

特集：スクミリンゴガイ研究の進展状況と防除技術の展望

天敵相を活性化して外来種を制御する： スクミリンゴガイに対する新たな管理法の試み

奈良女子大学 理学部 ^ゆ遊 ^さ佐 ^{よう}陽 ^{いち}一

はじめに

スクミリンゴガイは南米原産の淡水巻貝で、食用として1980年代に世界各地に移入された。その後速やかに水稲などの農作物への加害や、稀少水生植物への影響、さらには窒素循環パターンの改変など生態系機能に対する影響が各地で顕在化し、現在に至っている (CARLSSON et al., 2004; 日鷹ら, 2007; HAYES et al., 2015)。これらの問題のため、本種は、世界および日本の侵略的外来種ワースト100リストの両方に掲載されている、重要かつ典型的な外来種である。ところが原産地の南米では、一部を除き水稲の被害もほとんど出でおらず、本種は有害種としてあまり認識されていない (CAZZANIGA, 2006)。この理由は一つとは限らないが、原産地では本種などリンゴガイ類を専食するタカ (snail kite; *Rostrhamus sociabilis*) をはじめとする天敵相が有効に働いていることが、重要な要因として挙げられるだろう。

外来種は、直接的な捕獲や生息地の消失と並び、稀少種の絶滅リスクを高める重要な要因である (ブリマック・小堀, 2008)。このため、外来種が移入先で侵略的となるメカニズムの解明やその対処法の開発は危急の課題である。ところが従来の外来種の防除は、捕獲や薬剤散布等による密度低減が中心であり、多くの場合、根本的な解決には至っていない。

スクミリンゴガイとタカ等の例のように、外来種が原産地の天敵から解放されるために移入先で侵略的となるという説は、天敵解放仮説と呼ばれており、多くの実例が知られている (エルトン, 1971; TORCHIN et al., 2003)。もし天敵からの解放が侵略的外来種を生み出す重要な要因であるならば、天敵の利用による外来種の制御が可能ならずである。このため、原産地からの天敵の導入 (伝統的生物防除) が過去には盛んに検討されていたが、アフリカマイマイに対するヤマヒタチオビの例 (グール

ド, 1996) のように、それ自体が新たな外来種問題を引き起こしかねないため、現在ではあまり用いられていない。

一方、移入先の生態系から見ると、天敵や競合種を多く含む生物多様性が高い生態系では、外来種の侵入やその後の個体数の増加が起こりにくい可能性がある (生物学的抵抗仮説; エルトン, 1971)。生物学的抵抗仮説は、陸上や海洋生態系で多くの検証例がある (STACHOWICZ et al., 1999; LEVINE, 2000) が、淡水域生態系での野外研究の例は意外に少ない (YAMANISHI et al., 2012)。

以上のことから、スクミリンゴガイに対する在来天敵相を解明し、その効果を野外で評価し、さらにそれを用いた本種の制御を検討することは、スクミリンゴガイ問題の解決に重要なだけでなく、モデルケースとして外来種問題全般にとっても有意義であろう。そこで本小論では、1) まず移入先における本種の捕食者相および各捕食者の捕食量を概観し、2) 野外における動物相の豊かさとは本種の個体数との関係を述べ、本種に対する生物学的抵抗が存在することを明らかにする。次に、3) 動物相を豊かにする要因について報告し、さらに4) 環境を改善し、生物学的抵抗を高めることによる新たな外来種管理の方法について考えたい。

I 天敵相

今までに知られている、移入先におけるスクミリンゴガイの捕食者は、16目46種にのぼる (YUSA, 2006; HAYES et al., 2015)。例えば YUSA et al. (2006) は、国内に生息する46種の在来・外来の動物に、ふ化直後 (殻高2 mm以下) から殻高30 mmまでの様々なサイズの貝を与え、3日間での捕食量と捕食可能な貝サイズとを調べた。その結果、供試した半数以上の26種が本種を捕食することが明らかになった。このうち、多くのものは殻高4 mm程度までの小さな貝のみを捕食したが、なかにはドブネズミ、アイガモ、カメ類、コイ等殻高20 mmを超える成貝を捕食した種もある。特にクサガメは、屋外条件で8週間に殻高10~30 mmの貝を2,000個体以上捕食するという高い捕食能力をもち、水稲に対する被害抑制効果も判明している (YOSHIE and YUSA, 2008; 2011)。ただし、クサガメ自体が江戸期頃に移入

Controlling Alien Species by Activating the Local Predator Community : Toward a New Controlling Method for the Apple Snail *Pomacea canaliculata*. By Yoichi YUSA

(キーワード：スクミリンゴガイ, 捕食者相, 生物学的抵抗, 環境保全)

された外来種の可能性が高い (SUZUKI et al., 2011) ため、その利用には注意が必要である。

実験条件下で調べられた捕食量以外に、いくつかの種については、水田や池等野外における捕食量についても調べられている。例えば、コイやティラピア等淡水魚の捕食能力については多くの研究例があり、水田での被害抑制効果も確認されている (HALWART, 1995 ほか)。中国ではスッポンによるマコモ田におけるスクミリンゴガイの密度制御効果も報告されている (DONG et al., 2012)。また、アイガモ農法の水田では、本種による稲の被害が問題にならないことが知られている (古野, 1992)。

以上のように、移入先でも多くの動物がスクミリンゴガイを捕食することが明らかにされている。また、アイガモやコイ、カメ類は、溜池や水田等における本種に対する密度抑制効果が期待できる。ただしこれらの天敵も、本来の生息地でない場所では (国内の移動であっても) 外来種である。このことに留意し、利用にあたっては事前に十分検討すべきである。

II 野外における生物的抵抗

新たな捕食者を天敵として導入することに問題がある場合でも、その場にいる捕食者を利用することはできるかも知れない。室内あるいは放飼実験では多くの動物種がスクミリンゴガイを捕食することが明らかになったものの、これらの天敵相は、一般の野外において本種の個体群を抑えるのに十分な働きをするのであろうか。

YAMANISHI et al. (2012) は、スクミリンゴガイに対する生物的抵抗が実際に働いていることを、奈良県の大和川水系で示した。2006年の8～9月に、大和川水系の上・中流域の水路や河川に調査地を計31箇所設け、各調査地で1) スクミリンゴガイの個体数、2) その他の動物の種数と個体数、3) 園芸用ヤシマットに貼り付けて現地に設置した様々なサイズの貝に対する捕食圧などについて調べた。さらに、4) 調査地の上流に位置する最も近い水田においてもスクミリンゴガイの個体数を調べ、調査地に流入する個体数の指標とした。特に大雨の日を中心に、水田から水路に多くの貝が流入することが知られている (和田ら, 2009) ためである。

その結果、調べた諸要因の中で、調査地の貝個体数に影響しているのは、現場での動物種数 (特に捕食者種数) と、上流の水田の貝個体数であることが判明した (図-1)。つまり、ある場所のスクミリンゴガイの数は、その場での捕食圧と流入数とのバランスで決まっていることになる。このことは、捕食者相による生物的抵抗が河川や水路において機能していること、およびそういった場

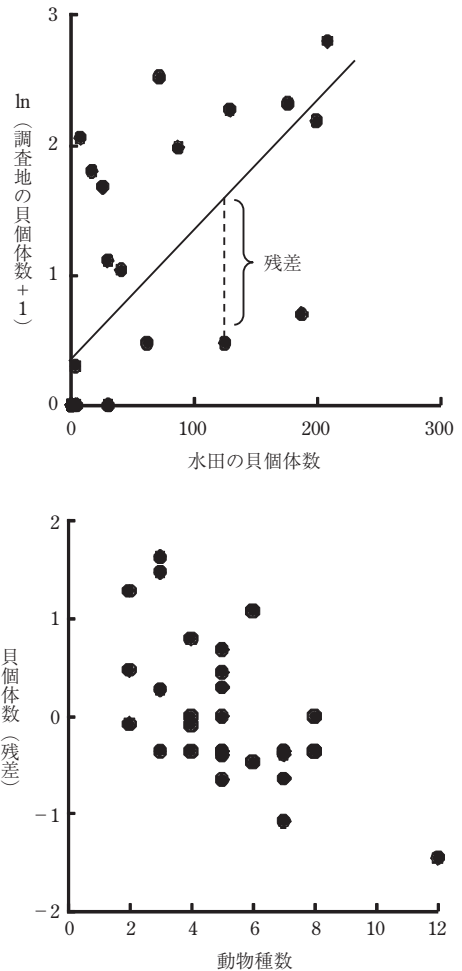


図-1 大和川水系における、スクミリンゴガイ個体数に対する上流の水田の貝個体数 (上) と動物種数 (下) の影響。動物種数のグラフでは、上のグラフにおける回帰直線からの残差を縦軸に用いている (YAMANISHI et al., 2012 を改変)。

所の個体群は、捕食者の少ない水田という供給源からの個体の流入に依存して成り立っていることを示唆する。捕食者の効果は、現場で測定した高い捕食圧 (1日で設置個体の平均32%が捕食された) によっても確認された。

大和川は、水質が全国ワースト3に入り、生物相が比較的貧しいとされる典型的な都市河川である。そのような河川であっても、捕食者相がスクミリンゴガイに対する生物的抵抗に役立っていることは意義深い。

III 生物的抵抗に影響する要因

スクミリンゴガイに対する生物的抵抗の存在は明らかになったが、では、どのような環境要因が捕食者を含む

生物相を豊かにするのだろうか。この疑問に答えるため、佐賀県筑後川水系で調査を行った。筑後川水系ではクリークと呼ばれる大きな水路から多数の小水路が枝分かれしてネットワークをつくり、豊かな水生生物相を育てている。調査地には、自然のままの素掘り水路、両側面がコンクリートである二面張り水路、両側面と底面がコンクリートで覆われている三面張り水路が入り交じって存在している。この水路のコンクリート面数が、生息場所の微環境の多様性、ひいてはそこに住む動植物相に関係すると思われたため、特にこれに着目して調査を行った (HARA et al., 2015)。

調査は、2009年8～9月に、佐賀県上峰町周辺の33箇所の小水路で行った。今回は貝個体数と動物相の調査に加え、植物相や水路の構造・流速・溶存酸素量等の物理的環境要因も調べた。そのデータを用いて、多様な要因を含む統計モデルからモデル選択と呼ばれる手法によって、スクミリングガイの個体数に直接・間接に影響する要因を絞り込んだ。

その結果、物理的要因の中で、水路のコンクリート面数が動・植物相を通して貝個体数に影響していることが明らかとなった。コンクリート面数が多いと生息する動物の種数が減少し、また二面・三面コンクリート張り水路では、スクミリングガイと同じ南米原産の外来植物であるオオカナダモの生息率が高かった (図-2)。これらの結果は、コンクリート張りの人工的な水路では、微環境が単調で多くの動物が生息できないこと、および人工的な水路では在来水生植物が繁茂できず、結果として競合関係にあるオオカナダモが生息できる (久保ら, 2012) ためと考えられた。さらに、コンクリート面数が多い水路ほど、より多くのスクミリングガイが生息していた (図-2)。つまり、水路のコンクリート化が行われると、動物相が貧しくなる一方で、外来植物オオカナダモが繁茂して、スクミリングガイに隠れ場所を提供することにより、本種の密度増加につながると考えられた。なお、スクミリングガイはほとんどの水生植物を食べるが、オオカナダモは例外的に好まない。このことが、人工水路での両者の共存を可能にしているようである。

この結果は、生物的抵抗が人為的な環境変化によって弱まること、またそのような人工的な環境に外来種が侵入すると、さらに別の外来種の侵入・定着が容易になることを意味している。このように、外来種の侵入が新たな外来種の侵入を促すことを *invasional meltdown* (侵入雪崩現象と仮訳する) と呼ぶ (SIMBERLOFF, 2006)。本研究の結果は、人為的環境変化が、一方で生物的抵抗を弱め、他方で侵入雪崩現象を引き起こすという二つのル

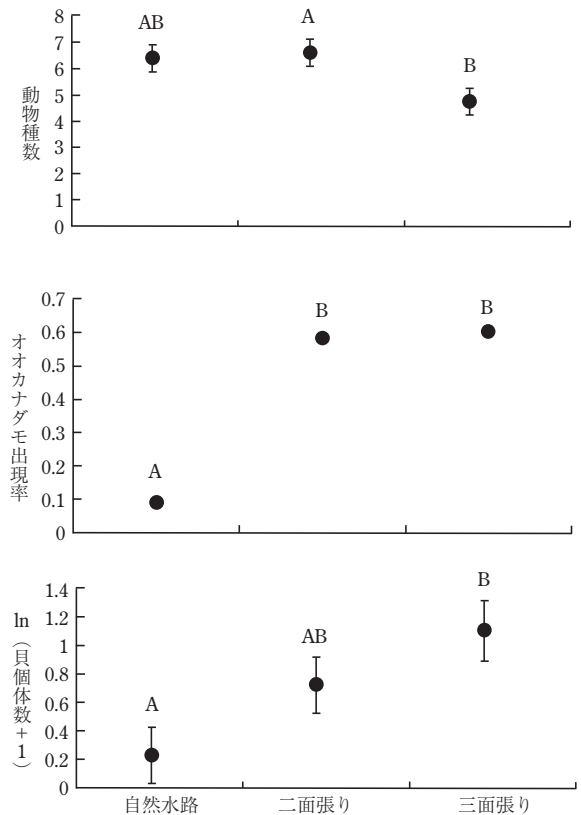


図-2 筑後川水系における、水路のコンクリート面数と動物種数 (上)、オオカナダモの出現率 (中)、スクミリングガイ個体数 (下) との関係。エラーバーは標準誤差、同じ文字は Tukey タイプの多重比較で有意に異なることを示す (HARA et al., 2015 を改変)。

ートを通して外来種の定着を促進するという、興味深い連鎖を示唆している。

IV 魚のゆりかごと外来種管理

以上の結果から、好適な環境を維持・再生し、在来生物相を活性化することによってスクミリングガイを制御するという、外来種管理の新たな方策が考えられた。コンクリート面数は基本的に市町村など自治体の許可なしに操作することが困難であるが、水路の水深は個々の農家や水利組合等のレベルでも操作できる。水深は、魚類など水に依存する動物にとって重要な環境要因である。よって、堰板を水路に立てることで水深を深くするなど簡易な環境操作によって、動物相を豊かに保ち、スクミリングガイの個体数を抑えられるかどうかについて検討した。

滋賀県の琵琶湖周辺では、「魚のゆりかご」と呼ばれ

る試みがなされている（堀・菅原，2013）。そこでは、水路に堰板を何枚も立て、下流側から上流側に向かって徐々に水位を上げてゆき、最終的に水田の水位と等しくなるまで高くする。河川から水路を通して水田に入ったフナ類やナマズ等の魚は水田で産卵し、稚魚が水田で育つ。つまり水路と水田とが自在につながっていた昔のように、水田に「魚のゆりかご」としての機能を持たせ、生物の保全を実施しつつ、人間活動である農業や水産業も振興しようという画期的な試みである。実際に、ゆりかご水田で取れた米はブランド化されており、また鮎寿司の材料である絶滅危惧種ニゴロブナなどの産卵がそこで確認されている。

ただし、「魚のゆりかご」事業では、田植え時に水路の水深を数 10 cm まで深くするものの、6 月ころまでで堰板を除いてしまい、その後、通常の水路と同じ水管理を行う。このため、スクミリンゴガイが産卵し次世代が育つ 7～8 月には、水深が浅い水路には魚がほとんど残っていないのが現状である。水深をより長期間（およそ 8 月末まで）保つことができれば、水田で育った稚魚が、水田の落水後に水路にとどまり、そこでふ化直後の貝を捕食することが期待できる。

そこで、本調査では、1) 8 月末まで水深を深くしておく水路、2) 通常の「魚のゆりかご」のように水深を 6 月で浅くする水路、3) 「魚のゆりかご」を実施せず慣行の水管理を行う水路、の 3 タイプの水路で調査を行った。滋賀県野洲市で計 18 箇所の調査地点を選び、2010 年 7～8 月に、スクミリンゴガイの個体数・動物相・植物相を調査し、合わせて水深や流速など物理的環境要因に関するデータもとった。

この調査から、水深が増すと捕食者種数が増え、スク

ミリンゴガイ稚貝数が減るという予備的な結果が得られた（山田ら、未発表）。ただし、この結果が、水深自体の効果なのか場所の影響なのかを区別できなかったため、2014 年 7～8 月にも同様の調査を実施した。「魚のゆりかご」を実施した場所は 2010 年と 2014 年とで異なっているため、この 2 年間のデータを合わせて解析することで、水深を長期間維持する効果がより明確に示されるものと期待している。

おわりに

生物多様性の減少は、人類がもたらした重要な環境問題である。生物多様性の減少につれ、生態系が本来もつ機能が失われつつある。このため、生物的抵抗が弱まり、外来種の侵入が起こりやすくなってきた可能性がある。外来種の侵入は、侵入雪崩現象によってさらなる外来種の侵入を引き起こし、一層の生物多様性の減少がもたらされる恐れがある（図-3）。これは負の連鎖である。

本稿で紹介した一連の研究は、生物多様性減少の主な原因の一つである外来種を、生態系本来の機能である生物的抵抗によって管理することを意図している。言い換えると、豊かな生態系が本来持っていた生物的抵抗を環境の改善によって昔のレベルに引き上げ、外来種やその影響を軽減しようという試みである。無論、いったん失われた種は二度と元に戻らない。ただし、上記の連鎖は、うまく利用すればフィードバック効果が期待できる（図-3）。つまり、環境の改善は、単にそれ自体で生物多様性を増加させるだけではなく、その機能の一つである生物的抵抗を通して外来種侵入リスクを低減させ、結果としてさらなる生物多様性の増加をもたらすのではないか。

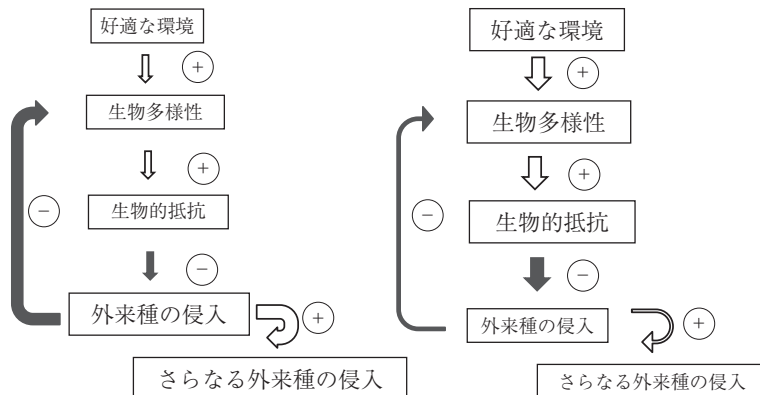


図-3 生物多様性と外来種の侵入とをつなぐ複雑な連鎖。(左)生物多様性が低く、外来種が侵入しやすい状態。(右)環境の改善によって、生物多様性が高く、外来種が侵入しにくい状態。+は正の影響、-は負の影響を表す。

これは楽観的すぎる見方かも知れない。少なくとも、負の連鎖を正の連鎖に変える可能性を検討するためには、より多くの研究の蓄積が必要である。筆者の知る限り、淡水生態系で類似の研究プログラムはない。しかしここで述べた考えは、害虫管理分野における在来天敵相のための環境作りという陸上生態系での研究動向 (Conservation biological control; TSCHARNTKE et al., 2007) とある程度、軌を一にしている。陸上であれ淡水域であれ、簡易な環境操作で生物的抵抗を高めることによって外来種が管理できれば、外来種管理法に新たな潮流をもたらすことが期待できるかも知れない。

引用文献

- CARLSSON, N. O. L. et al. (2004): Ecology 85: 1575 ~ 1580.
- CAZZANIGA, N. J. (2006): In, Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails, PhilRice, Nueva Ecija, p. 37 ~ 60.
- DONG, S. et al. (2012): Scient. Agri. 69: 142 ~ 146.
- エルトン, C. S. (1971): 侵略の生態学, 思索社, 東京, 223 pp.
- 古野隆雄 (1992): 合鴨はんざい—アイガモ水稲同時作の実際—, 農文協, 東京, 150 pp.
- グールド, S. J. (1996): 八匹の子豚 (上), 早川書房, 東京, 338 pp.
- HALWART, M. (1995): Fish as Biocontrol Agents in Rice, Margraf Verlag, Weikersheim, 169 pp.
- HARA, A. et al. (2015): Biol. Invas. 17: 63 ~ 71.
- HAYES, K. et al. (2015): Malacologia 58, in press.
- 日鷹一雅ら (2007): 農村計画学会誌 26: 233 ~ 238.
- 堀 昭人・菅原芳明 (2013): 海洋と生物 35: 227 ~ 232.
- 久保 優ら (2012): 保全生態学研究 17: 165 ~ 173.
- LEVINE, J. M. (2000): Science 288: 852 ~ 854.
- ブリマック, リチャード・小堀洋美 (2008): 保全生物学のすすめ 改訂版, 文一出版, 東京, 396 pp.
- SIMBERLOFF, D. (2006): Ecol. Lett. 9: 912 ~ 919.
- STACHOWICZ, J. J. et al. (1999): Science 286: 1577 ~ 1579.
- SUZUKI, D. et al. (2011): Chelon. Conserv. Biol. 10: 237 ~ 249.
- TORCHIN, M. E. et al. (2003): Nature 421: 628 ~ 630.
- TSCHARNTKE, T. et al. (2007): Biol. Cont. 43: 294 ~ 309.
- 和田 節ら (2009): 九病虫研究会報 55: 93 ~ 98.
- YAMANISHI, Y. et al. (2012): Biol. Invas. 14: 1343 ~ 1352.
- YOSHIE, H. and Y. YUSA (2008): Appl. Entomol. Zool. 43: 475 ~ 482.
- and ——— (2011): Freshwat. Biol. 56: 302 ~ 310.
- YUSA, Y. (2006): In, Global Advances in Ecology and Management of Golden Apple Snails, PhilRice, Nueva Ecija, p. 345 ~ 361.
- et al. (2006): Biol. Invas. 8: 137 ~ 147.

(新しく登録された農薬5ページからの続き)

イネドロオイムシ, ニカメイチュウ, フタオビコヤガ, コブノメイガ: は種時 (覆土前) ~ 移植当日 (育苗箱の上から均一に散布する。)

稲 (箱育苗): 苗腐敗症 (もみ枯細菌病) : は種時 (覆土前) (育苗箱の上から均一に散布する。)

「殺菌剤」

●マイクロブタニル乳剤

23601: チッパー乳剤 (ダウ・ケミカル日本) 15/1/21
マイクロブタニル: 25.0%

日本芝: さび病, 葉腐病 (ラージパッチ): 発病初期

「除草剤」

●イマザピル液剤

23607: アーセナル PW (保土谷アグロテック) 15/1/21
イマザピル: 26.7%

樹木等 (公園, 庭園, 堤とう, 駐車場, 道路, 運動場, 宅地のり面, 鉄道等): 一年生および多年生雑草

●プロピリスルフロン・プロモブチド粒剤

23609: マキビシ Z ジャンボ (日本エコアグロ) 15/1/21
プロピリスルフロン: 2.25%
プロモブチド: 22.5%

移植水稲: 水田一年生雑草, マツバイ (北陸, 九州を除く), ホタルイ, ヘラオモダカ (北海道, 東北), ミズガヤツリ (北海道を除く), ウリカワ, ヒルムシロ, セリ (北海道, 東北を除く), エゾノサヤスカグサ (北海道), オモダカ, クログワイ (北海道を除く), コウキヤガラ (関東・東山・東海, 近畿・中国・四国, 九州), シズイ (東北)

●プロピリスルフロン・プロモブチド水和剤

23610: マキビシ Z フロアブル (日本エコアグロ) 15/1/21
プロピリスルフロン: 1.7%
プロモブチド: 16.8%

移植水稲: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ (北海道を除く), ヘラオモダカ (北海道, 東北), ヒルムシロ, セリ (北海道, 東北を除く), エゾノサヤスカグサ (北海道), オモダカ, クログワイ (北海道を除く), コウキヤガラ (関東・東山・東海, 近畿・中国・四国, 九州), シズイ (東北)

●プロピリスルフロン・プロモブチド粒剤

23611: マキビシ Z1 キロ粒剤 (日本エコアグロ) 15/1/21
プロピリスルフロン: 0.90%
プロモブチド: 9.0%

直播水稲: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ: 稲1葉期~ノビエ3葉期ただし, 収穫90日前まで (壤土~埴土, 湛水散布, 全域)

移植水稲: エゾノサヤスカグサ (北海道), オモダカ, クログワイ (北海道を除く), コウキヤガラ (関東・東山・東海, 近畿・中国・四国, 九州), シズイ (東北): 移植後5日~ノビエ3葉期ただし, 移植後30日まで (湛水散布, 北海道, 近畿・中国・四国, 九州の普通期および早期栽培地帯)

移植水稲: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ (北海道を除く), ヘラオモダカ (北海道, 東北), ヒルムシロ, セリ (北海道, 東北を除く): 移植後5日~ノビエ3葉期ただし, 移植後30日まで (湛水散布, 北海道, 近畿・中国・四国, 九州の普通期および早期栽培地帯)

移植水稲: 水田一年生雑草, マツバイ, ホタルイ, ウリカワ, ミズガヤツリ (北海道を除く), ヘラオモダカ (北海道, 東北), ヒルムシロ, セリ (北海道, 東北を除く), オモダカ, クログワイ (北海道を除く), コウキヤガラ (関東・東山・東海, 近畿・中国・四国, 九州), シズイ (東北): 移植時 (田植同時散布機で施用, 東北, 北陸, 関東・東山・東海の普通期および早期栽培地帯)

(33ページに続く)