

# 天敵の保護・増強による水稻害虫管理の可能性

農業環境技術研究所 田 中 幸 一

## はじめに

天敵を利用した生物的防除の中で、伝統的生物的防除(導入天敵の永続的利用)および近年盛んに行われている施設園芸での放飼増強法の成功例が目玉を引く。一方、土着天敵の利用は、その重要性が早くから指摘されていたにもかかわらず、目覚ましい成果は多くない。水稻害虫においても、天敵に関する多くの研究がなされ、その役割がしだいに明らかにされてきているが、天敵を有効に利用した防除技術は、薬剤散布の低減による天敵保護のほかには確立されたものはごく少ない。土着天敵を有効に活用するためには、天敵を保護してその働きを高める (conservation biological control) 必要がある。農耕地は人為的かく乱を受けるため、天敵にとって好適な環境とはいえない。このことは一年生作物には特に当てはまる。そのため、天敵の生存や繁殖、行動などを高めるように生息環境を変える生息地管理 (habitat management) は、天敵の保護利用の中で根幹をなす技術である (LANDIS et al., 2000)。生息地管理は畑作物を中心に研究や技術開発が進んでいるが、水稻においてはあまり進んでいない。本稿では、生息地管理の要点および水稻害虫に対する天敵の働きについて述べ、生息地管理を応用した水稻害虫天敵の保護利用の可能性を考えてみたい。

## I 生息地管理

生息地管理は畑作物で研究が進んでおり、本号の他の執筆者と内容が重複すると思われるので、簡単に述べるだけにする。詳しくは van EMDEN (1990) および LANDIS et al. (2000) の総説、また矢野 (2003) の植生管理の項を参照されたい。

生息地管理によって改善する対象には、シェルター(天敵の隠れ場所や生活場所)、寄主以外の餌、代替餌(代替寄主)などがある。収穫作業や耕起は生息地をかく乱する。また、休閑期や作物生育初期の耕地は天敵の生息に好適でないことが多い。このような場合、シェルターを作ることで天敵の個体数を増やすことができるだろう。牧草の一部を刈り取らずに帯状に残す条刈り

(SUMMERS, 1976; NENTWIG, 1988; HOSSAIN et al., 1999)、野菜の間にマルチを敷く (RIECHERT and BISHOP, 1990)、作物の間にライグラスやクローバーを混作したり雑草を残す (THEUNISSEN et al., 1995; ORR et al., 1997; SHOWLER and GREENBERG, 2003) ことによって捕食者、特に徘徊性捕食者や寄生蜂の密度が高まった例が報告されている。また、徘徊性捕食者の越冬場所となるように、畑の中に作った土手や畑の周囲に雑草を播種する方法もある (THOMAS et al., 1991)。また、チャの木では複雑な木の形状自体が薬剤からの逃避場所となるユニークな例もある (KAWAI, 1997)。水田では、不耕起レンゲ草生マルチによってクモの初期密度を高めることが提案されている (日鷹, 1990)。

寄生蜂やヒラタアブの成虫では、生存や卵成熟のために寄主以外に花の蜜や花粉などの食物が必要なものが多い。そこで圃場の周囲や中に花の咲く植物を植えたり、野生の草花を残すことで寄生者の餌源とする方法があり、また周囲の圃場の作物が花蜜の供給源となることもある (POWELL, 1986; van EMDEN, 1990)。

代替餌の重要性は古くから指摘されており、特に導入天敵の永続的利用においては、定着条件の一つとして強調されている。一方、土着天敵の場合には、対象害虫が増加する前に圃場やその周辺で天敵が増殖する条件として重要視されている。代替餌の寄主となる植物を圃場周囲や作物の間に植える効果が種々の天敵、特に寄生蜂で確かめられている (本号の長坂氏の稿参照)。また広食性捕食者に対しては、水田への有機肥料の追加、畑で不耕起によって作物残さを残すなどの方法で害虫以外の餌昆虫を増加させる効果が示されている (CLARK et al., 1974, 1977; SETTLE et al., 1996)。

上記の三つの効果をもたらす手段が、複合効果をもつこともある。例えば、圃場周囲の雑草がシェルターも代替餌も花蜜も供給するかもしれない。しかし、このような場合に、どの効果が重要であるが明らかにした研究はごく少ない (LANDIS et al., 2000)。近年、農業生態系においても生物多様性保全の重要性が強調されており、生物多様性が害虫個体群の抑制に果たす役割が論じられている (WAY and HEONG, 1994; ALTIERI, 1999 など)。そこには、生息地管理と共通する概念が多く含まれている。生物多様性を高めることが必ずしも害虫制御に効果があ

Possibilities of Rice Pest Management by Conserving Natural Enemies. By Koichi TANAKA

(キーワード: イネ, 害虫, 捕食者, 生物的防除, 生息地管理)

るわけではないので、それをもたらすメカニズムを特定することが重要である。

## II 水稻害虫に対する天敵の働き

水稻害虫に対する天敵の働きに関するこれまでの研究を、特に研究蓄積の多いウンカ・ヨコバイ類を中心として概観する。日本では、桐谷らのグループがツマグロヨコバイ防除に対するクモ類の重要性を指摘し、選択性殺虫剤の利用とクモ類の捕食効果によって本種個体群を抑制できることを示した。一方、久野らはウンカ・ヨコバイ類と捕食性天敵の個体数および増殖率の密度依存性を解析し、捕食者が有力な密度制限要因ではないと結論した（これらの文献は田中, 1989 参照）。その後、渡邊 (1994) は天敵についてさらに詳しい調査を行い、久野らとほぼ同様の結論を得た。桐谷らと久野らではツマグロヨコバイの密度依存的死亡の結果にやや違いがあるが、いずれにしても天敵だけではこれらの害虫を十分制御できないことを示している。

熱帯アジアでは、緑の革命以降トビイロウンカの多発が大きな問題となり、多くの研究が行われた。その結果、特に温帯との比較により、ウンカの発生パターンや天敵の働きについて重要な知見が得られた。温帯では、トビイロウンカ個体群は水田への侵入密度が低いがその後の世代間増殖率が高く、第三世代には高密度となって被害をもたらす。それに対し熱帯では、侵入密度が高いが増殖率は低く高密度に達しない (KENMORE et al. 1984; KUNO and DYCK, 1985)。この傾向は熱帯の中でも非同期 (地域内で作期が同調しない) 栽培地域や作期が連続する時期に顕著であり、逆に同期栽培地域や休閑後の作期では温帯型の発生傾向となる (COOK and PERFECT, 1985; 1989; 平尾, 1989; WADA and NIK, 1992; SAWADA et al., 1993)。熱帯型発生においてウンカの増殖が抑制されるのは、周囲の水田などで増加した天敵が侵入するために、初期の天敵の密度あるいは害虫に対する密度比が高いためであると考えられる。天敵としては、寄生者より

早く侵入する捕食者、特にクモ類やカタグロミドリカスミカメ、カタピロアメンボ類などが重要であるとされている (表-1) (HEONG et al., 1991; 1992; WAY and HEONG, 1994)。一方、天敵のピーク密度を見ると熱帯と温帯で大きな違いはないようである (渡邊, 1994)。では、初期密度はどのくらい違うのか、またどのくらいなら害虫抑制効果があるのか、天敵/害虫密度比を見てみる (表-2)。マレーシア北部の休閑後の作期 (直播) では、ウンカ類は播種の早い水田では温帯型の、播種の遅い水田では熱帯型の発生を示すという興味深い現象が見られ、播種後 30 日ごろの密度比は、早播き水田で 1 前後、遅播き水田では 1 よりずっと高い値 (図から読むと 5~10) であった (WADA and NIK, 1992)。ジャワ島北西部の連続した作期では、移植後 10 日から 40 日に捕食者密度が増加してウンカ類密度よりはるかに高くなった (SETTLE et al., 1996)。一方、福岡県筑後市の無農薬水田では、移植後 30~40 日ごろの密度比は 0.1 前後の値をとった (渡邊, 1994)。日本でもウンカが多飛来する地域 (鹿児島県や長崎県など) では、同時に飛来するカタグロミドリカスミカメによってウンカの増殖が抑制されることがある。長崎市では、カスミカメのトビイロウンカに対する密度比は、ウンカの第二世代では 1 以上になってウンカの発生が抑制される年があるが、このとき第一世代では密度比が 1 以下の年が多く (1 以上の年もあ

表-1 フィリピンの低地灌漑水田における害虫と天敵の侵入時期 (WAY and HEONG, 1994 を改変)

害虫・天敵名	平均値	レンジ
ヨコバイ類	17	6~27
ウンカ類	13	6~20
カタピロアメンボ類	15	6~21
カタグロミドリカスミカメ	15	11~20
キクツキコモリグモ	12	11~13
アシナガグモ類	10	6~13
サラグモ類	17	11~21
卵寄生蜂	31	20~56

値は移植後の日数を示す。

表-2 水稻生育初期の害虫 (主にウンカ) と天敵の密度比および後期のウンカ発生量

調査地	作期	天敵/害虫比	ウンカ発生量	文献
マレーシア北部 <sup>a)</sup>	2期作, 休閑後			WADA and NIK (1992)
	早播き	約 1	多	
	遅播き	約 5~10	少	
ジャワ島北西部	2期作, 連続した作期	1 <	少	SETTLE et al. (1996)
福岡県筑後市	1期作	約 0.1	一般に多	渡邊 (1994)
長崎市	1期作	1 > (飛来世代) <sup>b)</sup> 0.1~3 (第一世代初め) <sup>b)</sup>	一般に少	寺本・中須賀 (1994)

<sup>a)</sup> 直播水田, <sup>b)</sup> カタグロミドリカスミカメ/トビイロウンカの密度比。

る), 飛来世代ではカスミカメ密度が低いため密度比はかなり低いと考えられる(寺本・中須賀, 1994)。カスミカメについては, ポット実験で成虫個体数がウンカと同数以上いればウンカの増殖を抑制できることが示されている(鈴木・田中, 1996)。これらのデータは, 調査法や対象の害虫ステージ, 主要な天敵種が異なるため単純な比較はできないが, 害虫の増殖を抑制できる天敵の初期密度の目安は害虫と同数以上であるように見える。今後, 害虫と天敵の初期密度比によって害虫の増殖パターンが予測できるか明らかにすることは, 土着天敵の利用において有用な情報になるに違いない。

### III 水田における天敵の保護・増強

前項で述べたように, 水田で天敵が有効に働くためには, 初期密度を高めることが鍵となる。そこで, 天敵の初期密度を高めるような生息地管理について考えてみる。水田で積極的に天敵を保護する生息地管理として有効性が示されているのは, 前述した不耕起レンゲ草生マルチくらいであろう。この方法では, レンゲが冬季のクモの生息場所や代替餌を供給し, さらに耕起によるクモ密度低下も回避することができる。しかし, 不耕起栽培は多くの農家が採用できるとは限らない。耕起・代かきをすれば, 農作業自体によるかく乱とその後の隠れ場所・生息空間の減少により天敵密度は著しく低下する。この密度低下は, ツバメなどの捕食(日鷹, 1990)もあるが, 多くは水田外への移出であると思われる。そこで, 水田の周囲に天敵のシェルターを作ることで密度低下が緩和できるかもしれない。畦畔や隣接する土地(畑, 道路, 堤防, 林など)あるいは水田内の畦畔際に植生を作ってシェルターとする方法が考えられる。この場合, 除草せずに雑草を残す方法と新たな植物を植栽する方法がある。例えば, 斑点米カメムシ対策として, 被覆植物を播種してカメムシの発生源となるイネ科雑草を防ぐことが試みられているが, この中には天敵のシェルターとして適当な植物があるかもしれない。いずれの場合も, 雑草害を起こさないことや害虫の発生源とならないことが条件となる。水田周辺の植生が植生内および水田内の天敵密度に及ぼす影響については, ほとんど調査されておらず, 今後明らかにする必要がある。

次に, 代替餌の増加により天敵密度を高める方法について考える。ユスリカなど幼虫期を水中で過ごし羽化する昆虫は, 作期の初期に特に多いため, 捕食者にとって害虫密度が低い時期の代替餌として重要視されている(日鷹, 1990; SETTLE et al., 1996)。このように, 特別な管理をすることなく害虫以外の昆虫が大量に発生するこ

とは, 止水域を形成する水田の大きな特徴であり, 天敵保護にとって有利な条件である。これら代替餌が多い水田ではクモなどの捕食者が多いことを示した報告がいくつかあるが(日鷹, 1990; 村田, 1995; SETTLE et al., 1996), 両者の個体数の関係や代替餌への依存度, 代替餌の種構成の影響を定量的に解析した例はなく, 今後の重要課題である。では, 代替餌の増加により捕食者密度の十分な増加が期待できるとすると, 次に代替餌の増加手段が必要になる。有機水田ではユスリカの個体数が慣行水田より多いという報告(村田, 1995; SETTLE et al., 1996)があるが, 逆に富栄養化した慣行田の方が多いというデータもある(日鷹, 1990)。農業の影響については, 一般に薬剤散布によりユスリカは減ると考えられており, 事実ユスリカは多くの殺虫剤や一部の除草剤に感受性が高い(田中・浜崎, 未発表)。しかし, 種間で感受性が異なることと圃場では薬剤がヤゴなどユスリカの捕食者にも影響するため, 薬剤散布によって減る種と増える種がいる(TAKAMURA, 1993)。今後, 施肥や薬剤散布, 水管理などの栽培条件が代替餌の発生量に及ぼす影響を明らかにしなければならない。

バンカー植物や周辺植生により代替餌を供給することも考えられる。フィリピンでは水田周辺(堤防, 空き地, 水路, 道路など)で発生するウンカの卵寄生蜂が水田に侵入しイネウンカ卵にも寄生することが示唆されている(Yu et al., 1996)。水田周辺にウンカ類の発生する雑草を植栽して寄生蜂やカスミカメなどの捕食者の増殖源とすることができるかもしれない。カタグロミドリカスミカメはトビイロウンカに対して効果の高い天敵であり, また餌密度にすばやく反応して移動することが示唆されている(寺本・中須賀, 1994)ため, ウンカが増加する前に代替餌を供給する植物上で増殖すれば, ウンカの増殖を効果的に抑制できる可能性がある(松村・浦野, 2001; 松村, 私信)。

近年, 害虫や害虫に加害された植物が放出する生理活性物質を天敵が利用することが注目されており, それを防除に応用する試みがされている。イネにおいても, カタグロミドリカスミカメがウンカに加害されたイネ, 特に産卵されたイネに誘引されること, イネの品種間で誘因性が異なることが報告されている(RAPUSAS et al., 1996)。このような生理活性物質や品種を利用して天敵の働きを高める技術開発にも期待したい。

### IV 他の防除法の併用

天敵だけで害虫を抑制できないときには, 他の防除法が必要になる。天敵以外の防除法は多種類あるが, 本稿

では特に抵抗性品種をとりあげる。抵抗性品種と天敵を併用するとき、強い抵抗性では害虫（餌）がいなくなるので、中ないし弱抵抗性をもつ品種と組み合わせることになる（強抵抗性を使うべきでないという意味ではない）。抵抗性品種の利用において最も大きな問題は、害虫個体群が抵抗性に適応して抵抗性の効果がなくなってしまうことである。そこで、天敵の存在が抵抗性に対する適応速度に与える影響を考える必要がある。GOULD et al. (1991) は、抵抗性に対する適応速度が天敵のタイプによって加速するか遅延するかをシミュレーションによって解析した。その結果、天敵が抵抗性に対する適応個体（正確には遺伝子型）と非適応個体の適応度の差を大きくする場合には適応速度を加速し、差を小さくするときには遅延させることが予測された。適応度の差を大きくするのは、幼虫を攻撃する天敵で非適応個体は発育遅延によって攻撃を受ける期間が長くなる場合などが当てはまる。一方、差が小さくなるのは、適応個体が早く発育し次のステージに進むため、あるいは大型になるために天敵に好まれる場合や、活発な摂食により天敵を誘引する化学物質が多く放出される場合などが考えられる。実験室では、この予測が検証された例があるが（JOHNSON et al., 1997）、圃場では結果が明らかになっていない。

東南アジアにおいてトビロウカに対するイネの抵抗性は、抵抗性に適応したウカ個体群の出現により短期間で効果を失った。このとき同時に非選択性殺虫剤を多用し天敵相を破壊したために、抵抗性品種上で生き残った適応個体が天敵のいない環境で急速に増殖したことにより、抵抗性の崩壊が加速されたといわれている（WAY and HEONG, 1994; GALLAGHER et al., 1994）。また、中程度の抵抗性品種（IR 64）では天敵密度が高く両者を併用できることを示唆するデータが示されている（KARTOHARDJONO and HEINRICH, 1984; CUONG et al., 1997）。ツマグロヨコバイにおいても、選抜実験により抵抗性に適応することが明らかにされており（平江、私信）、天敵を含めて適応を遅延・阻止する方策を考える必要がある。抵抗性品種は極めて有効な防除法である反面、適応個体群の出現という問題を抱えている。したがって、その効果を持続させる管理技術の確立が重要であり、天敵併用の影響についても多くの理論的、実証的研究が望まれる。

## おわりに

天敵の保護利用による水稻害虫の管理法は、薬剤散布の低減以外には未開拓である。新たな技術を開発しその有効性を示すためには、天敵の働きを正しく評価することが不可欠である。天敵の評価法には種々の方法がある

が、害虫や天敵密度、寄生率、捕食量の推定など時間と労力を要する調査が必要である。天敵の評価に関する実証研究を見ると、かつての生命表解析や密度依存性の解析から、近年は実験計画に基づいて処理区を設定し統計解析を行うものが増えている。これらの中には、狭い枠を使った圃場実験もあり、特に天敵の付け加え効果の試験に多い。狭い枠では天敵の効果が過大評価される可能性が高く注意を要する。

捕食者の効果を定量化するためには、捕食量の推定が有効である。モノクローナル抗体を用いて餌のステージまで判別可能になるなど技術的進歩があるが、精度の高い推定値を得るには、餌が消化管内に留まる時間を求める基礎データや多くのサンプルを調べるなど、時間のかかる実験や調査が必要であることに変わりはない。また、天敵を保護利用するためには、その生活史や生態、移動性をよく知る必要があることはいうまでもない。天敵の働きを評価し利用するためには、これらの地道な調査、研究が基礎となる。

## 参考文献

- 1) ALTIERI, M. A. (1999): *Agric. Ecosyst. Environ.* **74**: 19~31.
- 2) CUONG, N. L. et al. (1997): *Crop Protect.* **16**: 707~715.
- 3) GALLAGHER, K. D. et al. (1994): *Planthoppers: Their Ecology and Management* (DENNO, R. F. and T. J. PERFECT eds.), Chapman & Hall, New York, pp. 599~614.
- 4) GOULD, F. (1991): *Entomol. Exp. Appl.* **58**: 1~14.
- 5) 日鷹一雅 (1990): 自然・有機農法と害虫 (中筋房夫編), 冬樹社, 東京, pp. 10~265.
- 6) JOHNSON, M. T. et al. (1997): *Entomol. Exp. Appl.* **82**: 219~230.
- 7) KARTOHARDJONO, A. and E. A. HEINRICH (1984): *Environ. Entomol.* **13**: 359~365.
- 8) LANDIS, D. A. et al. (2000): *Annu. Rev. Entomol.* **45**: 175~201.
- 9) 松村正哉・浦野 知 (2001): 九病虫研会報 **47**: 49~53.
- 10) 村田浩平 (1995): *Acta Arachnol.* **44**: 83~96.
- 11) POWELL, W. (1986): *Insect Parasitoids* (WAAGE, J. and D. GREATHEAD eds.), Academic Press, London, pp. 319~340.
- 12) RAPUSAS, H. R. et al. (1996): *Biol. Control.* **6**: 394~400.
- 13) SETTLE, W. H. et al. (1996): *Ecology* **77**: 1975~1988.
- 14) SHOWLER, A. T. and S. M. GREENBERG (2003): *Environ. Entomol.* **32**: 39~50.
- 15) TAKAMURA, K. (1993): *Arch. Hydrobiol.* **127**: 205~225.
- 16) 田中幸一 (1989): 植物防疫 **43**: 34~39.
- 17) 寺本 健・中須賀孝正 (1994): 九病虫研会報 **40**: 94~97.
- 18) van EMDEN, H. F. (1990): *Critical Issues in Biological Control* (MACKAUER, M. et al. eds.), Intercept, Andover, U. K., pp. 63~80.
- 19) WADA, T. and M. N. NIK (1992): *JARQ* **26**: 105~114.
- 20) 渡邊朋也 (1994): 京都大学学位論文, 193 pp.
- 21) WAY, M. J. and K. L. HEONG (1994): *Bull. Entomol. Res.* **84**: 567~587.
- 22) 矢野栄二 (2003): 天敵一生態と利用技術, 養賢堂, 東京, 296 pp.
- 23) YU, X. P. et al. (1991): *Proceedings of the International Workshop on Pest Management Strategies in Asian Monsoon Agroecosystems* (HOKYO, N. and G. NORTON eds.), Kyushu National Agricultural Experiment Station, Kumamoto, pp. 63~77.