

地球温暖化予測情報 第8巻

IPCC 温室効果ガス排出シナリオ A1B を用いた
非静力学地域気候モデルによる日本の気候変化予測

表紙の画像： (上) 気象衛星ひまわりによる可視画像 (2009 年 10 月 4 日 12 時)

陸地画像提供：NASA

刊行にあたって

人間活動に伴う近年の大気中の温室効果ガス濃度の増加は、地球のエネルギー収支の不均衡をもたらし、その結果として、気候システムを構成する大気や海洋の変化が観測されている。今後、地球温暖化の一層の進行に伴って、自然の生態系や人間の社会経済活動に大きな影響を及ぼすことが懸念され、人類全体として協力して取り組むべき重要な課題の一つと位置づけられている。

国連の気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は、2007年に公表した第4次評価報告書において、20世紀半ば以降に観測された世界平均気温の上昇のほとんどが人間活動に伴う温室効果ガスの増加によってもたらされた可能性が非常に高いと結論づけた。将来予測については、温室効果ガス排出量の将来見通しに基づく複数の気候モデル予測実験の結果から、21世紀末における世界平均気温の上昇量を1.1～6.4℃と推定している。2012年に公表した「気候変動への適応推進に向けた極端現象及び災害のリスク管理に関する特別報告書」では、平均的な気候の変化だけでなく、極端な高温や大雨の頻度が増加する可能性が高いと評価している。

地球温暖化とそれに伴う気候変化に対処するため、温室効果ガス濃度の増加を抑制し気温上昇の進行を緩やかにする「緩和策」とともに、避けられない気候変化に対しては、人や社会、経済のシステムを調節することで負の影響を軽減する「適応策」を講じることによって、リスクを低減することが可能であるとされている。

気象庁では、地球温暖化の科学的理解に係る普及啓発や、緩和策・適応策の検討に資する気候変化予測を提供するため、数値モデルによる実験の結果を「地球温暖化予測情報」として取りまとめ、平成8年度より7回にわたって公表している。今般ここに取りまとめた第8巻では、近年の数値モデル技術の進歩や計算機能力の向上の成果を踏まえて、従来に比べ大幅に解像度を高めた気候モデルを用いて、21世紀前半及び末頃を対象に予測実験を行った。このモデルでは、日本列島の地形の影響等をより現実に近い形で予測計算に反映させることができることから、平均的な気候の変化に加え、極端な高温や大雨等についても評価することが可能となっている。

本書が地球温暖化に関する理解の促進や、緩和や適応に係る施策の検討の基礎資料として、広く活用されることを期待している。

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

平成25年3月

気象庁 地球環境・海洋部長 佐々木 秀行

地球温暖化予測情報第8巻 目次

本書の要約	I
第1章 はじめに	1
第1節 世界と日本の温暖化の現状	1
第2節 地球温暖化の要因	6
第3節 地球温暖化予測の方法	7
第4節 地球温暖化予測の不確実性	14
第5節 地域気候モデルの気候再現性	18
第2章 気温の将来予測	19
第1節 平均と年々変動の変化	19
第2節 極端現象の変化	29
第3節 階級別日数の変化	32
第3章 降水の将来予測	44
第1節 平均と年々変動の変化	44
第2節 大雨や強雨の発生頻度の変化	48
第3節 無降水日数の変化	54
第4章 積雪・降雪の将来予測	58
第1節 平均と年々変動の変化	58
第2節 季節進行の変化	62
第5章 その他の要素の将来予測	65
第1節 相対湿度	65
第2節 全天日射量	69
第3節 鉛直安定度	73
第6章 近未来予測	80
第1節 近未来予測の特性	80
第2節 各要素の予測	80
補遺	
1. 地域気候モデル NHRCM の気候再現性	A 1
2. 全球気候モデル MRI-AGCM3.2 における循環場の変化	A 24
3. アメダス等の気候値	A 30
参考文献	
謝 辞	

This page intentionally left blank.

(余白)

本書の要約

地球温暖化に対応するためには、緩和策とともに適応策が必要である。

大気中の温室効果ガス濃度の増加による地球温暖化に対応するためには、「適応策と緩和策を互いに補完」することが必要である（IPCC, 2007）。わが国における地球温暖化の影響評価や対策に係る検討、適応策に関する調査研究及び地球温暖化に関する普及啓発等への活用のため、日本付近を対象とする詳細な地球温暖化予測情報を作成した。

特に、地球温暖化は、高温、大雨等の「発生頻度、強度、空間的広がり、持続期間やタイミングの変化をもたらし、前例のない極端現象を発生させる可能性がある」と指摘されている（IPCC, 2012）。影響評価や適応策の検討には、平均的な気候の変化だけでなく、社会的影響が大きい極端現象の変化に関する科学的根拠に基づく予測も必要である。このため、今回の地球温暖化予測情報では、極端現象の変化についても解析の対象とした。

地球温暖化に伴う日本付近の気候の変化や極端現象の変化を予測するため、以下のような気候モデル予測実験及び解析を行った。

地球全体の予測は、解像度 20km の全球気候モデルにより行い、日本付近の予測は、この結果を側面境界条件として、地域気候モデルによる力学的ダウンスケーリングの手法を用いて、従来よりも大幅に解像度を高めた 5km 四方の格子で計算した。これにより、複雑な地形や対流がもたらす気象の変化をより現実に近い形で計算できるため、平均的な気候の変化に加えて大雨等の顕著現象の評価が可能となっている。（1.3.3）

全球気候モデル、地域気候モデルは、気象庁において日々の天気予報や防災気象情報の作成に用いられ高い予報精度が実証されている数値予報モデルをベースに開発されたものである。このため、モデルの信頼性や日本付近での再現性が高い。

気候変化の予測においては、海面水温の振る舞いが重要な因子の一つとなる。単一の気候モデルによる海面水温予測を用いると、モデルの系統誤差や計算上現れる自然変動の影響（1.3.3、1.4）が予測結果に現れる。この影響を低減するため、本書の予測では、世界各国の複数の気候モデルによる海面水温予測結果の平均値を計算に用いている。

熱帯夜や真夏日等の階級値、極端な大雨の発生頻度等については、予測結果に対して統計的な補正を行ったうえで変化量を解析した。これにより、気候モデルの系統誤差の影響が低減されている。（1.5、補遺 1）

本書に示す予測結果は、以下の点について留意した上で利用する必要がある。

地球温暖化予測の前提となる温室効果ガスの将来変化は、単一のシナリオについてのみ予測対象としている。このため、他のシナリオを用いた場合には、異なる予測結果となる可能性がある。（1.3.2、1.4）

(要約)

海面水温予測は、複数の気候モデルによる平均値を用いているが、大気の予測については単一の気候モデルの結果であるため、温暖化に伴う気候変化傾向に加えて、数値計算上の仮定や近似に由来するモデル固有の特性が反映されていると考えられる。このため、他の気候モデルを用いた場合には、異なる予測結果となる可能性がある。(1.4)

降水の変化予測は、気温に比べて一般に不確実性が大きい。これは、台風や梅雨前線に伴う大雨等の顕著現象の頻度や程度は年々の変動が大きいことに加え、空間的な代表性が小さい(狭い地域で集中的に降る等)うえに発生頻度が稀であって20年程度の計算対象期間を設けても統計解析の標本数が少ないため、系統的な変化傾向が現れにくい場合があることによる。このような不確実性を低減するため、とりわけ降水の予測の場合には、特定の狭い地域に着目せず、広域的に平均・積算した傾向として理解することが重要である。(1.3.5、1.4)

地球温暖化予測は、自然変動に伴う気候の「ジグザグ」な揺らぎの影響を取り除いて、温室効果ガスの増加に伴って「じわじわ」と進行する長期的な変化の傾向を検出することが目的である。しかしながら、近未来を対象とする予測では、想定される温室効果ガスの増加幅が小さいため、「じわじわ」に対して「ジグザグ」な自然の揺らぎの大きさが卓越して、長期変化傾向の評価が難しくなる場合がある。(1.4)

本書の地球温暖化予測には様々な不確実性が伴うものの、以上のような予測手法の特性や限界を適切に理解した上で、影響評価や対策に係る調査研究や地球温暖化に関する普及啓発等に活用していただきたい。

21 世紀末（将来気候、2076～2095 年を想定）には 20 世紀末（現在気候、1980～1999 年を想定）と比較して、日本付近で以下のような気候変化が予測される。

気温の将来予測

年平均気温は各地域で 3℃程度の上昇がみられるが、北日本の上昇が 3℃を超えて最も大きい。季節別では、全ての地域で冬の上昇が最も大きく、夏の上昇が最も小さい。冬は、沖縄・奄美を除いて全国的に 3℃以上の上昇がみられ、北日本や、東日本の一部では 3.5℃を超える上昇がみられる。(図 S1、図 S2、2.1)

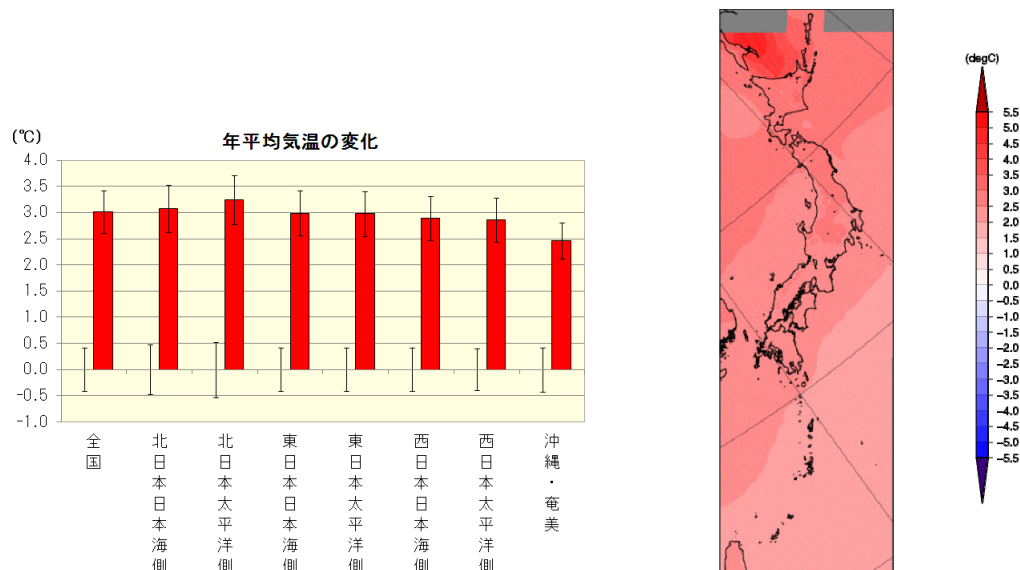


図 S1 地域別の年平均気温の変化と分布図

赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差（左：現在気候、右：将来気候）を示す。右の分布図の赤は増加、青は減少を示す。

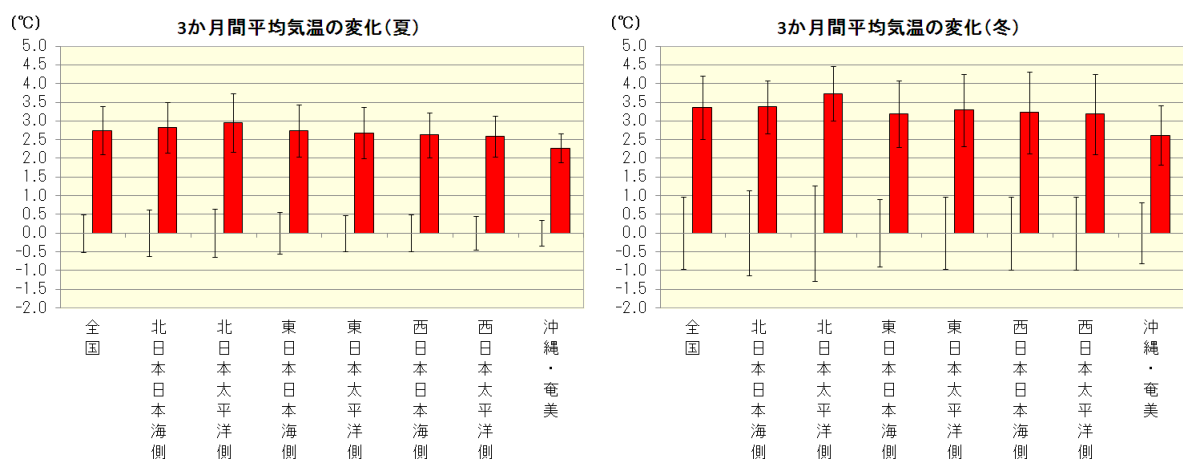


図 S2 地域別の 3 か月間平均気温の変化（左：夏（6～8 月）、右：冬（12～2 月））

赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差（左：現在気候、右：将来気候）を示す。

(要約)

年最高気温の20年再現値¹は2～3℃程度上昇し、北日本太平洋側の上昇が最も大きい。年最低気温の20年再現値は北日本を中心に2.5～4℃程度上昇し、北日本太平洋側の上昇が最も大きい。(図 S3、2. 2)

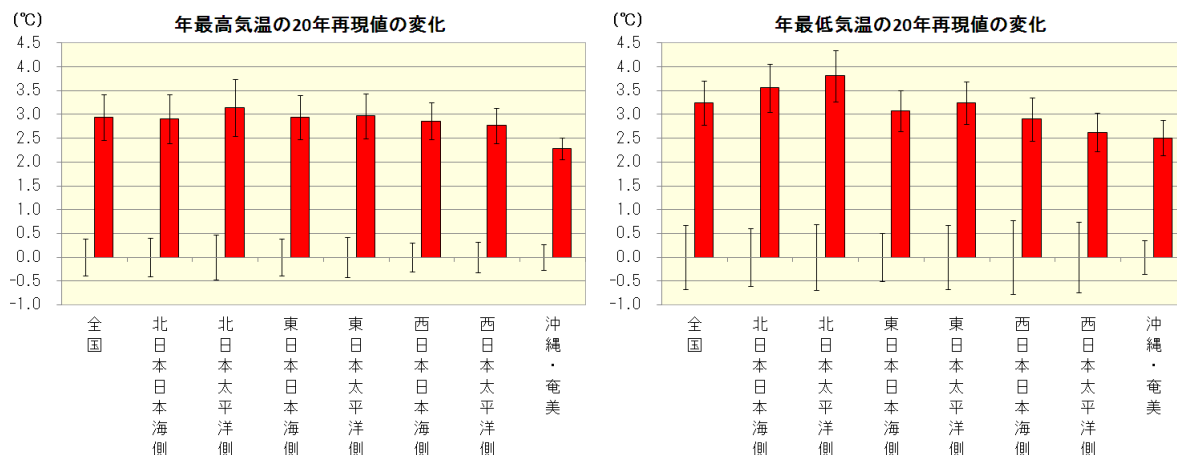


図 S3 地域別の高温（左）と低温（右）の20年再現値の変化

赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は推定誤差（左：現在気候、右：将来気候）を示す。

冬日は各地域で減少し、北日本で減少幅が大きい。猛暑日は東日本～沖縄・奄美にかけての各地域で増加し、北日本での増加幅は小さい。(図 S4、2. 3)

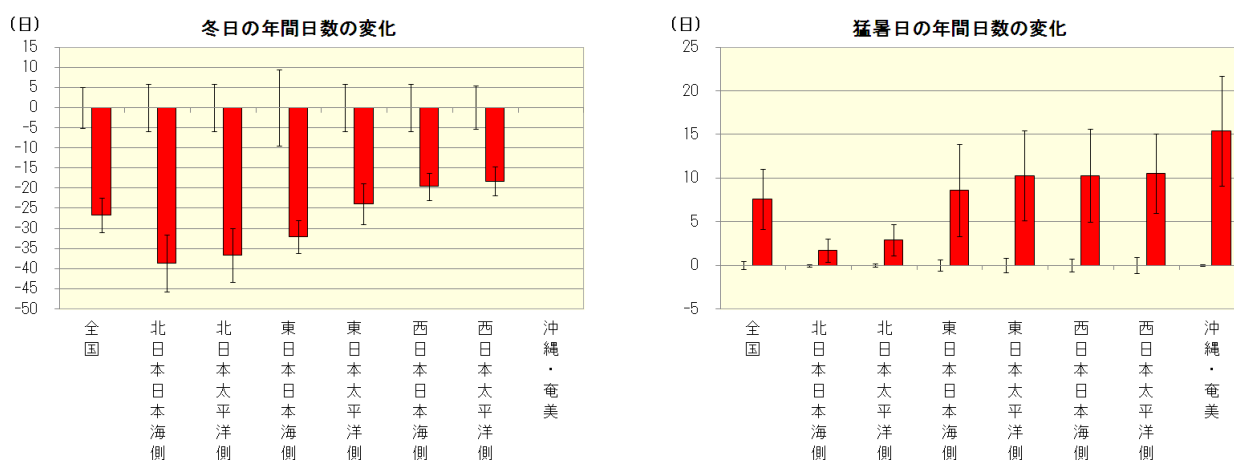


図 S4 地域別の冬日（左）と猛暑日(右)の年間日数の変化

赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差（左：現在気候、右：将来気候）を示す。

¹ 20年再現値とは、それを上回る（下回る）現象が、ある1年間に一回発生する確率が20分の1であるような極端な現象のことである。詳細は本文1.3.4を参照されたい。

降水の将来予測

年降水量は全国と北日本で増加する。冬から春にかけては、太平洋側で降水量が増加する。(表 S1、3.1)

表 S1 地域別の年・季節降水量の変化

増加(減少)の数値(単位はミリ)を示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合は水色に、信頼度水準 90%で有意でない場合は灰色に塗りつぶしている。

	年	春	夏	秋	冬
全国	109.1	56.8	38.6	-27.9	41.6
北日本日本海側	139.5	57.8	60.5	-20.7	41.9
北日本太平洋側	89.4	46.4	34.1	-37.2	46.1
東日本日本海側	39.3	35.0	26.7	-46.6	24.2
東日本太平洋側	105.6	55.7	55.9	-56.9	51.1
西日本日本海側	111.7	61.3	27.1	0.3	23.1
西日本太平洋側	133.1	73.7	19.9	-10.7	50.3
沖縄・奄美	74.4	44.9	38.0	1.8	-10.4

大雨や短時間強雨の発生回数は多くの地域で増加する。無降水日数も多くの地域で増加する。(図 S5、3.2、3.3)

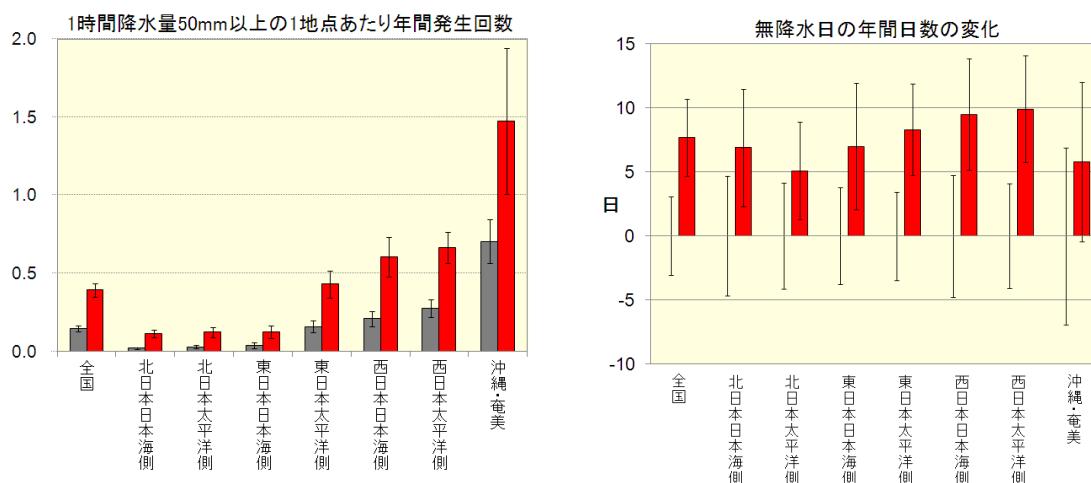


図 S5 地域別の1時間降水量50ミリ以上の短時間強雨の年間発生回数(左)と無降水日の年間日数(右)の変化

(左)棒グラフが現在気候(灰)、将来気候(赤)における発生回数で、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。(右)赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差(左:現在気候、右:将来気候)を示す。

(要約)

積雪・降雪の将来予測

年最深積雪はほとんどの地域で減少するものの、北海道の内陸部等の寒冷地では現在と同程度か増加となる地域もある。(図 S6、4.1)

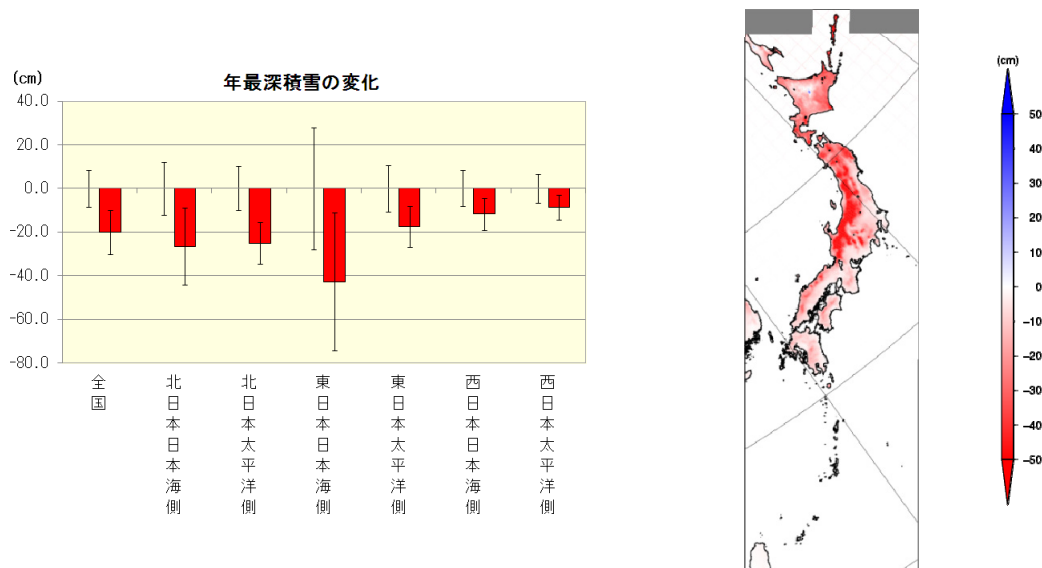


図 S6 地域別の年最深積雪の変化と分布図

赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差（左：現在気候、右：将来気候）を示す。右の分布図の青は増加、赤は減少を示す。

積雪、降雪共に、始期・終期における減少が明瞭で、観測される期間が短くなる。積雪はピークの時期が早まり大幅に減少する。(図 S7、4.2)

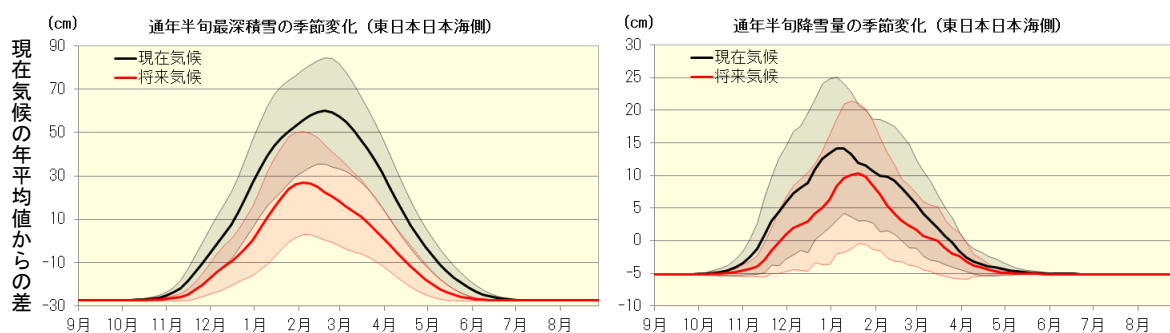


図 S7 積雪（左）と降雪（右）の季節進行の変化（東日本日本海側）

折線は通年半旬値、陰影は年々変動の標準偏差を示す。5 半旬で平滑化している。黒が現在気候、赤が将来気候を示す。縦軸は現在気候の年平均値からの偏差で表示している。

その他の要素の将来予測

夏は多くの地域で相対湿度が減少する。一方、冬は東日本日本海側を除く北日本から西日本で増加する。(図 S8、5. 1)

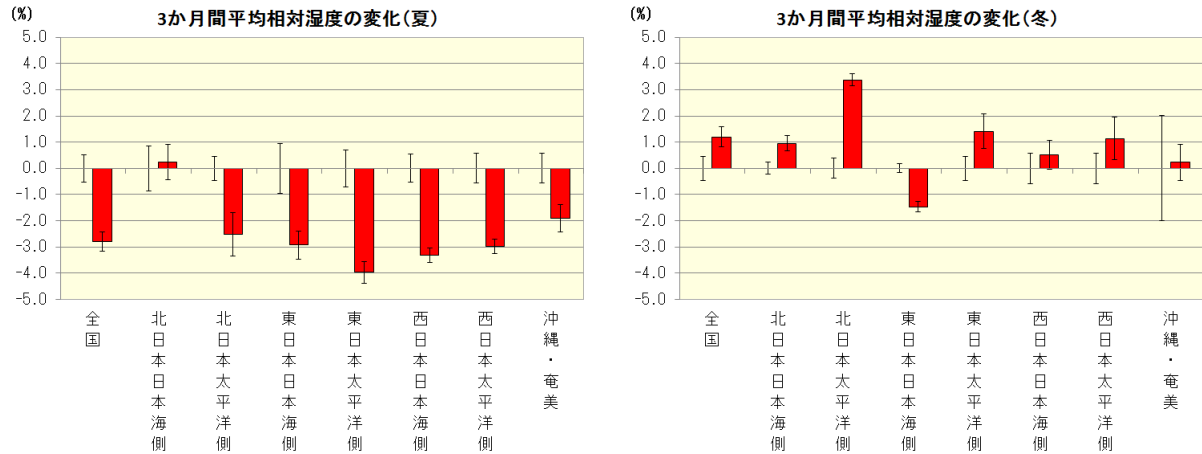


図 S8 地域別の 3 か月間相対湿度の変化（左：夏（6～8 月）、右：冬（12～2 月））

赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差（左：現在気候、右：将来気候）を示す。

年平均の全天日射量は、北日本で減少する。冬は沖縄・奄美を除いて全国的に減少する。(表 S2、5. 2)

表 S2 地域別の年・季節全天日射量の変化

増加（減少）の数値（単位は MJ（メガジュール）/m²）を示し、その変化量が現在気候の年々変動の標準偏差以上の場合はオレンジ色（水色）に、信頼度水準 90%で統計的に有意で無い場合は灰色に塗りつぶしている。

	年	春	夏	秋	冬
全国	-0.11	0.08	-0.14	-0.03	-0.38
北日本日本海側	-0.37	-0.36	-0.69	-0.02	-0.39
北日本太平洋側	-0.38	-0.33	-0.62	-0.11	-0.47
東日本日本海側	-0.05	0.04	-0.09	0.15	-0.29
東日本太平洋側	0.04	0.38	0.18	0.09	-0.47
西日本日本海側	0.04	0.36	0.25	-0.16	-0.29
西日本太平洋側	0.13	0.49	0.31	-0.03	-0.27
沖縄・奄美	-0.20	-0.11	-0.39	-0.45	0.17

(要約)

突風や雷雨の発生しやすさを示す大気環境場の指数（エナジー・ヘリシティ・インデックス、EHI²）は、いずれの地域でも不安定の方

向に変化する。（図 S9、5.3）

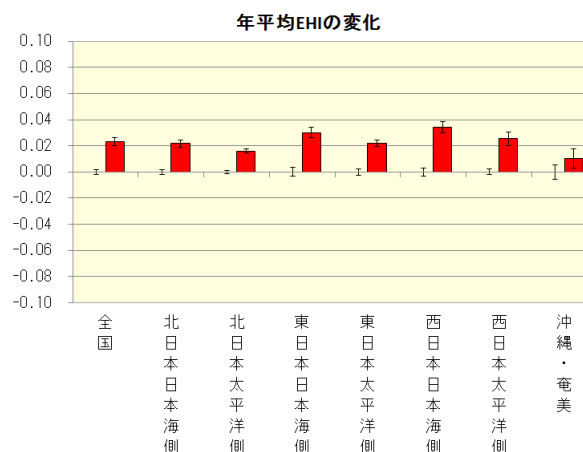


図 S9 地域別の年平均 EHI の変化

赤い棒グラフが現在気候との差、縦棒は年々変動の標準偏差（左：現在気候、右：将来気候）を示す。

² 上昇気流の起こりやすさを示す指数と、地表付近と上層の風速の差を示す指数から定義され、値が大きいときに突風や雷雨の発生する可能性が高くなる。