

令和6年度農研機構国際レビュー報告

「第5期中長期目標期間における研究開発の検証と今後の研究方針について」

1. 開催趣旨

グローバル化が進展する中、農業・食品産業分野において我が国の国際的優位性を確保するためには、トップレベルの研究開発成果の創出と、農業・食品産業分野のイノベーションを主導し、世界をけん引していくことが重要である。そのためには、国際的な水準で農研機構の研究成果を評価し、質の向上を図ること、また、社会実装の取り組みについても、国際的な視点で検証し海外での展開につなげていくことが不可欠である。

これらを踏まえ、第5期中長期目標期間の主要な成果のうち特に国際的に牽引すべき研究分野について研究成果と社会実装について検証し、また、今後の研究方向性について提言を受けるために、各分野の国際的なトップレベルの研究者による国際レビューを実施した。

2. 開催日時・場所

令和6年10月9日（水） 10:00～17:00 東京国際フォーラム

3. 評価者（評価実施時点の所属）

- Dr. Glenn A. Fox
ローレンスリバモア国立研究所 物理・生命科学研究部門（米） 主任副所長
- Prof. Dr. Johannes A. Jehle
ユリウスキューン研究所 生物防除研究センター（独） 所長
- Dr. Jean-François Soussana
フランス国立農業・食料・環境研究所（仏） 副理事長

4. 出席者

評価者3名、役員15名（うちオンライン3名）、職員62名（うちオンライン21名） 計80名

5. プログラム

（1）研究レビュー

- 1) スマート生産技術（発表者：基盤技術研究本部 農業情報研究センター長）
- 2) 遺伝資源の利用および保全（発表者：基盤技術研究本部 遺伝資源研究センター長）
- 3) 温室効果ガス排出削減技術（発表者：農業環境研究部門 所長）
- 4) 病害虫防除のイノベーション（発表者：植物防疫研究部門 所長）

（2）研究方向性に関するディスカッション

- 1) フードロス（発表者：食品研究部門 所長）
- 2) スマート育種（発表者：作物研究部門 所長）

6. 評価結果及び指摘に対する回答

3人の評価者による評価結果及び指摘事項等に対する回答を以下に示す。

(1) 研究レビュー

1) スマート生産技術 (評定S)

この研究分野は、農業データの協調基盤であるWAGRIを開発・拡張し、AIを活用して生産システムを最適化することを目的としている。異なるデータストリームを統合し、エンドユーザーにとって実用的なものにするために革新を通じて社会変革を目指すものである。異なる研究分野の統合とAIを使用した予測は非常に新規的、野心的であり、同時に先見性がある。特に、日本の農業指導者の数が減少している現状において、タイムリーで適切な取り組みである。

今後の方向性に関して、以下を推奨する。

- i) ユーザーの要件を理解し、シームレスで使いやすく、現地での使用に耐え得る製品を作成することが不可欠である。また利用状況や受け入れ度合を評価するための指標を確立することも重要である。さらにデータ品質の継続的な評価と研究者と開発者の間のフィードバックループの確立は、プログラムの実施と改善を継続的に行う上で非常に重要である。
- ii) インプットに対するアウトプットの比率を最大化するには、研究を計画する当初からどのように実装するかを考慮することが重要である。
- iii) これらの研究分野のさらなる科学的拡張としては、AIを用いた輪作計画の立案、害虫や病気の個体群動態のモデル化、広域的な栽培システムの策定などが考えられる。現在の研究領域を拡張するさらに重要な活用分野として、ブドウのような果樹を立体的に栽培する際に開発した手法を使用することも考えられる。
- iv) これまでのところ、農研機構のAI利用は畜産よりも作物生産に焦点を当てている。次の開発段階では畜産データと技術の統合を進めることが推奨される。
- v) 方法論に関して一貫性を確保するには、標準化されたオントロジーを開発することが第一の前提条件である。しかし、それがまだ実施されていない場合は、WAGRIプラットフォームで使用されているオントロジーを完全に評価して標準化を行うことで、混乱のリスクを減らし、データのトレーサビリティを向上させることが可能となる。AIの性能は学習に使用するデータの質に依存するため、学習に使用する一連のデータ全てに対する品質保証と管理のメカニズムを開発する必要がある。
- vi) AIのさらなる改善のため、プラットフォームの設計は農家が匿名化されたデータを提供しやすい構造とするべきである。自分の農場データを提供する農家には、インセンティブを

提供する必要があるかもしれない。

- vii) 農家の動機や提供されるサービスに対する経費支出への考え方を理解するためには、社会学および経済的な研究が有用である。これらの新たなサービスを協同組合、アドバイザー、農家、その他のユーザーと共同で設計することは、大規模な普及促進に必要である。
- viii) 将来的な発展には、徹底した品質評価と農家から寄せられるニーズを深く理解することが求められる。WAGRIプラットフォームには多くの企業が参画しているため、個々の提供するサービスを相互に比較し改善することが重要である。これによりプラットフォームとそのすべてのサービスが高い品質基準を維持することが保証される。この取り組みはAI支援プラットフォームに対するユーザーの信頼性を大幅に向上させるものである。

(回答及び対応方針)

- i) ご指摘の通りである。今回、病害虫診断でのデータアグリゲーションを紹介したが、判別や予測のための農業向けのアプリケーションの現場への提供では、メンテナンス性と効率的な技術改良のしゅみを合わせて考えることが重要であり、実証実験やユーザーからのフィードバックを活用して判別精度など品質を改善する仕組みを積極的に取り入れていく。
- ii) 開発技術により得られるアウトプットについて考えて研究開発を進めることの重要性はご指摘の通りである。メンテナンスなどの維持費を含めて開発技術のアウトプットが投入コストに見合うかどうか計画段階から検討するとともに、サービス展開後も技術革新などによりコストについて見直しができないか検討していきたい。
- iii) AIの今後の技術展開については、我々が考えていることとも一致する。日本国内では果樹関係のAIの活用が進んでいないので、今後注力していきたい。
- iv) 畜産関係については、家畜排泄物での画像処理などシステムでの成果は出始めているが、WAGRIへ搭載しているAPIは現状ではほとんど無い。農業分野で畜産のマーケットは大きいので今後力を入れていきたい。
- v) オントロジーの開発は育種データなどまだ部分的な状況である。現状では、クオリティの高いデータを収集することに主眼を置いており、標準化などについてはまだこれから検討する段階であることから、オントロジーの先行事例を参考に進めていきたい。
- vi) 生産者の情報に関する取り扱いには注意して対応している。より多くの農家に情報システムを利用してもらうために、生産者に使ってみたいと思わせるインセンティブの必要性については非常に強く認識しており、増収などの利用メリットをいかに説明するかが重要な点の一つである。

- vii) 今後の開発技術の社会実装では、農協、農家、市場関係者といった地域全体のプレーヤーとの情報エコシステムの構築が重要と考えている。共同での設計にあたり、関係者全体にメリットのあるシステムの提案を考えていきたい。
- viii) 生成AIとの連携など、WAGRIについては、現状のAPI提供以外に可能なサービスはないか、サービスの質をどうやって向上させるかなどについて検討している。信頼され、頼られるWAGRIとなるよう、WAGRIの役割について見直しており、運営については2026年度には新たな体制での運営となることを目指している。

2) 遺伝資源の利用と保存（評定S）

農研機構のGenebankプロジェクトは、遺伝資源の収集、保全、特徴付けを行い、日本の持続可能な食料システムにおいて重要な役割を果たしている。このプロジェクトは1) 遺伝資源の安定した管理と2) 遺伝資源の新しい価値の創造という2つの目標を追求している。数十万の遺伝資源を長期保存しているが、特にカイコおよび植物組織の凍結保存に関する研究の進展は注目に値する。これらは要望に応じて配布され、国内外の育種プログラムにおいて重要な意義を持っている。

今後の方向性については、以下を推奨する。

- i) 海外の遺伝子バンクとの継続的な提携確立と併せ、技術および手法を標準化することにより遺伝資源の国際的な取引と利用強化を促進することが求められる。また、さらに広範囲にわたる植物種や微生物種を含む遺伝資源の生存率と保存期間を向上させるため、凍結保存法の改善に関する研究を推進すべきである。
- ii) 登録されている遺伝資源の特性評価および遺伝子型解析には自動化されたハイスループットシーケンシング法の使用が推奨される。他の農研機構内の研究所、例えば農業情報研究センター（農情研）との連携を強化することにより、AIなどの新技術を遺伝資源の表現型解析に組み込める可能性がある。
- iii) 主要な作物種のコアコレクションを定義すると同時に、その特性や遺伝構造を表現型解析や遺伝子型解析を通じて詳細に評価する取組がいくつか行われている。このアプローチはすでにナスや陸稻などで始まっているとのことであるが、農研機構の作物育種部門や他組織の遺伝資源バンクと密接に協力することでさらに発展させることが可能となる。これにより、日本国内で使用されている主要な遺伝資源に関する情報が向上し、ある程度集約できるようになる可能性がある。
- iv) 遺伝資源の高付加価値化戦略は、管理された地場製品や伝統的なオーガニック農産物をプレ

ミアム価格で市場展開するためにも活用できる。また、農家のネットワークによる参加型育種は、ジーンバンクで保存されている地域の遺伝資源の普及とさらなる改良に貢献することができる。

- v) 主要な作物の登録遺伝資源を対象に、気候変動適応のための特定の特性（例：耐暑熱性、耐塩性、干ばつや洪水への耐性、開花時期など）を研究するための広範な取り組みを開始することが可能である。これには他の遺伝資源バンクとのより体系的な遺伝資源の交換も含まれる。例えば、他地域の気候条件に適応した遺伝資源を収集することで、2050年までに日本で予想される気候条件に対応可能とすることが考えられる。主要な作物種のパンゲノム研究は主要作物の気候適応を理解するのに役立つと同時に、気候条件の変化に対する高耐性を付与する特性の検出に使用できる可能性がある。

（回答及び対応方針）

- i) ご助言頂いた「広範な遺伝資源の生存率と寿命を向上させるための研究や安全で効率的な遺伝資源の保存技術の開発研究」として、保存中の種子の発芽率低下の抑制や、種子・菌株等の保存温度を上げて安全に保存できるなどの技術開発により省エネを目指す等の新たな取組を2024年から開始している。これらは2026年から始まる新しい農研機構の中長期計画においても遺伝資源研究センター（資源研）の実施課題として引き続き取り組む予定である。また凍結保存方法の改善については2023年から積極的に進めており、その対象となる遺伝資源を広げている。今後とも継続的に進めていく所存である。
- ii) 資源研では次世代シーケンシング技術を用いて、ジーンバンク保存されている遺伝資源の作物種ごとの参照ゲノム配列解析を進めている。遺伝資源の特性解明については、現在はまだ従来法で調査しているが、今後、農情研等からの協力を受け、AIなどの新技術を使った遺伝資源の表現型解析に取り組んでいきたいと考えている。
- iii) 資源研では、キュウリ、ナス、メロン等のコアコレクションの作成を、農研機構の野菜花き研究部門と協力して進めている。また、国内の遺伝資源を保有している研究機関と遺伝資源情報の共有化を進めており、農研機構のジーンバンクが保有していない遺伝資源の情報利用を図っている。今後、国内に保有する農業関係の遺伝資源に関する情報の共通化を進め、利用しやすい遺伝資源の確保に努めていきたい。
- iv) ジーンバンク事業では、研究や教育のために、要望する利用者に遺伝資源を配布している。すなわち、品種育成等の新たな作物の開発には利用できるが、そのままの遺伝資源を商業利用することはできない。資源研では、遺伝資源の高付加価値化戦略として、保有する遺伝資源の高付加価値に寄与する特性を明らかにし、利用者に対し遺伝資源の育種素材として利用

の宣伝を行っており、今後とも積極的に進めていきたい。また、農家のネットワークによる参加型育種は、地域の遺伝資源の保全やジーンバンクで保有する遺伝資源の増殖手段の一つとして有用であることから、今後検討していきたいと考えている。

- v) ジーンバンクでは、海外から多くの遺伝資源を受け入れ、2国間の共同研究により、現在も遺伝資源の収集を続けている。また、2023年から、ドイツやアメリカ、台湾等の遺伝資源保有機関との交流を開始し、遺伝資源の交換等による、遺伝資源の多様性拡大を進めている。ジーンバンクで保有している遺伝資源は、気候変動適応特性の解明等のための主要な作物種のパンゲノム解析等の利用に向けて、国内外の研究機関への配布を進めている。今後とも、気候変動適応等の問題解決に向けた研究や品種育成推進のための遺伝資源の多様性の拡大や配布を進めていきたい。

3) GHG削減技術（評定A）

この研究プログラムは、みどり戦略に従い、農業、林業、漁業からの温室効果ガス（GHG）排出を削減し、2050年までにCO₂排出ゼロにするという目標への貢献を目指している。具体的には、家畜、水田、土壌からのGHG排出を削減し、土壌中の炭素を隔離しながら生産性と環境保全を向上させる技術を開発することである。これらの中にはスニファー法を用いた牛からのメタン排出量の測定技術や、水田管理における中干し期間の延長によるCH₄排出量の削減、最適化された窒素の使用によるN₂O排出量の削減、バイオ炭の利用に加え、包括的な温室効果ガス（GHG）モニタリングおよび可視化のためのツールの開発などが含まれる。

今後の方向性については、以下を推奨する。

- i) CH₄およびN₂O排出量を多様な農業環境で評価するために、スニファー法やその他の測定技術の精度と使いやすさを向上させることが推奨される。
- ii) 複数のGHG削減戦略を組み合わせることによる相乗効果についての研究が推奨され、排出削減と農業生産性の最適化を図ることが期待される。また、バイオ炭の利用とその農業用途における炭素隔離への影響に関する研究を継続することも求められる。
- iii) GHG削減技術の導入による生態学的および経済的影響を評価するために長期的な研究を行うことが推奨される。特に、排出削減、生物多様性の保全、および土壌の健康の間のトレードオフに焦点を当てる必要がある。
- iv) 農研機構の目標は、家畜、水田、土壌からのGHG排出を削減し、土壌中の炭素を隔離しながら、生産性と環境保全を向上させる技術を開発することである。これらは競合する目標であるため、優先順位を定義しトレードオフを考慮する必要がある。

- v) 牛からのCH₄排出量の測定および削減、水管理の最適化による水田からのGHG排出量の削減において非常に良く研究が進展しているが、これらの取り組みは、単一作物や単一の圃場に焦点を当てている。今後はさまざまな輪作システムにおける GHG をその生産性と関連させて検討することが重要な課題である。
- vi) 農研機構の活動範囲は非常に広範であり、すべての分野がGHG排出削減に同等に貢献するわけではない。したがって、開発された技術とそのGHG削減の可能性を定期的に評価し、GHG削減の可能性が最も高い分野に研究資源を割り当てることが重要である。
- vii) 日本の食料システムにおける排出量の多くは海外で発生している。このため、社会経済的な研究が消費者の意識と行動の変化を分析し適切な変化を提案することに役立ち、GHG排出に関するさらに重要な要素となる可能性がある。
- viii) 技術に注目するだけでなく、農業の緩和における社会経済的な障壁（コストを含む）も考慮する必要がある。技術的な可能性とコストの両方を示す緩和削減費用曲線を作成することで、比較的低コストの対策を優先的に選ぶことが可能である。もう一つの基準は技術の成熟度（TRL）である。TRLが低い技術は2030年までに大規模に使えるようになる可能性が低い一方、TRLが高くコストが低い技術は、2030年までに農業の緩和策として採用される可能性が高い。しかしながら、TRLが低い技術についても2050年以降の将来に向けて検討する必要がある。
- ix) プロバイオティクスを用いたルーメン操作技術に加えて、特許化された化学物質（3-NOP）、特定の二次化合物、脂質に富む植物やプロモホルムを多く含む紅藻など、さまざまな飼料添加物が商業農場における反芻動物のメタン排出を抑制することがすでに示されているが、これらの開発と採用にはさらなる研究が必要である。
- x) 水田稲作においては、メタン排出削減のために広く試験されている節水灌漑水稻栽培法を補完する形で、中干し延長という技術成熟度が高くかつ低コストな技術が確立された。農業手法をこれらの手法に変更することは低コストであり、日本が他のアジア諸国と協力して開発したJ-クレジット制度によってすでに支援されている。地球観測を通じ、これらのオプションについて継続的かつ組織的にモニタリングすることが有用である。
- xi) 耕作地土壌からの排出に関し、大豆によるN₂O排出とその軽減に関するプロジェクトがある。これはnosZ+遺伝子を持つ根粒菌株を選択することで完全脱窒を可能にするものである。今回提示された結果は低い技術成熟度（ポットスケールの実験）だが、以前の研究では、土着の根粒菌株との競争にもかかわらず、フィールドスケールでの排出削減が示されている。この技術を大規模に展開するには、接種方法のさらなる進歩が必要である。
- xii) 農家がバイオ炭を購入して使用するためのインセンティブが明確でない。通常、バイオ炭の

コストは高いため、補助金がなければこの技術の採用率は低い可能性がある。

xiii) もう一つの問題は、ライフサイクル分析（LCA）を通じて推定されるバイオ炭の生産と使用におけるCO₂eバランスに関するものである。このプロジェクトはバイオマス廃棄物（例：もみ殻や果樹の剪定など）を対象としているため、このバランスが有利である可能性がある。しかし長期的に考えた場合、バイオ炭として炭素を他の畑に移すことにより一部の土壌が貧弱にならないよう注意が必要である。

（回答及び対応方針）

- i) スニファー法については、更なる装置や測定方法、算出方法等の改良を進めるとともに、測定の実証農場を増やしながらか精度検証に取り組んでいるところである。
- ii) 複数のGHGを総合評価することの重要性、排出削減と生産性の最適化が重要であるというご指摘はもっともであり、バイオ炭の研究も含め、ご指摘を踏まえて研究を進めていきたい。
- iii) GHGにとどまらない他の環境負荷を含めた総合的な評価の研究は私たちも考えており、レビューでご紹介した、モデルを活用した総合評価、見える化の研究がそれにあたり、今後も発展させる予定である。また、ご指摘のような長期の研究が望ましいのは全くその通りであり、実現できるように努力したい。
- iv) ご指摘のように、トレードオフの考慮は必須と考えている。それを考慮したうえで、生産性と環境保全を両立できる技術開発を目指していきたい。
- v) ご指摘のように、単一の作物だけでなく、さまざまな輪作体系を対象とするのは重要な視点だと考えている。水田メタンでいえば、畑作との輪作体系の中でN₂Oや土壌炭素も含めて評価することが重要だと認識して取り組んでいるが、今後も引き続き対応していきたい。
- vi) ご指摘のように、農業セクターの中で特にGHG排出量の大きい対象に優先的に取り組むのは重要と考えている。例えば排出量の大きい水田メタンなどに重点的に取り組みつつ、3つのGHGそれぞれについて削減策の可能性を模索しているところである。
- vii) 重要なお指摘と考えている。現在の国別GHGインベントリでは、食料の生産場面でのGHG排出量は生産国の排出として算定することになっているが、それを、消費を含めた食料システムの中にどのように組み入れるかに関し、環境価値の消費者への遡及や、消費者の行動変容、食料の輸出入を含めた社会経済的な観点からの議論を農研機構の内外で開始しているところである。生産だけでなく消費のありかたによりGHG削減に貢献することの重要性を示すことができる可能性があると考えている。
- viii) コストや労力などの障壁が低くTRLが高い技術（例えば水田における中干しの延長）などは

政府による環境直接支払いやクレジット制度の活用なども組み合わせて早期の普及に向けて取り組んでいる。一方、低メタン稲品種の開発や微生物機能を活用したN₂O削減などは将来の大幅な削減の可能性を見据えて革新的な技術の開発に取り組んでいる。両方をバランスよく推進し、気候変動の緩和に貢献することが重要と考えている。例えば家畜の窒素排せつ量を低減するアミノ酸バランス改善飼料は、コストが慣行飼料とほぼ同等か少し低いため、普及しつつある。GHGを大きく削減するがコストが高めの技術についても、さらなるGHG削減のために研究に取り組んでいきたい。

- ix) プロバイオティクスを用いた牛のメタン排出抑制技術については、社会実装を見据えた研究に継続して組んでいきたい。併せて、メタン削減効果を持つ化学物質や天然物質の効果について、これらを組み合わせた利用方法を含め、社会実装を見据えた研究に継続して組んでいきたい。
- x) 中干しの延長については、ご指摘のようにTRLが高く低コストであり、J-クレジットの効果もあり普及が進んでいる。ご記載いただいたように、地球観測等を通じた体系的なモニタリングを行うことは、その効果を最大限に発揮させるうえで有用であると認識しており、一部で取り組みを始めている。
- xi) ご指摘のように、この技術はまだTRLが低く、フィールドで確実に削減の結果を得るには接種方法の改良が必要である。フィールドでの適用を目指して取り組んでいるところである。
- xii) ご指摘の点は重要な点である。クレジットが得られることはひとつのインセンティブになり得ると考えるが、それだけでは不十分と考え、生産性を高める微生物機能を付与した高機能バイオ炭を開発することでコストを補うことを目指している。
- xiii) ご指摘のようにLCAは欠かせない。バイオ炭の製造や運搬、散布も含めたライフサイクルを評価することになっている。また、ご指摘のように、バイオ炭に限らず堆肥等の一般の有機物も含め、一部に施用が偏ることにより一部の土壌で肥沃度が低下することがあれば問題であることから、その点に留意することが重要であると考えている。

4) 病虫害防除 (評定S)

NAROの研究プログラム「植物保護の革新」は、日本の農林水産省のみどりの食料システム戦略に則り化学農薬使用量を2050年までに50%削減することを目指しており、統合害虫管理 (IPM) や有機生産の原則を採用した環境に優しい植物保護方法の革新を推進している。具体的には、在来の捕食者や寄生虫を利用した害虫駆除に加え、非常に革新的なレーザーシューティングや超音波技術などの物理的制御手段および生物防除剤や細胞内共生体の開発が含まれる。また、AIとフェロモンモニタリングを通じた害虫管理戦略の改善や、越境性害虫の予測システムの

確立に関する研究も実施している。これらの取り組みは、日本の化学農薬使用削減目標に貢献し、持続可能な農業の実現を目指した重要な一歩となっている。

今後の方向性については、以下を推奨する。

- i) 統合害虫管理システムの新技术（例：レーザーシューティング、超音波、生物防除剤）を実用化するための現実的なテストシナリオとプロトコルを開発することを推奨する。実際の圃場での生存の可能性をより深く理解することで、環境への影響を最小限に抑えた包括的な害虫駆除アプローチにつながる可能性がある。
- ii) 越境性飛来害虫の課題に対処するためには、AIおよび計算シミュレーションを合わせた研究に焦点を当て、他の関連国で使用するための害虫予測システムを引き続き強化および適応させることを推奨する。モデルの継続的な改良とデータ収集の改善は、その地域全体の食料安全保障を向上させるために重要である。
- iii) 一般的に、研究所における研究はどちらかという基礎的であり、かつ非常に革新的で新規的であるため、実用化できない部分が存在するかもしれないというリスクを伴う。最も重要な害虫や病気を取りあげ、農家が迅速に採用できる生物学的および物理的防除方法を開発し、最適化するための応用的な研究実施分野を統合することを提案する。
- iv) これらの新技术は作物保護戦略を刷新し、化学農薬の使用を減らすために有望であるが、これまでのところIPMプログラムを通じたコマーシャル農場での利用は非常に限られているようだ。化学農薬の使用を減らすために、複数技術の統合にさらに注目する必要がある。そのためには農場規模で革新を試し、農家と共に地域での展開を共に設計するためのアグロエコロジカルな農場ネットワークが必要かもしれない。
- v) レーザーや超音波を使った害虫駆除、不妊オスや共生微生物を利用した害虫駆除など、環境に優しいハイテク技術の実証を行っているが、これらの技術を商業農場で使用するには規制当局の承認が必要であり、リスク評価や潜在的なユーザーの訓練に重点的に取り組み、リスクを可能な限り軽減する必要がある。
- vi) 低技術と高技術の両アプローチがどのように展開されるかをモニタリングすることは、それぞれのアプローチがさらにどのように展開され、どのように作物システム全体のIPMプログラムに統合されるかを理解するのに役立つと考えられる。
- vii) ツマジロクサヨトウやウンカの移動経路の高度なモニタリング、フェロモントラップの開発、AIを用いたカウントツールの開発は、アジアにおける植物保護に関する連携の大きな成果である。このアプローチは、アフリカなど他地域との協力を通じてさらに発展させることが可能である。

(回答及び対応方針)

- i) これらの技術は、化学農薬による環境影響や、生産者への労働負担を軽減するために開発を進めている。レーザー狙撃については、今後5年間の間に農研機構のほ場やコンソーシアム内の試験ほ場において実証試験をすすめるとともに、安価かつ小型な装置の開発を目指している。超音波については、生産現場で実証試験を20カ所以上で行い、民間企業とも連携して製品が購入できる状態になっており、その使用方法を生産者がすぐに活用できるように詳細に標準作業手順書としてまとめて公開している。生物的防除剤については、農薬登録のために現地実証試験の有効事例数が6例必要なため、農研機構およびコンソーシアム内共同研究機関のほ場においてデータを取得後、登録を行いたいと考えている。すでに数社の民間企業に打診を開始しており、市販化に向けた準備も開始している。
- ii) 越境性飛来害虫の課題については、中国、タイ、ベトナム、台湾などと連携しながら進めている。具体的には、ツマジロクサヨトウ、ウンカ、ミカンコミバエなどの高度な飛来予測システムの開発については、中国、台湾などと国際共同研究を推進しており、今後とも関係を築いていきたい。また、ツマジロクサヨトウ、ウンカの薬剤抵抗性管理については、それぞれタイ、ベトナムと共同研究を実施中である。さらに、2024年にはアフリカからの留学生（技術講習生）を受け入れてツマジロクサヨトウの飛来予測システムに関するトレーニングを実施し、アフリカでの害虫管理技術の開発に貢献しているところである。引き続き、モデルの継続的な改良とデータ収集の改善を行っていきたい。
- iii) レーザー狙撃については、これまでにない新規の取り組みのため、懸念はもっともである。そのため、作物の重要害虫であるハスモンヨトウをはじめのターゲットとして選定した。これにより、社会実装先が広がり、安価な装置の提供に繋がれると考えている。超音波については、まずは最重要害虫であるハスモンヨトウやオオタバコガをターゲットに防除試験を進めていくことが実用化・社会実装の道筋になると考えている。天敵については、すでに同種が市販されていることから、実用化へのハードルは低いと考えている。既存製品よりパフォーマンスの高い製品を投入できる見込みがあること、これまでに使用されていなかった作物（イチゴ）での展開が期待できることから、現実的なものとなっている。共生微生物については新しい取り組みであるため実用化はまだ先であるが、基礎的研究が充実してきており、これも広食性の重要害虫をターゲットとすることで確実な成果としていきたい。
- iv) これまで天敵利用技術など化学農薬の使用を減らすための個別技術については、公設試験場などと協力して地域の栽培体系に適合させた形で、他技術と組み合わせたIPMプログラムとして提示し、現地生産者の工夫も加えながら実証、普及に取り組んできた。こうした減農薬技術の地域への展開には長い時間を必要としていた。革新的な技術の普及はこれからとなる

が、すみやかな普及のためには、ご指摘のように、まずはアグロエコロジーを志向する農場のネットワークを活用し、そこに現場技術者や科学者が加わる中で、革新技術（例えば天敵とレーザー）を統合化したIPMプログラムを共同開発し、複数農場で実証しつつ地域への展開を図っていく必要があると認識している。

- v) レーザーの人への誤射を防ぐため、カメラで人を検出したらレーザーを強制的に停止するなどの安全対策を構築し、最終的には標準作業手順書の公開や技術指導などにより、ユーザーがこの技術を安全に使用できる体制を整えていきたい。生物防除剤を農薬登録するには、生態リスクが評価できるデータを提示し、農水省の認可を受けることになることから、必要なデータを取得する予定である。共生微生物については、不妊オスや共生微生物を利用した害虫駆除については、海外ではデング熱を媒介する蚊などに実装されている。さらに、室内実験と数理モデルによる解析を組み合わせることで、効果とリスクを中立的に評価し、さらには効果の向上やリスクの低減を目指した技術改良に取り組んでいきたい。また、一般市民から誤解を受けないよう、一般向けの啓蒙活動に注力する必要があると考えている。
- vi) レーザー技術のみですべての病虫害をカバーすることはできない。また、選抜された天敵技術だけでも全てを網羅することはできない。そのため、既存の化学農薬や既存の技術（土着天敵など）との統合を前提として技術開発を進め、既存の技術への付加あるいは置換をスムーズに行えるようにして、最適なIPM防除体系の構築を目指したい。
- vii) 越境性飛来害虫の課題については、中国、タイ、ベトナム、台湾などと連携しながら進めている。具体的には、ツマジロクサヨトウ、ウンカ、ミカンコミバエなどの高度な飛来予測システムの開発については、中国、台湾などと国際共同研究を推進しており、今後とも関係を築いていきたい。また、ツマジロクサヨトウで開発した新たなフェロモントラップについては、タイと共同研究を実施し、タイ国内での発生予測、交信攪乱等に利用できるように改良を行う予定である。また、ツマジロクサヨトウ、ウンカの薬剤抵抗性管理については、それぞれタイ、ベトナムと共同研究を実施中である。さらに、2024年にはアフリカからの留学生（技術講習生）を受け入れてツマジロクサヨトウの飛来予測システムに関するトレーニングを実施し、アフリカでの害虫管理技術の開発に貢献しているところである。引き続き、地域全体の食料安全保障を向上させるため取り組んでいきたい。AIを用いたカウントツールの開発は、まずは国内での普及を推進していくが、アジア等海外との情報交換も必要と考えている。

（２） 研究方向性に対する提言

農研機構は、日本の農業研究の最前線に立ち、AIなどの先進技術を活用して多様な農業課題に

取り組む革新的なアプローチを採用し、幅広い分野で国立研究開発法人としての責任を担っている。その活動は、持続可能な食料システムのためのみどり戦略やSociety 5.0など、日本政府の戦略に深く組み込まれており、食料安全保障や食料自給率の確保、国際競争力の強化、輸出拡大、環境保全への貢献を目指している。また、国際的なパートナーと連携し、持続可能性、生産性、回復力の向上に貢献し、複雑な科学的問題に対処するための学際的研究を推進している。

1) 全体に対する提言

- i) 農研機構はAIとコンピューター計算技術に引き続き投資すべきである。ビッグデータとAI技術を活用して農業の意思決定プロセスを改善し、気象、土壌、害虫データを統合する包括的なデータプラットフォームを開発することで、農家に実用的な知見を提供し、資源利用の最適化と収量の向上を図りながら環境への影響を最小限に抑えることができる。
- ii) 気候変動は農業に重大なリスクをもたらすため、農研機構は作物と農業システムのレジリエンスを強化する研究に引き続き投資すべきである。これには気候変動に配慮した農法の開発、干ばつ耐性を有する作物品種の探索、異常気象の影響を軽減する適応的管理戦略の実施が含まれる。
- iii) 共同研究イニシアチブにより、AIを活用した害虫予測システムや精密農業ツールなどの先進技術の開発が促進され、農研機構は農業研究の最前線に立ち続けることが可能になる。大学、民間企業、国際研究機関との強固なパートナーシップを構築することで、知識の交換とイノベーションが促進される。
- iv) 研究成果が現場で活用されるようにするために、農研機構は普及と教育活動を継続すべきである。これには持続可能な実践、病虫害防除技術、新しい手法や技術の利用について農家や農業関係者がアクセス可能な研修プログラムの作成を含む。
- v) 科学に基づく情報が政治的判断、公衆の意識、そして農家による実践・応用に浸透することは、それぞれの方向性は異なっているが、いずれも等しく同様に重要な知識の伝達方法であると認識すべきである。
- vi) 幅広い専門知識と研究分野により、農研機構は優れた学際的研究を追求し、複雑な科学的問題に取り組むことができる。人材のさらなる育成のためには、国内外の研究機関との強固な協力関係が必要であり、それをさらに強化すべきである。

(回答及び対応方針)

- i) 農研機構の研究開発戦略へのご理解に感謝する。2018年の久間理事長就任以降、AIやビッ

クデータを活用した技術開発を戦略的に強化した結果、レビューで紹介した具体的成果が始めている。これからも引き続きこの分野への投資を強化し、農情研と各研究所が連携して実用的な研究成果を創出していきたい。

- ii) 農研機構は、研究開発の3つのミッションの1つである「生産性向上と環境保全の両立」の中で、気候変動に適応した農業技術開発を進めている。今後も、環境へのレジリエンスを強化するための、品種開発や農業システムの研究を強化する。
- iii) ご指摘の通り、共同研究による先端技術の開発を目指し、これまでも国内の大手通信会社等との共同研究で、専門家とAIとの連携による「遠隔営農支援システム」開発プロジェクト、あるいは卓越した研究開発能力を持つ大学と連携し、MS型プロジェクト等を実施するなど、他機関との連携強化に努めている。また、国際共同研究については、INRAEとのお互いの強みを生かした発酵研究、LNLLとのAIと農業の融合を目的とした研究等を予定しており、今後一層の連携強化によりイノベーション創出を目指している。
- iv) 農研機構は普及組織を持っていないが、研究成果の普及は、都道府県（公設試、普及センター）との連携によって継続している。農研機構は、2019年より主要な研究開発成果を対象に標準作業手順書（SOP ; Standard Operating Procedures）を作成し、研究成果の普及に役立てている。2025年現在、145本のSOPを作成している。
- v) ご提言のとおり、研究成果を農業界や食品産業界に実装しそれぞれの発展に貢献するだけでなく、得られた科学的知見が政治的な判断に活用され、社会の科学リテラシー向上に寄与することはどちらも重要であり、我々の役割だと認識している。
- vi) 学際的研究の中でも、AI、ICT等を従来型の農業・食品研究と融合させ、多様で複雑な問題に対応するための研究は、農業・食品産業を持続的に発展させる上でより強力で推進すべきと考えている。そのためにも国内外の様々な研究機関との連携は重要であると認識しており、引き続き前向きに取り組むたい。

2) スマート育種に関する提言

- i) プレゼンテーションではゲノム編集に関する言及がなく、スマート育種とAI育種の可能性に焦点が当てられていた。ゲノム編集の役割（および潜在的なリスク）については世界中で注目を集めているため、スマート育種に関する農研機構のビジョンを広げることは有益かもしれない。
- ii) 今や育種は生産性だけでなく、非生物学的および生物的ストレスへの耐性、肥料、化学農薬、灌漑用水などの投入量を制限することによる農業の環境への配慮にも貢献する必要がある。これらの課題は相互に関連しており、低投入農業は生産性が低くなる可能性があり、また暑

熱、干ばつ、洪水に対して耐性を持つ植物の特性は、最適な気候条件下では収量低下を招く可能性がある。統合的な対応策は、最適な農業技術とスマート育種を組み合わせることにより見出す必要があるだろう。

- iii) スマート育種は現在の主要作物種の適応だけでなく、将来の気候温暖化に備えて代替作物種を育種する必要性も考慮すべきである（例えば、灌漑用水の利用が制限される場合にトウモロコシの代わりにソルガムを育てるなど）。これには日本や他の国々の遺伝資源を探索して適切な特性を見つけることが必要であり、将来の気候条件に対する作物生産のレジリエンスを確保するために、気候を考慮した育種に向けた進展が求められる。
- iv) スマート育種は、遺伝子型解析（ジェノタイプング）と表現型解析（フェノタイプング）の両側面のバランスを取るべきである。過去20年間で遺伝子型解析の方法は大きく進歩したが、表現型解析にはあまり重点が置かれていなかった。その結果、現在の主な障害は、植物の成長を現実的な「畑のような」条件下で高精度に表現型解析することにある。さらに、広範な研究にもかかわらず、多くの複雑な植物特性（例：収量）の遺伝子調節に関する理解は依然としてあまり進んでいない。進展を図るためにはフェノミクスに基づいた機能的作物モデルを使用して、育種のための遺伝的ターゲットをより明確に定義する必要がある。
- v) 制御された環境プラットフォームの使用を超えて、環境との相互作用による混乱を避けながら遺伝子型を選択するにはフェノタイプングの能力を広げる必要がある。特に、気候変動によって急速に増えると予想される非生物学的ストレス（例えば、高温やCO₂濃度の上昇など）の下で植物を詳しく調べるのが重要である。これにより気候変動に強い特性を持つ遺伝子型のより迅速な選択が可能となる。

（回答及び対応方針）

- i) ゲノム編集は、目標とする性能に合わせて作物をデザインしたり、単一遺伝子の突然変異で得られる範囲より大きな多様性をもつ作物を開発する際に有効であるため、研究として技術開発を進めている。
- ii) 高温や低肥料などの環境条件での表現型データを収集・蓄積するとともに、環境効果も取り入れた形質予測モデルを開発することにより、求められる環境条件下での最適な遺伝子型を効率的に選抜したい。
- iii) 主要な作物において、環境効果も取り入れた形質予測モデルを開発することにより、環境条件に応じた作物種の選択および最適な遺伝子型の選抜を効率的に行えるようにしたい。
- iv) ご指摘のとおりである。作物研究部門（作物研）では、人工気象室内にフィールドに近い環境を再現し、植物の生長を非破壊計測できるシステムを導入し、遺伝子発現や植物の生長の

モニタリングを行っている。これらのオミクスデータを用いて、特定の環境に適した作物モデルを構築する試みを進めている。本モデルを基に、育種のための候補遺伝子ターゲットの選定を将来的に可能にする。

- v) ご指摘の通りである。作物研では、人工気象室内にフィールドに近い環境を再現し、高温ストレスや干ばつストレス、高CO₂濃度の条件下で年間を通して植物を栽培調査できる施設の整備を行っている。

3) フードロスに関する提言

- i) 現在、日本では高品質米の供給不足などの短期的な問題や気候変動による将来の不確実性により、戦略的な穀物備蓄が必要になる可能性があることに留意すべきである。そのような場合、穀物やその他の食料品を大規模に保存するのは容易ではないため、収穫後の損失が増加する可能性がある。この観点から、長期的な穀物保存技術を研究するため、農研機構の食品ロスと廃棄に関するビジョンに統合する必要があるかもしれない。
- ii) 食品廃棄の大部分は、小売、家庭消費、そしてフードケータリングの段階で発生する。この段階での食品の過剰消費は、消費者（例：栄養や健康）や環境に有害であり、食品の実際のコストを異常に高くする要因となる。それにもかかわらず、食品廃棄は農食品分野の売上を増加させている。この問題は、規制措置、価格シグナル、小売、ケータリング、消費者の行動変化によって対処できるかもしれない。しかし、私の理解では、農研機構は社会経済学の研究を行っていない。したがって、農研機構は食品廃棄を減らすための技術の変革に焦点を当てる必要がある。
- iii) これまでのところ、食品廃棄は「Food loss and waste」問題の主要な要素である。農食品加工業界には、食品廃棄を最小限に抑えるための明確な経済的インセンティブがあり、副産物や副生成物を最大限に活用している（例えば、動物のエサやバイオガスの生産など）。それでも、新しい方法で副産物を活用すること（例えば、食用よりも飼料として使われる可能性が高い昆虫タンパク質など）は関心を引くかもしれない。したがって、農食品加工チェーンの副産物や副生成物を革新的な方法で活用することは、農研機構の食品ロスと廃棄に関する研究方向性にとって重要である。
- iv) 食品の保存期間を延ばすことは食品廃棄を減らすのに役立つ可能性がある。食品廃棄を減らすための技術革新として、新しい発酵食品や冷蔵チェーン以外の方法で食品を保存する手法に関する研究は非常に重要である。その一方、冷蔵チェーンとその物流の革新も重要である。特に暑熱波によって冷蔵効率が低下する可能性があるため、その適応策の構築が必要である。

(回答及び対応方針)

- i) 穀物の貯蔵・保存技術について、以前より研究規模は縮小しているものの、貯穀害虫の防除技術の開発等の研究を継続し、薬剤を使わない環境負荷の少ない害虫防除技術等の実用化を進めている。また、温暖化の進行等により、今後、穀物におけるカビの発生やカビ毒のリスクが増大する恐れがあり、有害カビおよびカビ毒の検出、発生予測技術やカビ毒産生防止技術等の研究開発を進めている。今後も、食料安全保障に関わる研究開発と緊密に連携し、これらの研究を適切に進めたい。
- ii) 家庭消費など川下の段階での食品ロス（家庭系食品ロス）の割合は47%と高く、小売り・外食と合わせて消費段階での食品ロス削減が重要であると認識している。そのため、消費/賞味期限の延長や過大な安全係数の適正化、売れ残りの削減、期限切れ廃棄や食べ残し等を減らす消費者の行動変容につながる技術開発が必要と考えている。農研機構では、革新的な冷蔵・保存技術の普及・実用化と食品の栄養価や安全性、鮮度等の品質を的確に評価する技術の開発を進めるとともに、家庭内残余食材等を活用したレシピ提案等とあわせて食品廃棄の削減につながる研究開発を加速していきたい。
- iii) 農研機構は食品廃棄物の削減につながる研究と同時に、副産物のアップサイクル技術にも積極的に取り組んでいる。特に日本が得意としている発酵技術を活用して、食品から食品へのアップサイクルだけでなく、食品以外へのアップサイクル技術の開発も進めている。例えば、ホエイを原料にした麹菌による代替肉生産や稲わらを原料にした有価物（乳酸）の生産等である。また、発酵研究の基盤整備として、農研機構が保有する約6,000の乳酸菌株の情報をまとめたNARO乳酸菌データベースを構築し、Webサービスとして公開を始めている。
- iv) エネルギー消費量やコスト削減の観点からも、冷蔵チェーンに過度に依存しないことは重要と認識している。そのため、常温でも食品の長期保存を可能にする電気処理や高圧処理による新たな殺菌技術の開発を進めている。これらの技術では、従来のレトルトよりも、風味や栄養成分等の劣化が少ない食品を作ることが可能となる。また、高断熱密閉ボックスを用いて、青果物の鮮度を維持したまま輸送可能なシステムを民間企業と共同で開発しており、効率的な冷蔵チェーンの構築にも取り組んでいる。さらに、スタートアップ企業等と共同で生鮮食品の鮮度保持技術や品質センシング技術の開発を進め、食品流通の革新に貢献していきたい。