

沖縄の気候変動監視レポート

2022

沖縄の気候・海洋の変化と 21 世紀末の予測情報



久高島（沖縄県）の海

令和4年3月
沖縄気象台

はじめに

気象庁は、世界気象機関（WMO）をはじめとする国内外の関係機関と協力し、長期間にわたり高精度の観測を続け、蓄積したデータを分析して気候変動を監視しています。そしてその成果を「気候変動監視レポート」として毎年刊行しています。また、2020年12月には、文部科学省と共同で「日本の気候変動2020」を公表しました。その中で、これまでに蓄積された気候と海洋の長期変動に関する知見の紹介と合わせて、21世紀末の日本に対する2つの将来予測、すなわち、現時点を超える追加的な地球温暖化対策（緩和策）が取られずに温暖化が進行した将来と、パリ協定における温室効果ガス削減目標が達成された将来とを対比して、それぞれの予測内容を紹介しています。

沖縄気象台でも、県内各地域における気温や降水量、真夏日・熱帯夜の日数といった気候の変化や、沖縄周辺の海面水温など海洋関連の情報をまとめたレポートを毎年公表しており、このたび2021年までの最新データとその分析結果を掲載した「沖縄の気候変動監視レポート2022」を刊行しました。

2021年の沖縄地方を振り返ると、5月の高温に続き、6月には、近年の大雨災害の多くをもたらしている線状降水帯に関する情報として気象庁が今年度から新たに提供を始めた「顕著な大雨に関する情報」を全国に先駆けて発表しました。7月以降も、台風が非常に発達して接近する予測により、管内で幾度か警戒体制を取る状況になりました。しかしながら、幸いにも人命に関わる被害はなく、気象災害の面からは比較的穏やかな年だったと言えるでしょう。

一方で全国に目を向ければ、7月の九州地方を中心とする大雨や、8月の西日本から東日本の広い範囲にかけての大雨により各地で多くの災害が発生しました。事後の解析からは、地球温暖化の進行に伴う長期的な水蒸気量の増加が降水量の増加を後押しした可能性が示唆されています。

昨年8月に公表された、国連の気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の第6次評価報告書・第1作業部会報告書においても、地球温暖化によって大雨や高温といった極端な現象が長期的に増加すると指摘されており、引き続き気候変動の実態をしっかりと監視していく必要があります。

2018年に施行された「気候変動適応法」は、気候変動により顕在化しつつあるさまざまな影響を回避・軽減するための「適応策」を推進するものです。2018年11月に策定された国の「気候変動適応計画」を踏まえ、昨年3月に「沖縄県気候変動適応計画」が策定されました。また、政府は2050年に二酸化炭素の排出量を実質ゼロにする目標を掲げ、工業化前と比べた今世紀末の気温上昇を2℃（できれば1.5℃）に抑えることを目指す「緩和策」も実行に移されつつあります。

本レポートが、沖縄における気候変動に関する理解の一助となり、地方公共団体や事業所・各家庭などにおける気候変動対策の取組に活用されることを期待します。

2022年3月

沖縄気象台長 多田 英夫

目次

序章 沖縄の気候	1
第1章 2021年の沖縄の天候と海況.....	4
1.1 2021年の天候の特徴.....	4
(1) 天候の推移.....	4
(2) 台風の動向.....	4
(3) 梅雨期の動向.....	4
1.2 2021年の海況の特徴.....	7
(1) 海面水温の動向.....	7
(2) 海面水位の動向.....	11
1.3 2021年の特徴的な現象.....	12
(1) 沖縄地方の5月の平均気温が過去最高.....	12
(2) 沖縄地方の2月の日照時間が、統計を開始した1946年以降最多.....	13
(3) 沖縄周辺海域で、9月及び10月の平均海面水温が過去最高.....	14
第2章 沖縄の気候の経年変化	15
2.1 沖縄の気温の経年変化.....	15
(1) 平均気温.....	15
(2) 日最高気温、日最低気温.....	23
(3) 月平均気温の異常高温、異常低温の出現数.....	26
(4) 真夏日の日数.....	28
(5) 熱帯夜の日数.....	30
コラム1 気候変動とその要因.....	32
コラム2 温室効果ガスの観測.....	33
コラム3 IPCC第6次評価報告書(第1作業部会).....	34
2.2 沖縄の降水の経年変化.....	35
(1) 降水量.....	35
(2) 月降水量の異常多雨、異常少雨の出現数.....	42
(3) 日降水量100mm以上の年間日数.....	44
(4) 日降水量1mm以上の年間日数.....	46
(5) 短時間強雨の発生頻度.....	48
2.3 沖縄県に影響した台風の経年変化.....	49
(1) 発生数と接近数.....	49
(2) 接近台風の発生・消滅位置、勢力を維持していた期間.....	50
(3) 接近台風が最大風速に達した位置.....	52
(4) 「強い」勢力以上の接近台風の数と割合.....	53

(5) 「強い」勢力以上の接近台風の発生・消滅位置、勢力を維持していた期間.....	54
(6) 「強い」勢力以上の接近台風が最大風速に達した位置.....	56
コラム4 地球温暖化と台風.....	57
2.4 沖縄県の生物季節現象の経年変化.....	58
(1) 沖縄県における植物季節現象の遅れ・進み.....	58
(2) 沖縄県の地点ごとのさくら（ひかんざくら）開花の遅れ・進み.....	61
第3章 沖縄周辺の海域における海洋の経年変化.....	62
3.1 海面水温の経年変化.....	62
(1) 年平均海面水温.....	62
(2) 季節別の平均海面水温.....	63
3.2 海面水位の経年変化.....	67
コラム5 海面水位変動の要因.....	68
コラム6 海洋の酸性化.....	69
コラム7 「日本の気候変動2020」（文部科学省、気象庁）.....	70
第4章 数値モデルによる沖縄の気候変動予測.....	71
4.1 予測計算の概要と解析方法.....	71
(1) 予測計算の概要.....	71
(2) 解析方法.....	71
4.2 沖縄の気温の将来予測.....	73
(1) 平均気温.....	73
(2) 最高気温.....	76
(3) 最低気温.....	79
(4) 猛暑日の日数.....	82
(5) 真夏日の日数.....	85
(6) 熱帯夜の日数.....	88
4.3 沖縄の降水の将来予測.....	91
(1) 年降水量.....	91
(2) 日降水量100mm以上の発生回数.....	92
(3) 1時間降水量50mm以上の発生回数.....	94
(4) 無降水日数.....	96
コラム8 気候変動適応法.....	98
付録.....	100
A.1 世界と日本の気候変動.....	100
A.1.1 気温.....	100
A.1.2 降水量.....	102
A.1.3 海面水温.....	103
A.1.4 海面水位.....	105

A.2 観測データの取扱い.....	107
A.2.1 気象.....	107
A.2.2 海洋.....	111
A.3 観測地点.....	112
A.4 用語一覧.....	113
A.5 参考文献.....	115

序章 沖縄の気候

沖縄地方は近海を黒潮が流れ、暖かい海に囲まれていることもあり、一年を通して温暖な気候である。年間の気温差は小さく、沖縄地方の四季の変化は本土に比べて明瞭ではない。沖縄地方各地の年間降水量は大東島地方を除いて 2,000mm を超え、日本国内では比較的雨が深い地域である(図1)。

春(3~5月)は、天気が周期的に変わることが多く、寒気が入り肌寒さを感じる日もあるが、梅雨に向け次第に蒸し暑くなっていく。

沖縄の平年の梅雨入りは5月上旬で、梅雨明けは6月下旬である。沖縄の梅雨は、強い雨が降ったかと思うと晴間が現れるなど、雨の降り方の変化が激しい。5~6月の降水量は300~600mmに達する。

梅雨明け後の夏(6~8月)は、太平洋高気圧に覆われて晴れの日が多くなり、紫外線も強くなる。周りを海に囲まれた海洋性の気候のため、真夏でも極端に暑くなることはなく、猛暑日(日最高気温35℃以上)になることは稀である。

夏から秋(9~11月)にかけては、太平洋高気圧の縁を北上する台風の影響を多く受ける(図2)。台風の勢力は沖縄に近づく頃最も強くなり、移動する速度が遅くなることから、沖縄では長い時間台風の影響を受けることになる。8~9月の降水量は梅雨期(5~6月)と同程度の300~600mmに達する。台風が接近すると大雨、暴風、高波、高潮などによる災害が発生するおそれがあり、交通障害や停電など社会活動に大きな影響を及ぼす。その一方で、恵みの雨をもたらし、海の表層をかき混ぜて海面水温の極端な上昇を抑えるといった効果もある。

秋は、10月頃までは晴れの日が多く、夏日(日最高気温25℃以上)となる日も多いが、気温は徐々に下がり始める。11月を過ぎ、低気圧の通過後に冬型の気圧配置が現れるようになると、大陸からの寒気の影響を受け、曇りの日が増える。

冬(12~2月)は、大陸の寒気が暖かい東シナ海を通過するときに雲が発生し、曇りや雨の日が多くなる。冬でも日平均気温は15℃以上と比較的暖かいが、北よりの季節風が強い。

図3に、沖縄地方平均(※)の日降水量100mm以上及び1mm以上の月別日数(1991~2020年の平年値)を示す。

日降水量100mm以上の日数は、5~6月の梅雨期と、8~10月の台風シーズンに出現数が多くなり、特に8~9月は平均的に2年に1日程度の割合で出現している。

日降水量1mm以上の日数は、梅雨期や台風シーズンよりも1~3月に多くなっており、平均すると月に12日程度の割合で出現している。

※ 沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。

※ 平年値に関するお知らせ

気象庁では、2021(令和3)年5月19日から、1991~2020年の観測値による新しい平年値の使用を開始しました。また同日より、沖縄地方の地域平均平年差(比)は、従来使用していた那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島の5地点に名護・西表島を加え、7地点の平年差(比)を平均して求めることに変更しました。

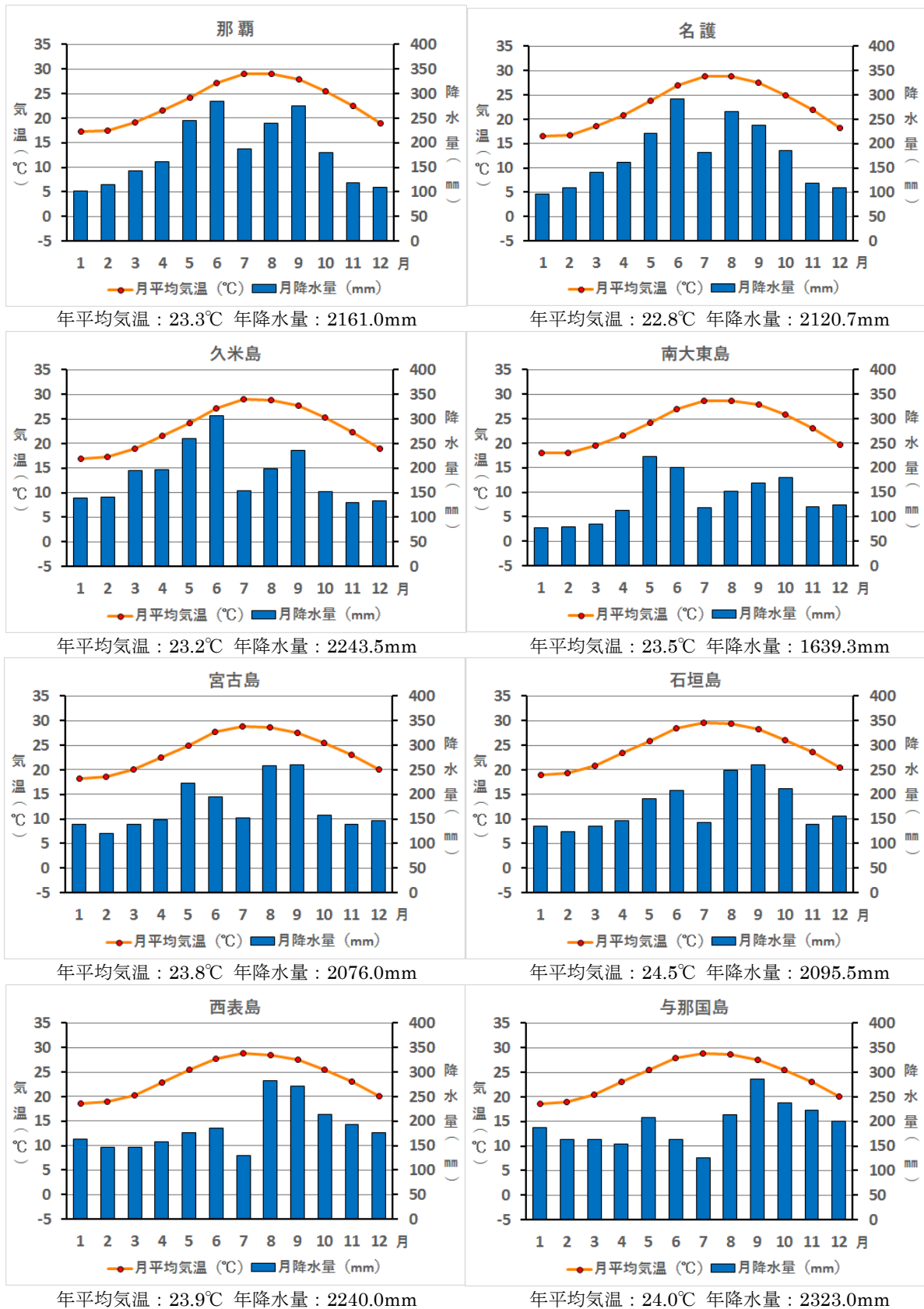


図1 沖縄の主な地点における月平均気温及び月降水量の平年値（統計期間：1991～2020年）

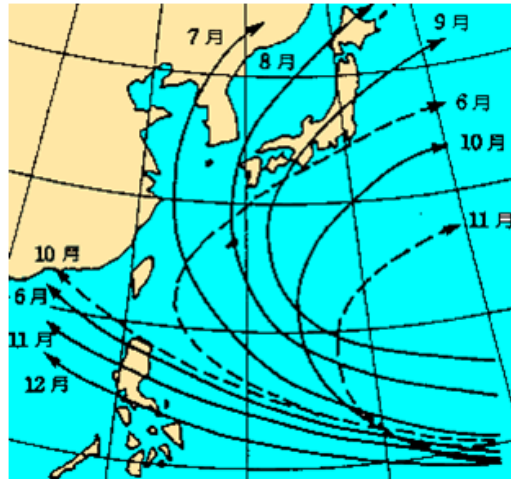


図2 台風のもよびの平均的な経路

(実線は主な経路、破線はそれに準ずる経路)

台風のもよび (台風のもよびから熱帯低気圧または温帯低気圧に変わるまでの期間) は 30 年間 (1991~2020 年) の平均で 5.2 日ですが、中には昭和 61 (1986) 年台風第 14 号の 19.25 日という長寿記録もあります。長寿台風は夏に多く、不規則な経路をとる傾向があります。

(気象庁ホームページより。)

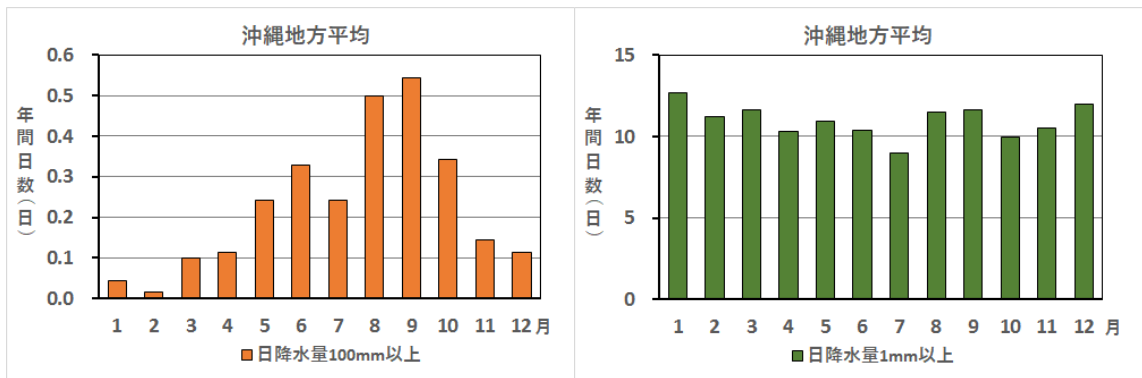


図3 沖繩地方平均の日降水量 100mm 以上 (左) 及び日降水量 1mm 以上 (右) の月別発生回数の平年値 (統計期間: 1991~2020 年)

第1章 2021年の沖縄の天候と海況

1.1 2021年の天候の特徴

- 沖縄地方の5月の平均気温が、統計を開始した1946年以降最も高かった。
- 沖縄地方の2月の日照時間が、統計を開始した1946年以降最も多かった

(1) 天候の推移

沖縄地方の年間日照時間の地域平均平年比は112%でかなり多くなり、統計を開始した1946年以降3番目に多く(3位タイ)、特に2月は統計開始以降、最も多い値を更新した(詳細は1.3(1)に記載)。

沖縄地方の年平均気温の地域平均平年差は+0.4℃で高く、統計を開始した1946年以降5番目に高く(5位タイ)、特に5月は統計開始以降、最も高い値を更新した。年降水量の地域平均平年比は95%で平年並だった。図1.1.1に2021年の沖縄地方における旬平均気温の地域平均平年差の推移を、図1.1.2に旬降水量の地域平均平年比の推移を、図1.1.3に旬日照時間の地域平均平年比を示す。

(2) 台風の動向

台風の年間発生数は22個で平年より少なかった(平年値は25.1個)。沖縄県への台風の年間接近数¹は7個(平年値は7.7個)だった。例年台風の発生が多い8月は4個(平年5.7個)、9月は4個(平年5.0個)で平年を下回った。

(3) 梅雨期の動向

沖縄地方の梅雨入りは5月5日ごろ(平年は5月10日ごろ)で早く、梅雨明けは7月3日ごろ(平年6月21日ごろ)でかなり遅かった。梅雨の時期(5~6月)の降水量の地域平均平年比は140%で平年より多く、日照時間の地域平均平年比は99%だった。

詳細は「沖縄地方の天候2021年(令和3年)」を参照。

(<https://www.data.jma.go.jp/okinawa/data/tenko/year/tenkou2021.pdf>)

¹ 沖縄県に台風が接近するとは、台風の中心が那覇・名護・久米島・南大東島・宮古島・石垣島・西表島及び与那国島のいずれかの気象台又は特別地域気象観測所から300km以内を通過することをいう。1個の台風が複数の月にまたがって接近する場合があるため、月別の接近数の合計と年間の接近数が一致しない場合がある。

1991～2020年の30年間に出現した気温などの値について、上位1/3以上を「高い（多い）」、下位1/3以下を「低い（少ない）」とし、それらを除く中央の1/3の範囲を「平年並」としている。また、上位1/10を「かなり高い（多い）」、下位1/10を「かなり低い（少ない）」としている。

そのほか 1.1 で使用している「地域平均平年差」等の用語については、次のリンク先を参照されたい。

「天気予報等で用いる予報用語」の「表現に関する用語」

https://www.jma.go.jp/jma/kishou/knownow/yougo_hp/hyougen.html

「気象庁観測予報指針 第1部」第4部、第5部

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/shishin/shishin_4.pdf

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/shishin/shishin_5.pdf

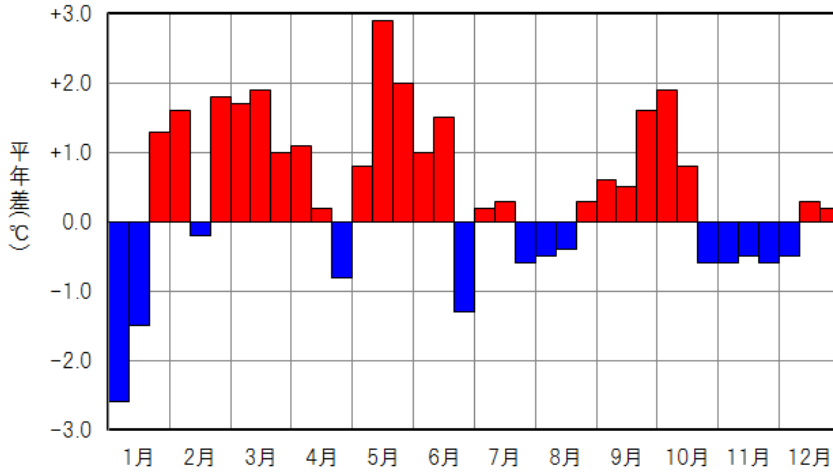


図 1.1.1 2021 年の沖縄地方における旬平均気温の地域平均平年差の推移

同一の月にある 3 本の棒グラフは左から順に上旬 (1~10 日)、中旬 (11~20 日)、下旬 (21~末日) の地域平均平年差を表している。

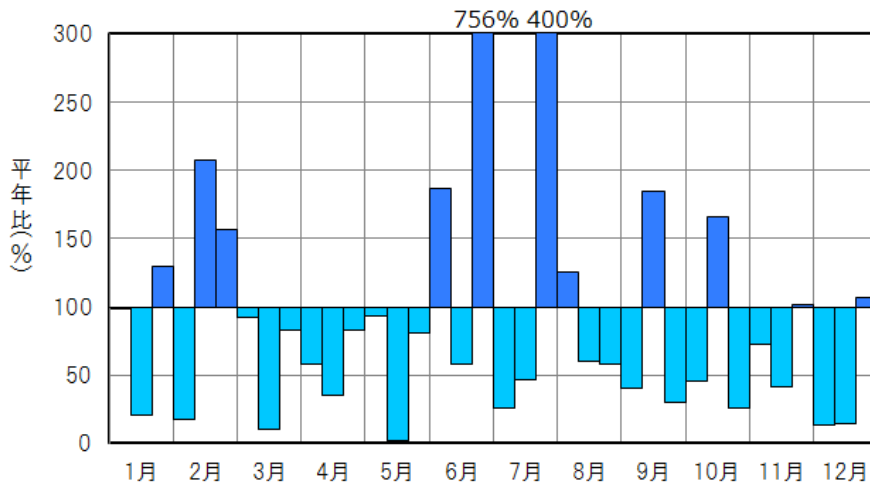


図 1.1.2 2021 年の沖縄地方における旬降水量の地域平均平年比の推移

同一の月にある 3 本の棒グラフは左から順に上旬、中旬、下旬の地域平均平年比を表している。

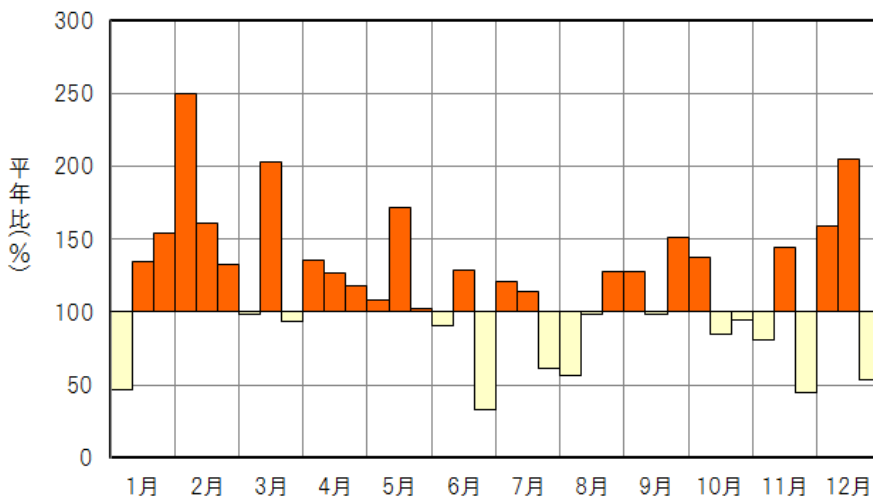


図 1.1.3 2021 年の沖縄地方における旬日照時間の地域平均平年比の推移

同一の月にある 3 本の棒グラフは左から順に上旬、中旬、下旬の地域平均平年比を表している。

1.2 2021 年の海況の特徴

- 沖縄周辺海域の海面水温は、5 月、9 月は平年よりかなり高かった。
- 大東島地方の海面水位は、6 月は甚だ高く、8 月、9 月は甚だ低かった。

(1) 海面水温の動向

沖縄周辺海域の海面水温は、2 月、3 月は平年より高かった。5 月は平年よりかなり高く、6 月も平年より高かった。7 月、8 月は平年より低かったが、9 月は平年よりかなり高く、10 月も平年より高かった。

図 1.2.1 に 2021 年 1～4 月の沖縄周辺海域における海面水温を、図 1.2.2 に 5～8 月の海面水温を、図 1.2.3 に 9～12 月の海面水温を示す。

※ 1991～2020 年の 30 年間に出現した海面水温の上位 1/3 以上を「平年より高い」、下位 1/3 以下を「平年より低い」とし、それらを除いた中央 1/3 の範囲を「平年並」としている。また、上位（下位）1/10 以上（以下）を「平年よりかなり高い（低い）」としている。

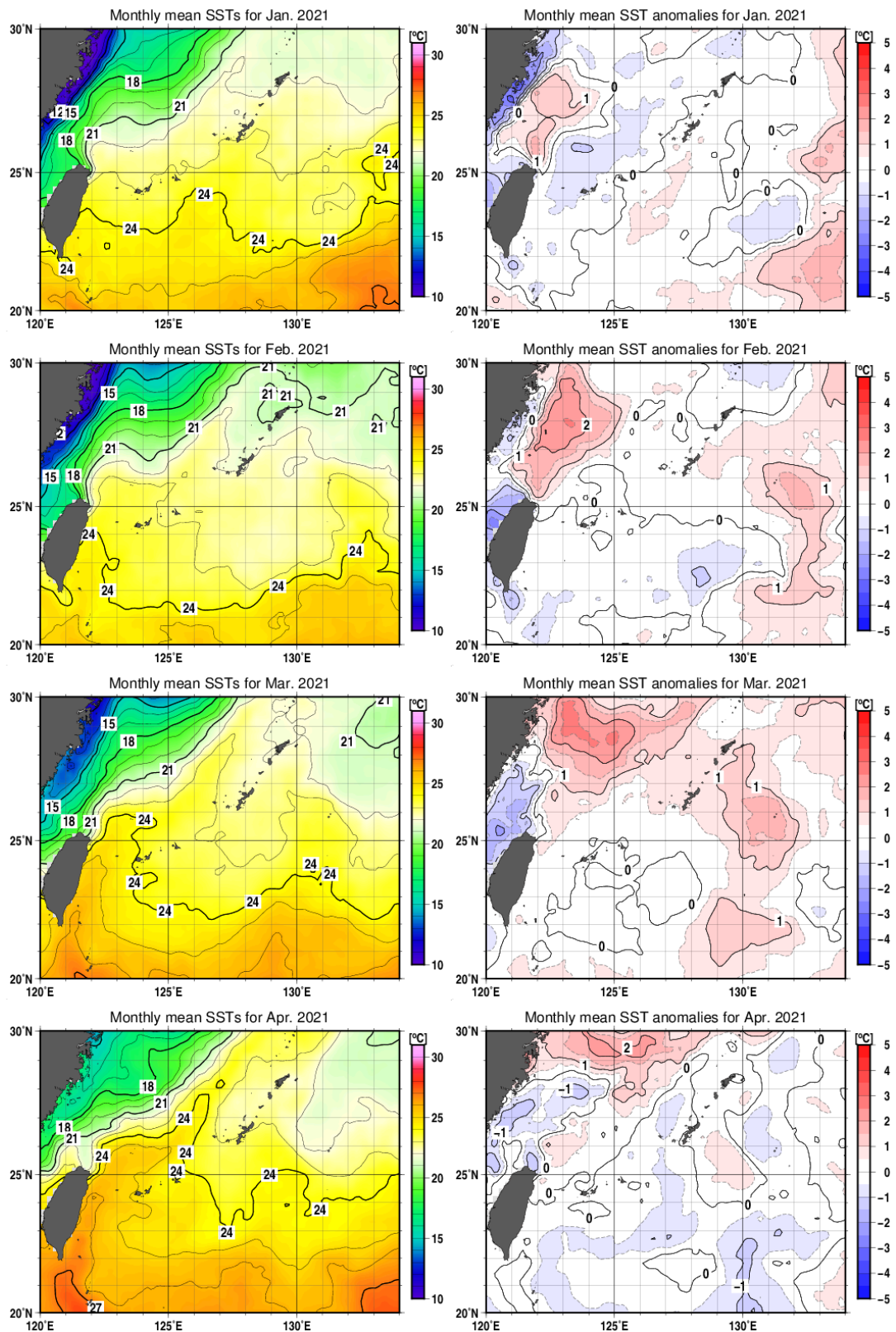


図 1.2.1 2021 年 1~4 月の沖縄周辺海域における海面水温
(左：月平均海面水温、右：月平均海面水温平年差)

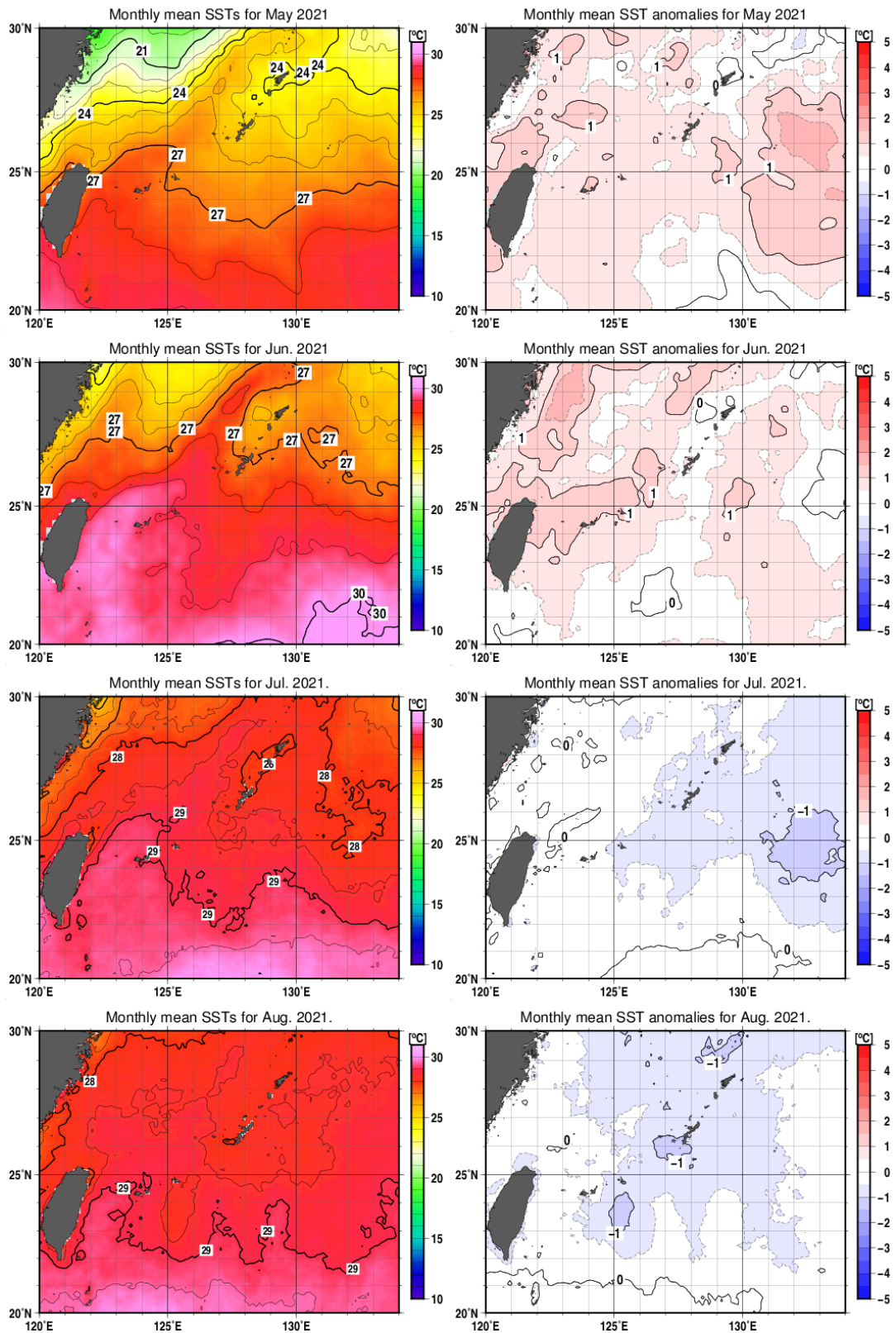


図 1.2.2 2021 年 5~8 月の沖縄周辺海域における海面水温
(左：月平均海面水温、右：月平均海面水温平年差)

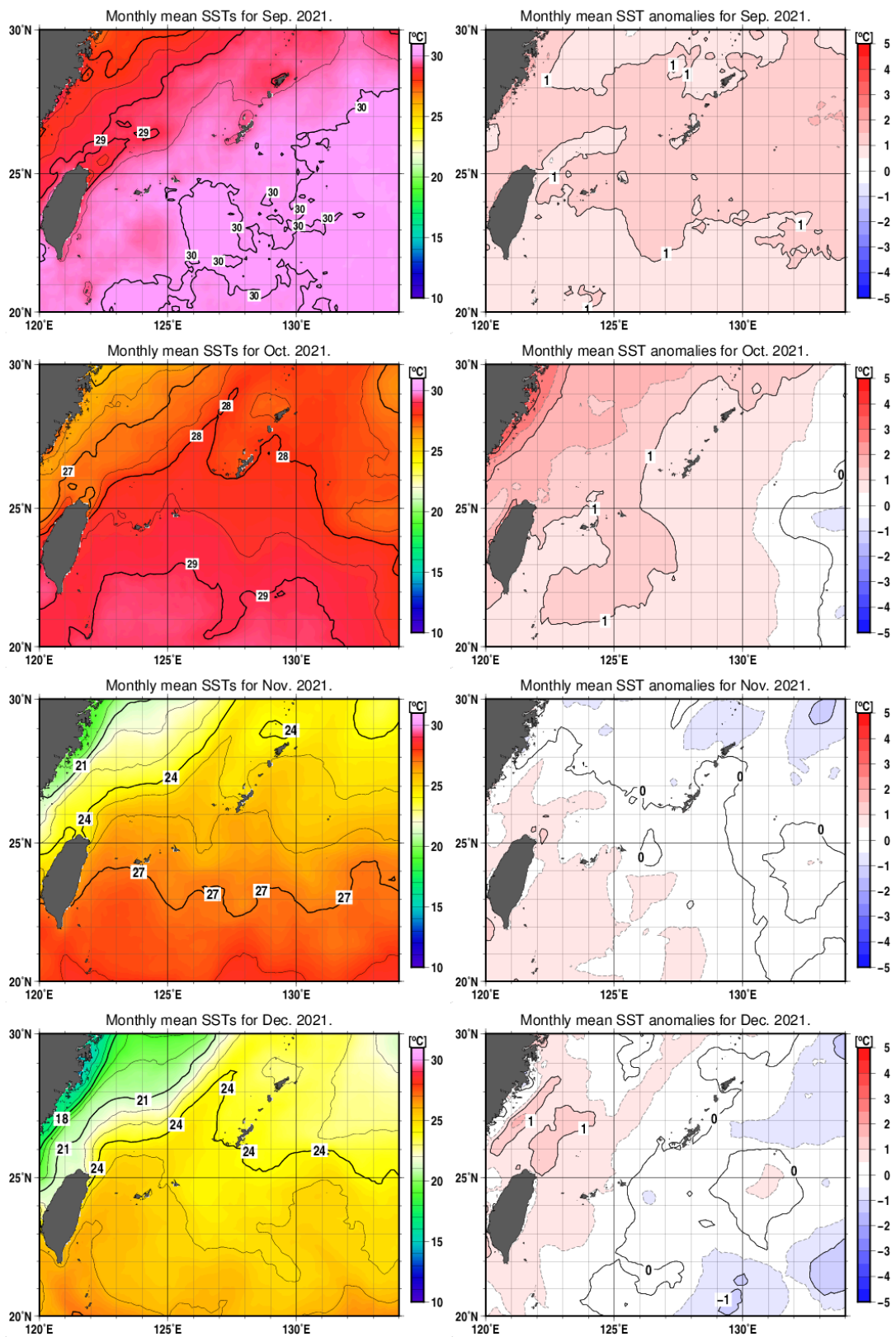


図 1.2.3 2021 年 9~12 月の沖縄周辺海域における海面水温
 (左：月平均海面水温、右：月平均海面水温平年差)

(2) 海面水位の動向

沖縄本島地方： 8月はかなり低かった。そのほかはやや低い、又は例年並だった。

先島諸島： 石垣島では、1月、8月、10月はかなり低く、6月及び7月はかなり高かった。与那国島では8月はかなり低かった。そのほかはやや低いからやや高い状態だった。

大東島地方： 6月は甚だ高く、3月、7月及び11月はかなり高かった。一方、8月及び9月は甚だ低く、4月及び5月はかなり低かった。そのほかはやや低いからやや高い状態だった。

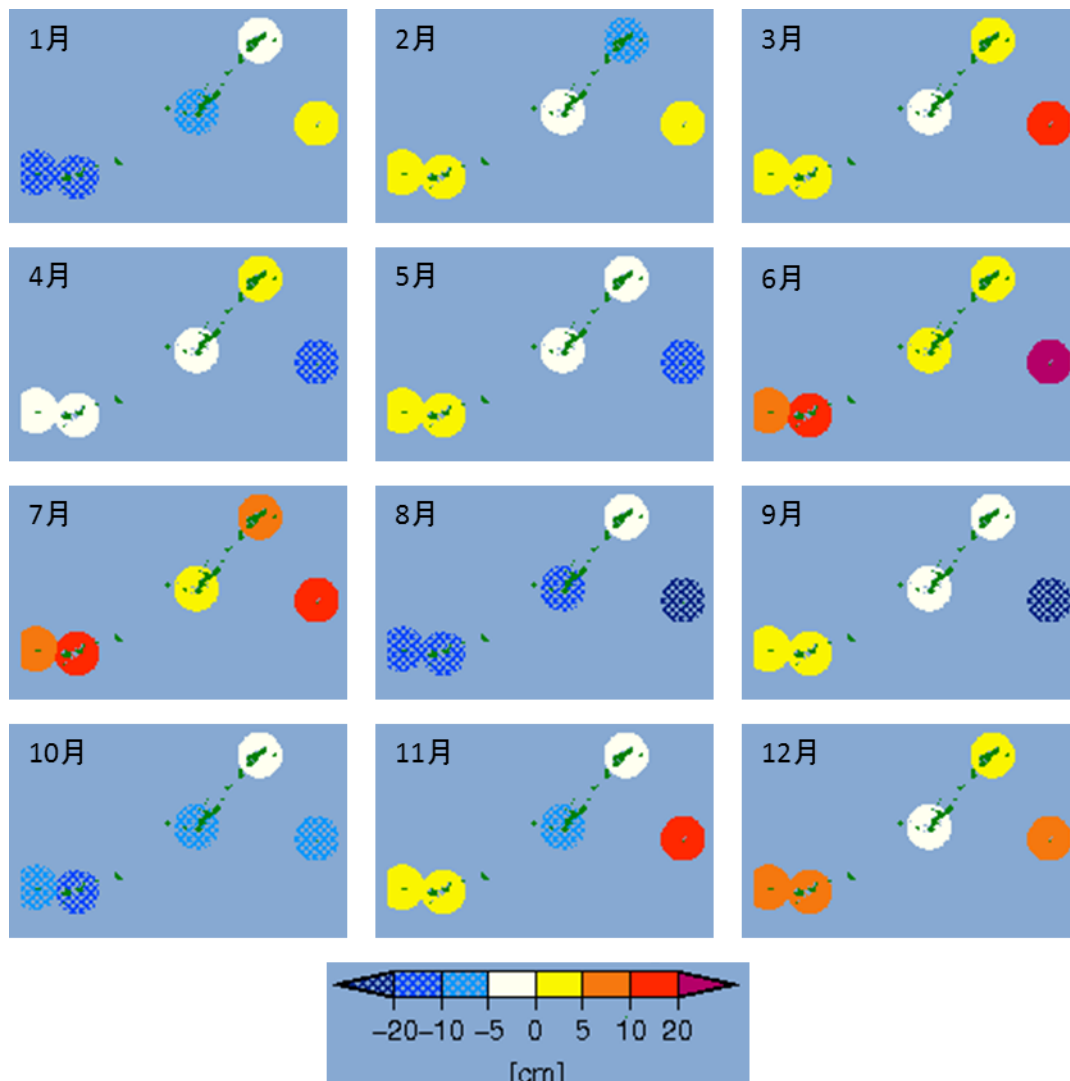


図 1.2.4 2021 年の月平均潮位偏差分布

月平均潮位偏差とは、最近 5 年間の潮位の月平均値からの差で、正(負)の値は最近 5 年間の月平均値より高い(低い)ことを示している。偏差は、図の下方にあるスケールと同じ色で分類されている。

偏差を ΔH とすると、 ΔH の分類は以下のとおり (単位 cm を省略している)。

甚だ低い： $\Delta H < -20$	かなり低い： $-20 \leq \Delta H < -10$	やや低い： $-10 \leq \Delta H < -5$
例年並： $-5 \leq \Delta H < +5$	かなり高い： $+10 \leq \Delta H < +20$	甚だ高い： $+20 \leq \Delta H$
やや高い： $+5 \leq \Delta H < +10$		

1.3 2021 年の特徴的な現象

- 沖縄地方の5月の平均気温が、統計を開始した1946年以降最も高かった。
- 沖縄地方の2月の日照時間が、統計を開始した1946年以降最も多かった。
- 沖縄周辺海域で、9月及び10月の平均海面水温が最も高い値となった。

(1) 沖縄地方の5月の平均気温が過去最高

2021年5月の沖縄地方の地域平均平年差は+1.9℃となり、5月としては統計を開始した1946年以降最も高い値を更新した。

その要因として、上空を流れる偏西風が蛇行して、日本付近で平年よりも北を流れたことにより、梅雨前線が沖縄地方の北側にある状態が続いたことに加え、太平洋高気圧が強まったことが挙げられる。このため沖縄地方は勢力の強い太平洋高気圧に覆われて晴れた日（日照）が多くなるとともに、南からの暖かい空気が流れ込んで気温の高い状態になった（図 1.3.1）。

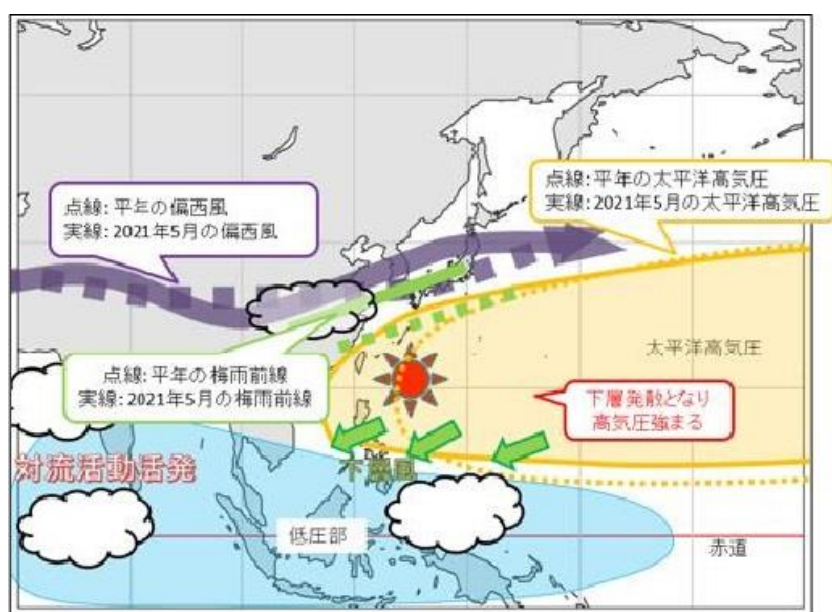


図 1.3.1 2021 年 5 月の大気の流れ

偏西風の蛇行と太平洋高気圧の強まりの原因は、いずれもインド洋における対流活動が活発だったことが影響していると考えられる。この影響でインド洋からインドネシア付近にかけての赤道域の気圧が低くなった結果、太平洋西部から北東風が吹き込んだため、太平洋西部では大気下層で発散場となり、太平洋高気圧の強まりをもたらしたと考えられる。

(2) 沖縄地方の2月の日照時間が、統計を開始した1946年以降最多

2021年2月の沖縄地方の月間日照時間は、地域平均平年比が179%となり、2月としては統計を開始した1946年以降最も多い値を更新した。

大陸から東進してきた移動性高気圧に覆われることが多かったこと、さらにシベリア高気圧の張り出しが弱く寒気の流入が弱かったため、寒気に伴う雲の発生が少なかったことが影響して日照時間が著しく多くなったと考えられる(図1.3.2)。

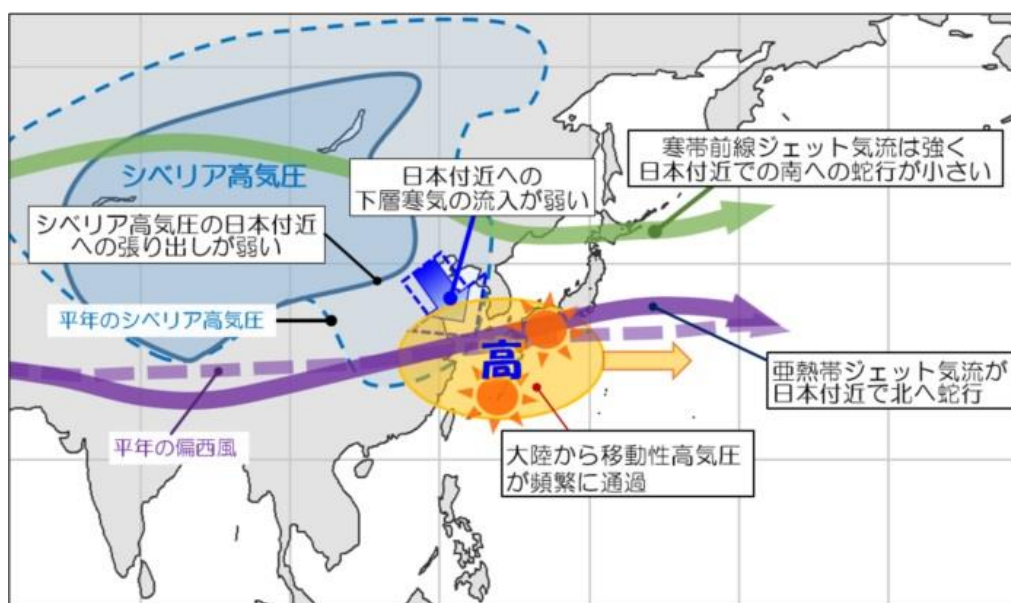


図 1.3.2 2021年2月の大気の流れ

上空を流れる偏西風が日本付近で北に蛇行し、シベリア高気圧の日本付近への張り出しが弱かったため、寒気の影響を受けにくかった。

(3) 沖縄周辺海域で、9月及び10月の平均海面水温が過去最高

沖縄周辺海域では9月に、東シナ海南部の海域では10月に、それぞれ海面水温の解析値が存在する1982年以降で最も高くなった。

9月は、太平洋高気圧に覆われて晴れた日が多く、海面が平年より多くの日射を受けたことに加え、平年より風が弱かったことも重なり、海面水温が平年よりかなり高くなった。

10月は、東シナ海南部では前月に引き続き、高気圧に覆われて晴れの日が多く、平年より風が弱く、暖かく湿った空気の影響も重なり、海面水温が平年よりかなり高くなった。

図1.3.2に2021年9月の月平均海面水温分布図及び平年差分布図を示す。

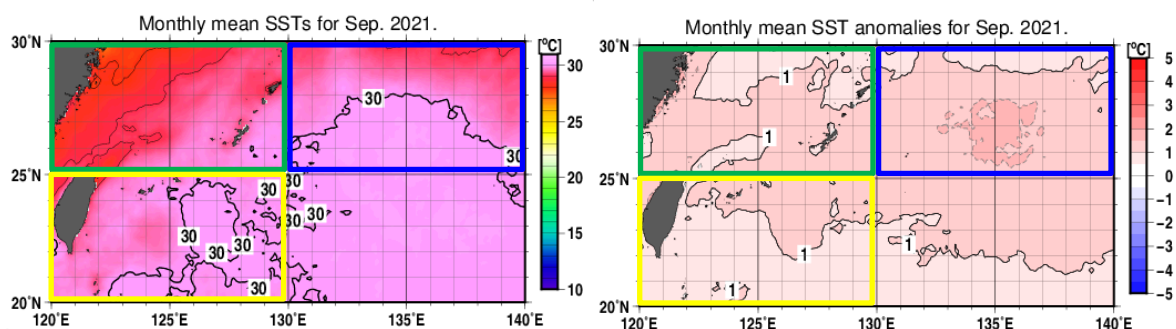


図1.3.2 2021年9月の月平均海面水温分布図（左）及び平年差分布図（右）

人工衛星とブイ・船舶による観測値から解析された海面水温及びその平年差。平年値は1991年から2020年の平均値。水温及び平年差は、図の右にあるスケールで色分けされている。

図中の緑枠（北緯25～30度、東経120～130度）は「東シナ海南部」、青枠（北緯25～30度、東経130～140度）は「沖縄の東」、黄枠（北緯20～25度、東経120～130度）は「沖縄の南」として海面水温を平均する領域を示す。

第2章 沖縄の気候の経年変化

気象庁では長期間の気候の変化を監視するために、過去100年余りの気温や降水量の長期変化傾向などを調査している。本章では沖縄の気温、降水量、台風、生物季節現象の経年変化について記述する。以下で述べる「偏差」とは「平年値」との差を意味し、ここで用いている平年値は1991～2020年の30年間の平均値である。

※ 沖縄地方の地域平均について、2021年5月19日から新平年値（1991～2021年平均値）使用に移行するとともに、従来用いていた5地点（那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島）に、名護と西表島の2地点を加えた7地点で平均することになった。これに合わせて統計期間を見直し、本資料においては那覇と石垣島の2地点のデータがある1897年を統計の開始として扱っていたものを、気象庁が天候に関する資料として用いている1946年（冬は1947年）を統計の開始として扱うこととした。各地点の統計の開始はそれぞれの統計開始年である。

2.1 沖縄の気温の経年変化

- 沖縄地方平均の年平均気温は、100年あたり1.69℃の割合で上昇している。
- 沖縄の真夏日、熱帯夜の年間日数は増加している。

(1) 平均気温

表2.1.1に、沖縄における年平均気温（沖縄地方平均は偏差）の長期変化傾向を示す。図2.1.1に年平均気温（沖縄地方平均は偏差）の経年変化を示す。また、季節別の平均気温（沖縄地方平均は偏差）の長期変化傾向について、図2.1.2に春を、図2.1.3に夏を、図2.1.4に秋を、図2.1.5に冬を示す。横軸の▲印は、観測所の移転等の影響によってその前後でデータが均質でないことを表す。那覇、名護、西表島は移転の影響を取り除く補正（大野ほか，2011（<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol178p031.pdf>））を行っており、この処置を行ったデータを用いて算出した沖縄地方平均にも▲印を付けている。

(ア) 年平均気温

年平均気温は、沖縄地方平均及び全地点で、長期的に有意な上昇傾向がみられ、沖縄地方平均では、100年あたり1.69℃の上昇となっている。（統計処理については、付録A.2.1(5)による）。沖縄地方平均の直近50年である1971年以降の変化傾向は100年あたり2.37℃の上昇となっており、近年の昇温が著しい。

沖縄で100年以上の統計期間を有する地点は、那覇・石垣島の2地点で、100年あたりの変化傾向は那覇で1.20℃、石垣島で1.27℃の上昇であった。その他の地点における100年あたりの変化傾向を見ると、名護：2.09℃、久米島：2.18℃、南大東島：1.36℃、宮古島：1.51℃、西表島：1.28℃、与那国島：1.55℃の上昇であった。

(イ) 季節別の平均気温

① 春（3～5月）

春の平均気温の100年あたり変化傾向は、沖縄地方平均で1.24℃の上昇となっている。那覇で1.27℃、宮古島で1.31℃、石垣島で1.16℃の上昇となっており、那覇では年平均気温の上昇率を上回っている。南大東島と与那国島では統計的に有意な変化傾向はみられない。

② 夏（6～8月）

夏の平均気温の100年あたりの変化傾向は、沖縄地方平均で1.82℃の上昇となっており、季節別では秋と並んで最大の上昇率となっている。地点別に見ると、那覇で1.37℃、石垣島で1.37℃の上昇となっており、いずれも年平均気温の上昇率を上回っている。

③ 秋（9～11月）

秋の平均気温の100年あたりの変化傾向は、沖縄地方平均で1.82℃の上昇となっており、季節別では夏と並んで最大の上昇率となっている。地点別に見ると、那覇で1.25℃、石垣島で1.47℃の上昇となっており、いずれも年平均気温の上昇率を上回っている。

④ 冬（12～2月）

冬の平均気温の100年あたりの変化傾向は、沖縄地方平均で1.91℃の上昇となっている。地点別に見ると、那覇で0.94℃、石垣島で1.11℃の上昇となっている。

表 2.1.1 年及び季節別の平均気温（沖縄地方平均は偏差）の長期変化傾向

沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。数値は変化傾向（100年あたりの変化（℃））を表す。黄色の項目は、変化傾向が有意水準5%で有意であることを示す。各季節の統計期間や欠測数については、図2.1.1～2.1.5の説明を参照。那覇、名護、西表島は移転の影響を取り除く補正（大野ほか，2011（<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol78p031.pdf>））を行っている。

官署	単位	年	春(3～5月)	夏(6～8月)	秋(9～11月)	冬(12～2月)	統計期間(年)
沖縄地方平均	℃/100年	+1.69	+1.24	+1.82	+1.82	+1.91	1946～2021 (冬は1947～)
那覇	℃/100年	+1.20	+1.27	+1.37	+1.25	+0.94	1891～2021 (秋は1890～)
名護	℃/100年	+2.09	+1.22	+1.79	+3.05	+2.30	1967～2021 (秋は1966～)
久米島	℃/100年	+2.18	+1.41	+2.40	+2.14	+2.67	1959～2021 (秋は1958～)
南大東島	℃/100年	+1.36	+0.74	+1.53	+1.45	+1.47	1942～2021 (年・冬は1943～)
宮古島	℃/100年	+1.51	+1.31	+1.75	+1.40	+1.57	1938～2021
石垣島	℃/100年	+1.27	+1.16	+1.37	+1.47	+1.11	1897～2021
西表島	℃/100年	+1.28	+0.82	+1.02	+1.34	+1.71	1957～2021 (夏は1954～)
与那国島	℃/100年	+1.55	+0.83	+1.62	+1.64	+1.94	1957～2021

表 2.1.2 沖縄県内の主な観測地点における年及び季節別平均気温の平年値

沖縄県内の主な観測地点における年及び季節別の平均気温の平年値を示す。平年値の統計期間は 1991～2020 年の 30 年。西表島は 2003 年に観測所の移転があったため、移転の影響を取り除く補正（大野ほか, 2011 (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol78p031.pdf>)) を行っている。なお、異なる地点のデータを用いて平均値を求める操作は行わないため、「沖縄地方平均の気温」は求めない。

官署	単位	年	春(3～5月)	夏(6～8月)	秋(9～11月)	冬(12～2月)	統計期間(年)
那覇	℃	23.3	21.6	28.4	25.3	17.9	1991～2020
名護	℃	22.8	21.1	28.2	24.8	17.2	
久米島	℃	23.2	21.6	28.4	25.2	17.8	
南大東島	℃	23.5	21.7	28.1	25.6	18.6	
宮古島	℃	23.8	22.5	28.4	25.4	19.0	
石垣島	℃	24.5	23.4	29.1	25.9	19.6	
西表島	℃	23.9	22.8	28.4	25.3	19.2	
与那国島	℃	24.0	23.0	28.5	25.4	19.2	

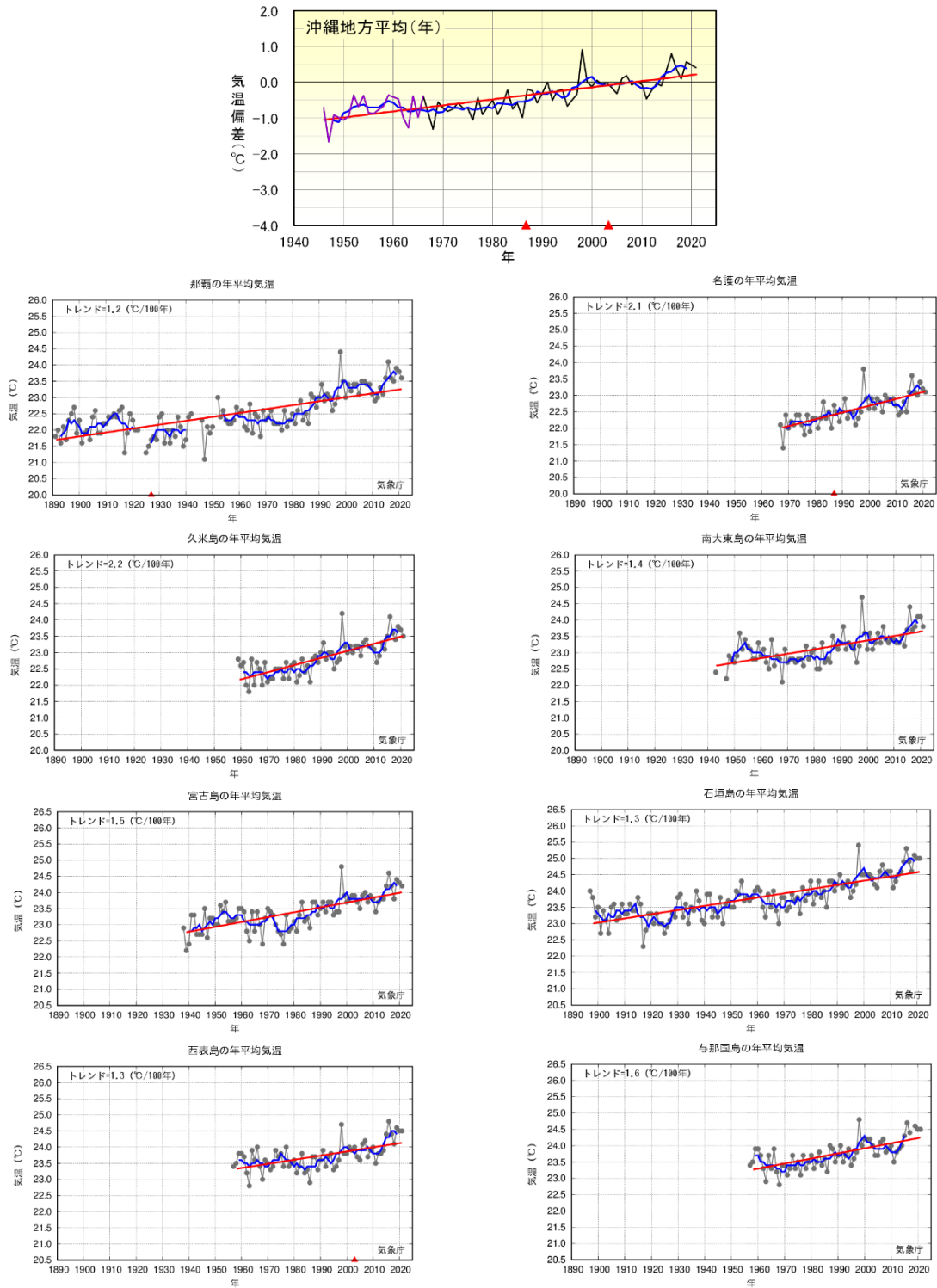


図 2.1.1 年平均気温（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021年1、那覇：1891～2021年（1923年、1924年、1943年、1944年、1945年、1951年は欠測）、名護：1967～2021年、久米島：1959～2021年、南大東島：1943～2021年（1944～1946年は欠測）、宮古島：1938～2021年、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年（2018年は欠測）。沖縄地方平均は那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値（黒線：7地点が揃っている期間、紫の細線：2地点以上、7地点未満の期間）。黒丸と黒線：年ごとの値、青線：5年移動平均値、赤の直線：有意な長期変化傾向（赤い線が引かれていない場合は、統計的に有意な長期変化を示していないことを表す）。横軸の▲印は、観測所の移転等の影響によってその前後でデータが均質でないことを表す。

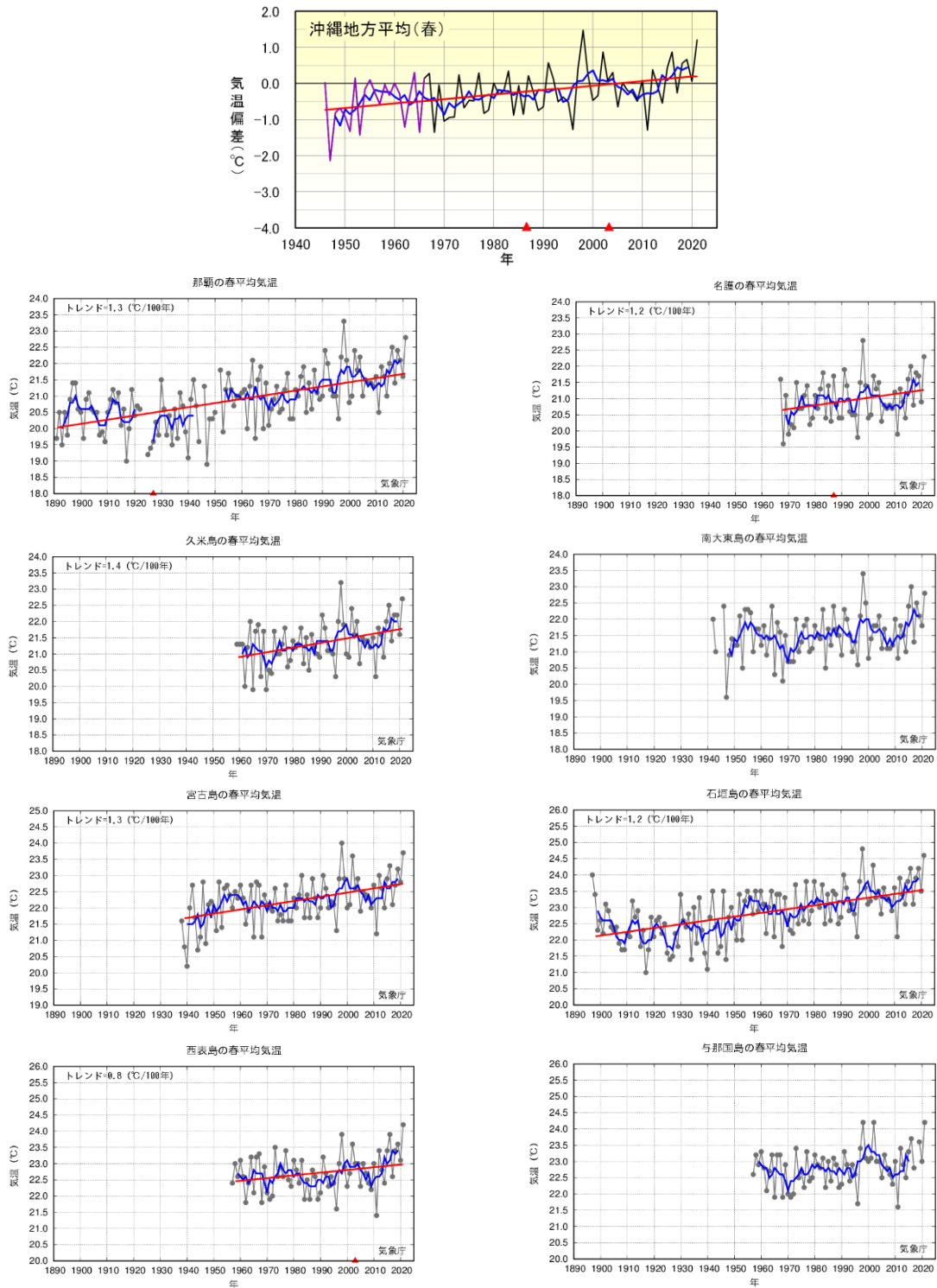


図 2.1.2 春（3～5月）の平均気温（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021年、那覇：1891～2021年（1923年、1924年、1945年、1951年は欠測）、名護：1967～2021年、久米島：1959～2021年、南大東島1942～2021年（1944年、1945年は欠測）、1938～2021年（宮古島）、1897～2021年（石垣島）、1957～2021年（西表島）、1957～2021年（与那国島。2018年は欠測）。図の見方は図 2.1.1 に同じ。

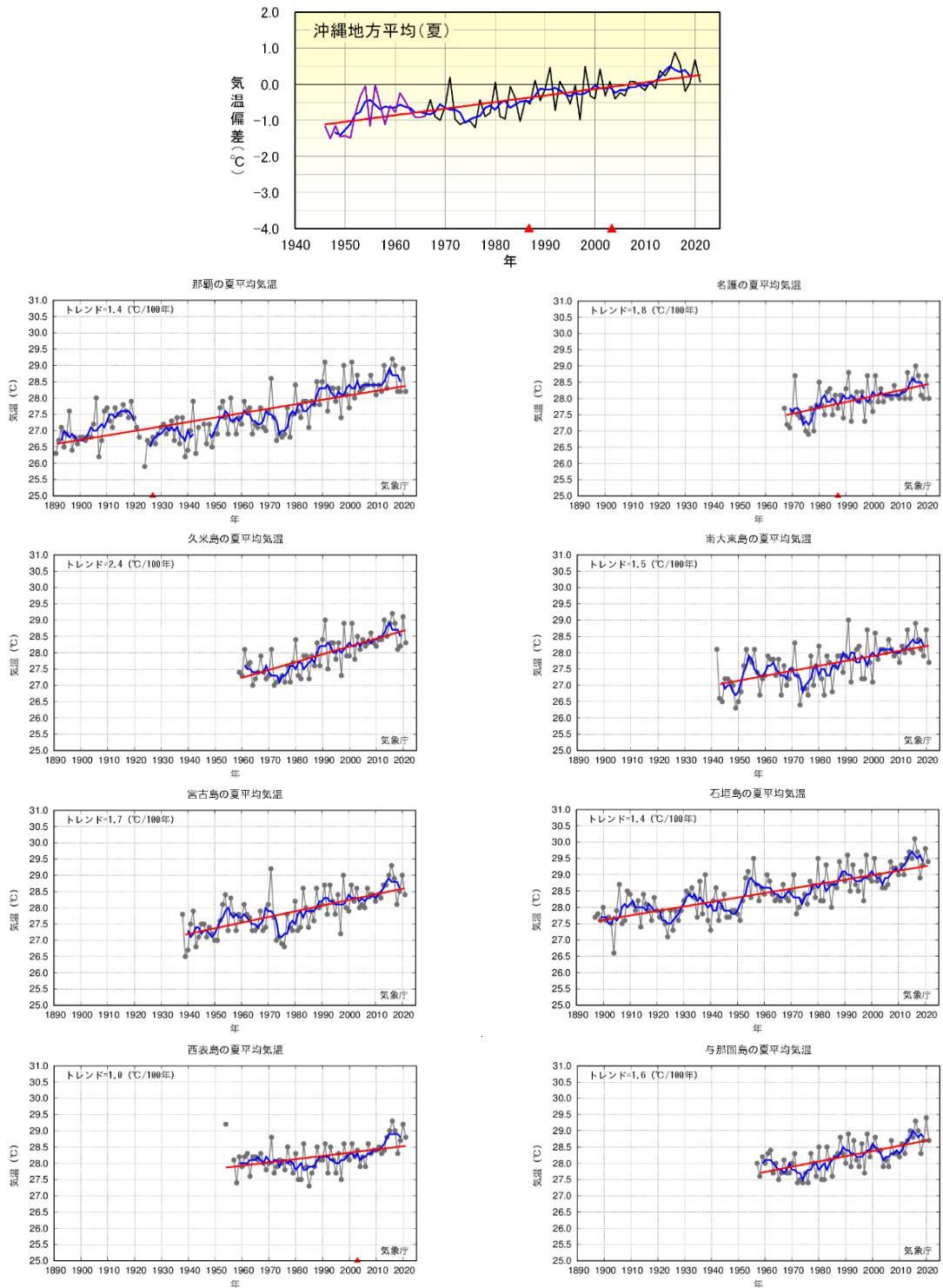


図 2.1.3 夏(6~8月)の平均気温(沖縄地方平均は偏差)の経年変化

統計期間 沖縄地方平均: 1946~2020年、那覇: 1891~2021年(1923年、1945年は欠測)、名護: 1967~2021年、久米島: 1959~2021年、南大東島: 1942~2021年、宮古島: 1938~2021年、石垣島: 1897~2021年、西表島: 1954~2021年(1955年、1956年は欠測)、与那国島: 1957~2021年。図の見方は図 2.1.1 に同じ。

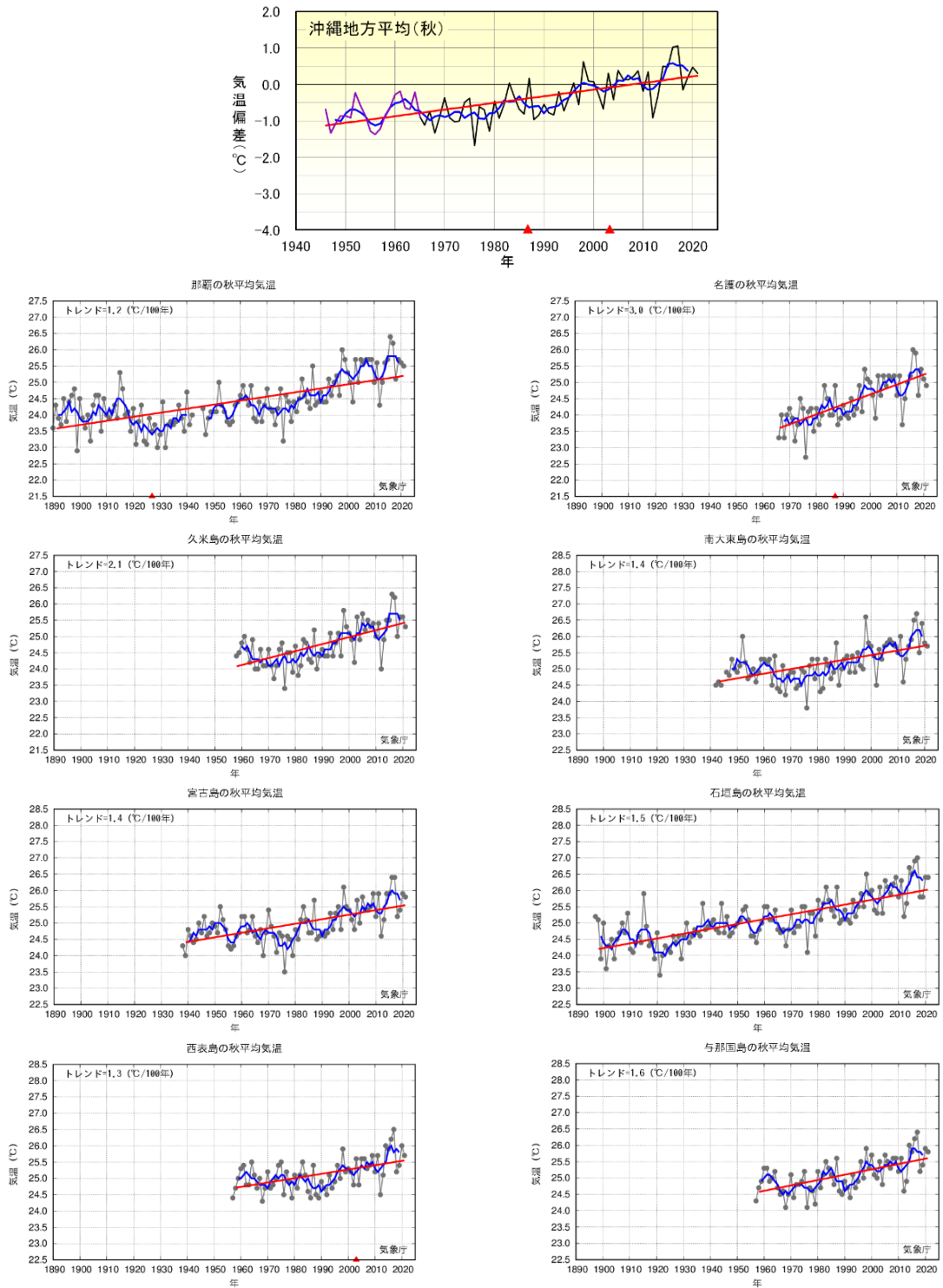


図 2.1.4 秋（9～11月）の平均気温（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021年、那覇：1890～2021年（1943年、1944年、1945年は欠測）、名護：1966～2021年、久米島：1958～2021年、南大東島：1942～2021年（1945年は欠測）、宮古島：1938～2021年、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年、与那国島：1957～2021年。図の見方は図 2.1.1 に同じ。

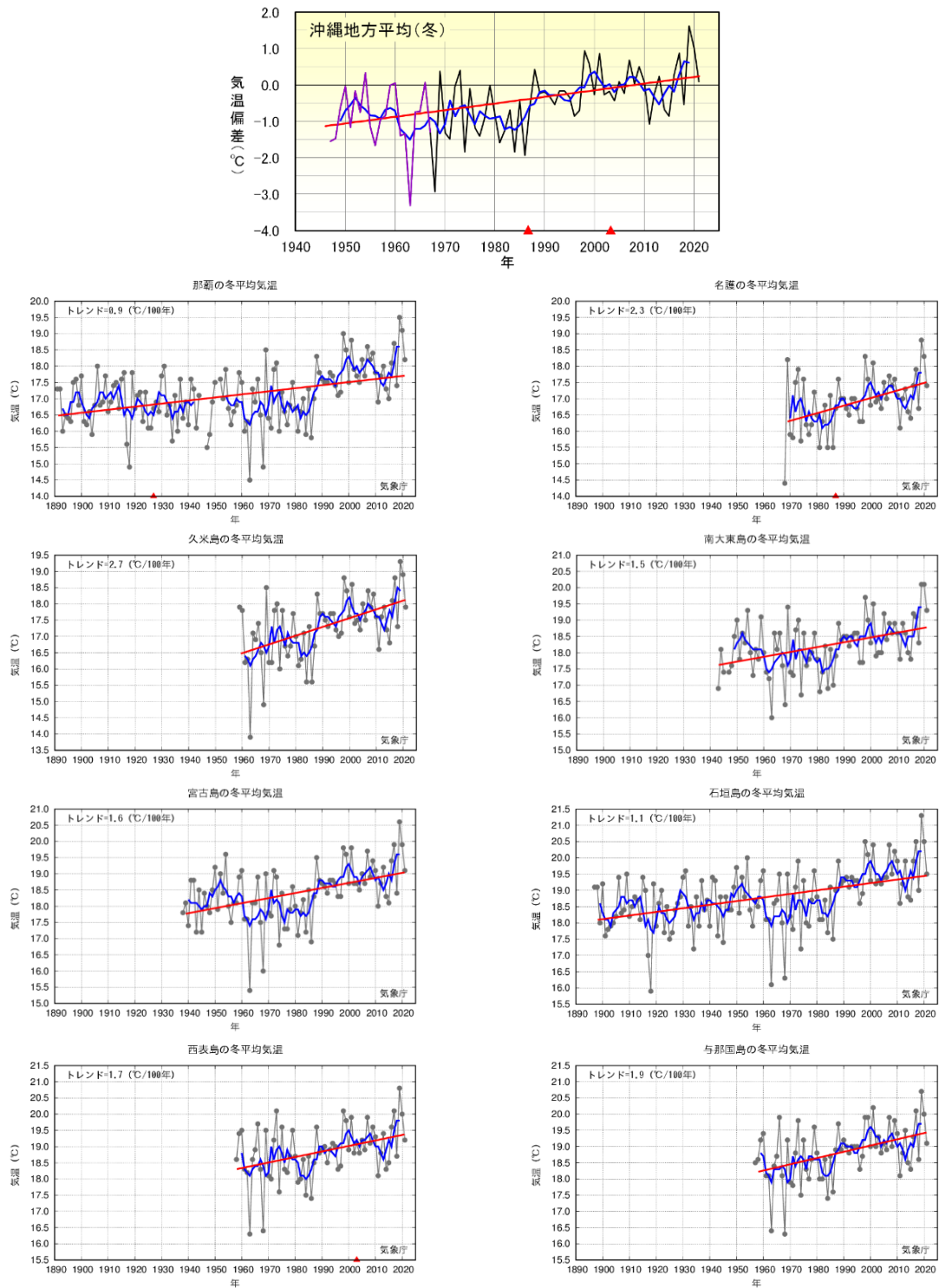


図 2.1.5 冬(12~2月)の平均気温(沖縄地方平均は偏差)の経年変化

統計期間 沖縄地方平均: 1947~2021年、那覇: 1891~2021年(1923年、1945年、1946年、1951年は欠測)、名護: 1967~2021年、久米島: 1959~2021年、南大東島: 1943~2021年(1946年は欠測)、宮古島: 1938~2021年、石垣島: 1897~2021年、西表島: 1957~2021年、与那国島: 1957~20210年。図の見方は図 2.1.1 に同じ。

(2) 日最高気温、日最低気温

(ア) 年の変化

表 2.1.2 は、日最高気温と日最低気温の偏差の長期変化傾向を示したものである。年平均及び各季節別の日最高気温、日最低気温はいずれも長期的に有意な変化傾向がみられる。

日最高気温の 100 年あたりの変化傾向は、沖縄地方平均で 1.20℃の上昇となっており、1970 年頃までは低下傾向がみられたが、その後上昇傾向に転じている。日最低気温の変化傾向は 100 年あたり 1.94℃の上昇で、日最高気温の約 1.6 倍の上昇率となっており昇温が顕著である。

(イ) 季節別の変化

① 春 (3～5 月)

沖縄地方平均における春の日最高気温は有意な上昇傾向がみられず、日最低気温は 100 年あたり 1.47℃の上昇となっている。

日最高気温の 5 年移動平均のグラフ (図 2.1.6) では、1970 年頃までは低下傾向がみられ、その後変動しながら推移している。日最低気温は、1950 年代に上昇した後、1960 年代に下降したが、1970 年代以降は上昇傾向となっている。

② 夏 (6～8 月)

沖縄地方平均における夏の日最高気温は 100 年あたり 1.34℃、日最低気温は 100 年あたり 2.22℃の上昇となっている。夏は他の季節と比べて最低気温の上昇率が最も著しい。

日最高気温の 5 年移動平均のグラフを見ると、数十年から 50 年周期で変動している。日最低気温は、1950 年代に上昇した後、1960 年代に下降したが、1970 年代後半からは上昇傾向となっている。

③ 秋 (9～11 月)

沖縄地方平均における秋の日最高気温は 100 年あたり 1.39℃、日最低気温は 100 年あたり 2.08℃の上昇となっている。

5 年移動平均のグラフを見ると、日最高気温、日最低気温ともに数十年の周期で上昇又は下降している時期がみられる。

④ 冬 (12～2 月)

沖縄地方平均における冬の日最高気温は 100 年あたり 1.44℃、日最低気温は 100 年あたり 2.06℃の上昇となっている。冬は他の季節と比べて最高気温の上昇率が最も著しい。また、最高気温・最低気温ともに年々の変動が大きい傾向にある。

表 2.1.3 日最高気温及び日最低気温の偏差の長期変化傾向

沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。黄色の項目は、変化傾向が有意水準5%で有意であることを示す。統計期間については、図2.1.6を参照。名護及び西表島のデータは、移転の影響を取り除く補正（大野ほか，2011（<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol78p031.pdf>））を行っている。

官署	単位	年	春(3~5月)	夏(6~8月)	秋(9~11月)	冬(12~2月)	統計期間(年)
沖縄地方平均 (日最高気温)	℃/100年	+1.20	+0.70	+1.34	+1.39	+1.44	1946~2021 (冬は1947から)
沖縄地方平均 (日最低気温)	℃/100年	+1.94	+1.47	+2.22	+2.08	+2.06	1946~2021 (冬は1947から)

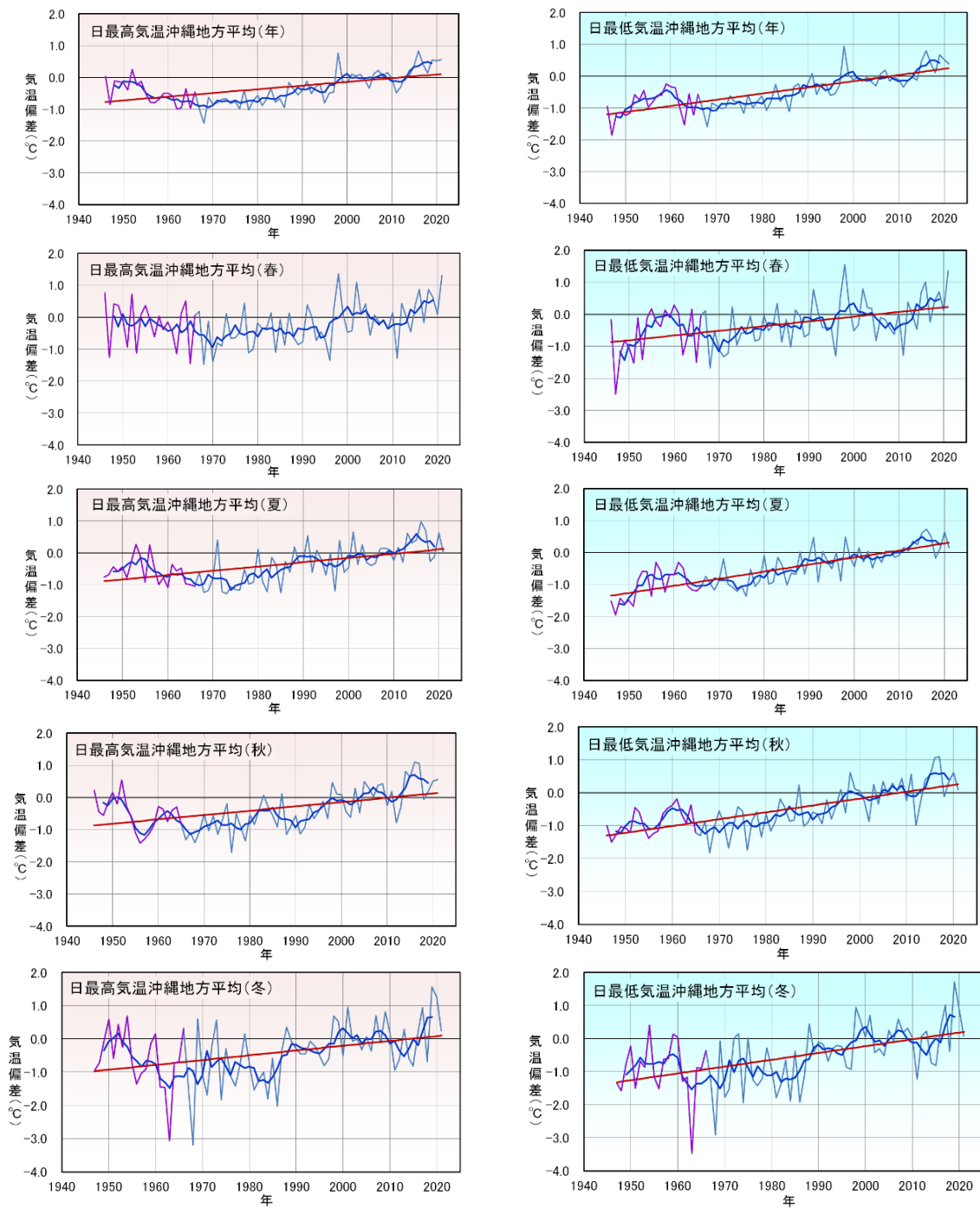


図 2.1.6 日最高気温（左列）、日最低気温（右列）の偏差の経年変化（沖縄地方平均）

統計期間 年、春、夏、秋：1946～2021年、冬：1947～2021年。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値（青の細線：7地点が揃っている期間、紫の細線：2地点以上、7地点未満の期間）。青の太線：5年移動平均値、赤の直線：長期変化傾向。名護・西表島は移転の影響を取り除く補正（大野ほか、2011

(<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol78p031.pdf>) を行っている。

(3) 月平均気温の異常高温、異常低温の出現数

那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点の観測データが揃うのは、1967年以降である（冬は1968年から）。表2.1.3は、沖縄地方平均における1967～2021年（55年間）の月平均気温の異常高温、異常低温（付録A.2.1（4）参照）の出現数の長期変化を、年と季節別に示したものである。

異常高温の出現数は年及びいずれの季節でも有意な変化傾向がみられない。異常低温は春を除いて有意な減少がみられる。

図2.1.7に経年変化を示す。異常高温は1990年代後半から年の出現数が多くなっている。異常低温は1970年頃をピークに減少傾向で、近年は出現しない年がしばしばある。

異常高温の出現数は、いずれの季節も2010年頃から多くなっている。異常低温の出現数は、春は1990年代に、その他の季節は1980年代まで多い。夏はいずれの7地点においても、2003年以降異常低温は出現していない。

表 2.1.4 沖縄地方平均における月平均気温の異常高温及び異常低温の出現数の長期変化

統計期間：1967～2021年（冬は1968年から）。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。黄色の項目は、変化傾向が有意水準5%で有意であることを示す。

官署	単位	年	春(3～5月)	夏(6～8月)	秋(9～11月)	冬(12～2月)	統計期間(年)
沖縄地方平均 (異常高温)	回/50年	+0.83	+0.21	+0.21	+0.25	+0.12	1967～2021 (冬は1968年から)
沖縄地方平均 (異常低温)	回/50年	-2.97	-0.09	-1.06	-0.79	-0.99	1967～2021 (冬は1968年から)

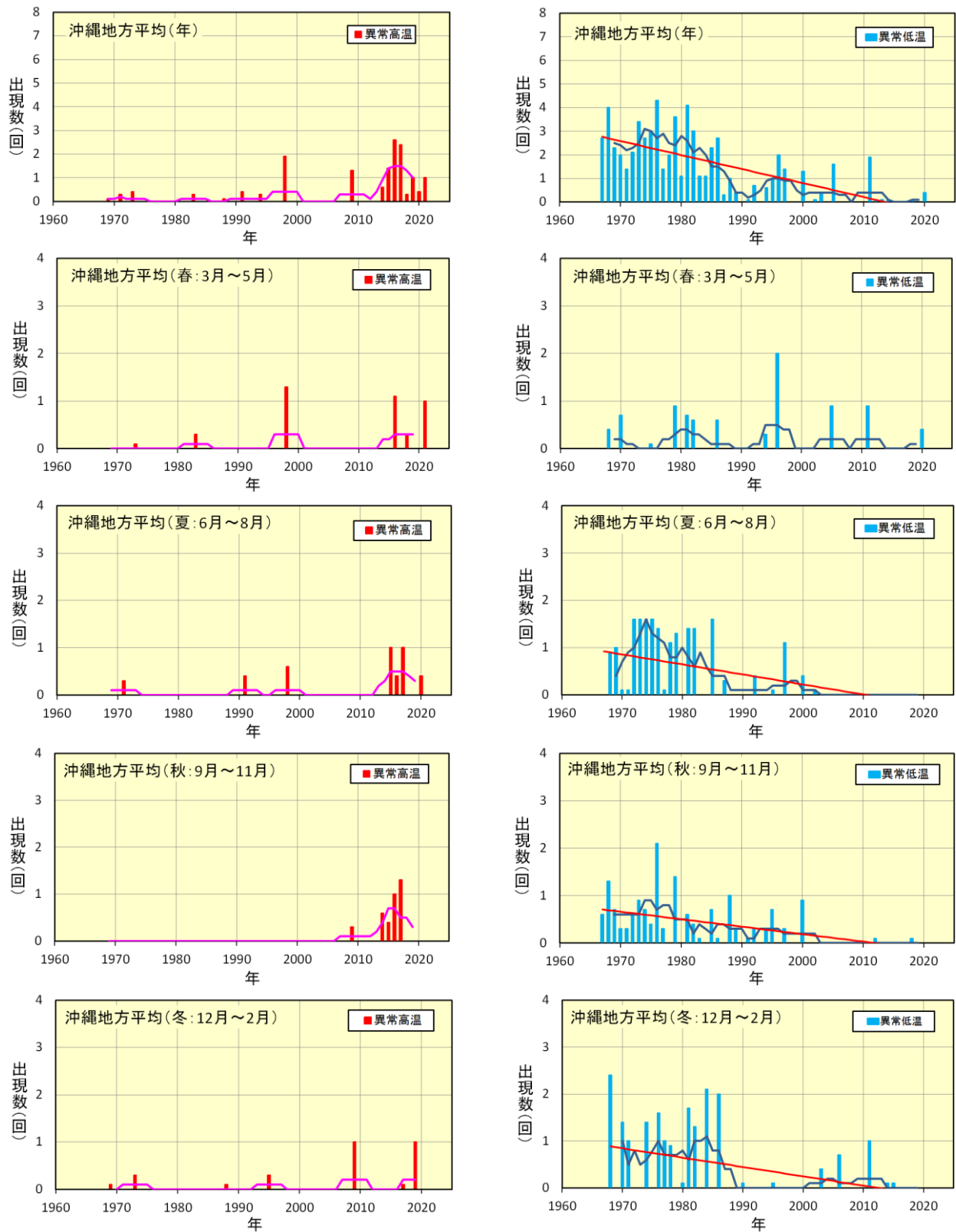


図 2.1.7 月平均気温の異常高温（左列）、異常低温（右列）の出現数の経年変化（沖縄地方平均）

統計期間 年及び各季節：1967～2021年（冬は1968～2021年）。棒グラフ：年々の値、折れ線グラフ：5年移動平均。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。

(4) 真夏日の日数

図 2.1.8 に、沖縄地方平均及び各地点における真夏日（日最高気温 30℃以上の日）の年間日数の経年変化を示す。平年値更新とともに、名護・西表島の 2 地点を加えた 7 地点平均とする変更が加えられたが、この 2 地点はいずれも観測所の移転に伴って統計が切断しており、これらを加えた 7 地点がそろえるのは 2004 年以降となる。このため、この項目において沖縄地方平均は、那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島の 5 地点の平均とし、これらの 5 地点のデータがそろえる 1959 年を統計の開始とする。

5 年移動平均で見ると、沖縄地方平均では 1970 年代に出現数が一時少なくなるなどの変動がみられるが、長期的には 10 年あたり 5.6 日の割合で統計的に有意に増加している（表 2.1.4）。

那覇と宮古島では、2000 年代までは年間 100 日以上出現する年が数年に 1 回程度であったが、2010 年以降は 100 日を超える年が多くなっている。石垣島では、ほとんどの年で 100 日以上出現しており、150 日を超える年もある。

5 年移動平均で見ると、那覇と宮古島では 1950 年代から 1970 年頃までは年間 80 日前後で推移しており、1970 年代はやや出現数が減少したものの 1990 年にかけて再び増加し、その後は 100 日前後で推移している。石垣島では 1940～1960 年頃にかけて 120 日程度出現した時期があったが、その後 1970 年にかけて出現数が減少し、1990 年代半ばからは増加傾向となっている。

長期的には、那覇・久米島・南大東島・宮古島・石垣島・与那国島で有意に増加している（表 2.1.4）。

表 2.1.5 真夏日の年間日数の長期変化傾向

沖縄地方平均は那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島の 5 地点平均値。数値は変化傾向（10 年あたりの変化（日））を表す。黄色の項目は変化傾向が有意水準 5% で有意であることを示す。那覇は 1927 年に観測所の移転があったため、1928 年を統計開始とした。名護は 1987 に、西表島は 2003 年に観測所の移転があったため、長期変化傾向を算出しない。

官署	単位	真夏日の日数	統計期間(年)
沖縄地方平均	日/10年	+5.6	1959～2021
那覇		+5.6	1928～2021
名護			1967～2021
久米島		+6.7	1959～2021
南大東島		+5.0	1943～2021
宮古島		+2.9	1938～2021
石垣島		+2.3	1897～2021
西表島			1957～2021
与那国島		+5.9	1957～2021

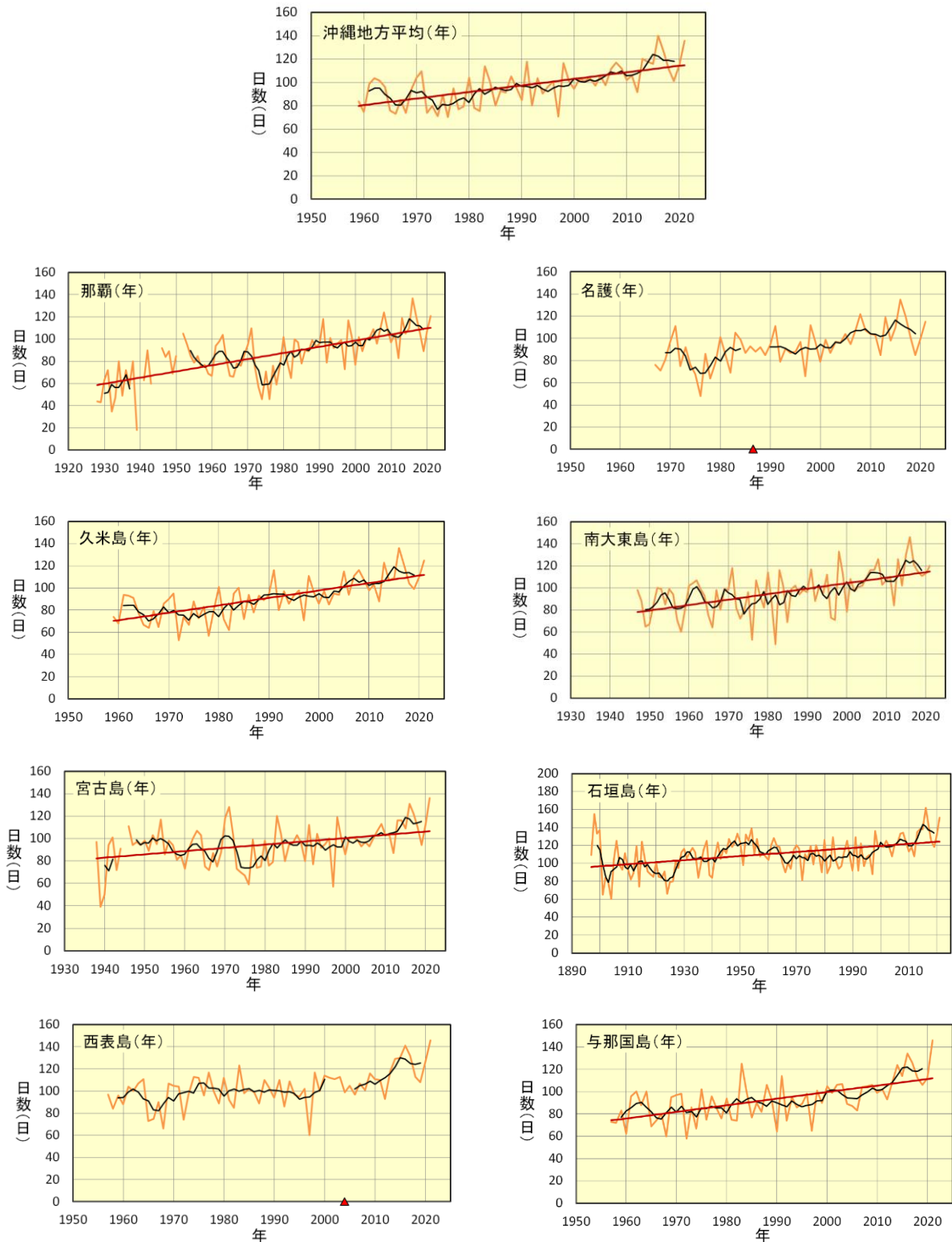


図 2.1.8 真夏の年間日数の経年変化（沖縄地方平均及び各地点）

統計期間 沖縄地方平均：1959～2021年。那覇：1928～2021年（1940年、1944年、1945年、1951年は欠測）、名護：1967～2021年（1987年に観測所移転）、久米島：1959～2021年、南大東島：1943～2021年（1944～1946年は欠測）、宮古島：1938～2021年（1945年は欠測）、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年（2003年に観測所移転）、与那国島：1957～2021年（2018年は欠測）。沖縄地方平均は、那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島の5地点平均値。橙線：年々の値、黒線：5年移動平均値、赤の直線：有意な長期変化傾向。横軸の▲印は、観測所の移転等の影響によってその前後でデータが均質でないことを表す。

(5) 熱帯夜の日数

図 2.1.9 に、沖縄地方平均及び各地点における熱帯夜（熱帯夜は夜間の最低気温が 25℃以上のことを指すが、ここでは日最低気温が 25℃以上の日としている）の年間日数の経年変化を示す。この項目においても真夏日と同様に、沖縄地方平均は、那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島の 5 地点の平均とし、これらの 5 地点のデータがそろった 1959 年を統計の開始とする。

5 年移動平均を見ると、沖縄地方平均では 1960 年から 1970 年代にかけて減少傾向がみられるものの、長期的には 10 年あたり 7.1 日の割合で有意に増加している（表 2.1.5）。

那覇では、1970 年代後半頃から増加傾向にあり、2000 年以降では年間 100 日を超える年が多くなっている。宮古島では、1970 年代の出現数の減少が顕著であるが、長期的に見ると有意に増加している。石垣島では、1970 年頃から増加傾向にある。1950 年半ばから年間 100 日を超える年が多くなっており、近年は年間 150 日程度現れる年もある。

長期的には、那覇・久米島・南大東島・宮古島・石垣島・与那国島で有意に増加している（表 2.1.5）。

表 2.1.6 熱帯夜の年間日数の長期変化傾向

沖縄地方平均は、那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島の 5 地点平均値。数値は変化傾向（10 年あたりの変化（日））を表す。黄色の項目は変化傾向が有意水準 5%で有意であることを示す。那覇は 1927 年に観測所の移転があったため、1928 年を統計開始とした。名護は 1987 に、西表島は 2003 年に観測所の移転があったため、長期変化傾向を算出しない。

官署	単位	熱帯夜の日数	統計期間(年)
沖縄地方平均	日/10年	+7.1	1959～2021
那覇		+6.8	1928～2021
名護			1967～2021
久米島		+7.7	1959～2021
南大東島		+4.4	1943～2021
宮古島		+7.9	1938～2021
石垣島		+7.1	1897～2021
西表島			1957～2021
与那国島		+4.6	1957～2021

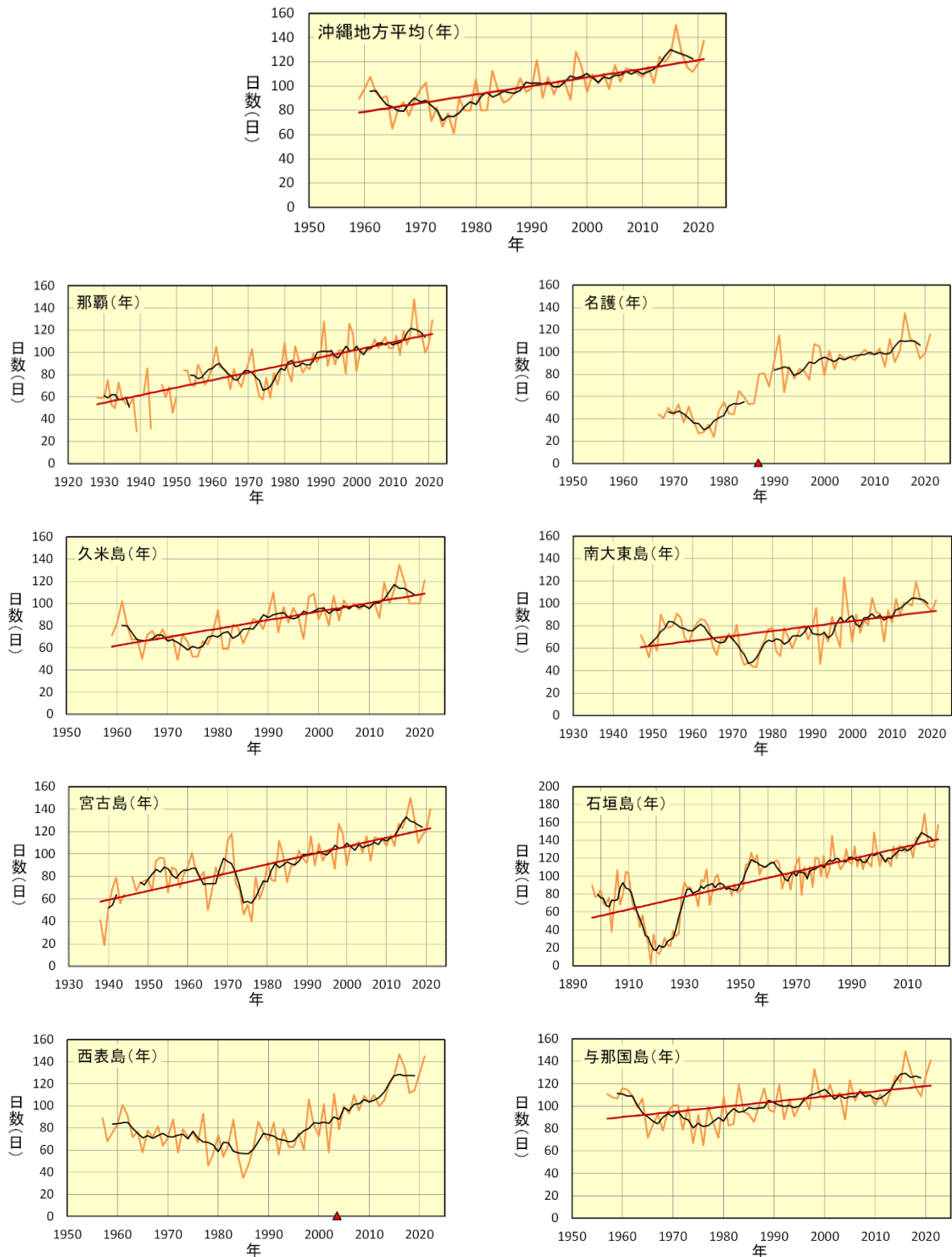


図 2.1.9 熱帯夜の年間日数の経年変化（沖縄地方平均及び各地点）

統計期間 沖縄地方平均：1959～2021年、那覇：1928～2021年（1940年、1944年、1945年、1951年は欠測）、名護：1967～2021年（1987年に観測所移転）、久米島：1959～2021年、南大東島：1943～2021年（1944～1946年は欠測）、宮古島：1938～2021年（1945年は欠測）、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年（2003年に観測所移転）、与那国島：1957～2021年。沖縄地方平均は、那覇・久米島・宮古島・垣島・那国島の5地点平均値。橙線：年々の値、黒線：5年移動平均値、赤の直線：有意な長期変化傾向。横軸の▲印は、観測所の移転等の影響によってその前後でデータが均質でないことを表す。



気候変動とその要因

「気候」とは、一般的には、日々の天気よりももっと長期にわたる気象（気温、降水量など）の状態をいい、この気候が変化することを「気候変動」という。

気候変動は、大気や海洋、さらには太陽活動などの自然界の変動によるもの（自然変動）に加え、人間活動による地球温暖化と局所的な都市化の影響が重なって起こっていると考えられる（図 C.1）。

このうち自然変動には様々な時間スケールの現象があり、例えば太陽放射量の変化、火山活動による日射の遮蔽効果、海流の変化やエルニーニョ／ラニーニャ現象のような海面水温分布の変化などが挙げられる。

人間活動による地球温暖化は、工業化以降石炭や石油などの化石燃料を使用し続けた結果、大気中に大量に排出された二酸化炭素などの温室効果ガスが増加し、地球全体の温室効果が強まることによって起きている。

都市化の影響は、建物や道路など土地利用が変化することで蓄熱しやすい環境が増えたことや、人工排熱量の増加などが原因で起きている。都市の気温が郊外よりも高くなる現象は、気温の分布図を描くと高温域が都市を中心に島のような形になることから「ヒートアイランド現象」と呼ばれる。

一般に、気候変動とは自然変動と人為的な要因による変動とを合わせたものと考えられるが、「気候変動に関する国際連合枠組条約」²においては、「地球の大気の組成を変化させる人間活動に直接又は間接に起因する気候の変化であって、比較可能な期間において観測される気候の自然な変動に対して追加的に生ずるものをいう」（第一条 定義）とされており、扱う場面によって定義が異なる場合があることに注意する必要がある。

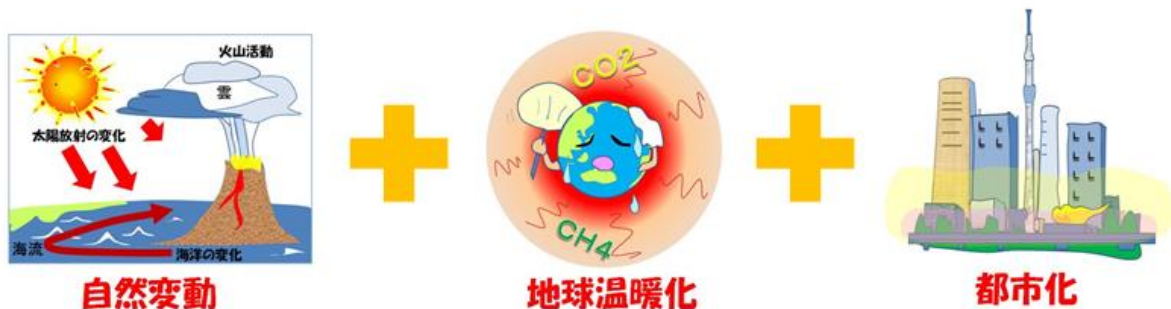


図 C.1 気候変動の3つの要因。

自然変動に、人間活動による地球温暖化と都市化が加わる。



² 1992年、ブラジルのリオデジャネイロで開催された環境と開発に関する国際連合会議において、地球温暖化問題に関する国際的な枠組みを設定した環境条約で1994年3月21日に発効し、日本においては1994年6月21日に公布された。その締約国会議は「COP」（Conference of the Parties）の略称で呼ばれる。



温室効果ガスの観測

沖縄県の与那国島において、温室効果ガスの観測が 20 年以上行われていることをご存知だろうか。

地球の大気には、温室効果ガスと呼ばれる気体がわずかに含まれている。地球表面から放出された熱（赤外線）の一部を吸収する温室効果ガスが増えると、その熱が宇宙空間に逃げにくくなり、結果として地球表面の温度が上昇（地球温暖化）する。二酸化炭素は、地球温暖化に及ぼす影響がもっとも大きな温室効果ガスであり、石炭や石油の消費、セメントの生産などの人間活動により大気中に大量放出されている。一方、その吸収源である森林は、開発等により減少し続けている。



図 C. 2. 1 観測地点（与那国島特別地域気象観測所）の写真

気象庁は、人間活動による温室効果ガス（二酸化炭素等）の増加など、地球環境問題の深刻化を背景に設立された世界気象機関（WMO）全球大気監視（GAW）計画に基づき、世界の監視ネットワークの一翼として、国内 3 地点（綾里（岩手県大船渡市、1987 年開始）、南鳥島（東京都小笠原村、1993 年開始）、与那国島（沖縄県与那国町、1997 年開始）図 C.2.1）において、地上付近の温室効果ガス濃度を観測している。

気象庁の観測点における二酸化炭素濃度の経年変化を図 C.2.2 に、地球全体の二酸化炭素濃度の経年変化を図 C.2.3 に示す。大気中の二酸化炭素濃度は人類の社会経済活動の影響により年々増加（約 2ppm/年）しており、与那国島における二酸化炭素濃度（緑線）も地球全体の傾向と同様に季節変動を繰り返しながら増加し続けている。ほぼ同じ緯度に位置する与那国島と南鳥島の二酸化炭素濃度を比べると、夏季には同程度である一方、冬季には与那国島の方が高い。これは、与那国島がアジア大陸に近いと、人為起源の二酸化炭素などの影響を受けた大陸の空気が、冬季は季節風によって与那国島に流れ込みやすいためである。

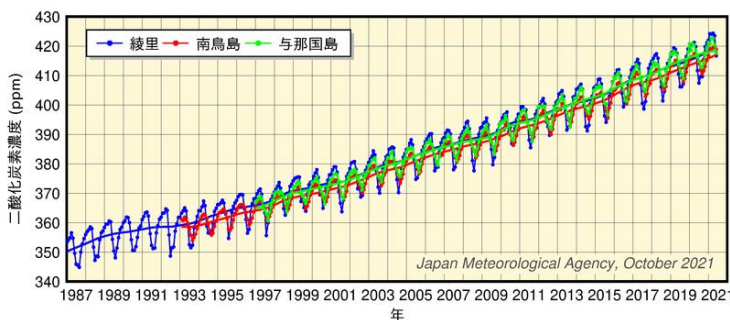


図 C. 2. 2 気象庁の観測点における二酸化炭素濃度の経年変化
一部の値は速報値。気象庁ホームページより。
https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/ghgp/co2_trend.html

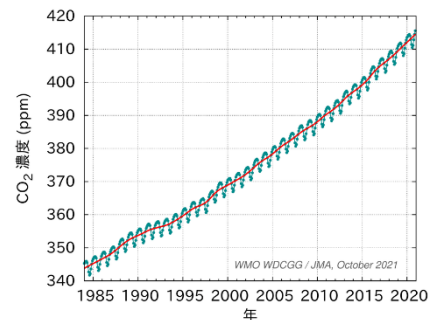


図 C. 2. 3 地球全体の二酸化炭素濃度の経年変化
気象庁ホームページより。

※ppm は体積比で 100 万分の一を表す。





IPCC 第 6 次評価報告書（第 1 作業部会）

2021 年 8 月、気候変動に関する政府間パネル（IPCC：Intergovernmental Panel on Climate Change）は「第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書」（自然科学的根拠）（以下「AR6」）を公表した（気象庁ホームページ³参照）。

2013 年に公表された IPCC 第 5 次評価報告書第 1 作業部会報告書（AR5）では、地球温暖化の進行については「疑う余地がない」としたものの、温暖化に対する人類の寄与については「可能性が極めて高い」と述べるにとどまっていた。今回の AR6 では、「人間の影響が大気、海洋及び陸域を温暖化させてきたことには疑う余地がない」（A.1 抜粋）とし、地球温暖化に対する人類の寄与を断定する表現になった。

以下に AR6 の「ヘッドライン・ステートメント」（HS）からいくつか抜粋して紹介する。

- 大気、海洋、雪氷圏及び生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れている。（A.1 続き）
- 人為起源の気候変動は、世界中の全ての地域で、多くの気象及び気候の極端現象に既に影響を及ぼしている。（A.3 抜粋）
- 平衡気候感度の最良推定値は 3°C と導き出され、その推定幅は AR5 より狭まった。（A4 抜粋）

人類が世界中で大気や海洋、陸域に影響を及ぼし、それが顕在化していることを明示するとともに、「平衡気候感度」⁴をより狭い推定値で提示したことで、温室効果ガスの増加と地球温暖化の関係をより明確にし、将来予測の不確実性を低減した。HS はさらに次のように述べている。

- 世界平均気温は、本報告書で考慮した全ての排出シナリオにおいて、少なくとも今世紀半ばまでは上昇を続ける。向こう数十年の間に二酸化炭素及びその他の温室効果ガスの排出が大幅に減少しない限り、21 世紀中に、地球温暖化は 1.5°C 及び 2°C を超える。（B.1）
- 気候システムの多くの変化は、地球温暖化の進行に直接関係して拡大する。この気候システムの変化には、高温に関する極端現象、海洋熱波、強い降水及びいくつかの地域における農業及び生態学的干ばつの頻度と強度の増加、強い熱帯低気圧の割合の増加、並びに北極域の海氷、積雪及び永久凍土の縮小を含む。（B.2）

AR6 では、温室効果ガスの将来の排出量について新しいシナリオを用いているが、いずれのシナリオにおいても（「どのような対策を取っても」）主にこれまでに排出された温室効果ガスの影響で今世紀半ばまで気温上昇が続き、その上昇幅は工業化前と比べて 1.5°C に達する可能性が高く、温室効果ガスの大幅な削減が実現しなければそれ以上の温暖化を招き、地球上の様々な分野に大きな影響を及ぼすことを指摘している。

すでに各国は温室効果ガスの削減目標を提示しているが、その着実な実現に向けた具体的な取組が、一刻の猶予もない状況であることを改めて示した形になっている。

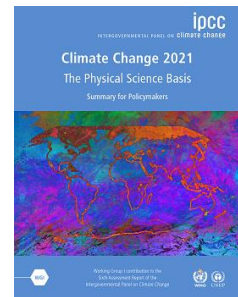


図 C.4.1 IPCC 第 6 次評価報告書第 1 作業部会報告書の表紙

³ <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>

⁴ 二酸化炭素濃度を 2 倍にした時に、世界平均の地上気温が何°C 上昇するかを表す指標。AR6 では可能性が高い範囲を 2.5°C から 4°C（確信度が高い）と評価した。

2.2 沖縄の降水の経年変化

- 沖縄地方平均の冬の降水量は減少している。
- 沖縄地方日降水量 1mm 以上の年間発生回数は減少している。

(1) 降水量

(ア) 年降水量

表 2.2.1 に降水量（沖縄地方平均は偏差）の長期変化を示す。沖縄地方平均及び各地点ともに年々の変動が大きいこともあり、統計的に有意な変化傾向は確認できない。

図 2.2.1 の沖縄地方平均の 5 年移動平均を見ると、1950 年代は降水量の多い時期である。地点別に見ると、那覇では 1990 年代後半に降水量の多い時期がある。宮古島では 1950 年代に降水量が多い。

(イ) 季節別の降水量

① 春（3～5 月）

表 2.2.1 の長期変化では、沖縄地方平均及び各地点ともに統計的に有意な変化傾向はみられない。

図 2.2.2 を見ると、石垣島では 1940 年頃に降水量の多い時期がある。宮古島と石垣島では十数年程度の周期的な変動がみられるが、統計的に有意な変化傾向はみられない。

② 夏（6～8 月）

表 2.2.1 の長期変化では、宮古島では有意に減少している。その他の地点と沖縄地方平均では統計的に有意な変化傾向はみられない。

図 2.2.3 の 5 年移動平均を見ると、沖縄地方平均では 1980 年代後半から 2000 年代初めにかけて少ない傾向がみられ、2010 年代後半から多い向がみられる。

地点ごとで見ると、1950 年代以降の那覇は沖縄地方平均と似た変動がみられる。宮古島では 1950 年頃から 2000 年頃にかけて減少傾向がみられる。石垣島では年々変動が大きく、統計的に有意な変化傾向はみられない。

③ 秋（9～11 月）

表 2.2.1 の長期変化では、沖縄地方平均及び各地点ともに統計的に有意な変化傾向はみられない。

図 2.2.4 の 5 年移動平均を見ると、沖縄地方平均には周期的な変動がみられる。2000 年頃は顕著に降水量が多い。

地点別に見ると、那覇では 2000 年頃は降水量が多い時期となっている。石垣島では 2000 年頃と 2010 年頃は降水量が多い時期となっている。

④ 冬（12～2 月）

表 2.2.1 の長期変化では、沖縄地方平均及び地点ともに有意な変化傾向はみられない。

冬は他の季節に比べて、降水量の年々の変動幅が小さい。図 2.2.5 の 5 年移動平均値を見ると、沖縄地方平均では 1960 年代以前は多雨の時期が多いが、その後は少雨となる時期が増えている。

表 2.2.1 降水量（沖縄地方平均は偏差）の長期変化

沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。数値は長期変化（100年あたりの変化（mm））を表す。いずれも参考として変化率を示すが、有意水準5%で統計的に有意なものはない。各季節の統計期間や欠測数については、図 2.2.1～2.2.5 を参照。

官署	単位	年	春(3～5月)	夏(6～8月)	秋(9～11月)	冬(12～2月)	統計期間(年)
沖縄地方平均	mm/100年	-48.9	-5.1	-7.1	-0.2	-39.1	1967～2021 (冬は1968～)
那覇	mm/100年	+10.3	-22.3	+8.6	+61.2	-44.7	1891～2021 (秋は1890～)
名護	mm/100年	-58.9	-150.6	+117.9	+79.7	-119.7	1967～2021 (秋は1966～)
久米島	mm/100年	+252.6	+19.6	+208.8	+88.9	-20.8	1959～2021 (秋は1958～)
南大東島	mm/100年	-138.8	-1.5	-77.2	+28.9	-0.9	1942～2021 (年・冬は1943～)
宮古島	mm/100年	-302.5	-143.1	-201.2	+67.4	-16.5	1938～2021
石垣島	mm/100年	-117.7	+10.3	-20.0	-67.6	-29.1	1897～2021
西表島	mm/100年	-528.5	-36.7	-137.9	-203.2	-43.5	1957～2021
与那国島	mm/100年	-205.1	-200.5	+55.4	-31.6	+7.2	1957～2021

表 2.2.2 降水量の平年値

沖縄県内の主な観測地点における年及び季節別の降水量の平年値を示す。平年値の統計期間は1991～2020年の30年。異なる地点のデータを用いて平均値を求める操作は行わないため、「沖縄地方平均の降水量」は求めない。

官署	単位	年	春(3～5月)	夏(6～8月)	秋(9～11月)	冬(12～2月)	統計期間(年)
那覇	mm	2161.0	549.0	712.4	573.5	320.7	1991～2020
名護	mm	2120.7	521.6	740.2	542.4	309.1	1991～2020
久米島	mm	2243.5	652.6	659.5	518.0	408.0	1991～2020
南大東島	mm	1639.3	419.7	468.7	469.3	273.6	1991～2020
宮古島	mm	2076.0	509.7	603.6	556.9	395.1	1991～2020
石垣島	mm	2095.5	472.0	600.2	609.0	411.6	1991～2020
西表島	mm	2240.0	480.2	597.2	676.2	483.0	1991～2020
与那国島	mm	2323.0	524.0	500.7	746.7	549.0	1991～2020

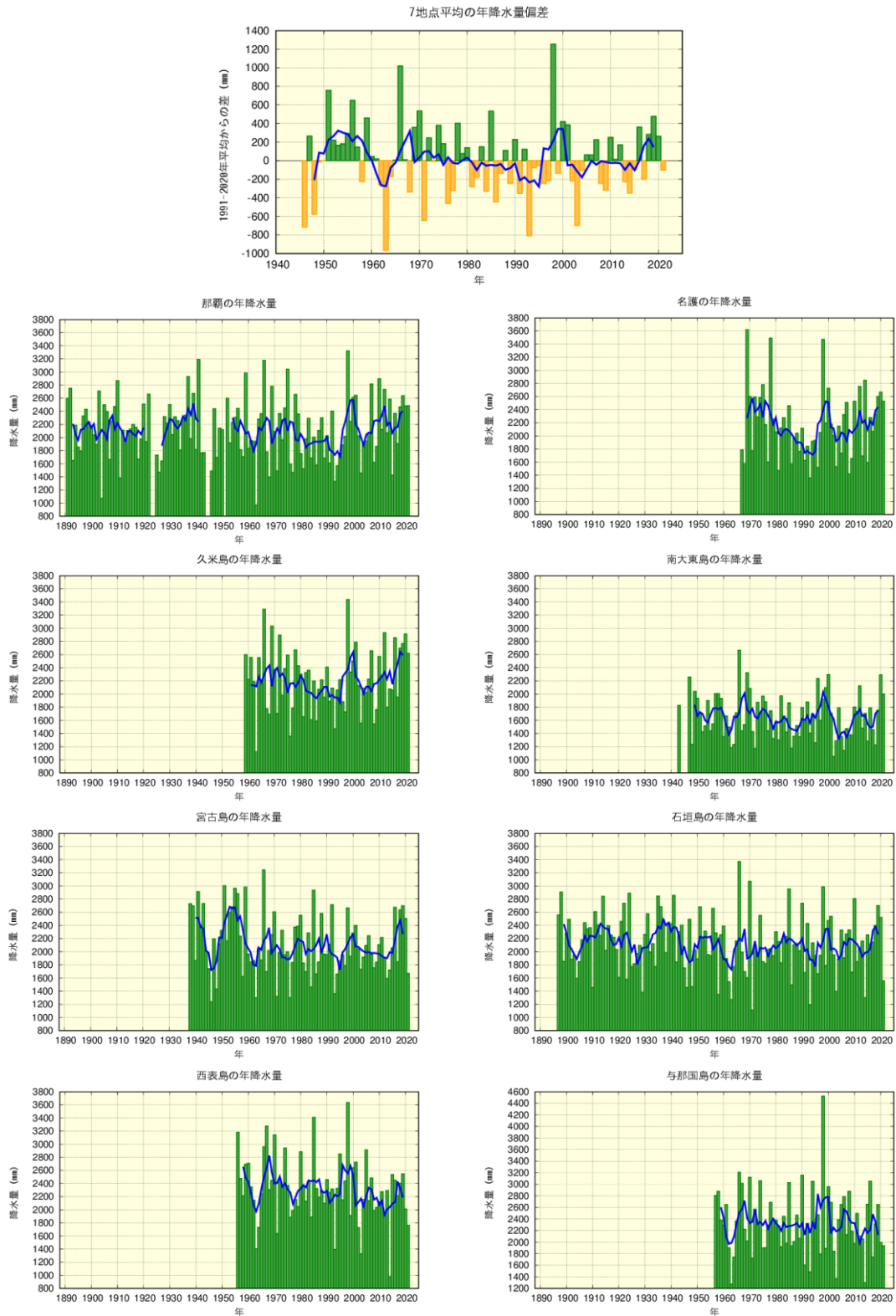


図 2.2.1 年降水量（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021年、那覇：1891～2021年（1923年、1924年、1944年、1945年、1951年は欠測）、名護：1967～2021年、久米島：1959～2021年、南大東島：1943～2021年（1944～1946年は欠測）、宮古島：1938～2021年、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年、与那国島：1957～2021年。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値（緑：正の偏差、橙：負の偏差。1966年以前は7地点そろっていない。）。太い青線：5年移動平均値。

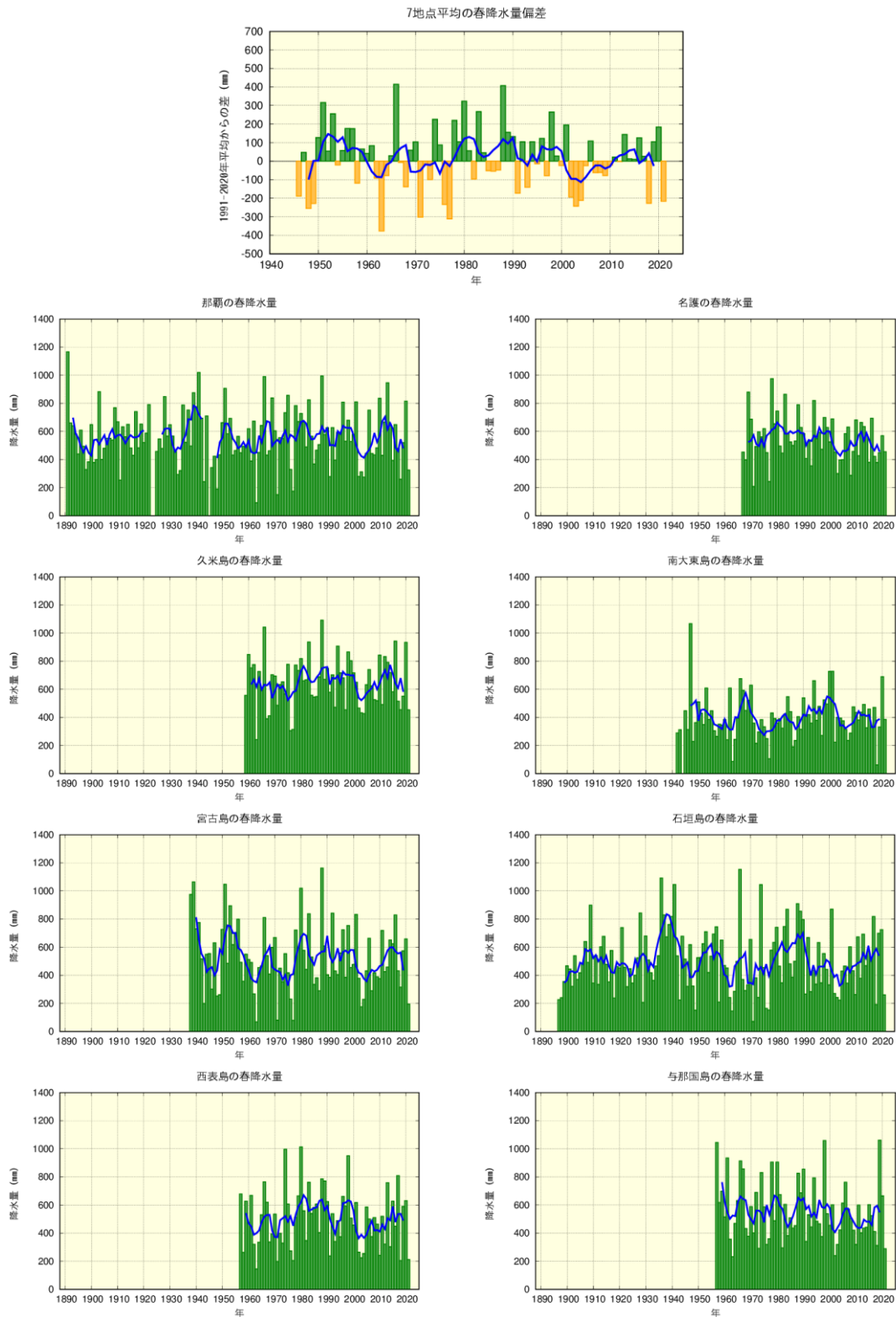


図 2.2.2 春（3～5 月）の降水量（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021 年、那覇：1891～2021 年（1923 年、1924 年、1945 年は欠測）、名護：1967～2021 年、久米島：1959～2021 年、南大東島：1942～2021 年（1944 年は欠測）、宮古島：1938～2021 年、石垣島：1897～2021 年、西表島：1957～2021 年、与那国島：1957～2021 年。図の見方は図 2.2.1 に同じ。

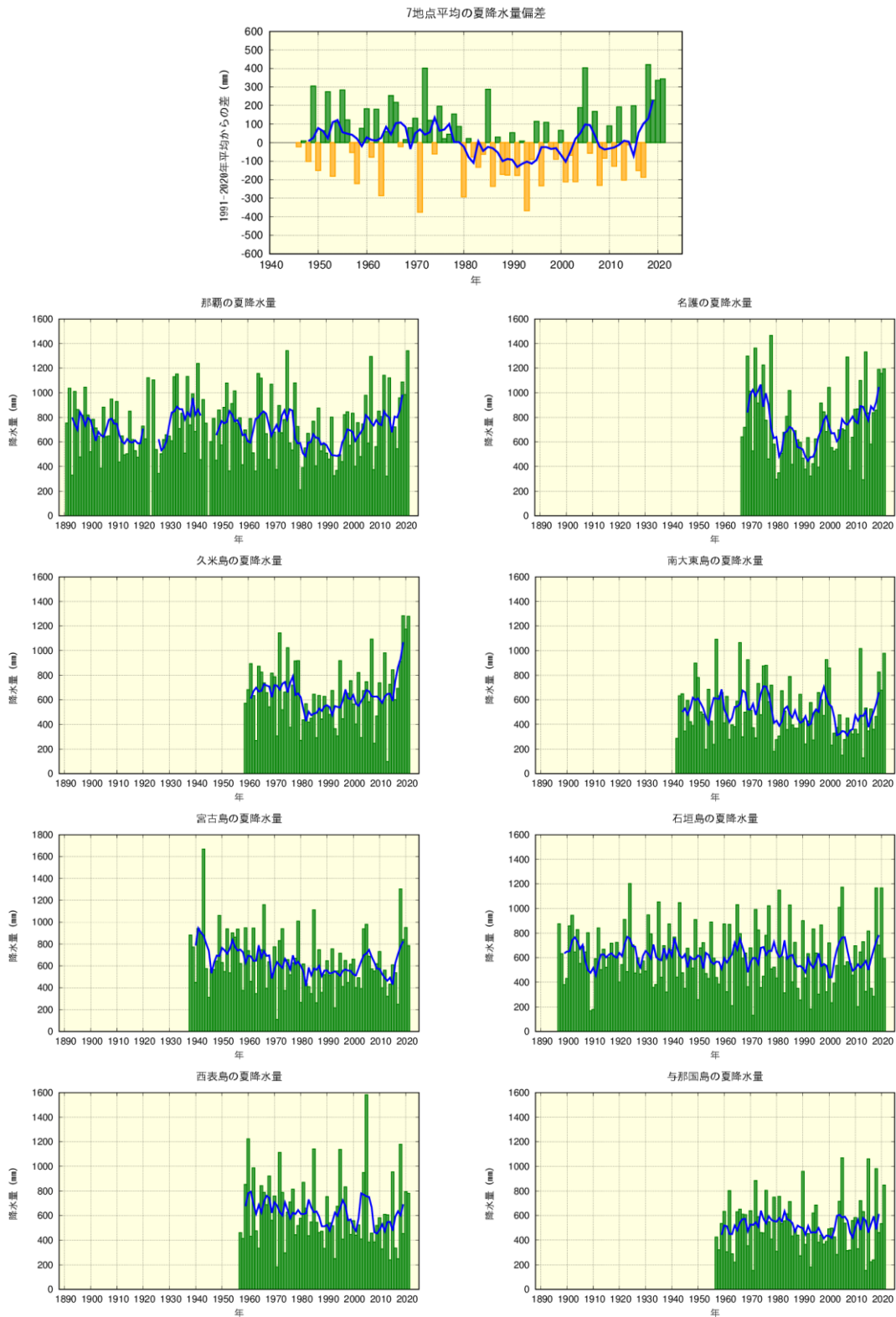


図 2.2.3 夏（6～8月）の降水量（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021年、那覇：1891～2021年（1923年、1945年は欠測）、名護：1967～2021年、久米島：1959～2021年、南大東島：1942～2021年、宮古島：1938～2021年、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年、与那国島：1957～2021年。図の見方は図 2.2.1 に同じ。



図 2.2.4 秋（9～11月）の降水量（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021年、那覇：1890～2021年（1944年、1945年は欠測）、名護：1966～2021年、久米島：1958～2021年、南大東島：1942～2021年（1945年は欠測）、宮古島：1938～2021年、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年、与那国島：1957～2021年。図の見方は図 2.2.1 に同じ。

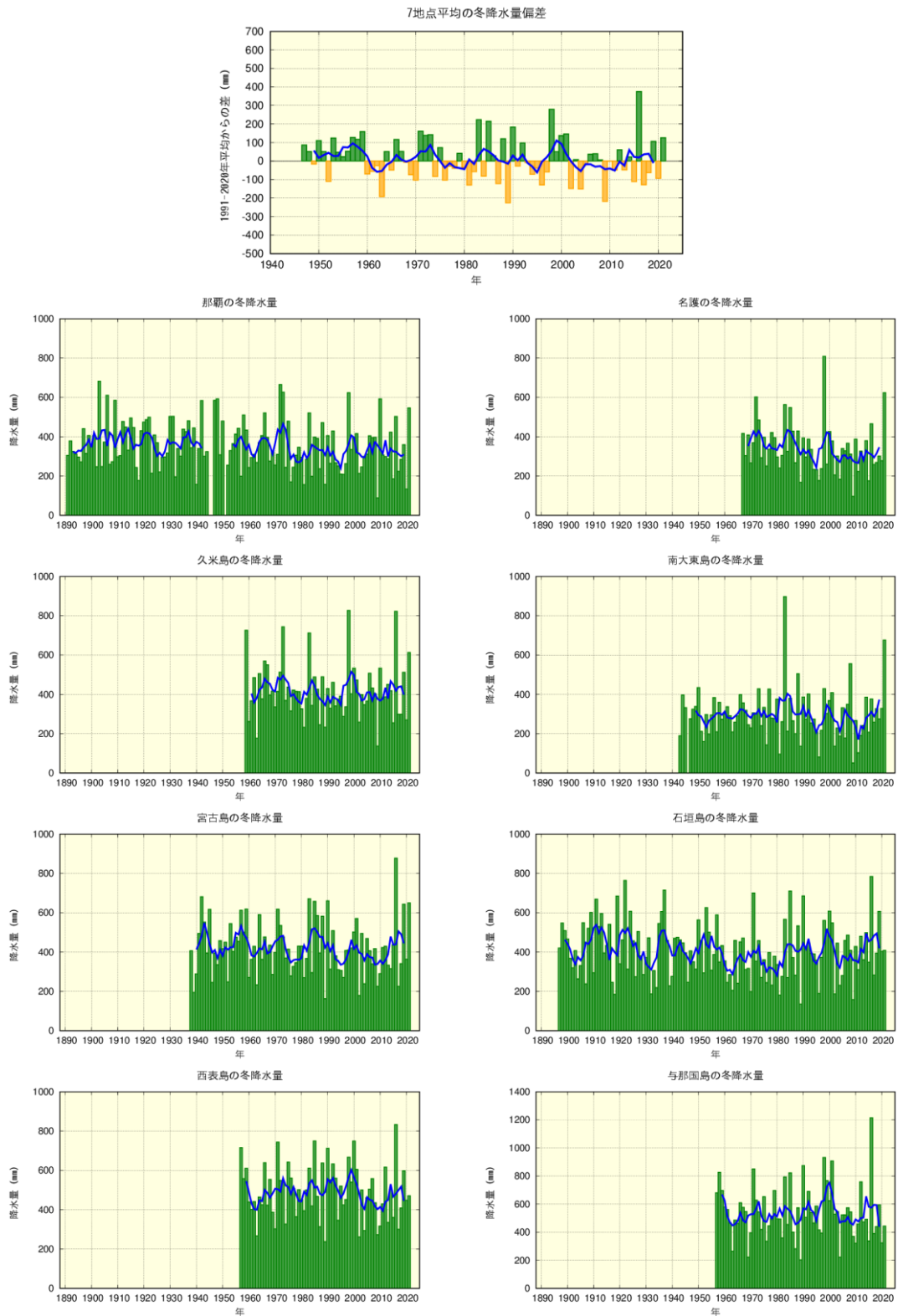


図 2.2.5 冬（12～2月）の降水量（沖縄地方平均は偏差）の経年変化

統計期間 沖縄地方平均：1946～2021年、那覇：1891～2021年（1945年、1946年、1951年は欠測）、名護：1967～2021年、久米島：1959～2021年、南大東島：1943～2021年（1946年は欠測）、宮古島：1939～2021年、石垣島：1897～2021年、西表島：1957～2021年、与那国島：1957～2021年。図の見方は図 2.2.1 に同じ。

(2) 月降水量の異常多雨、異常少雨の出現数

那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点の観測データが揃うのは、1967年である（冬も）。表 2.2.2 は、沖縄地方平均における1967～2021年（55年間）の月降水量の異常多雨、異常少雨（付録 A.2.1（4）参照）の長期変化を、年と季節別に示したものである。

異常多雨と異常少雨は、年及び季節別のいずれも年々の変動が大きく、統計的に有意な変化傾向はみられない。図 2.2.6 に経年変化を示す。

表 2.2.3 沖縄地方平均における月降水量の異常多雨及び異常少雨の出現数の長期変化

統計期間：1967～2021年。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。参考として変化率を示すが、有意水準5%で統計的に有意なものはない。

官署	単位	年	春(3～5月)	夏(6～8月)	秋(9～11月)	冬(12～2月)	統計期間(年)
沖縄地方平均 (異常多雨)	回/50年	+0.13	0.00	+0.10	-0.04	+0.07	1967～2021
沖縄地方平均 (異常少雨)	回/50年	-0.01	-0.13	+0.11	-0.02	+0.04	1967～2021

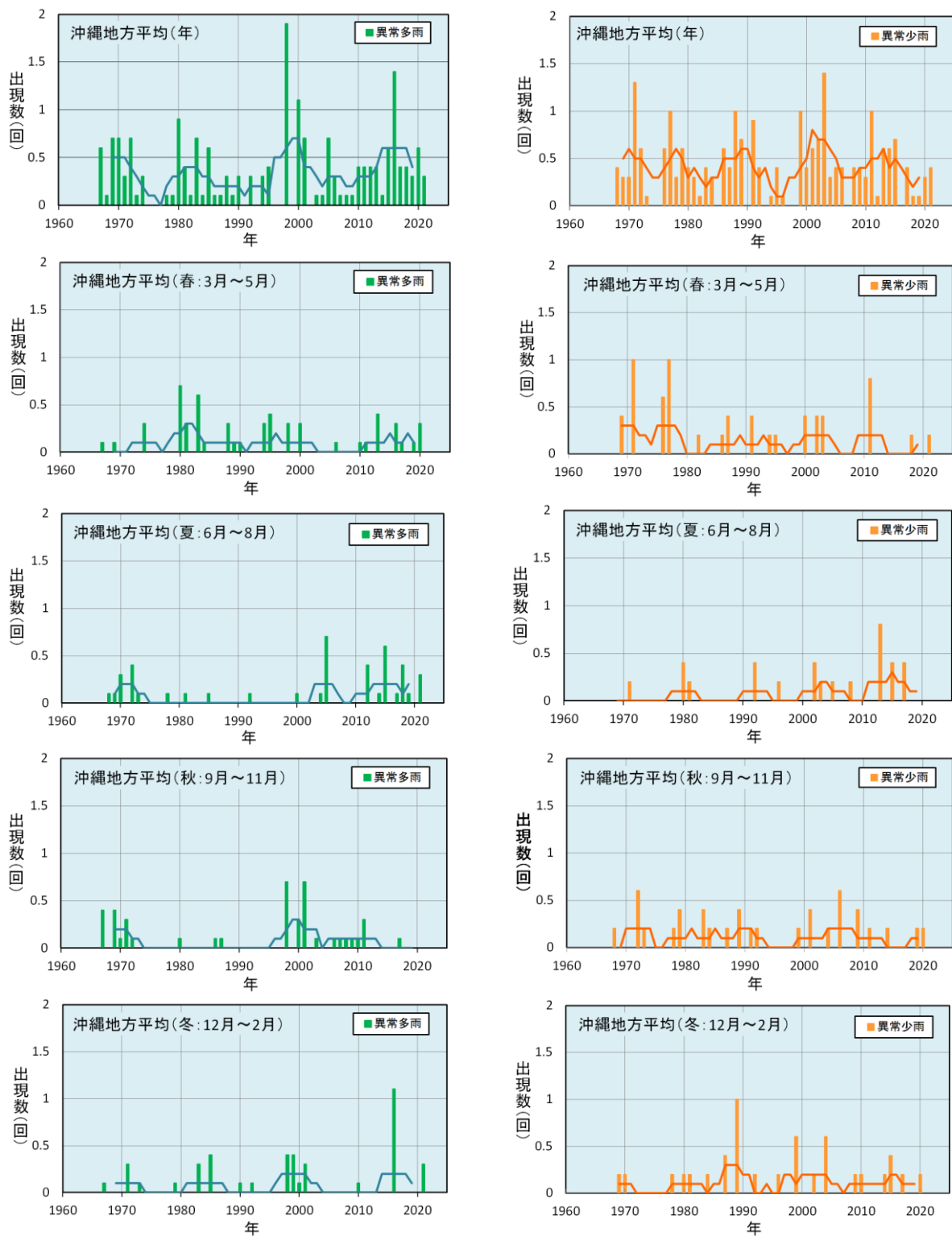


図 2.2.6 月降水量の異常多雨（左列）、異常少雨（右列）の出現数の経年変化（沖縄地方平均）

統計期間 年及び各季節：1967～2021年。棒グラフ：年々の値、折れ線グラフ：5年移動平均値。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の7地点平均値。

(3) 日降水量 100mm 以上の年間日数

表 2.2.3 に、沖縄地方平均及び各地点における日降水量 100mm 以上の年間日数の長期変化を示す。沖縄地方平均及び各地点のいずれにおいても統計的に有意な変化傾向はみられない。

図 2.2.7 に、沖縄地方平均及び各地点における日降水量 100mm 以上の年間日数の経年変化を示す。沖縄地方平均では 1960 年代後半に多い時期があった後、1980 年代にかけて減少傾向となり、2000 年頃に再び多くなっている。

那覇では 2000 年頃に、宮古島では 1950 年代と 1970 年頃と 2000 年代に、石垣島では 2000 年代に日数の多い時期がみられる。

本項目は年々の変動が大きく、沖縄地方においては統計的に有意な変化傾向はみられないが、日本全国（51 地点平均：詳細は「気候変動監視レポート 2020」（気象庁）参照）の統計値においては有意な増加傾向がみられ、「大雨」が有意に増加していることを現している。ただし、全国平均の最新の 5 年移動平均値（2016～2020 年）が 1.29 日であるのに対して沖縄地方平均では 2.8 日、2001 年以降の 20 年間の平均でも 2.7 日であり、沖縄地方では統計的に有意な増加傾向がみられないものの、全国平均の約 2 倍の発生頻度であることに留意する必要がある。

表 2.2.4 日降水量 100mm 以上の年間日数の長期変化

沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の 7 地点平均値。参考として沖縄地方平均及び各地点における 100 年あたりの変化率を示すが、有意水準 5% で統計的に有意なものはない。

官署	単位	年間日数の 長期変化	統計期間(年)
沖縄地方平均	日/100年	+0.40	1967～2021
那覇	日/100年	+0.59	1891～2021
名護	日/100年	+1.63	1967～2021
久米島	日/100年	+0.48	1959～2021
南大東島	日/100年	+0.44	1943～2021
宮古島	日/100年	+0.16	1938～2021
石垣島	日/100年	+0.58	1897～2021
西表島	日/100年	+0.65	1957～2021
与那国島	日/100年	-1.42	1957～2021

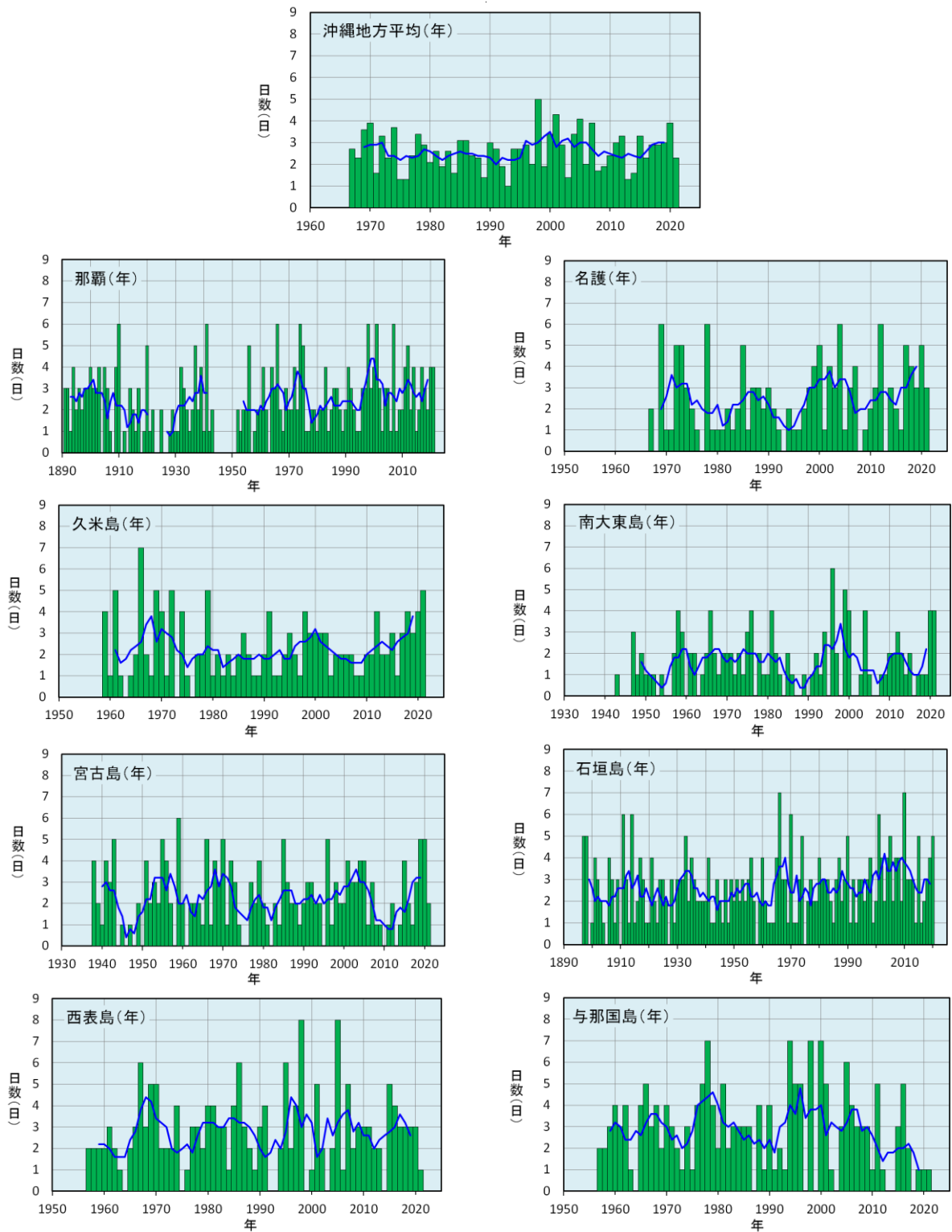


図 2.2.7 日降水量 100mm 以上の年間日数の経年変化（沖縄地方平均及び各地点）

統計期間 沖縄地方平均：1967～2021 年、那覇：1891～2021 年（1923 年、1924 年、1944～1951 年は欠測）、名護：1967～2021 年、久米島：1959～2021 年、南大東島：1943～2021 年（1944～1946 年は欠測）、宮古島：1938～2021 年、石垣島：1897～2021 年、西表島：1957～2021 年、与那国島：1957～2021 年。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の 7 地点平均値。緑の棒グラフ：年々の値、青の折れ線グラフ：5 年移動平均値。

(4) 日降水量 1mm 以上の年間日数

表 2.2.4 に、沖縄地方平均及び各地点における日降水量 1mm 以上の年間日数の変化傾向を示す。沖縄地方平均では統計的に有意な変化はみられないが、地点別ではいずれも 100 年あたりの変化傾向で、那覇で 18.9 日、宮古島で 28.3 日、石垣島で 25.5 日などの割合で統計的に有意に減少している。

図 2.2.8 に、沖縄地方平均及び各地点における日降水量 1mm 以上の年間日数の長期変化を示す。

表 2.2.5 日降水量 1mm 以上の年間日数の長期変化傾向

沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の 7 地点平均値。年間日数の 100 年あたりの長期変化を表す。黄色の項目は長期変化傾向が有意水準 5% で統計的に有意であることを示す。

官署	単位	年間日数の 長期変化	統計期間(年)
沖縄地方平均	日/100年	-11.3	1967~2021
那覇	日/100年	-18.9	1891~2021
名護	日/100年	-14.8	1967~2021
久米島	日/100年	-6.1	1959~2021
南大東島	日/100年	-19.4	1943~2021
宮古島	日/100年	-28.3	1938~2021
石垣島	日/100年	-25.5	1897~2021
西表島	日/100年	-45.0	1957~2021
与那国島	日/100年	-20.6	1957~2021

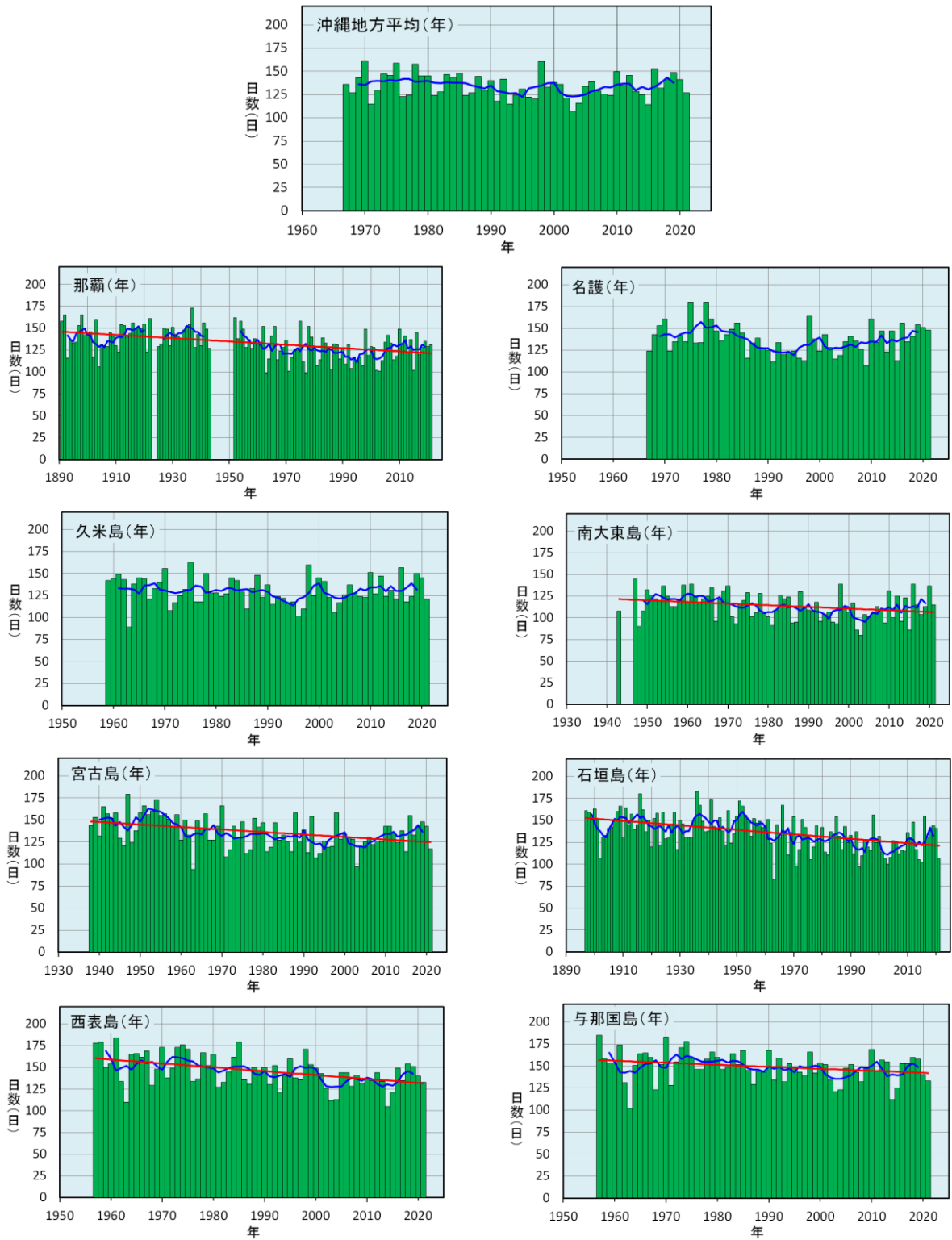


図 2.2.8 日降水量 1mm 以上の年間日数の経年変化（沖縄地方平均及び各地点）

統計期間 沖縄地方平均：1967～2021 年、那覇：1891～2021 年（1923 年、1924 年、1944～1951 年は欠測）、名護：1967～2021 年、久米島：1959～2021 年、南大東島：1943～2021 年（1944～1946 年は欠測）、宮古島：1938～2021 年、石垣島：1897～2021 年、西表島：1957～2021 年、与那国島：1957～2021 年。沖縄地方平均は、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の 7 地点平均値。緑の棒グラフ：年々の値、青の折れ線グラフ：5 年移動平均値、赤の直線：有意水準 5% で統計的に有意な長期変化傾向。

(5) 短時間強雨の発生頻度

地域気象観測所（以下「アメダス」という。）によって得られる観測データは、気象官署と比べて統計年数は短いですが、地点数が多いため短時間強雨のような極端現象の発生傾向を見る上で有効である（付録 A.4 参照）。アメダスのデータから短時間強雨の発生傾向を検討するにあたり、年による観測地点数の違いによる影響を避けるため、年ごとの観測回数を 34 地点（現在の沖縄県内のアメダス地点数）あたりの発生頻度に換算した。図 2.2.9 に、沖縄県内のアメダス地点で 1 時間降水量 30mm 以上及び 50mm 以上の年間発生頻度（34 地点あたり）を示す。

1 時間降水量 30mm 以上及び 50mm 以上の年間発生頻度には、いずれも統計的に有意な長期変化傾向はみられない。一方で日本全国のアメダス約 1,300 地点において同様に短時間強雨の発生頻度をみると、いずれも統計的に有意な増加傾向がみられ、「短時間強雨」は増加傾向にあると考えられる。しかし、全国の発生頻度を 1 地点あたりに換算して、沖縄県内のそれと比較すると、1 時間降水量 30mm 以上の発生頻度では沖縄県は全国に対して約 2.6 倍、50mm 以上では約 3 倍となっており、有意な増加傾向こそみられないものの、元々短時間強雨の発生頻度が全国平均よりも多いことに留意する必要がある。

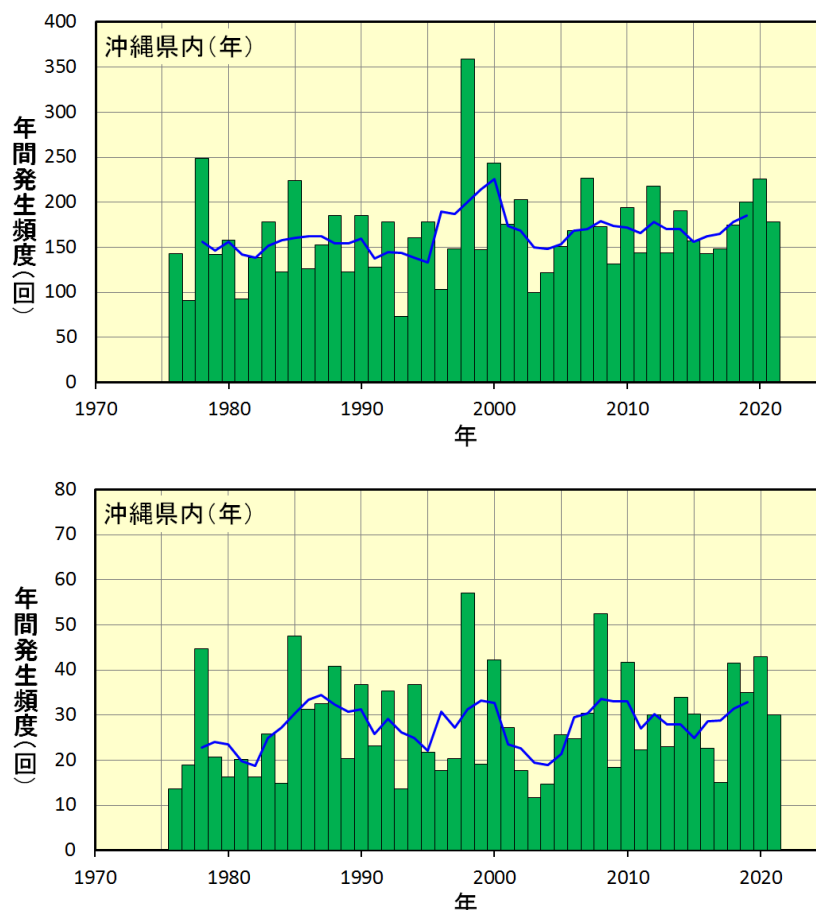


図 2.2.9 沖縄県内アメダス地点における 1 時間降水量 30mm 以上(上)、50mm 以上(下)の年間発生頻度

統計期間：1976～2021 年。34 地点（現在の沖縄県内のアメダス地点数）あたりの回数に換算。
緑の棒グラフ：年々の値、青の折れ線グラフ：5 年移動平均値。

2.3 沖縄県に影響した台風の経年変化

- 台風の沖縄県への接近数には、明瞭な長期変化傾向はみられない。
- 「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風の数と割合には、明瞭な長期変化傾向はみられない。

(1) 発生数と接近数

年間の台風（付録 A.5 参照）の発生数と沖縄県への接近数（付録 A.5 参照）の経年変化を図 2.3.1 に示す。2021 年の台風の発生数は 22 個で、このうち 7 個が沖縄地方に接近した。年間の台風の発生数の平年値は 25.1 個、沖縄県への接近数の平年値は 7.7 個である。

発生数は、1960 年代半ばと 1990 年代はじめにかけてピークがみられ、1990 年代後半から 2010 年頃までは発生数が少ない傾向を示している。接近数は、5～10 個程度の幅で変動しており、周期は明瞭ではない。発生数及び接近数とも明瞭な長期変化傾向はみられない。

沖縄県への接近数が統計を開始した 1951 年以降最も多かったのは 2004 年の 15 個で、この年は日本への上陸数も 10 個と過去最多となった。沖縄県への接近数が最も少なかった年は 1973 年、1977 年、1995 年、2009 年のそれぞれ 3 個である。

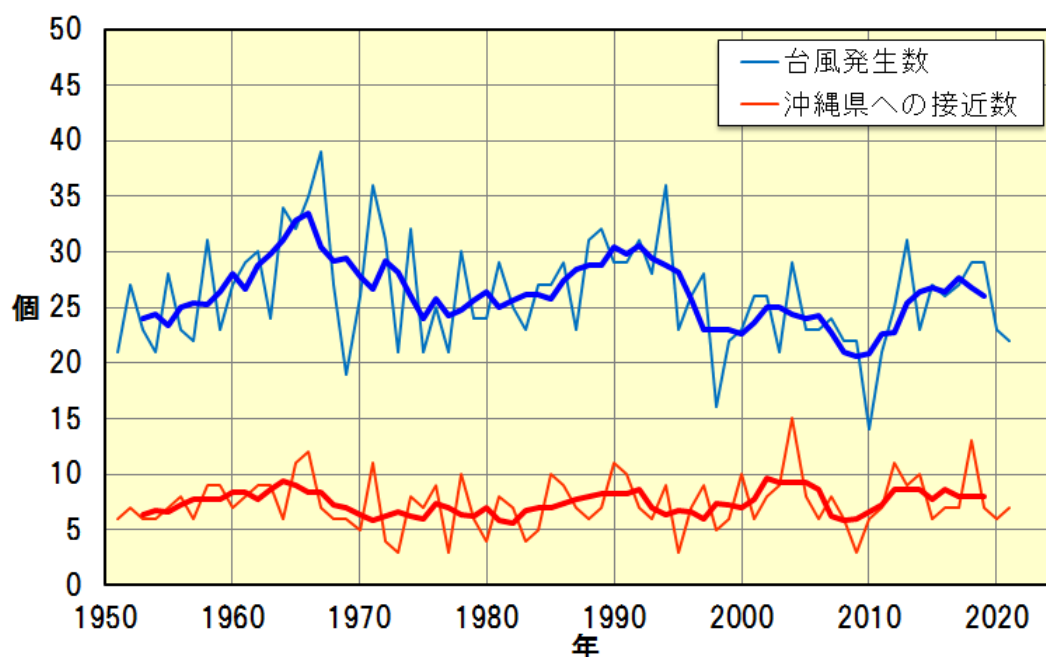


図 2.3.1 台風の発生数（青）と沖縄県への接近数（赤）の経年変化（1951～2021 年）
細線：年々の値、太線：5 年移動平均値。

(2) 接近台風の発生・消滅位置、勢力を維持していた期間

沖縄県に接近した台風の発生・消滅位置の南北、東西変動の長期的な傾向を見るため、発生・消滅位置及び年平均の経年変化をそれぞれ図 2.3.2 と図 2.3.3 に示す。

緯度は、発生位置がおおむね北緯 15～20 度の範囲、消滅位置がおおむね北緯 30～40 度の範囲となっている。発生・消滅位置の南北変動に長期的な変化傾向はみられない。経度は、発生位置がおおむね東経 125～145 度の範囲、消滅位置がおおむね 120～140 度の範囲となっている。発生・消滅位置の東西変動にも長期的な変化傾向はみられない。

台風の勢力（中心付近の最大風速が 17m/s 以上）を維持していた期間及び年平均の経年変化を図 2.3.4 に示す。期間はおおむね 4～9 日の範囲となっている。台風の期間の変動に長期的な変化傾向はみられない。

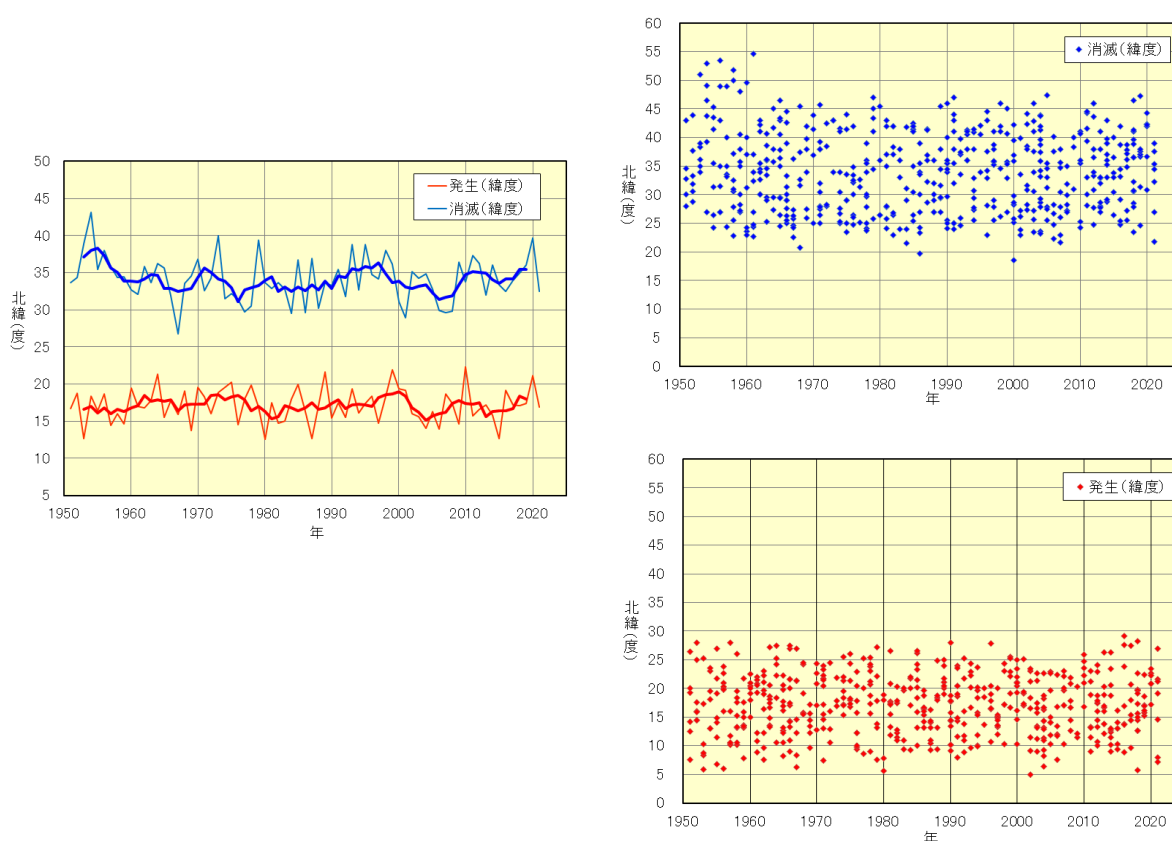


図 2.3.2 沖縄県に接近した台風の発生・消滅位置（緯度別）（右下：発生位置の経年変化、右上：消滅位置の経年変化、左：年平均の経年変化）

統計期間：1951～2021年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5年移動平均値。

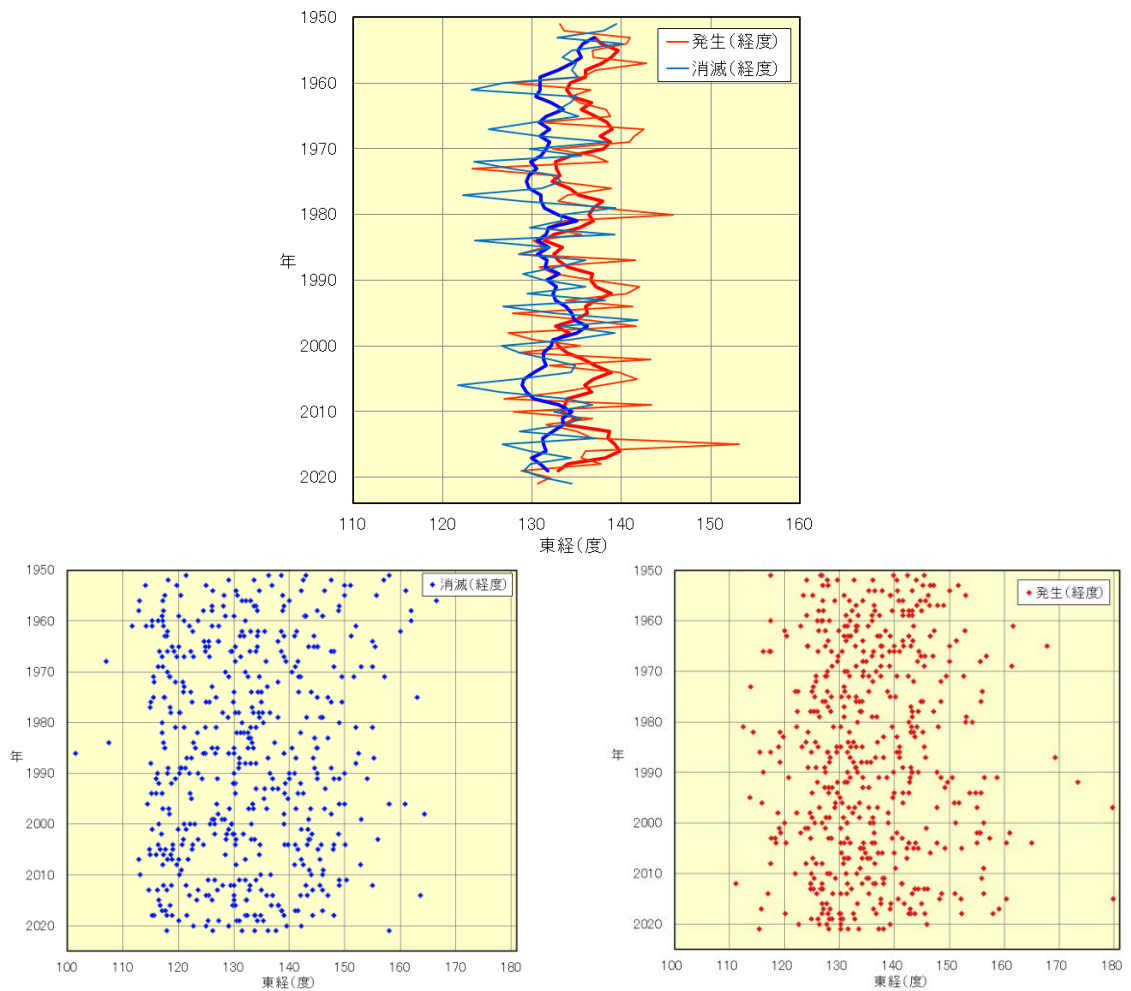


図 2.3.3 沖縄県に接近した台風の発生・消滅位置（経度別）（右下：発生位置の経年変化、左下：消滅位置の経年変化、上：年平均の経年変化）

統計期間：1951～2021年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5年移動平均値。

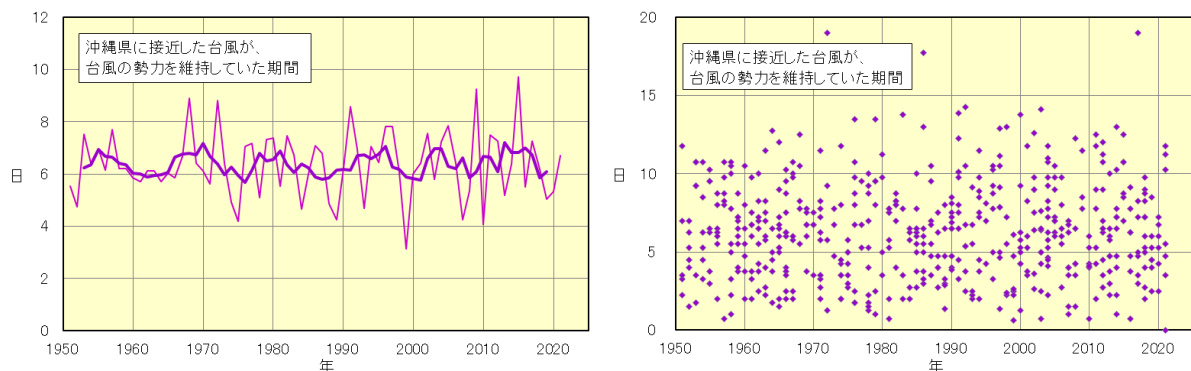


図 2.3.4 沖縄県に接近した台風が、台風の勢力（中心付近の最大風速が17m/s以上）を維持していた期間（右：台風の勢力を維持していた期間、左：年平均の経年変化）

統計期間：1951～2021年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5年移動平均値。

(3) 接近台風が最大風速に達した位置

沖縄県に接近した台風が最大風速に達した位置の南北、東西変動の長期的な傾向を見るため、位置及び年平均の経年変化をそれぞれ図 2.3.5 と図 2.3.6 に示す。気象衛星「ひまわり」による台風の観測が始まり、台風の中心付近の最大風速データがそろっている 1977 年以降のデータを用いている。

緯度は、到達位置がおおむね北緯 20～25 度の範囲となっている。到達位置の南北変動に長期的な変化傾向はみられない。経度は、到達位置がおおむね東経 125～135 度の範囲となっている。到達位置の東西変動にも長期的な変化傾向はみられない。

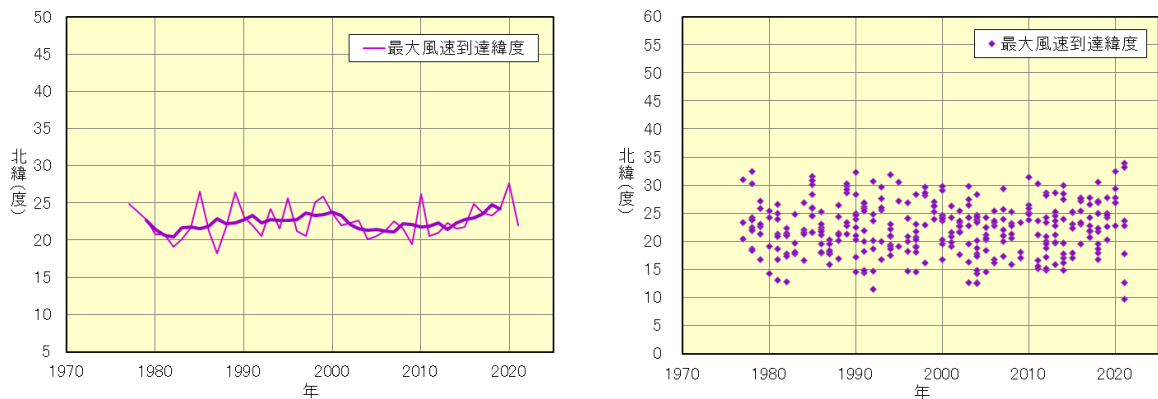


図 2.3.5 沖縄県に接近した台風の最大風速到達位置（緯度別）（右：到達位置の経年変化、左：年平均の経年変化）

統計期間：1977～2021 年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5 年移動平均値。

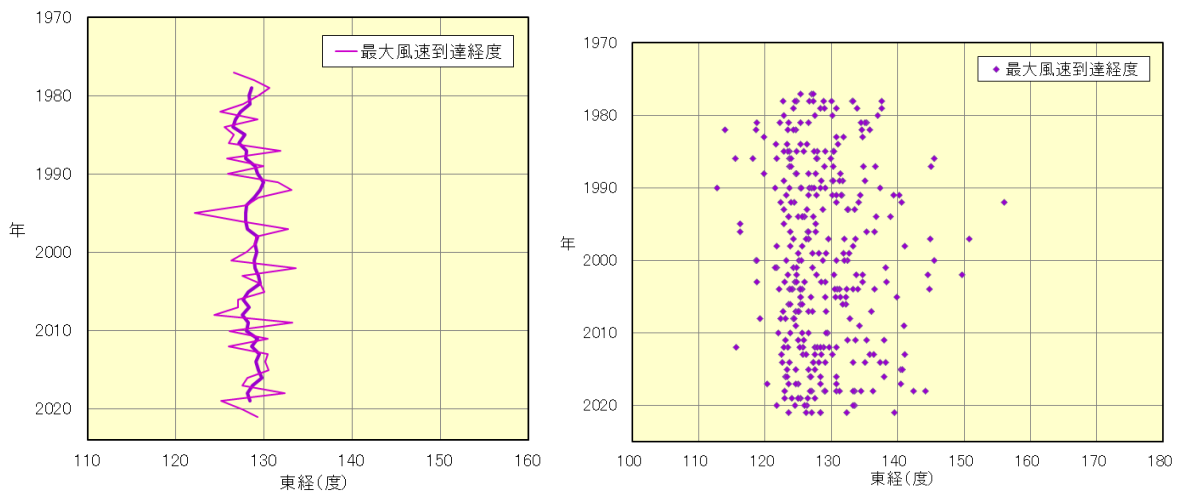


図 2.3.6 沖縄県に接近した台風の最大風速到達位置（経度別）（右：到達位置の経年変化、左：年平均の経年変化）

統計期間：1977～2021 年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5 年移動平均値。

(4) 「強い」勢力以上の接近台風の数と割合

沖縄県に接近した台風の強さの変動を見るため、「強い」以上の勢力で接近した台風の数と割合を図 2.3.7 に示す。台風の強さの階級は表 2.3.1 のとおりである。気象衛星「ひまわり」による台風の観測が始まり、台風の中心付近の最大風速データがそろっている 1977 年以降のデータを用いている。

「強い」以上の勢力で接近した台風の数と割合には、明瞭な長期変化傾向はみられない。

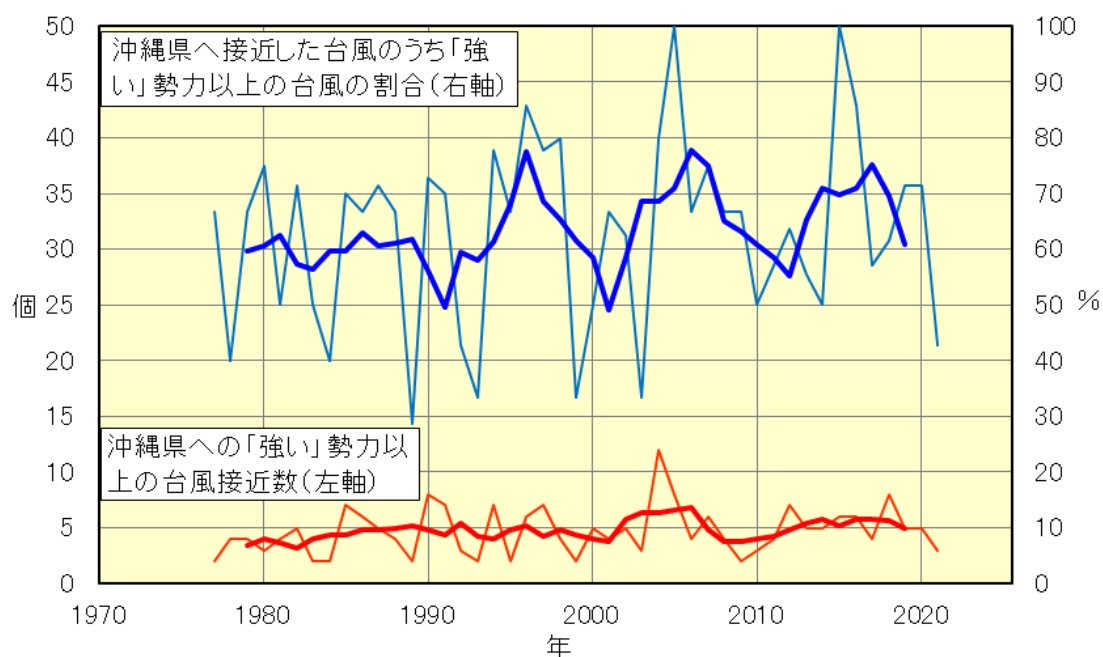


図 2.3.7 「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風の数 (赤) と割合 (青) (1977~2021 年)

細線：年々の値、太線：5 年移動平均値。

表 2.3.1 台風の強さの階級

台風の強さは、中心付近の最大風速 (10 分間平均の風速) によって定義している。

階級	最大風速
猛烈な	54m/s(105ノット)以上
非常に強い	44m/s(85ノット)以上54m/s(105ノット)未満
強い	33m/s(64ノット)以上44m/s(85ノット)未満

(5) 「強い」勢力以上の接近台風の発生・消滅位置、勢力を維持していた期間

「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風の発生・消滅位置の南北、東西変動の長期的な傾向を見るため、発生・消滅位置及び年平均の経年変化をそれぞれ図 2.3.8 と図 2.3.9 に示す。気象衛星「ひまわり」による台風の観測が始まり、台風の中心付近の最大風速データがそろっている 1977 年以降のデータを用いている。

緯度は、発生位置がおおむね北緯 15～25 度の範囲、消滅位置がおおむね北緯 25～35 度の範囲となっている。発生・消滅位置の南北変動に長期的な変化傾向はみられない。経度は、発生位置がおおむね東経 125～145 度の範囲、消滅位置がおおむね 120～135 度の範囲となっている。発生・消滅位置の東西変動にも長期的な変化傾向はみられない。

台風が「強い」勢力以上（中心付近の最大風速が 33m/s 以上）を維持していた期間及び年平均の経年変化を図 2.3.10 に示す。期間はおおむね 2～6 日の範囲となっている。「強い」勢力以上の期間の変動に長期的な変化傾向はみられない。

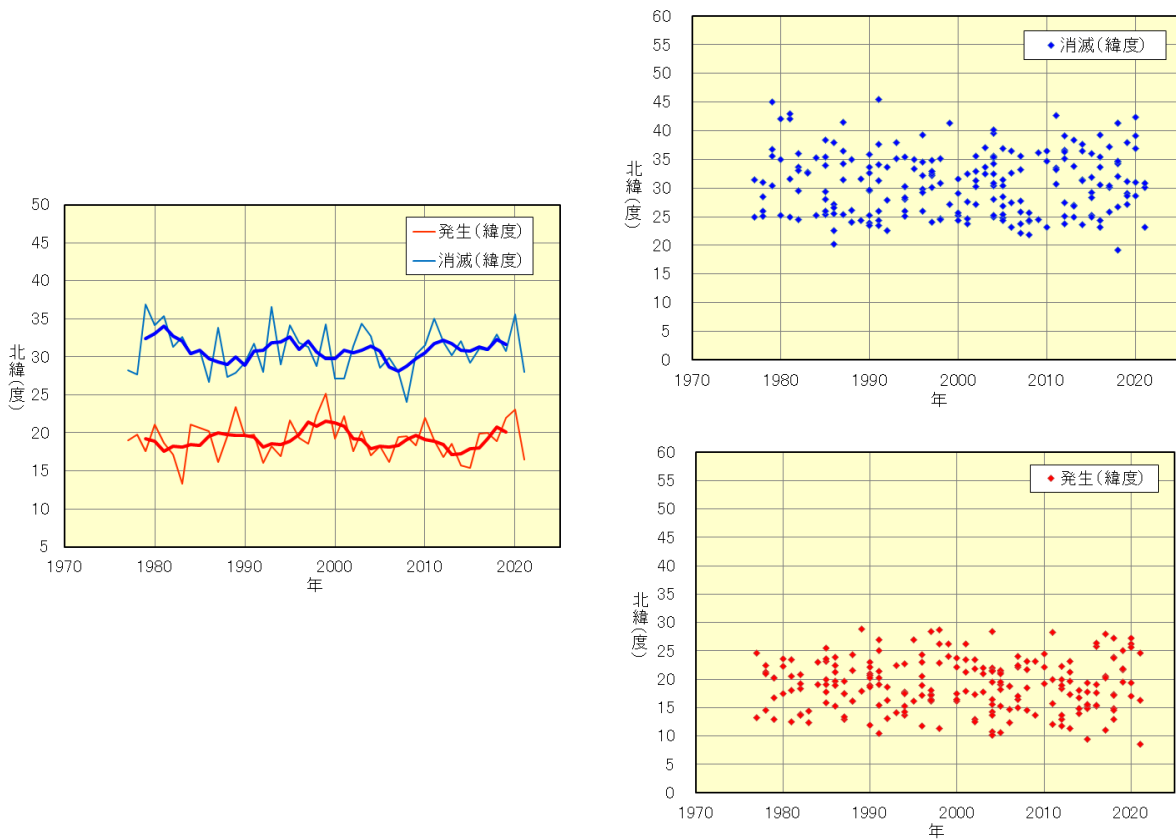


図 2.3.8 「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風の発生・消滅位置（緯度別）（右下：発生位置の経年変化、右上：消滅位置の経年変化、左：年平均の経年変化）
統計期間：1977～2021 年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5 年移動平均値。

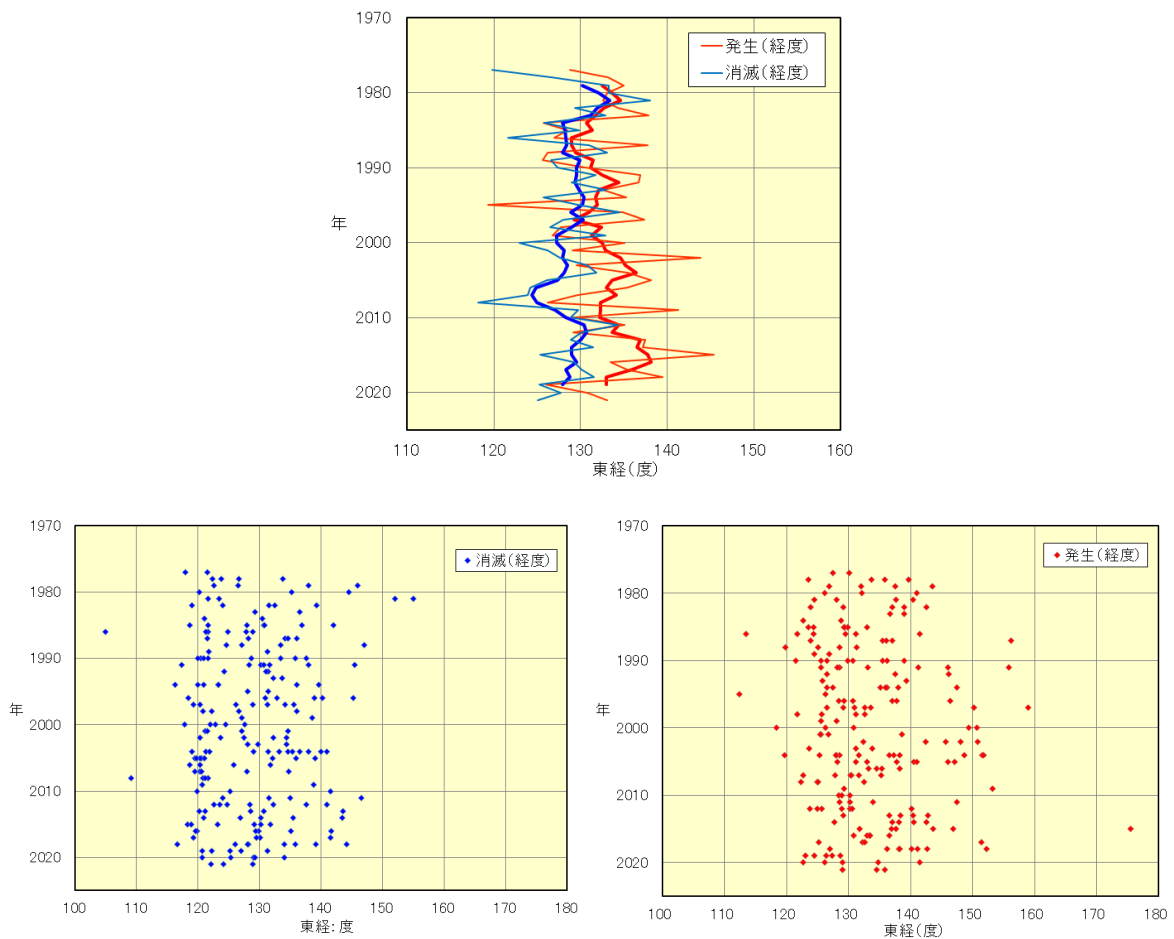


図 2.3.9 「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風の発生・消滅位置（経度別）（右下：発生位置の経年変化、左下：消滅位置の経年変化、上：年平均の経年変化）
統計期間：1977～2021年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5年移動平均値。

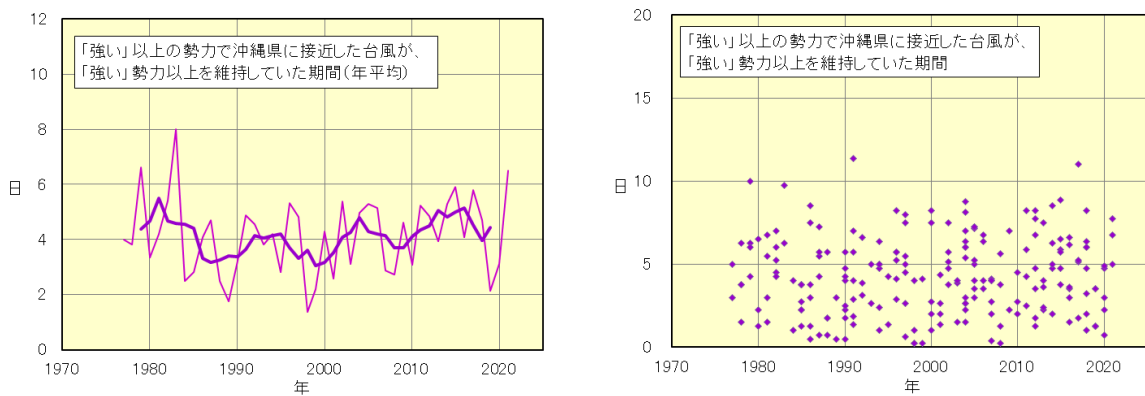


図 2.3.10 「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風が、「強い」勢力以上（中心付近の最大風速が33m/s以上）を維持していた期間（右：「強い」勢力以上を維持していた期間、左：年平均の経年変化）
統計期間：1977～2021年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5年移動平均値。

(6) 「強い」勢力以上の接近台風が最大風速に達した位置

「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風が最大風速に達した位置の南北、東西変動の長期的な傾向を見るため、位置及び年平均の経年変化をそれぞれ図 2.3.11 と図 2.3.12 に示す。気象衛星「ひまわり」による台風の観測が始まり、台風の中心付近の最大風速データがそろっている 1977 年以降のデータを用いている。

緯度は、到達位置がおおむね北緯 20～25 度の範囲となっている。到達位置の南北変動に長期的な変化傾向はみられない。経度は、到達位置がおおむね東経 125～135 度の範囲となっている。到達位置の東西変動にも長期的な変化傾向はみられない。

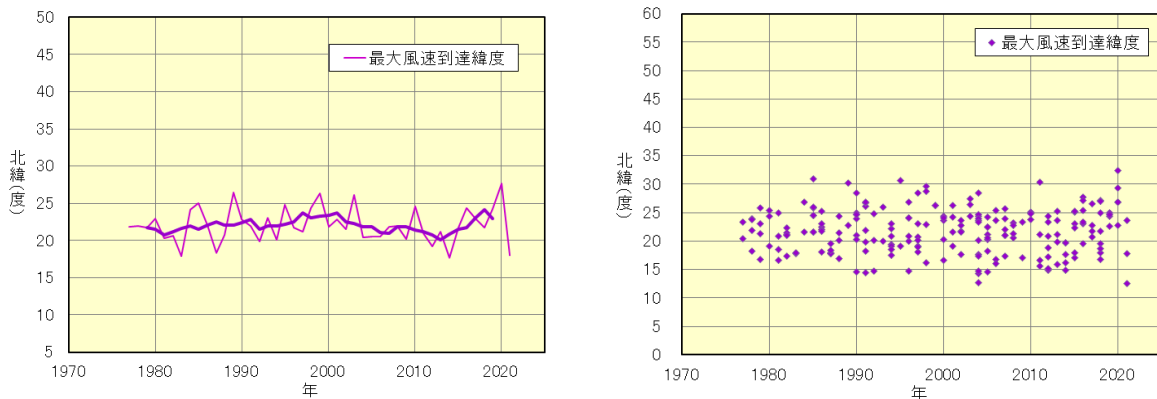


図 2.3.11 「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風の最大風速到達位置（緯度別）
（右：到達位置の経年変化、左：年平均の経年変化）

統計期間：1977～2021 年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5 年移動平均値。

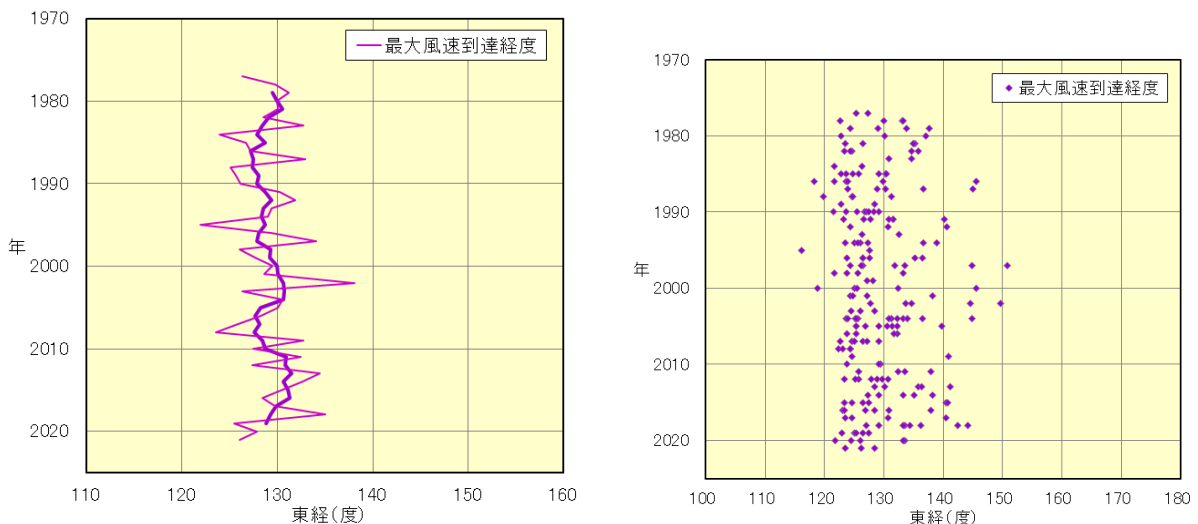


図 2.3.12 「強い」以上の勢力で沖縄県に接近した台風の最大風速到達位置（経度別）
（右：到達位置の経年変化、左：年平均の経年変化）

統計期間：1977～2021 年。点：個々の台風、細線：年々の値、太線：5 年移動平均値。

地球温暖化と台風

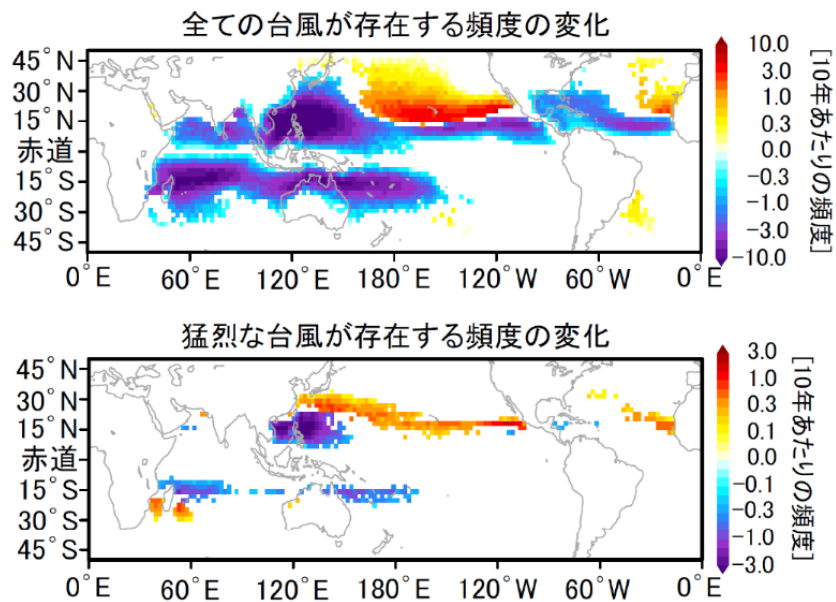
地球温暖化が進むと台風（熱帯低気圧）の発生数や強度はどのように変化するのだろうか。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)の「第6次評価報告書第1作業部会報告書」(以下「AR6」)(IPCC, 2021)では、「世界の全熱帯低気圧に占める強い熱帯低気圧(カテゴリ3~5)の発生割合は過去40年間で増加して」いる可能性が高い(A.3.4)と評価している。また、非常に強い熱帯低気圧(カテゴリ4~5⁵)の割合とその大部分のピーク時の風速が地球規模では地球温暖化の進行に伴い増加すると予測されている(確信度が高い)(B.2.4)。

熱帯低気圧は暖かい海面から供給された水蒸気が凝結して雲粒になるときに放出される熱をエネルギーとして発達する。地球温暖化によって海面水温の上昇が大きくなると、そのエネルギー源である水蒸気が増加するために、ひとたび熱帯低気圧が発生すると強度が強まりやすくなると考えられている。一方で、地球温暖化が進むと対流圏の低緯度から中緯度帯では下層よりも上層の温度上昇の方が大きくなると予測されているため、大気の鉛直温度構造が安定化し、熱帯低気圧の発生数は少なくなる地域が多いと考えられている。

図C.6は、気象研究所ほかによる多数の高解像度地球温暖化気候シミュレーション実験の結果を解析したものである。

ここではIPCC「第5次評価報告書」における温室効果ガスの高排出シナリオ(RCP8.5)⁶による21世紀末の予測結果を示している。全世界で熱帯低気圧(台風)の発生総数は3割程度減少するものの、日本の南海上からハワイ付近及びメキシコの西海上にかけて猛烈な熱帯低気圧の出現頻度が増加する可能性が高いことを示している。



図C.6 台風(熱帯低気圧)が存在する頻度の変化

緯度経度 2.25 度×2.25 度格子で見た熱帯低気圧が存在する頻度の変化。赤い領域で頻度が増加する。有意水準 1%で統計的に有意な変化をしている領域のみ描いている。(上段)全ての強度の熱帯低気圧、(下段)地表最大風速が 59 m/s を超える猛烈な熱帯低気圧。

気象研究所報道発表資料「地球温暖化で猛烈な熱帯低気圧(台風)の頻度が日本の南海上で高まる ~多数の高解像度温暖化シミュレーションによる予測~」(気象研究所, 2017)より。

⁵ 1 分間平均の最大風速に基づき定義された熱帯低気圧の強さで、カテゴリ4 は 58~69m/s、5 は 70m/s 以上。

⁶ IPCC 第5次評価報告書における温室効果ガスの排出シナリオのひとつで、追加的な緩和策を行わないシナリオ。

2.4 沖縄県の生物季節現象の経年変化

- 沖縄県では、すみれ（りゅうきゅうこすみれ）の開花時期は早くなる傾向がみられる。
- 沖縄県では、さくら（ひかんざくら）の開花・満開時期は、有意な変化傾向はみられない。

生物季節観測とは、植物や動物の状態が季節によって変化する現象について行う観測であり、生物に及ぼす気象の影響、季節の遅れ・進みや気候の違いなど総合的な気象状況の推移を知ることが目的として、全国で約 60 か所、沖縄県では 4 か所の気象官署で実施している。ここでは、沖縄県における植物季節現象の経年変化について述べる。

2020 年 12 月に観測種目の全国的な見直しが実施され、植物に関してさくらの開花等の一部のみが継続されることとなった。従来行っていた動物季節観測は全て廃止された。2021 年以降、沖縄県においては「うめ開花」「さくら開花」「さくら満開」「すすき開花」の 4 種目のみが継続されることとなった（うめは那覇及び石垣島の 2 地点のみのため、本レポートでは扱っていない）。本レポート（2022 年版）においては、従来掲載していた種目について、参考として引き続き掲載することとする。なお、すみれ（りゅうきゅうこすみれ）開花については、2021 年春の観測に該当するものが管内 4 地点ともに 2020 年中に観測されたため、2021 年分の観測値として掲載している。

また、生物季節観測についても 2021 年 5 月 19 日に新平年値に更新されたため、観測を終了した種目についても新しい平年値を基準として再計算した。その結果、地点ごとの平年差の傾向が変わったことなどの影響により、地域平均の変化傾向が大きく変わった種目がある。平年値更新によって、てっぽうゆり開花の変化傾向は有意となった。

(1) 沖縄県における植物季節現象の遅れ・進み

沖縄県における植物季節現象 7 種目 8 現象について、2021 年まで（観測を取りやめた種目は 2020 年まで）の 10 年あたりの開花・満開日の進み・遅れを表 2.4.1 に示す。図 2.4.1 に植物季節現象の開花・満開日の経年変化を示す。

つばきの開花時期は遅くなる傾向（10 年あたり 2.4 日）が、すみれ（りゅうきゅうこすみれ）の開花時期は早くなる傾向（10 年あたり 4.4 日）が、てっぽうゆりの開花時期は早くなる傾向（10 年あたり 1.2 日）がみられる。なお、でいごの開花時期は遅くなる傾向（10 年あたり 1.6 日）がみられるが、近年は害虫（デイゴヒメコバチ）による被害が大きく、近年開花が観測されない地点が多かったことに留意する必要がある。

そのほかの種目（さくら開花・満開、さるすべり開花、すすき開花）については、有意水準 5% で統計的に有意な変化傾向はみられない。

表 2.4.1 植物季節現象の10年あたりの開花・満開日の進み・遅れ

那覇、南大東島、宮古島、石垣島で開花・満開を観測した日の平年（1991～2020年の平均値）からの差を平均した値の変化傾向。負の値は開花・満開が平年に比べて早く、正の値は開花・満開が平年に比べて遅いことを示す。沖縄県では、さくらは「ひかんざくら」、すみれは「りゅうきゅうこすみれ」を観測対象としている。黄色の項目は、有意水準5%で変化傾向が有意であることを示す。統計期間が橙色の項目は、現在観測していない種目を表す。

現象	変化傾向 (日/10年)	地点数	統計期間
さくら開花	+ 0.1	4	1971～2021
さくら満開	+ 1.2	4	1971～2021
さるすべり開花	0.0	4	1957～2020
つばき開花	+ 2.4	4	1956～2020
すすき開花	+ 1.8	4	1954～2021
すみれ開花	- 4.4	4	1956～2021
でいご開花	+ 1.6	4	1953～2020
てっぼうゆり開花	- 1.2	4	1953～2020

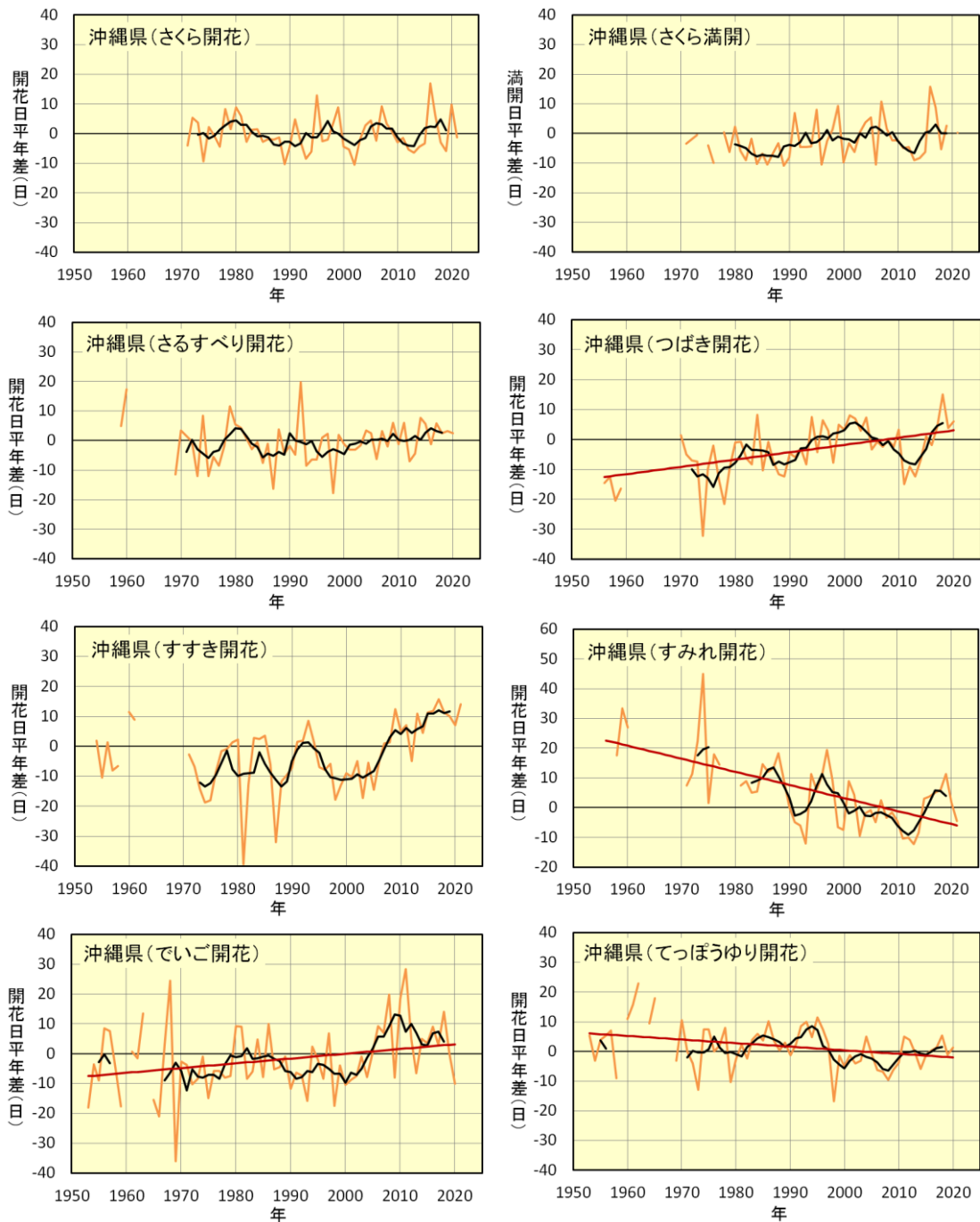


図 2.4.1 植物季節現象の開花・満開日の経年変化

那覇、南大東島、宮古島、石垣島で開花・満開を観測した日の平年（1991～2020年の平均）からの差を平均した値。負の値は開花・満開が平年に比べて早く、正の値は開花・満開が平年に比べて遅いことを示す。沖縄県では、さくらは「ひかんざくら」、すみれは「りゅうきゅうこすみれ」を観測対象としている。統計期間 さくら開花：1971～2021年、さくら満開：1971～2021年（1974年、2020年は観測地点数が1以下）、さるすべり開花：1957～2020年（1958年、1961年、1963～1966年、1968年は観測地点数が1以下）、つばき開花：1956～2020年（1960～1961年、1963～1967年、1969年は観測地点数が1以下）、すすき開花：1954～2021年（1959年、1962～1970年は観測地点数が1以下）、すみれ開花：1956～2021年（1957年、1961年、1963～1970年、1978～1980年は観測地点数が1以下）、でいご開花：1953～2020年（1960年、1964年、2019年は観測地点数が1以下）、てっぽうゆり開花：1953～2020年（1959年、1963年、1966年、1968年は観測地点数が1以下）。橙線：年々の値、黒線：5年移動平均値、赤の直線：有意水準5%で統計的に有意な長期変化傾向。

(2) 沖縄県の地点ごとのさくら（ひかんざくら）開花の遅れ・進み

沖縄県の地点ごとの10年あたりのさくら開花日の進み・遅れを表2.4.2に、図2.4.2に各地点のさくら開花日の経年変化を示す。いずれの地点も有意水準5%で統計的に有意な長期変化傾向はみられない。

表 2.4.2 地点ごとの10年あたりのさくら開花日の進み・遅れ

ひかんざくらの開花を観測した日の平年（1991～2020年の平均）からの差の変化傾向。負の値は開花が平年に比べて早く、正の値は開花が平年に比べて遅いことを示す。いずれの地点も有意水準5%で変化傾向が有意なものはない。

地点	平年の開花日	変化傾向 (日/10年)	統計期間
那覇	1月16日	- 1.7	1974～2021
南大東島	1月20日	+ 0.8	1971～2021
宮古島	1月17日	- 0.5	1972～2021
石垣島	1月18日	+ 0.9	1953～2021

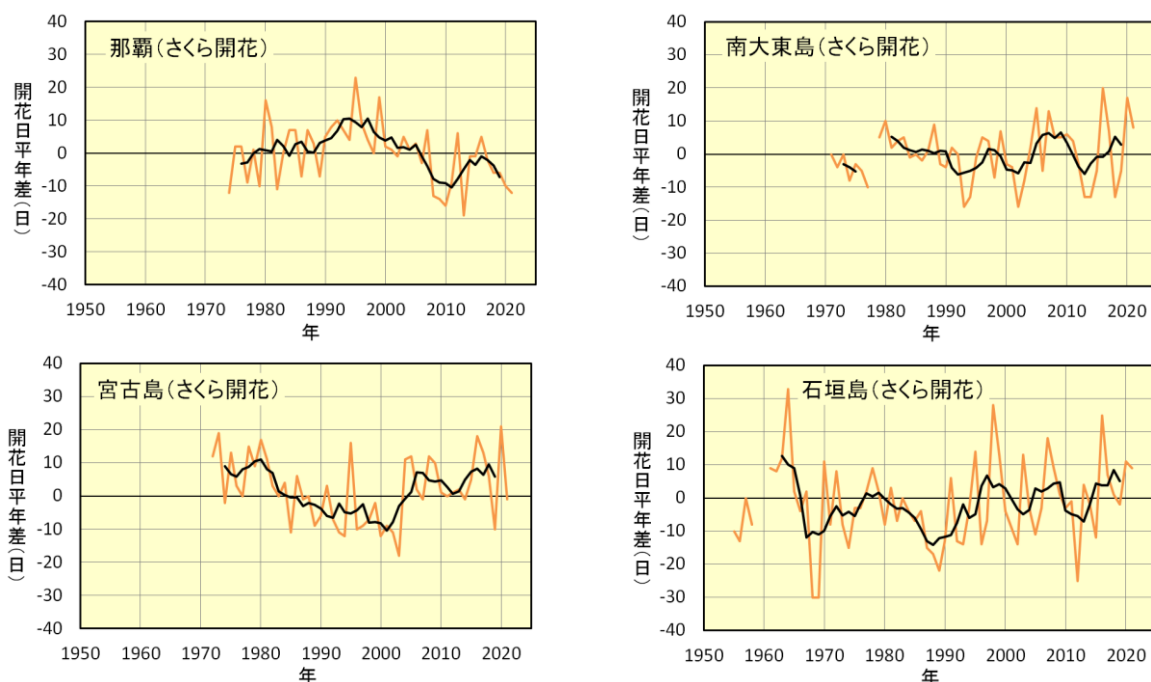


図 2.4.2 地点ごとのさくら開花日の経年変化

ひかんざくらの開花を観測した日の平年（1991～2020年の平均）からの差。負の値は開花が平年に比べて早く、正の値は開花が平年に比べて遅いことを示す。統計期間 那覇：1974～2021年、南大東島：1971～2021年（1978年は観測なし）、宮古島：1972～2021年、石垣島：1953～2021年（1954年、1959～1960年は観測なし）。橙の細線：年々の値、黒の太線：5年移動平均値。

第3章 沖縄周辺の海域における海洋の経年変化

海洋と大気は密接に関係しており、地球環境や気候の変動を考える上でも海洋は極めて重要な存在である。気象庁はこれまで、海洋気象観測船等により長期にわたる海洋の観測、解析を続けており、地球環境に関連した海洋の状態とその見通しについては、「海洋の健康診断表」として気象庁ホームページで提供している

(<https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/index.html>)。

本章では沖縄周辺の海域における海面水温と海面水位の経年変化について記述する。

3.1 海面水温の経年変化

○ 沖縄周辺の海域の年平均海面水温は、長期的には100年あたり0.86~1.22°Cの割合で上昇している。

ここでは、海面水温の長期変動パターンの類似度を基にして、沖縄周辺の海域を「東シナ海南部」、「先島諸島周辺」、「沖縄の東」（図3.1.1）に分類し、それぞれの海域の経年変化について記述する（高槻ほか, 2007）。

(1) 年平均海面水温

各海域の海面水温の100年あたりの上昇率（統計期間は1901~2021年（東シナ海南部、先島諸島周辺）、1911~2021年（沖縄の東））（図3.1.1）は東シナ海南部で+1.22°C/100年、沖縄の東で+0.86°C/100年、先島諸島周辺で+0.87°C/100年であり、各海域とも世界全体や北太平洋全体で平均した海面水温の上昇率（それぞれ+0.56°C/100年、+0.55°C/100年）（付録A.1.3参照）より大きくなっている。東シナ海南部では日本の気温の上昇率と同程度だが、沖縄の東と先島諸島周辺では日本の気温よりも小さな上昇率となっている。およそ100年間にわたる日本全国の年平均気温の上昇率は、+1.28°C/100年（統計期間：1898~2021年）（付録A.1.1参照）である。

1900年から2021年までの各海域における年平均海面水温平年差の経年変化を図3.1.2に示す。なお、図3.1.2では、1年間の各月の月平均平年差（全12個）のうち、5個以上算出できれば年平均を算出する。

沖縄周辺の海域の海面水温は1998年が最も高く、沖縄地方の年平均気温も同様である。沖縄地方の年平均気温（図2.1.1）と東シナ海南部の年平均海面水温を比べると、1998年、2016年、2017年、2021年の高い年や2011年の低い年が同様の傾向を示している。

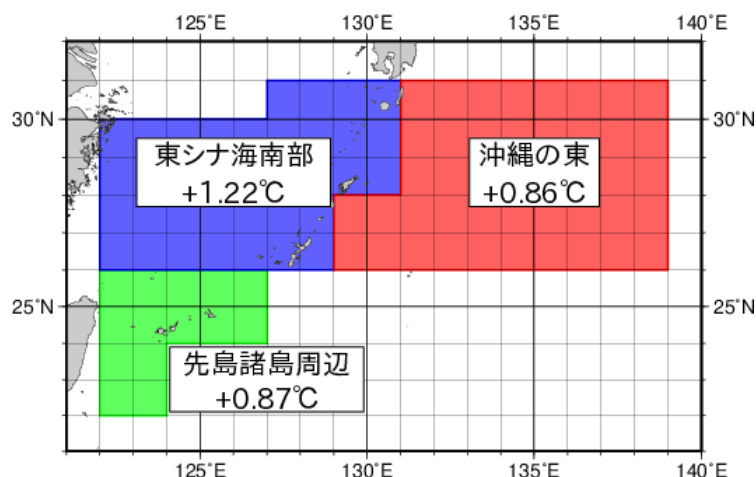


図 3.1.1 沖縄周辺の海域における海域区分と 100 年あたりの海面水温上昇率
統計期間は 1901～2021 年（東シナ海南部、先島諸島周辺）、1911～2021 年（沖縄の東）。

(2) 季節別の平均海面水温

表 3.1.1 に、沖縄周辺の海域における各季節の 100 年あたりの海面水温上昇率を、図 3.1.3～図 3.1.6 に、1900 年から 2021 年までの各海域における季節別の平均海面水温平年差の経年変化を示す。なお、これらの海域では、海面水温が 1 月から 3 月にかけて最低になり、7 月から 9 月にかけて最高になることから、季節分けを春（4～6 月）、夏（7～9 月）、秋（10～12 月）、冬（1～3 月）とした。また、月平均海面水温平年差が季節の中で 2 か月以上ある場合のみ、それらの平年差を平均して各季節の平均海面水温平年差とした。

100 年あたりの海面水温上昇率（以下「上昇率」という。）を海域別にみると、東シナ海南部では秋季と冬季の上昇率が大きくなっており、先島諸島周辺と沖縄の東では秋季の上昇率が最も大きくなっている。なお、沖縄周辺の海域においては、沖縄の東の春季を除いた全ての海域及び季節で海面水温が上昇している。

海域間の違いを季節別にみると、春季と冬季において海域間の差が大きく、いずれも東シナ海南部の上昇率が大きい。一方、夏季と秋季の上昇率は、海域間の差が小さい（表 3.1.1）。このことから、年平均海面水温の上昇率の差は春季と冬季の上昇率の差によるものと考えられる。

表 3.1.1 沖縄周辺の海域における各季節の 100 年あたりの海面水温上昇率

春は 4～6 月、夏は 7～9 月、秋は 10～12 月、冬は 1～3 月。海域ごとに上昇率が最高の季節をピンク色で、また、上昇率が年平均より大きい季節を薄ピンク色で示している。統計期間は、年平均は図 3.1.1 に、各季節はそれぞれ図 3.1.3～3.1.6 に同じ。『*』を付加してある上昇率は、有意水準 95%以上で有意であることを示す（無印は同 99%以上で有意）。

海域\季節	年平均	春	夏	秋	冬
東シナ海南部	+1.22	+1.27	+0.72	+1.35	+1.53
先島諸島周辺	+0.87	+0.70	+0.79	+1.23	+0.92
沖縄の東	+0.86	+0.53*	+0.99	+1.07	+0.92

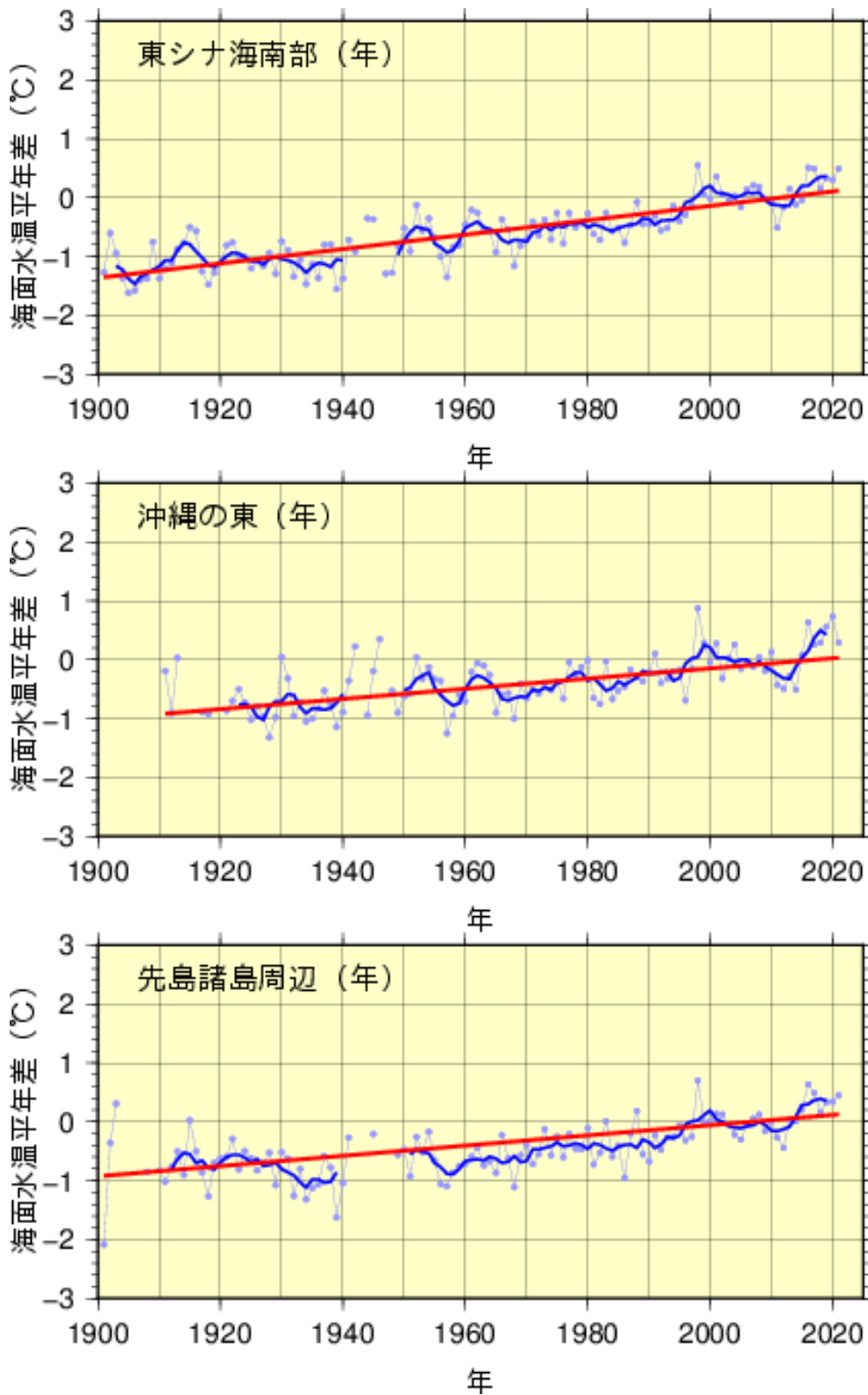


図 3.1.2 沖縄周辺の海域における海域別の年平均海面水温平年差の経年変化

青丸は各年の平年差を、青の太い実線は 5 年移動平均値を、赤の太い実線は長期変化傾向を表す。平年値の期間は 1991～2020 年。統計期間は図 3.1.1 に同じ。

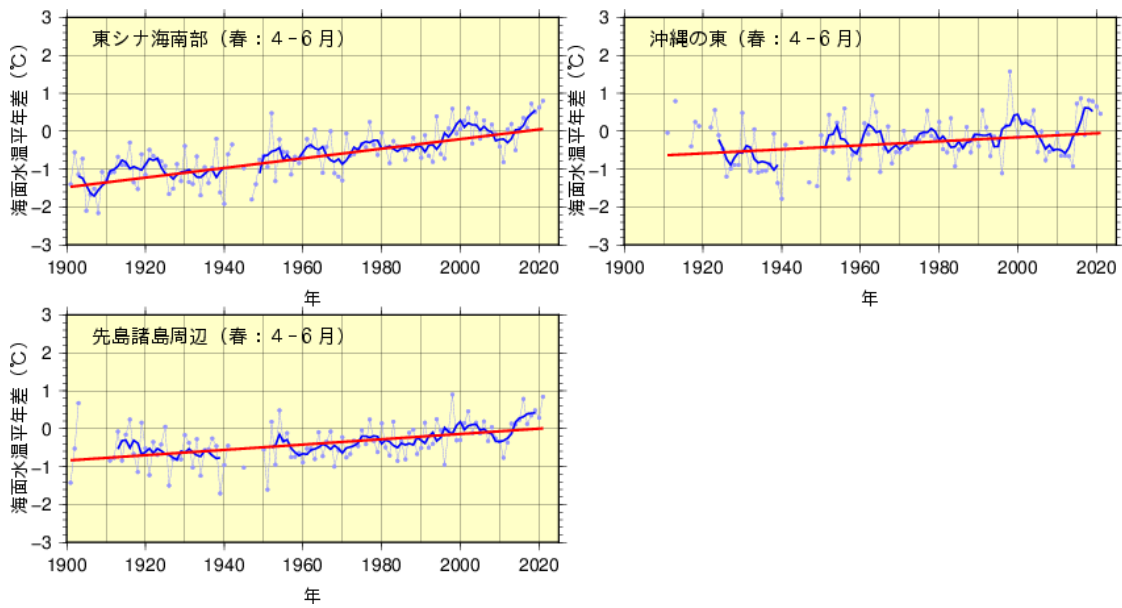


図 3. 1. 3 沖縄周辺の海域における海域別の春季平均海面水温の平年差の経年変化

統計期間は 1901～2021 年（東シナ海南部、先島諸島周辺）、1911～2021 年（沖縄の東）。

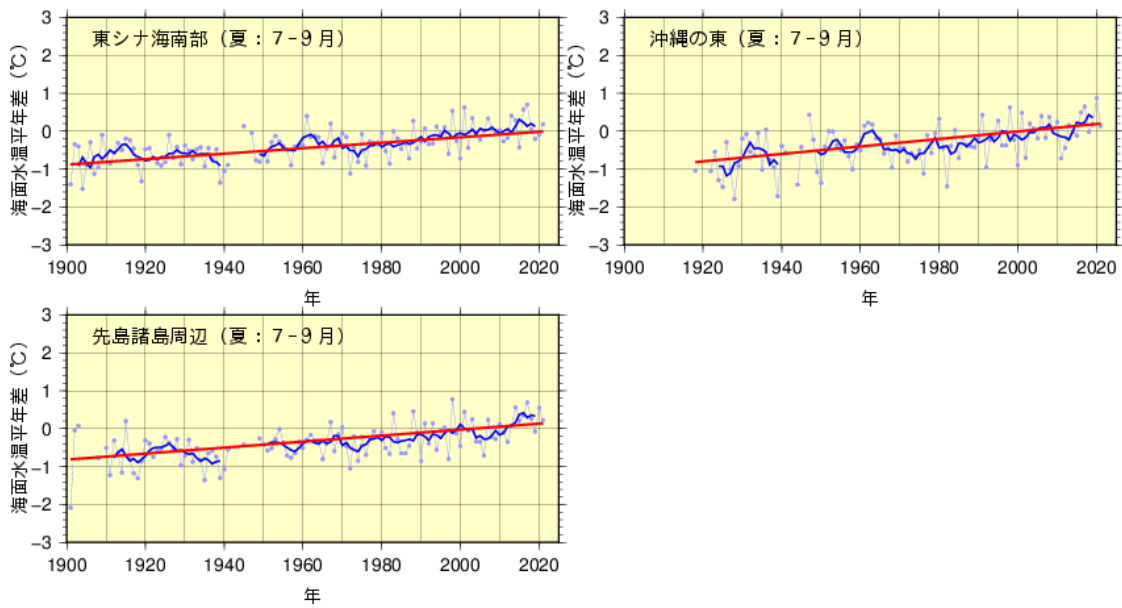


図 3. 1. 4 沖縄周辺の海域における海域別の夏季平均海面水温の平年差の経年変化

統計期間は 1901～2021 年（東シナ海南部、先島諸島周辺）、1918～2021 年（沖縄の東）。

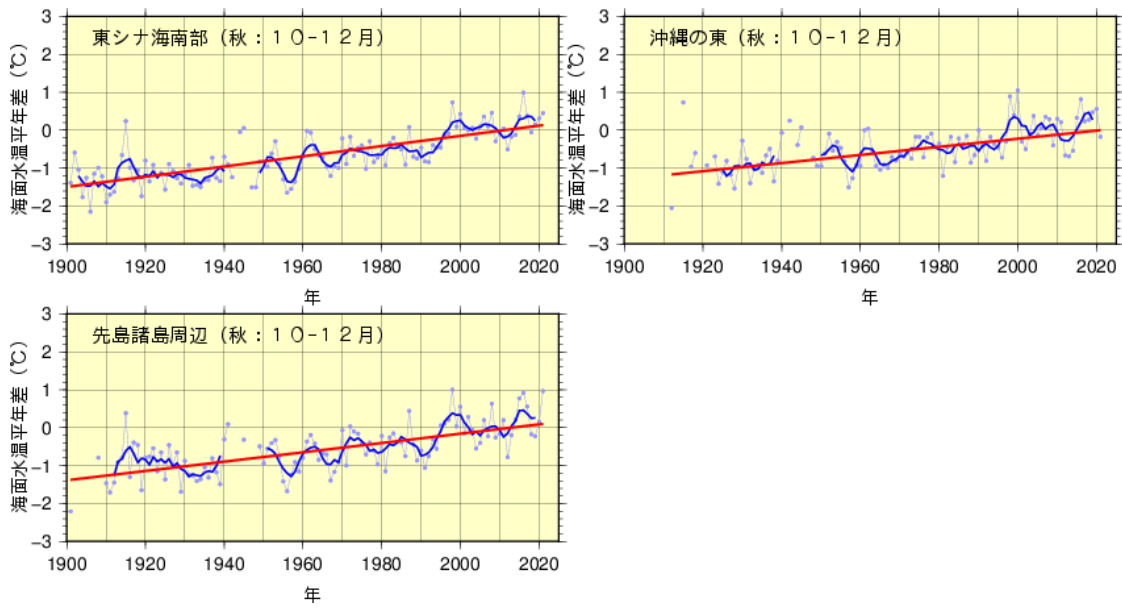


図 3.1.5 沖縄周辺の海域における海域別の秋季平均海面水温の平年差の経年変化

統計期間は 1901～2021 年（東シナ海南部、先島諸島周辺）、1912～2021 年（沖縄の東）。

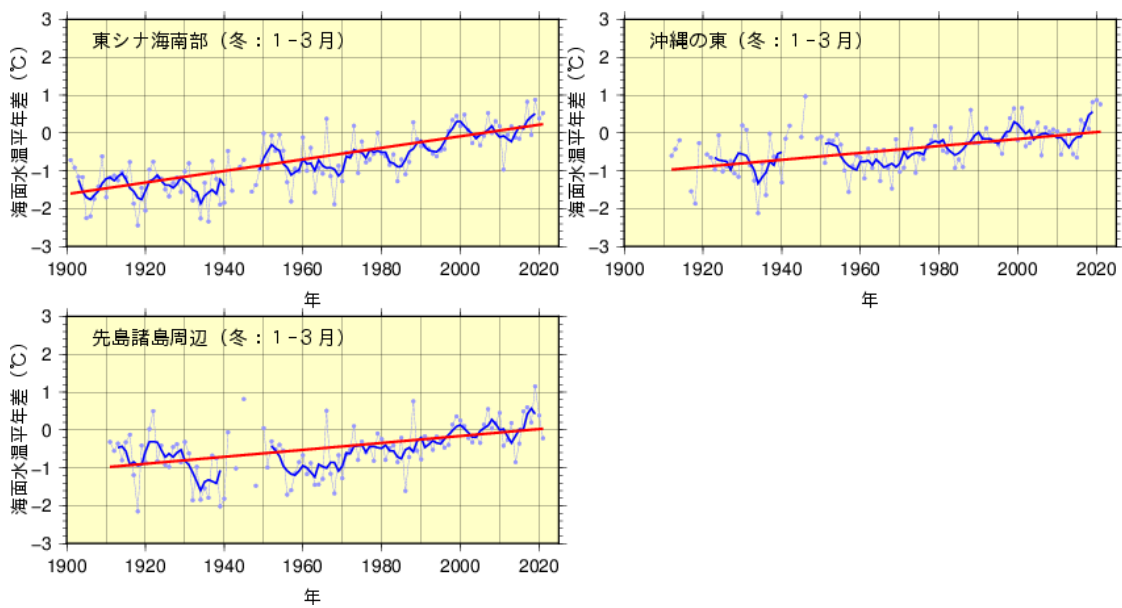


図 3.1.6 沖縄周辺の海域における海域別の冬季平均海面水温の平年差の経年変化

統計期間は 1901～2021 年（東シナ海南部）、1911～2021 年（先島諸島周辺）、1912～2021 年（沖縄の東）。

3.2 海面水位の経年変化

○ 沖縄地方における海面水位は、統計開始以降、1年あたり2.3~2.4mmの割合で上昇している。

気象庁所管の潮位観測地点（那覇及び石垣：図 3.2.1）における各年の年平均潮位を用いて求めた、沖縄地方における海面水位の経年変化を図 3.2.2 に示す。統計開始（那覇：1967年、石垣：1969年）以降、海面水位は、那覇は1年あたり2.3mm、石垣は1年あたり2.4mmの割合で上昇しており、明瞭な上昇傾向が現れている。

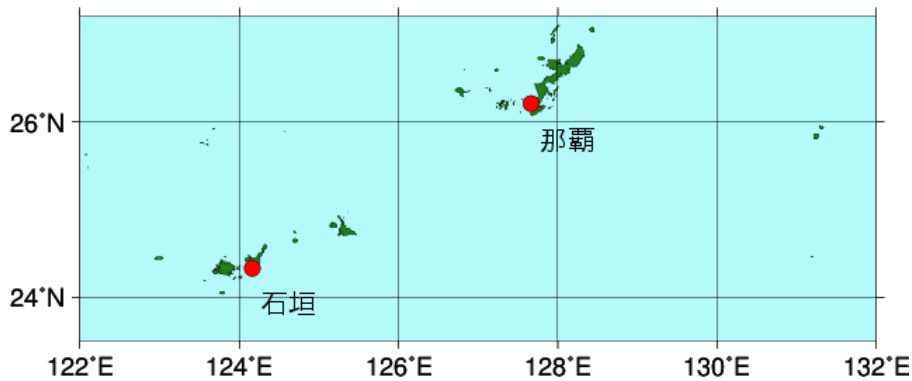


図 3.2.1 海面水位の経年変化を求めた潮位観測地点（●）

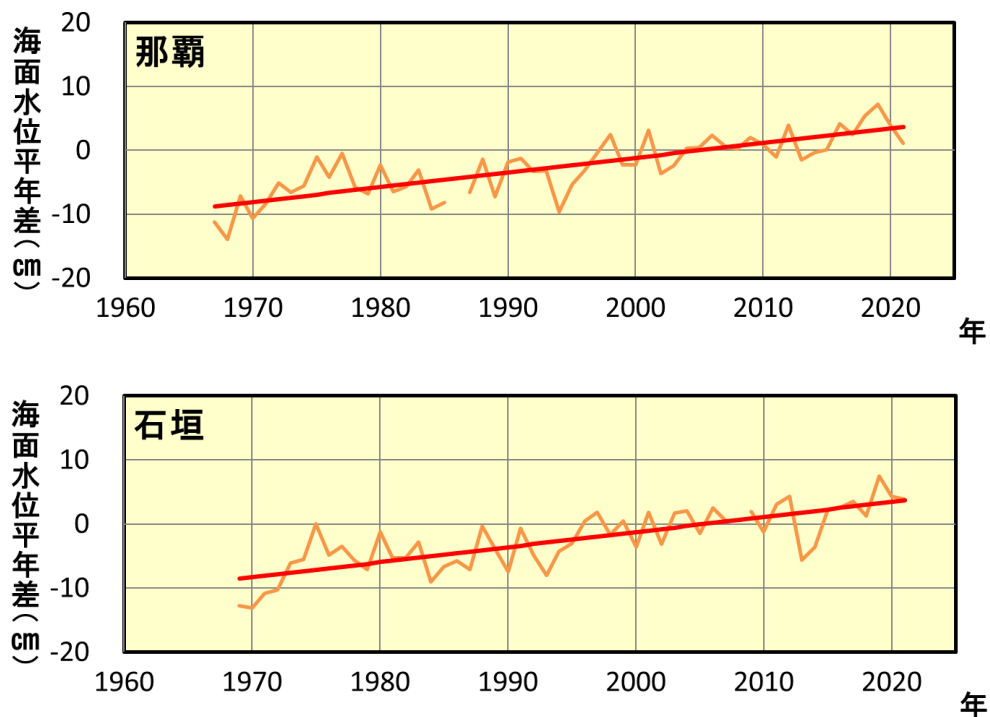


図 3.2.2 那覇（上）と石垣（下）における海面水位平年差の経年変化
海面水位平年差は年平均潮位から平年値を引いたもの（単位 cm）。平年値の期間は 1991～2020 年。赤の実線は海面水位の長期変化傾向を表す。なお、地盤変動は考慮していない。

海面水位変動の要因

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)「第6次評価報告書第1作業部会報告書」(以下「AR6」)(IPCC, 2021)は、「世界平均海面水位は、1901～2018年の間に0.20 [0.15～0.25] m上昇した」(A.1.7)とし、さらに「1900年以降、少なくとも過去3千年間のどの百年よりも急速に上昇している(確信度が高い)」(A.2.4)と評価している。また上昇率の変化について、「1901～1971年の間は1.3 [0.6～2.1] mm/年だったが、1971～2006年の間は1.9 [0.8～2.9] mm/年に増大加し、2006～2018年の間には3.7 [3.2～4.2] mm/年に更に増加した(確信度が高い)。少なくとも1971年以降に観測された世界平均海面水位の上昇の主要な駆動要因は、人間の影響であった可能性が非常に高い」(A.1.7)と評価し、近年になるほど上昇率が大きくなっていると述べている。

AR6はその原因について、「気候システムの蓄熱は、陸域の氷の減少と海洋の温暖化による熱膨張により、世界平均海面水位の上昇をもたらした。1971～2018年に観測された海面水位上昇の50%が海洋の熱膨張で説明される一方、22%は氷河からの氷の減少、20%は氷床からの氷の消失、8%は陸域における貯水量の変化が寄与した」(A.4.3)としている。すなわち、海水温の上昇に伴う海水の熱膨張と氷床および氷河の減少が主要な原因だと述べている。報告書は続けて「2010～2019年の氷床の質量減少速度は、1992～1999年の4倍であった。氷床と氷河の質量減少が合わさって、2006～2018年の世界平均海面水位の上昇の支配的な要因となった(確信度が高い)」(A.4.3)としていて、近年の海面水位上昇の要因への寄与が、熱膨張よりも氷床や氷河の融解の方が大きくなったことを示している(表C.7参照)。

AR6は将来の海面水位の変化について、「世界平均海面水位が21世紀の間、上昇し続けることは、ほぼ確実である」(B.5.3)とし、「長期的には、海洋深部の温暖化と氷床の融解が続くため、海面水位は数百年から数千年にわたり上昇することが約束されており、数千年にわたり上昇したままとなる(確信度が高い)」(B.5.4)としており、温室効果ガスの排出削減が進んだ場合でも海面水位の上昇が続くと指摘している。

更にAR6では、可能性が高い範囲だけでなく、温室効果ガスの高排出シナリオ下において、「可能性が低くとも(もし発生した場合の)影響が大きいため排除できない氷床のプロセス含む」予測に言及しており、1900年を基準として、2100年には1.5mを超え、2300年には15mを超える海面水位上昇の可能性も排除できないとしている。ここに言う「氷床のプロセス」とは、具体的には南極氷床の大規模な融解を指している。

表 C.7 海面水位上昇率の要因別寄与と観測値
IPCC AR6 (IPCC, 2021) を基に作成。

世界平均海面水位の上昇速度 (mm/年) と要因ごとの寄与		
要因	1971-2018年	2006-2018年
熱膨張	1.01 [0.73～1.29]	1.39 [0.74～2.05]
氷河*	0.44 [0.21～0.67]	0.62 [0.57～0.68]
グリーンランド氷床	0.25 [0.16～0.34]	0.63 [0.51～0.74]
南極氷床	0.14 [-0.09～0.37]	0.37 [0.24～0.50]
陸水貯留量	0.15 [-0.05～0.36]	0.60 [0.32～0.88]
寄与の合計	2.00 [1.52～2.49]	3.61 [2.88～4.35]
観測値	2.33 [1.55～3.12]	3.69 [3.21～4.17]

*グリーンランドと南極を除く

※本文、表中の角括弧は95%の信頼区間を示す。

海洋の酸性化

18世紀後半のイギリスから始まる世界的な工業化以降、大気中の二酸化炭素は人為起源の排出によって増加している。それに伴って海洋にも多くの二酸化炭素が溶け込んでおり、その量は人為起源の二酸化炭素の約30%を占める。大気中の二酸化炭素の増加は温暖化を引き起こす一方、海洋中に溶けた二酸化炭素は酸として振る舞う。そのため、一般的に弱アルカリ性を示す海水は、二酸化炭素が溶けることによってアルカリ性の性質を弱められ、酸性側に近づく（酸性にはならない）。この変化を「海洋の酸性化」と呼ぶ。

気象庁では海洋気象観測船による海洋観測結果から、北西太平洋海域の表面海水において海洋の酸性化が進行していることを明らかにした

(Ishii *et al.*, 2011)。また、当庁の海洋気象観測船の観測データに加え、国際的な海洋観測データも取り入れた解析によって、海洋内部でも酸性化が進行していることを明らかにした (Takatani *et al.*, 2014)。これらの解析をもとに気象庁ホームページ「海洋の健康診断表」⁷を通じて、海洋の酸性化に関する定期的な監視情報を提供している。また、大西洋や南大洋でも同様に酸性化傾向にあると報告されており、海洋の酸性化は世界的に進行している。

現在も大気中の二酸化炭素は増え続けており、今後も海洋の酸性化が進行すると考えられる。酸性化が進行すると、海水の化学的な性質が変化し、海洋が二酸化炭素を吸収しにくくなり、大気中に残留する二酸化炭素が増加することによる温暖化の加速が懸念される。またサンゴなどの海洋生物が殻や骨格を形成することを妨げ、海洋生態系に影響すると指摘されている。

気候変動に関する政府間パネル(IPCC)「第6次評価報告書第1作業部会報告書」(IPCC, 2021)は、将来の海洋の変化について、「複数の証拠に基づけば、(中略)、海洋酸性化(ほぼ確実)、(中略)は、将来の(温室効果ガスの)排出に応じた速度で、21世紀の間、進行し続けるだろう」(B.5.1)とし、「海洋深層の酸性化(確信度が非常に高い)(中略)は、数百年から数千年の時間スケールで不可逆的である」(B.5.1)と評価している。

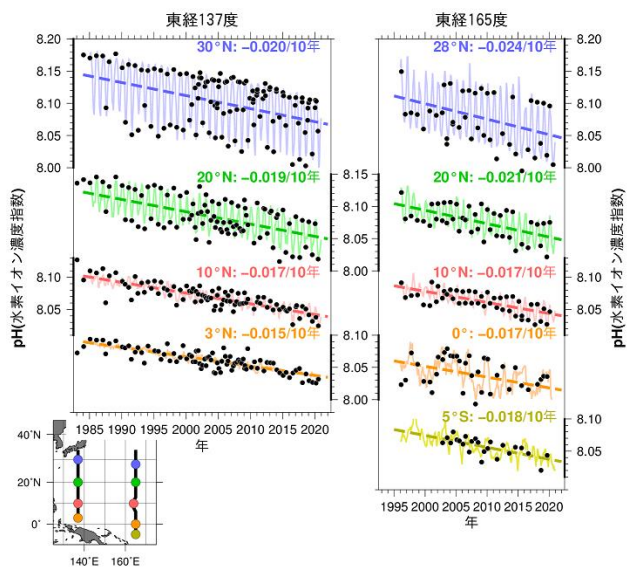


図 C.8 北西太平洋における海洋酸性化

東経137度線、東経165度線の各緯度における表面海水の水素イオン濃度指数(pH)の長期変化(気象庁ホームページ「海洋の健康診断表」の図を編集)。

⁷ 「海洋の健康診断表」表面海水中のpHの湯嚙気変化傾向(北西太平洋)

(https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/shindan/a_3/pHtrend/pH-trend.html)。



「日本の気候変動 2020」（文部科学省、気象庁）

2020年12月、文部科学省と気象庁は気候変動適応法に基づく国の責務として、気候変動に関する最新の科学的知見を総合的に取りまとめ、国や地方公共団体、事業者、国民が気候変動緩和・適応策や気候変動影響評価の基盤情報として活用できるよう「日本の気候変動 2020 -大気と陸・海洋に関する観測・予測評価報告書-」⁸を公表した（図 C.3.1）。



図 C.3.1 日本の気候変動 2020（本編）表紙

パリ協定の「2℃目標」が達成された場合（RCP2.6 シナリオ：以下「2℃上昇シナリオ」）と、追加的な緩和策を取らなかった場合（RCP8.5 シナリオ：以下「4℃上昇シナリオ」）のそれぞれについて、あり得る将来予測を対比させてとりまとめている点が大きな特徴である。様々な利用者に対して必要な情報を提供するため、日本の気候変動に関する最新の観測事実と将来予測を概観した「本編」と、より詳細な情報を専門家向けに記述した「詳細版」を提供している。

気候変動の観測に関する記述は、気象庁の観測点や観測船による観測データ、世界各国で観測され世界気象機関（WMO）の枠組みで交換・共有された観測データ、衛星観測データ（主に海氷）、及び再解析データ等を用いて作成した海洋の格子点データを解析した結果に基づいている。

気候変動の将来予測は、「IPCC 第5次評価報告書」における2℃上昇及び4℃上昇シナリオに基づく文部科学省及び気象庁の予測結果を中心に、不確実性或確信度を付して記述している。

一例として、21世紀末における日本付近の気温（図 C.3.2）及び海面水温の将来予測（図 C.3.3）を掲載する。

気象庁は、これまで「地球温暖化予測情報 第9巻」（2017）において、4℃上昇シナリオに基づく将来予測を公表していたが、今回文部科学省の成果も含め、2℃上昇シナリオに基づく将来予測を対比させて示したことで、各方面の緩和策・適応策の計画・実行に際し、本報告書が基盤的な情報として、より幅広く参照されるよう取り組んでいく。

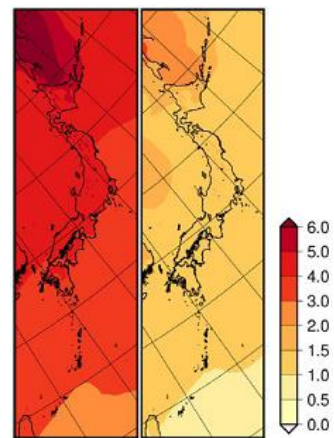


図 C.3.2 21世紀末（2076～2095年平均）における日本の年平均気温の変化の分布（℃）（本編 図 3.1）左：4℃上昇シナリオ、右：2℃上昇シナリオでの予測。20世紀末（1980～1999年平均）との差。

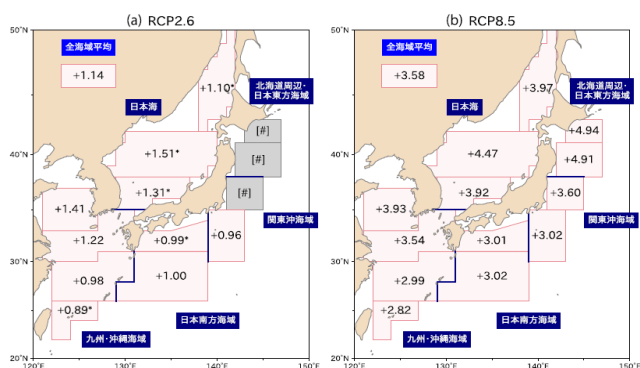


図 C.3.3 21世紀末の日本近海の海域平均海面水温の20世紀末からの上昇量（℃）（本編 図 13.1）2℃上昇シナリオ（左）及び4℃上昇シナリオ（右）に基づく見積もり。図中の [#] は、統計的に有意な変化傾向が見出せない海域を示す。



⁸<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>（気象庁ホームページ）

第4章 数値モデルによる沖縄の気候変動予測

気象庁は、我が国における地球温暖化の緩和策や適応策の検討に資すること、また、地球温暖化に関する科学的な知識の普及を目的に、平成8年度から数値モデルによる気候変動の予測結果を「地球温暖化予測情報」として数年おきに公表している。本章では地球温暖化予測情報第9巻（気象庁、2017）のデータを利用して、沖縄の気候変動予測について記述する。

4.1 予測計算の概要と解析方法

(1) 予測計算の概要

予測計算に用いた数値モデルは、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）である。実行にあたっては、まず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「20世紀末」という。）及び21世紀末20年分（2076～2095年、以下「21世紀末」という。）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4.1.1）。

本予測計算に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（IPCC, 2013）（以下「AR5」という。）で用いられた「RCP8.5シナリオ」（4℃上昇シナリオ：現時点を超える追加的な緩和策を取らない将来）及び「RCP2.6シナリオ」（2℃上昇シナリオ：パリ協定の2℃目標を達成する将来）を基にしている。

また、海面水温データは、RCP8.5/2.6シナリオ下での4通り（メンバー）の予測結果を用い（図4.1.2）、それぞれに対してMRI-AGCM3.2S及びNHRCM05による計算を行った。（詳細は「地球温暖化予測情報第9巻」の第1章1.1～1.2参照。）

本レポート（2022.3版）から、「RCP2.6シナリオ」による将来予測を追加した。

(2) 解析方法

20世紀末に対する21世紀末の変化は、4メンバーの21世紀末の平均値と20世紀末の平均値との差又は比として示す。降水関連要素で予測として示している数値は、沖縄県内での平均又は積算であって、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。

この章においては沖縄県全域を便宜的に「沖縄地方」と表現する箇所があり、県内各地方とは「沖縄本島・大東島地方」「宮古島地方」「八重山地方」の3地域を指す。

21世紀末と20世紀末との差又は比の有意性の検定には、Mann-Whitney検定（Mann and Whitney, 1947）を用い、本章では有意水準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、降水量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。

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、観測地点に対応する格子点のみを

用いている。また、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。（詳細は「地球温暖化予測情報第9巻」の第1章1.3参照。）

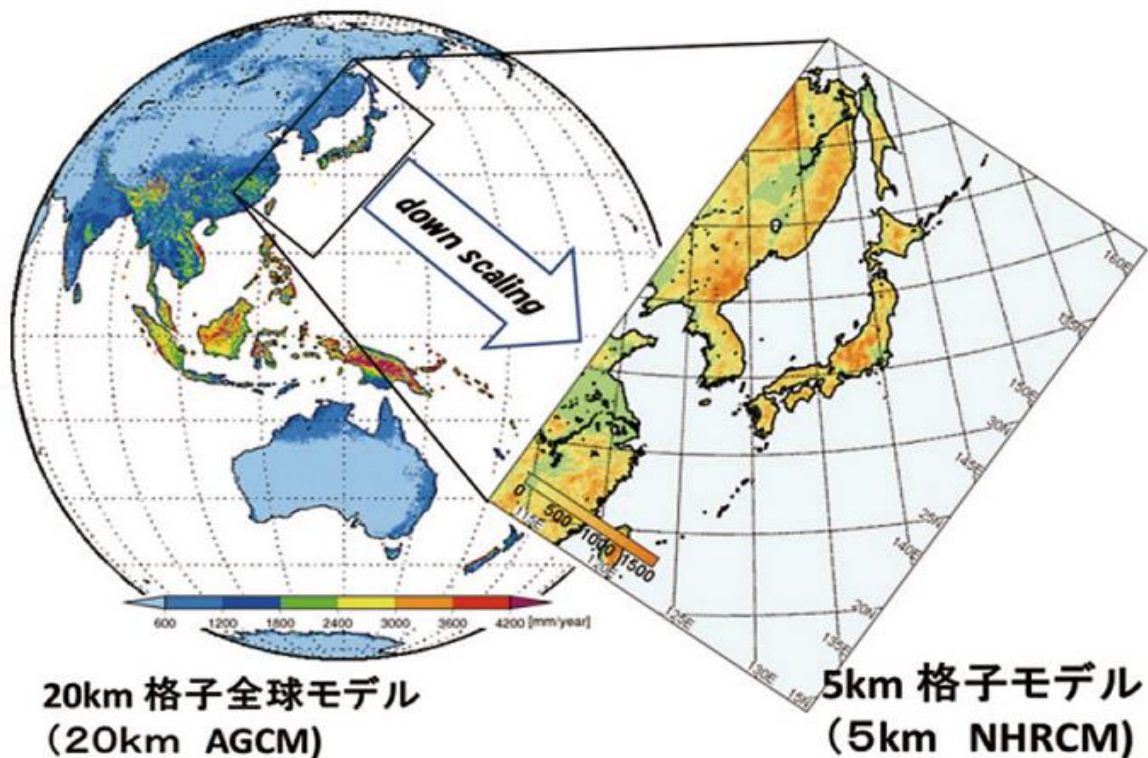


図 4.1.1 NHRCM で計算を行った領域
文部科学省研究開発局(2014)より。

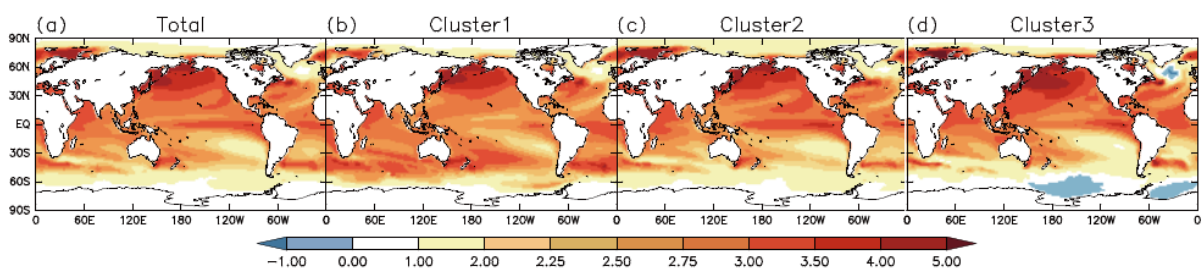


図 4.1.2 海面水温分布の異なる4パターン(将来変化)

Mizuta et al. (2014) より。熱帯域の海面水温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。
(エルニーニョ現象とは、太平洋赤道域の日付変更線付近から南米沿岸にかけて海面水温が平年より高くなり、その状態が1年程度続く現象である。)
- (b) クラスタ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2 (14モデル) : (a) よりも更にエルニーニョ的な変化を示す。
- (d) クラスタ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。

4.2 沖縄の気温の将来予測

RCP8.5/2.6 シナリオ（4℃上昇/2℃上昇シナリオ）に基づく将来予測

- 21 世紀末は 20 世紀末と比較して、沖縄県の年平均気温は 3.3/1.0℃の上昇が予測される。
- 沖縄県の猛暑日の年間日数は 57/1.5 日程度の増加、真夏日の年間日数は 92/32 日程度の増加、熱帯夜の年間日数は 97/35 日程度の増加が予測される。

(1) 平均気温

表 4.2.1 及び図 4.2.1 は、沖縄県及び県内各地方別にみた、地域気候モデルによる年及び季節別の 20 世紀末と 21 世紀末の平均気温の差を示したもので、いずれも有意に上昇する。いずれのシナリオでも、年及び季節ごとの平均気温の増加量（図中の棒グラフ）は 20 世紀末の年々変動の幅（図中の細い縦線）よりも大きく、特に RCP8.5 シナリオでは、20 世紀末にその季節としてはほとんど現れることのなかったような高い気温が平均的な状態となることを示している。

図 4.2.2 は、地域気候モデルによる 20 世紀末と 21 世紀末の年平均気温の差の分布を示したものである。図 4.2.3 は、年平均気温の観測値（1980～1999 年の平均値）の分布を参考として示したものである。20 世紀末の年平均気温は那覇で 22.9℃なので、RCP8.5 シナリオでは 21 世紀末に年平均気温が 3.3℃上昇し、約 26℃になることに示している。

主な地点における 20 世紀末の年平均気温（観測値（1980～1999 年の平均値））は次のとおり。那覇：22.9℃、名護：22.3℃、久米島：22.8℃、宮古島：23.5℃、石垣島：24.2℃、西表島：23.4℃、与那国島：23.7℃、南大東島：23.2℃。

表 4.2.1 沖縄県及び各地方別の平均気温（年・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、将来における 4 メンバー平均の変化量と年々変動の幅の各数値を「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、黄色の項目で赤字（青字）としている。

平均気温の変化(℃)	シナリオ	年	春 (3～5月)	夏 (6～8月)	秋 (9～11月)	冬 (12～2月)
沖縄県 (沖縄地方)	RCP8.5	3.3±0.5	3.0±0.7	3.2±0.4	3.5±0.5	3.5±0.8
	RCP2.6	1.0±0.3	0.8±0.5	0.9±0.3	1.0±0.4	1.3±0.7
沖縄本島・ 大東島地方	RCP8.5	3.3±0.5	3.0±0.7	3.1±0.4	3.5±0.6	3.5±0.8
	RCP2.6	1.1±0.3	0.8±0.5	0.9±0.3	1.1±0.5	1.4±0.8
宮古島地方	RCP8.5	3.3±0.4	3.1±0.6	3.2±0.4	3.4±0.6	3.4±0.7
	RCP2.6	1.0±0.3	0.9±0.5	1.0±0.4	1.0±0.4	1.2±0.7
八重山地方	RCP8.5	3.2±0.4	3.0±0.6	3.2±0.5	3.4±0.5	3.3±0.7
	RCP2.6	1.0±0.4	0.8±0.5	1.0±0.4	1.0±0.4	1.2±0.7

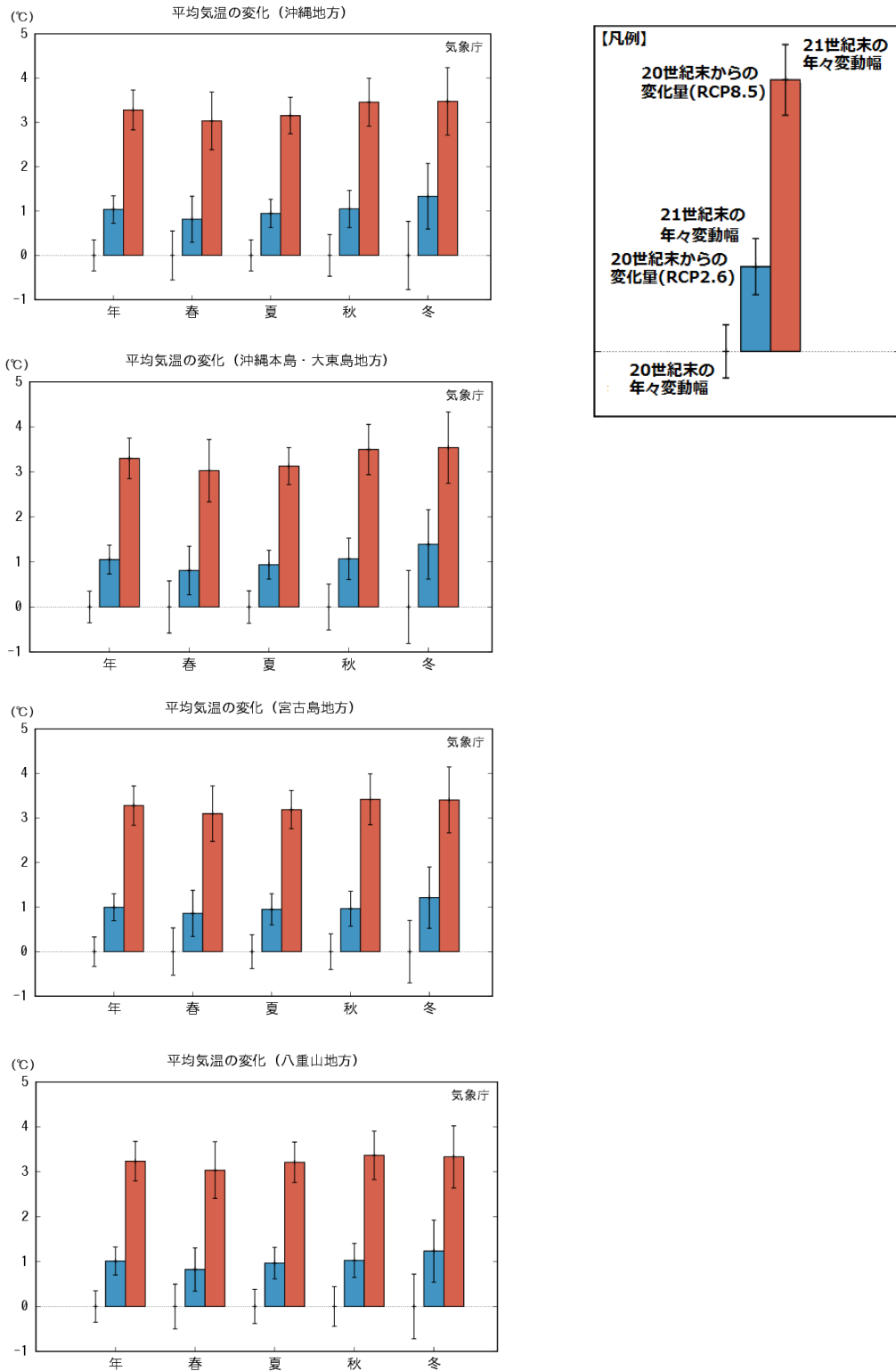


図 4.2.1 沖縄県及び各地方別の平均気温（年・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の変化量を表す。赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる変化量、20 世紀末の値を基準 (0) として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。

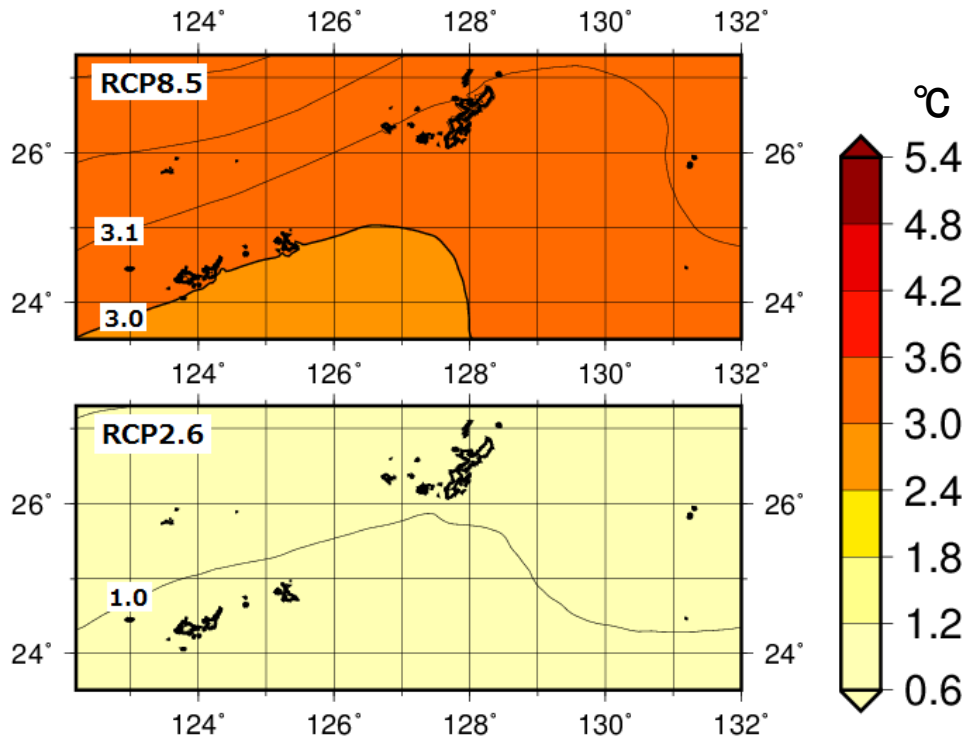


図 4. 2. 2 年平均気温の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差。4 メンバーの平均。上の図は RCP8.5 シナリオ、下の図は RCP2.6 シナリオによる予測。

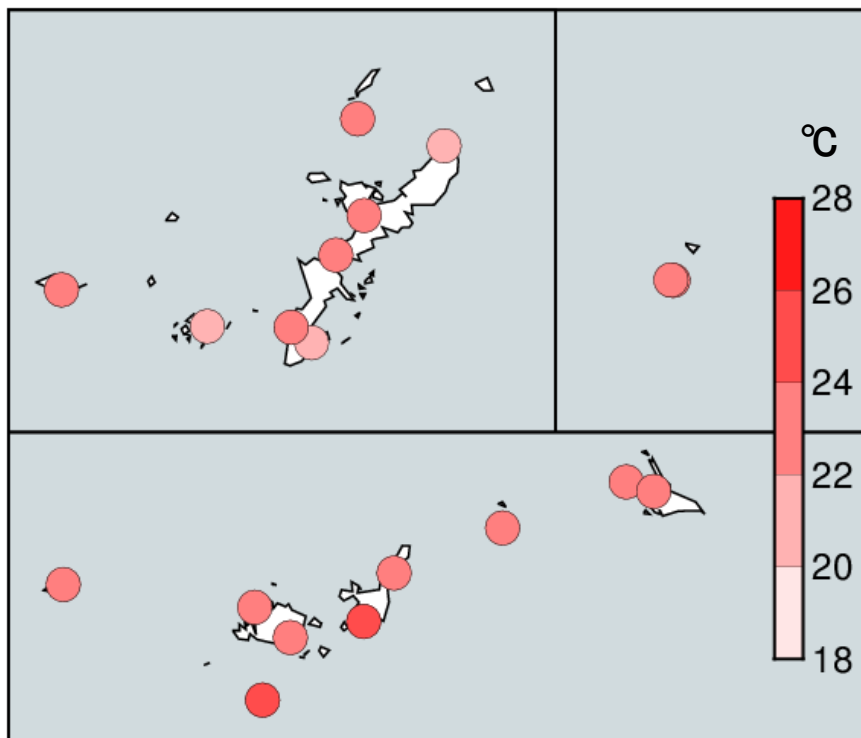


図 4. 2. 3 年平均気温の観測値 (1980~1999 年の平均値)

(2) 最高気温

表 4.2.2 及び図 4.2.4 は、沖縄県及び県内各地方別にみた、地域気候モデルによる年及び季節別に平均した 20 世紀末と 21 世紀末の最高気温の差を示したもので、いずれも有意に上昇する。

図 4.2.5 は、地域気候モデルによる年平均した 20 世紀末と 21 世紀末の最高気温の差の分布を示したものである。図 4.2.6 は、年平均最高気温の観測値（1980～1999 年の平均値）の分布を参考として示したものである。20 世紀末の年平均最高気温は那覇で 25.5℃なので、RCP8.5 シナリオの場合には 21 世紀末に年平均最高気温が 3.2℃上昇し、約 29℃になることを示している。また、夏の平均最高気温は那覇で 30.8℃なので、RCP8.5 シナリオでは 21 世紀末に夏の最高気温が 3.1℃上昇すると約 34℃になることを示している。

主な地点における 20 世紀末の年平均最高気温（観測値（1980～1999 年の平均値））は次のとおり。那覇：25.5℃、名護：25.5℃、久米島：25.4℃、宮古島：26.1℃、石垣島：26.7℃、西表島：26.4℃、与那国島：26.0℃、南大東島：26.1℃。

表 4.2.2 沖縄県及び各地方別の最高気温（年・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、将来における 4 メンバー平均の変化量と年々変動の幅の各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90%で有意に増加（減少）する場合は、黄色の項目で赤字（青字）としている。

最高気温の変化(℃)	シナリオ	年	春 (3～5月)	夏 (6～8月)	秋 (9～11月)	冬 (12～2月)
沖縄県 (沖縄地方)	RCP8.5	3.2±0.4	2.9±0.6	3.1±0.4	3.4±0.5	3.4±0.7
	RCP2.6	1.0±0.3	0.8±0.5	0.9±0.3	1.0±0.4	1.3±0.7
沖縄本島・ 大東島地方	RCP8.5	3.2±0.4	3.0±0.6	3.1±0.4	3.4±0.5	3.5±0.8
	RCP2.6	1.0±0.3	0.8±0.5	0.9±0.3	1.0±0.4	1.3±0.8
宮古島地方	RCP8.5	3.2±0.4	3.0±0.6	3.1±0.4	3.3±0.6	3.3±0.7
	RCP2.6	1.0±0.3	0.8±0.5	0.9±0.4	1.0±0.4	1.2±0.7
八重山地方	RCP8.5	3.2±0.4	2.9±0.6	3.1±0.5	3.3±0.5	3.2±0.7
	RCP2.6	1.0±0.3	0.8±0.5	0.9±0.4	1.0±0.4	1.2±0.7

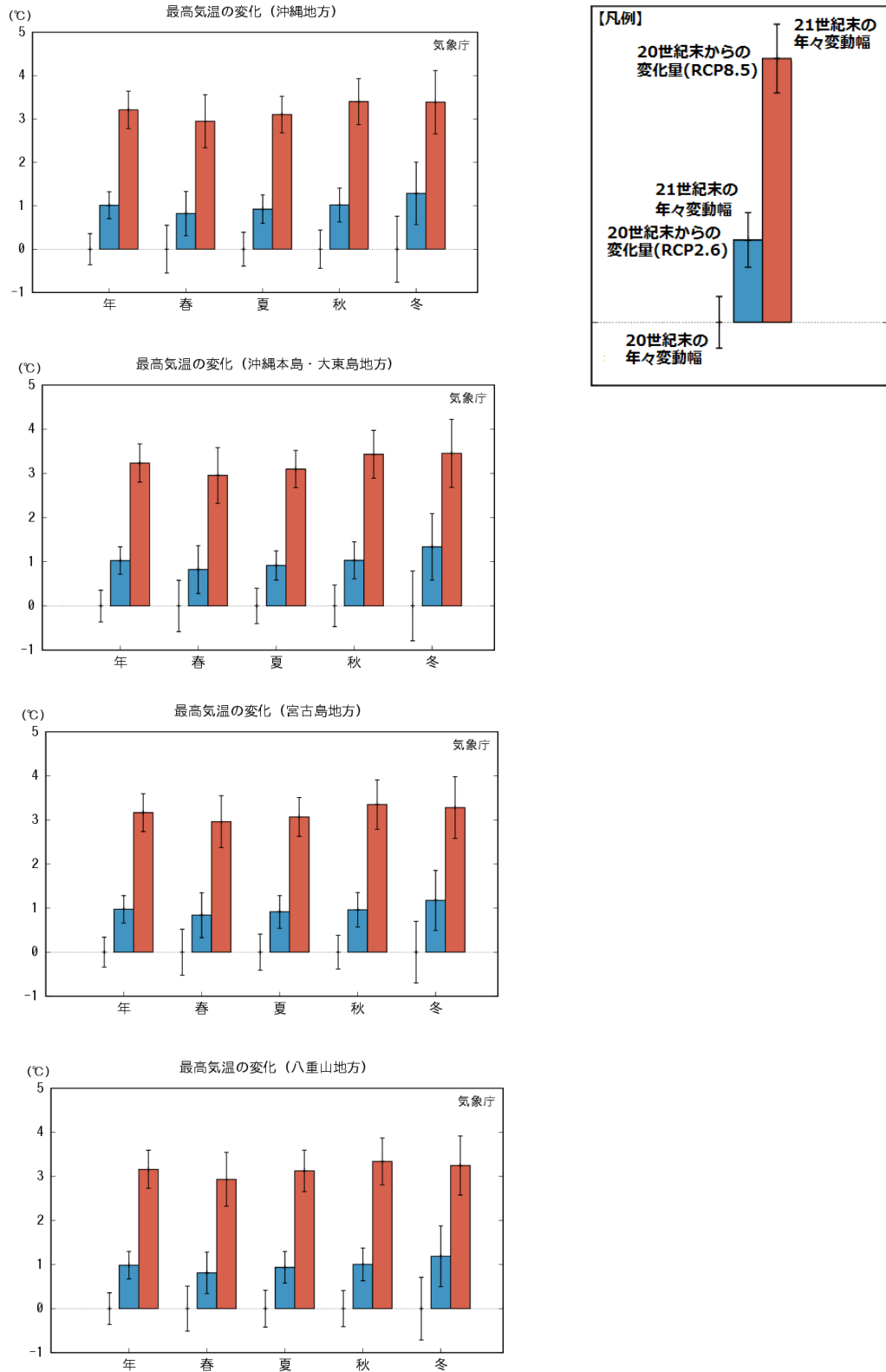


図 4.2.4 沖縄県及び各地方別の最高気温（年・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の変化量を表す。赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる変化量、20 世紀末の値を基準 (0) として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。

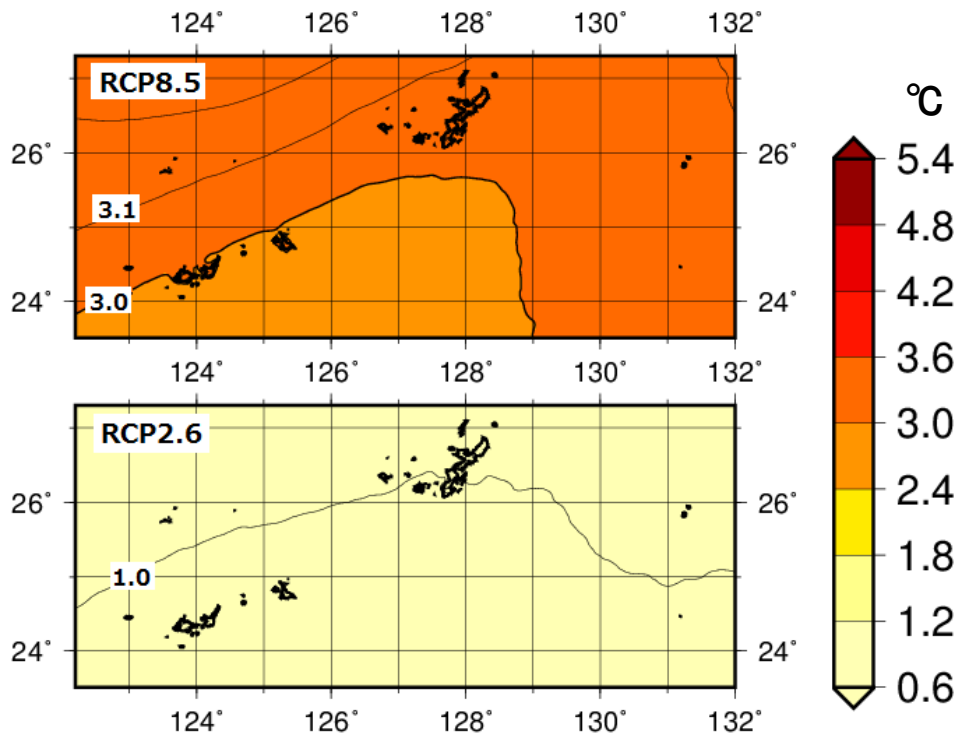


図 4.2.5 年平均最高気温の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差。4 メンバーの平均。上の図は RCP8.5 シナリオ、下の図は RCP2.6 シナリオによる予測。

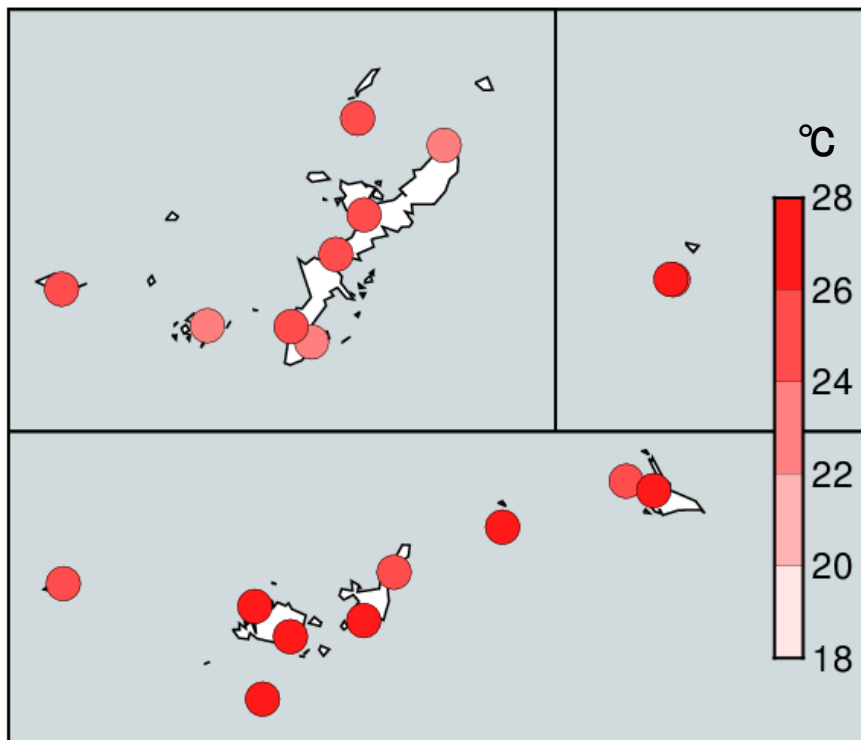


図 4.2.6 年平均した最高気温の観測値 (1980~1999 年の平均値)

(3) 最低気温

表 4.2.3 及び図 4.2.7 は、沖縄県及び県内各地方別にみた、地域気候モデルによる年及び季節別に平均した 20 世紀末と 21 世紀末の最低気温の差を示したもので、いずれも有意に上昇する。平均気温や最高気温よりも上昇幅が大きくなっている。

図 4.2.8 は、地域気候モデルによる年平均した 20 世紀末と 21 世紀末の最低気温の差の分布を示したものである。図 4.2.9 は、年平均最低気温の観測値（1980～1999 年の平均値）の分布を参考として示したものである。20 世紀末の年平均最低気温は那覇で 20.7℃なので、RCP8.5 シナリオでは 21 世紀末に 3.4℃上昇し、約 24℃になることを示している。また、冬の平均最低気温は那覇で 14.9℃なので、21 世紀末には冬の最低気温が 3.6℃上昇すると、約 18℃になることを示している。

主な地点における 20 世紀末の年平均最低気温（観測値（1980～1999 年の平均値））は次のとおり。那覇：20.7℃、名護：19.4℃、久米島：20.4℃、宮古島：21.4℃、石垣島：22.1℃、西表島：20.8℃、与那国島：21.7℃、南大東島：20.3℃。

表 4.2.3 沖縄県及び各地方別の最低気温（年・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、将来における 4 メンバー平均の変化量と年々変動の幅の各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90%で有意に増加（減少）する場合は、黄色の項目で赤字（青字）としている。

最低気温の変化(℃)	シナリオ	年	春 (3～5月)	夏 (6～8月)	秋 (9～11月)	冬 (12～2月)
沖縄県 (沖縄地方)	RCP8.5	3.4±0.5	3.1±0.7	3.2±0.4	3.5±0.6	3.6±0.8
	RCP2.6	1.1±0.3	0.8±0.6	1.0±0.4	1.1±0.5	1.4±0.8
沖縄本島・ 大東島地方	RCP8.5	3.4±0.5	3.1±0.8	3.2±0.4	3.6±0.6	3.6±0.6
	RCP2.6	1.1±0.3	0.8±0.6	1.0±0.4	1.1±0.5	1.5±0.8
宮古島地方	RCP8.5	3.4±0.5	3.2±0.7	3.3±0.4	3.5±0.6	3.6±0.8
	RCP2.6	1.0±0.3	0.9±0.6	1.0±0.4	1.0±0.4	1.3±0.7
八重山地方	RCP8.5	3.3±0.5	3.1±0.7	3.3±0.5	3.4±0.6	3.4±0.7
	RCP2.6	1.0±0.3	0.8±0.5	1.0±0.4	1.0±0.4	1.3±0.7

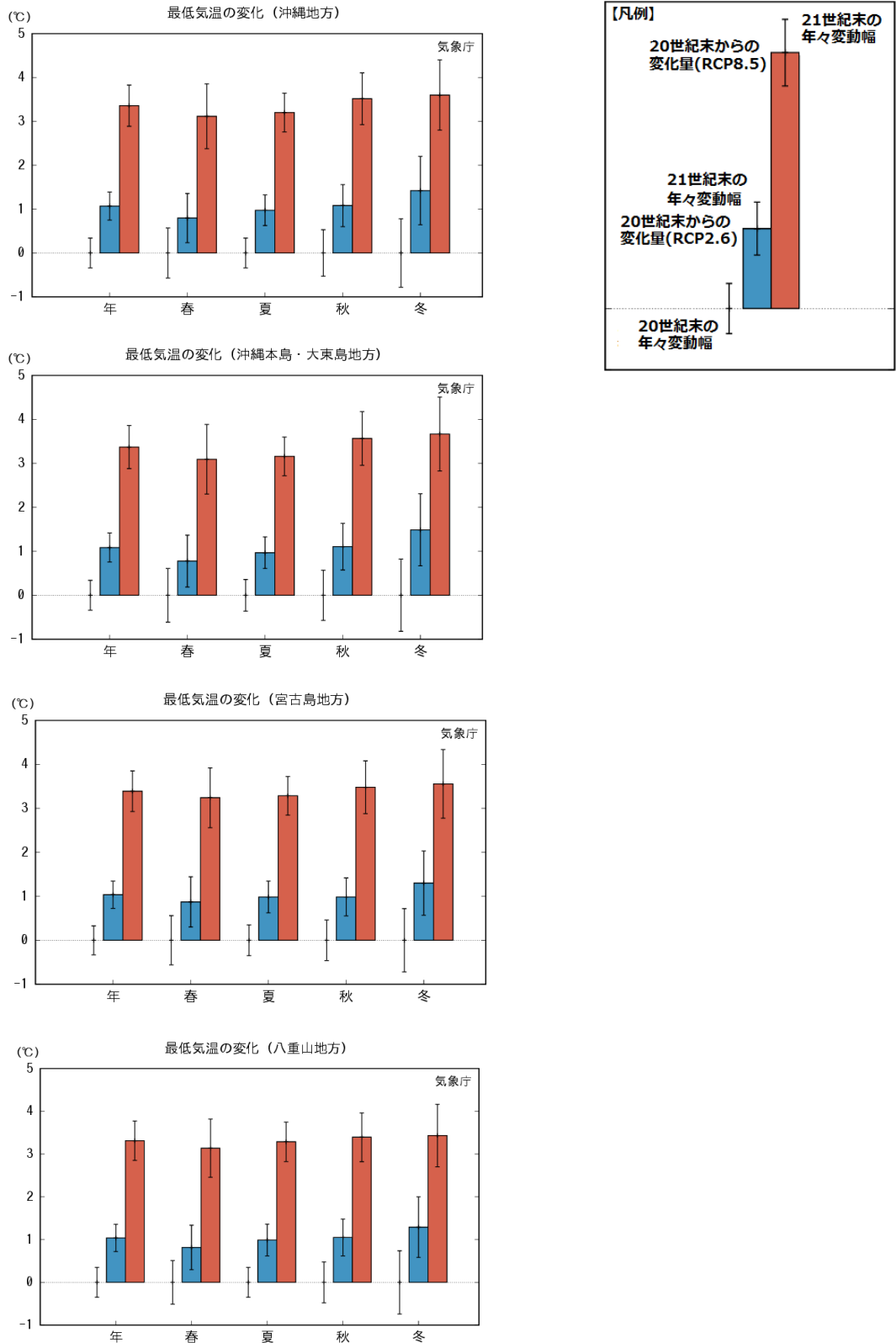


図 4.2.7 沖縄県及び各地方別の最低気温（年・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の変化量を表す。赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる変化量、20 世紀末の値を基準 (0) として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。

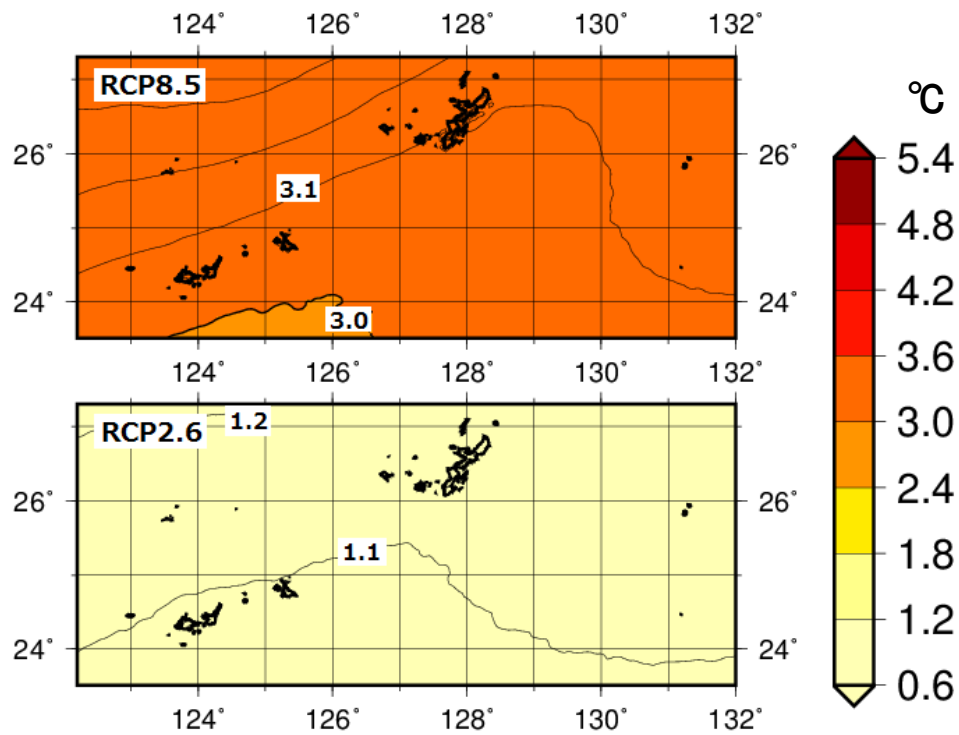


図 4.2.8 年平均最低気温の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差。4 メンバーの平均。上の図は RCP8.5 シナリオ、下の図は RCP2.6 シナリオによる予測。

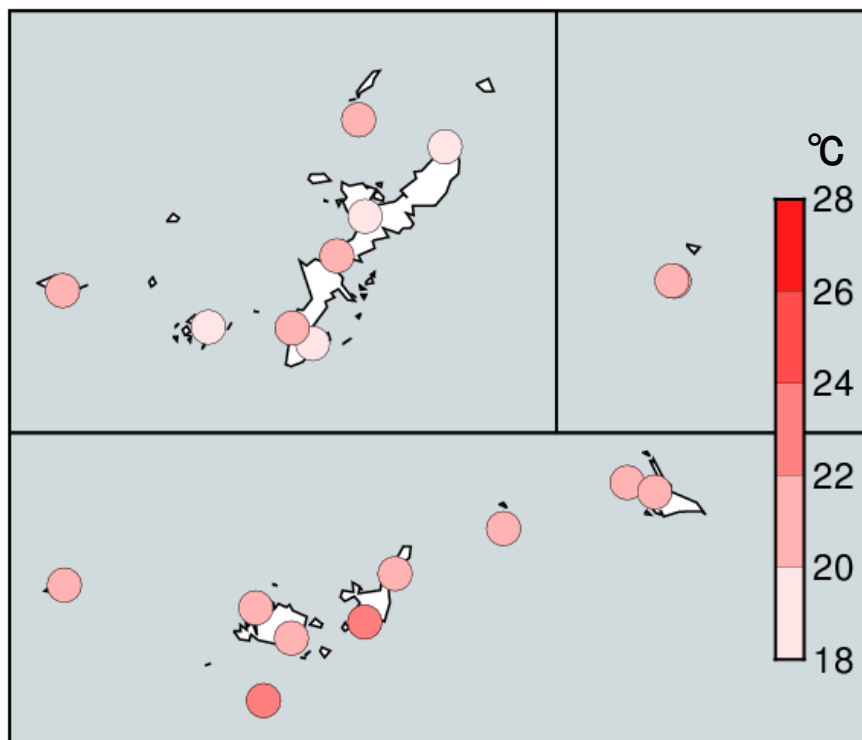


図 4.2.9 年平均した最低気温の観測値（1980～1999 年の平均値）

(4) 猛暑日の日数

表 4.2.4 及び図 4.2.10 は、沖縄県及び県内各地方別にみた、地域気候モデルによる年間及び季節別の、の 20 世紀末と 21 世紀末の猛暑日(最高気温が 35℃以上の日)日数の差を示したもので、年間日数はいずれも有意に増加する。特に夏の増加が大きい。春は八重山地方を除き有意な変化がみられず、冬はいずれの地域でも現れない予測となっている。

図 4.2.11 は、地域気候モデルによる 20 世紀末と 21 世紀末の猛暑日の年間日数の差の分布を示したものである。20 世紀末の猛暑日の年間日数(観測値(1980~1999 年の平均値))は県内各地で 0.0 日か多くても 0.1 日で、沖縄でほとんど現れなかったが、RCP8.5 シナリオでは 21 世紀末に年間約 57 日と大幅に増加することを示している。猛暑日の日数の増加によって、熱中症のリスクの増大が懸念される。

表 4.2.4 沖縄県及び各地方別の猛暑日日数(年間・季節別)の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、将来における 4 メンバー平均の変化量と年々変動の幅(バイアス補正済み)の各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90%で有意に増加(減少)する場合は、黄色の項目で赤字(青字)としている。20 世紀末と 21 世紀末でいずれも出現日数がゼロ、4 メンバーの変化傾向が一致しない場合又は有意水準 90%で統計的に有意ではない場合は空欄としている。

猛暑日 日数の変化 (日)	シナリオ	年	春 (3~5月)	夏 (6~8月)	秋 (9~11月)	冬 (12~2月)
沖縄県 (沖縄地方)	RCP8.5	56.6±13.6	0.2±0.4	49.5±10.4	6.9±5.7	
	RCP2.6	1.5±2.3		1.5±2.3		
沖縄本島・ 大東島地方	RCP8.5	49.2±12.1		43.3±9.7	5.9±5.0	
	RCP2.6	1.2±1.9		1.2±1.9		
宮古島地方	RCP8.5	59.4±16.5		51.7±12.8	7.7±7.7	
	RCP2.6	1.3±2.8		1.3±2.8		
八重山地方	RCP8.5	69.4±15.8	0.6±1.2	60.4±11.5	8.4±6.7	
	RCP2.6	2.4±3.7		2.3±3.7		

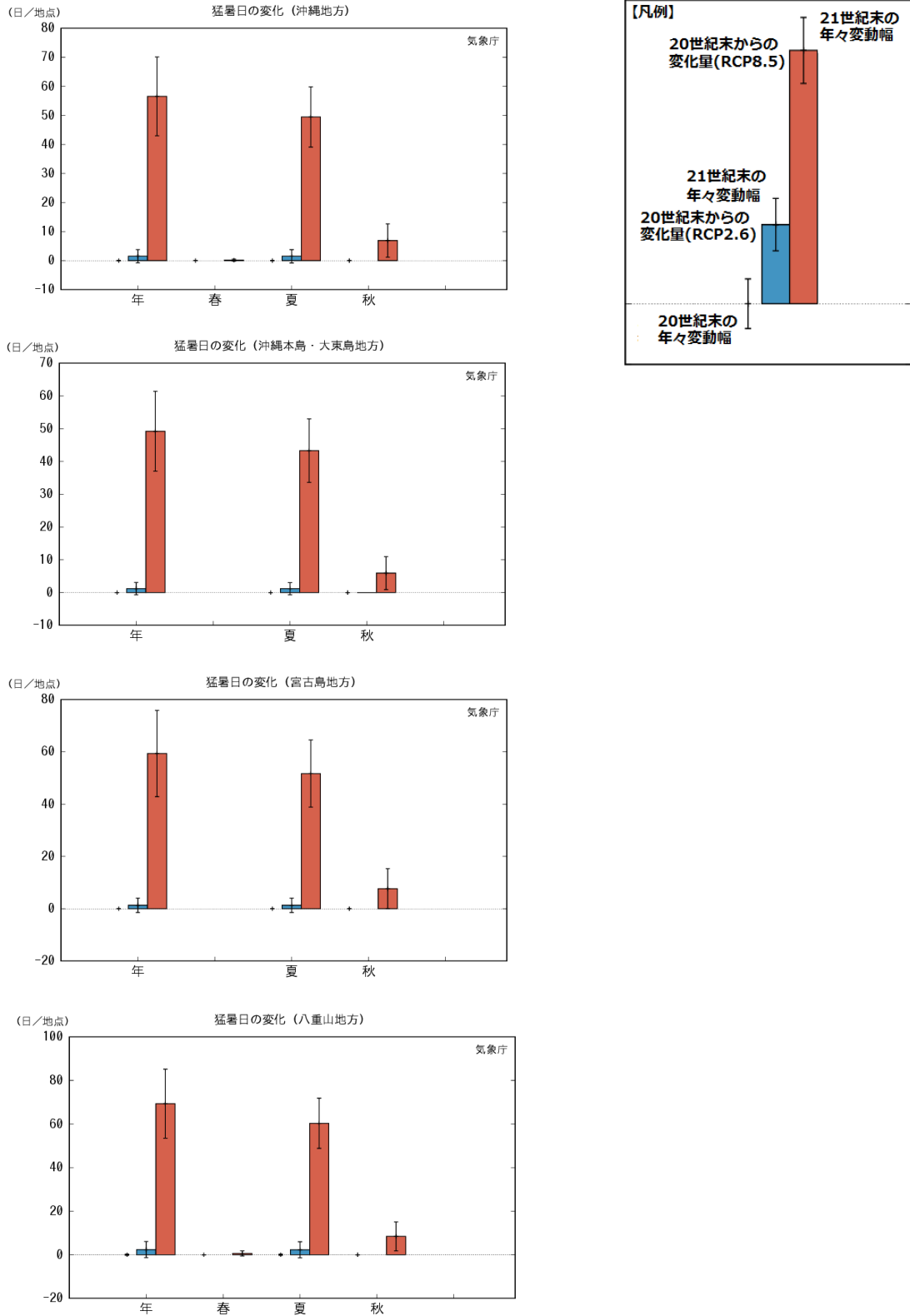


図 4.2.10 沖縄県及び各地方別の猛暑日日数（年間・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の変化量（バイアス補正済み）を表す。赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる変化量、20 世紀末の値を基準（0）として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。横軸に季節の表示がないものは、20 世紀末、両シナリオの 21 世紀末のいずれにおいても現象が発生しない。

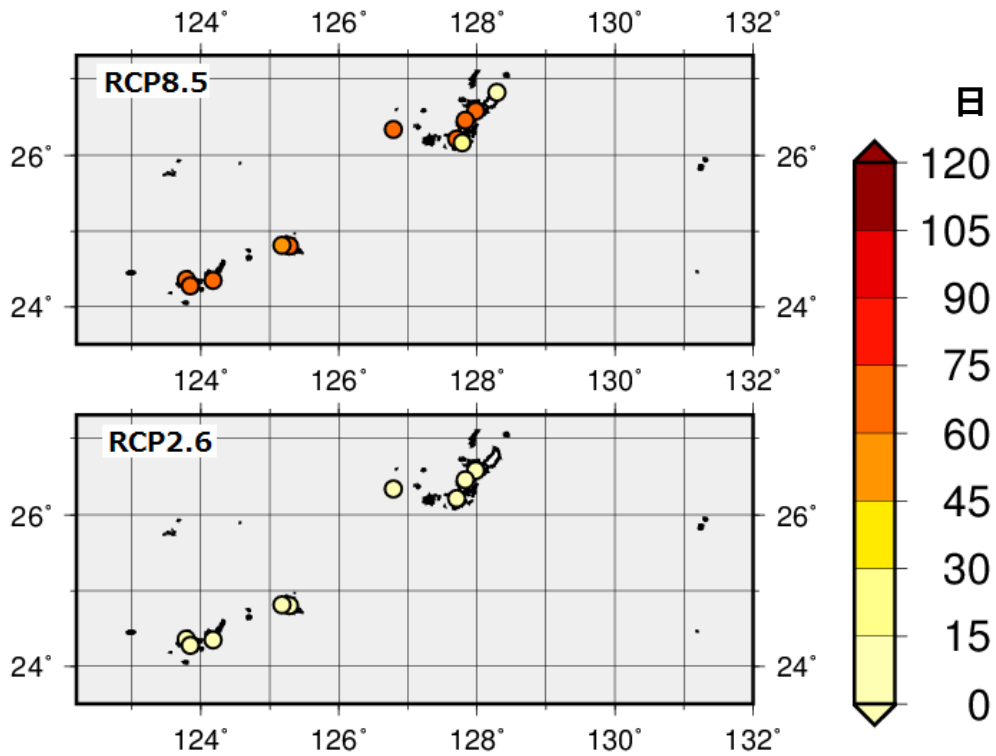


図 4.2.11 猛暑日の年間日数の将来変化

地域気候モデルによる21世紀末と20世紀末との差(バイアス補正済み)。4メンバーの平均。上の図はRCP8.5シナリオ、下の図はRCP2.6シナリオによる予測。変化傾向(増減)が4メンバーとも一致した地点のみ年間日数を表示している。(20世紀末と21世紀末のいずれも現象の発生がゼロの場合は表示していない)。

(5) 真夏日の日数

表 4.2.5 及び図 4.2.12 は、沖縄県及び県内各地方別にみた、地域気候モデルによる年間及び季節別の 20 世紀末と 21 世紀末の真夏日（最高気温が 30℃以上の日）日数の差を示したもので、年間日数はいずれも有意に増加する。現在でも多くの真夏日が記録される夏よりも、季節の進行に伴って現在では真夏日が少なくなってくる秋の増加が著しい。

図 4.2.13 は、地域気候モデルによる 20 世紀末と 21 世紀末の真夏日の年間日数の差の分布を示したものである。図 4.2.14 は、真夏日の年間日数の観測値（1980～1999 年の平均値）を参考として示したものである。20 世紀末の真夏日の年間日数は、那覇では 93 日なので、RCP8.5 シナリオでは 21 世紀末に真夏日の年間日数は約 92 日増加し、約 180 日になることを示している。真夏日日数の増加によって、熱中症のリスクの増大と長期化が懸念される。

主な地点における 20 世紀末の真夏日の年間日数（観測値（1980～1999 年の平均値））は次のとおり。那覇：93 日、名護：91 日、久米島：90 日、宮古島：94 日、石垣島：109 日、西表島：99 日、与那国島：90 日、南大東島：96 日。

表 4.2.5 沖縄県及び各地方別の真夏日日数（年間・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、将来における 4 メンバー平均の変化量と年々変動の幅（バイアス補正済み）の各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90%で有意に増加（減少）する場合は、黄色の項目で赤字（青字）としている。20 世紀末と 21 世紀末のいずれも出現日数がゼロ、4 メンバーの変化傾向が一致しない場合又は有意水準 90%で統計的に有意ではない場合は空欄としている。

真夏日 日数の変化 (日)	シナリオ	年	春 (3～5 月)	夏 (6～8 月)	秋 (9～11 月)	冬 (12～2 月)
沖縄県 (沖縄地方)	RCP8.5	91.6±9.7	20.5±6.3	30.6±1.4	40.4±6.1	0.1±0.1
	RCP2.6	32.2±3.2	2.9±3.2	16.4±5.2	12.9±5.8	
沖縄本島・ 大東島地方	RCP8.5	88.3±9.3	11.6±5.8	37.9±2.2	38.7±5.9	
	RCP2.6	31.0±9.3	0.8±1.9	18.9±6.0	11.3±5.8	
宮古島地方	RCP8.5	94.6±11.3	27.6±7.8	24.3±0.8	42.7±7.1	
	RCP2.6	32.7±10.8	3.9±4.8	14.3±5.5	14.5±7.0	
八重山地方	RCP8.5	96.3±11.7	33.6±8.0	20.3±0.5	42.2±6.9	0.3±0.4
	RCP2.6	34.1±10.7	6.6±5.6	12.7±4.4	14.8±6.5	

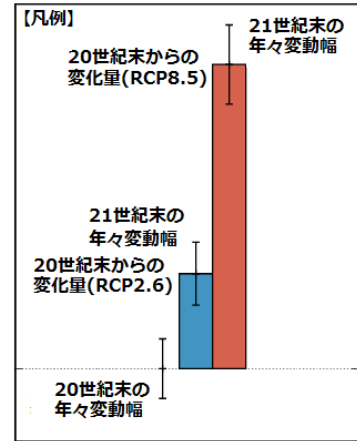
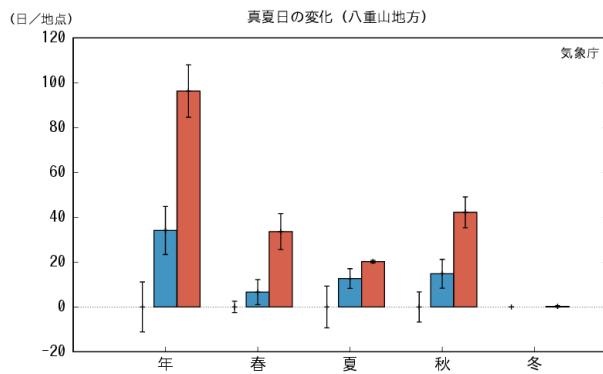
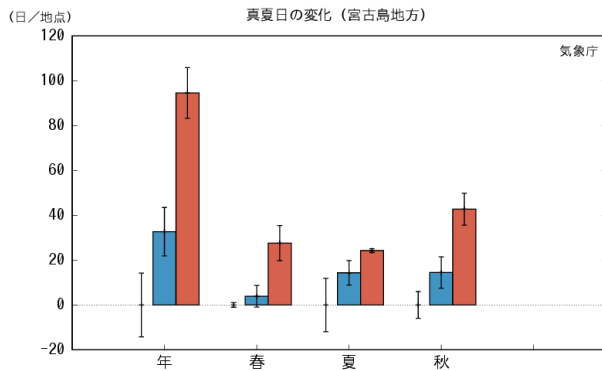
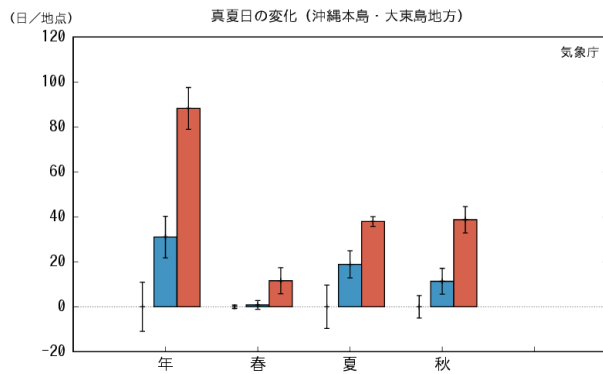
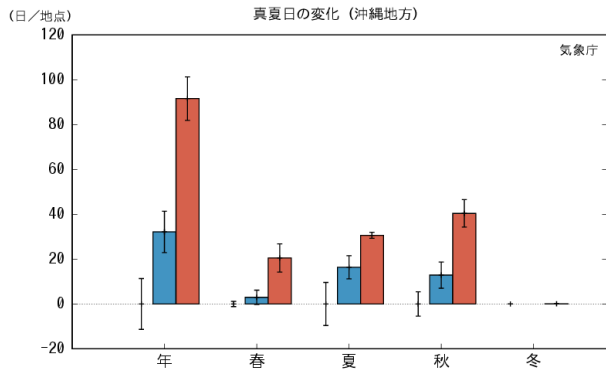


図 4.2.12 沖縄県及び各地方別の真夏日日数（年間・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の変化量（バイアス補正済み）を表す。赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる変化量、20 世紀末の値を基準（0）として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。横軸に季節の表示がないものは、20 世紀末、両シナリオの 21 世紀末のいずれにおいても現象が発生しない。

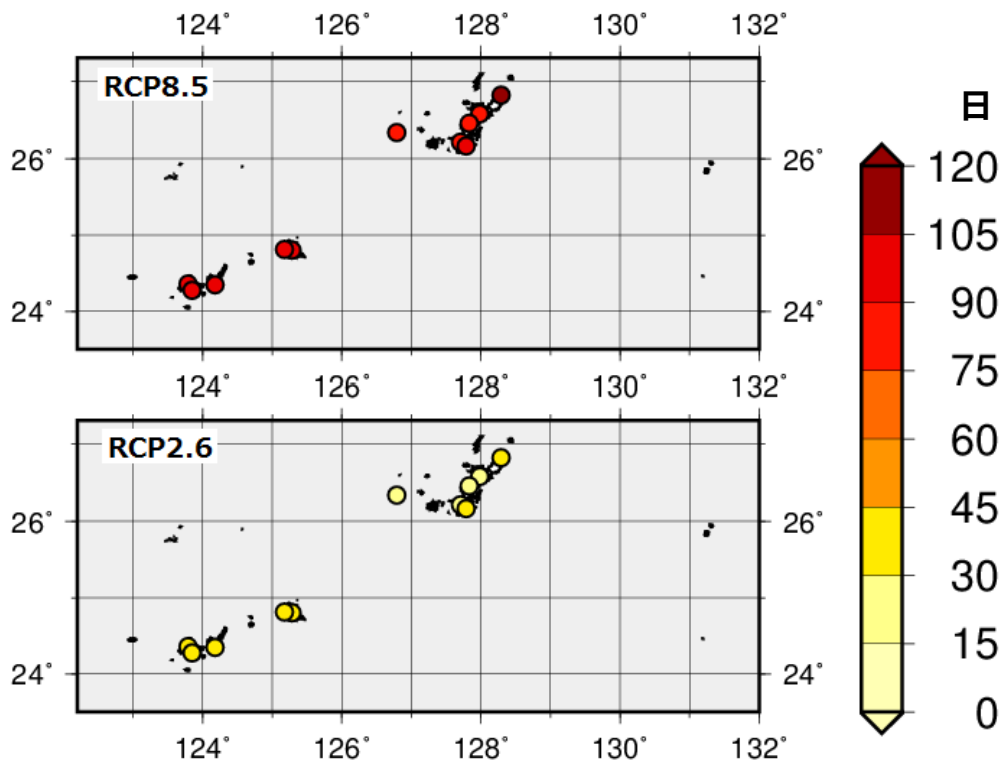


図 4.2.13 真夏日の年間日数の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差(バイアス補正済み)。4 メンバーの平均。上の図は RCP8.5 シナリオ、下の図は RCP2.6 シナリオによる予測。変化傾向(増減)が 4 メンバーとも一致した地点のみ年間日数を表示している。(20 世紀末と 21 世紀末のいずれも現象の発生がゼロの場合は表示していない)。

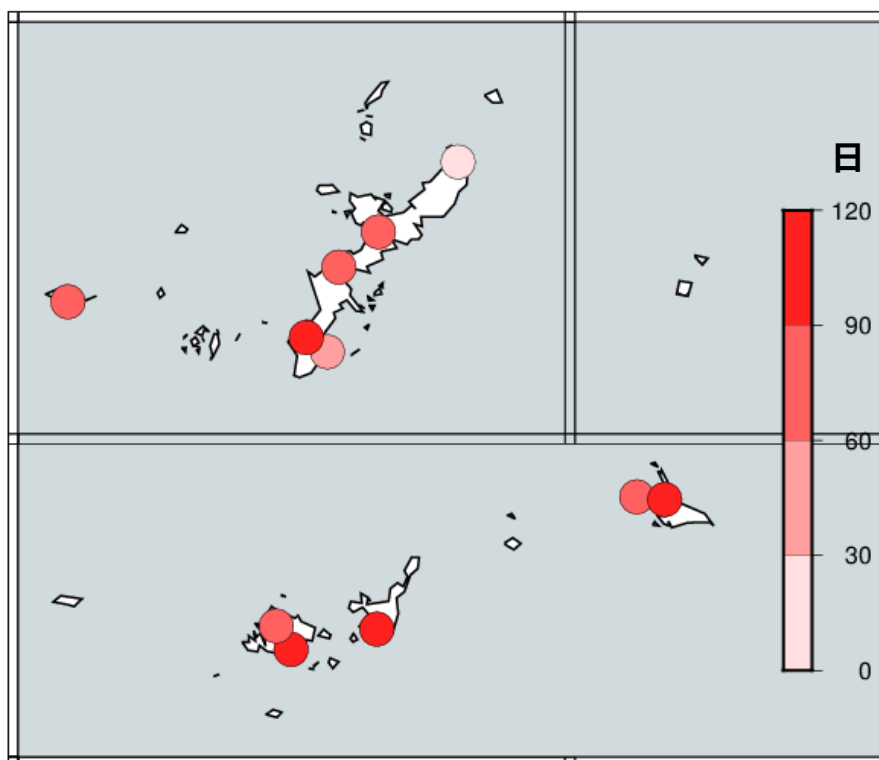


図 4.2.14 真夏日の年間日数の観測値(1980~1999 年の平均値)

図 4.2.13 に対応する地点を概ね表示している。

(6) 熱帯夜の日数

表 4.2.6 及び図 4.2.15 は、沖縄県及び県内各地方別にみた、地域気候モデルによる年間及び季節別の 20 世紀末と 21 世紀末の熱帯夜（夜間から明け方の最低気温が 25℃以上のことだが、ここでは日最低気温が 25℃以上の日とする。）の日数の差を示したもので、冬以外はいずれも地域も有意に増加する。現在も多くの熱帯夜が記録される夏よりも、季節の進行に伴って現在では熱帯夜が少なくなってくる秋の増加が特に著しい。

図 4.2.16 は、地域気候モデルによる 20 世紀末と 21 世紀末の熱帯夜の年間日数の差の分布を示したものである。図 4.2.17 は、熱帯夜の年間日数の観測値（1980～1999 年の平均値）を参考として示したものである。20 世紀末の熱帯夜の年間日数は那覇で 97 日なので、21 世紀末には熱帯夜の年間日数が約 97 日増加し、約 190 日になることを示している。熱帯夜日数の増加によって、夜間の熱中症のリスクの増大と長期化が懸念される。

主な地点における 20 世紀末の熱帯夜の年間日数（観測値（1980～1999 年の平均値））は次のとおり。那覇：97 日、名護：75 日、久米島：84 日、宮古島：98 日、石垣島：119 日、西表島：69 日、与那国島：102 日、南大東島：74 日。

表 4.2.6 沖縄県及び各地方別の熱帯夜の日数（年間・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、将来における 4 メンバー平均の変化量と年々変動の幅（バイアス補正済み）の各数値を「将来変化量±標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90%で有意に増加（減少）する場合は、黄色の項目で赤字（青字）としている。将来変化量が有意水準 90%で有意に増加（減少）しない場合は黒字としている。20 世紀末と 21 世紀末のいずれも出現日数がゼロ、4 メンバーの変化傾向が一致しない場合又は有意水準 90%で統計的に有意ではない場合は空欄としている。

熱帯夜 日数の変化 (日)	シナリオ	年	春 (3～5月)	夏 (6～8月)	秋 (9～11月)	冬 (12～2月)
沖縄県 (沖縄地方)	RCP8.5	96.5±10.3	24.2±6.7	27.6±1.8	44.2±6.7	0.4±0.6
	RCP2.6	35.3±10.2	4.1±3.4	16.8±5.1	14.4±7.1	
沖縄本島・ 大東島地方	RCP8.5	91.1±10.4	15.2±6.5	33.9±2.5	41.9±7.0	0.1±0.2
	RCP2.6	34.6±10.5	1.3±1.9	20.1±6.4	13.2±5.8	
宮古島地方	RCP8.5	102.2±11.7	33.4±8.0	19.4±1.3	49.1±7.3	0.4±0.9
	RCP2.6	35.7±11.3	6.8±5.5	11.8±4.7	17.1±8.4	
八重山地方	RCP8.5	103.6±11.8	36.3±8.0	20.5±1.4	45.6±7.1	1.2±1.6
	RCP2.6	36.5±11.4	8.0±5.8	13.6±4.2	14.9±7.7	

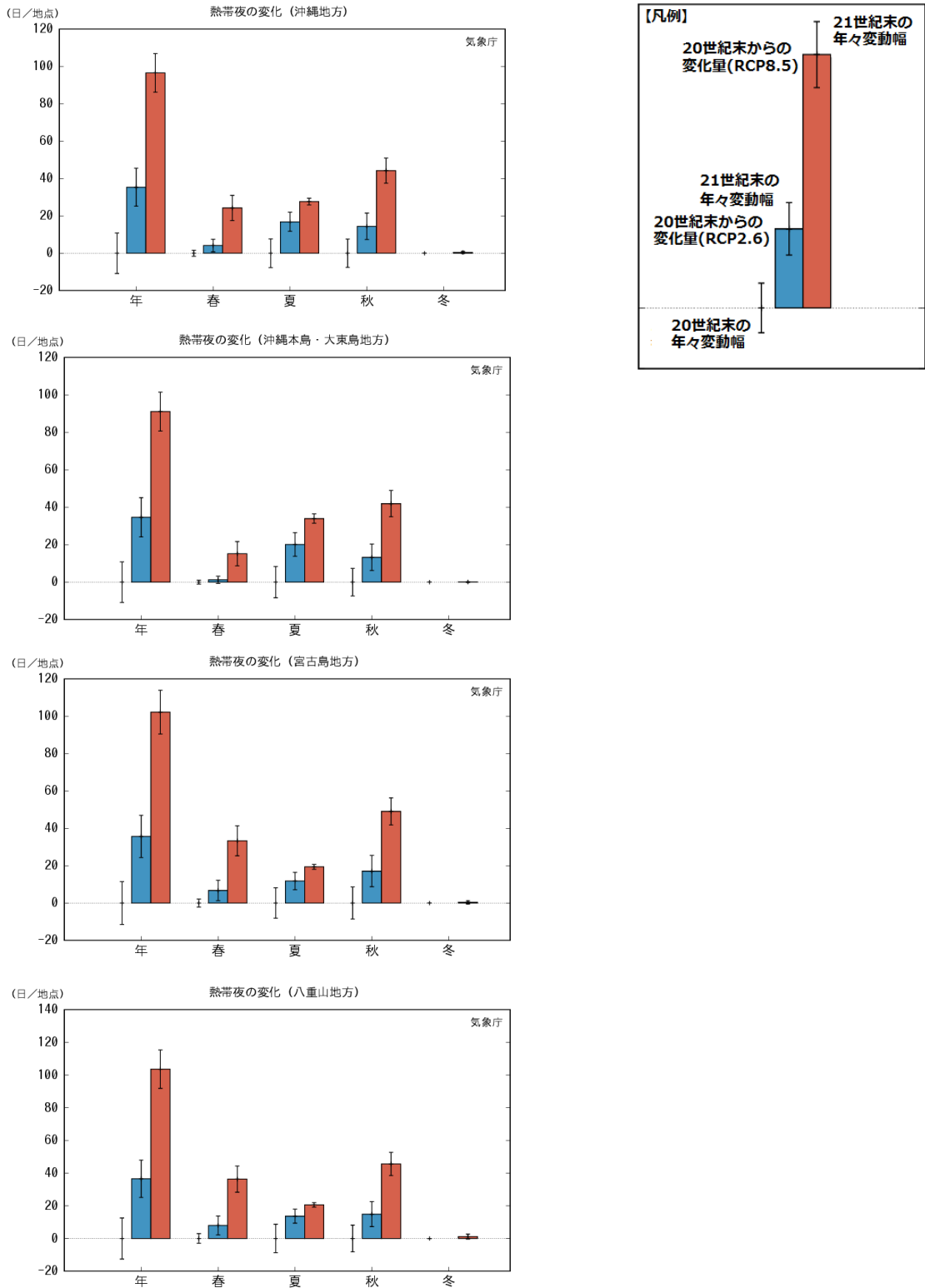


図 4.2.15 沖縄県及び各地方別の熱帯夜日数（年間・季節別）の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の変化量（バイアス補正済み）を表す。赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる変化量、20 世紀末の値を基準（0）として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。

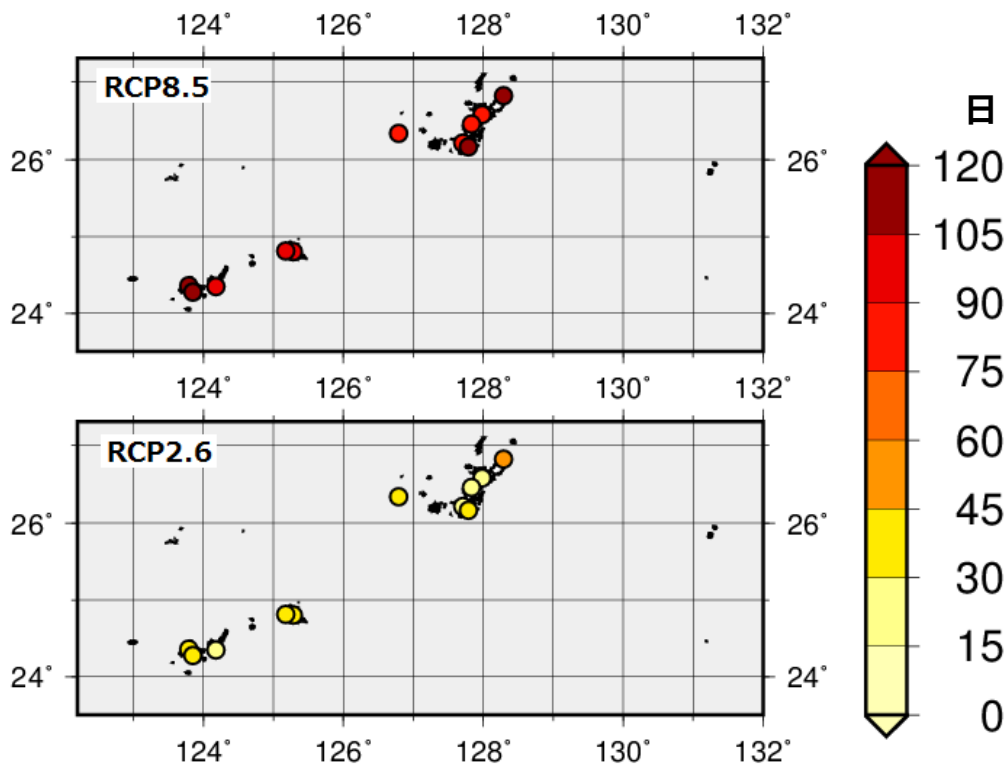


図 4.2.16 熱帯夜の年間日数の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差 (バイアス補正済み)。4 メンバーの平均。上の図は RCP8.5 シナリオ、下の図は RCP2.6 シナリオによる予測。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している。(20 世紀末と 21 世紀末のいずれも減少の発生がゼロの場合は表示していない)。

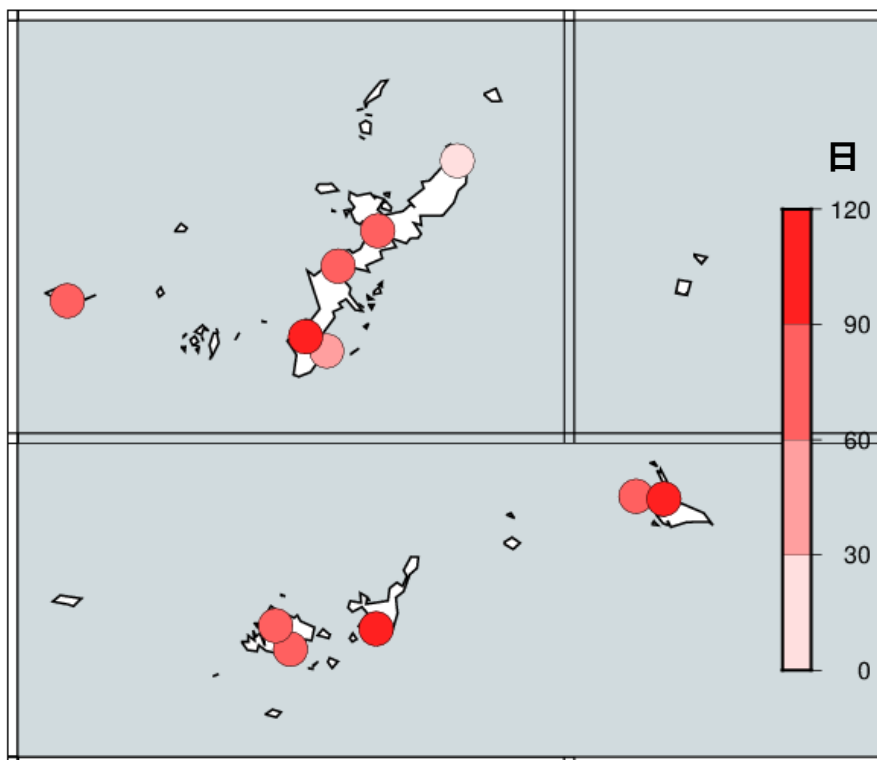


図 4.2.17 熱帯夜の年間日数の観測値 (1980~1999 年の平均値)

図 4.2.16 に対応する地点を概ね表示している。

4.3 沖縄の降水の将来予測

RCP8.5/2.6 シナリオ（4°C上昇/2°C上昇シナリオ）に基づく将来予測

- 4°C上昇シナリオでは、21世紀末は20世紀末と比較して、沖縄県の日降水量100mm以上の年間発生回数は約1.4倍に、1時間降水量50mm以上の年間発生回数は約2.1倍に増えると予測される。
- 沖縄県の無降水日の年間日数は、4°C上昇シナリオでは8日程度増えると予測される。

降水に関する将来予測は不確実性が大きく、対象地域や対象期間が狭くなるほど不確実性は増大する。その理由として次のようなことが考えられる。

- ▶ 雲を作り更に降水をもたらす大気の流れなどの変化についての予測が、対象とする空間の広がり狭くなるほど不確実性が高く、この影響が大きい要素は将来予測が難しくなること
- ▶ 季節や年などの長い期間で平均した降水量の変化が、降水をもたらす低気圧の経路や前線の位置が、地球温暖化の進行に伴う大気の流れに応じて変化することや、大気の流れの変化に伴う降水量変化が地形の影響を複雑に受けること

こうした背景があり、予測の不確実性が大きいことを踏まえて、降水に関する将来予測は沖縄県（沖縄地方）を対象とした結果のみを掲載する。掲載した結果についても不確実性が大きいことを十分に踏まえて活用されたい。

(1) 年降水量

図4.3.1及び付表は、地域気候モデルによる沖縄県の年降水量の20世紀末と21世紀末の差を示したものである。RCP8.5シナリオでは有意な変化はみられない。

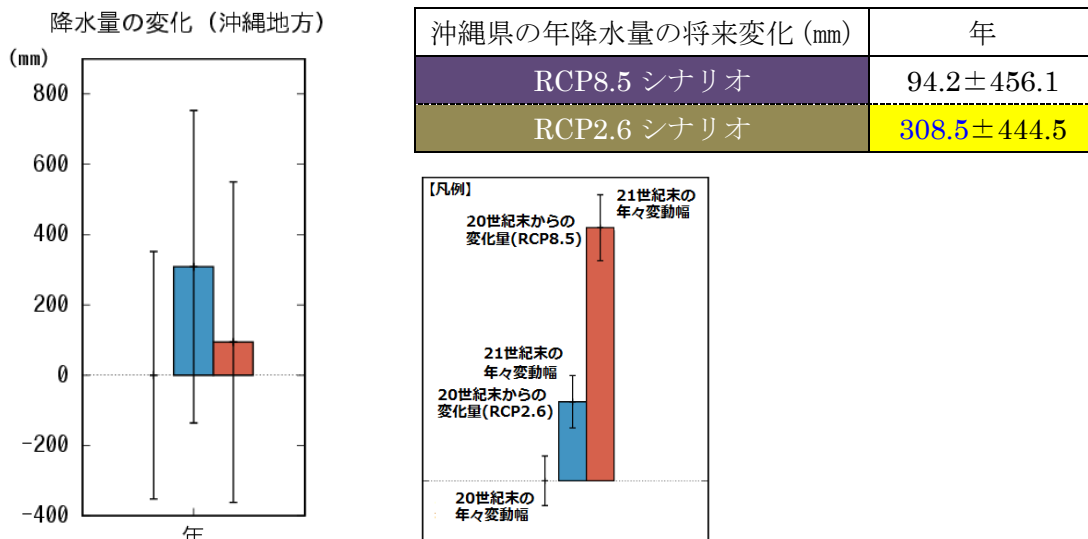


図4.3.1 及び付表 沖縄県における年降水量の将来変化

地域気候モデルによる21世紀末と20世紀末との差を統計的に処理し、21世紀末の4メンバー平均の変化量を表す。赤い棒グラフはRCP8.5シナリオ、青い棒グラフはRCP2.6シナリオによる変化量、20世紀末の値を基準(0)として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。付表はそれらの各数値を「将来変化量±標準偏差」で示している。その将来変化量が有意水準90%で有意に増加(減少)する場合はのみ、黄色の項目で青字(赤字)とし、有意水準90%で有意に増加(減少)しない場合は黒字としている。

(2) 日降水量 100mm 以上の発生回数

図 4.3.2 及び付表は、地域気候モデルによる沖縄県の 20 世紀末と 21 世紀末の日降水量 100mm 以上の降水の年間発生回数及びその差（1 地点あたり）を示したもので、統計的に有意に増加する。21 世紀末の日降水量 100mm 以上の年間発生回数は、RCP8.5 シナリオでは 20 世紀末の約 1.4 倍に、RCP2.6 シナリオでは 20 世紀末の約 1.5 倍に増える。これは気温の上昇に伴って、大気中の水蒸気量が増加することが主なためと考えられる。大雨の発生頻度の増加によって、洪水、氾濫、土砂災害などの自然災害リスクの増大が懸念される。

図 4.3.3 は、地域気候モデルによる 20 世紀末と 21 世紀末の日降水量 100mm 以上の年間発生回数の差の分布を示したものである。降水は気温に比べて地点ごとの変化予測の不確実性が大きいいため、地点別の変化にとらわれず、沖縄県の全般的な変化傾向として認識していただきたい。

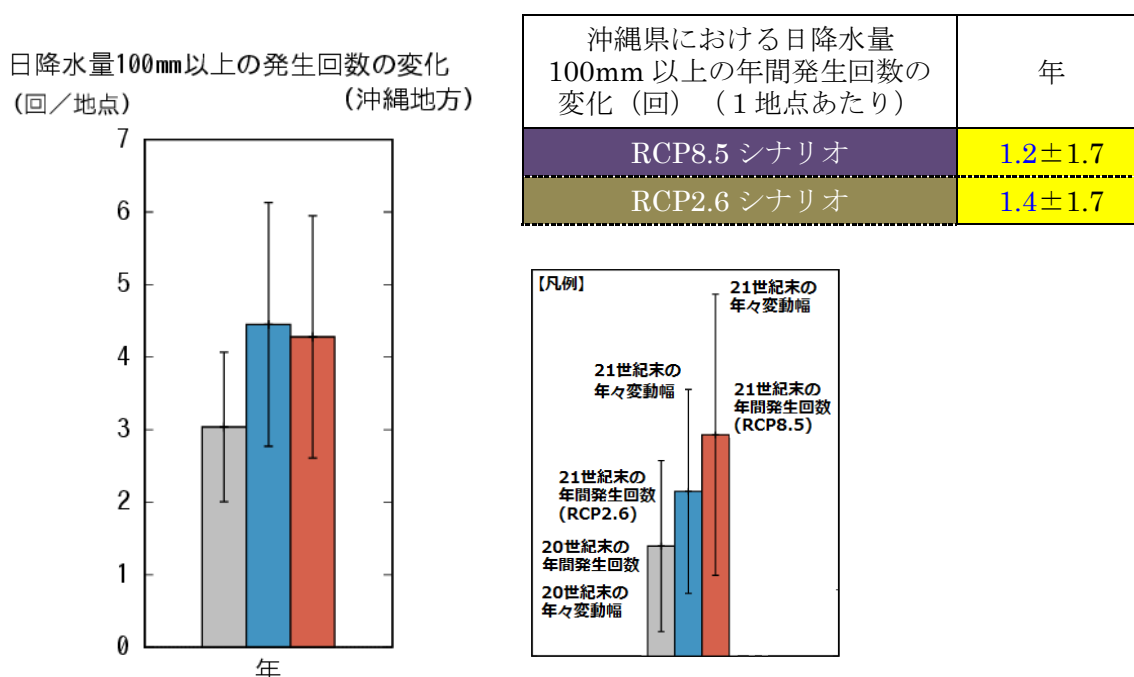


図 4.3.2 及び付表 沖縄県における日降水量 100mm 以上の年間発生回数の変化（1 地点あたり）

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の発生回数（バイアス補正済み）を表す。灰色の棒グラフは 20 世紀末の発生回数、赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる平均発生回数、細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。ただし、20 世紀末の結果には補正後も依然としてバイアスが残っており、実際の観測値と異なることに注意。付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90% で有意に増加（減少）する場合のみ黄色の項目で青字（赤字）としている。

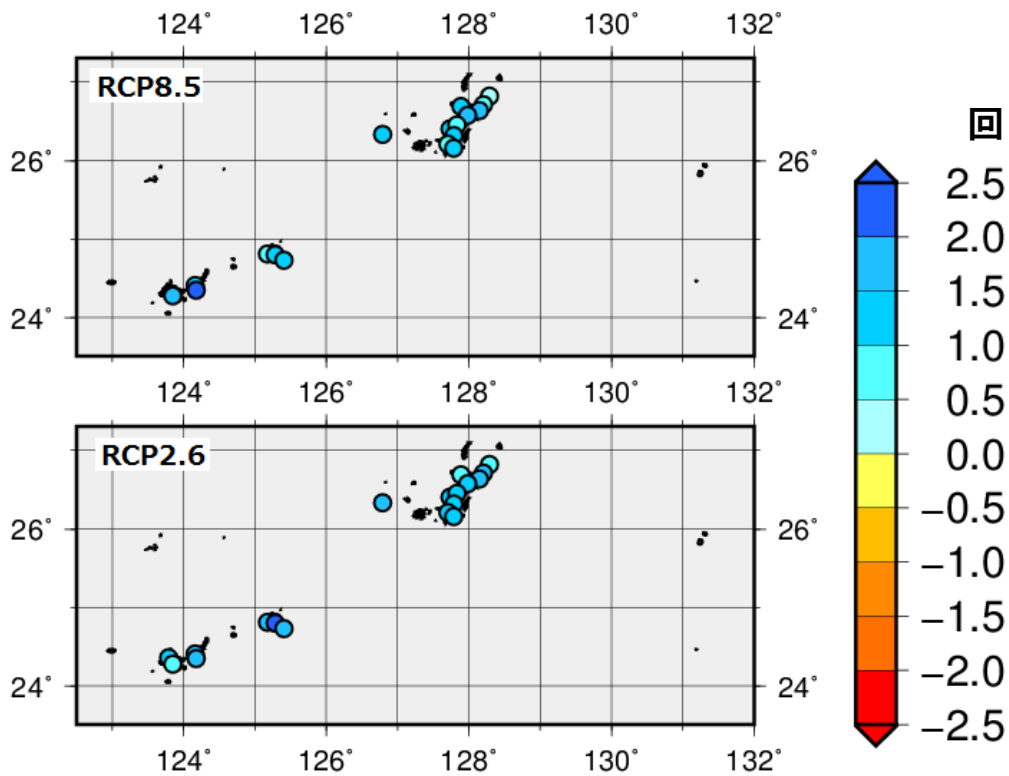


図 4.3.3 日降水量 100mm 以上の年間発生回数の将来変化

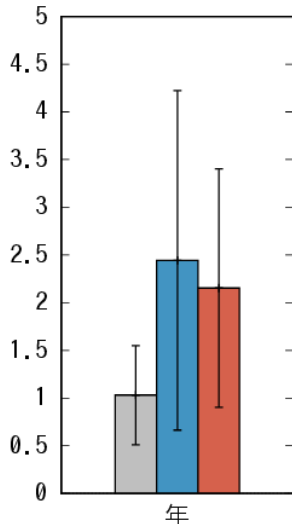
地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差 (バイアス補正済み)。4 メンバーの平均。上の図は RCP8.5 シナリオ、下の図は RCP2.6 シナリオによる予測。変化傾向 (増減) が 4 メンバーとも一致した地点のみそれらの平均値を表示している。(20 世紀末と 21 世紀末のいずれも減少の発生がゼロの場合は表示していない)。地点別の変化傾向にとらわれず、沖縄県の全般的な変化傾向として認識していただきたい。

(3) 1時間降水量 50mm 以上の発生回数

図 4.3.4 及び付表は、地域気候モデルによる沖縄県における 20 世紀末と 21 世紀末の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数及びその差（1 地点あたり）を示したもので、差は有意に増加する。21 世紀末の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数は、RCP8.5 シナリオでは 20 世紀末の約 2.1 倍に、RCP2.6 シナリオでは約 2.4 倍になる。これは気温の上昇に伴って、大気中の水蒸気量が増加するためであると考えられる。短時間強雨の発生頻度の増加によって、洪水、氾濫、土砂災害などの自然災害リスクの増大が懸念される。

図 4.3.5 は、地域気候モデルによる 20 世紀末と 21 世紀末の 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の差の分布を示したものである。降水は気温に比べて地点ごとの変化予測は不確実性が大きいいため、地点別の変化傾向にとらわれず、沖縄県の全般的な変化傾向として認識していただきたい。

1時間降水量50mm以上の発生回数の変化
(回/地点) (沖縄地方)



沖縄県における 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の変化 (回) (1 地点あたり)	年
RCP8.5 シナリオ	1.1 ± 1.3
RCP2.6 シナリオ	1.4 ± 1.8

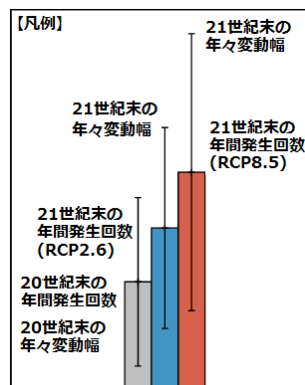


図 4.3.4 及び付表 沖縄県における 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の変化 (1 地点あたり)

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の発生回数 (バイアス補正済み) を表す。灰色の棒グラフは 20 世紀末の発生回数、赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオ、青い棒グラフは RCP2.6 シナリオによる平均発生回数、細い縦線はそれぞれの年々変動の幅を表している。ただし、20 世紀末の結果には補正後も依然としてバイアスが残っており、実際の観測値と異なることに注意。付表はそれらの各数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90% で有意に増加 (減少) する場合は、黄色の項目で青字 (赤字) としている。

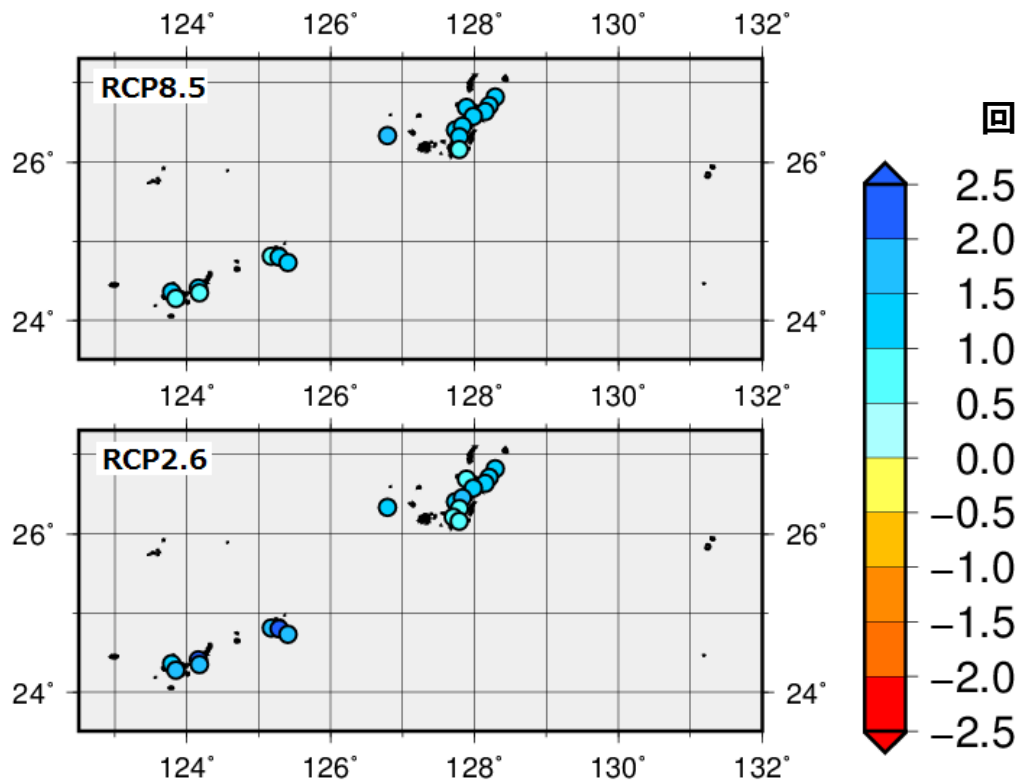


図 4.3.5 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差（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している。（20 世紀末と 21 世紀末）のいずれも現象の発生がゼロの場合は表示していない）。地点別の変化傾向にとらわれず、沖縄県の全般的な変化傾向として認識していただきたい。

(4) 無降水日数

図 4.3.6 及び付表は、地域気候モデルによる沖縄県の 20 世紀末と 21 世紀末における無降水日（「日降水量が 1mm 未満の日」と定義する）の年間日数の差を示したもので、RCP8.5 シナリオでは有意に増加し、21 世紀末の無降水日の年間日数は、20 世紀末より約 8 日増加する。無降水日が増加する要因としては、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）が増加し、一度の降水イベントでもたらされる降水量は増加する一方、飽和に達するまでにより長い時間が必要になることが指摘されている（Giorgi *et al.*, 2011, Trenberth 2011）。無降水日数の増加によって、干ばつのリスクの増大が懸念される。

図 4.3.7 は、地域気候モデルによる 20 世紀末と 21 世紀末における無降水日の年間日数の差の分布を示したものである。降水は気温に比べて地点ごとの変化予測は不確実性が大きいいため、地点別の変化傾向にとらわれず、沖縄県の全般的な変化傾向として認識していただきたい。

なお RCP2.6 シナリオでは、将来変化する方向が 4 メンバーで一致しないため、結果とそのグラフを表示しない。

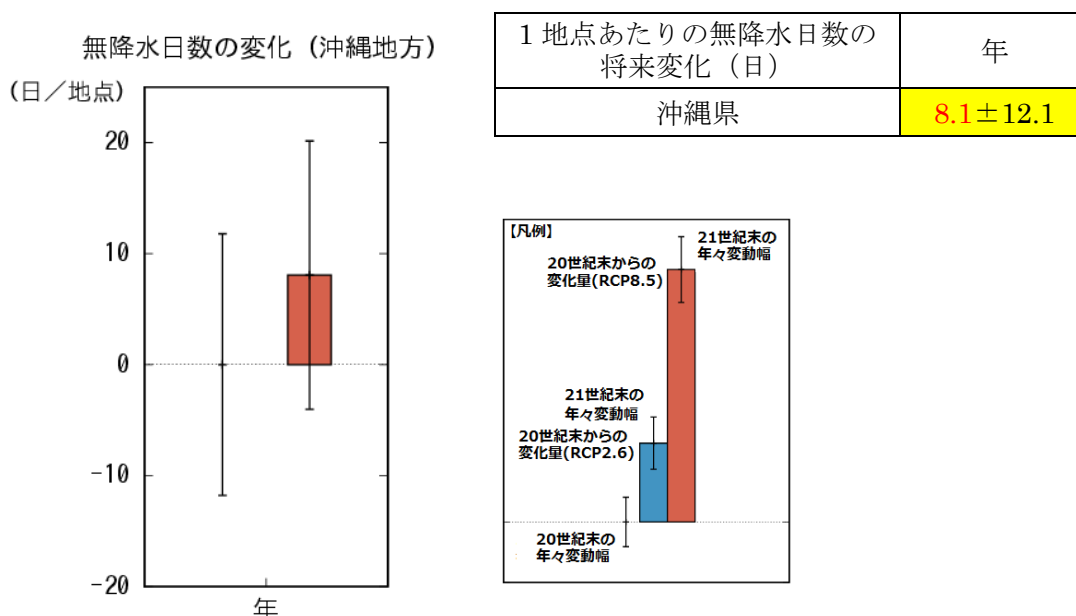


図 4.3.6 及び付表 沖縄県における 1 地点あたりの無降水日数の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差を統計的に処理し、21 世紀末の 4 メンバー平均の変化量（バイアス補正済み）を表す。赤い棒グラフは RCP8.5 シナリオによる変化量、20 世紀末の値を基準（0）として左側に示している。細い縦線はそれぞれの年々変動の幅（左：20 世紀末、右：21 世紀末）を表している。付表はその数値を「将来変化量 ± 標準偏差」で示し、その将来変化量が有意水準 90% で有意に増加（減少）する場合は、黄色の項目で赤字（青字）としている。RCP2.6 シナリオでは、将来変化する方向が 4 メンバーで一致しないため、結果とそのグラフを表示しない。

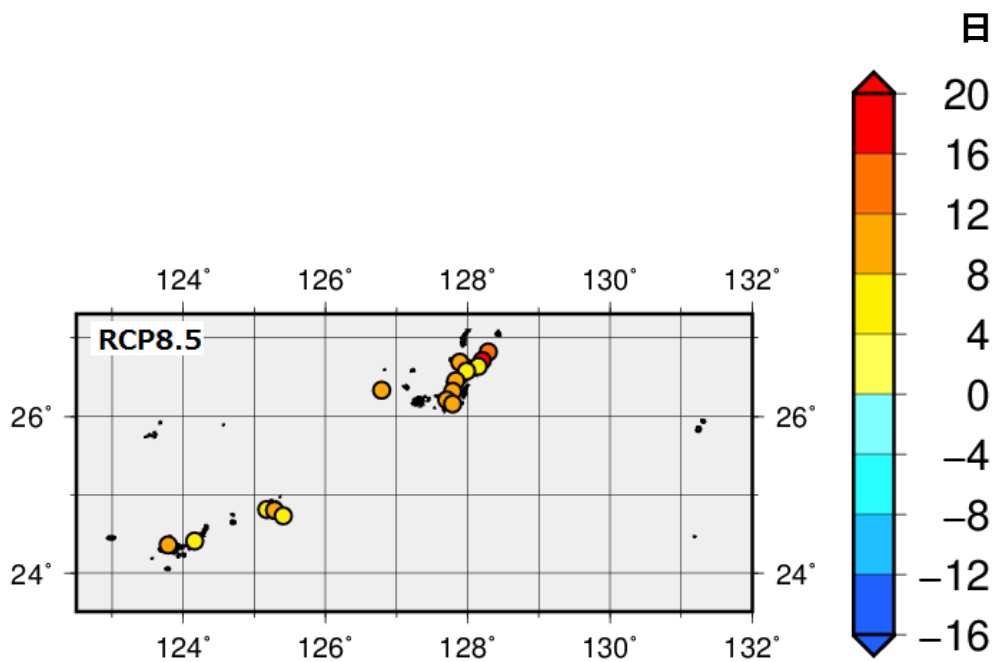


図 4.3.7 無降水日の年間日数の将来変化

地域気候モデルによる 21 世紀末と 20 世紀末との差（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している。（20 世紀末と 21 世紀末のいずれも現象の発生がゼロの場合は表示していない）。地点別の変化傾向にとらわれず、沖縄県の全般的な変化傾向として認識していただきたい。



気候変動適応法

気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書（IPCC, 2013）において、1950年代以降に観測された変化の多くは、それ以前の数千年間にわたり前例がないものであること、また既に気候変動は自然及び人間社会に影響を与えており、今後、地球温暖化が更に進行すると、深刻で広範囲にわたる不可逆的な影響が生じる可能性が高まることが指摘されていた。

我が国においても地球温暖化の進行に伴い、気温の上昇や降水の変化などの気候変動、海面水位の上昇や海洋酸性化などが一層進行する可能性があるとして予測され、重大な気象災害の発生や食糧生産、国民の健康など様々な面に影響が及ぶことが予想されている。このため、温室効果ガスの排出の抑制等を行う「緩和」の取組を着実に進めるとともに、既に現れている影響や今後中長期的に避けることのできない影響に対する「適応」の取組を計画的に進めることが不可欠となっている。

こうした気候変動による様々な影響に対し、政府全体として整合の取れた取組を総合的かつ計画的に推進するために、2015年11月に「気候変動の影響への適応計画」が閣議決定され、気候変動への適応を法的に位置付けて一層の推進を図るために、2018年6月に「気候変動適応法」⁹が成立し、同年12月に施行された。

気候変動適応法は、国、地方公共団体、事業者及び国民が気候変動への適応を推進するために担うべき役割をそれぞれ明確にしている。政府は気候変動適応計画を定め、都道府県及び市町村はこれに基づいて地域気候変動適応計画の策定に努め、気候変動の影響及び適応に関する情報の収集と提供を行う拠点（地域気候変動適応センター）としての機能を担う体制の確保に努めることとなった（図 C.9）。

地域気候変動適応センターは、2022年1月現在36の都道府県、3つの政令指定都市、7つの市区町村で設置されている（複数の地方公共団体が共同で設置した場合は1件と数えるため、合計のセンター数は45）。現時点で未設置の自治体においても設置に向けた協議が進められている。

IPCC第6次評価報告書第1作業部会報告書では、「より一層の地球温暖化に伴い、全ての地域において、気候的な影響駆動要因（CIDs）の同時多発的な変化が益々経験されるようになると予測される。1.5°Cの地球温暖化と比べて2°Cの場合には、いくつかのCIDsの変化が更に広範囲に及ぶが、この変化は、温暖化の程度が大きくなると益々広範囲に及ぶとともに顕著になるだろう」（C.2）としており、影響は温暖化の進行の程度に依存すると理解されていて、更に排出量が多いシナリオに沿った将来では、より大きな影響がもたらされると指摘されている。

同時多発的な変化のうち、特に「大雨及び関連する洪水が激化し、より頻繁になると予測される（確信度が中程度～高い）」（C.2.3）ことや「平均降水量の増加（確信度が高い）」（C.2.3）、「熱帯低気圧の強度や温帯低気圧の強化（確信度が中程度～高い）」（C.2.4）などは、沖縄地方を含む日本において地球温暖化の進行に伴って増加する懸念であり、十分な「適応」を模索する必要があると考えられる。

⁹ 環境省ホームページ 気候変動への適応
<https://www.env.go.jp/earth/tekiou.html>

気候変動適応法の概要

平成30年6月13日公布

○温室効果ガスの排出削減対策(緩和策)と、気候変動の影響による被害の回避・軽減対策(適応策)は車の両輪。

○本法により適応策を法的に位置付け、関係者が一丸となって適応策を強力に推進。



図 C.9 気候変動適応法の概要

環境省ホームページ (https://www.env.go.jp/earth/tekiou/tekiouhou_gaiyou.pdf) より引用。



付録

A.1 世界と日本の気候変動

A.1.1 気温

- 世界の年平均気温は、100年あたり0.73℃の割合で上昇している。
- 日本の年平均気温は、100年あたり1.28℃の割合で上昇している。

世界の年平均気温は、100年あたり0.73℃（統計期間：1891～2021年）の割合で上昇している（図A.1.1.1）。2021年における世界の年平均気温の基準値（1991～2020年平均値）との差は+0.22℃で、1891年の統計開始以降6番目に高い値となった。最近の2014年から2021年までの値が上位8番目までを占めている。

日本の年平均気温は、100年あたり1.28℃（統計期間：1898～2021年）の割合で上昇している（図A.1.1.2）。2021年における日本の年平均気温の基準値（1991～2020年平均値）との差は+0.61℃で、2019年の+0.92℃に次いで、1898年の統計開始以降3番目に高い値となった。特に1990年代以降、高温となる年が頻出している。

近年、世界と日本で高温となる年が頻出している要因としては、二酸化炭素などの温室効果ガスの増加に伴い地球規模で気温が長期的に上昇する地球温暖化の影響が考えられ、全球で大気全体の温度が高くなっていることが考えられる。また、世界と日本の平均気温は、エルニーニョ現象等の数年～数十年程度の時間規模で繰り返される自然変動の影響も受けて変動していると考えられる。

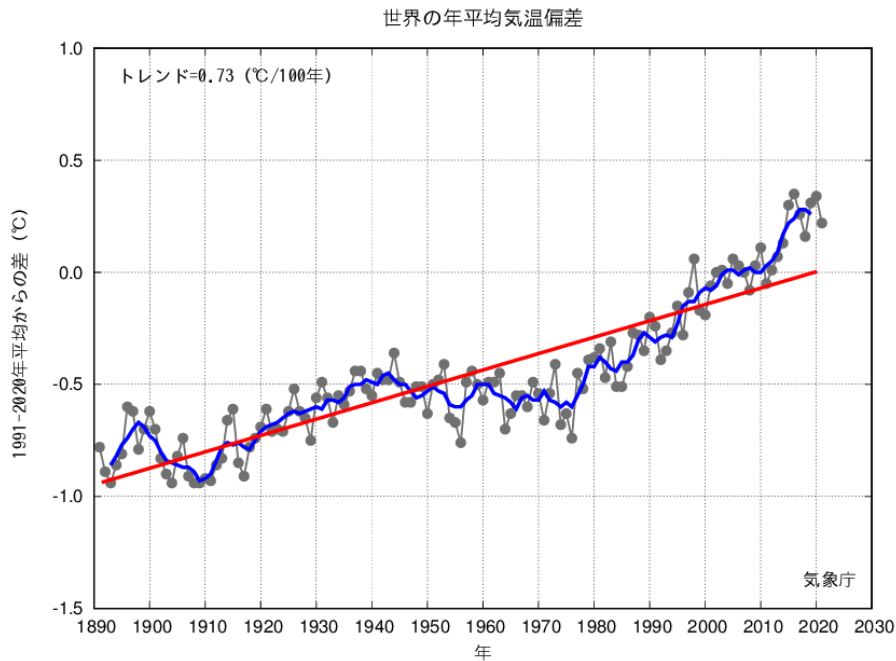


図 A. 1. 1. 1 世界の年平均気温の偏差の経年変化（1891～2021 年）

細線（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差。基準値は 1991～2020 年の 30 年平均値。
 太線（青）：偏差の 5 年移動平均。
 直線（赤）：長期的な変化傾向。
 気象庁ホームページ（https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld.html）より。

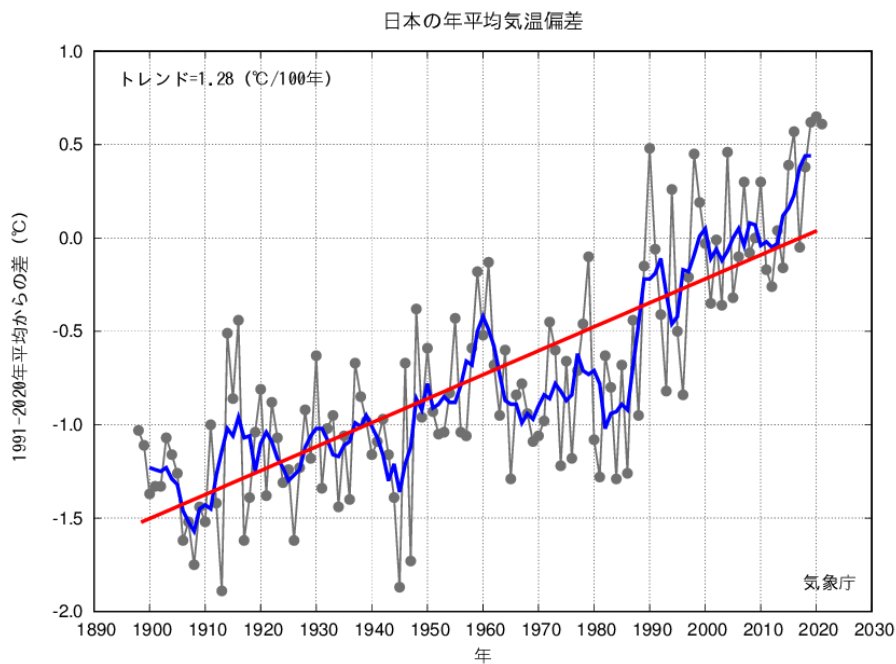


図 A. 1. 1. 2 日本の年平均気温の偏差の経年変化（1898～2021 年）

細線（黒）：各年の平均気温の基準値からの偏差。基準値は 1991～2020 年の 30 年平均値。
 太線（青）：偏差の 5 年移動平均。
 直線（赤）：長期的な変化傾向。
 気象庁ホームページ（https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html）より。

A.1.2 降水量

- 世界の年降水量及び日本の年降水量には、明瞭な長期変化傾向はみられない。
- 日本の年降水量は、年ごとの変動が大きくなっている。

世界の年降水量偏差を図 A.1.2.1 に示す。世界の年降水量は、明瞭な長期変化傾向はみられない。日本の年降水量偏差を図 A.1.2.2 に示す。日本の年降水量は、明瞭な長期変化傾向はみられないが、1898 年の統計開始以降、年ごとの変動が大きい状態が続いている。

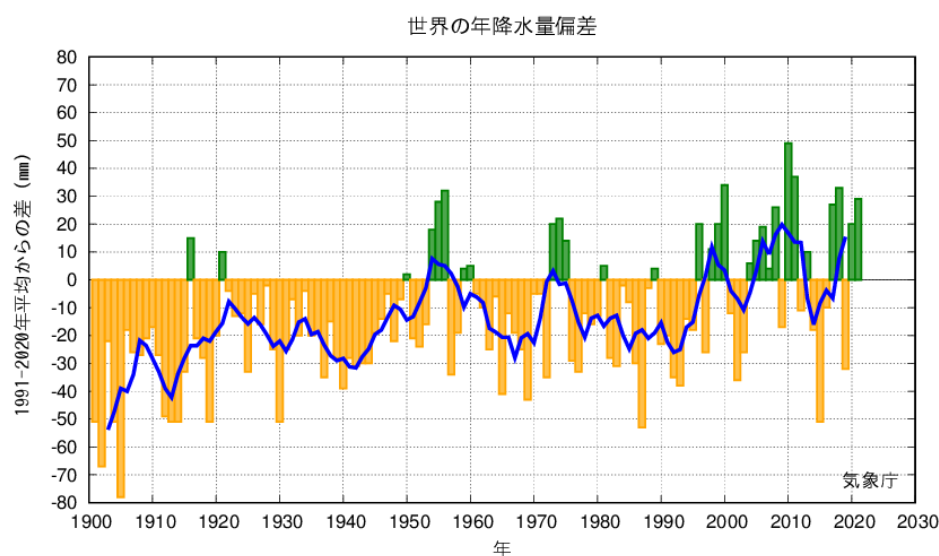


図 A.1.2.1 世界の年降水量偏差の経年変化（1901～2021 年）

太線（青）：偏差の 5 年移動平均。基準値は 1991～2020 年の 30 年平均値。

気象庁ホームページ（https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_wld_r.html）より。

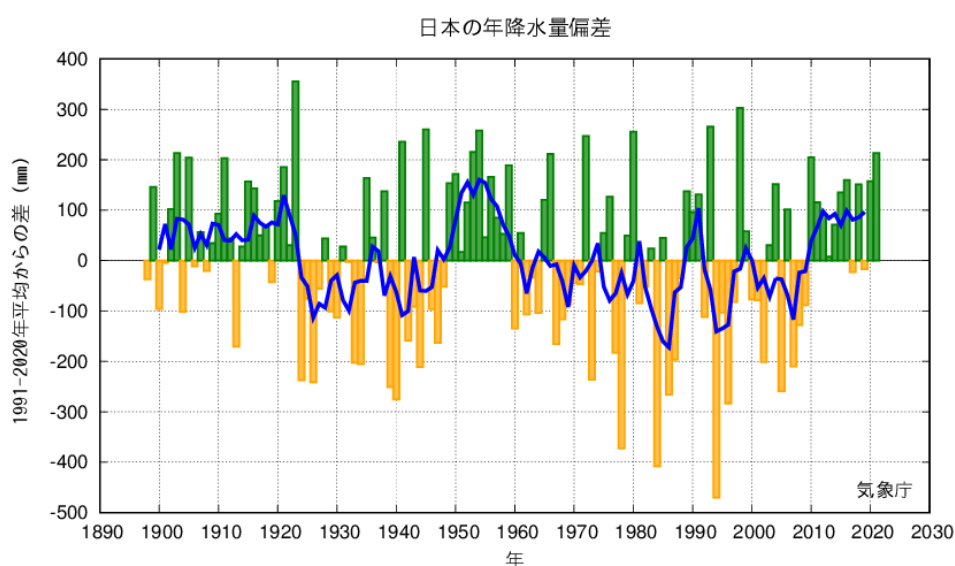


図 A.1.2.2 日本の年降水量偏差の経年変化（1898～2021 年）

太線（青）：偏差の 5 年移動平均。基準値は 1991～2020 年の 30 年平均値。

気象庁ホームページ（https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn_r.html）より。

A.1.3 海面水温

- 2021年の年平均海面水温（全球平均）の平年差は+0.13°Cで、統計を開始した1891年以降6番目に高い値だった。
- 年平均海面水温（全球平均）の長期変化傾向は+0.56°C/100年で、陸域における地上気温の上昇率より小さい。

ここでは、100年以上にわたる海面水温及び海上気象の観測データを用いた全球の海面水温客観解析（気象庁, 2006）で得られた1891年から2021年までの海面水温データを基に、年平均海面水温（全球平均）の長期変動、長期変化傾向について記述する。

図A.1.3.1に年平均海面水温（全球平均）の平年差の経年変化を示す。海面水温は、1910年頃から1940年頃にかけてと、1970年代半ばから2000年前後にかけて明瞭な上昇傾向、1940年頃から1970年代半ばにかけてと、2000年前後から2010年代前半にかけて横ばい傾向となっている。そのような十年から数十年規模の変動を繰り返しながら長期的には上昇する傾向（地球温暖化）にあり、1891年から2021年までの変化率（図A.1.3.1の直線）は100年あたり0.56°Cの上昇となっている。2021年の年平均海面水温（全球平均）の平年差は+0.13°Cで、統計を開始した1891年以降6番目に高い値だった。こうした海面水温の変動は、陸域における地上気温の変動とおおむね同じ傾向を示している。年平均海面水温（全球平均）の長期変化傾向（+0.56°C/100年）は、陸域における地上気温の上昇率（+0.85°C/100年。統計期間：1880～2021年）より小さい値となっている。

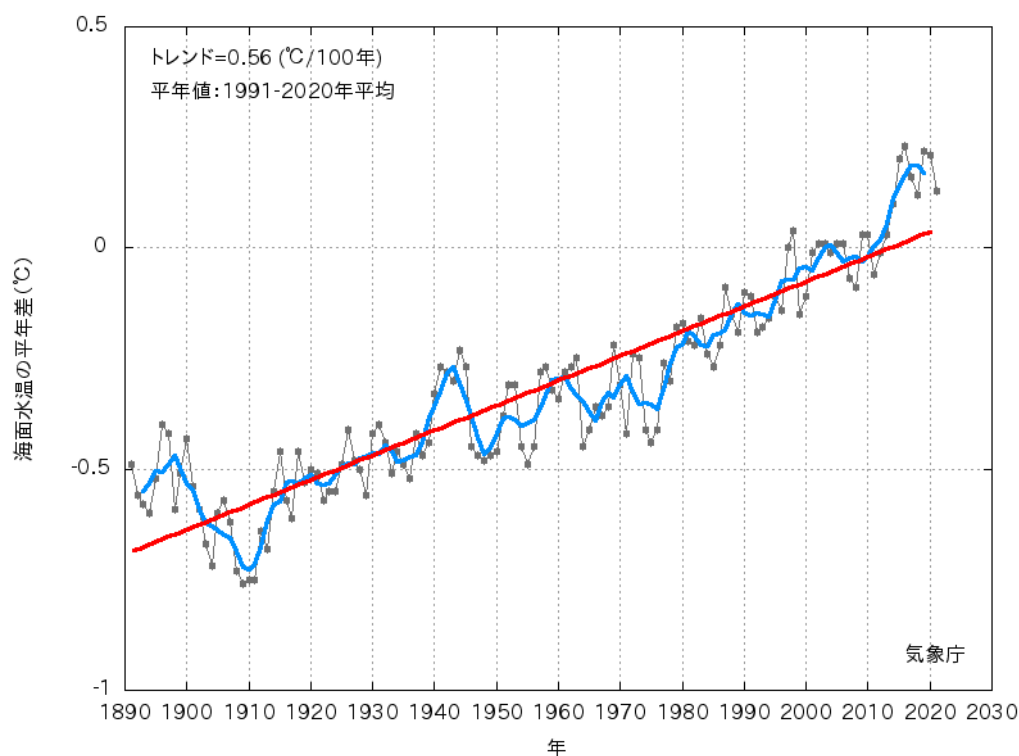


図 A.1.3.1 年平均海面水温（全球平均）の平年差の経年変化（1891～2021年）
細線（黒）は年ごとの値、太線（青）は5年移動平均値、直線（赤）は長期変化傾向を表す。平年値は1991～2020年の30年平均値。

海洋の内部についても温暖化は進行しており、全球の海面から水深 2000m における海洋貯熱量は、1955 年から 2021 年の間に約 $45 \times 10^{22} \text{J}$ 増加し（気象庁、図 A.1.3.2）、2021 年時点の海洋貯熱量は上記期間において過去最大となっている。この間、海面から水深 2000m までの平均水温は 0.16°C 上昇した。海洋貯熱量の増加率は 1990 年代半ば以降はそれ以前より大きくなっている。地上気温及び海面水温の変化が比較的小さかった 2000 年前後から 2010 年代前半にかけても、海洋貯熱量は継続的に増加した（気象庁、図 A.1.3.3）。IPCC 海洋・雪氷圏特別報告書(2019)では、海洋の温暖化は人間活動の直接的な結果であると指摘されている。

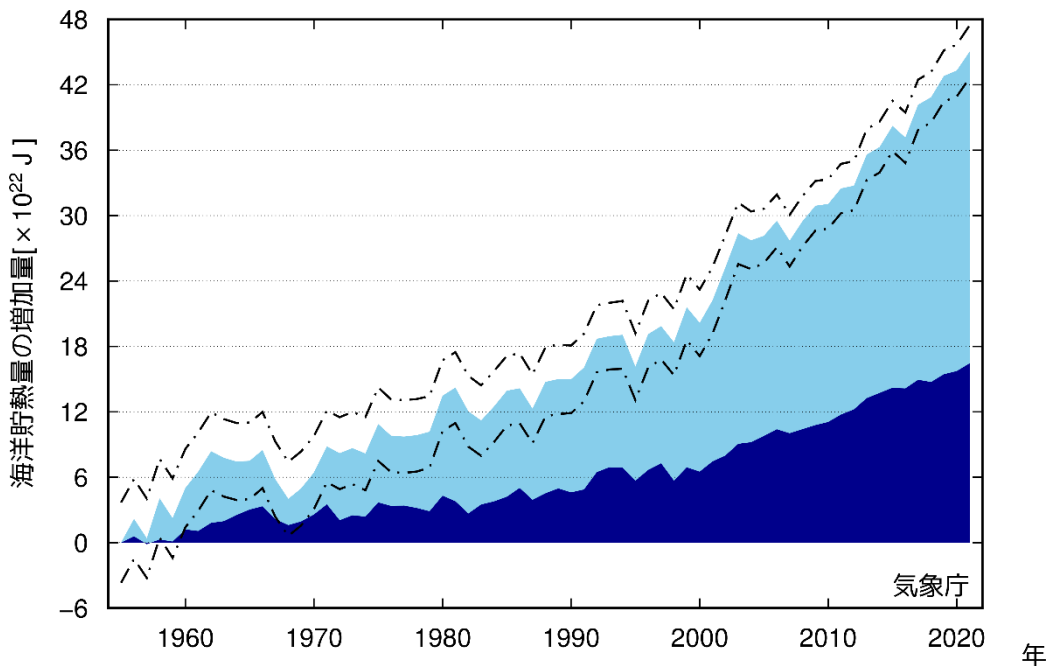


図 A.1.3.2 海洋貯熱量の 1955 年からの増加量

水色の陰影は海面から水深 700m まで、紺色の陰影は水深 700m から 2000m までの貯熱量を示し、一点鎖線は海面から水深 2000m までの解析値の 95%信頼区間を示す。

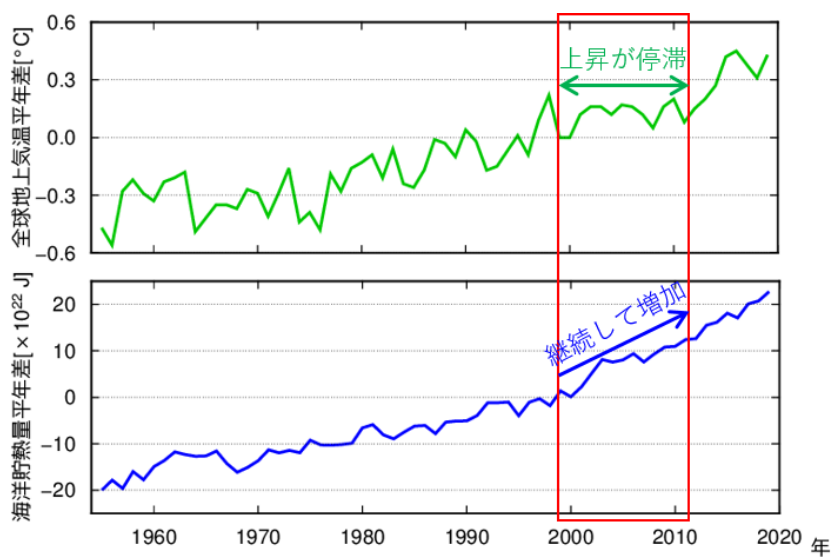


図 A.1.3.3 全球平均地上気温と海洋貯熱量の比較（1955～2019 年）

全球平均の地上気温の年平均差（上段）と海洋貯熱量の年平均差（下段）を示す（1955～2019 年）。
 平年値は 1981-2010 年の 30 年平均値（本資料については作成された当時使用の平年値を基準としたものをそのまま使用している）。

A.1.4 海面水位

- 日本沿岸の海面水位は、1980年代以降、上昇傾向がみられる。
- 1906～2021年の期間では上昇傾向はみられない。
- 全期間を通して10年から20年周期の変動（十年規模の変動）が、また50年を超えるような長周期の変動がみられる。

季節を越えるような長期間にわたって平均した海面の高さを「海面水位」という。海面水位は、海洋の熱膨張、山岳氷河や南極・グリーンランドの氷床の変化、陸域の貯水量の変化といったさまざまな要因で変化する。気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書第1作業部会報告書（2021年）は「世界平均海面水位は、1901～2018年の期間に0.20 [0.15～0.25] m 上昇した。その平均上昇率は、1901～1971年の間は1年あたり1.3 [0.6～2.1] mm だったが、1971～2006年の間は1年あたり1.9 [0.8～2.9] mm に増大し、2006～2018年の間には1年あたり3.7 [3.2～4.2] mm 増大した（確信度が高い）。少なくとも1971年以降に観測された世界平均海面水位の上昇の主要な駆動要因は、人間の影響であった可能性が非常に高い」としている。このような海面水位の上昇は、海岸保全施設（沿岸防災施設）の機能と安定性の低下をもたらし、高潮、高波、異常潮位などの沿岸災害の激化が予想されるほか、海岸浸食や沿岸湿地喪失などによる沿岸生態系・淡水生態系への影響も懸念される。

海面水位の長期変化を評価するためには、できるだけ長期間にわたって地盤変動の小さい地点を選択する必要がある。気象庁では、日本沿岸について図A.1.4.1に示すとおり1906年から1959年までは4地点（左図）を、1960年以降は16地点（右図）を選択している。前者については地点毎に求めた年平均海面水位の平年差を4地点で平均した値を日本沿岸の長期的な海面水位の評価に用いている。後者については、海域特性の影響を軽減するために、まず16地点を長期変動パターンの類似している4海域に分け、海域毎に求めた年平均海面水位の平年差を4海域で平均した値を日本沿岸の長期的な海面水位の評価に用いている（平年差は1991～2020年の平均値からの差を表す）。

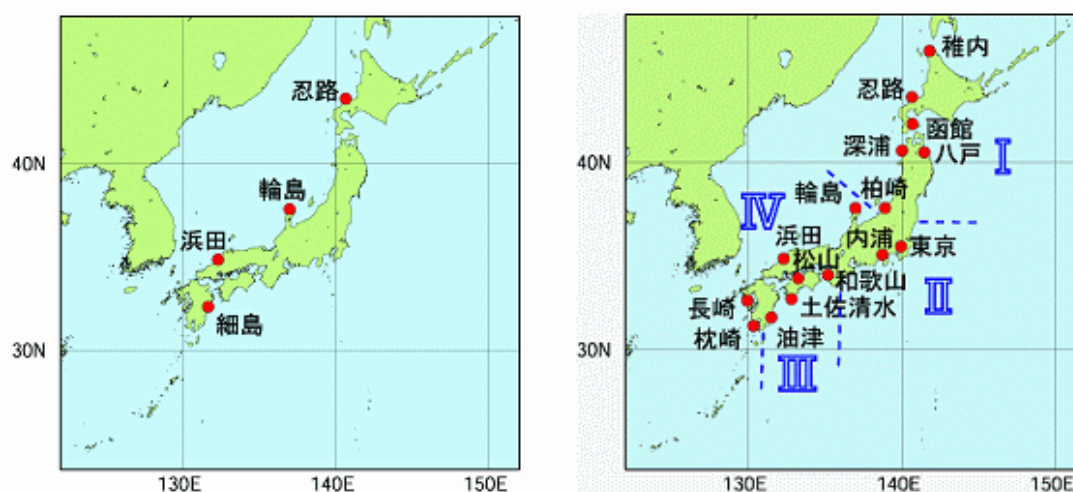


図 A.1.4.1 日本沿岸の長期的な海面水位の評価に用いている観測地点

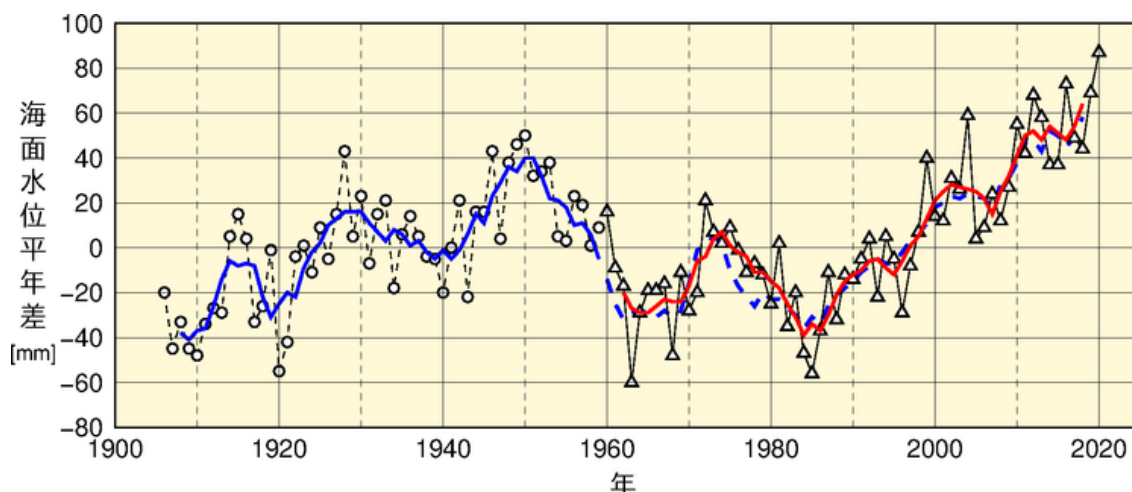


図 A.1.4.2 日本沿岸の海面水位変化

1906年から1959年までは、地点ごとに求めた年平均海面水位の年差を4地点で平均した値（白丸・黒破線）の推移、1960年以降については、4海域ごとに求めた年平均海面水位の年差の平均値（白三角・黒線）の推移を示す。1991年から2020年までの期間で求めた平年値を0とする。青線は4地点平均の年差の5年移動平均値（1960年以降の5年移動平均値を青破線で示す）、赤線は4海域平均の年差の5年移動平均値を示す。

このようにして求めた日本沿岸の海面水位の変化を図 A.1.4.2 に示す。

日本沿岸の海面水位は、1980年代以降、上昇傾向がみられる。1906～2019年の期間では有意な上昇傾向はみられない。また、全期間を通して10年から20年周期の変動（十年規模の変動）と50年を超えるような長周期の変動がある。2021年の日本沿岸の海面水位は、平年値（1991～2020年平均）と比べて71mm高く、統計を開始した1906年以降で最も高い値であった。

また、1960～2020年までの海面水位の変化を海域別に見た場合、北陸～九州の東シナ海側で他の海域に比べて大きな上昇傾向がみられる。

全期間を通してみられる十年規模の変動は、主に北太平洋の偏西風の強弱や南北移動を原因とし、1950年頃にみられる50年を超えるような長周期の変動のピークについては、アリューシャン低気圧の勢力の衰退と対応していることが数値モデルを用いた解析により明らかになっている。また、海面水位の変動と表層水温の変動には良い対応がみられ、特に南西諸島でよく一致している。

IPCC 第6次評価報告書第1作業部会報告書（2021年）とほぼ同じ期間で日本沿岸の海面水位の変化を求めると、1906～2010年の期間では明瞭な上昇傾向はみられなかった。一方、2006～2018年の期間では上昇傾向はみられなかった。一方、2006～2018年の期間で1年あたり2.9[0.8～5.0]mmの割合で上昇した。近年だけで見ると、日本沿岸の海面水位の上昇率は、世界平均の海面水位の上昇率と同程度になっている。

ただし、日本沿岸の海面水位は、地球温暖化のほか地盤変動や海洋の十年規模の変動など様々な要因で変動しているため、地球温暖化の影響がどの程度現れているのかは明らかではない。地球温暖化に伴う海面水位の上昇を検出するためには、地盤変動の影響も含めて引き続き監視が必要である。

A.2 観測データの取扱い

A.2.1 気象

(1) 地域平均をとる場合の地点の選択

「沖縄地方平均」といったある程度まとまった地域単位で平均を取ることは、局所的な気候特性を取り除いて地球温暖化や広域の気候の変化に関する状況・影響を把握する上で有効な手段であるが、その利用には注意が必要である

例えば、「気温」に関するデータであっても、「年平均気温」のような平均値なのか、「真夏日の日数」のようなあるしきい値を設定した出現回数なのかなど、統計を取るデータによって利用できる期間が観測地点ごとに異なる。気温に関する階級別の要素のように、観測所の移転等によって統計を接続できない要素があるため、本レポートでは、気候の長期変化傾向をみるために、本来7地点で平均するものを比較的長い統計期間を確保できる5地点のみで平均したのがある。

本レポートで「沖縄地方平均」を求める際に利用した地点と統計期間は以下の表のとおり。

表 A.2.1.1 「沖縄地方平均」を求める際に利用した地点と統計期間

要素	沖縄地方平均
年、季節平均気温 *	統計期間: 1946～2021 年
	那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島(7 地点)
日最高気温、日最低気温の年、季節平均値 *	統計期間: 1946～2021 年
	那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島(7 地点)
月平均気温の異常高温、異常低温の出現数	統計期間(年・春・夏・秋): 1967～2021 年
	那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島(5 地点)
真夏日、熱帯夜の日数	統計期間: 1959～2021 年
	那覇・久米島・宮古島・石垣島・与那国島(5 地点)
年、季節降水量	統計期間: 1946～2021 年
	那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島(7 地点)
月降水量の異常多雨、異常少雨の出現数	統計期間: 1967～2021 年
	那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島(7 地点)
日降水量 100mm 以上、1mm 以上の発生回数	統計期間: 1967～2021 年
	那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島(7 地点)
アメダス地点の1時間降水量 30mm、50mm 以上の発生回数	統計期間: 1976～2021 年
	沖縄県内の全地点

* は観測所の移転の影響を補正した値を使用

(2) 統計期間と気温の補正

(統計期間)

沖縄地方においては、100年以上の長期にわたって観測しているのは、那覇と石垣島しかない。気象庁がホームページ等で「地域平均」の統計を開始している1946年を「統計開始年」とし、宮古島・西表島・与那国島・久米島・名護についてそれぞれ統計を開始した年から順次地域平均に加えている。このため、全ての地点のデータがそろえるのは、1967年以降となる。

(長期変化傾向の単位)

100年あたりの変化傾向として換算して示している。ただし、異常高温(低温)及び異常多雨(少雨)の発生回数は50年あたりの、階級別の日数の変化傾向は10年あたりの変化傾向に換算している。

(移転による補正)

観測所の移転があった場合、年・季節・月平均気温、日最高・最低気温の年・季節・月平均値については、移転の影響を補正(大野ほか, 2011 (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/sokkou/78/vol78p031.pdf>))として統計を取っている。それ以外の要素について、移転をまたいだ統計を行うことが妥当でない気象要素のデータ(例えば、真夏日の日数など)は地域平均や長期変化傾向の統計から除外している。

(3) 気温及び降水量の偏差の算出方法

2021年5月より、1991~2020年平均値(9120平年値)を基準とした「偏差」を使用するように変更した。生物季節観測については、2020年12月をもって観測を終了した種目についても9120平年値を基準としたものに変更した。

(4) 異常高温(低温)及び異常多雨(少雨)の定義と計算方法

一般に、「異常気象」とは、過去に経験した現象から大きく外れた現象で、人が一生の間にまれにしか経験しない現象をいう。気象庁では「ある場所(地域)において30年に1回程度発生する現象」を異常気象としている。

気温の異常値に関しては、月ごとに1991~2020年の平均値(平年値)と標準偏差を求め、各月の平年値からの差が標準偏差の1.83倍以上高く(低く)なった場合を異常高温(異常低温)とした。気温平年差の出現頻度が正規分布に従うとすると、標準偏差の1.83倍以上の値が出現する割合は30年に1回以下となる。

降水量の異常値に関しては、月ごとに1991~2020年の月降水量の最大値と最小値を求め、その最大値以上の降水量となった場合を異常多雨、最小値以下の降水量となった場合を異常少雨とした。降水量データは正規分布に従わないことが多いため、こうした方法がとられる。なお、基準となる最小値が0mmである地点・月については、発生数の統計に利用していない。

(5) 長期変化傾向の統計方法と本文中における統計的有意性の表現について

長期的な変化やある期間と別の期間との平均値に違いがあるかどうかについては、「ただの偶然」なのか、そうではなく「偶然である確率が十分に低く意味がある変化」なのかということ

明確にするため、正規分布を仮定した検定という作業を行う。偶然である確率が十分に低ければ、その変化は偶然である可能性を否定することが合理的である。この場合、その変化には統計的に意味があるという意味で、「有意である」という言葉を使う。この「有意である」という判断基準として、「有意水準」（危険率という場合もある）を使う。ある変化が起きる確率がこの有意水準より小さければ、その変化は単なる偶然で起きたものではなく、統計的に意味のある変化ということになる。本レポートの第 2 章では、この有意水準を 5%とし、本文中で単に「有意」であると記述している場合は、「有意水準 5%で統計的に有意」であることを指している。

沖縄地方の地上観測データについて、長期変化傾向は、最小二乗法による線形回帰によって求め、有意水準 5%で有意である場合に、変化傾向が有意であるとみなした。ただし、ダービン・ワトソン検定（久米・飯塚, 1987）により、地上観測データに 1 次の系列相関（長期変化傾向を除いたデータで、現在のデータと時間的に 1 つ前のデータとの間に相関があることをいう）があると判定された場合は、1 次の系列相関の影響を考慮した最小二乗法であるプレイス・ウィンステイン法（Prais and Winsten, 1954）により計算した傾きでもって、変化傾向を再評価した。

観測データには、異常高温の日数などデータ数が少ないために正規分布を仮定することが必ずしも妥当でないデータがある。また、最小二乗法ではデータの始まりや終わり付近の値の影響を受けやすい。このため、データの分布に正規性を仮定している最小二乗法とともに、分布の形を仮定しない、いわゆるノンパラメトリック検定と言われる修正マン・ケンドール法（Hamed and Rao, 1998）を併用し、両方ともに有意である場合に、有意であるとみなした。本レポートでの適用は、表 A.2.1.2 のとおりである。

なお、本文中で単に「有意」であると記述している場合は、「有意水準 5%で統計的に有意」であることを指している。

表 A. 2. 1. 2 本レポートでの検定の適用

	最小二乗法	プレイス・ウィンス ティン法	修正マン・ケ ンドール法
年、季節平均気温	○	○	—
日最高気温、日最低気温の年、 季節平均値	○	○	—
年、季節降水量	○	○	—
真夏日、熱帯夜の日数	○	○	○
日降水量 100mm 以上、1mm 以上の日数	○	○	○
アメダス地点の 1 時間降水量 30mm 以上、50mm 以上の発 生回数	○	○	○
台風の発生数、接近数	○	○	○
「強い」勢力以上の接近台風 の数、割合	○	○	○
生物季節観測日	○	○	○

(6) 都市化の影響について

地球温暖化の影響をみるためには都市化の影響を取り除く必要があり、A.1 の日本の平均気温の計算では、都市化の影響が比較的少ない 15 地点（石垣島が含まれる）が対象となっている。

しかし、本レポートの第 2 章では、沖縄地方平均を求める際に、都市化の影響は特に考慮していない。都市化の影響の少ない地点でかつ統計期間が長い地点に限定すると、統計に使用できる地点数が減少し、地域全体の特性を反映できないおそれがあるためである。したがって、本書で計算した気温の長期変化傾向などには、地球温暖化だけでなく、都市化の影響や自然変動なども含まれたものとなっている。

A. 2. 2 海洋

(7) 海面水温の平均値の算出について

本レポートに用いた海面水温の平均値は、船舶やブイなどにより現場で観測されたデータを品質管理したものを用いて、クラスター分析で分類した海域ごとに算出したものである（算出方法の詳しい内容については、高槻ほか（2007）を参照）。

本レポートで扱った海域は、図 A.2.2.1 のうち、東シナ海南部、先島諸島周辺、沖縄の東の 3 海域である。

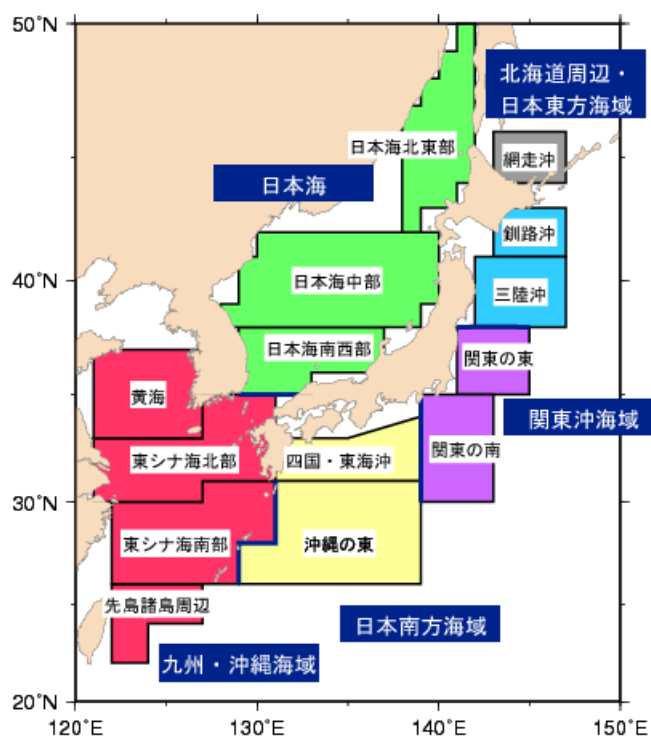


図 A. 2. 2. 1 日本近海の海域区分

(8) 海面水温の統計期間

東シナ海南部及び先島諸島周辺は 1901～2021 年、沖縄の東は 1911～2021 年である。

(9) 長期変化傾向の統計方法と本文中における統計的有意性の表現について

海面水温と海面水位の長期変化傾向は、最小二乗法による線形回帰によって求めた。

海面水温の統計的有意性については、線形回帰とマン・ケンドール法による有意性の検定を有意水準 1%、5%、10%の順に行い、両方ともに有意性が認められた水準において有意であるとみなした。

海面水位の変化傾向については、有意水準 5%での有意性の検定と、修正マン・ケンドール法による有意性の検定をおこない、両方ともに有意性が認められたものについてのみ有意であるとみなした。

A.3 観測地点

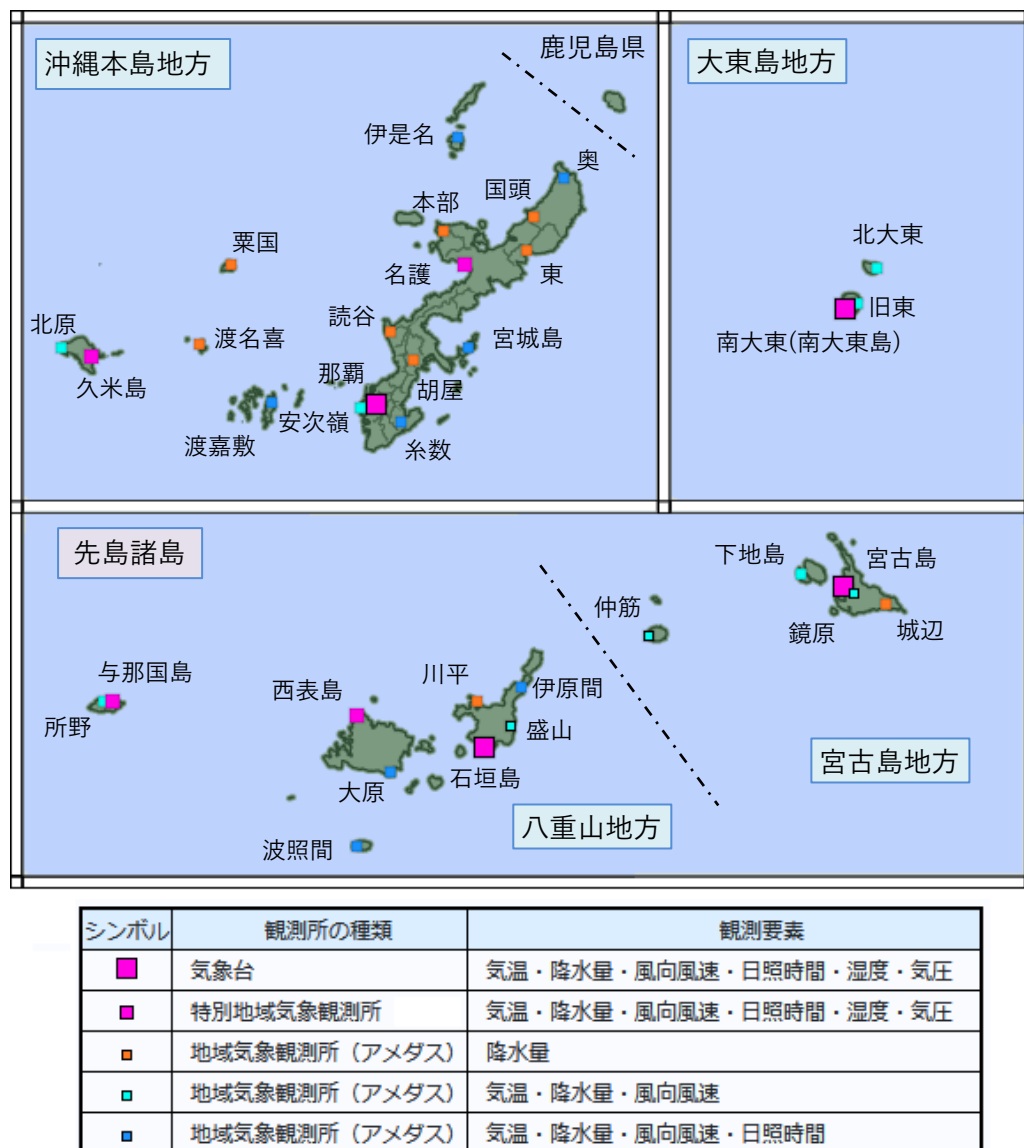


図 A.3.1 気象台、特別地域気象観測所と地域気象観測所（アメダス）の配置図
 沖縄県内において観測を実施している地点（2022年3月現在）

A.4 用語一覧

<p>IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change (気候変動に関する政府間パネル)</p>	<p>世界気象機関 (WMO) と国連環境計画 (UNEP) により、昭和 63 年 (1988) に設立された。各国の科学者や専門家で組織され、気候変動の (1) 科学的評価、(2) 影響・適応策の評価、(3) 緩和策の社会的・経済的側面の評価をおこない報告書にとりまとめている。その報告書の内容は、地球温暖化に関する条約交渉の際などに、共通認識の情報として取り扱われている。これまで、1990 年に第 1 次、1995 年に第 2 次、2001 年に第 3 次、2007 年に第 4 次、2013 年に第 5 次の気候変動に関する評価報告書が取りまとめられている。</p>
<p>異常気象</p>	<p>一般に過去に経験した現象から大きく外れた現象で、人が一生の間にまれにしか経験しない現象をいう。大雨や強風等の激しい数時間の気象から数か月も続く干ばつ、冷夏などの気候の異常も含まれる。気象庁では、過去 30 年間に観測されなかったような値を観測した場合を異常気象と定義している。</p>
<p>異常気象レポート</p>	<p>気象庁では、国内外の長期間の気候状態などに関する観測・監視結果や最新の予測結果などを総合的に解析して、昭和 49 (1974) 年以降ほぼ 5 年ごとに「近年における世界の異常気象と気候変動—その実態と見通し—」(通称：異常気象レポート) を刊行し、異常気象、地球温暖化などの気候変動、エーロゾルなどの地球環境の現状や変化の見通しについての見解を公表してきた。8 回目となる「異常気象レポート 2014」が最新版である。</p>
<p>海面水温</p>	<p>大気と海洋の境界 (海面) の水温のこと。通常、数十 cm~10m 深の水温を観測し、海面水温としている。</p>
<p>沖縄地方平均</p>	<p>本レポートでは、沖縄県の気温や降水量の解析においては、気候特性が他の地点とは異なる大東島地方 (南大東島) を除く、那覇・名護・久米島・宮古島・石垣島・西表島・与那国島の 7 地点の観測値を用いる。この 7 地点の平均値を「沖縄地方平均」と呼ぶ。</p>
<p>「沖縄県」と「沖縄」、 「沖縄地方」</p>	<p>本レポートでは、沖縄県の台風の接近数などの解析には、沖縄本島地方、宮古島地方、八重山地方の各地点に加えて南大東島のデータも使用しており、その場合には「沖縄県」と表記している。また、単に「沖縄」という場合は、特に区別はなく、沖縄県全体を指している。また、「沖縄地方」は原則として南大東島のデータを含まないが、気象庁部内の共有ツールで作成した資料の一部においては、「沖縄地方」が「沖縄県」と同じ意味で使用されている場合がある。</p>
<p>季節をあらわす用語</p>	<p>春 (3~5 月)、夏 (6~8 月)、秋 (9~11 月)、冬 (12~2 月)。ただし、3.1 海面水温の季節別経年変化では、海面水温の 1 年間の時系列変化の特性から、春 (4~6 月)、夏 (7~9 月)、秋 (10~12 月)、冬 (1~3 月) としている。</p>

全球	地球全体
台風	熱帯の海上で発生する低気圧を「熱帯低気圧」と呼ぶが、このうち北西太平洋（赤道より北で東経 180 度より西の領域）又は南シナ海に存在し、かつ低気圧域内の最大風速（10 分間平均）がおおよそ 17m/s（34 ノット、風力 8）以上のものを「台風」と呼んでいる。
台風の沖縄県への接近	台風が中心が、沖縄県内のいずれかの気象官署（気象台、特別地域気象観測所）から 300km 以内に入った場合を接近という。
平年値	現在の気候における平均的な気候状態を表す値。特に断りのない限り、本書では 1991～2020 年の 30 年間の平均値を平年値として使用する。
偏差	長期的な気候変化の監視のために、特定の年代を基準とした、その基準からの変化量。基準となる年代の取り方には任意性があるが、特に断りのない限り、本書では刊行時点における平年値の期間である 1991～2020 年の 30 年間の平均値を基準とする。平年値と期間は同じだが、意味が異なる。
長期変化（傾向）	A. 2. 1 の（4）項及び A. 2. 2 の（3）で解説した統計的手法の結果に基づいて、線形回帰直線の傾きについて記述するときのみ用いる。
「変動」と「年々変動」	年々の値と 5 年移動平均を示した図では、単に「変動」という場合は、5 年移動平均に対して用いる。年々の値について言う場合は、「年々の変動」のように違いを明記して用いている。

A.5 参考文献

- 大野浩史, 吉松和義, 小林健二, 若山郁生, 諸岡浩子, 及川義教, 平原翔二, 池田友紀子, 齋藤仁美, 2011: 気温の時系列データから気象官署の移転にともなう影響を補正する手法について, 測候時報, 78, 第 1-2 号.
- 気象庁, 2006: 気候解析用全球海面水温解析データ (COBE-SST) の特徴, 気候系監視報告別冊第 12 号.
- 気象庁, 2010: ヒートアイランド監視報告 (平成 21 年) .
- 気象庁, 2015: 異常気象レポート 2014.
- 気象庁, 2017: 地球温暖化予測情報 第 9 巻.
- 気象庁, 2021: 気候変動監視レポート 2020
- 文部科学省, 気象庁, 2020: 日本の気候変動 2020
- 久米均, 飯塚悦功, 1987: シリーズ入門 統計的方法 2 回帰分析 (第 9 章) , 岩波書店.
- 高槻靖, 倉賀野連, 志賀達, 分木恭朗, 井上博敬, 藤原弘行, 有吉正幸, 2007: 日本周辺海域における海面水温の長期変化傾向, 測候時報, 74, 特別号, S33-S87.
- 環境省, 文部科学省, 農林水産省, 国土交通省, 気象庁, 2018: 温暖化の観測・予測及び影響評価統合レポート 2018 「日本の気候変動とその影響」 .
- 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.
- IPCC, 2000: Special Report on Emissions Scenarios, A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press.
- IPCC, 2013: IPCC Fifth Assessment Report : Climate Change 2013: The Physical Science Basis. (日本語要約 : <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>)
- IPCC, 2014: IPCC Fifth Assessment Report : Climate Change 2014: Synthesis Report.
- IPCC, 2018: IPCC Global Warming of 1.5°C, An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5°C above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty.
- IPCC, 2019: IPCC Climate Change and Land, An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems.
- IPCC, 2019: Summary for Policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.

- IPCC, 2021: Climate Change 2021 The Physical Science Basis Summary for Policymakers : Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change: The Physical Science Basis.
- (日本語要約 : <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar6/index.html>)
- Corder, G. W., and D. I. Foreman, 2009: Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA.
- 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.
- Hamed, K. H. and Rao, A. R., 1998: A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelation data, *J. Hydrol.*, **204**, 182-196.
- Ishii, M., M. Kimoto, K. Sakamoto, and S. I. Iwasaki, 2006: Steric sea level changes estimated from historical ocean subsurface temperature and salinity analyses, *J. Oceanogr.*, **62(2)**, 155-170.
- Ishii, M., N. Kosugi, D. Sasano, S. Saito, T. Midorikawa, and H. Y. Inoue, 2011: Ocean acidification off the south coast of Japan: A result from time series observations of CO₂ parameters from 1994 to 2008, *J. Geophys. Res.*, **116**, C06022, doi: 10.1029/2010JC006831.
- Mann HB, and D.R. Whitney, 1947: On a test of Whether one of two random variables is stochastically larger than the other, *Ann Math Stat.*, **18**, 50-60.
- 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 change. *SOLA.*, **10**, 167-171, doi:10.2151/sola.2014-035.
- Prais, S. J. and C. B. Winsten, 1954: Trend Estimators and Serial Correlation, Cowles Commission Discussion Papers.
- 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.
- Takatani, Y., A. Kojima, Y. Iida, T. Nakano, M. Ishii, D. Sasano, N. Kosugi, and T. Midorikawa, 2014: Ocean acidification in the interior of the western North Pacific subtropical region, Abstract for 2nd International Ocean Research Conference.
- Trenberth, K.E., 2011: Changes in precipitation with climate change, CLIMATE RESEARCH, Vol. 47: 123-138.

Willis, J. K., D. Roemmich, and B. Cornuelle, 2004: Interannual variability in upper- ocean heat content, temperature and thermosteric expansion on global scales, *J. Geophys. Res.*, **109**, C12036.