

平成29年度 委託プロジェクト研究
「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」
最終年度報告書

13405363

農林業に係る気候変動の影響評価

| | |
|----------------|---|
| 研究実施期間 | 平成25年度～平成29年度（5年間） |
| 代表機関 | 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター |
| 研究開発責任者 | 宮田 明 |
| 共同研究機関 | 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構（東北農業研究センター、中央農業研究センター、果樹茶業研究部門、野菜花き研究部門、西日本農業研究センター、北海道農業研究センター、畜産草地研究部門、九州沖縄農業研究センター） |
| | 国立大学法人 岐阜大学 応用生物科学部 |
| | 国立大学法人 京都大学 大学院農学研究科 |
| | 国立大学法人 岡山大学 農学部 |
| | 国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 |
| | 岐阜県中山間農業研究所 |
| | 長野県果樹試験場 |
| | 静岡県農林技術研究所 |
| | 岐阜県農業技術センター |
| | 岩手県農業研究センター |
| | 長野県野菜花き試験場 |
| | 神奈川県農業技術センター |
| | 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 農業研究本部 根釧農業試験場 |
| | 秋田県林業研究研修センター |
| 研究開発責任者 連絡先 | TEL : 029-838-8207 FAX : 029-838-8199 E-mail : amiyat@affrc.go.jp |

<別紙様式3. 平成29年度の最終年度報告書>

I-1. 年次計画

| 研究課題 | 研究年度 | | | | | 担当研究機関・研究室 | |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----|----|----|----|---|---|
| | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 機関 (一部略称) | 研究室 |
| 1. 気候変動条件下における作物収量・品質の将来予測と適応技術の定量的評価 | 生育・収量・品質モデルの改良、将来影響評価 気候シナリオ開発 | | | | | 農研機構 農業環境センター 農研機構 東北農研 農研機構 中央農研 | 気候変動対応研究領域 生産環境研究領域 生産体系研究領域 |
| 2. 気候変動影響の実験的メカニズムの解明と適応方策の提示 | 環境操作実験に基づくイネ、ダイズの環境応答解明、適応策提示 | | | | | 農研機構 東北農研 農研機構 農業環境センター 岐阜大学 京都大学 | 生産環境研究領域 気候変動対応研究領域 物質循環研究領域 応用生物科学部 大学院農学研究科 |
| 3. 果樹における高温障害等の発生条件解明と温暖化影響評価マップの開発 | 将来影響評価マップ開発 高温障害の発生条件解明 | | | | | 農研機構 果樹茶業部門 岐阜県中山間農業研究所 長野県果樹試験場 静岡県農林技術研究所 岐阜県農業技術センター 岡山大学 | 生産・流通研究領域 中津川支所 試験研究部 栽培部 果樹研究センター 野菜・果樹部 病理昆虫部 大学院環境生命科学研究所 |
| 4. 温暖化が野菜生産に及ぼす影響評価 | 影響評価モデル開発、将来影響評価 市場入荷量の変動予測 | | | | | 農研機構 野菜花き部門 農研機構 西日本農研 岩手県農業研究センター 長野県野菜花き試験場 神奈川県農業技術センター | 野菜生産システム研究領域 野菜病虫害・機能解析研究領域 作物開発利用研究領域 県北農業研究所 野菜部 佐久支場 |
| 5. 温暖化による飼料作適地変動予測と影響評価マップの開発 | 牧草播種晩限移動予測 トウモロコシ二期作適地拡大予測 | | | | | 農研機構 北農研 北海道総研 根釧農試 農研機構 畜産部門 農研機構 九沖農研 | 生産環境研究領域 飼料環境グループ |
| 6. 森林流域からの水資源供給量に関わる気候変動の影響評価 | 森林水収支モデル開発、将来予測 | | | | | 森林研究・整備機構 森林総合研究所 秋田県林業研究研修センター | 森林防災研究領域 北海道支所 東北支所 関西支所 九州支所 環境経営部 |

I-2. 実施体制

| 研究項目 | 担当研究機関・研究室 | | 研究担当者 |
|---------------------------------------|-------------------------|---|---|
| | 機関(一部略称) | 研究室 | |
| 研究開発責任者 | 農研機構 農業環境センター | 気候変動対応研究領域 | ◎宮田 明 |
| 1. 気候変動条件下における作物収量・品質の将来予測と適応技術の定量的評価 | 農研機構 農業環境センター | 気候変動対応研究領域 同 同 同 同 同 同 | ○桑形恒男 西森基貴 吉本真由美 石郷岡康史 麓 多門 中川博視 吉田ひろえ 中野聡史 長谷川利拡 中園 江 |
| | 農研機構 東北農研 農研機構 中央農研 | 生産環境研究領域 生産体系研究領域 | |
| 2. 気候変動影響の実験的メカニズムの解明と適応方策の提示 | 農研機構 東北農研 | 生産環境研究領域 同 | ○長谷川利拡 熊谷悦史 吉本真由美 酒井英光 福岡峰彦 常田岳志 松井 勤 白岩立彦 田中朋之 |
| | 農研機構 農業環境センター | 気候変動対応研究領域 同 同 | |
| | 岐阜大学 京都大学 | 物質循環研究領域 応用生物科学部 大学院農学研究科 同 | |
| 3. 果樹における高温障害等の発生条件解明と温暖化影響評価マップの開発 | 農研機構 果樹茶業部門 | 生産・流通研究領域 同 同 | ○杉浦俊彦 阪本大輔 伊東明子 神尾真司 宮本善秋 玉井 浩 船橋徹郎 岡沢克彦 檜本克樹 市川悦子 小松宏光 小川秀和 福田 勉 高橋哲也 古屋雅司 新川 猛 村元靖典 森永邦久 福田文夫 |
| | 岐阜県中山間農業研究所 長野県果樹試験場 | 中津川支所 試験研究部 栽培部 同 同 同 同 同 同 | |
| | 静岡県農林技術研究所 | 果樹研究センター 同 | |
| | 岐阜県農業技術センター | 野菜・果樹部 病理昆虫部 | |
| | 岡山大学 | 大学院環境生命科学研 究科 同 | |
| | | | |
| 4. 温暖化が野菜生産に及ぼす影響評価 | 農研機構 野菜花き部門 | 野菜生産システム研 究領域 同 | ○岡田邦彦 東出忠桐 |

| | | | |
|-------------------------------|--|--|--|
| | 農研機構 野菜花き部門 農研機構 西日本農研 岩手県農業研究センター 長野県野菜花き試験場 神奈川県農業技術センター | 同 野菜病虫害・機能解析 研究領域 作物開発利用研究領域 県北農業研究所 同 同 同 同 野菜部 同 同 同 同 佐久支場 同 | 吉田祐子 長菅香織 山崎敬亮 鈴木良則(～2015.3) 藤沢 巧(～2015.3) 武田純子(～2015.3) 星 伸枝(2015.4～) 塩川正則(～2015.3) 北林 聡(～2016.3) 中村憲太郎(～2016.3) 山口秀和(2015.4～2017.3) 小澤俊輔(2016.4～) 星野英正(～2016.3) 小松和彦(2015.4～2016.3) 高田敦之 太田和宏 |
| 5. 温暖化による飼料作適地変動予測と影響評価マップの開発 | 農研機構 北農研 北海道総研 根釧農試 農研機構 畜産部門 農研機構 九沖農研 | 生産環境研究領域 同 飼料環境グループ 同 同 同 同 同 飼料作物研究領域 草地利用研究領域 畜産草地研究領域 | ○井上 聡 廣田知良 佐藤尚親(～2016.3) 松本武彦(2016.4～) 牧野 司 林 拓(～2016.3) 角谷芳樹(2016.4～) 中村直樹(2016.4～) 菅野 勉 佐々木寛幸 加藤直樹 |
| 6. 森林流域からの水資源供給量に関わる気候変動の影響評価 | 森林研究・整備機構 森林総研 秋田県林業研究研修センター | 森林防災研究領域 同 同 同 同 同 同 北海道支所 東北支所 関西支所 九州支所 同 環境経営部 同 同 同 同 同 | ○玉井幸治 澤野真治 野口正二 清水貴範 久保田多余子 飯田真一 荒木 誠 竹内由香里 延廣竜彦 阿部俊夫 細田育広 黒川 潮 壁谷直記 金子智紀 和田 覚 成田義人 長岐昭彦 新田響平 鳥潟理夫 草薙邦孝 |

(注1) 研究開発責任者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付すこと。

| | | | |
|----------------|--|------|-----------|
| 委託プロジェクト研究課題番号 | 13405363 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 委託プロジェクト研究名 | 農林水産分野における気候変動対応のための研究開発 | | |
| 契約課題名 | 農林業に係る気候変動の影響評価 | | |
| 代表機関・研究開発責任者名 | 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域長 宮田 明 | | |

I-1. 研究目的

地球規模での温暖化の進行にともない、わが国の農業にもコメや果樹をはじめとして、さまざまな影響が顕在化しつつある。「農林水産省気候変動適応計画」（平成27年8月）が策定され、温暖化や二酸化炭素（CO₂）濃度上昇などの気候変動にともなう農林業への影響を解明し、適応技術の開発に資することが喫緊の課題となっている。

このため、本研究では、

1. 気候変動条件下における作物収量・品質の将来予測と適応技術の定量的評価
2. 気候変動影響の実験的メカニズムの解明と適応方策の提示
3. 果樹における高温障害等の発生条件解明と温暖化影響評価マップの開発
4. 温暖化が野菜生産に及ぼす影響評価
5. 温暖化による飼料作適地変動予測と影響評価マップの開発
6. 森林流域からの水資源供給量に関わる気候変動の影響評価

により、気候変動の影響メカニズムを解明、影響予測モデルを構築し、それらのモデルと最新の気候変化シナリオを用いて、気候変動のわが国の農林業への影響を高精度で評価することを目標とする。

その結果、

1. より信頼性が高い影響評価に基づいた政府の気候変動適応計画の推進
2. 空間解像度の高い影響評価に基づいた各地域の気候変動適応計画の策定

が期待される。

I-2. 研究結果

最新の複数の気候シナリオと環境操作実験等に基づいて高度化した影響評価モデルを用いて、気候変化がわが国の作物生産や森林水収支に及ぼす影響を評価し、高温・高CO₂濃度の相互作用を考慮したコメの収量・品質低下リスク、果樹の高温障害（ブドウの着色不良、ウンシュウミカンの浮皮、モモの凍害、リンゴの日焼け）の発生頻度、主要露地野菜の収穫面積、ブロッコリーのブラウンビーズ発生リスク、チモシー主体アルファルファ混播草地の夏季播種晩限、トウモロコシ二期作適地、および森林からの水資源供給量について、全国あるいは特定の県・地域を対象に、現況および今世紀半ば・今世紀末の分布を示す高解像度マップを作成した。また、温暖化に伴うリンゴの食味変化の証拠を提示したほか、ニホンナシの凍害発生、カキの発芽不良、モモの果肉障害などの果樹の高温障害の発生条件・発生機構を解明した。さらに、コメの収量と品質を確保するための最適作期策定法、コムギおよびダイズの収量・最適作期の将来変化、メタン発生への影響も考慮した高CO₂濃度条件に適したイネの遺伝的形質や施肥法、早晩性遺伝子座の改変によるダイズの増収可能性など、適応策での活用が期待できる知見も得られた。

以上のように、本研究では、全国的・地域的に顕在化している気候変化（特に温暖化）の影響について、将来予測を約1km（一部の項目については約10km）という高い空間解像度で提示した。これらの成果の一部は、本研究に参画した研究機関により、地方自治体での普及が進められているが、今後は農林水産省をはじめとする政府の各種事業による現在の気候変動適応計画の推進や、平成32年度に予定されている次期気候変動適応計画への反映を通して、本研究の成果が地域の適応計画の策定に活用されるように取り組む。また、気候シナリオや、将来の気候条件に適した品種・遺伝的形質および作期・施肥法に関する知見は、本プロジェクト研究で実施中の品種開発や安定生産に関わる研究課題で利用する。さらに、本研究で得られた観測データや作物モデル、影響評価モデルを農業モデルの相互比較・改良プロジェクト（AgMIP）などの国際ネットワークに提供して共同研究を推進し、国連気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次報告書等への反映を通して、研究成果の国際的な普及を図る。

それぞれの小課題の成果の概要は以下のとおり（括弧内は小課題番号）。

1. 気候変動条件下における作物収量・品質の将来予測と適応技術の定量的評価(81110)

5種類以上の気候シナリオを作成し、各小課題で実施する影響評価での利用のために提供するとともに、一部のシナリオデータを「農研機構メッシュ農業気象データシステム」を通して公開した。コメについては、モデル予測の空間解像度の違いが収量の地域集計値に及ぼす影響を検討し、甲信地方などの地形が複雑な地域を対象とする影響評価は1km程度まで高解像度化する必要があることを明らかにした。また、小課題81120で得られた高温・高CO₂濃度の相互作用に関する最新の知見を考慮して、将来の収量・品質低下リスク（ヒートドース値）、水需要等を全国約1kmメッシュで予測し、収量は関東や北陸、愛知などの平野部を中心に、従来の予測より10%程度低下する可能性を示した。さらに、適応策としての移植日移動や窒素施肥法などの栽培管理が水稻玄米品質および白未熟粒率に与える影響を定量的に評価し、収量と品質を維持するための安全作期は将来短縮するが、後期重点施肥が白未熟粒発生率を低減させ、安全作期の拡大に寄与する可能性を示した。コムギについては、日本の栽培条件（凍霜害、過湿）に適合した生育・収量モデルを構築して、気候シナリオを用いた生育・収量の将来予測を行い、主要な生産地で気温とCO₂濃度の上昇により収量が増加することや、秋播性品種の導入により凍霜害が回避され、早期播種が可能となることを示した。ダイズについて

は、栄養生長および子実形成に及ぼす気温の影響を考慮した生育モデルを構築し、将来はCO₂濃度上昇による日射変換効率の増加によって地上部乾物重が増加するため、収量は増加し、作期が拡大する可能性を示した。さらに、将来の気候条件下でのコメ、コムギ、ダイズの作期移動の可能性や、それが輪作体系に及ぼす影響が示された。

2. 気候変動影響の実験的メカニズムの解明と適応方策の提示 (81120)

イネでは、高CO₂に対する収量・品質の反応が温度、窒素管理で異なることを開放系実験で初めて示すとともに、そのメカニズムを解明し、定量的な影響評価手法に反映させた。多収品種タカナリがコシヒカリに比べて高CO₂環境での生産性や温暖化緩和機能に優れる(メタン発生量が少ない)こと、品質では高温耐性品種およびQTLが高温・高CO₂環境での白未熟発生抑制に有効であること、高温不稔に対しては、葯の裂開長に加えて、穂の傾斜が少ないこと、開花時間が早いこと、葯長が短いことなどの形質が有効であることを明らかにした。ダイズでは、寒冷地においては、温暖化時には日長反応性遺伝子が開花から着莢の期間と着莢数の増加を通じて収量増加に有効であることを示した。暖地では温暖化によって収穫指数が低下し、減収をもたらすことから、晩生品種の活用によって負の影響を軽減できる可能性を指摘した。

3. 果樹における高温障害等の発生条件解明と温暖化影響評価マップの開発 (81130)

ブドウの着色不良、ウンシュウミカンの浮皮、リンゴの日焼け、モモの凍害等に関し、将来予想される被害について、被害の状況を現在から50年先まで高精度に評価した発生予測マップ(1 kmメッシュ)を開発した。また、いくつかの温暖化影響に関して、発生条件が解明され、特にリンゴの品質変化については、品質変化の発生状況や条件に関する論文が国際誌に掲載され、国際的にインパクトの大きい成果となった。またニホンナシ発芽不良発生危険度を樹ごとにリアルタイムで把握する方法を開発し、特許出願した。

4. 温暖化が野菜生産に及ぼす影響評価 (81140)

主要露地野菜(キャベツ、レタス、ハクサイ、ダイコン、ニンジン)について、現在、今世紀半ば・今世紀末の全国市町村別・旬別収穫面積マップを作成した。また、夏季の主産県を対象にブロッコリーのブラウンビーズの発生リスクマップを作成した。その他、高温による雨よけホウレンソウの発芽率低下の要因解明が進み、施設栽培トマトに対する温暖化影響評価手法や、イチゴの花芽分化期、冬春ダイコンの収穫期の変動に対する温暖化影響を定量的に評価するための予測モデルも策定された。さらに、CO₂濃度上昇が葉菜類の日射利用係数に及ぼす影響を実験的に明らかにした。

5. 温暖化による飼料作適地変動予測と影響評価マップの開発 (81150)

北海道の土壤凍結地帯を対象に、現在(1994~2013年)および今世紀半ば・今世紀末のチモシー主体アルファルファ混播草地の夏季播種晩限マップを作成した。根釧地域を対象とする現在の播種晩限マップはインターネットで公開し、北海道により普及が進められている。トウモロコシ二期作については、10℃を基準温度とする有効積算気気温を判定基準として、現在および将来の栽培適地を全国約10km、関東地方については約1 kmメッシュの空間解像度で推定し、ニューラルネットワークによる収量予測を組み込んだ適地判定でもほぼ同じ結果が得られることを確認した。この成果は、技術マニュアル「気候変動に対応したサイレージ

用トウモロコシの二期作栽培技術<関東地域版>」として公開した。

6. 森林流域からの水資源供給量に関わる気候変動の影響評価 (81160)

既往の森林生態系モデルBiome-BGCに森林土壌による流出遅延効果、遮断蒸発、積雪融雪過程を組み込んだ森林水循環モデルを開発し、気候シナリオを用いて将来の森林からの水資源供給量(流出量)を予測した。その結果、現在と比べて将来は、春季(4~6月)には日本海側を中心に流出量が減少し、夏季(7~9月)には中部地方から中国地方にかけて流出量が減少する傾向がみられた。森林からの水資源供給量が作物生産に影響を及ぼす時期や量に関する指標として、春季のピーク流量とピーク流量発生時期、夏季の半旬流出量を見いだした。森林および水田の面積が一定の割合を超える全国20の河川流域を選び、森林からの水資源供給量と水田の水需要量(小課題81110で得られた蒸発散量)とを旬別に比較した結果、20世紀末と比べて21世紀半ばには、春先や8~9月を中心に、供給量が需要量を下回る頻度が増加し、現行の栽培暦で将来もコメ生産を行う場合に水管理の重要性が増大することが示された。この成果は、コメ生産における適応技術である移植日移動の可能性評価で利用するとともに、地方自治体による水資源量の分布状態の把握、流域の土地利用や森林の管理に活用できる。

I-3. 今後の課題

環境操作実験等で得られた新たな知見や、将来予測上重要だが現在の影響評価では考慮されていない環境要因を含めて、影響評価をさらに高度化する。本研究課題で使用した影響評価モデルは、気温のみ、あるいは気温と降水量による直接影響のみを考慮したものが多く(土地利用型作物ではCO₂濃度も考慮)、病虫害等の間接影響を含む影響評価は今後の重要な課題である。本研究で発生条件が解明された果樹や野菜の高温障害については、現在および将来の影響評価を実施し、影響評価の対象が特定地域に限定された項目については対象地域を拡大する。将来予測結果の普及に向けて重要となる適応策の有効性評価については、土地利用型作物における作期移動や施肥管理を除いて今後の課題として残されており、将来の気候条件下での安定生産に向けて積極的に取り組む。

本研究で実施した牧草の播種晩限やトウモロコシの二期作適地拡大、あるいは本研究では取り組めなかった亜熱帯果樹の栽培適地拡大などの、温暖化がもたらす利益(恩恵)に関わる影響評価については地方自治体も注目しており、公設試験研究機関等による栽培技術の開発と併せて取り組むべき課題である。また、本研究ではコメに対する気候変動の影響解明でメタン発生への影響を含めた研究を実施したが、このような適応と緩和の両立に向けた研究開発は国連食糧農業機関(FAO)が提唱するClimate Smart Agricultureに合致し、今後ますます重要性が高まることが予想され、他の作物を対象とする研究でもこの視点を取り入れる必要がある。気候シナリオについては、様々な作物の影響評価で必要とされるデータを提供できるように、さらに高度化を図るとともに、土地利用の影響や農地面積の変化を組み込んだ気候シナリオを開発することが課題である。

それぞれの小課題に関わる今後の課題は以下のとおり。

1. 気候変動条件下における作物収量・品質の将来予測と適応技術の定量的評価 (81110)

コメの収量・品質の将来予測の高度化のためには、土壌環境の長期的な変化や、倒伏・過繁茂、病虫害の影響を考慮する必要がある。コムギでは、収量の将来予測の対象地域を拡大するために積雪の影響を検証する必要がある、さらに品質(子実タンパク、粒重)に対する

気象条件の影響を考慮して、施肥量・施肥方法などの適応策を提示することが課題である。ダイズでは、水分ストレスや病虫害、倒伏に影響を及ぼす主茎長の変化など、栽培全般に対する気候変動の影響評価が必要である。

2. 気候変動影響の実験的メカニズムの解明と適応方策の提示 (81120)

本研究で明らかになった有用な遺伝的形質を効率的に将来の品種育成に役立てるとともに、影響評価モデルに反映させ、品種の選択、作期、施肥の組合せがイネおよび安定生産に及ぼす効果を評価し、気候変動下で安定多収を実現するための品種デザインを提示する。タカナリとコシヒカリにおいて気候変動時の収量性、窒素反応、メタン発生反応などで特徴的な違いが認められたので、これらの形質を遺伝領域と関連付けて育種マーカーの選別を進める。収量や品質に関わるQTLについては、それらの効果を影響評価モデルに反映させ、適応技術の定量的評価に資する。ダイズでは発育モデルのパラメータを早晩性遺伝子型から推定する手法を開発し、早晩性遺伝子型が温暖化適応に及ぼす影響を広域的に示す。暖地ダイズの温度上昇に対する収量応答をモデルに組み込み、高温回避を通じた収量安定化のための品種選択と作期の組合わせの効果を地域ごとに定量的に示す。

3. 果樹における高温障害等の発生条件解明と温暖化影響評価マップの開発 (81130)

ウンシュウミカン「青島」の浮皮が多発する年の出現頻度マップは静岡県、リンゴ「ふじ」の日焼けが多発する年の出現頻度マップは長野県、モモ「白鳳」の凍害が多発する年の出現頻度マップは岐阜県を対象として作成したので、これらの県以外での適合性を検証する必要がある。また、本小課題で解明されたカキの発芽不良や、リンゴの品質変化、モモの果肉障害等は、シミュレーションによる発生地分布の推定やその検証、将来予測を実施する。さらに、本小課題で実施できなかった、温暖化がもたらす利益に関する影響評価や適応策の効果について研究を行う。

4. 温暖化が野菜生産に及ぼす影響評価 (81140)

野菜ではトンネル、温室等の栽培施設を利用する機会が多いので、気候変化シナリオから得られる気象条件から施設内環境を推定する手法の開発が共通の課題である。また、近年、研究が急速に進んでいる環境条件から病害発生を予測する手法を利用して、生産現場で最も関心と重要度の高い温暖化の病害発生への影響を評価する。

5. 温暖化による飼料作物適地変動予測と影響評価マップの開発 (81150)

牧草の播種晩限については、日降水量がより精緻化された気候シナリオデータを利用すれば、より高精度な予測が期待できる。トウモロコシ二期作では、より安定して高品質のサイレージを生産するためには、全植物体乾物率30%以上で収穫することが望ましく、全植物体乾物率30%以上となる適地判定指標の策定とその指標による適地判定や適地の拡大予測を行う必要がある。また、現在、関東地域では、茨城県等の二期作栽培適地以北において、二期作が試験的に取り組まれるようになってきており、こうした地域での二期作の安定栽培に向けた品種の組み合わせ法等の検討を行う必要がある。

6. 森林流域からの水資源供給量に関わる気候変動の影響評価 (81160)

本課題で開発した水循環モデルは森林の成長が水循環に及ぼす影響の評価が可能であるが、

伐採等の施業計画や森林における炭素蓄積量の変化など森林の状態変化についての検証データが不足している。現在、農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」の1つの課題である「人工林に係る気候変動の影響評価」で、気候変動が人工林の成長に及ぼす影響を評価するための研究開発がなされており、同課題の成果と本課題での成果を合わせることで、森林管理と気候変動の両者を考慮した森林域からの水資源供給量の将来予測が可能となる。

| | | | |
|----------------|--|------|-----------|
| 委託プロジェクト研究課題番号 | 13405363 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 小課題番号 | 81110 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 契約課題名 | 農林業に係る気候変動の影響評価 | | |
| 中課題名 | | | |
| 小課題名 | 気候変動条件下における作物収量・品質の将来予測と適応技術の定量的評価 | | |
| 小課題責任者名・研究機関 | 桑形恒男・国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構・農業環境変動研究センター | | |

1) 研究目的

最新の複数の全球気候モデルの予測結果を用いて耕地気象環境の再現性を比較するとともに、気圧配置パターンなどに基づく極端気象の確率的予測手法を開発する。また、空間分布を考慮したウェザージェネレータを開発し、日本各地における地点別・日別気候シナリオ、および1kmメッシュの気候シナリオを作成し、複数の気候シナリオの効率的な提供システムを構築する。これらの高精度な気候シナリオを用いて、気候変動条件下における国内主要作物（イネ、コムギ、ダイズ）の収量・品質の将来予測と気候変動に対する適応技術の定量的評価を行う。

イネでは、土壌の窒素動態と微気象要因を考慮したイネの収量・品質モデルを、FACE 実験や現地試験のデータなどを活用して検証・改良し、品種や栽培管理の違いが考慮できる包括的なモデルを開発する。このモデルを用いて、今後予想される温暖化・大気CO₂濃度上昇に対するイネの生育・収量応答の不確実性要因を明らかにするとともに、将来の高温被害リスクを評価する。品種特性や栽培管理、気候シナリオの不確実性を考慮して、水稻の収量・品質・水消費などに影響を及ぼす群落熱・水環境の変化についても評価する。また、移植晩限設定法に加えて、高温障害回避のための作期設定法を新たに開発し、気候変動に適応した最適作期設定法を提示する。さらに、外観品質予測モデルの開発と高精度化を進め、温暖化適応技術の定量的な評価を行う。

畑作では、これまでに開発したコムギの潜在収量予測モデルに土壌水分の影響と窒素の吸収/分配の過程を取り入れることにより、日本の栽培条件に適合した生育・収量モデルを構築し、収量の将来予測と作期移動等の適応技術の評価を行う。また、日本の栽培品種に適合したダイズ生育モデルを構築するとともに、温暖化時のダイズ生産への影響評価および適応策を提示する。

最終的には高精度な共通気候シナリオに基づいて、イネ、コムギ、ダイズに対する将来予測を統合化し、土地利用の高度化や生産性の向上のために、輪作体系における最適作期策定法などの検討を通して、それら土地利用作物における温暖化適応技術の総合的な定量評価を行う。

2) 研究成果

(1) 最新の全球気候モデルの予測結果に基づく高精度な気候シナリオの作成

IPCCの最新（第5次）報告書に掲載された複数の全球気候モデルの予測結果（CMIP5）を用いて、ウェザージェネレータを適用した気候シナリオを開発し、日本各地における地点別・日別気候シナリオを作成、本プロジェクトの共通シナリオとして配布した（農環研シナリオ2015、表1）。また同じくCMIP5を用い、「正規分布型スケーリング法」による1kmメッシュの気候シナリオを新たに作成した（農環研シナリオ2017）ほか、複数の領域気候モデル出力をバイアス補正した気候シナリオ（「地球温暖化予測情報第8巻1kmメッシュシナリオ」、「中部日本域領域気候モデルシナリオ」）や気圧配置パターンに基づく「統計的ダウンスケーリング地点気候シナリオ」を含めた多種多様な気候シナリオを作成した。さらに、これらのシナリオを用い、コメ品質に関わる温熱指数（ヒートドース）等、耕地気象環境の再現性を比較するとともに、日最高気温の極値や年最大日降水量等、極端気象の確率的予測を行った（図1）。

表1 共通気候シナリオの利用実績（農環研シナリオ2015、他）

| 課題No. | 作物等 | 研究対象 | 利用内容（カッコ以外は「農環研シナリオ2015」） | | | | | | |
|-------|---------|----------------|---------------------------|------|----------------|---------------------|-----------|-----|-----|
| | | | 利用の範囲 | 型式 | 主要な予測年代*1 | GCM | RCP排出シナリオ | | |
| | | | | | | | 2.6 | 4.5 | 8.5 |
| 81110 | イネ | 収量 | 全国 | メッシュ | 2041-2060 | 6 | ○ | ○ | ○ |
| | | 白未熟粒率 | 全国 | 地点 | 2021-2050 | 6 | ○ | ○ | ○ |
| | コムギ | 収量 | 東北・関東・東海・九州地方 | 地点 | 2041-2060 | 6 | ○ | ○ | ○ |
| | ダイズ | 乾物重 | 東北・北陸・九州地方 | 地点 | 2041-2060 | 6 | ○ | ○ | ○ |
| 81130 | ウツクミカ | 浮皮多発年出現頻度 | 静岡県 | メッシュ | 2046-2065 | MIROC5 | | ○ | |
| | リンゴ | 日焼多発年 | 長野県 | メッシュ | 2046-2065 | MIROC5 | ○ | | ○ |
| | モモ | 凍害多発年 | 岐阜県 | メッシュ | 2046-2065 | MIROC5 | | | ○ |
| | ブドウ | 果皮色平均値 | 全国 | メッシュ | 2046-2065 | MIROC5 | | ○ | |
| 81140 | ブロッコリー | ブランクビーズ 評点 | 長野県 | メッシュ | 2041-2060 | MIROC5 | | | ○ |
| | 露地野菜 | 市場入荷量 | 全国 | メッシュ | 2046-2065 | MIROC5 | ○ | ○ | ○ |
| 81150 | アルファルファ | 最大土壌凍結深および播種晩限 | 根釧・十勝地域 | メッシュ | (地球温暖化予測情報第8巻) | | | | |
| | トウモロコシ | 二期作適地 | 関東地方 | メッシュ | 2031-2050 | MRI-CGCM3 | | ○ | |
| | | | 全国 | メッシュ | 2031-2050 | MRI-CGCM3 MIROC5 | | ○ | ○ |
| 81160 | 水資源 | 年流出量 | 全国 | メッシュ | 2041-2060 | MIROC5 | | ○ | ○ |

*1：複数年代の予測がある場合、今世紀半ばのものを挙げている

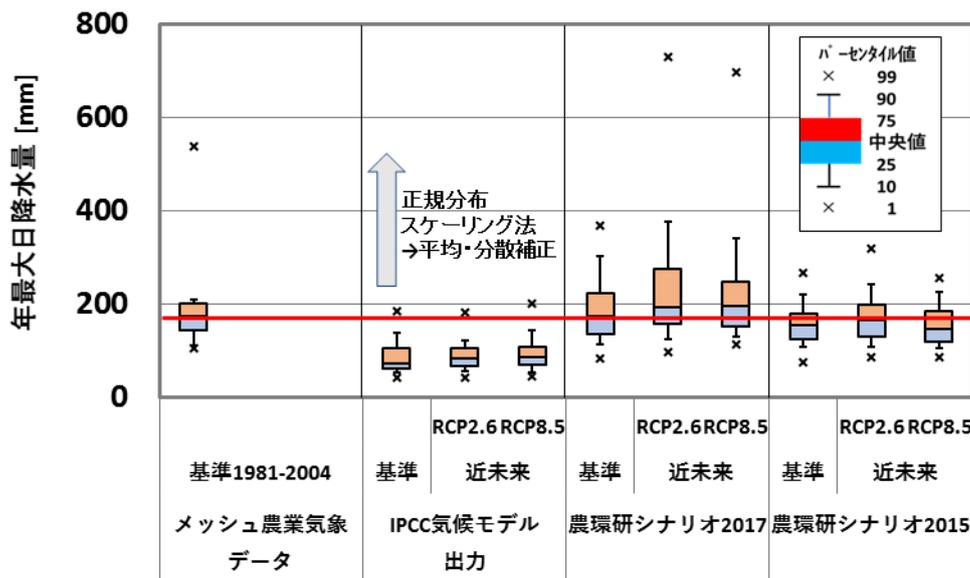


図1 基準期間(1981-2004年)および近未来期間(2025-2049年、RCP2.6およびRCP8.5)における高知市付近の極端気象(年最大日降水量)の出現確率を示す箱ひげ図。基準期間について、全球気候モデルの直接出力値(IPCC気候モデル出力)、本プロジェクトで共通シナリオとして用いた農環研シナリオ2015、および新規に開発した農環研シナリオ2017を観測統計値(メッシュ農業気象データ)と比較することにより、農環研シナリオ2017で用いた「正規分布型スケーリング法」によるバイアス補正が、極端気象の確率的予測に有効であることを示している。

(2) 温暖化・高CO₂濃度がイネの生育・収量に及ぼす影響の解明

小課題81120の環境操作実験(FACE実験など)などのデータを活用し、イネの生育・収量に影響を及ぼす群落微気象や高温・高CO₂濃度の影響をモデル化した。これら影響を考慮した最新のモデルを用いて、高精度な共通気候シナリオに基づく全国レベル(1kmならび10kmメッシュの空間解像度)でのコメ生産の将来予測を実施するとともに、空間解像度の違いが予測結果におよぼす影響について検討した。

表2 全国を対象としたコメ生産の将来予測

気候シナリオ(3種類) : RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5

気候モデル(6種類) : MIROC5, MRI-CGCM3, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, CSIRO-mk3.6.0, BCC-CSM1.1

対象地域と解像度 : 全国1kmメッシュ/10kmメッシュ

対象期間 : 現在(1981~2000年)、近未来(2041~2060年)

主な予測項目 :

1. 玄米相対収量(現在からの収量変化、現在の移植日・品種で固定)
2. 高温リスク指標(出穂後20日間の26℃以上の有効積算気温、品質低下、不稔発生リスクに対応)
3. 最大可能収量・移植日
4. 高温リスクを考慮した最適移植日
5. 水需要(1~4とは別計算、小課題81160で地域レベルでの水需給評価に利用)

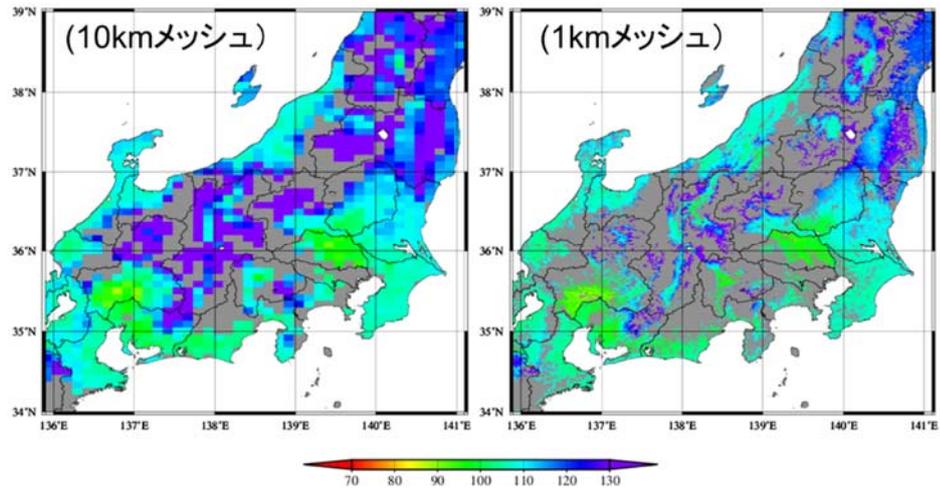


図2 近未来（2041-2060年）における相対玄米収量の予測結果の一例（20年平均、気候モデル：MIROC5、排出シナリオ：RCP4.5、左：10kmメッシュ、右：1kmメッシュ）。現在（1981-2000年）の収量からの変化率で表す。現在の移植日・品種で固定した場合（移植日と品種は作柄表示地帯ごとに設定）。

将来予測の詳細は表2のとおりである。これらの計算結果は、将来の地域レベルでの収量予測や温暖化適応策の策定のための基礎データとして利用可能である。なお将来予測の結果には、排出シナリオや気候モデルの違いに依存した予測不確実性が存在し、その点に留意して活用を図る必要がある。

予測結果の一例を図2に示した。近未来のコメ収量は、従来の予測（図略）より関東や北陸、愛知などの平野部を中心に10%程度低くなる可能性が示された。これは「CO₂濃度による増収効果が高温条件で低下する」という、FACE実験で得られた最新の知見がモデルで考慮されているためである。解像度10kmの計算では1kmの計算に比べて、地形起伏が大きな地域（中部や東北地方の内陸など）の現在収量を過小評価し、そのような地域での将来の収量増加を過大評価してしまうことが判明した。

(3) イネの収量・品質予測手法の開発と適応技術の定量的評価

水稻白未熟粒のうち乳・心白粒を1籾あたり利用可能炭水化物量、背・基白粒を1籾あたり利用可能窒素量から推定する外観品質予測サブモデルについて、「コシヒカリ」のモデルパラメータを決定し、モデルの高度化・検証を行った（図3）。また、収量性と低温登熟不良を考慮した移植晩限日と、出穂後20日間の平均気温がある閾値以上となる高温遭遇確率を考慮した移植早限日から、両者の間を移植適期とする移植適期設定法を開発した。これら成果を統合し、6気候モデルのアンサンブルからなる共通気候シナリオデータを用いて、「コシヒカリ」の玄米収量、白未熟粒率の長期累年シミュレーションを行い、気候シナリオ、年代、さらに穂肥窒素の施用時期が最適作期にあたる影響を定量的に評価した。その結果、穂肥の施用時期が将来の安全作期に数日程度の影響を与えることが示唆された（図略）。水稻の最適作期の移動は、コメ-ムギ-ダイズの輪作体系にも大きな影響を与えると考えられるが、特に水稻最適移植時期の後進は、コムギとの輪作地域を拡大させる可能性が示唆された（図略）。

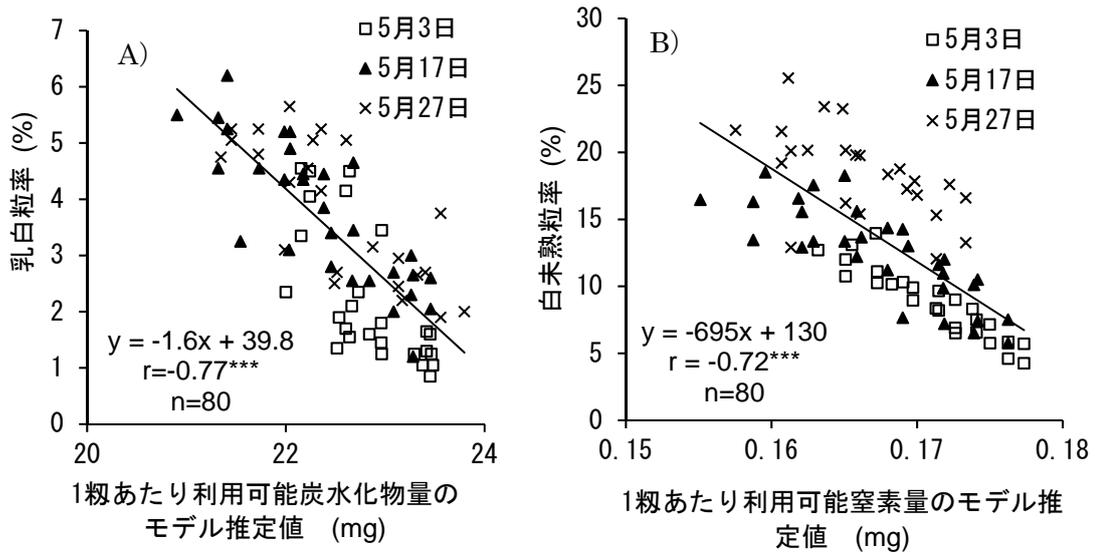
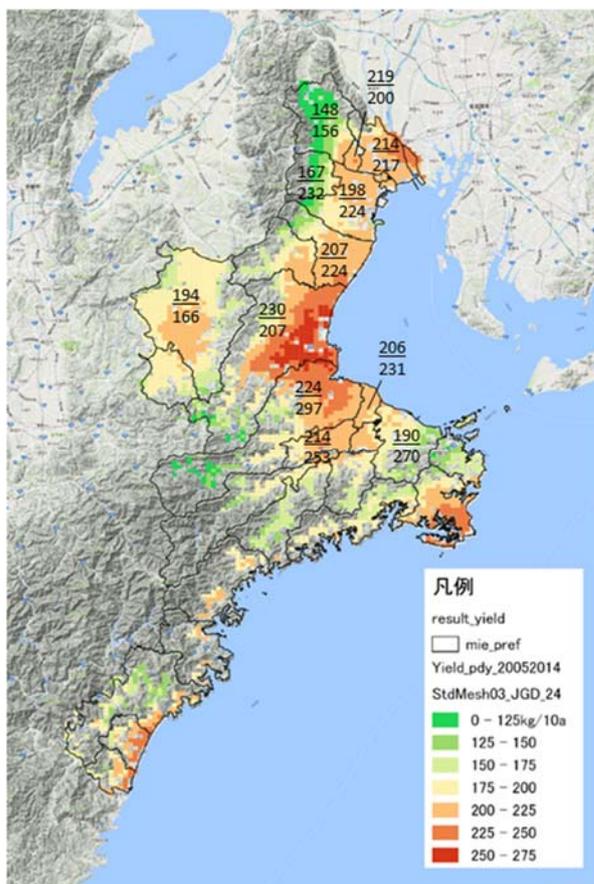


図3 水稻モデルで推定された、A) 1粒あたり利用可能炭水化物量と実測の乳白粒率の関係、およびB) 1粒あたり利用可能窒素量と実測の白未熟粒率の関係。凡例は移植日を表す。(Yoshida et al., 2016, PPS, 19, 36-42 より改変)

(4) コムギの収量予測手法の開発と気候シナリオに基づく将来予測と適応技術の定量的評価

凍霜害によるコムギの減収を推定するモデルを作成するとともに、過湿によるストレスが発生する土壌水分の閾値を圃場試験により決定し、日本の栽培条件に適合したコムギの生育・収量モデルを構築した。1kmのメッシュ気象データから算出した収量の推定値は、実



測収量の地域間差をおおよそ再現しており、モデルの広域適応性が示された(図4)。4地点を対象に現在(1981~2000年)の品種・播種期・施肥条件下で共通気候シナリオを用いて収量を推定したところ、いずれの地点においても将来(2041~2060年)の収量の平均値は現在と同程度もしくは増加することが予測された(図5)。秋播性品種の導入により特に気温の低い地域で播種期の前進が可能となることから、将来気象条件下では輪作体系下で生じる後作との作業競合が緩和される可能性が示唆された。

図4 1kmメッシュ気象データに基づく三重県のコムギ収量推定値(子実乾物重)
(水田が存在するメッシュが対象)
品種：農林61号
年度：2005-2014年(産)の平均
上段(数値)：市町村別の推定値
下段(数値)：実測値(作付面積100ha以上の市町村)

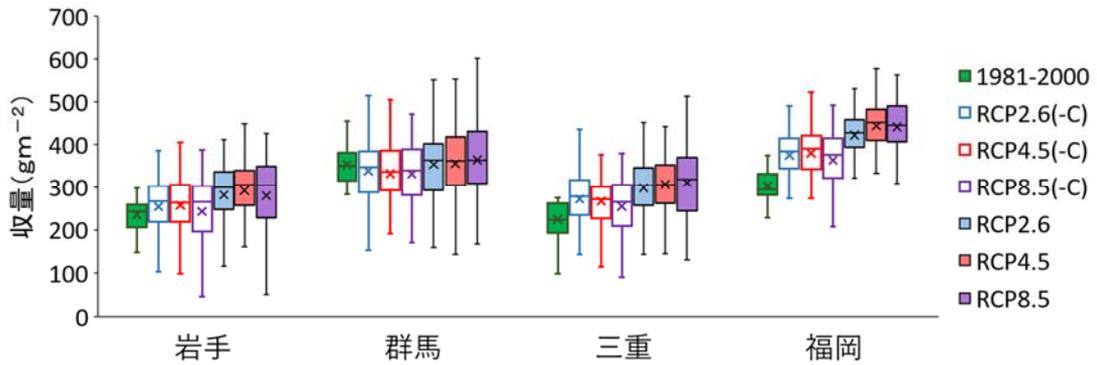


図5 気候シナリオに基づくコムギ収量の将来予測

RCP 別に 20 年間、6 モデルの平均値(×)とばらつきを示す(ボックスの上端と下端はそれぞれ 75、25 パーセントイル)。白抜きボックスは CO₂ の上昇がない場合の予測値。施肥量は各県の施肥基準に従い、追肥は発育ステージに合わせた。(岩手: ナンブコムギ(10/5)、群馬・三重: 農林 61 号(11/10)、福岡: シロガネコムギ(11/25)) カッコ内は播種日

(5) ダイズの生産性予測手法の開発と気候シナリオに基づく将来予測と適応技術の定量的評価

ダイズについては、国内の主要3品種(フクユタカ、エンレイ、リュウホウ)について、広域適用可能な発育予測モデルが作成され、1981~2000年を基準として気温+3℃におけるダイズの発育期の変化を1kmメッシュで広域に推定することが可能になった(図6)。

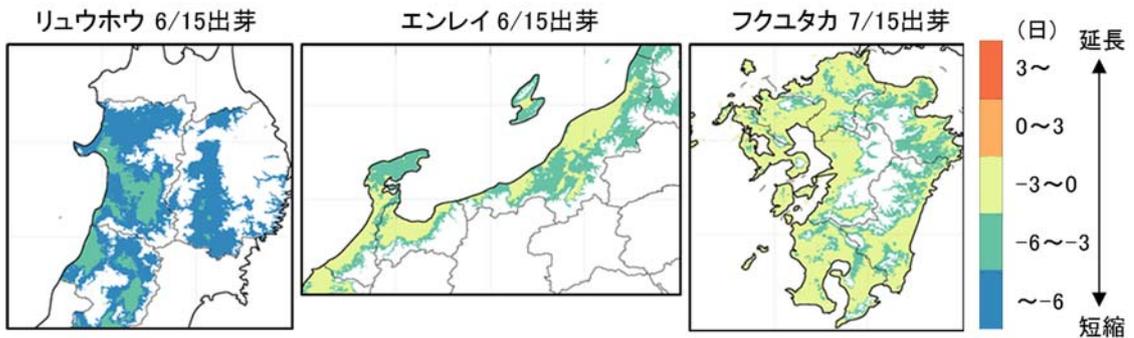


図6 気温+3℃を想定した場合のダイズの出芽から開花までの日数の変化
1981~2000年の20年間を基準として算出。

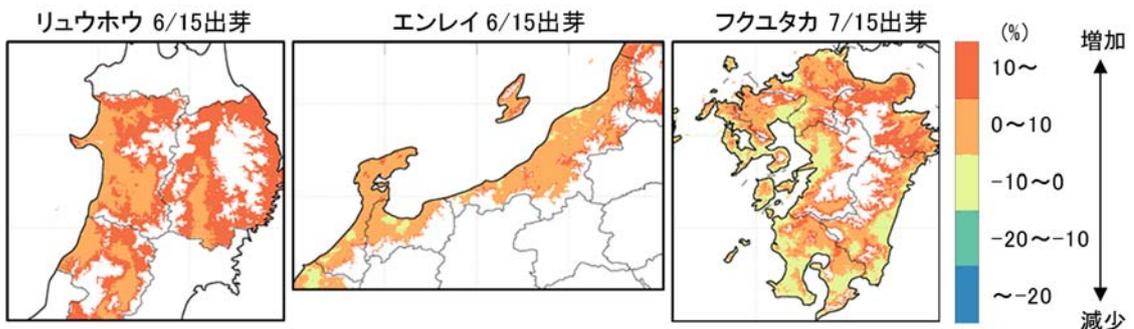


図7 気温+3℃を想定した場合のダイズの子実乾物重の変化割合
1981~2000年の20年間を基準として算出。

さらに、分枝発生を考慮した葉面積展開モデルを構築するとともに、小課題81120で示された収穫指数の温度反応関数を導入して、気温上昇がダイズの収量に及ぼす影響を定量的に評価した(図7)。気温上昇の影響は東北地域で大きく、開花まで日数が短縮するのに対して子実重は増加する傾向を示した。また、東北地域では気温上昇によって、晩播での収量低下が緩やかとなるため、将来気象条件においてムギ跡ダイズの輪作体系が拡大する可能性が示唆された(図略)。

3) 成果活用における留意点

(1) 新たな気候シナリオ(農環研シナリオ2017)では、日単位の気象要素について正規分布を仮定しているため、気温と日射量についてはそのまま利用可能である。一方、強い降水量の再現性に関しては、共通気候シナリオ(農環研シナリオ2015)に比べて向上しているとはいえ、極端降水量のみを抽出してその再現確率を求め、防災計画に反映させるための推定・予測精度には達していない。また湿度と地上風速に関しても、ベースラインとなるメッシュ観測統計値の精度が不十分であり、使用の際には注意が必要である。

(2) イネの高温・高CO₂濃度応答には不確実性があり、土壌の長期応答など現時点のモデル予測では未考慮のプロセスもある。そのため、本研究で実施した高精度な共通気候シナリオに基づく全国レベルでのコメ生産の将来予測結果は、モデルの改良に応じて今後とも改訂していく予定である。

(3) 水稻適応策のシミュレーションは「コシヒカリ」を栽培した場合の結果であり、品種の高温登熟耐性の差異を考慮するには、高温耐性にかかわる品種固有パラメータ値について検討が必要である。

(4) コムギ収量の将来予測においては、年次・モデル間の収量変動が大きいことと、収量への影響が大きい降水量の予測値に不確実性が大きいことに留意する必要がある。

(5) ダイズにおける将来予測結果は、主に気温上昇の影響に基づくものであり、水分ストレス等については考慮していない点に注意が必要である。

4) 今後の課題

(1) 本研究で整備された多種の気候シナリオについては、利用者が複数の気候シナリオを同時に入手出来る環境整備が必要である。

(2) 本研究で実施した、共通気候シナリオに基づくコメ生産の将来予測結果については、その不確実性に留意した上で、地域レベルでの将来の収量予測や、温暖化適応策の策定のための基礎資料として、積極的に普及を図る必要がある。

(3) 今後のイネの収量・品質の将来予測の高度化のためには、大気・気象条件のみならず、土壌環境の長期的な変化に関するシミュレーション・知見が不可欠である。また、倒伏・過繁茂、病害虫の影響についても考慮する必要がある、さらなる研究が必要である。

(4) コムギ収量の将来予測の対象地域を拡大するために、積雪の生育・収量への影響について検証する必要がある。さらに収量に加えて、品質(子実タンパク、粒重)に対する気象条件の影響を考慮して、施肥量・施肥方法などの適応策を提示することが課題となる。

(5) 今回のダイズ生産の将来予測では、収量が大きく低下する結果は示されなかったが、水分ストレスや病虫害、また倒伏に影響を及ぼす主茎長の変化など、ダイズ栽培全般に対する気候変動の影響評価は不十分であり、さらなる検討が必要である。

| | | | |
|----------------|---|------|-----------|
| 委託プロジェクト研究課題番号 | 13405363 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 小課題番号 | 81120 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 契約課題名 | 農林業に係る気候変動の影響評価 | | |
| 中課題名 | | | |
| 小課題名 | 気候変動影響の実験的メカニズムの解明と適応方策の提示 | | |
| 小課題責任者名・研究機関 | 長谷川利拓・国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構・東北農業研究センター | | |

1) 研究目的

気候変動は、土地利用型作物の生産に影響するとともに、耕地からの温室効果ガス発生を含む炭素・窒素循環にも影響する。こうした影響を的確に予測し、適応の方策を提示するためには、CO₂濃度、温度などの変化が作物の生育だけでなく、土壌-作物系における物質代謝に及ぼす影響や、作物応答の遺伝的変異のメカニズムを明らかにする必要がある。そこで、本課題では、開放系大気CO₂増加（FACE）実験施設や温度勾配型チャンバー（TGC）などを用いて、気候変動の土地利用型作物への影響メカニズムおよび品種による違いを解明し、モデル予測課題と連携して温暖化への適応・温暖化の緩和のための定量的な影響評価を行う。

2) 研究成果

(1) イネの高CO₂に対する反応

ア) 収量および外観品質における温度とCO₂の交互作用

これまでに高CO₂濃度（以下、高CO₂）による増収効果は、高温条件で低下することを報告したが、そのメカニズムは十分解明されていなかった。そこで、気象条件が大きく異なる岩手県雫石町で7年、茨城県つくばみらい市で実施した計11作期のFACE実験の結果から、CO₂濃度に対する収量関連形質の反応が環境条件によって変動する要因を解析した（品種、あきたこまち）。高CO₂処理の濃度は、約50年後を想定した現在濃度+200ppm（約580ppm）で、生育期間中の平均気温は、雫石が20.1℃、つくばみらいが24.1℃で、4℃の差があった。収量は高CO₂により平均で11%増加したが、増収効果の年々の変動は0～21%と大きかった。高CO₂による増収は、籾数の増加に依存した。つくばみらいでは、雫石に比べて穂数の増加率が低く、登熟歩合は高CO₂区で有意に低かった（図1）。高CO₂に対する収量および収量構成要素の変化率と生育ステージ別の気象要素との関係を解析したところ、高CO₂による増収率は出穂後30日間の気温と最も高い相関を示し、冷害年を除くと気温の上昇とともに減少した（図2a）。これは、籾数の増加率が高温で低下する（図

2b) とともに、登熟歩合が減少する (図2c) ことによるものであった。

つくばみらいFACEでは、外観品質の重要な指標である整粒率 (未熟米、割米などを除いた、整った米粒の割合) が、高CO₂によって低下する。その程度がどの程度変化するかを明らかにするために、整粒率に及ぼす高CO₂の影響について年次間変動を解析した。その結果、高CO₂による整粒率の低下は、高温年で明らかに高まることが分かった (図3)。このことは、外観品質においても温度とCO₂との間に交互作用が存在し、温度とCO₂濃度が同時に上昇する将来の環境においては、整粒率の低下が加速することを示すもので、高温で発生する白未熟粒などの登熟障害に関しては、今後より高いレベルの適応が必要であることがわかった。

以上、収量および品質に対する高温・高CO₂濃度の交互作用は、これまでの将来予測において十分考慮されていない知見である。これらの知見については、81110課題に受け渡し、新知見を取り入れた影響評価に利用されている。

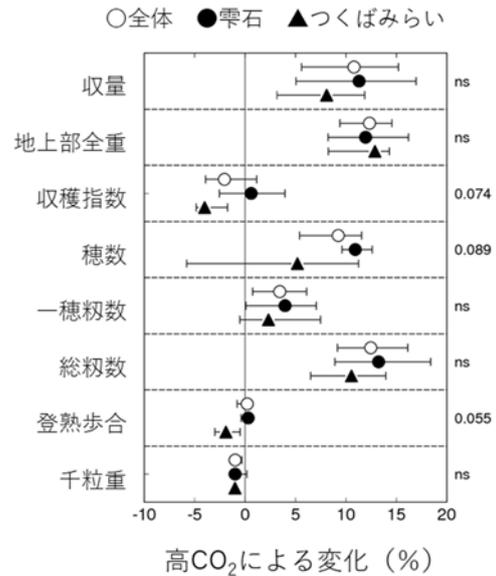


図1 高CO₂が収量、収量構成要素に及ぼす影響。2地点のFACE実験に高CO₂処理による変化率±95%信頼区間。右の数値は地点間の差の有意性。nsは有意差なし。

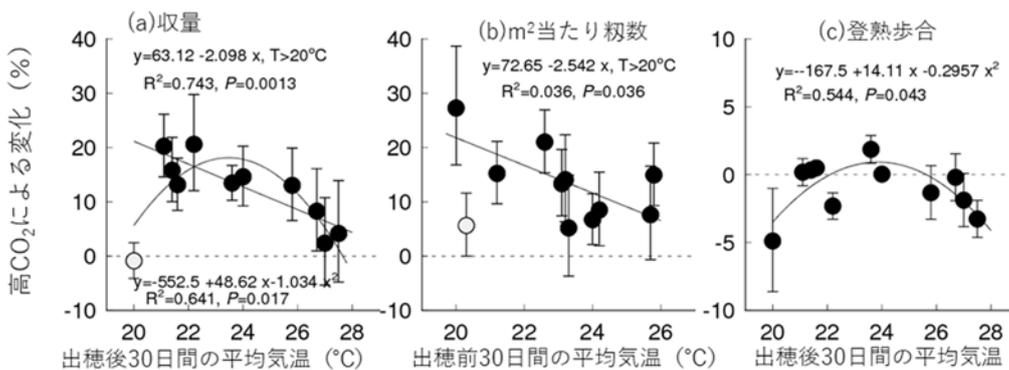


図2 高CO₂による収量、収量構成要素の変化率と気象要因の関係
収量および登熟歩合は出穂後30日間の平均気温が、m²当たり粒数は出穂前の平均気温が最も高い相関を示した。○は2003年の冷害年。

イ) CO₂に対する反応の品種間差異

現在のCO₂濃度環境で多収である品種タカナリは、高CO₂濃度条件でも多収を示す。そのメカニズムを明らかにするために、CO₂濃度が直接的に影響する光合成過程および子実成長過程に着目し、開放系大気CO₂増加実験でタカナリとコシヒカリの比較を行った。その結果、タカナリはコシヒカリに比べて、気孔の開き方が大きく、かつ葉身窒素濃度も高く保たれることから、高CO₂濃度条件でも光合成が高く保たれること(図4)、通常なら充実しないような弱勢粒の成長が、高CO₂濃度で大きく促進されること(図省略)など、複合的な要因が高CO₂濃度下での増収に寄与することがわかった。さらに、タカナリは窒素が少ない条件でも、高CO₂に対する増収率が高く保たれるなど、窒素利用効率においても優れた特性を持つことがわかった。

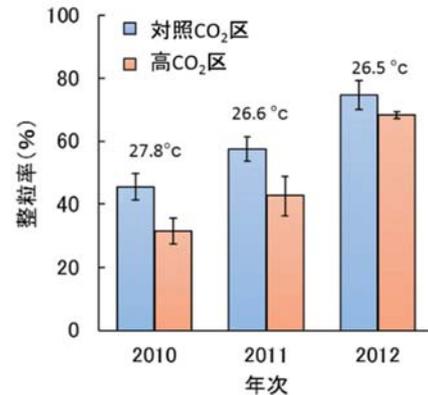


図3 3か年のFACE実験におけるコシヒカリの整粒率。図中の温度は出穂後20日間の平均気温。

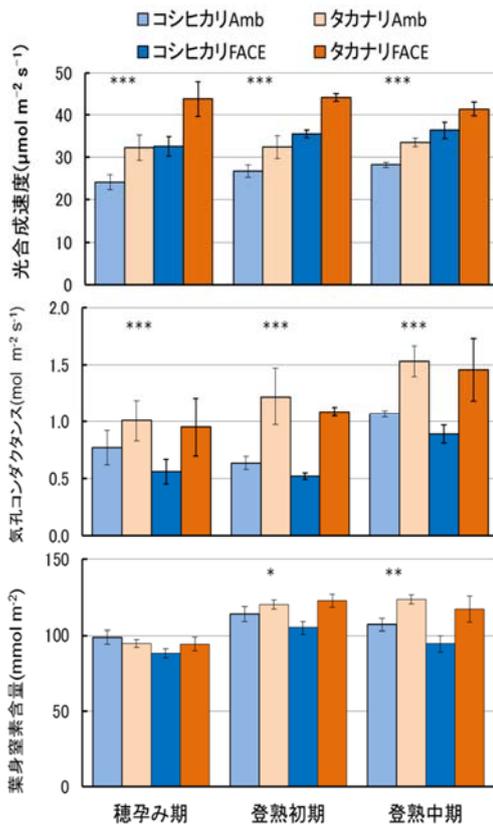


図4 光合成速度、気孔コンダクタンス、葉身窒素含量に及ぼすCO₂濃度の影響。Ambは対照CO₂区。***、**、*は、0.1%、1%、5%水準で品種間に有意な差があることを示す。

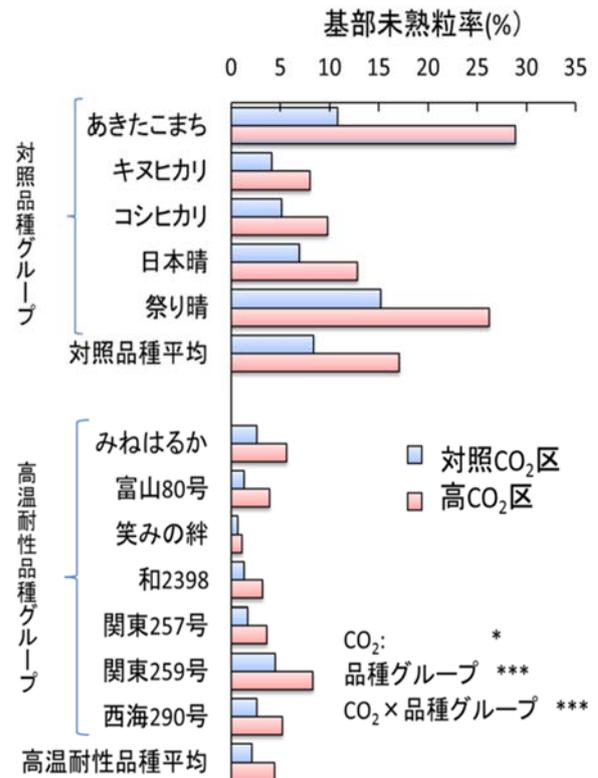


図5 高CO₂が高温耐性の異なる品種の基部未熟粒率に及ぼす影響の比較。*および***は、処理の効果あるいは品種間グループの差が5%、0.1%水準で有意であることを示す。

高CO₂による外観品質の低下に関しては、近年開発された高温耐性品種（7品種）と対照5品種について、整粒率低下の主要因である基部未熟粒率の発生を比較した。その結果、基部未熟粒はいずれの品種でも高CO₂処理により増加したが、その程度は高温耐性品種で小さく、現在の高温耐性育種は、高CO₂による品質低下にもある程度有効であることがわかった（図5）。さらに、高温耐性を持つハナエチゼン、ハバタキ由来の高温耐性QTLについて、その有効性をFACE実験で検証したところ、いずれも高CO₂条件における白未熟粒の発生を有意に低下させることがわかった。これらは、気候変動が収量・品質に及ぼす影響の予測および適応品種の育成に役立つ知見である。

タカナリは、コシヒカリと比較して、メタン発生量が約25%少なかった。メタン発生が品種間で異なる要因を炭素源に着目して解析したところ、タカナリはコシヒカリに比べて主に土壤炭素を基質とするメタン発生が少ないこと、メタンの生成量自体が少ないことでメタン発生を抑制することがわかった。メタン発生に及ぼす窒素の影響をコシヒカリとタカナリを対象に調査したところ、窒素施肥（80kg/ha）は、無窒素区に比べてメタン発生を増加させたが、その程度は10~20%程度で、品種の影響に比べると小さかった。また、窒素施肥による増収効果は約50%と大きく、収量当たりのメタン発生量は、施肥によって逆に減少したことから、窒素施肥に伴う負の影響は大きくないと考えられた。

（2）イネの高温不稔耐性形質について

将来頻発することが懸念されているイネの高温不稔に対しては、イネ品種の形態的特性と微気象要因から、高温でも安定した稔実を得るための形質を探索した。まず、ポットで栽培したイネを高さや穂の角度を違えて水田内に設置するモデル実験により、穂（花）の位置が群落内の低い位置にある場合、受粉の安定性や稔実率が低下すること、開花時に穂が30度傾くと受粉が不安定となり、稔実率が低下することを示した。実際に中国荊州市の高温水田で不稔の発生過程を観察した結果から、受粉の安定性には、葯基部の裂開のサイズ、花の高さ、穂の角度、開花時10~12時の風速、および気温が関与していると考えられた。また、不稔の発生率は、葯基部の裂開長、葯長、穂の角度、花の高さ、開花時刻、午前10~12時の気温を説明変数とする重回帰式によりよく表された（ $R^2=0.554$ 、 $P<0.001$ ）。重回帰式の係数から推定される葯基部の裂開長、穂の角度の不稔発生への効果は、これまでのモデル実験で示された効果とよく一致した。また、開花時刻が早まることによる効果は、1時間当たり -1.5°C 程度と推定された。これは、不稔発生時の開花時刻前後の気温上昇の $1\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ と一致したことから、得られた重回帰式の係数は開花の前進による高温回避を反映したものと考えられた。葯長は不稔の発生と正の相関関係にあり、冷温障害では冷温に有利とされる長い葯が、高温不稔では不利になることが示された。

（3）ダイズ

ダイズ課題では、先行プロジェクトで京都と盛岡の2地点で温度勾配実験を行い、幅広い温度域に対する収量を調査したところ、ダイズ収量は、寒冷地では温度上昇とともに増加したのに対し、暖地では低下することがわかった。このため、寒冷地では温暖化に対して増収するメカニズムとその品種間差異の解析を、暖地では減収メカニズムとその品種間差異の解析を進めた。

（ア）寒冷地ダイズ

温度勾配チャンバーの気温3水準（低温、中温、高温区）に、早生品種「ユキホマレ」と中生品種「リュウホウ」および「エンレイ」を3ヵ年栽培し、発育や収量の温度応答を調査した。その結果、3品種いずれにおいても、生育期間の平均気温と子実重は凸型の二

次曲線で回帰され（図6）、収量形成の最適温度は「ユキホマレ」より「リュウホウ」および「エンレイ」で高かった。温度上昇に伴い、稔実莢数は「ユキホマレ」では変化しなかったが、「リュウホウ」および「エンレイ」では増加した。3品種のいずれにおいても、温度上昇により、播種～開花始の日数は短縮したが、開花始から着莢始の日数は「ユキホマレ」では変化が無かったが、「リュウホウ」および「エンレイ」では延長し（図7）、その延長は開花数や莢数の増加に寄与した。開花後発育の応答の違いには、日長反応性が寄与すると考えられたので、ダイズの日長反応に関わる*E1*、*E3*、*E4*遺伝子座に着目し、上記の試験と同様な気温3水準で、「エンレイ（遺伝子型は*E1/e3/E4*、大文字が優性で晩生型）」とその3つの遺伝子座が置換された準同質遺伝子系統（NILs）の温度応答を2ヵ年調査した。盛岡市での標播栽培では、高温により開花始期が前進するため、低・中温区に比べて開花始から着莢期の日長が長くなる。エンレイ背景で*E1*遺伝子座を有しかつ*E3*か*E4*遺伝子座のいずれかを有するNILsでは、この長日条件に反応して開花始から着莢までの日数が延長し、莢数および収量が増加することがわかった（データ省略）。これらの結果は、寒冷地のダイズ品種の温暖化適応を考慮する上で、日長・温度に対する発育、特に開花から着莢の期間の反応が重要であり、温暖化条件でも早晩性遺伝子座の改変を通じて収量の向上が可能であることが示すものである。

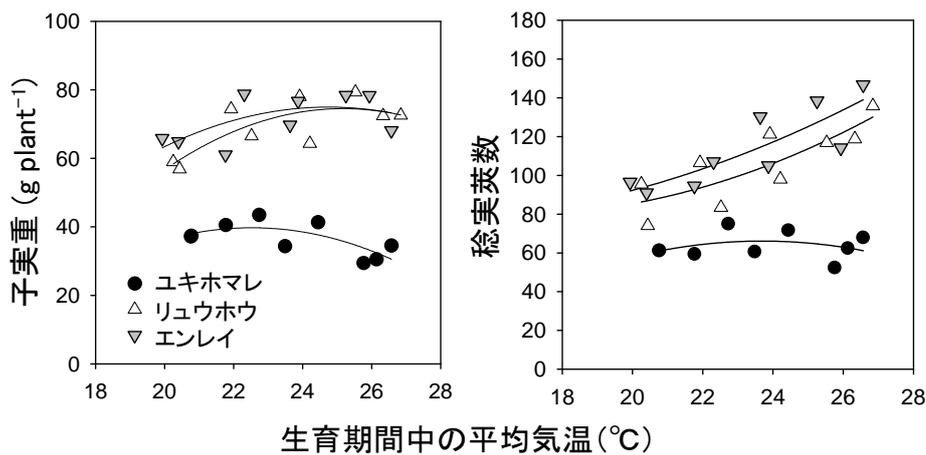


図6 ダイズ3品種における生育期間の平均気温と子実重および稔実莢数の関係

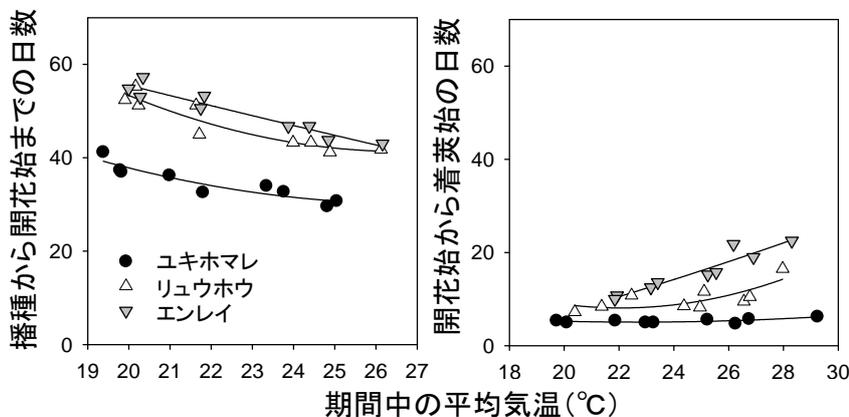


図7 ダイズ3品種における主要ステージ間の平均気温と日数との関係

(イ) 暖地ダイズ

暖地ダイズでは、これまで温度上昇の収量応答は早生品種（エンレイ）を対象に明らかにされてきた。そこで、多様な品種の温度上昇に対する収量応答を検討するために日本産8、米国産4、タイ産4、インドネシア産4、中国産4の計24品種を外気温条件および外気温+約3℃の条件（外気温追従型温度制御温室）で栽培した。高温処理により減収する品種は早生品種に多いことがわかった。これは開花期（R1）から1ヶ月間の平均気温が、早生品種ほど高いために温度上昇によって適温域を大きく超えるためと思われる。そこで、晩生品種フクユタカおよび丹波黒の温度上昇に対する収量応答を温度勾配型チャンバーを用いて検討した。開花始直前から子実肥大始頃までの38日間（2014年）または44日間（2015年）に外気温追従型の温度勾配処理を施したところ、両品種とも高温処理により収穫指数（HI）が低下した。丹波黒はフクユタカよりもHIを大きく低下させており、それには受精率の低下が関与することが示唆された。光合成速度（Pn）も、高温処理期間終了後に高温区で低下していた。温度上昇が、晩生2品種の種子タンパク含量および主要タンパク組成に及ぼす影響を検討したが、明瞭な影響は見出されなかった。以上より、ダイズ晩生品種は温度上昇処理によりHIおよび光合成活性が低下することがわかった。ただしその程度は、過去に明らかにしてきた早生品種エンレイに比べると小さかった（図8）。これらのことから、暖地においては、温度上昇はダイズの収量低下要因になり得ること、莢実形成期に夏季の高温に遭遇することを避けるために晩期播種または晩生品種の利用が適応技術になり得ることが明らかになった。

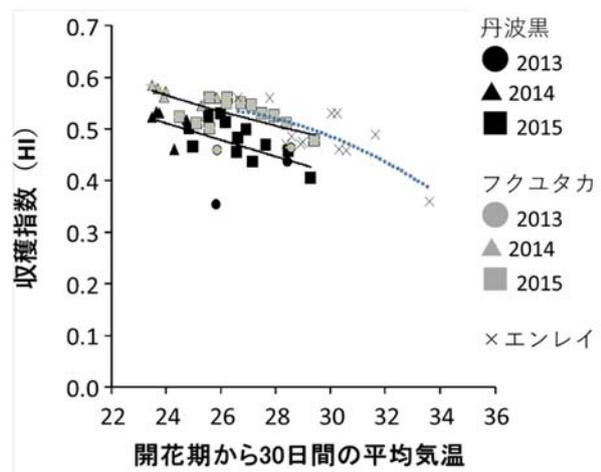


図8 暖地における晩生品種丹波黒、フクユタカならびに早生品種エンレイの温度に対する収穫指数応答

3) 成果活用における留意点

イネのCO₂と温度の交互作用は、あきたこまちで確認した内容であり、品種によっては異なる可能性がある。寒冷地ダイズの品種間差異は、盛岡市で得られた結果であり、日長や温度条件が異なる地点での検証が必要である。また、チャンバーでのポット試験での結果であるので、圃場条件での再検証が必要である。

4) 今後の課題

本研究で明らかになった有用な遺伝的形質を効率的に将来の品種育成に役立てるとともに、影響評価モデルに反映させ、品種の選択、作期、施肥の組合せがイネおよび安定生産に及ぼす効果を評価することが必要である。

| | | | |
|----------------|--|------|-----------|
| 委託プロジェクト研究課題番号 | 13405363 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 小課題番号 | 81130 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 契約課題名 | 農林業に係る気候変動の影響評価 | | |
| 中課題名 | | | |
| 小課題名 | 果樹における高温障害等の発生条件解明と温暖化影響評価マップの開発 | | |
| 小課題責任者名・研究機関 | 杉浦俊彦・国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構・果樹茶業研究部門 | | |

1) 研究目的

今後、発生が拡大すると考えられるブドウの着色不良、ウンシュウミカンの浮皮等の果実障害に関し、将来予想される被害について、適応技術導入や改植の必要性の有無を現場で検討できるように、被害の状況の予測マップを開発する。作製するマップは1 kmメッシュで、現在から50年先まで高精度に評価する。同時にマップ開発の前提となる、高温被害発生条件の解明を進める。

2) 研究成果

【ニホンナシ発芽不良発生】ニホンナシ「幸水」では、自発休眠覚醒期が道管液の糖含量と腋花芽における *Dormancy Associated MADS-box (DAM)* 遺伝子の発現動態の組合せで判定できることを明らかにした。本法を利用して発芽不良が発生しやすい九州地域と栽培適地のつくばを比較したところ、九州地域のニホンナシは休眠が浅く、覚醒期も遅くなっていることが示された(図1、2)。また、つくばの「幸水」では腋花芽の凍害発生温度が道管液糖含量と相関があることが明らかになった。凍害発生温度(半数致死温度LT50)を推定する以下のモデルが開発され、凍害発生程度が現場で予測できるようになった。

$$LT50(^{\circ}C) = -0.3981 \times \text{道管液糖含量(mg/mL)} - 9.718$$

一方、鹿児島県の発芽不良発生園地において、窒素施肥を9月～11月にかけて分施した慣行区、3月に全量施用した区を設けた。その結果、慣行区は花芽の枯死の発生が3月施用区より多い傾向が認められた。

【モモ・クリ凍害】岐阜県中山間農業研究所(飛騨市)で養成したモモ「白鳳」、同所中津川支所(中津川市)で養成したクリ「筑波」の2年生鉢植え樹(容量25L)を供試した。供試樹は、10月～1月のハードニング期又は2月～4月のデハードニング期に管理場所(岐阜市、中津川市、飛騨市)を変えて一定期間管理することで異なる気温に遭遇させた後、各供試樹から主幹及び1年枝を採取して調査試料とした。試料はプログラムフリーザー等を使用し、-3℃～-21℃まで段階的に温度を低下させ凍結処理し、10～14日間水挿し又は密封保管した後に組織の褐変程度から耐凍性を評価することで、温度条件が耐凍性に及ば

す影響を調査した。また、これまでに調査を実施した2010年～2015年の気温と耐凍性のデータをを用いて、気温条件から耐凍性を推定する予測式を作成し、過去の凍害多発年と少発年について予測式の検証を行った。その結果、気温が高く推移するほど耐凍性が低下することが確認された。このうちモモの耐凍性は、ハードニング期では調査日前10日間の日最低気温の平均値と、デハードニング期では調査日前23日間の日平均気温の平均値と相関が最も高かった（図3）。これらの結果から作成した耐凍性推定式について、岐阜県飛騨地域における過去の気温経過と凍害発生状況から検証したところ、過去11年間のうち10年間で凍害発生の多少を説明でき、秋冬季の気温から耐凍性を推定することが可能と考えられた。クリの耐凍性は、ハードニング期では調査日より12日前を起算日としてそれ以前の20日間の日最低気温の平均値と、デハードニング期では、調査日前15日間の日平均気温の平均値と相関が最も高かった。この結果から作成した耐凍性推定式を用いて、岐阜県と兵庫県における耐凍性推定値と凍害発生状況について検証したところ、デハードニング期において過去22年間のうち16年間（各県8年間）で凍害発生の有無を説明できた（図4）。また、推定式の適合性が認められた岐阜県の8年間のうち凍害発生程度が「中」以上の年では、デハードニングにより耐凍性推定値が -5°C に到達した日が平年より早い傾向が認められ、凍害発生の危険度判定に活用できると考えられた。

【リンゴ日焼け】1回に10果のリンゴ「ふじ」の樹冠外周部の果実を直射日光があたる位置に固定し、7月～10月に熱電対温度計を4点貼り付けた。10果実中いずれかの果実で日焼けが生じたときに10果すべてを回収し1調査期間とした。日焼けの有無と温度計4点のいずれかの最高値を果実表面最高温度として記録し、50%で日焼けが生じる果実表面最高温度を推定した。この調査を平成27年は9回、平成28年は17回実施した。2か年について、果実表面最高温度（小数点以下切り捨て）別に、日焼けの有無を集計し、各温度の日焼け発生率の回帰直線（ $y=9.79x-450.66$ ）を作成した（図5）。この回帰直線より、樹冠外周部で直射日光があたった果実の日焼け発生率が50%となる果実表面最高温度は 51°C と推定された。また、7月～10月に平成11年定植の「ふじ」JM1台木樹の樹冠外周部の64果実の陽光面に、熱電対温度計を2点貼り付け、2点いずれかの毎日の果実表面最高温度を記録した。果実の位置は固定せず、自然状態で試験を行った。平成27、28年ともに日最高気温と果実表面最高温度の間（平成27年； $y=1.18x-2.14$ 、 $R^2=0.53$ 、平成28年； $y=1.67x-10.70$ 、 $R^2=0.73$ ）に正の相関関係が認められた。温度計を貼り付けた果実（樹冠外周部で直射日光があたった果実）のうち、果実表面温度が 51°C 以上になった果実割合を、日最高気温別に集計し、平成27、28年の平均値を求めた（図6）。その結果、日最高気温が 32.5°C のときは2.2%、 33.5°C のときは5.0%、 34.5°C のときは8.1%、 36.5°C のときは25.0%となり、日最高気温が高くなるほど果実表面温度が 51°C 以上になる果実割合が増加した。また、調査樹の全着果数（平成27年は260果、平成28年は229果）のうち果実表面温度が 51°C 以上になる果実割合を、日最高気温別に集計し、平成27、28年の平均値を求めた（図7）。その結果、日最高気温が 33.5°C 以上になると1%を超え、 36.5°C 以上では5%を越えることが明らかになった。一方、圃場内の最高気温は高温期ほど圃場外より高くなる傾向があり、最高気温が 30°C 以上の日では平均して 0.4°C 程度の差があった。これはリンゴ樹による減風効果が要因と考えられた。

【ウンシュウミカン浮皮】ウンシュウミカン「青島」について1978年から2013年までの28年分（8年分欠測）の12月1日時点の果実比重と気象観測値の関係解析から、浮皮発生を予測するため、果実比重予測式を求めた。6月1日時点で当年12月1日の果実比重を予

測する「予測式1」と、将来の温暖化の影響による浮皮発生を予測するため、年次や地域による時期の幅を考慮して果実比重を予測する「予測式2」を作成した(表1)。2014年の気象観測値を入力して算出した予測値と静岡県農林技術研究所果樹研究センターの5つのほ場(調査樹15本)の果実比重実測値から予測を検証した。比重実測値は0.853であったのに対し、「予測式1」の予測値は0.855、「予測式2」は0.843であった。

【カキ着色不良】カキ「富有」のこれまでの気象と着色との関係について解析し、着色不良を引き起こす温度を特定した。圃場間差、採取果については反復実験を行った。採取果を用いて保存温度がカロテノイド生合成に及ぼす影響についての発現解析も行った。その結果、岐阜の過去24年間のデータ解析では着色限界温度は22.9℃となり(図8)、岐阜より高温の熊本でも23℃以上になると有意に収穫盛期が遅れること、着色開始期前の採取果を用いた貯蔵試験により22℃と23℃では着色の進行に有意な差が認められること(図9)、カロテノイド生合成・分解関連酵素遺伝子の発現解析により、高温ではカロテノイドが代謝されやすいことなどが明らかとなり、現在の主産地で収穫基準に到達しない恐れが生じる限界温度は22~23℃の間にあることが示唆された。

【モモ果肉障害】モモ「白鳳」「清水白桃」において、気温の異なる地域の気温と果肉障害程度の調査を行い、高温遭遇期間が異なる処理を岡山県北地域から岡山県南地域に順次移動させて障害発生を比較し、人為的な低温ならびに高温条件における障害発生の試験を行った。その結果、4年間の気温の異なる南北地域間の気温と果肉障害程度の比較調査によって、高温と多量の降雨が障害発生に影響していることを明らかにし、その中でも、成熟期の高温(平均日最高気温)の影響が大きいこと、成熟期の旬別平均最高気温の閾値(図10、表2)、ならびに、この期間の高温遭遇期間が長いほど障害発生が多くなる(表2)ことを明らかにした。特に6月中旬から8月上旬の全期間について、閾値を超えた場合、発生率が30%を超え、果肉障害が多発することが示された。

【リンゴの品質変化】長野果樹試および青森りんご研が30~40年にわたって蓄積してきたデータを詳細に分析しリンゴ果実食味が変化していることの証拠を提示した(図11)。こうした変化が起きる温度条件を詳細に解明することで、食味変化の原因は開花の早期化と収穫直前の高温による減酸促進であること(図12)を明らかにした。

【障害発生のマップ】ウンシュウミカン「青島」について、浮皮発生頻度推定のために(図13)、表1の予測式2を用いて、果実比重を推定し、比重が0.84未満となる年を浮皮多発生と判定した。降水日数は1mm以上の降水日の合計とした。ただし、使用したメッシュデータの降水量は小数点第1位で四捨五入されているが、モデル作成に用いた降水量の観測値は小数点以下切り捨てであるため、メッシュデータの値が1mmの日は降水日数0.5日としてカウントした。

長野県周辺のリンゴ「ふじ」の日焼けが多発する頻度を推定し、1kmメッシュでマップ化した(図14)。最高気温36.5℃以上となった年を日焼け多発した年とし、圃場内外の温度差0.4℃を考慮した。現在は各地で日焼け発生がみられるものの、多発生となるのはまれであると推察されるが、将来的には2年に1度以上の頻度での多発生が予測されるため、適応策の導入が必要といえる。

モモ「白鳳」の凍害発生頻度マップを作成した(図15)。予測式は図3のハードニング期およびデハードニング期の数式を併合した式を用いた。気温上昇する将来は、凍害発生が減る傾向であった。凍害の増加は気温の上昇よりも、日々変動の拡大や気温の日較差の拡大が起きたときに増加すると考えられた。

ブドウ「巨峰」の果皮色を推定するモデルを開発し、これを用いて、着色不良（赤熟れ）が発生しやすい地域を推定し、マップ化した。赤熟れしやすい地域は、現在は大都市近郊の平野部が中心であるが、2030年代に東海以西の太平洋側の平野部に広く広がり、2050年代には関東平野や、西日本の日本海側の平野部にも広がると推定された（図16）。

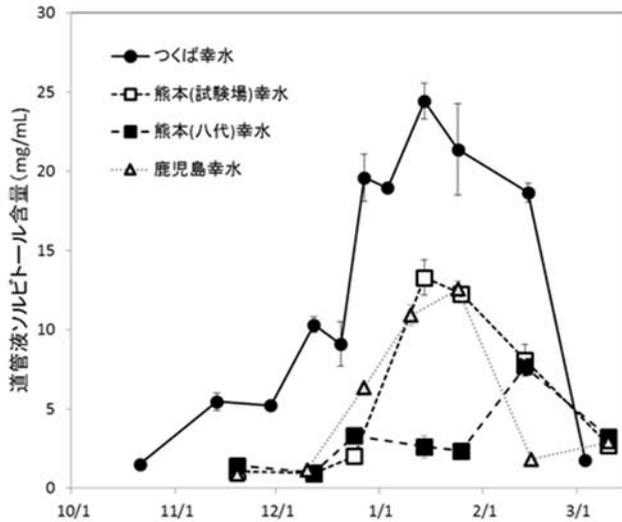


図1 九州2県（3カ所）およびつくばの「幸水」における道管液ソルビトール含量の推移（H25～26年）。最大値を示す時点が各地点での休眠覚醒期。

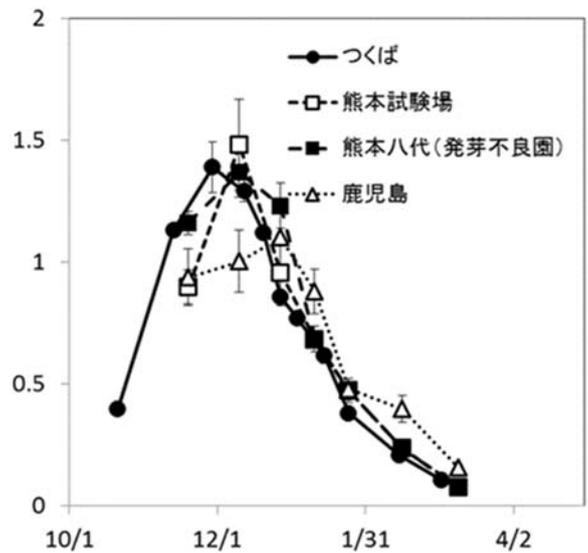


図2 九州2県（3カ所）およびつくばの「幸水」腋花芽におけるDAM遺伝子の発現の推移（H25～26年）。増加から減少に転じる時点が各地点での休眠覚醒期。

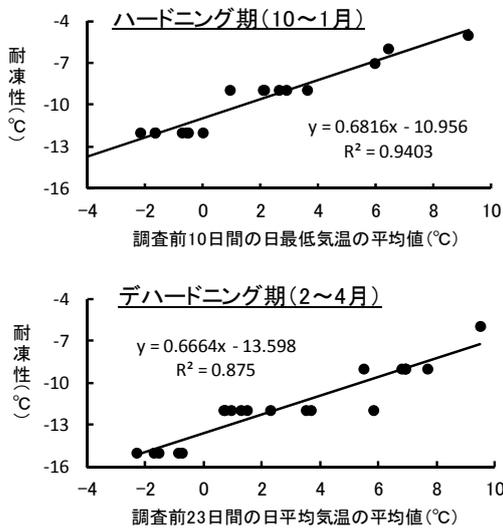


図3 モモ「白鳳」の秋冬季における遭遇気温と耐凍性の関係。1年枝の凍結処理で組織褐変が認められなかった最も低い温度を耐凍性とした。

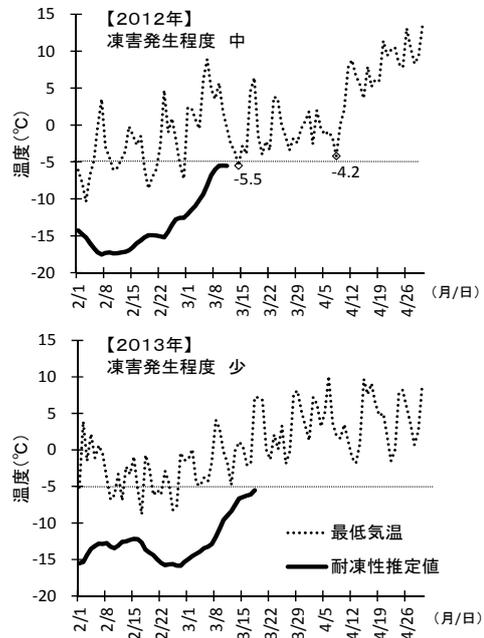


図4 クリの凍害発生程度と早春季の耐凍性推定値及び最低気温の推移

- 1) 凍害発生程度：岐阜県における調査
少：枯死樹率10%未満、中：同10～30%、多：同30%以上
- 2) 耐凍性 $y=1.7249x-16.12$ ($R^2=0.5572$)、 x ：過去15日間の日平均気温の平均値、気温データ：アメダス恵那

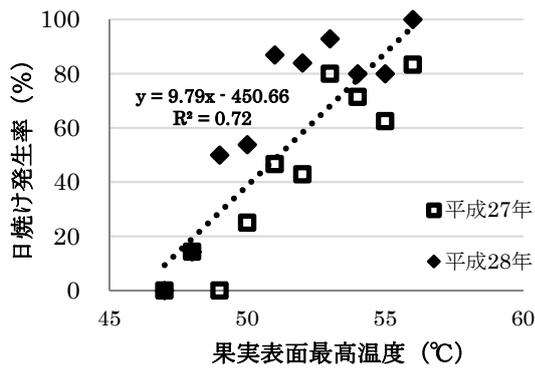


図5 果実表面最高温度と日焼け発生率との関係。横軸46℃とは、46.0℃以上46.9℃以下を示す。

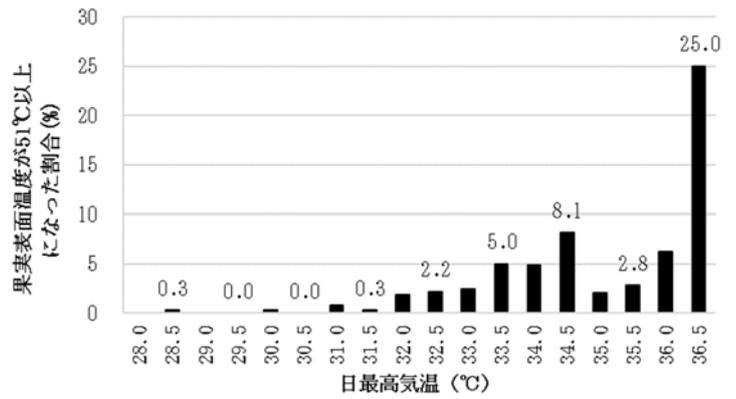


図6 樹冠外周部で直射日光があたった果実について表面温度が51℃以上になった割合（平成27、28年平均値）

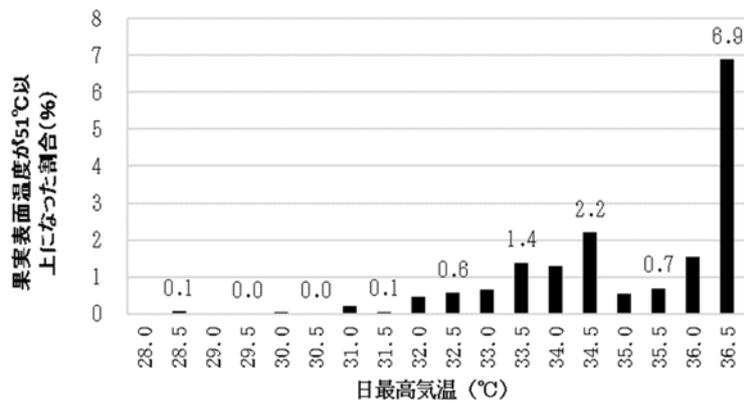


図7 リンゴ「ふじ」1樹の全着果数について果実表面温度が51℃以上になった割合（平成27、28年平均値）。横軸の28℃とは28.0℃以上28.4℃以下を示す。

表1 ウンシュウミカン「青島温州」の12月1日時点における果実比重の予測と実測（2014年）

| 予測式番号 | 予測日 | 予測式 | 決定係数 | 果実比重 | |
|-------|-------|---|------|-------|-------|
| | | | | 予測値 | 実測値 |
| 1 | 6月1日 | $-0.0096 \times \text{平均気温 (2月中旬)}$ $-0.0051 \times \text{平均気温 (4月中旬)}$ $+0.0062 \times \text{降水日数 (1月上旬)}$ $-0.0058 \times \text{降水日数 (5月下旬)} + 1.0085$ | 0.65 | 0.855 | 0.853 |
| 2 | 12月1日 | $-0.0140 \times \text{気温}$ $-0.00282 \times \text{降水日数} + 1.1400$ 気温：2月上旬～4月中旬および10月下旬～11月下旬の平均値 降水日数：4月下旬～7月上旬および10月上旬～11月上旬の総和 | 0.60 | 0.843 | |

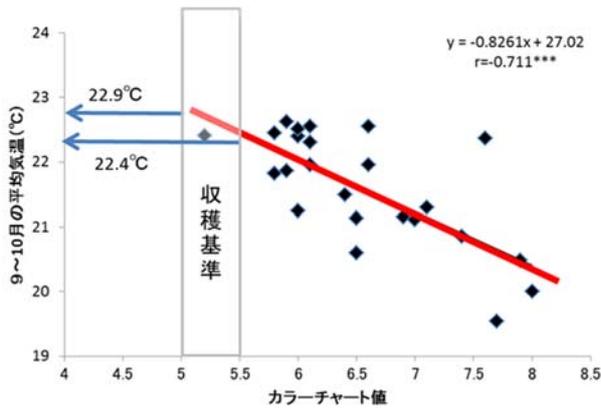


図8 9～10月の平均気温と収穫終期のカラーチャート値との関係

図9 着色開始期前の採取果を各々の温度で保存した際の27日後の着色状況

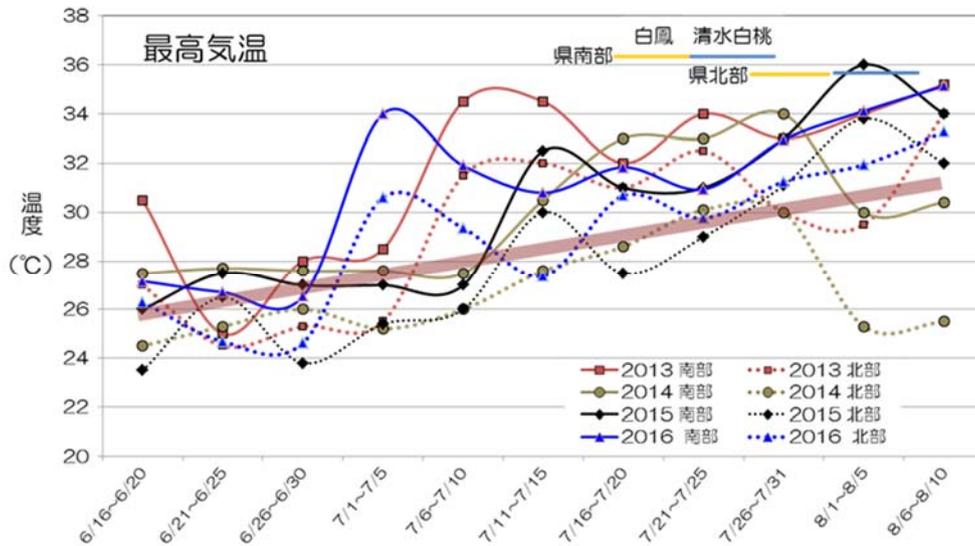


図10 気温の異なる地域におけるモモの成熟期の4年間の最高気温推移
 右上の品種と線はそれぞれの収穫時期
 図中の赤の太線は、各時期において障害が多発する時の温度（閾値）

表2 モモの果肉障害が多発する各時期の平均日最高気温（閾値温度）

| 時期 | 閾値温度(°C) | 閾値温度以上に遭遇した期間 | | | | |
|------------|----------|---------------|---|---|----|---|
| 6月中旬 | 25.5 | ↑ | | | | |
| 6月下旬 | 26.5 | | ↑ | | | |
| 7月上旬 | 27.0 | | | ↑ | | |
| 7月中旬 | 28.3 | | | | ↑ | |
| 7月下旬 | 30.4 | | | | | ↑ |
| 8月上旬 | 31.0 | | | | | |
| 果肉障害発生率(%) | | 35 | 8 | 7 | 10 | 0 |

注) 矢印は各旬において示した最高気温の閾値以上に遭遇した期間を示す。発生率は赤肉症と水浸状果肉褐変症の積算値。品種‘清水白桃’。生育期の高温の時的な影響に関する試験データより作成。最高気温の閾値温度は‘清水白桃’の両障害の発生多発がみられるときの温度（地域間の障害発生率調査試験より）。

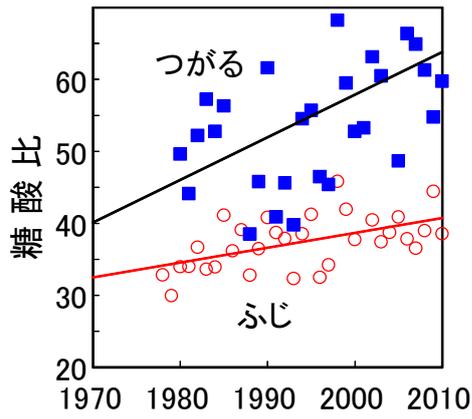


図11 糖酸比の長期的変化。
(11/1時点、長野、ふじ)

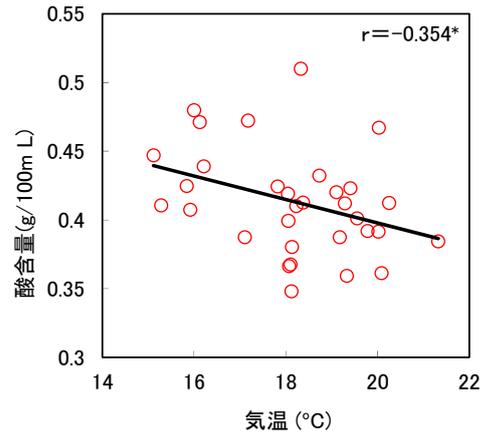


図12 満開後110～180日の平均気温と酸含量
(長野、ふじ)

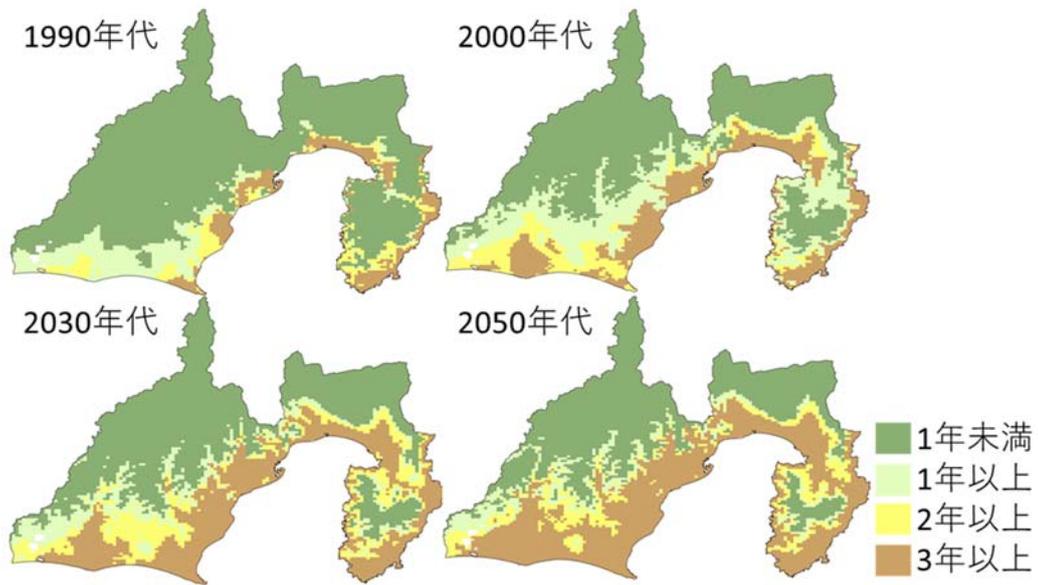


図13 ウンシュウミカン「青島」の静岡県における浮皮多発生年の出現頻度
(10年あたり)。2030、2050年代はMIROC5 (RCP4.5)。

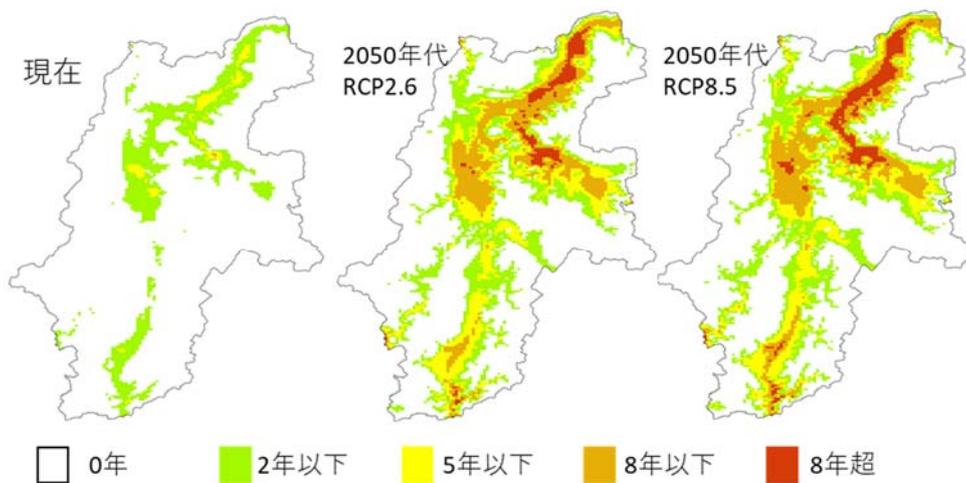


図14 リンゴ「ふじ」の長野県における日焼け多発生年の出現頻度 (10年あたり)。
現在値は1981～2000年の3次メッシュデータより算出。2050年代はMIROC5。

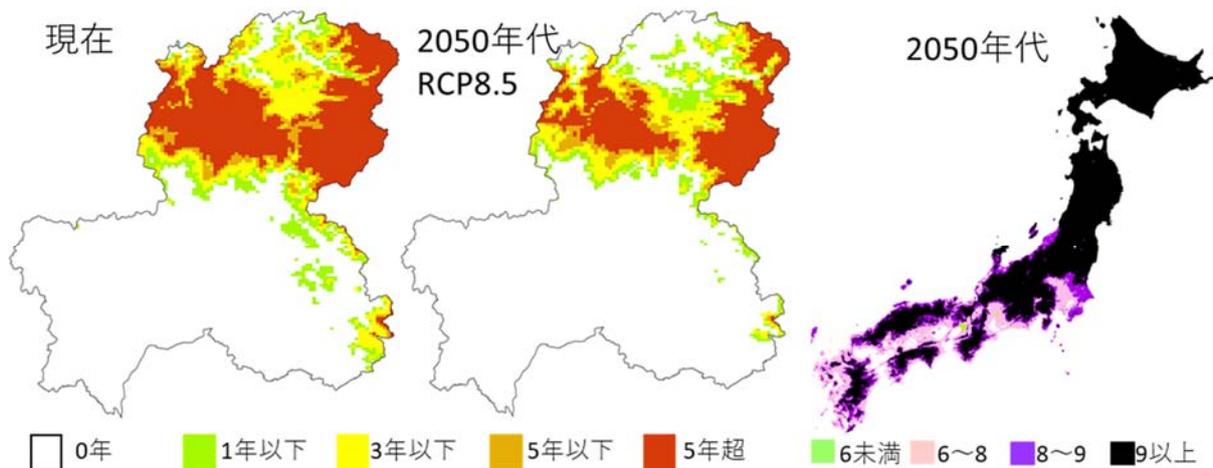


図 15 モモ「白鳳」の岐阜県における凍害多発生年の出現頻度（10 年あたり）。現在値は 1981～2000 年の 3 次メッシュデータより算出。2050 年代は MIROC5。

図 16 収穫期におけるブドウ「巨峰」の果皮色（カラーチャート値）の平均値の分布。MIROC5（RCP4.5）。

3) 成果活用における留意点

ウンシュウミカン「青島」の浮皮が多発する年の出現頻度マップは、静岡県以外では適合性の検証を行っておらず、今後の課題となっている。同様に、リンゴ「ふじ」の日焼けが多発する年の出現頻度マップは長野県、モモ「白鳳」の凍害が多発する年の出現頻度マップは岐阜県において適合性の検証を行っているが、他の都道府県に適用する場合は、適合性の確認が必要である。

4) 今後の課題

上述したように、ウンシュウミカン「青島」の浮皮が多発する年の出現頻度マップは、静岡県以外、リンゴ「ふじ」の日焼けが多発する年の出現頻度マップは長野県、モモ「白鳳」の凍害が多発する年の出現頻度マップは岐阜県以外での適合性の検証が今後の課題である。また、本小課題で解明された、カキの発芽不良や、リンゴの品質変化、モモの果肉障害等は、シミュレーションによる発生地分布の推定やその検証、および将来予測を今後実施する必要がある。

| | | | |
|----------------|--|------|-----------|
| 委託プロジェクト研究課題番号 | 13405363 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 小課題番号 | 81140 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 契約課題名 | 農林業に係る気候変動の影響評価 | | |
| 中課題名 | | | |
| 小課題名 | 温暖化が野菜生産に及ぼす影響評価 | | |
| 小課題責任者名・研究機関 | 岡田邦彦・国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構・野菜花き研究部門 | | |

1) 研究目的

地球規模での温暖化や二酸化炭素濃度上昇などの気候変動にともなう野菜作への影響を評価するため、環境操作実験、作期移動試験、事例データ解析などを通じて、気候変動の影響メカニズムを解明し、影響予測モデルを構築する。さらに、それらのモデルと最新の気候変化シナリオを用いて、気候変動にともなうわが国の野菜作への影響を高精度で評価するほか、地球温暖化に伴う炭酸ガス濃度上昇が一次生産力に及ぼす影響を明らかにする。

2) 研究成果

ブロッコリーのブラウンビーズ発生リスク

長野県野菜花き試験場内露地ほ場（塩尻市、標高750m）と川上村埋原現地試験ほ場（標高1250m）の標高の異なる2地点で4年間、主要2品種（「ピクセル」「おはよう」）の作期移動試験を行い、花芽分化開始期～出蕾期の有効積算温度（基準温度；20℃）を説明変

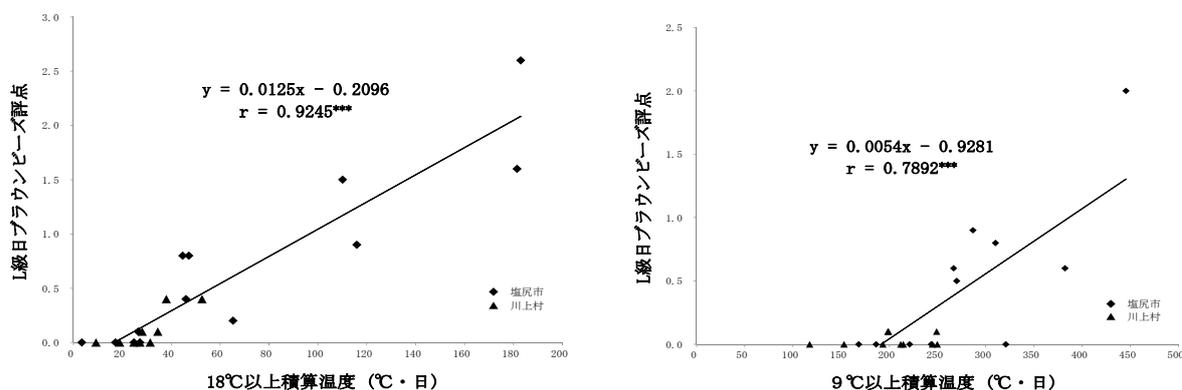


図1 「ピクセル」(左)と「おはよう」(右)の花芽分化開始日～出蕾日の有効積算温度とブラウンビーズ評点との関係

有効積算温度は、対象期間中の日平均気温が基準温度を超えた日について、(日平均気温) - (基準温度)を積算した。「ピクセル」「おはよう」の基準温度はそれぞれ18℃、9℃。

数とする単回帰でブラウンビーズ評点を精度良く推定できることを明らかにした(図1)。当該期間の有効積算温度を計算するには、定植日を基準として花芽分化開始日および出蕾日を推定する必要があるため、定植日～花芽分化開始日および花芽分化開始日～出蕾日のそれぞれの期間について、発育速度 (DVR) を日平均気温 T_{Air} のシグモイド関数とする発育モデルもあわせて開発した (次式)。

$$\text{定植日} \sim \text{花芽分化開始日} \quad DVR = \frac{0.0178}{1 + \exp\left(\frac{20.9 - T_{Air}}{13.3}\right)} + 0.0333$$

$$\text{花芽分化開始日} \sim \text{出蕾日} \quad DVR = \frac{0.022}{1 + \exp\left(\frac{6.35 - T_{Air}}{8.75}\right)} + 0.0202$$

これにより、作期別のブラウンビーズ発生リスクの評価が可能となり、夏季の主産県である長野県周辺を対象に、20世紀末 (1981～2000年) および21世紀中頃 (2041～2060年) におけるブロッコリーブラウンビーズ発生リスク推定マップを定植期別に作成した(図2)。現在のブラウンビーズ評点推定は低いだが、将来、出荷困難と見なされるレベルまでブラウンビーズ評点推定が上がる地域は、高温でのブラウンビーズがより低い品種の導入、さらには、ブロッコリー作期の再検討が今後必要になる可能性があることを示している。

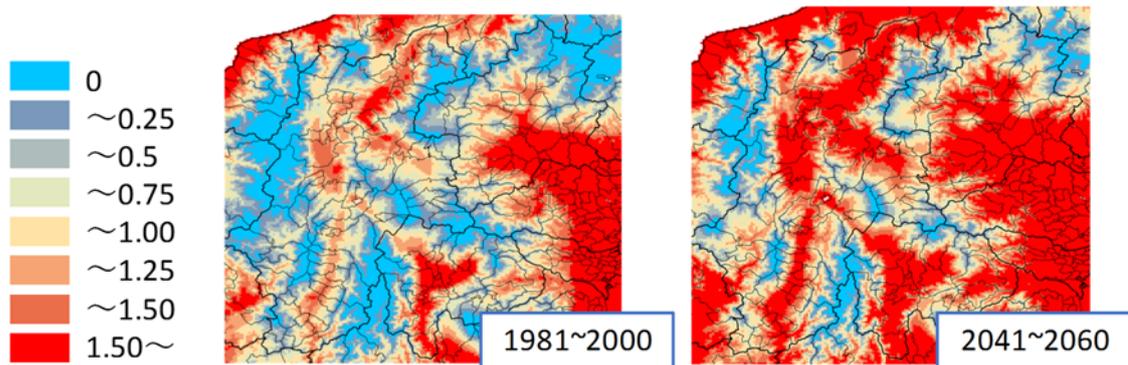


図2 7月中旬定植、品種ピクセルのブラウンビーズ評点推定マップ (左 ; 1981～2000年の平均、右 : 2041～2060年の平均、気候シナリオはMIROC5、RCP8.5を使用)。評点1.5以上では、販売困難。

雨よけハウレンソウに対する高温影響

夏どりハウレンソウについては、岩手県県北農研での作期移動試験の結果を用いて、地上部乾物重モデルに加えて、地上部生体重、草丈の影響評価モデルを開発した (ハウレン

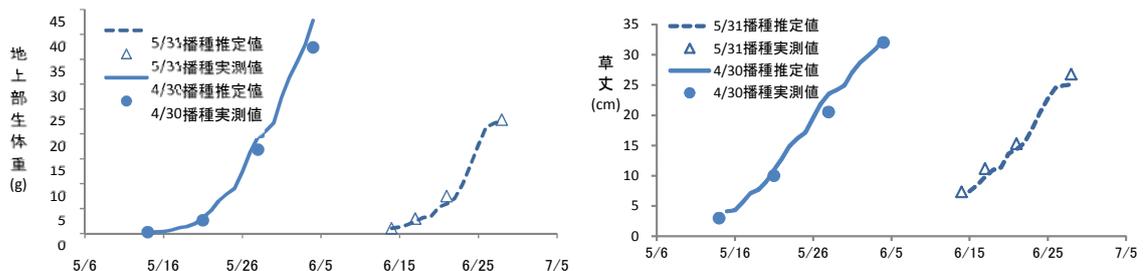


図3 ハウレンソウの地上部生体重 (左) と草丈 (右) のモデル推定値と実測値との比較 (品種「スーパースター」)

ソウは一般に、一定の草丈に達すると収穫するため、草丈の予測は重要)。ここで、乾物生産に係る日射利用係数RUEが、高温域で低減しないという関数のもと、シミュレーション結果が、実際の生育状況と良く一致しており(図3)、得られたデータからは、温暖化が生育量に及ぼす負の影響が明らかではなかった。一方、生産現場では、出芽率の低下が問題となっているため、雨よけハウスでの播種深度である2cm深の地温と出芽率との関係が遮光幕の有無によってどのように異なるかを検討した。その結果、28℃を超えると出芽率の低下が顕著になったが、遮光が無い場合には25℃を超えたあたりから出芽率が低下する場合があった。また、遮光率が低い方が出芽率低下リスクが高くなる傾向も見られたが、信頼性の高い推定式を作成できるほど、明らかな関係性は認められなかった。同程度の地温でも、遮光幕の有無や遮光率の違いにより出芽率が異なり、とりわけ、遮光なしの区において地温が28℃より低くても、出芽率が下がる事例が品種に関わらず多くみられた(図4左図)。また、インキュベータを用いた24時間一定温度処理条件下での発芽試験では、28℃では発芽抑制が全く見られず、発芽促成が見られたのは31℃以上であったことなどを勘案すると、出芽率低下は、日平均地温だけでは説明が困難で、時間単位の高温遭遇が関係していることが示唆された(図4右図)。すなわち、温暖化シナリオからハウレンソウの出芽率低下を推定するためには、雨よけハウス内地温の特別推定値が必要であり、さらに、現場で求められる要遮光時期を推定するためには、地温推定値が遮光被覆条件を反映したものでなければならないことが明らかとなった。

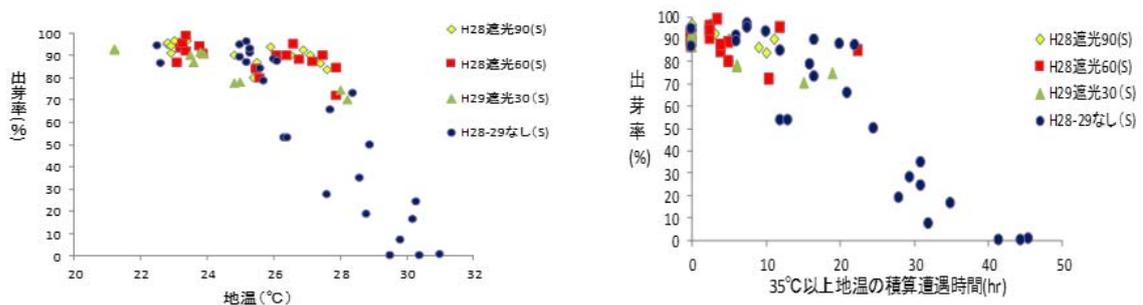


図4 播種から出芽までの平均地温(左)および播種後5日間の地温35℃以上の積算時間と出芽率との関係(品種「スーパースター」)。遮光有りの場合の遮光率は30%、60%および90%。

露地野菜の市場入荷量に及ぼす影響

野菜は貯蔵性が低いため、周年供給するためには年間を通じて生産を行う必要がある。現在は、概ね年間を通じて平準な供給を実現する全国規模の周年生産体制が構築されている。今後、温暖化が進行した場合、年間生産量への影響もさることながら、現行の周年生産体制のもとで、季節間の供給変動バランスがどのように変わるのかが問題である。その影響を評価するためには、現行の周年生産体制、つまり、地域別・時期別作付面積の実態を知る必要がある。ところが、主穀類とは異なり、野菜では地域別・時期別作付面積に関する詳細な統計データが整備されていないため、日別・県別の市場出荷量データや、市町村別・季節別～年間の生産統計データなどの事例データベースから推定する必要がある。そこで、それぞれの産地において、適地適作の考え方に基づく産地・作期配置戦略が採られているであろうという仮説を置き、上記のような既存の統計データの単純な結合では得

られない、現行産地体制を全国規模で推定する方法を開発した。その上で、主要露地野菜（キャベツ、レタス、ハクサイ、レタス、ニンジン）について、現行産地体制のまま温暖化が進行した場合のそれぞれの産地の収穫時期を予測して全国集計し、市場入荷量の年間変動パターンを推定した(図5)。また、市町村別・時期別の収穫面積の変化の全国マップも作成した(図6)。これらの結果から、将来は現行より入荷量増加が推定される時期に収穫となるため、多品目への転換や作期の移動などを検討する必要がある地域や、入荷量減少期に収穫が可能のため、将来的に増産も見据えた産地戦略が可能である地域が明らかとなり、温暖化進行時の産地体制再編のための基礎データとして活用できる。

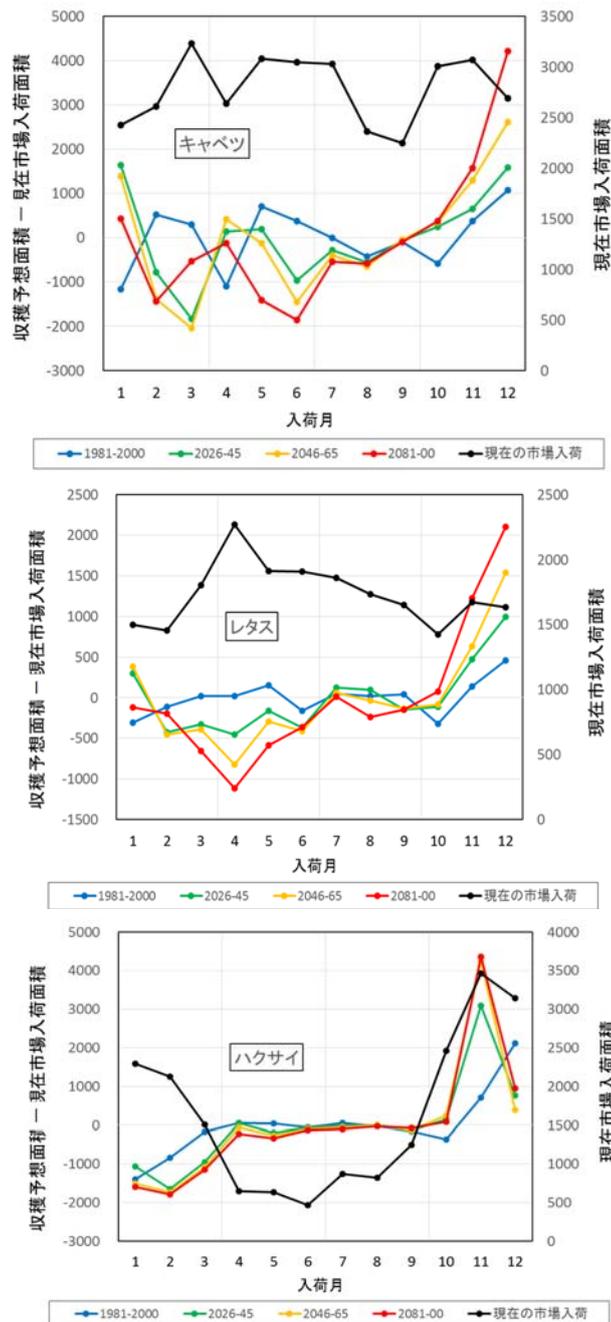


図5 現行の産地体制のまま温暖化が進行した場合のキャベツ（上）、レタス（中）、ハクサイ（下）の月別収穫面積（市場入荷面積）の変化。現在（1981-2000年）の平均値からの増減を示す（単位：ha）。気候シナリオはMIROC5、RCP8.5を使用。

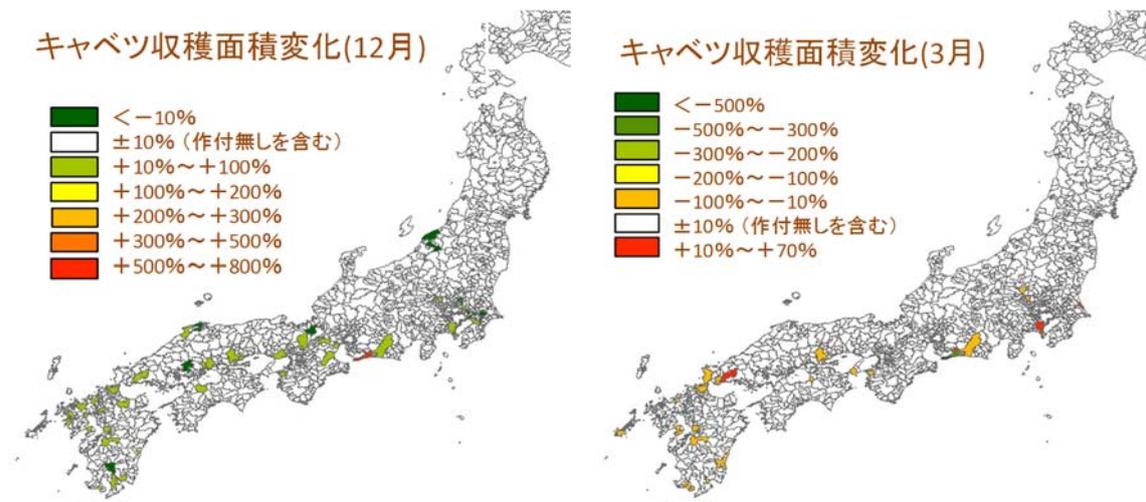


図6 現行の産地体制のままで温暖化が進行した場合のキャベツ月別収穫面積（市場入荷面積；左 12月、右 3月）の変化。現在（1981-2000年）の平均値からの増減で示す。気候シナリオはMIROC5、RCP8.5を使用。

トマトの生産性に及ぼす影響

トマト温室は温度管理を行っているのが一般的なので、まず、室内気温と屋外気温を比較したところ、屋外気温が低温の場合には、温室内気温は概ね設定気温となっていたが、屋外が高温の場合には、屋外気温が高くなると温室内気温も上昇していた（図7）。そこで屋外気温が 2°C 上昇した場合の温室内気温を推定し（図8）、温度と日射量が生産性に及ぼす影響の基本的な特性を知るため、屋外気温が 2°C 上昇、日射量が10%少ない場合について、トマト生育のシミュレーションを行った。屋外気温が 2°C 上昇した場合、展葉は早まるが、乾物生産への影響は小さく、収量にはほとんど差は見られないことが示された（図9）。このとき、展開葉数の増加に伴い生育のごく初期にLAIに差が生ずるが、その後は、下位葉除去などの栽培管理で、適正LAIを維持するため、生産物収量差にもたらすだけの違いはなかった。一方で、屋外日射量が10%減少すると、乾物生産・収量とも低下することが示された。次に、地球温暖化予測情報第8巻（気象庁、2013）のデータを用い、60年後の気象条件下での変化を推定したところ、7～9月の日平均温室内気温は2016年に比べて 2.8°C 高まると予想された。さらに、高温による生育抑制を適温域に対する相対比で記述したモデル（Vanthoorら、2011）を新たに適用し、より詳細な高温影響評価を行った。このモデルは、適温域（日平均気温 $18\sim 22^{\circ}\text{C}$ ）を超えて高温になるほど成長が直線的に低下し、日平均気温 27°C で0%になるもので、別研究プロジェクトで次世代園芸拠点での栽培改善検討に用いているもので、日本型品種への適用に大きな問題がないことを確認しているものである。その結果、図10のように相対的な成長が低下することが予測された。ここで得られた手法は、任意の温暖化シナリオに基づく、全国各地の施設栽培トマトの生産に及ぼす影響推定に活用できる。

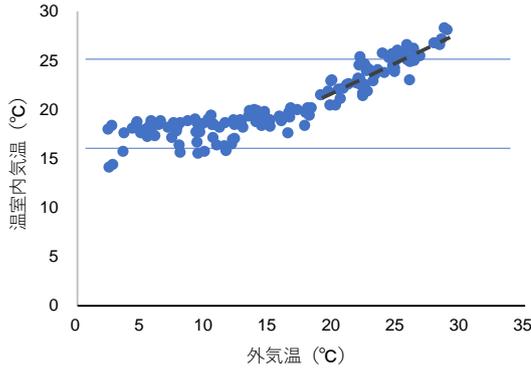


図7 外気温(日平均値)と温度管理されている温室内日平均気温との関係(2016年6月～12月)。外気温が低い場合に施設内気温を好適範囲に維持することは難しくない。外気温20℃以上の場合の回帰式は、(温室内日平均気温) = $0.67 \times$ (外気温) + 8.0。

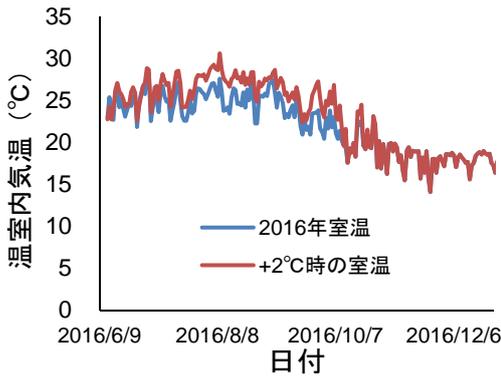


図8 2016年の温室内日平均気温(実測値)と屋外気温が2℃上昇した場合の温室内日平均気温(シミュレーション値)。図7の結果に基づき、屋外気温20℃以上の場合の予想気温 = $0.67 \times$ 屋外気温 + 8.0、屋外気温が20℃未満の場合は設定気温とした。

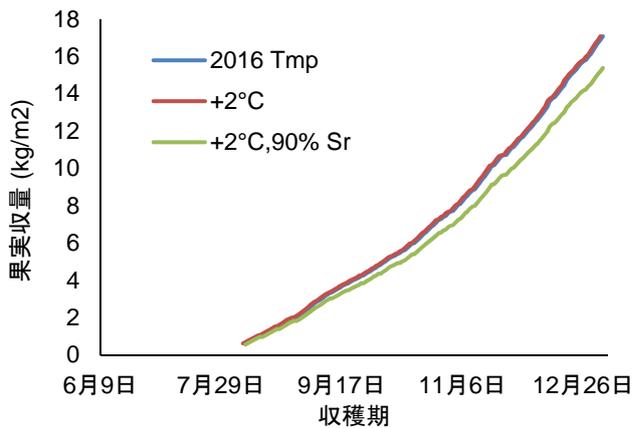


図9 屋外気温および日射量の変化がトマトの果実収量に及ぼす影響(モデルシミュレーション)。
 2016 Tmp : 2016年の温室内環境(実測値)。
 +2℃ : 2016年に比べて屋外気温が2℃上昇した場合に想定される温室内環境。
 +2℃, 90% Sr : 2016年に比べて屋外気温が2℃上昇した場合に想定される温室内環境+日射量90%。

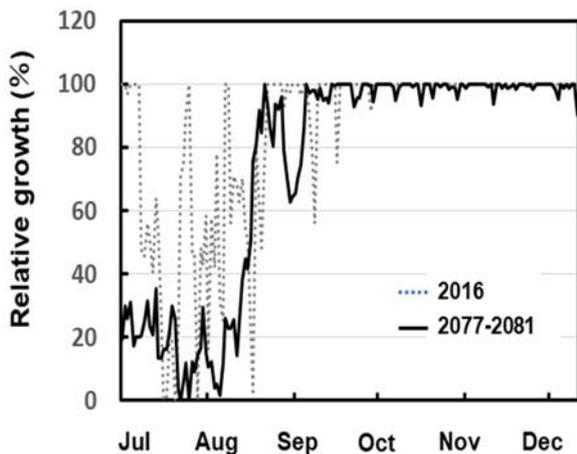


図10 将来予想される施設内気温の上昇がトマトの相対成長速度に及ぼす影響。日平均気温が18～22℃のときの成長速度を100%とする成長速度の相対値を示す。
 2016 : 2016年の温室内日平均気温(実測値)による評価値
 2077-2081 : 60年後の気象条件での温室内日平均気温(推定値)による評価値

イチゴの花芽分化期

イチゴ（品種「さちのか」）については、窒素中断開始時期を8月中旬から9月上旬の異なる4つの時期に行い、花芽分化に及ぼす影響を調査したところ、いずれの区でも9月17-18日に花芽分化が確認されたことから、窒素中断時期の花芽分化への影響は小さいことが明らかになった。このため、窒素中断処理は「8月中下旬に実施」することを育苗の前提条件として

扱うこととし、花芽分化期予測モデルの発育指数（DVI）の生育ゼロ起点を、これまでの「窒素中断処理開始日」から「親株からの切り離し日」に設定しなおし、パラメータの最適化などモデルの再構築を行った。また、平成25～29年の実測値の単回帰から、育苗期間中の施設内気温の屋外気温による推定式を作成した。この推定式を用いた花芽分化推定日は、施設内気温実測値を用いた場合と差がないことを確認しているが、推定式パラメータと個々の育苗ハウスの特性や地域の気候条件との関係を明らかにするだけのデータは得られていないため、この推定式の一般化、さらには、マップ作成には至らなかった。以上のように、施設内気温が得られる条件下での品種「さちのか」について、適合度の高い花芽分化期予測モデルが策定された（表2）。今後、地域の気候特性やその地域で育苗ハウス特性が一般化できる場合には、地域固有の施設内気温推定式を策定し、地域における温暖化影響評価や栽培指導に活用できる。

表2 施設内または屋外平均気温を用いた各年の花芽分化日の観察値および推定値

| | 観察花芽分化日 | 施設内平均気温から推定 | 屋外平均気温から推定 |
|--------|---------|-------------|------------|
| 平成25年度 | 9/19 | 9/17 | 9/17 |
| 平成26年度 | 9/14 | 9/13 | 9/13 |
| 平成27年度 | 9/9 | 9/12 | 9/12 |
| 平成28年度 | 9/19 | 9/19 | 9/19 |
| 平成29年度 | 9/18 | 9/18 | 9/18 |

野菜の1次生産力に対するCO₂濃度上昇の影響

野菜の1次生産力に対するCO₂濃度上昇の影響評価については、これまでに実施したオープントップチャンバハウス（ビニルハウスの天頂部を1mほど開けたもの）での大気濃度+50～100ppm程度のCO₂施用試験（図11）の結果から、少なくとも50～100ppm程度のCO₂濃度の上昇では、比葉面積などに違いは認められず、物質生産－受光体勢の再生産サイクルに特段の違いは認められないこと、日射利用係数（RUE）で見た乾物生産性については、キャベツでは高温期も含め、CO₂濃度に比例するRUE上昇が見られたのに対し、レタス・ホウレンソウでは、RUEの上昇程度は小さいことを明らかにした（図12）。この現象には、高CO₂濃度における気孔コンダクタンスの違いが関係している可能性があるが、本課題では計測値を得ていないため、明らかではない。なお、この成果は、CO₂濃度上昇条件下での乾物生産に対する温暖化影響評価には必須のものである。



図11 オープントップチャンバでの栽培試験

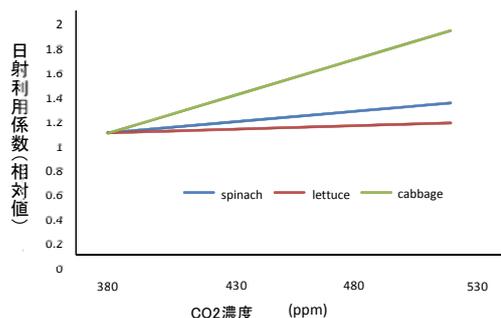


図12 オープントップチャンバ栽培試験で得られたCO₂濃度上昇がキャベツ・レタス・ホウレンソウの日射利用係数(RUE)に及ぼす影響。380ppm CO₂でのRUEを1とする相対値で示す。

冬春ダイコンの温暖化影響

冬春ダイコンについては、神奈川県農技センター本所（平塚市）と三浦半島事務所（三浦市）において、青首品種‘福誉’等を供試し、作期移動試験（9月上旬～10月上旬播種）を行い、根重が設定値に達した時期を収穫期とする温暖化による収穫期変動推定モデルのプロトタイプを開発した。

3) 成果活用における留意点

ホウレンソウ出芽率推定における地温（時間値）、イチゴ花芽分化期推定モデルにおける育苗ハウス内気温、トマト生産性影響評価モデルにおける施設内気温など、一般推定式が得られていないので、対象地域・時期における推定式を作成する必要がある。また、時期別市場出荷量推定は、個々の生産者利用ではなく、産地再配置などにおける行政施策策定に活用すべきものである。

4) 今後の課題

野菜ではトンネル、温室等の栽培施設を利用する機会が多いので、気候変化シナリオから得られる気象条件から施設内環境を推定する手法の開発が、共通の課題として残された。このほか、環境条件からの病害発生予測研究が、近年急速に進んでおり、この手法を援用すれば、生産現場で最も関心と重要度の高い病害発生に及ぼす温暖化影響評価が可能と考える。

| | | | |
|----------------|--|------|-----------|
| 委託プロジェクト研究課題番号 | 13405363 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 小課題番号 | 81150 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 契約課題名 | 農林業に係る気候変動の影響評価 | | |
| 中課題名 | | | |
| 小課題名 | 温暖化による飼料作適地変動予測と影響評価マップの開発 | | |
| 小課題責任者名・研究機関 | 井上聡・国立研究開発政法人農業・食品産業技術総合研究機構・北海道農業研究センター | | |

1) 研究目的

地球規模での温暖化による気候変動は粗飼料生産にも大きな影響を及ぼすため、国際的な飼料価格高騰などに対処し、わが国で安定した自給飼料生産を行うためには、温暖化・気候変動の影響を精密に予測して対策を立てることが重要である。

高品質自給粗飼料の確保のために、わが国最大の牧草生産地である北海道では栄養価および嗜好性に優れたアルファルファの栽培面積が増加している。また、1番草収穫後の草地造成による飼料確保および生育旺盛な春雑草との競合回避のために夏季造成（播種）が増加している。アルファルファは土壤凍結に弱く、播種当年越冬前に十分な根の発育が得られないと翌年以降の生産量が大きく低下することがあり、根釧地域ではアルファルファの夏季造成は不安定とされてきた。しかし、近年の気候変動に伴う夏～秋季の高温化により、根釧地域でも夏季草地造成の可能性が高まっており、安定的に造成できる時期（播種晩限）を地域毎に明らかにすることが求められている。本課題では播種期の移動や土壤凍結深を制御した栽培試験により、個体充実度（草丈、根重、根長等）および越冬性（翌春越冬状況、翌年収量等）を調査し、播種限界・夏季安定造成時期推定モデルを構築する。また、先行降雨指数を用いて、個体充実度評価の誤差要因である干ばつの影響を加味した精度の高い気候学的生育量評価を行う。作成したモデルを用いて、アルファルファ播種晩限の広域マップを作成し、気象の年々変動を考慮し、低温年でも安定生産できる確率計算を行う。さらに1 kmメッシュ気象予測値等を用いて、気候変動による播種晩限移動への影響を明らかにする。一方、気候変動にともなう多雪化は、土壤凍結深減少、雪害の増加をもたらすため、積雪変動予測を行い、牧草冬枯れ被害の将来予測を行う。

また、トウモロコシはわが国の飼料作物の中で最も高栄養かつ多収な飼料作物であり、トウモロコシの作付けの拡大により、わが国の大家畜生産における輸入濃厚飼料の節減や畜産物生産コストの低減が期待できる。従来、トウモロコシの二期作栽培は、わが国では九州等の暖地における作付体系と考えられてきたが、温暖化の進行により、二期作栽培の適地が拡大していると考えられる。特に現在、東海地域から関東地域にかけての二期作の栽培事例が増加しているが、これらの地域における二期作の安定栽培に関する情報はこれ

まで十分に得られていない。そこで、本研究では現在のトウモロコシ二期作栽培適地を10km～1 kmメッシュの空間解像度で北海道を除く全国規模で明らかにするとともに、各地点での気温が2～3℃上昇した場合を想定し、栽培適地の拡大予測を行う。さらに、作期移動試験により気象条件と収量との関係に関するデータを収集し、ニューラルネットワークを用いたトウモロコシの収量予測手法を開発することにより、複数の温暖化シナリオのもとでのトウモロコシの乾物収量の将来変化を予測する。

2) 研究成果

牧草播種晩限については、道総研根釧農業試験場において播種期移動試験を行い、播種後の有効積算気温と越冬前生育量との関係を調べた。年度によっては、干ばつ等による生育遅延が見られたため、簡便な土壌水分指標である先行降雨指数による補正を考案した。また、土壌凍結深の違いによる越冬性および翌年生育の違いを見るため、試験区を区分して除雪を行い、土壌凍結深条件の異なる区を設定した。土壌凍結深を2区分に分け、区分ごとに先行降雨指数補正必要有効積算気温を求めた。越冬性は、土壌凍結の影響ばかりではなく、連続積雪期間の長期化による冬枯れ（雪腐病）の影響もある。そこで、雪腐病の影響も検討した。過去の作況結果より、根釧以外の地域では雪腐病がほとんど見られないことが確認された。根釧地域では年によってまれに雪腐病が見られるが、発生事例が少なく気象条件からは推定できなかった。また、根釧農業試験場において雪腐病防除の有無による越冬性の違いを検討したが、雪腐病の影響はおおむね考慮しなくてよいことが分かった。

以上より、1995年から2014年まで20年間の1kmメッシュ気象データを用いてマップ化を行った。最大土壌凍結深はF20（土谷ら）を参考に土壌凍結深分布を推定し、先行降雨指数補正必要有効積算気温から、確率ごとの播種晩限日を計算した（図1は70%確率で間に合う暦日の例）。また、西森ら提供のMIROC5モデルRCP4.5シナリオによる10kmメッシュの将来予測を行った（図2、図3）。その結果、20世紀末は7月中旬に播種を終える必要があったが、21世紀末は8月中下旬まで播種晩限日が遅れる結果が予測された。ただし、本データはウェザージェネレータによって日降水量を算出したものであったため、西森らによる気象庁温暖化予測情報第8巻気候モデル1982～2000年および2078～2096年のモデル出力（1kmメッシュ）でも計算を行い、同様の結果を得た（図省略）。また、本委託プロジェクト小課題44190（平成24年度終了）の研究成果の利用に供するため、北海道内の統計的気候区分を行った。さらに、有効積算気温から播種晩限日を推定するプログラムを開発した。牧草播種晩限については、小課題44190との連携成果とともに、平成27年北海道成績会議にて「指導参考」として採択され、北海道農政部技術普及課（普及センターの統括機関）の普及員の指導マニュアル「営農技術対策」8月版に平成27年度から引用されている。また、（一社）日本草地畜産種子協会・北海道自給飼料改善協議会が発行する「強害雑草防除マニュアル2016（北海道版）」にも雑草対策の重要情報として引用されるなど、現場で広く利用されている。現在の根釧地域を対象とする播種晩限マップは根釧農業試験場から、小課題44190との連携成果は北海道農業研究センターから、それぞれ詳細な資料がインターネット公開されている（情報公開URLは本節末尾に記載）。

トウモロコシ二期作栽培適地の全国的な拡大予測については、MRI-CGCM3及びMIROC5の両気候モデルについて排出シナリオをRCP4.5及びRCP8.5とした場合の4つのケースについて、2次（10km）メッシュデータを用いて、2031年から2050年、及び2081年から2100年のそ

れぞれ20年間の各年について、年間の10℃基準有効積算温度を算出し、10℃基準有効積算温度で2,200℃未満を栽培不適地、2,200～2,300℃を栽培限界地帯、2,300℃以上を栽培適地として判定した。その結果、現在の栽培適地となるメッシュ数割合14.8%に対して、2090年における栽培適地となるメッシュ数割合は34.7～61.0%に拡大することが予測された(図4)。また、関東地域について気候モデルをMRI-CGCM3、排出シナリオをRCP4.5とした場合の栽培適地の拡大を3次(1km)メッシュデータを用いて予測したところ、関東地域における現在の栽培適地メッシュ数割合(6.0%)が、2040年には37.8%、2090年には54.2%に増加することが予測された(図5)。

ニューラルネットワークを用いた収量予測モデルとしては、目的変数をCGR(日平均乾物生産速度)とした方がDM(乾物生産量)とするよりも相関係数は高くなった。目的変数がCGRの場合の相関係数は、中間層のセル数4以上ではいずれも0.75程度で大差なかったが、各変数の変動とCGRの関係から中間層のセル数は8が妥当であると判断された。収量データを組み込んだ適地判定を行うため、まず、メッシュごとの「KD500」、「なつむすめ」、「タカネスター」の収量ファイルを作成した。次に、メッシュごとに二期作(「KD500」+「なつむすめ」と二毛作(「タカネスター」+イタリアンライグラス)でどちらが高いかを比較し、二期作の予測収量が二毛作の予測収量を上回る場合を二期作適地としてメッシュごとの判定を行い、マップを作成した(図6,7)。その結果、先に述べた有効積算温度によって二期作栽培適地と判定された領域では、生産量もおおむね二期作の方が高くなった。以上のように、2つの異なる手法によって得られた二期作栽培適地はほぼ一致し、両方法の妥当性を互いに補強する結果となった。

情報公開URLは以下の通りである。

播種晩限日推定マップ(根釧地域におけるチモシー主体アルファルファ混播草地対象)

<https://www.hro.or.jp/list/agricultural/research/konsen/labo/sakumotsu/hasyubang.en.html>

播種晩限日推定プログラム(全道での上記以外の混播草地対象)

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/pamphlet/tech-pamph/078866.html

気候変動に対応したサイレージ用トウモロコシの二期作栽培技術<関東地域版>

http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/pub2016_or_later/laboratory/nilgs-neo/tec_report/078189.html

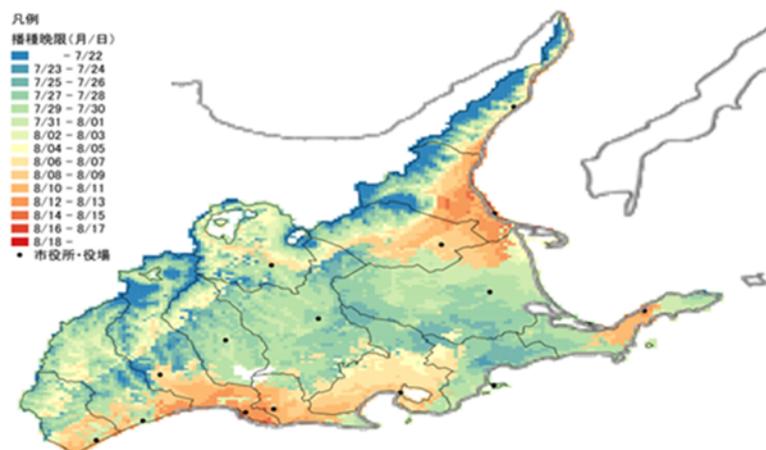


図1 根釧地域における現在(1994～2013年)の1kmメッシュ播種晩限日推定マップ(70%確率)

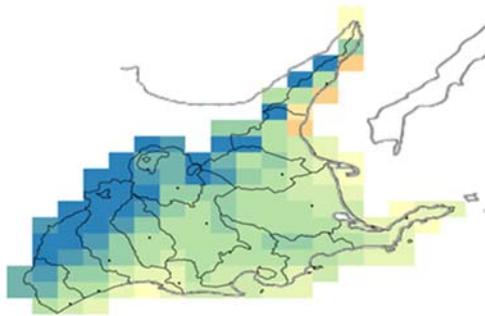


図2 根釧地域における1981～2000年平均の10kmメッシュ播種晩限日推定マップ。MIROC5・RCP4.5を計算に使用。凡例は図1と同じ。

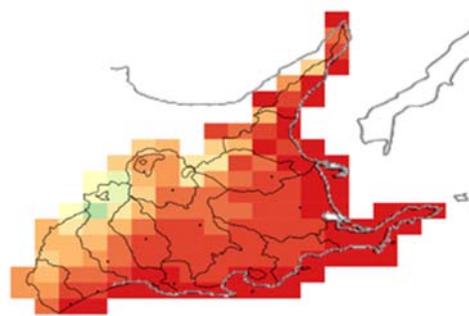


図3 図2と同じ、ただし2081～2100年平均。

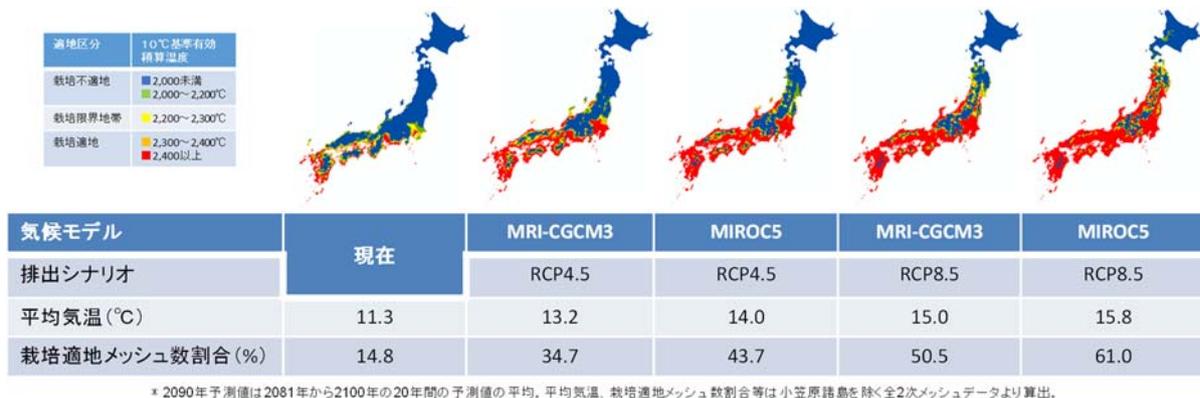


図4 気候モデルをMRI-CGCM3及びMIROC5、排出シナリオをRCP4.5及び8.5とした場合の2次メッシュデータを用いた2090年のトウモロコシ二期作栽培適地の拡大予測

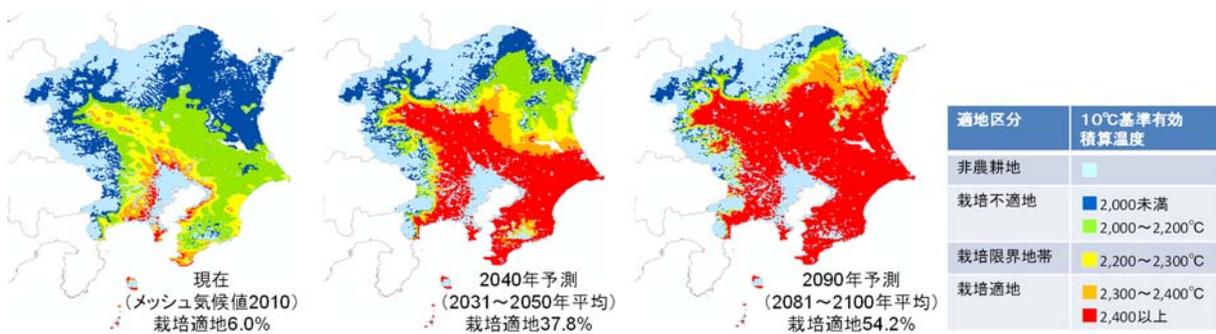


図5 気候モデルをMRI-CGCM3、排出シナリオをRCP4.5とした場合の3次メッシュデータを用いた関東地域におけるトウモロコシ二期作栽培適地の拡大予測

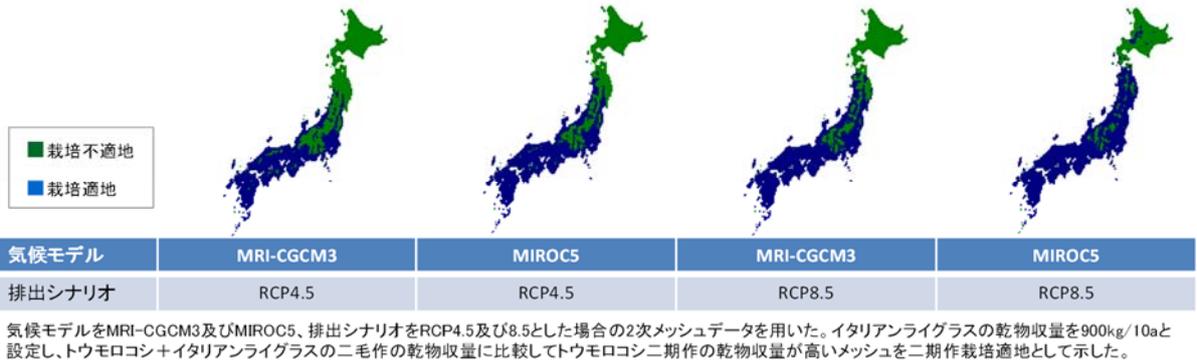


図6 慣行栽培（トウモロコシ+イタリアンライグラス二毛作）との収量比較からみたトウモロコシ二期作栽培適地の2090年における拡大予測

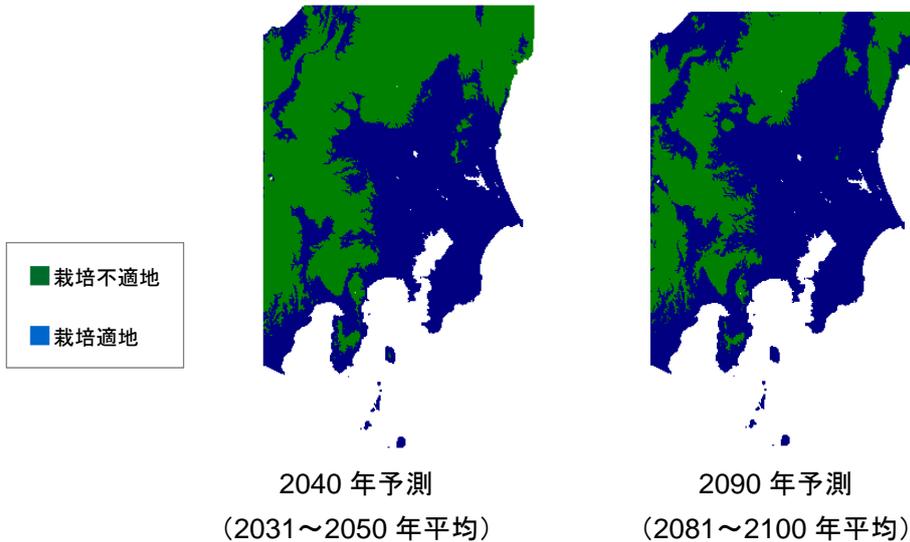


図7 気候モデルをMRI-CGCM3、排出シナリオをRCP4.5とする3次メッシュデータを用いた、慣行栽培との収量比較からみた関東地域における2040年及び2090年のトウモロコシ二期作栽培適地の拡大予測

3) 成果活用における留意点

牧草播種晩限については、「現在」において確率別のマップを作成している。70%はおよそ3年に一度の低温年に対応しているが、現地の状況や考え方によって参照する確率を使い分けて播種晩限日を推定すべきである。44190との連携成果であるプログラムにおいても同様である。

トウモロコシ二期作については、本課題で栽培適地判定指標とした年間（あるいは栽培期間中）の10℃基準有効積算温度2,300℃以上という指標は、1作目・2作目ともに収穫されるトウモロコシが黄熟期に到達し、全植物体乾物率が25%以上となる指標である。冷涼

年には、2作目が登熟不良となり、黄熟期に到達しない場合があるため、収穫前に霜に当て水分を低下させることや、サイレージ調製時にビートパルプ等を添加するなどの水分調整が必要となる。

4) 今後の課題

牧草播種晩限については、日降水量がより精緻化されたデータを利用すれば、より高精度な予測が期待できる。

トウモロコシ二期作については、より安定して高品質のサイレージを生産するためには、全植物体乾物率30%以上で収穫することが望ましく、全植物体乾物率30%以上となる適地判定指標の策定とその指標による適地判定や適地の拡大予測を行う必要がある。また、現在、関東地域では、茨城県等の二期作栽培適地以北において、二期作が試験的に取り組まれるようになってきており、こうした地域での二期作の安定栽培に向けた品種の組み合わせ法等の検討を行う必要がある。

| | | | |
|----------------|---------------------------------|------|-----------|
| 委託プロジェクト研究課題番号 | 13405363 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 小課題番号 | 81160 | 研究期間 | 平成25～29年度 |
| 契約課題名 | 農林業に係る気候変動の影響評価 | | |
| 中課題名 | | | |
| 小課題名 | 森林からの水資源供給に関わる気候変動の影響評価 | | |
| 小課題責任者名・研究機関 | 玉井幸治・国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 | | |

1) 研究目的

地球温暖化に伴う気温や降水の変化は、我が国の水源地帯における主な土地利用である森林の生育環境や水循環過程に変化をもたらし、下流域において利用可能な水資源量に影響を及ぼすことが懸念されている。そのため、水源地帯である森林域から供給される水資源量の現況と気候変化に伴い起こりうる変動を把握しておくことは、森林資源の持続的管理と水資源の安定的確保のみならず、灌漑により水資源を利用する食料生産への影響を把握するためにも必要な情報である。そこで、森林域から下流域へもたらされる水資源供給量について、1kmメッシュの空間解像度で予測が可能な森林水循環モデルを開発する。この森林水循環モデルによって、森林からの水資源供給量の多寡が、田植えの時期など、作物生産に影響を及ぼす時期や量に関する指標を開発する。さらに、これらの指標に着目して、新たに得られる高精度気候変化シナリオを用いた予測を行い、将来気候下における森林からの水資源供給量の変動が、作物生産を中心とした流域内での水資源利用に及ぼす影響を評価する。

2) 研究成果

・森林水循環モデルの開発

森林域から下流域へもたらされる水資源供給量を算出する森林水循環モデルを、既往の森林生態系モデルの一つであるBiome-BGCをベースに、「森林土壌による流出遅延効果」と、森林に特有の現象である「遮断蒸発」、「森林域における積雪融雪過程」の組み込みを

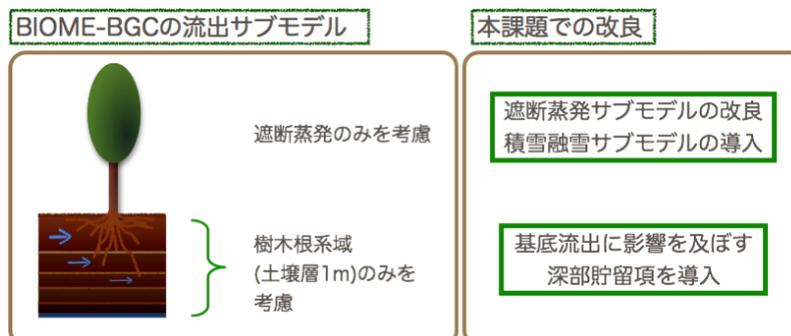


図1 本課題の概略

中心に改良を行った(図1)。

「森林土壌による流出遅延効果」については、Biome-BGCの流出サブモデルに、近藤ら(1994, 水文・水資源学会誌)による指数型タンクモデルのうち、無降雨時の流出である基底流出に影響を及ぼす2段目のタンクを導入した。また、表層土壌の保水性に関わる情報について、Hashimoto et al. (2012)の土壌分類と三相分布に関するデータセットを国土数値情報土地分類メッシュと統合し、土壌の三相分布から表層土壌の保水容量を算出する手法を組み込んだ。指数型タンクモデルを導入した場合、日流出量100mm以下の領域で観測値との対応で改善が見られ、流出の逡減においても観測で見られた流出逡減と良好に対応していた。

「遮断蒸発」量は、降水が樹冠に貯留される量とその時の気象条件によって決定される。Biome-BGCではその計算を日単位で行い、樹冠において蒸発せずに残っている水は翌日には持ち越さない。これは降水継続時間が長い場合の遮断蒸発量予測や降水終了後の土壌水分環境に影響を及ぼすことが予想されたため、この点について改良を行った。樹冠遮断蒸発モデルによる予測値を観測された樹冠通過雨量と樹幹流下雨量と比較したところ、降水量に対する樹冠通過雨量と樹幹流下雨量の応答関係は、観測値とモデル予測値の間で良好な対応を示した。

「森林域における積雪融雪過程」の組み込みでは、気象条件に応じた森林内外の積雪融雪量の時系列変化のモデル化を行った。モデル推定では、葉面積に代表される森林の状態の違いを反映し、落葉林では最大積雪水当量は多いものの消雪が早く、常緑林では最大積雪水当量は落葉林に比べ少ないものの消雪までの期間が長いという2008年/2009年冬季に森林総合研究所東北支所山形実験林で測定された結果を再現することができた。

・山岳地域における降水量の過小評価の補正技術の開発

山岳地域における降水観測施設が少ない事や降雪時の観測誤差の増大は、広域の降水量データセットの精度に影響を及ぼすことが指摘されている。そこで、月単位の水収支モデル(ABCDモデル, Thomas, 1981)と、人為的な影響が少ないと見なせる最上流部に位置するダムサイトにおける流入量データを組み合わせ、山岳地域を対象として広域の冬季降水量を補正する補正手法を開発した。

冬季降水量の補正は、広域降水量データセットの降雪水量が大きいほどそこに含まれる推定誤差が大きくなるという仮定のもとに、補正量の推定を行った。補正量推定には、最上流部に位置し、森林流域と見なすことができる北海道、本州、四国及び九州から35のダムを対象とした。補正の有無の効果を平均二乗誤差(RMSE)で調べたところ、降雪水量の補正をしなかった場合で月単位の推定で143.2mm、年単位では1044.2mmであり、補正した場合は、月単位で108.9mm、年単位で688.9mmという精度の向上が見られた。ダム流域を対象として得られた補正式を全国に適用した結果、北陸や東北地方の日本海側などで最大3000mmだった年降水量が最大で6000mm近くまで増加した。詳細な観測に基づく年降水量の推定によると中日本で5000mm(Suzuki, 2012)、東北で7000mm程度(Tsuchiya, 1990)であった。今回の補正ではそれぞれ4500mmと5000mm程度と依然として過少な傾向を示したが、広域の降水量データセットの精度向上の効果が見られた。

・森林水循環モデルの検証

構築された森林水循環モデルは、日平均・最低・最高気温及び日降水量を入力気象デー

タとして、森林域からの蒸発散量及び流出量を推定する。森林総合研究所の長期理水試験地である定山溪(北海道)、釜淵(山形県)、竜ノ口山(岡山県)、去川(宮崎県)の4試験地で取得された流出量の観測データのうち2001年から2005年までの5年間を対象として、観測された流量との比較を通じてモデルの動作検証を行った。各試験地での推定値は、観測値と比べて高い再現性が得られた(図2)。

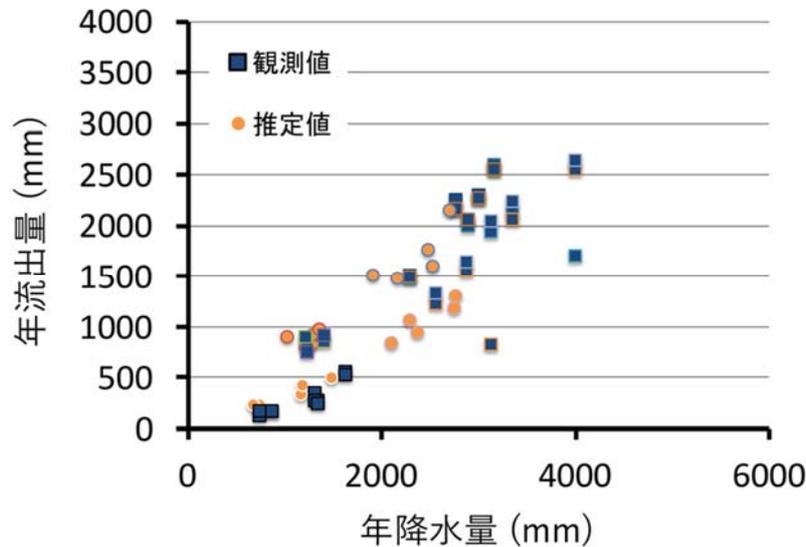


図2 森林小流域によるモデルの検証

・森林水循環モデルによる水資源供給量の将来予測

森林水資源モデルとMIROC5による将来気候シナリオを用いて、森林域から供給される水資源量の長期的な変化についての予測計算を行った。日本の森林全域を対象とした気象条件、蒸発散量及び流出量の変化は次の通りであった。なお、変化量の算出は、20世紀末(1981年から2000年までの20年平均)、21世紀半ば(2041年から2060年までの20年平均)及び21世紀末(2081年から2100年までの20年平均)の3つの時期を設定し、20世紀末を基準に21世紀の2時期を比較して行った。

年平均気温は、20世紀末の9.2℃から21世紀末で11.8℃(RCP4.5)と13.7℃(RCP8.5)まで変化した。年降水量は、20世紀末の1789.7mmを基準に、RCP4.5では21世紀半ばに大きく増加する一方で、21世紀末の増加量は少なかった。一方RCP8.5では、年代と共に年降水量が単調に増加していく傾向を示し、21世紀末までに2061.3mmへと増加した。森林域からの水損失を表す年蒸発散量は、20世紀末の677.3mmに比べて、21世紀末にはRCP4.5で61.7mm、RCP8.5で83.6mm増加した。一方、森林域からの水資源供給量を表す年流出量は20世紀末の1306.8mmを基準に、それぞれ1460.9mm(RCP4.5)と1493.4mm(RCP8.5)まで増加するという変化を示した。

流出量の推定において、降水量の多寡が最も大きな影響を持つ要因であった。年降水量と年流出量の関係を調べたところ、流出量の多寡は時代によらず年降水量の多寡と強い相関関係が見られた。この強い相関関係は、2つの排出シナリオにおいて同様に認められた。年降水量の多寡は、同様に年蒸発散量の多寡にも影響を及ぼしていたが、降水量の変動と比べると蒸発散量の変動は小さく、気候変化に伴う蒸発散量の変化が流出に及ぼす影響が

相対的に小さくなった。

・森林からの水資源供給量が、作物生産に影響を及ぼす時期や量に関する指標の抽出

将来において春季に流出量の減少が生じる主たる原因は融雪期のピーク流量発生時期の変化とピーク流量の減少であった。これは気温上昇に伴う融雪発生時期の早期化と積雪量の減少によるものと推察される。21世紀半ばでの推定結果では、RCP4.5では東北地方日本海側を中心にピーク流量の発生が20日から30日程度早まっていた。一方、RCP8.5ではRCP4.5と同様の早期化が見られ、かつその領域がRCP4.5と比べ拡大していた(図3)。

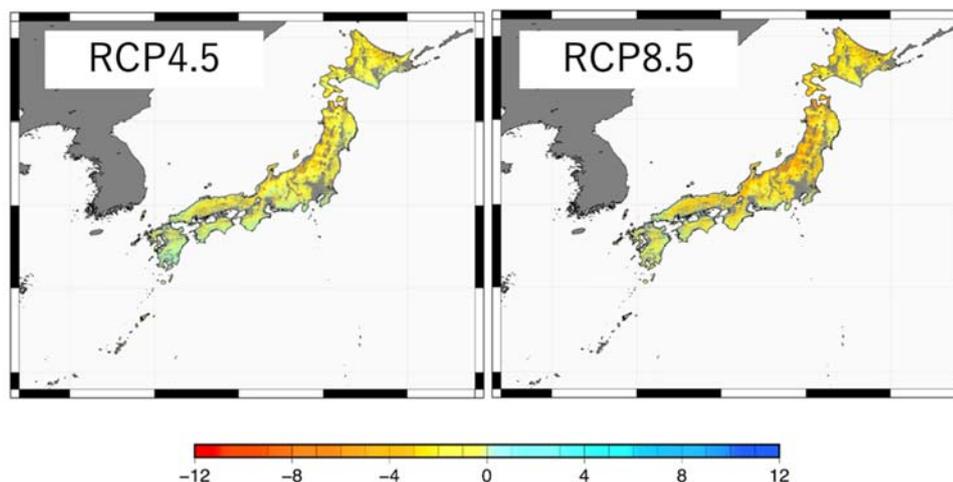


図3 21世紀半ばにおける融雪期の流量のピーク流量出現時期の変化(単位: 半月)。負値はピーク流量出現時期の早期化を表す。

夏季の流出量の減少について、6月から9月までの各月を前半と後半に分け、それぞれ半月ごとに半月流出量の平均値を算出し、20世紀末のそれぞれの期間平均した半月流出量の20年平均値との比較を行った。21世紀半ばを対象とした解析では、6月前半から7月前半にかけての時期、東北や北海道で20世紀末の20年平均値の6割未満となる年次の出現割合が増加していた。また、水需要が高まる夏季(7月後半から8月後半)では、シナリオによらず西日本において期間平均した半月流出量の年次変動が増加しており、20世紀末の同時期の期間平均した半月流出量の20年平均値の6割未満となる年次の出現割合が増加していた。21世紀末を対象とした解析では、変化傾向がRCPシナリオによって異なることを確認した。RCP4.5シナリオを用いた推定では、21世紀半ばと比べ、21世紀末では20世紀末の期間平均した半月流出量の20年平均値の6割未満となる年次の出現割合は若干減少した。一方、RCP8.5シナリオでは、RCP4.5シナリオとは異なり、20世紀末の期間平均した半月流出量の20年平均値の6割未満となる年次の出現割合が高い領域が年代とともに広がっていく様子が見られた(図4)。以上のことから、森林からの水資源供給量の多寡が作物生産に影響を及ぼす時期や量に関する指標には、「春季のピーク流量とピーク流量発生時期」、「夏期の半月流量」を用いることが適切と判断した。

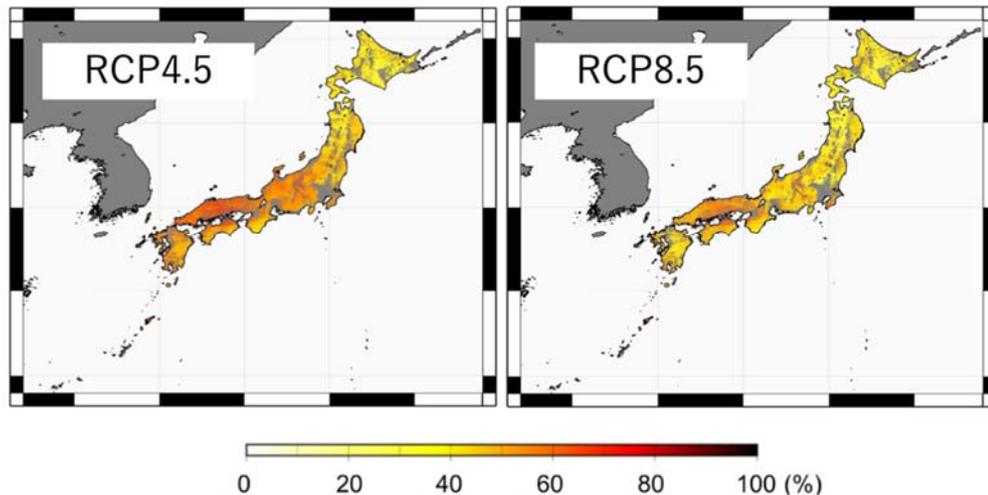


図4 21世紀半ばにおける8月前半の半旬流出量が20世紀末の同時期の半旬流出量の20年平均値の6割未満となる年の出現割合

下流域での水利用に及ぼす影響の評価

気候変化に伴う森林域からの流出量の変化は、下流における水利用に影響を及ぼすことが予想される。森林域からの流出量の変化が下流の水利用に及ぼす影響の大きさを推定するために、水稻栽培期間の水田における水需給バランスに対する気候変化影響を調べた。モデル流域として、日本全域から水田面積及び森林面積が一定割合を占める20流域を選定した。なお、水稻生育時の水需要量は、現在の栽培暦で生育し、河川の流下に伴う水の循環利用は考慮しないという仮定で計算した。そのため、実際的水稻生育時の水需要量と比べ値が大きくなる傾向にある。将来、森林からの流出量よりも水需要量が大きくなる時期の出現割合は、20世紀末の出現割合と比べ若干の増加が見られた(図5)。需要が供給を上回る時期の出現割合の変化は、指標として抽出した時季と一致する、栽培準備によって水需要が高い春先と栽培後期である8月、9月に特に増加する傾向が確認された。このことは水需要に対して供給が追いつかない時期がしばしば現れることを意味しており、現行の栽培暦での水稻生産を将来気候下でも行う場合、20世紀末と比べ水管理の重要性が増大することが示唆される。

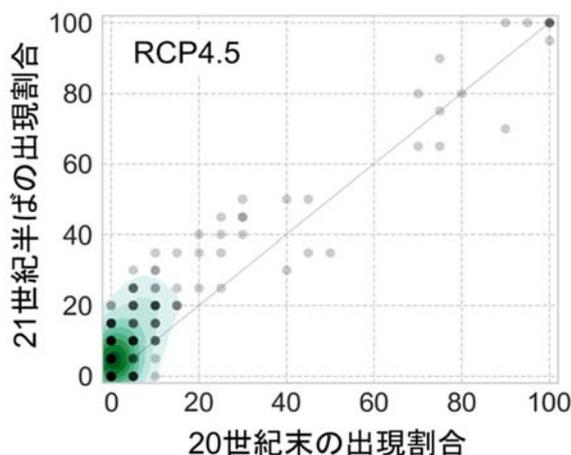


図5 旬ごとに集計した水供給に対して水需要が上回る年の出現割合の比較. それぞれの点の色の濃さはプロットされる点の数に比例する。プロットされる点の全体的な傾向は、カーネル密度推定による点の分布を等値線によって図中に示した。(20流域について集計)

3) 成果活用における留意点

特になし

4) 今後の課題

本課題の成果は、森林から農業地域への水資源供給量への温暖化影響を可能にただけではなく、地方自治体が域内の水資源量の分布状態を把握し、流域の土地利用や森林の管理に活用することも期待される。今後の課題として、開発した水循環モデルと森林施業シナリオを用いた森林管理と気候変動の両者を考慮した森林域からの水資源供給量の将来予測があげられる。本課題で開発した水循環モデルは森林の成長が水循環に及ぼす影響の評価が可能であるが、伐採等の施業計画や森林における炭素蓄積量の変化など森林の状態変化についての検証データが不足している。現在、農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」の1つの課題である「人工林に係る気候変動の影響評価」において気候変動が人工林の成長に及ぼす影響を評価するための研究開発がなされており、この課題での成果と本課題での成果を合わせることで森林管理と気候変動の両者を考慮した森林域からの水資源供給量の将来予測が可能となる。

成果等の集計数

| 課題番号 | 学術論文 | | 学会等発表(口頭またはポスター) | | 出版図書 | 国内特許権等 | | 国際特許権等 | | 報道件数 | 普及しうる成果 | 発表会の主催(シンポジウム、セミナー等) | アウトリーチ活動 |
|----------|------|----|------------------|----|------|--------|----|--------|----|------|---------|----------------------|----------|
| | 和文 | 欧文 | 国内 | 国際 | | 出願 | 取得 | 出願 | 取得 | | | | |
| 13405363 | 13 | 47 | 67 | 54 | 34 | 1 | 0 | 0 | 0 | 21 | 20 | 13 | 48 |

注1)学術論文数は直接本事業の成果を掲載したものに限定してカウントすること。

(1)学術論文

区分: ①原著論文、②その他論文

| 整理番号 | 区分 | 機関名 | タイトル | 著者 | 掲載誌 | 巻(号) | 掲載ページ | 発行年 | 発行月 |
|------|----|-----------|---|--|-------------|-------|---------|------|-----|
| 1 | ① | 農研機構 | 登熟段階別の気象要因がコムギの穂発芽発生に及ぼす影響 | 中園江, 大野宏之, 吉田ひろえ, 中川博視 | 日本作物学会紀事 | 82(2) | 183-191 | 2013 | 4 |
| 2 | ① | 農研機構 | コムギの発育段階の推定モデル | 中園江, 大野宏之, 吉田ひろえ, 佐々木華織, 中川博視 | 日本作物学会紀事 | 83(3) | 249-259 | 2014 | 7 |
| 3 | ① | 農研機構 | ダイズ品種の発育モデルの作成と気温上昇が発育速度に及ぼす影響の広域推定 | 中野聡史, 熊谷悦史, 島田信二, 鮫島良次, 大野宏之, 本間香貴, 白岩立彦 | 日本作物学会紀事 | 84(4) | 408-417 | 2015 | 10 |
| 4 | ① | 農業環境技術研究所 | FACE 実験による水田生態系の気候変動応答研究 | 臼井靖浩, 常田岳志, 酒井英光, 林健太郎, 長谷川利拡 | 化学と生物 | 51(9) | 628-633 | 2013 | 9 |
| 5 | ① | 農業環境技術研究所 | つばみらいFACE実験によるイネの高CO ₂ 応答の検証 | 長谷川利拡, 酒井英光, 常田岳志, 臼井靖浩, 林健太郎, 吉本真由美, 福岡峰彦 | 光合成研究 | 23(1) | 18-23 | 2013 | 4 |
| 6 | ① | 岐阜県中山間農研 | 遭遇温度がモモ樹の耐凍性に及ぼす影響 | 宮本善秋, 神尾真司, 杉浦俊彦 | 岐阜中山間農研研究報告 | 12 | 33-40 | 2016 | 3 |
| 7 | ① | 農研機構 | 関東地域におけるトウモロコシ(Zea mays L.)二期作適地の近年の状況と今後の変化予測 | 菅野 勉, 森田聡一郎, 佐々木寛幸, 西村和志 | 日本草地学会誌 | 60(3) | 161-166 | 2015 | 3 |
| 8 | ① | 農研機構 | 最新の気象予測データに基づく関東地域におけるトウモロコシ(Zea mays L.)二期作適地の変化予測 | 菅野 勉, 森田聡一郎, 佐々木寛幸, 西村和志, 西森基貴 | 日本草地学会誌 | 63 | 81-88 | 2017 | 8 |

| | | | | | | | | | |
|----|---|-----------|--|--|-------------------------------------|-------|-----------|------|----|
| 9 | ① | 農研機構 | クラスター分析とハイサーグラフによる北海道の気候区分 | 井上聡, 奥村健治, 廣田知良, 牧野司 | 生物と気象 | 17 | 1-5 | 2017 | 8 |
| 10 | ① | 森林総合研究所 | 2012/2013冬季における樹冠通過降水量の観測 | 野口正二, 澤野真治, 玉井幸治, 久保田多余子 | 東北の雪と生活 | 29 | 59-62 | 2014 | 9 |
| 11 | ① | 森林総合研究所 | 2014/2015年冬季の長坂試験地における積雪深の観測 | 野口正二, 澤野真治, 玉井幸治, 金子智紀, 成田義人 | 東北の雪と生活 | 30 | 34-35 | 2015 | 10 |
| 12 | ① | 森林総合研究所 | スギ針葉における雨水遮断損失量に関する予備実験 | 岩谷綾子, 野口正二, 金子智紀, 澤野真治 | 水文、水資源学会誌 | 28(6) | 291-297 | 2015 | 12 |
| 13 | ① | 森林総合研究所 | 東北地方の多雪地帯における2013/2014年冬季の落葉広葉樹林、スギ林の降雪遮断特性および融雪特性 | 阿部俊夫, 久保田多余子, 野口正二 | 東北森林科学会誌 | 21(1) | 6-10 | 2016 | 3 |
| 14 | ① | 農業環境技術研究所 | Canopy-scale relationships between stomatal conductance and photosynthesis in irrigated rice | Ono K, Maruyama A, Kuwagata T, Mano M, Takimoto T, Hayashi K, Hasegawa T, Miyata A | Global Change Biology | 19(7) | 2209-2220 | 2013 | 4 |
| 15 | ① | 農業環境技術研究所 | Development of impact functions for land-use-change-induced surface warming and their applications in uncertainty analysis | Yoshida R, Iizumi T, Nishimori M, Yokozawa M | Climate Research | 59 | 77-87 | 2014 | 2 |
| 16 | ① | 農業環境技術研究所 | Temperature difference between meteorological station and nearby farmland -case study for Kumagaya city in Japan- | Kuwagata T, Ishigooka Y, Fukuoka M, Yoshimoto M, Hasegawa T, Usui Y, Sekiguchi T | SOLA | 10 | 45-49 | 2014 | 3 |
| 17 | ① | 農業環境技術研究所 | Uncertainties in predicting rice yield by current crop models under a wide range of climatic conditions | Li T, Hasegawa T, Yin X, Zhu Y, Boote K, Adam M, Bregaglio S, Buis S, Confalonieri R, Fumoto T, Gaydon D, Marcaida M, Nakagawa H, Oriol P, Ruane AC, Ruget F, Singh B, Singh U, Tang L, Tao F, Wilkens P, Yoshida H, Zhang Z, Bouman B | Global Change Biology | 21 | 1328-1341 | 2015 | 3 |
| 18 | ① | 農業環境技術研究所 | A methodology for estimating phenological parameters of rice cultivars utilizing data from common variety trials | Fukui S, Ishigooka Y, Kuwagata T, Hasegawa T | Journal of Agricultural Meteorology | 71(2) | 77-89 | 2015 | 6 |
| 19 | ① | 農研機構 | Evaluation of the effects of increasing temperature on the transpiration rate and canopy conductance of soybean by using the sap flow method | Nakano S, Tacarindua CRP, Nakashima K, Homma K, Shiraiwa T | Journal of Agricultural Meteorology | 71(2) | 98-105 | 2015 | 6 |
| 20 | ① | 農業環境技術研究所 | Adaptation of rice to climate change through a cultivar-based simulation: a possible cultivar shift in eastern Japan | Yoshida R, Fukui S, Shimada T, Hasegawa T, Ishigooka Y, Takayabu I, Iwasaki T | Climate Research | 64(3) | 275-290 | 2015 | 8 |

| | | | | | | | | | |
|----|---|----------------|---|--|-------------------------------------|---------|---------|------|----|
| 21 | ① | 農業環境技術研究所、農研機構 | A statistical analysis of three ensembles of crop model responses to temperature and CO ₂ concentration | Makowski D, Asseng S, Ewert F, Bassu S, Durand JL, Li T, Martre P, Adam M, Aggarwal PK, Angulo C, Baron C, Basso B, Bertuzzi P, Biernath C, Boogaard H, Boote KJ, Bouman B, Bregaglio S, Brisson N, Buis S, Cammarano D, Challinor AJ, Confalonieri R, Conijn JG, Corbeels M, Deryng D, De Sanctis G, Doltra J, Fumoto T, Gaydon D, Gayler S, Goldberg R, Grant RF, Grassini P, Hatfield JL, Hasegawa T, Heng L, Hoek S, Hooker J, Hunt LA, Ingwersen J, Izaurralde RC, Jongschaap REE, Jones J W, Kemanian RA, Kersebaum KC, Kim S-H, Lizaso J, Marcaida III M, Muller C, Nakagawa H, Naresh Kumar S, Nendel C, O' Leary GJ, Olesen JE, Oriol P, Osborne TM, Palosuo T, Pravia MV, Priesack E, Ripoche D, Rosenzweig C, Ruane AC, Ruget F, Sau F, Semenov MA, Shcherbak I, Singh B, Singh U, Soo HK, Steduto P, Stockle C, Stratonovitch P, Streck T, Supit I, Tang L, Tao F, Teixeira EI, Thorburn P, Timlin D, Travasso M, Rötter RP, Waha K, Wallach D, White JW, Wilkens P, Williams JR, Wolf J, Yin X, Yoshida H, Zhang Z, Zhu Y | Agricultural and Forest Meteorology | 214-215 | 483-493 | 2015 | 12 |
| 22 | ① | 農研機構 | Modelling the effects of N application on growth, yield and plant properties associated with the occurrence of chalky grains of rice | Yoshida H, Takehisa K, Kojima T, Ohno H, Sasaki K, Nakagawa H | Plant Production Science | 19 | 36-42 | 2016 | 3 |
| 23 | ① | 農研機構 | A taxonomy-based approach to shed light on the babel of mathematical models for rice simulation | Confalonieri R, Bregaglio S, Adam M, Ruget F, Li T, Hasegawa T, Yin X, Zhu Y, Boote K, Buis S, Fumoto T, Gaydon D, Lafarge T, Marcaida M, Nakagawa H, Ruane A C, Singh B, Singh U, Tang L, Tao F, Fugice J, Yoshida H, Zhang Z, Wilson L T, Baker J, Yang Y, Masutomi Y, Wallach D, Acutis M, Bouman B | Environmental Modelling & Software | 85 | 332-341 | 2016 | 9 |
| 24 | ① | 農研機構 | Taking account of water temperature effects on phenology improves the estimation of rice heading dates: Evidence from 758 field observations across Japan | Fukui S, Ishigooka Y, Kuwagata T, Hasegawa T | Journal of Agricultural Meteorology | 73(3) | 84-91 | 2017 | 7 |

| | | | | | | | | | |
|----|---|-----------|---|---|-------------------------------------|--------|-----------|------|----|
| 25 | ① | 農研機構 | Evapotranspiration in a rice paddy field over 13 crop years | Ikawa H, Ono K, Mano M, Kobayashi K, Takimoto T, Kuwagata T, Miyata A | Journal of Agricultural Meteorology | 73(3) | 109–118 | 2017 | 7 |
| 26 | ① | 農研機構 | Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan | Ishigooka Y, Fukui S, Hasegawa T, Kuwagata T, Nishmori M, Kondo M | Journal of Agricultural Meteorology | 73(4) | 156–173 | 2017 | 10 |
| 27 | ① | 農研機構 | Causes of variation among rice models in yield response to CO ₂ examined with Free-Air CO ₂ Enrichment and growth chamber experiments | Hasegawa T, Li T, Yin X, Zhu Y, Boote K, Baker J, Bregaglio S, Buis S, Confalonieri R, Fugice J, Fumoto T, Gaydon D, Kumar SN, Lafarge T, Marcaida III M, Masutomi Y, Nakagawa H, Oriol P, Ruget F, Singh U, Tang L, Tao F, Wakatsuki H, Wallach D, Wang Y, Wilson LT, Yang L, Yang Y, Yoshida H, Zhang Z, Zhu J. | Scientific Reports | 7 | 14858 | 2017 | 11 |
| 28 | ① | 農研機構 | Increasing canopy photosynthesis in rice can be achieved without a large increase in water use—a model based on free-air CO ₂ enrichment | Ikawa H, Chen C P, Sikma M, Yoshimoto M, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Nakamura H, Ono K, Maruyama M, Watanabe T, Kuwagata T, Hasegawa T | Global Change Biology | 24(3) | 1321–1341 | 2018 | 3 |
| 29 | ① | 農業環境技術研究所 | Responses of eighteen rice (<i>Oryza sativa</i> L.) cultivars to temperature tested using two types of growth chambers | Pasuquin EM, Hasegawa T, Eberbach P, Reinke R, Wade LJ, Lafarge T. | Plant Production Science | 16(3) | 217–225 | 2013 | 7 |
| 30 | ① | 農業環境技術研究所 | The effects of free-air CO ₂ enrichment (FACE) on carbon and nitrogen accumulation in grains of rice (<i>Oryza sativa</i> L.) | Zhang G, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Zhu C, Nakamura H, Yoshimoto M, Fukuoka M, Kobayashi K, Hasegawa T | Journal of Experimental Botany | 64(11) | 3179–3188 | 2013 | 8 |
| 31 | ① | 農業環境技術研究所 | Soil and water warming accelerates phenology and down-regulation of leaf photosynthesis of the rice plants grown under free-air CO ₂ enrichment (FACE) | Adachi M, Hasegawa T, Fukuyama H, Tokida T, Sakai H, Matsunami T, Nakamura H, Sameshima R, Okada M | Plant and Cell Physiology | 55(2) | 370–380 | 2014 | 1 |
| 32 | ① | 農業環境技術研究所 | Do the rich always become richer? Characterizing the leaf physiological response of the high-yielding rice cultivar Takanari to free-air CO ₂ enrichment | Chen CP, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Nakamura H, Hasegawa T | Plant and Cell Physiology | 55(2) | 381–391 | 2014 | 2 |

| | | | | | | | | | |
|----|---|---------------------|--|---|-------------------------------------|---------|---------|------|----|
| 33 | ① | 農業環境技術研究所、農研機構 | Heat-tolerant rice cultivars retain grain appearance quality under free-air CO ₂ enrichment | Usui Y, Sakai H, Tokida T, Nakamura H, Nakagawa H, Hasegawa T | Rice | 7(1) | 6 | 2014 | 5 |
| 34 | ① | 岐阜大学 | QTL analyses for anther length and dehiscence at flowering as traits for the tolerance of extreme temperatures in rice (<i>Oryza sativa</i> L.) | Tazib T, Kobayashi Y, Koyama H, Koyama H, Matsui T | Euphytica | 203(3) | 629-642 | 2014 | 6 |
| 35 | ① | 岐阜大学、農研機構、農業環境技術研究所 | Lower-Than-Expected Floret Sterility of Rice under Extremely Hot Conditions in a Flood-Irrigated Field in New South Wales, Australia | Matsui T, Kobayashi K, Nakagawa H, Yoshimoto M, Hasegawa T, Reinke R, Angus J | Plant Production Science | 17 | 245-252 | 2014 | 8 |
| 36 | ① | 農業環境技術研究所、農研機構 | Planting geometry as a pre-screening technique for identifying CO ₂ responsive rice genotypes: a case study of panicle number | Shimono H, Ozaki Y, Jagadish KS V, Sakai H, Usui Y, Hasegawa T, Kumagai E, Nakano H, Yoshinaga S | Physiologia plantarum | 152 | 520-528 | 2014 | 11 |
| 37 | ① | 農研機構 | Genotypic differences in soybean yield responses to increasing temperature in a cool climate are related to maturity group | Kumagai E, Sameshima R | Agricultural and Forest Meteorology | 198-199 | 265-272 | 2014 | 11 |
| 38 | ① | 農業環境技術研究所 | Elevated atmospheric CO ₂ levels affect community structure of rice root-associated bacteria | Okubo T, Liu D, Tsurumaru H, Ikeda S, Asakawa S, Tokida T, Tago K, Hayatsu M, Aoki N, Ishimaru K, Ujiie K, Usui Y, Nakamura H, Sakai H, Hayashi K, Hasegawa T, Minamisawa K | Frontiers in Microbiology | 6 | 1-8 | 2015 | 2 |
| 39 | ① | 農業環境技術研究所 | Characterization of leaf blade- and leaf sheath-associated bacterial communities and assessment of their responses to environmental changes in CO ₂ , temperature, and nitrogen levels under field conditions | Ikeda S, Tokida T, Nakamura H, Sakai H, Usui Y, Okubo T, Tago K, Hayashi K, Sekiyama Y, Ono H, Tomita S, Hayatsu M, Hasegawa T, Minamisawa K | Microbes and environments | 30 | 51-62 | 2015 | 3 |
| 40 | ① | 農業環境技術研究所 | Response of soil, leaf endosphere and phyllosphere bacterial communities to elevated CO ₂ and soil temperature in a rice paddy | Ren G, Zhu C, Alam MS, Tokida T, Sakai H, Nakamura H, Usui Y, Zhu J, Hasegawa T, Jia Z | Plant and Soil | 392 | 27-44 | 2015 | 7 |
| 41 | ① | 農業環境技術研究所 | Grain growth of different rice cultivars under elevated CO ₂ concentrations affects yield and quality | Zhang G, Sakai H, Usui Y, Tokida T, Nakamura H, Zhu C, Fukuoka M, Kobayashi K, Hasegawa T | Field Crops Research | 179 | 72-80 | 2015 | 8 |
| 42 | ① | 農業環境技術研究所 | Differential response of rice plants to high night temperatures imposed at varying developmental phases | Laza MRC, Sakai H, Cheng W, Tokida T, Peng S, Hasegawa T | Agricultural and Forest Meteorology | 209 | 69-77 | 2015 | 9 |

| | | | | | | | | | |
|----|---|----------------|--|---|---|--------|-----------|------|----|
| 43 | ① | 農業環境技術研究所 | Rice Free-Air Carbon Dioxide Enrichment Studies to Improve Assessment of Climate Change Effects on Rice Agriculture | Hasegawa T, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Yoshimoto M, Fukuoka M, Nakamura H, Shimono H, Okada M | Advances in Agricultural Systems Modeling, Improving Modeling Tools to Assess Climate Change Effects on Crop Response. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Inc. | 7 | 45-68 | 2015 | 12 |
| 44 | ① | 農業環境技術研究所、岐阜大学 | QTL mapping of dehiscence length at the basal part of thecae related to heat tolerance of rice (<i>Oryza sativa</i> L.) | Zhao L, Zhao C-F, Zhou L-H, Lin J, Zhao Q-Y, Zhu Z, Chen T, Yao S, Hasegawa T, Matsui T, Wang C-L | Euphytica | 209(3) | 715-723 | 2016 | 1 |
| 45 | ① | 農業環境技術研究所、農研機構 | Rice grain yield and quality responses to free-air CO ₂ enrichment combined with soil and water warming | Usui Y, Sakai H, Tokida T, Nakamura H, Nakagawa H, Hasegawa T | Global Change Biology | 22(3) | 1256-1270 | 2016 | 3 |
| 46 | ① | 農研機構 | Quantifying rice spikelet sterility in potential heat-vulnerable regions: Field surveys in Laos and southern India | Ishimaru T, Xaiyalath S, Nallathambi J, Sathishraj R, Yoshimoto M, Phoudalay L, Samson B, Hasegawa T, Hayashi K, Arumugam G, Muthurajan R, Jagadish KSV | Field Crops Research | 190 | 3-9 | 2016 | 4 |
| 47 | ① | 農研機構 | A meta-analysis of leaf nitrogen distribution within plant canopies | Hikosaka K, Anten NPR, Borjigidai A, Kamiyama C, Sakai H, Hasegawa T, Oikawa S, Iio A, Watanabe M, Koike T, Nishina K, Ito A | Annals of Botany | 118(2) | 239-247 | 2016 | 6 |
| 48 | ① | 農研機構 | Effect of Elevated CO ₂ Concentration, Elevated Temperature and No Nitrogen Fertilization on Methanogenic Archaeal and Methane-Oxidizing Bacterial Community Structures in Paddy Soil | Liu D, Tago K, Hayatsu M, Tokida T, Sakai H, Nakamura H, Usui Y, Hasegawa T, Asakawa S | Microbes and Environments | 31(3) | 349-356 | 2016 | 9 |
| 49 | ① | 農研機構、岐阜大学 | Inheritance analysis of anther dehiscence as a trait for the heat tolerance at flowering in japonica hybrid rice (<i>Oryza sativa</i> L.) | Zhao L, Zhu Z, Tian X, Kobayasi K, Hasegawa T, Zhang Y, Chen Z, Wang C, Matsui T | Euphytica | 211(3) | 311-320 | 2016 | 10 |

| | | | | | | | | | |
|----|---|---------|--|---|--|---------|-----------|------|---|
| 50 | ① | 農研機構 | Nitrogen resorption in senescing leaf blades of rice exposed to free-air CO2 enrichment (FACE) under different N fertilization levels. | Oikawa S, Ehara H, Koyama M, Hirose T, Hikosaka K, Chen C.P, Nakamura H, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Hasegawa T | Plant and Soil | 418 | 231-240 | 2017 | 5 |
| 51 | ① | 農研機構 | Quantitative trait loci for large sink capacity enhance rice grain yield under free-air CO2 enrichment conditions | Nakano H, Yoshinaga S, Takai T, Arai-Sanoh Y, Kondo K, Yamamoto T, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Nakamura H, Hasegawa T, Kondo M | Scientific Reports | 7 | 1827 | 2017 | 5 |
| 52 | ① | 農研機構 | Nitrogen Distribution in Leaf Canopies of High-Yielding Rice Cultivar Takanari | Muryono M, Chen CP, Sakai H, Tokida T, Hasegawa T, Usui Y, Nakamura H, Hikosaka K | Crop Science | 57 | 2080-2088 | 2017 | 8 |
| 53 | ① | 農研機構 | Characteristics of atmosphere-rice paddy exchange of gaseous and particulate reactive nitrogen in terms of nitrogen input to a single-cropping rice paddy area in central Japan | Hayashi K, Ono K, Matsuda K, Tokida T, Hasegawa T | Asian Journal of Atmospheric Environment | 11(3) | 202-216 | 2017 | 9 |
| 54 | ① | 農研機構 | Effects of dormancy progression and low-temperature response on changes in the sorbitol concentration in xylem sap of Japanese pear during winter season | Ito A, Sugiura T, Sakamoto D, Moriguchi T | Tree Physiology | 33 | 398-408 | 2013 | 4 |
| 55 | ① | 農研機構 | Changes in the taste and textural attributes of apples in response to climate change | Sugiura T, Fukuda N, Ogawa H | Scientific Reports | 3 | 2418 | 2013 | 8 |
| 56 | ① | 農研機構 | Physiological differences between bud breaking and flowering after dormancy completion revealed by DAM and FT/TFL1 expression in Japanese pear (<i>Pyrus pyrifolia</i>) | 伊東明子, 齋藤隆徳, 阪本大輔, 杉浦俊彦, 白松齡, 森口卓哉 | Tree Physiology | 36 | 109-120 | 2016 | 1 |
| 57 | ② | 農研機構 | Effect of temperature on development of primary axillary flower bunch in strawberry bench culture | Yamazaki K, Kumakura H, Hamamoto H | Acta Horticulture | 1049 | 809-812 | 2014 | 8 |
| 58 | ① | 森林総合研究所 | Effect of hydrograph separation on suspended sediment concentration predictions in a forested headwater with thick soil and weathered gneiss layers | Kabeya, N, Shimizu, A, Zhang, J, Nobuhiro, T | Water | 6 | 1671-1684 | 2014 | 6 |
| 59 | ① | 森林総合研究所 | Estimation of annual forest evapo-transpiration from a coniferous plantation watershed in Japan (2): Comparison of eddy covariance, water budget and sap-flow plus interception loss | Shimizu T, Kumagai T, Kobayashi M, Tamai K, Iida S, Kabeya N, Ikawa R, Tateishi M, Miyazawa Y, Shimizu A | Journal of Hydrology | 522 | 250-264 | 2015 | 3 |
| 60 | ① | 森林総合研究所 | Development of a simple forest evapotranspiration model using a process-oriented model as a reference to parameterize data from a wide range of environmental conditions | Sasano S, Hotta N, Tanaka N, Tsuboyama Y, Suzuki M | Ecological Modelling | 309-310 | 93-109 | 2015 | 8 |

注1) 和文、欧文の順で記載。発行年は発行年月(西暦年以下同じ)とする。

注2)区分①の原著論文(受理されたものに限る)は、謝辞等に本事業予算の支援を受けたことが明記されていること。また、論文は直接本事業の成果を掲載したものに限定して記載すること。

注3)機関名は当該成果に関与した代表、共同機関名を記載する。

(2)学会等発表(口頭またはポスター)

| 整理番号 | タイトル | 発表者名 | 機関名 | 学会等名 | 発行年 | 発行月 |
|------|--|---|-------------------------------------|--|------|-----|
| 1 | 気候変動と北陸における農業 | 西森基貴 | 農業環境技術研究所 | 北陸作物・育種学会 第50回記念シンポジウム | 2013 | 7 |
| 2 | Agro- Meteorological Database for climate-smart Agriculture in Monsoon Asia | Kuwagata T, Yoshimoto M, Ishigooka Y, Hasegawa T, Nishimori M | 農業環境技術研究所 | FFTC/TARI, International Workshop on Strategic Approach to Integrate Practical Technologies for Climate-Smart Crop Production | 2013 | 8 |
| 3 | The variation of rice models in simulating responses to elevation of CO ₂ and temperature | Li T, Hasegawa T, Yin X, Zhu Y, Boote K.J, Adam M, Bregaglio S, Buis S, Fumoto T, Gaydon D, Nakagawa H, Oriol P, Ruane AC, Rugot F, Singh B, Singh U, Tang L, Tao F, Wilkens PW, Yoshida H, Zhang Z, Bouman B | 農業環境技術研究所、農研 機構 中央農業総合研究セン ター | ASA, CSSA, SSSA 2013 International Annual Meetings | 2013 | 11 |
| 4 | ダイズ主要品種「リュウホウ」、「エンレイ」、「フクユタカ」における開花期と子実肥大始期を対象とした発育モデルの作成 | 中野聡史, 熊谷悦 史, 島田信二, 鮫島 良次, 白岩立彦 | 農研機構 中央農業総合研究 センター | 日本作物学会 | 2014 | 9 |
| 5 | MMLR-SD for multi-surface climate elements over Japan by using the general circulation field from reanalysis datasets, GCMs and RCMs | Nishimori M. | 農業環境技術研究所 | WCRP CORDEX Science and Technology Workshop in Southeast Asia | 2014 | 11 |
| 6 | The evaluation of multiple rice model responses to elevated CO ₂ | Li T, Hasegawa T, et al | 農業環境技術研究所 | 5th Annual AgMIP Global Workshop | 2015 | 2 |
| 7 | 温暖化に伴うコシヒカリ移植晩限の地理的変化の予測 | 中川博視, 大野宏 之, 吉田ひろえ, 佐々木華織, 丸山 篤志, 桑形恒男 | 農研機構 中央農業総合研究 センター | 日本農業気象学会 | 2015 | 3 |

| | | | | | | |
|----|---|--|------------------------------|--|------|----|
| 8 | 葉の伸長を考慮した大豆の葉面積展開モデルの構築 | 中野聡史 | 農研機構 中央農業総合研究センター | 日本農業気象学会 | 2015 | 3 |
| 9 | Temperature difference between meteorological station and nearby farmland –case study for Kumagaya city in Japan– | Kuwagata T, Ishigooka Y, Fukuoka M, Yoshimoto M, Hasegawa T, Usui Y, Sekiguchi T | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 10 | Rice Model Inter-comparison Activities in Asia, MARCO Symposium 2015, Next Challenges of Agro-Environmental Research in Monsoon Asia PROGRAM and ABSTRACTS | Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | MARCO Symposium 2015 | 2015 | 8 |
| 11 | 経験的統計ダウンスケーリング手法(ESD)結果の不確実性について–南米および日本への適用と学習・検証期間の影響– | 西森基貴 | 農業環境技術研究所 | 日本気象学会 | 2015 | 10 |
| 12 | 経験的統計ダウンスケーリング手法(ESD)における推定精度とバイアス補正について | 西森基貴 | 農業環境技術研究所 | 日本農業気象学会 2016年全国大会 | 2016 | 3 |
| 13 | つくば近郊の水田における局地気象環境の特徴 | 桑形恒男, 萩野谷成徳, 川端康弘, 小野圭介, 石郷岡康史 | 農業環境技術研究所 | 日本農業気象学会 | 2016 | 3 |
| 14 | Effect of shifting crop calendar of rice as adaptation to climate change on the water supply- demand relationship in Japan | Ishigooka Y, Nishimori M, Kuwagata T, Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2016 | 2016 | 3 |
| 15 | コムギの生育・収量予測モデルの開発と異なる地域での適合性の検証 | 中園 江, 渡邊和洋, 谷尾昌彦, 大野宏之, 中川博視 | 農研機構 中央農業総合研究センター | 日本作物学会 | 2016 | 3 |
| 16 | Impacts of climate-induced extreme events on rice production and their adaptation strategy based on agricultural insurance – a case study for Kochi Prefecture, Japan | Nishimori M, Sakata M, Sassa K | 農研機構 農業環境変動研究センター | 2nd Agriculture and Climate Change Conference. | 2017 | 3 |
| 17 | 気温とCO ₂ 濃度の上昇が水稻乾物生産と水利用に与える影響に関する感度実験 | 石郷岡康史, 桑形恒男, 長谷川利拡 | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | 日本農業気象学会 2017年全国大会 | 2017 | 3 |
| 18 | 水田水温を利用した発育モデルによる水稻出穂予測の精度向上 –全国作況試験758データによる検証 | 桑形恒男, 長谷川利拡, 石郷岡康史 | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | 日本農業気象学会 2017年全国大会 | 2017 | 3 |
| 19 | 野外におけるイネの根のアクアポリン発現量の環境応答 | 桑形恒男 | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | 日本農業気象学会 2017年全国大会 | 2017 | 3 |

| | | | | | | |
|----|---|--|------------------------------|--|------|----|
| 20 | Trade-offs between production and water use in a high-yielding rice variety under elevated CO ₂ | 桑形恒男, 長谷川利拓 | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | ISAM2017 | 2017 | 3 |
| 21 | 高知県水稲への温暖化・異常気象影響とイネモデルによる生育診断の試み | 西森基貴, 長谷川利拓, 桑形恒男, 坂田雅正 | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | 第7回流域圏学会学術研究発表会 | 2017 | 9 |
| 22 | Simulating the effects of climate change on rice yield and appearance quality in Japan | Yoshida H, Kuwagata T, Ishigooka Y, Nishimori M, and Nakagawa H | 農研機構 農業環境変動研究センター | ASA, CSSA, SSSA 2017 International Annual Meetings | 2017 | 10 |
| 23 | 近年の気候変動・異常気象とその農業への影響 | 西森基貴 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 第67回気候影響・利用研究会 | 2017 | 11 |
| 24 | 日本における影響評価・適応研究のためのメッシュ気候シナリオデータセット群について | 西森基貴, 石郷岡康史, 桑形恒男, 遠藤伸彦, 飯泉仁之直 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 日本農業気象学会 2018年全国大会 | 2018 | 3 |
| 25 | Response of rice productivity to free-air CO ₂ enrichment: genotypic variability and scope for improvement | Hasegawa T, Chen CP, Sakai H, Usui Y, Tokida T | 農業環境技術研究所 | The 16th International Congress on Photosyntheses Research | 2013 | 8 |
| 26 | 気候変動が作物生産に及ぼす影響の地域的特徴と適応の方向性 | 長谷川利拓 | 農業環境技術研究所 | 日本作物学会 | 2013 | 9 |
| 27 | 世界の作物FACE研究の潮流とつくばみらいFACEのねらい | 長谷川利拓 | 農業環境技術研究所 | 日本土壌肥料学会 | 2013 | 9 |
| 28 | Rice FACE studies for improving assessment of climate change effects on rice agriculture | Hasegawa T, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Hayashi K, Yoshimoto M, Fukuoka M | 農業環境技術研究所 | ASA, CSSA, SSSA 2013 International Annual Meetings | 2013 | 11 |
| 29 | Nitrogen aspects of the free-air CO ₂ enrichment (FACE) experiments for single cropping of paddy rice | Hayashi K, Tokida T, Matsushima M, Yano M, Toyoda S, Katayanagi N, Fumoto T, Usui Y, Sakai H, Nakamura H, Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | 6th International Nitrogen Conference | 2013 | 11 |
| 30 | 温度勾配チャンバーによる早晩性の異なるダイズ品種の温度応答の解析 | 熊谷悦史, 鮫島良次 | 農研機構 東北農業研究センター | 日本農業気象学会 | 2014 | 3 |

| | | | | | | |
|----|---|--|-------------------|--|------|----|
| 31 | Identification of quantitative trait locus for anther dehiscence at the basal part under heat stress at flowering in rice (<i>Oryza sativa</i> L.) | Tazib T, Matsunaga M, Matsumoto Y, Matsui T | 岐阜大学 | 日本作物学会 | 2014 | 3 |
| 32 | 寒冷地における温度上昇および土壌乾燥がダイズ生育・収量に及ぼす影響 | 熊谷悦史 | 農研機構 東北農業研究センター | 日本作物学会 | 2014 | 9 |
| 33 | Responses of soybean cultivars in different maturity groups to increasing temperature in a cool climate | Kumagai E, Sameshima R. | 農研機構 東北農業研究センター | Asian crop science association conference | 2014 | 9 |
| 34 | ダイズ収量の高温応答の品種間差異と関連形質 | 向西直登, 白岩立彦, 本間香貴 | 京都大学大学院農学研究科 | 日本作物学会 | 2014 | 9 |
| 35 | Variability of soybean genotypes in response to increased temperature | Shiraiwa T. | 京都大学大学院農学研究科 | ACSA | 2014 | 9 |
| 36 | Towards reliable prediction using rice model ensembles in support of strategic assessment of food security under future climates | Li T, Hasegawa T, Yin X, et al. | 農業環境技術研究所 | 4th International Rice Congress | 2014 | 10 |
| 37 | Field survey of spikelet sterility at flowering in potential heat-vulnerable regions of Laos and India | Ishimaru T, Seefong X, Yoshimoto M, Muthurajan R, Phoudalay L, Benjamin S, Hasegawa T, Hayashi K, Jagadish KSV | 農業環境技術研究所 | 4th International Rice Congress | 2014 | 10 |
| 38 | Effect of Free Air CO ₂ Enrichment (FACE) on grain appearance quality differ among rice cultivars differing in heat tolerance | Usui Y, Sakai H, Tokida T, et al. | 農業環境技術研究所 | 4th International Rice Congress | 2014 | 10 |
| 39 | Variability of soybean genotypes in yield response to increased temperature | Shiraiwa T, et al. | 京都大学大学院農学研究科 | ASA, CSSA & SSSA International Annual Meeting | 2014 | 11 |
| 40 | Rice model for simulating the occurrence of chalky grains | Yoshida H, Nakagawa H, Komatsu S, Kuwagata T | 農研機構 中央農業総合研究センター | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 41 | 高温耐性QTL が開放系大気CO ₂ 増加環境におけるイネの外観品質に及ぼす影響 | 臼井靖浩, 小林麻子, 酒井英光, 常田岳志, 中村浩史, 中川博視, 長谷川利拡 | 農業環境技術研究所 | 日本作物学会 | 2015 | 3 |

| | | | | | | |
|----|--|--|-------------------|---|------|---|
| 42 | ダイズの高温応答における品種間差異 | 羽根沙苗, 白岩立彦, 本間香貴 | 京都大学大学院農学研究科 | 日本作物学会 | 2015 | 3 |
| 43 | Rice responses to elevated CO ₂ : Key findings from 12 seasons of FACE experiments | Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 44 | Rice growth and yield responses to free-air CO ₂ enrichment (FACE) | Sakai H, Tokida T, Usui Y, Nakamura H, Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 45 | Vertical gradient of light availability and leaf nitrogen content within canopies of rice cultivars at Free-Air CO ₂ Enrichment | Muryono M, Sakai H, Tokida T, Chen CP, Nakamura H, Hasegawa T, Hikosaka K | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 46 | Elevated CO ₂ alters the canopy micrometeorology | Yoshimoto M, Fukuoka M, Usui Y., Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 47 | Grain yield and quality under Free-Air CO ₂ Enrichment (FACE) and soil/water warming | Usui Y, Sakai H, Tokida T, Nakamura H, Nakagawa H, Zhu C, Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 48 | Improvements of open-air elevated CO ₂ concentration control: Lessons from five years of the Tsukuba rice FACE experiment | Nakamura H, Hasegawa H, Tokida T, Usui Y, Sakai H, Yoshimoto M, Fukuoka M | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 49 | Heat risk prediction model estimating temperatures all the rice spikelets encounter in the field | Yoshimoto M, Fukuoka, Sakai H, Kobayashi K, Hasegawa T | 農業環境技術研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 50 | 早晩性遺伝子座E4が寒冷地ダイズの温暖化応答に及ぼす影響 | 熊谷悦史, 山田哲也 | 農研機構 東北農業研究センター | 日本農業気象学会 | 2016 | 3 |
| 51 | Current-season photosynthates as the main C source for CH ₄ in rice paddies as revealed by FACE-induced 13C labeling | Tokida T, Hayashi K, Arai M, Usui Y, Katayanagi N, Nakamura H, Sakai H, Hasegawa T | 農研機構 農業環境変動研究センター | 高CO ₂ 実験に関する国際シンポジウム: FACEing the future food production and ecosystems、ギーセン大学、ドイツ | 2016 | 9 |

| | | | | | | |
|----|--|--|-------------------|---|------|---|
| 52 | Growth-stage dependence of CH ₄ emissions from rice paddies exposed to atmospheric CO ₂ enrichment. | Tokida T, Hayashi K, Usui Y, Arai M, Katayanagi N, Sakai H, Nakamura H, Hasegawa T | 農研機構 農業環境変動研究センター | 高CO ₂ 実験に関する国際シンポジウム: FACEing the future food production and ecosystems、ギーセン大学、ドイツ | 2016 | 9 |
| 53 | Effects of FACE and N fertilizer treatments on CH ₄ production and oxidation in a rice paddy determined by an oxidation inhibitor technique | Arai M, Tokida T, Okubo T, Hasegawa T, Nakamura H, Hayashi K | 農研機構 農業環境変動研究センター | 高CO ₂ 実験に関する国際シンポジウム: FACEing the future food production and ecosystems、ギーセン大学、ドイツ | 2016 | 9 |
| 54 | Effect of the accumulation of QTLs for heat tolerance on grain appearance quality of rice under Free-Air-CO ₂ -Enrichment (FACE) condition | Usui Y, Sakai H, Tokida T, Nakamura H, Kobayashi A, Nakagawa H, Yoshimoto M, Hasegawa T | 農研機構 農業環境変動研究センター | 高CO ₂ 実験に関する国際シンポジウム: FACEing the future food production and ecosystems、ギーセン大学、ドイツ | 2016 | 9 |
| 55 | Responses of yield and grain appearance quality of rice to FACE and increased water temperature | Yasuhiro Usui, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Hiroshi Nakagawa, Toshihiro Hasegawa | 農研機構 農業環境変動研究センター | 高CO ₂ 実験に関する国際シンポジウム: FACEing the future food production and ecosystems、ギーセン大学、ドイツ | 2016 | 9 |
| 56 | High-yielding rice cultivar 'Takanari' retains high yield response to Free-Air-CO ₂ Enrichment under limited nitrogen supply | Toshihiro Hasegawa, Hidemitsu Sakai, Takeshi Tokida, Yasuhiro Usui, Hirofumi Nakamura, Charles Chen, Hiroki Ikawa, Kentaro Hayashi | 農研機構 農業環境変動研究センター | 高CO ₂ 実験に関する国際シンポジウム: FACEing the future food production and ecosystems、ギーセン大学、ドイツ | 2016 | 9 |
| 57 | Strong interaction of CO ₂ and temperature on rice yield and quality evidenced by 13 seasons of Free-Air-CO ₂ -Enrichment (FACE) experiments | Hasegawa T, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Ujiie K, Wakatsuki H, Nakamura H, Nagata K, Yoshimoto M | 農研機構 農業環境変動研究センター | 高CO ₂ 実験に関する国際シンポジウム: FACEing the future food production and ecosystems、ギーセン大学、ドイツ | 2016 | 9 |

| | | | | | | |
|----|--|---|------------------------------|--|------|---|
| 58 | Changes of canopy micrometeorology by FACE and T-FACE and their effects on rice | Yoshimoto M, Ujiie K, Zhang G, Sakai H, Hasegawa T, Hirofumi Nakamura H. | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2017) | 2017 | 3 |
| 59 | 世界イネコアコレクションにおける高CO2応答の遺伝的多様性 | 酒井英光, 氏家 和広, 常田岳志, 張國友, 中村浩史, 長谷川利拓 | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | 日本農業気象学会 2017年全国大会講演要旨集 | 2017 | 3 |
| 60 | Trade-offs between production and water use in a high-yielding rice variety under elevated CO2 | Ikawa H, Yoshimoto M, Sakai H, Ono K, Maruyama A, Kuwagata T, Hasegawa T, Nakamura H, Watanabe T, Chen C P, Sikma M | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2017) | 2017 | 3 |
| 61 | Rice yield enhancement by free-air CO2 enrichment is offset by a 3-week canopy warming during early grain filling | Zhang G, Sakai H, Yoshimoto M, Nakamura H, Ujiie K, Usui Y, Tokida T, Wakatsuki H, Hasegawa T | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2017) | 2017 | 3 |
| 62 | Temperature response of yield and grain quality of rice obtained with a novel open-field warming of air around rice panicles | Toshihiro Hasegawa, Minehiko Fukuoka, Kazuhiro Ujiie, Guoyou Zhang, Hitomi Wakatsuki, Mayumi Yoshimoto | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2017) | 2017 | 3 |
| 63 | 水田土壌のメタン酸化微生物食物連鎖の構造と機能 | 村瀬潤, 日比野優子, 常田岳志, 大久保卓, 荒井見和, 林健太郎, 酒井英光, 長谷川利拓 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 日本地球惑星科学連合(JpGU)2017年大会 | 2017 | 5 |
| 64 | Probing the Future: Response of Soil Organic Carbon and Nitrogen dynamics to elevated CO 2 in a paddy field | Julien Guigue, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Toshihiro Hasegawa, Rota Wagai | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 日本地球惑星科学連合(JpGU)2017年大会 | 2017 | 5 |

| | | | | | | |
|----|---|---|------------------------------|---|------|----|
| 65 | How elevation of atmospheric CO2 concentrations may impact Soil Organic Matter dynamics in paddy fields? | Julien Guigue, Takeshi Tokida, Hirofumi Nakamura, Toshihiro Hasegawa, Rota Wagai | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 6th International Symposium on Soil Organic Matter | 2017 | 9 |
| 66 | 水稲根圏におけるメタン酸化食物連鎖の安定同位体プロービング法による解析 | 日比野優子, 常田岳志, 大久保卓, 荒井見和, 林健太郎, 酒井英光, 長谷川利拓, 村瀬潤 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 土壌肥料学会 | 2017 | 9 |
| 67 | イネ品種間差を利用したシュウ酸蓄積機構の解明 | 宮城敦子, 安達俊輔, 野口航, 常田岳志, 臼井靖浩, 中村浩史, 酒井英光, 長谷川利拓, 山本敏央, 大川泰一郎, 川合真紀 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 第11回メタボロームシンポジウム | 2017 | 11 |
| 68 | Increasing canopy photosynthesis in rice can be achieved without a large increase in water use—a model based on free-air CO2 enrichment | Ikawa H, Chen C P, Sikma M, Yoshimoto M, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Nakamura H, Ono K, Maruyama A, Watanabe T, Kuwagata T, Hasegawa H | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | Commemorative workshop for Professor Graham Farquhar, 2017 Kyoto Prize laureate: Modelling Plant Responses to Environmental Factors | 2017 | 11 |
| 69 | Methane-driven microbial food web in the rice rhizosphere | Yuko Hibino, Takeshi Tokida, Takashi Ohkubo, Miwa Arai, Kentaro Hayashi, Hidemitsu Sakai, Toshihiro Hasegawa, Jun Murase | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 13th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies | 2017 | 12 |

| | | | | | | |
|----|--|--|--------------------------------|---|------|---|
| 70 | Rationalization of MINCERnet | Mayumi Yoshimoto, Minehiko Fukuoka | 農研機構 農業環境変動研究センター・食農ビジネス推進センター | NARO-MARCO Symposium 2018 on “MINCERnet: Multi-site monitoring network to cope with the heat stresses of rice under the climate change” | 2018 | 1 |
| 71 | Crop production, water use, and atmospheric feedbacks | Ikawa H, Yoshimoto M, Sakai H, Tokida T, Usui Y, Nakamura H, Ono K, Maruyama A, Watanabe T, Kuwagata T, Hasegawa T | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2018) | 2018 | 3 |
| 72 | Symposium Perspectives of Photosynthesis and Crop Production-“Photosynthesis and Yield of Rice under Elevated [CO2] - Lessons from Rice Free Air CO2 Enrichment Studies- ” | Toshihiro Hasegawa | 農研機構 東北農業研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2018) | 2018 | 3 |
| 73 | Can earlier heading date in FACE be explained by canopy temperature? | Mayumi Yoshimoto, Toshihiro Hasegawa, Hitomi Wakatuki, Hidemitsu Sakai, Hirofumi Nakamura | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2018) | 2018 | 3 |
| 74 | Effects of open-field soil and water warming on rice growth and yield - results from 10-years experiment- | H Wakatsuki, M Fukuoka, M Yoshimoto, Y Usui, H Sakai, T Hasegawa | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | The International Symposium on Agricultural Meteorology (ISAM2018) | 2018 | 3 |
| 75 | 早春季における温度条件がクリ幼木の耐凍性に及ぼす影響 | 神尾真司, 宮本善秋, 杉浦俊彦 | 岐阜県中山間農業研究所、農研機構 果樹研究所 | 園芸学会・東海支部会 | 2013 | 8 |
| 76 | ニホンナシ'幸水'における発芽不良症状と窒素施肥時期との関係 | 阪本大輔, 藤川和博, 坂上陽美, 井上博道, 伊東明子, 児下佳子, 朝倉利員, 森口卓哉, 東明弘, 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | 園芸学会 | 2013 | 9 |

| | | | | | | |
|----|--|---|---------------------|-------------------------------|------|----|
| 77 | 気象条件が‘青島温州’の果実比重と酸含量に及ぼす影響、及び気象データを利用した果実比重の予測 | 高橋哲也, 菊池祐弥 | 静岡県農林技術研究所果樹研究センター | 園芸学会 | 2013 | 9 |
| 78 | 生理落果期の気象条件は‘青島温州’の果皮歩合に影響する | 高橋哲也, 菊池祐弥 | 静岡県農林技術研究所 果樹研究センター | 園芸学会 | 2013 | 9 |
| 79 | ニホンナシ‘幸水’における発芽不良症状と窒素施肥時期との関係 | 阪本大輔, 藤川和博, 坂上陽美, 井上博道, 伊東明子, 児下佳子, 朝倉利員, 森口卓哉, 東明弘, 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | 園芸学会 | 2013 | 9 |
| 80 | Effects of the initiation/completion timings of chilling accumulation on the endodormancy break of the Japanese pear (<i>Pyrus pyrifolia</i> (Burm.) Nakai) flower buds | 伊東明子, 杉浦俊彦, 齋藤隆徳, 阪本大輔, 今井剛, 中島育子, 森口卓哉 | 農研機構 果樹研究所 | Plant Dormancy Symposium 2013 | 2013 | 11 |
| 81 | Effects of mild autumn or winter condition on flowering behavior of Japanese pear ‘Niitaka’ | 阪本大輔, 杉浦俊彦, 伊東明子, 児下佳子, 朝倉利員, 森口卓哉 | 農研機構 果樹研究所 | Plant Dormancy Symposium 2013 | 2013 | 11 |
| 82 | Varietal difference of chilling requirement of rootstock and its seedling in peach | 杉浦俊彦, 阪本大輔, 朝倉利員, 児下佳子 | 農研機構 果樹研究所 | Plant Dormancy Symposium 2013 | 2013 | 11 |
| 83 | 温暖化によるウンシュウミカン栽培適地の移動と現在の生産地への影響 | 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | 日本農業気象学会 2014年度全国大会 | 2014 | 3 |
| 84 | Effect of completely dark or 12 hour photoperiod during chilling accumulation on endodormancy state of Japanese pear tree | 伊東明子, 齋藤隆徳, 白松齡, 中島育子, 今井剛, 森口卓也 | 農研機構 果樹研究所 | 第29回国際園芸学会 (オーストラリア) | 2014 | 8 |
| 85 | 低温遭遇の開始時期および遭遇時間の違いがニホンナシ花芽の休眠覚醒に及ぼす影響 | 伊東明子, 杉浦俊彦, 齋藤隆徳, 阪本大輔, 今井剛, 中島育子, 森口卓哉 | 農研機構 果樹研究所 | 園芸学会平成25年秋大会 | 2014 | 9 |
| 86 | リンゴ果実の日焼け症状の発生と果実表面温度の関係 | 福田勉, 檜本克樹, 小川秀和, 船橋徹郎, 小松宏光 | 長野県果樹試験場 | 平成26年度園芸学会 秋季大会 | 2014 | 9 |

| | | | | | | |
|----|--|---------------------------------------|---------------|---|------|---|
| 87 | Impact Assessment of Global Warming on Past Changes in Coloring of Grape Berry Skins by Using a Model for Estimating Berry Skin Coloring | 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | X International Symposium on Modelling in Fruit Research and Orchard Management | 2015 | 6 |
| 88 | カキのカロテノイド蓄積とその高含有化 | 新川猛 | 岐阜県農業技術センター | 日本食品・機械研究会 食の機能と安全研究会 | 2015 | 7 |
| 89 | 異なる環境条件がモモの“赤肉症”の発生に及ぼす影響について | 森永邦久, 村瀬拓也, 岸本里菜, 福田文夫 | 岡山大学 | 園芸学会中四国支部会 | 2015 | 7 |
| 90 | リンゴ果実の日焼け発生に関する要因について | 福田勉, 檜本克樹, 船橋徹郎, 玉井浩, 小松宏光 | 長野県果樹試験場 | 園芸学会平成27年度秋季大会 | 2015 | 9 |
| 91 | ブドウ‘巨峰’の果皮色に対する過去の気候変動の影響評価 | 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | 農業環境工学関連5学会2015年合同大会 | 2015 | 9 |
| 92 | Predicted changes in coloring of grape berry skins due to global warming in Japan | 杉浦俊彦, 阪本大輔, 紺野祥平 | 農研機構 果樹茶業研究部門 | X International Symposium on Grapevine Physiology and Biotechnology (イタリア) | 2016 | 6 |
| 93 | モモにおける果肉障害の発生と収穫前の夏季の気温 | 嶋田真耶, 岸本里菜, 森永邦久, 福田文夫 | 岡山大学 | 園芸学会中四国支部会 | 2016 | 7 |
| 94 | カキ‘富有’の良品生産のための限界温度 | 新川 猛, 杉浦俊彦, 紺野祥平, 村元靖典, 鈴木哲也 | 岐阜県農業技術センター | 平成28年度園芸学会秋季大会 | 2016 | 9 |
| 95 | カキ‘富有’の着色期前後の採取果を用いたカロテノイド生合成系酵素遺伝子の発現解析 | 村元靖典, 新川猛, 加藤雅也, 鈴木哲也, 生駒吉織 | 岐阜県農業技術センター | 平成28年度園芸学会秋季大会 | 2016 | 9 |
| 96 | リンゴ果実の日焼け発生に関する要因について(第2報) | 福田勉, 市川悦子, 檜本克樹, 前島勤, 船橋徹郎, 小松宏光, 玉井浩 | 長野県果樹試験場 | 平成28年度園芸学会秋季大会 | 2016 | 9 |
| 97 | ステージ進行を考慮した日平均気温による暖候期レタス抽苔長推定式の改良 | 岡田邦彦 | 農研機構 野菜茶業研究所 | 園芸学会 | 2013 | 9 |
| 98 | 夏季ブロッコリーの生理障害発生と気温の関係 | 中村憲太郎, 星野英正, 塩川正則, 岡田邦彦 | 長野県野菜花き試験場 | 園芸学会 | 2013 | 9 |

| | | | | | | |
|-----|--|-------------------------------|--------------------------|--|------|----|
| 99 | 主要露地野菜の3次メッシュ、旬別作付け実況の推定法の開発と課題 | 大原源二, 岡田邦彦, 中川博視 | 農研機構 中央農業総合研究センター | 日本農業気象学会関東支部会 | 2013 | 11 |
| 100 | ブロッコリー品種におけるブラウンビーズ(死花)発生と気温の関係 | 中村憲太郎, 星野英正, 小松和彦, 塩川正則, 岡田邦彦 | 長野県野菜花き試験場 | 園芸学会 | 2015 | 9 |
| 101 | 野菜への影響ーレタス抽苔を中心にー | 岡田邦彦 | 農研機構 野菜茶業研究所 | 日本農業気象学会 2016年全国大会OS | 2016 | 3 |
| 102 | 冬春ダイコンの生育における地球温暖化の影響評価(第1報)気温データからの生育予測 | 高田敦之, 岡田邦彦 | 神奈川県農技センター、農研機構 野菜花き研究部門 | 園芸学会 | 2016 | 9 |
| 103 | アルファルファ混播草地の播種晩限マップの構築 | 牧野司 | 北海道総研 根釧農業試験場 | 北海道畜産草地学会 | 2013 | 8 |
| 104 | 北海道積雪変動のクラスター分析 | 井上聡 | 農研機構 北海道農業研究センター | 雪氷研究大会 | 2013 | 9 |
| 105 | 年土壌水分の広域推定 | 井上聡, 廣田知良, 濱寄孝弘, 根本学 | 農研機構 北海道農業研究センター | 日本農業気象学会 | 2014 | 3 |
| 106 | アルファルファ混播草地播種晩限推定の試み | 井上聡, 牧野司, 廣田知良 | 農研機構 北海道農業研究センター | 日本農業気象学会北海道支部 | 2014 | 12 |
| 107 | API手法による北海道における土壌水分の長期推定 | 井上聡, 廣田知良, 濱寄孝弘, 根本学, 牧野司 | 農研機構 北海道農業研究センター | 日本農業気象学会 | 2015 | 3 |
| 108 | Analysis and prediction of the effects of global warming on the limit for delaying seeding of alfalfa (forage crop) in Kosen area. | Inoue S, Makino T, Hirota T | 農研機構 北海道農業研究センター | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 109 | 根釧地域におけるチモシー主体アルファルファ混播草地の最大土壌凍結深別播種晩限マップの開発 | 牧野司, 井上聡, 林拓, 中村直樹, 廣田知良 | 北海道総研 根釧農業試験場 | 北海道畜産草地学会 | 2015 | 9 |
| 110 | 北海道の長期積雪変動と小麦雪腐病発生の関係 | 井上聡, 牧野司, 廣田知良 | 農研機構 北海道農業研究センター | 日本農業気象学会北海道支部 | 2015 | 12 |
| 111 | 2016年2月14日の道内における雨氷(着氷性降雨)現象 | 井上聡 | 農研機構 北海道農業研究センター | (公社)日本雪氷学会北海道支部研究発表会および支部会誌35号 | 2016 | 9 |
| 112 | 2016年2月14日の北海道における雨氷(着氷性降雨)現象 | 井上聡 | 農研機構 北海道農業研究センター | 雪氷研究大会(2016・名古屋) | 2016 | 9 |

| | | | | | | |
|-----|---|-------------------------------------|--|--|------|----|
| 113 | RCP4.5シナリオのもとでの飼料用トウモロコシ(Zea mays L.)二期作適地の变化予測 | 菅野勉, 森田聡一郎, 佐々木寛幸, 加藤直樹, 西村和志, 西森基貴 | 農研機構 畜産研究部門・九州沖縄農業研究センター・中央農業研究センター・農業環境変動研究センター | 2017年度日本草地学会大会 | 2017 | 3 |
| 114 | 北海道内気候区分および牧草への活用事例 | 井上聡 | 農研機構 北海道農業研究センター | 第67回気候情報連絡会 | 2017 | 6 |
| 115 | 根釧地方における近年の気候変動 | 井上聡 | 農研機構 北海道農業研究センター | 第30回根釧農試酪農フォーラム | 2017 | 11 |
| 116 | 道東における気候変動時の最大土壌凍結深予測 | 井上聡, 牧野司, 廣田知良 | 農研機構 北海道農業研究センター 道総研根釧農業試験場 | 日本農業気象学会北海道支部2017年大会 | 2017 | 12 |
| 117 | 北海道東部における気候変動時の最大土壌凍結深予測と牧草播種晩限への影響(仮) | 井上聡, 牧野司, 廣田知良 | 農研機構 北海道農業研究センター 道総研根釧農業試験場 | 日本農業気象学会北海道支部2017年大会 | 2018 | 3 |
| 118 | 長期流出変動予測のための山地森林流域へのBiome-BGCの適用 | 澤野真治, 玉井幸治, 清水貴範, 野口正二, 壁谷直記, 黒川潮 | 森林総合研究所 | 水文水資源学会大会 | 2014 | 9 |
| 119 | Estimation of the distribution of potential water resources in forested area in Japan | Sawano S | 森林総合研究所 | International Symposium on Agricultural Meteorology 2015 | 2015 | 3 |
| 120 | 融雪流出量と融雪期間に流域の標高が及ぼす影響 | 玉井幸治 | 森林総合研究所 | 平成29年度農業農村工学会大会講演会 | 2017 | 8 |
| 121 | 水収支モデルを用いた山岳地域における降水量の補正 | 澤野真治, 玉井幸治 | 森林総合研究所 | 第129回日本森林学会大会 | 2018 | 3 |

注1)機関名は当該成果に関与した代表、共同機関名を記載する。

(3)出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌(注)(1)学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

| 整理番号 | 区分 | 著書名(タイトル) | 著者名 | 機関名 | 出版社 | 発行年 | 発行月 |
|------|----|---------------------------------------|------|-------------------|-----------|------|-----|
| 1 | ② | 「農業いばらき」 近年の気象変化の傾向とリスクが高まっている自然現象 | 中園 江 | 農研機構 中央農業総合研究センター | 茨城県農業改良協会 | 2013 | 8 |
| 2 | ① | 「植物学の百科事典」(日本植物学会編) 陸域生態系のエネルギー収支 | 桑形恒男 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 丸善出版 | 2016 | 6 |

| | | | | | | | |
|----|---|---|-------|-------------------|------------------------|------|----|
| 3 | ④ | 「ニュース農業と環境」 No.110 温暖化でお米の生産はどうなる？ 一わが国のコメ生産におよぼす気候変動の影響予測ー | 西森基貴 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 農研機構 農業環境変動研究センター | 2016 | 12 |
| 4 | ① | 「最新農業技術作物vol.9」 東日本と西日本のダイズの発育に対する気温上昇の影響 | 中野聡史 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 農山漁村文化協会 | 2017 | 2 |
| 5 | ① | 「気候変動の事典」 農業生産への影響①ーコメ・コムギー | 西森基貴 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 朝倉書店 | 2017 | 12 |
| 6 | ④ | 「農業茨城」 気候変動が農業生産に及ぼす影響と技術対策 | 西森基貴 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 茨城県農業改良協会 | 2018 | 5 |
| 7 | ④ | 「農環研ニュース」 No.99 高CO ₂ 濃度によるコメの増収効果は高温条件下で低下 | 長谷川利拡 | 農業環境技術研究所 | 農業環境技術研究所 | 2013 | 7 |
| 8 | ② | 「JATAFFジャーナル」 1(8) 世界作物FACEワークショップ2012 | 長谷川利拡 | 農業環境技術研究所 | 公益社団法人 農林水産・食品産業技術振興協会 | 2013 | 8 |
| 9 | ② | 「生物の科学 遺伝」 気候変化に対する水稻の応答と適応の方向 | 長谷川利拡 | 農業環境技術研究所 | NTS.inc | 2014 | 1 |
| 10 | ② | 「農業」 No.1600 地球環境変動が農業に及ぼす影響 | 長谷川利拡 | 農業環境技術研究所 | 公益社団法人 大日本農会 | 2015 | 6 |
| 11 | ② | 「JATAFFジャーナル」 4(2) 気候変動が土地利用型作物に及ぼす影響 | 長谷川利拡 | 農業環境技術研究所 | 公益社団法人 農林水産・食品産業技術振興協会 | 2016 | 2 |
| 12 | ② | 「学術の動向」 21(2), p.2.77-2.81 作物の環境応答における生理生態・遺伝・微気象モデルの融合的アプローチ | 長谷川利拡 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 公益財団法人 日本学術協力財団 | 2016 | 6 |
| 13 | ④ | 「東北農業研究センターだより」No. 53 高CO ₂ 濃度に対するイネ光合成の変化を屋外及び屋内実験で検証 | 長谷川利拡 | 農研機構 東北農業研究センター | 東北農業研究センター | 2017 | 12 |
| 14 | ① | 「農業技術体系果樹編追録28号」温暖化56-温暖化60 ニホンナシの自発休眠覚醒に連動するバイオマーカーの検索とそれに基づく休眠覚醒時期判定法の開発 | 伊東明子 | 農研機構 果樹研究所 | 一般社団法人 農山漁村文化協会 | 2013 | 5 |
| 15 | ④ | 「果樹研ニュース」 リンゴの食味の変化についての概要 | 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | 農研機構 果樹研究所 | 2014 | 1 |
| 16 | ② | 「植調」 47(12), 550-556 ニホンナシ1年枝における冬季の糖代謝 | 伊東明子 | 農研機構 果樹研究所 | 日本植物調節剤研究協会 | 2014 | 3 |

| | | | | | | | |
|----|---|--|------------------------|---------------------|-------------------------------|------|----|
| 17 | ④ | 「果樹研ニュース」 ニホンナシの休眠覚醒時期判定法 | 伊東明子 | 農研機構 果樹研究所 | 農研機構 果樹研究所 | 2014 | 3 |
| 18 | ② | 「果実日本」平成26年4月号 83-87 ニホンナシの自発休眠覚醒に連動するバイオマーカーの検索とそれに基づく休眠覚醒時期判定法の開発 | 伊東明子 | 農研機構 果樹研究所 | 日本園芸農業協同組合連合会 | 2014 | 4 |
| 19 | ② | 「明日の食品産業」4月号 地球温暖化が変えるリンゴ食味 | 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | 食品産業センター | 2014 | 4 |
| 20 | ② | 「果実日本」平成26年7月号 気候変動がカキに及ぼす影響と対応方策 | 新川 猛 | 岐阜県農業技術センター | 日本園芸農業協同組合連合会 | 2014 | 7 |
| 21 | ② | 「果実日本」平成26年7月号 クリにおける凍害の発生状況と対応方策 | 神尾真司 | 岐阜県中山間農業研究所 | 日本園芸農業協同組合連合会 | 2014 | 7 |
| 22 | ② | 「果実日本」平成26年7月号 温州ミカンにおける浮き皮の発生と気候変動の影響 | 高橋哲也 | 静岡県農林技術研究所 果樹研究センター | 日本園芸農業協同組合連合会 | 2014 | 7 |
| 23 | ② | 「りんご技術」4月号 温暖化でリンゴが甘くなる | 杉浦俊彦 | 農研機構 果樹研究所 | 公益財団法人 青森県りんご協会 | 2014 | 8 |
| 24 | ③ | 農研機構 2015年成果情報 自発休眠覚醒に必要なニホンナシの低温遭遇時間は時期により異なる | 伊東明子 | 農研機構 果樹研究所 | 農研機構 | 2016 | 3 |
| 25 | ② | 「信州の果実」平成28年7月号 リンゴの日焼け発生条件について | 市川悦子 | 長野県果樹試験場 | JA全農長野 | 2016 | 7 |
| 26 | ② | 「果実日本」平成28年8月号 リンゴの日焼け発生と軽減対策への取組み状況 | 市川悦子 | 長野県果樹試験場 | 日本園芸農業協同組合連合会 | 2016 | 8 |
| 27 | ② | 「園芸学研究」13(別2) 公設試へのアンケート調査に基づくイチゴ促成栽培における育苗の現状 | 山崎敬亮, 村上健二, 吉田祐子, 生駒泰基 | 農研機構 近中四農研 | 園芸学会 | 2014 | 9 |
| 28 | ① | 「 <i>Solanum Lycopersicum</i> : Production, Biochemistry and Health Benefits」pp.1-24 Factors Pertaining to Dry Matter Production in Tomato Plants (<i>Solanum Lycopersicum</i>) | Higashide T | 農研機構 野菜茶業研究所 | Nova Science Publishers, Inc. | 2015 | 11 |
| 29 | ④ | 「牧草と園芸」 地球温暖化と関東地域におけるトムロコシ二期作の可能性について | 菅野勉 | 農研機構 畜産研究部門 | 雪印種苗株式会社 | 2014 | 3 |

| | | | | | | | |
|----|---|---|---|---|---------------------|------|----|
| 30 | ② | 「農業食料工学会誌」 飼料用トウモロコシ栽培の今後の展望 | 菅野勉 | 農研機構 畜産研究部門 | 農業食料工学会 | 2014 | 9 |
| 31 | ④ | JA道東あさひ組合だより「まきばのかぜぼかぼか」 地図で見る化！根釧地域のアルファルファはいつまで に播けばいいの | 牧野司 | 北海道総研 根釧農業試験場 | JA道東あさひ | 2015 | 7 |
| 32 | ④ | デーリマン「今月の技術(北海道ブロック)」 根釧地域におけるチモシー主体アルファルファ混播草 地の播種晩限をマップ化 | 牧野司 | 北海道総研 根釧農業試験場 | 北海道協同組合通 信社 | 2015 | 7 |
| 33 | ④ | グリーンテクノ情報 道内草地の夏季播種における播種晩限日推定に関する 2つの研究成果 | 井上聡, 奥村健治, 牧野司 | 農研機構 北海道農業研究セン ター 北海道総研 根釧農業試験場 | NPO法人グリーン テクノバンク | 2016 | 6 |
| 34 | ⑤ | 「農研機構畜産研究部門技術レポート18号」 気候変動に対応したサイレージ用トウモロコシの二期 作栽培技術<関東地域版> | 菅野勉, 佐々木寛幸, 折原健 太郎, 九石寛之, 増山秀人, 島田研, 西村和志, 黒川俊二, 加藤直樹, 西森基貴, 森田聡 一郎, 赤松佑紀, 佐藤節郎 | 農研機構 畜産研究部門・中央 農業研究センター・九州沖縄農 業研究センター・農業環境変動 研究センター、神奈川県畜産技 術センター、栃木県畜産酪農研 究センター、栃木県下都賀農業 振興事務所 | 農研機構 | 2017 | 11 |

注1) 機関名は当該成果に関与した代表、共同機関名を記載する。

注2) 複数機関ある場合は著者名の順番と合わせる。

(4) 国内特許権等

| 整理番号 | 特許権等の名称 | 発明者 | 権利者 (出願人等) | 機関名 | 特許権 等の種 類 | 番号 | 出願年月日 | 取得年月日 |
|------|---------------------------|---------------------|---------------|------|-----------------|-------------------|-------------|-------|
| 1 | 耐凍性判定方法、耐凍性判定 装置及び栽培装置 | 伊東明子, 阪本大輔, 杉浦俊彦 | 農研機構 | 農研機構 | 特許権 | 特願2015-24850 4 | 2015.12. 21 | |

注1) 「特許権等の種類」には、特許権、実用新案権、意匠権、回路配置利用権及び品種登録を記載する。

注2) 複数の機関による共同出願の場合は、主となる出願人の下に行を追加し、共同出願人の情報を記載する。

(5) 国際特許権等

| 整理番号 | 特許権等の名称 | 発明者 | 権利者 (出願人等) | 機関名 | 特許権 等の種 類 | 番号 | 出願年月日 | 取得年月日 | 出願国 |
|------|---------|-----|---------------|-----|-----------------|----|-------|-------|-----|
| 1 | 該当無し | | | | | | | | |

注1) 複数の機関による共同出願の場合は、主となる出願人の下に行を追加し、共同出願人の情報を記載する。

(6)報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

| 区分 | 記事等の名称 | 掲載紙、放送社名等 | 掲載年 | 掲載月 | 掲載日 | 機関名 | 備考 |
|----|---|-----------------------------|------|-----|-----|----------------------------|-------|
| ② | 「高知市2015年の12月の平均気温は130年で高さ3番目」(取材事項:温暖化の農業・洪水への影響) | 高知新聞 | 2016 | 1 | 11 | 農業環境技術研究所 | 西森基貴 |
| ② | 「環境」面 (取材事項:FACE実験における主要な成果について) | 朝日新聞 | 2013 | 4 | 10 | 農業環境技術研究所 | 長谷川利拡 |
| ② | 2013年農林水産研究成果10大トピックス(7位:高CO ₂ によるコメの増収効果は高温条件で低下) | 日本農業新聞 | 2013 | 12 | 17 | 農業環境技術研究所 | 長谷川利拡 |
| ② | 「くらしナビ環境」面(取材事項:FACE実験における主要な成果について) | 毎日新聞 | 2014 | 3 | 7 | 農業環境技術研究所 | 長谷川利拡 |
| ② | 「総合営農」面 温暖化で稲増収、高温影響し限界 | 日本農業新聞 | 2017 | 4 | 19 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動センター | 長谷川利拡 |
| ① | 複数の予測モデルの利用により、二酸化炭素濃度の上昇がコメ収量に与える影響を高精度に予測—適正な気候変動対策の立案に貢献— | 科学工業日、日本農業新聞、農機新聞、農村ニュースなど | 2017 | 12 | 7 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動センター | 長谷川利拡 |
| ① | 温暖化に伴いリンゴの食味はすでに変化している | NHK総合、朝日新聞、読売新聞、毎日新聞、日経新聞など | 2013 | 8 | 16 | 農研機構 果樹研究所 | 杉浦俊彦 |
| ④ | 夕方ニュース「ラジオホットトーク」(取材事項:農産物 地球温暖化にどう対応するか) | NHK第一放送 | 2013 | 10 | 15 | 農研機構 果樹研究所 | 杉浦俊彦 |
| ④ | 「あぐりずむ」(取材事項:温暖化によるリンゴの味の変化) | TOKYO FM | 2013 | 10 | 16 | 農研機構 果樹研究所 | 杉浦俊彦 |
| ② | 取材事項:ニホンナシの自発休眠覚醒時期判定法 | 全国農業新聞 | 2013 | 12 | 20 | 農研機構 果樹研究所 | 伊東明子 |
| ③ | 「スーパーニュース」(取材事項:温暖化が浮き皮に及ぼす影響について) | テレビ静岡 | 2014 | 1 | 27 | 静岡県農林技術研究所 果樹研究センター | 高橋哲也 |
| ② | ナシハウス栽培 加温時期樹液で判定 | 日本農業新聞 | 2014 | 11 | 26 | 農研機構 果樹研究所 | 伊東明子 |

| | | | | | | | |
|---|--|------------------|------|----|----|-----------------------------------|-----------------|
| ② | 取材事項:温暖化の果樹への影響とその対策 | 共同通信社 | 2014 | 12 | 17 | 農研機構 果樹研究所 | 杉浦俊彦 |
| ③ | 「視点論点」(地球温暖化に直面する農産物) | NHK | 2014 | 5 | 20 | 農研機構 果樹研究所 | 杉浦俊彦 |
| ② | リンゴ寒冷しゃで日焼け抑制 | 日本農業新聞 信越版 | 2015 | 8 | 23 | 長野県果樹試験場 | 福田勉 |
| ③ | 「ニュースウォッチ9」(取材事項:温暖化の農業生産への影響、各県の取り組み) | NHK | 2015 | 9 | 22 | 岐阜県、農研機構 果樹研究所 | 鈴木哲也, 新川猛, 杉浦俊彦 |
| ③ | 地球温暖化ニュース(モモの果肉障害と温暖化) | 岡山RSKテレビ | 2017 | 1 | 22 | 岡山大学 | 森永邦久 |
| ② | 広告企画「夏秋トマト特集」 | 日本農業新聞 | 2013 | 12 | 4 | 農研機構 中央農業総合研究センター | 大原源二 |
| ② | 根釧地域アルファルファ播種晩限－パソコンマップで一目、道総研と農研機構 HPIに4月公開 | 日本農業新聞 北海道版 | 2015 | 3 | 9 | 北海道総研 根釧農業試験場 農研機構 北海道農業研究センター | 牧野司, 井上聡 |
| ② | 根釧地域のアルファルファの播種晩限を地図化 | 農業共済新聞「北海道営農技術版」 | 2015 | 6 | 24 | 北海道総研 根釧農業試験場 農研機構 北海道農業研究センター | 牧野司, 井上聡 |
| ② | 草地の最大土壌凍結深別播種晩限－HPIに根釧地域のマップ | 日本農業新聞 北海道版 | 2016 | 3 | 8 | 北海道総研 根釧農業試験場 農研機構 北海道農業研究センター | 牧野司, 井上聡 |

注1)機関名は当該成果に関与した代表、共同機関名を記載する。

(7)普及に移しうる成果

区分:①普及に移されたもの、製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの

| 区分 | 成果の名称 | 機関名 | 普及(製品化)年月 | | 主な利用場面 | 普及状況 |
|----|--|-------------------|-----------|---|--------------------------|--|
| ③ | コムギの栽培管理を支援する発育モデル(研究成果情報) | 農研機構 中央農業総合研究センター | 2014 | 3 | 作業計画上有用な情報提供、温暖化時の発育変化予測 | |
| ③ | 水田水温を利用した発育モデルによる水稲出穂予測の精度向上(研究成果情報) | 農研機構 農業環境変動研究センター | 2017 | 3 | 気候変動の影響を評価するための作物モデルの改良 | 農研機構平成28年度重点普及成果「農研機構メッシュ農業気象データシステム」のアプリケーションソフトウェアとして提供。 |
| ③ | コメの収量および品質低下リスクの将来変化に関するデータセット(普及成果情報) | 農研機構 農業環境変動研究センター | 2018 | 3 | 都道府県の気候変動適応計画策定での活用 | |

| | | | | | | |
|---|--|------------------------------|------|---|--|--|
| ③ | 多収水稻品種「タカナリ」の高CO ₂ 環境下での水消費量は現在の水稻栽培と同程度(研究成果情報) | 農研機構 農業環境変動研究センター | 2018 | 3 | 栽培管理や品種開発上の有用な情報提供 | |
| ③ | 高CO ₂ 濃度によるイネ葉身の光合成増加は高水温条件で抑制される—開放系大気CO ₂ 増加と水地温上昇処理の実験から—(主要成果) | 農業環境技術研究所 | 2014 | 3 | 気候変動の影響を評価するための作物モデルの改良 | 発表論文 "Adachi et al. Plant and Cell Physiol., 55: 370-380 (2014)"の被引用数、17件。 |
| ③ | 多収性イネ品種「タカナリ」の高い光合成能力は、高CO ₂ 濃度条件でも発揮される(主要成果) | 農業環境技術研究所 | 2014 | 3 | 気候変動の影響を評価するための作物モデルの改良および、将来の品種開発のための基礎的知見として活用 | 発表論文 "Chen et al., Plant and Cell Physiol., 55: 381-391 (2014)" 被引用数、17件。 |
| ③ | 昇温処理でのダイズの群落コンダクタンスの低下は気温よりも飽差の影響が大きい(研究成果情報) | 農研機構 中央農業総合研究センター | 2015 | 3 | 気温および飽差の上昇に対するダイズの群落コンダクタンス応答の基礎的知見 | 今後、温暖化に対するダイズ生育の影響評価での利用が期待される。 |
| ③ | 温暖化によって東北地方の中生ダイズ品種は増収する(研究成果情報) | 農研機構 東北農業研究センター | 2015 | 3 | 温暖化影響予測の精緻化とともに、温暖化適応品種開発のための基礎的知見として活用 | 発表論文 "Kumagai E. and Sameshima R. (2014) Agric. For. Meteorol. 198-199: 265-272."の被引用数、20件。 |
| ③ | 大気CO ₂ 濃度の上昇はコメの品質を低下させるが高温耐性品種ではその影響が小さい(主要成果) | 農業環境技術研究所 | 2016 | 3 | 温暖化影響予測の精緻化。高温耐性品種の特性評価 | 発表論文 "Usui Y, et al., Rice, 7:6 (2014) および Usui Y, et al., Global Change Biology, 22(2), 1256-1270の被引用数、計38件。 |
| ③ | 多収品種タカナリの高CO ₂ 濃度環境における子実の成長特性 ~ 高CO ₂ 濃度で増収に寄与する一要因 ~ (主要成果) | 農業環境技術研究所 | 2016 | 3 | 気候変動の影響を評価するための作物モデルの改良および将来の品種開発のための基礎的知見として活用 | 発表論文 "Zhang, Journal of Experimental Botany, 64: 3179-3188 (2013) および Zhang, Sakai, Usui et al., Field Crops Research, 179: 72-80 (2015)"の被引用数、計25件。 |
| ③ | 圃場とチャンバー実験で得られたイネの光合成パラメータと葉身窒素の密接な関係(研究成果情報) | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 2017 | 3 | 気候変動の影響を評価するための作物モデルの改良 | 発表論文 "Hasegawat T et al. Advances in Agricultural Systems Modelling, 7:45-68"の被引用、計6件。 |
| ③ | 大気CO ₂ 濃度上昇によるコメの増収効果が高温で低下する要因(研究成果情報) | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 2017 | 3 | 気候変動の影響を評価するための作物モデルの改良 | 発表論文 "Hasegawat T et al. Advances in Agricultural Systems Modelling, 7:45-68"の被引用、計6件。 |

| | | | | | | |
|-----|--|-----------------------------------|------|----|---|---|
| ③ | 国際連携研究で大気CO2濃度上昇時のコメの収量予測の信頼性を向上 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 2018 | 3 | 気候変動の影響を評価するための作物モデルの改良 | 発表論文”Hasegawa T et al., Scientific reports 7 (1), 14858(2017); Li T et al., Global Change Biology 21(3), 1328-1341(2015)”の被引用数、計124件。 |
| ① | 地球温暖化によりリンゴの品質に長期的な変化が起きている(主要普及成果) | 農研機構 果樹研究所 | 2014 | 3 | 行政部局での利用 | 政府全体の「適応計画」策定に向けて、中央環境審議会より環境大臣に報告された意見具申および中央環境審議会地球環境部会の報告書に記載された。 |
| ① | りんごわい性台木樹における果実の日焼け発生と果実表面最高温度の関係(普及に移す農業技術・技術情報) | 長野県果樹試験場 | 2014 | 3 | 長野県下全域のりんご栽培園地 | 技術情報として関係機関に情報提供 |
| ①、③ | カキ‘富有’の収穫期は着色開始前の低温遭遇、着色の良否は9～10月の気温で決まる | 岐阜県農業技術センター | 2015 | 12 | 流通関係者の販売促進、量販店での売り場構築 | JA全農岐阜が主催する生産出荷会議等で東京、中京、北陸、岐阜等の卸売市場に対して予測情報を提供 |
| ① | 関東地域におけるトウモロコシ二期作栽培に適した品種の早晚性及び栽培適地(普及成果情報) | 農研機構 畜産研究部門 | 2016 | 2 | 自給飼料増産を希望する畜産農家、コントラクター等、及び行政機関で利用 | 茨城県等の二期作における品種選定の基準として活用されている。 |
| ① | 根釧地域におけるチモシー主体アルファルファ混播草地の最大土壌凍結深別播種晩限マップ(Ver2015)(北海道農業試験会議平成27年指導参考事項) | 北海道総研 根釧農業試験場 農研機構 北海道農業研究センター | 2016 | 3 | 土壌凍結深を考慮した根釧地域でのチモシー主体アルファルファ混播草地の現在の播種晩限日の推定 | 北海道総研根釧農業試験場のHPでマップを公開、アクセス数314(2017年2月7日現在)。北海道内全普及センターおよび根釧地域JA等関係者で活用 |
| ① | 混播草地における夏季更新の播種晩限(北海道農業試験会議平成27年指導参考事項) | 農研機構 北海道農業研究センター 北海道総研 根釧農業試験場 | 2016 | 3 | 全道でのオーチャードグラス、チモシーとアカローバの現在の播種晩限日の推定 | 北海道内全普及センターおよびJA等関係者で活用 |
| ① | 秋季温暖化に適応した夏季播種技術を支援する牧草の晩限日計算プログラム(普及成果情報) | 農研機構 北海道農業研究センター | 2017 | 3 | 全道でのオーチャードグラス、チモシーとアカローバの現在の播種晩限日の推定プログラムの公開 | 北海道内全普及センターおよびJA等関係者、牧草種苗関係者で活用 |

注1)区分は複数可。

注2)機関名は当該成果に関与した代表、共同機関名を記載する。

(8)発表会の主催の状況

(シンポジウム、セミナー等を記載する。)

| 整理番号 | 発表会の名称 | 年月日 | 開催場所 | 参加者数 | 機関名 | 備考 |
|------|--------|-----|------|------|-----|----|
| | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|------|----|----|---------------------|----|-----------|--|
| 1 | MARCO satellite AgMIP workshop 2013「イネの生育・収量モデルの不確実性評価と予測精度の向上」 | 2013 | 12 | 3 | 文部科学省研究交流センター | 30 | 農業環境技術研究所 | 企画:長谷川利拡 講演:長谷川利拡ほか |
| 2 | ISAM2014 オーガナイズドセッション“Micro-meteorological environments and physiological functions of plant” | 2014 | 3 | 17 | 北海道大学 | 60 | 農業環境技術研究所 | 企画:桑形恒男 講演:桑形恒男, 吉本真由美ほか |
| 3 | ISAM2015 オーガナイズドセッション“Open-field evaluation of the impacts of climate change on rice crop and paddy ecosystem using Free-air CO ₂ enrichment (FACE)” | 2015 | 3 | 16 | 文部科学省研究交流センター | 60 | 農業環境技術研究所 | 企画:酒井英光, 長谷川利拡 講演:長谷川利拡, 吉本真由美ほか |
| 4 | ISAM2015 オーガナイズドセッション“Micrometeorology, plant structure and mass and energy transport processes in the canopy” | 2015 | 3 | 17 | 文部科学省研究交流センター | 60 | 農業環境技術研究所 | 企画:桑形恒男 講演:吉本真由美ほか |
| 5 | ISAM2015 Public Symposium “Challenges to Climate Change in Agricultural Meteorology” | 2015 | 3 | 17 | 文部科学省研究交流センター | 60 | 農業環境技術研究所 | 企画:長谷川利拡, 宮田明 講演:杉浦俊彦 |
| 6 | ISAM2015 オーガナイズドセッション“Impacts of climate change on agriculture in Japan and Asia” | 2015 | 3 | 18 | 文部科学省研究交流センター | 60 | 農業環境技術研究所 | 企画:宮田明, 桑形恒男, 長谷川利拡 講演:石郷岡康史ほか |
| 7 | MARCO symposium 2015 Workshop1 “Integration of Adaptation Measures against Climate Change for Asian Rice-based Agriculture” | 2015 | 8 | 27 | つくば国際会議場(つくば市) | 60 | 農業環境技術研究所 | 企画:宮田明, 長谷川利拡, 西森基貴, 石郷岡康史 講演:長谷川利拡ほか |
| 8 | 第29回気象環境研究会「気候変動に対する植物の応答とその分子生物学的な理解に向けて」 | 2015 | 11 | 20 | つくば国際会議場(つくば市) | 98 | 農業環境技術研究所 | 企画:桑形恒男, 宮田明, 長谷川利拡 講演:吉本真由美 |
| 9 | MARCO satellite symposium 2015 MINCER net: Multi-site monitoring network of canopy micrometeorology and heat stresses of rice under the climate change | 2015 | 11 | 24 | 文部科学省研究交流センター(つくば市) | 40 | 農業環境技術研究所 | 企画:吉本真由美 講演:吉本真由美, 長谷川利拡ほか |

| | | | | | | | | |
|----|---|------|---|----|----------------|----|------------------------------|-------------------------------------|
| 10 | 第30回気象環境研究会「農業利用のための気候シナリオー現状と将来展望」 | 2017 | 2 | 14 | つくば国際会議場(つくば市) | 78 | 農研機構 農業環境変動研究センター・果樹茶業部門 | 企画:西森基貴, 宮田明 講演:西森基貴, 桑形恒男, 杉浦俊彦 |
| 11 | 農業気象学会2017年全国大会オーガナイズドセッション「野外における植物の環境応答機能の分子レベルでの解明と農業気象学の貢献」 | 2017 | 3 | 27 | 北里大学獣医学部(十和田市) | | 農研機構 農業環境変動研究センター・東北農業研究センター | 企画:桑形恒男, 長谷川利拡 講演:桑形恒男 |
| 12 | NARO-MARCO Symposium 2018 on "MINCERnet: Multi-site monitoring network to cope with the heat stresses of rice under the climate change" | 2018 | 1 | 26 | つくば国際会議場(つくば市) | 65 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 企画:宮田明, 吉本真由美 講演:吉本真由美, 福岡峰彦ほか |
| 13 | 第31回気象環境研究会「イネの高CO ₂ 応答:FACE実験でどこまでわかったか」 | 2018 | 3 | 7 | つくば国際会議場(つくば市) | | 農研機構 農業環境変動研究センター | 企画:酒井英光, 宮田明 講演:長谷川利拡, 吉本真由美ほか |

注1) 機関名は当該成果に関与した代表、共同機関名を記載する。

(9) アウトリーチ活動の状況

当事業の研究課題におけるアウトリーチ活動の内容は以下のとおり。

区分: ①一般市民向けのシンポジウム、講演会及び公開講座、サイエンスカフェ等、 ②展示会及びフェアへの出展、大学及び研究所等の一般公開への参画、

③その他(子供向け出前授業等)

| 整理番号 | 区分 | アウトリーチ活動 | 年月日 | | | 開催場所 | 参加者数 | 主な参加者 | 機関名 | 備考 |
|------|----|--|------|----|----|---------------------|------|----------------------|-----------|------|
| 1 | ① | 千葉県農業士協会研修会での講演「地球温暖化と農業に及ぼす影響について」 | 2014 | 6 | 10 | フローラ西船(船橋市) | 70 | 主に千葉東葛地区の若手農業者 | 農業環境技術研究所 | 西森基貴 |
| 2 | ① | 「にいがた夢農業・人づくり事業」共通講座での講演 | 2014 | 10 | 17 | 新潟大学(新潟市) | 200 | 新潟県農業部局・新潟大学生・県内農業者等 | 農業環境技術研究所 | 西森基貴 |
| 3 | ① | 気候変動対策プロジェクト研究成果発表会「農業分野における気候変動への対応:これまでとこれから」での講演「気候変動と異常気象:これまでとこれから」 | 2014 | 12 | 10 | 新宿明治安田生命ホール(東京都新宿区) | 200 | 一般 | 農業環境技術研究所 | 西森基貴 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|--|------|---|----|------------------------|----|------------------|-------------------|-------|
| 4 | ① | 千葉県君津地区指導農業士会研修会での講演 | 2017 | 3 | 14 | ロイヤルヒルズ木更津ビューホテル(木更津市) | 40 | 千葉県君津地区の指導農業士 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 西森基貴 |
| 5 | ③ | 平成29年度東海農業気象協議会での話題提供「小麦作に対する近年の気候変動の影響」 | 2017 | 6 | 29 | 東海農政局 | 29 | 行政機関、気象庁、県試験場関係者 | 農研機構 中央農業研究センター | 中園江 |
| 6 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会での講演「影響評価課題の概要と水稻収量・品質の将来予測」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | | 一般 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 石郷岡康史 |
| 7 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「農業影響評価・適応のための気候シナリオーこれまでとこれからー」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | | 一般 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 西森基貴 |
| 8 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「気候変化が水稻作に与える影響と適応技術の評価」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | | 一般 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 桑形恒男 |
| 9 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「温暖化で変わる小麦の生育と収量」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | | 一般 | 農研機構 中央農業研究センター | 中園江 |
| 10 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「気候変化が大豆作の発育と収量性に与える影響の広域評価」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | | 一般 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 中野聡史 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|---|------|----|----|--------------------------------------|-------|-----------|-------------------|-------|
| 11 | ① | 日本学術会議主催、公開シンポジウム「気候変動がもたらす農林業への影響とその対策を考える」での講演「農業分野での適応の方向性と学際的研究連携の重要性」 | 2013 | 7 | 12 | 東京大学大学院農学生命科学研究科 中島董一郎記念ホール(東京都文京区) | 約150名 | 一般、研究者、学生 | 農業環境技術研究所 | 長谷川利拡 |
| 12 | ③ | イオン下妻チアーズクラブ 見学対応 (子供向け出前授業)「温暖化が稲作にどのような影響を及ぼしているのか」 | 2014 | 11 | 13 | 農業環境技術研究所(つくば市)及びつくばみらいFACE(つくばみらい市) | 30名 | 小学生 | 農業環境技術研究所 | 長谷川利拡 |
| 13 | ① | 日本学術会議 農学委員会、食料科学委員会主催 平成27年公開シンポジウム 分野横断型農学の展開に向けて -物理学・数理学の視点とその重要性における講演「作物の環境応答における生理生態・遺伝・微気象モデルの統合的アプローチ」 | 2015 | 3 | 4 | 筑波大学東京キャンパス(東京都文京区) | 約200名 | 一般、研究者、学生 | 農業環境技術研究所 | 長谷川利拡 |
| 14 | ① | 日本大学生物資源科学部主催、平成28年度科学技術公開講座での講演「気候変動が作物生産に及ぼす影響 - 実験と数値シミュレーションから学ぶこと-」 | 2016 | 4 | 23 | 日本大学生物資源科学部(藤沢市) | 約200名 | 一般、学生 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 長谷川利拡 |
| 15 | ① | 日本学術会議農学委員会育種学分科会主催、公開シンポジウム「気候変動に打ち克つ育種戦略」での講演「気候変動が国内の農林水産業に及ぼす影響」 | 2016 | 11 | 11 | 日本学術会議講堂(東京都港区) | 約100名 | 研究者、一般 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 酒井英光 |
| 16 | ① | 環境省東北地方事務所主催、平成28年度気候変動影響への適応計画セミナー「気候変動とこれからの私たちの暮らし」における講演「気候変動下の作物生産—影響のしくみと対応—」 | 2017 | 1 | 19 | 仙台市TKPガーデンシティ仙台勾当台ホール(仙台市) | 約80名 | 一般 | 農研機構 東北農業研究センター | 長谷川利拡 |
| 17 | ① | 東北農業研究センター市民講座「気候変動に備える - 将来、作物の生育や収量はどのように変わる」 | 2017 | 7 | 1 | 農研機構東北農業研究センター | 約35名 | 一般 | 農研機構 東北農業研究センター | 長谷川利拡 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|--|------|----|----|----------------|-------|----------------|------------------------------|-------|
| 18 | ② | 東北農業研究センター一般公開講演 「気候変動に備えるー将来、作物の生育や収量はどのように変わるー」 | 2017 | 9 | 9 | 農研機構東北農業研究センター | 約50名 | 一般 | 農研機構 東北農業研究センター | 長谷川利拓 |
| 19 | ① | 農業環境技術公開セミナー in 宮崎「地球温暖化に負けない農業をめざして」 | 2017 | 11 | 1 | 宮崎県総合農業試験場 | 約140名 | 生産者、一般、学生 | 農研機構 農業環境変動研究センター | 酒井英光 |
| 20 | ① | JA庄内たがわ青年部盟友研修会「気候変動下の作物生産」 | 2017 | 11 | 12 | 山形県鶴岡市 | 約50名 | JA庄内地区の若手農業従事者 | 農研機構 東北農業研究センター | 長谷川利拓 |
| 21 | ① | Farquhar教授京都賞受賞記念ワークショップ「光合成機能の環境応答とモデリング」気候変動に対するイネの応答 | 2017 | 11 | 18 | 東京大学 | 約200名 | 一般、学生、研究者 | 農研機構 東北農業研究センター | 長谷川利拓 |
| 22 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「大気CO2濃度がコメの収量・品質に及ぼす影響」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学・一橋講堂 | | 一般、学生、研究者 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 長谷川利拓 |
| 23 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「国際連携研究で大気CO2濃度上昇時のコメの収量予測の信頼性を向上」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学・一橋講堂 | | 一般、学生、研究者 | 農研機構 東北農業研究センター・農業環境変動研究センター | 長谷川利拓 |
| 24 | ③ | うまいくだもの中央講習会 | 2014 | 1 | 10 | 長野県松本合同庁舎(松本市) | 200 | 農家、行政機関、振興機関 | 長野県果樹試験場 | 福田勉 |
| 25 | ① | IPCCシンポジウム(環境省) | 2014 | 3 | 26 | パシフィコ横浜(横浜市) | 200 | 一般 | 農研機構 果樹研究所 | 杉浦俊彦 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|---|------|----|-------|------------------|------|-------------|-------------------|------|
| 26 | ② | アグリビジネス創出フェア | 2014 | 11 | 12-14 | 東京ビッグサイト(東京都江東区) | 2600 | 一般 | 農研機構 果樹研究所 | 伊東明子 |
| 27 | ① | 東海地域農業関係試験研究機関連携シンポジウム「地域温暖化に向けて農業研究はいま何をすべきか」 | 2014 | 11 | 20 | 岐阜県図書館(岐阜市) | 120 | 一般、関係団体、行政等 | 岐阜県農業技術センター | 新川猛 |
| 28 | ① | 果樹試験場一般公開 | 2015 | 10 | 3 | 長野県果樹試験場(須坂市) | 1200 | 一般 | 長野県果樹試験場 | 福田勉 |
| 29 | ① | うまいくだもの中央講習会 | 2016 | 1 | 8 | 長野県松本合同庁舎(松本市) | 200 | 農家、行政、振興機関 | 長野県果樹試験場 | 市川悦子 |
| 30 | ① | 農業関係試験研究発表会 | 2016 | 3 | 10 | 長野県松本合同庁舎(松本市) | 200 | 農家、行政、振興機関 | 長野県果樹試験場 | 福田勉 |
| 31 | ① | 果樹試験場一般公開 | 2016 | 10 | 8 | 長野県果樹試験場(須坂市) | 1600 | 一般 | 長野県果樹試験場 | 福田勉 |
| 32 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「リンゴ、モモなど果樹に対する温暖化の影響の現状と将来予測」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学・一橋講堂 | | 一般、学生、研究者 | 農研機構 果樹茶業研究部門 | 杉浦俊彦 |
| 33 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究開発」平成29年度研究成果発表会「温暖化進行時のブロッコリー異常花蕾”ブラウンビーズ”発生リスク推定」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学・一橋講堂 | | 一般、学生、研究者 | 農研機構 野菜花き研究部門 | 岡田邦彦 |
| 34 | ① | 北海道畜産草地学会・第2回大会ワークショップでの講演「採草地の植生改善」、「アルファルファ混播草地の播種晩限マップの構築」 | 2013 | 8 | 31 | 紋別市文化会館(紋別市) | 100 | 酪農関連研究者 | 北海道総研 農業本部根創農業試験場 | 牧野司 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|--|------|---|----|--------------------------|-----|--------------------|--|------------|
| 35 | ① | 平成26年度北海道農業新技術発表会での発表「地図で見える化！根釧地域のアルファルファはいつまでに播けばいいのか？」、「翌年からしっかりとれる牧草地づくり！牧草はいつまでに播けばいいのか？」 | 2015 | 2 | 19 | 北海道立道民活動センター（かでの2・7、札幌市） | 500 | 普及員、JA職員等 農業関係者 | 北海道総研 根釧 農業試験場 農研機構 北海道 農業研究センター | 牧野司 井上聡 |
| 36 | ① | 平成26年度畜産関係新技術発表会での発表「地図で見える化！根釧地域のアルファルファはいつまでに播けばいいのか？」 | 2015 | 2 | 23 | 北農ビル（札幌市） | 100 | 普及員、JA職員等 農業関係者 | 北海道総研農業 本部根釧農業試 験場、 農研機構北海道 農業研究センター | 牧野司 井上聡 |
| 37 | ① | 平成26年度十勝畜産技術セミナーでの講演「混播草地における夏季更新の播種晩限」 | 2015 | 2 | 27 | 十勝農協連ビル（帯広市） | 100 | 普及員、JA職員等 農業関係者 | 農研機構 北海道 農業研究センター | 井上聡 |
| 38 | ① | 胆振農業改良普及センター地域課題解決研修会での講演「混播草地における夏季更新の播種晩限」、「混播草地における夏季更新の播種晩限」 | 2015 | 7 | 27 | 農研機構北海道農業研究センター（札幌市） | 20 | 普及員 | 農研機構 北海道 農業研究センター | 井上聡 |
| 39 | ① | 講演「混播草地における夏季更新の播種晩限」 | 2015 | 8 | 20 | 宗谷農業改良普及センター（稚内市） | 10 | 普及員 | 農研機構 北海道 農業研究センター | 井上聡 |
| 40 | ③ | 訪問による普及活動 | 2015 | | | 北海道内のJAおよび普及センター（計15件） | 30 | 普及員、JA職員等 農業関係者 | 農研機構 北海道 農業研究センター | 井上聡 |
| 41 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究」平成29年度研究成果発表会「土壌凍結深を考慮した根釧地域におけるアルファルファ播種晩限マップ」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂（東京都千代田区） | | 一般 | 農研機構 北海道 農業研究センター | 井上聡 |
| 42 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究」平成29年度研究成果発表会「秋季温暖化に適応した牧草の夏季播種晩限日計算プログラム」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂（東京都千代田区） | | 一般 | 農研機構 北海道 農業研究センター | 井上聡 |

| | | | | | | | | | | |
|----|---|---|------|----|----|-----------------------------|-----|----------------------------|-------------|------|
| 43 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究」平成29年度研究成果発表会「飼料用トウモロコシ二期作栽培適地の变化予測－特に関東地域を対象として－」 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | | 一般 | 農研機構 畜産研究部門 | 菅野勉 |
| 44 | ① | 水田転作畑における飼料用トウモロコシの安定生産技術について(トウモロコシ二期作の紹介を含む) | 2018 | 2 | 28 | メルパルク岡山(岡山県岡山市) | | 岡山県農業部局関係者・県内農業者等 | 農研機構 畜産研究部門 | 菅野勉 |
| 45 | ① | 森林総合研究所研究成果発表会「地球温暖化の中で森林を活かす」での発表「森林から供給される水資源を予測する」 | 2014 | 11 | 11 | 東京大学弥生講堂 一条ホール(東京都文京区) | 150 | 一般 | 森林総合研究所 | 澤野真治 |
| 46 | ① | 第55回治山シンポジウム「水の循環と森林の働きを科学する」での講演「森林における水移動研究と今後の課題」 | 2017 | 9 | 21 | 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都渋谷区) | 300 | 都道府県・森林管理署・森林整備センター職員、民間企業 | 森林総合研究所 | 玉井幸治 |
| 47 | ① | 第15回環境研究シンポジウム「持続可能な生産と消費－資源循環型社会の構築をめざして」での発表「広域推定のための森林蒸発散量予測モデルの開発」 | 2017 | 10 | 10 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | 150 | 行政 | 森林総合研究所 | 澤野真治 |
| 48 | ① | 農林水産省委託プロジェクト研究「農林水産分野における気候変動対応のためのプロジェクト研究」平成29年度研究成果発表会での発表 | 2018 | 2 | 14 | 一橋大学一橋講堂(東京都千代田区) | | 一般 | 森林総合研究所 | 澤野真治 |

注1) 機関名は当該成果に関与した代表、共同機関名を記載する。