

# 長野県の気候変動と その影響



## 目次

- 2 世界と日本の気候変動
- 3-5 気候変動の観測事実
- 6-8 気候変動の将来予測
- 9-12 気候変動の影響（農業）
- 13 気候変動の影響（林業）
- 14 気候変動の影響（水環境・水資源）
- 15-20 気候変動の影響（生態系）
- 21-22 気候変動の影響（自然災害）
- 23-24 気候変動の影響（健康）
- 25 気候変動の影響（産業）
- 26-28 気候変動の影響（国民生活）
- 29-30 長野県における影響一覧

Photo/M.Hotta

## ごあいさつ

長野県は、気候変動適応法に基づく地域の適応促進の拠点として、2019年4月1日に、全国5番目となる「信州気候変動適応センター」を設置しました。当センターは、これまでに県が進めてきた気象データのモニタリングや、適応策創出に向けた産学官連携のプラットフォーム等の取組を包括して推進する機関として、様々な視点からのきめ細かな情報提供を行うとともに、農業、防災、生態系、健康など各分野において効果的な適応策を創出するための支援を行っています。

当県は同年12月6日に都道府県では初となる「気候非常事態宣言-2050ゼロカーボンへの決意-」を行いました。宣言の中では、気候変動対策としての「緩和」と災害に対応する強靱なまちづくりを含む「適応」に取り組んでいくこととしており、適応分野の取組の加速化がさらに求められているところです。

本パンフレットでは、これまで当センターが適応策の社会実装に向け、様々な研究機関と連携し、多分野における気候変動の影響評価や将来予測を行ってきた成果を紹介しています。

今後、これらの成果をはじめ、科学的根拠に基づく様々なデータが、政策の立案や技術、サービスの創出に活用されるよう、積極的に取り組んでまいります。

なお、本パンフレットで紹介する内容には、文部科学省の「気候変動適応技術社会実装プログラム(SI-CAT)」に当県がモデル自治体として参画し、取組を進める中で得られた新しい成果が多数あります。ご協力をいただいた多くの関係者の方々に感謝を申し上げます。

最後に、本パンフレットが今後の長野県における適応の取組の一助となりましたら幸いです。

2020年(令和2年)3月

信州気候変動適応センター センター長 高田真由美

## 本パンフレットを読むにあたって

本パンフレットの将来予測は、温室効果ガス等の大気中の濃度が将来どの程度になるかを想定した排出シナリオ<sup>1)</sup>(主にRCP(代表的濃度経路: Representative Concentration Pathways)シナリオ)ごとに、地球全体を計算する気候モデル<sup>2)</sup>(全球気候モデル)によって計算された気候予測を空間解像度数km(1~5km)にダウンスケーリング<sup>3)</sup>(本パンフレットでは力学的ダウンスケーリング(力学的DS)と統計的ダウンスケーリング(統計的DS)を使用)した気候予測データを利用しています。

RCPには、RCP2.6やRCP8.5などがあり、RCPに続く数値は、その値が大きいほど2100年までの温室効果ガス排出量が多いことを意味し、将来的な気温上昇量が大きくなります。

なお、予測結果は特定のシナリオ、条件に基づくものであり、種々の要因により実際とは異なる現象が起こる可能性(不確実性)があることにご留意ください。



この冊子は、文部科学省気候変動適応技術社会実装プログラム SI-CATの成果の一部として制作されたものです。



# 世界と日本の気候変動(観測事実と将来予測)

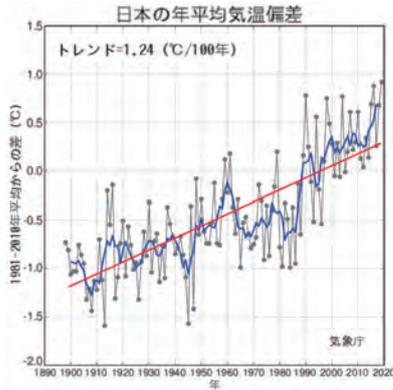


図1 日本の年平均気温偏差の経年変化<sup>4)</sup>

## 気温の変化傾向

世界の平均気温は長期的には100年あたり0.74℃の割合で上昇しています。日本の平均気温（都市化の影響の少ない15の観測地点の平均）は長期的には100年あたり1.24℃の割合で上昇しています（図1）。世界および日本の年平均気温は様々な変動を繰り返しながら長期的には上昇傾向（地球温暖化）にあります。特に1990年代以降、高温となる年が頻出しています。

日本全国（13地点の平均）の猛暑日（日最高気温35℃以上の日）の年間日数は100年あたり1.8日（図2）、熱帯夜（日最低気温25℃以上の日）は100年あたり18日増加しています。

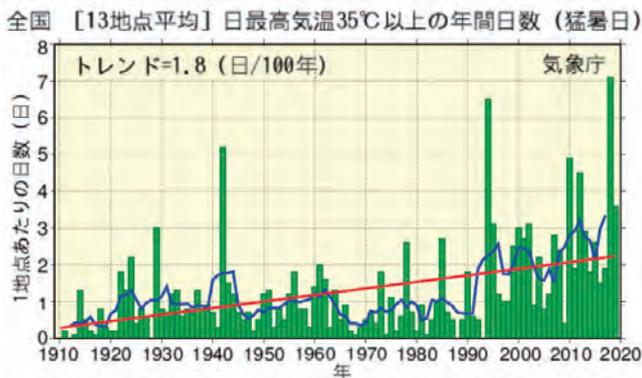


図2 日本の猛暑日の年間発生回数の変化<sup>5)</sup>

## 降水量の変化傾向

世界の年降水量には一様な変化傾向は認められません。日本の年降水量（51の観測地点の平均）は1920年代半ばまでと1950年代頃に多雨期がみられ、1970年代以降は年毎の変動が大きくなっています。

日本全国（51地点平均）の日降水量100mm以上（大雨）の年間日数は100年あたり0.29日増加しています（図3）。また、日本全国（アメダス1300地点あたりに換算）の1時間降水量50mm以上（短時間強雨）の年間発生回数は10年あたり28.9回増加しています。

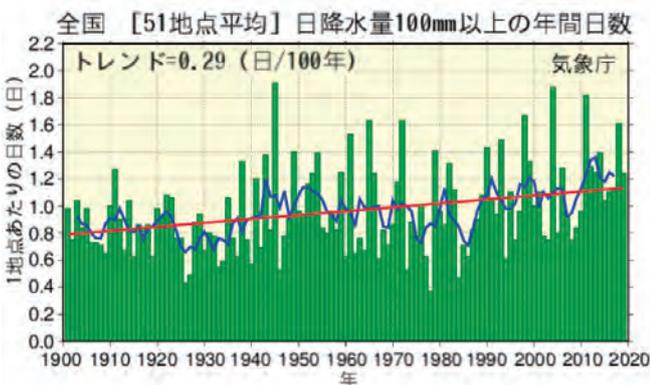


図3 日本の日降水量100mm以上の年間発生回数の変化<sup>5)</sup>

## 将来予測

世界の平均気温の将来予測<sup>6)</sup>では、複数の全球気候モデルを用いた結果により、1986-2005年平均気温に対して、21世紀末（2081-2100年）にはRCP8.5では2.6～4.8℃、RCP2.6では0.3～1.7℃の範囲に入る可能性が高いと予測されています（図4）。

日本の気候の将来予測<sup>7)</sup>では、気象庁の全球気候モデルを用いた複数計算の結果によると、現在（1980-1999年）に対して、21世紀末（2076-2095年）にはRCP8.5で年平均気温は4.5℃上昇し、猛暑日や熱帯夜は増加すると予測されています。年降水量は変化がみられないものの、大雨や短時間強雨は増加すると予測されています。

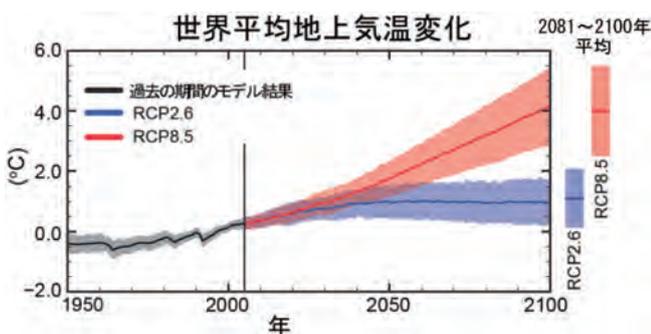


図4 世界の平均（地上）気温の将来予測<sup>6)</sup>



# 気候変動の観測事実 (気温)

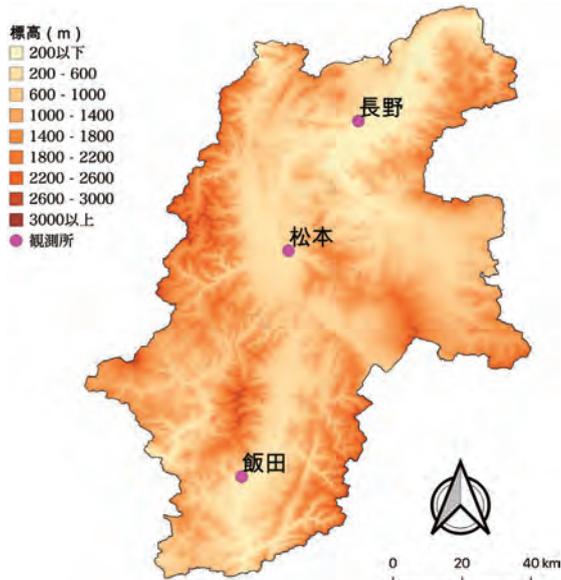


図5 長野県の地勢と気象庁観測地点の位置

気象庁により観測された「長野」、「松本」、「飯田」(図5)の年平均気温の長期的な変化傾向を調べました。観測史上最も高い年平均気温は、「長野」で2016年の13.1℃(平年値(1981-2010年の平均値)に比べて1.2℃高く)、「松本」で2018年の13.2℃(平年値に比べて1.4℃高く)、「飯田」で2018年の13.8℃(平年値に比べて1.0℃高く)でした。

100年あたりの年平均気温の変化率は、「長野」で1.2(℃/100年)、「松本」で2.0(℃/100年)、「飯田」で1.4(℃/100年)でした(図6)。いずれの地点も気温は長期的に上昇傾向(地球温暖化)を示しています。

年代毎に見ると1890-1910年の期間は低下傾向、1910-1940年の期間は横ばい、1940-1960年の期間は上昇傾向、1960-1980年の期間は低下傾向、1980年以降は上昇傾向となっていました。特に1990年代以降、高温となる年が頻出しています。このような変化は、世界や日本の平均気温の変化と同様<sup>3)</sup>に、人為的な温暖化と自然の内部変動が重なった結果と考えられます。

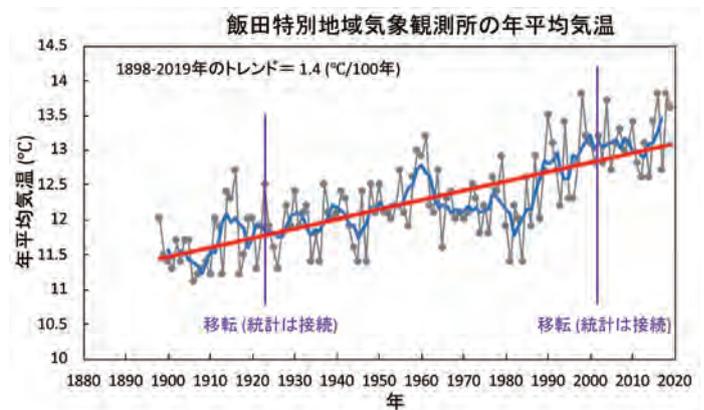
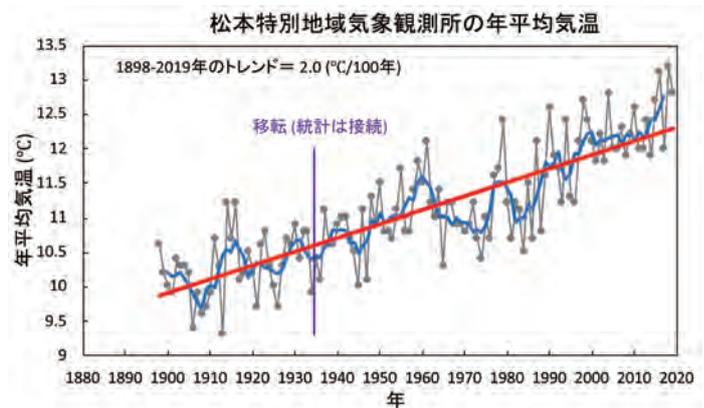
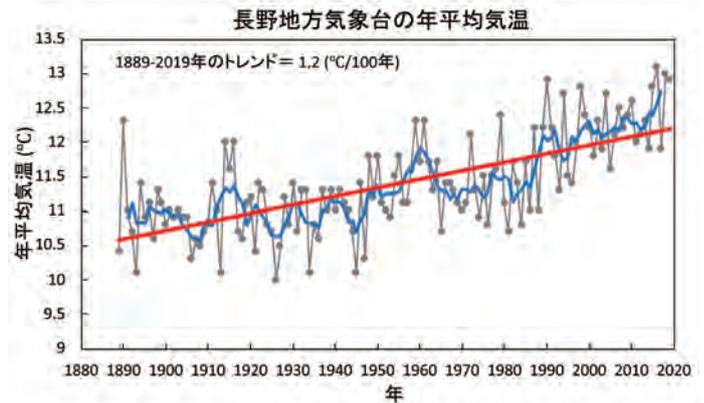


図6 観測点における年平均気温の経年変化

上：長野地方気象台(「長野」)、中：松本特別地域気象観測所(「松本」)、下：飯田特別地域気象観測所(「飯田」)、細実線(灰色)：各年の年平均気温、太実線(青)：5年移動平均、太実線(赤)：長期的な変化傾向。「松本」および「飯田」では観測地点の移転(紫縦線)の影響を取り除くための補正をしています。

\*気象庁のデータを使用して作成



# 気候変動の観測事実 (降水量と積雪深)

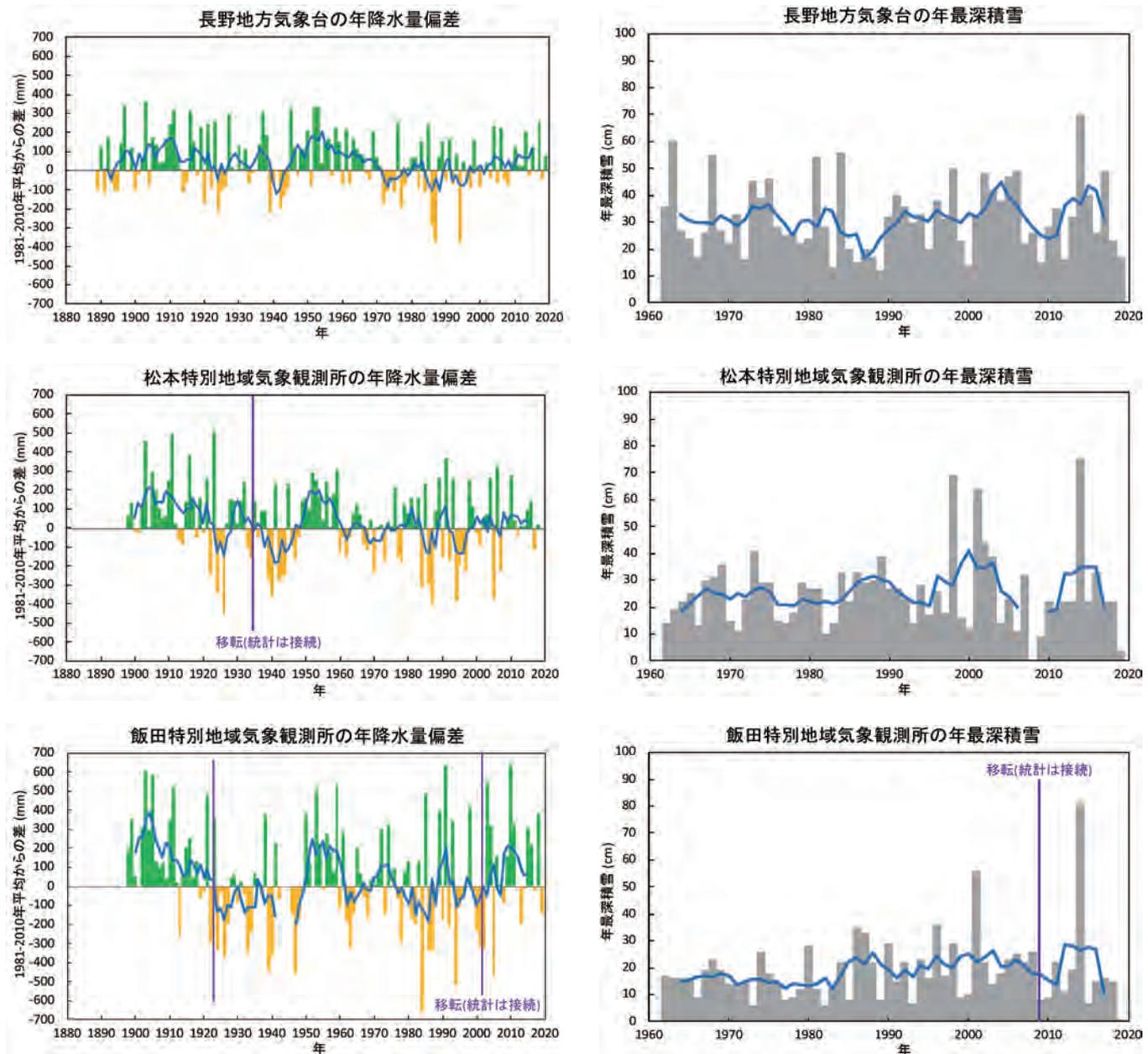


図7 観測点における年降水量偏差 (左列) と年最深積雪 (右列) の経年変化

上段：長野地方気象台（「長野」）、中段：松本特別地域気象観測所（「松本」）、下段：飯田特別地域気象観測所（「飯田」）。年降水量偏差の棒グラフ：平年値以下は黄色、平年値以上は緑、太実線（青）：偏差の5年移動平均。年最深積雪の棒グラフ：年最深積雪は灰色、太実線（青）：5年移動平均、「松本」および「飯田」では観測地点の移転（紫縦線）の影響を取り除くための補正をしています。

\* 気象庁のデータを使用して作成

## 年降水量

気象庁により観測された「長野」、「松本」、「飯田」の年降水量の長期的な変化傾向を調べました（図7左列）。観測史上最も多い年降水量は、「長野」で1903年の1296.9mm（平年値（1981-2010年の平均値）に比べて364.2mm多く）、「松本」で1923年の1537.3mm（平年値に比べて506.3mm多く）、「飯田」で2010年の2254.5mm（平年値に比べて643mm多く）でした。長期的な変化傾向は全ての地点でみられませんでした。

## 年最深積雪

気象庁により観測された「長野」、「松本」、「飯田」の年最深積雪の長期的な変化傾向（連続した値のある1962年以降）を調べました（図7右列）。期間中最も多い最深積雪は、「長野」で2014年の70cm（平年値に比べて39cm多く）、「松本」で2014年の75cm（平年値に比べて48cm多く）、「飯田」で2014年の81cm（平年値に比べて61cm多く）でした。長期的な変化傾向は全ての地点でみられませんでした。



# 気候変動の観測事実 (極端現象)

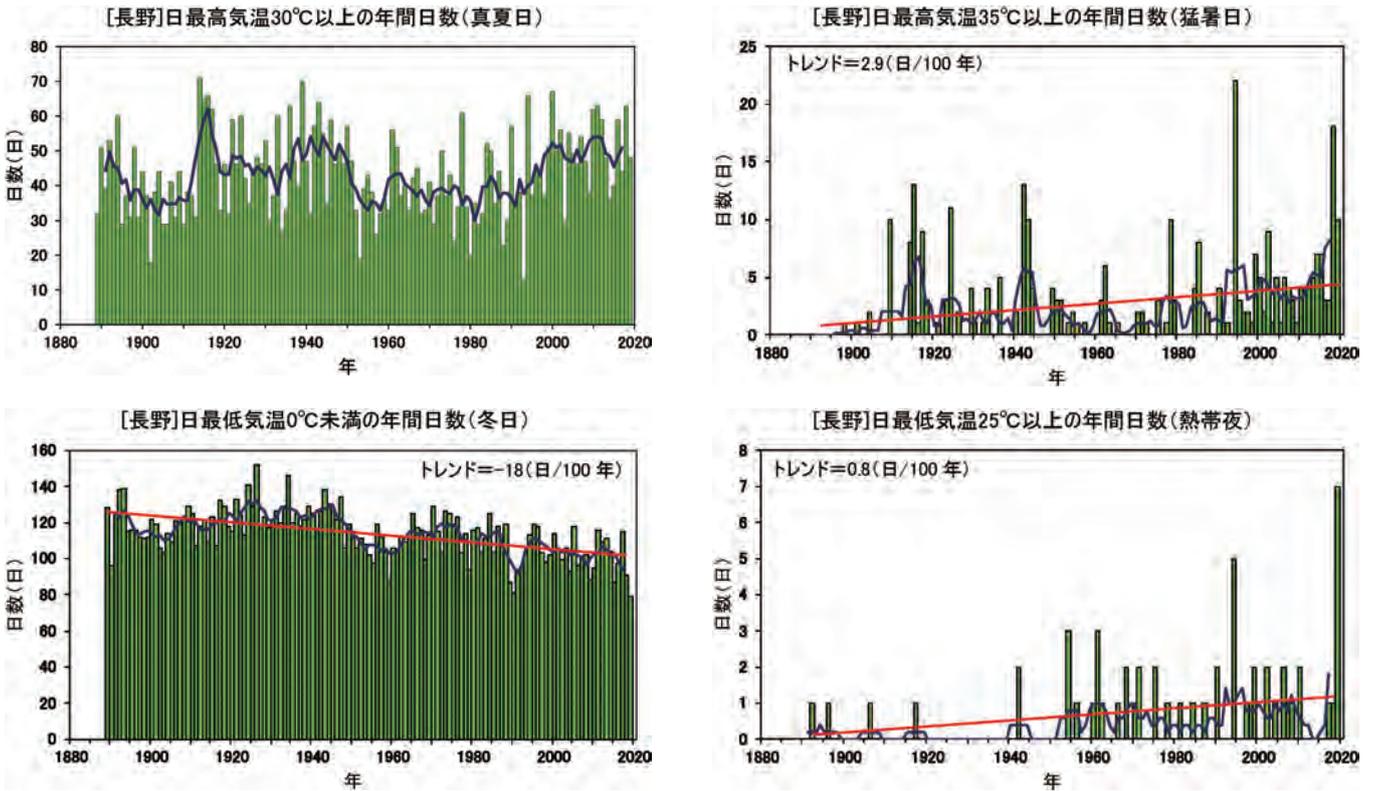


図8 長野地方気象台（「長野」）における真夏日（左上）、猛暑日（右上）、冬日（左下）、熱帯夜（右下）年間日数の経年変化  
棒グラフ（緑）：各年の年間日数、折れ線（青）：5年移動平均値、太実線（赤）：長期的な変化傾向。  
\*気象庁のデータを使用して作成

## 極端な気温

気象庁により観測された「長野」の観測値を用い、長期的な極端な気温の変化傾向を調べました。日最高気温が30℃以上（真夏日）の日数に、長期変化傾向は認められません（図8左上）。35℃以上（猛暑日）の日数は、

特に1990年代半ば頃を境に増加（図8右上）しています。また、日最低気温が0℃未満（冬日）の日数は減少する一方、日最低気温が25℃以上（熱帯夜）の日数は増加しています（図8左下と右下）。

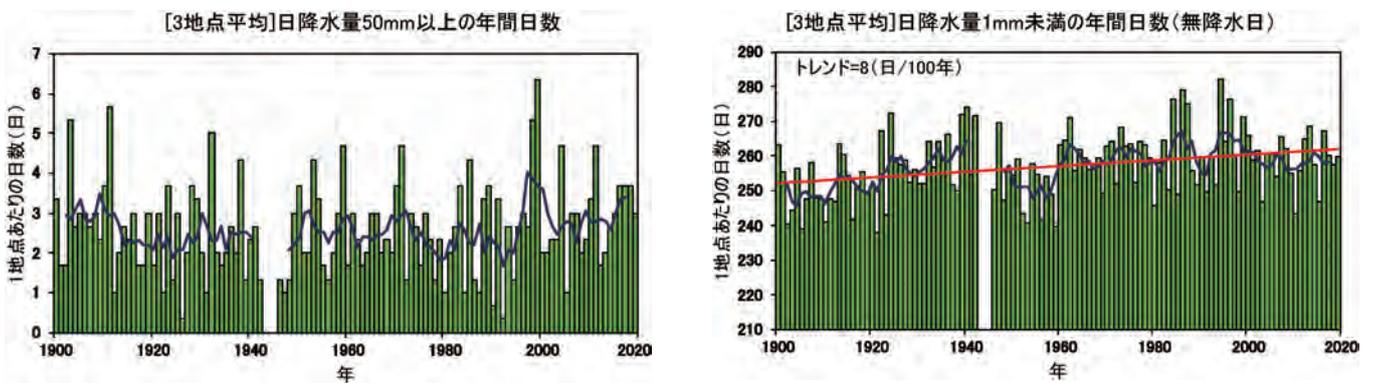


図9 3地点（長野、松本、飯田）平均における日降水量50mm以上（左）と日降水量1mm未満（無降水日）（右）の年間日数の経年変化  
棒グラフ（緑）：各年の年間日数の合計を3地点で割った値（1地点あたりの年間日数）、折れ線（青）：5年移動平均値、太実線（赤）：長期的な変化傾向。  
\*気象庁のデータを使用して作成

## 極端な降水量

気象庁により観測された「長野」、「松本」、「飯田」の観測値（3地点の平均値）を用い、長野県における日降水量50mm以上と日降水量1mm未満（無降水日）

の年間日数の変化傾向を調べました。日降水量50mm以上の年間日数に長期変化傾向は認められませんが（図9左）、無降水日の日数は増加しています（図9右）。



# 気候変動の将来予測 (気温)

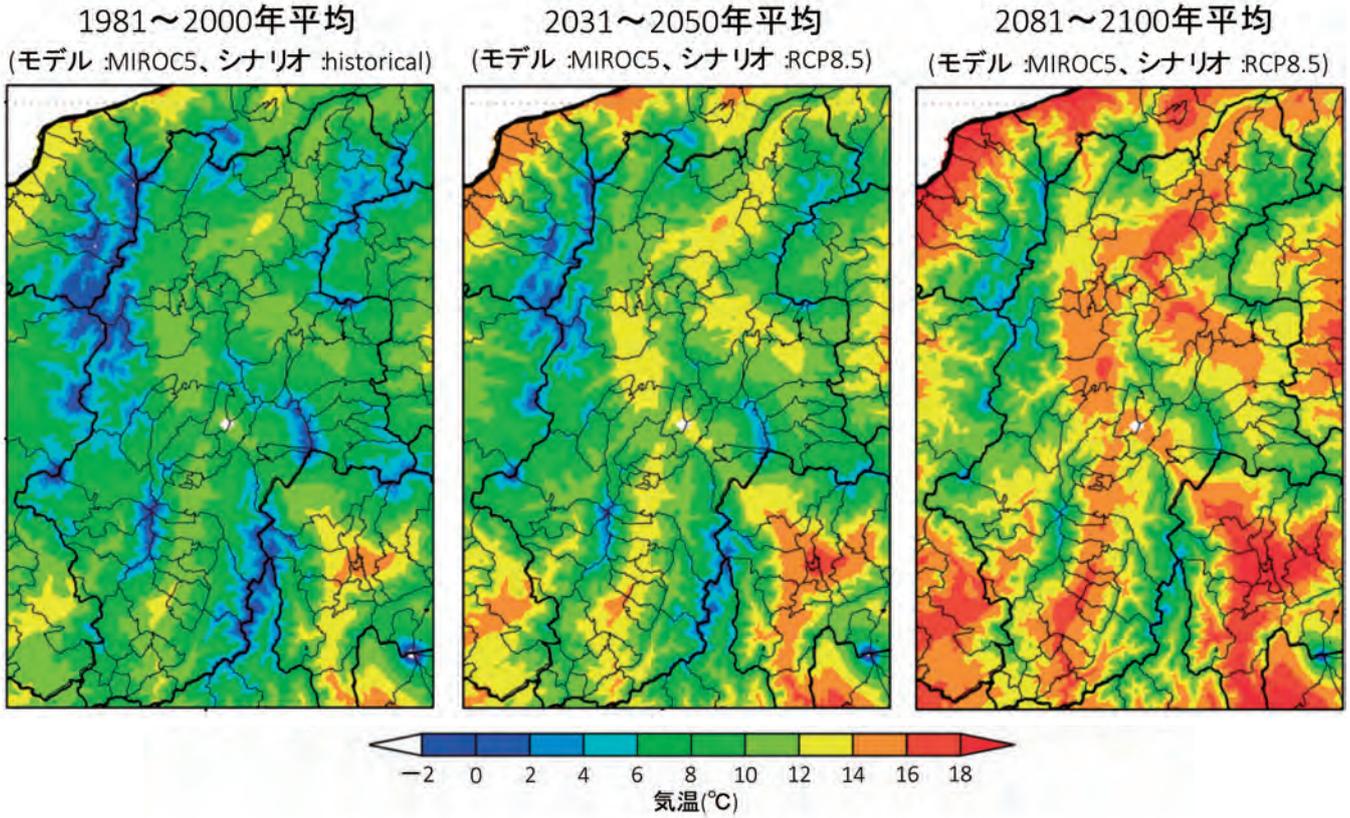


図10 長野県における年平均気温の将来予測

図10は、長野県における年平均気温の将来予測（全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP8.5、統計的DSによる空間解像度1km）の空間分布です。また、図11は長野地方気象台における20年平均気温の将来予測（5つの全球気候モデル、排出シナリオはRCP2.6と8.5、統計的DSによる空間解像度1km）の経年変化です。いずれも20年平均した結果です。

長野県では、排出シナリオや全球気候モデルによらず、将来、全体的に気温が上昇することが予測されました。長野地方気象台における現在（1981～2000年）の年平均気温（12.0℃）と比較して、RCP2.6では、近未来（2031～2050年）は0.5～2.5℃、21世紀末（2081～2100年）には1.0～2.8℃、RCP8.5では、近未来は1.0～3.0℃、21世紀末には3.6～6.7℃上昇すると予測されました。排出シナリオによる違いは、近未来では小さく、21世紀末では大きくなっています。また全球気候モデルによる違いは、RCP2.6では近未来と21世紀末の差はあまりありませんが、RCP8.5では近未来よりも21世紀末の方が気候モデルによる違いが大きくなっています。

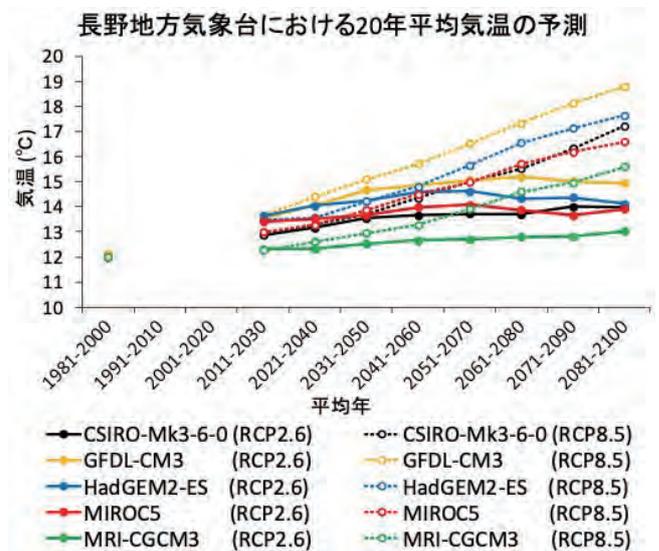


図11 長野地方気象台における20年平均気温の将来予測

文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT)における研究成果のうち、農研機構より提供された予測データ<sup>9)</sup>を元に作図。



# 気候変動の将来予測（極端な降水量）

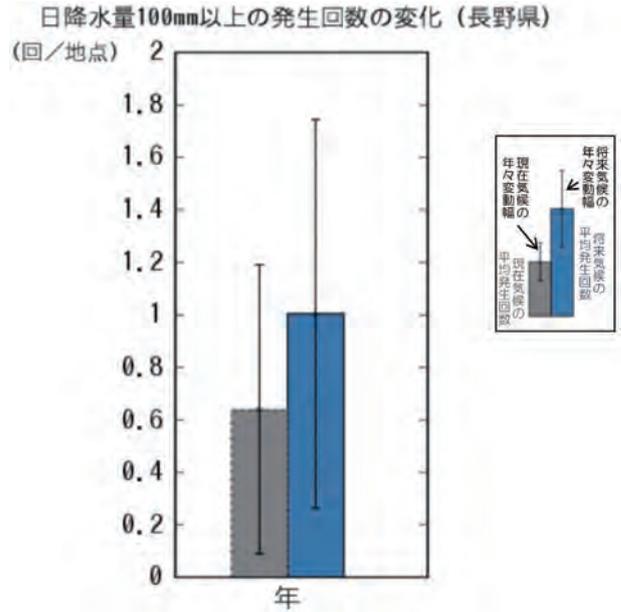
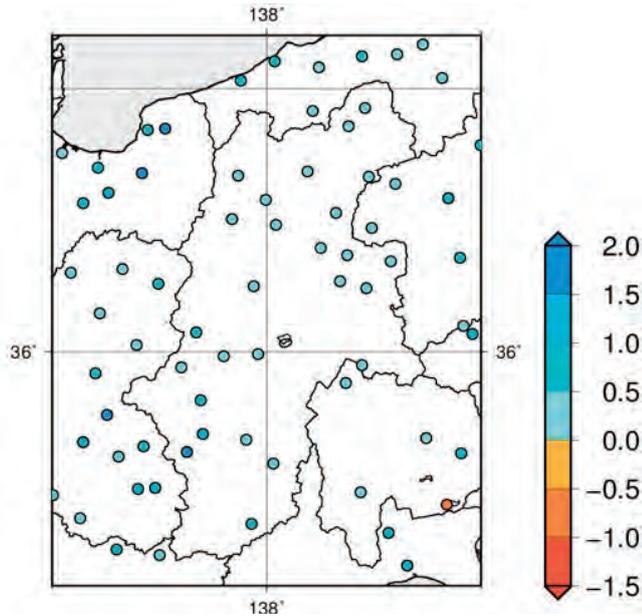


図12 長野県における日降水量100mm以上の年間発生回数の変化の将来予測  
左：地点毎、右：県平均（1地点あたり）

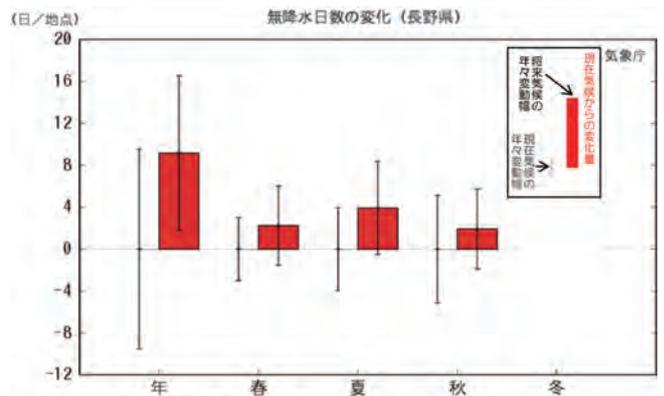
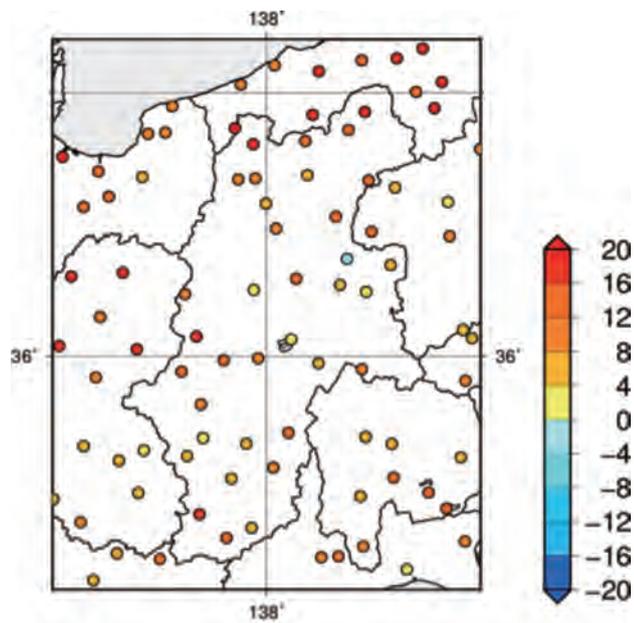


図13 長野県における無降水日数の将来予測  
左：地点毎の変化（年間日数）、右：県平均（1地点あたり）

## 大雨（日降水量100mm以上）の発生回数

図12は長野県における日降水量100mm以上の大雨の年間発生回数の変化の将来予測です。現在（1980－1999年）にくらべて21世紀末（2076－2095年）には、県内すべての地点において増加し、1地点あたりの発生回数にすると60%（0.6回が1.0回に）増加します。

## 無降水日（日降水1mm未満の日）の日数

図13は長野県における無降水日の日数の変化の将来予測です。現在（1980－1999年）にくらべて21世紀末（2076－2095年）には、県内のほとんどの地

点において増加し、1地点あたり発生回数にすると年間約8日、季節別には夏が約4日の増加と最も多くなっています。

これらの結果は、将来においては大雨の頻度が増加する一方で、降水の無い日も増加し、雨の降り方が極端になると予想されていることを意味します。豪雨への備えとともに、渇水リスクにも備えることが必要と考えられます。なお、全球気候モデルはMRI-AGCM3.2S、排出シナリオはRCP8.5、地域気候モデルはNHRCM05を用いて力学的DSした予測事例です。

地球温暖化予測情報第9巻<sup>7)</sup> 長野県の部分を気象庁より資料提供。



# 気候変動の将来予測 (積雪深)

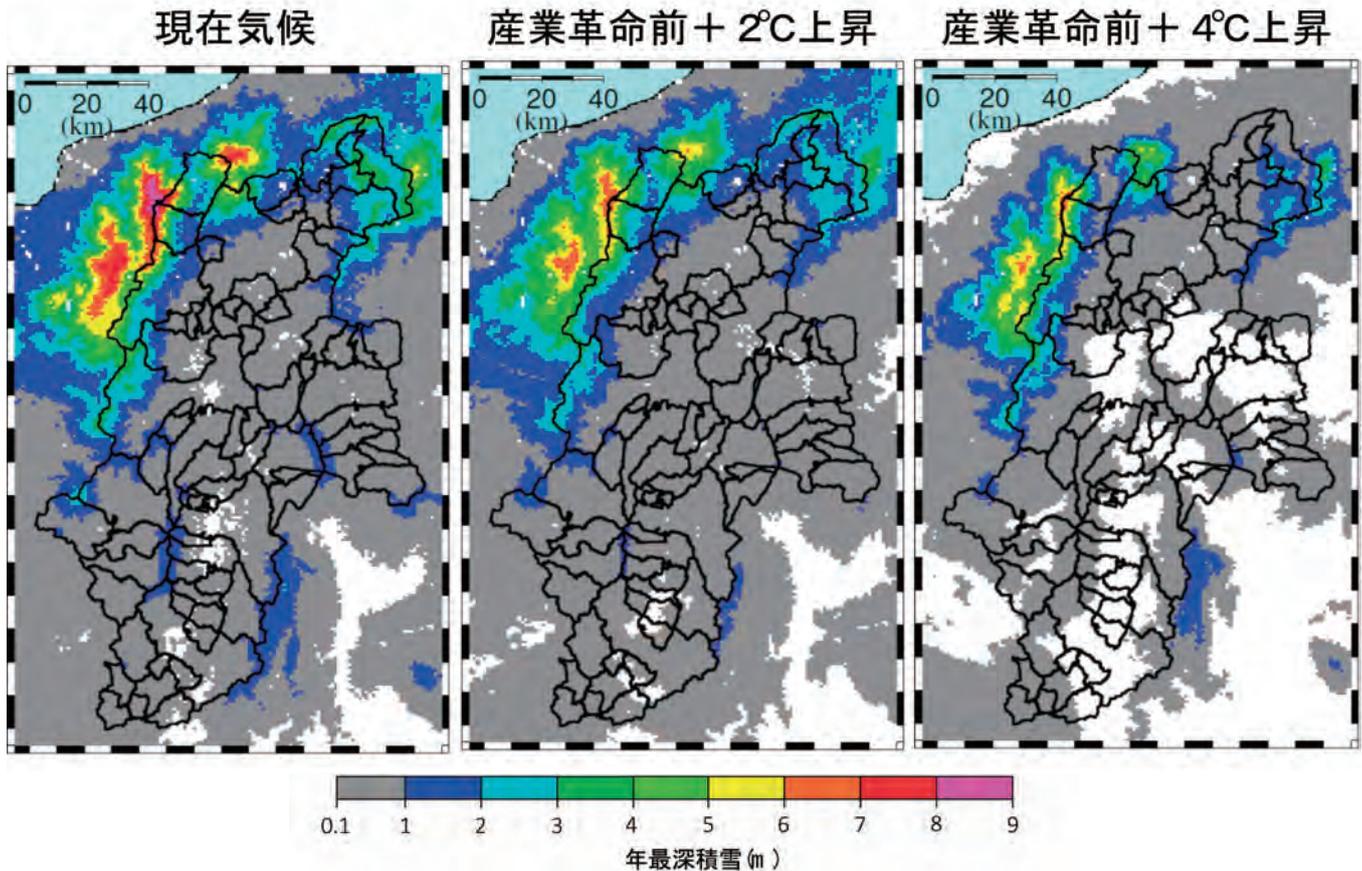


図14 長野県における年最深積雪の将来予測

積雪深の予測には、全球気候モデル (MRI-AGCM3.2) と地域気候モデル (NHRCM) により計算された水平解像度20kmの地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (d4PDF)<sup>11)</sup> が用いられました。d4PDFは仮想的な過去 (5400年分)、産業革命前に対して2°C上昇 (6000年分) および4°C上昇 (6000年分) の3つの時代データベースからなっています。2°C上昇および4°C上昇の計算では、RCP8.5シナリオが使われています。それぞれの時代のデータベースから、1時代あたり延べ372年分を抽出し、これらをNHRCMの境界条件に用いてまず水平解像度を5kmで計算を行っています。さらに、各時代別にこの5km計算結果 (372年分) を用いて、中部山岳域の標高1,000m以上の地域における年最深積雪の平均値で順位付けをし、上位5年、中位5年、下位5年の延べ15年分を抽出しました。これらをNHRCMの境界条件に用いた水平解像度1kmで計算されたのが、今回の予測結果です。図1はこの1km計算結果の中で、各時代の中位5年 (平均的な積雪深) から無作為に抽出した1年の長野県周辺における年最深積雪の空間分布図を示しています。

図14は長野県における年最深積雪の将来予測です。現在気候の年最深積雪に対して、産業革命前+2°C上昇および産業革命前+4°C上昇の未来気候においては、気温の上昇に伴い年最深積雪が全域的に減少すると予測されました。

現在気候において年最深積雪の多い地域 (たとえば北アルプスや上信越県境付近) ほど+2°Cおよび+4°C上昇時の減少量が大きく、白馬岳山頂付近では+2°Cで136cm、+4°Cで215cmの減少、小谷では+2°Cで79cm、+4°Cで119cmの減少、野沢温泉では+2°Cで79cm、+4°Cで142cmの減少となっています。

一方、現在気候の年最深積雪に対する+2°Cと+4°Cの年最深積雪の減少率は、現在気候において年最深積雪の多い地域ほど小さく、白馬岳山頂付近では+2°Cで15.3%、+4°Cで24.2%の減少、小谷では+2°Cで36.7%、+4°Cで55.0%の減少、野沢温泉では+2°Cで31.1%、+4°Cで55.6%の減少となっています。

④ 文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT) における研究成果のうち、東北大学・気象研究所・JAMSTECより提供された予測データ<sup>10)</sup> を元に作図。



# 気候変動影響：農業（コメ 収量と品質）

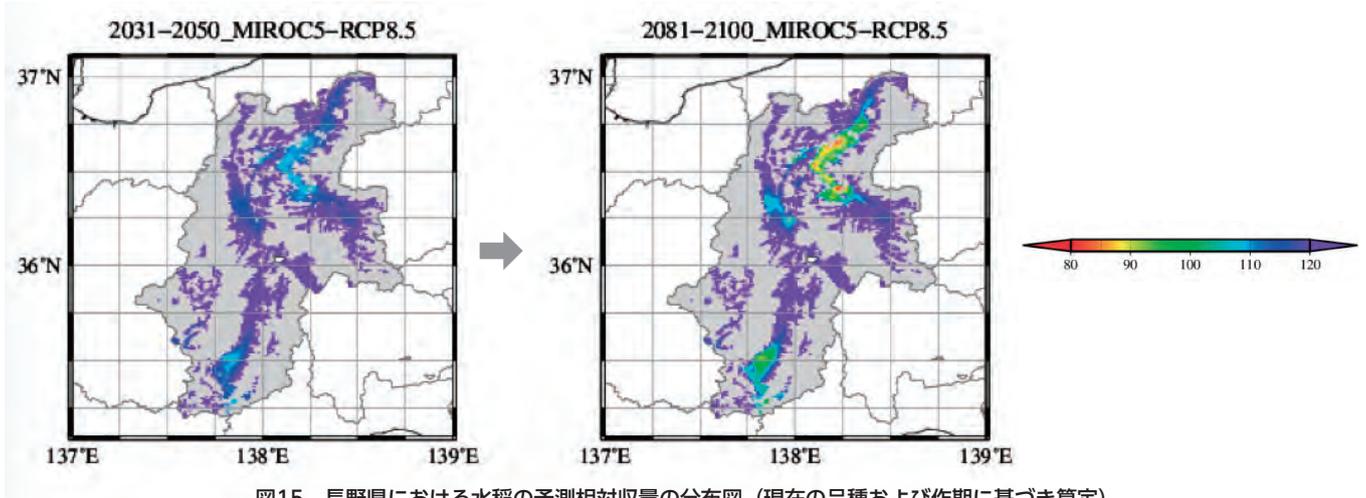


図15 長野県における水稻の予測相対収量の分布図（現在の品種および作期に基づき算定）  
 左：近未来、右：21世紀末。  
 基準期間の20年平均値を100とした相対値。

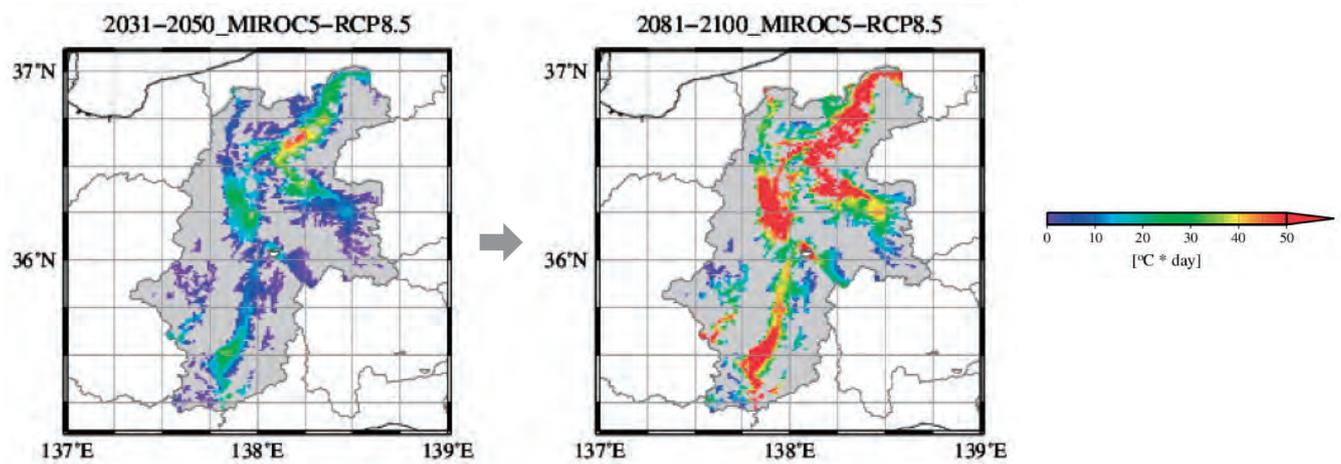


図16 長野県における水稻の予測HD\_m26値の分布図（現在の品種および作期に基づき算定）  
 左：近未来、右：21世紀末。  
 HD\_m26 < 20 (°C・day)：高温による品質低下リスク低。  
 HD\_m26 > 20 (°C・day)：高温による品質低下リスク中。  
 HD\_m26 > 40 (°C・day)：高温による品質低下リスク高。

## 収量

水稻の収量は気温や湿度などの気象要素と大気中のCO<sub>2</sub>濃度の影響を受けます。この関係を表す影響評価モデル<sup>12)</sup>と気候予測データ<sup>9)</sup>（全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP8.5、統計的DSによる空間解像度1km）を用いて、近未来（2031-2050年）および21世紀末（2081-2100年）における基準期間（1981-2000年）からの平均相対収量の予測を行いました（図15）。気温の上昇により、近未来においては県内全域で増収となりましたが、21世紀末においては一部地域の減収が認められます。長野県は標高が高く気温が比較的低いため、将来気温の上昇による大きな減収を引き起こす水準には達しないものの、より気温上昇が進む場合は、高温による減収効果が卓越し、比較的標高の低い北部の一部地域において減収が予測されます。

## 品質

水稻は登熟期の高温により品質が低下します。出穂後20日間の日平均気温26℃以上の積算値（HDm\_26：白未熟粒増加による品質低下リスクを表す指標）と1等米比率との関係と気候予測データ（収量予測と同じ）を用いて、近未来および21世紀末におけるHD\_m26の予測を行いました（図16）。HD\_m26が20を超えると品質低下リスクが現れ、40を超えると品質低下リスクが高くなります<sup>13)</sup>。近未来においては、標高の低い盆地の底部で20を超える値が現れ、北部の一部で40を超える値が出現します。21世紀末には、山間部を除く多くの地域で40を超える値となり、一定程度の品質低下が予測されるため、適期移植や高温耐性品種の導入等の適応策が必要とされています。

環境省地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務の研究成果のうち長野県の部分を農研機構より提供。



# 気候変動影響：農業（コメ 白未熟粒発生）

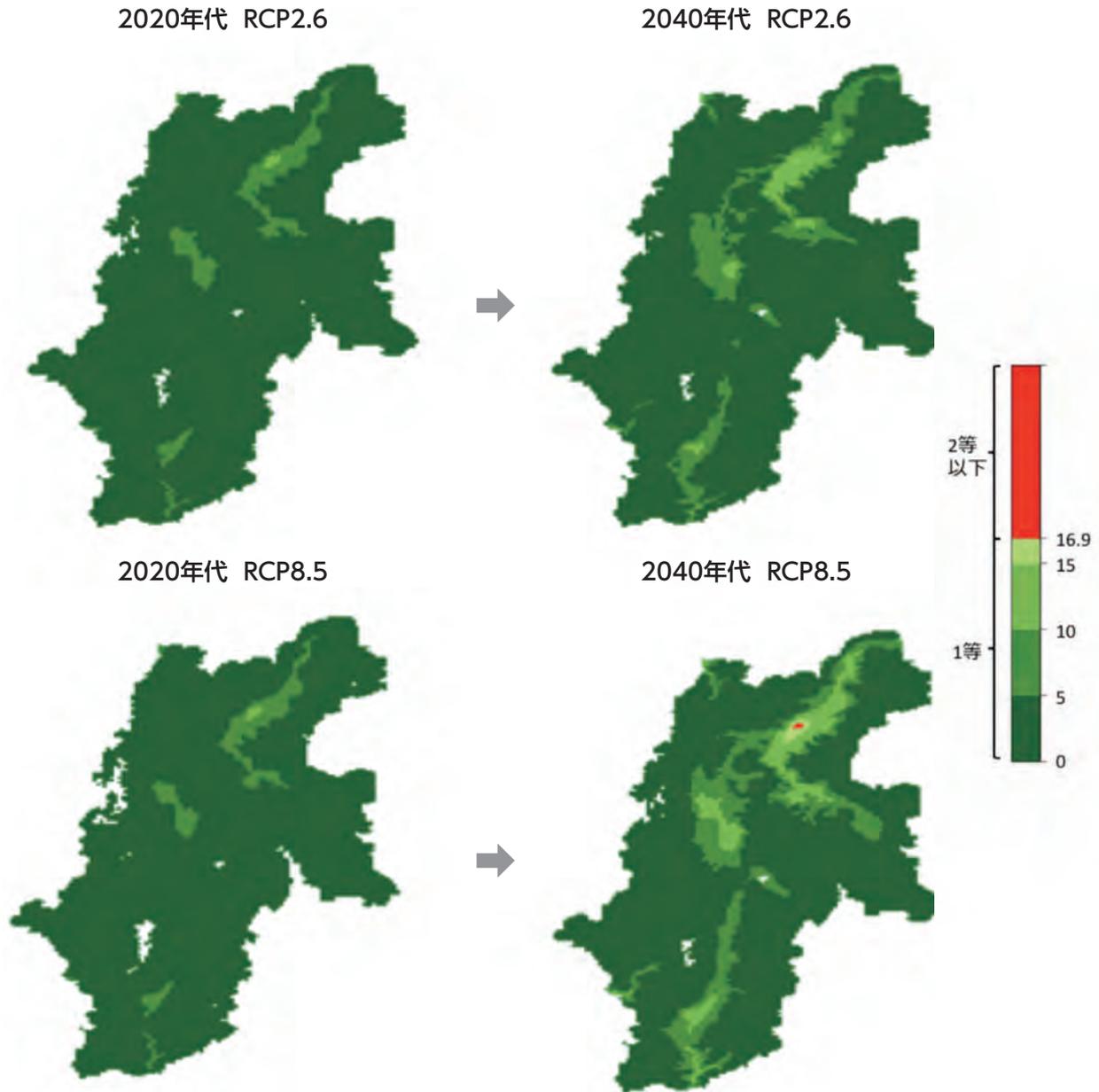


図17 長野県における平均白未熟粒発生率の予測  
 左上：2020年代、RCP2.6、右上：2040年代、RCP2.6。  
 左下：2020年代、RCP8.5、右下：2040年代、RCP8.5。

コメは登熟期に高温に晒されると、米粒が白濁化した白未熟粒が多く発生することがわかっています。白未熟粒は砕けやすく加工時のロスをもたらすとされています。また玄米中に白未熟粒が多く含まれると検査等級を下げ、食味を低下させる恐れもあります。一般にこの検査等級に応じてコメの取引単価が決まるため、白未熟粒が多いと生産者の収入を減少させることとなります。このように温暖化に伴う白未熟粒発生の増加は、日本の水稻生産において大きな問題となってきています。

出穂後20日間の日平均気温と白未熟粒発生率の関係を表すモデルと気候予測データ<sup>9)</sup>（全球気候モデルはMIROC5など5つの平均、排出シナリオはRCP2.6

と8.5、統計的DSによる空間解像度1km）を用いて、2020年代および2040年代における平均白未熟粒発生率の予測を行いました（図17）<sup>14)</sup>。いずれの排出シナリオでも、2020年代には県北部の平野部において白未熟粒発生率が高まると予測されました。またRCP8.5シナリオでは、2040年代には県北部の平野部において、コメの等級が2等以下となる高い白未熟粒発生率の地域が出てくる可能性が予測されました。温暖化による白未熟粒の発生を抑えるためには、高温耐性品種の開発・導入といった適応策が必要になると考えられます。

<sup>14)</sup> 文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT) における研究成果を茨城大学増富准教授より提供。



# 気候変動影響：農業（リンゴ）

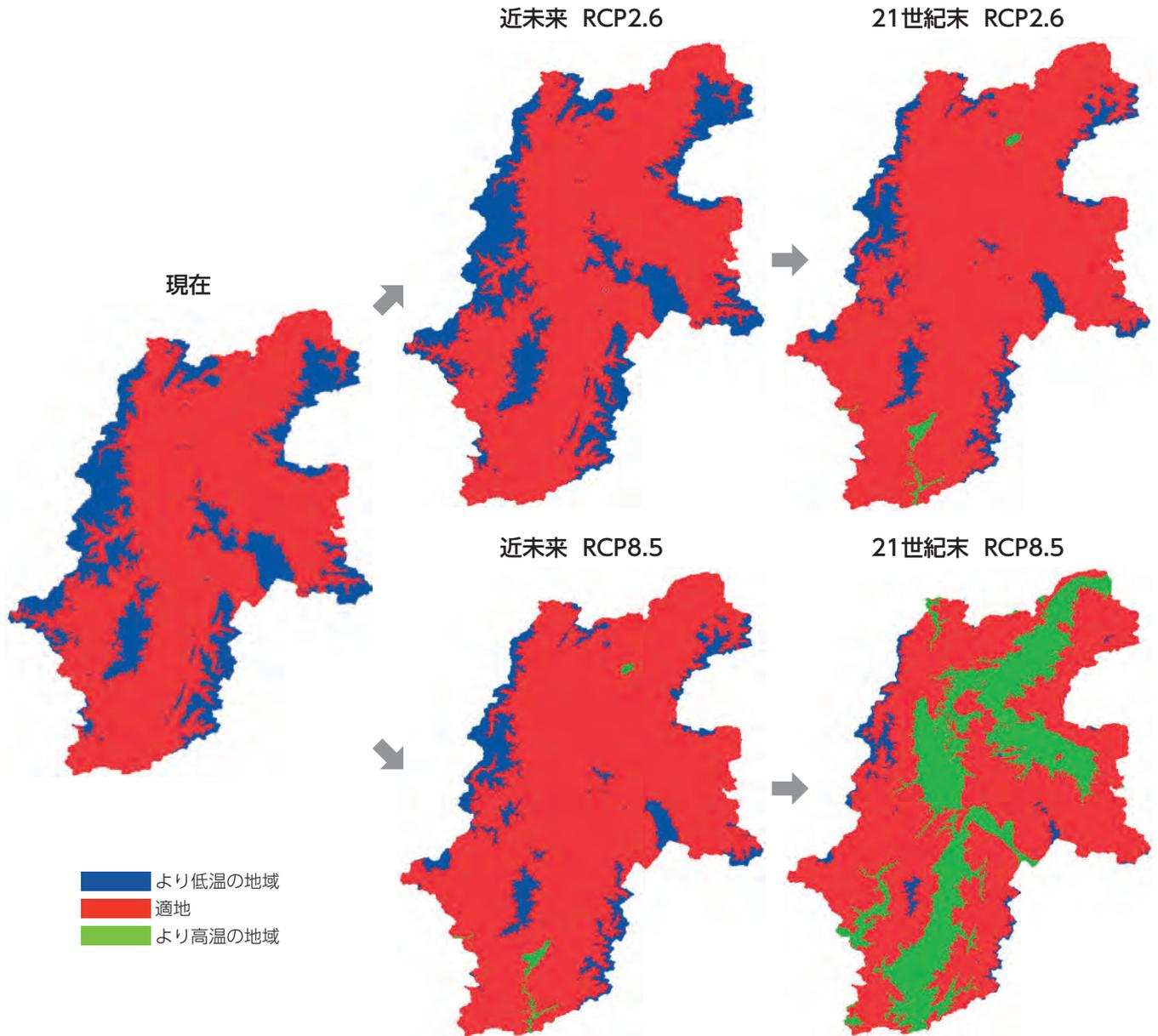


図18 長野県におけるリンゴの栽培適地予測の分布図

左：現在、中上：近未来、RCP2.6、右上：21世紀末、RCP2.6、中下：近未来、RCP8.5、右下：21世紀末、RCP8.5。

長野県の主要果樹であるリンゴを対象に、気候変動がリンゴの栽培適地に及ぼす影響の将来予測を行いました。リンゴ栽培適地の判定は、年平均気温が6～14℃の地域としています<sup>15)</sup>。この栽培適地と気候予測データ<sup>9)</sup>（全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP2.6および8.5、統計的DSによる空間解像度1km）を元にして、さらに空間解像度を1kmから250mに高めたものを用いて、近未来（2031～2050年）および21世紀末（2081～2100年）におけるリンゴ栽培適地の予測を行いました（図18）。空間解像度を250mに高めたことにより、長野県のように地形が複雑な中山間地に立地するリンゴの栽培適地をより実態にあったものとして表現することができるように

なります。

RCP2.6では、現在の適地が気温の上昇とともに拡大すると予測されましたが、RCP8.5では、近未来は長野と飯田近辺のわずかな地域が、また21世紀末は県内標高の低い盆地の大部分の地域が、高温により適応策なしでは栽培しにくくなることが予測されました。

なお、今回の結果は気温のみに基づく予測であり、これを活用するには日照や土地条件等に留意する必要があります。適応策としては灌水やしゃ光ネットの利用（日焼け防止）、窒素肥料の削減（着色促進）、着色のよい品種（「秋映」など）の利用などがあります。

<sup>15)</sup> 環境省地域適応コンソーシアム全国運営・調査事業委託業務の研究成果のうち長野県の部分を農研機構より提供。



# 気候変動影響：農業（ブドウ）

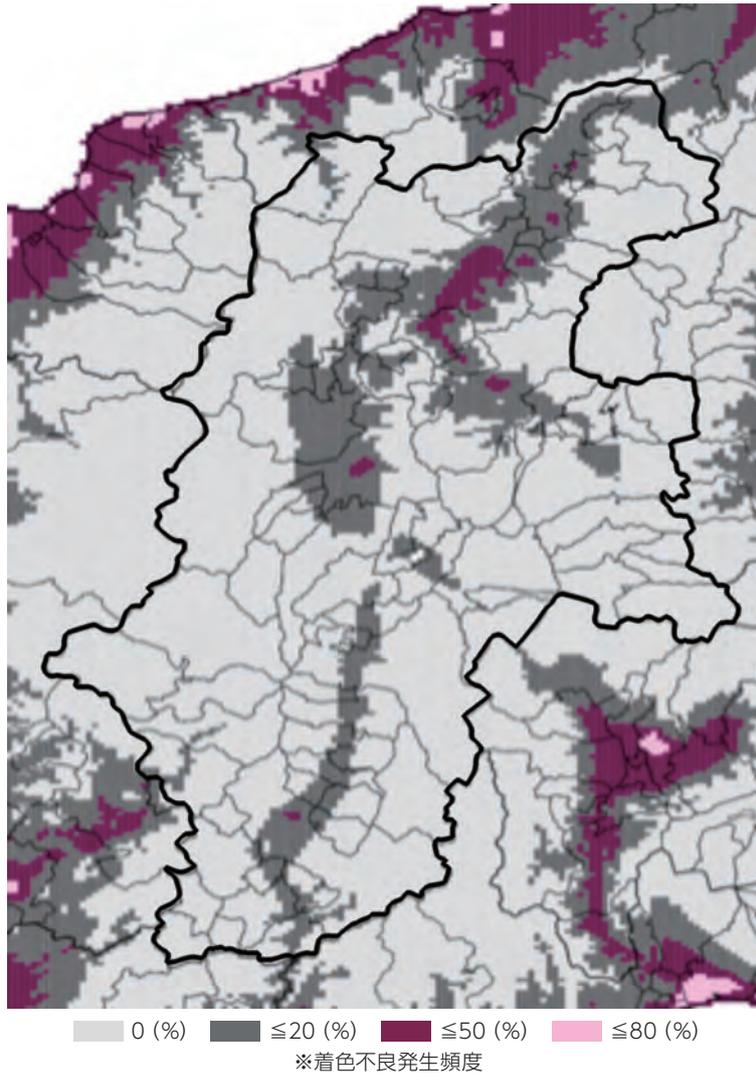


図19 RCP4.5の近未来における「巨峰」の着色不良予測マップ  
現在気候と比較した場合の露地栽培における着色発生不良頻度 (%)

「巨峰」などブドウの黒色品種は、果実の着色が高温で阻害され、商品価値が著しく低下します。わが国のブドウ産地では、地球温暖化に伴い着色不良の発生が増加し、大きな問題となっています。

全国のブドウ「巨峰」の果皮色と気温の関係を現すモデルと、気候予測データ<sup>16)</sup>（全球気候モデルはMIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, Had-GEM2-ES, CSIRO-Mk3-6-0の5つの平均値、排出シナリオはRCP4.5、統計的DSによる空間解像度1km）を用いて、近未来（2031－2050年）における「巨峰」の着色不良の発生地域の予測を行いました<sup>17)</sup>。

長野県は主要なブドウ産地としては気温が低いため、比較的影響は小さいものの、気温の上昇により、露地栽培における「巨峰」の着色不良発生地域は、現在（1981－2000年）と比較すると、長野から上田地域、松本地域、天竜川沿いに着色不良発生頻度が20%以下の地域が広がると予測されます（図19）。中でも標高

の低い長野地域では着色不良発生頻度がやや高くなると予測される地域があります。

一方、露地栽培での「巨峰」における温暖化影響への対策（適応策）としては、品種転換（シャインマスカット（図20）等黄緑色系ブドウを含む）などが考えられます。

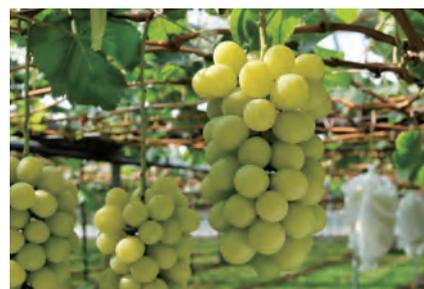


図20 県内での栽培拡大が期待されるシャインマスカット

農研機構（2019）「ブドウ着色不良発生頻度予測詳細マップ」から長野県の領域を切り出して作成。  
[https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/131034.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/131034.html)



# 気候変動影響：林業（松枯れ）

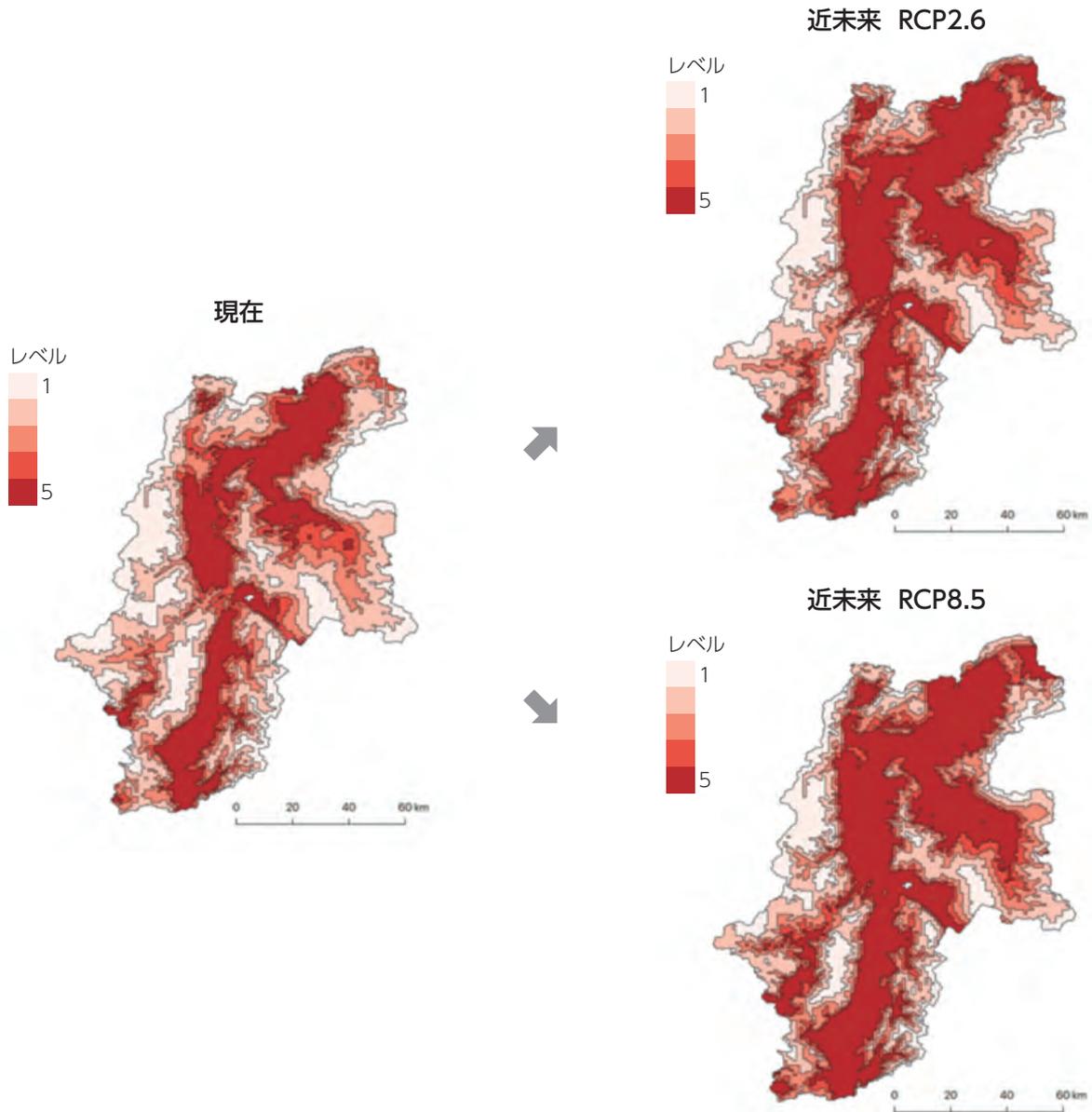


図21 長野県における松枯れ潜在リスクの予測気候域

左：現在、右上：近未来、RCP2.6、右下：近未来、RCP8.5。

レベル1：現時点では松枯れの発生が認められない気候域、レベル2：リスクは低いものの松枯れ発生の可能性がある気候域、レベル3-5：松枯れのリスクが高い気候域、レベル5はリスクが特に高い気候域。

松枯れ（マツ材線虫病、松くい虫）による松林の被害は、日本における最大の森林被害の一つであり、今なお各地で防除が必要とされています。また、地球温暖化により被害がさらに広がることも世界的に危惧されています<sup>12)</sup>。

全国の松枯れ地点情報（詳細は<sup>20)</sup>を参照）と、気温・降水量情報（メッシュ平年値2010；気象庁、1980－2010年の30年平均）を元に予測モデルを構築し、現在における潜在リスク域を予測しました。また、将来気候予測データ<sup>13)</sup>（全球気候モデルはMRI-CGCM3、排出シナリオはRCP2.6と8.5、統計的DSによる空間解像度1km）を用いて近未来（2026－2050年）における潜在リスクを予測しました<sup>14)</sup>。

近未来の松枯れ潜在リスク域は、現在よりも増加し、またRCP2.6よりもRCP8.5で増加すると予測されました（図21）。他県と比較すると、長野県は近未来におけるもっとも潜在リスク域が拡大する条件下においても低リスク域が残りやすいこともわかりました。ただし、近未来では、単純にリスク域が広がるだけでなく、低リスク域が分断化し、それまでは離れていた高リスク域が繋がることも予想され、防除がより困難になる可能性があります。一方、他県と比較して標高が高い長野県においては、温暖化が進んだとしても高標高地域では被害の及ばない松林が残ることも予想されます。

<sup>14)</sup> 参考文献<sup>20)</sup>のうち長野県の部分を農研機構より提供。

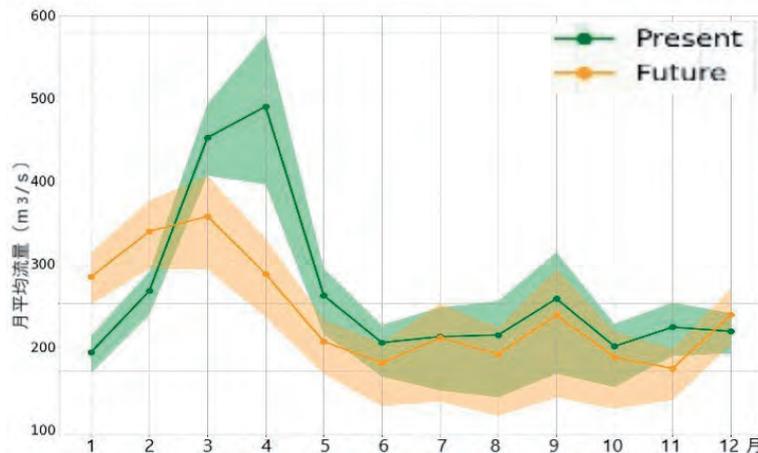


図22 千曲川（柏尾橋地点）の月平均流量

緑：現在、オレンジ：将来、点はアンサンブル平均値、幅は25パーセンタイル値と75パーセンタイル値。

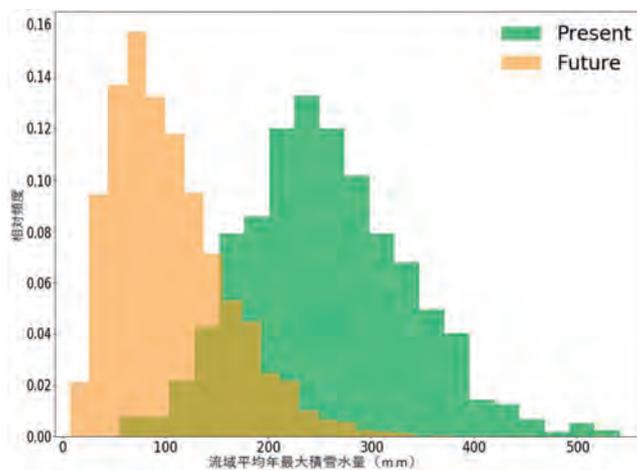


図23 千曲川流域平均年最大積雪水量のヒストグラム

緑：現在、オレンジ：21世紀末

気候変動が流域の水資源に及ぼす影響を評価するため、千曲川流域を対象として河川流量や積雪水量が将来どのように変化するのかを予測しました<sup>21)</sup>。高解像度で多数のアンサンブルを持つ気候予測データ<sup>11)</sup> (d4PDF：全球気候モデルはMRI-AGCM3.2、排出シナリオはRCP8.5、地域気候モデルはNHRCMを用いた力学的DSによる空間解像度20km) を、陸面過程モデルと河川流下過程の要素をもつ分布型水文モデルに入力し、陸域の水循環解析を行うことで河川流量および流域内の積雪水量の評価を行っています。

## 流量

図22は、千曲川（飯山市柏尾橋）における現在（1979－2003年）および21世紀末（2075－2099年）の月平均流量の季節変化を示しています。現在では、冬の間には降り積もった雪が雪融け水として、4月前後に一気に川に流れるため流量のピークが現れます。一方、21世紀末では、気温の上昇により降雪量が減るだけで

なく、積もった雪が冬の間には融けやすくなるため、春先の融雪による流量のピークは減少しています。また、夏季の河川流量は21世紀末においてはばらつきが大きくなると予測されました。

## 水資源（積雪水量）

図23は、千曲川の流域全体に雪として貯水している水量を流域面積で割り、降水量と同じ単位で表現したものです（積雪水量）。年最大流域平均積雪水量は現在では平均値が257mm、21世紀末では平均値が104mmとなり、現在にくらべ21世紀末の流域に蓄えられる積雪水量が約60%減少すると予測されました。また、21世紀末の年最大流域平均積雪水量の平均値が現在の最小値に近くなり、大幅に減少することが予測されました。

<sup>11)</sup> 文部科学省「統合的気候モデル高度化研究プログラム」における研究成果を京都大学田中准教授より提供。



図24 侵入雄に警戒して、警戒声を発するニホンライチョウ *Lagopus muta japonica*成鳥雄（撮影：堀田昌伸）



図25 日本におけるニホンライチョウ *Lagopus muta japonica* の生息分布（青）  
四角は図26の予測した範囲

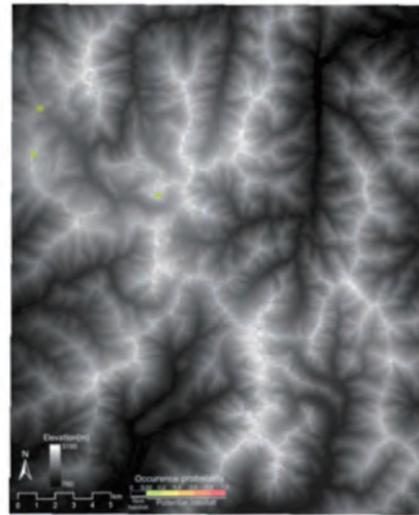
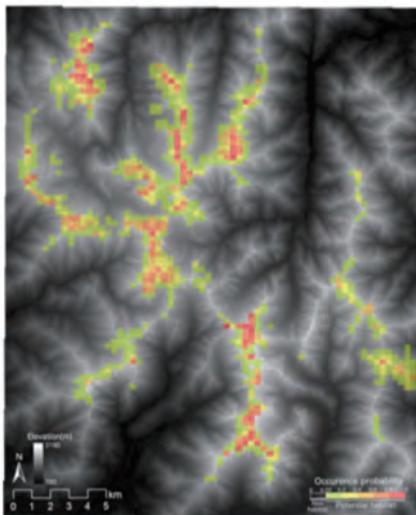


図26 北アルプス中南部におけるニホンライチョウの潜在生息域の予測結果（24の全球気候モデルの中央値）<sup>22)</sup>  
左：現在、右：21世紀末。クリエイティブ・コモンズ・ライセンス（表示4.0国際）

ニホンライチョウ（以下、ライチョウ）（図24）は中部山岳の高山帯にのみ隔離分布し（図25）、本種の世界最南限の集団です。また、八ヶ岳や白山、中央アルプスでは既に絶滅し、現在、その個体数は2,000羽弱まで減少（推定値）しており、絶滅危惧種に指定されています。ライチョウは、温暖化に脆弱とされる高山植生に強く依存した生活をおくっています。

ライチョウ生息地の中心部である北アルプス中南部において、ライチョウの分布と高山植生との関係性に基づいて構築した生態ニッチモデルと、気候予測データ（全球気候モデルはCMIP3の24のモデル、排出シナリオはSRES A1B、統計的DSによる空間解像度1km）を用いて、21世紀末（2081-2100年）におけるライチョウの潜在生息域の予測を行いました<sup>16)</sup>。

まず、ライチョウは稜線に近く、ハイマツ群落や雪田草原群落、風衝地群落といった高山植物群落がバランス良く成立する場所で生息する確率が高いことが分かりました。次に、ライチョウが気候変動によってどのような影響を受けるかを、現在（1981-2000年）と21世紀末の潜在生息域を比較することで評価しました。その結果（図26）、今回用いた排出シナリオ（経済成長重視を想定したシナリオ）に基づくと、高山植生の減少によって、ライチョウの潜在生息域は21世紀末に現在の0.4%に減少することが予測されました。このことは、温暖化の影響が、現在のライチョウ生息地の中心部である北アルプスの個体群にも大きく及ぶことを示唆しています。



# 気候変動影響：生態系（高山植生）

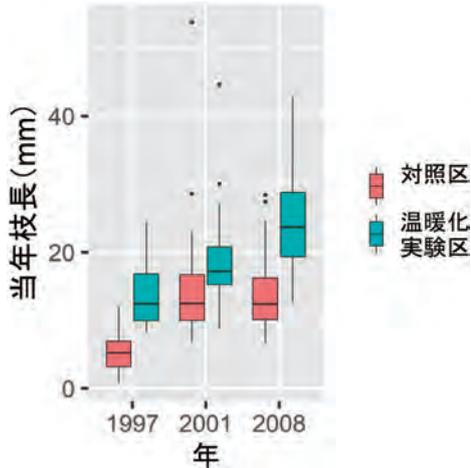


図27 人工温暖化実験での常緑低木ガンコウランの成長量

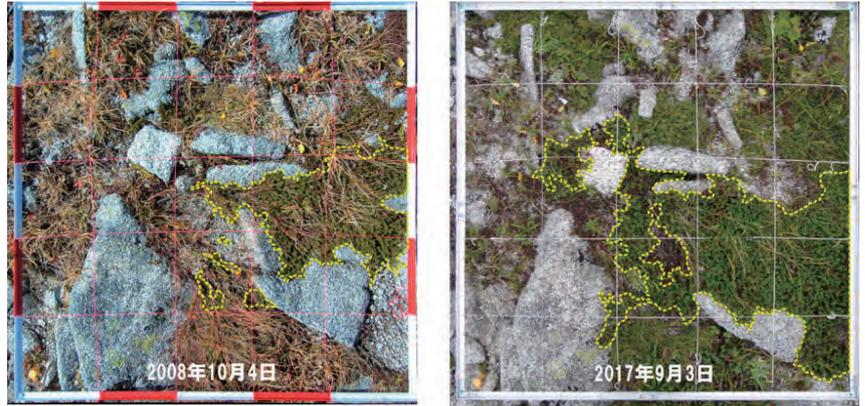


図28 中央アルプス木曾駒ヶ岳風衝草原に設置した方形区（1m×1m）の約10年間の植生変化  
左：2008年、右：2017年。黄点線：ガンコウラン群落の範囲

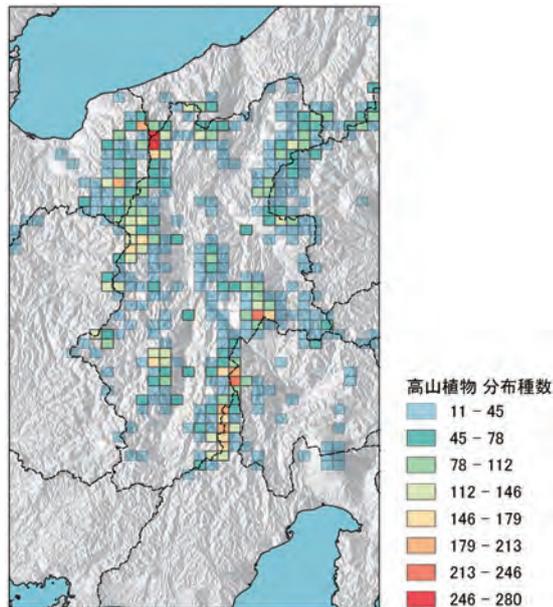


図29 本州中部山岳の高山植物種多様性の分布

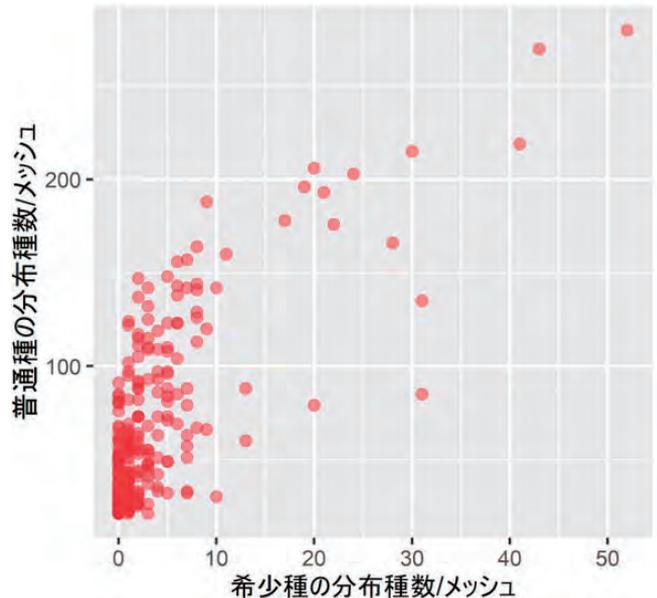


図30 高山植物の希少種と普通種の分布種数の関係

これまでの高山帯での人工温暖化実験によれば、気温上昇によって高山植物のフェノロジーが変化することや、ガンコウランなど常緑低木の成長量の増加が生じることが報告されています（図27）<sup>23)</sup>。また、中央アルプスの高山風衝地での定点観測の結果からは、近年の気温の上昇などの気候変動の影響によって、現在、ガンコウランの被覆が広がりつつある様子も観察されます（図28）。しかし、本州中部山岳域でも、山域ごとの地史的背景や現在の気象環境により高山植生・植物相は異なっており、こうした気候変動の影響は必ずしも一律ではありません。

本州中部山岳域の高山植物種多様性の地理的分布は不均質で、飛騨山脈の白馬岳周辺、赤石山脈の北岳周辺、八ヶ岳南部など一部の山域が非常に高い、高山植物種多様性ホットスポットとなっています（図29）。

また、その種多様性には、希少種（低頻度出現種：山域固有種・隔離分布等を示す種）の分布と有意な正の相関があり、高山植物種多様性ホットスポットは、特定の山域への希少種の集中的な分布により形成されていることが示唆されます（図30）。希少種の分布には、一部の山域では超塩基性岩地・石灰岩地と関連が深いことから、こうした地質的な特徴をもつ山域が、過去の気候変動下で高山植物の逃避地（レフュージア）に機能してきた背景があることが考えられます。気候変動に脆弱とされる高山植物ですが、地域的な気候変動適応策を考える上では、こうしたレフュージアとなる特性の有無など山域間の環境の違いへの配慮も必要となります。



# 気候変動影響：生態系（気候変動の速度）

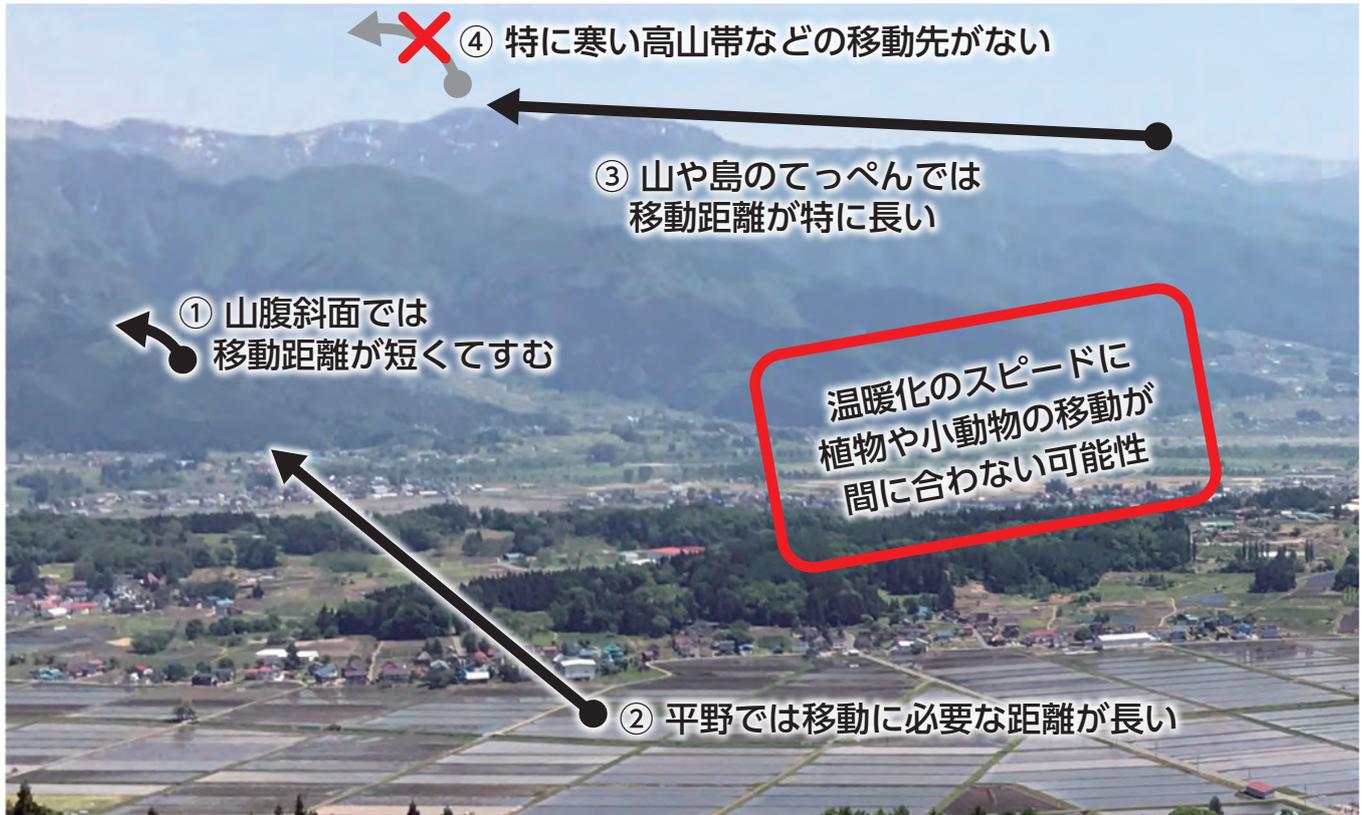


図31 温暖化したとき、以前と同じ気温の場所を探す場合の例<sup>24)</sup>  
 気温1℃の変化は、標高では約150m上への移動、水平では約145kmへの北上に相当する。

温暖化によって、動植物の生息（生育）適地が、移動したり消滅したりします。標高が上がれば気温が下がるため、温暖化した場合でも、山の斜面では同じ気候条件は近くに見つかります（図31）。一方、平野部や山と島の上部では、より標高の高いところが近くにないため、遠くへ移動する必要があります。新しい生息（生育）適地が近くになれば、動植物の絶滅リスクが高まる可能性があります。

この指標となるのが気候変動の速度（VoCC）<sup>25)</sup>です。現在（1981-2010年）の気候（ここではアメダスメッシュ化データ<sup>26)</sup>の年平均気温）と将来（2076-2100年）の気候<sup>16)</sup>（複数の全球気候モデル、排出シナリオはRCP2.6、4.5および8.5、統計的DSによる空間解像度約1km）を比較して、現在の年平均気温を示す場所が21世紀末にはどれくらい近くに見つかるかを調べました<sup>27)</sup>（図32）。

その結果、大雪山系、日高山脈、中部山岳の山頂部では、国内には移動先さえ見つからない場合があります。長野県でも、そうした地域（高山帯）に生息（生育）している動植物は、温暖化に対して非常に脆弱であると考えられます。

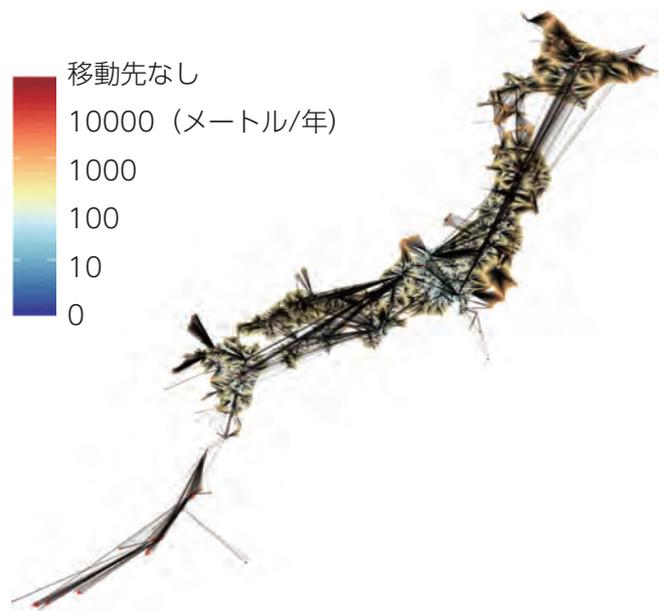


図32 現在のペースで温暖化が進んだ場合の気候変動の速度（VoCC）と、移動先を重ねた地図<sup>27)</sup>



# 気候変動影響：生態系（タケ）

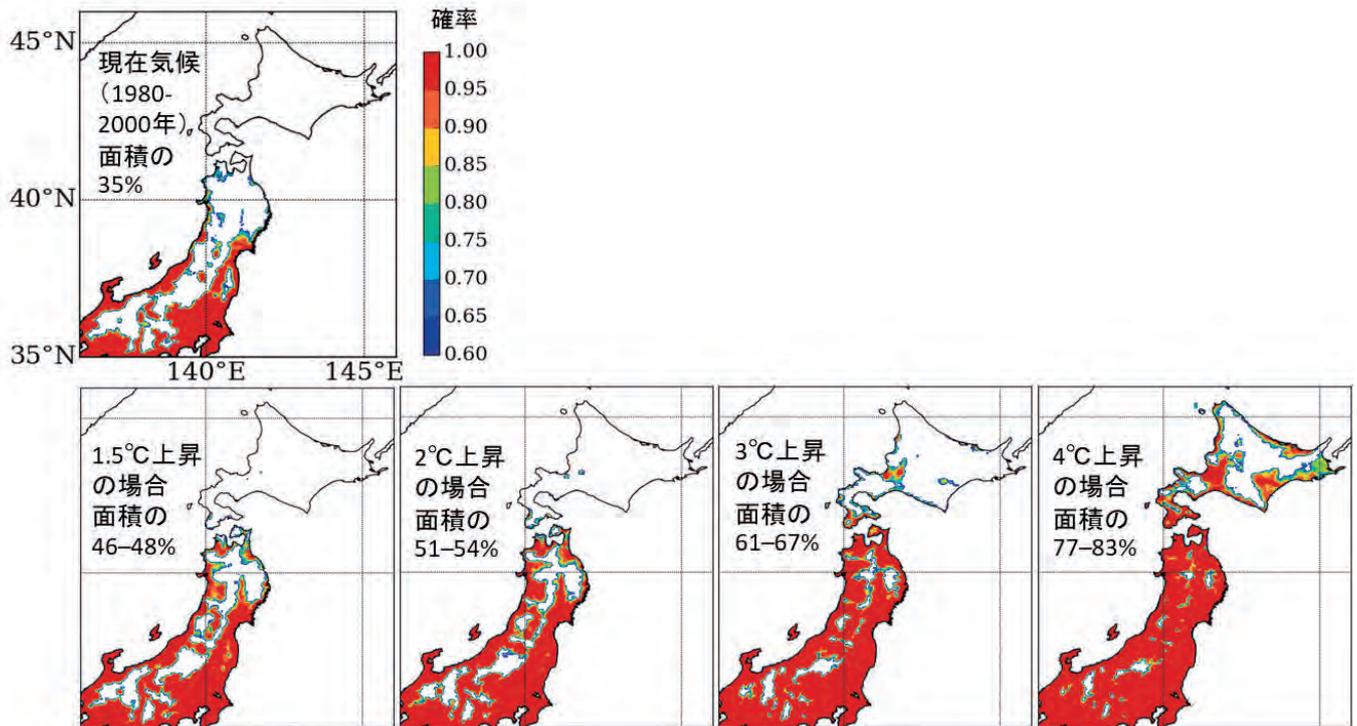


図33 竹林の生育に適した環境だと予測された地域（着色部分）

上：現在気候における生育適域、下左端から：1.5℃上昇時の生育適域、2℃上昇時の生育適域、3℃上昇時の生育適域、4℃上昇時の生育適域。

日本で高さが10mを超えるような竹林を形成するのはマダケ属のタケ（モウソウチク（孟宗竹）やマダケ（真竹）、ハチク（淡竹）（図34）等）です。現在の日本の竹林のほとんどは他の地域から人の手によって持ち込まれ、本来はその地域の生態系に存在しなかった外来種であると考えられます。しかし1970年代以降にはタケノコの輸入自由化や農家の高齢化に伴って竹林の管理放棄が進みました。成長の早いモウソウチク等はタケノコから約1か月で20mもの高さに達し、落葉広葉樹の里山林では、周りの植物を日陰にして枯らしてしまいます。放置竹林は周囲の在来植生に急速に拡大し、里山における生態系・生物多様性への脅威となっていることから、里地里山管理の上で最大の問題点とも言われています。

現在の竹林の分布と気候条件（気温と日射量）の関係の説明するモデルを構築し、気候予測データ<sup>29)</sup>（全球気候モデルはMRI-AGCM、排出シナリオはRCP8.5、地域気候モデルはNHRCMを用いた力学的DSによる空間解像度5km）を用いて、モウソウチクとマダケの生育に適した地域を予測しました<sup>30)</sup>（図33）。その結果、現在気候（1980–2000年）には東日本（北緯35度以北、東経136度以東：図33の範囲）で生育に適した土地の割合は35%であったのに対し、日本の平均気温が産業革命前に比べて1.5℃上昇した場合に

は46～48%、2℃上昇では51～54%、3℃上昇では61～67%、4.0℃上昇した場合には77～83%まで増加し、北限は最大500km進んで稚内に到達すると予測されました。温暖化を抑制する緩和策と同時に、外来種予防三原則に基づいた生態系管理などの適応策も進めることが重要です。



図34 人工林に侵入するハチク  
（撮影：高野宏平、2018年8月生坂村）

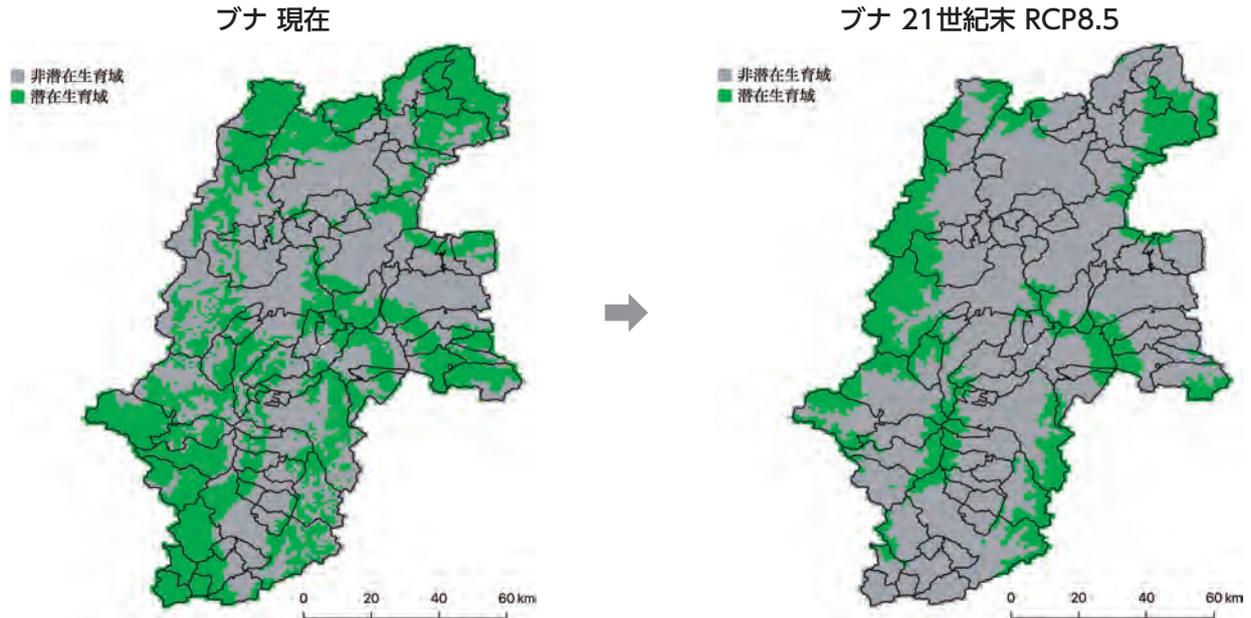


図35 ブナの潜在生育域 (緑色部分)  
左：現在、右：21世紀末、RCP8.5

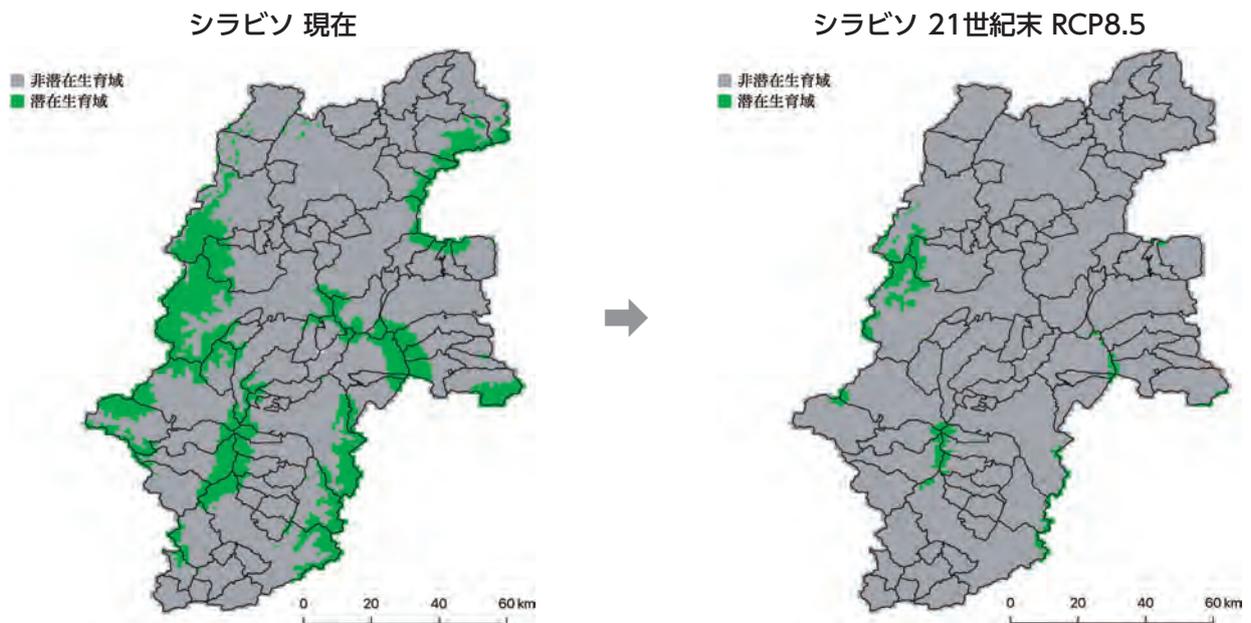


図36 シラビソの潜在生育域 (緑色部分)  
左：現在、右：21世紀末、RCP8.5

長野県の森林のうち自然林の分布現況を概観すると、県の最南部に暖温帯の照葉樹林が分布するものの、県下の大部分、標高およそ1,500m付近までの範囲にはブナ林に代表される冷温帯の夏緑広葉樹林や温帯針葉樹林が広くみられます。その上部にはシラビソ、オオシラビソなどからなる亜高山帯常緑針葉樹林、さらに標高約2,500m付近より上部には高山帯植生が発達します。

ブナおよびシラビソの分布と気候条件との関係を現すモデルと気候予測データ<sup>31)</sup> (全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP8.5、統計的DSによる空間解像度1km) を用いて21世紀末 (2081-2100

年) におけるそれぞれの種の潜在生育域を予測しました<sup>32,33)</sup>。

ブナは、現在 (1981-2000年) では全県にわたって潜在生息域が見られますが、21世紀末には生育適域が北信地域や木曽地域、下伊那地域の低標高地で消失し山岳地の山腹に限定的となることが予測されています (図35)。また、シラビソは、現在気候下では北アルプス北部を除く亜高山帯域に広く生育域がありますが、21世紀末にはより高標高域のみに生育域が縮小することが予測されています (図36)。

「気候変動適応情報プラットフォーム」(2020年3月10日利用)。

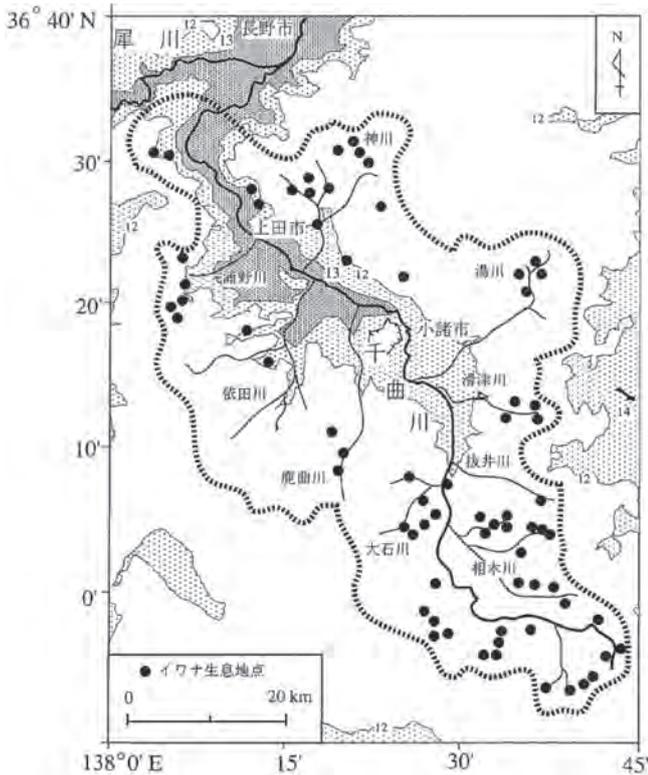


図37 千曲川上流部におけるイワナ分布地点（●）と推定地下水水温の分布  
地下水温は緯度と標高に基づく算出式<sup>35)</sup>によって求めた。推定12℃未満の地域は白色。

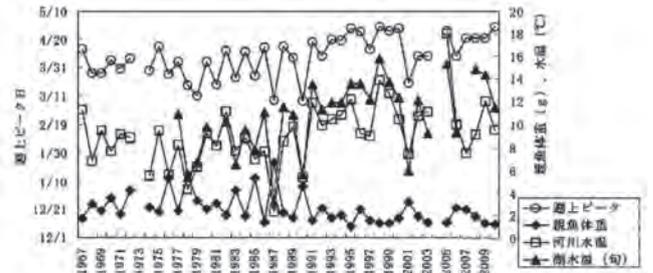


図38 遡上ピークおよび遡上ピーク時の親魚体重、河川水温、湖沼水温の経年変化

## イワナ

イワナは温暖化が進むと生息適地がさらに上流部に限られ、場所によっては絶滅の可能性も考えられます。また、堰堤によって移動を阻害されることもさらに影響すると考えられています。

千曲川上流部のイワナ生息地における水温を推定し、水温が1℃～4℃上昇したと仮定した場合における生息地の消失と分断化の程度を検討しました(図37)<sup>34)</sup>。1～3℃の平均気温上昇では影響は検出されないものの、4℃の上昇で5地点(7%)が消失すると予測されました。また、現在の河川には、魚類の上流への移動を妨げる堰堤が数多く設置されており、これらがイワナの生息地の消失や個体群の分断化を助長しており、その結果、イワナの絶滅リスクが高まることが心配されています。

## ワカサギ

湖などの閉鎖的な環境で生きる内水面の魚は、陸上の動物に比べて、気候変動の影響を受けやすいと考えられます。

また、水温の上昇によって、湖の生態系の一次～二次消費者である動物プランクトンの発生時期や量が変わり、ワカサギなどの孵化仔魚の生き残りに大きな影響があると言われています。

諏訪湖における過去30年間の水温をみると年々上昇している傾向がみられました(図38)。特に、ワカサギの孵化時期と考えられる3月下旬以降では、5月上旬から5月下旬の水温が上昇していました。また、ワカサギの卵を採卵する主要河川である上川でも、水温が上昇していることが認められています<sup>36)</sup>。

ワカサギは、産卵のために諏訪湖に注ぐ中小河川を遡上しますが、遡上のピーク日は遅くなる傾向があり、遡上ピーク日と河川水温、諏訪湖の水温、親魚体重との間には関係が認められます。これらのことから、ワカサギの産卵および孵化は、以前に比べ湖や河川の水温が高い状態で起こっていることがうかがえ、孵化後の成長や成熟に影響をあたえている可能性が考えられます<sup>37)</sup>。



# 気候変動影響：自然災害（洪水）

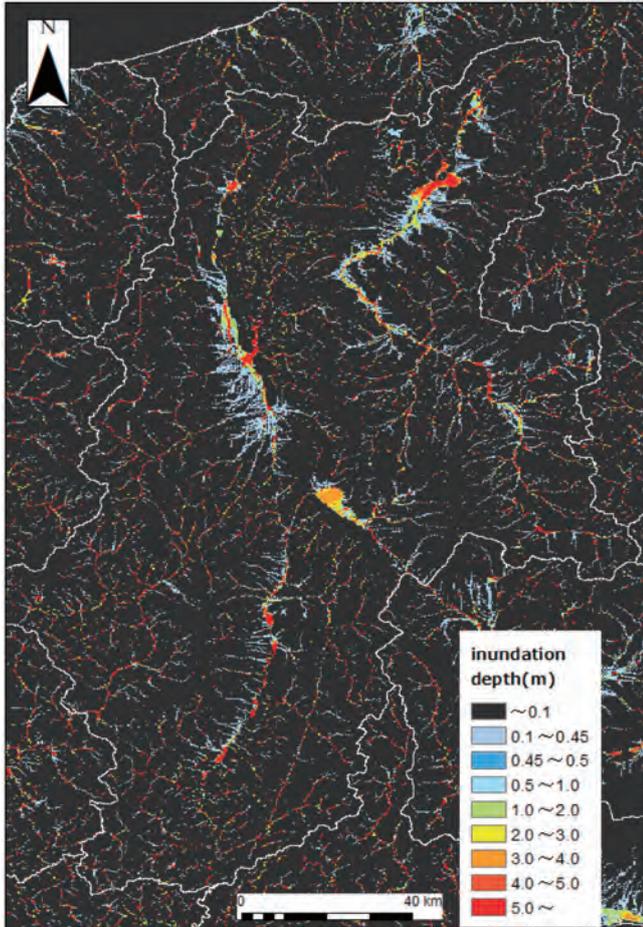


図39 長野県における再現期間100年とした場合の最大浸水深分布

近年では日本各地で毎年のように豪雨による洪水被害が頻発しています。2019年には長野県においても令和元年台風第19号による大雨で千曲川が氾濫し大きな被害を受けました。

長野県の将来における洪水リスクについて展望しました。将来の降雨予測に用いたデータは、気候予測データ<sup>9)</sup>(全球気候モデルはGFDL-CM23、HadGEM2-ES、MIROC5、MRI-CGCM3、CISRO-Mk3-6-0の6つ、排出シナリオはRCP2.6および8.5、統計的DSによる空間解像度1km)を近未来(2031-2050年)および21世紀末(2081-2100年)でそれぞれ平均した値を使用しました。現在(1981-2000年)における再現期間(30年から200年)の降雨空間分布を求め、気候予測による降雨の増加率をそのまま空間分布に乘じ、将来の降雨空間分布を作成しました<sup>38)</sup>。洪水氾濫解析は2次元不定流モデルを利用し、堤防の効果を水系毎、河川区間毎に河道標高を下げることで表現しました<sup>39)</sup>。

表1 長野県の床上浸水面積 (km<sup>2</sup>)

期 間	1981 - 2000 年	2031 - 2050 年	2081 - 2100 年
RCP2.6	322	432	355
RCP8.5		392	411

0.5m以上の浸水深を床上浸水としている。100年に1回の発生確率。

表2 日本全国の床上浸水面積 (km<sup>2</sup>)

期 間	1981 - 2000 年	2031 - 2050 年	2081 - 2100 年
RCP2.6	18780	23340	22450
RCP8.5		23240	25400

図39は、一例として長野県における再現期間100年の洪水の浸水深分布を示しています。一部の地域は令和元年台風第19号の浸水深分布と合致していました。千曲川、姫川、天竜川、釜無川などの大きい河川沿いに広く氾濫域が存在していることがわかります。また、地形が急峻な場所、平野部に出たところ、合流地点などにおいて広い氾濫が見られます。なお、この図は全県一様に再現期間100年の洪水が発生した場合を示した図であり、地点毎で見る必要があります。

表1および表2は、長野県と日本全国の洪水時における床上浸水面積の展望値をそれぞれ示したものです。RCP2.6の場合、床上浸水面積が近未来より21世紀末において減少していますが、RCP8.5の場合には、長野県の床上浸水面積の拡大割合は全国平均よりも早くなっていることがわかります。

文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT)における研究成果を東北大学風間教授より提供。



# 気候変動影響：自然災害（斜面崩壊）

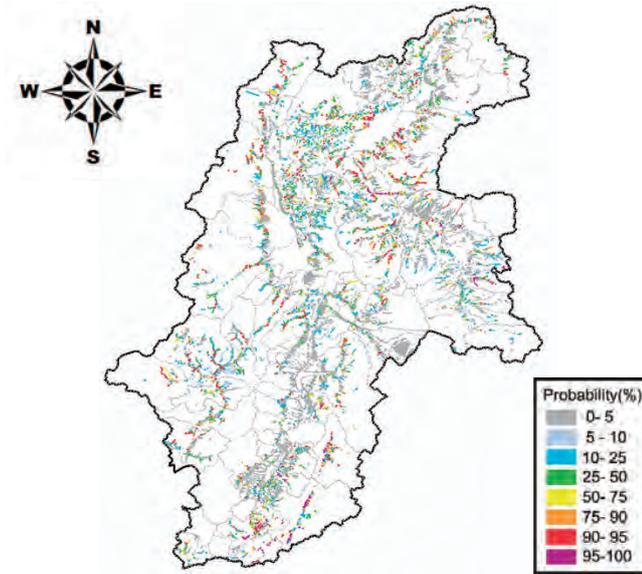


図40 土砂災害警戒区域内における斜面崩壊発生確率（現在実績）



図41 現在と21世紀末（RCP8.5、可能最大降水量）における土砂災害警戒区域内における斜面崩壊発生確率の増加量

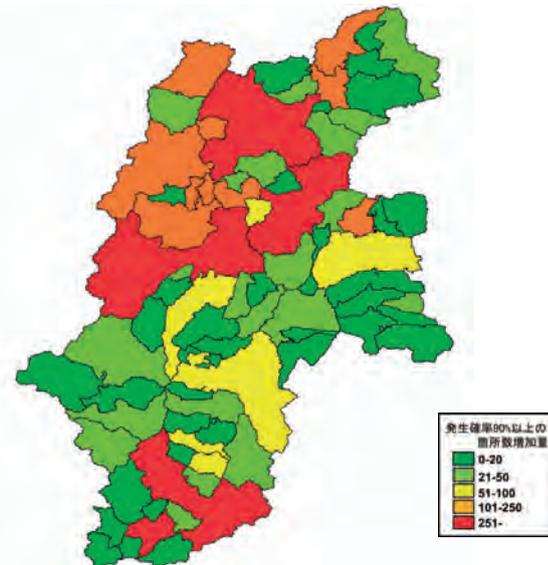


図42 既往最大降雨量とRCP8.5時の可能最大降水量による土砂災害警戒区域の発生確率90%以上箇所数差

斜面崩壊などによる人的被害を軽減させるソフト対策の一つとして土砂災害警戒区域を指定し、危険の周知や警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地抑制などが推進されています。過去の斜面崩壊実績時の地形、地質、水文量等を元に斜面崩壊発生確率を現すモデルを構築し<sup>40)</sup>、これに気候予測データ<sup>9)</sup>（全球気候モデルは複数モデル、排出シナリオはRCP2.6および8.5、統計的DSによる空間解像度1km）の気温から求めた可能最大降雨量を入力することで、近未来（2031－2050年）および21世紀末（2081－2100年）における土砂災害警戒区域内の斜面崩壊発生確率の予測を行いました。

図40は、観測史上最大値の降雨量の実績に基づく土砂災害警戒区域内の斜面崩壊発生確率を示していま

す。概ね県内に高い発生確率の区域が点在していますが、中でも北信地域に高発生確率の区域が集中する傾向があります。図41は図40の値とRCP8.5における可能最大降雨量の条件による斜面崩壊発生確率の増加量を示しており、北信地域では気温上昇による降水量の増加に伴う発生確率の上昇が予測されました。さらに、図42には図41で示された土砂災害警戒区域内における斜面崩壊発生確率が90%以上の箇所数の現在と21世紀末の差を市町村別に集計して示しました。おおむね山地面積が大きく人口の集中する市町村ほど発生確率90%以上の区域が多くなる傾向にあることがわかります。

文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT) における研究成果を福島大学川越教授より提供。

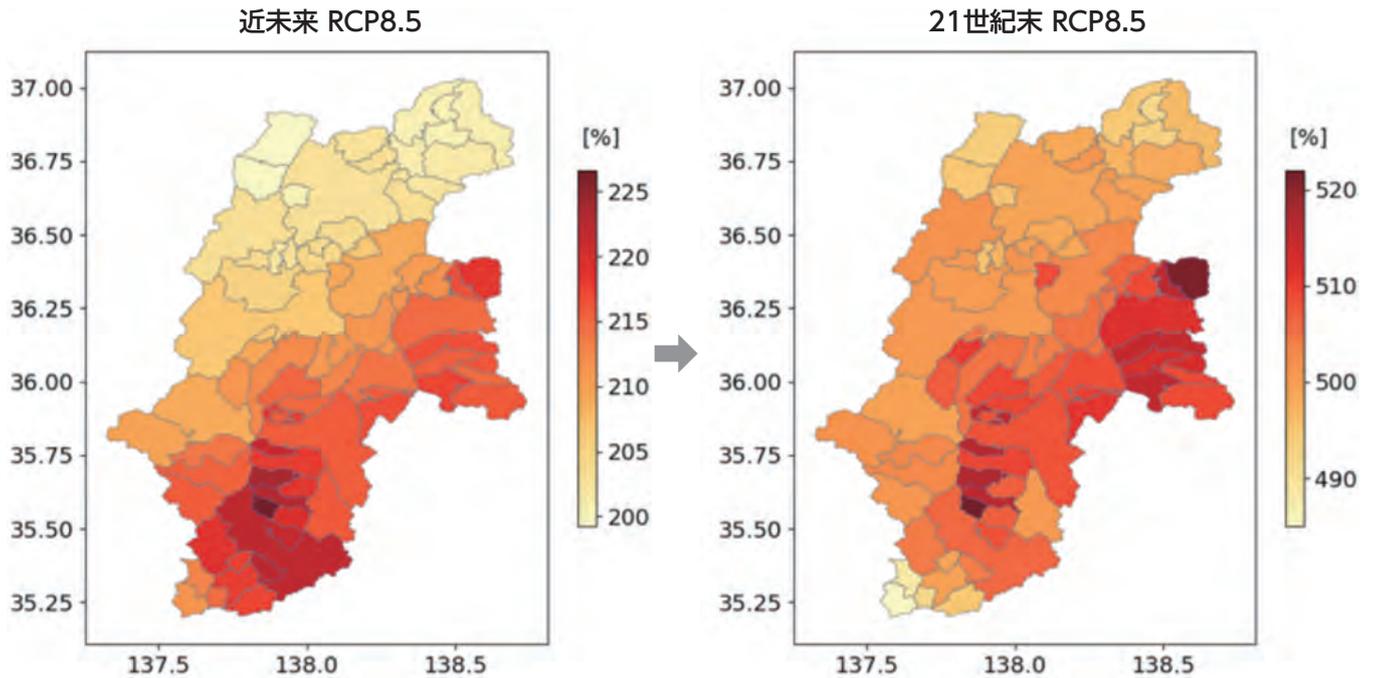


図43 現在気候下を100とした時の将来気候下の長野県における熱中症リスク  
年齢構成比が変化しないと仮定した場合の、熱中症救急搬送者数の変化。左：近未来、RCP8.5、右：21世紀末、RCP8.5。

近年、夏季の高温による熱中症が問題となっています。今後の温暖化が熱中症に及ぼす影響を評価するため、日最高気温から熱中症救急搬送者数の日別値を予測する統計モデルを開発し<sup>41)</sup>、そのモデルと気候予測データ<sup>9)</sup>（全球気候モデルは複数モデル、排出シナリオはRCP2.6および8.5、統計的DSによる空間解像度1km）を用いて近未来（2031–2050年）および21世紀末（2081–2100年）における熱中症リスク（現在気候下に対する熱中症搬送者数の増加率）予測マップを作成しました。開発したモデルは、地域・季節・年齢による熱中症リスクの差異を考慮して作成されています。

図43は長野県における近未来（左図）および将来（右図）の現在に対する熱中症リスク増加率マップです。長野県全体の平均値で見ると、近未来における熱中症リスクは、RCP2.6（図省略）およびRCP8.5とも約2倍に増加し、21世紀末における熱中症リスクは、

RCP2.6では約2倍（図省略）、RCP8.5では約5倍になると予測されました。

市町村別にみると、近未来のRCP8.5では、県の東部から南部にかけてリスク増加率が周辺よりも大きい地域がみられます。また、21世紀末のRCP8.5では全県的にリスク増加率が大きくなります。特に、県の東部から南部にかけての地域では、リスク増加率が極めて大きくなると予測されました。

なお、ここで言う熱中症リスクは、長野県の年齢構成比が現在から変化しないと仮定した場合における熱中症救急搬送者数をもとに評価しています。今後の課題としては、将来における65歳以上の高齢者割合の増加など、人口動態の変化を考慮した熱中症救急搬送者数（絶対値）を評価指標とすることが考えられます。

文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT) における研究成果を筑波大学日下教授より提供。

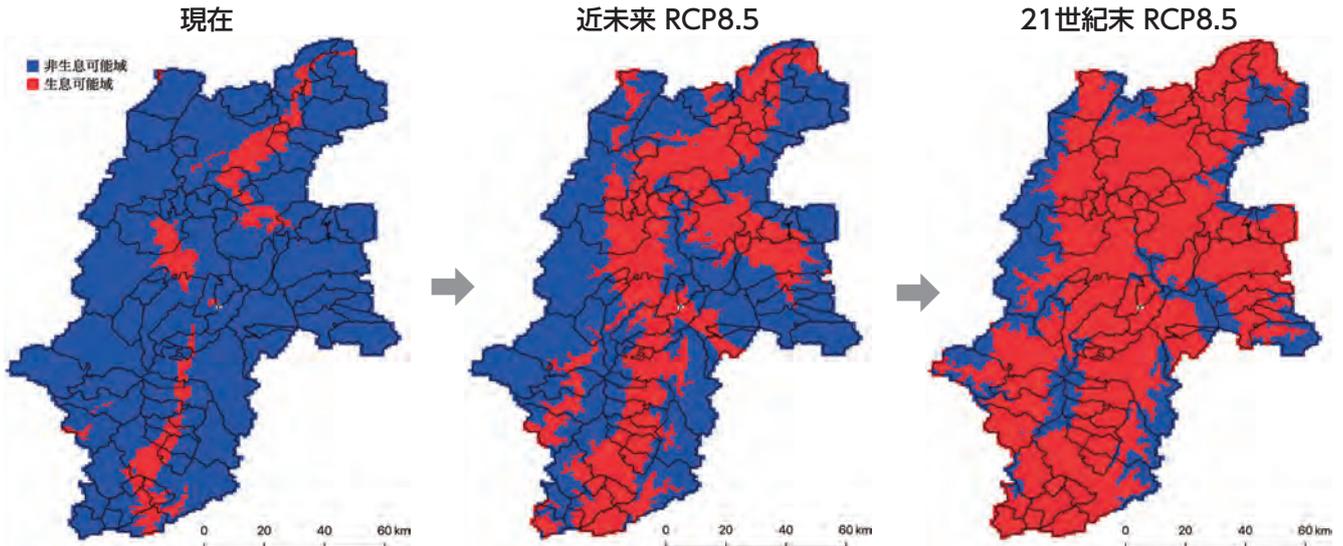


図44 長野県におけるヒトスジシマカの生息域の将来予測（基準期間に対する相対値）  
左：現在、中：近未来、RCP8.5、右：21世紀末、RCP8.5。

ヒトスジシマカはデング熱などの感染症の主たる媒介蚊です。日本に生息するヒトスジシマカの分布域と気象因子の比較から、年平均気温が11℃以上となる地域が分布可能な生息域と判定されています<sup>42)</sup>。

この気温を気候パラメータとして、気候予測データ<sup>31)</sup>（全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP8.5、統計的DSによる空間解像度1km）を用いて、近未来（2031～2050年）および21世紀末（2081～2100年）における長野県のヒトスジシマカの生息域の将来予測を行いました（図44）。

現在（1981～2000年）の県内のヒトスジシマカ生息可能域は主に標高の低い長野から上田にかけて、松本周辺、伊那谷に狭く分布しますが、近未来から21世紀末では、気温の上昇に伴い生息可能域が広がる予測結果となりました。

また、図45は長野県におけるヒトスジシマカの生息域の分布率の将来予測となっています。4つの全球気候モデルと3つの排出シナリオ別に、現在に対する近未来および21世紀末の分布率の変化となっています。全球気候モデルによるばらつきはあるものの、昇温の度合いが大きいRCP8.5では50～80%程度の増加、昇温の度合いが小さいRCP2.6では10～40%程度の増加が予測されました。

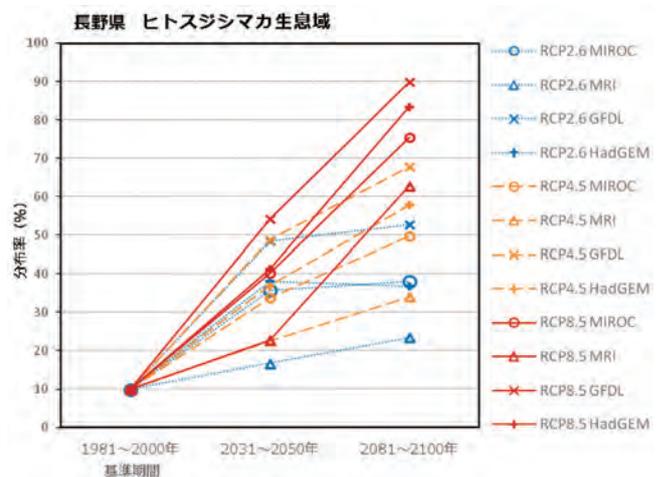


図45 長野県におけるヒトスジシマカの生息域の分布率（分布可能面積の比率）の将来予測（基準期間に対する相対値）  
気候モデルを4つ、排出シナリオを3つの場合の結果

「気候変動適応情報プラットフォーム」（2020年3月10日利用）



# 気候変動影響:産業・経済活動 (スキー産業)

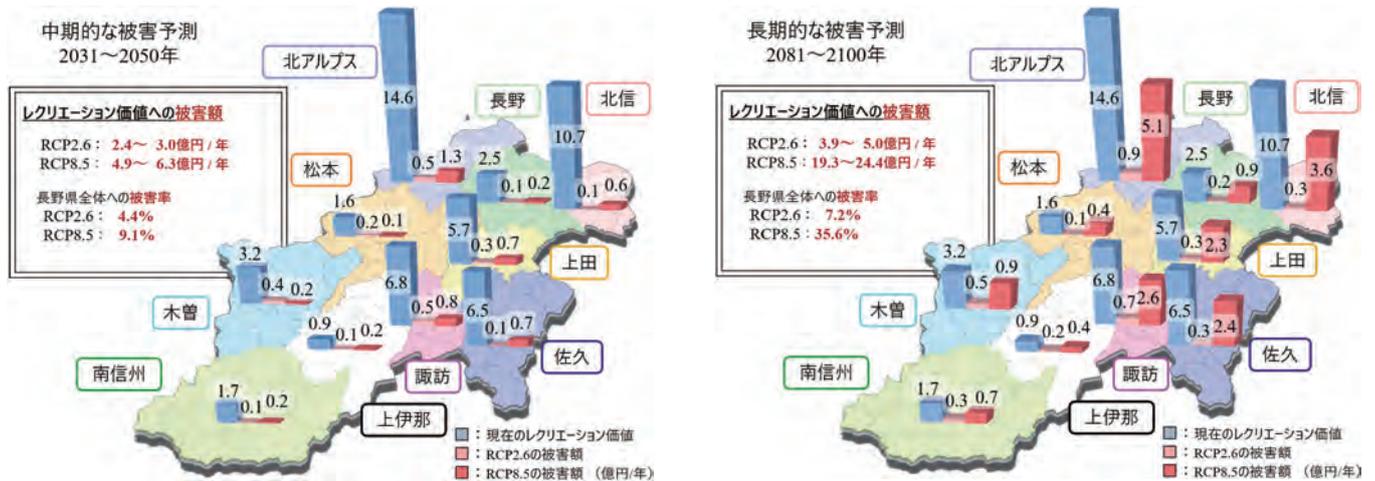


図46 レクリエーション価値への被害予測  
左: 近未来、右: 21世紀末

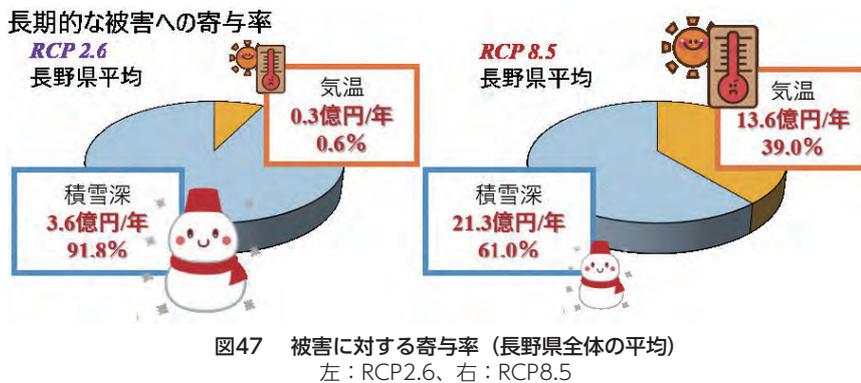


図47 被害に対する寄与率 (長野県全体の平均)  
左: RCP2.6、右: RCP8.5



図48 人工降雪機

地球温暖化の進行により、自然環境資源を生かした地方のレクリエーション・サービス産業への影響が考えられます。例えば積雪がなければスキー場のグレンデはそもそもオープンできませんが、積雪があったとしても気温上昇による雪質の低下が集客数の減少につながると考えられます。このような温暖化の影響に対する適応技術としては、人工降雪機や人工造雪機などが代表例ですが、一般に効果的なものほど導入費用は高価ですので、予想以上の温暖化が進めば行政的な支援なしでは地場産業を維持することは難しくなるかもしれません。

そこで長野県におけるスキー場を対象とし、過去のスキー場来客数の実績と気象データによる統計的解析と気候変動予測データ<sup>9)</sup> (全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP2.6および8.5、統計的DSによる空間解像度1km) を用いて、近未来 (2031-2050年) および21世紀末 (2081-2100年) における気温上昇時のスキー場来客数の減少と、そのスキー場来客数の減少による経済的被害額の推計を試みました<sup>43, 44)</sup>。ここでは、スキー場への訪問回数と旅費と気象データから、スキーなどの雪山レジャーを行う場所としての価値を推計しています。こうして推計された

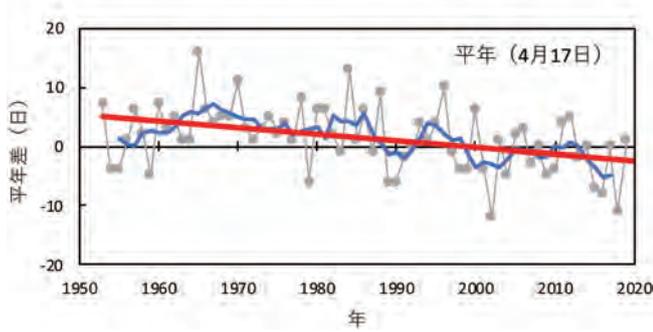
価値をレクリエーション価値と呼んでいます。現在のレクリエーション価値をエリア別に左青の棒グラフで示しました。また、将来の気象データを用いることでスキー場への訪問回数の減少から、将来の経済的被害額を推計し、RCP2.6シナリオでの被害額は中央桃色、RCP8.5シナリオでの被害額は右赤色で示しました (図46)。結果として、近未来における被害予測ではあまり変化は見られませんが、21世紀末には北アルプスや北信、上田、佐久、諏訪地域など、スキー場の集まる地域において大きな被害が見込まれ、現在のレクリエーション価値と比べて、年30～40%ほどの被害になることを示唆しています。

また、その被害額に対する気温の上昇、積雪深の減少の寄与分を計算した結果 (図47)、温暖化が大きく進展するRCP8.5では、気温の寄与率がより高くなるのがわかりました。多くのスキー場では既に人工降雪機を導入して積雪量の少なさをカバーしていますが、気温上昇が進んだ将来においては、適応策として人工降雪機 (図48) ではなく人工造雪機の導入が妥当となる可能性が示唆されます。

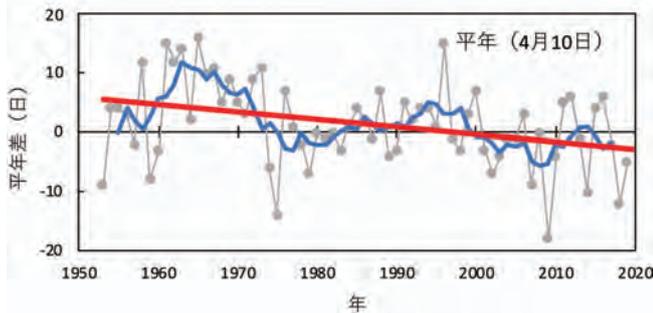
文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT) における研究成果を名城大学森杉教授より提供。



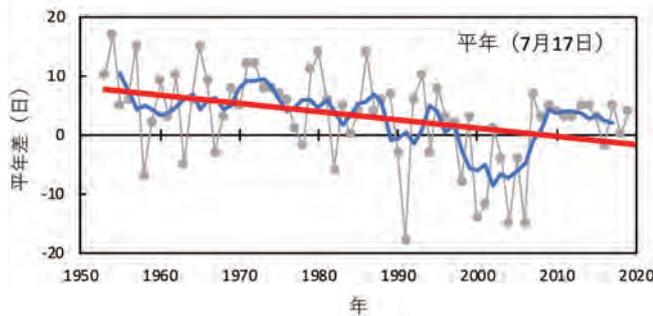
(a) ソメイヨシノ満開



(b) ツバメ初見



(c) アブラゼミ初鳴



(d) イロハカエデ紅葉

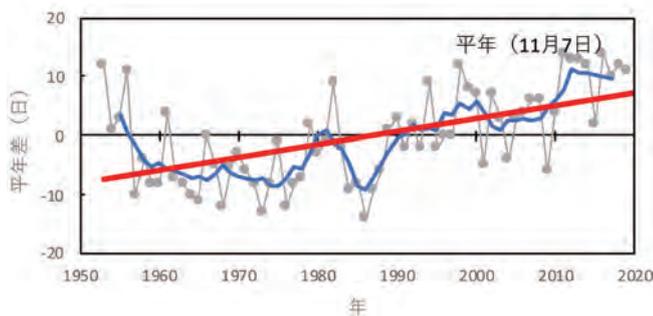


図49 長野地方気象台における (a) ソメイヨシノの満開日、(b) ツバメ初見日、(c) アブラゼミ初鳴日、(d) イロハカエデの紅葉日の経年変化  
 細実線 (灰色)：各年の平年からの偏差 (日)、太実線 (青)：5年移動平均、太実線 (赤)：長期的な変化傾向。  
 \* 気象庁のデータを使用して作成

## 生物季節

長野地方気象台では1953年より生物季節観測（植物の開花や紅葉、動物の初見や初鳴きなどの日の観察記録）が行われています。観察対象の植物33種、動物17種の開花日や紅葉日、初鳴日などの平年（1981－2010年）からの差について長期変化傾向を解析しました。

ソメイヨシノの満開日は10年あたり1日（図49 (a)）、ツバメの初見日は1.2日（図49 (b)）、アブラゼミの初鳴日は1.4日（図49 (c)）早まっています。一方、イロハカエデの紅葉日は10年あたり2.2日（図49 (d)）遅くなっていました。春から夏にかけてほとんどの植物季節は早まり、夏以降は遅くなっていました。動物季節の変化傾向は種によってさまざまでした。

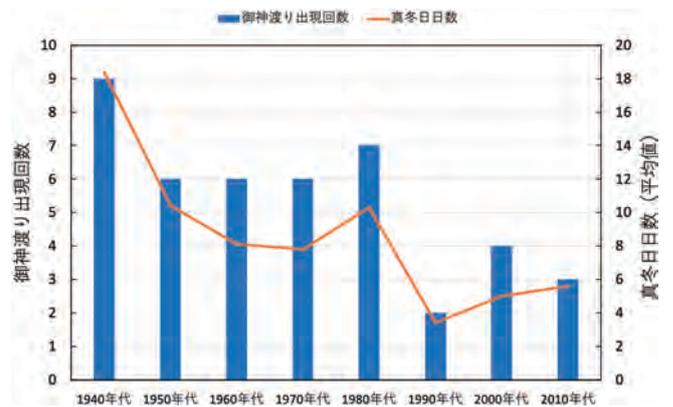


図50 諏訪湖の御神渡りの出現回数と諏訪特別地域気象観測所における真冬日日数の関係

\* 真冬日（最高気温が0℃を下回った日）日数は、気象庁データを使用して作成。なお、1940年代の真冬日日数は諏訪特別地域気象観測所のデータが1945年からしかないので、1945年－1949年の平均値となっている。  
 \* 御神渡りの出現回数は、Wikipediaを元に作成

## 御神渡り

諏訪湖の御神渡りの出現回数は、1990年代以降急激に減っています（図50）。この変化と諏訪特別地域気象観測所における真冬日日数（最高気温が0℃以下の日）の出現回数の変化は同調しています。冬の寒い日が減ることで、諏訪湖が結氷しない（あるいは、しにくい）年が増えることがその要因の一つと考えられます。

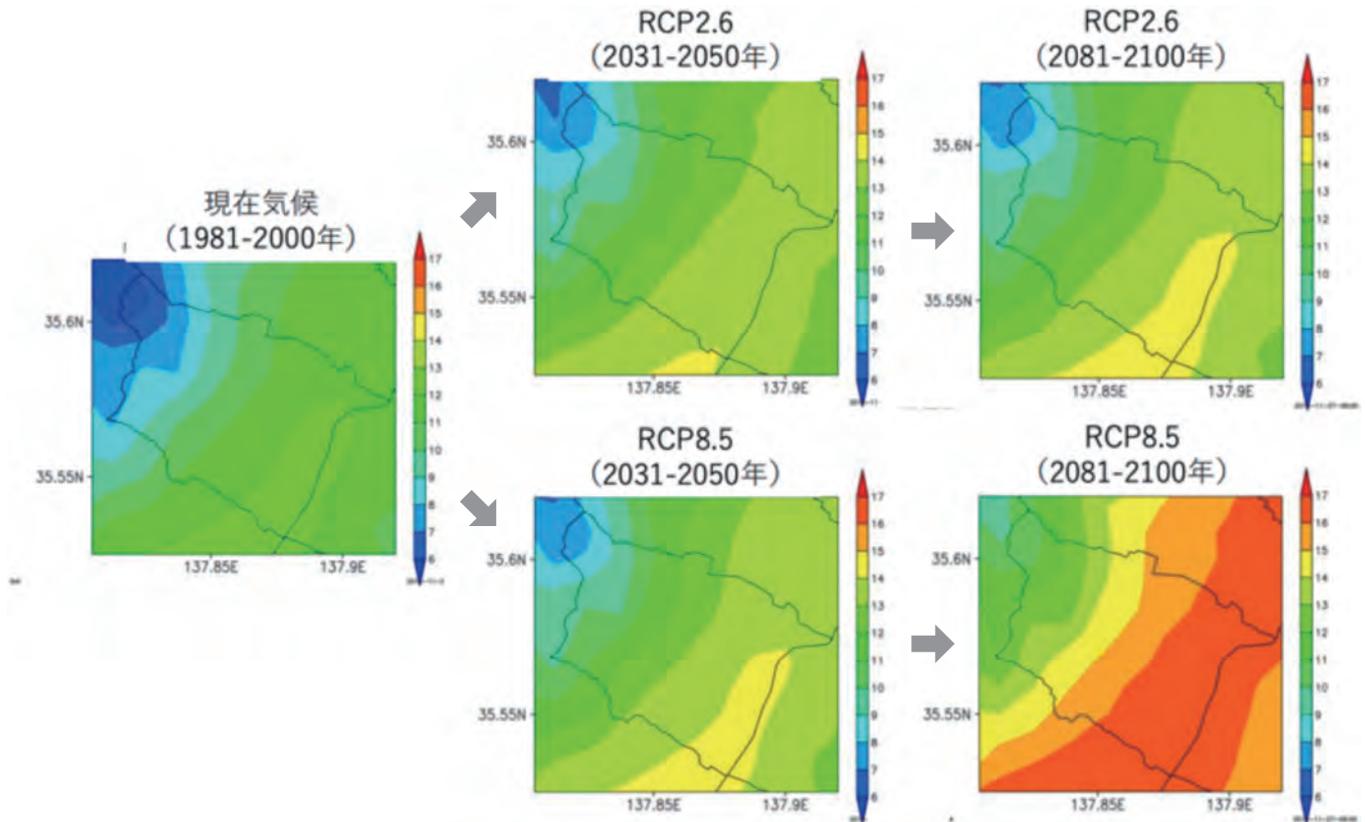


図51 高森町農家における年平均気温の将来予測分布<sup>46)</sup>

市田柿は高森町の市田地区が発祥であり、高森町の重要な地域資源となっています。この市田柿においては、秋の気温上昇によるカビの発生が深刻な問題の一つとなっており、今後さらなる気温上昇による影響が心配されています。気候予測データ<sup>9)</sup>（全球気候モデルはMIROC5、排出シナリオはRCP2.6および8.5、統計的DSによる空間解像度1km）を用いた高森町における近未来（2031－2050年）および21世紀末（2081－2100年）の年平均気温の予測（図51）をみると、いずれの排出シナリオにおいても近未来では約2℃の上昇が予測されました。

将来の気温上昇とともにカビの発生に対する適応策としては、技術対策の導入とともに、気候変動の進行下での農家の市田柿生産の継続意志（「気候変動下継続意志」）を高めることが重要です<sup>47)</sup>。図52は、農家に対するアンケート調査から「気候変動下継続意志」の説明要因をモデル化したものです。気候変動による変化の認知や気候被害が「苦労度」を規定し、それが「気候変動下継続意志」の阻害要因となっていることから、「苦労度」を少なくするための適応策が重要と考えられます。一方、「継続意志」や「経済的不可欠度」と

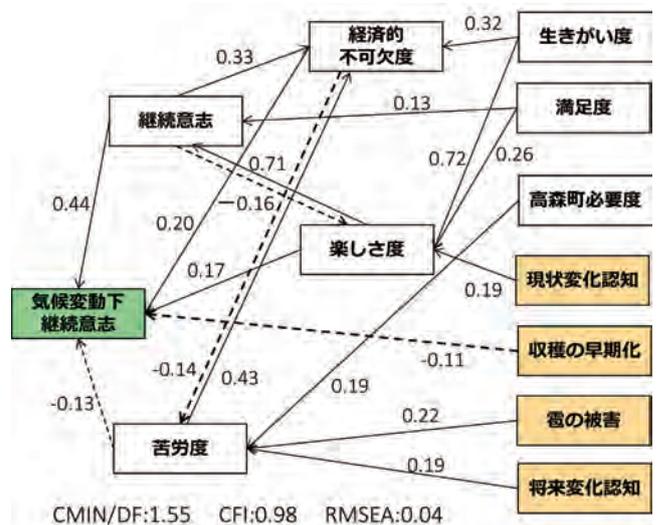


図52 高森町農家における市田柿生産の気候変動下継続意志のパス解析結果多様性の分布

ともに「楽しさ度」が、「気候変動下継続意志」の促進要因となっていることから、市田柿生産の「楽しさ度」あるいはそれに関連する「生きがい度」や「満足度」を高める施策が重要と考えられました<sup>47)</sup>。

<sup>47)</sup> 文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」(SI-CAT)における研究成果を山陽学院大学白井教授より提供

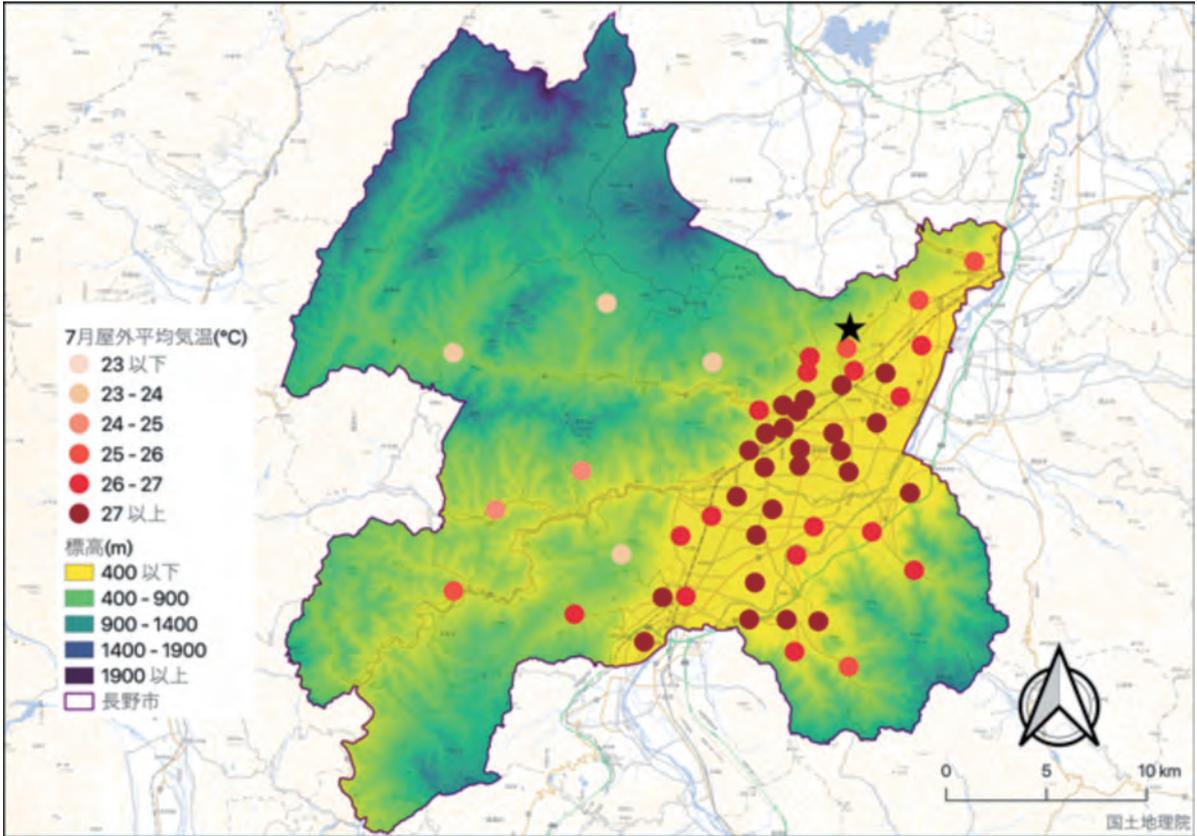


図53 長野市内の小学校百葉箱内で測定された気温の分布図（2018年7月の月平均気温）

## ヒートアイランド

都市域の気温が周囲の郊外にくらべて高くなる現象をヒートアイランドといいます。都市化やエアコンなどの排熱がその主な要因です。図53は長野市内の小学校で測定された気温データから求めた2018年7月の月平均気温分布です<sup>48)</sup>。長野市内の中心部付近から松代方面にかけての都市域に27℃以上の気温の高い地点が多く分布し、ヒートアイランドを確認できます。都市域はヒートアイランドの影響による高温と、地球温暖化による気温上昇が加わり、高温のリスクがより高くなると考えられます。今後、さらに気温が上昇することによる高温リスクの増加が心配されます。

## 教室の温度

長野市内の小学校の外気温とその学校の教室内の室温の関係<sup>49)</sup>をみると、外気温が高いときには室温が高いことがわかります（図54）。また、室温のほうが外気温よりも1～2℃ほど高いこともわかります。エアコンが教室にない場合には、室内においても熱中症のリスクが高まる可能性があります。今後、地球温暖化により外気温が上昇するとそのリスクはさらに高まるものと予想されます。

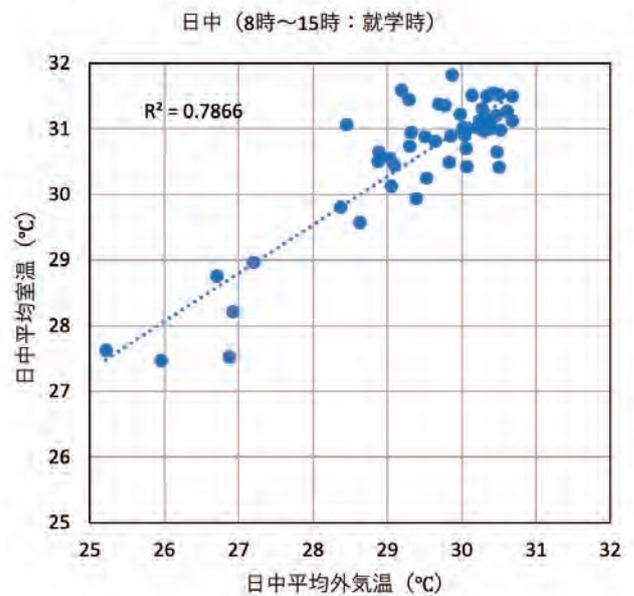


図54 長野市内の小学校百葉箱内で測定された外気温と同じ学校の教室内で測定された室温の関係（2018年7月2日～7月24日と8月22日～8月31日（夏休みを除く平日）における日中（8時～15時）の平均値）。

# 長野県における

## 【長野県の気候変動】

長野県の過去100年あたりの年平均気温は、  
で2.0℃、「飯田」で1.4℃上昇しています。21世紀末  
上昇すると予測されており、気温上昇に向けた  
については、今後、極端な大雨や逆に全く雨が  
が予測されています。雪については、冬季の  
減少すると予測されています。

## <農業>

### 水稻：収量・品質

今後、県内全域で収量は増収するものの、21世紀末には、標高の低い北部の一部地域で減収が予測されています。標高の低い盆地の底部では品質低下が現れはじめ、21世紀末には、山間部を除く多くの地域で深刻な品質低下が予測されています。

### 水稻：白未熟粒

コメは、高温になると、粒が白濁した白未熟粒が多く発生することがわかっています。将来、白未熟粒発生率は増加すると見込まれ、県北の平野部にコメの等級が2等以下となる高い白未熟粒発生率の地域が出てくることが予測されています。



### リンゴ

将来、長野地域の一部および天竜川沿いで、高温による生育不適地となることが予測されています。さらに21世紀末には、平地の大部分がほぼ生育不適地となることが予測されています。



### ブドウ

露地栽培における、ブドウ[巨峰]の着色不良の発生予測によると、今後、長野から上田地域、松本地域、天竜川沿いでは、着色不良が発生頻度が20%以下となり、中でも標高の低い長野地域の一部では、発生頻度がやや高くなると予測されています。



## <林業>

### 松枯れ

林業では、リスク域がさらに広がると予測されています。わずかに残る低リスク域が分断化されたり、逆にそれまでは離れていた高リスク域が繋がること予想され、松枯れの防除がより難しくなる可能性があります。



## <水環境・水資源>

千曲川流域における流量の将来予測によると、現在4月前後に現れる流量のピークが減少するだけでなく、水資源として流域に蓄えられる積雪量も64%減少することが予測されました。



## <生態系>

### ブナ・シラビソ



ブナは、現在では全県にわたって潜在生育域が見られますが、4℃上昇時には、生育域が北信地域や木曽地域、下伊那地域の低標高地で消失し、山岳地の山腹に限定的となることが予測されています。シラビソは、現在では北アルプス北部を除く亜高山帯域に広く生育域がありますが、4℃上昇時にはより高標高域のみに生育域が縮小することが予測されています。

### ライチョウ



ライチョウの潜在生育域は、21世紀末には現在の0.4%に減少すると予測されており、生息地の中心部である北アルプス個体群にも温暖化の影響が大きく及ぶことが示唆されています。

### 高山植生



中部山岳域の一部は、非常に高い高山植物多様性ホットスポットとなっています。これらの種多様性は、地質的な特徴をもつ山域への、希少種の集中的な分布により形成されていることが示唆されています。こうした山域は、過去の気候変動下でも高山植物の逃避地(レフュージア)として機能してきたと考えられます。



# 影響一覽

「長野」で1.2℃、「松本」世紀末には、さらに2～5℃た備えが必要です。雨や雪が降らない日が増えること気温上昇に伴い、積雪量が



## <国民生活>

### 生物季節・御神渡り

桜の開花や紅葉などの生物季節の観測結果から、年々、春や夏の訪れが早くなり、秋がくるのが遅くなっていることが明らかになりました。また、諏訪湖の御神渡りの出現回数の減少は、寒い日が減ることで諏訪湖が結氷しない、あるいは、しにくい年が増えていることが要因の一つと考えられます。



※2

### 地場産業：市田柿

市田柿は高森町の重要な地域資源ですが、近年秋の気温上昇によるカビの発生が深刻な問題のひとつとなっています。技術対策の導入とともに、農家の継続意志を高めるためには、農家が感じている「苦勞」を少なくし、「楽しさ」あるいはそれに関連する「生きがい」「満足度」を高める施策が重要であると考えられました。



※1

### ヒートアイランド

都市域ではヒートアイランドの影響に温暖化による気温上昇が加わるため、他の地域にくらべて高温のリスクが高くなると考えられます。長野市内の小学校の教室内の室温は、外気温より1～2℃ほど高いことがわかっており、エアコンが教室にない場合には、室内においても熱中症のリスクが高まる可能性があります。



## <産業>

### スキー産業

温暖化は自然環境資源を生かしたレクリエーション・サービス産業への影響をもたらすと考えられます。県内スキー場において、温暖化による来客数減少がもたらす経済的被害額を推計した結果、21世紀末には北アルプスや北信、上田、佐久、諏訪などのスキー場の集まる地域において、大きな被害が見込まれました。



## <健康>

### 熱中症

現在の熱中症リスクを1とした場合、21世紀末における熱中症リスクは、RCP2.6シナリオで約2倍、RCP8.5シナリオでは約5倍になると予測されました。

### ヒトスジシマカ

ヒトスジシマカは、デング熱などの感染症を媒介し、年平均気温が11℃以上の地域に分布するといわれています。現在、主に県内の標高の低い長野から上田にかけての地域、松本周辺、伊那谷に狭く分布していますが、将来、気温上昇に伴い、生息地域が広がる予測となっています。



※3

## <自然災害>

### 洪水

将来における洪水リスクについて、降雨予測をもとに再現したところ、一部地域は台風19号の浸水深分布と一致し、千曲川、姫川、天竜川、釜無川などの大きい河川沿いに広く氾濫域が存在することが示唆されました。

### 斜面崩壊

21世紀末に想定される最大の降雨量データをもとに、「土砂災害警戒区域」内における斜面崩壊が発生する確率について調べた結果、北信地域では、気温上昇による降水量の増加に伴い、発生確率の上昇が予測されました。さらに、90%以上の確率で斜面崩壊が発生する箇所が、21世紀末にどれくらい増えるのか調べたところ、山地面積が大きく人口の集中する市町村ほど多くなることがわかりました。

## タケ

里地における生態系・生物多様性への脅威となっているモウソウチクとマダケの生育に適した環境が、温暖化の進行とともに拡大する予測がされています。

## 気候変動の速度

温暖化すると、野生動植物の生息（生育）適地が、移動したり消滅したりします。現在と21世紀末を比較し、同じ気候条件が元の場所からどれくらい近く見つかるかを調べたところ、中部山岳の山頂部では、国内には移動先さえ見つからない場合があります。このことは、中部山岳の山頂部の野生動植物の絶滅リスクが高いことを意味しています。

## イワナとワカサギ

千曲川上流部の流域では、4℃の年平均気温上昇によって、流域の約7%のイワナ生息地が失われ、個体群の分断が進むことが予測されています。現在、イワナの分布限界ラインは標高799mと推測され、渓流性のヤマメやカジカも高水温によって分布が制限されると考えられます。ワカサギも、水温の上昇によって孵化後の成長や成熟に影響があると考えられます。

## 参考文献

- 1) 気候変動適応プラットフォーム ([https://adaptation-platform.nies.go.jp/materials/e-learning/study/el-glossary\\_06.html?font=standard](https://adaptation-platform.nies.go.jp/materials/e-learning/study/el-glossary_06.html?font=standard)).
- 2) 気候変動適応プラットフォーム ([https://adaptation-platform.nies.go.jp/materials/e-learning/study/el-glossary\\_02.html?font=standard](https://adaptation-platform.nies.go.jp/materials/e-learning/study/el-glossary_02.html?font=standard)).
- 3) 気候変動適応プラットフォーム ([https://adaptation-platform.nies.go.jp/materials/e-learning/study/el-glossary\\_04.html?font=standard](https://adaptation-platform.nies.go.jp/materials/e-learning/study/el-glossary_04.html?font=standard)).
- 4) 気象庁ホームページ ([https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an\\_jpn.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn.html)).
- 5) 気象庁ホームページ ([https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme\\_p.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html)).
- 6) IPCC 気候変動 (2013) 気候変動政府間パネル第5次評価報告書第1作業部会政策決定者向け要約 (気象庁訳).
- 7) 気象庁 (2017) 地球温暖化予測情報第9巻.
- 8) 気象庁 (2019) 気候変動監視レポート2018.
- 9) 西森基貴ほか (2019) シミュレーション, **38** (3) : 150-154.
- 10) 山崎 剛ほか (2019) シミュレーション, **38** (3) : 145-149.
- 11) Mizuta R. et al. (2017) *Bulletin of the American Meteorological Society*, **98** : 1383-1398.
- 12) Hasegawa T. and Horie T. (1997) Applications of systems approaches at the field level.
- 13) Ishigooka Y. et al. (2011) *Journal of Agricultural Meteorology*, **67** (4) : 209-224.
- 14) Masutomi Y. et al. (2019) *Environmental Research Communications*, **1** : 121003.
- 15) 杉浦俊彦, 横沢正幸 (2004) 園芸学雑誌, **73** : 72-78.
- 16) Ishigooka Y. et al. (2017) *Journal of Agricultural Meteorology*, **73** : 156-173.
- 17) Sugiura T. et al. (2019) *Journal of Agricultural Meteorology*, **75** : 67-75.
- 18) Hirata A. et al. (2017) *PLOS ONE*, **12** (8) : e018283. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182837>.
- 19) 大桑浩司 (2018) 水文・水資源学会2018年度研究発表会.
- 20) Matsuhashi S. et al. (2020) *Forest Ecology and Management*, **463** : 118010. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118010>.
- 21) 田中賢治ほか (2019) 水文・水資源学会2019年度研究発表会.
- 22) Hotta M. et al. (2019) *BMC Ecology*. <https://doi.org/10.1186/s12898-019-0238-8>.
- 23) 田中健太ほか (2013) 地学雑誌, **122** : 628-637.
- 24) 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所プレスリリース (<https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2019/20191127/index.html>).
- 25) Hamann A, Roberts DR, Barber QE, Carroll C, Nielsen SE. (2015) *Global Change Biology*, **21**: 997-1004.
- 26) 清野 聡 (1993) 農業気象, **48** : 379- 383.
- 27) 高野 (竹中) 宏平ほか (2019) 環境情報科学論文集, **33**: 49-54 .
- 28) 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所プレスリリース (<https://www.ffpri.affrc.go.jp/press/2017/20171018/documents/20171018press.pdf>).
- 29) Mizuta R. et al. (2012) *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **90A** : 233-258.
- 30) Takano KT. et al. (2017) *Ecology and Evolution*. doi:10.1002/ece3.3471.
- 31) 花崎直太ほか (2014) 環境科学会誌, **27** : 362-373.
- 32) Nakao K. et al. (2013) *Journal for Nature Conservation*, **21** : 406-413. DOI: 10.1016/j.jnc.2013.06.003
- 33) 田中信行ほか (2009) 地球環境, **14** (2) : 153-164.
- 34) 北野 聡 (2001) 長野県自然保護研究所紀要 **4** (1) : 335-342.
- 35) Nakano S. et al. (1996) *Freshwater Biology*. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1996.d01-516.x>.
- 36) 武居 薫・上島 剛 (2012) H22長野県水産試験場事業報告, 16
- 37) 武居 薫・上島 剛 (2011) H21長野県水産試験場事業報告, 26
- 38) 田中裕夏子ほか (2019) 土木学会論文集B1 (水工学), **75** (2) : L109-L114.
- 39) 山本 道ほか (2019) 土木学会論文集B1 (水工学), **75** (2) : L1087-L1092.
- 40) 齋藤洋介ほか (2017) 土木学会論文集G (環境), **73** (5) : L229-L237.
- 41) 気候変動適応技術社会実装プログラム (気候変動の影響評価等技術の開発に関する研究) 課題 (i) 気候変動に関する分野別影響・適応策評価技術の開発 サブ課題e:適応策評価のための暑熱環境と健康影響モデル開発 平成31年度 成果報告書 (令和2年3月、国立大学法人筑波大学).
- 42) 小林睦生 (2008) 獣医学雑誌, **12** (1) : 7-12.
- 43) 供田 豪ほか (2018) 土木学会論文集G (環境), **74** (5) : L349-L357.
- 44) 供田 豪ほか (2019) 土木学会論文集G (環境), **75** (5) : L57-L64.
- 45) Wikipedia「諏訪湖」(<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E8%AB%8F%E8%A8%AA%E6%B9%96>) .
- 46) 長野県高森町, 法政大学地域研究センター (2019) 将来の気候変動を見通した市田柿の適応策計画.
- 47) 白井信雄ほか (2018) 地域活性研究, **9**.
- 48) 浜田 崇ほか (2019) 2019年日本地理学会秋季学術大会予稿集.
- 49) 浜田 崇ほか (2020) 長野県環境保全研究所研究報告 (印刷中).

### 執筆者

尾関雅章 (長野県環境保全研究所 自然環境部 主任研究員)  
栗林正俊 (長野県環境保全研究所 自然環境部 研究員)  
高野宏平 (長野県環境保全研究所 自然環境部 研究員)

浜田 崇 (長野県環境保全研究所 自然環境部 主任研究員)  
堀田昌伸 (長野県環境保全研究所 自然環境部長)

### 執筆協力者

石郷岡康史 (農研機構 農業環境変動研究センター 上級研究員)  
風間 聡 (東北大学大学院 工学研究科 教授)  
川越清樹 (福島大学 共生システム理工学類 教授)  
日下博幸 (筑波大学 計算科学研究センター 教授)  
後藤敦史 (気象庁 地球環境・海洋部 調査官)  
紺野祥平 (農研機構 果樹茶業研究部門 研究員)  
佐藤亮吾 (筑波大学大学院 生命環境科学研究科 博士課程)  
白井信雄 (山陽学園大学 地域マネジメント学部 教授)

杉浦俊彦 (農研機構 果樹茶業研究部門 園地環境ユニット長)  
田中賢治 (京都大学防災研究所 水資源環境研究センター 准教授)  
供田 豪 (名城大学 都市情報学研究科 博士課程)  
藤本敏文 (気象庁 地球環境・海洋部 地球温暖化対策調整官)  
増富祐司 (茨城大学 農学部 准教授)  
松橋彩衣子 (農研機構 中央農業研究センター 研究員)  
森杉雅史 (名城大学 都市情報学部 教授)

(五十音順, 敬称略)



信州気候変動適応センター  
Local Climate Change Adaptation Center in Shinshu

lccac@nagano.pref.lg.jp  
<https://lccac-shinshu.org/>