

問題雑草の変遷 (3)

— 2010 年以降 —

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

本誌 53 巻 10 号では、2000 年以降農業経営体の経営規模の拡大や農業就業人口の減少と高齢化が進むなかで、水稲栽培の省力化の推進とそれともなう水田雑草の変遷を中心に概説した。2010 年以降も基幹的農業従事者の減少や高齢化の進行により生産現場ではさらなる省力化が求められていた。そのようななか、2011 年 3 月に東日本大震災により米どころの農業は壊滅的な被害を受けた。その後も現在に至るまで気候変動にもなう様々な災害が毎年のように各地で起こっている。自然災害への対応も近年の大きなテーマである。これら生産現場の問題を解決するための技術開発への期待から、ごく最近ではロボット、IoT、AI 等の先端技術を農業分野に導入したスマート農業の推進が叫ばれる。最近の 10 年間、すなわち現在の雑草の発生状況を整理することが、各種の先端技術が取り込まれるこれからの水田農業におけるより良い雑草管理を考える材料になれば幸いである。

1. 雑草発生に関与する要因

(1) 水稲の作付け動向

最近の水稲の作付けとコメの需給動向をみると、1960 年代まで 300 万 ha を超えていた水稲作付け面積は 1970 年代から漸減し、2010 年の

主食用米の作付け面積は 158 万 ha、2017 年には 137 万 ha まで減少した（農林水産省 2019）。翌 2018 年からは行政によるコメの需給調整が行われなくなったこともあり、その後は 138 万 ha 前後となっている。主食用米のなかで外食、中食での需要が全体の 3 割を占めるなか、一般家庭向けに高価格帯のコメを生産したい産地と値頃感のあるコメを求める実需者とのマッチングを支援する事業も実施されている。一方で、主食用米以外の用途（業務加工用、飼料用米、WCS（稲発酵粗飼料）など）での作付面積は、政府による支援を背景に 2010 年の 7 万 ha から 2018 年の 20 万 ha と大幅に増加している。

(2) 省力栽培技術の普及

2010 年には 21.5 千 ha まで増加した水稲直播栽培面積はその後着実に増加し、2018 年には 34.7 千 ha（水稲作付面積の約 2.4%）となった（農林水産省 2020）。それまで主流であった過酸化カルシウム製剤（商品名：カルパー粉粒剤 16）を紛衣した種粉を用いる湛水土中直播栽培に加えて、鉄コーティング湛水直播栽培や V 溝不耕起乾田直播栽培の普及が進んだことも水稲直播栽培の面積拡大に貢献している。直播栽培面積の推移には地域的な特徴がみられる。東北地域と北陸地域では特に湛水直播栽培面積の伸びが大きく、2018 年にはそれぞれ 9.0 千 ha と 8.6 千 ha となっている。両地域ともに鉄コーティング直播の普及

が直播面積の拡大に貢献したようだ。2016 年からは酸化鉄（べんがら）とモリブデン化合物を種粉に紛衣して播種するべんもり直播栽培の普及が始まり、2018 年には 2 千 ha を超えた。そのほとんどが東北地域での普及である（原 2019; 農研機構九州沖縄農研 2019）。東海地域では不耕起 V 溝乾田直播栽培の普及が進んだ。同地域では 2018 年は 3.6 千 ha で乾田直播栽培が実施されたが、この面積拡大には V 溝乾直の普及が大いに貢献している。乾田直播栽培は東北地域でも省力栽培技術として評価され、2018 年には約 2.7 千 ha で取り組まれている。このなかには、東日本大震災による津波被災地の復旧過程における水田の大区画化と労力不足への対応技術として普及が進められた乾田直播栽培が含まれる。一方で、我が国の代表的な乾田直播栽培地域であった瀬戸内地域を含む中国地域では 1990 年代から乾田直播栽培面積が減少し、2010 年以降もその面積が漸減している。本地域における 2018 年の乾田直播栽培面積は 2.1 千 ha で、むしろ東北地域や東海地域の乾田直播栽培面積の方が大きい。なお、ごく最近であるが、東北地域と北陸地域ではそれぞれ 2016 年、2017 年をピークにそれまで好調だった湛水直播栽培面積が僅かにではあるが減少に転じた。その一方で、移植栽培での新たな省力技術として、育苗箱 1 箱に乾籾 250～300g を高密度で播種することにより必要育苗数を 5～7 箱にまで減らすことが可能な水稲稚苗

移植栽培技術の開発が石川県で進められ（澤本ら 2019）、北陸地域や東北地域を中心に普及し始めている。

(3) 新規除草剤成分の開発と一発処理剤の高性能化

除草剤開発において新たな作用機作を有する除草剤成分の開発は困難になっているという話をよく聞く。それでも最近の10年間はそれぞれ特徴を持った数多くの新規成分が水稲用除草剤として農業登録されている。ピラクロニル、ベノキスラム、ピリミスルファン、プロピリスルフロン、メタミホップ、メタゾスルフロン、イプフェンカルバゾン、フェノキサスルフォン、トリアファモン、フェンキノトリオン、ランコトリオンナトリウム塩、シクロピリモレート、フロルピラウキシフェンベンジルなどである（濱村 2020; Umetsu and Shirai 2020）。それらのターゲットは ALS/AHAS, HPPD, VLCFAE, ACCase, PPO, オーキシン受容体など、既知の作用機作である場合が多いが、いずれも難防除多年生雑草や除草剤抵抗性雑草といった最近の雑草問題の解決に有効な除草剤である。

前報で概説した通りオモダカやクログワイ等の問題雑草の防除には有効性が確認された体系処理が指導されたにもかかわらず、現場では後処理が省略されることが多く、これら多年生雑草は2000年以降も増加傾向が続いていた。これを解決するために、(公財)日本植物調節剤研究協会（以降は植調協

会）は2012年から難防除多年生雑草を含めて一発処理で防除できる混合剤（問題雑草一発処理剤）の開発を進めた（横山 2017）。新規 ALS 阻害剤のなかには難防除多年生雑草であるオモダカ、クログワイ、コウキヤガラ、シズイのどれか、または複数草種に極めて効果が高い除草剤成分（プロピリスルフロン、メタゾスルフロン、トリアファモンなど）がある。これら高性能の新規除草剤の開発により可能となった取り組みである。2019年度までの8年間で合計22剤が問題雑草一発処理剤としての実用性が確認された。これら問題雑草一発処理剤の普及にあたり、それぞれの問題雑草毎に利用上の注意点が本誌上で解説されている（小山 2019）。

一発処理剤は移植栽培において1回の処理で雑草防除が完結する除草剤として使われるが、同じ剤を直播栽培で用いる場合には体系処理の前処理剤（または後処理剤）として使われることが多い。直播栽培では移植栽培に比べて雑草を抑えるべき期間（要防除日数）が長期間に及ぶため後発雑草を対象とした後処理が必要になる場面が多いことや、水稲とノビエの生育ステージの差が小さいために初期剤などの前処理によって雑草の生育を予め抑えておきたい場面が多いこと等による。そこで、今のところ湛水直播栽培に限られるが、稲1葉期処理であれば3L以上のノビエを防除できるような水稲とノビエの間に十分な生理的選択性の幅を有する混合剤を対象にして、雑草の最終調査時期を播種後60～80日

といった比較的遅い時期に設定することにより、直播栽培でも一発処理で防除可能な除草剤の実用性を評価する試験区分が設けられた。この直播一発処理という新たな試験区分において、2017～2019年の3か年で、いずれも移植栽培で一発処理剤（あるいは中後期剤）として実用性が確認されていた7剤が直播一発処理剤としても実用性があるとされた。直播栽培で一発防除が可能な1ランク上の水稲除草剤として普及することが期待される。さらに、2019年から直播栽培でもオモダカ、クログワイ、コウキヤガラといった難防除多年生雑草の省力防除のための技術開発が農林水産省戦略プロジェクト研究の中で実施されている。植調協会による水稲除草剤適2試験でも直播栽培の試験区分でそれら難防除多年生雑草に対する除草効果を評価するようになった。これも近年開発された新規除草剤の高い性能により可能となった取り組みであることは言うまでもない。

(4) 東日本大震災

2011年3月11日に発生した東北地域太平洋沖地震とそれに続く大津波、さらにこれに伴う東京電力福島第一原子力発電所の事故により、東北地域の特に太平洋側は壊滅的な被害を受けた（図-1、-2）。津波により流出や冠水等の被害を受けた農地は23,600ha（うち水田は20,151ha）と推定された（農林水産省 2012）。沿岸の津波被災地では極めて大規模な



図-1 宮城県名取市の津波被災水田（被災翌年の様子）



図-2 瓦礫の撤去作業を待つ被災水田

自然攪乱が起こったが、農地と農業生産の早期回復を目的に地域再生のための様々な復旧、復興事業が進められた。水田が海水を被った圃場では、排水機場や用排水路等の水利施設の倒壊や土砂の流入により海水の停滞もあり、塩分濃度が高いため瓦礫撤去後も直ちには作物を作付けできなかった。そのようななか、除塩作業により塩分濃度が一定の基準値を下回った排水性の良い水田で作付けが順次再開された。大豆栽培では、除塩後の圃場であっても生育が進むにともない耕土下層の塩分上昇の影響を強く受けたようだ（星・遊佐 2012）。被災により耕作者不在となった農地も多く、農地の復旧・復興にあたり現場でその作業や指揮にあたった人々は相当苦勞されたと聞く。

放射性物質汚染による被害を受けた福島県を中心とする原発事故被災地では、長期にわたって営農再開のめどが立たない地域もあり、状況はより深刻であった。住民に対して避難指示が発せられた地域では、それまで日常的に行われていた農地管理作業が中断された。農地は殆ど管理されない状態で雑草が繁茂するなか、被災翌年からは作土の剥ぎ取りによる除染作業が本格化する。このような管理中断と表土剥ぎ

取り・客土が被災農地の雑草発生に及ぼした影響は大きい。

2. 2010年以降の問題雑草の変遷

(1) 主要雑草の変遷

植調協会は2015～2017年の3年に全国21か所の研究所、試験地の協力を得て、20道県で計1,665枚の水田を対象に雑草調査を行った（稲垣ら 未発表）。2001～2003年の3か年でのべ4,645枚の水田で実施された前回の調査（田中ら 2006）と同様に、水稻移植後40～60日頃に残存している雑草を草種毎に記録した。調査結果の詳細やデータは後日の公表に譲るが、出現頻度の上位草種については14年前の調査から目立った変化は無く、ノビエ、コナギ、ホタルイ類、オモダカが依然として上位を占めていたようだ。次項で述べるが、イヌホタルイ、オモダカ、コナギについては、近年、多様なバイオタイプの除草剤抵抗性が報告されている。これら草種の発生頻度が現在でも高く維持されている要因の一つかもしれない。

(2) 除草剤抵抗性雑草の多様性

SU抵抗性を獲得した雑草種の増加と発生面積の拡大にともない、2000年以降は各地で採取された抵抗性バイオタイプの遺伝子解析が進んだ。イヌホタルイにはALS遺伝子が2つあり（ALS1, ALS2）、SU抵抗性系統はそのどちらかに抵抗性を引き起こす変異があることが知られていたが、定らの研究グループはPro197, Asp376, Trp574が変異した様々な抵抗性バイオタイプが存在すること、それらを用いた研究によりどの変異部位がどのアミノ酸に変異するかによって感受性程度は異なること、さらにALS1とALS2のそれぞれの変異が感受性程度に及ぼす寄与の程度を明らかにした（Sada *et al.* 2012; 定 2014; Sada and Uchino 2017）。また、ALS1とALS2はそれぞれ独立に働き、変異した遺伝子の累積数に従って抵抗性程度が段階的に高まることも分かってきた（定 2017）。薄井ら（2017）は、実生を用いた簡易検定法により交差抵抗性を有するイヌホタルイの抵抗性バイオタイプの秋田県内での発生を確認している。大川ら（2019）は宮城県内においてSU抵抗性雑草の検定を行っ

たところ、24 のイヌホタルイ残存圃場のうち 9 圃場からのサンプルが新規 ALS 阻害剤にも抵抗性を示す交差抵抗性のイヌホタルイであることを確認している。この調査研究では、アゼナ類でも ALS 遺伝子の Trp574 がロイシンに変異していたバイオタイプも現場で見ついている。オモダカについては、秋田県において Pro197 が他のアミノ酸に変異した作用点抵抗性と ALS 遺伝子に抵抗性を引き起こすような変異が無い非作用点抵抗性の両タイプが存在し、SU 剤に対する反応が異なることが知られていた (内野ら 2004; Iwakami *et al.* 2014)。山形県において 2010 ~ 2013 年に県内 31 か所から採取したオモダカの抵抗性検定と遺伝子解析を行った結果、31 か所のうち 11 か所は Pro197 が他のアミノ酸に変異した作用点抵抗性、4 か所は Trp574 が変異した作用点抵抗性、8 か所は ALS 遺伝子に変異が無い非作用点抵抗性のバイオタイプが残存していた (松田ら 2017)。また、オモダカでも、イヌホタルイと同様に、ALS 遺伝子変異の累積によって抵抗性の程度が高まるとの研究結果が報告されている (太田・定 2020)。コナギでは 5 つの ALS 遺伝子が見つかり (ALS 1 ~ 5)、SU 抵抗性系統では ALS1 または ALS3 のどちらか一方に抵抗性を引き起こす変異が見られる (太田ら 2017; 岩上ら 2017)。その抵抗性形質は不完全優勢であり (太田ら 2018)、交雑により ALS1 と ALS3 の両方に抵抗性変異がホモ接合

として有する個体は、その両親系統よりも抵抗性程度が 4 ~ 5 倍程度高い (太田・定 2018)。

以上のように、一口に SU 抵抗性雑草と言っても、その範疇には遺伝子レベルで異なる様々なバイオタイプがあり、それぞれが ALS 阻害剤に対する反応を異にし、抵抗性変異の累積によって抵抗性程度が高まることもある。バイオタイプによっては新規 ALS 阻害剤にも交差抵抗性を示す場合があることも知られている。今後、現場の水田でどのような変異のバイオタイプが選抜され、今後増えるのか気になるところである。イヌホタルイでは Pro197, Asp376, Trp574 の置換を迅速に検出する手法が開発されている (Sada *et al.* 2013)。コナギでは市販の水稲除草剤を用いた簡易検定法が試みられ、単に抵抗性であるかどうかの検定にとどまらず検定雑草がどのような除草剤に抵抗性を示すバイオタイプなのかを検定できる (濱村・阿部 2020)。これらバイオタイプの検定法が様々な草種に適用できれば、それらの分布状況に応じた対策がさらに立てやすくなるだろう。

(3) ノビエにおける除草剤抵抗性バイオタイプの出現

イネと同じイネ科植物のノビエは、水稲作での選択的な防除が困難な強害雑草である。ヒエに有効な水稲除草剤に対してノビエが抵抗性を獲得すれば、ノビエ防除はさらに困難となる。全農おかやまと神戸大学のグルー

プは、ノビエに対するシハロホップブチルの不効が問題となっていた岡山県の乾田直播栽培のヒメタイヌビエとイヌビエ (有芒種) を対象に本剤に対する感受性を検討したところ、いずれもシハロホップブチル抵抗性バイオタイプであることが確認された (那須・吉永 2011; 伊藤ら 2011; 平山ら 2012)。シハロホップブチルに抵抗性を示したヒメタイヌビエ 2 系統のうち 1 系統は ALS 阻害剤であるペノキスラムやピリミノバックメチルにも抵抗性を示した。どちらの系統も ALS 遺伝子および ACCase 遺伝子に抵抗性を引き起こすような変異がみられなかったことから、非作用点抵抗性のバイオタイプである可能性が高いと考えられた (Iwakami *et al.* 2015, 岩上 2015a)。これら抵抗性ヒメタイヌビエ対策には、ブタクロール、ベンチオカーブおよびビスピリバックナトリウム塩が有効であることが確認されている。多剤抵抗性のメカニズムについては、米国カリフォルニアで採取されたタイヌビエ (*E. phyllopogon* = *oryzicola*) を材料に、除草剤の代謝に関与する P450 遺伝子の探索、同定が進められている (岩上 2015b; 須田ら 2018; Iwakami *et al.* 2019)。

(4) 移植栽培での雑草イネ

世界的には、雑草イネは水稲直播栽培での問題と認識されている。アメリカ合衆国、南米、オーストラリア、イタリアなど、大規模な水稲直播栽培が行われている国々では雑草イネ (英



図-3 移植水田で発生する雑草イネ

名：red rice) が重要雑草として扱われていた。一方で、季節的に多雨となるアジアモンスーン地域では大苗を深水水田に手植えする移植栽培が長らく行なわれていたが、周辺に自生する野生イネが水田内でもみられるものの、それが水稲作を脅かすほどにはなっていなかった。ところが、東南アジア諸国では、1980年代以降の経済発展を背景に、灌漑システムが整備された地域で移植栽培から直播栽培への転換が進むと、直ちに雑草イネが重要雑草として扱われるようになった。このことから、雑草イネを水稲直播栽培における脅威とする報告が多い(渡辺 1996; 渡辺 1999; Chin 2001; Kumar *et al.* 2017; Juliano *et al.* 2020)。長野県での雑草イネ(トウコン)の問題も、当初は乾田直播栽培の問題であり、1990年代以降は湛水直播栽培の普及とともに発生が拡大したとされている(酒井 2014)。

ところが、生産現場で収穫された玄米に赤米が混入していたとして、2007年から2012年までの6年間に中央農業総合研究センターにその赤米が雑草イネかどうかの鑑定依頼があったケースの多くは移植栽培の収穫物で



図-4 津波被災後1年で水稲作付けを再開した水田でイヌビエが多発

あった(渡辺 2014)。長野県でも直播栽培に限らず移植栽培で雑草イネが問題になっていることが報告されている(酒井 2014)。その後、中央農業研究センターは、これまで雑草イネ被害があった東北地域から近畿地域にかけての8県27地区(長野県を除く)を対象に、雑草イネ発生圃場の栽培履歴について聞き取り調査を実施した。それによると、過去に直播栽培の履歴があった地域はわずか3地区のみであり、特に2000年よりも古くから雑草イネを確認していた圃場では直播栽培の実施歴がなかった。すなわち、我が国の雑草イネの発生と直播栽培の実施歴の間には関係が無いことが示された(Imaizumi 2018)。この調査結果は、過去に直播栽培が実施されたかどうかに関わらず、現在問題になっていない場所を含めた広い地域において雑草イネ発生の潜在的な可能性があることを示している。移植栽培で雑草イネ(図-3)が大きな問題となっている背景には、水稲除草剤とその使用方法のイネに対する高い安全性によるところが大きい。雑草イネ対策に関しては、農研機構生研支援センターによる「イノベーション創出強化研究推進事業」として、農研機構、信州大学、宮城県、茨城県、長野県、茨城県、植調協会による共同研究プロジェクト「水稲直播栽培における雑草イネ・漏生イネの防除体系の確立と実用化(2016～2018年)」が実施された。その研



図-5 津波被災後1年で水稲作付けを再開した水田でクログワイが多発

究成果として「雑草イネ・漏生イネ防除技術マニュアル」が公表されている(農研機構 2019)。このマニュアルには、移植栽培と直播栽培の両方を対象にして、雑草イネ対策に有効とされる各種個別技術や田畑輪転換の効果ならびに防除体系の実証事例が掲載されている。水稲作付け前や収穫後といった不作付け期間に取り組む技術にも多くのページが割かれている。特に直播栽培では水稲生育中に利用できる有効除草剤等の防除手段が限られるため、不作付け期間中の対策による埋土種子の低減が重要となる。近年は栽培イネ(コシヒカリなど)と外見からは殆ど見分けがつかない雑草イネも発生している(細井ら 2013)。2019年から中央農業研究センターが中心となって農林水産省戦略プロジェクト研究「直播栽培拡大のための雑草イネ等難防除雑草の省力的防除技術の開発」が実施されている。

(5) 東日本大震災被災地における農地再生と植生遷移

震災後の早期再生を目的とした農林水産省による研究プロジェクトのなかで、震災による農地植生の破壊と回復の過程に関する調査が行われた(小林ら 2018)。宮城県名取市沿岸の津波被災地では、震災翌年の2012年から4年間にわたり、海岸から内陸まで東西5km南北2kmの被災水田地帯を被災程度の異なる5つのブロックに



図-6 復旧に3年を要した水田でコウキヤガラが多発（作付再開前の様子）

分け、被害の状況と復旧作業に伴う植生の変遷が調査された。1年だけの除塩作業で翌年から作付けを再開したブロックの雑草発生状況は、被害を受けなかった農地とほとんど違いは無く、水稲作ではノビエ、クログワイ、イヌホタルイ、大豆作ではオオイヌタデ、シロザ、アメリカセンダングサなど、一般的な水田雑草や畑雑草が優占していた（図-4、-5）。これに対して、被害が大きく復旧に2～4年の期間を要するブロックでは、ノビエの他にガマ類、サンカクイ、ヨシ、コウボウムギなど、海浜植物や水生または湿地植物が発生し、さらに沿岸に近いブロックでは耐塩性の高いコウキヤガラの多発が確認された（図-6）。作付け再開までの雑草管理には、津波被災農地に限って特例的に使用が認められたラジコンヘリによる非選択性除草剤の低水量散布が一部で行われるなど、農地再生後の作付けの支障となる雑草繁茂と埋土種子の蓄積をかなり防ぐことができたようである。被災程度が大きかったブロックでも、作付けが再開されるとノビエやコウキヤガラの発生が多い傾向があるものの、被災地では防除対策がよく指導されていたこともあり（大川・北川 2014）、大きな問題には至っていない。作付けの再開により、雑草植生は比較的早く本来の姿に戻るようであった。水田畦畔は復旧過程で必要な除塩作業を行うために用排水路



図-7 津波被災地の復旧後の大豆作でアレチウリが多発

とともに優先して整備されたが、こちらも従前のような作付けと畦畔管理を行うことによって畦畔植生も比較的早く回復することが確認された。また、被災地では特定外来生物のアレチウリが被災地に点在していた（図-7）。復旧作業のために多くの重機が地域全体を動き回っていたことが、侵入雑草の拡散に影響していたかもしれない。一方で、津波で削られた低湿体耕地には、ヒメシロアサザ、ミクリ、ミズオオバコ、ミズアオイといった水田では希少種とされるものも生育していた。その地域にもともと存在していた植生が、大きな自然攪乱によって私たちの前に現れたものであろう。

福島県原発事故の被災地ではそれまで日常的に行われていた管理作業が中断され、畑では主にシロザ、ヒユ類、メヒシバ、イヌビエなど、入水されない水田ではノビエやタデ類など、被災前に発生していた一般的な耕地雑草（一年草）がまず繁茂した。2年目以降も管理されない状態が続くと、畑ではヒメムカシヨモギ、セイタカアワダチソウ、ヨモギ、スギナ、水田ではヨシやガマなどが侵入し、二年草や多年草への植生遷移が見られた。除染のための表土剥ぎ取りと客土が行われると繁茂していた雑草はいったん取り除かれるが、除染が行われない農地は植生遷移がさらに進み、畑地はチカラシバ、カモガヤ、ヒナタイノコヅチなどの陸

生の多年草、湿地ではイグサ属の植物やヨシなどの多年草やヤナギ類の木本が生育する群落となる。除染までの放置期間が長くなると大型化した多年草や木本類により表土剥ぎ取り作業そのものが困難になり、除染後に土中下層に残った繁殖体からすぐに雑草が発生する。以上の調査結果から、営農再開までは植生遷移が進まないよう管理することが重要と考えられた。小林ら（2018）は、植生調査で得られた教訓として、「管理の手が緩むことは、後日、大きなコストとして戻ってくる」、「予期しない大きな攪乱が加えられたとしても、残された埋土種子集団や他所からの移入によって雑草群落は早期に再生する」という2点を述べている。近年、豪雨や地震などの自然攪乱により、毎年のように日本のどこかで農地の破壊が起こっている。東日本大震災後の農地再生の取り組みが、今後起こり得る災害の現場で活かされることを期待したい。

(6) 農業用水利施設での外来植物の繁茂

外来雑草問題は家畜飼料に混じって我が国に入り込む飼料作や畑作での報告が多いが、水田にも多くの外来雑草が侵入している。アメリカアゼナ、アメリカセンダングサ、キシウスズメノヒエのように、既に広い地域に定着し、ごく普通の一般的な防除対象として認識されている草種もあれば、温暖地以西のショクヨウガヤツリ、ウキアゼナ、アメリカコナギ、ナガボノウル



図-8 農業用水路で繁茂するブラジルチドメグサ



図-9 印旛沼地域ではナガエツルノゲイトウが水田内に侵入



図-10 霞ヶ浦に注ぐ新利根川の川岸で繁茂するミズヒマワリ

シといった現時点では一部地域での特殊雑草として扱われるものもある。国立環境研究所が公開している侵入生物データベースによると、水田や水辺の外來植物は観賞用として輸入された水草がその後投棄され、湖沼や河川で定着、繁殖したものが多い（五箇2017）。外來の水生植物の中でも特に繁殖力が旺盛で侵略性が強く、湖沼等の在來種を駆逐し生物多様性や水辺生態系さらには治水にも悪影響を及ぼす恐れのある外來種が特定外來生物に指定されている。ナガエツルノゲイトウ（1989年兵庫県で定着）、ブラジルチドメグサ（図-8、1998年頃九州で確認）、ボタンウキクサ（1920年代に沖縄・小笠原に導入、関東以西では1990年代から広がる）、アブラクリスタータ（アメリカオオアカウキクサ、1990年頃から利用が広がる）、ミズヒマワリ（1995年に愛知県で確認）、オオフサモ（1920年頃に導入、兵庫県で野生化）、オオバナミズキンバイ（2007年に兵庫県で確認）などである。このなかで、ナガエツルノゲイトウ、ボタンウキクサ、オオフサモ等は用水路等で繁茂すると水流を妨げることから、農業灌漑システムの機能を損なうことにより間接的に水稻作に被害をもたらす雑草である。

ナガエツルノゲイトウについては、農研機構農村工学研究部門が中心となって千葉県印旛沼地域（北沼、西沼）

における分布拡大と被害の実態調査が進められている（嶺田2019）。それによると、1990年に西沼に流入する鹿島川の支流の岸辺に初めて発生が確認されてから10年後の2000年頃までに西沼周辺河川や水路への侵入がみられ、2005年には水田への侵入や北沼でも確認され（図-9）、現在では両沼への流出入河川のすべてで定着している。印旛沼地域においてナガエツルノゲイトウが急速に分布拡大した要因として、当地域で採用されている循環灌漑システムを本種がうまく利用していると考えられた。灌漑水を通じて農地に侵入したナガエツルノゲイトウは畦畔や休耕田でも繁殖し、その栄養茎が排水を通じて再び水利施設に戻るといった悪循環を繰り返しているのである。排水機場に引き寄せられた群落は重機による除去作業が行われるが、その後の処分費を含めると毎回約300万円もの経費がかかるとのこと。植調協会研究所竜ヶ崎圃場の近くを流れる新利根川でもナガエツルノゲイトウ、ミズヒマワリ（図-10）、オオフサモが繁茂している。ナガエツルノゲイトウは川岸から中央に向かって繁茂し、浮遊した塊が浮島になっているところもある（図-11）。2019年度から農林水産省戦略プロジェクト「野生鳥獣及び病虫害等被害対応技術の開発（農業被害をもたらす侵略的外來種の管理技術の開発）」により、本種の省力管理



図-11 繁茂しながら浮遊し浮島になったナガエツルノゲイトウとミズヒマワリの混合群落

と被害軽減のための技術開発が進められている。

おわりに

これまで3報に分けて過去30年における水稻作の雑草問題を考えてきた。振り返ってみると、あらためて雑草は人間による管理に対応するように変遷してきたことがわかる。難防除多年生雑草、畦畔から侵入する雑草、除草剤抵抗性雑草、雑草イネ、これらはいずれも私たちが採用してきた雑草防除や農地管理により選抜されてきた雑草たちである。東日本大震災により農地が大きな攪乱を受けたにもかかわらず、営農の再開により思っていたよりも早く元の植生に回復するとの報告もある。目に見える土壌表面の種組成（あるいは作土層の埋土種子集団を含めての雑草種構成と言った方が良いかもしれない）、それは人間の管理により

たやすく矯正されるのである。一方で、大津波で削り取られた土層から最近の農耕地ではほとんど見られなくなった希少種が現れたように、短いスパンでは容易には変わらない植物の世界もあるようだ。最後に触れた農業用水利施設に繁茂する外来雑草は比較的短い期間で在来種を駆逐する勢いがあるが、もう少し長期的な視点に立てばどのように見えるだろう。

雑草管理のなかで除草剤が果たしてきた役割は極めて大きく、将来の農業においても除草剤が不可欠であることに変わりはない。これまでそうだったように、新しい除草剤はこれまでになかった新しい雑草管理法を生み出すなど、将来の水田農業を支える画期的な技術開発の材料として、今後も有効に利用されるだろう。適切な除草剤使用と雑草管理により水田が守られ、豊かな自然のなかで私たちの食料が永続的に生産されることを願いながら、これからも人間の振舞いと雑草との関係を見つめていきたい。最後にお詫びになってしまうが、過去30年の水田雑草の問題について参考文献を頼りに漏らさず記載しようと努めたが、力及ばず全てを網羅することができなかった。著者が関与してきたトピックスに偏った内容になってしまったこと、何卒ご容赦いただきたい。

参考文献

Chin, D.V. 2001. Biology and management of barnyardgrass, red sprangletop and weedy rice. *Weed Biology and Management* 1(1), 37-41.

五箇公一 2017更新. 侵入生物データベース. 国立環境研究所ポータルサイト <http://www.nies.go.jp/biodiversity/invasive/>.
 濱村謙史朗 2020. 水稲作における過去30年間の雑草および薬剤作用機構の変遷—除草剤作用機作の変遷—. *植調* 53(11), 2-10.
 濱村謙史朗・阿部秀俊 2020. 市販の水稲用除草剤を用いた発根法によるスルホニルウレア系除草剤抵抗性コナギ (*Monochoria vaginalis* (Burm. Fil.) Presl var. *plantaginea* (Roxb.) Solms-Laub.) の簡易検定. *雑草研究* 65(1), 1-4.
 原嘉隆 2019. 水稲湛水直播のためのべんモリ種子被覆とその播種及び栽培技術. *植調* 53(4), 104-113.
 平山智士ら 2012. 岡山市の水稲乾田直播地帯におけるシハロホップチル抵抗性イヌビエ有芒種とヒメタイヌビエの分布. *雑草研究* 57(別), 127.
 星信幸・遊佐隆洋 2012. 宮城県における津波による水田への影響と除塩. *日本海水学会誌* 66(2), 74-78.
 細井淳ら 2013. 新規バイオタイプに区分された雑草イネの生理形態的特徴. *日作紀* 82(別), 208-209.
 Iwakami, S. *et al.* 2018. Weedy rice represents an emerging threat to transplanted rice production systems in Japan. *Weed Biology and Management* 18(2), 99-102.
 伊藤一幸ら 2011. 岡山県西大寺の乾田直播地帯でシハロホップチル抵抗性ヒメタイヌビエの出現. *雑草研究* 56(別), 13.
 Iwakami, S. *et al.* 2014. Occurrence of sulfonylurea resistance in *Sagittaria trifolia*, a basal monocot species, based on target-site and non-target-site resistance. *Weed Biology and Management* 14(1), 43-49.
 Iwakami, S. *et al.* 2015. Multiple-resistance in *Echinochloa crus-galli* var. *formosensis*, an allohexaploid weed species, in dry-seeded rice. *Pestic. Biochem. Physiol.* 119, 1-8.
 岩上哲史 2015a. 数種水田雑草における除草剤非作用点抵抗性の分子機構に関する研

究. *雑草研究* 60(4), 169-173.
 岩上哲史 2015b. 多剤抵抗性タイヌビエの除草剤抵抗性メカニズム. *植調* 48(11), 425-430.
 岩上哲史ら 2017. コナギおよびミズアオイにおける ALS 遺伝子の単離およびペンスルフロンメチル抵抗性機構の解析. *日本雑草学会第56回大会講演要旨集*, 93.
 Iwakami, S. *et al.* 2019. CYP81A P450s are involved in concomitant cross-resistance to ALS and ACCase herbicides in *Echinochloa phyllopogon*. *New Phytologist* 221(4) 2112-2122, doi: 10.1111/nph.15552.
 Juliano, L.M. *et al.* 2020. Weedy rice: An expanding problem in direct-seeded rice in the Philippines. *Weed Biology and Management* 20(2), 27-37.
 小林浩幸ら 2018. 攪乱と雑草—津波と原発事故に伴う大規模攪乱のもとで. *雑草学入門* (山口裕文ら編). 講談社, 114-127.
 小山豊 2019. 水田における問題雑草の生態特性と問題雑草一発処理剤の効果的な使い方. *植調* 53(2), 34-41.
 Kumar, V. *et al.* 2017. Rice weed management in Southeast Asia. In “Weed Management In Rice” edited by Rao, A. N. and Matsumoto, H., Asian-Pacific Weed Science Society, 282-307.
 松田晃ら 2017. 山形県に発生した除草剤抵抗性オモダカの遺伝変異と各種除草剤成分に対する応応. *雑草研究* 62(3), 117-125.
 嶺田拓也 2019. 千葉県印旛沼の循環灌漑地域におけるナガエツルノゲイトウ分布の現状と防除に向けた課題. *植調* 53(7), 193-197.
 那須英夫・吉永京司 2011. 水稲直播水田におけるシハロホップチル抵抗性ヒメタイヌビエの発生. *雑草研究* 56(別), 12.
 農研機構 2019. 雑草イネ・漏生イネ防除技術マニュアル. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/zassouinemanual20190529.pdf.
 農研機構九州沖縄農業研究センター 2019. 水稲べんモリ直播マニュアル. http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/

- publication/files/benmoly_manual.pdf
 農林水産省 2012. 平成 23 年度食料・農業・農村白書.
- 農林水産省 2019. 令和元年度食料・農業・農村白書.
- 農林水産省 2020. 水稲の直播栽培面積について. 水稲直播研究会誌 43, 123-124.
- 大川茂範・北川誉紘 2014. 津波被災後復旧田の水稲作における省力的なコウキヤガラの防除対策. 平成 26 年度東北農業研究成果情報. 農研機構ホームページ <https://www.naro.affrc.go.jp/org/tarc/seika/jyouhou/H26/suitou/H26suitou009.html>
- 大川茂範ら 2019. 宮城県の水稲作圃場における ALS 阻害剤交差抵抗性雑草の発生状況と対策除草剤の防除効果. 日本雑草学会第 58 回大会講演要旨集, 39.
- 太田健介ら 2017. SU 剤抵抗性のコナギおよびミズアオイのイマゾスルフロンに対する薬量応答. 日本雑草学会第 56 回大会講演要旨集, 49.
- 太田健介ら 2018. コナギにおける SU 抵抗性の遺伝様式. 日本雑草学会第 57 回大会講演要旨集, 34.
- 太田健介・定由直 2018. 2 つの ALS に抵抗性変異を有するコナギの薬量応答. 日本雑草学会第 57 回大会講演要旨集, 35.
- 太田健介・定由直 2020. SU 抵抗性オモダカ実生における変異 ALS アレルの累積効果. 日本雑草学会第 59 回大会講演要旨集, 57.
- Sada *et al.* 2012. Varied occurrence of diverse sulfonylurea-resistant biotypes of *Schoenoplectus juncooides* [Roxb.] Palla in Japan, as classified by an acetolactate synthase gene mutation. *Weed Biology and Management* 12, 168-176.
- Sada *et al.* 2013. 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* 13, 1-9.
- 定由直 2014. スルホニルウレア抵抗性イヌホタルイの ALS における作用点変異の多様性と交差抵抗性. 植調 48(6), 186-191.
- 定由直 2017. SU 抵抗性イヌホタルイにおける変異 ALS 遺伝子の累積効果. 日本雑草学会第 56 回大会講演要旨集, 48.
- Sada, Y. and A. Uchino 2017. Biology and mechanisms of sulfonylurea resistance in *Schoenoplectiella juncooides*, a noxious sedge in the rice paddy fields of Japan. *Weed Biology and Management* 17, 125-135.
- 酒井長雄 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.
- 澤本和徳ら 2019. 石川県における育苗箱に高密度に播種した水稲稚苗の形質および本田での生育・収量・玄米品質. 日作紀 88(1), 27-40.
- 須田宏栄ら 2018. 多剤抵抗性タイヌビエにおけるジクロホップメチル抵抗性に関与する新規 P450 遺伝子の探索. 日本雑草学会第 57 回大会講演要旨集, 129.
- 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.
- 内野彰ら 2004. イヌホタルイおよびオモダカのアセト乳酸合成酵素遺伝子の構造とスルホニルウレア系除草剤抵抗性バイオタイプにおけるその変異. 雑草研究 49(別), 58-59.
- Umetsu and Shirai 2020. Development of novel pesticides in the 21st century. *J. Pestic. Sci.* 45(2), 54-75.
- 薄井雄太ら 2017. イヌホタルイ (*Schoenoplectus juncooides*) 実生の除草剤反応を利用したアセト乳酸合成酵素 (ALS) 阻害剤抵抗性の簡易検定法とその利用による秋田県の発生実態調査. 雑草研究 62(3), 126-133.
- 渡辺寛明 1996. マレーシアのかんがい水田地区における最近の雑草問題. 植調 30(10), 349-356.
- 渡辺寛明 1999. ベトナム南部の水田地帯における雑草防除と雑草イネの発生状況—Long An 県と Binh Thuan 県での調査結果—. 植調 33(8), 325-331.
- 渡辺寛明 2014. 雑草イネ—発生と被害の現状と課題—. 植調 48(9), 305-312.
- 横山昌雄 2017. 第 4 世代の一発処理剤「問題雑草—発処理剤」. 植調 51(3), 75-80.