

植調

第59巻
第9号

JAPR Journal

丘陵地の谷部において水田とその周辺湿地の土に眠る種子 山田 晋・中山 恵都子

ドローンセンシングという新たな視点：

水稻生育過程を定量的に記録し育種研究に活用 坂本 利弘・小川 大輔

酸素供給から始まる直播栽培の安定化：オクソス®DSが支えるリゾケア®の技術 池田 慎介



公益財団法人日本植物調節剤研究協会

JAPAN ASSOCIATION FOR ADVANCEMENT OF PHYTO-REGULATORS (JAPR)

特設サイトをリニューアルしました!



見に来てね!



豆つぶ

撒き方
いろいろ!



- 使用前にはラベルをよく読んでください。
 - ラベルの記載以外には使用しないでください。
 - 本剤は小児の手の届く所には置かないでください。
 - 防除日誌を記帳しましょう。
- ®はクミアイ化学工業(株)の登録商標

JAグループ
農協 | 全農 | 経済連

自然に学び 自然を守る
クミアイ化学工業株式会社
本社:東京都台東区池之端1-4-26 〒110-8782 TEL.03-3822-5036
ホームページアドレス <https://www.kumiai-chem.co.jp>

クミカの
facebookは
こちら



雑草調査のプロに必携の 雑草図鑑

植調雑草大鑑

WEEDS OF JAPAN IN COLORS

浅井元朗 著

企画：公益財団法人 日本植物調節剤研究協会
B5判 360ページ 定価 10,560円(税込)
ISBN978-4-88137-182-4

ひとつの雑草種について種子、芽生え、幼植物、生育中期、成植物から花・果実までのすべてを明らかにした図鑑。研究者から農業関係者まで、雑草調査のプロにお役にたつ図鑑です。

全国農村教育協会

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665

<http://www.zennokyo.co.jp>



農薬製剤・施用法技術の未来を想う

公益財団法人日本植物調節剤研究協会 評議員

住友化学株式会社 執行役員

井上 雅夫

わが国の農業は、戦後の食糧増産期を経て、高度経済成長期、機械化・環境調和の時代へと歩を進めてきた。その歩みの中で、農薬製剤技術と施用法技術は作物保護の枠を超えて、生産現場の省力化、安定収量の確保、さらには安全・安心な農産物供給の基盤を支えてきた。

1950年代は戦後の復興と食糧増産が最重要課題とされた。この頃は粉剤や乳剤が主流で、農薬散布は手動噴霧器や動力噴霧機による「人力中心」の作業であった。防除作業は過酷で薬剤の飛散や作業負担が大きな課題であった。しかし稲作においてはイネいもち病や害虫防除の普及が収量安定化に大きく寄与し、「増産の支え」として社会的役割を確立した。

1970年代に入ると、農業の機械化が進展し、防除作業も変革の時を迎えた。粉剤から粒剤、乳剤から水和剤・フロアブル剤へと「製剤の多様化」が進み、取扱い易さと安全性の向上が図られた。水稲分野では育苗箱施用剤や田植同時処理技術が実用化され、「田植えと同時に防除が完了する」という画期的な省力技術が普及した。農家の高齢化が進む中、作業労力を大幅に削減し、今日の水稲体系の基盤を築いた。

その後製剤技術はさらに高度化し、環境への配慮とともに「効果の安定性」「使いやすさ」が追求された。マイクロカプセル剤や顆粒水和剤の登場は飛散防止や取扱安全性の向上を実現し、環境負荷低減に貢献した。野菜・果樹分野では動力散布機やスピードスプレーヤーの改良が進み、均一散布や防除精度の向上が図られた。作物や病害虫の生理に基づく施用の最適化技術が確立し、必要な時に必要な量を施用する概念「Drug Delivery System」が整えられた。

2000年代以降は、環境調和型農業への転換が進み、GPSやセンサーを活用した精密農業技術との融合が進んだ。ドローンやロボットによる自動散布に適合した高効率施用の製剤が登場し、防除作業を変えた。中山間地や高齢化の進む地域ではドローン防除が新たな地域インフラとして定着しつつある。

農業はデジタル化と脱炭素の潮流の中にある。農薬製剤技術は単に病害虫を防ぐ、雑草を防除するためのものではなく、環境負荷の少ない持続的生産体系の一翼を担う段階に達した。未来の農薬製剤・施用法技術とはどのようなものであ

ろうか。製剤技術者はいかに貢献していくのか。

農薬製剤は学際的領域であり、幅広い知識とそれらを融合するテクニックが技術者の腕の見せ所である。除草剤を開発した技術者は、膨潤性の高い無機鉱物や水溶性高分子を巧みに使い、湿潤性の高い界面活性剤を組み合わせることで水田表層に薄く均一な薬剤層を形成させて除草性能を最大化した。ジャンボ剤を開発した技術者は、浮遊力の高い粉体と撥水性の界面活性剤を処方した顆粒を水溶性フィルムで包むことで高拡散性製剤を作り上げた。長期残効型箱施用剤を開発した技術者は、高分子樹脂を用いて薬剤の溶出速度を巧みに制御し、長期間に亘る薬剤の持続効果を実現した。最近では、ドローン散布時の薬剤ドリフト軽減に流体シミュレーションを駆使する研究者も現れた。技術者達は常に貪欲に学問を吸収し、イノベーションを通じた新製品の開発を競い合っている。

国内の農薬製剤の総生産量は減少傾向にある。より高性能な農業の出現、環境負荷と労力を低減するための少量散布剤の増加、そして、農地面積の減少がその背景にある。このトレンドが製剤技術者の活躍の場を制限するのではなく、逆に、活躍と貢献の機会が増加することを願っている。製剤数量は減少する一方で、多成分の農業を含有する製剤の開発ニーズは増加している。製剤開発の複雑性は高まる。また、バイオスティミュラントやバイオリショナルの普及は化学農業とは異なる製剤技術領域のポテンシャルを示唆している。将来の農業へのビジョンを持ち、技術者が挑戦することを応援したい。

農薬製剤と施用法の進化は単なる技術の進歩ではなく、社会的課題の解決と常に歩調を合わせてきた。これからの時代、私たちが目指すべきは、農業現場の課題に寄り添いながら、科学的知見と現場感覚を融合させた持続的なソリューションを提供することである。製剤技術と施用技術の深化が、次の世代の農業を支える力となることを確信している。これからも、技術革新は日本農業の新たな可能性を拓いていく。

丘陵地の谷部において水田とその周辺湿地の土に眠る種子

東京農業大学 農学部

山田 晋

建設環境研究所

中山 恵都子

1. はじめに

抜かれても抜かれても生えてくる雑草。そのたくましさには忌々しさを超えて畏敬の念さえ覚える。しかし、雑草の適正な管理を考えると、感心してばかりではいられない。

雑草の適正な管理を行うためには、雑草のことをよく知らなければならない。抜かれても抜かれても、枯らされても枯らされても雑草が生え続けるのは、そこに新たな個体が生育するからである。新規の出現には、土の中に存在する種子（埋土種子）や栄養繁殖体（有名なところではスギナの根茎やオモダカの塊茎）が重要な役割を担う。とくに発芽から枯死までが1年間に満たない種（一年草）では、埋土種子の動態を把握することが重要である。

一方、水田や、耕作がなされなくなった放棄水田は、数多くの絶滅危惧植物の生育地として機能することも明らかになっている（Yamada *et al.* 2013）。普段私たちの目に触れることのない埋土種子を把握しておくことは、こうした絶滅危惧植物の潜在的な生育可能性について把握することにもつながる。埋土種子を把握することは、雑草の制御のみならず、生物多様性の保全という観点で、重要な情報を提供しうる。

水田に生育する雑草の場合、多くの種は水によって運ばれる移動能力の高い種子を有する。そのため、水田に生育する雑草の動態を把握するためには、水田のなかのみならず、水田周辺にどのよ

うな埋土種子が存在するかを把握することが重要である。そこで私たちは、水田、そしてその周辺の利水施設であるため池と水路、さらには、近年では各地に広範に分布する放棄水田という4つの湿地タイプにおいて、埋土種子集団の種構成を比較した。なお、この記事は、中山・山田（2024）を再構成したものである。詳しい情報を知りたい方はそちらをご覧ください。

2. 材料ならびに方法

(1) 調査地

この調査の対象地は東京都町田市のも摩丘陵内の一小水域とした（図-1）。この場所は、東京都条例に基づき指定された保全地域内にある。水田（以下、耕作水田と呼ぶ）は、大規模な圃場整備が行われておらず不整形である。耕作水田は冬季も湛水する湿田で、年に1回除草剤が散布されている。この耕作

水田の上流側に隣接して放棄水田がある。ここでは2000年頃から耕作停止され2009年頃まで除草剤が散布されていたが、その後、2020年までその管理も停止された。耕作水田の脇には、畦畔をはさんで土水路（以下、単に水路と呼ぶ）が存在する。この水路は、定期的に泥上げされている。谷壁斜面の下端は水稲作の日照を確保するため刈り取りが実施され、斜面草地在り。水路はこの丘陵部の斜面草地にも接する。ため池は約200m²の広さがあり、耕作水田の下流側にある。ため池は本来、常時湛水しているが、サンプリング時には、管理のための水抜きが20年ぶりに実施され、水底から表土が露出していた。

(2) 埋土種子の撒き出し試験

2020年12月にため池と放棄水田で土壌を6カ所ずつ、2022年2月に耕作水田と水路で6カ所ずつ採取した。耕作水田については、隣接する2枚にて、



図-1 土壌採取場所の様子
(土壌採取地とした放棄水田は左の写真外にある)

それぞれ一直線上に等間隔で3か所ずつ土壌を採取した。水路でも等間隔となるように水底から、採取時に泥が舞い上がらないように慎重に採取を行った。ため池と放棄水田では、環境整備と並行してサンプリングを行ったため、採取可能な範囲が限られたが、可能な限り地点内の広範囲から採取するように努めた。

耕作田では、作土層よりも浅い深さ約10 cm程度の土壌を採取した。ため池と水路については、表土の土壌硬度が低く、浅い土壌のみを採取することが困難だったため、より深い土層（概ね地表から20 cm以浅）までの土壌を採取した。各地点に含まれる永続的埋土種子を正確に把握するため、周辺から飛来した短期的埋土種子を多く含む土壌表層部分を除外し、その下層から土壌を得た。ただし、水路は各採取地点の土壌が少なく、土層も薄かったため、表層を除かずに採取した。

土壌採取した当年の3月下旬に、プランタに、サンプルごとに土壌を撒き出した。このプランタの水位を土壌表面より5 cm下に保てるように、大型の水槽に入れ、管理した。

確認された芽生えのうち、本研究での記録対象は維管束植物とした。

(3) 植生調査

ため池、放棄水田、耕作水田、水路に接する斜面草地で、現状どのような植物が生育するかについても調査した。調査方法の詳細については、論文本文（山中・山田 2024）を参照いただきたい。ところで、笠原（1951）は、1951年

の戦後まもなくの時期に、水田のなかに高頻度でみられる種を報告している。水田には、本来は畑や道端に生育するものの、水田の端にもみられる種があるが、こうした種は、笠原の水田雑草には含まれていない。この研究では、笠原が定義した種から水田雑草を抽出した。水田雑草以外を非水田雑草とした。また、記録された種のうち、東京都における絶滅危惧種、および外来種を抽出した。

3. 結果

(1) 埋土種子の撒き出し試験

本研究で確認された総発芽個体数は4,852個体であり、総種数は92種だった。地点別の発芽個体数と種数は、いずれも水路で最大となった。埋土種子から発芽した主要な種を表-1に示す。発芽個体数が多い上位5種はアメリカアゼナ（図-2、中）、タネツケバナ、ミゾハコベ、クサイ（図-2、左）、コナギで、これらはいずれも4タイプの湿地全てに出現した。

生活型による分類、ならびに水田雑草、絶滅危惧種に該当する出現種数を表-2に示す。水路では他の3つの湿地タイプよりも多年草の種数の割合が43%と高くなった。耕作水田では水田雑草の割合が60%と最大となった。絶滅危惧種は、ミゾハコベ、キクモ、スズメノトウガラシなど10種だった。耕作水田と水路の絶滅危惧種の種数は、他の2つの湿地タイプを上回った。

(2) 現況の地上植生（現況植生）

耕作水田の現況植生では、どこの水田にも春先にはみられるスズメノテッポウ、湿地に特有のタガラシなどが春季に高頻度で生育した一方、夏季には、最も代表的な水田雑草の一つであるコナギ以外の種はほとんど生育しなかった。ため池では、水深が深い湿地を好むマコモが高頻度で記録された。水路に面した斜面草地は、ススキ、ワレモコウ（図-2、右）などが生育し、種数が最も多くなった。放棄水田では、湿った放棄水田には一般的なチゴザサやミゾソバが優占した。

(3) 埋土種子集団と現況植生との比較

埋土種子集団と現況植生の重複を表-3に示す。植生調査で記録された種のうち、埋土種子から芽生えた種の割合は、耕作水田で最大だった。各湿地タイプの少なくとも1つに出現した種を埋土種子と現況植生それぞれ集計すると、埋土種子から確認された92種の半数の46種がいずれかの湿地タイプの現況植生に確認された。また表-2より、水路に遍在した種には放棄水田の植生調査で確認された種が複数含まれていた。

4. 考察

この研究で芽生えた4,852個体は、全部で18,816cm²の面積の土から発芽したことから、本研究の発芽密度はおおよそ4cm²に1個体となった。この芽生え密度は、本地域で放棄水田と耕

表-1 土壌から発芽した種のうち、主要なもの（個体数が多かったもの）

種名	生活型	水田雑草	その他
ため池に偏在した種			準絶滅危惧
スメリグサ	一年草	○	
放棄水田に偏在した種			
タマガヤツリ	一年草	○	
耕作水田に偏在した種			外来種
アメリカアゼナ	一年草		
ミゾハコベ	一年草	○	絶滅危惧IA類
コナギ	一年草	○	
アゼナ	一年草	○	
ミズハコベ	多年草		絶滅危惧II類
スズメノテッポウ	一年草	○	
タガラシ	一年草	○	
スズメノカタビラ	一年草		
キクモ	多年草	○	絶滅危惧IB類
キカシダサ	一年草	○	
水路に偏在した種			
クサイ	多年草		
コウガイゼキショウ	多年草	○	
ヒメヒラテンツキ	一年草	○	
ドクダミ	多年草		
タイヌビエ	一年草	○	
ヒメクグ	多年草	○	
ミズニラ	多年草		絶滅危惧IB類
ハイヌメリ	一年草	○	
ミズ	一年草		準絶滅危惧
イボクサ	一年草	○	
アゼガヤツリ	一年草	○	
コブナグサ	一年草	○	
ハハコグサ	一年草		
カワラスガナ	一年草	○	
アブラガヤ	多年草		
ツメクサ	一年草		
テンツキ	一年草	○	
ウリクサ	一年草	○	
ヌカキビ	一年草	○	
ワレモコウ	多年草		
オオチドメ	多年草		
イヌガラシ	一年草		
コナスビ	多年草		
上記以外の種			
タネツケバナ	一年草	○	
イ	多年草	○	
ヒゲリコ	一年草	○	
ヒメジョオン	一年草		外来種
コケオトギリ	一年草	○	
スズメノトウガラシ	一年草	○	絶滅危惧IB類

注) 最大の発芽数が確認された地点の発芽数が、2番目に多くの発芽数を確認した地点の2倍以上だった場合、「偏在した種」とした。

耕作水田の埋土種子の芽生えを調査した Yamada *et al.* (2013) と同程度だった。一方、関東地方のいくつかの耕作水田で埋土種子の芽生えの密度を調査した佐合 (2000) と比べると、芽生え密度は同等かやや低密度だった。水田周辺の湿地で、この程度の密度の埋土種子からの芽生えが確認されることは珍しくないとと言える。

この研究でとくに興味深かったことは、

水路の土壌からの発芽個体が、種数、個体数ともに4つの湿地タイプ中で最大となったことである。水路の土壌に偏在する種のうち、水田雑草のヒメヒラテンツキやヒメクグについては、この集水域の畦畔において高頻度で記録されている。本研究対象地の水路横の畦畔は植被が疎らであったため本植生調査の対象外としたものの、周辺には植生の発達した畦畔も存在しており、そうした地点

から水路の土壌に種子が移入したものと考えられる。一方、水路の埋土種子集団には、隣接する斜面草地との共通種も複数確認された。それらは非水田雑草が多く、湿地以外を主要な生育地とする種だった。水路における埋土種子集団の種数が多くなった要因として、本調査地は地形の凹凸が小さな空間スケールで発達する丘陵地に立地しており、種構成の異なる植物群落が水路上流に存在していたことが挙げられる。

絶滅危惧種の種数と全個体数に占める絶滅危惧種の個体数の割合が最大となったのは、耕作水田だった(表-2)。耕作水田の埋土種子集団における絶滅危惧種のうち、ミゾハコベとキクモは水田雑草に分類された。私たちが別途行った研究 (Yamada *et al.* 2013) では、本研究地近傍(距離 100 m 以内)の耕作水田や放棄約 40 年までの放棄水田において、現況植生には確認できない植物種の埋土種子が多数記録され、このなかにミゾハコベやキクモが含まれた。これらの種は、本研究の植生調査では確認されなかったが、過去にこの耕作水田で生育した個体によって生産、維持された埋土種子集団が残存していたのだろう。水田雑草の寿命を調べた研究例(川名ら 1999)によると、水田雑草のなかでもアゼナはとくに寿命が長いことが知られている。この研究で数多く確認されたのは、アゼナと同属の外来種であるアメリカアゼナだったが、アメリカアゼナもアゼナのように長い種子寿命を持っていると推測される。佐合 (2000) は、除草剤散布など集約化が進んだ水田で



図-2 発芽した植物種（左：クサイ，中：アメリカアゼナ，右：ワレモコウ）

表-2 各湿地タイプにおける生活型による分類，ならびに水田雑草，絶滅危惧種に該当する出現種数（/4,704cm²）

	生活型		水田雑草	絶滅危惧種	総種数
	一年草	多年草			
ため池	31	17	26	5	48
放棄水田	25	14	20	5	39
耕作水田	27	18	27	9	45
水路	43	32	37	8	75

表-3 埋土種子集団と現況植生との出現種の重複状況

	埋土種子	地上植生	共通種
ため池	48	5	2
放棄水田	39	32	15
耕作水田	45	17	13
水路	75	76 ^{注)}	14
合計	92	113	46

注) 数字の単位は種数。水路の地上植生は存在しなかったため，隣接する斜面草地の出現種数を示す。

は，埋土種子集団が質・量ともに減少することを報告したが，本調査地では，除草剤は使用しているものの，それだけで埋土種子集団がすぐに急減するわけではないことが分る。

耕作放棄水田の土壌における豊富な埋土種子集団を報告した研究は多くある (Yamada *et al.* 2013)。一方，本研究における放棄水田の埋土種子集団は，4 湿地タイプ中で種数，個体数ともに最低となった。地元所有者への聞き取りによると，本調査地の放棄水田では，耕作放棄期間中に除草剤が散布され，過去，地上部の植生が乏しい期間が続いていた。埋土種子から発芽した個体が除草剤により死滅したこと，また地上部の植生から埋土種子集団への種子の供給が少なかったことが，放棄水田の埋土種子集団が少なかった要因になった可能性がある (佐合 2000)。また，20 年ほどの間，耕作放棄されたため，耕作当時に存在した埋土種子の大多数の寿命が尽きた可能性もある (佐合 2000)。一口に放棄水田といっても，

そのなかの埋土種子集団の多い少ないは，その管理履歴に応じて異なっているということなのだろう。

5. おわりに

この研究は，丘陵地の小規模な谷にある矮小な水田を対象として実施された。いろいろな異なる環境が狭い範囲に存在する丘陵地の奥まった谷地形だからこそ埋土種子集団の出現種の多さなのだろう。水路の埋土種子集団のなかの種数が最大になったことから，水路は，周辺の立地からの種子の供給を受けた立地であることが予想された。水路は，水田とその周辺の植物種多様性の多寡を映し出す鏡と言えるかもしれない。一方，水路の土は多かれ少なかれ耕作水田に入り込んでいるはずだが，耕作水田の土壌には，現地の観察で確認された種数よりは多くの種が埋土種子として存在した(表-3)。雑草管理の観点からは，雑草発生の潜在力がなかなか低くならないと言える。水路に含まれていた植物

種のうちのいくつかは確認できなかった。水田の嫌氣的環境や，除草行為が，これらの種の埋土種子としての存続を妨げているのだろう。みなさんの水田やその周辺の湿地にはどのような埋土種子集団がありそうだろうか。是非，土の中の種子のことも思いを馳せてみてほしい。

引用文献

- 笠原安夫 1951. 本邦雑草の種類及地理的分布に関する研究 第4報 水田雑草の地理的分布と發生度. 農学研究 39, 143-154.
- 川名義明・森田弘彦・高林 実・宮原益次 1999. 暖地における水田一年生雑草の出芽の年次消長—25 年目までの結果— . 雑草研究 44, 148-149.
- 中山恵都子・山田晋 2024. 丘陵地谷底部の水田およびその周辺湿地における埋土種子集団の差異. 日本緑化工学会誌 50, 135-138.
- 佐合隆一 2000. 除草剤使用水田における埋土雑草種子の分布と減少率. 雑草研究 45, 88-95.
- Yamada, S., Kitagawa, Y. and Okubo, S. 2013. A comparative study of the seed banks of abandoned paddy fields along a chronosequence in Japan. *Agric. Ecosystems Environ.* 176, 70-78.

統計データから

大豆における世界の生産・輸出・輸入量（2023年）

世界の大豆の事情をみると、近年、生産量、消費量ともに増加傾向で推移しており、生産はブラジルとアメリカが、消費は中国が最大となっている。表-1に世界の大豆の生産・輸出・輸入量（「FAOSTAT」による；2023年）を示した。

世界の大豆生産量は年間約3.7億tで、そのうちトップ3のブラジル（41%）、アメリカ（30.5%）、アルゼンチン（6.7%）の南北アメリカ3国で世界の生産量の約8割を占めている。続いて、中国（5.3%）、インド（4.0%）となっている。日本の生産量は252千tで世界では24位である。

因みに、大豆の平均単収は日本が164kg/10aに対して。世界平均は287kg/10a。2大生産国のブラジルは357kg/10a、アメリカが341kg/10aと高単収で、日本とは大きな差がある。

世界の大豆輸出量は約1.7億tで、2大生産国のブラジルが

58.7%、アメリカが28.1%と、この2国で約9割近くを占める。

世界の大豆消費のうち、約9割の3.5億tは搾油用等の生産に、約1割が食用や飼料用などに充てられている。輸入については、中国の輸入量が中長期的に増加しており、特に大豆油や飼料用として、世界の総輸入量の6割以上を占めている。

日本では、その消費量の3割が豆腐や納豆、みそ、しょうゆなどの食用大豆で、輸入量は3,156千tで世界第8位である。輸入先は米国産が約7割を占め、以下、ブラジル、カナダ、中国となっている。

なお、今では大豆の一大生産国になったアメリカではあるが、19世紀、「黒船」で日本を訪れた東インド艦隊司令長官のマシュー・ペリーが、日本の大豆を母国のアメリカに持ち帰ったのがルーツと言われている。 (K.O)

表-1 大豆をめぐる世界の生産・輸出・輸入量

国名	生産量(千t)	割合(%)	国名	輸出量(千t)	割合(%)	国名	輸入量(千t)	割合(%)
ブラジル	152,144	41.0	ブラジル	101,870	58.7	中国	103,384	61.0
アメリカ	113,343	30.5	アメリカ	48,719	28.1	アルゼンチン	10,368	6.1
アルゼンチン	25,045	6.7	パラグアイ	6,495	3.7	メキシコ	4,020	2.4
中国	19,491	5.3	カナダ	4,469	2.6	オランダ	3,571	2.1
インド	14,985	4.0	ウクライナ	3,490	2.0	スペイン	3,327	2.0
パラグアイ	10,197	2.7	アルゼンチン	1,854	1.1	タイ	3,285	1.9
カナダ	6,981	1.9	ロシア	1,379	0.8	ドイツ	3,193	1.9
ロシア	6,600	1.8	オランダ	794	0.5	日本	3,156	1.9
ウクライナ	4,743	1.3	ウルグアイ	775	0.4	エジプト	2,921	1.7
ボリビア	3,670	1.0	南アフリカ	689	0.4	トルコ	2,902	1.7
世界計	371,174	100.0	世界計	173,456	100.0	世界計	16,478	100.0

ドローンセンシングという新たな視点：水稲生育過程を定量的に記録し育種研究に活用

農研機構農業環境研究部門

坂本 利弘

農研機構作物研究部門

小川 大輔

1. はじめに

遠隔から対象物を非破壊観測するリモートセンシング技術は、作物の生育診断や収量予測に広く活用されている。古くは衛星画像や航空写真を用いた解析が主流であり、データの取得には多大なコストを要していた。しかし近年では、小型無人航空機（ドローン）の普及により、誰もが容易に空撮画像を取得できるようになり、空間情報解析を基盤とする研究手法が急速に発展している。ドローンに搭載された各種センサーを用いた計測手法は、一般に「ドローンセンシング技術」と総称されることもあるが、その技術的アプローチは多岐にわたる。対象作物や評価形質、さらには研究目的が基礎的データの取得を重視するのか、応用的な利活用を志向するのかによって、選定されるセンサー（可視・近赤外・熱赤外カメラ、ハイパースペクトルセンサ、LiDAR等）の種類、飛行高度、撮影時期、解析手法などの技術構成は一律ではない（井上・横山 2017; Tanaka *et al.* 2024; Bongomin *et al.* 2024）。

近年、人工知能（AI）モデルとドローンによる空撮カラー画像を組み合わせた技術の発展が目覚ましく、数多くの研究成果が報告されている。例えば、高度 15 m からの空撮画像からブロッコリーの花蕾サイズを個体レベルで推定し、生育モデルおよび気象予報データと統合することで、約 10 日先の収穫サイズを予測する技術が開発されている。（郭威

ら 2023）。また、低空飛行（高度 3m）からの空撮画像からトウモロコシの雄穂の開花状況を検出する AI モデル（大澤ら 2024）や、高度 30 ~ 35m からの空撮画像を用いて、オーチャードグラスの草勢、越冬性、罹病程度を育種家と同等の精度で評価できる AI モデル（秋山ら 2020）に関する研究も進展している。地上撮影による高解像度カラー画像から麦の穂数を自動計測する AI モデル（David *et al.* 2020）や、高度 18m から光学ズームカメラで取得された時系列空撮画像を用いて、AI モデルで水稲の穂数を測定し、出穂日を高精度に推定する技術（Chen *et al.* 2024）も開発されている。このような AI による物体認識技術の活用は、フェノタイプング作業の省力化において大きな進展である。一方で、葉の下に隠れて画像上で確認できない穂については、AI による計測が困難であるため、従来の手作業による計測手法を完全に代替するに至らない点に留意する必要がある。

ドローンセンシング技術を活用した企業活動として、ゴルフ場やサッカー場の芝生管理を目的とした植生調査サービスが提供されている（Drone Okinawa 2025; Pix4D 2025）。ドローンに搭載されたマルチスペクトルカメラを用いて、可視域および近赤外域の空撮画像を取得し、簡易な画像処理によって植生指数マップを作成することで、芝生の生育ムラを可視化し、精密な栽培管理に資する情報を提供する。一方、収益事業の確立には至らなかった事例も少なからず存在する。2017 年にヤンマー株式会社

とコニカミノルタ株式会社の共同出資により設立されたファームアイ株式会社（ヤンマー株式会社 2017）は、ドローンに搭載されたマルチスペクトルカメラを用いて、水稲の葉色を把握し、地力マップを作成することで、生育診断や肥料設計、さらに無人ヘリによる可変施肥に対応するなど、当時としては画期的かつ先導的な農業コンサルティングサービスを展開した。しかしながら、ファームアイ株式会社は 2021 年にヤンマー関連会社との合併を経て、事業会社としての役割を終えた。近年、農業 ICT 市場の成長には大きな期待が寄せられているものの、機材の初期導入コストに加え、操縦者および補助者の人件費等に起因するランニングコストが高額であることから、それらに見合う安定的な収益の確保は依然として課題となっている。このことは、当該技術を活用した事業の持続的な拡大が容易ではないことを示唆している。

以上のように、ドローンセンシング技術は基礎研究から営利活動に至るまで、その活用範囲を着実に広げつつある。本稿では、まず前半において、ドローンセンシング初心者が留意すべきポイントについて、筆者らの視点をもとに概説する。後半では、筆者らが先進的に取り組んでいる作物育種研究分野への応用事例を紹介する。筆者らの限られた経験に基づく知見も多く含まれるが、これからドローンセンシング技術の導入を検討している読者にとって、有益な手がかりとなることを期待する。

2. ドローン選びのポイント

ドローンの選定において初心者によくある失敗例の一つに、専門家との事前相談を十分に行わないまま、高額な最先端センサーの導入を研究提案書に盛り込んでしまうことが挙げられる。センサースペックを過度に重視した研究提案を行うことで、当該センサーを搭載可能な機体が限定され、結果として初心者にとって運用・管理の面で心理的および技術的負担が大きい大型の産業用ドローンを購入せざるを得ない状況に陥ることがある。さらに、研究目的に対して導入予定のセンサーの性能が過剰であることが後に判明するケースや、取得されたデータの解析に必要な専用ソフトウェアの予算計上が行われておらず、後になって予算不足に困る事例も散見される。現在では、小型ドローンであっても高性能なセンサーを標準搭載しており、費用対効果に優れた機体が市販されている。また、純正の付属ソフトウェアによるオートパイロット機能を活用することで、高品質なデータ記録と安定した飛行制御を一体的かつ容易に実施することが可能である。必ずしも最先端かつ高額なセンサーを用いなくとも、撮影手法や取得後の解析方法を工夫することで、小型ドローンによる空撮画像から、研究目的に適したデータを効率的に取得することが可能である場合もある。

DJI社は、小型ドローン市場における主要メーカーの一つであり、高い市場占有率と技術力を有している。同社製

品の選定にあたっては、研究目的や運用環境に応じた慎重な検討が求められる。現在、同社はホビー用途や映像クリエイター向けのモデルと、写真測量などの産業用途向けモデルとを明確に区別したラインナップ展開をしている。前者としては、小型で高性能なカメラを搭載したDJI Mavic 4 Proが、動画撮影やスナップ写真的な空撮に適しており、比較的リーズナブルな価格帯で入手可能である。一方、被写体の三次元形状の復元や高解像度オルソモザイク画像の生成を目的とする測量業務や研究用途においては、写真測量に適した自動航行撮影ソフトウェア（例：DJI GS Pro, DJI Pilot2）に対応した機種を選定することが望ましい。後者の産業用途向けモデルであるDJI Mavic 3Mは、高解像度のRGB画像に加え、緑・赤・レッドエッジ・近赤外の4波長から構成されるマルチスペクトル画像を同時に撮影することができる。また、RTK (Real-Time Kinematic) 測位モジュールを搭載しているため、SfM (Structure from Motion) およびMVS (Multi-View Stereo) 解析を行う際に、高精度な位置情報に基づく三次元モデルの構築が可能である。

近年、政府関連機関においては、サイバーセキュリティ上の懸念を背景に、国産ドローンの調達および活用が積極的に推進されている。中でも、ACSL社が開発した小型ドローン「SOTEN」は、標準搭載のカラーカメラ (CX-GB100) に加え、マルチスペクトルカメラ (CX-GB300)、熱赤外カメラ (CX-GB200)、

光学ズームカメラ (CX-GB400) などのオプションセンサーに換装可能であり、用途に応じた柔軟な運用が可能である (<https://product.acsl.co.jp/>)。初代SOTENはRTK (Real-Time Kinematic) 測位には対応していないものの、日本の準天頂衛星システム「みちびき (QZSS)」が提供するサブメータ級測位補強サービス (SLAS) に対応している。このため、日本国内においては、インターネット回線を介した補正信号の受信を行わずとも、約1mの精度を有する位置情報付き空撮画像の取得が可能である。SOTENに搭載可能な熱赤外カメラは、火災現場における異常熱源の検出など、ライブストリーミング映像を用いたリアルタイム監視に有効である。一方、当該カメラは絶対温度を数値として記録する仕様ではないことから、農作物の表面温度を解析することを目的とした研究には適していない。このため、導入に際しては本仕様上の制約を十分に考慮する必要がある。

3. 高精度な空間情報を取得するための技術的要点

ドローンセンシングデータから高精度な空間情報を取得するためには、撮影支援用の補助機材 (対空標識、測量機器、マルチスペクトル画像の反射率補正に用いる標準反射板) に加えて、データ解析に用いる専用ソフトウェア (SfM/MVS解析ソフトウェア、GIS・リモートセンシング解析ソフトウェア) の導入が不可欠である。また、初心者によく見ら

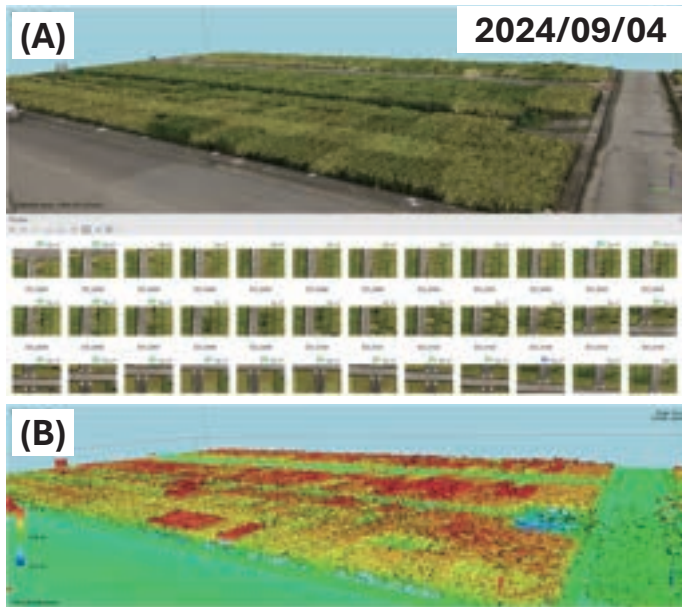


図-1 ドローン空撮画像および SfM/MVS 解析ソフト (Agisoft MetaShape) による水稲群落の三次元モデリング
 A: 三次元カラーポリゴンモデル
 B: 高さ情報に基づき色分けされた高密度点群データ

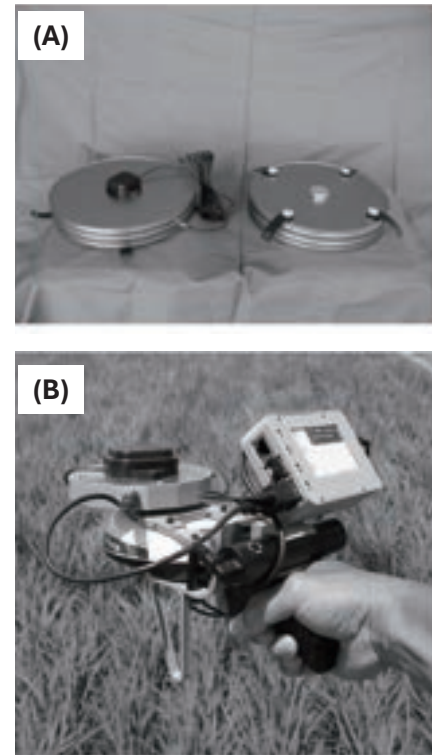


図-2 A) 2 周波 GNSS RAW データロガー「AID-GNSSLOG-003」
 B) GreenSeeker 用口ガ Model AID-GSLOG-001
<http://www.oyokogei.com>

れる失敗例として、対空標識や標準反射板を設置せずに空撮を実施し、画像間のオーバーラップ率も不十分な状態で空撮を行うケースがある。こうした場合、たとえ後処理段階で専門家の助言を得ようとしても、位置精度の確保や分光反射率の補正には根本的な限界が生じる。

3.1. 高精度な三次元モデル構築のために必要なツール (対空標識・GNSS 測量)

ドローン空撮画像を入力データとして SfM/MVS 解析を行い、高精度な三次元モデルを再構築するためには、圃場周辺に複数の対空標識を設置した上で空撮を実施することが望ましい。さらに、設置した対空標識の中心点における位置座標 (緯度・経度・標高または楕円体高) を測量機器により高精度に計測し、その情報を位置補正データとして SfM/MVS 解析ソフトウェアに入力す

ることで、生成される三次元モデルの幾何精度を大幅に向上させることが可能となる。ドローン本体に RTK (Real-Time Kinematic) 測位モジュールが搭載されておらず、高精度な位置情報をカメラ画像に直接記録できない場合には、対空標識の設置が不可欠である。RTK 測位モジュールを搭載したドローンを使用する場合であっても、同一の試験圃場を定期的に撮影し、作物の生育に伴う時系列的な変化情報を取得することを目的とした試験においては、恒久的な基準点として、敷地内の道路やコンクリート面にペンキ等で描画した対空標識を設置することが望ましい。一般的に、RTK 測位精度は、水平方向で 2~3 cm、鉛直方向で 3~4 cm とされている。恒久的な基準点として設置された対空標識の位置情報を解析に組み込むことで、時系列で誤差が 1 cm レベルの高精度な三次元モデルの構築が可能となる

(図-1)。

対空標識の位置座標を測定する際には、RTK 測位に対応した GNSS 受信機 (例: ビズステーション社製 Drogger DG-PRO1RWS) を用いることで、効率的かつ高精度な測位が可能となる。ビズステーション社製の Drogger を用いて RTK 測位を行う場合には、専用アプリをインストールした Android スマートフォンに加え、SoftBank 社が提供する Ichimill 等の補正情報配信サービスの契約が必要となる。補正情報配信サービスの利用には利用料が発生するため、事前に当該費用を予算計上しておくことも必要である。また、RTK 測位よりも高精度に位置測定を行う手法として、RTKLib 等のソフトウェアを用いた後処理による静的干渉測位法 (Post-Processed Static: PPS) もある (坂本ら 2019)。静的干渉測位法では、対空標識 1 点につき 30 分から 1 時間程

度の受信時間が必要である。そのため、複数の基準点の受信データを効率よく取得するには、複数台のGNSS受信機を同時運用することが有効である。例えば、有限会社木村応用工芸が製造する2周波GNSS RAWデータロガー「AID-GNSSLOG-003 (<http://www.oyokogei.com>)」は、スマートフォンを用いることなく、受信データをSDカードに直接記録する仕様となっており、現場における作業性に優れている(図-2)。

3.2. 標準反射板・GreenSeeker

マルチスペクトル画像における輝度値(デジタル数値)を分光反射率へ変換する際には、一般的に以下の二つの補正手法が用いられる。一つは、マルチスペクトルカメラあるいはドローン本体に搭載された太陽光センサーの出力値を基に補正を行う方法である。もう一つは、空撮の前後に撮影された、分光反射特性が既知の標準反射板の画像データを参照して補正を行う方法である。太陽光センサー値に基づく補正は、大気中の水蒸気量の変動や雲の通過などに伴って生じる太陽入射光量の変化に起因する、相対的な輝度変化を補正する手法として有効である。一方、標準反射板を用いた補正は、分光反射率が既知の基準面を参照することにより、画像の輝度値を絶対的な反射率へと変換する手法として適している。天候に応じてどちらか片方の補正法を選択する研究事例もあるが、筆者らは、これまでの経験に基づき、天候の状態にかかわらず両手法を併用する補正方法を採用している。

MicaSense社製の標準反射板(MicaSense Calibrated Reflectance Panels: CRPs)は、ドローン搭載型マルチスペクトルカメラによる画像の反射率補正において、多くの研究者に利用されている。SfM/MVS解析ソフトウェアであるAgisoft MetaShapeには、本標準反射板に付属するQRコードを自動的に読み取り、反射面の正確な位置を認識する機能が実装されている。この機能を活用することで、後処理における反射率補正作業の効率化が図られる。ただし、本製品は、MicaSense社製マルチスペクトルカメラの保有者を対象として販売されている上に、近年の円安傾向および物価上昇により、以前よりも価格が高騰している。一方、株式会社Quantomicsが販売する標準反射板は、MicaSense社製品と比較して約半額の値段で提供されている(<https://ja.quantomics.co.jp/>)。反射板の位置を自動認識するためのQRコードは付属していないものの、分光反射率情報が付加された「グレー」および「ホワイト」の2種類の反射板が同梱されており、費用対効果の面でも優れている。

マルチスペクトル画像から算出される植生指数データは、標準反射板による補正を施した場合であっても、撮影時間帯や天候条件、カメラに装着された分光フィルタの波長特性、さらにはSfM/MVS解析ソフトウェアにおける補正アルゴリズムの違いなど、複数の要因によって影響を受ける可能性があることに留意する必要がある(Fawcett and Anderson 2019; Di Gennaro *et al.*

2022; da Silva *et al.* 2024)。これらの撮影条件や使用機材の差異に影響を受けた植生指数をさらに補正する方法として、株式会社ニコン・トリンプル製GreenSeekerなどのアクティブ型近接リモートセンシングセンサーによる計測値を基準として再補正する方法が提案されている。GreenSeekerとドローン撮影によるマルチスペクトル画像を併用した研究においては、GreenSeekerによって再補正された植生指数に基づき、水稻の追肥量を決定する手法が提案されている(Nakano *et al.* 2023)。GreenSeekerは、外部アタッチメント機材を装着することで、近赤外域および赤色域の反射率を小数点以下3桁の精度で取得することが可能である(木村応用工芸, <http://www.oyokogei.com>)。また、GreenSeekerデータとGNSS受信情報を同時に取得することにより、高精度な位置情報に基づいて、GreenSeekerによる植生指標値とマルチスペクトルオルソモザイク画像とを比較することが可能になる。(図-2B, 坂本・小川 2022)。

3.3. SfM/MVS 解析ソフト

ドローンから水田を鉛直下向きに撮影した場合、画像中心部(ドローン直下)では、直立した状態の水稻を真上からの視点で記録することができる。一方、画像の辺縁部では、広角レンズの影響により斜め上方からの観測角度で撮影されるため、画像上では水稻があたかも倒伏しているかのように記録される。このようなレンズ特性やカメラの向きに起因

する画像の幾何学的歪みを補正し、複数の空撮画像を統合して、全体にわたり真上から撮影されたかのような高解像度の一枚画像を生成するには、オルソモザイク処理が必要不可欠である。SfM/MVS 解析ソフトウェアは、画像上の特徴点に基づいた画像間の対応点を抽出し、カメラの内部パラメータ（焦点距離、主点位置、レンズの歪み係数など）および外部パラメータ（カメラの位置および姿勢など）を推定し、対象物の三次元点群データを生成する。この三次元情報をもとに、被写体の起伏やカメラの傾きに起因する幾何学的歪みを補正することが可能となり、あたかも真上から観測したかのような正射投影画像（オルソ画像）を生成する。SfM/MVS 解析ソフトウェアの代表的なものとしては、Agisoft 社の MetaShape および Pix4D 社の Pix4DMapper が挙げられ、これらは実務および研究の現場において広く利用されている。SfM/MVS 解析ソフトウェアの初期導入費用およびライセンス維持費は、メーカー、製品の種類、販売形態（例：年間利用ライセンス、買取ライセンス）によって大きく異なる。中でも、Agisoft 社が提供する MetaShape は、初期導入費用が比較的安価であり、これまでのところバージョンアップに伴う追加費用が発生していない点が大きな利点であり、大学や研究機関において広く導入されている。さらに、MetaShape は Pix4DMapper と比較して解析の自由度が高く、目的に応じた解析パラメータの微調整や処理過程の柔軟な変更が可能である。（Sakamoto and Ogawa

2022）。一方で、国産ドローン「SOTEN」によって取得された空撮画像については、メーカーにより Pix4DMapper の使用が推奨されている。MetaShape においても処理過程を工夫することで、「SOTEN」に搭載されたマルチスペクトルカメラで取得された画像データを反射率画像へと変換することは可能である。ただし、MetaShape と Pix4DMapper では、太陽光センサーや標準反射板画像を用いた輝度値から反射率への補正アルゴリズムが異なるため、同一の「SOTEN」マルチスペクトル画像を用いた場合でも、両ソフトウェアから出力される反射率画像の値が一致するとは限らない。この点については、解析結果の比較や精度評価を行う際に十分留意する必要がある。また、SfM/MVS 解析ソフトウェアにおける高密度な三次元点群の生成過程では、膨大な計算資源およびメモリ空間を必要とする。そのため、短時間で効率的な解析を実施するには、十分な性能を有したグラフィックボード、比較的新しい世代の CPU、大容量のメインメモリを搭載したコンピューターの利用が望ましく、これらを整備するための予算の確保も重要な検討事項となる。

3.4. 法令順守・安全配慮の工夫

筆者らは、高度 10 ～ 20m の低空飛行による空撮試験を実施している。基本的には、第3者が無許可で立ち入ることができない研究機関の敷地内で実施しているが、状況によっては、航空法に定められた「人または物件から 30m 以上の距離を確保できない飛行」に該当す

る可能性もありうる。このため、筆者らは、法令遵守の観点から、飛行場所・操縦者・機体情報を明示した上で、毎年、国土交通省東京航空局に対して特定飛行に関する許可申請を事前に行うこととしている。さらに、ドローン情報基盤システム 2.0 (DIPS2.0, <https://www.ossportal.dips.mlit.go.jp/>) による飛行計画の事前通報、飛行日誌の作成・携行、許可証の携行など、関連法令に基づく運用を徹底している。また、飛行実施時には、立入規制のための目印の設置や観測補助員の配置などを行い、安全確保に努めている。一般に、分光計測に適した時間帯は、太陽高度の変化が比較的少ない午前 10 時から午後 2 時とされている。しかし筆者らは、あえて始業前の午前 7 時 30 分ごろから空撮試験を開始することで、人身事故リスクおよび操縦者の心理的負担の軽減を優先している。さらに、太陽高度が高い時間帯には、画像内の水面に太陽光が反射して映り込み、反射光によって周囲の水稲が白とびする現象が生じることがあるため、画像品質の低下を防止する観点からも、早朝の撮影を行っている。

4. ドローンセンシング技術の育種研究への活用

ここからは、ドローンセンシング技術の育種研究への活用事例について紹介する。育種とは、その名の通り「種を育む」ことであり、品種を育成することを意味する。作物の品種は、多様な遺伝資源を交雑した集団の中から、有用

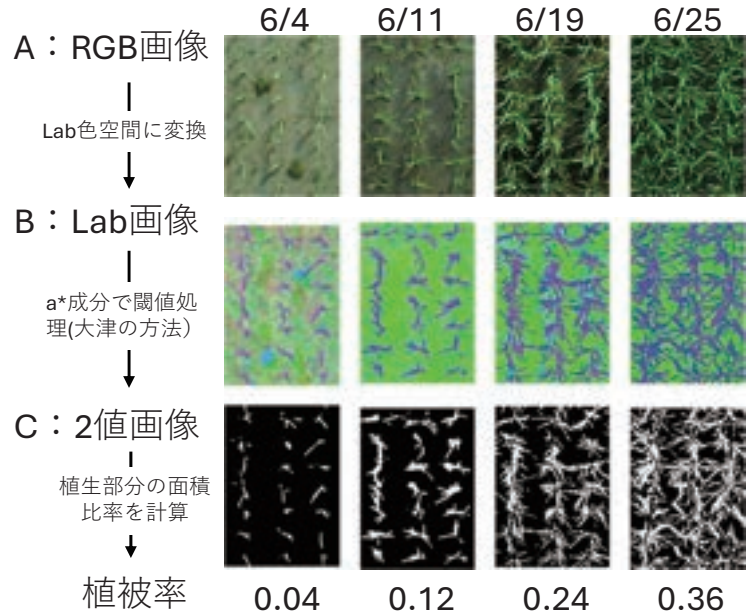


図-3 RGB画像を用いた植被率算出のための2値画像作成手順(2024年6月のコシヒカリ栽培プロット)

- A: 原画像 (RGB) — ドローン撮影による RGB 画像。
- B: Lab 色空間画像 — 明度 (L*), 赤緑軸 (a*), 黄青軸 (b*) の各成分を RGB バンドに割り当てて可視化。
- C: 2値化画像 — 植生被覆部分を白色, 非植生部分を黒色で表現。

遺伝子に紐づく DNA マーカーや収量・品質データを基に選抜・育成される。この収量・品質データの取得は人の手によって行われるため、膨大な時間と労力を要し、育種の推進における大きなボトルネックとなっている。こうした背景から、筆者らは育種の省力化・効率化を目指し、ドローンセンシングの有効活用場面を見出すため、農研機構内の専門的バックグラウンドの異なる研究者が連携して(農業環境研究部門: リモートセンシング・画像処理, 作物研究部門: 遺伝解析, 農業情報研究センター: 統計・数値解析), これまでに複数の取り組みを実施してきた。

4.1. 水稻の育種研究圃場におけるドローン撮影手法

水稻を対象としたドローン観測試験は、2018年より約10アールの圃場で開始し、2025年には約20アールに拡張した。1つの稲系統に対し33個体を3列×11行(畝間30cm, 株間18cm)で栽培することで、最大800系統を群落レベルで同時観測することができる。空撮試験は概ね週1回の頻度で実施した。開始当初はDJI社製 Phantom 4 Proのみを使用していたが、2021年以降はP4 Multispectralを併用し、マルチスペクトル画像も取得している。本ドローン搭載カメラには光学ズーム機能がないため、高解像度画像を取得するためには、飛行高度を可能な限り低く設定する必要があるが、Phantom 4 Proについては地上高度10mに、P4 Multispectralの飛行高度は地上高度

20mに設定している。自動撮影飛行においては、画像間のオーバーラップ率を80%に、飛行速度を約1~1.5m/sに調整し、ピンボケ画像の取得を防止するため、Phantom 4 Proについては自動撮影飛行の開始前に、機体を手動操作で地上高度10mまで上昇させ、モニター上で稲に焦点が合うようオートフォーカス機能を用いてピントを調整した後、マニュアルフォーカスに切り替えることでフォーカス値を固定している。なお、P4 Multispectralの付属カメラは無限焦点仕様であり、フォーカス調整が行えない。

4.2. 植被率に関わる遺伝子座の同定

稲には合計約3万の遺伝子があり、一部の遺伝子の機能は明らかにされている一方で、多くの遺伝子の機能が未解明のままである。稲の遺伝子は、12本の染色体の様々な場所に遺伝子が座乗している。育種では、DNAマーカーにより有用な遺伝子を持つ稲を選ぶことが

できることから、育種の効率化のため、有用遺伝子の場所(遺伝子座)を明らかにすることが求められる。筆者らはまず初めに、稲の初期生育の指標となる植生被覆率(以下、植被率)に関連する遺伝子座の同定を試みた(Ogawa *et al.* 2021)。

4つの日本型品種(あきだわら, ベこごのみ, タチアオバ, ミズホチカラ)と4つのインド型品種(水原258号, タカナリ, 北陸193号, ルリアオバ)を交雑して作出した多系交雑集団(合計165系統)について、経時的な圃場空撮画像を取得した。植被率は、各系統9個体(90cm×54cm)の画像を対象に、赤緑青からCIE Lab色空間に変換した後、Otsuの手法により2値化処理を施し、地表面に対する植物被覆領域の割合から算出した。植被率の算出手順については、コシヒカリの空撮画像を例に図-3に示す。植被率にかかわる遺伝子座を明らかにするため、育種研究において標準的な手法であるゲノムワ

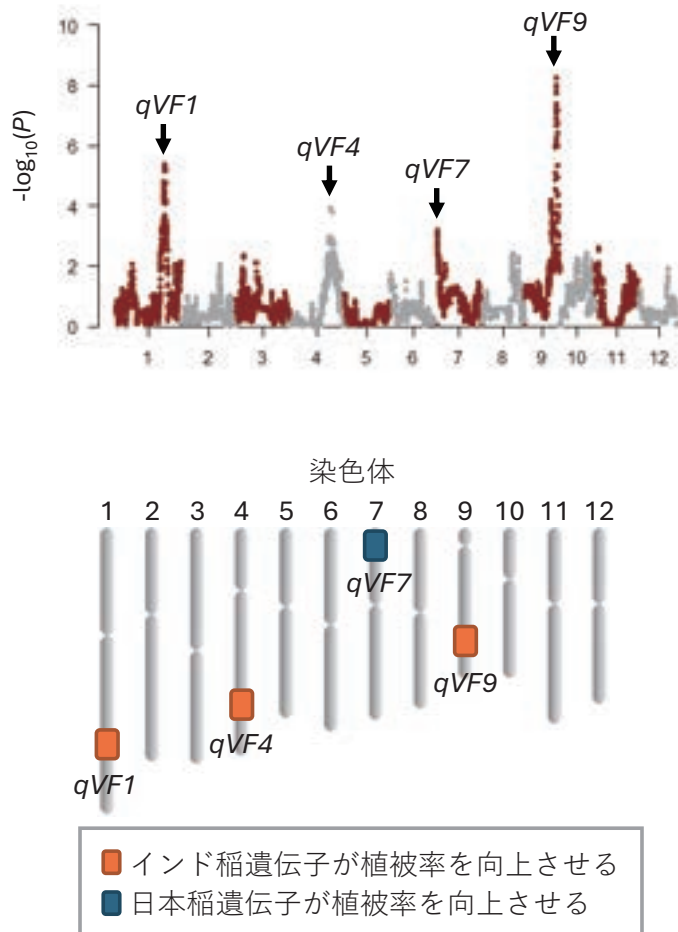


図-4 植被率のゲノムワイド関連解析

A: 植被率のゲノムワイド関連解析の結果のプロット。多系交雑集団を用いた植被率のゲノムワイド関連解析によって算出されたP値について、第1染色体から第12染色体まで横一列に並べて図示した。P値を基準に4遺伝子座を同定し、*qVF1*, *qVF4*, *qVF7*, *qVF9*と命名した。B: *qVF1*, *qVF4*, *qVF7*, *qVF9*の染色体位置。稲には12本の染色体があり、各遺伝子座のおおよその位置を示した。

インド関連解析を実施した(図-4)。算出されたP値を基に合計4座(*qVF1*, *qVF4*, *qVF7*, *qVF9*)を同定し、*qVF1*, *qVF4*, *qVF9*はインド稲の遺伝子が、*qVF7*は日本稲の遺伝子が植被率向上に作用し、興味深いことに、*qVF1*, *qVF7*, *qVF9*は初期生育だけでなく収穫期の乾物重や子実収量に寄与することが示唆された。

4.3. 群落草高に関わる遺伝子座の同定

SfM/MVS解析ソフトの技術的革新は、空撮画像を入力するだけで、作物の高さ情報を含む三次元モデルを容易に取得できる点にある。稲の稈の長さや

草丈は、乾物重や葉面積指数(LAI)と高い相関を示すことから、生育量評価における基本かつ重要な指標とされる。従来は、空撮画像を用いた茎葉の色彩情報や植被率といった二次元的な表現型情報の解析が主流であった。しかし、本技術は「高さ」という新たな表現型指標を、非侵襲的かつ高効率に多数のサンプルに対して計測可能とする点において、農学分野における革新的な計測手法として位置付けられる。

筆者らは、ドローンセンシング技術を用いて、前述の多系交雑集団を対象に群落草高を計測し、草高に関連する遺伝子座を調査した(Ogawa *et al.* 2021)。草高に関わる複数の遺伝子座

が季節変化に応じて変わることから、遺伝子座を時系列に表す手法として「フェノロジカル遺伝子座マップ」を考案し、最終的に11の遺伝子座を明らかにした(図-5)。見出された遺伝子座の1つ*qCHI-4*は、作物の半矮性化により多収を実現した緑の革命で知られる*sd1*遺伝子で栽培期間を通して草高の制御に寄与した。また、更なる解析により、3つの遺伝子座(*qCHI-4*, *qCH2*, *qCHI0-2*)は、草高制御を通して、トレードオフの関係にある子実収量と茎葉への光合成産物の配分に関与する可能性が明らかになった。

4.4. 穂の開帳性に関わる遺伝子座の同定

光合成効率に重要な草型や登熟期の倒伏程度の定量化を目的に「穂の開帳性(穂がどの程度直立しているかまたは広がっているかの度合い)」の評価を試みた。穂首部分に1個体、最大8枚の赤色フェルト製目印を設置し、空撮画像からそれらの位置を検出した(Ogawa *et al.* 2019)。本試験は水稻品種「北陸193号」と「ミズホチカラ」の交雑系統(81系統)の集団を対象とし、ドローンによる空撮を2018年6月18日(栄養生長期:出穂前)および2018年9月20日(生殖生長期:出穂後)に実施した。SfM/MVS解析ソフトウェアにより作成されたオルソモザイクカラー画像の一部を切り出して画像解析を行った。リモートセンシング解析ソフト(ENVI/IDL NV5 Geospatial社)の機能を使い、マウス操作で植生期の画

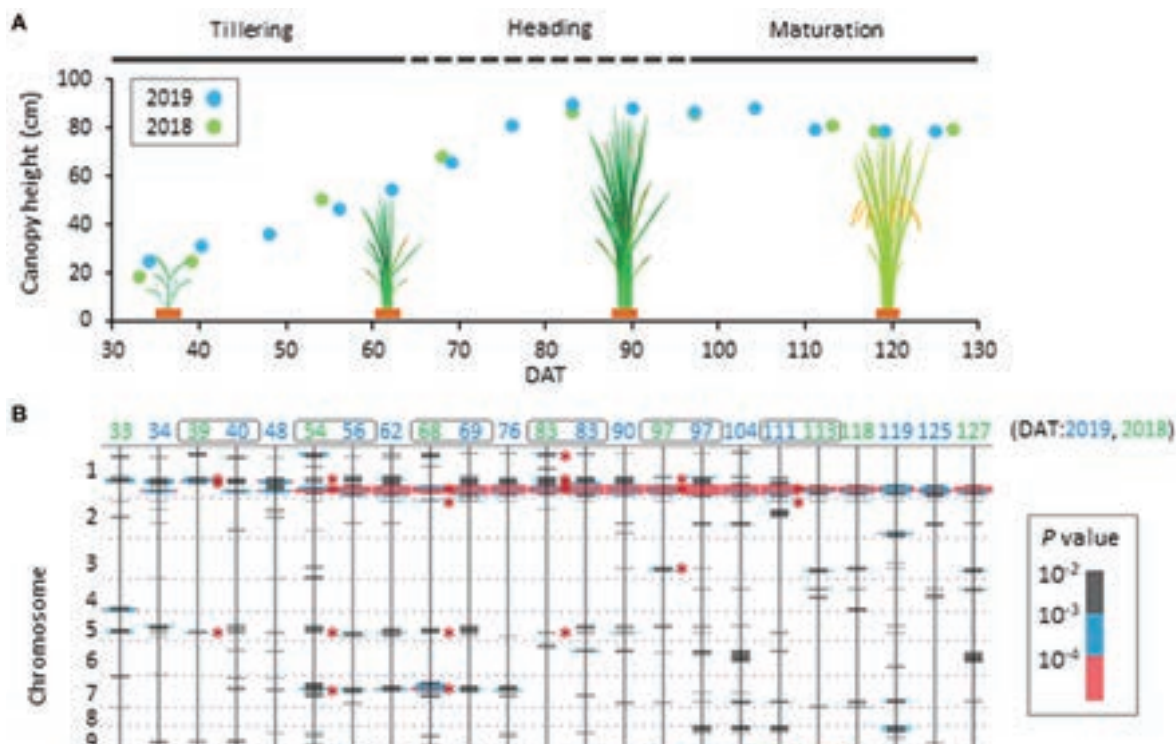


図-5 JAM 系統の群落草高における遺伝子座の出現の経時的パターン
 (A) JAM 系統の群落草高(CH)の表現型変化の模式図。165 の JAM 系統の群落草高の平均値をプロットした。発達過程には分けつ期、出穂期、成熟期が含まれる。(B) JAM 系統の群落草高に関するゲノムワイド関連解析 (GWAS) の概要。2019 年および 2018 年に収集されたデータの結果を、DAT (圃場移植後日数) 別に昇順に左から右に並べ表示した。P 値が 10^{-2} 未満の位置には、灰色、青、ピンクのバーを追加した。本研究では、灰色のボックスで示された 6 つの DAT の時点に注目した。定義された遺伝子座はアスタリスク (*) を付記した。Ogawa *et al.*, 2025, *Frontiers in Plant Science*, *Frontiers in plant science* 12 (2021): 715184. より転載 (CC BY 4.0)

像からは株の中心位置を、出穂期の画像からは赤色目印(穂首位置)の位置をピックアップし、稲株の中心位置から穂首までの水平距離の平均値(Panicle Position: PP)を「開帳性」に関する定量指標として算出した。この新たなフェノタイピング指標である PP は、圃場においてレーザー距離計を用いて計測した地面に対する葉鞘の角度および穂首部分の角度、ならびに人による圃場での遠観調査による開帳性スコア(SSH)との間に有意な相関関係が示された。PP に関わる遺伝子座について詳細に調べたところ、最も効果の高い遺伝子座では既知遺伝子の TAC1 (Tiller Angle Control 1) が作用していると推定された。その他の遺伝子座は、統計的に中程度の遺伝的寄与ではあるが、収量関連形質(1 穂当たりの穂重, 粒重, 粒数)とも有意な関係性が認められた。

4.5. ドローンセンシングデータを用いた稲の形質予測

稲の圃場あるいは収穫後に取得する形質を、もしドローンセンシングデータから予測することができれば、育種の省力化・効率化を飛躍的に加速することができる。我々は、茨城県つくばみらい市にある谷和原圃場において栽培された日本の水稻 30 品種を対象に、定期的なドローン空撮による時系列草高データに非線形モデルを適用し、品種ごとの生育速度や季節変化の特徴をモデルパラメータとして抽出した(Taniguchi *et al.*, 2022)。そして、各モデルパラメータに対して品種・栽培年・交互作用を变量効果として明示した線形混合モデル(LME)を構築し、稈長, 地上部乾物重, 茎葉重, 出穂日に関する遺伝的能力の説明を試みた。ドローンセンシングによる草

高は稈長の遺伝的能力と強い相関 ($r = 0.89$) を示し、草高が最大となる日は出穂日, 地上部乾物重, 茎葉重とも高い相関を示した。また、線形重回帰モデルによる表現型予測では草高 $r = 0.82$, 出穂日 $r = 0.89$, 乾物重 $r = 0.72$, 茎葉重 $r = 0.81$ と高い水準であった。籾重は相関が低く予測困難であったが、ドローンで得られる非等間隔の草高データを時系列モデルで要約することで、形質予測に有効な指標が得られた。本手法は、今後その汎用性についての検証が求められるものの、育種における省力化および効率化に貢献し得る重要な研究成果として位置づけられる。

5. ドローンセンシングによる客観情報による品種・系統比較

ドローン観測用の供試圃場には、試

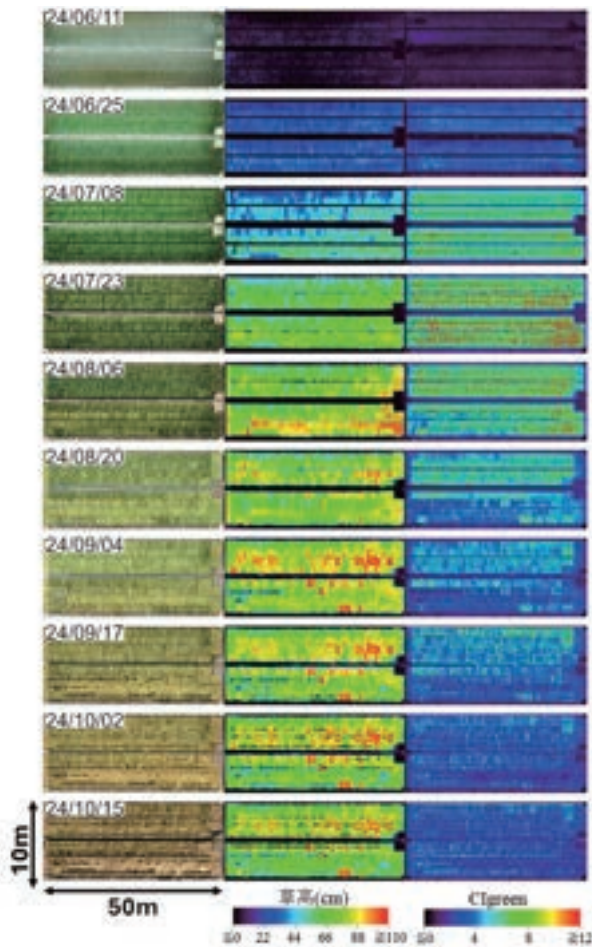


図-6 ドローンを用いた水稻多系交雑集団の時系列生育モニタリングの例(2024年)

左列：オルソカラーモザイク画像，中央列：SfM/MVS解析による草高推定値，右列：マルチスペクトル画像から算出した植生指数（クロロフィルインデックス）

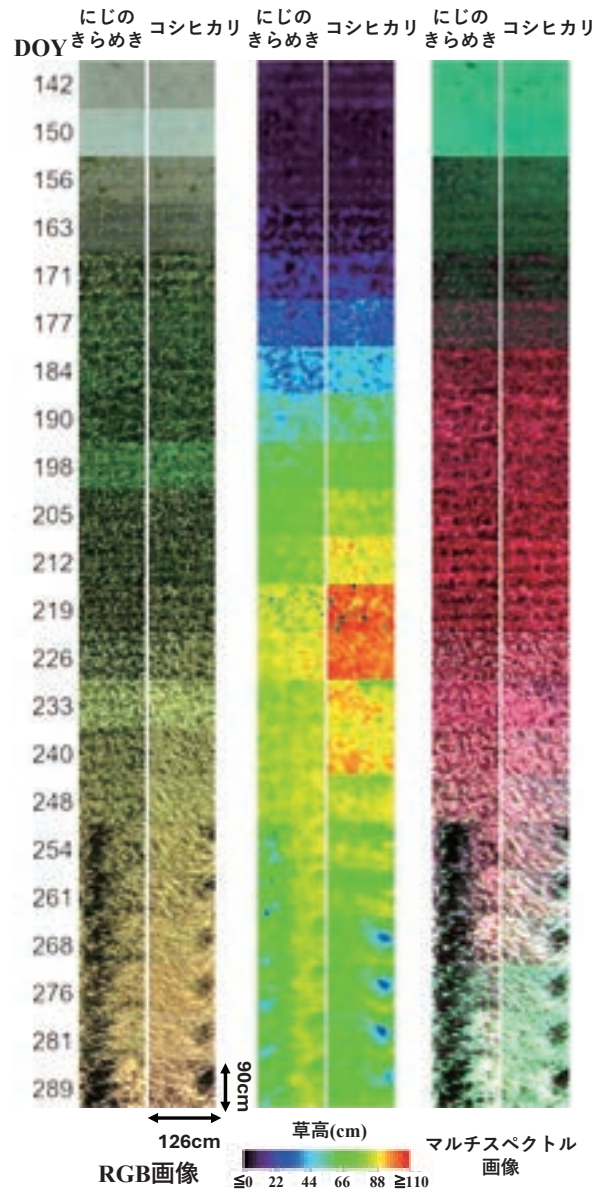


図-7 ドローンデータによる「にじのきらめき」と「コシヒカリ」の生育比較

左列：カラー画像，中央列：SfM/MVS解析による草高推定結果，右列：マルチスペクトル画像に基づく疑似カラー表示（近赤外・赤・緑の反射率画像をそれぞれR・G・Bバンドとして構成）

験系統以外にも、多様な品種・系統を継続的に栽培し、定期的な空撮試験を実施している(図-6)。農研機構が開発した品種「にじのきらめき」と「コシヒカリ」について、RGB画像、草高推定画像、マルチスペクトル画像を用いて、1週間ごとの生育変化を時系列で比較した結果を図-7に示す。さらに、同一区画における草高の95パーセンタイル値および、マルチスペクトル画像から算出した植生指数(CIgreen, NDVI)の領域平均

値の季節変化を図-8に示す。CIgreenは、NDVIに比べて植被率の増加に伴う指標値の飽和が生じにくく、単位面積当たりのクロロフィル量と高い相関関係を示すことが報告されている。CIgreen(Gitelson *et al.* 2005)とNDVI(Rouse *et al.* 1974)の計算式は以下のとおり。

$$CIgreen = \frac{R_{NIR}}{R_{Green}} - 1 \quad \dots (1)$$

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{Red}}{R_{NIR} + R_{Red}} \quad \dots (2)$$

ここで、 R_{NIR} ：近赤外域の反射率， R_{Green} ：緑色域の反射率， R_{Red} ：赤色域の反射率。

「にじのきらめき」は、「コシヒカリ」と比較して高温耐性、収量性、病害抵抗性（イネ縞葉枯病）に優れる水稻品種である。特に、稈長が「コシヒカリ」より20cm以上短く、倒伏しにくいいため肥培管理が容易であり、収穫作業への支障も少ない。育成地における玄米収量は、標準施肥条件で約10%、多肥

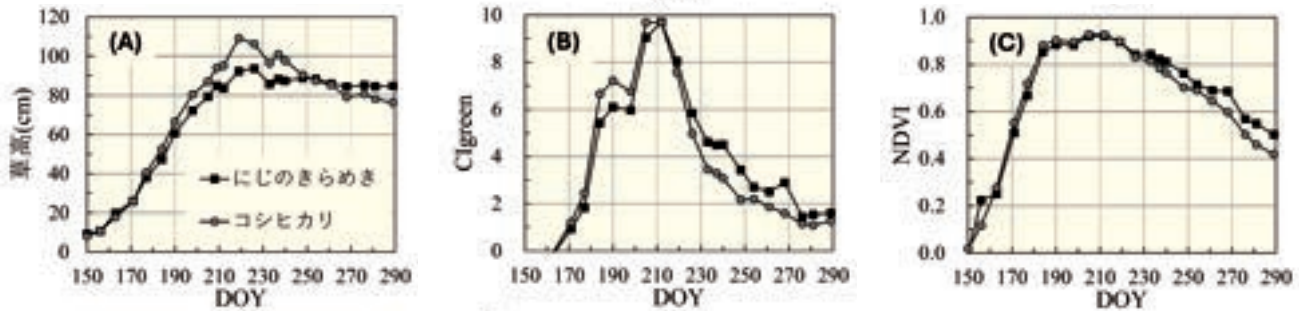


図-8 「にじのきらめき」と「コシヒカリ」の草高・植生指数の時系列比較（2024年）
 A：SfM/MVS解析による草高推定値，B：Clgreen（緑色クロロフィル指標），C：NDVI（正規化植生指数）

条件で約30%の増収が認められている。さらに、玄米の外観品質は「コシヒカリ」より優れ、食味も同等の評価とされている（農研機構 2018）。

両品種の出穂日は、それぞれ2024年7月30日（DOY: 212）および7月31日（DOY: 213）であった。草高の時系列画像（図-7中段）によれば、出穂約7日前（DOY: 205）以降、「コシヒカリ」の草高は「にじのきらめき」よりも一貫して高く、出穂後18日（DOY: 240）までその差異は顕著であった。さらに、草高の95パーセンタイル値の比較結果（図-8）からは、7月2日（DOY: 184）以降、両品種間の草高差が徐々に拡大し、出穂日付近で最大となる傾向が確認された。生殖成長期における草高の推移をみると、出穂後に「コシヒカリ」の草高は顕著に低下した。これは穂の倒伏に起因する。一方、「にじのきらめき」では、出穂後も草高はほぼ一定で推移し、わずかな減少にとどまった。印刷解像度の制約により紙面上の図から詳細な判読を行うことは困難であるが、RGB画像（図-7左段）によれば、「にじのきらめき」の止葉は出穂後も垂直に立毛し、穂を傘のように覆っている。一方、「コシヒカリ」の止葉は穂を十分に覆っておらず、時間の経過とともに穂が倒伏し、全体的により黄化した画像（9月4日、DOY: 248）となっている（図-7左段）。このような形態的差異は、植生指数の時系列変化にも反映されており、出穂後

14日（8月13日、DOY: 226）頃から、「にじのきらめき」のClgreen値は「コシヒカリ」と比較して高い水準で推移していることが明らかとなった（図-8B）。

多肥栽培試験として、高窒素栽培区（緑肥：ヘアリーベッチ）および慣行栽培区（化成肥料）に区分した試験圃場（5アール×4枚）を別途設置し、「にじのきらめき」「コシヒカリ」「北陸193号」「系統A」の4品種・系統を栽培した。ドローンセンシング技術により、各品種・系統の草高および倒伏程度を比較した（図-9）。その結果、慣行栽培区においては「にじのきらめき」の草高は「コシヒカリ」よりも低かった。一方、高窒素栽培区では、「コシヒカリ」が過剰な生育により倒伏していたのに対し、「にじのきらめき」は直立性を維持しており、慣行栽培区よりも草高が高く、生育が旺盛であることが確認された。また、新規需要米としての利用が期待されている品種・系統である「北陸193号」や「系統A」は、慣行栽培区および高窒素栽培区のいずれにおいても、「にじのきらめき」および「コシヒカリ」と比較して生育が旺盛であり、倒伏も認められなかった。以上のように、ドローンセンシング技術を活用することで、慣行的あるいは多肥条件下で栽培された品種・系統における草高および倒伏の有無を、画像情報に基づいて客観的に比較・評価することが可能となる。

6. さいごに

筆者らは、ドローンセンシング技術という新たな視点から、水稻の育種学における高度に専門的な研究課題にアプローチしている。本技術は、単なる高精度な計測手段にとどまらず、植物の生育変化を客観的なデータとして記録し、鳥瞰的かつ時系列的な視点を通じて作物生育の新たな側面を理解・発見し、その魅力を他者と共有するための有効なツールとして位置づけられる。特に、生育に伴って変化する作物の形態的特徴や生育量を、時系列画像やグラフといった客観的な情報として可視化できる点は、ドローンセンシング技術ならではの利点である。これらのデータは、同一作物を研究対象とする異分野の専門家に対して、新たな仮説の構築や解析の契機となるインスピレーションを提供するものと考えられる。実際に本稿で紹介したドローンセンシング技術を用いた育種研究により同定された新たな遺伝子座は、稲の形態的特徴や生育量の時系列データから導かれたものである。この成果を起点として育種研究の本流へと展開することで、各遺伝子の機能解明を目的とした基礎研究や、DNAマーカーを用いた多収品種の育成を目指す応用研究へと発展させることができる。また、図-9に示したように、各品種の形態

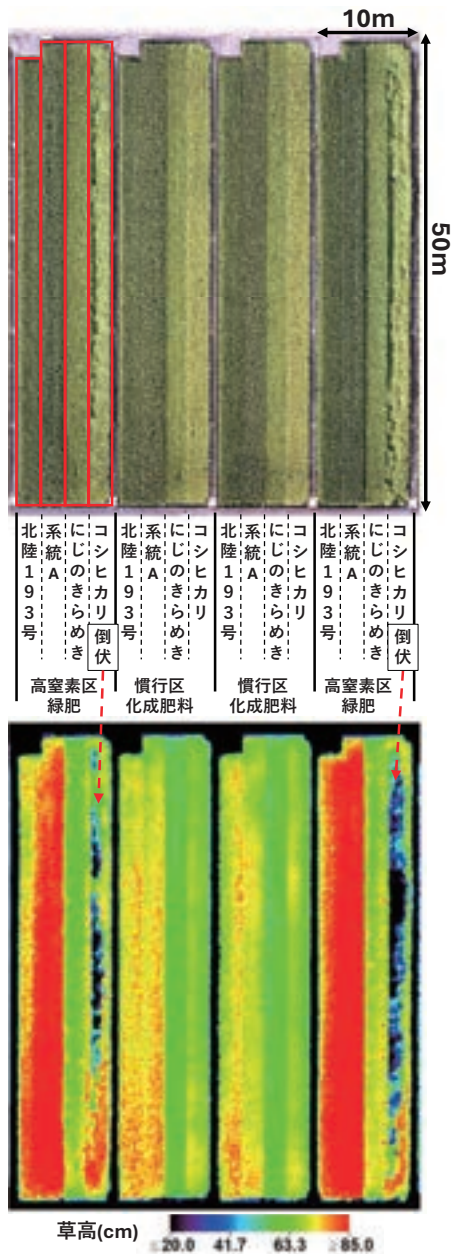


図-9 高窒素区(緑肥)および慣行区(化成肥料)における品種間の倒伏程度および草高の違いをドローン画像解析により可視化。ドローン撮影日: 2025年8月19日

的な特徴を画像として可視化することで、育成品種の特性を実需者に視覚的に訴求することが可能となる。これは、言語による説明以上に強力な訴求力を持ち、品種の魅力の効果的に伝える手段となり得る。ドローンセンシング技術のこうした有効性を踏まえ、現在我々は、大豆、飼料用トウモロコシ、小麦を対象とする多様な研究者との連

携を強化している。今後は、こうした分野横断型の共同研究の輪をさらに広げることにより、ドローンセンシング技術が農業研究分野における不可欠なツールとして定着することを期待している。

参考文献

秋山征夫・無田廣之・鈴木尚也・眞田康治 2020. 無人航空機の空撮画像を利用した深層学習によるオーチャードグラス個体選抜法の開発. 育種学研究 22(1), 21-27.

Bongomin, O., Lamo, J., Guina, J. M., Okello, C., Ocen, G. G., Obura, M., ... and Ojok, S. 2024. UAV image acquisition and processing for high-throughput phenotyping in agricultural research and breeding programs. The Plant Phenome Journal 7(1).

Chen, R., Lu, H., Wang, Y., Tian, Q., Zhou, C., Wang, A., ... & Han, B. 2024. High-throughput UAV-based rice panicle detection and genetic mapping of heading-date-related traits. Frontiers in Plant Science, 15, 1327507.

da Silva, T. V. D. W., Gomes Pereira, L., and Oliveira, B. R. 2024. Assessing Geometric and Radiometric Accuracy of DJI P4 MS Imagery Processed with Agisoft Metashape for Shrubland Mapping. Remote Sensing 16(24), 4633.

David, E., Madec, S., Sadeghi-Tehran, P., Aasen, H., Zheng, B., Liu, S., ... & Guo, W. 2020. Global wheat head detection (GWHD) dataset: A large and diverse dataset of high-resolution RGB-labelled images to develop and benchmark wheat head detection methods. Plant Phenomics, 2020, 3521852.

Di Gennaro, S. F., Toscano, P., Gatti, M., Poni, S., Berton, A., and Matese, A. 2022. Spectral comparison of UAV-based hyper and multispectral cameras for precision viticulture. Remote sensing 14(3), 449.

Drone Okinawa 2025. ドローングリーンキーパー | 芝生管理にドローンを活用. <https://droneokinawa.jp/drone-green-keeper/>. 2025年8月6日確認.

Fawcett, D., and Anderson, K. 2019. Investigating impacts of calibration methodology and irradiance variations on lightweight drone-based sensor derived surface reflectance products. In Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XXI Vol. 11149, pp. 101-114. SPIE.

Gitelson, A. A., Viña, A., Ciganda, V., Rundquist, D. C., and Arkebauer, T. J. 2005. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. Geophysical research letters 32(8).

井上吉雄・横山正樹 2017. ドローンリモートセンシングによる作物・農地診断情報計測とそのスマート農業への応用. 日本リモートセンシング学会誌 37(3), 224-235.

Nakano, H., Tanaka, R., Guan, S., and Ohdan, H. 2023. Predicting rice grain yield using normalized difference vegetation index from UAV and GreenSeeker. Crop and Environment 2(2), 59-65.

農研機構 2018. (研究成果) 高温耐性に優れた多収の極良食味水稻新品種「にしのからめき」. https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/carc/082656.html. 2025年11月2日確認.

Ogawa, D., Sakamoto, T., Tsunematsu, H., Kanno, N., Nonoue, Y., and Yonemaru, J. I. 2021. Haplotype analysis from unmanned aerial vehicle imagery of rice MAGIC population for the trait dissection of biomass and plant architecture. Journal of Experimental Botany 72(7), 2371-2382.

Ogawa, D., Sakamoto, T., Tsunematsu, H., Yamamoto, T., Kanno, N., Nonoue, Y., and Yonemaru, J. I. 2019. Surveillance of panicle positions by unmanned aerial vehicle to reveal morphological features of rice. PloS one 14(10), e0224386.

Ogawa, D., Sakamoto, T., Tsunematsu, H., Kanno, N., Nonoue, Y., and Yonemaru,

- J. I. 2021. Remote-sensing-combined haplotype analysis using multi-parental advanced generation inter-cross lines reveals phenology QTLs for canopy height in rice. *Frontiers in plant science* 12, 715184.
- 大澤央・齋藤正博・長南友也・林恰史・八木岡敦・中村卓司・趙元在 2024. 空撮画像を活用したスイートコーン雄穂の開花状況検出技術の開発. *農業食料工学会誌*, 86(1), 39-43.
- Pix4D 2025. 芝生管理：サッカー場のドローン活用. <https://www.pix4d.com/jp/blog/turf-management-football-pitch/>. 2025年8月6日確認.
- Rouse Jr, J. W., Haas, R. H., Deering, D. W., Schell, J. A., and Harlan, J. C. 1974. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation (No. E75-10354).
- 坂本利弘・岩崎亘典・石塚直樹 2019. 小型GNSS受信機および測位演算プログラムパッケージ「RTKLIB」による対空標識の簡易・高精度測位手法に関する事例研究. *日本リモートセンシング学会誌* 39(2), 123-132.
- 坂本利弘・小川大輔 2022. 近接リモートセンシングによるコマツナの生育調査方法の検討. *日本リモートセンシング学会誌* 42(4), 310-321.
- Sakamoto, T., Ogawa, D., Hiura, S., and Iwasaki, N. 2022. Alternative procedure to improve the positioning accuracy of orthomosaic images acquired with agisoft metashape and DJI P4 multispectral for crop growth observation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 88(5), 323-332.
- Tanaka, T. S. T., Wang, S., Jørgensen, J. R., Gentili, M., Vidal, A. Z., Mortensen, A. K., ... and Gislum, R. 2024. Review of crop phenotyping in field plot experiments using UAV-mounted sensors and algorithms. *Drones* 8(6), 212.
- Taniguchi, S., Sakamoto, T., Imase, R., Nonoue, Y., Tsunematsu, H., Goto, A., ... and Ogawa, D. 2022. Prediction of heading date, culm length, and biomass from canopy-height-related parameters derived from time-series UAV observations of rice. *Frontiers in Plant Science* 13, 998803.
- 郭威・Haozhou Wang・Tang Li・西田えり佳・加藤洋一郎・深野祐也 2023. ドローンとAIで規格外野菜を減らす 一畑全個体のサイズを自動計測し、最適な収穫日を推定. https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20230908-1.html, 2025年8月6日確認.
- ヤンマー株式会社 2017. ヤンマーとコニカミノルタ、農業分野での新会社「ファームアイ株式会社」を設立. ヤンマー公式サイト, <https://www.yanmar.com/jp/agri/news/2017/09/29/34571.html>. 2025年8月16日確認.

酸素供給から始まる直播栽培の安定化：オクソス[®] DSが支えるリゾケア[®]の技術

シンジェンタジャパン株式会社
研究開発本部 開発部
池田 慎介

はじめに

日本の水稲栽培は、戦後から現代に至るまで機械化と技術革新により生産性を大きく向上させてきた。しかし近年、農業就業人口の減少と高齢化が急速に進み、農林水産省の令和5年統計によれば、基幹的農業従事者の平均年齢は69.1歳、65歳以上の割合は70%を超える（農林水産省2024）。担い手不足は圃場管理や作業計画に直接影響し、労働負担の軽減と省力化は喫緊の課題である。

現在の水稲作付けの95%以上は移植栽培であり、安定した収量と品質が得られる一方、育苗や田植えに要する労力・資材コストが大きい。これに対し直播栽培は、育苗作業や苗運搬が不要で、労働時間の削減と作期分散による機械稼働率向上が期待できる。しかし、直播栽培は苗立ちの不安定性、雑草害の増加、病虫害被害などの課題により普及は限定的である。

シンジェンタジャパンは、これら課題のうち特に苗立ち不良に着目し、酸素供給と鍾効果を有する植物成長調整剤オクソス[®] DSを核に、殺菌剤スクーデリア[®] ES（有効成分：メトラキシル-M）、殺虫剤フォルテンザ[®] FS（有効成分：シアントラニプロール）を組み合わせた湛水直播用処理済み種子「リゾケア[®] XL」を開発した。本稿では、湛水直播栽培の課題とリゾケア技術の概要、

オクソス DS の特性、全国での実証結果と今後の展望について報告する。

1. 水稲湛水直播栽培の課題と苗立ち率の重要性 ～リゾケアとは

水稲直播栽培は、苗代育成や移植作業を省略でき、省力化・低コスト化に資する技術である。その中でも湛水直播は、代かき後に落水して播種し、その後、再度入水して湛水状態を維持するため雑草発生が抑制されやすく、初期除草剤の効果が安定しやすい利点がある。しかし、播種直後の種子は水中や泥中に置かれ、酸素供給が制限される。加えて低温、浮き苗、鳥害、病虫害被害など、苗立ちを不安定にする要因が多い。このため苗立ち率の確保は湛水直播普及の最大の課題である（東北農業研究センター2001）。

苗立ち率は直播の成否を左右する最重要指標である。低下すれば株間が不均一となり、後期の分けつ数や穂数が減少し、収量低下につながる。欠株部位では雑草が繁茂しやすく、除草剤効果も低下する。苗立ち不良が発生すれば補植や播き直しが必要となり、省力化の利点が失われる。近年の気候変動により、播種期の低温・長雨や高温による病虫害多発など、阻害要因はさらに多様化している。

従来の湛水直播では、過酸化カルシウム（CaO₂）粉剤を種子に粉衣し、酸素供給によって発芽を促す方法や鉄で

種子をコーティングし、重みで沈下させる播種方法が一般的であった。しかし、過酸化カルシウム処理においては粉立ちや付着ムラ、保存性の低さといった課題があり、また、種子浮上の防止は対応できなかった。一方、鉄コーティングにおいては、種子浮上を改善するものの、酸素供給不足による還元障害のほか、コーティング工程における鉄の酸化反応による発熱・放熱管理の煩雑さ、播種機詰まり、圃場条件の要求、複雑な水管理など多岐にわたる課題も抱えていた。結果として、播種後の環境条件が不利な場合には苗立ち率が大きく変動し、安定生産が難しい状況が続いていた。

こうした課題を解決するために開発されたのが、リゾケアである。リゾケアは、酸素供給剤であるオクソス DS を基盤とした種子処理技術である。これに初期病害である苗腐病〔*Pythium* spp.〕を防ぐ殺菌剤スクーデリア ES と、イネミズゾウムシなどの初期害虫を防ぐ殺虫剤フォルテンザ FS を組み合わせた処理済み種子がリゾケア XL である。苗立ちを安定させるためには、湛水直播特有の酸素不足・浮き苗・病虫害被害といった複合的な苗立ち阻害要因に対して複合的な対策を行い、これらの苗立ち阻害要因を同時に低減し安定した苗立ちを確保することを目指した。

リゾケア XL の特長は、①過酸化カルシウムによる持続的酸素供給、②

® はシンジェンタ社の登録商標です

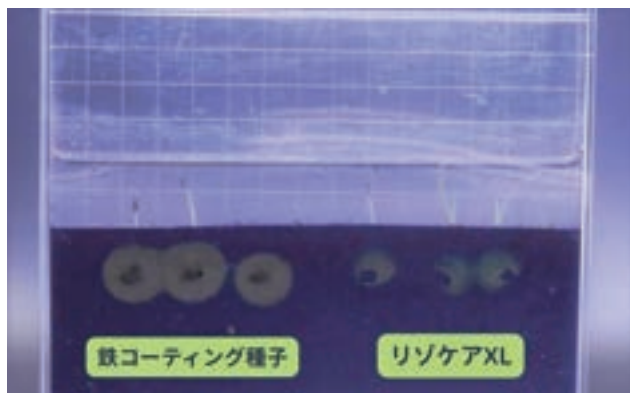


図-1 メチレンブルーで染色した土壌中でのリゾケア XL と鉄コーティング出芽の様子
 2024年シンジェンタジャパン(株)中央研究所
 試験場所：茨城県牛久市、水稻品種：コシヒカリ(2023年度産)、播種日：2024年7月

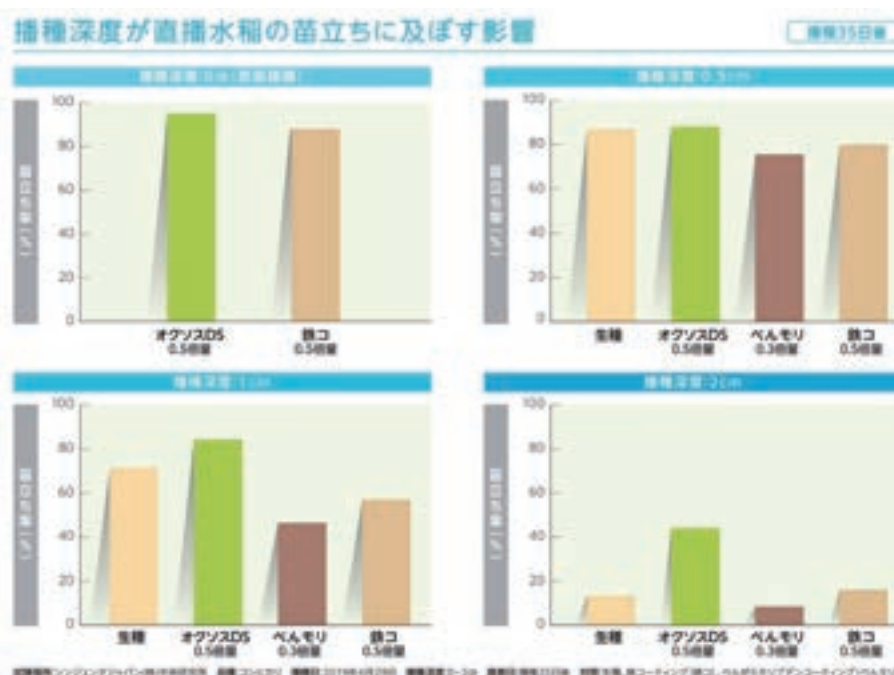


図-2 播種深度が直播水稻の苗立ちに及ぼす影響

24440号)を取得した。本剤は有効成分として過酸化カルシウムを19.0%含有し、乾粕重量の0.5~1.0倍量を粉衣する。リゾケアXLでは0.5倍量が標準として処理されている。

また、弊社ではオクソスDSに加え、苗腐病防除のためのメトラキシル-M(スクーデリアES、登録番号24043号)や、イネミズゾウムシ防除のためのシアントラニリプロール(フォルテンザFS、登録番号24257号)を組み合わせた種子処理を行うため、コーティング法や処理手順など工程管理さ

れた種子処理加工プロセスを開発した。これにより、処理済み種子の十分な保存性・粉立ちの軽減、コーティング層の適切な強度の確保など処理済み種子の品質向上を実現した。

播種量は品種や地域条件により異なるが、従来技術では芽出し粉を使用する土中播種で乾粕重2.0~4.0kg/10a、鉄を用いた表層播種で5.0kg/10aが一般的である(農林水産省2023)。リゾケアXLでは、品種により異なるが、概ね関東以南で2.0~2.5kg/10a、関東以北で2.5~

3.0kg/10aを推奨し、播種深度は土中播種で0.5~1.0cmを基本とする。播種深度別の苗立ちに関する試験の結果、オクソスDS処理区では2cmまでの播種深度でも既存技術を上回る苗立ち率が確認されている(図-2)。これらの結果は酸素供給機能と鍾の効果を実圃で有効に作用し、田面の硬さなどの環境の違いにより、播種深度が振れた場合にもより安定した苗立ちを確保できることを示唆している。

総じて、オクソスDSは湛水直播栽培における苗立ち安定化の基幹技術で



図-3 鉄コーティングとリゾケア XL の苗立ちの比較
 試験場所：山形県天童市、品種：はえぬぎ、播種日：2021年5月16日、播種方法：乗用型播種機による点播

あり、地域条件に応じた使用指針の整備が今後の普及拡大の鍵となる。

3. リゾケア XL の実証と展望

リゾケア XL は、オクソス DS にスクーデリア ES およびフォルテンザ FS を組み合わせた種子処理技術である。これにより、湛水直播栽培における苗立ち安定化に加え、苗腐防除、およびイネミズゾウムシなどの初期害虫防除を同時に実現する。製剤は種子表面に均一に被覆され、播種直後から初期生育期までの複合的なリスク低減を可能にする。

オクソス DS は 2019 年度および 2020 年度の日本植物調節剤研究協会の新植物調節剤実用化試験において、無処理区と比較して苗立ち率が最大 20% 以上向上した事例が複数報告されている。また、鉄を用いた表層播種処理区を上回る苗立ち率を示す事例が多数を占め、低温や重粘土など不利条件下でも安定した出芽を実現した。これらの結果は、酸素供給と錘効果が多様な圃場条件において有効に作用していることを示すものである。

リゾケア XL は、オクソス DS によ

る苗立ち安定化効果に加え、スクーデリア ES による苗腐病抑制効果、フォルテンザ FS による初期害虫防除効果を併せ持つため、播種後から活着期までの複合的なリスクを一度の処理で軽減できる。特に、苗腐病の発生リスクが高い湛水条件下や、イネミズゾウムシ・イネドロオイムシの加害が懸念される地域において有効性が高い。

社内試験および現地実証試験は、2021 年から 2024 年までの 4 年間で沖縄を除く日本各地で 850 件以上が実施され、聞き取り調査の結果、80% 以上の事例で「満足な苗立ちが得られた」と回答された。試験の約半数は乗用型播種機による点播で行われ（図-3）、残り半数は散播方式であった。散播の大半は農業用マルチコプター（以下、ドローン）を使用し、そのほか背負式動力散粒機、農業用無人ヘリコプターなど多様な播種方法が採用された。

播種方法別の結果では、乗用型播種機では側条施肥・播種・除草剤散布を同時に行えるため効率性が高く、苗立ち後は移植栽培と遜色ない圃場状態を実現した。一方、ドローン播種では、播種から散布終了までの時間が短いというメリットがある。リゾケア XL 処

理済みの種子のしっかりとしたコーティング層は播種機の日詰まりなどのトラブルを防止し、播種作業の安定的な遂行に大きく貢献した。

社内試験では、リゾケア XL を用いることで、水管理の簡易化に加え、土壌の硬さ調整や代かきのタイミングに対する技術的ハードルが大幅に低減されることが確認された。特にオクソス DS の働きにより、播種時の土壌表面硬度は慣行移植栽培と同程度でよく、従来の湛水直播で求められた厳密な圃場準備が不要となる。具体的には、播種前日に落水し、土壌表面を露出させた状態で播種を行う。播種後は除草剤の効果を安定させるため、水尻を完全に閉めて湛水状態を保ち、7 日以上止水する。その後、還元状態の改善を目的として落水し、土壌表面を露出させて出芽を促進する。水稻が 2 葉期に達するまでは浅水（約 2cm）管理とし、その後は慣行移植栽培と同様の管理に移行する。

経済性の面では、リゾケア XL の導入により、苗立ち不良による補植・播き直しの回避が可能となり、特に大規模経営体における省力化効果が顕著であった。

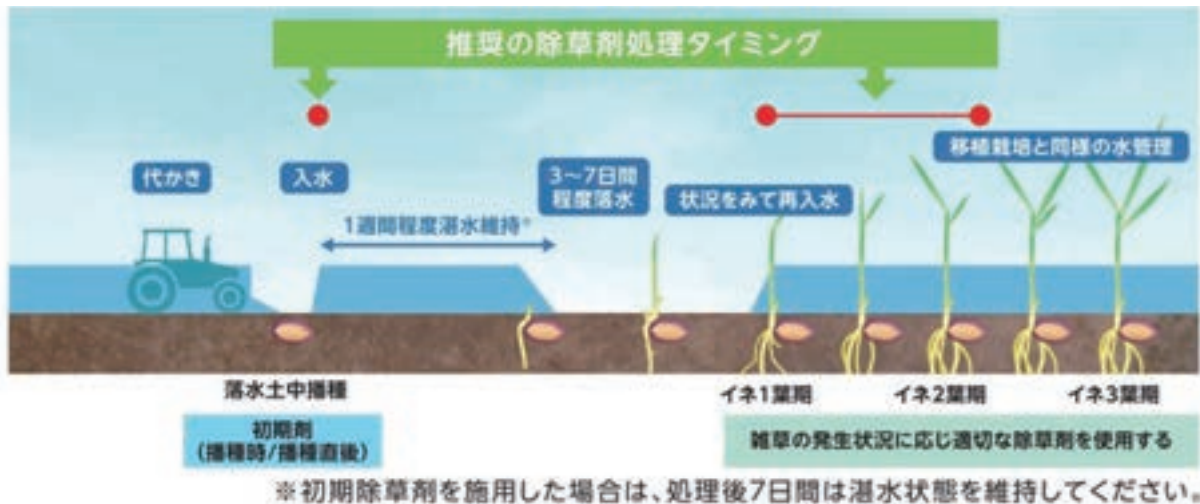


図-4 リゾケアの推奨する除草剤処理タイミング

今後の展望としては、気候変動に伴う高温・低温ストレスや異常降雨頻発下での安定性検証が求められる。また、直播栽培の普及地域が拡大する中で、地域特性に応じた播種量や播種深度の最適化指針を整備することが重要である。さらに、除草剤体系（図-4）との組み合わせによる雑草防除の安定化や、他の病害虫防除資材とのシナジー効果の検証も今後の課題である。

この除草体系の中で、初期除草の安定化に有効な資材としてアピロ®ファースト1キロ粒剤が挙げられる。本剤は、湛水直播条件下において発生しやすいノビエ類を含む一年生雑草に対して高い防除効果を示し、初期の雑草競合を抑制する。特にリゾケア直播との組み合わせでは、苗立ちの均一化と雑草抑制が同時に達成され、欠株部位からの雑草侵入を防ぐことで後期の管理作業負担を軽減できる。

リゾケア XL は、湛水直播栽培の最大の課題である苗立ち不良を多面的に解決する技術であり、省力化と安定収

量の両立に資する技術として高い潜在力を有している。今後は、地域ごとの気候・土壌条件および湛水直播栽培に適した品種の選定や肥培管理の確立、そして、実証データに基づく普及活動の強化が、そのポテンシャルを最大限に引き出す鍵となる。

4. おわりに

本報告では、湛水直播栽培の苗立ち不良対策として開発したオクソス DS およびその複合的種子処理技術であるリゾケア XL の特性と実証結果を示した。オクソス DS は酸素供給と沈降安定化により苗立ちを改善し、リゾケア XL はこれに病害虫防除機能を加えることで、より高い苗立ち安定性と省力化効果を示した。

全国試験（沖縄を除く）の結果、各資材は多様な播種方式や地域条件下で安定した効果を示し、苗立ち率向上、病害虫被害低減、補植・防除作業削減による栽培の安定化と効率化への貢献

が確認された。

これらの技術は、収量確保のみならず、省力化・除草剤使用量の最適化・環境負荷低減を通じて持続可能な稲作体系の構築に寄与する可能性が高い。今後は、気候変動や地域特性に対応した利用指針の整備と、農業者・研究機関・企業の連携による技術普及が重要である。

引用文献一覧

- 農林水産省 2024. 農業構造動態統計（令和5年）農林水産省統計部。
- 東北農業研究センター 2001. みんなで考えよう！水稲直播の鳥害回避策. https://www.naro.go.jp/laboratory/tarc/symple_blog/kome_bird/index.html
- 水稲直播研究会 2019. 水稲湛水直播栽培の手引き 改訂版。
- 萩原素之・井村光夫 1991. 種子近傍の土壌への過酸化石灰懸濁液の注入が直播水稲の出芽におよぼす影響. 北陸作物学会報 26, 9-12
- 農林水産省 2023. 最近の直播栽培の現状と技術の紹介。



奈良盆地にみる弥生時代の 水田稲作のその後

公益財団法人日本植物調節剤研究会奈良試験地 主任
奈良県立橿原考古学研究所特別指導研究員

稲村 達也

VI. 奈良盆地にみる弥生時代の水田稲作のその後

弥生時代における水田稲作の一部を、シリーズ①から⑤において、稲作が中国大陸から伝わった当初の水田の構造と栽培されていた稲の籾と稲わらの形態からお話してきた。

弥生時代以降も、必要な食糧を確保するために、先祖は水を確保することで新たな水田を拓いて水田面積を増やしてきた。奈良盆地では、河川に堰を設けて他の水路へ分水する樹枝状の水田灌漑システムが古墳時代にかたちづくられたとされている（広瀬 1991）。その後、飛鳥京から藤原京、そして平城京へと盆地の開発が進み、碁盤目に地割りした条里制が施行され、地割内において水田稲作が営まれ続けてきた。今回のシリーズ最終回では、奈良盆地における条里地割内での水田稲作の歴史と今を、生産性、安定性、持続性と扶養性の4つの視点から解説し、これからの水田農業の生きるすべを考えたい。

1. 条里地割内での水田稲作の始まりとその後

奈良盆地には、一辺 109m 四方の「坪」を単位とする条里地割りが施され、坪内に水田が配置されている（図-1）。この

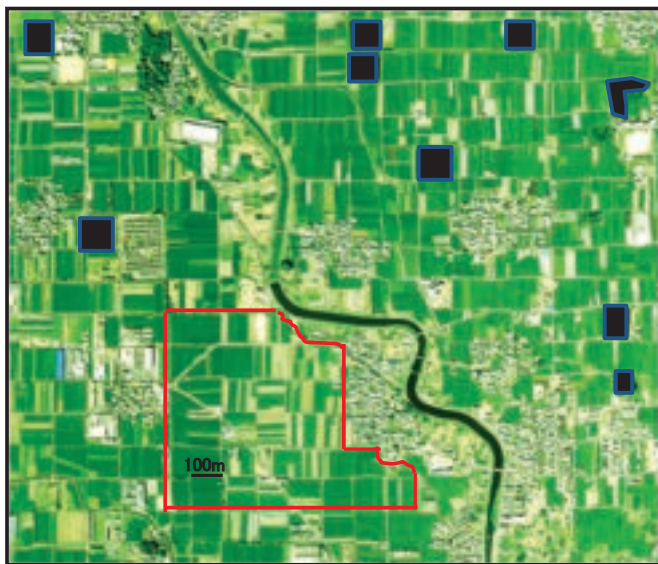


図-1 条里地割りに整然と並ぶ水田と溜池（奈良県桜井市）
赤線内が本文3の研究範囲（桜井市大西）で、図-3、図-4の調査範囲を含む。ため池は黒塗りの四角で、坪にほぼ相当する。（2009年9月1日撮影）

条里に沿った水田は、いつの時代に始まるのであろうか。この水田の形成は条里制が施行され始めた奈良時代に遡るのではなく、11世紀代に下るものであることが、奈良盆地での数多くの遺跡の調査（中井 1983; 山川 1993; 吉村 2006）と共に、土地利用を具体的に記載した文書・記録の整理（金田 1990）から明らかにされている。なお、奈良盆地に残る条里水田の原景観は、11世紀以降の寺社勢力の大規模な荘園開発が作り上げたものなのである（寺澤 2008）。

しかし、金田（1978）は、11世紀頃の平安期（794-1184）の奈良盆地の条里地割内には、荒地や不耕作地と共に畠が多く、たとえ作付しても収穫不能な場合も多く、このような状況が微地形や灌漑状況に規定されて生じた結果であるとしている。さらに、奈良盆地の灌漑に不可欠である溜池の大部分が平安期には存在しておらず、当時の灌漑条件は一般的にかなり悪い状態であったと推定している。

このような状況下において、12世紀頃を中心とする河川の改良によって灌漑水の供給量が増加し、条里制の中での新規の水田が急速に増加し（外延的規模拡大）、16世紀には現在の水田率にほぼ達したとされている。当時の水田は、水不足へ対応するために、冬季も湛水する湿田状態だったと考えられている。新規の水田を拓く余地が少なくなると、面積当りの年間生産を上げるための二毛作の普及（内包的規模拡大）が15世紀頃に始まる（宮本 1994）。16世紀に至ると、都市部の拡大に伴う商品作物の栽培が盛んとなり、二毛作が一般化する（山川 1993）。ここで、冬季に水田が乾田化する二毛作では、特に代掻き水の必要量が増加する。さらに、代掻き時期が冬作物の収穫後の入梅期に集中するため、代掻き水の必要量が二毛作の増加に伴って急増するのである。この増加する灌漑水への対応として条里地割りの中において、水稻栽培を犠牲にして水田を溜池にしてきた（図-1）。これによって二毛作の面積が更に増加するが、溜池の増加と二毛作の普及が不均衡であったため、慢性的な水不足状態になったと推定されている。これへの対応として、計画的に水稻を作付けしないで灌漑水の必要量を調整する農法、すなわち水稻に比較して有利な畑作物を夏季に栽培する水田の節水農法としての田畑輪換が17世紀に始まったとされている（宮本 1994）。

田畑輪換は、水田を通年畑状態とし夏作と冬作ともに畑作物

表-1 田畑輪換での作付体系の事例

時代	場所	作付体系	出典
17世紀前半	大和	イネ・ムギ-イネ・ムギ-ウリ類・ソラマメ	徳永1997
17世紀末	大和	イネ-イネ-ワタ, イネ-ワタ	宮本1994
18世紀後半	泉州	イネ-イネ-イネ-ワタ, イネ-イネ-ワタ-ワタ イネ-ワタ-イネ-ワタ, ?-イネ-アイ-ワタ	徳永1997
19世紀前半	大和	イネ-イネ-ワタ	徳永1997
	大和	ワタ・ナタネ-イネ・ナタネ-イネ・ハダカムギ	宮本1994
	西三河	ワタ・ムギ-ワタ・ムギ-ワタ・ムギ-イネ	岩崎1985
1950年代	奈良	ハダカムギ-スイカ(ダイズ, サトイモ) - ハダカムギ-イネ(5~6年)	鈴木1971
		イネ-(ムギ・果菜類)-晩植イネ-ムギ-イネ-ムギ	宮本1994
1970年代後半	丹波	ダイズ(丹波黒大豆)-イネ-イネ-イネ	耕地利用 研究会 1982
	京都	ダイズ-イネ	
	奈良	イチゴ-ナス-イネ-イネ-イネ	
	兵庫	スイカ-ハウレンソウ-ハウレンソウ-イネ-イネ-イネ イネ-イチゴ-野菜類	

注) 表中の「ハダカムギ-スイカ(ダイズ, サトイモ)」は、スイカとダイズ・サトイモとの間作を示し、ダイズはハダカムギの収穫跡に播種される。「(ムギ・果菜類)」はムギと果菜類の間作を示す。

を一定年数作り、その後再び水田に戻して夏作に稲を冬作に畑作物を作る作付け体系である。近世中～後期に奈良県、大阪府などの地域で全水田面積の30%まで広まったとされている(宮本1994)。畑作物は、夏作として近世ではワタ、大正時代からはスイカ、サトイモ、マクワウリ、ナスなど、冬作として麦類、ナタネ、ソラマメなどである。その後、戦時中の主食増産期を除き、1960年頃まで商品作物による現金収入を目的に盛んに行われた(表-1)。しかし、1970年代になると、施設園芸の増加と小規模農家の兼業化に伴って田畑輪換は減少してゆく。そして、水田総合利用対策(1976年)以降は、減反した水田に畑作物を作付けるかたちで復活し、現在に至っている。

2. 近世における田畑輪換の生産性、安定性、持続性、扶養性

近世の田畑輪換での作付体系は、輪換畑期間が1年で、輪換作物として水稲に比較して収益性の極めて高い商品作物(ワタ、アイ)が選択されていた(表-1)。近世の奈良盆地の田畑輪換では、地力の維持・増強によって高い年間の生産性を安定的に持続させるために、人糞尿の全量をはじめ、稲わらが250kg/10a、堆肥が約180kg/10a施用され、18世紀初めより、焼酎粕、ナタネ粕、干鰯などの有機質肥料が購入・施用され、その窒素量は19世紀後半へと増加し水稲や棉の栽培では年間

10kg/10aにも及んでいた(宮本1994; 徳永1997)。

この大量の有機質資材を土壌中に混和し、高い地力を発現させるために不可欠な深耕が実施されていた¹。その結果、奈良盆地における水稲収量は、近世中・後期において不安定ではあるが、18世紀末には450kg/10a水準に達し、生産性、安定性と持続性が向上することとなる(図-2)。そして、明治中期から大正後期まで水稲反収全国一位(奈良段階)となるのである。この様に、地力の増強による生産性と安定性を持続的に向上させるため、地域内での完全な物質循環が確立され、環境への負荷が極めて低い農法が実現していたのである。

ここで、一定面積の農耕地から得られる年間の生産物を用いることで扶養できる人数が、人口扶養力と定義されている。これを指標として、日本と欧州で展開された農業を比較する。分析の対象は化学肥料のない18世紀末から19世紀初め、伊能忠敬とナポレオンの時代である。作物の生産力は田畑輪換のオオムギで150kg/10a、ヨーロッパの畑作オオムギで84~117kg/10aであり、稲の収量が二毛作で300kg/10a、田畑輪換で375kg/10aと極めて高い²。そのため、耕地10a当たりの人口扶養力は、日本の水田で1.25~1.5人、ヨーロッパの畑地で0.21~0.30人となり、水田の扶養力が畑作の4~7倍と高かった(稲村・中川2001)。

日本の稲作を主体とする水田農業は、高い耕地利用率と高い

¹ 水田において備中鍬による深耕が行われていた(山本1982)。そして、輪換畑と裏作は高畝栽培(畝幅180cm程度)であり、排水のための溝(幅30cm, 深さ24cm程度)が掘られた。この溝は毎年同じ位置に掘られることはなく、5~7年で一巡することで、圃場の全体が深耕されていた(宮本1994)。この場合、雑草と雑草種子を含んだ高畝の土壌が溝に埋め戻され、水田と畑状態を5~7年繰り返した後に溝となり、埋め戻された土壌で高畝を形成するため圃場全体で雑草の発生が極めて少なくなっていたと推察される。この溝は中世の素掘り小溝と呼ばれ、発掘された素掘り小溝の一例をシリーズ1の図-1に示している。

² 作物の生産性は、環境条件のなかでも、降水量と気温、特に作物の生長期における両者に強く左右される。アジアの稲作地帯は、イネを含む夏作物の生育期間の気温が高く降水量も十分であるため、無機栄養条件が満たされておれば、作物だけでなく生産者である雑草の生育も非常に旺盛で発生する雑草の種類も複雑である。そのため、徹底した雑草管理を行い、こまめに作物の生育を管理すればするほど、作物の収穫量は増えるのである。

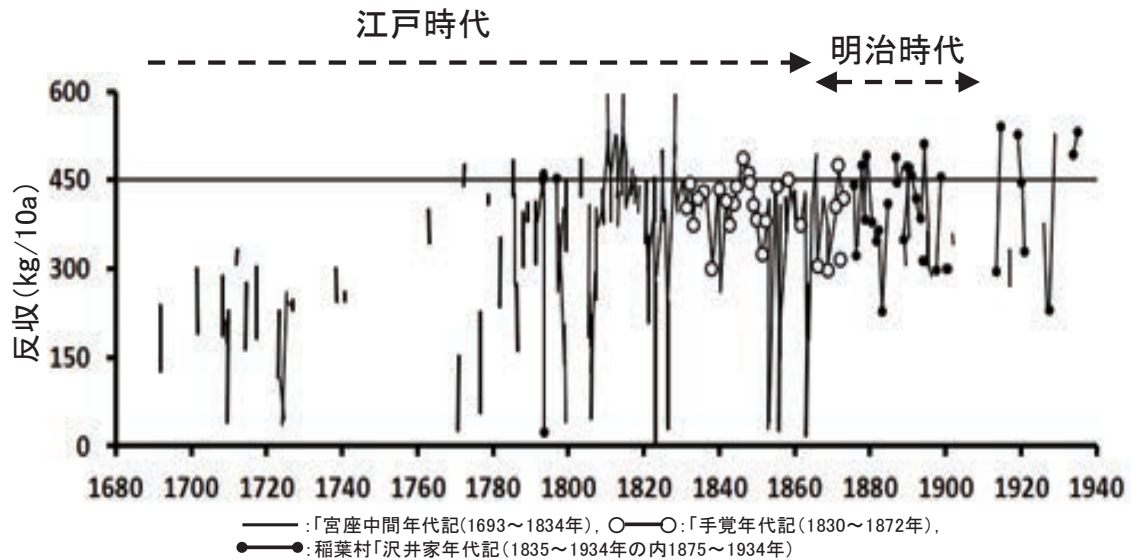


図-2 奈良盆地における水稲反収の推移 (宮本誠 1994 より作成)。

単収がしめすように家族労力を主体とした労働集約的で精緻な管理によって営まれる小規模経営で、その多くの労働力が水田の人口扶養力の高さによって支えられてきた。逆に、ヨーロッパの畑作は労働粗放的な管理技術に支えられ、畑作の扶養力の低さと相まって大規模な経営が成立し、農機具の発達をうながしたと考えられている。

アメリカの土壌学者F.H. キング (2009) が1909年 (明治42年) に中国、韓半島、日本を訪れ、「豊かな処女地をわずか3世代で疲弊させてしまう農法の地 [アメリカ] から、30世紀にわたる作物栽培の後にもなお肥沃な土を維持し続けている別の農法をとる土地にきたのだ。」と述べ、アメリカの略奪農法 (土壌肥沃度の取奪と土壌浸食による農地荒廃) と比較して、人糞尿をはじめ各種の有機物資材の完全な地域内循環による地力の増強による高い生産性、持続性および扶養性と、環境負荷の軽減に着目し、東アジアの持続的な水田農業を高く評価している。ちなみに、彼は1909年7月3日に大阪を出発し和歌山を経て奈良農事試験場を訪問し、堆肥小屋の構造と堆肥の製造方法を調査している。

3. 現在の集落営農による田畑輪換

田畑輪換を江戸時代から連綿と続けてきた奈良盆地の桜井市大西 (水田32ha) において、田畑輪換が集落営農に取り入れられている (図-1)。集落営農とは、集落の合意に基づいて、集落の全圃場をひとつの単位として実施される営農 (土地利用) である。そこで実施される田畑輪換では、水田を畑として利用する輪換畑での湿害回避、農業機械の有効利用、労力分散による適期作業などから、田畑輪換を実施する圃場を水利に応じて、特に湿害回避と農業機械の作業性のために不可欠な圃場の排

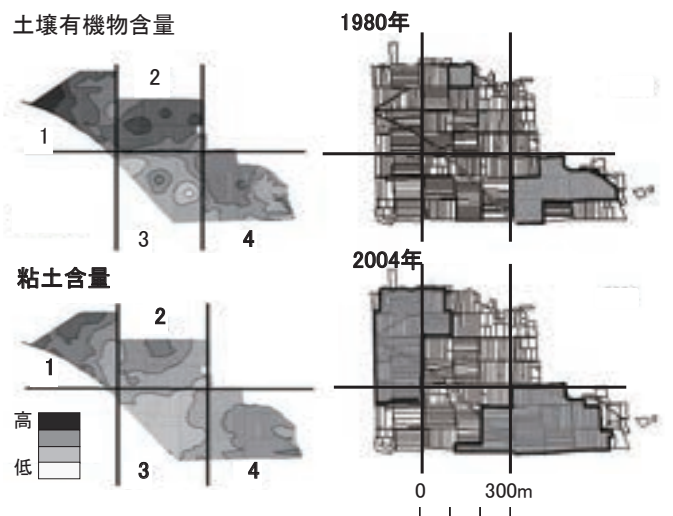


図-3 田畑輪換を実施している水田群における土壌特性値の含量の高低の分布パターン (左図) と輪換畑の集団化 (右図 塗りつぶし部分) (池永ら 2010 より作成)

水性に留意しながらいくつかのブロック (区画) にまとめ、作付順序をブロック毎にずらしていくブロックローテーションが取り入れられている。このブロックローテーションによる田畑輪換を集落で取り入れる方法は、農家が所有する水田がローテーション期間内において均等に畑として利用され、集落の農家の公平性確保と農地保全の視点から有効な農法なのである。

当地では、条里制の「坪」をブロックの基本単位とする集落営農による田畑輪換が行われている (図-3)。1980年代 (生産調整割合約29%) において、水稲・小麦・大豆の田畑輪換が、水田3年と輪換畑1年 (水稲-水稲-水稲-小麦-大豆) のブロックローテーションで行われていたが、2000年以降 (同約52%) では水田1年と輪換畑1年 (水稲-小麦-大豆) のロー

表-2 水稻、小麦、大豆における施肥、土壌、根粒由来の窒素利用

作物種 (品種名)		水稻 (ヤマヒカリ)		小麦 (ちくしW2号)		大豆 (インレイ)		
処理区の概要		牛糞+化学	牛糞	2001年	2002年	慣行	被服尿素	
収量 (kg/10a)		594	484	596	651	480	592	
施肥窒素量 (kg/10a)		A	16.3	8.3	16	16	1.6	11.6
窒素吸収量 (kg/10a)		B	9.9	7.4	13.0	16.4	33.0	39.3
内訳	施肥	C	4.8	2.3	7.4	8.1	0.2	6.4
	土壌	D	5.1	5.1	5.6	8.3	8.4	7.7
	根粒	E	-	-	-	-	24.5	25.2
由来別割合	施肥由来	C/B	0.48	0.31	0.57	0.49	0.01	0.16
	土壌由来	D/B	0.52	0.69	0.43	0.51	0.25	0.20
	根粒由来	E/B	-	-	-	-	0.74	0.64
窒素収支		A-B	6.4	0.9	3.0	-0.4	-31.4	-27.7
出典		徳永ら.2000		石丸ら.2016		高橋.1996		

テーションへと、水田期間が3年から1年へと短くなった。その結果、水田期間が1年となった水田では、土壌の全窒素と全炭素の低下に伴い土壌からの窒素発現量が減少（地力が低下）していた（池永ら 2005）。これは、地力を増強する水田期間に比較して地力を消耗する畑期間が相対的に長くなると共に、消耗する地力を回復させる有機物資材の土壌還元が不足していたからと推定される。このような地力の消耗は水稻や小麦ばかりでなく大豆においてもおこり（表-2）、田畑輪換の効果が高くなった収量に応じて土壌から持ち出される土壌窒素をまかなえる量の有機物供給がないかぎり、有機物消耗による土壌窒素と土壌物理性の低下が起こり、すべての作物において田畑輪換の有利性の喪失を招くことが予想される。このことを考慮すれば、新たな有機物供給による土壌有機物含量の増強と土壌窒素を十分に回復させる水田期間を延長した田畑輪換が必要になると考える。

4. 田畑輪換の将来

田畑輪換を実施する圃場群は、排水性と地力に関する土壌形質（土壌有機物含量と粒径組成）の高低の分布パターン（空間変動）から、4つの圃場群に分割される（図-3）。1980年代（生産調整割合約29%）、農家の総意によって設定された坪単位で構成される輪換ブロックは、土壌形質の分割された分布パターン内に収まり、輪換ブロック内の土壌形質の変動が小さく栽培管理が容易になっていたと推定される。2000年以降（同約52%）の2つの大きな輪換ブロックは分布パターン内に収まっていないが、輪換ブロック内の土壌形質の変動をできるだけ小さくするように輪換ブロックが配置されていた（図-3）。この様に、排水性と地力に関する土壌形質の高低の分布パターンに応じて輪換ブロックを配置することが、集落営農などの大規模経営における田畑輪換の生産性にとって重要と考える。

輪換ブロック内および圃場内において、排水性や地力の空間変動に応じて作物の収量が大きく変動しており、生産性の視

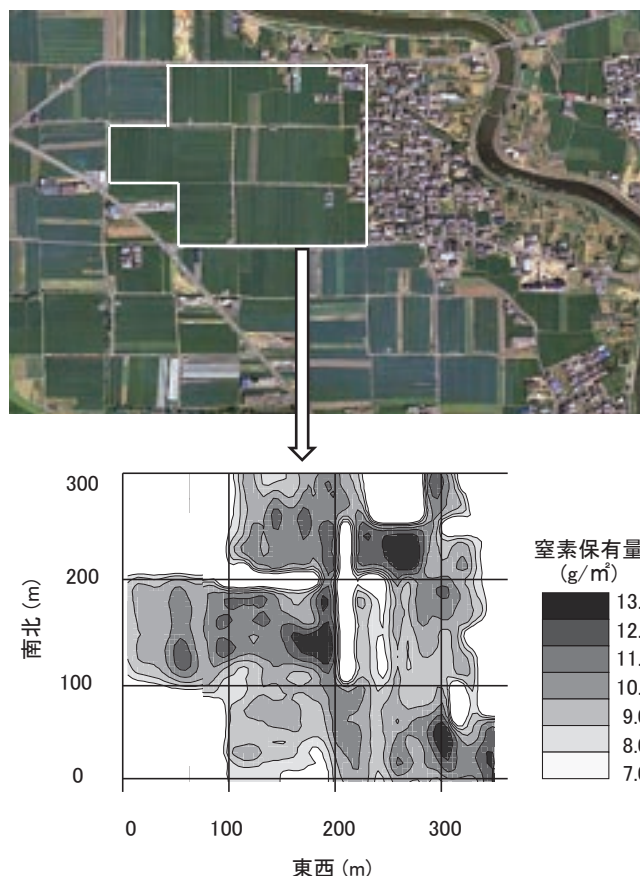


図-4 可変量管理の指標となる幼穂形成期窒素保有量の空間変動 (Ikenaga et al. 2007 より作成)

点から、水稻では幼穂形成期の地上部窒素保有量の空間変動（図-4）に応じて穂肥を制御する可変量施肥（Inamura et al. 2004）、コムギでは播種時土壌含水比の空間変動に応じて播種量を制御する可変量播種（稲村ら 2007）、ダイズでは莢数を介して収量に強く影響する開花期以降の乾物生産量の空間変動（村田ら 2019）を制御する可変量管理が有効と考えられる。

可変量管理とは、管理が必要な場所に必要十分な量の管理を施す農法である。この場合、可変量管理の導入によって生産

性と持続性を両立させるには、例えば、水稻の穂肥の可変量管理の指標となる幼穂形成期の窒素保有量の圃場内での変動（必要な場所、図-4）に基づいた可変量施肥による施用窒素の総量が、地域において許容される窒素投入量の上限（土壌窒素環境容量）を超えない範囲で、水稻の総収量を最大化するように施肥単位面積ごとの施肥量（必要な量）を決定・施肥する栽培管理が有効と考える（稲村 2005）。現在、可変量管理などの情報農業の開発・現地実証がスマート農業として進められている。

あとがき

作物の栽培技術には、作物の生育を対象とするものと、作物が生育する圃場環境（気象、土壌、雑草・病害虫など）を対象とするものがある。特に、土壌を対象とした栽培技術は、作物の生産性、安定性、持続性、扶養性の確保において重要な基本技術である。土壌を改良する栽培技術によって作物の生育・収量は向上し、その結果として作物が土壌に大きな影響を及ぼす相互関係を両者は有している。「弥生時代から連綿と続く日本の水田稲作のひみつ」は、この相互関係を上手に制御・利用して作物の生産性、安定性、持続性を確保し続けてきたことと、これを可能とする水田の立地環境（気温、降水量、土壌など）と、社会・経済的環境があったからなのである。

これからの日本の食生活（消費の実態）と農村の維持・発展へ対応する農法として、集落営農によって行う田畑輪換が有効な農法のひとつと考える。変化する食生活に対応するため、畑作物の作付けがさらに増加した田畑輪換において、作物と土壌との相互関係に応じた作物と土壌を対象とした栽培管理が作物の生育・収量の生産性、安定性、持続性、扶養性の確保においてさらに重要となってくるだろう。そして、地域の水田農業における生産性・安定性・扶養性と持続性の両立は、作物の生育・収量（食糧）の安定的確保の段階から、環境との調和はもとより、地球規模での温暖化に伴って時空間的に大きく変動する気象（気温・降水量・日射量など）と近年の社会情勢の不安定化によって急浮上している「食の安全保障」の視点から、資源の多くをもたない日本において今後さらに重要となってくると考える。

謝辞

奈良県立橿原考古学研究所の연구원の方々には、条里地割内での水田遺構について多くのご助言を頂いた。これらの方々に敬意を表したい。奈良県桜井市大西の田畑輪換に関する研究は、JSPS 科研費 16380016, 19380012 および 17H03758 の助成を受けた。

最後に、本シリーズの構想、編集、校正などの諸般にわたりご尽力いただいた渡邊寛明氏に厚く感謝の意を表したい。（完）

引用・参考文献

- 広瀬和雄 1991. 「水稻農耕 1 耕地と灌漑」『古墳時代の研究 4 生産と流通 I』雄山閣. 11-35.
- 中井一夫 1983. 奈良盆地における旧地形の復元. 考古学論叢 関西大学. 417-433.
- 山川均 1993. 「奈良盆地における条里制」高月遺跡第 4 次発掘調査報告. 大和郡山市教育委員会, 21-43.
- 吉村和昭 2006. 「第 IV 部 箸尾遺跡総論」箸尾遺跡 I. 奈良県立橿原考古学研究所調査報告九十七冊 奈良県立橿原考古学研究所, 510-527.
- 金田章裕 1990. 国図の条里プランと荘園の条里プラン. 日本史研究 332, 1-35.
- 寺沢薫 2008. 日本の歴史 02 王権誕生. 講談社. 79-91.
- 金田章裕 1978. 平安期の和和盆地における条里地割内部の土地利用. 史林 61(3), 407-444.
- 宮本誠 1994. 奈良盆地の水土史. 農文協. 1-309.
- 徳永光俊 1997. 日本農法史研究. 農文協. 1-334.
- 岩崎公弥 1985. 西三河地域における近世綿作の地域的特色. 地理学評論 58, 349-369.
- 鈴木栄次郎 1971. 大和スイカ全編. 富民協会. 1-470.
- 耕地利用研究会（代表 栗原 浩）1982. わが国における耕地利用の現状とその地域性. 京都大学農学部作物研究室. 1-622.
- 山本喜三郎（徳永光俊・谷山正道 現代語訳・解題）1982. 山本家百姓一切有近道（大和）. 日本農書全集 第 28 卷. 農文協 東京. 121-316.
- 稲村達也・中川重年 2001. 現代日本生物誌 7 イネとスギ. 岩波書店. 1-170.
- F.H. キング（杉本俊朗 訳）2009. 東アジア四千年の永続農業（上 下）. 農文協. 1-264, 1-218.
- 池永幸子・遠藤好恵・稲村達也 2010. 田畑輪換を実施している連続圃場集合体における土壌特性値の空間変動解析. 土肥誌 81, 207-214.
- 池永幸子・松本二香・井上博茂・稲村達也 2005. 田畑輪換における土壌の窒素発現と水稻による窒素吸収の圃場間と年次間の変異—奈良盆地における 4 年間の比較—. 日作紀 74(3), 291-297.

- 徳永哲夫・福永明憲・松丸泰郷・米山忠克 2000. 堆肥および化学肥料を施用した水田における $\delta^{15}\text{N}$ 値を用いた水稲の起源別窒素量の推定の試み. 土肥誌 71(4), 447-453.
- 石丸知道・荒木雅登・荒木拓哉・山本富三 2016. 中華めん用コムギ品種「ちくし W2 号」の子実タンパク質含有率における施肥窒素の利用率和地力窒素の寄与率. 日作紀 85(4), 385-390.
- 高橋能彦 1996. 水田転換畑におけるダイズに対する深層施肥法の開発と安定多収効果の解析. 新潟県農業試験場研究報告 41, 53-104.
- Inamura, T., K. Goto, M. Iida, K. Nonami, H. Inoue and M. Umeda 2004. Geostatistical analysis of yield, soil properties and crop management practices in paddy rice fields. *Plant Prod. Sci.* 7, 230-239.
- 稲村達也・吉川茜・松本憲悟・池永幸子・井上博茂・山末祐二 2007. コムギ収量の圃場内変動をもたらす要因の解析と可変量管理の可能性. 日作紀 76, 189-197.
- 村田資治・山下紘輝・稲村達也 2019. 奈良県と山口県においてダイズ品種「サチユタカ」を密植しても増収しない要因の解明. 日作紀 88(4), 237-245.
- Ikenaga, S., K. Goto, M. Suguri, M. Umeda and T. Inamura 2007. Geostatistical analysis of spatial variability of paddy rice nitrogen in paddy-upland rotational fields for extension of precision agriculture. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery* 69(2), 69-78.
- 稲村達也 (編著) 2005. 栽培システム学. 朝倉書店. 1-195.

イネ科多年生植物サヤマカグサの図解・記述の多くは
雑種サヤマカグサ (仮称) に相当

森田 弘彦

水田の多年生雑草エゾノサヤマカグサ (*Leersia oryzoides* (L.) Sw.) について、「(雑草関係者のみならず一部の植物研究家の間でも)・・特に東北地方以南では実物の認識が進んでいないようだ。」と述べた(雑草のよもやま 37, 植調 58(6), 2024)。同じ属のサヤマカグサ (*L. sayanuka* Ohwi = *L. oryzoides* Sw. var. *japonica* Hack., 図-1) も、エゾノサヤマカグサに輪をかけて「実物が認識されていない」植物と言える。エゾノサヤマカグサとサヤマカグサの間の雑種サヤマカグサが分類群として示され、小穂の形態と稔性を主とする特徴が提示されたことによって、サヤマカグサ属植物の取り扱い上の混乱の整理が可能になった(森田 雑草学会 64 回大会講演要旨集, 2025)。そこで、イネ科多年生植物のサヤマカグサの図解や記述を雑種サヤマカグサと対比して年代順に検討する。

江戸時代末期の幕府の医官、曲直瀬正貞(1809-58: 磯野直秀 日本博物学史覚え書, 慶大日吉紀要自然科学 31, 2002) が稿本「雑艸譜」に、「サヤマカグサ 尾州 ホタルクサ 京(筆者注: マはヤの誤記とする)」と付記した、開出した1穂と「同前」と記した抽出途中の2穂の2枚の彩色図(図-2: 国立公文書館デジタルアーカイブ)が、日本で最初のサヤマカグサの記載であろう。この2枚の図は、日本初の理学博士で、博物学者の伊藤圭介(1803-1901)が、稿本「錦窠禾

本譜」の付録として校訂・編集した「曲直瀬正貞自筆本 正本芒類写真 乾坤」にも収録されたが、開出穂の図ではなぜか最下の枝梗が欠けている(国立国会図書館デジタルアーカイブ)。曲直瀬は地味なイネ科・カヤツリグサ科植物の個々の特徴をよくとらえた優れた図を描いた。しかし、雑種サヤマカグサの存在(雑草のよもやま 32, 2023)を考慮すると、「雑艸譜, 芒類写真」の4枚の図は、サヤマカグサとしては小穂の細長さが足りず、筆者には雑種サヤマカグサに見える。

1896年、東京帝国大学植物学教室の松村任三先生は、オーストリア=ハンガリー帝国のイネ科植物の研究家 Eduard Hackel 氏(1850-1926)にイネ科植物のさく葉標本を送り、「案外ニモ新種多クシテ氏ハ日本植物ノ未ダ探検不十分ナルニ驚キヌトノ回答ヲ得」て、Hackel 氏の「日本の植物学雑誌に発表しては」との指摘に対して、「日本人ノ拉丁文ヲ解セサルモノハ為ニハ馬耳東風ノ歎アレバ却テ歐州ノ雑誌ニ登載シテ早く日本ニ幾多ノ新種ヲ発見セル旨ヲ報知センニハ如カスト余ハ回答ニ及ビヌ故ヲ以テ茲ニハ唯名稱ノミ掲載シテ之ヲ解釋スルニ和名ヲ以テスルノ外ニ出ズ」と記した(日本禾本科雑報, 植物學雑誌 130, 1897)。「サヤマカグサ」はこの中に以下のように示された。

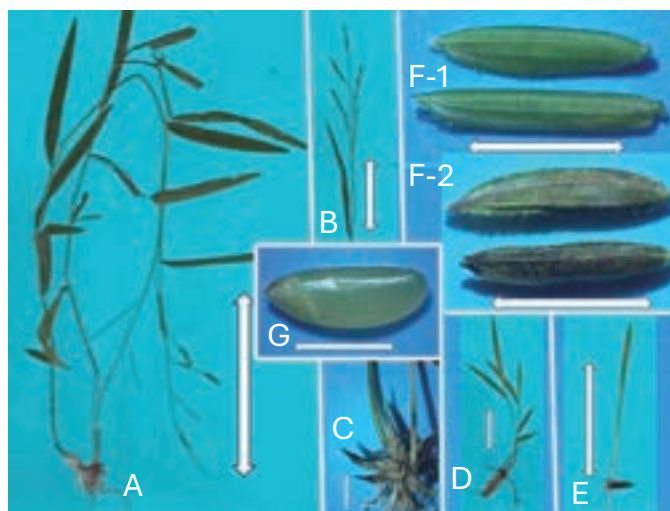


図-1 イネ科多年生植物サヤマカグサ (*Leersia sayanuka* Ohwi) の各部の形態
(A: 結実期の全形, B: 穂 5cm, C: 株基部の越冬芽, D: 萌芽苗, E: 実生苗, F: 小穂 -1 開花前・-2 成熟後, G: えい果
スケール: A, B, D・5cm, C, F・5mm, E・4cm, G・2mm)

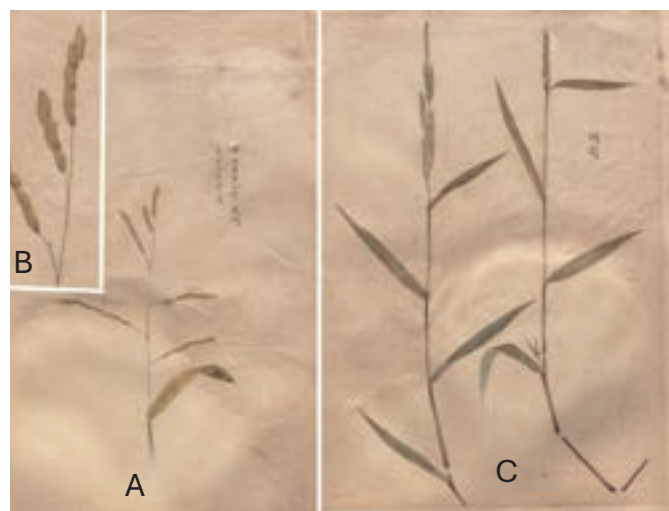


図-2 曲直瀬正貞(1809-1858)のイネ科植物彩色稿本「雑艸譜上冊」のサヤマカグサの図(A: サヤマカグサ, 「マ」は「ヤ」の誤記, B: 穂を拡大, C: 「同前」 国立公文書館デジタルアーカイブ <https://www.digital.archives.go.jp/img/1238588> から)

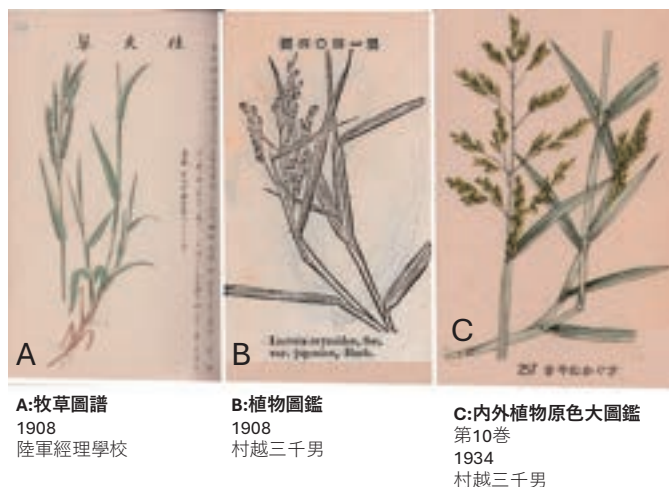


図-3 明治末期から昭和初期の植物図鑑類での、小穂の拡大図を欠くサヤヌカグサの線画

(22) * *Leersia oryzoides*, L. var. *japonica* Hackel. var. nov.

ハ (サヤヌカグサ) ナリ變種ノ新稱ハ今回ハツケル氏ノ創設ニ係ル

ハンガリーにはエゾノサヤヌカグサ (*L. oryzoides* Sw.) が分布する (雑草のよもやま 37) ので、Hackel 氏はさすがに日本からの標本の *oryzoides* との違いに気づいて変種に扱ったのであろう。これ以降、独立した新種 *L. sayanuka* Ohwi と扱われる (大井次三郎 東亜植物資料, 植物分類・地理 7, 1938) まで「サヤヌカグサ」には上記の学名が使われた。

明治時代の末期から、身近な自然を重視する理科教育を背景に一般向けに多く刊行された植物図鑑 (俵 浩三 「牧野植物図鑑の謎」, 1999) の中には、種の判定に重要な小穂の詳細図を欠く「サヤヌカグサ」が掲載された (図-3)。図-3-A は曲直瀬の図に次ぐ彩色図であるが、サヤヌカグサにしては小穂の着粒密度が高すぎる。その後、次第に小穂の図が加わるようになった (図-4) が、これらの小穂の図は「長楕円形 (牧野富太郎 「牧野日本植物圖鑑」, 1940)」で、サヤヌカグサとしては「長さ」が足りず、雑種サヤヌカグサの小穂と考えられる。なお、図-3C, と図-4B, 図-4C の植物本体の図は共通の構図で、その初出は「牧野富太郎 「日本植物圖鑑」, 1925」である。

前記のように 1938 年、大井次三郎博士が「稈の節部の毛茸が極短かくて、葉が軟かくて、しかもその縁にも縁毛が全く無く、小穂が細長くてその上にある毛茸も甚だ短かい・・・ (大井 前出)」点に着目して、エゾノサヤヌカグサから独立した種とした。小穂は、ラテン語の記載文では、「*linearioblongis compressis 6-7 mm longis 1.5 mm latis* (線状楕円形, 扁平, 長さ 6-7mm, 幅 1.5mm)」と記されたが、全形や小穂の図解や写真は示されなかった。

第二次世界大戦後 20 年を経過して、1968 年に岡山大学の笠原安夫先生刊行の「日本雑草図説, 1968」にはえい果を含

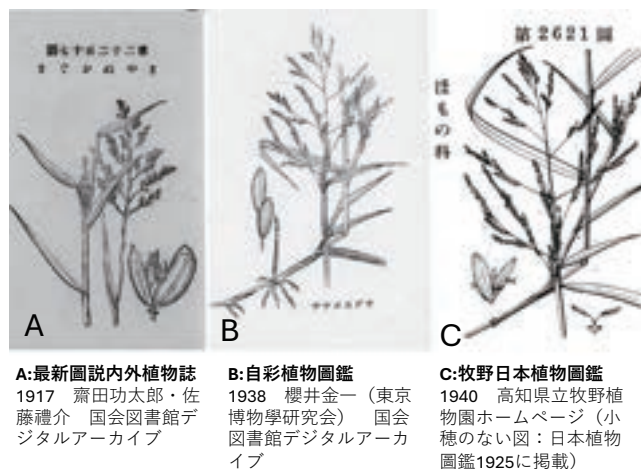


図-4 大正から昭和初期の植物図鑑類での、「サヤヌカグサらしくない」小穂の拡大図を持つサヤヌカグサの線画

む「サヤヌカグサ」の図がある。説明文では小穂のサイズに触れていないが、えい果 (そう果) について「扁平長倒だ円形・・・ (中略)・・・長さ 3.0 ~ 3.5mm, 幅 1.2 ~ 1.52mm, 厚さ 0.12 ~ 0.2mm」とあり、外穎の竜骨部の湾曲の著しい小穂の図と併せると、この図はエゾノサヤヌカグサに相当する (雑草のよもやま 32)。

後志地方を中心に北海道の植物を研究された桑原義晴先生は、線画による「日本イネ科植物生態図譜 第 1-4 巻, 1975-82」を刊行し、「サヤヌカグサ」を「同図譜 第 3 巻, 1977」に収録し、小穂を「長さ 5.5mm-6.5mm」と記して図示した (沼田・吉沢 「日本原色雑草図鑑, p.167」, 1968, 「桑原義晴日本イネ科植物図譜 p.297」, 2008 にも掲載)。この図の小穂の外穎竜骨部はやや湾曲し、またえい果の情報を欠くことから、桑原図譜の「サヤヌカグサ」の図は雑種サヤヌカグサと考える。また、帰化植物に関して多数の著作を残された長田武正先生の精密な線画、「日本イネ科植物図譜, 1987」は現在でも日本のイネ科植物の基本的情報源である。ここでの「サヤヌカグサ」の小穂は、「(エゾノサヤヌカグサに比べ) 長さのわりに幅が狭く、両面はほとんど緑色で、白色部が狭く、竜骨上の刺状の剛毛が短く、両面の毛も短くてまばらであり、葯はやや長いなど」、「長さ 5-6.5mm, 幅 1.6mm」と記述されたが、小穂の図はサヤヌカグサほど細長くない、また、えい果の情報がない。さらに「慣れていなくとも識別できる」両種を、「葉がやや軟らかく、鮮緑色で、なれると花がなくてもほぼ見分けがつく。」と記述したことから、この「サヤヌカグサ」も雑種サヤヌカグサとするのが妥当である。桑原、長田図譜のサヤヌカグサ図の本稿への転載は控えるので、原本を参照されたい。

なお、長田図譜での「(サヤヌカグサの) 染色体は $2n=60$ 」の出典と考えられる文献 (平吉 功 稻屬近縁植物の染色体数, 遺伝学雑誌 13(3), 1937) には「*Leersia oryzoides* var. *japonica* 葉鞘から穂が全部抽出し切らない場合が多く、未だ嘗て種子が稔ったことを見ない。」と記されており、ここで供試され



図-5 自生地で出穂時期のサヤマカグサ (茨城県牛久市)

た「サヤマカグサ」が雑種サヤマカグサであったことが推察できる。なお、サヤマカグサの染色体数はエゾノサヤマカグサ、雑種サヤマカグサと同じ「 $2n=48$ (保田ら 2023)」である。

和名に関して、曲直瀬の「雑艸譜」では「サヤマカグサ 尾州 (尾張, 愛知県の一部)」とある。方言の「さやぬか」は「ぬか 粃がら。岐阜県武儀郡。(東條 操編「全国方言辞典 44 版」, 1977)」を意味する。Web 情報では方言の「さやぬか」は「もみがら」で「糠」の方は「こぬか」と区別されるらしい。サヤマカグサは立派に稔実するので、「もみがらだけ」に着目して曲直瀬が名付けたとすると、これは「雑種サヤマカグサ」を指

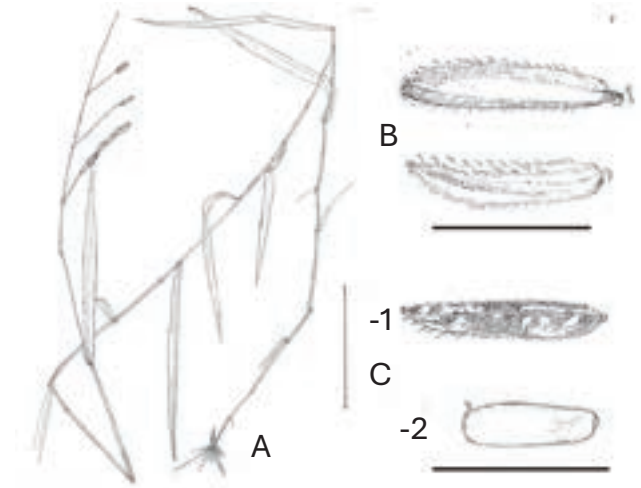


図-6 筆者の視点でのサヤマカグサの線画 (A: 脱粒の進んだ穂をつけた稈, B: 出穂直後の小穂, C: -1・成熟期の小穂と-2・えい果 スケール: A・5cm, B, C・5mm 茨城県牛久市産)

すと考えるのが妥当であろう。

写真を用いた植物図鑑類を別として線画による主要な図鑑類で、サヤマカグサが雑種サヤマカグサと描き分けられてこなかったことが、この植物の実体把握を妨げてきた、と言えよう。サヤマカグサ属植物は日本の水田環境において雑草群落の重要な構成種なので、サヤマカグサについても実体 (図-5, 図-6) に基づいた正確な情報が提供されるよう期待する。(本稿は 2025 年 3 月の日本雑草学会第 64 回大会での「正確に図解されてこなかったイネ科多年生植物サヤマカグサ」を基に作成した。)

嫁菜 (ヨメナ)

キク科シオン属の多年草。本州の中部地方以西、四国、九州に分布し、やや湿った道端や土手、田のあぜ道などに普通に生える。背丈は30cm～120cmほど。芽立ちのころは茎の基部が赤みを帯び、生育に連れて上部でよく分枝する。地下茎があり、長く横に走らせて群落を作る。葉は長さ8～10cm、幅約3cmで長楕円形～披針形で互生し、縁には浅くて大きな鋸歯がある。7月～10月に分枝した枝先に径2～3cmの頭花を付ける。周りの舌状花は雌性で淡紫色～白色、中央の筒状花は両性で黄色。花弁が落ちた後には果実が並んでいる。果実にある冠毛は0.3mmほどなのでタンポポのような綿毛はない。

「嫁菜」という名は、美しい「嫁」のような花で若芽が食べられるから「菜」ということで名付けられたとされ、実際に春の若芽の中では最も美味であり、根元から切り取るように採るとキク科特有の香味があり、シュンギクのような味と香りがする。茹でておひたしとか和え物、炒め物、ヨメナご飯など、多様な食べ方がある。ヨメナは中部地方以西に分布するとされ、関東以北でもヨメナのように若芽を摘んで食べるシラヤマギクがあり、「嫁菜」に対して「婿菜」と呼ばれたりする。

ヨメナはいわゆる代表的な「野菊」の一つである。その野菊を題材にした小説に伊藤佐千夫の「野菊の墓」がある。矢切の渡しに近い旧家の息子である15歳の政夫と2歳年上の義姉の民子との淡い恋を描いた小説で、悲しい結末に至るのだが、その中で巧みに野菊が使われている。その「野菊の墓」の詳細は読んでいただくとして、小説は大人になった政夫が10数年前を思い出すという形式で進んでいく。

後の月の時分というから旧暦の9月13日の頃、新暦では年によって時期は違ってくるが凡そ10月中旬から11月上旬頃になる。二人は山畑の綿を取りに行くように命じられ出かけていく。二人が行く道の真ん中は乾いているが両側の田についているところは濡れて、^{うらが}末枯れたタウコギ、水蕎麦麥などが繁り、都草も黄色く花が見える。野菊がよろよろと咲いている。政夫が野菊の花を一握り採ったあと、お互いに幼馴染であった二人

須藤 健一

が、それぞれに恋心を自覚するのであるが、その場面。

政夫が「民さんは野菊のような人だ」「僕は野菊が大好きだ」と言うと、民子は「政夫さんはりんどうの様な人だ」と笑いながら言う。政夫は「民さんがりんどうを好きになってくれればなお嬉しい」と続ける。

佐千夫は、まことに民子は野菊の様な児であった。民子は全くの田舎風ではあったが、決して粗野ではなかった。可憐で優しくしてそうして品格もあった。厭味とか憎気とかいう所は爪の垢ほどもなかった。どう見ても野菊の風だった、と民子に野菊を当てはめる。

二人が夜遅く家に帰ると二人の関係を咎められ、政夫は予定より早く中学へ進学し、民子は無理に結婚させられてしまう。その後、民子は流産から体調を崩し死んでしまう。民子の墓に参った政夫は弔いの人に踏まれたらしいけれどなお青々として立っている野菊を見つけた。さらに七日の間墓へ通って、民子の墓の周辺一面に野菊を植えた。

北海道から沖縄まで多種多様な「野菊」と呼ばれるキク科植物があるが野菊という植物はない。



協会だより

試験成績検討会

- 2025年度リンゴ・落葉果樹関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会 (Web会議)

日時：2026年2月2日 (月) 10:00~17:00

2025年度 植調関東支部雑草防除研究会

日時：2025年12月23日(火) 13:15~17:00

場所：ZoomによるWeb研究会(話題提供者等は植調会館会議室参加も可)

内容：(1)除草剤の基礎講座

- ・なぜ除草効果が発現するのか(植調協会)
- ・除草剤の効果向上のポイント(植調協会)
- ・除草剤抵抗性雑草がなぜ出現するのか(農研機構 中日本農業研究センター)

(2)除草剤の散布技術

- ・ドローン(産業用マルチローター)を中心とした空中散布について(農林水産航空・農業支援サービス協会)
- ・地上散布技術と除草剤の剤型について(植調協会)

(3)若手技術者・指導者に向けた支援について

- ・栃木県の事例(栃木県農政部経営技術課)
- ・茨城県の事例(茨城県農業総合研究センター 専門技術員指導室)
- ・総合討議 若手雑草防除指導者・研究者の育成に向けて(農研機構植物防疫研究部門)

なお、参加申込みは12月15日(月)までで終了しています。

訃報

高知試験地主任 山崎幸重 (63歳)

2025年11月19日逝去

研究会等

- 日本農薬学会第51回大会

日時：2026年3月15日(日)~3月17日(火)

3月15日 総会・授賞式・シンポジウム・受賞講演・懇親会・受賞祝賀会

3月16日~17日 一般講演・ランチョンセミナー・一般講演・シンポジウム

場所：くにびきメッセ(総会,授賞式,記念シンポジウム)

(島根県松江市学園南1丁目2-1)

ホテル一畑(懇親会・受賞祝賀会)

(島根県松江市千鳥町30)

島根大学松江キャンパス

(一般講演,シンポジウム,企業展示等)

(島根県松江市西川津町1060)

一般講演申込み：本学会会員及び日本植物病理学会、日本応用動物昆虫学会、日本雑草学会、植物化学調節学会の会員のうち、令和8年度会費納入者に限ります。

申込締切日：2026年1月16日(金)

参加費：植物保護科学連合加盟団体である他の4学会(日本植物病理学会、日本応用動物昆虫学会、日本雑草学会、植物化学調節学会)の正会員の方は、本学会会員と同額の参加費となります。下記は講演要旨集電子版の代金を含みます。(括弧内は1月31日以降申込みの金額)

大会参加費	正会員	9,000円	(12,000円)
	非会員	12,000円	(15,000円)
懇親会費	正会員	9,000円	(12,000円)
	非会員	9,000円	(12,000円)

申込み：大会ホームページにて参加登録を受け付けます(<https://pssj2.jp/congresses/51/taikai51.html>)。2026年1月30日を過ぎると参加費の割引が受けられず、また事前の参加証の送付もされません。

詳細：下記開催案内サイトでご確認ください。

(<https://pssj2.jp/congresses/51/taikai51.html>)

●日本雑草学会第65回大会

大会案内は日本雑草学会の大会ウェブサイト(<https://wssj.jp/conference/>)で随時更新されます。

日時：2026年3月25日(水)若手の会(大潟村予定)

3月26日(木)一般講演・ポスター発表，ラン
チョンセミナー，ミニシンポ，会員総会，
学会賞受賞者講演，懇親会

3月27日(金)一般講演・ポスター発表，
ミニシンポ

場所：3月26日(木)～27日(金)

一般講演・ポスター発表，総会等

秋田県立大学秋田キャンパス

(秋田県秋田市下新城中野街道端西241-438)

懇親会

秋田キャッスルホテル

(秋田県秋田市中通1丁目3番5号)

一般講演・ポスター申込み：

講演要旨の提出をもって発表申込みとします。縮
め切り後の講演要旨の修正はできません。発表者
は正会員(学生会員を含む)及び日本農業学会会員，
植物化学調節学会会員に限ります。

【講演要旨締切日：2026年1月13日(火)】

2025年12月に開設予定の参加・演題登録システム
にてお申し込みください。

参加費：講演会参加費 会員(一般) 5,000円

非会員(一般) 8,000円

講演要旨 3,000円

懇親会費 (未定)

参加申込み・期限：参加・演題登録システム(ウェブサイ
トの大会案内に掲載)より，2026年2月20日(金)
までに申込みください。

詳細：下記開催案内サイトでご確認ください。

(<https://wssj.jp/conference/>)

■除草カタログ 公開中



植調協会はWebサイト「除草カタログ」を公開しました。
(<https://joso-catalog.japr.or.jp/>)

除草カタログは、難防除雑草や外来雑草など様々な問
題雑草ごとに、有効とされた除草剤の処理時期・処理方法
や各種技術と組み合わせた防除体系など、防除に役立つ情
報を分かりやすくまとめて発信するとともに、全国各地で
実践された問題雑草の防除レポートを掲載して、ユーザー
の皆様へ情報共有していただくWebサイトです。

問題雑草で困っている農家の方々や技術普及関係者の皆様
に少しでも早くご活用いただきたいと考え、現時点では掲
載草種数等が少ない状態ですが、試験運用を開始していま
す。今後も掲載情報を充実させてまいりますので、ぜひご
活用ください。

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
技術部企画課

植調第59巻 第9号

■発行 2025年12月22日

■編集・発行 公益財団法人日本植物調節剤研究協会
東京都台東区台東1丁目26番6号
TEL 03-3832-4188 FAX 03-3833-1807

■発行人 大谷 敏郎

■印刷 (有)ネットワン

© Japan Association for Advancement of Phyto-Regulators (JAPR) 2025
掲載記事・論文の無断転載および複写を禁止します。転載を希望される場合は
当協会宛にお知らせ願います。

取 扱 株式会社全国農村教育協会
〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6 (植調会館)
TEL 03-3833-1821

Quality & Safety

食の安全と環境保護に配慮した製品を提供し、安定した食料生産に貢献してまいります。

株式会社エス・ディー・エス バイオテックが開発した有効成分を含有する水稲除草剤

グッドラック500グラム粒剤/フロアブル/ジャンボ/150FG (ベンゾピシクロン)

アピロファースト1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)

ダンクショットフロアブル/ジャンボSD/200SD粒剤 (ベンゾピシクロン/カフェンストール)

イザナギ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボSD/200SD粒剤 (ベンゾピシクロン)

イネヒーロー1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/エアー粒剤 (ダイムロン)

ウィードコア1キロ粒剤/ジャンボSD/200SD粒剤 (ベンゾピシクロン)

ラオウ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)

カイシMF1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)

バットウZ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾピシクロン)

アシュラ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/400FG (ベンゾピシクロン)

天空1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾピシクロン)

ゲバード1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾピシクロン/ダイムロン)

レプラス1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ダイムロン)

ホットコンビフロアブル (ベンゾピシクロン/テニルクロール)

アネシス1キロ粒剤 (ベンゾピシクロン)

ジャイロ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾピシクロン)

テッケン/ニトウリュウ1キロ粒剤/ジャンボ (ベンゾピシクロン)

ベンケイ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ (ベンゾピシクロン)

銀河1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)



軽量・少量自己拡散製剤 Swift Dynamic製剤 (SD製剤) の製品

Swift Dynamic

イザナギジャンボSD
イザナギ200SD粒剤




ウィードコアジャンボSD
ウィードコア200SD粒剤



ダンクショットジャンボSD
ダンクショット200SD粒剤



〒101-0022 東京都千代田区神田練塀町3番地 AKSビル5階
TEL.03-6867-8320 FAX.03-6867-8329 <https://www.sdsbio.co.jp>



根も止める

有効成分「アルテア」は、多年生雑草の地上部を枯らすだけでなく、翌年の発生原因となる塊茎の形成も抑えます。日本の米づくりを根本から進化させる新しい効き目、「アルテア」配合の除草剤シリーズに、どうぞご期待ください。

これからの日本の米づくりに

アルテア[®]

配合除草剤シリーズ
<https://www.nissan-agro.net/altair/>





オモダカ



ホタルイ



コナギ



イボクサ

サイラ®とは 「サイラ/CYRA」は有効成分の一般名：シクロピリモレート (Cyclopyrimorate) 由来の原体ブランド名です。

サイラは、新規の作用機構を有する除草剤有効成分です。オモダカ、コナギ、ホタルイ等を含む広葉雑草やカヤツリグサ科雑草に有効で、雑草の根部・莖葉基部から吸収され、新葉に白化作用を引き起こし枯死させます。新規作用機構を有することから、抵抗性雑草の対策にも有効です。また、同じ白化作用を有する4-HPPD阻害剤(テフリルトリオン、ベンゾピシクロン等)と相性が良く、混合することで飛躍的な相乗効果を示します。

除草剤分類 33 除草剤の作用機構分類(HRAC)においても新規コード33 (作用機構:HST阻害)で掲載され、注目されています。

新規有効成分サイラ配合製品ラインナップ

水稲用一発処理除草剤

シエイソウル®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

シヤスマ®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ・400FG

ワサウエポン®

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ・400FG 500グラム粒剤・フロアブル・ジャンボ・150FG

ウルテモZ

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ・350FG

グッドラック®

イネケーン®

1キロ粒剤・ジャンボ

水稲用中・後期処理除草剤

バイスコープ®

1キロ粒剤

ルナカロス®

1キロ粒剤

ソニックブームZ

1キロ粒剤

ガンカロスZ

1キロ粒剤

ソニックブーム®

ジャンボ

ガンカロス®

ジャンボ



三井化学クロップ&ライフ
ソリューション株式会社
東京都中央区日本橋 1-19-1 日本橋ダイヤビルディング



®を付した商標は三井化学クロップ&ライフソリューション(株)の登録商標です。

協友アグリ®の省力化技術

FG

FG剤で田んぼの除草が変わる。



詳しくはこちら



協友アグリ FG剤 検索

水稲用一発処理除草剤 FG剤ラインナップ

アツパレZ

バッチリLX

アットカZ

アッシュ

先陣

サラブレッドGO

その他もラインナップたくさん ▶▶ オイカゼZ ガツトZ サラブレッドKAI ジェイフレンド バッチリ

- 使用前にはラベルをよく読んでください。
- ラベルの記載以外には使用しないでください。
- 本剤は小児の手の届く所には置かないでください。
- 空袋は圃場などに放置せず、適切に処理してください。



協友アグリ株式会社 〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町6-1

お問い合わせ <https://www.kyoyu-agri.co.jp/contact/>

®は協友アグリ(株)の登録商標です。

このアプリで
一気に問題解決!!

見つけて
AI診断・AI予測で
作物の問題を診断・早期発見

調べて
豊富なデータベースから
問題を検索・確認

対処する
問題に最適な農薬を紹介

スマートフォン用アプリ

レイミーのAI病害虫雑草診断

農作物に被害を及ぼす病害虫や雑草を写真からAIが診断し、
有効な薬剤情報を提供する、スマートフォン用の防除支援ツールです。

無料!

※画像は実機中のものにつき、実際の仕様とは異なる場合があります。

■本アプリケーションで使用されているAI診断学習モデルは(株)NTTデータCCSと日本農業(株)の共同開発です。

■本システムは農林水産省の農業界と経済界の連携による生産性向上モデル農業確立実証事業「防除支援システム研究会(H30~R1)」の成果を社会実装したものです。

開発

NICHINO
日本農業株式会社

NTT data

株式会社 NTTデータ CCS

参加

日産化学株式会社

日本曹達株式会社

日産化学株式会社

MBC 丸和バイオケミカル株式会社

アプリの
無料
ダウンロード
はこちら

日本農業ホームページから
日本農業 検索

豊かな稔りに貢献する 石原の水稲用除草剤



ランコトリオンナトリウム塩がSU抵抗性雑草に効く!

- ・3.5葉期までのノビエに優れた効果
- ・SU抵抗性雑草に優れた効果
- ・無人航空機による散布も可能(1キロ粒剤)



ノビエ3.5葉期、高葉齢のSU抵抗性雑草にも優れた効き目

ゼンイチ MX 1キロ粒剤 / ジャンボ

フルパグ MX 1キロ粒剤 / ジャンボ

スガイチ A 1キロ粒剤

ヒエケツパ A 1キロ粒剤

フルチヤージ ジャンボ

フルイニガ ジャンボ

タイズドリ 1キロ粒剤

乾田直播専用 **ハードパンチ** DF

石原バイオサイエンスのホームページはこちら▶



●使用前にはラベルをよく読んでください。●ラベルの記載以外には使用しないでください。●本剤は小児の手の届く所には置かないでください。

ISK 石原産業株式会社

販売 ISK 石原バイオサイエンス株式会社

ホームページ アドレス
<https://ibj.iskweb.co.jp>

好評発売中



陸生から水生まで、カメムシの全分野を網羅

カメムシ博士入門

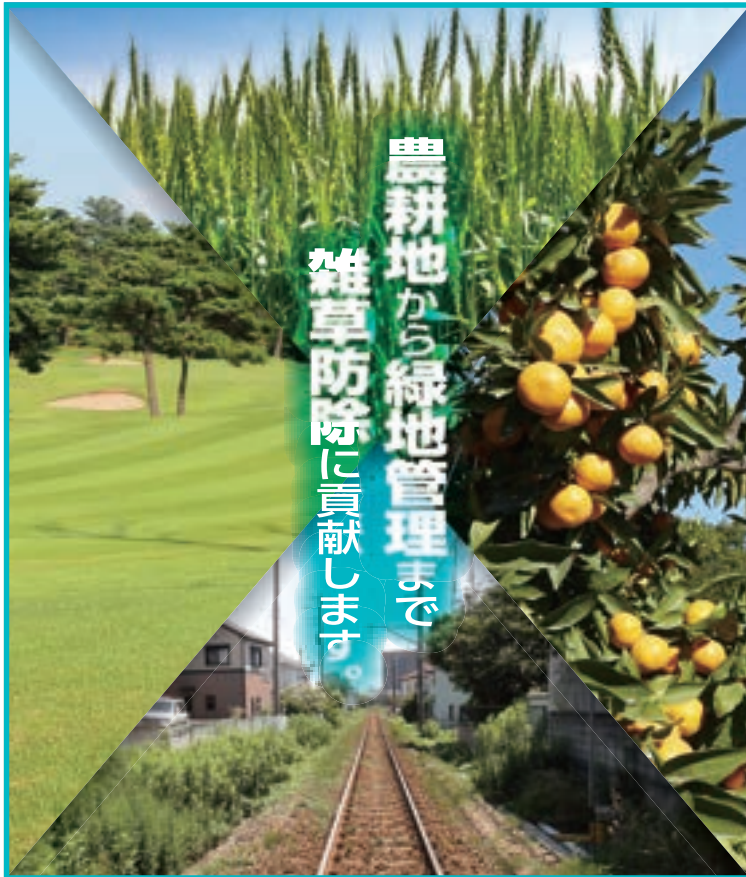
安永智秀 前原諭 石川忠 高井幹夫 著 B5 212ページ 本体2,770円+税

- ◆日本原色カメムシ図鑑(陸生カメムシ類)一全3巻を発行してきた全農教が、読者の「より入門的な図鑑を」との声に応じてお届けするカメムシの基本図鑑。
- ◆数ある昆虫群のなかでカメムシのいちばんの特徴は「圧倒的な多様性」です。
 - 陸生から水生まで、生息環境の多様性
 - 肉食から植物食、菌食まで食性の多様性
 - 微小種から巨大種まで形態の多様性
 - 農業害虫、不快害虫から天敵まで人間との関係の多様性
- ◆本書はカメムシの分類から生態まで、採集から同定まで、カメムシの基本をすべて網羅し、多様性に富んだカメムシを理解するのに不可欠な入門書です。

第1章 カメムシの形とくらし 第2章 カメムシを探す
第3章 いろいろなカメムシ 第4章 カメムシ博士をめざして
(付) もっと知りたいカメムシの世界

全国農村教育協会
<http://www.zennokyo.co.jp>

〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6
TEL.03-3839-9160 FAX.03-3833-1665



畑作向け除草剤

アタックショット[®]
丸和 乳剤
ロックス[®]

ムキレンジャー[®]
乳剤

果樹向け除草剤

シンバー[®] ゴーバー[®]

芝生向け除草剤

アトラクティブ[®] ユニホップ[®]
サベルDE[®] ハーレイDE[®]

緑地管理用除草剤

ハイバーX[®] 粒剤 パワーボンバー[®]

除草剤専用展着剤

サファフロントWK[®] 丸和 サファフロント30[®]

MBC 丸和バイオケミカル株式会社

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町2-19-23
TEL03-5296-2311 <https://www.mbc-g.co.jp>

シダにはシダの識別ポイントがあります。

シダ識別入門図鑑

谷城勝弘・村田威夫・木村研一 著

A5変型判 264頁 本体3,850円(税込) ISBN978-4-88137-205-0

シダ植物の識別ポイントの見方を習得しよう。

葉の形質には個体差があるため識別ポイントの確認はかかせません。

〈6つのポイント〉 根 葉 茎 鱗片と毛 孢子嚢・孢子嚢群・包膜 孢子

- 約300種掲載(27科244種 48雑種)。
- 高度な識別・同定が可能(種ごとに孢子嚢群の拡大写真(成熟前・成熟後)・検索表(第4部))。
- コラムも充実28テーマ。見方のヒントになるはず。
- 持ち歩きに便利。タテ長コンパクトサイズ。

2024年
12月発売



全農教出版サイトはコチラから



(株)全国農村教育協会 出版部 〒110-0016 東京都台東区台東1-26-6

TEL 03-3839-9160

FAX 03-3833-1655

mail hon@zennokyo.co.jp

第59巻 第9号 目次

- 1 巻頭言 農薬製剤・施用法技術の未来を想う
井上 雅夫
- 2 丘陵地の谷部において水田とその周辺湿地の土に眠る種子
山田 晋・中山 恵都子
- 6 〔統計データから〕大豆における世界の生産・輸出・輸入量(2023年)
- 7 ドローンセンシングという新たな視点: 水稻生育過程を定量的に記録し育種研究に活用
坂本 利弘・小川 大輔
- 19 酸素供給から始まる直播栽培の安定化: オクソス®DSが支えるリゾケア®の技術
池田 慎介
- 24 〔連載〕弥生時代から続く日本の稲作 その6
奈良盆地にみる弥生時代の水田稲作のその後
稲村 達也
- 30 〔連載〕雑草のよもやま 第42回
イネ科多年生植物サヤヌカグサの図解・記述の多くは雑種サヤヌカグサ(仮称)に相当
森田 弘彦
- 33 〔田畑の草種〕^{くさぐさ}嫁菜(ヨメナ)
須藤 健一
- 34 広場

No.128

表紙写真 〔ヨメナ〕



やや湿った畦畔や道ばたなどに生育するキク科の夏生多年草。樹園地の害草にもなる。茎は直立か斜上し、茎先の花柄に径約3cmの頭花を1個ずつつける。(写真は©浅井元朗, ©全農教)



子葉は淡緑色で広卵形。第1葉は卵形。



そう果は扁平な倒卵形。2~3稜あり、長さ2.6~3.6mm。



周辺部の舌状花は約20個でふつう淡紫色。中央部の筒状花は黄色。



総苞は3列に並ぶ。外片は披針形、内片は長楕円形。