

環動昆

報 文

- 西 明紀・高橋敬一・仲嶺マチ子：奄美大島と沖縄本島の養
鶏・養豚施設における貯穀害虫およびその天敵相
..... 49

研究奨励賞受賞論文

- 松永忠功：家庭用殺虫剤の水溶性に関する研究..... 59

解 説

- 大場信義：ホタル類の光コミュニケーションと夜間照明..... 67
柴尾 学：光を利用した農業・園芸害虫の防除技術
－アザミウマ類の防除を例として－ 77

円卓カンファレンス

- 中村寛志：「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」－序にかえて－
..... 83
中村寛志：チョウ類群集の研究について..... 85
吉田宗弘：都市環境指標としてのチョウ類群集の問題点 87
北原正彦：チョウ類の群集生態学的研究の幾つかの方向性に
ついて..... 93
石谷正宇：ゴミムシ群集の研究との比較..... 101
夏原由博：統計的手法の観点から..... 103
会 報 105
投稿規定 111

Vol. 13

2

2002

日本環境動物昆虫学会

奄美大島と沖縄本島の養鶏・養豚施設における 貯穀害虫およびその天敵相

西 明紀¹⁾・高橋敬一²⁾・仲嶺マチ子³⁾

1) 東京農工大学農学部

2) 独立行政法人食品総合研究所流通安全部

3) 沖縄県農林水産部家畜衛生試験場

(受領 : 2001年9月24日 ; 受理2002年2月6日)

Stored-Product Insects and Their Natural Enemies at Poultry Farms and Hoggeries in Amamioo-shimo and Okinawa Islands, Japan. Akinori Nishi¹⁾, Keiichi Takahashi²⁾ and Machiko Nakamine³⁾ (¹⁾Tokyo University of Agriculture and Technology, Fuchu, Tokyo 183-8509, Japan, ²⁾National Food Research Institute, Tsukuba, Ibaraki 305-8642, Japan, ³⁾Okinawa Prefectural Institute of Animal Health, 112 Kohagura, Naha, Okinawa 900-0024, Japan) *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **13** : 49-57 (2002)

Stored-product insects and their natural enemies were investigated at poultry farms and hoggeries in Amamioo-shima and Okinawa Islands, Japan. Twenty-six species belonging to six orders were collected at poultry farms and 15 species belonging to five orders were collected at hoggeries. At both poultry farms and hoggeries, we found *Alphitobius diaperinus* (Panzer), *A. laevigatus* (Fabricius), *Tribolium castaneum* (Herbst), and *Palorus subdepressus* (Wollaston). *Carcinops pumilio* Erichson was the natural enemy found in most abundance.

Key words: Stored-product insect, Natural enemy, Poultry house, Hogger, Okinawa

奄美大島と沖縄本島の養鶏・養豚施設における貯穀害虫およびその天敵相を調査した。その結果、養鶏場（奄美大島および沖縄本島）では6目26種、養豚場（沖縄本島）では5目15種の昆虫類を採集した。これらの昆虫のうちガイマイゴミムシダマシ、ヒメゴミムシダマシ、コクヌストモドキ、コヒメコクヌストモドキのゴミムシダマシ類の貯穀害虫と天敵のクロチビエンマムシが奄美大島と沖縄本島の養鶏・養豚施設に共通してみられた。

はじめに

我が国における貯穀害虫の防除に対する調査を検討するため、貯穀害虫およびその天敵の調査を行ってきた。貯穀害虫は南方起源温暖な気候の方がその天敵も採集しやすいため、これまでに、小笠原諸島父島の穀物養鶏施設および南西諸島の沖縄本島および那覇市の主に精米施設と穀物貯蔵施設で調査を行った(高橋ら, 2000)。

高橋・Romero (2001) の調査では、養鶏施設は対象から除かれていた。しかし、本調査では、養鶏施設は精米施設と穀物貯蔵施設とは貯穀害虫の環境が異なり、従って、貯穀害虫相や天敵相も異なると考えられる。そこで今回、養鶏施設で貯穀害虫およびその天敵相について調査を行った。なお養鶏施設については奄美大島および沖縄本島の両島で、養豚施設については沖縄本島においてのみ調査を行った。

調査方法

養鶏施設における調査

奄美大島の笠利町、住用村、瀬戸内町、宇検村 (Fig. 1) ごとに1カ所の養鶏施設で、2001年3月15~17日に貯穀害虫およびその天敵の調査を行った。これらの養鶏施設のうち宇検村および瀬戸内町の施設はブロイラーを飼育する大規模養鶏場であり、住用村および名護市の施設は畑や庭先を利用した小規模なもので、いずれの養鶏施設でもトウモロコシ主体の配合飼料を餌として用いていた。それぞれの調査において、目視で発見した貯穀害虫およびその天敵を採集した。あわせて施設内および周辺の糞、落ちていた羽毛を採集場所ごとに回収した。各サンプルを30℃, 70% RH, 100%湿度に保存し、羽化個体を得た後、同定した。沖縄県名護市、佐敷町、大宜見村 (Fig. 1) ごとに1カ所の養鶏施設を選び、2001年3月20~

22日に、貯穀害虫およびその天敵を前述と同様の方法で調査した。これらのうち名護市と佐敷町の施設はブロイラーを飼育する大規模養鶏場であり、大宜味村のそれは中規模な地鶏の放し飼いの施設であった。奄美大島と同様にいずれの施設でもトウモロコシ主体の配合飼料を餌として用いていた。

2. 養豚施設における調査

沖縄本島の沖縄市、糸満市、南風原町、読谷村、名護市 (Fig. 1) ごとに1カ所の養豚施設を選び、2001年3月20~22日に養鶏施設と同様方法で調査した。このうち沖縄市の施設は大規模な養豚場が密集する養豚団地であり、名護市、糸満市、南風原町の施設は大規模な個別養豚場、また読谷村の施設は小規模の種豚場であった。なお、いずれの施設でもトウモロコシ主体の配合飼料を餌として用いていた。

結 果

1. 養鶏施設で採集した昆虫類

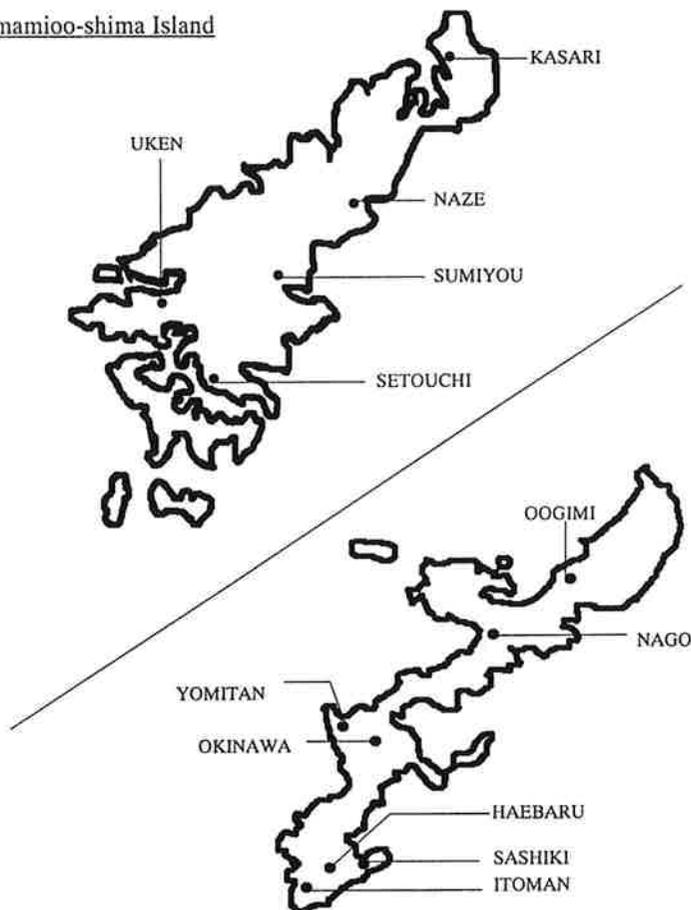
奄美大島の養鶏施設では、総計5目15種の昆虫を採集した (Table 1)。これらのうち貯穀害虫はコクヌストモドキ *Tribolium castaneum* (Herbst), ヒラタコクヌストモドキ *T. confusum* Jaquelin du Val, コヒメコクヌストモドキ *Palorus subdepressus* (Wollaston), ガイマイゴミムシ *Alphitobius diaperinus* (Panzer) およびヒメゴミムシ *A. laevigatus* (Fabricius) の5種であった。これらの貯穀害虫のうち、名護市と宇検村の施設ではガイマイゴミムシが、瀬戸内町の施設ではヒメゴミムシが優占していた。

貯穀害虫および双翅目昆虫の天敵類では捕食性であるマルマメエンマムシ *Gnathoncus nanus* (Scriba), オオマメエンマムシ *Dendrophilus xavieri* Marseul およびクロチビエンマムシ *Carcinops pumilio* Erichson の3種のエンマムシ (大原, 1998) の他、双翅目昆虫に寄生するアカアシブトコバチ *Brachymeria fonscolombi* Dufour (Masuda, 1964) および同じく双翅目昆虫に寄生するコガネコバチ科の一種 *Spalangia* sp. (Herting, 1978) の5

種を採集した。名護市と宇検村の施設では、コクヌストモドキ3種ともがみられた。宇検村の施設では、ヒメゴミムシが優占していた。住用村の施設では、コヒメコクヌストモドキとヒメゴミムシがみられ、宇検村の施設では、*Spalangia* sp. がみられた。

以上の他にマルマメエンマムシ *Anisolabididae* sp., オオマメエンマムシ *celus surinamensis* および *Periplaneta americana*

Amamioo-shima Island



Okinawa Island

Fig. 1 Survey sites of stored-product insects and their natural enemies in Amamioo-shima (upper) and Okinawa (lower) Islands.

種を採集した。名瀬市の施設では前述のエンマムシ3種ともがみられたが、オオマメエンマムシが優占していた。住用村、宇検村の施設ではクロチビエンマムシが、瀬戸内町の施設ではオオマメエンマムシがみられ、アカアシフトコバチは宇検村の施設で、*Spalangia* sp. は笠利町の施設でそれぞれみられた。

以上の他にマルムネハサミムシ科の一種 *Anisolabididae* sp., オガサワラゴキブリ *Pycnoscelus surinamensis* (L.), ワモンゴキブリ *Periplaneta americana* (L.), アメリカミズアブ

Hermetia illucens (L.) および *Fannia* sp. を採集した。奄美大島の養鶏施設で採集した昆虫は全て、施設内の飼料屑、鶏糞、羽毛などが混ざった残渣から得られた。

沖縄本島の養鶏施設では、総計6目17種の昆虫を採集した (Table 2)。これらうち貯穀害虫はハラジロカツオブシムシ *Dermestes maculatus* Degeer, コクヌスト *Tenebroides mauritanicus* (L.), コメノケシキスイ *Carpophilus pilosellus* (Motschulsky), ノコギリヒラタムシ *Oryzaephilus surinamensis* (L.), コクヌストモドキ, コヒメコ

Table 1 Insects collected at the poultry farms in Amamioo-shima Island during March 15-17, 2001

Order	Species	Survey sites				
		SUMIYOU	SETOUCHI	KASARI	NAZE	UKEN
<Stored-product insects>						
Coleoptera	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	-	-	-	-	○
	<i>T. confusum</i> Jaquelin du Val	-	○	-	-	-
	<i>Palorus subdepressus</i> (Wollaston)	-	-	-	-	○
	<i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer)	-	-	-	○	○
	<i>A. laevigatus</i> (Fabricius)	-	○	-	-	-
<Natural enemies>						
Coleoptera	<i>Gnathoncus nanus</i> (Scriba)	-	-	-	○	-
	<i>Dendrophilus xavieri</i> Marseul	-	○	-	○	-
	<i>Carcinops pumilio</i> Erichson	○	-	-	○	○
Hymenoptera	<i>Brachymeria fonscolombi</i> Dufour	-	-	-	-	○
	<i>Spalangia</i> sp.	-	-	○	-	-
<Other insects>						
Dermaptera	<i>Anisobasis</i> sp.	-	-	-	○	-
Blattaria	<i>Pycnoscelus surinamensis</i> (L.)	-	○	-	○	-
	<i>Periplaneta americana</i> (L.)	-	○	-	-	-
Diptera	<i>Hermetia illucens</i> (L.)	-	-	-	-	○
	<i>Fannia</i> sp.	○	○	○	○	-

クヌストモドキ, ガイマイゴミムシダマシ, ヒメゴミムシダマシの8種が, 名護市, 大宜味村の施設でそれぞれ採集された。大宜味村の施設ではヒメゴミムシダマシ, 名護市の施設ではハラジロカツオブシムシが優占していた。コメノケシキスイ, コクヌストモドキ, ノコギリヒラタムシは大宜味村の施設周辺に保管されていた米糠にみられ, コメノケシキスイが優占していた。その他の貯穀害虫は全て養鶏施設内の飼料屑, 鶏糞, 羽毛などが混ざった残渣より採集した。

貯穀害虫および双翅目昆虫の天敵類では捕食性のコヒゲジロハサミムシ *Eudorellia annulipes* (Lucas) (El-Husseini and Tawfik, 1971), コクヌストモドキの天敵であるフトオビアトキリゴミムシ *Somotrichus unifasciatus* (Dejean) (土生, 1954), コセスジハバビロガムシ *Dactylosternum abdominale* (Fabricius), クロチビエンマムシ, 双

翅目昆虫に寄生するコガネコバチ科の一種 *Pachycrepoides vindemmiae* (Rondani) (Herting, 1978) の5種を採集した。大宜味村の施設では施設内に設置されたドラム缶下の湿った場所でコヒゲジロハサミムシ, フトオビアトキリゴミムシ, コセスジハバビロガムシおよびクロチビエンマムシの4種を採集した。名護市の施設ではコガネコバチ科の一種 *P. vindemmiae* (Rondani) を飼料屑, 鶏糞, 羽毛などが混ざった残渣より採集した。

以上の他にツチカメゴキブリ *Holocompsa debilis* Walker, アメリカミズアブ, *Milichiidae* gen. sp., メイガ科の一種 *Pyralis* sp. を施設内の飼料屑, 鶏糞, 羽毛などが混ざった残渣より採集した。

2. 養豚施設で採集した昆虫類

沖縄本島の養豚施設では, 総計5目15種の昆虫を採集した (Table 3)。これらのうち貯穀害虫は

Table 2 Insects collected at the poultry farms in Okinawa Island during March 20-22, 2001

Order	Species	Survey sites		
		SASHIKI	NAGO	OOGIMI
<Stored-product insects>				
Coleoptera	<i>Dermestes maculatus</i> Degeer	—	○	—
	<i>Tenebroides mauritanicus</i> (L.)	—	—	○
	<i>Carpophilus pilosellus</i> (Motschulsky)	—	—	○
	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (L.)	—	—	○
	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	—	—	○
	<i>Palorus subdepressus</i> (Wollaston)	—	○	○
	<i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer)	—	○	—
	<i>A. laevigatus</i> (Fabricius)	—	—	○
<Natural enemies>				
Dermoptera	<i>Eudorellia annulipes</i> (Lucas)	—	—	○
Coleoptera	<i>Somotrichus unifasciatus</i> (Dejean)	—	—	○
	<i>Dactylosternum abdominale</i> (Fabricius)	—	—	○
	<i>Carcinops pumilio</i> Erichson	—	○	○
Hymenoptera	<i>Pachycrepoides vindemmiae</i> (Rondani)	—	○	—
<Other insects>				
Hemiptera	<i>Holocompsa debilis</i> Walker	—	○	—
Diptera	<i>Hermetia illucens</i> (L.)	—	○	—
	Milichiidae gen. sp.	○	—	—
Lepidoptera	<i>Pyralis</i> sp.	—	○	—

アカアシホシカムシ *Necrobia rufipes* (Degeer), ムネミゾコヌストモドキ *Coelopalorus foveicollis* (Blair), コクヌストモドキ, コヒメコクヌストモドキ, ガイマイゴミムシダマシ, ヒメゴミムシダマシの6種で沖縄市, 糸満市, 南風原町, 名護市の施設より採集した。沖縄市ではガイマイゴミムシダマシ, 糸満市ではコクヌストモドキが優占していた。アカアシホシカムシはミルクを混ぜた飼料より採集し, その他の貯穀害虫は飼料や豚糞の残渣より採集した。

貯穀害虫および双翅目昆虫の天敵類ではコヒゲジロハサミムシ *Euborellia annulipes* (Lucas), クロチビエンマムシおよびコクヌストモドキ類の天敵であるアリガタバチ科の一種 *Holepyris sylvanidis* (Brethes) (Anonymous, 1996) の3種

をそれぞれ読谷村, 沖縄市および糸満市の施設内の飼料や豚糞の残渣より採集した。

以上の他にカツオブシムシ科の一種 *Orphinus formosanus* (Pic), メイガ科の一種 *Pyralis* sp., アメリカミズアブ, *Drosophilidae* gen. sp., *Milichiidae* gen. sp., *Muscidae* gen. sp. を飼料や豚糞の残渣より採集した。

考 察

川波・伊良波 (1974) は沖縄本島・宮古群島・八重山群島の飼料工場, 穀類加工工場, 穀類保管倉庫, 農協倉庫および穀類販売店等42カ所で夏期および冬期に貯穀害虫の調査を行った。その結果, 鞘翅目および鱗翅目に属する17科32種を採集した。各調査場所における種構成は類似しており, いず

Table 3 Insects collected at the hoggeries in Okinawa Island during March 20-22, 2001

Order	Species	Survey sites				
		OKINAWA	ITOMAN	HAEBARU	YOMITAN	NAGO
<Stored-product insects>						
Coleoptera	<i>Necrobia rufipes</i> (Degeer)	○	—	—	—	—
	<i>Coelopalorus foveicollis</i> (Blair)	—	○	—	—	—
	<i>Tribolium castaneum</i> (Herbst)	—	○	—	—	—
	<i>Palorus subdepressus</i> (Wollaston)	—	○	○	—	○
	<i>Alphitobius diaperinus</i> (Panzer)	○	○	—	—	—
	<i>A. laevigatus</i> (Fabricius)	—	—	—	—	○
<Natural enemies>						
Dermaptera	<i>Eudorellia annulipes</i> (Lucas)	—	—	—	○	—
Coleoptera	<i>Carcinops pumilio</i> Erichson	○	—	—	—	—
Hymenoptera	<i>Holepyris sylvanidis</i> (Brethes)	—	○	—	—	—
<Other insects>						
Coleoptera	<i>Orphinus formosanus</i> (Pic)	—	○	—	—	—
Diptera	<i>Hermetia illucens</i> (L.)	—	—	—	—	○
	Drosophilidae gen. sp.	—	○	—	—	—
	Milichiidae gen. sp.	—	○	—	—	—
	Muscidae gen. sp.	—	○	—	—	—
Lepidoptera	<i>Pyralis</i> sp.	—	—	—	—	○

れの調査場所においてもコクゾウムシ *Sitophilus zeamais* (Motschulsky), コクヌストモドキ, コナナガシクイ *Rhyzopertha dominica* (Fabricius), ヒラタヒメコクヌストモドキ(コヒメコクヌストモドキ), ガイマイゴミムシダマシ, サビカクムネヒラタムシ *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens), スジマダラメイガ *Ephestia cautella* (Walker) などが優占していた。高橋・Romero (2001) による沖縄本島および石垣島の精米施設および飼料工場等の調査ではコクゾウムシ, コクヌストモドキ, ガイマイゴミムシダマシが広範囲で観察されている。今回の沖縄本島の養鶏施設および養豚施設, 奄美大島の養鶏施設での調査において確認された貯穀害虫では, ガイマイゴミムシダマシ, ヒメゴミムシダマシ, コクヌストモドキおよびコヒメコクヌストモドキなどのゴミムシダマシ類が優占していた。これらの種は高橋・Romero (2001) の

調査においても確認され, 川波・伊良波 (1974) の調査でもヒメゴミムシダマシを除き確認されていた。これらは食粉性で製粉工場等で見られる。また, ガイマイゴミムシダマシは近年, 養鶏施設での大発生が問題となっており (田原, 1979; 一瀬ら, 1980), 今回の調査では3カ所の養鶏施設から採集された。

今回の調査で採集した貯穀害虫のうち, ムネミゾコクヌストモドキを除けばすべて沖縄以外の日本国内においてもみられる種であった。ムネミゾコクヌストモドキは1973年に沖縄県下の飼料・原料倉庫の穀類ダスト中から多数採集され, わが国での定着が確認された (川波・伊良波, 1974) が, 沖縄県以外からの記録はない。コクヌストモドキとヒラタコクヌストモドキの分布を比較した場合, 沖縄県内においてはコクヌストモドキが優占種であることが知られており (井村, 1987), 本土で普

通に見られるヒラタコクヌストモドキは奄美大島の養鶏場で1頭が確認されただけであった。これはヒラタコクヌストモドキの方が低温に適応しており(井村, 1989), より冷涼な地域に分布の中心を持つためであると考えられた。

ガイマイゴミムシダマシ, アカアシホシカムシは貯穀害虫である一方で, イエバエ *Musca domestica* (L.) を捕食する (Despins *et al.*, 1988; Wang *et al.*, 1990). 今回調査した養豚・養鶏施設において用いている飼料はトウモロコシ主体の粉状飼料であり, また糞などに大量の双翅目昆虫が発生していたことから, これらの貯穀害虫は飼料と双翅目昆虫の幼虫の両方を食していたと思われる。ガイマイゴミムシダマシおよびヒメゴミムシダマシいずれかの個体数の多い場所では, 高橋・Romero (2001) の調査結果と同様, 両種が混生していることはなかった。この理由として両種の成虫は低湿度条件を好むが, ヒメゴミムシダマシ幼虫はガイマイゴミムシダマシ幼虫より高湿度条件を好み (Victor and Ogonor, 1987), 養鶏・養豚施設でも両種が利用する生息環境が異なることが考えられる。コクヌストは貯穀害虫であるが, 他の貯穀害虫を捕食する捕食性の面もあり (吉田ら, 1989), 飼料と貯穀害虫や双翅目昆虫の両方を食していたと思われる。

アメリカミズアブおよび *Fannia* sp. を含む多くの双翅目昆虫は腐食性であり (鳥, 1997) 今回の調査場所で鶏や豚の糞などを餌としていたと考えられた。またツチカメゴキブリは我が国では従来, 奄美大島からのみ知られており (朝比奈, 1991), 沖縄本島からは今回が初記録となる。メイガ科の一種 *Pyralis* sp. は保存していた飼料残渣より羽化したことより, これを食していたと思われる。

今回の調査において発見された天敵類のうちコセスジハバビロガムシはバナナの害虫であるバショウオサゾウムシ *Cosmopolites sordidus* (Germar) の天敵であるが (Koppenhofer, 1993), 今回, 本種が養鶏施設で貯穀害虫を捕食していたかは不明である。コヒゲジロハサミムシ, クロチビエンマ

ムシは高橋ら(2000), 高橋・Romero (2001) の沖縄本島の精米施設等の調査においても採集されている。コヒゲジロハサミムシは世界中に広く分布し, 貯穀中の作物や植物の根の他, 鱗翅目幼虫 (El-Husseini and Tawfik, 1971) やイエバエの卵や幼虫を捕食すること (Propp and Morgan, 1985) が知られており, 小笠原諸島父島においても鶏舎の餌場から発見されている (高橋・Romero, 2001)。しかし, その食性から貯穀害虫の天敵としての有効性は未知である。寄生蜂類ではアリガタバチ科の一種 *Holepyris sylvanidis* (Brethes) はコクヌストモドキ類に寄生し (Anonymous, 1996), 天敵として働いていたと考えられる。その他の寄生蜂は双翅目昆虫に寄生する種であった。クロチビエンマムシは幼虫と成虫がダニや昆虫を捕食し (吉田ら, 1989), また, イエバエの卵及び幼虫を捕食する (Propp and Morgan, 1985)。本種は今回の調査で6箇所の施設から採集され, 養鶏・養豚施設で双翅目昆虫を捕食すると共に貯穀害虫も捕食し, これらの天敵として働いていたと考えられた。またオオマメエンマムシ, マルマメエンマムシは双翅目昆虫の幼虫を捕食し (Geden, 1988; 大原, 1998), 天敵として働いていたと考えられた。

今回の調査ではスジマダラメイガなどの鱗翅目の貯穀害虫や生息が予想されたタバコシバムシ *Lasioderma serricorne* (Fabricius) は採集されなかった。その理由の1つとして, 目視とサンプリングによる採集であったことが考えられる。そのため今後の調査ではリポントラップやフェロモントラップ, ベイトトラップ等を用いた採集方法も検討する必要がある。

謝 辞

本研究に際し, 採集の便宜を図っていただいた奄美大島および沖縄本島の養鶏・養豚施設の関係者各位ならびに, 沖縄県農林水産部北部家畜保健衛生所の又吉正直主任技師に心より御礼申し上げます。また東京都在住の黒佐和義博士, 国際農林水産業研究センターの大桃定洋博士および河野勝行

主任研究官, 農業研究機構北海道農業研究センターの小西和彦主任研究官, 北海道在住の上条一昭博士, 森林総合研究所の後藤忠男博士, 沖縄県在住の杉本雅志氏には同定ならびに文献のご教示を賜った。記して感謝申し上げる。

引用文献

- Anonymous (1996) Using natural enemies to control beetle pests in stored products. *Plant Protect. News* 46 : 7-9.
- 朝比奈正二郎 (1991) 日本産ゴキブリ類. 中山書店, 東京.
- Despins, J. L. Vaughan, J. A. and Turner, E. C. Jr. (1988) Role of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera Tenebrionidae), as a predator of the house fly, *Musca domestica* L. (Diptera Muscidae), in poultry houses. *Coleopterist Bull.* 42 : 211-216.
- El-Husseini, M. M. and Tawfik, M. F. S. (1971) The nutritional effect of animal and plant diets on the development and fecundity of *Eudorellia annulipes* (Lucas). *Bull. Soc. entomol. Egypte* 55 : 219-229.
- Geden, C. J. (1988) Predation by predators of the house fly in poultry manure: effects of predator density, feeding history, interspecific interference, and field conditions. *Environ. Entomol.* 17 : 320-329.
- 土生昶申 (1954) 沖縄で採集された *Somotrichus unitasciatus* Dejean. 農業技術研究報告, series C 4 : 229-231.
- Herting, B. (1978) Neuroptera, Diptera, Siphonaptera. In "A catalogue of parasites and predators of terrestrial arthropods, Section A, Host or Prey / Enemy", Commonwealth Agricultural Bureaux, Commonwealth Institute of Biological Control, Farnham Royal, U. K.
- 一瀬太良・柴崎史郎・太田正義 (1980) プロイラー 鶏舎の害虫ガイマイゴミムシダマシ *Alphitobius diaperinus* の生態と加害機構に関する研究. 応動昆 24 : 167-174.
- 井村 治 (1987) 貯穀害虫群集の構造と多様性. 「日本の昆虫群集」木元新作・武田博清編, pp.116-123, 東海大学出版会, 東京.
- 井村 治 (1989) 貯穀(貯蔵食品)害虫の飼育法 (2) 飼育の実際. 家屋害虫 11 (2) : 140-164.
- 川波敬一郎・伊良波幸仁 (1974) 沖縄県内製粉・飼料工場等における貯穀害虫調査(中間報告). 那覇植物防疫情報 13 : 87-88.
- Koppenhofer, A. M. (1993) *Dactylosternum abdominale* (F.) (Coleoptera: Hydrophilidae) : a predator of the banana weevil. *Biocontrol Sci. Technol.* 3 : 141-147.
- Masuda, R. (1964) Studies on the parasitic enemy of flies in the rural district of Tokyo. (Report 1) On the parasitic Hymenoptera of overwintering fly pupae in Ohme city and Chofu city. *Jap. J. Sanit. Zool.* 15 : 145-149.
- 大原昌宏 (1998) エンマムシ上科. 「日本動物大百科」10 昆虫. 日高敏隆監修, pp. 98-99, 平凡社, 東京.
- Propp, G. D. and Morgan, P. B. (1985) Mortality of eggs and first-stage larvae of house fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae), in poultry manure. *J. Kans. Entomol. Soc.* 58 : 442-447.
- 嵐 洪 (1997) イエバエ上科とヒツジバエ上科. 「日本動物大百科」9 昆虫. 日高敏隆監修, pp. 149-150, 平凡社, 東京.
- 田原雄一郎 (1979) 断熱材食害虫・ゴミムシダマシの生態と防除. 鶏の研究 54 (12) : 28-29.
- 高橋敬一・大林隆司・宗田奈保子 (2000) 小笠原諸島父島における貯穀害虫およびその天敵相. *Jpn. J. Ent. (N. S.)* 3 : 97-103.
- 高橋敬一・Romero, V. M. (2001) 沖縄本島および石垣島における貯穀害虫およびその天敵相. *Jpn. J. Ent. (N. S.)* 4 : 91-97.
- Victor, J. R. and Ogonor, P. S. (1987) Humidity reactions in two species of tenebrionid beetles

Infesting poultry and food storage house in
Nigeria. *Reved de Zoologie Africaine* 101 (3) :
423-430.

Wang S. Q., Zhang W. Z., Xiao A. and Zhang G. Y.
(1990) Predatory insects of fly larvae and their

predatory efficiency. *Yixue Dongwu Fangzhi* 6
: 15-18.

吉田敏治・渡辺 直・尊田望之 (1989) 図説 貯
蔵食品の害虫. 全国農村教育協会, 東京.

研究奨励賞受賞論文

家庭用殺虫剤の水性化に関する研究^{1,2)}

松永忠功

住友化学工業農業化学品研究所

Studies on Water-Based Sprays for Household Insecticides. Tadahiro Matsunaga (Agricultural Chemicals Research Laboratory, Sumitomo Chemical Co., Ltd., Takarazuka, Hyogo 665-8555, Japan) *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* **13** : 59-66 (2002)

In these days of concern about the environment, water-based aerosols (WBAs) offer advantages. Their use would help to lower the emission of volatile organic compounds. Insecticidal WBAs containing hydrophobic active ingredients for household use are of three kind when classified by the kind of propellant. One kind, propelled by compressed gas, typically has an oil-in-water microemulsion for the liquid phase and gas or gas mixture such as nitrogen or air for the gas phase. Another kind, propelled by dimethyl ether, has a pressurized liquid phase composed of water, alcohol, and dimethyl ether. These components are miscible, and insecticides can be uniformly dissolved in the mixture without an emulsifier. The third kind, propelled by liquefied petroleum gas, has two liquid layers, the upper is rich in liquefied petroleum gas and the lower being a water-in-oil emulsion. Most of the insecticides is in the upper layer, so the container must be shaken well before use. These environmental-friendly formulations were rated as having excellent insecticidal performance by experiments is formulation technology.

Key words : Water based aerosol, Insecticide, Volatile organic compounds

近年、環境への配慮の高まる中、揮発性有機化合物 (VOCs) の放出を極力抑えよとの社会的な要望がある。家庭用殺虫噴霧剤にこの課題をあてはめると、水性化が一つの方向となり得る。疎水性の殺虫剤を水性エアゾール化する場合、以下の3つの種類に分類されるであろう。1. マイクロエマルジョンスプレー (噴射剤に圧縮ガスを用いる) : O/W型の透明なマイクロエマルジョンを作り、空気や窒素ガスな

1) 本稿は、第13回年次大会における研究奨励賞受賞講演 (2001年11月17日 : 大阪府立大学農学部) の概要である。
2) The Society Award Study.

どの圧縮ガスで噴霧する。2. 一液型水性エアゾール（噴射剤にジメチルエーテルを用いる）：互いに混ざりあう、水、ジメチルエーテル、アルコールを用い、この中に殺虫剤を溶解させて用いる。3. 二液型水性エアゾール（噴射剤に液化石油ガスを用いる）：乳化剤を用いてW/O型エマルションを作るが、液部は液化石油ガス主体の上層とエマルションの下層の二層に分かれている。殺虫剤は主に上層に分布しているため、使用前に良く振って均一にしてから噴霧する必要がある。これ等環境にやさしいエアゾールは、製剤に一定の工夫を与えれば、優れた性能を発揮させることができる。

はじめに

地球環境保全が世界のなすべき課題としてクローズアップされている。さまざまな学問分野、産業分野で地球環境をよくしようとする取り組みが行われているが、筆者は家庭用殺虫噴霧剤について有機溶剤等VOCs（揮発性有機化合物）の削減はどこまで可能かに取り組んだ。噴霧剤には殺虫成分は零コンマ数パーセント含有されているが、残部は増量剤と噴射剤で構成される。VOCs削減には、増量剤として水を使うのが理想である。この水性噴霧剤を作るには以下の方法がある。

1. マイクロエマルションスプレー

噴霧される殺虫液は分離せず、また乳白色ではなく透明なマイクロエマルションが好ましい。これを空気、窒素、炭酸ガスなどの圧縮ガスで噴射するようにすれば原理的にVOCsを最小にすることができる。

2. 一液型水性エアゾール

噴射剤に親水性のジメチルエーテル（DME）を用いる。水で増量し、必要に応じてエタノールやイソプロパノールなど水と混ざる溶剤を加え、これに殺虫成分を溶解させる。

3. 二液型水性エアゾール

噴射剤に液化石油ガス（LPG）を用い、殺虫成分、溶剤、乳化剤、水を加えてW/O型エマルションにする。使用前にはサラダドレッシングのようによく振ってから噴霧する必要がある。

それぞれのタイプのスプレーは、一定の工夫を

加えれば優れた性能を発揮することができる。

マイクロエマルションスプレー

マイクロエマルションは液滴が0.0025~0.15 μm の透明なエマルションである。

家庭用殺虫剤では、殺虫成分として安全で速効性のあるピレスロイド剤の使用が一般的である。また、ピレスロイド剤は弱酸性のエマルションでは安定で、分解して異臭を発生することもない。

温度変化に耐えて透明溶状を維持するには、非イオン系乳化剤（POEスチレン化フェノールエーテルなど）と陰イオン系乳化剤（ドデシルベンゼンスルホン酸カルシウムなど）、さらに親水性物質（プロピレングリコールなど）を補助乳化剤として加えると有効である（表1）。

表1 マイクロエマルション殺虫噴霧液の組成（松永ら、1994）

成分	配合量 (%W/W)
ピレスロイド、ノックダウン剤 ¹⁾	0.1~0.2
ピレスロイド、キル剤 ²⁾	0.2
乳化剤	1~2
プロピレングリコール	0.2~2
BHT	0.03~0.05
防菌・防黴剤	0.1
精製水	残部

1) d-allethrin（ピナミンフォルテ[®]）、prallethrin（エトック[®]）など。

2) d-phenothrin（スミスリン[®]）、d-cyphenothrin（ゴキラート[®]）など。

スプレー液を噴霧するには、手動式ポンプスプレーと耐圧缶に充填し圧縮ガスで噴霧するエアゾールがある(松永ら, 1994)。

1. ポンプスプレー

プラスチック容器に充填し、手動で圧縮空気で放出するが、有効成分が酸化されやすいので、分解抑制にBHTなど抗酸化剤を添加するのが良い。プラスチック容器にはポリエチレンテレフタレート(PET)、内面ナイロンコートポリエチレン(Nylon/PE)が殺虫成分の吸着や透過酸素による分解を最小にする好ましい材質である。

害虫に対する効力を効率良く発揮するには、噴霧器の性質が重要である。

ハエや蚊に対しては噴霧する霧の物理的性状が大きく影響する。噴霧器AとB、2種類の差異を表2、図1に示す。表2はアカイエカ(*Culex pipiens pallens*)雌成虫とイエバエ(*Musca domestica*)雌雄成虫に対するガラスチャンバー(70×70×70 cm)試験法による駆除効果の比較である。噴霧器Aの速効性が優れる。これは噴霧粒子、系分布の相違による。図1は、位相ドップラー式レーザー粒子分布分析計(エアロメトロック社製)で計測した結果であるが、噴霧器Aは10~35 μmの細かい粒子に分布が集中している。ハエや蚊に対して

表2 ガラスチャンバー試験法による室内効力試験¹⁾(松永ら, 1994)

噴霧器の種類	KT ₅₀ 値 ²⁾ (分)	死虫率(%)
アカイエカ		
噴霧器 A	2.8	100
噴霧器 B	4.3	100
イエバエ		
噴霧器 A	2.7	100
噴霧器 B	5.5	99

- 1) 噴霧液中の濃度: ピナミンフォルテ®, 0.2/ スミスリン®, 0.2 (%W/W)。
- 2) 速効性の指標: 供試虫の50%がノックダウンするまでの時間を統計処理で求めた値(数値が小さいほど速効性が大)。

は、この範囲の粒子が有効で、これ等飛翔害虫へ付着性と粒子の空間滞留性による。

実地の効力試験によって確認を行った。実施場所はマレーシア国ペナン市である。ペナン市で採集したネッタイシマカ(*Aedes aegypti*)、ネッタイエカ(*Culex quinquefasciatus*)、イエバエをそれぞれケージに入れて、居間(容積26~50 m³)の床から1 mと2 mの高さに吊るした。噴霧者は居間の中央に立ち、斜め上方、壁と天井の境界に向けて一回りするよう10 mlを噴霧した(図2)。実地試験においても噴霧器Aの効果が高く、実用

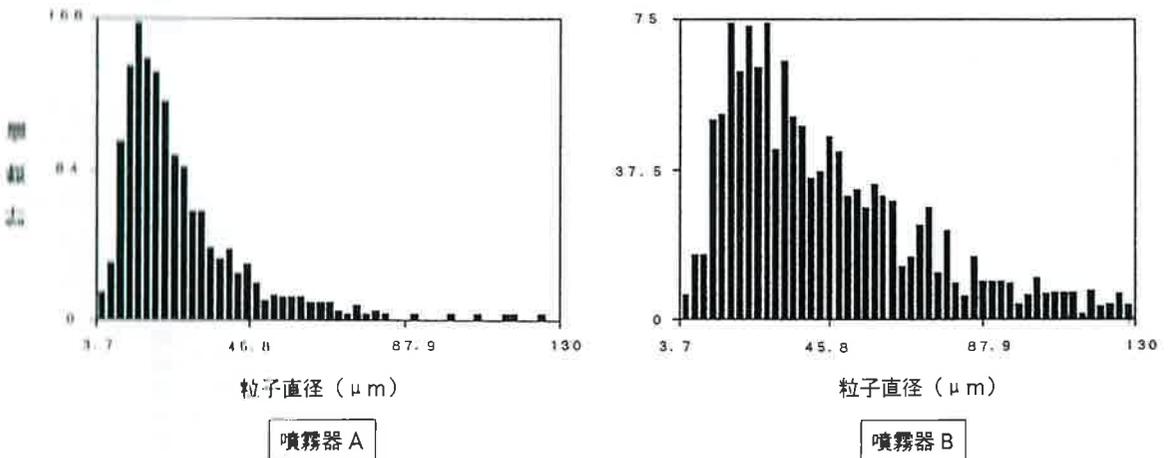


図1 ポンプ式噴霧器の噴霧粒子径分布(松永ら, 1994)。

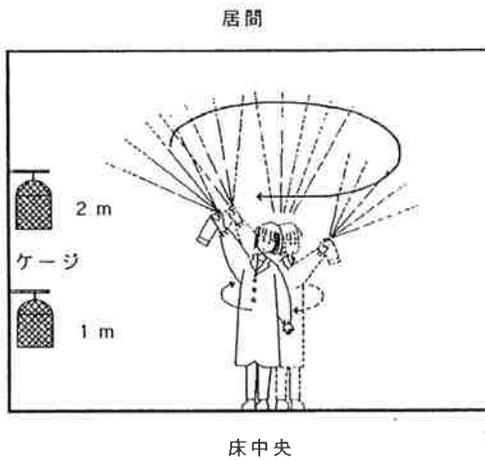


図2 実地試験法 (松永ら, 1994).

性は十分であった (表3) (松永ら, 1994; 田中ら, 1992).

2. エアゾール

液化ガスを用いず, 窒素ガス (圧縮ガス) を噴

射剤とするエアゾールを作製した. 近年, 化粧品用を中心に圧縮ガス用ボタンが開発されている. 圧縮ガスの欠点は, エアゾールを使っていくうちに缶の中の空間容積が増えてくるが, それでつれて圧力が急減することで, 液化ガス用のボタンでは噴射速度も急減する. 圧縮ガス用ボタンでは, レギュレータ機構が備わっているため, 最後まで一定の噴霧性状が維持できる. ただし, 細かな霧は得られないので, 空間噴霧には適さないが (図3), 直撃型ゴキブリスプレーには機能する. 水が97%のエアゾールであっても, 市販されるタイプの油性エアゾールや水性エアゾールに匹敵する効力が得られる (表4) (松永ら, 1994; 田中ら, 1994).

一液型水性エアゾール

液化噴射剤としてジメチルエーテルを用い, 水と親水性溶剤を加えて均質な溶液を作り, この中

表3 ペナン市での実地効力試験 (松永ら, 1994; 田中ら, 1992より作成)

噴霧器の種類	噴霧量 (g/30m ³)	ケージの高さ (m)	KT ₅₀ 値 (分)	死虫率 (%)
ネットイシマカ				
噴霧器 A	10	2	2.4	100
		1	2.2	100
噴霧器 B	10	2	19.5	91
		1	13.0	91
対照エアゾール ¹⁾	5	2	5.6	96
		1	6.4	99
ネットイイエカ				
噴霧器 A	10	2	3.6	95
		1	3.3	95
噴霧器 B	10	2	> 60	46
		1	44.3	59
対照エアゾール ¹⁾	5	2	11.1	83
		1	17.4	74
イエバエ				
噴霧器 A	10	2	20.3	46
		1	11.2	42
噴霧器 B	10	2	>60	17
		1	>60	10
対照エアゾール ¹⁾	5	2	42.7	27
		1	24.0	33

1) OTA (Official test aerosol, CSMA) : pyrethrin 0.2/PBO 1.6 (%W/W).

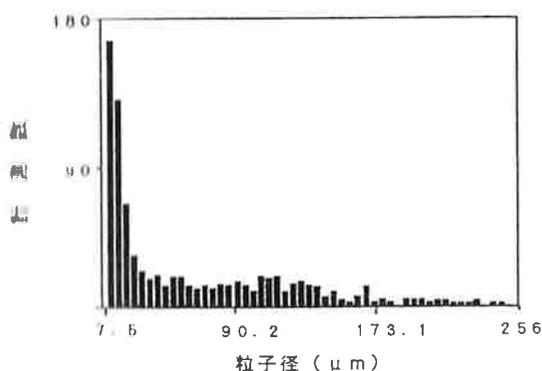


図3 供試マイクロエマルジョンエアゾールの粒子径分布 (松永ら, 1994).

に殺虫成分を溶解するエアゾールである。水が多量に含まれる溶液であるから、充填するエアゾール缶が腐食されない配慮が必要となる。殺虫エアゾールの場合、一般に安価なブリキ缶が用いられているが、ブリキの腐食を回避するためには液性をアルカリ性にするのが有効である。pHを9程度にするが、この条件で加水分解されない殺虫成分を選択する。図4に、本タイプのエアゾール中での各種殺虫成分の45℃、3ヵ月保存後の残存率を示した。一例として、安定な殺虫成分を用いたエアゾール処方を表5に示した。ハエ、蚊駆除などの空間噴霧には実用性がある。しかし、ゴキ

表5 一液型水性エアゾール (Dohara *et al.*, 1991より作成)

組成	含量 (%W/W)
d-allethrin (ビナミンフォルテ®)	0.4
d-phenothrin (スミスリン®)	0.1
イソプロピルアルコール	バランス
安息香酸アンモニウム/ アンモニア水溶液 (pH 9.5)	30.0
ジメチルエーテル	45.0

ブリには十分な効力を発揮しない (Dohara *et al.*, 1991).

二液型水性エアゾール

米国では元来ハエ、蚊用に二液型水性エアゾールが使われている。資材としての水は、安価で入手の利便性が高いからであった。近年は、VOCs削減の意図が積極的に加わり、米国カリフォルニア州ではスプレーのカテゴリー毎にVOCs含量が規制される。殺虫スプレーの場合について、表6に示した。

二液型水性エアゾールは、W/O型乳化剤を用いて、油層が連続相となるエマルジョンで構成される。エアゾール缶への腐蝕の影響は、溶解型やO/W型エマルジョン型に比して軽減されるので、

表4 マイクロエマルジョンエアゾールのゴキブリ直接噴霧試験 (松永ら, 1994より作成)¹⁾

エアゾール剤型	KT ₅₀ 値 (分)	死虫率 (%)
チャバネゴキブリ ²⁾		
マイクロエマルジョンエアゾール	4.9	100
二液型水性エアゾール	7.9	100
油性エアゾール	4.2	100
ワモンゴキブリ ³⁾		
マイクロエマルジョンエアゾール	6.1	100
二液型水性エアゾール	7.4	100
油性エアゾール	6.0	100

1) エアゾール中の濃度: エトック®, 0.1 / ゴキラート®, 0.2 (%W/W).

2) *Blattella germanica*: 噴霧量 0.4 g.

3) *Periplaneta americana*: 噴霧量 2 g.

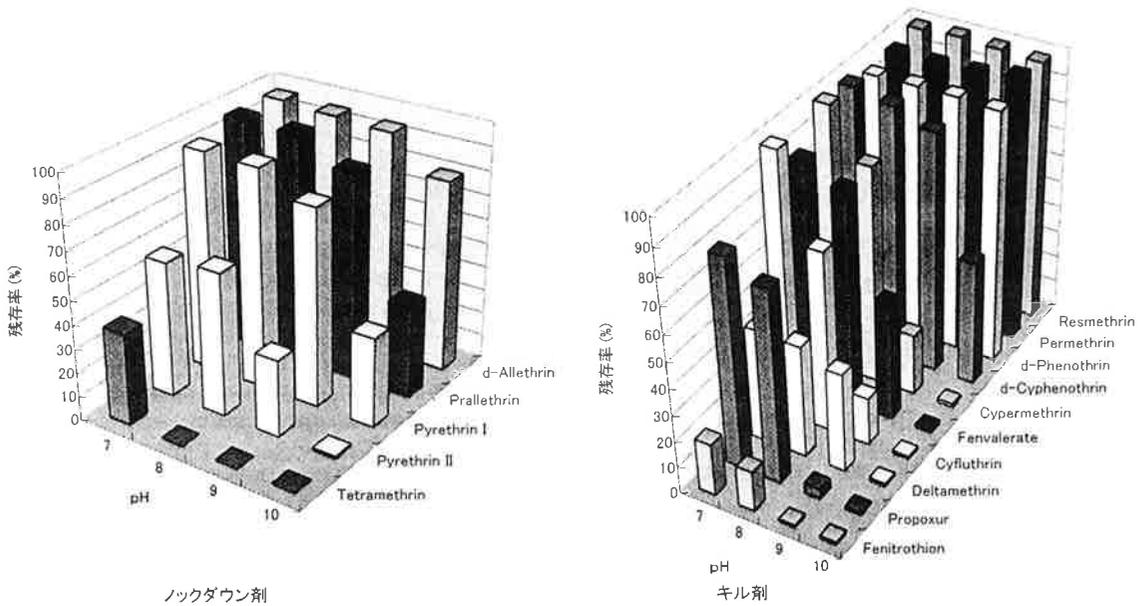


図4 各種殺虫成分の一液型水性エアゾール中安定性 (Dohara *et al.*, 1991より作成).

表6 米国カリフォルニア州 VOCs 含量規制

(カリフォルニア州政府インターネットホームページ掲載情報より作成)

Product Category	VOCs ¹⁾ by Weight
Insecticides	
Crawling Bug	20
Flea and Tick	25
Flying Bug	35
Foggers	45
Lawn and Garden	20

1) Non-reportable VOC : vapor pressure < 0.1 mmHg at 20°C.

表7 ゴキブリ用水性エアゾールの処方 (平野ら, 1998より作成)

組 成	含 量 (%W/W)
imiprothrin (プララル®T) および他 ピレスロイド剤	所定量
乳化剤	0.5~1.25
溶解助剤	0.5~6.0
精製鉱物油	20~25
精製水	55~60
液化石油ガス	20

例えば一液型水性エアゾールのように液性をアルカリ性とする必要はないため、液性を弱酸性とし、アルカリ性では使用できない殺虫成分も使用できる。

表7にVOCs削減のゴキブリ用水性エアゾールの処方を示した。速効性を表現するのに、ゴキブリにエアゾールを噴霧してからノックダウンするまでにゴキブリがどのくらいの距離を移動できるかを示すダーツ試験法により評価した (図5)

(Senbo *et al.*, 1995; 平野ら, 1998)。統計処理した数値、すなわち半数のゴキブリがノックダウンして動けなくなるまでに移動した距離 MD₅₀値 (moving distance of 50% insects) で比較すると、対照の市販品油性エアゾール (海外) と比べて、プララル®T含有水性エアゾールの速効性は明らかに優れ、水性であっても製剤の工夫で油性エアゾールに勝るゴキブリ用スプレーを処方することができる (表8) (平野ら, 1998)。

おわりに

エアゾール製品の消費量は年間一人あたりに換算すると米国の12.3本、ヨーロッパ10.5本、日本5.5本となっている（日本エアゾール協会技術委員会，1998）。エアゾールの消費量の多い米国やヨーロッパでは、VOCs削減水性化の嗜好が特に

高い。

世界の動向をも見ながら今後の製品開発には、消費者のニーズに合った使いがってのよさや、性能、経済性の座標軸はたいへんに重要なことであるが、これまでも増して環境にやさしいという座標軸を加えて研究することが望まれているのではないかと考える。

引用文献

Dohara, K., S. Senbo, T. Matsunaga, T. Ito, G. Shinjo and Y. Abe (1991) Water-based aerosol insecticides containing dimethyl ether as a propellent. *J. Pesticide Sci.* 16 : 615-622.

平野雅親・松永忠功・金子秀雄・古田リツ子・横井重喜 (1998) 高ノックダウン活性を有する新規ピレスロイド“プラル®”の開発. 住友化学技術誌 1998-I : 4-15.

松永忠功・田中康順・安部八洲男 (1994) 家庭用殺虫剤の水性液化. 家屋害虫 16 (2) : 100-107.

日本エアゾール協会技術委員会・東洋エアゾール工業研究部 (1998) エアゾール包装技術. エアゾール産業新聞社, 東京.

Senbo, S., M. Makita, T. Yano, Y. Abe, T. Itoh and M. Hirano (1995) Characteristics of insecticidal activity of a new synthetic pyrethroid, imiprothrin, against household insect pests.

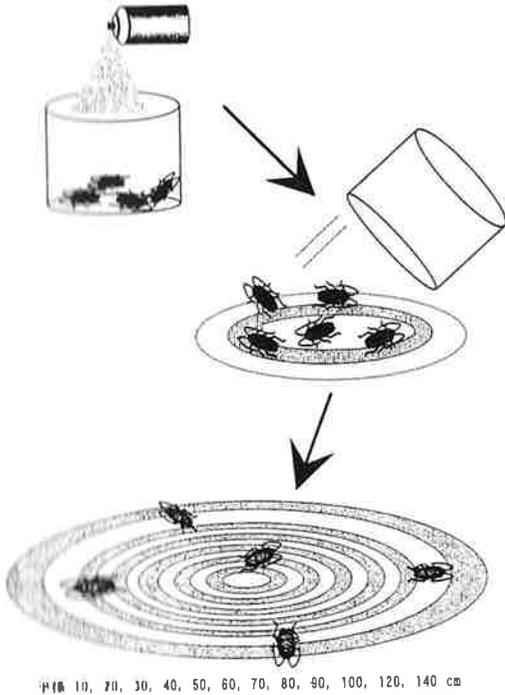


図5 グーツ試験法 (平野ら, 1998).

表8 ゴキブリ用水性エアゾールの効力 (平野ら, 1998より作成)

供試エアゾール	含量 (%W/W)	チャバネゴキブリ ¹⁾		ワモンゴキブリ ²⁾	
		MD ₅₀ (cm)	死虫率 (%)	MD ₅₀ (cm)	死虫率 (%)
水性: imiprothrin (プラル®T) / d-(S)-cyphenothrin (ゴキラート®S)	0.1 / 0.1	16.7	100	32.2	100
油性 (対照): dichlorvos / tetramethrin / propoxur / cyfluthrin	0.5 / 0.3 / 1.0 / 0.025	82.7	100	> 140	100

1) 1g噴霧.
2) 4g噴霧.

Jpn. J. Environ. Entomol. Zool. 7(2) : 79-86.
田中康順・牧田光康・松永忠功・伊藤高明・安部
八洲男・葉漢興 (1992) ピレスロイド含有水
性殺虫液剤の家庭用噴霧剤への応用. 環動昆
4(3) : 121-127.

田中康順・松永忠功・伊藤高明・安部八洲男
(1994) ピレスロイド含有水性殺虫液剤の家
庭用噴霧剤への応用. ゴキブリ用噴霧剤. 環
動昆 6(3) : 119-124.

復行
コミュ
習性、
く反噴
に誘引
有であ
1984)、
夜間飛
乱して
で生息
いると
類に
に検
b)、こ
光バ
光感
ホタ
帳減

ホ
性で

- 1) 本
- 2) F
- 3) C

解説

ホタル類の光コミュニケーションと夜間照明^{1,2)}

大場信義³⁾

横須賀市自然・人文博物館

はじめに

夜行性のホタル類は種固有なパターンで発光し、コミュニケーションを図る (Ohba, 1983 a). 活動習性、発光の強さやパターンは外部形態にも大きく反映されており、特に複眼や触角の形態に明瞭に表れる (大場, 1978). ホタル類の発光色も種固有であり (Biggley *et al.*, 1967; Eguchi *et al.*, 1984), 活動習性に反映され (Lall *et al.*, 1980), 夜間照明がホタルの発光コミュニケーションを攪乱しているときみされる。ホタル類は人里に好んで生息するために、夜間照明の影響を強く受けていると考えられるが、これまで夜間照明がホタル類に対してどのような影響を及ぼすのかを具体的に検討されたものは少ない (大場, 1995 a; 1995 b). ここでは、ホタルの活動習性・外部形態・発光パターン・光コミュニケーション・発光色と分光感度などと夜間照明の関係をいくつかの夜行性ホタルを取り上げるとともに、夜間照明の影響を軽減させる具体的な実践例を紹介する。

形態と活動習性

ホタル類は夜行性でよく発光するものから昼行性でほとんど発光しないものまで様々な種が知ら

れる。夜行性種は発光器が大きく、強く発光し、眼が大きい。一方、昼行性種は発光器が痕跡的になり、ほとんど発光せず、眼が小さい。夜行性と昼行性の中間的な両行性種は発光器の大きさ、発光の強さや眼の大きさが中間的なものとなる。夜行性種のなかでも、飛翔発光時刻が種ごとに異なり、薄暮時から飛翔発光を開始するものから深夜に飛翔発光するものまで多様である (表 1). 次に代表的なホタルについて各々の活動習性を記する。

ゲンジボタル：日本を代表する体長約 1.5 mm の大型種であり、夜行性種で流れのある水辺で強くゆっくりと集団となって明滅する。飛翔発光する個体のほとんどが雄であり、雌の固有な発光シグナルを探すために発光周期を同調させる。この発光間隔が西日本では約 2 秒、東日本では約 4 秒であり異なっている (大場, 1988). 発光開始時刻は第 2 表に示した通りであるが、横須賀市では 5 月中旬～6 月中旬まで本種の発生期間であり、それによって発光開始時刻も異なるが、開始時における生息地の照度は 0.5～0.12 lx である。従って、夜間照明によって生息環境の照度が大きく変化することによって、発光活動が攪乱されることが予想される。本種はゆっくりと点滅発光する光源に

1) 本稿は、第13回年次大会シンポジウム「光と昆虫」(2001年11月16日、大阪府立大学)における講演内容に加筆したものである。

2) Flash Communication of Fireflies and Artificial Light.

3) Ohba Nobuyoshi (Yokosuka City Museum, 95 Fukadadai, Yokosuka, Kanagawa 238-0016; E-mail: QGB00523@nifty.ne.jp)

表1 ホタルの習性および形態に伴うコミュニケーション・システムの比較 (Ohba, 1983 aより)

コミュニケーション様式	HP system (Signal system II)	LL system	LC system (Complex system)	PR system (signal system I)	CR system	LB system
複眼の大きさ $e/p^{1)}$	0.80-0.70	0.80-0.70	0.70-0.65	0.45-0.27	0.30-0.27	0.22-0.20
触角の大きさ $\log a/p^{1)}$	0.59-0.45	0.85-0.78	1.11-0.85	1.49-1.18	1.59-1.11	1.70-1.11
発光の強さ	幼虫 成虫	++ ++++	+++ +++++	++++~+ ++++~++	++~+ +	++~± ±
発光パターン	{ ♂せん光 ♀まばたきを伴う	やや間のびした 発光~間の びした発光	単一で間のび した発光	連続光	弱い連続光	ほとんど発光 しない
活動習性	夜行性	夜行性	夜行性	夜行性	両行性	昼行性
発光信号	規則的な発光	不規則な発光	不規則な発光	++++	+	-
化学的信号		-	±	++++	++++	++++
発光器の大きさ	++++	++++	++++	++++~++	+	±
備 考				雌は翅が退化		

1) e: 複眼幅, p: 前胸背長, a: 触角長×触角最大幅。

誘引される習性があり、橙色の懐中電灯をゆっくと動かすことで雄が誘引される。また、タバコの火に対しても同様な習性を示す。

ゲンジボタルによく似たクメジマボタルは沖縄県久米島にのみ分布し、発光開始時刻は19:04前後であり、その時の生息地の照度は1.4 lx前後である。発光開始時における照度は他のホタル類に比べて明るい。雌の集団産卵行動開始時は明け方であり、微かな照度を選ぶために、本種は夜間照明の影響を大きく受ける可能性が高い。

ハイケボタル: 体長約8mmほどでゲンジボタルに比べて小型であり、光も弱い。小川、水田や湿地周辺などに生息し、雄は雌の光シグナルを探すために本州・九州・四国では約0.5秒に1回発光する。しかし、寒冷な北海道釧路湿原の集団ではその発光間隔が約1秒と間延びする。本種は6月中旬~8月に出現し、発光開始時刻は19:20~19:50であり、その時の生息地照度は0.01 lx以下であって、ゲンジボタルよりも暗くなってから活動する傾向がある。従って、夜間照明の影響はゲンジボタル以上に大きいと考えられる。

ヒメボタル: 森・林や草地などに生息する陸生

ホタルであり、強く断続して発光する夜行性種である。発光器と眼は大きい触角は細く短い。雌は後翅が退化して飛翔できないが、雄は雌固有の発光シグナルを探すために飛翔発光する。この発光間隔は約0.5秒と0.8秒の2型があり、前者は小型で神奈川県以西に分布し、後者は大型で青森県が分布の北限となっている。本種は19:30~20:30に発光活動するのが一般的であり、小型ヒメボタルでも発光開始時刻は19:07~19:45であり、照度は0.05~0.45 lxであり、バラツキが多い。しかし、照度測定位置と発光開始したホタルの位置が異なる場合に、こうした幅が生じているためであり、最低照度での比較によって凡その発光開始時の照度比較が可能と思われる。こうしたなかで、名古屋城外堀のヒメボタルの発光開始時刻は異常に遅れ、最近では22:00以降であり、しかも飛翔発光最盛が深夜にある特徴を有する。照度測定位置を5m移動するだけで、0.01~0.20 lxの変動があり、部分的には恒常的に0.2 lx以上となっているので(表2)、発光開始時刻に攪乱が生じていると考えられる。

ヤエヤマボタル: 西表島・石垣島の森に生息す

表2 各種ホタルの発光開始時刻および照度

観察対象	観察時刻	照度 (lx)	備 考	
大型ヒメボタル (若古屋城外堀) ¹⁾	22:00	0.01	発光開始	
	22:10	0.14-0.20	測定場所移動	
	01:30		飛翔発光最盛	
(福島県安達太良山)	19:30		発光開始	
	20:30		飛翔発光最盛	
小型ヒメボタル (鶴山県新藤町)	19:07	0.45	発光開始	
	19:15	0.05	発光開始	
	19:45	0.12	発光開始	
ヤエヤマボタル (静岡県石垣島)	19:33		発光開始	
	19:34		飛翔発光	
	20:05		発光活動停止	
タビタビボタル (静岡県)	19:30	0.07	発光開始	
	19:45		飛翔発光最盛	
両目車燈ゲンジボタル (静岡県河馬)	19:34	0.91	発光開始	
	19:38		発光開始	
前目車燈ゲンジボタル (静岡県裾野市)	18:58	0.07	発光開始	
	19:08	0.12	発光開始	
	19:12	0.05	発光開始	
	19:16	0.05	発光開始	
	19:22	0.05	発光開始	
タメジマボタル (静岡県久米島)	19:04	1.40	発光開始	
	19:06	1.42	発光開始	
ハイケボタル (静岡県裾野市)	19:50	0.01以下	発光開始	
	19:22	0.01以下	発光開始	
キイロスジボタル (静岡県西表島)	19:45	0.01以下	発光開始	
	19:45	0.02	発光開始	
オキナワスジボタル (沖縄市)	19:52	0.01以下	発光開始	
	(ミヤコボタル)			
(沖縄県宮古島)	19:44	0.91	発光開始	
	(イリオモテボタル)			
	(沖縄県西表島)	18:30	0.06	発光開始
	18:28	0.14	発光開始	
	18:34	0.06	発光開始	
	19:58	0.02	発光 (ナトリウムランプで照射されている)	

1) ()内は観察地。発光開始時刻は発生初期と後期で相違する。照度測定位置や条件によって変動するが、一定条件を満たせば凡そこの傾向を示す。

る夜行性種。雄は大きな発光器、眼を有し、強く発光点滅する。雌は下翅を欠き、上翅が半分まで

退化して飛翔できず、地表などで雄に向けて固有な光シグナルを放つ。雄の探雌飛翔発光は薄暮時に開始されて、約30分間で探雌行動を終える(表2)。発光開始時刻は19:30前後であり、照度は0.05~0.07 lxである。

クロイワボタル：沖縄島と久米島に分布する夜行性で小型種。畑周辺にオキナワスジボタルとともに生息し、発光パターンは大型ヒメボタルに似ているが、発光開始は薄暮時である。本種の発光開始時刻は19:30~19:45であり、照度は0.07 lx前後である。また、飛翔発光活動時間は約30分であり、短い。同様な習性はヤエヤマボタルにもみられる。

オキナワスジボタル：前種と同様な環境に生息し、夜行性種であるが、前種よりやや遅れて飛翔発光する。飛翔時の雄は弱いが長く発光し、時々光を消すが、雌はとまってゆっくりと明滅を繰り返す。19:45前後に発光開始し、照度は0.01 lx以下であり、ハイケボタルにその習性が似る。キイロスジボタルもオキナワスジボタルと同様な習性を有する(表2)。

ミヤコマドボタル：宮古島諸島にのみ分布し、絶滅が危惧される昆虫のひとつとして指定されている。本種はキイロスジボタルとともに生息するが発光開始時刻が本種では19:44前後、照度は0.9前後であり、早く出現し、約1時間で活動を終える。薄暮時から1時間内の夜間照明の影響は本種を含めて多くのホタル類に大きな影響を及ぼすことが予想される。

イリオモテボタル：西表島(図1)と石垣島の方に分布し、雄の背面の眼が深く湾入する。触角は細く固有であり、発光器が認められない。雌は幼虫型であり腹部腹面に大きな発光器を1節(Wittmer *et al.*, 1994)、各腹節に3個のスポット状発光器を備えている。雌は薄暮の18:30ごろから強く連続発光し、雄を誘引する(図2)。雄は雌が発光する直後に飛翔し、雌に定位する。雄の探雌行動は約15分間であり、非常に短く限定される。

1月上旬における本種の雌の発光開始時刻は



図1 イリオモテボタルの生息地、沖縄県西表島の人里に生息するために、道路整備や街路灯の設置が急速に進んでいる。



図2 発光器面を上空に向け発光する幼虫型をしたイリオモテボタルの雌成虫。体長は約15mm。

18:30前後、照度は0.6~0.14 lxであり、通常は19:00に活動を停止する。他のホタル類に比べて、発光開始時刻が早く、照度も明るい。生息地では肉眼的明るさは薄暮であるが、雌が発光する位置は岩の隙間や草の根元であり、周囲が明るくても、発光位置では部分的に暗い。探雌する雄にとっては、空間認知する必要があり、むしろ周辺環境の照度が重要となるためである。

ナトリウムランプによる夜間照明によって、照度が0.02 lxのまま維持された結果、19:58時点でも発光する雌が確認されている。ナトリウムランプの直下では0.48 lxあり、5 m離れた地点では

0.39 lxとなり、雌が発光する地点では0.02 lx前後である(第2表)。しかし、19:10以降で夜間照明のない場所では雌の発光は確認できなかったことから、夜間照明がイリオモテボタル雌の発光活動を攪乱しているものと考えられる。

コミュニケーション・システム

ホタル類は光と匂いをシグナルとし、種固有なコミュニケーションを図っている(Ohba, 1983a; 大場, 1999)。発光コミュニケーションを行うホタルは夜行性種であり、匂いによるコミュニケーション(ケミカル・コミュニケーション)を行うものは昼行性種である。光と匂いを併用するホタルは両行性ホタルである(図3)。以下に本論に関連する発光コミュニケーションを行ういくつかのホタルを記す。

ゲンジボタル: 探雌飛翔発光する雄は一斉に点滅し、同調する。雌は発光が同調しない上に飛翔せず不定期に発光して雄を誘引する。雄と雌が出会うと雄は雌に向けて盛んに発光し、雌が応答するように発光すると交尾に至る。この応答発光のタイミングは一定でない。本種は雄の集団同時明滅行動によって雌との出会いの機会を高めている。このようなコミュニケーション様式をLCシステムと称している(Ohba, 1983a; 大場, 1988)。クメジマボタルは本型に属する。

ヘイケボタル: 探雌飛翔時の雄は弱い光を放つが、雌は草地などで強く明滅して雄を誘引する。雌に接近した雄は近くに止まって瞬くように発光パターンを変える。雌は雄に合わせるように発光間隔を縮めて相互に、発光シグナルを識別し、交尾に至る。こうしたコミュニケーション・システムをLLシステムと称する(Ohba, 1983a)。キイロスジボタル・オキナワスジボタルは本型に属する。

ヒメボタル: 雄は地上約1 mを探雌飛翔発光する。この時の雄は閃光を規則的に放つが、雌は茎や岩などに止まり雄とは異なる瞬きを伴う光シグナルを2~3秒間隔で放ち、雄を誘う。雌を発見した雄は発光しながら雌に接近し、雌の応答発光

<p>(1) ヒメボタル型〔HPシステム〕</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 日没後に雄は閃光を発生し始める ② 雄は飛翔し、発光 ③ 雌は発光開始 ④ 雄は雌に接近 ⑤ 雌は雄の発光信号にตอบสนอง発光する 雌の応答するタイミングは一定 ⑥ マウンティング ⑦ 交尾 	<p>(2) ヘイケボタル型〔LLシステム〕</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 日没後に雄は発光開始 ② 雄は飛翔発光 ③ 雌は発光開始 ④ 雄は雌に5~30cmまで接近し、おのおの固有なパターンで発光 雌雄間の発光のタイミングは不規則 ⑤ マウンティング ⑥ 交尾 	<p>(3) ゲンジボタル型〔LCシステム〕</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 日没後、雄は発光開始 ② 雄は飛翔しながら同時明滅する ③ 雌は発光開始 ④ 雄は雌に殺菌 ⑤ 雄は雌の周辺で歩行したり、静止したりしながら、さまざまなパターンの光を発する ⑥ マウンティング ⑦ 交尾
<p>(4) アキマドボタル型〔PRシステム〕</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 日没後、雄は連続光を発する ② 雄は飛翔しながら連続光を発する ③ 雌は連続光を発生し始める ④ 雄は雌に接近 ⑤ ケミカルコミュニケーション ⑥ マウンティング ⑦ 交尾 	<p>(5) ムネクリイロボタル型〔CRシステム〕</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 曇天の日中に雌雄とも飛翔 ② 雄は雌に接近 ③ ケミカルコミュニケーション 日没後に弱い連続光が補助的に配偶行動に関与? ④ マウンティング ⑤ 交尾 	<p>(6) オバボタル型〔LBシステム〕</p> <ol style="list-style-type: none"> ① 日中に雌雄ともに飛翔活動 ② 雄は雌に接近 ③ ケミカルコミュニケーション ④ マウンティング ⑤ 交尾

図3 ホタルのコミュニケーション・システムの6型 (大場, 1999より).

を要けると雌の至近距離に舞い降り、更に雌の応答発光を確認する。雌は雄の発光後、約0.3秒遅れて応答発光し、雌雄の発光のタイミングが次第に一致し、交尾に至る。こうしたコミュニケーション・システムをHPシステムと称する (Ohba, 1980 + 1983a)。ツシマヒメボタル・ヤエヤマボタルは本型に属する。

タロイワボタル：基本的にはヒメボタルと同様であるが、雌の応答発光に対して更に雄の特有な光シグナルが発せられる (Ohba, 1983b)。

イロキボタル：雌は強い連続した光を放ち雄を誘引する。雄はほとんど発光せずに雌の光シグナルを探し、接近、定位し交尾する。雌に接触したときには、匂い物質も介在していると考えられる (大場ほか, 1996)。こうしたコミュニケーション・システムをPRシステムと称し、アキマドボタル・ミヤコマドボタル・オオシママドボタルが本型に属する (Ohba, 1983a)。

発光色と分光感度

ゲンジボタルとヘイケボタルは発光色の最大ピークが560nm付近にあり、複眼の分光感度も560nm付近であり、ほぼ一致している。しかし、ヒメボタルは発光色・分光感度ともに長波長域にシフトしており、580nm付近である。種類によって発光色・分光感度が異なっている。また、ホタルの活動習性によっても相違が認められる。ホタルの発光色は可視光全てが含まれる (図4)。分光感度では可視光全てと紫外域にも認められる (Eguchi *et al.*, 1984)。従って、紫外線が含まれる水銀灯などは、ホタル類の視覚攪乱を生じさせて、活動習性にも影響を及ぼすものと考えられる。

発光ダイオードに対する反応

点滅する赤・緑・黄色光にLLシステムのヘイケボタル、キイロスジボタル、オキナワスジボタ

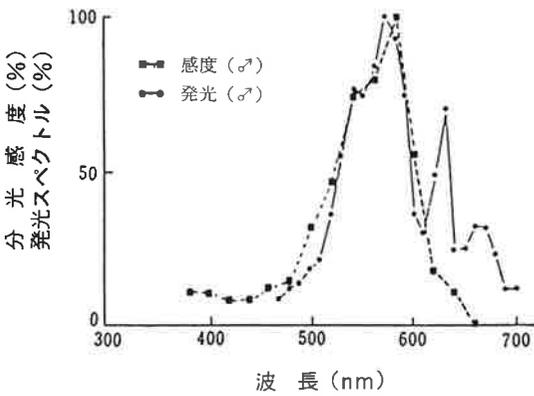
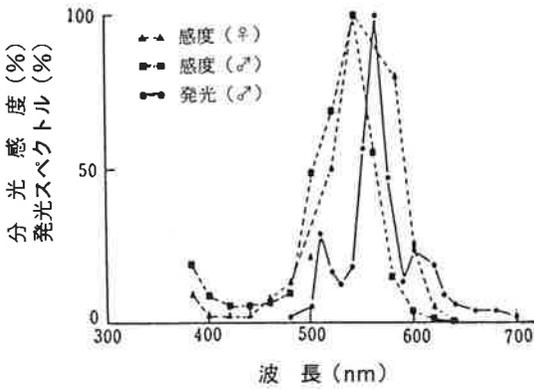


図4 発光スペクトルと分光感度曲線の比較. ゲンジボタル(上), ヒメボタル(下) (Eguchi et al., 1984を改変).



図5 点滅する発光ダイオードに誘引されたヘイケボタル雄の飛翔発光軌跡. 点滅間隔を変化させると, 停滞飛行したり, 戻るなど様々な行動が見られる. 赤・黄色・橙・緑など様々な光源の色に誘引される.

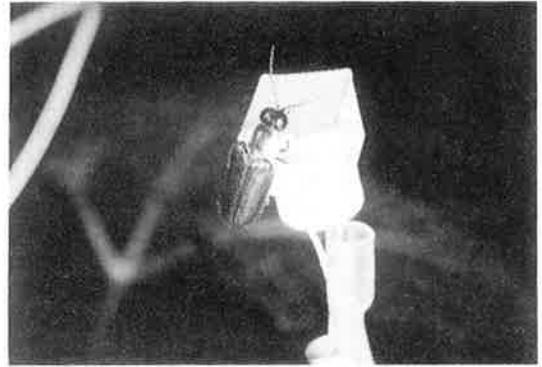


図6 発光ダイオードに定位したヘイケボタルの雄.

ルはそのコミュニケーション・システムの特徴から, 雄成虫が強く誘引される. また, 点滅間隔を変えることで雌の誘惑発光間隔に似せることにより, 交尾行動が解発される(図5, 6). また, 自動車の強力なウインカーの点滅光は百mを超える範囲の雄を誘引し (Ohba, 1983a), 雌雄間のコミュニケーションを攪乱して繁殖行動に深刻な影響を及ぼす. 一方, HPシステムのヒメボタルの雄は誘引されないが, 雌は点滅光に対して応答発光する. 雌の応答発光は点滅間隔が極端に速くない限り解発される. 発光ダイオードばかりでなくペンライトを点滅させても応答発光する (Ohba, 1980) (図7). 雄の発光よりもはるかに強い人工光に反応するために, ヒメボタル生息地における可視光の点滅光は雌雄間の発光コミュニケーションに重大な攪乱を生じさせることになる. ツシマヒメボタル・ヤエヤマボタル・クロイワボタルはHPシステムであり, 同様な影響を受けると考えられる.

人工照明の影響

名古屋城外堀におけるヒメボタルの飛翔活動開始時間の遅れ: 人工照明の影響がほとんどない福島県安達太良山での観察では雄の飛翔発光活動が20:00前後に開始されるが, 都市化された人工照明の影響が大きい名古屋城外堀では, 以前堀内を

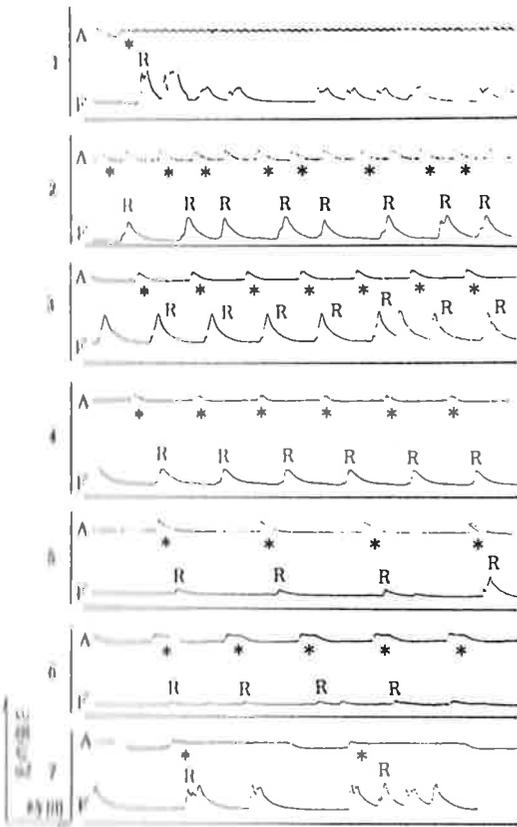


図7 さまざまなパターンモデル光に対するヒメボタル雌の応答発光。A:モデル光, F:雌の発光, R:雌の応答発光, *:雄の発光。Aの発光間隔と持続時間を変化させても雌は応答する。1.モデル光の明滅が速いため雌の応答のタイミングが合わない, 2~6. 応答している, 7.モデル光に応答のタイミングが合わないと修正しようとする (Ohbu, 1983aより)。

電車が通っていたために、構内が消灯されるのが22:00以降であった。発見当初ではヒメボタルは20:00ごろから発光開始し、以後その時刻は年々遅くなっている (大場, 1996) (図8)。これは、生息地周辺にネオンサインや街路灯などが増加し、深夜になっても部分的に2 lxを下らないといった状況が生じているために、生息地全体が明るくなり活動が抑制されていると考えられる (図9)。現状では名古屋城のヒメボタルの探雌飛翔発光行動の最盛は深夜0:00以降であり、人為的な影響で

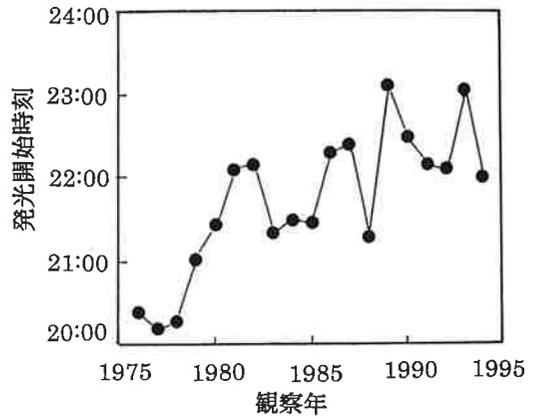


図8 名古屋城外堀における20年間のヒメボタルの発光開始時刻変化。1970年代では20:00, 1980年代では21:00~22:00, 1990年代では22:00~23:00へと発光開始時刻が次第に遅れている。



図9 名古屋城外堀におけるヒメボタルの飛翔発光軌跡 (手前)。左奥は街路灯などが生息地内を照らしているために、ヒメボタルの飛翔活動が抑制されている。

大きな影響を受けていると考えられる。

街路灯によるホタル生息域の後退

ヘイケボタルの発光は弱いために、周囲が人工照明などで照らされると、雌雄のコミュニケーションが阻害される。本種はゲンジボタルよりも暗い環境を好むので、より人里に生息する本種では街路灯の増加に伴う影響が予想以上に大きくなっている。陸生のオキナワスジボタルやクロイワボタ

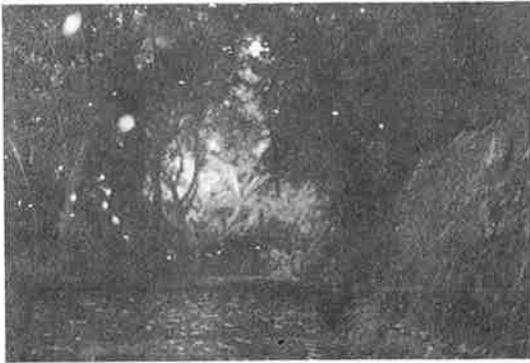


図10 クロイワボタルとオキナワスジボタルの生息地である沖縄県末吉公園。スポット状の飛翔発光軌跡はクロイワボタルの雄。



図11 クロイワボタルとオキナワスジボタルの生息地。1996年には夜間照明によって同上地ではボタルが激減した。

ルも同様に生息地に新設された街路灯によって生息できなくなる事態が生じ、その影響が増大している (図10, 11)。

街路灯によるイリオモテボタルの活動習性の攪乱

本種は絶滅が危惧される昆虫のひとつであるが、その実態は一般には知られていない。発光コミュニケーションが基本的にPRシステムであるために、他種との光シグナルによる識別は難しい。そこで、本種は類似した発光パターン他種との競争を回避するために、薄暮時を選択した。このた

めに雄の活動時間がきわめて短く限定される (大場ほか, 1996)。しかし、街路灯の増加によって、活動が抑制され、さらに薄暮時を過ぎてても、街路灯などによる人工照明によって部分的に薄暮時の照度が保たれて、雌の活動習性が攪乱され発光し続けるといった事態が生じている。一方、雄の活動時間は1月の西表島では18:30ごろから30分間に限られ、それ以降は薄暮時の照度が保たれていても活動を停止するために、夜間照明によって攪乱された発光する雌に定位しない (図12)。街路

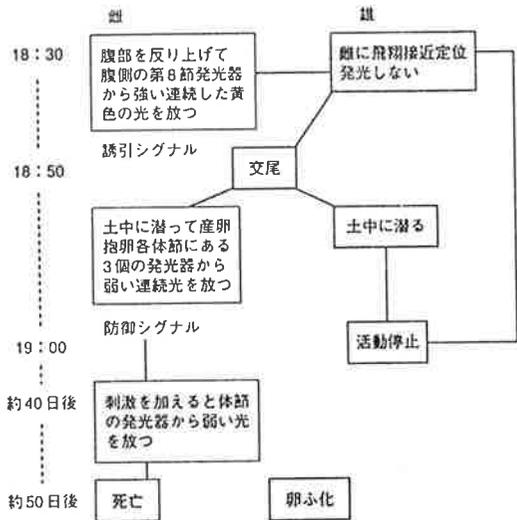


図12 イリオモテボタルの配偶行動様式 (大場, 1996より)。

灯によって雌成虫の活動習性が攪乱、交尾行動が阻止され深刻な問題となっている。さらに本種の雄は活動最盛期に緑・赤の点滅光もしくは連続光によって活動が攪乱されて雌への定位ができなくなる。イリオモテボタルは絶妙な明るさの薄暮時間帯にのみ活動するように適応したために、人工照明の影響は計り知れなく大きい。しかし、現状では生息地の急激な変貌が進み、人工照明の配慮が緊急に望まれる。

人工照明の影響の軽減策実施例

ボタルの発光色は可視光全域と紫外域であるが、

赤色に対する分光感度は比較的低い。従来の街路灯・道路照明灯には蛍光灯もしくは水銀灯が多く使用されていたが、最近では単色光でより影響が小さいと考えられるナトリウムランプが採用されるようになった。横須賀市西逸見ではゲンジボタルの生息域を集落中心地域まで拡大するために、水路沿いにあった水銀灯をナトリウム灯に代えた結果、上流域の暗い場所に生息していたゲンジボタルが集落中心地域に増えてきた。

名古屋城外堀のヒメボタル生息地は周辺の人工照明の増加に加え、堀に平行して高架の自動車道橋が建設された。その際に、ヒメボタルへの影響を最小にするために、特殊な照明方法を道路公園が採用した。道路両側に管状のナトリウム灯を並べて、路面のみ照らす方法がとられ、生息地への影響を軽減させた。しかし、本論でも述べた通り、ナトリウムランプは万能ではない。イリオモテボタルなどにとっては攪乱の影響を無視できない状況にある。今後は、夜間照明が必要であるところと必要でないところを区分し、照明方法の改善を図り、エネルギーコストと他への影響を最小にすることが必要である。

今後の緊急課題

夜間照明はホタルなどの夜行性昆虫に様々な形で影響し、特に雌雄間の光コミュニケーションを攪乱する。この事態が進行し続けると交尾行動に資せず、繁殖できなくなることが予想され、生息環境を保全しても夜間照明を配慮しない限りホタルは徐々に姿を消していくことになる。ホタルは種ごとに夜間照明の影響のしかたが異なり、地域の特性を今後十分に把握しながら、対処することが求められる。特に、西表島のイリオモテボタルや本土のヘイケボタルは夜間照明の影響が深刻であり、緊急に改善が求められる。

参考文献

Biggley, W. H., J. E. Lloyd and H. H. Seliger (1967) The spectral distribution of firefly light.

II. *J. gen. Physiol.* 50 : 1681-1692.

Eguchi, E., A. Nemoto, V. B. Meyer-Rochow and N. Ohba (1984) A comparative study of spectral sensitivity curves in the three diurnal and eight nocturnal species of Japanese fireflies. *J. Insect Physiol.* 30 (8) : 607-612.

Lall, A., H. Seliger, W. Biggley and J. Lloyd (1980) Ecology of color of firefly bioluminescence. *Science.* 210 : 560-562.

大場信義 (1978) ホタル類の形態と活動習性. 横須賀市博研報 (自然) 25 : 15-25.

大場信義 (1988) ゲンジボタル. pp.1~198. 文一総合出版, 東京.

大場信義 (1995a) ホタルと人工照明. 光害通信 10 : 1-3. 星空を守る会.

大場信義 (1995b) ホタルと人工照明. 自然保護と昆虫研究者の役割VI講演論文集, 17-21. 日本昆虫学会第55回大会・第39回日本応用動物昆虫学会大会合同大会.

大場信義 (1996) 名古屋城外堀における20年間にわたるヒメボタルの発光行動の推移. 日本動物行動学会第15回大会要旨集 : 43.

大場信義・後藤好正・川島逸郎 (1996) イリオモテボタルの外部形態・習性および生息環境. 横須賀市博物館研究報告 (自然科学) 44 : 1-19.

大場信義 (1999) 暗闇に棲む生物の光交信・ホタルを中心として. 「生物の光センサー」日本光生物学協会編, pp.121-133, 共立出版, 東京.

Ohba, N (1980) Mating behavior of a Japanese *Hotaria* firefly (Coleoptera : Lampyridae). *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.* 27 : 13-18.

Ohba, N (1983a) Studies on the communication system of Japanese fireflies. *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.* 30 : 1-62, pls. 1-6.

Ohba, N (1983b) Flash communication in *Luciola kuroiwa* (Coleoptera : Lampyridae). *Sci. Rept. Yokosuka City Mus.* 31 : 1-8.

Wittmer, W. und N. Ohba (1994) Neue Rhago-
phthalmidae (Coleoptera) aus China und

benachbarten Landern. *Jap. J. Entomol.* 62 (2)
: 341-355.

解説

光を利用した農業・園芸害虫の防除技術^{1,2)}

— アザミウマ類の防除を例として —

柴尾 学³⁾

大阪府立食とみどりの総合技術センター

はじめに

近年、農業・園芸害虫の防除は、総合的害虫管理 (Integrated Pest Management; IPM) の考え方が主流になりつつある。総合的害虫管理とは「あらゆる適切な技術を相互に矛盾しない形で使用し、経済的被害を生じるレベル以下に害虫個体群を減少させ、かつその低いレベルに維持するための害虫個体群管理システム (FAO, 1966)」と定義されており、主要概念としては、①複数の防除法の合理的統合、②経済的被害許容水準、③害

虫個体群管理システムの3つがある (中筋, 1997)。なかでも、①複数の防除法の合理的統合では、その防除法が便宜的に化学的防除、物理的防除、耕種の防除、生物的防除などに分類され、それぞれ表1に示すような防除技術が開発されている (藤家, 1997)。なお、光を利用した防除技術は全て物理的防除技術に分類される。

物理的防除はさらに、防除のメカニズムにより①侵入遮断、②行動抑制、③殺虫の3つに分類されている (田中, 1999)。④侵入遮断には、トンネルがけ・べたがけ、ハウス開口部等の被覆、侵入

表1 害虫防除法 (藤家, 1997)

防除法	主 な 技 術
化学的防除 ¹⁾	有機合成殺虫剤(殺ダニ剤や殺線虫剤を含む)の利用
物理的防除	捕殺・遮断, 光・色彩・熱の利用
耕種の防除	輪作, 混作・間作, 移植, 対抗植物の利用, 耕起, 清掃, 肥培管理, 抵抗性品種の利用
生物的防除 ¹⁾	捕食者・捕食寄生者・天敵微生物・昆虫寄生性線虫の利用
その他の防除 ²⁾	遺伝的防除(不妊虫放飼), フェロモン利用

1) 農事の中で有機合成殺虫剤のような化学農薬の利用を化学的防除に分類し、生物系殺虫剤の利用を生物的防除に分類した。

2) 遺伝的防除とフェロモン利用をその他の防除に分類したが、これらを生物的防除に含めることもできる。

1) 本稿は、第13回年次大会シンポジウム「光と昆虫」(2001年11月16日, 大阪府立大学)における講演内容に加筆したものである。

2) Control of Agricultural Insect Pests with Light—a case of thrips.

3) Mamoru Shibuo (Agricultural, Food and Environmental Sciences Research Center of Osaka Prefecture, 442 Shakudo, Habikino, Osaka 583-0862)

経路の遮断, 果実袋, ②行動抑制には, 電灯照明, 近紫外線反射フィルムを用いた畝面マルチ, 紫外線除去フィルムを用いたハウス栽培, 灌水, 音, ③殺虫には, 太陽熱による高温処理, 焼殺, 植物検疫における物理的殺虫法, 誘殺, 掃除機, 灌水などの防除技術がある。

前述の物理的防除の分類を基準にすると, 光を利用した農業・園芸害虫の防除資材は, 以下のものがあげられる。①侵入遮断のハウス開口部等の被覆として「銀色ネット」, ②行動抑制の電灯照明として「黄色蛍光灯」, 近紫外線反射フィルムを用いた畝面マルチとして「銀色フィルム」および「銀色テープ」, 紫外線除去フィルムを用いたハウス栽培として「近紫外線除去フィルム」, ③殺虫の誘殺として「色彩粘着トラップ」および「電撃殺虫機」などである。本稿では, これらの具体例として, 難防除害虫であるアザミウマ類に対する著者らの試験事例を紹介する。なお, 都合上, 「黄色蛍光灯」, 「銀色テープ」, 「電撃殺虫機」の事例については省略する。

主要なアザミウマ類

アザミウマ類は農業・園芸における難防除害虫である。とくに, ネギアザミウマ *Thrips tabaci* Lindeman はネギ, タマネギ, ナス, トマト, キク, バラ, ミカン, イチジクなど, ミカンキイロアザミウマ *Frankliniella occidentalis* (Pergande) はキク, バラ, カーネーション, ガーベラ, イチゴ, ナス, トマト, ミカンなど, ミナミキイロアザミウマ *Thrips palmi* Karny はナス, ピーマン, ホウレンソウ, イネ, キクなどで問題になっている。アザミウマ類が難防除害虫となっている原因は, ①体長が1~2mmと小さく, 発見が遅れがちであること, ②寄主範囲が広く, 多くの農作物を加害すること, ③薬剤抵抗性が発達していること, ④ウイルス病を媒介することなどがあげられる。

色彩を利用した誘引

色彩によって昆虫の誘引能力が異なる。害虫の

誘引能力が高い色彩では, 粘着トラップと組み合わせることで誘殺時期や誘殺量を調べるにより, 発生予察(病害虫の発生時期や発生量を予測して防除の要否やタイミングの決定に利用するシステム)の資材として利用できる。また, 誘引能力が顕著に高い色彩では, 粘着トラップと組み合わせた資材を多数処理することで, 大量誘殺による防除効果が期待できる。

ネギアザミウマの誘引に対する色彩の影響を調査した。調査は1995年5~11月に羽曳野市の食とみどりの総合技術センター内の露地ネギで行った。色彩粘着トラップとして青色, 黄色, 白色, 銀色を設置し, ネギアザミウマの誘殺成虫数を調査した。その結果, 調査期間中に2回の誘殺ピークが認められ, 誘殺数は6月中旬~7月上旬(第1回ピーク)では青色, 白色, 黄色, 銀色の順に多く, 9月上旬~10月中旬(第2回ピーク)では黄色, 青色, 白色, 銀色の順に多かった(図1)。また, 調査期間中のトラップ当たり総誘殺数は青色が

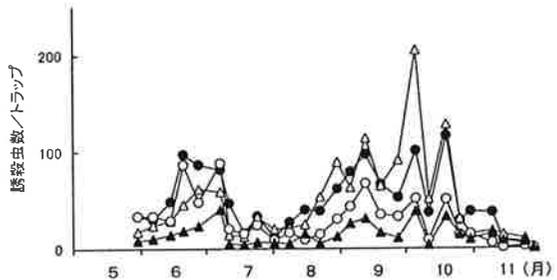


図1 色彩粘着トラップによるネギアザミウマの誘殺消長(柴尾ら, 未発表)。●は青色, △は黄色, ○は白色, ▲は銀色の粘着トラップを示す。

1,320個体, 黄色が1,312個体, 白色が788個体, 銀色が394個体で, 青色と黄色が多く, 銀色が少なかった。したがって, ネギアザミウマの発生予察用資材としては青色および黄色の粘着トラップが適していた。

害虫の誘殺による防除は, 用いる資材の誘引能力と処理量によって効果が異なる。ミナミキイロアザミウマでは青色に最も強く誘引されることか

点、大量誘殺用の青色粘着リボンをピーマン（鈴木・宮良，1984）、ナスおよびキュウリ（西野・小野，1984）、スイカ（松野ら，1987）の圃場において多数処理することにより、ミナミキイロアザミウマの発生量と作物の被害を減少させた事例がある。

色彩を利用した忌避

前述のように、銀色の粘着トラップによるネギアザミウマの誘殺数は青色や黄色より顕著に少なく、銀色は他の色に比べてネギアザミウマを誘引しにくい。物理的防除の侵入遮断のひとつにネットによるハウス開口部の被覆がある。この場合、害虫を誘引しにくい、あるいは忌避する色彩のネットを用いることにより、害虫の侵入防止効果が高まると思われる。

銀色ネットによるミカンキイロアザミウマの侵入防止効果を調査した（山本ら，2000）。調査は1999年5～6月に羽曳野市の食とみどりの総合技術センター内のハウスナスで行った。目合1mmの銀色および白色のネットで被覆した直方体ケージ内は青色粘着トラップを設置し、ミカンキイロアザミウマの誘殺成虫数を調査した。その結果、ミカンキイロアザミウマの誘殺数は雌雄成虫とも銀色、白色、無処理の順に少なく、同じ目合であっても白色より銀色のネットで侵入防止効果が高かった（図2）。

銀色ネット資材によるネギアザミウマの防除効果も調査した。調査は1996年8月に羽曳野市の食とみどりの総合技術センター内の露地ネギで行った。銀色および透明のネット資材でネギをトンネル被覆し、ネギアザミウマによる被害株率と食害度を調査した。その結果、被害株率および食害度も無処理、透明資材、銀色資材の順に高く、銀色資材による防除効果は顕著であった（表2）。なお、銀色資材を用いて作物をトンネル被覆すると、透光率が低下し、作物の生育や品質に悪影響を及ぼすことがあるので注意する必要がある。

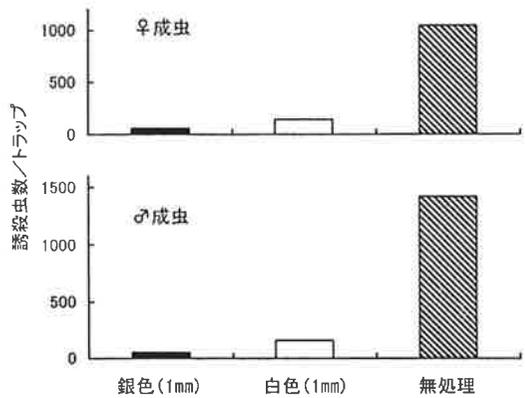


図2 色彩ネットによるミカンキイロアザミウマの侵入防止効果（山本ら，2000より作図）。

表2 被覆資材によるネギアザミウマの防除効果（柴尾ら，未発表）

	被害株率(%)	食害度 ¹⁾
銀色資材 (シルバータフベル3000S)	0	0 (0)
透明資材 (透明タフベル3000N)	5.0	0.6 (8.7)
無処理	45.0	6.9 (100)

1) () 内は対無処理比を示す。

銀色フィルムを用いた畝面マルチ

銀色のフィルムで畝面をマルチすると、アブラムシ類の飛来とそれが媒介するウイルス病の発生が抑制される（Kring，1972）。また、アルミ蒸着フィルムでマルチすると、キュウリのアブラムシ類とモザイク病に対する防除効果が得られる（田中ら，1973）。一方、ミナミキイロアザミウマは銀色の粘着トラップへの誘殺数が少なく（山本ら，1981）、銀色を忌避していると考えられる。

銀色フィルムの畝面マルチによるミナミキイロアザミウマの防除効果を調査した。調査は1988年8～10月に羽曳野市の露地ナスで行った。8月に銀色および黒色のフィルムで畝全体を被覆し、葉におけるミナミキイロアザミウマの寄生虫数とナ

スの被害果率を調査した。その結果、ミナミキイロアザミウマの寄生虫数は無処理区、黒色フィルム区、銀色フィルム区の順に多く推移し、被害果率も同様に推移した(図3)。したがって、銀色フィルムの畝面マルチによるミナミキイロアザミウマの防除効果は黒色フィルムより高いことが示された。

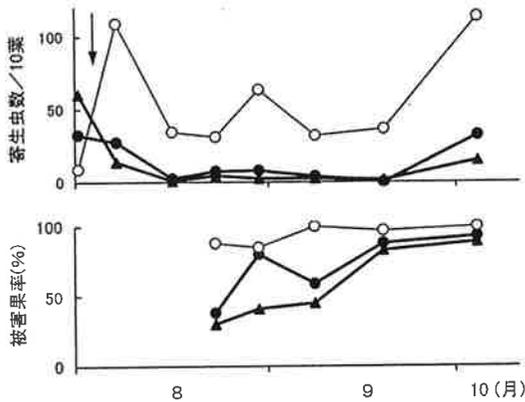


図3 畝面マルチによるナスのミナミキイロアザミウマの防除効果(田中ら, 未発表). ▲は銀色フィルム区, ●は黒色フィルム区, ○は無処理区, 矢印はマルチ処理日を示す。

銀色フィルムの畝面マルチと銀色ネットの障壁を組み合わせたミナミキイロアザミウマの防除効果を調査した(那須ら, 1987)。調査は1986年6~9月に早稲赤阪村の露地ナスで行った。5月に銀色フィルムで畝全体を被覆し、6月に銀色ネットを圃場周囲に展張した。葉におけるミナミキイロアザミウマの寄生虫数とナスの被害果率を調査したところ、ミナミキイロアザミウマの寄生虫数は処理区が無処理区より少なく推移し、被害果率も同様に推移した(図4)。したがって、銀色フィルムマルチと銀色ネット障壁の組み合わせによるミナミキイロアザミウマの防除効果は顕著であることが示された。

ミナミキイロアザミウマでは露地ナス以外にも、ハウスナス(松崎ら, 1986)、露地キュウリ、ハウスキュウリ、露地トウガンおよびハウスピーマン

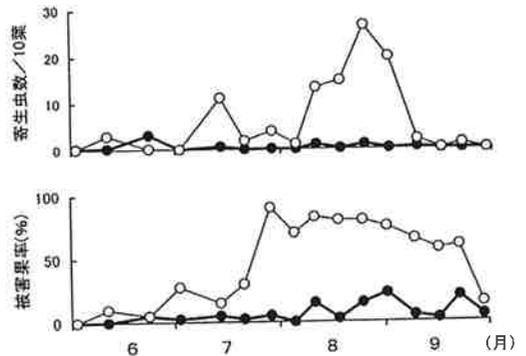


図4 ネット障壁および畝面マルチによるナスのミナミキイロアザミウマの防除効果(那須ら, 1987より改変). ●は処理区, ○は無処理区を示す。

(鈴木・宮良, 1984)、施設キク(大野ら, 1990)で銀色フィルムのマルチによる防除効果が確認されている。また、ウンシュウミカンのチャノキイロアザミウマでも銀色フィルムのマルチによる防除効果が確認されている(多々良, 1995)。

近紫外線除去フィルムを用いたハウス栽培

ハウスの資材として近紫外線除去フィルムを用いるとハウス内の光質が変化し、害虫の発生が抑制される。これは、近紫外線除去フィルムにより害虫の侵入数が減少し、移動が抑制されるためと考えられている。

近紫外線除去フィルムを用いたハウス栽培におけるミナミキイロアザミウマの防除効果を調査した。調査は1987年6~8月に羽曳野市の食とみどりの総合技術センター内のハウスナスで行った。3月にハウスを近紫外線除去フィルムで被覆し、葉におけるミナミキイロアザミウマの寄生虫数を調査した。その結果、ミナミキイロアザミウマの寄生虫数は近紫外線除去フィルム区が一般農業用ビニール区より低く推移した(図5)。したがって、近紫外線除去フィルムによるミナミキイロアザミウマの防除効果は高いことが示された。

ミナミキイロアザミウマではハウスナス以外にも、ハウスのキュウリおよびピーマンで近紫外線

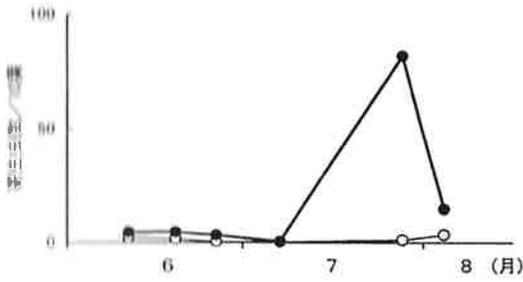


図5 近紫外線除去フィルムによるナスのミナミキイロアザミウマの防除効果 (田中ら, 未発表). ●は近紫外線除去フィルム区, ○は一般農業用ビニール区を示す.

除去フィルムによる防除効果が確認されている (鈴木・宮良, 1984). また, トマトのヒラズハナアザミウマでも近紫外線除去フィルムによる防除効果が確認されている (村井, 1988). 一方, 近紫外線除去フィルムを被覆したハウスでは, ナス果実の着色が不良になり, ミツバチが飛翔しないなどの問題があり, 注意が必要である.

おわりに

ここまで, 光を利用したアザミウマ類の物理的防除の事例を紹介した. いずれの防除技術もアザミウマ類を含めた各種害虫に対して有効であり, 総合的害虫管理の素材として活用でき, 他の防除法との組み合わせが可能である. 一方, 本文中にも一部示したが, 光を利用した物理的防除にはいくつかの問題点がある. 黄色蛍光灯ではみかけの日光, 銀色ネットでは透光率, 近紫外線除去フィルムでは光質がそれぞれ変化し, 植物の生育や開花, 養蜂用のハチや天敵など有用昆虫に悪影響を及ぼす場合がある. また, 一般の植物や動物を含めた周辺環境に及ぼす影響についても配慮する必要がある. したがって, これらの防除技術を農業・園芸の現場で使用するにあたっては, 事前の十分な検討が必要となる.

引用文献

- FAO (1996) Report of the FAO/UNEP panel of experts on integrated pest control 1965, Rome. Part 1, 91pp; Part 2, 186pp; Part 3, 129pp.
- 藤家 梓 (1997) 新農学シリーズ 害虫防除. pp. 102-141, 朝倉書店, 東京.
- Kring, J. B. (1972) Flight behavior of aphids. *Annu. Rev. Entomol.* 17: 461-492.
- 松野 博・奥原國英・家入 章・中山武則・森田敏雅・小川芳久 (1987) スイカ産地におけるミナミキイロアザミウマの発生消長と防除技術. 熊本農試報 12: 123-151.
- 松崎 征美・市川耕次・草川 顕一・小川 宏 (1986) 施設のナスを加害するミナミキイロアザミウマの防除に関する研究Ⅱ 物理的防除. 四国植防 21: 87-93.
- 村井 保 (1988) ヒラズハナアザミウマの生態と防除に関する研究. 島根農試研報 23: 1-73.
- 中筋房夫 (1997) 総合的害虫管理学. 養賢堂, 東京.
- 那須義次・田中 寛・木村 裕 (1987) ミナミキイロアザミウマ防除に対する圃場周囲の寒冷紗被覆とマルチの効果. 関西病虫研報 29: 56.
- 西野敏勝・小野公夫 (1984) ミナミキイロアザミウマに対する青色粘着リボン (青竜) の防除効果. 九農研 46: 124.
- 大野 徹・市川耕治・浅山 哲・廣田耕作 (1990) キクを加害するミナミキイロアザミウマの防除. 愛知農総試研報 22: 211-218.
- 鈴木 寛・宮良安正 (1984) ミナミキイロアザミウマの生態及び防除に関する研究 (1) 農業被覆資材による物理的防除技術. 沖縄農試研報 9: 85-93.
- 田中 寛 (1999) 物理的防除における新技術. 農業環境技術研究所・筑波昆虫科学研究会共催シンポジウム「環境にやさしい害虫新制御技術の現状と可能性」要旨: 28-38.

田中 寛・木村 裕・原 忠彦 (1973) シルバー
ポリマルチングによるキュウリモザイク病防
除. 植物防疫 27: 361-366.

多々良明夫 (1995) チャノキイロアザミウマのカ
ンキツにおける生態と防除に関する研究. 静
岡柑試特報 7: 1-96.

山本栄一・永井清文・野中耕次 (1981) 果菜類を

加害するアザミウマ類の生態と防除に関する
研究 第1報 成虫の飛しょう. 九病虫研会
報 27: 98-99.

山本将己・柴尾 学・田中 寛・杉本 毅 (2000)
各種資材によるミカンキイロアザミウマ成虫
の侵入防止効果. 関西病虫研報 42: 41-42.

円卓カンファレンス

「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」—序にかえて—^{1, 2)}

中村寛志³⁾

信州大学農学部

第13回日本環境動物昆虫学会は、2001年11月16日(金)から17日(土)にかけて大阪府立大学農学部で開催された。その大会の中で円卓カンファレンス「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」が、17日の16:15～17:30にB会場で行われた。プログラムは、まずコーディネーターの中村が、「カンファレンスの趣旨説明とチョウ類群集の研究の総括」を行い、次いでパネラーとして「都市環境とチョウ」と題して吉田が、チョウ類群集を環境評価に用いる上での問題点(トランセクト調査, 多様度量, 種の環境識別性など)を述べ、続いて「チョウ類群集研究の方向性についての私見」として、北原がチョウ類群集を対象とした3つの研究の方向性(生態学理論の検証, 生物多様性保全計画策定, 多様性の相互関係解明)についてスピーチした。さらに石谷, 夏原がそれぞれ「ゴミムシ群集の研究と比較して」と「統計的手法の観点から」コメントレーターとして意見を述べた。カンファレンスは、パネラーの興味深い提言があり、またフロンティアの熱心な議論がかわされた。本稿は、このカンファレンスでの議論を次のカンファレンスに結び、またチョウ類群集の研究を進める上での参考になることを期待して、各担当者がカンファレンスの内容をそれぞれ解説としてまとめたものである。

この円卓カンファレンスは、大会間近になってレトリオができあがったにもかかわらず、保田学命委員長や石井大会委員長を始め多くの方々の参加があり、またDR法については田中蕃氏から直接

コメントがあるなど有意義な討論が出来た。そこにはチョウ類群集を環境評価に用いる上での問題点や新たな研究の方向性について、本学会の場で議論を深めたいという会員の気運があったものと考えられる。またこれからの課題と問題点としては、吉田が述べたように、チョウによる環境評価をより普遍化する全国的な展開を進めていく必要がある。さらにこのカンファレンスでは詳しく取り上げられなかったが、チョウ類群集についての研究成果を、環境評価 environmental evaluation のみならず、現段階ではチョウの特定種のみを対象としている環境アセスメント(環境影響評価 environmental impact assessment)にまでどのように応用していくのかなど、まだまだたくさんの課題が残されている。チョウ類群集に関するさらなる発展的なカンファレンスが引き続いていくことを期待する。

目 次

チョウ類の群集生態学的研究の方向性：
(コーディネーター) 中村寛志
チョウ類群集の研究について：中村寛志
都市環境指標としてのチョウ類群集の問題点：
吉田宗弘
チョウ類の群集生態学的研究の幾つかの方向性について：北原正彦
ゴミムシ群集の研究との比較：石谷正宇
統計的手法の観点から：夏原由博

1) 本稿は、第13回年次大会円卓カンファレンス「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」における講演内容に加筆したものである。

2) An Introduction to the Round-Table Discussion "Direction of the Ecological Researches on Butterfly Community".

3) Hiroshi Nakamura (Faculty of Agriculture, Shinshu University, 8304 Minamiminowa, Nagano 399-4598).

チョウ類群集の研究について^{1, 2)}

中村寛志³⁾

信州大学農学部

環動昆誌にみるチョウ類研究

1998年に京都大学木質科学研究所で行われた日本環境動物昆虫学会の創立10周年記念年次大会において、新しい試みとして円卓カンファレンスが併せて行われた。そのときのテーマが「昆虫を指標とする環境評価」で、これは本学会においてこの頃から群集生態学や環境評価手法の研究が増えできたことを反映したものといえる。

石井 (1999) は、本学会の創立10周年記念シンポジウム特集号において、環動昆誌に掲載された論文を分野別に集計している。これをもとに1989年の創設から2001年までを3期に分け、チョウ類群集に関する論文数の変遷を表1にまとめた。創設初期には、チョウ類群集に関する論文はみられなかったが、1991年に桜谷・藤山 (1991) が「道

路建設とチョウ類群集」を第3巻1号に、続いて石井ら (1991) が「大阪府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性」を4号に発表した。この2つの論文が、本学会のチョウ類群集に関する研究の方向性を特徴づけたといえる。表1が示しているように、1993年からは群集生態学・多様性・環境評価などの分野で掲載論文が増加している。そのうちチョウ類群集を研究材料にしたものは70%に及んでいる。

チョウ類群集と環境評価

ここでまず最初に多様性や環境評価の研究を行うに当たって、なぜチョウ類が材料として多く選ばれるのか、別の表現をするとチョウ類群集は環境評価の材料として適しているのかという問題を検討する必要がある。

表1 環動昆誌にみられるチョウ類群集に関する論文

年代	巻	掲載全 論文数	群衆生態学		チョウ類群集	
			関連論文数	(%)	論文数	(%) ¹⁾
Ⅰ期 (1989~1992)	1巻~4巻	50	2	4.0%	2	100.0%
Ⅱ期 (1993~1997)	5巻~8巻	71	16	15.5%	11	68.8%
Ⅲ期 (1998~2001)	9巻~12巻	36	13	25.0%	9	69.2%
計		157	31	19.7%	22	71.0%

1) 群集生態学関連論文に占めるチョウ類群集の論文の割合。

1) 本稿は、第13回年次大会円卓カンファレンス「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」における講演内容に加筆したものである。

2) On the Research of Butterfly Community.

3) Hiroshi Nakamura (Faculty of Agriculture, Shinshu University, 8304 Minamiminowa, Nagano 399-4598).

大野(1980)は、ハムシ類を環境評価の材料として推薦する中で、指標種として具えるべき条件として、次の10項目を挙げている。1)種の同定が容易、2)現地での見取り調査が可能、3)天候・時刻に影響されにくい、4)調査経費が安い、5)分布域の広い種、6)移動性が小さい、7)密度が高い、8)数量化が容易、9)狭適応種、10)誰もが調査員となれる。これをチョウ類についてみると、3)の条件は具えていないが、そのほかの条件はほぼ満たしていると考えられる。

一方、石井(2001)は、チョウ類群集には、昼行性で種の同定が容易であること、種数が適当であること、生活史(食草など)の情報が多いなどの条件を備えており、指標種として最適であると述べている。特に種の生活史やその生態に関する情報量が多いことは、環境との結び付きや地域ごとの分布を正確に把握することができるため、環境評価に用いる生物種群には不可欠な条件といえる。

さらにチョウ類群集全体が指標種として用いられる大きな理由として、数十年前からの採集記録が数多く残されているという点をあげることができる。これにより他の種群を指標種にした場合で

は不可能な、地球温暖化の評価やある特定地域の環境の時間的な変化を測定できるという長所がある(中村, 1998)。またもう一つの特徴として、チョウ類は里山環境に適応してきた種が多く、里山環境の変化に関する調査やその保全と管理には、チョウ類群集を指標種として用いるのが最適であると考えられる。

引用文献

- 石井 実(1999) 日本環境動物昆虫学会の10年の歩みと今後の課題. 環動昆 10: 99-106.
- 石井 実(2001) 広義の里山の昆虫とその生息場所に関する一連の研究. 環動昆 12: 187-193.
- 石井 実・山田 恵・広渡俊哉・保田淑郎(1991) 大阪府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性. 環動昆 3: 183-195
- 中村寛志(1998) 香川県におけるチョウ相の変化—温暖化と関連して—, 昆虫と自然 33(14): 30-31.
- 大野正男(1980) 指標生物としてのハムシ科甲虫. 自然科学と博物館 47(3): 112-115.
- 桜谷保之・藤山静雄(1991) 道路建設とチョウ類群集. 環動昆 3: 15-23.

都市環境指標としてのチョウ類群集の問題点^{1,2)}

吉田宗弘³⁾

関西大学工学部生物工学科

はじめに

都市環境を昆虫によって評価する試みはいくつか提唱されている(米澤, 1991; 石井, 1993)。これらの試みでは、指標昆虫としてセミとチョウが用いられることが多い。セミとチョウが指標に用いられる理由はいくつかあると思われるが、なかでも大きいのは、視覚的あるいは基礎知識という点で一般人にも馴染みやすいこと、および異なる調査を比較できる方法(セミ-抜け殻調査, チョウ-トラクセンクト調査)が存在するという点である。セミとチョウを比較したとき、種数で上回るチョウはセミよりも多くの情報を有するため、より細かく環境を識別できる可能性がある。関西地域においては、都市および都市周辺におけるチョウのトラクセンクト調査が数多く実行されており、

多くの情報が集積している(石井ら, 1991; 今井ら, 1996; 吉田, 1997; 関谷, 1998)。これらの集積情報を解析してチョウ類群集と生息環境の関連を定量的に解析することも行われつつあるが(今井・夏原, 1996; 夏原, 2000)、いくつかの問題も生じている。本稿では筆者の調査結果をもとに、チョウ類群集を環境評価に用いるにあたっての問題点を整理してみた。

地域分類の妥当性

筆者は表1に示した大阪近郊の住宅地や緑地でチョウのトラクセンクト調査を実施してきた。表2はそれらの結果から同一年度(しあわせの村のみ2000年)のものをまとめたものである(吉田, 1998; 吉田, 1999; 吉田, 2001; 吉田ら, 2001)。チョウの種数をもとにすれば、しあわせの村>>

表1 トラクセンクト調査を行った地域

調査地	調査ルートの特徴
守口市大和田	都心に近い住宅密集地で緑地はほとんどない
枚方市牧野	古くからの住宅地で若干の空き地・藪がある
枚方市長尾台	近年開発された住宅地で周辺は農地と里山
京都市桂西口	古くからの住宅地で若干の農地・藪があり、西山丘陵に近い
神戸市しあわせの村	里山林内の遊歩道と芝生広場で周辺は低山帯
京都市桂川河川敷	西山丘陵にそった桂川河川敷内の自転車専用道

1) 本稿は、第13回年次大会円卓カンファレンス「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」における講演内容に加筆したものである。

2) Problems in Butterfly Community as an Index of Urban Environment.

3) Munehiro Yoshida (Department of Biotechnology, Faculty of Engineering, Kansai University, 3-3-35 Yamato-cho, Suita, Osaka 564-8680).

表2 各調査地のチョウ類群集の比較

	大和田 1997年	牧野 1997年	長尾台 1997年	桂西口 1997年	桂川河川敷 1997年	しあわせの村 2000年
生息密度 ¹⁾	6.33	22.98	23.21	17.57	18.83	18.09
種数	8	19	27	23	30	47
多様度指数						
H'	2.25	2.67	2.95	2.89	2.84	4.69
β	4.09	5.06	3.90	4.80	3.84	19.23
環境指数						
EI指数	10	32	52	42	56	97
階級存在比						
ERps	1.59	1.76	1.30	1.52	1.49	2.64
ERas	1.85	2.16	1.98	1.98	1.97	4.11
ERrs	4.70	4.35	4.70	4.70	4.82	2.62
ERus	1.86	1.73	1.80	1.80	1.72	0.64

1) 個体数/調査回数/調査ルート距離 (km).

桂川河川敷>長尾台住宅地>桂西口住宅地>牧野住宅地>>大和田住宅地, という自然度のランク付けが可能である. また種数に重みづけをした環境指数であるEI指数からは, 大和田が都心と近郊住宅地の境界, 牧野と桂西口が近郊住宅地, 長尾台が農村から住宅地への移行段階, しあわせの村が荒れた里山, と表現できる. この評価結果は, 実際にその地を歩いた筆者の実感にはきわめて適合する. しかし, この環境評価はいくつかの問題を抱えている.

チョウをはじめとする生物群集による環境評価が妥当であるかを検証するには, 図1に示すように, 群集から得られた情報と環境を反映する情報を二次元に配置して両者の関連を検討しなければならない. 日浦(1973)は, 土地利用形態をもとに地域を分類し, それぞれに固有のチョウ類群集が存在することを述べた. この主張は多くの研究者の共感を得ており, 地域を都心, 都市近郊, 農村, 里山などに分類してそれぞれのチョウ類群集を比較することが盛んである. これらの地域分類を行う場合, 多くは表1のような記述情報を羅列することによってその妥当性を論じることになる. 一般向けの環境評価としてもとめられているのが, ある地域が「○○的自然段階にある」と記述する

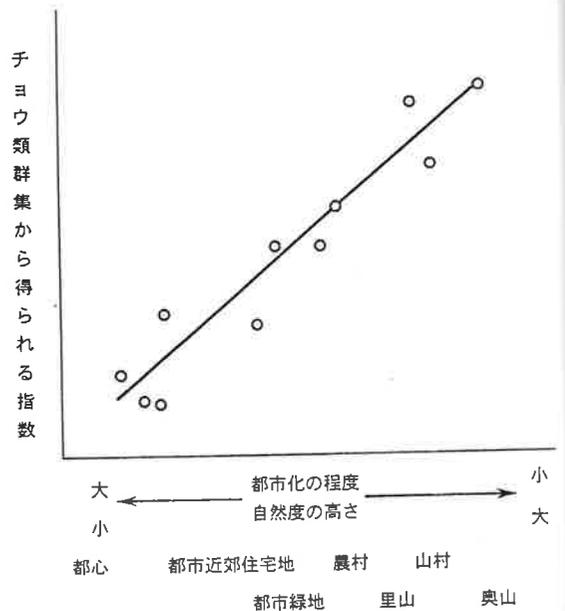


図1 環境情報とチョウ類群集から得られる情報の関連.

ことにあるのなら, 都心, 都市近郊, 農村, 里山といった表現による分類はきわめて重要である. ところが, ある地域が都心なのか, 都市近郊なのか, 農村なのか, 里山なのかを判断する基準は, 研究者の主観によることが多く, 自然科学的に厳密な

ものではない。また現実には、1つの地域に都市的要素、農村的要素、里山的要素が混合することが多い。環境評価の結論として、上述のような「農村から住宅地への移行段階」「荒れた里山」といった曖昧な表現が生ずる所以である。

衛星写真や土地利用図などから得られる、緑地面積、樹木面積率、林縁長などの情報は、自然度や都市化の程度を連続的に示すと考えられる。ゆえに、都市緑地におけるチョウの種数に「島の生物地理学」を適用した今井・夏原（1996）の研究や、チョウの種数や種ごとの個体数と樹木面積率などとの関連を示した夏原（2000）の研究は重要である。都心、都市近郊、農村、里山という分類は土地の利用形態を反映しているのであるから、これらの分類と緑地面積や樹木面積率などの連続変数を対応させることは可能であろう。しかし、都心の緑地と里山地帯では植生が異なることから、何らかの補正が必要となる。さらに、これらの分類は社会科学的な要素が相当含まれていることも考慮しなければならない。最終的には、複数の分野の研究者が一堂に会して、たとえば「ある地域を都市近郊住宅地と分類するための客観的基準」の具体的なものを設定する必要があるだろう。

トランセクト調査で都市環境中の チョウ類群集を把握できるか

チョウ類群集を環境指標にするとき種数はきわめて重要な情報である。ところがトランセクト調査では種の見落としの生ずることが指摘されている。トランセクト調査の目的が、チョウ類群集そのものの解明ではなく環境評価であるときは「生息しているが調査では目撃できない」ことも情報として許されると考えられるが、対象地が都市環境の場合には見落としによる誤差は無視できないかもしれない。都市環境の場合、近くに山地や大規模な緑地などがあればそこからのチョウの飛来が期待できるが、その頻度は小さい。ゆえに目撃頻度のきわめて低い種が出現することになるが、このような低出現頻度種が対象とする都市環境を特徴づける可能性は高い。

表3は筆者が行った各調査地域において、調査年度ごとの目撃種数と年間目撃個体数が1であった種の数を示したものである。いずれの場合も目撃種数の20%前後が年間目撃個体数1の種で占められている。このような目撃頻度が極端に低い種の存在はトランセクト調査の結果をきわめて不安定なものにする。その証拠に近郊住宅地において

表3 目撃種、総目撃個体数の年次変化と目撃個体数1の種の数

調査地	調査年	目撃種数	総目撃個体数	目撃個体数1の種の数
大和田	1996	8	152	2
	1997	8	195	2
牧野	1996	14	431	3
	1997	19	579	5
真屋倉	1996	23	274	6
	1997	27	650	3
桂西口	1997	23	492	4
	1998	24	482	6
	1999	31	463	6
	2000	29	528	6
	2001	22	330	2
桂川河川敷 しあわせの村	1997	30	580	9
	2000	47	633	6

は年度間の目撃種数の差が5をこえる場合が認められる。つまり種数は環境評価の重要な指標ではあるが、表2のような単年度の結果だけをもとにわずかな種数の差を論じることは危険といわざるを得ない。

筆者は自宅がある京都市桂西口においてトランセクト調査を5年間継続し、37種のチョウを目撃した。トランセクト調査を開始する以前の6年間に定性的に目撃した種は合計31種であり(吉田, 1999)、5年間のトランセクト調査で目撃した種数はこれを上回ったが、6年間の定性調査での目撃種の中にはトランセクト調査では目撃できなかった種が3種含まれていた。37種にこの3種を加えた40種をもとにすると、単年のトランセクト調査では、22~31種しか目撃していないから、約3分の1を見落としていることになる。では複数年の調査ではどうだろうか。表4は、5年分の調査から任意に複数年を組み合わせた場合の目撃種数をもとめたものである。2年の調査を累計すれば約4分の3の種が目撃できたことになり、精度は大きく改善されている。しかし、同一地域を複数年調査することは相当な負担である。結局のところ、単年度のトランセクト調査の限界をわきまえた上で議論をすすめ、必要であれば複数年の結果や他の定性データによって補正するのが現実的であろう。

多様性指数

トランセクト調査の結果を解析する場合、しばしば種々の多様性指数が算定される。しかし表2

表4 複数年の調査による目撃種数の増加

組み合わせた年数	目撃種数 ¹⁾	比率 (%) ¹⁾
1年 (n = 5)	25.8 ± 4.0	64.5 ± 10.0
2年 (n = 10)	30.3 ± 2.2	75.8 ± 5.5
3年 (n = 5)	33.5 ± 1.9	83.8 ± 4.8
4年 (n = 10)	35.6 ± 1.7	89.0 ± 4.3
5年	37	92.5

1) 平均値 ± 標準偏差。

の結果からもわかるように、多様性指数単独では十分な環境識別はできない。多様性指数は極端な優占種が出現すると小さな値になる。表2の結果でいえば、大和田や牧野よりも自然度が高いはずの長尾台と桂川河川敷では、モンシロチョウが全体の半数近くを占めるため多様性指数は低値になる。哺乳類のような大型動物では、一定地域内で生存のために利用できる資源量が有限なので、特定種の増加によって他種の生息が制限を受ける。すなわち、特定種の増加は現実には多様性の低下となり生物群集の貧弱さにつながる。しかしチョウ類の場合は、一定地域内での特定種の増加は一部の例外を除いて他種の生息に直接影響を及ぼさない。つまり、特定種の増加による数値上での多様性の低下と現実の生物群集の貧弱さは同義ではない。極端な優占種を除外して検討するという方法もあるが、チョウ類群集による環境評価において多様性指数は参考程度にとどめるのが無難であろう。

種の環境識別性

環境評価指数の中で、階級存在比とEI指数は、それぞれの種に固有の生息分布度をもとに算定を行う。生息分布度とは、環境を人間の営力の加えられた度合いによって、原始段階、二次段階、三次段階、四次段階に分類し、個々のチョウの種とこれらの環境段階との結びつきの強さを示したものである(田中, 1988)。この生息分布度はきわめて経験的なものであるが、妥当なものとして受け入れられている。一方、中村(2000)は、香川県内各所での調査結果をもとに、因子分析などの多変量解析を行ってチョウを4つのグループに分類し、グループごとに半定量的多様性指数を算定するというグループ別RI指数法によって視覚的に調査地の環境を評価することを提唱した。種ごとの生息分布度やグループ化は、チョウの中に特定の環境との結びつきの強い種が存在しており、チョウ類群集全体ではなく特定の種による環境評価が可能であることを意味している。

夏原(2000)は大阪府内18ヶ所の調査結果を定量的に解析し、個体数の増減が樹木面積率や林縁長と強く関連する種が環境指標種として利用できる可能性を示した。一方、ゼフィルス属のチョウやササ食のチョウを用いた里山環境の評価も試みられている(石井ら, 1995; 西中・石井, 2001)。都市環境の評価(とくに都市化の進行)という点では、都心部にも多数生息し、街路樹、庭木、園芸種、都市雑草などを食草として、都市の植生に適應したアオスジアゲハ、ナミアゲハ、ツマグロヒョウモン、ヤマトシジミなどが指標種になる可能性がある。つまり、特定の種によって環境評価を行う場合、科学的調査結果に経験則を加えて、書のような種が適切かを総合的に判断しなければならない。この作業のための研究者の定期的な討議の場を設けることが必要である。

残された課題

チョウによる環境評価は多くの情報が蓄積しており、いくつかの手法を組みあわせることによって適切な結果を得ることも可能である。しかし、チョウ類群集の構成には地域差があり、各指数の意味や指標種も地域によって異なる可能性が強い。また、現在蓄積されている情報の多くは関西など一部の地域から得られたものである。ゆえにチョウによる環境評価をより普遍化するには、全国各地の情報が必須である。とくに都市環境評価という観点からは、首都圏の都市部においてトランセクト調査が実行されることを希望する。

本稿に引用した筆者の調査は日本学術振興会科学研究費(基礎研究(C)), No. 12680534)によるものである。

引用文献

- 日浦 勇(1973) 海をわたる蝶. 蒼樹書房, 東京.
- 石井長良・夏原由博(1996) 大阪市とその周辺の緑地のチョウ相の比較と島の生物地理学の適用. 環動昆 8: 23-34.
- 石井長良・夏原由博・田中真一(1996) 大阪湾岸のエコロジー緑化地域におけるチョウ類群集とトランセクト調査の精度. 環動昆 7: 182-190.
- 石井 実(1993) チョウ類のトランセクト調査. 「日本産蝶類の衰亡と保護 第2集」矢田 脩・上田恭一郎編, pp. 91-101. 日本鱗翅学会(大阪)・日本自然保護協会(東京).
- 石井 実・広渡俊哉・藤原新也(1995) 「三草山ゼフィルスの森」のチョウ類群集の多様性. 環動昆 7: 134-146.
- 石井 実・山田 恵・広渡俊哉・保田淑郎(1991) 大阪府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性. 環動昆 3: 183-195.
- 中村寛志(2000) チョウ類群集の構造解析による環境評価に関する研究. 環動昆 11: 109-123.
- 夏原由博(2000) 都市近郊の環境傾度に沿ったチョウ類群集の変化. 日本造園学会誌ランドスケープ研究 63: 515-518.
- 西中康明・石井 実(2001) 「三草山ゼフィルスの森」におけるササ食チョウ類の季節消長. 第13回日本環境動物昆虫学会年次大会要旨集: 46.
- 関谷善行(1998) 神戸市神出山田自転車道沿道のチョウ類群集の多様性. 環動昆 9: 39-43.
- 田中 蕃(1988) 蝶による環境評価の一方法. 「蝶類学の最近の進歩」, 三枝豊平・矢田 脩・上田恭一郎編, pp. 527-566, 日本鱗翅学会, 大阪.
- 米澤信道(1991) 京都の昆虫(京都昆虫研究会編), pp. 39-42, 京都新聞社, 京都.
- 吉田宗弘(1997) チョウ類群集による大阪市近郊住宅地の環境評価. 環動昆 8: 198-207.
- 吉田宗弘(1998) 北河内地域の都市近郊住宅地における1996年と1997年のチョウ類群集と環境評価. 関西大学工学会誌 工学と技術 11(4): 69-75.
- 吉田宗弘(1999) トランセクト調査で目撃するチョウと日常生活で目撃するチョウの比較. 昆虫と自然 34(5): 31-33, および 34(7): 27-30.

吉田宗弘 (2001) 京都市桂川河川敷のチョウ類群集. 河川敷と都市近郊住宅地のチョウ類群集の比較. 関西大学工学会誌 工学と技術 12 (3) : 29-35.

吉田宗弘・竹中 健・野津晃司 (2001) 神戸市しあわせの村のチョウ類群集. 第13回日本環境動物昆虫学会年次大会要旨集 : 44.

チョウ類の群集生態学的研究の幾つかの方向性について^{1,2)}

北原正彦³⁾

山梨県環境科学研究所

はじめに

欧米や日本では、かなり古くより、トランセクト・カウント（ルート・センサス）法を用いて、チョウ類群集をモニタリングすることが行われてきており、その結果を解析することで、様々な群集レベルの生態学的現象の解明が行われてきた（山本, 1988, 1998 ; 石井, 1993 ; Pollard and Yates, 1993）。一方、近年になり、生物多様性の急激な減少が地球レベルの環境問題の1つとして、大きくクローズアップされるようになってきたが、それへの対応として、学問的には保全生物学や保全生態学などが行われてきた。この中の生物多様性の保全をめぐるアプローチにおいては、様々な理由から環境生物指標の1つとしてチョウ類が選択される場合があり（石井, 1993, および本解説の中村の章を参照）、*Conservation Biology, Biological Conservation, Biodiversity and Conservation* といつる保全生物学の国際学術雑誌の中にも、チョウ類を対象材料とした研究例がかなり多く見られる。中でも、地域の生物多様性の評価材料として、チョウ類は群集レベルで扱われることが多く、これはほとんどが、上記のトランセクト法を用いて集められた群集データを基盤に解析を行っている（例えば、Nijizer *et al.*, 1993, 1997 ; Hill *et al.*,

1995 ; Hamer *et al.*, 1997 ; Natuhara *et al.*, 1999）。

このように、トランセクト法を用いたチョウ類群集の個体数モニタリング、およびそれに基づく群集の解析は、生物群集の構造や動態の解明に係る群集生態学や、地域の生物多様性の評価や実態の把握、およびそれらの保全に係っている保全生物学に対し大きく貢献しており、これらの学問の中で果たしてきた役割は極めて大きいと言える。このようなことから、本解説においては、近年、様々な目的を遂行するために実施例や研究例が増えてきた、チョウ類の群集生態学的研究のこれまで、および今後の方向性の幾つかについて、既存の研究、特に筆者自身の研究例を基にして概説してみたい。

チョウ類の群集生態学的研究の方向性

1) 群集生態学の理論や仮説の検証を目的としたアプローチ

群集生態学で提出された理論や仮説を実際の野外の群集データを使用して実証する仕事は、群集生態学の進展にとって、欠くことのできない重要なアプローチの1つと考えられるが（Strong *et al.*, 1984 ; Diamond and Case, 1986 ; Gee and Giller, 1987 ; Putman, 1994）、実際には野外で、

1) 本稿は、第13回年次大会川床カンファレンス「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」における講演内容に加筆したものである。

2) Some Aspects of the Future Line of the Ecological Studies on Butterfly Communities.

3) Masahiko Kitahara (Yamanashi Institute of Environmental Sciences, Kenmarubi, Fujiyoshida, Yamanashi 403-0005).

群集レベルの定量的データをサンプリングすることは大変に難しく、また集積可能な生物群もかなり限られている。中でもチョウ類は、群集レベルで定量的データのサンプリングができる数少ない分類群の1つであり、その上、各種の生活史に関する情報が、国によってはかなり克明に記載されている。故に、この特性を最大限に生かして、群集生態学で提出された様々な理論や仮説の検証にも使用することが可能である。ここでは、1970年代の進化生態学界を風靡し、現在も生活史戦略理論の基本として影響力を持ち続けている r - K (generalist/specialist) 戦略説を、トランセクト法を用いて集積した野外のチョウ類群集のデータを使用して、解析・検証した結果 (Kitahara and Fujii, 1994, 1997; 北原, 1996; Kitahara *et al.*, 2000) について、その実例を提示する。

r -および K -選択説は、MacArthur and Wilson (1967) により提唱され、Pianka (1970, 1988), Southwood (1977, 1981, 1988) らによって発展させられた生物の生活史戦略に関する理論の1つであり、表1に示すように、生物は、不安定な環境では r (内的自然増殖率) を増加させる方向に自然淘汰が働き (r -選択)、その選択圧を受けた種を r 戦略種、安定な環境下では競争に強い個体を増加させる方向に自然淘汰が働き (K -選択)、その選択圧を受けた種を K 戦略種といい、不安定

表1 r -および K -選択と生態的 (生活史) 特性との関係 (藤井, 1988より改変)

環	境	r -選択		K -選択	
		不安定	安定	不安定	安定
		予測性低い	予測性高い		
選択される性質		1. 早い成長 2. 高い増殖率 3. 高い生産力 4. 何でも屋 (広食性)	1. ゆっくりした成長 2. 高い競争率 3. 高い効率 4. 専門家 (狭食性)		
遷移段階		初期	後期または極相		

から安定の環境傾度に沿って、生物の r - K の適応戦略の連続系列が見られることを提唱したものである。この調査では、つくば市周辺の人間の土地利用様式の違いにより判断した人為攪乱度の異なる9つの地区で、トランセクト法により1年間のチョウ類群集データを集積した。解析では、確認された群集構成種を r - K 選択と密接に関係している2つの生態的特性 (年間世代数・幼虫の食性幅) に着目し (表1参照)、各種図鑑や現地データを参考にして、年1化または2化 (r が低い) で幼虫の食草が1科内の10種以内に限定されている (狭食性) 種を K 戦略種、逆に年3回以上発生し (r が高い)、幼虫の食草が1科内の11種以上または2科以上にまたがり記録されている (広食性) 種を r 戦略種とみなした。この基準により、確認された全62種の内、17種 (27.4%) が K 戦略種に、20種が r 戦略種 (32.3%) に分類された。残りの25種 (40.3%) はどちらの範疇にも入らず中間に位置した。

図1は調査地区の人為攪乱度とそこでのチョウ

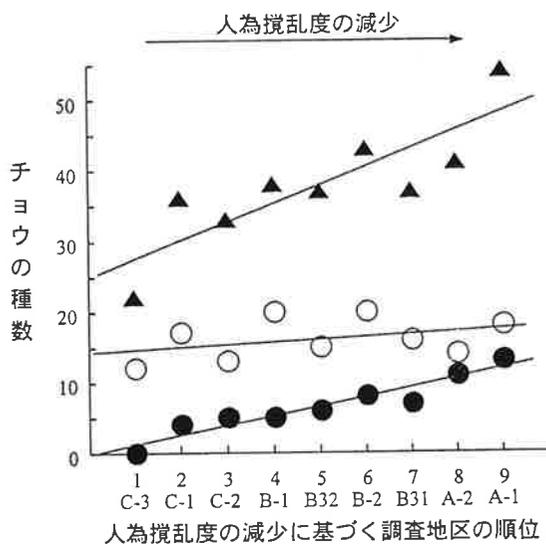


図1 環境の人為攪乱度とチョウ類群集の種数の関係。●： K -戦略種，○： r -戦略種，▲：総種数。総種数 (▲) と K -戦略種数 (●) の両順位相関は、共に1%水準で有意 (Kitahara and Fujii, 1994)。

類群集の種数の関係を示したものであるが、環境の人為攪乱度が減少する（環境の安定性が増す）につれて、群集の総種数およびK戦略種の種数が有意に増加している。一方、群集内のr戦略種の種数は環境の人為攪乱度と有意な関係はなく、各地区共に類似した種数であった。このことから、人為攪乱度の低い（安定性の高い）地区での総種数の増加は、主にK戦略種の増加に起因していることがわかる。環境の安定性が増せばK戦略種の種数が増加する事実は、r-K選択説と良く一致するが、r戦略種の種数が環境の人為攪乱度と関係がないのはr-K選択説の予測と一致しない。r戦略種と分類された種が安定な二次林地区においても都市公園と同じくらいの種数が確認されたのは、おそらく林内空地（ギャップ）や林縁の存在（これらは相対的に不安定な環境要素と考えられる）が重要な役割を果たしたと考えられる。またもしそうならば、今回の結果はr-K選択説の予測と大きく異なるものではなく、環境の空間的異質性（spatial heterogeneity）に起因した結果であったと考えられる。

以上のように、チョウ類はトランセクト法などを使用して、野外から比較的容易に群集データが得られることや食餌植物や生活環などの各種の生態的情報が良く分かっていることなど、群集生態学の種々なテーマについて実験・検証する上での実践的素材の一つであると結論できる。

① 地域生態系の生物多様性の評価および保全指針提案に向けたアプローチ

生物多様性の減少が国際化すると共に、保全生物学の分野では地域の生物多様性の保護・保全を巡って、種多様なアプローチが展開されてきている。その中の一つは、地域生態系の生物多様性を評価して、その結果に基づき保全を優先すべき保護地域を指定して、その生物多様性を維持していく取り組みがある（鷲宮, 1999）。この流れの中では、地域の生物多様性の評価の一環として、その多様性のホットスポット（種数や種多様性が高く、希少種の多く見られる場所、もしくはそのどちら

か）を探り出し、その生息環境を維持・管理・保全していくアプローチが極めて重要となっている。このようなことに取り組んでいる研究の実例として、筆者らがここ数年関わってきた富士山北西麓に位置する青木ヶ原樹海周辺のチョウ類群集の調査結果（北原・渡辺, 2000, 2001a; Kitahara and Watanabe, unpublished data）を提示してみたい。

富士山の環境保全は現在、山梨県政の最重要施策の1つに位置付けられており、富士山の生物多様性の保護・保全策の策定は、最重要課題の1つになっている（山梨県, 2002）。しかしながら大変残念なことに、富士山周辺に生息する動植物の分布や生態に関する生物学的情報の蓄積は甚だ少なく、かつ断片的であり、保全策策定に向けての十分なデータベースは整っていない。こんな状況もあり、我々はまず富士山の地域的な生物多様性の実態を探るために、環境指標性が高く（前述）、希少種の位置付けもしっかりしている（環境省（2000）公表 日本産チョウ類レッドリスト）チョウ類を材料にして、富士山で最も原生的環境が残存している地域の1つと言われる青木ヶ原樹海周辺のチョウ類群集のホットスポットを探索することにした。具体的には、青木ヶ原周辺の代表的景観である樹海の内部（2カ所）、樹海の縁の林縁部（2カ所）、樹海の外に位置するオープンランド（2カ所）の計6カ所で、3年間トランセクト法に基づくチョウ類群集のモニタリング調査を行った。

結果は、毎年ほとんど同じ傾向であり、3つの代表的景観の内では樹海の林縁部で種数や種多様性が最も高く、オープンランドがこれに次ぎ、樹海の林内は最もチョウが少なかった（表2）。一方、希少種の分布も林縁部に集中しており、青木ヶ原樹海の縁に当たる林縁部は、種数や種多様性から見ても、また希少種の分布状況から見ても、ホットスポットであることが判明した。林縁部は森林の他に二次草原や植林地などもあり、光環境が明るく、チョウの餌資源（食餌植物や蜜源植物）

表2 富士山青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の群集指数と絶滅危惧種数の各調査地区間の比較 (Kitahara and Watanabe, unpublished data)

景観タイプ 調査サイト	オープンランド			林 縁			林 内			ANOVA (分散分析)	Significant Post-hoc comparison
	OL-1	OL-2	\bar{x}	FE-1	FE-2	\bar{x}	FI-1	FI-2	\bar{x}		
(a) 群集指数											
総個体群密度	44.04	137.81	90.93	215.39	180.98	198.19	22.59	39.44	31.02	$F=8.389, P=0.0591$	
総種数 (S)	13	24	18.5	44	42	43.0	10	11	10.5	$F=27.310, P=0.0119^*$	FE, FI* FE, OL*
種多様性 (H')	2.440	2.825	2.633	3.357	3.370	3.363	2.149	2.149	2.149	$F=30.232, P=0.0103^*$	FE, FI* FE, OL*
種多様性 (1/λ)	12.460	18.227	15.343	22.926	23.973	23.45	10.409	8.137	9.273	$F=15.360, P=0.0265^*$	FE, FI*
均衡度 (J')	0.951	0.889	0.920	0.887	0.902	0.894	0.933	0.896	0.915	$F=0.405, P=0.6985$	
(b) 絶滅しやすい種 ¹⁾											
レッドリスト種	0	3	1.5	4	4	4.0	0	0	0	—	
1化性種	3	7	5.0	20	18	19.0	6	5	5.5	$F=36.048, P=0.0080^{**}$	FE, FI* FE, OL*
狭食性	3	5	4.0	9	10	9.5	2	2	2.0	$F=36.200, P=0.0079^{**}$	FE, FI** FE, OL*
サイト特性種	0	0	0.0	6	6	6.0	4	0	2.0	—	
狭地理分布種	0	6	3.0	13	14	13.5	5	2	3.5	$F=9.152, P=0.0528$	
低密度種	1	3	2.0	16	13	14.5	5	3	4.0	$F=31.824, P=0.0096^{**}$	FE, FI* FE, OL*

1) Primack, 1993より。

** : $P < 0.01$ で有意。

* : $P < 0.05$ で有意。

も豊富であることがこれらの結果に影響したと考えられる。以上の結果より、原生的環境の青木ヶ原樹海の保全は、チョウ類の保全の観点から見てみると、樹海の森林(林地)部分だけを保護したのでは不十分であり、林縁の景観(二次草原など)まで含めたより広範な保全、それも人為的な管理を伴った保全策を策定していかなければならないことが示唆された。

以上のように、地域生態系の生物多様性の評価からその保全策の策定まで、チョウ類の特性を十分に生かした群集レベルからのアプローチが可能であり、今後益々、代表的環境生物指標としてのチョウ類群集を使用した生物多様性評価と保全への取り組みが増加してくるものと推察される。なお、チョウ類群集を使用した環境評価の取り組みは、本学会を中心にして日本では盛んに行われており、これに関しては前段の吉田の論著に詳しいので、そちらを参照して頂きたい。また最近では、より大きな地理的スケールで、チョウ類の群集構造変化を景観生態学的に解析して、保全を考察していくような研究(夏原, 2000)も現れてきていることを付記しておく。

3) 地域生態系内の生物多様性相互間の関係を解明するアプローチ

生態系内の構成要素間の相互関係の解明や地域の生物多様性の保全策の探求を巡っては、生物多様性構成要素間の相互の関係を解明するアプローチが極めて重要である。例えば、チョウ類の多様性の保全を考察する上においては、その多様性に最も関係のある、あるいは最も影響を与えている構成要素を探り出し、その構成要素の条件を十分に満たしてあげることがチョウの保全にと結び付く。故に、このアプローチは、生態系の機構解明のみならず、生物多様性保全の観点からも重要と言える。ここではこのような研究の実例として、前述の青木ヶ原樹海周辺で我々が行ったチョウ類群集の研究の一部(北原・渡辺, 2001b)と北米のロッキー山脈国立公園のチョウ類群集の研究の一部(Simonson *et al.*, 2001)を紹介する。

チョウ類は、幼虫も成虫もその餌資源のほとんどを植物に依存しており、また各種ごとにその利用している植物の種も異なっていることが普通である。そこで、ある地域のチョウ類群集の多様性は、そこに生育している植物の多様性に大きく依

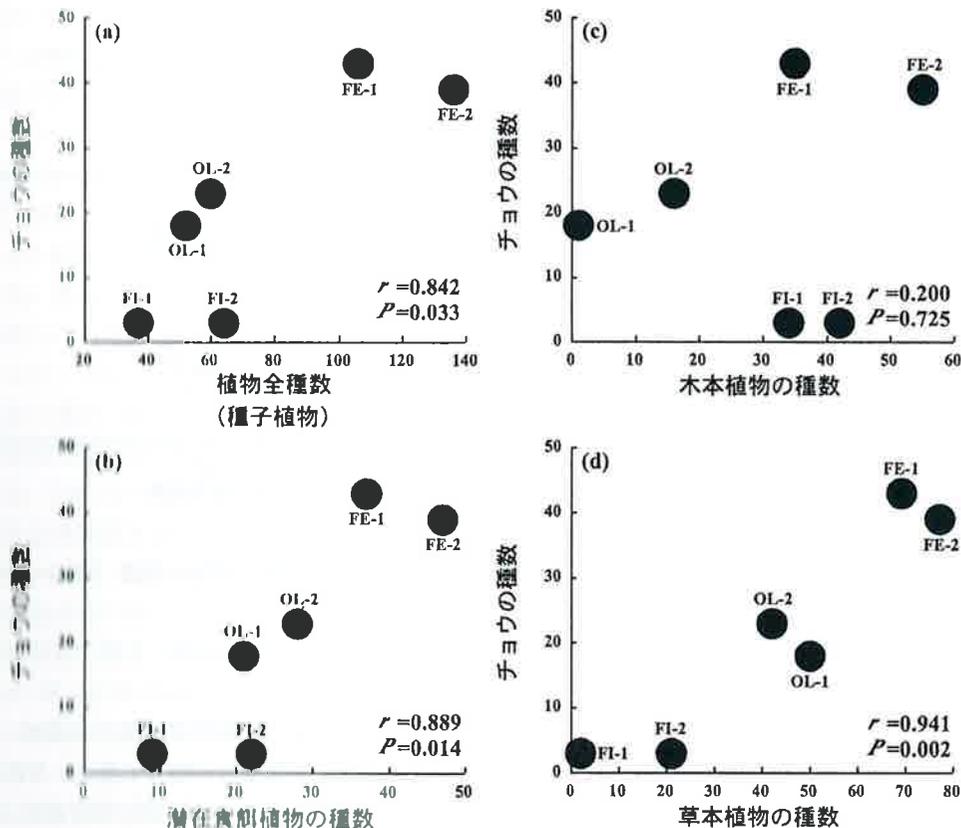


図2 青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の種数と植生種数の関係。各ドットのインニシヤルは、調査地区名を表す（北原・渡辺, 2001b）。

存していることが予測されるが、このことを定量的に裏付けた研究は、従来あまりなかった。筆者らは、前述の青木ヶ原樹海周辺のチョウ類群集の調査の中で、調査ルート沿いの植生調査も、ベルト・トランsect法を用いて初夏と初秋の2回実施した。その結果から、チョウ類群集の種数と植生の種数の関係を解析することができた（図2）。その図が示すように、チョウ類群集の種数は、調査地区に存在する植物の種数や潜在食餌植物の種数と密接な関係しており、特に草本植物の種数は、チョウの種数と最も強い相関が見られ、チョウの種数を予測するには最も適した指標と考えられた。その結果から、当地のチョウ類群集の保全にとって、植物（特に草本植物）環境の保全が大変重要であるとの結論を得た。一方、Simonsonら（2001）

の結果では、チョウ類群集の種数、種多様性、種構成の特異性は、ハコヤナギ類（*Populus tremuloides*）の生育している湿地帯で最も高く、そこにホットスポットが形成されていた。また、チョウ類群集の種数は青木ヶ原と同様に、植物の種数や餌資源の植物種数と密接な相関関係が見られたが、特に外来植物の種数と強い相関が見られ、外来植物の種数がチョウの種数を予測する好適な指標の1つになっていた（図3）。

以上のように、生態系内の構成要素間の相互関係の解明は、生態学的に重要であるばかりでなく、生物多様性保全の観点からも重要であり、今後益々、このようなアプローチは増えていくと思われる。

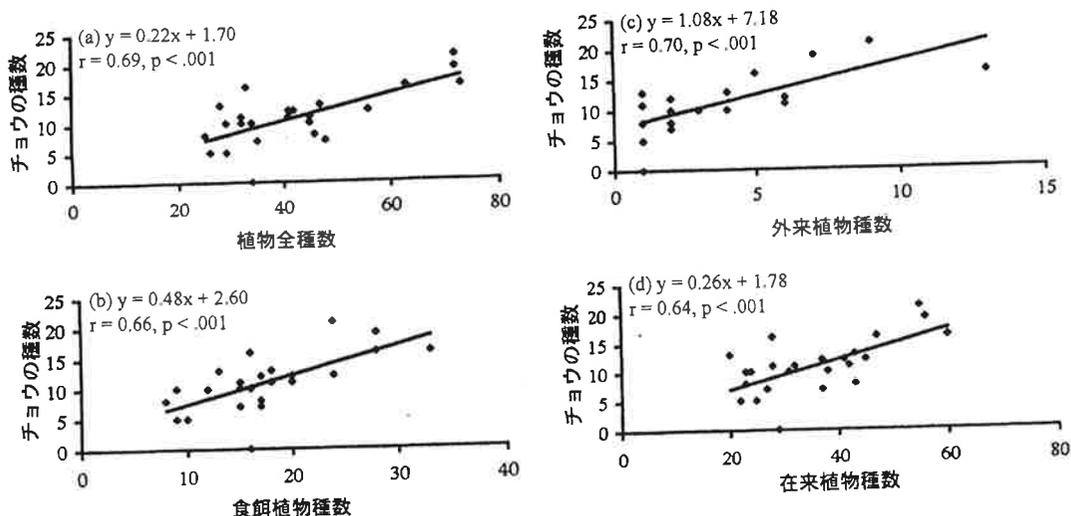


図3 ロッキー山脈国立公園ビーバー地域のチョウ類群集の種数と植生種数の関係 (Simonson *et al.*, 2001).

おわりに

チョウ類の群集生態学的研究の方向性の一面について、筆者自身の仕事を中心に紹介し、筆者なりに考察してみた。かなり片寄った解説になってしまったことは否めないが、これは1つのたたき台とお考え頂き、もれてしまったこの他の方向性については、ぜひ本解説の他著者の論著で補って頂くと共に、また御指摘など頂ければ幸いである。いずれにせよ、生態学や保全生物学関係のどの国際誌を見ても、チョウ類群集を扱った研究は間違いなく増えつつある。これも、チョウ類の研究材料としての優位性が認められつつある結果だと考えられる。我が国においても、チョウ類研究の最適な入門・指導書(今井・石井, 1998)を初めて編纂した本学会などを中心にして、今後益々、チョウ類群集の研究が盛んになることを願って止まない。

引用文献

Diamond, J. M. and T. J. Case (eds.) (1986) *Community Ecology*. Harper & Row, New

York.

藤井宏一(1988) 蝶類群集の統計的解析。「生物統計学」米澤勝衛・佐々木義之・今西 茂・藤井宏一共著, pp. 163-170, 朝倉書店, 東京。

Gee, J. H. R. and P. S. Giller (eds) (1987) *Organization of Communities: Past and Present*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

Hamer, K. C., J. K. Hill, L. A. Lace and A. M. Langan (1997) Ecological and biogeographical effects of forest disturbance on tropical butterflies of Sumba, Indonesia. *J. Biogeograph.* 24: 67-75.

Hill, J. K., K. C. Hamer, L. A. Lace and W. M. T. Banham (1995) Effects of selective logging on tropical forest butterflies on Buru, Indonesia. *J. Appl. Ecol.* 32: 754-760.

今井長兵衛・石井 実 監修(1998) チョウの調べ方. 文教出版, 大阪。

石井 実(1993) チョウ類のトランセクト調査。「日本産蝶類の衰亡と保護第2集」矢田 脩・上田恭一郎編, pp. 91-101. 日本鱗翅学会(大

- 版)・日本自然保護協会(東京).
- 環境省(2000)日本産昆虫類レッドリスト. URL: <http://www.biodic.go.jp/>(環境省生物多様性センター).
- 北原正彦(1996)*r-K*選択説による蝶類の群集構造の解析:トランセクト調査による群集データの1解析例. 昆虫と自然 31(14):25-29.
- 北原正彦・渡辺 牧(2000)青木ヶ原樹海周辺の蝶類とその保全. 山梨県環境科学研究所ニューズレター 4(3):2.
- 北原正彦・渡辺 牧(2001a)富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と保全:2000年の調査結果. 日本鱗翅学会第48回大会講演要旨集:20.
- 北原正彦・渡辺 牧(2001b)富士山北麓青木ヶ原樹海周辺におけるチョウ類群集の多様性と植生種数の関係. 環動昆 12:131-145.
- Hatahara, M. and K. Fujii (1994) Biodiversity and community structure of temperate butterfly species within a gradient of human disturbance: an analysis based on the concept of generalist vs. specialist strategies. *Res. Popul. Ecol.* 36:187-199.
- Hatahara, M. and K. Fujii (1997) An island biogeographical approach to the analysis of butterfly community patterns in newly designed parks. *Res. Popul. Ecol.* 39:23-35.
- Hatahara, M., H. Bai and K. Fujii (2000) Patterns in the structure of grassland butterfly communities along a gradient of human disturbance: further analysis based on the generalist/specialist concept. *Res. Popul. Ecol.* 42:135-144.
- MacArthur, R. H. and E. O. Wilson (1967) *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press, Princeton.
- 夏原直博(2000)都市近郊の環境傾度に沿ったチョウ類群集の變化. ランドスケープ研究 63(5):510-519.
- Natuhara, Y., C. Imai and M. Takahashi (1999) Pattern of land mosaics affecting butterfly assemblage at Mt. Ikoma, Osaka, Japan. *Ecol. Res.* 14:105-118.
- Pianka, E. R. (1970) On *r*- and *K*-selection. *Amer. Natural.* 102:592-597.
- Pianka, E. R. (1988) *Evolutionary Ecology*, 4th edn. Harper & Row, New York.
- Pollard, E. and T. J. Yates (1993) *Monitoring Butterflies for Ecology and Conservation*. Chapman and Hall, London.
- Primack, R. B. (1993) *Essentials of Conservation Biology*. Sinauer Associates, Massachusetts.
- Putman, R. J. (1994) *Community Ecology*. Chapman & Hall, London.
- Simonson, S. E., P. A. Opler, T. J. Stohlgren and G. W. Chong (2001) Rapid assessment of butterfly diversity in a montane landscape. *Biodiver. Conserv.* 10:1369-1386.
- Southwood, T. R. E. (1977) Habitat, the templet for ecological strategies? *J. Anim. Ecol.* 46:337-365
- Southwood, T. R. E. (1981) Bionomic strategies and population parameters. In *"Theoretical Ecology: Principles and Applications, 2nd ed"* (May, R. M. ed.), pp.30-52, Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Southwood, T. R. E. (1988) Tactics, strategies, and templets. *Oikos* 52:3-18
- Spitzer, K., J. Jaros, J. Havelka and J. Leps (1997) Effect of small-scale disturbance on butterfly communities of an Indochinese montane rainforest. *Biodiver. Conserv.* 80:9-15.
- Spitzer, K., V. Novotny, M. Tonner and J. Leps (1993) Habitat preferences, distribution and seasonality of the butterflies (Lepidoptera, Papilionoidea) in a montane tropical rain forest, Vietnam. *J. Biogeogr.* 20:109-121.
- Strong, D. R., D. Simberloff, L. G. Abele and A. B. Thistle (eds.) (1984) *Ecological Communities*

: Conceptual Issues and the Evidence. Princeton University Press, Princeton.

鷲谷いづみ (1999) 新・生態学への招待: 生物保全の生態学. 共立出版, 東京.

山本道也 (1988) 蝶類の群集の研究法. 「蝶類学の最近の進歩」三枝豊平・矢田 脩・上田恭

一郎編, pp. 191-210. 日本鱗翅学会, 大阪.

山本道也 (1998) ルートセンサス法. 「チョウの調べ方」今井長兵衛・石井 実監修, pp. 29-43. 文教出版, 大阪.

山梨県 (2002) 山梨県ホームページ. URL: <http://www.pref.yamanashi.jp/>

会, 大阪.

「チョウの
監修, pp. 29-

URL: http:

ゴミムシ群集の研究との比較^{1,2)}

石谷正宇³⁾

東和科学(株)環境技術部

陸生昆虫類の中で、環境指標性が一般に認められ、環境評価に利用されている種群の筆頭はチョウ類である。チョウ類群集を環境変化の指標生物とする研究は、米国で進んでおり、特に草地の管理における環境評価に使用されている (Erhardt and Thomas, 1980)。

韓国では森下 (1967) の群集生態学的手法を手始めに、朝倉 (1975) による自然度判定法、田中 (1988) によるRR法、石井ら (1991) による平均多様度と密度による序列化する方法、巢瀬 (1992a, b, c) の年間出現種数法、紙谷 (1994) による食餌植物に対する嗜好性を生息環境への選好性指標とさせる方法、中村 (2000) によるRI指数による環境評価などの多様な環境評価法が提案されている。

一方は、チョウ類の生態学的調査に先立って、ルートセンサス法が普遍的に普及してきた経緯と関連があり、ルートセンサス法がチョウ類を指標生物として適用するには必ずしも適当ではないという点ではない。今後チョウ類の群集生態学的研究において、調査データ間の相互比較を行う場合、同一の調査者が毎回調査するのでなければ、このルートセンサス法をさらに普遍化して調査データの調査を同一にする必要があると考えられる。その一試みとして、ルートセンサス法の信頼

性の向上のためにも、有資格制度を導入し、調査員の認証制度を導入することが望まれる。ある一定レベルに達した調査員がルートセンサスを行う制度が確立されれば、信頼性のあるデータの定量的相互比較により、チョウ類の群集生態学的研究はさらに進展するであろう。

一方、チョウ類と生態的ニッチにおいて、対極をなすと考えられる地表性甲虫類 (ゴミムシ類) は種々の環境に広く分布し、種数・個体数ともに多様であり、調査方法としてピットフォールトラップ法が普遍的に使用されている。この調査手法は定量的相互比較の条件をそなえていると言われていいる。この手法は、あらかじめ設定されたピットフォールトラップを使用することにより調査を行うので調査者による個人差なく調査を行うことが出来るため、データの定量的相互比較により、調査地域間での環境評価を相互に行うことが出来る利点がある。しかしながら、これまでゴミムシ類群集を環境指標として位置づける総合的ないし体系的の研究はなく、断片的論議がなされているだけである (石谷, 1996)。さらにゴミムシ類による環境評価は実践的に使用可能な理論体系が未だに確立されていない。また、ピットフォールトラップ法は個人差なく調査を行うことが出来る反面、その調査データの評価については必ずしも一致して

1) 本稿は、第13回年次大会川中カンファレンス「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」における講演内容に加筆したものである。

2) In the Comparison with the Researches of Ground Beetles Assembles.

3) Masahito Ishihara (Environmental Technology and Biological Research Division, Towa Kagaku Co. Ltd., 6-5 Funairi-cho, Naha-ku, Hiroshima 730-0841).

いるとは言い難い。特に植生や地形、地質、誘引物質などとの関連で検討すべき課題が多いのも事実であるが、長期間にわたり設置する場合、ピットフォールトラップ法は現時点で採用し得る最も実際的な方法であろう。

Gist and Crossley (1973) は生態学的解析により、ピットフォールトラップ法によって個体群サイズを定量化する方法を提案しているが、ピットフォールトラップ法はゴミムシ類の分布、日周活動や季節変動についてのほぼ正確なデータを提供するばかりでなく、種々の生息環境における同時比較研究を可能にする点で優れた調査方法であると考えられる。

このように一概にチョウ類による環境評価法とゴミムシ類による環境評価法を単純に比較することは出来ないが、単純比較することが、本稿での環境評価に向けた究極的な目的ではない。むしろ、これらの生態的ニッチの異なる種群を組み合わせることによって、環境指標生物による環境の総合評価を試みる事が重要ではないかと思われる。

引用文献

- Erhardt, A. and J. A. Thomas (1989) Lepidoptera as indicators of change in the seminatural grasslands of lowland and upland Europe. In: "The conservation of insects and their habitats (Collins, N. M. and J. A. Thomas, eds)", pp. 213-236, Academic Press, London.
- Gist, C. S. and D. A. Crossley, Jr. (1973) A method for quantifying pitfall trapping. *Environ. Entomol* 2: 951-952.
- 稲泉三丸 (1975) 蝶類による自然度の判定。「栃木県の蝶」栃木県の蝶編纂委員会・昆虫愛好会編, pp. 148-160, 栃木県, 栃木.
- 石井 実・山田恵・広渡俊哉・保田淑郎 (1991) 大阪府内の都市公園におけるチョウ類群集の多様性. *環動昆* 3(4): 183-195.
- 石谷正宇 (1996) 環境指標としてのゴミムシ類 (甲虫目: オサムシ科, ホソクビゴミムシ科) に関する生態学的研究. 比和科学博物館研究報告 34: 1-110.
- 紙谷聡志 (1994) 蝶類群集の評価法について. *Pulex* 83: 436.
- 森下正明 (1967) 京都近郊における蝶の季節分布. 「自然生態学的研究」森下正明・吉良竜夫編, pp. 95-132, 中央公論社, 東京.
- 中村寛志 (2000) チョウ類群集の構造解析による環境評価に関する研究. *環動昆*, 11(3): 109-123.
- 巢瀬 司 (1992a) 地表性甲虫類から見た見沼たんぼの自然環境. *昆虫と自然* 27(2): 13-15.
- 巢瀬 司 (1992b) 蝶は環境指標となるのか. *イグレット* 12: 3-4.
- 巢瀬 司 (1992c) 蝶を指標とした環境評価と自然保護. 「自然保護と昆虫研究者の役割 III」日本昆虫学会第52回大会小集会講演・寄稿論文集: 9-13.
- 田中 蕃 (1988) 蝶による環境評価の一方法. 「蝶類学の最近の進歩」日本鱗翅学会特別報告 6: 527-566.

統計的手法の観点から^{1,2)}

夏原由博³⁾

大阪府立大学大学院農学生命科学研究科

本誌の話題提供はよくまとめられていて、
内容は面白いものであった。おそらく共通する目的
は、チョウ群集 (assemblage) のパターンを見つ
け、環境との関わりを明らかにしようということ
であろう。それゆえ、私に与えられた表題をさら
に読んで、「指標化」に関してコメントさせてい
ただく。

表題に関して最初に明らかにしておきたいのは、
統計的手法は仮説検証のための、あるいは問題発
見のための科学的な手続きであって、明確な研究目
的の設定なしには使う意味がないということであ
る。

チョウ群集の調査データを比較するとき、多
様度指数も含めて、どのような指標値がいいのか
多くの人が頭を悩ませてきた。ここで指標値とは、
その背景となるモデルがあるということに気づい
て欲しい。モデルは現象を説明するために単純化
された仮説である。例えば、自然度を評価するよ
うな指標をつくったとすれば、その人はチョウの
特徴が「自然度」というものによって決まると考
えるからであるし、田中 (1988) のERの背景に
は貝浦のかく乱の4段階仮説がある。したがって、
どの指標を使うのが良いかという選択には、「あ
ては重りの良さ」よりもモデルの生態学的意味を
考慮すべきであろう。そのためには、個々の種の

生態に戻って、チョウ群集がどのように組み立て
られているかの理論を探究することがより実りあ
る結果を生むであろう。

ところで、指標値には多様度指数など機械的客
観的な方法と自然度などによって重み付ける主観
的な方法があることは中村 (2000) も指摘してい
る。前者の場合、たとえば種数や多様度指数とい
う値を使って何をしたいのかが問題である。多様
度指数が種数と異なるのは、種間の個体数の均等
性によって重みづけられていることであるが、
Hutchinson (1978) やMacArthur (1972) らは多
様度指数を種間のニッチ分割の指標として用いた。
すなわち、多様度指数が高いということは、ニッ
チが細かく分かれて、資源が細分されて利用され
ているわけだが、チョウ群集で用いる場合には、
多様度指数が「自然度」のようなものを反映して
いるという期待のもとに使われている。しかし、
吉田が指摘したように優占する1種の個体数の変
化が多様度指数を大きく変えることや、「里山」の
自然を保全の目標とする場合に多様度指数を指標
とできないなど、その使用を再検討する必要がある。

北原が紹介した主成分分析など多変量解析は、
客観的な指標化の手法として有用である。正準対
応分析CCAなどの方法を用いれば、生物の個々の

1) 本誌誌、第13回年次大会円卓カンファレンス「チョウ類の群集生態学的研究の方向性」における講演内容に加筆したものである。

2) A View Point of the Statistics.

3) Yūhito Natsuura (Graduate School of Agriculture and Biological Sciences, Osaka Prefecture University, Sakai, Osaka 599-8531).

種や群集が、どのような環境要因（あるいはその組み合わせ）の影響によって変化しているか、と同時に調査地点の評価を簡単に視覚化することができる。しかし、解析に用いたデータの範囲で値が決まるため、どのように調査地を選ぶかによって結果が左右される。

一方、主観的な指標値は評価者の力量には依存するものの、こうしたノイズに影響されないため、メタアナリシス（計画的でない過去の調査結果を用いて評価する場合）などには客観的な指標値より優れているかも知れない。

引用文献

- Hutchinson G. E. (1978) An Introduction to Population Ecology. Yale University Press, New Haven and London.
- MacArthur, R. H. (1972) Geographical Ecology. Harper & Row Publishers, New York, Evanston, San Fransisco, London.
- 中村寛志 (2000) チョウ類群集の構造解析による環境評価に関する研究. 環動昆 11: 109-123
- 田中 蕃 (1988) 蝶による環境評価の一方法. 「蝶類学の最近の進歩」三枝豊平・矢田 脩・上田恭一郎編, pp. 527-566, 日本鱗翅学会, 大阪.