

戦略的プロジェクト研究推進事業

「収益力向上のための研究開発」

令和元年度 最終年度報告書

中課題番号	15653436
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発

研究実施期間	平成27年度～令和元年度（5年間）
代表機関	国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター
研究開発責任者	大谷 卓
研究開発責任者 連絡先	TEL : 029-838-8877
	FAX : 029-838-8484
	E-mail : otanit@affrc.go.jp
共同研究機関	国立大学法人 信州大学
	GAST JAPAN株式会社
	山形県農業総合研究センター
	岐阜県農業技術センター
	富山県農林水産総合技術センター
	熊本県農業研究センター
	J A 全農
	岩手県農業研究センター
	茨城県農業総合センター（園芸研究所、専門技術指導員室）
	長野県野菜花き試験場
	愛知県農業総合試験場
	鹿児島県農業開発総合センター
	新潟県農業総合研究所
	三重県農業研究所
宮崎県総合農業試験場	
普及・実用化 支援組織	茨城県西農林事務所（結城地域農業改良普及センター、坂東地域農業改良普及センター）
	三重県中央農業改良普及センター



(2) 露地レタス等県産主要露地野菜における可給態窒素の簡易測定等を活用した適正施肥技術の開発	← 可給態窒素に応じた 適正窒素施肥試験 →	茨城県農業総合センター	土壌肥料研究室 専門技術指導員室 結城地域農業改良普及センター 坂東地域農業改良普及センター
(3) 高冷地黒ボク土における露地ハクサイ（夏秋作）の可給態窒素の簡易測定等を活用した適正施肥技術の開発	← 可給態窒素に応じた 適正窒素施肥試験 →	長野県野菜花き試験場	環境部
(4) 土壌可給態窒素の簡易測定等に基づく適正施肥技術の開発	← 可給態窒素に応じた 適正窒素施肥試験 →	愛知県農業総合試験場	環境安全研究室 野菜研究室 広域指導室
(5) 栽培時期が異なるキャベツ作における可給態窒素の簡易測定等を活用した窒素施肥指針の策定	← 可給態窒素に応じた 適正窒素施肥試験 →	鹿児島県農業開発総合センター	土壌環境研究室 普及情報課
4. 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定			
(1) 積雪寒冷地水田におけるカリウムの適正施用指針の策定	← カリ減肥試験と用水調査 →	山形県農業総合研究センター	食の安全環境部
(2) 北陸地域のグライ低地土水田におけるカリウムの適正施用指針の策定	← カリ減肥試験と用水調査 →	新潟県農業総合研究所	基盤研究部
(3) 東海地域の低地土水田におけるカリウムの適正施用指針の策定	← カリ減肥試験と用水調査 →	三重県農業研究所 三重県中央農業改良普及センター	フード・循環研究課
(4) 用水からのカリウム供給が多い暖地低地土でのカリウムの適正施用指針の策定	← カリ減肥試験と用水調査 →	宮崎県総合農業試験場	土壌環境部
(5) シラス母材の中粗粒質土壌を中心とした暖地低地土でのカリウムの適正施用指針の策定	← カリ減肥試験と用水調査 →	鹿児島県農業開発総合センター	土壌環境研究室 普及情報課
(6) 各種水田土壌における可給態カリウムの保持能と保持形態の評価	← 土壌のカリ保持供給特性 →	農研機構中央農業研究センター	土壌診断グループ

## I-2. 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者
	機関	研究室	
研究開発責任者	農研機構中央農業研究センター	土壌肥料研究領域	◎ 加藤直人 (～2017.3) 大谷 卓 (2017.4～)
1. 土壌可給態窒素の簡易診断手法の開発	農研機構中央農業研究センター	土壌診断グループ	○ 野原茂樹 (～2016.3) 高橋 茂 (～2017.3) 金澤健二 (2017.4～)
(1) 水田における可給態窒素簡易診断手法の開発	農研機構中央農業研究センター	土壌診断グループ	△ 野原茂樹 (～2016.3) 高橋 茂 (～2017.3) 金澤健二 (2017.4～)
(2) 紫外LEDを利用した畑土壌の高速小型測定装置の開発	信州大学 GAST JAPAN 株式会社	植物栄養学研究室	△ 井上直人 織井孝治 重盛三喜男
2. 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発	農研機構中央農業研究センター	土壌診断グループ	○ 高橋 茂 (～2017.3) 金澤健二 (2017.4～)
(1) 可給態窒素および窒素施肥と水稲生育の関係解析	農研機構中央農業研究センター	土壌診断グループ	△ 高橋 茂 (～2017.3) 金澤健二 (2017.4～)
(2) 寒冷地水田における可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術の開発	山形県農業総合研究センター	食の安全環境部	△ 菅原令大 (～2018.3) 長沢和弘 (2018.4～)
(3) 温暖地平坦部水田における可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術の開発	岐阜県農業技術センター	土壌化学部	△ 和田 巽 鈴木郁子 (2016.4～2018.3) 雨宮 剛 (2016.4～2019.3) 小川幹夫 (2018.4～2019.3)

<p>(4) 寒冷地中粗粒質灰色低地土水田における可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術の開発</p>	<p>富山県農林水産総合技術センター</p>	<p>農業研究所 土壌・環境保全課</p>	<p>今村周平 (2019.4～) 棚橋寿彦  △ 東 英男 小池 潤 (～2019.3) 稲原 誠 (2019.4～) 山田宗孝 (2016.4～) 齊藤 毅 (～2016.3)</p>
<p>(5) 西南暖地黒ボク土水田における可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術の開発</p>	<p>熊本県農業研究センター</p>	<p>生産環境研究所土壌環境研究室</p>	<p>△ 身次幸二郎 柿内俊輔 (～2019.3) 富永純司 (～2017.3) 門田健太郎 (2017.4～)</p>
<p>(6) 可給態窒素の簡易測定を活用した施肥設計技術の開発</p>	<p>JA 全農</p>	<p>肥料研究室</p>	<p>△ 小林 新 (～2018.3) 田中達也 (2018.4～) 梶 智光 (～2018.3) 山口 幸 (2018.4～) 成沢大志</p>
<p>3. 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定等に基づく適正施肥技術の開発</p> <p>(1) 夏秋トマト施設栽培における可給態窒素の簡易測定等を活用した適正施肥技術の開発</p> <p>(2) 露地レタス等県産主要露地野菜における可給態窒素の簡易測定等を活用した適正施肥技術の開発</p>	<p>鹿児島県農業開発総合センター</p> <p>岩手県農業研究センター</p> <p>茨城県園芸研究所</p>	<p>生産環境部土壌環境研究室</p> <p>生産環境研究室</p> <p>土壌肥料研究室</p>	<p>○ 上菌一郎</p> <p>△ 桐山直盛 (～2018.3) 高橋良学 (2018.4～) 島 輝夫</p> <p>△ 飯村 強 (～2017.3) 寺門 巖 (～2019.3) 郷内 武 蜷木朋子 (～2016.3) 假屋哲朗</p>

	農業総合センター 県西農林事務所	専門技術指導員室 結城普及センター	(2016. 4～) 工藤洋晃 (2017. 4～) 遠藤佳那子 (～2019. 3) 古矢桃子 (2019. 4～) 藤田 裕 瀧澤利恵 (2017. 4～) 柏木 優 (2017. 4～) 金 榮厚 (～2019. 3) 瀬尾かおる (～2018. 3) 小沼 新 (2019. 4～) 小山弘之 (～2016. 3) 中村真澄 (～2016. 3) 木村宏明 (2017. 4～) 久米千織 (2018. 4～) 萩原 愛 (2018. 4～) 札 周平 (2019. 4～) 青木一美 (～2018. 3) 三村洋一 (～2018. 3) 瀧澤利恵 (～2017. 3) 古矢桃子 (～2016. 3)
	県西農林事務所	坂東普及センター	木村宏明 (2017. 4～) 久米千織 (2018. 4～) 萩原 愛 (2018. 4～) 札 周平 (2019. 4～) 青木一美 (～2018. 3) 三村洋一 (～2018. 3) 瀧澤利恵 (～2017. 3) 古矢桃子 (～2016. 3)
(3) 高冷地黒ボク土における露地ハクサイ（夏秋作）の可給態窒素の簡易測定等を活用した適正施肥技術の開発	長野県野菜花き試験場	環境部	△ 佐藤 強 (～2017. 3) 出澤文武 (～2018. 3) 中村憲太郎 (～2018. 3) 矢口直輝 (2018. 4～) 鮎澤純子 (2017. 4～) 岩田直樹

<p>(4) 秋冬キャベツにおける土壌可給態窒素の簡易測定等に基づく適正施肥技術の開発</p>	<p>愛知県農業総合試験場</p>	<p>環境基盤研究部環境安全研究室</p> <p>東三河農業研究所野菜研究室 企画普及部広域指導室</p>	<p>(2018.4～2019.3) 齋藤龍司 (2019.4～)</p> <p>△ 日置雅之 福田充洋 山本 岳 (2017.4～2019.3) 中村嘉孝 安藤 薫 (2017.4～2019.3) 小田紫帆里 (2018.4～2019.3) 安井俊樹 (2018.4～2019.3) 糟谷真宏 (～2019.3) 瀧 勝俊 (2019.4～) 山本 拓 久野智香子 (～2016.3) 大橋祥範 (2016.4～)</p>
<p>(5) 栽培時期が異なるキャベツ作における可給態窒素の簡易測定等を活用した窒素施肥指針の策定</p>	<p>鹿児島県農業開発総合センター</p>	<p>生産環境部土壌環境研究室</p> <p>企画調整部普及情報課</p>	<p>△ 中川路光庸 (2019.4～) 上菌一郎 (～2019.3) 古江広治 (～2016.3) 井上健一 (～2017.3) 長友 誠 (～2018.3) 白尾 吏 (～2018.3) 加治屋五月 (2016.4～) 餅田利之 (2017.4～) 脇門英美 (2018.4～) 相本涼子 (2018.4～) 脇門英美 (～2018.3) 長友誠 (2018.4～)</p>

4. 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定	農研機構中央農業研究センター	土壌診断グループ	○ 久保寺秀夫
(1) 積雪寒冷地水田におけるカリウムの適正施用指針の策定	山形県農業総合研究センター	食の安全環境部	△ 塩野宏之 (~2017.3) 安藤 正 (~2018.3) 相澤直樹 (2018.4~)
(2) 北陸地域のグライ低地土水田におけるカリウムの適正施用指針の策定	新潟県農業総合研究所	基盤研究部	△ 土田 徹 (~2017.3) 水野貴文 (2017.4~) 本間利光 大峽広智 (~2016.3) 石井勝博 (2016.4~)
(3) 東海地域の低地土水田におけるカリウムの適正施用指針の策定	三重県農業研究所	フード・循環研究課	△ 水谷嘉之 (2018.4~) 山本有子 (2018.4~2019.3) 藤井琢馬 (2018.4~) 西 颯太 (2018.4~) 森 芳広 (~2017.3) 原 正之 (~2018.3) 橋爪不二夫 (~2018.3) 松田智子 (~2018.3) 藤田絢香 (~2018.3) 田中哲哉 (~2016.3) 山田信二 (2016.4~) 小倉 卓 (~2016.3) 磯山繁幸 (2019.4~) 芳尾知也 (2016.4~2019.3) 下 里緑 (~2017.3)
	三重県中央農業改良普及センター	普及企画室	
		専門技術室	

<p>(4) 用水からのカリウム供給が多い暖地低地土でのカリウムの適正施用指針の策定</p>	<p>宮崎県総合農業試験場</p>	<p>土壌環境部</p>	<p>鈴木啓発 (2018. 4～) △ 有簾隆男 (～2018. 3) 永井浩幸 (2018. 4～)</p>
<p>(5) シラス母材の中粗粒質土壌を中心とした暖地低地土でのカリウムの適正施用指針の策定</p>	<p>鹿児島県農業開発総合センター</p>	<p>生産環境部土壌環境研究室          企画調整部普及情報課</p>	<p>△ 中川路光庸 (2019. 4～) 上菌一郎 (～2019. 3) 古江広治 (～2016. 3) 井上健一 (～2017. 3) 長友 誠 (～2018. 3) 白尾 吏 (～2018. 3) 加治屋五月 (2016. 4～) 餅田利之 (2017. 4～) 脇門英美 (2018. 4～) 相本涼子 (2018. 4～) 脇門英美 (～2018. 3) 長友誠 (2018. 4～)</p>
<p>(6) 各種水田土壌における可給態カリウムの保持能と保持形態の評価</p>	<p>農研機構中央農業研究センター</p>	<p>土壌診断グループ</p>	<p>△ 久保寺秀夫</p>

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

(注2) 代表機関及び共同研究機関並びに研究開発責任者の変更を行う必要が生じた場合はその理由を明記した書面を添付すること。

<別紙様式3>最終年度報告書

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
大課題名	水田作及び畑作における収益力向上のための技術開発		
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
代表機関・研究開発責任者名	農研機構 中央農業研究センター・大谷 卓		

### I-3. 研究目的

水田、畑ともほ場利用形態が多様化しており、地域一律の窒素施肥では生産が不安定になりつつある。土壌の可給態窒素の診断が重要であるが、これまでの評価法は4週間以上の時間とその間の管理労力を要する。また水稲についてはカリウム減肥試験が行われてきたが、施肥以外の重要な供給源である用水からの供給を反映した指針検討がなされていない。

このため、本研究では、

1. 土壌可給態窒素の簡易診断手法の開発
2. 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発
3. 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発
4. 水田におけるカリウムの適正施肥指針の策定

により、水田土壌の風乾土可給態窒素の簡易迅速法の開発と湿潤土可給態窒素への適応性の評価、畑土壌の紫外LED励起蛍光スペクトル解析による小型・可搬型装置の開発、水田土壌の可給態窒素評価及び施肥量と水稲生育収量との関係の解析による適正な窒素施肥量の判定、野菜畑における可給態窒素レベルに応じた適正窒素施肥量の判定、水稲における用水からの供給量等を踏まえた適正なカリウム施肥量の判定、を目標とする。

その結果、

1. 普及現場等で導入可能な可給態窒素の評価法の普及
2. 可給態窒素を考慮した施肥設計による水稲の収量品質の安定化
3. 可給態窒素を考慮した施肥設計による野菜の高品質安定生産
4. 用水の水質等を考慮した適正なカリウム施肥指針の策定

が期待される。

### I-4. 研究方法

#### (1) 土壌可給態窒素の簡易診断手法の開発

可給態窒素の迅速評価法(絶乾土水抽出法)について、分析時におけるCOD分析の適用可能性、有機物抽出時における不振とう法の適用可能性、及び絶乾処理における家庭用熱風循環式オーブン利用の可能性について検討するとともに、湿潤土30℃・10(および4)週間湛水培養法による水田土壌可給態窒との関係を検討する。また、蛍光計測機のデータ・推定結果の安定性の向

上の方策や取得した蛍光スペクトルのデータ処理法を検討するとともに、水田土壌への応用のため、畑土壌で検討した土壌分類毎、上記の蛍光による情報と反射率の情報によるクラスター毎、に加え、土性毎に回帰式を作成し、有効性を検討する。

#### (2) 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発

参画各機関において、可給態窒素の迅速評価法の地域適合性の検証、栽培試験に基づく可給態窒素の活用方策の検討・実証を進めるとともに、全体としての施肥指針策定のためのデータ収集・解析を行う。

#### (3) 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発

研究期間前半で場内試験を、後半で現地実証を実施する。場内試験では、可給態窒素レベルの異なる試験区を設定し、施肥基準通りの窒素施肥量で栽培する慣行区、供試野菜の栽培期間中に土壌から供給される窒素量を考慮して施肥基準量から加減する診断区を設け、収量、品質、窒素吸収量等を検討する。現地実証では、現地圃場の可給態窒素を測定し、場内試験で得られた結果を基に、農家慣行区と窒素診断施肥区、さらには、窒素だけでなくリン酸やカリの減肥基準をとり入れた総合改善区等を設置し、収量、品質、出荷販売額や肥料費による収益性について比較検討し、技術の有効性を確認する。

#### (4) 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定

課題参画各県の農試所内および現地の水田でカリ減肥試験を継続し、施肥量や稲わら還元の有無、堆肥の施用が水稲の収量・品質および土壌のカリ収支に及ぼす影響を調査する。用水のカリ供給能を解明するため水質の調査（実測および既往のデータ解析）を行うとともに、新たに開発した水位調節枠試験装置を用いて用水の実浸透量やカリの溶脱量を測定する。土壌のカリ保持能はカラム透水試験で、カリ供給能は森塚（2009）の連続抽出試験で測定する。ニンニク絞り器とポータブルイオンメーターを用いた搾汁液診断技術について、調査の適切な時期や対象成分の検討を行う。

### I-5. 研究結果

#### (1) 土壌可給態窒素の簡易診断手法の開発

絶乾土水抽出法について、普及センター等の職員等が利用できるよう、さらなる簡易化・迅速化を進め、マニュアル化した。簡易法では湿潤土30℃・10週間湛水培養法による水田土壌可給態窒素を予測することは困難であった。しかしながら、絶乾土水抽出TOC量と湿潤土30℃・10週間湛水培養窒素量との比の大小で試料を2群に分ければ弱いながらも相関が認められること、その群分けの境界を10とした場合に決定係数が双方の群ともに比較的高くなることを認めた。

#### (2) 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発

参画各機関において、収量・品質・生育指標等と水稲の窒素吸収量の関係解明、並びに可給態窒素と窒素吸収量の関係解明を通じ、可給態窒素に基づく施肥指針が設定、実証された。また、全体としての施肥指針策定法として汎用的、包括的かつ簡便な収量予測法を開発し、参画機関における指針設定例とともにマニュアル化した。

#### (3) 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発

場内試験では、トマト・レタス・ハクサイ・キャベツ等を可給態窒素レベルの異なる畑で窒素施肥量を変えて栽培し、生育・収量・品質に及ぼす影響を検討した。その結果、目標収量確保のためには野菜栽培期間中に土壌から供給される窒素の推定が重要で、可給態窒素 3 mg / 100 g 程度を標準として、それより低い場合は有機物施用による土づくりが、高い場合は窒素

減肥が必要で、減肥の割合は地域・作型で異なり、各課題で基準の目安を策定した。一方、現地試験では、トマト・レタス・ハクサイ・キャベツ・ニンジン・ブロッコリー等を供試し、場内試験の成果と各地域のリン酸・カリの減肥指針を複合した総合的な適正施肥の妥当性を実証した。可給態窒素・リン酸・カリの土壌診断値が低い場合は不足量を補給することにより、農家慣行に比べ肥料費は高くなるが、収量・品質が向上するため出荷販売額が増加し、結果として収益性の向上につながった。一方、可給態窒素・リン酸・カリが過剰な場合は、減肥により肥料費が削減でき、収量・品質等は同等以上で収益性が向上することを明らかにした。

これらの研究結果は各県の成果情報として取り纏められ、普及現場での活用が期待できる。また、野菜栽培期間中に土壌から供給される窒素を求めるためには、栽培試験を通じた検討が必要であるが、これをシミュレートできる表計算シートを開発し、本プロジェクト参画県だけでなく他県でもダウンロードして活用できるよう、HP上に公開した。

#### (4) 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定

カリ減肥を5年間継続しても、水稻の収量減や品質への影響はほとんど見られなかった。カリの収支については施肥量よりも稲わら還元の有無が強く影響し、稲わらを持ち出す場合は10～20 kg/10a 程度のマイナスとなり、土壌の交換態カリ量も減少した。また、牛ふん堆肥 1t/10a の施用により、カリは 15～27 kg/10a と多量に投入された。用水からのカリ供給については、用水のカリ濃度は多くが 1.5～3.5 mg/L の範囲にあり、土壌への正味の縦浸透量は用水量の3割以下で残りは畦畔等から流出することが解明され、用水由来のカリ量は 1 kg/10a 程度と見込まれた。土壌の非交換態カリについては、カリを制限したポット試験で水稻が吸収するカリの4割程度を占めており、花崗岩地質地域の雲母に富む土壌で含量が多いことが明らかになったが、当作のカリ源ではなく長期的・潜在的なカリ資源と位置づけるべきと考えられた。

以上の結果を踏まえて各県から新たなカリ施用指針案を提示し、それを概括した「汎用の指針」を策定した。汎用の指針は「稲わら還元を前提とし、交換態カリが 20 mg/100 g 以上の水田ではカリ施肥を標準の半量に、牛ふん堆肥 1 t/10a が施用される場合は当作のカリ施肥を省略（ただし、砂質土壌ではCECが12 cmolc/kg 以上なければ適用しない）できる」とした。カリ施肥半減の場合、肥料代は標準施肥に比べて10aあたり1,521円削減できた。また、搾汁液診断手法を確立し、追肥不要判定の目安（Naが150 ppm以下、またはK/Na比が30以上）を提示した。

### I-6. 今後の課題

#### (1) 土壌可給態窒素の簡易診断手法の開発

開発した水田土壌の可給態窒素簡易診断手法は、可給態窒素に基づく適正施肥法とともに普及を図る。また、紫外LEDを利用した畑土壌可給態窒素の高速小型測定装置は、プロジェクト終了後も改良を継続し、励起力と迷光処理の課題に対応すべく、LEDに替えて安価のレーザーを搭載した装置の社会実装を計画中である。

#### (2) 水稻作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発

開発した収量予測法の精度向上のため、予測に用いる係数群データの蓄積や係数間および他の要因の解析が必要である。また、より汎用性を高めるため、田畑輪換等の土地利用がある場合の合理的な分析のあり方（頻度・手法等）の検討、および直播・多収米・多用途米等、今後進展が見込まれる多様な栽培への適用可能性の検討が必要である。

#### (3) 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発

本プロジェクトの成果としてとりまとめた窒素施肥指針作成のための手引き書を活用して、各地域で可給態窒素に基づいた施肥指針づくりが期待できるが、これまで測定していなかった

可給態窒素の分析機関への対応や、施肥設計に基づく肥料の選択等について、関係機関との連携が必要である。

#### **（４）水田におけるカリウムの適正施用指針の策定**

水稻単作の低地土水田におけるカリ収支や施用指針を本課題で解明した。各県の施用指針案や「汎用の指針」について、施肥基準への反映や成果情報の発信を進めて行く必要がある。また田畑輪換や低地土以外の土壌種での指針の検討、搾汁液診断技術の広い活用、非交換態カリの可給性と賦存量の評価等についてさらなる研究が必要である。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	101	実行課題 研究期間	平成27～29年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	1 土壌可給態窒素の簡易診断手法の開発		
実行課題名	(1) 水田における可給態窒素簡易診断手法の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

培養試験により長時間と労力をかけて評価していた水田土壌の可給態窒素を簡易・迅速に評価する手法を開発する。

### 2) 研究方法

#### ① 簡易化の検討

近年報告された、(風乾土30℃4週間湛水培養法による)可給態窒素の迅速評価法(絶乾土水抽出法)について、普及指導機関等への利用拡大に資するため、分析時におけるCOD分析の適用可能性、有機物抽出時における不振とう法の適用可能性、及び絶乾処理における家庭用熱風循環式オープン利用の可能性について検討した。

#### ② マニュアル作成に係るQ&A項目等の調査

絶乾処理後抽出前の土壌試料の放冷時における試料の管理方法(デシケータ内外、放置時間)等、マニュアルに盛り込むべき情報について検討した。また、採取後の土壌の日照下での風乾の影響を検討した。

#### ③ 生土湛水培養窒素の簡易評価の検討

これまでに開発された、絶乾土水抽出法(風乾土30℃4週間湛水培養法による水田土壌可給態窒素を簡易評価する方法)並びに80℃16時間水抽出法(30℃4週間培養法による畑土壌可給態窒素を簡易評価する方法)と、湿潤土30℃10(および4)週間湛水培養法による水田土壌可給態窒素の関係を検討した。

### 3) 研究結果

#### ① 簡易化の検討

簡易 COD 分析、不振とう抽出法、並びに家庭用熱風循環式オーブンの利用はいずれも可給態窒素の予測精度を損ねることはなかった。これにより、利用可能な機器等に応じ、柔軟に絶乾処理・抽出・分析手法を選択可能であることを明らかにした (図 1)。

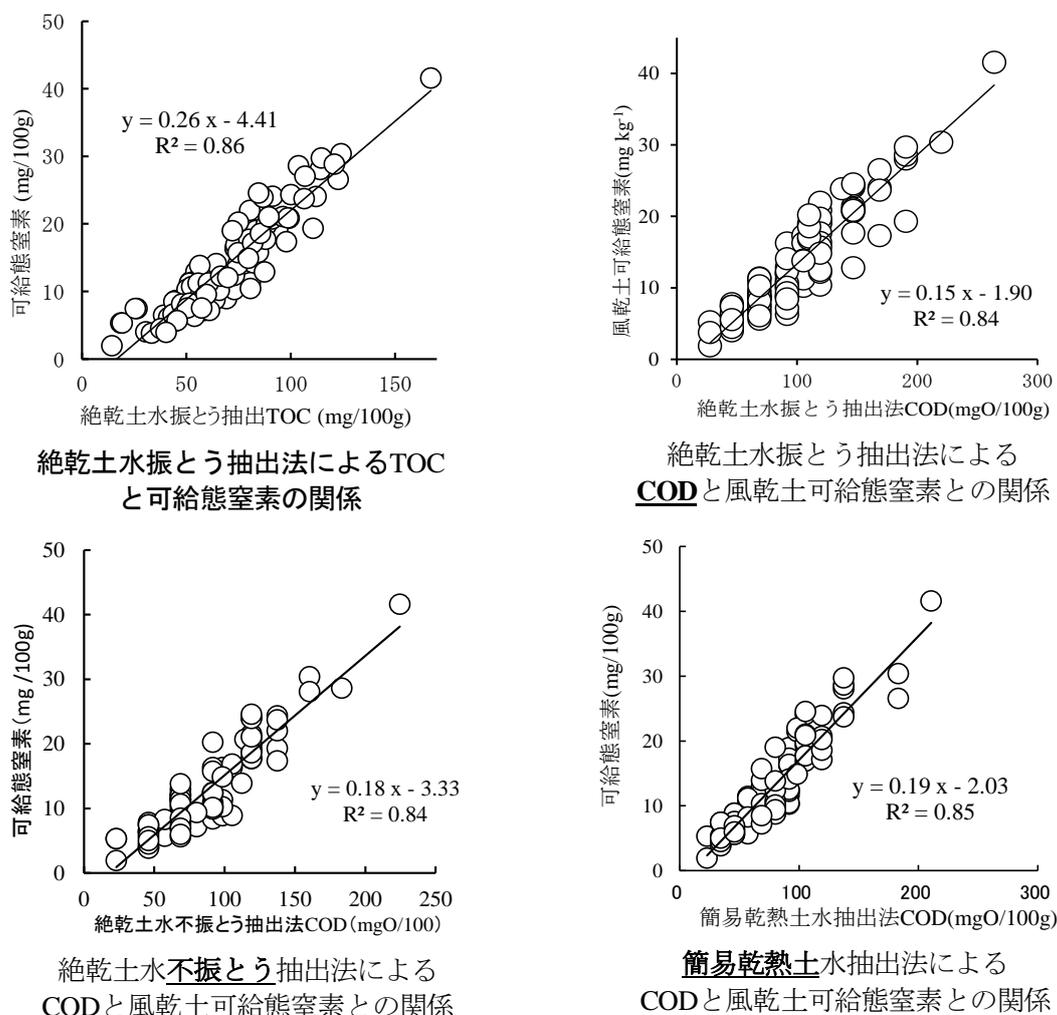


図 1 利用可能機器等に応じた水田土壌可給態窒素の簡易評価

#### ② マニュアル作成に係る Q&A 項目等の調査

絶乾処理後抽出前の土壌試料の放冷時に、デシケーター内に静置した場合は、9 時間後までは TOC 測定値に有意差は認められなかった。また、室内に静置した場合も同様であった (以上、図 2) が、吸湿により含水率が上昇し (図 3)、こうした場合には乾土当たりの TOC 値を算出する際、水分換算が必要になることを明らかにした。この他、簡易乾熱土の調製に使用するオーブンの運転温度の影響等、抽出・分析操作を中心に留意すべき事項を調査し、その結果と対応をマニュアルの Q&A に明記した。

採取後の土壌を日照下、日陰、40℃通風乾燥処理で風乾し、相互比較を行ったとこ

ろ、風乾土4週間湛水培養室素と絶乾土水抽出TOCの関係に対する影響は認められなかった。この試験においては最も遅延した場合でも1週間程度以内に風乾は終了しており、速やかに風乾処理を完了させれば分析値への影響が少ないことが示唆された。

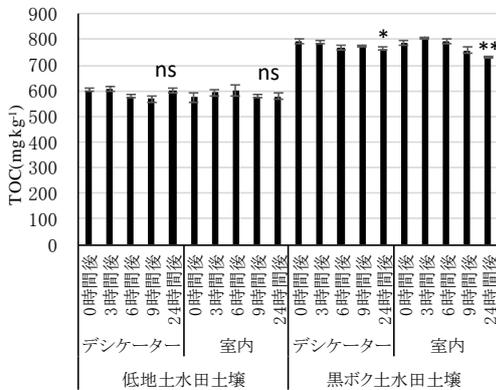


図2 静置条件の違いがTOC抽出量に及ぼす影響  
※午前9時から105℃24時間で乾熱処理を行ったTOC値は、水分換算した値。n=3  
※図中の\*は5%水準、\*\*は1%水準で有意差があることを示す

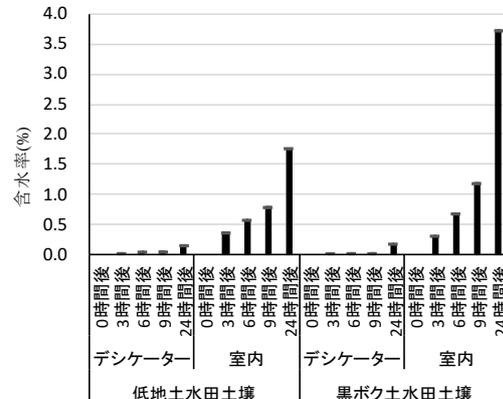


図3 静置条件の違いが含水率に及ぼす影響  
※午前9時から105℃24時間で乾熱処理を行った取出し直後を絶乾とした。n=3

### ③ 生土湛水培養室素の簡易評価の検討

これまでに得られた土壤中可給態窒素の簡易評価法(絶乾土水抽出法及び80℃16時間水抽出法)によって湿润土湛水培養法による水田土壤可給態窒素を精度良く予測することは困難であった。しかしながら、絶乾土水抽出TOC量と湿润土30℃10週間湛水培養室素量との比の大小で試料を2群に分ければ弱いながらも相関が認められること、その群分けの境界を10とした場合に決定係数が双方の群ともに比較的高くなることを認めた(図4)。

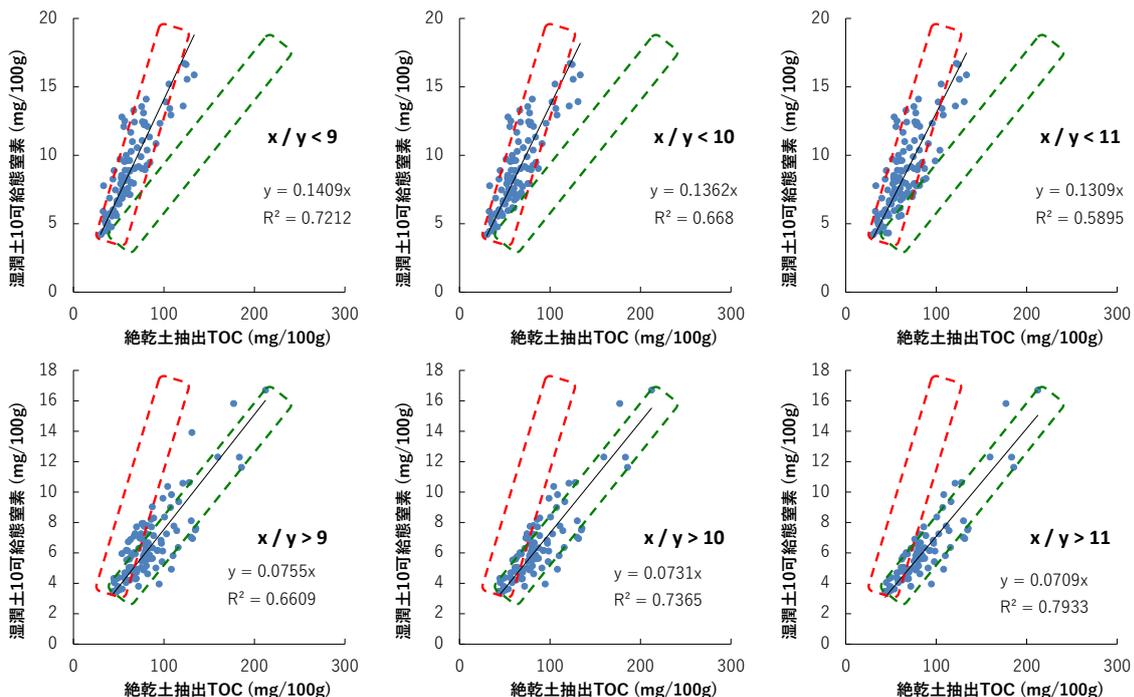


図4 湿润土10週培養可給態窒素と絶乾土抽出TOCとの関係の相違する土壤のグループ分け

#### 4) 成果活用における留意点

開発した簡易評価法の利用にあたりマニュアルを参照する。

[https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/pamphlet/tech-pamph/062019.html](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/062019.html)

#### 5) 今後の課題

関係機関への普及、診断施肥への応用。

#### <引用文献>

日本土壤肥料学雑誌 第86巻 第3号 (2015年6月) p.188-197

「日本の水田土壌の湛水培養無機化窒素量の特徴とその簡易迅速評価法の開発

第2報 絶乾土水振とう抽出有機態炭素量による水田風乾土可給態窒素の迅速評価」

東 英男・上菌一郎・野原茂樹・高橋 茂・加藤直人

日本土壤肥料学雑誌 第87巻 第2号 (2016年4月) p.125-128

「日本の水田土壌の湛水培養無機化窒素量の特徴とその簡易迅速評価法の開発

第3報 オープンによる乾熱処理と不振とう水抽出およびCOD簡易測定による水田土壌の風乾土培養可給態窒素の簡易評価法」

野原茂樹・高橋 茂・東 英男・加藤直人

日本土壤肥料学雑誌 第81巻 第3号 (2010年6月) p.252-255

「80℃16時間水抽出液のCOD簡易測定による畑土壌可給態窒素含量の迅速評価」

上菌 一郎・加藤 直人・森泉 美穂子

「畑土壌可給態窒素の簡易・迅速評価マニュアル (第2版)」

農研機構 中央農業総合研究センター 土壤肥料研究領域

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	102	実行課題 研究期間	平成27～29年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	1 土壌可給態窒素の簡易診断手法の開発		
実行課題名	(2) 紫外LEDを利用した畑土壌の高速小型測定装置の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	国立大学法人信州大学 学術研究院農学系 井上直人・織井孝治		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

畑土壌の地力関連形質を即時に計測できるように、紫外LED励起蛍光分析装置を開発し、実効性を検証する。

### 2) 研究方法

#### ① 測定装置の安定性の検討

蛍光計測機のデータ・推定結果の安定性の向上のため、電源装置の使用による電源の安定化、LEDの背面への排熱板導入による光源の安定化を検討した。

#### ② 畑地土壌の迅速な可給態窒素量推定方式の改良の検討

取得した蛍光スペクトルのスムージング処理は3波長間での移動平均を用いていたところ、これを5波長、7波長へ拡大することによる推定結果への影響を検討した。

また、蛍光による有機物由来の情報と白色LEDを用いた反射率の情報の両方を使用して類型化したクラスター毎に回帰式を作成し、有効性を検討した。

#### ③ 水田土壌への応用の検討

水田土壌への応用のため、畑土壌で検討した土壌分類毎、上記の蛍光による情報と反射率の情報によるクラスター毎、に加え、土性毎に回帰式を作成し、有効性を検討した。

### 3) 研究結果

#### ① 測定装置の安定性の検討

電源装置や排熱版の導入といった改良を加え、小型の蛍光分析装置の開発を完了し、土壌から数秒で蛍光データを得られるようにした。蛍光分析装置は光源としてLEDを使用することにより小型且つコストを抑えて構築した。蛍光分析装置の外観を図1、内部構造の模式図を図2に示した。また、タブレット端末に導入した専用のプログラムとの併用により、即座に可給態窒素の推定値が得られるようにした。

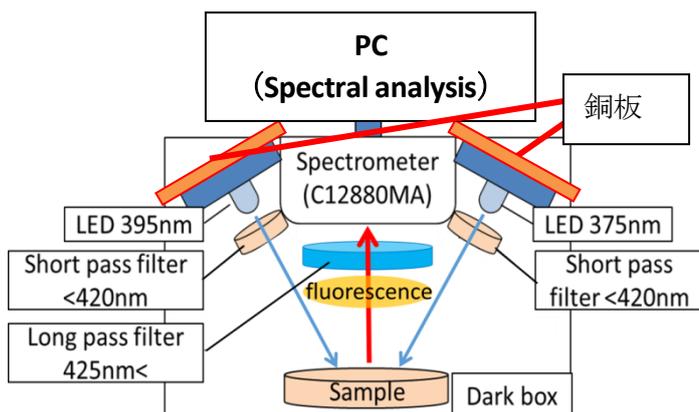


図1. 蛍光分析装置の模式図



図2. 蛍光分析装置の外観

#### ② 畑地土壌の迅速な可給態窒素量推定方式の改良の検討

畑地土壌を対象とした時、土壌分類群毎に可給態窒素の推定モデルを構築した。黒ボク土、黄色土、灰色低地土について推定モデルを構築し、それぞれの推定精度は  $R^2$  で黒ボク土：0.91、黄色土：0.66、灰色低地土：0.97 だった（図3）。

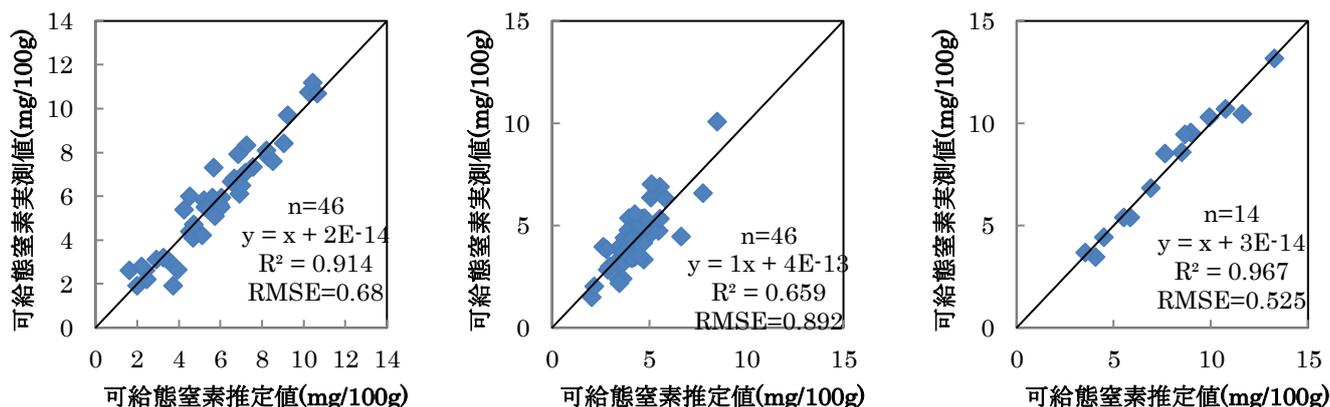


図3. 畑土壌を用いて構築した推定モデルにおける可給態窒素推定精度

また、クラスター分析によって全サンプルを3種に分類し、分類毎に推定モデルを構築したところ、土壌分類群毎に構築した推定モデルに精度で劣るものの、ある程度の推定が可能であることが示された（図4）。

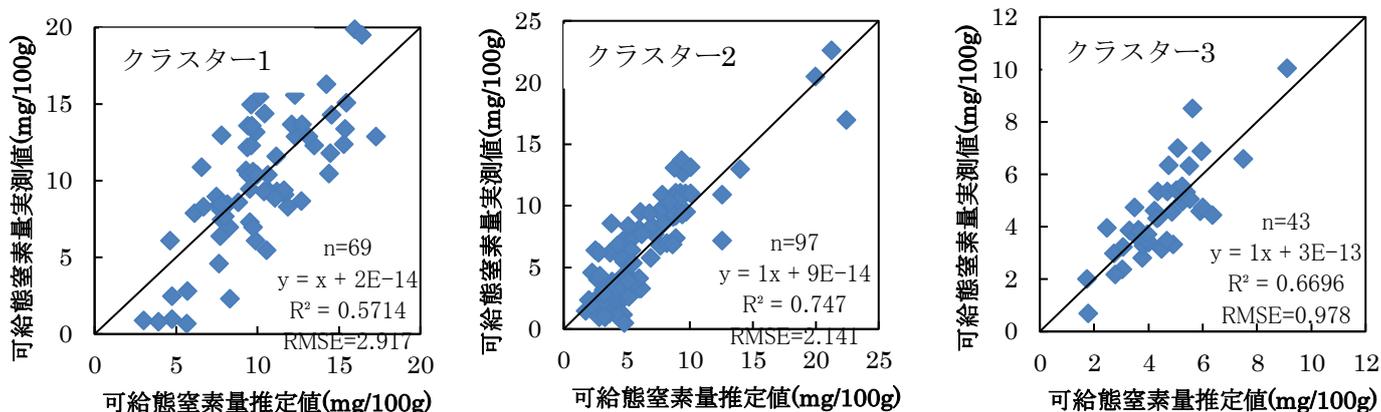


図4. 畑地土壌を用いて分類したクラスター毎に構築した推定モデルの可給態窒素推定精度  
\*クラスターは既存の土壌分類群に関係なく、分析装置で得られた蛍光情報をもとに分類

③ 水田土壌への応用の検討

水田土壌においては、検討した土壌分類群毎、クラスター分類毎、土性毎の分類のうち、土性毎に分類した時構築された推定モデルが比較的良好であった(図5)。

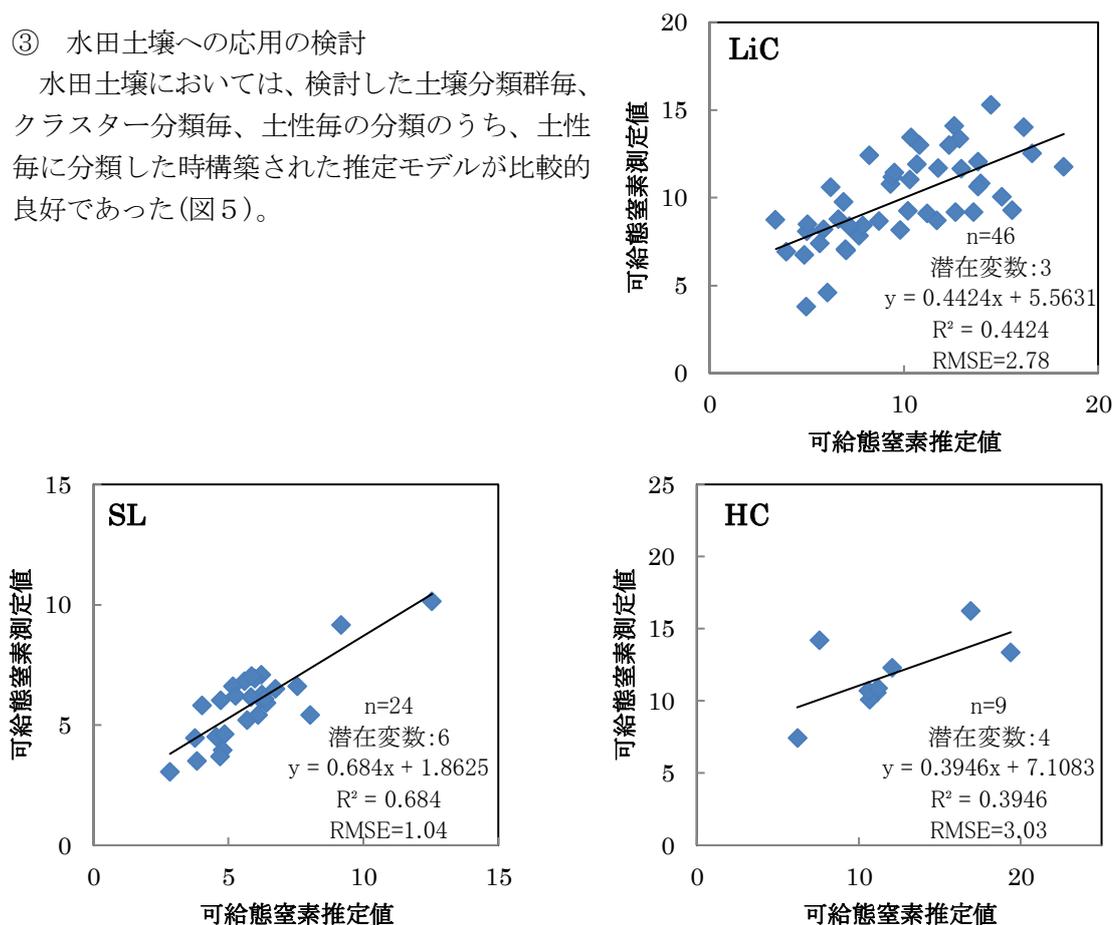


図5. 水田土壌を用いて土性毎に構築した推定モデルの可給態窒素推定精度

#### 4) 成果活用における留意点

開発した蛍光分析装置の扱いについては、企業を主体に、それをを用いた分析サービス事業の展開や分析装置自体の販売等を検討中である。

(光源をLEDからレーザーへ変更する等の所要の改良を進め、販売価格は約40万円程度で上市を計画中(2020年1月現在)。)

#### 5) 今後の課題

より精度の高い推定モデルの構築の為にサンプル数を増やすことの他に、AI技術の利用が考えられる。特に推定モデル構築の際のサンプル選択やクラスター分類においてAI技術は適した手法であると考えられ、本課題において開発した蛍光分析装置で得られるデータの処理に活用することでより推定精度の高い推定モデルの構築が可能であると考えられた。

また、開発した蛍光分析装置は土壌から直接データを取得することが可能であることから、近年急速に発達しているIoT技術との併用により、圃場での土壌化学性のスキヤニングへの応用が期待される。開発した蛍光分析装置は室内での使用を想定しており、圃場等で用いる場合にはそれに適した装置の改良が必要である。また、取得される蛍光スペクトルはサンプルの水分含量の影響を受けるため、圃場で用いるための推定モデルを新たに構築する必要がある。

また、現状のLED装置を土壌分析に適用するには、励起力の低さと迷光の処理に課題があるため、今後は、安価で励起力が高いレーザーを活用することを検討する(2020年1月現在)。

#### <引用文献>

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	201	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	2 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(1) 可給態窒素および窒素施肥と水稲生育の関係解析		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二、山口典子、大谷卓		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

分担課題の研究グループ内の気象条件や土壌の種類異なる地点での現地試験等の栽培試験から得られる可給態窒素および施肥窒素量と水稲生育の関係を解析し、各地域の特徴を明らかにする。研究グループ内の成果をとりまとめて、窒素施肥指針を策定する。

### 2) 研究方法

2016～2018年度（一部2015年度を含む）に実施された協力分担関係機関内及び現地における施肥用量試験をもとに、風乾土30℃4週間培養窒素（以下、可給態窒素）やその簡易測定結果と水稲収量との関係解明を行った。2017年度までは相対収量と「可給態窒素 + 施肥窒素」の関係から指標化を試みた。2018年度には窒素無施肥区における収量と可給態窒素の関係に着目し、可給態窒素、施肥窒素の各々に別個の生産効率を乗じた予測式を試作し、地域を超えた汎用化を試みた。しかしながら、以上の試みでは可給態窒素が大きい場合の減肥の目安が得にくかった。2019年度は、可給態窒素の値が如何様であっても対応可能であるべきことに留意し、新たな予測手法開発を試みた。

### 3) 研究結果

#### ①水稲の窒素吸収量と玄米収量の関係

水稲地上部の窒素吸収量と玄米収量の関係は、概ね二次式で回帰された（図1左図）。原点を通るとした場合及びそのような制限を設けなかった場合を比較すると、双方の決定係数に大差はなかったが、 $y$ （収量）切片が負の場合、即ち、 $x$ （地上部窒素吸収量）切片が正の場合には、玄米生産にあたり最低限必要な窒素吸収量がある、と解釈しうる。

玄米収量 (kg/10a) に玄米中窒素含有率 (%) を乗じて求めた玄米中窒素含有量 (kgN/10a) と玄米収量との間にも同様の関係がみられ（図1右図）、決定係数は地上部窒素吸収量との間でみられたものよりも大幅に大きかった。二次回帰における原点通過の有無による決定係数への影響はここでも軽微であったが、玄米中窒素含有量の場合、原点不通という事象はほぼ解釈不能であるため、考慮不要である。また、地上部窒素吸収量よりも

必要データ(玄米中タンパク含有率乃至窒素含有率及び収量)の入手が容易であるため、現地調査の場合等には特に有用と想定される。以上より、玄米中窒素含有量を収量予測式の構成要素として採用することとした。なお、このデータセットでは玄米中窒素含有量は地上部窒素吸収量の34~87%を占め、その平均値は53%であった。

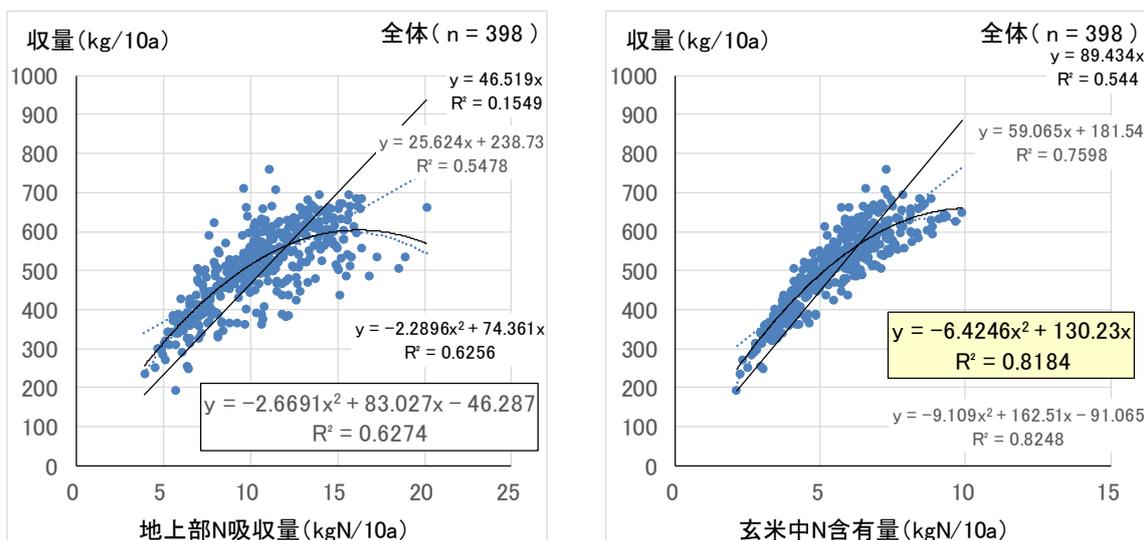


図1 水稻の地上部窒素吸収量(左)または玄米中窒素含有量(右)と玄米収量の関係

回帰式は地域あるいは品種や土地利用履歴(水稻連作か否か)により異なった(表1、図2)。ここで求めた回帰式から最大収量が推計されるが、目標収量はその最大収量の7割程度の場合が多かった(図3)。

表1 各種グループ分けを行った場合の玄米中N含有量と玄米収量の関係式の諸項目

試験地	概要	一次項の係数	二次項の係数	決定係数
岐阜県	全体 (n = 151)	123	-5.06	0.918
	品種:			
	現地 (n = 47)	118	-4.48	0.908
	ハツシモ			
	水連 (n = 37)	119	-4.68	0.900
	田畑 (n = 10)	112	-3.33	0.938
富山県	全体 (n = 64)	122	-4.64	0.929
	品種:			
	所内 (n = 104)	117	-3.31	0.949
	水連 (n = 61)	123	-5.06	0.907
	田畑 (n = 43)			
	コシヒカリ中心			
山形県	全体 (n = 64)	138	-7.03	0.914
	品種:			
	現地 (n = 4)	108	-2.64	0.986
	コシヒカリ中心			
	所内 (n = 60)	139	-7.20	0.917
	山形県	全体 (n = 57)	141	-6.51
品種:				
現地 (n = 29)		142	-6.38	0.869
はえぬき中心				
所内 (n = 28)		136	-5.84	0.930
熊本県		全体 (n = 96)	108	-4.09
	品種:			
	ヒノヒカリ			
	現地 (n = 13)	95.6	-2.98	0.970
	所内 (n = 83)	115	-4.84	0.831
	生産環境研 (n = 75)	113	-4.57	0.848
JA全農	全体 (n = 30)	107	-4.01	0.943
	品種:			
	キヌヒカリ (n = 15)	93.2	-1.88	0.986
	モミロマン (n = 15)	126	-6.79	0.929
全体	(n = 398)	130	-6.42	0.818

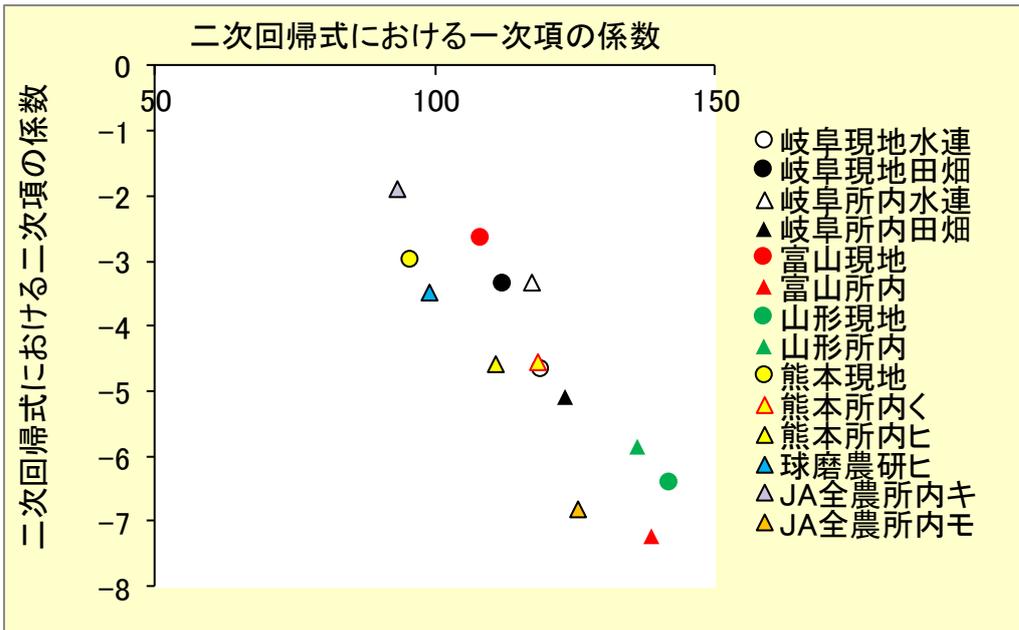


図2 玄米中N含有量と玄米収量の二次回帰における係数間関係

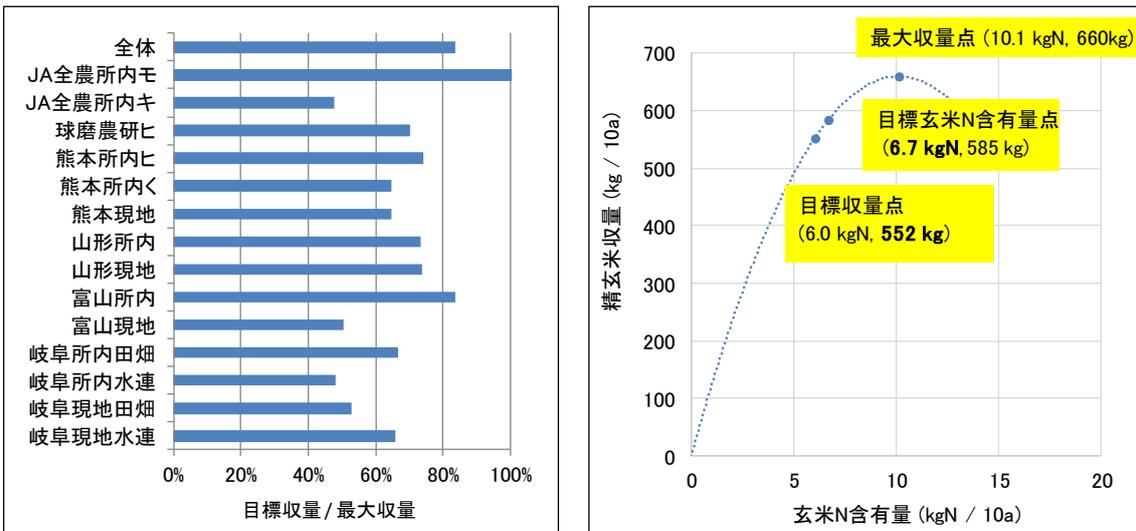
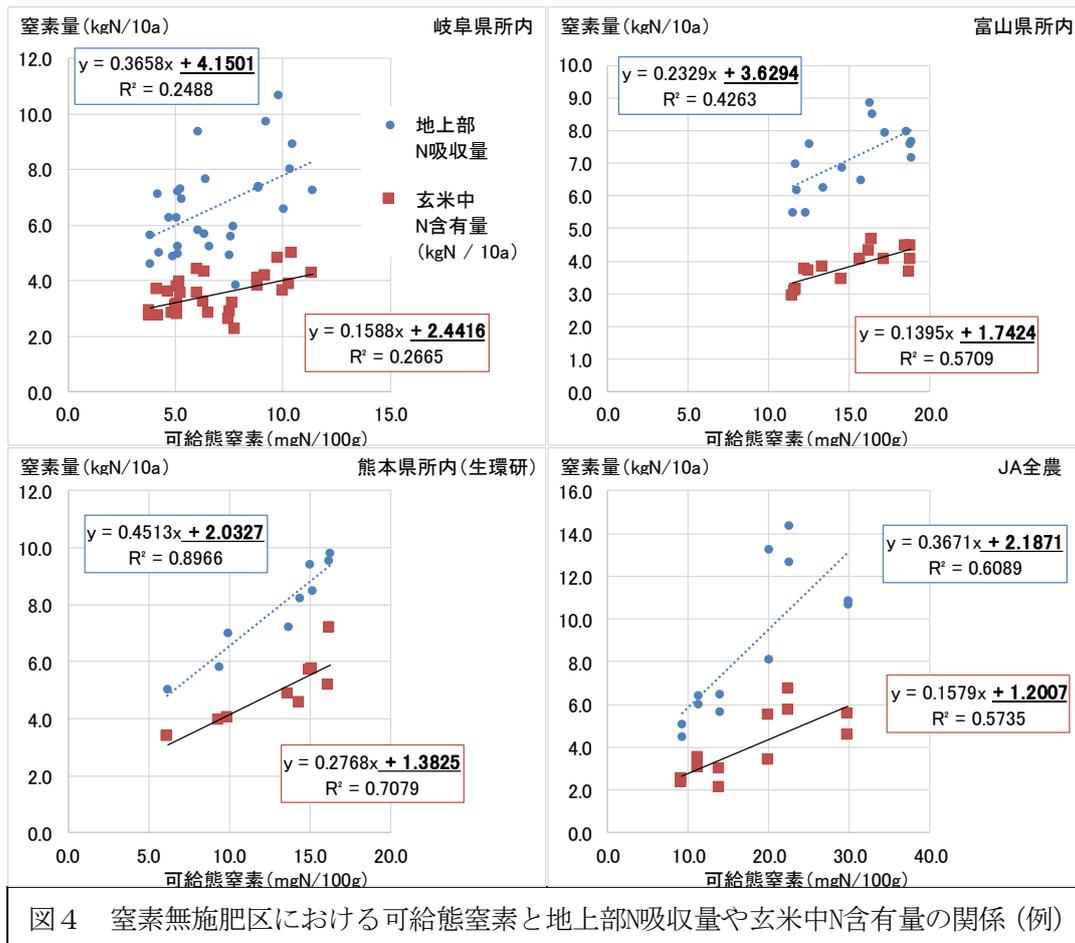


図3 推計最大収量と目標収量の関係 (左) および参考概念図 (右)

②可給態窒素を用いた収量予測の検討

窒素無施肥区における可給態窒素と窒素吸収量や玄米中窒素含有量の間関係をみると、無視し難い大きさのy切片が観察され、可給態窒素や施肥窒素以外の窒素供給源が想定された(図4)。これは新鮮(未分解)有機物等(藍藻等による窒素固定、灌漑水や降水に含まれる窒素、可給態窒素の評価において差し引かれた培養前土壌中アンモニア態窒素、移植前に施され施肥量には計上されなかった窒素など)によるものと解釈された。



以上の検討から、玄米中窒素含有量を介した収量予測式を以下のとおり、設定した。

$$\text{式ア: 窒素吸収量 (kgN / 10a)} = (\text{地力由来窒素} + \text{施肥由来窒素} + \text{その他由来窒素}) \\ = a \times \text{可給態窒素 (mgN / 100g)} + b \times \text{施肥窒素量} + c$$

$$\text{式イ: 玄米中窒素含有量 (kgN / 10a)} = t \times \text{窒素吸収量} \\ = a' \times \text{可給態窒素 (mgN / 100g)} + b' \times \text{施肥窒素量} + c'$$

$$\text{式ウ: 予想収量} = d \times \text{玄米中窒素含有量} + e \times (\text{玄米中窒素含有量})^2$$

<注> 係数a~eの意味は以下の通りと解釈される。

- a ; 重量当たり (mgN / 100g) → 面積当たり (kgN / 10a) の換算係数及び可給態窒素の利用率の積
- b ; 施肥窒素の利用率、c ; 地力、施肥以外の供給源に由来する窒素吸収量
- d ; 玄米生産効率、e ; 玄米減収係数、
- t ; 玄米への窒素の移行率、a' ~c' ; a~cと各々に対応する窒素の移行率 ( $t_a \sim t_c$ ) の積

式ア~ウをまとめると、

$$\text{式エ: } Y_p = d (a' \times avN + b' \times fertN + c') \\ + e (a' \times avN + b' \times fertN + c')^2$$

<注> 予想収量を $Y_p$ 、可給態窒素を $avN$ 、施肥窒素量を $fertN$ と略。

上述のとおり、d、eは玄米中窒素含有量と収量の関係から原点を通る二次回帰によって、また、a' ~c' は可給態窒素並びに施肥窒素と玄米中窒素含有量の関係から重回帰によって推定できる。しかしながら、a' ~c' を重回帰によって求めると、c' を過大に、a' を過小に評価する傾向を認めた。(386個のデータを用いて解析した例では、c' = 3.3と推計され、これは玄米中窒素含有量の平均値 5.5に対して61%に相当。)

そこで、予想収量の最適化をターゲットとしてMSエクセルのアドイン、ソルバーによって係数a' ~c' を探索した。具体的には、玄米中窒素含有量の平均値に対してc' の値が16~25%以内となるように制限を設け、かつ、収量の相対誤差の絶対値(| 予想収量 - 実収量 | / 実収量) の和を最小化させる係数を探索した。386個のデータを用いて探索した結果を図5、6に示す。重回帰した場合に比べ、収量予測における決定係数は低下した(図5)が、予想収量の相対誤差の和は重回帰(18)に比べ、ソルバー利用(4.7)では大幅に縮小し、その傾向は収量水準の全域にわたって同様であった(図6)。

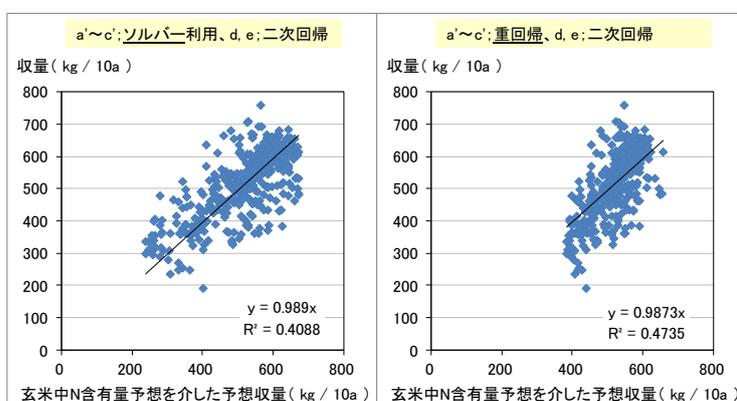


図5 予測式の係数の一部(a' ~c')をソルバー利用により求めた場合(左)と重回帰から求めた場合(右)の予測状況

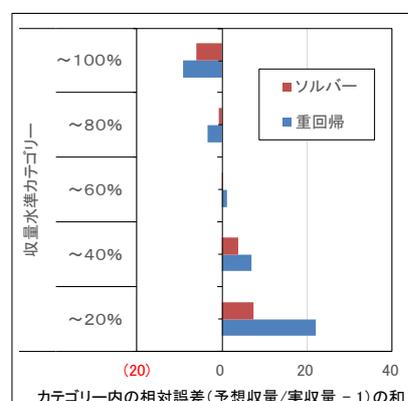


図6 収量水準別カテゴリごとの相対誤差の和

同様の方法で県別等のグループごとに推計を行ったところ、回帰係数は0.927~1.027、決定係数は-0.232~0.878であった(表2左)。絶乾土水抽出法で簡易評価した可給態窒素を用いた場合は、回帰係数は0.930~1.077、決定係数は-1.447~0.879であり、決定係数がやや低下する場合もあったが、可給態窒素の場合と傾向は一致した。

表2 各種グループ分けを行った場合の玄米N含有量と玄米収量の関係式の諸項目

	ソルバーアドインに課した制限等: 玄米N含有量の平均値の16% ≤ c' ≤ 玄米N含有量の平均値の25%													
	可給態窒素を用いた予測			※1				簡易法で評価した可給態窒素を用いた予測				※1		※1
	a'	b'	c'	d	e	回帰係数	決定係数	a	b	c	d	e	回帰係数	決定係数
全体(n = 386)	0.18	0.32	1.38	129	-6.21	0.99	0.409	0.15	0.32	1.38	129	-6.21	1.00	0.316
岐阜現地(水稲連作)(n = 37)	0.15	0.32	1.24	119	-4.68	0.97	0.285	0.11	0.29	1.24	119	-4.68	1.05	0.371
岐阜現地(田畑輪換等)(n = 10)	0.40	0.27	0.76	112	-3.33	0.93	0.180	0.34	0.31	1.27	112	-3.33	0.93	-1.447
岐阜所内(水稲連作)(n = 61)	0.30	0.15	1.05	117	-3.31	1.00	0.457	0.19	0.19	1.05	117	-3.31	1.00	0.244
岐阜所内(田畑輪換等)(n = 43)	0.43	0.24	1.17	123	-5.06	1.01	0.773	0.32	0.23	1.17	123	-5.06	1.01	0.762
富山所内(n = 60)	0.16	0.28	1.18	139	-7.20	1.00	0.878	0.19	0.26	0.86	139	-7.20	1.00	0.879
熊本現地(n = 13)	0.38	0.08	0.80	96	-2.98	0.99	-0.196	0.26	0.07	0.80	96	-2.98	1.08	0.594
熊本所内(くまさんの輝き)(n = 24)	0.24	0.36	1.08	118	-4.55	1.00	0.651	0.23	0.35	1.08	118	-4.55	1.00	0.348
熊本所内(ヒノカサ)(n = 51)	0.23	0.36	1.71	111	-4.58	1.01	0.762	0.15	0.41	1.71	111	-4.58	0.99	0.455
山形現地(n = 29)	0.07	0.43	1.39	142	-6.38	1.01	-0.232	0.08	0.40	1.39	142	-6.38	1.01	-0.096
山形所内(n = 28)	0.24	0.33	1.55	136	-5.84	0.97	0.223	0.28	0.29	1.55	136	-5.84	1.00	0.078
JA全農(キヌヒカリ)(n = 15)	0.18	0.23	0.79	93	-1.88	1.00	0.360	0.19	0.21	0.79	93	-1.88	1.03	0.830
JA全農(モミロマン)(n = 15)	0.17	0.14	0.95	126	-6.79	1.03	0.678	0.20	0.12	0.84	126	-6.79	1.00	0.560

### ③ 全国的傾向の試算

全国的な傾向を大まかに知るために、主要な米生産道県について過去の土壌調査結果等を用い、稲の地上部窒素吸収量を介した収量予測を試みた。具体的には②の式ウの下の<注>に示した5つの変数(a~e)について、適宜制限条件を変更しつつソルバーを用いて試算した。その結果、寒冷地(道、東北内5県及び長野県)とその他に分けた場合、概ね双方同程度の決定係数によって予測され(表3)、グループ毎の各供給窒素の平均値から予想される収量は、平年収量比1%以内に収れんした(表4)。

表3 ソルバーアドインで求めた諸係数と収量予測式における回帰係数及び決定係数  
(主要米生産道県の解析例)

ソルバーアドインに課した制限等: $0.4 \leq b \leq 0.6$ 、 $c = 3$ 、 $60 \leq d \leq 90$ 、 $e \leq -1$								参考	
	a	b	c	d	e	回帰係数	決定係数	面積変換係数 g	可給態窒素利用率 h
全体 (n = 24)	0.473	0.600	3.00	60.0	-1.59	1.01	0.30	1.47	0.321
寒冷地 (n = 7)	0.519	0.600	3.00	60.0	-1.55	1.03	0.37	1.31	0.395
その他 (n = 17)	0.565	0.540	3.00	60.0	-1.69	1.00	0.44	1.51	0.374
推計にはH17(2005)年時点の主要米生産24道県のデータを使用。									
可給態窒素は、土壌機能モニタリング調査(1999~2003年)の各県の平均値。									
施肥量は、各県の代表的な施肥基準値に0.927(肥料統計による水稲への施肥量 / 施肥基準の全国平均)を乗じて推計。									
収量はH17(2005)年時点の各同県の平年収量。									
面積変換係数(g)は、作土深×仮比重 / 10。作土深、仮比重ともに、土壌機能モニタリング調査(1999~2003年)における各県の値の単純平均値。									
可給態窒素利用率(h)は、a / gにより推定。									

表4 ソルバーアドインで求めた由来別窒素吸収量や予想収量 (主要米生産道県の解析例)

	供給量(単純平均)		由来別窒素吸収量(推計値)				計	予想収量	平年収量平均	ズレ
	可給態N	施肥N	可給態N	施肥N	c					
全体 (n = 24)	15.0	7.15	7.08	4.29	3.00	14.4	533	530	0.585%	
構成比			49%	30%	21%	100%				
寒冷地 (n = 7)	17.1	7.95	8.86	4.77	3.00	16.6	569	565	0.723%	
構成比			53%	29%	18%	100%				
その他 (n = 17)	14.1	6.82	7.98	3.68	3.00	14.7	517	516	0.263%	
構成比			54%	25%	20%	100%				

以上、ソルバーを利用する場合、最低限可給態窒素、施肥窒素及び収量のデータがあれば、収量予測に必要な係数a~eが求まる。さらに、玄米中窒素(またはタンパク)含有率のデータが取得できる場合、玄米中窒素含有量(kgN/10a)を算出し、これと収量の関係を二次回帰することにより係数d,eを決定することが可能であり、ソルバーによって探索する係数(a'~c')の数を削減できる。そして、目標窒素吸収量が定まっている場合には、係数a~cのみを用いて、また、目標収量のみが示されている場合には、係数d,eを加えることにより、(簡易評価された)可給態窒素に応じた適正施肥量を算出できる。

#### 4) 成果活用における留意点

分析マニュアル並びに施肥設計の手引きを参照する。

#### 5) 今後の課題

- ・ 分析手法・解析手法の普及を通じ、収量予測に必要な係数群に関するデータ蓄積。
- ・ 田畑輪換等の土地利用がある場合の合理的な分析頻度の解明。
- ・ 直播栽培等、今後一般化が見込まれる栽培法への対応の可否の検討。

#### <引用文献>

水田土壌の可給態窒素を考慮した施肥設計の手引き (2020)

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	202	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	2 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(2) 寒冷地水田における可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	山形県農業総合研究センター・食の安全環境部・長沢和弘・相澤直樹		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

新たに提案された可給態窒素の迅速分析法（絶乾土水抽出全有機態炭素（TOC）または化学的酸素要求量（COD））と従来法（風乾土30℃4週間湛水培養）との関係を検討し、簡易測定技術を確立する。また、可給態窒素の迅速分析法を活用した水稲栽培における窒素施肥の適正化技術を開発する。

### 2) 研究方法

#### ①可給態窒素の迅速分析法の開発

県内の土壌型を考慮した水田土壌の絶乾土水抽出TOCおよびCODを測定し、従来法（風乾土30℃4週間湛水培養）との関係を分析し、簡易測定技術開発を検討した。

#### ②迅速診断に基づく適正施肥技術の確立

場内試験では、可給態窒素の異なる圃場において、可給態窒素（迅速分析）と水稲の窒素吸収量の関係について検討する。現地試験では、県内各農業技術普及課の生育診断圃の可給態窒素量を測定し、施肥管理・収量・品質の事例を解析し、土壌肥沃度に応じた適正な施肥量について検討する。

### 3) 研究結果

#### ①可給態窒素の迅速分析法の開発

平成27年は県内土壌60点、平成28年は県内土壌64点について、絶乾土水抽出TOCと可給態窒素（風乾土30℃4週間湛水培養）の関係を検討した結果、平成27年と28年では従来法の可給態窒素と絶乾土水抽出TOCの相関が異なる結果となり、課題が残った。

平成29年は、県内土壌111点（H28採取61点、H29採取50点）について、絶乾土水抽出

CODと可給態窒素（風乾土30℃4週間湛水培養）の関係を検討した結果、正の相関が認められた。また、土壌サンプルの採取時の湿潤土含水率は約25～55%の範囲で、湿潤土含水率が高いほど、可給態窒素が高くなる傾向が見られた。そこで、可給態窒素（風乾土30℃4週間湛水培養）の値を目的変数、絶乾土水抽出COD、湿潤土含水率を説明変数として、111点のサンプルについて重回帰分析を行ったところ、推定式は以下のとおりとなった（ $r^2=0.72$ ）。

$$y = 3.23 x_1 + 0.85 x_2 - 20.85$$

(y: 推定可給態窒素量mg/100g、 $x_1$ : COD測定値mg/L、 $x_2$ : 湿潤土含水率%)

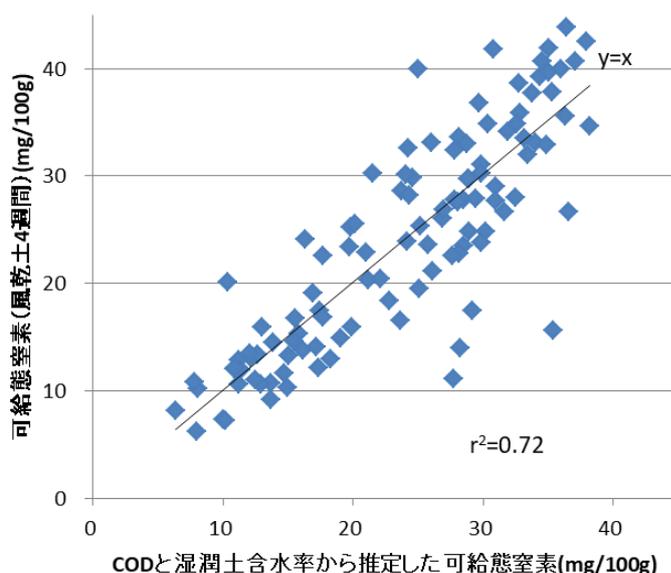


図1 培養窒素量と推定窒素量の関係

平成30年にCOD測定キットの試薬が変更されたため、試薬変更前に測定した推定窒素量と試薬変更後の推定窒素量を比較したところ、ほぼ1:1の関係にあり（図1）、試薬変更の影響は見られなかった。

可給態窒素の推定方法は以下のとおりである。

<p>【抽出法】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 春、施肥・耕起前の作土を採取する（採取時に土壌の含水率を測定する）。</li> <li>2. 採取した土壌を広げ、風通しのよい日陰で風乾し2mmの篩を通す。</li> <li>3. 風乾した土壌を105℃24時間で乾乾処理する。</li> <li>4. 土壌を3g秤量し、蒸留水を50mL添加、1時間振とうする。</li> <li>5. 10%硫酸カリウム液を5mL添加し懸濁を除去、No.5Cろ紙でろ過する。</li> </ol> <p>【試薬】</p> <p>市販のCOD測定用試薬セットを使用する。          (製品名: 水質測定用試薬セットNo.44 COD, 共立理化学研究所)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ R-1試薬 (試薬セット付属のR-1試薬をそのまま用いる)</li> <li>・ R-2試薬 (試薬セット付属のR-2試薬をそのまま用いる)</li> </ul> <p>【測定方法】</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 15mL容試験管に蒸留水3.7mLを加える。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2. 絶乾土水振とう抽出液0.2mLを加える。</li> <li>3. すべての試料にR-2溶液1.0mLを加え、攪拌する。</li> <li>4. R-1試薬0.1mLを加えて攪拌し、発色を開始する。</li> <li>5. 正確に30分間反応後、525nmの吸光度を測定する。</li> </ol> <p>* 別途、同様の操作によりグルコースを用いたCODの検量線を作成し、抽出液のCODを求める。</p> <p>* CODの検量線は、グルコースのCODの理論値（1mg/L = 1.0657mgO/L）を基に、終濃度で0～8mgO/Lの範囲内で作成する。</p> <p>* 操作は25℃程度の室温・液温で行い、反応時間は順守する。</p> <p>【可給態窒素の推定】</p> $\text{可給態窒素 (mg/100g)} = 3.23 \times \text{COD測定値 (mgO/L)} + 0.85 \times \text{湿潤土含水率 (\%)} - 20.85$
--	---

## ②迅速診断に基づく適正施肥技術の確立

センター内の可給態窒素の異なる土壌において、同一施肥条件で栽培した場合、平成30年度および令和元年度の可給態窒素（迅速分析）と「はえぬき」の窒素吸収量（成熟期）には正の相関が見られた（図2）。

令和元年度の県内各農業技術普及課の水稻生育診断圃において、減肥対応した圃場の可給態窒素（迅速分析）はおおむね25mg/100g以上であった。また、3品種のうち、目標収量を確保できなかったのは「つや姫」の1圃場のみで（図3）、「つや姫」の出荷基準である玄米タンパク7.5%を上回ったのは「はえぬき」1圃場、「雪若丸」2圃場であった。減肥対応した圃場では玄米タンパク7.5%を超えた圃場は無かった（図4）。

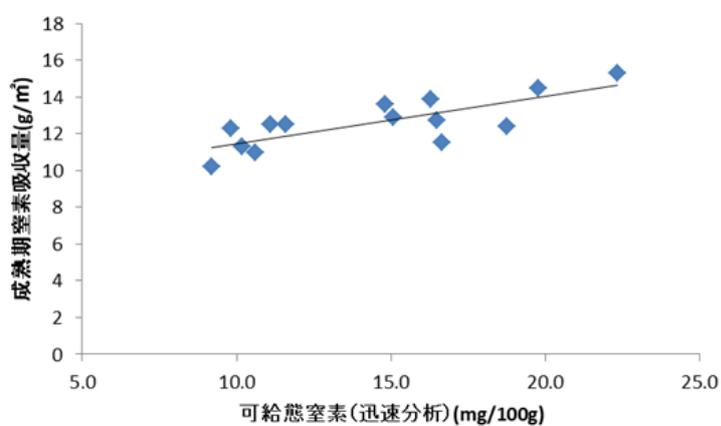


図2 可給態窒素（迅速分析）と成熟期窒素吸収量の関係  
（品種：はえぬき、施肥条件は同一、栽培年：H30 および R1）

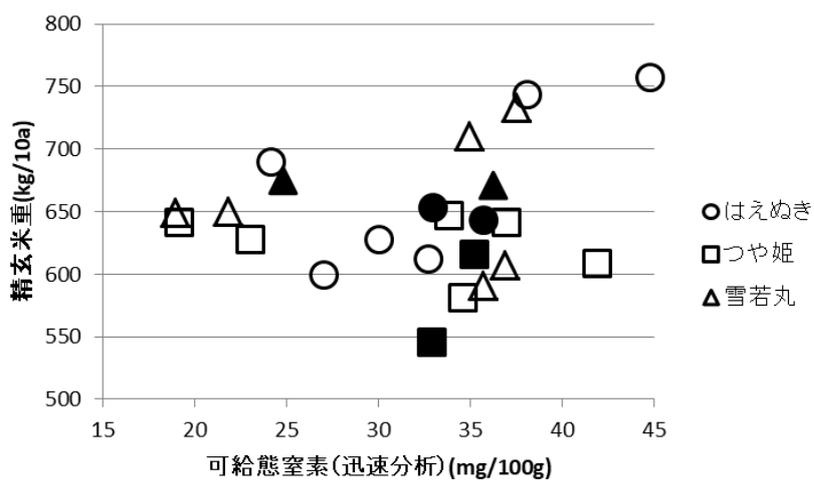


図3 可給態窒素（迅速分析）と精玄米重の関係  
（\*塗りつぶされている凡例は減肥対応している圃場）

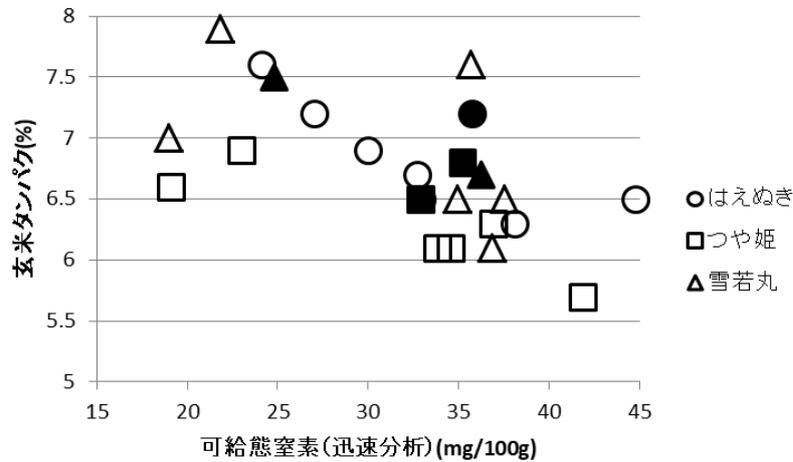


図4 可給態窒素（迅速分析）と玄米タンパクの関係  
 (\*塗りつぶされている凡例は減肥対応している圃場)

本県では、地力の異なる圃場において、施肥窒素量を数段階に設定した複数年にわたる栽培試験（試験場内および現地圃場）の結果から、基本指標の収量・品質・食味を確保するための施肥指針を作成している。標準的な施肥量を基に、圃場の地力水準に合わせて窒素施用量を増減することとしており、地力の把握には前述した湿潤土含水率を考慮した可給態窒素の迅速診断法が活用できる（地力が「高」の土壤は可給態窒素（風乾土の30℃4週間培養値）が21mg/100g以上、「中」の土壤は11～20mg/100g、「低」の土壤は10mg/100g以下を目安とする）。

#### 4) 成果活用における留意点

可給態窒素の迅速分析法について、土壤サンプル採取時に湿潤土含水率を測定しておくことが必要である。また、土壤サンプルの風乾の際に、分析値が高くなるため、直射日光には当てないようにする。

#### 5) 今後の課題

可給態窒素の絶乾土水抽出CODによる迅速分析において、土壤採取時の湿潤土含水率を用いているのは参画している機関の中で本県のみであり、その要因については不明なため、今後、解析する必要がある。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	203	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	2 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(3) 温暖地平坦部水田における可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	岐阜県農業技術センター・土壌化学部・ 和田 巽、今村周平、棚橋寿彦		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

温暖地平坦部の水田土壌のうち岐阜県平坦部の土壌を中心に、水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法の適応性を解析し、当該地域の土壌における簡易評価法の適用方法を明確にする。さらに、栽培試験等の実施により生産性や品質の向上につながる可給態窒素の水稲窒素施肥への反映手法を検討し、現地における実証結果を踏まえ、可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術を開発する。

### 2) 研究方法

#### (1) 温暖地平坦部の水田土壌における可給態窒素の簡易・迅速評価法の適用法の開発

岐阜県平坦部の水田から採取した作土を供試し、風乾土30℃4週間湛水培養（以下、風乾土培養）および湿潤土30℃10週間湛水培養（以下、湿潤土培養）による可給態窒素の実態を把握する。また、可給態窒素の簡易・迅速評価法の抽出液の評価手法を一部改良し、汎用の分析機器を用いて高精度に推定が可能な分析手法を開発する。これを踏まえ岐阜県平坦部の水田土壌における簡易・迅速評価法の適合性を検証する。

#### (2) 水田土壌可給態窒素の窒素施肥への反映手法の検討

岐阜県平坦部の主力品種「ハツシモ岐阜SL」を供試し、収量および品質と窒素吸収量との関係から窒素吸収量の目標値を設定する。施肥に加え土壌からの供給を考慮した窒素供給量と窒素吸収量との関係を検討し、窒素吸収量の目標値を基に、可給態窒素に応じた適正な窒素施肥が可能となる窒素供給量の指標値を明らかにする。

### 3) 研究結果

#### (1) 温暖地平坦部の水田土壌における可給態窒素の簡易・迅速評価法の適用法の開発

##### a) 培養法による可給態窒素の実態把握（図1）

岐阜県平坦部の水田土壌では、風乾土培養可給態窒素は8割の地点が地力増進基本

指針における改善目標値（8～20 mg/100g）の範囲内にあり、下限を下回る地点は二年三作体系による田畑輪換を繰り返している地点が大半を占めた。

湿潤土培養可給態窒素は4～10 mg/100gの地点が75%を占め、風乾土培養可給態窒素と同様に田畑輪換を繰り返している地点では低い傾向が見られた。風乾土培養可給態窒素が中庸であるのに対し、湿潤土培養可給態窒素は他地域に比べ極めて高い地点が数多く見られる地域も存在した。

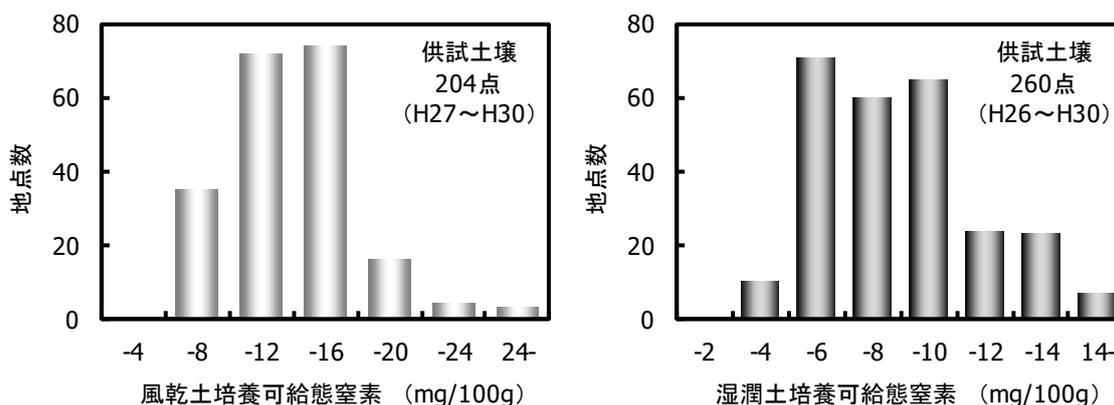


図1 岐阜県平坦部の水田土壌における可給態窒素の分布（左：風乾土培養、右：湿潤土培養）

b) 簡易・迅速評価法の改良手法の開発

簡易・迅速評価法抽出液の化学的酸素要求量（以下、COD）を目視により評価する手法を改良し、分析機関に広く整備されている分光光度計と市販のCOD測定用試薬セットを組み合わせ、簡便かつ定量的に可給態窒素を推定する手法を検討し、図2のとおり分析条件を設定した。

本手法により評価した簡易・迅速評価法抽出液のCODと風乾土培養可給態窒素との相関は従来の評価手法と同等以上に

強く、可給態窒素を精度良く推定可能であった（図3左）。また、畑土壌可給態窒素についても、本手法により簡便かつ高精度に推定が可能であることを明らかにし

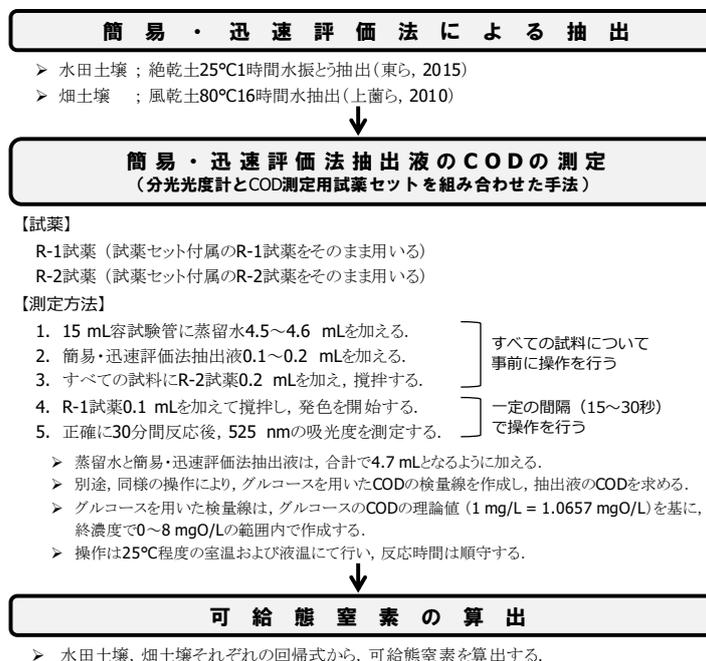


図2 改良手法の分析フロー

（和田ら（2017）を一部改変）

た(図3右)。なお、本手法は富士平工業株式会社製土壌・作物体総合分析装置(SFP-4i)の診断項目として採用、追加されている。

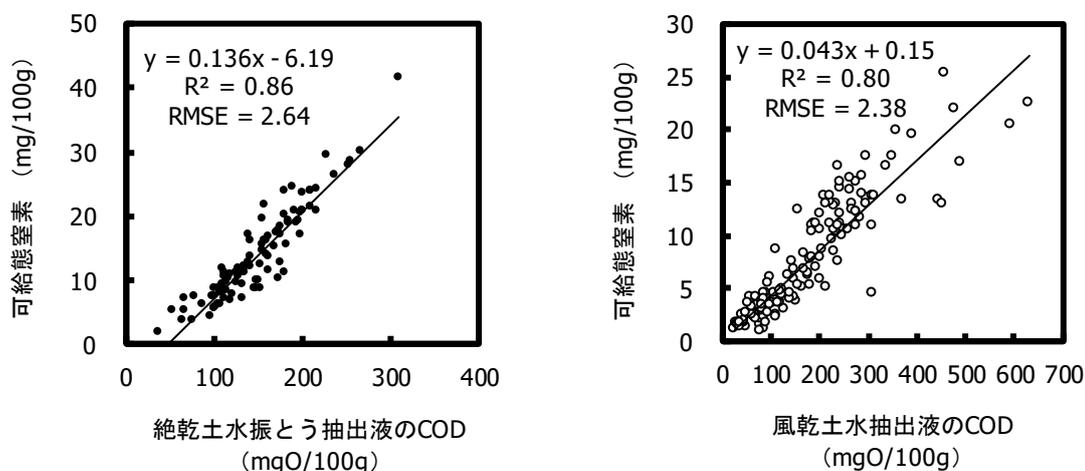


図3 簡易・迅速評価法抽出液のCODと風乾土培養可給態窒素との関係

左：水田土壌、東ら（2015）が用いた23県より採取した合計100点の土壌を供試

右：畑土壌、上蘭ら（2010）が用いた9県より採取した53点の土壌に、岐阜県および鹿児島県から別途採取した土壌を加えた合計141点の土壌を供試

c) 簡易・迅速評価法の適合性の検証

岐阜県平坦部より採取した水田土壌における簡易・迅速評価法による評価値と風乾土培養可給態窒素との関係は、東ら（2015）が用いた全国23県より採取した水田土壌100点における関係性に概ね適合した（図4）。

このことから、岐阜県平坦部の水田土壌では、全国の水田土壌における回帰式(図3左)を用いた推定が可能と判断した。

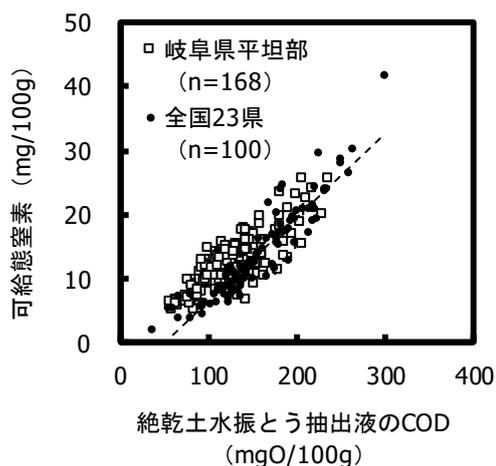


図4 岐阜県平坦部および全国23県から採取した水田土壌における簡易・迅速評価法抽出液のCODと風乾土培養可給態窒素との関係

破線は全国23県より採取した水田土壌における両者の回帰式

(2) 水田土壌可給態窒素の窒素施肥への反映手法の検討

a) 窒素吸収量の目標値の設定

岐阜農技セ場内および現地の水田ほ場における栽培試験の結果より、「ハツシモ岐阜SL」の収量および玄米タンパク質含量と窒素吸収量との関係を得た(図5)。これらの関係から、「ハツシモ岐阜SL」でのそれぞれの目標値(500kg/10a超、乾

物当たり7%台前半)を満たす窒素吸収量は10kg/10a程度であり、「ハツシモ岐阜S L」において安定した収量と良食味を両立するための窒素吸収量の目標値を10kg/10aとして設定した。

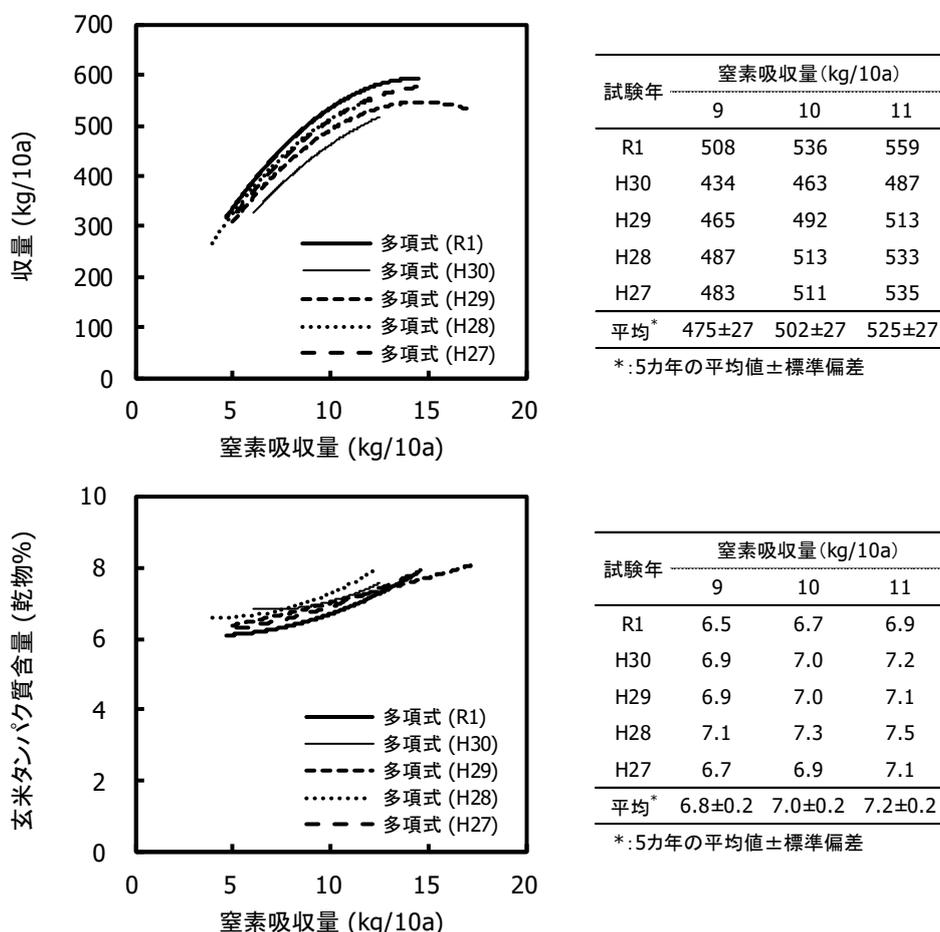


図5 「ハツシモ岐阜S L」における窒素吸収量と収量（上）および玄米タンパク質含量（下）との関係

試験年ごとに両者の関係を二次式で回帰、右表は各々の回帰式から求めた値

b) 土壌からの供給を考慮した窒素供給量と窒素吸収量との関係解析

施肥窒素量と「ハツシモ岐阜S L」の窒素吸収量との関係性は、土壌からの窒素供給が考慮されていないため判然としなかった（図6左上）。そこで、作土からの窒素供給量を以下の式により算出し、これと施肥窒素量の和と窒素吸収量との関係を解析した。

$$\text{作土からの窒素供給量 (kg/10a)} = \text{可給態窒素 (mg/100g)} \times \text{作土の仮比重 (g/cm}^3\text{)} \times \text{作土深 (cm)} / 10$$

風乾土培養可給態窒素を用いて求めた作土からの窒素供給量と窒素吸収量との関係は、施肥窒素量のみと比べれば関係性が強まる傾向は見られたが相関は弱かった（図6右上）。しかしながら、湿潤土培養可給態窒素を用いて作土からの窒素供

給量を求め、さらに土地の利用形態により水稲連作と田畑輪換（大豆作跡）とに分けることで両者の相関はより強まった（図6左下、右下）。この湿潤土培養可給態窒素を基に算出した両者の関係から、「ハツシモ岐阜S L」における窒素吸収量の目標値10kg/10aを得るために必要な施肥および作土からの窒素供給量は、水稲連作ほ場では21～22kg/10a、田畑輪換（大豆作跡）ほ場では15～16kg/10aと求められ、これを基に、安定生産と良食味を両立するための適正な施肥窒素量の算出が可能と考えられた。

この窒素供給量の指標値を栽培試験により検証した結果、岐阜農技セ場内および現地の水田ほ場において、地力に応じた施肥窒素量の調整により目標とする収量や玄米品質を概ね達成でき（表1）、本指標値の妥当性が確認された。

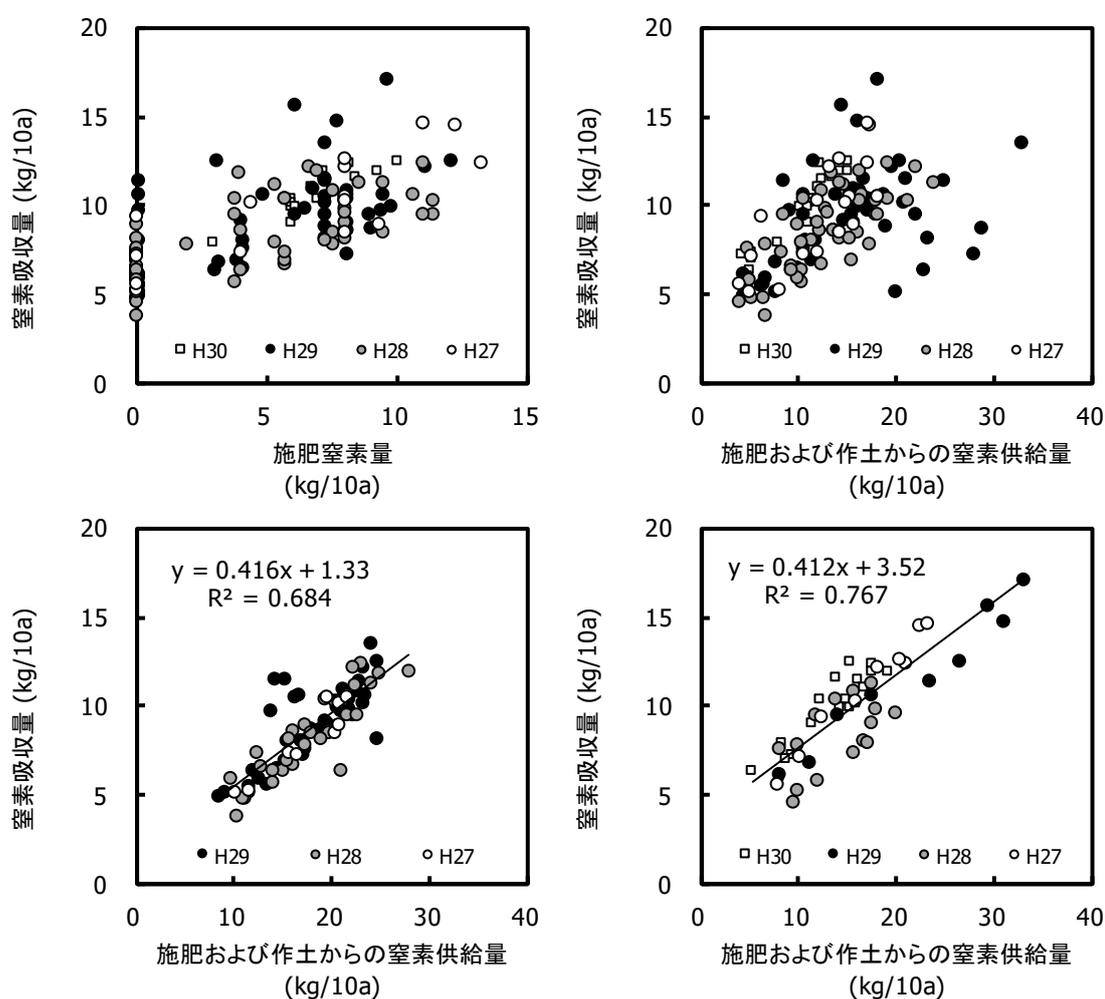


図6 施肥および作土からの窒素供給量と「ハツシモ岐阜S L」の窒素吸収量との関係

左上：横軸は施肥窒素量のみ

右上：横軸は施肥窒素量と風乾土培養可給態窒素を基に算出した作土からの窒素供給量との和

左下：横軸は施肥窒素量と湿潤土培養可給態窒素を基に算出した作土からの窒素供給量との和、水稲連作ほ場における結果

右下：横軸は左下と同様、田畑輪換（大豆作跡）ほ場における結果

表1 栽培試験による窒素供給量の指標値の検証

土地利用	地力 水準	湿潤土培養	作土の	作土からの	施肥	窒素供給量	窒素供給量	窒素	収量	玄米タンパク	窒素
		可給態窒素 (mg/100g)	仮比重 (g/cm <sup>3</sup> )								
水稲連作	低	5.0	1.22	18	11.0	10.6	21.6	543	7.2	10.6	
	中	5.9	1.15	18	12.3	8.0	20.3	528	7.3	10.3	
	高	8.7	1.10	18	17.1	5.3	22.4	499	7.2	11.2	
田畑輪換	低	3.3	1.31	19	8.2	8.7	16.9	532	7.1	11.5	
(大豆作跡)	低	3.9	1.18	18	8.4	7.0	15.4	538	6.6	10.3	
「ハツシモ岐阜SL」での目標値								500超	7%台前半	10	

\*:「ハツシモ岐阜SL」の慣行施肥窒素量は、水稲連作ほ場では8kg/10a、田畑輪換(大豆作跡)ほ場では6kg/10a

#### 4) 成果活用における留意点

簡易・迅速評価法の改良手法は、シッパ機能具备了分光光度計や吸光度測定機能を有する分析装置の利用を前提としており、これらを所有する分析機関等において実施可能である。ただし、CODの定量は反応温度や反応時間に強く影響を受けることから、分析手順を順守する。

湿潤土培養可給態窒素を基に作土からの窒素供給量を算出する場合には、湿潤土培養可給態窒素の培養値に加え作土の仮比重および作土深のデータが必要となる。

本成果は「ハツシモ岐阜SL」の安定生産と良食味の両立を実現するための指標値であるが、窒素吸収量の目標値や窒素供給量との関係式は、品種、栽培地域、栽培時期等により変動することが想定される。このため、目的とする品種等においてこれらの関係性を整理する必要がある。

#### 5) 今後の課題

湿潤土培養可給態窒素に応じた適正な窒素施肥が可能となる窒素供給量の指標値を明示したが、本指標の活用には多くのデータを取得する必要がある、特に湿潤土培養可給態窒素は長期間の培養試験と煩雑な実験操作を要する。風乾土培養可給態窒素のように簡易・迅速に湿潤土培養可給態窒素を推定可能な分析手法の開発が望まれる。

また、生産現場への普及に当たってはより単純かつ簡易な指標が求められることから、窒素供給量の指標値の推定精度を維持した上で、更なる単純化、簡易化を図る必要がある。

#### <引用文献>

- 東 英男・上藪一郎・野原茂樹・高橋 茂・加藤直人 2015. 土肥誌, 86, 188-197.  
 平成29年度岐阜県試験研究成果普及カード (岐阜県ホームページより閲覧可能)  
 平成30年度岐阜県試験研究成果普及カード (岐阜県ホームページより閲覧可能)  
 上藪一郎・加藤直人・森泉美穂子 2010. 土肥誌, 81, 252-255.  
 和田 巽・東 英男・野原茂樹・棚橋寿彦・高橋 茂・加藤直人 2017. 土肥誌, 88, 124-128.

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	204	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	2 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(4)寒冷地中粗粒質灰色低地土水田における可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	富山県農林水産総合技術センター 農業研究所 土壌・環境保全課 東 英男, 山田宗孝, 稲原 誠		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

水田が主体である寒冷地の中粗粒質灰色低地土において、可給態窒素に施肥窒素量を加えた窒素供給量と水稲生育・収量との関係を解析する。また、水田土壌可給態窒素の迅速評価を用い、水稲作での安定した収量・品質を確保するための窒素施肥指針を策定し、現地実証を行う。

5カ年の研究期間内で、①可給態窒素の迅速評価法の富山県水田土壌での適応性について検討する。また、②可給態窒素の迅速評価法を用いた、適正窒素供給量を策定し、その値に基づいた施肥の適正化試験を行い、有効性の検証も行う。

### 2) 研究方法

#### (1) 可給態窒素の迅速評価法の富山県水田土壌への適応性の検討

##### ・供試サンプル

コシヒカリ生育観測圃(生観)、富富富調査圃、農業研究所内試験圃、現地試験圃等の作土を、春代掻き前(春)、収穫後(秋)の年2回サンプリングした。5カ年でのべ600サンプル。春244サンプル、秋356サンプル。

##### ・可給態窒素

風乾土を30℃で4週間湛水培養後に無機化したアンモニア態窒素量を、オートアナライザーで分析して求めた。

##### ・可給態窒素の迅速評価法 (TOC・TNの測定には、TNユニット付きTOC計を使用)

①絶乾土水振とう抽出法(絶乾法): 105℃で24時間乾燥させた土壌3gを、25℃の水50mlで1時間振とう後、10%K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を5ml添加・ろ過したろ液のTOC,TNを測定

②0.1%アスコルビン酸(AA)添加50℃水抽出法(AA50℃法): 風乾土3gに、添加後のAA濃度が0.1%になるように調節した50℃の水を50ml加え、50℃で16時間静置後、10%K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を5ml添加・ろ過したろ液のTNを測定

## (2) 可給態窒素の迅速評価法を用いた「コシヒカリ」、「富富富」の適正窒素供給量の策定

### ①適正窒素供給量の策定

まず、各品種の目標とする着粒数を得るための成熟期の窒素吸収量を求める。次に、(1)で得た可給態窒素の迅速評価法で求めたTNに施肥窒素量を合算した窒素供給量と水稻の窒素吸収量との関係から、目標とする窒素吸収量を得るために必要な窒素供給量を求め、これを適正量とする。

### ②現地実証試験

窒素肥沃度の高い現地圃場において、農家慣行施肥と適正窒素供給量を基にした適正施肥区との比較試験を実施

#### ・ H29 「コシヒカリ」 栽培試験

全炭素	全窒素	可給態窒素	可給態窒素迅速法		適正施肥量	実際の施肥量	
			絶乾法	AA50℃法		慣行区	適正(減肥)区
%	%	mg 100g <sup>-1</sup>	Nmg 100g <sup>-1</sup>	Nmg 100g <sup>-1</sup>	Ng m <sup>-2</sup>	Ng m <sup>-2</sup>	Ng m <sup>-2</sup>
3.41	0.286	27.0	7.8	7.3	7.1(6.9)	9.6	7.7

※土壌分類:中粒質表層灰色グライ低地土 土性:CL 供試肥料:LPssコシヒカリ2号(21-14-14) 速効性N:LPss100=8.5:12.5

※1 適正施肥量は5ヶ年の結果から求めた適正窒素供給量(絶乾法14.9,AA50℃法14.2g)から迅速法の値を差し引いて求めた

#### ・ R1 「富富富」 栽培試験

全炭素	全窒素	可給態窒素	可給態窒素迅速法(※1)		適正施肥量	実際の施肥量	
			絶乾法	AA50℃法		慣行区	適正(減肥)区
%	%	mg 100g <sup>-1</sup>	Nmg 100g <sup>-1</sup>	Nmg 100g <sup>-1</sup>	Ng m <sup>-2</sup>	Ng m <sup>-2</sup>	Ng m <sup>-2</sup>
3.90	0.317	25.2	8.1	7.0	3.8(3.8)	5.9	4.2

※土壌分類:普通灰色台地土 土性:CL 供試肥料:富富富専用基肥一発肥料(21-10-19) 速効性N:JSD(80)=40:60

※1 「富富富」の場合は、分析値に土壌含水率から求めた仮比重を乗算して求めた

※2 適正施肥量は4ヶ年の結果から求めた適正窒素供給量(絶乾法11.9,AA50℃法10.8g)から迅速法の値を差し引いて求めた

## 3) 研究結果

### (1) 可給態窒素の迅速評価法の富山県水田土壌への適応性の検討

- ・ 可給態窒素迅速評価法の絶乾法のTOC・TNやAA 50℃法のTNと可給態窒素の間には正の相関関係が認められた(図1a-c)。
- ・ 絶乾法とAA50℃法のTNは、概ね可給態窒素の2~3割程度を評価しており、水稻の窒素吸収量とのマスバランスを考慮すると、可給態窒素より適用性が高いと考えられた。

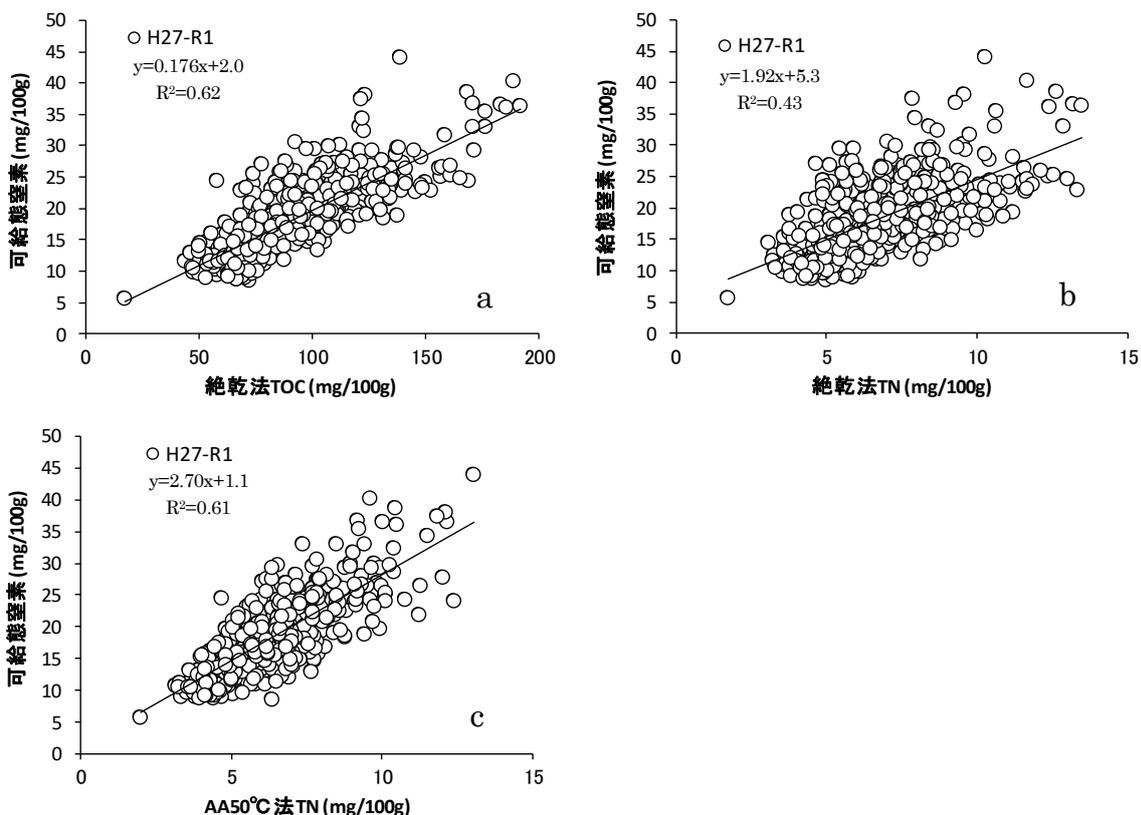


図1 迅速評価法と可給態窒素との関係 (a, 絶乾法TOC vs 可給態窒素, b, 絶乾法TN vs 可給態窒素, c, AA添加50°C法TN vs 可給態窒素) ※ n=600, コシヒカリ生観, 富富富調査圃, 農研内試験圃等(H27~R1)

## (2) 可給態窒素の迅速評価法を用いた「コシヒカリ」、「富富富」の適正窒素供給量の策定

### ① 適正窒素供給量の策定

#### ○ コシヒカリ

- ・ 富山県では、水稻の生育診断の目的変数として $m^2$ 当たりの着粒数を掲げており、「コシヒカリ」では、県内生育観測圃直近5か年の平均が $29,560 \pm 560$ 粒/ $m^2$  (Ave.  $\pm$  SD) となっている。
- ・ 県内の直近5か年における着粒数と成熟期の窒素吸収量との間には、高い正の相関が認められ、平均着粒数の296百粒/ $m^2$ を確保するためには、成熟期の窒素吸収量として **11.7Ng/ $m^2$** を確保する必要があると考えられた(図2)。
- ・ 可給態窒素の迅速評価法のTNと施肥窒素量を合算した値を窒素供給量とし、「コシヒカリ」の成熟期の窒素吸収量との関係を見ると、絶乾法、AA 50°C法のいずれを用いても、正の相関が認められた(図3a,b)。
- ・ 窒素吸収量として11.7Ng/ $m^2$ を確保するために必要な窒素供給量は、絶乾法の場合は **14.9Ng/ $m^2$** 、AA 50°C法の場合は **14.2Ng/ $m^2$** であり、これらの窒素供給量を「コシヒカリ」の目標値とした。

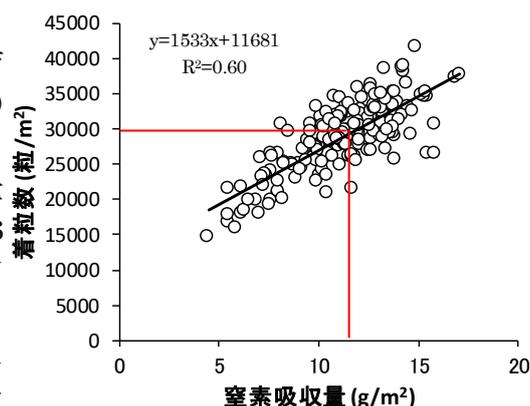


図2 成熟期窒素吸収量と着粒数との関係 ※n=194, コシヒカリ生観, 農研内試験圃等(H27~R1)

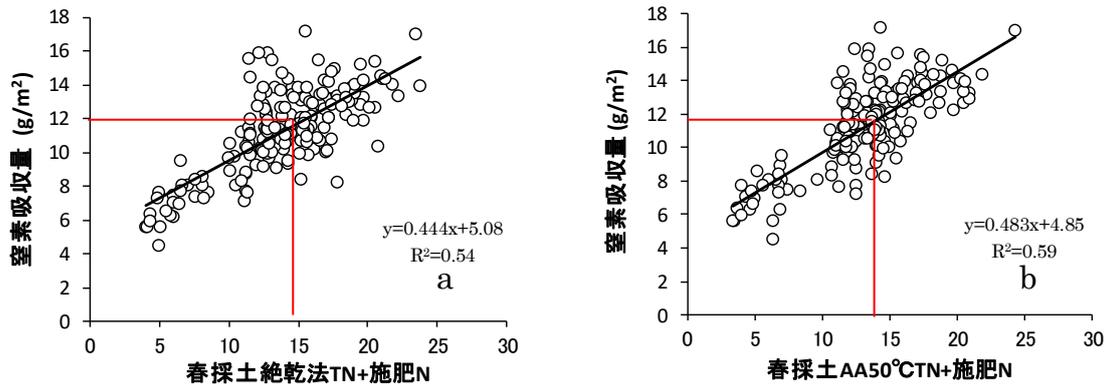


図3 各迅速評価法のTN+施肥窒素量(窒素供給量)とコシヒカリの成熟期窒素吸収量との関係 (a, 絶乾法TN、b, AA添加50°C法) ※n=190,コシヒカリ生観, 農研内試験圃等(H27~R1)

○富富富

- ・富山県の新品種「富富富」の目標着粒数(暫定)は、安定収量・高品質の観点から300百粒/m<sup>2</sup>としている。H28~R1の4年間の調査結果では、成熟期の窒素吸収量と着粒数との間には正の相関が認められ、着粒数300百粒/m<sup>2</sup>を確保するために必要な窒素吸収量は、**10.2Ng/m<sup>2</sup>**であった(図4)。

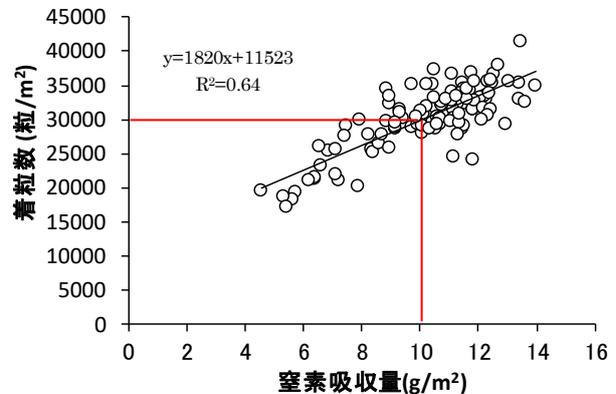


図4 成熟期窒素吸収量と着粒数との関係 ※n=110,富富富現地及び農研調査圃場(H28~R1) 無肥料区及び基肥一発肥料区

- ・可給態窒素の迅速評価法のTNに施肥窒素量を合算した窒素供給量と「富富富」の成熟期の窒素吸収量との間には、絶乾法、AA50°C法のいずれを用いても、正の相関が認められた(図5)。窒素吸収量として10.2Ng/m<sup>2</sup>を確保するために必要な窒素供給量は、絶乾法の場合は**11.9Ng/m<sup>2</sup>**、AA50°C法の場合は**10.8Ng/m<sup>2</sup>**であり、これらの窒素供給量を「富富富」の目標値とした。

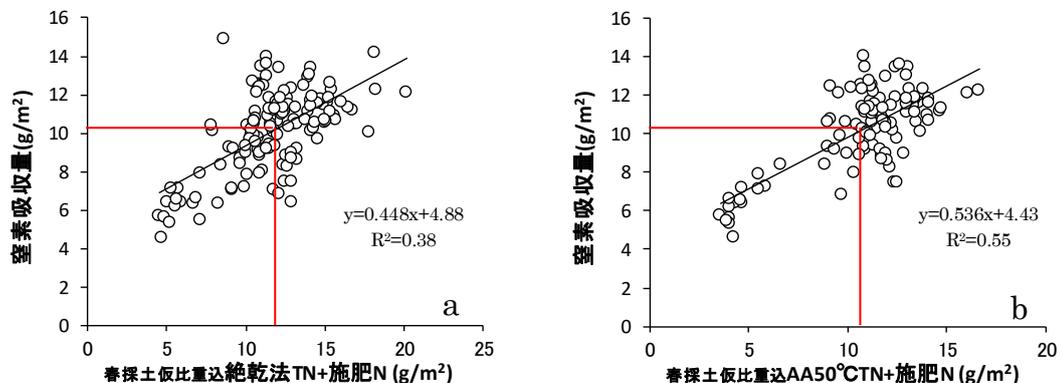


図5 各迅速評価法のTN+施肥窒素量(窒素供給量)と富富富の成熟期窒素吸収量との関係 (a, 絶乾法TN、b, AA添加50°C法) ※n=110,富富富現地及び農研調査圃場(H28~R1)

## ②現地実証試験

### ○「コシヒカリ」

・肥沃度の高い現地での減肥による適正化事例で、適正区の窒素吸収量が目標値程度に誘導され、過剰着粒が是正された。倒伏程度も軽減されて、登熟歩合が向上し、収量は慣行区と同程度となった。また、整粒歩合の向上により2等に格下げされるリスクが回避された。さらに、玄米蛋白質含有率も低下した(表1)。

### ○「富富富」

・肥沃度の高い現地での減肥による適正化事例で、適正区の着粒数が概ね目標値に誘導され、登熟歩合が向上し、収量は慣行区と同程度となった。また、整粒歩合が向上するとともに、玄米蛋白質含有率が低下した(表1)。

表1 施肥の適正化と水稻の窒素吸収量、収量及び玄米品質

品種	適正施肥		施肥 窒素量 Ng/m <sup>2</sup>	窒素 吸収量 Ng/m <sup>2</sup>	倒伏 程度	穂数 本/m <sup>2</sup>	着粒数		登熟 歩合 %	千粒重 g	精玄米重 g/m <sup>2</sup>	整粒 歩合 %	玄米蛋白 質含有率*
	窒素量 Ng/m <sup>2</sup>	処理区					粒/穂	粒/m <sup>2</sup>					
コシヒカリ (H29)	7.1	適正区	7.7	12.0	2.1	408	75.9	310	72.8	22.9	518	74.0	6.1
		慣行区	9.6	12.8	3.2	432	76.2	329	69.4	23.1	527	68.2	6.5
富富富 (R1)	3.8	適正区	4.2	11.0	0.0	443	67.2	297	84.4	21.4	529	77.7	6.2
		慣行区	5.9	13.4	0.0	504	69.8	353	71.2	21.0	513	71.7	7.1

※玄米蛋白質含有率は、玄米水分15%換算値

※倒伏程度は0(無)～5(甚)に面積比率を乗算して求めた

#### 4) 成果活用における留意点

春に採取した土壌の分析値を基に、適正施肥量を求めることを基本とする。また、堆肥等の有機物連用圃場での適用については、別途検討が必要である。

#### 5) 今後の課題

様々な土壌タイプでの実証事例を積み重ねていく必要がある。

#### <引用文献>

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	205	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	2 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(5) 西南暖地黒ボク土水田における土壌可給態窒素の簡易測定を活用した施肥技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	熊本県農業研究センター生産環境研究所・土壌環境研究室・身次幸二郎、柿内俊輔、冨永純司、門田健太郎		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

西南暖地の黒ボク土水田である熊本県農業研究センター内の土壌、および現地黒ボク土水田土壌を用い、可給態窒素の簡易・迅速評価法の適応性について検討する。また、可給態窒素および施肥窒素と水稲生育、収量、玄米品質との関係を解析することにより、現場でも十分に実施することが可能な、黒ボク土水田土壌の窒素発現量に応じた窒素施肥指針を策定する。

### 2) 研究方法

#### (1) 熊本県内各地域黒ボク土壌における可給態窒素の分布状況

##### i) 供試土壌

①生産環境研究所（厚層多腐植質多湿黒ボク土（沖積土客土））4地点

②現地水田圃場

阿蘇地域（14地点）、菊池地域（10地点）、球磨地域（10地点）34地点

##### ii) 土壌採取時期

① 水稲作前後                      ②水稲作後

##### iii) 分析項目

可給態窒素（風乾土30℃4週間培養法（以下、培養法））

#### (2) 熊本県内土壌に対する可給態窒素の簡易測定法の適応性評価

i) 供試土壌

① 生産環境研究所

有機物連用試験水田（厚層多腐植質多湿黒ボク土（沖積土客土））4地点

② 球磨農業研究所

有機物連用水田（厚層多腐植質多湿黒ボク土） 3地点

露地野菜跡水田（厚層多腐植質多湿黒ボク土） 1地点

③ 現地水田圃場

阿蘇地域（6地点）、菊池地域（4地点）、球磨地域（4地点） 14地点

ii) 土壌採取時期

①、② 水稻栽培前後 ③ 水稻作後

iii) 分析項目

可給態窒素 培養法

絶乾土水振とう抽出法（以下、迅速法）によるTOCから推定

$$\text{推定可給態窒素 (TOC)} = \text{TOC} \times 0.26 - 44.06$$

(3) 堆肥散布圃場での可給態窒素の簡易測定法の適応性評価

i) 供試土壌および堆肥施用時期

生産環境研究所内 慣行栽培水田（厚層多腐植質多湿黒ボク土）

※過去5年間は堆肥散布なし

堆肥散布 平成28年5月2日 牛ふん堆肥（現物）：水分50.4%、TN 1.55%、TC 27.7%

ii) 土壌採取時期 堆肥散布直後から入水まで経時的採取

春散布 +7、+14、+28、代かき前

iii) 分析項目

可給態窒素（培養法）、COD（迅速法）

(4) 可給態窒素と施肥窒素が水稻栽培に与える効果の解明

i) 供試作物（品種） 水稻（ヒノヒカリ）

ii) 試験ほ場 生産環境研究所内水田（厚層多腐植質多湿黒ボク土）

iii) 試験区の構成 次表のとおり

年度	施肥体系	可給態窒素	窒素施肥量					
		mg/100g 乾土	kg/10a					
H28	分施	13.7~16.2	0	3.0	5.0	7.2	10.0	
	全量基肥	13.7~16.2	0	5.3	8.0			
H30	分施	6.2~10.2	0	2.8	7.8	9.8	11.8 14.8	
	全量基肥	4.9~9.9	0	6.2	8.0	11.8		
R1	分施	7.5~8.7	0	8.0	10.0	12.0		
	全量基肥	7.4~9.0	0	4.0	6.4	8.0 9.6	12.0	

※各年度の窒素施肥量0区は分施と全量基肥で共通。

※分施体系では基肥と穂肥および晩期穂肥による施肥体系であり、全量基肥は肥効調節型肥料を用いた基肥のみの施肥体系である。

※所内の可給態窒素は栽培前に試験区ごとに採取した土壌を培養法によって分析した。

iv) 調査項目 収量、収量構成要素、窒素吸収量、栽培前の可給態窒素（培養法）

### 3) 研究結果

- 熊本県内各地の黒ボク土水田土壌の可給態窒素量（風乾土4週間培養法）を調査した結果、阿蘇、菊池及び球磨の各地域の可給態窒素の中央値は概ね18～19mg/100g乾土であった（図1）。
- 可給態窒素を培養法と迅速法TOCで比較したところ、有意な相関関係がみられ、その近似曲線の傾きは0.93と1に近かった（図2）。
- 堆肥散布後に経時的に培養法による可給態窒素と迅速法によるCODを比較したところ、堆肥散布後4週間後に可給態窒素量とCODに正の相関関係がみられた（図3）。このため、堆肥散布後少なくとも4週間は迅速法が適応できないと考えられた。
- 栽培試験の結果、分施肥体系と全量基肥体系のいずれにおいても窒素吸収量と収数に高い相関が認められた（図4）。
- 栽培試験の結果、分施肥体系では可給態窒素と施肥窒素の数値の合計値（以下、可給態窒素+施肥窒素）と窒素吸収量に高い相関が認められた（図5）。一方、全量基肥体系では分施肥体系と比較すると相関が低かった。
- 全量基肥体系の可給態窒素+施肥窒素と窒素吸収量の関係について、年度ごとにみても、単年度では高い相関がみられたものの、年度ごとに異なる傾向であった（図6）。
- これらのことから、適正収数を設定することにより、可給態窒素+施肥窒素の適正値を定めることが可能であると思われた。

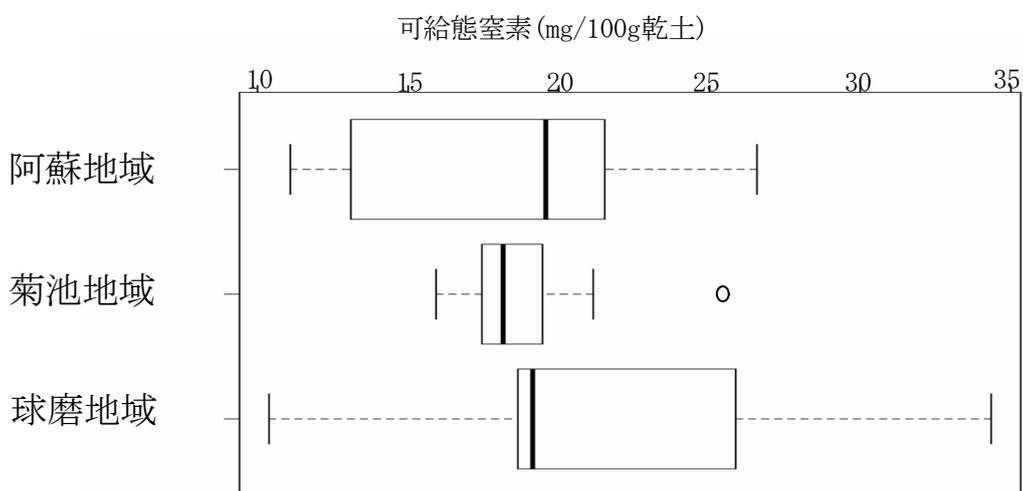


図1 熊本県内黒ボク土壌水田の可給態窒素の分布状況

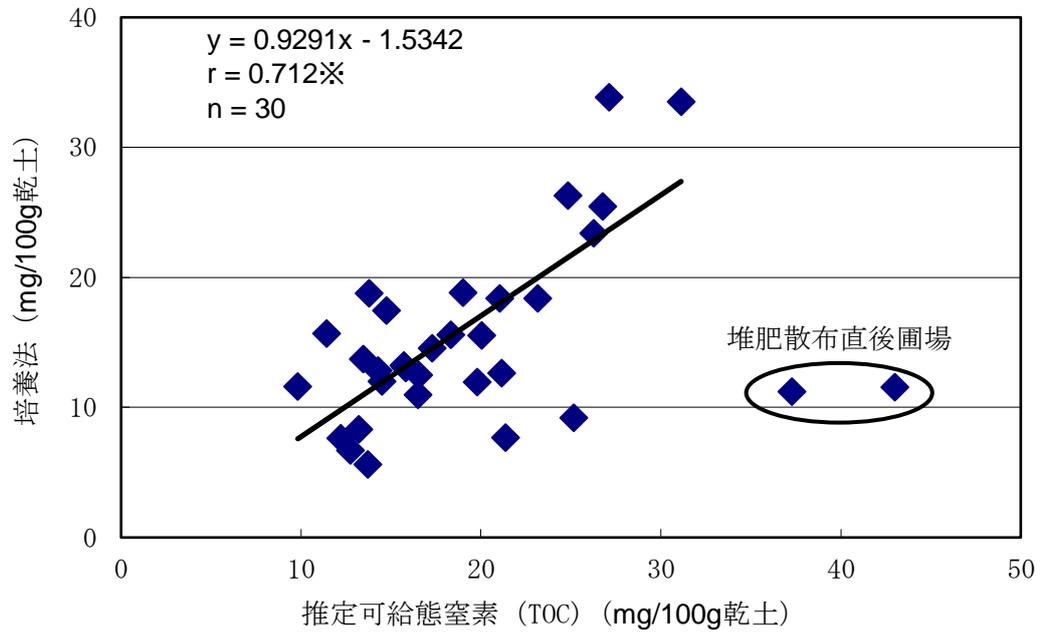


図2 可給態窒素分析における培養法と迅速法の関係

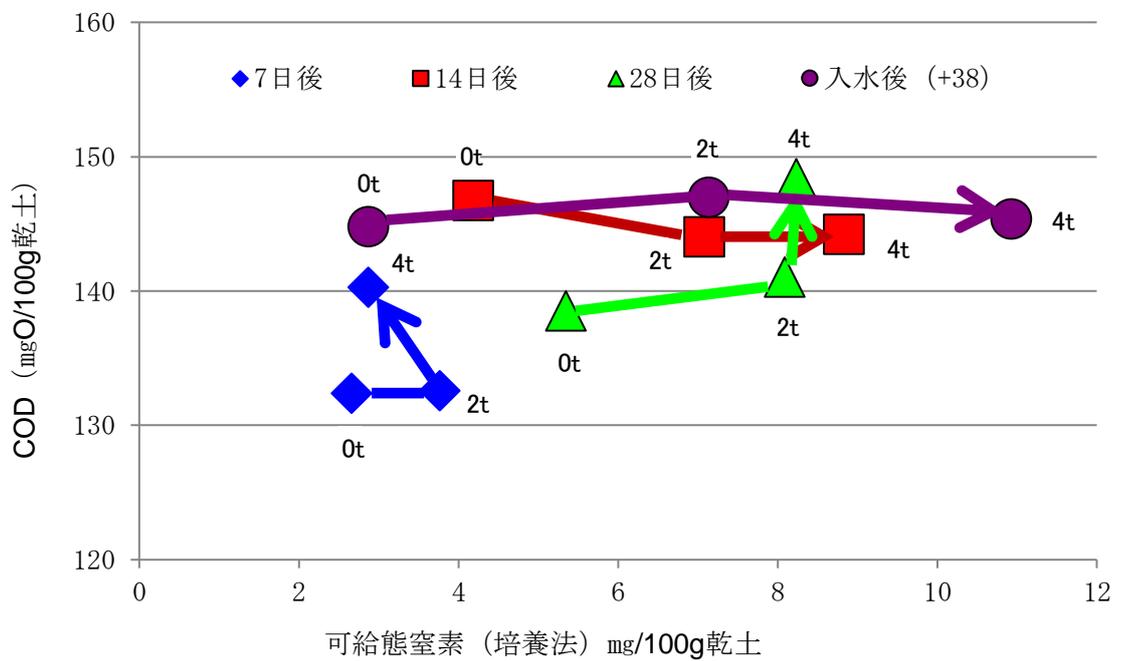


図3 堆肥散布後ほ場における可給態窒素とCODの推移

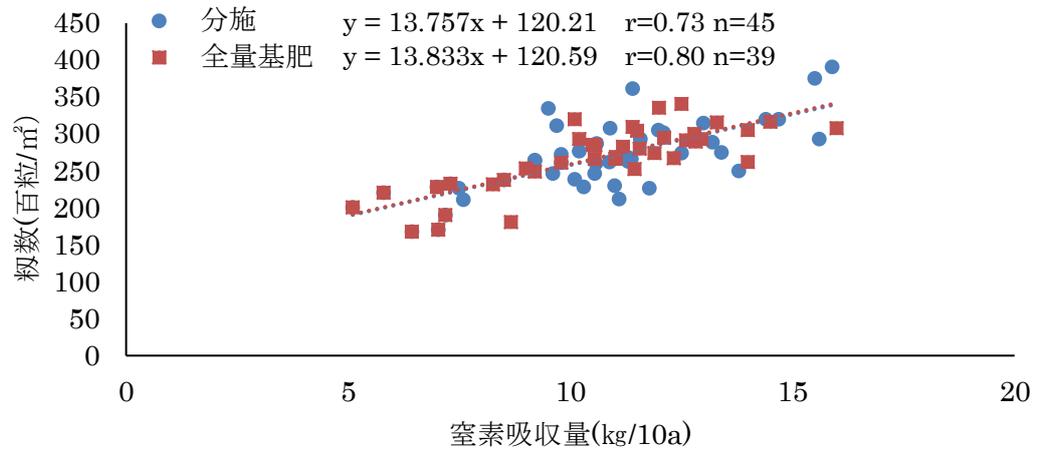


図4 ヒノヒカリの窒素吸収量と収数の関係

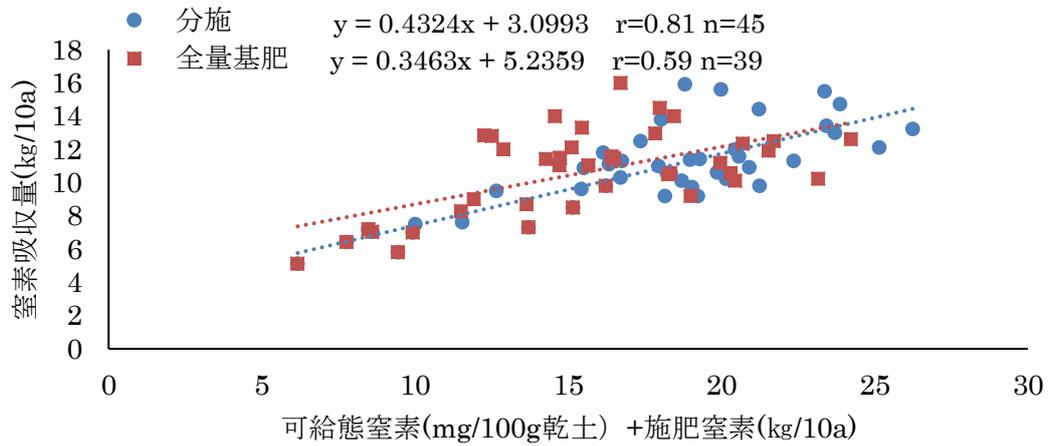


図5 ヒノヒカリの可給態窒素+施肥窒素と窒素吸収量の関係

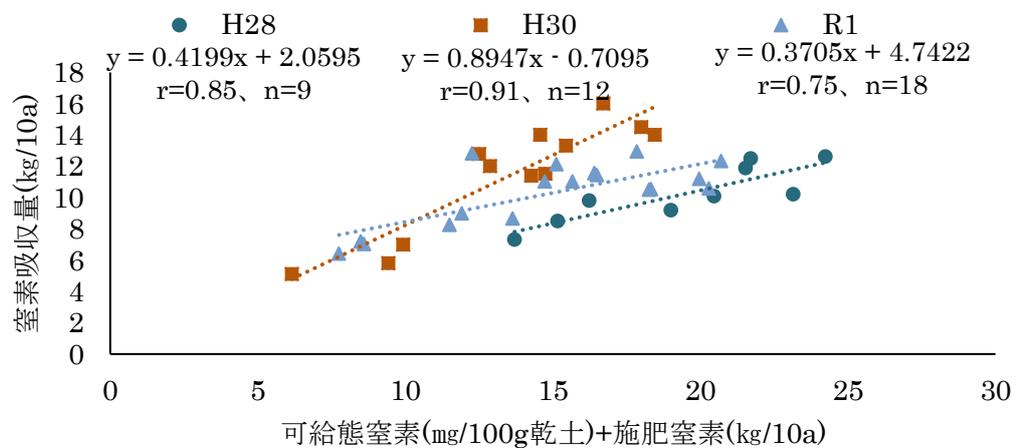


図6 ヒノヒカリの全量基肥体系における可給態窒素+施肥窒素と窒素吸収量の年度ごとの関係

#### 4) 成果活用における留意点

- ・本試験の水稲栽培は熊本県の山麓準平坦地域における普通期栽培（移植：6月下旬、収穫：10月上旬）で実施した。

#### 5) 今後の課題

- ・全量基肥体系について可給態窒素+施肥窒素と窒素吸収量の関係が年度により異なる傾向にあることの検討が必要

#### <引用文献>

- ・水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価マニュアル

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	206	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	2 水稲作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(6) 可給態窒素の簡易測定を活用した施肥設計技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・金澤健二		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	JA全農・肥料研究室・成沢大志・山口幸・田中達也		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

本研究では、中央農研が開発を進めている土壌窒素の簡易測定法と本会が開発した無機化シミュレーション技術を組み合わせた無機化窒素の簡易予測法の開発を行う。さらに、飼料用米など多用途米栽培への用途拡大に伴い、同技術を活用した被覆肥料による全量基肥技術の安定化技術に応用し、低コスト稲作施肥技術の普及を目指す。

### 2) 研究方法

#### (1) 可給態窒素の簡易法と培養法との関係の解析

ア. 試験年次：2015年～2019年

イ. 供試土壌：77点（宮城県、茨城県、千葉県、埼玉県、神奈川県、新潟県、熊本県）

ウ. 測定方法：簡易評価法（絶乾土水振とう抽出法、風乾土80℃16時間水抽出）

培養法（風乾土4週、湿潤土4週、湿潤土10週湛水培養法）

#### (2) 風乾土4週培養値を用いた湿潤土4週培養値の推定

ア. 試験年次：2017年～2019年

イ. 供試土壌：40点（宮城県、栃木県、千葉県、神奈川県、長野県、新潟県、兵庫県、広島県、熊本県）

ウ. 分析項目：可給態窒素（風乾土・湿潤土4週培養）、含水率（湿潤土）、最大容水量

エ. 推定式：湿潤土28日培養値＝

風乾土28日培養値×{exp(-0.0390×(最大容水量に対する水分指数-5.33))-0.0513}

※最大容水量に対する水分指数＝含水率／最大容水量

#### (3) 土壌採取時期別発現量の変動確認

ア. 試験年次・土壌採取月：2015年～2019年・11月、3月、5月

イ. 供試土壌：神奈川県平塚市城島 3点（黒泥土）

- ウ. 測定方法：簡易評価法（絶乾土水振とう抽出法）
- (4) 補給型施肥技術と土壌収奪量に応じた土壌管理技術の確立
- ア. 試験年次 : 2016年～2019年
- イ. 試験場所（土壌）：神奈川県平塚市城島（黒泥土）
- ウ. 供試作物（品種）：水稲（モミロマン、キヌヒカリ）
- エ. 試験区の構成 :

品種	処理区名	可給態窒素 (mg/100g)	窒素施肥量 (kg/10a)	備考(窒素肥料内訳)
モミロマン	地力高 補給	25.3	9	基肥5kg、穂肥2kg、実肥2kg
	地力高 慣行		12	基肥6kg、穂肥3kg、実肥3kg
	地力低 補給	10.4	21	基肥11kg、穂肥5kg、実肥5kg
キヌヒカリ	地力高 補給	25.3	3	基肥2kg、穂肥1kg
	地力高 慣行		5	基肥3kg、穂肥2kg
	地力低 補給	10.4	12	基肥6kg、穂肥6kg

※：全ての処理区でN（硫安）、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-8kg（重焼燐）、K<sub>2</sub>O-6kg（塩加）を全面全層で施用。

表 補給型施肥区の施肥量の算出

項目	モミロマン		キヌヒカリ	
	地力高 補給	地力低 補給	地力高 補給	地力低 補給
目標粗玄米重(kg/10a)	680		550	
総窒素吸収量(kg/10a) <sup>注1</sup>	17.7		11.2	
総粒数(粒/m <sup>2</sup> ) <sup>注1</sup>	45202		30102	
土壌由来窒素吸収量(kg/10a) <sup>注2</sup>	13.4	6.8	9.8	5.0
施肥由来窒素吸収量(kg/10a) <sup>注3</sup>	4.3	10.9	1.5	6.2
窒素施肥量(kg/10a) <sup>注4</sup>	9.0	21.0	3.0	12.0

※1：総窒素吸収量と総粒数は当室の過去の試験結果から算出。

※2：過去の同一圃場の無窒素区の窒素吸収量から算出。

※3：施肥由来窒素吸収量＝総窒素吸収量－土壌由来窒素吸収量で算出。

※4：施肥由来窒素吸収量に施肥窒素利用率（基肥30%、追肥70%）を考慮して算出。

オ. 試験区の規模：1区40m×1.2m 反復なし

カ. 調査項目：地温、生育、収量

### 3) 研究結果

- (1) 可給態窒素の簡易法と培養法との関係の解析  
 絶乾土水振とう抽出 TOC 量と風乾土 4 週培養窒素量との関係を確認したところ、正の相関 ( $R^2=0.4483$ ) が認められた (図 1)。  
 また、80℃16 時間抽出 TOC 量と湿潤土 4 週培養または 10 週培養窒素量との関係を確認したが、相関性は低く、明瞭な関係性は認められなかった (図 2)。

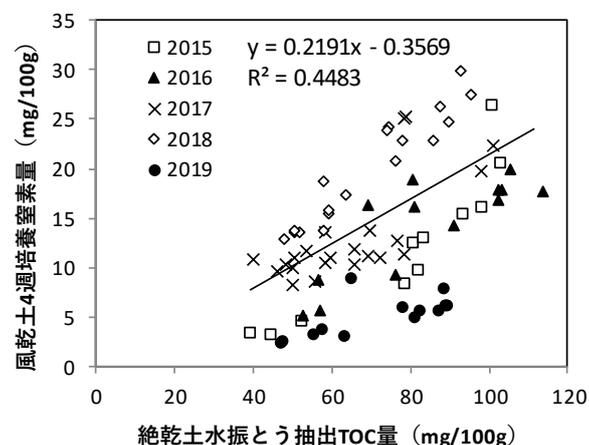


図1 風乾土4週培養値と絶乾土水振とう抽出値の比較

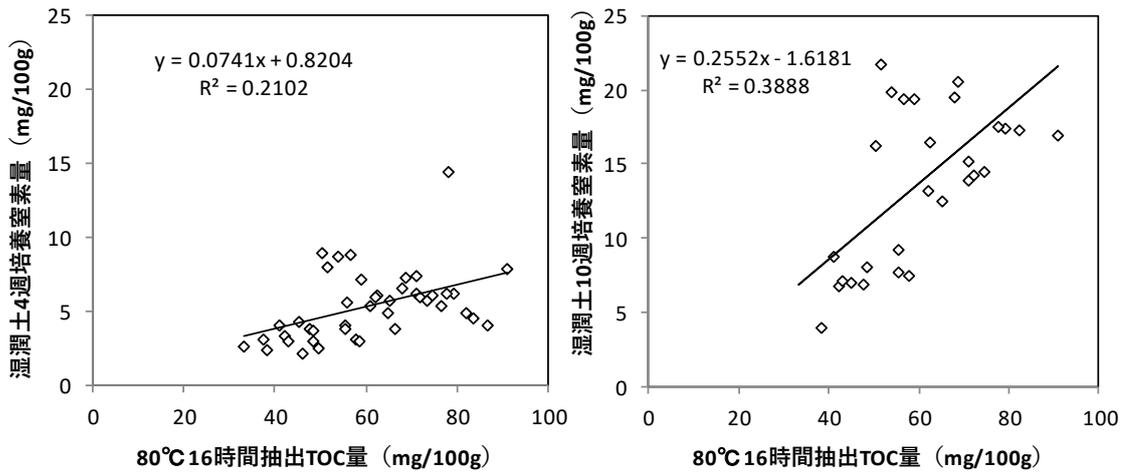


図2 湿潤土4週および10週培養値と80°C16時間抽出値の比較

(2) 風乾土4週培養値を用いた湿潤土4週培養値の推定

風乾土4週培養値を用いて湿潤土4週培養値の推定を行ったところ、泥炭土とグライ低地土の一部（泥炭質グライ低地土）で推定値と培養値で大きく異なるものがあったが、その他の土壌の培養値/推定値の比の平均は1.17であり、概ね推定が可能であった（図3）。

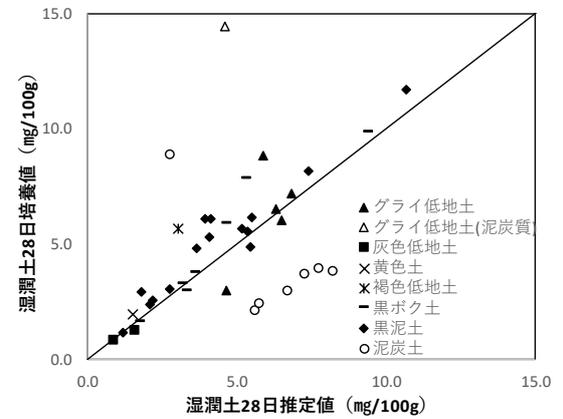


図3 湿潤土28日培養値と推定値の比較

(3) 土壌採取時期別発現量の変動確認

前年11月TOC値/当年5月TOC値の比の平均は0.89、当年3月TOC値/当年5月TOC値の比の平均は0.95であり、前年11月から5月まででTOC値の大きな変動は認められず、収穫後（11月、3月）の採取土壌のTOC値を翌年の施肥に活用可能と考えられた（図4）。

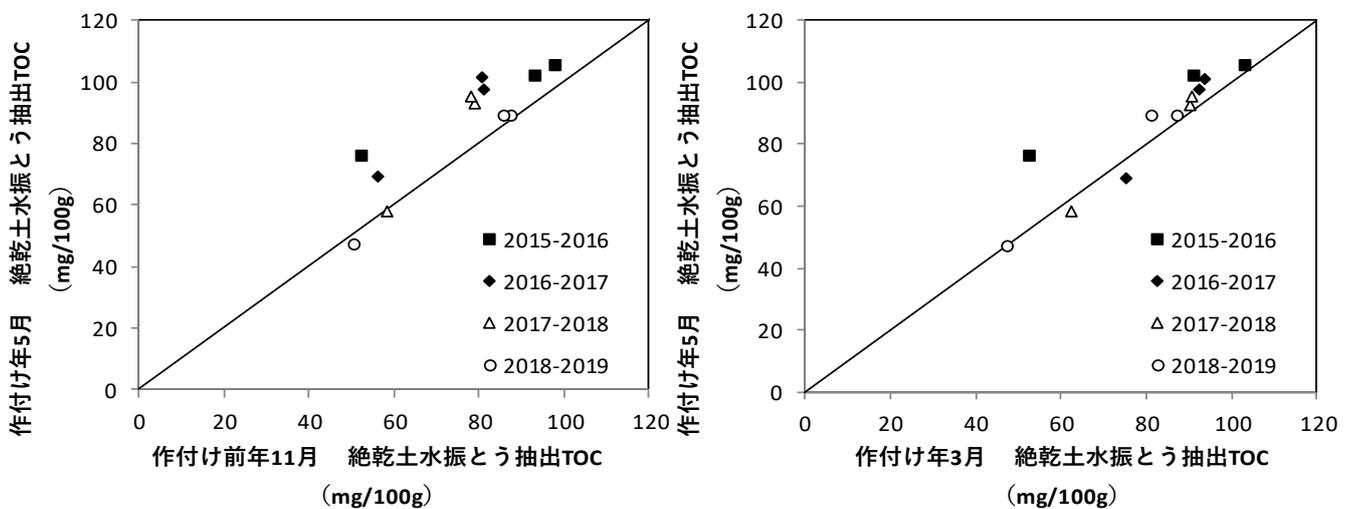


図4 作付け年5月採取土壌とそれ以前採取土壌との絶対乾土水振とう抽出TOC値の比較

(4) 補給型施肥技術と土壌収奪量に応じた土壌管理技術の確立

2016年～2019年の結果から、モミロマンとキヌヒカリの高地力圃場と低地力圃場の補給型施肥区はともに、目標収量よりはやや低かったが、慣行区とほぼ同等であり、補給型施肥が概ね可能と考えられた(表1)。

表1 収量および収量構成要素

年次	品種	処理区	穂数 (本/m <sup>2</sup> )	籾数 (千粒/m <sup>2</sup> )	登熟歩合 (%)	千粒重 (g/千粒)	粗玄米重 (kg/10a)	粗玄米重 慣行対比(%)
2016	モミロマン	地力高 補給	249	44.9	44	22.3	586	108
		地力低 補給	269	38.4	39	22.9	532	98
		地力高 慣行	297	53.0	37	22.2	542	
	キヌヒカリ	地力高 補給	360	30.5	80	22.5	559	96
		地力低 補給	359	27.6	84	21.7	606	104
		地力高 慣行	370	30.7	78	21.8	583	
2017	モミロマン	地力高 補給	305	40.3	57	23.0	583	104
		地力低 補給	329	43.1	47	24.0	502	90
		地力高 慣行	319	43.4	48	24.0	560	
	キヌヒカリ	地力高 補給	385	25.9	82	22.0	523	102
		地力低 補給	438	24.8	74	21.0	468	92
		地力高 慣行	438	24.5	81	22.0	511	
2018	モミロマン	地力高 補給	298	37.3	53	24.9	578	105
		地力低 補給	280	35.6	53	24.0	503	91
		地力高 慣行	277	40.1	60	23.9	553	
	キヌヒカリ	地力高 補給	413	23.5	73	20.9	441	91
		地力低 補給	452	22.0	74	21.0	388	80
		地力高 慣行	417	26.2	71	21.3	484	
2019	モミロマン	地力高 補給	347	49.2	55	24.1	832	94
		地力低 補給	424	59.7	40	24.8	807	92
		地力高 慣行	396	54.2	51	24.7	881	
平均 (2016-2019)	モミロマン	地力高 補給	300	42.9	52	23.6	645	102
		地力低 補給	326	44.2	45	23.9	586	92
		地力高 慣行	322	47.7	49	23.7	634	
	キヌヒカリ	地力高 補給	386	26.6	78	21.8	508	97
		地力低 補給	416	24.8	78	21.2	487	93
		地力高 慣行	408	27.1	77	21.7	526	

4) 成果活用における留意点

可給態窒素発現量を考慮した補給型施肥技術を実施するためには、対象とする品種の目標収量を得る際の窒素吸収量を事前に知っておく必要がある。

5) 今後の課題

簡易評価法と無機化シミュレーションの組み合わせのためには、湿潤土4週培養値が必要であり、そのためには、風乾土4週培養値を用いた湿潤土4週培養値の推定精度の向上および簡易化、または、湿潤土培養値の簡易評価法の開発が今後の課題である。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	301	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	3 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(1) 夏秋トマト施設栽培における可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	鹿児島県農業開発総合センター・大隅支場・環境研究室 ・上菌一郎		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	岩手県農業研究センター・生産環境研究部・土壌肥料研究室・高橋良学、島輝夫		
共同研究機関・研究室・研究者名 等			

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

本県の施設野菜圃場では、土壌養分の過剰蓄積が進んでいる。リン酸やカリ等の過剰蓄積については減肥基準（県版）が既に策定されているが、トマトをはじめとする果菜類での試験事例はなく普及が進んでいない。

また、窒素については、土壌中の可給態窒素量の評価手法が煩雑であることに加え、作物生産への影響が大きいことから、可給態窒素を指標とした減肥基準についての検討がなされていない。

そこで、施設栽培トマトを対象として、簡易測定による可給態窒素を指標とした新たな窒素施肥基準を策定するとともに、リン酸、カリの減肥基準の検証を行う。

### 2) 研究方法

#### 【可給態窒素の肥効評価（場内試験）】

可給態窒素の肥効を評価するため、岩手県農業研究センター内のハウス圃場（腐植質普通非アロフェン質黒ボク土）において試験を実施した。

供試品種には「桃太郎サニー」と「りんか409」を、台木には「Bバリア」を用いて、3年間（H27～H29）継続して検討を行った。各年とも5月下旬の定植から10月下旬の収穫終了までの5か月程度を栽培期間とした。定植後の栽培管理は「岩手県農業研究センター主要農作物栽培基準」に従った。かん水はスミスンスイチューブによるマルチ下水平散水とした。

同一ハウス内に、可給態窒素レベルの異なる3つの区画を設置し、各区画において窒素無施用により雨よけトマトを栽培した。各区画の可給態窒素量とトマトの生育・収量・

地上部窒素吸収量との関係を調査し、可給態窒素の肥効について検討を行った。

#### 【窒素減肥技術の確立（場内試験）】

可給態窒素量に応じた窒素減肥技術を確立するため、岩手県農業研究センター内のハウス圃場（腐植質普通非アロフェン質黒ボク土）において試験を実施した。

供試品種には「桃太郎サニー」と「りんか409」を、台木には「Bバリア」を用いて、2年間（H28～H29）継続して検討を行った。各年とも5月下旬の定植から10月下旬の収穫終了までの5か月程度を栽培期間とした。定植後の栽培管理は「岩手県農業研究センター主要農作物栽培基準」に従った。かん水はスミサンスイチューブによるマルチ下水平散水とした。

同一ハウス内に、作土の可給態窒素レベルが異なる3つの区画を設置し、各区画に標準施肥区および窒素減肥区を設置して雨よけトマトを栽培した。窒素減肥区の施肥量は、可給態窒素の肥効評価を基に設定した。

基肥は全面全層施肥、追肥はスミサンスイチューブによるかん水同時施肥により行った。窒素減肥については、土壌からの窒素供給が生育中盤以降になると考えられたことから、基肥ではなく、12回に分けて実施する追肥分から各回等量の減肥を行った。

各区画における窒素施肥量とトマトの生育・収量・地上部窒素吸収量との関係を調査し、窒素の減肥可能量について検討を行った。

#### 【可給態窒素に基づく窒素減肥技術の現地実証】

場内試験により得られた結果を基に、岩手県内の現地農家圃場（礫質台地黄色土）において、可給態窒素に基づく窒素減肥技術の実証を行った。

供試品種には「桃太郎ワンダー（自根）」を用いて、2年間（H30～R1）継続して検討を行った。各年とも5月下旬の定植から10月下旬の収穫終了までの5か月程度を栽培期間とした。定植後の栽培管理は「岩手県農業研究センター主要農作物栽培基準」に従った。かん水はスミサンスイチューブによるマルチ下水平散水とした。

同一ハウス内に、標準施肥区、N3kg減肥区（窒素成分3kg/10a減肥）、N6kg減肥区（窒素成分6kg/10a減肥）の3つの試験区を設置して雨よけトマトを栽培した。

基肥は全面全層施肥、追肥はスミサンスイチューブによるかん水同時施肥により行った。窒素減肥については、場内試験と同様に、12回に分けて実施する追肥分から各回等量の減肥を行った。

標準施肥区と減肥区におけるトマトの生育・収量・地上部窒素吸収量を比較調査し、可給態窒素の肥効評価の妥当性について検討を行った。

#### 【リン酸、カリの減肥基準の検証】

岩手県において既に設定しているリン酸・カリの減肥基準を、岩手県農業研究センター内のハウス圃場（腐植質普通非アロフェン質黒ボク土）および岩手県内の現地農家圃場（礫質台地黄色土）において検証した。

岩手県農業研究センター内のハウス圃場においては、リン酸・カリ減肥区を設置して雨よけトマトを栽培し、リン酸・カリ減肥区におけるトマトの生育・収量・地上部養分吸収量から減肥基準の妥当性について検討を行った。

現地農家圃場においては、可給態窒素に基づく窒素減肥技術の実証と併せてリン酸減肥を行い、窒素およびリン酸減肥の総合実証を行った。

### 3) 研究結果

#### 【可給態窒素の肥効評価】

可給態窒素量と窒素無施用栽培によるトマトの生育・収量・地上部窒素吸収量との関係を調査した結果、可給態窒素量に応じて生育量・収量が増加する傾向が認められた。また、可給態窒素量が多い一部の試験区においては、窒素無施用であっても標準施肥と同等の収量を確保した（図1）。

可給態窒素量と窒素無施用栽培によるトマトの地上部窒素吸収量の比較から、可給態窒素1mg/100gには地上部窒素吸収量を2~4kg/10a増加させる肥効があることが確認された（表1）。これを基に、可給態窒素1mg/100g当たりの窒素の減肥可能量を3kg/10aと設定した。

#### 【窒素減肥技術の確立】

可給態窒素の肥効評価を基に設定した窒素の減肥可能量（可給態窒素1mg/100g当たりN3kg/10a）が概ね適当であることが確認された。

可給態窒素量が約2mg/100gの区画に対し、可給態窒素量が2~3mg/100g多い区画では、追肥窒素を6~9kg/10a減肥した試験区でも標準施肥を行った試験区と同等の生育・収量となり、標準施肥区とほぼ同等の推定販売額を確保できることが確認された（図2）。

減肥区では地上部窒素吸収量が減少する傾向が認められたものの、果実品質に顕著な差は認められなかった。

#### 【可給態窒素に基づく窒素減肥技術の現地実証】

可給態窒素量が約4mg/100gの現地試験圃場において、追肥窒素を3~6kg/10a減肥しても標準施肥と同等の可販果収量が確保できることが確認された。

追肥窒素量の減肥に伴い茎葉部の茎径・乾物重が減少する傾向が認められた。また、地上部窒素吸収量および規格外果も含めた果実の総収量についても、減肥に伴い減少する傾向が認められた（図3、4）。

減肥に伴って果実の総収量は減少したものの、裂果等の規格外果の発生が抑えられたことから、減肥区の可販果率が向上した（表2）。

場内試験および現地試験の結果を踏まえ、可給態窒素を指標とした雨よけトマトへの新たな窒素施肥基準（可給態窒素量が4mg/100g以上で追肥窒素量3~6kg/10a減肥）を策定した。

#### 【リン酸、カリの減肥基準の検証】

場内試験により、岩手県において既に設定している園芸品目のリン酸・カリの減肥基準の妥当性を確認した。また、現地試験では、窒素およびリン酸の減肥技術を総合的に実証した。

場内試験においては、リン酸・カリ減肥によるトマトの生育・収量等への影響は認められなかった（図5、6）。また、地上部のリン酸・カリ吸収量にも顕著な差は認められなかった。

現地試験においては、窒素減肥と併せてリン酸減肥を行った場合でも目標収量を確保できることが確認され、窒素およびリン酸の減肥を総合的に実証することができた。

#### 4) 成果活用における留意点

今回策定した窒素施肥基準は、岩手県におけるトマト雨よけ普通栽培（定植：5月下旬、栽培期間：約5か月）の標準的な作型を対象としたものである。気象条件や作型等により可給態窒素1mg/100g当たりの窒素の減肥可能性が異なると考えられることから、成果活用にあたっては各地域の気象条件や作型等に留意する必要がある。

#### 5) 今後の課題

本研究により、可給態窒素量を指標とした雨よけトマトへの追肥窒素の施肥（減肥）基準を策定することができた。しかし、生産現場においては、カリ等の窒素以外の肥料成分を含む複合肥料を追肥に用いるのが主流となっており、窒素成分のみの減肥技術の普及は難しいと考えられる。

現在主流となっている複合肥料を用いる場合であっても、土壌養分含量に応じた適正施肥が可能となるような技術を確立するため、土壌のリン酸・カリ含量等も考慮した総合的な減肥技術について検討する必要がある。

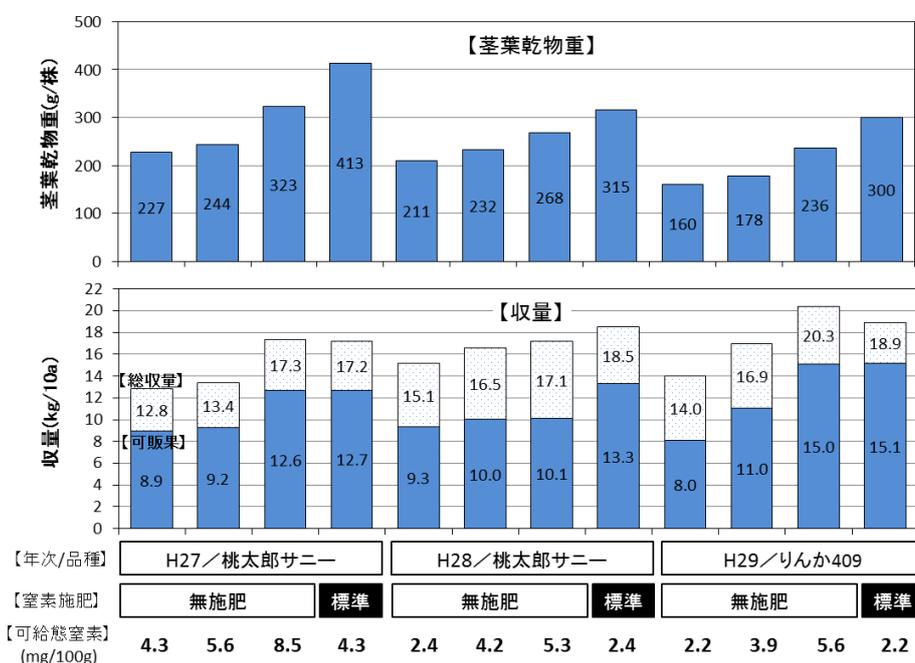


図1 可給態窒素レベルの異なる土壌における窒素無施肥栽培での雨よけトマトの茎葉乾物重と収量

※1 台木：Bバリア 定植：5月下旬 収穫：第12花房まで

※2 標準の窒素施肥は30（12+18）kg/10a、リン酸・カリの施肥量は県基準による

※3 果重120g以上のA級品およびB級品（岩手県青果物等標準出荷規格に準拠）を可販果とした

表1 窒素無施肥区における土壌中可給態窒素と地上部窒素吸収量

年度/品種	土壌中 可給態窒素 (mg/100g)	地上部 窒素吸収量 (kg/10a)	各試験区の差		可給態窒素1mg/100g 当りの窒素吸収量 (kg/10a)
			可給態窒素 (mg/100g)	地上部窒素吸収量 (kg/10a)	
			A	B	
H27	4.3 ①	17.6 ⑩	4.2 (③-①)	12.1 (⑫-⑩)	2.9
桃太郎サニー (台木Bバリア)	5.6 ②	19.8 ⑪	2.9 (③-②)	9.9 (⑫-⑪)	3.4
	8.5 ③	29.7 ⑫	1.3 (②-①)	2.2 (⑪-⑩)	1.7
H28	2.4 ④	22.5 ⑬	2.9 (⑥-④)	6.0 (⑮-⑬)	2.1
桃太郎サニー (台木Bバリア)	4.2 ⑤	25.7 ⑭	1.1 (⑥-⑤)	2.8 (⑮-⑭)	2.5
	5.3 ⑥	28.5 ⑮	1.8 (⑤-④)	3.2 (⑭-⑬)	1.8
H29	2.2 ⑦	15.9 ⑯	3.4 (⑨-⑦)	10.2 (⑰-⑯)	3.0
りんか409 (台木Bバリア)	3.9 ⑧	19.5 ⑰	1.7 (⑨-⑧)	6.6 (⑰-⑱)	3.9
	5.6 ⑨	26.1 ⑱	1.7 (⑧-⑦)	3.6 (⑱-⑰)	2.1

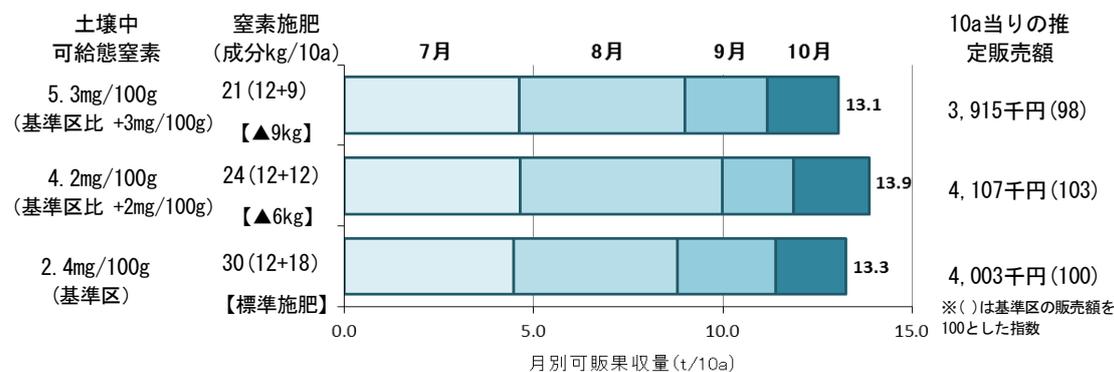


図2 可給態窒素レベルが高い土壌において窒素を減肥して栽培した場合の月別可販果収量と推定販売額 (H28)

- ※1 品種：桃太郎サニー（台木Bバリア） 定植：5月下旬 収穫：第12花房まで
- ※2 リン酸・カリの施肥量は県基準による
- ※3 岩手県青果物等標準出荷規格に準拠し、果重120g以上のA級品およびB級品を可販果とした
- ※4 推定販売額は過去5年間における関東・東北市場の旬別平均販売価格（農畜産業振興機構）をもとに算出した

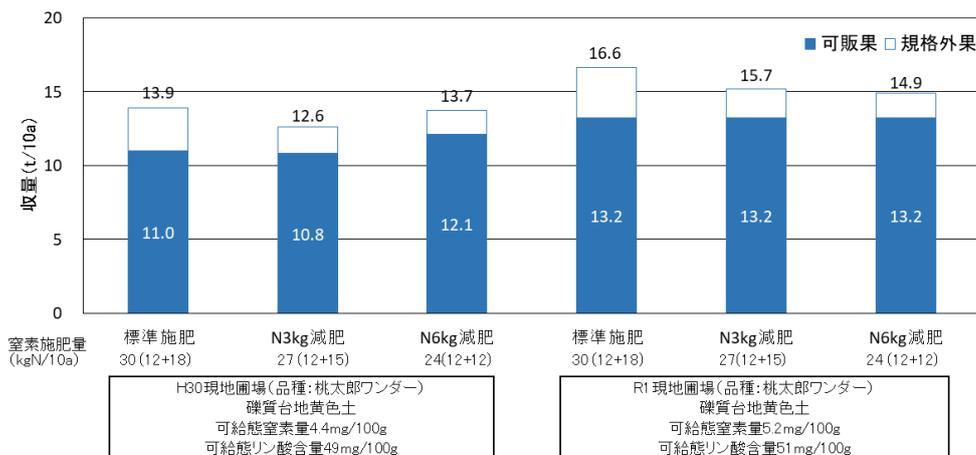


図3 現地圃場における総収量と可販果収量 (H30、R1)

- ※1 定植：5月下旬 収穫：第12花房まで
- ※2 リン酸・カリの施肥量は県基準による
- ※3 岩手県青果物等標準出荷規格に準拠し、果重120g以上のA級品およびB級品を可販果とした

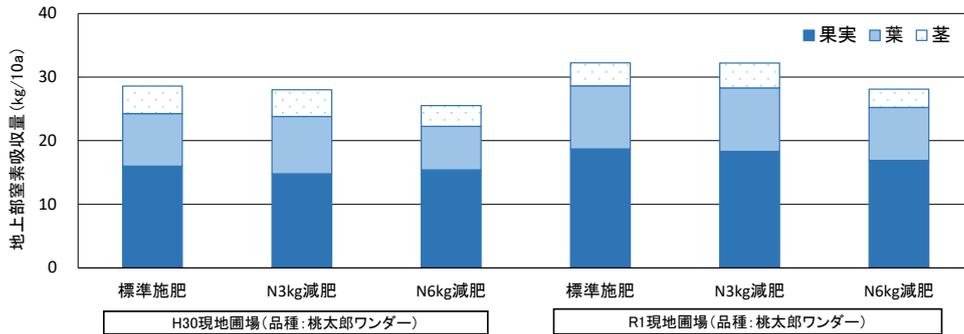


図4 現地圃場における地上部窒素吸収量 (H30、R1)

※1 定植：5月下旬 収穫：第12花房まで  
 ※2 リン酸・カリの施肥量は県基準による

表2 現地圃場におけるトマトの品質割合 (重量%)

調査年	施肥量	可販果	規格外果				
			裂果	乱形果	尻腐果	小果	その他
H30	標準施肥	79.0	15.4	1.0	0.0	3.7	0.9
	N3kg減肥	86.1	10.6	1.3	0.0	1.2	0.8
	N6kg減肥	88.3	6.5	0.5	1.0	2.9	0.8
R1	標準施肥	79.1	16.8	0.5	0.6	3.0	0.0
	N3kg減肥	84.2	12.1	0.0	0.0	3.0	0.7
	N6kg減肥	88.4	7.0	0.1	0.0	4.5	0.0

※1 定植：5月下旬 収穫：第12花房まで  
 ※2 リン酸・カリの施肥量は県基準による  
 ※3 岩手県青果物等標準出荷規格に準拠し、果重120g以上のA級品およびB級品を可販果とした

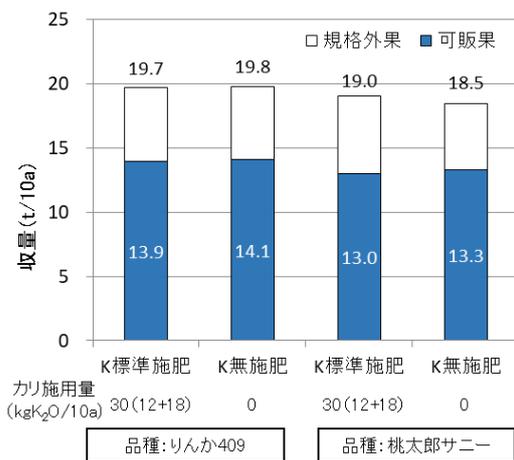


図5 カリ減肥区における果実収量 (H28 場内試験)

※1 定植：5月下旬 収穫：第12花房まで  
 ※2 リン酸・カリの施肥量は県基準による  
 ※3 岩手県青果物等標準出荷規格に準拠し、果重120g以上のA級品およびB級品を可販果とした

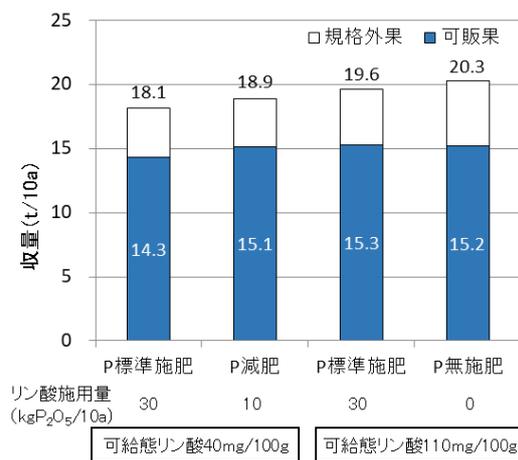


図6 リン酸減肥区における果実収量 (H29場内試験、りんか409)

※1 定植：5月下旬 収穫：第12花房まで  
 ※2 リン酸・カリの施肥量は県基準による  
 ※3 岩手県青果物等標準出荷規格に準拠し、果重120g以上のA級品およびB級品を可販果とした

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	302	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	3 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(2) 露地レタス等県産主要露地野菜における可給態窒素の簡易測定等を活用した適正施肥技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	鹿児島県農業開発総合センター・大隅支場・環境研究室 ・上菌一郎		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	茨城県農業総合センター園芸研究所土壌肥料研究室 假屋 哲朗、古矢桃子、郷内武		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

露地葉菜類の大産地を有する本県では、秋どり（10～11月収穫）作型のレタスにおいて、可給態窒素の簡易評価法を活用した診断施肥技術を開発し、主要産地である県西地域を中心に技術普及を図ってきた。当技術は、過剰施肥を是正しながら生産及び品質を安定させるために有効な技術であり、収益力の向上に資すると考えられることから、レタスの別作型や、他品目への拡大が期待されている。

そこで、本研究ではレタスの新たな作型として春どりに加えて、主要な露地野菜であるハクサイにおいて、可給態窒素の簡易測定を活用した施肥指針を策定する。また、これらを現地実証することにより、高品質な農産物生産のための効率的かつ効果的な施肥技術を開発することを目的とした。

### 2) 研究方法

#### (1) 各作型レタスでの土壌診断施肥式の作成および現地実証

春どり（4～5月どり）作型のレタスにおいて、形態別（可給態、硝酸態、施肥）窒素量の異なる条件で栽培をおこなうことで、それぞれの窒素量と植物体の窒素吸収量および収穫物重等の関係性を調査し、目標の出荷物を得るために適切な窒素量（基準値）を明らかにする。これらを通じて適切な供給窒素量の基準値を作成し、簡易に測定した土壌中の窒素量を差し引くことで適切な施肥窒素量を算出する診断施肥式を作成し、現地圃場において実証する。

#### (2) 冬どりハクサイにおける土壌診断施肥式の作成および現地実証

上記の春どりレタスと同様の手法を用い、冬どり（頭部結束、1～3月収穫）作型のハクサイにおいて、適切な施肥窒素量を算出する診断施肥式を作成し、現地圃場において実証する。

### (3) 有機態窒素の無機化推定量を利用した診断施肥技術の実証

(1)～(2)のような品目・作型別に算出した基準値から可給態窒素、無機態窒素を差し引いて施肥窒素量を算出する手法は、技術自体は簡便で利用しやすい一方、適切な基準値を算出するための栽培試験が数多く必要となり、多品目や他作型への拡大に労力や時間を要することから、より幅広い品目や作型に対応し得る施肥技術の開発を目指して、反応速度論に基づく有機態窒素の無機化推定量を利用した新たな診断施肥技術の開発に取り組んだ。

栽培期間中に無機化する窒素量は、県内現地土壌を用いた温度別培養を行い、単純型モデルに当てはめて窒素無機化特性値を算出し、温度への反応性を示す指標となる活性化エネルギー（Ea）の平均値を県内土壌の代表値として用いた。無機化量を算出するための表計算シート「パックちゃん」（開発：鹿児島県農業開発総合センター）に、活性化エネルギーおよび栽培期間中の地温と可給態窒素を入力することで、時期別の無機化窒素量を算出した。さらに、算出した無機化窒素量を、目標となる窒素吸収量を得るために適切な窒素量（目標窒素供給量）から差し引くことで、適切と考えられる施肥窒素量を求めた。

レタスおよびハクサイを対象作物として、以上の手法で作成した施肥指針を基に、現地圃場で実証試験を実施し、生育に及ぼす影響や、収益性についても検証した。

## 3) 研究結果

### (1) 各作型レタスでの土壌診断施肥式の作成および現地実証

レタスの作型拡大のため、4月どり、5月どり栽培時期別に、形態別の供給窒素量とレタスの窒素吸収量の関係を決定係数から検証したところ、可給態窒素の生育への寄与は栽培時期で異なった。すなわち、トンネル・マルチ栽培の4月どり作型では可給態窒素の生育への寄与が判然としなかったが、無トンネル・マルチ栽培の5月どり作型では可給態窒素の寄与が認められた（表1）。

これは、4月どりは主な栽培期間が厳寒期にあたり、栽培期間中の地温が低いことから窒素無機化量が少なかったためと考えられ、可給態窒素の寄与は栽培期間中の地温の高低に依存した。一方、前作の残肥や残渣等による硝酸態窒素は4月どり、5月どり共に生育への寄与が認められたことから、4月どりは硝酸態窒素量に基づく診断施肥式とし、5月どりは可給態窒素及び硝酸態窒素の両方を考慮した診断施肥式とすることが妥当と考えられた。

表1 春レタスにおける供給窒素量と窒素吸収量の関係

栽培年 および作型	決定係数(R <sup>2</sup> ) <sup>2)</sup>			
	形態別窒素の組み合わせ <sup>2)</sup>			
	施肥N	施肥N+ 可給態N	施肥N+ 硝酸N	施肥N+可給態N +硝酸N
H28 4月どり	0.92	0.90	0.91	0.90
H29 5月どり	0.86	0.89	0.88	0.89
H30 5月どり	0.74	0.75	0.78	0.79

1) 形態別の供給窒素量と窒素吸収量の2次近似式における決定係数

2) 施肥Nは10aあたりの施肥窒素量、硝酸Nおよび可給態Nは測定値(mg/100g)を仮比重0.67、作土深15cmの土壌からの供給窒素量としてそのまま面積単位(kg/10a)に読み替えた

5月どりレタスにおいて、実証試験を行った結果、可給態窒素＋硝酸態窒素＋施肥窒素量の合量で「15kg/10a」の試験区において、産地の目標階級であるL・2L規格を収穫可能であり、調整重も慣行区と同等となったことから、この値が基準値として適当と考えられた(図1)。以上のことから、春どりレタスにおける適正な施肥窒素量を算出するための簡易な診断施肥式として次の式を作成した。

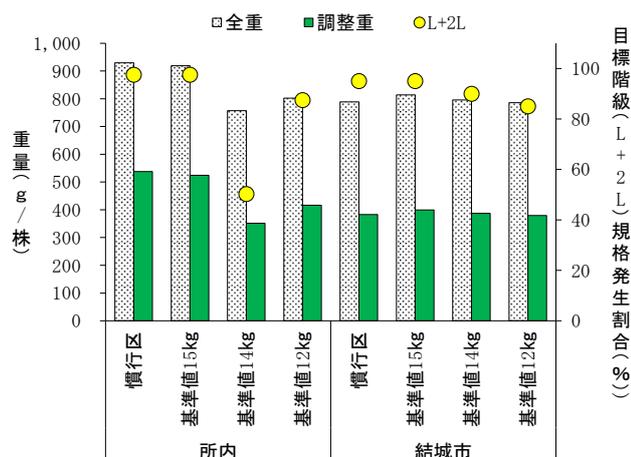


図1 春レタスにおける適正施肥技術の実証結果

診断施肥式：【5月どりレタスにおける適正な施肥窒素量(kg/10a)  
 $= 15(\text{基準値}) - \text{可給態窒素}(\text{mg}/100\text{g}) - \text{硝酸態窒素値}(\text{mg}/100\text{g})$ 】

(2) 冬どりハクサイにおける土壌診断施肥式の作成および現地実証

上記のレタスにおける手法と同様に、所内圃場において、形態別の供給窒素量を違えた条件でハクサイを栽培し、窒素吸収量との関係(決定係数)からそれぞれ形態別窒素の寄与を検証したところ、可給態窒素および硝酸態窒素ともに生育への寄与が認められた(表2)。また、ハクサイ収穫物の目標階級である2L規格(重量の目安:3,250~4,000g/株)を得るために必要な供給窒素量(基準値)は、「施肥窒素＋硝酸態窒素＋可給態窒素」の合量で15~25kg/10a程度と考えられた(図2)。

そこで、現地圃場3地点において、算出した基準値を用いて現地実証試験をおこない、適正な基準値の決定を試みた。その結果、基準値が20kg/10aとなるように基肥の施肥窒素量を決定した診断20kg区では、目標階級である2L規格を中心に収穫可能だった。

一方、基準値を15や25とした場合や、地力窒素を考慮せず、施肥基準

表2 冬ハクサイにおける供給窒素量と生育の関係

形態別の供給窒素量 <sup>2)</sup>	決定係数(R <sup>2</sup> ) <sup>1)</sup>		
	全重	調整重	窒素吸収量
施肥N	0.730	0.859	0.448
硝酸態N	0.019	0.068	0.095
可給態N	0.043	0.043	0.047
施肥N+硝酸態N	0.739	0.865	0.447
施肥N+可給態N	0.749	0.916	0.373
施肥N+硝酸態N+可給態N	0.758	0.920	0.369

1) 形態別の供給窒素量と生育に関する各項目の2次近似的における決定係数  
 2) 施肥Nは10aあたりの施肥窒素量、硝酸態Nおよび可給態Nは測定値(mg/100g)を仮比重0.67、作土深15cmの土壌からの供給窒素量としてそのまま面積単位(kg/10a)に読み替えた

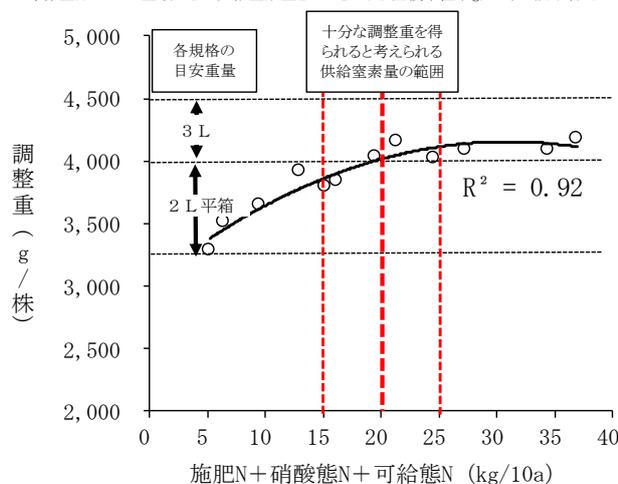


図2 冬どりハクサイにおける調整重と供給窒素量の関係

量(20kg/10a)を施用した場合、単価の低いL、3L規格や芯空洞症の発生割合が高まることがあったことから、基準値は「20kg/10a」が適正な値と考えられた(表3)。

表3 冬どりハクサイにおける施肥指針作成のための現地実証試験結果割合

試験地 (調査日) 「供試品種」	試験区	硝酸態 窒素 (mg/100g)	可給態 窒素 (kg/10a)	地力 窒素 <sup>1)</sup> (kg/10a)	施肥窒素量 (kg/10a)	全重		規格別発生割合(%) <sup>2)</sup>			芯空洞症 発生 指数 <sup>3)</sup>		
						調整重 kg/株	L	2L(目標階級)		3L 以上		A品 率	
								深箱	平箱				
結城市① (1/9) 「THA-468」	診断15kg区	2.2	2.5	4.8	10.2	3.37	2.80	30	60	10	0	100	0.3
	診断20kg区				15.2	3.62	3.07	0	70	30	0	100	0.6
	診断25kg区				20.2	3.80	3.15	0	50	50	0	100	0.7
	慣行区				20.0	4.07	3.32	10	40	50	0	100	0.8
結城市② (1/22) 「初笑」	診断15kg区	8.6	3.0	11.6	3.4	4.29	3.31	22	22	56	0	100	0.0
	診断20kg区				8.4	4.75	3.63	0	10	70	20	100	0.0
	診断25kg区				13.4	4.81	3.81	0	10	50	40	100	0.4
	慣行区				20.0	4.81	3.79	0	10	60	30	100	0.1
八千代町 (1/22) 「初笑」	診断15kg区	5.2	2.2	7.4	7.6	5.07	3.71	10	10	30	50	100	0.6
	診断20kg区				12.6	5.16	4.03	0	0	40	60	100	0.6
	診断25kg区				17.6	5.22	4.13	0	0	50	50	90	1.1
	慣行区				20.0	5.17	4.03	0	0	56	44	67	1.0

- 1) 硝酸態および可給態の測定値(mg/100g)の含量を、仮比重0.67、作土深15cmの土壌からの供給窒素量として、面積単位(kg/10a)に読み替えて地力窒素とした  
 2) 規格は茨城県標準出荷規格に基づき、調整重が1.9~2.5kg未満をL、2.5~3.25kg未満を2L深箱、3.25~4.0kg未満を2L平箱、4.0kg以上を3L以上とした。等級がB品以下に低下した要因は主に芯空洞症のため  
 3) 芯空洞症の発生指数は芯部分の発生程度を判定し、次式により算出した。発生程度×発生株数/調査株数 発生程度(0:発生なし 1:微(わずかに亀裂が発生) 2:小(わずかに軸まで達する亀裂や空洞が発生, B品相当) 3:甚(変色等を伴う大きな空洞が発生, 出荷不可相当))

以上の結果から、冬どりハクサイにおける適正な施肥窒素量を算出するための簡易な診断施肥式として次の式を作成した。

$$\text{診断施肥式：【冬どりハクサイにおける適正な施肥窒素量(kg/10a)} \\ = 20(\text{基準値}) - \text{可給態窒素(mg/100g)} - \text{硝酸態窒素値(mg/100g)】}$$

### (3) 有機態窒素の無機化推定量を利用した診断施肥技術の実証

茨城県西地区8地点のレタス栽培前圃場より採取した土壌を用い、10℃、20℃、30℃の温度条件下で最大112日間培養し、反応速度論的解析法に基づいて窒素無機化量を推定するための特性値を求めた。その結果、活性化エネルギー(Ea)の平均値は15,598cal mol<sup>-1</sup>と算出され、この値を茨城県西地区レタスほ場における標準的な無機化特性値として、無機化量の算出に用いた。栽培期間中の窒素発現量をシミュレーションするための表計算シート「パックちゃん」に無機化特性値および地温を入力し、可給態窒素が1日につきどの程度無機化するか旬別に推定した(図3)。

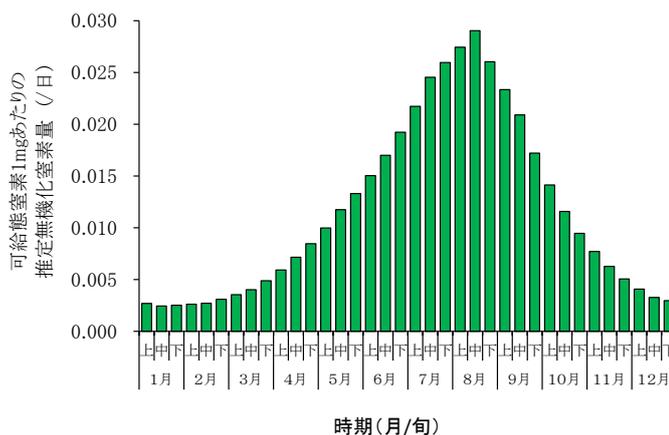


図3 可給態窒素の時期別推定無機化量<sup>1)</sup>

- 1) 推定無機化窒素量はEa=15598cal/molとし、旬別の平均地温を基準温度(30℃)へ日数換算し、可給態窒素(30℃で28日間培養無機化する窒素量)の測定値から換算するため、28で除して算出

目標階級の発生割合から、平畝マルチ栽培（7,400球/10a）における目標窒素吸収量を10kg/10aと算出し（図4）、この窒素吸収量を得るために必要な供給窒素量を両社の関係式から12.5kg/10aと算出した（データ省略）。

この目標供給窒素量から、栽培期間中に無機化する窒素量を収穫時期ごとに推定し、差し引くことで、適正と考えられる施肥窒素量を算出する施肥指針を作成し、現地圃場で実証試験をおこなった。また、同時にリン及びカリについても、「土壌診断に基づく減肥基準」（茨城県、H20）に基づき、リン酸は可給態リン酸量が60mg/100g以上あれば作物の吸収量に応じた補給型施肥とし、カリは交換性カリが改良基準値（40mg/100g）以上あれば基準値からの超過分を施肥量から差し引いた。

用いる肥料はNPKすべての成分が含まれる複合肥料もしくは1成分のみ含まれる単肥のいずれかで実施し、土壌診断に基づいたNPKの総合的な減肥技術について検証を行った

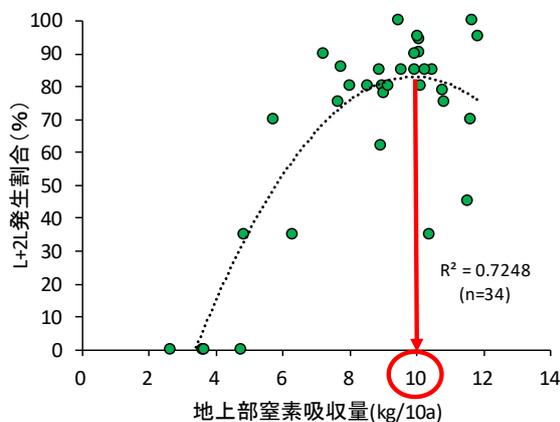


図4 秋どりレタスにおける目標階級発生割合と地上部窒素吸収量の関係

表4 秋どりレタスにおける無機化窒素量の推定による適正施肥技術の実証試験構成

作型および 試験場所 「品種名」	試験区 (使用肥料)	定植 日	調査 日	土壌分析値				可給態 推定無 機化量 <sup>1)</sup>	硝酸態 残存量	目標窒 素供給 量	土壌か らの供 給量 <sup>2)</sup>	施肥量		
				可給態 窒素	硝酸態 窒素	可給態 リン酸	交換性 カリ					N	P	K
				(mg/100g)										
10月どり 坂東市 「ブルラッシュ」	慣行区(複合肥料)										10.0	6.7	8.3	
	診断区①(単肥)	8/27	10/9	2.0	1.9	136	103	2.4	0.5	12.5	5.7	6.9	0.0	0.0
	診断区②(複合肥料)							2.4	0.5	12.5	5.7	6.9	4.6	5.8
10月どり 結城市 「ブルラッシュ」	慣行区(複合肥料)										14.4	11.5	8.6	
	診断区①(単肥)	9/6	10/21	2.3	4.4	80	152	2.4	0.5	12.5	7.7	4.7	3.0	0.0
	診断区②(複合肥料)							2.4	0.5	12.5	7.7	4.7	3.8	2.8
11月どり 結城市 「フリフリッカー」	慣行区(複合肥料)										13.0	10.4	7.8	
	診断区①(単肥)	9/18	11/1	2.7	1.3	79	78	1.4	0.4	14.9	4.4	10.6	3.0	0.0
	診断区②(複合肥料)							1.4	0.4	14.9	4.4	10.6	8.5	6.4
11月どり 坂東市 「ラプトル」	慣行区(複合肥料)										12.8	10.2	7.7	
	診断区①(単肥)	9/18	11/1	4.5	7.4	435	211	1.4	0.4	14.9	9.5	6.9	0.0	0.0
	診断区②(複合肥料)							1.4	0.4	14.9	9.5	6.9	5.5	4.1

1) 可給態推定無機化量は収穫時期ごとに在圃期間中の無機化量を「ほっくちゃん」により算出した

2) 土壌からの供給量は次式により算出した。供給量=(可給態分析値×可給態推定無機化量)+(硝酸態分析値×硝酸態残存量)

(表4)。

その結果、土壌診断に基づいて施肥量を決定した診断区は慣行区と比較して全重や調製重がやや低下したが、目標階級であるL、2L規格の発生割合は同程度であり、A品率は一部の試験地で向上する傾向がみられた。また、経営的な試算を行った結果、10aあたりの肥料費は、適正施肥によって単肥を用いた場合で約13,000円、複合肥料を用いた場合は約6,000円を慣行から削減可能であり、販売額についても大部分の地点において同等から上回る結果となった。これらのことから、土壌診断と無機化量の推定に基づく施肥量の適正化は秋どりレタスにおいて収益性の向上に資すると考えられた（表5）。

表5 秋どりレタスにおける無機化窒素量の推定による適正施肥技術の実証試験結果

作型および 試験場所 「品種名」	試験区 (使用肥料)	全重		調整重		等階級別発生割合(%)					肥料費 (円/10a)	販売額 <sup>1)</sup> (円/10a)	収益性 <sup>2)</sup> (円/10a)	
		g/株	慣行 比(%)	g/株	慣行 比(%)	M 以下	L	2L	3L 以上	A品 率				AL+A2 L
10月どり 坂東市	慣行区	1,043	-	647	-	0	0	20	80	75	15	14,209	397,305	-
	診断区①(単肥)	1,135	109	777	120	0	0	15	85	70	5	1,874	392,602	7,632
	診断区②(複合肥料)	1,192	114	761	117	0	0	20	80	70	20	9,804	403,647	10,747
10月どり 結城市	慣行区	798	-	523	-	0	5	65	30	30	15	20,460	299,975	-
	診断区①(単肥)	733	92	498	95	0	15	65	20	40	20	2,621	320,945	38,809
	診断区②(複合肥料)	713	89	476	91	0	40	50	10	35	35	6,678	362,030	75,838
11月どり 結城市	慣行区	583	-	414	-	0	75	25	0	15	15	18,471	497,784	-
	診断区①(単肥)	506	87	358	86	15	85	0	0	30	25	4,224	507,109	23,573
	診断区②(複合肥料)	520	89	351	85	0	100	0	0	20	20	15,061	530,799	36,425
11月どり 坂東市	慣行区	722	-	462	-	0	20	80	0	10	10	18,187	396,704	-
	診断区①(単肥)	644	89	416	90	0	60	40	0	20	20	1,874	418,319	37,929
	診断区②(複合肥料)	694	96	428	93	0	45	55	0	30	30	9,804	435,607	47,286

1) 販売額は規格別発生割合および栽植株数(歩留まり70%)、規格別の月別平均販売単価(R1)より算出した。

2) 収益性は販売額から肥料費を差し引き、慣行区との差から算出した。

#### 4) 成果活用における留意点

- ・本成果は茨城県内の黒ボク土圃場において試験を行った結果である。

#### 5) 今後の課題

- ・レタス、ハクサイ以外の品目においても、窒素無機化量の推定による適正施肥法の適用性を検討し、汎用性を確認する必要がある。
- ・硝酸態窒素は降雨等により流亡することから、土壌採取から施肥までの期間に土壌中の残存量は変動した。どのように施肥に反映させるか、今後検証する必要がある。
- ・N、P、Kそれぞれの成分を適正量施肥することが施肥コスト削減の上で効果的だが、対応した肥料銘柄が少なく、圃場ごとに施肥設計をおこなう労力的な部分も普及上のネックとなっている。現在、可給態窒素の測定は主に普及センターが実施している状況だが、今後は専門の分析センターにおいて分析し、窒素のみならず、リンやカリ等、総合的に適正な施肥量を示した処方箋の作成等につなげていく必要がある。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	303	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	3 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(3) 高冷地黒ボク土における露地ハクサイ（夏秋作）の可給態窒素の簡易測定を活用した適正施肥技術の開発		
実行課題代表研究機関・研究室・研究者名	長野県野菜花き試験場・環境部・矢口直輝、齋藤龍司、鮎澤純子		
共同研究機関・研究室・研究者名等	岩手県農業研究センター、茨城県農業総合センター、愛知県農業総合試験場、鹿児島県農業開発総合センター		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

夏秋ハクサイにおける可給態窒素量に応じた適正な窒素施肥量を明らかにすると共に、可給態窒素簡易分析法を利用した窒素施肥指針を作成する。併せて、土壌蓄積養分を考慮したリン酸、カリの減肥指針についても検証する。

### 2) 研究方法

- ①簡易法（80℃16時間水抽出法）と従来法（30℃4週間培養法）での可給態窒素量の比較と堆肥施用後の可給態窒素量の経時的推移
- ②目標収量を得るためのハクサイの窒素吸収量
- ③土壌、施肥由来窒素の利用率
- ④可給態窒素量に応じた適正な窒素施肥量の検討
- ⑤土壌蓄積養分のリン酸、カリを含めた総合的な減肥の現地適応性の検討
- ⑥露地ハクサイ（夏秋作）に対する窒素施肥指針の作成

### 3) 研究結果

- ①簡易法（80℃16時間水抽出法）と従来法（30℃4週間培養法）での可給態窒素量の比較と堆肥施用後の可給態窒素量の経時的推移

簡易法と従来法の相関は高く、長野県の黒ボク土壌に適応性が高いことが明らかとなった。簡易法による測定値は公定法よりもやや低く出る傾向が認められるとともに、可給態窒素レベルが低いほど相関性が高く、可給態窒素レベルが高くなるとややばらつく傾向が認められた（図1）。

堆肥を施用していなかったほ場に堆肥を施用すると一時的に可給態窒素量は増加するが、日数の経過とともに減少していくことが明らかとなった（表1）。可給態窒素レベルを高めて維持していくためには、定期的に2～3t/10程度の堆肥を施用することが望ましいと考え

られた。

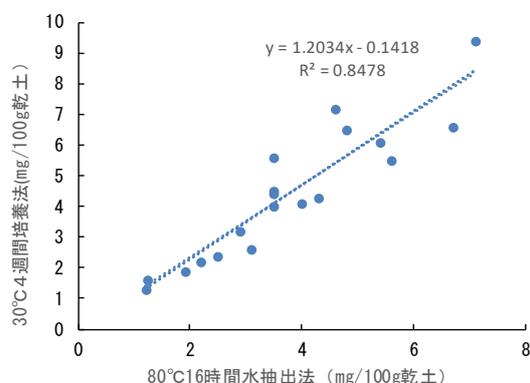


図1 簡易法と従来法による可給態窒素の相関性

表1 堆肥施用後の可給態窒素量の推移

堆肥施用量 (t/10a)	可給態窒素量 (mg/100g乾土)						
	4月16日	5月16日	6月16日	7月15日	8月16日	9月16日	10月19日
10	4.0	3.2	2.7	2.4	2.6	2.3	1.8
0	1.2	1.3	1.3	1.0	1.1	1.1	1.1

※堆肥を10年程度施用していなかったほ場で実施

②目標収量を得るためのハクサイの窒素吸収量

長野県内のハクサイにおいて求められる規格はLサイズであり、結球重では2,500～3,000gに相当する。窒素吸収量と結球重の関係からLサイズの結球重を得るためには10a当たり26.0～38.1kg程度の窒素を吸収する必要がある(図2)。一方、本県におけるハクサイの窒素施肥基準は、18.0～25.0kg/10aであることから、各産地の窒素施肥量と可給態窒素の無機化に最も影響を与える地温を考慮して標準的窒素施肥量を標高700～900mにおける初夏どり(5月下～6月上旬)・夏どり(7月上旬)・秋どり(10月上旬～10月下旬)が20kg/10a、標高900m以上の夏どりが25kg/10a、秋どりが20～25kg/10aとして適正窒素施肥量の検討を行った。

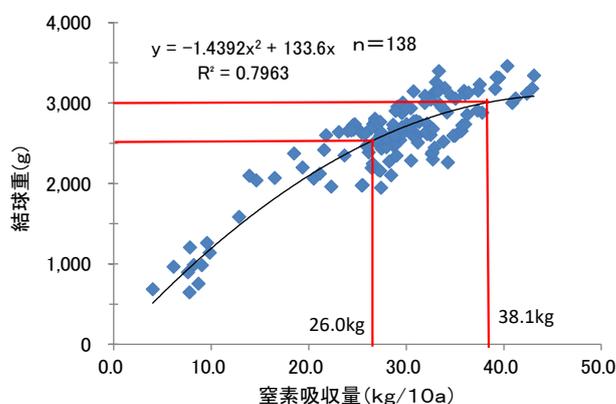


図2 ハクサイの窒素吸収量と結球重の関係

### ③土壌、施肥由来窒素の利用率

ハクサイの窒素吸収量を目的変数、土壌及び施肥由来の窒素供給量を説明変数として、重回帰分析により土壌及び施肥由来の窒素利用率を算出した結果、土壌由来が95.1%、施肥由来が85.1%となった。本試験は、本県で多い全面マルチ栽培で実施しているため降雨による窒素流亡の影響を受け難く、窒素利用率は高いと考えられるので妥当な値である。本試験では、土壌由来が90%、施肥由来が80%を「可給態窒素施肥算出シート (Ver5.1)」での計算パラメーターとした (表2)。

表2 重回帰分析による秋ハクサイの由来別窒素利用率

計算値	窒素利用率 (%)		→	設定値	
	土壌	施肥		土壌	施肥
はくさい	95.1	85.1		90	80

n=32, r=0.9954, p<0.01

※想定する土壌の深さは0-30cm、仮比重は0-15cm及び15-30cmの実測値、土壌由来窒素は0-15cm及び15-30cmの可給態窒素由来の無機態窒素量実測値+無機態窒素量実測値を用いて計算した。

### ④可給態窒素量に応じた適正な窒素施肥量の検討

窒素の増肥・減肥のボーダーラインを可給態窒素 3 mg/100g (複数の試験結果から総合的に判断) に設定して、初夏～夏どり作型及び秋どり作型について場内ほ場及び現地ほ場にて適正窒素施肥量試験を行った。

それぞれのほ場の可給態窒素量を80℃16時間水抽出法にて測定後、「可給態窒素施肥算出シート」を用いて適正窒素施肥量を算出し「診断施肥」として「標準施肥」と比較した。

#### 1) 初夏～夏どり作型

場内ほ場で実施した試験では、高可給態窒素区は標準施肥と診断施肥で収量は同等だった。低可給態窒素区では、診断施肥は窒素を0.6kg/10a増肥してあるにもかかわらず標準施肥より収量がやや低下したのに対して、窒素を10%増肥した区では標準施肥よりも収量が明らかに増加した。可給態窒素が2 mg/100g以下のほ場の初夏どり型においては診断施肥では窒素量がやや不足すると考えられた (図3)。

標高1,250mの現地ほ場で実施した試験では、窒素を10%減肥した診断施肥と標準施肥の収量は同等であった (図4)。

#### 2) 秋どり作型

場内ほ場で実施した試験では、高可給態窒素区は標準施肥と診断施肥で収量は同等だった。低可給態窒素区では、診断施肥の方が標準施肥よりも収量はやや上回った (図5)。

標高770mの現地ほ場で実施した試験では、診断施肥の方が標準施肥よりも収量は同等以上であった (図6)。

以上の結果より、「可給態窒素施肥算出シート」による推奨施肥窒素量は可給態窒素が2 mg/100g以下の初夏どり作型、夏どり作型及び標高900m以上の秋どり作型を除いて本県ハクサイに適用可能と考えられる。

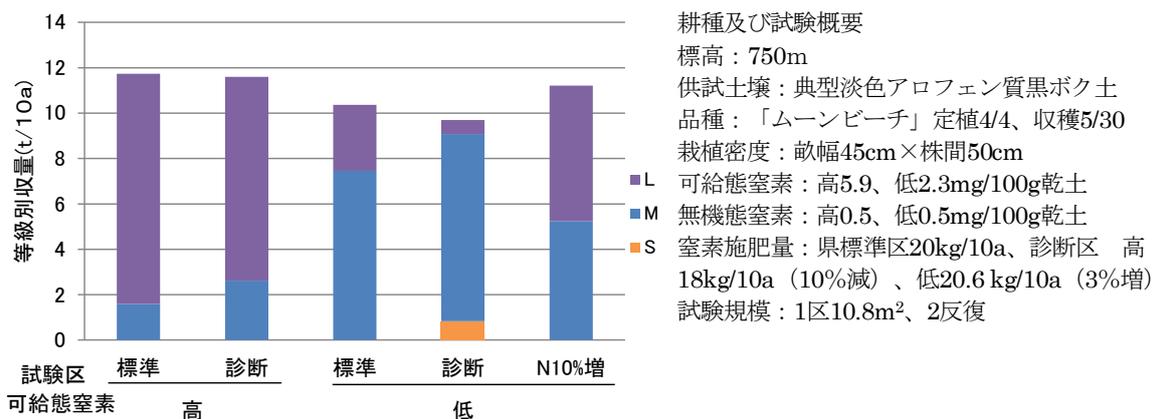


図3 可給態窒素レベルに応じた施肥が初夏どりハクサイの収量に及ぼす影響  
 (2019年・場内ほ場)

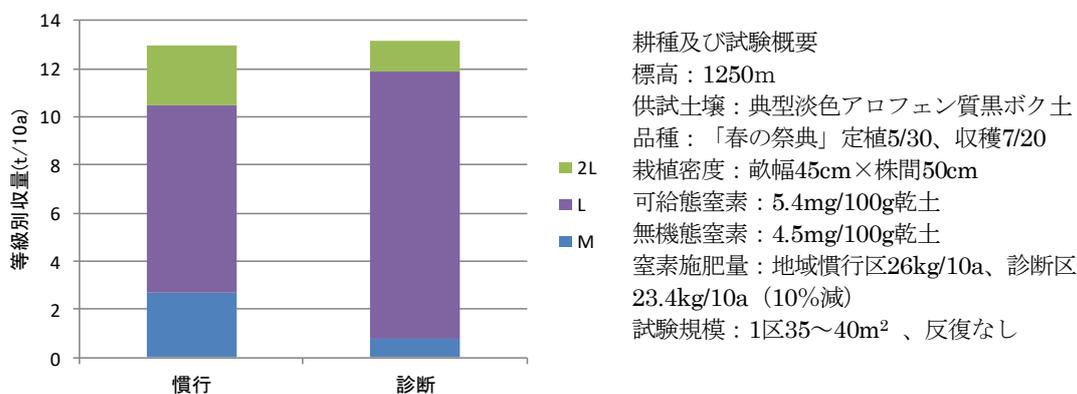


図4 可給態窒素レベルに応じた施肥が夏どりハクサイの収量に及ぼす影響  
 (2017年・現地ほ場)

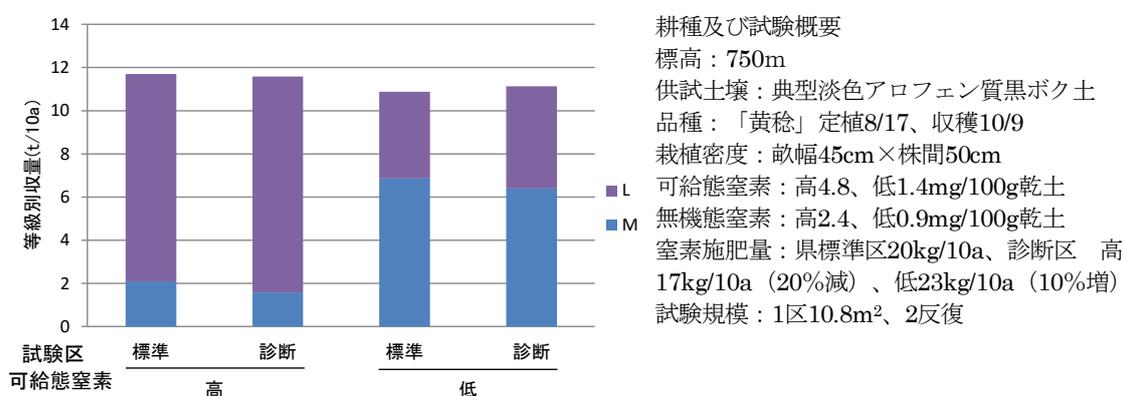


図5 可給態窒素レベルに応じた施肥が秋どりハクサイの収量に及ぼす影響  
 (2018年・場内ほ場)

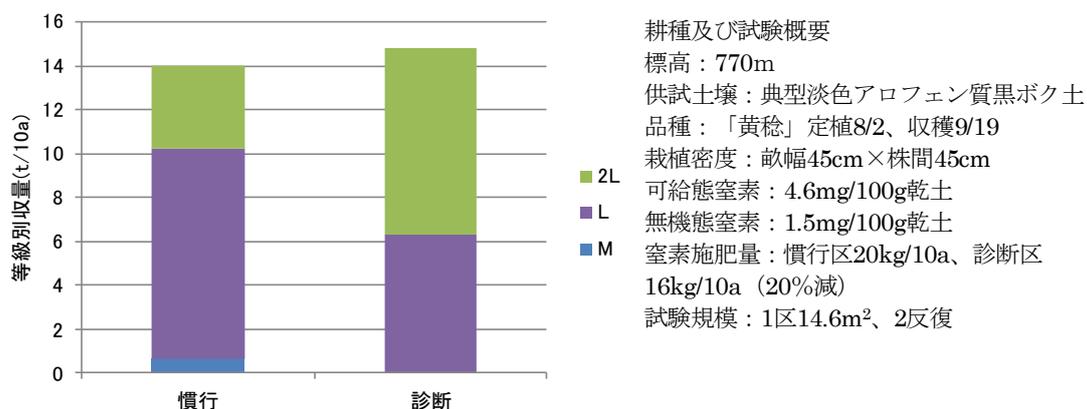


図6 可給態窒素レベルに応じた施肥が秋どりハクサイの収量に及ぼす影響  
 (2019年・現地ほ場)

⑤土壌蓄積養分のリン酸、カリを含めた総合的な減肥の現地適応性の検討

可給態窒素が7.1mg/100g、可給態リン酸が244mg/100g、カリ飽和度が8.2%のほ場で実施した初夏どりハクサイ試験の結果を示す。地域慣行施肥量に対して、窒素のみ11%減肥の診断区、窒素11%・リン酸100%・カリ46%減肥の総合減肥区を設置した。診断区は他の2区に比べて傾斜上方に位置しやや干ばつの影響を受けたため収量は低めであったが、総合減肥区の収量及びL級以上の割合は、慣行施肥区とほぼ同等だった(図7)。

続いて、可給態窒素が3.5mg/100g、可給態リン酸が66mg/100g、カリ飽和度が6.7%のほ場で実施した秋どりハクサイ試験の結果を示す。県標準施肥量に対して、窒素のみ10%減肥の診断区、窒素10%・リン酸100%・カリ34%減肥の総合減肥区を設置した。診断区、総合減肥区の収量及びL級以上の割合は、慣行施肥区とほぼ同等であった(図8)。

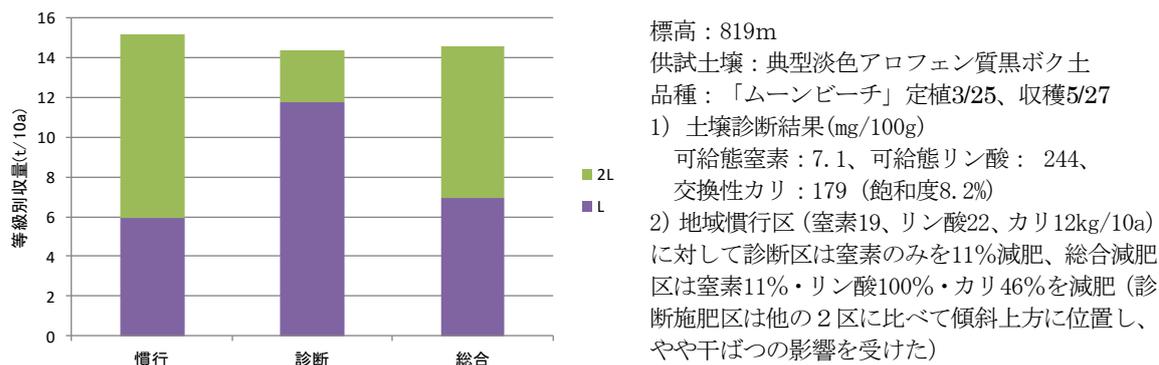
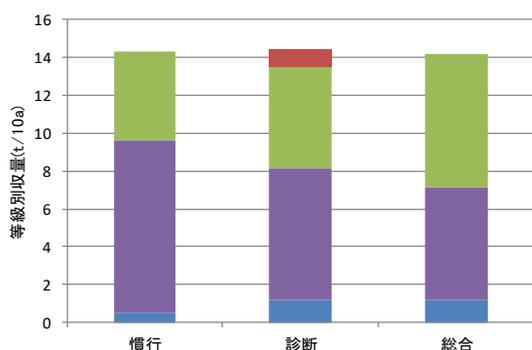


図7 窒素、リン酸、カリの総合的な減肥が初夏どりハクサイの収量に及ぼす影響  
 (2019年・現地ほ場)



標高：760m  
 供試土壌：典型淡色アロフェン質黒ボク土  
 品種：「黄だて03」定植8/20、収穫10/22  
 1) 土壌診断結果(mg/100g)  
 可給態窒素：3.5、可給態リン酸：66、  
 交換性カリ 88 (飽和度6.7%)  
 2) 慣行区(窒素20、リン酸20、カリ20kg/10a)  
 に対して診断区は窒素のみを10%減肥、総合減肥  
 区は窒素10%・リン酸100%・カリ34%を減肥

図8 窒素、リン酸、カリの総合的な減肥が秋どりハクサイの収量に及ぼす影響  
 (2018年・現地ほ場)

#### ⑥露地ハクサイ(夏秋作)に対する窒素施肥指針の作成

窒素の増肥・減肥基準を可給態窒素3mg/100gに設定し、「パックちゃん」により算出した推奨窒素施肥量である“診断施肥”の適応性検証試験の結果から表3を作成した。

表3 可給態窒素量に応じた施肥窒素の増減量の目安

標高	作型 <sup>1)</sup>	標準施肥量 (kg/10a)	換算量 <sup>2)</sup> (kg/10a)	可給態窒素 (mg/100g) と施肥窒素増減量 (kg/10a)						
				1	2	3	4	5	6	7
900m以上	夏どり	25	0.7	+3.8	+2.5	0	-0.7	-1.4	-2.1	-2.8
	秋どり	25	0.9	+3.8	+2.5	0	-0.9	-1.8	-2.7	-3.6
700~900m	初夏どり	20	0.7	+3.0	+2.0	0	-0.7	-1.4	-2.1	-2.8
	夏どり	20	1.2	+3.0	+2.0	0	-1.2	-2.4	-3.6	-4.8
	秋どり	20	2.3	+4.6	+2.3	0	-2.3	-4.6	-6.9	-9.2

注1) 初夏どりは6月上旬、夏どりは7月上旬、秋どりは10月中旬収穫の作型で示す。

2) 換算量とは可給態窒素1mg/100gの施肥窒素相当量を示す。

3) 黄色の帯部分は「パックちゃん」の診断ではなく、試験結果に基づき設定。

可給態窒素1mg/100gでは標準施肥量の15%増、2mg/100gでは10%増として計算している。

※窒素の増減量は、施肥時期と収穫時期の組み合わせで変わるので、各々「パックちゃん」で計算すること。

#### 4) 成果活用における留意点

本技術は、土壌由来及び施肥由来窒素の利用率が高いマルチ栽培を行う場合の技術であるので注意する。また、本技術は、地域の窒素施肥基準が標高700~900mでは20kg/10a以上、標高900m以上の夏どり作型では25kg/10a以上、秋どり作型では20kg/10a以上(10月中旬どりで以降は25kg/10a以上)の地域で利用できる技術とする。窒素施肥基準が前述の量未満の地域では窒素が不足する恐れがあるので、事前に十分検討し、利用の可否を決める。

#### 5) 今後の課題

可給態窒素の分析を行う分析機関の確保。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	304	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	3 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(4) 秋冬キャベツにおける土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	鹿児島県農業開発総合センター・大隅支場・環境研究室 ・上菌一郎		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	愛知県農業総合試験場・環境基盤研究部・環境安全研究室・日置雅之、福田充洋、中村嘉孝、瀧 勝俊、東三河農業研究所・野菜研究室・山本拓、企画普及部・広域指導室・大橋祥範		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

堆肥連用畑での秋冬キャベツおよびスイートコーン栽培において、可給態窒素の簡易測定法を活用した窒素施肥指針を作成する。また、堆肥の肥料成分、養分収支を考慮したリン酸、カリ施肥指針を作成する。

### 2) 研究方法

- (1) 土壌からの窒素供給量を推定し、可給態窒素との関係を明らかにするために、試験場および現地での栽培試験ほ場（5か所、15試験区）および現地栽培ほ場（10か所）において、栽培前に採取した風乾土を畑条件（最大容水量の40%）で異なる温度（10℃、20℃、30℃）により16週間培養し、土壌窒素無機化量の推移を反応速度論に基づいて解析し、窒素無機化推定式を作成した。
- (2) 土壌、肥料ならびに堆肥由来のみかけの窒素利用率、目標収量を得るための窒素吸収量を算出し、可給態窒素に基づいた窒素施肥指針を作成するために、(1)の栽培試験区および現地栽培ほ場ごとに、土壌、堆肥および肥料由来の窒素供給量、作物収量、作物体窒素吸収量を測定した。
- (3) 作成した施肥指針を実証するために、試験場内および現地ほ場5か所において、可給態窒素および堆肥の肥料成分に基づいて施肥量を決め、秋冬キャベツおよびスイートコーンを栽培し、収量、養分吸収量、土壌中養分残存量および収益性を調査した。
- (4) 作成した窒素施肥指針に基づいた減肥の可能性を明らかにするために、県内露地畑（506ほ場）の土壌可給態窒素を測定した。

### 3) 研究結果

- (1) 土壤窒素無機化量の推移は、見かけの活性化エネルギー ( $E_a$ ) が  $74.9 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、速度定数 ( $k$ ) が  $0.007 \text{ day}^{-1}$  と  $E_a$  が  $67.4 \text{ kJ mol}^{-1}$ 、 $k$  が  $0.366 \text{ day}^{-1}$  との2つの項からなる共通の単純並行型モデルに適合し、窒素無機化推定式が作成できた (図1)。
- (2) (1) の推定式から地温 (深さ10cm) に基づいて算出した栽培期間中の土壤窒素無機化量は、可給態窒素量と高い正の相関を示し、秋冬キャベツでは可給態窒素量の1.43倍、スイートコーンでは1.20倍と推定できた (図2)。
- (3) 10a当たりの目標収量 (秋冬キャベツ : 5.5t、スイートコーン : 1.6t) における窒素吸収量は、秋冬キャベツで10a当たり21.5kgN、スイートコーンで12.6kgNとなった。
- (4) ほ場ごとの作物体窒素吸収量を目的変数、作土からの窒素供給量、施肥窒素量、牛ふん堆肥由来窒素量および豚ふん堆肥由来窒素量を説明変数とし、重回帰分析から説明変数ごとの係数を計算し、みかけの由来別窒素利用率とした。
- (5) (2) ~ (4) の数値を用い、目標収量に必要な作物体窒素吸収量を得るための施肥量を可給態窒素別に計算し窒素施肥指針を作成した。
- (6) 可給態窒素および堆肥の窒素、リン酸、カリ成分を考慮した診断施肥区では、概ね目標収量に達するとともに、養分残存量が減少した。さらに、診断施肥区では、慣行区よりも肥料費が削減することができ、収益性が向上するほ場が多かった。
- (7) 調査した露地畑について、作成した窒素施肥指針に基づいて、可給態窒素が高く ( $100 \text{ g}$  当たり  $3 \text{ mgN}$  以上)、窒素減肥が可能なほ場は全体の約4割を占めていた。

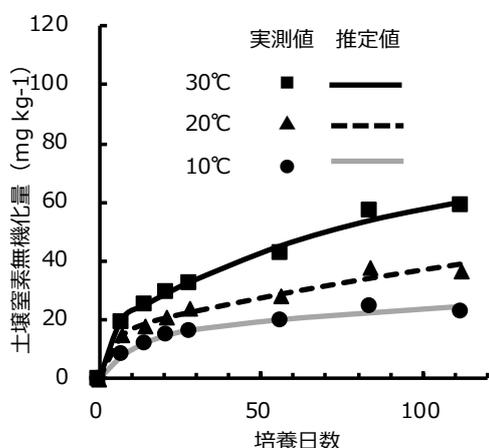


図1 温度別土壤窒素無機化量の推移と推定曲線

(2015年典型黄色土 (長久手市) の例)

注) 推定値は温度別推定曲線には単純並行型モデルに当てはめた推定式に培養温度を代入して作成。

$N_1 \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} : 112.6$ 、 $k_1 \text{ (day}^{-1}\text{)} : 0.007$ 、  
 $E_{a1} \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)} : 74.9$ 、 $N_2 \text{ (mg kg}^{-1}\text{)} : 16.6$ 、  
 $k_2 \text{ (day}^{-1}\text{)} : 0.366$ 、 $E_{a2} \text{ (kJ mol}^{-1}\text{)} : 67.4$

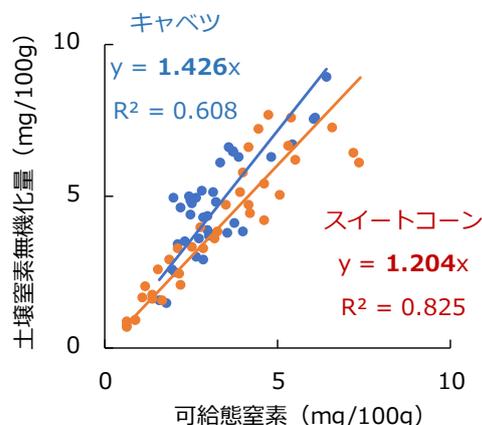


図2 栽培期間中の土壤窒素無機化量と可給態窒素量 (簡易法) との関係

#### 4) 成果活用における留意点

- (1) 対象となる作型は、秋冬キャベツでは、播種：8月、定植：8月下旬～9月中旬、収穫：12月上旬～2月下旬、スイートコーンでは、無マルチで定植する作型と直播してマルチする作型であり、前者は播種：4月、定植：4月下旬～5月上旬、収穫：6月下旬～7月中旬、後者は、播種：3月中旬～4月上旬、収穫：6月下旬～7月上旬である。
- (2) 作土からの窒素供給量は、土壌窒素無機化量に別途測定した作付前の無機態窒素量を加えた値に作土深と仮比重を乗じ、面積当りに換算した値である。
- (3) 窒素施肥指針は、作土深20cmとし、仮比重の異なる礫質土壌とそれ以外の土壌で作成した。

#### 5) 今後の課題

秋冬キャベツ、スイートコーン以外の作目、作型についても窒素施肥指針を作成する必要がある。

#### <引用文献>

なし。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	305	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	3 野菜作における土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発		
実行課題名	(5) 栽培時期が異なるキャベツ作における可給態窒素の簡易測定を活用した窒素施肥指針の策定		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	鹿児島県農業開発総合センター・大隅支場・環境研究室 ・上菌一郎		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	鹿児島県農業開発総合センター 生産環境部土壌環境研究室 中川路光庸、餅田利之、加治屋五月、相本涼子、脇門英美 企画調整部普及情報課 長友誠		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

露地野菜に対する土壌診断結果を活用した適正施肥の普及推進を目的として、畑土壌可給態窒素の簡易診断結果に基づいた施肥対応法の開発を行う。

また、可給態窒素診断に加え、県で策定したリン酸、カリの適正施肥指針に基づいた現地実証を行う。

### 2) 研究方法

#### 【 場内試験の概要 】

- (1) 調査ほ場 農業開発総合センター内圃場
- (2) 供試土壌 腐植質普通黒ボク土 造成相（非埋没腐植質、米神統）
- (3) 供試品種 キャベツ(金系201Ex) 極早生、目標球重1.3～1.5kg
- (4) 栽植様式 畝幅0.65m×株間0.4m(384.6株/a)、1区20㎡(4m×5m)の2反復
- (5) 試験区の構成（平成30年度）

試験区名	作型	可給態 窒素Lv	窒素 施肥量	基肥+追肥 (kg/10a)			
				N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
1 夏・高・無N	夏 ま き	高 (3.5mg/100g)	無	0 + 0	20+0	10+10	
2 夏・高・標N			標準	7.5 + 7.5	20+0	10+10	
3 夏・高・診N		NH <sub>4</sub> -N (5mg/100g)	診断	4.5 + 6.5	20+0	10+10	
4 夏・低・無N		初 秋 ま き	低 (1.5mg/100g)	無	0 + 0	20+0	10+10
5 夏・低・標N				標準	7.5 + 7.5	20+0	10+10
6 夏・低・診N			NH <sub>4</sub> -N (1mg/100g)	診断	8.5 + 9.5	20+0	10+10
7 秋・高・無N	初 秋 ま き		高 (3.5mg/100g)	無	0 + 0	20+0	10+10
8 秋・高・標N		標準		7.5 + 7.5	20+0	10+10	
9 秋・高・診N		NH <sub>4</sub> -N (5mg/100g)	診断	4.5 + 6.2	20+0	10+10	
10 秋・低・無N		初 秋 ま き	低 (1.5mg/100g)	無	0 + 0	20+0	10+10
11 秋・低・標N				標準	7.5 + 7.5	20+0	10+10
12 秋・低・診N			NH <sub>4</sub> -N (1mg/100g)	診断	8.0 + 8.0	20+0	10+10

## (6) 耕種概要

(夏まき) は種：8月上旬、施肥・作畝・移植：8月下旬、  
追肥・培土：9月中旬、収穫：11月上旬

(初秋まき) は種：10月下旬、施肥・作畝・移植：11月中旬、  
追肥・培土：1月中旬、収穫：2月下旬

### 【 現地実証の概要 】

#### ① 加工・業務用キャベツ

(ア) 場所；日置市野菜栽培法人 (多腐植質普通黒ボク土)

(イ) 地域振興局；鹿児島地域振興局 農政普及課(日置市駐在)

(ウ) 概要；可給態窒素レベルの高い圃場と低い圃場を選定し、農家慣行区と適正施肥実証区で比較。

#### ② 青果用秋まきニンジン

(ア) 場所；鹿屋市野菜栽培農家 (多腐植質厚層黒ボク土)

(イ) 地域振興局；大隅地域振興局 農政普及課

(ウ) 概要；可給態窒素レベルの高い圃場で、地域標準区、農家慣行区、適正施肥実証区で比較。

#### ③ 青果用ブロッコリー

(ア) 場所；出水市農業法人 (灰色低地土)

(イ) 地域振興局；北薩地域振興局 農政普及課 出水市駐在

(ウ) 概要；可給態窒素レベルの高い圃場で、農家慣行区、適正施肥実証区で比較。

#### ④ 加工・業務用キャベツ

(ア) 場所；指宿市農業法人 (礫土)

(イ) 地域振興局；南薩地域振興局 農政普及課 指宿市十二町駐在

(ウ) 概要；可給態窒素レベルの高い圃場を選定し、農家慣行区、適正施肥実証区で比較

## 3) 研究結果

図1は平成30年度の調査結果である。平成29年度は菌核病株が多かったため、土壤消毒を実施した。その結果、可給態窒素が高い診断施肥区においてアンモニア態窒素が5mg/100g 乾土増加したため、基肥窒素を減じて試験した。

夏まき、初秋まきともに、土壤の可給態窒素に応じて基肥窒素を加減した診断施肥区の収量は、標準施肥区に比べて同程度の収量が得られた(図1)。また、可給態窒素が高い診断区において基肥窒素を減じても、標準施肥区と同等の収量が得られた。

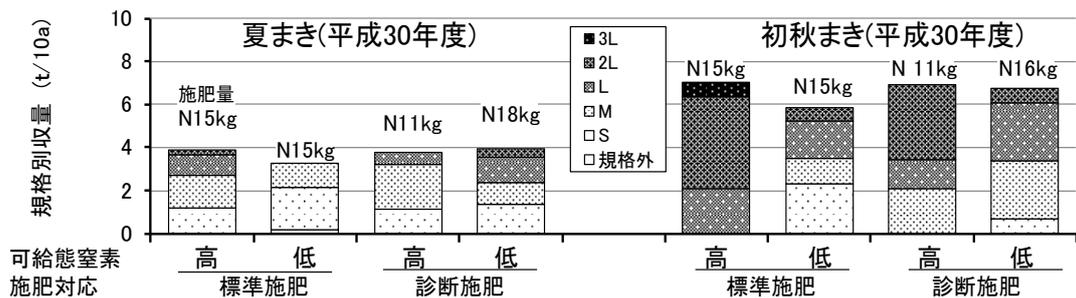


図1 土壌の可給態窒素診断結果に基づく施肥と青果用キャベツの規格別収量(H30)

- 注1) 耕種概要 : 夏まき 平成30年 8月22日基肥・移植— 9月18日追肥・培土—11月 1日収穫  
 : 初秋まき 平成30年11月15日基肥・移植—平成31年1月17日追肥・培土— 3月中旬収穫予定
- 2) 可給態窒素: 夏まき・初秋まき共通 高=3.5mg/100g (NH<sub>4</sub>-N=5mg/100g), 低=1.5g/100g

平成 27~29 年度においても平成 30 年度と同様に試験を実施し、試験年度によって気象条件が異なるものの、可給態窒素レベルに応じた診断施肥区は標準施肥区並の収量が得られた。

現地実証では、加工・業務用キャベツ、青果用ニンジン及び青果用ブロッコリーについて可給態窒素レベルに応じて窒素施肥量を加減し栽培した結果、目標収量を確保でき、収益性は高まると試算されたことから、現地導入が可能であることを確認した(図2)。

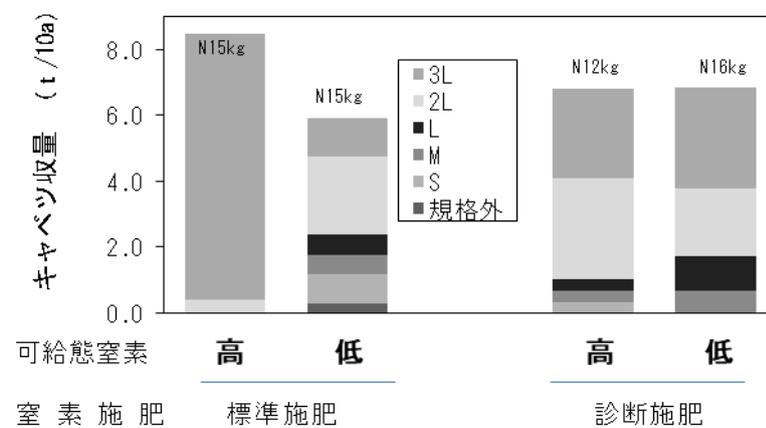


図2 可給態窒素診断を活用した初秋まきキャベツの収量

#### 4) 成果活用における留意点

窒素施肥量は平均地温で推定しているため、平年との寒暖差が大きい年は予測から外れる場合がある。主として秋冬作の露地野菜へ適用する。また、栽培期間に大雨が予想される梅雨時期や台風の襲来が多い春夏作、施設野菜では未検討である。

#### 5) 今後の課題

プロジェクト期間内に実証できなかった他の露地野菜品目への適用性についての検討が必要である。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	401	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	4水田におけるカリウムの適正施用指針の策定		
実行課題名	(1) 積雪寒冷地水田におけるカリウムの適正施肥指針の策定		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・久保寺秀夫		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	山形県農業総合研究センター・食の安全環境部・相澤直樹・長沢和弘		

### 1) 研究目的

積雪寒冷地水田におけるカリ施用が水稻の生育、収量、品質等へ及ぼす影響や土壌交換態カリウムの経年変化を明らかにし、堆肥の施用や品種、土壌型等を考慮したカリウムの適正な施用指針を策定する。

### 2) 研究方法

積雪寒冷地水田におけるカリ施用が水稻の生育、収量、品質等へ及ぼす影響を調査するため、場内試験において、カリ施用区（慣行量施用）とカリ無施用区を設置し、5か年を通じて影響を調査した。また、同時に作付け前後に土壌を採取し、カリ施用の有無における土壌中交換態カリ含有量の経年変化の推移を調査した。

堆肥、品種、土壌等を考慮したカリの適正な施用指針を提案するため、現地圃場で栽培試験を実施した。堆肥は、オカクズ牛ふん堆肥500kg/10aを考慮に加え、品種は、「はえぬき」「雪若丸」「つや姫」を供試した。土壌は、塩基置換容量（CEC）を加味しながら、栽培試験を実施した。調査するにあたり、各試験区のカリ吸収量とカリの収支を求めた。具体的には、圃場にインプットするカリとして用水を調査した。また、アウトプットとして籾によるカリの圃場外への持ち出し量、地下への浸透水、圃場外への溶脱を考慮に加え、カリ収支モデルを作成した。

籾での圃場外への持ち出し量とカリ収支を把握したうえで、圃場でのインプットとアウトプットが均衡するカリ施用量を求め、収量・品質が維持できる土壌中の交換態カリ含有量を求めた。最終年次には、土壌中交換態カリ含有量が15～20mgK<sub>2</sub>O/100gの圃場において新指針案で示すカリ施肥体系で実証試験を行った。

### 3) 研究結果

(1) 積雪寒冷地水田におけるカリ施用が水稻の生育、収量、品質等へ及ぼす影響

カリ施用区とカリ無施用区との比較し、無施用5年目までで「はえぬき」「雪若丸」の生育には明確な差が見られなかった（データ略）。収量構成要素では、一穂粒数及びm<sup>2</sup>当たり粒数が減少することから精玄米重はやや減少した。5か年を通じて、カリ無施用区との収量比は、「はえぬき」で93%、「雪若丸」で97%となった（表1）。カリ無施用による品質の低下は見られなかった（データ略）。

土壌中の交換態カリ含有量については、作付け後に低下する傾向にあるが、5か年を通じて極端な増減は見られなかった（表2）。

稲体のカリ濃度は、生育初期が最も高く、生育中期、穂揃期、成熟期にかけて濃度は低下した（データ略）。カリの吸収量は、生育が進むに従い増加し、穂揃期に概ね最大となり、成熟期にかけて穂揃期とほぼ同程度で推移した（データ略）。成熟期におけるカリ吸収量について、茎葉ではカリ施用区で18.4~20.4mgK<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>、カリ無施用区で17.8~18.4mgK<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>、籾ではカリ施用区4.0~4.2mgK<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>、カリ無施用区で3.5~3.9mgK<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>であった（表3）。

表1 カリ施用の有無における精玄米重の推移

品種	試験区	H27		H28		H29		H30		R1		5か年平均	
		(kg/10a)	施用区比										
はえぬき	施用区	628	100	605	100	610	100	626	100	613	100	616	100
	無施用区	637	101	600	99	464	76	621	99	556	91	576	93
雪若丸	施用区	615	100	575	100	656	100	613	100	642	100	620	100
	無施用区	570	93	536	93	631	96	621	101	644	100	600	97

表2 土壌中交換態カリ含有量の推移

圃場	施肥量 <sup>※</sup> (kgK <sub>2</sub> O/10a)	H27		H28		H29		H30		R1		5か年平均	
		作付前	作付後	作付前	作付後	作付前	作付後	作付前	作付後	作付前	作付後	作付前	作付後
灰色低地土 (22.9meq/100g)	4.5~8	28	25	(25)	29	24	23	41	31	41	38	34	29
	0	28	25	(25)	21	23	16	32	29	36	34	30	25
灰色低地土 (22.6meq/100g)	6~8	32	29	32	30	28	33	44	36	36	42	34	34
	0	32	33	32	25	32	32	43	32	40	40	36	32

※年度によりカリ施肥量が異なる場合がある。( )は前年秋の分析値。

表3 カリ施用の有無における成熟期の茎葉及び籾の吸収量

品種	項目	H27			H28			H29			H30			R1			平均(H27~R1)		
		茎葉	籾	計	茎葉	籾	計												
はえぬき	施用区	14.1	2.6	16.7	17.9	4.3	22.2	19.4	3.8	23.2	23.4	4.0	27.4	27.0	5.5	32.4	20.4	4.0	24.4
	無施用区	14.6	2.8	17.4	16.0	3.9	19.9	16.5	2.7	19.2	21.7	3.8	25.5	23.0	4.1	27.2	18.4	3.5	21.8
雪若丸	施用区	15.7	3.7	19.4	13.1	3.8	16.9	19.6	4.5	24.1	16.6	3.3	19.9	26.7	5.7	32.5	18.4	4.2	22.6
	無施用区	14.7	3.5	18.2	13.5	4.0	17.5	18.6	3.8	22.3	16.6	3.1	19.7	25.6	5.0	30.5	17.8	3.9	21.7

## (2) 堆肥、品種、土壌等を考慮したカリの適正な施用指針

堆肥施用の有無、基肥のカリ量を標準量、半分量、0、追肥の有無を組み入れた現地試験の3か年の結果では、収量は概ね標準量区並みに確保された。籾によるカリの持ち出しは3.3~3.9kgK<sub>2</sub>O/10aとなった（表4）。

圃場におけるカリ収支を把握するため、水に関するカリ収支では、用水等のインプットは0.8kgK<sub>2</sub>O/10aであり、アウトプットは地下への浸透水、圃場外へ流出する水などで0.5kgK<sub>2</sub>O/10aとなり、水に関してはプラスの0.3kgK<sub>2</sub>O/10aであった（表5）。また、農業用水のカリ濃度について、H26に県内100か所から採水し調査した結果、平均1.48mgK<sub>2</sub>O/L(0.47~4.49mgK<sub>2</sub>O/L)であった（図1）。

稲わらを全量還元することを前提として、堆肥を施用（オガクズ牛ふん堆肥500kg/10a）すると、カリが8.4kgK<sub>2</sub>O/10a投入されることになり、施肥カリが無施用でもカリ収支はプラスとなった。基肥半分量+追肥なし、基肥0+追肥のみの場合はカリ収支がマイナスとなった（表4）。標準の基肥+追肥体系では4.2kgK<sub>2</sub>O/10aとプラスとなった。

これらをもとに「はえぬき」における稲わら全量還元した場合のモデルを作成した（図2）。

表4 堆肥を考慮したカリ減肥試験の精玄米重とカリ収支（現地試験：N市、H27～29）

No 試験区	カリ施肥量 (kgK <sub>2</sub> O/10a)			精玄米重 (kg/10a) 標準体系 比(%)		カリ収支(kgK <sub>2</sub> O/10a)					
	基肥	追肥	合計			投入			収奪		収支
						堆肥	施肥	用水等	籾	溶脱	
1 無施肥	0	0	0	564	101	0.0	0.0	0.8	3.5	0.5	-3.2
2 無施肥+堆肥	0	0	0	579	103	8.4	0.0	0.8	3.5	0.5	5.2
3 基肥減肥3	3	0	3	586	105	0.0	3.0	0.8	3.8	0.5	-0.5
4 基肥減肥3+堆肥	3	0	3	564	101	8.4	3.0	0.8	3.9	0.5	7.8
5 標準基肥6	6	0	6	580	103	0.0	6.0	0.8	3.8	0.5	2.5
6 追肥のみ	0	1.5	1.5	593	106	0.0	1.7	0.8	3.3	0.5	-1.3
7 追肥のみ+堆肥	3	1.5	4.5	586	105	8.4	1.7	0.8	3.5	0.5	6.9
8 基肥減肥3+追肥	3	1.5	4.5	590	105	0.0	4.7	0.8	3.5	0.5	1.5
9 基肥減肥3+堆肥+追肥	3	1.5	4.5	575	103	8.4	4.7	0.8	3.5	0.5	9.9
10 標準基肥+追肥体系	6	1.5	7.5	560	100	0.0	7.7	0.8	3.8	0.5	4.2

土壌型：グライ低地土（CEC：14.6meq/100g；H27）、土壌中交換態カ含有量：20mgK<sub>2</sub>O/100g；H27、品種：つや姫、堆肥はオガクズ牛糞堆肥500 kg/100g（H27：T-K<sub>2</sub>O；4.46%；水分57.2%、H28：T-K<sub>2</sub>O；4.41%；水分67.8%、H29：T-K<sub>2</sub>O；3.8%；水分54.9%）、稲わらは全量還元、用水及び溶脱はH30の試験から試算

表5 水に関するカリ収支（H30）

項目	水量 (kL)	カリ濃度 (mgK <sub>2</sub> O/L)	カリ換算量	
			(kgK <sub>2</sub> O)	
インプット (プラス要素)	用水量	360	2.0	0.72
	降水量	408	0.2	0.08
アウトプット (マイナス要素)	蒸発散量	488	0.0	0
	地下浸透水	70	3.5	0.25
	流出量	180	0.2	0.04
	〃 移植前排水	30	6.7	0.20
カリ収支				0.31

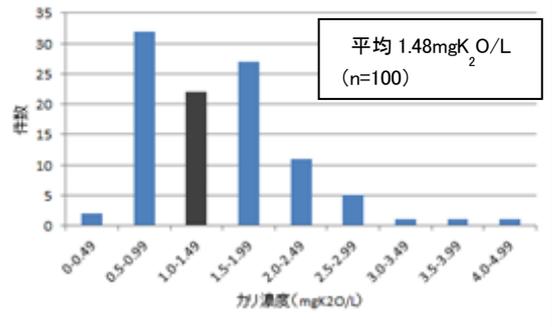
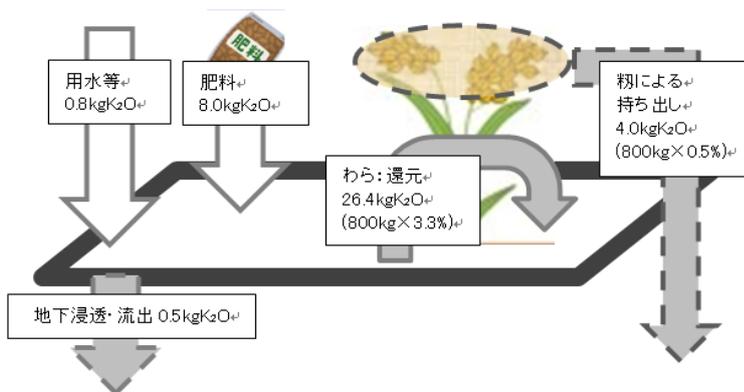


図1 県内農業用水のカリ濃度

(H26: 採水時期7~8月)



●インプット

項目	カリ量 (kgK <sub>2</sub> O/10a)
用水等 (750L)	0.8
肥料 (6kg+2kg)	8.0
稲わら (800kg)	26.4
籾 (800kg)	4.0
堆肥 (500kg)*	(8.4)
計	35.2

※水分60%、T-K<sub>2</sub>O: 4.2%

●アウトプット

項目	カリ量 (kgK <sub>2</sub> O/10a)
稲わら	0.5
肥料	0.0
稲わら (800kg)	26.4
籾 (800kg)	4.0
堆肥 (500kg)*	0.0
計	30.9

<水稲栽培期間中カリ収支>

35.2kgK<sub>2</sub>O - 30.9kgK<sub>2</sub>O

↓

4.3kgK<sub>2</sub>O のプラス

図2 栽培期間中におけるカリ収支（稲わら全量還元し、はえぬき収量580kg/10aの場合）

(3) 新指針案で示すカリ体系での実証試験 (H30~R1)

「はえぬき」において、水田の土壤中交換態カリ含有量は20mgK<sub>2</sub>O/100g以上から精玄米重580kg/10aを超え、その時の籾によるカリの持ち出し量が4kgK<sub>2</sub>O/10aとなることから、基肥カリ量を4kgK<sub>2</sub>O/10aとする新指針で現地実証を行った(図3、4、表6)。

2か年を通じて、土壤中交換態カリ含有量20mgK<sub>2</sub>O/100gの圃場において、カリ投入量の差が水稻生育に与える影響は認められなかった。稲わらを全量還元している場合、施肥カリ4kg+0kgで、慣行区と同等の収量となった。交換態カリ含有量20mgK<sub>2</sub>O/100gであっても、CECが低い場合は、作付け後の土壤中交換態カリ含有量が低下する場合があった(表7)。土壤中交換態カリ含有量15mgK<sub>2</sub>O/100g以下でCECも低い圃場において減肥を行うと、減収するだけでなく、作付け後の土壤中交換態カリ含有量も低下した(表7)。

籾によるカリ持ち出し量が4.3~4.4kg(減肥時)、4.0kg(カリ無施肥時)となり、施肥カリ4kgK<sub>2</sub>O/10aの施用で、収支が均衡した(表8)。

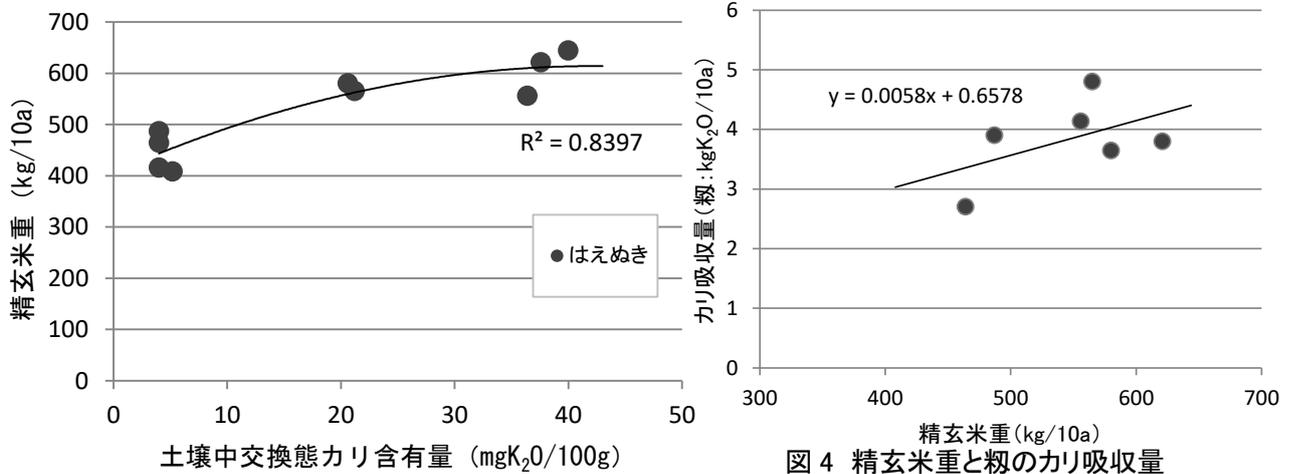


図3 土壤中交換態カリ含有量と精玄米重(カリ無施用時)

図4 精玄米重と籾のカリ吸収量(カリ無施用時)

表6 試験区の構成(現地試験)

No	試験区	基肥			追肥		備考
		窒素 (kgN/10a)	リン酸 (kgP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /10a)	カリ (kgK <sub>2</sub> O/10a)	窒素 (kgN/10a)	カリ (kgK <sub>2</sub> O/10a)	
1	新指針区	6	6	4	2	0	
2	現指針区	6	6	4	2	2	前作はえぬき、 全量稲わら還元
3	慣行区	6	6	6	2	2	
4	無施用区	6	6	0	2	0	

カリ含有量(mgK<sub>2</sub>O/100g): Y市21.27mgK<sub>2</sub>O/100g、S町13.0mgK<sub>2</sub>O/100g、N市20.2mgK<sub>2</sub>O/100g

表7 作付け前後の土壤中カリ含有量と精玄米重

地域 (土壤統)	CEC (meq/100g)	作付前 (mgK <sub>2</sub> O/100g)	作付後 (mgK <sub>2</sub> O/100g)	カリ施用量(K <sub>2</sub> O/10a) (基肥カリ+追肥カリ)	精玄米重	
					(kg/10a)	慣行比
Y市 (細粒質強グライ土)	16.0	21.2	23.0	新K4+0	689	102
			22.2	慣K6+2	675	100
			19.0	無K0+0	565	84
S町 (中粗粒灰色低地土)	10.4	13.0	8.9	新K4+0	495	90
			11.1	慣K6+2	552	100
			5.1	無K0+0	433	78
N市 (普通灰色低地土)	10.5	20.2 <sup>※</sup>	14.1 <sup>※</sup>	新K4+0	623	100
			19.6	慣K6+2	626	100
			9.8	無K0+0	580	93

※は2か年平均

表8 現地試験におけるカリ収支(H30～R1)

No	試験区	カリ施肥量 (kgK <sub>2</sub> O/10a)			精玄米重(kg/10a)		品質	カリ収支(kgK <sub>2</sub> O/10a)					
		基肥	追肥	合計	H30～R1	慣K6+2	(1-10)	投入			収奪		収支
					平均	比(%)		堆肥	施肥	用水等	籾	浸透・流出	
1	新指針区	4	0	4	604	99	2.4	0	4	0.8	4.3	0.5	0.0
2	現指針区	4	2	6	591	96	2.5	0	6	0.8	4.3	0.5	2.0
3	慣行区	6	2	8	613	100	2.5	0	8	0.8	4.4	0.5	3.9
4	無施用区	0	0	0	526	86	2.3	0	0	0.8	4.0	0.5	-3.7

試験区は、カリ施肥量のみ異なる。カリ以外の窒素・リン酸は、窒素6kgN/10a(基肥)+2kgN/10a(追肥)、リン酸は7kgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/10a。精玄米重はH30～R1の現地5か所の平均(土壌中交換性カリ含有量Y市:21.2mg/100g、N市:20.2mg/100g、S町:13.0mg/100g)。品種:はえぬぎ。堆肥は無施用、稲わらは全量還元。用水(降水量含む)及び溶脱はH30の試験結果から試算

#### 4) 成果活用における留意点

本内容の一部を山形県内向け成果情報「水田におけるカリ収支を踏まえたカリの減肥指針」として新指針として提案予定である。

カリ減肥指針(平成25年度普及成果情報)

交換性カリ (mgK <sub>2</sub> O/100g)	基肥 (kgK <sub>2</sub> O/10a)	土づくり
15未満	6～8	必要
15～25未満	6～8	必要なし
25～40未満	3～4	必要なし
40～	3～4	必要なし

注)追肥でカリを2kg程度施用する

新指針(案)

交換性カリ (mgK <sub>2</sub> O/100g)	塩基置換容量 (meq)	はえぬぎ	
		基肥 (kgK <sub>2</sub> O/10a)	追肥 (kgK <sub>2</sub> O/10a)
20未満	-	6～8	2
20以上	12未満	4	2
//	12以上	4	0

#### 5) 今後の課題

全量基肥一発肥料での実証も必要である。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	402	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	4 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定		
実行課題名	(2) 北陸地域のグライ低地土水田におけるカリウムの適正施用指針の策定		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・久保寺秀夫		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	新潟県農業総合研究所・基盤研究部 水野貴文、本間利光、石井勝博		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

新潟県を代表する低地土水田において無カリ栽培を継続し、交換性カリの減少速度を把握する。また、カリ施用量の異なる施肥試験を実施し、交換性カリを維持するための施肥量を検証するとともに土壌と灌漑水からの供給量に応じた減肥指針を策定する。

### 2) 研究方法

試験1 県内の主要稲作地帯のかんがい水（河川水）からのカリウム供給量の把握

#### (1) 調査対象河川

県内の主要河川のうち36地点（県北部14点、県中部12点、県南部10点）の用水を調査。

#### (2) 調査時期

6～8月（分けつ期、幼穂形成期～出穂期、登熟期の3回）

#### (3) 採水方法

河川水を用水路へ通水する頭首工・揚水機場の近くの用水路から採水。

#### (4) 調査項目

pH、水温は現地で測定。水質成分は試料水をろ過した後、カリウム、ケイ酸を測定。

試験2 かんがい水中のカリ利用率の推定

#### (1) 水位調節枠を用いた推定

1) 試験圃場：所内圃場 稲わら持ち出し、無カリ区

2) 試験区の構成：0ppm区（蒸留水）、1.8ppm区（慣行）、4ppm区

3) 試験方法：①稲わら持ち出し・カリ無施用区に水位調節装置を設置し、枠内で水稻を栽培する。

②装置から枠内外の水位を同じにするよう蒸留水または4ppmカリ

溶液を枠内に供給する。

③慣行区は側面に穴を開け水の出入りを自由にした枠のみ設置し、水稻を栽培する。

- 4) 調査項目：供給水量、土壌溶液中カリ濃度（土壌溶液は表層20cm深さから採水）、稲体のカリ吸収量、土壌交換性カリ

(2) ポットを用いた推定

- 1) 供試土壌：所内試験圃場の土壌 細粒質表層灰色グライ低地土  
2) 供試品種：コシヒカリ  
3) 試験区の構成

要因	水準数	具体的水準の内容	備考
カリ施肥量	2	0、6kg/10a	基肥として塩化カリを施用
かんがい水カリ濃度	2	0、6mg/L	

- 4) 試験方法：①1/2000aワグネルポットに生土10kgを充填し、代かき後、稚苗1株4本を移植する。  
②カリ濃度を調整したかんがい水を供給し、ポット排水口から減水深5mm/日となるよう排水し溶脱塩基量を調査する。  
③成熟期まで栽培し、稲体カリ吸収量を調査する。  
5) 調査項目：給水量、排水量、カリ溶脱量、土壌交換性カリ、稲体のカリ吸収量

試験3 水稻のカリ無施用～慣行施肥による栽培試験

- (1) 試験ほ場：所内圃場 細粒質表層灰色グライ低地土、現地圃場 粗粒質斑鉄型グライ低地土  
(2) 供試品種：コシヒカリ  
(3) 試験区の構成

要因	水準数	具体的水準の内容	備考
稲わら施用	2	有、無	H27秋から稲わら持ち出し
カリ施肥量	3	0、3、6kg/10a	水稻栽培指針による標準施肥量6kg/10a

(4) 区制及び面積

所内：2反復、1区当たり28㎡、現地：3反復、1区当たり35㎡

(5) 耕種概要

稚苗機械移植、5月移植 50～60株/坪

(6) 調査項目

土壌の交換性カリ、水稻の生育、収量、玄米外観品質、稲体のカリウム吸収量、土壌Eh、カリ溶脱量（現地：無カリ区）

3) 研究結果

- ・かんがい水中のカリ及びケイ酸濃度には地域差が認められ、県中部で高く、県北部・県南部で低かった（表1、図1）。花崗岩質の地帯に水源や流域を持つ河川では養分濃度の低い地点が多かった。pH、カリ及びケイ酸濃度には採水時期による差は認められなかった。
- ・かんがい水中のカリの水稻による利用率は70%以上と高かった（表2）。

- ・カリの減肥栽培を継続しても水稻生育、収量及び品質には有意な差は認められなかった（図2）。交換性加里にはカリ施肥量の影響は認められなかったが、稲わら持ち出しの翌年には急激に低下したことから、稲わらはカリ供給源として大きな役割を持つと考えられた（図3）。
- ・稲わらをすき込んだ場合の水田におけるカリ収支は、3kg/10a以上のカリ施肥量でプラスとなった（表3）。収量及び品質とカリ吸収量の関係から、高品質米の安定生産には15kg/10a以上のカリ吸収量が必要であり、そのためには交換性加里は12.8mg/100g以上必要である（図4、5、6）。安全を考慮しカリ減肥可能な交換性加里レベルを15mg/100g以上とした。

表1 かんがい水の成分分析値

地域	点数	pH	mgKL <sup>-1</sup>	mgSiO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>
全県	36	7.44±0.46	1.68±0.80	13.9±6.5
県北部	13	7.48±0.24	1.45±0.60 b	9.4±4.0 b
県中部	13	7.24±0.24	2.28±0.90 a	17.2±7.8 a
県南部	10	7.64±0.75	1.22±0.30 b	15.3±3.9 a
地域間差		NS	**	**

各分析値の平均±標準偏差

\*\*は危険率1%水準で有意差あり．NSは有意差なし

異なるアルファベットはTukey法により危険率5%で有意差あり

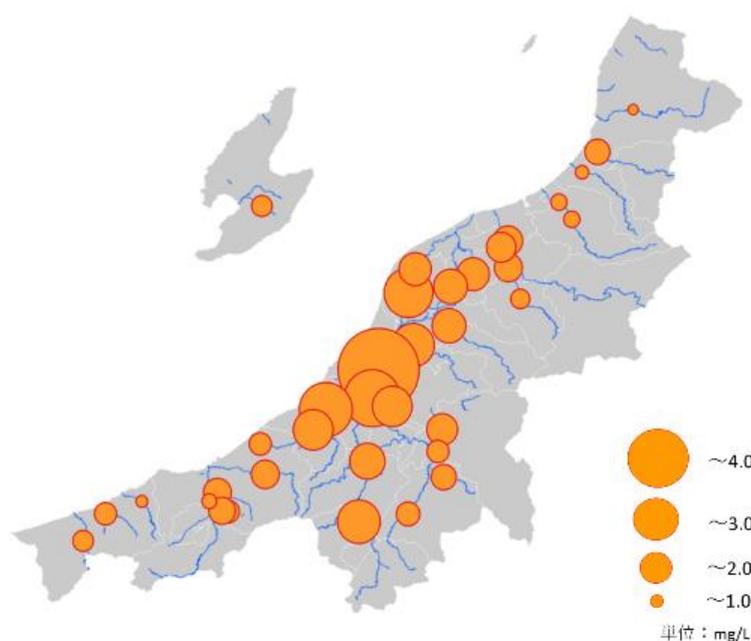


図1 かんがい水中カリ濃度分布

表2 かんがい水中カリの水稲による利用率 (%)

試験年次	水位調節枠		1/2000aワグネル ポット
	1.8ppm区	4.0ppm区	
H29	96.0	70.1	-
H30	75.7	75.4	71.4
H31	73.6	91.8	69.5
平均	81.8	79.1	70.4

\*H30のポット試験では高温による不稔のため、カリ吸収量を茎葉のみとして評価。

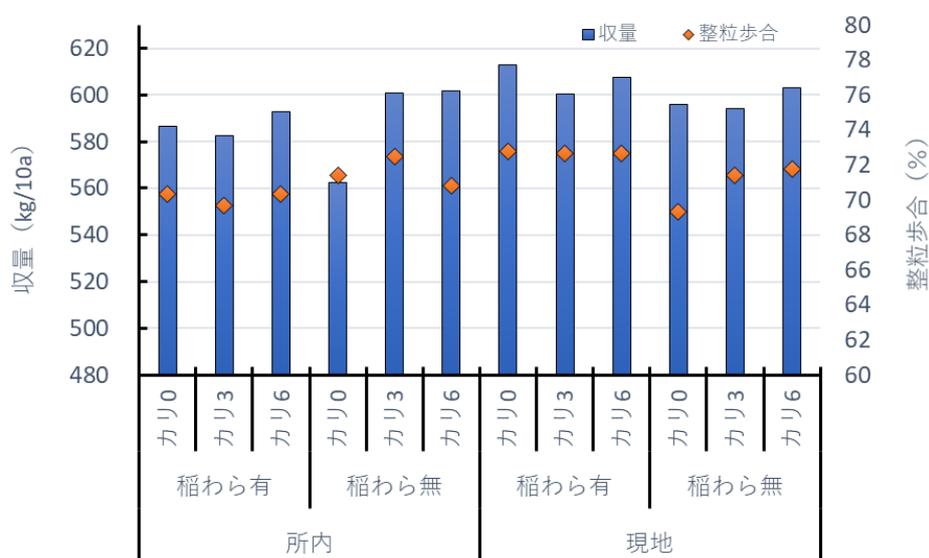


図2 収量及び品質

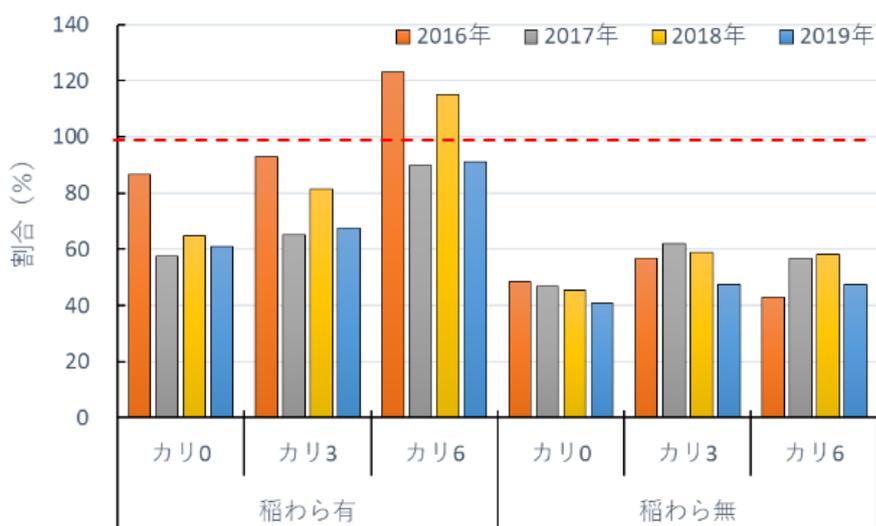


図3 初年目(2015年)を100とした場合の交換性加里の変化割合(所内+現地)

表3 水田におけるカリ収支

試験場所	稲わら 有無	カリ施肥量 kg/10a	インプット (kg/10a)			アウトプット (kg/10a)				収支
			施肥	用水	計	穂(粃)	茎葉	溶脱	計	
所内	有	0	0.0	0.8	0.8	2.3	-	0.2	2.5	-1.8
	有	3	3.0	0.8	3.8	2.4	-	0.2	2.6	1.2
	有	6	6.0	0.8	6.8	2.3	-	0.2	2.5	4.3
	無	0	0.0	0.8	0.8	2.2	8.4	0.2	10.8	-10.1
	無	3	3.0	0.8	3.8	2.5	9.2	0.2	11.9	-8.1
	無	6	6.0	0.8	6.8	2.4	10.2	0.2	12.9	-6.1
現地	有	0	0.0	0.4	0.4	2.5	-	0.2	2.7	-2.3
	有	3	3.0	0.4	3.4	2.5	-	0.2	2.7	0.7
	有	6	6.0	0.4	6.4	2.5	-	0.2	2.7	3.7
	無	0	0.0	0.4	0.4	2.5	13.8	0.2	16.5	-16.1
	無	3	3.0	0.4	3.4	2.4	14.3	0.2	16.9	-13.4
	無	6	6.0	0.4	6.4	2.5	13.5	0.2	16.2	-9.8

所内は2016～2019年、現地は2015～2019年の平均値

溶脱量は所内枠試験結果を参考にし、現地にも一律適用

用水からのカリ供給量は、枠試験の平均供給水量436t/10aにカリ濃度を乗じた値

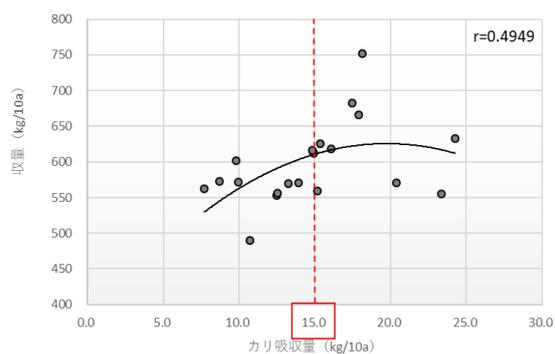


図4 無カリ区におけるカリ吸収量と収量の関係

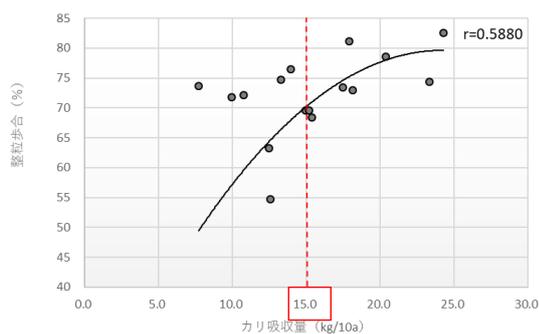


図5 無カリ区におけるカリ吸収量と整粒歩合の関係

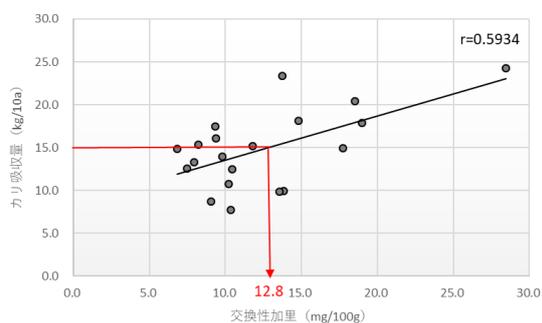


図6 無カリ区における交換性加里とカリ吸収量の関係

#### 4) 成果活用における留意点

本試験における供試ほ場は水の縦浸透量が少ない条件であるため、浸透量の多い水田では収支バランスが変わる可能性がある。また、数年に一度土壌分析を行い、交換性加里が基準値以上であることを確認する必要がある。

#### 5) 今後の課題

縦浸透量の異なるほ場条件における収支を明らかにすることで、より汎用性の高い指標が策定できると考える。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	403	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	4 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定		
実行課題名	(3) 東海地域の低地土水田におけるカリウムの適正施肥指針の策定		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・久保寺秀夫		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	三重県農業研究所基盤技術研究室フード・循環研究課 水谷嘉之、藤井琢馬、西颯太 三重県中央農業改良普及センター 山田信二、磯山繁行		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

東海地域の灰色低地土水田において、カリ収支を基盤とするカリ適正施用指針を策定し、生産コストの削減を図る。水田圃場におけるカリ収支については、施肥や農業用水（灌漑水）、土壌中の交換性カリ等による供給と、収穫による収奪や下層土からの溶脱による減少がある。これらのカリ動態を考慮して、物質収支に基づく適正施用指針の開発を行う。

### 2) 研究方法

#### (1) 灌漑水由来カリ利用実態の解明

- a 現地ほ場の減水程度に合わせて灌漑水を供給できる「水位調整枠」を用い、灌漑水中カリ濃度水準を複数設定して吸収量を把握し、漑水由来カリの利用率を検証した。
- b 日降水量 $5\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$ で管理を行うワグネルポットを用いた栽培試験により、供給灌漑水中のカリ濃度水準を複数設定して灌漑水由来カリ利用率を検証した。

#### (2) カリ減肥基準の策定に向けた連続減肥栽培実証試験

平成29年から令和元年産の3年間において、津市（中粗粒質灰色低地土）および松阪市（細粒質灰色低地土）の2か所でカリ連続減肥試験を行った。カリ施肥量は栽培基準量（慣行）、基準に対して半量、施用なしの3水準とし、それぞれ稲わら全量還元と全量持ち出しの2区を設定した。灌漑水由来カリは、灌漑水中カリ濃度と日降水量から、溶脱量は20cm深における土壌溶液中カリ濃度と日降水量から算出した。

土壌等のカリ動態に加え、カリの植物体吸収量、わら中濃度をもちいて本田におけるカリ収支の把握を行った。

#### (3) 非交換態カリ利用実態の解明

カリ供給能がない珪砂と土壌を混合することにより土壌中交換態カリ濃度を3水準に調整した調整土をもちいて栽培を行い、土壌中カリ濃度ならびにカリ吸収量から非交換態カリ利用実態の解明を行った。栽培は1/2000aワグネルポットを用い、灌漑水にはイオン交換

水を用いた。窒素、リン酸は慣行並みの施用量とした。カリ施肥は行わず、土壤中カリのみでの栽培とした。ポットからの排水は行っていない。

#### 供試土壌

三重県土壌（細粒質灰色低地土（松阪市））、三重県土壌（細粒強グライ土（伊賀市））  
山形県土壌（細粒質普通灰色低地土）、新潟県土壌（細粒質斑鉄型グライ低地土）  
宮崎県土壌（細粒質普通灰色低地土）、鹿児島県土壌（粗粒質普通灰色低地土）  
珪砂（アルバニー珪砂#90）

#### (4) 灌漑水中カリの実態把握

県内10河川を対象に29地点で採水を行い、カリ及びケイ酸含有量の実態把握を行った。

### 3) 研究結果

#### (1) 灌漑水由来カリ利用実態の解明

現地ほ場における水位調整枠試験では、灌漑水濃度の違いによる生育およびカリ吸収量に十分な差異が確認できず実態解明にはつながらなかった。ポット栽培試験においては、灌漑水としてのカリ供給量増減に応じて、生育ならびにカリ吸収量に差異を確認することができ、カリ供給量が少ない区では欠乏症状も確認できた。ポット栽培試験において設定灌漑水濃度間における供給量、吸収量の関係から灌漑水利用率を推定した。その結果、試験区H30年で74%（コシヒカリ、みえのゆめ）、R1年で74%（コシヒカリ）となった（表1）。

表1 平成30年灌漑水由来カリ利用実態ポット試験の結果

供試 品種	灌漑水 濃度 ppm_K <sub>2</sub> O	灌漑水 土壌 試験 区分	交換態カリ		カリ供給量 <sup>1</sup>		植物体 吸収量 mg_K <sub>2</sub> O pot <sup>-1</sup>	灌漑水濃度別 同一土壌試験区間比較						灌漑水中 カリ 利用率 (全体)	
			栽培前	栽培後	土壌由来 カリ (a)-(b)	灌漑水 由来 カリ <sup>2</sup>		対0ppm			対2.5ppm				
			mg_K <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup>	mg_K <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup>	mg_K <sub>2</sub> O pot <sup>-1</sup>	mg_K <sub>2</sub> O pot <sup>-1</sup>		吸収量	吸収量	吸収量	吸収量	吸収量	吸収量		
								灌漑水K	灌漑水K	灌漑水K	灌漑水K	灌漑水K	灌漑水K		
コシ ヒカリ	0ppm	a	4.6	1.5	30	-50	86	-	-	-	-	-	-	74%	
		b	27.5	8.3	185	-43	422	-	-	-	-	-	-		
		c	58.0	17.6	364	-39	788	-	-	-	-	-	-		
	2.5ppm	a	4.6	1.4	32	122	213	172	127	<b>74%</b>	-	-	-		
		b	27.5	9.4	170	196	609	239	187	<b>78%</b>	-	-	-		
		c	58.0	16.9	376	219	913	258	125	<b>49%</b>	-	-	-		
	5.0ppm	a	4.6	1.4	32	344	423	394	337	<b>86%</b>	222	210	<b>94%</b>		
		b	27.5	9.3	169	440	741	483	319	<b>66%</b>	244	132	<b>54%</b>		
		c	58.0	18.6	353	502	1,106	541	318	<b>59%</b>	284	193	<b>68%</b>		
	みえの ゆめ	0ppm	a	4.6	1.7	28	-27	97	-	-	-	-	-		-
			b	27.5	9.7	166	-55	406	-	-	-	-	-		-
			c	58.0	17.1	374	-38	845	-	-	-	-	-		-
2.5ppm		a	4.6	1.6	27	149	242	176	146	<b>83%</b>	-	-	-		
		b	27.5	9.2	170	207	630	262	224	<b>86%</b>	-	-	-		
		c	58.0	17.9	365	228	970	266	125	<b>47%</b>	-	-	-		
5.0ppm	a	4.6	1.9	25	330	411	357	315	<b>88%</b>	181	169	<b>93%</b>			
	b	27.5	9.0	170	473	871	528	465	<b>88%</b>	266	241	<b>90%</b>			
	c	58.0	19.4	342	498	1,170	536	325	<b>61%</b>	270	200	<b>74%</b>			

- 1 カリ供給量：交換態カリの栽培前後差と灌漑水由来カリウムを合せたものとした。
- 2 灌漑水由来カリ：灌漑水として供給したカリから排水中カリを差し引いたものを用いた。
- 3 1/2000ワグネルポットを用いて栽培 カリの施肥は行っていない。
- 4 灌漑水カリ利用率は0ppm灌漑水区との供給量および吸収量の差異よりとめた。

#### (2) カリ減肥基準の策定に向けた連続減肥栽培実証試験

3年間（H29・H30・R1）のカリ連続減肥栽培においてにおいて、カリ施肥量ならびに稲わら還元条件による収量への影響差について有意な差異は認められなかった（表2a）。

土壌交換態カリを含むカリ供給と植物体吸収量の差異を非交換態カリ可給化推定量として検証を行った結果、いずれの年産でもカリ供給量が少ないほど非交換態カリ可給化量が増加

した。カリの植物体吸収量には一定量、非交換態カリが寄与し、その量は交換態カリを含む供給カリ量に影響され、供給カリが多いほど減少することが確認された（表2a）。

稲わら還元有無による土壌中カリ収支を検証した結果、還元無しでは基準量施用でも減少を示し（表2b）、カリ減肥には稲わら全量還元が不可欠であることが確認された。

表2a 現地連続減肥試験結果（津市）

試験年	稲わら還元	カリ施用区分	籾重 g m <sup>-2</sup>	わら重 g m <sup>-2</sup>	植物体中カリ			土壌中交換態カリ		カリ供給			溶脱量 g_K <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup>	非交換態カリ 可給化推定量 (a-(b-c)) g_K <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup>	
					籾	わら	地上部計 (a)	作付前	作付後	土壌交換態K <sup>2</sup>	施肥	灌漑水 <sup>3</sup>			計 (b)
H29 (初年)	-	無し	615.3	493.3	2.1	13.6	15.7	162.6	103.3	10.0	0.0	1.0	11.0	0.7	5.4
		半量	643.3	506.9	2.2	13.3	15.5	164.3	100.2	10.8	4.5	1.0	16.3	0.7	-0.1
		全量	645.9	488.8	2.2	13.8	16.0	159.4	114.8	7.5	9.0	1.0	17.5	0.7	-0.8
H30	還元無し	無し	705.0	730.8	5.3	8.0	13.3	96.1	56.4	6.7	0.0	0.1	6.8	0.4	6.9
		半量	661.8	671.4	4.5	7.7	12.2	94.8	62.8	5.4	4.5	0.1	10.0	0.4	2.6
		全量	647.3	726.3	4.5	8.2	12.7	99.3	63.4	6.0	9.0	0.1	15.2	0.4	-2.1
	全量還元	無し	648.7	716.5	4.1	9.9	13.9	103.4	70.1	5.6	0.0	0.1	5.7	0.4	8.6
		半量	684.0	759.1	4.0	10.2	14.3	106.7	105.0	0.3	4.5	0.1	4.9	0.4	9.7
		全量	634.5	718.8	4.7	8.7	13.3	102.8	79.9	3.8	9.0	0.1	13.0	0.4	0.8
R1	還元無し	無し	739.5	647.8	2.5	11.0	13.5	108.5	65.2	7.3	0.0	0.1	7.4	0.2	6.2
		半量	750.6	642.2	2.6	12.3	14.9	97.9	80.1	3.0	4.5	0.1	7.6	0.2	7.5
		全量	724.9	632.0	2.4	13.4	15.8	96.0	64.9	5.2	9.0	0.1	14.4	0.3	1.7
	全量還元	無し	729.8	649.0	2.4	12.3	14.7	136.3	64.8	12.0	0.0	0.1	12.2	0.1	2.7
		半量	769.6	677.3	2.8	13.7	16.5	79.0	89.0	-1.7	4.5	0.1	3.0	0.2	13.7
		全量	799.4	718.4	3.1	14.4	17.5	117.0	73.2	7.4	9.0	0.1	16.5	0.3	1.2

- 1 供試品種 H29:みえのゆめ H30、R1:キヌヒカリ
- 2 面積当たりの土壌中交換態カリ供給量は、作深15cm 仮比重:津市-1.12 として算出
- 3 灌漑水からのカリ供給量は、降下透水量 (mm/日) × 灌漑水カリ濃度 (6月平均) × 生育日数 (120日)
- 4 各試験年各区 n=2

表2b 稲わら還元とカリ収支

試験区	稲わら還元	カリ施用区分	R1土壌 交換態K <sup>1</sup> 作後	カリ供給			カリ損失量			年間収支	連続収支		
				交換態K <sup>1</sup>	施肥	灌漑水 <sup>2</sup>	計 (b)	溶脱	籾		ワラ	2作目	4作目
津市	還元無し	無し	11.0	7.3	0.0	0.1	7.4	0.2	2.5	11.0	-6.2	4.7	-7.7
		半量	13.5	3.0	4.5	0.1	7.6	0.2	2.6	12.3	-7.5	6.0	-9.0
		全量	10.9	5.2	9.0	0.1	14.4	0.3	2.4	13.4	-1.7	9.2	5.7
	全量還元	無し	10.9	12.0	0.0	0.1	12.2	0.1	2.4	9.6	20.5	39.7	
		半量	15.0	-1.7	4.5	0.1	3.0	0.2	2.8	0.0	15.0	14.9	
		全量	12.3	7.4	9.0	0.1	16.5	0.3	3.1	13.1	25.4	51.6	
松阪市	還元無し	無し	10.8	5.9	0.0	0.3	6.1	0.2	2.6	10.3	-7.0	3.8	-10.3
		半量	12.4	5.0	3.5	0.3	8.8	0.3	2.2	10.7	-4.5	7.9	-1.2
		全量	15.7	16.1	7.0	0.3	23.4	0.3	2.4	10.6	10.1	25.9	46.2
	全量還元	無し	13.3	6.2	0.0	0.3	6.5	0.3	2.5	3.7	17.0	24.5	
		半量	16.7	3.4	3.5	0.3	7.2	0.3	2.4	4.5	21.3	30.3	
		全量	20.3	4.6	7.0	0.3	11.9	0.5	2.4	8.9	29.2	47.0	

- 1 土壌からのカリ供給量は、交換態カリの栽培前後差 × 仮比重 × 作深15cm 仮比重:津市-1.12 松阪市-1.14
- 2 灌漑水からのカリ供給量は、日透水量 (mm/日) × 灌漑水カリ濃度 (6月平均) × 生育日数 (120日)
- 3 供試品種 津市:キヌヒカリ 松阪市:コシヒカリ
- 4 津市:各区n=2 松阪市:各区n=1

### (3) 非交換態カリ利用実態の解明

各県土壌を用い、珪砂と元土の混合割合を3水準 (R1年試験 3:1 (03区)、1:1 (05区)、0:1 (10区)) に調整し試験を行った。非交換態カリについては、植物体吸収量から土壌中栽培前後交換態カリ減少量を差し引いたものを非交換態カリ由来とした。

カリ濃度が5mg/100gを下回る区では、いずれの土壌でも褐色斑紋の発生などの生育障害が確認

された。障害発生株における症状は、下葉に顕著に現れ展開中の新葉では確認できなかった。

生育量（稈長×穂数）ならびに植物体カリ吸収量は、いずれの土壌でも栽培前交換態カリ濃度が少ないほど小さくなった（表3）。

栽培前後における交換態カリの減少量は、H30年試験では75%、R1年試験では68.9%（表3）となった。

交換態カリ減少量はいずれの試験区でも吸収量を下回っており、非交換態カリの可給化がおきたと考えられる。また、非交換態カリの吸収量に占める割合は交換態カリが少ないほど高まる傾向を示した。非交換態カリの吸収は、交換態カリ、施肥、灌漑水由来のカリなどの存在量に影響されることが確認された。

表3 土壌含有量および植物体吸収と交換態ならびに非交換態カリウムの関連

使用土壌(地域)	試験区分	成熟期生育調査				調整土_土壌中交換態カリ				植物体吸収量		交換態カリ	非交換態カリ
		稈長 cm	穂長 cm	穂数 本/pot	生育量 稈長×穂数	栽培前a mg_K <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup>	栽培後b mg_K <sub>2</sub> O kg <sup>-1</sup>	栽培前後減少率 %	栽培前後減少量c mg_K <sub>2</sub> O pot <sup>-1</sup>	d mg_K <sub>2</sub> O/pot	/吸収量 c/d %	/吸収量 %	
山形	03区	76.7	20.7	37.7	2888.7 ± 132.8	114.5	26.8	76.6	964.3	1099.5 ± 64.9	73.3	26.7	
	05区	85.3	19.0	46.7	3984.3 ± 322.5	192.7	39.9	79.3	1527.7	1813.2 ± 20.4	69.9	30.1	
	10区	84.7	20.7	44.7	3776.7 ± 70.6	248.6	117.0	52.9	1249.9	1890.2 ± 119.5	55.0	45.0	
新潟	03区	60.0	16.8	28.7	1722.0 ± 429.1	21.0	4.3	79.7	175.7	331.5 ± 10.3	44.0	56.0	
	05区	67.0	18.3	36.0	2420.0 ± 358.5	34.4	8.6	75.0	258.0	538.3 ± 16.2	39.8	60.2	
	10区	75.3	21.2	50.3	3791.3 ± 117.5	83.0	25.5	69.2	517.2	1002.4 ± 25.2	42.8	57.2	
宮崎	03区	51.0	15.7	24.7	1272.7 ± 321.3	7.4	3.7	49.5	38.5	158.0 ± 2.9	20.2	79.8	
	05区	58.3	18.0	28.0	1634.0 ± 117.8	18.0	7.4	58.9	106.0	225.5 ± 11.1	54.1	45.9	
	10区	62.7	19.3	27.3	1715.0 ± 170.9	38.2	15.6	59.1	191.8	294.2 ± 1.5	54.1	45.9	
鹿児島	03区	64.3	18.0	35.0	2258.7 ± 316.4	21.7	5.7	73.7	168.0	316.7 ± 12.5	44.0	56.0	
	05区	70.3	18.0	44.0	3096.0 ± 193.1	44.6	11.4	74.4	315.4	493.8 ± 20.2	53.0	47.0	
	10区	79.3	18.8	49.0	3886.7 ± 358.1	101.2	21.0	79.3	722.1	886.9 ± 18.4	67.5	32.5	
三重伊賀	03区	63.7	18.2	25.7	1631.3 ± 219.4	22.5	5.0	77.8	183.8	261.9 ± 11.1	58.4	41.6	
	05区	70.7	19.7	32.7	2311.0 ± 361.2	35.0	13.4	61.6	215.7	459.1 ± 6.5	39.0	61.0	
	10区	77.3	19.7	39.7	3068.0 ± 120.5	93.2	31.3	66.4	588.1	790.2 ± 8.7	61.7	38.3	
三重松阪	03区	62.0	16.7	26.3	1630.3 ± 122.7	24.5	6.6	72.9	187.6	262.8 ± 13.5	59.4	40.6	
	05区	68.7	18.5	39.3	2687.3 ± 271.0	40.9	12.8	68.8	295.4	441.5 ± 13.7	55.5	44.5	
	10区	84.0	18.5	51.0	4283.0 ± 45.6	93.2	37.2	60.1	532.0	803.1 ± 27.8	55.0	45.0	

1 調整土：各土壌に珪砂を混合して交換態カリ量を3水準に調整した。  
 2 栽培方法 1/2000aワグネルポットを使用、灌漑水はイオン交換水（K<sub>2</sub>O 0ppm）を使用。  
 3 品種：コシヒカリ カリは栽培期間中無施肥 移植日6月1日

#### (4) 灌漑水中カリの実態把握

県内10河川29ヶ所で実態把握を行った。その結果、調査実施地点全体の平均は、カリ 2.4mg\_K<sub>2</sub>O L<sup>-1</sup>、ケイ酸12.3mg\_SiO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>であった（表4）。

表4 用水中カリ・ケイ酸濃度

地域	カリ mg_K <sub>2</sub> O L <sup>-1</sup>			ケイ酸 mg_SiO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>			調査地点数
	平均	最大	最小	平均	最大	最小	
北勢	2.3	4.0	0.9	12.1	13.5	9.9	4河川14ヶ所
中勢	1.8	3.8	0.6	11.5	14.0	8.8	2河川 6ヶ所
伊賀	3.0	4.0	2.2	13.2	15.3	11.1	4河川 9ヶ所
調査全域	2.4	4.0	0.6	12.3	15.3	8.8	10河川29ヶ所

#### 4) 成果活用における留意点

カリ収支に関する本研究の成果は、水稻早期栽培における灰色低地土を想定したものである。また、連続減肥試験等による収支予測は短期間の検証によるものであり、栽培現場においては定期的に土壌診断を実施し土壌の状態を確認していくことが重要である。

#### 5) 今後の課題

現地推進にあたっては、水田利用の主要形態である田畑転換（稲麦大豆体系など）を考慮した対応が必要である。

植物体吸収の主体は交換態カリと考えられるが、非交換態カリの供給能は土壌タイプ別に異なる可能性がある。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	404	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	4 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定		
実行課題名	(4) 用水からのカリウム供給が多い暖地低地土でのカリウムの適正施用指針の策定		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・久保寺秀夫		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	宮崎県総合農業試験場 土壌環境部 永井浩幸		
共同研究機関・研究室・研究者名等			

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

カリ濃度の高い(1ppm)用水において、堆肥施用及び稲わらすき込み連用によるカリ供給の実態を解明し、合理的なカリ施肥技術を開発する。

また、追肥時期における水稻搾汁液リアルタイム診断技術を開発し、カリ追肥の適正施用技術を確立する。

### 2) 研究方法

#### ● 「場内試験」(2015～2019年)

試験場所：宮崎市佐土原町 宮崎県総合農業試験場内水田

土壌の種類：細粒灰色低地土 土性 CL

試験区の内容

区名	有機物	基肥			追肥		合計		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1 有機物なし標準施肥	なし	6.00	8.00	7.50	3.00	1.00	9.00	8.00	8.50
2 有機物なし半量施肥	なし	6.00	8.00	3.75	3.00	0.50	9.00	8.00	4.25
3 有機物なし無施肥	なし	6.00	8.00	0.00	3.00	0.00	9.00	8.00	0.00
4 堆肥散布標準施肥	牛ふん堆肥 1000kg	6.00	8.00	7.50	3.00	1.00	9.00	8.00	8.50
5 堆肥散布半量施肥	牛ふん堆肥 1000kg	6.00	8.00	3.75	3.00	0.50	9.00	8.00	4.25
6 堆肥散布無施肥	牛ふん堆肥 1000kg	6.00	8.00	0.00	3.00	0.00	9.00	8.00	0.00
7 稲わら還元標準施肥	前年度稲わら還元	6.00	8.00	7.50	3.00	1.00	9.00	8.00	8.50
8 稲わら還元半量施肥	前年度稲わら還元	6.00	8.00	3.75	3.00	0.50	9.00	8.00	4.25
9 稲わら還元無施肥	前年度稲わら還元	6.00	8.00	0.00	3.00	0.00	9.00	8.00	0.00

試験規模 ほ場試験 1区面積 81.2 m<sup>2</sup> 反復なし

耕種概要 供試品種：普通期水稻「ヒノヒカリ」 稚苗機械移植

移植日：6/上旬 栽植密度：30cm×16.3～17.5cm (19.0～20.4株/m<sup>2</sup>)

基肥施用：5/下旬～6/月上旬 追肥施用：8/月上旬 収穫期：9/下旬  
 用水 全窒素 0.40ppm、無機態窒素 0.32ppm、リン酸 0.05ppm、カリ 1.04ppm、ケイ酸 18.4ppm

●「現地試験」

○宮崎市池内町（2017～2018年） 土壌の種類：細粒灰色低地土 土性 CL  
 試験区の内容（2017年）

区名	有機物等	基肥			追肥		合計		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1 標準施肥－追肥あり	堆肥施用、稲わら還元	4.80	7.20	5.60	0.00	2.00	4.80	7.20	7.60
2 標準施肥－追肥なし	堆肥施用、稲わら還元	4.80	7.20	5.60	0.00	0.00	4.80	7.20	5.60
2 半量施肥－半量追肥	堆肥施用、稲わら還元	4.80	7.20	2.80	0.00	1.00	4.80	7.20	3.80
4 半量施肥－追肥なし	堆肥施用、稲わら還元	4.80	7.20	2.80	0.00	0.00	4.80	7.20	2.80

試験区の内容（2018年）

(kg/10a)

区名	有機物等	基肥			追肥		合計		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1 標準施肥－追肥あり	堆肥施用、稲わら還元	4.00	8.00	7.50	0.00	1.00	4.00	8.00	8.50
2 標準施肥－追肥なし	堆肥施用、稲わら還元	4.00	8.00	7.50	0.00	0.00	4.00	8.00	7.50
2 半量施肥－半量追肥	堆肥施用、稲わら還元	4.00	8.00	3.75	0.00	0.50	4.00	8.00	4.25
4 半量施肥－追肥なし	堆肥施用、稲わら還元	4.00	8.00	3.75	0.00	0.00	4.00	8.00	3.75

耕種概要 供試品種：普通期水稻「ヒノヒカリ」 稚苗機械移植  
 移植日：6/下旬 栽植密度：30cm×20.8cm (16.0株/m<sup>2</sup>)  
 基肥施用：6/中旬 追肥施用：8/月上旬 収穫期：10/月上旬

○宮崎市高岡町（2019年） 土壌の種類：細粒灰色低地土 土性 CL  
 試験区の内容

(kg/10a)

区名	有機物等	基肥			追肥		合計		
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1 標準施肥－追肥あり	稲わら還元	4.00	8.00	7.50	2.00	2.00	6.00	8.00	9.50
2 標準施肥－追肥なし	稲わら還元	4.00	8.00	7.50	2.00	0.00	6.00	8.00	7.50
3 無施肥－追肥あり	稲わら還元	4.00	8.00	0.00	2.00	2.00	6.00	8.00	2.00
4 無施肥－追肥なし	稲わら還元	4.00	8.00	0.00	2.00	0.00	6.00	8.00	0.00

耕種概要 供試品種：普通期水稻「ヒノヒカリ」 稚苗機械移植  
 移植日：5/18 栽植密度：30cm×18.4cm (18.1株/m<sup>2</sup>)  
 基肥施用：5/10 追肥施用：7/25 収穫期：9/17

●「搾汁液カリリアルタイム診断」(場内 2016～2019年)

試験場所：場内水田 試験時期：追肥時期（8月上旬、幼穂長1cm）

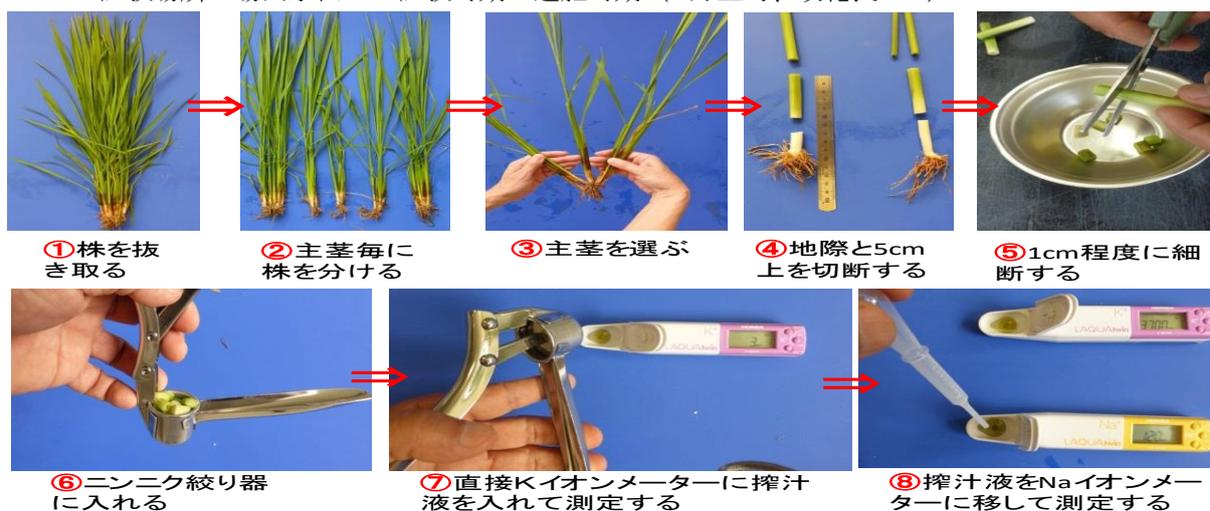


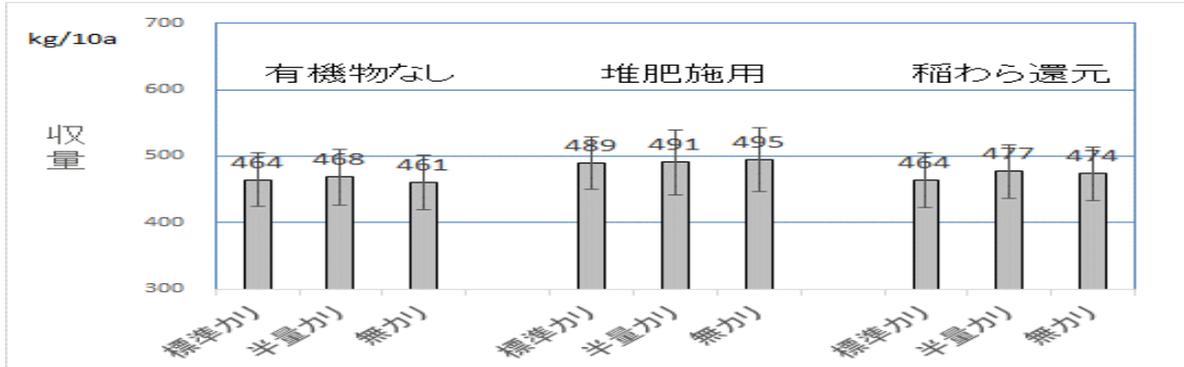
図1 搾汁液カリリアルタイム診断の手順

※簡易分析機器は、HORIBA製コンパクトイオンメーターLAQUAtwin（カリ、ナトリウム）

### 3) 研究結果

#### ●「場内試験」(2015~2019年)

- ・場内試験での水稻の収量は、堆肥施用区で高く、次いで稲わら還元区、有機物なし区の順

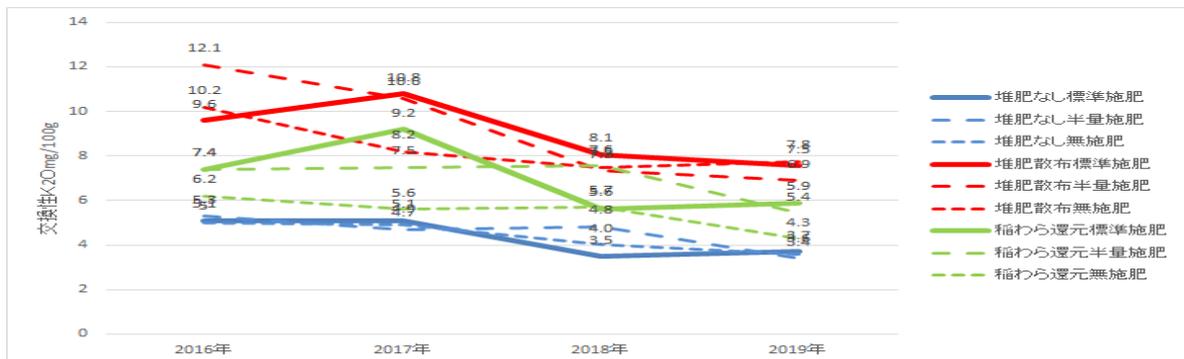


となったが、各処理の中でのカリ肥料の施肥量との関係性は判然としなかった(図2)。

図2 水稻の収量(場内試験、2016~2019年の平均値、エラーバーは標準誤差)

- ・試験前は堆肥施用及び稲わら還元がなされていたほ場であるため、試験開始後の栽培跡地土壌の交換性カリは、概ね減少傾向となったが、「堆肥施用」と「稲わら還元」、「有機物なし」と各処理に応じた差がみられた。しかし、施肥量との関係は判然としなかった(図3)。

図3 栽培跡地土壌の交換性カリウムの変化



- ・場内試験における4カ年のカリ収支に基づいたカリ適正施用指針については、カリ収支が0となるところを最も合理的な施肥と定義すると、「堆肥なし及び稲わら持ち出し」でカリ施肥量を標準施肥量(8.5kg/10a)の5割増し、「稲わら還元」では半量施用、「堆肥施用」では無施用で設定できると考えられた(図4)。

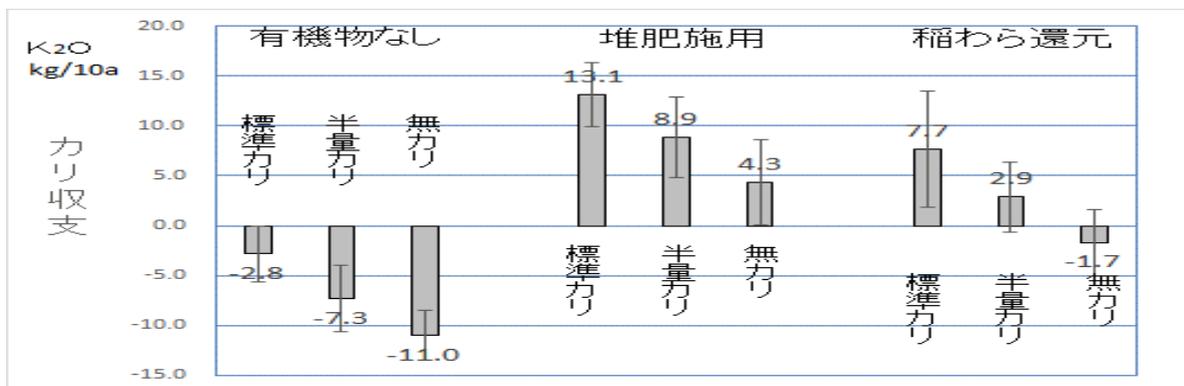


図4 カリ収支(場内試験、2016~2019年の平均値、エラーバーは標準偏差)

●「現地試験」

- 池内試験地における水稻の収量は、半量施肥+追肥なし区でやや低かったが、ほ場の地力にムラがあり、生育がばらついたためカリ施肥との関係ははっきりしなかった。また、高岡試験地では、トビイロウンカ等病害虫の影響が大きく、施肥量との関連は判然としなかった(表1、2)。

表1 収量 (池内試験地)

区名	2017年 kg/10a	2018年 kg/10a
1 標準施肥-追肥あり	502	620
2 標準施肥-追肥なし	510	612
3 半量施肥-半量追肥	505	620
4 半量施肥-追肥なし	448	589

表2 収量 (高岡試験地)

区名	2019年 kg/10a
1 標準施肥-追肥あり	440
2 標準施肥-追肥なし	440
3 無施肥-追肥あり	384
4 無施肥-追肥なし	407

- 池内試験地でのカリ収支は、堆肥施用が多く(牛糞堆肥2t/10a)、稲わらの還元もされており、非常に高いプラスとなった。そのため、施肥の処理間差は払拭され、一定の傾向はみられなかった。また、交換性カリは増加しているがやはり傾向はみられなかった(表3)。

表3 カリ収支及び栽培跡地土壌の交換性カリの変化 (池内試験地2018年)

	施肥等	灌漑水 及び雨	稲吸収	溶脱 流亡	収支	前年跡 地交換 性カリ 量	本年跡 地交換 性カリ 量	交換性カリ 増減
	K <sub>2</sub> Okg /10a	mg/100g	mg/100g	mg/100g				
1 標準施肥-追肥あり	87.8	0.5	21.8	2.9	63.6	19.1	23.9	4.8
2 標準施肥-追肥なし	86.5	0.5	21.9	2.9	62.3	16.2	25.9	9.7
3 半量施肥-半量追肥	82.2	0.5	19.4	1.4	61.8	14.3	23.3	9.0
4 半量施肥-追肥なし	79.8	0.5	16.7	1.4	62.1	18.1	26.1	8.0

●「搾汁液カリリアルタイム診断」(場内2016~2019年)

- ポータブルイオンメーターと公定法(原子吸光光度計)との関係は、カリ及びナトリウムとも追肥時期の搾汁液では高い相関がみられた。また、カリよりナトリウムの方がより相関が高かった。

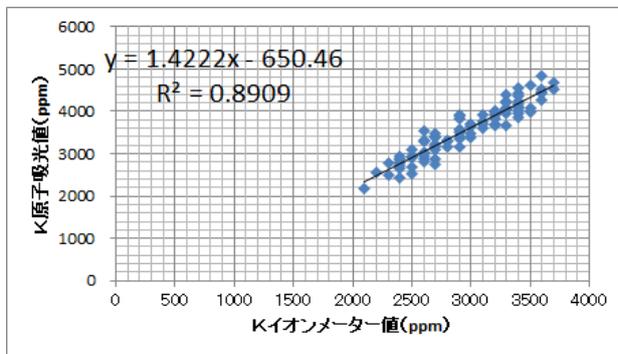


図5 ポータブルイオンメーターと原子吸光光度計との相関(カリ)

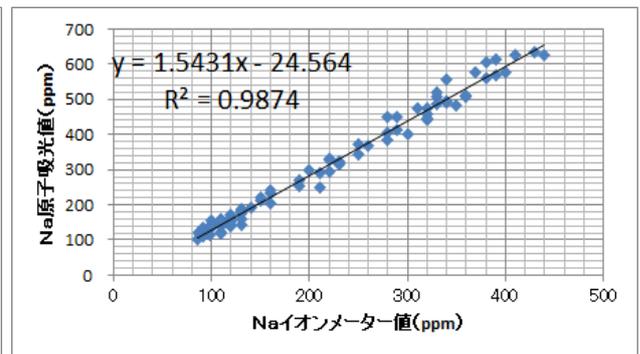


図6 ポータブルイオンメーターと原子吸光光度計との相関(ナトリウム)

- ・搾汁液のカリイオン濃度は、同じ年ではカリ収支との相関がみられたが、年次間差がみられた（図7）。

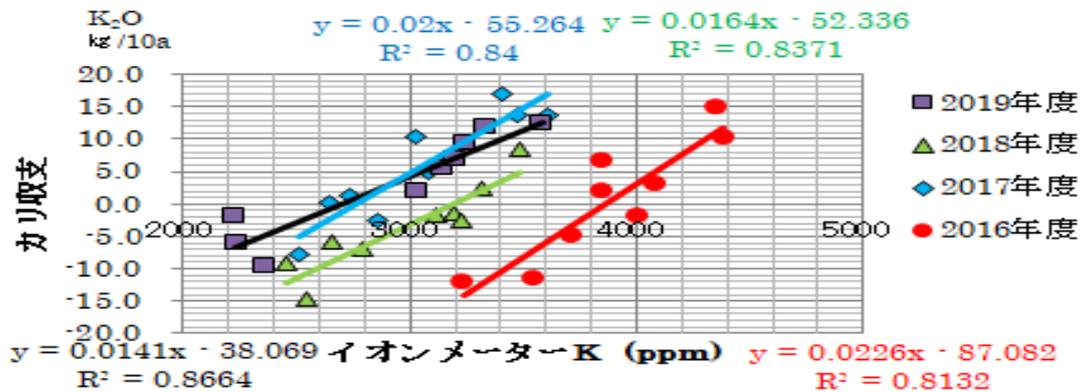


図7 イオンメーターでの搾汁液カリ濃度とカリ収支との関係（場内）

- ・搾汁液のナトリウムイオン濃度及びカリ／ナトリウム比は、カリ収支との相関が各年度でみられ、年次間差も小さかった（図8、9）。

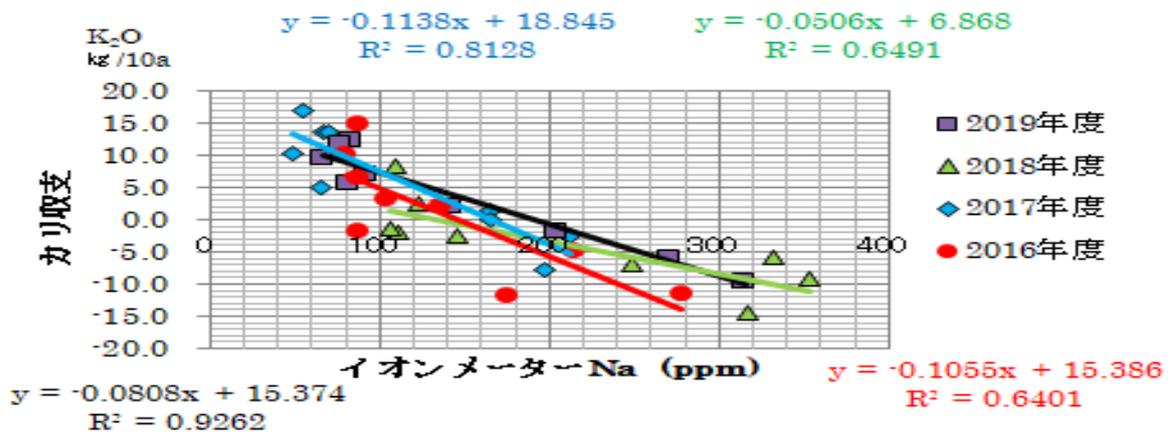


図8 イオンメーターでの搾汁液ナトリウム濃度とカリ収支との関係（場内）

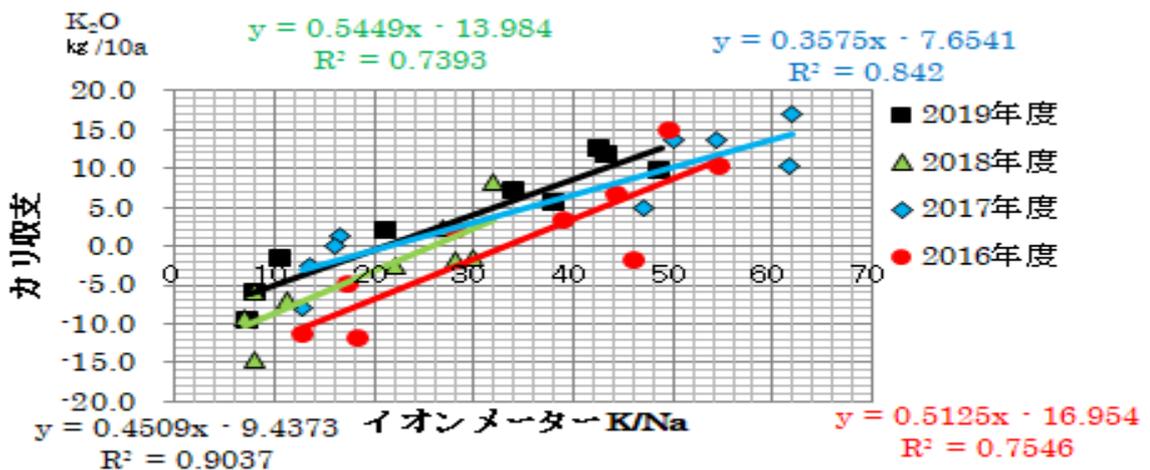


図9 イオンメーターでの搾汁液K/Naとカリ収支との関係（場内）

- ・搾汁液リアルタイム診断基準は、カリ収支で判断すると、概ねナトリウム150ppm以下もしくはカリ/ナトリウム比30以上でカリ追肥無施用とすることが適当と考えられた（図10、11）。

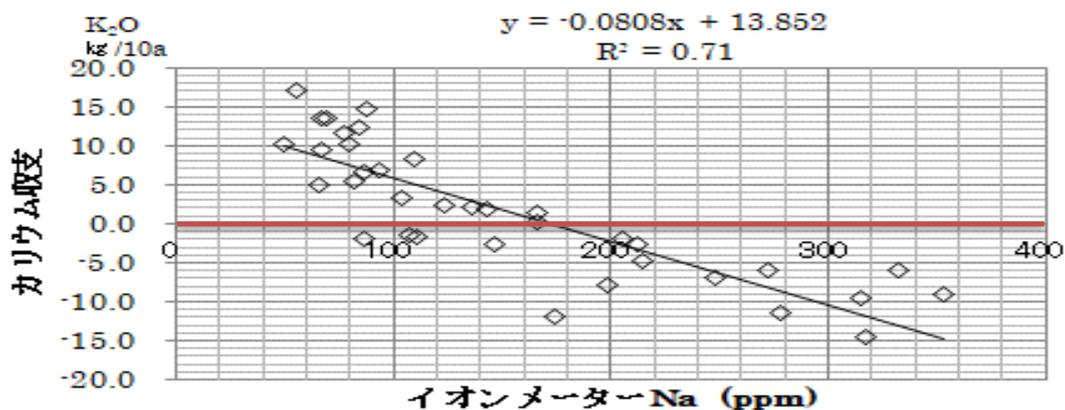


図10 イオンメーターでの搾汁液ナトリウム濃度とカリ収支との関係（場内、4カ年）

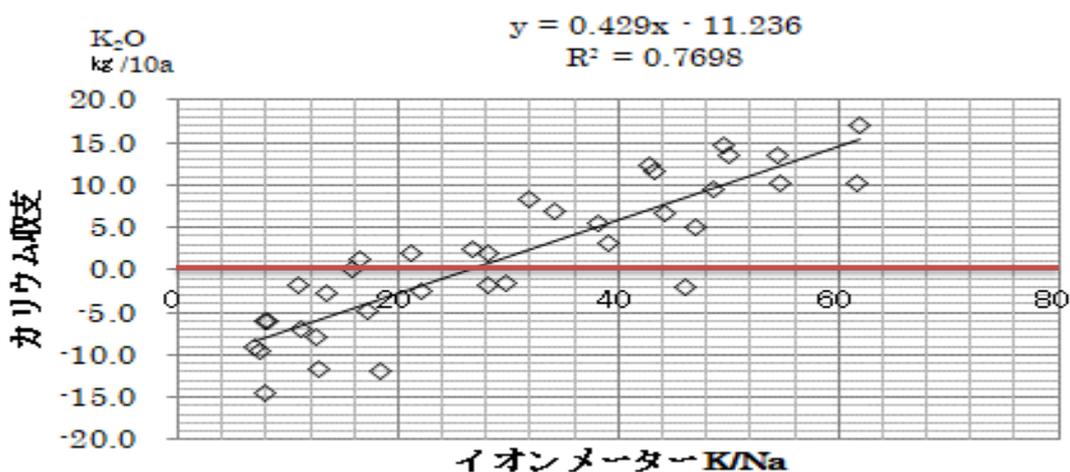


図11 イオンメーターでの搾汁液K/Naとカリ収支との関係（場内、4カ年）

#### 4) 成果活用における留意点

本研究の成果は、粘質な灰色低地土での普通期水稻「ヒノヒカリ」において適用できる。

#### 5) 今後の課題

5年間の連作ほ場試験（場内）において、有機物なし及びカリ無施肥処理においてもカリ欠乏を誘発し収量に影響が及ぶ状態に至らなかった。そのため、厳密な最低限のカリ必要量が把握できていないので、今後はその点を踏まえた検討が必要と思われる。

#### <引用文献>

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	405	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	4 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定		
実行課題名	(5) シラス母材の中粗粒質土壌を中心とした暖地低地土でのカリウムの適正施用指針の策定		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・久保寺秀夫		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	鹿児島県農業開発総合センター生産環境部土壌環境研究室 中川路光庸、餅田利之、加治屋五月、相本涼子、脇門英美 鹿児島県農業開発総合センター大隅支場環境研究室 上蘭一郎		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

鹿児島県の主要な水田土壌であるシラス母材の粗粒質灰色低地土水田および現地において、稲わら、堆肥、かんがい水および土壌からのカリ供給と作物吸収、土壌残存等を明らかにすることによって、水稻栽培におけるカリ減肥指針を策定する。

令和元年度は前年度に引き続き、化学肥料、稲わら、牛ふん堆肥をカリ供給源とした水稻栽培におけるカリ収支を明らかにする。

### 2) 研究方法

#### 【圃場試験】

水稻栽培におけるカリ収支の把握

- (ア) 調査ほ場 農業開発総合センター内圃場
- (イ) 供試土壌 粗粒質普通灰色低地土（シラスを母材とする水田土壌）
- (ウ) 供試品種 ヒノヒカリ
- (エ) 栽植様式 条間0.3m×株間0.17m(19.6株/m<sup>2</sup>)、1区63m<sup>2</sup>(7m×9m)の3反復
- (オ) 耕種概要 (令和元年作の例)

・前作収穫期 平成30年10月12日

(稲わら結束・裁断兼用コンバインを用い、稲わら搬出区は結束して持ち出し、稲わら還元区は裁断して全量試験区内に還元した。)

・堆肥施用 平成30年10月25日（おがくず牛ふん堆肥）、同日ロータリー耕

・施肥・耕耘・入水・代かき・移植 令和元年6月13日

・中干し 7月22日～30日（9日間） 穂肥 8月8日 収穫 9月26日

(カ) 試験区の構成

有機質資材は4年目で、同一試験区に同一処理を継続

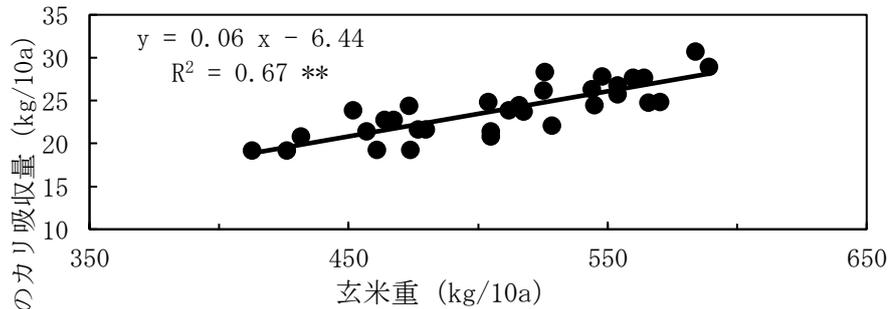
表 令和元年度 試験区的设计

試験区名	有機質資材	化学肥料 (kg/10a)						資材 由来 K <sub>2</sub> O	交換性カリ	
		N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		K <sub>2</sub> O			表層	次層
		基肥	穂肥	基肥	基肥	穂肥	(mg/100g)			
無施用	なし	4.0	3.0	6.0	0	0	0.0	4.6	9.4	
堆肥	牛ふん堆肥1t	4.0	3.0	6.0	0	0	26.8	13.1	19.6	
稲わら	稲わら全量還元	4.0	3.0	6.0	0	0	21.9	7.3	10.7	
堆肥わら	堆肥+稲わら併用	4.0	3.0	6.0	0	0	48.7	14.3	23.3	
無施用	なし	4.0	3.0	6.0	4.0	3.0	0.0	8.6	12.9	
堆肥	牛ふん堆肥1t	4.0	3.0	6.0	4.0	3.0	26.8	13.5	21.8	
稲わら	稲わら全量還元	4.0	3.0	6.0	4.0	3.0	20.9	11.2	13.8	
堆肥わら	堆肥+稲わら併用	4.0	3.0	6.0	4.0	3.0	47.7	15.8	25.3	

※交換性カリは前年度の栽培終了後における同一試験区跡地土壌の値

3) 研究結果

- ① 普通期水稻の玄米重はカリ吸収量が増えると増加し、両者には有意な相関関係があり、500kg/10aの玄米重を得るためのカリ吸収量は23.6kg/10a、600kg/10aで29.6kg/10aと推定される(図1)。カリの投入量と吸収量には相関関係がみられない(データ略)。



注1) n=32

2) 決定係数 (R<sup>2</sup>) の\*\*は1%水準で有意性あり

図1 玄米重とカリ吸収量

- ② 土壌の交換性カリ含量は栽培年数に伴い増加傾向であり、特に牛ふん堆肥および稲わらを施用すると、交換性カリ含量は増加し、堆肥の施用効果は高い(表1)。

表1 土壌中交換性カリの推移

項目	有機物	表層(0~15cm)				次層(15~30cm)			
		H28跡地	H29跡地	H30跡地	R1跡地	H28跡地	H29跡地	H30跡地	R1跡地
		(mg/100g乾土)							
1 無施肥	なし	4.9 ± 0.6	8.9 ± 1.7	4.6 ± 1.2	9.1 ± 3.4	8.5 ± 1.1	12.5 ± 3.1	9.4 ± 2.2	13.1 ± 3.7
2	牛ふん堆肥1t	7.5 ± 1.3	12.5 ± 2.4	13.1 ± 2.9	12.1 ± 6.6	10.8 ± 1.2	20.0 ± 4.5	19.6 ± 5.4	18.4 ± 9.1
3	稲わら全量還元	5.7 ± 0.7	8.4 ± 2.3	7.3 ± 2.4	10.9 ± 6.7	8.8 ± 1.4	12.3 ± 3.8	10.7 ± 3.7	16.2 ± 8.7
4	堆肥+稲わら併用	8.3 ± 1.1	14.1 ± 4.5	14.3 ± 1.4	14.7 ± 5.3	13.0 ± 1.6	22.2 ± 7.5	23.3 ± 3.1	20.4 ± 6.0
5 標準	なし	5.1 ± 0.3	8.1 ± 1.1	8.6 ± 4.2	11.1 ± 4.6	8.3 ± 0.2	14.5 ± 3.1	12.9 ± 4.0	15.9 ± 6.0
6	牛ふん堆肥1t	7.3 ± 1.8	13.1 ± 4.0	13.5 ± 2.6	15.9 ± 8.5	10.6 ± 1.9	20.8 ± 5.6	21.8 ± 3.0	21.9 ± 10.4
7	稲わら全量還元	5.8 ± 0.9	8.7 ± 1.7	11.2 ± 5.1	15.8 ± 10.7	8.0 ± 1.9	13.6 ± 3.9	13.8 ± 3.8	22.7 ± 11.9
8	堆肥+稲わら併用	8.8 ± 0.6	14.2 ± 2.5	15.8 ± 1.6	16.8 ± 3.0	12.3 ± 0.7	21.7 ± 2.1	25.3 ± 3.1	25.7 ± 5.6
統計処理	カリ肥料	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	稲わら還元	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.
	堆肥施用	*	*	**	n.s.	*	*	**	n.s.

※ 分散分析の結果、各要因毎に「\*」は5%、「\*\*」は1%水準で有意差が認められ、「n.s.」は有意差なし。

- ③ カリ投入量からカリ吸収量を差し引いたカリ収支の4年間の累計は、カリ無施用下では牛ふん堆肥及び牛ふん堆肥＋稲わらの施用がプラス、無施用及び稲わらの施用がマイナスになる。カリ施用下では牛ふん堆肥、稲わら及び牛ふん堆肥＋稲わらの施用がプラスになる（表2）。

表2 有機物連用によるカリ収支（カリ投入量－カリ吸収量）

カリ肥料	有機物	カリ収支 (kg/10a)				累計
		H28	H29	H30	R1	
無施肥	なし	-27.6	-20.8	-22.0	-19.0	-89.4
	牛ふん堆肥	-1.5	3.0	-0.8	6.9	7.6
	稲わら	-17.9	2.2	-5.9	1.8	-19.8
	牛ふん堆肥＋稲わら	6.0	26.0	19.6	26.2	77.8
施肥	なし	-17.7	-12.1	-17.8	-12.2	-59.8
	牛ふん堆肥	8.1	11.1	7.7	12.9	39.8
	稲わら	-7.5	11.4	0.3	6.9	11.1
	牛ふん堆肥＋稲わら	17.0	35.8	26.0	30.9	109.7

#### 4) 成果活用における留意点

- ① 鹿児島県の主要な水田土壌であるシラスを母材とする粗粒質普通灰色低地土の場内圃場において、平成28～30年度に普通期水稻ヒノヒカリを、カリ供給源として稲わら、牛ふん堆肥、カリ質肥料（塩化カリ）を用いた試験である。試験開始時の土壌のCECは5.9meq/100g乾土、可給態窒素含量6.1mg/100g乾土、かんがい水から試算されるカリ投入量は約1kg（かんがい水の平均カリ濃度0.82mg/L）である。
- ② 施肥量（基肥＋追肥、kg/10a）はN : P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : K<sub>2</sub>O = (4 + 3) : (6 + 0) : (4 + 3) である。
- ③ 試験区は①無施用区が有機物無施用、②堆肥区が牛ふん堆肥1t/10、③稲わら区が稲わらを裁断して施用、④堆肥わら区が牛ふん堆肥1t/10aと稲わら施用の4区、それぞれの区でカリ肥料施用の有無の合計8区である。
- ④ 施用した牛ふん堆肥は、水分45.0%、pH 8.4、C/N比17.9、現物当たり窒素1.17%、リン酸2.1%、カリ2.7%である。

#### 5) 今後の課題

カリ減肥指針に基づく現地実証を検討する必要がある。

中課題番号	15653436	中課題 研究期間	平成27～令和元年度
実行課題番号	406	実行課題 研究期間	平成27～令和元年度
中課題名	生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発		
小課題名	4 水田におけるカリウムの適正施用指針の策定		
実行課題名	(6) 各種水田土壌における可給態カリウムの保持能と保持形態の評価		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・久保寺秀夫		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	農研機構中央農研・土壌診断グループ・久保寺秀夫		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

小課題4では各県農試により、用水等を含めた水田のカリ収支の詳細な調査が行われ、減肥指針が提示される。本実行課題では、減肥指針の現場への適用性や継続性を明確にするために、各種水田土壌におけるカリの保持能、および非交換態も含めた形態別のカリ保持量を解明・整理する。

### 2) 研究方法

カリの保持能については、主にカラム透水試験により調査した。ペリスタポンプを備えたカラムに風乾細土10gを充填し、0.1 mol/Lの硝酸カリウム溶液1 mLを投入した後に純水を透水し、カラム下端から流出水を採取してカリの溶脱速度を測定した。試験には各地の県農業試験場から収集した有機物連用試験圃場、ならびに本プロジェクトの参画各県の減肥試験圃場の土壌を供試した。

形態別の保持量評価には、カリを交換態、非交換態Ⅰ、非交換態Ⅱに分けて測定する森塚(2009)の連続抽出法を用いた。風乾細土2.5 gを遠心管に秤取し、0.1 mol/L酢安での反復抽出(交換態) → 0.01 mol/L塩酸での反復抽出(非交換態Ⅰ) → 1 mol/L塩酸での50°C加温抽出(非交換態Ⅱ)の順で測定を行った。試料は上記の有機物連用試験圃場と減肥試験圃場の土壌、および参画各県でそれぞれ複数の地域から収集した耕地土壌、未耕地土壌、川砂である。

### 3) 研究結果

著者らの過去の調査では、土壌のカリ保持能はCECや塩基飽和度よりもEK(交換態塩基中のカリウム割合)が強く影響した(久保寺・和田 2012)。本課題でも、各地の有機物連用試験圃場の土壌のカリ保持能(土壌カラムに硝酸カリウム溶液を投入後、減水深200 mmに相当する透水を行った時点でのカリの積算溶脱量。少ないほど保持能大とする)はEKと密接

に關係しており、EKが高いと溶脱速度が大（保持能が小）となった（図1）。本プロジェクトの減肥試験土壤においてもEKと保持能に同様の關係が見られたが（図2）、それ以上に土壤間の差が大きく、シラス母材の鹿児島県の土壤では溶脱が顕著に速かった。ただし減水深200 mm相当の透水でのカリ積算溶脱量は、シラスを除いてはカラムに投入したカリ（4710  $\mu\text{g}$ ）のごく一部（ほとんどが1割未満）であった。またカリの溶脱曲線は減水深200 mm相当透水の時点でフラットに近くなっており、これ以上の透水を行っても積算溶脱量の増大はわずかと考えられた。これは、低地土の水田土壤に用水などで供給されたカリの溶脱による損失は少ないことを示唆しており、各県で圃場枠試験等により調査された結果と整合している。

形態別のカリ保持量を調査すると、各地の有機物連用試験土壤・プロジェクトの減肥試験土壤とも、堆肥などが施用されていない場合は交換態よりも非交換態が多かった（図3）。交換態カリ量は、カリ施肥の有無では変化しなかったが堆肥やわらの施用で増大した。非交換態カリ量は施肥や有機物施用の影響を受けなかった。

減肥試験土壤のうち、新潟県現地圃場と三重県圃場は他に比べて非交換態カリ（とくに非交換態II）の量が顕著に多かった。非交換態カリの7割以上は砂画分から供給されていた（図4）。砂画分は土壤の母材が物理的に風化したものであるため、非交換態カリ量（土壤の潜在的なカリ供給能の指標）は土壤の母岩（地質）やその組成（一次鉱物）と關係する可能性が考えられた。そこで各試料の一次鉱物組成や現地の地質を調査すると、非交換態カリの多い新潟現地および三重土壤は砂画分に雲母を含み、また花崗岩地質の地域に位置していた（図5）。課題参画の各県で他地点の調査を行った結果も、花崗岩地帯で非交換態カリが多い傾向を示し、地質データから土壤の潜在的なカリ供給能を推定できる可能性が示唆された（図表略）。

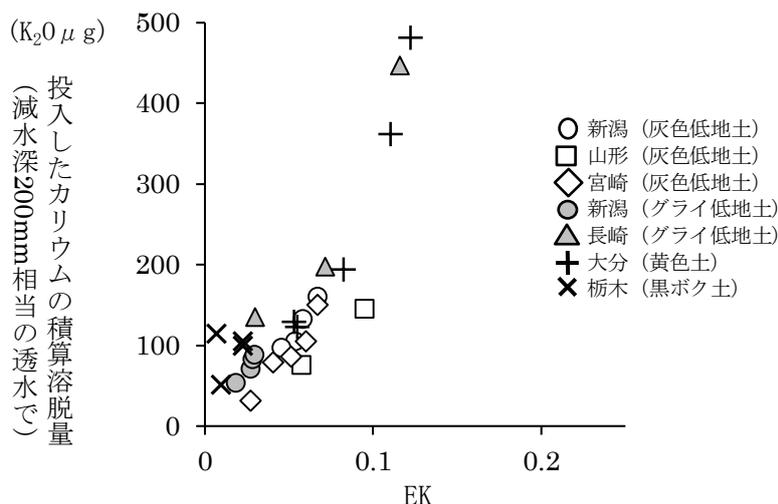


図1 カラム透水試験で測定した有機物連用試験土壤のカリ溶脱速度とEK（交換態塩基中のカリウム割合）の關係（カラムには $\text{K}_2\text{O}$  4710  $\mu\text{g}$ を投入）

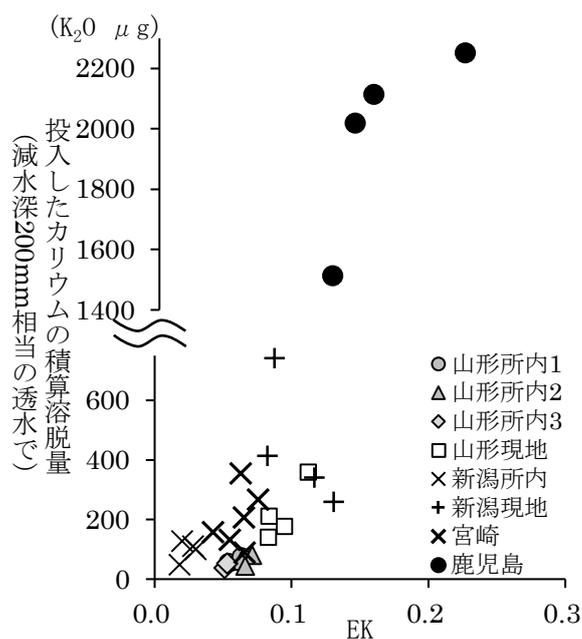


図2 カラム透水試験で測定した本プロジェクト減肥試験土壌のカリ溶脱速度とEK（交換態塩基中のカリウム割合）の関係（カラムには $K_2O$  4710  $\mu g$ を投入）

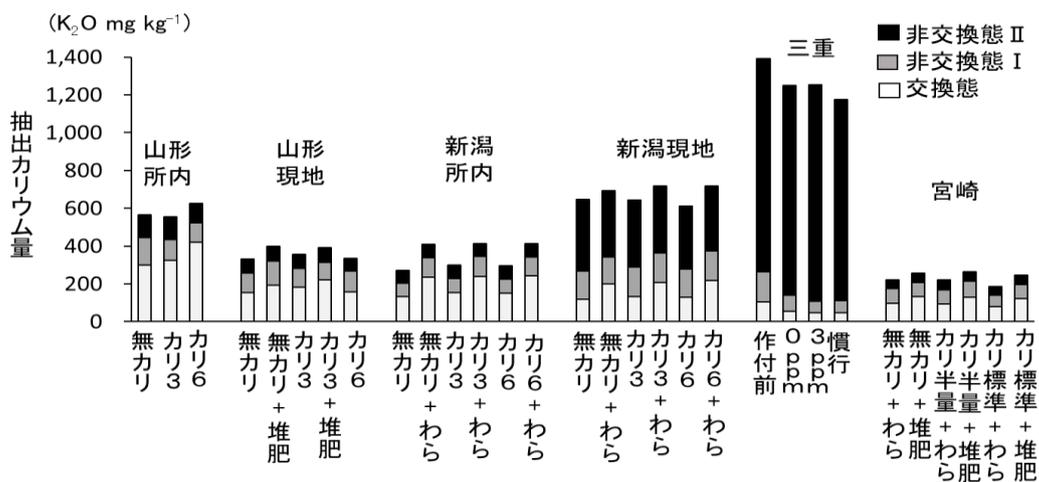


図3 各県の減肥試験圃場における土壌の形態別カリ保持量（2作後の値）

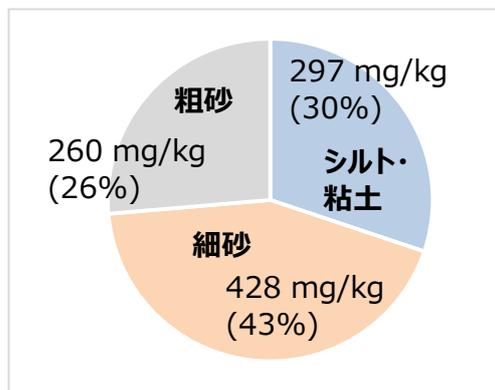


図4 粒径画分ごとの非交換態カリ（IとIIの合計）量、試料は三重県減肥試験圃場

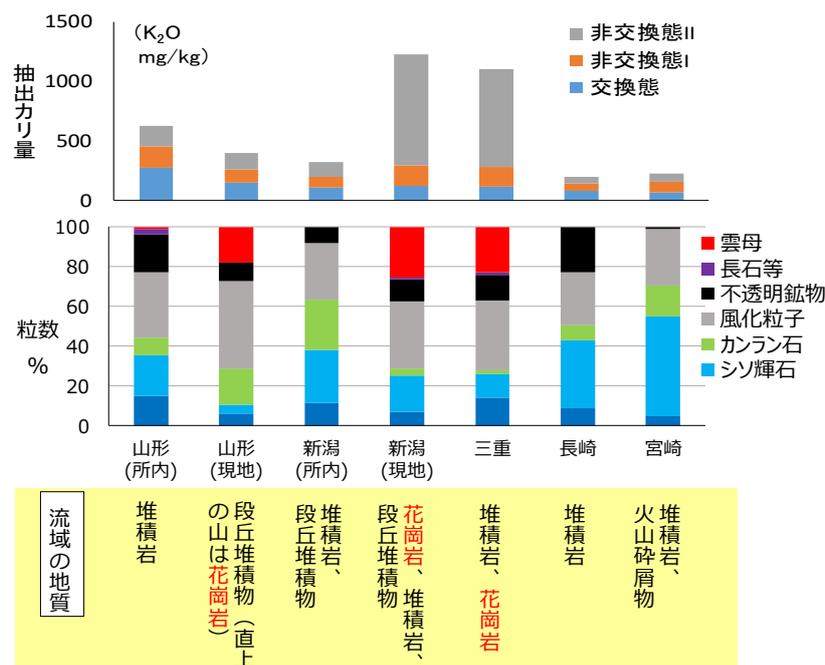


図5 課題参画各県の試験圃場等の形態別カリ量、重鉍物画分の一次鉍物組成および流域の表層地質 ※ 地質は産総研 シームレス地質図による

#### 4) 成果活用における留意点

土壌のカリ保持能については、黒ボク土ではCECが大きいにも関わらずカリ保持能が小さく溶脱が速いことが既往の調査で分かっている。本小課題全体が低地土の水田を主対象としたものであり、黒ボク土水田でのカリの溶脱やそれに伴う収支については別途検討する必要がある。また非交換態カリについては、当作の水稲カリ源として期待するのは危険であり、長期的・潜在的なカリ資源として考えるべきである。

#### 5) 今後の課題

土壌の非交換態カリ量の広域的な調査や、関係する地質因子の解明は、本プロジェクトの水稲カリ施用指針に直接反映されなかったが、付随的な成果として重要なものと考えられる。今後は非交換態カリをより積極的に利用する作物の探索や、カリ以外の必須元素について土壌供給能評価や地質との関係調査など、本成果に基づく研究の方向を検討する必要がある。

#### <引用文献>

森塚直樹 2009. 日本の農耕地土壌のカリウムの形態 —地域・圃場・根域スケールでの評価—. 土肥誌、80、80-88.

久保寺秀夫・和田信一郎 2012. 土壌タイプと有機物施用履歴の異なる畑土壌におけるカリウムイオンの溶脱性. 土肥学会講要集、58、10.

### Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

課題番号 15653436

中課題名 生産コストの削減に向けた効率的かつ効果的な施肥技術の開発

#### 成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		PCT	報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
15653436	3	1	46	3	6	0	0	0	0	0	3	20	1	88

#### (1) 学術論文

区分:①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	タイトル	著者	機関名	掲載誌	掲載論文のDOI	発行年	発行月	巻(号)	掲載ページ
1	①	日本の水田土壌の湛水培養無機化窒素の特徴とその簡易迅速評価法の開発 第3報 オープンによる乾熱処理と不振とう水抽出およびCOD簡易測定による水田土壌の風乾土培養可給態窒素の簡易迅速評価	野原茂樹、高橋茂、東英男、加藤直人	農研機構中央農研	日本土壌肥科学雑誌		2016	4	87(2)	125-128
2	①	日本の水田土壌の湛水培養無機化窒素量の特徴とその簡易迅速評価法の開発 第4報 分光光度計とCOD測定用試薬セットを組み合わせた手法による水田土壌可給態窒素の簡易迅速評価	和田 巽、東英男、野原茂樹、棚橋寿彦、高橋茂、加藤直人	岐阜農技セ	日本土壌肥科学雑誌		2017	4	88(2)	124-128
3	②	安全・高品質米の安定生産に向けた窒素肥沃度管理とカドミウムリスク低減技術の開発(日本土壌肥科学会技術奨励賞受賞)	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	日本土壌肥科学雑誌		2018	10	89(5)	373-374
4	②	Rapid method for estimating available nitrogen in air-dried paddy soils in Japan based on the water-soluble total organic carbon (TOC) after oven-dried soils	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	13th International Conference of The East and Southeast Asia Federation Of Soil Sciences (13th ESAFS) E-proceedings		2017	12		232-238

#### (2) 学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発 第3報 寒冷地水田における土壌可給態窒素の簡易測定」	菅原令大	山形県農業総合研究センター	日本土壌肥科学会	2016	9
2	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発 ～第4報 COD水質測定試薬セットと分光光度計を組み合わせた簡易・迅速評価～」	和田 巽	岐阜県農業技術センター	日本土壌肥科学会	2016	9

3	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発～第5報 富山県産コシヒカリの安定生産のために必要な土壌と施肥由来窒素供給量の把握～」	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	日本土壌肥料学会	2016	9
4	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発～第6報 飼料用米と食用米の違いが土壌由来窒素吸収量に及ぼす影響～」	成沢大志	JA全農 肥料研究室	日本土壌肥料学会	2016	9
5	「野菜畑における土壌の可給態窒素に基づく適正施肥技術の開発に向けて (2)可給態窒素レベルの違いが土壌の窒素発現および野菜の窒素吸収に及ぼす影響」	上 蘭 一 郎	鹿児島県農業開発総合センター	日本土壌肥料学会	2016	9
6	「可給態窒素による秋冬キャベツ栽培期間中土壌窒素発現量の推定」	日置雅之	愛知県農業総合試験場	日本土壌肥料学会中部支部例会	2017	3
7	「東海地域の低地土水田における加里減肥基準の策定に向けた加里収支把握および現地灌漑水実態調査」	森 芳 広	三重県農業研究所	日本土壌肥料学会中部支部例会	2017	3
8	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発～第7報 岐阜県平坦部水田における簡易・迅速評価法」	和田 巽	岐阜県農業技術センター	日本土壌肥料学会	2017	9
9	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発 第9報 アスコルビン酸添加水抽出法による可給態窒素の迅速評価とその応用」	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	日本土壌肥料学会	2017	9
10	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発 第8報 ～堆肥散布水田における適応性の検討～」	柿内俊輔	熊本県農業研究センター	日本土壌肥料学会	2017	9
11	「土壌可給態窒素の簡易測定に基づく適正施肥技術の開発に向けてー夏秋トマト施設栽培における窒素減肥の可能性ー」	桐山直盛	岩手県農業研究センター	日本土壌肥料学会	2017	9
12	「80℃16時間水抽出法による高冷地露地ハクサイの適正施肥(第1報)可給態窒素量に応じた窒素施肥量の検討」	中村憲太郎	長野県野菜花き試験場	日本土壌肥料学会	2017	9
13	「秋冬キャベツ作における土壌および堆肥由来窒素供給量の推定」	日置雅之	愛知県農業総合試験場	日本土壌肥料学会	2017	9
14	「野菜畑における土壌の可給態窒素に基づく適正施肥技術の開発に向けて (3)窒素発現シミュレーションによる窒素施肥設計」	上 蘭 一 郎	鹿児島県農業開発総合センター	日本土壌肥料学会	2017	9
15	「普通期水稻栽培地域におけるかんがい水養分濃度の実態とカリ減肥の可能性」	上 蘭 一 郎	鹿児島県農業開発総合センター	日本土壌肥料学会九州支部会	2017	9
16	「岐阜県平坦部の水田土壌における湿潤土湛水培養による窒素無機化量の推定」	和田 巽	岐阜県農業技術センター	日本土壌肥料学会中部支部例会	2017	10
17	「Rapid method for estimating available nitrogen in air-dried paddy soils in Japan based on the water-soluble total organic carbon (TOC) after oven-dried soils」	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	13th International Conference of the East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies (ESAFS 2017)	2017	12
18	「水田土壌における可給態窒素の迅速診断法」	長沢和弘	山形県農業総合研究センター	土壌肥料学会東北支部会	2018	7
19	「地力窒素を踏まえた施肥法開発に向けてー第3報ー 美濃平坦部水田における共通的な窒素無機化モデルの検討」	和田 巽	岐阜県農業技術センター	日本土壌肥料学会	2018	8
20	「安全・高品質米の安定生産に向けた窒素肥沃度管理とカドミウムリスク低減技術の開発 (日本土壌肥料学会技術奨励賞記念)」	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	日本土壌肥料学会	2018	8
21	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法による適正施肥技術の開発堆肥連用水田土壌における適応性の検討」	柿内俊輔	熊本県農業研究センター生産環境研究所	日本土壌肥料学会	2018	8
22	「可給態窒素によるスイートコーン栽培期間中土壌窒素発現量の推定」	日置雅之	愛知県農業総合試験場	日本土壌肥料学会	2018	8

23	「野菜畑における土壌の可給態窒素に基づく適正施肥技術の開発に向けて(4)鹿児島県における露地野菜農業法人の経営や肥料費などの実態」	脇門英美	鹿児島県農業開発総合センター	日本土壌肥料学会	2018	8
24	「野菜畑における土壌の可給態窒素に基づく適正施肥技術の開発に向けて (5)窒素発現シミュレーションによる適正施肥技術」	上菌一郎	鹿児島県農業開発総合センター	日本土壌肥料学会	2018	8
25	「新潟県における農業用水のケイ酸およびカリウム濃度の分布」	水野貴文	新潟県農業総合研究所	日本土壌肥料学会	2018	8
26	「粒径画分別に見た水田土壌の交換態および非交換態カリの含量」	久保寺秀夫	農研機構中央農業研究センター	日本土壌肥料学会	2018	8
27	「SIMPLE AND QUICK TESTING METHODS FOR AVAILABLE NITROGEN IN SOIL」	金澤健二	農研機構中央農研	International Workshop on Soil and Plant Tissue Analysis: Testing Methods, QA/QC, Data Interpretation and Application	2018	9
28	「野菜畑における土壌の可給態窒素に基づく適正施肥技術の開発に向けて (6)窒素発現シミュレーションによる適正施肥技術」	上菌一郎	鹿児島県農業開発総合センター	日本土壌肥料学会 九州支部会	2018	9
29	「黒ボク土水田土壌における土壌中可給態窒素量と施肥窒素量が水稻の収量・品質に及ぼす影響」	門田 健太郎	熊本県農業研究センター	日本土壌肥料学会 九州支部会	2018	9
30	「可給態窒素に基づいたスイートコーン施肥窒素指針」	日置雅之	愛知県農業総合試験場	日本土壌肥料学会中部支部例会	2018	11
31	「茨城県県西地区における地力窒素の実態とレタスでの診断施肥技術」	假屋哲朗	茨城県農業総合センター	日本土壌肥料学会 関東支部大会	2018	12
32	「用水から水田に供給されるカリ量の精密評価」	水谷嘉之	三重県農業研究所	平成31年度関東東海土壌肥料技術連絡協議会春季研究会	2019	4
33	「土壌の持つ潜在的なカリ供給能の評価」	久保寺秀夫	農研機構中央農研	平成31年度関東東海土壌肥料技術連絡協議会春季研究会	2019	4
34	Fertilizer and Food Security - Experience of Japan - (肥料と食糧安全保障 - 日本における経験 -)	金澤健二	農研機構中央農研	2019 Global Phosphate and Compound Fertilizer Industry Development Conference (2019世界リン酸及び化成肥料工業発展会議)	2019	8
35	「水田における水のカリ収支」	相澤直樹	山形県農業総合研究センター	第62回東北農業試験研究発表会	2019	8
36	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発 第10報 COD簡易測定キットの仕様変更が簡易判定に及」	山口 典子	農研機構中央農研	日本土壌肥料学会	2019	9
37	「低地土のカリ供給能と流域の地質鉱物の関係 (1)新潟県長岡地域と新発田地域の事例」	久保寺秀夫	農研機構中央農研	日本土壌肥料学会	2019	9
38	「新潟県のグライ低地土水田におけるカリウム収支」	水野貴文	新潟県農業総合研究所	日本土壌肥料学会	2019	9
39	「露地レタスにおける地力窒素に基づいた適正施肥技術の現地検証」	假屋哲朗	茨城県農業総合センター園芸研究所	日本土壌肥料学会	2019	9
40	「80℃16時間水抽出法による高冷地露地ハクサイの適正施肥(第2報)可給態窒素量に応じた窒素施肥量の検討」	矢口直輝	長野県野菜花き試験場	日本土壌肥料学会	2019	9
41	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発 ~第11報 COD測定用試薬セットの仕様変更に伴う水田および畑土壌可給態窒素の簡易迅速評価への影響~」	和田 巽	岐阜県農業技術センター	日本土壌肥料学会	2019	9

42	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発」～第12報 アスコルビン酸添加水抽出法で可給態窒素を予測するために最適な温度と添加量の検討」	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	日本土壌肥料学会	2019	9
43	「水田土壌可給態窒素の簡易・迅速測定による適正施肥技術の開発」～第13報 アスコルビン酸を添加した迅速法で抽出した窒素量と鉄量との関係～	東 英男	富山県農林水産総合技術センター	日本土壌肥料学会 中部支部会	2019	11
44	「愛知県内露地畑における土壌窒素肥沃度の実態」	日置雅之	愛知県農業総合試験場	日本土壌肥料学会中部支部例会	2019	11
45	「土壌窒素を活用した夏秋トマトの窒素減肥技術の実証」	高橋良学	岩手県農業研究センター	日本土壌肥料学会 東北支部大会	2019	9
46	「黒ボク土水田土壌における可給態窒素量に基づく水稻の適正窒素施肥量の解明」	門田 健太郎	熊本県農業研究センター	日本土壌肥料学会 九州支部会	2019	11
47	「普通期水稻栽培における カリ収支の把握 異なるカリ供給源によるカリ収支と土壌中交換性カリの変化」	中川路光庸	鹿児島県農業開発総合センター	日本土壌肥料学会 九州支部会	2019	11
48	「灰色低地土での普通期水稻「ヒノヒカリ」におけるカリウムの適正な穂肥診断基準」	永井浩幸	宮崎県総合農業試験場	日本土壌肥料学会 九州支部会	2019	11
49	「ポリタングステン酸ナトリウムによる雲母の重液分離法の検討」	久保寺秀夫	農研機構中央農研	日本ペドロロジー学会	2019	9

## (3) 出版図書

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

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1	⑤	水田土壌の窒素肥沃度を簡単に測る	金澤健二	農研機構・中央農業研究センター	農林統計協会	2017	10
2	⑤	土壌窒素肥沃度の簡易測定でキャベツの適正施肥が可能に!	日置雅之	愛知県農業総合試験場	愛知県農業総合試験場	2019	2
3	②	試験場研究紹介「畑の可給態窒素量に対応した適正窒素施肥量」	矢口直輝	長野県野菜花き試験場	JA全農長野	2019	4
4	⑤	施設トマトにおける可給態窒素量に応じた窒素減肥技術	高橋良学	岩手県農業研究センター	JA全農耕種総合対策部	2019	9
5	⑤	キャベツ、スイートコーン栽培期間中の土壌窒素無機化量の簡易推定	日置雅之	愛知県農業総合試験場	愛知県農業総合試験場	2019	12
6	②	「灰色低地土での普通期水稻「ヒノヒカリ」におけるカリウムの適正な穂肥診断基準」	永井浩幸	宮崎県総合農業試験場	日本土壤肥料学会	2020	9

## (4) 国内特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者(出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日
		該当無し						

## (5) 国際特許権等

区分:①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

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

## (6) 報道等

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

整理番号	区分	記事等の名称	機関名	掲載紙・放送社名等	掲載年月日	備考
1	②	[堆肥]使いやすく [施肥]より効率的に土づくりのコスト低減へ	農研機構・中央農業研究センター 他	農業共済新聞	2017/12/2	中間成果発表会紹介記事
2	④	水田土壌における施肥・土づくりのポイント 水田土壌における窒素、リン酸、カリの土壌診断について	農研機構・中央農業研究センター	日本農業新聞 「施肥・土づくり特集」	2018/2/23	
3	②	水田土壌における施肥・土づくりのポイント 水田土壌における窒素、リン酸、カリの土壌診断について	農研機構・中央農業研究センター	日本農業新聞	2018/2/23	

## (7) 普及に移しうる成果

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

整理番号	区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月		主な利用場面	普及状況
1	③	雨よけトマト栽培におけるカリ減肥基準の検証	岩手県農業研究センター	2018	2	指導者(普及員、営農指導員等)が効率的な施肥管理技術を普及させるために利用	
2	①	水田及び畑土壌の可給態窒素が簡易迅速に評価できる	岐阜県農業技術センター	2018	3	研究機関、普及指導機関、土壌分析実施機関等において実施	「試験研究成果普及カード」として岐阜県ホームページにて公開
3	①	水田土壌における可給態窒素の迅速診断法	山形県農業総合研究センター	2018	3	指導者(普及員等)が効率的な施肥管理技術を普及させるために利用	技術者向けの指導資料
4	②	「ハツシモ岐阜SL」栽培地域の水田土壌における地力窒素の実態	岐阜県農業技術センター	2019	3	生産者、指導者(普及指導員、営農指導員)が営農の参考として利用	「試験研究成果普及カード」として岐阜県ホームページにて公開
5	①	灰色低地土での普通期水稻「ヒノヒカリ」におけるカリウムの適正な穂肥診断基準	宮崎県総合農業試験場	2019	6	水稻関係指導者(普及指導員、営農指導員等)が水稻の施肥関係の指導で用いる	2020年度作の普通期水稻から普及予定
6	②	露地野菜畑における土壌の可給態窒素レベルに応じた窒素施肥診断について	鹿児島県農業開発総合センター	2019	3	露地野菜技術者向け	技術者向けの指導資料
7	②	露地野菜を主体とする農業法人の土壌化学性の実態と可給態窒素診断の必要性	鹿児島県農業開発総合センター	2019	3	露地野菜技術者向け	技術者向けの指導資料
8	①	土壌の可給態窒素診断結果に基づく青果用キャベツの窒素施肥量	鹿児島県農業開発総合センター	2019	3	露地野菜技術者向け	技術者向けの指導資料
9	③	土壌の可給態窒素に基づく雨よけトマトの窒素減肥技術	岩手県農業研究センター	2020	2	指導者(普及員、営農指導員等)が効率的な施肥管理技術を普及させるために利用	
10	③	マイクロ波抽出と簡易測定キットによる土壌蓄積養分の簡易評価手法	岩手県農業研究センター	2020	2	指導者(普及員、営農指導員等)が効率的な施肥管理技術を普及させるために利用	
11	②	土壌の可給態窒素を考慮したはくさいの窒素適正施肥技術	長野県野菜花き試験場	2020	3	研究機関、普及指導機関等において実施	技術者向けの指導資料
12	①	秋冬露地野菜に対する土壌の可給態窒素レベルに応じた窒素施肥量の簡易算出法	鹿児島県農業開発総合センター	2020	3	露地野菜技術者向け	技術者向けの指導資料

13	②	普通期水稲栽培における異なる有機物施用下のカリ収支	鹿児島県農業開発総合センター	2020	3	水稲技術者向け	技術者向けの指導資料
14	③	灰色低地土での普通期水稲「ヒノヒカリ」におけるカリウムの適正な穂肥診断基準	宮崎県総合農業試験場	2020	3	水稲関係指導者(普及指導員、営農指導員等)が水稲の施肥関係の指導で用いる	研究成果情報として使用予定
15	②	水田土壌のカリ収支を踏まえた水稲のカリ適正施用指針	農研機構・中央農業研究センター	2020	3	水稲関係指導者向け	普及成果情報として公開予定
16	②	水田におけるカリ収支を踏まえたカリ減肥指標	山形県農業総合研究センター	2020	3	普及指導機関向け	技術者向けの指導資料として公開予定
17	②	冬どりハクサイにおける土壌診断に基づく窒素適正施肥法	茨城県農業総合センター	2020	3	生産者、指導者(普及指導員、営農指導員)が営農の参考として利用	主要成果情報として茨城県ホームページで公開予定
18	③	栽培期間中の窒素無機化量の推定による適正施肥指針の作成	茨城県農業総合センター	2020	3	研究機関、普及指導機関が施肥指針を作成する際に利用	主要成果情報として県内関係者向けに公開予定
19	③	アスコルビン酸溶液抽出法による水田土壌窒素肥沃度の迅速評価	富山県農林水産総合技術センター・農業研究所	2020	3	普及指導員が水稲の施肥の指導に用いる	成果情報(普及上参考となる技術)として公開予定
20	③	土壌肥沃度に対応した水稲「富富富」の施肥窒素量の策定	富山県農林水産総合技術センター・農業研究所	2020	3	普及指導員が水稲の施肥の指導に用いる	成果情報(普及上参考となる技術)として公開予定

## (8) 発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)の状況

整理番号	発表会の名称	機関名	開催場所	年月日	参加者数	備考
1	中間成果発表会「適正施肥および有機質資材の利用による生産コスト削減に向けて」	農研機構・中央農業研究センター 他	AP東京八重洲通り	2017/11/24	159	「有機質資材」との合同開催

## (9) アウトリーチ活動の状況

区分:①一般市民向けのシンポジウム・講演会及び公開講座・サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展・大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け出前)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	機関名	開催場所	年月日	参加者数	主な参加者	備考
1	①	全国肥料商連合会第52回全国研修会	農研機構中央農研	農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター	2016/7/29	40	企業	
2	①	有機農業研究者会議2016 第3部「簡易土壌診断に基づく適正施肥の最前線」		文部科学省研究交流センター	2016/10/27	80	生産者、普及指導機関、研究員	
3	①	平成28年度関東地域マッチングフォーラム「土壌蓄積養分と地域資源の利用による施肥コスト削減」		JA共済埼玉ビル	2016/11/30	160	企業、生産者、普及指導機関、研究員、行政等	
4	①	県産米競争力強化推進事業に係る地力窒素測定研修	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2016/12/7	15	普及指導機関、研究員	
5	①	「適正施肥実証圃打合せ」 実証圃設置に係る打事業説明	鹿児島県農業開発総合センター	大隅地域振興局	2017/4/14	6	担当(大隅)普及員等	
6	①	水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法に係る出前講座	岐阜県農業技術センター	JAひだ	2017/5/11	5	JA、普及指導機関	
7	①	「適正施肥実証圃打合せ」 実証圃設置に係る打事業説明	鹿児島県農業開発総合センター	農業生産法人 会議室	2017/6/6	5	担当農家、普及員(大隅)等	
8	①	「地力窒素の簡易診断とその活用」 実習および考え方の概要	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2017/6/20	43	鹿児島大学農学部2回生	
9	①	「野菜畑の地力窒素の簡易診断」 実習および本年度現地実証試験の概要	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2017/6/27	23	県内普及指導員(野菜担当)	
10	①	「地力窒素診断に基づいた適正施肥の現地実証」 本年度現地実証試験の概要と協力要請(H28栽培反省会で)	鹿児島県農業開発総合センター	農業生産法人 会議室	2017/6/28	16	実証農家、JA、普及指導員など	
11	①	土づくりと土壌診断(研修会)	長野県農業技術課	JA佐久浅間小沼支部	2017/6/27,29	8	生産者	

12	①	「土壌診断をやってみよう」 可給態窒素簡易法実習と施肥設計の考え方	鹿児島県農業開発総合センター	県立農業大学校	2017/7/6	38	県立農大2年生(野菜科・花き科)	
13	①	「畑の地力窒素を測ってみよう」 平成28年度の栽培試験結果等の紹介	鹿児島県農業開発総合センター	かごしま県民交流センター	2017/7/7	200	学校, 市町村, 農業関係団体, 農業者, 県職員など	
14	①	「地力窒素の簡易診断とその活用」 実習および試験事例紹介	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2017/7/14	20	肝付町ピーマン部会農家	
15	①	水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法に係る分析研修	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2017/8/28	6	研究員	
16	①	水田における可給態窒素簡易診断手法の紹介と実践	熊本県農業研究センター	熊本県農業研究センター高原農業研究所	2017/8/30	3	普及指導機関、研究員	
17	①	「地力窒素の簡易診断とその活用」 実習および試験事例紹介【食のプロデューサー育成セミナー】	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2017/8/30	6	生産・加工業者 その他関係機関	
18	①	「地力窒素とは? ~簡易診断とその活用~」 講義と実習	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2017/9/27	69	鹿屋農業高校生	
19	①	「土壌診断と地力窒素について」 講義および実習【青年農業者機械露地・施設部門研修会】	鹿児島県農業開発総合センター	大隅地域振興局	2017/10/4	20	新規就農・青年農業者その他関係機関	
20	①	畑土壌・施設土壌の可給態窒素の簡易診断(研修会)	長野県野菜花き試験場	長野県野菜花き試験場	2017/10/19	4	JA職員	
21	①	有機農業基礎技術講座(研修会)	長野県農業技術課	長野県野菜花き試験場	2017/10/25	15	生産者	
22	①	土壌可給態窒素の簡易評価法(研修会)	長野県農業技術課	長野県野菜花き試験場	2017/10/25	4	普及指導機関職員	
23	①	【減化学肥料技術論(土壌診断の実際)】平成29年度ニューファーマーズ研修/平成29年度雇用創出農業研修	愛知県農業総合試験場	愛知県立農業大学校	2017/11/9	40	新規就農者、雇用創出農業研修生	
24	①	「土壌の可給態窒素簡易測定結果に基づいた窒素施肥量」【第39回野菜肥料研究会・平成29年度土づくり研究会】	鹿児島県農業開発総合センター	メルパルクくまもと	2017/11/22	60	(JA全農)九州の各県試験研究機関, 肥料メーカー	
25	①	「可給態窒素レベルに応じた野菜の適正窒素施肥指針の策定に向けて」【平成29年度土壌環境部門成績検討会のミニシンポジウム】	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2017/11/30	60	県内の試験研究機関, 行政・普及, 鹿児島大学など	

26	①	「可給態窒素の簡易判定法とその活用に向けた取り組み」【岐阜県飛騨地域のトマト部会での講習会】	鹿児島県農業開発総合センター	JAひだ	2017/12/5	100	生産者, JA, 関係機関等	
27	①	県産米競争力強化推進事業に係る地力窒素測定研修	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2017/12/13	14	普及指導機関、研究員	
28	①	水田における可給態窒素簡易診断手法の紹介	熊本県農業研究センター	熊本県農業研究センター	2017/12/20	50	県内生産者、JA、関係機関等	
29	①	長野県農業大学校農学部野菜花き実科・研究 授業	長野県野菜花き試験場	長野県野菜花き試験場	2018/1/22	6	生産者(予定)、JA職員(予定)	
30	①	「地力窒素を考慮した適正施肥について」平成29年度 環境と調和した農業推進研修会での講演(県庁主催)	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県青少年会館	2018/2/6	100	市町村, JA, 普及指導員など	
31	①	新規就農里親前基礎研修(里親前基礎研修)	長野県農業技術課	長野県農業大学校研修部	2018/2/20	15	生産者	
32	①	「土壌診断と地力窒素について」 講義および実習【農業法人経営者研修会】	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2018/2/20	20	鹿児島県内農業生産法人	
33	①	新採普及職員基礎研修	茨城県農業総合センター	茨城県農業総合センター	2018/4/26	15	県職員	
34	②	実習体験「地力窒素の簡易診断とその活用」	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2018/6/14	40	鹿児島大学農学部2回生	
35	①	JA秋冬レタス部会 栽培講習会	茨城県結城地域農業改良普及センター	JA北つくば結城南支店	2018/6/25	50	生産者・JA職員	
36	①	JA常総ひかり秋冬白菜統一栽培講習会	茨城県結城地域農業改良普及センター	JA常総ひかり八千代支店	2018/7/2	40	生産者, JA職員, 種苗メーカー	
37	①	平成30年度東海地域マッチングフォーラム	農研機構中央農業研究センター、茨城県農業総合センター	名古屋国際センターホール別棟	2018/11/15	100	企業、生産者、普及指導機関、研究員、行政等	
38	①	可給態窒素の簡易評価	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2018/7/6	20	岐阜県農業大学校1年生	
39	①	可給態窒素の簡易評価	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2018/7/26	10	岐阜県農政部新採職員	
40	①	水田土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法に係る分析研修	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2018/9/7	3	普及指導員、研究員	
41	①	可給態窒素の簡易評価	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2018/11/19	5	普及指導員	

42	①	県産米競争力強化推進事業に係る地力窒素測定研修	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2018/12/7	10	普及指導員	
43	③	滋賀県農業技術振興センター環境研究部ゼミナール	富山県農林水産総合技術センター	滋賀県農業技術振興センター	2018/2/22-23	20	研究員、普及員	
44	①	可給態窒素の簡易・迅速評価法についての実習	熊本県農業研究センター生産環境研究所	熊本県立農業大学校	2018/7/27	30	新規採用普及員	
45	①	可給態窒素の簡易・迅速評価法についての説明会	熊本県農業研究センター生産環境研究所	JA天草会館	2018/11/1	30	営農組合長及び副組合長、市・町・JA職員	
46	②	授業「土壌診断をやってみよう」	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県立農業大学校	2018/6/28	15	県立農大1・2年生果樹科	
47	②	講義「果樹の土壌分析と施肥技術」	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2018/6/28	1	新任普及員果樹担当	
48	①	JA秋冬ハクサイ部会 栽培講習会	茨城県結城地域農業改良普及センター	JA北つくば結城南支店	2018/7/13	60	生産者・JA職員	
49	①	ポスターセッション「畑の地力窒素を測ってみよう」	鹿児島県農業開発総合センター	県民交流センター	2018/7/19	200	学校、市町村、農業関係団体、農業者、県職員など	
50	①	JA常総ひかり八千代地区経営研究会オレンジ白菜栽培講習会	茨城県結城地域農業改良普及センター	JA常総ひかり八千代青果センター	2018/7/23	15	生産者、JA職員、種苗メーカー	
51	①	「秋レタス施肥マニュアル」可給態窒素、硝酸態窒素測定結果に基づく適正施肥設計説明資料	茨城県坂東地域農業改良普及センター	現地農家(巡回)	2018/7/23-31	54	生産者	
52	①	JA茨城むつみ境地区青年部土壌診断会	茨城県坂東地域農業改良普及センター	現地農家(巡回)	2018/8/31	30	生産者	
53	①	JA常総ひかり春白菜統一栽培講習会	茨城県結城地域農業改良普及センター	JA常総ひかり八千代支店	2018/11/9	40	生産者、JA職員、種苗メーカー	
54	①	土づくり研修会	長野県野菜花き試験場	川上村林業総合センター	2018/11/29	10	農業者、市町村	
55	①	普及指導力向上基礎研修	茨城県農業総合センター	茨城県農業総合センター	2018/11/30	12	県職員	
56	①	【減化学肥料技術論(土壌診断の実際)】平成30年度ニューファーマーズ研修/平成30年度雇用創出農業研修	愛知県農業総合試験場	愛知県立農業大学校	2018/12/4	40	新規就農者、雇用創出農業研修生	
57	①	可給態窒素の簡易・迅速評価法についての説明会	熊本県農業研究センター生産環境研究所	吉川農園	2019/1/9	2	地元農家	

58	①	新たな簡易土壌分析法について	農研機構中央農研	東京肥料品質保全協議会 肥料分析部会 講演会	2019/11/14	30	肥料等分析業務従事者	
59	①	普及指導員基礎技術習得研修(可給態窒素の簡易評価)	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2019/9/18	3	普及指導員	
60	①	可給態窒素の簡易評価	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2019/9/26-27	1	普及指導員	
61	①	可給態窒素の簡易評価	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2019/11/29、12/5	1	研究員	
62	①	可給態窒素の簡易評価	岐阜県農業技術センター	岐阜県農業技術センター	2020/1/9-10	2	普及指導員	
63	①	普及指導員研修(可給態窒素簡易測定の紹介)	茨城県農業総合センター専門技術指導員室	茨城県農業総合センター	2019.4.25	14	普及指導員	
64	①	JA北つくば結城秋冬レタス栽培講習会	結城地域農業改良普及センター	JA北つくば結城南支店	2019.6.24	40	生産者	
65	①	JA常総ひかり秋冬白菜統一栽培講習会	結城地域農業改良普及センター	JA常総ひかり八千代支店	2019.7.11	30	生産者	
66	①	JA北つくば結城秋冬ハクサイ栽培講習会	結城地域農業改良普及センター	JA北つくば結城南支店	2019.7.12	20	生産者	
67	①	JA常総ひかり白菜プロジェクト会議	結城地域農業改良普及センター	JA常総ひかり八千代支店	2019.7.19	10	JA職員	
68	①	JA常総ひかり八千代地区経営研究会オレンジ白菜現地講習会	結城地域農業改良普及センター	JA常総ひかり八千代青果センター	2019.7.22	15	生産者	
69	①	JA岩井園芸部会 可給態窒素、硝酸態窒素測定結果に基づく「秋レタス施肥マニュアル」配布	茨城県坂東地域農業改良普及センター	現地農家(巡回)	2019/7/22-31	39	生産者	
70	①	JA茨城むつみ境地区野菜部会 可給態窒素、硝酸態窒素測定結果に基づく適正施肥設計資料配布	茨城県坂東地域農業改良普及センター	現地農家(巡回)	2019/8/23-27	30	生産者	
71	①	猿島4Hクラブ勉強会(地力窒素を考慮した減肥試験結果検討)	茨城県坂東地域農業改良普及センター	猿島公民館	2019.10.29	12	猿島4Hクラブ員	
72	①	関東東海北陸農業試験研究推進会議 若手セミナー	茨城県農業総合センター園芸研究所	産学連携センター	2019.11.7	27	研究員	
73	①	JA常総ひかり春白菜統一栽培講習会	結城地域農業改良普及センター	JA常総ひかり八千代支店	2019.11.18	30	生産者	
74	①	可給態窒素の簡易測定を活用した事例紹介	茨城県農業総合センター園芸研究所	茨城県農業総合センター	2019.11.21	10	全農職員、研究員	
75	①	TACおよび営農経済担当者研修会(可給態窒素の簡易測定を活用した事例紹介)	茨城県農業総合センター専門技術指導員室	小美玉市四季文化館 みの一れ	2019.12.20	50	全農職員、農協営農指導員	

76	①	新農業経営者セミナー 土壌肥料研修	愛知県農業総合試験場	東三河農業研究所 研修館	2019/11/13	19	農業者	
77	①	【施肥技術論】令和元年度ニューファーマーズ研修／令和元年度雇用創出農業研修	愛知県農業総合試験場	愛知県立農業大学 校	2019/12/12	40	新規就農者、雇用創出農業研修生	
78	①	農業基礎講座「土壌と肥料の基礎知識」	愛知県農業総合試験場	愛知県海部総合庁舎	2020/1/21	38	農業者	
79	①	野菜に係る農業技術体系化促進会議	愛知県農業総合試験場	JA愛知北布袋支店	2020/1/31	15	農業改良普及員	
80	①	全肥商連愛知県部会 土壌肥料研修	愛知県農業総合試験場	モリオカビル	2020/2/26	26	肥料販売事業者	
81	①	JA園芸農業法人クラブ総会及び研修会「地力窒素診断を活用した施肥の考え方」	鹿児島県農業開発総合センター	ホテル・パレスイン 鹿児島	2019/6/27	65	農業者, JA職員	
82	①	講義「環境保全型果樹 可給態窒素の測定」	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県農業開発総合センター	2019/7/3	7	県立農大1年生果樹科	
83	①	土づくり研修会講演「地力窒素の簡易診断と診断結果を活用した窒素施肥設計について」	鹿児島県農業開発総合センター	長野県松本合同庁舎	2019/11/11	160	農業者, 県, 市町, JA等	
84	①	畑の窒素肥沃度簡易判定法に基づく土づくり	鹿児島県農業開発総合センター	鹿児島県熊毛支庁	2019/12/10	20	農業者, 市町村	
85	①	新潟県土壌肥料懇話会第2回研究会での講演	新潟県農業総合研究所	ANAクラウンプラザホテル新潟	2019/12/6	62	普及指導員、研究員、メーカー	
86	①	「灰色低地土での普通期水稲「ヒノヒカリ」におけるカリウムの適正な穂肥診断基準」	宮崎県総合農業試験場	宮崎県総合農業試験場	2020/1/27		普及指導機関、研究員	
87	③	水田土壌可給態窒素の迅速評価法を活用した水稲への施肥法について	富山県農林水産総合技術センター	富山県農林水産総合技術センター農業研究所	2020/2/19	4	普及指導機関、研究員	
88	①	農業研究所成果発表会 演題「土壌窒素肥沃度に対応した「富富富」の施肥窒素量の策定～ワンウィークで肥沃度を迅速評価!～」	富山県農林水産総合技術センター	富山県農林水産総合技術センター農業研究所	2020/3/2	70	普及指導機関、営農指導員、一般農家	