

## 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および指摘事項等に対する回答を以下に示す。

### 1) 大課題の評価ランク

[B] (3名の評価者いずれもB)

### 2) 大課題全体に対する評価

全体として、選択された研究テーマはいずれも重要であり、土壌肥沃度ならびに作物の無機養分の管理向上に確実に貢献するだろう。本大課題の下で行われている研究は、研究に対する優れたアプローチならびに手順に則った質の高いものであり、研究を、試行錯誤的アプローチから、予測能力の開発に必要なより体系だったデータ収集へと移行する好機にあるものもある。研究の科学性ならびに研究全体としての卓越性は、これまで以上に高められると考えられる。今後検討されることが望ましい課題がいくつかある。

土壌中のリン酸や可給態窒素に関する分析的方法論の開発においては、素晴らしい前進が見られる。数多くの研究の成果が、農業者によって採用されるに相応しい段階にある。<sup>a)</sup> 地域の研究・普及機関ならびに生産者団体などとの提携を通して、研究の成果を農業者に採用してもらうための計画を立てるべきである。農業者を巻き込んだ研究の検証が、特に応用研究の分野で多くなされることが必要である。

<sup>b)</sup> 作物が利用可能な肥料以外の供給源からの養分の増加を目指す研究は、作物栄養と環境保全の両立を図るために、肥料の最適削減量を定量化することも必須である。研究成果の恩恵ならびにその重要性を増すためには、<sup>c)</sup> 作物-土壌間の相互作用についてのメカニズムを解明し、確定的な情報を提供するような研究が欠如しており、今後の研究においては、得られた結果の多様な側面における作用機作の解明に注力することが望ましい。例えば、大規模な土壌ならびに作物、もしくは少なくとも野菜の調査研究に着手されることを推奨する。将来の研究課題を立てる時に役立つ大変有用なデータのみならず、収穫された野菜の栄養的品質をより良く理解するために役立つデータが得られるだろう。

また、リン酸を富化した種子が、リン酸肥料の使用量削減に果たす役割の調査も含め実施することが望ましい。ただし、リン酸肥料の原料の大部分は、海外から輸入されている。<sup>d)</sup> リン酸肥料の製造に使用する前に、これらの原料にカドミウムならびに他の金属が含まれていないかを分析することが肝心である。

優れた応用研究を支え、なお一層強化するためにも、これまで以上に多くの基礎研究に取り組みられることを推奨する。そのためにも、<sup>e)</sup> 研究が世界の研究コミュニティで議論されることが大切であり、研究成果は、国際的な著名な雑誌により多く発表することを強く推奨する。取り組まれている研究のいくつかは、影響力の大きい専門誌に発表できるであろう。プロジェクト内の各研究活動間の連携や統合には、今後より一層の明確化および強化が可能

な余地がある。農研機構所属の研究者間の協働関係の一層の強化も必要である。特に、農研機構以外の組織や研究機関に所属する研究者たちとの関係を強化することが望ましい。大学ならびに他の国立の研究機関との共同研究の活発化を強く推奨したい。

(下線の指摘に対する回答)

- a) 研究成果の普及のための計画は立てている。可給態窒素の簡易・迅速評価法を施肥法の改善につなげるためには様々な地域での検証が必要であり、これまでも茨城県、長野県、愛知県の普及組織と連携して、この簡易・迅速評価法の普及に努めてきた。可給態リン酸の評価については、千葉県内の生産組合の圃場で検討中である。より広範囲に普及させるため、より多くの研究・普及機関や生産者団体との連携を図りたい。
- b) 土壌蓄積養分の利用については、施設キュウリ栽培の基肥に施用するリン酸の省略や土着菌根菌の活用による大豆栽培の施肥リン酸 30%減肥などの成果をあげてきた。今後も土壌、堆肥、緑肥中の養分利用や、生物機能の利用による肥料の適切な削減に向け努力する。
- c) 作物-土壌間の相互作用のメカニズム解明の重要性は認識している。土壌特性が堆肥のペレット化によるリン酸肥効の向上に及ぼす影響や有機栽培によるエチレン発生抑制のメカニズム解明を進める。
- d) 肥料中のカドミウム等有害成分濃度は肥料取締法によって規制されており、肥料メーカーはリン鉱石中の有害成分濃度を検査して使用している。したがって、本大課題の中でリン鉱石中のカドミウム等を分析しなければならない必要性は低い。
- e) 良い成果が得られていながら国内誌に投稿した場合もあった。基礎研究にも力を入れつつ、積極的に国際誌に投稿するように努めたい。

### 3) 6つの中課題に対する評価

#### (1) 土壌・資材の評価と肥効改善による効率的養分管理技術の開発 (151a1)

中課題 151a1 の目標は優れており、土壌中の可給態リン酸および可給態窒素の使いやすく、かつ、迅速な測定法の開発は、農業者に重宝されるであろう。また、この簡易迅速な測定法の開発は、無機栄養素の効率的な利用という観点から、より優れた土壌管理に貢献するだろう。今まさに開発された土壌診断法を、農業者ならびに地域の普及機関に広範囲に普及させる好機である。測定法の普及に向けた綿密な計画の立案をお勧めする。ただし、<sup>a)</sup> この迅速な測定法を導入するには、可給態リン酸量の大きく異なる広範な土壌に適用できるのか検証することが不可欠であり、作物分析も含めて土壌の種類が異なる複数の場所での試

験を繰り返し行うことで、検証されなければならない。作物窒素および作物リン酸と土壌中の窒素およびリン酸濃度との関係付けは重要であろう。この他に農業者の管理作業や畑の来歴と土壌診断結果との関係性の解明や土壌診断結果を畑作物や水稲の施肥量に反映させることも研究に値する。試行錯誤的アプローチから、予測力を高めるための体系的なデータ収集に、研究を移行する時期にきている。今後は、<sup>b)</sup>土壌タイプならびに作型に応じた最適な肥料の組合せを定めるための体系的なデータの収集につながる研究に取り組まれることが望ましい。

<sup>c)</sup>汚染された土壌からの放射性セシウムの吸収にカリウムの添加が与える影響を調べる研究は興味深く、また非常に重要であるが、その機序が不明である。反応機構を解明するためには、これまで以上の基礎研究が必須である。作物の放射性セシウム汚染を最小限にするための実験に関しては、硝酸カリウムなどのカリウム肥料の葉面散布に注目する必要がある。また、イネならびに他の作物の移行係数の計算にあたっては、子実のセシウム含量のみならず、茎葉のセシウム含量も考慮する必要がある。

(下線の指摘に対する回答)

a) 土壌中にリン酸の蓄積が進んでいる現状を農業者に生産現場で実感してもらうことを目的として、可給態リン酸含量の高い土壌に焦点をあてて手法を開発し、キュウリの施設栽培で検証を行ってきた。この方法は、可給態リン酸含量の低い土壌では、感度の点で現場利用には問題があるため、リン酸蓄積が顕著ではない異なる土壌、作物、地域を対象として、手法の改良に取り組中である。

b) 体系的なデータ収集には公設試験研究機関等との連携が重要と考えている。競争的資金等の獲得により研究グループを形成して、土壌診断に基づく効率的施肥技術の開発のための研究実施を目指したい。

c) 放射性セシウム吸収の反応機構に関する基礎研究の重要性は認識している。ご提案の内容は、2012年以降、農地土壌等の除染技術および農作物等における放射性物質の移行制御技術の開発など、放射性セシウム研究の中核を担う大課題510のメンバーに伝えたい。

## (2) 寒地畑輪作における根圏の生物機能を活用したリン酸等養分の有効利用技術の開発 (151a2)

輪作が作物のリン酸必要量に与える影響は、注目に値する。研究結果は、アーバスキュラー菌根菌宿主作物の栽培跡地に植えられた実験作物の菌根菌の定着および収量にプラスの影響を与えることを示した。しかし、<sup>a)</sup>土壌中のリン酸がアーバスキュラー菌根菌に及ぼす影響、ならびにアーバスキュラー菌根菌の有益性には大きなばらつきがあることを考慮す

る必要がある。リン酸肥料を削減するために必要な実用的なアーバスキュラー菌根菌の感染程度は、長期にわたる実験によって究明されなければならない。これに加えて、現在および将来の輪作におけるリン酸肥料の必要量を削減するためには、<sup>b)</sup>アーバスキュラー菌根菌の宿主作物を用いた輪作の経済分析および技術的な実用可能性をも考慮しながら研究を進める必要がある。

<sup>c)</sup>菌根には、根からのリン酸および亜鉛の吸収を促進するだけでなく、広範囲にわたる様々な有益な効果があるため、実験作物の葉のリン酸濃度ならびに地上部のリン酸含量が提示される必要があった。<sup>d)</sup>フィチン酸などにより、利用可能な土壌中のリン酸が増加した場合には、環境を保護するために、それに対応して肥料や有機土壌改良剤由来のリン酸を削減する必要があることを考慮に入れておかなければならない。中課題内のフィチン酸関連の研究を、ミヤコグサ (*Lotus japonicus*) の遺伝資源を活用することで拡張し、リン酸欠乏状態での根のフィターゼ活性の遺伝子型変異を研究することが重要である。<sup>e)</sup>北海道のような地温が低い地域では、苗の生育や収量に対して種子に富化したリン酸が果たす役割を解明するための短期の研究プロジェクト研究を立ち上げることが重要である。

(下線の指摘に対する回答)

a) 今回示したアーバスキュラー菌根菌を利用したダイズ栽培でのリン酸減肥技術においては、土壌中のリン酸濃度の影響を考慮し、さらにアーバスキュラー菌根菌の効果のばらつきも考慮して、リン酸肥料の減肥基準を現在の基準から3割削減までにとどめている。効果を見込める菌根菌の感染程度については、おおよその値はつかんでおり、試験を継続してより明確にしていく方針である。

b) 既存のダイズ栽培においても前作にアーバスキュラー菌根菌の宿主作物が栽培されている場合がある。その場合には、土着菌根菌の機能を利用するだけなので導入コストは全くかからない。新たな輪作体系を構築する場合、特に菌根菌非宿主作物の跡に菌根菌宿主である緑肥作物を導入する場合は、経済的・実用的な達成可能性を考慮しながら研究を進めたい。

c) 海外レビュー会議では時間の関係で説明しなかったが、アーバスキュラー菌根菌に関するすべての試験において、リン酸吸収量は測定しており、アーバスキュラー菌根菌の効果の主要因がリン酸吸収促進であることは確認している。今後はアーバスキュラー菌根菌のリン供給以外の効果についても解析の対象としていきたい。

d) フィチン酸などを有効利用する技術が開発されて土壌中の利用可能なリン酸が増加した場合は、当然、それに見合う量のリン酸投入を控えるべきであることを示していきたい。

e) 種子にリン酸を富化する技術については、次期中期計画に組み込めるかどうか検討を始

めたい。

### (3) 暖地畑における下層土までの肥沃度評価と水・有機性資源活用による土壤管理技術の開発 (151a3)

土壤の塩化カリウム (KCl) 抽出法による pH (以下、pH (KCl)) を特定する研究ならびに堆肥のリン酸を分別する研究は、用いられている科学的なアプローチおよび方法の質の高さを表している。ただし、実験結果を理解し解釈するためには、堆肥の施肥によって実験用土壤に加えられたリン酸の量に関する情報が不可欠である。また、研究のもたらすメリットならびにその重要性を高めるためには、a) 本研究を国内農業に適用するための計画が不可欠である。そして、その計画は、例えば、非アロフェン質黒ボク土とアロフェン質黒ボク土とをより正確に分ける方法が、対象土壤の適切な管理の設定にどのように役立てられるのかについて説明がなされなければならない。また、b) pH (KCl) を交換性アルミニウムの指標として計測しているが、それを用いた交換酸度  $y_1$  の推定手法の新規性についても、十分な説明が必要である。

堆肥のペレット化に関する研究は、注目に値する科学的貢献である。ペレット堆肥が、作物の成長および根のリン酸吸収の向上に及ぼすプラス効果のメカニズムを説明するのは難しいが、ペレット堆肥が作物の成長に関連して果たしている積極的な役割を理解するのに役立つような実験が行われていなかったのは残念である。c) リン酸吸収が増加するメカニズムをより詳細に解明するとともに、リン酸固定能などの土壤特性がペレット堆肥の有益性に及ぼす影響を、他のリン酸供給源の場合と比較して定量化するための体系的な研究が、今こそ必要である。

(下線の指摘に対する回答)

a) 九州地域の草地土壤では酸性障害が頻発しており、その改良のために非アロフェン質黒ボク土の分布や特性の解明が必要であった。我々は本成果を踏まえて、当地域の牧草の生産性向上に資するため、以下の計画を進めている。1) セミナー開催やリーフレットの作成・配布により、農業者や普及指導員、行政担当者へ非アロフェン質黒ボク土の分布や簡易判定法について情報提供する、2) 非アロフェン質黒ボク土の中和石灰量の簡易推定法を開発する、3) 鶏ふん燃焼灰など地域の資源を活用した酸性改良技術を開発する。

b) 本研究は、わが国の土壤管理における具体的かつ技術的な問題の解決を主目的としたものである。わが国で従来から交換性アルミニウム指標値として用いられてきた  $y_1$  は、測定の高複雑性から現場での活用が困難だった。pH (KCl) は  $y_1$  と同様の抽出法による酸度評価法であるが、pH (KCl) と  $y_1$  の関係性を多種の土壤、多数の試料で解析した研究はこれまでなかった。我々は、九州沖縄地域の代表的な畑土壤を分析して、両者の関係性から精緻な換算式

を初めて提示した。農家や農業指導員は、この換算式と簡易に測定できる pH(KCl)から y1 を算出し、土壤酸度を評価することができる。現在、公設試験研究機関と協力して、pH(KCl) を指標にしたバレイシヨのそうか病抑制のための土壤酸度管理技術の開発を計画している。

c) 我々は、リンの可給性がバルク堆肥とペレット堆肥で異なることを観察している。貴重なご提案に基づき、原材料を異にする堆肥を使用して、インキュベーション研究によって堆肥中のリン酸の土壤中での動態を調査していきたい。

#### (4) 環境負荷物質の広域動態モデル策定と生産技術の環境負荷評価法の開発 (151b0)

日射制御型拍動自動灌水装置 (ADPI) は、実用的な研究成果の一つの表れである。<sup>a)</sup> ADPI の導入は、一酸化二窒素 (亜酸化窒素) フラックスおよび窒素施肥量の削減、ならびに節水に効果があるようであるが、費用対効果の分析をするためには詳細なデータが必要である。

様々な栽培技術による温室効果ガス削減効果に関する知見には、期待がもてる。特に、評価に用いたモデリング技術は最先端であり、たいへん役立つものである。本研究は、今後これまで以上の深い探究および解釈がなされたならば、多大な成果をもたらす可能性を示唆する。例えば、農業技術の分析結果の中で報告された化学肥料よりも堆肥を用いた場合の方が温室効果ガス (一酸化二窒素) の排出が多い点は、本中課題の研究成果報告の中では深く掘り下げて考察されていないが、意味深い結果 (発見) の代表例である。有望な新技術は試験、検証されており、他の研究機関との継続的な協力関係がある。<sup>b)</sup> プロジェクト内で進められている活動の統合は、より一層の明確化と強化が必要である。プロジェクト内の活動の統合性が強化されたならば、研究の成功率および研究の重要性を一段と高められるだろう。

(下線の指摘に対する回答)

a) 日射制御型拍動自動灌水装置 (ADPI) の初期投資費用は 20 万円/10a 程度であり、一般的な養液土耕装置の 1/5 程度である。また、ADPI 装置導入農家の平均年間販売額は 2,321 千円/10a であり、慣行法による栽培農家の平均年間販売額 1,886 千円/10a に比べて 23% 多いため、本装置の導入費用は 1 年で回収可能である。

b) 他の研究機関との協力関係を継続し、LCA および経済性を含めた統合評価を行う。環境負荷低減技術の開発については、窒素の溶脱率などの推定精度の向上を図る。その結果をもとに、水質モデル開発では負荷低減技術導入に伴う水質の評価手法を改良する。統合評価手法の開発では、経済価値に換算する手法の開発において強化を図る。

#### (5) 土壤生物機能を核とした土壤生産力評価法の開発 (151c0)

作物生産の新しい生物指標の開発という本中課題の目標は立派なものである。研究者たちが、他の研究機関と協同して研究を進められていることも評価に値する。<sup>a)</sup>研究の重要性を更に高めるためには、生物指標がどのように使用され、また、それが作物生産ないしは様々な農業システムの生産性とどのように関係しているかについての情報の提供が不可欠である。<sup>b)</sup>DNA 抽出による、より洗練された繊毛虫検出法が、さらには菌類の変性剤濃度勾配ゲル電気泳動 (DGGE) 解析が、どのように圃場管理の技術指導に役立てられるのかの検討が必要である。ここで開発された手法を、作物の生育および収量に与える菌根作物（アーバスキュラー菌根菌宿主作物）の前作効果を研究している中課題 151a2 に適用することは有意義だと思われる。また、注意を払われるべき一つの課題は、生物指標を化学的屬性と結びつけることである。

アンモニア酸化細菌の太陽熱消毒効果の研究については、その科学的方法の良さが表れている。<sup>c)</sup>本研究の妥当性を増すために、好熱性硝化細菌のような生物的な対策と、他の利用可能な管理対策、例えば硝酸塩の添加とを比較することもできるのではないだろうか。

(下線の指摘に対する回答)

a) 生物指標の策定にあたっては、作物の生産性を考慮に入れたい。これにより、生物指標が、総合的土壌診断の新たな重要な指標となり、例えば、有機農業への新規参入者に対して、慣行圃場、転換期の圃場、安定した有機圃場の土壌養分動態の変化に関連した有益な土壌管理の情報を提供できる。

b) 我々の手法を適用することにより；

①有機農業への新規参入者を対象とした、有機物連用による土壌肥沃度の生物的評価と適切な土壌管理技術の提案、②太陽熱土壌消毒が土壌生態系とその養分代謝に及ぼす影響評価、③病害リスクの評価と対策マニュアルによる露地アスパラガス安定生産技術の確立につなげたい。

c) 本研究に協力いただいている県の営農現場では、太陽熱土壌消毒後に完熟堆肥を植え穴施用する技術が導入されている。この既存技術と比較したときの、微生物資材利用技術のコスト、省力化等の比較を行う予定である。

## (6) メタボローム解析やエンドファイト利用による作物の養分循環機能活用生産技術の開発 (151d0)

研究課題 151d0 の研究課題ならびに用いられている手法は、大変素晴らしい。しかし、<sup>a)</sup>個々の研究間にはほとんど関連がないように見えただけでなく、それらを他の研究課題における問題への対応や解決にどのようにつなげるのが不明確であった。それ故に中課題

名はあまりにも漠然としており、絞り込まれていない。

リンゴのメタボロミクス解析は、優れた科学的手法を活用した成果である。<sup>b)</sup>今後の研究として、有機栽培したリンゴの甘味や風味の少なさに関係する要因を探求するとともに、エチレンの発生に関係する要因を究明するために研究を深化すべきである。窒素固定エンドファイトの研究に関しては、作物のモリブデン栄養状態が特に重要であり、<sup>c)</sup> 今後は、さらに土壤窒素供給力、土壤肥沃度ならびに窒素肥料が窒素固定量に及ぼす影響を検討されてはいかがであろうか。土壤の有機態窒素の解離機構の解明は重要な課題であり、更なる研究が必要である。この研究結果を土壤管理技術の改善や堆肥の一層の有効利用のために、どのように活用するのかについても、さらなる検討が望ましい。<sup>d)</sup>ソラマメのホウ素欠乏症の症状として挙げられた症状は銅欠乏症と酷似しているため、黒変率が低い種子および高い種子に含まれる銅濃度も調べることを勧める。

(下線の指摘に対する回答)

a) 個々の研究課題間の関連性は必ずしも高くはないが、有機作物のメタボローム解析をする研究課題と窒素固定エンドファイト利用の研究課題の連携から、新機能を有するエンドファイトを単離して特許出願するなど、課題間の共同も必要に応じて進めている。さらに、次期中期計画における研究課題の策定に当たっては、研究課題間の連携をより重視したい。

b) リンゴの風味に影響する要因については研究を継続している。特に有機栽培におけるエチレンの抑制に関しては、ストレス応答の視点から解明していく。その際、風味成分プロファイルやエチレン発生量のみでなく、それらの関連遺伝子発現に着目し、リンゴにおけるシグナル-遺伝子発現-代謝応答を総合的に解析していきたい。

c) エンドファイト窒素固定に及ぼす土壤養分の影響については重要な課題である。今後、土壤養分の中で主に窒素肥料に焦点をあて、エンドファイトの感染および窒素固定に与える影響について検討を進める予定である。

d) すでに、鹿児島大学や鹿児島県農業開発総合センターの研究グループが、黒変障害を示すソラマメ子実のホウ素濃度は健全子実に比べて低いこと、銅を含め他の元素については差がないこと、およびホウ素欠如水耕試験やホウ素肥料の葉面散布試験の結果から、黒変障害はホウ素欠乏によることを報告している。