

植調

JAPR Journal

第55巻
第11号

根の改良による環境ストレス耐性作物の開発

—塩害水田向けのイネ根系形態— 宇賀 優作

変動する光に対する植物葉内のCO₂ 挙動 迫田 和馬・矢守 航

麦の花序構造を決める遺伝子 佐久間 俊



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)

新提案!「中期にジャンボ」ラクラク散布!

新技術

ソニックスプレッド®

テクノロジーだから

拡散力が違う!

ノビエ

コナギ

ホタルイ

クログワイ

オモダカ

各種雑草に幅広い効果!

水稲用中期除草剤

セカンドショット®



ジャンボMX

農林水産省登録
第23867号

動画を
チェック!



アトカラ®

農林水産省登録
第23866号

アジムスフロン・ペノキスラム・メソトリオン粒剤

セカンドショット、アトカラ、ソニックスプレッドは三井化学アグロ(株)の登録商標です。



三井化学アグロ株式会社

東京都中央区日本橋1-19-1 日本橋ダイヤビルディング
ホームページ <http://www.mitsui-agro.com/>

ソニックスプレッド® テクノロジーとは……

独自のキャリアーと数種の界面活性剤の絶妙な配合によって、拡散性能を飛躍的に向上させた三井化学アグロ独自のジャンボ剤新製剤技術です。

○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。○小児の手の届く所には置かないでください。○容器・空袋などは圃場などに放置せず、適切に処理してください。○防除日誌を記録しましょう。



カウンシル®
エナジー



®カウンシルはバイエルグループの登録商標
®はクミアイ化学工業(株)の登録商標

雑草に負けてたまるか!
除草力を鍛えた
カウンシルエナジーがある。

新登場



- 1 3成分で高い除草効果
- 2 ノビエへの優れた除草効果
- 3 難防除多年生雑草への高い除草効果
- 4 多年生イネ科雑草に対する高い除草効果
- 5 SU抵抗性雑草に対する高い除草効果
- 6 田植同時散布可能(1キロ粒剤・フロアブル)
- 7 無人航空機での処理可能(1キロ粒剤・フロアブル)
- 8 水口施用可能(移植水稲・フロアブル)
- 9 拡散性に優れたジャンボ剤
- 10 直播水稲への適用性
- 11 新規需要米(WCS、飼料米等)に対する高い安全性

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

バイエル クロップサイエンス株式会社

東京都千代田区丸の内1-6-5 〒100-8262 <https://cropscience.bayer.jp/>

お客様相談室 ☎0120-575-078 9:00~12:00、13:00~17:00
土・日・祝日を除く



植調技術確認圃 —支部長活動を通じて感じたこと—

公益財団法人日本植物調節剤研究協会 理事

近畿中国四国支部長

伊達 寛敬

植調誌は、植物調節剤（除草剤、植物成長調整剤及び植物の生育調整資材）に係わる農業関係の研究者、普及指導員、農業関係団体、企業関係者及び農業者を読者の対象とし、植調協会の機関誌として、年12回、各2,400部を刊行し、官公庁、研究機関、関係団体及び企業等の関係各所に頒布している。

これまでに本誌の巻頭言を書く機会を3回いただいた。私は本誌が送られてくると、先ず、巻頭言を読む。どなたが、どのような内容で書かれておられるのか、気になるからである。今回、4回目の機会をいただき、植調協会の植物調節剤技術確認圃（技術確認圃）を取り上げ、支部長活動を通じて感じたことを紹介することにした。

植調協会には、3つの主な事業、すなわち、植物調節剤の検査・検定事業、研究開発事業及び普及啓発事業がある。その普及啓発事業のうち、技術確認圃（旧普及適用性試験）は、農業の現場における農薬登録のある植物調節剤の適正使用を啓発し普及するために実施している。具体的には、全国各地における様々な栽培条件や気象条件のもとで、植物調節剤の使用法やその効果を現地圃場で実証する技術確認圃を農業会社より受託し、各都道府県の普及機関等に委託している。

2020年度に植調協会が各都道府県の普及機関に委託した技術確認圃は、全て除草剤で、実施点数が624点、その内訳は水稲が579点、畑作が39点、果樹・野菜が6点であり、水稲が93%を占めていた。また、地域別では、九州が173点と最も多く、北陸が160点、近畿中国四国が144点などとなっていた。実施された技術確認圃は、各地域で「除草剤・生育調節剤技術確認圃報告書」として各支部長により取りまとめられ、その内容は、毎年、11月に各地域報告会で検討される。

2020年度の近畿中国四国地域では、11月12日に当該報告会を12府県の出席によりリモート会議で開催した。実施薬剤及び点数は、合計46薬剤、144地点で、水稲除草剤の一発処理が30薬剤、104地点、体系処理が6薬剤、19地点などとなっており、水稲の一発処理剤が実施点数の約72%を占め、多くの圃場が中山間地にあり、水田面積も小さい場合が多い近畿中国四国地域では、より省力的な一発処

理剤の需要が高いことが伺われた。

提出された報告書では、各薬剤に評点をつけることになっており、Aの「防除効果・葉害の面で普及上、特に問題がない」が約94%とほとんどを占めていた。これは、実施された薬剤が農薬登録済みの薬剤であり、当然の結果とも言える。しかし、Bの「普及にあたって更に検討する必要がある」、一の「その他（天候の急変、圃場管理の不備、誤処理等、特別な理由により判定できない場合）」の評点もあった。これら、A評点以外の報告内容をお聞きすると、慣行となる現地の防除体系の中で、評点をつけるご苦労や技術確認圃実施の難しさが伝わってくる。また、報告会では、各府県の取りまとめ担当者に、当該年度における各府県の水稲の作柄や雑草及び除草剤の現状と課題をご報告いただいている。これらの報告内容や各府県での技術確認圃の情報は、今後の除草剤開発のヒントや使用方法の改善等に役立つものと考えている。

さらに、地域の報告会前には、例年、多くの府県で独自に技術確認圃の検討会が実施される。私の地元、岡山県の例を紹介すると、農薬効果確認圃（技術確認圃）の設計検討会が4月に行われ、担当の農業普及指導センターの職員の方々が出席し、委託農業会社、岡山県植物防疫協会会員とともに、その設計内容を検討する。10月には、農業革新支援専門員（旧専門技術員）の方に、実施された農薬効果確認圃の成績を取りまとめていただき、近畿中国四国地域の除草剤・生育調節剤技術確認圃報告会に報告いただいている。私も岡山県の専門技術員として農薬効果確認圃に関わった経験があり、水稲関係の普及指導員は除草剤を含め新しい農薬や水稲新品種の話題を普及指導の手段として活動する場面も見られ、技術確認圃が現場の技術普及の一助となっていると感じている。

最後に、これまでに紹介した技術確認圃が、普及機関とその職員、委託農業会社など、多くの皆様のご尽力、ご協力のもとで実施されていることに感謝するとともに、今後とも農業の現場における農薬登録のある植物調節剤の適正使用の啓発、普及に役立つことを期待したい。

根の改良による環境ストレス耐性作物の開発

—塩害水田向けのイネ根系形態—

農研機構 作物研究部門
作物デザイン研究領域
宇賀 優作

はじめに

近年、地球規模の環境変化に伴い降雨の極端な偏在化による干ばつが頻発し、世界中で農産物への被害が起きている。同様に、塩害もまた干ばつと並び世界の農業生産に大きな被害をもたらす環境ストレスである。2050年までに世界の農耕地のおよそ50%が塩害の影響を受けると予測されている。さらに、近年の地球温暖化に起因する海面上昇による高潮やスーパー台風の頻発で、日本をはじめ世界の多くの沿岸地域では農作物への塩害が増加している。とくに、イネは低地で栽培することが多いため、バングラデシュやベトナムなどの熱帯アジアの河口地域では、塩害が頻発している。日本でも東日本大震災時に津波による塩害で東北地方では稲作がしばらくできなかったことは記憶に新しい。このような問題を解決するため、世界中で塩害に強いイネ品種の開発が進められている。

塩害などの環境ストレス耐性を向上させる際、ストレス応答に関与する生理機能に着目した研究や品種開発が一般的である。一方、我々のグループでは、環境ストレスの多くが土壌中の根を通して、植物の生育に悪影響することを踏まえ、根の形（根系形態）の改良による環境ストレス耐性作物の開発を進めている。本稿では、根系形態に関与する遺伝子を用いた塩害に強いイネの開発を主に紹介する (Uga *et al.* 2012; Kitomi *et al.* 2020)。加えて、

根系形態の改良による環境ストレス耐性作物の可能性について論じる。

1. 水田における塩害とは

農地における塩害と言っても、畑で起こる塩害と湛水状態の水田で起こる塩害では農作物への被害のメカニズムは異なる。畑の場合、塩害とは土壌中の塩分濃度が高くなり、土壌と根の浸透圧差を使った水の吸収が困難になるストレス現象である。土中の塩濃度が一定以上に高くなると、最終的に植物は枯死する。一方、水田では、そのような塩ストレス自体の被害に加えて、過剰なナトリウムイオン (Na^+) によって土壌が緊密化するなどの物理的な性質が悪化することで引き起こされる酸欠状態（還元状態）が促進される (図-1)。還元土壌では根は呼吸することができず、根腐れなどによる生育不良を起こす。つまり、水田における塩害は、畑と異なり塩ストレスと還元ストレスの両方に対応した品種開発が必要となる。

従来のイネの耐塩性研究や品種改良では、塩ストレスを主な対象としており、土壌の還元ストレスに適応した品種改良はこれまで実施されていない。そこで、農研機構と東北大学との共同

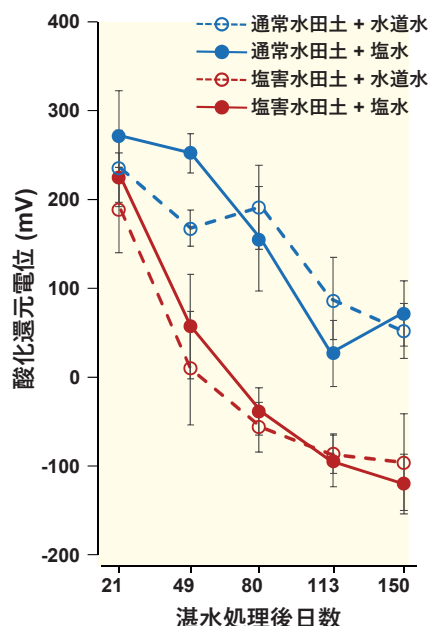


図-1 塩害水田と通常水田における土壌の酸化還元電位の違い

塩害水田と通常水田から採取した土に水道水または塩水による湛水処理した後の酸化還元電位の変化を計測。値が小さいほど還元化の進んだ土壌となる。各水田の2年間、3地点の平均値と標準偏差を示す (n = 6)。 (Kitomi *et al.* 2020 より改変)

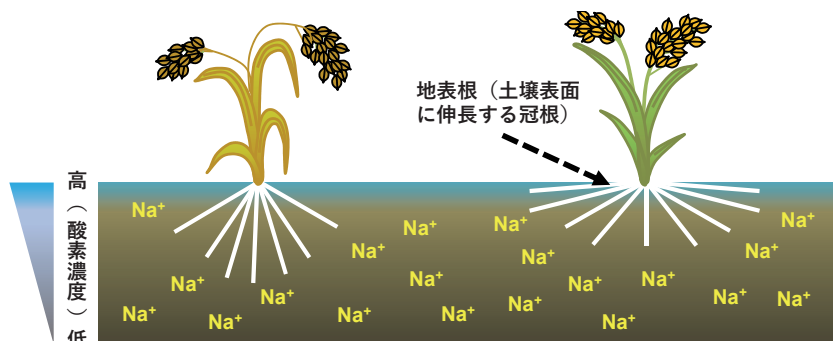


図-2 塩害水田で生じる還元土壌に適した根の形とは？

塩害水田でのイネの生育不良の主な原因は、塩ストレスと還元ストレスである。還元土壌でも地表面は比較的高い酸素濃度が高く、地表根を形成するイネでは、一般的なイネに比べてより多くの根に酸素が供給できると考えられる。

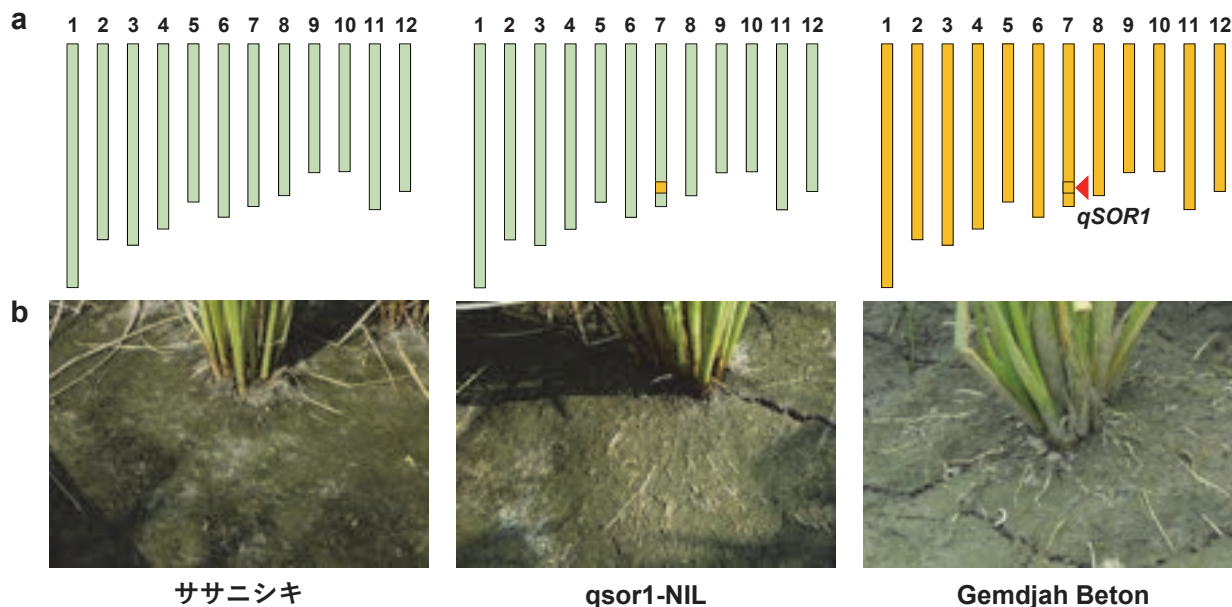


図-3 非機能型の *qSOR1* による地表根形成

(a) 赤矢頭はイネ染色体上の *qSOR1* の位置を示す。真ん中の系統 (*qsor1-NIL*) は、DNA マーカー選抜によりササニシキに非機能型アレルの *qSOR1* を含む Gemdjah Beton 由来のゲノム断片 (オレンジの四角部分) が導入されている。(b) 水田落水時の土壌表面における根の発達状況。Gemdjah Beton と *qsor1-NIL* は地表面に冠根が観察される。(Kitomi *et al.* 2020 より改変)

研究グループでは、この還元土壤に適応した品種の開発を試みた。我々のアイデアは、比較的酸素の多い土壌表面近くに根を多く張ることのできるイネ品種を開発すれば、塩害水田の土壌で起こる還元ストレスをイネが回避できるのではないかとするものである (図-2)。一般的なイネは土壌表面に伸長する冠根 (以下、地表根) を形成しないが、インドネシアの一部の品種が地表根を形成することは報告されている (Ueno and Sato 1989)。ただし、これらの品種が塩害水田で栽培されてきたとの報告はなく、地表根が塩害水田で生じる還元ストレスの回避に有効であるかは未知数であった。

2. イネ地表根遺伝子の発見

我々は、インドネシアの一部の品種が示す地表根形成に関与する遺伝子を単離・同定し、地表根を形成しない日本の品種に導入することで、地表根形成が還元土壤のストレス回避に有効であるかを検証することとした。最初に、地表根を形成するインドネシア

の品種 (品種名 Gemdjah Beton) と地表根を形成しない日本の品種 (ササニシキ) の交雑集団を用いた遺伝解析から、イネの第7染色体上に地表根形成に関与する量的形質遺伝子座 (*qSOR1*: quantitative trait locus for SOIL SURFACE ROOTING 1) を見出した (図-3a)。つぎに、マップベースクローニング法を用いて、*qSOR1* 遺伝子を単離・同定した。*qSOR1* の機能解析の結果、*qSOR1* は根の先端で働き、重力屈性に関与するオーキシン早期応答遺伝子であった。Gemdjah Beton では *qSOR1* が機能しない遺伝子配列 (非機能型アレル) を持っているため、根が重力方向に伸長せず、土壌表面に根が張ることが分かった。また、Gemdjah Beton を含むインドネシアの一部の品種群のみがこの非機能型アレルを持ち、地表根を形成することも明らかとなった。DNA マーカー選抜育種法により、ササニシキの機能型アレルの *qSOR1* を、Gemdjah Beton 由来の非機能型アレルの *qSOR1* に入れ替えた準同質遺伝子系統 (系統名 *qsor1-NIL*) は Gemdjah Beton 同様

に地表根を形成した (図-3b)。一方、*qsor1-NIL* とササニシキで他の根系形態や地上部の形態に目立った差異は観察されなかった。

3. 地表根を形成するイネは塩害水田のストレスを軽減

qsor1-NIL とササニシキを塩害水田 (塩水濃度 0.4%) と通常の水田 (塩処理なし) で4年間にわたって栽培試験を行った。栽培試験は、東北大学大学院生命科学研究科湛水生態系野外実験施設の水田で行った。塩害水田では塩を含む地下水をくみ上げて塩水濃度を定期的に調整した。通常の水田では両者間で登熟まで地表根形成以外に目立った形態的な差異は認められなかった (図-4a)。また、通常の水田では両者間で収量に有意な差はなかった (図-4b)。一方、塩害水田では出穂期から登熟期にかけてササニシキでは還元ストレスによる葉色の褐変化が見られたが、*qsor1-NIL* ではササニシキに比べ明瞭な褐変化は見られなかった (図-4a)。また、4年間平均

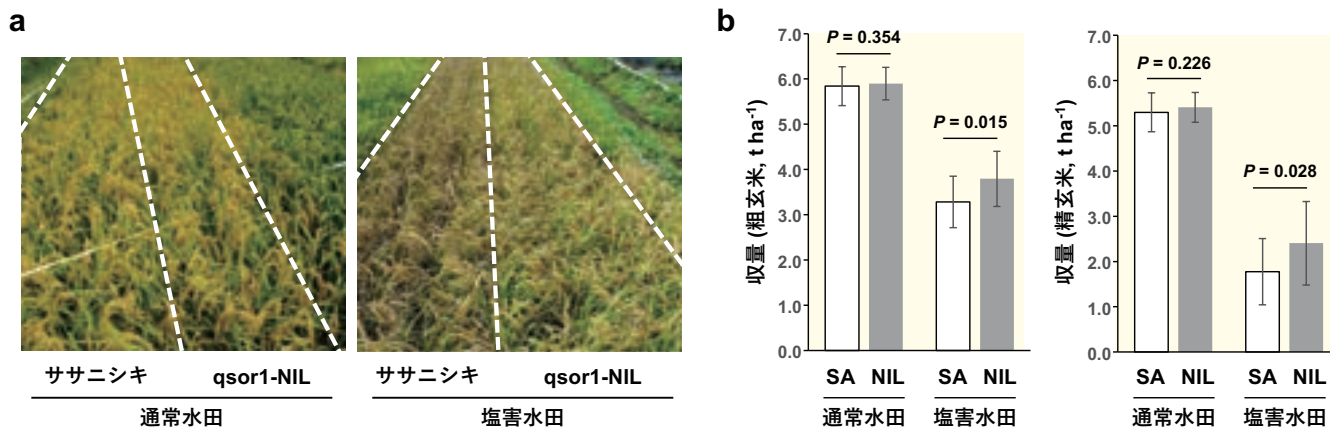


図-4 塩害水田で栽培されるイネに対する地表根形成の影響

(a) 通常水田と塩害水田での収穫前のイネの様子。通常水田では両品種間に目立った生育の差は見られない。一方、塩害水田では還元ストレスによりササニシキの葉は茶褐色に変色していたが、qSOR1-NILの葉はササニシキほどの明瞭な変色は見られなかった。(b) ササニシキ (SA) と qSOR1-NIL (NIL) の4年間の平均収量 (2015年～2018年)。精玄米とは米幅1.8 mm以上のものとする。P値は二元配置分散分析の結果に基づく。(Kitomi *et al.* 2020より改変、精玄米のデータは未公開データ (半澤ら) に基づく)

で qSOR1-NIL はササニシキより粗玄米重で約15%、精玄米重で約35%の増収となった (図-4b)。qSOR1-NIL がササニシキより精玄米重が増えた要因は、ストレスによる登熟への影響が軽減されたことによると推察される。塩害水田でも出穂期ごろまで地表根形成以外に両者間で大きな形態的な差異は観察されなかった。以上の結果から、地表根形成が塩害水田で生じる土壌の還元ストレス回避に有効であり、塩害水田での増収や品質改善に寄与したことが示された。

本研究では、非機能型アリの *qSOR1* をササニシキに導入した場合、塩害の無い通常の水田栽培において収量や草型への影響がほとんどなく、倒伏しやすくなるなどの栽培上のデメリットも確認されなかった。また、非機能型アリの *qSOR1* はインドネシアの一部の品種しか持っておらず、他地域の水稲にはまだ利用されていないため、日本を含めて世界中のほとんどのイネ品種で新たな育種素材としての利用が可能である。*qSOR1* は根張りに関与する遺伝子であり、塩ストレスそのものへの耐性には寄与しないため、耐塩性遺伝子などと組み合わせることにより耐塩性の強いイネの開発につながると期待できる。

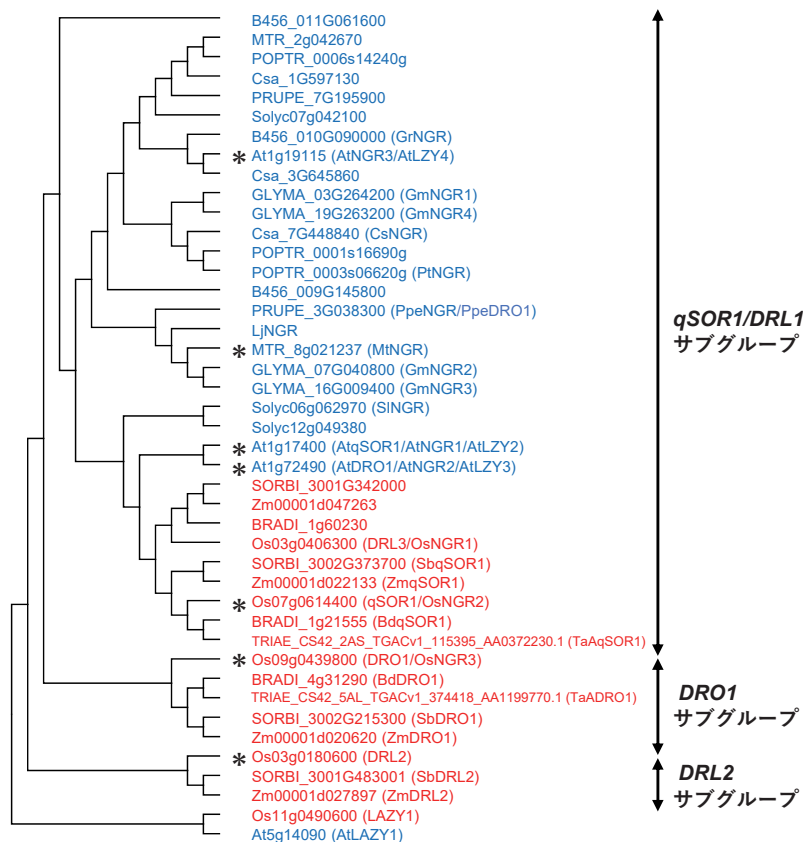


図-5 単子葉植物および双子葉植物における *DRO1* 相同遺伝子の分子系統樹

完全長のアミノ酸配列を MUSCLE でアライメントした後、MEGA X の最小進化法を用いて系統樹を作製した。遺伝子 ID が示す植物種は以下の通りである。At: シロイヌナズナ, B456: ワタ, BRADI: ミナトカモジグサ, Csa: キュウリ, GLYMA: ダイズ, Lj: ミヤコグサ, MTR: タルウマゴヤシ, Os: イネ, POPTR: ポプラ, PRUPE: モモ, Solyc: トマト, SORBI: ソルガム, TRIAE: コムギ, Zm: トウモロコシ。青字は双子葉植物、赤字は単子葉植物を表す。*は根の重力屈性に関与することが報告された遺伝子を示す。(Kitomi *et al.* 2020より改変)

4. qSOR1 と似た働きを持つ遺伝子

qSOR1 の DNA 配列をイネの他の遺伝子と比較解析したところ、*qSOR1* に

最も近い DNA 配列を示した遺伝子は我々が過去に同定した *DRO1* (*DEEPER ROOTING 1*) 遺伝子であった (Uga *et al.* 2013; 図-5)。*DRO1* は *qSOR1* と同じように根の重力屈性に関与し、機能型アリは深根となり、非機能型アリ

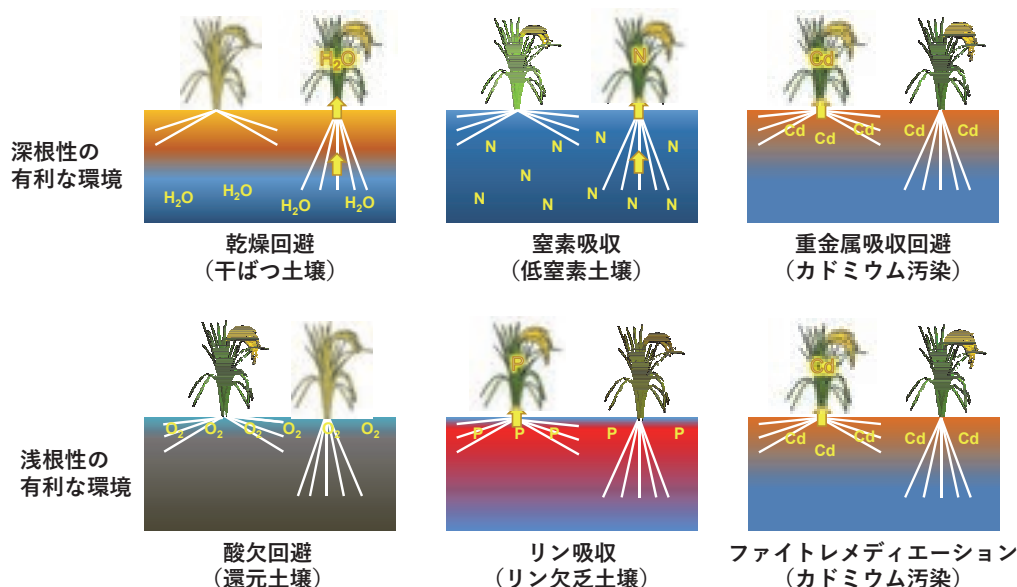


図-6 土壌環境ストレスごとに求められる根系形態のタイプは異なる
各図下の括弧は、水田土壌で起こる異なる環境ストレス状態を示す。H₂O：水、N：窒素、Cd：カドミウム、O₂：酸素、P：リン。
(Uga *et al.* 2015 と Uga 2021 に基づき作成)

ルは浅根になる。しかし、両遺伝子の非機能型アレルを比較すると、*DROI* は *qSOR1* のように地表根を形成しない。また、*in situ* ハイブリダイゼーションにより、*qSOR1* は根端のコルメラ細胞で最もよく遺伝子が発現することが分かった。一方、*DROI* はコルメラ細胞ではほとんど発現せず、根端部でも細胞分裂帯と細胞伸長帯の境周辺を中心に発現した (Uga *et al.* 2013)。以上のことから、両遺伝子の機能は完全に同じではないことが推察された。従って、今後両遺伝子の機能の違いをより詳細に解明できれば、両遺伝子を用いてイネの根系形態を自在に制御することも可能ではないかと期待する。

DNA 配列の比較解析から、イネには他にも *qSOR1* や *DROI* と配列が似ている遺伝子 (Os03g0180600) があることが分かった (図-5)。本遺伝子も根張りに関与しているかを明らかにするため、CRISPR-Cas9 を用いたゲノム編集により該当遺伝子を非機能型に改変した突然変異系統を作製した。根張りを観察したところ、野生型に比較し、突然変異系統は根が浅くなることが分かった。本遺伝子

も *qSOR1* や *DROI* と同じような機能を持っていることが推測されたため、*DRL2* (*DROI-like 2*) と名付けた。また、*qSOR1* は *DROI* に最も配列の近い遺伝子ということで同じく *DRL1* と名付けた。以上のように、イネには少なくとも3つの遺伝子が根張りに関与していることが分かった。

近年、イネなどの単子葉植物以外に、タルウマゴヤシ、モモ、シロイズナズナなどの双子葉植物で *qSOR1* の相同遺伝子が根の重力屈性に関与することが報告されている (Ge and Chen 2016; Guseman *et al.* 2017; Taniguchi *et al.* 2017)。これらの研究報告と我々の研究成果を合わせて考えると、被子植物には *DROI* ファミリーと呼べるような大きな遺伝子グループが存在し、本ファミリーは3つのサブグループ (*DROI*, *qSOR1/DRL1*, *DRL2*) から構成される (図-5)。このうち、*DROI* と *DRL2* サブグループは単子葉植物にのみ存在すると推察される。本遺伝子ファミリーを利用すれば、イネ以外の他作物で根系形態を改変することも可能ではないかと考える。例えば、ダイズやトウモロコシなどの畑

作物の *qSOR1* ホモログを非機能型に改変し地表根を形成すれば、国内外の水はけの悪い農地での畑作物の耐湿性向上に利用できるかもしれない。

5. 目的に応じて根をデザインする

本稿では、塩害水田向けの根系形態として地表根の有用性を紹介した。それ以外にも、*qSOR1* や *DROI* の準同質遺伝子系統を用いた試験結果から、根系形態の改良が様々な土壌環境ストレス下においてイネの生産に有益であることを我々は報告してきた。例えば、深根性が干ばつや低窒素土壌などに適していること (Uga *et al.* 2013; Arai-Sanoh *et al.* 2014)、浅根性が低リン土壌に適していること (Oo *et al.* 2021) などが明らかになりつつある (図-6)。また、カドミウム汚染された水田では、中干時に土壌表層で可給態カドミウムが増えるため、低カドミウム米を作る際には深根性のイネが適し、一方、カドミウムを積極的に水田から除去するのであるなら浅根性のイネが好ましい (Uga *et al.* 2015)。こ

のように、様々な環境ストレスに適応した作物を開発するうえで、根系形態の改良は今後重要なテーマになる。しかし、根は地面の下にあるため、根を掘り起こして調査するには大変な労力と時間を浪費する。そのため、従来の交雑育種における選抜過程では根の大規模な調査は困難であり、現在まで根の改良はほとんど進んでいない。

根の改良を簡単に実現するためには、表現型選抜を必要としない新しい育種法の発想が必要である。例えば、工業分野では、デザイン・素材・方法の3つの要素を組み合わせることで新しい製品を開発する。同様に、目的に合わせて根をデザインし、そのデザインを実現する遺伝子（素材）を準備できれば、近年開発の盛んなゲノム編集技術（方法）を用いて根を自在に改良できると考える（Uga 2021）。

しかし、素材や方法の研究開発は進んでいるが、根をデザインする技術は確立されていない。我々は環境ストレスに頑健な根の形をデザインするため、年間を通して干ばつなどの環境ストレスを再現し、栽培試験ができる屋内型の自動栽培制御システムを開発した（Numajiri *et al.* 2021）。さらに、最新のX線CTを導入し、土中の根系形態を非破壊で可視化・計測できるハイスループットな技術を開発した（Teramoto *et al.* 2020; Teramoto *et al.* 2021）。現在、これらの技術を一体で運用できる栽培・計測プラッ

トホームを研究所内に設け（<https://rootomics.dna.affrc.go.jp/>）、イネをモデルに環境ストレスに強い根系形態とはどのようなものかを明らかにしようと試みている。今後、これらの研究成果の充実とともに根を自在にデザインできる時代が来ると期待する。

謝 辞

本執筆に当たり、木富悠花博士（農研機構）、佐藤雅志博士（東北大学）、半澤栄子氏（東北大学）より図またはデータを一部提供していただいた。ここに感謝の意を表する。また、本稿で紹介した研究の一部は、日本学術振興会・科研費（15K18630; 18K14447; 19H02936）および科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業（JPMJCR17O1）の支援を受けたものである。

参考文献

- Arai-Sanoh, Y. *et al.* 2014. Deep rooting conferred by *DEEPER ROOTING 1* enhances rice yield in paddy fields. *Sci. Rep.* 4, 5563.
- Ge, L. and R. Chen 2016. Negative gravitropism in plant roots. *Nat. Plants* 2, 16155.
- Guseman, J.M. *et al.* 2017. DRO1 influences root system architecture in Arabidopsis and Prunus species. *Plant J.* 89, 1093–1105.
- Kitomi, Y. *et al.* 2020. Root angle modifications by the *DRO1* homolog improve rice yields in saline paddy fields. *PNAS* 117, 21242–21250.

- Numajiri, Y. *et al.* 2021. iPOTs: Internet of Things-based pot system controlling optional treatment of soil water condition for plant phenotyping under drought stress. *Plant J.* 107, 1569–1580.
- Oo A.-Z. *et al.* 2021. Synergy between a shallow root system with a *DRO1* homologue and localized P application improves P uptake of lowland rice. *Sci. Rep.* 11, 9484.
- Taniguchi, M. *et al.* 2017. The Arabidopsis LAZY1 family plays a key role in gravity signaling within statocytes and in branch angle control of roots and shoots. *Plant Cell* 29, 1984–1999.
- Teramoto, S. *et al.* 2020. High-throughput three-dimensional visualization of root system architecture of rice using X-ray computed tomography. *Plant Methods* 16, 66.
- Teramoto, S. *et al.* 2021. RSAttrace3D: robust vectorization software for measuring monocot root system architecture. *BMC Plant Biol.* 21, 398.
- Ueno, K. and T. Sato 1989. Aerial root formation in rice ecotype Bulu. *Jpn. J. Trop. Agr.* 33, 173–175.
- Uga, Y. *et al.* 2012. Identification of *qSOR1*, a major rice QTL involved in soil-surface rooting in paddy fields. *Theor. Appl. Genet.* 124, 75–86.
- Uga, Y. *et al.* 2013. Control of root system architecture by *DEEPER ROOTING 1* increases rice yield under drought conditions. *Nat. Genet.* 45, 1097–1102.
- Uga, Y. *et al.* 2015. Genetic improvement for root growth angle to enhance crop production. *Breed. Sci.* 65, 111–119.
- Uga, Y. 2021. Challenges to design-oriented breeding of root system architecture adapted to climate change. *Breed. Sci.* 71, 3–12.

変動する光に対する植物葉内のCO₂挙動

東京大学大学院
農学生命科学研究科附属生態調和農学機構

迫田 和馬
矢守 航

はじめに

世界人口は2050年には95億人に達すると予想され、それに伴う食料需要の急増を満たすためには、現在より作物生産量を60%増加させる必要があると試算されている (Godfray *et al.* 2010)。この課題を解決するため、育種改良による作物の多収化を目指す研究が長らく行われてきた (Long *et al.* 2006)。植物の葉で行われる光合成は、大気から体内に取り込んだCO₂分子を光エネルギーによって糖やデンプンへと変換する生理のプロセスであり、植物の物質生産量を決定する主要因の1つに位置づけられている (Zhu *et al.* 2010; Yamori *et al.* 2016)。これまで、シロイヌナズナ (*Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh) やタバコ (*Nicotiana*

tabacum L.) などのモデル植物、イネ (*Oryza sativa* L.) やダイズ (*Glycine max* (L.) Merr) などの主要作物を対象に、分子育種による光合成の改良が試みられてきた。そして、物質生産量や収量の増加に結び付いた結果も報告されるなど、光合成の改良が多収化育種における重要なターゲットであることが実証されている (Kromdijk *et al.* 2016; Adachi *et al.* 2019; López-Calcano *et al.* 2019; South *et al.* 2019; Yoon *et al.* 2020; Zhang *et al.* 2021)。

圃場など実験室外で栽培される作物は、複雑に変動する環境にตอบสนองしながら生長する。作物の群落内における光の強度は、雲や風、自己・相互遮光などによって1秒未満～数分の時間スケールで変動している (図-1) (Tanaka *et al.* 2019)。弱光から強光への急な変化に対し、光合成速度は緩やかな曲

線を描きながら増加し、定常状態へと到達する (図-2) (Percy 1990)。「光合成誘導」と呼ばれるこの現象は、誘導が起こらないと仮定した場合と比較して、1日の積算光合成量を20%以上損失させ得ると試算されている (Taylor and Long 2017; Tanaka *et al.* 2019)。重要なことに、モデル植物であるシロイヌナズナにおいて光合成誘導を迅速化することで、変動光条件下での積算光合成量とバイオマスが増加することを示した研究例もある (Papanatsiou *et al.* 2019; Kimura *et al.* 2020; Sakoda *et al.* 2020)。一方、強光から弱光へと変化した場合、光合成速度は急激に減少した後、緩やかに増加しながら定常状態に達する (図-2)。タバコでは、強光後の弱光条件における光合成速度の増加を迅速化することで、圃場環境においてバイオマ

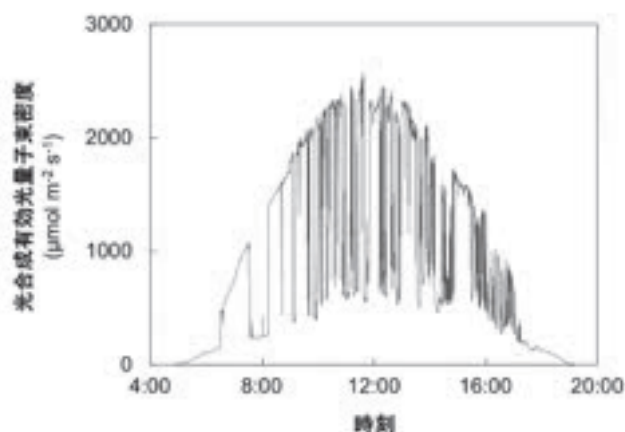


図-1 ダイズ群落上部における光強度の日変化

京都大学大学院農学研究科附属京都農場にて栽培したダイズの群落上部において、2020年8月1日4:00~20:00間の光合成有効光量子束密度 (PPFD) を10秒間隔で測定した。PPFDは、弱光と強光の間で頻繁に変動し、日中には2500 μmol photons m⁻² s⁻¹もの強度まで到達することがわかる。

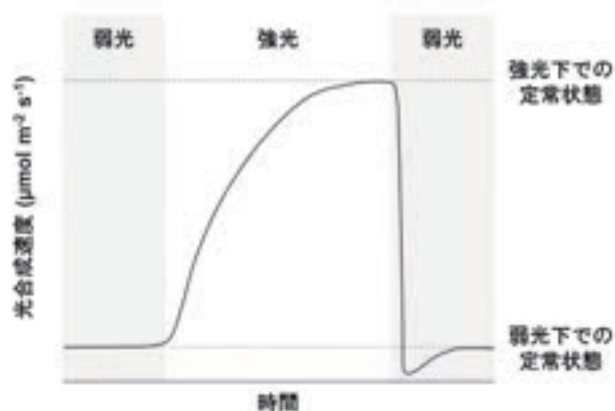


図-2 変動光に対する光合成の応答

変動光環境でみられる光合成誘導反応を模式的に表した。弱光から強光への変化に対し、光合成速度は緩やかに増加しながら定常状態に達する。また、その後続く弱光への変化に対し、光合成速度は急激な減少をみせた後、緩やかに増加しながら定常状態に達する。

スが増加することが報告されている (Kromdijk *et al.* 2016)。これらの知見は、変動光に対する光合成の応答が、作物の多収化に向けた次なるターゲットとなる可能性を示している。

近年、変動光に対する光合成応答は多くの研究者の注目を集め、遺伝的・生理的な制御メカニズムや種間・種内に存在する自然変異など、様々な側面からその実態が明らかとなりつつある。本稿では、変動光に対する光合成の応答を制御するメカニズムについて、主に CO₂ 拡散の観点から概説したい。

変動光環境において光合成を律速する要因は？

光合成の改良を目指すうえで、光合成を律速する要因の理解は重要な研究課題となってきた。C3 光合成の生化学モデル (Farquhar *et al.* 1980; Sharkey 1985) によると、定常状態にある光合成は、葉緑体ストロマにおける CO₂ 濃度に応じて、リブローズ-1,5-ビスリン酸 (RuBP) のカルボキシル化速度または再生速度、トリオースリン酸の輸送速度のいずれかに律速される。各反応に律速される場合の光合成速度は次式によって表される。

(式 1; カルボキシル化速度が律速する場合)

$$A_c = \frac{V_{cmax}(C_c - \Gamma^*)}{C_c + K_c(1 + O/K_o)} - R_d$$

(式 2; RuBP再生速度が律速する場合)

$$A_j = \frac{J(C_c - \Gamma^*)}{4C_c + 8\Gamma^*} - R_d$$

(式 3; トリオースリン酸の輸送速度が律速する場合)

$$A_p = 3TPU - R_d$$

ここで、V_{cmax} は最大カルボキシル化反応速度、J は最大電子伝達速度、TPU はトリオースリン酸の輸送速度、C_c と O は葉緑体ストロマにおける CO₂ と O₂ 濃度、R_d は光照射下における呼吸速度、Γ* は R_d を無視した場合の CO₂ 補償点、K_c と K_o は Rubisco の CO₂ と O₂ に対するミカエリス・メンテン定数をそれぞれ表す。

誘導過程にある光合成も上記いずれかの反応により律速され则认为られるが、これは誘導前に植物が順応した光条件に大きく影響を受ける。植物が比較的長時間の暗黒や弱光条件に順応している場合、その後の強光条件下での光合成誘導は、カルボキシル化反応を触媒する酵素 Rubisco の活性化に律速されることが示唆されている (Yamori *et al.* 2012)。一方、短時間の暗黒や弱光条件に順応している場合、その後の光合成誘導はカルビン・ベンソンサイクルで働く酵素、特に FBPase と SBPase に律速されることが示唆されている (Kaiser *et al.* 2015)。これは、強光後の弱光条件における FBPase と SBPase の不活性化が、Rubisco の不活性化よりも速いことに起因している。そして、これらの生化学的プロセスは、誘導過程の比較的初期段階において光合成を律速すると思われる。

生化学的プロセスに加えて、CO₂ の拡散プロセスもまた光合成を律速

する要因となる。陸上植物が光合成を行う際、CO₂ は大気から葉面境界層や気孔、葉内細胞間隙、葉肉細胞の細胞壁と細胞膜、葉緑体包膜を介して葉緑体ストロマへと拡散する (Evans *et al.* 2009)。各段階における抵抗の逆数として拡散のしやすさ (コンダクタンス) は定義され、特に、気孔を介した大気～葉内細胞間隙におけるコンダクタンス (気孔コンダクタンス) と葉内細胞間隙～葉緑体ストロマにおけるコンダクタンス (葉肉コンダクタンス) は、光合成を律速する主要因となる。様々な植物種において、定常状態にある光合成速度は、気孔コンダクタンスおよび葉肉コンダクタンスと強い相関を示すことが報告されている。最近の著者らの報告も含めて、これら 2 つのコンダクタンスは、順応した光条件に関わらず誘導過程にある光合成を律速し得ることが明らかとなってきた (Yamori *et al.* 2020; Sakoda *et al.* 2021a)。以降では、気孔コンダクタンスと葉肉コンダクタンスに着目し、変動光条件における光合成に与える律速性を議論する。

変動光に対する気孔コンダクタンスと葉肉コンダクタンスの応答

暗黒や弱光条件から強光への急な変化に対して、気孔コンダクタンスは緩やかな曲線を描きながら増加する (図-3)。このとき、気孔コンダクタンスの応答は CO₂ 固定に関わる生化学的プロセスの応答よりも遅い場合が多く、誘導過程を通して光合成を

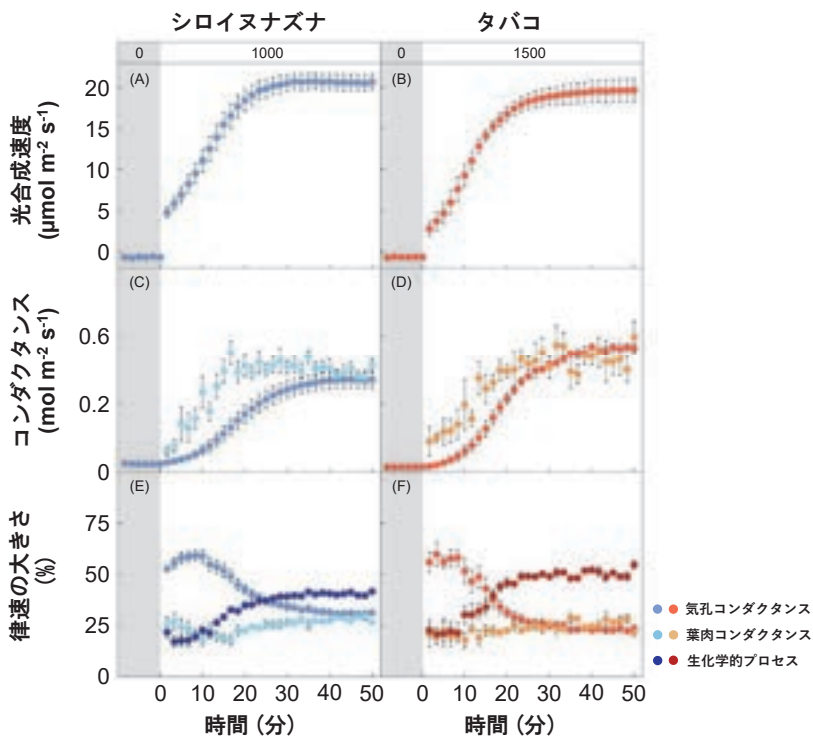


図-3 変動光環境における気孔コンダクタンスと葉肉コンダクタンスの応答および光合成への律速性

暗黒条件に順応した (A, C, E) シロイヌナズナと (B, D, F) タバコの成熟葉に強光を照射した際の、(A, B) 光合成速度および (C, D) 気孔コンダクタンスと葉肉コンダクタンスの推移を示した ($n = 3-8$)。また、(E, F) 気孔コンダクタンス、葉肉コンダクタンスおよびカルボキシレーション反応が光合成に与える律速の大きさを比較した。C3 光合成の生化学的モデルに基づき、光合成速度をカルボキシレーション反応と葉緑体ストロマの CO_2 濃度により説明される関数として表し、偏微分により光合成速度の変化量に対する各変数の寄与の大きさとして律速を算出した。誘導過程にある光合成は気孔コンダクタンスに強く律速される一方で、葉肉コンダクタンスによる律速程度は比較的小さいことがわかる。各プロット上の縦棒は標準誤差を示し、図内の灰色部と白色部は光合成有効光子束密度が 0 および 1000 または 1500 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であることを示す。(引用文献 Sakoda *et al.* 2021a より改変)

律速し得る (Kaiser *et al.* 2015)。実際、変動光条件では気孔コンダクタンスが光合成を律速することが多数の植物種で報告されている。そして、誘導時の気孔コンダクタンスの初期値が低いほど、また生化学的プロセスの活性化程度が高いほど、気孔コンダクタンスによる光合成への律速程度は大きくなる (Soleh *et al.* 2017; Sakoda *et al.* 2020)。一方、技術的な制約から、変動光に対する葉肉コンダクタンスの応答と光合成への律速性に関する知見は非常に乏しい (Sakoda *et al.* 2021a)。近年、可変半導体レーザー分光装置 (Tunable diode laser absorption spectroscopy; TDLAS) を用いた炭素同位体分別測定手法とガス交換測定

を組み合わせることで、高い時間分解能かつ連続的な葉肉コンダクタンスの測定が可能となった。Sakoda *et al.* (2021a) は TDLAS を導入することで、シロイヌナズナとタバコにおける光合成誘導時の葉肉コンダクタンスの応答を世界で初めて明らかにした。気孔コンダクタンスと同様に、葉肉コンダクタンスは暗黒条件から強光への変化に対して誘導反応を示し、葉肉コンダクタンスがより速い誘導速度を示すことがわかった (図-3)。

それでは、気孔コンダクタンスと葉肉コンダクタンスのどちらが変動光環境における光合成を律速する要因となるのか？ C3 光合成の生化学モデルおよび数理モデルに基づく解析の結

果、誘導過程にある光合成に対する葉肉コンダクタンスの律速程度は比較的小さく、気孔コンダクタンスの律速程度が大きいことが示唆された (図-3) (Sakoda *et al.* 2021a)。加えて、葉肉コンダクタンスは弱光から強光への変化に対して誘導反応を示さないことが明らかとなった。以上のことから、野外のように弱光と強光の間で変動する光条件の下では、気孔コンダクタンスが光合成を律速する可能性が高いことが推察される。

変動光に対する気孔コンダクタンスの応答を制御するメカニズム

気孔コンダクタンスは、主に気孔の形態的な特性や開閉状態により決定される。以下では気孔特性に焦点を当てて、変動光に対する気孔コンダクタンスの応答を制御するメカニズムについて考察する。

気孔コンダクタンスは、気孔の大きさや形状、密度や葉面上の分布といった形態的な特性に大きく依存する。McAusland *et al.* (2016) は、気孔の形状 (ダンベル型および腎臓型) が異なる植物種を用いた解析を行い、ダンベル型気孔を持つ種は腎臓型気孔を持つ種よりも気孔コンダクタンスの変動光への応答が速い傾向にあることを報告した。また、バンクシア属の植物種では、比較的小さい気孔を持つ種は大きい気孔を持つ種と比較して気孔コンダクタンスの応答が速い傾向にあることが報告されているが (Drake

et al. 2013), イネ科の植物種では反対の傾向が報告されている (Zhang *et al.* 2019)。著者らは、遺伝子組換えにより気孔の大きさと密度を改変したシロイヌナズナを用いて解析を行い、気孔コンダクタンスの変動光への応答は、気孔密度に大きく影響を受けることを明らかにしている (Sakoda *et al.* 2020)。一方、この気孔密度が与える影響は、シロイヌナズナを用いた先行研究の間でも結果が一貫しておらず、さらなる検証が必要である (Papanatsiou *et al.* 2016; Violet-Chabrand *et al.* 2017; Sakoda *et al.* 2020)。多くの植物種では、気孔と気孔の間には最低1つの表皮細胞が存在するが、何らかの理由によって複数の気孔が集まる「クラスタリング」という現象が起こる。ペゴニア属の中で、恒常的にクラスタリングが起こる植物種は、クラスタリングが起こらない植物種と比較して気孔コンダクタンスの変動光への応答が遅い傾向にあることが報告されている (Papanatsiou *et al.* 2017)。以上のように、気孔の形態的特性は変動光環境における気孔コンダクタンスの応答に影響を与えており、その程度には大きな種間変異が存在すると考えられる。

土壌や空気中の水分量、光条件、CO₂濃度などの外環境の変化をシグナルとして、陸上植物における気孔の開閉は巧妙に制御される (Qi and Torii 2018)。このシグナル伝達により制御される気孔開閉は、気孔コンダクタンスの変動光への応答に密接に

関与すると考えられる (Lawson and Blatt 2014)。光照射により誘導される気孔開口では、まずフォトトロピンが青色光を受容すると自己リン酸化され、H⁺-ATPaseを活性化することで孔辺細胞の細胞膜の過分極が誘導される (Inoue *et al.* 2008)。これにより、内向き整流性K⁺チャネルを介して孔辺細胞内にK⁺が流入し、膨圧上昇によって気孔が開く。一方、S型アニオンチャネルである *SLOW ANION CHANNEL ASSOCIATED 1 (SLAC1)* は孔辺細胞膜に存在し、乾燥ストレス条件下でアブシジン酸 (ABA) などのシグナル伝達因子によって活性化される (Negi *et al.* 2008)。また、*SLAC1* は SnRK2 型キナーゼである *OPEN STOMATA 1 (OST1)* のリン酸化によって活性化される。これにより孔辺細胞膜の脱分極が誘導されることで外向き整流性K⁺チャネルを介して孔辺細胞外にK⁺が流出し、膨圧低下によって気孔が閉じる (Mustilli *et al.* 2002)。

これまで、気孔開閉に関わる諸因子が変動光環境における気孔コンダクタンスの応答において重要な役割を担うことが報告されてきた。細胞膜におけるH⁺-ATPaseの局在に関与する *Proton ATPase translocation control 1 (PATROL1)* をシロイヌナズナにおいて過剰発現することで、変動光に対する気孔コンダクタンスと光合成速度の応答が迅速化することが報告されている (Hashimoto-Sugimoto *et al.* 2013; Kimura *et al.* 2020)。また、青色光によって活性化されるK⁺チャネ

ルである *BLUE LIGHT-INDUCED K⁺ CHANNEL 1 (BLINK1)* をシロイヌナズナの孔辺細胞特異的に過剰発現することで、気孔コンダクタンスや光合成速度の応答が迅速化することが示されている (Papanatsiou *et al.* 2019)。シロイヌナズナやイネにおいて *SLAC1* または *OST1* をノックアウトした場合、誘導時の気孔コンダクタンスの初期値が大幅に高くなり、光合成速度の応答が迅速化することも報告されている (Kimura *et al.* 2020; Yamori *et al.* 2020)。これらに加え、Shimadzu *et al.* (2019) は、シロイヌナズナにおいてアブシジン酸トランスポーターをノックアウトすることで変動光に対する気孔コンダクタンスの応答が迅速化することを報告しており、葉内のアブシジン酸レベルがこの応答に関与している可能性も示唆されている。

以上のように、変動光環境における気孔コンダクタンスの応答に関与する要因は明らかになりつつある一方、葉肉コンダクタンスの応答に関与する要因は明らかとなっていない。細胞膜を介したCO₂拡散の経路となるアクアポリンや、CO₂と重炭酸イオン間の反応を触媒するカーボニックアンヒドラーゼの関与が予想されるものの、それを実験的に示した例はいまだなく、今後の解明が望まれる。

おわりに

野外環境では、光強度だけでなく温度、湿度、風速といった様々な環境要

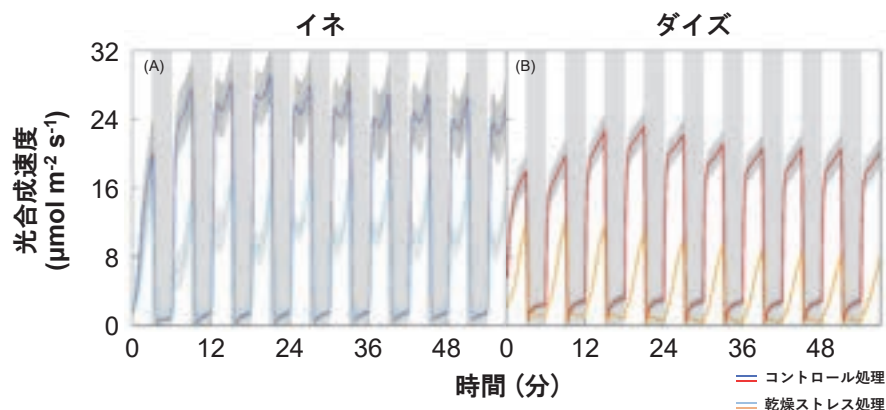


図-4 乾燥ストレスを受けたイネとダイズにおける変動光に対する光合成速度の応答
好適な水分条件処理（濃色）あるいは乾燥ストレス処理（薄色）を施した (A) イネと (B) ダイズの成熟葉に3分間の弱光と強光を繰り返し照射した際の光合成速度の推移を示した ($n = 4-5$)。両作物において、乾燥ストレスを受けた場合には光合成誘導が鈍化し、積算の CO_2 固定量が大きく減少することがわかる。各プロット上の縦棒は標準誤差を示し、図内の灰色部と白色部は光合成有効光量子束密度が 50 および 1500 $\mu\text{mol photons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ であることを示す。(引用文献 Sakoda *et al.* 2021b より改変)

因が同時に変動し、光合成に作用している (Yamori 2016)。加えて、乾燥や塩害など、作物栽培上問題となる諸ストレスもまた、変動光に対する光合成の応答に影響を与える。作物を用いた最近の先行研究により、乾燥ストレス (Sakoda *et al.* 2021b) や塩ストレス (Zhang *et al.* 2018, 2020) が変動光に対する光合成の応答に与える影響が検証されている。これらのストレス条件下では、主に気孔コンダクタンスの低下によって変動光に対する光合成の応答が鈍化し、積算の CO_2 固定量が大幅に減少する (図-4)。このことは、不良環境下において、変動光に対する光合成の応答が作物の生産性を大きく制限する要因となる可能性を示している。今後は、様々な環境要因が複合的に変動する環境において光合成がどうふるまうのか、そしてどの要因が光合成を律速するのかを明らかにすることが重要な課題となるだろう。

引用文献

Adachi, S. *et al.* 2019. Genetic architecture of leaf photosynthesis in rice revealed by different types of reciprocal mapping populations. *J. Exp. Bot.* 70, 5131–5144.
Drake, P.L. *et al.* 2013. Smaller, faster

stomata: Scaling of stomatal size, rate of response, and stomatal conductance. *J. Exp. Bot.* 64, 495–505.
Evans, J.R. *et al.* 2009. Resistances along the CO_2 diffusion pathway inside leaves. *J. Exp. Bot.* 60, 2235–2248.
Farquhar, G.D. *et al.* 1980. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C3 species. *Planta*. 149, 78–90.
Godfray, H.C.J. *et al.* 2010. The future of the global food system. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365, 2769–2777.
Hashimoto-Sugimoto, M. *et al.* 2013. A Munc13-like protein in Arabidopsis mediates H⁺-ATPase translocation that is essential for stomatal responses. *Nat. Commun.* 4, 1–7.
Inoue, S. *et al.* 2008. Blue light-induced autophosphorylation of phototropin is a primary step for signaling. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 105, 5626–5631.
Kaiser, E. *et al.* 2015. Dynamic photosynthesis in different environmental conditions. *J. Exp. Bot.* 66, 2415–2426.
Kimura, H. *et al.* 2020. Improved stomatal opening enhances photosynthetic rate and biomass production in fluctuating light. *J. Exp. Bot.* 71, 2339–2350.
Kromdijk, J. *et al.* 2016. Improving photosynthesis and crop productivity by accelerating recovery from photoprotection. *Science* 354, 857–861.
Lawson, T. and M.R. Blatt 2014. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use

efficiency. *Plant Physiol.* 164, 1556–1570.

Long, S.P. *et al.* 2006. Can improvement in photosynthesis increase crop yields? *Plant Cell Environ.* 29, 315–330.

López-Calcano, P.E. *et al.* 2019. Overexpressing the H-protein of the glycine cleavage system increases biomass yield in glasshouse and field-grown transgenic tobacco plants. *Plant Biotechnol. J.* 17, 141–151.

McAusland, L. *et al.* 2016. Effects of kinetics of light-induced stomatal responses on photosynthesis and water-use efficiency. *New Phytol.* 211, 1209–1220.

Mustilli, A.C. *et al.* 2002. Arabidopsis OST1 protein kinase mediates the regulation of stomatal aperture by abscisic acid and acts upstream of reactive oxygen species production. *Plant Cell* 14, 3089–3099.

Negi, J. *et al.* 2008. CO_2 regulator SLAC1 and its homologues are essential for anion homeostasis in plant cells. *Nature* 452, 483–486.

Papanatsiou, M. *et al.* 2016. Stomatal spacing safeguards stomatal dynamics by facilitating guard cell ion transport independent of the epidermal solute reservoir. *Plant Physiol.* 172, 254–263.

Papanatsiou, M. *et al.* 2017. Stomatal clustering in Begonia associates with the kinetics of leaf gaseous exchange and influences water use efficiency. *J. Exp. Bot.* 68, 2309–2315.

Papanatsiou, M. *et al.* 2019. Optogenetic manipulation of stomatal kinetics improves carbon assimilation, water use, and growth. *Science* 363, 1456–1459.

Pearcy, R.M. 1990. Sunflecks and photosynthesis in plant canopies. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 41, 421–453.

Qi, X. and K.U. Torii 2018. Hormonal and

- environmental signals guiding stomatal development. *BMC Biol.* 16, 1–11.
- Sakoda, K. *et al.* 2020. Higher stomatal density improves photosynthetic induction and biomass production in arabidopsis under fluctuating light. *Front. Plant Sci.* 11, 1–11.
- Sakoda, K. *et al.* 2021a. Stomatal, mesophyll conductance, and biochemical limitations to photosynthesis during induction. *Plant Physiol.* 185, 146–160.
- Sakoda, K. *et al.* 2021b. Drought stress reduces crop carbon gain due to delayed photosynthetic induction under fluctuating light conditions. *Physiol. Plant.* in press.
- Sharkey, T.D. 1985. Photosynthesis in intact leaves of C3 plants: Physics, physiology and rate limitations. *Bot. Rev.* 51, 53–105.
- Shimadzu, S. *et al.* 2019. Whole irradiated plant leaves showed faster photosynthetic induction than individually irradiated leaves via improved stomatal opening. *Front. Plant Sci.* 10, 1–10.
- Soleh, M.A. *et al.* 2017. Identification of large variation in the photosynthetic induction response among 37 soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes that is not correlated with steady-state photosynthetic capacity. *Photosynth. Res.* 131, 305–315.
- South, P.F. *et al.* 2019. Synthetic glycolate metabolism pathways stimulate crop growth and productivity in the field. *Science* 363, eaat9077.
- Tanaka, Y. *et al.* 2019. Natural genetic variation of the photosynthetic induction response to fluctuating light environment. *Curr. Opin. Plant Biol.* 49, 52–59.
- Taylor, S.H. and S.P. Long 2017. Slow induction of photosynthesis on shade to sun transitions in wheat may cost at least 21% of productivity. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 372, 20160543.
- Vialet-Chabrand, S. *et al.* 2017. Importance of fluctuations in light on plant photosynthetic acclimation. *Plant Physiol.* 173, 2163–2179.
- Yamori, W. 2016. Photosynthetic response to fluctuating environments and photoprotective strategies under abiotic stress. *J. Plant Res.* 129, 379–395.
- Yamori, W. *et al.* 2012. Rubisco activase is a key regulator of non-steady-state photosynthesis at any leaf temperature and, to a lesser extent, of steady-state photosynthesis at high temperature. *Plant J.* 71, 871–880.
- Yamori, W. *et al.* 2016. Enhanced leaf photosynthesis as a target to increase grain yield: Insights from transgenic rice lines with variable Rieske FeS protein content in the Cytochrome *b₆/f* complex. *Plant, Cell Environ.* 39, 80–87.
- Yamori, W. *et al.* 2020. Increased stomatal conductance induces rapid changes to photosynthetic rate in response to naturally fluctuating light conditions in rice. *Plant. Cell Environ.* 43, 1230–1240.
- Yoon, D.K. *et al.* 2020. Transgenic rice overproducing Rubisco exhibits increased yields with improved nitrogen-use efficiency in an experimental paddy field. *Nat. Food*, 1, 134–139.
- Zhang, Y. *et al.* 2018. Short-term salt stress strongly affects dynamic photosynthesis, but not steady-state photosynthesis, in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Environ. Exp. Bot.* 149, 109–119.
- Zhang, Q. *et al.* 2019. Increase rate of light-induced stomatal conductance is related to stomatal size in the genus *Oryza*. *J. Exp. Bot.* 70, 5259–5269.
- Zhang, Y. *et al.* 2020. Salt stress and fluctuating light have separate effects on photosynthetic acclimation, but interactively affect biomass. *Plant Cell Environ.* 43, 2192–2206.
- Zhang, M. *et al.* 2021. Plasma membrane H⁺-ATPase overexpression increases rice yield via simultaneous enhancement of nutrient uptake and photosynthesis. *Nat. Commun.* 12, 735.
- Zhu, X.-G. *et al.* 2010. Improving photosynthetic efficiency for greater yield. *Annu. Rev. Plant Biol.* 61, 235–261.

麦の花序構造を決める遺伝子

鳥取大学農学部
佐久間 俊

はじめに

イネ科植物は多様な花序構造を示し、世界中に繁茂している。なかでもイネ、コムギ、トウモロコシ、オオムギは世界四大穀物と呼ばれ、世界各地で消費されている。日本で麦と総称される植物にはコムギ、オオムギ、ライムギなどが含まれ、これらは全て別の属に分類される。世界人口の増加に伴い、穀物消費量は増加の一途を辿る。生産量も消費量に呼応し増加しているが、その主要因は単位面積あたり収量の向上によるところが大きい。栽培面積は過去60年間でほぼ一定で今後の増加もあり期待できないため単収を増加させる必要がある。花序構造は穀粒数、穀粒サイズを決定する鍵となるため最終的な穀粒収量に大きく影響する。本稿では、麦類作物の花序構造を制御する遺伝子について紹介する。

1. 麦類の花序構造と栽培化

麦類にはコムギ (*Triticum aestivum*)、オオムギ (*Hordeum vulgare*)、ライムギ (*Secale cereale*)、エンバク (*Avena sativa*) など世界的に重要な食用作物が含まれる。これらの植物は約一万年前に野生種から栽培化され、品種改良が継続的に行われている。その結果、野生種と比較して格段に高い収量性、品質、均一な栽培などが可能になった。特に花序は収量性に直結するため栽培化・品種改良の過程でその形態お

よび構造が劇的に変化した。イネ科作物で共通して見られる変化は脱粒性の喪失である。野生種では穀粒が成熟すると穂がバラバラになり、穀粒が地面に落ちてしまう脱粒性を示す。この性質は子孫を残すため、および自生地を拡大する上で重要である。一方で栽培種は成熟しても穂がバラバラにならず全ての穀粒を容易に収穫することができる。この変化は栽培化の初期段階で起こり、非脱粒性の個体がヒトの手によって選抜された。麦類の脱粒性には *Btr1* 遺伝子と *Btr2* 遺伝子が鍵となることが日本の研究グループによって明らかになった (Pourkheirandish *et al.*, 2015)。野生オオムギでは機能型 *Btr1* 遺伝子と機能型 *Btr2* 遺伝子が穂軸の節で働いて細胞壁を薄く脆くしている。穂が成熟して乾燥すると風や動物の接触など物理的な衝撃によって細胞壁が砕け、穂がバラバラになることがわかった。オオムギと近縁のコムギにも

Btr1 と *Btr2* の相同遺伝子が存在しており、*Btr1* 相同遺伝子の機能喪失変異により栽培1粒系コムギと栽培2粒系コムギの非脱粒化が生じたことがわかった (Avni *et al.* 2017; Pourkheirandish *et al.* 2018)。麦類で共通した遺伝子が独立に選抜されたのは興味深い。

2. 麦類の花序構造を決める遺伝子

麦類の穂は穂状(すいじょう)花序と呼ばれる枝分かれしないシンプルな構造をとる(図-1A)。イネやトウモロコシの穂と比較すると非常にすっきりしている。この構造は穂軸に対して小穂が直接着き、しかも互生(ごせい)することによる。小穂はイネ科植物特有の花構造で1対の苞穎に包まれた小花からなる。小花は雌蕊、雄蕊、リンピの各花器官が外穎と内穎に取り囲まれた構造をしている(図-1B)。リ



図-1 オオムギの花序構造
(A) 二条穂(左)と六条穂(右)。六条穂は二条穂に比べて約3倍の穀粒が実る。(B) 小花の構造。内部の花器官を見えるように外穎は取り除いた。スケールは2mm。

ンピは花卉の相同器官と見なされており、イネ科では開花時にリンピが膨らむことで外穎と内穎を押し広げる役割を持つ。1節あたり何個の小穂がつくのか、1小穂あたり何個の小花がつくかは種によって異なる。例えばコムギは1節あたり1小穂、1小穂あたり複数小花が生じ、この構造は麦類で最も多いタイプである (Sakuma *et al.* 2011)。一方で近縁のオオムギは1節あたり3小穂、1小穂あたり1小花というユニークな構造をとる。麦類の小花構造は保存されており、2個のリンピ、3本の雄蕊、1本の雌蕊が形成され、稔実すると一つの穀粒が作られる。稔実した小花の総数が穂あたりの穀粒数となる。

イネ科植物の祖先はイネやソルガムのように分枝のある花序をもつと考えられており、麦類が示す分枝のない花序は比較的最近進化したと推測される (Kellogg *et al.* 2013)。二倍体ゲノムを持つオオムギは人為的突然変異誘発処理によって表現型が顕在化するため多様な突然変異体が豊富に蓄積している。これら変異体コレクションの中で分枝穂を示す *com1* と *com2* が同定された。いずれの変異体も穂の基部側に分枝が生じる。分子遺伝学解析の結果、*com1* および *com2* 変異体の原因はそれぞれ TCP 型転写因子、AP2 型転写因子をコードする遺伝子の機能喪失変異であることが判明した (Poursarebani *et al.* 2015; Poursarebani *et al.* 2020)。二重変異体はよりシビアな分枝穂を示すことから *Com1* 遺伝子と *Com2* 遺伝子は

それぞれ独立の経路で分枝穂の発生を抑制していることが示唆される。コムギの分枝穂突然変異体の原因遺伝子は *com2* 相同遺伝子 (*bh*) の変異によって生じることも明らかになった。これらの遺伝子が麦類特有の分枝のない穂の進化に深く貢献したと考えられる。

3. 麦の小花稔性を決める遺伝子

麦類の小穂には1個以上の小花が分化するが、その全てが正常に発達し穀粒を形成するわけではない。この小花稔性を制御する鍵遺伝子がオオムギとコムギで明らかになった。オオムギは1節あたり3小穂が必ず分化する。3小穂の稔性によって二条性と六条性がある。二条性は3小穂のうち真ん中に位置する主列小穂のみ穀粒を作り、両側二つの側列小穂は不稔になる。六条性は3小穂全てに粒を実らせる。この性質の違いを条性と呼ぶ。条性はホメオボックス型転写因子をコードする *Vrs1* 遺伝子によって決まる (Komatsuda *et al.* 2007)。二条性では機能型 *Vrs1* 遺伝子が側列小穂で限定的に働き、特に雌蕊の発達を抑制するため受粉することができない。六条性では *Vrs1* 遺伝子の機能が壊れているので発達抑制が解除されて穀粒を生産することができる。この遺伝子は麦類で特有の遺伝子重複を経て進化したものであることがわかった。コムギの *Vrs1* 相同遺伝子 (*GNII*) も小花の発達抑制機能を有しており、*GNII* 遺伝子

をノックダウンすると小花が発達して穀粒数が増える (Sakuma *et al.* 2019)。

おわりに

作物の遺伝育種研究は次世代シーケンサーの活用、ゲノム編集技術の開発など近年の技術革新によって劇的に進歩している。気候変動下の農業生産を支えるために作物の品種改良への期待は非常に大きい。多様な遺伝子は品種改良の原資であり、本稿で紹介した遺伝子はいずれも長い年月をかけて進化し、多くの研究者が多大なエフォートをかけて解明されたものである。麦類の花序を改良する上でこうした地道な研究成果が貢献することを信じてさらなる研究の進展に期待したい。今後はさまざまな気象・栽培条件においてこれらの遺伝子発現および形質発現がどのような影響を受けるか調査していく必要がある。

引用文献

- Avni, R. *et al.* 2017. Wild emmer genome architecture and diversity elucidate wheat evolution and domestication. *Science* 357, 93-97.
- Kellogg, E. A. *et al.* 2013. Early inflorescence development in the grasses (Poaceae). *Front Plant Sci.* 4, 250.
- Komatsuda, T. *et al.* 2007. Six-rowed barley originated from a mutation in a homeodomain-leucine zipper I-class homeobox gene. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 104, 1424-1429.
- Pourkheirandish, M. *et al.* 2018. On the Origin of the Non-brittle Rachis Trait of Domesticated Einkorn Wheat. *Front*

- Plant Sci. 8, 2031.
- Pourkheirandish, M. *et al.* 2015. Evolution of the grain dispersal system in barley. Cell 162, 527-539.
- Poursarebani, N. *et al.* 2015. The Genetic Basis of Composite Spike Form in Barley and 'Miracle-Wheat'. Genetics 201, 155-165.
- Poursarebani, N. *et al.* 2020. COMPOSITUM 1 contributes to the architectural simplification of barley inflorescence via meristem identity signals. Nat. Commun. 11, 5138.
- Sakuma, S. *et al.* 2019. Unleashing floret fertility in wheat through the mutation of a homeobox gene. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 116, 5182.
- Sakuma, S. *et al.* 2011. The domestication syndrome genes responsible for the major changes in plant form in the Triticeae crops. Plant Cell Physiol. 52, 738-749.

田畑の草種

大金鶏菊（オオキンケイギク）

キク科ハルシャギク属の一年草あるいは多年草。全国无路傍、河川敷、線路際などの荒地、海岸などに多い。背丈は30cmから70cm。花はコスモスに似た形状で、径5～7cmほど。花茎の先端に黄色の頭状花を1つ付ける。特に高速道路の法面緑化に使われた関係で、花期である5月から7月の高速道路脇が黄色く染まるのはこの花である。

1998年の夏、武田鉄矢氏創作の童話「二十六夜まいり」をベースにしたテレビドラマが終戦特別企画として放映された。ドラマは和久井映見演じる小学校教師が、急死した祖母の遺品を持って、祖母の人生の謎の部分を探明するために鹿児島県開聞町へ向かうところから始まる。ヒロインはそこで戦争に翻弄された祖母の悲恋を知ることになる。戦争末期、翌朝にも特攻隊として出撃していく若い隊員たちがいた。彼らは出撃の前夜、地元の宿に投宿し親元のように寛ぐのだが、物資が少ない中、地元の人たちは彼らに自分たちの食べ物を惜しみなく振る舞った。

翌朝、宿の女将さんと少女は、特攻隊として出撃する隊員に裏山の土手から摘んできたという黄色い花束を手渡す。ドラマのタイトルは「二十六夜参りー特攻花・学術名不詳ー」とあり、その花が何かは明らかにしていないが、手渡した花束はオオキ

（公財）日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

ンケイギクを思わせる黄色い花束であった。

戦後、鹿児島県の基地のあった周辺で群生するようになった黄色い花を「特攻花」と呼ぶようになり、さらに特攻隊の悲劇が語られていく中で特攻花＝オオキンケイギクという図式が出来上がっていったように思う。さらにそのことがこのドラマに続いていくのである。

しかし、武田氏の原作童話は完全な創作であるとしながらも、山桜、タンポポ、サクラソウ、スマレは出てくるがオオキンケイギクは出てこない。オオキンケイギクは明治時代中頃に鑑賞を目的にアメリカから導入されたが、それから半世紀、終戦の頃に鹿児島県南部に繁茂していたのだろうか。

鹿児島県にある知覧特攻平和会館が発行する「知覧特攻平和会館紀要」には、女学生が綴った日記の研究などが記されているが、そこに出てくる「花」は「八重桜、山吹、木蓮、つつじ、れんげ草、菜の花、椿」などでオオキンケイギクはない。

オオキンケイギクは2006年に「外来生物法」に基づく特定外来生物に指定された。原則として栽培、譲渡、販売、輸出入が禁止される。違反すると個人なら3年以下の懲役または300万円以下の罰金、法人なら1億円以下の罰金が科せられることになる。

農業支援サービスに関する調査結果（令和3年度）

本調査での農業支援サービスとは、不特定の農業者等に対して対価を得てサービスを提供することをいい、ドローン散布等の作業受託やデータ分析、農業機械のシェアリング、農業現場への人材供給等である。

「食料・農林水産業・農山漁村に関する意識・意向調査」（農林水産省）の一環として、令和3年8月上旬から9月中旬にかけて、農業者20,000人を対象として実施され、12,938人から回答を得た結果である。

外部の組織等が提供しているサービスの利用状況について、「利用している」と回答した割合は全体としては52.9%であった。営農類型別では、酪農82.8%、肉用牛が70%と高い。

利用している有償の農業支援サービスの内容について営農

類型別に表-1に示した。水田作では、「農業散布や追肥等」が57.4%と最も高く、「施肥管理等の営農指導」、「収穫作業等」が続く。畑作では、「収穫作業や選別等」が57%と最も高い。一方、露地野菜、施設野菜、果樹では、「施肥管理等の営農指導」が最も高く、特に、施設野菜では55.4%、果樹では58.7%とその利用割合が高い。また、「繁忙期のみ等の臨時的な人材派遣サービス」は、果樹22.5%、畑作21.2%、露地野菜19.6%でその利用割合が高い。

これらのサービスを利用している先は、「JA等の農業団体」68.9%、「農業法人や個人農業者」36.2%、「民間サービス提供会社」23.8%となっている（複数回答）。（K.O）

表-1 利用している有償の農業支援サービス（複数回答）

営農類型別	回答者数	定植や施肥管理等の営農指導	農業散布や追肥作業等の代行	収穫作業や選別等の代行	は種や田植え作業等の代行	生育分析
	(人)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
水田作	2183	41.0②	57.4①	40.0③	23.2④	17.8⑤
畑作	307	41.7②	32.9③	57.0①	17.6	19.2
露地野菜	571	47.3①	28.7③	37.5②	23.1④	19.4
施設野菜	661	55.4①	30.1③	37.8②	24.2⑤	28.9④
果樹	467	58.7①	27.4③	34.7②	17.6	26.1④
営農類型別	作付計画や農機の購入等の経営指導	繁忙期のみ等の臨時的な人材派遣サービス	生育予測	大型農機等のレンタル、シェアリング	農業機械の定額料金を支払い、一定の期間利用	年間を通しての人材派遣サービス
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
水田作	15.8	10.5	12.6	8.4	4.5	0.8
畑作	21.5④	21.2⑤	11.1	12.1	5.9	2.6
露地野菜	19.6⑤	19.6⑤	8.8	11.6	4.0	5.6
施設野菜	19.5	14.5	9.8	6.7	4.1	7.3
果樹	19.5	22.5⑤	18.8	7.5	3.4	3.0

注）表中の○囲み数字は、営農類型別にシェアの高い順①～⑤を示した。

統計データから（55巻7号）の表中の数字の修正

カロリーベースと生産額ベースの食料自給率（令和2年度）

（上部略）

合計	843	2,269	37	104,032	154,308	84
（食料国産率）	1,052		46	110,098		71

67

55巻7号 p18、統計データからの「令和2年度の食料自給率に生産額ベースの食料自給率」の記事中、表の「合計欄」の数値が誤っておりました。申し訳ありませんが、修正をお願いします。

2021 年度畑作関係 除草剤・生育調節剤試験判定結果

(公財) 日本植物調節剤研究協会 技術部

2021 年度畑作関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会は、2021 年 12 月 2 日(木)～3 日(金)に Zoom を用いた Web 会議において開催された。

この検討会には、試験場関係者 62 名、委託関係者 41 名ほか、計 121 名の参集を得て、除草剤 27 薬剤 (165 点)、

生育調節剤 1 薬剤 (2 点)、展着剤 1 薬剤 (4 点) について、試験成績の報告と検討が行われた。

その判定結果および使用基準については、次の判定表に示す通りである。

2021 年度畑作関係除草剤・生育調節剤試験 判定

A. 除草剤

薬剤名 有効成分及び 含有率(%)	作物名	判定	使用基準							継続の内容
			対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
1. AC-263 液 イマザモックスアン モニウム塩:0.85% [BASF ジャパン]	大豆	実・継	一年生広 葉雑草	茎葉兼 土壌処 理 (全面)	大豆出芽直前 ～本葉1葉 期, 雑草発生 始期～2葉期	200～ 300mL ＜散布水量 100L＞	全土壌(砂 土を除く)	北海道	・大豆に縮葉や褐変 が生じる場合がある	・一年生イネ科雑草に 対する効果・葉害の年 次変動の確認(東北以 南)
			一年生雑 草		大豆出芽前期 ～本葉 3葉期, 雑草発生始期 ～2葉期			東北以南		
			一年生広 葉雑草	茎葉兼 土壌処 理 (畦間)	大豆生育期, 雑草2葉期ま で			北海道	・作物に飛散しない ように散布する ・体系処理;イネ科雑 草対象の土壌処理剤 を使用する	
2. AKD-7198 液 新規化合物:11% [アグロカネショウ]	大豆	—								(作用性)
3. BAS-656 乳 ジメテナミドP:64.0% [BASF ジャパン]	ばれい しょ	実	一年生雑 草	土壌処 理 (全 面)	ばれいしょ植 付後萌芽前, 雑草発生前	75～ 120mL＜散 布水量 100L＞	全土壌(砂 土を除く)	全域	アカザ科・アブラナ 科・タデ科には効果 が劣る	
4. BCH-181 フロアブ ル チエンカルバゾンメ チル:2.9% ホラムスルフロン :4.8% [バイエルクロップサ イエンス]	てんさい (ALS阻害 剤耐 性)(直播)	実・継	一年生雑 草	土壌処 理 (全 面)	てんさい子葉 期以降, 雑草 発生始期	50～100mL ＜散布水量 50L＞	全土壌(砂 土を除く)	全域	・低薬量, 高水量で はシロザに対する効 果が劣る場合がある	・散布水量25Lにおけ る効果・葉害の確認 (子葉期以降・雑草発 生始期, 広葉雑草1～ 2葉期, 広葉雑草3～4 葉期) ・散布水量100Lにおけ る効果・葉害の確認 (子葉期以降・雑草発 生始期)
				茎葉兼 土壌処 理 (全 面)	てんさい子葉 期以降, 広葉 雑草1～2葉期					
					てんさい子葉 期以降, 広葉 雑草3～4葉期	50～100mL ＜散布水量 50～100L＞				

A. 除草剤

薬剤名 有効成分及び 含有率(%)	作物名	判定	使用基準							継続の内容
			対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
4. BCH-181 フロアブル つづき	てんさい (ALS阻害 剤耐性) (移植)	実・継	一年生雑 草	土壌処 理(全 面)	てんさい移植 後、雑草発生 始期	50～100mL <散布水量 50L>	全土壌(砂 土を除く)	全域		・散布水量25L/10aに おける効果・薬害の確 認(移植後雑草発生始 期、広葉雑草1～2葉 期、広葉雑草3～4葉 期) ・散布水量100L/10aに おける効果・薬害の確 認(移植後雑草発生始 期)
				茎葉兼 土壌処 理(全 面)	てんさい移植 後、広葉雑草 1～2葉期					
					てんさい移植 後、広葉雑草 3～4葉期	50～ 100mL<散 布水量50 ～100L>				
5. HMB-0901 フロアブル フェンメディファ ム14.7% メタミトロン:27.0% [夕張ツムラ, アダマ・ ジャパン, ホクサン]	とりかぶ と	実	一年生広 葉雑草	茎葉処 理(全 面)	とりかぶと生 育期、雑草発 生揃期	500～ 700mL <散布水量 100L>	全土壌	全域	・展着剤を加用する ・前処理剤との組み 合わせで使用する	
6. Hoe-866 液 グルホシネート :18.5% [BASF ジャパン]	大豆	実・継	一年生雑 草	茎葉(全 面)	大豆播種前10 ～14日	300～ 500mL <散布水量 100～ 150L>	全土壌	東北以南	・雑草の生育量に応 じて薬量を増減する ・播種後土壌処理剤 との体系処理をする	・低薬量での効果・薬 害の確認(播種後出芽 前) ・効果・薬害の確認(播 種後出芽前、北海道、 九州)
					大豆播種後出 芽前、雑草生 育期(草丈 30cm以下)			東北以南 (九州を除 く)	・大豆の発芽開始後 は、薬剤が直接触れ ると薬害が発生するこ とがあるので注意する	
				茎葉(畦 間)	大豆生育期 雑草生育期			全域	・作物に飛散しないよ うに散布する ・雑草の草丈30cm以 下で散布する	
				茎葉(畦 間・株間)	生育期(本葉5 葉期以降)、雑 草生育期(草 丈20cm以下)				・専用ノズルを使用す る ・噴口はできるだけ低 くし、本葉にかからな いように散布する	
	とうもろ こし(飼料 用)	実・継	一年生雑 草	茎葉処 理(全 面)	耕起または播 種前、雑草生 育期(草丈 30cm以下)	300～ 500mL <散布水量 100～150L>	全土壌	東北以南		・効果・薬害の年次変 動の確認(耕起または 播種前) ・効果・薬害の確認(畦 間処理)
	とうもろ こし(食 用)	実・継	一年生雑 草	茎葉処 理(全 面)	耕起または播 種前、雑草生 育期(草丈 30cm以下)	300～ 500mL <散布水量 100～150L>	全土壌	東北以南		・効果・薬害の年次変 動の確認(耕起または 播種前) ・効果・薬害の確認(畦 間処理)
	ひまわり (種子)	実・継	一年生雑 草	茎葉処 理(全 面)	耕起または播 種前、雑草生 育期(草丈 30cm以下)	300～ 500mL<散 布水量100 ～150L>	全土壌	東北以南		・効果・薬害の確認(畦 間処理)
	さとうき び (春植え)	実・継	一年生雑 草, 多年 生広葉雑 草	茎葉処 理(全 面)	耕起または植 付前、雑草生 育期(草丈 30cm以下)	300～ 2000mL<散 布水量 100L>	全土壌	全域		・多年生イネ科雑草に 対する効果の確認
	さとうき び (夏植え)	実・継	一年生雑 草, 多年 生広葉雑 草	茎葉処 理(全 面)	耕起または植 付前、雑草生 育期(草丈 30cm以下)	300～ 2000mL<散 布水量 100L>	全土壌	全域		・多年生イネ科雑草に 対する効果の確認

A. 除草剤

薬剤名 有効成分及び 含有率(%)	作物名	判定	使用基準							継続の内容
			対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
6. Hoe-866 液 つづき	さとうき び (春植え)	実・継	一年生雑 草, 多年 生広葉雑 草	茎葉処 理(畦 間)	さとうきび生 育期, 雑草生 育期	300～ 2000mL<散 布水量 100L>	全土壌	全域	・作物に飛散しない ように散布する ・雑草の草丈30cm以 下で散布する	・多年生イネ科雑草に 対する効果の確認
	さとうき び (夏植え)	実・継	一年生雑 草, 多年 生広葉雑 草	茎葉処 理(畦 間)	さとうきび生 育期, 雑草生 育期	300～ 2000mL<散 布水量 100L>	全土壌	全域	・作物に飛散しない ように散布する ・雑草の草丈30cm以 下で散布する	・多年生イネ科雑草に 対する効果の確認
	さとうき び (株出し)	実・継	一年生雑 草, 多年 生広葉雑 草	茎葉処 理(畦 間)	さとうきび生 育期, 雑草生 育期	300～ 2000mL<散 布水量 100L>	全土壌	全域	・作物に飛散しない ように散布する ・雑草の草丈30cm以 下で散布する	・多年生イネ科雑草に 対する効果の確認
	さとうき び	実・継	一年生雑 草	茎葉処 理(圃場 内周縁 部)	さとうきび生 育期, 雑草生 育期(草丈 30cm以下)	500～ 2000mL <散布水量 100L>	全土壌	全域	・作物に飛散しない ように散布する	・薬量300mLにおける 効果・薬害の確認 ・多年生雑草に対する 効果の確認
7. HOK-1911 水和 ジメテナミドP:15.4% レナシル:19.2% [北興化学工業]	てんさい (移植)	実・継	一年生雑 草	土壌処 理(全 面)	てんさい移植 後, 雑草発生 前～始期	300～ 500g<散布 水量80～ 100L>	全土壌(砂 土を除く)	全域	・雑草発生始期処理 では, 展着剤を加用 する	・シロザに対する効果 の年次変動の確認
	てんさい	継								・効果・薬害の確認(中 耕後, 雑草発生前～ 始)
8. HSW-1801 フロアブル ピロキサスルホン :3.5% メトプロムロン :25.9% [ホクサン]	ばれい しょ	実・継	一年生雑 草	土壌処 理(全 面)	ばれいしょ植 付後萌芽前, 雑草発生前	300～ 500mL<散 布水量 100L>	全土壌(砂 土を除く)	北海道		・薬害の発生要因につ いての確認 ・効果・薬害の確認(東 北以南)
9. KUH-043 顆粒水和 ピロキサスルホン50% [クミアイ化学工業]	とうもろ こし(飼料 用・食用)	実・継	一年生雑 草	土壌処 理(全 面)	とうもろこし 播種後出芽 前, 雑草発生 前	20～40g <散布水量 100L>	全土壌(砂 土を除く)	北海道		・効果・薬害の確認(出 芽直前～出芽揃, と うもろこし1～2葉期)
10. KUH-209 乳 ジメテナミドP:7.2% ピロキサスルホ ン:1.2% リニユロン:9.6% [クミアイ化学工業] 【有効成分含有率変 更6/25】	大豆	実・継	一年生雑 草	土壌処 理(全 面)	大豆播種後出 芽前, 雑草発 生前	300～ 500mL<散 布水量 100L>	全土壌(砂 土を除く)	東北以南		・効果・薬害の確認(北 海道) ・薬量300mLにおける 効果・薬害の年次変動 の確認(東北以南)
11. MBH-2003 水和 メタミトロン:35.0% レナシル:40.0% [丸和バイオケミカル]	てんさい (直播)	-								(作用性)
	てんさい (移植)	継								・効果・薬害の確認
	てんさい	継								・効果・薬害の確認(中 耕後, 雑草発生始)

A. 除草剤

薬剤名 有効成分及び 含有率(%)	作物名	判定	使用基準							継続の内容
			対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
12. MCN-8501 液 カーバムナトリウム 塩:33.0% [夕張ツムラ, ZMク ロッププロテクショ ン]	おけら	実	一年生雑 草	土壌混 和	おけら定植15 日以前, 雑草 発生前	60L	全土壌(砂 土を除く)	北海道	・処理後被覆し, 15 日後に被覆を除去し 耕起によるガス抜き を行う ・低温条件での使用 は避ける ・カーバムナトリウ ム塩の使用上の注意 を遵守する	
	とうき	実	一年生雑 草	土壌混 和	とうき播種15 日以前, 雑草 発生前	60L	全土壌(砂 土を除く)	全域	・処理後被覆し, 15 日後に被覆を除去し 耕起によるガス抜き を行う ・低温条件での使用 は避ける ・カーバムナトリウ ム塩の使用上の注意 を遵守する	
13. NBA-961顆粒水和 メタミロン:70% [夕張ツムラ, アダマ・ ジャパン, ホクサン]	おけら	実	一年生広 葉雑草	茎葉処 理(全 面)	おけら生育 期, 雑草発生 揃	400～ 600g<散布 水量100L>	全土壌	全域	・展着剤を加用する ・前処理剤との組み 合わせで使用する	
	せんきゅう	実	一年生広 葉雑草	茎葉処 理(全 面)	せんきゅう生 育期, 雑草発 生揃期	400～ 600g<散布 水量100L>	全土壌	全域	・展着剤を加用する	
	とうき	実	一年生広 葉雑草	茎葉処 理(全 面)	とうき生育期, 雑草発生揃	400～ 600g<散布 水量100L>	全土壌	全域	・展着剤を加用する ・前処理剤との組み 合わせで使用する	
14. NC-622 液 グリホサートカリウ ム塩:48.0% [日産化学]	大豆	実・継	一年生雑 草	茎葉処 理(全 面)	耕起または播 種前 雑草生 育期(草丈 30cm以下)	200～ 500mL <散布水量 25～100L>	全土壌	全域	・散布水量5～6L, 25 ～50L/10aの場合は 専用ノズルを使用す る	・収穫前全面処理での 効果, 葉害の確認(北 海道)
						200～ 500mL<散 布水量5～ 6L>		全域		
						200～ 500mL <散布水量 5～6L, 25 ～100L>		東北以南		
				茎葉処 理(畦 間)	大豆生育期 雑草生育期	200～ 500mL <散布水量 25～100L>			・作物に飛散しない ように散布する ・散布水量25～ 50L/10aの場合は専 用ノズルを使用する ・雑草の草丈30cm以 下で散布する	
				茎葉処 理(全 面)	大豆 落葉期 ～成熟期, 雑草生育期	500～ 1000mL <散布水量 50～100L>			・成熟の遅れた株に 散布すると, 子実の 変色やしわ粒等が発 生する場合がある ・水分含量の高い果 実をつけた雑草で は, 茎葉は枯れても 果実が残る場合があ る ・効果の完成までに2 週間以上を要する	

A. 除草剤

薬剤名 有効成分及び 含有率(%)	作物名	判定	使用基準							継続の内容
			対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
15. NH-007 フロアブル グリホサートイソプロピルアミン 塩:30.0% ピラフルフェンエチル:0.16% [サンダーボルト007 普及会]	大豆	実・継	一年生雑草	茎葉	耕起または播種10日以前, 雑草生育期 (草丈30cm以下)	400～ 600mL ＜散布水量 100L＞	全土壌	東北以南		・播種後出芽前処理での年次変動の確認(東北以南) ・多年生雑草に対する効果の確認(東北以南)
				茎葉 (畦間)	大豆播種後出芽前, 雑草生育期 (草丈30cm以下)				・作物にかからないよう散布する ・雑草の草丈30cmまでの時期に散布する	
16. NP-55 乳 セトキシジム:20% [日本曹達]	大豆	実	一年生イネ科雑草	茎葉処理(全面)	大豆生育期, イネ科雑草3～5葉期	150～ 200mL ＜散布水量 25～150L＞	全土壌	北海道	・イネ科雑草優占圃場で使用する ・体系処理:広葉雑草対象の土壌処理剤を使用する ・少水量散布(25～50L)の場合は専用ノズルを使用する ・スズメノカタビラには効果が劣る	
						150～ 200mL ＜散布水量 100～ 150L＞		東北以南		
					大豆生育期, イネ科雑草5～8葉期 (草丈30cm以下)	200mL ＜散布水量 25～100L＞		北海道		
						200mL ＜散布水量 100L＞		東北以南		
					大豆生育期, イネ科雑草8～10葉期 (草丈30cm以下)	250～ 300mL ＜散布水量 100～ 150L＞		東北以南		
17. NP-66H フロアブル ピロキサスルホン :3.4% リニュロン:24% [日本曹達]	大豆	実	一年生雑草	土壌処理(全面)	大豆播種後出芽前, 雑草発生前	250～ 350mL＜散布水量 100L＞	全土壌(砂土を除く)	全域		
18. S-482 顆粒水和 フルミオキサジン :50% [住友化学]	さとうきび (春植え)	実・継	一年生広葉雑草	土壌処理(全面)	さとうきび植付後萌芽前, 雑草発生前	5～10g＜散布水量 100L＞	全土壌(砂土を除く)	全域		・効果・薬害の年次変動の確認
	さとうきび (株出し)	実・継	一年生広葉雑草	土壌処理(全面)	さとうきび萌芽前, 雑草発生前	10g＜散布水量100L＞	全土壌(砂土を除く)	全域		・5gにおける効果・薬害の確認 ・10gにおける効果・薬害の年次変動の確認
19. UPH-002 フロアブル フェンメディファム :16% [保土谷UPL]	てんさい (直播)	実	一年生広葉雑草	茎葉処理(全面)	てんさい子葉展開期～本葉抽出期, 雑草発生揃期	150～ 350mL ＜散布水量 50～100L＞	全土壌	全域	・展着剤を加用する ・低薬量では効果が劣る場合がある(てんさい2葉期以降, 雑草発生揃期)	
					てんさい2葉期以降, 雑草発生揃期	400～ 600mL ＜散布水量 50～100L＞				

A. 除草剤

薬剤名 有効成分及び 含有率(%)	作物名	判定	使用基準							継続の内容
			対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
20. UPH-004 液 (IHNH-009液) グルホシネート :18.5% [ユーピーエルジャパン]	かんしょ	実	一年生雑 草	茎葉処 理(畦 間)	かんしょ生育 期, 雑草生育 期	300～ 500mL <散布水量 100～ 150L>	全土壌	東北以南	・作物にかからない よう散布する ・雑草の草丈30cmま での時期に散布する	
	ばれい しょ	実・継	一年生雑 草	茎葉処 理(畦 間)	ばれいしょ生 育期, 雑草生 育期	300～ 500mL <散布水量 100～ 150L>	全土壌	東北以南	・作物にかからない よう散布する ・雑草の草丈30cmま での時期に散布する	・薬量300mL<水量 150L>における効果の 年次変動の確認
21. フェンメディファ ム 乳 フェンメディファム :14.7% [夕張ツムラ, ホクサン]	おけら	実	一年生広 葉雑草	茎葉処 理(全 面)	おけら生育 期, 雑草発生 摘	600mL<散 布水量 80L>	全土壌	全域	・前処理剤との組み 合わせで使用する	
22. リニユロン 水和 リニユロン:50.0% [TKI社]	そば	—								(作用性)

B. 2020 年度 除草剤

1. Hoe-866 液 グルホシネー ト:18.5% [BASFジャパン]	さとうきび (春植え)	2021 参照								
	さとうきび (夏植え)	2021 参照								
	さとうきび (春植え)	2021 参照								
	さとうきび (夏植え)	2021 参照								
	さとうきび (株出し)	2021 参照								
2. HSW-1801 フロア ブル ピロキサスルホン :3.5% メトプロムロン :25.9%(w/w) [ホクサン]	ばれいしょ	2021 参照								
3. JEA-2001 液 グルホシネート :18.5% [Joy Consulting]	かんしょ	実・継	一年生雑 草	茎葉処 理(畦間)	かんしょ生育 期, 雑草生育 期	500mL<散 布水量 100L>	全土壌	東北以南	・作物に飛散しない ように散布する ・雑草の草丈30cm以 下で散布する	・畦間処理における 200mL<水量 100L,150L>での効果・ 薬害の確認 ・畦間処理における 500mL<水量100L>で の年次変動の確認 ・耕起または挿苗前 における効果・薬害の確 認
	ばれいしょ	継								
4. SCC-010 液 グルホシネート :18.5% [日本アグロサービス]	ばれいしょ	実	一年生雑 草	茎葉処 理(全面)	耕起または植 付前, 雑草生 育期(草丈 10cm以下)	100～ 200mL <散布水量 100～ 150L>	全土壌	東北以南		・耕起または植付前お よび植付後萌芽前にお ける効果・薬害の年次 変動の確認

B. 2020 年度 除草剤 つづき

薬剤名 有効成分及び 含有率(%)	作物名	判定	使用基準							継続の内容
			対象雑草	処理法	処理時期	使用量 (/10a)	適用土壌	適用地域	使用上の注意	
5. UPH-004 液 グルホシネート :18.5% [ユービーエルジャパン]	ばれいしょ	2021 参照								

C. 生育調節剤

1.HSW-2101 乳 既知化合物A:10g/L [ホクサン] 【有効成分含有率公開 6/28】	ばれいしょ	—								(作用性)
---	-------	---	--	--	--	--	--	--	--	-------

D. 展着剤

1.Silwet806 液 ポリオキシアルキレンオ キシド変性シリコーンオ イル:100% [モメンティブ・バフオー マンス・マテリアルズ・ ジャパン]	大豆	—								
--	----	---	--	--	--	--	--	--	--	--

2021 年度水稲関係生育調節剤試験判定結果

(公財) 日本植物調節剤研究協会 技術部

2021 年度水稲関係生育調節剤試験成績検討会は、2021 年 12 月 17 日(金)に、Zoom を用いた Web 会議において開催された。この検討会には、試験場関係者 39 名、委託関係者 28 名ほか、計 83 名の参集を得て、健苗育成を目的としたもの 3 剤(適用性 16 点)、登熟向上を目的としたもの 3 剤(適

用性 12 点)、倒伏軽減を目的としたもの 1 剤(適用性 4 点)、その他 2 剤(適用性 7 点)について、試験成績の報告と検討が行われた。

その判定結果および使用基準については、次の判定表に示す通りである。

2021 年度水稲関係生育調節剤試験 判定一覧

< 健苗育成 >

No.	薬剤名 有効成分 [委託者]	ねらい	判定	判定内容
1	IK-160 水和 タラロマイセス フラバス SAY-Y-94-01株胞子 : 3×10^8 cfu/g [エス・ディー・エス バイオテック]	健苗育成/育苗箱処理による根部の生育促進効果および移植後の活着促進効果の検討	実・継	実) 根部の生育促進 ・播種時 ・500倍液500mL/育苗箱 ・1000倍液1000mL/育苗箱 ・土壌灌注処理 注) 化学種子消毒剤と併用しない 継) ・移植後の活着促進効果の確認
2	NF-171 フロアブル ピカルブトラゾクス:10.0% [日本曹達]	健苗育成/移植直前処理での移植後の活着促進効果の検討	実・継	実) 根部の生育促進および移植後の活着促進 ・播種時または発芽後(緑化始期) ・1000倍液500mL/育苗箱 2000倍液1000mL/育苗箱(発芽後処理を除く) ・土壌灌注処理 継) ・2000倍, 500mL/育苗箱処理での効果薬害の確認(播種時, 発芽後、移植直前) ・1000倍, 500mL/育苗箱処理での効果薬害の確認(移植直前)
3	SB-9233 粒 ダイムロン:1.0% [エス・ディー・エス バイオテック]	健苗育成/育苗箱処理による根部の生育促進効果	継	継) 効果・薬害の確認

< 登熟向上 >

No.	薬剤名 有効成分 [委託者]	ねらい	判定	判定内容
4	NGR-072 粒 イソプロチオラン:12.0% エチプロール:1.5% [日本農薬]	登熟向上/①高温登熟下における白未熟粒等発生軽減効果の検討 ②割れ籾発生軽減効果の検討	実・継	実) 登熟向上 ・出穂前10～20日 ・4kg/10a ・湛水散布 継) ・高温登熟下での品質向上(白未熟粒等発生軽減)効果の確認 ・割れ籾発生軽減効果の確認
5	イソプロチオラン 粒 イソプロチオラン:12% [日本農薬]	登熟向上/3kg/10a処理での効果・薬害の検討(薬量拡大) ①登熟向上効果の検討 ②高温登熟下における白未熟粒等発生軽減効果の検討 ③割れ籾発生軽減効果の検討	実・継	実) 登熟向上、高温登熟下での未熟粒の発生軽減 ・出穂10～20日前 ・4kg/10a ・湛水散布 継) ・3kg/10a処理での効果・薬害の確認
6	イソプロチオラン1kg 粒 イソプロチオラン:36% [日本農薬]	登熟向上/①高温登熟下における白未熟粒等発生軽減効果の検討 ②割れ籾発生軽減効果の検討	実・継	実) 登熟向上 ・出穂10～20日前 ・1kg/10a ・湛水散布 継) ・高温登熟下での品質向上効果(白未熟粒等発生軽減)の確認 ・割れ籾発生軽減効果の確認

< 倒伏軽減 >

7	SSDF-25 粒 ウニコナゾールP:0.0040% N-P-K=25-10-8 [住友化学]	倒伏軽減/直播水稻での側条施用における倒伏軽減および薬害の検討	実	実) 節間短縮による倒伏軽減(直播水稻) ・側条施用 ・播種時 ・15～30kg/10a (基肥として施用)
---	--	---------------------------------	---	--

< その他 >

8	SYJ-302 粉粒 過酸化カルシウム:19.0% [シンジェンタ ジャパン]	その他/湛水直播水稻の土中播種での苗立ち安定効果の確認	実	実) 湛水直播水稻での苗立ちの安定 ・播種前 ・乾籾重量の0.5～等倍 ・乾燥種子に湿粉衣
9	タチガレン 液 ヒドロキシイソキサゾール:30.0% [三井化学アグロ]	その他/生育ストレス条件下(除草剤起因等)における生育促進	実	実) 生育ストレス条件下(除草剤起因等)における生育促進 ・移植5日～3日前 ・500倍液500mL/育苗箱 ・育苗箱灌注処理

小笠原絶滅危惧植物

東京大学・法政大学名誉教授

長田 敏行

小笠原諸島の植物が絶滅危惧に瀕していることは耳にするようになって久しい。筆者は22年前に現地調査に赴いてつぶさにその状況を見る機会を持ったが、その記憶は未だに鮮明である。それを思い起こして今回の話題としたい。参加した理由は、東京大学小石川植物園の園長を併任で勤めていた時、環境庁からのサポートも受けていたので、年度末の報告書には私の名前が載ることになる。事情は理解しているとしても、やはり一度は現地を見ておくべきであろうということとして、1999年2月初旬に訪問することとした。

まず、早朝に竹芝桟橋に向かい、東海汽船の小笠原丸に乗りこみ船中の人となった。ここで、小笠原へ向かったもう一つの背景も述べる必要があるだろう。というのは、そのしばらく前に東京都の部長という方が大学の研究室の方へ見えた。実は、小笠原空港設置計画があるが、その空港予定地に絶滅危惧植物のムニンツツジ (*Rhododendron boninense*, ツツジ科) (図-1) があるので、その繁殖計画に研究費を出すから空港設置に協力してもらえないかというものであった。それには丁重にお断りの返答をしたが、やはり自ら現地を見ておかねばならないと思ったのである。

小笠原諸島

そもそも、小笠原諸島とは何であろうか。約1000万年前の海底火山が海上に頭を出したのが出発で、やがて島となっ

た。本土から1000km離れているので、まさに海洋島であり、「東洋のガラパゴス」とよばれるのもガラパゴスと比べたら規模は小さいが、その類似性からである。そして、長いこと無人島であり、そのため英名‘The Bonin Islands’は無人島が転じたものである。小笠原とよばれるようになったのは、かつては信濃国の守護大名であった小笠原氏の末裔が江戸初期知多半島に領地を持っていた時代に、徳川家康に新しい島を見つければ領土としてよいと言われて、太平洋に乗り出し発見したことによる。このため、江戸後期にイギリスが一時領有権を主張したり、かつて欧米系の捕鯨船の中継地となったりと話題は豊富で、実際に最も古い住民はアメリカ出身だったり、デンマーク出身であったりする。そして、人々が恒常的に住みだしたのは幕末から明治初期にかけてであり、八丈島より移住した人が多いとのことである。それら住民は養蚕のためにクワの木を持ち込み、ヤギなどを持ち込んだが、それらがその後の種の絶滅に重大な影響を与えることとなった。そして、最も大きな影響を与えたのは第二次世界大戦である。最前線となったため、住民は全て移住を強要され、軍関係者のみの居住となり、自然は放置されるままになった。そして、1945年の敗戦とともに長く米軍の駐留となった。それで、日本に返還された1968年に調査すると、多くの植物が絶滅に瀕していることが見出された。例えば、ムニンノボタン (*Melastoma tetramerum*, ノボタン科) はただ1株のみ、



図-1 ムニンツツジ



図-2 小石川植物園で繁殖させている小笠原絶滅危惧植物



図-3 小笠原父島ツツジ山にて



図-4 ムニンノボタン



図-5 小学生との移植作業

ムニンツツジも1株となっていており、絶滅に瀕した植物種の数に相当数にのぼる。ここでムニンは無人を意味する。概要はいくつかの文献で見ることができるので、その一つを挙げておく（小野 1993）。そして、導入されたクワは固有種のおがさわらぐわと交雑し、ヤギは繁殖して植物を食べまくる事態となっていた。それで、東京大学小石川植物園では下園文雄氏らの主唱で現生地の植物保護を図ったが、結局小石川で繁殖させて、現生地へ戻すというのが当時としては最適ということになって動いていたのである（図-2）。

小笠原諸島父島到着

往路の船中では万事物珍しくキョロキョロしたが、八丈島が見えても、なお、道半ばと聞き 1000km はやはり遠かった。そして、25 時間後に父島二見港に到着した。この時、小笠原丸は小笠原への生活物資補給の主力手段であることを知って、その地理的状况を実感した。その日は、小笠原支庁へ赴いて挨拶をし、父島南部のツツジ山へ向かった。山としては決して高くはないが、岩山に近いツツジ山へよじ登った。そこで、唯一残ったという1株を見て、植物の状態を計測したが、そこはほとんど絶壁の上であった（図-3）。改めて、この場所が空港予定地であるとはいったいどういうことであるかと実感した。果して空港の提案者はこの現状を知っているのかと思い、都に対して否定的対応をしたことは正しかったかと思いついた。幸い、既にご存知のように、空港計画は無くなっている。その上で、ムニンツツジは、その繁殖に難問ぞろいであることは、下園文雄さんに伺った。まず、土壌の選択はむづかしく、小笠原から取り寄せたことで初めて成功したのである。しかも、生物学的に興味のあることに、そこに菌類が寄生することが、ポイントであったのである。これは、まさに教科書的で、ホウキタケ属の一種（*Clavaria* sp., 担子菌）が付いて菌根となることが生存の必要条件であるとは、植物と菌類の共生を良く示している。

その後、尾根伝いに北上し、やや下ったが、その途中木性シダのマルハチ、タコノキが繁る亜熱帯の植物は、やはり南

国であることを実感させた。それ以上に、獣道に近い道で出くわしたのは重火器の残骸で、まさに戦時中の最前線であったということが納得できた。そして、その夜は東京都の関係者との懇親の場があった。翌日は、東京都の試験場を見学した後で向かったのは、小石川植物園で繁殖したムニンノボタン（図-4）の株の移植作業で、小笠原小学校生徒との共同作業であった（図-5）。なお、その後ムニンノボタンでは種子繁殖が観測されたので、媒介する鳥（メジロ類）も存在していることを意味するのであろう。また、ムニンノボタンの別株が発見されたが、それは形態的にも最初見出されたものと異なっていた。これはまさに、植物は現生地に戻すべきであるという根拠を示す事実である。

その他に、海洋島の特徴をいくつか知ることとなったが、冬場は鯨が集まるので、ホウエルウォッチングに好適な場所であることを知ったが、実際に勇ましい汐吹を数度観察することができた。この旅行の結論としては、小笠原といっても見ることができたのは一島だけで、その他にまだまだ島はたくさんあり、ほんの一部を見たに過ぎないので、全体を語ることを出来ないが、率直な感じとしては、やはり船旅で25時間かかることは貴重であり、それゆえに自然環境が守られるということを実感した。また、そのために、UNESCOの世界自然遺産に選定されたのであろうと強く思い、またその状態の維持はなお今後の課題である。なお、筆者は帰途に、もう一度25時間の船旅を楽しむことができたが、同室となった方は仕事での出張ということであったが、出港してから竹芝につくまで、毛布をかぶって寝ていたことには、そのような人もいたのだと驚いた。22年の記憶というに既にセピアの色がかかっているとは思えないが、昨日のことのよう思い起こせるのは、やはりその印象が強かったためであろうと申して、本稿を閉じる。

文献

小野記彦 19893. 孤島の植物たち, 岩波新書.

研究会等のお知らせ

■園芸学会令和 4 年度春季大会

期日：2022年3月17日（木）～23日（水）

オンライン開催

注）参加登録は締切り済み

内容：

3月17～19 日，22～23 日

研究発表会 視聴（オンデマンド）

3月20～21 日

研究発表会 ライブ質疑

受賞講演および懇親会（20 日）

大会事務局：

千葉大学園芸学部

E-mail: jshs.convention2022s@jshs.jp

■日本作物学会第253回講演会

期日：2022年3月27日（日），28日（月）

オンライン開催

注）参加登録は締切り済み

内容：

3月27日 一般講演，2022年授賞式

3月28日 一般講演，ポスターセッション，

ミニシンポジウム，小集会

大会運営委員会：

TEL: 046-270-6514

東京農業大学農学部農学科

E-mail: cssj202203@gmail.com

植調第 55 巻 第 11 号

■ 発 行 2022 年 2 月 14 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) 2016
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

SDSの水稲用除草剤有効成分を含有する「新製品」

アシュラ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/400FG (ベンゾビスクロン)
 ウィードコア1キロ粒剤 (ベンゾビスクロン)
 ダンクショットフロアブル (ベンゾビスクロン/カフェンストロール)
 天空1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾビスクロン)
 パピリカ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾビスクロン/テニルクロール)
 イザナギ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾビスクロン)
 ゲバード1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ベンゾビスクロン/ダイムロン)
 ホットコンビ200粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾビスクロン/テニルクロール)
 レプラス1キロ粒剤/ジャンボ/エアー粒剤 (ダイムロン)
 サスケ粒剤200/サスケ-ラジカルジャンボ/レオンジャンボパワー
 (カフェンストロール/ダイムロン/ベンゾビスクロン)
 ジカマック500グラム粒剤 (ベンゾビスクロン)
 ツルギ250粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾビスクロン)
 モーレツ1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ベンゾビスクロン)
 アネシス1キロ粒剤 (ベンゾビスクロン)
 ジャイロ1キロ粒剤/フロアブル (ベンゾビスクロン)
 テッケン/ニトウリュウ1キロ粒剤/ジャンボ (ベンゾビスクロン)
 イネヒーロー1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)
 ベンケイ1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ (ベンゾビスクロン)
 銀河1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (ダイムロン)
 月光1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ (カフェンストロール/ダイムロン)



「ベンゾビスクロン」含有製品

SU抵抗性雑草対策に！アシカキ、イボクサ対策にも！

アールタイプ/シュナイデン (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	スマート (1キロ粒剤/フロアブル)
イッテツ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	ダブルスターSB (1キロ粒剤/ジャンボ/顆粒)
イネキング/クサバルカン (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	タンボエース (1キロ粒剤/ジャンボ/スカイ500グラム粒剤)
ウエス (フロアブル)	トビキリ (ジャンボ)
オークス (フロアブル)	ナギナタ (1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ)
カービー (1キロ粒剤)	ハーディ1キロ粒剤
キクトモ (1キロ粒剤)	ハイカット/サンパンチ1キロ粒剤
クサトリーBSX (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	半蔵1キロ粒剤
クサビ (フロアブル)	フォーカスショットジャンボ/ブレスサフロアブル
サンシャイン (フロアブル)	ブルゼータ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)
忍 (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	フルイニング (ジャンボ/スカイ500グラム粒剤)
ジャイブ (スカイ500グラム粒剤)	プレキープ (1キロ粒剤/フロアブル)
シリウスエグザ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/顆粒)	ピラクロエース/カリュード (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)
シリウスターボ (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	ライジンパワー (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)
シロノック (1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	



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/>



協友アグリおすすめの水稲用一発処理除草剤

効果も！コストも！
使って爽KA!!!

水稲用一発処理除草剤

サラブレッド

KAI 1キロ粒剤
フロアブル
ジャンボ



ノビエへの持続性を
さらに強化!!

水稲用一発処理除草剤

バッチリ
LX 1キロ粒剤
フロアブル
ジャンボ

デルタアタック

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

※バッチリLXとデルタアタックは同一成分です。

水稲用一発処理除草剤

アツパレZ

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

いざ、問題雑草退治!

後発のノビエも
長く抑える!

ホタルイも
しっかり枯らす!

イボクサ
難防除雑草
にも!

手強い雑草に喝!
SU穂結性
オモダカに喝!
SU穂結性
ホタルイに喝!
クロクワイに喝!

水稲用一発処理除草剤

ジェイフレンド

1キロ粒剤・フロアブル・ジャンボ

®は協友アグリ(株)の登録商標です。 ※ジェイフレンドはJA全農の登録商標です。

JAグループ
農 協 | 全 農 | 経済連

協友アグリ株式会社
東京都中央区日本橋小網町6-1
<https://www.kyoyu-agri.co.jp>

- 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。
- 空容器・空袋は圃場などに放置せず、適切に処理してください。

明日の
農業を
考える

これは
なんだろう?

みんな農家さんさ
レイミーが
お手伝い!

あれは
去年どこの畑に出たんだっけ?

スマートフォン用アプリ
レイミーの**AI病害虫雑草診断**

無料! 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。

対応作物

水稲

キャベツ

レタス

はくさい

ブロッコリー

ねぎ

アプリの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

■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。

日本農業株式会社

※スマホ画面は開発中のもののため実際と異なる場合があります

SUSTAINABLE GOALS

日本農業株式会社は持続可能な
開発目標(SDGs)を支援しています

エフィーダ含有除草剤ラインアップ

4成分が魅せる、防除効果の神髄。

NEW シンズイZ

皇帝の品格。

エンペラー

この除草剤、ベッカク。

ベッカク

除草効果優先、使いやすさ優先。

プライオリティ

水田除草の未来を切り拓く。

アバンティ

移植も直播も飼料稲にも。高い安全性。

ベルーガ

水田除草に、新たな風。

新規有効成分エフィーダ®とは

新しい成分「エフィーダ®」配合/水稲用除草剤シリーズ

白化作用を示し、SU剤抵抗性雑草を含めた幅広い雑草に優れた効果があります。

飼料用イネや多収米にも品種を問わず使用できます。

新しい水稲用除草剤をぜひお試しください。



©はクミアイ化学工業(株)の登録商標

- 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。
- 防除日誌を記載しましょう。

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: <https://www.kumiai-chem.co.jp>

豊かな稔りに貢献する 石原の水稲用除草剤

ISHIHARA
BIO
SCIENCE

湛水直播の除草場面で大活躍!

非SU系水稲用除草剤

ブレキープ® 1キロ粒剤
フロアブル

- は種時の同時処理も可能!
- 非SU系の2成分除草剤
- SU抵抗性雑草に優れた効果!

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

ヒエクッパ® A 1キロ粒剤

フルチア® ジャンボ®

フルイニグ® ジャンボ®

タイズドール® 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>

私たちの多彩さが、
この国の農業を豊かにします。

®は登録商標です。

〒103-6020 東京都中央区日本橋2丁目7番1号 お客様相談室 ☎0570-058-669 農業支援サイト  農力 <https://www.i-nouryoku.com>

●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。●小児の手の届く所には置かないでください。●空袋・空容器は廃棄等し適切に処理してください。



大粒のあぐり、まっくらぐりへ
sco GROUP

 住友化学

大好評の除草剤ラインナップ

- 新登場!**
ゼータジャガー 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル
- 新登場!**
バットウZ 1キロ粒剤
フロアフル シヤンボ
- 新登場!**
ゼータプラス 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル
- マスラオ** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル
- ゼータタイガー** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル 300Fg
- ズエモン** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル
- メガゼータ** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル 400Fg
- オサキニ** 1キロ粒剤
- 忍** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル
- イッテツ** 1キロ粒剤
シヤンボ フロアフル
- ドニチS** 1キロ粒剤

農耕地から緑地管理まで
雑草防除に貢献します。

畑作向け除草剤

アタックショット 乳剤 **ムギレンジャー** 乳剤
丸和 **ロックス**®

果樹向け除草剤

シンバー® **リバー**®

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

サファソフトWK 丸和 **サファソフト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2-5-2
☎03-5296-2311 <http://www.mbc-g.co.jp/>

第55巻 第11号 目次

- 1 巻頭言 植調技術確認圃一支部長活動を通じて感じたことー
伊達 寛敬
- 2 根の改良による環境ストレス耐性作物の開発ー塩害水田向けのイネ根系形態ー
宇賀 優作
- 7 変動する光に対する植物葉内のCO₂挙動
迫田 和馬・矢守 航
- 13 麦の花序構造を決める遺伝子
佐久間 俊
- 15 〔田畑の草種〕^{くさぐさ} 大金鶏菊(オオキンケイギク)
須藤 健一
- 16 〔統計データから〕農業支援サービスに関する調査結果(令和3年度)
- 17 2021年度畑作関係除草剤・生育調節剤試験判定結果
(公財)日本植物調節剤研究協会 技術部
- 24 2021年度水稻関係生育調節剤試験判定結果
(公財)日本植物調節剤研究協会 技術部
- 26 〔連載〕植物の不思議を訪ねる旅 第29回 小笠原絶滅危惧植物
長田 敏行
- 28 広場

No.82

表紙写真 《オオキンケイギク》



明治中期に観賞用で移入され、ワイルドフラワー緑化などに使用されていた。全国で逸出・定着し、道路沿い、河川敷などに群生している。特定外来生物にされている。5～6月に燈黄色の花を着ける。多年草。(写真は©浅井元朗, ©全農教)



生育初期。
葉はさじ形。



頭花。
径5～7mm。



根生葉。長い柄を持つ。



そう果。扁平で長さ約5mm。