

長野県における気候変化の観測事実と将来予測

栗林正俊¹・浜田 崇¹

本研究は、長期気象観測値と「農研機構シナリオ 2017」の気候予測値を解析して、長野県における過去から未来の気候変化を定量的に評価するとともに、気候予測の不確実性について全球気候モデル(GCM)の違いと代表的濃度経路(RCP)シナリオの違いによる予測のばらつきを比較・検討した。長野県の年平均気温は1945～2020年の間に1.65～2.49°C/100年の割合で上昇しており、1945～2015年の気温上昇率と比べて0.19～0.26°C/100年上がった。これは、2016年以降に相次いだ記録的高温の影響である。将来の長野県の気温上昇幅は、松本を基準にすると1981～2000年の20年平均値に比べて、2031～2050年は0.56～2.95°C、2081～2100年は1.07～6.61°C、それぞれ上昇すると予測された。2031～2050年の予測の幅は、RCPシナリオの違いよりもGCMの違いによるばらつきが大きいものに対して、2081～2100年はRCPシナリオの違いによるばらつきの方が大きい。年降水量の観測値は1945～2020年の間に、県内5つの観測地点でいずれも有意な変化傾向がなかった。松本における年降水量の予測値は、1981～2000年の20年平均値に比べて、2031～2050年は92～322 mm (7～25%)、2081～2100年は-43～277 mm (-3～23%)、それぞれ増加すると予測された。この予測の幅はRCPシナリオの違いよりもGCMの違いによるばらつきの方が大きく寄与している。日照時間の観測値は、観測地点により変化傾向が異なっていた。松本における日積算全天日射量の予測値は、1981～2000年の20年平均値に比べて、2031～2050年は0.10～0.80 MJ/m² (1～6%)、2081～2100年は0.29～1.29 MJ/m² (2～9%)、それぞれ増加すると予測された。この予測の幅はRCPシナリオの違いよりもGCMの違いによるばらつきの方が大きく寄与している。年平均相対湿度の観測値は、軽井沢のみ上昇傾向で、長野・松本・飯田・諏訪では低下傾向だった。ただし、近年は低下傾向に歯止めがかかり、むしろ上昇している。一方、年平均相対湿度の予測値はほぼ横ばいで、気温や降水量は観測値の過去の変化に比べて予測値の変化の方が大きいものに対し、相対湿度の場合は観測値の過去の変化に比べて予測値の変化の方が小さく、予測のばらつきも小さい。

キーワード：気候変化、長野県、長期観測、気候予測、統計的ダウンスケール

1 はじめに

2018年12月の気候変動適応法施行を受け、長野県は2019年4月に信州気候変動適応センターを設置した。このセンターのミッションは、気候変動影響・適応に関して、情報の収集・整理・分析や研究を推進し、その成果を広く県民に発信することと、地域の気候変動適応に関する取組を促進することである。適応策を推進する上で、長期観測に基づく気候変動の実態と高解像度の気候予測は、基礎情報となる。また、長野県は2019年12月に全国の都道府県で初の気候非常事態を宣言し、国に先駆けて2050ゼロカーボンに取り組む姿勢を示しており、緩和策

を推進する上でも、温室効果ガス排出シナリオ別の気候予測は重要である。

気象庁の観測データによると、長野・松本・飯田・諏訪・軽井沢の年平均気温は、1945～2015年の間に1.45～2.29°C/100年の割合で上昇した¹⁾。また、長野県全域平均の20年平均気温は、1981～2000年を基準にすると、2031～2050年に1.7～2.1°C、2081～2100年に2.0～4.7°C、それぞれ上昇すると予測されている²⁾。しかし、1998～2014年頃は「ハイエイタス」と呼ばれる地球温暖化の停滞現象が起きていた時期で³⁾、2015年以降は各地で年平均気温の観測史上最高が再三にわたり更新された。ゆえに、2020年まで解析対象期間を延ばすと気温上昇率はより高

1 長野県環境保全研究所 自然環境部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

くなると考えられる。また、前述の長野県の気温の将来予測値は、2014年に公開されたS8共通シナリオ第2版⁴⁾に基づいているが、現在は最新の知見に基づく気候予測値が公開されている。気候予測には様々な不確実性が存在し、気候変化が人為的な事象である以上、どんなに科学が進歩しても不確実性はなくなるが、最新の予測情報にアップデートすることで、時空間的な高解像度化や気象要素の追加、アンサンブルメンバー数の増加などが期待される。

不確実性という言葉からは、信頼できない印象をもつかも知れないが、何事においても確実な将来予測は存在しない。むしろ、不確実性を評価できること自体が、確率的評価を可能にするなど重要な意味をもつ。気候予測の不確実性を生み出す要素は主に3つあり、①温室効果ガス排出シナリオの違い、②全球気候モデル(GCM)の違い、③内部変動、である⁵⁾。長野県のようにGCMの水平解像度では十分に表現できない狭い地域の気候予測の場合、不確実性を生み出す要素に、④高解像度化の手法の違い、が加わる。この④は統計的手法と力学的手法に大別され、統計的手法の中でもバイアス補正方法の違いは上記①と②よりも降水量に関係する指標に対して大きな不確実性をもたらすことが報告されている⁶⁾。

前述の長野県全域平均の気温予測の幅は、上記①の違いのみを反映したもので、上記②～④は考慮されていない。ゆえに、2031～2050年の気温上昇は1.7～2.1℃と予測の幅は僅か0.4℃しかないが、仮にこの予測に用いたGCMや高解像度化の手法に欠陥があれば、この予測を信頼することには大きなリスクを負うことになる。不確実性が生じる理由を整理することは、予測結果のもつ意味やリスクを解釈する上で重要である。そこで、本研究では、長野県における2020年までの気象観測値を解析して気候変化の最新の動向を示すこと、および、最新の気候予測値を解析して、21世紀末までの予測値の不確実性について、温室効果ガス濃度シナリオの違いとGCMの違いに分けて評価すること、を目的とする。

2 方法

2.1 気象観測値

気象観測値は、長野地方気象台と松本・飯田・諏訪・軽井沢の4つの特別地域気象観測所における気温、降水量、日照時間、相対湿度を利用した。解析対象期間は観測開始から2020年までとして、解析

には気象庁の気象観測統計指針の正常値と準正常値のみ使用した⁷⁾。各気象データと解析対象期間におけるデータの均質性に関する情報は、気象庁のホームページから取得した⁸⁾。移転や測器変更などにより前後のデータの均質性が損なわれる場合、気温に関しては気象観測統計指針に基づいて補正された値を利用し、経年変化の解析は、各地点の観測開始から2020年、全5地点で観測値がある1945～2020年、長野県内の地域気象観測システム(アメダス)が稼働している1979～2020年⁹⁾、の3期間を対象に実施した。一方、降水量、日照時間、相対湿度に関しては、各地点で最も長期にわたり均質性が保たれた期間についてのみ経年変化の解析を行った。特に、日照時間の観測値は、1986～1989年の間に観測測器がジョルダン式日照計から回転式日照計に変更されたので、この測器変更の前後で統計は切断されている⁷⁾。また、松本・飯田・軽井沢の3つの特別地域気象観測所は観測開始から2020年までの期間に移転があったが、前後のデータの均質性や統計が切断か否かの扱いは気象要素によって異なる⁷⁾。各気象要素の経年変化について、統計的な有意性を検定する際は、Mann-Kendall検定を利用した。

2.2 気候予測値

気候予測値は、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)において共通シナリオとされた「農研機構シナリオ2017」を利用した¹⁰⁾。これは5種類のGCMと2種類の代表的濃度経路(RCP)シナリオにより計算された気候予測値を、「農研機構メッシュ農業気象データ」をベースラインにして正規分布型スケーリング法¹¹⁾でバイアス補正しつつ、平年差の距離重み付け法¹²⁾で統計的に全国3次メッシュ(1km格子)に高解像度化した日別のデータセットである。5種類のGCMは、CSIRO-Mk3-6-0、GFDL-CM3、HadGEM2-ES、MIROC5、MRI-CGCM3で、これらはIPCC第5次評価報告書(AR5)の第5期結合モデル相互比較計画(CMIP5)に登録された50以上あるGCMの中から、日本付近の気候の再現性やモデル間のばらつきの幅を考慮して選択されている。また、RCPシナリオは、AR5で設定された4つのシナリオのうち、温室効果ガス濃度が最も低く抑えられるRCP2.6と、最も高くなるRCP8.5の各シナリオが選択されている。従来の気候予測値は、統計的ダウンスケールの場合、気温と降水量しか扱っていなかったが、「農研機構シナリオ2017」は日

射量, 相対湿度, 風速も扱っている. 本研究では, 気温, 降水量, 日射量, 相対湿度について将来の変化量や空間分布を解析することとし, 内部変動による不確実性ができるだけ小さくなるよう 20 年平均値として評価・比較した. なお, 空間分布の特徴はベースラインである「農研機構メッシュ農業気象データ」に依存するので, どの GCM を選択してもほぼ同じである. 本研究では Ishizaki et al. (2020)¹³⁾ で気温と降水量についてモデル自身が持つバイアスの評価がなされている MIROC5 を代表にして空間分布図を示す.

RCP シナリオの違いに伴う不確実性を評価する際は, 5 種類の GCM 毎に RCP8.5 と RCP2.6 の差の絶対値を算出し, これを平均して RCP シナリオの違いによる予測のばらつきを計算した. GCM の違いに伴う不確実性を評価する際は, 各 RCP シナリオで 5 種類の GCM の最大値と最小値の差を GCM の違いによる予測のばらつきとした. 各予測のばらつきは地点や対象期間に応じて異なるが, 前述のとおり統計的に高解像度化された気候予測値を使用しているので, 長野県のように GCM の水平解像度で分解することが困難な狭い地域であれば, 選択する地点による予測のばらつきの違いは小さい. 本研究では, 予測のばらつきを計算する対象地点は, 前述の 5 つの観測地点のうち唯一 1981~2000 年に全天日射量の観測があり, かつ, 長野県の中心部に近い松本とした. また, 予測のばらつきを計算する対象期間は, 近未来(2031~2050 年)と 21 世紀末(2081~2100 年)の 2 つの期間に設定して, 1981~2000 年の各計算値を基準に各気象要素の変化量と, RCP シナリオの違いや GCM の違いに応じた予測のばらつきを評価した. なお, 基準値を 1981~2000 年の観測値ではなく各計算値とすることで, モデル自身が持つバイアスを相殺することができるので, 変化量を比較する際には, 計算値同士の差分をとるのが一般的である.

表 1 各観測点における年平均気温の解析期間別の変化率.

解析期間 (年)	長野	松本	飯田	諏訪	軽井沢
1945~2015	1.79	2.23	1.56	2.29	1.45
1945~2020	2.02	2.49	1.76	2.48	1.65
1979~2020	3.17	3.82	3.27	3.56	3.77

3 結果と考察

3.1 観測事実

3.1.1 気温

年平均気温の観測値は, 全 5 地点において有意水準 1%以下で有意に上昇しており, 最も観測期間の長い長野では 1889~2020 年の間に 1.27 °C/100 年の割合で上昇した(図 1). 5 地点の年平均気温は, 1945~2020 年の間に 1.65~2.49°C/100 年, 1979~2020 年の間に 3.17~3.82°C/100 年の割合で上昇しており, 気温上昇率も直近の 40 年程度で上がった(表 1). また, 1945~2020 年の気温上昇率は 1945~2015 年の気温上昇率と比べて 0.19~0.26°C/100 年上がっており, 2016 年以降の相次ぐ記録的高温の影響といえる.

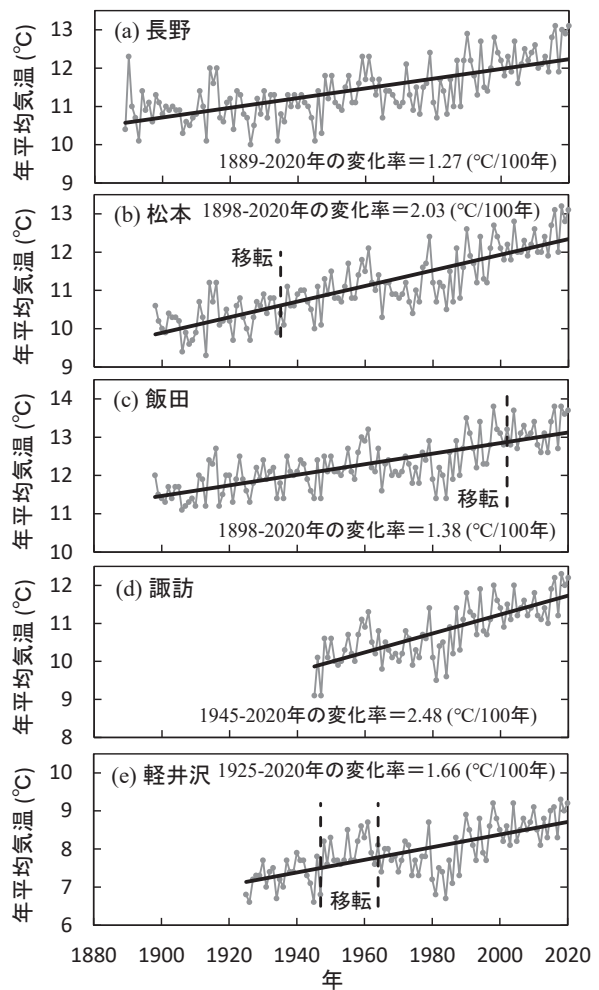


図 1 各観測点における年平均気温の観測値. 灰色の折れ線: 観測値, 黒い太線: 有意水準 1%以下の回帰直線.

3. 1. 2 降水量

年降水量の観測値は、いずれの地点においても統計的に有意な変化傾向は認められなかった(図 2)。これは、日本全国や地方ごとに平均した年降水量の長期変化傾向と同様の結果である¹⁴⁾。降水は局地性の高い気象現象で、年々変動も大きい上、雨と雪で雨量計の捕捉率に違いが生じるなど高精度な観測が難しい気象要素でもあるため、経年変化を捉えるのは難しい。観測精度が比較的良好な夏季については、月降水量の年変化率やその標高依存性を評価した研究もあり⁹⁾、降水現象の長期変化傾向を捉えるためには、よりの絞った解析が必要である。

3. 1. 3 日照時間

年間日照時間の観測値は、観測開始から測器変更までの期間の経年変化傾向が、長野では有意水準 10%

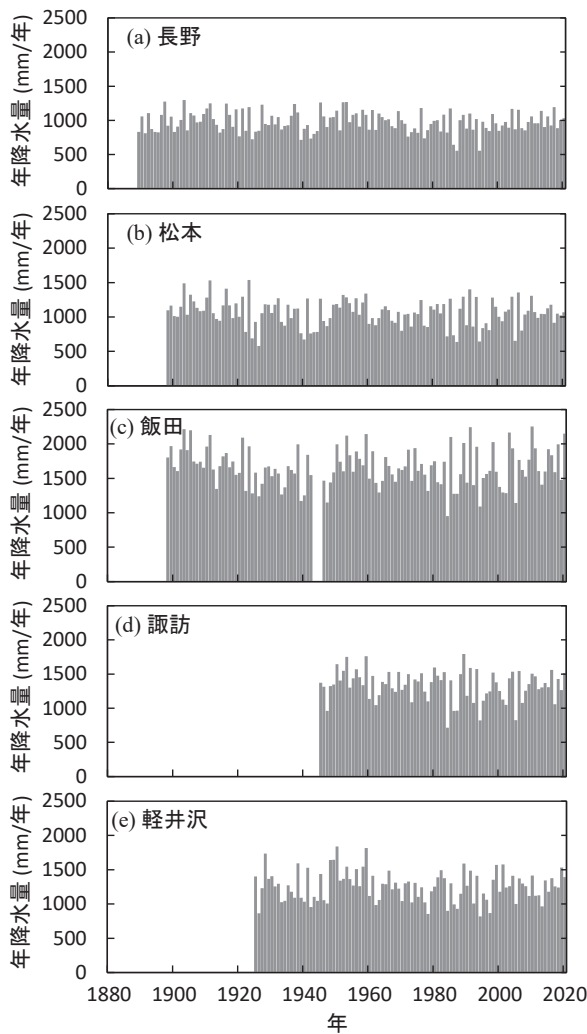


図 2 各観測点における年降水量の観測値。

以下で有意な減少傾向、松本と諏訪では有意水準 1%以下で有意な増加傾向、飯田では有意水準 10%以下で有意な増加傾向、軽井沢では有意水準 1%以下で有意な減少傾向を示した(図 3)。

3. 1. 4 相対湿度

年平均相対湿度の観測値は、軽井沢を除く 4 地点において有意水準 1%以下で有意に低下しており、最も観測期間の長い長野では 1889~2020 年の間に 4.3%/100 年の割合で低下した(図 4)。ただし、2000 年以降はあまり低下しておらず、むしろ上昇している。1889~2015 年の間の変化率(4.75%/100 年の割合で低下¹⁾)に比べても低下の割合が小さくなって

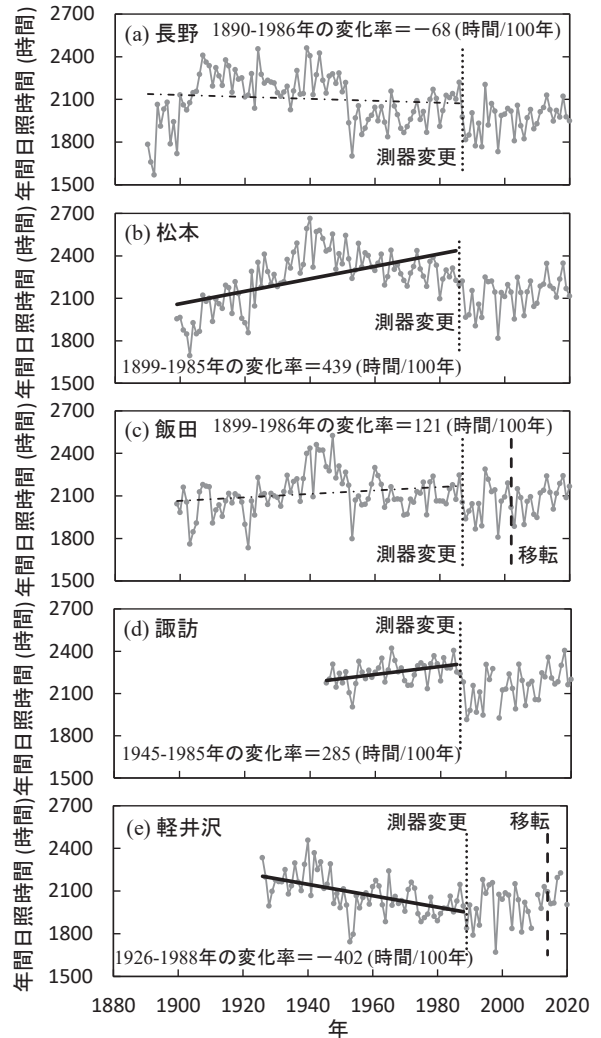


図 3 各観測点における年間日照時間の観測値。灰色の折れ線：観測値、黒い太線：有意水準 1%以下の回帰直線、細い一点鎖線：有意水準 10%以下の回帰直線。

いるので、2016年以降の相次ぐ記録的高温は水蒸気量の増加も伴っていると考えられる。松本では1898～2020年の間に10.6%/100年の割合で低下しており、5地点の中で最も顕著な変化傾向を示している(図4b)。一方、軽井沢においては有意水準1%以下で有意に上昇しており、1964～2020年の間に4.7%/100年の割合で上昇した(図4e)。

3.2 将来予測

3.2.1 気温

気温の将来予測値は、全5地点において類似した上昇傾向を示した(図5)。松本ではGCMの違いに応じて1981～2000年の計算値には0.16℃のばらつきがあるが、概ね観測値と整合している(図5b)。これは正規分布型スケーリング法によるバイアス補正がうまく機能していることを示唆している。先行研究もバイアス補正前のMIROC5が日本の陸域における年平均気温を3.0℃過大評価するのに対して、正規分布型スケーリング法でバイアス補正したMIROC5は高精度に観測値と整合することを報告している¹³⁾。

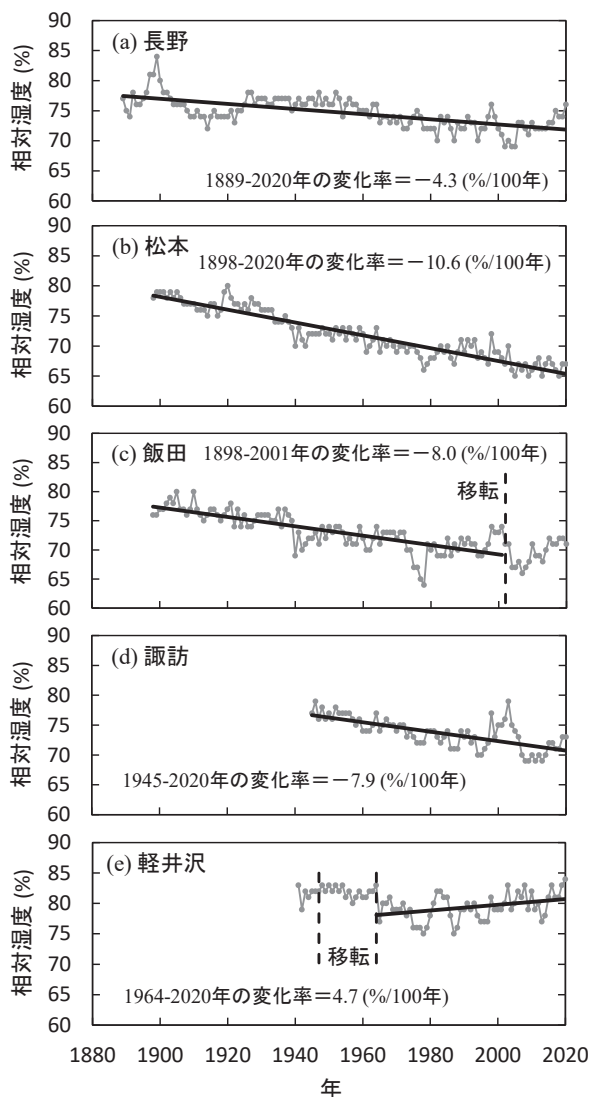


図4 各観測点における年平均相対湿度の観測値。灰色の折れ線：観測値，黒い太線：有意水準1%以下の回帰直線。

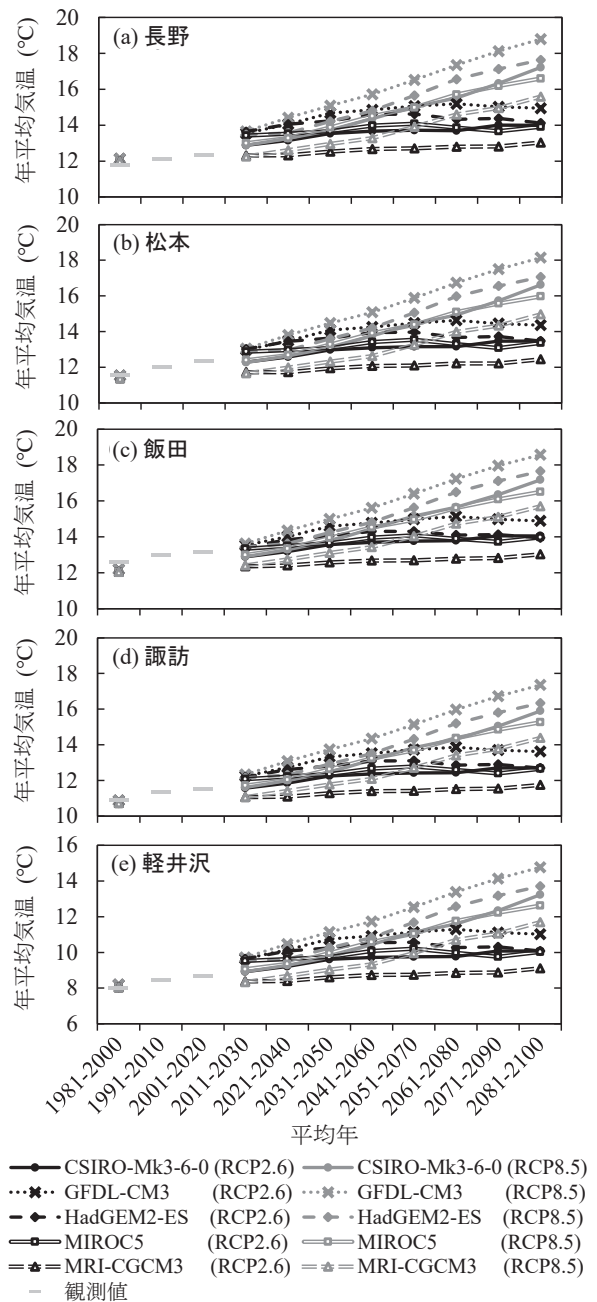


図5 各観測点における20年平均した年平均気温の予測値。

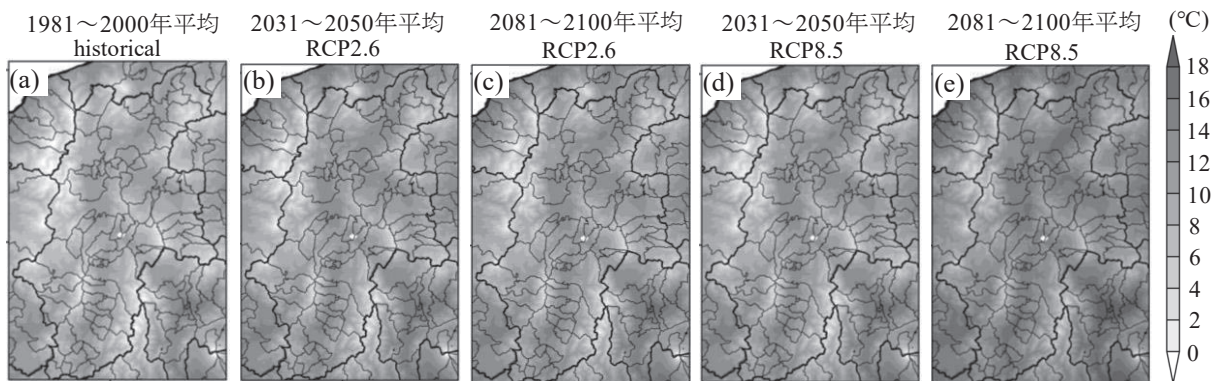


図6 MIROC5による過去(a)・近未来(b, d)・21世紀末(c, e)の20年平均気温の予測値の空間分布。

太い黒線：県境界，細い黒線：市町村境界。

松本では将来の気温は1981～2000年の値に比べて2031～2050年は0.56～2.95°C，2081～2100年は1.07～6.61°C，それぞれ上昇する(図5b)。このような気温の上昇は、長野県全域でほぼ同様の傾向を示し、将来気候下でも長野県の気温の分布はほぼ標高に依存する(図6)。本研究における気温の予測の幅は、S8共通シナリオ第2版に基づいて計算された長野県全域平均の気温の予測の幅(1981～2000年の値に比べて、2031～2050年は1.7～2.1°C，2081～2100年は2.0～4.7°C，それぞれ上昇)よりも大きい。S8共通シナリオ第2版の飯田における気温の予測の幅も長野県全域平均と同程度であるが²⁾、本研究の飯田における将来の気温は1981～2000年の値に比べて2031～2050年は0.53～2.80°C，2081～2100年は0.98～6.38°C，それぞれ上昇する(図5c)。このように先行研究で示された長野県の気温の予測の幅に比べて本研究で示した予測の幅の方が大きい理由は、本研究がRCPシナリオの違いだけでなく、GCMの違いも考慮しているからである。

GCMの違いによる予測のばらつきが、2031～2050年はRCP2.6シナリオの場合には2.00°C，RCP8.5シナリオの場合には2.01°Cで、2081～2100年はRCP2.6シナリオの場合には1.76°C，RCP8.5シナリオの場合には3.02°Cであった(図5b)。一方、RCPシナリオの違いによる予測のばらつきは、2031～2050年は0.22°C，2081～2100年は3.13°Cであった。このことから、RCPシナリオの違いによるばらつきは、2031～2050年はGCMの違いによるばらつきの11.0%に過ぎないが、2081～2100年はGCMの違いによるばらつきと同程度か1.8倍程大きいことが示唆された。

この結果は、全球平均気温について3つの温室効果ガス排出シナリオと15種類のGCMを用いて行った先行研究と整合している⁵⁾。

3. 2. 2 降水量

年降水量の将来予測値も、全5地点において類似した変化傾向を示したが、降水量が比較的多い飯田は変化量や予測間のばらつきも大きい(図7)。松本ではGCMの違いに応じて1981～2000年の計算値には126mmのばらつきがあり、観測値に比べて216～342mm(21～34%)過大評価している(図7b)。これは正規分布型スケール法によるバイアス補正が降水量に対しては十分に機能していないことを示唆している。先行研究もバイアス補正前のMIROC5が日本の陸域における年降水量を5%過大評価しているのに対して、正規分布型スケール法でバイアス補正したMIROC5は15%過大評価していることを報告している¹³⁾。正規分布型スケール法で降水量の空間分布や季節変化は補正されても過大評価のバイアスは補正されない理由として、日降水量の確率分布は弱雨域に中心をもち正規分布ではないこと、および補正後に負の値となった降水量は全て0として扱っていること、が指摘されている¹³⁾。

松本では将来の降水量は1981～2000年の値に比べて2031～2050年は92～322mm(7～25%)，2081～2100年は-43～277mm(-3～23%)，それぞれ増加する(図7b)。降水量の予測は気温と異なり年代ごとの変動も大きく、変化傾向に一貫性はない。21世紀末の日本の年降水量の予測も有意な変化傾向はなく、地域別の予測結果にはばらつきが大きく不確実性が高いとされており¹⁴⁾、本研

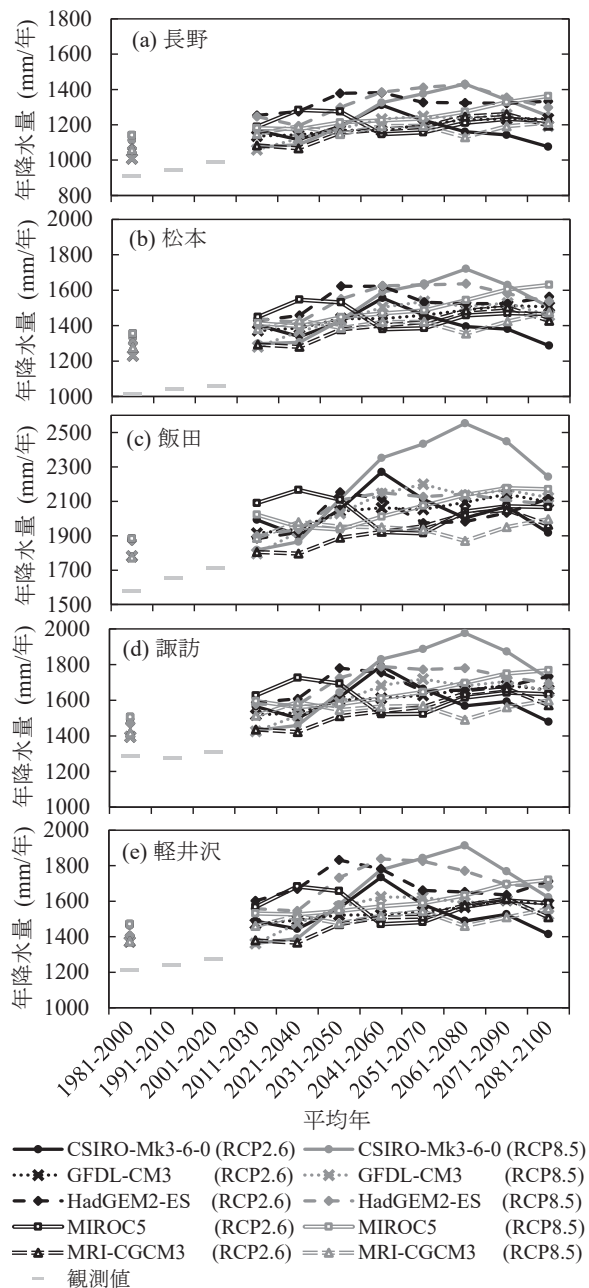


図7 各観測点における20年平均した年降水量の予測値。

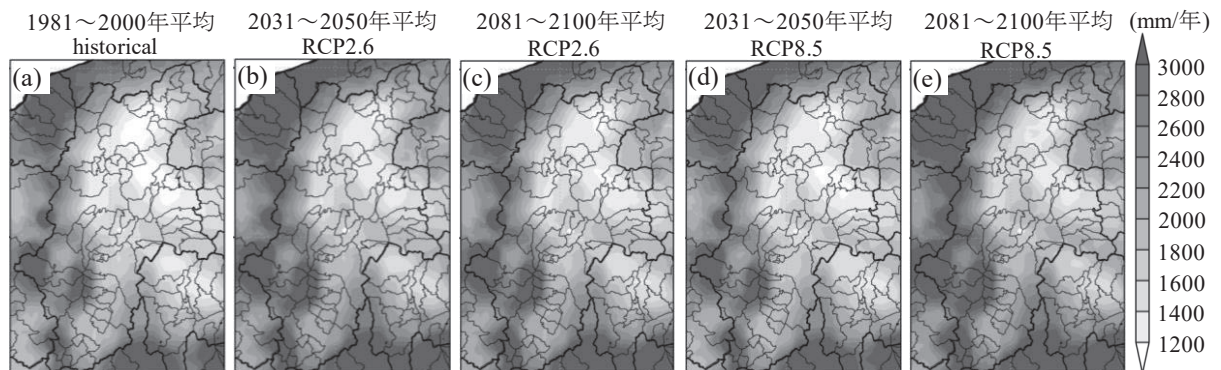


図8 MIROC5による過去(a)・近未来(b, d)・21世紀末(c, e)の20年平均の年降水量の予測値の空間分布。太い黒線：県境界，細い黒線：市町村境界。

究で予測された変化傾向の特徴と整合的である。空間分布については降水量も気温と同様に長野県全域で変化して、将来気候下でも1981~2000年平均と同様に長野盆地・上田盆地・佐久盆地における降水量は少なく、北部・西部・南部の県境界の山岳域や木曾山脈における降水量は多い(図8)。

GCMの違いによる予測のばらつきが、2031~2050年はRCP2.6シナリオの場合には227mm、RCP8.5シナリオの場合には158mmで、2081~2100年はRCP2.6シナリオの場合には320mm、RCP8.5シナリオの場合には99mmであった(図7b)。一方、RCPシナリオの違いによる予測のばらつきは、2031~2050年は36mm、2081~2100年は102mmで、GCMの違いによる予測のばらつきに比べると小さい。これらの予測のばらつきは松本を対象に評価しているが、年降水量が松本よりも多い地域では予測のばらつきもより大きくなると考えられる。

3.2.3 全天日射量

全天日射量の将来予測値も、全5地点において類似した変化傾向を示した(図9)。松本ではGCMの違いに応じて1981~2000年の計算値には0.09MJ/m²のばらつきがあるが、概ね観測値と整合している(図9b)。将来の全天日射量は1981~2000年の値に比べて2031~2050年は0.10~0.80MJ/m²(1~6%)、2081~2100年は0.29~1.29MJ/m²(2~9%)、それぞれ増加する(図9b)。このような全天日射量の増加は、長野県全域でほぼ同様の傾向を示し、将来気候下でも1981~2000年平均と同様に諏訪盆地や伊那盆地では全天日射量

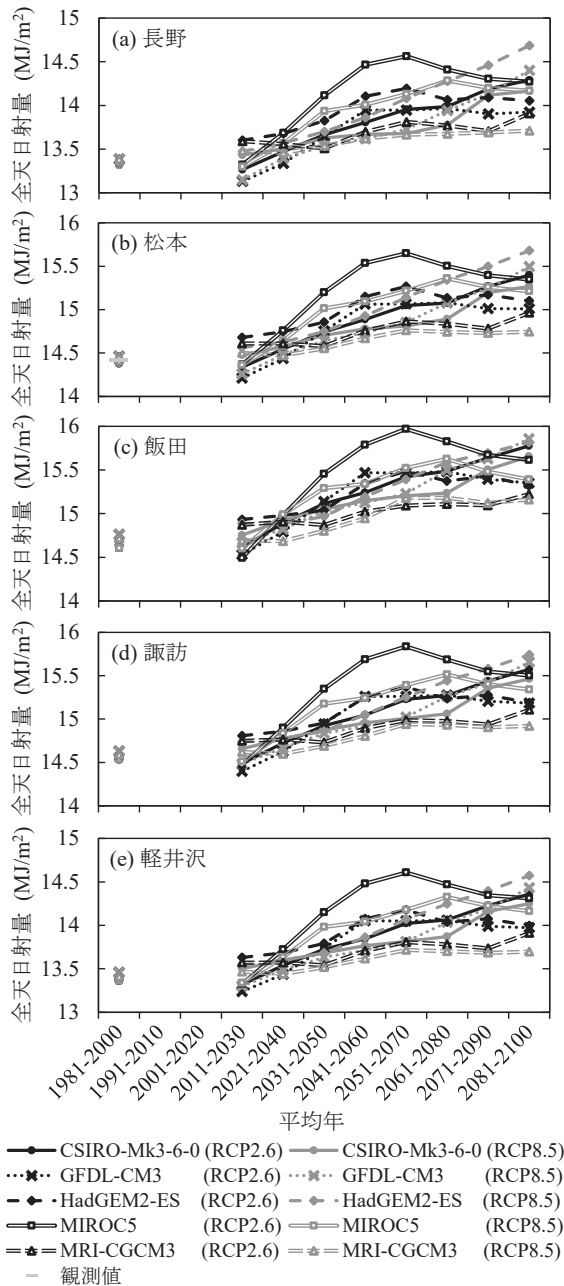


図9 各観測点における20年平均した日積算全天日射量の予測値。

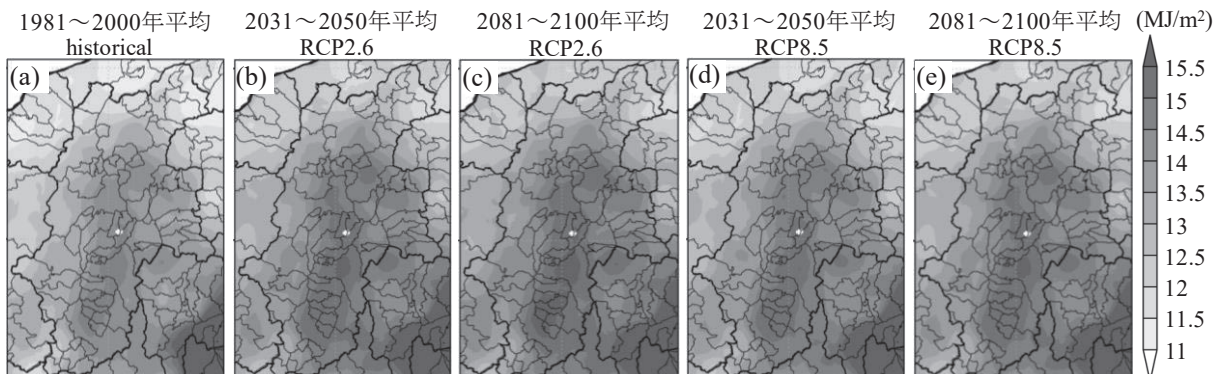


図10 MIROC5による過去(a)・近未来(b, d)・21世紀末(c, e)の20年平均日積算全天日射量の予測値の空間分布。太い黒線：県境界，細い黒線：市町村境界。

は多く、北部の県境界の山岳域では全天日射量が少ない(図10)。

日本の全天日射量は、北日本で減少し、東日本以西では有意な変化傾向が見られないとする予測があるが¹⁵⁾、本研究の結果はこの結果と異なる。この原因として、高解像度化手法の違いが考えられ、本研究で用いた気候予測値は統計的に1 kmに高解像度化しているのに対し、先行研究の気候予測値は全球20 kmのMRI-AGCM3.2から気象庁気象研究所が開発した非静力学地域気候モデルで力学的に5 kmに高解像度化している。本研究で用いた全天日射量は、農業気象分野での研究・応用例が数多くあり、また物理的・経験的な上限下限が設定できるため、補正結果にも一定の信頼性があるとされており¹⁰⁾、松本における観測値との整合性から判断しても精度はよいと考えられる(図9b)。一方、全天日射量は、気温や降水量に比べて観測地点数が圧倒的に少ないことから、統計的に高解像度化された予測値は少なく、地形の複雑な長野県においては気象庁以外の観測データも活用して、今後、精度を検証していく必要がある。

GCMの違いによる予測のばらつきが、2031～2050年はRCP2.6シナリオの場合には0.67 MJ/m²、RCP8.5シナリオの場合には0.51 MJ/m²で、2081～2100年はRCP2.6シナリオの場合には0.51 MJ/m²、RCP8.5シナリオの場合には1.00 MJ/m²であった(図9b)。一方、RCPシナリオの違いによる予測のばらつきは、2031～2050年は0.09 MJ/m²、2081～2100年は0.31 MJ/m²で、GCMの違いによる予測のばらつきに比べると小さい。

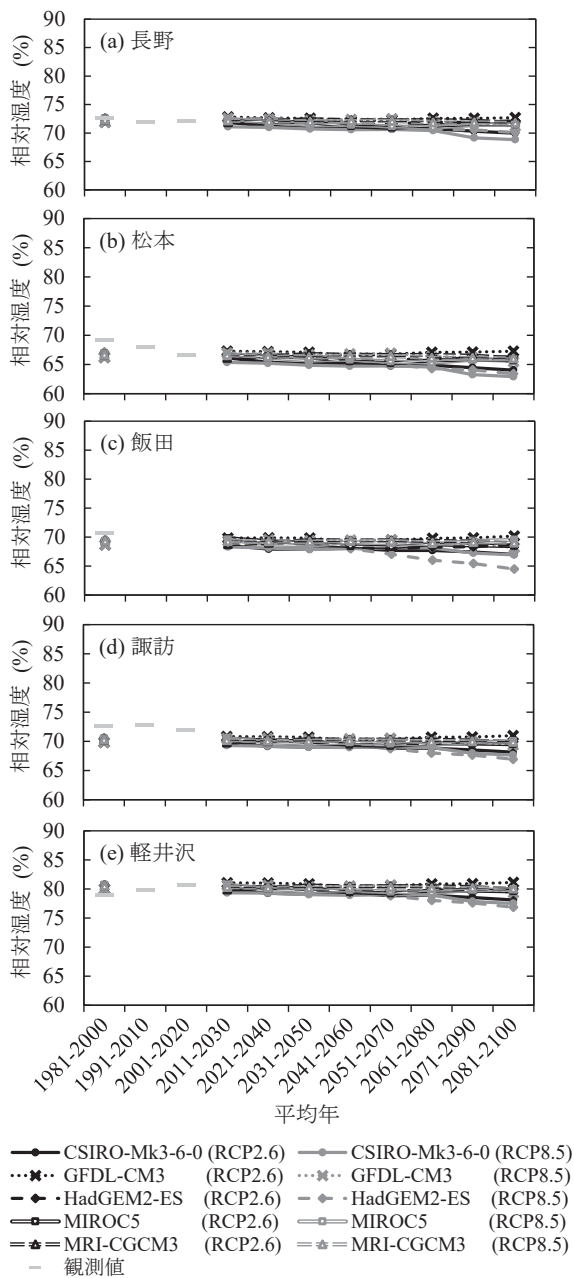


図11 各観測点における20年平均した相対湿度の予測値。

3. 2. 4 相対湿度

相対湿度の将来予測値も、いずれの地点においても類似した変化傾向を示した(図 11). 松本では GCM の違いに応じて 1981~2000 年の計算値には 0.91%のばらつきがあり、観測値に比べて 2.12~3.03%過小評価している(図 11b). ただし、相対湿度の観測値は経年的に低下しているのに対し、計算値はほぼ横ばいの変化をしており、2001~2020 年の観測値は 1981~2000 年や 2011~2030 年の計算値と同程度である. 将来の相対湿度は 1981~2000 年の値に比べて 2031~2050 年は -1.48~0.88%, 2081~2100 年は -3.67~1.09%, それぞれ変化する(図 11b). このような相対湿度の変化は、長野県全域でほぼ同様の傾向を示し、将来気候下でも 1981~2000 年平均と同様に北東部の山岳域では相対湿度が高く、松本盆地や伊那盆地では相対湿度が低い(図 12).

GCM の違いによる予測のばらつきが、2031~2050 年は RCP2.6 シナリオの場合には 2.14%, RCP8.5 シナリオの場合には 1.96%で、2081~2100 年は RCP2.6 シナリオの場合には 3.40%, RCP8.5 シナリオの場合には 2.96%であった(図 11b). 一方、RCP シナリオの違いによる予測のばらつきは、2031~2050 年は 0.38%, 2081~2100 年は 1.22%で、GCM の違いによる予測のばらつきに比べると小さい.

気温や降水量は観測値の過去の変化に対して、予測値は比較的大きく変化しているが、相対湿度は観測値の過去の変化に対して、予測値の変化は小さい. ただし、本研究で用いた相対湿度は、他の気象要素に比べると信頼性が劣るとされているので¹⁰⁾、今後、精度を検証していく必要がある.

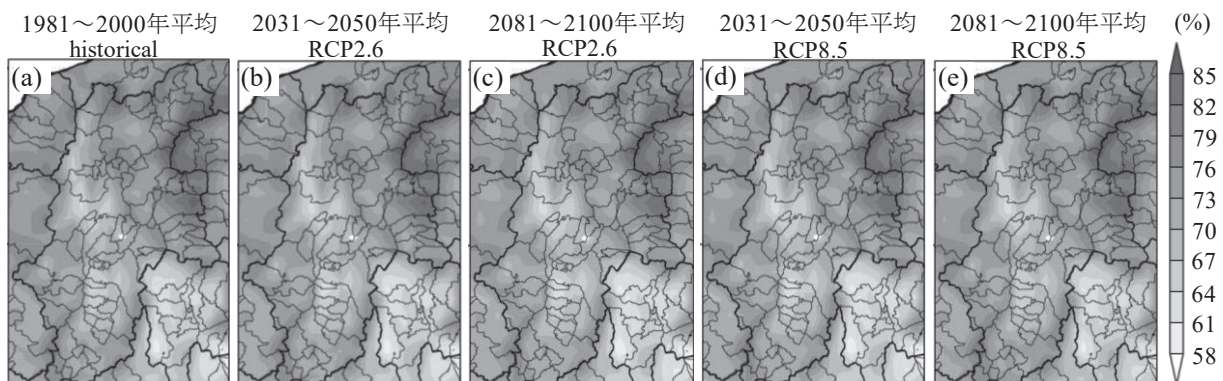


図12 MIROC5 による過去(a)・近未来(b, d)・21世紀末(c, e)の20年平均相対湿度の予測値の空間分布. 太い黒線：県境界, 細い黒線：市町村境界.

特に、2021年3月からは気象庁が水蒸気監視能力を強化するためアメダスの観測地点においても相対湿度の観測を順次開始するので¹⁶⁾、空間分布のモデル再現性を検証する際には貴重なデータになると期待される。

4 おわりに

本研究では、長野県における気象観測値と将来予測値を解析して、気温、降水量、日照時間または日射量、相対湿度に関して、過去から未来にわたる変化を示し、予測の不確実性に寄与するGCMの違いやRCPシナリオの違いによる予測のばらつきも評価した。RCPシナリオの違いによる予測のばらつきは、温室効果ガス濃度が最も低いRCP2.6と最も高いRCP8.5で評価したので、仮にAR5で設定されたRCP4.5とRCP6.0を解析に追加しても、気温の予測のばらつきは本研究の結果と変わらないと思われる。一方、他の気象要素については、RCP4.5とRCP6.0を解析に追加するとRCPシナリオの違いによる予測のばらつきが拡大する可能性がある。また、GCMの違いによる予測のばらつきは、AR5のCMIP5に登録された50以上あるGCMを全て解析に追加すると、拡大する可能性が高い。影響評価や緩和策・適応策の検討に本研究の気象予測値を利用する際は、バイアスや不確実性についても留意していただきたい。

今後、月別の解析や極値に関する解析、積雪や風速に関する解析も行うこと、および高解像度化の手法の違いによる予測のばらつきを評価することなどが課題である。特に、気象予測は観測よりも様々な分野の影響評価や適応策検討におけるニーズが高いと考えられ、きちんと情報を発信していく必要がある。一方、極端現象や降雪・積雪、観測の乏しい高山帯の気候変化などを扱うためには、力学的手法による高解像度化やアンサンブルメンバー数の確保が必要になり、計算機資源やデータ解析の人的資源が不足している。これらの問題の解決には、国の研究機関や大学との連携、国立環境研究所の気候変動適応情報プラットフォーム(A-PLAT)の利活用、信州気候変動適応センターの研究機能の拡充が重要になると考えられる。

謝 辞

本研究は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20192007)、および、文部科学省のSI-CATにより実施した。

文 献

- 1) 信州・気候変動モニタリングネットワーク運営協議会 (2018) 信州・気候変動モニタリングネットワークレポート 2015: <https://shinshu-moninet.org/results/report/> (2021年3月確認)
- 2) 長野県環境保全研究所 (2015) 長野県における温暖化影響評価及び適応策立案手法の開発に関する研究報告書, 196pp.
- 3) 渡部雅浩 (2014) ハイエイタス, 天気, 61(4): 277-279
- 4) 花崎直太・高橋潔・脇岡靖明・日下博幸・飯泉仁之直・有賀敏典・松橋啓介・三村信男 (2014) 日本の温暖化影響・適応策評価のための気候・人口・土地利用シナリオ(第2版), 環境科学会誌, 27(6): 362-373
- 5) Hawkins, E., and Sutton, R. (2009) The potential to narrow uncertainty in regional climate predictions, BAMS, 90(8): 1095-1108, doi:10.1175/2009BAMS2607.1
- 6) Iizumi, T., Takikawa, H., Hirabayashi, Y., Hanasaki, N., and Nishimori, M. (2017) Contributions of different bias-correction methods and reference meteorological forcing data sets to uncertainty in projected temperature and precipitation extremes, J. Geophys. Res. Atmos., 122: 7800-7819, doi:10.1002/2017JD026613
- 7) 気象庁, 気象観測統計指針: http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/shishin/shishin_3.pdf (2021年3月確認)
- 8) 気象庁, 過去の気象データ検索: <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2021年3月確認)
- 9) 栗林正俊・大和広明・浜田崇 (2019) 長野県における1979~2015年の夏季降水量の経年変化の標高依存性, 地学雑誌, 128(1): 21-30

- 10) 西森基貴・石郷岡康史・桑形恒男・滝本貴弘・遠藤伸彦 (2019) 農業利用のための SI-CAT 日本全国 1km 地域気候予測シナリオデータセット(農研機構シナリオ2017)について, シミュレーション, 38(3): 150-154
- 11) Haerter, J.O., Hagemann, S., Moseley, C., and Piani, C. (2011) Climate model bias correction and the role of timescales, Hydrol. Earth Syst. Sci., 15: 1065-1079, doi:10.5194/hess-15-1065-2011
- 12) 清野 裕 (1993) アメダスデータのメッシュ化について, 農業気象, 48(4): 379-383
- 13) Ishizaki, N.N., Nishimori, M., Iizumi, T., Shiogama, H., Hanasaki, N., and Takahashi, K. (2020) Evaluation of two bias-correction methods for gridded climate scenarios over Japan, SOLA, 16, 80-85, doi:10.2151/sola.2020-014
- 14) 文部科学省・気象庁 (2020) 日本の気候変動2020 : <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/cj/index.html> (2021年3月確認)
- 15) 気象庁 (2013) 地球温暖化予測情報第8巻 : <https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/GWP/Vol8/pdf/all.pdf> (2021年3月確認)
- 16) 気象庁 (2021) アメダスの観測種目が変わります～地域気象観測所(アメダス)における相対湿度の開始について～ : https://www.jma.go.jp/jma/press/2102/26b/press_20210226.html (2021年3月確認)

Observational evidences and future projections of climate change in Nagano Prefecture

Masatoshi KURIBAYASHI¹ and Takashi HAMADA¹

*1 Natural Environment Division, Nagano Environmental Conservation
Research Institute, 2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan*