12 月、国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会合（COP21）において、参加する全ての国や地域が地球温暖化対策に取り組む「パリ協定」が採択された。我が国では 2015 年 11 月に「気候変動の影響への適応計画」、2016 年 5 月に「地球温暖化対策計画」を閣議決定し、2016 年 11 月にはパリ協定を批准した。今後は、同協定の下、温室効果ガスの排出を抑制し気温上昇の進行を緩やかにする「緩和策」、避けられない気候変動に対しては、人や社会、経済のあり方を気候変動に合わせて変えていく「適応策」が進められることとなった。

気象庁では、地球温暖化の科学的理解についての普及啓発や、緩和策及び適応策の検討に資する気候変動予測を提供するため、我が国の地形、気候特性等を考慮した予測計算の結果をもとに、我が国及び周辺の地域の将来の気候変動を「地球温暖化予測情報」として取りまとめ、1996 年度より 8 回にわたって公表してきた。これらの結果は、地球温暖化に伴う影響評価研究や適応策の検討に利用されている。

今般ここに取りまとめた「地球温暖化予測情報第 9 巻」では、「同 第 8 巻」と同様に解像度の高い気候モデルを用いて 21 世紀末を対象に予測計算を行った。また、本巻は、防災などの分野における地球温暖化の影響評価に不可欠な、地球温暖化による影響が最も大きく現れる場合の情報を提供するため、上記の RCP8.5 シナリオに基づいている。その結果、そのような、いわば最悪のケースでは、滝のように降る 1 時間 50mm 以上の雨の年間発生回数は、全国平均で 2 倍以上になることなどが明らかになった。また、今回初めて複数回の予測計算を行うことで、予測結果の不確実性や信頼性をあわせて評価した。本情報が、地方公共団体や関係機関による適応策検討や影響評価研究の基礎資料として広く活用されることを期待している。

最後に、本書の査読にあたってご協力をいただいた気候問題懇談会検討部会の近藤洋輝部会長をはじめ委員各位に厚く御礼を申し上げる。

平成 29 年 3 月

気象庁 地球環境・海洋部長 長谷川 直之

地球温暖化予測情報第9巻 目次

本書の概要	I
第1章 はじめに	1
第1節 予測計算の概要	1
第2節 海面水温データ	2
第3節 解析方法	3
第4節 利用にあたっての留意点	5
第2章 気温の将来予測	7
第1節 平均気温	7
第2節 最高気温	11
第3節 最低気温	14
第4節 猛暑日	17
第5節 真夏日	18
第6節 夏日	19
第7節 熱帯夜	20
第8節 冬日	21
第9節 真冬日	22
第3章 降水の将来予測	23
第1節 降水量	23
第2節 大雨の発生回数	27
第3節 短時間強雨の発生回数	30
第4節 年最大日降水量	32
第5節 無降水日数	33
コラム 熱帯低気圧	35
第4章 積雪・降雪の将来予測	36
第1節 最深積雪	36
第2節 降雪量	39
資料	
1. 人為起源による放射強制力の変化のシナリオ	A 1
2. 本書での不確実性の評価	A 3
3. 地域気候モデルの気候再現性、バイアス補正	A 4
4. 将来変化の詳細	A 16

参考文献

謝 辞

【概要】

21 世紀末（将来気候、2076～2095 年）には、20 世紀末（現在気候、1980～1999 年）と比較して、日本付近では以下のような変化が予測される。

ここで、本書における気候変化の予測は、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第 5 次評価報告書で用いられた 4 つの RCP シナリオのうち、最も温室効果ガスの排出が多いシナリオ（RCP8.5 シナリオ：現時点を超える政策的な緩和策を行わないことを想定）に基づいている（詳細は【資料 1】を参照）。また、異なる海面水温上昇パターンに基づく複数の予測計算を行うことで、現実にあった気候の年々変動に基づいた不確実性を評価している（詳細は【資料 2】を参照）。

気温の将来予測

- 年平均気温は、全国平均で 4.5℃上昇するなど、全国的に有意に上昇する。地域別にみると、北日本日本海側で 4.8℃、北日本太平洋側で 4.9℃、東日本日本海側で 4.5℃、東日本太平洋側で 4.3℃、西日本日本海側で 4.1℃、西日本太平洋側で 4.1℃、沖縄・奄美で 3.3℃上昇するなど、高緯度地域ほど上昇が大きい（図 S1、2.1 節）。これは、例えば、東日本太平洋側に属する東京の場合、現在（1981～2010 年観測値の平均値）の年平均気温が 15.4℃なので、21 世紀末には 4.3℃上昇することで、現在の屋久島（年平均気温 19.4℃）に近い値になることに相当する¹。
- 年平均した最高気温及び最低気温も全国的に有意に上昇する。最低気温の上昇量は、平均気温や最高気温よりも大きい（2.2、2.3 節）。
- 猛暑日（最高気温が 35℃以上の日）となるような極端に暑い日の年間日数は、沖縄・奄美で 54 日程度増加するなど、全国的に有意に増加する（図 S2、2.4 節）。これは、例えば、沖縄・奄美に属する那覇の場合、現在（1981～2010 年観測値の平均値）の年間日数が 0.1 日なので、21 世紀末には約 54 日に増加することに相当する¹。
- 真夏日（最高気温が 30℃以上の日）、夏日（最高気温が 25℃以上の日）及び熱帯夜（夜間の最低気温が 25℃以上の日）²の年間日数も全国的に有意に増加する（2.5～2.7 節）。
- 真冬日（最高気温が 0℃未満の日）となるような極端に寒い日の年間日数は、北日本日本海側で 38 日程度、北日本太平洋側で 32 日程度減少するなど、沖縄・奄美を除いて全国的に有意に減少する（2.9 節）。これは、例えば、北日本日本海側に属する札幌の場合、現在（1981～2010 年観測値の平均値）の年間日数が 45.0 日なので、21 世紀末には約 7 日に減少することに相当する¹。
- 冬日（最低気温が 0℃未満の日）の年間日数も、沖縄・奄美を除いて全国的に有意に減少する（2.8 節）。

¹ あくまでも地域平均した将来変化量を単純に加えた（減じた）場合である。

² 本書では、最低気温が 25℃以上の日を便宜的に熱帯夜とする。

(概要)

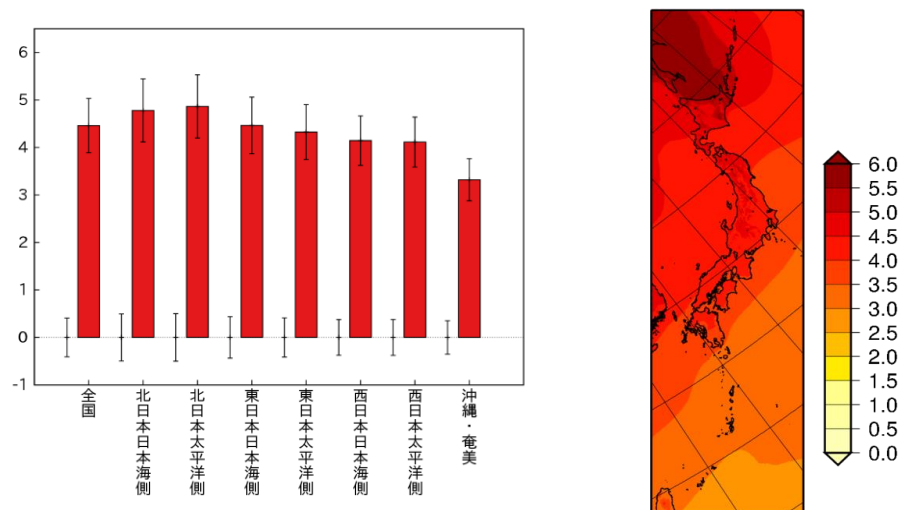


図 S1 年平均気温の地域別変化量（左）と変化分布図（右）（単位：°C）

（左）棒グラフは平均の変化量、細縦線は現れやすい年々変動の幅（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）。
（右）将来気候と現在気候との差の分布図。

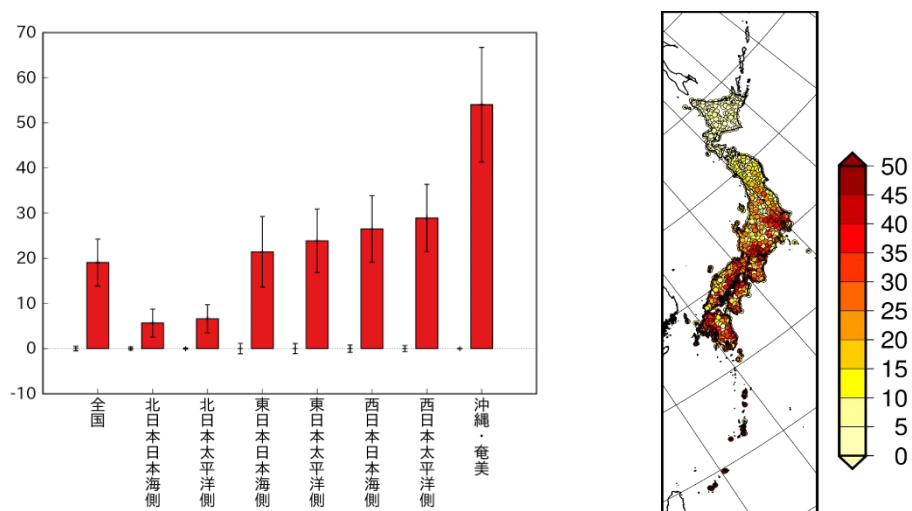


図 S2 猛暑日の年間日数の地域別変化量（左）と変化分布図（右）（単位：日／地点）

（左）棒グラフは平均の変化量、細縦線は現れやすい年々変動の幅（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）。
（右）将来気候と現在気候との差の分布図（増減傾向の信頼度の高い地点のみ表示）。

降水の将来予測

- 年降水量や季節ごとの3か月降水量は、年々変動の幅が大きく、ほぼ全国的に有意な変化がみられない（3.1節）。
- 日降水量200mm以上となるような大雨の年間発生回数は全国的に有意に増加し、全国平均では2倍以上となる（3.2節）。
- 滝のように降る雨（1時間降水量50mm以上の短時間強雨）の年間発生回数は全国的に有意に増加し、全国平均では2倍以上となる（図S3、3.3節）。
- 雨の降らない日（日降水量が1mm未満の日）の年間日数は全国的に有意に増加し（図S4）、特に冬の日本海側での増加が顕著である（3.5節）。

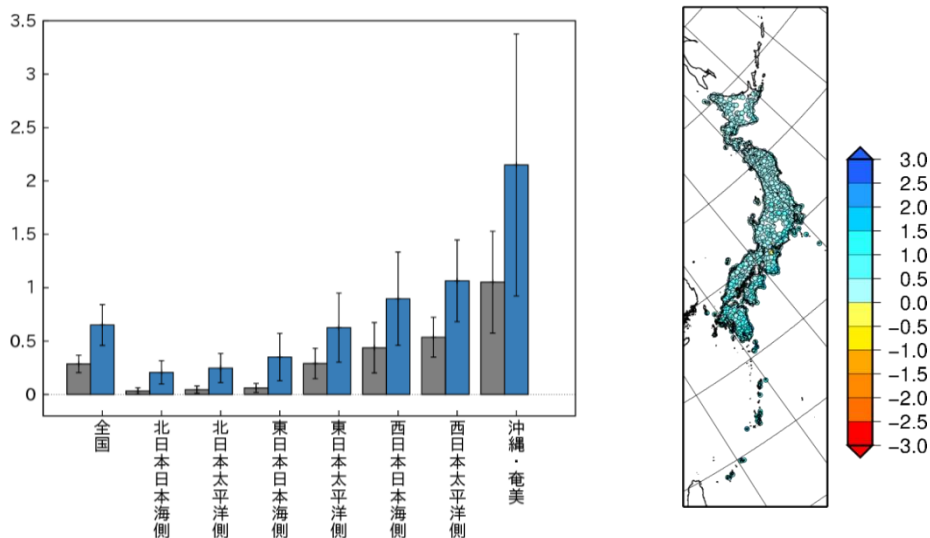


図 S3 滝のように降る雨の地域別の年間発生回数（左）と変化分布図（右）（単位：回／地点）

（左）棒グラフは平均発生回数、細縦線は現れやすい年々変動の幅（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）。

現在気候は観測値とは異なることに注意。

（右）将来気候と現在気候との差の分布図（増減傾向の信頼度の高い地点のみ表示）。

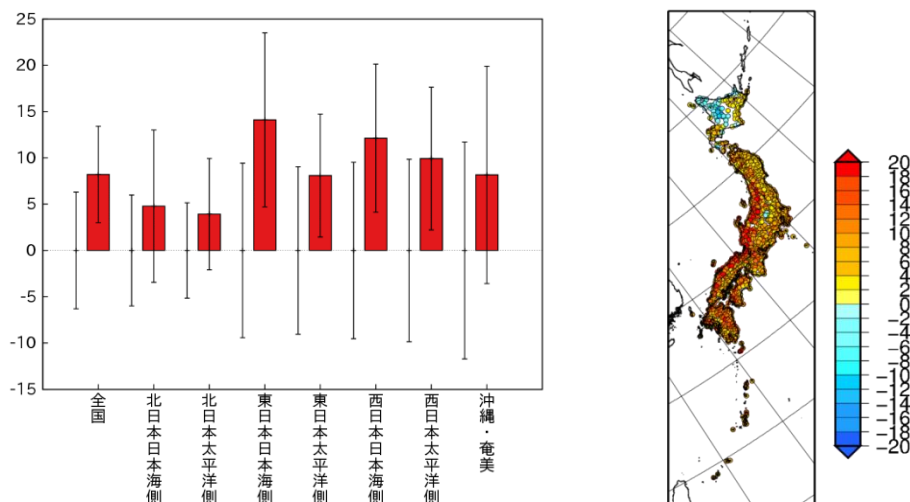


図 S4 雨の降らない日の年間日数の地域別変化量（左）と変化分布図（右）（単位：日／地点）

（左）棒グラフは平均の変化量、細縦線は現れやすい年々変動の幅（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）。

（右）将来気候と現在気候との差の分布図（増減傾向の信頼度の高い地点のみ表示）。

(概要)

積雪・降雪の将来予測

- 年最深積雪及び年降雪量は、北海道内陸の一部地域を除き、全国的に有意に減少しており、特に本州日本海側での減少が大きい。しかし、将来気候においても現在気候と同程度の降雪量となる年があり得る（図 S5、4.1、4.2 節）。
- 積雪期間や降雪期間のはじめと終わりにおける減少が明瞭で、それらの期間は短くなる。最深積雪のピークは 1 か月程度早くなり、降雪量のピークは 1 か月程度遅くなる地域が多い（図 S5、4.1、4.2 節）。

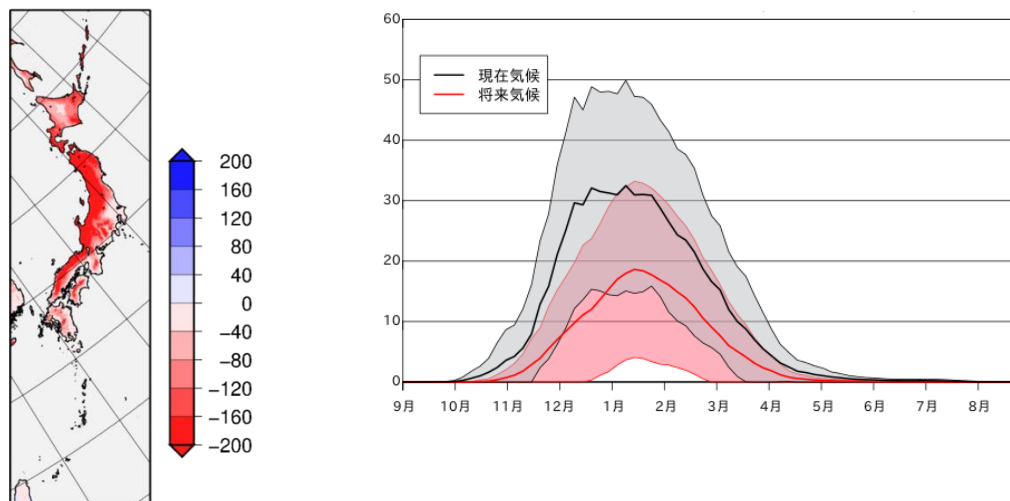


図 S5 年降雪量の変化分布図（左）と東日本日本海側での降雪量の季節進行の変化（右）（単位：cm）

（左）将来気候と現在気候との差の分布図。

（右）黒は現在気候、赤は将来気候。それぞれ、折線は半月ごとの平均的な値、陰影は半月ごとの現れやすい年々変動の幅を 1 年分示す。

第1章 はじめに

1.1 予測計算の概要

本書で解析した予測情報は、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」(平成24～28年度)のもと、気象庁気象研究所が開発した水平解像度5kmの非静力学地域気候モデル(NonHydrostatic Regional Climate Model; NHRCM05)(Sasaki *et al.*, 2011)を用いた将来予測計算の結果に基づく。実行にあたっては、同じく気象庁気象研究所が開発した水平解像度20kmの全球大気モデル(MRI-AGCM3.2S)(Mizuta *et al.*, 2012)に海面水温・海氷被覆データを境界条件として与え、20世紀末20年分(1980～1999年、以下、現在気候とする)及び21世紀末20年分(2076～2095年、以下、将来気候とする)の計算を行った。次に、それらの結果を境界条件として、日本とその周辺を対象としてNHRCM05による計算を行った(図1.1-1参照)。

なお、今回の計算で用いたNHRCM05は「地球温暖化予測情報第8巻」(気象庁, 2013)(以下、「第8巻」とする)で用いられたものとほぼ同じであるが、鉛直方向を高分解能化(40層から50層へ)したほか、降水過程において海陸の雲底高度の違いや島の面積を考慮したことなどで、特に沖縄・奄美での降水量の再現性が改良されている(文部科学省研究開発局, 2016 など)。

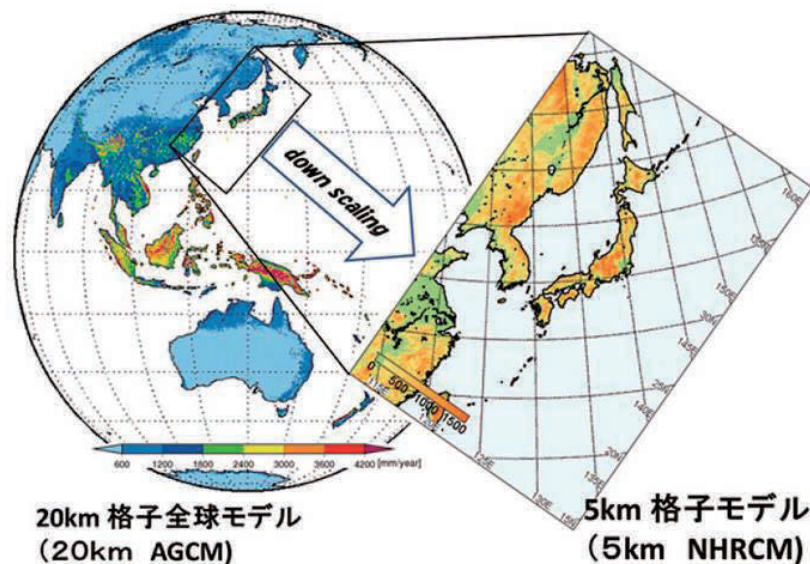


図1.1-1 NHRCM05で計算を行った領域(文部科学省研究開発局, 2014より引用)

本予測計算で与えられた温室効果ガス濃度の見通しは、IPCC第5次評価報告書第1作業部会報告書(IPCC, 2013)(以下、AR5とする)で用いられたRCP8.5シナリオ(高位参照シナリオ: 現時点を超える政策的な緩和策を行わないことを想定)を基にしている。このRCP8.5シナリオは、想定されている4つのRCPシナリオのうち最も温室効果ガスの排出が多く、予測される気温の上昇や大雨の頻度の増加が最も大きいことから、防災分野をはじめとして、地球温暖化による影響が最も大きな場合を想定した影響評価研究に不可欠なシナリオである(詳細は【資料1】を参照)。

また、本書の大きな特徴は、4種類の海面水温変化パターン(詳細は1.2節を参照)それぞれに対してMRI-AGCM3.2S及びNHRCM05による計算(アンサンブル実験¹)を行ったため、4種類(メンバー)の予測結果に基づいた不確実性の定量的な評価を行っていることである。

これまでの地球温暖化予測は、計算機資源の限界などから、現在気候、将来気候ともに20年程度の計算を1回ずつ行うことが多かった。このため、気候モデル(MRI-AGCM3.2SやNHRCM05

¹ 初期値にある観測(解析)誤差程度のわずかな違いや数値モデルの不完全性に基づくばらつきなどをもとに複数の計算を行い、それぞれの結果を統計的に処理する予測手法。

などの総称)の信頼性自体は現在気候の再現性を評価することで確認できるが、将来気候における数年から数十年周期の自然変動の影響に伴う不確実性は定量的に評価することができなかった。この不確実性は、降水量の将来変化において特に顕著である(詳細は1.4節を参照)。しかし、本書では4メンバーの予測計算を行うことで、単一の気候モデルではあるが、20年平均値が4つ、年々変動には80年分(20年×4メンバー)のデータを用いることができた。このため、これらのデータの相互比較などにより、予測結果のばらつき具合に基づく不確実性の幅、信頼性の評価を行うことができた(詳細は【資料2】を参照)。

なお、都市化が進行した地域ではヒートアイランド現象に伴い局地的に気温が高くなるが(気象庁, 2016)、NHRCM05では都市化による影響は考慮されていない。このため、本書では、ヒートアイランド現象に伴う影響は評価していない。

1.2 海面水温データ

MRI-AGCM3.2S、NHRCM05とも大気の変動のみを予測計算する気候モデルであるため、海面水温(SST)データを別に用意し、与える必要がある。本予測計算では、Mizuta *et al.*(2014)に基づき、RCP8.5シナリオ下での4通りの予測結果を用いた。

具体的には、まず、第5次大気海洋結合モデル相互比較プロジェクト(Coupled Model Intercomparison Project Phase 5; CMIP5)で行われたRCP8.5シナリオ下での各国の全球大気海洋結合モデルから28モデル²を選択して、全モデルによる平均値を将来の海面水温の変化量の1つとする(図1.2-1(a))。次に、降水や大気循環に大きな影響を与える熱帯域のSST変化を対象にクラスター解析を行い3パターンに分類する。そして、各パターンにおいて選択されたモデルのSST分布を平均した上で、熱帯域における平均したSSTの昇温量が28モデルによる平均値と同じになるように全球のSSTの昇温量を規格化する(図1.2-1(b)~(d))。MRI-AGCM3.2S及びNHRCM05を用いて将来気候を計算する際は、現在の観測値(平均値及び年々変動)にこれらのSST将来変化パターンを加えたものを与えている。

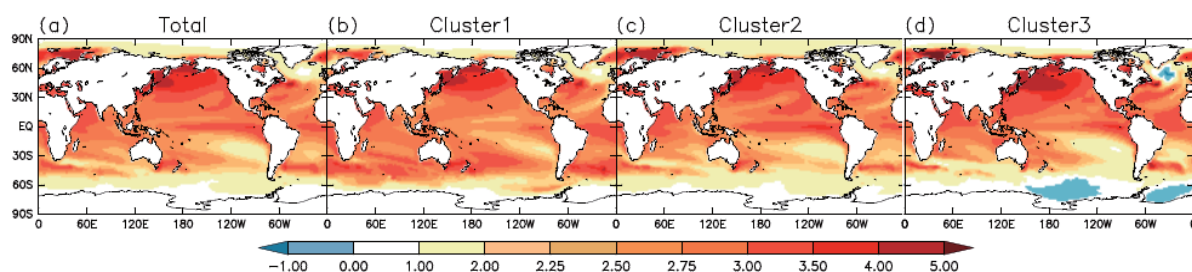


図 1.2-1 SST 分布の異なる4パターン(将来変化)

Mizuta *et al.*(2014)より引用。熱帯域のSSTの昇温量が同じになるように規格化している。

(a)28モデル平均で熱帯太平洋中～東部での昇温が大きく、エルニーニョ的な変化を示す。

(b)クラスター1(8モデル):熱帯太平洋中～東部での昇温が小さく、南北半球間のコントラストも小さい。

(c)クラスター2(14モデル):(a)よりもさらにエルニーニョ的な変化を示す。

(d)クラスター3(6モデル):熱帯太平洋中～東部での昇温が小さく、南北半球間のコントラストが大きい。

² CMIP5に提出された約60モデルの予測計算結果のうち、現在気候、RCP2.6シナリオ、RCP4.5シナリオ、RCP8.5シナリオが計算されている28モデルを選択。

1.3 解析方法

本書では、1時間ごとの計算結果（時別値）から日別値や年別値等を計算している（表 1.3-1）。これらの結果を用いて、将来気候における変化予測は、4メンバーの将来気候の気候値（20年平均値）の平均と現在気候の気候値（20年平均値）との差または比として示している（図 1.3-2(a)）。また、地域別の解析においては、日本列島の気候特性と行政界を考慮して設定された7つの地域区分（北日本日本海側、北日本太平洋側、東日本日本海側、東日本太平洋側、西日本日本海側、西日本太平洋側、沖縄・奄美；図 1.3-1）ごとに統計した結果として示している。予測として示している数値は、各地域区分内での平均または積算であって、特定の地点を代表するものではないことに留意が必要である。なお、沖縄・奄美の積雪及び降雪に関する予測については、現在の気候において観測される絶対量が少ないため、本書では解析を行っていない。

地域平均として示している要素については、将来気候と現在気候の差を棒グラフで示し、年々変動のばらつき（標準偏差）を黒い縦棒で示している（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）（図 1.3-2(b)）。将来気候の年々変動については、Wakamatsu *et al.* (2017)に基づき、4メンバー間のばらつき、20年間の年々変動のばらつきを算出している（詳細は【資料 2】を参照）。将来変化量が現在気候の年々変動のばらつきから離れていれば、現在気候では稀にしか観測されないような状況が将来は例年のように現れることを示唆する。将来変化の有意性の検定には、Mann-Whitney 検定を用い、信頼度水準 90%以上（両側）で有意な場合のみ「有意に増加（減少）している」と表現し、数値を赤字（青字）で表示した。なお、冬日と真冬日の日数、降水量、積雪及び降雪に関する項目については、増加（減少）を青字（赤字）で表示した。

また、気温の階級別日数、降水の階級別日数及び発生頻度については、気候モデルの出力値を観測データと比較してバイアス補正した上で変化量を算出しており（【資料 3】参照）、観測地点に対応する格子点のみを用いている。本書ではこれらの結果を、4メンバーの増減傾向が全て一致し、その変化傾向の信頼性が高いと考えられる格子点のみ 4メンバー平均値を分布図上に示している（現在気候及び将来気候ともに数値が 0 の場合は表示対象外としている）（図 1.3-2(c)）。また、図 1.3-2(b)のような地域平均を棒グラフで示した図も、バイアス補正した値で評価している。

地域ごとの季節進行図については、通年半旬別値（表 1.3-1）とその年々変動の幅を現在気候及び将来気候で示している（図 1.3-2(d)）。この図で用いる値は、【資料 3】で述べるような補正を行っていないため、バイアスを含んでいる可能性があり、数値をそのまま用いることは適切ではない。このことから、縦軸は現在気候の年平均値を基準とした偏差で示していることに注意する必要がある³。

表 1.3-1 本書における統計値の計算方法（この他は、気象観測統計指針による）

統計値	計算方法
日別値	10時～翌9時（世界標準時の1時～24時）の時別値（モデル出力値）を用いる。
通年半旬別値	1月1日に始まる5日ごとの期間で1年を73半旬に分けた個々の期間について、日別値から求める。ただし、第12半旬は2月25日から3月1日までとし、平年では5日間、うるう年では6日間とする。
月別値	当該月の1日から末日までの1か月間について、日別値から求める。
3か月別値	2月、5月、8月、11月の、前々月から当該月までの3か月間について、月別値から求める。それぞれ、冬、春、夏、秋として扱う。
年別値	9月から翌8月までの1年間について、月別値から求める。

³ ただし、雪の場合（図 4.1-3 及び図 4.2-3）は、現在気候の年平均値を基準とした偏差で示しておらず、現在気候及び将来気候の計算値をそのまま図示している。これは、暖候期において数値が 0 となることは明らかであり、縦軸の調整を行うことで不自然に見えるためである。

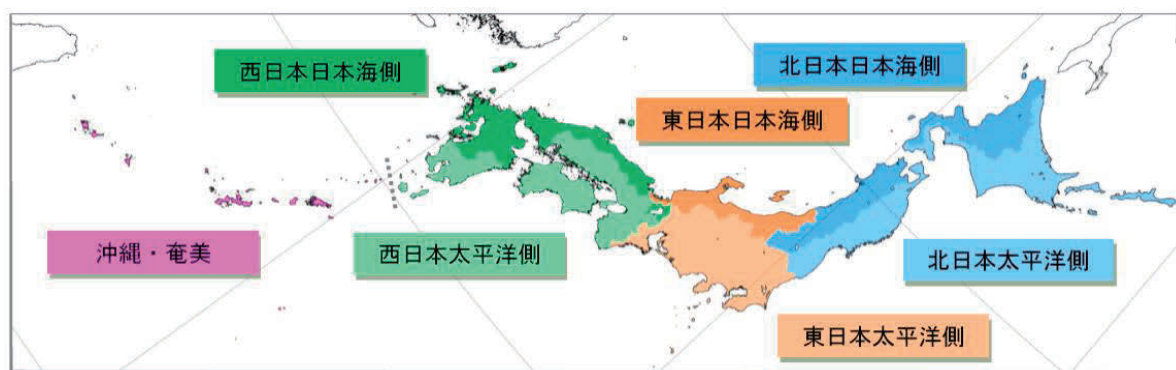
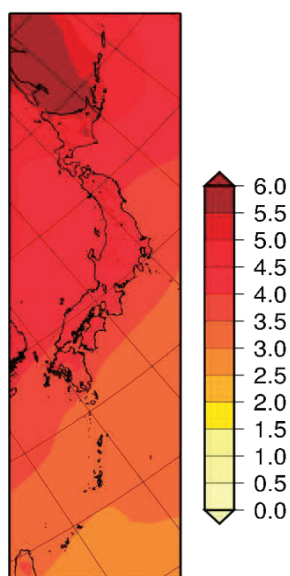
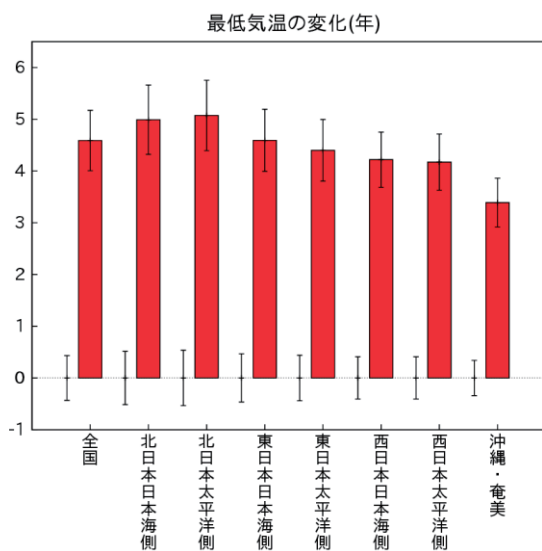


図 1.3-1 予測データの解析に用いる地域区分

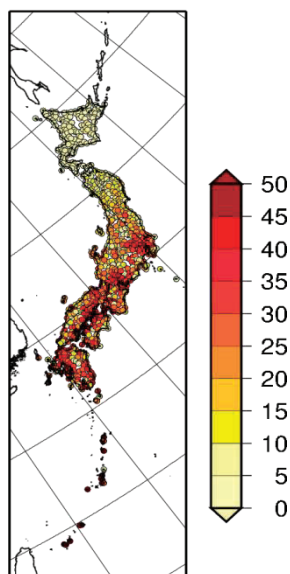
(a)



(b)



(c)



(d)

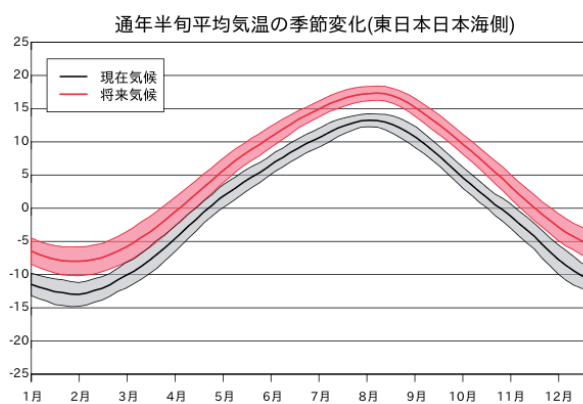


図 1.3-2 (a) 将来における変化予測分布図の例 (年平均気温)、(b) 地域平均及び年々変動のばらつきを示すグラフの例 (年最低気温)、(c) 階級別日数等の分布図の例 (年間猛暑日日数)、(d) 地域ごとの季節進行図の例 (平均気温)

1.4 利用にあたっての留意点

本書の情報を利用するにあたっては、以下の点に留意する必要がある。

① 気候モデルによる計算結果には特有のバイアスがある

気候モデルは現実の大気や海洋の運動を完璧に再現できるものではなく、計算結果には気候モデル特有の系統誤差（気候モデルが持つ特徴的な偏向、バイアス）が含まれている。このため、気候モデルによる予測値をそのまま利用するのは適切ではない。本書では、現在気候におけるバイアスが将来気候にも同じように現れるという前提のもとで、予測データを統計的に補正したものや、現在気候に対する将来気候の変化量（比）は、ある程度このバイアスの影響が除去されていると考える。

また、気候モデルの地形（山岳の起伏、海岸線、都市の存在など）も現実のものと完全に一致するものではない上、気候モデルで再現できる現象のスケールは、水平解像度の数倍程度以上のものである。これを踏まえ、特定の地点（格子点）の結果に着目するのではなく、都道府県レベルなどある程度の広がりを持つ領域を対象として結果を解釈する必要がある。

② 地球温暖化予測では大気や海洋の自然変動のタイミングは予測対象ではない

エルニーニョ現象やラニーニャ現象などが繰り返し発生するように、大気と海洋は本来、さまざまな時空間規模で変動している。自然の大気や海洋の変動を模した気候モデルによるシミュレーション結果にも、さまざまな種類の自然変動が、温室効果ガス濃度の増加に伴う長期変化に重なって現れる。しかし、気候モデルで数年以上先の自然変動の振幅や位相（高温期や低温期のタイミング）までを正確に予測することは現状では不可能である。そのため、気候モデルの予測結果に現れる年々～数十年周期の自然変動は、地球温暖化予測の観点からは意味を持たない変動成分である。このような自然変動の影響を完全に取り除くことは困難であるが、十分長い期間にわたる計算結果を解析することで、地球温暖化に伴う長期的な気候の変化を抽出することができる。本書で現在気候、将来気候ともに20年間の統計値を用いているのはこのためである。

③ 気温に比べ、降水量の変化予測は不確実性が大きい

降水量の変化予測は、台風や梅雨期の大雨等の顕著現象の発生頻度や程度に大きく影響される。このような降水の顕著現象は気温等に比べて空間代表性が小さく（狭い地域で集中的に雨が降る等）、また発生頻度が稀であるため、解析に利用できる標本の数に限られ、確からしい系統的な変化傾向の検出が難しくなる場合がある。このため、降水量については、特定の狭い地域の変化傾向に着目せず、広域的に平均や積算した傾向として把握することで、このような問題をある程度低減することができる。

④ 地域レベルの気候変動予測では不確実性が大きくなる

地域的な気候の変化には、世界規模や大陸規模で平均的に現れる変化に比べて、エルニーニョ現象など大気・海洋の自然変動の影響が現れやすくなる。このため、地域レベルで予測される変化傾向が、より広域で見た場合の傾向と一致し、地球温暖化の影響と考えて良いかどうかという検討を行う必要がある。

⑤ 温室効果ガス排出量により将来予測結果は異なる

本書ではRCP8.5シナリオを前提とした予測結果を取りまとめたが、異なる将来予測のシナリオを採用すれば予測結果は大幅に変わる可能性がある（【資料1】参照）。また、将来予測のシナリオはあくまでも仮定に基づくものであり、実際の温室効果ガス排出量や大気中の温室効果ガス濃度は今後の社会・経済の動向に大きく左右される。

⑥ 同一の気候モデルによる4種類の計算結果である

AR5 では、RCP8.5 シナリオの予測において、世界各国の研究機関等による 39 種類の気候モデルによる予測結果が用いられており、その結果、1986～2005 年平均に対する今世紀末 (2081～2100 年) の世界平均気温の上昇量が $2.6\sim 4.8^{\circ}\text{C}$ となることを示している。このばらつき具合は、各気候モデルの違いによるものである。

一方、本書では、SST が異なる 4 メンバーの予測結果が用いられているものの、どれも同じ気候モデルによる予測結果である。このため、基本的には同じバイアスが現れていると考えられる。また、与えられた 4 種類の SST はどれも熱帯域の SST の上昇量が同じになるように規格化されていることから、世界的な温暖化の程度も大きくは異なっていないと考えられる。この点において、本書における不確実性は、AR5 によるものとは異なる。

第2章 気温の将来予測

2.1 平均気温

図 2.1-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候¹と将来気候²の平均気温の差の分布を示したもの、図 2.1-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた年及び季節ごとの現在気候と将来気候の平均気温の差を示したもの、図 2.1-3 は、季節進行の将来変化をみるために、地域気候モデルによる現在気候及び将来気候の地域ごとの平均気温の通年半旬別値（表 1.3-1）を 1 年分示したものである。

年平均気温は、全国平均で 4.5℃上昇するなど、全国的に有意に上昇する。地域別にみると、北日本日本海側で 4.8℃、北日本太平洋側で 4.9℃、東日本日本海側で 4.5℃、東日本太平洋側で 4.3℃、西日本日本海側で 4.1℃、西日本太平洋側で 4.1℃、沖縄・奄美で 3.3℃上昇するなど、高緯度地域ほど上昇が大きい（図 2.1-1、図 2.1-2）。これは、例えば、東日本太平洋側に属する東京の場合、現在（1981～2010 年観測値の平均値）の年平均気温が 15.4℃なので、21 世紀末には 4.3℃上昇することで、現在の屋久島（1981～2010 年観測値の平均値 19.4℃）に近い値になることに相当する³。

このような傾向は全メンバーで共通しており、Murata *et al.* (2015)における解析結果と同じである。

また、年平均気温の上昇が最も大きい北日本太平洋側では平均的に 4.9℃上昇するものの、年によって変動し、4.2～5.6℃の範囲で現在よりも高くなる年が現れやすい⁴（以下、 $4.9 \pm 0.7^\circ\text{C}$ のように表記）。同様に、北日本日本海側では $4.8 \pm 0.7^\circ\text{C}$ 、東日本日本海側では $4.5 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、東日本太平洋側では $4.3 \pm 0.6^\circ\text{C}$ 、西日本日本海側では $4.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、西日本太平洋側では $4.1 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、沖縄・奄美では $3.3 \pm 0.4^\circ\text{C}$ 上昇する。

AR5 における RCP8.5 シナリオ下での予測結果（1986～2005 年平均に対する 2081～2100 年平均の変化）によると、世界全体の年平均気温の上昇量は 3.7℃程度であり、日本付近における気温上昇は世界平均よりも大きい。これは、気温の上昇に伴って海氷や積雪が融けて太陽放射を吸収しやすくなることによる気温上昇が高緯度ほど大きくなるという傾向が、比較的高緯度に位置している日本列島において現れているためである。

季節ごとの平均気温も年平均気温と同様の傾向を示しているが、各季節とも高緯度地域ほど上昇が大きく、海氷や積雪の融解による影響が大きい冬の方が夏よりも上昇が大きい。特に北海道の一部の冬及び春では、オホーツク海の海氷が減少することを反映して大きな上昇が現れている（Sasaki *et al.*, 2012）。

年及び季節ごとの平均気温においては、平均的な増加量が現在気候の年々変動の幅よりも大きいことから、将来は、現在気候ではその季節としてはほとんど現れることのないような気温が平均的な状態となることを意味している（図 2.1-2）。

「第8巻」と比べると、傾向は同じではあるが、より高位な温室効果ガス排出を前提としていることから、気温上昇は大きくなっている。

¹ NHRCM05 による 1980～1999 年の計算結果。

² NHRCM05 による 2076～2095 年の計算結果。

³ あくまでも地域平均した将来変化量を単純に加えた場合である。

⁴ 変動幅は、正規分布を仮定した場合、年々の変動が約 70%の確率で含まれる範囲。詳細は【資料 2】を参照。

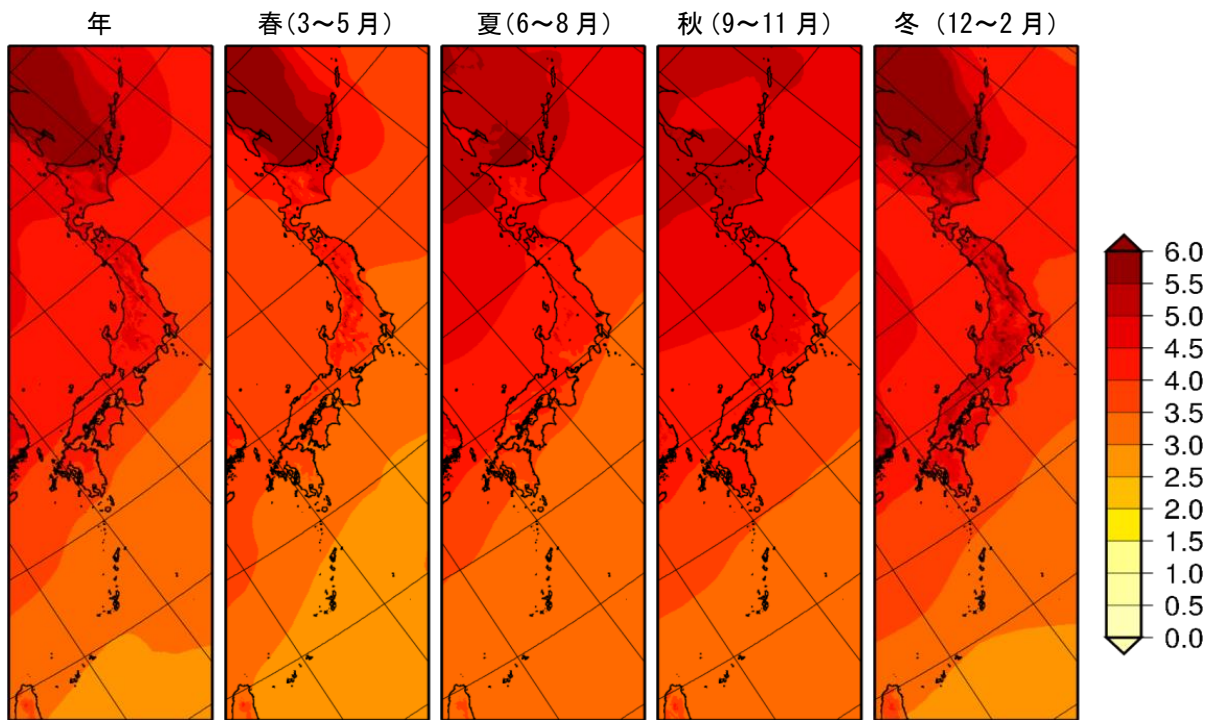
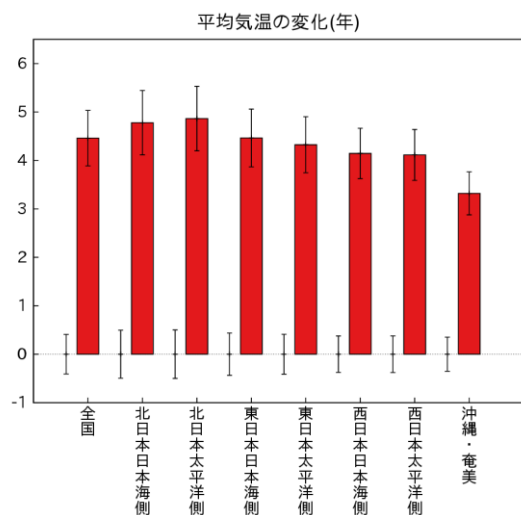


図 2.1-1 年及び季節ごとの平均気温の将来変化 (単位 : °C)
将来気候と現在気候との差。4 メンバーの平均。

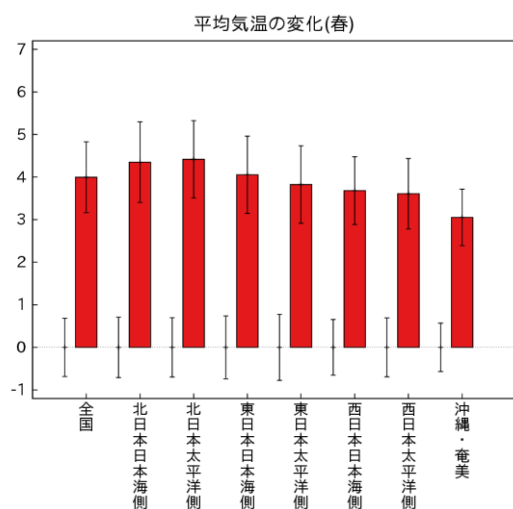
(a)



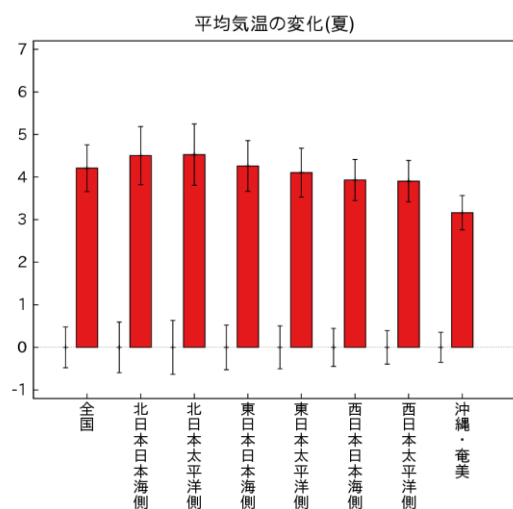
地域	年	春	夏
全国	4.5 ± 0.6	4.0 ± 0.8	4.2 ± 0.5
北日本日本海側	4.8 ± 0.7	4.3 ± 0.9	4.5 ± 0.7
北日本太平洋側	4.9 ± 0.7	4.4 ± 0.9	4.5 ± 0.7
東日本日本海側	4.5 ± 0.6	4.1 ± 0.9	4.3 ± 0.6
東日本太平洋側	4.3 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6
西日本日本海側	4.1 ± 0.5	3.7 ± 0.8	3.9 ± 0.5
西日本太平洋側	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.9 ± 0.5
沖縄・奄美	3.3 ± 0.4	3.1 ± 0.7	3.2 ± 0.4

地域	秋	冬
全国	4.6 ± 0.7	5.0 ± 0.9
北日本日本海側	5.0 ± 0.8	5.2 ± 1.1
北日本太平洋側	5.0 ± 0.8	5.5 ± 1.1
東日本日本海側	4.7 ± 0.8	4.9 ± 1.0
東日本太平洋側	4.5 ± 0.8	4.8 ± 1.0
西日本日本海側	4.3 ± 0.8	4.7 ± 0.9
西日本太平洋側	4.3 ± 0.8	4.6 ± 1.0
沖縄・奄美	3.5 ± 0.6	3.6 ± 0.8

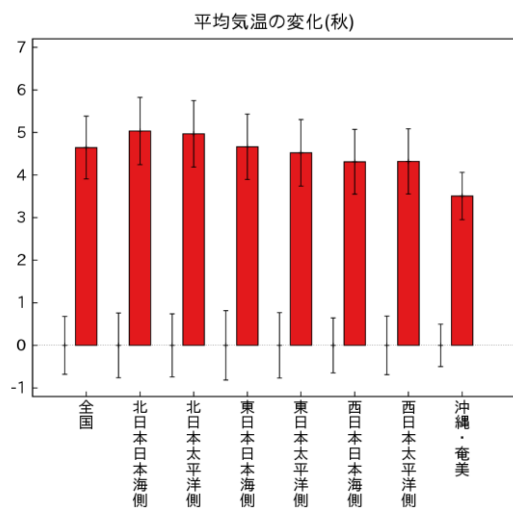
(b)



(c)



(d)



(e)

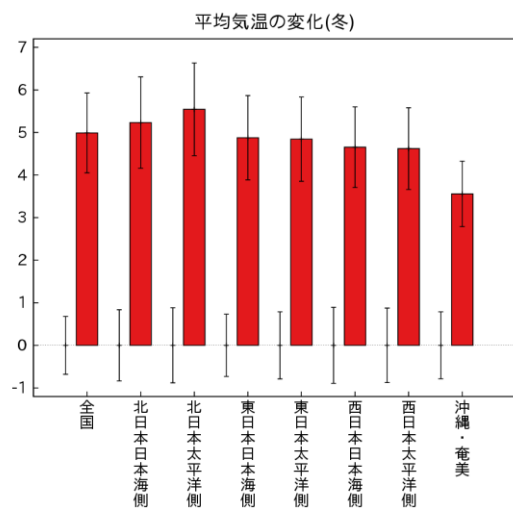
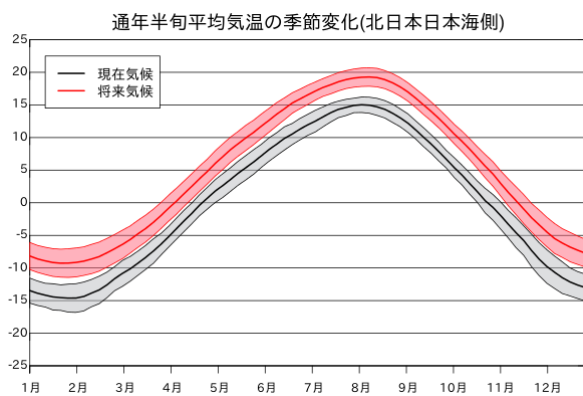


図 2.1-2 及び付表 全国及び地域別の平均気温の変化 (単位: °C)

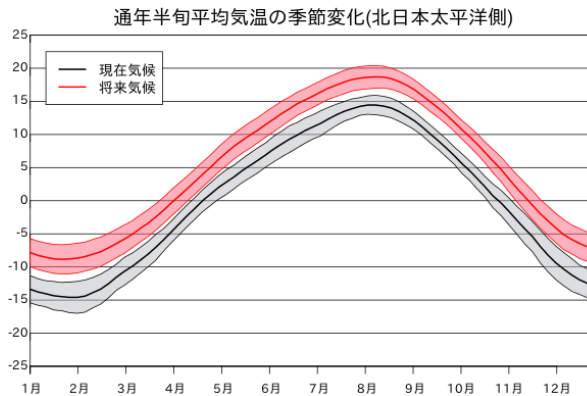
将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料 2】参照))(各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。(a): 年間、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)、(e): 冬(12~2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加(減少)する場合は赤字(青字)としている。

(第2章 気温の将来予測)

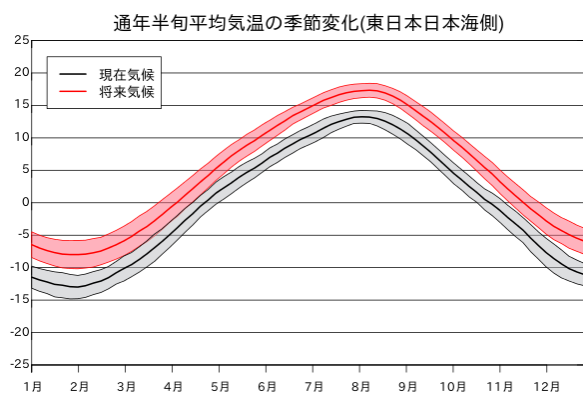
(a)



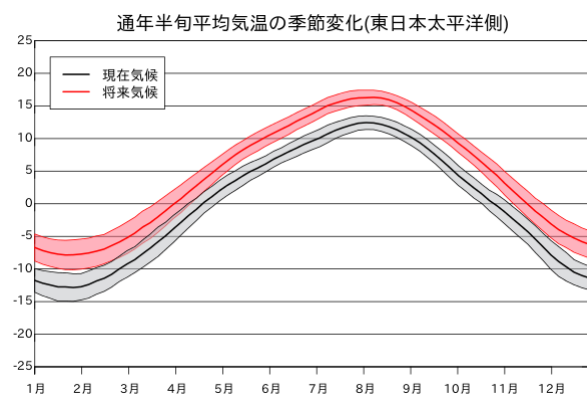
(b)



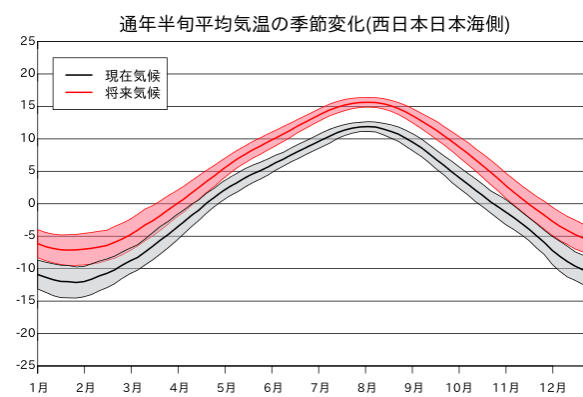
(c)



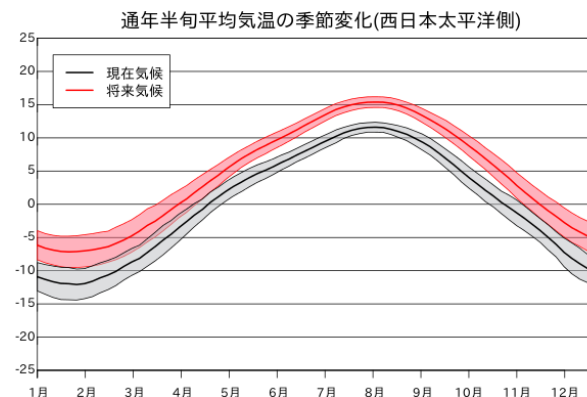
(d)



(e)



(f)



(g)

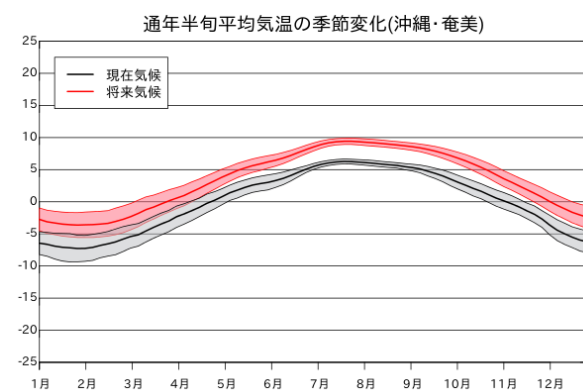


図 2.1-3 地域別の平均気温の季節進行の変化(単位:℃)
 黒は現在気候、赤は将来気候における通年半年別値(表 1.3-1)を1年分示したもので、折線は通年半年別値(気候値)を示し、陰影は年々変動の標準偏差を示す。現在気候及び将来気候ともに、現在気候の年平均値との差を示す。
 (a): 北日本日本海側、(b): 北日本太平洋側、
 (c): 東日本日本海側、(d): 東日本太平洋側、
 (e): 西日本日本海側、(f): 西日本太平洋側、
 (g): 沖縄・奄美

2.2 最高気温

図 2.2-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとに平均した現在気候と将来気候の最高気温の差の分布を示したものの、図 2.2-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた年及び季節ごとに平均した現在気候と将来気候の最高気温の差を示したものの、図 2.2-3 は、季節進行の将来変化をみるために、地域気候モデルによる現在気候及び将来気候の地域ごとの最高気温の通年半旬別値（表 1.3-1）を1年分示したものである。

年平均気温と同様に、年平均した最高気温も全国的に有意に上昇する。地域別にみると、北日本日本海側では $4.6 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 、北日本太平洋側では $4.7 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 、東日本日本海側では $4.3 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 、東日本太平洋側では $4.2 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 、西日本日本海側では $4.1 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、西日本太平洋側では $4.1 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、沖縄・奄美では $3.3 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 上昇する⁵など、高緯度地域ほど上昇が大きい（図 2.2-1、図 2.2-2）。

季節ごとに平均した最高気温も年平均した最高気温と同様、各季節とも高緯度地域ほど上昇が大きく、海氷や積雪の融解による影響が大きい冬の方が夏よりも上昇が大きい。特に北海道の一部の冬及び春では、オホーツク海の海氷が減少することを反映して大きな上昇が現れている。これらの傾向は、全メンバーで共通している。

「第8巻」と比べると、傾向は同じではあるが、より高位な温室効果ガス排出を前提としていることから、気温上昇は大きくなっている。

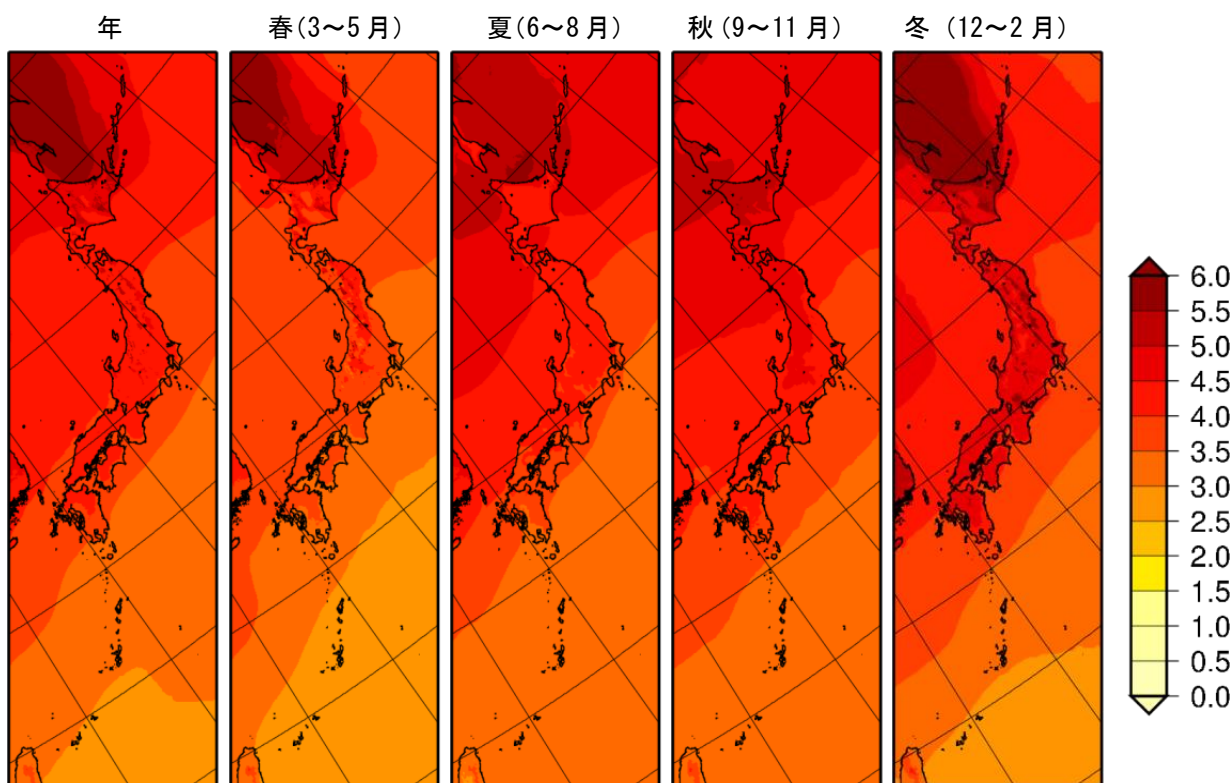
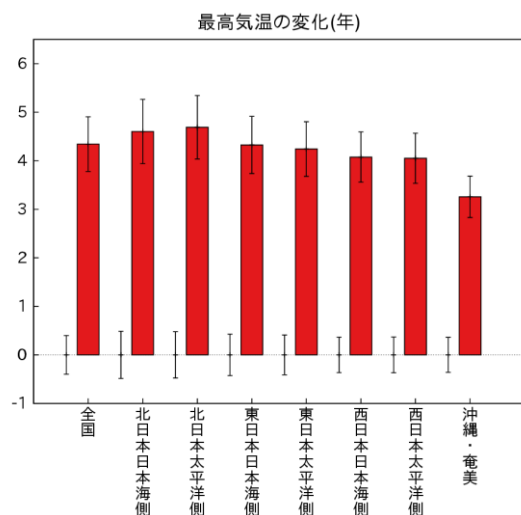


図 2.2-1 年及び季節ごとに平均した最高気温の将来変化（単位： $^{\circ}\text{C}$ ）
将来気候と現在気候との差。4 メンバーの平均。

⁵ 変動幅は、正規分布を仮定した場合、年々の変動が約 70% の確率で含まれる範囲。詳細は【資料 2】を参照。

(第2章 気温の将来予測)

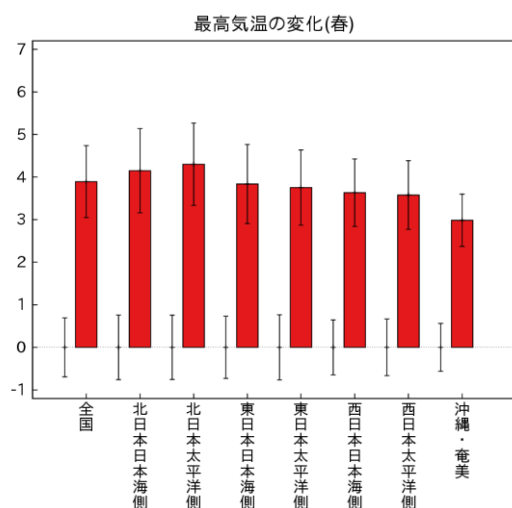
(a)



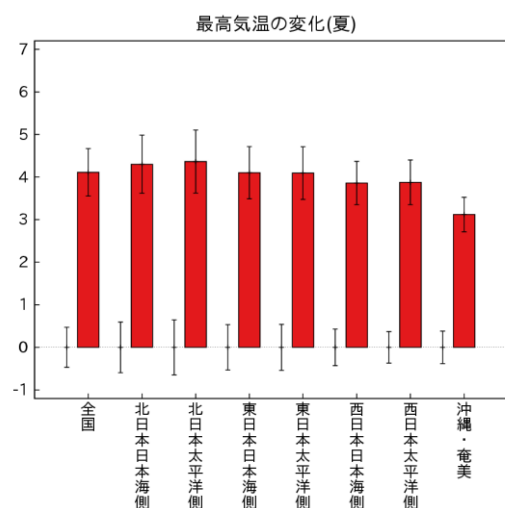
地域	年	春	夏
全国	4.3 ± 0.6	3.9 ± 0.8	4.1 ± 0.6
北日本日本海側	4.6 ± 0.7	4.1 ± 1.0	4.3 ± 0.7
北日本太平洋側	4.7 ± 0.7	4.3 ± 1.0	4.4 ± 0.7
東日本日本海側	4.3 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6
東日本太平洋側	4.2 ± 0.6	3.8 ± 0.9	4.1 ± 0.6
西日本日本海側	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.9 ± 0.5
西日本太平洋側	4.1 ± 0.5	3.6 ± 0.8	3.9 ± 0.5
沖縄・奄美	3.3 ± 0.4	3.0 ± 0.6	3.1 ± 0.4

地域	秋	冬
全国	4.5 ± 0.7	4.9 ± 0.9
北日本日本海側	4.9 ± 0.8	5.1 ± 1.1
北日本太平洋側	4.8 ± 0.8	5.3 ± 1.1
東日本日本海側	4.5 ± 0.7	4.8 ± 1.0
東日本太平洋側	4.3 ± 0.7	4.8 ± 1.0
西日本日本海側	4.2 ± 0.7	4.7 ± 1.0
西日本太平洋側	4.1 ± 0.7	4.6 ± 1.0
沖縄・奄美	3.4 ± 0.5	3.5 ± 0.7

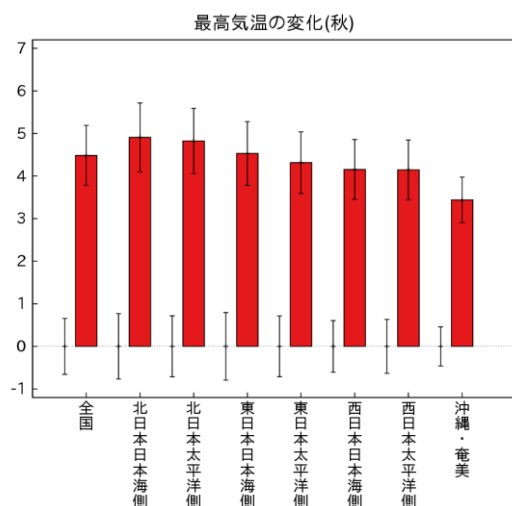
(b)



(c)



(d)



(e)

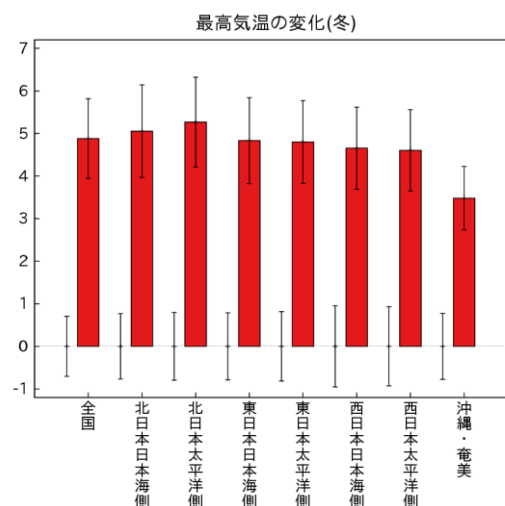
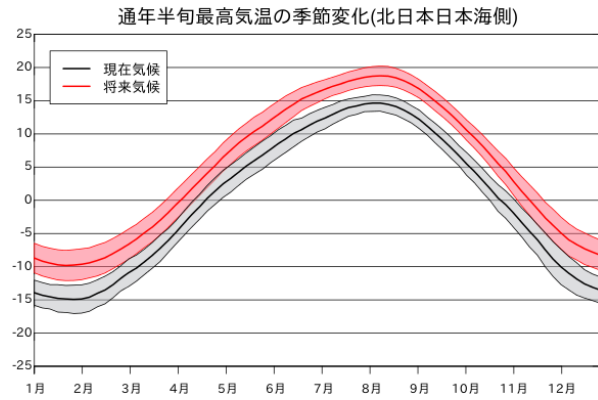


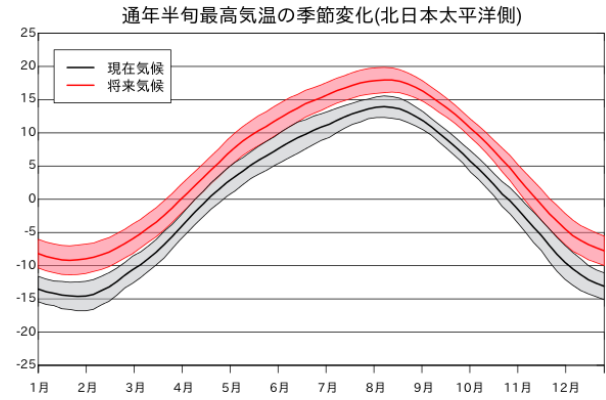
図 2.2-2 及び付表 全国及び地域別の最高気温の変化 (単位: °C)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。(a): 年間、(b): 春 (3~5 月)、(c): 夏 (6~8 月)、(d): 秋 (9~11 月)、(e): 冬 (12~2 月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90% で有意に増加 (減少) する場合は赤字 (青字) としている。

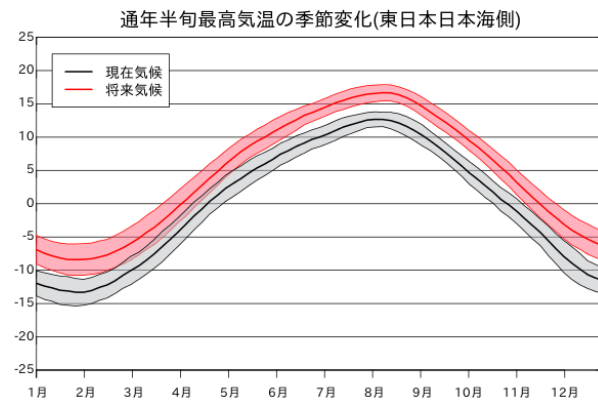
(a)



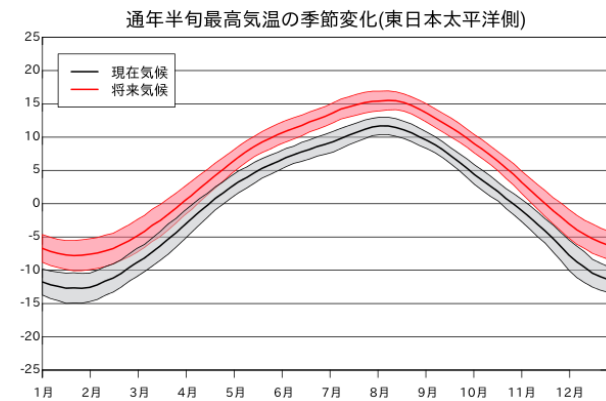
(b)



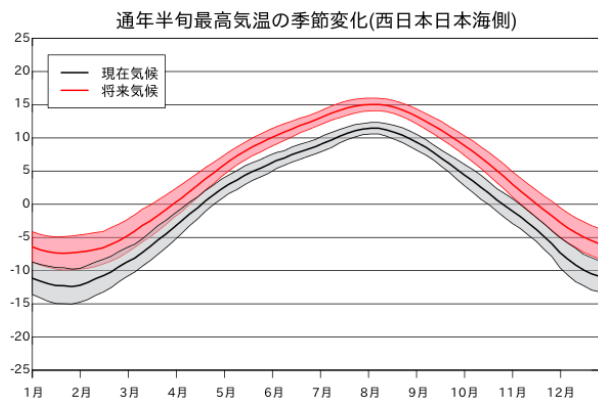
(c)



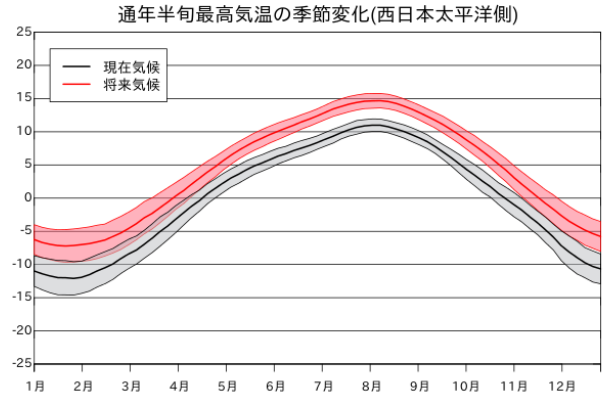
(d)



(e)



(f)



(g)

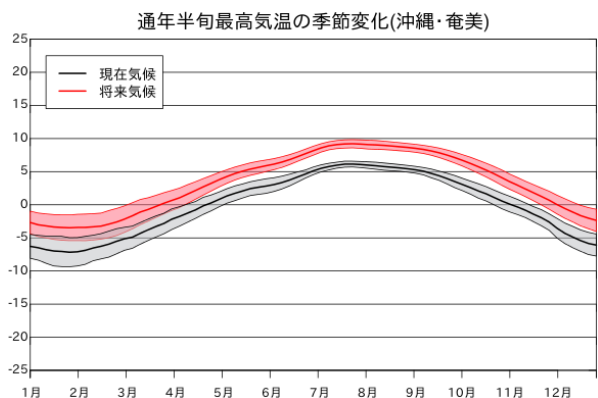


図 2.2-3 地域別の最高気温の季節進行の変化(単位:℃)

黒は現在気候、赤は将来気候における通年半年別値(表 1.3-1)を1年分示したもので、折線は通年半年別値(気候値)を示し、陰影は年々変動の標準偏差を示す。現在気候及び将来気候ともに、現在気候の年平均値との差を示す。

(a): 北日本日本海側、(b): 北日本太平洋側、
(c): 東日本日本海側、(d): 東日本太平洋側、
(e): 西日本日本海側、(f): 西日本太平洋側、
(g): 沖縄・奄美

2.3 最低気温

図 2.3-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとに平均した現在気候と将来気候の最低気温の差の分布を示したものの、図 2.3-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた年及び季節ごとに平均した現在気候と将来気候の最低気温の差を示したものの、図 2.3-3 は、季節進行の将来変化をみるために、地域気候モデルによる現在気候及び将来気候の地域ごとの最低気温の通年半旬別値（表 1.3-1）を1年分示したものである。

年平均気温と同様に、年平均した最低気温も全国的に有意に上昇する。地域別にみると、北日本日本海側では $5.0 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 、北日本太平洋側では $5.1 \pm 0.7^{\circ}\text{C}$ 、東日本日本海側では $4.6 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 、東日本太平洋側では $4.4 \pm 0.6^{\circ}\text{C}$ 、西日本日本海側では $4.2 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、西日本太平洋側では $4.2 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、沖縄・奄美では $3.4 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 上昇する⁶など、高緯度地域ほど上昇が大きい（図 2.3-1、図 2.3-2）。また、平均気温や最高気温よりも上昇が大きくなっている。

季節ごとに平均した最低気温も年平均した最低気温と同様の傾向を示しているが、各季節とも高緯度地域ほど上昇が大きく、海水や積雪の融解による影響が大きい冬の方が夏よりも上昇が大きい。特に北海道の一部の冬及び春では、オホーツク海の海水が減少することを反映して大きな上昇が現れている。これらの傾向は、全メンバーで共通している。

「第8巻」と比べると、傾向は同じではあるが、より高位な温室効果ガス排出を前提としていることから、気温上昇は大きくなっている。なお、都市化の影響は寒候期の夜間に強く現れるが、本書では、都市化の影響は評価していない（1.1 節参照）。

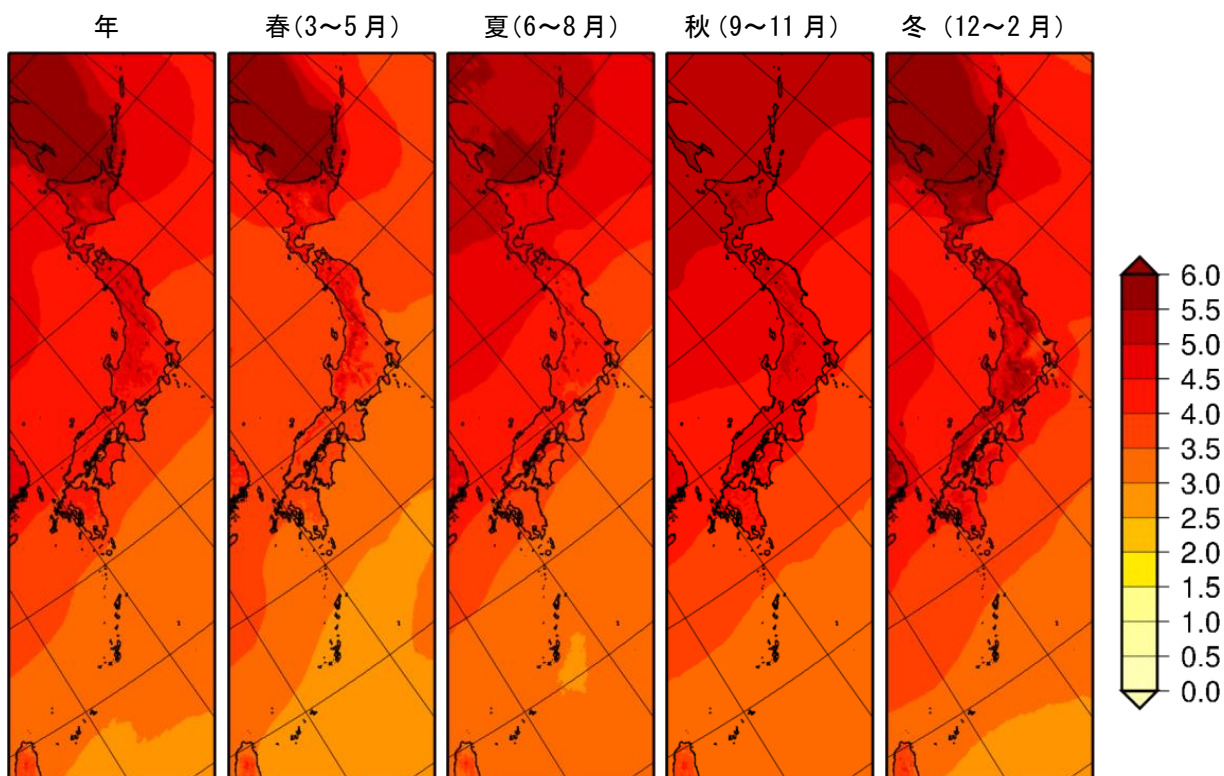
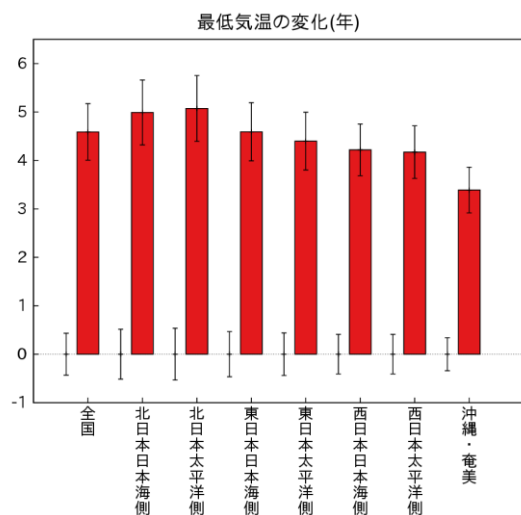


図 2.3-1 年及び季節ごとに平均した最低気温の将来変化（単位： $^{\circ}\text{C}$ ）
将来気候と現在気候との差。4メンバーの平均。

⁶ 変動幅は、正規分布を仮定した場合、年々の変動が約 70%の確率で含まれる範囲。詳細は【資料 2】を参照。

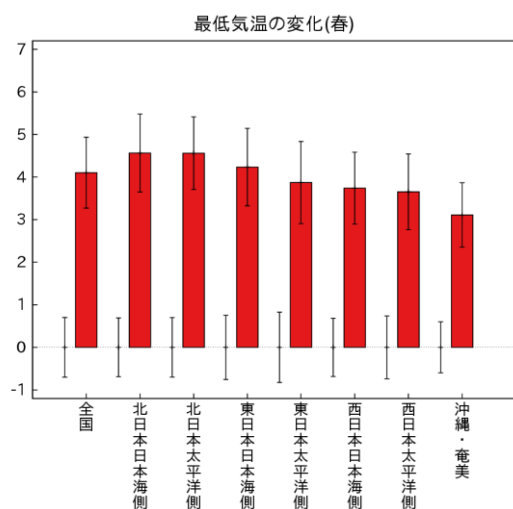
(a)



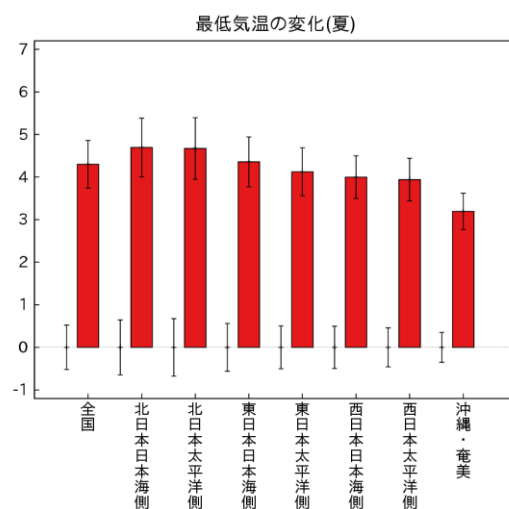
地域	年	春	夏
全国	4.6 ± 0.6	4.1 ± 0.8	4.3 ± 0.6
北日本日本海側	5.0 ± 0.7	4.6 ± 0.9	4.7 ± 0.7
北日本太平洋側	5.1 ± 0.7	4.6 ± 0.9	4.7 ± 0.7
東日本日本海側	4.6 ± 0.6	4.2 ± 0.9	4.4 ± 0.6
東日本太平洋側	4.4 ± 0.6	3.9 ± 1.0	4.1 ± 0.6
西日本日本海側	4.2 ± 0.5	3.7 ± 0.8	4.0 ± 0.5
西日本太平洋側	4.2 ± 0.5	3.7 ± 0.9	3.9 ± 0.5
沖縄・奄美	3.4 ± 0.5	3.1 ± 0.8	3.2 ± 0.4

地域	秋	冬
全国	4.8 ± 0.8	5.1 ± 0.9
北日本日本海側	5.2 ± 0.8	5.5 ± 1.1
北日本太平洋側	5.1 ± 0.8	5.9 ± 1.1
東日本日本海側	4.8 ± 0.8	4.9 ± 1.0
東日本太平洋側	4.8 ± 0.9	4.8 ± 1.0
西日本日本海側	4.5 ± 0.9	4.6 ± 0.9
西日本太平洋側	4.6 ± 0.9	4.5 ± 1.0
沖縄・奄美	3.6 ± 0.6	3.7 ± 0.8

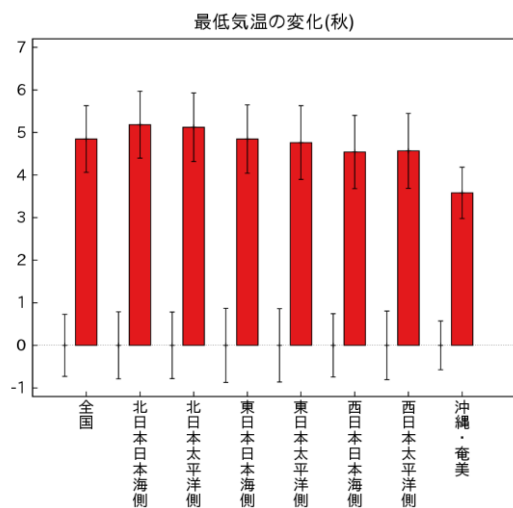
(b)



(c)



(d)



(e)

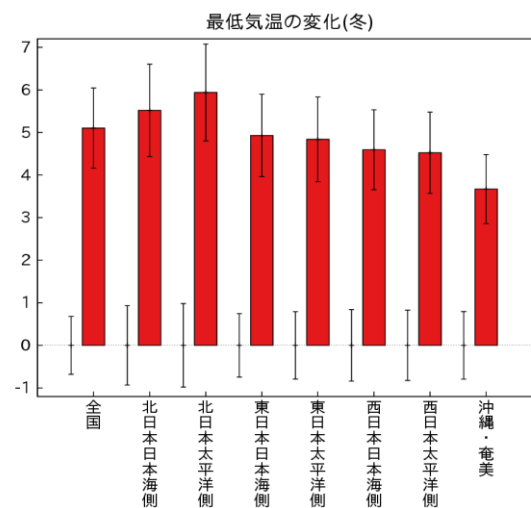
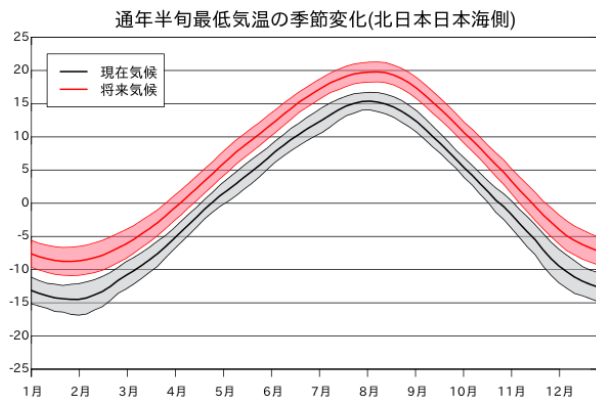


図 2.3-2 及び付表 全国及び地域別の最低気温の変化 (単位: °C)

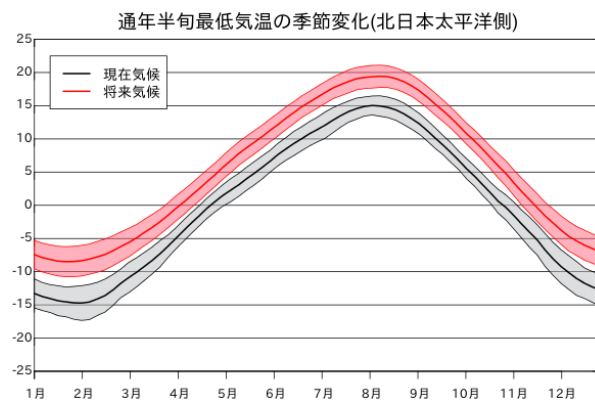
将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料 2】参照))(各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。(a): 年間、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)、(e): 冬(12~2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼水準 90%で有意に増加(減少)する場合は赤字(青字)としている。

(第2章 気温の将来予測)

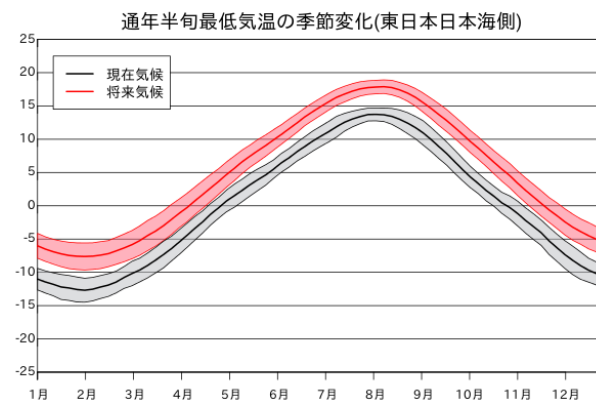
(a)



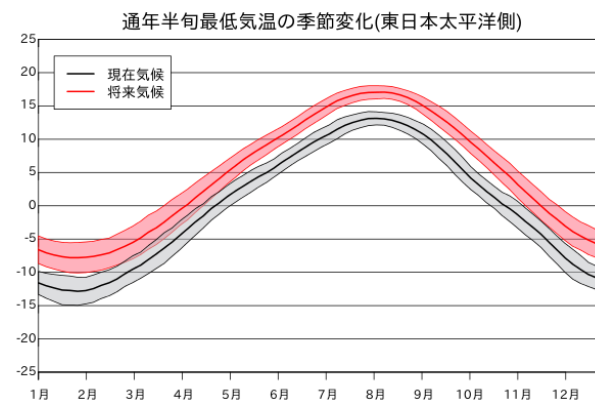
(b)



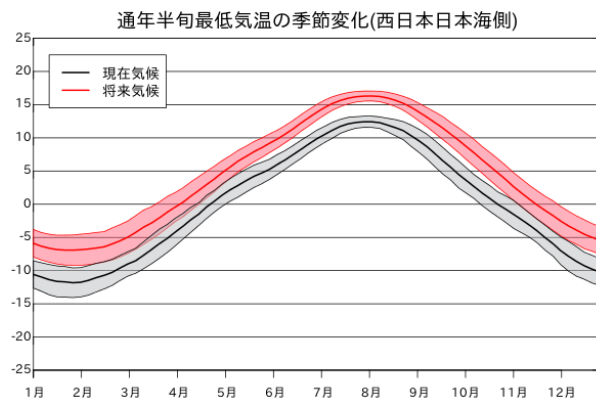
(c)



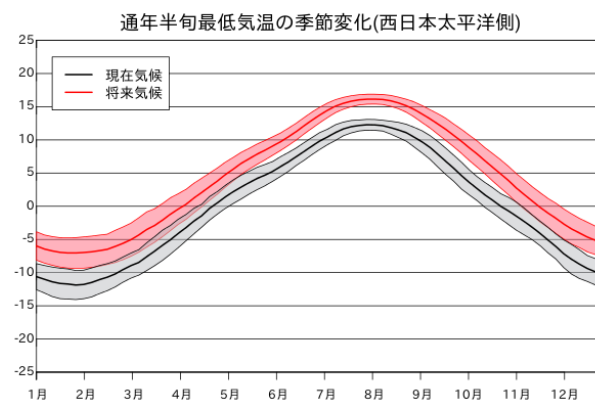
(d)



(e)



(f)



(g)

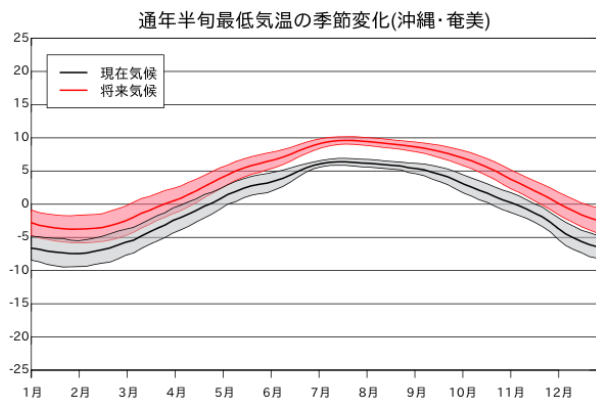


図 2.3-3 地域別の最低気温の季節進行の変化(単位:℃)
 黒は現在気候、赤は将来気候における通年半年別値(表 1.3-1)を1年分示したもので、折線は通年半年別値(気候値)を示し、陰影は年々変動の標準偏差を示す。現在気候及び将来気候ともに、現在気候の年平均値との差を示す。
 (a): 北日本日本海側、(b): 北日本太平洋側、
 (c): 東日本日本海側、(d): 東日本太平洋側、
 (e): 西日本日本海側、(f): 西日本太平洋側、
 (g): 沖縄・奄美

2.4 猛暑日

図 2.4-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の猛暑日（最高気温が 35℃以上の日）の日数の差の分布を示したものである。また、図 2.4-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の猛暑日の年間日数の差を示したものである。

猛暑日となるような極端に暑い日の年間日数は、沖縄・奄美で 54 日増加するなど、全国的に有意に増加し、沿岸部など標高の低い地域でより多くの増加がみられる（図 2.4-1、図 2.4-2）。これは、例えば、沖縄・奄美に属する那覇の場合、現在（1981～2010 年観測値の平均値）の年間日数が 0.1 日なので、21 世紀末には約 54 日になることに相当する⁷。北日本では主に夏、東日本以西では夏から秋にかけて増加している。

「第 8 巻」と比べて、これらの傾向は変わらないが、気温の上昇が大きいことに対応して、増加量も大きくなっている。

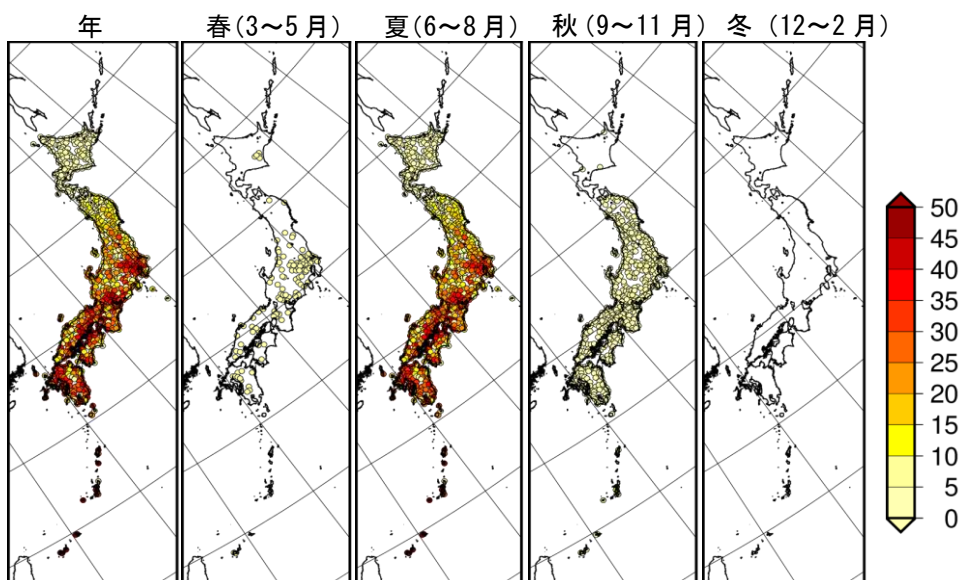
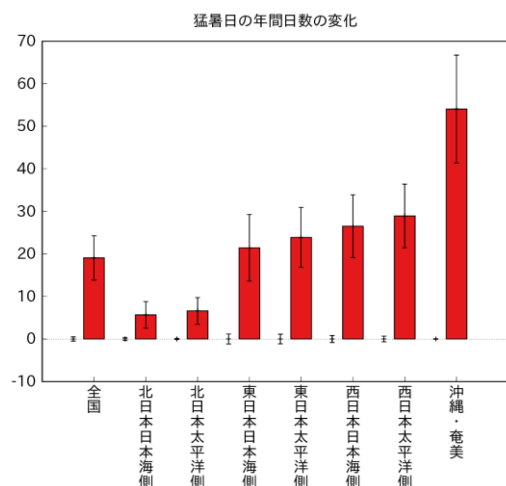


図 2.4-1 年及び季節ごとの猛暑日の日数の将来変化（単位：日）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。



地域	年
全国	19.1 ± 5.2
北日本日本海側	5.7 ± 3.1
北日本太平洋側	6.6 ± 3.1
東日本日本海側	21.4 ± 7.8
東日本太平洋側	23.9 ± 7.0
西日本日本海側	26.5 ± 7.4
西日本太平洋側	28.9 ± 7.5
沖縄・奄美	54.0 ± 12.7

図 2.4-2 全国及び地域別の猛暑日の年間日数の将来変化及び付表（単位：日）

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅（混合分布による標準偏差（【資料 2】参照））（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）を示している（バイアス補正済み）。右の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加（減少）する場合は赤字（青字）としている。季節別の定量的な結果は【資料 4】A4.1 参照。

⁷ あくまでも地域平均した将来変化量を単純に加えた場合である。

2.5 真夏日

図 2.5-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の真夏日（最高気温が 30℃以上の日）の日数の差の分布を示したものである。また、図 2.5-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の真夏日の年間日数の差を示したものである。

真夏日の年間日数は、全国的に有意に増加する。その年間の増加量は北日本太平洋側で 30 日程度、沖縄・奄美で 88 日程度となっており、特に夏の増加が大きい（図 2.5-1、図 2.5-2）。

「第 8 巻」と比べて、これらの傾向は変わらないが、気温の上昇が大きいことに対応して、増加量も大きくなっている。

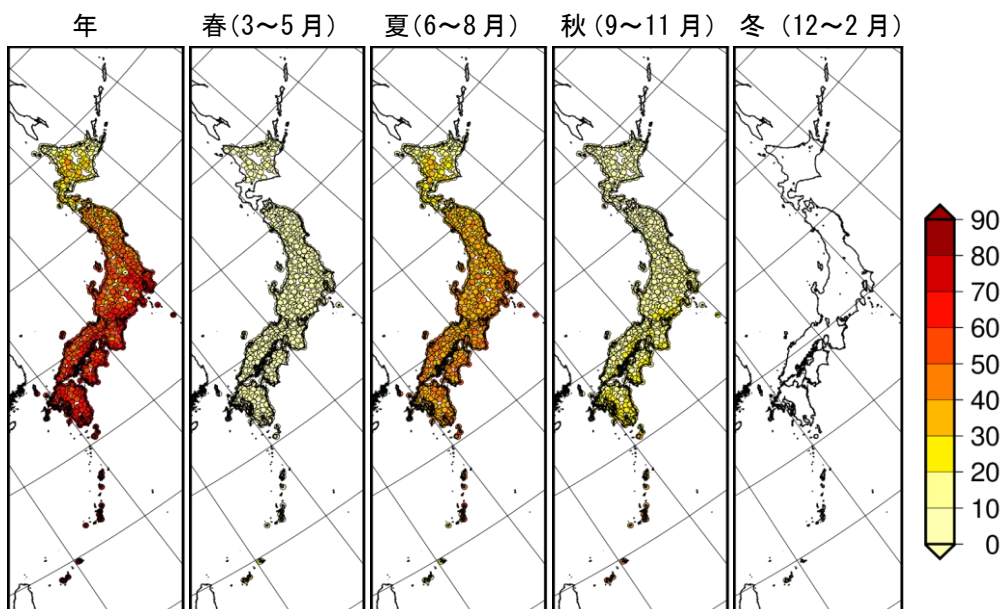
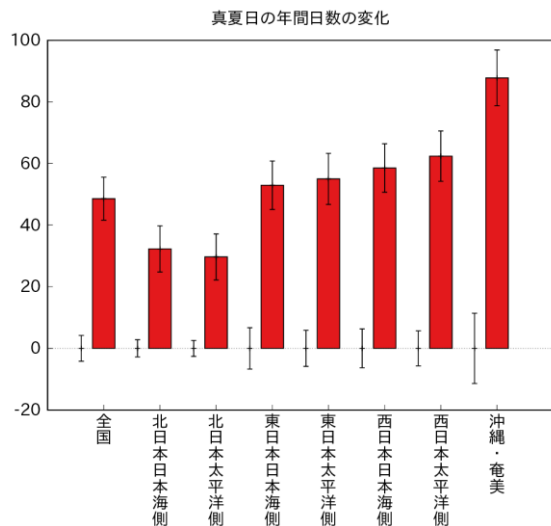


図 2.5-1 年及び季節ごとの真夏日の日数の将来変化（単位：日）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。



地域	年
全国	48.6 ± 7.0
北日本日本海側	32.3 ± 7.5
北日本太平洋側	29.7 ± 7.5
東日本日本海側	53.0 ± 7.9
東日本太平洋側	55.0 ± 8.3
西日本日本海側	58.5 ± 7.9
西日本太平洋側	62.4 ± 8.2
沖縄・奄美	87.8 ± 9.1

図 2.5-2 全国及び地域別の真夏日の年間日数の将来変化及び付表（単位：日）

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅（混合分布による標準偏差（【資料 2】参照））（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）を示している（バイアス補正済み）。右の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加（減少）する場合は赤字（青字）としている。季節別の定量的な結果は【資料 4】A4.2 参照。

2.6 夏日

図2.6-1は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の夏日(最高気温が25℃以上の日)の日数の差の分布を示したものである。また、図2.6-2及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の夏日の年間日数の差を示したものである。

夏日の年間日数は、全国的に有意に増加する。その年間の増加量は北日本日本海側で55日程度、沖縄・奄美で67日程度となっており、春から秋にかけて増加している(図2.6-1、図2.6-2)。

なお、西日本及び沖縄・奄美で真夏日(2.5節参照)よりも増加量が少ないのは、そもそも現在気候において日最高気温が25℃以上の日が多い上に、25℃よりも30℃に近い日が多く、将来気候で気温が上がることにより、日最高気温が30℃以上となる日は多いものの、日最高気温が25℃以上30℃未満となる日数は少ないためであると考えられる。

「第8巻」と比べて、これらの傾向は変わらないが、気温の上昇が大きいことに対応して、増加量も大きくなっている。

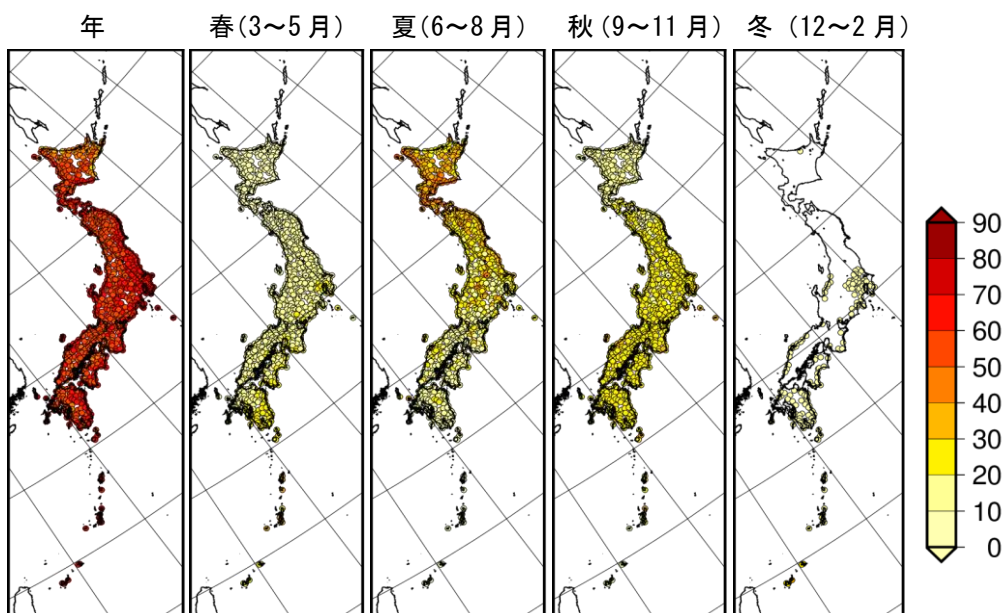
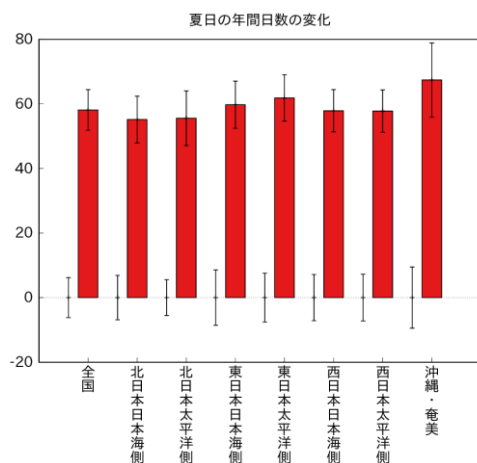


図2.6-1 年及び季節ごとの夏日の日数の将来変化(単位:日)

将来気候と現在気候との差(バイアス補正済み)。変化傾向(増減)が4メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示(現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外)。



地域	年
全国	58.1 ± 6.3
北日本日本海側	55.2 ± 7.2
北日本太平洋側	55.5 ± 8.5
東日本日本海側	59.7 ± 7.3
東日本太平洋側	61.9 ± 7.2
西日本日本海側	57.9 ± 6.5
西日本太平洋側	57.8 ± 6.6
沖縄・奄美	67.4 ± 11.5

図2.6-2 全国及び地域別の夏日の年間日数の将来変化及び付表(単位:日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における4メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料2】参照))(各地域とも、左:現在気候、右:将来気候)を示している(バイアス補正済み)。右の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準90%で有意に増加(減少)する場合は赤字(青字)としている。季節別の定量的な結果は【資料4】A4.3参照。

2.7 熱帯夜

図 2.7-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の熱帯夜（夜間の最低気温が 25℃以上のこと⁸）の日数の差の分布を示したものである。また、図 2.7-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の熱帯夜の年間日数の差を示したものである。

熱帯夜の年間日数は、全国的に有意に増加する。その年間の増加量は北日本日本海側で 17 日程度、沖縄・奄美で 91 日程度となっており、沿岸部など標高の低い地域でより多くの増加がみられ、猛暑日の将来変化と同様の傾向が見られる（図 2.4-1、図 2.7-1）。北日本では主に夏、東日本以西では夏から秋にかけて増加している（図 2.7-1、図 2.7-2）。

「第8巻」と比べて、これらの傾向は変わらないが、気温の上昇が大きいことに対応して、増加量も大きくなっている。

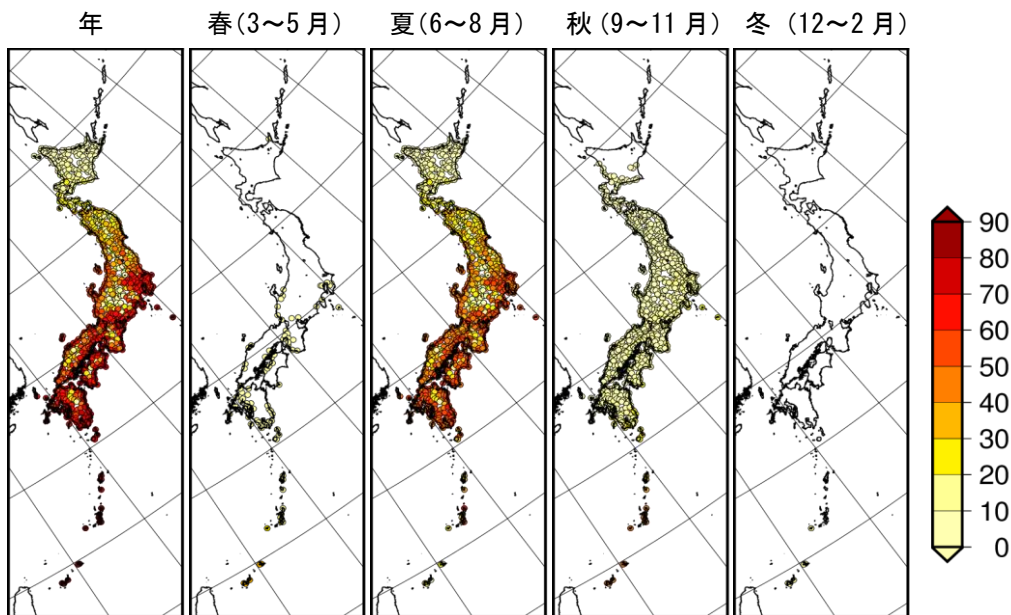


図 2.7-1 年及び季節ごとの熱帯夜の日数の将来変化（単位：日）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が4メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。

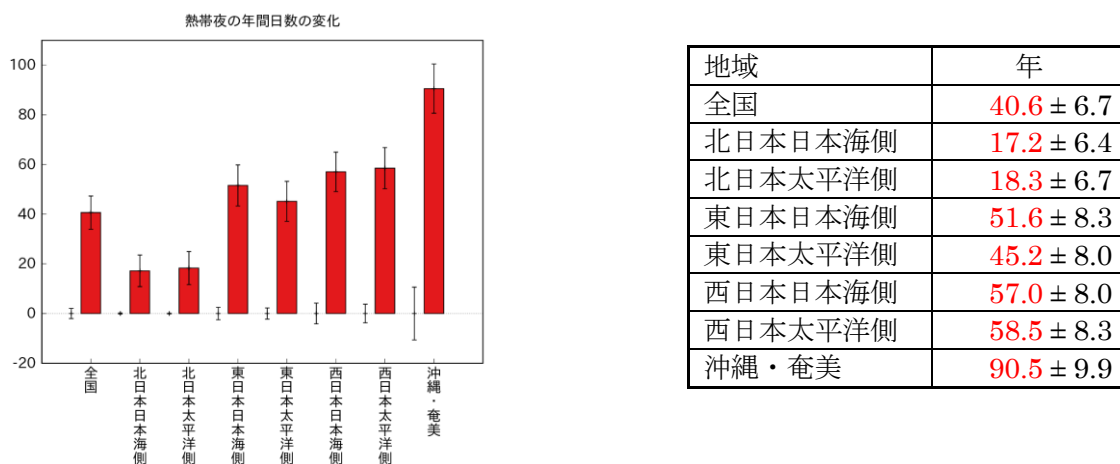


図 2.7-2 全国及び地域別の熱帯夜の年間日数の将来変化及び付表（単位：日）

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における4メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅（混合分布による標準偏差（【資料2】参照））（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）を示している（バイアス補正済み）。右の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準90%で有意に増加（減少）する場合は赤字（青字）としている。季節別の定量的な結果は【資料4】A4.4参照。

⁸ 本書では、最低気温が25℃以上の日を便宜的に熱帯夜とする。

2.8 冬日

図 2.8-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の冬日（最低気温が 0℃未満の日）の日数の差の分布を示したものである。また、図 2.8-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の冬日の年間日数の差を示したものである。

冬日の年間日数は、沖縄・奄美を除いて全国的に有意に減少する。その年間の減少量は北日本日本海側で 65 日程度、西日本太平洋側で 32 日程度となっており、秋から春にかけて減少している。冬の北海道では、日最低気温は上昇するものの依然として 0℃未満の日が多く、東北地方等比べて減少量は小さくなっている（図 2.8-1、図 2.8-2）。

「第 8 巻」と比べて、これらの傾向は変わらないが、気温の上昇が大きいことに対応して、減少量も大きくなっている。なお、都市化の影響は寒候期の夜間に強く現れるが、本書では、都市化の影響は評価していない（1.1 節参照）。

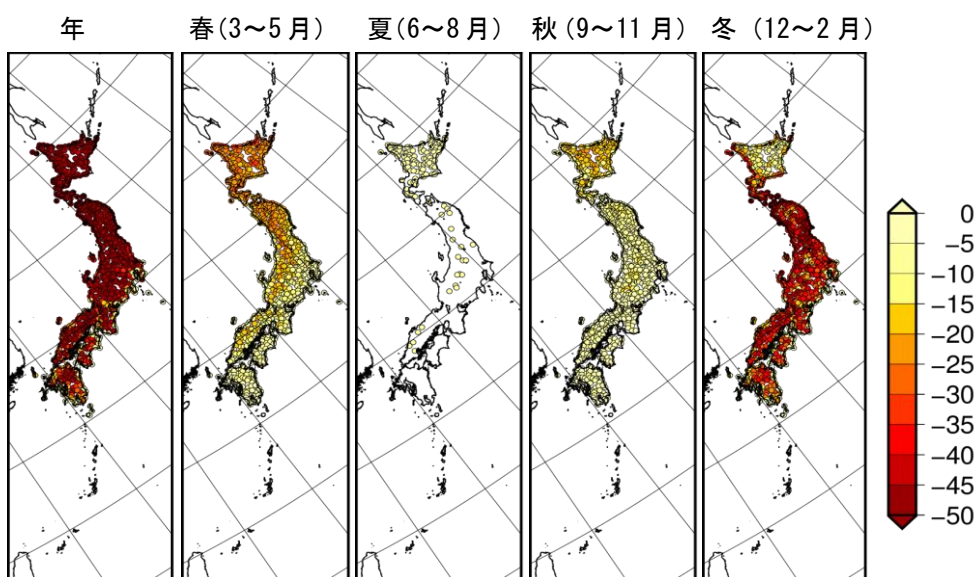
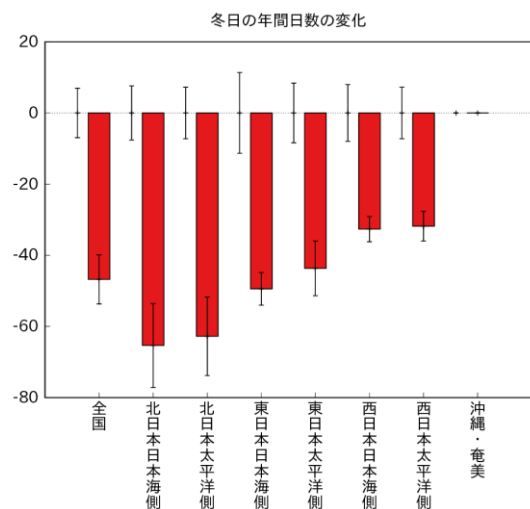


図 2.8-1 年及び季節ごとの冬日の日数の将来変化（単位：日）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。



地域	年
全国	-46.8 ± 6.9
北日本日本海側	-65.4 ± 11.8
北日本太平洋側	-62.8 ± 11.0
東日本日本海側	-49.4 ± 4.6
東日本太平洋側	-43.7 ± 7.7
西日本日本海側	-32.7 ± 3.6
西日本太平洋側	-31.8 ± 4.2
沖縄・奄美	

図 2.8-2 全国及び地域別の冬日の年間日数の将来変化及び付表（単位：日）

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅（混合分布による標準偏差（【資料 2】参照））（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）を示している（バイアス補正済み）。右の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に減少（増加）する場合は赤字（青字）としている。現在気候と将来気候のいずれも出現日数がゼロの場合は空欄としている。季節別の定量的な結果は【資料 4】A4.5 参照。

2.9 真冬日

図 2.9-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の真冬日（最高気温が 0℃未満の日）の日数の差の分布を示したものである。また、図 2.9-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の真冬日の年間日数の差を示したものである。

真冬日となるような極端に寒い日の年間日数は、北日本日本海側で 38 日程度、北日本太平洋側で 32 日程度減少するなど、沖縄・奄美を除いて全国的に有意に減少する（図 2.9-1、図 2.9-2）。これは、例えば、北日本日本海側に属する札幌の場合、現在（1981～2010 年観測値の平均値）の年間日数が 45.0 日なので、21 世紀末には約 7 日になることに相当する⁹。東日本及び西日本でも減少しているが、現在気候での出現日数が少ないことから、減少量も小さくなっている。

「第 8 巻」と比べて、これらの傾向は変わらないが、気温の上昇が大きいことに対応して、減少量も大きくなっている。

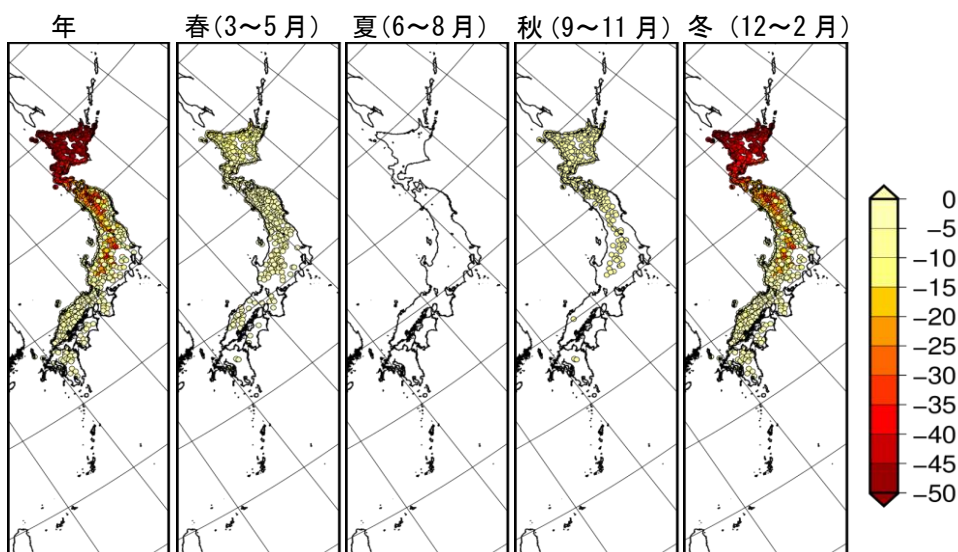
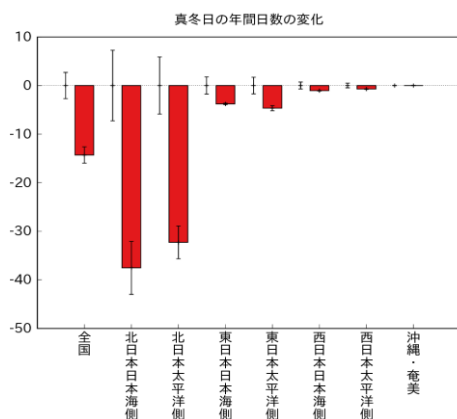


図 2.9-1 年及び季節ごとの真冬日の日数の将来変化（単位：日）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。



地域	年
全国	-14.3 ± 1.7
北日本日本海側	-37.5 ± 5.4
北日本太平洋側	-32.3 ± 3.4
東日本日本海側	-3.8 ± 0.2
東日本太平洋側	-4.7 ± 0.5
西日本日本海側	-1.1 ± 0.1
西日本太平洋側	-0.7 ± 0.0
沖縄・奄美	

図 2.9-2 全国及び地域別の真冬日の年間日数の将来変化及び付表（単位：日）

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅（混合分布による標準偏差（【資料 2】参照））（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）を示している（バイアス補正済み）。右の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に減少（増加）する場合は赤字（青字）としている。現在気候と将来気候のいずれも出現日数がゼロの場合は空欄としている。季節別の定量的な結果は【資料 4】A4.6 参照。

⁹ あくまでも地域平均した将来変化量を単純に減じた場合である。

第3章 降水の将来予測

3.1 降水量

図 3.1-1 は、地域気候モデルによる年降水量や季節ごとの 3 か月降水量の現在気候¹に対する将来気候²の変化率の分布を示したものの、図 3.1-2 は年降水量について各メンバーの現在気候に対する将来気候の変化率の分布を示したものである。また、図 3.1-3 及び付表は、全国及び地域ごとにみた年降水量や季節ごとの 3 か月降水量の現在気候と将来気候の差を示したものの、図 3.1-4 は、季節進行の将来変化をみるために、地域気候モデルによる現在気候及び将来気候の地域ごとの降水量の通年半年別値（表 1.3-1）を 1 年分示したものである。

年降水量や季節ごとの 3 か月降水量の将来変化は、メンバー間で増減傾向が異なる地域が多く（図 3.1-2）、年々変動の幅（図 3.1-3 の細い縦線）に対して地球温暖化に伴う変化（図 3.1-3 の棒グラフ）が小さいことから、「第 8 巻」と異なり³、ほぼ全国的に有意な変化傾向が見られない。また、季節進行の図を見ても、年間を通じて全国的に有意な変化傾向は見られない（図 3.1-4）。この傾向は、同じデータを用いて解析した Murata *et al.* (2015)にも示されているとおりである。また、AR5 に示されている RCP8.5 シナリオ下での年降水量変化図⁴によると、「多くの中緯度の湿潤地域や高緯度域では今世紀末までに増加する可能性が高い」ものの、日本域では北海道付近を除き明瞭な増減傾向が現れていない。

一方、冬の東日本日本海側及び西日本日本海側では、有意な減少傾向が現れている（図 3.1-3）。この要因としては、Murata *et al.* (2015)では、冬の季節風（モンスーン）としての日本海側への北西風が弱まり対流活動が弱くなることを指摘している。なお、別のデータ（環境省による地域気候変動予測データ（協力：気象庁）⁵）を用いて解析した Kawase *et al.* (2015)も同傾向を指摘している。

夏は、東日本太平洋側をはじめ、九州東部から本州太平洋側の広い範囲で減少している（図 3.1-1 及び図 3.1-3）。これは、MRI-AGCM3.2S の計算結果を解析した Kusunoki (2017)が、将来気候において、6 月に太平洋高気圧の位置が南に偏り日本への水蒸気輸送が弱まることで、梅雨入りが遅くなるとともに干ばつのリスクが増すことを指摘していることと整合的である。一方、九州西部では、夏の降水量の明瞭な増加が予測されている（図 3.1-1）。これは、将来気候において、特に 8 月に太平洋高気圧の強化に伴って南西諸島付近の気圧が上昇、また、黄海から朝鮮半島付近にかけての気圧が下降するために、東シナ海における気圧傾度の強化によって強められた下層の南西風が九州西部に吹き付けるために地形の影響から生じたものであると考えられる（文部科学省研究開発局, 2015）。また、この影響により、風下側である九州東部では降水量の明瞭な減少が現れていると考えられる。

さらに、夏は、北日本日本海側で有意な増加傾向が現れているほか、北海道付近では年降水量が増加している。このことは「第 8 巻」と同じ傾向であるほか、上述した AR5 の結果とも整合的である。

¹ NHRCM05 による 1980～1999 年の計算結果。

² NHRCM05 による 2076～2095 年の計算結果。

³ 「第 8 巻」では、「年降水量は全国と北日本で増加する。冬から春にかけては、太平洋側で降水量が増加する」としていた。

⁴ IPCC AR5 政策決定者向け要約 図 SPM.8(b)。

⁵ 「平成 25 年度環境省地球温暖化影響の理解のための気候変動予測等実施委託業務」及び「平成 26 年度環境省地球温暖化影響の理解のための気候変動予測等実施委託業務」において、気象庁及び文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」の協力のもと、気象庁気象研究所開発の気候モデルを利用して作成・提供されたデータセット。日本域を水平解像度 20km の地域気候モデルで計算した複数の予測結果がある。

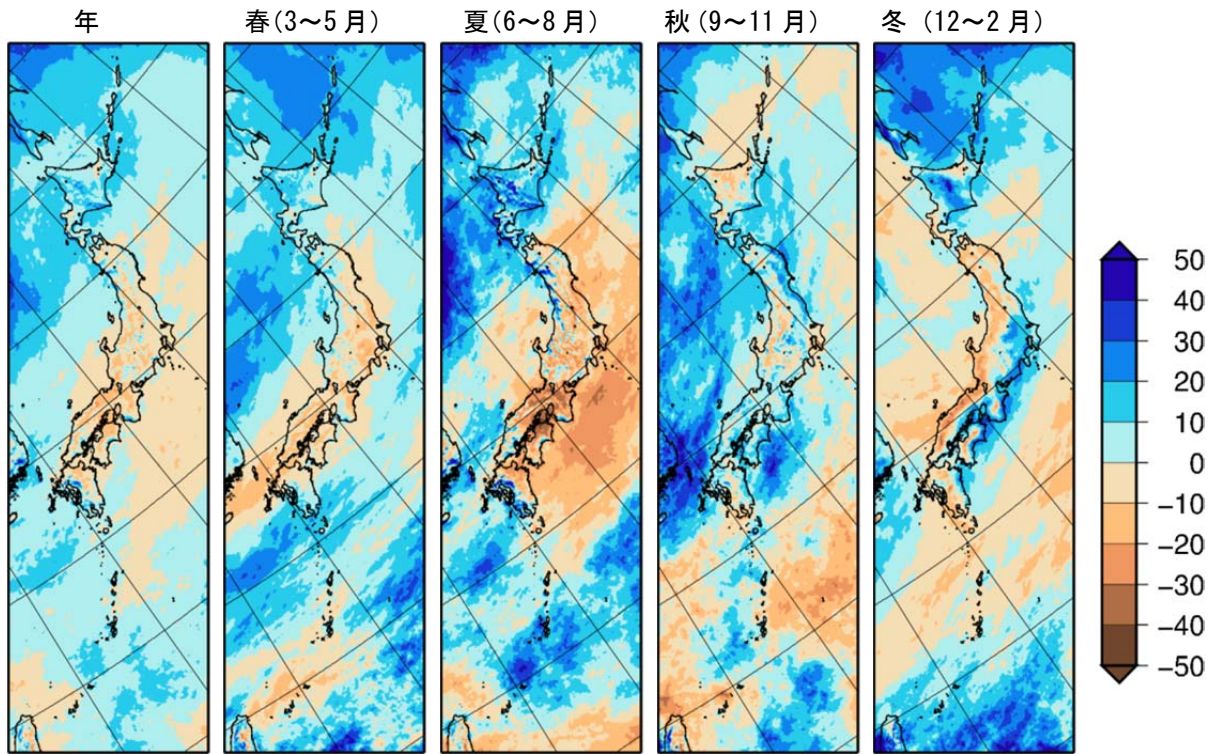


図 3.1-1 年降水量や季節ごとの3か月降水量の将来変化（単位：％）
現在気候に対する変化率で示す。4メンバーの平均。

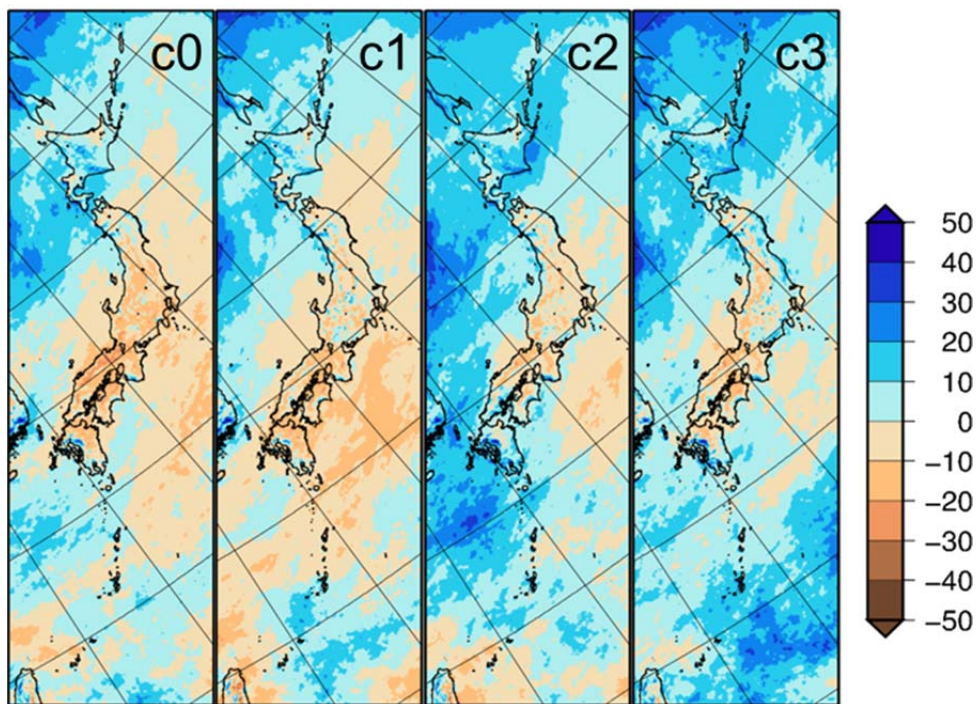


図 3.1-2 各メンバーの年降水量の将来変化（単位：％）
現在気候に対する変化率で示す。図中の c0～c3 はメンバーを表す記号。

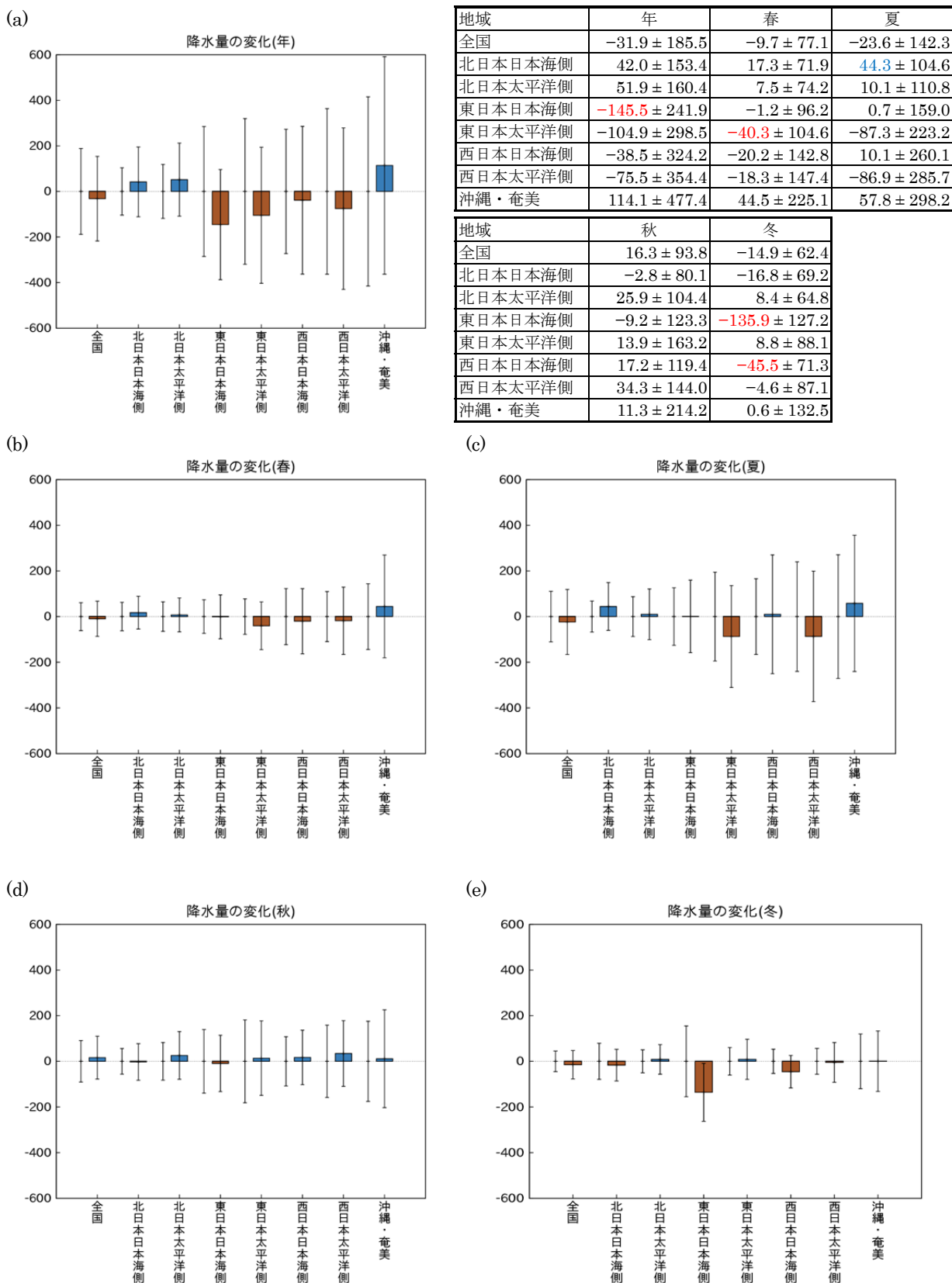
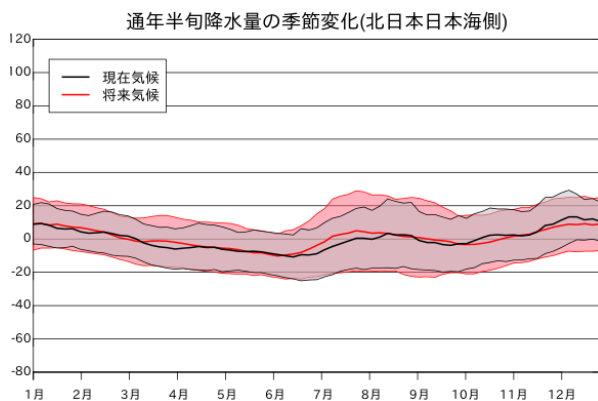


図 3.1-3 及び付表 全国及び地域別の降水量の変化 (単位: mm)

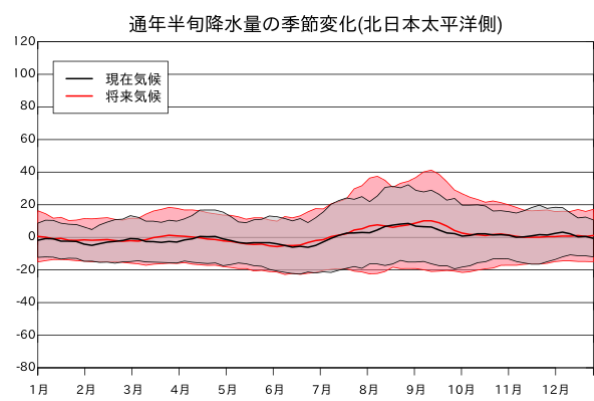
将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における4メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。(a): 年間、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)、(e): 冬(12~2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準90%で有意に増加(減少)する場合は青字(赤字)としている。

(第3章 降水の将来予測)

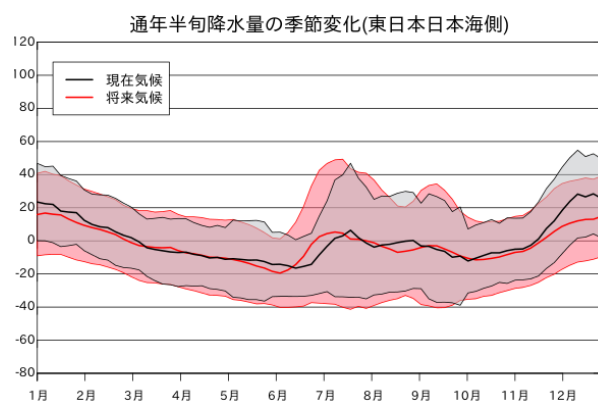
(a)



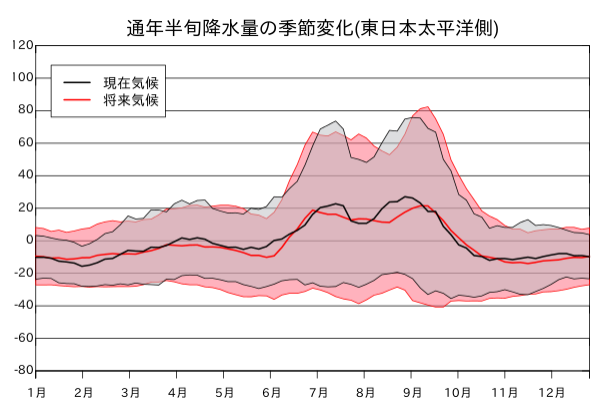
(b)



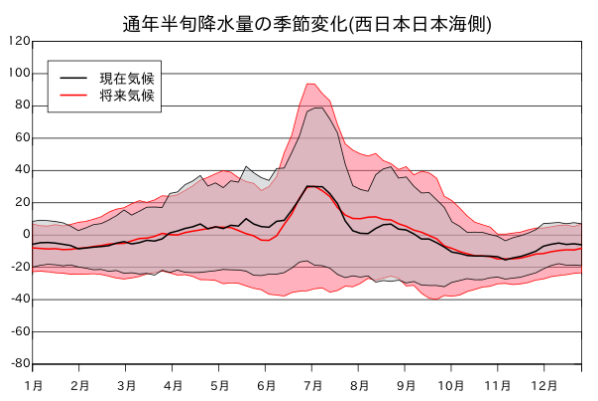
(c)



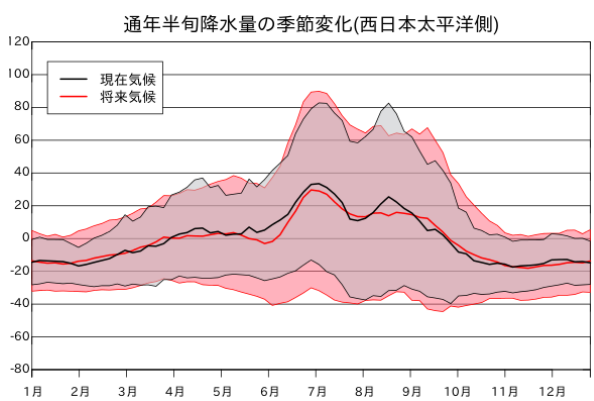
(d)



(e)



(f)



(g)

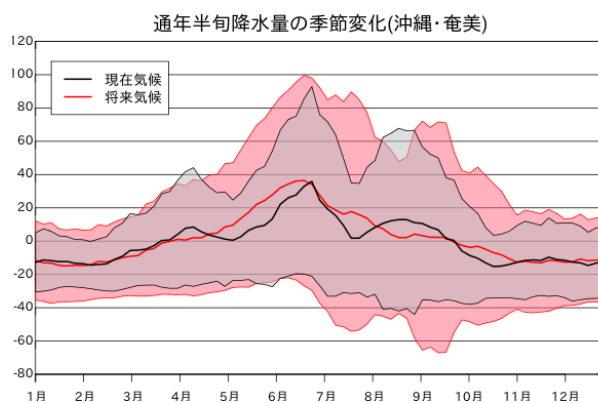


図 3.1-4 地域別の降水量の季節進行の変化（単位：mm）
黒は現在気候、赤は将来気候における通年半年別値（表 1.3-1）を1年分示したもので、折線は通年半年別値（気候値）を示し、陰影は年々変動の標準偏差を示す。現在気候及び将来気候ともに、現在気候の年平均値との差を示す。

(a)：北日本日本海側、(b)：北日本太平洋側、
(c)：東日本日本海側、(d)：東日本太平洋側、
(e)：西日本日本海側、(f)：西日本太平洋側、
(g)：沖縄・奄美

3.2 大雨の発生回数

図 3.2-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の大雨（日降水量 100mm 及び 200mm 以上）の発生回数の差の分布を示したものである。また、図 3.2-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の大雨の年間発生回数の差を示したものである。

日降水量 100mm 以上及び 200mm 以上の発生回数は、夏の九州東部から近畿地方にかけて部分的に明瞭な減少傾向が現れているが、ほぼ全ての地域及び季節で有意に増加する(図 3.2-1、図 3.2-2)。これは、「第 8 巻」でも指摘していたとおり、気温の上昇に伴って、大気中の水蒸気量が増加したためであると考えられる。

このうち、日降水量 200mm 以上となるような大雨の年間発生回数は、全国平均で 2 倍以上となる。

「第 8 巻」も概ね同じ傾向を示していたが、有意な増加傾向が現れていなかった東日本日本海側及び沖縄・奄美でも、本書では増加傾向が明瞭となり、全国的に有意な変化が現れるようになった。これは、本書では、より高位な温室効果ガスの排出を前提としていることにより気温上昇が大きくなったことに伴って、より明瞭な傾向が現れたためであると考えられる。

なお、夏は、特に日降水量 100mm 以上の場合、九州西部と東部で対照的な変化が現れているが、これは 3.1 節と整合的である。

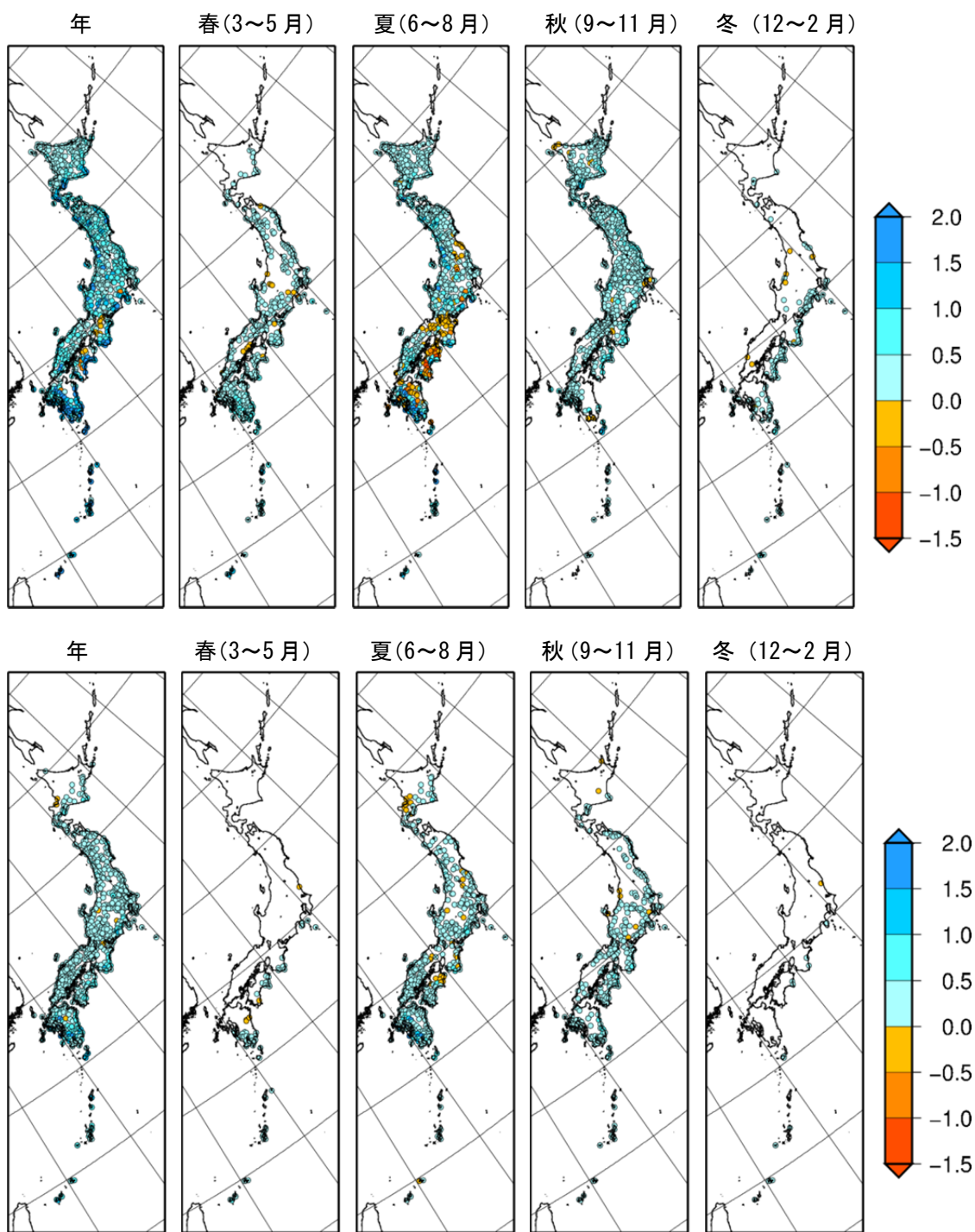


図 3.2-1 年及び季節ごとの日降水量 100mm 以上（上）、日降水量 200mm 以上（下）の発生回数の将来変化（単位：回）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。

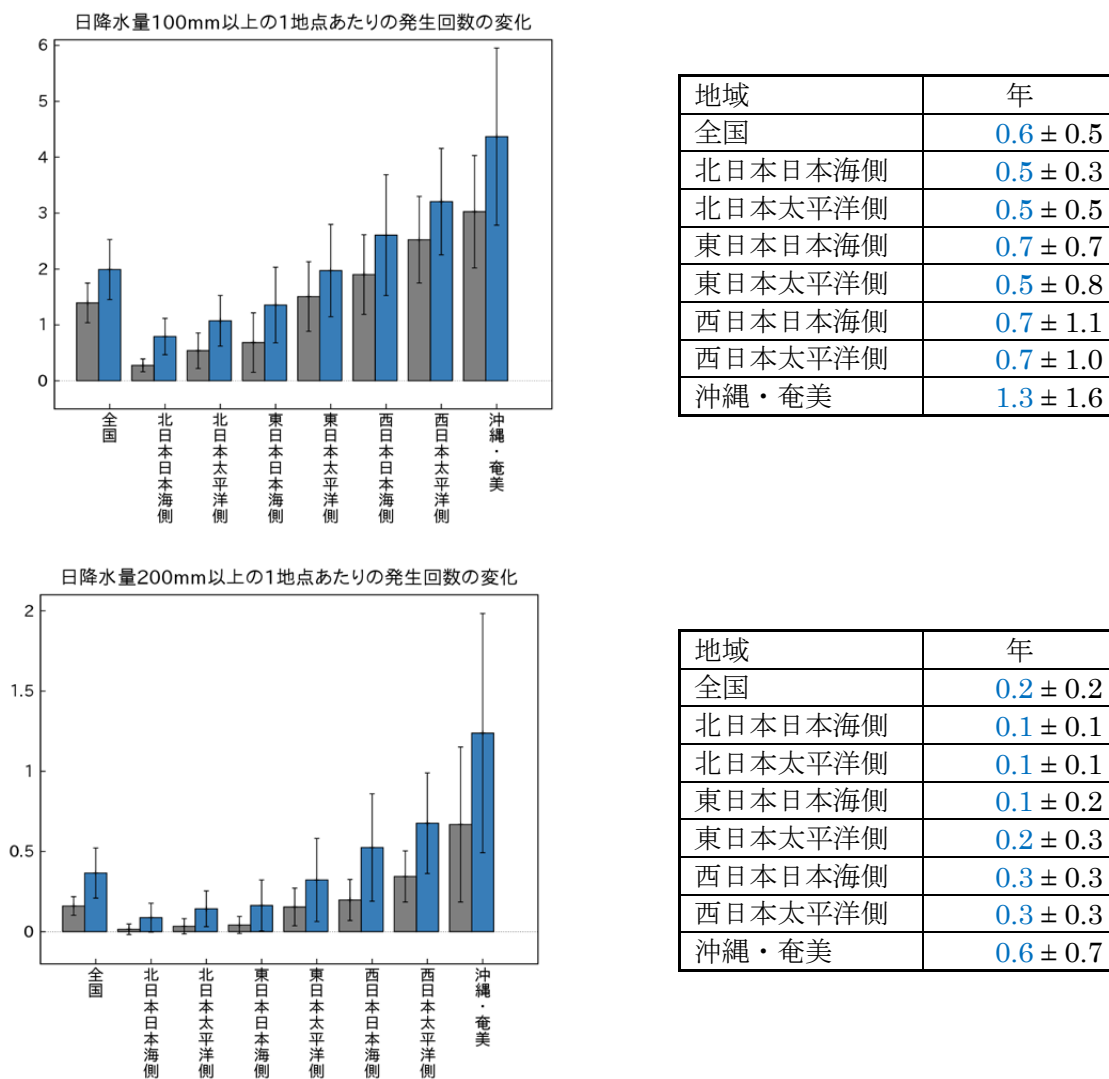


図 3.2-2 及び付表 全国及び地域別の日降水量 100mm 以上（上）、日降水量 200mm 以上（下）の発生回数の変化（単位：回）

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは平均発生回数（バイアス補正済み）、細い縦線は年々変動の幅（混合分布による標準偏差（【資料 2】を参照））（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）を示している。ただし、現在気候には補正後も依然としてバイアスが残っており、観測値とは異なることに注意。付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加（減少）する場合は赤字（赤字）としている。季節別の定量的な結果は【資料 4】A4.7、A4.8 参照。

3.3 短時間強雨の発生回数

図 3.3-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候の短時間強雨（1 時間降水量 30mm 及び 50mm 以上）の発生回数の差の分布を示したものである。また、図 3.3-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の短時間強雨の年間発生回数の差を示したものである。

バケツをひっくり返したように降る雨（1 時間降水量 30mm 以上の短時間強雨）及び滝のように降る雨（1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨）の発生回数は、減少している地点が一部見られるものの、全ての地域及び季節で有意に増加する（図 3.3-1、図 3.3-2）。

このうち、滝のように降る雨（1 時間降水量 50mm 以上の短時間強雨）の年間発生回数は、全国平均で 2 倍以上となる。

「第 8 巻」とは概ね同じ傾向を示しているが、より高位な温室効果ガスの排出を前提としていることにより気温の上昇が大きくなったことに伴い、その増加量は多くなっている。

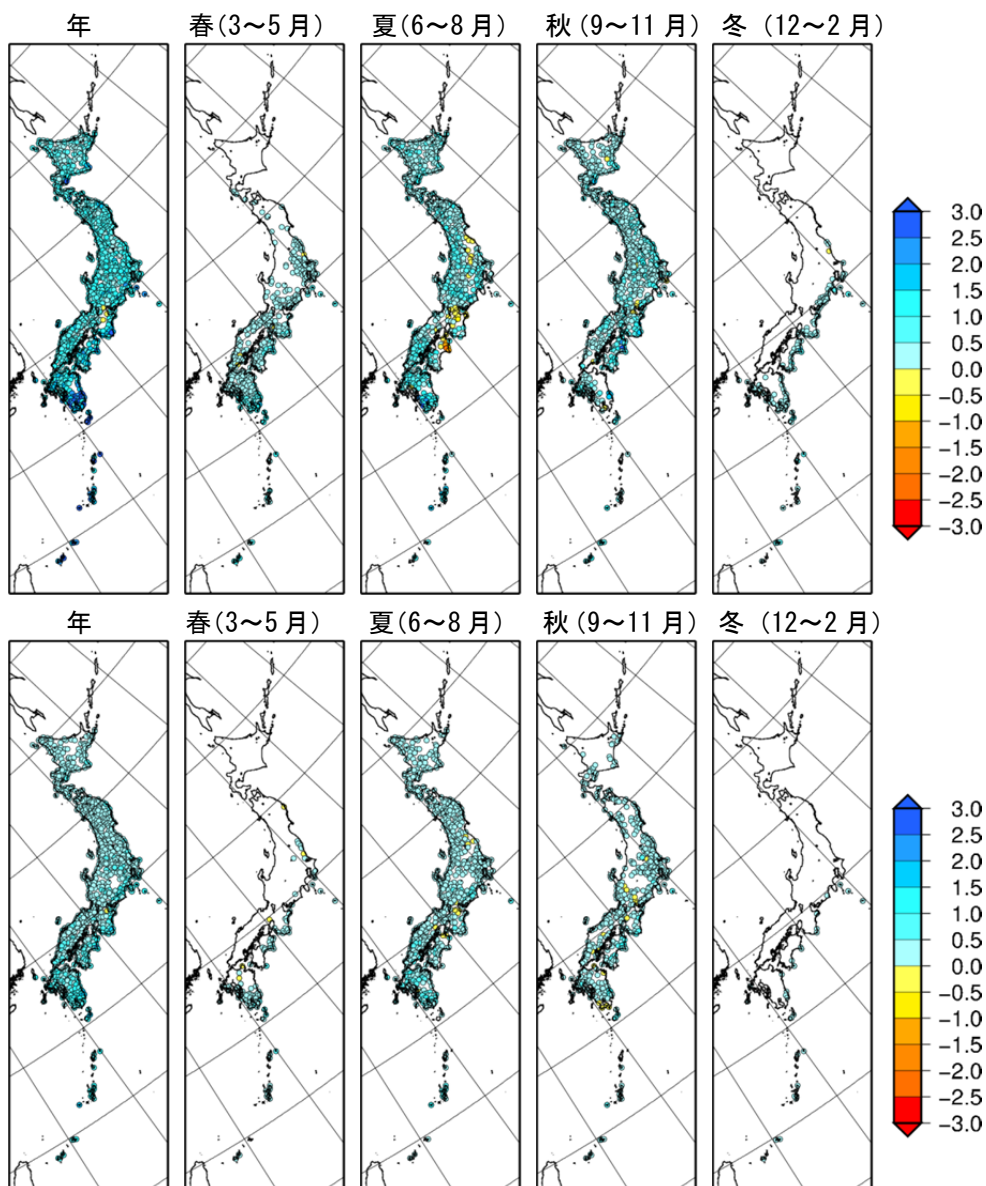
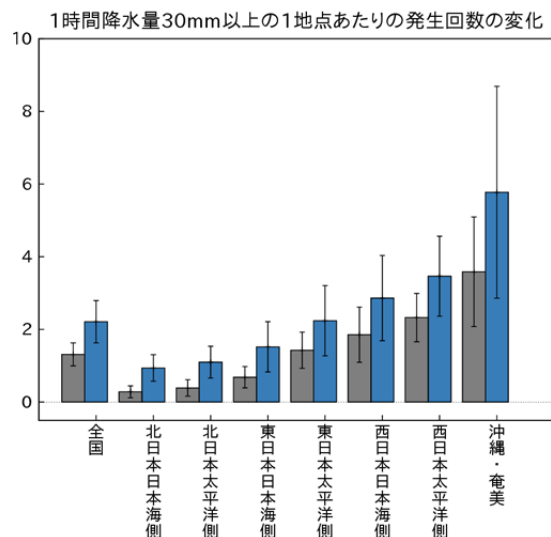
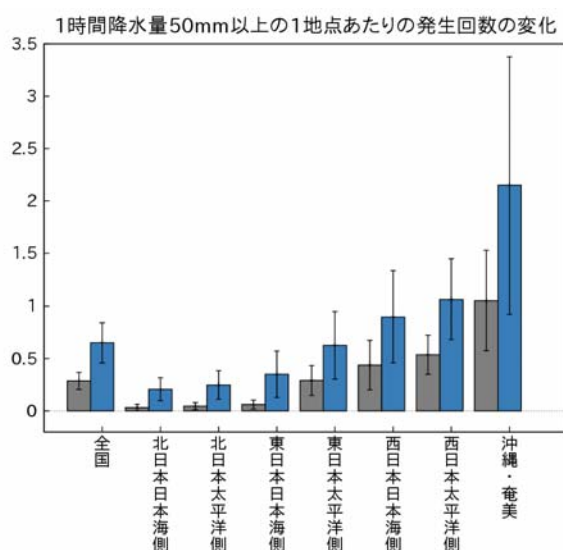


図 3.3-1 年及び季節ごとの 1 時間降水量 30mm 以上（上）、1 時間降水量 50mm 以上（下）の発生回数の将来変化（単位：回）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。



地域	年
全国	0.9 ± 0.6
北日本日本海側	0.7 ± 0.4
北日本太平洋側	0.7 ± 0.4
東日本日本海側	0.8 ± 0.7
東日本太平洋側	0.8 ± 1.0
西日本日本海側	1.0 ± 1.2
西日本太平洋側	1.1 ± 1.1
沖縄・奄美	2.2 ± 2.9



地域	年
全国	0.4 ± 0.2
北日本日本海側	0.2 ± 0.1
北日本太平洋側	0.2 ± 0.1
東日本日本海側	0.3 ± 0.2
東日本太平洋側	0.3 ± 0.3
西日本日本海側	0.5 ± 0.4
西日本太平洋側	0.5 ± 0.4
沖縄・奄美	1.1 ± 1.2

図 3.3-2 及び付表 全国及び地域別の1地点あたりの1時間降水量30mm以上(上)、1時間降水量50mm以上(下)の発生回数の変化(単位:回)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは平均発生回数(バイアス補正済み)、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料2】を参照)) (各地域とも、左:現在気候、右:将来気候)を示している。ただし、現在気候には補正後も依然としてバイアスが残っており、観測値とは異なることに注意。付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準90%で有意に増加(減少)する場合は赤字(赤字)としている。季節別の定量的な結果は【資料4】A4.9、A4.10参照。

3.4 年最大日降水量

図 3.4-1 は、地域気候モデルによる全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候の年最大日降水量（1 年間で最も多い日降水量）の差及び現在気候に対する将来気候の変化率の分布を示したものである。

年最大日降水量はほぼ全国的に有意に増加する（図 3.4-1）。また、ほとんどの地域で将来変化量が現在気候の年々変動の幅より大きいことから、将来気候では、現在ではほとんど観測されないような年最大日降水量が例年のように出現することを示している。

年最大日降水量や確率降水量⁶の将来変化の評価は、将来予測のデータ数が多いほど統計的な信頼性が増すと考えられる。多数回の実験を行った例としては、「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース（d4PDF）」⁷を用いた成果が挙げられる。例えば、Endo *et al.*(2017)⁸は日本付近の年最大日降水量は将来増加するものの、熱帯低気圧に関連する不確実性が大きいことを示しているほか、Mizuta *et al.*(2016)も日本付近での 50 年確率日降水量の増加が、全国的、特に太平洋側で大きいことを示している。

また、Sugi *et al.* (2017) は、地域頻度解析（Hosking and Wallis, 1997）⁸を拡張した広域地域頻度解析を MRI-AGCM3.2S の日降水量データに適用することにより 100 年確率日降水量が 21 世紀末には 10～60%増加することを示した。

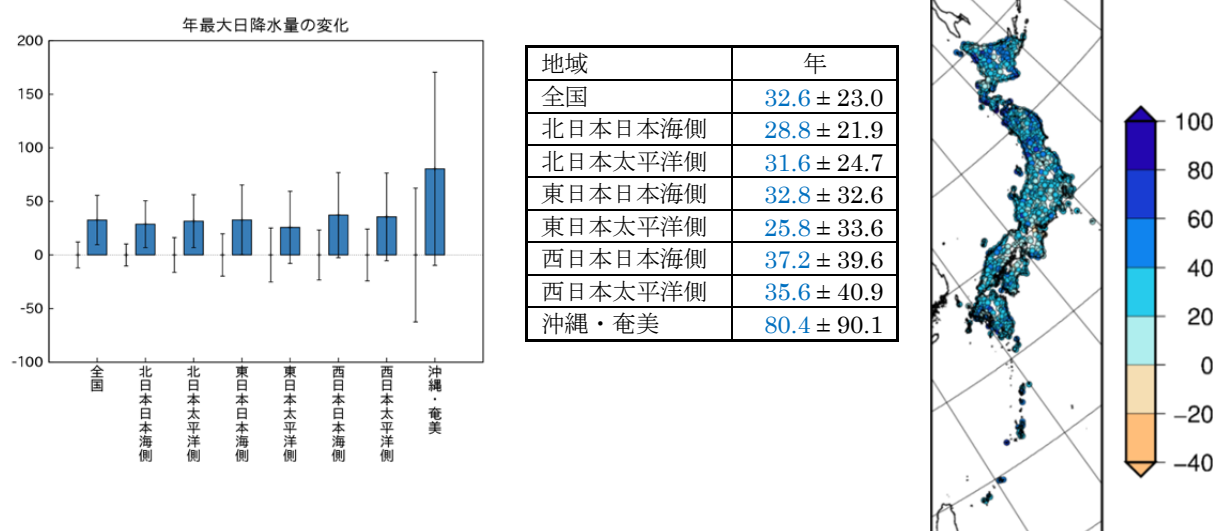


図 3.4-1 年最大日降水量の将来変化

（左）現在気候に対する変化量で示す（バイアス補正済み、単位：mm）。将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅（混合分布による標準偏差（【資料 2】参照））（各地域とも、左：現在気候、右：将来気候）を示している。

（中）左図の各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加（減少）する場合は青字（赤字）としている。

（右）現在気候に対する変化率で示す（バイアス補正済み、単位：%）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。

⁶ ある 1 年間に於いて発生する確率が 50 分の 1 であるような、稀にしか観測されない極端な大雨による日降水量。

⁷ 海洋研究開発機構（JAMSTEC）「地球シミュレータ特別推進課題」のもとで、文部科学省「気候変動リスク情報創生プログラム」に参画の研究機関等が作成した将来の気候変動に関するデータベース（Database for Policy Decision-Making for Future Climate Change）。世界全体及び日本周辺領域について、それぞれ水平解像度 60km、20km で行った予測実験で、過去 6000 年分（日本周辺域は 3000 年分）、将来（全球平均気温が産業革命以降 4 °C 上昇した未来の気候状態）については 5400 年分の計算を行っている。

⁸ 100 年など再現期間の大きな確率値を算出する際に 1 地点でのデータ数が少ない場合、近隣の降雨特性の類似した複数地点のデータを全て用いることで評価する手法。

3.5 無降水日数

図 3.5-1 は、地域気候モデルによる年及び季節ごとの現在気候と将来気候における無降水日（ここでは日降水量が 1mm 未満の日と定義する）の日数の差の分布を示したものである。また、図 3.5-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた現在気候と将来気候における無降水日の年間日数の差を示したものである。

無降水日数は、年間日数においては全ての地域で有意に増加するなど、多くの地域及び期間で有意に増加している（図 3.5-1、図 3.5-2）。特に、冬の日本海側での増加が顕著に現れている。これは 3.1 節で示したように、冬の日本海側では降水量が減少していることと整合的で、冬型の気圧配置が弱まり日本海側では降水の発生頻度が減少するためだと考えられる。

この要因としては、気温の上昇に伴って、大気が水蒸気を保持する上限（飽和水蒸気量）は増加し一度の降水イベントでもたらされる降水量は増加するが、飽和に達するまでに、より長い時間が必要になるため、無降水日数は増加する可能性が指摘されている(Giorgi *et al.*, 2011, Trenberth 2011)。

「第8巻」とは概ね同じ傾向を示しているが、より高位な温室効果ガスの排出を前提としていることにより気温上昇量が大きくなったことに伴い、その増加量は多くなっている地域が多い。

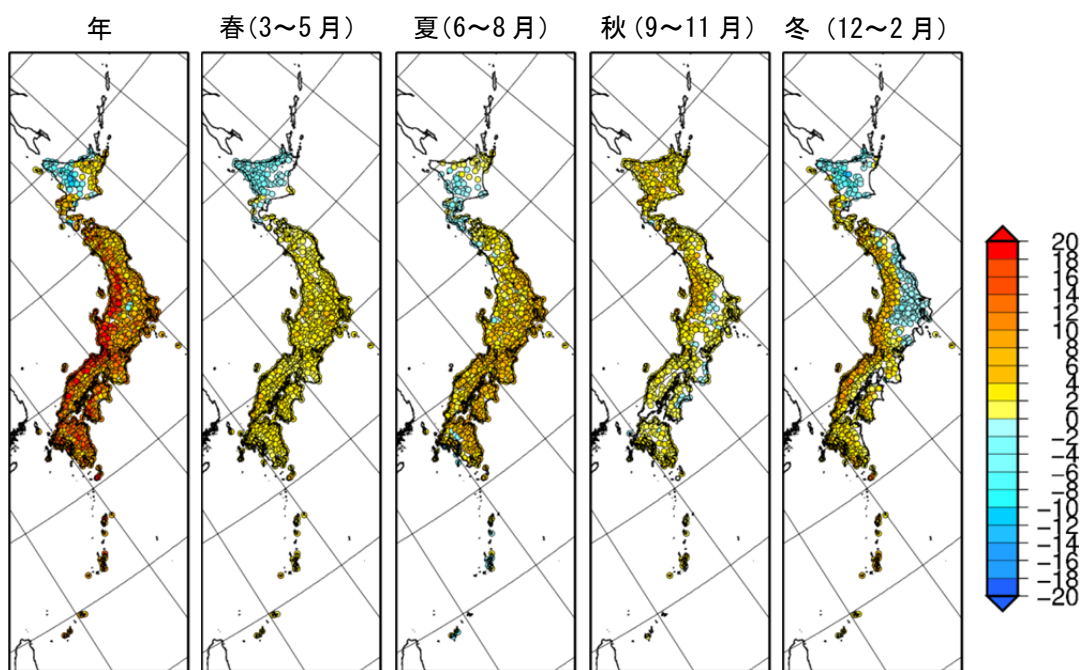
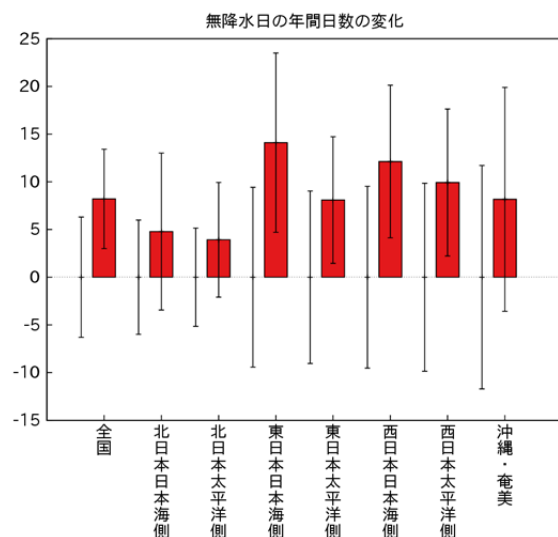


図 3.5-1 年及び季節ごとの無降水日数の将来変化（単位：日）

将来気候と現在気候との差（バイアス補正済み）。変化傾向（増減）が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示（現在気候及び将来気候ともに数値がゼロの場合は表示対象外）。



地域	年
全国	8.2 ± 5.2
北日本日本海側	4.8 ± 8.2
北日本太平洋側	3.9 ± 6.0
東日本日本海側	14.1 ± 9.4
東日本太平洋側	8.1 ± 6.6
西日本日本海側	12.1 ± 8.0
西日本太平洋側	9.9 ± 7.7
沖縄・奄美	8.2 ± 11.7

図 3.5-2 及び付表 全国及び地域別の 1 地点あたりの無降水日の年間日数の将来変化 (単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量 (バイアス補正済み)、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90% で有意に増加 (減少) する場合は赤字 (青字) としている。季節別の定量的な結果は【資料 4】A4.11 参照。

コラム 熱帯低気圧

日本域の降水量は、台風等熱帯低気圧の影響を大きく受けるため、将来気候における熱帯低気圧の変化の予測が重要である。しかし、現在の気候モデルでは、熱帯低気圧の詳細な構造を表現できるような高い解像度で全球規模の計算を行うことができない。こうした要因があるために、熱帯低気圧の将来変化の予測にはまだ大きな不確実性があると考えられている (IPCC, 2013)。

「異常気象レポート 2014」(気象庁, 2015)によると、温室効果ガスの増加に伴う熱帯低気圧の変化としては、主に以下の三つが挙げられている。

- ① 水蒸気量増加のフィードバック効果で熱帯大気の大気圏上層の気温上昇が地表面付近より大きくなり大気が安定化するため、熱帯低気圧の発生数が減少する。
- ② 海面水温が上昇することにより大気中の水蒸気量が増加し、熱帯低気圧発達のエネルギー源が増加するため平均強度が増加する。
- ③ 海面水温の上昇幅が一樣ではなく地域的な偏りがあるため、熱帯低気圧の発生位置がずれる。

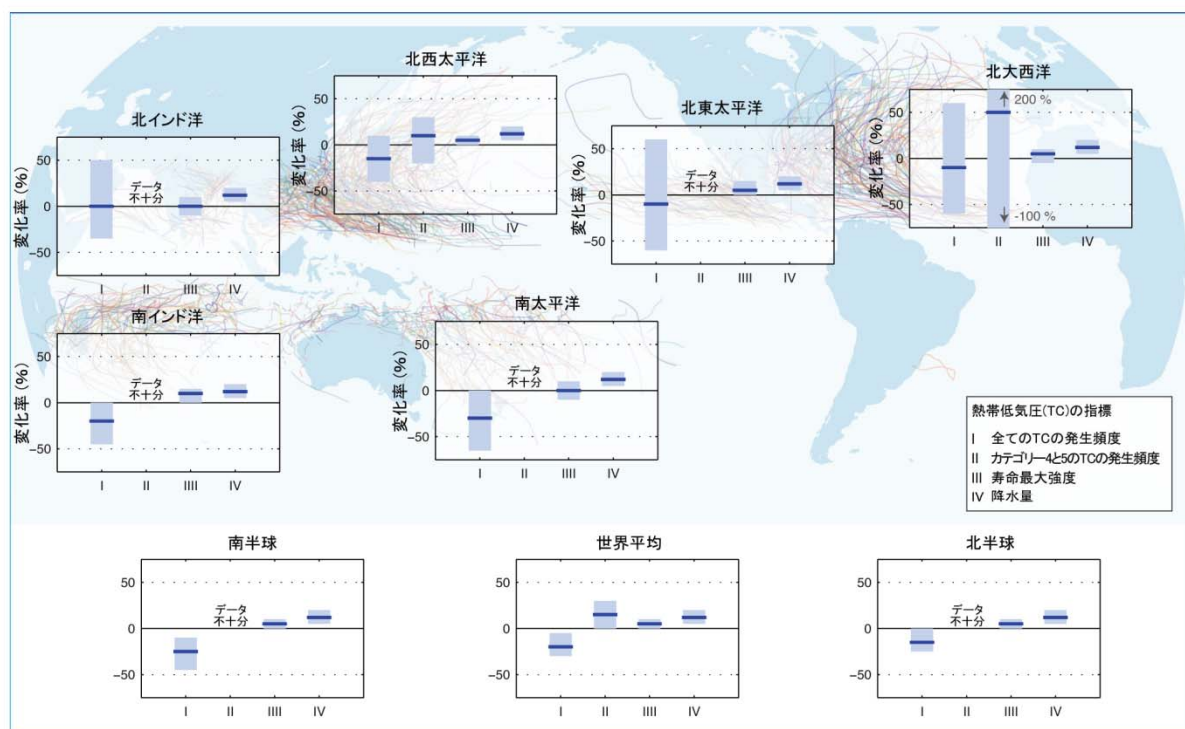


図 3.6-1 熱帯低気圧の統計量の変化予測

全ての値は、SRES A1B 的なシナリオ (【資料 1】参照) の元で 21 世紀初め (2000~2019 年) と 21 世紀末 (2081~2100 年) との変化率 (%) で表す。ただし、モデル予測を主観的に正規化した後の専門家の判断に基づく。4 つの指標に関する変化率 (%) が検討されている。I) 熱帯低気圧の年間発生頻度合計、II) カテゴリー 4 及び 5 の低気圧の年間発生頻度、III) 寿命最大強度平均 (LMI、低気圧の寿命中に到達した最大強度)、IV) LMI の時点における低気圧の中心から 200km 以内の降水量。図に示した各指標について、青い実線は予測変化率の最良推定値、青色の棒グラフはこの値に対する 67%信頼区間を示す (北大西洋におけるカテゴリー 4 及び 5 の低気圧の年間発生頻度に対する信頼区間は、-100~+200%の範囲に及ぶことに注意)。指標が表示されていないところは、十分なデータが入手できない (データ不十分と表示) ために評価ができなかったことを意味する。図の背景には、過去の低気圧経路を無作為に選んで各色で描画して、熱帯低気圧活動が発生する地域を示す。AR5 技術要約 (気象庁訳⁹) より引用。

⁹ <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>

第4章 積雪・降雪の将来予測

4.1 最深積雪

図 4.1-1 は、地域気候モデルによる年及び 12～3 月の現在気候¹と将来気候²の最深積雪の差の分布を示したもの、図 4.1-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた年及び 12～3 月の現在気候と将来気候の最深積雪の差を示したもの、図 4.1-3 は、季節進行の将来変化をみるために、地域気候モデルによる現在気候及び将来気候における地域ごとの最深積雪の通年半旬別値（表 1.3-1）を 1 年分示したものである。

年最深積雪は北海道内陸の一部地域を除いて全国的に有意に減少しており、特に本州日本海側で大きな減少が予測されている（図 4.1-1）。期間別、地域別にみても、最深積雪は全期間及び全地域で有意に減少している（図 4.1-2）。

季節変化をみると、将来は現在ではほとんど現れないような小さい最深積雪が現れる（将来の変動幅が現在の変動幅と完全に離れている）とともに、積雪期間のはじめと終わりの時期にも減少するため、積雪期間が短くなることが予測されている。また、北日本や東日本日本海側では、最深積雪のピーク時期が 1 か月程度早まっている（図 4.1-3）。

「第 8 巻」と比べると、傾向は同じではあるが、より高位な温室効果ガス排出を前提としていることから気温の上昇量が大きく、最深積雪の減少量は大きくなっている。一方、厳冬期の北海道内陸の一部地域では、最深積雪の増加が予測されている。これは、地球温暖化による気温や海面水温の上昇を背景として大気中の水蒸気量が増加する（3.2 節）ことで、温暖化時でも十分に寒冷な地域においては降雪量が増加する（例えば、Brown and Mote, 2009）ことに加え、降雪が積雪として持続するため（Sasaki *et al.*, 2012）だと考えられる。

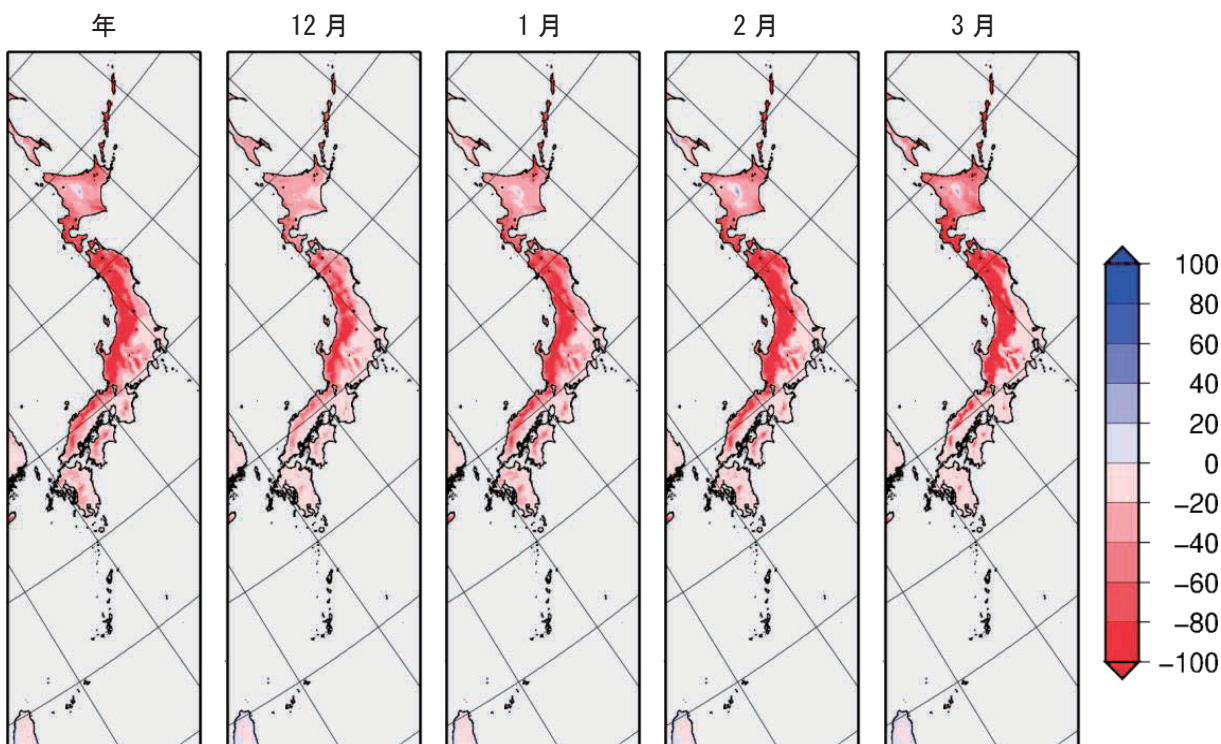


図 4.1-1 年及び月最深積雪の将来変化（単位：cm）
将来気候と現在気候との差。4 メンバー平均。

¹ NHRCM05 による 1980～1999 年の計算結果。

² NHRCM05 による 2076～2095 年の計算結果。

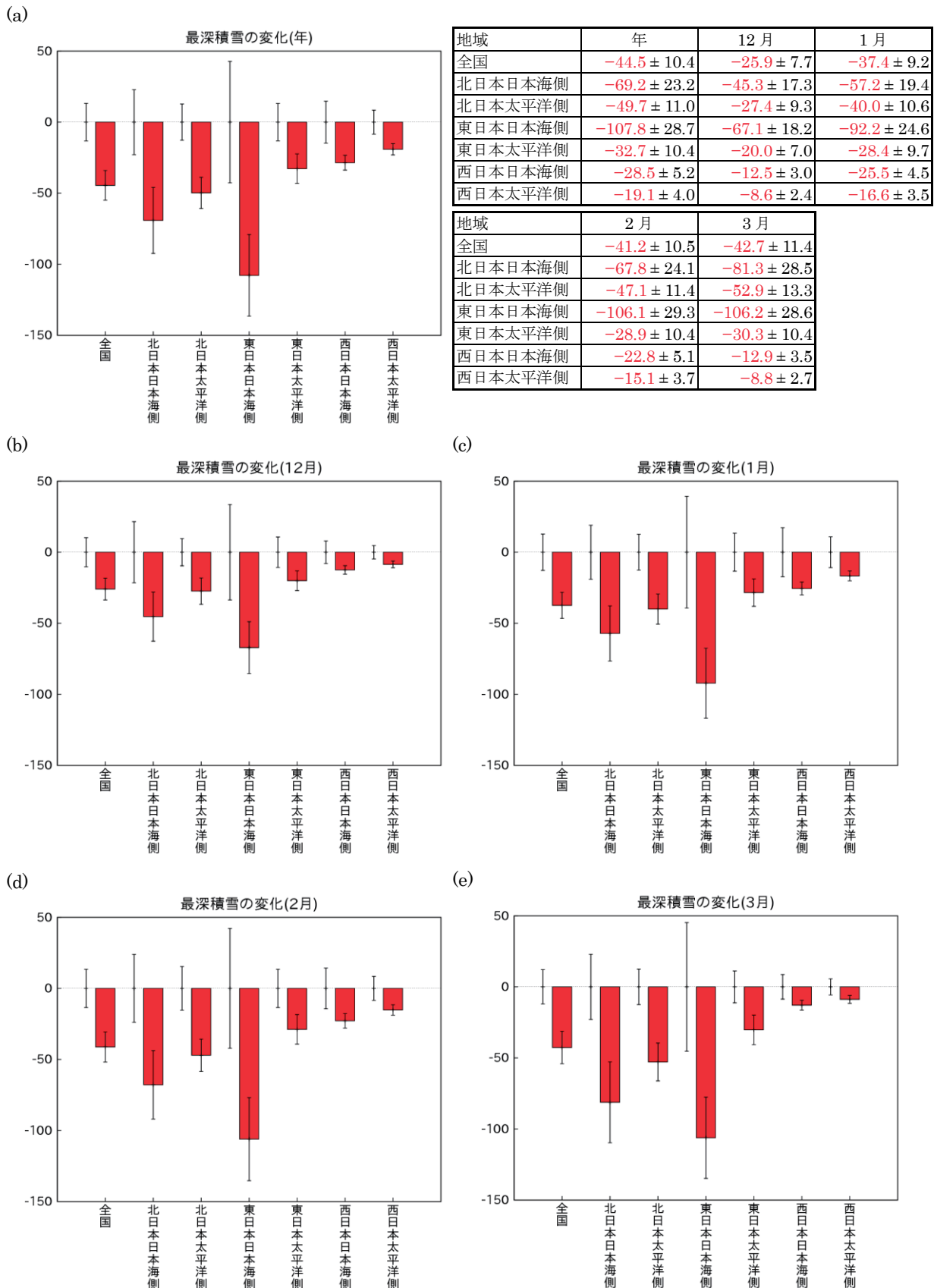
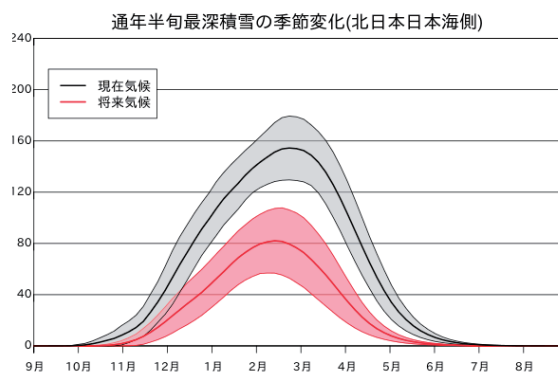


図 4.1-2 及び付表 全国及び地域別の最深積雪の変化 (単位: cm)

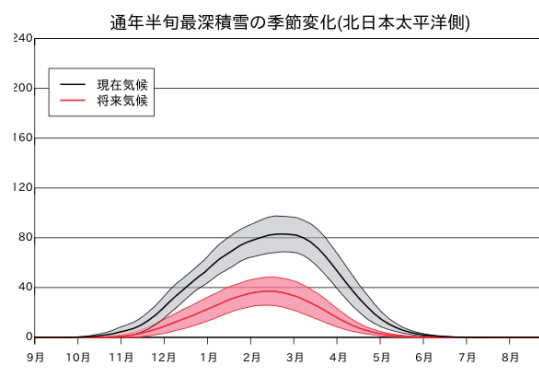
将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における4メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。
 (a): 年間、(b): 12月、(c): 1月、(d): 2月、(e): 3月。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準90%で有意に減少(増加)する場合は赤字(青字)としている。

(第4章 積雪・降雪の将来予測)

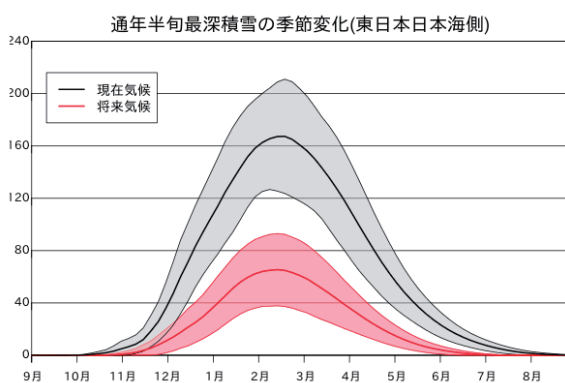
(a)



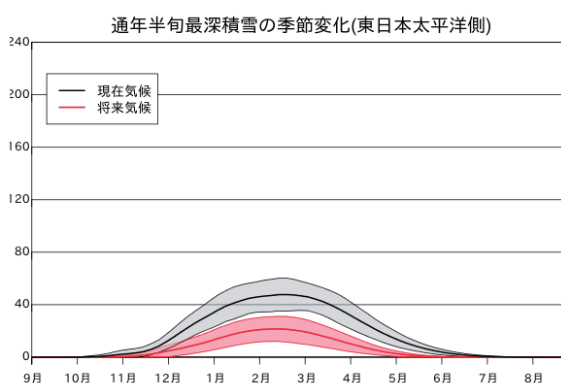
(b)



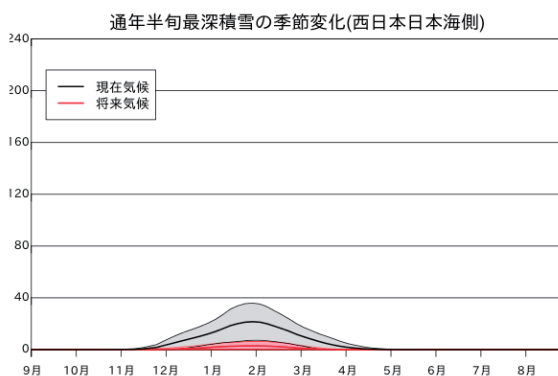
(c)



(d)



(e)



(f)

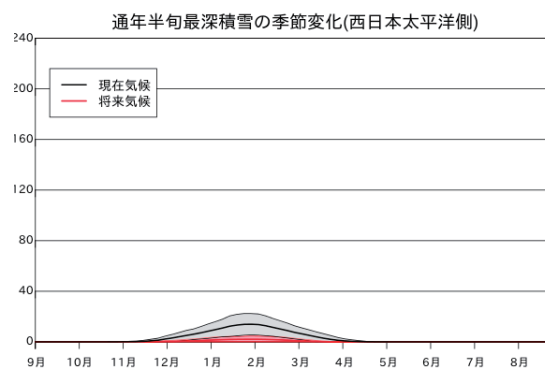


図 4.1-3 地域別の最深積雪の季節進行の変化 (単位 : cm)

黒は現在気候、赤は将来気候における通年半年別値 (表 1.3-1) を 1 年分示したもので、折線は通年半年別値 (気候値) を示し、陰影は年々変動の標準偏差を示す。

(a) : 北日本日本海側、(b) : 北日本太平洋側、(c) : 東日本日本海側、(d) : 東日本太平洋側、(e) : 西日本日本海側、(f) : 西日本太平洋側

4.2 降雪量

図 4.2-1 は、地域気候モデルによる年及び 12～3 月の現在気候と将来気候の降雪量³の差の分布を示したもの、図 4.2-2 及び付表は、全国及び地域ごとにみた年及び 12～3 月の現在気候と将来気候の降雪量の差を示したもの、図 4.2-3 は、季節進行の将来変化をみるために、地域気候モデルによる現在気候及び将来気候における地域ごとの降雪量の通年半旬別値（表 1.3-1）を 1 年分示したものである。

年降雪量は、北海道内陸の一部地域を除いて全国的に有意に減少しており、特に本州日本海側で大きな減少が予測されている（図 4.2-1）。期間別、地域別にみても、降雪量は全期間及び全地域で有意に減少している（図 4.2-2）。東日本日本海側及び西日本日本海側では冬の降水量も有意に減少している（3.1 節）ことから、本州日本海側での降雪量が減少しているのは、気温の上昇に伴って雪が雨として降るだけでなく、日本付近の大気の流れが変わった影響を受けていることを示唆している。

季節変化（図 4.2-3）をみると、降雪期間のはじめと終わりの時期にも減少するため、降雪期間が短くなることが予測されている。また、北日本日本海側、東日本日本海側では降雪のピーク時期が 1 か月程度遅くなっている。しかし、年々変動の幅を考慮すると、北日本をはじめとして現在気候と同程度の降雪量となる年も現れている。

「第 8 巻」と比べると、傾向は同じではあるが、より高位な温室効果ガスの排出を前提としていることから温暖化の影響が大きく、降雪量の減少量は大きくなっている。

一方、厳冬期の北海道内陸の一部地域では、降雪量の増加が予測されている。これは、4.1 節で述べたとおり、地球温暖化による気温や海面水温の上昇を背景として大気中の水蒸気量が増加する（3.2 節）ことで、温暖化時でも十分に寒冷な地域においては降雪量が増加するため（例えば、Brown and Mote, 2009）だと考えられる。このため、厳冬期の北日本では、将来においても現在と同程度の降雪が現れている（図 4.2-3）。さらに、Kawase *et al.* (2016) は、d4PDF（3.4 節参照）の結果を用いて、地球温暖化が進行した状態でも本州や北海道の内陸部ではたまに起こる極端な降雪の頻度が増大することを示している。

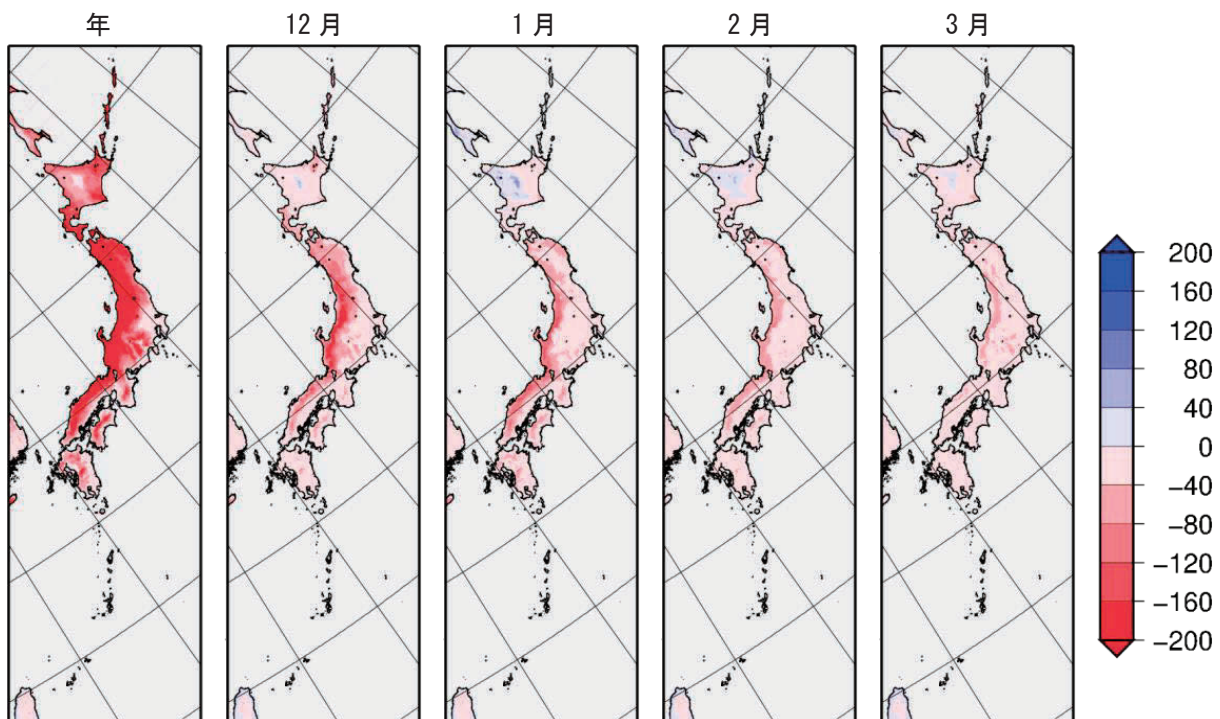
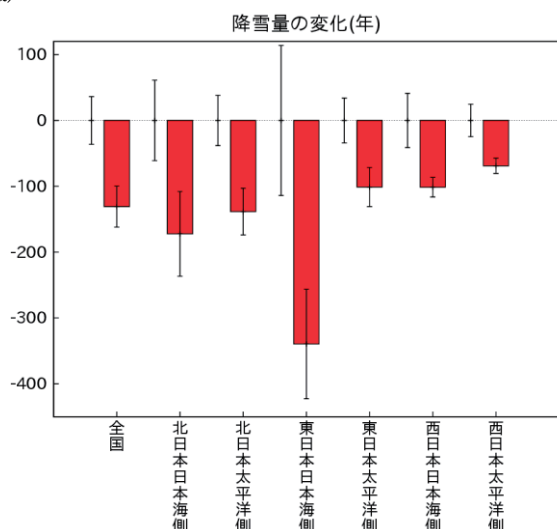


図 4.2-1 年及び月降雪量の将来変化（単位：cm）
将来気候と現在気候との差。4 メンバー平均。

³ ここでは、各日における 1 時間ごとの積雪深差（正の値のみ）の合計を日降雪量と定義し、年・月別に合計した。

(第4章 積雪・降雪の将来予測)

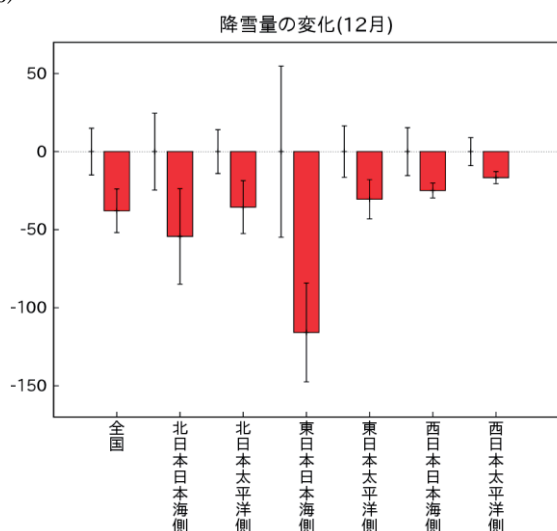
(a)



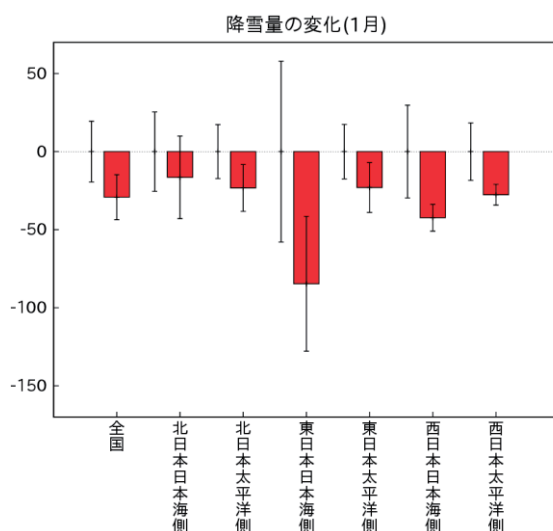
地域	年	12月	1月
全国	-130.8 ± 31.2	-37.9 ± 13.9	-29.2 ± 14.4
北日本日本海側	-172.2 ± 64.4	-54.3 ± 30.6	-16.5 ± 26.4
北日本太平洋側	-138.5 ± 35.4	-35.5 ± 17.0	-23.2 ± 15.0
東日本日本海側	-339.5 ± 83.1	-115.8 ± 31.6	-84.7 ± 43.2
東日本太平洋側	-101.1 ± 29.7	-30.5 ± 12.6	-23.0 ± 16.0
西日本日本海側	-101.4 ± 14.9	-24.9 ± 4.8	-42.4 ± 8.6
西日本太平洋側	-68.9 ± 11.6	-16.7 ± 3.9	-27.6 ± 6.7

地域	2月	3月
全国	-18.9 ± 12.5	-15.9 ± 10.4
北日本日本海側	-16.4 ± 24.0	-20.9 ± 22.5
北日本太平洋側	-14.9 ± 14.2	-19.7 ± 15.2
東日本日本海側	-55.6 ± 33.0	-35.8 ± 22.0
東日本太平洋側	-14.8 ± 11.7	-14.5 ± 9.3
西日本日本海側	-23.0 ± 8.4	-8.7 ± 4.2
西日本太平洋側	-15.7 ± 6.3	-6.9 ± 3.2

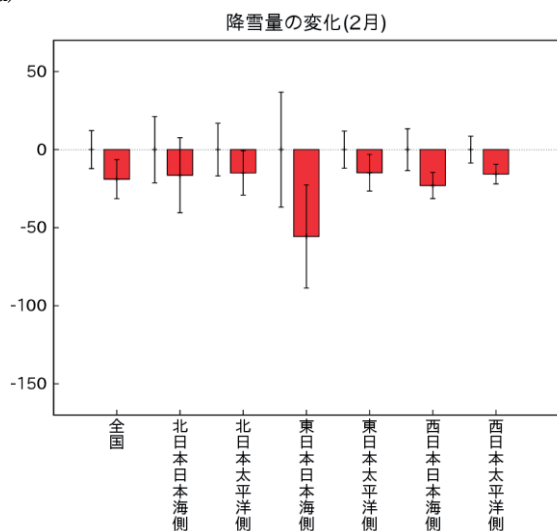
(b)



(c)



(d)



(e)

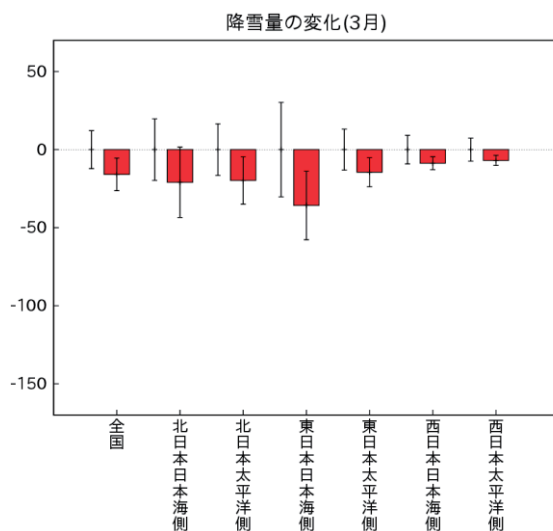
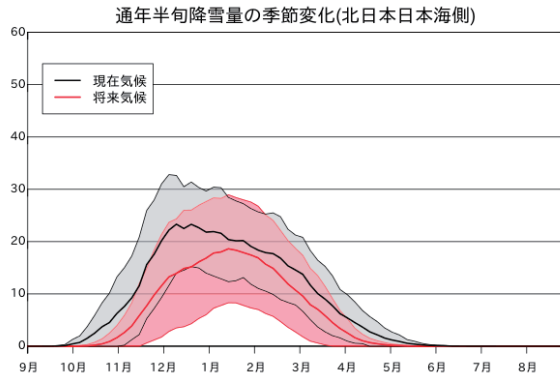


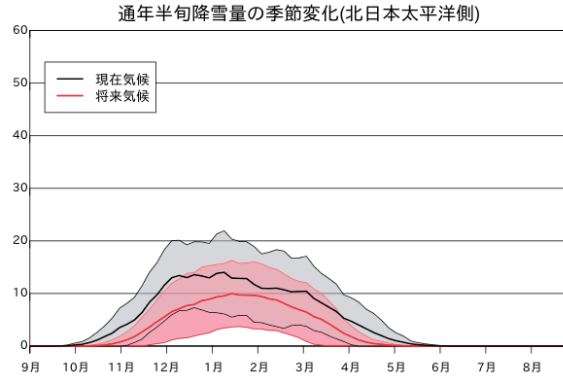
図 4.2-2 及び付表 全国及び地域別の降雪量の変化 (単位: cm)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における4メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料2】参照))(各地域とも、左:現在気候、右:将来気候)を示している。(a):年間、(b):12月、(c):1月、(d):2月、(e):3月。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準90%で有意に減少(増加)する場合は赤字(青字)としている。

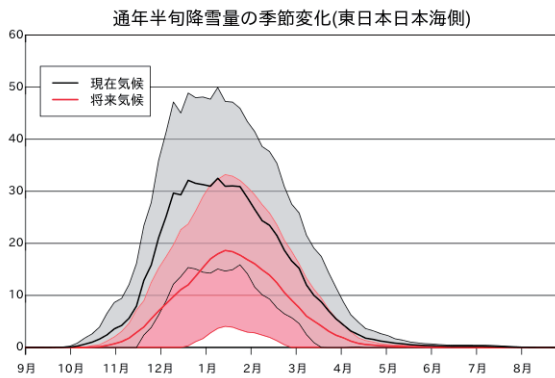
(a)



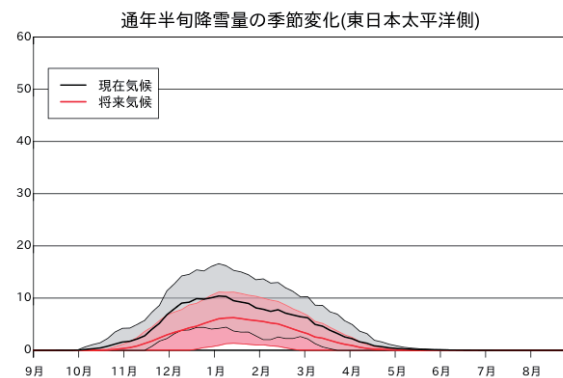
(b)



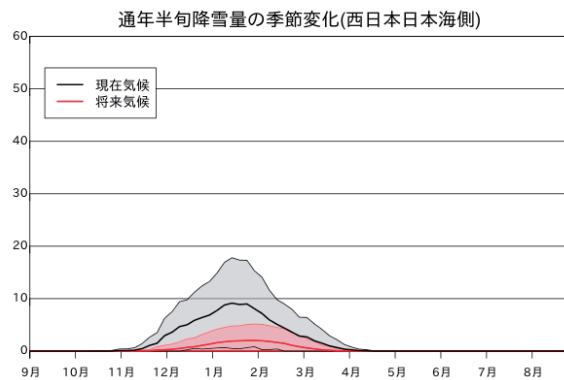
(c)



(d)



(e)



(f)

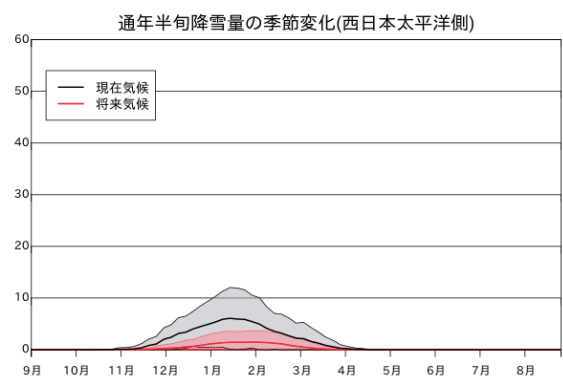


図 4.2-3 地域別の降雪量の季節進行の変化 (単位: cm)

黒は現在気候、赤は将来気候における通年半年別値 (表 1.3-1) を 1 年分示したもので、折線は通年半年別値 (気候値) を示し、陰影は年々変動の標準偏差を示す。

(a): 北日本日本海側、(b): 北日本太平洋側、(c): 東日本日本海側、(d): 東日本太平洋側、(e): 西日本日本海側、(f): 西日本太平洋側

【資料 1】人為起源による放射強制力¹の変化のシナリオ

人為起源の温室効果ガスの大気中濃度変化に伴う将来気候変化予測を行うためには、人為起源による放射強制力の変化のシナリオが必要となる。本書で用いた RCP8.5 シナリオは、IPCC が第 3 次評価報告書及び第 4 次評価報告書で用いた SRES シナリオ²に代わり、第 5 次評価報告書で将来気候予測に用いた RCP シナリオ³のうちの 1 つである。SRES シナリオでは、今後の社会・経済動向に関する仮定から算出した温室効果ガスの排出シナリオにより放射強制力を求めたのに対して、RCP シナリオでは社会・経済的な将来像を仮定せず、将来予測される多様な放射強制力の経路の中から代表的なものを選択し、これに基づき気候を予測する。放射強制力に対応・比較できる社会・経済的シナリオは別途用意する。このため、放射強制力の経路ごとに緩和策を含む多様な社会・経済シナリオ (SSP シナリオ⁴) を作成することが可能となり、「気温上昇を 2℃に抑えるためには」といった、目的主導型の社会経済シナリオになっているといえる。RCP シナリオでは、社会経済モデルから作成した多くのシナリオから、

- ①シナリオ間の放射強制力が明確にかけ離れていること
- ②シナリオの数が奇数でないこと (奇数であると、中位の放射強制力を持つシナリオの実現確率が最も高いと誤解される恐れがあるため)
- ③放射強制力が高／低の二通りでないこと
- ④多すぎないこと

の 4 点を考慮して、RCP2.6 (低位安定化シナリオ：気温上昇を工業化以前と比べて 2℃未満に抑えることを目指す想定)、RCP8.5 (高位参照シナリオ：現時点を超える政策的な緩和策を行わないことを想定)、及びそれらの間に位置する RCP4.5 (中位安定化シナリオ) と RCP6.0 (高位安定化シナリオ) の 4 シナリオが選択された。「RCP」に付く数値は放射強制力の目安であり、RCP2.6 では「2100 年以前に約 3Wm^{-2} でピークを迎え、その後減少し、2100 年頃には約 2.6Wm^{-2} となる」、RCP8.5 では「2100 年の時点で 8.5Wm^{-2} を超え、上昇が続く」、RCP4.5 と RCP6.0 では「2100 年以降に約 4.5 (6.0) Wm^{-2} で安定化する」ことを示している (図 A1-1 (左))。また、各シナリオにおける二酸化炭素排出量を社会経済シナリオと簡易炭素循環モデルを含む統合評価モデルにより算出した結果を見ると、RCP2.6 シナリオでは 2100 年頃に負の排出量となっており、2100 年頃の放射強制力を約 2.6Wm^{-2} に抑えるためには、大気中の二酸化炭素を吸収する必要があることを示唆している (図 A1-1 (右))。

¹ 気候変動をもたらす温室効果ガス、エアロゾル、土地利用等の変化によって引き起こされる放射エネルギー収支の変化量。単位は Wm^{-2} 。正の放射強制力は地球を暖め、負の放射強制力は地球を冷やす傾向がある。RCP シナリオでは、1750 年を基準とした、それぞれのシナリオにおけるおおよその放射強制力を示している。

² IPCC が 2000 年に公表した排出シナリオに関する特別報告書 (Special Report on Emissions Scenarios : SRES) によるシナリオ。

³ 代表的濃度経路 (Representative Concentration Pathways) シナリオ。社会・経済的な将来像を仮定せず、将来予測される多様な放射強制力の経路の中から、代表的なものを選択する。

⁴ SSP シナリオ (Shared Socio-economic Pathway) と呼ばれ、緩和策と適応策の困難度を指標に SSP1～5 の 5 種類が検討されている。各シナリオの概要は以下のとおりである。SSP1 (理想的な世界)：教育水準、ガバナンスともに高水準であり、国際的に協調し、その結果技術進歩も高い。SSP2 (中庸的な世界)：SSP1 と SSP3 の間に位置する。SSP3 (望ましくない世界)：教育水準、ガバナンスともに低く、世界は分断、技術は停滞。SSP4 (分裂社会)：国際的、各国内で社会的格差が開く分断された世界。技術水準は高いが貧困層は脆弱。SSP5 (化石燃料依存)：教育水準は高く技術進歩も高い。しかし、エネルギーは化石燃料に依存する。

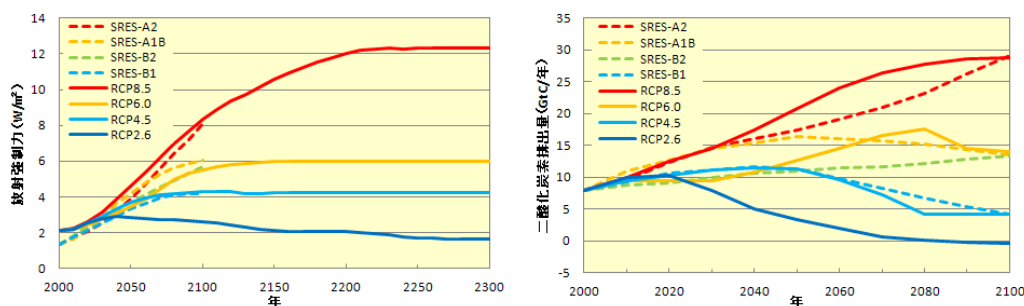


図 A1-1 SRES シナリオと RCP シナリオに基づく放射強制力（左）と二酸化炭素排出量（右）

RCP シナリオを実線で、SRES シナリオを破線で示す。気象庁、2015 より引用。

なお、SRES シナリオと RCP シナリオでは様々な仮定が異なるため、放射強制力の違いだけから単純に比較することはできないが、van Vuuren and Carter (2013) では、SRES シナリオと SSP シナリオの社会経済発展シナリオを比較し、さらに SRES シナリオと RCP シナリオの大気組成、放射強制力、気候特徴を比較し、SRES シナリオが当てはまる RCP シナリオと SSP シナリオの最適な組み合わせを示している。これによると「地球温暖化予測情報第 8 巻」（気象庁、2013）で用いた SRES A1B シナリオは、RCP6.0 と SSP2 の組み合わせに相当する。

今回の予測実験では、主要な温室効果ガスである二酸化炭素に関して世界的排出量の近年の増加傾向がほぼ沿っていることや、その延長上での将来リスクを明らかにする観点から、RCP8.5 シナリオに基づく温室効果ガス濃度を外部強制力としてシミュレーションを行った。このシナリオでは、現時点の温室効果ガス排出削減の取組みに追加を行わず、非常に高い温室効果ガス排出となるものであり、放射強制力が 2100 年までに 8.5Wm^{-2} 以上に達することが想定されている。

AR5 によれば、2081～2100 年の世界平均地上気温の 1986～2005 年平均に対する上昇量は前提とする RCP シナリオによって異なり、RCP2.6 シナリオでは $0.3\sim 1.7^{\circ}\text{C}$ 、RCP4.5 シナリオでは $1.1\sim 2.6^{\circ}\text{C}$ 、RCP6.0 シナリオでは $1.4\sim 3.1^{\circ}\text{C}$ 、RCP8.5 シナリオでは $2.6\sim 4.8^{\circ}\text{C}$ の範囲に入る可能性が高いと予測されている（図 A1-2）。また、IPCC では、工業化（産業革命：18 世紀後半）以前の基準年を 1750 年としているが、当時の世界平均地上気温としては、データの不備から、より測器観測データの整った 1850～1900 年の平均値で代用している。それによれば、工業化以前から、上記予測の初期値までにすでに 0.61°C 昇温しており、上記予測値にこの値を加えれば工業化以前からの気温上昇量が示される。

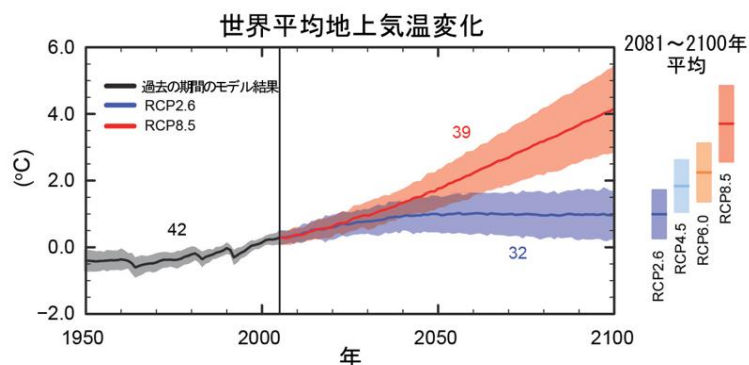


図 A1-2 CMIP5 の複数のモデルによりシミュレーションされた時系列（1950 年から 2100 年）

1986～2005 年平均に対する世界平均地上気温の変化。予測と不確実性の幅（陰影）の時系列を、RCP2.6（青）と RCP8.5（赤）のシナリオについて示した。黒（と灰色の陰影）は、復元された過去の強制力を用いてモデルにより再現した過去の推移である。全ての RCP シナリオに対し、2081～2100 年の平均値と不確実性の幅を彩色した縦帯で示している。数値は、複数モデルの平均を算出するために使用した CMIP5 のモデルの数を示している。AR5 政策決定者向け要約（気象庁訳⁵）より引用。

⁵ <http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>

【資料 2】本書での不確実性の評価

本書では、現在気候としては 20 年分、将来気候としては 20 年×4 メンバーの計 80 年分のデータを用いている。このため、解析対象によっては、20 年平均値の将来変化量（将来気候－現在気候など）のメンバー間の差異が大きく、増減の傾向さえ異なることもある（例えば、年降水量）。一方、20 年平均値の将来変化量はメンバー間で似ていたとしても、20 年間のばらつき具合（年々変動）がメンバー間で大きく異なることもあり得る。このような将来の不確実性を定量的に評価するためには、20 年平均値の将来変化量におけるメンバー間のばらつき具合だけでなく、各メンバーにおける 20 年間の年々変動の大きさを全て考慮しなければならない。

そこで、本書では、Wakamatsu *et al.*(2017)を参考に、以下の手法を用いて将来気候の不確実性の幅を定量的に評価した。

- ① 各メンバーにおける 20 年分のデータが 1 つの分布に従っており、各分布が等確率で生じるような 1 つの混合分布（複数の分布を足し合わせた分布）で表される（図 A2-1 左）と仮定する。
- ② 混合分布のばらつき具合（分散）は、各メンバーの 20 年平均値のばらつき具合（メンバー間の分散：メンバーによる不確実性）と、各メンバーにおけるばらつき具合（20 データの分散：年々変動による不確実性）の平均値の和で表される。
- ③ さらに、データ数を増やした場合、混合分布がどの程度ばらつくのかを評価するため、80 年分のデータから重複を許してランダムに 20 年×4 メンバーの新たなデータセットを作る。この新たな組合せのデータセットの平均値を求める。
- ④ ③を多数回（本書では 10000 回）繰り返し（リサンプリング）、これらの平均値のばらつき具合を求め、②に加える（図 A2-1 右）。この分散から求められた標準偏差を、将来気候における不確実性の幅とする。

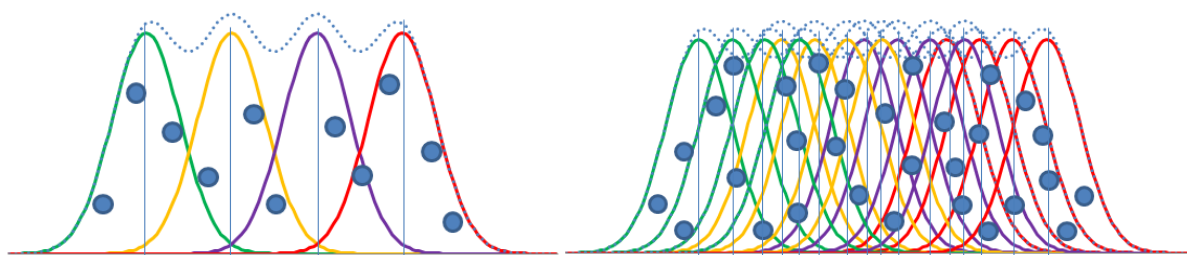


図 A2-1 20×4 個のデータに基づく混合分布のばらつき具合のイメージ（左）、
10000×20×4 個のデータに基づくばらつき具合のイメージ（右）
●は個々のサンプル、実線は各メンバーにおける分布、点線は混合分布のイメージ

本書では、④による不確実性の幅を、年々変動の幅として棒グラフのエラーバー（細い縦線）を用いて表すとともに、付表においては「平均値±標準偏差」という形式で評価結果を示している。これは、正規分布を仮定すると、年々の値がこのエラーバーの範囲に約 68%の確率で出現することに相当する。

なお、現在気候の標準偏差（棒グラフにおける 0 を中心としたエラーバー）も、将来気候と同様に、20 年分のデータの分散に、それら 20 年分のデータを上記③④のように多数回リサンプリングした平均値の分散を加えた値から求めている。

【資料 3】地域気候モデルの気候再現性、バイアス補正

気候モデルを用いて地球温暖化予測を行う場合、その気候モデルがどの程度、現実の気候を再現できているのかを確認する必要がある。

本書では、地域気候モデル（NHRCM05）の再現性を評価するために、観測値（アメダス、地上気象観測）とその地点に対応する格子点値の 20 年平均値（1980～1999 年）を地域ごとに比較した。以下に示す各気象要素における比較結果は、表 A3-1 で示す基準に従って系統誤差（バイアス）の有無を表記している。

表 A3-1 バイアスの表記について

	本書での表記
系統誤差の地域平均が 地点間のばらつきの標準偏差 以上の場合	「正（負）のバイアスがある」
同未満の場合	「明確なバイアスはない」

A3.1 気温の再現性

A3.1.1 平均気温

冬の北日本、東日本に負のバイアスがある。夏の北日本では正のバイアスがある（表 A3.1-1）。

表 A3.1-1 各地域の平均気温の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：℃）。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつき具合（標準偏差）。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、赤字（青字）としている。

地域	年	春（3～5 月）	夏（6～8 月）	秋（9～11 月）	冬（12～2 月）
全国	-0.13 (0.59)	0.16 (0.87)	0.78 (0.86)	0.08 (0.83)	-1.53 (1.03)
北日本日本海側	-0.42 (0.60)	-0.29 (0.92)	1.15 (0.95)	-0.09 (0.86)	-2.47 (1.06)
北日本太平洋側	-0.15 (0.66)	0.14 (0.95)	1.59 (1.08)	0.08 (0.89)	-2.40 (1.10)
東日本日本海側	-0.22 (0.58)	-0.01 (0.91)	0.52 (0.84)	0.02 (0.86)	-1.42 (0.95)
東日本太平洋側	-0.17 (0.61)	0.15 (0.91)	0.51 (0.85)	0.07 (0.85)	-1.42 (0.96)
西日本日本海側	0.11 (0.53)	0.40 (0.76)	0.44 (0.74)	0.26 (0.77)	-0.65 (1.09)
西日本太平洋側	0.05 (0.55)	0.44 (0.80)	0.33 (0.71)	0.15 (0.78)	-0.69 (1.02)
沖縄・奄美	-0.06 (0.44)	0.31 (0.68)	-0.07 (0.51)	0.03 (0.49)	-0.52 (0.80)

(資料 3)

A3.1.2 最高気温

年平均、秋及び冬の全地域、春の東日本太平洋側及び西日本、夏の西日本太平洋側及び沖縄・奄美で負のバイアスがあり、平均気温（表 A3.1-1）に比べてバイアスの絶対値が大きい。平均気温と同様に冬の負のバイアスが他の季節に比べて大きい（表 A3.1-2）。

表 A3.1-2 各地域の最高気温の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：℃）。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつき具合（標準偏差）。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、赤字（青字）としている。

地域	年	春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-2 月)
全国	-1.18 (0.62)	-0.90 (0.94)	-0.47 (1.07)	-1.02 (0.86)	-2.33 (1.07)
北日本日本海側	-1.16 (0.63)	-1.03 (1.09)	0.01 (1.14)	-1.07 (0.94)	-2.58 (1.03)
北日本太平洋側	-0.97 (0.66)	-0.68 (1.12)	0.69 (1.31)	-0.93 (0.89)	-2.95 (1.02)
東日本日本海側	-1.03 (0.63)	-0.85 (1.02)	-0.50 (1.04)	-0.97 (0.91)	-1.79 (1.15)
東日本太平洋側	-1.37 (0.64)	-0.97 (0.91)	-0.92 (1.10)	-1.02 (0.89)	-2.57 (1.01)
西日本日本海側	-1.18 (0.57)	-0.99 (0.77)	-0.91 (0.95)	-0.99 (0.80)	-1.83 (1.24)
西日本太平洋側	-1.26 (0.57)	-0.90 (0.78)	-1.17 (0.91)	-1.10 (0.80)	-1.88 (1.11)
沖縄・奄美	-0.85 (0.43)	-0.41 (0.71)	-1.10 (0.57)	-0.87 (0.51)	-1.04 (0.79)

A3.1.3 最低気温

年平均及び各季節（冬を除く）ではほぼ全ての地域に正のバイアスがある。冬の北日本日本海側、東日本日本海側では負のバイアスがある（表 A3.1-3）。

表 A3.1-3 各地域の最低気温の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：℃）。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつき具合（標準偏差）。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、赤字（青字）としている。

地域	年	春(3-5 月)	夏(6-8 月)	秋(9-11 月)	冬(12-2 月)
全国	0.95 (0.63)	1.42 (0.90)	1.71 (0.76)	1.10 (0.91)	-0.44 (1.09)
北日本日本海側	0.60 (0.63)	0.92 (0.83)	2.10 (0.84)	1.08 (0.88)	-1.71 (1.19)
北日本太平洋側	1.04 (0.71)	1.50 (0.87)	2.41 (0.93)	1.43 (1.00)	-1.18 (1.31)
東日本日本海側	0.54 (0.57)	0.99 (0.85)	1.31 (0.71)	0.89 (0.90)	-1.02 (0.87)
東日本太平洋側	0.86 (0.65)	1.31 (1.00)	1.44 (0.72)	0.88 (0.95)	-0.18 (1.05)
西日本日本海側	1.26 (0.57)	1.84 (0.87)	1.42 (0.67)	1.24 (0.86)	0.54 (1.01)
西日本太平洋側	1.19 (0.61)	1.76 (0.96)	1.39 (0.64)	1.06 (0.88)	0.54 (1.01)
沖縄・奄美	0.67 (0.48)	1.10 (0.74)	0.68 (0.52)	0.80 (0.55)	0.09 (0.84)

A3.1.4 猛暑日回数

各季節・各地域において明確なバイアスはない（表 A3.1-4）。

表 A3.1-4 各地域の猛暑日回数の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：日）。(a)がバイアス補正前の比較、(b)がバイアス補正後（詳細は A3.4 節参照）の比較結果。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、赤字（青字）としている。観測値及び地域気候モデルの出現日数がゼロの場合など、バイアス及び標準偏差がともにゼロである場合は空欄としている。

(a) バイアス補正前

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－1.27 (1.88)	0.00 (0.01)	－1.22 (1.87)	－0.05 (0.13)	
北日本日本海側	－0.31 (0.60)		－0.31 (0.60)	0.00 (0.01)	
北日本太平洋側	－0.22 (0.44)	0.00 (0.00)	－0.22 (0.44)	0.00 (0.01)	
東日本日本海側	－1.44 (2.03)		－1.37 (2.02)	－0.07 (0.22)	
東日本太平洋側	－2.10 (2.75)	0.00 (0.01)	－1.99 (2.75)	－0.11 (0.26)	
西日本日本海側	－1.73 (2.73)	0.00 (0.01)	－1.67 (2.72)	－0.05 (0.14)	
西日本太平洋側	－1.97 (3.01)		－1.92 (2.99)	－0.06 (0.18)	
沖縄・奄美	－0.03 (0.11)		－0.03 (0.11)		

(b) バイアス補正後

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－0.25 (1.88)	0.00 (0.01)	－0.22 (1.87)	－0.03 (0.13)	
北日本日本海側	－0.08 (0.60)		－0.08 (0.60)	0.00 (0.01)	
北日本太平洋側	－0.07 (0.44)	0.00 (0.00)	－0.07 (0.44)	0.00 (0.01)	
東日本日本海側	－0.07 (2.03)		－0.07 (2.02)	－0.01 (0.22)	
東日本太平洋側	－0.05 (2.75)	0.00 (0.01)	0.02 (2.75)	－0.07 (0.26)	
西日本日本海側	－0.44 (2.73)	0.00 (0.01)	－0.39 (2.72)	－0.04 (0.14)	
西日本太平洋側	－0.74 (3.01)		－0.70 (2.99)	－0.05 (0.18)	
沖縄・奄美	－0.01 (0.11)		－0.01 (0.11)		

(資料 3)

A3.1.5 真夏日日数

夏は北日本を除き全国的に負のバイアス、秋は東日本太平洋側、西日本太平洋側、沖縄・奄美で負のバイアスがある。バイアス補正（詳細は A3.4 節参照）を行うことにより、おおむねバイアスは解消されている（表 A3.1-5）。

表 A3.1-5 各地域の真夏日日数の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：日）。(a)がバイアス補正前の比較、(b)がバイアス補正後（詳細は A3.4 節参照）の比較結果。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、赤字（青字）としている。観測値及び地域気候モデルの出現日数がゼロの場合など、バイアス及び標準偏差がともにゼロである場合は空欄としている。

(a) バイアス補正前

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－15.32 (9.49)	－0.20 (0.40)	－12.80 (8.94)	－2.37 (2.25)	
北日本日本海側	－5.75 (5.95)	－0.06 (0.14)	－5.46 (5.95)	－0.25 (0.59)	
北日本太平洋側	－4.64 (5.46)	－0.10 (0.24)	－4.25 (5.45)	－0.30 (0.57)	
東日本日本海側	－16.21 (10.82)	－0.22 (0.46)	－14.24 (10.19)	－1.79 (2.43)	
東日本太平洋側	－18.94 (10.78)	－0.25 (0.49)	－15.64 (9.92)	－3.11 (2.62)	
西日本日本海側	－19.62 (12.11)	－0.26 (0.50)	－16.62 (11.65)	－2.76 (3.33)	
西日本太平洋側	－24.86 (12.62)	－0.22 (0.47)	－20.25 (11.55)	－4.49 (3.80)	
沖縄・奄美	－41.27 (12.86)	－1.36 (2.00)	－27.52 (10.39)	－12.69 (6.48)	

(b) バイアス補正後

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－3.38 (9.49)	－0.08 (0.40)	－2.29 (8.94)	－1.09 (2.25)	
北日本日本海側	－2.42 (5.95)	－0.05 (0.14)	－2.23 (5.95)	－0.15 (0.59)	
北日本太平洋側	－2.32 (5.46)	－0.07 (0.24)	－2.06 (5.45)	－0.20 (0.57)	
東日本日本海側	－3.88 (10.82)	－0.14 (0.46)	－3.00 (10.19)	－0.83 (2.43)	
東日本太平洋側	－4.59 (10.78)	－0.07 (0.49)	－3.12 (9.92)	－1.48 (2.62)	
西日本日本海側	－3.17 (12.11)	－0.03 (0.50)	－1.73 (11.65)	－1.47 (3.33)	
西日本太平洋側	－3.82 (12.62)	－0.08 (0.47)	－1.84 (11.55)	－2.06 (3.80)	
沖縄・奄美	－5.00 (12.86)	－0.70 (2.00)	－2.20 (10.39)	－2.60 (6.48)	

A3.1.6 夏日日数

春の東日本と西日本、秋及び冬の沖縄・奄美で負のバイアスがある。バイアス補正（詳細は A3.4 節参照）を行うことにより、おおむねバイアスは解消されている（表 A3.1-6）。

表 A3.1-6 各地域の夏日日数の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：日）。(a)がバイアス補正前の比較、(b)がバイアス補正後（詳細は A3.4 節参照）の比較結果。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、赤字（青字）としている。観測値及び地域気候モデルの出現日数がゼロの場合など、バイアス及び標準偏差がともにゼロである場合は空欄としている。

(a) バイアス補正前

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－6.63 (10.79)	－3.15 (3.01)	－0.42 (7.67)	－3.04 (4.80)	－0.05 (0.05)
北日本日本海側	－2.07 (11.73)	－1.46 (1.64)	0.30 (10.09)	－0.93 (3.59)	
北日本太平洋側	0.01 (11.04)	－1.42 (1.68)	2.16 (9.53)	－0.73 (3.42)	
東日本日本海側	－4.26 (11.72)	－3.30 (3.04)	3.31 (8.86)	－4.31 (6.14)	
東日本太平洋側	－10.20 (11.38)	－3.52 (3.46)	－2.90 (8.07)	－3.81 (5.16)	0.00 (0.00)
西日本日本海側	－9.27 (9.14)	－4.65 (3.61)	－0.62 (5.56)	－4.03 (5.61)	
西日本太平洋側	－11.69 (9.63)	－4.87 (4.20)	－2.01 (4.87)	－4.81 (5.69)	0.00 (0.01)
沖縄・奄美	－12.59 (13.86)	－3.33 (8.11)	0.14 (1.94)	－6.84 (5.89)	－2.57 (2.56)

(b) バイアス補正後

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－0.86 (10.79)	－1.36 (3.01)	0.39 (7.67)	－0.07 (4.80)	－0.02 (0.05)
北日本日本海側	－1.05 (11.73)	－0.76 (1.64)	－0.12 (10.09)	－0.24 (3.59)	
北日本太平洋側	－2.64 (11.04)	－0.80 (1.68)	－1.35 (9.53)	－0.56 (3.42)	
東日本日本海側	0.86 (11.72)	－1.43 (3.04)	2.01 (8.86)	－0.06 (6.14)	
東日本太平洋側	－0.92 (11.38)	－1.55 (3.46)	0.76 (8.07)	－0.35 (5.16)	0.00 (0.00)
西日本日本海側	－0.08 (9.14)	－1.72 (3.61)	1.05 (5.56)	0.40 (5.61)	0.01 (0.00)
西日本太平洋側	－0.03 (9.63)	－2.06 (4.20)	1.11 (4.87)	0.59 (5.69)	0.00 (0.01)
沖縄・奄美	－0.50 (13.86)	－0.62 (8.11)	0.57 (1.94)	－0.23 (5.89)	－1.01 (2.56)

(資料 3)

A3.1.7 熱帯夜日数

春の沖縄・奄美や、夏及び秋のほぼ全ての地域に正のバイアスがある。バイアス補正を行うことにより、おおむねバイアスは解消されている（表A3.1-7）。

表 A3.1-7 各地域の熱帯夜日数の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：日）。(a)がバイアス補正前の比較、(b)がバイアス補正後（詳細は A3.4 節参照）の比較結果。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、赤字（青字）としている。観測値及び地域気候モデルの出現日数がゼロの場合など、バイアス及び標準偏差がともにゼロである場合は空欄としている。

(a) バイアス補正前

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	6.20 (2.77)	0.09 (0.03)	5.52 (2.68)	0.60 (0.44)	
北日本日本海側	0.44 (0.32)		0.42 (0.31)	0.02 (0.01)	
北日本太平洋側	0.41 (0.22)		0.40 (0.22)	0.01 (0.00)	
東日本日本海側	3.90 (3.17)		3.78 (3.15)	0.13 (0.30)	
東日本太平洋側	5.63 (2.73)		5.30 (2.70)	0.34 (0.36)	
西日本日本海側	11.54 (4.89)		10.82 (4.90)	0.74 (0.66)	
西日本太平洋側	12.15 (4.77)	0.01 (0.00)	11.05 (4.67)	1.13 (0.72)	
沖縄・奄美	31.37 (14.37)	5.05 (1.99)	15.93 (10.61)	10.32 (5.83)	

(b) バイアス補正後

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	0.87 (2.77)	－0.02 (0.03)	0.67 (2.68)	0.20 (0.44)	
北日本日本海側	0.02 (0.32)		0.02 (0.31)	0.00 (0.01)	
北日本太平洋側	0.06 (0.22)		0.05 (0.22)	0.01 (0.00)	
東日本日本海側	0.73 (3.17)		0.68 (3.15)	0.04 (0.30)	
東日本太平洋側	1.29 (2.73)		0.97 (2.70)	0.31 (0.36)	
西日本日本海側	1.29 (4.89)		1.13 (4.90)	0.14 (0.66)	
西日本太平洋側	1.64 (4.77)		1.12 (4.67)	0.51 (0.72)	
沖縄・奄美	2.02 (14.37)	－1.00 (1.99)	1.75 (10.61)	0.69 (5.83)	

A3.1.8 冬日日数

冬の北日本日本海側で正のバイアスがある。春の北日本太平洋側、秋の西日本で負のバイアスがある。バイアス補正を行うことにより、おおむねバイアスは解消されている（表 A3.1-8）。

表 A3.1-8 各地域の冬日日数の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：日）。(a)がバイアス補正前の比較、(b)がバイアス補正後（詳細は A3.4 節参照）の比較結果。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、青字（赤字）としている。観測値及び地域気候モデルの出現日数がゼロの場合など、バイアス及び標準偏差がともにゼロである場合は空欄としている。

(a) バイアス補正前

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－5.67 (11.50)	－3.41 (4.55)	－0.03 (0.06)	－1.34 (2.60)	－0.90 (6.96)
北日本日本海側	2.06 (10.43)	－2.16 (5.32)	－0.05 (0.12)	0.07 (4.43)	4.22 (4.09)
北日本太平洋側	－6.66 (10.60)	－6.26 (5.51)	－0.09 (0.18)	－2.97 (4.83)	2.65 (3.86)
東日本日本海側	9.21 (14.71)	－0.51 (5.00)		0.13 (0.97)	9.61 (10.56)
東日本太平洋側	－8.06 (12.72)	－3.18 (4.86)	0.00 (0.01)	－2.04 (2.37)	－2.84 (8.17)
西日本日本海側	－10.20 (12.34)	－3.30 (3.53)		－0.87 (0.85)	－6.05 (9.79)
西日本太平洋側	－11.14 (11.52)	－3.33 (3.62)		－1.17 (1.05)	－6.68 (8.75)
沖縄・奄美					

(b) バイアス補正後

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	0.25 (11.50)	0.96 (4.55)	0.01 (0.06)	0.25 (2.60)	－1.11 (6.96)
北日本日本海側	0.81 (10.43)	1.01 (5.32)	0.02 (0.12)	0.31 (4.43)	－0.77 (4.09)
北日本太平洋側	－0.36 (10.60)	1.27 (5.51)	0.00 (0.18)	－0.11 (4.83)	－1.72 (3.86)
東日本日本海側	3.01 (14.71)	1.77 (5.00)		0.86 (0.97)	0.32 (10.56)
東日本太平洋側	－0.13 (12.72)	1.02 (4.86)	0.00 (0.01)	0.04 (2.37)	－1.30 (8.17)
西日本日本海側	0.22 (12.34)	0.71 (3.53)		0.47 (0.85)	－1.07 (9.79)
西日本太平洋側	－0.10 (11.52)	0.55 (3.62)		0.45 (1.05)	－1.20 (8.75)
沖縄・奄美					

(資料 3)

A3.1.9 真冬日日数

おおむね全国的に正のバイアスがあり、北・東日本で大きくなっている。バイアス補正を行うことにより、おおむねバイアスは解消されている（表 A3.1-9）。

表 A3.1-9 各地域の真冬日日数の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：日）。(a)がバイアス補正前の比較、(b)がバイアス補正後（詳細は A3.4 節参照）の比較結果。括弧内の数値は、各地域内の地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、青字（赤字）としている。観測値及び地域気候モデルの出現日数がゼロの場合など、バイアス及び標準偏差がともにゼロである場合は空欄としている。

(a) バイアス補正前

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	10.74 (5.31)	0.83 (1.17)		0.74 (0.47)	9.21 (4.41)
北日本日本海側	21.29 (12.04)	2.05 (3.10)		1.97 (1.57)	17.34 (9.46)
北日本太平洋側	22.59 (10.51)	1.65 (2.57)		1.90 (0.93)	19.06 (8.60)
東日本日本海側	6.57 (3.61)	0.25 (0.18)		0.01 (0.00)	6.34 (3.50)
東日本太平洋側	7.63 (2.90)	0.51 (0.49)		0.11 (0.07)	7.02 (2.59)
西日本日本海側	1.99 (1.12)	0.06 (0.05)		0.00 (0.01)	1.93 (1.10)
西日本太平洋側	1.76 (0.91)	0.07 (0.05)			1.69 (0.89)
沖縄・奄美					

(b) バイアス補正後

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	-1.08 (5.31)	-0.25 (1.17)		-0.13 (0.47)	-0.73 (4.41)
北日本日本海側	-2.29 (12.04)	-0.64 (3.10)		-0.47 (1.57)	-1.25 (9.46)
北日本太平洋側	-2.77 (10.51)	-0.71 (2.57)		-0.22 (0.93)	-1.89 (8.60)
東日本日本海側	-0.43 (3.61)	0.02 (0.18)		0.00 (0.00)	-0.44 (3.50)
東日本太平洋側	-0.38 (2.90)	-0.01 (0.49)		-0.01 (0.07)	-0.35 (2.59)
西日本日本海側	-0.08 (1.12)	0.01 (0.05)		0.00 (0.01)	-0.09 (1.10)
西日本太平洋側	-0.15 (0.91)	0.00 (0.05)			-0.17 (0.89)
沖縄・奄美					

A3.2 降水の再現性

A3.2.1 地域平均降水量

年降水量では東日本日本海側に負のバイアスがあるほか、秋及び冬にも正または負のバイアスがある地域があるが、それ以外はバイアスはない（表 A3.2-1）。

表 A3.2-1 各地域の年・季節降水量の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：mm）。括弧内は地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、青字（赤字）としている。

地域	年	春（3～5月）	夏（6～8月）	秋（9～11月）	冬（12～2月）
全国	－18.22 (314.38)	4.44 (104.52)	8.14 (216.10)	－62.38 (161.40)	29.78 (82.00)
北日本日本海側	－188.41 (232.93)	－14.29 (67.90)	－60.74 (147.46)	－102.50 (101.91)	－12.65 (76.88)
北日本太平洋側	－14.56 (227.75)	8.41 (84.32)	－65.36 (145.64)	－26.11 (116.73)	67.88 (50.92)
東日本日本海側	－424.23 (344.08)	－46.76 (89.30)	－60.42 (190.40)	－190.27 (169.60)	－125.35 (139.43)
東日本太平洋側	284.98 (335.45)	21.67 (123.01)	152.01 (199.94)	21.33 (191.90)	90.63 (81.25)
西日本日本海側	－244.40 (336.11)	10.11 (105.65)	－122.38 (283.00)	－130.70 (159.32)	2.12 (87.48)
西日本太平洋側	90.23 (386.41)	21.30 (126.24)	69.59 (304.07)	－53.34 (204.67)	50.37 (83.25)
沖縄・奄美	－273.76 (461.22)	－93.93 (169.40)	132.88 (237.55)	－156.07 (210.35)	－153.70 (155.53)

A3.2.2 1時間降水量の出現頻度

全体的な傾向として、50mm 程度以下の範囲でみると、地域気候モデルによる再現値では、観測に比べて、弱い雨に対する強い雨の出現頻度が相対的に小さくなる傾向が見られる。これは、解像度 5km の地域気候モデルでは、強い降水をもたらす積乱雲の発生・発達を完全に表現していないことや、モデルの地形と現実の地形が完全には一致しないこと等が影響しているものと考えられる（図 A3.2-1）。

(資料 3)

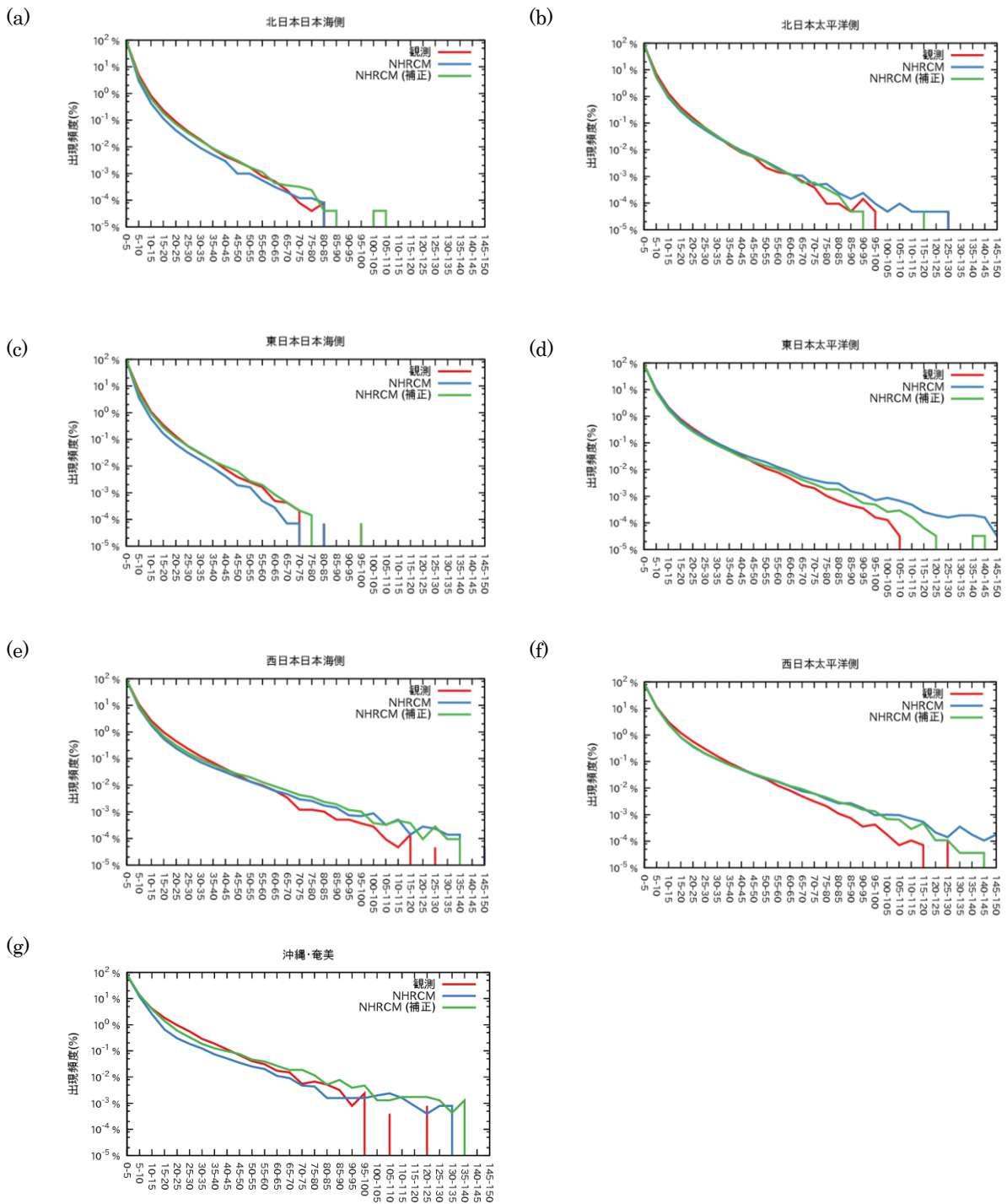


図 A3.2-1 各地域の 1 時間降水量の頻度分布

降水量 5mm ごとに、各地点の階級相対出現頻度を地域平均し表している。赤線：観測値、青線：バイアス補正前のモデル格子点値、緑線：バイアス補正後のモデル格子点値。

(a)：北日本日本海側、(b)：北日本太平洋側、(c)：東日本日本海側、(d)：東日本太平洋側、(e)：西日本日本海側、(f)：西日本太平洋側、(g)：沖縄・奄美

A3.3 雪の再現性

A3.3.1 最深積雪

北・東日本太平洋側で期間を通して正のバイアスがあるほか、北日本日本海側と西日本太平洋側でも正のバイアスがある（表 A3.3-1）。

表 A3.3-1 各地域の最深積雪の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：cm）。括弧内の数値は、地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、青字（赤字）としている。

地域	年	12 月	1 月	2 月	3 月
全国	21.66 (22.11)	19.04 (15.86)	21.83 (20.80)	20.33 (22.15)	23.59 (23.28)
北日本日本海側	22.36 (28.49)	22.60 (21.40)	21.28 (26.46)	21.34 (28.50)	29.48 (34.39)
北日本太平洋側	27.40 (18.14)	21.19 (12.21)	25.52 (16.83)	27.25 (18.26)	28.17 (18.68)
東日本日本海側	10.54 (49.30)	23.57 (35.18)	15.03 (50.10)	10.20 (49.21)	13.23 (51.64)
東日本太平洋側	40.07 (18.60)	30.07 (13.07)	41.50 (16.76)	38.02 (19.00)	44.51 (18.33)
西日本日本海側	11.21 (16.03)	6.30 (11.54)	12.51 (14.98)	8.37 (15.77)	4.92 (12.14)
西日本太平洋側	8.93 (6.89)	4.65 (4.81)	10.16 (5.57)	5.51 (6.69)	5.61 (4.04)

A3.3.2 降雪量

北日本では負のバイアスがある（表 A3.3-2）。

表 A3.3-2 各地域の降雪量の再現性

地点ごとのバイアス（モデル格子点値から観測値を引いたもの）の地域平均値（単位：cm）。括弧内の数値は、地点間のばらつきの標準偏差。正（負）のバイアスがある（バイアスの絶対値が標準偏差以上）場合、青字（赤字）としている。

地域	年	12 月	1 月	2 月	3 月
全国	-156.91 (121.57)	-9.14 (39.19)	-55.31 (46.54)	-56.22 (43.64)	-34.53 (31.65)
北日本日本海側	-371.65 (180.24)	-54.91 (58.76)	-129.01 (62.80)	-105.11 (60.33)	-70.01 (47.47)
北日本太平洋側	-150.81 (105.02)	-10.70 (34.25)	-47.62 (35.32)	-46.03 (36.53)	-44.06 (34.84)
東日本日本海側	-174.73 (227.13)	22.87 (71.04)	-80.30 (103.17)	-86.84 (78.79)	-32.65 (47.80)
東日本太平洋側	2.69 (85.93)	31.54 (28.34)	-7.07 (36.47)	-27.84 (35.02)	-8.91 (23.02)
西日本日本海側	-27.35 (85.73)	7.90 (25.47)	-3.49 (37.99)	-25.17 (38.74)	-4.17 (15.60)
西日本太平洋側	-1.31 (30.83)	6.53 (10.73)	2.96 (13.31)	-12.76 (12.97)	-0.01 (6.39)

A3.4 バイアス補正

A3.1 節から A3.3 節で述べたとおり、気候モデルの計算結果には、気候モデル特有の系統誤差（バイアス）が含まれている。気温の階級別日数や大雨の出現頻度等、閾値が関係する統計量の変化は、気候モデルの出力値と現実の観測の出現頻度が十分に一致していないと、バイアスが増幅されて変化量の算出に影響し、適切な予測値を得られない場合がある。そこで、これらについては次に述べる方法で補正を行った。

A3.4.1 気温の補正

観測値と、地域気候モデルの対応する格子点における現在気候の再現値を比較して、日平均気温・日最高気温・日最低気温を補正するが、これらの要素を独立に補正すると日較差（日最高気温と日最低気温の差）と歪度（日平均気温と日最低気温の差を日較差で割ったもの）に大きな相対誤差が生じる可能性がある。このため、各要素を以下の手順で補正している。観測値と現在気候の比較から求めた補正係数を、将来気候についても同様に適用する。

- ① 現在気候に対応する期間における観測値の日平均気温を、地点別・月別に高い方から順に並べかえる。
- ② 各観測地点に対応するモデル格子点の現在気候再現値の日平均気温を、地点別・月別に高い方から順に並べかえる。
- ③ 観測値とモデル格子点の現在気候再現値を線形関係と仮定し、最小自乗法により月ごとに補正係数を求めて補正する。
- ④ 日較差、歪度についても日平均気温と同様に①～③の手順で補正係数を求めて補正する。
- ⑤ 補正した日平均気温、日較差、歪度から、日最高気温、日最低気温の補正值を求める。

A3.4.2 降水量の補正

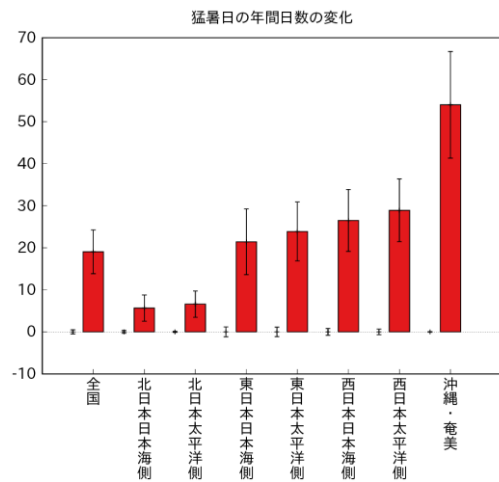
観測値と、地域気候モデルの対応する格子点における現在気候を比較して、降水量を下記の手順で補正している。求めた補正係数は、将来気候についても同様に適用する。

- ① 現在気候に対応する期間における観測値の 0.5mm 以上の 1 時間降水量を、地点別・月別に多い方から順に並べかえる。
- ② 各観測地点に対応するモデル格子点の現在気候再現値の 1 時間降水量を、地点別・月別に多い方から順に並べかえる。
- ③ ①と②の総サンプル数を少ない方に合わせる（総サンプル数の多い方を、少ない方のサンプル数と同じ数まで打ち切る）。
- ④ サンプル数を揃えた観測値とモデル格子点の現在気候再現値を線形関係と仮定し、最小自乗法により月ごとに補正係数を求めて補正する。ただし、ここで補正した値が 0.5mm 未満となった場合には、無降水として 0 で上書きする。

【資料 4】 将来変化の詳細

A4.1 猛暑日数

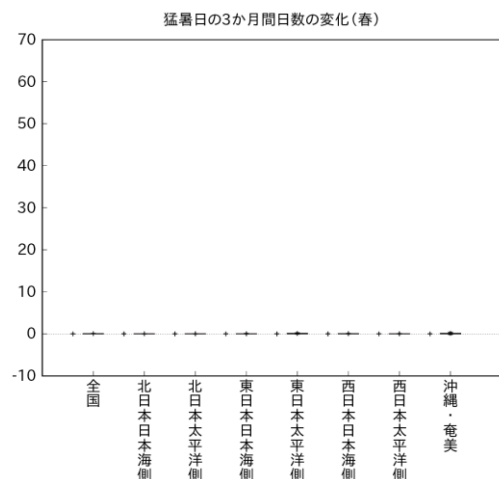
(a)



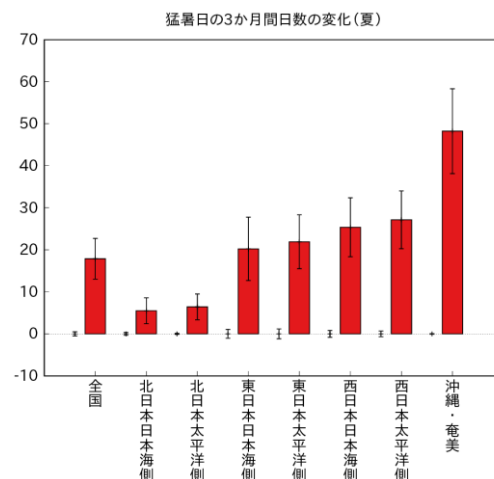
地域	年	春	夏
全国	19.1 ± 5.2	0.0 ± 0.1	17.9 ± 4.8
北日本日本海側	5.7 ± 3.1	0.0 ± 0.0	5.5 ± 3.1
北日本太平洋側	6.6 ± 3.1	0.0 ± 0.0	6.4 ± 3.1
東日本日本海側	21.4 ± 7.8	0.0 ± 0.1	20.2 ± 7.5
東日本太平洋側	23.9 ± 7.0	0.1 ± 0.2	21.9 ± 6.4
西日本日本海側	26.5 ± 7.4	0.1 ± 0.1	25.4 ± 7.0
西日本太平洋側	28.9 ± 7.5	0.0 ± 0.1	27.1 ± 6.9
沖縄・奄美	54.0 ± 12.7	0.1 ± 0.3	48.2 ± 10.1

地域	秋
全国	1.1 ± 0.8
北日本日本海側	0.2 ± 0.3
北日本太平洋側	0.2 ± 0.2
東日本日本海側	1.2 ± 1.3
東日本太平洋側	1.9 ± 1.4
西日本日本海側	1.1 ± 1.0
西日本太平洋側	1.7 ± 1.3
沖縄・奄美	5.7 ± 4.8

(b)



(c)



(d)

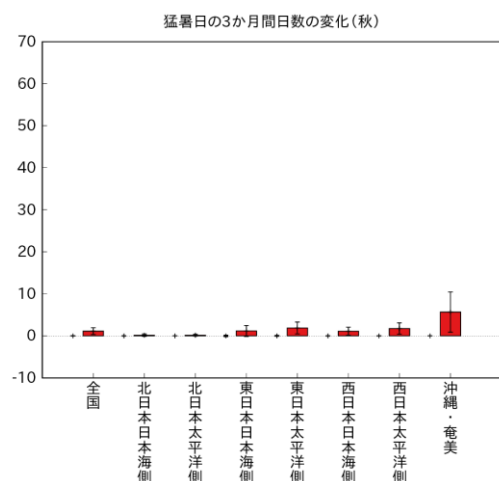


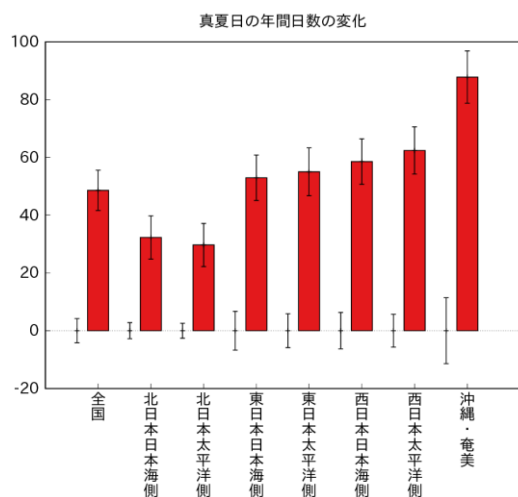
図 A4.1 及び付表 地域別の猛暑日日数の変化 (単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料 2】参照))(各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。(a): 年、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90% で有意に増加(減少)する場合は赤字(青字)としている。

(資料 4)

A4.2 真夏日日数

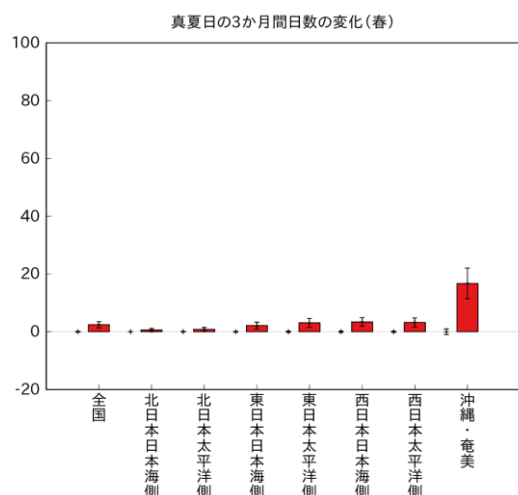
(a)



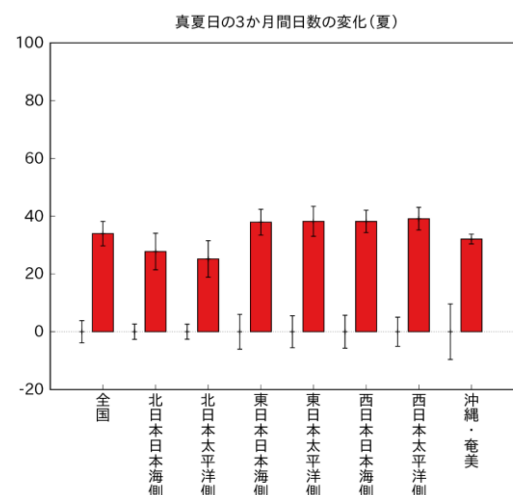
地域	年	春	夏
全国	48.6 ± 7.0	2.4 ± 1.0	34.0 ± 4.3
北日本日本海側	32.3 ± 7.5	0.6 ± 0.5	27.8 ± 6.3
北日本太平洋側	29.7 ± 7.5	0.8 ± 0.7	25.2 ± 6.3
東日本日本海側	53.0 ± 7.9	2.2 ± 1.2	37.9 ± 4.5
東日本太平洋側	55.0 ± 8.3	3.1 ± 1.6	38.2 ± 5.2
西日本日本海側	58.5 ± 7.9	3.4 ± 1.5	38.2 ± 3.9
西日本太平洋側	62.4 ± 8.2	3.2 ± 1.6	39.1 ± 3.9
沖縄・奄美	87.8 ± 9.1	16.7 ± 5.3	32.1 ± 1.7

地域	秋	冬
全国	12.2 ± 3.6	0.0 ± 0.0
北日本日本海側	3.9 ± 2.3	
北日本太平洋側	3.7 ± 2.1	
東日本日本海側	12.9 ± 5.0	0.0 ± 0.0
東日本太平洋側	13.7 ± 4.3	0.0 ± 0.0
西日本日本海側	17.0 ± 5.2	0.0 ± 0.0
西日本太平洋側	20.1 ± 5.2	0.0 ± 0.0
沖縄・奄美	39.0 ± 6.0	0.1 ± 0.1

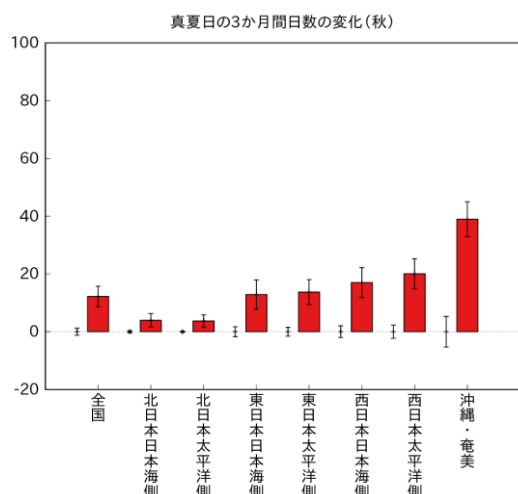
(b)



(c)



(d)



(e)

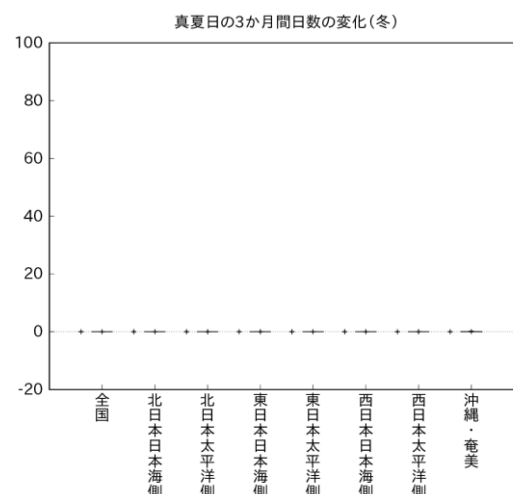
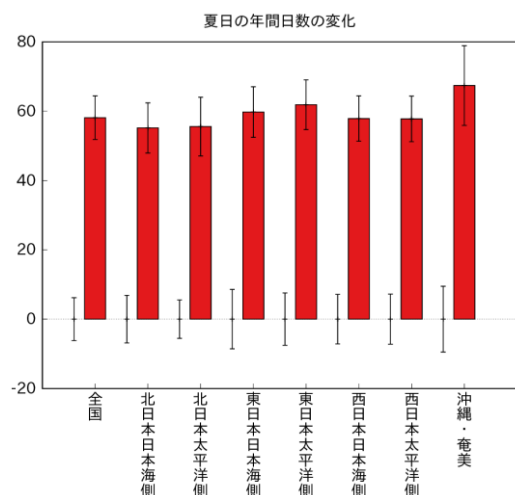


図 A4.2 及び付表 地域別の真夏日日数の変化 (単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。(a): 年、(b): 春 (3~5 月)、(c): 夏 (6~8 月)、(d): 秋 (9~11 月)、(e): 冬 (12~2 月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼水準 90%で有意に増加 (減少) する場合は赤字 (青字) としている。現在気候と将来気候のいずれも出現日数がゼロの場合は空欄としている。

A4.3 夏日日数

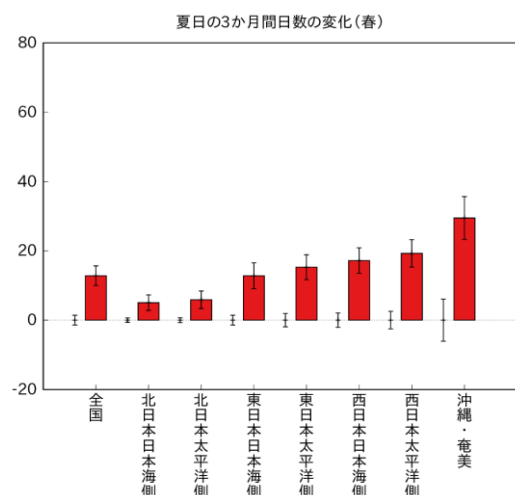
(a)



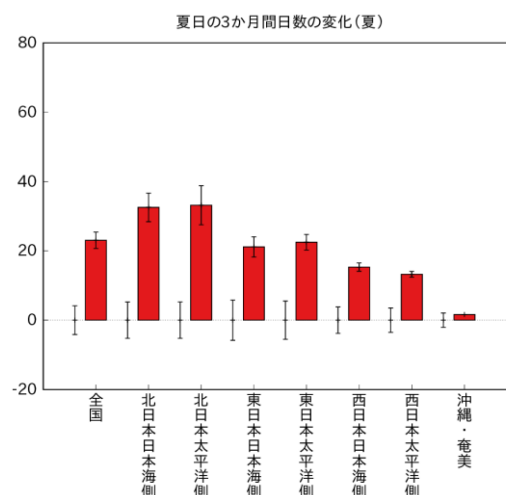
地域	年	春	夏
全国	58.1 ± 6.3	12.8 ± 2.8	23.0 ± 2.4
北日本日本海側	55.2 ± 7.2	5.0 ± 2.2	32.5 ± 4.1
北日本太平洋側	55.5 ± 8.5	5.9 ± 2.6	33.1 ± 5.6
東日本日本海側	59.7 ± 7.3	12.8 ± 3.7	21.1 ± 2.9
東日本太平洋側	61.9 ± 7.2	15.3 ± 3.6	22.5 ± 2.2
西日本日本海側	57.9 ± 6.5	17.2 ± 3.7	15.3 ± 1.2
西日本太平洋側	57.8 ± 6.6	19.3 ± 4.0	13.2 ± 0.9
沖縄・奄美	67.4 ± 11.5	29.5 ± 6.2	1.6 ± 0.0

地域	秋	冬
全国	21.9 ± 3.6	0.4 ± 0.2
北日本日本海側	17.6 ± 3.7	0.0 ± 0.0
北日本太平洋側	16.5 ± 3.8	0.0 ± 0.0
東日本日本海側	25.7 ± 4.1	0.1 ± 0.2
東日本太平洋側	24.0 ± 4.2	0.1 ± 0.2
西日本日本海側	25.3 ± 4.5	0.1 ± 0.1
西日本太平洋側	25.1 ± 4.5	0.1 ± 0.2
沖縄・奄美	19.7 ± 2.7	16.6 ± 6.1

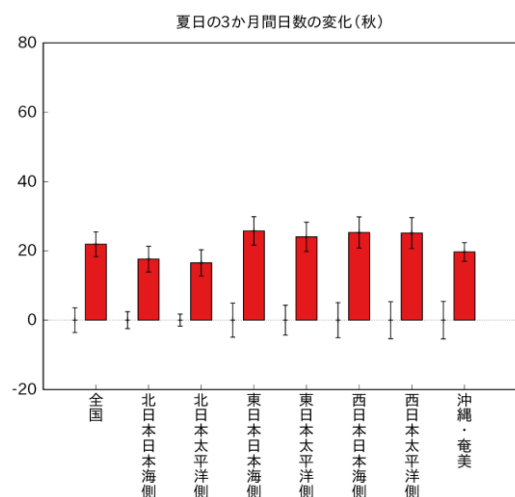
(b)



(c)



(d)



(e)

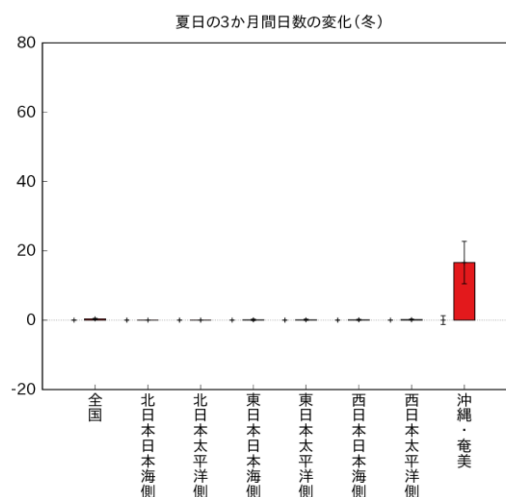


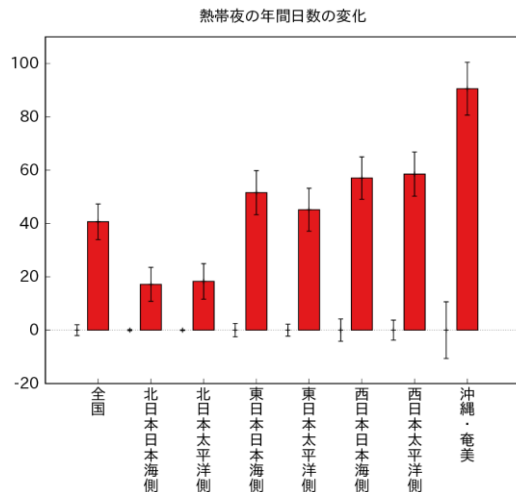
図 A4.3 及び付表 地域別の夏日日数の変化(単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における4メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料2】参照))(各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。(a): 年、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)、(e): 冬(12~2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼水準90%で有意に増加(減少)する場合は赤字(青字)としている。

(資料 4)

A4.4 熱帯夜日数

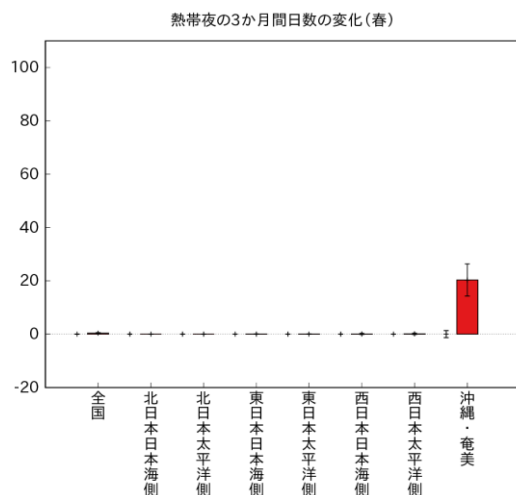
(a)



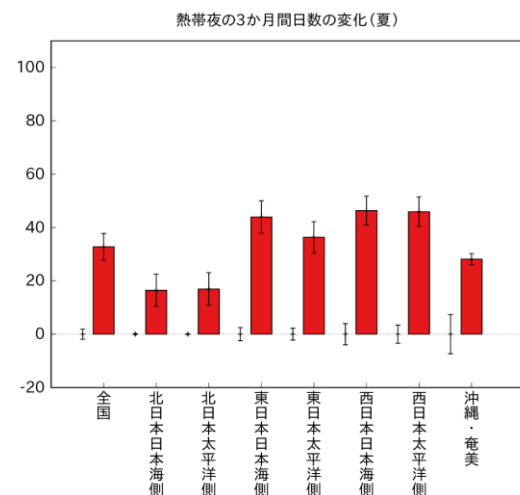
地域	年	春	夏
全国	40.6 ± 6.7	0.4 ± 0.2	32.8 ± 5.0
北日本日本海側	17.2 ± 6.4	0.0 ± 0.0	16.4 ± 6.1
北日本太平洋側	18.3 ± 6.7	0.0 ± 0.0	16.9 ± 6.1
東日本日本海側	51.6 ± 8.3	0.0 ± 0.1	43.9 ± 6.1
東日本太平洋側	45.2 ± 8.0	0.0 ± 0.1	36.4 ± 5.8
西日本日本海側	57.0 ± 8.0	0.1 ± 0.2	46.3 ± 5.5
西日本太平洋側	58.5 ± 8.3	0.1 ± 0.3	45.9 ± 5.5
沖縄・奄美	90.5 ± 9.9	20.3 ± 6.0	28.1 ± 2.1

地域	秋	冬
全国	7.5 ± 2.9	0.0 ± 0.0
北日本日本海側	0.8 ± 1.0	
北日本太平洋側	1.4 ± 1.3	
東日本日本海側	7.6 ± 4.4	
東日本太平洋側	8.8 ± 3.7	
西日本日本海側	10.6 ± 4.7	
西日本太平洋側	12.5 ± 4.7	
沖縄・奄美	41.8 ± 6.6	0.3 ± 0.5

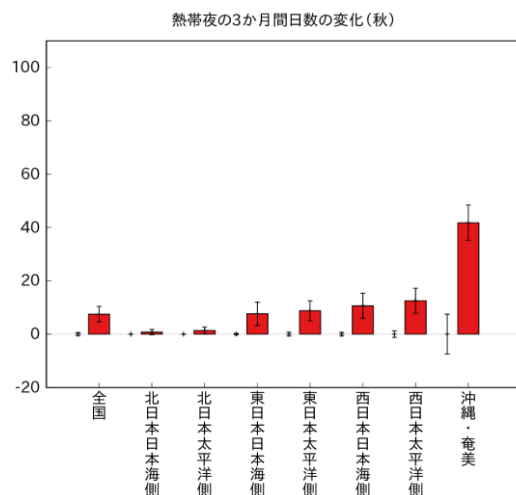
(b)



(c)



(d)



(e)

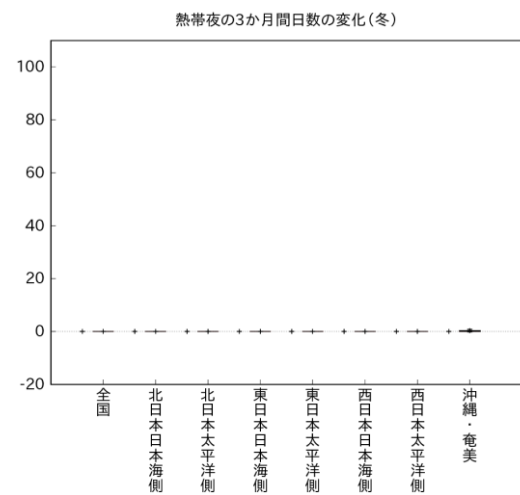
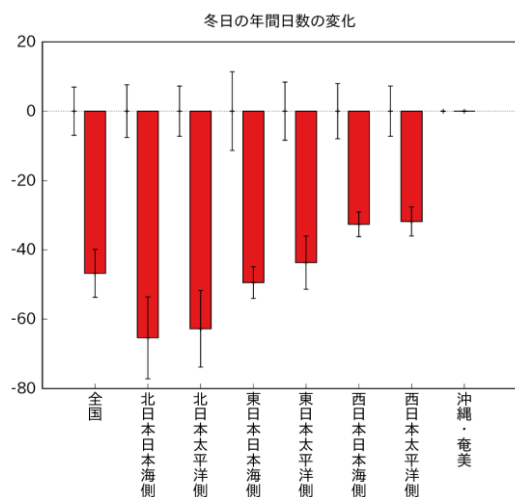


図 A4.4 及び付表 地域別の熱帯夜日数の変化 (単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。(a): 年、(b): 春 (3~5 月)、(c): 夏 (6~8 月)、(d): 秋 (9~11 月)、(e): 冬 (12~2 月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加 (減少) する場合は赤字 (青字) としている。現在気候と将来気候のいずれも出現日数がゼロの場合は空欄としている。

A4.5 冬日日数

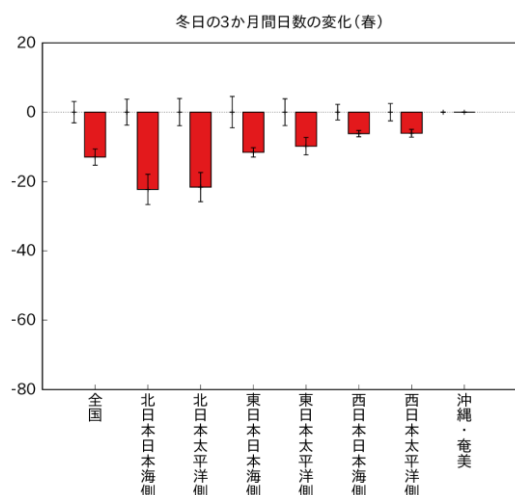
(a)



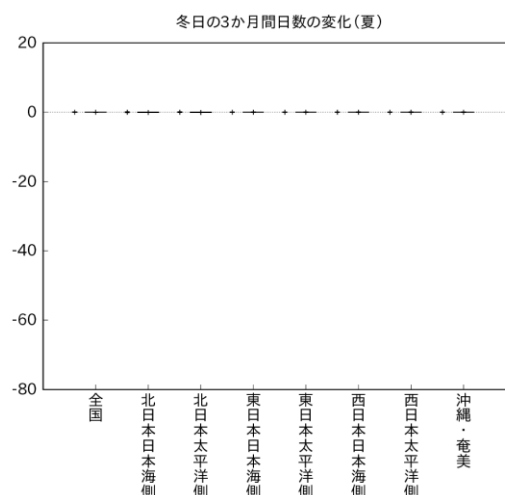
地域	年	春	夏
全国	-46.8 ± 6.9	-13.0 ± 2.3	-0.0 ± 0.0
北日本日本海側	-65.4 ± 11.8	-22.3 ± 4.4	-0.1 ± 0.0
北日本太平洋側	-62.8 ± 11.0	-21.6 ± 4.2	-0.1 ± 0.0
東日本日本海側	-49.4 ± 4.6	-11.6 ± 1.4	
東日本太平洋側	-43.7 ± 7.7	-9.8 ± 2.5	-0.0 ± 0.0
西日本日本海側	-32.7 ± 3.6	-6.2 ± 0.9	-0.0 ± 0.0
西日本太平洋側	-31.8 ± 4.2	-6.1 ± 1.1	-0.0 ± 0.0
沖縄・奄美			

地域	秋	冬
全国	-6.1 ± 0.7	-27.7 ± 4.9
北日本日本海側	-12.0 ± 1.6	-31.0 ± 8.2
北日本太平洋側	-12.3 ± 1.7	-28.8 ± 7.4
東日本日本海側	-1.7 ± 0.1	-36.2 ± 3.6
東日本太平洋側	-4.5 ± 0.6	-29.4 ± 5.7
西日本日本海側	-1.5 ± 0.2	-24.9 ± 2.8
西日本太平洋側	-1.9 ± 0.2	-23.8 ± 3.3
沖縄・奄美		

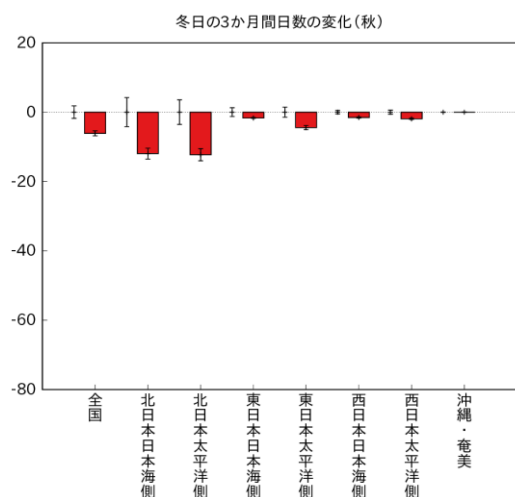
(b)



(c)



(d)



(e)

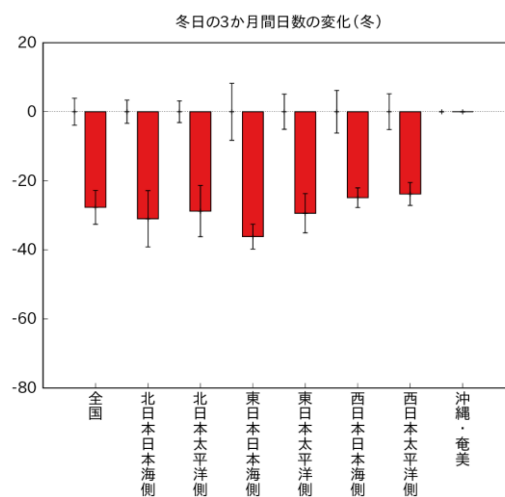


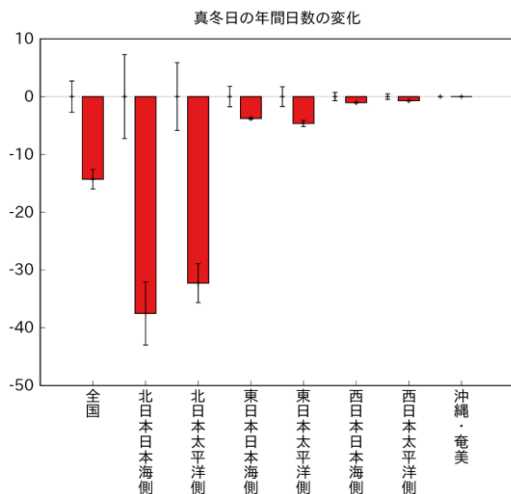
図 A4.5 及び付表 地域別の冬日日数の変化(単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料 2】参照))(各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。(a): 年、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)、(e): 冬(12~2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼水準 90%で有意に増加(減少)する場合は赤字(赤字)としている。現在気候と将来気候のいずれも出現日数がゼロの場合は空欄としている。

(資料 4)

A4.6 真冬日日数

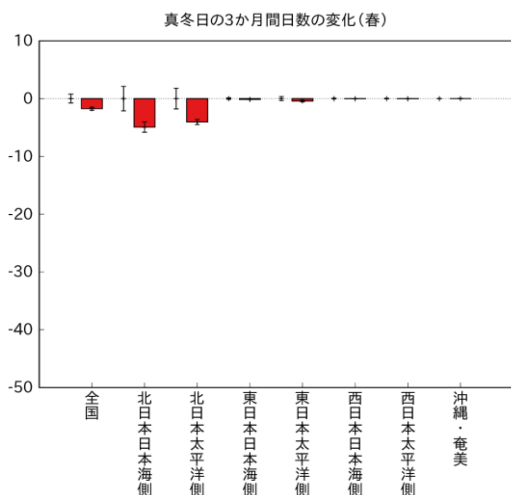
(a)



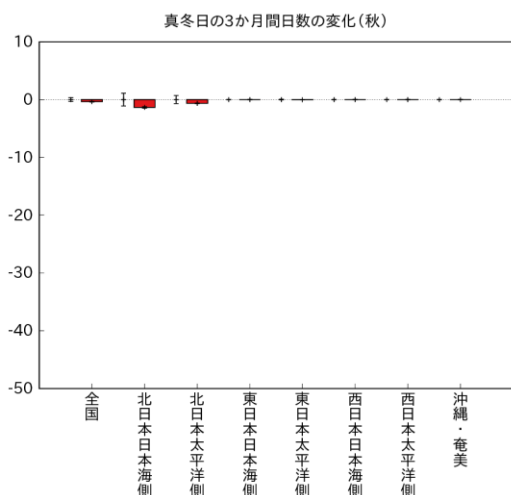
地域	年	春
全国	-14.3 ± 1.7	-1.8 ± 0.3
北日本日本海側	-37.5 ± 5.4	-4.9 ± 0.9
北日本太平洋側	-32.3 ± 3.4	-4.1 ± 0.5
東日本日本海側	-3.8 ± 0.2	-0.1 ± 0.0
東日本太平洋側	-4.7 ± 0.5	-0.4 ± 0.1
西日本日本海側	-1.1 ± 0.1	-0.0 ± 0.0
西日本太平洋側	-0.7 ± 0.0	-0.0 ± 0.0
沖縄・奄美		

地域	秋	冬
全国	-0.4 ± 0.0	-12.2 ± 1.6
北日本日本海側	-1.4 ± 0.1	-31.2 ± 5.0
北日本太平洋側	-0.7 ± 0.0	-27.6 ± 3.2
東日本日本海側	-0.0 ± 0.0	-3.6 ± 0.1
東日本太平洋側	-0.0 ± 0.0	-4.2 ± 0.5
西日本日本海側	-0.0 ± 0.0	-1.0 ± 0.1
西日本太平洋側	-0.0 ± 0.0	-0.7 ± 0.0
沖縄・奄美		

(b)



(c)



(d)

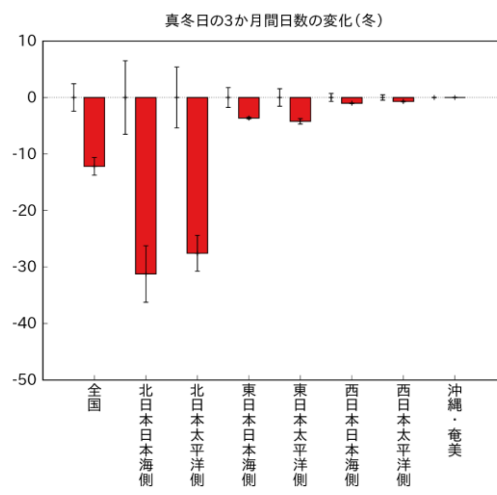
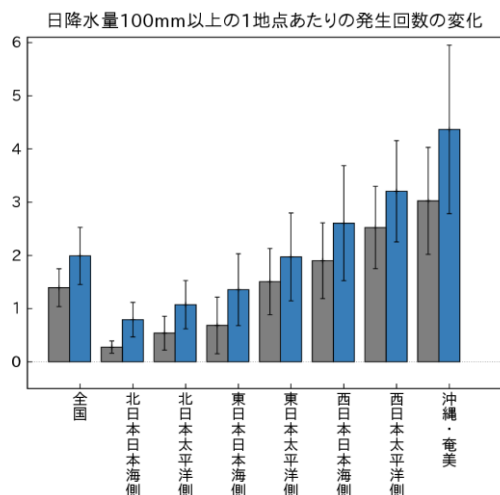


図 A4.6 及び付表 地域別の真冬日日数の変化 (単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。(a): 年、(b): 春 (3~5 月)、(c): 秋 (9~11 月)、(d): 冬 (12~2 月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90% で有意に増加 (減少) する場合は青字 (赤字) としている。現在気候と将来気候のいずれも出現日数がゼロの場合は空欄としている。

A4.7 日降水量 100mm 以上の発生回数

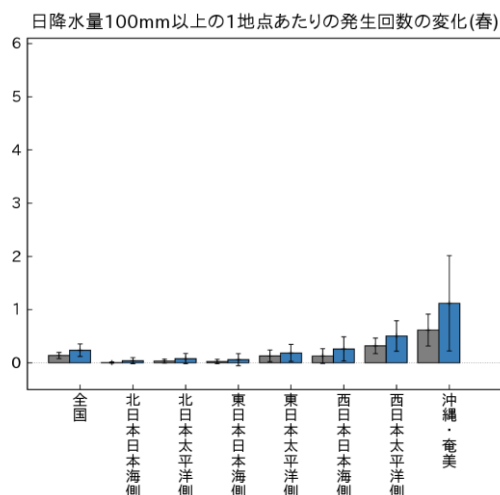
(a)



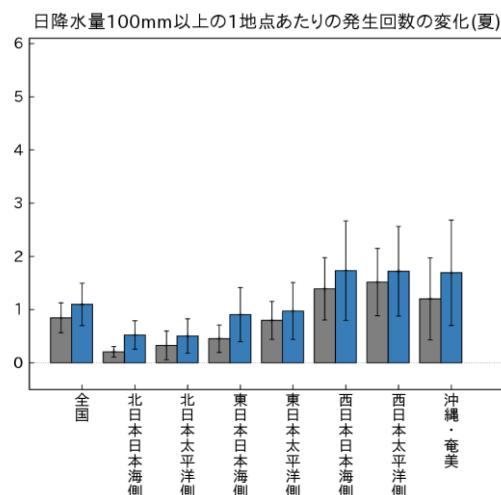
地域	年	春	夏
全国	0.6 ± 0.5	0.1 ± 0.1	0.3 ± 0.4
北日本日本海側	0.5 ± 0.3	0.0 ± 0.1	0.3 ± 0.3
北日本太平洋側	0.5 ± 0.5	0.0 ± 0.1	0.2 ± 0.3
東日本日本海側	0.7 ± 0.7	0.0 ± 0.1	0.5 ± 0.5
東日本太平洋側	0.5 ± 0.8	0.1 ± 0.2	0.2 ± 0.5
西日本日本海側	0.7 ± 1.1	0.1 ± 0.2	0.3 ± 0.9
西日本太平洋側	0.7 ± 1.0	0.2 ± 0.3	0.2 ± 0.8
沖縄・奄美	1.3 ± 1.6	0.5 ± 0.9	0.5 ± 1.0

地域	秋	冬
全国	0.2 ± 0.3	0.0 ± 0.0
北日本日本海側	0.2 ± 0.2	0.0 ± 0.0
北日本太平洋側	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0
東日本日本海側	0.2 ± 0.4	0.0 ± 0.0
東日本太平洋側	0.2 ± 0.5	0.0 ± 0.1
西日本日本海側	0.2 ± 0.5	0.0 ± 0.0
西日本太平洋側	0.2 ± 0.5	0.1 ± 0.1
沖縄・奄美	0.1 ± 0.8	0.2 ± 0.4

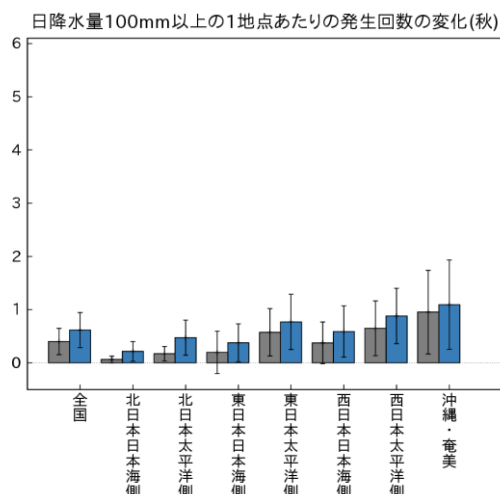
(b)



(c)



(d)



(e)

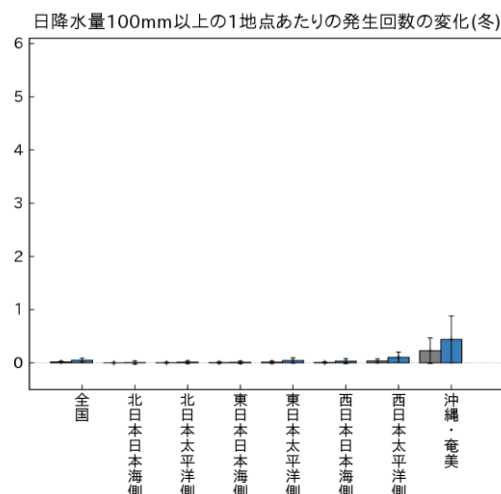


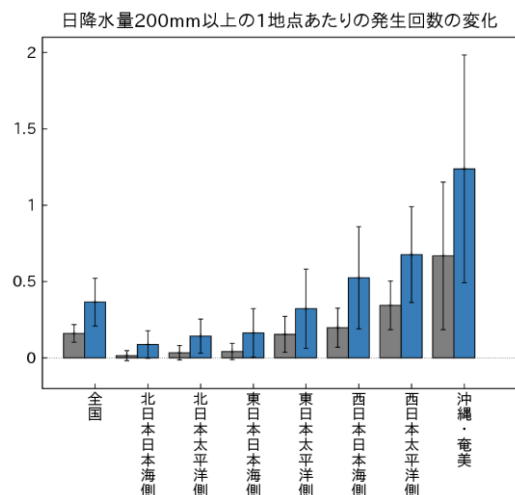
図 A4.7 及び付表 地域別の日降水量 100mm 以上発生回数の変化 (単位: 回)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは平均発生回数(バイアス補正済み)、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。ただし、現在気候には補正後も依然としてバイアスが残っており、観測値とは異なることに注意。(a): 年、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)、(e): 冬(12~2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加(減少)する場合は青字(赤字)としている。

(資料 4)

A4.8 日降水量 200mm 以上発生回数

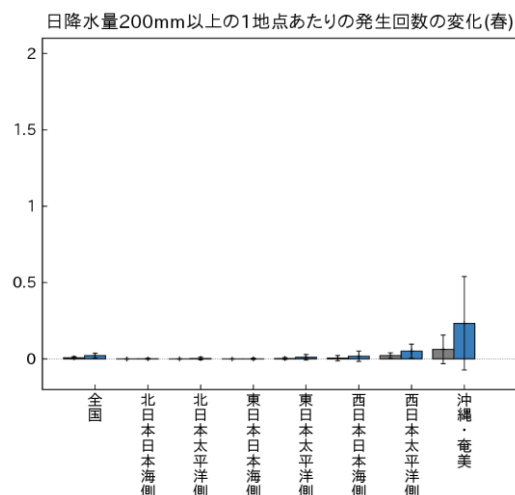
(a)



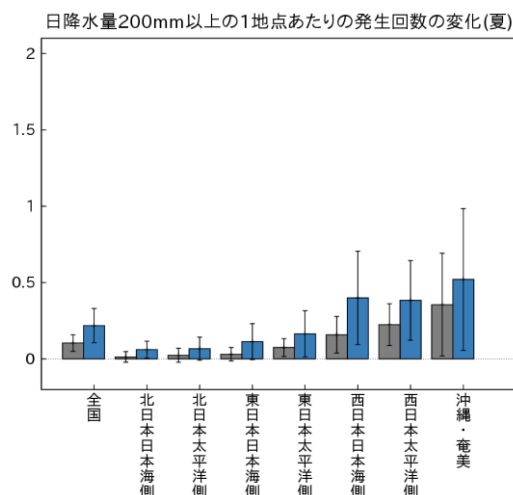
地域	年	春	夏
全国	0.2 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.1
北日本日本海側	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.1
北日本太平洋側	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.1
東日本日本海側	0.1 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.1
東日本太平洋側	0.2 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.2
西日本日本海側	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.3
西日本太平洋側	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.3
沖縄・奄美	0.6 ± 0.7	0.2 ± 0.3	0.2 ± 0.5

地域	秋	冬
全国	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
北日本日本海側	0.0 ± 0.1	0.0 ± 0.0
北日本太平洋側	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
東日本日本海側	0.0 ± 0.1	0.0 ± 0.0
東日本太平洋側	0.1 ± 0.2	0.0 ± 0.0
西日本日本海側	0.1 ± 0.2	0.0 ± 0.0
西日本太平洋側	0.1 ± 0.2	0.0 ± 0.0
沖縄・奄美	0.2 ± 0.5	0.1 ± 0.1

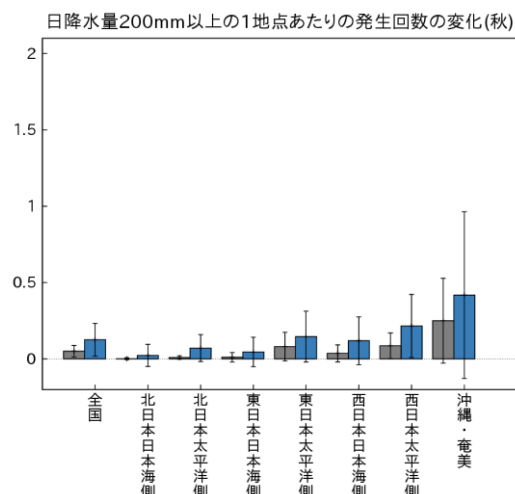
(b)



(c)



(d)



(e)

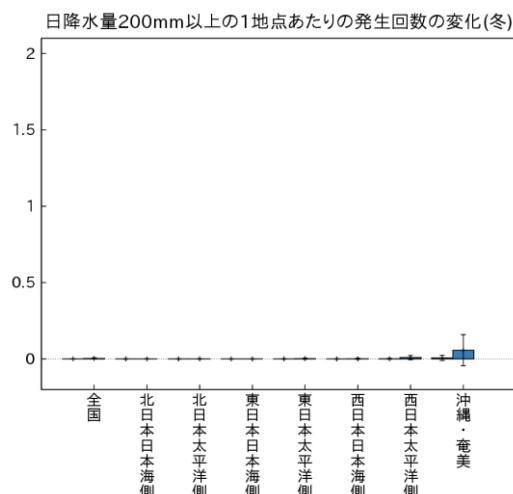
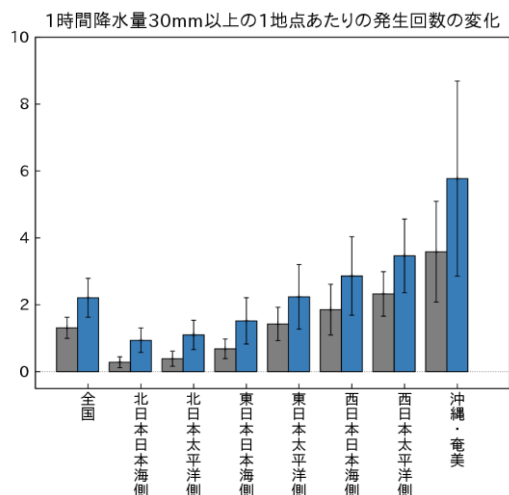


図 A4.8 及び付表 地域別の日降水量 200mm 以上発生回数の変化 (単位: 回)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは平均発生回数 (バイアス補正済み)、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。ただし、現在気候には補正後も依然としてバイアスが残っており、観測値とは異なることに注意。(a): 年、(b): 春 (3～5月)、(c): 夏 (6～8月)、(d): 秋 (9～11月)、(e): 冬 (12～2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90%で有意に増加 (減少) する場合は青字 (赤字) としている。

A4.9 1 時間降水量 30mm 以上発生回数

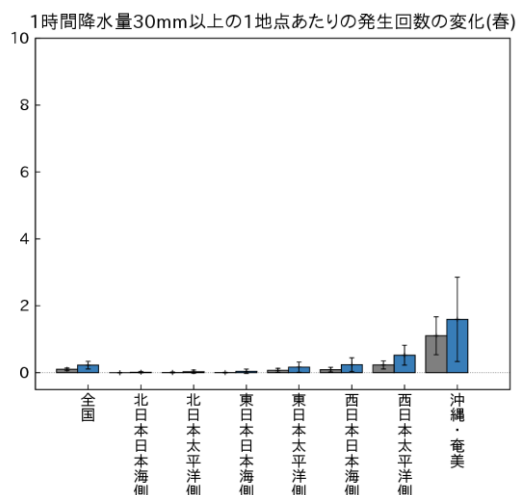
(a)



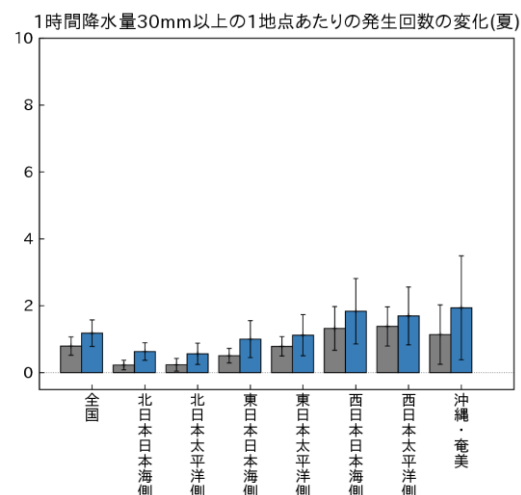
地域	年	春	夏
全国	0.9 ± 0.6	0.1 ± 0.1	0.4 ± 0.4
北日本日本海側	0.7 ± 0.4	0.0 ± 0.0	0.4 ± 0.3
北日本太平洋側	0.7 ± 0.4	0.0 ± 0.0	0.3 ± 0.3
東日本日本海側	0.8 ± 0.7	0.0 ± 0.1	0.5 ± 0.6
東日本太平洋側	0.8 ± 1.0	0.1 ± 0.2	0.3 ± 0.6
西日本日本海側	1.0 ± 1.2	0.2 ± 0.2	0.5 ± 1.0
西日本太平洋側	1.1 ± 1.1	0.3 ± 0.3	0.3 ± 0.9
沖縄・奄美	2.2 ± 2.9	0.5 ± 1.3	0.8 ± 1.6

地域	秋	冬
全国	0.3 ± 0.4	0.0 ± 0.0
北日本日本海側	0.2 ± 0.3	0.0 ± 0.0
北日本太平洋側	0.4 ± 0.3	0.0 ± 0.0
東日本日本海側	0.3 ± 0.4	0.0 ± 0.0
東日本太平洋側	0.3 ± 0.6	0.0 ± 0.1
西日本日本海側	0.3 ± 0.6	0.0 ± 0.0
西日本太平洋側	0.4 ± 0.7	0.1 ± 0.1
沖縄・奄美	0.6 ± 1.8	0.3 ± 0.7

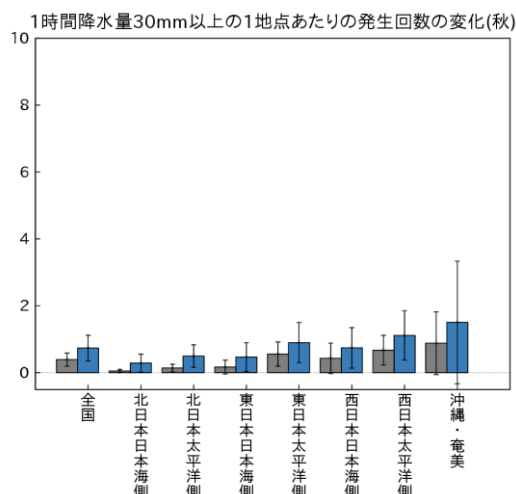
(b)



(c)



(d)



(e)

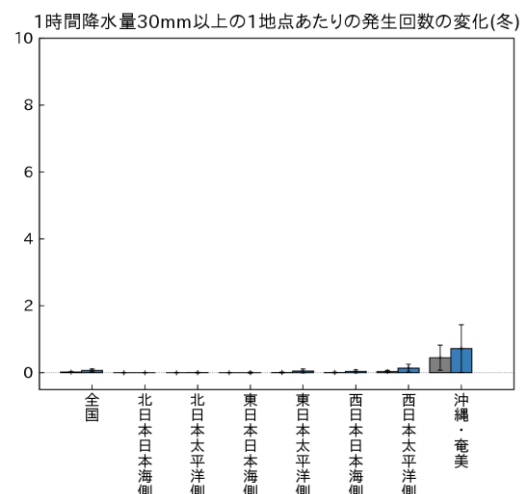


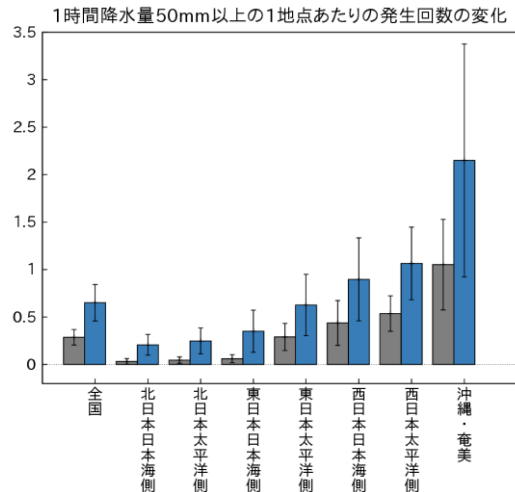
図 A4.9 及び付表 地域別の 1 時間降水量 30mm 以上発生回数の変化 (単位: 回)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは平均発生回数 (バイアス補正済み)、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。ただし、現在気候には補正後も依然としてバイアスが残っており、観測値とは異なることに注意。(a): 年、(b): 春 (3~5 月)、(c): 夏 (6~8 月)、(d): 秋 (9~11 月)、(e): 冬 (12~2 月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90% で有意に増加 (減少) する場合は青字 (赤字) としている。

(資料 4)

A4.10 1 時間降水量 50mm 以上発生回数

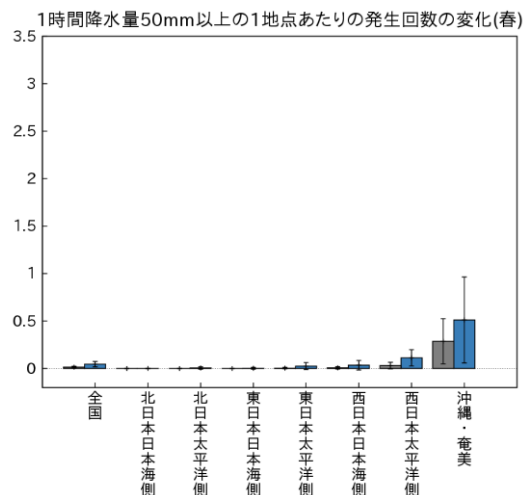
(a)



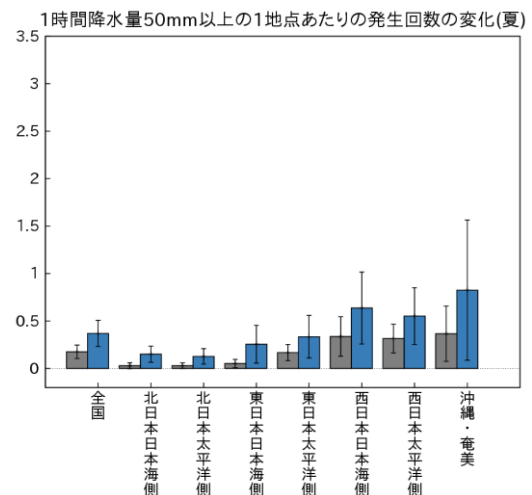
地域	年	春	夏
全国	0.4 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.1
北日本日本海側	0.2 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.1
北日本太平洋側	0.2 ± 0.1	0.0 ± 0.0	0.1 ± 0.1
東日本日本海側	0.3 ± 0.2	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.2
東日本太平洋側	0.3 ± 0.3	0.0 ± 0.0	0.2 ± 0.2
西日本日本海側	0.5 ± 0.4	0.0 ± 0.1	0.3 ± 0.4
西日本太平洋側	0.5 ± 0.4	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.3
沖縄・奄美	1.1 ± 1.2	0.2 ± 0.5	0.5 ± 0.7

地域	秋	冬
全国	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
北日本日本海側	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
北日本太平洋側	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
東日本日本海側	0.1 ± 0.1	0.0 ± 0.0
東日本太平洋側	0.1 ± 0.2	0.0 ± 0.0
西日本日本海側	0.1 ± 0.2	0.0 ± 0.0
西日本太平洋側	0.2 ± 0.3	0.0 ± 0.0
沖縄・奄美	0.3 ± 0.7	0.1 ± 0.3

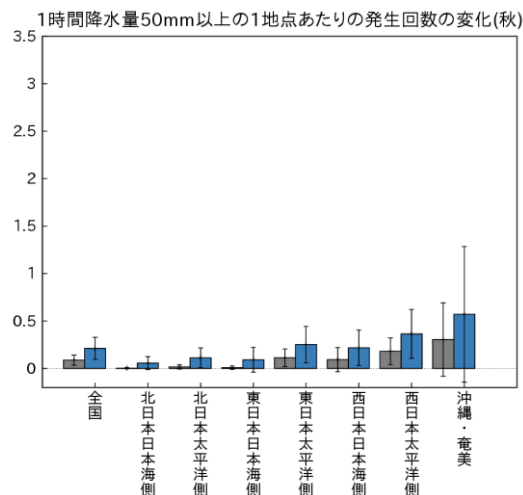
(b)



(c)



(d)



(e)

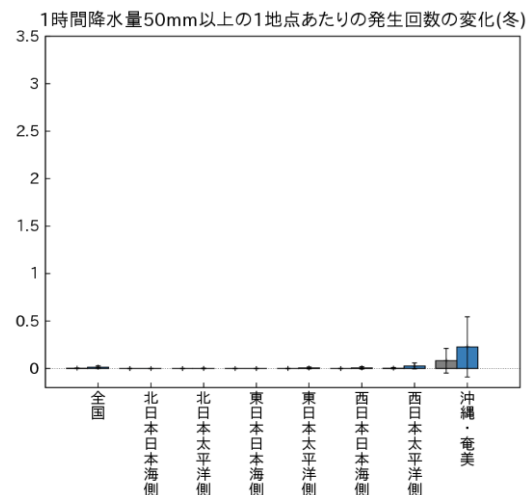
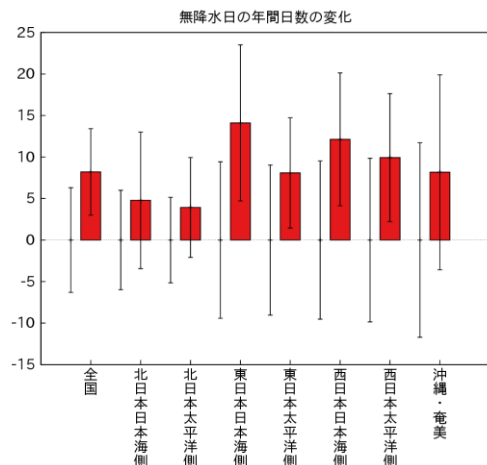


図 A4.10 及び付表 地域別の 1 時間降水量 50mm 以上発生回数の変化 (単位: 回)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは平均発生回数 (バイアス補正済み)、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。ただし、現在気候には補正後も依然としてバイアスが残っており、観測値とは異なることに注意。(a): 年、(b): 春 (3~5 月)、(c): 夏 (6~8 月)、(d): 秋 (9~11 月)、(e): 冬 (12~2 月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90% で有意に増加 (減少) する場合は青字 (赤字) としている。

A4.11 無降水日数

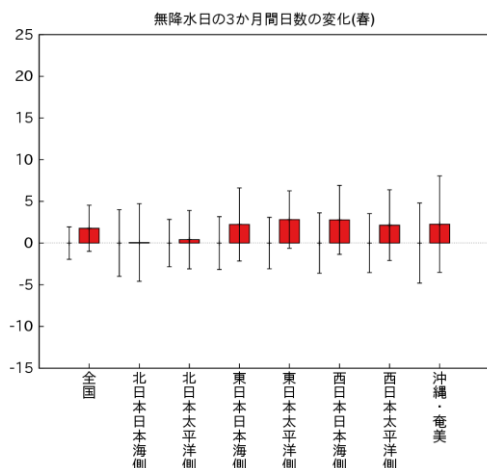
(a)



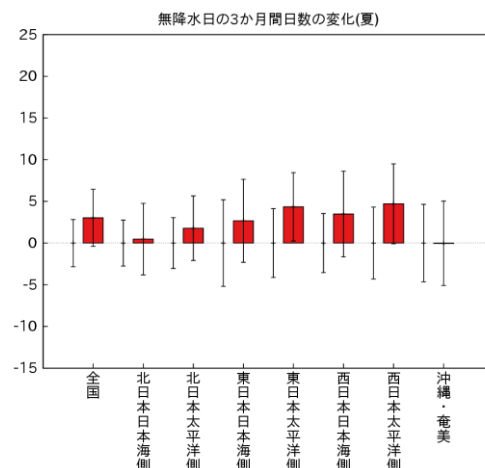
地域	年	春	夏
全国	8.2 ± 5.2	1.8 ± 2.8	3.0 ± 3.4
北日本日本海側	4.8 ± 8.2	0.1 ± 4.7	0.5 ± 4.3
北日本太平洋側	3.9 ± 6.0	0.4 ± 3.5	1.8 ± 3.9
東日本日本海側	14.1 ± 9.4	2.2 ± 4.4	2.7 ± 5.0
東日本太平洋側	8.1 ± 6.6	2.8 ± 3.4	4.3 ± 4.1
西日本日本海側	12.1 ± 8.0	2.8 ± 4.1	3.5 ± 5.1
西日本太平洋側	9.9 ± 7.7	2.1 ± 4.2	4.7 ± 4.8
沖縄・奄美	8.2 ± 11.7	2.3 ± 5.8	-0.0 ± 5.1

地域	秋	冬
全国	1.7 ± 2.6	1.7 ± 2.3
北日本日本海側	3.0 ± 4.4	1.3 ± 4.1
北日本太平洋側	2.1 ± 3.2	-0.4 ± 2.8
東日本日本海側	3.8 ± 4.6	5.4 ± 5.2
東日本太平洋側	0.8 ± 3.4	0.1 ± 3.0
西日本日本海側	1.3 ± 3.9	4.5 ± 3.2
西日本太平洋側	0.9 ± 3.6	2.2 ± 3.1
沖縄・奄美	1.7 ± 4.1	4.3 ± 5.2

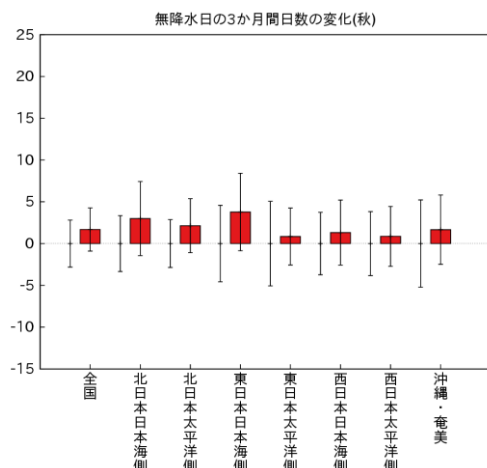
(b)



(c)



(d)



(e)

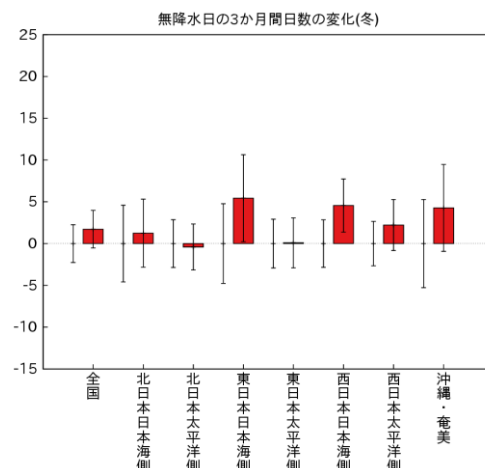


図 A4.11 及び付表 地域別の無降水日数の変化 (単位: 日)

将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における 4 メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅 (混合分布による標準偏差 (【資料 2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候) を示している。(a): 年、(b): 春 (3~5 月)、(c): 夏 (6~8 月)、(d): 秋 (9~11 月)、(e): 冬 (12~2 月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準 90% で有意に増加 (減少) する場合は赤字 (青字) としている。

(資料 4)

参考文献

【第1章】

- 気象庁, 2013. 地球温暖化予測情報第8巻, IPCC 温室効果ガス排出シナリオA1Bを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 平成25年3月, 88pp.
- 気象庁, 2016. ヒートアイランド監視報告2015, 平成28年7月, 67pp.
- 文部科学省研究開発局, 2014. 気候変動リスク情報創生プログラム テーマ C 気候変動リスク情報の基盤技術開発 平成25年度研究成果報告書, 平成26年3月, 249pp.
- 文部科学省研究開発局, 2016. 気候変動リスク情報創生プログラム テーマ C 気候変動リスク情報の基盤技術開発 平成27年度研究成果報告書, 平成28年3月, 212pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535pp.
- Mizuta, R., H. Yoshimura, H. Murakami, M. Matsueda, H. Endo, T. Ose, K. Kamiguchi, M. Hosaka, M. Sugi, S. Yukimoto, S. Kusunoki, and A. Kitoh 2012. Climate simulations using MRI-AGCM3.2 with 20-km grid. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90A**, 233-258, doi:10.2151/jmsj.2012-A12.
- 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
- Sasaki, H., A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara 2011. Reproducibility of present climate in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmosphere general circulation model. *SOLA*, **7**, 173-176, doi:10.2151/sola.2011-044.
- Wakamatsu, S., K. Oshio, K. Ishihara, H. Murai, T. Nakashima and T. Inoue 2017. Estimating regional climate change uncertainty in Japan at the end of 21st century with mixture distribution. *Hydrological Research Letters*. **11**, 65-71, doi:10.3178/hrl.11.65.

【第2章】

- 気象庁, 2013. 地球温暖化予測情報第8巻, IPCC 温室効果ガス排出シナリオA1Bを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 平成25年3月, 88pp.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535pp.
- Murata, A., H. Sasaki, H. Kawase, M. Nosaka, M. Oh'izumi, T. Kato, T. Aoyagi, F. Shido, K. Hibino, S. Kanada, A. Suzuki-Parker, and T. Nagatomo 2015. Projection of future climate change over Japan in ensemble simulations with a high-resolution regional climate model. *SOLA*, **11**, 90-94, doi:10.2151/sola.2015-022

Sasaki, H, A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, K. Kurihara 2012. Projection of future climate change in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmospheric general circulation model. *SOLA*, **8**, 053–056, doi:10.2151/sola.2012-014.

【第3章】

気象庁, 2013. 地球温暖化予測情報第8巻, IPCC 温室効果ガス排出シナリオA1Bを用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 平成25年3月, 88pp.

気象庁, 2015. 異常気象レポート2014, 平成27年3月, 253pp.

文部科学省研究開発局, 2015. 気候変動リスク情報創生プログラム テーマ C 気候変動リスク情報の基盤技術開発 平成26年度研究成果報告書, 平成27年3月, 213pp.

Endo, H., A. Kitoh, R. Mizuta, and M. Ishii 2017. Future changes in precipitation extremes in East Asia and their uncertainty based on large ensemble simulations with a high-resolution AGCM. *SOLA*.

Giorgi, F., E.-S. Im, E. Coppola, N. S. Diffenbaugh, X. J. Gao, L. Mariotti, and Y. Shi 2011. Higher hydroclimatic intensity with global warming. *J. Climate*, **24**, 5309–5324. doi:10.1175/2011JCLI3979.1.

Hosking, J.R.M., Wallis J.R. 1997. Regional frequency analysis: An approach based on L-moments. Cambridge University Press, Cambridge, UK; 224pp.

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata and M. Nosaka 2015. Future changes in winter precipitation around Japan projected by ensemble experiments using NHRCM. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 571–580, DOI:10.2151/jmsj.2015-034.

Kusunoki, S. 2017. Future changes in precipitation over East Asia projected by the global atmospheric model MRI-AGCM3.2. *Climate Dynamics*. doi:10.1007/s00382-016-3499-3.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Mizuta, R., A. Murata, M. Ishii, H. Shiogama, K. Hibino, N. Mori, O. Arakawa, Y. Imada, K. Yoshida, T. Aoyagi, H. Kawase, M. Mori, Y. Okada, T. Shimura, T. Nagatomo, M. Ikeda, H. Endo, M. Nosaka, M. Arai, C. Takahashi, K. Tanaka, T. Takemi, Y. Tachikawa, K. Temur, Y. Kamae, M. Watanabe, H. Sasaki, A. Kitoh, I. Takayabu, E. Nakakita, and M. Kimoto 2016. Over 5000 years of ensemble future climate simulations by 60 km global and 20 km regional atmospheric models. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, in press, doi:10.1175/BAMS-D-16-0099.1

Murata, A., H. Sasaki, H. Kawase, M. Nosaka, M. Oh'izumi, T. Kato, T. Aoyagi, F. Shido, K. Hibino, S. Kanada, A. Suzuki-Parker, and T. Nagatomo 2015. Projection of future climate change over Japan in ensemble simulations with a high-resolution regional climate model. *SOLA*. **11**. 90–94, doi:10.2151/sola.2015-022.

Sugi, M., Y. Imada, T. Nakaegawa and K. Kamiguchi, 2017: Estimating probability of extreme rainfall over Japan using Extended Regional Frequency Analysis. *Hydrological Research Letters*. **11**, 19–23, doi:10.3178/hrl.11.19.

Trenberth, K. E. 2011: Changes in precipitation with climate change. *Clim. Res.*, **47**, 123–138, doi:10.3354/cr00953.

【第4章】

気象庁, 2013. 地球温暖化予測情報第8巻, IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B を用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 平成 25 年 3 月, 88pp.

Brown, R. D., P. Mote 2009. The response of Northern Hemisphere snow cover to a changing climate, *J. Clim.*, **22**, 2124–2145.

Kawase, H., A. Murata, R. Mizuta, H. Sasaki, M. Nosaka, M. Ishii and I. Takayabu 2016. Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. *Climatic Change*, **139**, 265–278, DOI 10.1007/s10584-016-1781-3.

Sasaki, H., A. Murata, M. Hanafusa, M. Oh'izumi, and K. Kurihara 2012. Projection of future climate change in a non-hydrostatic regional climate model nested within an atmospheric general circulation model. *SOLA*, **8**, 53-56, doi:10.2151/sola.2012-014.

【資料 1】

気象庁, 2013. 地球温暖化予測情報第8巻, IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B を用いた非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測, 平成 25 年 3 月, 88pp.

気象庁, 2015. 異常気象レポート 2014, 平成 27 年 3 月, 253pp.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535pp.

van Vuuren, D.P., Carter T. 2013. Climate and socio-economic scenarios for climate change research and assessment: reconciling the new with the old [N. Nakicenovic, R. Lempert, A. Janetos (eds.)]. *Climatic Change*, Special Issue, A Framework for the Development of New Socioeconomic Scenarios for Climate Change Research.

【資料 2】

Wakamatsu, S., K. Oshio, K. Ishihara, H. Murai, T. Nakashima and T. Inoue 2017. Estimating regional climate change uncertainty in Japan at the end of 21st century with mixture distribution. *Hydrological Research Letters*. **11**, 65-71, doi:10.3178/hrl.11.65.

謝 辞

本書で利用したデータセットは、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムにおいて、気象庁の協力のもと、気象庁気象研究所が開発した気候モデルを利用して作成・提供されたものです。このデータセットは、文部科学省のデータ統合・解析システム(DIAS)を用いて提供される予定です。また、内容に関する検討は、近藤洋輝リモート・センシング技術センター参与を部会長とする気候問題懇談会検討部会のご協力を頂きました。

気候問題懇談会 検討部会

部会長 近藤 洋輝 リモート・センシング技術センター 参与
今村 隆史 国立研究開発法人 国立環境研究所
環境計測研究センター センター長
日下 博幸 筑波大学 計算科学研究センター 教授
須賀 利雄 東北大学 大学院理学研究科 地球物理学専攻長・教授
早坂 忠裕 東北大学 大学院理学研究科 理学研究科長・教授
渡部 雅浩 東京大学 大気海洋研究所 教授

本書に関するお問い合わせ先

本書の内容に関するご意見、ご感想、ご不明な点につきましては、下記の宛先までお問い合わせください。

気象庁 地球環境・海洋部 気候情報課
〒100-8122 東京都千代田区大手町 1-3-4
E-mail: clime@met.kishou.go.jp
TEL: 03-3211-8406

(表紙の写真: 菊池真以氏 提供)