

# NARO

国立研究開発法人  
農業・食品産業技術総合研究機構



農研機構技報

# Technical Report

No. 4

/ Mar. / 2020

## 特集 気候変動



Topics

- ▶ 気候変動に関する国際動向と農研機構の貢献
- ▶ FACE実験からの知見、世界で、日本国内での貢献

History

温故知新

数字で見るSociety5.0④ 農業 <農林水産物・食品の輸出拡大>

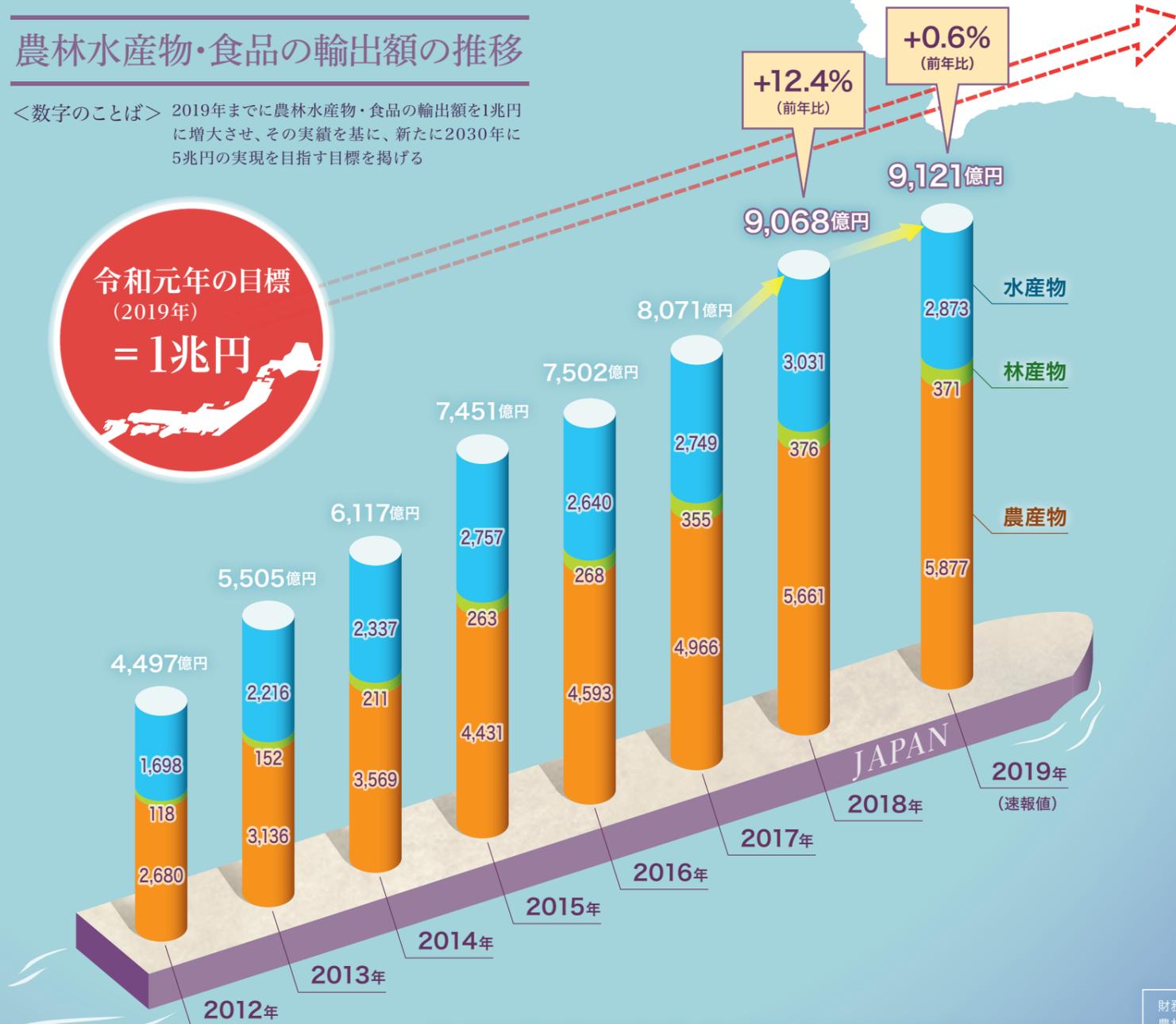
# 5兆円

## 農林水産物・食品の輸出額の推移

<数字のこぼれ> 2019年までに農林水産物・食品の輸出額を1兆円に増大させ、その実績を基に、新たに2030年に5兆円の実現を目指す目標を掲げる

令和元年の目標  
 (2019年)  
 = 1兆円

農林水産物・食品の輸出額は近年は堅調なペースで伸び、2018年は前年を12.4%上回る9,068億円に上ったが、2019年に入り前年比0.6%と伸びが鈍化。輸出の内訳を見ると、農産物が5,877億円で3.8%増。牛肉、鶏卵、米、かんしょなどで伸びた。輸出先を見ると、1位が香港、2位が中国、3位が米国となっている。



出典：「2019年の農林水産物・食品の輸出実績」（農林水産省HP、農林水産物・食品の輸出額推移（令和2年2月）より）

財務省「貿易統計」を基に農林水産省作成

## 04 特集「気候変動」

### 05 特集によせて

農業環境変動研究センター所長 渡邊 朋也

- 06 **1** 世界の食料機関に向けた穀物収量予測サービス  
飯泉 仁之直
- 10 **2** わが国のコメ生産における気候変動影響予測と適応策  
石郷岡 康史
- 14 **3** 夏季高温によるコメの品質低下の克服  
中野 洋
- 18 **4** 北海道における土壌凍結深の減少が農業に与える影響と対策  
廣田 知良
- 22 **5** ブドウ着色不良の発生拡大を予測する  
杉浦 俊彦
- 26 **6** 畜産における地球温暖化対策  
長田 隆
- 30 農村地域におけるメタン発酵を中核とした資源循環システムの構築  
中村 真人
- <トピックス>
- 34 ▶気候変動に関する国際動向と農研機構の貢献  
白戸 康人
- 36 ▶FACE実験からの知見、世界で、日本国内での貢献  
長谷川 利拡
- 38 温故知新

# 特集 気候変動

CO<sub>2</sub>  
407.8ppm

2018

特集によせて

## 気候変動に立ち向かう

農業環境変動研究センター所長 渡邊 朋也

WATANABE Tomonari

将来、地球温暖化のより深刻な影響を受けるのは私たちの次の世代以降。だからこそ、今、しっかりと緩和策や適応策の開発を進める必要があります。科学的根拠に基づく研究成果の発信と、それらを活用した農業生産現場で実効性のある対策技術の適用の両面から気候変動に立ち向かいます。

世界気象機関 (WMO) は、2019年11月に温暖化の原因となる二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) などの温室効果ガス (GHG) の世界平均濃度が、2018年にこれまでの最高に達したと発表しました。また、国連環境計画 (UNEP) は、「排出ギャップレポート2019」で、2018年の世界のGHG排出量が過去最高の553億トン (CO<sub>2</sub>換算) であったと報告しました。

10年ほど前なら、これらのニュースはまだどこか遠くの国の話のように聞こえていたかもしれません。しかし、ここ数年の猛暑や頻発する気象災害を経験した私たちは、気候変動がすでに身近な自然界や人間社会に大きな影響を及ぼしており、将来さらに拡大する可能性があることを実感しています。

農業においても、高温による農畜産物の品質や生産量への影響がすでに顕在化してきています。このため、気候変動が農業に与える影響を将来にわたって予測し、可能な対策オプションを準備しておくこと (影響評価) や、すでに顕在化している問題への対策技術の開発 (適応策) は喫緊の研究課題です。

2015年の気候変動枠組条約締約国会議 (COP21) で採択され、2016年に発効した「パリ協定」は、すべての締約国が温暖化の原因となるGHGの削減に取り組むことを約束した枠組みであり、「世界の平均気温上昇を産業革命以前から2°C以内に抑える」こと、さらに「1.5°Cに抑えるための努力を追求する」ことが謳われています。ところが、先に紹介したUNEPのレポートによると、この

目標を達成するためには2030年までにGHG排出量を現在の1/3~1/2以下にする必要があり、世界中の国々はきわめて大きな削減目標を具体的に設定することが求められています。農林業・土地利用からのGHG排出量は、日本においては国内総排出量の4%弱ですが、世界全体では総排出量の約1/4を占めています。そのため農業分野からのGHG排出削減技術の開発 (緩和策) は、国際的な課題であり責務です。

農研機構では、気候変動への対応を重要な研究課題と位置づけ、北海道から九州に至る各地域農業研究センター、専門研究部門、重点化研究センターが一体となって取り組んでいます。影響評価・適応策・緩和策をより実効的なものにするために、将来の気候影響を見越した適応策や、生産安定やコスト削減に対応した緩和策など、お互いが密接な関係を保ちながら技術開発を進めています。

将来、地球温暖化のより深刻な影響を受けるのは私たちの次の世代以降になります。そのときの気候変動による農業影響は現時点では不確実性を伴ったものにならざるを得ません。だからこそ、将来にわたって持続的で安定した食料生産を目指し、緩和策や適応策の開発を今しっかりと進める必要があります。私たちは、科学的根拠に基づく研究成果の発信と、それらを活用した農業生産現場で実効性のある対策技術の適用の両面から気候変動に立ち向かっています。

CO<sub>2</sub>  
277.4ppm — 1750

# 世界の食料機関に向けた 穀物収量変動予測サービス

飯泉 仁之直

IIZUMI Toshichika

## はじめに

農研機構農業環境変動研究センターはAPEC気候センター (APCC) ※1と共同で、主要穀物の収量変動に関する予測情報を全球を対象として毎月作成しています。これは農研機構とAPCCとの共同研究の中で、2019年6月から始まった新たな試みです。図1は予測の一例で、2019年9～12月に収穫されるトウモロコシについての予測を2019年7月下旬に行ったものです。この予測の作成には、本共同研究で開発された全球作物収量変動予測システム<sup>1)</sup>を利用してしています。このシステムの活用の一例として、世界の食料機関向けにトウモロコシ、コムギ、コ

メ、ダイズの収量変動についての予測情報を提供するサービスを試験運用しています。

## 全球を対象とした 収量変動予測サービスの特徴

本サービスで提供するものは、これから収穫される今作期と前年 (同作期) との収量差で、直近3年間の平均収量に対する割合で表されます。予測対象が収量の前年差であり、収量の値そのものを予測する「収量予測」とは異なるため、本サービスでは「収量変動予測」と呼んでいます (図2)。

今期の収量の前年差を予測します (図3)。収量モデルには、気温と降水量に対する収量応答の作物間の違いに加えて、栽培時期・地域の違いなども考慮されています。

毎月作成される予測に含まれる情報は2種類です。一つは収量の前年差の予測値のグローバルマップ (図1)、もう一つはメッシュごとの予測値を国単位で集計して得られた国平均の収量前年差の予測値です (図4)。収穫期までの時間 (リードタイム) が短いほど予測精度は高く、リードタイムが長いほど予測精度は低くなります。このため、国平均の収量前年差を予測する際には、予測精度の指標の一つとして予測した収穫面積割合をリードタイムごとに表示しています。フィリピンのコメの予測の例では、7月に作成された予測 (図4上) では、収穫面積

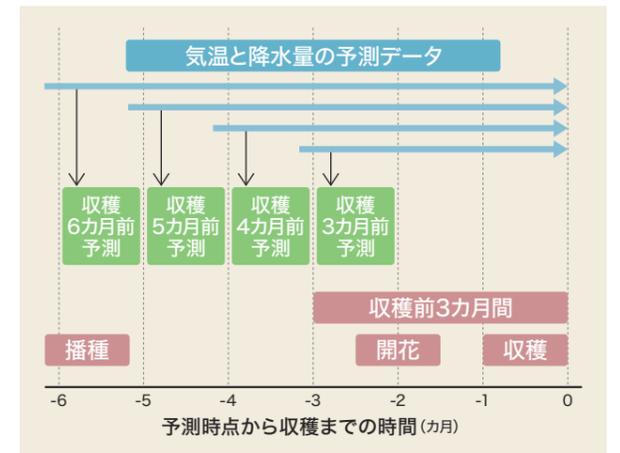


図3 本サービスにおける収量変動予測の概略  
APCCでは毎月25日に来月以降の将来6カ月間の気温と降水量の予測データを作成します。気温と降水量の予測期間が収穫前3カ月間と一致した地域・作物について収量変動予測を行います。

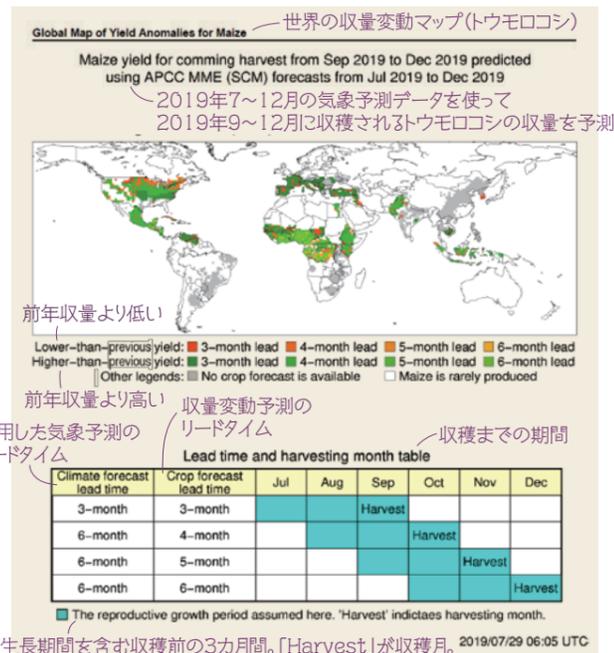


図1 2019年7月29日に作成された3～6カ月前のトウモロコシの収量変動予測の例  
実際の予測レポートの表示例 (英語表記) に一部和訳を加えたもの。同年9～12月に収穫される地域が予測対象となります。

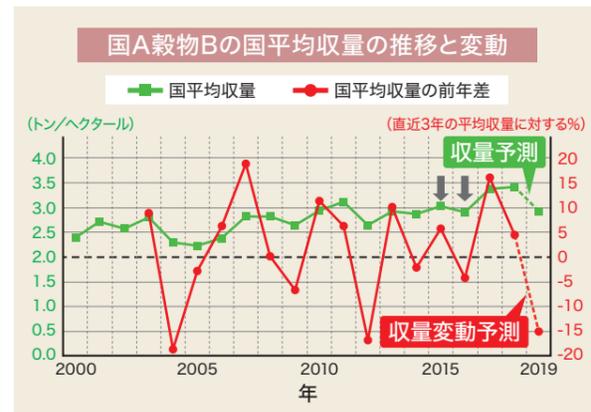


図2 本サービスが提供する収量変動予測と既存の収量予測の相違点  
2016年は2015年に比べて収量が低い (緑線と矢印)。このため、2016年の収量の前年差は負の値となります (赤線)。

APCCでは毎月25日にAPEC加盟国の10を超える気象機関から提供される気温と降水量の予測データを平均化した予測を公表します。この気象予測データを農研機構が開発した統計収量モデルに入力し、APCCのハイパフォーマンス・コンピュータ上で収穫3～6カ月前に

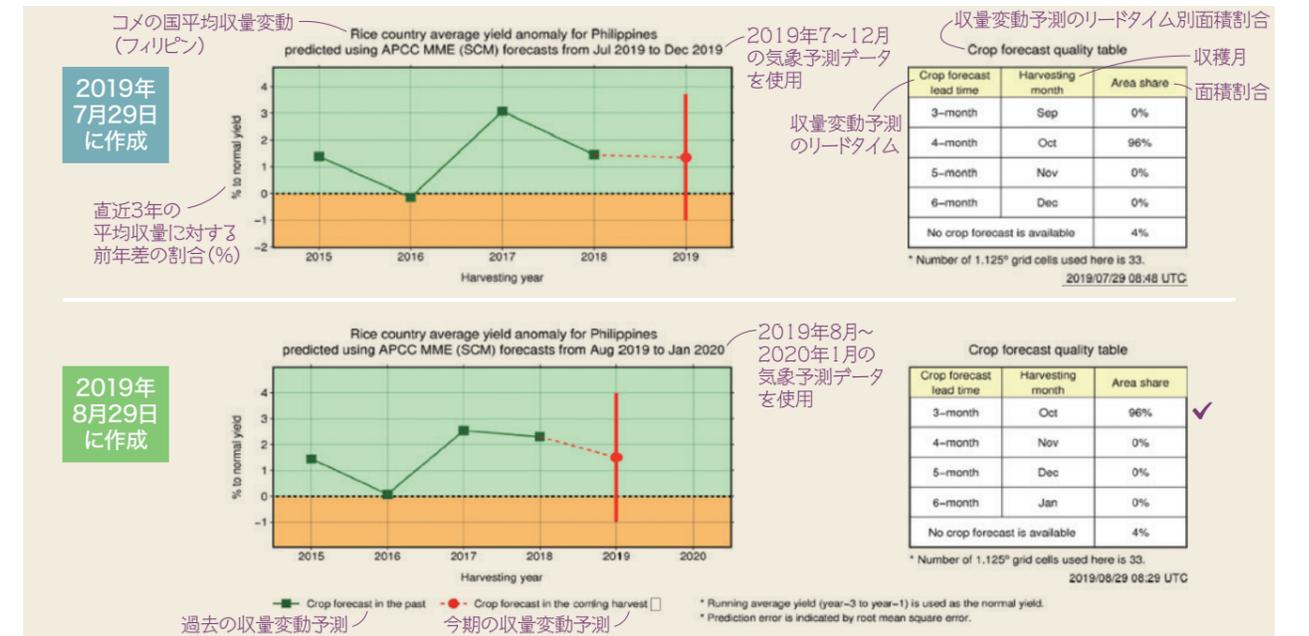


図4 フィリピンのコメの収量変動予測の例  
国平均の予測レポートの表示例 (英語表記) に一部和訳を加えたもの。国平均の収量変動予測のグラフ (各図左) とリードタイムごとの収穫面積割合 (各図右) が示されています。コメ収穫時期に近づくほど (上図→下図)、収穫面積の大半をカバーするリードタイムが短くなり (下図表✓)、予測精度は高くなります。

の大部分(96%)が収穫4カ月前予測から構成されていますが、1カ月後の8月の予測では、大部分が収穫3カ月前予測から構成されることとなります(図4下)。

収量変動の予測精度を評価する指標の一つとしての的中率があります。対象とする国や穀物により異なりますが、例えば、日本のコムギの主要な輸入先であるオーストラリアについてのコムギの予測では、収量変動の的中率<sup>※2</sup>(過去32年間について予測と実績を評価)は81%に達します(図5)<sup>1)</sup>。なお、収量変動予測では今期の収量が前年よりも高いか低いかがのみが予測対象であり、前年

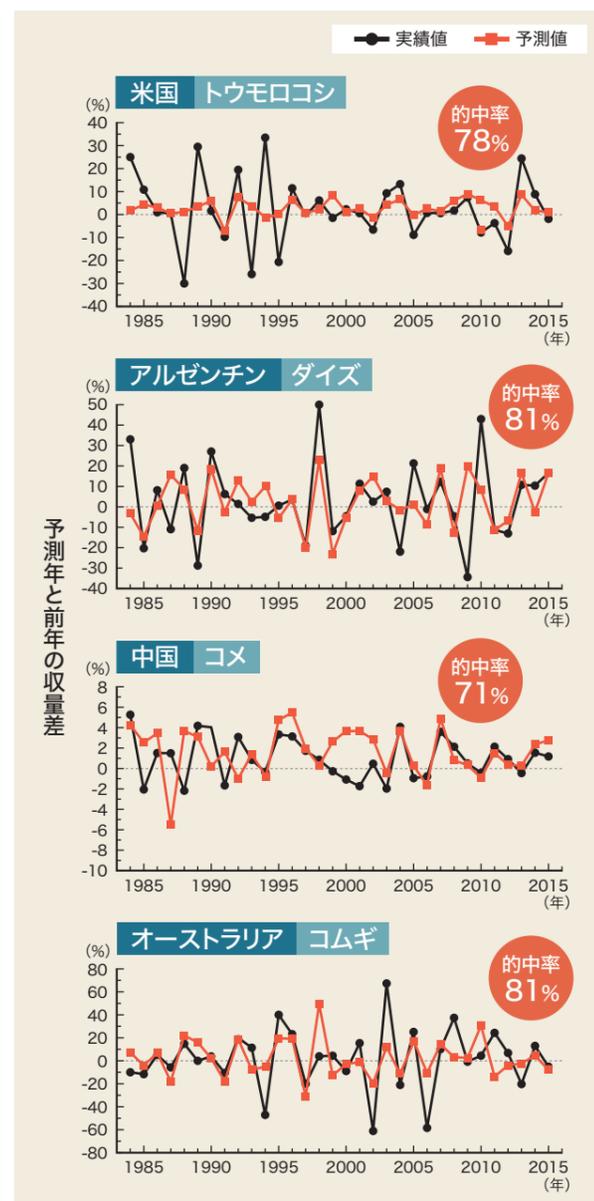


図5 収穫3カ月前に予測した主要生産国における国平均収量変動の実績値(●)と予測値(■)

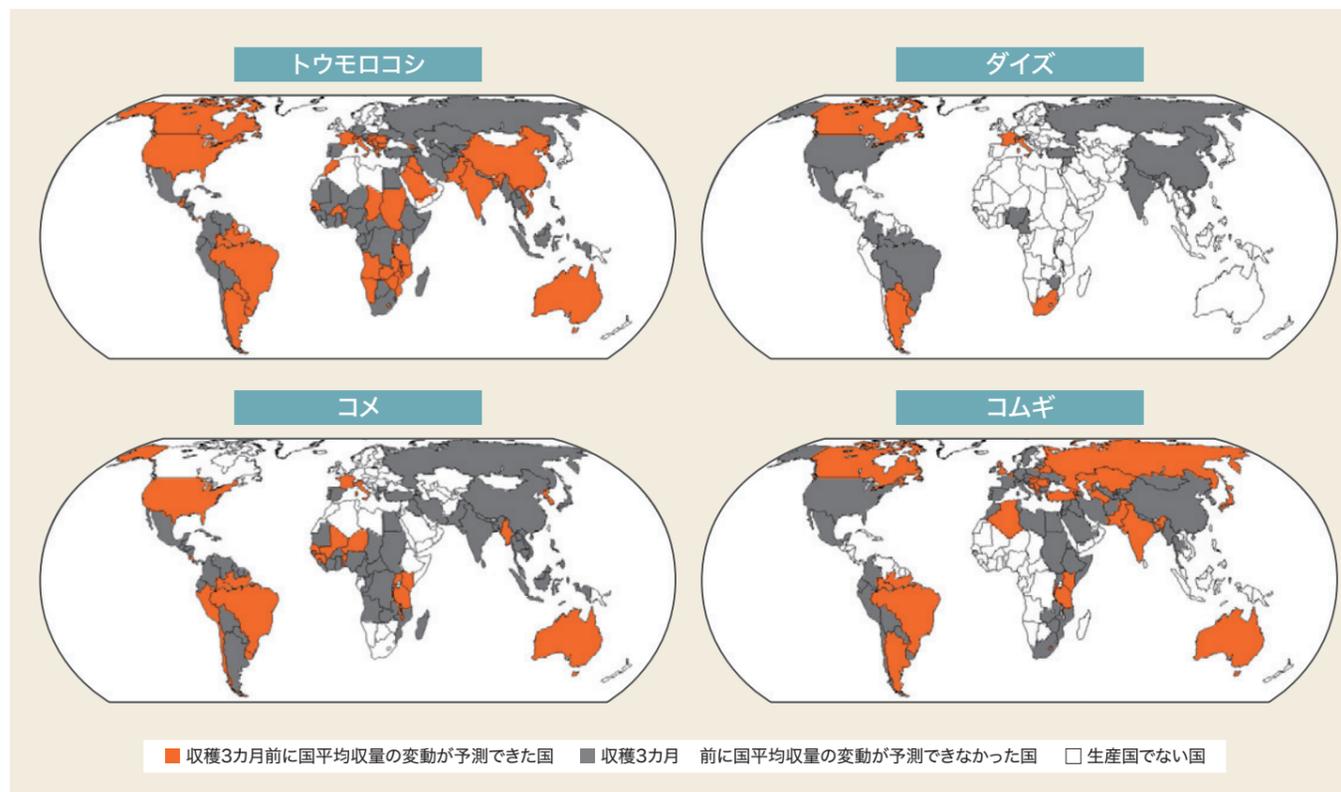


図6 収穫3カ月前に国平均収量の変動を予測できた国  
32年間(1984~2015年)の予測結果を用いて、「今期は前年の収量よりも低下する」あるいは「今年は前年の収量よりも増加する」という予測の的中率が、空振り率よりも常にある程度高い場合に「予測できた」としました。

差の大小は評価対象ではないことに注意が必要です。収穫3カ月前に国平均の収量変動を予測できる国には、トウモロコシでは米国、ブラジル、アルゼンチン、ダイズではアルゼンチンやカナダ、コムギではロシア、カナダ、オーストラリアといった主要輸出国が含まれます(図6)。

予測情報はリクエストに応じて提供されます。農林水産省大臣官房政策課食料安全保障室や農林水産政策研究所など国内外の食料機関や研究機関に提供されています。2019年10月にリオデジャネイロで開催されたAMIS<sup>※3</sup>の情報グループ会合において、20を超える国と国際機関に本サービスを紹介する機会がありました。現在、AMISでは穀物のグローバルな生育監視情報をGEOGLAM<sup>※4</sup>から得ています。衛星リモートセンシングは現況の把握には有用ですが、衛星データのみで収穫3カ月前に収量予測を行うことは困難です。このため、今後、GEOGLAMと協調して、本サービスの予測情報をAMISに提供することを目指す予定です。

### おわりに

既存の収量予測は国や地域ごとに行われる場合が多く、全球を対象とした予測はほとんど例がありません。多くの国では食料の輸入割合が増加しており、自国の生産状況の把握に加えて、主要輸出国・輸入国の穀物生産の動向を予測することが今後ますます重要になっています。本サービスはそうした必要性に応えるためのものです。また、気候変動に伴う近年の異常天候により、いくつかの国・地域で穀物収量が不安定化しています<sup>2)</sup>。本サービスは、異常天候の穀物生産への影響とそれに伴う農産物市場への影響に対する方策を、食料機関などが予め準備するうえでも役立ちます。このように、本サービスは気候変動適応技術としての側面も持っています。

現在、農研機構とAPCCの共同研究は4年計画の3年目を迎えています。本サービスの試験運用を2019年6月に開始して半年が経過し、予測情報を閲覧した食料機関関係者などからフィードバックが寄せられています。これらはシステムとサービスの改善や収量予測において

解決すべき科学的・技術的課題を整理するために活用されます。例えば、穀物市場関係者からは米国についての予測を州別で行ってほしいとの要望が寄せられていますが、それを実現するためには、空間解像度が高い栽培暦データ<sup>※5</sup>を整備し、州内における作物の生育期間の地域差を考慮する必要があります。本サービスの試験運用は、最長の場合で、共同研究が終了する2021年3月までです。本サービスを正式なサービスとしてAPCCで継続運用するかどうかは共同研究の終了時にAPCCと農研機構が協議して決定する予定です。

本サービスがAPCCで継続運用される場合にも、将来の予測システムの更新を見据えて、より高度な予測手法についての研究開発が必要です。農研機構では茨城大学と共同で、文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費を活用し、世界のコムギを対象に、より精度の高い収量予測手法の開発に取り組む予定です<sup>3)</sup>。

(農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域)

### 用語解説

- ※1 **APEC気候センター (APCC: APEC Climate Center)** 韓国気象庁が所掌する気象機関。研究部門と現業部門があり、現業部門はAPEC加盟国の政府機関を主な対象として、気温と降水量について季節予測情報を提供しています。研究部門は、気象条件の影響を受けやすい農業や水資源、災害リスク管理などの分野において季節予測データを活用するための研究を行っています。
- ※2 **収量変動の的中率** 過去32年間(1984~2015年)について、予測と実績を評価して算出。収量が減少した年11ケース(実績13ケース)と収量が増加した年15ケース(実績19ケース)で予測が的中したための的中率は81% $(11+15)/32 \times 100$ と計算されます。
- ※3 **AMIS (Agricultural Market Information System)** 農業市場情報システム。国際農産物市場の透明性を高め、食料価格高騰などの危機の際に国際的な政策調整を促進するための世界の主要な食料機関の間のプラットフォームのこと。
- ※4 **GEOGLAM (Group on Earth Observations Global Agricultural Monitoring)** 地球観測に関する政府間会合による全球農業モニタリングイニシアティブのこと。2011年G20農業大臣宣言に基づいてAMISと共に設置され、世界の主要な宇宙開発機関が参加しています。
- ※5 **栽培暦データ** 播種日や収穫日など作物の生育時期を特定するためのデータ。

### 参考文献

- 1) Iizumi, T. et al. (2018) Global crop yield forecasting using seasonal climate information from a multi-model ensemble. *Climate Services*, vol.11, 13-23.
- 2) 農業環境技術研究所プレスリリース(2016-3-28) 過去30年間に穀物収量が不安定化した地域と気候要因の寄与を明らかに。  
<http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/techdoc/press/160328/> (参照 2020-1-6)
- 3) 茨城大学と農研機構の共同プレスリリース(2019-10-17) 全世界のポイントの農産物の収量予測を取得できるシステムの開発に着手。衛星データ×気象季節予報×作物育成シミュレーションを融合。2021年実装めざす。  
<https://www.ibaraki.ac.jp/news/2019/10/17010562.html> (参照 2020-1-6)

# わが国のコメ生産における気候変動影響予測と適応策

石郷岡 康史

ISHIGOOKA Yasushi



## はじめに

コメはわが国の主食であり、最も主要な作物の一つです。そのため変動する気候条件の下での安定生産は、食料安定供給の面で極めて重要な課題と認識されています。過去、わが国のコメ生産における気候変動影響といえば、主に冷害による減収を指していましたが、特に1990年代以降は高温傾向となり、白未熟粒の発生や1等米比率の低下などの品質への影響が顕著に見られ、さらに2010年のような極端な高温年には、一部の地域で収量の減少も確認されています。そのため、現在は冷害と高温の両方への対策が求められています。

一方、大気中の二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)濃度は増加し続けており、最近では年平均で400ppmを超える状況です(2018年の世界の平均濃度は407.8ppm)。今後、最大限の温室効果ガス削減努力を行ったとしても、温暖化を完全に防止することはできないため、農業生産への種々の高温影響が頻繁に現れるようになることが予想されます。

農研機構では、いくつかの将来気候予測値を使用し、わが国のコメの収量および品質への影響予測を行い、予測結果に基づき影響を軽減するための適応策とその効果についての評価を実施しています。本稿では、今後約100年の間に予測される気候変動条件下における影響評価結果の概要と、適応策の事例としてコメの生産体系の主力である水稲の移植栽培で移植日を移動した場合の効果について紹介します。

## モデルを用いてコメ生産への影響を評価

**生産・収量**：与えられた気象条件や栽培条件でのコメ収量は、影響評価モデルとして導入された水稲生育・収量予測モデル<sup>1)</sup>により計算できます。このモデルは、①発育段階、②バイオマス生成、③収量形成の3つのサブモデルにより構成され、移植日を起点とした日々の気象値(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)から、発育段階(幼穂形成期、出穂期、成熟期)や光合成によるバイオマス生成量、収穫指数(全バイオマスに対する子実部分の割合)を、それぞれ算出します(図1)。その際、CO<sub>2</sub>濃度上昇による光合成活性の増大(CO<sub>2</sub>施肥効果)によるバイオマス増加も考慮されています。なお、モデルパラメータは国内主要15品種について準備されています。

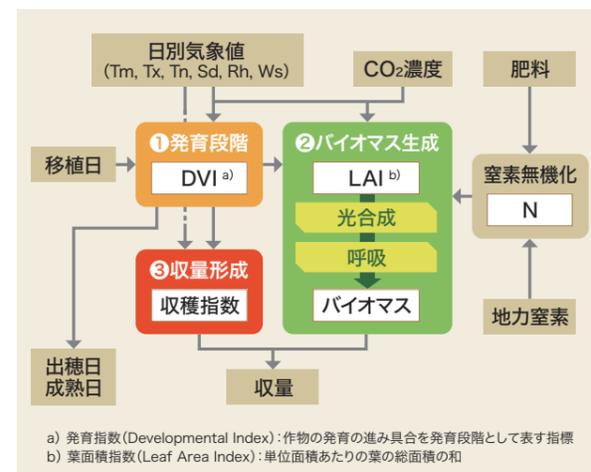


図1 水稲生育・収量予測モデルによる計算フロー

**品質**：品質については、出穂後20日間の日平均気温26°C以上の積算値(HDm26)と1等米比率との関係が比較的明瞭であること<sup>2)</sup>を利用し、HDm26を高温による品質低下リスクを表す指標として用いました。ここでは、都道府

県ごとに集計したHDm26値と1等米比率との関係を参考に、以下の基準でリスクの度合いを表すこととします。

0°C日 ≤ HDm26 < 20°C日	高温による 品質低下リスク低	Class A
20°C日 ≤ HDm26 < 40°C日	高温による 品質低下リスク中	Class B
40°C日 ≤ HDm26	高温による 品質低下リスク高	Class C

## 気候変動に適応した移植日の移動

気候変動によるコメ生産への高温影響を軽減するための適応技術として、移植の時期を移動し、高温に敏感な発育ステージを高温期から回避させることが有効な方法です。図2は、気候変動条件下における最適移植日の選択方法の一例を収量と品質の両方の観点から模式的に表したものです。2つのグラフは、移植日を現行の移植日(ここでは5月11日)から早期および晩期に1週間ごとに移動させた条件でモデルで算出したコメ収量の20年間(1981~2000年)の平均値と前述の品質低下リスクによる3つのクラスの構成割合を示したものです。上図は温度上昇なし、下図は2°Cの温度上昇させた場合の結果です。温度上昇なしの場合、現行の移植日(5月11日)における収量がモデル計算上も最も多くなり、また品質低下リスクが低いClass Aが殆どを占めていることから収量面でも品質面でもこの日が最適移植日であると判断されます。一方、2°C上昇条件の場合、収量が最多になる移植日は現行の移植日より2週間ほど早くなりますが、品質低下リスクが高いClass BおよびCの構成割合が高くなります。また、品質低下リスクの少ないClass Aの収量が最多となる移植日は現行よりも2カ月近

く遅くなります。すなわち、この例の場合には、収量と品質のどちらを重視するかによって、適応策としての最適移植日の選択が全く異なることを示しています。

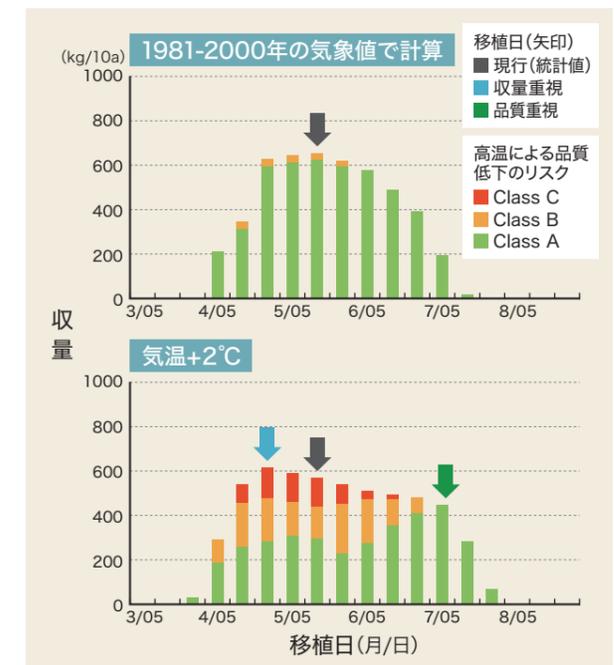


図2 温度上昇に対する移植日の移動による適応とその効果(長野県松本市付近における例)  
上図は1981~2000年の気象値をそのまま使用(温度上昇なし)、下図は気温のみ2°C温度上昇させた同期間の気象値を使用した計算結果。

## モデル計算の方法

モデル計算は、日本国土を約10kmごとで格子状に分割した二次メッシュを基準として、水田が存在するメッシュを対象として実行しました。施肥体系や移植日などの各種栽培管理情報については、行政区画ごとの統計資料の値を各メッシュに割り当てました。品種は、都道府県別統計資料(農林水産省)より、2006年の各都道府

県において栽培面積が最大である品種を抽出し、当該都道府県内の各水田メッシュの基準栽培品種としました。

気象データとして用いる将来気候予測値は、IPCC第5次報告書<sup>※1</sup>に向けて準備されたCMIP5気候シナリオ<sup>※2</sup>から、3つの温室効果ガス排出経路 (RCP) <sup>※3</sup>による6つの気候モデル (GCM) の出力結果の、合計18種の気候シナリオを用いました。モデル計算の対象期間は、1981～2100年の120年間で、各要素別に1981～2000年の実測データに基づく平年値を基準として、累積密度関数法によりバイアス補正を行い、モデル計算用の入力データとして整備しました<sup>3)</sup>。

イネの移植栽培の適応オプションの一つとして移植日移動の効果を明らかにするため、統計データから各メッシュに割り当てられた移植日をメッシュごとの現行移植日とし、この日を基準に-70～+70日の範囲で7日間ごと(21パターン)に移動させ、それぞれの移植日について各年のモデル計算を行いました。ここでは、気候変動条件下におけるコメ収量および品質への影響に対する適応策として、移植日移動の効果のみを明確に示すことを目的とし、それ以外の各種栽培条件は現行条件で固定することとしました。

### 予測される気候変動によるコメへの影響

試算結果の一例として、RCP8.5による気候モデルHadGEM2-ES (比較的温地上昇が大きい気候シナリオ) を使用して算出した、2031～2050年 (近未来) および2081～2100年 (今世紀末) の20年平均収量 (基準期間とした1981～2000年の20年平均収量を100とした相対値) の分布図と、20年ごとの全国の収量集計値 (全生産量) と、その品質低下リスクの度合いによる3つのクラスの構成割合の推移を示します (図3上)。

この例では、近未来には、北日本や東日本山間部では、温度上昇により低温による減収が解消されており、加えてCO<sub>2</sub>濃度上昇による施肥効果により顕著な増収がみられます。一方、現状で既に高温が制限要因となっている東日本平野部から西の地域では、さらなる高温により減収傾向が助長され、CO<sub>2</sub>濃度上昇による増収効果が相殺されると考えられます。この特徴は今世紀末にさらに顕

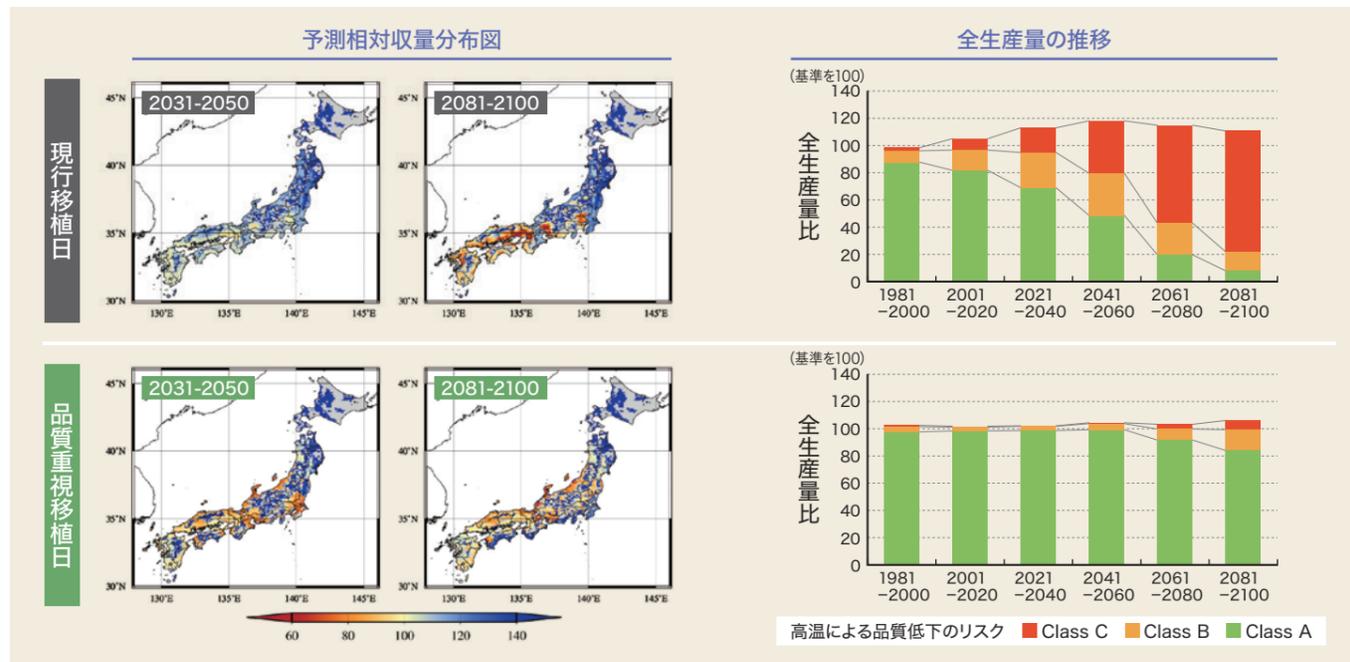


図3 予測収量分布図と全生産量の推移  
左図は2031～2050年(近未来)および2081～2100年(今世紀末)の20年平均収量(基準期間とした1981～2000年の20年平均収量を100とした相対値)、右図は20年ごとの全国の収量集計値(全生産量)と、その品質低下リスクの度合いによる3つのクラスの構成割合の推移。

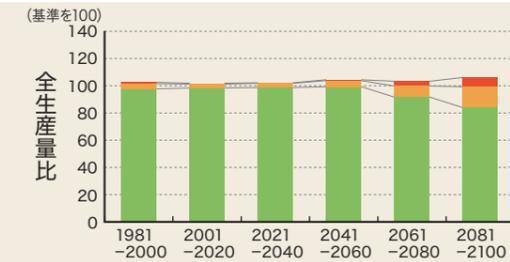
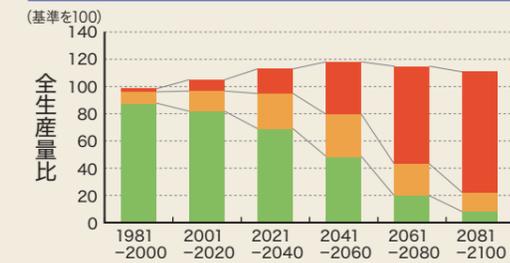
著になり、特に関東地方から西の平野部では高温不稔の発生により収量が大きく減少すると予測されております。

全生産量は今世紀半ばにかけて微増し、その後今世紀末にかけて減少しますが、全期間を通して基準期間(1981～2000年の20年平均)より減少することはないと算定されました。一方、高温による品質低下リスクが高いClassCの割合は年代とともに増加し続け、今世紀末には約80%を占めるようになります。つまり、日本全体では生産量は大きく変わらないが、品質に深刻な影響が出ると予想されます。

### 移植日移動による適応の効果

高温による品質低下リスクを最小限にするため、各メッシュでClassAに分類される収量が最も多くなるような移植日を20年ごとに見直し、これに基づいて収量を算定しました (図3下)。その結果、適切な移植日を選択することで、日本全体では生産量、品質とも期間を通して維持できることがわかりました。しかし、収量分布図を見ると、一部地域で収量が大幅に減少しており、収量

### 全生産量の推移



高温による品質低下のリスク Class C Class B Class A

の地域的な偏りが大きくなるのがわかります。地域によっては移植日の移動のみでは気候変動への適応が不十分であり、他の適応技術と組み合わせた対応が必要になると考えられます。

### 影響評価の不確実性

上記の例 (図2、3上) は、比較的温地上昇の大きい気候シナリオによる一つの結果であることに注意が必要です。気候予測には不確実性があり、RCPのレベルによって違いがあるだけでなく、同一RCPでも用いる気候モデルにより予測には幅が生じます。図4は、今回使用した18種全ての気候シナリオによる現行コメ生産量算定値 (相対値) の推移と予測の幅を示したもので、左図が全生産量、右図がClassAのみの生産量を表しています。全生産量は、今世紀末にかけて平均で約20%の増加が見込まれており、気候シナリオによる予測の幅は比較的小さいのに対し、ClassAの生産量は期間を通して大きく減少する傾向を示しますが、予測の幅は後半ほど大きくなるのがわかります。そのため、特に品質を保つための適応策を考える上で、年代が進むほど影響評価結果の不確実性が大きくなることを考慮に入れることが大切です。

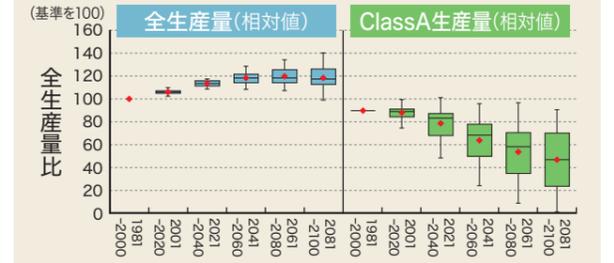


図4 18種類の気候シナリオによる収量予測の幅 (箱ひげ図、赤色シンボルは平均値)  
左図は全生産量、右図はClassAのみの生産量(基準期間とした1981～2000年の20年の平均を100とした相対値)。

### おわりに

本稿では、予測される将来の気候変動条件下においてわが国のコメ収量と品質に生じうる影響に対する適応策として、移植日の移動が一定の効果を示すことを明らかにしました。ただし、今回の影響評価では、病害虫や台風による風水害や潮風害等といった減収要因はモデルに含まれていないため、結果を解釈するに当たっては、気候変動に伴うこれらの発生状況の変化についても考慮に入れることが必要です。今回は適応策として移植日の移動のみを検討しましたが、実際には高温耐性品種の導入等、様々な適応技術オプションの組み合わせ、地域のニーズに応じた適応策として実装することが重要です。

(農業環境変動研究センター 気候変動対応研究領域)

### 用語解説

- ※1 IPCC第5次報告書(AR5) IPCC(気候変動に関する政府間パネル)より2013年から2014年にかけて公表された報告書。第1作業部会(自然科学的根拠)、第2作業部会(影響・適応・脆弱性)、第3作業部会(気候変動の緩和)の3部により構成される。
- ※2 CMIP5気候シナリオ 第5期結合モデル相互比較計画(CMIP)に参加した気候モデルによる将来気候予測値。世界で50以上の気候モデルが参加し、主にIPCC第5次報告書で使用された。
- ※3 温室効果ガス排出経路(RCP) 主にIPCC第5次報告書で使用された将来の温室効果ガス濃度変化を仮定したシナリオであり、代表的な経路として4つのシナリオ(RCP 2.6、RCP 4.5、RCP 6.0、RCP 8.5)が設定されている(数値は2100年時点での放射強制力を表し、数値が大きいほど温室効果ガス濃度が高い)。

### 参考文献

- 1) 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, Bouman J, Bouman BAM, Jones JW, van Laar HH). Kluwer, Dordrecht, pp. 243-257.
- 2) Ishigooka, Y. et al. (2011) Spatial characterization of recent hot summers in Japan with agro-climatic indices related to rice production. Journal of Agricultural Meteorology, vol.67(4), 209-224.
- 3) Ishigooka, Y. et al. (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, vol.73(4), 156-173.

# 夏季高温による コメの品質低下の克服

中野 洋

NAKANO Hiroshi

## はじめに

近年、水稻の登熟期の高温や日照不足により、白未熟粒や胴割れ粒などの被害粒が多発しています。白未熟粒や被害粒歩合が高く整粒歩合が低い玄米は、品位<sup>※1</sup>が低下するだけでなく、精米歩留まりも低下します。また、白未熟粒歩合が高いと、食味が低下することも指摘されています。したがって、高温や日照不足による玄米品質の低下は、生産者、実需者、消費者といった米のフードチェーン全体に大きな影響を及ぼすため、高温対策技術の開発は喫緊の課題となっています。

## 白未熟粒の種類

登熟期の高温や日照不足で発生する白未熟粒は、胚乳部の横断面に白色不透明な部分がリング状になった乳白粒、胚乳部の横断面に白色不透明な部分が平板状又は紡錘状になった心白粒、基部（胚に近い部位）が白色不透明化した基部未熟粒、腹部（胚と同じ側の側面）が白色不透明化した腹白未熟粒、背部（胚と反対側の側面）が白色不透明化した背白粒などに分類されます（図1）。主食用玄米の品位を決める際の条件に整粒歩合の最低限度があり、整粒が70%以上で1等、



図1 水稻の登熟期の高温や日照不足により発生する白未熟粒

60%以上で2等、45%以上で3等、それ以外は規格外となっており、これらの等級は米の価格に反映されるため、生産者にとって非常に重要になります。

## 白未熟粒が発生する温度

白未熟粒は、登熟期、特に登熟前半の気温が高いと多発することが古くから知られていました。そこで、農研機構九州沖縄農業研究センターでは、全国から「コシヒカリ」の玄米サンプルを集め、白未熟粒の発生歩合と登熟前半の日平均気温との関係を調べました。その結果、白未熟粒は24℃から発生し始め、26℃になると発生歩合が高まることがわかりました（図2<sup>1)</sup>。さらに、登熟前半の日平均気温が28℃から29℃の間では、1℃で10%も白未熟粒の発生歩合が増加していました。

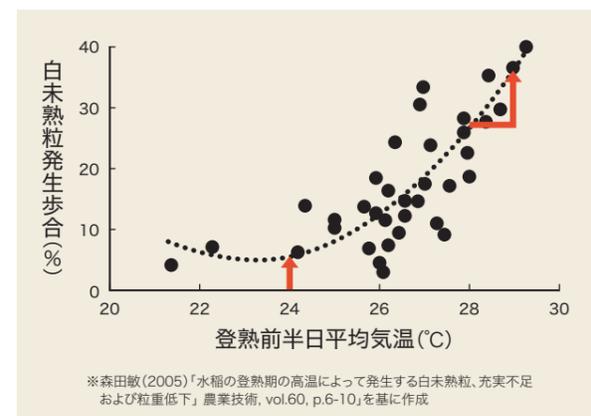


図2 「コシヒカリ」における白未熟粒の発生歩合と登熟前半の日平均気温との関係  
白未熟粒は24℃から発生し始め、26℃になると発生歩合が高まりました。また、登熟前半の日平均気温が28℃から29℃の間では、1℃で10%も白未熟粒の発生歩合が増加しました。

## 高温登熟耐性品種の育成

近年、高温登熟環境下においても玄米の外観品質が低下しにくい品種の育成・普及が、全国的に進んできました。2015年8月に決定された農林水産省気候変動適応計画においても、「今後の品種育成に当たっては、登熟期の高温耐性の付与を基本とする」旨が記載されました。農研機構では、登熟期の高温や日照不足に耐性を持つ「にこまる」を2005年に九州沖縄農業研究センターで育成し、現在、長崎県、岡山県、愛媛県、熊本県、大分県等において普及が拡大しています（図3）。「にこまる」は、高温や日照不足といった不良登熟環境下においても、乳白粒や心白粒などの発生が少なく、玄米外観品質が優れています<sup>2)</sup>。



図3 高温登熟耐性品種のさきがけとなった「にこまる」  
(中央農業研究センター 坂井真氏提供)

2010年は、全国的に記録的な夏季の高温に見舞われました。九州地域では、基幹品種の「ヒノヒカリ」を6月下旬に移植すると8月下旬に出穂し、籾の中に澱粉が十分に詰まった10月上旬に収穫します。この年の九州沖縄農業研究センター（福岡県筑後市）における「ヒノヒカリ」の

登熟前半の日平均気温（ほ場周辺）は、平年に比べ2℃も高い28℃に到達しました（図4）。このため、九州を中心に作付けされている「ヒノヒカリ」の1等米比率は平年値（最近10カ年の平均値）の46%から16%に低下しました。しかし、「にこまる」の1等米比率は平年値（60%）とほとんど変わらない59%に留まり、実力を発揮しました（図5）。

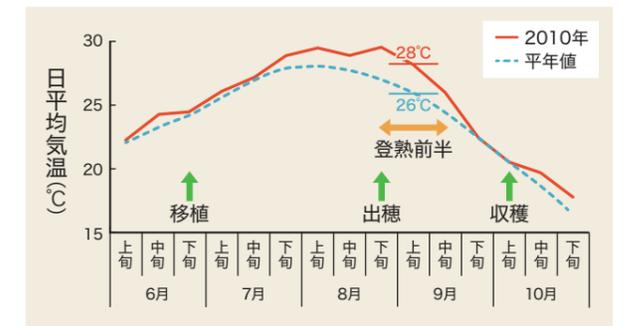


図4 記録的な夏季高温に見舞われた2010年の「ヒノヒカリ」生育期間における気温  
九州地域では、西日本の基幹品種「ヒノヒカリ」を6月下旬に移植すると、8月下旬に出穂します。収穫は10月上旬です。2010年の九州沖縄農業研究センター（福岡県筑後市）における「ヒノヒカリ」の登熟前半の日平均気温は、平年に比べ2℃も高い28℃に到達しました。



図5 全国的に登熟期が記録的な高温に見舞われた2010年に九州沖縄農業研究センターで収穫された玄米  
「にこまる」は「ヒノヒカリ」に比べ、白未熟粒の発生を抑えました。  
(中央農業研究センター 坂井真氏提供)

九州各県では、高温登熟耐性品種のさきがけとなる「にこまる」が育成された後、独自の耐性品種の育成が進み、福岡県では「元気つくし」や「実りつくし」、佐賀県では「さがびより」、熊本県では「くまさんの力」や「くまさんの輝き」、宮崎県では「おてんとそだち」、鹿児島県では「あきほなみ」や「なつほのか」などが育成され、現在、普及が拡大しています。なお、「実りつくし」および「なつほのか」は、「にこまる」を片親として育成された品種であり、特に「なつほのか」は育成地の鹿児島県だけではなく長崎県でも栽培面積を拡大しています。また中国地方では、農研機構が育成した「きぬむすめ」（育成：九州沖縄農業研究センター）や、「恋の予感」（育成：西日本農業研究センター）の普及が拡大しています。このほか、東日本においては、高温登熟耐性に関する遺伝情報を活用した耐性品種の育成・普及が進んでいます。さらに最近、農研機構では、「にこまる」にもち病抵抗性を持たせた「にこまるBL1号」（「にこまる」の同質遺伝子系統<sup>※2</sup>）や、トビロウカカ被害が少ない「秋はるか」といった高温登熟耐性と各地で問題となる病害虫抵抗性を兼ね備えた品種の育成に成功し、普及が始まっています。

以上のような高温登熟耐性品種の普及が進むものの、九州地域では、耐性が付与されていない基幹品種「ヒノヒカリ」が依然として作付面積のおよそ40%を占めています（図6）。また、今後一層温暖化が進むと、現在の耐性品種では品質が維持できない可能性もあります。このため、耐性品種の育成だけでなく、高温登熟障害を克服するための栽培技術の開発が強く求められています。

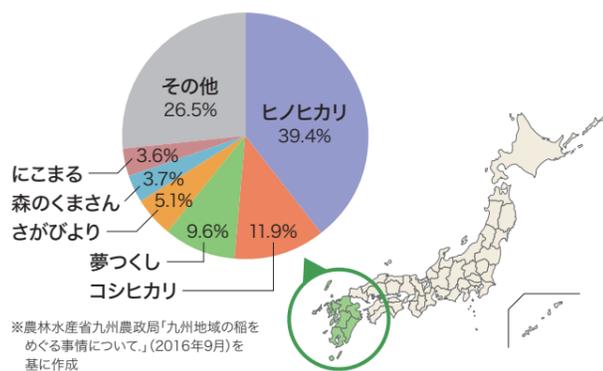
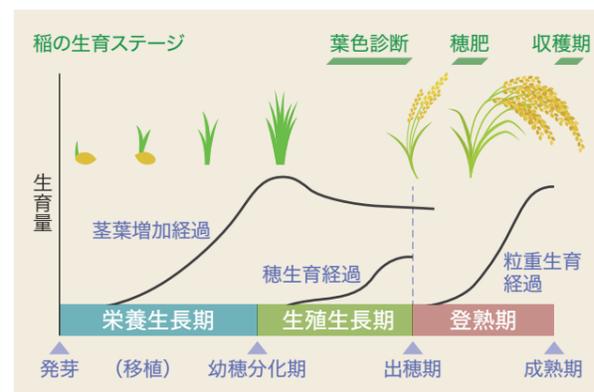


図6 九州地域で作付されている水稻品種(2015年産) 高温登熟耐性品種の「にこまる」や「さがびより」の作付が増えているものの、依然として「ヒノヒカリ」の作付がおよそ40%を占めています。

## 高温登熟に栽培技術で対策

白未熟粒のタイプと気象・栽培条件を比べてみると、乳白粒は登熟前半の日照不足や粒数過多といった1粒当たりに供給される光合成産物の量が不十分な条件で多く発生する一方、基部未熟粒や背白粒は登熟前半が高温で葉色が薄いと多く発生する、つまり、高温登熟環境下でも十分な穂肥を施用すれば基部未熟粒や背白粒の発生を減らせることがわかっています<sup>3)</sup>。そこで、農研機構では、白未熟粒の発生特性と気象予報（農研機構メッシュ農業気象データシステム<sup>※3</sup>）とを組み合わせ、年次による気象の違いに対応しつつ、白未熟粒、特に基部未熟粒の発生を減らす栽培技術を開発しました。「ヒノヒカリ」については、穂前期の葉色を葉緑素計（SPAD）値で35又は葉色板値で4とすることを目標にしています。出穂20～5日前の穂肥時に葉色を診断し、その時点のメッシュ農業気象データで登熟前半が高温になると予想されれば、葉色に基づき穂肥の施用量を増やします（図7）。これに対して、登熟前半が常温又は低温になると予想されれば、慣行に基づいた量の穂肥を施用します。こうした判断により、高温登熟条件下でも基部未熟粒などの白未熟粒歩合の低い米を生産することができます。この技術は、農研機構や株式会社ビジョンテックなどの共同研究グループが開発した「栽培管理支援システム」に「高温登熟障害対策～追肥診断～」として搭載され、試行的な利用が始まっています<sup>4)</sup>。また今後、稲作経営の規模拡大が一層進行すると予想され



「栽培管理支援システム」には「高温登熟障害対策～追肥診断～」が搭載されています。「栽培管理支援システム」は試行的な利用が始まっています。  
https://agmis.naro.go.jp



るため、多数の広い面積のほ場を簡易に生育診断できる方法の開発が期待されています。このため、九州沖縄農業研究センターでは、ドローンなどを使って広い面積のほ場を短時間、かつ、省力的に生育診断できる技術の開発を進めているところです。

このほか、胴割粒については、登熟初期の気温が高く、登熟期の葉色が薄く、収穫時期が遅れると多発することがわかっています<sup>5)</sup>。そこで、農研機構では、胴割粒の発生特性と気象予報とを組み合わせ、年次による気象の違いに対応しつつ、胴割粒の発生を減らす栽培技術を開発しました。この技術についても、「栽培管理支援システム」に「収穫適期診断」として搭載され、試行的な利用が始まっています。



図7 高温登熟環境下においても基部未熟粒の発生を減らす気象対応型追肥法 出穂前の穂肥時に葉色を診断し、その時点で登熟前半が高温になると予想されれば、葉色に基づき増量した穂肥を施用します。

## おわりに

西日本では「ヒノヒカリ」に比べ強い高温登熟耐性を持つ「にこまる」やその後代の「なつほのか」などの普及が進み、東日本では「コシヒカリ」に比べ強い高温登熟耐性を持つ品種の普及が進んでいます。さらに、白未熟粒や胴割粒の発生を減らす気象予報を活用した新たな高温登熟対策栽培技術が開発され、全国的な普及が始まりつつあります。しかし、IPCC第5次評価報告書によると、今後の二酸化炭素の排出量によっては一層の温暖化が懸念されているため<sup>6)</sup>、さらなる高温にも耐え得る品種や栽培技術の開発が必要となっています。近

年、農研機構では、水稻が高温登熟した際のバイオマーカー<sup>※4</sup>の単離・同定に成功しています（図8）<sup>7)</sup>。今後、こういったバイオマーカーを活用した耐性品種の育成等も期待されています。

なお、本研究の一部は、農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」の支援を受けて実施しました。

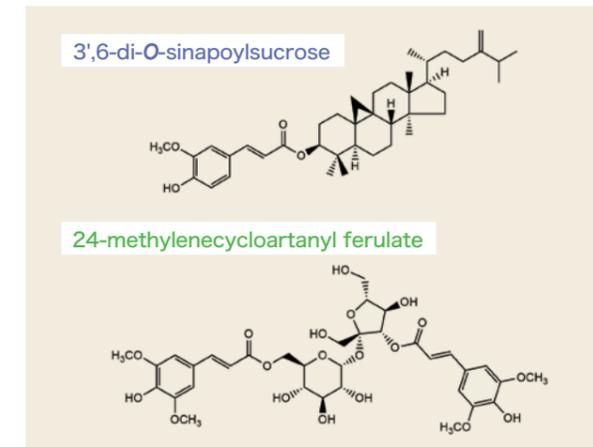


図8 水稻の高温ストレスバイオマーカーの3',6-di-O-sinapoylsucrose および24-methylenecycloartanyl ferulateの化学構造 高温環境下で登熟した玄米では3',6-di-O-sinapoylsucroseや24-methylenecycloartanyl ferulateの含有率が常温環境下の1.6～3.2倍に増加します。

（九州沖縄農業研究センター 水田作研究領域）

## 用語解説

- ※1 **品位** 等級。品位を決める際の項目には、整粒歩合の最低限度や、水分、被害粒、死米、着色粒、異種穀粒および異物の最高限度がある。
- ※2 **同質遺伝子系統** 人工交配により目的とした形質以外を親品種と同じにした系統。
- ※3 **農研機構メッシュ農業気象データシステム** 農研機構が開発・運用する気象データサービスシステム。予報値や過去値を含む全国の日別気象データを約1km四方の単位でオンデマンドで提供する。
- ※4 **バイオマーカー** 生物がストレスなどに反応して濃度を変化させる物質を指す。

## 参考文献

- 1) 森田敏(2005) 水稻の登熟期の高温によって発生する白未熟粒、充実不足および粒重低下。農業技術, vol.60(10), 442-446.
- 2) 坂井真ら(2007) 玄米品質に優れた暖地向き良食味水稻品種「にこまる」の育成について。育種学研究, vol.9(2), 67-73.
- 3) 森田敏(2011) イネの高温障害と対策。農文協, 東京.
- 4) 中川博視(2019) 気候変動対応と営農の効率化に貢献する栽培管理支援システム。農研機構技報, No.2, 6-9.
- 5) 長田健二ら(2004) 登熟初期の気温が米粒の胴割れ発生に及ぼす影響。日本作物学会紀事, vol.73(3), 336-342.
- 6) 環境省(2014) IPCC第5次評価報告書の概要-第1作業部会(自然科学的根拠)-http://www.env.go.jp/earth/ipcc/5th/pdf/ar5\_wg1\_overview\_presentation.pdf (参照 2019-10-12)
- 7) 中野洋ら(2014) 水稻登熟期の高温ストレスにより玄米において蓄積が増加するフェノール性化合物。農研機構, 研究成果情報。https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/nics/2013/nics13\_s03.html (参照 2019-10-12)

# 北海道における土壌凍結深の減少が農業に与える影響と対策

廣田 知良  
HIROTA Tomoyoshi

## 北海道・道東地方における土壌凍結深の長期的減少傾向

北海道の道東に位置する十勝、オホーツク地方は、わが国を代表する大規模畑作地帯です。これらの地域では、冬季に土壌中の水分が凍る土壌凍結が起こりますが、近年、凍結する土の深さ（土壌凍結深）が減少傾向にあります（図1）<sup>1)</sup>。土壌凍結深の減少の要因として、当初は、地球温暖化の影響による冬季の気温上昇が考えられていました。しかし、初冬における積雪深が増加傾向にあり、それにより土壌が寒気から遮断されることで凍結深が減少するというメカニズムが明らかになってきました。土壌凍結深が減少傾向を示し始めた時期は1980年代後半からですが、この時期は北陸地方平野部の降雪深やオホーツク海沿岸部の流水量が減少する時期と一致しており<sup>1)</sup>、進行しつつある気候変動の影響の一部といえます。

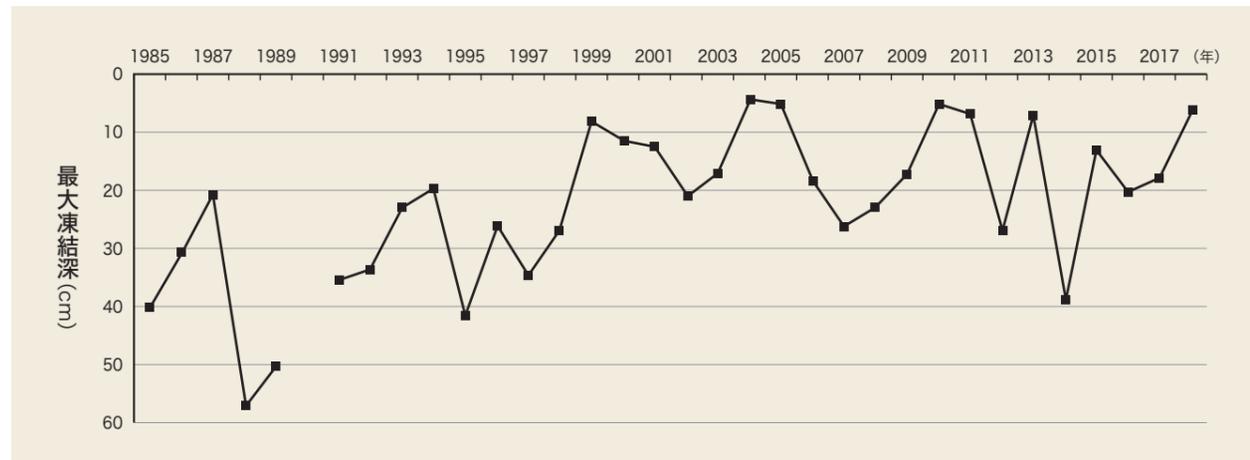


図1 年最大土壌凍結深の経年変化(1985-2018年)  
農研機構芽室研究拠点での観測値。

## 土壌凍結深の減少が農業に与える正負の影響

道東地方でみられる土壌凍結深の長期的な減少傾向は、この地域の農業に影響を与えています。特に北海道・道東地方の畑作地帯において、春季作業遅延の原因となっていた土壌凍結から生じる融雪水の停滞が起きにくくなり、比較的春先の早期に農作業を開始することが可能となりました<sup>2)</sup>。また、牧草生産では、これまで困難であったアルファルファの越冬が可能になり、その結果栽培が拡大しました<sup>3)</sup>。十勝地方のナガイモ栽培では、秋掘り収穫が中心でしたが、春掘り収穫の割合が増加しており、これにより労力や作業、出荷の分散が図られたことなどはメリットといえます<sup>4)</sup>。反面、ジャガイモ（パレイショ）畑では機械収穫後に畑に残った小イモが、これまでは凍結により枯死していたのが、土壌凍結が浅くなることにより越冬可能となり、後作の畑で雑草化（野

良イモ）するという問題を生じるようになってきています<sup>3) 5)</sup>（図2）。野良イモは、次作の作物の生育と競合するばかりでなく、ジャガイモシストセンチュウなどの病害虫の発生要因となるため、防除が必須です。そのため、生産者は人力により野良イモを除去するのに一人当たり1haで数十時間の抜き取り作業を強いられるようになり、機械化や大規模化で効率化が進んだ一方で労働負担の増大につながっています。また、土壌凍結深の減少に伴い、融雪水の土壌浸透が促進されることで、土壌中の窒素の溶脱が起こり、作物の窒素利用効率が低下するだけでなく、地下水汚染など環境負荷の増大も懸念されるようになってきています<sup>2) 6)</sup>。さらに、粘土分を多く含む



図2 小麦畑での野良イモの発生例

低地土や水田転換畑では、土壌凍結深の減少は土壌の碎土性にも悪影響を与えます。特にオホーツク地方の代表的作物であるタマネギでは、土壌の碎土性の低下や窒素溶脱により生産性に悪影響を及ぼしています。

## 土壌凍結深制御手法の開発

土壌凍結深減少から派生する農業問題に対しては、野良イモ対策を契機に気候変動の負の影響に対する適応対策技術として、土壌凍結深制御手法が開発されました<sup>5)</sup>（図3）。具体的には、農地の断熱作用がある雪の、除雪、圧雪、積み上げ（割り戻し）作業を行います。

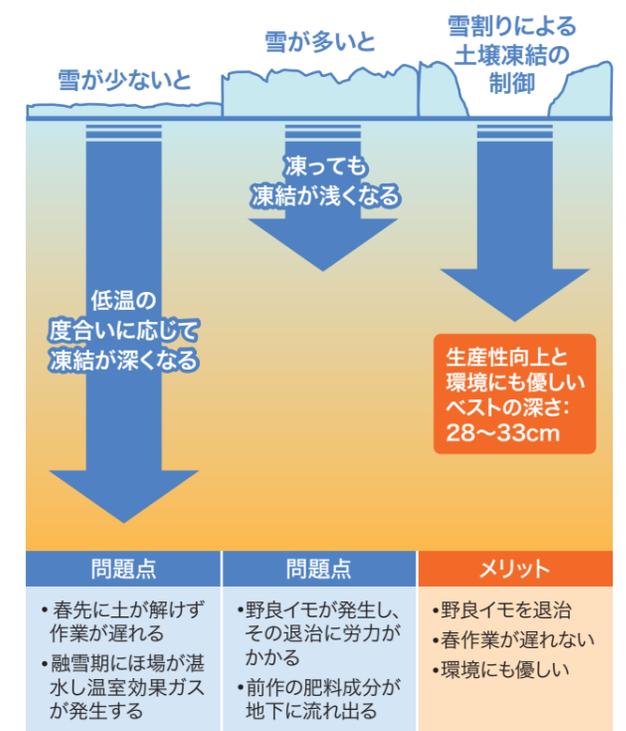


図3 土壌凍結深制御のポイント

この作業を気象データに基づく土壤凍結深の計算結果と照らし合わせて適切に行うことで、土壤凍結深を最適な深さに制御する技術です。この土壤凍結深の制御を気象予測に基づき、生産者自らがウェブを介して「雪割り（ほ場内機械除雪）（図4）」作業計画を立案できるシステムとして実用化しました。本手法により冬の農閑期の機械作業で野良イモ防除が安定的に可能となり、夏の繁忙期の人手による長時間の抜き取り作業から解放され、大幅な省力化と無農薬防除を実現できました<sup>5) 7)</sup>。さらに、野良イモ防除だけでなく、最大土壤凍結深を30cm前後に制御して、融雪水の浸透を適度に抑制することで、窒素溶脱低減効果が保持されて、窒素肥料の地下水への流出の抑制と温室効果ガス(N<sub>2</sub>O) 排出の抑制などの効果を同時に得られることを明らかにしました(図5)<sup>8)</sup>。すなわち、土壤凍結深の適切な制御により寒地農業における生産性向上と環境負荷低減の両立が可能となります。加えて土壌の砕土性や排水性も向上(粘土分の多い土壌) するなど土壌の物理性の改善効果も確認され、タマネギや畑作物などの生産性向上にも寄与することが明らかになりました<sup>9)</sup>。



図4 雪割り(上)と雪踏み(下)

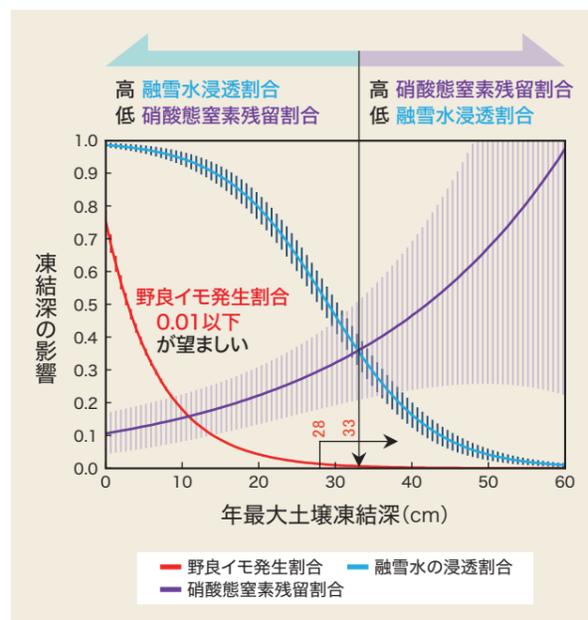


図5 野良イモ発生を抑えつつ融雪水の浸透を妨げず、かつ硝酸態窒素を土に残す土壤凍結深の探索  
「野良イモ発生割合(赤)が低く、融雪水の浸透割合(青)がある程度高く、硝酸態窒素残留割合(紫)が高い土壤凍結深が望ましい。」(Yanai et al. 2017 Scientific Reports)

さらに、土壤凍結を促進・制御する手法として、これまで十勝地方で広まった雪割り（ほ場内機械除雪）<sup>5) 7)</sup>に加えて、雪踏み（ほ場内機械圧雪）<sup>9) 10) 11) 12)</sup>もオホーツク地方を中心に広がり始めています(図4)。凍結促進、制御の手段として雪踏みが加わったことにより、適用条件に十分留意することで、これまで困難とされてきたジャガイモ後作の小麦作においても、野良イモ対策が小麦の生産性と両立する形で適用可能となってきています(道東の畑作地帯ではジャガイモ後は小麦の輪作をすることが多い)<sup>11)</sup>。これらの成果を現場に広げるツールとして、農業気象情報に基づき雪割り・雪踏みの適期作業を支援する「土壤凍結深制御システム」を適用し、雪割りに加えて雪踏み作業の実施を判断するシステムが本格運用段階を迎えています。現在、十勝地方では十勝農協連が運営する営農ウェブシステム「てん蔵」が、オホーツク地方ではJAきたみらいにより気象情報モニタリングシステムが運用されているところです(図6)。雪割りや雪踏みの実施面積は十勝地方で5,300ha、JAきたみらい管内では2,200haに広がっています。

(北海道農業研究センター 生産環境研究領域)



図6 JAきたみらい(オホーツク地方)(左)と十勝農協連のてん蔵(右)で運用されている土壤凍結深制御の情報システムの例

参考文献

- Hirota, T. et al. (2006) Decreasing soil-frost depth and its relation to climate change in Tokachi, Hokkaido, Japan. Journal of the Meteorological Society of Japan, vol.84, 821-833.
- Iwata, Y. et al. (2008) Comparison of snowmelt infiltration under different soil-freezing conditions influenced by snow cover. Vadose Zone Journal, vol.7, 79-86.
- 広田知良(2008) 北海道・道東地方の土壤凍結深の減少と農業への影響. 天気, vol.55, 548-551.
- 広田知良ら(2014) 日本農業気象学会2014全国大会公開シンポジウム報告「北の農業は温暖化にどう向き合っているか?—北海道ブランド力の向上に向けて—」生物と気象, 14, B1-B21.
- Hirota, T. et al. (2011) Soil frost control: agricultural adaptation to climate variability in a cold region of Japan. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, vol.16, 791-802.
- Iwata, Y. et al.(2013) Water and nitrate movements in an agricultural field with different soil frost depths: field experiments and numerical simulation. Annals of Glaciology, vol.54, 157-165.
- Yazaki, T. et al. (2013) Effective killing of volunteer potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers by soil frost control using agrometeorological information-An adaptive countermeasure to climate change in a cold region. Agricultural and Forest Meteorology, vol.182, 91-100.
- Yanai, Y. et al. (2017) Optimum soil frost depth to alleviate climate change effects in cold region agriculture. Scientific Reports, 44860; doi: 10.1038/srep44860
- 小野寺政行ら(2019) 土壤凍結深制御技術による畑地の生産性向上. 北農, vol.86, 122-129.
- Shimoda, S. et al. (2015) Possible soil frost control by snow compaction on winter wheat fields. Journal of Agricultural Meteorology, vol.71, 276-281.
- Shimoda, S. and Hirota, T. (2018) Planned snow compaction approach (*yuki-fumi*) contributes toward balancing wheat yield and the frost-kill of unharvested potato tubers. Agricultural and Forest Meteorology, vol.262, 361-369.
- Iwata, Y. et al. (2018) Effects of a snow-compaction treatment on soil freezing, snowmelt runoff, and soil nitrate movement: A field-scale paired-plot experiment. Journal of Hydrology, vol.567, 280-289.

# ブドウ着色不良の発生拡大を予測する

杉浦 俊彦  
SUGIURA Toshihiko

## はじめに

わが国のブドウ生産量の6割以上を占める「巨峰」「ピオーネ」「デラウェア」は、いずれも近年、夏季の高温で果実の着色が阻害され(図1)、商品性の低下が顕在化しています。ブドウだけではなく、果樹は温暖化の影響が現れやすい作物ですが、その原因は、果樹の気候に対する適応性の幅の狭さにあります。水稻の栽培が北海道から沖縄まで広がっているのに対し、例えばウンシュウミカンの栽培適温は年平均気温で15~18℃の狭い範囲にあるため、その産地のほとんどは、関東以西の太平洋側の海沿いに集中しています。このような果樹栽培では、年平均気温が1℃上昇しただけでも生育への影響を免れない地域が出現することは容易に想像できます。顕在化している問題はブドウ、リンゴ、ウンシュウミカンなどの着色不良をはじめとして、日焼け、発芽不良、果皮・果肉障害など多岐にわたり、現在の果樹生産は、温暖化対策抜きでは考えられません。



図1 ブドウ「巨峰」の着色の様子(左:着色不良、右:正常な着色)

## 温暖化対策に不可欠な被害の発生予測

温暖化の被害を防ぐ対策と、温暖化がもたらす利点の活用とを合わせて温暖化適応策と呼ばれます。果樹の温暖化適応策には3つの段階があります。最初の段階ステージ1は、現在栽培している樹体を活かしたまま、栽培方法の改善による適応策で、最も短期的な対策です。ステージ2は高温耐性品種の導入で、果実が収穫できるようになるまで5年以上かかるため、中期的な対策となります。ステージ3は、栽培地の移動や他の樹種への転換により、その土地でこれまで栽培してこなかった果樹種の栽培に取り組むことです。先を見越した長期的な対策となりますが、適地適作は農業の基本的な考え方です。

ブドウの着色不良に対しては、現在効果が確認されている着果制限<sup>※1</sup>や環状剥皮<sup>※2</sup>の実施、反射マルチ<sup>※3</sup>、植物成長調整剤<sup>※4</sup>、無加温ハウスなどの施設の利用などの栽培技術による対応がステージ1に相当します。また、ステージ2として、「巨峰」より着色の良い黒色ブドウの「グロースクローネ」(図2)、「涼香」などへの改植や、もともと着色の問題が発生しない「シャインマスカット」のような黄緑色の品種を利用することも可能です。ステージ3は日本ではまだこれからですが、海外では赤ワイン用品種の栽培をより寒冷な地域で行うなどの事例があります。

これらの適応策を実施すれば、ほとんどの場合、労力やコストの負担が大きくなります。費用対効果を検討するには、被害の発生予測が不可欠です。ブドウでは着色不良が発生すると後から色をつけるのは困難なので、前述した着色不良対策は、どのステージもすべて予防的対策となります。ステージ1の場合、当年の着色不良の

発生が予測できれば、対策を実施すべきかどうかの判断に役立ちます。改植を伴うステージ2、3では、植付け後数年間の未収益期間があるため、これが大きな負担となります。果樹の場合、同じ樹体で30年程度生産することになり、初期投資を回収することになりますが、その間に温暖化が進行する恐れもあります。このため、改植の判断の際には将来の気候を想定した選択が必要となります。



図2 着色しやすい新品種「グロースクローネ」(2017年に品種登録の出願公表)

## 高温で阻害されるブドウの着色

成熟したブドウの果皮を黒や赤紫に染める色素はアントシアニンですが、高温はその合成を阻害します。高温が原因の着色不良は、食味に悪い影響を与えることはありませんが、外観が劣るため、商品価値が低下します。また、日照不足や着果過多、未熟などが原因で果実の糖度が低下した場合にも着色不良が発生しますが、こうした食味に悪影響がある着色不良と区別しにくいことも、市場評価を下げる要因となっています。現状では着色不良がブドウ栽培で最も多発している温暖化被害となっています。

農研機構では、公設試験研究機関の協力を得て全国18府県のブドウ果皮色と気温の関係を解析し、気温が果皮色に影響を与える時期(以下着色期)や、気温と果

皮色の関係(図3)を定量的に示しました<sup>1)</sup>。図3の縦軸は目視による比色で果皮色を測定するためのカラーチャート(図4)の値です。

ブドウの着色対策のうち、栽培技術による対策(ステージ1)のほとんどは、満開後50日までに実施する必要があります。農研機構メッシュ農業気象データ(<https://amu.rd.naro.go.jp>)などで数十日先までの気温予測データを入手すれば、図3の関係式に適用することで当年の着色不良発生可能性が予測でき、適応策実施の判断に利用できます。

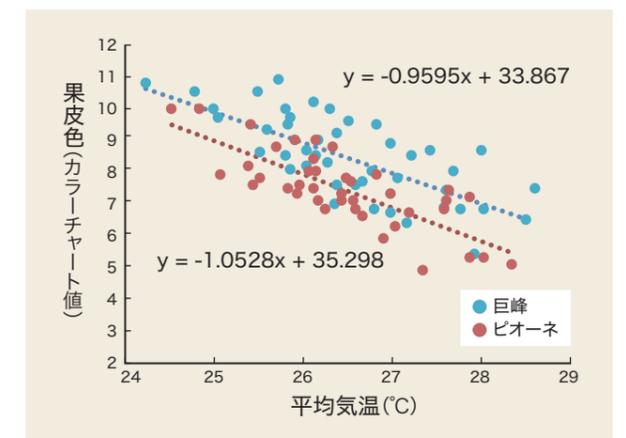


図3 収穫期における果皮色と気温との関係  
横軸は満開後50~92日(「巨峰」)または46~91日(「ピオーネ」)の平均気温。数式はy=果皮色、x=平均気温(℃)。

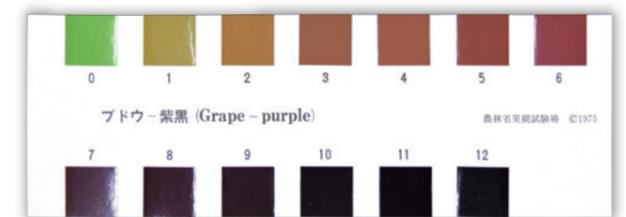


図4 ブドウのカラーチャート ※写真は見本  
農研機構の前組織のひとつである農林省果樹試験場(当時)が開発し、日本園芸農業協同組合連合会から市販されている。

### 将来の着色不良予測マップとその活用

気温が上昇すれば、満開期が早くなるため、着色期も早くなります。そこで、気温から満開期を推定する式(図5)を開発しました<sup>2)</sup>。さらに、図3.5の関係式に気温の予測値<sup>3)</sup>を適用すれば将来の着色の状況をシミュレーションできます。その結果を「巨峰」が栽培されている本州から九州について、マップ(図6)として図示しました<sup>2)</sup>。1981~2000年と比較すると、近い将来(2031~2050年)に着色不良が発生する地域が大きく拡大することがわかります。

適応策の導入効果も推定しました。ブドウ栽培では降雨が病害や裂果の原因になるため、様々なタイプの施設栽培が広く行われています。このうち、無加温ハウスを

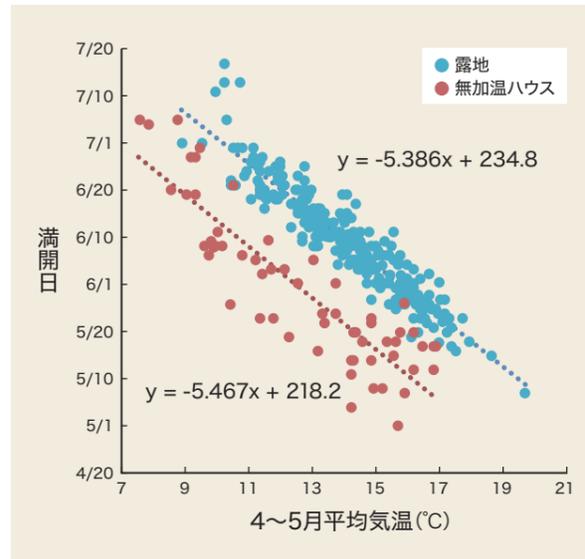


図5 ブドウ「巨峰」の満開日と4~5月の平均気温との関係  
数式はy=満開日(1月1日からの日数として計算)、x=4~5月の平均気温(°C)。

利用した場合には、満開期が2~3週間早くなり(図5)、その結果、着色期が酷暑期と重なるのを避けやすくなります。また、農研機構では温暖化に対応するため着色しやすい新品種「グロースクローネ」の開発にも成功しています。全国で試験栽培(系統適応性検定試験)した結果、「グロースクローネ」の果皮色は気温が同じ場合、「巨峰」よりも着色しやすく、カラーチャート値で平均0.95高くなることが確認されています<sup>4)</sup>。

着色不良の予測マップ(図6)は、ステージ2、3の導入を検討する際にも活用できます。着色不良の発生頻度が50%以上となる地域では、地域の実情に合わせて、適応策を積極的に導入する必要があると考えられます。

これらのマップは約1×1kmのメッシュ単位で着色不良の発生頻度を示しており、市町村レベルで確認できる

高解像度マップが、農研機構ウェブサイトより入手できます([http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/131034.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/131034.html))。生産者が温暖化対策を計画する際はもとより、ブドウ産地の地方自治体が「気候変動適応法」に基づく「地域気候変動適応計画」を検討・策定する際にご活用いただけます。

(果樹茶業研究部門 生産・流通研究領域)

#### ブドウ着色不良発生頻度予測詳細マップ

[http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/131034.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/131034.html)

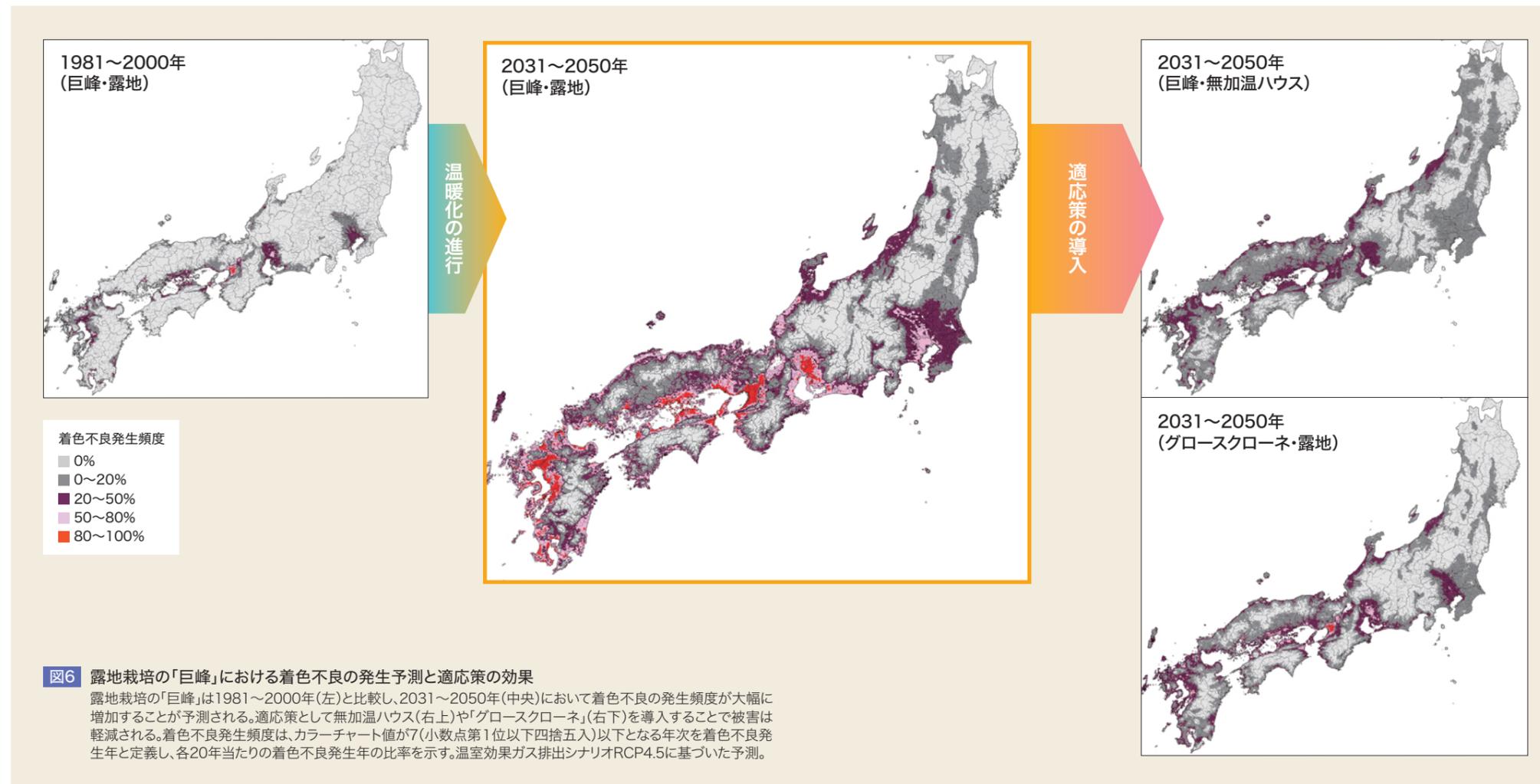


図6 露地栽培の「巨峰」における着色不良の発生予測と適応策の効果  
露地栽培の「巨峰」は1981~2000年(左)と比較し、2031~2050年(中央)において着色不良の発生頻度が大幅に増加することが予測される。適応策として無加温ハウス(右上)や「グロースクローネ」(右下)を導入することで被害は軽減される。着色不良発生頻度は、カラーチャート値が7(小数点第1位以下四捨五入)以下となる年次を着色不良発生年と定義し、各20年当たりの着色不良発生年の比率を示す。温室効果ガス排出シナリオRCP4.5に基づいた予測。

#### 用語解説

果皮の色素の原料は果実の糖であり、糖の原料は葉で作られた光合成産物です。したがって果実に入る光合成産物が増えれば、糖度が上がり、さらに果皮色も改善されます。樹体当たりの果実数を減らせば(※1 着果制限)、各果実に分配される光合成産物は増加します。また、主稈の皮を環状に剥く(※2 環状剥皮)と光合成産物の通り道である篩管が切断され、このため光合成産物は、剥皮部より下部の根には分配されず、その分、果実への分配量が増加します。さらに、樹冠を通過して地面に落ちた光を地表面に敷いたシート(※3 反射マルチ)で反射させて葉に当てれば、光合成量が増加します。一方、果実成熟に関与する植物ホルモンのアブシジン酸を農業(※4 植物成長調整剤)として果実に散布すると色素の合成量が増加することが知られています。

#### 参考文献

- 1) Sugiura, T. et al. (2018) Prediction of skin coloration of grape berries from air temperature. The Horticulture Journal, vol.87, 18-25.
- 2) Sugiura, T. et al. (2019) Assessment of deterioration in skin color of table grape berries due to climate change and effects of two adaptation measures. Journal of Agricultural Meteorology, vol.75, 67-75.
- 3) Ishigooka, Y. et al. (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, vol.73, 156-173.
- 4) 杉浦俊彦ら(2019) 生食用および醸造用ブドウの酸含量等に気温が及ぼす影響について. 園芸学研究, vol.18(別2), 103.

# 畜産における地球温暖化対策

長田 隆

OSADA Takashi



## はじめに

2019年は気候変動に関する様々な動きがあった節目の年でした。8月には気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第50回総会において、「気候変動と土地：気候変動、砂漠化、土地の劣化、持続可能な土地管理、食料安全保障及び陸域生態系における温室効果ガスフラックスに関するIPCC特別報告書」<sup>1)</sup>が承認・公表され、農業が持つ気候変動への大きな影響が明らかとなりました。9月にはニューヨークで開かれた国連の「気候行動サミット」で世界気象機関(WMO)から、過去5年間は観測史上最も暑く、温暖化による深刻な影響が世界中で出ているとする報告書<sup>2)</sup>が提出され、同じ会議でスウェーデンの16歳の少女グレタ・トゥンベリさんが登壇し、現在の大人世代に対して責任を迫りました。未来を見据えた検討が続く中、国内では気候変動が主因とされる気象災害が発生し、7月の「令和元年台風5号」、9月末の「前線に伴う大雨」と「令和元年台風19号」の際に「大雨特別警報」が発せられ、人的にも農業活動にも大きな被害が起こっています。

農研機構は、農業が果たすべき役割の大きさを鑑み、すでに始まりつつある気候変動下での持続可能な生産と、人為的排出の24%を占めると指摘される農業起源の温室効果ガス排出削減を重点研究課題として取り組みを強めています。

本稿では、畜産経営からの温室効果ガスの排出抑制に関して、今すぐに始められる家畜生産に伴う排出の削減策と、2030年に向け大学、公設試、民間企業と進めていく「持続可能な開発」(SDGs)に貢献可能な技術開発の取り組みについて紹介します。

## 農業の持続可能性を脅かす、家畜生産から排出される温室効果ガス

IPCCの最新報告書によると、農業セクターからの温室効果ガス排出は、世界全体の24%となります。FAOは、反すう家畜からのメタン排出と家畜排せつ物の管理(草地のふん尿等の排出を含む)からの排出を合わせた家畜生産に起因する温室効果ガス排出量は、農業全体の排出量の2/3に達すると指摘しています<sup>3)</sup>。国内農業からの排出に関しては図1に示しました<sup>4)</sup>。家畜の消化管内発酵によるメタン、家畜排せつ物管理によるメタンと一酸化二窒素(N<sub>2</sub>O)などの明確な排出に加え、農地土壌からのN<sub>2</sub>O排出や燃料消費などに伴う二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出にも、家畜飼養、管理や飼料生産に関わる機械や施設の活動が含まれています。このため、国内においても農業分野からの排出量の半分程度が家畜生産関連であると推定されます。食の欧米化が進み畜産物の需要が高まる中、その要請に応え続けるためには、畜産経営において持続可能な生産性をさらに高めていく必要があります。

## 温室効果ガス測定手法の開発 排出量の把握と削減の道筋のために

家畜生産から排出される温室効果ガスは、多岐にわたり、また生産現場における排出は気象条件や管理条件などにより大きな変動を伴うことから、まずは、現状把握のための評価が重要となります。農研機構では、多様な排せつ物処理からの温室効果ガスを実際の処理施設で把握する方法を開発し(図2)、測定結果は日本国温室効果ガスインベントリー報告書の精緻化に活用し

■ 日本の農・畜産業からの温室効果ガス総排出量：CO<sub>2</sub>換算5,154万トン(2017年)



図1 日本の農・畜産業からの温室効果ガス排出(畜産関係排出はオレンジ文字、畜産関係排出が含まれる区分は黄色文字で表記)

てきました。詳細な排出量の把握は、優先すべき削減区分の選択や効果的な施策を考える上で重要です。また、開発された測定方法は、温室効果ガスを効果的に削減する方策の開発と、開発した削減策の検証に必須となります。次に説明するバランス改善飼料の開発などにおいて、多くの削減方法を検証し、具体的な削減量を把握するためには、この測定技術の確立が必要でした。

## バランス改善飼料による基本的な削減

家畜生産において同じ生産量(例えば豚肉)を得るために、無駄になる栄養成分を与えないように配慮する

ことは、給与飼料費が減る経営上のメリットばかりでなく、環境負荷につながる排せつ物を減らすことにつながります。バランス改善飼料は、無駄なアミノ酸給与を減らし、尿として排出される窒素を低減させることで環境負荷を低減できる配合飼料です。豚の栄養生理に関する肥育試験結果に基づき、生産に必須なアミノ酸(リジン、トレオニン、メチオニン、シスチンなど)を結晶アミノ酸の添加によって充足させることにより、飼料中の粗タンパク質含量(CP)を低減しながらも、慣行飼料と同様の生産性を実現します(図3)。農研機構は、穀物主体の飼料中の必須アミノ酸バランスを改善して利用性を高めた「バランス改善飼料」を開発・評価して、気候変動緩

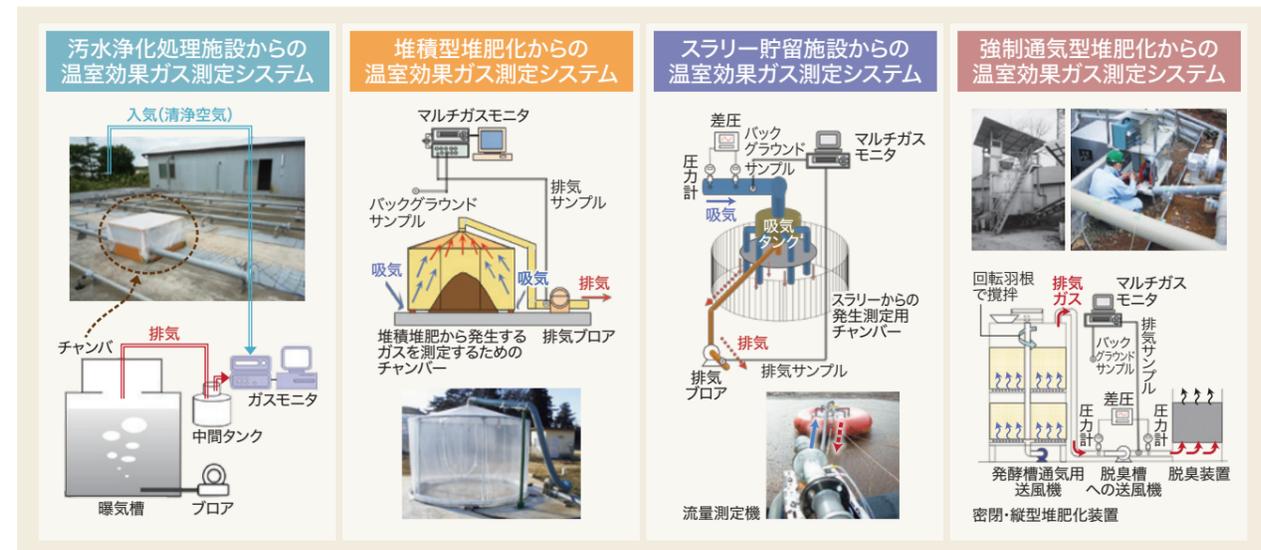


図2 主要な家畜排せつ物処理から排出する温室効果ガス排出測定手法と結果事例

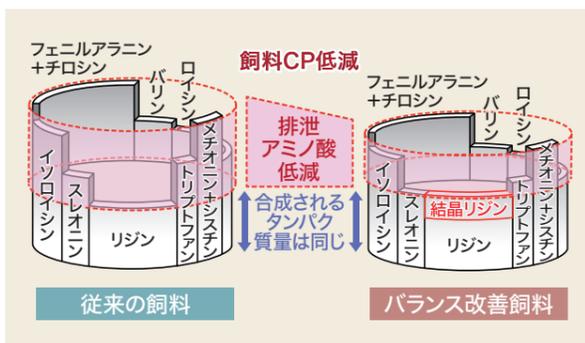


図3 アミノ酸バランス改善飼料の考え方(必須アミノ酸の桶)

和の技術の1つとして普及に取り組んでいます。

図3は、「必須アミノ酸の桶」※1と呼ばれる解説図です。肉などの畜産物は、生産に必要な必須アミノ酸の量バランスがそれぞれに決まっており、飼料として給与される必須アミノ酸の、一番先に不足するアミノ酸(桶の図では1番低い板)によって生産量が規定されます。この図ではリジンが制限アミノ酸となっており、リジンを加えることでバランスが改善されています。最新のバランス改善飼料では、リジンの他に、メチオニン、スレオニン、トリプトファンを加えた4種のアミノ酸を添加することで、給餌する穀物飼料の量を低減でき、排せつ窒素を減らすことが可能になっています。茨城県畜産センター、味の素アニマル・ニュートリション・グループ株式会社、住友化学株式会社アニマルニュートリション事業部との共同研究の中で、バランス改善飼料を与え、従来の慣行飼料同様の生産量と品質を実証しています<sup>5)</sup>。

後述のプロジェクトでは乳用牛や肥育牛、鶏で、同じ考え方のバランス改善飼料を開発しています。削減効果を実証された畜種向けのバランス改善飼料について、2020年度から実証試験を開始する計画です。

### 浄化処理からの削減

集約的に効率良く豚を飼養するためには、污水浄化処理施設が必要になります。肥育豚1頭からは毎日2.1kgのふんと3.8Lの尿が排出され、ふんとふんに混ざった尿は堆肥化処理を経て有機質肥料として作物生産にリサイクルされます。しかし、実際には、洗い水などと混合した肥料としての利用性が低くなった尿污水につい

ては、水質保全の観点から活性汚泥法<sup>※2</sup>などの浄化処理を行った上で公共水域に還元することになります。この污水浄化処理過程では、高い変換効率でN<sub>2</sub>Oの発生が認められています。農研機構は2015年に、養豚污水浄化処理施設からの温室効果ガス排出を大幅に削減できる炭素繊維リアクターを開発<sup>6)</sup>し、2016年から、農家施設で本リアクターの実証試験を行いました<sup>7)</sup>。窒素浄化において炭素繊維リアクターは脱窒が起こる場を形成し易くし、その結果N<sub>2</sub>Oの発生が抑制されます(図4)。肥育豚6,000頭規模の農家施設で、温室効果ガスの排出(大部分がN<sub>2</sub>O)を約80%削減できることを実証しました。本リアクターは既存施設に導入可能で、従来の活性汚泥法と同等の有機物処理能力を維持しつつ、窒素除去効果の向上も期待できます。本リアクターを全国の処理施設に導入できれば、温室効果ガスの排出を年間60万トン(CO<sub>2</sub>換算<sup>※3</sup>)削減できると試算されます。

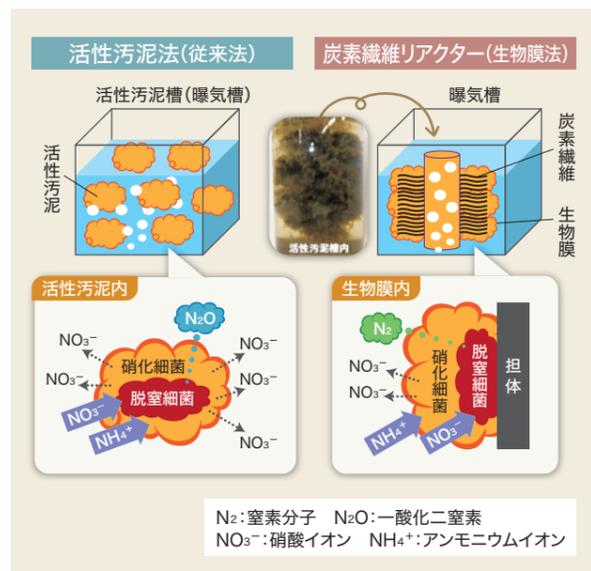


図4 炭素繊維リアクターと従来の活性汚泥を用いた浄化処理の違い(概念図)

### 堆肥生産からの削減

堆肥の利用は、化学肥料の代替として、また土壌の生物性や物理性の改善をもたらす資材として、持続的な農業を営む上で改めて注目されています。この実践に欠かせない家畜ふん尿の堆肥化過程からも、温室効果ガスの発生が確認されています。堆肥化は日本の家畜排せ

つ物の大半を取り扱う基本的な処理であるため、畜産起源の温室効果ガス発生量の約25% (CO<sub>2</sub>換算で年間約380万トン) が堆肥化処理から発生します。この過程からの温室効果ガスの発生を抑制するために、完熟した堆肥中に存在する微生物(亜硝酸酸化細菌)の働きでN<sub>2</sub>Oの排出を大幅に削減する技術<sup>8)</sup>(図5)および、裁断した低質乾草を副資材として投入し含水率を70%程度にすることで、メタンを約7割、N<sub>2</sub>Oを6割程度それぞれ排出削減できる技術<sup>9)</sup>が開発され、現在、実証試験に入っています。技術の適用に必要な資材の調達や、添加のタイミングなどについてのデータを実証試験を通じて収集しているところですが、導入が進めば、CO<sub>2</sub>換算で年間約100万トンの削減が期待される技術です。

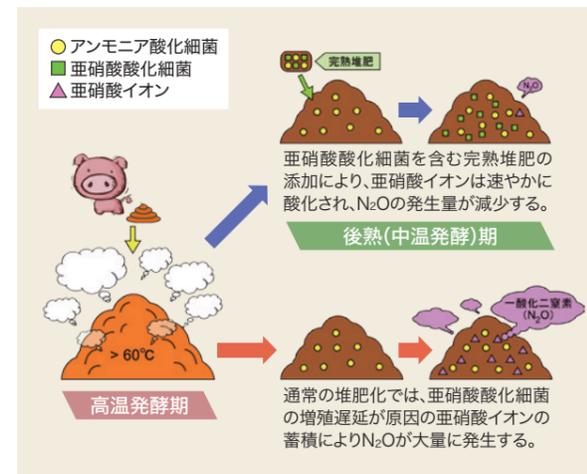


図5 豚ふん堆肥化過程での亜硝酸酸化細菌添加  
硝化促進による温室効果ガス排出削減。

### まだ間に合います、間に合わせます

農研機構は、農林水産省戦略的プロジェクト研究推進事業「農業分野における気候変動緩和技術の開発」(2017-2021年)において、家畜生産に係わる温室効果ガス削減手法の開発と実証に取り組んでいます。ここまでに紹介した排せつ物起源の温室効果ガス排出削減策は、明日からでも実証を踏まえ農家普及を進めたいと考えている技術です。この「今からでもできる」削減方法に加えて、「2050年、さらに先…」を見据え、育種手法を用いた反すう家畜メタン排出の削減にも取り組んでいます。温暖化の進行を遅らせるためにできることは、まだあ

ります。本稿で紹介した温室効果ガス削減技術だけでは、畜産からの排出を十分に削減できない状況です。しかし、将来の技術開発による問題解決への猶予時間を与えるための「つなぎ技術」としてご活用いただきたいのです。今からご協力いただける方はもちろん、まだ先の開発技術に期待される方も、お問い合わせください。

(畜産研究部門 畜産環境研究領域)

### 用語解説

- ※1 「必須アミノ酸の桶」 植物の生長は最も不足する栄養分に左右されるため、不足する栄養分を施さない限り、他の栄養分を施しても植物の収量は良くならない、というリービヒの最小律と、それを木桶に例えたドベネックの桶に基づく。
- ※2 活性汚泥法 家畜の尿中には多くの肥料元素が含まれており、これらが農耕地で利用できない場合、水質汚濁を防止するために行われる汚濁物質除去のための処理。国内の養豚経営では7割以上の経営に導入されている。
- ※3 CO<sub>2</sub>換算 地球温暖化係数(GWP, Global Warming Potential)と呼ばれる、ある一定期間にそれぞれの温室効果ガスが及ぼす地球温暖化の影響について、二酸化炭素の影響を1としたときの係数を用いて計算した数値。現在の係数は、メタンが25、一酸化二窒素は298。

### 参考文献

- 1) IPCC. (2019) Climate Change and Land. <https://www.ipcc.ch/report/srcc/> (参照 2020-1-6)
- 2) FMO. (2019) The Global Climate in 2015-2019. [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4-SPM\\_Approved\\_Microsite\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/08/4-SPM_Approved_Microsite_FINAL.pdf) (参照 2020-1-6)
- 3) FAO. (2016) FAO's work on Climate Change: Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry and Other Land Use. <http://www.fao.org/3/a-i8037e.pdf> (参照 2020-1-6)
- 4) 日本国温室効果ガスインベントリ報告書(2019) [http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2019/NIR-JPN-2019-v3.0\\_J\\_GIOweb.pdf](http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/2019/NIR-JPN-2019-v3.0_J_GIOweb.pdf) (参照 2020-1-6)
- 5) 農研機構プレスリリース(2017-2-6) アミノ酸バランス改善飼料の給与は豚舎污水処理水の水質改善に極めて有用 [http://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nilgs/073580.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/073580.html) (参照 2020-1-6)
- 6) 農研機構プレスリリース(2015-1-16) 温室効果ガス発生量が少なく窒素除去効果も高い炭素繊維担体を利用した畜舎污水浄化処理技術を開発 [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nilgs/055597.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/055597.html) (参照 2020-1-6)
- 7) 農研機構プレスリリース(2019-7-23) 養豚污水浄化処理施設からの温室効果ガス排出を大幅削減 [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nilgs/131541.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/131541.html) (参照 2020-1-6)
- 8) 農研機構プレスリリース(2010-1-14) 温室効果とオゾン層破壊をもたらす一酸化二窒素ガスの発生を抑制する豚ふん堆肥化技術を開発 [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/nilgs/013058.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/013058.html) (参照 2020-1-6)
- 9) 前田高輝ら(2012) 副資材投入による搾乳牛ふん尿堆肥化における温室効果ガス排出削減効果、農研機構研究成果情報 [https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2012/120c5\\_01\\_15.html](https://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/harc/2012/120c5_01_15.html) (参照 2020-1-6)

# 農村地域におけるメタン発酵を中核とした資源循環システムの構築

■ 中村 真人  
NAKAMURA Masato



## はじめに

メタン発酵は、嫌気性微生物の働きを利用して、家畜排せつ物、食品廃棄物、汚泥等の有機物から再生可能エネルギー源であるメタン(CH<sub>4</sub>)を主成分とするバイオガスを取り出す技術です。得られる可燃性のバイオガスを回収し、化石燃料の代替として発電機やボイラーの燃料に利用することにより、電気や熱を生成することができます。一方、発酵残渣である消化液は、窒素、リン酸、カリ等の肥料成分を含むため、化成肥料の代わりに利用できます。つまり、メタン発酵技術を用いた適切なシステムの構築は、再生可能エネルギーの生産に加え、地域に賦存する資源を有効利用する循環型社会の形成、廃棄物発生量やGHG排出量の削減に貢献できる持続可能性の高い取り組みといえます(図1、2)。

このように様々な利点があるメタン発酵技術ですが、1970年代のオイルショック時など何度かブームは起こる

ものの、消化液の液肥利用が十分進まないことがボトルネックとなり、本格的な普及には至りませんでした。2007年から始まった農林水産省のプロジェクト研究「地域活性化のためのバイオマス利用技術の開発(バイオマス利活用モデルの構築・実証・評価)」で、農研機構は、東京大学、千葉県農林総合研究センター、民間企業、地元の農事組合法人らとともに、メタン発酵の現場への普及を目指した研究開発を行いました<sup>1)</sup>。その中で、バイオガスの多様な利用方法を実証するとともに、消化液の液肥利用技術の開発に取り組みました。本稿ではその成果を中心に紹介します。



図1 メタン発酵施設

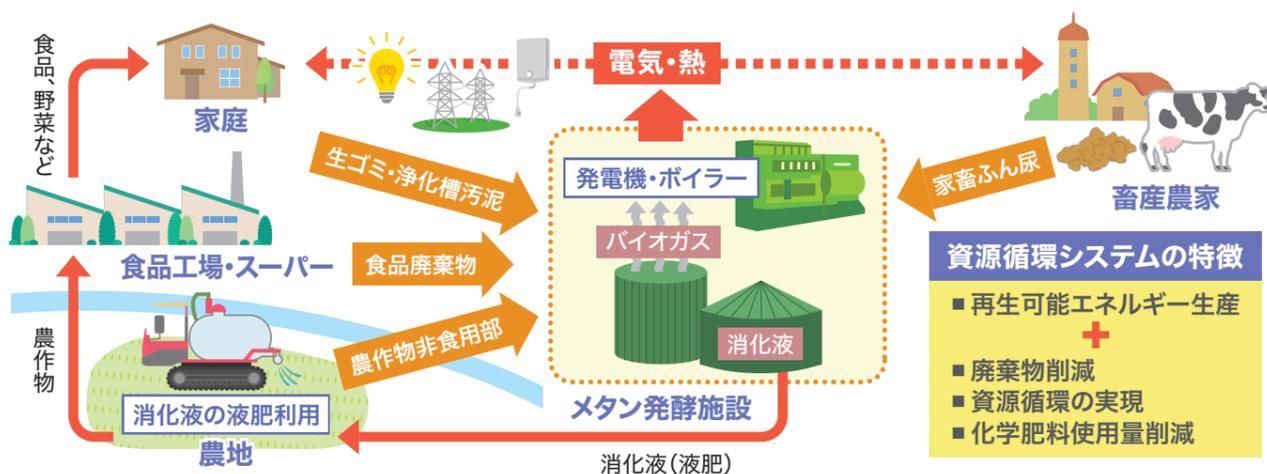


図2 メタン発酵を中核とした資源循環システム

## 消化液の液肥利用の利点

メタン発酵の残渣である消化液は水分90%以上の液体で(図3)、投入した原料とほぼ同量生成されます。この消化液は前述の通り、肥料として利用できますが、施設周辺に十分な農地がない場合には、排水処理を行った上で放流する必要があります。排水処理する場合には、それに要するエネルギーやコストが大きく、大規模施設でない限り事業性が厳しくなります。それに比べて、液肥利用はコストが小さい<sup>2)</sup>ので、比較的小規模な施設であっても事業として成立するといわれています。そのため、消化液を散布可能な農地が多い農村地域においては、液肥利用は有力な選択肢です。



図3 消化液

消化液の液肥利用プロセスを図4に示します。液肥として利用する場合は、一時的に貯留槽で貯留した後、バキューム車などで現場まで運び、液肥散布車で水田や畑地に散布するのが一般的です(水田の場合は、灌漑

水と一緒に流し込む施用方法も採用可能)。これらの消化液の輸送、散布作業は、一般的にメタン発酵事業者が担い、散布サービス込みで耕種農家に提供されます。また、事業者は液肥利用を採用することにより、コストダウンを見込めることから、消化液の提供価格は通常の肥料に比べて安価に設定されます。そのため、耕種農家にとっては、肥料コストの削減や肥料散布労力の節減につながります。また、適切な範囲で液肥利用を行った場合には、排水処理時に比べて温室効果ガス排出量が少ないことも示されています<sup>3)</sup>。

## 消化液の肥料成分

様々な原料由来の消化液の成分を表1に示します。消化液成分の特徴は、含有窒素の約半分が速効性の肥料成分であるアンモニア態窒素であることです。このため、硫酸(硫酸アンモニウム)などの速効性の化学肥料と同様の利用が可能です。また、メタン発酵において、原料に含まれる肥料成分の窒素、リン、カリウムは、ほぼ全量が消化液に移行するため、その成分はメタン発酵原料の成分組成を反映します。例えば、乳牛ふん尿が主原料の



図4 消化液の液肥利用プロセス

場合、消化液成分は乳牛ふん尿の成分を反映して、窒素やカリウムに対してリンの含有量が少なくなります。3要素のいずれかが相対的に高濃度となる場合には、過剰施用を防ぐために、その要素が施用量の上限値を定める制限要因となります。

表1 様々な原料のメタン発酵消化液の成分

主な原料(単位)	施設A	施設B	施設C	施設D	施設E
	乳牛ふん尿	乳牛ふん尿	生ごみ	食品加工残渣・生ごみ	野菜加工残渣・乳牛ふん尿
含水率(%)	93.9	95.9	98.2	97.4	97.5
pH	8.03	7.66	8.04	8.08	7.48
アンモニア態窒素(mg/L)	1,480	1,740	1,550	961	798
亜硝酸態窒素(mg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
硝酸態窒素(mg/L)	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
全窒素(mg/L)	3,270	3,390	2,710	1,640	1,820
全リン(mg/L)	949	536	320	238	404
カリウム(mg/L)	2,940	3,210	1,190	1,900	2,570

## 消化液の土壌施用後の動態

肥料として施用された窒素は、そのすべてが作物へ吸収されるわけではなく、ガスとして大気へ揮散するもの、地下へ溶脱するものなどがあります。これらの割合は、施用された窒素の形態によっても大きく異なります。堆肥や消化液などの有機質資材はそれぞれ窒素の組成が異なりますので、それらの施用後の動態を把握した上で使用する必要があります。

消化液の場合、含まれる窒素の約半分がアンモニア態窒素、残りが有機態窒素です。消化液を土壌表面に施用すると、消化液中のアンモニア態窒素の一部が揮散します。揮散量は施用後3時間以内が特に多くなります。しかし、施用後速やかに土壌と混和するなど、アンモニア揮散を抑制できる施用方法(揮散抑制型施用方法)を採用することにより、消化液に含まれるアンモニア態窒素の多くを速効性成分として利用でき、アンモニア態窒素を基準とした施肥設計が可能で(図5)。一方、メタン発酵過程で原料由来の易分解性の有機態窒素は無機化しアンモニア態窒素になっているため、消化液に含まれる有機態窒素の無機化量は少なく、施肥設計

上は無視することができます。

施用された窒素のうち、土壌に蓄積されない窒素の割合に着目すると、消化液由来のアンモニア態窒素の動きは、硫酸など、化学肥料由来成分の窒素の動きと大きな差異はありません(図6)。作物による窒素吸収量に対する溶脱量の割合が消化液と硫酸で同等であることから、化学肥料を消化液で代替しても適切な施用量であれば、地下水への負荷を増加させる懸念は小さいといえます。

このように、消化液の肥料効果や利用に伴う環境影響は整理され、その特徴を踏まえた利用方法が提案されています<sup>4)</sup>。また、メタン発酵施設からほ場までの消化液の輸送・散布作業をモデル化し、消化液の散布条件を入力すれば、必要な車両の台数や貯留容量などを算定できるプログラムの開発も行われています<sup>5)</sup>。

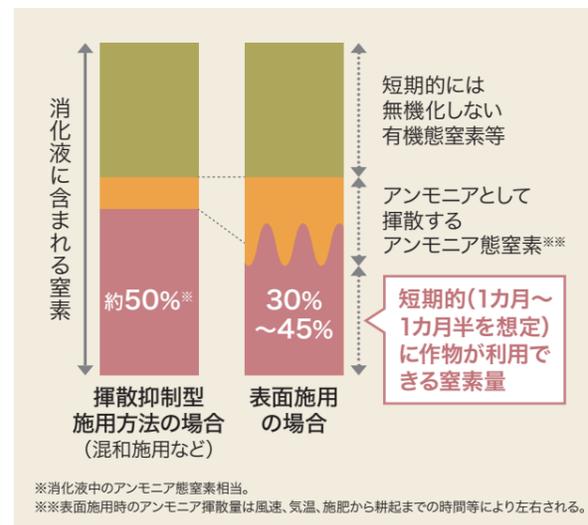


図5 消化液由来窒素の利用可能割合

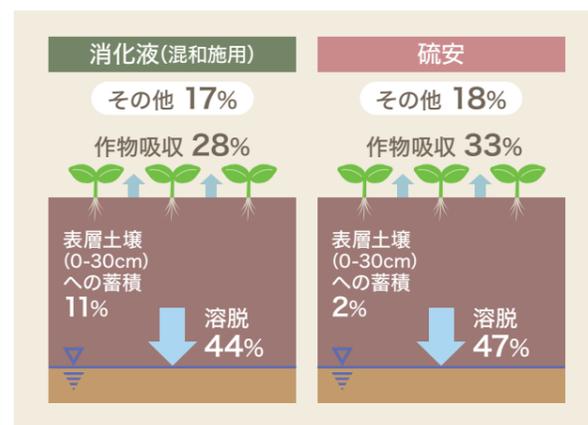


図6 畑地に施用された消化液および硫酸由来窒素の動態(ライシメータ試験により観測した4年間の窒素収支)

## 液肥利用の全国での普及

消化液の液肥利用は、従来、牧草地への散布を中心として取り組まれている例が多く、水田や畑地での利用は限定的でした。しかし、ここ15年間で各地において水田や畑地での利用が進んでいます。そのような地区では、栽培層の作成、液肥利用者協議会(消化液の利用技術の普及や利用調整等を行う組織)の設立など、耕種農家が消化液を利用しやすいような工夫が行われています。また、食料・農業・農村基本計画にも、「バイオガスの製造過程で発生する消化液等の副産物の有効活用、バイオガスの熱源利用による農業生産コストの削減等を促進する」と記載されており<sup>6)</sup>、農林水産省により消化液の利用促進の取り組みを支援する事業も開始されています。

## メタン発酵の幅を広げる

日本の農村地域におけるメタン発酵は、研究および現場レベルでの水田、畑地への液肥利用推進の取り組みにより一定の効率化が図られました。しかしながら、一定規模以上(原料20-30t/日以上)でない採算性が厳しく、適用範囲が限定的でした。現時点では、原料が収集しやすく、消化液を散布しやすい農地が集約しているなど、比較的条件に恵まれた地域を中心に普及しているのが実情です。したがって、持続的な形で、幅広く適用可能なものにするため、小規模でも適用可能なものとなるように、システムをより効率的なものに改善していく必要があります。

その対応策として、地域の廃棄物を集約して処理する混合発酵や既存施設の有効活用などがあります。農研機構は、農林水産省「集落排水施設効率性向上実証事業」を実施する、地域環境資源センター(JARUS)と連携し、農業集落排水施設<sup>1)</sup>(図7)という既存のインフラを活用し、そこに農業集落排水汚泥と地域バイオマス(生ごみや農作物非食用部等)を集約してメタン発酵を行うことによる低コスト化の検討を開始しました。食品廃棄物などを混合することにより、集排汚泥単独での発酵時に比較して、バイオガス発生量の大幅な増加が可能であり、既存の農業集落排水施設内に整備するこ

とにより低コスト化が期待できます。一方、汚泥の有効活用により施設の汚泥処理費削減、廃棄物の利用率向上、生ゴミ処理費削減、循環型農村の実現など、地域の課題を併せて解決できます。



図7 農業集落排水施設

## おわりに

近年、資源を有効利用し、環境負荷を低減するなどにより持続的な取り組みを選択することが期待されてきており、各地で小規模な資源循環システムを構築しようとする動きが出てきています。メタン発酵技術が、それを実現するための効果的なツールとなるよう、研究を進めていきます。

(農村工学研究部門 地域資源工学研究領域)

### 用語解説

※1 農業集落排水施設 農業集落内およびその周辺部のし尿や生活雑排水などの汚水を集めて浄化する污水处理施設。

### 参考文献

- 1) 農林水産技術会議事務局(2014) バイオマス利用モデルの構築・実証・評価、500, pp.79-127.
- 2) NEDO(2018) バイオマスエネルギー地域自立システムの導入要件・技術指針【メタン発酵系バイオマス編】序章・1章, pp.9-10.
- 3) Nakamura, M. et al.(2014) Global warming impacts of a methane fermentation system using digested slurry as a liquid fertilizer - Case study of the Yamada Biomass Plant-, Paddy and Water Environment, vol.12 Supp.2, S295-S299.
- 4) 山岡賢(2013) メタン発酵消化液の輸送・散布計画の策定支援モデル(使用マニュアル) [http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/soshiki/soshiki07-shigen/01shigen/methane\\_manual.html](http://www.naro.affrc.go.jp/org/nkk/soshiki/soshiki07-shigen/01shigen/methane_manual.html) (参照 2019-11-16)
- 5) 中村真人(2013) メタン発酵消化液の液肥としての利用, 農業技術大系「土壌施肥編」, 7-1, p.292の8-292の15.
- 6) 農林水産省(2015) 食料・農業・農村基本計画 [http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k\\_aratana/pdf/1\\_27keikaku.pdf](http://www.maff.go.jp/j/keikaku/k_aratana/pdf/1_27keikaku.pdf) (参照 2019-11-16)

# TOPICS

## 気候変動に関する国際動向と 農研機構の貢献

SHIRATO Yasuhito 白戸 康人

気候変動は地球規模の問題であるため、  
研究も、国際的な動向を注視し、海外とも共同して進めることが重要です。  
ここでは、気候変動に関するいくつかの重要な国際的な動きと、  
そこへの日本や農研機構の貢献について紹介します。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change 気候変動に関する政府間パネル) は、人為起源による気候変化、影響、適応および緩和方策に関し、科学的、技術的、社会経済学的な見地から包括的な評価を行うことを目的として、1988年に設立された組織です (図1)。数年に一

度公表する「評価報告書」の社会における注目度はどんどん大きくなっています。最新の第5次評価報告書が公表されたのが2013~2014年で、現在は第6次評価報告書の執筆が行われています。その中で、農研機構の研究職員1名が、第2作業部会 (WG2) の第5章「食料、繊維、及びその他の生態系生産物」の統括執筆責任者 (CLA) に選ばれ、この章全体を取りまとめる重大な任務を担っています。IPCCは2019年に、各国の温室効果ガス排出量を算定するためのガイドラインの一部改訂作業を行いました。ここでも農研機構の職員2名が主執筆者 (LA) として役割を果たしました。

農業分野の温室効果ガスに関するグローバル・リサーチ・アライアンス (GRA) は、農業分野の温室効果ガス排出削減等に関する研究ネットワークとして2009年に立ち上げられました。その中の4つの研究グループのうち「水田研究グループ」の共同議長を農研機構の職員が務めており (図2)、日本がこの活動をリードすることに貢献しています。

4/1000 (英語で「フォーパーミル」と読みます) イニシアチブは、「もしも全世界の土壌中に存在する炭素の量を毎年4/1000ずつ増やすことができれば、大気CO<sub>2</sub>の増加量をゼロに抑えることができる」という計算に基づき、土壌管理技術などにより土壌炭素を増やす活動を推進しようとする国際的な取り組みです (図3)。2015年のCOP21の際にフランス主導で始まり、日本を含む400超の国や国

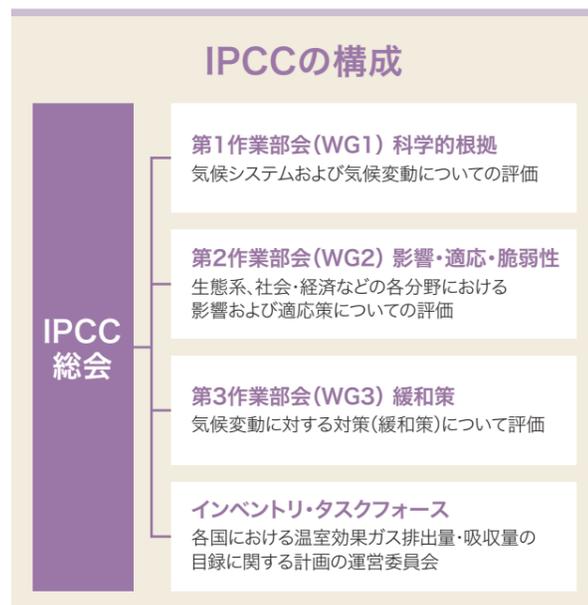


図1 IPCCの組織  
全国地球温暖化防止活動推進センターのウェブサイト (https://www.jpccca.org/ipcc/about/index.html) 参照。  
数年ごとの評価報告書は、3つの作業部会に分けて公表される。  
IPCCガイドラインは、インベントリ・タスクフォースの下で作成される。



図2 GRAの概要  
ウェブサイト (https://globalresearchalliance.org/about/) の図に加筆。2020年2月現在、メンバー国は61。研究ネットワークを通じて、温室効果ガスの排出が少ない食料生産技術の確立、普及を目指している。水田、畜産、農耕地および総合的研究の4つの研究グループがあり、日本は水田研究グループの共同議長としてグループの活動をけん引。

際機関、NPOなどが参加しています。この中に、世界の14名の科学者からなる「科学技術委員会」があり、農研機構の職員1名がメンバーとして活動しています。土壌については、国連食糧農業機関 (FAO) も地球土壌パートナーシップ (Global Soil Partnership: GSP) を立ち上げるなど、国際

的に注目すべき動きが多く、私たちはこれらの動きを注視して積極的に貢献し、研究にも役立てていく必要があります。

(農業環境変動研究センター 温暖化研究統括監)

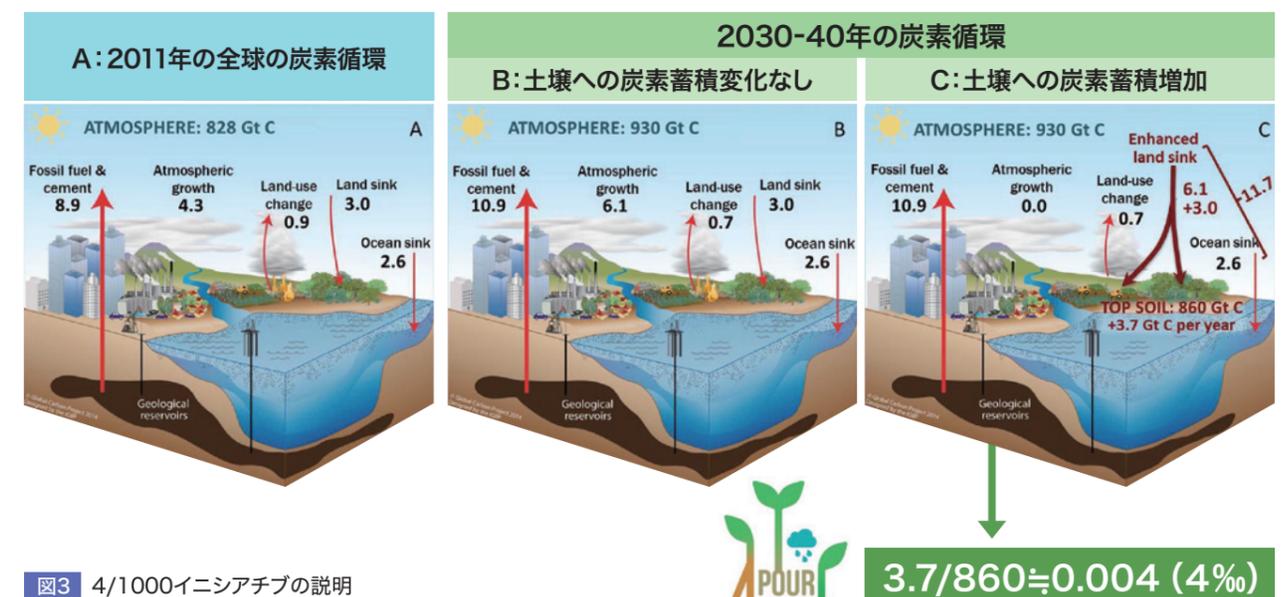


図3 4/1000イニシアチブの説明  
Soussana et al. (2019) に加筆。Aは現在の炭素循環で、毎年4.3GtCの大気CO<sub>2</sub>が増加中であり、このままだと将来はB(毎年6.1GtCの大気CO<sub>2</sub>増加)となるが、土壌炭素を毎年3.7GtC増加させ、森林やアグロフォレストリーなどの地上バイオマスの増加が2.4GtC見込まれれば、Cのように、大気CO<sub>2</sub>の増加がゼロとなる計算になる。3.7GtCは、表層土壌中の炭素860GtCの約0.4%(4‰:パーミル)に相当する。

# TOPICS

## FACE実験からの知見、 世界で、日本国内での貢献

HASEGAWA Toshihiro 長谷川 利拡

大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度は、過去200年で100ppm以上上昇し、2015年には年平均で400ppmを突破しました (2018年には408ppm)。CO<sub>2</sub>の排出量は現在も増加しており、温暖化などの地球規模での環境変動を引き起こす要因になっています。一方、CO<sub>2</sub>はそれ自身が光合成や蒸散といった作物生理を通じて、作物の生育、収量に影響します。今後の農業生産を予測するためには、CO<sub>2</sub>濃度の影響を的確に予測することが重要です。

CO<sub>2</sub>濃度上昇の影響を屋外のは場条件で調べるために、開放系大気CO<sub>2</sub>増加 (Free-air CO<sub>2</sub> enrichment, FACE、**図1**) 実験がアメリカで考案され、主要作物を対象にした実験が日本、アメリカ、ドイツ、オーストラリア、中国、イタリアなどで実施されてきました。日本では1998年に農研機構 (当時の農業環境技術研究所、東北農業試験場) が、岩手県雫石町で水稻を対象にした世界初の水田FACEを開始しました。2010年からは茨城県のつくばみらい市において8年間実験を継続し、水田における気候変動の研究を推進してきました。

CO<sub>2</sub>は光合成の基質であるため、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が上昇すると光合成は高まり、作物の成長も増大します。約50年後に想定される高CO<sub>2</sub>濃度 (現在の約1.5倍、以下高CO<sub>2</sub>) が開放系条件で水稻収量にどの程度影響するのかわ、雫石、つくばみらいのFACE実験で調べたところ、高CO<sub>2</sub>によって収量は平均で11%増加しましたが、増収効果は年次、地点によって0~21%と大きく変動しました (品種、あきたこまち)。さらに、高CO<sub>2</sub>による増収率は温度の上昇とともに低下したことから、温暖化の進行に伴いCO<sub>2</sub>濃度によるプラスの影響が減少することが示唆されました<sup>1)</sup>。

高CO<sub>2</sub>による増収は、品種によっても大きく異なり、籾数や粒重の大きい多収品種が増収程度も大きい傾向にあり

ました<sup>2)</sup>。高CO<sub>2</sub>に対する収量反応は、多収品種の中でも違いがありました<sup>3)</sup>が、籾数を大きくする遺伝子座は高CO<sub>2</sub>での収量増に貢献することも明らかになりました<sup>4)</sup>。高CO<sub>2</sub>による増収は、低窒素条件では小さい傾向にあります。しかし、多収品種タカナリは、窒素肥料を与えない条件でも20%近い増収効果があるなど、将来においても肥料利用効率の高い特性を持つこともわかりました<sup>5)</sup>。これらの遺伝的特性の解明は、気候変動に適応する品種の開発に貢献します。

冷涼な雫石で実施したFACE実験では、高CO<sub>2</sub>による外観品質への影響は認められませんでした。温暖なつくばみらいFACEでは、特に高温年に高CO<sub>2</sub>濃度によって白未熟粒が多発し、整粒率が大幅に低下しました<sup>6)</sup>。このことは、現在問題になっている高温による品質低下が、CO<sub>2</sub>の増加によって激化することを示唆します。また、これまでに育成された高温耐性品種は、通常の品種に比べて高CO<sub>2</sub>での白未熟粒発生が少ない傾向にありました<sup>6)</sup>が、今後予測される高温・高CO<sub>2</sub>環境下では一層の高温耐性の強化が必要です。

これらのFACE実験の結果は、世界各国で開発されたコメ収量予測モデルの検証にも利用されています<sup>7)</sup>。さらに、気候変動が水田からのメタン発生に及ぼす影響を含む土壌-作物-大気間の物質代謝の解明に役立つなど<sup>8)</sup>、分野を超えた連携研究に貢献しています。

(東北農業研究センター 生産環境研究領域)



**図1** つくばみらい開放系大気CO<sub>2</sub>増加 (FACE) 実験の様子  
差し渡し17mの八角形状区画の中央部にCO<sub>2</sub>濃度センサーと風向・風速計を設置し、区画内のCO<sub>2</sub>濃度が対照区に対して200ppm高くなるように周辺部に設置した放出チューブから風向きに応じてCO<sub>2</sub>ガスを放出します。なお、この濃度設定は約50年後を想定したものです。



**図2** 雫石 (FACE) 実験の様子

1998年に開始した世界初の水田FACE実験施設です。岩手県雫石町において2008年まで寒冷地の稲作に及ぼすCO<sub>2</sub>濃度増加の影響を調査しました。

### 参考文献

- 1) 長谷川利拡ら(2017) 大気CO<sub>2</sub>濃度上昇によるコメの増収効果が高温で低下する要因 農研機構 研究成果情報 <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyhouhou/H28/kankyuu/H28kankyuu010.pdf> (参照2020-1-7)
- 2) Hasegawa, T. et al. (2013) Rice cultivar responses to elevated CO<sub>2</sub> at two free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) sites in Japan. *Functional Plant Biology*, vol.40, 148.
- 3) Yoshinaga, S. et al. (2019) Analysis of factors related to varietal differences in the yield of rice (*Oryza sativa* L.) under Free-Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) conditions. *Plant Production Science*, doi: 10.1080/1343943X.2019.1683455
- 4) 農研機構プレスリリース(2018-8-10) [研究成果]高CO<sub>2</sub>濃度条件下で米の収量を増やす形質を特定 [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/karc/082092.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/karc/082092.html) (参照2020-1-7)
- 5) Hasegawa, T. et al. (2019) A high-yielding rice cultivar "Takanari" shows no N constraints on CO<sub>2</sub> fertilization. *Frontiers in Plant Science*, vol.10, 1-15.
- 6) 長谷川利拡ら(2015) 大気CO<sub>2</sub>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 農環研主要成果 [http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/result/result32/result32\\_28.html](http://www.naro.affrc.go.jp/archive/niaes/sinfo/result/result32/result32_28.html)
- 7) 農研機構プレスリリース(2017-12-7) [研究成果]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 [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/press/laboratory/tarc/078643.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/tarc/078643.html) (参照2020-1-7)
- 8) Tokida, T. et al. (2010) Effects of free-air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) and soil warming on CH<sub>4</sub> emission from a rice paddy field: impact assessment and stoichiometric evaluation. *Biogeosciences*, vol.7, 2639-2653.

# 温故知新

>> 古きをたず(温)ねて新しきを知る



**新** 水田でのCO<sub>2</sub>フラックスの観測(2012年 茨城県つくば市)



**旧** 65年前の水田での乱流輸送の観測(1955年 埼玉県吉川町、当時)

## 地球温暖化と二酸化炭素と農業と

MIYATA Akira 宮田 明

### 世界気象機関温室効果ガス年報

WMO Greenhouse gas bulletin, No.15,  
25 Nov. 2019

[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10100](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10100)



世界気象機関温室効果ガス年報 No.15  
(2019年11月25日発行、気象庁訳)

[https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/GHG\\_Bulletin-15\\_j.pdf](https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/GHG_Bulletin-15_j.pdf)



大気中に含まれる二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)をはじめとする温室効果ガスの濃度の増加が、地球温暖化の原因となっていることはよく知られています。マウナロア(ハワイ)で、60年余りにわたって継続されている観測の結果は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度が季節変動を示しながら、年々、着実に増加していることをはっきりと示しています。1998年から岩手県雫石町と茨城県つくばみらい市の水田で実施された開放系大気CO<sub>2</sub>増加(FACE)実験では、将来の環境を想定して、試験区のCO<sub>2</sub>濃度を対照区に比べて200ppm高く設定しましたが、そのFACE実験が行われた20年間で、世界平均のCO<sub>2</sub>濃度が約40ppmも増加したことは驚かされます。

マウナロアでCO<sub>2</sub>濃度の観測が開始された国際地球観測年(1957~1958年)の頃、日本では農林省農業技術研究所(当時)の井上栄一博士らによって、微気象学的方法を用いたCO<sub>2</sub>のフラックス<sup>※1</sup>の測定が行われました。当時、井上博士らは耕地上での乱流による運動量や熱、水蒸気の輸送現象の観測研究を活発に展開しており(写真右は当時の観測の一例)、その一環としてCO<sub>2</sub>の輸送、つまり作物の光合成速度を、群落スケールで測定することが試みられました。当時はCO<sub>2</sub>濃度増加の農業影響というような現代的な問題意識はなかったと思われますが、光合成速度

や蒸発散速度(水蒸気のフラックス)を自然環境のままに測定することの農学的な意義と、その応用場面を意識されていたことが論文<sup>※2</sup>からうかがえます。光合成が蒸発散とともに農業気象学の重要テーマであることは、60年前も今も変わりません。

その後の計測技術の進歩により、現在ではCO<sub>2</sub>だけではなく、メタンや一酸化二窒素などの温室効果ガスや、それらのガスの同位体のフラックスを測定することも可能になっています。そのような計測技術は様々な観測研究に利用されていますが、その一つがAsiaFlux(アジアフラックス)という、アジアの陸域生態系の炭素循環の解明を目指す観測ネットワークです。2019年10月、岐阜県高山市でAsiaFluxの20周年記念ワークショップという研究集会が開催されました。農研機構では、AsiaFluxが設立された頃に開始した茨城県つくば市真瀬の水田<sup>※3</sup>でのCO<sub>2</sub>フラックスの観測を、現在も継続しています(写真左)。

(農業環境変動研究センター  
気候変動対応研究領域長)

- ※1 フラックス 単位時間、単位面積当たりの鉛直方向の輸送量  
 ※2 井上栄一(1957) 農業気象, vol.12(4), 138-144.  
 井上栄一ら(1958) 農業気象, vol.13(4), 121-125.  
 ※3 [http://asiaflux.net/index.php?page\\_id=83](http://asiaflux.net/index.php?page_id=83)

### Editor's Note

### 編集後記

私たちのまわりには様々な環境問題が存在します。中でも「気候変動」は、世界が情報と認識と目標を共有し、一人一人が主体的にかつ協力して取り組む必要があります。大気中の二酸化炭素濃度の上昇は顕著で、50年前に0.03%と覚えていた数値が上昇し続け、今は0.04%(408ppm)にまで達しています。平均気温も上昇するとともに、各地で極端現象(異常気象)の発生が日常化しています。

農研機構では、気候変動に関して、農業への影響予測、適応策、さらに緩和策の研究開発を進めており、本号ではその一端を特集として紹介しました。気候変動は国民生活とともに農業への影響が深刻で、対策が時間的に遅れるほど将来へのツゲが飛躍的に増大します。このため、目先の緊急性が低いという判断で研究が後回しになることがあってはなりません。画期的な技術革新での問題解決の道を探りつつ、地域の身近な問題に寄り添う姿勢を大切にしたいと思います。

ところで、農研機構においては毎年9月に環境報告書をホームページで公表しています。業務の推進により発生する温室効果ガスの排出量も推計しております。Think globally, Act locallyを肝に銘じる必要がある中、研究開発を停滞させないで、どうすれば排出削減を実現できるのか模索が続いています。

皆様の組織、農業現場、ご家庭では、気候変動に対してどのような取り組みをされているのでしょうか。本号への感想・質問とともに、ホームページの「お問い合わせ」から情報をお寄せいただけたら幸いです。

(編集委員長)



農研機構の  
環境報告書

## 農研機構技報

NARO Technical Report No.4

2020年3月1日発行

発行者/久間和生

発行所/農研機構 広報部広報戦略室(編集委員会事務局)

〒305-8517 茨城県つくば市観音台3-1-1

製作協力・印刷/株式会社アイワット

非売品

本誌研究内容に関するお問合せは

✉ [www@naro.affrc.go.jp](mailto:www@naro.affrc.go.jp) TEL 029-838-8988 (代表)

\*本誌掲載の記事・写真・イラストの無断転載・複写を禁じます。

