

植調

JAPR Journal

第53巻

第10号

水田作における過去30年間の雑草および薬剤作用機構の変遷

問題雑草の変遷(2) -2000年から2010年まで- 渡邊 寛明

農業微生物研究の現状と今後の展望 池田 成志

緑地管理現場における雑草対策の現状と課題 津田 その子



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
アトカラ® ジャンボMX

農林水産省登録
第23867号

農林水産省登録
第23866号

アジムスルフロン・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。

動画を
チェック!



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。



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/>

○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・空袋などは農場などに放置せず、適切に処理してください。○防除日誌を記録しましょう。



カウントダウン®



雑草の無い水田へ

JAグループ
農協 全農 経済連
® カウントダウン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

一発、カウントダウン。

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



葉っぱのフレディー

公益財団法人 日本植物調節剤研究協会 専務理事
横山 昌雄

令和の初めての正月を迎え、新しい時代の幕開である。農業も新しい時代に向かっている。スマート農業を享受できることが期待される。

最近、無人大型トラクターが農地を耕作している映像を見る機会が増えたが、手塚治虫の漫画「魔人ガロン」を思い出す。ガロンは宇宙から来たロボットで、土地を改良する能力がある。それに気づいた人々はガロンを使って土地改良しようとする。しかし、ガロンが作る土地は人が住めない、空気すらない宇宙のものにしてしまう。小さな田んぼや水路を区画整理し、大区画にした水田を大型トラクターが走っていると、魔人ガロンが走り回っているように見えるが、ガロンの作る農地にはならないだろう。

整備された農地を見ていると日曜日に解放されても遊ぶ子供がいない道路を連想される。かつて、道路は子供の遊び場であった。キャッチボールや三角ベースは近所にある広い道路でやったものである。道路が歩道と車道に整備されると自動車が入り込み、子供の遊び場ではなくなった。公園はボール遊びが禁止されていた。校庭は場所取りが大変で、上級生にはかなわない。河川敷のグラウンドは大人の野球チームに占領されていた。お寺は住職に怒られるし、そもそも石畳で野球には適さなかった。ボール遊びをあきらめ、他の遊びを探すうちに、遊び場を探すことが遊びになっていた。東京オリンピックが開催される以前のことである。現在では道路は完全に交通のためのものになった。

子供の頃とは違い、道路や公園は散歩するものになっている。先日、上野公園を散歩していたが、桜や銀杏が落葉し、寒々しい。どこか暖かいところと思い、国立科学博物館の入口まで行った。ところが親子連れで大賑わい。上野公園には他にも沢山の美術館や博物館があるぞと思い、博物館巡りを始めた。といっても入館したのは東京国立博物館と国立西洋美術館の2館であるが。国立博物館では薬師如来像や十一面観音像などが展示されているブースを鑑賞していたが、インパウンドが大挙して入館してきたので早々に退却した。西洋美術館は特別展の「ハプ

スブルグ展」を開催していた。「ハプスブルグ展」は魅力的であったが、並んで見る勇気が起きなかったの、すいている常設展に入った。常設展とはいえ、モネ、ゴッホ、ゴッホ、マネ、ドラクロア、ピカソなどの有名な作品が展示されていた。18世紀までの作品は貴族の肖像画やキリスト教に関係した絵画が多く、19世紀以降は市井の人々を描いた絵画や風景画、抽象画などが目立った。その中で、セザンヌの「葉を落としたジャ・ド・ブッフアンの木々」が目にとまった。数本の葉が落ちた木々が粗いタッチで描かれ、また農場と小高い丘がバックに描かれたスケッチ風の作品である。木々は落葉しているが大地は緑で描かれていた。晩秋の農場の風景であろうか。この絵が目にとまった理由は、数日前に「葉っぱのフレディー」という絵本を孫たちに読み聞かせていたからである。

「葉っぱのフレディーは春に大きな木の梢に近い太い枝に生まれました・・・数えきれないほどの葉っぱにとりかこまれ・・・ひとつとして同じ葉っぱはない・・・夏になるとお日さまが早く昇って、遅くしずむ・・・気持ちがよい・・・秋になると寒さがおそってきました・・・一気に紅葉しました・・・同じ葉っぱなのにちがう色になる・・・冬が来た・・・ひとり残らずここからいなくなる・・・みんなひっこしをする・・・フレディーはひとりになりました・・・初雪です・・・フレディーは空中に舞って・・・地面におりていきました・・・目を閉じねむりに入りました・・・また春がめぐって来ました」

この絵本の原作者はアメリカ人の教育者レオ・バスカーリア。「いのち」や「死」を教えてくれる絵本。この絵本を読んだ後に孫たちは「世界は変化しつづけているんだ。変化しないものはひとつもないんだよ。葉っぱは緑から紅葉して散る。変化するって自然なことなんだ。」の文節に興味を持った。「変身」ものである。そこで「冬が終わると春が来て雪はとけ水になり、枯葉のフレディーはその水にまじり土に溶けこんで木を育てる力になるのです。フレディーは生まれたところにかえったのでした。」の文節を再度聞かせた。単なる変身ではないことを伝えたかったが理解したかは定かではない。

問題雑草の変遷 (2) — 2000 年から 2010 年まで —

公益財団法人日本植物調節剤研究協会
渡邊 寛明

はじめに

(公財)日本植物調節剤研究協会は、2001～2003年に当協会の研究所および全国22か所の試験地の協力を得て3か年でのべ4,645筆の水田を対象に水田雑草の発生調査を実施した(田中ら 2006)。水稻移植後40～60日頃に残存していた雑草を調べたものであるが、調査年次に関わらず最も頻度高く残草していたのは一年生雑草ではノビエ、アゼナ類、コナギ、イボクサ、多年生雑草ではイヌホタルイ、セリ、オモダカ、クログワイであった。このなかで今後問題になると考えられた草種の一番手はスルホニルウレア系除草剤(SU剤)抵抗性が疑われるイヌホタルイであり、続いて雑草害が特に大きいノビエとクログワイであった。その他にも、頻度高く残草が確認された上位50草種、今後問題と考えられた上位41草種がリストアップされている。1990年代はSU剤を含んだ一発処理剤が全国で毎年使用されるようになったが、2000年代初頭に問題とされた水田雑草はSU抵抗性雑草を含むSU剤のみでは防除が難しい草種が目立つ。早期・早植栽培が多い三重県でも2001～2002年に水田雑草発生調査が行われ、一年生雑草ではノビエ、イボクサ、アゼナ類等のSU抵抗性の広葉雑草など、多年生雑草ではクログワイやコウキヤガラ、畦畔から侵入するイネ科多年生雑草などの発生頻度が高く、1990年代におけるSU

剤を含む一発処理剤の普及とこれを用いた比較的単一な除草体系を反映した結果となっていた(神田 2003)。本稿では、2000年代初頭の雑草発生状況を示すこれらの調査結果をベースにして、その後の約10年間に問題とされた水田雑草の変遷を述べることにする。

1. 雑草発生に関与する要因

(1) 経営規模の拡大および水田利用の多様化

2000年以降の水田農業の動向を見ると、大規模の農業経営体の増加、水田利用の多様化、水稻直播栽培の定着、水田雑草防除の分野ではSU抵抗性雑草対策剤の開発・普及などが特徴として挙げられる。5年毎に実施される農林業センサスの調査報告には2005年、2010年、2015年調査における100ha以上の経営規模の経営体数として、北海道では705, 907, 1168, 都府県では159, 313, 422の数値が記録されている(農林水産省 2018)。2000年調査報告ではこの欄が設けられていない。100haを超える大規模経営体が2000年以降に都府県でも増え始めていると思われる。新潟県における大規模生産組織の事例では、管理する圃場が多いことや圃場間の距離が長いために移動に時間がかかることから移植後の除草剤の適期処理が困難になることに加え、減農薬栽培への取り組み強化や良食味米生産のための細かい水管理が求められる状況などもあ

り、雑草防除とりわけ安定した除草剤の効果を得るうえでの課題が指摘されている(本多 2004)。特別栽培農産物はその表示ガイドラインの中で農薬使用に関しては「使用回数が慣行の5割以下」と定義された。一発処理剤が広く普及していた水稻雑草防除においては、さらなる使用回数(使用成分数)の削減は残草のリスクを伴う。佐賀県でも特別栽培に対応する除草方法として除草剤の使用成分数や使用回数の低減が課題として挙げられている(市丸 2009)。水田利用に関する作物統計のデータをみると、2000年以降の稲の作付けは水田面積の約70%、水稻以外の作物(豆類、飼料、野菜など)のみの作付けおよび夏期不作付けの面積はそれぞれ約18%、約11%とほぼ一定の値で推移している(農林水産省 2005, 2011, 2019)。この時期から現在に至るまで、水田面積の約30%は水稻が作付けされていない。一方で、水田での栽培に適した高生産性の飼料作物として水稻が見直され(イネWCS, 飼料米)、その用途に適した飼料用イネの品種育成や低コスト生産および飼料品質向上のための収穫、調製、給与技術等の研究が進められた。政策的な後押しもあり、飼料用イネの生産、給与を核にした耕畜連携の取り組みが各地で盛んに行われた。

(2) SU抵抗性雑草対策剤の開発・普及と難防除多年生雑草の防除体系

1990年代に各地で問題となったSU抵抗性雑草に対して、当初は既存

の除草剤で防除するための薬効評価が行われ、初期剤と中後期剤の体系処理やSU剤を含まない一発処理剤が有効であることから、現場ではそれらの利用が推奨された。もちろん、SU系一発処理剤のなかにも、当初からアゼナ類、コナギ、イヌホタルイに有効なSU剤以外の成分が含まれた混合剤もあったが、2000年代に入るとSU系一発処理剤に対策成分を加えた一発処理剤の開発がさらに進んだ。その結果、体系防除や非SU系一発処理剤による対策に加えて、多くのSU系一発処理剤でもSU抵抗性対策が可能となった。

防除困難な多年生雑草の対策では、1990年代からSU剤の効果に期待が寄せられていた。しかしながら、SU剤はオモダカ、クログワイ、コウキヤガラ、シズイに対する生育抑制効果がみられるものの、生産現場ではそのみで防除することは困難な場面が多かった。そこで、SU剤の生育抑制効果を活かしながら現場で満足できる安定した防除効果を得るために、これら多年生雑草に有効な除草剤（ベンタゾン液剤など）をSU系一発処理剤との体系で利用する体系防除が各地で指導された。特に単年度での完全防除が困難なクログワイでは、水田土壌中における塊茎の生存状態や地上部の生育を含めた動態研究から許容限界が策定され、有効な防除体系を毎年繰り返すことにより防除効果が向上すると考えられた（稲村 1994, 2001）。このクログワイ防除の考え方に基づいて、難防除多年生雑草に対する除草剤の連年施

用の効果が薬効試験（適用性試験）でも評価されるようになった。

(3) 水稲直播栽培の定着

2000年における我が国の水稲直播栽培面積は8.9千haであったが、2010年には21.5千haにまで増加した（農林水産省 2018）。地域別データをみると、東北地域ではこの10年間に1.6千haから3倍の4.8千haに、北陸地域では1.4千haから5倍以上の7.4千haに増えた。日本全体ではまだ水稲作付け面積の1%を超えたにすぎないが、寒冷地での伸びは目立つ。「コシヒカリ」のふるさと福井県では2000年からの10年間で集落営農数の増加とともに直播栽培面積は急増し、2010年には水稲栽培面積の約13%にあたる3.5千haを超えていた（山口 2019）。それまで直播栽培は収量や品質の不安定性が普及上の課題であったが、良食味米を生産する「米どころ」でも直播栽培が受け入れられたことを示している。この時期に普及した直播栽培は水稲種籾に過酸化カルシウム製剤（商品名：カルパー粉粒剤16）を紛衣した湛水土中直播栽培が多い。播種後、水稲出芽時の水管理（東北農試 2000; Sato and Maruyama 2002）や精度高く播種できる直播機（西村ら 2001; 富樫 2002）などの技術開発がその安定生産に大きく寄与した。除草剤利用に関しては、1980～1990年代の湛水直播栽培では出芽後の水稲に対する安全性が極めて高いピラゾレート粒剤（商品名：サンバード

粒剤）や水稲の出芽後に使用できるSU剤を含有する混合剤（商品名：プッシュ粒剤、キックバイ粒剤、サンウェル粒剤）などが初期防除に利用されたが、2000年以降は移植用一発処理除草剤の直播栽培への登録拡大が進んだこともこの時期の湛水直播栽培の普及を支えた。直播栽培への登録拡大が進んだ要因の一つには、落水出芽によりイネの出芽が安定し、除草剤の直播水稲に対する安全性評価が容易になったことがあげられる。これにより、移植栽培で登録のある一発処理剤の多くが湛水土中直播栽培の水稲1葉期（あるいは1.5葉期）以降であれば安全に使用できることが分かってきた。それまで水稲直播栽培ではSU抵抗性雑草を防除することは困難であったが、対策成分を含んだ一発処理剤の直播登録拡大により、直播栽培でも抵抗性対策剤を用いた除草体系で防除することが可能となった。1990年代後半から湛水直播栽培面積が増加していた福島県会津地域では、2000年にSU抵抗性アゼナ類、2002年にSU抵抗性イヌホタルイが問題となったが、抵抗性雑草対策成分を含む混合剤の直播栽培への登録拡大とその普及により、その問題はほぼ解決したようだ（荒井 2008）。

乾田直播栽培はそれまでは降雨の少ない岡山県の瀬戸内地域で実施されていた。岡山県の乾田直播栽培は大正時代から県内数地域で始まり、20千haを超えた1974～1976年をピークにその後は漸減し（富久 1988）、

2000 年頃は県南の干拓地帯を中心に 3 千 ha での実施 (石井 2001), その後の 10 年はほぼ横ばいで推移している。一方で、福島県の浜通りや九州で耕起乾田直播の取り組みがこの時期に増えている。1997 年に最初の播種機が市販された不耕起 V 溝乾田直播栽培技術 (濱田ら 2007) も東海地域を中心に普及し、愛知県では 2002 年の 480ha から 2006 年には 1,096ha に増え、導入時期から普及段階に入っていた (愛知県農総試 2007)。湛水直播栽培でも、さらに低コスト栽培が可能な直播技術として鉄コーティング湛水直播栽培技術が開発された (山内 2011)。鉄コーティング湛水直播栽培や不耕起 V 溝乾田直播栽培は 2000 年代に入ると寒冷地でも普及し始め (今川 2008; 宮越 2011; 南山 2017), 両栽培法ともに 2010 年以降はさらに普及が進むこととなる。

以上のように、2010 年までの直播栽培の普及は安定性の高い湛水土中直播栽培が中心であったが、米価の低迷や経営規模の拡大を背景に、鉄コーティング湛水直播や耕起あるいは不耕起の乾田直播栽培といったより生産コストや省力性の面で経営メリットが大きい栽培技術の開発や試験的取り組みが盛んに行われていた。

2. スルホニルウレア抵抗性雑草

1990 年代の SU 抵抗性検定は、ポット試験により検定植物の葉量反応を感

受性型と比較する方法が中心であった。これには抵抗性と感受性の両方の種子を準備し、それら種子の休眠覚醒処理や発芽のための予措など試験実施に手間がかかり、適した検定期間を選ぶ必要もあるために、検定結果が得られるのが翌年以降になってしまう場合が多い。そこで、植物体の一部を検定試料とし、実験室内で SU 剤の作用点である検定植物のアセト乳酸合成酵素 (ALS) の活性を SU 剤投与下で感受性型と比較する迅速検定法が開発された (Uchino and Watanabe 1999)。また、その検定結果を基準にしながら、発根法 (Hamamura ら 2003) や地上部再生法 (大野ら 2004) といったより現場に近いところで検定できる簡易な検定手法が相次いで開発された。発根法はさらに現場で実施しやすく改良され、検定資材を含めたセット「検定キット」が提供されるようになった (吉田ら 2008)。それまでのポット試験での検定も含めた各種検定法から、それぞれの機関で採用しやすい方法が選定・利用され、SU 抵抗性雑草の確認が全国各地に進んだ。

2000 年に農林水産省農業研究センターが 47 都道府県を対象に行った除草剤抵抗性雑草発生動向に関するアンケート調査 (森田 2001) で「未回答」あるいは「未確認」だった府県でも残存雑草の抵抗性検定による確認作業が進められた。2000 年以前から発生していたと考えられた事例も含めると、岩手県、神奈川県、愛知県、滋賀県、京都府、広島県、山口県、香川県、



図-1 ヘラオモダカ

徳島県、福岡県、大分県、鹿児島県での SU 抵抗性雑草の発生が新たに公表された (内野ら 2005; 野村ら 2012; 平岩ら 2008; 鳥塚 2009; 大橋 2009; 保科 2009; 蔵重 2009; 安田 2009; 小牧 2009; 内川 2002; 吉田 2009; 緒方 2010)。SU 抵抗性が確認された新たな草種としては、ホソバヒメミソハギ (村井ら 2006), ウリカワ (片岡ら 2010), ヘラオモダカ (内野・伊藤 2008) (図-1), ミズマツバ, アブノメ (伊藤ら 2008), ウキアゼナ (伊藤ら 2009), マツバイ (内野ら 2009) などがある。オモダカやウリカワなどの多年生雑草で除草剤抵抗性が繁茂した場合、その雑草に有効な対策成分の種類が限られることから防除はいつそう難しくなる。一方で、SU 剤を連用した水田で残草した多年生雑草シズイについて SU 剤感受性を検定したところ、特段の感受性低下は認められなかった (内野 2008)。クログワイやオモダカと同様に、SU 剤だけに頼った除草体系を続けると、抵抗性では無くても容易に増加することを示している。

SU 抵抗性を含むアセト乳酸合成酵素 (ALS) 阻害剤抵抗性のメカニズムについては、本誌上に内野 (2005) による解説記事がある。SU 剤の作用点である ALS の遺伝子突然変異



図-2 水稻よりも高く伸びるクログワイの茎

による抵抗性では、当該遺伝子内に抵抗性を引き起こす5ヶ所の変異部位が知られており、それぞれ Ala₁₁₂, Pro₁₉₇, Ala₂₀₅, Trp₅₇₄, Ser₆₅₃ と表される。1990年代に日本で見つかったSU抵抗性バイオタイプでは、4種類のアゼトウガラシ属水田雑草（アゼトウガラシ、アゼナ、アメリカアゼナ、タケトアゼナ）ではPro₁₉₇、イヌホタルイではPro₁₉₇とTrp₅₇₄、オモダカではPro₁₉₇、コナギではPro₁₉₇が他の塩基に置換した抵抗性バイオタイプが見つかっており、オモダカとコナギではALS遺伝子に変異が見つからない抵抗性バイオタイプも存在していた。Trp₅₇₄が変異した抵抗性バイオタイプはSU剤以外のALS阻害剤にも抵抗性を有することが知られていることや、ALS遺伝子に変異が無い抵抗性については他の除草剤に対する反応の情報が少ないことから、それらの防除対策にはさらなる調査研究が必要とされた。

3. 難防除多年生雑草

2000年代に入っても多年生雑草を問題とする報告は多い。北海道では2008年に水田雑草防除に関するアンケート調査が行われ、農家が問題視している雑草として道内各地でオモダカが挙げられ、道央以南ではコウキヤガラが目立つようになった（楠目 2009）。この報告によると、農業



図-3 シズイが繁茂した水田



図-4 シズイの出芽

成分数を低減、制限した栽培が行われるようになり、たとえ多年生雑草が残草しても後処理剤を使用しないで放置する場面があるようだ。青森県でもシズイの残草要因の一つに減農薬栽培の取り組みの増加があげられている（石岡 2012）。残草した場合の追加防除にノビエ対象剤のみ使用されることが多く、シズイの徹底防除が行われず増加しているとの指摘である。秋田県ではオモダカとクログワイ（図-2）が問題とされるが、これらには体系処理が有効であることが分かっているものの、散布器具の関係で大規模水田での中後期の液剤散布ができない場合が多く（三浦 2008）、それも残草要因になっていたようだ。宮城県では2006年にGPSを利用した水田難防除雑草の発生状況調査が行われ、シズイ（図-3、-4）、コウキヤガラ（図-5、-6）、



図-5 コウキヤガラ繁茂した水田



図-6 コウキヤガラの出芽

オモダカ、クログワイの増加が確認されている（大川 2007）。これらの多年生雑草は、難防除多年生雑草対策として推奨されている体系防除を行わず、一発処理剤のみを使用する水田で多発する傾向がみられた。一方で、砂壤土が多い富山県では多年生雑草の徹底防除に加えて除草剤の残効期間が短いことにより他地域に比べると体系処理が多い傾向があるためか、県内のオモダカやクログワイの発生は比較的少ない（守田 2008）。温暖地以西では、福岡県などクログワイ等の多年生雑草の発生が漸減傾向にあるとの報告もあるが（宮崎 2009）、千葉県、長野県、山口県、香川県、徳島県、高知県、大分県などオモダカ、クログワイ、コウキヤガラは増加傾向にあるか重要雑草の地位を維持しているところが多い（大内 2009; 酒井 2009; 蔵重 2009;

安田 2009; 小牧 2009; 王 2009; 吉田 2009)。これらの報告でも、体系防除の実施を困難にしている要因として、生産者の高齢化や特別栽培における使用除草剤の成分数の制限などが挙げられている。難防除多年生雑草の防除においては除草剤の体系処理が不可欠であり現場でも推奨されていたが、生産現場では体系防除が行われない場面が多かったようだ。

1990 年代に暖地の早期栽培で問題となった多年生雑草シヨクヨウガヤツリについてもここで触れておく。本雑草はヨーロッパからアフリカ北部にかけての地中海沿岸が原産の世界的な強害雑草である (Holm *et al.* 1977)。日本には 1980 年代に侵入し、主に飼料畑や牧草地で問題となる外来雑草として知られる (澁谷・森田 2005)。湿潤条件でもよく生育し、1986 年には石川県の水田畦畔でも見られた。水稻作での発生確認は、1990 年に熊本県天草地方 (現在の天草市および苓北町) の早期栽培が最初である。その後の分布拡大は不明であったが、2003 年に帰化雑草メーリングリストを活用して実施された調査では、新潟県から鹿児島県にかけての 14 都県の 47 市町村に分布することが明らかにされた。なお、前述した熊本県の多発水田では、土壌中には 9,600 ~ 10,000 個 / m² の新塊茎と 1,900 ~ 2,400 個 / m² の旧塊茎が存在していた (森田・中山 1992)。水稻作付け中の雑草害はさほど大きくないものの、早期栽培における水稻収穫後の増殖と塊茎形成は極めて旺盛であ

る。暖地の早期栽培水田にうまく適応した多年生雑草で、次年度の発生を抑えるためには水稻収穫後の防除が不可欠とされた (Kojima 2000)。

4. 雑草イネ

赤米の在来品種のこぼれ種子からの漏生も含めると、日本におけるイネの混生の問題は比較的古くからある。1940 年代に岡山県で実施されていた乾田直播栽培の一つに麦の立毛中に水稻を播種する麦間直播があるが、そこで栽培品種に似る脱粒性の高いイネが発生していたようだ。当時の麦間直播の栽培指導書には脱粒し難い品種を選んで栽培することが条件の一つとして記載されていた (石井 2001; 石井・赤澤 2003)。麦間直播の面積は 1947 年に 1,000ha を超えるが、1950 年以降は縞葉枯病の大発生などで衰退する。長野県でも「トウコン」と呼ばれる雑草性赤米の野生水稻が善光寺平で古くから発生しており、乾田直播栽培が 1 千 ha 以上普及した 1960 ~ 1970 年にはその雑草性赤米も多発していた (斎藤 2003; 酒井・斎藤 2003)。その後、移植栽培への切り替えて雑草イネの問題はひとまず終息した (宮島・高橋 1974)。両県ともに水稻直播栽培を積極的に推進、普及してきた省力栽培技術の先進県である。他地域でも雑草としての赤米の混生事例がいくつか報告されており、茨城県では 1970 年代に陸稲を連作していた畑に赤米が雑草として混生していたとの記録がある

(小川 1992)。筆者がマレーシアでの長期在外研究 (1992 ~ 1996 年) を終えて帰国後に東北農業試験場に赴任していた時のこと、各地で直播栽培の試験的取り組みが行われていた東北地域の研究推進会議において雑草イネ発生のリスクを伝えようとしたが、周りの反応はやや冷やかであった。日本の農民は作物の混ざりに対しては大変厳しく、雑草イネは陸稲栽培や乾田直播などごく限られた栽培方法のなかで稀に生じる問題なのかも知れないと、自分なりに納得もしていた。

ところが、長野県では 2000 年代初頭に湛水直播栽培が推奨されると、いったん終息していたように見えた「トウコン」の問題がまずは県北部で再発した。2003 年までに雑草イネが問題になったのは飯山地域、安曇地域、佐久地域で、佐久は移植水田、他は直播水田での発生であった。いずれも直播栽培導入以前は全く雑草イネが見られなかった地域である (斎藤 2003)。その後、2005 年には県南部の直播水田でもみられるようになった (酒井ら 2014)。長野県では、2007 年に県内の研究機関、指導機関、行政部局からなる長野県雑草イネ対策チームが組織され、発生・被害の情報を共有しながら地域ごとの対策を着実に進める手続きが構築された (酒井 2015)。長野県以外の状況はどうだったか。赤米の雑草イネは収穫物に赤米が混ざることで見つかるケースが多い。雑草イネの発生やそれによる混米は発生地域の産地品種銘柄指定や種子生産地域とし



図-7 イヌビエの穂（有芒型）

ての評価に影響を及ぼす懸念があることから、地域内では対策を講じながらもその事実が外部に公表されることはあまり無い。そのため全国的な雑草イネの発生や被害の実態を正確に把握することは困難である。収穫物に混ざった赤米が雑草イネの種子であるのかどうかを鑑定するために、農研機構中央農業総合研究センターには各地からそれら赤米が送られていた。2007年から2012年までの6年間に寄せられたサンプルのなかで14県45市町村・地域（東北～近畿）の赤米が脱粒性を有するイネの種子であった（渡邊 2014）。2010年頃にはすでに寒冷地から温暖地にわたる広い範囲で雑草イネによる赤米混入があったことを示している。中央農業総合研究センターは、全国各地での雑草イネ対策に役立ててもらおうと、長野県との共同研究の成果に基づいて、2012年に「雑草イネまん延防止マニュアル」を作成し、Web上で公開した（農研機構中央農研 2015）。

5. 水稻直播栽培の問題雑草

ノビエがタイヌビエ、ヒメタイヌビエ、イヌビエ（図-7）、ヒメイヌビエ



図-8 畦畔から侵入するイボクサ

の総称であることは前報で述べたが、水稻直播栽培ではノビエのなかでもイヌビエが目立つとよく言われる。全国の水田に分布するタイヌビエと温暖地以西に分布するヒメタイヌビエは水稻によく擬態した典型的水田雑草であるが（森田 1996）、イヌビエは水田だけでなく畑地、路傍、畦畔、法面などいたる所で見られ（Yamasue 2001）、形態的、生態的特性でも大きな変異を有する。発芽時の酸素要求度はタイヌビエに比べると高く（片岡・金 1978）、水稻播種後に落水あるいはごく浅水で管理される直播水田で発生し問題になりやすい（松嶋・森田 2016）。また、水田周辺にはイヌビエの生育場所が多いので、水田でイヌビエの発生に適した管理がなされるといっても周りから入り込むことができる。休耕あるいは基盤整備後の水稻作付け前に多量の種子が散布されることでイヌビエの埋土種子を増やしてしまうこともある。各地で採種されたタイヌビエ、ヒメタイヌビエ、イヌビエの出穂期を生育地の緯度との関係を調べた研究では、いずれの草種も低緯度地域の系統ほど出穂期が遅くなるが、イヌビエの出穂期がタイヌビエやヒメタイヌビエよりも早い傾向があった。特



図-9 イボクサが繁茂した乾田直播栽培水田

に低緯度地域のイヌビエでは出穂期の早いものが多かった（児嶋・宮原 1983）。つまり、タイヌビエやヒメタイヌビエの出穂は通常はイネの出穂期と同じ時期かそれよりも遅いため水稻出穂前には見つけにくいのに対して、イヌビエの出穂はイネの出穂期よりも早い。イヌビエはタイヌビエほどイネに擬態していないので外観で識別しやすく、水田の中でよく目立つ。イヌビエの方からみれば、生産者に見つけやすい。にもかかわらず、早く穂を出したイヌビエがそのまま放置されている直播水田が結構目立つ。もともと直播栽培は大規模での省力栽培を目的に導入されているので、雑草防除は除草剤の利用が中心であり、広い水田に手取り除草のために追加の労力をかけることは少なくなっている。では直播水田ではタイヌビエやヒメタイヌビエは発生しないのかというと、決してそうではない。それらの出穂がイヌビエよりも遅いことを頭に入れて水稻出穂後に直播水田に入ってみると、タイヌビエやヒメタイヌビエも普通に見つかる。イヌビエ、タイヌビエ、ヒメタイヌビエはいずれも水稻直播栽培の重要草種である。

福島県浜通りでは、乾田直播栽培を継続するとイボクサ（図-8、-9）やサヤヌカグサなどの畦畔雑草が侵入して年々増加する傾向がある（半沢 1999）。この地域の耕起乾田直播栽培では、イボクサは播種前の4月上旬から発生し、播種前の耕起で十分に碎

土されていれば再生は少なく、播種後の種子発生が防除の対象となる（島宗 2007）。乾田期の茎葉処理剤（DCPA 乳剤、ビスピリバック Na 塩液剤）と入水後の有効な茎葉兼土壌処理剤との体系でイボクサはほぼ完全に防除できることやイボクサ多発圃場でも次作を移植栽培に切り替えると全く発生しないことも確認されている。本地域の乾田直播栽培では、イボクサのほかにはオオニワホコリとオオクサキビも増えており、オオニワホコリは転作大豆畑を含め輪作体系の中で毎年発生する（佐々木 2010）。両種にはシハロホップブチル剤の効果が高いがイボクサに有効なビスピリバック Na 塩の防除効果は低い。会津地域の湛水直播栽培でもイボクサがクサネムとともに畦畔際から侵入して問題となる（荒井 2008）。本種は移植栽培では比較的少ないとされるが、三重県の早期栽培では 3 月下旬から発生し 5 月上旬の代かきまでに大きく生育したイボクサが水稲移植後に再生して問題となるようだ（北野 1999）。（次号に続く）

参考文献

- 愛知県農業総合試験場 2007. 農業の新技術 74 「不耕起 V 溝直播栽培の手引き（改訂 第 4 版）」. <http://www.pref.aichi.jp/nososi/seika/singijutu/singijiyutu74-4-7.pdf>.
- 荒井三千代 2008. 福島県の水稲直播栽培における雑草の現状と対策. 植調 42(7), 261-271.
- 濱田千裕ら 2007. 水稲における不耕起 V 溝直播栽培の開発－「冬季代かき」による栽培の安定化－. 日作紀 76(4), 508-518.
- Hamamura, K. *et al.* 2003. Identification of sulfonylurea-resistant biotypes of paddy field weeds using a novel method based on their rooting responses. *Weed Biology and Management* 3(4), 242-246.
- 半沢伸治 1999. 福島県における水稲乾田直播栽培の雑草防除. 植調 33(4), 138-143.
- 平岩確ら 2008. 愛知県におけるスルホニルウレア系除草剤に抵抗性を有する雑草の検定結果. 雑草研究 53(別), 13.
- Holm L.G. *et al.* 1977. *Cyperus esculentus* L. In “The World’s Worst Weeds: Distribution and Biology”. The University of Hawaii Press, Honolulu, 125-133.
- 本多雅志 2004. 大規模水稲栽培における雑草防除の現状と課題. 植調 38(4), 140-144.
- 保科亨 2009. 広島県の水稲作における雑草防除の現状と課題. 植調 43(8), 356-360.
- 市丸喜久 2009. 佐賀県における水田雑草の変遷と今後の雑草防除に望まれること. 植調 43(7), 314-319.
- 今川彰教 2008. 山形県における雑草防除の実態, 問題になっている雑草について. 植調 42(7), 257-259.
- 稲村達也 1994. 除草剤連用下におけるクログワイの動態解明と塊茎制御基準の策定. 雑草研究 39(2), 73-78.
- 稲村達也 2001. クログワイ防除の考え方. 植調 35(6), 200-205.
- 石井俊雄 2001. 岡山県の水稲乾田直播栽培圃場で問題となる雑草イネ. 植調 35(8), 269-277.
- 石井俊雄・赤澤昌弘 2003. 岡山県の水稲乾田直播栽培と雑草イネ. 日本雑草学会第 18 回シンポジウム「雑草イネの出現要因と防除」講演要旨, 7-16.
- 石岡将樹 2012. 青森県における難防除雑草シズイの生態と防除. 植調 45(12), 596-601.
- 伊藤一幸ら 2008. 山口県の水田から見つかったスルホニルウレア抵抗性ミズマツバとアブノメ. 日本作物学会紀事 77(別 2), 156-157.
- 伊藤健二ら 2009. 鹿児島県の水田に発生した SU 抵抗性ウキアゼナに対する各種除草剤の効果 1. 雑草研究 54(別), 20.
- 神田幸英 2003. 三重県における水田雑草の残草実態. 植調 37(5), 143-149.
- 片岡孝義・金昭年 1978. 数種雑草種子の発芽時の酸素要求度. 雑草研究 23(1), 9-12.
- 片岡由希子ら 2010. 山形県および愛知県で採取されたウリカワのベンスルフロンメチルに対する葉量反応とアセト乳酸合成酵素遺伝子における変異. 雑草研究 55(4), 254-257.
- 北野順一 1999. 水稲早期栽培でのイボクサの発生生態と防除. 植調 33(2), 51-55.
- 児嶋清・宮原益次 1983. 各地産ノビエの水田における生育. 雑草研究 28(別), 7-8.
- Kojima, K. 2000. Infestation and management of *Cyperus esculentus* L. in early season rice culture in southern Japan. *Proceedings of the International Workshop on Biology and Management of Noxious Weeds for Sustainable and Labor Saving Rice Production* (Tsukuba, Japan, 23-25 February 2000). National Agriculture Research Center, 126-136.
- 小牧和仁 2009. 徳島県における水田雑草の現状と問題. 植調 43(6), 265-268.
- 藏重宏史 2009. 山口県における水稲の雑草防除の現状と問題. 植調 43(5), 227-231.
- 楠目俊三 2009. 北海道での雑草防除の実態と問題になっている雑草について. 植調 43(5), 218-221.
- 松嶋賢一・森田弘彦 2016. 秋田県における水田由来のイヌビエ (*Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli*) 種子の萌芽に対する湛水の影響. 雑草研究 61(1), 1-8.
- 南山恵 2017. 富山県における水稲乾田 V 溝直播栽培技術－雑草防除を中心に－. 植調 51(1), 3-6.
- 三浦恒子 2008. 秋田県における雑草防除の現状と課題. 植調 42(7), 253-256.
- 宮島吉彦・高橋信夫 1974. 長野県産赤米の稲トウコン. 農業技術 29(10), 453-455.
- 宮越壘 2011. 水稲鉄コーティング直播栽培の現状と今後の方向. 植調 45(1), 18-27.
- 宮崎真行 2009. 福岡県における雑草防除の

- 現状と問題. 植調 43(7), 307-312.
- 森田弘彦 1996. 第3章 日本の稲作と雑草 ヒエ. 「ヒエの博物学」, 山口・藪野監修, 45-66.
- 森田弘彦 2001. 水田雑草の除草剤抵抗性雑草変異発生動向に関するアンケート調査. 植調 35(1), 3-10.
- 森田弘彦・中山壮一 1992. 暖地水田でのショクヨウガヤツリ (*Cyperus esculentus* L.) の発生と生育. 雑草研究 37(4), 267-275.
- 守田和弘 2008. 富山県における水田雑草防除の現状と問題. 植調 42(9), 361-365.
- 村井政彦ら 2006. インダノファン・クロメプロップ・ペンシルフロンメチル混合剤のスルホニルウレア系除草剤抵抗性ホソバヒメミソハギに対する効果. 近畿雑草研究会講演要旨
- 西村洋ら 2001. 高精度水稲湛水条播機の開発 (第3報) - 開発機の作業性能, 水稲の出芽・苗立ちと収量 -, 農業機械学会誌 63(6), 122-130.
- 野村研ら 2012. 神奈川県におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性コナギの分布. 雑草研究 57(別), 27.
- 農研機構中央農業総合研究センター 2015. 雑草イネまん延防止マニュアル Ver.2. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/028068.html.
- 農林水産省 2005. 作物統計 - 平成 16 年耕地及び面積統計 - 「耕地の利用状況」. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/#r>
- 農林水産省 2011. 作物統計 - 平成 22 年耕地及び面積統計 - 「耕地の利用状況」. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/#r>
- 農林水産省 2018. 農林業センサス累年統計 - 農業編 - 「経営耕地面積規模別経営体数」. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/past/stats.html>.
- 農林水産省 2018. 水稲の直播栽培面積について. 水稲直播研究会会誌 39, 112.
- 農林水産省 2019. 作物統計 - 平成 30 年耕地及び面積統計 - 「耕地の利用状況」. <http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/#r>
- 緒方寿明 2010. 鹿児島県におけるスルホニルウレア抵抗性ウキアゼナの発生状況と防除対策. 植調 44(7), 267-273.
- 小川正巳 1992. 赤米. 科学と生物 30(6), 385-388.
- 王恵子 2009. 高知県の雑草防除の現状と問題. 植調 43(6), 273-275.
- 大橋善之 2009. 京都府における水稲の雑草防除の現状と問題. 植調 43(4), 188-191.
- 大川茂範 2007. 簡易 GPS を利用した宮城県における水田雑草防除の発生状況調査. 植調 41(7), 264-271.
- 大野修二ら 2004. スルホニルウレア系除草剤抵抗性簡易検定法としての地上部再生法の確立. 雑草研究 49(4), 277-283.
- 大内昭彦 2009. 千葉県における雑草防除雑草コウキヤガラの防除試験. 植調 43(3), 115-118.
- 斎藤稔 2003. 長野県における雑草イネの発生状況と防除法. 植調 37(6), 183-189.
- 酒井長雄・斎藤稔 2003. 長野県における雑草イネの発生状況と防除法. 日本雑草学会第 18 回シンポジウム「雑草イネの出現要因と防除」講演要旨, 1-6.
- 酒井長雄 2009. 長野県における水田雑草防除技術の課題とその対応. 植調 43(3), 119-123.
- 酒井長雄ら 2014. 長野県における雑草イネの総合防除対策: その展開と課題. 雑草研究 59(2), 74-80.
- 酒井長雄 2015. 長野県における雑草イネ総合防除対策の組織的な取り組みの推進. 雑草研究 60(4), 166-168.
- 佐々木園子 2010. 福島県浜通りの乾田直播栽培における乾田期間中の雑草防除. 植調 43(10), 423-427.
- Sato, T. and S. Maruyama 2002. Seedling Emergence and Establishment under Drained Conditions in Rice Direct-Sown into Puddled and Leveled Soil: Effect of calcium peroxide seed coating and sowing depth. Plant Production Science 5(1), 71-76.
- 澁谷知子・森田弘彦 2005. 雑草モノグラフ 3. ショクヨウガヤツリ. 雑草研究 50(1), 30-41.
- 島宗知行 2007. 福島県浜通り地域の乾田直播水稲におけるイボクサの発生生態と防除法. 植調 41(8), 299-304.
- 田中十城ら 2006. 水稲生育中後期における水田雑草の発生実態調査. 雑草研究 51(1), 31-35.
- 富樫辰志 2002. 水稲の打ち込み式代かき同時土中点播技術の開発. 九州沖縄農業研究センター報告 41, 1-52.
- 富久保男 1988. 岡山県における水稲乾田直播と雑草防除. 植調 22(7), 26-33.
- 鳥塚智 2009. 滋賀県における環境こだわり水稲栽培と水田雑草防除技術. 植調 43(4), 184-187.
- 東北農業試験場 2000. 東北地域の水稲湛水直播における直播後落水管理の効果と適用条件. 平成 11 年度東北農業研究成果情報. <http://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouthou/H11/tnaes99026.html>.
- 内川修 2003. 福岡県におけるスルホニルウレア系除草剤抵抗性雑草の発生と防除対策. 植調 36(11), 402-405.
- Uchino, A. and H. Watanabe 1999. Rapid diagnosis of sulfonylurea-resistant *Schoenoplectus juncooides* [Roxb.] Palla using polymerase chain reaction-restriction fragment length polymorphism and isogene-specific direct sequencing. Weed Biology and Management
- 内野彰 2005. ALS 阻害剤抵抗性と AKS 遺伝子変異に関する最近の話題. 植調 39(5), 170-176.
- 内野彰ら 2005. 東北 6 県の 2003 年までのスルホニルウレア系除草剤抵抗性水田雑草の確認状況. 東北の雑草 5, 24-28.
- 内野彰・伊藤晴通 2008. ヘラオモダカにおけるスルホニルウレア系除草剤に対する反応の差異. 平成 20 年度関東支部雑草防除研究会・関東雑草研究会合同研究会資料, 52.
- 内野彰 2008. スルホニルウレア系除草剤 (SU 剤) 連用圃場で残存したシズイ (*Scirpus nipponicus*) の SU 剤に対する反応. 東北の雑草 8, 7-11.

内野彰ら 2009. 数種多年生水田雑草におけるスルホニルウレア系除草剤および各種除草剤に対する反応. 平成 21 年度関東支部雑草防除研究会・関東雑草研究会合同研究会資料, 46.

渡邊寛明 2014. 雑草イネー発生と被害の現状と課題－. 植調 48(9), 305-312.

山口泰弘 2019. 福井県における直播栽培の面的拡大と課題について. 北陸作物学会報 54, 56-57.

Yamasue, Y. 2001. Strategy of *Echinochloa oryzicola* Vasing. for survival in flooded rice. Weed Biology and Management 1(1), 28-36.

山内稔 2011. 鉄コーティング種子を用いた水稻の直播における水管理と病害虫・雑草問題. 植調 45(8), 303-312.

安田英樹 2009. 香川県における雑草防除の現状と問題. 植調 43(6), 269-272.

吉田茂敏 2009. 大分県における水稻の雑草

防除の現状と問題. 植調 43(7), 320-323.

吉田修一ら 2008. 水田雑草のスルホニルウレア系除草剤抵抗性簡易検定キットの開発. 雑草研究 53(3), 143-149.

田畑の草種

蒲・黄蒲・賀麻・香蒲（ガマ）

（公財）日本植物調節剤研究協会
兵庫試験地 須藤 健一

ガマ科ガマ属の多年草の抽水植物。日本在来で、全国の池や沼、川のほとりなどの浅い水辺、休耕田などに自生する。時には田んぼにも入り込む。直立し背丈は 1.5m から 2m、水中の泥の中に地下茎を伸ばす。花穂はフランクフルトソーセージの先に棒を突き刺したような形ですぐにわかる。

1905 年の文部省唱歌に「だいこくさま」という歌がある。その 3 番。

「だいこくさまの いうとおり／きれいな水に 身を洗い／がまのほわたに くるまれば／うさぎはもとの 白うさぎ」

ご存知の「因幡の白兔」のお話を唱歌にしたものであるが、ここに出てくる「がまのほわた」の「がま」が「蒲・ガマ」である。お話しそのものは古事記上巻の大國主神の中に稲羽の素戔しろうさぎの挿話として出てくる。ところが唱歌では「がまのほわた」にくるまると歌っているが、古事記の中でウサギがくるまるのは敷き散らしたガマの穂の花粉「蒲黄ほおう」であった。蒲黄にはフラボノイド配糖体が含まれ火傷や外傷に効果ありとされ、古

事記が編纂された 712 年にはすでに「蒲黄」が薬用利用できることが知られていたことになる。

フランクフルトソーセージの部分が雌花。花が終わると雌花は「蒲の穂」と呼ばれる。この「蒲の穂」はちょっとした刺激で「爆発」する。色よく熟れた蒲の穂を指先でぎゅっと挟むと、モコモコモコ・ボワワワッ・・・と穂が爆発し綿が飛び出してくる。この綿はタンポポなどと同じ種子を付けた綿毛であるが、その爆発する様は自然が作り出した驚きのマジック。これが「だいこくさま」で歌われた「がまのほわた」である。

ところで、「蒲」も「蒲の穂」も「蒲の穂絮ほわた」も万葉集には詠われていない。古事記に記されているくらい古くから知られていた草であるが、「蒲」を詠った歌は近代まで見いだせなかった。

北原白秋に「蒲の穂」を詠った歌があった。

蒲の穂にひとひら白き冬の蝶 ふと舞ひあがる夕空の晴

農業微生物研究の現状と今後の展望

農研機構 北海道農業研究センター
大規模畑作研究領域

池田 成志

はじめに

研究開始当初は懐疑的な声も多かったヒト共生微生物群集の研究 (Human Microbiome Project) は、今や従来の医学研究の常識を一新させる研究成果を続々と生み出す巨大なフロンティア領域となった (Huttenhower *et al.* 2014)。ヒトの共生科学の発展によりヒトの健康科学に対する概念が大きく変わったように、植物共生微生物群集 (plant microbiome) の多様性や機能性の解明は従来の動植物科学中心の農学だけでは解決できなかった課題に答えを与え得る可能性が高いと考えられる。

国際的な潮流としても、アメリカ植物病理学会は2015年に「Phytobiomes Initiative」を立ち上げ、植物圏生態系 (Phytobiome) の総合的な研究の重要性と推進を表明し (www.phytobiomes.org/), 特に植物共生微生物群集の多様性と機能性の解明が重視されている (Berg *et al.* 2017)。国内においても2017年に戦略プロポーザルとして「植物と微生物叢の相互作用の研究開発戦略」(CRDS-FY2016-SP-01) が示され、農学や食品科学、環境科学の問題解決に向けて、植物共生微生物の群集レベルでの研究を推し進める機運が国内外で高まっている。

土壌微生物や共生微生物における多様性解析の有用性は①生物農薬や化学農薬の影響評価、②病原体の検出、③新規の生物防除資材開発のための有用微生物の探索、④病原微生物の中間宿

主となる昆虫や線虫、原生生物等の特定等が Abdelfattah ら (2018) により指摘されている。これらに加えて、⑤化学肥料や栽培管理、作物の品種など多様な環境要因が作物の抵抗性や有用生物、有害生物に及ぼす影響評価なども今後の持続的農業技術の開発のために重要である。本稿では植物共生微生物群集の研究を中心に、植物共生科学分野における近年のトピックスを紹介し、それらの農業・食品産業における問題解決や技術開発への応用の可能性について私見を紹介したい。

1. 植物共生微生物群集の網羅的解析技術

農業に関係する微生物の中で、作物に共生する微生物が一番直接的に農業生産に影響するということは容易に想像し得ることである。しかしながら、ごく最近までは植物共生微生物の研究はごく一部の菌群に限られ、植物

共生微生物群集の多様性や機能性の全貌はブラックボックスであった。このような状況の中で筆者らのグループは2009年に世界で初めて植物共生微生物について群集レベルでの本格的な分析法 (細菌細胞濃縮法) を開発することに成功した (Ikeda *et al.* 2009) (図-1)。本法は多様性解析だけではなく、メタゲノム解析 (Ikeda *et al.* 2014; Tsurumaru *et al.* 2015; 池田ら 2016) やプロテオミクス解析 (Bao *et al.* 2014), 濃縮画分からの分離培養 (Ikeda *et al.* 2009; Anda *et al.* 2011) など植物共生系の網羅的な解析に利用できる。一方で、本法は比較的多量の解析試料を必要とすること、実験操作が比較的複雑かつ長時間になること、植物組織に強固に付着している微生物細胞の分析が困難な可能性があること等の問題点を持つ。現在、筆者らのグループでは本法を改善した簡易かつ迅速な植物共生微生物群集のメタゲノムDNA調製法を開発中である。

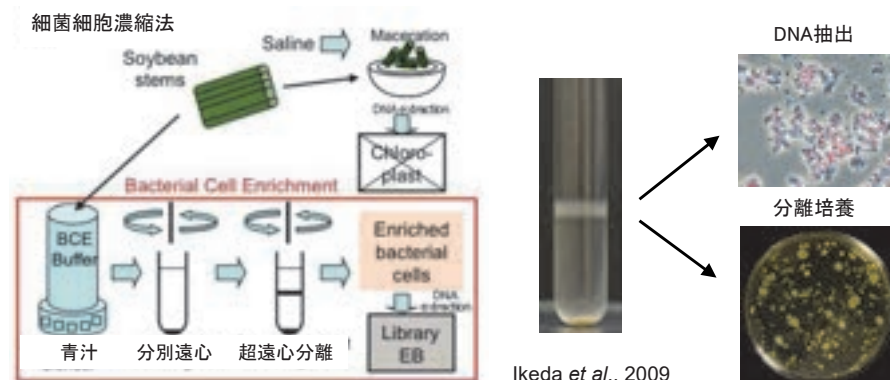


図-1 植物共生細菌群集分析のための細菌細胞濃縮法の概略
他の共生微生物分析法とは異なり、共生微生物の細胞を物理的に濃縮していることから、系統的な多様性解析だけでなく、各種のオミクス解析が可能である。

最近になり、アメリカや鹿児島大学のグループ等から人工核酸の使用による植物共生微生物のリボソーマル RNA 遺伝子領域の特異的 PCR 増幅法が報告された (Toju *et al.* 2012; Lundberg *et al.* 2013; Ikenaga and Sakai 2014)。これらの手法は PCR ベースの技術であるため、簡易かつ迅速な方法が求められる病原微生物の診断や多検体を必要とする生態的研究等への活用が期待されるが、多様性解析以外のオミクス解析は不可能である。植物に共生する細菌や糸状菌の多様性解析については、上記で紹介した何れの共生微生物分析法についても国内の民間企業（株式会社生物技研，神奈川県相模原市）で受託サービスとして利用可能である。

最近では根組織などの微生物存在量の多い組織については、最新の次世代シークエンス装置を利用すれば植物組織から直接抽出した DNA を用いて“力技”で多様性解析を行うことも可能である。例えば、イネの根から直接抽出した DNA を使用して次世代シークエンスにより 16S rRNA 遺伝子を解析した場合、約 10 万配列の半分が根共生細菌由来であり、一般的な植物共生細菌の多様性解析に耐え得るデータ量と判断された（筆者ら、未発表データ）。根のような微生物量の多い組織での多様性解析の場合は実験的なステップの少ない次世代シークエンスによる“力技”のほうが望ましいと考えられる。

上述のような植物共生微生物群集の

多様性解析により、従来の方法では不可能であった植物や農産物組織中の未知の微生物群の探索や既知の有用・有害微生物等の動態解析、群集全体での定性・定量的な解析が可能になった。また、配列情報に基づいた共生微生物群集の多様性やメタゲノム解析を行うことにより、Alphaproteobacteria 綱や Rhizobiales 目などの異なる分類単位での動態解析や、系統情報と機能情報の関係性の解明などの研究を行うことが非常に容易になった。

(1) 植物共生微生物群集と肥料の相互作用

共生微生物の多様性解析技術の開発は、品種の違いや理化学的環境、生物間相互作用等の多様な要因が共生微生物群集の系統的・機能的多様性に与える影響の評価を可能にした (Ikeda *et al.* 2010a; Ikeda *et al.* 2015; Okubo *et al.* 2014; Okubo *et al.* 2015)。例えば、筆者らのグループでは窒素の施肥レベルの違いで植物共生微生物の群集構造は大きく変化することを明らかにした。即ち、窒素施肥量の多い条件では Gammaproteobacteria 綱の割合が増加し、逆に窒素施肥量の少ない条件では Alphaproteobacteria 綱の割合が増加するという現象をダイズやイネなど系統的に大きく異なる作物種で見出した (Ikeda *et al.* 2010b; Ikeda *et al.* 2014)。これら 2 つの菌群の拮抗的な関係は、植物共生系において、高窒素条件の植物組織には高栄養要求性の (Copiotrophic な性質の

強い) Gammaproteobacteria 綱が、低窒素条件の植物組織には低栄養要求性の (Oligotrophic な性質の強い) Alphaproteobacteria 綱がそれぞれ適応しやすいと考えると生態的な視点からは理解しやすい。即ち、共生微生物群の栄養源となる植物由来の代謝物組成の変動が共生微生物の多様性の変動要因となっている可能性が考えられる。トウモロコシのゴマ葉枯病では、葉共生細菌の多様性と病害の間に負の相関がみられ、窒素施肥は葉共生細菌の多様性の減少を助長することが報告されている (Manching *et al.* 2014)。有用微生物を農業で活用するためには、施肥管理は植物に影響を与えるだけでなく、植物の代謝物の変動を介して地上部も含めた植物共生系全体の微生物群集の多様性や機能性に強く影響を与える、と認識することが重要である。

植物は活発な細胞分裂を行っている組織において細胞壁のペクチン合成の副産物としてメタノールを生成するが (Fall and Benson 1996)、植物共生系の主要な菌群である Alphaproteobacteria 綱、特に根粒菌を含む有用微生物群が属する Rhizobiales 目の細菌群はメタノールを中心とした C1 化合物を積極的に代謝する能力を有していることが近年の研究において明らかにされている (Kolb and Stacheter 2013)。メタノールのような植物が老廃物として放出する化合物を自らの栄養源として代謝できる微生物群は植物との栄養的な競合を避けることができるため、有用

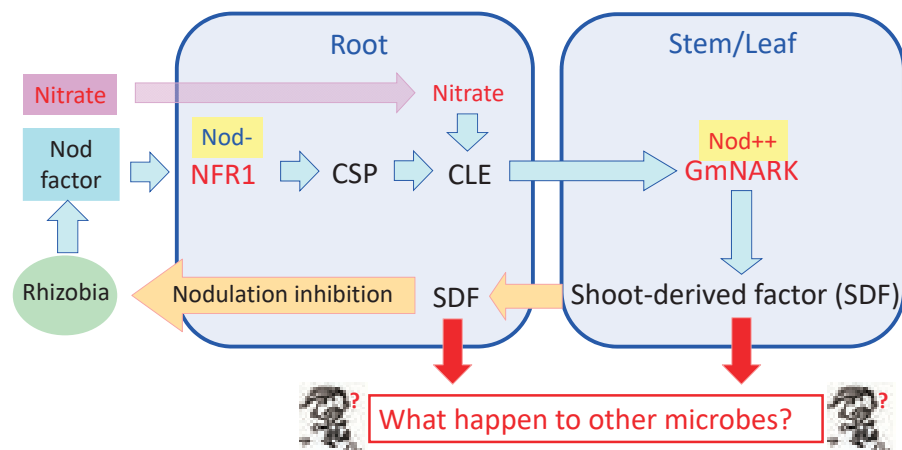


図-2 ダイズにおける根粒菌制御系の概略

NFR1, CLE, GmNARK はそれぞれ根粒菌制御に関わるダイズ遺伝子, CSP は根粒菌と菌根菌の両方の共生に必須の情報伝達系 (Common Symbiosis Pathway) を示す。NFR1 と GmNARK が変異すると根粒非着生 (Nod-) と根粒超着生 (Nod++) の表現型になる。十分な量の共生微生物が感染している時や、十分な量の養分が土壌中にある時は、根粒菌や菌根菌の感染を制御する物質 (SDF) が葉で生成され、根に移行して共生微生物の感染を阻害すると考えられている。例えば、根粒菌の場合、土壌溶液中の硝酸態窒素が一定以上の濃度になると、根粒菌の感染レベルに関係なく CLE 以下の伝達系が活性化される。

微生物として植物と相互作用できるように進化している可能性が高いのではないだろうかと筆者は推察している。

上記に加えて、なぜ高窒素条件下で Alphaproteobacteria 綱が抑制されるのか、という点については、CSP (Common Symbiosis Pathway) のような植物の有用共生微生物の制御系が高栄養状態で起動するという可能性が考えられる (池田ら 2013) (図-2)。CSP において最も重要な遺伝子と考えられている CCaMK 遺伝子はアブシジン酸を介した抗酸化酵素の誘導による活性酸素の制御システムに関与している (Shi *et al.* 2014)。したがって、活性酸素に対する耐性の有無が根粒菌や菌根菌と同じように、幅広い共生微生物群においても CSP を通した感染初期における活性酸素の生成と制御が病原菌と識別するための植物との相互作用として重要であるのかもしれない (Nanda *et al.* 2010)。

大変興味深いことに、根粒菌や菌根菌の共生に関与する CCaMK のような植物遺伝子が破壊されると、ダイズとイネの両方の共生微生物群集

で Alphaproteobacteria 綱が強い影響を受け、特に Rhizobiales 目の菌群が植物の強い遺伝的制御下にあることが示唆された (Ikeda *et al.* 2010a; Ikeda *et al.* 2011)。イネに共生する Alphaproteobacteria 綱が窒素施肥と CSP の植物遺伝子群の両方から強い影響を受けることはマメ科による根粒菌制御との類似から大変興味深い (Minamisawa *et al.* 2016)。

(2) 微生物多様性解析による病害抑止土壌の機構解明

これまでブラックボックス状態であった病害抑止土壌の機構解明に関する研究報告数も大きく増加しつつある。一般的には土壌の(微)生物多様性が高いこと、糸状菌類よりも細菌類の増加が病害防除には望ましいと考えられることが多いが、Xiong *et al.* (2017) は、パニラの *Fusarium* 萎凋病の抑制土壌では非抑止土壌と比較して糸状菌類の多様性が高く、細菌類の多様性が低かったと報告している。糸状菌類では Zygomycota 門, Basidiomycota 門, 細菌類では

Acidobacteria 門, Verrucomicrobia 門, Actinobacteria 門, Firmicutes 門の割合が病害抑止土壌において高いと報告された。特に、糸状菌の *Mortierella* 属の割合は抑止土壌の糸状菌類の全多様性において 37% を占めていたと報告されたが、その微生物学的な意味は現段階では不明である。

コムギ赤カビ病菌に対する抑止土壌についても、抑止土壌において細菌類の多様性が高いことや、赤カビ病菌に対して拮抗性を持つと期待される特定の細菌群 (*Pseudomonas* 属と *Bacillus* 属) が抑止土壌に多いことが報告されている (Legrand *et al.* 2019)。Campos *et al.* (2016) は、これらの抑止土壌の微生物多様性解析から 4 科の細菌群 (Chitinophagaceae, Acidobacteriaceae, Xanthomonadaceae, Burkholderiaceae) がコムギ赤カビ病の発病抑制と相関を持つことを明らかにしている。

バナナのパナマ病の抑止土壌では、門レベルで Acidobacteria 門の割合が高いこと、属レベルで *Gp4* 属, *Gp5* 属, *Chthonomonas* 属, *Pseudomonas* 属, *Tumebacillus* 属等の割合が高いことが明らかとなった (Shen *et al.* 2015)。特に、*Gp5* 属と *Pseudomonas* 属については有効態リン酸と共に発病抑制と有意な相関があることが明らかにされている。

細菌性の土壌病害では、ミシガン州で調べられたジャガイモそうか病抑止土壌について *Lysobacter* 属や Acidobacteria 門の *Gp4* 属と *Gp6* 属

の割合が増加していることが報告されている (Rosenzweig *et al.* 2012)。さらに、病害抑止土壌と同様に、菌根菌についても特定の土壌において菌根菌の根外菌糸体の活性が阻害されることが見いだされている。このような菌根菌の共生を阻害する土壌では *Acidobacteria* 門や、糸状菌類に対する拮抗細菌群が優占化している酸性土壌が特定されている (Svenningsen *et al.* 2018)。このような土壌の特性は病害抑止土壌と類似しており、菌根菌の共生効果も土壌微生物相の影響を強く受けることが明らかとなった。

以上のような知見から、病害抑止土壌では病原体に対する既知の拮抗微生物群が優占化しているだけではなく、門レベルでは *Acidobacteria* 門、属レベルでは *Mortierella* 属、*Gp4* 属等の従来の植物病害研究では研究対象になることが少なかった特徴的な微生物群が検出されている。多様性解析にもとづいた微生物生態的な研究の推進により、土壌の持つ病害抑止機構の詳細な解明や土壌の微生物性診断技術の開発への期待が高まりつつある。

(3) 光環境による農業微生物の制御の可能性

近年の共生微生物研究における驚きの成果の1つは、作物が受ける光の質が有用微生物との共生を制御していることが明らかにされたことである (Suzuki *et al.* 2011; Nagata *et al.* 2015)。根粒菌や菌根菌などの有用微生物の共生は宿主植物が受ける赤

色 (Red) と遠赤色 (Far Red) の光の比 (R/FR) により強く制御される (生物学・農学分野では Red は波長が 660nm, Far Red は 730nm にピークを持つ光)。この制御系は作物に照射する光について、R/FR が高いときはジャスモン酸の生合成が活性化されて有用微生物の共生を促進し、R/FR が低いときは有用微生物との共生を阻害する、というものである。以上のような視点から、微生物資材や微生物農薬の研究の歴史を振り返ってみると、上述したような光環境を考慮した研究は皆無であることに気づく。このような重要な光環境の情報の欠落が、従来まで微生物資材や微生物農薬の効果が農業現場で不安定であったことの原因の1つではないかと筆者は考えている。

(4) 農薬が農業微生物に及ぼす影響

農薬の種類や量が共生系に及ぼす影響も有用微生物の安定的かつ効果的な農業利用のために大変重要な情報である。実際に、殺虫剤や除草剤が根粒菌の共生を強く阻害することは以前から知られている (Fox *et al.* 2007; Zablotowicz and Reddy 2007)。市販されている農薬は当然ながら、合法的な販売のために法律上で定義された生物群に対する安全性は担保されているが、決して生態系全体の生物群に対する安全性が完全に保障されているのではない。その種類に関わらず、農薬の散布は標的外の微生物群にも強い影響を与えることは以前から良く知られている科学的事実である (Sanogo

et al. 2000)。

除草剤の中でも、グリホサート系除草剤については圃場へ散布すると *Fusarium* 属を土壌中で増加させる作用がある (Johal and Huber 2009)。グリホサート系除草剤の施用は作物の病害抵抗性を弱めるだけでなく、根圏微生物やエドファイトの増殖も阻害し、トウモロコシ苗における赤カビ病のような病害を助長する可能性もあることも指摘されている (Carranza *et al.* 2019)。また、各種の「殺菌剤」の施用は土壌細菌の多様性に影響を与えるだけではなく、アルカリホスファターゼや β -グルコシダーゼ等の一部を除いて、多様な土壌酵素の活性も阻害する (Baćmaga *et al.* 2018)。環境中で緩やかに分解される農薬類については、短期的な調査では環境に対する影響が少なく過小評価される危険性があり、調査期間も長期間にわたって行われるべきだと考えられる。

無菌のシロイヌナズナを使った基礎研究ではあるが、葉面への糸状菌 (*Pleospora rosae*, *Cochliobolus* sp., *Alternaria tenuissim*, *Cladosporium macrocarpum*) の接種により開花が遅くなり、種子のバイオマスが増加することが報告されている (Zahn and Amend 2019)。このような共生微生物の宿主作物に対する有用効果は、農業現場では葉面への農薬散布により阻害されている可能性があり、このような地上部組織の共生微生物が植物の各種形質に及ぼす影響評価は今後検討する余地が大きいと考えられる。

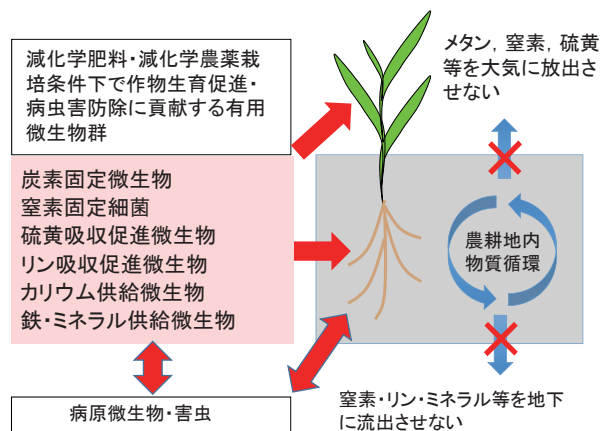


図-3 有用微生物を利用した持続的農業の概念図

炭素や窒素、硫黄、各種のミネラルなど植物の代謝系と地球化学的な物質循環をつなげる微生物群の中に、動植物に対して安全性が高く、同時に、作物の生育促進や病害防除に有用なものが多い。ただし、それらの有用微生物の多くは化学肥料や化学農薬の施用、頻繁な耕起作業等により増殖が阻害されたり、死滅しやすい。

土壌殺菌剤による病虫害防除は一時的な効果は期待できるが、中長期的には殺菌剤分解微生物の増加により病害が多くなることも指摘されている (Finckh *et al.* 2015)。レタスの褐色根腐病は慣行栽培においては化学肥料や除草剤 (プロピザミド) で助長される (Ariena *et al.* 2015)。生産者にとって化学肥料や除草剤が病虫害の発生を助長する可能性があるということは思いもよらないものであり、このような不合理が「残酷な悪循環」として指摘されている。産官学の農業関係組織は化学肥料や化学農薬の利用法だけでなく、そのリスクについても慣行栽培生産者のための学習の機会を提供する必要がある。

栽培後の除草作業として散布された除草剤のグリホサートとクレトジムが作物残渣の根圏の真菌類と卵菌類に及ぼす影響が検討され、除草剤散布後、*Pythium volutum* と *Myrmecridium* 属菌の割合がコムギの弱った根や枯死した根の上で急激に増加することも明らかにされ (Schlatter *et al.* 2018)、このように一時的に増えた病原菌が十分に減少するまで、上記の除草剤散布後 2～3 週間程度の期間を空けてから次作を始めることが重要であると結論づけ

られた。このように、除草剤散布により枯死・衰弱した雑草や作物の根で *Rhizoctonia* 属や *Pythium* 属等の病原菌が増加するリスクを認識する必要がある。さらに、グリホサート系除草剤のような浸透移行性や幅広い「殺菌スペクトラム」を考えると、菌根菌のような農業上の有用微生物だけでなく、メタン酸化などの地球の物質循環や温暖化問題にも関与する重要な微生物群にも影響する可能性もある。

上述したような化学農薬や化学肥料の農耕地生態系の微生物群に対する影響評価を通して、各種の化学物質との併用が可能な有用微生物の探索や利用方法の開発等を検討することも価値があることのように思われる。その際に、次世代シーケンシング技術による土壌微生物や植物共生微生物の多様性解析やメタゲノム解析は、農薬の農耕地生態系に対する実用的な環境影響評価法の一部として効果的に使える可能性がある。

3. 有用微生物の分離

(1) 有用微生物の分離培地

有用微生物の探索や選抜は増殖のために植物の代謝系に依存しつつも、植

物と栄養的に強い競合関係を持たない低栄養要求性の微生物群が有用微生物の探索源の候補として望ましいと考えられる (図-3)。このような条件に合う市販の培地としては R2A 培地が挙げられる。R2A 培地は水系の低栄養要求性細菌の分離用培地として開発されたが (Reasoner *et al.* 1979)、筆者の研究グループはこの R2A 培地を植物組織からの共生細菌の分離培養に利用して従来の培地よりも系統的に多様な植物共生微生物が得られる傾向があること、特に Alphaproteobacteria 綱の分離頻度が高くなる傾向があることを明らかにしている (Okubo *et al.* 2009; Someya *et al.* 2013; Okazaki *et al.* 2014)。本培地の利用により、一般的に難培養性とされる Verrucomicrobia 門の菌群もテンサイ主根から容易に分離することができた。

また、植物細胞と増殖のための栄養分について競合しない低栄養要求性の有用微生物群を分離するための他の培地としては、メタンやメタノールなどの C1 化合物、植物由来のアルコール類やアルデヒド類、蟻酸、根圏で分泌される有機酸、リグニン等の植物由来の比較的代謝の難しい化合物を炭素源とした培地の利用が考えられる。特に、メタンやメタノール、アルデヒド類、炭化水素類などの植物の炭素代謝に関連した共生微生物群の中から有用微生物を探索・選抜することは重要だと思われる。

アラビドプシス根圏では *Bacillus* 属の有用細菌をリンゴ酸で誘引すること

や (Rudrappa *et al.* 2008), 冠水条件下のイネに多く含まれるエタノールが内生細菌により利用されている可能性なども報告されている (Krause *et al.* 2011)。 *Pseudomonas* 属においては根由来の内生株の特徴として、一般的な植物の木部の成分として最も含量の多い L- アラビノースを利用できることが明らかにされている (Malfanova *et al.* 2013)。 オキザロ酢酸に対する炭素源利用能 (Oxalotrophy) が *Burkholderia* 属内の植物有用菌の特性であると同時に、宿主への定着に重要であることも大変興味深い (Kost *et al.* 2014)。 上記のような知見を活用して有用な菌群を積極的に探索・選抜することで植物に親和性の高い有用微生物を選抜することが可能であろう (大久保ら 2016)。

これまでに、筆者のグループでは大量の分離菌の多様性情報を種レベルの OTU (Operational Taxonomic Unit) として扱い、数千株規模の菌株コレクションから作物に強い親和性を持つ有用微生物群を迅速かつ容易に特定することが可能となった (Okubo *et al.* 2009; 農林水産技術会議事務局 2015)。 また、上述した細菌細胞濃縮法を活用すれば植物組織中に散在している微生物群を濃縮画分から効率的かつ網羅的に分離培養することも可能であることも示した (Anda *et al.* 2011)。 さらに、植物共生系のメタゲノム解析を通して着目する共生微生物群集の機能遺伝子の情報に基づいて特定の機能性を持つ有用微生物 (群) を

効率的に選抜することも可能かつ重要である (Tsurumaru *et al.* 2015)。

(2) 種子共生微生物

有用微生物の分離源としては、以前から発芽後に最初に植物共生系で優占化できるチャンスが高いと考えられる種子共生微生物が注目されていた (Kaga *et al.* 2009)。 しかしながら、一般的に種子は成熟しながら乾燥も進む組織であるため、種子中の微生物の多くは休眠状態にあり、従来までは分離培養が難しいとも考えられていた (Truyens *et al.* 2015)。 近年の多様性解析により非常に多様な微生物が種子に共生していることが明らかにされたことから (Klaedtke *et al.* 2016)、国内外の国際的な種苗会社の多くが市販用種子の付加価値向上を目的として植物共生微生物の研究に興味を示し、一部の会社では既に大々的な有用共生微生物の研究を始めている。 栽培化の過程において有用な微生物との相互作用が改変されてきたかもしれないという推察のもとに、野生種と作物種の比較により種子の共生微生物の多様性や共進化の解明の必要性も指摘されている (Berg and Raaijmakers 2018)。

種子の発芽過程はメタノールが大量に発生する場と考えられ (Gambonnet *et al.* 2001)、実際に多くの植物種子には *Methylobacterium* のような C1 代謝微生物が優占種として検出されており (Kaga *et al.* 2009)、それら微生物群が種子の発芽に伴い葉面でのメタノール代謝にも関与していることも幾つか

の作物種で示唆されている (Holland and Polacco 1994)。 さらに、多くの種子や果実では成熟化にともなって浸透圧が高まることから、浸透圧耐性を指標とした有用微生物の選抜なども合理的であると考えられる。 耐性機構の類似性から、浸透圧耐性微生物は耐乾性や耐熱性を持つ可能性も高く、それらの微生物群は資材化適性の面からも有利になる可能性も高い。

4. 微生物農薬・微生物資材の製剤化の問題

微生物資材の製品開発のための有用微生物の製剤化や保存性に関する研究は大変重要であるにも関わらず、当該分野では過去 20 年近くにわたり見るべき大きな進展がない (Bashan *et al.* 2014)。 これまでに資材化された微生物群は耐乾性や耐熱性、胞子形成能等を持つ *Bacillus* 属や *Streptomyces* 属等のグラム陽性細菌群、糸状菌類が殆どである。 グラム陰性細菌群の有用微生物について多くの研究がなされてきたにも関わらず、耐乾性や耐熱性が弱いことから製剤化につながった例は非常に少ない。 今後は、多様な微生物群の製剤適性の向上に関する技術開発、それらの基盤となる微生物のストレス耐性 (獲得) 機構の解明を進める必要があると考えられる。 また、土壌病虫害防除のためには、深い土壌深度における根組織のような微好氣的な環境下での活用が期待できる有用微生物の探索や選抜も検討する必要があるかもしれない。

5. 共生工学

植物、害虫、天敵の3者間の相互作用に関する研究は分子生物学から群集生態学に至る広い分野で長い研究の歴史があるが、この3者の相互作用に根圏の共生微生物も関与していることを示す論文が特に近年に至り続々と発表されている (Tao *et al.* 2017)。本稿では特に作物の代謝物や形態の改変、天敵生物の誘引能力などを介して、作物・害虫・天敵・共生微生物の4者が係る共生系を改変するという共生工学的な病虫害軽減技術の話題を中心について紹介したい。なお、農業現場における有用微生物の共生工学的な研究情報、特に病虫害防除に関する実用的なものについては別の総説論文にまとめたので、興味のある読者はそちらを参照して頂きたい (池田 2019)。

トマトの糸状菌エンドファイト (非病原性 *Fusarium solani*) はトマトのナミハダニ (*Tetranychus urticae*) に対するトマトの抵抗性を強化するだけではなく、ナミハダニの天敵 (*Phytoseiulus persimilis*: チリカブリダニ) も強く誘引する (Pappas *et al.* 2018)。また、トマトの根に共生する別の糸状菌エンドファイト (非病原性 *Fusarium* 属菌) は、宿主のトマト上にコナジラミがいない時は、雑食性のコナジラミの天敵昆虫 (*Macrolophus pygmaeus*: 捕食性カスミカメムシ) の増殖を抑制するが、トマトがコナジラミの食害を受けている時は当該天敵昆虫の増殖を阻害しな

いという精妙な生物間相互作用を制御してトマトとの共生関係を保っている (Eschweiler *et al.* 2019)。このような共生機構の解明は、害虫にもなり得る可能性があるために農業利用が難しい雑食性の天敵昆虫の効果的な活用技術の開発にもつながる可能性がある。さらに、上記の根に共生する非病原性 *Fusarium* 属菌エンドファイトの共生により、生理病である尻腐果の発生も減少することも明らかにされている。

さらに、植物ウイルス (bean pod mottle virus: BPMV) はダイズに感染すると、自身のベクターである害虫 (*Epilachna varivestis*: インゲンテントウ) の天敵 (*Pediobius foveolatus*: 寄生バチ) がダイズによって誘引されることを抑制するが、ダイズに根粒菌 (*Bradyrhizobium japonicum*) ともう1種の有用細菌 (*Delftia acidovorans*) が共生すると、BPMV の感染に科関係なくダイズによる寄生蜂の誘引が強化されるという複雑な生物間相互作用が存在することも明らかとなっている (Pulido *et al.* 2019)。

Beauveria bassiana や *Metarhizium anisopliae* 等の昆虫病原糸状菌類は土壌中だけではなく、糸状菌エンドファイトとして植物組織内部にも生息し、植物の生育を促進している (Pineda *et al.* 2017)。さらに、これらの糸状菌類は宿主植物を害虫の被害から守るだけでなく (Jaber and Enkerli 2016)、殺した害虫を分解する過程で菌糸を介して宿主植物への養分供給にも貢献しているという驚くべき現象

も明らかにされている (Behie *et al.* 2012)。

これまで病害防除の視点からの利活用が検討されてきた *Trichoderma* 属菌のような根圏土壌に生息する有用微生物が地上部の葉等の組織内部にも共生し、アザミウマ類のような害虫の増殖を阻害することも報告されている (Muvea *et al.* 2014)。 *Trichoderma hazarnium* については、根への共生により寄生バチ (*Aphidius ervi*: エルビアブラバチ) がアブラムシ (*Macrosiphum euphorbiae*: チューリップヒゲナガアブラムシ) の食害を受けているトマトにより強く誘引されることも報告されている (Coppola *et al.* 2017)。

Trichoderma 属菌と同様に病害防除研究に広く用いられてきた *Bacillus pumilis* や *Pseudomonas fluorescens* が害虫の天敵 (寄生者) を誘引することも報告されている (Pangesti *et al.* 2015)。逆に、同じ *P. fluorescens* の菌株が同じ宿主上で、別の害虫の寄生者を減らし、害虫を増やしてしまうという例も報告されており (Pineda *et al.* 2012)、情報の整理と今後の研究の方向性を丁寧に検討することが求められている。

また、菌根菌の共生率が高くなると葉が厚くなるなどの植物の形態変化や師管中の窒素含量を減らすことを介してアブラムシ (*Acyrtosiphon pisum*: エンドウヒゲナガアブラムシ) の生育を阻害することも報告されている (Garzo *et al.* 2018)。菌根菌について

も菌株や種の遺伝的背景の違いにより、病原菌と同様に地上部害虫に対して多様な影響を与えることが知られ始めており、特に菌根菌の遺伝的背景を丁寧に検討した上での今後の研究の展開が望まれる。

6. 共生育種

従来の植物育種は「緑の革命」に象徴されるように大量の化学肥料と化学農薬の使用を前提として行われており、開発された品種の多くに半矮性遺伝子のような自然条件下では負の作用をもたらすと考えられる遺伝子が意図的に導入されている。このような遺伝子の導入は *Septoria* 属菌のような病原菌に対する抵抗性の低下や養分吸収のための根圏機能低下等につながり、減化学肥料や減化学農薬での栽培条件下では収量の減少や病虫害の発生等の問題の原因となる。このような問題を解決し、持続的な農業を推進するための先進的な育種として、海外では有用微生物を誘引する植物育種の可能性が指摘され (Parker 2012)、実際に持続的農業に適した品種の育種も真剣に検討され始めている (Nuijten *et al.* 2017)。

例えば、コムギ立枯病の自然抑止土壌の形成において蛍光性 *Pseudomonas* 属細菌が立枯病菌の増殖を抑制することは広く知られている。この蛍光性 *Pseudomonas* 属細菌はコムギの根から分泌される有機物をエサとして根圏土壌中で増殖するが、その増殖の

程度には品種間差異があることが報告されている (Mazzola 2002)。また、高い病害抵抗性を持つコムギ品種の根圏では多様性解析の結果、拮抗性真菌類 (*Chaetomium* 属, *Clonostachys* 属, *Gliomastix* 属, *Sarocladium* 属, *Trichoderma* 属等) の割合が高いことも報告されている (Lenc *et al.* 2016)。トウモロコシゴマ葉枯病では葉共生細菌の多様性が宿主により遺伝的に制御され、葉共生細菌の多様性がゴマ葉枯病抵抗性にも関与していることが示唆されている (Balint-Kurti *et al.* 2010)。

細菌病関係では、青枯病に対する抵抗性トマト品種では感受性品種よりも細菌エンドファイトの多様性が高いことや、青枯病菌に対して拮抗性を示すと考えられる細菌群 (*Pseudomonas oleovorans*, *Pantoea ananatis* 属, Enterobacteriaceae 科) がより多く共生することが明らかにされている (Upreti and Thomas 2015)。また、モモの根頭がんしゅ病の抵抗性品種と感受性品種の根の細菌エンドファイトを比較した結果、抵抗性品種で細菌類の多様性が高く、多くの生菌数が検出された (Li *et al.* 2019)。同時に、根では *Streptomyces* 属と *Pseudomonas* 属、小枝では *Rhizobium* 属等の *Agrobacterium* 属病原細菌に対する拮抗細菌が抵抗性品種から多く検出された。これらの結果は抵抗性品種の抵抗性に有用微生物が関与している可能性を示唆している。

おわりに

農業や食品の現場において有用微生物を人間の都合の良い形で安定的かつ効果的に利用するためには、それらの微生物が積極的に定着し、有用機能を発揮してくれるような環境条件を人間が整えることが重要であると思われる。そのためには、植物科学や微生物学だけでなく、膨大な植物の代謝情報、微生物群集の多様性や機能性情報、栽培場所の環境情報を農業ビッグデータとして処理する情報科学 (平藤, 2015) や環境計測科学 (白井, 2013) などの分野との連携が今後重要になるであろう。以上のような研究情報を集積・活用して無理のない減農薬や減化学肥料を進め、安定した収量や品質を確保するという形で真にスマートな持続的農業を推進することが望ましい。さらに、そのような農業体系は病虫害や雑草の薬剤耐性化を抑制すると考えられ、結果として既存の化学農薬や抵抗性品種の効果的かつ長期的な利用にもつながると筆者は考える。

謝 辞

本研究の一部は科研費基盤研究 (C) 「地上部光環境による植物根圏共生微生物群集の制御機構の解明」 (19K05759)、JST, CREST, JPMJCR1512 (フィールドセンシング時系列データを主体とした農業ビッグデータの構築と新知見の発見) の支援を受けたものである。

引用文献

- Abdelfattah *et al.* 2018. Metabarcoding, A powerful tool to investigate microbial communities and shape future plant protection strategies. *Biol. Control*. 120,1-10.
- Anda *et al.* 2011. Isolation and genetic characterization of *Aurantimonas* and *Methylobacterium* strains from stems of hypernodulated soybeans. *Microbes Environ.* 26, 172-180.
- Ariena *et al.* 2015. The vicious cycle of lettuce corky root disease, effects of farming system, nitrogen fertilizer and herbicide. *Plant Soil* 388,119-132
- Bačmaga 2018. Changes in microbiological properties of soil during fungicide degradation. *Soil Sci. Annual.* 69,169-176.
- Balint-Kurti *et al.* 2010. Maize leaf epiphytic bacteria diversity patterns are genetically correlated with resistance to fungal pathogen infection. *MPMI.* 23,473-484.
- Bao *et al.* 2014. Metaproteomic identification of diazotrophic methanotrophs and their localization in root tissues of field-grown rice plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 80,5043-5052.
- Bashan *et al.* 2014. Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology, formulations and practical perspectives (1998-2013). *Plant Soil* 378,1-33.
- Behie *et al.* 2012. Endophytic insect-parasitic fungi translocate nitrogen directly from insects to plants. *Science* 336,1576-1577.
- Berg *et al.* 2017. Plant microbial diversity is suggested as the key to future biocontrol and health trends. *FEMS Microbiol. Ecol.* 93, fix050.
- Berg, G. and J.M. Raaijmakers 2018. Saving seed microbiomes. *The ISME Journal* 12,1167-1170.
- Campos *et al.* 2016. Soil suppressiveness and its relations with the microbial community in a Brazilian subtropical agroecosystem under different management systems. *Soil Biol. Biochem.* 96,191-197.
- Carranza *et al.* 2019. Effect of in vitro glyphosate on *Fusarium* spp. growth and disease severity in maize. *J. Sci. Food Agric.*, 99,5064-5072.
- Coppola *et al.* 2017. *Trichoderma harzianum* enhances tomato indirect defense against aphids. *Insect Sci.*, 24,1025-1033.
- Eschweiler *et al.* 2019. Tomato inoculation with a non-pathogenic strain of *Fusarium oxysporum* enhances pest control by changing the feeding preference of an omnivorous predator. *Front. Ecol. Evol.* 7,213.
- Fall, R. and A.A. Benson 1996. Leaf methanol—the simplest natural product from plants. *Trends Plant Sci.* 1,296-301.
- Finckh, M.R., A.H.C. van Bruggen, and L. Tamm. eds. 2015. *Plant Diseases and their Management in Organic Agriculture*. St. Paul, Minnesota, APS Press.
- Fox *et al.* 2007. Pesticides reduce symbiotic efficiency of nitrogen-fixing rhizobia and host plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 104,10282-10287.
- 古屋廣光ら 2015. 秋田県でみられるアスパラガス生育不良の原因究明. 秋田県立大学ウェブジャーナル 2,176-180.
- Gambonnet *et al.* 2001. Folate distribution during higher plant development. *J. Sci. Food Agr.* 81,835-841.
- Garzo *et al.* 2018. High levels of arbuscular mycorrhizal fungus colonization on *Medicago truncatula* reduces plant suitability as a host for pea aphids (*Acyrtosiphon pisum*). *Insect Sci.*, 17,1-14.
- 平藤雅之 2015. スマート農業とフェノミクス. 北海道土壌肥料研究通信 61,1-6.
- Holland, M.A., and J.C. Polacco 1994. PPFMs and other covert contaminants, is there more to plant physiology than just plant? *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 45,197-209.
- Huttenhower *et al.* 2014. Advancing the microbiome research community. *Cell*, 159,227-230.
- Ikedo *et al.* 2009. Development of a bacterial cell enrichment method and its application to the community analysis in soybean stems. *Microb. Ecol.* 58,703-714.
- Ikedo *et al.* 2014. Low nitrogen fertilization adapts rice root microbiome to low nutrient environment by changing biogeochemical functions. *Microbes Environ.* 29,50-59.
- Ikedo *et al.* 2010a. Community- and genome-based views of plant-associated bacteria, plant-bacterial interactions in soybean and rice. *Plant Cell Physiol.* 51,1398-1410.
- Ikedo *et al.* 2015. Characterization of leaf blade- and leaf sheath-associated bacterial communities and assessment of their responses to environmental changes in CO₂, temperature, and nitrogen levels under field conditions. *Microbes Environ.* 30,51-62.
- Ikedo *et al.* 2010b. Community shifts of soybean stem-associated bacteria responding to different nodulation phenotypes and N levels. *ISME J.* 4,315-326.
- Ikedo *et al.* 2011. The genotype of the calcium/calmodulin-dependent protein kinase gene (*CCaMK*) determines bacterial community diversity in rice roots under paddy and upland field conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 77,4399-4405.
- 池田成志 2019. 作物圏共生微生物による病虫害防除. 日本有機農業学会監修「有機農業大全」, 東京, pp.260-278.

- 池田成志ら 2013. 植物共生科学の新展開と農学研究におけるパラダイムシフト. 化学と生物 51,462-470.
- 池田成志ら 2016. 植物共生細菌群集のメタゲノム解析. 服部正平監修「メタゲノム解析実験プロトコール」, pp. 124-130.
- Ikenaga, M. and M. Sakai 2014. Application of locked nucleic acid (LNA) oligonucleotide-PCR clamping technique to selectively PCR Amplify the SSU rRNA genes of bacteria in investigating the plant-associated community structures. *Microbes Environ.* 29,286-295.
- Jaber, L.R. and J. Enkerli 2016. Effect of seed treatment duration on growth and colonization of *Vicia faba* by endophytic *Beauveria bassiana* and *Metarhizium brunneum*. *Biol. Control* 103,187-195.
- Johal, G.S. and D.M. Huber 2009. Glyphosate effects on diseases of plants. *Europ. J. Agronomy.* 31,144-152.
- Kaga *et al.* 2009. Rice seeds as sources of endophytic bacteria. *Microbes Environ.* 24,154-162.
- Klaedtke *et al.* 2016. Terroir is a key driver of seed-associated microbial assemblages. *Environ. Microbiol.* 18,1792-1804.
- Kolb, S.P.D. and A. Stacheter 2013. Prerequisites for amplicon pyrosequencing of microbial methanol utilizers in the environment. *Front. Microbiol.* 4,268.
- Kost *et al.* 2014. Oxalotrophy, a widespread trait of plant-associated *Burkholderia* species, is involved in successful root colonization of lupin and maize by *Burkholderia phytofirmans*. *Front. Microbiol.* 9,421.
- Krause *et al.* 2011. Exploring the function of alcohol dehydrogenases during the endophytic life of *Azoarcus* sp. strain BH72. *MPMI* 24,1325-1332.
- Legrand *et al.* 2019. Co-occurrence analysis reveal that biotic and abiotic factors influence soil fungistasis against *Fusarium graminearum*. *FEMS Microbiol. Ecol.* 95,fiz056.
- Lenc *et al.* 2016. Effects of farming system on root-zone fungal populations in wheat. *J. Plant Pathol.* 98,471-482.
- Li *et al.* 2019. Insight into the bacterial endophytic communities of peach cultivars related to crown gall disease resistance. *Appl. Environ. Microbiol.* 85,e02931-18.
- Lundberg *et al.* 2013. Practical innovations for high-throughput amplicon sequencing. *Nat. Methods*, 10,999-1002.
- Malfanova *et al.* 2013. Is L-arabinose important for the endophytic lifestyle of *Pseudomonas* spp.? *Arch. Microbiol.* 195,9-17.
- Manching *et al.* 2014. Southern leaf blight disease severity is correlated with decreased maize leaf epiphytic bacterial species richness and the phyllosphere bacterial diversity decline is enhanced by nitrogen fertilization. *Front. Plant Sci.* 5,403.
- Minamisawa *et al.* 2016. Are symbiotic methanotrophs key microbes for N acquisition in paddy rice root? *Microbes Environ.*, 31,4-10.
- Muvea *et al.* 2014. Colonization of onions by endophytic fungi and their impacts on the biology of *Thrips tabaci*. *PLoS One*, 9,e108242.
- Mazzola, M. 2002. Mechanisms of natural soil suppressiveness to soilborne diseases. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81,557-564.
- Nagata *et al.* 2015. Red/far red light controls arbuscular mycorrhizal colonization via jasmonic acid and strigolactone signaling. *Plant Cell Physiol.* 56,2100-2109.
- Nanda *et al.* 2010. Reactive oxygen species during plant-microorganism early interactions. *J. Integr. Plant Biol.* 52,195-204.
- 農林水産技術会議事務局 2015. 気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト. プロジェクト研究成果シリーズ 539,1-65.
- Nuijten *et al.* 2017. Concepts and strategies of organic plant breeding in light of novel breeding techniques. *Sustainability* 9,18.
- Okazaki *et al.* 2014. An assessment of the diversity of culturable bacteria from main root of sugar beet. *Microbes Environ.* 29,220-223.
- Okubo *et al.* 2014. Effects of elevated carbon dioxide, elevated temperature, and rice growth stage on the community structure of rice root-associated bacteria. *Microbes Environ.* 29,184-90.
- Okubo *et al.* 2015. Elevated atmospheric CO2 levels affect community structure of rice root-associated bacteria. *Front. Microbiol.* 6,136.
- Okubo *et al.* 2009. Nodulation-dependent communities of culturable bacterial endophytes from stems of field-grown soybeans. *Microbes Environ.* 24,253-258.
- 大久保卓ら 2016. 植物共生細菌群集を利用した持続的農業. 土と微生物, 70,10-16.
- Pangesti *et al.* 2015. Rhizobacterial colonization of roots modulates plant volatile emission and enhances the attraction of a parasitoid wasp to host-infested plants. *Oecologia* 178,1169-1180.
- Pappas *et al.* 2018. The beneficial endophytic fungus *Fusarium solani* strain K alters tomato responses against spider mites to the benefit of the plant. *Front. Plant Sci.* 9,1603.
- Parker, M.A. 2012. Legumes select symbiosis island sequence variants in *Bradyrhizobium*. *Mol. Ecol.* 21,1769-1778.
- Pineda *et al.* 2012. Rhizobacteria modify plant-aphid interactions, a case of induced systemic susceptibility. *Plant Biol.*, 14(Suppl.1),83-90.

- Pineda *et al.* 2017. Steering soil microbiomes to suppress aboveground insect pests. *Trends Plant Sci.* 22,770-778.
- Pulido *et al.* 2019. Combined effects of mutualistic rhizobacteria counteract virus-induced suppression of indirect plant defences in soya bean. *Proc. R. Soc. B.* 286, 20190211.
- Reasoner *et al.* 1979. Rapid seven-hour fecal coliform test. *Appl. Environ. Microbiol.* 38,229-236.
- Rosenzweig *et al.* 2012. Microbial communities associated with potato common scab-suppressive soil determined by pyrosequencing analyses. *Plant disease* 96,718-725.
- Rudrapp *et al.* 2008. Root-secreted malic acid recruits beneficial soil bacteria. *Plant Physiol.* 148,1547-1556.
- Sanogo *et al.* 2000. Effects of herbicides on *Fusarium solani* f.sp. *glycines* and development of sudden death syndrome in glyphosate-tolerant soybean. *Phytopathology* 90,57-66.
- Schlatter *et al.* 2018. Succession of fungal and Oomycete communities in glyphosate-killed wheat roots. *Phytopathology* 108,582-594.
- Shen *et al.* 2015. Soils naturally suppressive to banana *Fusarium* wilt disease harbor unique bacterial communities. *Plant Soil* 393, 21-33.
- Shi *et al.* 2012. OsDMI3 is a novel component of abscisic acid signaling in the induction of antioxidant defense in leaves of rice. *Mol. Plant.* 5,1359-1374.
- Someya *et al.* 2013. Molecular characterization of the bacterial community in a potato phytosphere. *Microbes Environ.* 28,295-305.
- Suzuki *et al.* 2011. Lotus japonicus nodulation is photomorphogenetically controlled by sensing the red/far red (R/FR) ratio through jasmonic acid (JA) signaling. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 108,16837-16842.
- Svenningsen *et al.* 2018. Suppression of the activity of arbuscular mycorrhizal fungi by the soil microbiota. *The ISME Journal* 12,1296-1307.
- Tao *et al.* 2017. Microbial root mutualists affect the predators and pathogens of herbivores above ground, Mechanisms, magnitudes, and missing links. *Front. Ecol. Evol.* 5,160.
- Toju *et al.* 2012. High-coverage ITS Primers for the DNA-based identification of ascomycetes and basidiomycetes in environmental samples. *PLoS One*, 7,e40863.
- Truyens *et al.* 2015. Bacterial seed endophytes, genera, vertical transmission and interaction with plants. *Environ. Microbiol. Rep.* 7,40-50.
- Tsurumaru *et al.* 2015. Metagenomic analysis of the bacterial community associated with the taproot of sugar beet. *Microbes Environ.* 30,63-69.
- Upreti, R., and P. Thomas 2015. Root-associated bacterial endophytes from *Ralstonia solanacearum* resistant and susceptible tomato cultivars and their pathogen antagonistic effects. *Front. Microbiol.* 6,255.
- 白井靖浩 2013. 水田における物理環境計測の進歩と溶存酸素 (DO)・pH・酸化還元電位 (Eh) の動態解明および湛水層における対流の発見. *生物と気象* 13,25-32.
- Xiong *et al.* 2017. Distinct roles for soil fungal and bacterial communities associated with the suppression of vanilla *Fusarium* wilt disease. *Soil Biol. Biochem.* 107,198-207.
- Zablutowicz, R.M. and K.N. Reddy 2007. Nitrogenase activity, nitrogen content, and yield responses to glyphosate in glyphosate-resistant soybean. *Crop Prot.* 26,370-376.
- Zahn, G. and A.S. Amend 2019. Foliar fungi alter reproductive timing and allocation in *Arabidopsis* under normal and water-stressed conditions. *Fungal Ecol.* 41,101-106.

緑地管理現場における雑草対策の現状と課題

中部電力(株) 技術開発本部
エネルギー応用研究所

津田 その子

はじめに

電力会社で雑草対策に関わるようになって20年ほどになる。従来、十分な回数の草刈りに対応していた雑草対策は、少しでも安価に電気をお届けするという社会的要請に応える諸施策の中で、電力設備の機能に直接関わらない部分として、厳しいコストダウンの対象となってきた。草刈りの回数を減らし、大型の多年草や灌木が目立つようになると、現場から何とかならないかという相談が研究所に集まるようになり、以来、グラウンドカバー植物への転換や、抑草剤、除草剤の活用を提案してきた。しかしながら、電力会社の多様で広大な管理地では、それぞれの敷地や設備に合った雑草対策が必要であり、未だ多くの課題が残されている。本稿では、こうした課題への中部電力の取り組みを紹介するとともに、安価で効率的な雑草対策として薬剤の活用を推進するには何が必要なのか、管理者の視点から提案させていただき皆様のご助言をいただきたい。

1. 電力会社で雑草対策が必要な場所とは

当社では、電気をつくる約200個所の『発電所』(火力発電所については2019年4月より株式会社JERAに承継)、電気を各地に運ぶ12,000kmにわたる『送電線』と送電線を支える30,000基の『鉄塔』、50万ボルトから6,600ボルトまで徐々に電圧を落としていく数段階900個所の『変電所』、そして町の隅々まで張り巡らされた134,000kmの『配電線』を、電力設備として日々管理している(図-1)。

工場立地法の対象となる発電所では、敷地面積の一定の割合を緑地とする必要があり、数haの緑地を保有する発電所もある。この場合の緑地の定義は、「いわゆる雑草地であっても、植生、美観等の観点から良好な状態に維持管理されているもの」とされており、なんらかの手入れが必要となっている。

送電線と鉄塔の多くは山林に位置し

ており、保守点検のための巡視路や、鉄塔の足元のエリアである鉄塔敷は、周囲から侵入する植物に覆われる。このため、通行に支障を来たさず、停電故障の原因となる小動物の侵入を防ぐためにも定期的な除草が必要となっている。

変電所構内は感電リスクを下げるため碎石を敷き詰めているが、碎石の隙間に砂や土が堆積し雑草が侵入すると除去が必要となる。また、大規模変電所では、設備と周辺環境との緩衝エリアとして緑地帯を設けている場合が多く、周辺環境に調和した管理を行っている。

最も身近な電力設備といえる配電線や電柱では、ツル植物が巻き付いて電気の流れる充電部に到達すると停電故障の原因となるため、植物の成育期には撤去のために何度も現場に出向く必要がある。また、台風などの強風に備え、停電故障の要因になり得る隣接樹木の伐採も欠かせない。

このように、一見生物とは無縁に見える電力会社では、「緑地管理」と「除草」に多くの費用と労力がかかっている。



山地の送電線と鉄塔敷



裸地と緑地を有する変電所



各家庭に電気を届ける配電線

図-1 雑草対策が必要な様々な電力設備



図-2 イネ科・広葉の混在



図-3 ススキ・ネザサ群落



図-4 電柱の支線を登るクズ



図-5 フェンス（ラス金網）に絡まるツル植物



図-6 樹木を覆い尽くすアレチウリ



図-7 ダム湖周辺に広がるオオハンゴンソウ

2. どのような雑草が問題となっているか

電力設備で問題となっている雑草は、一般的な非農耕地雑草、ツル植物、特定外来生物の3タイプに大別される。以下にその特徴と対策の現状を簡単にまとめた。

(1) 一般的な非農耕地雑草

発電所や変電所の構内、鉄塔敷など多くの場所では、初期緑化に用いられた緑化植物が衰退し、周辺から侵入した雑草が除草の対象である。種類としては一般的な非農耕地雑草で、草刈りがある程度定期的に行っている場合は、メヒシバ、エノコログサ、チガヤ等のイネ科雑草とアレチヌスビトハギ、セイタカアワダチソウ、ヒメムカシヨモギ等の広葉雑草が混在していることが多い(図-2)。除草頻度の低い場所では、ススキ、ネザサ等の二次草原に移行した場所も少なくない(図

-3)。

従来、電力設備の除草は刈払機の使用を基本としつつ、機器周辺では手取り除草を併用してきた。以前は、景観への配慮や周辺のお客さまに迷惑をおかけしないよう、多いところでは年4回程度除草を行っていたが、費用削減のため除草回数を減らしたことで、雑草の繁茂、難防除雑草の増加、これらによる作業性低下や刈り草の増加等の問題が浮上した。また、変電所の碎石部分では、手取り除草に加え除草剤を使用しているところもあるが、周辺環境への配慮から残効の少ない茎葉処理剤を使用するため再生が早く、裸地を維持できないことも課題となっている。

(2) ツル植物

ツル植物は、フェンスや支持物、建物などに絡みつき除去しにくいことが問題になる。その中でも、近年、各地で猛威を振るっているクズは、電力設備にとっても厄介な雑草である。

特に配電設備では、電柱を支える直径1cm程度の支線が格好の支持体となり、複数のクズが何重にも巻き付き登ってくる(図-4)。周辺の樹木を覆い尽くしたクズが、空中から支線の途中に巻き付いてくことも多い。クズの成長は1日あたり10～20cmと早く、あっという間に充電部に到達してしまう恐れがある。配電設備を保守する部署では、クズの成長期には特別巡視体制で頻繁に現場を見回っており、時にはその場で電柱に登り、長い鎌でクズの撤去を行っているが、撤去作業は時間を要することが多く、1日に巡視できる電柱本数が限られることから、効果的なクズ対策が常に望まれている。フェンスは電気故障にはつながらないものの、放置すれば風圧荷重により施設損傷につながるため定期的な除去が欠かせない。ラス金網に巻きついたツルやヒゲの撤去には時間がかかり、作業性のよい対策が望まれている(図-5)。



図-8 最初の薬剤選抜試験が行われた変電所

(3) 特定外来生物

ダム湖周辺の管理地に、特定外来生物のアレチウリ（図-6）とオオハングンソウ（図-7）が繁殖し、新たな発生源となることが問題になっている。これらの植物は、繁殖力が非常に高いため、草刈りだけでは衰退させることができない。また、草刈り後の搬出が禁止されている特定外来生物の運搬に当たらないよう適切な手続きが必要となるなど、取り扱いが面倒な雑草である。

3. 薬剤利用の検討と実用化の事例

このような雑草に対し、これ以上の繁茂を防ぐため、また、作業員の高齢化への対応や更なるコストダウンを実現するため、2007年度から薬剤を活用した雑草対策の導入検討を開始した。当初は、社有地内での使用が主体となる変電所のみを対象とし、約5年をかけて実用化を進めた。最近ではその他の設備においても、利用の可能性について検討を始めている。以下にこれまでの取り組みについて紹介する。

(1) 変電設備における除草剤・抑草剤の利用検討

年間の除草回数を減らしたり、除草

面積を減らした変電所では、次回の除草時に大きく育った雑草が刈りにくくなったり、搬出する刈り草の量が増加して通常の除草より費用がかかるようになり、数年放置した場所では、低灌木が成長して刈払いでは対処できなくなるという事態に直面した。このため、従来は環境や地域住民への配慮から使用を控えていた薬剤散布の導入について検討を進めることになった。

2007年度に三重県にある変電所において、砕石が敷かれている場所で雑草を枯らすための除草剤と、飛砂防止や法面保護など一定の植生が必要な場所で、雑草の草丈を抑えるための植物成長調整剤（抑草剤）の適用試験を開始した（図-8）。試験は、変電所内に生育している雑草の種類を調査して植生を数パターンに区分し、それぞれの区分に効果が期待される薬剤を複数選定して効果を比較した。20～40㎡程度の小規模試験区で2年間の選抜試験を行った後、有望な薬剤について1,000～2,000㎡の中規模試験区での拡大試験で再現性を確認し、基本的な薬剤の種類と組み合わせを決定した。

2010年度からは、全社拡大に向けて実証試験として、愛知、岐阜、静岡、長野の4県にある合計9変電所を試験地とし、地域の気候や植物の性質による効果の違いについて検証した。初年度は各試験地の調査を実施して植生

パターンを分類し、翌年から三重県での知見を活かした薬剤散布プログラムを組み、2年間の比較試験を経て、裸地での除草剤散布プログラムと緑地での抑草剤散布プログラムを決定した。

一方で、実用化のためには、薬剤散布の際に散布する設備の近隣の方々に了解を得るため、設備の保守を担当する社員が、安全性について説明できるような資料が必要とされた。このため、2012年度に現場データに基づく安全性確認試験として、①水路への流出量確認試験、②周囲への飛散量確認試験、③周囲生物への影響確認試験を、それぞれの試験地で実施し（図-9）、分かり易く説明しやすい資料を作成した。

こうした取り組みの結果、変電部門では2013年度から、除草業務のメニューのひとつとして、裸地化のための除草剤、緑地維持のための抑草剤が選択できるようになっている。

(2) 配電設備におけるクズの防除

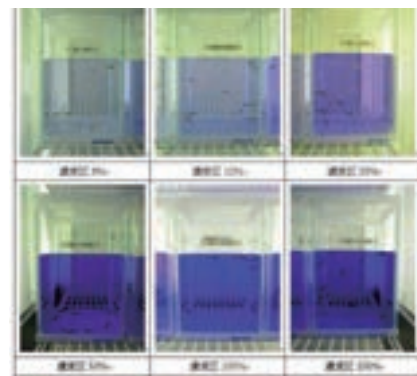
配電設備にツルが巻き上がってくる6月頃、1個体のクズは既に多くのツルを伸ばして葉を広げ、養分を地下部（根茎）に蓄え始めていることが分かっている。故障原因となりそうなツルを切っても、そのほかの切られなかったツルは成長を続け、翌年度には、より大きく繁殖力の強いクズとなって再び配電設備に絡みついてくる。このことは、現場を管理する部署でも認識されており、切っても切っても毎年クズの成長の勢いが増しているという声が上がっている。



散布直後の大雨後の水質検査



変電所周囲に設置した感水紙



濃度別魚類生残試験

図-9 現場データに基づく安全性確認試験



図-10 様々なクズの防除資材

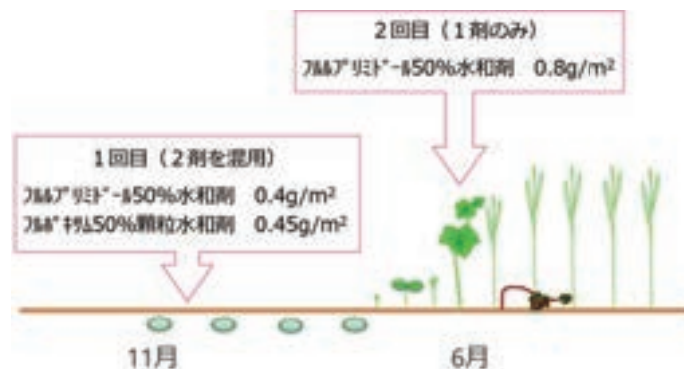


図-11 アレチウリ薬剤散布プログラム

地上部のツルが巻き付きにくくなる、あるいは登れなくするための防除資材は各種開発されており（図-10）、当社でも効果を確認しながら取り入れているが、成長の著しい場所では、それさえ乗り越えてくるものがある。配電設備はお客さまの土地あるいは隣接して設置されているものが多いため、現場では薬剤散布の導入に対して特に慎重な声が多い中、クズに関しては、文字通り根こそぎ無くさなければ、確実に負担が増しているという実感がある。このため、2017年度から一部の設備において、当年度の成長が始まる前あるいは成長初期、設備周辺のクズの株を探し、根茎に直接処理するタイプの除草剤の効果確認試験を開始した。現在は効果を確認しながら採用について検討を進めているところである。

(3) 特定外来生物の駆除

近年、河川に沿って分布が拡大して

いるアレチウリやオオハングンソウが、当社のダム湖周囲でも確認されている。民間企業として管理地内に発生した特定外来生物を駆除する義務があるわけではないが、オオハングンソウについては、その地域を管轄する自治体から、更なる拡散を防ぐための対策について問われたことをきっかけに、また、アレチウリについては、従来の刈払機による除草作業時に、ツルが絡みつき作業性が低下して困っているという現場の声に応える形で、それぞれ薬剤を用いた駆除方法について検討した。

2014年度に着手した試験では、河川敷の植生に極力影響を与えず、目標とする特定外来生物を衰退させていくことを目的に、選択性の除草剤や抑草剤を組み合わせた。その結果、オオハングンソウについては2年間の試験で、アレチウリについても3年間の試行錯誤により、当年度の植物体を枯死させ、翌年度の種子を稔らせない薬

剤処理のプログラムを決定した（図-11、詳細は植調第52巻6号に掲載）。

4. 薬剤利用を上手に取り入れるためには

電力会社の除草業務は、電力設備の保守管理等の委託先が行っていることが多い。つまり、植生管理を専門にしていない（植物を見ても種類がわからない）担当者が除草も担当している。このため、各現場が雑草の種類に応じた薬剤を選定して散布することは不可能に近い。現場導入するには「できる限り多くのタイプの植生を、困らない程度に管理できる規定の農薬を使用した手順書を作成する」ことが重要になる。変電設備で採用された手順書もこうした観点で作成しており、効果についてもその年の気候や植生の違いによってどのくらいの差異が生じるものであるか実際の写真等で示したうえ

で、採用するかどうかは個々の現場の判断に委ねている。採用した場所の植生によっては、数年同じ処理を繰り返すことで効果の低い種類の雑草が増加してくることが予想されるが、それらの対処方法は各現場に合わせた対応を個々にとる必要があり、定着させるにはまだまだ課題があるといえる。

また、「農業」という言葉に対する拒否感が薬剤散布の導入を躊躇する一因となっていることは、現在も否めない。生産現場やレクリエーション施設など薬剤使用の対価が得られる場所であれば、当事者の判断で薬剤を活用することに大きなハードルはないかもしれないが、インフラ産業の薬剤利用に関して第三者にご理解をいただくことはハードルが高い。利用者のみならず

地域の方々にも、安全性と安心感を届けられるような情報の発信をメーカーに望む。

クズのような侵略性の高い雑草や特定外来生物については、電力をはじめ道路や河川に関わるインフラ設備のみならず、農耕地への侵入も進んでいることから、薬剤も適切に活用することで早急な対策を行わなければ、大きな経済損失につながることを懸念される。当社もこうした観点から、アレチウリの薬剤処理プログラムについては公益を優先し、学会や業界誌等で積極的に発表しているが、河川流域で拡大するものについては当社管理区域のみならず、上流から下流まで同調して対策を進めることが重要である。現在のところ河川での薬剤散布は困難な状況

にあり、河川事務所あるいは土木事務所においても考え方が統一されていないことも多く、ルールの見直しにまで踏み込む必要があると思われる。

このように、薬剤利用への期待は確実に増加している。当社としては、現場ニーズに合った薬剤の開発、安全・安心の更なる裏付けなど、現場導入を後押しするような支援を望んでいる。

参考文献

- 伊藤操子 2010. 雑草紹介シリーズ 草と緑 第2巻.
- 伊藤操子 1982. 非農耕地の雑草とその管理. 雑草研究 27, 162-176.
- 津田その子 2018. 植物成長調整剤フルプリミドールを用いた特定外来生物アレチウリの防除. 植調 52(6), 14-17.

平成 30 年度冬作関係 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

平成 30 年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験成績検討会は、
2019 年 9 月 12 日(木)にホテルラングウッドにおいて開催
された。

この検討会には、試験場関係者 26 名、委託関係者 29 名ほ

か、計 76 名の参集を得て、除草剤 13 薬剤(44 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、以下の判定表に
示す通りである。

平成 30 年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験 判定

A. 除草剤 (1)小麦

薬剤名 有効成分及び含有率(%)	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. AH-01 液 グルホシネートPナトリウム 塩 11.5% [北興化学工業 *Meiji Seika ファルマ]	実	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 15cm以下)	300~500mL 散布水量 100~150L	全土壌	東北以南	・周辺作物に飛散しないように注意する。	
			茎葉処理 (圃場内周 縁部)	小麦生育期・雑草 生育期(草丈30cm 以下)	300~500mL 散布水量100L		北海道		
2.HSW-062 フロアブル インダノファン 10.0% ジフルフェニカン 4.0% [ホクサン]	実・継 (従来ど おり)	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽前, 雑草発生前	150~250mL 散布水量 70~100L	全土壌 (砂土を除く)	北海道	・葉に白斑を生じる 場合がある ・イヌカミツレが多 発する圃場では高薬 量で使用する	・小麦3~6葉期処理で の効果・薬害の確認(北 海道)
				出芽直前~小麦3 葉期, 雑草発始	100~200mL 散布水量 70~100L				
3. KUH-165 フロアブル ジフルフェニカン 7.4% ピロキサスルホン 7.4% [クミアイ化学工業]	実	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後~小麦3葉 期, 雑草発始期まで	80~100mL 散布水量 100L	全土壌 (砂土を除く)	北海道	・葉に白斑を生じる場 合がある	
4.MAH-1801 フロアブル ジフルフェニカン 500g/L [アダマ・ジャパン]	-								
5.MAH-1802 フロアブル ペンディメタリン 400g/L [アダマ・ジャパン]	-								
6. UPH-004 液 グルホシネート 18.5% [ユービーエルジャパン]	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 10cm以下)	300~750mL 散布水量 100 ~150L	全土壌	東北以南	・周辺作物に飛散しないように注意する。	・効果薬害の確認(耕起 または播種前, 圃場内 周縁部(北海道))
				播種後出芽前 雑草生育期(草丈 10cm以下)	300~750mL 散布水量 100 ~150L				
			茎葉処理 (圃場内周 縁部)	小麦生育期 雑草生育期(草丈 20cm以下)	300~750mL 散布水量 100 ~150L				

A. 除草剤 (1)小麦

薬剤名 有効成分及び含有率(%)	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	
7.ZH-1402 フロアブル 新規化合物A 30% [全国農業協同組合連会]	継								・効果、薬害の確認(播種後出芽前, 出芽摘期, 小麦1〜3葉処理)(北海道)
8. トリフルラリン 粒 トリフルラリン 2.5% [日産化学]	実・継 (従来通り)	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽前 雑草発生前	4〜5kg	全土壌(砂土を除く)	全域	・ツユクサ, カヤツリグサ, キク, アブラナ科雑草を除く。 ・小麦生育期処理は, 播種後の土壌処理剤との体系で使用する。	・北海道での小麦1〜3葉期(イネ科雑草1葉期まで)の効果, 薬害の確認 ・体系処理でのカズノコグサに対する効果の確認 ・小麦生育期, 雑草発生前での効果薬害の確認(一年生広葉雑草)
		一年生イネ科雑草		小麦生育期雑草発生前			東北以南		
		カズノコグサ		小麦生育期中耕培土後雑草発生前					

A. 除草剤 (2)大麦

1. トリフルラリン 粒 トリフルラリン 2.5% [日産化学]	実・継 (従来通り)	一年生雑草	土壌処理 (全面)	播種後出芽前 雑草発生前	4〜5kg	全土壌(砂土を除く)	全域	・ツユクサ, カヤツリグサ, キク, アブラナ科雑草を除く。 ・大麦生育期処理は播種後の土壌処理剤との体系で使用する。	・体系処理でのカズノコグサに対する効果の確認 ・大麦生育期, 雑草発生前での効果薬害の確認(一年生広葉雑草)
				大麦生育期雑草発生前			東北以南		
		カズノコグサ		大麦生育期中耕培土後雑草発生前					

A. 除草剤 (3)水稻刈跡

1.KUH-911 液 ビスピリバクナトリウム塩2.0% [クマイ化学工業]	継								
2.NC-622 液 グリホサートカリウム塩 48% [日産化学]	実・継	一年生雑草	茎葉処理 (全面)	水稻刈取後雑草生育期(草丈30cm以下)	200〜500mL 散布水量 25〜100L	全土壌	全域	・少水量散布(5〜6L, 25〜50L/10a)の場合は専用ノズルを使用する	・ミズガヤツリ, オモダカ, クログワイ以外の多年生雑草に対する, 翌年の発生量低減効果の確認 ・一年生雑草, 多年生広葉雑草(翌年の発生量低減効果)の効果薬害の確認(水量5〜6L)
		多年生イネ科雑草			500〜1000mL 散布水量 5〜6L, 25〜100L				
		多年生広葉雑草			500〜1000mL 散布水量 25〜100L				
		ミズガヤツリ, オモダカ, クログワイ (翌年発生低減効果)		水稻刈取後雑草再生時(草丈30cm以下)	500〜1000mL 散布水量 25〜100L				
3.YF-65L 液 ジクワット 7.0% パラコート 5.0% [シンジェンタジャパン]	継								・雑草イネに対する密度抑制効果の確認

A. 除草剤 (4)水田畦畔

1.JC-401 粒 塩素酸ナトリウム 50% [日本カーリット]	継								
---	---	--	--	--	--	--	--	--	--

ゲーテの植物変形論

東京大学・法政大学名誉教授

長田 敏行

前回紹介した「植物の不思議を訪ねる旅 第20回」では、ゲーテ (J.W. von Goethe) のイタリア旅行の産物が植物変形論 (Die Metamorphose der Pflanzen) であり、原植物論 (Die Urpflanze) であると述べた。今回はその植物変形論の現代的意義について考えてみたい。植物変形論の骨子は、「花は葉の変形である」ということであるが、1990年に花の形態形成に関するABCモデルが発表された折、植物変形論を踏まえて「ゲーテはやはり正しかった」という評がNature誌に登場したのはその変形論が現代的であることを意味している。ところが、もう一方の原植物論は、教科書的にはそれにつながる考え方が何度も登場するが、どちらかと言えば哲学的解釈で現代的論議にはつながらない。なお、ABCモデルについては、「植物の不思議を訪ねる旅 第8、9回」に概略を述べているので、概要はそちらへ譲るとして、ここでは葉が環境情報を捉えて、光周性シグナルを感知して、花成シグナルであるフロリゲンを作り、それが茎頂に達し、その制御の下ホメオティック遺伝子群ABCが複合的に機能して、花器官を構成する萼、花弁、雄蕊、雌蕊が形成される、というだけに限定させていただく。その概念図は図-1に示す。なお、これらの議論により興味のある方は平野・阿部 (2018) を参照されたい。

但し、これをもって花と葉とは等価であるといっているのではないことは予め断っておく。花成信号を受けてから形態形成の間には、フロリゲン情報、ホメオティック遺伝子群の発現が関与するが、これらは生命進化の長い時間の産物であり、少なくとも1億年を超える年限が関与していよう。進化史の上から見ると、フロリゲンが比較的最近登場したものであり、ホメオティック遺伝子A、B、Cの祖先的遺伝子は裸子植物にも存在することから考えると、様々なプロセスが考えられる。それらには未確定の要素が多いので、ここでは考慮の対象からは省

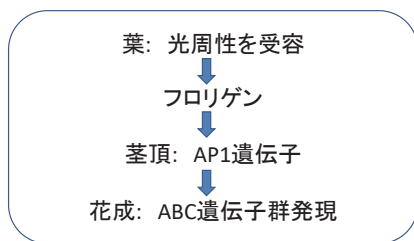


図-1 花芽形成模式図

かせていただく。その上で、ゲーテの時代に「花は葉の変形である」と云って、ある種の真実に迫れたことを、ゲーテは何を拠り所にしていたのかは興味のある対象であるとする。その論拠を植物変形論に探してみる。

植物変形論を読む

ゲーテの論拠をたどるためには、植物変形論を改めて読む必要がある。もともと概要は理解しているつもりであったが、改めて読む機会があった。2006年にはドイツ滞り時代にお世話になったマックス・プランク生物学研究所のメルヒャース (G. Melchers) 教授が存命であれば100年ということで、チュービンゲンで彼の追悼会が開かれた。奇しくもフロリゲン同定者の一人ヴァイゲル (D. Weigel) 教授はフロリゲンの記念講演をしたが、フロリゲン説の先達であるメルヒャース教授とそれに関連して大きな役割を果たした生物時計のビュニング (E. Bünning) 教授に敬意が表された。その後メルヒャース家で行われたパーティーにおいて、旧知のユルゲンス (Gerd Jürgens) 教授より、旧東ドイツでの復刻版であるが1790年に刊行された植物変形論 (Metamorphose) をいただいた (Goethe 1790)。また、メルヒャース教授のご子息よりはメルヒャース教授旧蔵のゲーテ「自然科学論文集」をいただいたが、その印刷は奥付によると、実に1943年のシュツットガルトであった。もっとも、最近ではそれらの情報は容易にウェブサイトで得られることも経験している。また、それらの文献の邦訳も刊行されていることも知っていたが、それらを読んでは見たとこ、邦訳の著しく生硬なこともあり、理解がなかなか深まらなかったことも付け加える。

まず、植物変形論に何が書かれているかの概括を試みよう。その際、出来るだけ現代的視野での評は避け、彼の論点に従いたいと思う。構成は、①子葉について述べられているが、種子が発芽して子葉を展開し、幼芽が成長し植物体が形成することが述べられている (図-2)。幼芽展開が外部からの物質供給によっているという論調は、当時光合成の機構がほとんど知られていなかったことを考えると無理もない考えであ



図-2 子葉と幼芽の展開
トロル (W. Troll) に
より描かれたモダマの種子
と発芽初期の状態



図-3 バラの花の貫入例
ゲーテにより描かれたバラの変異
花柱より再度花が形成されている。

と思われる。続いて、現代では②モジュール構造とよばれる、節とそれに付随した構造についての外部形態の多様性とその構築に関する記述である。これについては、今日でもほぼそのような理解であり、葉の形成とその付随器官の形成が述べられている。更に、③花器官について述べられるのであるが、そこに特に力点があるように読み取れる。花器官の構成要素である、萼、花弁、雄蕊、雌蕊について述べられるが、それぞれには変異が見られ、互いに変異しうることが述べられている。花弁が八重である背景の説明とバラの雌蕊が再度成長して、そこに花器官が再度形成される変異については、貫入として特別に述べられている (図-3)。また、より顕著な例としてナデシコの花の変異も登場する。花の形成は今日、質的变化とみなされているが、量的変化として捉えられているように読み取れる。ただし、その変異は花では変異の勾配が特に著しいと読み取れることは、「花は葉形成からの連続性変化とは質的に異なる」ことを考えたのであろうと思われる。ここから、「花は葉の変形である」という主張が引き出されたのであろうが、これは極めて卓越した洞察であると感じざるを得ない。④さらに、花器官と関連して蜜腺が論じられ (図-4)、果実形成、種子形成が論じられているが、葉形成の変異として論じられている。

原植物論

上記モジュールから葉などの栄養器官が形成されていることから、原植物論が展開される。ここから出発して、後にトロル (W. Troll) などの植物器官学が形成され、学問領域として確立されていった。その中には、葉の形成の多様性や葉の形態形成における様々な葉形の形成、また環境変化に応じて葉が変化する異型葉形成などの論議も含まれている。この論議は一つの学問領域として成立していったが、その体系はト



図-4 蜜腺

上 クロタネソウ他の蜜腺のゲーテによるスケッチ
中 クロタネソウ (*Nigella damascene* L.) 左 花全体図、中 蜜腺の側面図、右 正面図
下 セイヨウオオダマキ (*Aquilegia vulgaris* L.) 中、下は トロルによる



図-5 ゲーテの略図を基にトロルにより描かれたサボテン図
左 双子葉植物の原植物図
中 サボテン成長初期の模式図
右 地上部が肥大したサボテン
それぞれの図のアルファベットは相同器官の部位を示す

ロルの本で見ることが出来た。トロルの本の一冊は、友人のシルデ (C. Schilde) 博士よりいただいたので、それが興味ある内容であることを知ることができた (Troll 1954)。例えば、サボテンが双子葉植物であることは発生段階を追跡することで証明できたことなどであり、相同と相似の差異は理解できる (図-5)。しかし、証明がつけられない現象は、結局のところ現象を見ての解釈論ではないかという疑問も生じた。そして、トロルにつながる人々は、日本でも植物器官学が著わされているが (熊沢 1964)、読んで参考にはなるものの決定的論議ではないという思いが強くなっている。それにつけても、ドイツでの師メルヒャース教授がトロルらの考えとは相容れることが出来ないといわれていたと言っていたが、それは師のフリッツ・フォン・ヴェットシュタイン (Fritz von Wettstein) 譲りであったということと、そのことの意味がいまさらのように思い起こされる。遺伝学を根幹として、ひたすら一般生物学を追及して進んでいたメルヒャース教授らにとって一時的ではあるにせよ形態学の権威として振舞うことになったトロルらの姿勢が許せなかったであろうと想像できる。

ここで本稿を閉じたいと思うが、植物変形論を著わしたゲーテは、著わした時点でもなお対象について推敲を重ねていたということであり、論拠を銅版画で現したいと努めていたが果たせなかった。そして、議論にはなお余地があることを認識しながらも、「花は葉の変形である」といいきって、それが200年して分子レベルでの証明があらわれたことの重みを感じざるを得ない。

文献

- 熊沢正夫 1964. 植物器官学, 裳華房.
- 平野博之・阿部光男 2018. 花の分子発生遺伝学, 裳華房.
- Goethe, J.W. von 1790. Die Metamorphose der Pflanzen, Gotha.
- Troll, W. 1954. Praktische Einführung in die Pflanzenmorphologie, VEB Gustav Fischer Verlag.

■協会だより

■人事異動

2019年12月31日付

退職 事務局総務部総務課係長 塚脇 雄一郎

2020年1月1日付

命 事務局技術部技術第一課係長 穂坂 尚美

■研究会等

■日本農薬学会第45回大会

期日：2020年3月8日（日）～10日（火）

場所：松下IMPホール・ホテルニューオータニ大阪（3月8日）

大阪府大阪市中央区城見1丁目

大阪府立大学中百舌鳥キャンパス（3月9・10日）

大阪府堺市中区学園町1-1

日程：3月 8 日（日）総会・授賞式・受賞講演・

特別講演・懇親会・受賞祝賀会

3月 9 日（月）一般講演・ランチョンセミナー

3月10日（火）シンポジウム・ランチョンセミナー

詳しくは日本農薬学会ホームページを参照下さい。

植調第53巻 第10号

■発行 2020年1月28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 宮下 清貴

■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」

アシュラフロアブル(ベンゾビスクロン)
イザナギフロアブル(ベンゾビスクロン)
ゲパード1キロ粒剤/ジャンボ(ベンゾビスクロン/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
(ベンゾビスクロン/カフェンストロール/ダイムロン)
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)
レブラス1キロ粒剤/ジャンボ(ダイムロン)
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)
クサビフロアブル(ベンゾビスクロン)
天空1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ(ベンゾビスクロン)
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(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!

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)	テラガード(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ/250グラム)
ウエス(フロアブル)	トビキリ(ジャンボ/500グラム粒剤)
オークス(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	ナギナタ(1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ)
オオワザ(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	ハーディ(1キロ粒剤)
カービー(1キロ粒剤)	ハイカット/サンパンチ(1キロ粒剤)
キクトモ(1キロ粒剤)	半蔵(1キロ粒剤)
キチット(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	フォーカード(1キロ粒剤)
クサスイブ(1キロ粒剤)	フォーカスショット(ジャンボ)/プレスサ(フロアブル)
クサトリーBSX(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	フルイニング/ジャイブ/タンボエース(1キロ粒剤/ジャンボ/スカイ500グラム粒剤)
サンシャイン(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	ブルゼータ(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)
ザンテツ(1キロ粒剤/豆つぶ250/ジャンボ)	プレキープ(1キロ粒剤/フロアブル)
忍(1キロ粒剤/フロアブル/ジャンボ)	ビックスユアZ(1キロ粒剤)
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/カリユード(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)	ホットコンビ(フロアブル)
シロノック(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)
スマート(1キロ粒剤/フロアブル)	



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/>



図鑑.jpのご案内

<https://i-zukan.jp>

「日本の生き物を調べる・わかる 図鑑.jp」は、電子書籍化した図鑑類が読み放題になる会員制サービス（ジャンルごとの年会費制）です。各出版社が発行している日本を代表する専門図鑑を中心に、すでに絶版となった図鑑や公共機関などが発行した一般には入手が困難な図鑑も提供します。

複数の図鑑を和名・学名・科名で横断検索できるだけでなく、ユーザが投稿写真を加えることで図鑑が補完され、図鑑とユーザ投稿を合わせて「究極の図鑑」を目指すサービスです。

図鑑.jpでは、個人でご利用いただく通常コースに加えて、会社・研究機関・NPO等で複数人でリーズナブルにご利用いただける法人ライセンスもございます。

こんな方におすすめ

- ✓ 複数の図鑑を楽々閲覧したい
- ✓ 野外で、タブレットやスマホで図鑑を見たい*
- ✓ 会社で、複数の担当者で同時に図鑑を使いたい

*利用には通信回線が必要です。

あの図鑑を一気に検索

植物ジャンルラインナップ

(2017年3月現在)

図鑑名	出版社名
山溪ハンディ図鑑1 野に咲く花 増補改訂新版	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 山に咲く花 増補改訂新版	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 樹に咲く花 合弁花・単子葉・裸子植物	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 樹に咲く花 離弁花 1	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 樹に咲く花 離弁花 2	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 増補改訂 日本のスマイル	山と溪谷社
山溪ハンディ図鑑 日本の野菊	山と溪谷社
日本帰化植物写真図鑑	全国農村教育協会
日本帰化植物写真図鑑2	全国農村教育協会
原色図鑑 芽ばえとたね	全国農村教育協会
日本水草図鑑	文一総合出版
日本の水草	文一総合出版
日本のスゲ	文一総合出版
神奈川県植物誌 2001	神奈川県立生命の星・地球博物館

野鳥ジャンルも提供中（個人 3000 円 / 年、法人 2600 円 / 年）
ジャンル、掲載図鑑は順次拡大予定

植物ジャンル年会費（税別価格）

個人向けコース 1 ユーザ 3 端末 5000 円 / 年

法人向けコース
1 ~ 2 ユーザ 5000 円 / 年 × ユーザ数
3 ~ 49 ユーザ 4500 円 / 年 × ユーザ数
50 ユーザ以上 個別見積

※個人向けコースはクレジットカードのみの決済になります。
※法人向けの場合で見積書などが必要な場合はご連絡ください。
※法人向けは1ユーザあたり2.5端末を基本に切り上げます。
※上記以外のユーザ数・利用方法はお問い合わせください。

推奨環境

【PC】 Windows / MS IE11、MS Edge 最新版、
Chrome 最新版、Firefox 最新版
Mac / Safari 最新版、Firefox 最新版

【スマートフォン・タブレット】

iPhone、iPad mini、iPad / Safari 最新版
Android / Chrome 最新版

詳しくはサイトへ

<https://i-zukan.jp>

お問い合わせ先

図鑑.jp 事務局 03-6744-1908（山と溪谷社内）
i-zukan@yamakei.co.jp

水稲用一発処理除草剤

除草効果、安全性、使い勝手で選ぶなら…

バッチリ

1キロ粒剤
フロアブル
ジャンボ

バッチリ効果にノビエへの
持続性をさらに強化!!

バッチリ LX

1キロ粒剤
フロアブル
ジャンボ

水稲用一発処理除草剤「公益財団法人 日本植物調節剤研究協会(日植調)」調べ
令和元年度普及面積1位127,744ha(平成30年10月～令和元年6月)
過去の日植調調べから、平成23年度～令和元年度9年連続普及面積1位
※普及面積はバッチリブランド(バッチリ、バッチリLX、デルタアタック)の合計です。
※バッチリLXとデルタアタックは同じ成分です。

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>

⑧は協友アグリ(株)の登録商標です。

- 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。
- 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。

省カタイプの高性能 水稲用初・中期 一発処理除草剤

問題雑草を 一掃!!

この一本が
除草を変える!

日農

イッポン

1キロ粒剤75・フロアブル・ジャンボ

<写真はイメージです>

日農

イッポンD

1キロ粒剤51・フロアブル・ジャンボ

DN協議会

事務局 日本農薬株式会社



新規有効成分フェノキサルホンは発生前～2.5葉期までのノビエにしっかりと、長く効果を発揮し、一年生広葉雑草の後発生も抑えます。

フェノキサルホン含有の新しい除草剤を、ぜひお試しください。

フェノキサルホン含有除草剤ラインアップ

ガンガン

クサビ
(北海道のみ)

クモスター

ベンケイ

ヤブサメ

- 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。●防除日誌を記録しましょう。

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 TEL03-3822-5036
ホームページ <http://www.kumiai-chem.co.jp>



豊かな稔りに貢献する 石原の水稲用除草剤



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



センイチ® MX 1キロ粒剤/ジャンボ®

フルパワー® MX 1キロ粒剤/ジャンボ®

スーパースター® A 1キロ粒剤

ヒエカッパ® A 1キロ粒剤

フルパワー® ジャンボ®

フルパワー® ジャンボ®



フルセトスルホン剤
ラインナップ

タイズミドリ® 1キロ粒剤

乾田直播
専用 **ハードパンチ**® DF

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
<http://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。

〒104-8260 東京都中央区新川2丁目27番1号 お客様相談室 ☎0570-058-669 農業支援サイト  <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・空容器は開場等に放置せず適切に処理してください。



大塚のめくろあまみまぐろへ
sca GROUP



住友化学

大好評の除草剤ラインナップ

新登場! **マスラオ** 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

ゼータタイガー 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

ゼータハンマー 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

ズエモン 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

カットダウン 1キロ粒剤

ゼータワン 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

メガゼータ 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

ゼータファイヤ 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

ブルゼータ 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

オサキニ 1キロ粒剤

ショウリョクS 粒剤

忍 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

イッテツ 1キロ粒剤
ジャンボフロアブル

ショウリョク ジャンボ

畑作向け除草剤

アタックショット 乳剤 **ムギレゾー** 乳剤
丸和 **ロックス**®

果樹向け除草剤

シンバー® **リーバー**®

芝生向け除草剤

アトラクティブ® **ユニホッフ**®
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**



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/>

農耕地から緑地管理まで
雑草防除に貢献します。

第53巻 第10号 目次

- 1 巻頭言 葉っぱのフレディー
横山 昌男
- 2 水田作における過去30年間の雑草および薬剤作用機構の変遷
問題雑草の変遷(2)ー2000年から2010年までー
渡邊 寛明
- 10 〔田畑の草種〕^{くさぐさ} 蒲・黄蒲・賀麻・香蒲(ガマ)
須藤 健一
- 11 農業微生物研究の現状と今後の展望
池田 成志
- 22 緑地管理現場における雑草対策の現状と課題
津田 その子
- 27 平成30年度冬作関係除草剤・生育調節剤試験判定結果
公益財団法人日本植物調節剤研究協会 技術部
- 29 〔連載〕植物の不思議を訪ねる旅 第21回 ゲーテの植物変形論
長田 敏行
- 31 広場

No.58

表紙写真 〔ガマ〕



北海道から九州まで広く分布する夏生多年草。池沼、休耕田、水路沿いに生育し、しばしば水田にも入り込む。地下を横走る太い根茎により増殖する。茎頂に太さがほぼ一定の円柱形の花序をつける。(植調雑草大鑑より。写真は©浅井元朗、©全農教)



幼植物。先端に種皮がつく。



花序。種子を飛散し始めたところ。



地上茎。根茎から萌芽。



群落。根茎の節から多数の地上茎を出す。