

1. 2-1 夏季の高温・少雨による茶栽培への影響調査

1.1 概要

1.1.1 背景・目的

静岡県では温暖化に伴う夏季の高温・少雨により、三番茶の生育が抑制される等の影響が現れ始めている。茶は県の重要な作物であるため、気候変動の影響の評価や対策の検討が必要となっている。そこで、静岡県及び関東地域全域を対象として、気候変動が茶栽培に与える影響について予測・評価を行うことを目的として調査・検討を行った。

1.1.2 実施体制

本調査の実施者：パシフィックコンサルタンツ株式会社

アドバイザー：静岡県農林技術研究所茶業研究センター茶生産技術科 科長 中野敬之

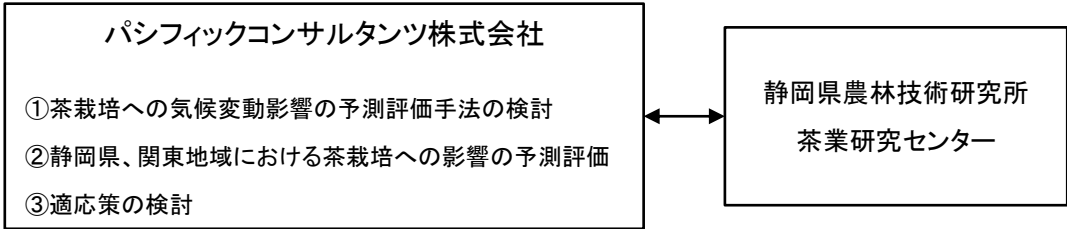


図 1-1 実施体制

1.1.3 実施スケジュール（実績）

調査の実施スケジュールを図 1-2 に示す。平成 29 年度は、文献調査、専門家ヒアリング、データ収集を行い、静岡県を対象として夏季の高温・少雨が茶栽培に及ぼす影響について予測評価方法の枠組を構築した。枠組に沿って、夏季の高温・少雨の指標と翌年収穫される一番茶の生育・収量との関係をモデル化するための統計解析を行った。

平成 30 年度は、夏季以外にも分析期間を広げて統計解析を行った。一番茶摘採期予測モデルを作成し、静岡県の一番茶摘採期の将来予測を実施した。また、一番茶の生育期間が早まることによるリスク、リスクの評価手法を検討した。

平成 31 年度は、関東地域の一番茶摘採期の将来予測を実施した。また、一番茶の生育期間が早まることによるリスクを評価し、特定されたリスクについて適応策を検討した。

時期	調査の内容
平成 29 年度	①夏季を考慮した茶栽培への影響の予測評価手法の検討 ①-1 既存文献・データの入手 ①-2 静岡県をモデルとした予測評価手法の検討
平成 30 年度	②一番茶摘採期予測モデルの構築 ③一番茶摘採期の影響予測の実施(静岡県) ④一番茶摘採期が早まることによるリスク、リスクの評価手法の検討
平成 31 年度	⑤一番茶摘採期の影響予測、リスク評価の実施(関東地域) ⑥適応策の検討

図 1-2 調査スケジュール

1.1.4 気候シナリオ基本情報

使用した気候シナリオに関する情報を表 1-1 に示す。

表 1-1 気候シナリオ基本情報

項目	一番茶摘採期予測	凍霜害リスク
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データセット	
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5	
気候パラメータ	日平均気温	日最低気温
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5	
予測期間	21 世紀中頃／日別、21 世紀末／日別	
バイアス補正の有無	有り（全国）	

1.1.5 気候変動影響予測結果の概要

文献調査結果の概要

- ・ これまでの茶栽培に関する気候変動影響予測に関しては、茶の休眠を解除するための低温が秋冬期に確保されるかどうかという点に注目して研究が行われてきた。これらの研究では、静岡県や関東地域の茶栽培に及ぼす影響は明らかになっていない。
- ・ 静岡県は全国の茶園面積の約 4 割を占めており、国内最大の産地となっている。中でもやぶきた種は県の茶園面積の約 9 割を占める。やぶきた種は全国の茶研究機関が実施している作況調査で用いられる品種でもある。
- ・ 茶栽培農家にとって一番茶は経済上、最も重要な作物である。
- ・ 夏季の高温・少雨が茶樹に影響を与えているのは事実と考えられるが、茶の生産に及ぼす影響の程度は明らかになっておらず、定量的な知見も得られていない。

ヒアリング調査結果の概要

- ・ 農家は茶の生育や日々変わる売値を考慮しながら収穫日を調整することが可能であるため、通常の統計値では気候による茶の生産量への影響を捉えることが難しい。生育・収量については、研究機関が設置している専用茶園「作況園」（毎年同様の管理を実施）での作況調査に基づく作況データを使用することが適切である。
- ・ 少雨による茶樹への影響は、茶園が位置する土壌の保水力によっても異なる。火山活動由来の黒ボク土は、水が抜けにくく干ばつに強い。静岡県内の茶園のほとんどは赤黄色土に位置しており、火山活動由来の黒ボク土は伊豆など富士山周辺に限られる。
- ・ 一番茶の生育期間が早まることによるリスクとして、一番茶の摘採期間の短縮、凍霜害リスクの高まり、山地と平地の摘採時期の接近、他県にある茶産地の摘採時期との接近、秋冬期の低温不足による休眠覚醒への影響に伴う一番茶の減収、茶の生長期間が長くなることによる農家の管理負担の増加が挙げられる。

影響予測結果の概要

(過去の気象データと一番茶の生育・収量データを用いた統計解析)

- ・ 夏季の気温・降雨と翌年一番茶の生育・収量との関係は明らかにならなかった。
- ・ 春先（2～4 月）の気温が高い年は一番茶の萌芽期・摘採日が早くなるという明瞭な関係が見られた。将来の気温上昇に伴い茶芽の生育が早まり、一番茶の萌芽や摘採が早まる可能性が示された。

(統計手法を用いた一番茶摘採期モデルによる影響予測結果)

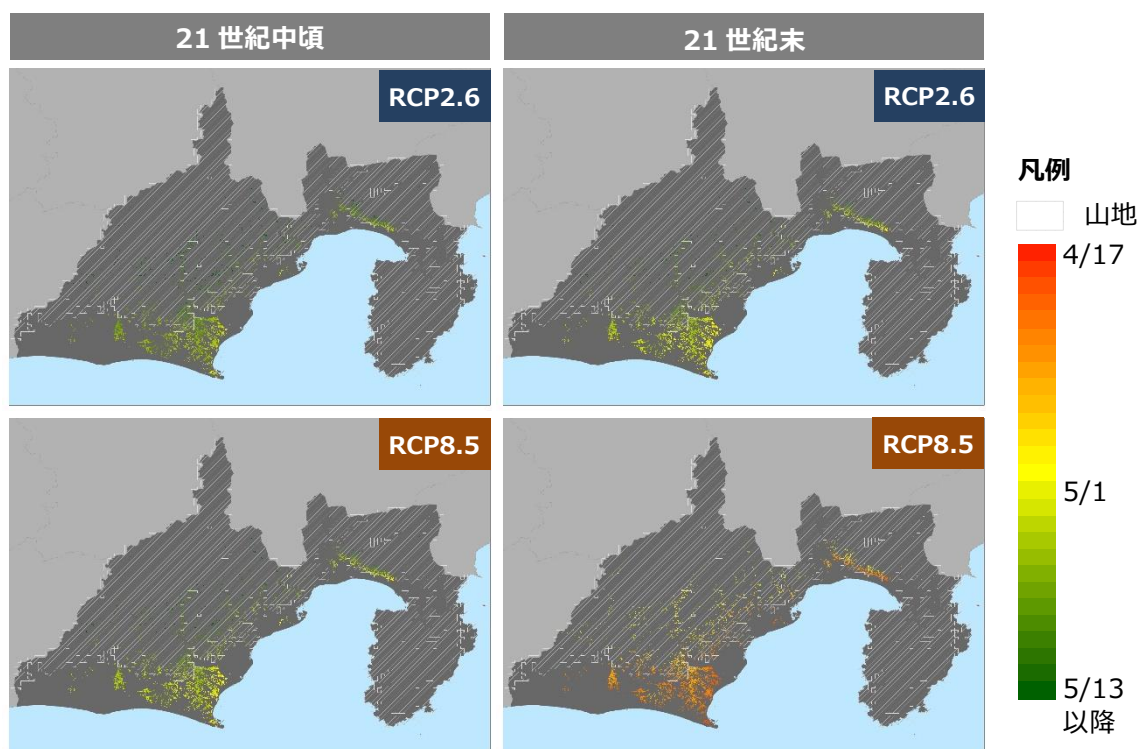
- ・ 静岡県的主要茶産地では、現在と比較して、RCP2.6 の 21 世紀中頃で 1～2 日、21 世紀末で 3～4 日、RCP8.5 の 21 世紀中頃で 3～4 日、21 世紀末で 13～14 日早まると予測された。(MRI-CGCM3)
- ・ 静岡県的主要茶産地では、現在と比較して、RCP2.6 の 21 世紀中頃で 4～5 日、21 世紀末で 5～6 日、RCP8.5 の 21 世紀中頃で 6～7 日、21 世紀末で 14～15 日早まると予測された。(MIROC5)
- ・ 関東地域の茶研究機関が位置する場所でも概ね同様の結果が得られた。
- ・ 予測結果を用いて一番茶の生育期間が早期化することによるリスクを確認した結果、摘採期の早期化、凍霜害発生¹の早期化¹がリスクとして特定された。

¹ 別途実施した萌芽期の予測結果も使用した。

1.1.5.1 一番茶摘採期予測

静岡県の一番茶摘採期を MRI-CGCM3 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 1～2 日程度、21 世紀末で 3～4 日程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 3～4 日程度、21 世紀末で 2 週間程度早まると予測された（図 1-3）。

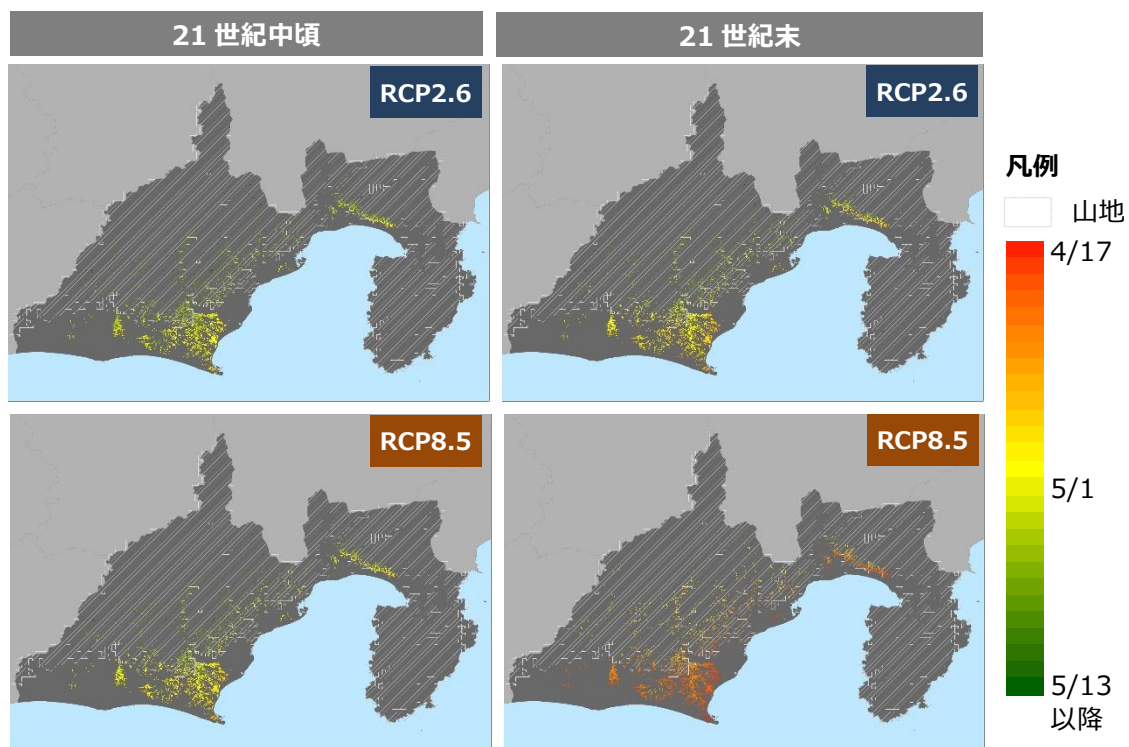
また、MIROC5 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 4～5 日程度、21 世紀末で 1 週間程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 5～6 日程度、21 世紀末で 2 週間程度早まると予測された（図 1-4）。



図中の斜線は山地を示す。

出典：行政区域は「国土数値情報 行政区域データ」を使用、静岡県の茶園位置図は、「国土数値情報土地利用細分メッシュデータ」をパシフィックコンサルタンツ株式会社が加工して作成

図 1-3 静岡県の一番茶摘採期予測（MRI-CGCM3）



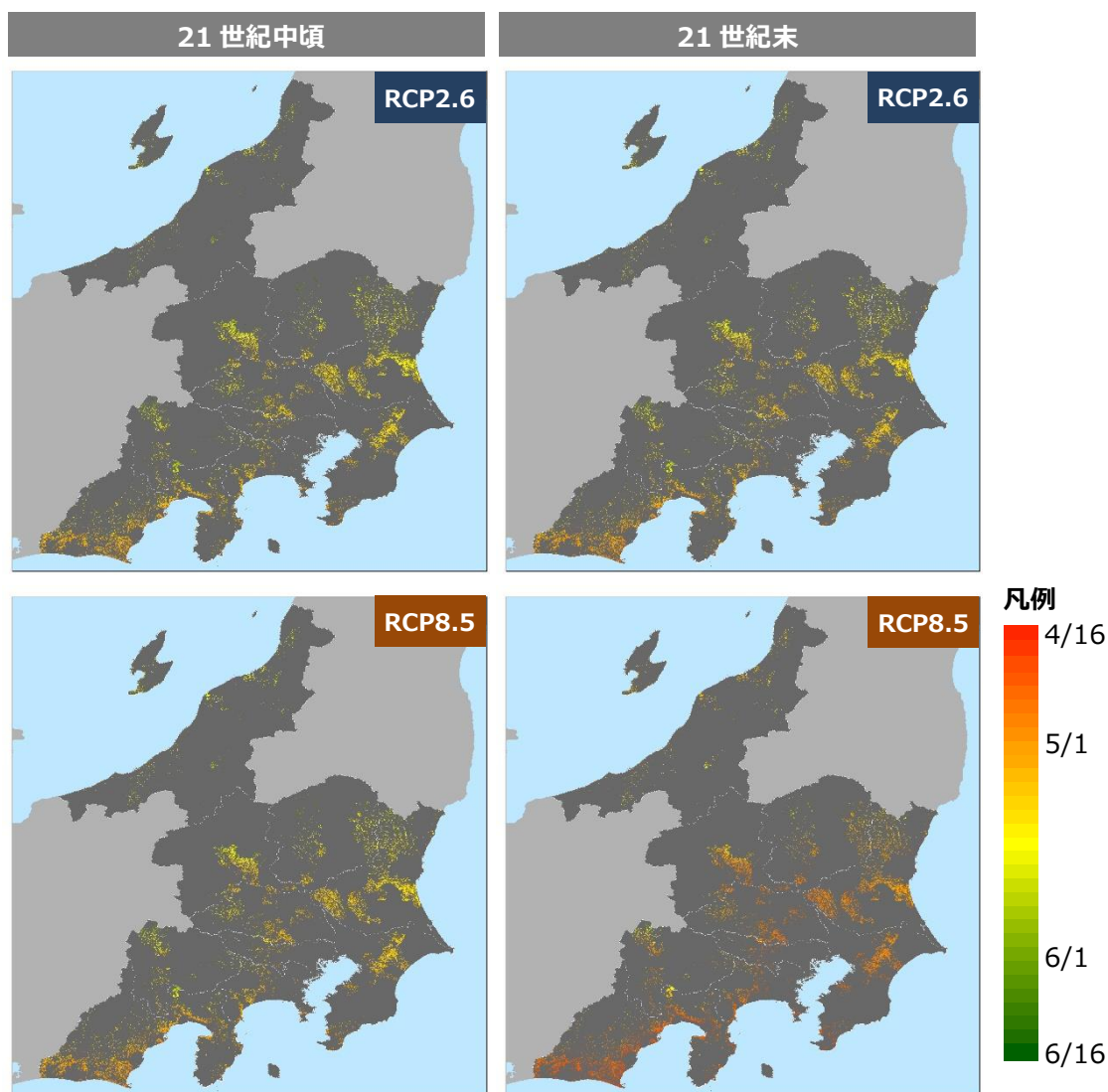
図中の斜線は山地を示す。

出典：行政区域は「国土数値情報 行政区域データ」を使用、静岡県の茶園位置図は、「国土数値情報土地利用細分メッシュデータ」をパシフィックコンサルタンツ株式会社が加工して作成

図 1-4 静岡県の一番茶摘採期予測 (MIR0C5)

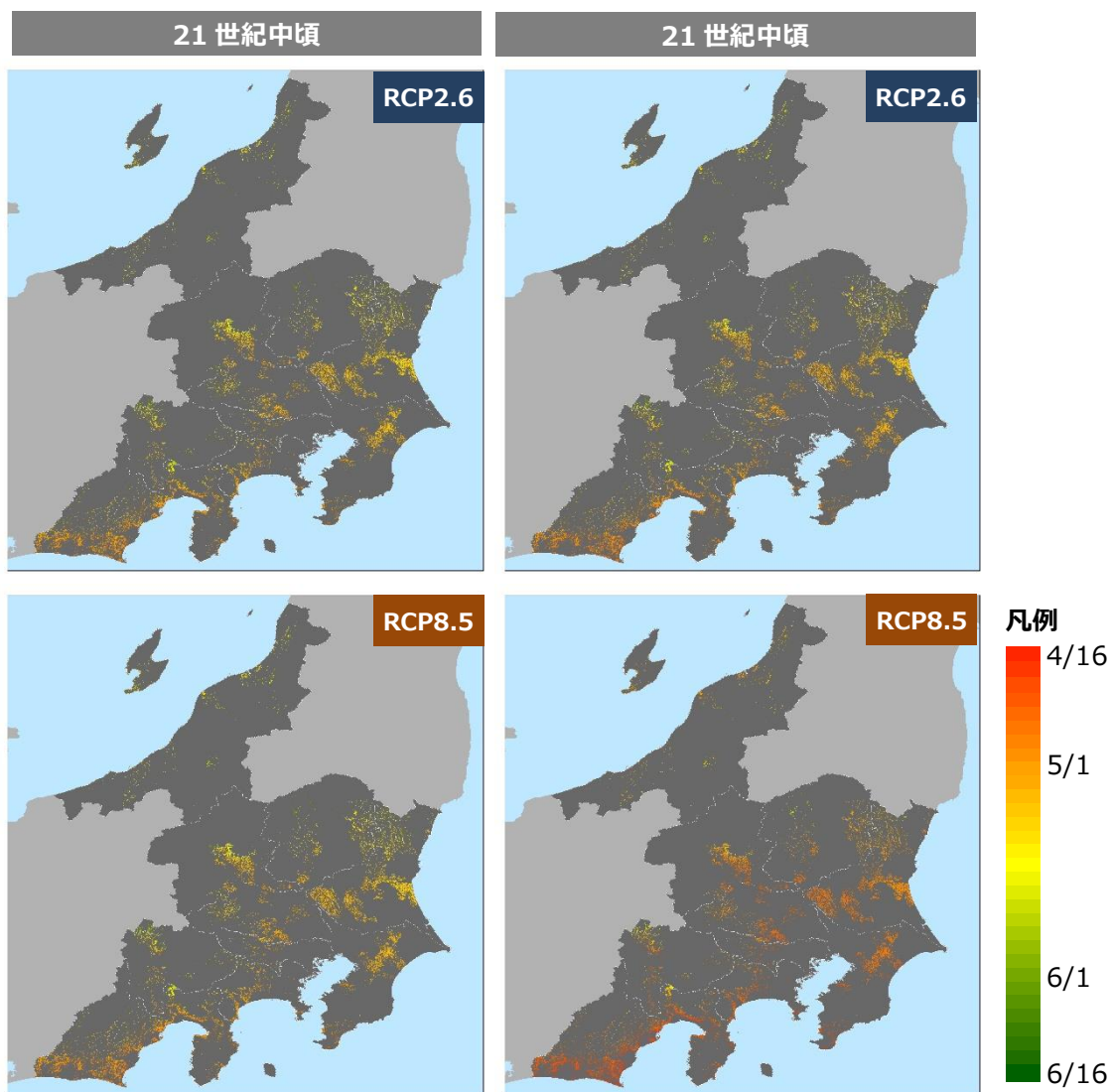
関東地域の一歩茶摘採期を MRI-CGCM3 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 1～2 日程度、21 世紀末で 3～4 日程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 3～4 日程度、21 世紀末で 2 週間程度早まると予測された（図 1-5）。

また、MIROC5 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 4～5 日程度、21 世紀末で 1 週間程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 1 週間程度、21 世紀末で 2 週間～16 日程度早まると予測された（図 1-6）。



出典：公開の統計情報等（「国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ」、「農林業センサス 2015 年農林業センサス 確報 第 1 巻都道府県別統計書」）に基づき茶園の位置を表示している。行政区画は「国土数値情報 行政区画データ」を使用

図 1-5 関東地域の一歩茶摘採期予測（MRI-CGCM3）



出典：公開の統計情報等（「国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ」、「農林業センサス 2015 年農林業センサス 確報 第 1 巻都道府県別統計書」）に基づき茶園の位置を表示している。行政区域は「国土数値情報 行政区域データ」を使用

図 1-6 関東地域の一歩茶摘採期予測（MIR0C5）

1.1.5.2 凍霜害リスク

凍霜害は茶芽の耐凍性、放射冷却による低温、風、茶園の位置等の複数の要因で発生するが、本調査では、凍霜害が生じうる低温（日最低気温）の発生回数を対象として、将来の凍霜害リスクを予測した。

凍霜害リスクが生じる期間は、関東地域の茶栽培で防霜対策が開始される萌芽期より前15日間（静岡県経済産業部農林業局茶業農産課（2015年））から摘採期までとした。この期間のうち、萌芽期以前では凍霜害は零下で発生するが、萌芽期後では2℃程度でも発生するため、凍霜害リスクが生じうる日最低気温の条件を萌芽期の前後で分けた。萌芽期より前では日最低気温が4℃以下、3℃以下、2℃以下の3通り、萌芽期以降摘採期までは4℃以下（関東地域の広い範囲で使用されている霜注意報発表基準（気象庁））とした。各予測期間の20年間であてはまる日数を数え、年間値に換算した。

静岡県、埼玉県、茨城県の茶研究機関の位置で凍霜害リスクを予測した結果を図1-7、図1-8に示す。いずれの場所でも凍霜害リスクは残り、凍霜害の発生が早期化する可能性が示された。

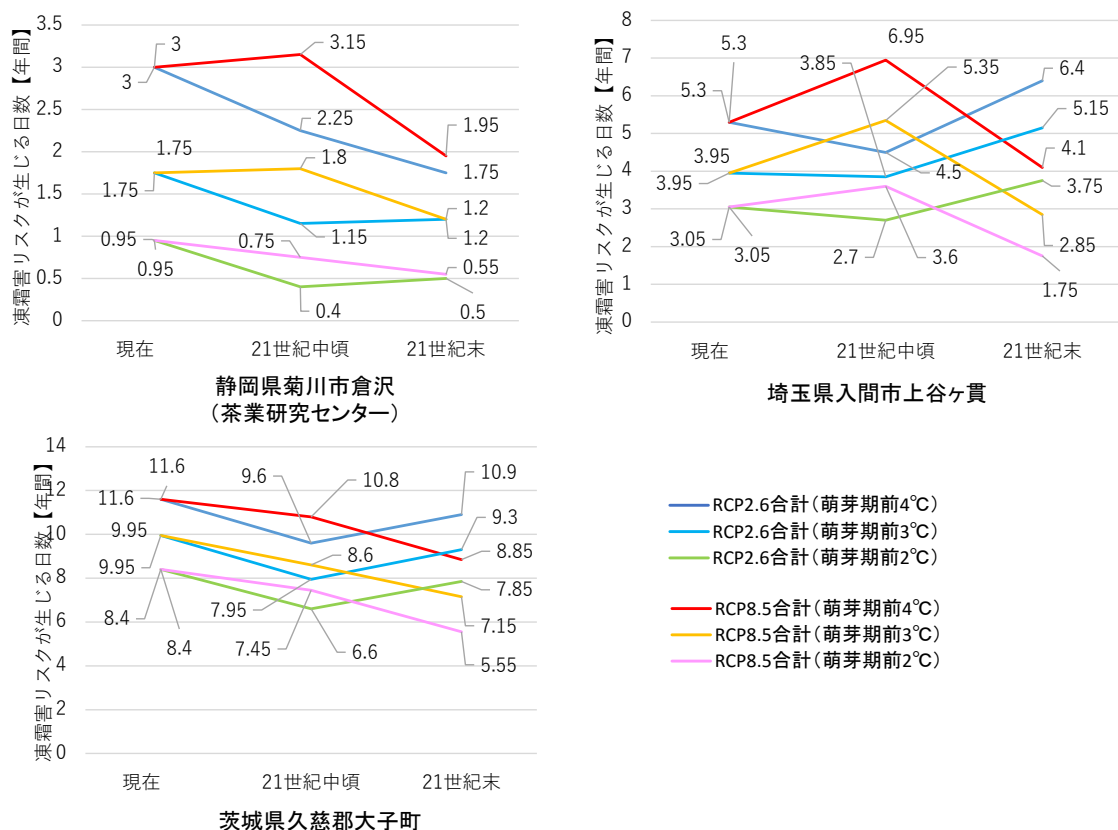


図 1-7 凍霜害リスクの予測結果（MRI-CGCM3）

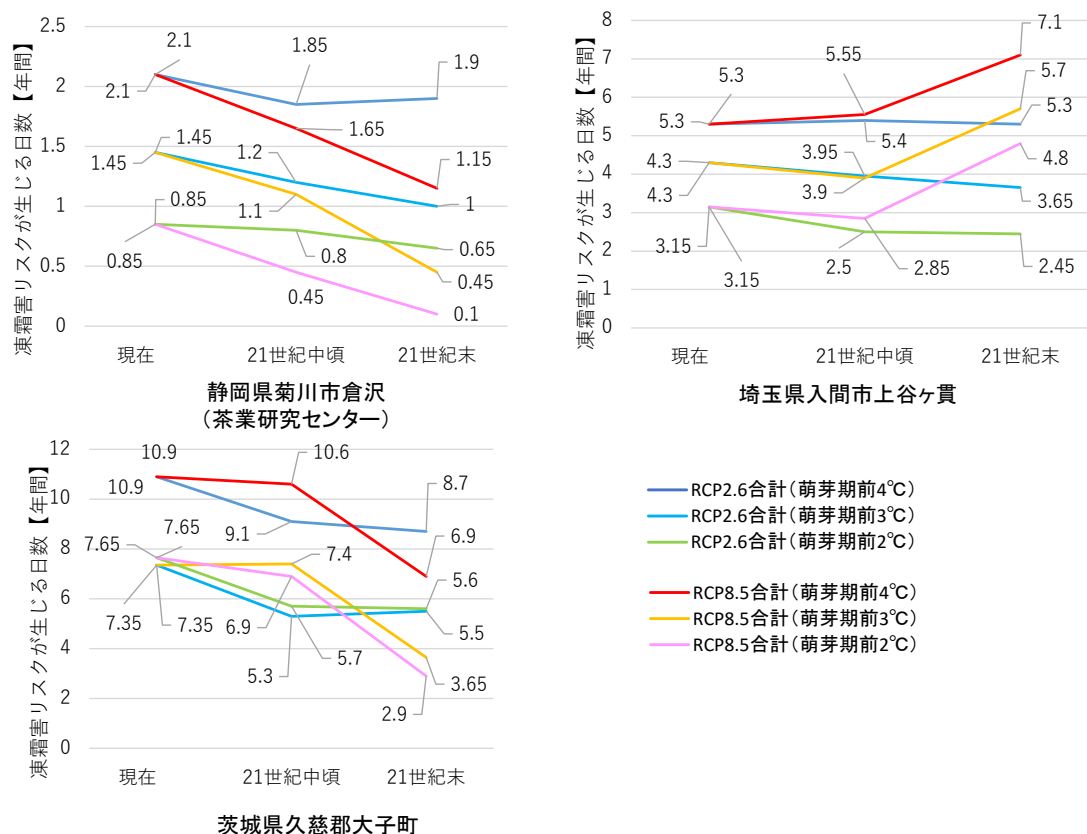


図 1-8 凍霜害リスクの予測結果 (MIR0C5)

1.1.6 活用上の留意点

1.1.6.1 本調査の将来予測対象とした事項

本調査では、気候変動による春先（2～4月）の気温上昇が一番茶の摘採期に与える影響を対象とした。茶の品種は「やぶきた」を想定し影響予測を実施した。

1.1.6.2 本調査の将来予測の対象外とした事項

一番茶の摘採期には、気温以外にも下記の要素が影響すると考えられるが、本調査において気候変動影響予測を実施するに当たり、下記の影響は考慮していないことに留意が必要である。

- ・ 降水量の変化による影響（統計解析では春先の降水量と一番茶摘採日との間に弱い相関が認められた。）
- ・ 土壌の違いによる影響

1.1.6.3 その他、成果を活用する上での制限事項

本調査で作成した一番茶摘採期モデル及び一番茶萌芽期モデルは、関東地域での予測を目的として、関東地域よりも温暖な地域（近畿・九州地方）のデータを考慮して作成している。温帯域の地域での予測には適している一方、温帯域以外の地域の予測には適していない。

1.1.7 適応オプション

本調査で検討した適応オプションは表 1-2、適応オプションの根拠（出典、考え方）は表 1-3 に示すとおりである。

表 1-2 適応オプションのまとめ

対応する リスク	適応 オプション	想定される 実施主体			評価結果								備考
					現状		実現可能性				効果		
		行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コス ト面	情報 面	効果発現 までの 時間	期待され る効果の 程度	
摘採期の早期化	茶芽の生育ステージの調査・確認		●		普及が進んでいる	・気温上昇により茶の生育期間が早期化する可能性について周知が必要 ・どの程度効果があるのか予測が難しい	◎	◎	◎	◎	中期	低	一番茶芽の生育調査・確認には、個人差があるため、統一的な方法の検討が必要。
摘採期の早期化	茶芽生育ステージの正確・客観的判断による作業計画の策定	●	●		0%	・研究段階の技術であるため、実用化が必要 ・実用化後の活用状況が未知	△	△	△	△	短期	高	多くの農家に利用されるための手法の検討が必要。
摘採期の早期化	複数品種の組み合わせによる摘採期間の分散	●	●		8.5% (静岡県)	・実施されている「やぶきた」種以外の品種導入の更なる促進 ・気温上昇による摘採時期への影響について、他品種の研究が必要	△	△	△	△	長期	高	普及率（8.5%）は、静岡県でやぶきた以外の品種が栽培されている面積を県の茶園面積で除した値（2018年）。
凍霜害の早期化	防霜対策開始日の早期化（送風法）	●	●		普及が進んでいない	・いつ・どの程度、防霜対策を早めることが適切か、判断が難しい ・冬季の温暖化が一番茶芽の耐凍性に及ぼす影響についての研究が必要	◎	○	◎	△	短期	高	静岡県では 9,144ha（静岡県の全茶園面積の 55%に相当、2018年）の茶園で防霜施設が設置されている。

表 1-3 適応オプションの考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
茶芽の生育ステージの調査・確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 旨味成分であるアミノ酸の新芽における含有量は摘採適期以後に急減するため、摘採適期を逃すと品質が低下する。一方で過去が一番茶摘採日は、春先の気温上昇に伴って変動を伴いながら早まる傾向が見られる。これらのことから、今後の気温上昇に伴い茶の生育期間が早期化し、一番茶の摘採適期を逃すことによる品質低下の可能性が懸念される。 ・ 茶芽の生育確認、及びそれに基づく生育予測は既に実施されている一方、生育予測には個人差がある。そのため、温暖化による摘採期の早期化について周知し、更なる茶芽の生育確認を促したとしても、適切に実行されない可能性、摘採期が集中することにより摘採適期を逃す可能性がある。従って、「期待される効果の程度」を「低」とした。
茶芽生育ステージの正確・客観的判断による作業計画の策定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 春先の気温上昇により茶の生育期間が早期化し、病害虫の防除を含めた摘採までの作業の前倒しが必要となる可能性がある。 ・ 樹冠面を撮影した画像から、人工知能が開葉期を客観的に高い精度で推定する技術が開発されている（牧・中野（2018））。この技術が導入されれば、短期間に高い効果が得られる。 ・ 農業協同組合（JA）及び製茶機メーカーが協働し、センサーで気象情報等を測定した結果をインターネットで配信しているものの、利用者数が少ないことが課題として挙げられている（中野敬之（2019年））。同様の状況となる可能性も考えられるため「課題」に「実用化後の活用状況が未知」を挙げた。
複数品種の組み合わせによる摘採期間の分散	<ul style="list-style-type: none"> ・ 春先の気温上昇により一番茶の摘採期間が早期化し、摘採期が集中する問題が解消されない可能性がある。これに対し、早晚性がやぶきた種と異なる品種を組み合わせることで摘採時期を分散させることが可能となる。 ・ 普及率については、やぶきた種以外の品種が栽培されている茶園面積を静岡県茶園面積で除した（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019年）より、「県内品種別茶園面積」（平成30年）を用いて算出）。 ・ 課題として挙げた「気温上昇による摘採時期への影響について、他品種の研究が必要」は、アドバイザーへのヒアリング結果による。 ・ 茶樹は、定植してから収量が安定するまでに5～8年程度かかるため、効果発現までの時間を「長期」とした。
防霜対策開始日の早期化（送風法）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 春先の気温上昇により一番茶芽の生育期間が早期化し、凍霜害の発生が早期化する可能性がある。これに対し、送風法（防霜ファン）の開始期を早めることで凍霜害に遭うリスクを低減させる。 ・ 静岡県では9,144ha（静岡県の全茶園面積の55%に相当）の茶園で防霜施設が設置されている（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019年）より、「防霜施設設置状況」（平成30年））。このことから実現可能性の物的側面を○（既存の技術に基づく物資設備で対応可能）とした。

1.2 気候シナリオに関する情報

1.2.1 気候シナリオ基本情報

使用した気候シナリオに関する情報を表 1-4 に示す。

表 1-4 気候シナリオ基本情報

項目	一番茶摘採期予測		凍霜害リスク
気候シナリオ名	NIES 統計 DS データセット		
気候モデル	MRI-CGCM3、MIROC5		
気候パラメータ	日平均気温		日最低気温
排出シナリオ	RCP2.6、RCP8.5		
予測期間	21 世紀中頃／日別、21 世紀末／日別		
バイアス補正の有無	有り（全国）		

1.2.2 使用した気候パラメータに関する情報

一番茶の萌芽期・摘採日と相関の高い 1 月から 4 月の日平均気温は、21 世紀末までに MRI-CGCM3 の RCP2.6 で 0.9~1.2℃、RCP8.5 で 3.0~4.1℃の平均気温の上昇が予測されている。また、MIROC5 の RCP2.6 で 1.3~2.0℃、RCP8.5 で 3.5~4.5℃の平均気温の上昇が予測されている（図 1-9）。

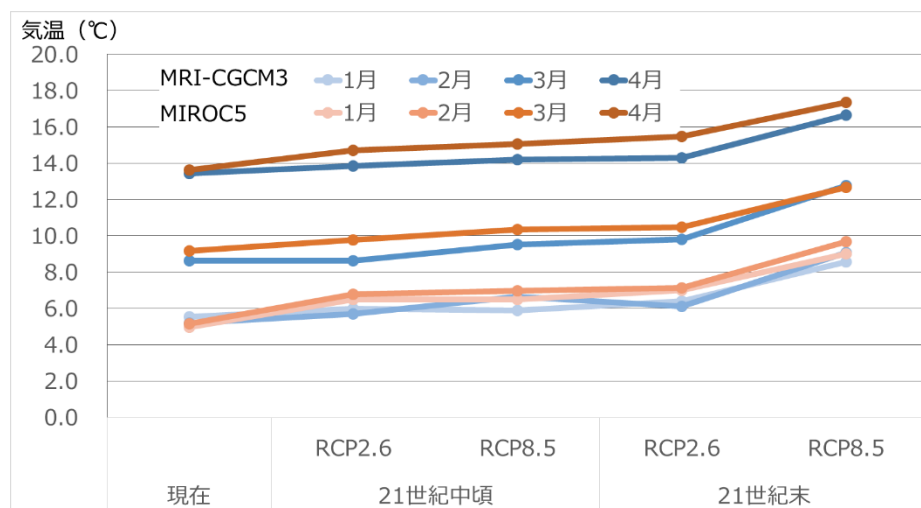


図 1-9 日平均気温（月平均、菊川牧之原）

一番茶の凍霜害が生じうる 3 月から 5 月の日最低気温は、21 世紀末までに MRI-CGCM3 の RCP2.6 で 0.8~1.0℃、RCP8.5 で 2.8~3.9℃の最低気温の上昇が予測されている。また、MIROC5 の RCP2.6 で 1.2~1.9℃、RCP8.5 で 3.4~4.1℃の最低気温の上昇が予測されている（図 1-10）。

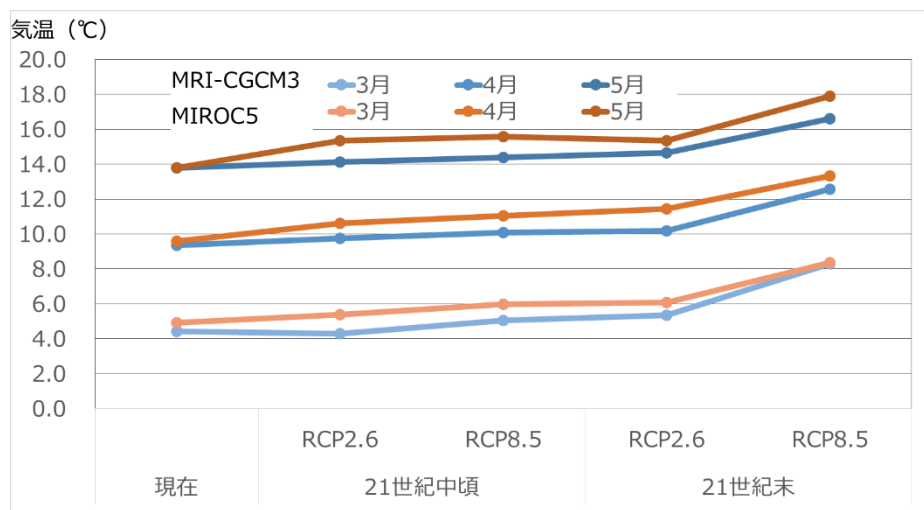


図 1-10 日最低気温（月平均、菊川牧之原）

1.2.3 気候シナリオに関する留意事項

静岡県菊川牧之原のアメダス観測値と、MRI-CGCM3 の現在、MIROC5 の現在を比較した（図 1-11）。1 月から 4 月の日平均気温を比較すると、0.2~1.0℃の差がみられた。特に差が大きいのは、1 月（MRI-CGCM3 は 1.0℃、MIROC5 は 0.5℃）である。3 月から 5 月の日最低気温を比較すると、0.1~0.9℃の差がみられた。特に差が大きいのは 3 月（MRI-CGCM3 は 0.4℃、MIROC5 は 0.9℃）である。

アメダス観測値と各モデルの現在の値を月別で比較すると、日平均気温、日最低気温ともに各モデルの現在の方が高い傾向があるが、差は 1.0℃以下であり、概ね再現性があると判断した。

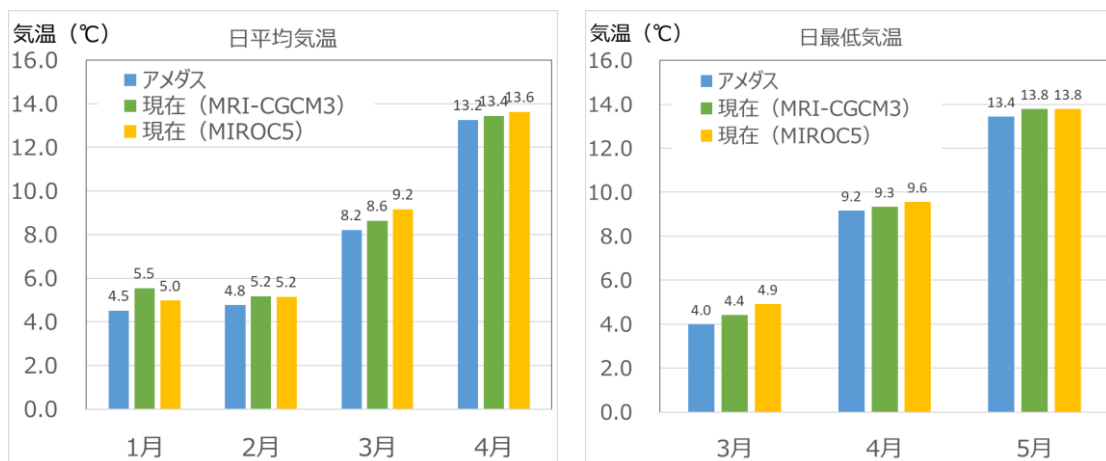


図 1-11 気候シナリオと観測値の再現性の比較（月平均、菊川牧之原）

（左図）日平均気温、（右図）日最低気温

1.2.4 バイアス補正に関する情報

本調査でバイアス補正は行っておらず、全国事業によりバイアス補正を実施した気候パラメータを使用した。

1.2.5 気候シナリオ選択の理由

本調査では当初、静岡県内の各茶産地の傾向を予測することにより、茶産地によって適応オプションに差が出る可能性が考えられた。茶産地の予測を行うためには、詳細な気候シナリオが必要となるため、気候シナリオ「NIES 統計 DS データ (空間解像度 1km メッシュ)」を用いた。

1.3 気候変動影響に関する調査手法

1.3.1 手順

作業手順を図 1-12 に示す。文献調査及び専門家へのヒアリング調査の結果に基づいて、夏季の高温・少雨が静岡県茶栽培に与える影響の予測評価手法の枠組みを構築した。枠組みに基づいて夏季の高温・少雨の指標を作成し、過去の気象データと一番茶生育・収量データを用いて統計解析を行った。しかし、静岡県における夏季の高温・少雨が一番茶の生育・収量に与える影響は明らかにならなかった。

一方、夏季以外の気象と一番茶の生育・収量との関係を分析した結果、春先の気温上昇によって一番茶の生育期間が前進し、摘採期が早まる可能性が示されたことから、静岡県と協議の上、気候変動による影響予測の対象を変更した。

統計手法を用いて、春先の気温から一番茶摘採期を予測する回帰式を作成し、これを予測式とした。気候シナリオの気温情報を回帰式に代入して静岡県・関東地域の一番茶摘採期を予測した。予測結果を用いて、一番茶の生育期間が前進することによるリスク（摘採期の早期化、摘採期間の短縮、山地と平地の摘採期の短縮、凍霜害発生の早期化）を確認した。なお、一番茶萌芽期の予測式も同様の手法で作成し、リスク（摘採期間の短縮、凍霜害発生の早期化）の確認のために使用した。

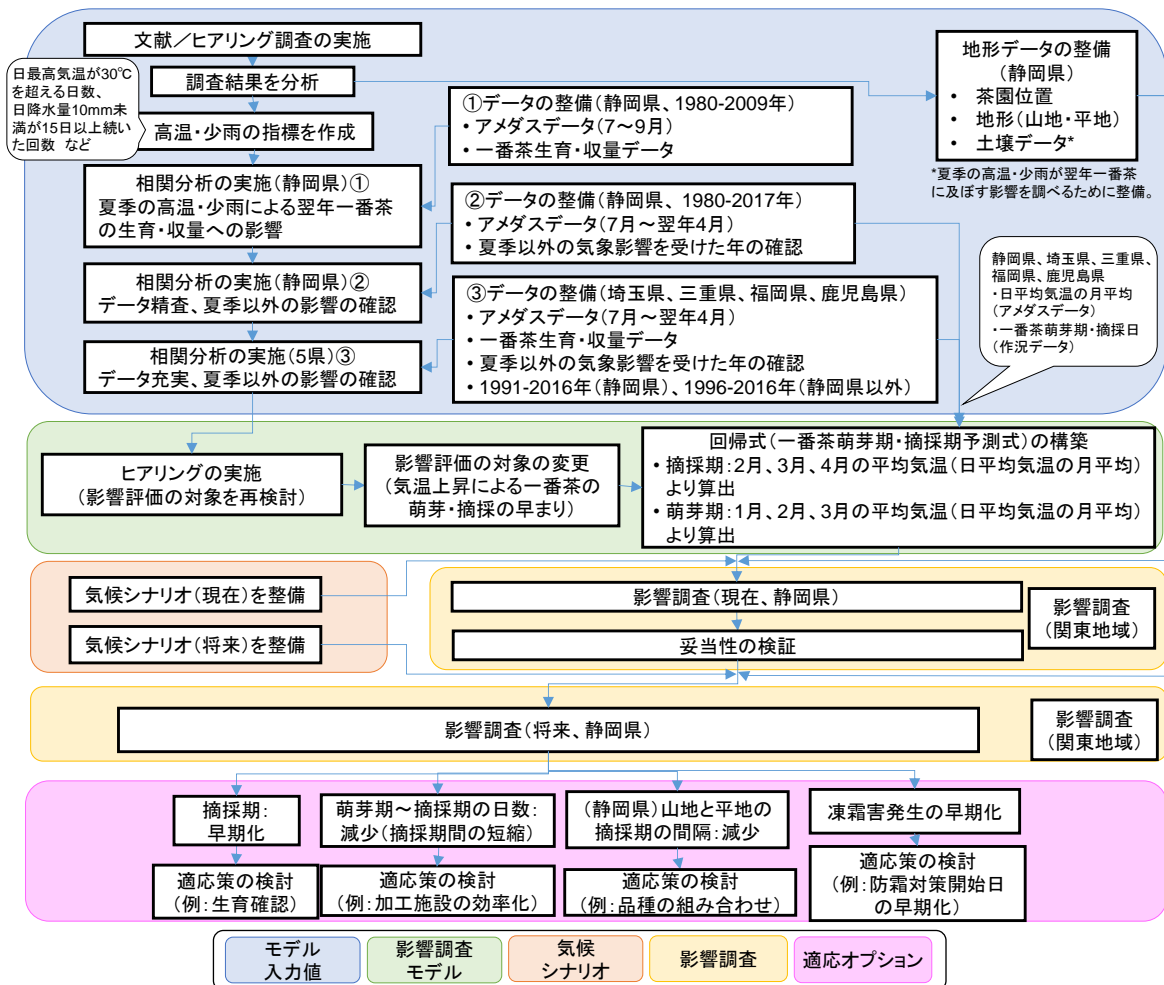


図 1-12 調査の作業手順

1.3.2 使用したデータ・文献

使用したデータを表 1-5、使用した文献を表 1-6 に示す。そのほか、収集したデータや文献については収集データリスト及び、参考文献リストを参照。

表 1-5 使用したデータのリスト

No.	資料名等	使用用途	データ概要
1	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 作況報告 (静岡県農林技術研究所茶業研究センター)	気候データと作況データの相関分析に使用	1991～2017 年
2	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 一番茶萌芽生育状況報告 (静岡県農林技術研究所茶業研究センター)	気候データと作況データの相関分析に使用	1996～2016 年 (2006 年と2008 年は欠損)
3	埼玉県茶業研究所 一番茶萌芽生育状況及び実収報告 (埼玉県茶業研究所)	気候データと作況データの相関分析に使用	1996～2016 年
4	三重県農業研究所茶業研究室 一番茶萌芽状況調査報告 三重県農業研究所茶業研究室 一番茶実収調査報告 (三重県農業研究所茶業研究室)	気候データと作況データの相関分析に使用	1996～2016 年 (2001 年は欠損)
5	福岡県農林業総合試験場八女分場 一番茶萌芽状況報告 福岡県農林業総合試験場八女分場 一番茶実収報告 (福岡県農林業総合試験場八女分場)	気候データと作況データの相関分析に使用	1996～2016 年
6	鹿児島県農業開発総合センター茶業部 一番茶の萌芽生育状況報告 鹿児島県農業開発総合センター茶業部 一番茶実収報告 (鹿児島県農業開発総合センター茶業部)	気候データと作況データの相関分析に使用	1996～2016 年
7	アメダス（地域気象観測システム）データ（国土交通省気象庁） アメダス観測地点における日平均気温、日最低気温、降水量の日合計の現地観測データ（気象庁） 使用した観測所は、菊川牧之原（静岡県）、所沢（埼玉県）、亀山（三重県）、黒木（福岡県）、喜入（鹿児島県）の 5 ヲ所	気候データと作況データの相関分析に使用	菊川牧之原のみ 1990～2017 年、 その他は 1995～ 2016 年
8	国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ (国土交通省国土政策局国土情報課)	茶園分布図の作成に使用	2014 年度作成
9	電子国土基本図（オルソ画像）(国土交通省国土地理院)	茶園分布図の作成に使用	
10	国土数値情報 土地分類メッシュデータ (国土交通省国土政策局国土情報課)	山地と平地の区分に使用	データ基準年は 1979 年
11	農林業センサス 2015 年農林業センサス 確報第 1 巻 都道府県別統計書（農林水産省）	茶園分布図の作成に使用	2014 年 12 月～ 2015 年 2 月に調査実施

表 1-6 (1) 使用した文献のリスト

No.	文献名	概要
1	水野直美（2002 年）茶の精密栽培地帯区分図の作成と温暖化シミュレーション、茶業研究報告、第 93 号、62-69	日最低気温の月間平均の年間最低値に関するメッシュデータを用いて栽培地帯区分図を作成し、現在よりも気温上昇した場合の栽培適地の変化を調べた研究。
2	岡本毅・平松紀士（2016 年）秋冬期高気温による一番茶減収の証明と減収原因の解明、「気候変動に対応した循環型食糧生産等の確立のためのプロジェクト（プロジェクト研究成果シリーズ 557）」、農林水産省農林水産技術会議事務局、214-217	栽培試験を踏まえて秋冬期の低温不足による一番茶収量への影響を予測した研究。
3	倉貫幸一（1988 年）秋から春にかけての気象要因が一番茶の収量に及ぼす影響について、茶業研究報告、第 67 号、13-18	気象と収量の関係を明らかにするために、静岡県茶業試験場の 9 月～4 月の最高・最低気温と降水量の半旬値の観測と作況調査の 20 年間の結果を用い、収量予測式を作成した研究。
4	J.M.A. Duncan、S.D. Saikia、N. Gupta、E.M. Biggs (2016) Observing climate impacts on tea yield in Assam, India, Applied Geography、77、64-71	インド・アッサム州の 82 の茶園を対象として、10 年間の気象データと収量データを用い、4 月～10 月の気温・降水量を説明変数とする収量の予測式（回帰式）を作成した研究。
5	静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019 年）静岡県茶業の現状〈お茶白書〉	茶の生産量や茶園面積などの茶に関する統計データを掲載。
6	株式会社静岡茶市場 価格帯別取扱数量（県内一番茶）、価格帯別取扱数量（県内二番茶） https://chaichiba.co.jp/ （2020 年 2 月 10 日閲覧）	静岡県茶市場で取引された静岡県内茶、静岡県外茶の年間取扱量、平均単価等が公表されている（株式会社静岡茶市場のホームページ）。
7	中野敬之（2017 年）夏季の干ばつが翌年一番茶に及ぼす影響、静岡県農林技術研究所茶業研究センター平成 28 年度研究成果発表会	7～9 月の時期別に干ばつ条件を起こして、翌年一番茶に及ぼす影響を調査したもの。夏季において干ばつ対策が重要な時期は、新梢が生育している期間（7 月、9 月）で、特に三番茶芽の生育期（7 月）は徹底した対策が必要ながことが明らかになった。
8	松尾喜義（2009 年）茶の生育と気候温暖化の影響および影響軽減に向けた研究状況、第 228 回日本作物学会講演要旨集、312	温暖化による茶の生育への影響に関する研究状況を紹介した文献。異常気象、夏季の干ばつ・異常高温、台風等も取り上げている。
9	一般社団法人農山漁村文化協会（2008 年）茶大百科第 2 巻（栽培の基礎／栽培技術／生産者事例）	茶の特性と収量・品質の変動要因、園地の造成と更新、栽培方法、土壌管理と施肥、気象災害と対策、病害虫の診断と防除、生産者事例（総目次より）
10	渕之上弘子（1993 年）日本の茶樹と気象（一茶樹の生育、生理と現象— 一茶樹の気象災害—）	気象との関連における茶樹の主要な諸生理現象、及び茶樹の各種気象災害についての研究の進捗状況をとりまとめた文献。

表 1-6 (2) 使用した文献のリスト

No.	文献名	概要
11	静岡県茶業試験場（1978 年）作況調査の調査要領	静岡県茶業試験場における作況調査の調査要領。作況園の調査方法と管理要領が記載されている（2010 年改定）。
12	静岡県農林技術研究所（2017 年）完了試験研究成績 新農薬・新肥料及び新資材等の効果確認及び使用法の検討(1. 新農薬の使用法の検討 チャ炭疽病菌感染期の予測)	主要な 3 品種（やぶきた、つゆひかり、さやまかおり）の 1.8 葉期を平均気温より予測するモデルを作成した研究。
13	中野敬之（2002 年）冬から春にかけての気温が茶芽の生育ステージと耐凍性に及ぼす影響、日本作物学会紀事、第 71 巻第 1 号、43-48	静岡県菊川町における茶芽の生育ステージと耐凍性について、冬から春にかけての推移を 10 年間調査して、年次間の違いを明らかにするとともに、気温との関連性について検討した研究。
14	静岡県経済産業部農林業局茶業農産課（2015 年）茶生産指導指針	茶の凍霜害の発生メカニズム、対策技術に関する資料。
15	気象庁 警報・注意報発表基準一覧表	警報・注意報発表基準一覧表の中に霜注意報の発表基準が記載されている。
16	袴田・前原（1978 年）茶芽の生育に伴う茶葉の全窒素、遊離アミノ酸、カフェイン、タンニンの変化、茶業研究報告、第 48 号	「やぶきた」の一番茶芽の伸育に伴う新芽とその母葉の全窒素、遊離アミノ酸、カフェイン、タンニンの変化を調査した研究。
17	牧・中野（2018 年）人工知能（AI）による新芽の生育ステージの客観的推定法～新芽の撮影角度が開葉数の推定精度に及ぼす影響～、2018 年度日本茶業学会研究発表会講演要旨	樹冠面を撮影した新芽の画像から人工知能が開葉期を客観的に判断する方法を検討するため、新芽の撮影角度が開葉数の推定精度に及ぼす影響を調査した研究。
18	中野敬之（2019 年）リモートセンシングによる茶樹の生育診断.2019 年土壌肥料学会公開シンポジウム講演要旨	樹冠面を撮影した新芽の画像から人工知能が開葉期を客観的に判断する技術の成果報告。

1.3.3 有識者ヒアリング

茶栽培に関する専門的事項や気候変動の影響予測手法に関するアドバイスを得るため、10 件の有識者ヒアリングを実施した。概要を表 1-7 に示す。

表 1-7 (1) 有識者ヒアリングの概要

NO.	1
ヒアリング対象者	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 栽培育種科 上席研究員（当時） 中野敬之氏
日付	2017 年 8 月 25 日 13:40～16:30
場所	静岡県農林技術研究所 茶業研究センター 会議室
概要	<p>①夏季気候を考慮した茶栽培への影響予測評価手法について</p> <ul style="list-style-type: none">・ 夏季の高温・少雨が茶樹に影響を与えているのは事実であるが、夏季の少雨が茶の生産に及ぼす影響の程度ははっきりとしていない。・ 土壌についても考慮する必要がある。例えば黒ボク土は保水性があるが、茶樹の場合、保水性の低い土壌のほうが根を深くまで張って干ばつの影響を受けにくくなる。・ 茶は、他の作物と異なり、農家が主体的に収穫時期と生産量を調整することができる。農家は摘採日を判断しているため、気候による茶の生産量への正味の影響量を捉えることが難しい。気温と収量の関係を見るのであれば、収量について通常の統計値よりも、研究機関が実施している作況調査に基づいた作況データを使うほうが、関係性を適切に把握できるのではないか。 <p>②一番茶の重要性</p> <ul style="list-style-type: none">・ 一番茶の収量が最も重要となる。二番茶以降は値が下がるため、摘まない農家もある。

表 1-7 (2) 有識者ヒアリングの概要

NO.	2
ヒアリング対象者	農研機構西日本農業研究センター 企画部産学連携室 農業技術コミュニケーター 岡本毅氏
日付	2017 年 10 月 17 日 13:30～15:30
場所	農研機構西日本農業研究センター 会議室
概要	<p>①予測評価の考え方</p> <ul style="list-style-type: none">・ 栽培適域はしばしば植物として生育が可能かという観点から評価されるので、営利生産が可能かどうかという範囲のラインとは必ずしも一致しない。・ 気温・降水量の変化に対する収量変化を評価する場合、変化量に着目する考え方もある。

	<p>②予測を行う場合の留意点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 通常の統計値では相反する影響が平均化されがちなため、作況調査に基づく作況データを使用することが適切である。 ・ 同じ茶園（少なくとも土壌条件が同一）の気温・降水量 と作況データとの間で相関を複数年分見るとよい。 ・ 茶の収量を評価する場合、複数年の影響が後年に現れるといった永年性作物特有の難しさがある。 <p>③影響評価の手順</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 高気温・少雨を定義する具体的条件を導き出すには、既往文献等を踏まえた仮定を設定して過去のアメダスデータと作況データとの相関を分析し、相関のとれる条件（例えば、半月の降水量が 10mm 未満の期間が 3 回以上続くなど）を見出すといった手順が考えられる。 ・ 夏の高気温・少雨と収量との関係性について相関が見出せない可能性もあるが、そうした結論を得ることにも一定の価値がある。整理・分析の結果を踏まえ、今後さらに必要となる実験・研究に結びつけていくこともできる。
--	--

表 1-7 (3) 有識者ヒアリングの概要

NO.	3
ヒアリング対象者	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 栽培育種科 上席研究員（当時） 中野敬之氏
日付	2017 年 11 月 14 日 13:00～15:00
場所	静岡県農林技術研究所 茶業研究センター 会議室
概要	<p>①土壌の考慮について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 茶樹の生育と土壌との関係を調べた研究はあまり行われていない。 ・ 静岡県内の茶畑のほとんどが赤黄色土に位置しており、火山活動由来の黒ボク土は伊豆など富士山周辺に限られる。一方、埼玉県、神奈川県、鹿児島県などでは黒ボク土の土壌が多くなっている。 ・ 水が抜けにくく干ばつに強い（つまり気候変動に対する脆弱性が低い）黒ボク土とそれ以外の土壌の 2 種類程度に分け、将来の少雨に対する脆弱性を表す指標として用いることが考えられる。 <p>②影響評価の方法について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 気象を説明変数、収量（作況データの収量、新芽数、百芽重）を目的変数とし、関係を調べる。生産者にとって経済的に重要な一番茶に注目する。気象と茶樹の生育の早さ（作況データの萌芽期、摘採日、平年からの差を用いる）と収量との関係も調べるのが望ましい。 ・ 上記の関係を分析するのに用いる作況データは、産地の重要性和地理的なばらつきを考慮して、静岡県、埼玉県、京都府、福岡県、鹿

	<p>児島県のものがよいのではないか。対応する気象データは、近いアメダス観測所のデータを用いる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 暦日で区切った気象データを用いても収量等との関係が得られない場合は、三番茶の生育期間の気象データを用いることも考えられる。その際、三番茶の1葉期の予測式は提供する。三番茶の1葉期後20日間（4日間で1枚の葉と想定）を三番茶生育期間とする。 ・ 茶樹の有効雨量は特に存在しない。
--	--

表 1-7 (4) 有識者ヒアリングの概要

NO.	4
ヒアリング対象者	農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門 茶業研修チーム専門員 松尾喜義氏
日付	2018年3月8日 10:00～11:30
場所	農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門 応接室
概要	<p>①夏季の高温・少雨が翌年一番茶に及ぼす影響について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 夏季に乾燥・高温が続くと、水分不足で地下10～20cm程度の浅い根が枯れてしまい、茶樹は水分を得ようとして地下1m程度まで根を深く伸ばす。その後大雨が降ると土壌に長期間水が溜まり、深くまで伸びた根が枯れてしまう。このような土壌で生じる影響は目に見えにくい、気候変動で悪化する可能性が高い。 <p>②夏季の高温・少雨が翌年一番茶に及ぼす影響の分析について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 夏季と翌年一番茶の収穫時期とでは時間的な開きが大きく、その間に冬の寒さや干ばつ、春の霜、一番茶芽が伸びる時の気象条件など、様々な影響が生じる可能性がある。そのため、夏季の気象と一番茶の収量との相関分析を行っても関係が見えにくい可能性がある。

表 1-7 (5) 有識者ヒアリングの概要

NO.	5
ヒアリング対象者	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 茶生産技術科 科長 中野敬之氏
日付	2018年5月28日 13:15～15:00
場所	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 会議室
概要	<p>① 夏季の高温・少雨が翌年一番茶に及ぼす影響の分析について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 静岡県の作況データの精査に関し、2010年のデータは分析から除くことが妥当である。茶の成長が早く春の冷えもひどかったため、生育の進んだ茶が受けた霜の被害が大きかった。 ・ 土壌の保水力に注目した分類は、黒ボク土とその他の2種類でよいのではないかと考える。

表 1-7 (6) 有識者ヒアリングの概要

NO.	6
ヒアリング対象者	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 茶生産技術科 科長 中野敬之氏
日付	2018 年 7 月 30 日 10:30～12:15
場所	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 会議室
概要	<p>① 夏季の高温・少雨が翌年一番茶に及ぼす影響について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 作況データの精査、複数県での分析、作況データを指数化した分析等を試行したが、夏の気温・降雨と翌年一番茶の生育・収量との間にはっきりとした相関は見られず、夏の気象の影響はよく分からなかった。しかし、実施した分析の手順や結果をていねいに示すことが重要である。 <p>② 春の気温が一番茶の摘採日に与える影響について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 相関分析において、4 月の日平均気温の平均と一番茶の摘採日との間に最も強い相関（相関係数：-0.80）が得られた。萌芽期も同じような相関が得られ、摘採日よりも人為的影響が少ない指標ではあるが、農家や消費者の関心は、一番茶の芽がいつ出るかということよりも、一番茶の収穫時期がどうなるのかにある。 ・ 山間地と平坦地で影響に差があるか確認することも重要である。例えば、山間地と平坦地で摘採時期が近づくと、摘採に適した期間は 2～3 日間しかないため、収穫が一時期に集中し（「短期一斉型」）、茶の価格が下がりやすくなるという経営的な問題が生じることが考えられる。実際、山間部と平坦地に茶畑を所有し、収穫時期を分散させている農家もある。また、山間地と平坦地で影響に差があれば、産地戦略を検討する上で参考になる。

表 1-7 (7) 有識者ヒアリングの概要

NO.	7
ヒアリング対象者	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 茶生産技術科 科長 中野敬之氏
日付	2018 年 11 月 2 日 10:00～12:00
場所	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 会議室
概要	<p>① 茶の生育が早まることによるリスクと対策について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 気候変動により摘採日が早まる場合、茶の生育が進んでからの冷え込みによる凍霜害リスクが高まる可能性がある。対策としては防霜対策（防霜ファン）を早めることが考えられるが、茶芽の耐凍性を簡易に検定する手法がないことから、凍霜害リスクを定量的に評価するのは困難である。

	<ul style="list-style-type: none"> ・ 気温上昇により摘採期間が短縮すること、山地での摘採時期の早まりが平地よりも速く進むことによって山地と平地の摘採時期が近くなることが示されれば、それもリスクとなる。 ・ 最適な摘採時期が過ぎると収量は増加するが、葉の食物繊維が増加し旨味成分であるアミノ酸量が減少し、品質が低下する。また、一度に大量に摘採しようとするれば、摘採のための機械や加工所の処理量が不足する。以上のことから、摘採期間が短縮することは農家にとって問題となる。 ・ 摘採期間の影響評価の指標は、萌芽期から摘採期までの日数とすることが考えられる。 ・ 静岡県で栽培されている茶樹の約 9 割がやぶきた種であり、同じ品種を山地と平地で栽培することにより摘採時期を分散させている。一方、鹿児島県では茶樹の多くが平地にあり、摘採時期が異なる品種を栽培することにより摘採時期を分散させている。今後は、静岡県でも品種の組み合わせを検討する必要があるかもしれない。
--	--

表 1-7 (8) 有識者ヒアリングの概要

NO.	8
ヒアリング対象者	農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門 茶業研修チーム専門員 松尾喜義氏
日付	2019 年 1 月 10 日 10:15～11:45
場所	農業・食品産業技術総合研究機構 果樹茶業研究部門 応接室
概要	<p>① 夏季の高温・少雨が翌年一番茶に及ぼす影響について</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 夏季の気温・降雨が、翌年収穫される一番茶の生育・収量に及ぼす影響を統計的に分析することに限界があったことに対して理解を示す。 <p>② 茶の生育が早まることによるリスク</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 摘採時期に着目したリスクは確かに重要である。静岡県での一番茶の摘採期間は、現在、1 週間程度となっている中で、農家の方々は睡眠時間を削って摘採作業を行っている。摘採期間が 1 日でも短くなることは、農家にとってたいへんな負担となる。 ・ リスクを検討する上でもう一つ重要な視点は、年間を通して見た茶樹の生育への影響と、それによる栽培管理への影響である。気温上昇により茶樹の生長期間が長くなることで、農家の栽培管理の負担が増すのではないかと考えられる。その理由は以下のとおりである。 ・ 一番茶の摘採時期が早まるとの予測結果は、気温上昇に伴い茶樹の生長開始時期が早まるということである。一方、茶樹は秋に生長が

	<p>止まる。温暖化に伴い秋の気温も上昇するであろうことから、将来、茶の生長が止まる時期が遅くなることが予想される。</p> <p>茶の生長期間の長期化に夏季の高温・少雨ストレスの増大が加わると、茶樹のリスクも農家の負担も更に大きくなる。九州地方では50年位前から戦略的に灌漑設備が整備されているので、用水は茶園に十分供給されている。しかし、静岡県では多くの茶園が斜面に位置していること、昔から水は雨に依存していることから、用水を供給するための設備は十分に整っていない（国の補助事業で一部実施されているが、十分な整備には至っていない）。</p>
--	--

表 1-7 (9) 有識者ヒアリングの概要

NO.	9
ヒアリング対象者	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 茶生産技術科 科長 中野敬之氏
日付	2019年3月6日 10:30～12:00
場所	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 会議室
概要	<p>① 茶の生育が早まることによるリスクと対策（低温）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 低温リスクへの適応策として、防霜ファンの増設・稼働時間の延長、晩生品種への切り替え、散水氷結が考えられる。防霜ファンは、空気を攪拌し茶樹の周りの温度を上げることで、霜害の発生を抑制する効果がある。しかし、気温そのものを上昇させる効果はないため、気温が非常に低くなる場合には霜害を防ぐことはできない。散水氷結は、霜害が発生しやすい時期に散水を行い、散水された水が氷になることで茶樹を0℃くらいに保つ対策である（茶芽の5割が枯死する温度は、生育ステージにより異なるものの、いずれのステージでも茶芽自体の温度が氷点下である）。しかし、この方法は大量の水を必要とし、牧之原台地などの静岡県内の茶園では、大量の水を確保することが難しいことが多い。 <p>② 茶の生育が早まることによるリスクと対策（生育期間の長期化）</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 静岡県では、茶の加工費に対する三番茶の価格が低いため、三番茶を収穫する農家は少ない。茶を収穫できる回数が増えても、実際に収穫する農家はほとんどいないのではないかとと思われる。一方、鹿児島県は収穫しやすいように整備されており、静岡県よりも加工費が安いと、三番茶まで収穫する農家が比較的多い。 ・ 気温が上昇することにより害虫の発生ピークが増え、薬剤散布回数が増える可能性が考えられる。新規の病害虫が発生するというリスクも考えられる。

表 1-7 (10) 有識者ヒアリングの概要

NO.	10
ヒアリング対象者	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 茶生産技術科 科長 中野敬之氏
日付	2019 年 10 月 29 日 10:30～12:00
場所	静岡県農林技術研究所茶業研究センター 会議室
概要	① 関東地域の影響予測について ・ 埼玉県（関東地域の主要な生産県）及び茨城県の茶研究機関の位置で予測結果を示す。茨城県には国内で最北端となる茶研究機関があり、気温上昇による摘採期への影響を把握することに意義がある。 ② 関東地域の茶園の位置について ・ 統計データから茶園位置を推定すると、実際よりも相当広くの抽出されてしまうため、茶園位置の抽出方法を記載する、若しくは茶園を特定せずに関東地域全域で予測結果を示す必要がある。

1.3.4 観測および実証実験

観測及び実証実験は行っていない。

1.3.5 気候変動影響予測手法の検討

1.3.5.1 気象観測データと一番茶生育・収量データの統計解析

気候変動が茶栽培に与える影響の中でも、農家にとって重要となる一番茶の生育・収量への影響に着目した。影響予測モデルは、国内外の研究事例も参考にしながら、気象と一番茶の生育・収量との統計解析を踏まえた回帰式とした。既存データを用いることで効率的に影響予測モデルを作成できる利点もこの手法を用いた理由に挙げられる。

統計解析に用いた茶の生育・収量のデータには、毎年同様の管理を行っている茶研究機関の作況調査データを用いた。気象データは茶研究機関の最寄りのアメダス観測所の観測値を用いた。

1.3.5.2 夏季の高温・少雨が翌年一番茶に及ぼす影響の統計解析

夏季の気温・降水量と翌年一番茶の収量との相関分析を行い、一番茶の収量・生育の回帰式の作成を試みた。静岡県のデータのみを使用した解析（全データでの解析、春の霜害が生じた年のデータを除いた解析）、及び、他県の作況データを追加した解析の3種類の解析を実施した。

(1) 静岡県のデータのみを使用した解析（全データ）

茶の生育・収量データは静岡県農林技術研究所茶業研究センターの作況データ、気象データには菊川牧之原アメダス観測所の観測値を用いた。

気温の指標として、アメダス観測データ項目でもある日平均気温(℃)、日最高気温(℃)、日最低気温(℃)のほか、夏季の高温の指標として、日最高気温が 30℃を超えた日数(日)

を用いた。

降雨の指標として日降水量（mm）のほか、少雨の指標として、無降水日数（日）、日降水量が 10mm 未満の日数（日）、日降水量 10mm 未満が連続して起こった日数の最高値、日降水量 10mm 未満が 15 日以上続いた回数（回）、当日を含めて前 5 日間の降水量の合計が 10mm 未満であることが連続して起こった日数（図 1-13）の分析期間中の最高値（日）を用いた。

	7月23日	7月24日	7月25日	7月26日	7月27日	7月28日	7月29日	7月30日	7月31日	8月1日	8月2日	8月3日	8月4日	8月5日
日降水量 (mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	3	6
当日を含めて前5日間の降水量の合計(mm)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6	9	15

23日～27日の日降水量の合計

24日～28日の日降水量の合計

「当日を含めて前5日間の降水量の合計が10mm未満であることが連続して起こった日数」は、7月23日から8月4日の13日間

1日～5日の日降水量の合計

図 1-13 当日を含めて前 5 日間の降水量の合計が 10mm 未満であることが連続して起こった日数

一番茶の収量の指標として、作況データの収量（kg/10a）のほか、新芽数（本/m²）、百芽重（g）を用いた。また、茶樹の生育の早さは茶の価格に影響するため、その指標として、萌芽期、摘採日、出開度（%）を用いた。萌芽期及び摘採日は最も早い日付からの差（日）を用いた。作況調査における新芽数、百芽重、萌芽期、摘採日、出開度の説明は以下のとおり。

- ・ 新芽数（しんがすう、本/m²）：摘採面 1m² あたりに換算した新芽数。芽の数が増えると、芽が短くなる傾向がある。
- ・ 百芽重（ひゃくがじゅう、g）：100 芽あたりに換算した重さ。
- ・ 萌芽期：萌芽率が 70%に達した日（作況調査では 20×20cm の枠を無作為に置いて 10 箇所調査する。萌芽は、新芽の全長が包葉の 2 倍程度に達したときとしている。）
- ・ 摘採日：一番茶については出開度（後述）が 70%程度となった日を摘採日としている。摘採日の速さ（遅さ）は重要な情報となる。
- ・ 出開度（でびらきど、%）：茶の枝の先に新しい葉（芯）がなくなり、止葉ができる状態を「出開いている」という（作況調査では止葉の中筋が、葉の表側から半分程度見えたときとしている）。幅 20 cm の帯枠内で、出開いた葉が何パーセントあるかで生育の程度を調べている。

アメダス観測値と作況データが入手可能な期間を考慮し、分析対象期間を 1980～2009 年の 30 年間とした（気象データは 1979～2008 年を使用、3 番茶まで摘採を行っている圃場の作況データを使用）。夏季の期間として、7～9 月、7～8 月の 2 パターン、及び、中野（2017 年）で翌年一番茶の収量への影響が最も大きいとされる三番茶芽生育期間の合計 3 パターンで相関分析を行った。三番茶芽生育期の開始日の算定には、静岡県農林技術研究所（2017 年）の研究成果を用いて導かれた以下の三番茶の一葉期の予測式を用

いた。また、一葉期後 20 日間（4 日間で 1 枚の葉が展開されると想定）を三番茶芽生育期間とした。

$$DVR = 6.22 / (1 + \exp(-0.1 \times (T - 19.92)))$$

DVR：発育速度

DVI=0：二番茶摘採日、DVI=100：三番茶芽の 1 葉期

$DVI = \sum DVR$

T：日平均気温（℃）

注）二番茶摘採日は作況データを使用。

例として、分析対象期間における 7～8 月の気温・降雨の推移を示す。気温については、1994 年と 1995 年で特に高くなっているほか、日最高気温が 30℃を超える日数が 30 年間で多くなる傾向にあることが分かる。一方、降雨に関しては、少雨となる期間が長くなる傾向が若干見られる（図 1-14）。

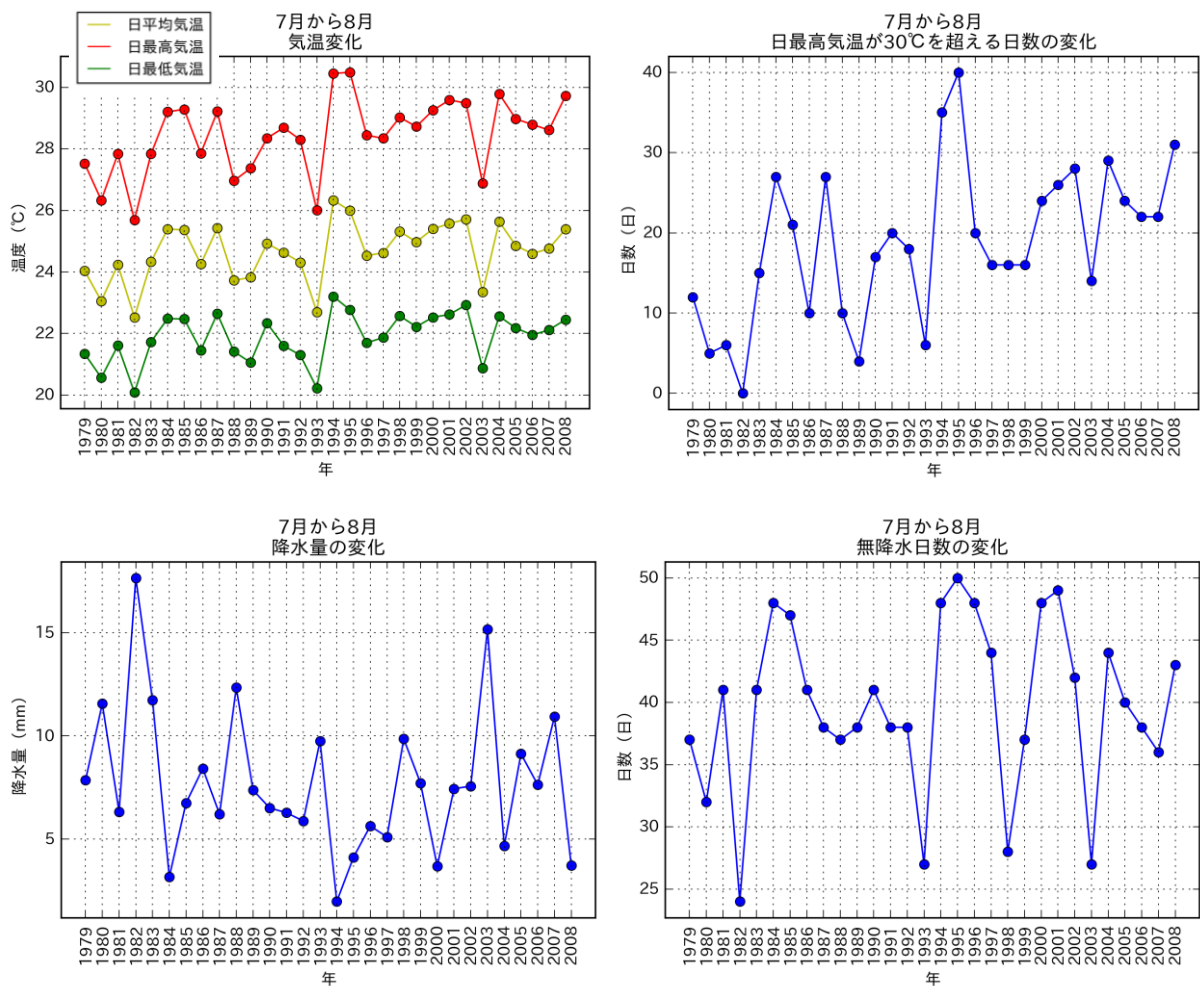


図 1-14 (1) 分析対象期間の気温・降雨の指標の推移（例として 7～8 月、菊川牧之原）

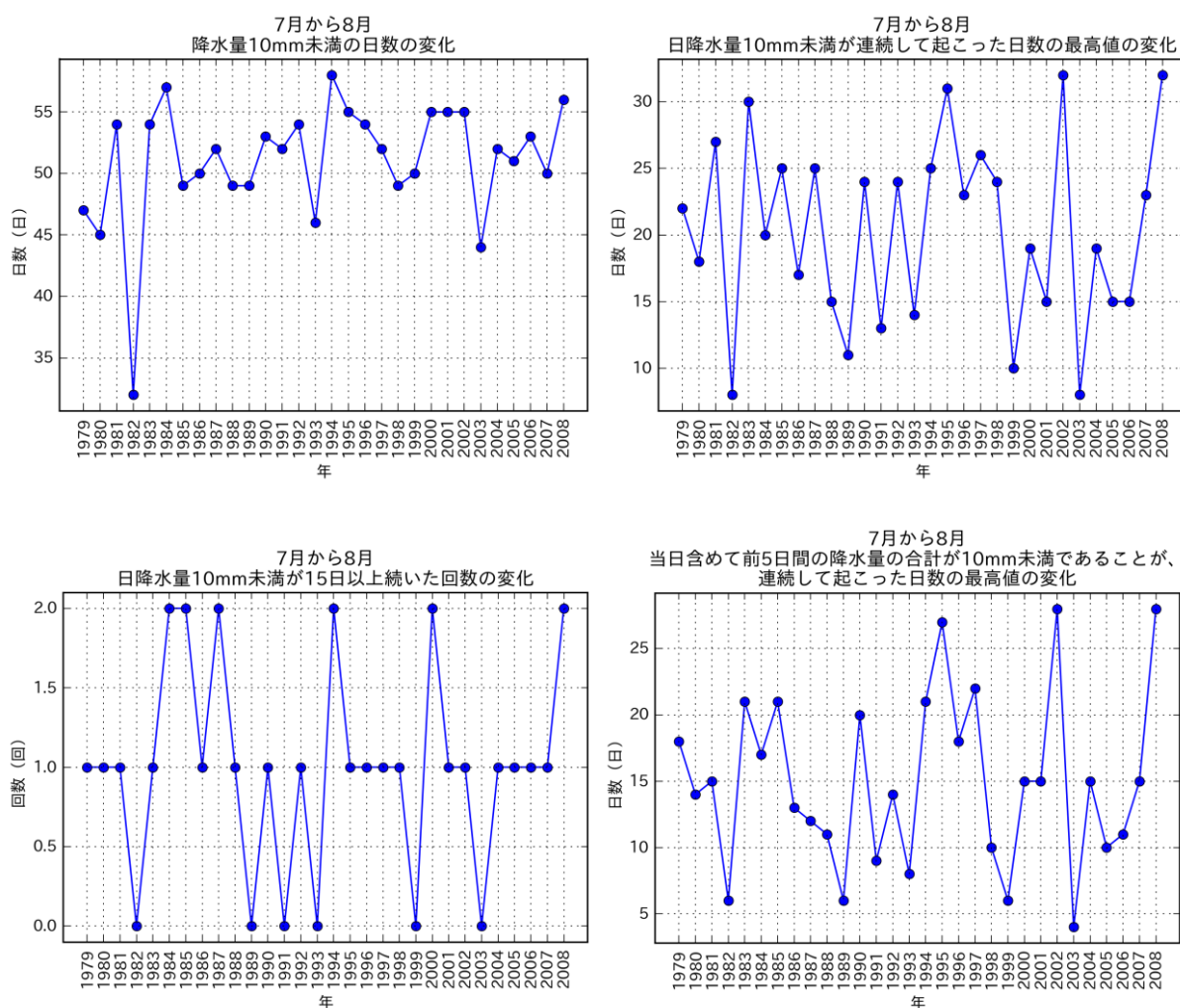


図 1-14 (2) 分析対象期間の気温・降雨の指標の推移（例として7～8月、菊川牧之原）

気象の指標と収量の指標との相関係数を表 1-8～表 1-10 に示す。7～9 月、7～8 月、三番茶芽生育期間のいずれのパターンでも高い相関は得られていないものの、以下の傾向が得られた。

- ・ 降雨の指標よりも気温の指標のほうが、収量の指標との相関が統計的に有意（ p 値が 0.1 未満）となる組合せが多い。
- ・ 日平均気温・日最高気温・日最低気温が高いと新芽数が減少し、日平均気温・日最低気温が高いと百芽重が増加する傾向が見られる（7～9 月、三番茶芽生育期間の結果）。これは、新芽数が少ない時に芽が長くなることで一枚一枚の芽が重くなるという茶樹の性質によるものと考えられる。
- ・ 日最高気温が 30℃を超える日数が多くなると萌芽期が遅くなる傾向が見られる（全パターンの結果）。
- ・ 降雨の指標は収量の指標との相関が統計的に有意（ p 値が 0.1 未満）となる組合せが少ないものの、当日を含めて前 5 日間の降水量の合計が 10mm 未満であることが、連続して起こった日数の分析期間中の最高値が大きいと萌芽期が遅くなる（7～9 月の結果）、降水量 10mm 未満の日数が多くなると新芽数が減る（7～8 月の結果）。

摘採日が遅くなる（三番茶芽生育期間の結果）、日降水量が大きくなると摘採日が早くなる傾向が見られた（三番茶芽生育期間の結果）。

表 1-8 気象・収量の指標の相関係数（7～9 月）

	収量	萌芽期	摘採日	出開度	新芽数	百芽重
日平均気温	0.11	0.14	0.09	-0.08	-0.29	0.32*
日最高気温	0.05	0.19	0.11	-0.14	-0.31*	0.29
日最低気温	0.15	0.12	0.08	-0.07	-0.30	0.38**
日最高気温が 30℃を超える日数	-0.03	0.33*	0.19	-0.19	-0.31*	0.27
日降水量	-0.11	-0.04	-0.09	0.04	0.08	-0.09
無降水日数	-0.05	-0.12	-0.05	-0.06	-0.04	0.01
降水量 10mm 未満の日数	0.13	0.08	0.14	-0.18	-0.18	0.24
日降水量 10mm 未満が連続して起こった日数の最高値	0.17	0.30	0.23	0.09	0.04	0.05
日降水量 10mm 未満が 15 日以上続いた回数	0.17	0.07	0.25	-0.06	0.06	0.09
当日を含めて前 5 日間の降水量の合計が 10mm 未満であることが、連続して起こった日数の最高値	0.00	0.34*	0.11	-0.08	-0.13	0.14

* : p 値<0.1、** : p 値<0.05

気温の変数と統計的に有意となった相関係数をオレンジ色、降雨量の変数と統計的に有意となった相関係数を水色で示す。

表 1-9 気象・収量の指標の相関係数（7～8 月）

	収量	萌芽期	摘採日	出開度	新芽数	百芽重
日平均気温	0.08	0.12	0.12	-0.08	-0.20	0.24
日最高気温	0.04	0.17	0.14	-0.14	-0.23	0.24
日最低気温	0.11	0.10	0.12	-0.08	-0.21	0.29
日最高気温が 30℃を超える日数	-0.02	0.32*	0.21	-0.20	-0.34*	0.30
日降水量	0.06	-0.03	0.00	0.04	0.08	0.00
無降水日数	-0.01	-0.10	-0.03	0.03	-0.08	0.06
降水量 10mm 未満の日数	0.07	0.11	0.12	-0.09	-0.31*	0.29
日降水量 10mm 未満が連続して起こった日数の最高値	0.14	0.25	0.29	0.03	0.10	0.01
日降水量 10mm 未満が 15 日以上続いた回数	0.10	-0.14	0.07	0.15	0.14	-0.07
当日を含めて前 5 日間の降水量の合計が 10mm 未満であることが、連続して起こった日数の最高値	0.06	0.24	0.19	-0.06	-0.02	0.11

* : p 値<0.1、** : p 値<0.05

気温の変数と統計的に有意となった相関係数をオレンジ色、降雨量の変数と統計的に有意となった相関係数を水色で示す。

表 1-10 気象・収量の指標の相関係数（三番茶芽生育期間）

	収量	萌芽期	摘採日	出開度	新芽数	百芽重
日平均気温	0.05	0.29	0.18	-0.10	-0.31*	0.30
日最高気温	0.02	0.31*	0.23	-0.16	-0.32*	0.29
日最低気温	0.07	0.29	0.11	-0.06	-0.31*	0.32*
日最高気温が 30℃を超える日数	-0.05	0.33*	0.28	-0.26	-0.31	0.26
日降水量	-0.12	-0.20	-0.33*	0.08	0.20	-0.24
無降水日数	0.09	-0.02	0.21	-0.02	-0.02	0.06
降水量 10mm 未満の日数	0.15	0.18	0.36**	-0.16	-0.12	0.19
日降水量 10mm 未満が連続して起こった日数の最高値	0.01	0.12	0.28	0.02	-0.02	-0.01
日降水量 10mm 未満が 15 日以上続いた回数	-0.04	0.19	0.30	0.00	0.04	-0.08
当日を含めて前 5 日間の降水量の合計が 10mm 未満であることが、連続して起こった日数の最高値	-0.13	0.22	0.28	-0.11	-0.11	0.01

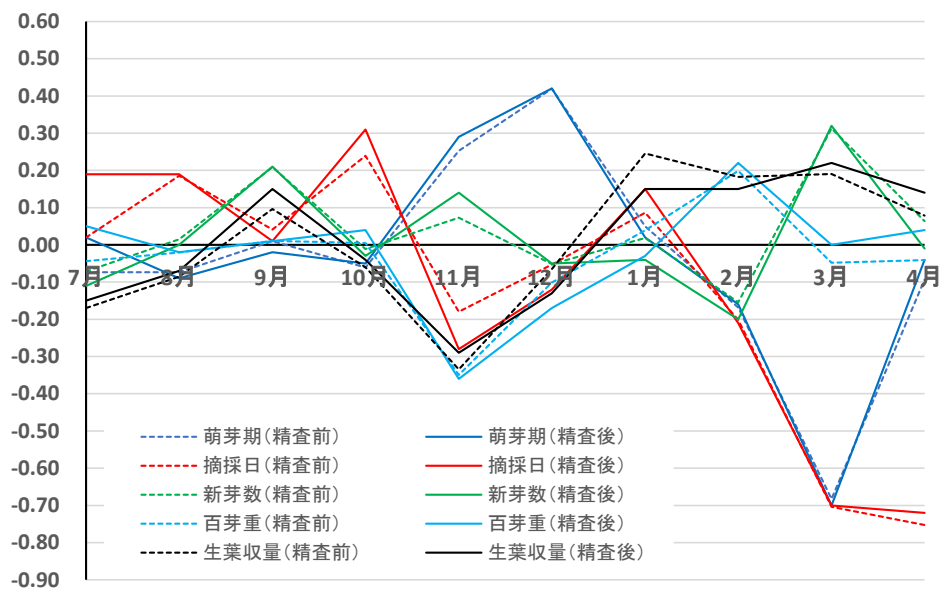
* : p 値<0.1、** : p 値<0.05

気温の変数と統計的に有意となった相関係数をオレンジ色、降雨量の変数と統計的に有意となった相関係数を水色で示す。

(2) 静岡県のデータのみを使用した解析（春の霜害が生じた年のデータを除外）

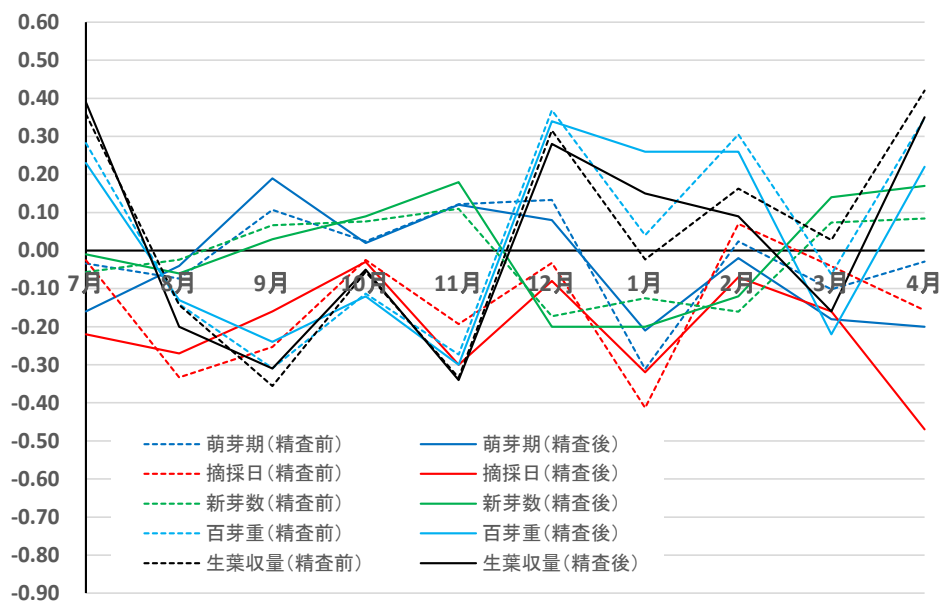
気象による茶の被害の代表として春の霜害がある。霜害の被害が顕著であった年を分析データに含めることで、夏季の高温・少雨による翌年一番茶への影響が捉えにくくなる可能性がある。そのため、静岡県を対象として春の霜害の被害が大きかった年の作況データを可能な範囲で取り除き、7 月から翌年 4 月までの気温・降水量と一番茶の生育・収量との相関分析を行った。気温は日平均気温・日最高気温・日最低気温の各月平均値、降水量には日降水量の月平均値を用いた（日データはアメダス観測値（菊川牧之原、1979～2017 年）を使用）。作況データは静岡県農林技術研究所茶業研究センター（静岡県菊川市）の一番茶作況データ（1980～2017 年）を用いた²。気温と一番茶の生育・収量との相関係数の例として日平均気温の月平均値との相関係数を図 1-15、日降水量の月平均値と一番茶の生育・収量との相関係数を図 1-16 に示す。破線の折れ線グラフは全てのデータを使用した場合の相関係数、実線は霜害の被害が顕著であった年のデータを除いた場合の相関係数である。

² データ量を確保するため、二番茶までのみ摘採するほ場（1991～2017 年）と三番茶まで摘採するほ場（1980～2009 年）の両方の作況データを使用した。霜害の被害が顕著であった年の確認は、「一番茶萌芽生育状況報告」資料を入手した 1996～2017 年の 12 年間について行った。



折れ線グラフ（破線）は全データを使用、折れ線グラフ（実線）は霜害の被害が顕著であった年を除外

図 1-15 日平均気温（月平均値）と一番茶の生育・収量との相関係数（静岡県）



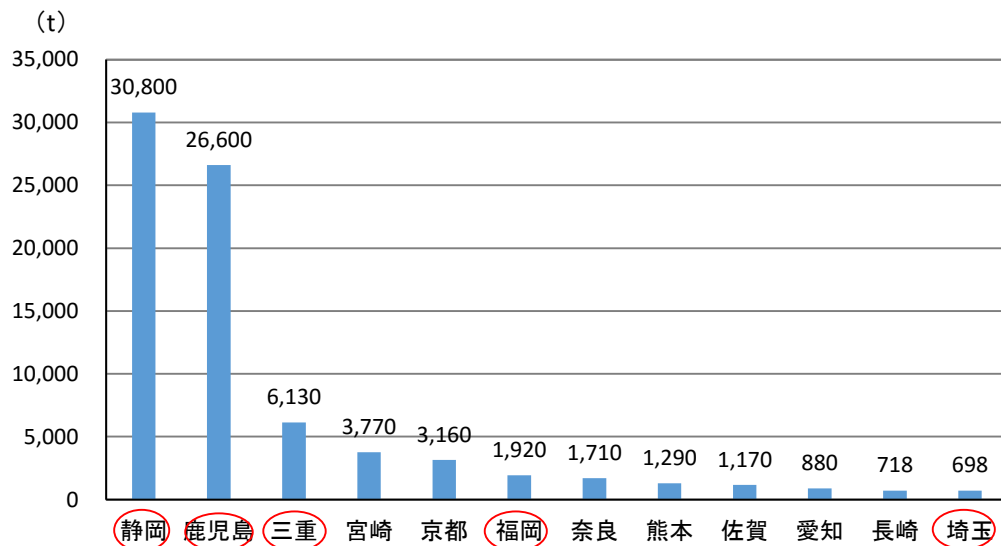
折れ線グラフ（破線）は全データを使用、折れ線グラフ（実線）は霜害の被害が顕著であった年を除外

図 1-16 日降水量（月平均値）と一番茶の生育・収量との相関係数（静岡県）

春の霜害が顕著であった年のデータを除いても、夏季の相関係数の絶対値は最大でも0.4程度であることから、夏季の気温・降雨と翌年一番茶の生育・収量との関係は明らかにならなかった。

(3) 主要生産県の作況データを追加した解析

一定程度のデータ量を確保すること、静岡県よりも高温な地域のデータを解析に含めて温暖化後の茶の生育・収量の予測精度を高めることを目的として、産地の重要性和地域のばらつきを考慮し、埼玉県、三重県、福岡県、鹿児島県の作況データを収集し、分析データに追加した。それぞれ、埼玉県茶業研究所、三重県農業研究所、福岡県農林総合試験場、鹿児島県農業開発総合センターより、1996～2016年の作況データを入手した³。また、各県の作況園から最も近いアメダス観測所のデータ（日平均気温、日最高気温、日最低気温、日降水量）を収集した⁴。4県のデータと静岡県のデータ⁵を合わせて5県の作況データとアメダス観測値を用いた。茶の主産県における生産量（平成29年）を図1-17に示す。



出典：「静岡県茶業の現状」（平成30年3月、静岡県経済産業部農業局お茶振興課）より作成
赤丸は、作況データ及びアメダス観測データを収集した5県を示す

図 1-17 府県別荒茶生産量（主産県）（平成29年）

気温と一番茶の生育・収量との相関係数の例として、日平均気温の月平均値を図1-18、日降水量の月平均値と一番茶の生育・収量との相関係数を図1-19に示す。他県の作況データを用いて解析を行っても夏季の相関係数の絶対値は最大でも0.4程度であることから、夏季の気温・降雨と翌年一番茶の生育・収量との関係は明らかにならなかった。

³一部欠損もある。

⁴ 各県のアメダス観測所は、所沢（埼玉県）、亀山（三重県）、黒木（福岡県）、喜入（鹿児島県）を選定した。データ期間は1996～2016年である。

⁵ 用いたデータは、二番茶までのみ摘採するほ場の作況データ及びアメダス観測値（1991～2016年）。

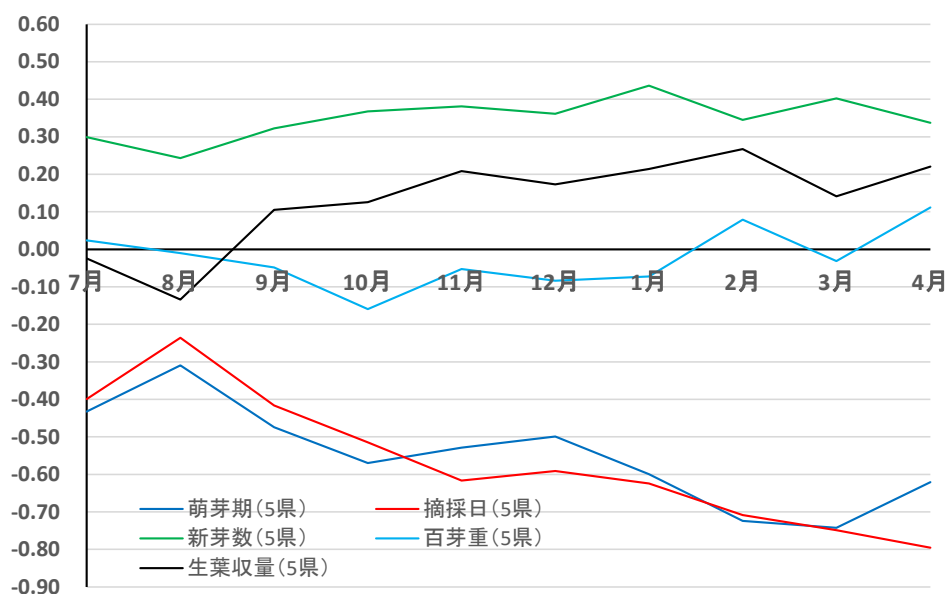


図 1-18 日平均気温（月平均値）と一番茶の生育・収量との相関係数（5 県）

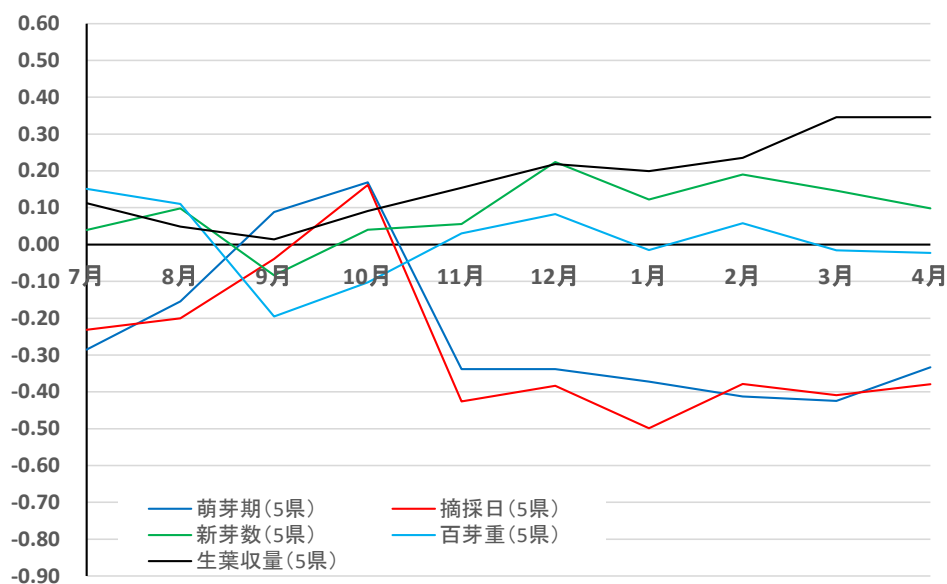


図 1-19 日降水量（月平均値）と一番茶の生育・収量との相関係数（5 県）

1. 3. 5. 3 春先の気温上昇が一番茶の生育・収量に及ぼす影響の統計解析

夏季の気温・降雨が翌年一番茶に与える影響が他の時期と比較してどの程度であるかを確認するため、7月から4月までの気温・降水量と一番茶の生育・収量との相関を確認した。気温については、月が進むほど一番茶の萌芽期・摘採日との相関が強くなり、気温が高いほど萌芽期・摘採日が早くなる傾向があった。特に、2～4月の気温と一番茶の萌芽期・摘採日との間には、気温が高いほど萌芽期・摘採日が早まるという明瞭な関係がみられた（図 1-18）。降水量については、どの月でも強い相関はみられないが、11月以降は一番茶の収量、萌芽期、摘採日との相関が強まる傾向がみられた（図 1-19）。2月、3月、4月の日平均気温の月平均値と一番茶の萌芽期・摘採日の散布を図 1-20 に示す。

春の霜害の被害が顕著であった年を分析データから除外してデータを精査する方法や、他県の作況データを追加することによりデータ数を増やすといった方法を用いて統計手法で分析を行った結果、夏季の気温・降雨と翌年一番茶の生育・収量との関係を見出すことはできなかった。一方、将来の気温上昇に伴い茶芽の生育が早まり、一番茶の萌芽や摘採が早まる可能性が示された。専門家に意見を求めた結果、農家や消費者の関心は一番茶の収穫時期にあるため、一番茶の摘採日を影響予測の対象とした。

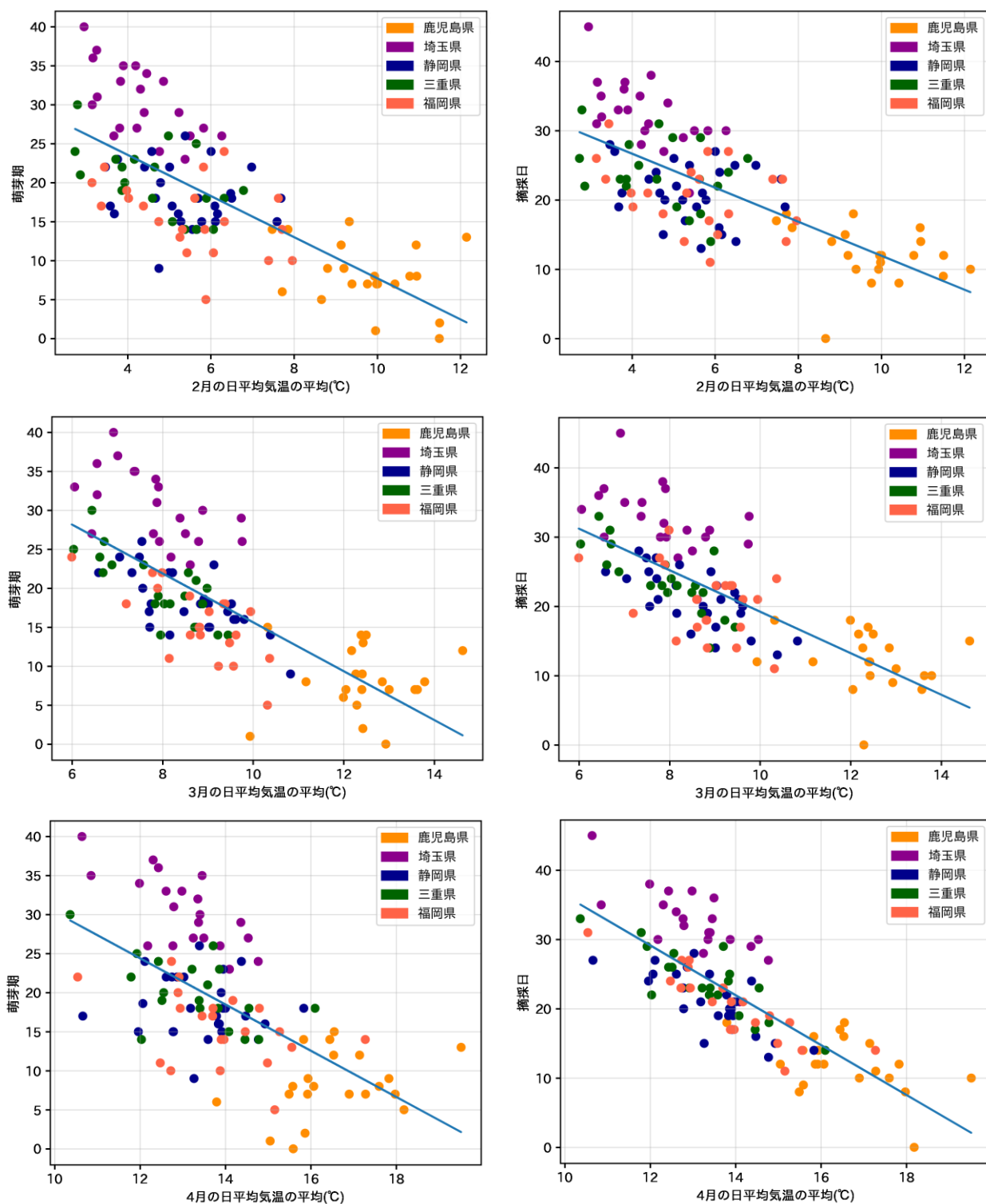
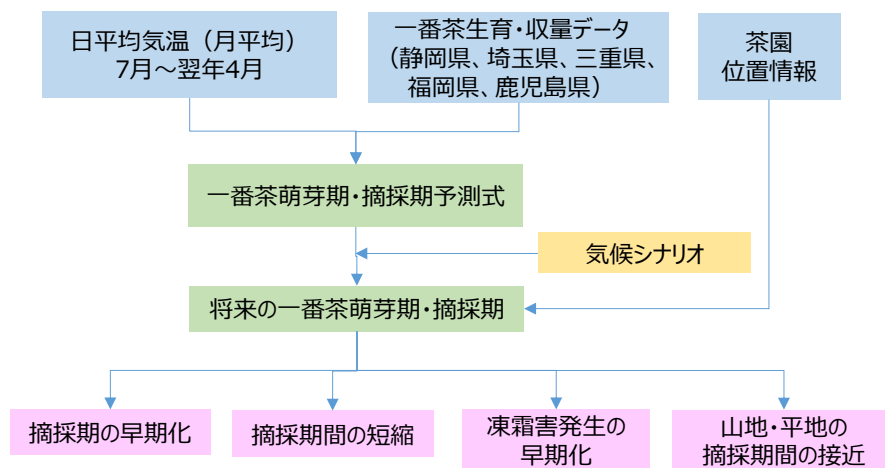


図 1-20 2月、3月、4月の日平均気温の月平均値と一番茶萌芽期（左）・摘採日（右）の
散布図

1.3.5.4 一番茶摘採期予測、一番茶の生育期間の早期化に伴うリスク評価手法の検討

統計解析の結果、春先の気温上昇に伴い茶芽の生育が早まり、一番茶の萌芽や摘採が早まる可能性が示された。月平均気温から一番茶摘採期を推定する予測式を作成し、温暖化が進行したときの一番茶摘採期を予測した。予測結果を用いて、一番茶の生育が早まることによる4つのリスク（摘採期の早期化、摘採期間の短縮、凍霜害発生の早期化、山地・平地の摘採期間の接近⁶）を評価した（図 1-21）。⁷

なお、茶は一度植えると数十年間は栽培を継続するため、栽培地を容易に変更できない。そのため、気候変動影響の検討にあたっては、現在の茶園の位置も重要となる。静岡県については現在の茶園の位置を地図上に整理し、関東地域については統計資料等の公開資料から抽出した。



各リスクの評価方法は以下のとおりである。

(1) 摘採期の早期化

現在と比較して何日早まるかを予測した。

(2) 摘採期間の短縮

萌芽期から摘採期までの日数は一番茶芽の生育速度を反映していると想定し、一番茶摘採期間の指標とした。減少すれば摘採期間が短縮すると見なした。

(3) 凍霜害発生の早期化

凍霜害は茶芽の耐凍性、放射冷却による低温、風、茶園の位置等の複数の要因で発生するが、本調査では、凍霜害が生じうる低温（日最低気温）の発生回数を対象として、将来の凍霜害リスクを予測した。

⁶ 山地・平地の摘採期間の接近リスクは、静岡県のみを対象として確認した。

⁷ 摘採期間の短縮、凍霜害発生の早期化のリスクの確認には、別途実施した一番茶萌芽期の予測結果も使用した。

凍霜害リスクが生じる期間は、関東地域の茶栽培で防霜対策が開始される萌芽期より前 15 日間（静岡県経済産業部農林業局茶業農産課（2015 年））から摘採期までとした。この期間のうち、萌芽期以前では凍霜害は零下で発生するが、萌芽期後では 2℃程度でも発生するため、凍霜害リスクが生じる日最低気温の条件を萌芽期の前後で分けた。萌芽期より前では日最低気温が 4℃以下、3℃以下、2℃以下の 3 通り、萌芽期以降摘採期までは 4℃以下（関東地域の広い範囲で使用されている霜注意報発表基準（気象庁））とした（図 1-22）。各予測期間の 20 年間であてはまる日数を数え、年間値に換算した。

- ・ 萌芽期より前 15 日：日最低気温 4℃以下、3℃以下、2℃以下
- ・ 萌芽期以降摘採期まで：日最低気温 4℃以下（関東地域の広い範囲で使用されている霜注意報発表基準（気象庁））

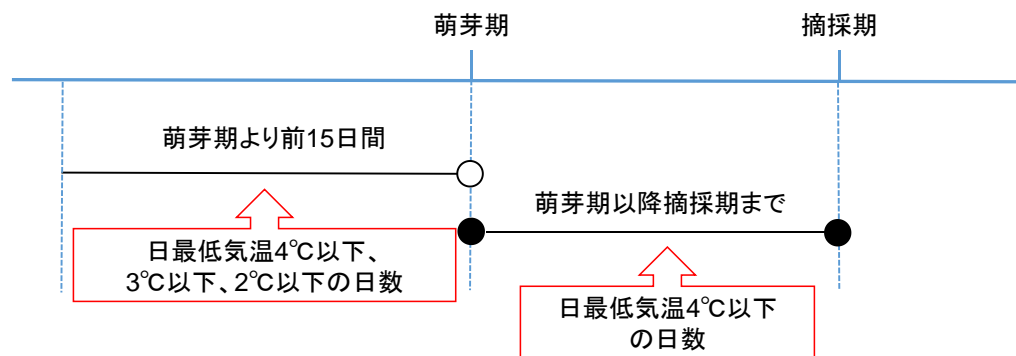


図 1-22 凍霜害リスクの確認方法

(4) 山地・平地の摘採期間の接近（静岡県）

静岡県を山地と平地に区分し、山地の摘採期（20 年間の平均値）と平地の摘採期（20 年間の平均値）の差が小さくなれば摘採期間が接近すると見なした。

1.3.6 影響予測モデルに関する情報

1.3.6.1 一番茶摘採期予測モデル

5 県のデータを用いて気温と一番茶摘採日の相関係数を調べた結果、日平均気温、日最高気温、日最低気温のそれぞれの月平均値のうち、4 月の日平均気温の月平均値で最大の相関係数（絶対値）が得られた。そこで、日平均気温の月平均値を説明変数とした一番茶摘採日の重回帰式を作成した。摘採日と最も相関の高い 4 月の気温を起点として、赤池の情報量基準（AIC）により説明変数の数を「3」と決定した。得られた回帰式を以下に示す。

$$\text{摘採期} = -2.1805 \times t4 - 1.1128 \times t3 - 0.5286 \times t2 + 65.7388 \quad (i)$$

摘採期：統計解析に使用した作況データの中で最も早い摘採日（4月14日）からの日数。摘採期の月日を算出する際は、算出された摘採期に104を加える。

t4：4月の日平均気温の月平均値

t3：3月の日平均気温の月平均値

t2：2月の日平均気温の月平均値

決定係数：0.700

補正済み決定係数：0.691

係数のp値：0.0000（t4）、0.0029（t3）、0.0856（t2）

得られた回帰式の補正済み決定係数は0.691と十分に大きかった。係数の有意性を示すp値はt4、t3で1%未満と十分に小さく、t2では若干大きくなった。しかし、茶芽の生育ステージの進展は2月中旬以降の気温上昇によって促進される傾向があるとの知見（中野（2002））と整合することから、t2も含めた(i)の回帰式を一番茶摘採期の予測式とした。作況データの一番茶摘採日と回帰式から得られる摘採日の散布図を図1-23に示す。

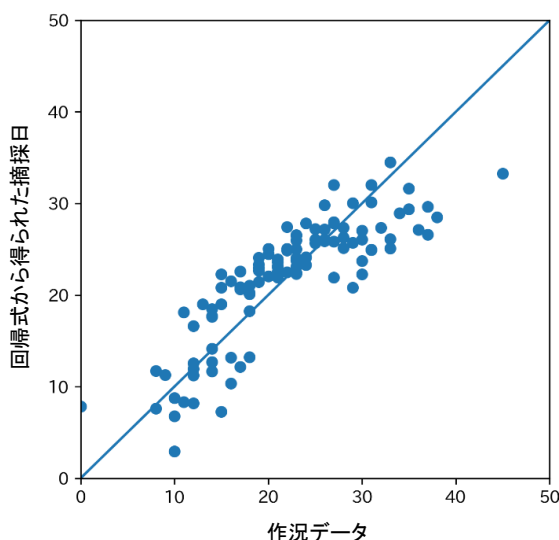


図 1-23 実際の摘採日（横軸）と回帰式から得られた摘採日（縦軸）の散布図

MRI-CGCM3、MIROC5で計算した静岡県における一番茶摘採期の現況再現の結果を図1-24、図1-25に示す。静岡県農林技術研究所茶業研究センターの作況園が位置する菊川牧之原においては、一番茶摘採期の現況再現値がMRI-CGCM3で5月8日、MIROC5で5月7日となった。一方、作況データの摘採日（1991～2000年の平均値）は5月7日であり、現況再現値との差はMRI-CGCM3で1日、MIROC50日と小さいため、一番茶摘採期が十分に再現されていることを確認した。

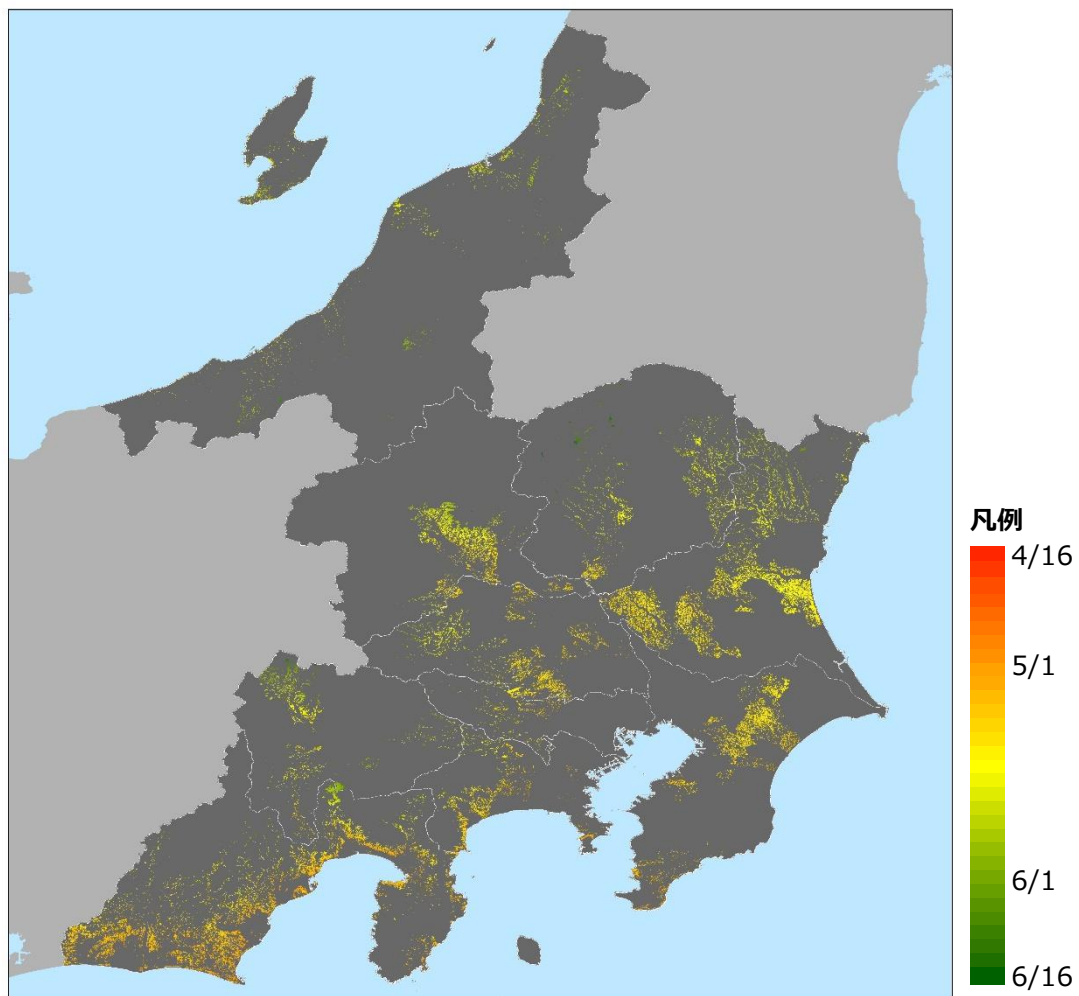


図 1-24 静岡県の一歩茶摘採期（現況再現結果、MRI-CGCM3）



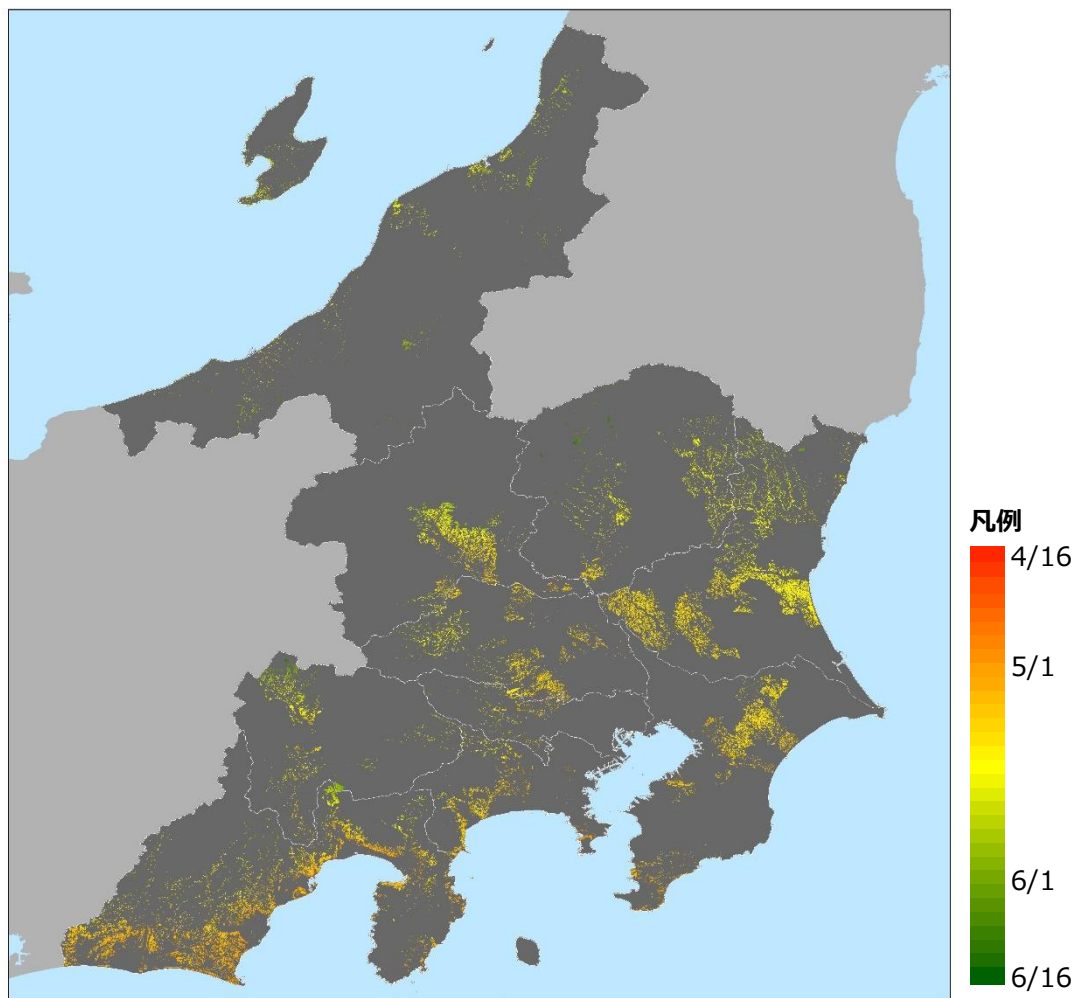
図 1-25 静岡県の一歩茶摘採期（現況再現結果、MIROC5）

MRI-CGCM3、MIROC5 で計算した関東地域における一歩茶摘採期の現況再現の結果を図 1-26、図 1-27 に示す。埼玉県茶業研究所の作況園において、一歩茶摘採期の現況再現値が MRI-CGCM3 で 5 月 14 日、MIROC5 で 5 月 13 日となった。一方、作況データの摘採期（1996～2005 年の平均値）は 5 月 17 日であり、現況再現値との差は MRI-CGCM3 で 3 日、MIROC5 で 4 日と小さいため、一歩茶摘採期が概ね再現されていることを確認した。



出典：公開の統計情報等（「国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ」、「農林業センサス 2015 年農林業センサス 確報 第 1 巻都道府県別統計書」）に基づき茶園の位置を表示している。行政区域は「国土数値情報 行政区域データ」を使用

図 1-26 関東地域の一番茶摘採期（現況再現結果、MRI-CGCM3）



出典：公開の統計情報等（「国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ」、「農林業センサス 2015 年農林業センサス 確報 第 1 巻都道府県別統計書」）に基づき茶園の位置を表示している。行政区域は「国土数値情報 行政区域データ」を使用

図 1-27 関東地域の一茶摘採期（現況再現結果、MIROC5）

1.3.6.2 一番茶萌芽期予測モデル

同様の手順で一番茶萌芽期モデルを作成した。得られた回帰式の補正済み決定係数は 0.610 と十分に大きかった。

$$\text{萌芽期} = -2.4124 \times t_3 - 1.5442 \times t_2 + 0.7741 \times t_1 + 45.7382 \quad (\text{ii})$$

萌芽期：相関解析に使用した作況データの中で最も早い萌芽期（3月21日）からの日数。萌芽期の月日を算出する際は算出された萌芽期に80を加える。

t3： 3月の日平均気温の月平均値

t2： 2月の日平均気温の月平均値

t1： 1月の日平均気温の月平均値

決定係数：0.621

補正済み決定係数：0.610

係数のp値：0.0000（t3）, 0.0000（t2）, 0.1002（t1）

1.3.7 影響予測に必要な入力パラメータ

摘採期及び萌芽期の予測を行うために必要なデータは、気候シナリオの平均気温データのみである。摘採期の予測には、予測期間全体の2月、3月、4月の日平均気温から月平均値を求めて使用した。萌芽期の予測には、予測期間全体の1月、2月、3月の日平均気温から月平均値を求めて使用した。

凍霜害リスクの確認に必要なデータは、気候シナリオの日最低気温データのみである。摘採期と萌芽期を予測した後、萌芽期の直前15日間の日最低気温4℃以下または3℃以下または2℃以下の日数と、萌芽期から摘採期にかけての日最低気温4℃以下の日数を集計して使用する。

表 1-11 影響予測に必要な入力パラメータ

予測対象	必要なパラメータ
一番茶摘採期	2月、3月、4月の日平均気温の月平均値
一番茶萌芽期	1月、2月、3月の日平均気温の月平均値
凍霜害リスク	萌芽期（予測値）の直前15日間から摘採期（予測値）までの日最低気温

1.3.8 影響予測における留意事項（制限事項）

作成した一番茶摘採期モデル、一番茶萌芽期モデルは、品種「やぶきた」を対象としていること、また気温以外の気象要素（例：降水量）を考慮していないことに留意が必要である。凍霜害リスクは萌芽期前から摘採期までの低温の発生日数で確認しており、茶芽の耐凍性、放射冷却、風、茶園の位置等の要因は考慮していないことに留意が必要である。

1.4 調査結果

1.4.1 文献調査結果

1.4.1.1 過去の研究における気候変動が茶栽培に与える影響に関する予測評価手法

これまで茶栽培に関する気候変動影響の予測評価では、茶の休眠を解除するための低温が秋冬期に確保されるかどうかという点に注目して全国を対象とする研究が行われてきた。水野（2002 年）は、日最低気温の月間平均の年間最低値に関するメッシュデータを用いて栽培地帯区分図を作成し、現在よりも 2℃、4℃、6℃気温上昇した場合の栽培適地の変化を調べている。岡本・平松（2016 年）は、気候シナリオデータを用いて将来の秋冬期の最低気温が一定温度以下となる日数を算出し、一番茶の減収が顕在化する地域を予測している。これらの研究では、現在でも栽培上の問題がある亜熱帯地域が拡大する懸念があること、秋冬期の低温期間が休眠覚醒の必要期間より短くなることで一番茶が正常に生育できず減収する可能性があること等の結果が得られている。

一方、茶の増収技術の開発と安定的な生産の視点から、気温・降雨と一番茶の収量との関係を調べた研究がある。倉貫（1988 年）は、20 年間のデータに基づいて秋から春（9 月から 4 月）までの日最高・日最低気温及び降水量と、作況調査園の一番茶収量との相関分析を行っている。この研究では、秋から春にかけての 11 の気温・降水量の説明変数を用いて一番茶収量の予測式（回帰式）を設定している。

また、海外の研究事例として、Duncan et al.（2016 年）は、インド・アッサム州の 82 の茶園を対象として、10 年間の気象データと収量データを用い、4 月から 10 月までの気温・降水量を説明変数とする茶収量の予測式（回帰式）を月ごと・7 ヶ月間で作成している。気温上昇と共に収量の増分が減少し、一定の気温を超えると収量が減ること、無降水期間が長くなることが収量に影響するという結論が導かれている。

1.4.1.2 静岡県における茶生産の状況

静岡県の茶園面積は、1988 年の 23,300ha をピークに減少傾向にあるものの、2017 年は 17,100ha と全国的茶園面積の約 4 割を占め、国内最大の産地となっている。品種別に見ると、やぶきた種が 15,734ha（2017 年）と県的茶園面積の 9 割以上となっている。やぶきた種は作況調査でも用いられている品種である。（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019 年）、静岡県茶業試験場（1978 年））

平成 29 年度では、静岡県内の市場で取引された静岡県内産の一番茶の約 9 割が 1kg あたり 1,000 円台以上であったのに対し、静岡県内産の二番茶の約 9 割が 1kg あたり 1,000 円未満であった。（株式会社静岡茶市場ホームページ）このことから、茶栽培農家にとって一番茶が重要な作物であることが分かる。

1.4.1.3 夏季の高温・少雨が茶栽培に与える影響

夏季の高温・少雨による茶栽培への影響に関する知見として、以下の情報が確認された。夏季の高温・少雨が茶樹に影響を与えているのは事実と考えられるが、茶の生産に及ぼす影響の程度は明らかになっておらず、相関分析等の定量的な知見も得られていない。

(1) 夏季の高温・少雨の期間中に見られた影響

1994 年から 1995 年夏にかけて 2 年連続で高温・少雨が発生した牧之原台地周辺の茶園では、干ばつが生じている期間中において、新芽生育の長期にわたる抑制、落葉・葉枯れ・枝枯れ、根系の発達停止・細根の枯死、着花・結実の著しい増加、葉色の著しい濃緑化、展開葉の矮化や形態変化等の特異な現象が観察された。(一般社団法人農山漁村文化協会 (2008 年))

(2) 夏季の高温・少雨がその年に摘まれる三番茶、翌年春に摘まれる一番茶に及ぼす影響

梅雨明け後の盛夏期に高気温と少雨が連日続くと茶樹が水分不足となり、三番茶芽など新しい芽が十分に伸びなくなり、秋の越冬葉層や新芽数が確保できなくなるという報告がある。(松尾 (2009 年))

翌年春に摘まれる一番茶への影響として、前述の 2 年連続で高温・少雨が発生した牧之原台地周辺の茶園では、新芽生育の異常(萌芽の遅延、芽数と芽重の減少等)、新芽の特性の異常(葉肉が薄い、葉数が少ない等)、新芽生育のバラつき等の現象が観察された。

(一般社団法人農山漁村文化協会 (2008 年)) また、実験を行った研究によれば、三番茶芽生育期(主に 7 月)、次いで四番茶芽生育期(9 月)における高温・少雨が翌年一番茶の収量に最も大きく影響するという報告がある。(中野 (2017 年))

1.4.1.4 凍霜害及びその要因

凍霜害とは、結霜によって植物体が凍結し、低温に弱い部分が凍死する被害である。茶では結霜が伴わない被害もある。茶の凍霜害は、茶芽の耐凍性、放射冷却による低温、風の組み合わせによって発生する。茶樹の耐凍性が低下する 3~4 月の低温による晩霜害によって生じるものが多く、冬芽を枯死させて翌年一番茶の新芽数の減少を引き起こす。(出典：茶代百科 I I (2008 年) 社団法人農産漁村文化協会)

- ・ 茶芽の耐凍性：静岡県における茶芽の耐凍性は、3 月上旬~下旬にかけてのわずか 1 週間ほどの期間で急激に低下すること、2 月下旬以降の気温が高いほど耐凍性が低下する時期が早まることが明らかにされている。
- ・ 放射冷却：太陽、大気中の水蒸気や二酸化炭素、茶樹、土壌、周辺の自然物や人造物などから生じる放射フラックス(単位時間にある面積を横切って流れる放射エネルギー)の収支によって、下から上方に向いた放射フラックスが上から下方に向けた放射フラックスよりも大きくなり、夜間に茶芽の温度が気温よりも低下する現象。放射冷却は、雲や風がある時は生じにくい。

1.4.2 有識者ヒアリングの結果

有識者ヒアリングより得られた知見及び助言を以下に示す。

1.4.2.1 影響評価に適した茶の生育・収量データ

農家は茶の生育や日々変わる売値を考慮しながら収穫日を調整することができるため、

通常の統計値では気候による茶の生産量への影響を捉えることが難しい。生育・収量については、研究機関が設置している専用茶園「作況園」（毎年同様の管理を実施）での作況調査に基づく作況データを使用することが適切である。

ただし、一番茶の生育・収量データには、夏の干ばつ、冬の寒さや干ばつ、春先の凍霜害、一番茶芽が伸びる時期の気象条件の影響や、茶園の管理方法の影響も含んでいる可能性があるため、注意が必要である。

1.4.2.2 夏季の高温・少雨が茶栽培に与える影響

少雨による茶樹への影響は、茶園が位置する土壌の保水力によっても異なる。火山活動由来の黒ボク土は、水が抜けにくく干ばつに強い。静岡県内の茶園のほとんどは赤黄色土に位置しており、火山活動由来の黒ボク土は伊豆など富士山周辺に限られる。

1.4.2.3 一番茶の摘採が早まることによるリスク及びリスクの評価方法

(1) 一番茶の摘採期間が短くなるリスク

- ・ 最適な摘採時期が過ぎると、収量は増加するが、葉の食物繊維が増加し旨味成分であるアミノ酸量が減少して明らかな品質低下を招く。また、一度に大量に摘採しようとするれば、摘採のための機械や加工所の処理量が不足する。そのため茶の生育が早まることで摘採期間が短縮すると、農家にとって問題となる。
- ・ 現在静岡県での一番茶の摘採期間は 1 週間程度で、農家は睡眠時間を削って摘採作業を行っている。摘採期間が 1 日でも短くなることは、農家にとって大きな負担となる。
- ・ 萌芽期の予測式（回帰式）を摘採期と同様に作成し、萌芽期から摘採期までの日数の変化を調べることで一番茶の摘採期間が短くなるかどうかを確認することができる。

(2) 凍霜害リスクの高まり

気候変動により摘採日が早まる場合、茶の生育が進んでからの冷え込みによる凍霜害リスクが高まる可能性がある。しかし、茶芽の耐凍性を簡易に検定する手法がないことから、凍霜害リスクを定量的に評価するのは困難である。

(3) 山地と平地で摘採時期が近づくリスク

静岡県の茶園で栽培されている茶樹の約 9 割はやぶきた種であり、同じ品種を山地と平地で栽培することにより摘採時期を分散させている。一方、鹿児島県では茶園の多くが平地にあり、摘採時期が異なる品種を栽培することにより摘採時期を分散させている。山地と平地で摘採時期が近付けば、静岡県でも鹿児島県と同様の対応が必要となる可能性がある。

(4) 他県の茶産地の摘採時期と近づくリスク

他県の産地と摘採時期が近付けば一番茶が一度に市場に出てしまい、茶葉の価格が低

下するリスクとなる。

(5) 秋冬季の低温不足による休眠覚醒への影響に伴う一番茶の減収

- ・ 一番茶の摘採日が 21 世紀末に最大で 2 週間程度早まると試算されている。確かに春先の気温上昇で摘採日は早まることが想定されるが、2 週間早まるような条件では、秋から冬にかけての低温不足のために摘採日が遅くなることや一番茶の収量が減少する可能性も考えられる。
- ・ 茶の休眠には気温だけでなく日長も関係するため、最低気温の上昇のみで休眠覚醒への影響を確認することは困難である。

(6) 茶の生長期間が長くなることによる農家の管理負担の増加

- ・ 一番茶の摘採時期が早まるとの予測結果は、気温上昇に伴い茶樹の生長開始時期が早まるということである。一方、茶樹は秋に生長が止まる。温暖化に伴い秋の気温も上昇するであろうことから、将来、茶の生長が止まる時期が遅くなることが予想される。
- ・ 秋の生長停止時期が遅くなり、春の生長開始時期が早まるということは、茶樹の生長期間が長くなることを意味する。干ばつ、大雨、病虫害対策といった生長期間中の栽培管理は冬の生育停止期間中の栽培管理よりも手間がかかるため、農家の負担が増えることが懸念される。
- ・ 茶の生長期間が延びることに関して、枝を刈る回数が増える可能性は確かに考えられるが、農家は茶を収穫しない時期には畑をそれほど管理しないのではないかとと思われる。また、気温上昇により、雑草は増えるかもしれないが、もともと茶園は辺縁部を除いて雑草が生えにくい。一方、気温上昇により害虫の発生ピークが 1 回程度増え、薬剤散布回数が増える可能性がある。新規の病虫害が発生するというリスクは十分に考えられる。

1.4.3 観測や実証実験の結果

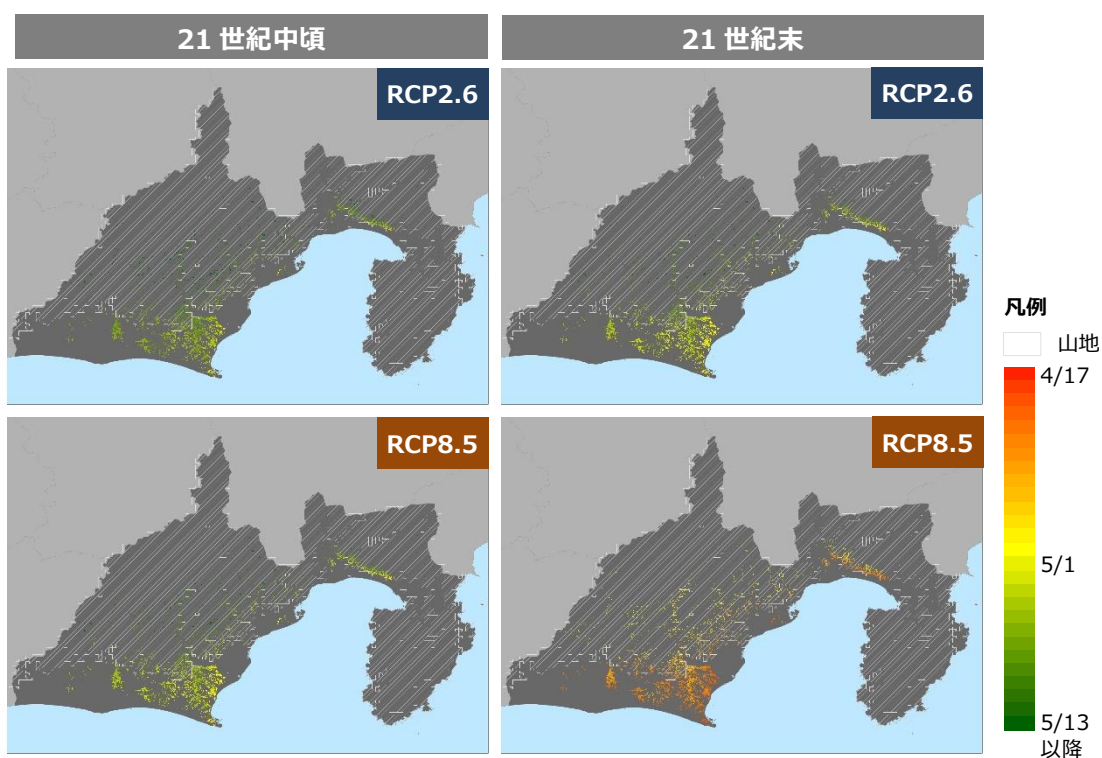
観測及び実証実験は行っていない。

1.4.4 気候変動影響予測結果

1.4.4.1 静岡県の摘採期予測結果

静岡県の一番茶摘採期を MRI-CGCM3 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 1~2 日程度、21 世紀末で 3~4 日程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 3~4 日程度、21 世紀末で 2 週間程度早まると予測された（図 1-28）。

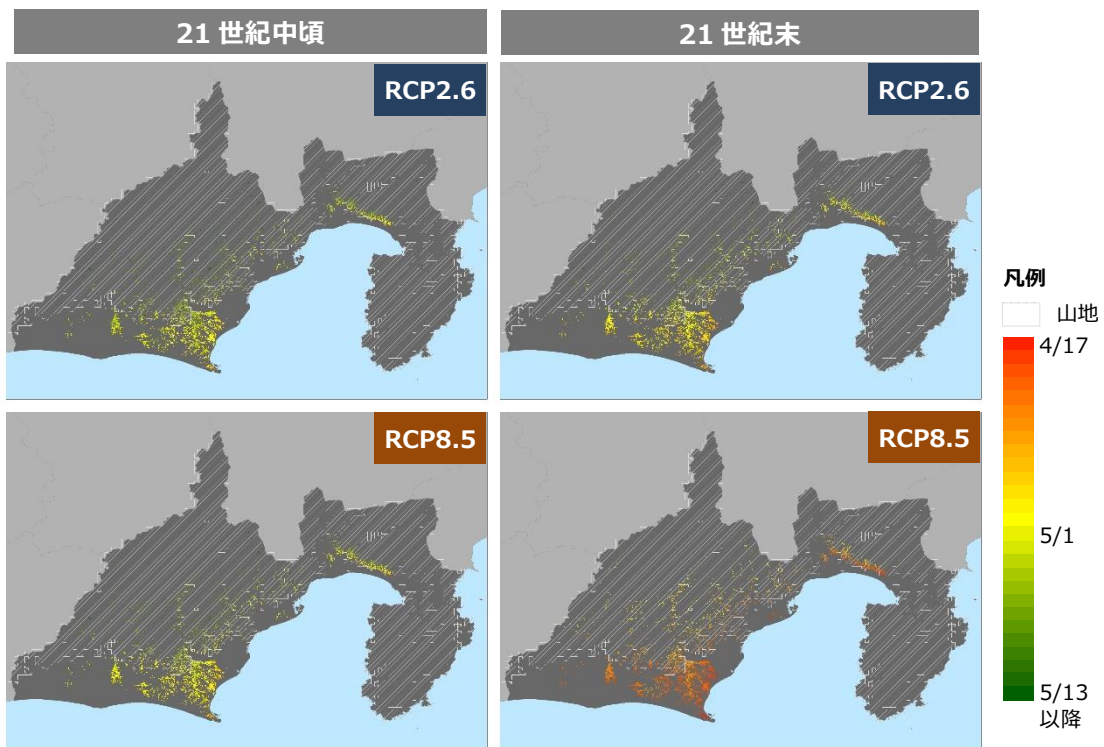
また、MIROC5 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 4~5 日程度、21 世紀末で 1 週間程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 5~6 日程度、21 世紀末で 2 週間程度早まると予測された（図 1-29）。



図中の斜線は山地を示す。

出典：行政区画は「国土数値情報 行政区画データ」を使用、静岡県の茶園位置図は、「国土数値情報土地利用細分メッシュデータ」をパシフィックコンサルタンツ株式会社が加工して作成

図 1-28 静岡県の一発茶摘採期予測（MRI-CGCM3）



図中の斜線は山地を示す。

出典：行政区画は「国土数値情報 行政区画データ」を使用、静岡県の茶園位置図は、「国土数値情報土地利用細分メッシュデータ」をパシフィックコンサルタンツ株式会社が加工して作成

図 1-29 静岡県の一番茶摘採期予測（MIR0C5）

静岡県農林技術研究所茶業研究センターの所在地である菊川牧之原、及び、静岡県内 15 地点の主要茶産地における一番茶摘採期の予測結果を表 1-12、表 1-13 に示す。また、対象とした地点を図 1-30 に示す。



図 1-30 静岡県の主要茶産地

表 1-12 静岡県内茶産地の一番茶摘採期予測結果（MRI-CGCM3）

No	市町村	地域	現在	21 世紀中頃		21 世紀末	
				RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
1	—	菊川牧之原	5 月 8 日	5 月 7 日	5 月 5 日	5 月 4 日	4 月 24 日
2	富士市	大渕	5 月 15 日	5 月 14 日	5 月 11 日	5 月 11 日	5 月 1 日
3	静岡市	葵区内牧	5 月 8 日	5 月 6 日	5 月 4 日	5 月 4 日	4 月 24 日
4	島田市	湯日	5 月 8 日	5 月 7 日	5 月 5 日	5 月 4 日	4 月 24 日
5	島田市	川根町抜里	5 月 11 日	5 月 10 日	5 月 7 日	5 月 7 日	4 月 27 日
6	川根本町	藤川（小井平）	5 月 14 日	5 月 13 日	5 月 10 日	5 月 10 日	4 月 30 日
7	藤枝市	蔵田	5 月 18 日	5 月 17 日	5 月 14 日	5 月 14 日	5 月 4 日
8	牧之原市	片浜	5 月 5 日	5 月 3 日	5 月 1 日	5 月 1 日	4 月 21 日
9	牧之原市	坂部	5 月 4 日	5 月 3 日	5 月 1 日	5 月 1 日	4 月 21 日
10	掛川市	東山	5 月 12 日	5 月 11 日	5 月 9 日	5 月 9 日	4 月 28 日
11	御前崎市	白羽	5 月 3 日	5 月 1 日	4 月 29 日	4 月 29 日	4 月 19 日
12	菊川市	棚草	5 月 8 日	5 月 6 日	5 月 4 日	5 月 4 日	4 月 24 日
13	菊川市	倉沢	5 月 9 日	5 月 8 日	5 月 5 日	5 月 5 日	4 月 25 日
14	菊川市	西方	5 月 5 日	5 月 4 日	5 月 2 日	5 月 1 日	4 月 22 日
15	菊川市	内田	5 月 4 日	5 月 3 日	5 月 1 日	5 月 1 日	4 月 21 日
16	浜松市	天竜区懷山	5 月 14 日	5 月 12 日	5 月 10 日	5 月 10 日	4 月 30 日

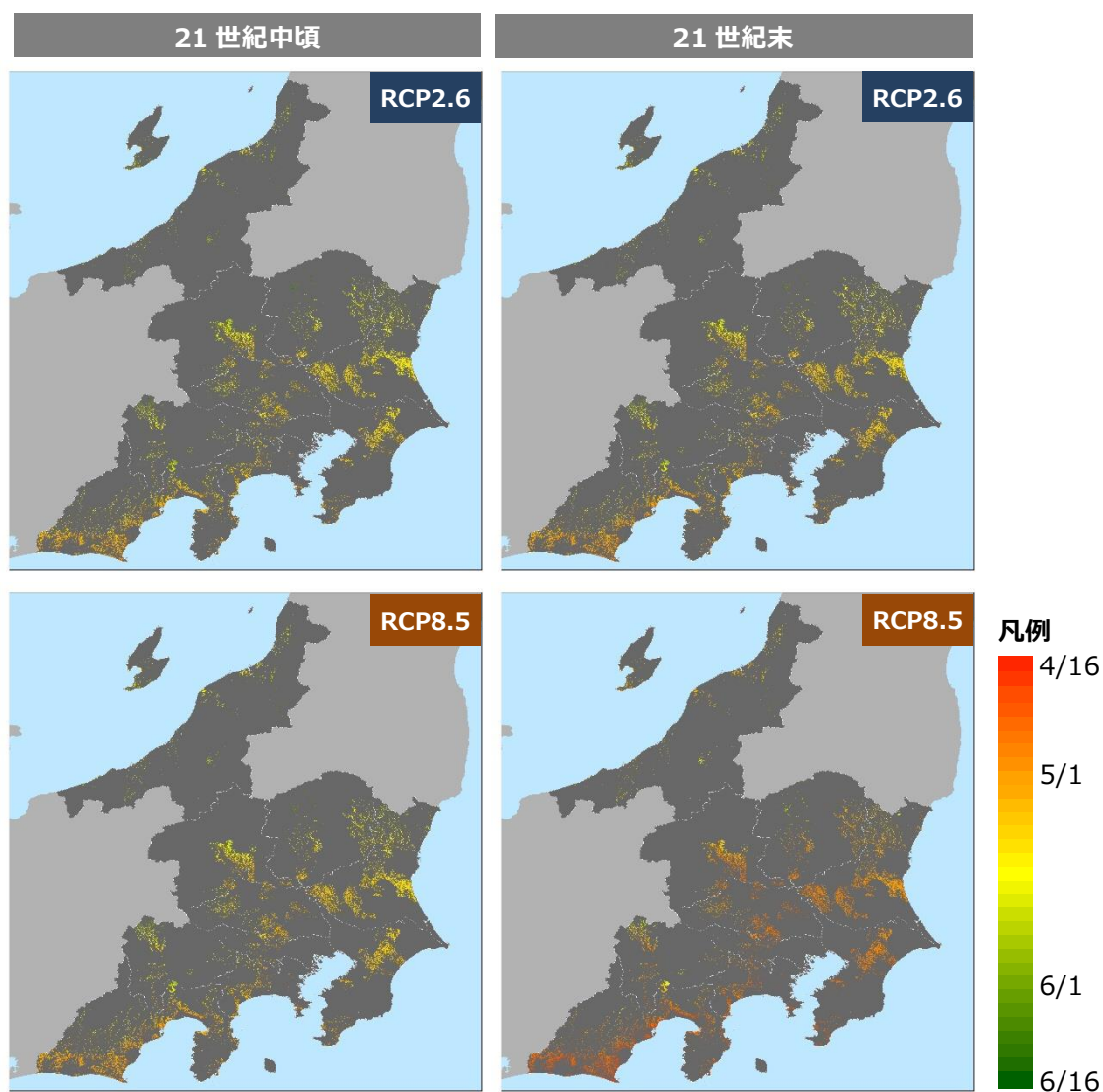
表 1-13 静岡県内茶産地の一番茶摘採期予測結果（MIR0C5）

No	市町村	地域	現在	21 世紀中頃		21 世紀末	
				RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
1	—	菊川牧之原	5 月 7 日	5 月 3 日	5 月 2 日	4 月 30 日	4 月 23 日
2	富士市	大渕	5 月 14 日	5 月 10 日	5 月 8 日	5 月 7 日	4 月 29 日
3	静岡市	葵区内牧	5 月 7 日	5 月 2 日	5 月 1 日	4 月 30 日	4 月 22 日
4	島田市	湯日	5 月 7 日	5 月 3 日	5 月 1 日	4 月 30 日	4 月 23 日
5	島田市	川根町抜里	5 月 10 日	5 月 6 日	5 月 4 日	5 月 3 日	4 月 25 日
6	川根本町	藤川（小井平）	5 月 13 日	5 月 9 日	5 月 7 日	5 月 6 日	4 月 28 日
7	藤枝市	蔵田	5 月 17 日	5 月 13 日	5 月 11 日	5 月 10 日	5 月 2 日
8	牧之原市	片浜	5 月 4 日	4 月 30 日	4 月 28 日	4 月 27 日	4 月 19 日
9	牧之原市	坂部	5 月 3 日	4 月 29 日	4 月 28 日	4 月 27 日	4 月 19 日
10	掛川市	東山	5 月 11 日	5 月 7 日	5 月 6 日	5 月 5 日	4 月 27 日
11	御前崎市	白羽	5 月 2 日	4 月 28 日	4 月 26 日	4 月 25 日	4 月 17 日
12	菊川市	棚草	5 月 7 日	5 月 2 日	5 月 1 日	4 月 30 日	4 月 22 日
13	菊川市	倉沢	5 月 8 日	5 月 4 日	5 月 2 日	5 月 1 日	4 月 23 日
14	菊川市	西方	5 月 4 日	4 月 30 日	4 月 29 日	4 月 28 日	4 月 20 日
15	菊川市	内田	5 月 3 日	4 月 29 日	4 月 28 日	4 月 27 日	4 月 19 日
16	浜松市	天竜区懷山	5 月 13 日	5 月 9 日	5 月 7 日	5 月 6 日	4 月 28 日

1.4.4.2 関東地域の摘採期予測結果

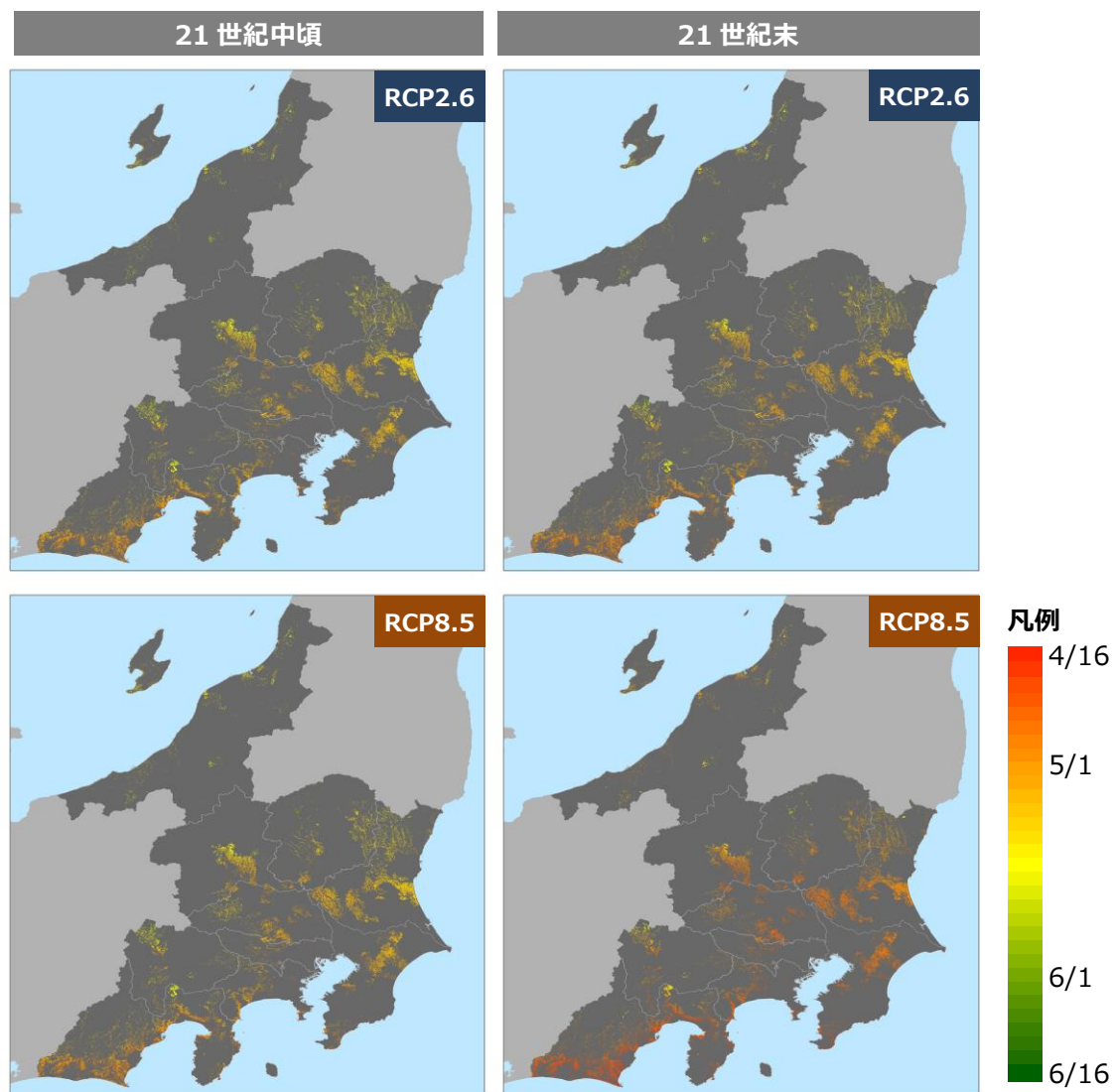
関東地域の一番茶摘採期を MRI-CGCM3 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 1~2 日程度、21 世紀末で 3~4 日程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 3~4 日程度、21 世紀末で 2 週間程度早まると予測された（図 1-31）。

また、MIROC5 で予測した結果、現在と比較して、RCP2.6 では 21 世紀中頃で 4~5 日程度、21 世紀末で 1 週間程度、RCP8.5 では 21 世紀中頃で 1 週間程度、21 世紀末で 2 週間~16 日程度早まると予測された（図 1-32）。



出典：公開の統計情報等（「国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ」、「農林業センサス 2015 年農林業センサス 確報 第 1 巻都道府県別統計書」）に基づき茶園の位置を表示している。行政区画は「国土数値情報 行政区画データ」を使用

図 1-31 関東地域の一番茶摘採期予測（MRI-CGCM3）



出典：公開の統計情報等（「国土数値情報 土地利用細分メッシュデータ」、「農林業センサス 2015 年農林業センサス 確報 第 1 巻都道府県別統計書」）に基づき茶園の位置を表示している。行政区画は「国土数値情報 行政区画データ」を使用

図 1-32 関東地域の一番茶摘採期予測（MIR0C5）

1.4.4.3 一番茶の生育期間が早まることによるリスクの確認結果

(1) 摘採期の早期化

茨城県、埼玉県、静岡県、の茶研究機関での一番茶摘採期の予測結果を表 1-14 に示す。

MRI-CGCM3 の場合、茨城県、埼玉県、静岡県では、関東地域の一番茶の摘採期は 21 世紀中頃で 1 (RCP2.6) ～4 日 (RCP8.5)、21 世紀末で 4 (RCP2.6) ～15 日 (RCP8.5)、現在 (1981～2000 年) よりも早まる結果となった。

MIROC5 場合、21 世紀中頃で 4 日 (RCP2.6) ～1 週間、21 世紀末で 1 週間 (RCP2.6) ～16 日、現在よりも早まる結果となった。

表 1-14 一番茶摘採期の予測結果（MRI-CGCM3、MIROC5）

気候モデル	県	市町村	現在	21 世紀中頃		21 世紀末	
				RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
MRI-CGCM3	茨城県	久慈郡大子町	5 月 20 日	5 月 18 日	5 月 16 日	5 月 16 日	5 月 6 日
			－	－2	－4	－4	－14
	埼玉県	入間市上谷ヶ貫	5 月 14 日	5 月 12 日	5 月 10 日	5 月 10 日	4 月 29 日
			－	－2	－4	－4	－15
	静岡県	菊川市倉沢	5 月 8 日	5 月 7 日	5 月 5 日	5 月 4 日	4 月 24 日
			－	－1	－3	－4	－14
MIROC5	茨城県	久慈郡大子町	5 月 19 日	5 月 14 日	5 月 13 日	5 月 12 日	5 月 3 日
			－	－5	－6	－7	－16
	埼玉県	入間市上谷ヶ貫	5 月 13 日	5 月 8 日	5 月 6 日	5 月 5 日	4 月 27 日
			－	－5	－7	－8	－16
	静岡県	菊川市倉沢	5 月 7 日	5 月 3 日	5 月 2 日	4 月 30 日	4 月 23 日
			－	－4	－5	－7	－14

茨城県、埼玉県、静岡県の茶研究機関の位置の予測結果を示している

(2) 摘採期間の短縮

茨城県、埼玉県、静岡県の茶研究機関での一番茶萌芽期から摘採期までの所要日数（一番茶摘採期間の指標であり、一番茶芽の生育速度を表す）の予測結果を表 1-15 に示す。現在と比較した結果、MIROC5 の RCP2.6 及び RCP8.5 では、21 世紀末に 2 日間程度短縮すると予測された。一方、MRI-CGCM3 ではほとんど変化がなかった。このことから、気温上昇による摘採期間への影響には不確実性があるという結果となった。

表 1-15 一番茶の萌芽期から摘採期までの所要日数（MRI-CGCM3、MIROC5）

気候モデル	県	市町村	現在	21 世紀中頃		21 世紀末	
				RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
MRI-CGCM3	茨城県	久慈郡大子町	27.9	27.1	28.1	27.6	28.4
			－	－0.7	0.3	－0.2	0.5
	埼玉県	入間市上谷ヶ貫	27.1	26.1	27.4	27.0	27.4
			－	－1.0	0.2	－0.1	0.3
	静岡県	菊川市倉沢	26.9	25.9	27.4	26.9	26.8
			－	－0.9	0.6	0.0	－0.1
MIROC5	茨城県	久慈郡大子町	27.9	26.6	27.4	25.8	25.7
			－	－1.2	－0.5	－2.1	－2.2
	埼玉県	入間市上谷ヶ貫	27.9	26.3	27.1	25.5	25.6
			－	－1.6	－0.8	－2.4	－2.3
	静岡県	菊川市倉沢	27.8	26.3	26.6	25.6	25.4
			－	－1.5	－1.2	－2.3	－2.4

茨城県、埼玉県、静岡県の茶研究機関の位置の予測結果を示している

(3) 凍霜害発生の早期化

凍霜害は茶芽の耐凍性、放射冷却による低温、風、茶園の位置等の複数の要因で発生するが、本調査では、凍霜害が生じうる低温（日最低気温）の発生回数を対象として、将来の凍霜害リスクを予測した。

凍霜害リスクが生じる期間は、関東地域の茶栽培で防霜対策が開始される萌芽期より前 15 日間（静岡県経済産業部農林業局茶業農産課（2015 年））から摘採期までとした。この期間のうち、萌芽期以前では凍霜害は零下で発生するが、萌芽期後では 2℃程度でも発生するため、凍霜害リスクが生じうる日最低気温の条件を萌芽期の前後で分けた。萌芽期より前では日最低気温が 4℃以下、3℃以下、2℃以下の 3 通り、萌芽期以降摘採期までは 4℃以下（関東地域の広い範囲で使用されている霜注意報発表基準（気象庁））とした。各予測期間の 20 年間であてはまる日数を数え、年間値に換算した。

静岡県、埼玉県、茨城県の茶研究機関の位置で凍霜害リスクを確認した結果を図 1-33、図 1-34 に示す。静岡県では MRI-CGCM3、MROC5 の両モデルにおいて、21 世紀中頃から 21 世紀末にかけて凍霜害リスクの減少傾向が確認された。一方、埼玉県では、MRI-CGCM3 の場合、RCP2.6 で 21 世紀中頃から 21 世紀末にかけて凍霜害リスクが上昇し、MROC5 では RCP8.5 で凍霜害リスクが上昇する結果となった。茨城県でも MRI-CGCM3 の RCP2.6 で 21 世紀中頃から 21 世紀末にかけて凍霜害リスクが上昇するが、RCP8.5 では MRI-CGCM3、MIROC5 の両モデルで凍霜害リスクが減少する傾向がみられた。

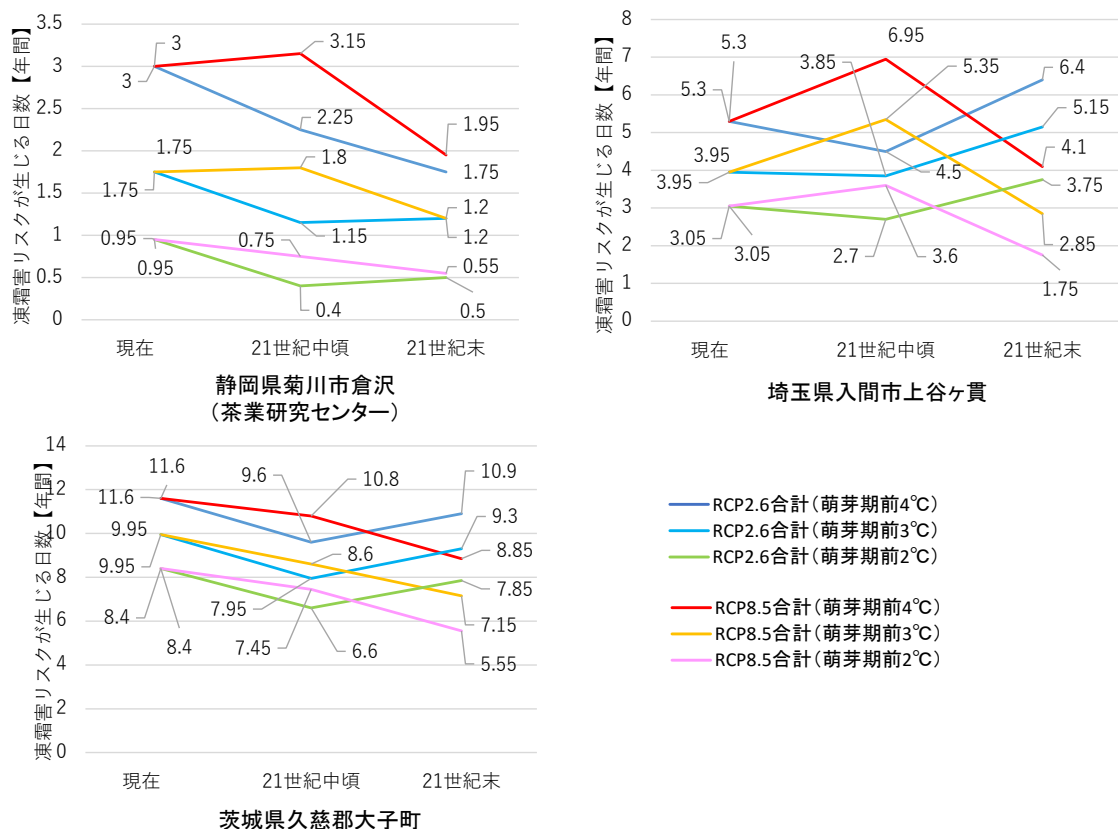


図 1-33 凍霜害リスクの予測結果（MRI-CGCM3）

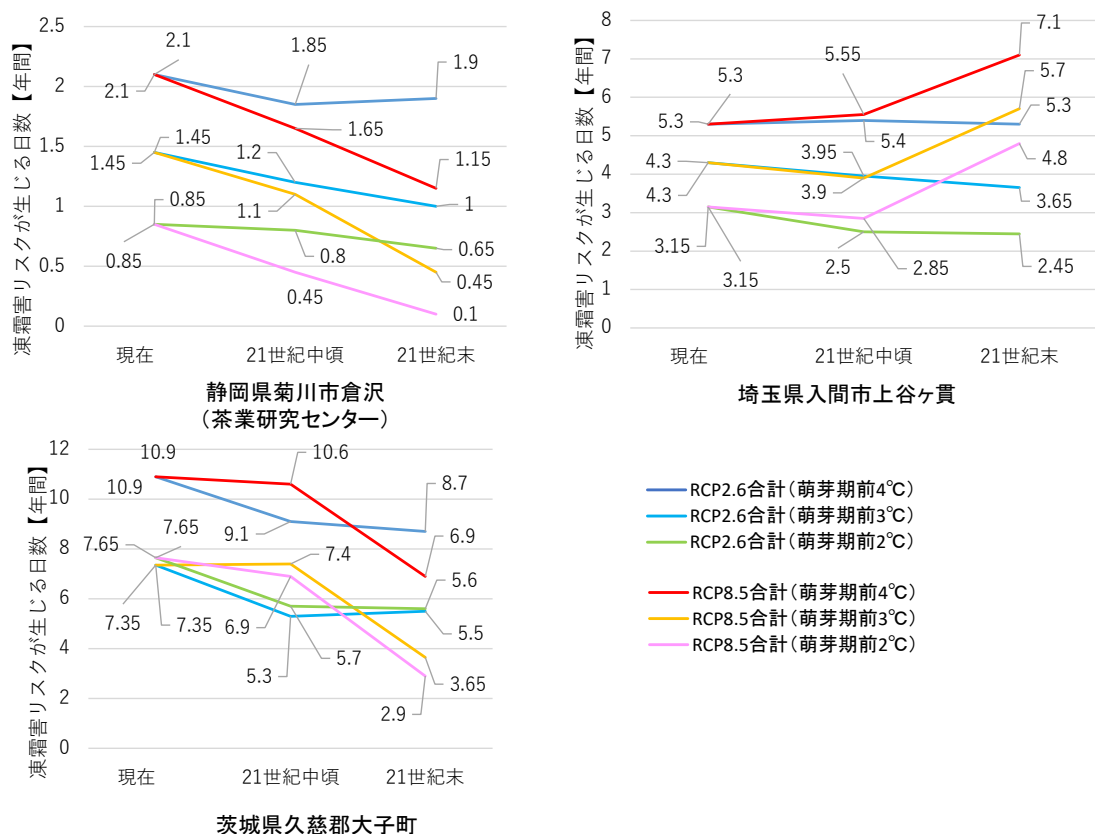


図 1-34 凍霜害リスクの予測結果 (MIROC5)

1.4.4.4 山地・平地の摘採期間の接近 (静岡県)

静岡県の山地と平地の摘採期 (平均値) の差を 21 世紀中頃、21 世紀末で確認した結果、MRI-CGCM3、MIROC5 の両モデルで現在と同程度の差 (6~7 日) となり、将来の気温上昇は、静岡県の山地と平地の摘採期の差に変化を生じさせない結果となった (表 1-16)。

表 1-16 山地と平地の一番茶摘採期の差 (静岡県) (MRI-CGCM3、MIROC5)

気候モデル	現在	21 世紀中頃		21 世紀末	
		RCP2.6	RCP8.5	RCP2.6	RCP8.5
MRI-CGCM3	7 日	7 日	6 日	7 日	7 日
MIROC5	7 日	6 日	6 日	7 日	6 日

1.4.5 結果を活用する上での留意点・制限事項

本調査では、一番茶に着目し、気候変動による気温上昇が摘採期に与える影響と、それに伴う 4 つのリスク (摘採期の早期化、摘採期間の短縮、凍霜害発生の早期化、山地・平地の摘採期間の接近⁸⁾) を評価した。

一番茶の摘採期には、気温以外にも下記の要素が影響すると考えられるが、本調査において気候変動影響予測を実施するに当たり、下記の影響は考慮していないことに留意が必要

⁸⁾ 山地・平地の摘採期間の接近リスクは、静岡県のみを対象として確認した。

である。

- ・ 降水量の変化による影響（統計解析では春先の降水量と一番茶摘採日との間に弱い相関が認められた）
- ・ 土壌の違いによる影響

また、凍霜害リスクの確認では、低温以外にも下記の要素が影響すると考えられるが、本調査において下記は考慮していないことに留意が必要である。

- ・ 茶芽の耐凍性
- ・ 放射冷却
- ・ 風
- ・ 茶園の位置

なお、茶研究機関の作況調査では品種「やぶきた」を栽培しているため、本調査で作成した一番茶摘採期モデル、一番茶萌芽期モデルは「やぶきた」のみに適用可能な予測モデルであることにも留意が必要となる。

1.5 適応オプション

1.5.1 手順

適応オプションの検討手順を図 1-35 に示す。

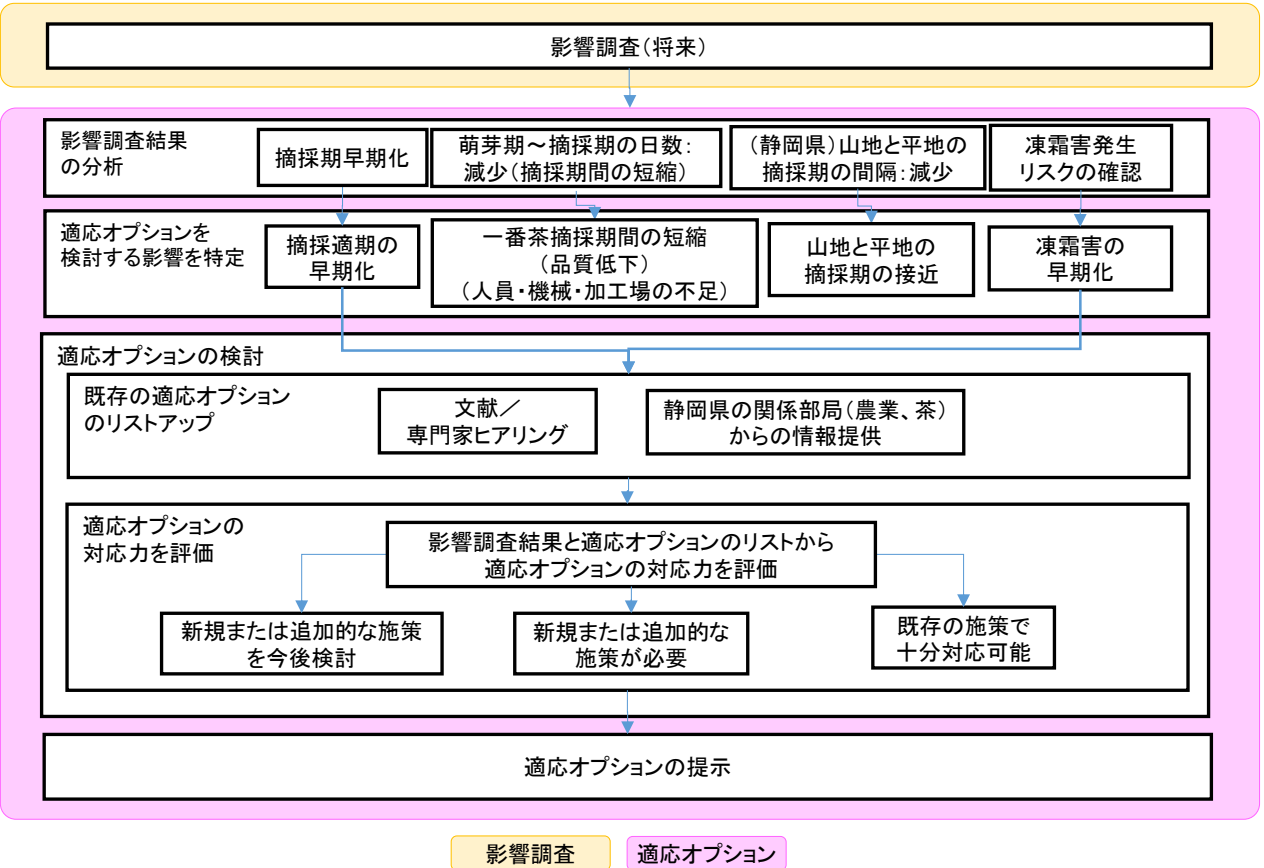


図 1-35 適応オプションの検討手順

1.5.2 概要

影響予測結果でリスクがあると確認された「摘採期の早期化」、「凍霜害の早期化」について、適応オプションの概要を表 1-17、適応オプションの根拠（出典、考え方）を表 1-18 に示す。

表 1-17 適応オプションのまとめ

対応する リスク	適応 オプション	想定される 実施主体			評価結果								備考
					現状		実現可能性				効果		
		行政	事業者	個人	普及 状況	課題	人的 側面	物的 側面	コス ト面	情報 面	効果発現 までの 時間	期待され る効果の 程度	
摘採期の早期化	茶芽の生育ステージの調査・確認		●		普及が進んでいる	・気温上昇により茶の生育期間が早期化する可能性について周知が必要 ・どの程度効果があるのか予測が難しい	◎	◎	◎	◎	中期	低	一番茶芽の生育調査・確認には、個人差があるため、統一的な方法の検討が必要。
摘採期の早期化	茶芽生育ステージの正確・客観的判断による作業計画の策定	●	●		0%	・研究段階の技術であるため、実用化が必要 ・実用化後の活用状況が未知	△	△	△	△	短期	高	多くの農家に利用されるための手法の検討が必要。
摘採期の早期化	複数品種の組み合わせによる摘採期間の分散	●	●		8.5% (静岡県)	・実施されている「やぶきた」種以外の品種導入の更なる促進 ・気温上昇による摘採時期への影響について、他品種の研究が必要	△	△	△	△	長期	高	普及率（8.5%）は、静岡県でやぶきた以外の品種が栽培されている面積を県の茶園面積で除した値（2018年）。
凍霜害の早期化	防霜対策開始日の早期化（送風法）	●	●		普及が進んでいない	・いつ・どの程度、防霜対策を早めることが適切か、判断が難しい ・冬季の温暖化が一番茶芽の耐凍性に及ぼす影響についての研究が必要	◎	○	◎	△	短期	高	静岡県では 9,144ha（静岡県の全茶園面積の 55%に相当、2018年）の茶園で防霜施設が設置されている。

表 1-18 適応オプションの考え方と出典

適応オプション	適応オプションの考え方と出典
茶芽の生育ステージの調査・確認	<ul style="list-style-type: none"> ・ 旨味成分であるアミノ酸の新芽における含有量は摘採適期以後に急減するため、摘採適期を逃すと品質が低下する。一方で過去の一番茶摘採日は、春先の気温上昇に伴って変動を伴いながら早まる傾向が見られる。これらのことから、今後の気温上昇に伴い茶の生育期間が早期化し、一番茶の摘採適期を逃すことによる品質低下の可能性が懸念される。 ・ 茶芽の生育確認、及びそれに基づく生育予測は既に実施されている一方、生育予測には個人差がある。そのため、温暖化による摘採期の早期化について周知し、更なる茶芽の生育確認を促したとしても、適切に実行されない可能性、摘採期が集中することにより摘採適期を逃す可能性がある。従って、「期待される効果の程度」を「低」とした。
茶芽生育ステージの正確・客観的判断による作業計画の策定	<ul style="list-style-type: none"> ・ 春先の気温上昇により茶の生育期間が早期化し、病虫害の防除を含めた摘採までの作業の前倒しが必要となる可能性がある。 ・ 樹冠面を撮影した画像から、人工知能が開葉期を客観的に高い精度で推定する技術が開発されている（牧・中野（2018））。この技術が導入されれば、短期間に高い効果が得られる。 ・ 農業協同組合（JA）及び製茶機メーカーが協働し、センサーで気象情報等を測定した結果をインターネットで配信しているものの、利用者数が少ないことが課題として挙げられている（中野敬之（2019年））。同様の状況となる可能性も考えられるため「課題」に「実用化後の活用状況が未知」を挙げた。
複数品種の組み合わせによる摘採期間の分散	<ul style="list-style-type: none"> ・ 春先の気温上昇により一番茶の摘採期間が早期化し、摘採期が集中する問題が解消されない可能性がある。これに対し、早晚性がやぶきた種と異なる品種を組み合わせることで摘採時期を分散させることが可能となる。 ・ 普及率については、やぶきた種以外の品種が栽培されている茶園面積を静岡県茶園面積で除した（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019年）より、「県内品種別茶園面積」（平成30年）を用いて算出）。 ・ 課題として挙げた「気温上昇による摘採時期への影響について、他品種の研究が必要」は、アドバイザーへのヒアリング結果による。 ・ 茶樹は、定植してから収量が安定するまでに5～8年程度かかるため、効果発現までの時間を「長期」とした。
防霜対策開始日の早期化（送風法）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 春先の気温上昇により一番茶芽の生育期間が早期化し、凍霜害の発生が早期化する可能性がある。これに対し、送風法（防霜ファン）の開始期を早めることで凍霜害に遭うリスクを低減させる。 ・ 静岡県では9,144ha（静岡県の全茶園面積の55%に相当）の茶園で防霜施設が設置されている（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019年）より、「防霜施設設置状況」（平成30年））。このことから実現可能性の物的側面を○（既存の技術に基づく物資設備で対応可能）とした。

1.5.3 茶芽の生育ステージの調査・確認

(1) 実施を想定する地域

- ・ 静岡県

(2) 気候変動影響

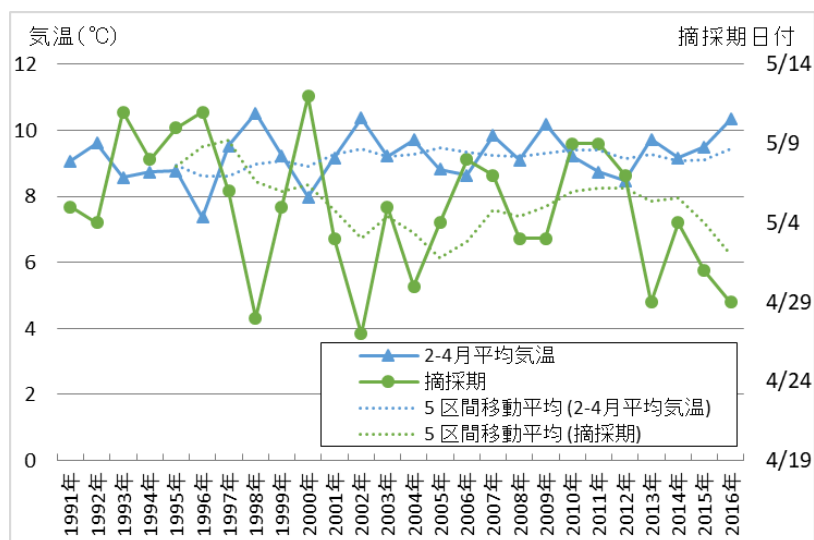
- ・ 春先の気温上昇により生育期間が早まり、一番茶の摘採適期を逃すことによる品質低下の可能性がある。

(3) 技術・特徴・期待される効果など

- ・ 一番茶芽の生育をよく観察することにより、適期摘採が行えるようにする。
- ・ 慣行的に、一番茶では5日間に1枚の新葉が開くと想定し、1枚目の開葉後に残り4枚の開葉日数を計算することにより、おおよその摘採日を予測している。予測には個人差がある。

(4) その他情報

- ・ 過去の一番茶摘採日は、春先の気温上昇に伴って変動を伴いながら早まる傾向が見られる（図 1-36）。
- ・ 旨味成分であるアミノ酸の新芽における含有量は、摘採適期前に最高に達した後、摘採適期には60%弱に減少し、以後引き続き急減する（袴田・前原（1978年））。そのため、摘採適期を逃すと品質が低下する。



出典：静岡県農林技術研究所茶業研究所の作況データ、アメダス観測値（菊川牧之原）より作成

図 1-36 2月～4月の平均気温と一番茶摘採日（静岡県茶業研究センター）

1.5.4 茶芽生育ステージの正確・客観的判断による作業計画の策定

(1) 実施を想定する地域

- ・ 静岡県

(2) 気候変動影響

- ・ 春先の気温上昇により生育期間が早期化し、病害虫の防除を含めた摘採までの作業計画の前倒しが必要となる可能性がある。

(3) 技術・特徴・期待される効果など

- ・ 樹冠面を撮影した画像を人工知能が一番茶の開葉数を推定する技術を用いて、一番茶の摘採適期情報を配信することにより、適切な作業計画の策定に役立てる。

(4) その他情報

- ・ 樹冠面を撮影した画像から、人工知能が開葉期を客観的に推定する技術が開発されている（牧・中野（2018））。

1.5.5 複数品種の組み合わせによる摘採期間の分散

(1) 実施を想定する地域

- ・ 静岡県

(2) 気候変動影響

- ・ 春先の気温上昇により一番茶の摘採期間が早期化し、摘採期が集中する問題が解消されない可能性がある。

(3) 技術・特徴・期待される効果など

- ・ 早晩性がやぶきた種と異なる品種を組み合わせることにより、摘採時期を分散させる。

(4) その他情報

- ・ 静岡県では、品種「やぶきた」が茶園面積の9割以上を占めており、摘採期の集中を招いている（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019年））。
- ・ 気象反応特性は品種によって異なる可能性があるため、気温上昇により摘採時期がどの程度早まるかについて、他品種の調査が必要。
- ・ 品種「やぶきた」の生産が9割以上を占めていることが、現在既に、摘採期の集中、過重労働、工場的大型化、コスト高といった問題を生じさせている。
- ・ 静岡県では県奨励品種、市町村では戦略品種を設定し、早晩性が「やぶきた」と異なる品種などの普及を推進している（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019年））。

1.5.6 防霜対策開始日の早期化（送風法）

（1）実施を想定する地域

- ・ 静岡県

（2）気候変動影響

- ・ 春先の気温上昇により一番茶芽の生育期間が早期化し、凍霜害の発生が早期化する可能性がある。

（3）技術・特徴・期待される効果など

- ・ 送風法（防霜ファン）の開始期を早めることで、凍霜害に遭うリスクを低減させる。

（4）その他情報

- ・ 静岡県では防霜ファンの導入が進んでいるため、防霜ファンでの凍霜害対策の早期化が重要となる。
- ・ 通常、防霜対策は萌芽期の2週間前から実施することとなっている。
- ・ 散水氷結法は防霜よりも高い効果が得られるが、大量の水を使用することが普及の障害となっている。
- ・ 冬季の温暖化が春季の茶芽の耐凍性に及ぼす影響についての研究が必要。
- ・ 防霜ファンは、空気を攪拌して茶樹の周りの温度を上げることで凍霜害の発生を抑制する効果がある。
- ・ 平成30年度における防霜ファンの整備状況は9,144 ha（お茶振興課による推計値）、静岡県の茶園面積は平成30年度で16,500 ha（静岡県経済産業部農業局お茶振興課（2019年））。