

# 一年生作物における天敵の放飼量と放飼時期

九州沖縄農研センター  
 アリスタ・ライフサイエンス(株)  
 鹿児島県蚕業試験場

浦島柿  
 野もと元  
 知弥樹

天敵資材を使おうとする生産者にとって、いつ、どのくらいの天敵を放飼すればよいかは、最大の関心事である。現在までの害虫管理技術の理論的研究は、一年生作物の個別のケースに対して、このような具体的な値を提供することができなかった。かわって圃場に立つ生産者の判断を支えてきたのは、「このようにしたときには成功した」「このようにしたときには失敗した」という経験値の積み上げである。多くの場合、経験値は地域の公立研究機関による普及技術の開発過程、できあがった技術を普及する機関、作型の共通する生産者どうしの情報交換などにより効率的に集められ、整理されている。天敵の利用によって産業的に成功している生産地は、すべて経験値の積み上げに成功したところである。

一方、こうした経験値が、害虫個体群抑制のメカニズムの理解を伴わないならば、環境の変化や新しい栽培条件の付加によって、容易に失敗を招くかもしれない。天敵の放飼量と放飼時期に関しても、せっかく積み上げた経験値が、品種や作型の変更によって無効になるかもしれない。では害虫や天敵の繁殖特性や行動について、基礎研究の提供する一般的な情報を、経験値の積み上げの支援に役立てられないであろうか。本稿では、このような観点から筆者らが取り組んできた理論的研究の成果を報告したい。

## I 天敵の放飼量について

天敵の適切な放飼量を定める主な要因は何であろうか。第一の要因は、作物の株の大きさである。株当たり害虫数が同じ条件のもとでは、株の大きさは、天敵が害虫を探す際の探索面積を決める。また、葉当たりないし花当たりで同じ害虫密度であれば、抑制すべき害虫の総個体数は株の大きさ（株当たり葉数あるいは花数）に比例する。したがって、ごく大まかには、株の大きさが2

倍になれば放飼すべき天敵の量も2倍になると考えてよい。天敵の放飼量を左右する第二の要因は害虫密度である。第三に温度条件があり、その他として、湿度や栽植密度、代替餌の存在等を含む環境要因が挙げられる。生産者が知りたい情報は、以上のような要因の組み合わせを、圃場に立つ生産者が認識しやすい単位を用いて表し、それぞれの場合について放飼量の目安値を示したものであろう。

このような天敵放飼量の提示の実例として、施設栽培ピーマンを加害するアザミウマ類に対し、現在販売されている天敵ハナカメムシを使う事例を取り上げた。いま10aのビニールハウスがあって、1,200株のピーマンが植えられており、定植後侵入してきたアザミウマ類が増加中であるとする。この害虫個体群をすぐに減少させるようなタイリクヒメハナカメムシ（以下、タイリク）放飼量の目安値を表-1に掲げた。作型は11月定植の促成栽培（茨城県波崎町）を仮定している。主に花の中に分布するアザミウマにとって、生息空間は株当たり花数に比例して広がる。そこで、株の大きさを花の数で表した。定植時のピーマンは着花しておらず、その後、11月末ごろから花をつけ、翌年2月には30~40花/株に達する。収穫の終了する7月まで、栽培管理の仕方により、株当たり花数はその後も変動を続ける。害虫密度は、1ハウス30花についてアザミウマ類を数えることを想定している。表が示す内容は、例えば、「株当たり10花くらいのとき、花当たりアザミウマ数が7頭に達するならば、10a当たり1,500頭のタイリクを放飼す

表-1 タイリクヒメハナカメムシ放飼数の目安値

アザミウマ密度 (頭/花)	放飼数 (成虫/株) <sup>1)</sup>		
	着花数 (花/株)		
	10	20	40
1	210	420	830
7	1,500	2,900	5,800
14	2,900	5,800	12,000

<sup>1)</sup> ピーマンの栽培期間中、初めて成虫を放飼する場合。

Release Number and Release Time of Natural Enemies on Annual Crops. By Satoru URANO, Katsuya SHIMA, and Kazuki KAKIMOTO

(キーワード: 天敵, 害虫, 個体群動態, タイリクヒメハナカメムシ, アザミウマ類, 解析モデル)

ることが適当である」と読む。天敵放飼数は、着花数が2倍になれば2倍に、害虫密度が2倍になれば2倍になるように計算されているので、害虫を抑えたい時期の株の大きさや抑えたい害虫密度に応じて、これらの間の数値を補間することは容易である。

表-1は、以下の三つの手順で作成された。

- (1) 実験室で採取された害虫と天敵の成長、繁殖、捕食特性から、害虫個体群の抑制条件を考える。
  - (2) (1)を一般化して、害虫抑制条件の理論を立てる。
  - (3) 圃場における経験値によって補正を加える。
- これら三つの過程を以下に述べる。

## II 事例で考える害虫個体群の抑制条件

一年生作物の圃場（ハウスを含む）に侵入してきた害虫は、その後しばらく単調増加を続ける。このような空間において害虫個体群が減少に転ずるためには、単位時間当たりに増える害虫より多くを、その時間内に天敵が捕食すればよい。

このことをミナミキイロアザミウマ（以下、ミナミキイロ）とタイリクで見よう。いま、平均温度20°Cの条件下に1,000頭のミナミキイロがいて、密度効果もなく捕食もないとすると、1日後には何頭になっているだろうか。個体群生態学の教科書には、個体群は1日に $e$ （：自然対数の底。約2.72）の $r$ （/日）乗倍になるとある（ただし、 $r$ は内的自然増加率）。飼育条件下にあるミナミキイロに関しては、20°Cで $r=0.082$ （河合, 1985）と報告されているので、 $1,000 \times e^{0.082} \approx 1,085$ 。したがって、もとの1,000頭からは、1日に85頭増えると予測される。一方、タイリクの捕食量は、実験室内で十分にミナミキイロを与えたところ、20°Cで雌成虫1頭当たり26頭（柿元ら、投稿準備中）であった。さて、以上の基礎データにより1,000頭のミナミキイロを抑制するには、タイリク1頭では足りないことがわかる。 $85 \div 26 \approx 3.3$ であるので、タイリク3~4頭が十分に捕食能力を発揮するならば、ミナミキイロ1,000頭の個体群を抑制ないし減少させることができるだろう。

## III 害虫抑制条件の理論

以上を一般化して、害虫抑制条件の理論を建てた（浦野ら, 1998; URANO et al., 2003）。まず、図-1に示すような一年生作物に特有の害虫-天敵系相互作用のシエマを考える。ここで、害虫個体数のピークをクリティカルポイントと呼ぶことにする。 $N_1$ と $N_2$ をそれぞれクリ

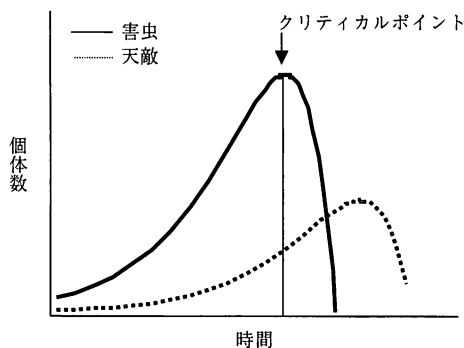


図-1 一年生作物上の害虫-天敵系動態（生物的防除が成功した場合）

ティカルポイントにおける害虫と天敵の個体数、 $r_1$ と $r_2$ を害虫と天敵の内的自然増加率、また $P_S$ を天敵1頭当たり1日当たりの捕食量とし、クリティカルポイントで害虫個体群がそれ以上増えない条件を表すと；

$$N_1(e^{r_1}-1) \leq N_2 P_S e^{r_2} \quad (1)$$

となる。 $N_2$ は、調査の実態に合わせて、雌雄を含む天敵成虫の数とし、捕食量は性比1対1のときの期待値を用いる。左辺はクリティカルポイントから翌日にかけての害虫の増加数、右辺はクリティカルポイントの翌日における天敵の総捕食量である。上述したミナミキイロとタイリクの計算例と異なるところは、天敵についての増殖の項 $e^{r_2}$ を考慮してある点である。これに伴い、天敵に安定年齢構成を仮定し、 $P_S$ は天敵幼虫の捕食量も含むよう補正した値とする。

式(1)より、クリティカルポイントにおける害虫/天敵比を求めると；

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{P_S e^{r_2}}{e^{r_1}-1} \quad (2)$$

となる。

上述のミナミキイロとタイリクの計算例のように、それまで天敵のいない空間に、初めて天敵成虫を放飼する場合、放飼の翌日まで天敵が増殖することはない。初回放飼直後から害虫が減り始める条件を考えるには、式(2)において $e^{r_2}=1$ とし、 $P_S$ を補正前の値、すなわち雌雄の平均捕食量（これを $P$ と置く）に置き換えて用いればよい；

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{P}{e^{r_1}-1} \quad (3)$$

飼育下のミナミキイロとタイリクについて採取されたデータを用い、各温度について害虫/天敵比を計算すると表-2のように表される（事前評価）。数値は、タイリク成虫1頭によって抑制される害虫の期待数である。

表-2 タイリクヒメハナカメムシ1頭によって抑制される害虫数

	平均温度 (°C)				
	17	20	23	26	29
a. 定着時 <sup>1)</sup>	605	390	364	324	429
b. 成虫放飼時 <sup>2)</sup>	394	304	299	232	284

<sup>1)</sup> 追加放飼の要否を判定するための基準値。既にタイリクヒメハナカメムシが圃場へ定着したあと、1頭のタイリクヒメハナカメムシ成虫に対し、アザミウマ類がこの比率以上存在すれば、追加放飼が必要となる。式(2)を用いて算出。<sup>2)</sup> 栽培期間中、初めてタイリクヒメハナカメムシを放飼する際の必要放飼比率の基準値、式(3)を用いて算出。本文参照。

表-2aは、式(2)より計算されたもので、タイリクの放飼・定着後、ミナミキイロ個体群がこの比より大きければ、なお増殖を続けるような値であるから、もし生産者がミナミキイロ個体群をすぐ減少させたいときには、この比以下になるよう追加放飼が必要となる。表-2bは、式(3)から求めたもので、それまで天敵のいない空間に、初めて天敵成虫を放飼する場合の放飼比率の基準値である。

#### IV 経験値による補正

本稿をお読みの方々の中で、実際に圃場でタイリクヒメハナカメムシを使ったことのある方は、表-2の害虫/天敵比を「大きすぎる」と感じたのではないだろうか。表-2の計算に用いたタイリクの捕食量は、50 mlのスクリュー管にタイリク1頭のほか、2 cm×2 cmのインゲン初生葉とミナミキイロ60頭を入れて、日当たり捕食量を測ったものである。このような、捕食者が潜在的に捕食できるほぼ最大の量を「最大捕食量」と呼ぶことにする。日当たり最大捕食量は、安定な捕食者の特性を表し、再現性が期待できるため、その値の温度に対する反応を見ることや種間比較に用いるのに適している。

一方、圃場に散布された天敵は、多くの場合、最大捕食量より少ない害虫しか捕食していないであろう。1頭の天敵にとって、圃場内の作物上の探索空間は、実験条件よりもっと広大で、応用上問題となる害虫密度はもっと低い。物理的環境は厳しく、栽植間隔をはじめ移動を阻む諸要因がある。さらに、作物自体を含め、いま考察している害虫-天敵系以外の生物的要因(代替餌、他の害虫、他の天敵種、天敵の天敵種、直接捕食・被食・競争関係をなさない種、等々)がたくさんあるだろう。そのような諸要因をすべて記述し、重要度の先後を決めて法則を見いだし、予測をなすのは極めて困難である。

最も知りたいことは、「作物の栽培環境において天敵

を放飼した際、捕食者は最大捕食量の何割くらいを捕食しているか」である。そこで、実際の放飼事例から、実現された捕食量の評価を試みた。取り上げた事例は、茨城県波崎町農家の促成栽培ピーマン(2001年11月21日定植)におけるタイリクの放飼(高井ら, 2003)および同地における他2例で、週1回10a(1,500株)のハウスから、150花についてタイリクとアザミウマ類を見取り調査した結果に基づいている。同時に、ハウス内から1株を選んで株当たり花数も経時調査された(島, 未発表データ)。詳細は省略するが、最初の事例では、アザミウマ類がタイリクのみ捕食によって減少を始めたことと判断される時点において、ハウス全体にアザミウマ類は約54万6千頭(密度は約13頭/花)、タイリク成虫は約7,500頭いたと推定され、害虫/天敵比は75であった。ハウス内温度を平均20°C前後と仮定すると、これは表-2aに示した値の約0.2倍である(他2例についてもほぼ同様)。すなわち、これらの事例では、タイリクはハウス内において最大捕食量の2割程度を捕食していたと評価できる(事後評価)。最初に掲げた表-1は、表-2bの20°Cの値を0.2倍することにより作成されたものである。同様に、追加放飼の要否の判定には、表-2aの比率を0.2倍して用いればよい。

#### V 天敵の放飼時期について

天敵の放飼時期には、二つの側面がある。一つは、暦日で表される時期であって、栽培スケジュールと季節の上の時点を示す。いま一つは、害虫密度で表される時期であって、個体群増殖過程の上の時点を示す。ここでは、後者について、天敵の放飼時期の理論を考えたい。

まず、クリティカルポイントにおける害虫/天敵比(式(3))において、これ以上増えて欲しくない害虫密度(許容最大密度)を $N_1$ と置き(図-2:点a)、その抑制に必要な天敵数 $N_2$ を式(3)を用いて求める(図-2:点b)。これが経済的に放飼可能な数であれば、クリティカルポイントにおける $N_1$ がモニタリングの目標となる。この密度に達しそうになったときに、必要な天敵数を放飼すればよいからである。

もし、クリティカルポイントに必要な天敵数を準備できないならば、準備できる天敵数をもとに放飼時期を決める。このため、クリティカルポイントを基点にして、時間を遡る害虫と天敵の変動の式を以下のように導いた。モデルは、①害虫の増加率は天敵の捕食のみによって減る、②天敵の捕食率は密度効果を受けない、③害虫・天敵個体群ともに増加する場合には、安定態構成を維持する、と仮定している。クリティカルポイントから

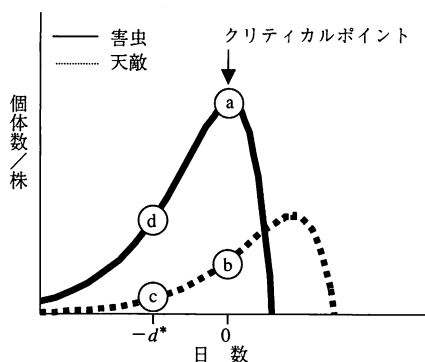


図-2 天敵の放飼時期の定め方

a：害虫の許容最大密度，b：許容最大密度に達した害虫の即時減少に必要な天敵数，c：準備できる天敵数，d：天敵を導入すべき害虫密度。

$d$  日前の害虫，天敵数を，それぞれ  $n_1(d)$ ， $n_2(d)$  と置くと，

$$n_1(d) = \frac{1}{e^{r_1} - e^{r_2}} \left\{ (e^{r_1 - r_1 d} - e^{r_2 - r_1 d}) N_1 - (e^{r_2 - r_1 d} - e^{r_2 - r_2 d}) P_s N_2 \right\} \quad (4)$$

$$n_2(d) = N_2 e^{-d r_2} \quad (5)$$

となった（導出は，URANO et al., 2003 参照）。

準備できる天敵数は  $N_2$  より少ないので，クリティカルポイントより  $d^*$  日前にまくとすると，そのとき天敵数は  $n_2(d^*)$  と置ける（図-2：点 c）。 $d^*$  は式(5)より

$$d^* = -\frac{1}{r_2} \log_e \left\{ \frac{n_2(d^*)}{N_2} \right\} \quad (6)$$

と，求めることができる。式(4)にこの  $d^*$  を代入して求められる  $n_1(d^*)$  が，天敵を導入すべき時期の害虫密度である（図-2：点 d）。これをモニタリングの目標として，害虫密度が  $n_1(d^*)$  に達しそうなとき，天敵を  $n_2(d^*)$  頭まけば， $d^*$  日以内に許容最大密度以下で害虫個体群の増殖を減少に転ずることができる。

## VI 求められる経験値と基礎データ

表-1 や追加放飼の要否の判定比率を信頼あるものにするのは，各地域での経験値の積み上げである。今回は，目指すゴールを理解してもらう目的で，わずか3例をもとに表-2 の比率をずらして用いたが，例数が不足なのは明らかである。また，いろいろな地域で経験値が積み上げられ，比較されるなら，今後の天敵利用技術の開発に大いに貢献するとともに，基礎研究にも豊富なテーマを提供できると思う。

経験値として害虫減少開始時の害虫/天敵比を測る際に留意したいのは，一年生作物において，株当たりの葉

や花の数が定植後増加し，株が成長を止めた後も変動を続けることである。したがって，一般に，害虫や天敵の葉当たり・花当たりの密度変動は，個体群（圃場内の総個体数）の変動と等しくない。そこで，上の例で見たように，圃場において1株を選び，調査日ごとに株当たりの調査単位数（葉数あるいは花数）を計ったうえで，密度に掛け合わせる事が重要となる。

一方，表-2 に示した比率は，現在ある実験室データからいえることを，意思決定支援の立場から要約したものである。これらをより信頼できる値にしていくためにも，まだ多くの基礎データが不足している。まず害虫の内的自然増加率（ $r_1$ ）として，防除手段を講じない圃場における害虫個体群の増殖速度の実測値を用いたい。圃場増殖率には，空間スケールの大きさそのもののほかに，品種，日単位の変温条件，日長と温度の季節的变化，植物の形態的生理的防御などが影響を与える。また圃場増殖率と比較することによって，飼育条件下で算出される増殖率は今後も重要性を増すだろう。例えば，同種のアザミウマであっても，飼育下で同じ寄主植物の葉と花をそれぞれ与えたときでは，増殖率は異なるだろう。上記の茨城県波崎の促成栽培ピーマンでは，ヒラズハナアザミウマ，ミカンキイロアザミウマ，ミナミキイロが同時に発生しており，優占種は，花に多いヒラズハナアザミウマと思われる。ヒラズハナアザミウマのピーマン花での内的自然増加率が未調査であるため，今回の計算には比較的増殖率の高いキュウリ上のミナミキイロの実験室データを用いた。河合（1985）は，これをビニールハウス内のキュウリにおける増殖率と比較している。今後とも，飼育条件と栽培条件の双方で，このような目標害虫の増殖率の測定が必要である。天敵についても，害虫と同じく，栽培条件下での増殖速度（ $r_2$ ）の測定が望まれる。さらに，もっと手近でしかも必要な実験は，天敵が最大捕食量より少ない餌しか得られないときの，発育・生存・繁殖のデータである。

## おわりに

井上（1990）は，IPM 普及の遅れの原因として，施設内環境，施設周辺環境，栽培形態，栽培者側の個人的事情等の多様性を指摘し，IPM を多様な環境の現場に接続する“受け皿学”の必要性を説いている。また，黒木（1999）は，「天敵利用上の最大の研究目的の一つは経験則を汎用技術化することである」と述べ，天敵利用技術の適切な運用において経験則を見直すべきことを主張した。実際に，圃場に立つ生産者の意思決定を直接に支えるのは経験値である（図-3）。一般的な情報に立脚

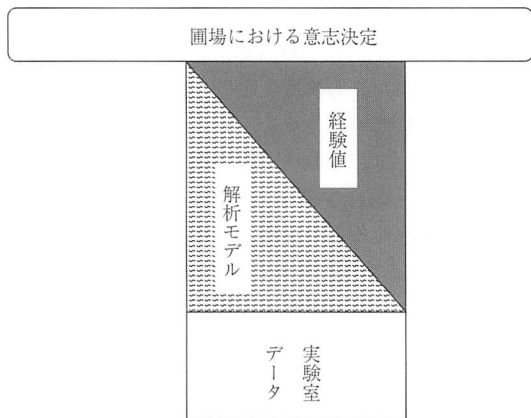


図-3 圃場において生産者の意志決定を支える柱。圃場における意志決定を直接に支えるのは、意志決定者の経験値である。解析モデルは、実験室データからいえることを意志決定支援の立場から要約することで、経験値との比較を可能にする。解析モデルは、複数の経験値の受け皿となって、それらを解釈しまとめる役割を担う

するモデルは、各個の地域や圃場に対して、予測をなすことはできないが、それぞれにおける経験値の受け皿となることができよう。今回紹介した、解析モデルによる基準値の提出と、地域特性を反映すべき経験値による補正は、そのような一般と個別、モデルと経験値の有り得べき協力関係を提案するものである。

#### 引用文献

- 1) 井上雅央 (1990) : 植物防疫 44 : 354~357.
- 2) 河合 章 (1985) : 応動昆 29 : 140~143.
- 3) 黒木修一 (1999) : 天敵利用通信 5 : <http://wenarc.naro.affrc.go.jp/kiban/tenteki/Volume5/Kuroki.html>.
- 4) 高井 昭ら (2003) : 茨城県病虫研報 42 : 1~6.
- 5) 浦野 知ら (1998) : 九病虫研会報 44 : 79~82.
- 6) URANO, S. et al. (2003) : Population Ecology 45(2) : in press.

### ！好評の本誌「植物防疫」の特別増刊号！

各B5判

#### No.2 天敵微生物の研究手法

送料140円

岡田齊夫 編者代表

222 ページ

定価 3,058 円 (本体 2,913 円)

天敵微生物の研究手法 (研究施設, 天敵微生物の探索・同定・増殖等) を詳しく解説。

#### No.4 植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル

送料124円

日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会 編

172 ページ

定価 2,800 円 (本体 2,667 円)

作物病害防除では耐性菌に関しては避けて通れない問題である。その耐性菌の確認する検定方法を詳しく解説。

#### No.5 日本産植物細菌病の病名と病原細菌の学名

送料132円

西山幸司 著

227 ページ

定価 3,200 円 (本体 3,048 円)

我が国で発生する植物細菌病の病名・学名 (新・旧)・報告者・文献名などを網羅いたしました。

#### No.6 植物防疫誌にみるカメムシ類

送料148円

278 ページ

定価 2,940 円 (本体 2,800 円)

昭和22年の創刊号から平成9年までの関係論文全61編を年代順に再収録いたしました。

#### No.7 植物防疫誌にみるフェロモン研究

送料180円

381 ページ

定価 3,150 円 (本体 3,000 円)

1968年に誌面に登場し、1999年までのフェロモン研究に関する論文80編を年代順に再収録しました。

#### No.8 線虫の見分け方

(16年1月発行予定で現在再編集)

平成14年9月号~本年8月号で連載いたしました植物防疫基礎講座を再度加筆・訂正いたします。

お申し込みは直接当協会へ、前金 (現金書留・郵便振替) で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03)3944-1561 (代) FAX (03)3944-2103 メール: order@jppa.or.jp