

国内に発生する雑草イネの現状と今後の課題

農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業総合研究センター
雑草バイオタイプ・総合防除研究チーム 牛木 純

1. 雑草イネとはどんな植物か？

雑草は概して2つの視点から定義される。一つは「望まれないところに生える植物」などの人間側の価値判断からの定義、もう一つは「しばしば攪乱される場所に適応する植物」などの植物の側からの定義である(伊藤 1993)。後者の特性、いわゆる雑草性は、生き残るための様々な戦略を意味する。具体的には種子の休眠性、埋土種子の長い寿命、脱粒等の種子散布機構などがその例として挙げられる。さらにこれらの適応戦略は遺伝的変異と表現型の可塑性によって補強されている。

一方、雑草の起源は1) 自然の先駆種が農耕地に適応したもの、2) 栽培種と近縁野生種の交雑によって生じたもの、3) 栽培種の逸脱によるもの、などが考えられており、植物の栽培化と密接な関係にある(De Wet and Harlan 1975, 湯・森島 1997)。こうして生じた雑草は、a) 農業などの人間の活動に大きく依存しながら、あるいはb) ほとんど依存せずに自生することによって農耕地およびその周辺に定着している。前者の一例が随伴雑草とよばれる植物である。随伴雑草は、形態、生育周期などが作物と似ているために、除草が困難である点で特徴的な雑草である。随伴雑草の例としては、稲作におけるタイヌビエ(*Echinochloa oryzicola*)や麦作におけるカラスムギ(*Avena fatua*)など

があげられるが、栽培化された作物と同種でありながら上記の1)~3)のような起源によって生じ、望まれない植物として農耕地に適応する、いわば「雑草化した作物」も代表的な随伴雑草である。

雑草イネ(weedy/red rice)は典型的な随伴雑草の一つであり、大きく分けて以下の3つのグループ、①種子が赤色等を帯びるred rice、②栽培種の雑草化によるvolunteer rice、③多種のイネ属植物を含むwild riceに総称される(竹松・一前 1997)。雑草イネの分布域は栽培イネの分布域とほぼ等しく、アジア、南北アメリカ、ヨーロッパ、アフリカ、オセアニア等ほとんどすべての大陸におよぶ(LeRoy Holm *et al.* 1997, Labrada 2002)。特に、ブラジル、アメリカ、イタリア、マレーシア、韓国など、水稻直播栽培を行っている国において発生が深刻である(芝谷・林 1993, 森田 1998, Noldin 1999, Choi 2000, Watanabe 2000, Gealy 2002)。

雑草イネの営農上の問題点は以下のように要約される。

- i) 雑草イネは栽培イネに紛れて生育し、光と養分の競合、あるいは収穫物への混入によって、栽培イネの収量と品質を低下させる。アメリカにおいては、雑草イネによる年間の被害総額は5千万ドルにおよぶと推定されている(Gealy 2002)。

ii) 雑草イネは他の水田雑草に比べて防除が困難である。一般的に水田雑草は除草剤あるいは物理的な除草作業によって防除されるが、雑草イネは栽培イネと同種であるため、除草剤の作用を受けにくいという、出穂に至るまで識別が難しいことから、効果的な防除が困難となっている。

iii) 雑草イネは栽培イネと交雑可能であるという特徴をもつ。イネは自殖植物であるが、条件によって一定の確率（通常は1%以下）で他殖する。具体的には、2002年から米国アーカンソー州において栽培されている除草剤抵抗性イネと雑草イネが交雑することにより、雑草イネが除草剤抵抗性を獲得する現象が圃場条件下で確認され、問題となっている（Burgos 2003）。

2. 日本に発生する雑草イネ

日本国内においては、雑草イネは、上記の①に該当する雑草性を有する赤米、あるいは②に該当する漏生による混種などの問題として認識されているが、③のような野生イネの存在は国内では確認されていない。歴史的にみれば、このような雑草イネの認識は明治時代以降浸透したと考えられる。それ以前においては、雑草イネと栽培イネの区別は必ずしも判然とせず、「とぼし」あるいは「こぼれ」と呼ばれる有色米あるいは脱粒性の強い在来種が各地で栽培されていた（嵐 1974）。しかし、明治以降、固定系統としての品種の確立と米の厳密な等級化によって、赤米などの異物混入が品質の劣化として強く意識されるようになり、全国的に駆除が徹底されるようになった。現時点で国内において雑草イネの発生が明らかとなっている地域は、白米の雑草イネが発生する岡山県（石井・赤澤 2003）と赤米の雑草イネが発生する長野県（酒井・齊

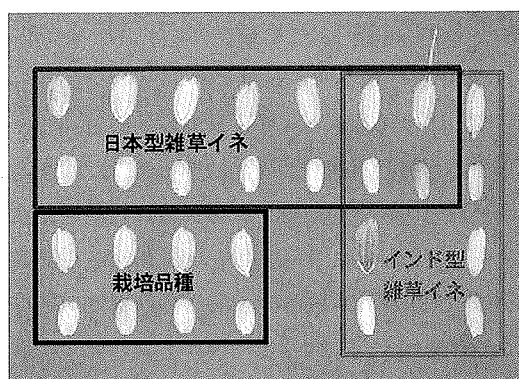
藤 2003）に限られている。

1) 岡山県に発生する雑草イネ

岡山県は1940年代から乾田直播栽培を行ってきた水稻直播栽培の先進地域であり、県南部の干拓地域を中心に約2,800haの直播栽培面積をもち、全国の直播栽培面積の約20%を占める（平成16年農林水産省統計）。この直播栽培を行う一部地域で、1980年代中頃から籾が著しく自然脱粒するイネ、すなわち雑草イネの発生が問題視されるようになってきている（石井・赤澤 2003）。歴史的にみると、岡山県では初期の直播栽培法である麦間直播が行われていた頃から、自然脱粒を起こす雑草イネが発生していたことが記録されている（定金 1952）。その後、1955年頃から耕起乾田直播が、1960年頃から不耕起乾田直播が行われてきたが、雑草イネの発生は特に問題視されていなかった。しかし1980年代中頃から、10～30年継続した耕起乾田直播水田、あるいは3～4年継続した不耕起乾田直播水田において、雑草イネの著しい発生が報告されるようになった。雑草イネの発生程度は地域によって異なるが、坪刈りした全穂数に対する雑草イネの穂数の割合が35.9%、㎡あたり約2万粒の籾が田面に落下していた地域も報告されている（石井・赤澤 2003）。現在は、播種時期を遅らせ非選択性除草剤を散布する、あるいは移植栽培や畑作に切り替えるなどの対策によって、雑草イネの発生は沈静化しているが、今後の動向に注意が必要である。以下、著者と共同研究者のこれまでの調査（牛木ら 2005）から明らかとなった、日本型およびインド型の雑草イネについて紹介する。

<日本型雑草イネ>

岡山県に発生する日本型雑草イネの特徴は、採取された圃場で栽培されていた品種に、出穂



図－１ 岡山県に発生した日本型およびインド型雑草イネと主な栽培品種の籾と玄米の比較
栽培品種は左からアケボノ、朝日、コシヒカリ、日本晴

期や稈長などの生理形態が極めて似ていることである。圃場における観察では、栽培品種と雑草イネは出穂直後まで見分けることができず、雑草イネの籾が登熟して自然脱粒することによって軽くなった穂が起きあがり、初めて両者を見分けることができる。また、雑草イネの籾色や玄米色も一般の栽培品種とほぼ同じであり、脱粒した籾あるいは玄米が栽培品種の収穫物に混入しても全く見分けがつかない(図－１)。これらの雑草イネは岡山市を中心とした半径約10 kmの範囲にパッチ状に発生しており、次に述べるインド型雑草イネよりも分布範囲は広い(牛木ら 2005)。

各種分子マーカーによって解析した結果、これら日本型雑草イネと上記の栽培品種は生理形態だけでなく遺伝的にもほとんど違いが見られなかった(赤坂ら 2006)。すなわち雑草イネと栽培品種は極めて類縁性が高いことから、これらの雑草イネの起源は栽培品種から逸脱した異型(off type)であると推定される。例えば、最も広く分布する日本型雑草イネは栽培品種アケボノに酷似しているが、これはアケボノが長年にわたり岡山県で最も一般的な栽培品種であっ

たことを反映していると考えられる。この他、雑草イネの起源と推定される栽培品種(アケボノ、朝日、雄町)に共通する特徴は、近年Konishiら(2006)によって単離された脱粒性遺伝子 $qSH1$ が機能型であることである(赤坂・牛木 2007)。 $qSH1$ は籾基部の離層形成に必要な遺伝子であり、コシヒカリや日本晴などの国内の栽培品種は $qSH1$ が非機能型で、離層が形成されず難脱粒性(難脱穀性)あるのに対し、上記の栽培品種アケボノ、朝日、雄町およびそれらに対応する雑草イネは全て $qSH1$ が機能型で、離層が形成されるため易脱粒性(易脱穀性)である。ただし、これらの栽培品種は自然脱粒はせず、自然脱粒する雑草イネや野生イネとは脱粒程度が明らかに異なる。なお、近年野生イネから単離された別の脱粒性遺伝子 $sh4$ (Li et al. 2006)は、上記の栽培イネ、雑草イネともに非機能型であり(赤坂・牛木 2007)、これらの脱粒性の違いには関与していない。このように、日本型栽培品種からの「雑草化」を引き起こす脱粒性遺伝子は未だ明らかになっておらず、今後の研究課題として残されている。

＜インド型雑草イネ＞

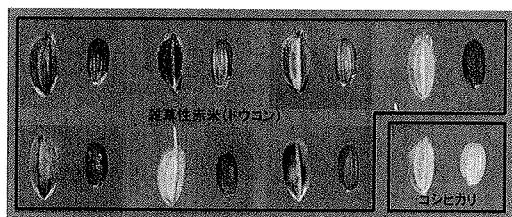
岡山県に発生するインド型雑草イネの特徴は、上記の日本型雑草イネとは逆に、栽培品種と生理形態が著しく異なることである(牛木ら 2005)。具体的には草型が極めて短稈(約50cm)あるいは極めて長稈(約130cm)であり、一部の系統の籾は目立つ黒灰色を帯びていることから、発生圃場で容易に識別することができる。玄米は日本型雑草イネと同じく白色であるがやや褐色を帯びる系統もあり、中～長粒であることから、栽培品種に混入した場合でも識別は可能である(図－１)。日本型雑草イネに比べると自然脱粒する籾の割合は少ないが、長

稈の雑草イネは倒伏することにより、短稈の雑草イネは穂がコンパインの脱穀にかからず、藁とともに圃場に排出されることにより、種子散布が行われていると考えられている（石井・赤澤 2003）。これまでの調査では、インド型雑草イネの発生は岡山市南部の半径1～2kmの地域に限られている（牛木ら 2005）。

インド型雑草イネはその生理形態が多様であるだけでなく、アイソザイム分析から複数のヘテロ型アイソザイムが確認されており、日本型雑草イネよりも遺伝的多様性は高い（牛木ら 2004）。一部の系統はインド型と日本型の中間的な性質を持ち、日印交雑の後代である可能性がある。また長稈のインド型雑草イネは日本の在来系統には確認されていない（Ishikawa *et al.* 2002）特異的な *Sdh1-1* 型を持っていた（Ushiki *et al.* 2004）。一方、短稈のインド型雑草イネはその草丈の低さから IR 系統などに導入されている半矮性遺伝子 *sd1* を持つと考えられる。このようにインド型雑草イネは日本型雑草イネに比べると複雑な遺伝的背景を持ち、その起源は不明であるが、これらの特徴的な遺伝子型がその解明の手がかりとなることが期待される。

2) 長野県に発生する雑草イネ

長野県では1960～70年代に善光寺平（更埴市から長野市篠ノ井、川中島、旧長野市の千曲川流域の平坦地）において、乾田直播栽培が1000ha以上普及していたが、この地域を中心に「トウコン」と呼ばれる雑草性の赤米が発生し、大きな問題となった（柳島 1965、宮島・高橋 1974）。その後、田植機の普及等によって乾田直播栽培は減少し、トウコンの発生も一時終息したが、1990年代以降、県内各地における湛水直播栽培の普及に伴い、再びトウコンの発生



図－2 長野県に発生した雑草性赤米（トウコン）とコシヒカリの籾と玄米の比較

が問題となりはじめた（酒井・斉藤 2003）。現在は県北部を中心に全県的に発生が拡大しつつあり、抜本的な対策が求められている。

長野県に発生するトウコンは、岡山県の雑草イネと同様に著しく自然脱粒するが、それによる収量の低下よりも、脱粒せずに穂に残った籾が栽培イネの収穫物に混入することによる品質や価格の低下が深刻な問題となる。出穂前までは圃場の栽培イネ（通常はコシヒカリ）と見分けることは困難だが、出穂後は稈長が数10cm高く、赤いふ先色や芒を持つ系統が多いことから、容易に見分けることができる。収穫時の玄米色は全て赤褐色でやや長粒（長幅比で2.0～2.1）で、籾は黒褐色、紫、通常の藁色など多様である（図－2）。これまでに収集した1970年代および2002年以降のトウコンについて調査した結果、全てのトウコンは日本型に判別された（Ushiki *et al.* 2004）。また、生理形態的特徴から類型化した結果、これらのトウコンには少なくとも7つのタイプが存在し（図－2）、2002年の主なトウコンの特徴を1970年代のそれと比較すると、自然脱粒性はほとんど同程度であるが、出穂が早く、草丈が短く、休眠性が深くなる傾向にあった（Ushiki *et al.* 2004）。すなわち、早期に出穂・脱粒し、埋土種子を蓄積する能力と、短稈で圃場内では見つかりにくい草型を兼ね備えた、より防除しがたい赤米が近年広がっている可能性が示唆される。

3. おわりに

現在、岡山県・長野県の両県においては、直播栽培水田における雑草イネの対策として有効な除草剤およびその使用方法について検討を続けているが、依然として移植への切り替えや手取り除草を余儀なくされている地域が少なくない。直播栽培を行う主な理由は、農家の高齢化等に伴う労働力不足の解消や、規模拡大による生産コストの低減をねらいとしていることから、現場においては直播栽培でも雑草イネに有効な除草剤処理体系の確立が求められている。海外(ex. アメリカ)においては、除草剤抵抗性イネの導入により、雑草イネを効果的に防除している事例もあるが、交雑による雑草イネへの除草剤抵抗性能力の付与を招くことが懸念されている(Burgos 2004)。一方、国内においては、減少し続ける米の消費量と拡大する米輸入のを背景に生産調整が続けられるなか、従来のイネ品種とは異なる有色米(赤米、紫黒米等)や飼料用イネなどの新規用途向けのイネ品種の栽培が拡大しつつある(農林水産技術会議 2003)。これらのイネについては、収穫時の脱粒粒からの漏生、あるいは一般品種への有色米の混入などが懸念されているが、これまでのところ「雑草化」は確認されていない。しかしながら、大規模化、低コスト化、省力化の流れの中で粗放的な管理が継続されれば逸脱する可能性は残されており、今後も栽培管理には十分な注意が必要である。現在国内に発生している雑草イネの事例が、このような社会的、技術的背景のなかで多様化するイネの栽培管理に示唆を与え、新たに生じる問題の解決に役立つことを期待している。

参考文献

赤坂舞子・牛木 純・岩田洋佳・石井俊雄

(2006) イネ品種判別用 STS マーカーによる岡山県に発生した雑草イネと栽培品種の類縁性の解析, 育種学研究, 8 (別 1), 270.

赤坂舞子・牛木 純 (2007) 国内で発生する雑草イネの自然脱粒様式への脱粒性遺伝子 *qSH1* および *qSH4* の関与について, 育種学研究, 9 (別 1), 282.

嵐 嘉一(1974)「日本赤米考」, 雄山閣, 東京, pp.295
Burgos, N.R., V.K. Shivrain, M.M. Anders, O.C. Sparks, and S.N. Rajguru (2004)

Hybridization Between Clearfield® Rice and Red Rice Under Field Conditions, In "Rice Research Studies 2003", R.J. Norman, J.F. Meullenet, and K.A.K. Moldenhauer eds., Arkansas Agriculture Experiment Station, Fayetteville, 517, 103-109.

Choi, H.C. (2000) Ecology and Agronomical Variation of Korean Weedy Rice Accessions, In Proceedings of International Workshop on "Biology and Management of Noxious Weeds for Sustainable and Labor Saving Rice Production", Tsukuba, 22-39.

De Wet JMJ and Harlan JR. (1975) Weeds and domesticates: evolution in the man-made habitat, Econ. Bot., 29, 99-107.

Gealy, D.R., T.H. Tai, C.H. Sneller (2002) Identification of red rice and hybrid populations using microsatellite markers, Weed Science, 50, 333-339.

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, 日本雑草学会代 18 回シンポジウム講演要旨, 7-16.

Ishikawa R., I. Nakamura, T. Nishihara, M. Kikuchi, M. Senda, S. Akada, T. Harada, M. Niizeki (2002) Origin of cytoplasm

- substituted rice cultivars found in Japan. *Theor. Appl. Genet.*, 104, 1086-1091.
- 伊藤操子 (1993) 雑草の概念と起源, 「雑草学総論」, 養賢堂, 東京, 13-19.
- Konishi, S., T. Izawa, S.Y.Lin, K. Ebana, Y. Fukuta, T. Sasaki and M. Yano (2006) An SNP caused loss of seed shattering during rice domestication, *Science*, 312, 1392-1396.
- Li C., A. Zhou, T. Sang (2006) Rice domestication by reducing shattering, *Science*, 311, 1936-1939.
- LeRoy Holm, Jerry Doll, Eric Holm, Juan Pancho, James Herberger (1997) THE WILD RICES, In "WORLD WEEDS: Natural Histories and Distribution", John Wiley & Sons, Inc., New York, 531-547.
- 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, 453-455.
- 森田弘彦 (1998) イタリアとハンガリーにおける直播稲作の雑草の種類と雑草問題, *植調*, 32, 85-93.
- Noldin, J.A. and T. Cobucci (1999) Red Rice Infestation and Management in Brazil, In Report of "Global Workshop on Red rice control", FAO, Rome, 9-12.
- Labrada, R. (2002) Chapter II. Major weed problems in rice - red/weedy rice and the *Echinochloa* complex, In "FAO Rice Information, Volume 3", Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, pp.226.
- 農林水産技術会議 (2003) 「新たな用途を目指したイネの研究開発」 農林水産研究開発レポート No.6, 農林水産技術会議監修, 1-14.
- 定金 章 (1952) 水稻の栽培技術に関する研究, *農学研究*, 40 (4), 179-190.
- 酒井長雄・斉藤 実 (2003) 長野県における雑草イネの発生状況と防除法, 日本雑草学会代18回シンポジウム講演要旨, 1-6.
- 芝谷得郎・林 伸英 (1993) ブラジルの水稻栽培と雑草防除, *植調*, 27, 334-341.
- 竹松哲夫・一前宣正 (1997) 世界の雑草—单子葉類—, 全国農村教育協会, 東京, 687-681.
- 湯 陵華, 森島啓子 (1997) 雑草イネの遺伝的特性とその起源に関する考察, *育雑*, 47, 153-160.
- 牛木 純・石井俊雄・石川隆二 (2005) 岡山県に発生した日本型およびインド型雑草イネの生理・形態的形質と分布の特徴, *育種学研究*, 7, 179-187.
- 牛木 純・石川隆二・石井俊雄 (2004) 岡山県に発生した日本型およびインド型雑草イネの遺伝的多様性, *育種学研究*, 6 (別1), 186.
- Ushiki, J., R. Ishikawa, T. Ishii, M. Tezuka, and N. Sakai (2004) Genetic polymorphism and possible origin of weedy rice strains found in Japan, WSSA Abstracts 2004 Meeting of the Weed Science Society of America, 44, 14.
- Watanabe, H., Azmi M., and Md. Zuki I. (1996) Ecology of weedy rice (*Oryza sativa* L., locally called Pdi angin) and its control, In "Ecology of Major Weeds and Their Control in Direct Seeding Rice Culture of Malaysia", MARDI / MADA / JIRCAS, Seberang Perai / Kedah / Tsukuba, 112-166.
- 柳島純雄 (1965) 雑草的立場から見た赤米(トウコン)の越冬と出芽について, *雑草研究* 4, 67-70.