

2020年3月



茨城県における 気候変動影響と適応策 — 水稲への影響 —

茨城大学

茨城県地域気候変動適応センター

協力：茨城県

共編



茨城大学
Ibaraki University



SI-CAT





茨城県における 気候変動影響と適応策 — 水稲への影響 —

茨城大学
茨城県地域気候変動適応センター 共編
協力：茨城県

発行によせて

地球環境の変動と地域環境が直結する時代

最近、気候変動の影響を誰もが実感するようになりました。とくに、昨年の台風19号は、茨城県をはじめ東日本の各地に大きな被害をもたらし、世界でも、オーストラリアのすさまじい森林火災や南極、北極の気温上昇などこれまでになかった事態が発生しています。今や、気候変動の影響が私達の上に直接現れる新しい時代に入ったと言えます。

これに対して、我が国では、2018年12月に気候変動適応法が施行され、都道府県毎に地域気候変動適応センターを設置して、自治体レベルで気候変動に対する適応計画を策定することになりました。茨城県では、2019年4月に、茨城大学にこのセンターを設置し、気候変動対応に関する調査・研究を進める体制を整えました。茨城大学では、茨城県における気候変動影響と適応策への理解が進むように、自治体や企業、地域の皆様と共に努力していく所存です。

本書は、「茨城県地域気候変動適応センター」の第1号の報告書として、最新の気候予測を基に、茨城県の気候変動影響と適応策、なかでも水稻への影響とその適応策についてまとめたものです。茨城県にご協力を頂き、茨城大学と茨城県地域気候変動適応センターが共同で編集しました。今後も、このような形で調査・研究の成果をお届けする計画ですので、皆様のご支援、ご協力をお願い致します。



茨城大学長
三村信男

茨城県地域気候変動適応センターは2019年4月1日より開始しました。2018年12月の気候変動適応法施行後、全国で5番目、また最初に大学に設置された地域気候変動適応センターとなります。茨城県からの依頼を受けて、茨城大学に本センターが設置されました。

本センターは、①気候変動適影響予測・適応評価、②気候変動影響に関するローカル情報の収集・検討、③自治体適応計画策定支援、④人材育成、アウトリーチを主な活動方針に掲げています。

本書は茨城県地域気候変動適応センターとしては最初となる県内の気候変動影響と適応策をまとめたものです。

今回は、茨城県、農研機構等の関係研究者にも執筆にご協力いただき、水稻への気候変動影響と適応策に焦点を絞りましたが、気候変動の影響は多岐にわたり、自治体の課題とニーズも多様です。今後は地域の方々と協力して、水稻以外の農作物、災害など他分野の影響と適応策についても検討し、その成果を発信していきます。

茨城県地域気候変動適応センターはまだ活動を開始したばかりです。引き続き、皆様のご協力をよろしくお願い申し上げます。



茨城県地域気候変動適応センター長
茨城大学理工学研究科（工学野）教授
横木裕宗

目次

| | | |
|---|--------------------------------------------|----|
| 1 | 概要 | 5 |
| 2 | 適応策 | 8 |
| | 2.1 適応策とはなにか | 8 |
| | 2.2 国内外の適応策の動向 | 9 |
| | 2.3 地域での適応 | 12 |
| | 2.4 茨城県気候変動適応計画 | 14 |
| 3 | 茨城県の水稲生産の現状 | 16 |
| | 3.1 茨城県の地勢 | 16 |
| | 3.2 茨城県の農業政策 | 21 |
| 4 | 茨城県の将来の気候変動：農研機構地域気候シナリオ 2017 ... | 23 |
| | 4.1 はじめに | 23 |
| | 4.2 農研機構（農環研）地域気候シナリオ作成の歴史と最新シナリオの開発 | 24 |
| | 4.3 茨城県の気候とその予測 | 26 |
| | 4.4 まとめ | 27 |
| 5 | 水稲生産の影響 | 29 |
| | 5.1 収量への影響 | 29 |
| | 5.2 低品質米（白未熟粒）発生への影響 | 37 |
| 6 | 適応策 | 44 |
| | 6.1 JA つくば市谷田部の事例 | 44 |
| | 6.2 気候変動への取り組み | 47 |
| | 6.3 適応策（高温耐性品種導入）の評価シミュレーション | 49 |
| | 6.4 茨城県水稲生産における適応戦略 | 55 |
| | 執筆者一覧 | 57 |

1

概要

田村 誠（茨城大学）

世界の平均気温は工業化以前の水準よりも約 0.87°C ($0.74^{\circ}\text{C}/100$ 年) 上昇しており、当面は過去の温室効果ガスの蓄積によって約 0.2°C ($0.1\sim0.3^{\circ}\text{C}$) /10年の昇温傾向が継続すると見込まれています (IPCC, 2018)。日本では世界平均気温よりも大きな約 $1.2^{\circ}\text{C}/100$ 年の割合で平均気温が上昇しており、特に1990年代以降は高温となる年が頻出し、異常高温の出現数も増加しています (環境省他, 2018)。茨城県の年平均気温も水戸市で $1.3^{\circ}\text{C}/100$ 年、つくば市で $2.1^{\circ}\text{C}/100$ 年上昇し、この変化には地球温暖化とともに都市化やその他の自然変動も含まれていると考えられます (水戸気象台, 2018)。

気候変動は気温の変化に留まらず、降雨、日射など様々な気象の変化をもたらします。それらが誘因となって、近年は豪雨や渇水などの極端現象、海面上昇などが発生し、沿岸域、災害、農業、健康など様々な分野に影響を及ぼしています。既に、気候変動の影響は現れています。

茨城県は、全国有数の農業県です。本書は、茨城県農業の主要作物である水稻への気候変動影響とその適応策について、最新の気候変動予測に基づく知見や取組を議論していきます。茨城大学、茨城県地域気候変動適応センターが共編、茨城県の環境政策課、農業政策課、農業総合センターの方々が執筆協力し、さらに農研機構の研究者が執筆しました。

第2章は、気候変動の適応策について概説します。気候変動は、緩和策と適応策の二つの対策があります。気候変動自体を防ごうとする緩和策が最重要であり国際的取組が強調されているものの、人口増加、経済活動などにより世界の温室効果ガス排出量は依然として減少せず気候変動を抑え切れてないのが実状です。そこで、2018年に気候変動適応法が成立、施行され、地域の自然条件や社会情勢に応じたきめ細かい適応策の重要性が高まっています。2019年4月に茨城県地域気候変動適応センターが茨城大学に設置された背景も同様です。2.4節では、茨城県地球温暖化対策実行計画、地域気候変動適応計画が紹介されています。日本政府は「温室効果ガス排出量を2030年度までに2013年度比で26%削減」という緩和目標を掲げ、茨城県は「2030年度までに家庭部門39%、業務部門40%、運輸部門28%、産業部門9%削減 (いずれも2013年度比)」という部門別の削減目標を設定しています。この緩和計画と並行して適応計画が策定されています。農業は、茨城県の適応計画の中でも重要な分野の一つです。

第3章は、茨城県の地勢、農業の現状について概説します。茨城県は、農業生産額が全国で2-3位となる全国有数の農業県です。広大な平野を有しており、農業には適した条件が揃っています。一方で他の都道府県と同様に農業従事者人口の不足、高齢化が進み、気候変動に適応するための農業基盤が弱まり

かねない状況です。これに対して、3.2節で示すように、2018年に策定された茨城県総合計画では「儲かる農業」を標榜し、経営者マインドの醸成、生産性の向上、付加価値の向上などを通じて「農業の成長産業化」を図っています。

第4章は、農研機構（NARO）による日本や茨城県の将来気候の予測結果を示します。将来の気候はこれからの私たちの社会経済活動、温室効果ガスの排出量によって大きく変わります。代表的濃度経路（RCP）と呼ばれる温室効果ガスの排出シナリオ分析によって将来の気温、降水量等を予測した結果が提示されます。21世紀末の気温上昇は人類の温室効果ガス削減の程度によって大きく変わり、緩和策の重要性が示されます。しかし、これまでに蓄積された温室効果ガスによって今後数十年はいずれのシナリオでも昇温傾向になるとも予測されています。いずれのシナリオにせよ、当面、適応策を講じなければならない所以です。

第5章は、将来の水稻への気候変動影響を予測します。5.1節では主に水稻の収量に焦点を当てた農研機構の予測が紹介されています。21世紀の中盤まではコシヒカリの収量はCO₂施肥効果等によりやや増収になりますが、21世紀後半は私たちの温室効果ガスの排出削減努力（RCPシナリオ）によって増収から減収まで不確実性が大きくなると予想されています。日本や茨城県の地域毎の予測結果も示され、地域の特徴や影響の違いも見られます。5.2節は茨城大学によって、水稻の品質への影響、なかでも白未熟粒の発生に着目した気候変動予測がなされています。白未熟粒発生による品質の低下は米価の低下を招き、生産者の収入に直結します。今回の計算では、白未熟粒の発生率は気候変動によって2030年代になると顕著になる可能性が高く、それ以降はRCPシナリオによって大きく変化する見込みです。

第6章は、第5章で予測された気候変動の悪影響を軽減するための適応策の取組、提案を示します。6.1節では、JAつくば市谷田部の農業生産者と協働した圃場調査の結果を述べていきます。農家は季節、天候に応じて水管理、施肥など様々な栽培管理を行っています。統一の肥料を用いた管理を行う米部会の圃場において、なぜ白未熟粒発生率の違いが生じるのでしょうか。4-5章の将来シナリオと微気候の違い、農家が既に実践している適応策と対比すると興味深いでしょう。6.2節は、茨城県の適応策として「いばらき高品質米生産運動」や高温耐性品種の取組を紹介します。「いばらき高品質米生産運動」は、「コシヒカリ」の①適期田植えの推進（5月5日～20日の田植え）、②中干しによる茎数制御、③登熟期の間断かんがいと早期落水の防止、④適期収穫と適正な乾燥・調製、⑤土づくりの推進の「5つの基本技術の励行」からなります。さらに、「ふくまる」に代表される育種事例を紹介します。

6.3節は、適応策（高温耐性品種導入）のシミュレーションにより、いつまでに何度の高温耐性品種が必要か、その育種目標を提示します。高温耐性品種の開発には10年単位の時間を要するため、将来予測を参考にしながら育種を準備していくことになります。そして、6.4節はこれまでの成果を踏まえた適応戦略を論じます。適応策は実施のコスト・時間・効果、さらに実施・関連主体が大きく異なります。短期的には「いばらき高品質米生産運動」で述べた基本技術の励行、中長期的には高温耐性品種の開発、導入などが必要となります。

これまで述べてきたように、気候変動は今後も継続し、茨城県の農業における前提条件となっていくこ

とが予想されています。それゆえ、「備えあれば憂い無し」と言われるように、今後のリスクを同定し、今から準備を進めていくことが求められます。地域毎の気候変動影響を見据えて、それぞれの適応策の特徴を把握して将来にわたる適応戦略を立てることが重要となります。

参考文献

IPCC(2018). Special Report on Global Warming of 1.5 °C.

環境省・文部科学省・農林水産省・国土交通省・気象庁(2018)「気候変動の観測・予測及び影響評価統合レポート2018～日本の気候変動とその影響～」

水戸気象台(2018)「茨城県の21世紀末の気候」

2

適応策

2.1 適応策とはなにか

田村 誠（茨城大学）[2.1-2.3]

気候変動は、緩和策と適応策を対策の両輪として同時に進めていかねばなりません（図2.1.1）。気候変動のリスクに対して、温室効果ガス削減等によって極端現象などのハザードの発生確率を下げようとするのが緩和策です。緩和策は、省エネルギーや代替エネルギーの開発と利用、森林保護や植林などにより温室効果ガスを削減して、気候変動の抑制を図る方法です。一方、曝露や脆弱性を下げることでリスクや悪影響を軽減しようとするのが適応策です。適応策は沿岸での堤防設置、防災、農業での栽培植物の変更、品種改良など気候変動の存在を前提に社会システムを調整していく方法です。緩和策は世界全体に広く効果をもたらしますが、効果を発揮するまでには時間が掛かります。既に大気中に蓄積した温室効果ガスによって最も厳しい緩和策を講じたとしても、今後数十年間は気候変動の悪影響の全てを回避することが困難だからです。世界の平均気温は1850-1900年までの工業化以前の水準よりも約0.87℃上昇しており、過去の温室効果ガスの蓄積によって当面は約0.2℃（0.1～0.3℃）/10年の昇温傾向が継続すると見込まれています（IPCC, 2018）。それゆえ、緩和策のみならず、極端現象などの局所的あるいは短期的な激しい悪影響、農業や水資源、生態系への影響、途上国をはじめとする特に脆弱な地域などに対して、様々なレベルで適応策が不可欠となります。気候変動対策の主要な目標は、国連気候変動枠組条約（UNFCCC）にあるとおり、気候変動の進行と悪影響を危険な水準以下に抑えることです。緩和策と適応策は時間軸、空間軸とも相補的な関係にあり、適切に組み合わせて展開することが求められます。

適応策アプローチの観点から見ると、科学主導型とコミュニティ主導型の2つがあります（図2.1.2）。日本をはじめとする先進国の多くは科学主導型適応策を推進してきました。すなわち、モニタリング、気候変動予測、ダウンスケーリング、影響評価・脆弱性評価に基づき、適応策を立案、実施し、その政策効果を検証する方法です（Klein et al., 1999）。将来の気候変動に対する科学的知見の提供は、長年にわたる適応策の計画づくりに有用ですが、データ蓄積や計算機環境の整備、分析のための人材を要します。

これに対して、途上国や地方自治体等において十分な情報の蓄積がないなかで、農業、漁業、災害などで日頃から実感される気象や気候の変化に対して、コミュニティが中心となって適応策を計画、実践するコミュニティ主導型適応策もあります（Adger et al., 2005）。気候変動とその周辺分野に関する住民や地域のニーズ把握から始まり、様々な実践を通じてコミュニティ全体の適応能力やレジリエンス（回復力あるいは外的擾乱への耐力）を高めることを目指しています。これら2つのアプローチは相補的な関係で

あり、いずれも利害関係者との対話を通じて気候変動に強い地域・社会づくりを最終的に目指す点は共通します。

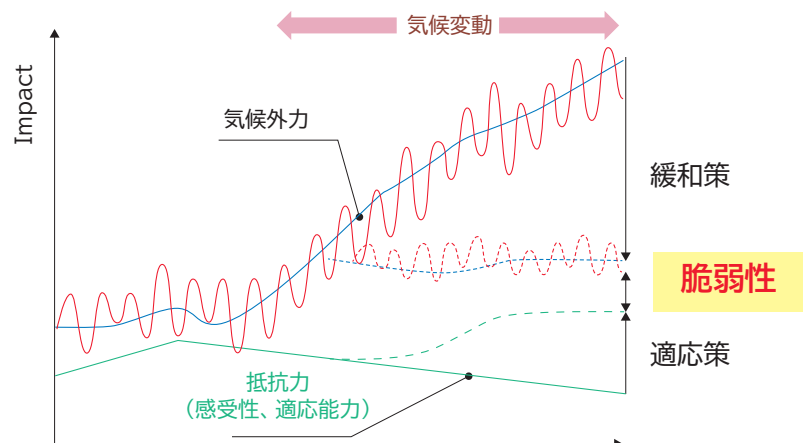


図 2.1.1 緩和策と適応策 (Komatsu et al., 2013)

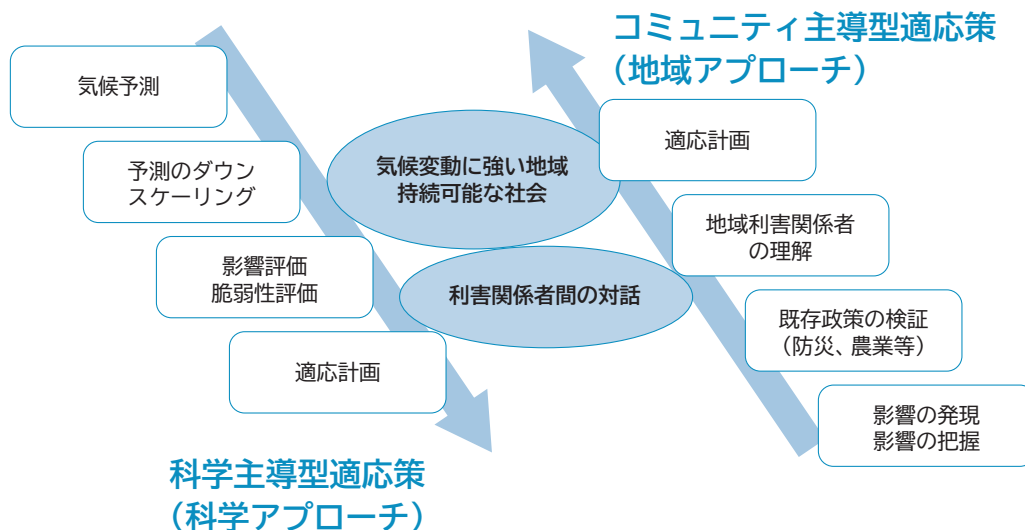


図 2.1.2 2つの適応アプローチ

Tamura et al. (2014) より一部修正

2.2 国内外の適応策の動向

20世紀後半頃まで適応策は主に途上国中心であり、先進国は緩和策を中心に実施すべきという考え方がありました。これは温室効果ガスの累積排出量の大半が先進国を占め、気候変動の元凶が先進国にあり、途上国はその被害を受けているという認識によるものです。1997年に採択され2005年に発効した京都議定書においては、いわゆる先進国に分類される附属書I国のみには温室効果ガスの数値削減目標がありませんでした。そのため、当時の日本の温暖化対策は緩和策に重点が置かれていました。1998年に成立しその後改正を繰り返している地球温暖化対策推進法も緩和策の一つである温室効果ガス削減が主目的

となっています。一方、2011年に京都議定書の下に適応基金が設置され、途上国には後発開発途上国48カ国への国別適応行動計画（NAPA）の支援が開始されました。

「緩和策は先進国、適応策は途上国」という、かつての構図は現在あまり意味をなさなくなっています。近年、先進国でも気候変動の悪影響が顕在化し、適応策の必要性が認識されています。途上国も人口、経済成長に伴って温室効果ガス排出量が増大しており、緩和策も求められるようになっていきます。EUは、2007年のEU洪水指令を皮切りに気候変動に伴う洪水リスクマップの作成を各国に指示しました。2007年にオランダは国家気候適応・空間計画戦略が策定しました。イギリスでは2008年に気候変動法が成立し、2013年に国家適応計画が策定されました。2018年現在、91/153国の途上国が国家適応計画（NAP）に策定プロセスを開始し、そのうち11カ国が適応計画を策定済みです（UNFCCC,2018）。一方の緩和策は、2015年に採択されたパリ協定では先進国、途上国とも国別削減目標（Nationally Determined Contribution：NDC）を設定することになりました。例えば、EUは2030年までに-40%（1990年比）、日本は-26%（2013年比）といったNDCを設定しています。けれども、全ての国が現時点でのNDCを達成したとしても21世紀末に気温上昇を2度までに抑えるという2度目標がかなり困難である可能性が高いと指摘されています（UNFCCC, 2015）。残念ながら、このことも適応策の重要性が叫ばれる要因の一つです。

日本では「気候変動の影響への適応計画」が2015年11月に閣議決定されました。そして、2018年12月に気候変動適応法が施行され、日本の適応政策は大きな転換点を迎えました（図2.2）。1998年施行の地球温暖化対策推進法が緩和策の法的根拠となっていました。気候変動適応法によって適応策も法的裏付けを持ったこととなります。同法において日本政府は気候変動適応計画を策定し、その進展状況の把握、評価手法を開発すること、約5年毎に気候変動影響評価を更新し計画を反映すること、情報基盤の整備、地域での適応の強化、などが規定されています。

日本では2015年の「気候変動の影響への適応計画」の頃から、「農業、森林・林業、水産業」、「水環境・水資源」、「自然生態系」、「自然災害・沿岸域」、「健康」、「産業・経済活動」、「国民生活・都市生活」の7つの影響分野に対する適応策が検討されています。この学術的背景には、環境省総合推進費S-4（2005-09年度）、S-8（2010-14年度）、文科省RECCA（2010-14年度）、SI-CAT（2015-19年度）などの政府の研究プロジェクトがあります。これらのプロジェクトによる気候変動影響予測が国や自治体の適応計画立案の基礎となってきました。ただし、将来の気候変動には様々な不確実性が伴います。そこで、約5年毎に気候変動影響評価を更新して適応策を柔軟に調整していく方針が気候変動適応法には規定されています。

さらに気候変動適応法では、国立環境研究所に2018年12月より設置された全国の気候変動適応センターを中心にして、都道府県に地域気候変動適応センターを設置し、各自治体でも地域気候変動適応計画を策定することが努力目標とされています。気候変動のリスクは地域毎のハザード、曝露、脆弱性に大きく依存するため、地域毎のきめ細かい影響の把握と適応策の実践が必要となるからです。

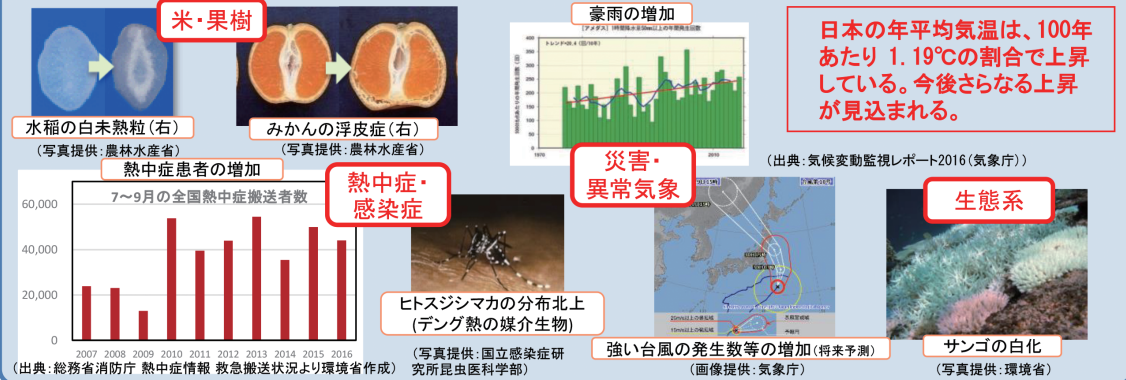
気候変動適応法の概要

平成30年6月13日公布

- 温室効果ガスの排出削減対策(緩和策)と、気候変動の影響による被害の回避・軽減対策(適応策)は車の両輪。
- 本法により適応策を法的に位置付け、関係者が一丸となって適応策を強力に推進。

背景

我が国において、気候変動の影響がすでに顕在化し、今後更に深刻化するおそれ。適応策が重要。

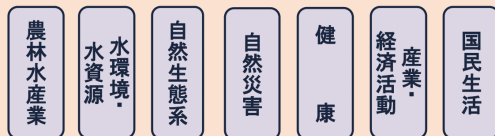


法律の概要

1. 適応の総合的推進

- 国、地方公共団体、事業者、国民が気候変動適応の推進のため担うべき役割を明確化。
- 国は、農業や防災等の各分野の適応を推進する**気候変動適応計画**を策定。その進展状況について、把握・評価手法を開発。(閣議決定の計画を法定計画に格上げ。更なる充実・強化を図る。)
- **気候変動影響評価**をおおむね5年ごとに行い、その結果等を勘案して計画を改定。

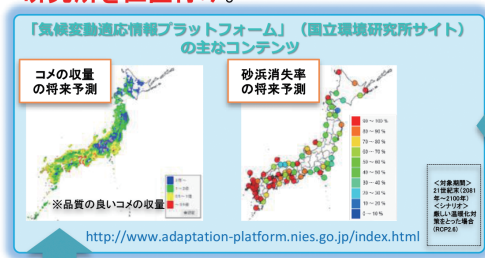
各分野において、信頼できるきめ細かな情報に基づく効果的な適応策の推進



- 将来影響の科学的知見に基づき、
- ・高温耐性の農作物品種の開発・普及
 - ・魚類の分布域の変化に対応した漁場の整備
 - ・堤防・洪水調整施設等の着実なハード整備
 - ・ハザードマップ作成の促進
 - ・熱中症予防対策の推進
 - 等

2. 情報基盤の整備

- 適応の**情報基盤の中核として国立環境研究所**を位置付け。



3. 地域での適応の強化

- 都道府県及び市町村(東京23区を含む。)に、**地域気候変動適応計画**策定の努力義務。
- 地域において、適応の情報収集・提供等を行う拠点(**地域気候変動適応センター**)機能を担う体制を確保。
- **広域協議会**を組織し、国と地方公共団体等が連携して地域における適応策を推進。

4. 適応の国際展開等

- 国際協力の推進。
- 事業者等の取組・適応ビジネスの促進。

※施行期日:6ヶ月を超えない範囲で政令で定める日。ただし、施行前に気候変動適応計画を策定することができる。

図 2.2 気候変動適応法の概要(環境省)

2.3 地域での適応

本書は、最新の気候変動予測モデルに基づく水稻の影響評価や適応評価などを通じて、気候の変化や地域の状況に応じた望ましい適応策を検討していきます。本書は、2015年12月-2020年3月までの文部科学省「気候変動適応技術社会実装プログラム」（略称、SI-CAT）の一部助成を受けています。

筆者の所属する茨城大学地球変動適応科学研究機関（ICAS）は、2006年の設立以来、環境省総合推進費S-4（2005-09年度）、S-8（2010-14年度）の頃から日本の温暖化影響を研究しています。約10年間で2050年、2100年といった中長期の都道府県レベルの気候変動影響を評価できるようになりました。しかし、こうした成果を自治体等へ報告した際に、長期的な傾向は理解されるものの市町村レベルかつ数年から10年単位の短中期の影響評価がないと実際の適応策策定には反映しづらいという意見をしばしば耳にしました。そこで、SI-CATは市町村レベルの影響評価へと高解像度化を進めること、さらに影響評価と同時に適応評価を組み込んで社会実装に繋げることを目指してきました。

2019年4月より、気候変動適応法に基づき、茨城大学は大学として初めてとなる茨城県地域気候変動適応センターの機能を担うことになりました。2019年11月現在、13の都道府県が地域気候変動適応センターを設立しています。都道府県の環境部局もしくは地域の環境研究所が地域適応センターを担っている場合が多い中で茨城県は珍しい事例です。

茨城県の地球温暖化対策実行計画は、2011年4月に初めて作成された後、2017年3月に改定されました（2019年1月に適応計画へ位置づけ）。茨城県の温暖化実行計画において農業分野の適応に関しては、適応品種の選定、高温耐性技術の開発、病害虫対策などの記載が若干あるものの、具体的な影響予測やデータに基づくものではありませんでした。農業分野では2016年3月に制定された茨城県農業改革大綱（2016-2020）において、病害虫対策など温暖化に関する記載はあるもののごく僅かでした。具体的な施策展開の中で予測データを利用しようとしているのは本書やSI-CAT事業が初めてです。

茨城県は、農業産出額が全国第2-3位の農業県です。私たちは、茨城県の農業を対象に、自治体との協働により温暖化影響評価を実施したうえでその適応策も合わせて提示し、適応政策へ反映していくことを目指しています。その主な内容は、①茨城県における温暖化の予測、②農作物に対する定量的な影響とリスク、③影響軽減のための適応策パッケージ、です。この①から③を県内の5地域毎（県央、県北、鹿行、県南、県西）に示していきます。ここで、③の「適応策パッケージ」とはハード・ソフトを問わず効果のある適応策をまとめてパッケージ化したものです。例えば稲の高温障害に対しては高温耐性のある品種育成が適応策の主要施策ですが、新しい品種を開発しても実際の対策が効果を得るためにはそれが普及しなければいけません。新しい品種が普及するためには、販路の確保や広報、栽培指導、導入補助金等の様々な施策が考えられます。このように、適応策は一つの対策だけでなく、それに付随する施策すべてを盛り込んでパッケージ化していく必要があります。高温耐性品種の開発には約10年掛かります。それらが普及するまでには、作付時期の変更、施肥の管理、水管理などの適応策が考えられます。こうした短期、中期、長期といった時間、地域毎の特性に応じた適応策を提案していきます。

参考文献 (2.1-2.3)

- Adger WN, Hughes TP, Folke C, Carpenter SR, Rockstrom J (2005). Social-ecological resilience to costal disasters. *Science* 309(5737): 1036-1039.
- IPCC(2014). *Climate Change 2014-Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press: London.
- IPCC(2018). *Special Report on Global Warming of 1.5 °C*.
- IPCC(1995). *Climate Change 1995 -Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Second Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press: London.
- Klein RJT, Nicholls RJ, Mimura N (1999). Coastal adaptation to climate change: Can the IPCC technical guidelines be applied? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 4(3-4): 239-252.
- Komatsu T, Shirai N, Tanaka M, Harasawa H, Tamura M, Yasuhara K (2013). Adaptation philosophy and strategy against climate change-induced geo-disasters. *Proceedings of 10th JGS. Symposium on Environmental Geotechnics*, 76-82.
- Tamura M, Yasuhara K, Shirai N, Tanaka M (2014). Wise adaptation to climate change: Japan' s case. In *Climate Change Adaptation Manual: Lessons Learned from European and Other Industrialized Countries*, Prutsch A, McCallum S, Grothmann T, Swart R, and Chauser I (eds). Routledge: Oxon; 314-319.
- UNEP (2018). *Emissions Gap Report 2018*.
- UNFCCC (2018). *National Adaptation Plans 2018: Progress in the Process to Formulate and Implement National Adaptation Plans*. LDC expert group, 33p.

2.4 茨城県気候変動適応計画

藤原 亮（茨城県）

2.4.1 計画の位置付け及び基本方針

茨城県では、平成23年（2011年）に茨城県地球温暖化対策実行計画（以下「県実行計画」という。）を策定し、その後、国の動向を踏まえ、本県の温室効果ガスの削減目標を見直すとともに、これまで取り組んできた温室効果ガスの排出抑制策や、気候変動の影響への適応策をさらに加速するため、平成29年（2017年）3月、県実行計画を改定しました（図2.4）。

県実行計画では、県民、事業者、団体、市町村、県など、あらゆる主体が、地球温暖化に対する意識を高め、みんなが連携・協働して自主的かつ積極的に取り組む、「県民総ぐるみによる地球温暖化対策」を推進することとしており、取組を排出抑制策と適応策に分けて、それぞれ記載しています。

なお、県実行計画は、「地球温暖化対策の推進に関する法律（平成10年法律第117号）」第21条第3項の規定に基づく「地方公共団体実行計画」（区域施策編）と、気候変動適応法（平成30年法律第50号）第12条の規定に基づく「地域気候変動適応計画」として位置付けられています。



図 2.4 茨城県地球温暖化対策実行計画

2.4.2 適応策

平成30年（2018年）11月に策定された国の適応計画においては、気候変動影響評価報告書において示された7つの分野（農業、森林・林業、水産業分野／水環境・水資源分野／自然生態系分野／自然災害・沿岸域分野／健康分野／産業・経済活動分野／国民生活・都市生活分野）における基本的な施策が示されています。

県実行計画の第6章に位置付けている県気候変動適応計画では、本県で特に影響が懸念される5つの分野（農林水産業分野、自然災害・沿岸域分野、水環境・水資源分野、自然生態系分野、健康分野）について、全部局で取り組んでいます（表2.4）。

表2.4 茨城県の気候変動適応計画概要

| | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 農林水産業分野 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 気候変動に適応した品種選定、安定生産技術の開発 県農業総合センターを核とした環境にやさしい農業及び地球温暖化に対応した技術の開発 ・ 高温環境下に適応した技術の開発 県畜産センターを核とした地球温暖化に対応した技術の開発 ・ 海洋水産資源の変動要因解明のための海況変動の把握 県水産試験場を核とした海洋観測及び海況変動等の把握 |
| 自然災害・沿岸域分野 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 地域防災力の強化 ・ 災害に備えた強靱な県土づくり ・ 気候変動に対応した海岸管理 ・ 津波・高潮対策、侵食対策の推進 ・ 森林防災機能の維持・増強 |
| 水環境・水資源分野 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 長期にわたる安定的な水資源の確保 ・ 河川、湖沼及び海域の水質保全 |
| 自然生態系分野 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 生物多様性戦略への適応の組み込み ・ 生物多様性への影響の把握 ・ 野生鳥獣の調査・管理と外来種の防除・把握 ・ 県民と協働した生物多様性の保全 |
| 健康分野 | <ul style="list-style-type: none"> ・ 熱中症対策 ・ 蚊媒介感染症対策 |

2.4.3 茨城県地域気候変動適応センター

気候変動適応法第13条第1項の規定に基づき、地方公共団体に確保するよう努めることとされている「区域における気候変動影響及び気候変動適応に関する情報の収集、整理、分析及び提供並びに技術的助言を行う拠点」としての機能を担う機関として、本県では平成31年（2019年）4月1日、茨城大学に「茨城県地域気候変動適応センター」を設置しました。大学に適応センターを設置する事例は、本県が初めてです。

茨城大学は、適応研究に関する国内でも有数の組織である「地球変動適応科学研究機関（ICAS）」を平成18年（2006年）に同大学の全学横断型組織として設立し、気候変動の影響が顕著な地域での調査を通じて影響予測や適応策の知見を蓄積するなど、既に多くの研究成果を挙げています。

同大学は、本県の適応センターとして、県や市町村、各種団体、学校、住民と協力して、大学ならではの気候変動・温暖化の影響やその適応のための様々な収集・解析をし、広く発信をする役割を担っています。

参考文献

茨城県（2017）「茨城県地球温暖化対策実行計画」

茨城県（2019）「令和元年度版環境白書」



茨城県の水稲生産の現状

3.1 茨城県の地勢

今井葉子（茨城大学）

茨城県は関東地方の東北に位置し、東は太平洋、北は福島県、西は栃木県、南は千葉県と埼玉県に隣接しています。首都東京の中心からの距離は、県南の取手市は40km、県庁所在地である水戸市は100km圏内にある首都圏近郊の県です。県内は一部の県北地域を除き平地が多く、また、日本で2番目に大きい湖である霞ヶ浦や、利根川・久慈川・那珂川をはじめとした河川が多くある水資源豊富な県です。このように地形や環境に恵まれた茨城県では、首都圏の消費を支える生産供給地として農業が発展してきました。県の総面積は61万ha、このうちの耕地面積は約17万haで全国第3位です。平成30年度の茨城県の農業産出額は4,508億円で全国第3位（1位北海道、2位鹿児島県）であり（令和2年1月公表）、関東で最も農業が盛んな県の一つです。

3.1.1 茨城県における農業

茨城県では大変多くの農産・畜産品が生産・出荷されており、主要な農作物として、米・レンコン・白菜・小松菜・水菜・メロン・栗などが挙げられます。農業産出額のうち部門別構成割合は、園芸が約5割、畜産が3割、米が約2割となっています。

野菜は北海道に次いで全国第2位の産出額（1,708億円）を誇り、国内需要の7.4%を生産しています。一方、米の産出額は、新潟、北海道、秋田に次いで茨城は全国第4位（868億円、平成30年度）であり、大変盛んに栽培されています。

茨城県の農業産出額から上位10品目を詳しく見てみると、米（868億円）、鶏卵（449億円）、豚（405億円）、かんしょ（249億円）生乳（183億円）肉用牛（164億円）、ねぎ（134億円）トマト（133億円）メロン（130億円）、ピーマン（125億円）、各品目は全国上位の産出額です。中でも最も産出額が多い品目は米です。ここから、米は茨城県の主要な農作物であることがわかります（図3.1.1）。

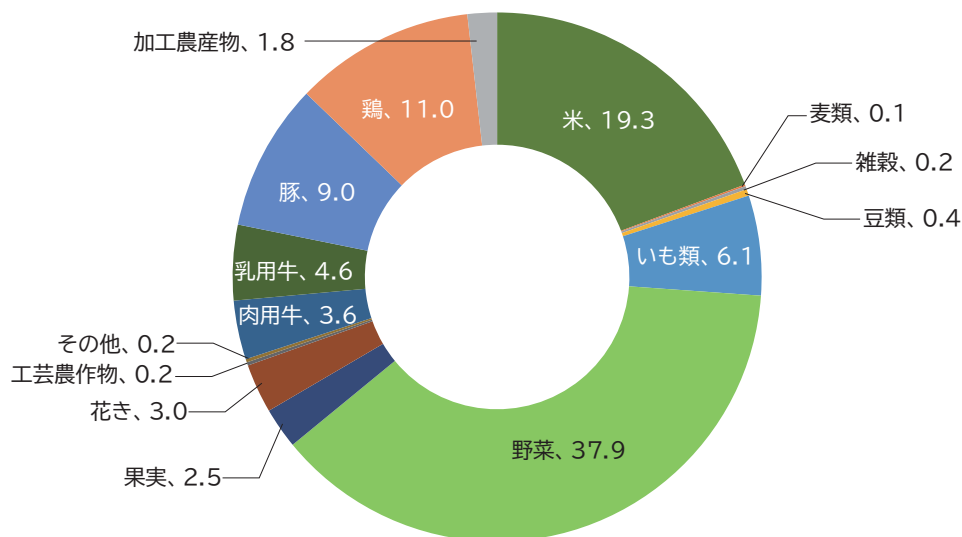


図3.1.1 茨城県の農業産出額の構成割合（%, 平成30年度）

注）農業産出額：都道府県を単位としてその年の農業生産活動によって生み出された品目別生産量に品目別農家庭先販売価格を乗じて算出されたもの（参考：農林水産省、農林水産統計）

3.1.2 茨城県の農業における現状

農業人口の推移

2015年農林業センサスによれば、茨城県の総農家数は87,678戸で全国2位、販売農家数は57,239戸で全国1位です（表3.1.1）。しかし、この数は前回調査された2010年と比べ販売農家数で13,645戸少なく、減少傾向を示しています（図3.1.2）。一方、農業経営体数を耕地面積規模でみると、近年、大規模な農業経営体が増加する傾向がみられます（図3.1.3）。

表3.1.1 茨城県の農業の主要な指標

| 区分 | | 茨城県 | 全国 | 茨城県の順位 |
|--------------|---------------------------|--------|-----------|--------|
| 農業構造 | 総農家数（戸） | 87,678 | 2,155,082 | 2 |
| | 販売農家数（戸） ^{注1} | 57,239 | 1,329,591 | 1 |
| | うち主業農家数（戸） ^{注2} | 12,196 | 293,928 | 4 |
| | うち準主業農家数（戸） ^{注3} | 10,021 | 257,041 | 6 |
| | うち副業的農家数（戸） ^{注4} | 35,022 | 778,622 | 1 |
| | 農業就業人口（人） | 89,594 | 2,096,662 | 2 |
| 基幹的農業従事者数（人） | | 76,821 | 1,753,764 | 2 |

注1）販売農家数：経営耕地面積30a以上または農産物販売金額が年間50万円以上の農家

注2）主業農家：農業所得が主（農家所得の50%以上が農業所得）で、1年間に60日以上自営農業に従事している65歳未満の世帯員がいる農家

注3）準主業農家：農業所得が主（農家所得の50%未満が農業所得）で、1年間に60日以上自営農業に従事している65歳未満の世帯員がいる農家

注4）副業的農家：1年間に60日以上自営農業に従事している65歳未満の世帯員がいない農家（主業農家及び準主業農家以外の農家）

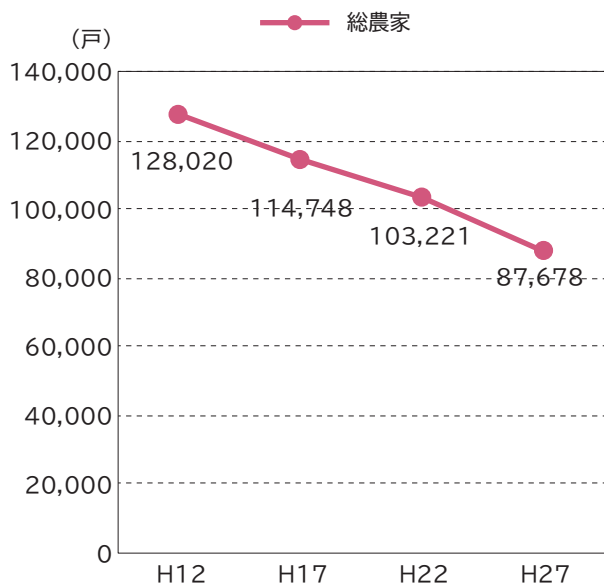


図3.1.2 茨城県の総農家数

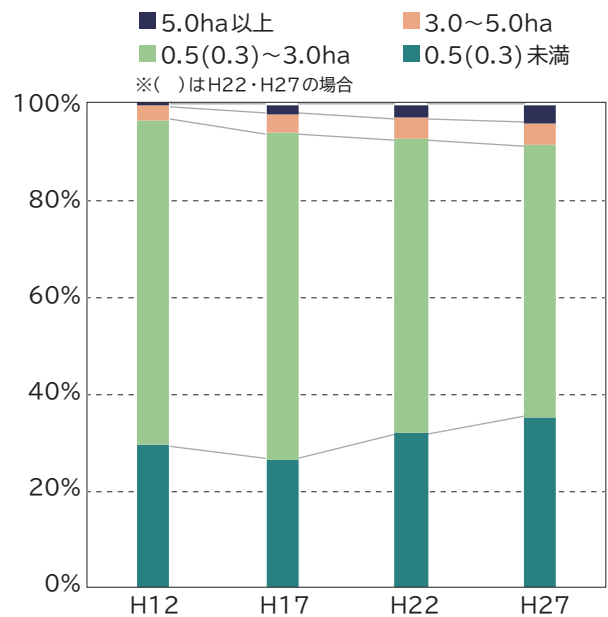


図3.1.3 規模別農家数の割合

また、茨城県の農家数の減少とあいまって農業就業人口も減少しており（2015年農林業センサス）、同時に農業従事者の高齢化が進行しています。担い手の確保が課題に挙げられます（図3.1.4）。

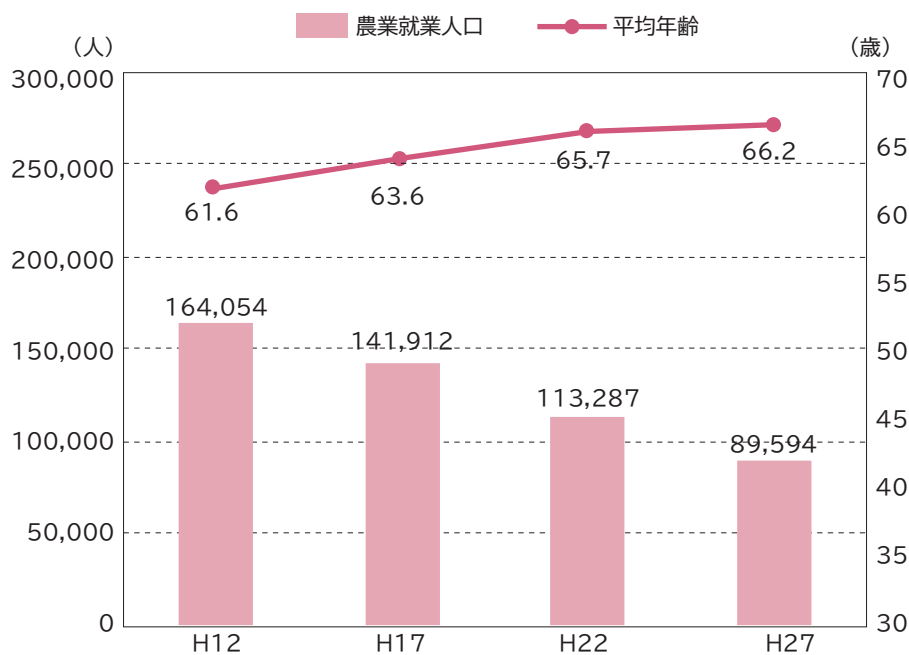


図3.1.4 茨城県の農業就業人口と平均年齢

茨城県の農業の特徴として、主な農産物の収穫量（出荷量）では、メロンやはくさいやピーマン等全国上位の品目が多いことが挙げられます（表3.1.2）。

表3.1.2 主な農産物の収穫量（出荷量）と茨城県の順位

単位：t

| 項目 | 年次 | 全国計 | 上位5都道府県 | | | | | 茨城県の 順位 | 備考 |
|---------|-----|-----------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----|
| | | | 1位 | 2位 | 3位 | 4位 | 5位 | | |
| 水稲 | R1 | 7,762,000 | 新潟 646,100 | 北海道 588,100 | 秋田 526,800 | 山形 404,400 | 宮城 376,900 | 7位 344,200 | 収穫量 |
| らっかせい | H30 | 15,600 | 千葉 13,000 | 茨城 1,530 | — | — | — | 2位 | 収穫量 |
| かんしょ | R1 | 748,700 | 鹿児島 261,000 | 茨城 168,100 | 千葉 93,700 | 宮崎 80,600 | 徳島 27,300 | 2位 | 収穫量 |
| そば | H30 | 29,000 | 北海道 11,400 | 長野 2,300 | 茨城 2,020 | 栃木 2,000 | 福島 1,860 | 3位 | 収穫量 |
| ごぼう | H30 | 135,300 | 青森 46,600 | 茨城 12,500 | 北海道 12,500 | 宮崎 7,680 | 群馬 6,850 | 2位 | 出荷量 |
| レンコン | H30 | 51,600 | 茨城 25,600 | 徳島 5,520 | 佐賀 5,330 | 愛知 3,320 | 山口 2,680 | 1位 | 出荷量 |
| はくさい | H30 | 734,400 | 茨城 222,400 | 長野 201,600 | 群馬 25,400 | 北海道 24,000 | 大分 20,900 | 1位 | 出荷量 |
| こまつな | H30 | 102,500 | 茨城 18,400 | 埼玉 12,500 | 福岡 11,300 | 東京 7,470 | 群馬 6,560 | 1位 | 出荷量 |
| ちんげんさい | H30 | 37,500 | 茨城 11,000 | 静岡 7,050 | 愛知 2,580 | 埼玉 2,180 | 群馬 2,120 | 1位 | 出荷量 |
| しゅんぎく | H30 | 22,600 | 千葉 3,000 | 大阪 2,980 | 茨城 2,020 | 福岡 1,900 | 群馬 1,850 | 3位 | 出荷量 |
| みずな | H30 | 39,000 | 茨城 19,700 | 福岡 3,080 | 京都 2,000 | 兵庫 1,660 | 埼玉 1,530 | 1位 | 出荷量 |
| カリフラワー | H30 | 16,600 | 茨城 2,170 | 熊本 1,860 | 徳島 1,710 | 愛知 1,530 | 長野 1,500 | 1位 | 出荷量 |
| レタス | H30 | 553,200 | 長野 202,700 | 茨城 86,600 | 群馬 43,500 | 長崎 30,500 | 兵庫 27,500 | 2位 | 出荷量 |
| ねぎ | H30 | 370,300 | 千葉 56,700 | 埼玉 44,900 | 茨城 43,500 | 北海道 17,900 | 群馬 14,900 | 3位 | 出荷量 |
| にら | H30 | 52,900 | 高知 14,300 | 栃木 9,400 | 茨城 7,180 | 宮崎 3,090 | 群馬 2,900 | 3位 | 出荷量 |
| かぼちゃ | H30 | 125,200 | 北海道 61,600 | 鹿児島 7,410 | 茨城 6,460 | 長野 4,410 | 宮崎 4,400 | 3位 | 出荷量 |
| トマト | H30 | 657,100 | 熊本 132,800 | 北海道 50,500 | 愛知 44,000 | 茨城 43,900 | 栃木 33,700 | 4位 | 出荷量 |
| ピーマン | H30 | 124,500 | 茨城 31,300 | 宮崎 25,100 | 高知 12,900 | 鹿児島 11,700 | 岩手 6,480 | 1位 | 出荷量 |
| スイートコーン | H30 | 174,400 | 北海道 80,600 | 千葉 14,200 | 茨城 9,900 | 群馬 9,220 | 山梨 6,980 | 3位 | 出荷量 |
| メロン | H30 | 138,700 | 茨城 37,600 | 熊本 20,900 | 北海道 20,100 | 山形 9,610 | 青森 8,350 | 1位 | 出荷量 |
| 日本なし | H30 | 214,300 | 千葉 29,700 | 茨城 22,100 | 栃木 18,900 | 福島 15,900 | 鳥取 14,600 | 2位 | 出荷量 |
| くり | H30 | 13,000 | 茨城 4,010 | 熊本 2,330 | 愛媛 736 | 岐阜 527 | 長野 516 | 1位 | 出荷量 |

3.1.3 茨城県における水稲生産の動向

「令和元年耕地面積」（7月15日現在、農林水産省）の報告によると、茨城県の作地面積は田畑合計で164,600ha（耕地率は27.0%、水田率は58.6%）です。田の面積は96,400haで前年に比べて500ha減少しています。

また、茨城県の令和元年度産の水稲作付面積（子実用）は68,300ha、収穫量は344,200t、10a当たりの収量は504kgとなりました（図3.1.5）。このように、農業人口の減少や耕作地の減少がみられる中でも、主要な農作物である水稲を長期的に安定して生産していくことは、茨城県の農業にとって大変重要となります。

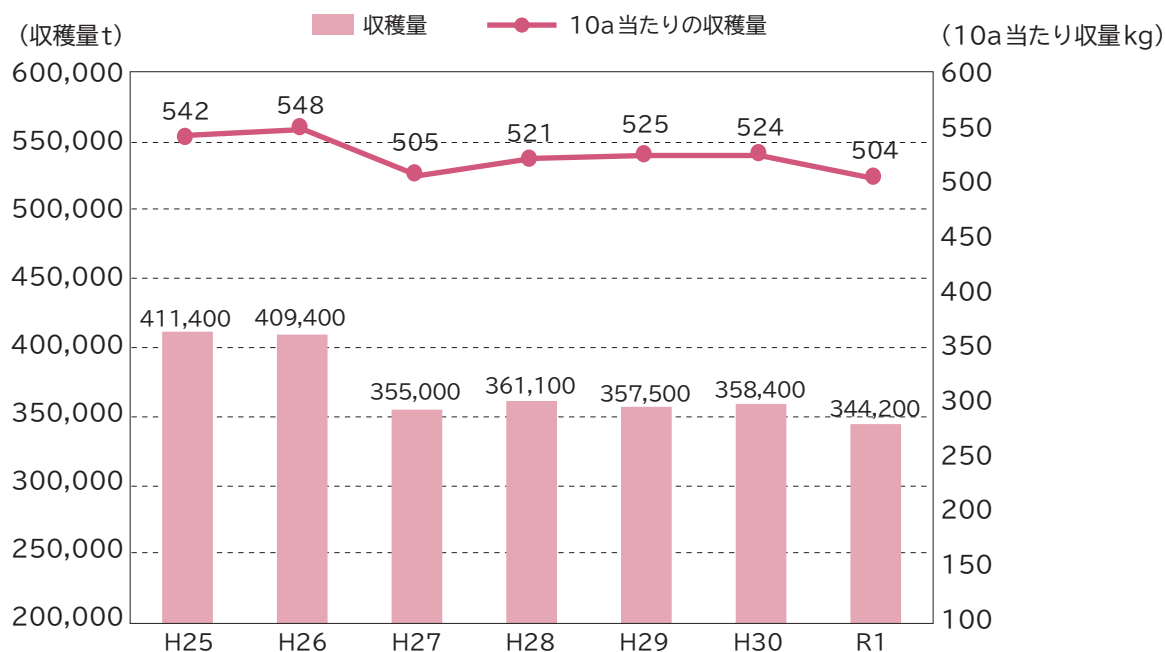


図3.1.5 茨城県の水稲の収穫量と10a当たり収量の推移

参考文献

茨城県(2019)「茨城県農林水産業の概況」 茨城県農林水産部, 令和元年5月

茨城県(2019)「令和元年度版茨城県市町村概況」 茨城県総務部市町村課編集, 令和元年9月

農林水産省(2000)「農林業センサス」

農林水産省(2005)「農林業センサス」

農林水産省(2010)「農林業センサス」

農林水産省(2015)「農林業センサス」

農林水産省(2016)「茨城県の農林水産業」, 平成28年3月

農林水産省(2019)「作物統計」, 平成30年度産水稲の時期別作柄及び収穫量(全国農業地域別・都道府県別), 農林水産省統計部, 2019年2月22日公表

農林水産省(2019)「令和元年耕地面積(令和元年7月15日現在)」, 令和元年10月31日公表

農林水産省(2020)「平成30年農業産出額及び生産農業所得(都道府県別)」, 令和2年1月15日公表

3.2 茨城県の農業政策

山中賢一（茨城県）

茨城県では、平成30年11月に『茨城県総合計画～「新しい茨城」への挑戦～』を策定し、「活力があり、県民が日本一幸せな県」の実現に向け、「新しい豊かさ」「新しい安心安全」「新しい人財育成」「新しい夢・希望」の4つのチャレンジを推進しています。

その中で、農業については、「新しい豊かさ」へのチャレンジの重点施策として「儲かる農業」の実現を掲げ、以下の取組を進めることにより、農業者が収益性の高い経営を展開し、得られた利益を事業の多角化などの新たな試みに再投資して更なる経営改善を図るという好循環を生み出し、「農業の成長産業化」を図っていきます。

3.2.1 儲かる農業の実現に向けた取組

■ 経営者マインドの醸成

所得向上を目指す農業者の意欲的な取組を促進するため、産学官が連携した学びの場である「いばらき農業アカデミー」の開設や、若手農業者が儲かる農業経営を考える契機となる「ヤングファーマーズ・ミーティング」の開催などにより、経営の発展段階に応じて相応しい内容の講座を提供し、経営感覚に優れた農業経営者を育成します。

また、JAグループや茨城県農林振興公社の農業関係機関だけでなく、茨城県中小企業振興公社や地方銀行など商工・金融分野の協力も得て、平成30年度に設置した「農業参入等支援センター」が、経営の規模拡大や法人化を支援するとともに、本県農業の新たな担い手として期待される企業の農業参入を促進します。

■ 生産性の向上

稲作や露地野菜などスケールメリットを活かした土地利用型農業の生産性を向上させるため、農地中間管理事業による担い手への農地の集積・集約化を加速化するとともに、農業生産の基盤となる水田の大区画化や畑地化・汎用化、畑地の区画整理やかんがい施設の整備等を進めます。

また、ICT等の先端技術を活用したスマート農業の取組を加速化させるため、これまで取り組んできた技術の研究、開発、実証に加え、本格的な普及に向けて、費用対効果の評価、検証を十分に行い、個々の経営に応じた指導を充実させながら、土地利用型農業における省力化や施設園芸における環境制御技術の導入による収量・品質の向上などの取組を支援します。



図 3.2 茨城県総合計画

■ 付加価値の向上

本県農林水産物のブランド力を強化するため、重点品目を選定した上で全国トップブランドへと育成する取組を進め、それらを牽引役として全体の底上げを図るとともに、差別化商品として生産・販売が可能な有機農業や、加工等により農産物の付加価値を高める6次産業化の取組を支援します。

■ 販路拡大

農産物の販路拡大については、市場価格変動の影響を受けずに経営を展開できるよう、卸売市場への出荷のみでなく、最近の消費者需要に応じた、多様な販路開拓に戦略的に取り組むこととしており、国内向けには、インターネットを活用した直接取引など、農業者が価格を自ら決定できるような新たな販路の開拓や、今後更なる需要が見込める関西地区への販路拡大を進めるとともに、高級品としての百貨店等への販路拡大を進めます。

また、海外市場を開拓するため、アメリカ向けの常陸牛や米、香港やシンガポール等東南アジア向けのさつまいも、梨、などの輸出を促進します。

3.2.2 米の生産振興

特に、本県の農業産出額の2割を占める米の生産振興については、国内の主食用米需要が漸減する中、需要に見合った米の生産により価格を安定させた上で、生産コスト削減などに向けた生産性の向上やブランド化による付加価値の向上、輸出の促進などによる販路拡大の取組を進め、稲作農家の経営体質を強化していくことが重要です。

このため、生産性の向上については、スケールメリットを活かしたコスト削減に向けて、農地中間管理事業を活用した担い手への農地の集積・集約化による規模拡大と、水田の水位を自動的に調節できる水位センサーなどの省力・低コスト栽培技術の導入・普及を一体的に進めるため、そのモデルとなる100haを超える規模の水稲経営体を短期間で育成します。

また、主食用米の付加価値向上については、有利販売のため、高品質を維持したうえで、例えば、一般の米より選別の基準を厳しくして、大粒のものだけを「特選品」として販売する取組や、量販店や外食産業との契約により、有機栽培や化学農薬・化学肥料の使用量を減らした特別栽培、おにぎりや弁当用として冷めても粘りが強く食味が落ちない低アミロース米などの特色ある米生産を進めるとともに、商談会や実需者への個別訪問による営業活動などを通じて、実需者と生産者とのマッチングを積極的に行っていきます。

また、輸出向けの生産面積も平成29年の41haから令和元年には約10倍の400haに拡大しており、販路開拓の支援や輸出に取り組む生産者の更なる拡大に努めます。

このような取組を着実に進め、将来にわたり農業者が意欲を持って稲作経営に取り組めるよう、本県産米の生産振興を図ります。

こうした県産米の生産振興のためには、米の品質の維持・向上が大前提となりますので、気候変動に適応した栽培技術の導入や品種の育成・普及に取り組んでいきます。

4

茨城県の将来の気候変動： 農研機構地域気候シナリオ 2017

4.1 はじめに

西森基貴・滝本貴弘（農研機構）[4.1-4.4]

気象庁によれば、わが国の平均地上気温は、過去100年間に1.21℃の割合で上昇してきており、今後、2100年までの間に0.1～6.1℃の幅で上昇すると予測されています（図4.1）。このため、農作物の収穫や人々の健康への影響が大きく懸念されています。また、この温暖化に伴い、大雨の増加や台風の大型化など異常気象が頻発することも予測されており、実際にここ数年、日本各地において集中豪や暴風による災害が頻発しています。そのような影響を回避し、または被害を最小限に食い止めるため、気候変動に対して「適応」することの重要性が認識され、2018年には法制化（気候変動適応法）までされました。

気候変動適応法により、全国の自治体でも適応計画の策定が始まり、地域毎にさまざまな不確実性が評価できる詳細な気候変動予測情報が必要となっています。気候変動適応技術社会実装プログラム（SI-CAT）をはじめ気候変動の影響・適応研究において、人々の食を支える農業分野への関心が最も高く、とりわけその関心は農業を基幹産業とする地方・地域においてより高くなっています。これら地方・地域における農業影響予測のためには本来、予測の空間解像度が農家の一圃場に対応していることが理想です。しかし、将来予測のための全球気候モデル（GCM）の空間解像度（およそ100～300km四方）の制約から、日本の陸地を国土数値情報の第3次メッシュに対応した東西南北およそ10kmまたは1kmの単位

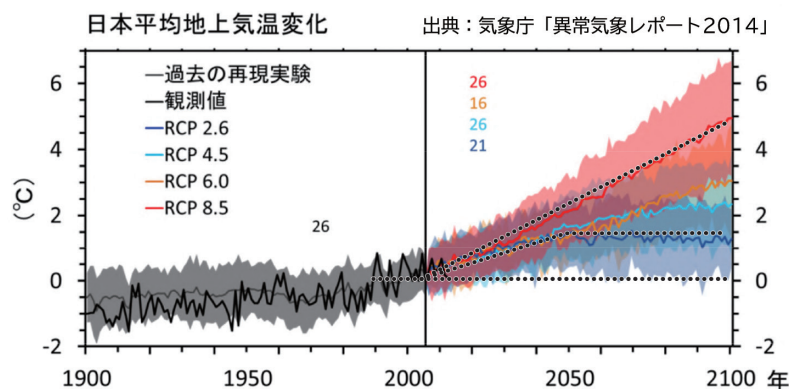


図4.1 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次報告書に掲載された
多数の全球気候モデルによる日本の平均気温の予測結果（気象庁，2014）

4つのRCPごとに予測のアンサンブル平均と気候モデルの違いによる予測幅を示しています。これは、IPCC(2013)を基にした気象庁(2014)について、著者が1981-2000年平均値、およびRCP2.6とRCP8.5についての、それぞれ線形トレンドを用いた基準線（黒点線）を追記したものです。

(メッシュ) に分割した気候予測シナリオを用いることが現実的と言えます。

現在の気候変動影響研究では一般的に、気候および温室効果ガス排出量評価のための社会経済シナリオを含む複数の共通シナリオのもとで、分野間にまたがる相互評価が重視されています。しかし、長期の整備計画と人命保護のために極端な降水量の多数(アンサンブル)シナリオを求める災害・水資源分野に対し、農業分野では直に政策に関係する近未来または季節予報に近い短期的な予測に重点が置かれ、またアンサンブル数は少なくとも日射や湿度を含む多要素のシナリオが必要とされるなど、研究分野や予測対象により最適な気候シナリオは、実は違ってくるものです。

4.2 農研機構(農環研) 地域気候シナリオ作成の歴史と最新シナリオの開発

2013年のIPCC気候予測の更新と、農業モデルで利用する湿度関係要素や地上風速の需要に対応しIshigooka et al. (2017) は、バイアス補正された月値に対しウェザージェネレータという確率的に乱数を発生させて日値を生成した「農環研シナリオ2015」を公表し、数多くの農業分野での影響研究に利用されました。特に日本におけるコメ影響研究では、品質低下に関連する高温リスク指標(ヒートドース値¹: Ishigooka et al., 2011) の評価とデータセット公開(<https://niaesvic.dc.affrc.go.jp/dataset/gwrice>) にも貢献してきました。そして現在、そこで多くの影響評価・適応研究分野で利用可能で、かつ年々変動の大きさの再現性を向上させるために、平均値に加え分散(標準偏差)を観測統計値に合致させるバイアス補正法(正規分布型スケーリング法)を適用した新たな気候シナリオとして、「日本全国1km 地域気候予測シナリオデータセット(農研機構地域気候シナリオ2017)」を開発しました(西森他, 2019)。このデータセットは、5種類のGCM出力値を日本域で1kmメッシュに高解像度化したもので、7つの気象要素(日平均・日最高・日最低気温、日降水量、日積算日射量、日平均相対湿度、日平均地上風速)を含みます(表4.1)。また、それぞれ2種類の温室効果ガス排出シナリオ(代表的濃度経路、RCP2.6: 温室効果ガスの削減が進む社会、RCP8.5: 温室効果ガスを現在と同じように排出し続ける社会)に基づく気候シナリオとなっています。

気温については、GCMにおける一定期間の昇温量は正しいと仮定した補正を行っています。つまり、昇温が比較的一定なRCP8.5では2006-2100年の線形トレンドを基準線とし、また大気中の温室効果ガス濃度とそれに伴う昇温が、ともに2050年頃までにピークを迎えるRCP2.6では2006-2050年までの線形トレンドと、それ以降は2050年の固定値を、それぞれ基準線としています(図4.1の黒点線)。その結果、本シナリオにおける日本全体の平均的な昇温量は、おおむねGCM出力と同程度に収まっており、また年々変動の大きさは補正により拡大されています(図4.2左)。したがって「農研機構地域気候シナリオ2017」は、「農環研シナリオ2015」など、これまでの気候シナリオによる影響評価結果との比較が可能です。

¹ ヒートドース値: イネの出穂後20日間(登熟期前半)について、日平均気温が26℃を超過した値を積算した暑熱指数です。Ishigooka et al. (2011)によれば、この指数はコメ品質の低下リスクと関連しており、値がおよそ20(℃・日)を越えると、品質低下のリスクが増すとされています。

表4.1 「農研機構地域気候シナリオ2017」の諸元

| ファイルフォーマット | NetCDF4 (CF1.6準拠) |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 使用した全球モデル | MIROC5 (日本：東京大学/国立環境研究所/海洋研究開発機構)、MRI-CGCM3 (日本：気象庁気象研究所)、GFDL-CM3 (米国：海洋大気庁地球物理流体力学研究所)、HadGEM2-ES (英国：気象庁ハドレーセンター)、CSIRO-Mk3-6-0 (豪州：連邦科学産業研究機構) |
| 温室効果ガス排出シナリオ | historical (現在気候)、RCP2.6 (温室効果ガスの削減が進む社会)、RCP8.5 (温室効果ガスを現在と同じように排出し続ける社会) |
| バイアス補正手法 | 正規分布型スケーリング法 (Haerter et al., 2011) |
| 計算領域と空間分解能 | 日本全国3次メッシュ (新座標系 [JGD2000] 1km) |
| 計算期間と時間分解能 | 現在 (1981-2005)、近未来 (2006-2050)、将来 (2051-2100) の日値 |
| 出力要素 | 日降水量、日平均気温、日最高気温、日最低気温、日積算日射量、日平均相対湿度、日平均地上風速 |

降水量については、もともとGCMによる再現と予測は難しいもので、その補正にも不確実性をはらみます。そのため、平均値、分散、頻度分布系および極値を対象としたさまざまな補正法が提案されていますが、本シナリオでは日降水量についても他の要素と同じく、平均偏差に正規分布を仮定した分散調整を行いました。ほとんどのGCMとRCPシナリオでは日本域の降水量は全般的に増加傾向であり、本気候シナリオではその傾向をやや過大に捉える傾向にあります (図4.2右)。これは、降水量には負の値がなく下限を0mmに設定するため、分散を補正した結果、積算降水量とその変化量が過大になってしまうためです。

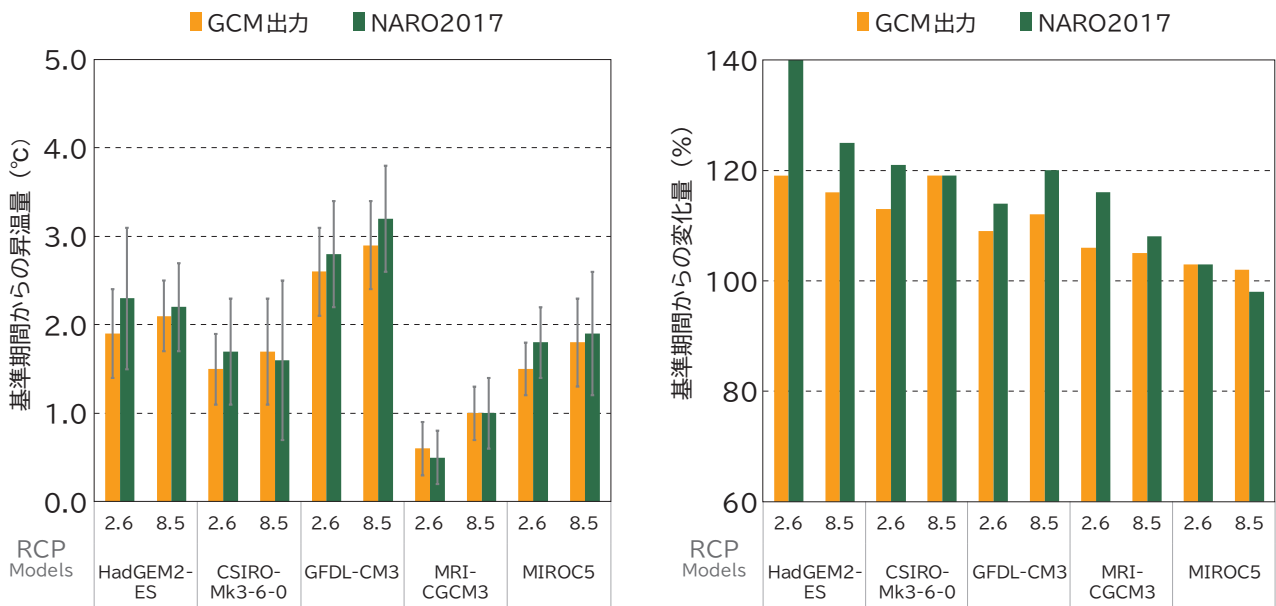


図4.2 RCP2.6および8.5シナリオにおける近未来 (2031-2050年) の日本を平均した気候変化量 (左) 年平均日最高気温の1981-2000年平均からの昇温量 (°C:棒グラフ) とその標準偏差 (エラーバー)。 (右) 日本平均の夏季積算降水量の1981-2000年平均からの変化比 (%)。いずれも「農研機構シナリオ2017」 (NARO2017) とGCM出力値を比較したものです。

4.3 茨城県の気候とその予測

気象庁によれば、茨城県は太平洋岸気候区に属し、冬は晴天が多く乾燥しますが、梅雨期・秋霖（しゅうりん）期の雨量は多いという特徴があります。また、沿岸部では気温の日較差が小さいなど海洋性気候の特徴を持っています。海洋や霞ヶ浦等の存在は栃木県、群馬県などの内陸の県と比べ湿度を高くする要因であり、内陸に比べ霧の発生が多くなっています。北部では、阿武隈高地の山々が沿岸部までせまっており、海上からの湿潤な風を受けることで年を通じて地形の影響を受けた降水が多くなります（東京管区气象台、2019）。

それでは、茨城県の将来（近未来）の気候はどのように変化していくのでしょうか？「農研機構地域気候シナリオ2017」より、県都水戸付近のメッシュを抽出して、図4.2左と同じものを作成しました（図4.3左）。4.1にも記したように、100～300km空間解像度のGCMデータを利用しているので、気温変化の大きな傾向は日本全国のものとは変わりませんが、日本付近で最も昇温の大きいGFDL-CM3モデルの予測値は3℃以上と、日本全体よりもさらに高くなっています。また多くのGCMで、年々変動の分散の値も日本全体のものとは比べて大きくなっています。

降水量についてはどうでしょうか？GCM出力値は概して、観測統計値に比べて少なめに評価しますが、本データセットは平均値に加え分散を用いた補正を行っているため、GCMでは再現しにくいとされる年最大日降水量のような強い降水量についても、観測統計値に近づくように改善されています。そして、県南部の土浦付近のメッシュにおける年最大日降水量の出現分位を見ると、近未来には年最大日降水量のような極端な降水量は増加することが予測されています（図4.3右）。

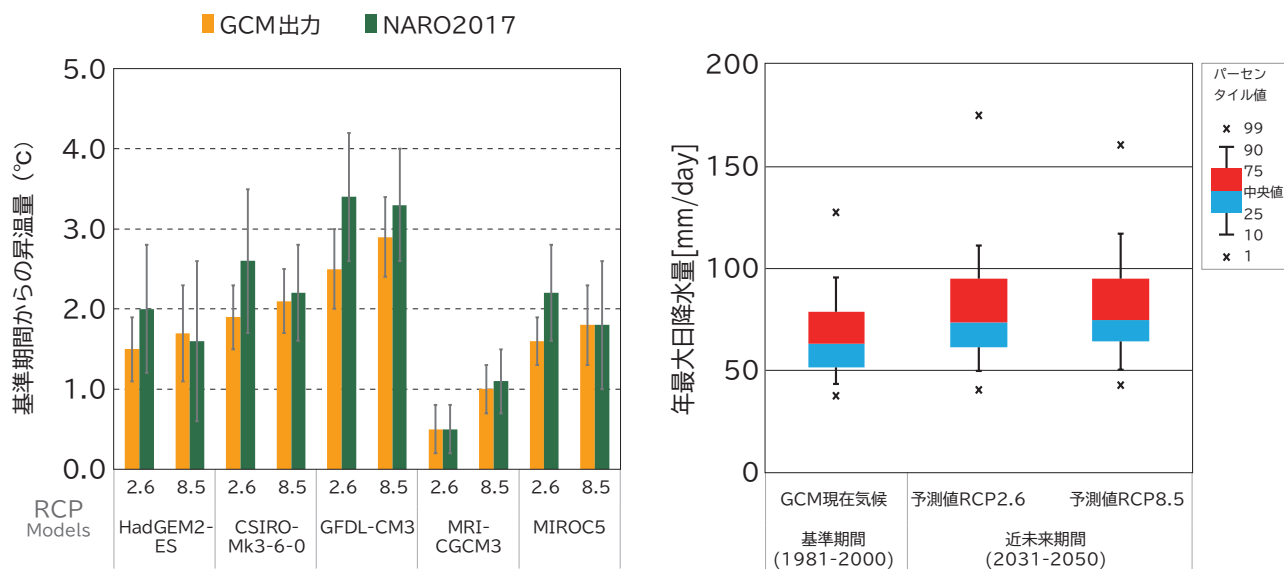


図4.3 茨城県における「農研機構地域気候シナリオ2017」の特徴

（左）図4.2左と同じ年平均日最高気温の1981-2000年平均からの昇温量（℃）で、水戸付近のメッシュを抽出したものです。（右）基準期間における年最大日降水量の出現分位（パーセンタイル値）を示す箱ひげ図で、土浦付近のメッシュを抽出したものです。本データセット（NARO2017）の5つのGCMの出力値を合わせて表示しており、近未来期間では、年最大日降水量の出現分位が基準期間に比べて大きく、強雨が増すことが予想されています。

また本データセットは、GCM間の出力値のばらつきや、出力値の年々変動に起因する気候シナリオの不確実性を考慮した、高解像度の影響評価に利用することができます。その例を、4.1に述べたコメの品質低下リスク（ヒートドース値）で示しました（図4.4）。これによると、本データセットの基準期間（1981～2000年）における現在気候値から計算したヒートドース値の出現分位は、観測統計値とほぼ一致していますが、近未来期間（2031～2050年）にはヒートドース値の中央値が基準期間よりも、RCP2.6で約15（℃・日）、RCP8.5で約25（℃・日）程度と大幅に増加し、近未来には、コメの品質低下リスクが高まることがわかります。

4.4 まとめ

「農研機構地域気候シナリオ2017」をはじめ、メッシュ気候シナリオの利用に関して留意すべき点は幾つかあります。まず、本気候シナリオは主として全国または広域の影響評価研究用として開発したものであり、都道府県単位などでの利用を推奨しています。特定地域や少数地点の抽出利用には、利用者自身で対象地点の観測統計値と比較解析することが求められます。また正規分布を仮定した分散を用いるバイアス補正手法ですべての要素を補正しているため、日値が正規分布に近い気温および日射量以外の要素の補正には不確実性が残ります。さらに、GCMと1kmメッシュにおける地形の相違も無視できず、例えば、ベースラインの観測統計値は、気象庁アメダスが基となっており、山岳部のデータが極端に不足した状態でメッシュ化されているため、補正後も山岳部データの信頼性が判断できません。またメッシュ上では陸地であってもGCMでは海洋上の場合あり、GCMで分散が観測統計値よりも小さい場合、補正量が過大となって異常値が発生する、といった特性に注意が必要です。

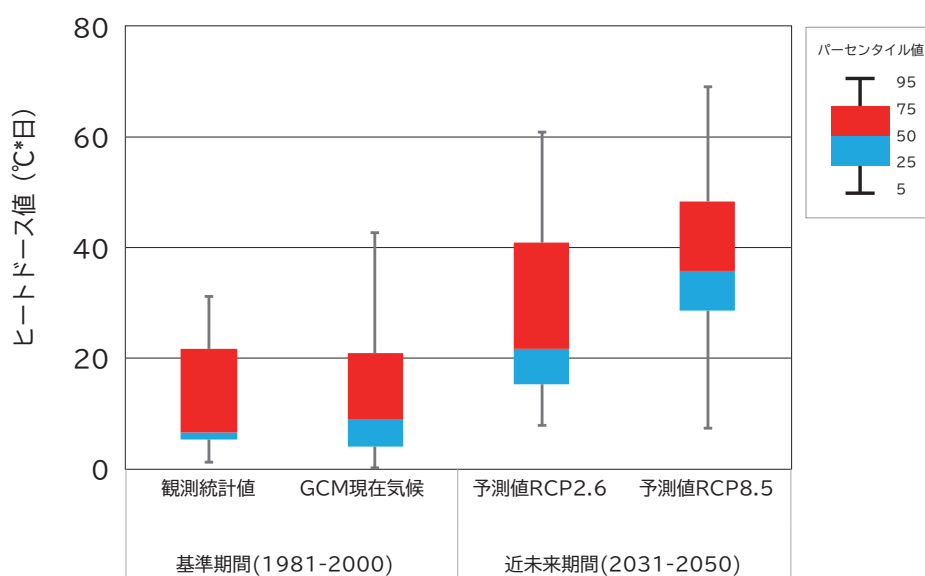


図4.4 茨城県南部におけるコメ品質低下リスク指標の将来変化

土浦付近のメッシュを抽出したもので、基準期間（1981-2000年）および近未来期間で2つのRCP（排出シナリオ）ごとに5つの気候モデル全てを用いた場合のヒートドース値の出現分位（パーセンタイル値）を示す箱ひげ図です（単位は℃・日）。

なお、気候変動といっても各気象要素が毎年一定の割合で一様に変化するわけではなく、年々の変動が大きい、1年もしくは数年程度の気候シナリオ値を抽出した評価では影響を見誤ることにつながります。このため、図4.3右で示した極端降水量指標の出現パーセンタイル値や図4.4のコメ品質低下リスクのように、将来20年程度の各年の気象要素値や各種指標値および影響結果等は、箱ひげ図のような出現分布で表すことが推奨されます。

「農研機構地域気候シナリオ2017」は、現在、「農研機構メッシュ農業気象データシステム」(<https://amu.rd.naro.go.jp/>：要登録)で順次、公開中です。

参考文献 (4.1-4.4)

- 気象庁(2014)「異常気象レポート2014」https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/climate_change/ (2020年1月15日閲覧)
- Haerter J, Hagemann S, Moseley C, Piani C (2011). Climate model bias correction and the role of timescales, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3): 1065-1079.
- IPCC(2013) IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, TF, D Qin, G-K Plattner, M Tignor, SK Allen, J Boschung, A Nauels, Y Xia, V Bex and PM Midgley(eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp. (和訳等は気象庁ホームページ<https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/ipcc/ar5/index.html>)
- Ishigooka Y, Fukui S, Hasegawa T, Kuwagata T, Nishimori M, Kondo M (2017). Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan. *Journal of Agricultural Meteorology* 73(4): 156-173.
- Ishigooka Y, Kuwagata T, Nishimori M, Hasegawa T, Ohno H (2011). Spatial characterization of recent hot summers in Japan with agro-climatic indices related to rice production. *Journal of Agricultural Meteorology* 67(4): 209-224.
- 西森基貴・石郷岡康史・桑形恒男・滝本貴弘・遠藤伸彦(2019)「農業利用のためのSI-CAT 日本全国1km 地域気候予測シナリオデータセット (農研機構シナリオ2017) について」日本シミュレーション学会誌, 38, 150-154.
- 東京管区気象台(2019)「1.2 茨城県. 気候変化レポート 2018 -関東甲信・北陸・東海地方-」11-16. https://www.jma-net.go.jp/tokyo/sub_index/kikouhenka/pdf/1_1_kantokoshin.pdf#page=4 (2020年1月15日閲覧)



水稻生産の影響

5.1 収量への影響

石郷岡康史（農研機構）

5.1.1 はじめに

水稻は我が国における最も主要な作物の一つであり、国内有数の水稻生産地である茨城県においても変動する気候条件のもとでの水稻の安定生産が強く求められています。そのため、予測される気候変動が水稻生産に及ぼす影響と、想定される影響を軽減するためにどのような施策が有効であるかを定量的に評価することは、重要な課題として認識されています。

1990年代以降、我が国では夏季の高温傾向が継続しており（Ishigooka et al., 2011）、農業への影響事例が種々の作物において多数報告されています（Sugiura et al., 2012）。水稻においては、一等米比率の低迷に象徴されるように高温に因る品質への影響が深刻化しております。高温に因る収量への影響に関しては、今までのところ統計資料に現れるほど大規模な減収は国内では発生していません。しかし、夏季の平均気温が観測史上最高となった2010年には埼玉県や群馬県において収量の低下が認められたことから、今後は温暖化の進行に伴って高温不稔多発による減収が顕在化する可能性もあります。

茨城県は県全体で地形が比較的平坦であり、水田の殆どが標高100m未満の低標高地に分布しています。県東側は太平洋に面しており、県内の気温分布は大まかに北東海岸部で低く、西部内陸ほど高いという特徴が見られます。また、水稻生育期前半の春季から夏季にかけては北東気流の影響を受けやすく、全般に夏季の気温は関東地方の他の都県と比較して低めになっています。そのため、収量や品質に対する高温影響はまだ顕著には現れていませんが、高温年である2010年には一等米比率の低下が認められる等、高温による影響の兆候が認められつつあります。

我が国の主要作物である水稻の生産性における気候変動影響の関心は高く、そのため水稻を対象とした影響評価研究は他の作物に先行して実施されており、全国を対象とした研究事例も多く見られます（Ishigooka et al., 2017）。SI-CATではこれらの影響評価手法を更に高度化し、地域を対象とした影響評価に適した空間解像度（約1km×1km）のメッシュによる影響評価の実施が可能になりました。本節では、茨城県全域を対象として、予測される気候変化条件下における水稻収量変化の予測事例を示し、影響評価結果の解釈やこれらに基づき適応策導入を検討する際に注意すべき事柄について解説します。

5.1.2 水稻生産影響評価

気候変動による水稻生産影響評価は、図5.1.1に示す手順に従い実施されます。影響評価の指標として、

ここでは水稻収量（単位面積当たりの収穫量）が主な対象となります。与えられた気象条件や栽培条件での水稻収量は、影響評価モデルとして導入された水稻生育・収量予測モデルにより算定されます。SI-CATでは最終的に適応策の効果の評価を目的としているため、モデルとしては個々の影響要因の特定と適応オプションの設定が明確にできるプロセスモデルを導入しました（図5.1.2）。

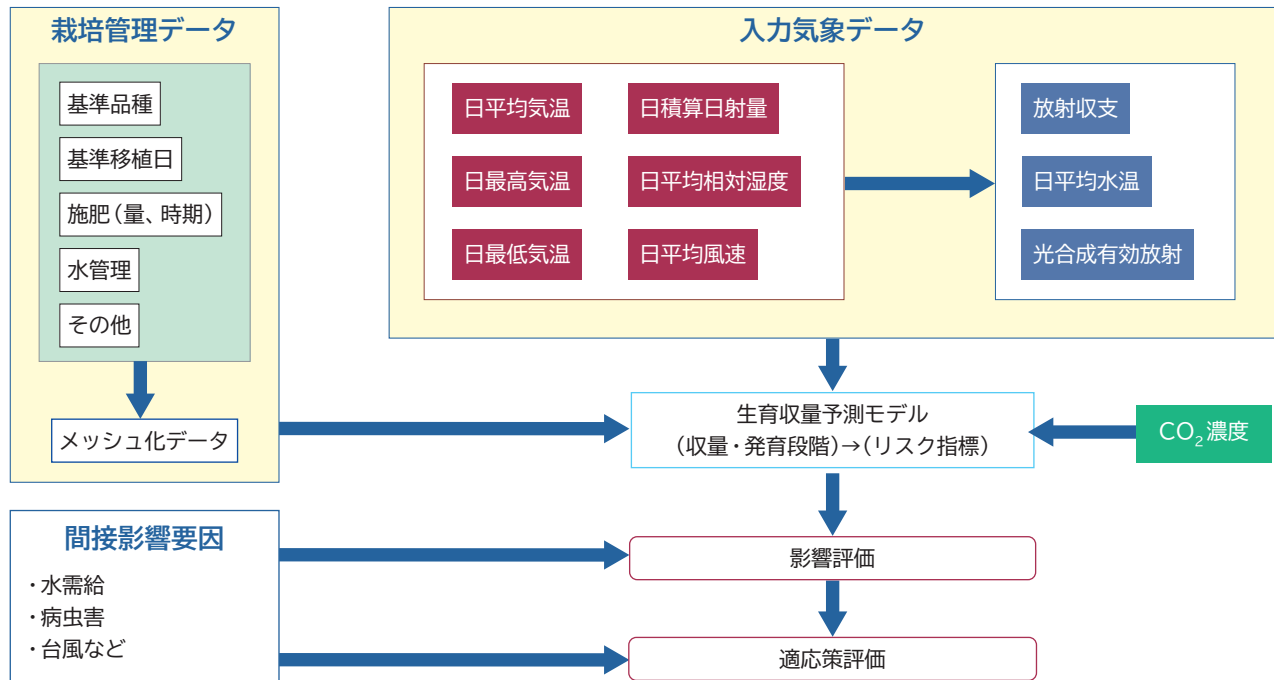


図5.1.1 影響評価の手順

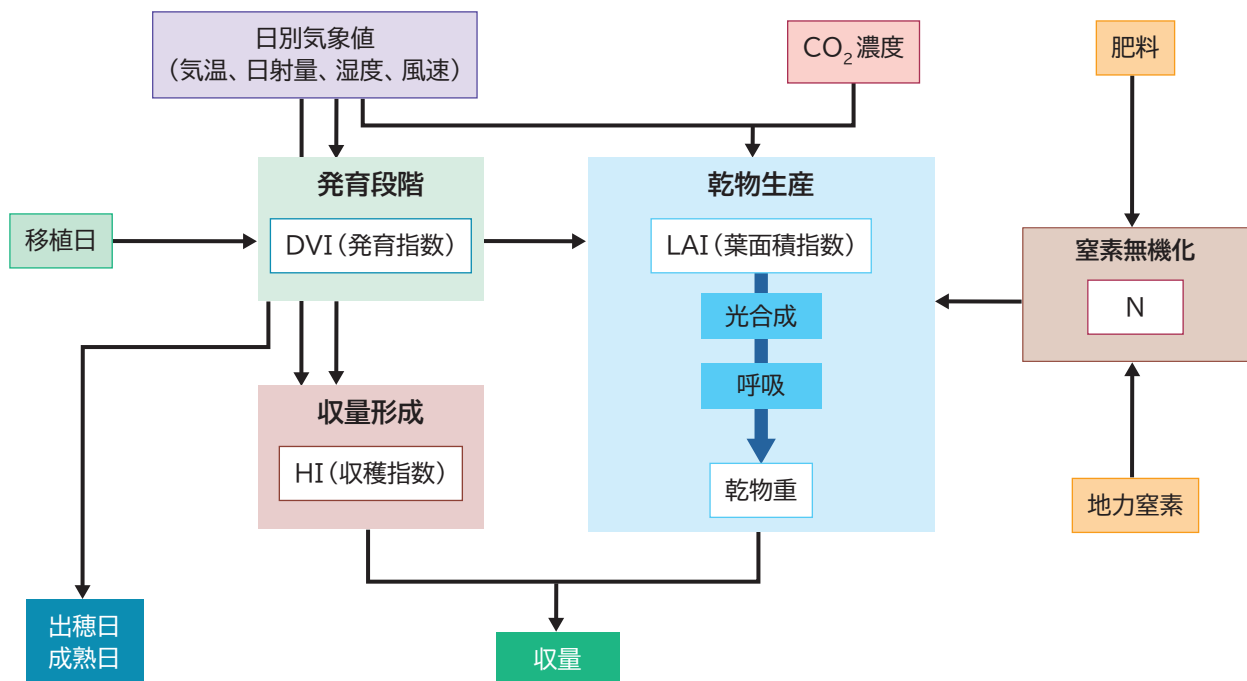


図5.1.2 水稻生育・収量予測モデルの構造

このモデルは、大きく発育プロセスと光合成プロセスの2つのサブモデルにより構成され、移植日からの日々の気象データ（日最高・最低・平均気温、日積算日射量、日平均相対湿度、日平均風速）および日長から、前者は発育段階（幼穂形成期、出穂期、成熟期等）を算定し、後者は同化産物生成過程（光合成による炭素固定と呼吸による消費の収支）からバイオマス生成量（乾物生産量）を算定します。その際、CO₂濃度上昇による光合成活性の増大（CO₂施肥効果）によるバイオマス増加も考慮されています。最終的には、登熟期間の諸条件で決まる収穫指数（稲全体に対する子実部の割合）をバイオマスに乗じることで、収量（玄米収量）が算定されます（Hasegawa and Horie, 1997）。

実際のモデル計算では、各メッシュに与えられた移植日から計算を開始し、日々の気象条件と日長から求まる発育速度から各発育ステージ（幼穂形成期、出穂期、成熟期）に到達する日を求め、成熟期に達した時点で計算を終了します。一方、低温等により発育が遅延し成熟期に到達する前に低温状態になり計算上発育が進行しなくなる場合（遅延型冷害に相当）を想定し、日平均気温が5日連続で15℃を下回った時点で計算を終了します。収量は、計算終了時点での地上部バイオマスと収穫指数を乗じることで算定されます。なお、出穂前後の時期の極端な低温や高温による不稔率の増加（障害型冷害、高温不稔）は、収穫指数の低下により表されます。

以上より、温暖化条件での収量算定においては、増収要因として、減収の主要因であった冷害が温度上昇により軽減されることやCO₂濃度上昇による施肥効果が現れる一方、減収要因として、温度上昇により発育が早くなることで生育期間が短縮し光合成によるバイオマス生成量が減少することや、高温による受精障害で不稔率が增加することが挙げられ、最終的にはこれらのバランスで収量の増減が決まります。

対象領域は茨城県全域（5752メッシュ）とし、国土数値情報土地利用メッシュデータ（2006年版）から得た水田面積割合が1%以上のメッシュ（4561メッシュ）を計算対象としました（図5.1.3）。モデル計算は、将来においても移植日、栽培品種、窒素肥料投入量は現行と同一であるという条件で実施しました。これらのデータはそれぞれ行政区画毎の農業統計資料等から情報を入手し、各メッシュが属する行政区画に割り付けました。行政区画の区割りは、全て2010年時点のものを基準としました（平成の大合併時には区割りに大きな変更があったため）。

茨城県においては、移植日は作柄表示地帯毎にそれぞれ5月9日（北部）、5月2日（鹿行）、5月1日（南部）、5月4日（西部）とし、品種は県全体で作付面積が最大であるコシヒカリを全地域で栽培されているとしました。窒素肥料投入量は、肥料消費量の農業地域別原単位量データ（農林水産省米生産費調査資料）と肥料区分毎の窒素比率（ポケット肥料要覧）を使用して算出し、茨城県全域で58.75kg ha⁻¹としました。

入力気象データは、4種類のGCM（MIROC5、MRI-CGCM3、GFDL-CM3、HadGEM2-ES）および2種類のRCP（RCP2.6、RCP8.5）による、1981年～2100年の期間の気候予測値を使用しました。気温上昇量は、概ね“MRI-CGCM3 < MIROC5 < HadGEM2-ES < GFDL-CM3”の順になっています。RCPによる気温上昇量の違いは今世紀中盤以降に顕著になり、RCP2.6では上昇が鈍化するのに対しRCP8.5では上昇が加速するといった特徴が見られます。基準期間（1981～2000）

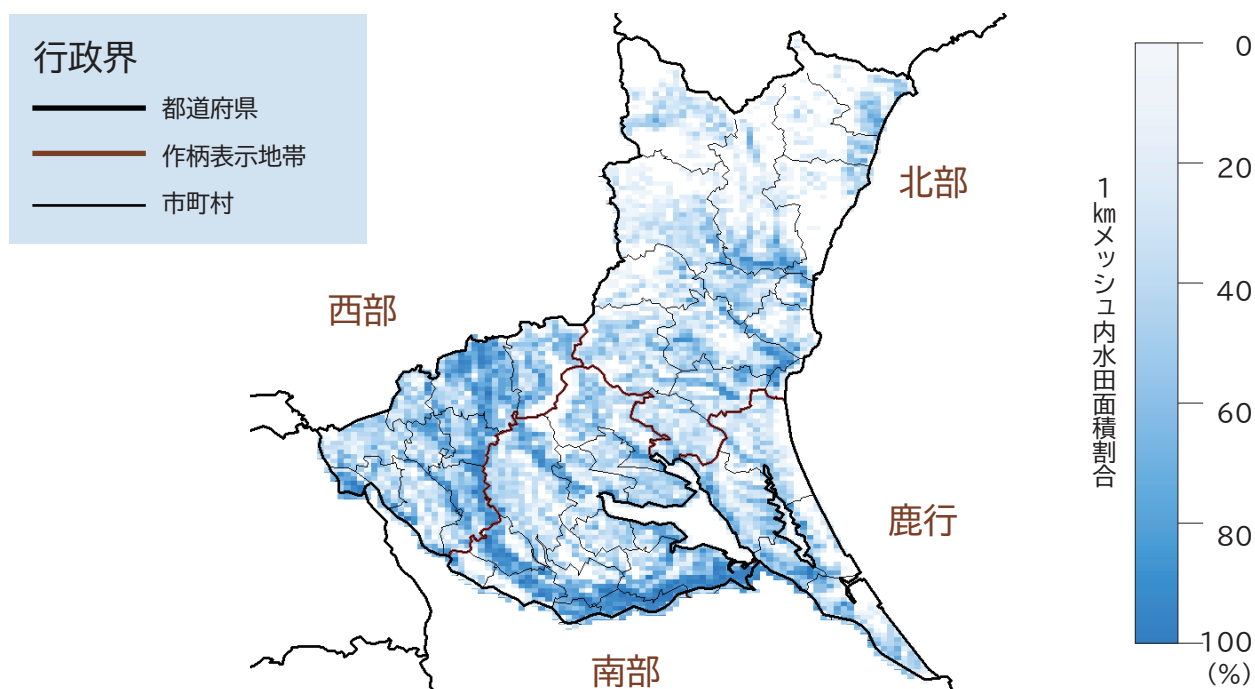


図5.1.3 茨城県における水田の分布と行政区分

からの気温上昇量は、近未来（2031～2050）においてRCP2.6で+0.6～+2.7℃、RCP8.5で+1.1～3.1℃、今世紀末（2081～2100）においてそれぞれ+1.1～+3.0℃、+3.8～+6.8℃になると予測されています。また、CO₂濃度については、RCP毎に想定される変化が与えられており、近未来においてRCP2.6で440ppm、RCP8.5で493ppm、今世紀末においてそれぞれ426ppm、850ppmになるとされています。

5.1.3 計算結果

計算対象期間内（1981～2100）の各年について算出された収量から、20年平均値を5年毎に算定しました。これは、平均的な気候条件（ここでは20年間としました）での収量が、5年毎にどう変化するかを示すことで、将来において予測される気候変化による水稻収量へ一定程度の影響が現れる時期と地域を明確に示し、具体的に導入すべき適応策と導入の時期を検討する際の情報を提供することを目的としています。その際、複数の気候予測値による結果を示すことで、予測の不確実性も明確に把握できることになります。

図5.1.4は、各RCPにおける4GCMによる5年毎の20年平均全生産量の相対値（1981～2000の20年平均全生産量を100とした相対値）の推移を示したものです。図5.1.4-1は全国（比較のため）、図5.1.4-2は茨城県全体、図5.1.4-3～6は茨城県内の4つの各作柄表示地帯で集計しています。全国の集計結果（図5.1.4-1）において、RCP2.6では中央値は今世紀中盤までは全生産量は微増し、その後やや減少し、今世紀末にかけてやや増加するという推移を示し、GCMによる幅は今世紀中盤にかけて拡大し、その後世紀末にかけてやや縮小します。一方、RCP8.5では、中央値は今世紀中盤までは

顕著に増加し、その後世紀末にかけて少しずつ減少しますが、GCMによる幅は年次が進むにつれて大きく拡大します。これらの全生産量における推移とGCMによる幅に関する時系列的特徴は、主に各RCPにおけるそれぞれのGCM出力値の特徴を反映しているといえます。茨城県全体の集計結果（図5.1.4-2）も全国の集計結果と概ね類似しているといえますが、RCP2.6において両四分位間の幅がやや拡大している点と、RCP8.5において今世紀中盤以降の推移とGCMによる幅が顕著に不規則になっている点が異なります。そのため、今世紀中盤以降の予測の不確実性が大きく、特にRCP8.5においては時期による予測値とその幅が複雑になるため、将来の予測結果に基づいた適応策を考える場合には、近未来までを目標にすることが適切であるといえます。

県内の作柄表示地帯毎の集計結果（図5.1.4-3～6）を詳しく見ると、北部とその他の3地帯で傾向がやや異なり、北部ではRCP2.6における今世紀中盤以降の予測の幅が他の地帯と比較して顕著に小さくなりますが、RCP8.5で他の地帯でみられるような時系列的な不規則性が見られません。これは、北部は地形が複雑であり地域全体の水田気温の分布幅が県内の他の地域と比較して大きいいため、気候シナリオによる予測の幅が他の地域より大きくなるためと考えられます。

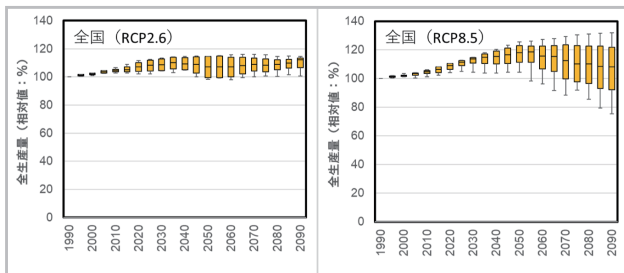


図5.1.4-1 全国

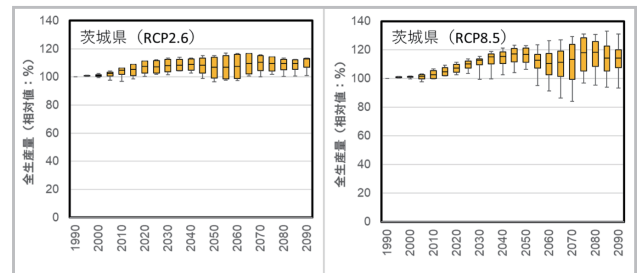


図5.1.4-2 茨城県

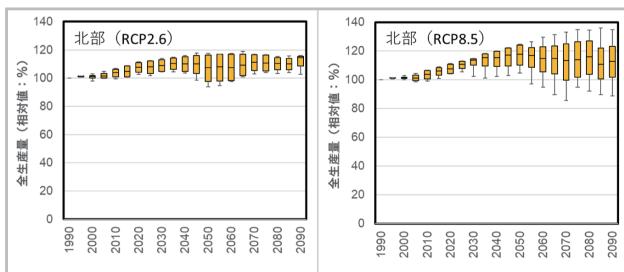


図5.1.4-3 北部

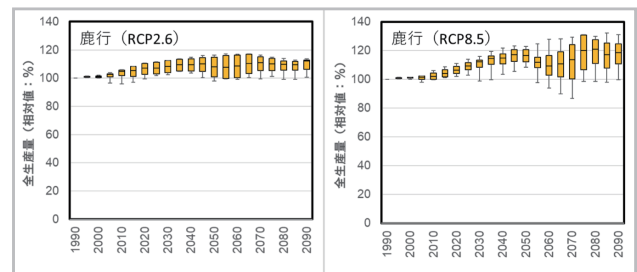


図5.1.4-4 鹿行

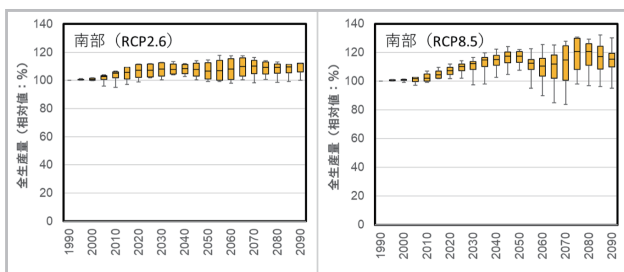


図5.1.4-5 南部

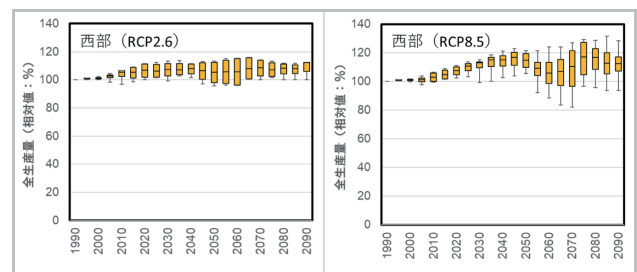


図5.1.4-6 西部

図5.1.4 RCP毎の各GCMによる20年平均全生産量の5年毎の推移と予測の幅

図5.1.4-1は全国、図5.1.4-2は茨城県全体、図5.1.4-3～6は茨城県内の各作柄表示地帯における集計値です。

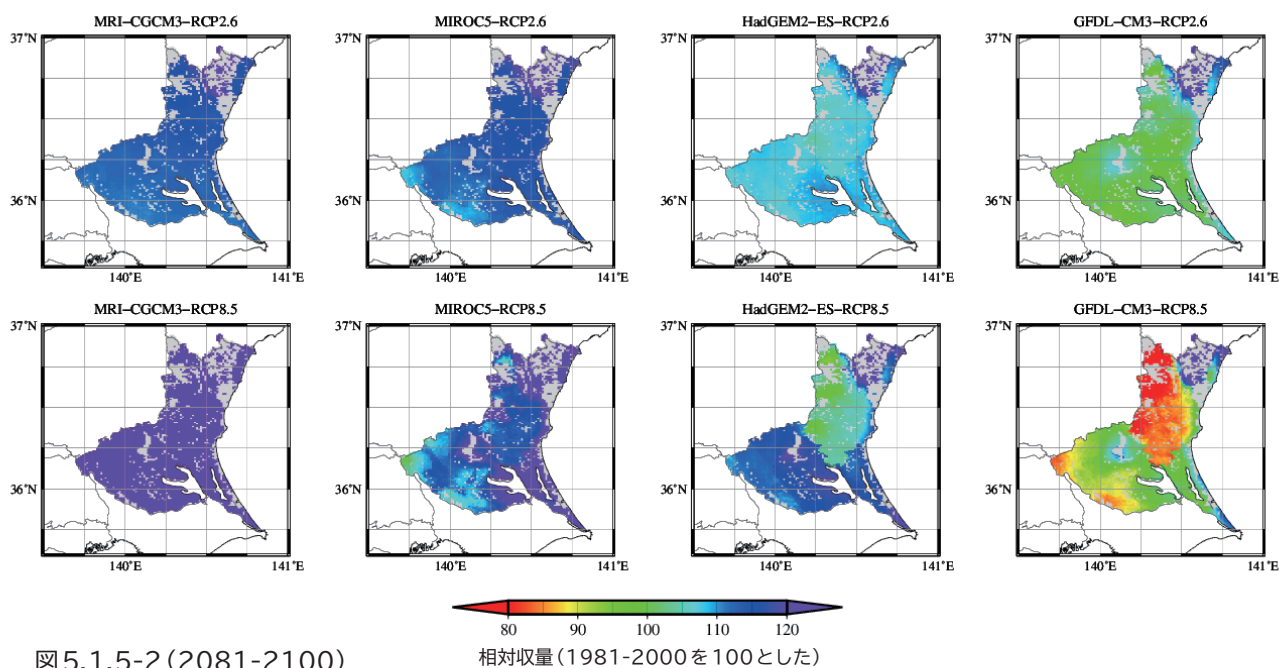
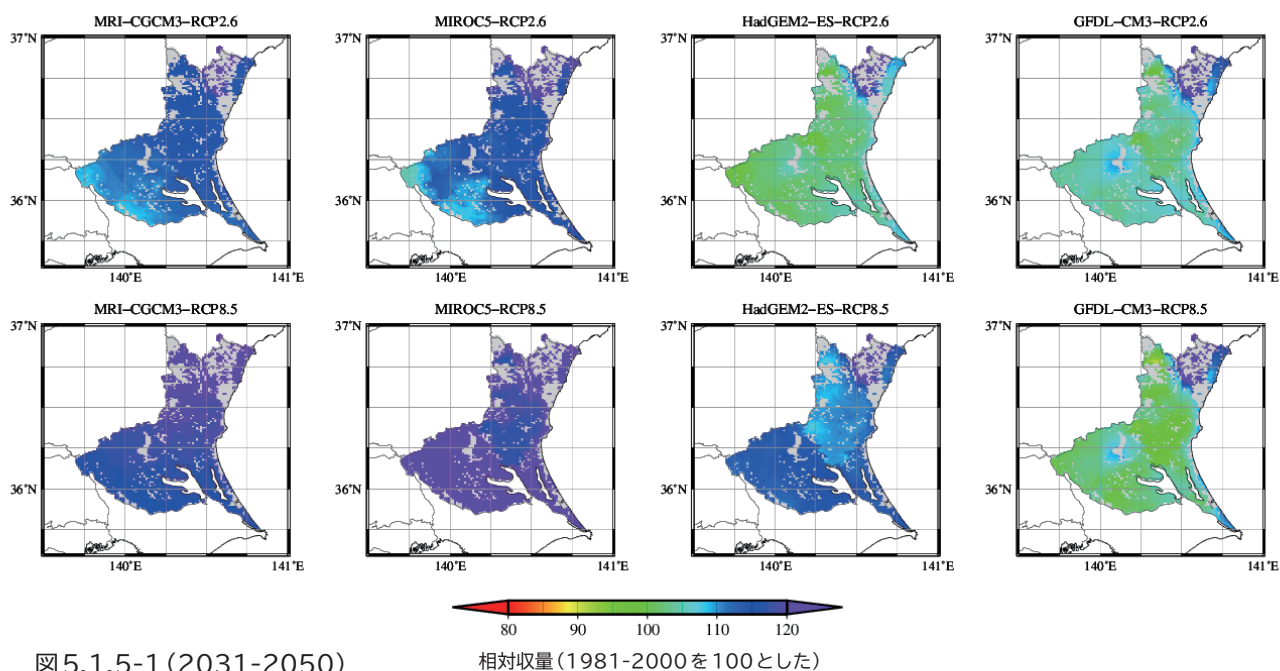


図5.1.5 1981～2000年を基準とした各気候シナリオによる相対収量の分布

図5.1.5-1は近未来（2031-2050）、図5.1.5-2は21世紀末（2081-2100）の20年平均相対収量です。
それぞれ、上段はRCP2.6、下段はRCP8.5です。

図5.1.5は、各気候シナリオによる同時期の相対収量算定値の20年平均値の分布を示したものです。

図5.1.5-1は近未来（2031～2050）の20年間、図5.1.5-2は今世紀末（2081～2100）の20年間であり、どちらもGCMによる推定昇温量の大きさの順に左（昇温量小）から右（昇温量大）へ並べてあります。まず、近未来（図5.1.5-1）においては全体的にRCP2.6（上段）よりもRCP8.5（下段）の方が収量は高く算定されていますが、これは近未来においてはRCP間の気温上昇量の差が比較的小さい一方、CO₂濃度が高いRCP8.5でCO₂施肥効果が顕著に現れ比較的高い収量が算定されたと推察されます。同一RCPでは、概ね温度上昇量が大きくなるに従い、収量は低く算定される傾向が明確に現れておりますが、これは県内の大部分の地域においては基準期間（1981～2000）の気温が十分に高く、気温上昇による冷害の減少による増収効果よりも高温による生育期間短縮による減収効果の方が卓越するためといえます。次に今世紀末（図5.1.5-2）においては、算定収量のRCP間、GCM間による違いが顕著になっております。どちらのRCPにおいても昇温量が大きくなるに従い収量は低くなりますが、その変化はRCP2.6（上段）と比較してRCP8.5（下段）の方が急激で、地域による違いが顕著になっています。RCP8.5の場合、昇温量が比較的小さいMRI-CGCM3を除いて高温不稔の増加が減収の主要因になると考えられますが、高温不稔は出穂前後1週間程度の短期間の高温により引き起こされますので、出穂期と高温期のタイミングが合うか否かで収量が大きく異なり、収量の空間的分布が複雑化すると推察されます。なお、北部山間部の一部では、近未来、世紀末とも増収となっておりますが、高標高地域であり低温のため基準期間の収量が低めに算定されているため、将来予測結果においては相対的に値が高く算定されております。

5.1.4 まとめ

合計8種の気候シナリオ（4GCM×2RCP）を入力データとして、1981年～2100年の茨城県全域を対象とした水稻収量予測を行い、その時間的、空間的分布の変化を調べました。その結果、収量は概略的には近未来まではやや増加すると算定され、その後世紀末にかけては気候シナリオにより予測結果が異なり、収量予測における予測の不確実性が増大すると考えられます。比較的不確実性の小さい近未来までの予測結果に基づき適応策を考えるのであれば、平均的に大きく減収となる地域は予測されていないことから、近年でも既に顕在化している品質低下の回避を重視しつつ収量を維持するための適応策が有効と考えられます。例えば、移植日を調整して高温回避を図る、肥培管理を丁寧にするといったことや、高温耐性品種の導入といった適応策の導入が挙げられます。

今回の影響評価では、主に気候変動による収量への影響を見てきましたが、影響評価結果を解釈するにあたっては、使用した影響評価モデルに含まれていない影響要因（例えば、病虫害や台風等による風水害や潮風害）についても考慮する必要があります。

参考文献

- Ishigooka Y, Kuwagata T, Nishimori M, Hasegawa T, Ohno H (2011). Spatial characterization of recent hot summers in Japan with agro-climatic indices related to rice production. *Journal of Agricultural Meteorology* 67(4): 209–224.
- Ishigooka Y, Fukui S, Hasegawa T, Kuwagata T, Nishimori M, Kondo M. (2017). Large-scale evaluation of the effects of adaptation to climate change by shifting transplanting date on rice production and quality in Japan. *Journal of Agricultural Meteorology* 73(4): 156–173.
- Hasegawa T and Horie T (1997). Modelling the effect of nitrogen on rice growth and development. In *Applications of systems approaches at the field level*. (ed. by Kropff MJ, Teng PS, Aggarwal PK, Bouma J, Bouman BAM, Jones JW, van Laar HH). Kluwer, Dordrecht, pp. 243–257.
- Sugiura T, Sumida H, Yokoyama S, Ono H (2012). Overview of recent effects of global warming on agricultural production in Japan. *JARQ* 46(1): 7–13.

5.2 低品質米（白未熟粒）発生への影響

増富祐司（茨城大学）

5.2.1 温暖化による低品質米（白未熟粒）の発生

地球温暖化は作物収量だけでなく、作物品質にも影響を及ぼすことがわかってきています。日本においては実際の水稻圃場において、生育期間中の高温による著しい収量低下の報告事例はこれまでありませんが、大きな品質低下については数多くの報告があります。このことは、より喫緊の課題として、温暖化による品質低下に対する適応策を検討・実施する必要性があることを強く示唆していると言えます。

日本の水稻生産において品質低下の中でも最も大きな要因となっているのは、米粒が白濁化する白未熟粒の発生です（図5.2.1）。白未熟粒は砕けやすく加工時のロスをもたらし、最終的な収量を減少させます。また玄米中に白未熟粒が多く含まれると検査等級を下げることになります。一般にこの検査等級に応じてコメの取引単価が決まるため、白未熟粒が多いと生産者の収入を減少させることになります。このように白未熟粒発生の増加は、日本の水稻生産において大きな問題となってきています。

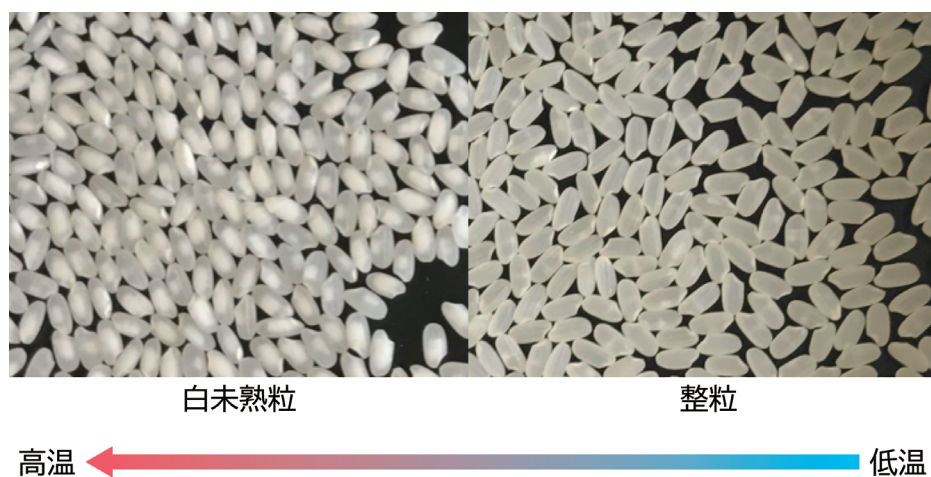


図5.2.1 白未熟粒（左）と整粒（右）

白未熟粒は、開花後、米粒にデンプンが詰まっていく期間（登熟期）の高温により多発することが様々な研究で報告されています。そもそも白濁化して見える理由は、米粒の中のデンプン粒の間にできた空隙で光が乱反射するためです。整粒ではデンプン粒が密に詰まっているために、このような乱反射は起こらず半透明に見えます。では、なぜデンプン粒の間に隙間ができるかですが、これは登熟期間に高温に晒されることにより、（１）デンプン合成に関連する酵素活性の低下及び関連遺伝子発現の低下、（２）デンプン分解酵素の活性化、（３）デンプン合成の材料である糖の輸送経路が早期に退化するなどによって起こることが報告されています。

このように登熟期の高温によって白未熟粒の発生が増大することがわかっており、すでに日本の多くの地域でその影響が顕在化しつつあります。また今後の温暖化によってさらに白未熟粒の発生が増大することが懸念されますが、どの程度増大するかはこれまで分かっていません。本節の目的は、茨城県を対象に白未熟粒発生率が温暖化によってどのように変化するかを定量的に評価することです。なお本節の内容は

Masutomi et al. (2019) をベースにしたものです。

5.2.2 影響評価手法

図5.2.2に白未熟粒発生率を推計する手法の概要を示します。まず白未熟粒の発生率は、「白未熟粒発生率予測モデル」と呼ばれる数式（後述）を用いて、コンピュータの中で推計します。このモデルでは、出穂後20日間の日平均気温を入力にして、白未熟粒発生率を出力します。そしてこの白未熟粒発生率予測モデルを茨城県の各地点に適用して、気候モデルから出力される気温データをこのモデルに入力することにより、現状から将来にわたる各地点の白未熟粒発生率を推計します。なお本節で利用する白未熟粒発生率推計モデルは「コシヒカリ」を対象としたモデルです。茨城県において「コシヒカリ」の作付面積割合は77.1%（平成30年産）を占め、最も作付けされている品種です。

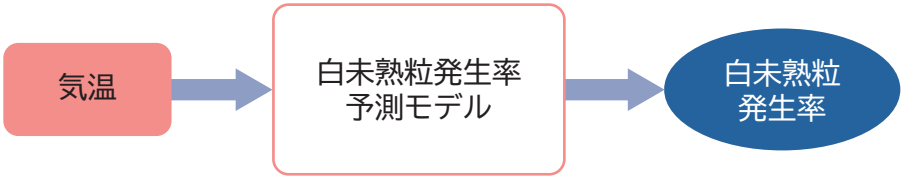


図5.2.2 白未熟粒発生率推計手法の概要

推計は2011年から2050年の各年で実施しました。ただし解析は4つの期間（2010s：2011-2020; 2020s: 2021-2030; 2030s: 2031-2040; 2040s: 2041-2050）に分けて行い、2010sを現状、それ以外の期間を将来として扱います。将来の気候シナリオには、農研機構で作成された「農研機構シナリオ2017」を用いました（西森他, 2019；4章参照）。この気候シナリオには2つのRCPs（RCP2.6とRCP8.5）と5つのGCMs（CSIRO-Mk3-6-0、MIROC5、MRI-CGCM3、HadGEM2-ES、GFDL-CM3）の合計10の気候シナリオがあり、それぞれ1kmに統計的にダウンスケールされ、バイアス補正がされています。表5.2.1に本節で行う推計概要についてまとめます。

表5.2.1 推計概要

| 推計期間 | RCP | GCM | 対象品種 |
|-----------|----------------|--------------------------------------------------------------------|-------|
| 2011-2050 | RCP2.6, RCP8.5 | CSIRO-Mk3-6-0, MIROC5, MRI-CGCM3, HadGEM2-ES, GFDL-CM3 | コシヒカリ |

(i) 白未熟粒発生率予測モデル

白未熟粒発生率 I [%]はMasutomi et al. (2015) をベースに以下の式により推計します：

$$I = \max \{0, K_T (T_{20} - T_{crit})\} \quad \text{式 (1)}$$

ここで T_{20} [°C]は出穂後20日間の日平均気温、 T_{crit} [°C]は白未熟粒が発生し始める T_{20} 、 K_T [%/°C]は気温上昇に対する I の感度を定めるパラメーターです。このモデルでは T_{20} が T_{crit} 以下の場合($T_{20} \leq T_{crit}$)、 $I = 0$ となり、それ以外の場合($T_{20} > T_{crit}$)、 $I > 0$ となります。また $T_{20} > T_{crit}$ の場合、 T_{20} が大きくなるにつれて、 K_T に応じて I が大きくなります。図5.2.3にこのモデルにより推計される白未熟粒発生率 I (縦軸) と T_{20} (横軸) の関係 (赤線) を示します。

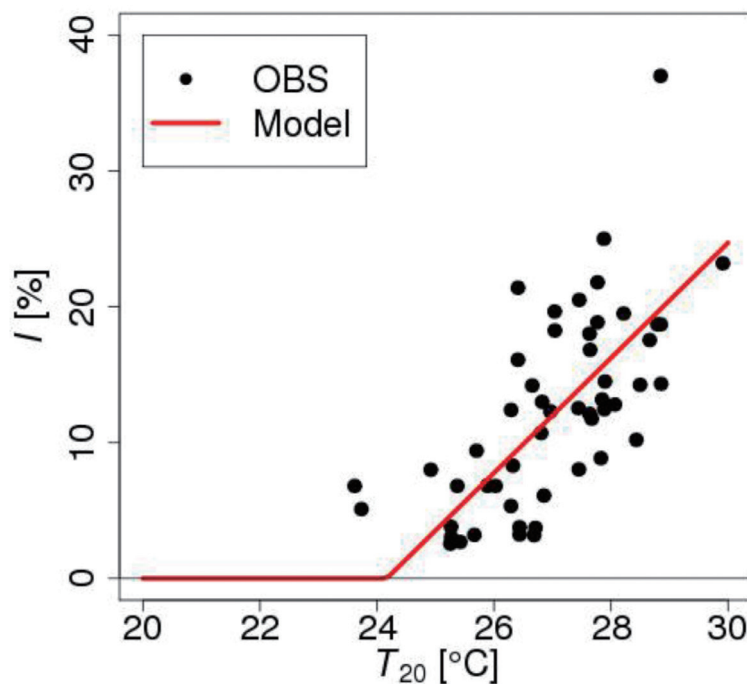


図5.2.3 T_{20} [°C]と白未熟粒発生率 I [%]との関係

赤線がモデル式、黒点は圃場実験のデータです。

このモデルを用いた白未熟粒発生率推計に必要な入力データは、出穂日と日平均気温です。 T_{crit} および K_T は白未熟粒発生率の観測データを用いて推計されるパラメーターで、日本各地 (4 地点; 6 処理) の圃場データを用いて推計しました。求めた T_{crit} 、 K_T の最適値は、 $T_{crit} = 24.17$ [度]、 $K_T = 4.24$ [%/度]でした。図5.2.4にこの最適パラメーター値を用いて、圃場データの白未熟粒発生率について観測値と推計値を比較した結果を示します。図中には各種の推計精度評価値 (R：相関係数；RMSE：平均二乗誤差；RRMSE：相対平均二乗誤差；NSE：Nash-Sutcliffeモデル効率) を載せています。例えば、相関係数は0.661で有意な相関となっており、推計モデルが高精度に白未熟粒発生率を推計できることを示しています。

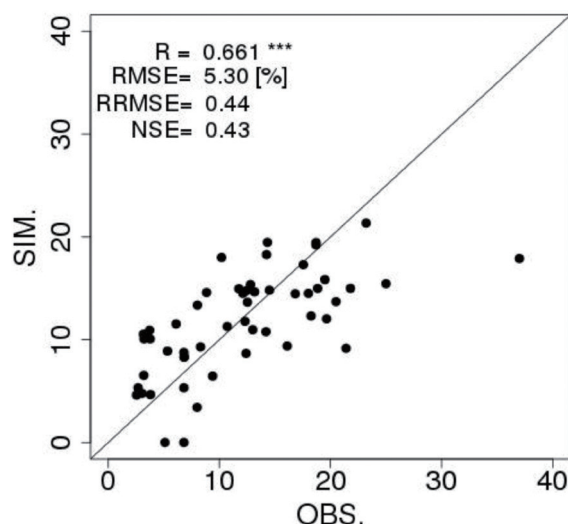


図5.2.4 白未熟粒発生率の観測値（OBS.）と推計値（SIM.）の比較

5.2.3 結果

図5.2.5、表5.2.2および表5.2.3に、RCP2.6およびRCP8.5における各年代の茨城県の全体の平均白未熟粒発生率[%]を示します。これによると現状（2010s）の白未熟粒発生率は、GCM平均値（表中のMean：以下、特に断らなければ数値はGCM平均値を示す）で8.2-8.5%であるのに対し、2040sにはRCP2.6では12.6%、RCP8.5では13.7%と増加することがわかります。一方、次の10年（2020s）にはRCP2.6では9.0%、RCP8.5では8.3%と現状とほぼ変わらず、2030sにはRCP2.6では10.4%、RCP8.5では11.7%と現状より増加することがわかります。つまり茨城県平均でみたとき、白未熟粒発生率の増加が顕著になるのは2030sからということが言えます。

RCP間の差は2020sには0.7%と小さい一方で、2030s、2040sには1.3%、1.1%と大きくなり、ともにRCP8.5において白未熟粒発生率が高いことがわかります。つまり、温室効果ガスの排出削減によって白未熟粒の発生をある程度低下させることができると言えます。

一方、各年代における白未熟粒発生率は用いる気候モデル予測によって大きく異なることもわかります。例えば、RCP8.5における2040sの白未熟粒発生率は、最小値で10.2%（MRI-CGCM3）、最大値で18.8%（GFDL-CM3）であり、その差は8.6%と非常に大きいです。このような予測の幅は、不確実性と呼ばれ将来の影響評価において不可避です。したがって対策（適応策）を実施する際には、このような予測の不確実性を十分に考慮する必要があると言えます。

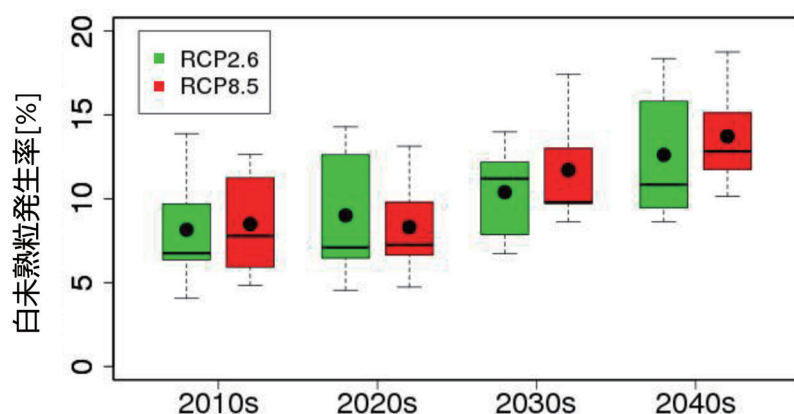


図5.2.5 RCP2.6(緑)およびRCP8.5(赤)における各年代の茨城県全体の平均白未熟粒発生率[%]

箱内のドットは平均値、太線は中央値。ヒゲの下・上端は最小値・最大値です。

表5.2.2 RCP2.6における各年代の茨城県全体の平均白未熟粒発生率[%]

Meanは5つのGCMによる推計の平均です。

| Years | Mean | CSIRO-Mk3-6-0 | MIROC5 | MRI-CGCM3 | HadGEM2-ES | GFDL-CM3 |
|-------|------|---------------|--------|-----------|------------|----------|
| 2010s | 8.2 | 6.7 | 4.1 | 6.4 | 9.7 | 13.9 |
| 2020s | 9.0 | 7.1 | 6.5 | 4.5 | 12.6 | 14.3 |
| 2030s | 10.4 | 11.2 | 7.9 | 6.7 | 12.2 | 14.0 |
| 2040s | 12.6 | 10.8 | 9.5 | 8.6 | 15.8 | 18.4 |

表5.2.3 RCP8.5における各年代の茨城県全体の平均白未熟粒発生率[%]

Meanは5つのGCMによる推計の平均です。

| Years | Mean | CSIRO-Mk3-6-0 | MIROC5 | MRI-CGCM3 | HadGEM2-ES | GFDL-CM3 |
|-------|------|---------------|--------|-----------|------------|----------|
| 2010s | 8.5 | 5.9 | 7.8 | 4.8 | 12.6 | 11.3 |
| 2020s | 8.3 | 7.3 | 6.6 | 4.7 | 9.8 | 13.1 |
| 2030s | 11.7 | 9.8 | 9.7 | 8.6 | 13.0 | 17.4 |
| 2040s | 13.7 | 12.8 | 11.7 | 10.2 | 15.1 | 18.8 |

次に県内のどの地域において白未熟粒発生率が増加するかを見ていきます。図5.2.6はRCP2.6、図5.2.7はRCP8.5の県内各地点における各年代の平均白未熟粒発生率を示しています。これによるとRCP2.6でもRCP8.5でも県西・南から白未熟粒発生率が高くなっていくことがわかります。特に2040sには平均的に2等以下となる地域が出てきます。また、その範囲はRCP8.5のほうが広がります。したがって高温耐性品種や発生低減技術の導入といった適応策をこれらの地域から優先的に進めていく必要があります。なお、本推計では1等から2等に落等する白未熟粒発生率を16.9%としています。この値は、白未熟粒発生による落等割合が過去の統計値に最も合うように設定しました。

RCP2.6 2010s HT0



RCP2.6 2020s HT0



RCP2.6 2030s HT0



RCP2.6 2040s HT0

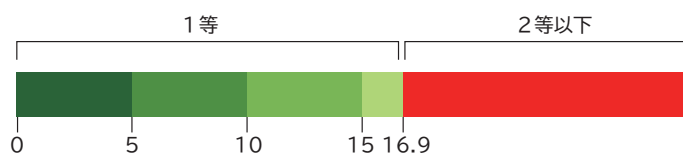
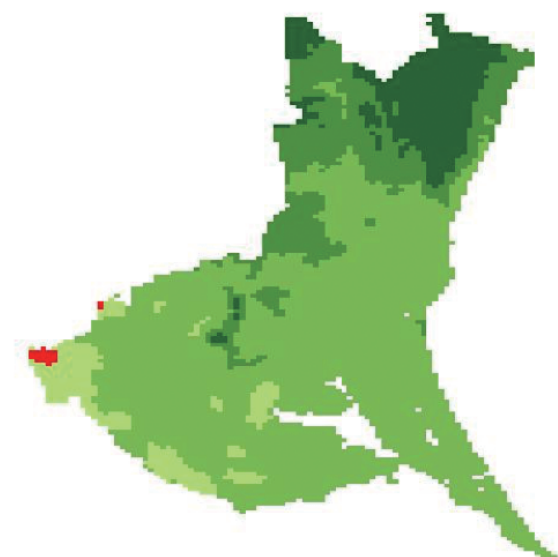


図5.2.6 RCP2.6における各年代の白未熟粒発生率[%]

色は等級を表し、緑系は1等、赤は2等以下です。

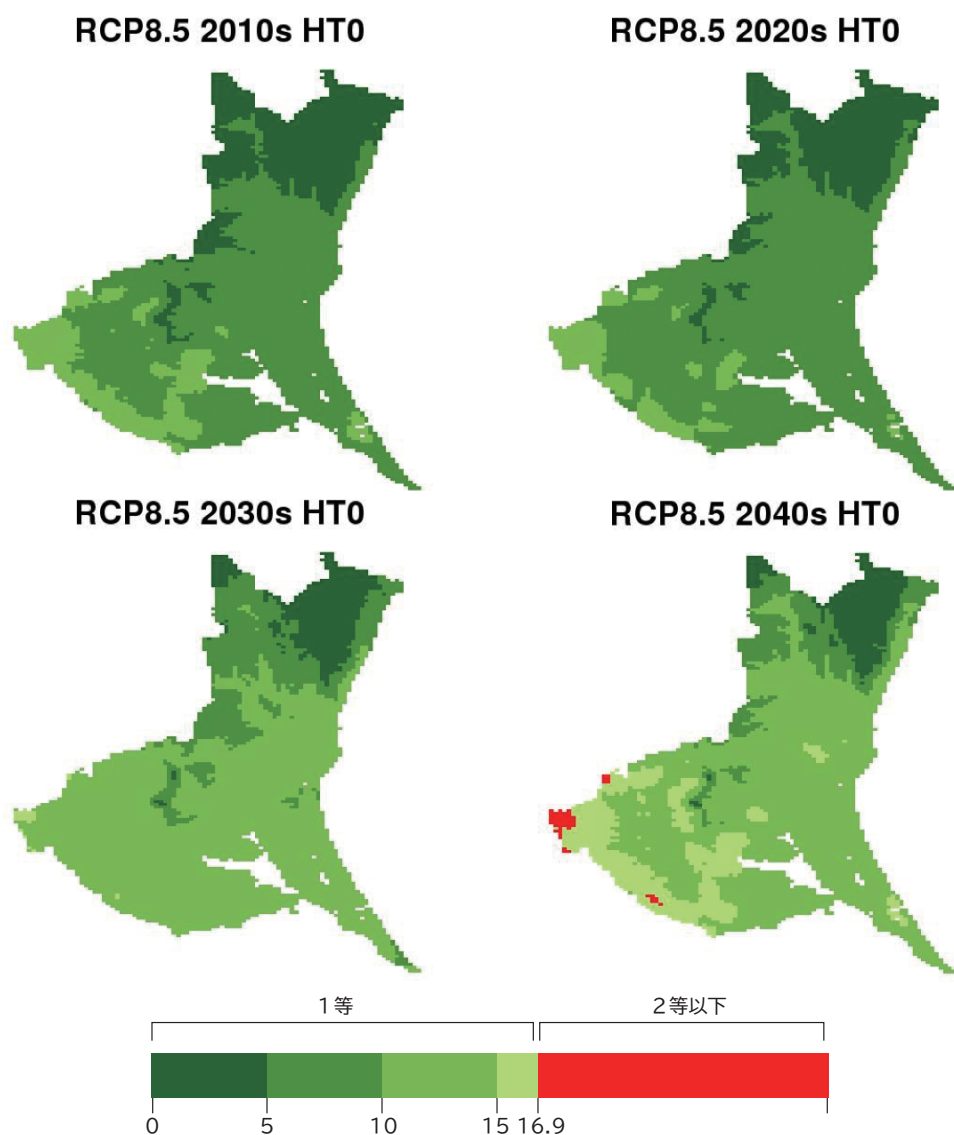


図5.2.7 RCP8.5における各年代の白未熟粒発生率[%]

色は等級を表し、緑系は1等、赤は2等以下です。

参考文献

- Masutomi Y, Takimoto T, Shimamura M, Manabe T, Arakawa M, Shibota N, Ooto A, Azuma S, Imai Y, Tamura M (2019). Rice Grain Quality Degradation and Economic Loss due to Global Warming in Japan. Environmental Research Communications 1: 121003.
- Masutomi Y, Arakawa M, Minoda T, Yonekura T, Shimada T (2015). Critical air temperature and sensitivity of the incidence of chalky rice kernels for the rice cultivar ‘Saino-kagayaki’. Agricultural and Forest Meteorology 203(15): 11-16.
- 西森基貴・石郷岡康史・桑形恒男・滝本貴弘・遠藤伸彦（2019）「農業利用のためのSI-CAT 日本全国1km 地域気候予測シナリオデータセット（農研機構シナリオ2017）について」日本シミュレーション学会誌，38，150-154.

6

適応策

6.1 JAつくば市谷田部の事例

今井葉子（茨城大学）

6.1.1 対象地および圃場調査の概要

つくば市南部を管轄するJAつくば市谷田部には「有機稲作研究部会」（通称「米部会」。以下は米部会と表記。）という主に水稻生産を行う生産者の組織があります。米部会は10年以上、有機特栽米の生産に取り組んでいます。茨城大学とJAつくば市谷田部と米部会は2017年度より共同研究を進めてきました。初年の2017年度調査では、限られた範囲の気象条件が等しい複数圃場から収穫されたコシヒカリであっても、温暖化影響とされる白未熟粒発生率は各圃場間で異なることが示唆されました。米部会の有機特栽米の特徴として、JAが指定する同一の施肥（有機773と呼ばれるJA独自の肥料）を使用し、追肥はなく、品種はコシヒカリを栽培しています。統一の肥料を用いた管理を行う米部会の圃場において、なぜ白未熟粒発生率の違いが生じるのでしょうか。その要因を探るため、翌年2018年に同地域においてより詳細な現地調査を設計し、JAと生産者の方々からの協力のもと、調査を実施しました。調査では、米部会からの協力を得たうえで、実際にコシヒカリを生産する多地点圃場を対象としました。主な調査項目は、夏季の温度（地温）・各圃場で収穫された2018年度産コシヒカリの白未熟粒発生率・各圃場の土壌成分でした。加えて、生産者による田植えや水管理方法をヒアリングする管理調査を実施しました（図6.1.1）。



図6.1.1 対象地での作業工程

栽培品種や施肥・農薬管理についてヒアリングした結果、10の圃場については、栽培品種がコシヒカリで、施肥・農薬管理が同じ（減農薬・減肥料）であることがわかりました。温度・土壌以外の条件を統一させるため、これら10圃場を温度・土壌調査の解析対象圃場として選定しました。

6.1.2 多地点圃場調査の結果

調査の結果、外気温と圃場地温は連動すること、また、各圃場間の平均地温は1℃ほどばらついたことから、平均地温には幅が生じることがわかりました（図6.1.2）。採取サンプルの白未熟粒発生率を分析した結果、白未熟粒が全粒に占める割合では大きな圃場間差が確認できました。具体的には、圃場全体の値において割合が最小の地点で約18.6%であるのに対して、最大の地点では約39.0%と約20%の差異が認められました（図6.1.3）。このことから、近い気象条件下にある圃場でも、コメの品質には大きな差が生じる可能性が示唆されました。土壌成分では、土壌中の可給態窒素量が白未熟粒発生率の低減に関与する傾向がみられました（図6.1.4）。さらに、出穂期から20日間の平均地温と白未熟粒合計割合の関係を見ていくと、平均地温が上昇すればするほど白未熟粒合計割合が上昇する関係が見出されました（図6.1.5）。白未熟粒の発生は、出穂後20日間の平均気温が26℃程度を越えると急激に増加するとする報告があり（森田, 2008）、実際に生産を行っている圃場でも既存知見を検証することができました。

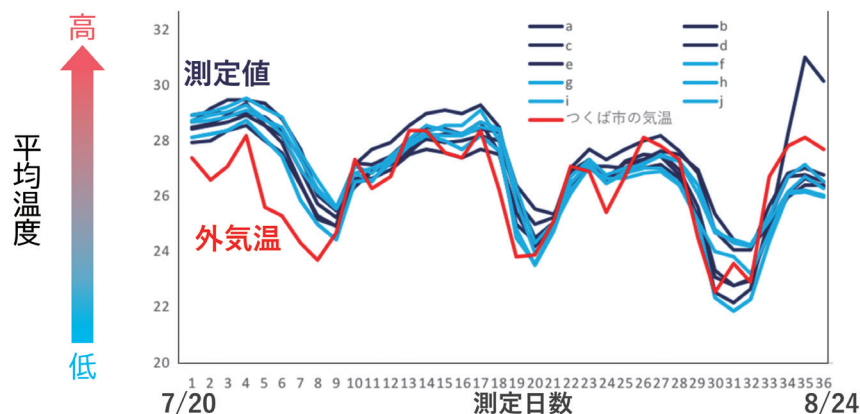


図6.1.2 圃場地温の測定結果（入口出口2地点の平均）

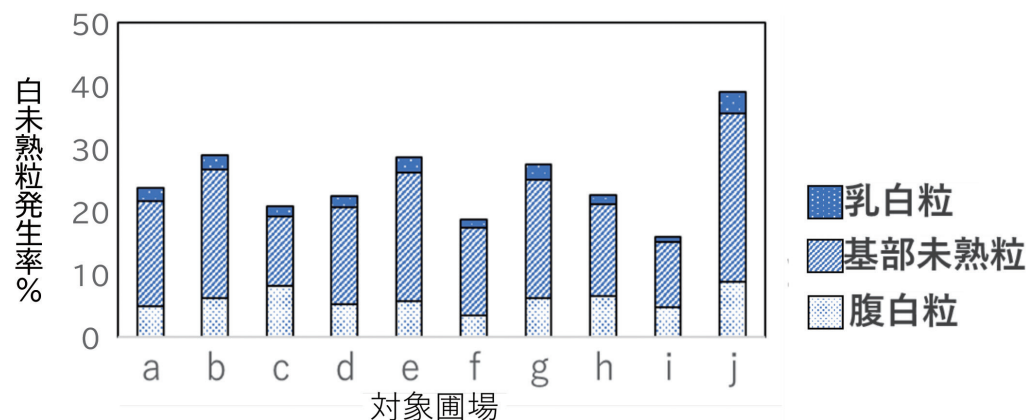


図6.1.3 対象圃場の2018年産コシヒカリの白未熟粒割合（%）

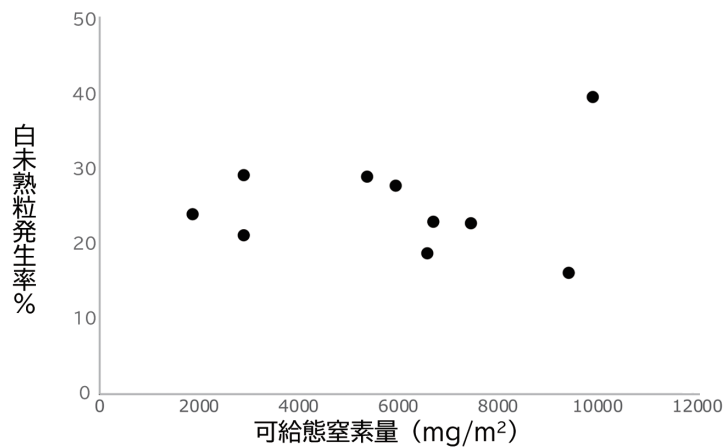


図6.1.4 各圃場の可給態窒素量と白未熟粒発生率

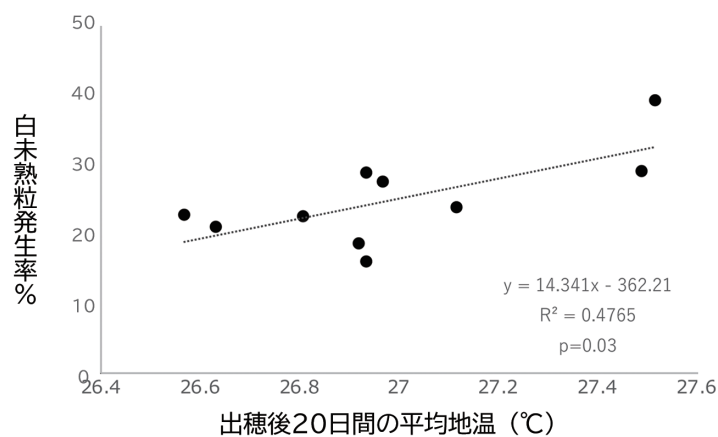


図6.1.5 出穂後20日間の平均地温と白未熟粒発生率

以上の調査より、白未熟粒発生抑制には地温を低下させる水管理および可給態窒素量を増加させる土壌管理が有効となる可能性が示されました。耐性品種導入などの大規模な適応を行う前の準備期でも、栽培品種の品質維持は重要な課題です。今後は、生産者が行っている水管理方法や取水傾向の情報（圃場を干す期間や灌漑中の水深、湛水の期間等）の詳細を収集・整理し、白未熟粒発生を抑制するために役立つ水稲生産の現場での適応策を各機関共同で検討していく必要があります。

参考文献

森田敏(2008)「イネの高温登熟障害の克服に向けて」日本作物学会記事, 77(1), 1-12.

森田敏(2011)「イネの高温障害と対策・登熟不良の仕組みと防ぎ方」農村漁村文化協会.

柳田惇・増富祐司・今井葉子・鳥山和伸(2019)「つくば市内多地点圃場における白未熟粒発生率差異の影響要因解析」日本農業気象学会2019年大会講演要旨, 静岡.

6.2 気候変動への取り組み

眞部 徹（茨城県農業総合センター）

6.2.1 夏季の高温による水稻品質低下対策の取り組み

気候温暖化により全国の1等米比率は平成8年をピークに低下傾向にあり、平成10年以降、白未熟粒発生が増加により1等米比率の低下が顕著となり、米の品質低下が深刻さを増していました。平成14年には、本県においても登熟期間の高温により白未熟粒・胴割粒が多発し、1等米比率は52%にまで低迷しました。中でも当時、水稻栽培面積の8割を占めた主力品種「コシヒカリ」の1等米比率は43%まで落ち込みました。この年の米の品質低下以降、関東地域においても温暖化による影響が顕在化するようになりました。

この事態を受け県産米の栽培体系の見直しが急務となり、「コシヒカリ」について登熟期間の高温を意識した栽培法への見直し、収穫・乾燥・調製の再点検を全県的に行うため、平成15年から「いばらき高品質米生産運動」の取り組みを開始しました（田中，2013）。これが本県における夏季の高温（高温障害）に対する水稻の適応策の始まりです。

「いばらき高品質米生産運動」の具体的な取り組みは、「コシヒカリ」の①適期田植えの推進（5月5日～20日の田植え）、②中干しによる茎数制御、③登熟期の間断かんがいと早期落水の防止、④適期収穫と適正な乾燥・調製、⑤土づくりの推進の「5つの基本技術の励行」からなっています。

基本技術の①は、田植えを遅くすることにより出穂を遅らせ、登熟期が暑さのピークである7月末～8月初めを避ける高温回避技術です。基本技術②～⑤は、それぞれ②総籾数の制御、③根の活力維持、④胴割粒の発生低減、⑤土壌環境の改善という、高温に耐える力を強化または発生を低減する技術となっています。この取り組みを継続してきたことにより、平成22年の高温において全国的に著しい米の品質低下が見られましたが、本県で大幅な品質低下を回避できたことは高品質米生産運動の効果の現れであると推測しています。現在もこの取り組みは継続して行っています。近年、水稻生育期間中の高温傾向は顕著になっており、「5つの基本技術の励行」の重要度が増えています。

一方、県内で栽培される水稻の品種構成が「コシヒカリ」に大きく偏っていることで、収穫作業が短期間に集中することが問題となっていました。また、作業が集中することで適期の収穫が困難となり刈り遅れによる品質の低下、特に胴割粒の発生助長が問題となっていました。さらに、胴割粒は白未熟粒同様、夏季の高温によっても発生が増加します。そこで、「コシヒカリ」と作期分散が可能な高温耐性を有する品種の育成に取り組んできました。

県では、水稻新品種を育成する過程で独自に開発した高温検定法により、白未熟粒の発生しにくい系統を効率的に選抜してきました。その結果、早生で高温耐性に優れる「ふさおとめ」を母に、早生で大粒の「ひたち20号」を父とした交配組み合わせから（図6.2.1）、大粒で高温下でも品質が安定したオリジナル早生品種「ふくまる」を育成し、平成25年から一般栽培されています。

「ふくまる」の品種特性は次の通りです。①成熟期は「コシヒカリ」より7～10日程度早く、「コシヒカリ」との作期分散が可能である。②稈長は「コシヒカリ」に比べて短く、倒伏に強い（図6.2.2）。③

収量は適切な肥培管理により「コシヒカリ」よりも増収する。④玄米千粒重は「コシヒカリ」よりも重く大粒で厚みがある（図6.2.3）。⑤高温年でも白未熟粒の発生が少なく、玄米品質が優れる。

また、「ふくまる」はこれらの特性に加え、優れた炊飯特性（炊き増えする、炊飯後に時間が経過しても食味低下が少ない）を有することから、近年ニーズが増加している中食・外食などの業務需要にも応えられる品種です。「ふくまる」の導入により、収穫作業の分散による「コシヒカリ」の刈り遅れ解消にもつながるものと期待しています。

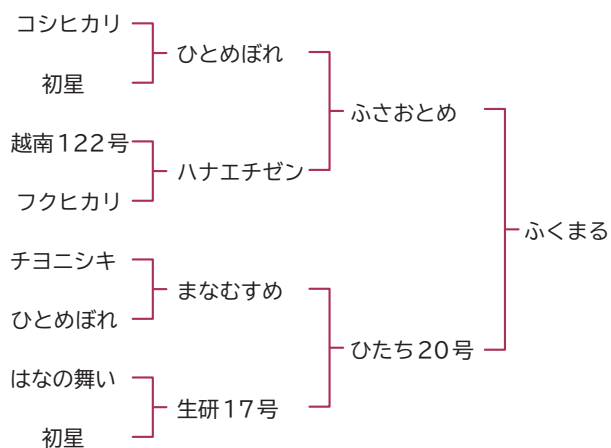


図6.2.1 「ふくまる」の育成系譜

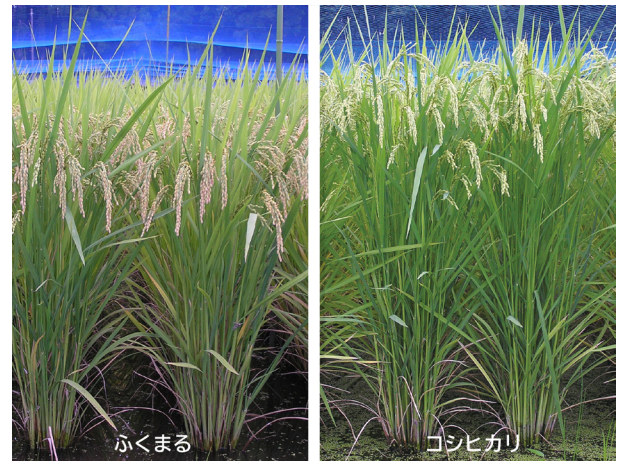


図6.2.2 「ふくまる」、「コシヒカリ」の草姿



図6.2.3 「ふくまる」、「コシヒカリ」の玄米形状

参考文献

田中研一(2013)「茨城県における水稻高温障害軽減対策とその普及」熱帯農業研究, 6(2), 90-92.

6.3 適応策（高温耐性品種導入）の評価シミュレーション

増富祐司（茨城大学）

6.3.1 はじめに

白未熟粒の発生を抑制する対策技術に関しては、これまでも様々なものが提案されています（Morita et al., 2016）。なかでも高温耐性品種の開発・導入は、決定的な対策の一つです。しかしながらこれには多くのコストと10年単位の時間がかかります。したがって将来の影響を見据えた、計画的な開発・導入が必要になってきます。特に、いつまでに何度高温耐性を持った品種を導入する必要があるかという育種目標に関する情報は計画作成において必須です。そこで本節では、茨城県を対象に白未熟粒の発生低減に向けた高温耐性品種の育種目標を提示していきます。具体的には、高温耐性品種の導入効果を定量的に評価し、白未熟粒発生を低減するためには、いつまでに何度高温耐性を持った品種を開発・導入する必要があるかという問いに答えていきます。なお本節は、Masutomi et al. (2019) をベースにそれを発展させた内容となっています。

6.3.2 評価手法

白未熟粒発生率の推計はMasutomi et al. (2015) をベースに以下の式を用います。

$$I = \max \{0, K_T \{T_{20} - (T_{crit} + T_{HT})\}\}$$

この式は5.2節の式とほぼ同様ですが、 T_{HT} が T_{crit} に足されている点が異なります。これにより白未熟粒が発生し始める温度が T_{crit} より大きくなり、白未熟粒が発生しにくくなることになります。したがってこの T_{HT} は仮想的に高温耐性品種の導入効果を表していることになります。本節では、現行品種を含んだ5つの品種（ $T_{HT}=0, 0.5, 1, 1.5, 2$ ：それぞれHT0、HT0.5、HT1、HT1.5、HT2と記す）で白未熟粒発生率を計算し、高温耐性を持った品種を導入した効果を評価します。図6.3.1に、 $T_{HT}=0, 1, 2$ の場合のモデル式を観測値とともに示します。この図から例えば $T_{HT}=1$ の場合（HT1）、白未熟粒が発生し始める T_{20} 、つまり T_{crit} が1度上がり、 $T_{HT}=0$ （現行品種：HT0）の場合に比べて高温になっても白未熟粒発生率が低くなることがわかります。なお品種ごとに T_{crit} が異なることは、実際にTakimoto et al. (2019) で報告されています。その他の推計・解析の仕方、用いた気候シナリオ等は5.2節と同じです。

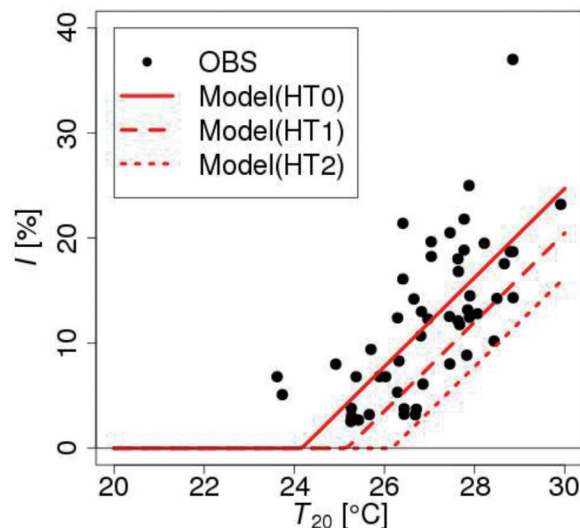


図6.3.1 T_{20} と白未熟粒発生率Iの関係

赤線はモデル式、黒点は観測値を表します。観測値はMasutomi et al. (2019) のものです。

6.3.3 結果

図6.3.2および図6.3.3、表6.3.1および表6.3.2にRCP2.6およびRCP8.5において高温耐性品種を導入した際の茨城県全体の平均白未熟粒発生率を示します。これによると、まず当然のことですが、高温耐性品種を導入すると白未熟粒発生率は低下します。例えば、RCP2.6において2040sには高温耐性品種を導入しなければ（HT0）、平均の白未熟粒発生率は12.6%ですが、0.5度（HT0.5）、1度（HT1）、1.5度（HT1.5）、2度（HT2）とより高温に耐性のある品種を導入することによってその平均の白未熟粒発生率は10.6%、8.6%、6.8%、5.1%と減少していきます。同様にRCP8.5でも2040sには高温耐性品種を導入しなければ（HT0）、平均の白未熟粒発生率は13.7%ですが、高温に耐性のある品種を導入することによってその平均の白未熟粒発生率は11.6%、9.6%、7.6%、5.8%と減少していきます。

この図および表から現状の平均白未熟粒発生率を越えないようにするためには、各年代で何度高温に強い耐性品種を開発・導入しないといけないかがわかります（図中では点線を下回るように耐性品種を開発・導入しなければなりません）。それは、RCP2.6では2020sで0.5度、2030sで1度、2040sで1.5度であり、RCP8.5では2030sで1度、2040sで1.5度となります。つまり、概ね0.5度/10年のペースで高温耐性品種の開発・導入をしなければ、現状維持は難しいということになります。

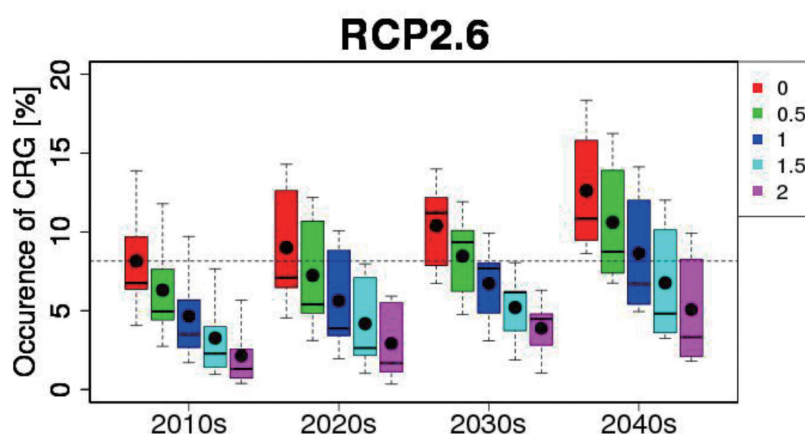


図6.3.2 RCP2.6において高温耐性品種を導入した際の白未熟粒発生率

色は何度高温の耐性品種を導入したかを示します。点線は2010sにおける平均の白未熟粒発生率です。

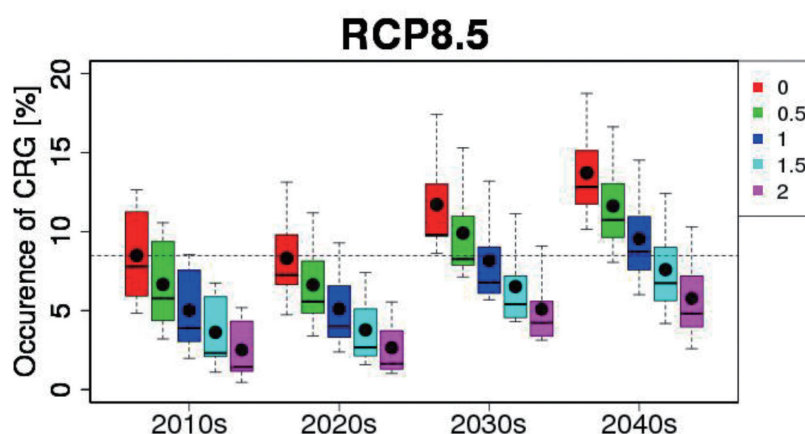


図6.3.3 RCP8.5において高温耐性品種を導入した際の白未熟粒発生率

色は何度高温の耐性品種を導入したかを示します。点線は2010sにおける平均の白未熟粒発生率です。

表6.3.1 RCP2.6において高温耐性品種を導入した際の白未熟粒発生率 [%] (GCM平均)

| Years | HT0 | HT0.5 | HT1 | HT1.5 | HT2 |
|-------|------|-------|-----|-------|-----|
| 2010s | 8.2 | 6.3 | 4.7 | 3.3 | 2.1 |
| 2020s | 9.0 | 7.2 | 5.6 | 4.2 | 2.9 |
| 2030s | 10.4 | 8.5 | 6.7 | 5.2 | 3.9 |
| 2040s | 12.6 | 10.6 | 8.6 | 6.8 | 5.1 |

表6.3.2 RCP8.5において高温耐性品種を導入した際の白未熟粒発生率 [%] (GCM平均)

| Years | HT0 | HT0.5 | HT1 | HT1.5 | HT2 |
|-------|------|-------|-----|-------|-----|
| 2010s | 8.5 | 6.7 | 5.0 | 3.6 | 2.5 |
| 2020s | 8.3 | 6.6 | 5.1 | 3.8 | 2.6 |
| 2030s | 11.7 | 9.9 | 8.2 | 6.5 | 5.1 |
| 2040s | 13.7 | 11.6 | 9.6 | 7.6 | 5.8 |

図6.3.4と図6.3.5に1km四方ごとの白未熟粒発生率を示します。この図は各列が左から高温耐性品種の違いを表し、各行が年代の違いを表しています。茨城県では5.2節で示したように高温耐性品種を導入しない場合（HT0：左端列）、2040sにはRCP2.6およびRCP8.5において、最西部において等級が低下するほどの高い白未熟粒発生率になります。一方、高温耐性品種を導入した場合、これらの高い白未熟粒発生率を低下させることができます。例えば、2040sに0.5度の高温に耐性のある品種（HT0.5）を導入すれば、RCP2.6およびRCP8.5において、等級低下になるほどの高い白未熟粒発生率を防ぐことができます。以上のようにして、影響の軽減目標を決めると、それを達成するために必要な高温耐性品種の開発・導入のタイミングを、これらの結果から知ることができます。

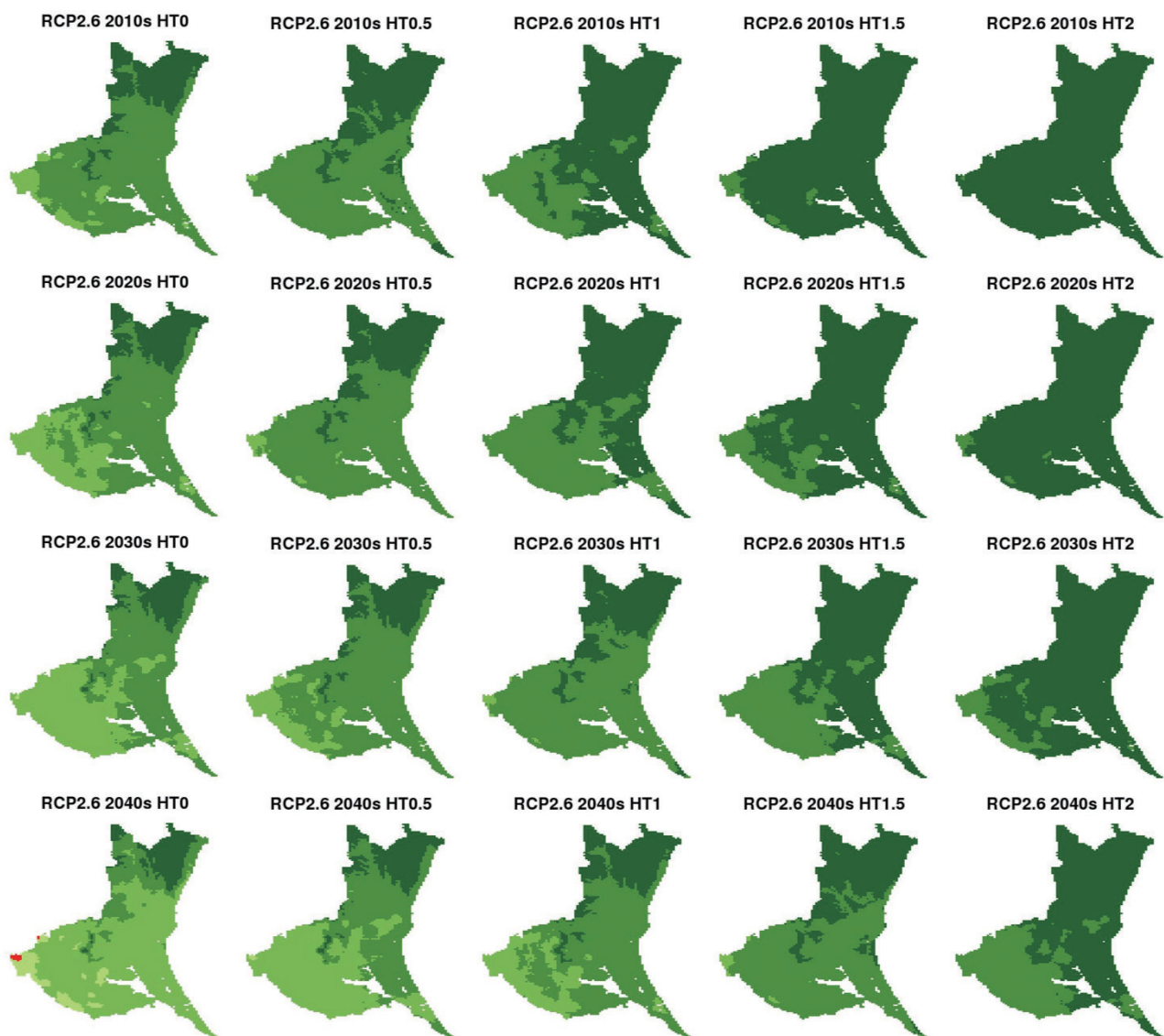


図6.3.4 RCP2.6において高温耐性品種を導入した際の白未熟粒発生率 [%]

HT0、0.5、1、1.5、2の数字は何度高温耐性の品種を導入したかを示します。

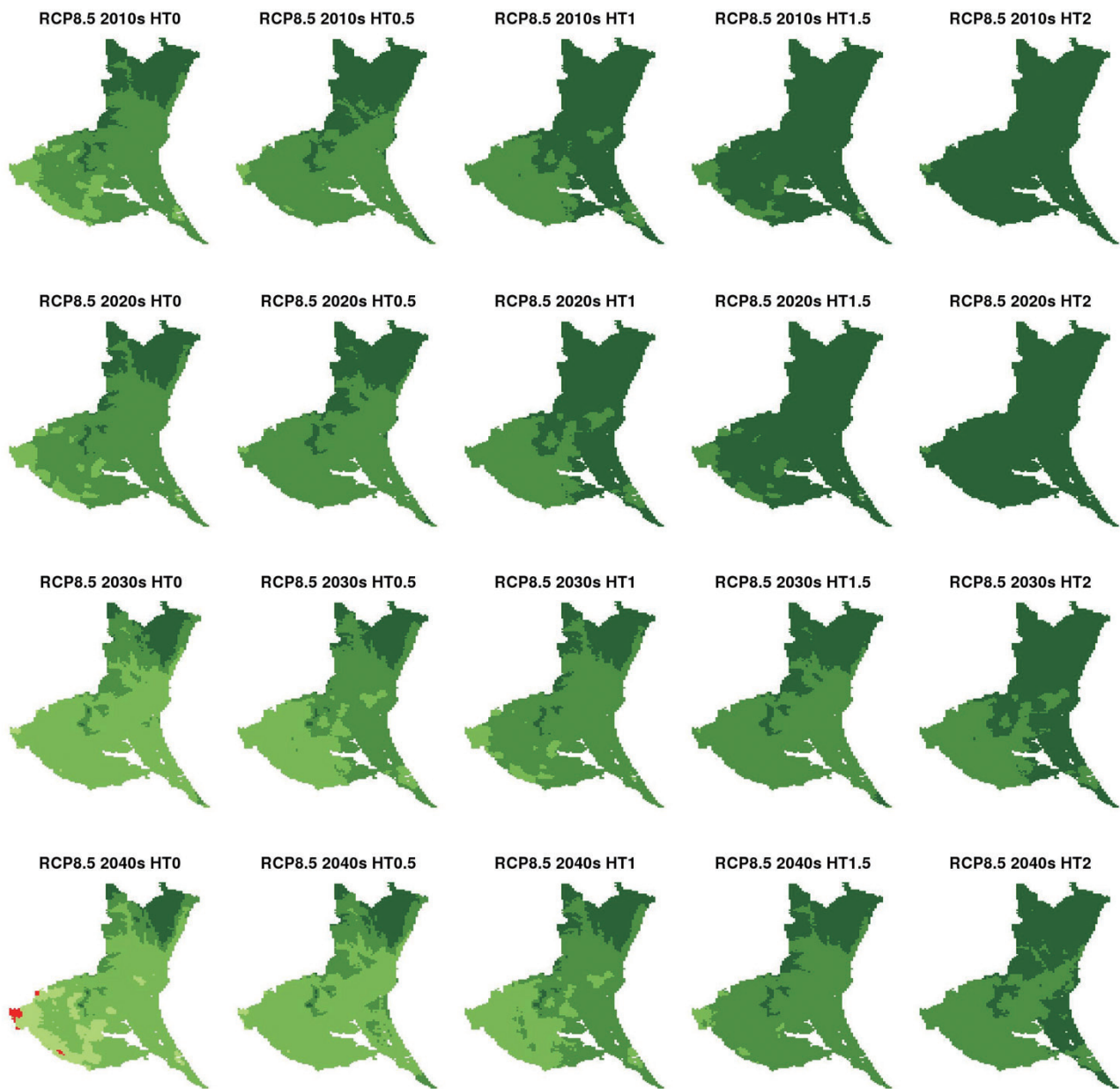


図6.3.5 RCP8.5において高温耐性品種を導入した際の白未熟粒発生率[%]

HT0、0.5、1、1.5、2の数字は何度高温耐性の品種を導入したかを示します。

参考文献

- Masutoimi Y, Takimoto T, Shimamura M, Manabe T, Arakawa M, Shibota N, Ooto A, Azuma S, Imai Y, Tamura M (2019). Rice Grain Quality Degradation and Economic Loss due to Global Warming in Japan, Environmental Research Communications 1: 121003.
- Masutomi Y, Arakawa M, Minoda T, Yonekura T, Shimada T (2015). Critical air temperature and sensitivity of the incidence of chalky rice kernels for the rice cultivar ‘Sai-no-kagayaki’ . Agricultural and Forest Meteorology 203: 11-16.
- Morita S, Wada H, Matsue Y (2016). Countermeasures for heat damage in rice grain quality under climate change. Plant Production Science 19: 1-11.
- Takimoto T, Masutomi Y, Tamura M, Nitta Y, Tanaka K (2019). The effect of air temperature and solar radiation on the occurrence of chalky rice grains in rice cultivars “Koshihikari” and “Akitakomachi” , Journal of Agricultural Meteorology 75: 203-210.

6.4 茨城県水稻生産における適応戦略

増富祐司・田村 誠（茨城大学）

6.4.1 日本の水稻生産における適応策

これまで述べてきたように、農業分野においては様々な適応策が提案されています。表6.4.1に日本の水稻生産における適応策について、実施の時間・コスト・効果、実施・関連主体について整理しました。これからわかるようにそれぞれの適応策で実施の時間・コスト・効果、さらに実施・関連主体が大きく異なります。将来にわたる適応戦略を考える上では、ここに示したようなそれぞれの適応策の特徴を把握して戦略を立てることがとても重要です。

表 6.4.1 日本の水稻生産における適応策

| No | 適応策頭 | 時間 | コスト | 効果 | 実施・関連主体 | | | | |
|----|----------------------------------|-----|-----|-----|---------|------|-----|-----|----|
| | | | | | 生産者 | 国・行政 | 研究者 | JA等 | 企業 |
| 1 | 栽培管理の高度化・変更 (水・施肥管理の徹底・最適化など) | 短 | 低 | 低～中 | ✓ | | | | |
| 2 | 品種の変更(現存品種) | 短～中 | 低 | 低～中 | ✓ | (✓) | | (✓) | |
| 3 | 移植日の変更 | 短～中 | 低 | 低～中 | ✓ | (✓) | | (✓) | |
| 4 | スマート農業化 (衛星データや気象予報の利活用) | 中 | 中 | 中 | ✓ | | ✓ | | ✓ |
| 5 | 気候および農業保険 | 中 | 中 | 中 | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ |
| 6 | 新品種の開発および導入 | 長 | 高 | 高 | ✓ | ✓ | ✓ | (✓) | ✓ |

6.4.2 適応戦略

表6.4.1から、茨城県水稻生産における適応戦略を考えていきます。基本的な考え方としては、短期的にはまず現場ですでに実施可能な栽培管理の高度化や変更等を実施し、できるだけ影響が出ないようにします。また同時に実施まで時間を要するスマート農業化や新品種の導入などの適応策については、研究・開発を中・長期的に進めていき、将来に現れる大きな影響に備えていくことになります。このように適応戦略は短期（～5年）、中期（5～10年）、長期（10年～）にわけて考えていくことが重要となります。

図6.4.1に、短期・中期・長期的に実施すべき適応策を示した適応戦略を整理しました。まず短期的（～5年）には現場で実施可能な水や施肥管理の徹底・最適化などを行っていきます。これらは効果がそれほど大きくありませんが、コストも低く、実施に要する時間が短いため、すばやく実施することが望めます。その際、まずは農業試験場等でそれぞれの地域で推奨されている水や施肥管理を徹底して実施することが大切です。ただ今後、気候はどんどん変化していきますので、継続的に最適水・施肥管理をそれぞれの地域・圃場で探りつつ実施していくことが求められます。

短期から中期にかけては、現存品種で高温に耐性の強いものを導入したり、移植日の変更などを実施していきます。ただし、生産者による品種選択は価格や消費者選好に強く依存するため、現存の高温耐性品種の導入であっても、行政やJA等の販売促進や宣伝といったサポートも欠かせません。また移植日の

変更は地域の水利権によって強く制限されている場合が多いです。このため、短期的には水利権の範囲内で変更できる移植日の変更を行い、中期的には行政・JA等を巻き込んだより広域の適応水管理に向けて検討し、実施していく必要があります。

スマート農業化や気候および農業保険は中期的に有効な適応策です。例えば、衛星データを用いたモニタリングや気象予報の利活用は、現在の圃場の状態や将来の気象を正確に把握し、最適な対策の検討・実施を可能にします。気象の年々変動は避けられないため、このようなモニタリング・予報技術を用いて、栽培管理も毎年変更していくことが望ましいと考えられます。ただ、それでも避けられない被害に対しては気候および農業保険で補償することが必要となってきます。これらの技術はまだ発展段階であるため、5～10年程度の実装化を目指して、研究・開発を進めていく必要があります。

長期的には、新品種の開発・導入が最も有効な適応策になると考えられます。ただし、これには時間とコストが掛かりますので、生産者・行政・研究者・企業等を交えて計画的に実施していく必要があります。第5.2節では白未熟粒の発生を抑えるためには、0.5度/10年のスピードで高温耐性品種を開発・導入していくべきだということが明らかになりました。今後はこの目標に向かって着実に研究・開発を進めていく必要があります。

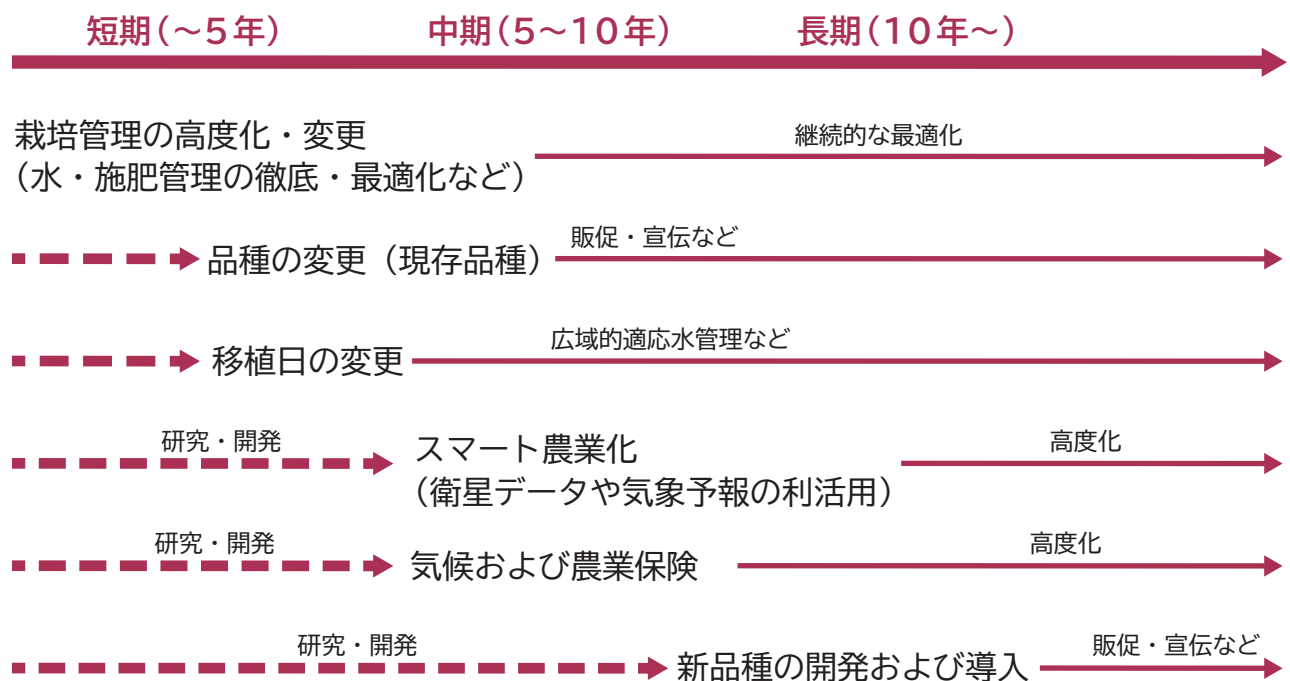


図6.4.1 短・中・長期の適応戦略

執筆一覽

茨城大学

| | | |
|------|-------------------------|---------------------|
| 田村 誠 | 地球変動適応科学研究機関 副機関長 / 准教授 | 1 章、2.1-2.3 節、6.4 節 |
| 増富祐司 | 農学部准教授 | 5.2 節、6.3-6.4 節 |
| 今井葉子 | 地球変動適応科学研究機関 研究員 | 3.1 節、6.1 節 |

茨城県

| | | |
|------|-----------------|-------|
| 藤原 亮 | 県民生活環境部環境政策課 係長 | 2.4 節 |
| 山中賢一 | 農林水産部農業政策課 技佐 | 3.2 節 |

茨城県農業総合センター

| | | |
|------|---------------------------------|-------|
| 眞部 徹 | 専門技術指導員室（農業革新支援センター） 専門技術指導員 | 6.2 節 |
|------|---------------------------------|-------|

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

| | | |
|-------|--------------------------|-------|
| 西森基貴 | 気候変動対応研究領域影響予測ユニット ユニット長 | 4 章 |
| 石郷岡康史 | 気候変動対応研究領域影響予測ユニット 上級研究員 | 5.1 節 |
| 滝本貴弘 | 気候変動対応研究領域影響予測ユニット 研究員 | 4 章 |

2020年3月

茨城県地域気候変動適応センター



〒310-8512 茨城県水戸市文京2-1-1

E-mail : iLCCAC@ml.ibaraki.ac.jp

