

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月別値（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。

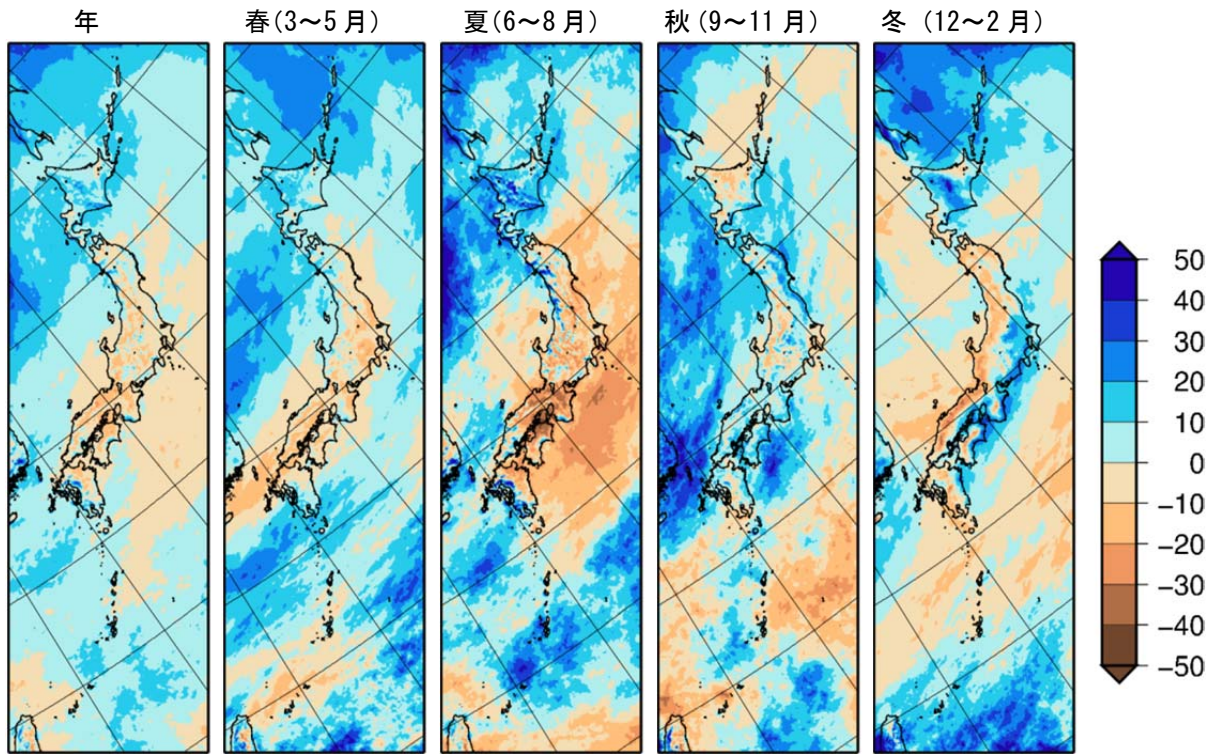


図 3.1-1 年降水量や季節ごとの3か月降水量の将来変化（単位：％）
現在気候に対する変化率で示す。4メンバーの平均。

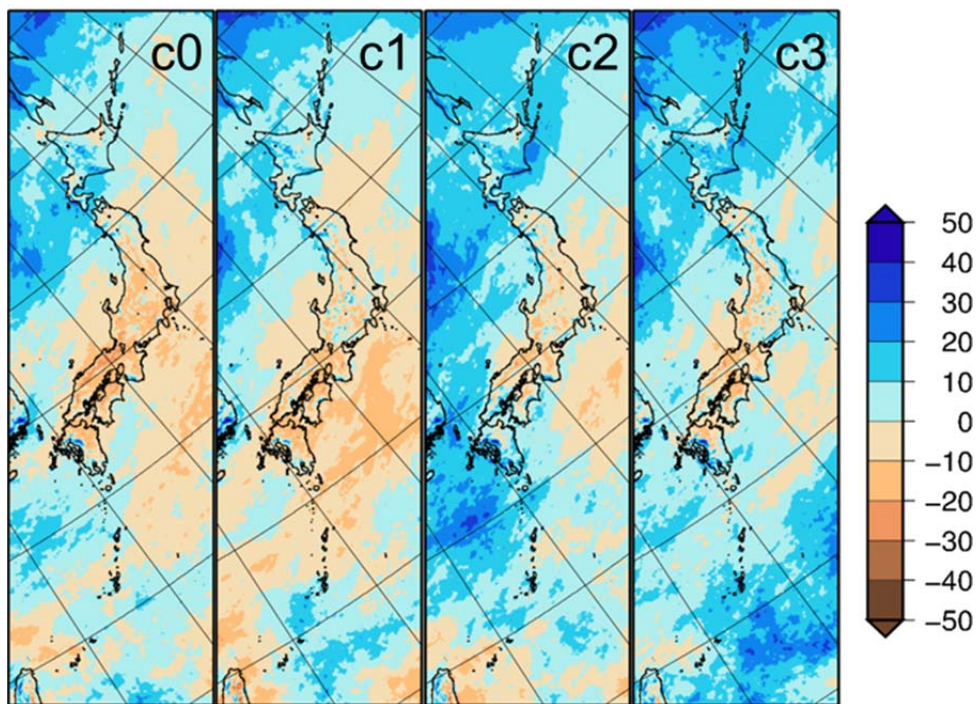


図 3.1-2 各メンバーの年降水量の将来変化（単位：％）
現在気候に対する変化率で示す。図中の c0～c3 はメンバーを表す記号。

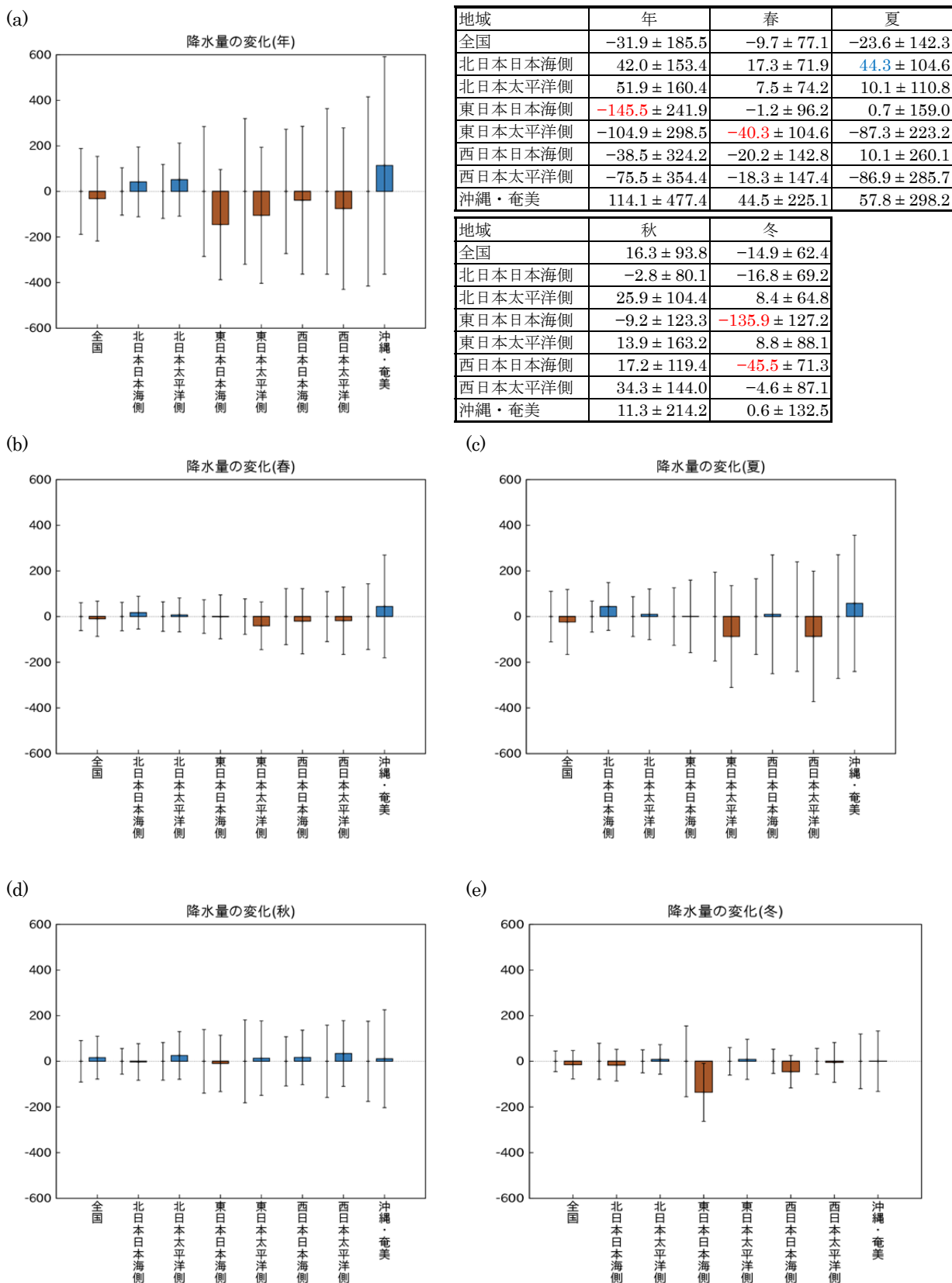
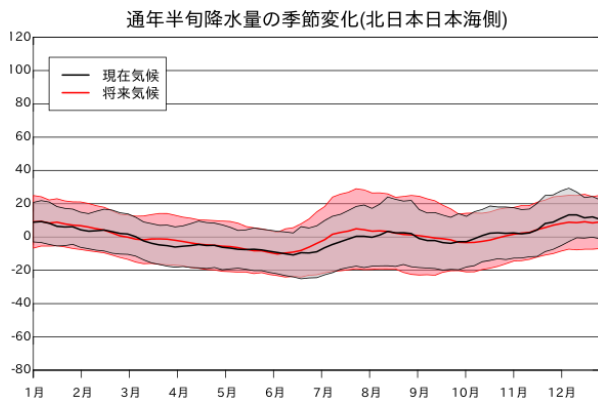


図 3.1-3 及び付表 全国及び地域別の降水量の変化 (単位: mm)

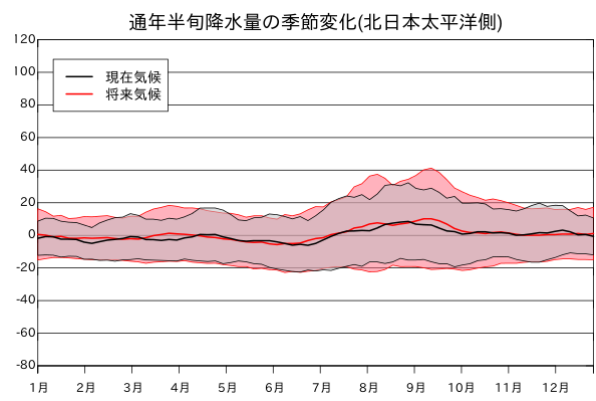
将来気候と現在気候との差を統計的に処理し、棒グラフは将来における4メンバー平均の変化量、細い縦線は年々変動の幅(混合分布による標準偏差(【資料2】参照)) (各地域とも、左: 現在気候、右: 将来気候)を示している。(a): 年間、(b): 春(3~5月)、(c): 夏(6~8月)、(d): 秋(9~11月)、(e): 冬(12~2月)。右上の付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が信頼度水準90%で有意に増加(減少)する場合は青字(赤字)としている。

(第3章 降水の将来予測)

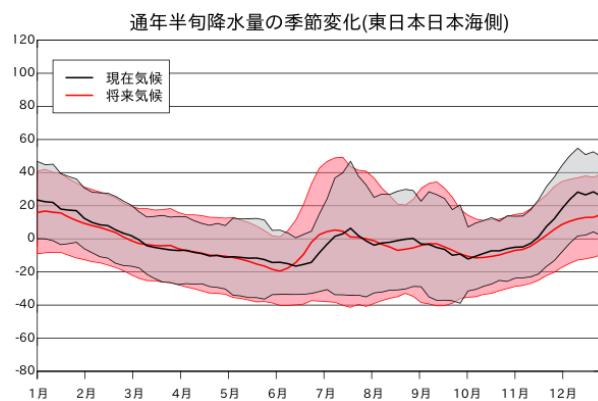
(a)



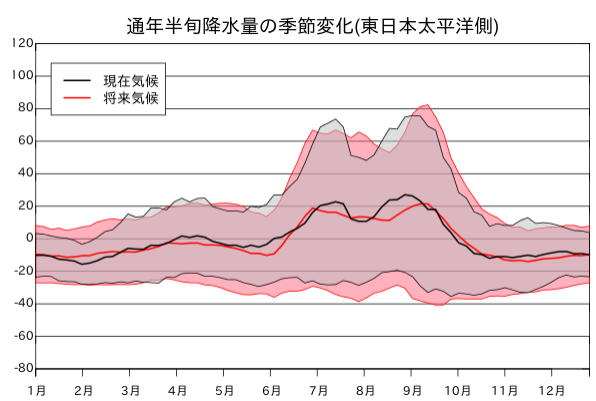
(b)



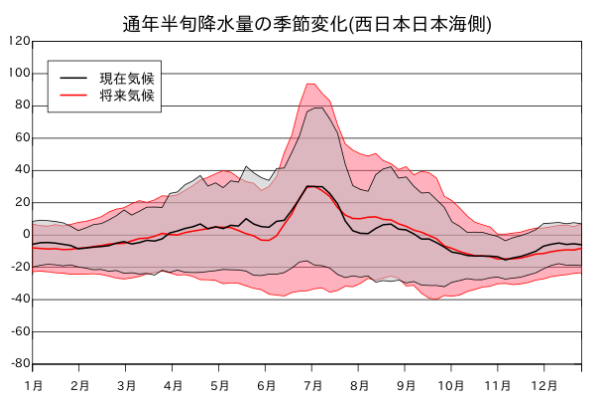
(c)



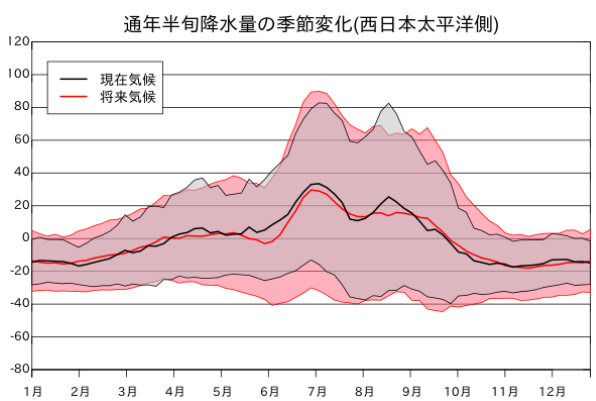
(d)



(e)



(f)



(g)

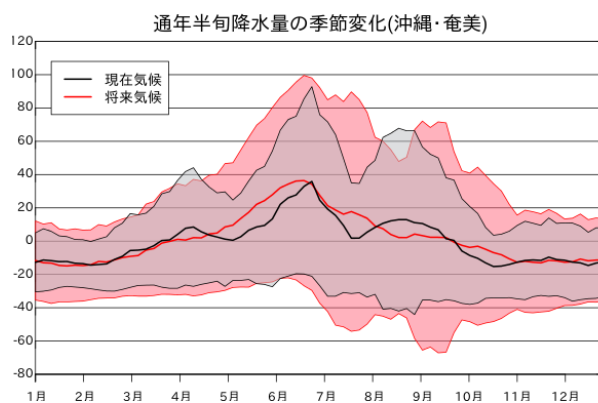


図 3.1-4 地域別の降水量の季節進行の変化(単位:mm)
黒は現在気候、赤は将来気候における通年半年別値(表 1.3-1)を1年分示したもので、折線は通年半年別値(気候値)を示し、陰影は年々変動の標準偏差を示す。現在気候及び将来気候ともに、現在気候の年平均値との差を示す。

(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。

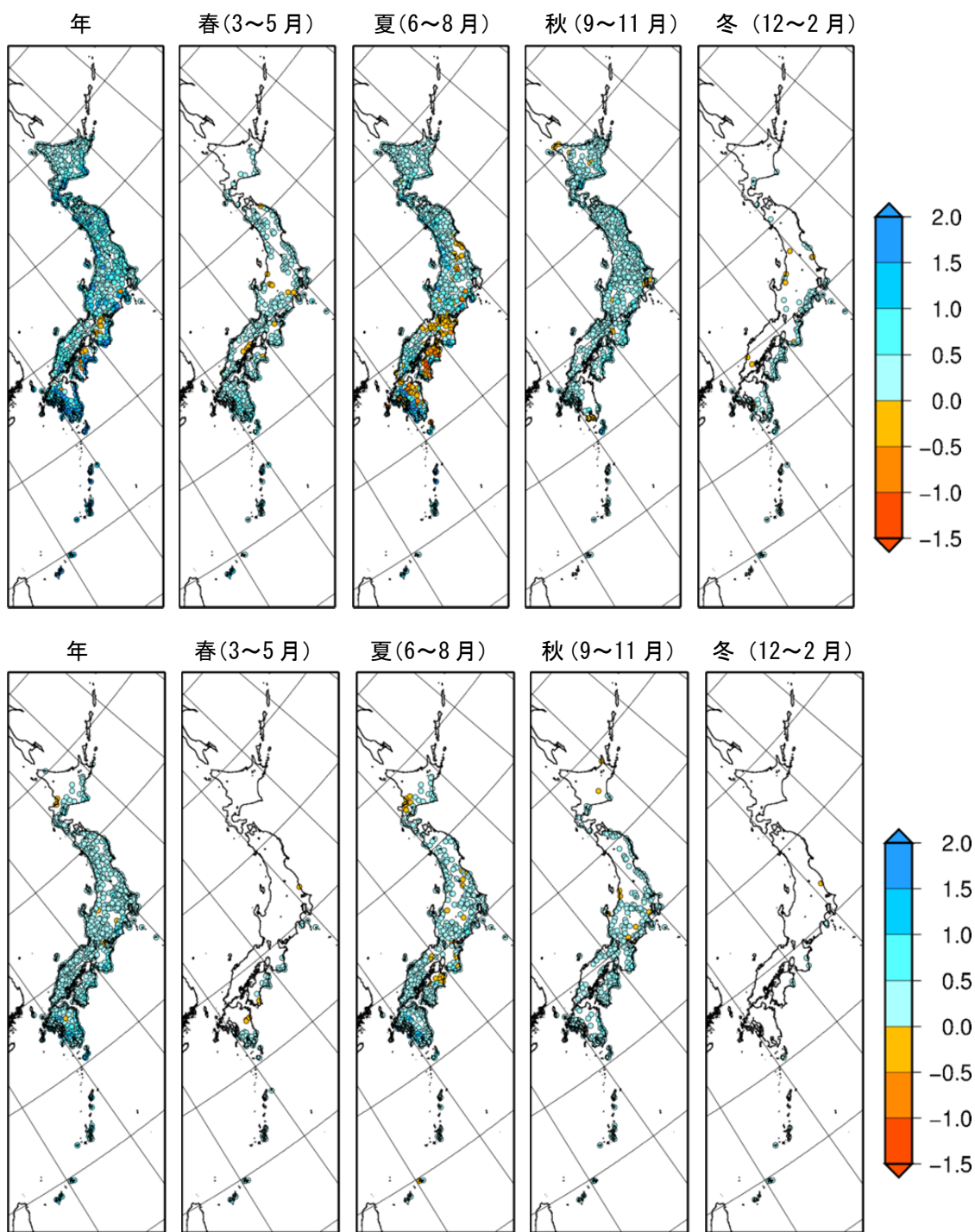


図 3.2-1 年及び季節ごとの日降水量 100mm 以上（上）、日降水量 200mm 以上（下）の発生回数の将来変化（単位：回）

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）。

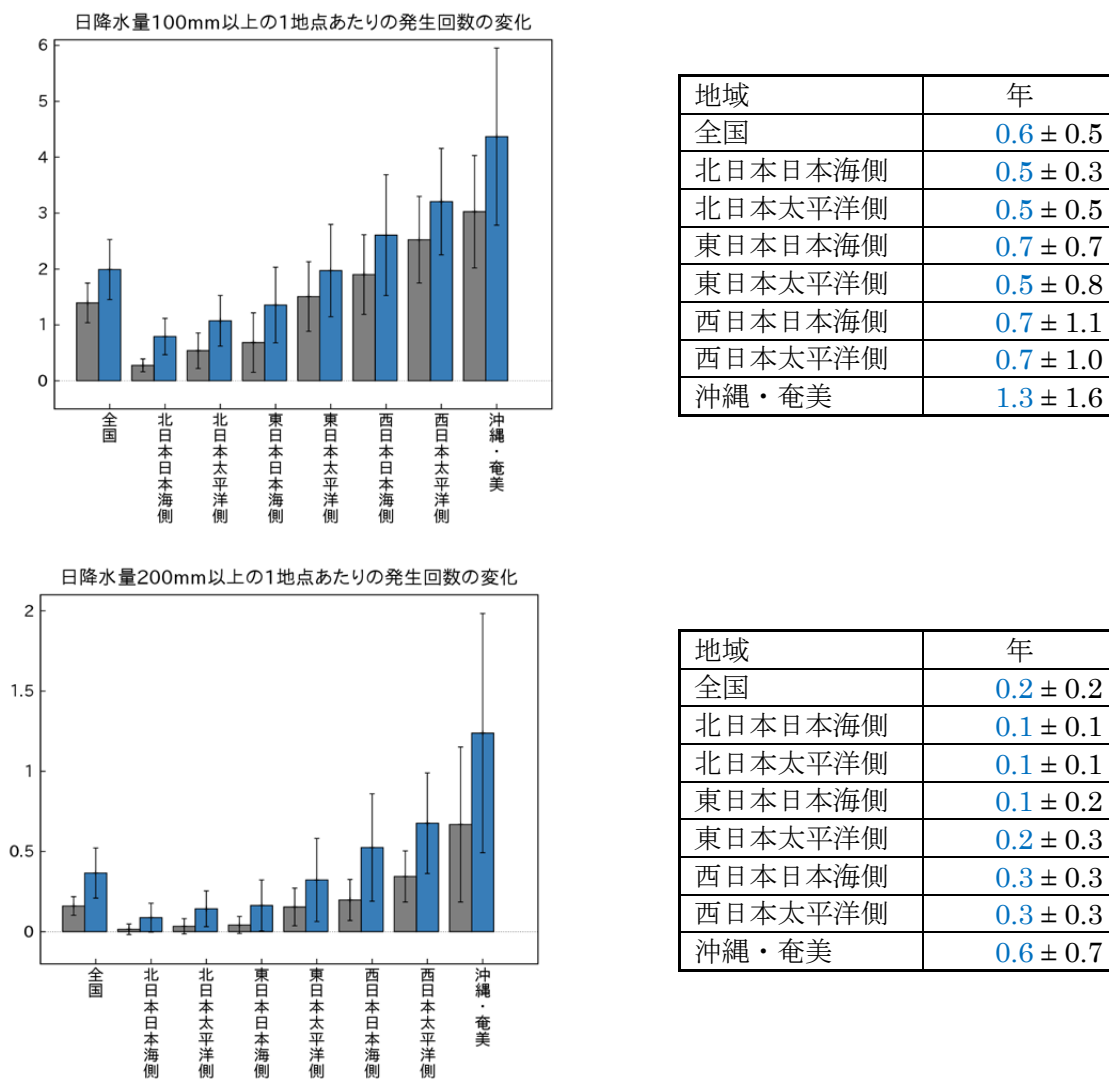


図 3.2-2 及び付表 全国及び地域別の日降水量 100mm 以上（上）、日降水量 200mm 以上（下）の発生回数の変化（単位：回）

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。

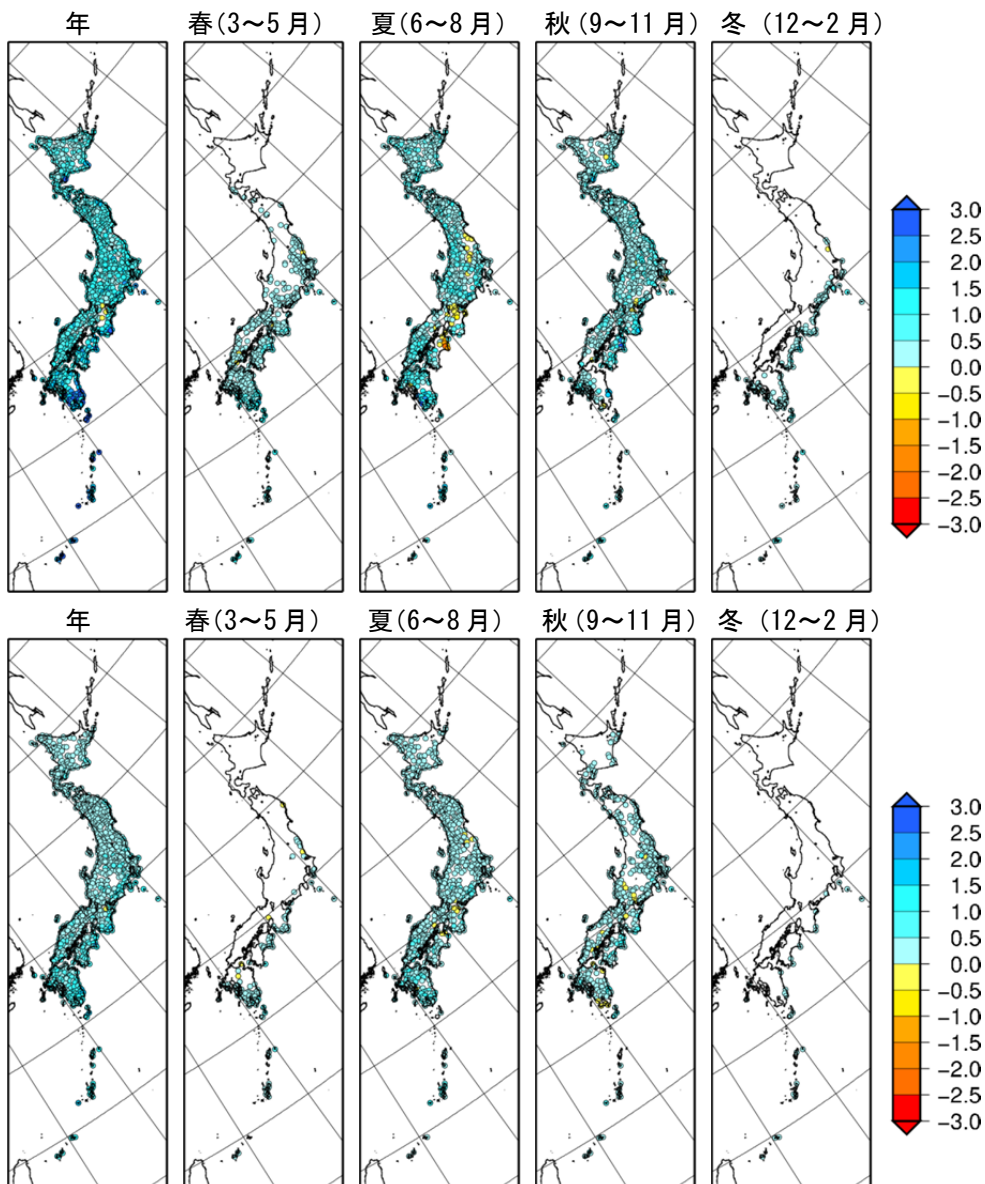
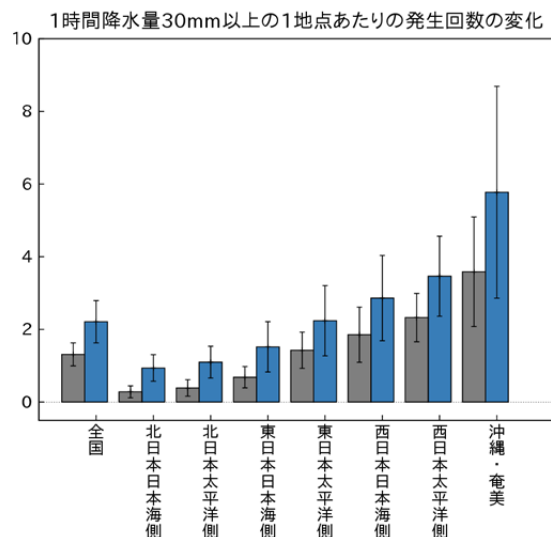
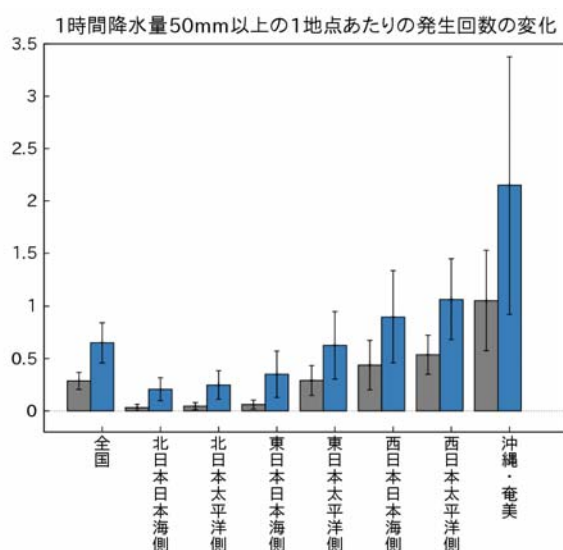


図 3.3-1 年及び季節ごとの 1 時間降水量 30mm 以上（上）、1 時間降水量 50mm 以上（下）の発生回数の将来変化（単位：回）

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。

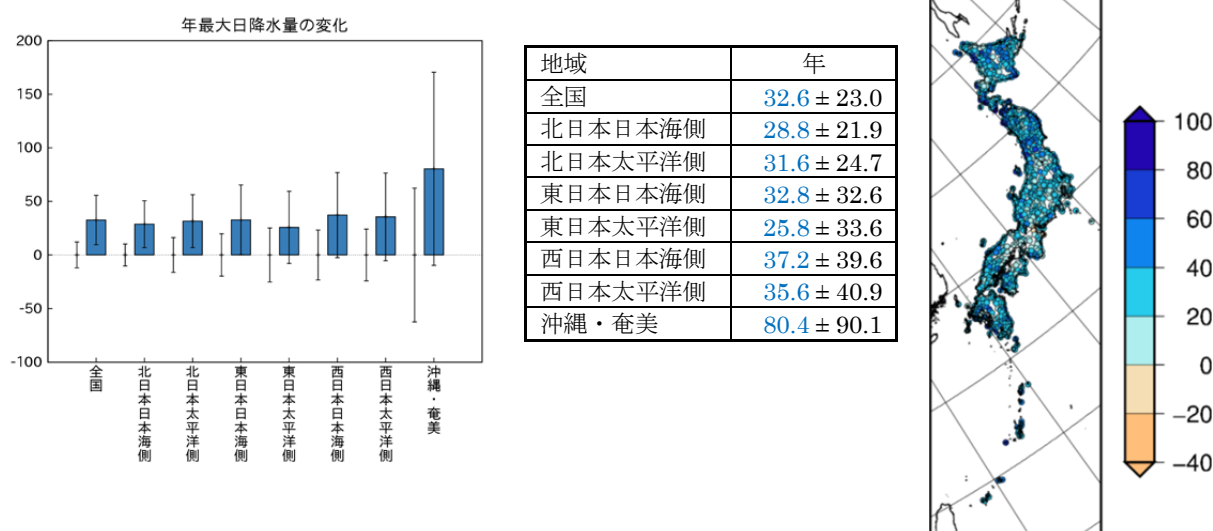


図 3.4-1 年最大日降水量の将来変化

（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。

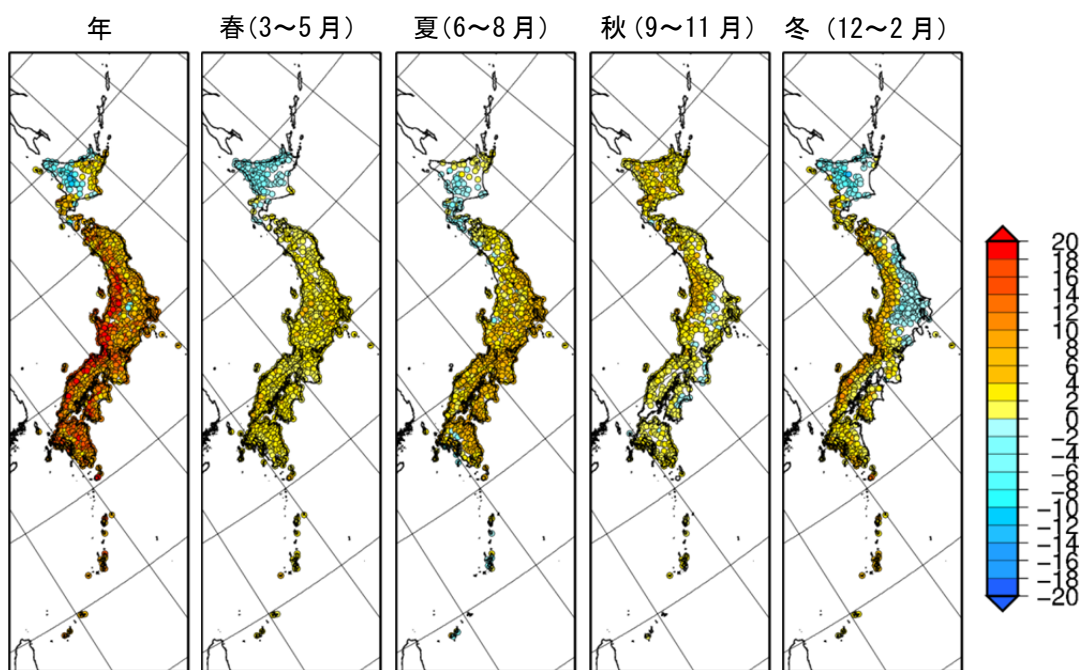
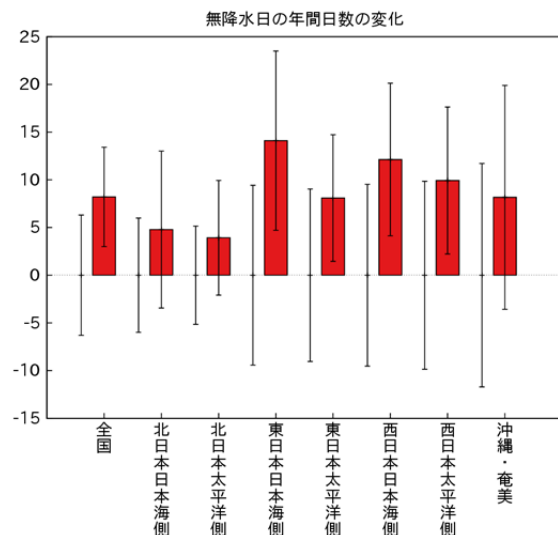


図 3.5-1 年及び季節ごとの無降水日数の将来変化（単位：日）

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。

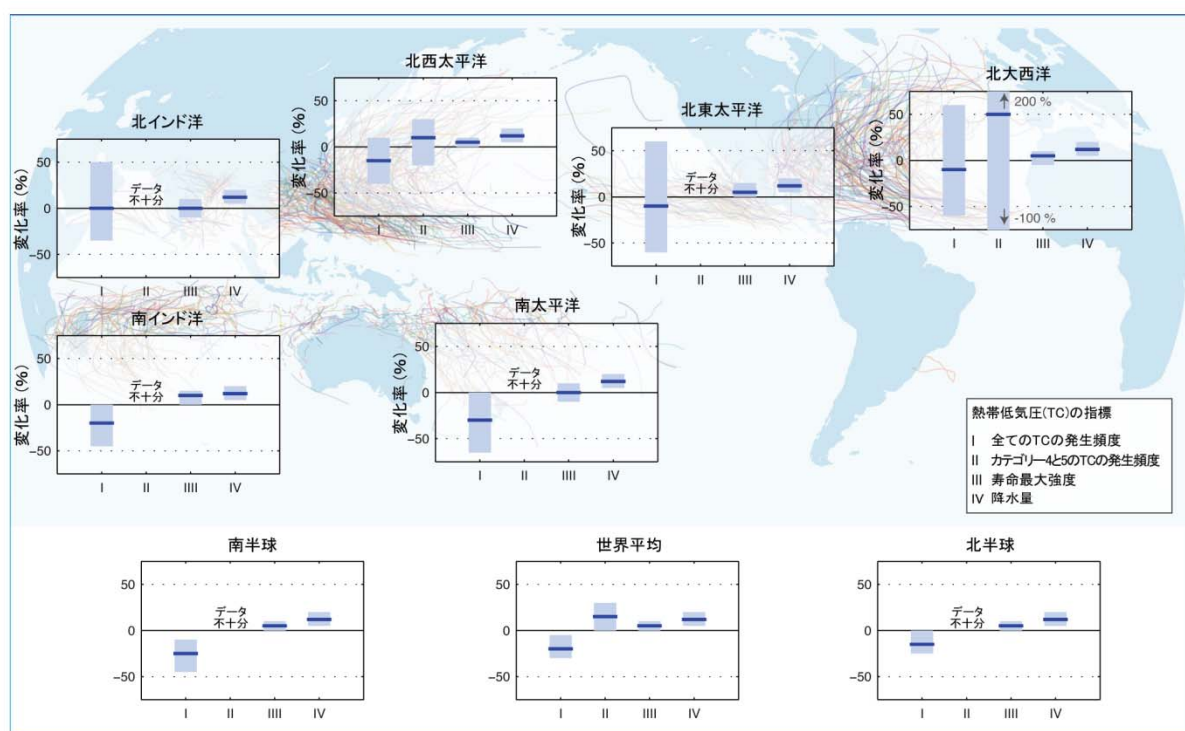


図 3.6-1 熱帯低気圧の統計量の変化予測

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>