

飛騨地域における 2100 年までの気候変動予測と 果樹への影響

安江隆浩*

岐阜県中山間農業研究所 509-4244 飛騨市古川町是重

Climate change prediction until 2100 in the Hida region and its impact on fruit trees

Takahiro Yasue*

*Gifu prefectural Research Institute for Agricultural Technology in Hilly and Mountainous Areas,
Furukawa, Hida, Gifu 509 - 4244*

摘 要

日本の気候変動 2020 によると、日本の年平均気温は 20 世紀末に比べて 21 世紀末には約 1.4℃(RCP2.6)もしくは 4.5℃(RCP8.5) 上昇し、大雨や短時間強雨の発生頻度や強さは増加し、雨の降る日数は減少すると予測している。飛騨地域で栽培されるモモやリンゴは露地栽培で気候変動の影響を緩和する手法は限定的であるため、長期的な計画で対策を立てる必要がある。農研機構が提供しているメッシュ農業気象データと地域気候シナリオ 2017 を用いて、モモとリンゴの生育期について将来予測をしたところ、少なくとも 2080 年までは自発休眠打破に影響はなく栽培可能であるが、モモでは現在と同じ出荷期間を維持する場合、中生種の「白鳳」を中心の品種構成から、2050 年頃には中晩生種を、2100 年頃には極晩生種を中心とした品種構成にする必要があった。リンゴは温度条件のみでは収穫時期の予測は出来なかったが、着色不良や硬度不足が懸念された。一方、温帯果樹の甘ガキは近未来において有望な品目になりえるが、イチジクは 2100 年まで凍害の危険が高いため、飛騨地域での産地化は困難と予測された。

キーワード：モモ、リンゴ、甘ガキ、イチジク、DVR モデル

緒 言

文部科学省・気象庁が発表した日本の気候変動 2020 によると、20 世紀末に比べて 21 世紀末には、日本の年平均気温は約 1.4℃(RCP2.6)もしくは 4.5℃(RCP8.5) 上昇し、大雨や短時間強雨の発生頻度や強さは増加し、雨の降る日数は減少すると予測している。

飛騨地域で栽培されるモモやリンゴは露地栽培のため、気候変動の影響を緩和する手法が限定的で将来不適地となることが予測されるのならば、樹種の変更を見据える必要がある。また、収穫時期の前進化に留まるのであれば、現在の出荷時期を維持するための晩生品種を選定しておく必要がある。

そこで、農研機構が提供しているメッシュ農業気象データと地域気候シナリオ 2017（西森ら、2019）を用いて、飛騨地域の気候変動を予測すると共に、飛騨地域の基幹樹種であるモモやリンゴの生育に及ぼす影響と代替品目として温帯果樹である甘ガキとイチジクの地域適応性を予測した。

材料および方法

1. 飛騨地域における気候変動の予測

地域気候シナリオ 2017 は 2 種類の温暖化シナリオ（RCP）と 5 種類の全球気候モデル（GCM）との組み合わせにより 10 種類のシナリオモデル（表 1）が提供されている。その中から後半が中間的な予測（以下中間予測モデル）と後半が最も高温となる予測（以下高温予測モデル）を選んだ。その 2 つの予測モデルから予

*Corresponding author. E-mail: yasue-takahiro@pref.gifu.lg.jp

表1 地域気候シナリオ 2017 の提供内容

項目	内容
温暖化シナリオ	RCP2.6(厳しい温室効果ガス排出削減対策を行う社会) RCP8.5(温室効果ガス排出が続く社会)
全球気候モデル	MRI-CGCM3(日本:気象庁気象研究所) MIROC5(日本:東京大学/国立環境研究所/海洋研究開発機構) CSIRO-Mk3-6-0(豪州:連邦科学産業研究機構) GFDL-CM3(米国:海洋大気庁地球物理流体力学研究所) HadGEM2-ES(英国:気象庁ハドレーセンター)
予測データ期間	2006年1月1日～2100年12月31日
気象要素	日降水量、日平均気温、日最高気温、日最低気温、 日積算日射量、日平均相対湿度、日平均地上風速

測される観測所の年平均気温、年降水量、年全天日射量およびアメダス高山の観測値（以下実測値）から 2006～2100 年（以下予測期間）の変化を捉えた。また、飛騨地域の 7 地点（表 2）における予測期間の中間予測モデルの年平均気温、年降水量、年全天日射量の推移を比較し、地点による特徴を捉えた。また月別の気温、降水量の推移について実測値の 2012-2021 年の平均値と、2 つの予測モデルの 2091-2100 年の平均値とを比較した。なお、実測値に全天日射量がないため、観測所におけるメッシュ気象データの 2012～2021 年の平均値と 2 つの予測モデルの 2091～2100 年の平均値とを比較した。

表2 気候変動を予測した飛騨地域 7 地点の所在地

略称	所在地	緯度経度	標高(m)
観測所	高山市桐生町	36.1542,137.2562	560
中農研	高山市国府町山本	36.2292,137.2062	600
上広瀬	高山市国府町上広瀬	36.1958,137.2437	520
瓜巢	高山市国府町瓜巢	36.1875,137.2062	600
高山	高山市江名子町	36.1292,137.2937	650
黒内	飛騨市古川町黒内	36.2375,137.1187	630
久々野	高山市久々野町無数河	36.0458,137.2562	760

2. モモとリンゴの生育期と霜害の予測

1) 低温要求時間で予測したモモとリンゴの自発休眠打破日の予測

中山間農業研究所果樹園（岐阜県高山市国府町山本字カジカ洞；以下、中農研）におけるモモ、リンゴの自発休眠打破日を予測した。低温要求時間には、モモは北村ら（1998）が調査した「白鳳」の 1200 時間を、リンゴは農林水産省（2020）で設けた 1400 時間を用い、前年の 8 月 1 日から特別気温が 7.2℃以下の時間を積算し、低温要求時間以上となった日をそれぞれの自発休眠打破日とした。

気温データには中農研の 2 つの予測モデルを使用した。

なお、特別気温の推定は和田ら（1972）の計算式を用いた。

2) モモの満開日と収穫期の予測

中農研において 1981～2021 年に実測したモモ「白鳳」の生育期（発芽期、満開日、収穫始期）の実測値と、メッシュ農業気象データから得られる中農研の気温データから、安達ら（2018）の発育速度（DVR）モデル式で求めた算定値と相関が高い DVI を求め、DVI を代入して DVR モデル式と 2 つの予測モデルで予測期間の生育期を予測した。

なお、実測値のない自発休眠打破日、硬核開始日の DVI は 1 とし、実測値のある発芽日と満開日、収穫始期の DVI はそれぞれ相関が高かった 2、1、1 とした。

表3 モモ各品種について収穫始期の予測に用いた硬核始期から収穫始期までの積算温度

品種名	積算温度(℃)
白鳳	967.39
昭和桃	1,348.81
川中島白桃	1,574.34
幸茜	1,743.70
さくら白桃	2,033.15

3) モモ各品種の収穫始期の予測

モモは硬核始期の品種間差が小さく（石田、1984）、硬核開始日から収穫期は積算温度と比例している（安達ら、2018）ことから、中晩生「昭和桃」は 1981～2022 年（42 年間）、「川中島白桃」は 2012～2022 年（11 年間）、「幸茜」と「さくら白桃」は 2019～2022 年（4 年間）について、各年の「白鳳」の予測硬核始期から各品種の実測収穫始期までの積算温度を求めた（表 3）。積算温度にはメッシュ農業気象データから得られる中農研の気温データを用いた。2 つの予測モデルの気温を積算し、各品種の積算温度を達した日を収穫始期とした。

なお、「白鳳」の収穫始期も前述の DVI モデルでなく、積算温度で求めた。

3) リンゴの開花期の予測

リンゴ「ふじ」もモモと同様に、1982～2021 年に中農研で実測した生育期（発芽日、満開日）と DVR モデルで算出した算定生育期で相関の高い DVI を求めた。求めた DVI を代入した DVR モデル式と 2 つの予測モデルで予測期間の生育期を予測した。なお、実測値のない自発休眠打破日の DVI は 1 とし、実測値のある発芽日と満開日の DVI は相関が高かった

2 と 1 とした。

リンゴの収穫始期の予測式は確立していないことから、目安として 2012～2021 年の満開日から収穫始期までの平均日数 192 日を満開日に加えて収穫始期とした。

4) 霜害頻度の予測

霜害頻度を予測するために、上記で予測したモモとリンゴの満開期前後 7 日間における最低気温が 0℃ 以下の日数を、2 つの予測モデルで予測した。

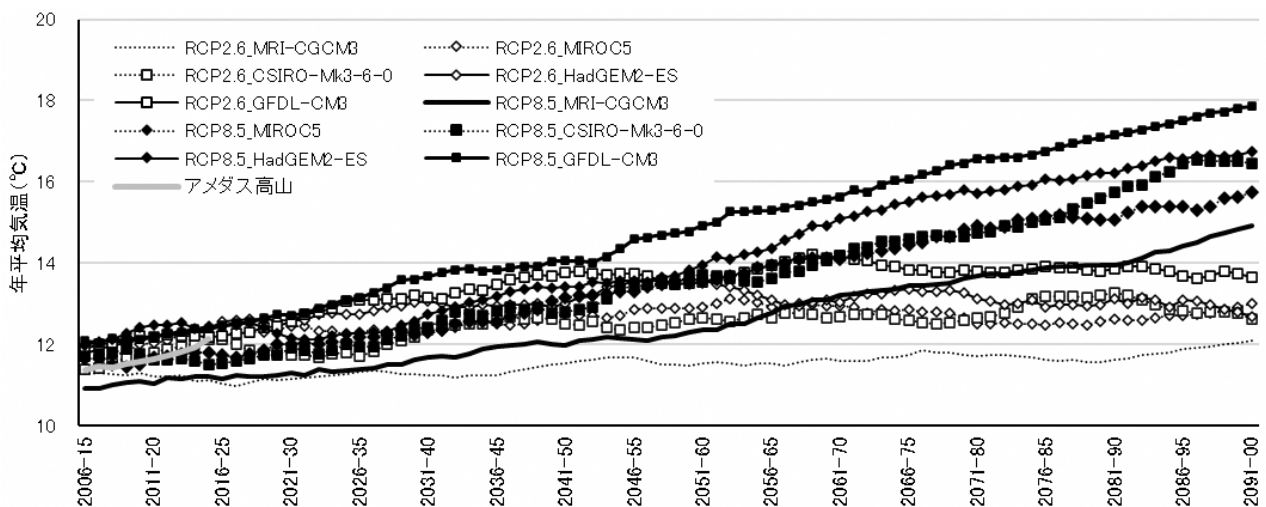


図1 観測所における 2006-2100 年の各シナリオモデルから推測される年平均気温の 10 年移動平均の推移

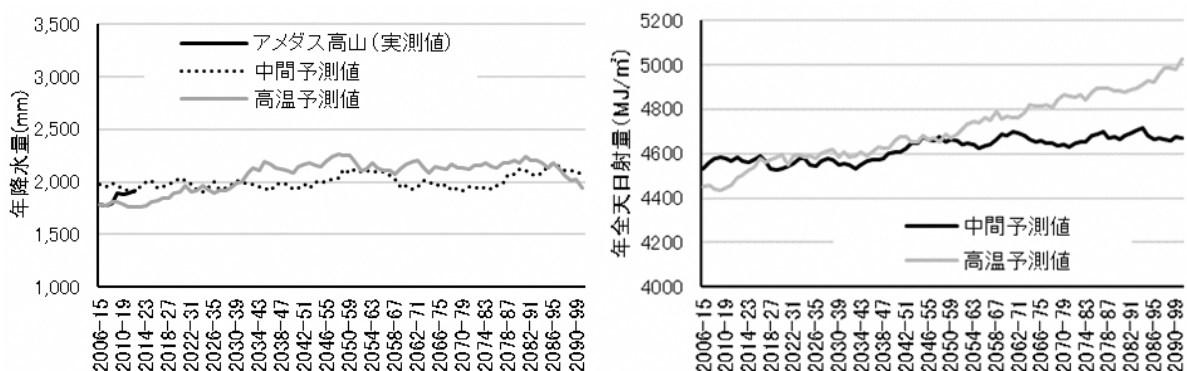


図2 地点別の中間予測モデルによる 2006-2100 年における年降水量（左）と年全日射量（右）の 10 年移動平均の推移

中間予測値と高温予測値：それぞれ RCP8.5 シナリオ MRI-CGCM3 モデルと GFDL-CM3 モデルの予測値

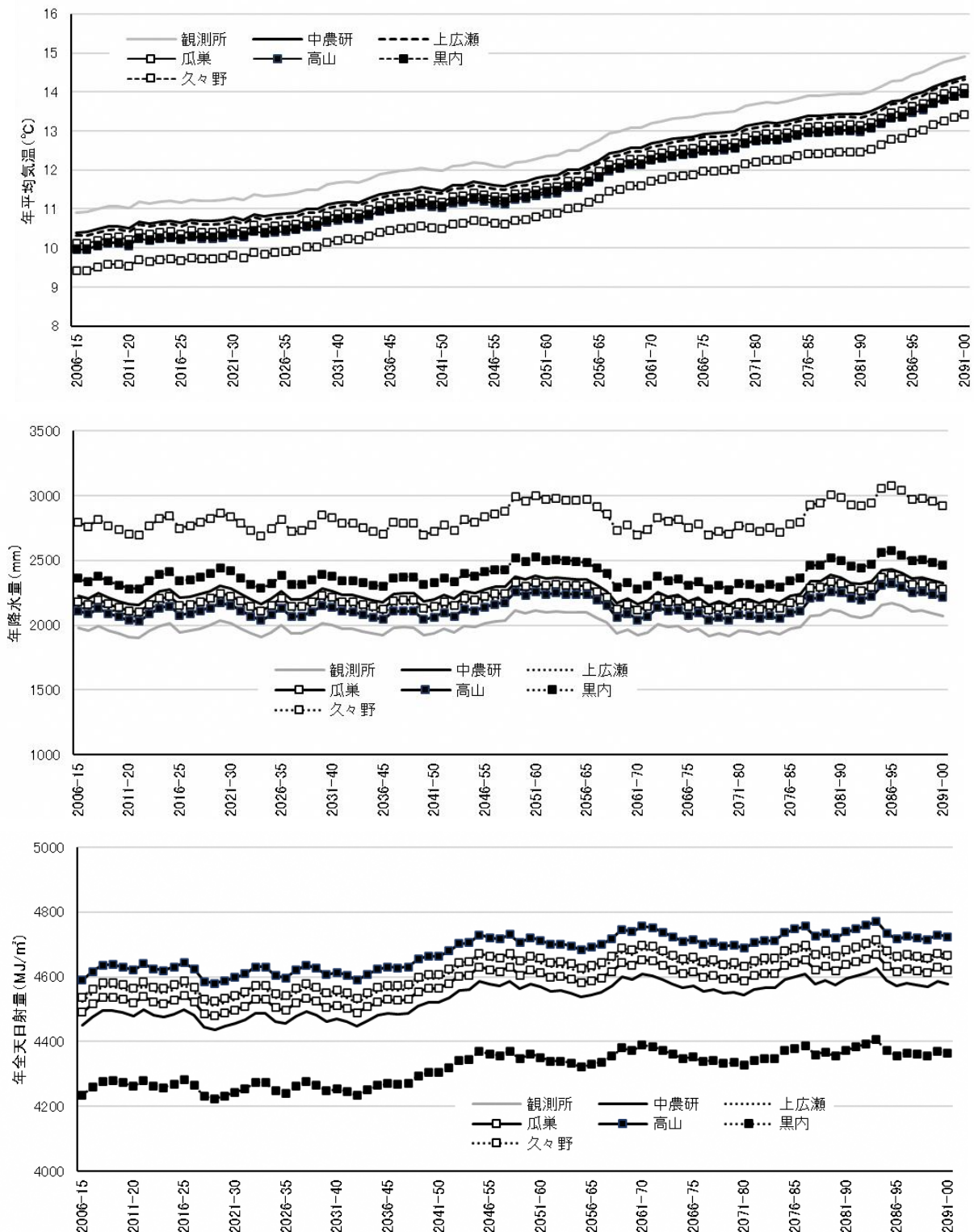


図3 7地点の中間予測値（RCP8.5シナリオMRI-CGCM3モデルの予測値）から予測される2006-2100年の年平均気温（上段）、年降水量（中段）、年全天日射量（下段）の推移

3. 飛騨地域で甘ガキとイチジクの温度条件を満たす時期の予測

1) 甘ガキ（富有柿）

完全甘ガキ「富有柿」の生育適温は、傍島

（1983）を参考に、年平均気温が11～15℃、9月の平均気温が21～23℃、10月が15℃以上、11月が12℃以上を適温条件とし、各年の予測気温が、各適温条件を満たしたら+1点とし、す

すべての条件を満たした年は4点で、10年間加算し、最高点は40点とした。2つの予測モデルの温度データを用いて点数化し、岐阜県内を1キロメートル四方のメッシュで色分けし、マップ化した。

2) イチジク

イチジクの生育適温は、平田(1984)を参考に、年平均気温が15℃以上、1月の平均気温が3℃以上として各年の予測気温が各適温条件を満たしたら+1点とし、不適温条件である年最高気温が38℃以上の時は-1点と減点した。各年の最高点は2点で、10年間加算した20点が最高点とした。ただし、越冬限界が-9℃のため、10年間に一度でも-9℃以下に日があれば0点とした。2つの予測モデルの温度データで点数化し、岐阜県内を1キロメートル四方のメッシュで色分けし、マップ化した。

結果

1. 飛騨地域における気候変動の予測

1) 実測値と2つの予測値との比較

10個のシナリオモデルの内、21世紀末が中間的に推移したRCP8.5シナリオMRI-CGCM3モデルの予測値を中間予測値、最も高く推移したRCP8.5シナリオGFLD-CM3モデルの予測値を高温予測値とし、生育予測等に用いた(図1)。

年平均気温と年降水量と年全天日射量について、2006～2024年のアメダス高山が観測した実測値と観測所における2つの予測値を10年移動平均値で比較した。

年平均気温は2012～2021年の実測値が11.7℃で、中間予測値が11.2℃と0.5℃低く、高温予測値が12.3℃と0.6℃高かった。2041～2050年の中間予測値は12.0℃で2012～2021年より0.8℃上り、高温予測値は14.1℃で1.8℃上昇し、2091～2100年はそれぞれが14.9℃と17.9℃で、2012～2021年と比べると3.7℃と5.6℃上昇した(図1)。

年降水量は2012～2021年の実測値が1,914mm、中間予測値が1,904mmとほぼ同等で、高温予測値が1,791mmと少なかった。2041～2050年の中間予測値が1,940mmと微増し、高温予測値が2,141mmと増加した。2091～2100年の中間予測値が2,075mmと増加し、高温予測値は1,941mmと微増すると予測され、中間予測値は右肩上がりに増加するが、高温予測値は予測中期にピークが

ある山なりになる予測であった(図2左)。

年全天日射量は2012～2021年の中間予測値が4,584MJ/m²、高温予測値が4,490MJ/m²で、予測初期は中間予測値の方が多いが、2041～2050年はそれぞれ4,608MJ/m²と4,677MJ/m²とほぼ同等で、2091～2100年はそれぞれ4,667MJ/m²と5,025MJ/m²で、高温予測値は増加率が高かった(図2右)。

2) 飛騨地域7地点間の比較

年平均気温と年降水量、年全天日射量の2つの予測値について10年移動平均値で、飛騨地域7地点間の推移を比較した。

年平均気温は、中間予測値では観測所が最も高く推移し、久々野が最も低く推移し、各地点は平行して推移した(図3上段)。この傾向は高温予測値も同じで、地点間の温度差を各年の標準偏差で比べると、中間予測値がどの年も0.46℃であるのに対し、高温予測値では0.47℃とわずかに開いていた。

年降水量は、中間予測値で最も高く推移したのは、久々野、次いで黒内、最も少ないのは観測所で、各地点は並行して推移した(図3中段)。この傾向は高温予測値も同じで、地点間の降水量の差を各年の標準偏差で比べると、中間予測値が177～375mmに対し、高温予測値は183～392mmと若干変動が大きかった。

全天日射量は、中間予測値で最も多かったのは高山で、最も少ないのは黒内、各地点並行して推移した(図3下段)。この傾向は高温予測値も同じで平行に推移し、地点間の差の標準偏差は、中間予測値が116～120MJ/m²に対し、高温予測値は116～124MJ/m²とほぼ同じであった。

3) 月別推移の実測値と21世紀末との比較

年間月別の最高・最低気温と降水量、全天日射量の推移について、2012～2021年の実測値の平均(現在値)と観測所における2091～2100年の2つの予測値の平均で比較した。

月別の最高・最低気温の推移は、実測値より2つの予測値はすべての月で高くなり、高温予測値が中間予測値より高くなった。月ごとの上り幅は一律でなく、中間予測値は1～3、9、11～12月がより高くなり、高温予測値は1、7～12月が高くなり、両予測とも秋～冬季の気温上昇を予測した。また中間予測値では最低気温の上り幅が大きく、高温予測値では最高気温の上り幅が大きかった(図4上段)。

月別降水量は、実測値に比べて中間予測値は1～6、9月が増え、8月に減少し、高温予測値は2、5～6月が増え、8月は減少した。両予測で共通したのは1～2月と5月が増え、8月が減少することであった（図4中段）。

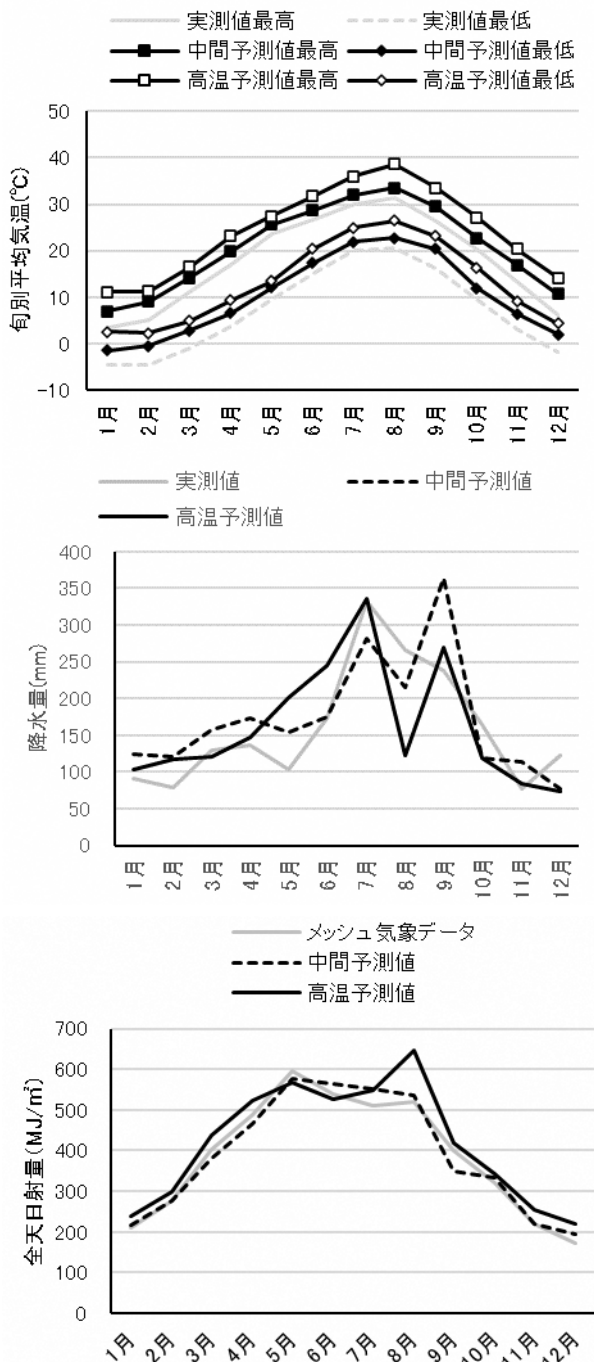


図4 月別の気温（上段）と降水量（中段）、日照時間および全天日射量（下段）における実測値と2つの予測値の比較
実測値：アメダス高山が観測した2012～2021年の平均値
中間予測値と高温予測値：それぞれRCP8.5シナリオMRI-CGCM3モデルとGFDL-CM3で予測した2091～2100年の平均値

月別全天日射量は、高温予測で8月の増加が予測されたが、大きな変化はなかった（図4下段）。

2. モモとリンゴの生育期と霜害の予測

1) 低温要求時間で予測したモモとリンゴの自発休眠打破日の予測

モモの自発休眠打破日を2つの予測モデルで予測すると、2012～2021年の平均はそれぞれ1月1日と1月6日、2041～2050年はそれぞれ1月4日と1月18日、2091～2100年はそれぞれ1月21日と2月21日であった。高温予測モデルでは21世紀末に年次変動が大きく、最も遅い自発休眠打破日は3月14日であった（図5上段）。

同様にリンゴの自発休眠打破日を2つの予測モデルで予測すると、2012～2021年の平均が1月9日と1月15日、2041～2050年が1月12日と1月26日、2091～2100年が1月31日と3月13日で、21世紀末に年次変動が大きく、最も遅い自発休眠打破日は4月20日であった（図5下段）。

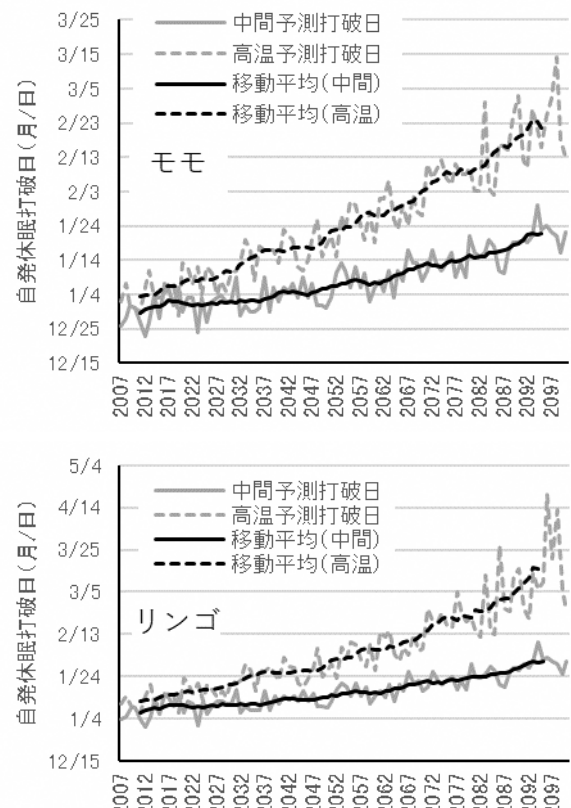


図5 2つの予測モデルで予測したモモ（上段）とリンゴ（下段）の自発休眠打破日の推移
中間予測打破日と高温予測打破日はそれぞれRCP8.5シナリオのMRI-CGCM3モデルとGFDL-CM3モデルで予測した自発休眠打破日
移動平均は10年平均値で、始点の2007～2016年は2011年を起点として記載

2) モモ「白鳳」の満開日と収穫始期の予測

(1) 満開日

1981～2021 年の実測満開日値と算定満開日との R^2 値は 0.8349 と高い相関が得られ、推定誤差 (RMSE: 平均 2 乗誤差平方根) は 5.9 日であった。

2012～2021 年の中間予測満開日は 4 月 21 日、高温予測満開日は 4 月 17 日と、実測満開日の 4 月 28 日よりそれぞれ 7 日、11 日早く予測された。2041～2050 年の平均値は中間予測満開日が 4 月 20 日で 2012～2021 年より 1 日早く、高温予測満開日が 4 月 9 日で 8 日早くなると予測され、2091～2100 年の中間予測満開日が 4 月 1 日で 2012～2021 年より 20 日、高温予測満開日が 3 月 25 日で 23 日前進化すると予測された。

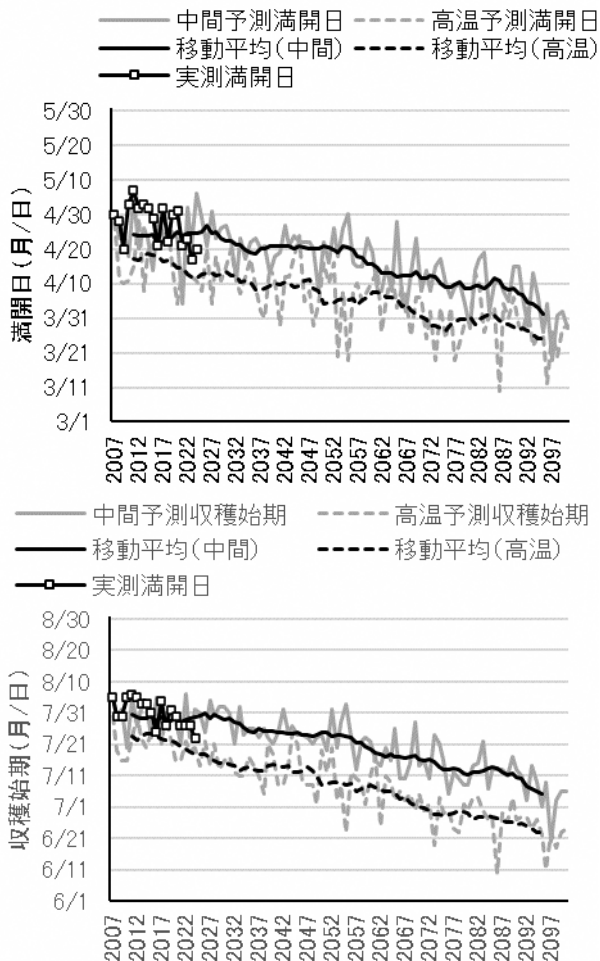


図6 2つの予測モデルで予測したモモ「白鳳」の満開日（上段）と収穫始期（下段）の推移

中間予測満開日と中間予測収穫始期は RCP8.5 シナリオ MRI-CGCM3 モデルで、高温予測満開日と高温予測収穫始期は RCP8.5 シナリオ GFDL-CM3 モデルで予測した満開日と収穫始期

移動平均は 10 年平均値で始点の 2007～2016 年が 2011 年を起点として記載

年次変動を標準偏差で示すと、2012～2021 年の実測満開日の標準偏差が 4.9 日に対し、中間予測満開日が 7.3 日、高温予測満開日が 7.9 日で、予測期間中の標準偏差の平均はそれぞれ 6.3 日と 7.3 日と、予測満開日の年次変動が実測満開日より大きかった（図 6 上段）。

(2) 収穫始期

1981～2021 年の実測収穫始期と算定収穫始期の R^2 値は 0.8529 と高い相関が得られ、推定誤差は 3.9 日であった。

2012～2021 年の中間予測収穫始期は 7 月 28 日、高温予測収穫始期は 7 月 23 日と、実測収穫始期の 7 月 31 日よりそれぞれ 3 日、8 日早く予測された。2041～2050 年の平均値は中間予測収穫始期が 7 月 24 日で 2012～2021 年と比べて 4 日早く、高温予測収穫始期が 7 月 12 日で 11 日早くなり、2091～2100 年の中間予測収穫始期が 7 月 5 日で 2012～2021 年より 23 日、高温予測収穫始期が 6 月 22 日で 31 日前進化すると予測された。

年次変動を標準偏差で示すと、2012～2021 年の実測収穫始期の標準偏差が 3.6 日に対し、中間予測収穫始期が 5.1 日、高温予測収穫始期が 6.0 日で、予測期間中の標準偏差の平均はそれぞれ 5.1 日と 5.7 日と、予測収穫始期の年次変動が実測満開日より大きかった（図 6 下段）。

表4 2つの予測モデルで予測したモモの品種別収穫始期の予測（月/日）

予測モデル	品種名	2012～21年	2041～50年	2091～00年
中間予測モデル	白鳳	8/2 (7/31)	7/29 [4]	7/11 [22]
	昭和蜜桃	8/18 (8/18)	8/13 [5]	7/26 [23]
	川中島白桃	8/28 (8/26)	8/23 [5]	8/3 [25]
	幸茜	9/4 (9/2)	8/30 [5]	8/10 [25]
	さくら白桃	9/19 (9/15)	9/12 [7]	8/21 [29]
高温予測モデル	白鳳	7/28 (7/31)	7/17 [11]	6/29 [29]
	昭和蜜桃	8/12 (8/18)	8/1 [11]	7/13 [30]
	川中島白桃	8/21 (8/26)	8/9 [12]	7/21 [31]
	幸茜	8/28 (9/2)	8/16 [12]	7/27 [32]
	さくら白桃	9/10 (9/15)	8/26 [15]	8/6 [35]

※ () は「幸茜」と「さくら白桃」は 2019～2022 年、
その他は 2012～21 年の実測収穫始期 [] は 2012～21 年との収穫始期の差

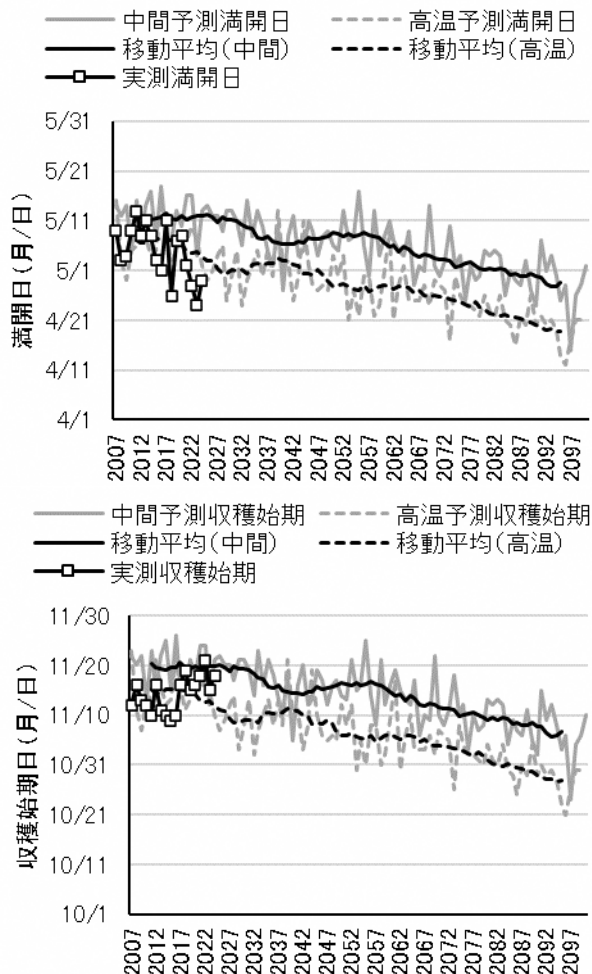


図7 2つの予測モデルで予測したリンゴ「ふじ」の満開日（上段）と収穫始期（下段）の推移

中間予測満開日と中間予測収穫始期は RCP8.5 シナリオ MRI-CGCM3 モデルで、高温予測満開日と高温予測収穫始期は RCP8.5 シナリオ GFDL-CM3 モデルで予測した満開日と収穫始期

移動平均は 10 年平均値で始点の 2007～2016 年が 2011 年を起点として記載

「白鳳」の収穫始期の予測は、前述の DVI モデルに比べ積算温度では、2012～2021 年の中間予測モデルで 5 日、高温予測モデルで 5 日遅く、実測値に比べ中間予測モデルは 2 日遅く、高温予測モデルは 3 日早かった。予測方法の違いにより数日の差があることを踏まえ、中間予測モデルでは各品種の前進化日数が、2041～2050 年は 4～7 日、2091～2100 年は 22～29 日となり、高温予測モデルの 2041～2050 年は 11～15 日、2091～2100 年は 29～35 日と予測され、晩生品種ほど前進化した。また、現在の「白鳳」の収穫期と同時期に収穫できる品種は、中間予測モデルの 2041～2050 年は変

わらず「白鳳」で、2091～2100 年は「川中島白桃」と予測され、高温予測モデルの 2041～2050 年は「川中島白桃」、2091～2100 年には「幸茜」と予測された（表 4）。

3) リンゴの満開日と収穫始期の予測

(1) 満開日

1981～2021 年の実測満開日値と算定満開日との R^2 値は 0.8243 と高い相関が得られ、推定誤差は 2.2 日であった。

2012～2021 年の中間予測満開日は 5 月 11 日、高温予測満開日は 5 月 7 日と、実測満開日の 5 月 5 日よりそれぞれ 6 日、2 日遅く予測された。2041～

2050 年の平均値は中間予測満開日が 5 月 7 日で 2012～2021 年より 4 日早く、高温予測満開日が 4 月 30 日で 7 日早くなると予測され、2091～2100 年の中間予測満開日が 4 月 28 日で 2012～2021 年より 13 日、高温予測満開日が 4 月 18 日で 19 日前進化すると予測された。

年次変動を標準偏差で示すと、2012～2021 年の実測満開日の標準偏差が 4.8 日に対し、中間予測満開日が 4.4 日、高温予測満開日が 3.6 日で、予測期間中の標準偏差の平均はそれぞれ 4.1 日と 4.1 日と、予測満開日の年次変動が実測満開日より小さかった（図 7 上段）。

(2) 収穫始期

1981～2021 年の実測収穫始期と算定収穫始期との R^2 値は 0.0222 と相関がなかった。

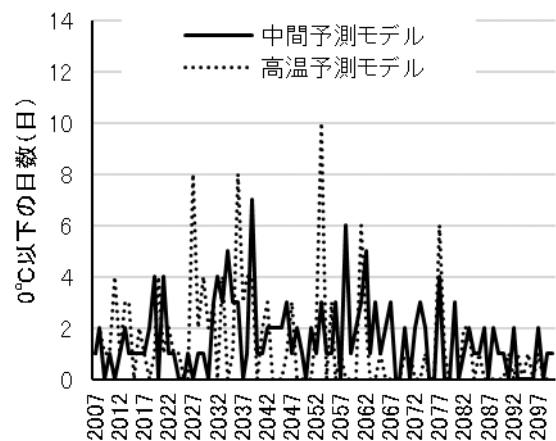


図8 中間予測モデル（RCP8.5 シナリオ MRI-CGCM3 モデル）と高温予測モデル（RCP8.5 シナリオ GFDL-CM3 モデル）で予測したモモ「白鳳」の満開日前後 7 日間における 0°C 以下の日数の推移

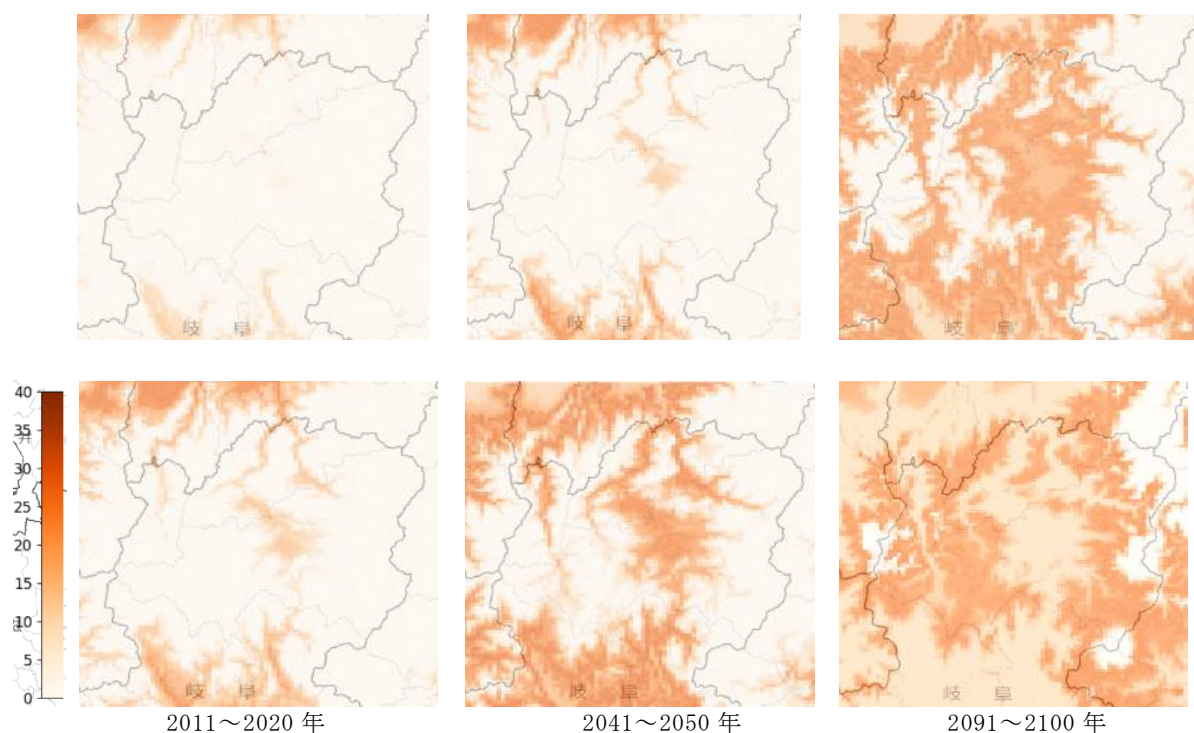


図 9 中間予測モデル（RCP8.5 シナリオ MRI-CGCM3 モデル・上段）と高温予測モデル（RCP8.5 シナリオ GFDL-CM3 モデル・下段）で数値化した甘ガキ「富有柿」の適地マップ

適地条件：年平均気温が 11～15℃、月平均気温が 9 月 21～23℃、10 月が 15℃以上、11 月 12℃以上で、それぞれの条件を満たしたら+1 点、10 年合計で最高が 40 点

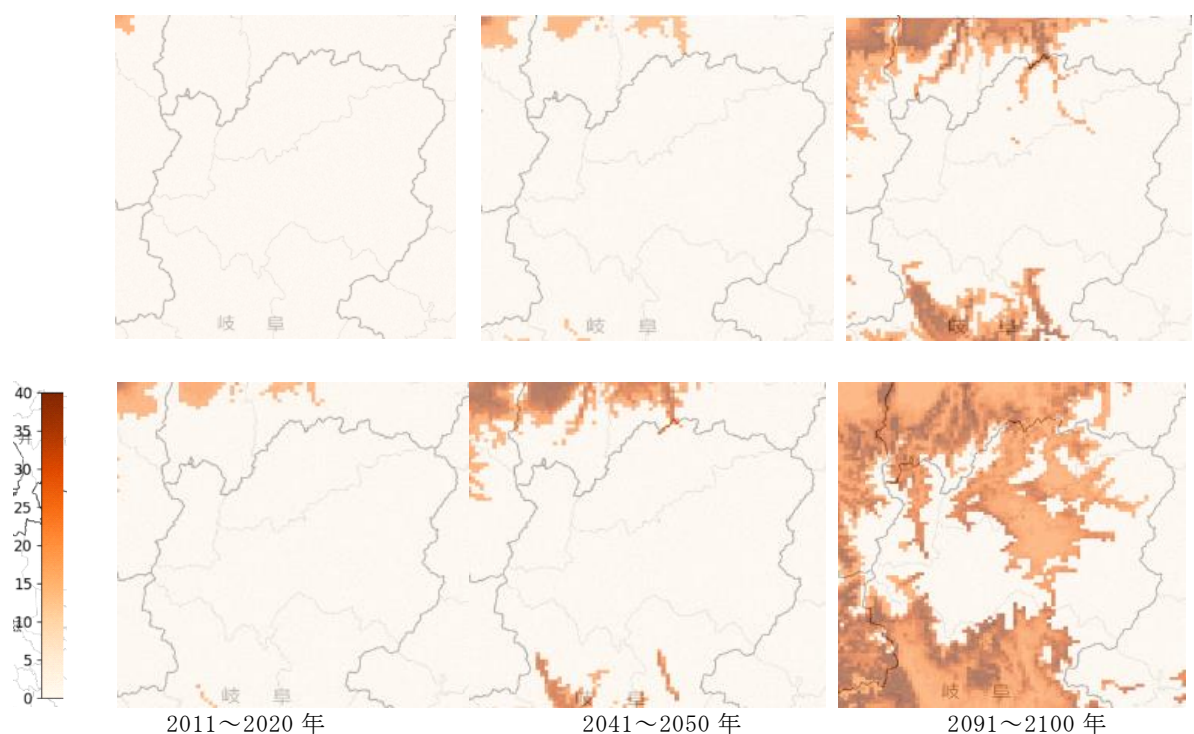


図 10 中間予測モデル（RCP8.5 シナリオ MRI-CGCM3 モデル・上段）と高温予測モデル（RCP8.5 シナリオ GFDL-CM3 モデル・下段）で数値化しイチジクの適地マップ

適地条件：年平均気温が 15℃以上と 1 月平均気温が 3℃以上の時それぞれ+1 加点し、年最高気温が 38℃以上の時-1 減点し、10 年間の最高を 20 点とした。ただし、越冬限界である-9℃以下の年が 10 年間に一度でもあれば 0 点とした。

2つの予測値は満開日と同様に推移し、2012～2021年の中間予測収穫始期は11月19日、高温予測満開日は11月15日と、実測収穫始期11月13日よりそれぞれ6日、2日遅く予測された。2041～2050年の平均値は中間予測収穫始期が11月15日、高温予測収穫始期が11月8日で、2091～2100年の中間予測収穫始期日が11月6日、高温予測収穫始期が10月27日であった。（図7下段）。

4）霜害頻度の予測

中間予測モデルで予測したモモの満開日前後7日間の0℃以下の日数は、2039年に7日、2058年に6日と多い年があるものの全体としては横ばいであった。高温予測モデルによる予測では、2036年に8日、2053年に10日と多い年があるものの、全体としては横ばいであった（図8）。リンゴの満開日はモモより遅いため、0℃以下の日数は減るものの傾向は同じであった（データ略）。

3．飛騨地域で甘ガキとイチジクの温度条件を満たす時期の予測

1）甘ガキ（富有柿）

中間予測モデルでは、2091～2100年に20点程度に色分けされた。一方で、高温予測モデルでは、2041～2050年に20点以上に色分けされ、2091～2100年には平野部の点数が下がり、山間地の点数が高くなった（図9）。

2）イチジク

中間予測モデルでは、予測期間中に飛騨地域で色分けされず、高温予測モデルの2091～2100年で色分けされたが、点数が低かった（図10）。

考察

アメダス高山における2012～2021年の年平均気温（実測値）は11.7℃で、同期間の変動幅は、10.9～12.3℃、差は1.4℃であった。それに対し、2つの予測モデルで予測された上昇幅は、2041～2050年が0.8℃と1.8℃で、2091～2100年はそれぞれ3.7℃と5.6℃で過去にない気温となる。一方で、年降水量は2012～2021年の実測値の平均が1,914mm、変動幅が1,699～2,378mm、差が709mmであったのに対し、中間、高温の予測モデルではそれぞれ2041～2050年値が1,940mm、2,141mm、2091～2100年が2,075mm、1,941mmといずれの予測値も増加傾向だが、実測値の年次変動の範囲内であった。年全天日射量は2つの予

測モデルを含め2012～2021年の最高値は4,816MJ/m²、最低値は4,189MJ/m²であったのに対し、高温予測モデルの2091～2100年の予測値の最高値は5,025MJ/m²で、高温予測モデルでは日射量が増加することが示唆された。

一方で、飛騨地域7地点との比較では、今回使用した3つの気象要素の年次変動は平行していた。メッシュ農業気象や地域高シナリオ2017に用いられた高解像度化手法は、この7地点に対し特異的な補正がないと考えられ、1か所の生育予測を行うことで、他の地域の生育の傾向は類推できると考えられた。

月別の変動について、気温は2つの予測モデル共通する予測として秋～冬季により高くなることから、秋に温度が必要なモモの晩生品種やカキには有利となるが、着色に低温が必要なリンゴは不利になると考えられた。

モモ、リンゴにおいて、冬季の気温が上昇すると低温要求時間が足りず自発休眠打破が不十分で発芽や開花の異常が懸念されるため、栽培適否を左右する重要な要素である。自発休眠打破日を7.2℃以下の積算時間で予測すると、モモもリンゴも21世紀後半は年次変動が大きくなり、リンゴでは4月になる年があるなど自発休眠打破が不十分になることが懸念された。自発休眠打破日の予測について、休眠覚醒効果は気温7.2℃を境界として劇的に変化するものではなく、気温とともに連続的に変化し（伊藤、2020）、福島県が2001年に開発した自発休眠覚醒モデルは、モモでは有効積算温度が-6～15℃の凸型の放物線を示している（安達ら、2018）。今回予測精度が低いと考えられる7.2℃の積算温度で自発休眠打破日を予測したのは、発芽や開花異常の懸念の有無を予測することを目的としているため、今回の予測では高温予測モデルの2080年頃から特にリンゴで自発休眠打破が不安定になることが懸念され、その時の年平均気温は17℃前後であった。2011～2020年の年平均気温で17℃前後を示す市町村には高知市があることから、高温予測モデルで気温が上昇した場合、2080年以降、モモやリンゴの栽培が困難になる予測は、ある程度信憑性があると考えられた。一方で安達ら（2018）のDVRモデルで予測した自発休眠打破日には、モモもリンゴも2100年まで1月中に打破されると予測されたことから（データ略）、少なくとも2080年頃まではモモもリンゴも必要な低温要求量は確保できると考えられた。

飛騨地域のモモは梅雨明け後の盆需要に出荷ピークがあるため、他産地より有利販売が出来てお

り、この出荷時期を維持することは産地維持には重要である。安達ら(2018)の DVR モデルは福島県のデータで作成されており、広域での適応は検討されていないが、安達ら(2018)の推定誤差が、モモ「あかつき」の満開日が 2.9 日、収穫始期が 2.0 日、リンゴ「ふじ」の満開期が 1.7 日に対し、今回予測した推定誤差がそれぞれ、5.9 日、3.9 日、2.2 日であったことから、将来予測の傾向を捉えるには十分な精度と考えている。

飛騨地域のモモの品種構成は中生種の「白鳳」や「あかつき」が中心で、続いて中晩生種の「昭和蜜桃」や「飛騨おとめ」、「なつっこ」、晩生種の「川中島白桃」となっているが、2050 年頃には、中晩生種を主力とし、「幸茜」程度の極晩生種を増やす必要があり、2100 年頃には極晩生種が中心となり、「さくら白桃」よりさらに晩生品種が必要となると予測された。

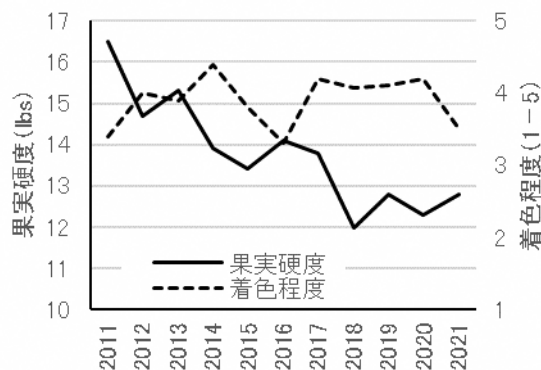


図 1-1 リンゴ「ふじ」の中農研で調査した果実硬度と着色程度の 2011～2021 年の推移

リンゴ「ふじ」の満開日について、伊藤（2020）は、青森県弘前市では 2040 年までは CO₂ 排出シナリオに関係なく 1 年に約 0.2 日の割合で前進化し 2040 年には 5 月 1 日頃となるが、2040 年以降は CO₂ 排出シナリオによって異なり、RCP4.5 では 2080 年以降は 4 月 27 日頃で安定するのに対し、RCP8.5 では今世紀末まで同じ割合で前進し、2100 年には 4 月 20 日頃になると予測している。中農研の満開日も中間予測モデルで予測すると、2100 年まで 1 年に約 0.17 日の割合で前進化すると予測され、伊藤(2020)と同様の推測であった。また伊藤(2020)は、弘前市においてさえ、今世紀末に開花障害が起こる可能性があることは留意するべきと述べている。

収穫日について、杉浦ら(2007)は果樹における温暖化の影響には大きく 2 つの類型に分類できるとし、モモは開花期と成熟期がともに前進する果実生育期前進タイプ、リンゴは開花期が前進する

一方で、必ずしも収穫期は前進しない果実生育期遅延タイプとしている。果皮の着色が収穫の判断に影響するリンゴでは、収穫期の前進と遅延の両方が報告されている。今回の予測でも温度との関係は見いだせなかった。当研究所で収穫したリンゴ「ふじ」は 2011-2021 年の着色程度は横ばいなのに対し、成熟の指標の一つである果実硬度は低下している（図 1-1）。一方で、リンゴはモモと比べ収穫の適期幅が広い樹種であり、1 週間程度であれば品質の低下は許容範囲と思われる。そこで、今回予測した収穫始期は果肉等の内部成熟期、収穫時期は果皮色等の外観成熟期で 2012～2021 年の 11 月 13 日と変わらず、内部成熟と外観成熟の乖離が 1 週間程度を許容範囲と仮定すると、乖離が 7 日より長くなるのは、中間予測モデルでは、2050 年までに 1 回、2070 年以降に 7 回予測され、2071～2090 年は 10 年平均でも認められた。高温予測モデルでは 2025～2050 年までに 4 回予測され、2050 年以降は 10 年平均でも認められた。このことから、中間予測モデルで推移した場合は、遅くとも 21 世紀末に、高温予測モデルの場合は 2050 年以降には、リンゴ「ふじ」では着色前に軟化して食感が悪くなり、食味の低下から品種の切り替えが必要になると考えられた。

晩霜害のリスクについて本報告では変わらないと結論付けたが、伊藤(2020)は、リンゴの開花日から満開日までの期間が長期化し、この期間の平均気温が 1 年に 0.09℃の割合で低下しつつあるため、晩霜害リスクは拡大するとまとめている。いずれにしても、温暖化で晩霜害はなくならないため、霜害対策が必要である。

甘ガキは、中間予測モデルでは 2091-2100 年に飛騨地域が適地となると予測し、高温予測モデルでは 2041-2050 年には適地に、2091～2100 年には暑すぎて適地から外れると予測された。一方で 2023 年と 2024 年は猛暑であり秋季が暖かかった。2023 年は年平均気温のみ条件を満たし、9 月は高く、10 月、11 月は低かったが、2024 年は年平均と 10 月が条件を満たし、9 月は高く、11 月が低かった。試作し始めた甘ガキ「富有柿」が 2024 年に初収穫をしたが、渋味はほぼ感じなかった（未発表）。このことから、今回の予測では現時点での導入は時期尚早であるとしたが、ここ 2 年の気温を踏まえ、試作する価値は高いと考えられ、今後、脱渋と品種の早晩性、気温を踏まえて導入可能な時期を予測する計画である。

イチジクは、中間予測モデルでは、2100 年になっても 10 年に 1 回程度は、-9℃以下の日があると

予測され、飛騨地域での導入は難しいと予測された。高温予測モデルでは-9℃以下の日がなくなり、栽培が可能となると予測された。実際に試作したところ、冬季に地上部が凍害枯死し、再生させる必要があることと、収穫開始が早生品種でも9月後半のため、収量性が得られず（未発表）、イチジクの導入は時期尚早と考えられた。

果樹は野菜等の園芸品目に比べると未収穫期間や改植の労力などから、切り替えには時間がかかるため、長期的な産地計画を立てる必要がある。今回の予測では2080年頃までは樹種の切り替えは不要であるが、モモでは現在の品種構成を晩生品種の多い構成へ、リンゴでは着色が良く硬い品種へ切り替えていく必要がある。

また甘ガキは近未来に導入を検討すべき樹種であり、イチジクの導入は時期尚早と結論づけた。

https://amu.rd.naro.go.jp/wiki_open/doku.php?id=start（2024年12月確認）

農林水産省．2020．栽培に関する自然条件に関する基準．果樹農業の振興を図るための基本指針（果樹農業振興基本方針）：23

傍島善次．1983．Ⅱ地域性と品種．基礎編．農業技術体系．第4巻．カキ：5-18

杉浦俊彦・黒田治之・杉浦裕義．温暖化がわが国の果樹生育に及ぼしている影響の現状．2007．園学研．6：257-263．

和田道宏・村上利男．1972．気温の日変化に関する研究 階層別気温出現時間の算出方法．東北の農業気象 17:34-36．

引用文献

安達義輝・志村浩雄・額田光彦・斎藤祐一・桑名篤・安部充．2018．温暖化傾向における果樹の発育速度（DVR）モデルの検証．福島県農業総合センター研究報告 9:11-22．

平田尚美．1984．Ⅰイチジク樹の生育特性．形態・生理・機能．イチジク．農業技術体系．第5巻：9-26．

石田雅士．1984．4．果実の発育生理．原産と来歴．農業技術体系．第6巻 モモ．：37-50

伊藤大雄．2020．21世紀の気候変動が北東北のリンゴ栽培に及ぼす影響．生物と気象(Climatic Biosphere)20:76-83

気象庁，過去の気象データ検索：<https://www.data.jma.go.jp/stats/etrn/index.php>（2025年1月確認）

北村光康・益田信篤・大崎伸一．モモの自発休眠完了のための低温要求量の品種間差．1998．熊本県農業研究センター．<https://agresearcher.maff.go.jp/seika/show/220868>（2024年12月確認）

文部科学省・気象庁．2020．日本の気候変動2020：<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ccj/index.html>（2025年1月確認）

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．日本シミュレーション学会誌．38(3), 150-154．

農研機構メッシュ農業気象データシステム