

ISSN 0037-4091

植物防疫

第三十八卷 第三号

1984

3

特集号 線 虫

VOL 38

整流機構

4WD

定評のSSシリーズに、4WD仕様がくわりました。等速ファン、整流機構などSSシリーズのもつすぐれた散布能力をより一層ひきだし、また苛酷な防除作業をさらにラクに安全に行なえるタフなニュータイプです。

あのSSシリーズに、パワフル4駆、新登場。
共立スピードスプレーやSSV-520F



株式
会社

共 立



共立エコー物産株式会社

〒181 東京都三鷹市下連雀7-5-1 ☎0422-49-5941(代表)

りんごの病害防除に！

＊適用拡大になりました。

＊赤星病／黒点病／＊黒星病
斑点落葉病／＊すす点病／＊すす斑病

パルナックス 水和剤



大内新興化学工業株式会社
〒103 東京都中央区日本橋小舟町7-4

豊かな収穫に貢献するデュポン農薬

今日の汗を明日の収穫にしっかり結びたい…。
デュポンは1世紀を超える研究をベースに数か
ずの農薬を開発。そのひとつひとつが農作物の
安定多収に貴重な役割をはたしています。

「育てる心」にデュポンは技術でお応えします。

殺菌剤

ベンレート* ベンレート*-T ダコレート

殺虫剤

ランネート*45 ホスクリン

デュポン ジャパン リミテッド 農薬事業部

〒107 東京都港区赤坂1丁目11番39号 第2興和ビル

育ててほしいな、健やかに。



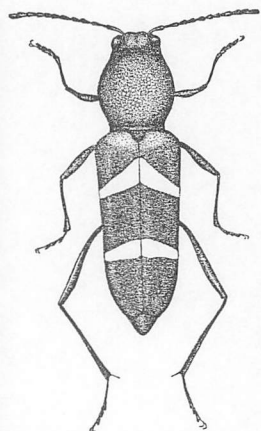
DU PONT

確かな明日の
技術とともに…

病害虫の



は



○カミキリムシ類防除剤

トラサイド ^A _{エース}

○水稲害虫・やさい害虫に浸透殺虫剤

○優れた速効性と残効性

アルフェート [®] 粒剤 **ハクサツブ** [®] 水和剤

○種子粒消毒剤

○多年性雑草に

ケス 水和剤 **バサグラン** 粒剤 水和剤

○高濃度化による小薬量の線虫剤

テロン ^{*} ₉₂

○マツクイムシに多目的使用

○林地用除草剤

スミパイン [®] **ザイトロ** ^{*}

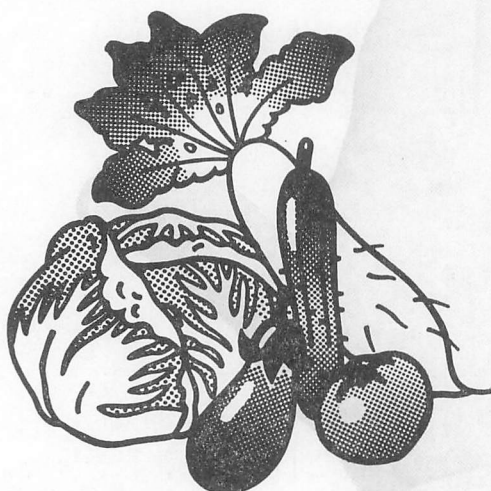


サンケイ化学株式会社

東京・大阪・福岡・宮崎・鹿児島

本社・鹿児島市郡元町880
東京事業所・東京都千代田区神田司町2-1

ホクコーの野菜農薬



●灰色かび・菌核病に卓効

スミックス [®] 水和剤 _{FD}
くん煙顆粒

●うどんこ・さび病に卓効

バイレトン [®] 水和剤5

●細菌性病害に卓効

カスミンボルドー
水和剤・FD

●効きめの長い低毒性殺虫剤

オルトラン [®] 水和剤
粒剤

●合成ピレスロイド含有新殺虫剤

ハクサツブ [®] 水和剤

●コナガ・アブラムシ類に新しいタイプの殺虫剤

オルトランナック
水和剤



取扱い
農協・経済連・全農



北興化学工業株式会社
〒103東京都中央区日本橋本石町4-2

お近くの農協でお求めください。

植物防疫

Shokubutsu bōeki
(Plant Protection)

第 38 巻 第 3 号

昭和 59 年 3 月 号

目次

特集号：線虫

線虫分類学の現状	皆川 望	1
線虫角皮の構造と働き	近藤 栄造	7
線虫の配偶行動	清原 友也	13
ダイズシストセンチュウのふ化促進物質	福沢晃夫・姉帯正樹・正宗 直	18
生物モデルとしてのセノラプデチス線虫	一戸 稔	23
線虫の防除と天敵利用	西沢 務	27
ネコブセンチュウの耕種防除	古賀 成司	34
マツ枯損の真因をめぐって	田村 弘忠	40
線虫による害虫の防除	石橋 信義	44
澤田さんを偲ぶ		50
新しく登録された農薬 (59.1.1~1.31)		51
中央だより	協会だより	51 43
人事消息	次号予告	6, 43 33
新刊紹介		12

緑ゆたかな自然環境を...

各種の作物に幅広く使えるようになりました

適用拡大!

トクチオン

乳剤・水和剤・粉剤・微粒剤F



●ハマキムシ



●コナガ

特長

- ①多くの作物の各種害虫に優れた殺虫力があります。
- ②毒性が低く安心して使用できます。
- ③蜜蜂、天敵に対する影響も少い薬剤です。
- ④接触毒と食毒により優れた殺虫力を発揮します。
- ⑤比較的残効性のある薬剤です。
- ⑥薬剤抵抗性が問題の害虫にも効果があります。

*説明資料進呈



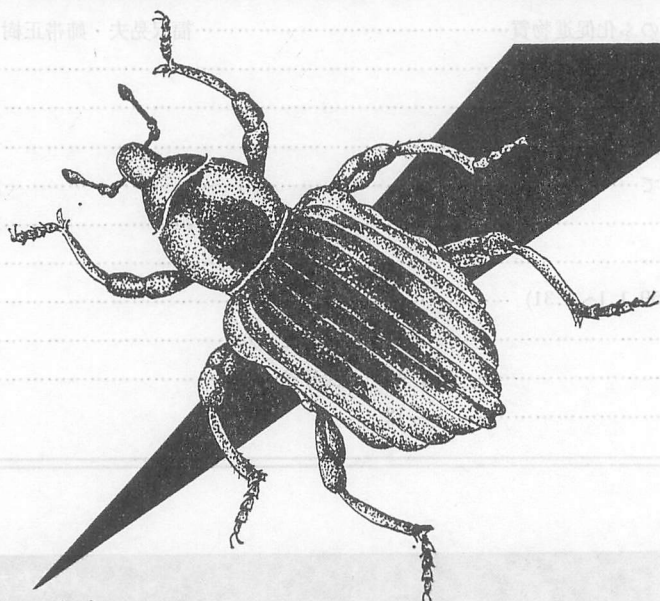
日本特殊農薬製造株式会社

東京都中央区日本橋本町2-4 ☎103

イネミズゾウムシの 本田防除に



登録認可



- イネミズゾウムシ、
本田の水面施用剤として適用が拡大になりました。

パダン[®]バツサ[®] 粒剤

- イネミズゾウムシの成虫及び幼虫防除に適しています。
- イネドロオイムシ、イネツトムシ、ツマグロヨコバイ、ウンカ類、
ニカメイチュウ、コブノメイガにも卓効があります。

箱処理による

イネミズゾウムシの省力防除に

パダン[®] 粒剤 4

- 残効が長く早植地帯でも優れた効果があります。
- 幼虫の根への加害を防止し増収につながります。
- ツマグロヨコバイ、ニカメイチュウ、イネゾウムシ、
イネドロオイムシなどとの同時防除に最適です。

イネミズゾウムシといもち病の同時防除に

パダン[®]ビーム[®] 粒剤

- 1回の箱施用で長期間イネミズゾウムシといもち
病を防ぎます。
- 防除の手間が省け経済的です。

※ 登録商標



線虫分類学の現状

農林水産省農業環境技術研究所 みな 川 のぞむ 望

線虫の分類体系は現在も流動的である。毎年多くの新種・新属の記載が相次いでいる。第1図は昆虫寄生を除く狭義の Tylenchida 目線虫（主に植物寄生性、一部自由生活性土壌線虫を含む）の属の数の増加を年を追って示したものである。これら新たに設けられた属は、一部には従来の属を分割したものもあるが、その多くは新発見の線虫の命名記載時に創設されたものである。新属にとどまらず、いまだに新亜科・新科、ときには新上科の発見もあり、毎年多数の論文が発表されている。植物寄生性を含む土壌線虫の分布は世界的にかなり広範囲となる例が多く、欧米で発見され、のちにわが国にも分布の知られた種類もかなりの数に上るが、欧米を中心に比較的研究の進んでいるワセンチュウ科 Criconematidae でさえ、筆者の手元にある標本の 1/3 から 1/4 は未記載の種と考えられ、その中のいくつかは現在の基準に照らせば新属と判断される。

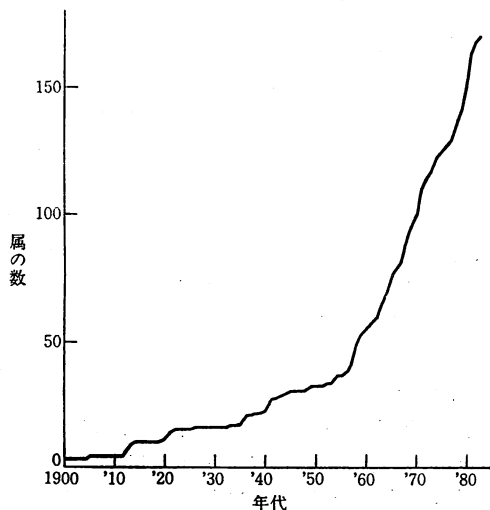
多くの新種の記載に伴い、従来は単一の属として扱われていたものが、細分され多くの属に分かれた例も見られる（ワセンチュウ、イシユクセンチュウ科など）。土壌線虫の分類では亜属というカテゴリーの使用が少なく、また亜属として記載されたものも、そのほとんどが

属に格上げされている。さらに族（Tribe、属と亜科の中間の分類単位）の概念も使われていない（ただ一つの例外が COOMANS (1979) による、ネオブセンチュウ科・シストセンチュウ科の分類）。このため線虫の分類体系は全体として上げ底になっている感がないでもない。こうした視点からの分類体系への批判が最近出されたが (MAGGENTI, 1981, 82)、現在の大勢は従来どおり細分化に向かっているようである。

最近記載された線虫の中には既存の分類上の科や上科の定義から見ると、例外的あるいは移行的形質を持つ種がいくつかある。そのため科または上科を越えて属の所属が移動した事例があった。特に Neotylenchoidea 上科の属にこの例が多い（後述）。また亜科・科をまとめる際、どのような特徴をもってそれらを定義するかも問題である。多くの属が、研究者によって所属する科や亜科が異なる。最近出版されたいくつかの教科書を見ても、一つとして同じ分類体系を示すものはない。冒頭に、線虫の分類体系は現在も流動的であると述べたゆえんである。新しい知識の増加はそれ自体としては好ましいことであろうが、線虫の分類体系は一向に定まらない。線虫分類学を専門とする者以外にはただただ混乱しているように映るであろうが、徐々にではあるが改善の方向へ向かっていると信じたい。以下に、最近の線虫の分類に関する混乱あるいは進歩に関するトピックのいくつかを掲げ参考に資した。

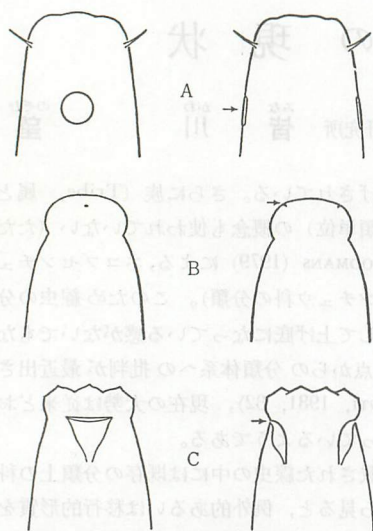
I 線虫の分類体系

線虫には植物寄生・動物寄生・自由生活（海・淡水・土壌中）と様々な生活を営む種類が含まれる。これらは体の後半部に位置する感覚器官である Phasmid の有無によって Secernentea と Adenophorea の二つの亜綱に分けられていた。ANDRASSY (1976) は動物寄生性線虫以外を主に扱った著書の中で、体の前端近くにある感覚器官の Amphid の形態を基に（第2図）、線虫を三つの亜綱に分けている（第1表）。この分類体系では Adenophorea を二つに分けた以外は目の分類段階は従来の体系と同じである。彼の著書に対して細かい点で多くの指摘がなされているが (COOMANS, 1977)、動物寄生以外の線虫について亜科までの検索表を示しているため、自由生活の線虫を調べるためには便利な本である。



第1図 Tylenchida 目線虫（昆虫寄生性を除く）の属の数の変化

Recent Situation of Nematode Systematics. By
Nozomu MINAGAWA



第2図 Amphid の形態と位置の違い

左側：正面，右側：側面，A：Torquentia 型，
B：Secernenteia 型，C：Penetrantia 型

第1表 ANDRASSY (1976) の分類体系

門	Nemathelminthes
綱	Nematoda
亜綱	I. Torquentia
目	1. Monhysterida (海・淡水・土壌) 2. Desmoscolecida (〃・〃・〃) 3. Araeolaimida (〃・〃・〃) 4. Chromadorida (〃・〃・〃)
亜綱	II. Secernentia
目	1. Rhabditida (土壌・動物寄生) 2. Tylenchida (植物寄生・土壌・昆虫寄生) 3. Strongylida (脊椎動物寄生) 4. Ascarida (〃) 5. Spirurida (環形動物・脊椎動物寄生)
亜綱	III. Penetrantia
目	1. Enoplida (海・淡水・土壌) 2. Dorylamida (土壌・淡水・植物寄生) 3. Trichocephalida (脊椎動物寄生) 4. Dioctophymatida (〃)

MAGGENTI (1981, 82) は線虫はその種類数に比べて属や科の数が多すぎるとして科の再編成を提唱している。しかし彼の体系では線虫は門となり，その中を2綱5亜綱20目に分けている。科の数は減少したが，亜目とされていたもののいくつかを格上げしたため目の数は増加した。SIDDIQI (1980a) は Tylenchida 目の系統論の論文において，Secernentea 亜綱を10目に分けている。彼の体系では亜科・科・上科を狭く定義している

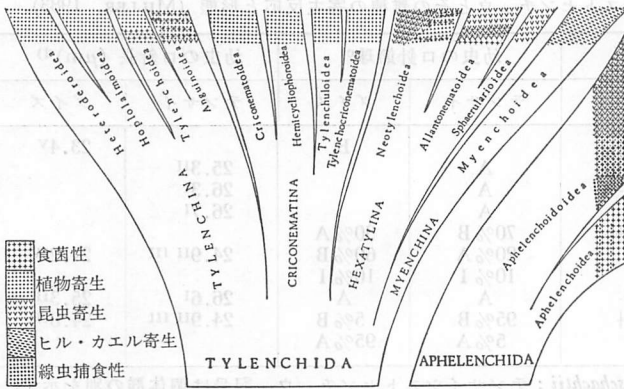
ため従来の分類体系と比較すると，一部の科は上科に，上科は亜目にと一段階ずつ上位に位置づけられ，その結果として亜目や目が増加したように思える。このように見てくると，ではどれが正しいのかということになる。LORENZEN (1983) はその論文の結論として，線虫の系統分類体系は完成されていない，と述べている。世界の線虫分類学の権威が種々議論しても明確な結論は出ないが，その中でどのあたりに問題が残されているのかが明らかになってきた，というのが現在の真相であろうか。

II Tylenchida 目の分類

SIDDIQI (1980 a) は，*Hemicycliophora* 属およびその近縁属を扱った論文の中において，ピンセンチュウ，ワセンチュウ類を含む Criconematoidea 上科を亜目 Criconematina とした。また Tylenchida 目は四つの亜目に分け (第3図)，それらの系統を論じている (SIDDIQI, 1980 b)。彼の分類体系の詳細は本年刊行予定の著書に発表されると思われるが，従来の論文で見るとは細分化の著しい体系になると予想される。彼の体系には批判はあるものの (MAGGENTI, 1983)，*Aphelenchina* 亜目 (マツノザイセンチュウ，イネシンガレセンチュウなどを含む) を独立の目とした扱いは，最近では定着する傾向にある。

III Neotylenchoidea 上科の分類

この上科は創設者も言っているように，他の科に入らなかった属を寄せ集めてできたものである (THORNE, 1949)。最近ではこの上科のうち昆虫寄生性線虫の科を他と分けて Sphaerolariina 亜目 (MAGGENTI, 1981)，あるいは Hexatylinina 亜目 (SIDDIQI, 1980 b) として Tylenchida 目の中に位置づけている。この上科と他の上科との区別点は中部食道球の中心弁の有無とされていたが，例外的な線虫が最近発見されて，区別があいまいとなってきた。その一例は *Epicharinema* 属である。本属は *Ecphyadophora* 属 (Neotylenchoidea 上科の Ecphyadophoridae 科) に形態的に似ているが，中部食道球に明瞭な中心弁を持っている。RASKI ら (1980) は Ecphyadophoridae 科を亜科に格下げし，別の上科の Tylenchidae 科に所属させた。Tylenchidae 科の中にも *Malenchus* 属の一部のように中心弁の発達しない種もある。このため植物寄生性の Neotylenchoidea 上科線虫は，今では Tylenchoidea 上科に含ませることもある。イチゴメセンチュウの所属する *Nothotylenchus* 属はクキシセンチュウ属 (*Ditylenchus*) と同じ亜科に入れられ



第3図 Tylenchida 目および Aphelenchida 目の分類体系 (Siddiqi, 1980)

亜目および上科の分類と食性を示す

場合もある。

IV ネコブセンチュウ類の分類

近年新種の発表が相次ぎ、現在では 53 種に達している (Hewlett and Tarjan, 1983)。アメリカのノースカロライナ州立大学を中心として 1976 年に始まった国際ネコブセンチュウ研究プロジェクトにより、世界的規模でこの属の線虫の調査研究が行われている。特に農業上重要な 4 種 (キタネコブ・サツマイモネコブ・ジャワネコブ・アレナリアネコブ) については形態、種および

第2表 ネコブセンチュウ 4 種とレースの寄主反応 (Taylor and Sasser, 1978)

線虫 ^{a)}	判 別 寄 主 ^{b)}					
	タバコ	ワタ	トウガラシ	スイカ	ラッカセイ	トマト
<i>M. incognita</i>						
Race 1	—	—	+	+	—	+
〃 2	+	—	+	+	—	+
〃 3	—	+	+	+	—	+
〃 4	+	+	+	+	—	+
<i>M. arenaria</i>						
Race 1	+	—	+	+	+	+
〃 2	+	—	—	+	—	+
<i>M. javanica</i>	+	—	—	+	—	+
<i>M. hapla</i>	+	—	+	—	+	+

a) *M. incognita*: サツマイモネコブセンチュウ, *M. arenaria*: アレナリアネコブセンチュウ, *M. javanica*: ジャワネコブセンチュウ, *M. hapla*: キタネコブセンチュウ

b) タバコ: cv. NC 95., ワタ: cv. Deltapine 16., トウガラシ: cv. California Wonder., スイカ: cv. Charleston Grey., ラッカセイ: cv. Florrunner., トマト: cv. Rutgers.

レース判別のための寄主反応について詳細に検討されている。このグループの種名の同定には雌成虫の会陰紋 (perineal pattern) が使われているが、サツマイモネコブセンチュウとジャワネコブセンチュウの 2 種は個体により、またプレパラートの作りかたによってどちらとも同定しかねる場合も少なくない。一般的には幼虫の体長・尾長などの特徴は変異が少なく、同定に有用であるとされるが (Franklin, 1979), 上記 2 種に関する限りこの点においても互いに非常によく似ている。走査電顕による観察では、第二期幼虫および雌雄成虫の頭部・口針とその節球の形態が種によりはっきり異なることが明らかとなった (Eisenback ら, 1980a, b, 1981)。植物への寄生性の違いによる種およびレースの判別法が提

示されているが (第2表), ヨーロッパで開催されたシンポジウムの記録 (Lamberti and Taylor, 1979) を見ても、レースの数はこれよりかなり多く存在するようである。Dalmasso and Berge (1978, 83) は電気泳動による isozyme の分析を行い、前記 4 種を含む 6 種の種の同定には isoesterases b がもっとも有効であり、単一種中のクローンの判別には isoesterases β が使用可能であると報告した。また Triantaphyllou を中心とする染色体の検討では、染色体数 (倍数体) とレースの関係が浮かび上がってきた (Triantaphyllou, 1979)。ネコブセンチュウ属の種類の増加は著しいものがあるが、最近では、種々の形質について詳細な検討をすべきであると、暗に安易な新種の記載を戒めるともとれる発言も聞かれる (Netcher, 1983)。

V シストセンチュウ類の分類

シストセンチュウ科は現在 2 亜科 14 属に分けられている。シストセンチュウ属 *Heterodera* からは、以前にジャガイモシストセンチュウをはじめとするナス科またはキク科に寄生する球形シストのグループが、別属の *Globodera* 属として分離された。最近ではレモン形シストを作る狭義の *Heterodera* 属から、陰門錐が円窓型のサポテンシストセンチュウのグループが、*Cactodera* 属として独立した (Krall and Krall, 1978)。同時にイネ科を寄主とする種類の一部のムギシストセンチュウグループが *Bidiera* 属として *Heterodera* 属から分離されたが、現時点では両者は別属として分けるほどの違いはないとされている (Mulvey and Golden, 1983)。

シストセンチュウ類で特に興味を引くのは、種間交雑

第3表 ダイズシストセンチュウ・テンサイシストセンチュウとその雑種の寄主反応と形態 (MILLER, 1983)

線 虫 ^{a)}	寄 主 反 応 ^{b)}		幼虫の口針節球 ^{c)}		幼虫の口針長 (μm) ^{d)}	
	テンサイ	ダイズ	テンサイ	ダイズ	テンサイ	ダイズ
<i>H. glycines</i> MS	—	卅		B		23.4 ^v
<i>H. schachtii</i> C2	卅	—	A		25.3 ^{II}	
<i>H. schachtii</i> F2	卅	—	A		26.3 ^I	
<i>H. schachtii</i> NY	卅	—	A		26.7 ^I	
MS×C2	卅	卅	70% B	30% A		
			20% A	60% B	24.9 ^{II III}	24.2 ^{IV}
			10% I	10% I		
MS×F2	卅	+	A		26.6 ^I	25.3 ^{II}
MS×NY	卅	卅	95% B	5% B	24.9 ^{II III}	24.8 ^{III}
			5% A	95% A		

a) *H. glycines* : ダイズシストセンチュウ, *H. schachtii* : テンサイシストセンチュウ, 記号は個体群の別を示す.

b) — : 非寄主, +・卅 : 中間的寄主, 卅 : 好適寄主.

c) 側方から見た口針節球の形態. A : 前方に突出 (いかり型), B : 後方に丸くなる, I : 中間的形態.

d) 30 個体の平均値. 同一記号は有意差 ($P=0.05$) なしを示す.

とそれによってできた雑種の研究であろう。ジャガイモシストセンチュウのレース間 (のちにレースの一部が別種とされたため種間を含む) の交雑が可能であることは, PAROTT (1972) により報告がある。ジャガイモシストセンチュウ *Globodera rostochiensis* とその近縁種 *G. pallida* の雑種 (F_1) の形態は, 第二期幼虫の口針は後者に似るが, 口唇部は前者に近いものであった (MUGNIERY, 1979)。前者の雄と後者の雌の組み合わせでは, F_1 は第二期幼虫のうちに死亡したが, 逆の組み合わせによってできた F_1 の幼虫は, 成長して雄成虫に達したものの雌成虫になった個体はなかった。その場合でも前者に対し抵抗性を持つジャガイモ品種では発育できなかった。このようなことから, 当初はジャガイモシストセンチュウのレースAとされ, のちに別種 *G. pallida* としての扱いは適切であったと結論されている。農作物の重要害虫以外の *Globodera* 属線虫についても交雑実験が試みられている (MILLER, 1983)。

シストセンチュウの *Heterodera* 属では, すでに 1965 年にテンサイシストセンチュウ *H. schachtii* とダイズシストセンチュウ *H. glycines* の間で雑種ができることが知られていた (POTTER and FOX, 1965)。その後の研究によって判明した F_1 の形態および寄生性について第3表に示した。また F_1 どうしを掛け合わせて F_2 を作ることも可能であった。さらにアメリカにおいてダイズに寄生するテンサイシストセンチュウ (STEELE, 1965), およびテンサイの一種 table beet に寄生するダイズシストセンチュウの個体群が発見されている (MILLER, 1965)。地理的に両者の分布が重なり合わないことなども考慮して, この2種は亜種の関係にあると最終的に結論づけられた (MILLER, 1983)。その場合はダイズシ

ストセンチュウの学名として *Heterodera schachtii glycines* ICHINOHE, 1952 を用いることになる。ダイズシストセンチュウとジャガイモシストセンチュウの近縁種 *Globodera solanacearum* の間では, 属が違うにもかかわらず交配可能である (MILLER, 1983)。このことから, *Globodera* は別属として *Heterodera* 属から独立させるほどの違いはないとの意見が出された。

シストセンチュウ属もまた, 近年多くの新種が発表されている。これらのうちのいくつかは, ムギシストセンチュウグループのように形態・寄生性ともによく似ているため, 独立の種とすることを疑問視する声もある。抗原抗体反応・電気泳動法を用いた種間・レース間の比較も行われているが (HUSSEY, 1982), いずれも実験に用いられたのはごく一部の種にすぎない。今後多方面からの研究により交雑実験で見られたような興味深い事実が明らかになることを期待したい。

VI そ の 他

ユミハリセンチュウ属 *Trichodorus* を含む Diphtherophoroidea 上科は Dorylaimida 目とされていたが, SIDDIQI (1980b) はこの上科を Enoplida 目に所属させるべきであると述べている。しかし, GERAERT (1981) は雌の生殖器官の比較検討からはどちらの目とも異なるとしている。

ワセンチュウ科 Criconematidae は属の命名上の混乱が続いている。以前 *Criconemoides* 属と呼ばれた線虫は, その後大部分が *Macroposthonia* 属に, 一部が *Criconemoides* 属 (狭義), *Nothocriconema* 属およびその他の属に分けられたが, 模式種を確定できないため, 狭義の *Criconemoides* 属と *Macroposthonia* 属に属していた種は

現在では一括して *Criconemella* という属名を用いるようになってきた (Luc and RASKI, 1981)。また *Criconema* 属も模式種が不明であったため、現在は *Ogma* という属名が使用されている (ANDRASSY, 1979)。しかし、最近発表された論文によると、*Ogma* 属の模式種 *O. murayi* は現在 *Seriespinula* 属として扱われている種類であった (SKWIERCZ, 1983)。*Seriespinula* 属の線虫が *Ogma* という属名を用いると、現在の *Ogma* 属線虫に別の属名を与えなくてはならない。まだ混乱が続きそうである。命名上の変更では、マツノザイセンチュウの学名が *Bursaphelenchus xylophilus* (STEINER and BUHRER, 1934) となり (NICKLE et al., 1981)、昆虫寄生性線虫 DD-136 を含む *Neoalectana* 属は *Steinernema* 属のシノニムとなり、DD-136 の種名も *Steinernema feltiae* (FILIPJEV, 1934) と変わった。

最後に、Tylenchida 目の分類体系を下記に示した。主に ANDRASSY (1976)、MAGGENTI (1981, 82)、SIDDIQI (1980 a, b) の論文に基づき、筆者の意見も入れて作ったが、先に述べたようにこれは完成されたものではなく、第3図とも異なることからわかるように、多くの異説のあることをおことわりしておく。属名の後の数字は種類数を表す。

目 Tylenchida

亜目 A. Tylenchina

上科 I. Tylenchoidea

科 1. Tylenchidae

- 亜科 a. Tylenchinae (8属 40 種)
- b. Aglenchinae (4属 30 種)
- c. Duoculciinae (6属 32 種)
- d. Tylodorinae (3属 12 種)

科 2. Anguinidae

- 亜科 a. Anguininae (10属 107 種) コムギツブセンチュウ、クキセンチュウなど
- b. Sychnotylenchinae (2属 15 種)

科 3. Boleodoridae

- 亜科 a. Boleodorinae (4属 17 種)
- b. Psilenchinae (2属 13 種)

科 4. Atylenchidae

- 亜科 a. Pleurotylenchinae (1属 1 種)
- b. Atylenchinae (2属 4 種)

科 5. Ecphyadophoridae (3属 13 種)

上科 II. Neotylenchoidea

科 1. Neotylenchidae

- 亜科 a. Halenchinae (1属 3 種)
- b. Neotylenchinae (5属 28 種)

科 2. Nothotylenchidae (5属 30 種) イチゴモセンチュウなど

科 3. Paurodontidae

- 亜科 a. Paurodontinae (4属 37 種)
- b. Misticiinae (2属 6 種)

科 4. Iotonchiidae (1属 7 種)

科 5. Sphaerulariidae (昆虫寄生)

- 亜科 a. Sphaerulariinae (3属)
- b. Allantonematininae (15 属)
- c. Fergusobiinae (1属 1 種)

上科 III. Hoplolaimoidea

科 1. Dolichodoridae (3属 21 種)

科 2. Tylenchorhynchidae

- 亜科 a. Merliniinae (5属 85 種)
- b. Tylenchorhynchinae (9属 103 種)
イシユクセンチュウ
- c. Trophurinae (3属 19 種)

科 3. Belonolaimidae

- 亜科 a. Telotylenchinae (3属 25 種)
- b. Belonolaiminae (4属 17 種)

科 4. Hoplolaimidae

- 亜科 a. Hoplolaiminae (4属 90 種)
- b. Pararotylenchinae (1属 9 種)
- c. Rotylenchinae (4属 213 種)
- d. Aphasmatylenchinae (1属 2 種)
- e. Rotylenchulinae (1属 11 種) ニセフクロセンチュウ

科 5. Pratylenchidae

- 亜科 a. Pratylenchinae (3属 82 種) ネグサレセンチュウ、イネネモグリセンチュウなど
- b. Radopholinae (7属 53 種)
- c. Nacobbinae (1属 2 種)

上科 IV. Heteroderoidea

科 1. Meloidogynidae

- 亜科 a. Nacobboderinae
族 aa. Nacobboderini (1属 2 種)
- 亜科 b. Meloidogyninae
族 aa. Meloidogynini (2属 53 種) ネコブセンチュウ属ほか
- 族 bb. Meloidoderellini (1属 1 種)

科 2. Heteroderidae

- 亜科 a. Veruturinae (1属 1 種)
- b. Meloidoderinae
族 aa. Meloidoderini (1属 4 種) ニセシストセンチュウ
- 族 bb. Cryphoderini (2属 4 種)
- 亜科 c. Heteroderinae
族 aa. Ataloderini (3属 6 種)
- 族 bb. Heteroderini (7属 73 種) シストセンチュウ

亜目 B. Criconematina

上科 I. Tylenchocriconematoidae

科 1. Tylenchocriconematidae (1属 1 種)

上科 II. Tylenchuloidea

- 科 1. Paratylenchidae (5属 96 種) ピンセンチュウほか
- 2. Tylenchulidae (4属 10 種) ミカンネセンチュウほか
- 3. Sphaeronematidae (1属 5 種)

4. Meloidoderitidae (1属2種)

上科 III. Criconematoidea

科 1. Criconematidae

- 亜科 a. Criconematinae (20属138種) トゲ
ワセンチュウ, サヤワセンチュウなど
b. Macroposthoniinae (4属112種) ワ
センチュウ

上科 IV. Hemicycliophoroidea

科 1. Hemicycliophoridae (3属92種)

2. Caloosiidae (3属21種)

引用文献 (主なもの)

- ANDRASSY, I. (1976) : Evolution as a Basis for the Systematization of Nematodes. Pitman Publ., London, pp. 288.
- COOMANS, A. (1979) : Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species), pp. 1~18, Academic Press, London.
- DALMASSO, A. and J. B. BERGE (1978) : J. Nematol. 10 : 323~332.
- (1983) : Concepts in Nematode Systematics, pp. 187~196, Academic Press, London.
- GERAERT, E. (1981) : Annales Soc. r. Zool. Belg. 110 : 73~86.
- MAGGENTI, A. (1981) : General Nematology, Springer-Verlag, New York, pp. 372.
- (1982) : Synopsis and Classification of Living Organisms. Vol. II. pp. 879~929, McGraw-Hill, New York.
- LAMBERTI, F. and C. E. TAYLOR (1979) : Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species), Academic Press, London, pp. 477.
- LORENZEN, S. (1983) : Concepts in Nematode Systematics, pp. 11~23, Academic Press, London.
- LUC, M. and D. J. RASKI (1981) : Revue Nematol. 4 : 3~21.
- MILLER, L. I. (1983) : Concepts in Nematode Systematics, pp. 207~220, Academic Press, London.
- MUGNIERY, D. (1979) : Revue Nematol. 2 : 153~159.
- NICKLE, W. R. et al. (1981) : J. Nematol. 13 : 385~392.
- PAROTT, D. M. (1972) : Ann. appl. Biol. 71 : 271~273.
- POTTER, J. W. and J. A. FOX (1965) : Phytopathology 55 : 800~801.
- RASKI, D. J. et al. (1978) : Revue Nematol. 3 : 297~304.
- SIDDIQI, M. R. (1980a) : Revue Nematol. 3 : 179~199.
- (1980b) : Helm. Abstr., Ser. B. 49 : 143~170.
- TAYLOR, A. L. and J. N. SASSER (1978) : Biology, Identification and Control of Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species), N. Carol. State Univ. Press, Raleigh, pp. 111.
- TRIANTAPHYLLOU, A. C. (1979) : Root-Knot Nematodes (*Meloidogyne* species), pp. 85~106, Academic Press, London.
- WOUTS, W. M. et al. (1982) : Syst. Parasit. 4 : 147~154.

人 事 消 息

○全 農

新 職 名

旧 職 名

加藤 一郎氏	全農燐鉍(株)出向	本所肥料農薬部肥料原料課
金田 武夫氏	農業技術センター肥料研究部調査役	農業技術センター肥料研究部
安達 克洋氏	本所人事課調査役	福岡支所肥料農薬部農薬課
小川 勝氏	〃 肥料農薬部総合課副審査役	全農燐鉍(株)
松本 彦也氏	〃 〃 有機肥料課副審査役	大阪支所肥料農薬部有機原料課
伊藤 堯氏	〃 〃 農薬原体課 〃	(株)組合貿易
会田 重道氏	〃 〃 〃 調査役	本所肥料農薬部農業技術普及課
久木弥兵衛氏	〃 〃 農業技術普及課副審査役	札幌支所肥料農薬部農薬課長
森 雄二氏	〃 〃 〃 調査役	東京支所肥料農薬部付
石井 好弘氏	札幌支所肥料農薬部農薬課長	大阪支所肥料農薬部農薬課
薬丸 薫氏	東京支所肥料農薬部付	札幌支所肥料農薬部付
成田 時男氏	〃 〃 肥料課調査役	名古屋支所肥料農薬部
杉山喜久男氏	名古屋支所 〃 有機原料課長	〃 〃
太田 重男氏	大阪支所総合室調査役	東京支所肥料農薬部肥料課
松永 公平氏	〃 肥料農薬部調査役	大阪支所 〃 〃
吉田 吉明氏	〃 〃 肥料課調査役	〃 〃 〃
今村 貞昭氏	〃 〃 有機原料課長	本所肥料農薬部有機肥料課
依田 徳之氏	〃 〃 農薬課調査役	名古屋支所総合室
山本 正之氏	〃 〃 〃 〃	本所肥料農薬部農薬課
熊沢 光雄氏	〃 〃 〃 〃	大阪支所肥料農薬部農薬課
北方 節夫氏	福岡支所肥料農薬部付	農業技術センター
高砂 修氏	〃 〃 肥料課調査役	大阪支所肥料農薬部付
宝田 良正氏	〃 〃 〃 〃	福岡支所肥料農薬部肥料課
益田 英毅氏	〃 〃 有機原料課	〃 〃 〃
助田 勇氏	〃 〃 農薬課調査役	〃 〃 農薬課

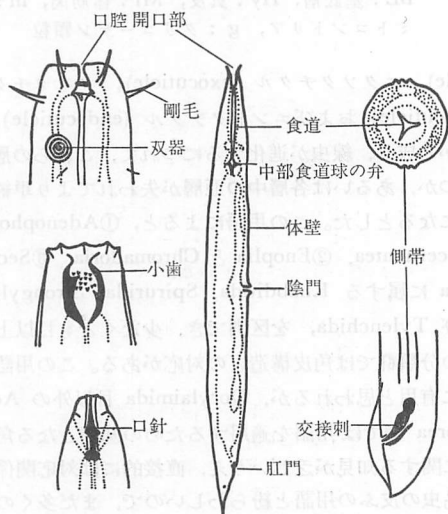
線虫角皮の構造と働き

佐賀大学農学部応用動物学教室 近 藤 栄 造

線虫は、基本的には細長い線形の動物であるが、種類、性、発育ステージによって、大きさも形もかなり異なる。この線虫の外形を決めているのが角皮（クチクラ，cuticle）である。機能的には、角皮は外界と接する部分に主に存在するから、虫体との境界面で起こる様々な生理現象に関与し、虫体の保護、水分の逸散防止、ガス交換、老廃物の排出など多面的な役割を果たしている。また、角皮は線虫が正常に発育し続けたり、不良環境下で生存するのに重要であるばかりでなく、応用的には、有害線虫の物理的または化学的防除や、昆虫寄生性線虫による害虫の生物的防除に、その成否を左右する重要な要因となっている。本稿では、植物寄生性線虫を中心に、角皮の構造と働きについて述べてみたい。

I 角皮の存在部位と表面構造

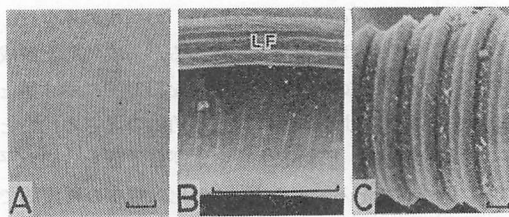
角皮は、一口で言えば、脱皮するときに脱ぎ捨てられる部分で、線虫の体表面を覆う体壁（body wall）と虫体表面にある突起の表面や陥入部の内腔壁を形成している。また、角皮の一部は特に硬くなり、摂食器官や交尾



第1図 クチクラの存在部位を示す線虫の形態模式図（近藤原図）
実線はクチクラ，点線は非クチクラの部分を示す。

Structure and Function of Nematode Cuticle.

By Eizo KONDO



第2図 角皮の表面構造（近藤原図）

A : *Dorylaimus* (*Dorylaimida*), B : マツノザイセンチュウの分散型4期幼虫 (*Aphelenchoididae*, *Tylenchida*). LF : 側帯部, C : *Macropothonia* sp. (*Criconeematidae*, *Tylenchida*)
— : 3 μ m

器官となっている（第1図）。

線虫の体表面には、規則的な輪状の体環（annulus）がある。体環の形状は線虫の種類によって異なり、*Criconeematidae* 科では著しく明瞭なものが多いが、*Mononchida* 目や *Dorylaimida* 目では光学顕微鏡では見にくいほどに平滑である（第2図）。体環の幅は植物寄生種や自活種では 1~2 μ m のものが多い²⁾。大型の動物寄生種の成虫では、体環の幅は 2~10 μ m に達する。体環は、体側部を前後に走る縦走線（longitudinal alae）によって背側と腹側に区切られる。縦走線の数や縦走溝（longitudinal groove）の深さは線虫の種類や体の部位によって異なるが、同一個体について見れば、体の末端に近づくとも縦走線の数は減少し、溝は浅くなる。

II 角皮の内部構造

角皮の構造は、線虫の種類や発育ステージによってかなり異なるが、いずれも真皮細胞より分泌された弾力性のある多層の膜から構成されていて、基底膜（basement membrane）を介して真皮（hypodermis）および体筋肉（somatic muscle）と接している。

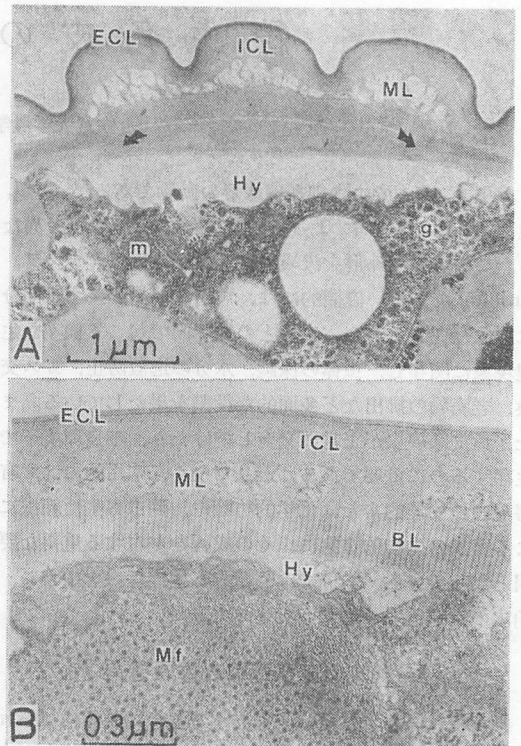
角皮の厚さは線虫の生活様式の違いによる差が大きい²⁾。感染態幼虫では約 0.4 μ m、自活種の成虫では約 2.0 μ m の厚さのものが多く種類間の差は小さい。寄生性線虫の角皮は成虫で厚く、植物寄生種 *Xiphinema* spp. では 3~4 μ m、動物寄生種 *Strongylus equinus* では 50 μ m に達する。生殖細胞を除くと、線虫の細胞数はふ化時に決定され、後胚子発生中に増加しないので、体容

積の増加は個々の体細胞の増大による。角皮の厚さの増加も同様である。昆虫と異なり、線虫の角皮は成虫になった後も脱皮することなしに發育し続ける。例えば、カイチュウ *Ascaris lumbricoides* の角皮は幼虫では約 $0.3\ \mu\text{m}$ だが、成虫化後 20 倍以上の厚さになる。ジャワネコブセンチュウ *Meloidogyne javanica* の角皮の厚さは、感染態 2 期幼虫では約 $0.5\ \mu\text{m}$ であるが、成熟した雌成虫では約 $6\ \mu\text{m}$ になる。角皮の厚さを相対的に示す値として体中央部における体幅に対する角皮の厚さの比をとると、動物寄生種、植物寄生種および自活種を含めた平均で約 1:34 である。しかし、この比は線虫の種類間で差が大きく、カイチュウの雌成虫では 1:100, *Tricho-dorus* では 1:13, *Ancylostoma* では 1:10 となる。多くの線虫において、生殖腺を含む体内器官の発達による体幅の増加のほうが角皮の厚さの増加よりも大きいので、幼虫から成虫へと發育するにつれて角皮の相対的な厚さは小さくなる傾向がある。

角皮の厚さと同様に、角皮の構造も線虫の大きさや生活様式の違いによってかなり異なる。一般に、角皮の構造は大型の線虫のほうが小型の線虫より複雑である。また、寄生性線虫では、成虫の角皮構造が多様なのに比べて、感染態幼虫の角皮構造は種間差が小さく、お互いによく類似している。

角皮の各層は、相対的な位置、構造、染色性などに基づいて名称がつけられてきた。しかし、名称をつける基準が研究者の間で必ずしも統一されていなかったため、用語の混乱が生じてしまった。そこで BIRD は、従来の用語を整理し、構造や組織化学的性質に関する知見がもっとも多かったカイチュウの角皮構造に基づく用語を提唱した^{2,4)}。すなわち、角皮は基本的には皮層 (cortical layer)、中間層 (median layer) および基底層 (basal layer) の 3 層から成り、線虫の種類によっては、それぞれの層に付加的な亜層 (sublayer) が加わるとした。最近の研究によれば、すべての線虫に 3 層構造があるわけではない。しかし、植物寄生種について見れば、Tylenchida 目の多くの種類で 3 層構造が見られる (第 3 図, 第 5 図 I, J)。例外として、Criconeematidae 科では特異的なラメラ構造が発達している (第 5 図 H)。また、植物寄生種の一部を含む Dorylaimida 目では、他の大型の線虫と同様に、厚い角皮の下層には斜めに交差する繊維層が発達している (第 5 図 B, G)。

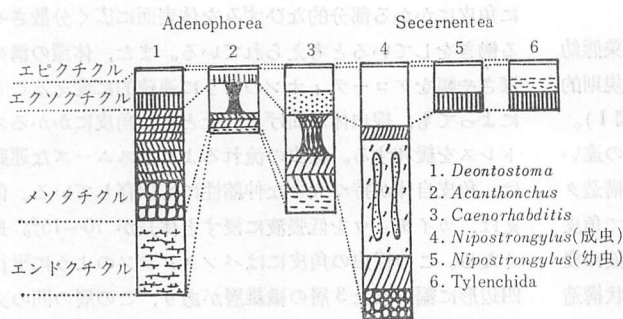
近年、MAGGENTI は、カイチュウではなく、系統発生学的に見てもっとも下等なグループと見られる Enoplida 目の角皮を基準とした用語を提唱した (第 4 図)¹²⁾。すなわち、Enoplida 目の角皮は、エピクチル (epi-



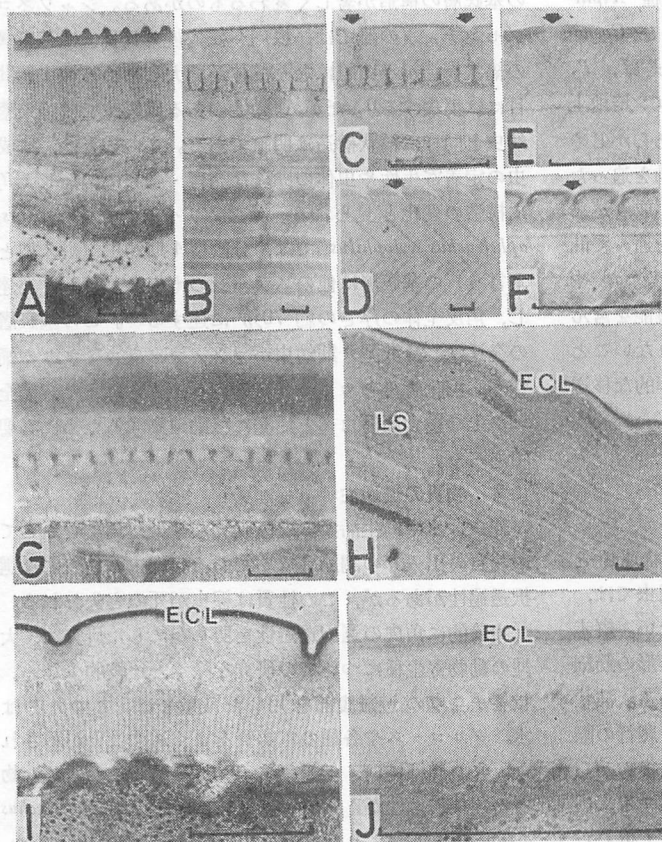
第 3 図 ダイズシストセンチュウ第 2 期幼虫の索域 (A) および 間索域 (B) における角皮の横断面構造 (近藤原図)

ECL: 外皮層, ICL: 内皮層, ML: 中間層,
BL: 基底層, Hy: 真皮, Mf: 体筋肉, m:
ミトコンドリア, g: グリコーゲン顆粒

cuticle), エクソクチクル (exocuticle), メソクチクル (mesocuticle) およびエンドクチクル (endocuticle) の 4 層から成り、線虫が進化するにつれて、これらの層のいくつか、あるいは各層中の亜層が失われてより単純な構造になるとした。この用語によると、①Adenophorea と Secernentea, ②Enoplia と Chromadoria, ③Secernentea に属する Rhabditida, Spirurida, Strongylida および Tylenchida, を区別でき、少なくとも目以上の高次の分類群では角皮構造との対応がある。この用語は確かに有用と思われるが、Dorylaimida 目以外の Adenophorea 綱では用語を適用するための基礎となる角皮構造に関する知見が乏しいうえ、直接的には対応関係のない昆虫の皮ふの用語と紛らわしいので、まだ多くの研究者の同意を得てはいない。現在までのところ、様々な構造を持つ線虫の角皮すべてに例外なく適用できる用語はまだない。本稿では、植物寄生種の主体を占める Tylenchida 目の線虫に比較的良好に適用できる BIRD の提唱した用語を用いて、まず、皮層、中間層、基底層の



第4図 系統発生的に見た線虫の角皮構造の比較模式図 (MAGGENTI, 1979 より略改)



第5図 線虫角皮の微細構造の例 (近藤原図)

A: 汽水産線虫の一種 B~D: *Dorylaimus* sp., 矢印は外皮層の不連続部を示す。E, F: *Mononchida*, 矢印はB~Dに同じ。G: *Xiphinema* sp. H: *Macropothonia* sp., 特有なラメラ構造 (LS) がある。I: イネネモグリセンチュウの第4期幼虫。外皮層が発達している。J: サツマイモネコブセンチュウの第2期幼虫。外皮層に3膜構造が見られる。

—: 0.5 μ m

順に、その構造について述べる。

1 皮層

角皮の最外部にある皮層は、皮層内に存在する顆粒の形やフィラメントの電子染色性により、外皮層 (external cortical layer) と内皮層 (internal cortical layer) に分かれる (第3図)。外皮層は、ほとんどすべての線虫に存在する層で、3枚の膜から構成されている。一番外側はリン脂質を含む電子密度の高い膜、中間はオスミック酸でやや染まりにくい厚さ 7~8 nm の膜、内側は好オスミック酸の 12~25 nm の膜である (第5図J)。外皮層全体の厚さは 60 nm 以下と薄く、しかも内外の膜の電子染色性が高いので、過染色すると3膜構造を識別できない。ネコブセンチュウや旋毛虫の一種 *Trichinella spiralis* の幼虫では、外皮層の最外膜が、さらに 3~5 nm の3枚の薄膜で構成されている。

外皮層の下には、電子密度の低い基質中に多くの顆粒を含む内皮層がある (第3図B)。カイチュウなど大型の線虫では、この層から RNA, ATP アーゼ, 酸性フォスファターゼ, アスコルビン酸などが検出されている。酵素類がこの層から検出されることより、線虫の角皮は虫体を包む単なるカバーではなく、代謝活性を持った生きた構造であることが示唆される。昆虫寄生性線虫 *Mermis nigrescens* の雌成虫では、小管が皮層表面から内皮層を通して中間層にまで達しており、外界との物質交換が能率的に行われるため、成長が速い。

2 中間層

この層 (第3図Bの ML) は外皮層と基底層の間にある層だが、両層との境界は必ずしも明らかではない。中間層の厚さや構造は線虫の種類や発育ステージによる差異が大きい。この層の厚さは、幼虫では約 0.1 μ m であるが、カイチュウ類では 20 μ m に達する。構造的には、ほとんど無構造なものから様々な集塊物、稗状体、フィラメント、小溝を持つものまで多様である。Tylenchida 目の植物寄生性線虫では、この層から非特異的エステラーゼ、ムコ多糖類、脂質類が検出されている。

3 基底層

自活種、植物寄生種、ある種の動物寄生種の感染態幼虫の角皮の最内部には、電子密度の低い基質中に規則的に配列した縞状構造がある(第3, 4図, 第5図I)。縞と縞の間隔は約 $20\ \mu\text{m}$ で種類や発育ステージの違いによる差は小さい。この基底層に特有な構造は、構造タンパク質分子の強い交差結合によって生じたもので角皮の機械的な強さを増している。試みに線虫を高張液に浸したり乾燥にさらすと、体が収縮するにつれて縞状構造を欠く索域(cordal area)が最初に突出してしまうことから、基底層が角皮構造の維持に重要な役割を果たしていることを知ることができる。

基底層の縞状構造は、角皮内での大型分子の移動にも大きな役割を果たしていることが、植物寄生種 *Xiphinema index* や自活種 *Panagrellus silusiae* および *Caenorhabditis briggsae* などで知られている。例えば、*P. silusiae* の末交尾雄を ^3H -ロイシンを含むニコソ培地上に4時間置いたのち線虫をよく洗い大腸菌をあらかじめ増殖させた培地上に移して ^3H -ロイシンの移動を追ったところ、ロイシンは索域の真皮細胞内にまず取り込まれ、次いで角皮と真皮の間の基底膜の陥入部を通して間索域(intercordal area)へ移動する¹⁰⁾。*C. briggsae* や *P. silusiae* の縞状構造は、真皮が活発な合成機能を営んでいる脱皮時には明瞭だが他の時期には見られないことから、新しい角皮の形成に必要な物質の能率的な移送に重要な働きをしていることが推察される。

III 角皮の働き

1 運動

線虫の運動形態には、もっとも普通な波状運動とCriconematidae科で見られる爬行がある。線虫では、運動のための体筋肉は縦走筋だけで環状筋はない。縦走筋の収縮部の一端は角皮に付着し、他端は紡錘形の筋細胞となり擬体腔液中に浮かんた状態となっている。波状運動の際には背側筋と腹側筋が交互に収縮し、爬行の際には一見ミミズなどのぜん動運動のように体の後方から前方に向かって背側筋と腹側筋を同期的に収縮する。いずれの運動形態の場合も、縦走筋の収縮によって生じた擬体腔液の高い膨圧が角皮の持つ弾性によって反発されることにより運動が行われる。逆に言えば、線虫がスムーズに運動するためには、筋収縮によって生じた高い膨圧に打ち勝つ強さが角皮になければならない。角皮に強さと滑らかさを与える構造として、基底層の縞状構造の重要性が指摘されている。この構造は運動性の高い線虫や感染態幼虫でよく発達しており、体筋肉が収縮する際

に角皮にかかる部分的なひずみを体表面に広く分散させる働きをしていると考えられている。また、体環の溝の深さや幅をアコーディオンのように連続的に変えることによって、線虫体が曲げられたときに角皮にかかるストレスを緩和する。線虫の流れるようなスムーズな運動は、角皮自体が持つ大きな伸縮性にも依存している。例えば、カイチュウを低張液に浸すと体長が10~15%長くなる。この線虫の角皮にはバンタグラフのように平行四辺形に編まれた3層の繊維層があり、この層の間の交差角度を 55° から $75^\circ 30'$ の範囲内で連続的に変えることにより、体積は一定のまま体幅と体長を変えることができるのである⁹⁾。

植物寄生種の中には、運動能力の変化に対応して角皮の基底層の構造が著しく変わるものがある。ジャワネコブセンチュウの雌では、根内へ侵入後2日目には基底層の縞状構造が不明瞭になり、体が肥大し始める約1週間目には消失する¹¹⁾。だが、運動性のある雄成虫では感染態幼虫と同様に縞状構造は明瞭である。このことは、雌成虫の定着寄生性や虫体の顕著な発育・肥大に関係した角皮構造の変化と見られる。マツノザイセンチュウ *Bursaphelenchus xylophilus* では、分散型4期幼虫(耐久型とも言う)の基底層は他のステージのものより著しく発達し、角皮全体の厚さの約70%に達する¹⁰⁾。この基底層の発達は、分散型4期幼虫がマツノマダラカミキリの蛹室から羽化直後のカミキリ気管内へ、さらにまた、健全マツ上の後食部傷口へと活発に移動運動するために必要であろう。

2 物質の透過性

線虫は水中に生活する遊泳動物なので、角皮を通しての物質の出入りの調節は重要である。線虫の角皮には選択透過性があるが、この性質は線虫が死ぬと失われる。

実験的に角皮の選択透過性を明らかにした研究は、大型の動物寄生種についての研究を除くと比較的少ない。カイチュウの遊離腹部を用いた実験では、この角皮は水、グルコースや各種の電解質をよく通すことが示された。より詳細には、ラジオアイソトープでラベルした物質の角皮透過性が、ニセグサレセンチュウ *Aphelenchus avenae*、ミカンネセンチュウ *Tylenchulus semipenetrans*、コムギツブセンチュウ *Anguina tritici* および *Pellodera* sp. で調べられた¹²⁾。その結果、①生体の構造を保つに必要な水は角皮を通して拡散し、水1分子は0.9秒で外界と入れ替わり、②水、EDB、DBCPは容易に角皮を通過でき体外と動的平衡状態にあり、③グルコース、グリシンは角皮を通過しにくく、④極性物質は角皮を通過しなかった。一般に、殺線虫剤は、ロ・肛門などの開

口部からよりも、体表のリン脂質の膜を通して体内へ入る量のほうが多い。EDB は水よりも速く体内へ入り約 30 分で平衡に達する。体内への EDB の浸透は被鞘している *Pellodera* の耐久型 3 期幼虫においても抑止されない。だが、殺線虫剤の効果は薬剤の浸透速度よりも線虫の生理的状態の違いによって大きく影響されることに注意しなければならない。例えば、メチルプロマイドに対するニセネグサレセンチュウの耐性は、活動期よりも耐無水生状態 (anhydrobiosis) のもののほうが高い⁷⁾。

3 乾燥下での生存

線虫は水系や土壌水中に住む遊泳動物なので虫体の周りに十分な水がないと運動も繁殖もできない。急に乾燥条件下に移すとほとんどの線虫は死亡する。だが、徐々に乾燥すれば耐無水生に入り長期間生存する線虫が多い⁸⁾。乾燥条件下で線虫が生存するとき角皮はどんな構造変化を起こしているのだろうか。

線虫の耐乾性発現にとって角皮全体の厚さは重要ではなく、角皮の構造、特に最外層の構造が重要と思われる。一般に、角皮表面に小孔や不連続な部分がある線虫では、耐乾性や耐薬剤性は小さい。土壌線虫のうち、*Dorylaimida* 目や *Mononchida* 目は大型で角皮も厚く約 10 μm もあるが、角皮外皮層に不連続な部分がある (第 5 図 C~F) ものが多いので、物理化学的処理に弱い。例えば、これらの線虫を 5% グルタルアルデヒド固定液中に投入すると 30 秒以内に死亡する。一方、乾燥しやすい環境に住む線虫や植物寄生種の多く、特に感染態幼虫などには小型のものが多く、その角皮最外層は発達し表面には小孔や不連続な部分がほとんどない。これらの線虫はグルタルアルデヒド液中でも長時間 (30分~5時間) 生存できる。

線虫をゆっくり乾燥すると、体をコイル状に巻き体表面積を減少させる線虫が多い。ニセネグサレセンチュウの場合、相対湿度 98% の条件下で徐々に乾燥すると体幅は変化しないで体長だけが減少する。この線虫の角皮の厚さは、活動期には約 0.4 μm であるが耐無水生に入ると 0.13 μm に減少する。乾燥条件下で角皮が薄くなるのは、単なる脱水と角皮の構成成分の凝集によるのだろう。植物寄生種としてもっとも古くから知られ、また耐性も著しく高い線虫としてコムギツブセンチュウがある。この線虫はコムギの内穎中でコイル状に巻いた第 2 期幼虫の状態で長年生存でき、短時間 (2 分) であれば -190~105°C の温度処理にも耐えられる。このとき、角皮表面にある脂質を含む膜どうしが融合収縮し虫体を保護している。同時に、角皮最外層の厚さは活動期

の 2 期幼虫のものの約 2 倍にもなっている。これらの構造的特性は、基底層の縞状構造の発達とあいまって、乾燥下で長期間生存できるとともに、環境条件が再び好適になったときには活発な運動性を回復し植物体中へ侵入するために必要であろう。同様な角皮構造の変化は自活種 *C. elegans* の耐久型 3 期幼虫でも見られる。この耐久型幼虫では耐久型でない 3 期幼虫と比べて角皮最外層は 3 倍以上も厚く、しかも非耐久型にはない基底層の縞状構造がある¹⁴⁾。この縞状構造は、長さ 84 nm、幅 14.5 nm、厚さ 4.5 nm のタンパク質の重合体からできていて、リボタンパク質の薄膜によって隔てられたものである。前述のように、マツノザイセンチュウでは分散型 4 期幼虫は運動性が高いが、移動分散時に大気にさらされる危険に会いやすい。このステージの角皮最外層も他のステージより厚く発達している¹⁰⁾。

動物寄生種の感染態幼虫は、前の 2 期幼虫のステージの角皮を脱ぎ捨てずに被鞘している。被鞘幼虫は、乾燥や無寄主などの不良環境下で生存できる能力と、寄主からの刺激を受けたとき速やかに発育を開始し寄主へ侵入するという、二つの異なった機能を持たなければならない。捻転胃虫 *Haemonchus contortus* の被鞘幼虫は脱鞘してしまった幼虫よりも耐乾性が高い。このさやとは異なり、植物寄生種 *Hemicycliphora* や *Hemicricnemoides* のさやは脱皮時に新しい角皮とさやが形成される。*Hemicycliphora arenaria* では、虫体の周りに水が十分にあるときはさやの透水性は高いが、いったん乾燥にさらされるとさやの透水性は低下して耐乾性が高まると言われる。ピンセンチュウ (*Gracilacus*, *Paratylenchus*) の第 4 期幼虫は 3 期幼虫の外クチクラに相当する部分で包まれていて、耐乾性と同時に耐薬剤性も高い¹⁵⁾。しかし、寄主植物からの刺激を受けて脱皮前静止期まで発育が進んでしまうと、角皮の透過性は高まり耐乾性も耐薬剤性も著しく低下する¹¹⁾。

農作物に大きな被害をもたらす植物寄生種の中でも、シストセンチュウは不良環境耐性が大きく防除が難しい線虫である。卵は雌成虫の角皮に由来するシスト壁に保護されていて、乾燥・無寄主条件下で長期間生存できる。シスト壁は、その主成分であるコラーゲンが硬化しじょうぶな保護壁となったものであるが、シストの高い耐性を明らかにするためシスト壁の微細構造も研究されてきた⁹⁾。シストセンチュウの幼虫や雄成虫の角皮には典型的な 3 層構造があり、基底層の縞状構造は明瞭だが、雌では体が肥大するにつれて厚くなった繊維層と皮層の境界部に基底層由来の縞状構造が断片的に存在するようになる¹⁷⁾。その結果、雌成虫の角皮の透過性が高くなり、

性誘引物質や過剰に摂取した糖や排せつ物が角皮を通過しやすくなると考えられている。しかし、いったんシスト化してしまうと、*Globodera* 属では2層の、*Heterodera* 属では1層の繊維層がシスト壁内に発達する。この層は、昆虫のエンドクチクルのように繊維がラセン状に配列していて、シストの機械的な強さを増し、卵を長期にわたって保護する。

以上、線虫の角皮の構造と働きについて概観してきた。植物寄生種の多くは形が小さいため、その角皮を生理的に完全な状態で単離したり、さらに進んで角皮を構成している各層を分離して解析するのが難しく、現在までのところ、それぞれの層の働きを実験的に示した研究は乏しい。だが、今まで述べてきた事例からも明らかなように、線虫の角皮は虫体を包む単なるカバーではなく、生活様式の変化に応じてその機能を変える生きた構造である。今後は、実験技術の進歩を背景とした実証的な研究が望まれる。

引用文献

- 1) BIRD, A. F. (1968): J. Parasitol. 54: 475~489.
- 2) ——— (1971): The structure of nematodes (A. F. BIRD, ed.), Academic Press, New York, pp. 45~

- 79.
- 3) ——— and M. S. BUTTROSE (1974): J. Ultrastruct. Res. 48: 177~189.
- 4) ——— (1980): Nematodes as Biological Models (B. M. ZUCKERMAN, ed.), Vol. 2 Academic Press, New York, pp. 213~236.
- 5) COOPER, A. F. Jr. and S. D. VAN GUNDY (1971): Plant Parasitic Nematodes (B. M. ZUCKERMAN, et al., ed.) Vol. 2. Academic Press, New York, pp. 297~318.
- 6) EVANS, A. A. F. and C. WOMERSLEY (1980): Nematodes as Biological Models (B. M. Zuckerman, ed.) Vol. 2. Academic Press, New York, pp. 193~211.
- 7) FRECKMAN, D. W. et al. (1980): J. Nematol. 12: 19~22.
- 8) HARRIS, J. E. and D. H. CROFTON (1957): J. Exp. Biol. 34: 116~130.
- 9) KONDO, E. and N. ISHIBASHI (1975): Appl. Ent. Zool. 10: 247~253.
- 10) ——— (1978): ibid. 13: 1~11.
- 11) ——— (1979): ibid. 14: 1~11.
- 12) MAGGENTI, A. R. (1979): J. Nematol. 11: 94~98.
- 13) MARKS, C. F. et al. (1968): Exp. Parasitol. 22: 321~337.
- 14) POPHAM, J. D. and J. M. WEBSTER (1978): Can. J. Zool. 56: 1556~1563.
- 15) RHODES, E. L. and M. B. LINFORD (1961): Proc. Helm. Soc. Wash. 28: 51~59.
- 16) SAMOILOFF, M. R. (1973): Nematologica 19: 15~18.
- 17) SHEPHERD, A. M. et al. (1972): ibid. 18: 1~17.

新刊紹介

『日本のミバエ』 第1分冊

伊藤修二郎 (1983), 自費出版

Die Japanischen Bohrfliegen.

Selbstverlag von Prof. Dr. Syusiro Ito

定価 5,000 円 (送料込)

B 5 判, 48 ページ

〒636-01 奈良県生駒郡斑鳩町服部 2-10-6

電話 07457-5-7147

大阪府立大学農学部 伊藤教授による、“日本のミバエ”が自費出版された。これは日本産ミバエ科の分類学的研究で、現日本のミバエが網羅され、多数の新属新種の記載を含むものである。刊行の様式体裁とも、かの西ドイツで発行の旧北区双翅目誌“Die Fliegen”とはほぼ同様で、第5分冊、約 250 ページで完結の予定とされる。

この昨年 10 月発刊の第1分冊は 48 ページで、ミカンコミバエ、ウリミバエ、ミカンバエなどの著名害虫を含むミバエ亜科、近年欧米で牧野のキク科雑草の生物防

除で注目を浴びるオナガミバエ亜科、ヤマトミバエ亜科などの記述に続き、ミバエ分類で最も困難なハマダラミバエ亜科の 48 属の検索と、同亜科のツバキミバエ類、さらに近年、東北で再発生が問題になっているオウトウミバエなどの記述が含まれている。

亜科、属種の検索表は明解で、属種の記述は詳細、各種とも頭部と翅の図示があり、分布、寄主植物のほか生活史の概要も述べられ、手元のミバエの同定が容易になった。

目下各地で実施中のミバエ類侵入警戒調査で、西日本の誘引トラップに入る話題の新ミバエについては、今回 *Bactrocera pernigra* という新名が与えられている。

ミバエ類の農園芸、植物検疫における重要性は今更多言を要しない。現在、奄美、沖縄、小笠原で実施されているミカンコミバエ、ウリミバエの根絶事業の過程でも、新ミバエの発見や、寄主植物の新知見が相次いでいる状況である。多方面のミバエ問題に、本書は広く研究者、技術者にとって便利な基礎的参考書となるであろう。

本書の購入先、価格などについては、近刊の「昆虫」(第 51 巻第 4 号)の広告を参照頂きたい。

(小泉 憲治)

線 虫 の 配 偶 行 動

農林水産省林業試験場九州支場 きよ はら とも や
清 原 友 也

線虫は、種類数が多く、淡水・海水や土壌中で自由生活をするものから植物・動物に寄生するものまで、その生息域と生活様式も多種多様である。これら線虫類の繁殖様式を見ると、一部のものでは雌雄同体や単為生殖が見られるが、大部分の線虫は両性生殖を営んでおり、生活と種の存続をはかるためには雌雄が互いに認知しあって交尾することが不可欠である。

近年、化学生態学の分野で、生物間の関係が、ある種の化学物質の仲介によって成り立っていることが次々と解明されつつある。昆虫の性フェロモンなどがその好例で、配偶過程において重要な役割を果たしていることが多数の昆虫について明らかにされている。

線虫における性誘引フェロモンの存在が初めて示唆されたのは1964年で、GREET²⁰⁾による自活性線虫 *Panagrolaimus rigidis* についての報告である。これを契機に線虫の性誘引ないし配偶行動の研究があいつぎ、現在までに40種近い線虫についての報告が見られる。しかし、研究内容は性誘引現象の記述にとどまっているものが多く、性誘引物質と配偶行動との関連などいまだ詳細に解析されていない現況にあり、昆虫の配偶行動の研究に比べると、ずいぶん立ち遅れている。

本稿では、植物寄生性および自活性線虫を中心に配偶行動と性誘引の研究の現状を概観し、性誘引物質の配偶過程における役割について考えてみたい。

本文に先立ち、文献など多くのご教示をいただいた九州農業試験場線虫研究室長 中園和年氏と同研究室の方、および林業試験場線虫研究室長 真宮靖治氏に感謝する。また、文献入手につきお世話をかけた農業環境技術研究所線虫・小動物研究室の皆川 望氏および東京大学農学部森林植物学教室の伊藤進一郎氏にお礼を申し述べる。

I 研究手法

線虫は体長1mm前後の微小な動物である。したがって彼らの行動は顕微鏡下でしか観察できないという実験上の制約がある。配偶行動を含む行動観察には、もっぱら寒天培地が用いられている。寒天培地の利点として、寒天ゲル中では線虫が活動しやすく、透明であるた

め顕微鏡下で観察がしやすい、線虫分泌物の濃度勾配が形成されやすい、寒天上に残された線虫の軌跡(track)から間接的に線虫の行動が解析できる、などが挙げられる。

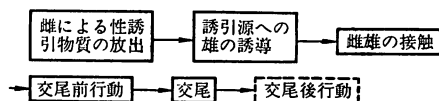
配偶行動を観察する場合には、スライドガラス上やペトリ皿内に寒天円板を作り、これに雌雄を放してその挙動を観察する。食細菌性線虫の場合は栄養寒天に細菌を繁殖させたりえて供試する。性誘引試験では、寒天をチューブに詰めたり、ペトリ皿内に寒天板を作って使用する。形状は、円形、長方形、T字形、V字形など研究者によってさまざまな工夫がなされた。これら装置の一方に雌または雌放出物を定置し、他方を対照区として濃度勾配を形成させたりえて雄に選択させる、いわゆる選好試験を基本としている。雌が非移動性の場合にはそのまま寒天上に定置したが、雌雄ともに活動性の種では雌をセロハン膜などでしきって実験を行っている。

II 配偶行動

配偶行動とは、雌雄が接近し、互いに同種であることを認知しあい、求愛して交尾に至る一連の行動と言える。線虫の配偶行動の解析はあまり進んでいるとは言えないが、配偶の観察、記述はかなりの種について行われている。これらの研究成果を限られたページ数に網羅し解説することは不可能で、断片的になるのは避けられないが、いくつかの知見を取り上げていく中で線虫の配偶行動の輪郭を示すことができればよいかと思っている。

線虫においても、各種各様の配偶行動を示し、そのパターンも多様であることは言うまでもないが、基本的には第1図のステップを踏むと考えてよい。なお、雌雄相互に誘引している種も少なくはないが、ここでは雌を誘引者として話を進める。

後述するように、多種類の線虫が交尾に際し、異性を引きつけるための化学的シグナルとして性誘引物質を生産、分泌していることが明らかにされた。まず、性誘引に関することから説明していくのが、配偶行動の解説の手順と考えるが、性誘引については後で少し詳しく説明



第1図 線虫の配偶行動の様式図

することにし、ここでは、雌雄の接触が起こってから交尾が終わるまでの過程を述べる。

性誘引フェロモンに刺激され誘引されて雌に近づいた雄は、やがて雌と接触する。雄は最初、頭部 (head) ないし唇部 (oral region) で雌に接触することが観察されている^{10, 25, 32)}。線虫の頭部には化学受容器の一つと考えられている双器 (amphids) が存在するので、これが誘引物質に感応する役目を果たしているのかもしれない。接触後すぐに雌に交尾をしかける雄もまれに見られないわけではないが、一般的には接触から交尾に至る間には、何らかの交尾前行動が見受けられる。例えば、雄の虫体を雌に押しつけたり、こすりつけたりする (courtship, 第3図a)、雄の尾部を雌に巻きつける (loop または coil)、唇部で雌の体各部を探索する (probing) などの行動が観察される。これらの行動のあるものは雌雄の性衝動を高めるための催淫効果があるのかもしれない。線虫は雄が交接囊 (bursa) を持つものと持たないものの2グループに分けられる。交接囊を持つものとして SOMERS ら³¹⁾ が観察した *Rhabditis pellio* を、持たないものとして AHAMAD and JAIRAJPURI⁴⁾ が研究を行った *Chiloplacus symmetricus* を取り上げ交尾行動を以下に記す。

R. pellio の雌は雌と近接距離になると行動が活発になり頭部を左右に動かす。雌との接触が起こると、雄は体全体を雌に添わせ体をくねらせる行動を起こす。この行動と同時に、雄は唇部または交接囊で雌の陰門 (vulva) を probing するという。行動中に交接囊が陰門に近づくと雄は盛んに交接刺 (spicule) を突出させる。幾回かの probing を経て交尾に移る。交尾姿勢については記述されていないが、同属の *R. cylindrica*²²⁾ の雄が示すように雄は尾部を雌陰部に押しつけ交接刺を挿入するも

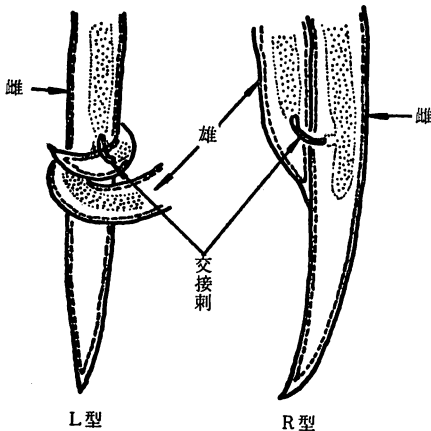
のと思われる (第2図R)。

C. symmetricus の雄は雌と接触するとすぐに体位を雌と平行にし、体後半部を雌の同部分に押しつけながら前後に動かす行動をまずとる。間もなく雄は尾部を雌に巻きつけ loop 状にする。この loop の中を雌は前後に動くことを繰り返す。この雌の前後運動は loop して交尾する線虫に共通に認められる行動であり、交尾へ向けての一種の雌の協力行動と推察される。loop 中の運動を繰り返すうち交接刺と陰部が接触すると雄は loop で雌をしっかりと把握し交尾を行う (第2図L)。

交尾時間は *R. pellio* で5分前後であり、*C. symmetricus* では30秒から45分と記録されている。線虫の交尾時間は、*Xiphinema diversicaudatum*³⁴⁾ のように4~5秒の場合もあれば、*Aphelenchus avenae* の1.5時間も続いた例がある¹⁴⁾、というように、種によりまた pair により幅広い変異を示す。

上記2種の交尾姿勢 (mating posture) を模式的に第2図に示した。前者をR型、後者をL型と呼ぶことにする。交尾に関する文献を整理してみると、交接囊を持つ種はみなR型を示し、持たない種はL型の交尾姿勢を示すことが明らかになった (第1表)。ただ、マツノザイセンチュウ *Bursaphelenchus xylophilus* は交接囊を持ちながらL型を示すが、本種の交接囊は *Rhabditis* 属などのそれとは違って形も小さく ribs も認められない。おそらく *Rhabditis* 属などのものとは、その機能が異なるのではあるまいか。なお、*Cruznema lambdiensis* はR型を示すが、雌雄が反対向きになって交尾するのが特徴的である⁹⁾。

交尾後に特徴ある行動を示す2, 3の種について述べる。*R. pellio* の雌は交接刺を雌脱後交尾姿勢を10分前後とり続け、雌の体に尾部を密着させているという³¹⁾。また、*R. teres* も時間は一定ではないが同様の行動を示

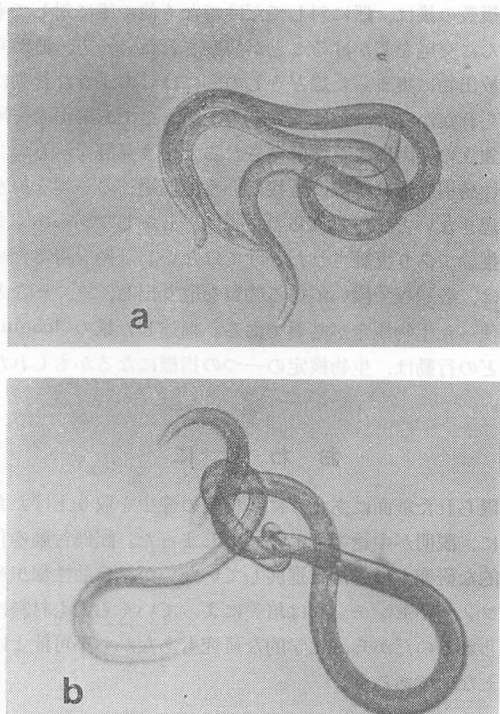


第2図 線虫の交尾型

第1表 線虫の交接囊の有無と交尾型

線 虫 名	交接囊	交尾型 ^{a)}	文献番号
<i>Chiloplacus symmetricus</i>	—	L	4)
<i>Cylindrocorpus longistoma</i>	—	L	10)
<i>Cylindrocorpus curzii</i>	—	L	10)
<i>Panagrolaimus rigidus</i>	—	L	20)
<i>Xiphinema diversicaudatum</i>	—	L	34)
<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>	—	L	26)
<i>Aphelenchus avenae</i>	+	R	14)
<i>Cruznema lambdiensis</i>	+	R	6)
<i>Ditylenchus destructor</i>	+	R	1)
<i>Panagrellus redivivus</i>	+	R	12)
<i>Rhabditis pellio</i>	+	R	31)
<i>Rhabditis cylindrica</i>	+	R	22)

—: なし, +: あり, ^{a)} 第2図を参照



第3図 マツノザイセンチュウの配偶行動
a : courtship の一種, b : 交尾

す。類似の行動はL型を示す *P. redivivus* にも認められた¹²⁾。これは、精子が子宮に達する前に陰門から漏出するのを防ぐための行動であろうと推察されている^{6,12)}。

R. pellio の場合は、交尾後に陰門上に copulatory plug が形成される⁶⁾。*A. avenae* の雄も交尾が終わっても雌に密着し続け、両者の生殖器接触部にニカワ状物質 (glue-like material) が生成されるという¹⁴⁾。交尾後も courtship を続けることが観察されている例もあるが、その意味はよくわからない。授精 (insemination) が不首尾に終わったための行動なのであろうか。*X. diversicaudatus* の雄は交尾後は動かなくなるという³⁴⁾。しかし、交尾後は雌雄が離れてゆくのが一般的である。

III 性誘引とその配偶行動における役割

性誘引が調べられた線虫のリストを第2表に示す。単為生殖を行うネコブセンチュウ *Meloidogyne* 属の3種を除いてすべての線虫に何らかの性誘引が認められている。ミカンネセンチュウ *Rotylenchulus veniformis* の場合も単為生殖系統の雌には誘引性がないという²⁷⁾。雌が雄を誘引するというのが、線虫の性誘引の一般的なパターンなのである。しかし、雌雄相互に誘引しあっている種も少なくない。雄だけの誘引性が認められたのはクキセンチュウ *Ditylenchus dipsaci* 1種である。

大部分の研究者が、雌成虫に脱皮直後の雌を使って誘引性を実証しているところをみると、線虫類は雌成虫に脱皮してすぐに性誘引物質を放出し始めることが推察される。DUGGAL¹⁰⁾は、自活性線虫 *Panagrellus redivivus* を用いた実験において、交尾済みの雌の誘引性は未交尾のものに比べ著しく低下または停止することを示した。同

第2表 性誘引の有無が明らかにされた線虫類^{a)}

種 (属) 名	誘引パターン ^{b)}		文 献 番 号
	雄→雌	雌→雄	
植物寄生性			
<i>Bursaphelenchus xylophilus</i>	+	+	26)
<i>Ditylenchus dipsaci</i>	—	+	35)
<i>Heterodera</i> spp. (10 種)	+	S	15, 17, 28)
<i>Hoplolaimus indicus</i>	+	*	2)
<i>Meloidogyne</i> spp. (3 種)	—	S	29, 30)
<i>Radopholus similis</i>	+	—	23)
<i>Rotylenchulus reniformis</i>	+	S	27)
自活性			
<i>Acrobeloides</i> sp.	+	—	24)
<i>Cephalobus persegnis</i>	+	*	9)
<i>Chiloplacus symmetricus</i>	+	—	3, 4, 7)
<i>Cruzema lambdiensis</i>	+	+	5)
<i>Cylindrocorpus</i> spp. (2 種)	+	*	10)
<i>Panagrolaimus rigidus</i>	+	+	20)
<i>Panagrellus redivivus</i>	+	+	8, 11)
<i>Panagrellus silsiae</i>	+	—	9)
<i>Pelodera strongyoides</i>	+	+	33)
<i>Pelodera teres</i>	+	—	25)
<i>Rhabditis pellio</i>	+	+	31)

a) 動物寄生性を除く, b) + : 誘引, — : 誘引なし, S : 雌が定着性, * : 未検定

様の現象は *C. lambdiensis*⁶⁾ や *B. xylophilus*²⁶⁾ においても認められている。また GREEN¹⁶⁾ によるとシストセンチュウの1種 *Heterodera schachtii* の雌の誘引性は交尾後一時的に減退するという。

一方、交尾が雌の誘引性に影響しないとする報告もある。前述した *R. pallio* や *C. symmetricus* の雌は交尾後も雄を誘引する^{4, 31)}。交尾と誘引性の関係は、雌の一生の間の交尾回数と深くかかわっているものと思われるので、扱う種の産卵習性などをよく調べて結論を出すべきと思われる。

加齢と誘引性の関係についてもいくつかの報告がある。*P. redivivus* の雌の誘引性は、未交尾のままでも日齢とともに減衰し、脱皮8日齢の雌はまったく雄を誘引しなくなった¹⁴⁾。また、AHAMAD^{6, 7)} は *C. lambdiensis* および *C. symmetricus* の雌も加齢に伴って雄を誘引しなくなることを示し、後者の線虫では雄の反応活性も加齢によって落ちるといふ。AHAMAD はこの誘引性の低下を生殖腺 (gonad) の退化による誘引物質の生産阻害に起因するものと推定している。

生きた雌に対してだけでなく、寒天中への雌の分泌物や雌洗浄物にも雄が誘引される事実^{8, 17, 21, 23, 26)} から誘引源は雌から放出される化学物質であることは明らかである。この物質は寒天中に拡散するので水溶性であることがわかるが、GREET ら²¹⁾ は、*H. rostochiensis* と *H. schachtii* の雌洗浄物を生物検定し、誘引物質中には水溶性とともに揮発性物質も含まれることを示した。また、KIYOHARA²⁶⁾ は *B. xylophilus* の雌は雌からの蒸発物に反応を示し誘引されることを示した。線虫の性誘引物質はセロファン膜を通過することから、その分子量は小さいものと推定されるが、化学的構造が明らかにされた事例はまだない。線虫の雌雄の一方が、性誘引フェロモンという化学的信号を発し、他方がこれを受容して相手に近づき交尾を容易にしていることは確かなようである。

ところで、性誘引物質が線虫の配偶行動に果たしている役割について考察してみたい。GREET が線虫の性誘引現象を初めて明らかにしたことはすでに述べたが、彼はこの研究から次の仮説を提唱した。すなわち、性誘引物質は単に雌雄の近接のための役割を果たすに過ぎず、交尾行動が起こるためには接触刺激といった第二段階の交尾解発要因が必要と考えた。彼のこの仮説は、その後多くの研究者によって支持されている^{8-10, 23, 26)}。なかでも HUETTEL²³⁾ は交尾行動を解発する新たな short range の性フェロモンが放出されることを示唆した。また、KIYOHARA²⁶⁾ によると *B. xylophilus* の雌に集まっ

た複数の雄は、雌に対してだけでなく他の雄に対しても盛んに交尾をしかけることが観察された。一方、雌からの放出物に集まった雄どうしの間にはこのような行動は見られなかった。彼はこの結果を踏まえて、誘引と交尾は独立の要因によって解発されるという見解を示した。

性誘引物質は雌雄の近接という配偶過程の一端を担うに過ぎないとするこれらの主張は、しかしながらあくまで推論であり実証されたわけではない。証拠を得るためには、各過程で働いている物質を取り出し、ダミーなどを使った生物検定が必要である。前述した雄の looping などの行動は、生物検定の一つの指標になるかもしれない。

お わ り に

限られた紙面にあまりに多種類の線虫を取り上げたために、説明が中途半端になってしまった。配偶行動の化学的な研究もほとんど進展していないが、自活性線虫やマツノザイセンチュウは培養によっていくらでも材料は得られるのだから、化学的な研究もあながち不可能とは言えないであろう。

引 用 文 献

- 1) ANDERSON, R. V. and H. M. DARING (1964) : Proc. Helminth. Wash. 31 : 204~256.
- 2) AZUMI, M. I. and M. S. JAIRJPURI (1977) : Indian J. Nematol. 1 : 63~64.
- 3) AHAMAD, I. and ——— (1980) : ibid. 10(2) : 107~117.
- 4) ——— (1980) : Nematologica 26 : 139~148.
- 5) ——— (1981) : Revue Nemaol. 4(1) : 145~149.
- 6) ——— (1981) : ibid. 4(1) : 151~156.
- 7) ——— (1982) : Nematologica 28 : 121~123.
- 8) BALAKANICH, S. and M. R. SAMOILOFF (1974) : Can. J. Zool. 52 : 835~845.
- 9) CHENG, R. and ——— (1971) : ibid. 49 : 1442~1448.
- 10) CHIN, D. A. and D. P. TAYLOR (1969) : J. Nematol. 1(4) : 313~317.
- 11) DUGGAL, C. D. (1978) : Nematologica 24 : 213~221.
- 12) ——— (1978) : ibid. 24 : 257~268.
- 13) EVANS, K. (1970) : ibid. 16 : 369~374.
- 14) FISHER, J. M. (1972) : ibid. 18 : 179~189.
- 15) GREEN, C. D. (1966) : Ann. Appl. Biol. 58 : 327~339.
- 16) ——— (1967) : Rothamstead Experimental Station Report for 1966, pp. 158~159.
- 17) ——— and S. C. PLUMB (1970) : Nematologica 16 : 39~46.
- 18) ——— and D. N. GREET (1972) : ibid. 18 : 347~352.
- 19) ——— (1980) : Helminth. Abst. (series B) 49(3) : 81~93.
- 20) GREET, D. N. (1964) : Nature 204 : 96~97.
- 21) ——— et al. (1968) : Ann. Appl. Biol. 11 : 511~519.

- 22) HANS FAN HAUT (1965) : Nematologica 1(2) : 165~173.
 23) HUETTEL, R. N. et al. (1982) : ibid. 28 : 360~369.
 24) JAIRAJPURI, M. S. and M. I. AZUMI (1977) : ibid. 23 : 202~212.
 25) JONES, T. P. (1966) : ibid. 12 : 518~522.
 26) KIYOHARA, T. (1982) : Jpn. J. Nematol. 11 : 7~11.
 27) NAKASONO, K. (1977) : Appl. Ent. Zool. 12(2) : 154~161.
 28) RENDE, J. F. et al. (1982) : J. Chem. Ecol. 8(6) : 981~991.
 29) SANTOS, M. S. N. DE A (1972) : Nematologica 18 : 291~302.
 30) ——— (1973) : ibid. 19 : 521~527.
 31) SOMERS, J. A. et al. (1977) : J. Chem. Ecol. 3:467~474.
 32) ——— (1977) : J. Nematol. 9 : 143~148.
 33) STRINGFELLOW, F. (1974) : Proc. Helminth. Soc. Wash. 41 : 4~10.
 34) TRUDGILL, D. I. (1976) : Nematologica 22 : 223.
 35) WINDRICH, W. A. (1973) : ibid. 19 : 570.

植物防疫講座

病害編, 害虫編, 農薬・行政編 全3巻

B5判 各巻約 210 ページ 上製本 定価各 2,500 円 全3巻セット 7,000 円

植物防疫に関する専門的な知識を分かりやすく解説した指導書。講習会や研修会などのテキストとして最適な書。

各 巻 内 容 目 次

病 害 編

I 総 論

- 1 植物の病気
- 2 病原の種類と性質
- 3 病気の診断法
- 4 病気の発生生態
- 5 病気に対する作物の抵抗性
- 6 病気の防除

II 各 論

- 1 水稻主要病害とその防除
- 2 果樹主要病害とその防除
- 3 野菜主要病害とその防除
- 4 チャ主要病害とその防除
- 5 クワ主要病害とその防除
- 6 畑作物主要病害とその防除

害 虫 編

I 総 論

- 1 害虫とは何か
- 2 昆虫の形態と分類
- 3 害虫の生態
- 4 害虫の生理
- 5 害虫による作物の被害
- 6 害虫の発生予察
- 7 害虫の防除

II 各 論

- 1 水稻主要害虫とその防除
- 2 畑作物主要害虫とその防除
- 3 果樹主要害虫とその防除
- 4 野菜主要害虫とその防除
- 5 茶樹主要害虫とその防除
- 6 桑樹主要害虫とその防除
- 7 有害線虫とその防除
- 8 野そとその防除

農薬・行政編

農 薬 編

I 総 論

II 農薬の作用特性と利用

- 1 病害防除剤
- 2 害虫防除剤
- 3 雑草防除剤
- 4 その他の農薬

III 農薬の施用技術

- 1 農薬製剤と施用法
- 2 防除機

IV 農薬の安全使用

- 1 農薬の人畜に対する毒性
- 2 農薬の作物残留と安全使用
- 3 魚介類, 有用昆虫に対する影響
- 4 作物に対する薬害と対策

行 政 編

I 植物検疫

II 農薬行政

III 防除組織

ダイズシストセンチュウのふ化促進物質

北海道大学理学部化学科有機化学第1講座

ふくざわあきお あねたいまさき まさむね ただし
福沢晃夫・姉帯正樹・正宗 直

はじめに

シストセンチュウ (*Heterodera* 属, *Globodera* 属)はネコブセンチュウ, ネグサレセンチュウとともに, 植物寄生性線虫として, 農業上重要な線虫の一群である。シストセンチュウの特徴は名が示すように, 雌成虫がレモン形のシスト (包囊) を形成することであり, 体内に 200~300 個の卵内 2 齢幼虫を休眠状態のまま保持し, 数年から十数年間生存することができる。もう一つの特徴は, それぞれの線虫の寄主となる植物に限られていること, すなわち寄主特異性であり, ダイズシストセンチュウ (*H. glycines*) では, ダイズ, インゲン, アズキなど, ジャガイモシストセンチュウ (*G. rostochiensis*, *G. pallida*) ではジャガイモ, トマト, ナスなどきわめて寄主範囲が狭いことが知られている。

以下, ダイズシストセンチュウの生活史について要約する。土壌中に残り越冬したシストは翌春温度, 湿度など外的条件が整い, さらに寄主植物が近くに栽培されると, 卵内ですでに 1 回脱皮し休眠状態にあった 2 齢幼虫は, 口針を使って卵殻を破り卵外にふ化し, さらにシスト外に遊出する。遊出した 2 齢幼虫は根に侵入し, 根の中に形成されてくる巨大細胞を通じて栄養をとり, 3 齢, 4 齢幼虫を経て成虫へと成長する。雄成虫は再び土壌中へ遊出後交尾し, 雌成虫は根にとどまり, 一部の卵を卵嚢内に産み出すが, 大部分の卵を体内に残したままシスト化し一生を終える。このサイクルは約 1 か月で完了し, ダイズ栽培期間内に 2 回から 3 回繰り返すと見られている。

では, なぜそれぞれのシストセンチュウは, ある少数の植物にしか寄生しないのか。あるいは, 寄主植物が近くに栽培されると, なぜふ化が起こるのか, という疑問が生じる。すでに 1922 年, オランダの BAUNACKE は, ジャガイモの根浸出液がジャガイモシストセンチュウのふ化を促進することを報告している¹⁾。その後イギリスの TODD, アメリカの NEAL ら, 多数の研究者が半世紀以上の間, 寄主植物から線虫のふ化促進物質を単離し, 構造を決定しようと試みたが, いずれも単離に成功する

ことなく中断した²⁾。理由はふ化促進物質がきわめて微量で, しかも不安定なためであった。

I ダイズシストセンチュウの発見とふ化促進物質

ダイズシストセンチュウは 1915 年, 堀によって日本で発見され, 現在世界各地で発生が知られている。特に主要なダイズ生産地であるアメリカで, 1954 年に発生が報告され大きな問題となっている。

この種に対して北海道農業試験場の一戸は, 他の *Heterodera* 属の線虫と形態的比較を行い, 新種 *Heterodera glycines* として 1955 年詳細な報告をした³⁾。1966 年に至り, 同試験場の堤, 桜井はダイズシストセンチュウのふ化も寄主植物であるダイズ, インゲン, アズキの根圏土壌浸出液によって著しく促進されることを報告した⁴⁾。翌年, 北海道大学の筆者らは, 植物と線虫間の寄主特異性解明という純科学的興味と, 線虫の生態的防除という目的を持って, ダイズシストセンチュウのふ化促進物質の単離研究に着手した。

II ふ化活性検定法の確立

単離研究に先立ち, 大量の原料から超微量の生理活性物質を追跡する場合もっとも重要なことは, 簡便で時間がかからずしかも再現性のよい生物検定法の確立である。

従来シストセンチュウのふ化活性測定は, シストを直接供試液に浸し, 約 1 か月を要して遊出率を算出していた。この方法では, シスト内でふ化しても遊出するまでに時間がかかり, あるいは供試以前すでにふ化したままシスト内に残留している幼虫がかなりおり, 誤差の原因となる。そこでシストを破って中の卵を集め, 直接供試液を作用させる方法に改めた。シストを 25°C, 10 日間蒸留水に浸漬後, 卵を取り出し活性試験を行うと, 10 日後に結果が判明し, 誤差も 10% 以内に抑えることができる。ふ化した幼虫の, 全個数に対する % を Pt とする。同じく蒸留水中でのふ化率を Pw とし, 便宜的に $Pt - Pw$ が 50% を超えるとき活性と判断した。

III 粗原料および抽出

次に研究初期段階で重要なことは, 粗原料を何からい

A Natural Hatching Stimulus for the Soybean Cyst Nematode. By Akio FUKUZAWA, Masaki ANETAI and Tadashi MASAMUNE

かにして得るかということである。ふ化活性がダイズ、アズキより高いインゲン (*Phaseolus vulgaris* L.) を栽培し、開花期 7 月下旬から 8 月上旬に根を採取することにした。他の方法としては、根圏土壌浸出液あるいは水耕液を採取する方法がある。のちに水耕液を採取し活性を測定した結果、根抽出物に比較して約 1,000 倍の活性を示した。しかし、有機溶媒に抽出後乾燥すると 1 週間で失活し、通常分離には不適当なことがわかった。根を直接採集し原料とする方法は、簡便な多量入手法として優れていた。同時に研究初期のこの判断は結果的に正しかったことになる。

北海道十勝地方、芽室町で毎年 2~3 ha の土地に栽培したインゲンの根を採集し、乾燥、粉碎後保存した。1 ha 当たり約 100 kg の原料が得られ、冬期 10°C 以下で水抽出を行い、抽出液 2 kl を得た。次いでフラッシュエバポレーターを用い 30°C 以下で濃縮し、得られた濃縮液に塩酸を加え pH 3 以下に調整後、クロロホルムで連続抽出した。溶媒を留去して得られた粗抽出物約 100 g を 10^{-5} g/ml の濃度に調整した水溶液を標準液とし、活性試験の際尺度として用いた。 10^{-5} g/ml の濃度のふ化率は 70~80% で比較的安定した活性を示す。インゲン栽培から粗抽出物を得るまで、約 1 年を要した。

IV ふ化促進物質単離への経過

研究初期の昭和 42 年から 47 年ごろまで基礎研究が行われ単離への方向付けがなされた。原料入手と粗抽出物の調製、活性検定法の確立、活性炭カラムクロマトグラフィー、p-ブromフェニシル(RCOOCH₂COC₆H₄Br, 以下、p-BPE)化と鹼化法、安定性試験のほか、シリカゲルカラムクロマト分離などが試みられ、活性は 10^{-8} ~ 10^{-9} g/ml まで高められた。

昭和 48 年から新しく開発された高速液体クロマトグラフィー (HPLC) による分離が可能になり、分離能は飛躍的に向上して活性は 10^{-10} g/ml 付近まで上昇した。ここで得られた活性分画に対して、種々の化学反応を行った。活性物質は一般に塩基に対して安定であり、逆に酸に対しては不安定で 3 M の塩酸中に数分暖めると失活した。ジアゾメタンで処理し、0.1 M 水酸化カリウムのメタノール溶液で鹼化しても活性は戻らず失活したままであった⁵⁾。

昭和 52 年に至り 1 ha に栽培したインゲン乾燥根 135 kg より、約 5 μ g の活性物質が HPLC 上単一ピークとして得られた。活性物質は当時新しく開発された FD-マススペクトル (FD-MS) により測定したが、分子イオンピークは見いだせず分子量決定はできなかった。

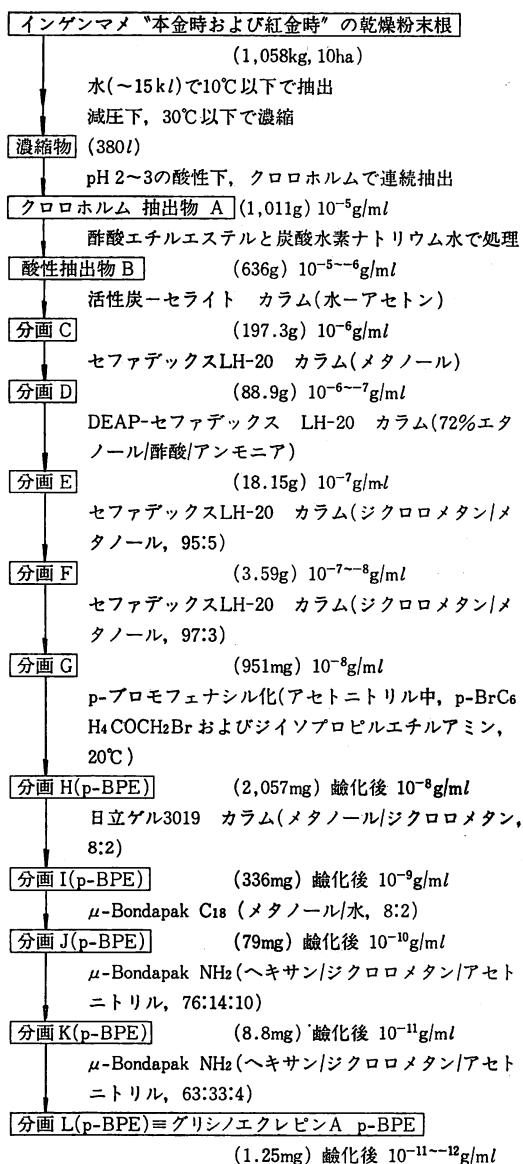
また、新しく実用化された FT-核磁気共鳴 (NMR) スペクトルでも、ほとんど知見は得られなかった。理由は不純物由来のピークがありすぎたことである。

昭和 53 年より、カラムクロマト分離の際吸着力の小さいセファデックス LH-20 を多用し、p-BPE 化もジイソプロピルエチルアミンを用いる方法に改良された。HPLC の進歩も手伝って 1 ha 113 kg の原料より、約 50 μ g の活性物質を単離した。これは原料に対して 20 億分の 1、粗抽出物に対して 200 万分の 1 に当たる。この活性物は HPLC において、種々の充てんカラムを用いても単一ピークを示し、活性は鹼化後 10^{-11} ~ 10^{-12} g/ml の濃度で発現した。なお、分離途中に主活性分画のほか弱活性を示す分画が多数現れた。これらの分画を互いに合わせても、活性の相乗効果は見いだせなかった。

ここに単離した活性物質を、グリシノエクレピン A (Glycinoeclepin A, 以下、GA) と命名した。GA の p-BPE 体は、改良された FD-MS で分子イオンピーク (M^+) が m/z 838, 840, 842 の三重線であり、臭素が 2 個入っていることを示した。したがって GA 本体の分子式は C₂₅H₃₄O₇ の二塩基酸であると報告した⁶⁾。分子式は EI-MS と NMR スペクトルを考慮して決定し、同時に二重結合、水酸基、エーテル結合の存在が推定された。興味あることは、以前単一ピークを示した 5 μ g の分画のうち、残していた一部を同じ FD-MS で測定したところ、まったく同一のピークを示し、前記の 5 μ g が最初の単離であったことを示した。

V 多量分離と活性確認

昭和 56 年より構造解析に必要な 500 μ g を目標にして、分離、精製を再開した。原料はすでに -18°C で保存され活性を保持していた粗抽出物 1,011 g で、これはインゲン 10 ha、乾燥根 1 t、10 年分に相当する。これを一挙に処理し、第 1 図の手順で分離精製を行った。約 2 年かかって GA を p-BPE として 1.25 mg 単離した。ふ化活性は 10^{-11} ~ 10^{-12} g/ml で現れ、単一性は HPLC により確認した。次にこの単離物質が活性本体であるのか否かを確認しなければならない。HPLC で保持時間を長く、ピークをブロードにして等間隔に分画し (第 2 図)、各分画の重量を分画の面積より計算した。1 分画に 20 ng の活性物が入っていると仮定し希釈し、 10^{-11} g/ml のオーダーでふ化率を求めた (第 3 図)。重量と活性がほぼ同様のピークを示す事実から、GA は活性本体と考えられる。定性的な実験ながら、前記 50 μ g の分画に対しても行われ同一の結果を得ている。次に GA の p-BPE をヘキサソニジクロロメタンより再結晶し、母液と

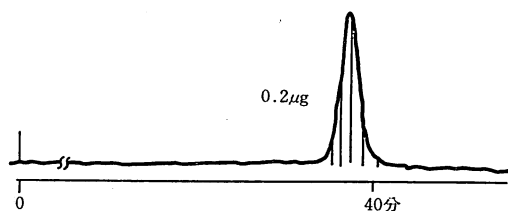


第 1 図 グリシノエクレピン A の p-BPE の単離過程と活性

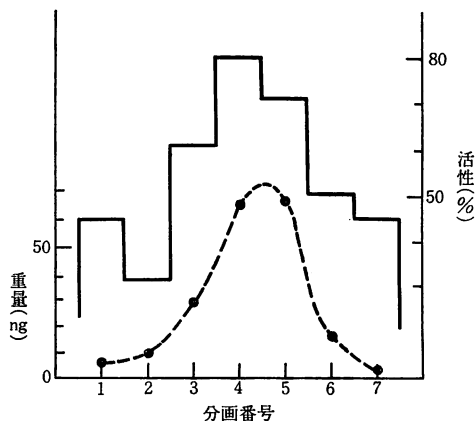
結晶の活性を比較した。両者ともほぼ同程度の活性を持つが、結晶のほうがやや高い活性を示した。以上の 3 点より GA は、ふ化促進物質そのものであると判断した。

VI 構 造 解 析

GA の p-BPE を重ベンゼンおよび重クロロホルム中で 500 MHz ¹H-NMR 測定を行い (第 4 図), すべてのプロトンの帰属を決定した。次に官能基決定のために ¹³C-NMR を測定し, 初めてカルボニル基と四置換二重

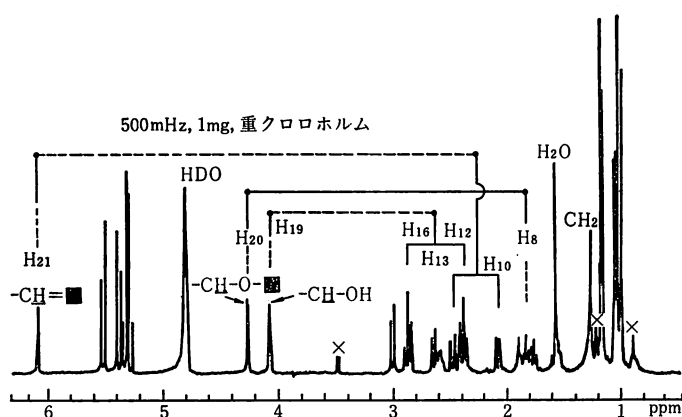


第 2 図 グリシノエクレピン A (p-BPE) の高速液体クロマトグラフィー
カラム: Develosil ODS-5 C₁₈, 4.6 mm × 25 cm
移動相: メタノール-水 (8:2)
流量: 1 ml/分
検出器: UV, 254 nm

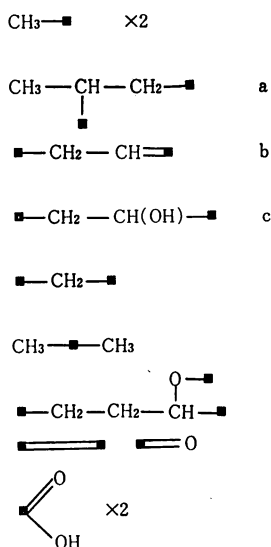


第 3 図 グリシノエクレピン A の重量と活性相関

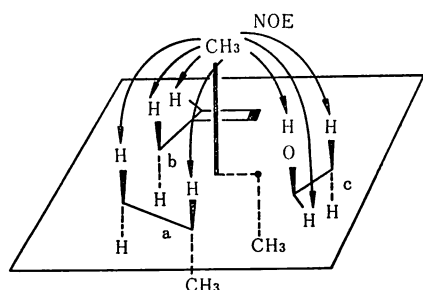
結合を確認した。現在の ¹³C-NMR の測定としては分子量 840 で 1.25 mg は検出限界に近い。同時に ¹³C-NMR の INEPT 測定によりすべての炭素の帰属が判明し, ¹H-NMR スペクトルの裏づけが完了した。次にプロトンスピンドカップリング測定から部分構造が推定され, 確認は ¹H-NMR の NOE 差スペクトルにより行った (第 5 図)。同時に NOE の結果は, 大きく分けると三つの独立したグループの存在を強く示唆した。グループ A の NOE スペクトルは, 第 6 図のような関係を示した。2 個のメチル基は平面の上下にあり, これを取り巻くように部分構造 a, b, c があって, ほぼ平面上に位置する。上側のメチル基からの NOE を矢印で示した。上下両メチル基からオレフィンプロトンと, 水酸基の付け根のプロトンに NOE が現れ, 両者はほぼ平面上にあることが推察される。しかしながら, NOE 測定はデカップリング測定より論理性が乏しく, 限界がある。この時点で解析は完全に行き詰まったと言える。炭素 25 個中, 4 級炭素など水素を持たない炭素が 10 個ある



第4図 グリシノエクレピン A (p-BPE) の核磁気共鳴スペクトル



第5図 グリシノエクレピン A の部分構造式



第6図 グリシノエクレピン A (p-BPE) の ¹H-核磁気共鳴 NOE スペクトル

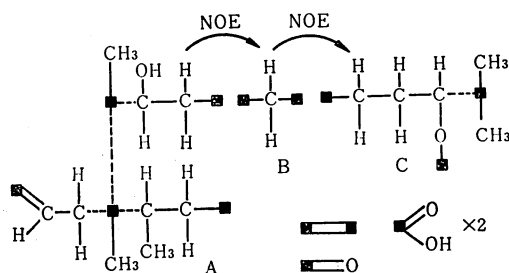
ことは、解析を困難なものとした。もし推定に推定を重ねることが許されるならば、グループAは第7図の部分

構造Aとして書くことができる。ここで実線は確定している結合を示し、点線は NOE により推定した結合を意味する。この段階では可能な GA の構造式は 100 個以上に及ぶが、さらに A と B, B と C 間で認めた小さな NOE まで考慮すると、部分構造 ABC は直線的に結び付くことが推定される。オレフィンプロトンが 6.1 ppm にあること、および ¹³C-NMR のエステルの吸収が 173 と 169 ppm にあることを考慮し、GA のカルボキシル基は一方が共役、他方が非共役と推定した。¹³C-NMR で 216 ppm のカルボ

ニル基の値は、非共役で大きな立体障害、あるいはゆがみを受けていることを意味する。以上の結果より可能な構造式は十数個になる。赤外吸収スペクトル (IR)、ならびに紫外吸収スペクトル (UV) の測定を行ったが、p-BPE 基の吸収が大き過ぎるため、確定的な結果は得られなかった。また ¹H と ¹³C とのロングレンジスピンドカップリング (LSPD) を行えば、推定構造をさらに減らすことができるが、1 mg という量的制約から不可能であった。最終的には X 線結晶解析ができなければ、構造確定には至らないと判断している。

VII 類似化合物の単離

ある化合物の構造解析が行き詰まったとき、あるいは、解析上のヒントを得るために、類縁化合物を単離し、構造決定を並行して行うことが好ましい。単離の際 GA より高い極性の分画 (1.8 mg) を分取した。この分画はふ化活性を持たないが、GA ときわめて類似した NMR スペクトルを示し、P-I と仮称して構造解析を行っている。P-I は分子式 C₃₁H₄₂O₉ (MW=558) の二塩基性酸の p-BPE である。炭素数が GA より 4 個多いアセテートで、GA に CH₃C(COOH)=CH-基が結合



第7図 グリシノエクレピン A の推定構造式

したと推定される。生合成的に P-I は GA の前駆体と見ることも可能であり、もし化学的に P-I から GA が誘導され、しかもふ化活性が発現すれば、GA は活性本体であることが確定する。現在この方向で研究を進めているが、将来有機合成的に光学活性な GA が得られ、これによりふ化活性が確認されたとき初めてこの研究が完結し、新たに生態的防除への応用面が展開してくるものと考えられる。

お わ り に

この研究は、共同研究者全員の正確で着実な努力の積み重ねによって、初めて達成できた成果である。と同時に、HPLC の開発、発展と超微量の測定を可能にした機器分析法の進歩が相伴って成功に至ったものである。

あえてここに、全共同研究者の姓名と担当年を記載させていただきたい。正宗 直教授(1967～)、勝井信勝教授(1967～1981)、小林喜六博士(1967～1970、現 北大農学部)、高杉光雄助教授(1970～1973)、姉帯正樹博士(1973～1982、現 北海道立衛生研究所)、福沢晃夫博士(1981～)以上、北大理学部、生物検定一堤 正明博士、

稲垣春郎博士(現 農業研究センター)、気賀沢和男博士(以上、北農試)、岡田利承博士(農業検査所、現 農林水産技術会議)、小野登貴夫人、原料調製一上野正司氏(北大理学部)、早苗志津夫氏(早苗農場)、MS—樋口徹夫博士(日本電子)、渡辺賢二博士(北大農学部)、IR—金内美那子博士(日本分光)、NMR—犬伏俊郎博士(京大工学部)、東島 勉博士(東大理学部)、日元徹夫博士(日本電子)、および伊倉光彦博士(北大理学部)。同時にこの研究は文部省科学研究費、農林水産省応用研究費をはじめ、豆類基金協会研究費など多くの財団、会社からの研究費の援助によって初めて遂行し得たものであり心からお礼申し上げる。

引 用 文 献

- 1) BAUNACKE, W. E. (1922) : Arb. biol. Bund Anst. Land-u. Forstw 11: 185～288.
- 2) 岡田利承 (1975) : 日本線虫研究会誌 5: 1～9.
- 3) ICHINOHE, M. (1952) : 応動 17: 1～4, 一戸 稔 (1955) : 北農試報告 48: 1～64.
- 4) 堤 正明・桜井 清 (1966) : 応動 10: 129～137.
- 5) 正宗 直 (1978) : 生物の制御機構, 中島稔他編, 化学同人, 京都, pp. 127.
- 6) MASAMUNE, T. et al. (1982) : Nature 297: 495～496.

アルファルファブラム

シの寄主植物記録の訂正

本誌 37 巻 2 号でアルファルファブラムシの現状を記したが、その後、寄主植物の誤同定が明らかになったので訂正したい。

下記関連文献 1), 2), 3) でコメツブウマゴヤシとした植物はコメツブツメクサであることが判明した。依頼した同定が誤っていたものでここに訂正し、おわびしたい。しかしその後、アカツメクサとともに、コメツブウマゴヤシにも同様に本種が寄生することを確認した(関連文献 4) の追記参照)。したがって、現在日本で確

認された寄主植物は *Trifolium* 属のコメツブツメクサとアカツメクサ、*Medicago* 属のコメツブウマゴヤシとウマゴヤシとなる。

関 連 文 献

- 1) 矢野宏二ら (1982) : 応動 26: 35～40.
- 2) 浜崎昭三郎・矢野宏二 (1982) : 応動 中国支会報 24: 1～5.
- 3) 矢野宏二・浜崎昭三郎 (1983) : 植物防疫 37: 54～57.
- 4) 浜崎昭三郎 (1983) : 応動 中国支会報 25: 48～54.

(矢野宏二・浜崎昭三郎)

本 会 発 行 図 書

茶 樹 の 害 虫

南 川 仁 博・刑 部 勝 共 著

5,000 円 送料 550 円

A 5 判 口絵カラー写真 4 ページ、本文 322 ページ 上製本 箱入り

第 1 編の総論で茶樹の害虫とその被害・防除上の諸問題を、第 2 編の各論で茶樹につく 108 の害虫について形態・経過習性・防除法・天敵を、第 3 編の農薬概説で分類・使用の歴史・殺虫剤の特性と効果・安全使用基準を解説し、巻末に動物和名・学名・薬剤名・病菌名・事項名より引ける索引を付した解説書

生物モデルとしてのセノラブデチス線虫

農林水産省北海道農業試験場 一 戸 稔

1980 年、マサチューセッツ大学 B. M. ZUCKERMAN の編著「生物モデルとしての線虫 (Vol. 1 & 2)」がアカデミックプレス社から出版された。その内容は、動物の発生学、遺伝学、老年学、薬理学など生命現象にかかわる広い学問分野で、近年、土壌自活性線虫の一種セノラブデチスをモデルにして展開されてきた研究成果を詳しく紹介している。

一方、わが国でも昨年 6 月、「遺伝」は「線虫類の生物学」を特集し、その中で、セノラブデチス線虫の発生遺伝学 (田伏 洋・三輪錠司)、移動運動にかかわる遺伝子 (細野隆次)、耐久型幼虫の発現機構 (大羽克明) の 3 編の総説を載せた。なお、大羽氏はこの 5 年間、応動昆大会で前記の成果を欠かさず発表してきた。

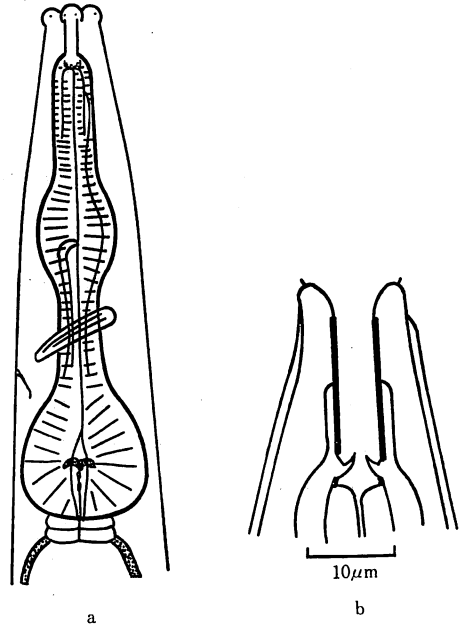
いうまでもなく近代遺伝学の進歩に貢献した著名な生物モデルにショウジョウバエ (*Drosophila melanogaster*) があるが、今やセノラブデチス線虫はそれに代わって、むしろこれまでとは比較にならないほど幅広く、高等動物の複雑な生命現象解明の生物モデルとして使われ始めた。しかもその端緒が S. BRENNER (1973, 74) によるこの線虫の遺伝学的研究であったということから言えば、すべてがわずかの 10 年足らずの間の出来事である。ZUCKERMAN がその著書で述べているように、セノラブデチス線虫は将来、動物界の “the *Escherichia coli* (大腸菌)” になる、と信じられている。

I セノラブデチス線虫の分類・形態・生活史

セノラブデチス線虫 (*Caenorhabditis elegans*, 以下, *C. elegans* と略す) は土壌中の代表的な自活性線虫であるラブデチス属 (*Rhabditis*) にもっとも近い。

線虫類の目や科の大まかな分類には、透明な線虫の体で一見して特徴がつかめる食道 (筋肉) の形が用いられる。第 1 図 a はラブデチス型食道と呼ばれ、前部食道・(無弁) 中部食道球・(有弁) 後部食道球、から成るラブデチス科の特徴である。次に同科のラブデチス属の特徴は細長い棒 (桿) 状の口腔で (第 1 図 b), rhabd(o) とは桿 (または棒) の意からこの属を桿線虫とも呼ぶ。したがって、セノラブデチス属は、caeno が “新” の意から、さしあたり新桿線虫となる。

A Soil Nematode, *Caenorhabditis elegans*, as a Biological Model. By Minoru ICHINOHE



第 1 図 セノラブデチス線虫の形態 (GOODEY, 1951 より)

a : ラブデチス型食道
b : セノラブデチス属の口腔

高等動物のモデルとして利用される線虫には、*C. elegans* のほか *C. briggsae* や、同じラブデチス目の自活性線虫である *Panagrellus redivivus*, *P. silusiae*, *Turbatrix aceti* (酢線虫) などがある。なお酢線虫は、体長 1.5 mm, 古い食酢の表面近くに群がりよく動くので肉眼でも観察できる。

C. elegans の成虫は長さ約 1 mm で細長く、わずか 1,000 以下の体細胞から成る (後述)。真皮 (表皮) の内側を縦に筋肉 (体壁筋) が走る。食物は口から食道へ、さらに弁を通り腸に入り、直腸を経て肛門に終わる。神経系は感覚細胞と運動ニューロンから成り、中枢は二つの食道球の間にある神経環であるが、線虫の移動運動を支配する神経系は体壁筋につながる腹部神経索 (後述) で、これが腹側を体軸に沿って走る。成虫には雄性先熟の雌雄同体現象が見られ、どの個体も両方の生殖器を備える。しかし雄成虫もまれに出現する。

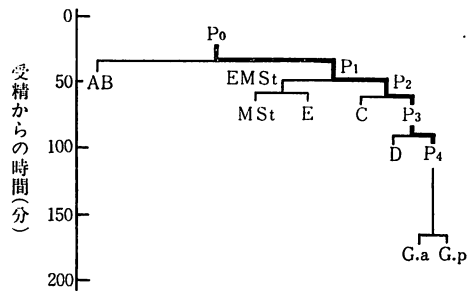
C. elegans は実験室で細菌を餌に培養できる。生活環は短く、20°C で 3.5 日である。成虫体内で輸卵管内の

卵が貯精嚢を通るときに受精し、キチン質の卵殻に包まれる。体内で卵割が始まり、産卵は 30 細胞期の卵である。胚形成は規則正しく、約 550 細胞の幼虫が卵からふ化する。ふ化幼虫 (L_1) は 4 回の脱皮で L_2 , L_3 , L_4 を経て成虫となり、この間、成長につれて細胞数も増える。脱皮は 20°C でふ化後 13, 21.5, 29.5, 41 時間で起こり、各期の幼虫の体長はそれぞれ 350, 470, 640, 890 μm である。生殖腺の細胞 (核) 数だけは L_1 の 4 個から成虫の約 2,500 に飛躍的に増える。産卵はふ化後約 50 時間で始まり、成虫 1 頭につき 200~300 卵を産む。不良な環境条件は L_2 に対し正常な発生を阻害し、dauer larva (耐久型幼虫, DL と略す) と呼ぶ休止状態に入る。DL は数か月の絶食にも耐えられ、条件が戻れば発生を再開する。不良環境でも DL にならない突然変異体が見つかり、DL の機構を発生、遺伝、行動、薬理の面から解明するのに役立っている。

II *Caenorhabditis elegans* をモデルにした研究の成果と動向

1 モデルとしての適性

C. elegans を材料に早くからその形態、培養条件、生活史などを調べ、今日の利用への基礎を築いたのは 1950~60 年代の E. C. DOUGHERTY 一派であった。体長わずか 1 mm, 実験室内で大腸菌を餌に寒天板上で容易に継代培養でき、短い生活環 (約 3 日) で成虫は 200 以上の卵を産む。細胞数が信じ難いほど少なく 1,000 以下で、それでいて神経系、消化器官、筋肉系、生殖器官などの分化が見られる不思議な微小動物である。卵・幼虫・成虫はいずれも透明な表皮 (クチクラ) をととして生体のまま光学顕微鏡で内部形態を観察できる。さらに *C. elegans* を遺伝研究のモデルとして際だたせている特性に、雌雄同体現象がある。例えば、行動異常変異体を得ようとすれば、エチルメタンサルフォネート ($\text{CH}_3\text{SO}_2\text{OC}_2\text{H}_5$) のような薬品で線虫を処理し、その F_1 から行動の異常な個体を選抜すればよい。雌雄同体なので 1 頭



第2図 *Caenorhabditis elegans* の細胞系譜 (部分) (ZUCKERMAN, 1980 の著書より)

注 説明本文参照

の成虫から同じ遺伝子型の突然変異体が得られる。さらに好つごうなことに、*C. elegans* の幼虫は -196°C の液体窒素に保存できるので、*C. elegans* の遺伝的突然変異体のバンクによる系統保存や分譲が考えられる。

2 胚発生

受精卵 (胚) が卵割により細胞を増やし、各細胞が胚内の定位置を占めて器官形成に参加していく道筋を細胞系譜と呼ぶが、*C. elegans* では初期発生も後胚発生も詳しく調べられ、細胞系譜ができ上がっている。したがって胚発生の初期から、個々の細胞の分裂パターン、移動、組織分化を系譜により追跡でき、発生に異常を示す突然変異体は正常体 (野生型) との差異を発生段階で明確に位置づけることができる。

特定の組織分化を運命づけられた増殖性未分化の最初の細胞を幹細胞と呼び、第2図の *C. elegans* の場合で示すと、受精卵 (P_0) は 35 分後 ($22 \pm 1^{\circ}\text{C}$) に前方の AB と後方の P_1 の二つに分裂し、次に AB と P_1 はそれぞれ決まったリズムで卵割を続け、図に示す AB, MS, E, C, D, P_4 の 6 個の幹細胞を生じる。幹細胞は時間的、空間的に決まった機序で分裂を繰り返し、それぞれ第一次外胚葉、第一次中胚葉、内胚葉、第二次外胚葉、第二次中胚葉、生殖細胞となる。 P_4 が分裂して生じた生殖系列前駆細胞を G と呼ぶ。*C. elegans* のどの一

第1表 *Caenorhabditis elegans* の体を構成する細胞 (核) 数

	胚					葉		計
	外 胚 葉			中 胚 葉		内 胚 葉	生殖系列	
	真 皮	神 経 系	食 道	筋 肉	腸	生 殖 腺		
幼 虫	86	266	86	91	20	4		553
成 虫 ^{a)}	219	350	83	122	34	43 (2,500) ^{b)}		954

^{a)} 雌雄同体, ^{b)} 生殖細胞の概数

EHRENSTEIN and SCHIERENBERG (1980) による

つの細胞もその運命が厳密に決められ、また、線虫個体間にはまったく差異がない。このことは発生遺伝学の研究モデルとしての重要な前提になる。*C. elegans* の体を構成する細胞 (核) 数を第 1 表に示した。

3 発生遺伝学

C. elegans をモデルにした発生遺伝学は、まず多数の胚発生異常個体を探し出すことから始まったが、それには S. BRENNER が確立した突然変異体分離法が基礎となった。例えば、胚発生の途中で、ある部分の細胞がある時期に損われたり、ある段階で卵割を停止したり、ある種の行動を欠如したり、というような突然変異体が特定されると、野生型との比較から、正常に細胞が機能した場合に遺伝子が果たす特異的役割について知ることができる。それというのも、この生物の発生の過程が形態的に調べ尽くされ、さらに遺伝子分析も十分可能だからであって、このような条件を満たす生物となれば種類はごく限られ、*C. elegans* はその数少ない中の一つである。*C. elegans* の発生、形態、行動の突然変異体とその表現型に関与する遺伝子の特定から、三輪ら (1980) をはじめとする研究者によって染色体地図が作られ、年ごとに書き加えられつつある。

この研究の過程で、胚発生突然変異体の一つである温度感受性対立因子 (temperature-sensitive, 略して ts) を持つ突然変異体が広く利用された。ts 変異体の胚発生は、16°C では正常、25°C では停止するので、発生段階を追って温度を上下させながら (温度シフト実験) 変異形質が現れるか否かを調べ、正常な発生に必要な遺伝子産物の合成や機能の時期を特定できる。三輪らはこの方法で野生型に対し劣性な 11 種の emb 突然変異遺伝子の染色体上の位置を決定し、また胚発生にかかわる九つの遺伝子 (emb-1~9) を明らかにした。*C. elegans* の一連の遺伝学的解析から、三輪らは、胚発生の遺伝的プログラムの多くは未受精卵の中にすでに書き込まれていると考えている。

4 運動神経細胞

移動運動が異常な *C. elegans* 個体は一見して野生型と区別できるので、これを筋肉運動の不整合個体 (uncoordinated, unc と略称) と呼び、いろいろな株が分離されている。unc 突然変異体にはまったく移動できないものから、移動できても律動性のないものまで、多様な表現型が知られている。*C. elegans* の移動運動は体軸に並行する筋肉系が原動力となり、その筋肉系はすべて腹部神経索 (ventral nerve cord, VNC と略称) からの運動ニューロンに支配される。神経系は *C. elegans* が持つもっとも複雑な器官と考えられるが、VNC 形成に参加

する細胞が克明に追跡され、その結果、unc 突然変異体は VNC の発生に関与する遺伝子の異常に由来することがはっきりした。細野 (1983) は *C. elegans* の運動性に関与する unc 遺伝子の同定のほか、まひ性突然変異遺伝子 mah を発見した。

神経系解明のモデルとして、同じ線虫の仲間であるカイチュウも用いられた。*C. elegans* の体が径 0.06 mm、長さ 1 mm に対し、ブタのカイチュウ *Ascaris lumbricoides* の成虫は径 0.6 cm、長さ 30 cm である。カイチュウは体が大きいだけに細胞数も多く、例えば筋肉細胞数は約 5 万、腸、生殖腺、真皮などの細胞も同様に多いが、ただ、運動ニューロンの数だけは一般的に線虫類では体の大小を問わず少なく、成虫で約 250 とされ、カイチュウでは、それだけ個々のニューロンの形が大きく長さ数 cm にも及ぶ。つまりカイチュウは、電気生理学や生化学的手法で単一のニューロンの機能解明に最適なモデルであり、運動ニューロンによる刺激→筋肉細胞の収縮→整合移動運動、という機構解明に役だった。ただしカイチュウでは、大量の材料が得られない、生活環が長い、突然変異が出にくい、などの難点がある。

C. elegans の一連の研究について、金沢大学医学部の細野隆次 (1983) は次のように述べている。「行動に異常を生じさせ、その行動に関与する神経機構を探るという手法は新しいとはいえないが、異常の原因を個々の細胞に求めることができる系は *C. elegans* をおいてほかには知られていない」。なお、マイクロレーザーで単一細胞だけを破壊できるようになって研究は一層進んだ。

5 加齢・老年学

あらゆる生物は、その個体発生の過程として、成長、分化、形態形成のあと衰退に向かうが、これを加齢・老化・エイジングと呼び、ヒトの老化現象を取り扱う学問—老年学 (gerontology) の中心課題でもある。加齢や老年学研究のモデルには *C. elegans*, *C. briggsae*, *Panagrellus redivivus*, *P. silusiae*, 酢線虫などが用いられる (第 2 表)。この場合の生物モデルの条件には、細胞が修復能を持たない、細胞組織が更新されない、などがあるが、いずれの線虫の場合も、神経系や食道の細胞数は一定し、個体差もなく、体壁筋や腸などの細胞数も後胚発生では増加するものの、成虫ではそれが見られない。

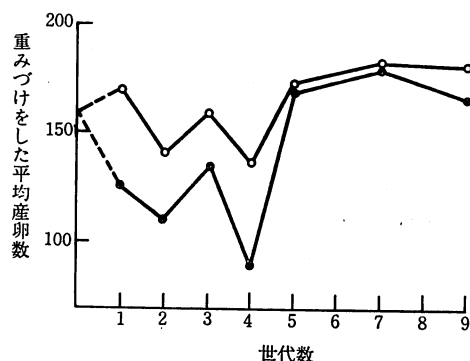
「寿命」は加齢現象の一つのパラメーターであるが、このほか生物モデルには、単に識別できるだけでなく計測もできる特徴なり症状が求められ、例えば、運動性の減退、比重の増加、加齢色素の沈着量、神経系・筋肉・ミトコンドリアの退縮などである。

大腸菌を餌に培養した *C. elegans* の体は、無生物 (純

第2表 モデル線虫数種の特性比較

線 虫 種	1 世代日数 (18~22°C)	推定寿命 (LD ₅₀ , 18~ 22°C, 日)	無生物純粋培 養での寿命 (LD ₅₀ , 18~ 22°C, 日)	培養線虫の 最高密度 (0.001 ml 当 たり頭数)	線 虫 の 培 養 源
<i>Caenorhabditis elegans</i>	4~5	10~12	34	200,000	細菌
<i>C. biggsae</i>	4~5	10~12	34	200,000	〃
<i>Panagrellus redivivus</i>	3~4	20~30	30	800,000	〃
<i>P. silusiae</i>	3~4	20~30	30	800,000	〃
<i>Turbatrix aceti</i> (酢線虫)	8~10	50~60	25	150,000	〃 (酢中)

CROLL and MATTHEWS (1977) の著書より

第3図 *Caenorhabditis elegans* (雌雄同体) の若齢成虫 (○—○) と老齢成虫 (●—●) の継代産卵数 (CROLL and MATTHEWS, 1977 の著書より)

粋) 培養で増えた個体の2倍の容積に達する。しかしその50%が、前者では12.3日までに、後者では17.6日までに死ぬ。両者のこの違いは、細菌で育った線虫のほうが腸内細菌フロラによる早死とされ、このことは加齢色素の量などから見ても同じ結果を示している。

C. elegans の生活環が細菌を餌に平均約5日、4.5~9.5日にわたるとすると、一つの実験として、早い時期(若齢)の成虫と遅い時期(老齢)の成虫を個別に選り、継代培養しながら各代の産卵数を調べ、繁殖能力の老化と遺伝との関係を見た。第3図はその結果で、老齢成虫の繁殖能力は最初の4世代では若齢成虫のそれを大きく下回ったが、5~9世代目には若齢成虫の水準近くまで回復した。この実験は、線虫が繁殖能力の衰退(老化)に対応する調節能(遺伝的フィードバック)を持つという興味ある事実を示している。なお、この実験などは *C. elegans* を用いてできる遺伝研究の好例であろう。

加齢研究のモデル線虫にとって一つの問題は、何十万、何百万個体の培養線虫の“齢”をいかにそろえるかである。産卵が4~24日間にわたるとすれば、数世代後の個体群にはあらゆる発育段階が含まれることになる。そこ

で齢のそろった大量のふ化幼虫を同時に得るための試みとして、成虫をハイドロキシウレアなどDNA合成阻害物質で処理して生殖腺の発生を抑える方法が研究初期にとられた。GERSHON (1970) は、酢線虫の個体群を同様に処理し、DNA合成を対照の10%まで下げて成虫の齢をそろえ、しかもその後は正常な成長を示したとしている。しかし、これを否定する別な研究もある。

線虫をモデルにした加齢研究はまだ緒についたばかりであるが、大事なことは、老化の過程を分子レベルあるいは遺伝子レベルで解き明かすと、それはあらゆる生物組織に当てはまる同じ基本と考えてよいことである。

おわりに

C. elegans を対象とした DOUGHERTY らの研究が、近年、BRENNER によってみごとに復活し、これをモデルに、細胞学、発生学、遺伝学、神経学、行動学、内分泌学、薬理学、老年学など広範な生命科学の研究が、日本を含む世界各国で急速に進みつつある。その成果や文献を紹介する著書も出版された。生物モデルとしての線虫に広い分野の研究者たちの関心が集まれば集まるほど、成果は加速されよう。ZUCKERMAN はその著書の序文をこう結んでいる——専門のちがう研究者たちが、それぞれの研究努力を“ただ1種の線虫”に焦点を合わせることによって生れる有利さを本書が強調することになれば、と期待している。ZUCKERMAN が期待するその有利さは、*C. elegans* を利用できない場合を仮定すれば一層はつきりする。

引用文献

- 1) CROLL, N. A. and B. E. MATTHEWS (1977): Biology of nematodes, Blackie & Son L. (London), pp. 12~30.
- 2) 細野隆次 (1981): 科学 51(9): 570~576.
- 3) ——— (1983): 遺伝 36(6): 13~18.
- 4) 田伏 洋・三輪鏡司 (1983): 同上 36(6): 4~12.
- 5) ZUCKERMAN, B. M. (edit.) (1980): Nematodes as biological models. Vol. 1 & 2, Academic Press Inc., London, 312 pp. & 306 pp.

線 虫 の 防 除 と 天 敵 利 用

農林水産省農業環境技術研究所 にし ざわ つとむ
西 沢 務

は じ め に

最近 (1980) の集計で、植物寄生群に属するとされる線虫は世界で 134 属 2,622 種が記録されている。アメリカ線虫学会の被害査定委員会の推計 (1971) によれば、同国全耕地の平均で期待生産高の約 10%, それを最近の金額で見積もれば約 4.5×10^9 ドルとなり、害虫類 (昆虫) による約 6×10^9 ドルと大差ないとさえ言われている²⁸⁾。

精度のほどはともかく、一般に線虫害はそれほどのものとは評価されにくい、それは有害線虫のほとんどが“土壌線虫”であり、線虫自体も、被害症状も目立たない存在であり、その生態的諸特性から現象的には多くが連作障害または忌地現象の一主因として働き、いわば地力の負の要因として作用しているためと思われる。

線虫害は土壌病害と多くの共通性を持ち、共にその防除対策は地上部病害虫のそれとはかなり趣を異にしてきた。輪作をはじめとして、有機質施用、湛水・田畑輪換、休閒、深耕・天地返しなどの地力維持対策は、線虫や土壌病害の存在を意識すると否にかかわらず、それなりの被害回避効果を持ってきた。それらに加えて、土壌病害虫を意識しての抵抗性・耐性品種の育成・利用や捕獲・対抗植物の利用、ごく近年では太陽熱利用法などが防除対策のメニューを多彩にしてきた。

しかしながら、殺線虫剤として、1943 年に登場した 1, 3-D 剤を筆頭に、EDB 剤や DBCP 剤など卓効を持つ土壌くん蒸剤が開発・普及されるに及んで以来、旧来の面倒な方法に代わり、端的に効果を示す殺線虫剤が線虫対策の中核となってきている。この利益には計り知れないものがあるし、線虫害の大きさを如実に示してくれることになり、世界的に線虫研究を飛躍的に推進させた契機となるなど、副次的な功績もあった。

ところが、最近では薬剤中心の防除対策にしたいにかけりが見え始め、反省や規制の気運が高まりつつある。土壌くん蒸剤施用は場に見られる急速な線虫密度の復活現象と、それに伴う薬剤施用の必然的な慣行化、薬剤耐性線虫の出現などの問題に加えて、何よりも環境汚染や人畜への影響が重視されつつあり、すでに DBCP 剤は

そのために姿を消している。

こうした背景の中で、線虫の天敵に関する研究は、具体的防除対策のメニューに含まれていなかったために、従前に増して盛んになりつつあるように見受けられる。例えば、アメリカ線虫学会ではすでに 1979 年にシンポジウムが持たれた^{21, 32, 44)}し、最近数多くの興味深いレビューや論説も発表されるようになった^{30, 33, 45, 55)}りして、“生物農薬”開発への熱い期待が寄せられつつある。そこで、本稿では線虫の天敵に関する研究の経過と動向を概観し、今後の問題を探ってみることにしたい。

線虫の天敵とその利用に関する試験研究

線虫の天敵には、以下に順次述べるように数多くのものが知られてきたが、いまだその探索自体十分とは言えないし、それらの多くが記載の段階にとどまっており、個々の素材について生理・生態あるいは機能や利用条件の解析などに深く立ち入った研究は少ないと言える。したがって、現在のところ生物農薬として広く認知され定評を得ているものは事実上皆無であるが、それに近いもの、あるいはその期待が寄せうるものがないわけではない。線虫の天敵も、寄生性のものと捕食性のものと大別できる。

1 寄生性天敵

(1) ウイルス類

昆虫やダニのウイルス病に比べ、線虫ではその記録自体がまだきわめて乏しい。それは多分に罹病線虫体の検出技術上の問題が妨げとなっているに違いないが、生物的防除の視点から今後の精査探索が大いに望まれる対象と言えよう。

LOEWENBERG ら (1959)²⁷⁾により、ネコブセンチュウの幼虫の運動性を失わせ、効率的に死滅させるウイルス様病原体が初めて発見され、生物防除への利用に有望視されたが、その後残念ながら病原の確認すらなされぬまま棚上げになっている。多くの線虫で、多数の線虫体が水中で異常に集団化・塊状化する現象がしばしば見られてきている。イシクセンチュウの一種でその現象が詳しく調べられ、線虫体内にウイルス様顆粒の存在が認められ、顆粒保有線虫の角皮の高い粘性によることがわかり、これは一種の細胞質多角体病とみなされた¹⁴⁾。病原性は不明ながら、*Dolychodorus* 属線虫の体組織内にウイ

ルス様顆粒の存在が記録されている⁶²⁾。

(2) リケッチア類

リケッチアと同定される細胞内微生物がジャガイモシストやエンドウシスト^{46, 58)}、およびダイズシストセンチュウ¹²⁾から発見されている。それらはいずれも同一種と見られ、桿状 ($0.4 \times 1.8 \mu\text{m}$) の単一細胞からなり、二分裂法によって増殖し、経卵伝染もする。寄主組織に起こす病理的变化は大きくなく、共生者の可能性が高いようである。

(3) 細菌類

口針を持たない自活性線虫の体内に細菌の存在を記録した報告は多いが、線虫への病原性が確かめられた例はきわめて少ない。特に植物寄生性線虫の内部寄生細菌としては、アメリカオオハリセンチュウの消化管や卵巣から *Pseudomonas denitrificans* が検出された記録¹⁾が見当たりにすぎない。本菌は経卵伝染し、分布も広く、温室内での本線虫の増殖不成功の原因になっていると言われる。

寄生性は持たないが、多くの土壌細菌は有機物分解に深いかかわりを持ち、その過程で生じる分解産物や代謝産物が線虫に毒性、抗生、または阻害作用を持つ場合は片害作用 (amensalism) を及ぼすことになる。例えば、*Clostridium butyricum* が働いて生成される各種揮発性有機酸類はイシクセンチュウに有毒で、その密度を低下させる¹⁹⁾し、還元状態で *Desulfovibrio desulfuricans* などが働いたとき生じる H_2S や、アンモニア化成菌が生産する NH_3 が、各種有害線虫の密度低下に機能している、などとする報告は数多い^{43, 57)}。なお、*Bacillus thuringiensis* の菌体外毒素はネコブセンチュウその他にも強い殺線虫作用を持っている^{15, 41)}。

このほかにも数多く存在するに違いない片害作用は、“概して細菌型土壌で土壌病害虫問題が少ない”と言われる原因に関与していることは疑いない。なお、KATZNELSON ら (1964)²⁰⁾ は、*Caenorhabditis*, *Rhabditis*, *Panagrellus* などの自活性線虫の虫体を効率的に崩壊させる *Myxobacterium* の一種を検出したが、これは奇妙に植物寄生性線虫にはまったく無影響であるという。このことから、SAYRE (1980)⁴⁴⁾ はこれとはまったく逆の性質を持ったつごうのよい菌株が探索できる可能性を考え、また、検出できない場合でも遺伝子工学を応用してそういう菌種の人為的作出の希望を示している。

(4) 糸状菌類

各種の土壌微生物相互間の厳しい生存競争の中で、線虫と天敵糸状菌との関係は格別興味深い生態的現象の一つと言われている。このためか、線虫の天敵研究の中で

はこれに関する研究業績が圧倒的に多い。それは古く FRESenius (1852) による *Arthrobotrys oligospora* の記載に始まる。本菌はその後 WORONIN (1870) によって形態的に詳しく調べられたが、線虫捕食機能を持つことは ZOFF (1888)⁶¹⁾ によって発見された。

以来、多くの研究者の関心を集め、幾多の研究業績が積まれるようになり、DUDDINGTON (1957)¹¹⁾、SOPRANOV (1966)⁴⁷⁾、および BARRON (1977)⁴⁾ などの各成書に膨大な成果が集約され、ほかに数多くの総説なども残されてきている。これまでに 150 種以上が知られ、それらのほとんどが農耕地や自然地に普遍的に分布し、土壤生態系のバランスの維持に大きな役割を果たしていると言われる。これらの天敵糸状菌は便宜上“線虫捕食菌 (nematode-trapping fungi)”と“内部寄生菌 (endoparasitic fungi)”に大別される。

1) 線虫捕食菌

主として不完全菌類のヒホミケス類に属する種類からなり、COOKE ら (1964)⁹⁾ がそれらを整理して検索表を提示した時点では、*Arthrobotrys*, *Dactylaria*, *Dactylella*, および *Trichothecium* の 4 属から構成されていた。しかし、以後種類数の増加とともにいろいろな提案があり、分類学的には今なお問題を残していると言われる。ともあれ、それらは通常気中に多量の菌糸を伸ばし、特殊な線虫捕そく器を形成する。捕そく後直ちに線虫体内に菌糸を侵入させてはびこり、寄主を死滅させる。捕そく器の相違により、次のようなグループに分けられる。

①粘着性菌糸形成菌 (菌糸の表面全体に粘着性物質を分泌し、どの部分でも線虫を捕らえる)、②粘着性分枝形成菌 (菌糸の特定分枝の表面が粘着性物質で覆われ、その部分で捕そくする)、③粘着性網形成菌 (全面が粘着性物質で覆われた二次元ないし三次元の輪の集合体、もしくは網状構造の捕そく器を作る)、④粘着性球形成菌 (菌糸上に直接か、または短い分枝上に小瘤を作り、その部分のみ粘着性物質で覆われる)、⑤非収縮性環形成菌 (菌糸上に 3 細胞からなる輪を作り、はまりこんだ線虫を受動的に捕らえる)、および⑥収縮性環形成菌 (もっとも精巧な捕そく器で、3 細胞からなる収縮性の輪を菌糸上に作り、その内面に線虫が触れると輪を形成する細胞が瞬間的に膨張して輪を閉じ、捕らえる) などである。

これまでに約 60 種が知られているうち、*Arthrobotrys* 属の粘着性網形成菌の検出頻度が一般にもっとも高いと言われる。わが国では 31 種が記録された⁴⁰⁾。これら捕食菌のトラップ形成条件、線虫捕そく機構などをはじめ、培養基上の諸性質が生理・生化学的に研究され、数多くの興味深い成果が集積されてきている。

一方、それらの有害線虫防除への利用に関する試験研究は、LINFORD (1937)²⁵⁾ および LINFORD ら (1938)²⁶⁾ の報告が契機となって盛んになった。彼らの実験は直接捕食菌を施用したものではないが、ハワイでパイナップルの地上部破砕物を大量に土壤施用した結果、問題のネコブセンチュウがみごとに防除できたというものであり、それはその施用有機物を基点とする一連の食物連鎖として、順次、バクテリア→自活性線虫→捕食性線虫および寄生菌・捕食菌→ダニ類など、の密度が高まったためと説明され、土壤生物相の遷移の中で特に捕食菌の機能を重視する見解が示されたものである。

この説をよりどころに、以後約 20 年間に、主としてアメリカ、イギリス、フランス、ソ連などでネコブ、シスト、ネモグリなどの有害線虫を主対象に、いろいろな菌種について捕食菌培養物の土壤施用による土壤中菌密度の補強、緑肥など有機質施用による捕食菌活性の促進、および両者の併用などの手法で数多くの試験が行われてきた。それらの試験研究の結果を一言に要約すれば、“残念ながらいずれも期待にこたえ実用的かつ普遍性に富んだ明確な効果は得られていない”と言える^{4, 55)}。国内でもネコブセンチュウ汚染タバコほ場で 3 種の捕食菌の培養物を施用した試験で、*Dactylella ellipsospora* がもっとも有効⁴⁰⁾、また、オオムギ穀粒で培養した 6 種の捕食菌を接種した鉢試験で *Arthrobotrys haptotyla* がネコブセンチュウの密度低下にもっとも有効⁴⁶⁾とする報告などがあるが、実用化には距離があるように見える。

このように、人為的利用を困難にしている理由を考えると、①菌がいずれも程度の差こそあれ腐生性も兼ねており、線虫への栄養依存度が必ずしも高くない、②線虫に対して非選択的であり、自活性線虫が多く混在する土壤環境の中で植物寄生性線虫だけが選択的に捕そくされるわけではない、③ネコブセンチュウやシストセンチュウでは卵塊や蔵卵シストが重要な発生源であるが、それらへの攻撃性に欠けている、④土壤微生物界の中で競合性に乏しい菌種が多く、ほとんどが静菌作用に過敏的であること、などが挙げられる。こうした実態を DUDDINGTON (1957)¹¹⁾ は、“例えばライオンとカモシカの間を保たれている相互の密度バランスなどに共通する動的平衡”と表現している。

海外では捕食菌の積極的利用に関する試験研究はしばらく棚上げにされた状態が続いたが、最近再び注目に価する報告が見られるようになってきた。その筆頭にフランスの国立農業技術研究所からの二つの実用成果が挙げられる。

第一には、マッシュルーム栽培床に発生し減収をもた

らす食菌性線虫 (*Ditylenchus myceliophagus* が主体で、ほかに *Aphelenchus* および *Aphelenchoides* 属線虫) の捕食菌利用による防除法の開発、である。各種捕食菌の中からスクリーニングによって線虫捕食機能が強く、かつマッシュルーム菌 *Agaricus bisporus* との競合が問題とならない *Arthrobotrys robusta* の一系統“Antipolis”が探索された。本菌の培養物をコンポスト中にマッシュルーム菌植え付け時にそれと等量の割合で混和施用することで、線虫密度を抑え、明らかな増収がもたらされるという。本菌種は特許を得て、“Royal 300”の名で Royal Champignon 社から生産分譲されている⁷⁾。

第二には、小規模の野菜畑でのネコブセンチュウ防除に開発され、“Royal 350”の名で上記と同様に商品化された。本菌は *Arthrobotrys irregularis* の一系統“1141 b”である。顆粒状に製剤化された培養物を植え付け 1 か月前に 140 g/m² の割合で土壤混和し、以後年 1 度 50 g/m² ずつ追加施用するのが標準とされ、土壤条件として pH は >6.4、有機質含量は >0.8%、塩類濃度は <3‰ のときに効果が強く、また、当初の線虫密度がきわめて高い場合には殺線虫剤施用や抵抗性品種または非寄主作物との併用がよいとされる⁸⁾。これらの効果の普遍性について国際的な評価を期待したい。

アメリカからは、ノースカロライナでのトウモロコシのネコブセンチュウに対し、*Arthrobotrys conoides* の培養物施用が確かな手ごたえを示し、施用量に応じた線虫密度の低下と増収効果が見られ、利用条件の解析が進められている報告²⁾ や、カリフォルニアのカンキツ園でミカンネセンチュウの密度制御に数種捕食菌が重要な役割を果たしているとする報告³⁴⁾などが目だつ。

2) 内部寄生菌

これまでに知られてきた内部寄生菌は、主として藻菌類、卵菌類、および接合菌類からなり、ほかに不完全菌類や担子菌類に属するものも含まれる。通常小形の胞子態で土壤中に存在し、線虫体表に接触するか、口器を経て吞下されたのちに、菌糸が線虫体内でのみ発育し、寄主を死滅させるものである。*Catenaria*, *Myzocylium*, *Protascus*, *Haptoglossa* などが検出頻度や重要性が高いとされてきた。代表的な *Catenaria anguillulae* について数種植物寄生性線虫に対する寄生性が調べられた結果、寄生性よりも腐生性が強く、有害線虫の密度低下に多くを期待し難いことが推定された。しかし、本菌の遊走子は運動性の緩慢な線虫の自然開口部によく集まり、しかもドリライムス目線虫には特によく寄生する性質が見られることから、ナガハリ、オオハリ、およびユミハリセンチュウを対象に試験研究を重ねる必要があるとされ

た⁵⁾。その後 TRIBE (1977)⁶⁴⁾ によってテンサイシスト、ムギシスト、およびジャガイモシストセンチウの雌成虫への寄生が確かめられ、再記載された *Catenaria auxiliaris* も、今後の検討が望まれる有望な天敵として特記される。

これらのほかに、最近発見された以下の数種の寄生菌は、主としてネコブセンチウの卵塊内の卵やシストセンチウのシスト内卵に集中的に寄生し、卵を死滅させるものである。したがって高い線虫密度抑制機能が期待されるため、生物的防除の素材として格別に注目されている。2, 3の代表例を挙げれば、以下のとおりである。

その1。カリフォルニアでモモ園のネコブセンチウで発見された *Dactylella oviparasitica* と命名されたヒホミケス類に属する線虫卵寄生菌がある⁴⁹⁾。本菌の検出率とネコブセンチウ密度との間に明確な逆相関が見られており、根面に露出している卵囊内の卵塊に集中的に寄生して殺卵効果を発揮し、ときには雌虫体内にも侵入して産卵を停止させるが、幼虫には寄生しない。適切な培地の開発、培養基上での諸性質や寄生様式ならびに利用条件の解明など、利用法の開発に向けて基礎的研究が進められつつある。菌株間に病原性の相違が見られること、耐久態のステージを持たない代わりに自活性線虫の卵にも寄生しうるし、若干の腐生性も持っていることで、本菌は土壤中で常時維持・増殖されていること、テンサイシストやミカンネセンチウなどの卵にもよく寄生すること、などが明らかにされ、小規模な土壤接種試験でネコブセンチウ防除効果も確認されている^{48, 50)}。

その2。ペルーでジャガイモのネコブセンチウで、上記と同様な卵寄生菌 *Pacilomyces lilacinus* が発見された¹⁷⁾。本菌も効率的にネコブセンチウの卵塊や若い雌虫に寄生し、それらを死滅させる。ジャガイモシストセンチウの雌やシストの自然開口部からも侵入して内部の卵に寄生する。すでに小規模のは場試験で、本菌培養物をジャガイモ植え付け時土壌施用することによって、卓効を持つ薬剤 (Temik) に劣らず優れたネコブセンチウ防除効果が得られた、と報じられている¹⁸⁾。国際ネコブセンチウ研究プロジェクト (アメリカ海外開発庁予算) を通じて目下各国で適用試験が行われようとしている。高圧蒸気殺菌したコムギ穀粒などを培地に使って、25°C で2週間培養したものを接種源とし、それを栽植時に約 40 kg/10 a の割合で施用し耕土と混和する。ジャガイモの場合は種いもにまぶす方法でも有効という¹⁹⁾。

その3。ヨーロッパでは古くからムギ類に寄生するムギシストセンチウが重要な線虫の一種とされてきた

が、その密度制御に寄生菌が甚だ重要な役割を演じていることが、以下のような奇妙な現象を介して最近イギリスで確認された。

同国の草地には低密度ながらもムギシストセンチウが生息しているため、草地を畑地化してムギ類を栽培すると、急激な線虫密度の増加がしばしば見られてきた。このため、線虫に耐性の強いオオムギが多く栽培されたが、余儀なく線虫に感受性の高いエンバクの連作が続けてきたほ場でも、1960年代に入ってなぜか多くの場合にしだいに線虫密度が低下し、ほぼ実害が問題とならない程度の安定低密度が保たれるようになってきた。“decline phenomenon” と呼ばれるそうした現象は、ドイツやデンマークなどでも認められるようになってきた。こんな状況の中で、たまたまムギの肥料試験のためのほ場試験区で、土壤病菌をあらかじめ消去する目的で、ホルマリン (35%) を 3,000 l/ha の割合で灌注したところ、そこに栽培したムギにムギシストセンチウが激発した、ということである。

このことから、線虫増殖抑制要因が土壤微生物に絞られ、精査された結果、卵菌類の新属新種 *Nematophthora gynophila* と、*Verticillium chlamydosporium* の2種のシスト寄生菌の重要な働きが突きとめられるに至った²¹⁻²³⁾。

前者は純粹活物寄生性で、目下人工培地では培養できないが、生活環の終期にシスト内に無数の厚膜休眠胞子を産生するという、有利な性質を持っている。また、テンサイシストなど他の数種のシストセンチウにも寄生するが、なぜかジャガイモシストセンチウにだけは寄生できない。遊走子の活動上好適なためか、土壤が多湿条件のときに本菌の寄生率が高まることがはっきりしている。

後者は機能的に前者に劣るようであるが、培養は容易である。*Verticillium* はナスの半身萎ちょう病菌などの重要な植物病原菌を含むことで知られていたが、同属に線虫寄生菌としても重要なものが存在したということ自体、珍しい発見と言える。ちなみに最近わが国でも線虫内部寄生性を持つ本属の一新変種 *V. spherosporum* var. *bispora* が発見・記載された⁵⁹⁾。今後これらの活用法の開発研究に期待が寄せられる²¹⁾。

さらに最近の知見を紹介すると、アメリカではアラバマ州のラッカセイは場のアレナリアネコブから *V. chlamydosporium* を³⁷⁾、同じくアラバマのダイズは場のダイズシストから検出された13種の糸状菌のうち、特に *Verticillium lamellicola*, *V. leptobactrum*, *Phoma macrostoma*, および *P. multirostrata* の4種がダイズシストのシストや卵、およびアレナリアネコブの卵塊に高い寄

生効率を示すこと¹³⁾、テネシー州のダイズシストからも先に述べた *N. gyniophila* や *V. chlamydosporium*、ならびに *Catenaria auxiliaris* が検出され、それらが明らかに“連作区での本線虫の低密度維持”に関与していること¹⁰⁾、カリフォルニアのカンキツ園からはミカンセンチュウやサツマイモネコブの卵を侵す *Fusarium* sp. および *Pyrenochaeta* sp. を⁴²⁾、同じくカリフォルニアから、テンサイシストに寄生する *Fusarium oxysporum* および *Acremonium strictum* を記録した報告³⁹⁾などがある。

インドではモロコシシスト (*H. zae*) に効率よく寄生する *Fusarium solani* が³⁾、フランスでもシストセンチュウ類の生物防除に *V. chlamydosporium* が有望なこと⁸⁾、チェコスロバキアではテンサイシストから検出した 35 種の糸状菌のうち、重要菌種として *V. chlamydosporium*、*V. falcatum*、*Cylindrocarpon destructans*、*Humicola grisea*、*Fusarium redolens* の 5 種が選択されたこと⁶⁶⁾、ソ連からはムギシストの天敵として *Cylindrocarpon radicola* および *Catenaria anguillulae* が有望なこと²⁴⁾、などが報じられている。

卵寄生ではなく、主として幼虫に内部寄生する新しい天敵糸状菌としてめばしいものは、ネコブセンチュウその他の *Cephalosporium balanoides*³⁵⁾、ポップシストやテンサイシストから記録された *Hirsutella heteroderae*^{38, 52)}、ツブセンチュウ類の *Myzocyrtium vermicolum*⁶⁰⁾、などがある。

なお、細菌の場合と同様に、*Aspergillus*、*Colletotrichum*、*Fusarium*、*Penicillium*、*Pythium*、*Rhizoctonia* などの代謝産物が線虫に毒性を示すとする報告も散見される。

(5) 胞子虫類

有害線虫に対する別の有力天敵として、従来胞子虫と呼ばれてきた奇妙な生物がある。それは、ネグサレセンチュウに寄生するものが最初にアメリカで発見され、カイコの微粒子病の病原 *Nosema bombycis* などと近縁な原生動物・微胞子虫類・ノセマ科に属するものとみなされて、かりに *Duboscqia penetrans* と命名された⁵³⁾。その後世界各地の各種植物寄生線虫から同種と見られるものの存在が記録され、寄生率の高さなどから有力な天敵とみなされるようになったものの、それらの形態や生理・生態、そして活用にかかわる試験研究は、わずか 2、3 の研究者によって、いわば片手間に進められてきたにすぎない。

この天敵の生活環は、寄主のそれとうまくシンクロナイズしている。例えばネコブセンチュウに寄生するものでは、径約 4 μm で皿形の胞子嚢に包まれた径約 1 μm

前後の厚膜の内生胞子態が感染ステージである。このものは無寄主の土壤中で耐久生存でき、これが土壤中を移動する幼虫の体表に、吸盤作用が働いているかのようにして、着生する。著しい感染を受けた幼虫は死滅するが、軽度感染された幼虫は健全な幼虫と同様に寄主植物の根内に侵入して成長を始める。すると体表に着生していた胞子は発芽管を出し、角皮を貫通して線虫体内に侵入し、葉状体を形成する。葉状体は成長しつつある線虫の体内成分を栄養として二分裂法を繰り返しながら盛んに増殖する。健全な寄主線虫が一世代を終える約 1 か月目ごろになると、被寄生寄主も一見健全雌成虫と変わりがなく洋梨型を呈するが、その内部にはちょうど一世代を終え胞子形成を完了して無数に増えた内生胞子 (寄主 1 頭当たり約 2×10^6 個) がはち切れるばかりに充満している。寄主の体表はつぶさに見れば色彩が健全なものとなり、かつ破れやすく、土壤中に流出した胞子群が次の感染源となる。もちろん寄主の線虫は発育中葉で死滅し、単に胞子群を内蔵する袋に変わるため、産卵・増殖はできない。なお奇妙にも雄成虫は決して寄生されない^{44, 45)}。シストセンチュウに寄生するものもまったく同様なサイクルを示す。

筆者は、長年ポットで継代飼育してきたネコブセンチュウの一集団が、この天敵のために全滅した経験を持ち、また、元農事試験場畑作部 (北本市) の陸稲連作は場で、イネシストセンチュウの発生が多分この種の天敵の働きによるためごく低密度に抑えられていることを観察した。前者の天敵はネコブセンチュウ類にのみ寄生し、後者のそれはシストセンチュウ類にのみ寄生できるもののようで、調べた限りそれぞれきわめて判然とした寄主特異性を持っている。ちなみに、シストセンチュウ類に寄生する胞子虫については、これ以外まだ世界で検出記録が見当たらない。

前者については、これが発生する土壌を多量に接種した鉢試験で、予期した以上に速効的かつ顕著なネコブセンチュウ防除効果が得られ、また、野外コンクリート鉢試験で、ネコブセンチュウの高密度土壌に本胞子虫発生土壌を 2.5 t/10 a の割合で 1 回だけ混和接種し、以後毎年感受性品種のサツマイモを連作してきたところ、8 年目で事実上ネコブセンチュウが駆逐され、顕著な収量差が得られた。後者については、目下イネシスト、ダイズシスト、およびジャガイモシストを対象に接種試験を継続中である。

カリフォルニア大学でのネコブおよびネグサレセンチュウを対象とした小規模接種試験でも、有望な結果が得られている²⁹⁾し、セネガルの現地は場でのこの種の天敵

の発生実態は、その有効性を如実に示している³¹⁾。

これら胞子虫の、有害線虫防除への利用上有利な性質としてこれまでにわかったことは、①耐久生存性が線虫以上に強い。したがって、寄主(餌)の不足による胞子虫の消滅→それに伴う寄主の密度復活、といった周期的発生変動がほとんど問題にならないし、温・湿度の変化などにも強いので、製剤化や保存に好つごうであること、②多くの殺線虫剤に対しても線虫以上に耐性が強いので、化学的防除などとの併用も可能、③寄主特異性が高いので、不必要な生態系のかく乱を招くおそれがほとんどない、などの点が挙げられる。

反面、異常なほどの寄主特異性と裏腹に、現在のところ人工培地を利用した大量培養ができないことが最大の悩みとなっており、加えて、自身に運動性がない点も利用上の欠陥である。しかし、例えば汚染根の乾燥粉末製剤などが接種源として用いいうることがわかった³¹⁾ので、効率の利用法の確立に向けて基礎的および応用的試験研究を一層推進したい。

ちなみに、電顕観察その他の検査結果から、この種の天敵胞子虫は前核細胞性(prokaryote)の生物とみなされ、したがって細菌の一種として扱うべきとする見解が提示され²⁹⁾、最近ではほとんどの場合 *Bacillus penetrans* の名で扱われるようになったが、所属の正当性や複数種存在の可能性など、疑問点が残されている。

2 捕食性天敵

これまでに記録されてきた捕食性天敵としては、肉質類や繊毛虫類などの原生動物、歯を備えた“そしゃく型”あるいは口針を持った“吸汁型”の線虫捕食性線虫、*Adenoplea* 属などの渦虫類、ヒメミズ科の貧毛類、長命虫などの緩歩類、ハエダニ、ケプトヤドリダニ、イトダニなどのダニ類、トビムシ、アリ、ハエ(幼虫)などの昆虫類、などがある。

これらについてのこれまでの研究実績は甚だ乏しいが、わずかな研究成果から推測して、それらが自然の土壌生態系の中で果たしている役割は決して小さくないことがわかる。したがって、農耕地の土壌環境をそれらの活動が促進される状態に保つ配慮が今後益々必要となるであろう。しかしながら、これら捕食性天敵のほとんどのものが、生物農薬の利用目的にはかない難い宿命的な形態上および生態上の特性を持っているようで、積極的利用を企てたこれまでのいくつかの試験の中に、実用的見地からの成功例、もしくは大きな期待を寄せうる成果は、残念ながら見いだせない。ここでは、捕食性天敵についての記述は別の機会に譲りたい。

おわりに

有害土壌線虫も、農耕文明の発展に付随して生じた人為的ベストと言えよう。したがって線虫対策も本質的に応用生態学の課題であるし、問題の多い化学的手段に大きく依存している実態はあくまで過渡的な姿でしかないはずである。それゆえにより望ましい対策は、現行の耕地管理方式や農生態系における土壌環境の実態をより詳しく点検・解析し、その欠陥の改善策を探索する中で、自然の摂理に順応しつつしかもそれが持つ好ましい機能を最大限に活用する方向で、合理的・総合的に組み立てられるべきであろう。

天敵の活用はそのための一つの重要な素材であるに違いない。これまでにいろいろな線虫天敵が記録されてきているが、もちろんそれらがすべてではないはずであるし、それぞれの正しい機能評価や活動条件の解析なども一部を除いてまだ甚だ不十分でしかない。したがって、天敵関連問題全般にわたって早急に調査・研究の深化が望まれるが、同時に個々の有害線虫については、これまでほとんど手が付けられていない生命表の作成が急ぎ望まれる。

線虫の天敵に関する当面の研究は、寄生性天敵、特に内部寄生菌や胞子虫を中心的な対象とし、それらの機能の活用化を企てるのが具体的成果を挙げる近道であろう。幸いそれらは新たに導入された環境下のみに限らず、土着条件下でもより一層の機能を引き出しうる可能性が十分にうかがえる。ただし、一般論として、それらの効果は速効的・短期的にのみ期待され評価されるべきではない。それらの天敵の力を借りて農生態系内の土壌生物相に徐々に遷移を起こさせ、一定期間ののちに選択的に有害線虫の密度を低く安定化させうるならば、それで大成功というべきではなからうか。

引用文献

- 1) ADAMS, R. E. and J. J. EICHENMULLER (1963): *Phytopath.* 53: 745.
- 2) AL-HAZMI, A. S. et al. (1982): *J. Nematol.* 14: 44~50, 168~174.
- 3) ARJUN LAL, V. K. et al. (1982): *Nematol.* 28: 447~450.
- 4) BARRON, G. L. (1977): *The nematode-destroying fungi.*, Canadian Biol. Pub., Ontario.
- 5) BOOSALIS, M. G. and R. MANKAU (1965): *Ecology of soil borne plant pathogens.*, 374~391, Ed. BAKER and SNYDER, Univ. Calif. Press.
- 6) CAYROL, J. C. and J. P. FRANKOWSKI (1979): *Revue Horticole* 193: 15~23.
- 7) ——— et al. (1978): *ibid.* 184: 23~30.
- 8) ——— et al. (1982): *Bulletin. OEPP* 12: 497~503.
- 9) COOKE, R. C. and B. E. S. GODFREY (1964): *Trans. Brit. mycol. Soc.* 47: 61~74.

- 10) CRUMP, D. H. et al. (1983) : Plant Disease 67 : 63~64.
- 11) DUDINGTON, C. L. (1957) : The friendly fungi., Faber and Faber, London.
- 12) ENDO, B. Y. (1979) : J. Ultrastruct. Res. 67 : 1~14.
- 13) GODOY, G. et al. (1982) : Nematropica 12 : 111~119.
- 14) IBRAHIM, I. K. A. et al. (1978) : Proc. helm. Soc. Wash. 45 : 233~238.
- 15) IGNOFFO, C. M. and V. H. DROPKIN (1977) : J. Kans. Entomol. Soc. 50 : 394~398.
- 16) JATALA, P. (1980) : Proc. Third Res. Plan. Conf. Meloidogyne, Jakalta.
- 17) ——— et al. (1979) : J. Nematol. 11 : 303.
- 18) ——— et al. (1980) : ibid. 12 : 226~227.
- 19) JOHNSTON, T. M. (1959) : Nature 183 : 1392.
- 20) KATZNELSON, H. et al. (1964) : Can. J. Microbiol. 10 : 699~704.
- 21) KERRY, B. (1980) : J. Nematol. 12 : 253~259.
- 22) ——— and D. H. CRUMP (1980) : Trans. Br. mycol. Soc. 74 : 119~125.
- 23) ——— et al. (1982) : Ann. appl. Biol. 100 : 489~499.
- 24) KONDAKOVA, E. I. and L. V. TIKHONOVA (1981) : Byulleten Vsesoyuznogo Instituta Gel'mintologii im K. I. Skryabina 31 : 33~35.
- 25) LINFORD, M. B. (1937) : Science 85 : 123~124.
- 26) ——— and J. M. OLIVEIRA (1938) : Phytopath. 28 : 14.
- 27) LOEWENBERG, J. R. et al. (1959) : Nature 184 : 1896.
- 28) MAGGENTI, A. R. (1981) : Ann. Rev. Microbiol. 35 : 135~154.
- 29) MANKAU, R. (1975) : J. Inverteb. Pathol. 26 : 333~339.
- 30) ——— (1980) : Ann. Rev. Phytopath. 18 : 415~440.
- 31) ——— (1980) : J. Nematol. 12 : 230.
- 32) ——— (1980) : ibid. 12 : 244~252.
- 33) ——— (1981) : Plant parasitic nematodes III., pp. 475~494, Ed. ZUCKERMAN and ROHDE, AP.
- 34) ——— (1982) : Nematol. 28 : 158~159.
- 35) ——— and S. K. MANKAU (1982) : ibid. 28 : 159.
- 36) 三井 康 (1983) : 農技研報 C37 : 127~211.
- 37) MORGAN-JONES, G. et al. (1981) : Nematropica 11 : 115~119.
- 38) MULLER, J. (1982) : Nematol. 28 : 161.
- 39) NIGH, E. A. et al. (1980) : Phytopath. 70 : 884~889.
- 40) 大島俊市ら (1979) : 岡山たばこ試報 40 : 47~66.
- 41) PRASAD, S. S. S. V. et al. (1972) : J. Invert. Path. 20 : 377~378.
- 42) RAMMAH, A. and S. D. VAN GUNDY (1980) : J. Nematol. 12 : 235.
- 43) RODRIGUEZ-KABANA, R. et al. (1965) : Science 148 : 524~526.
- 44) SAYRE, R. M. (1980) : J. Nematol. 12 : 260~270.
- 45) ——— (1980) : Plant Disease 64 : 527~532.
- 46) SHEPHERD, A. M. et al. (1973) : Nematol. 19 : 31~34.
- 47) SOPRUNOV, F. F. (1966) : Predacious Hyphomycetes and their application in the control of pathogenic nematodes., USDA (Israel Program).
- 48) STIRLING, G. R. (1979) : Nematol. 25 : 104~110.
- 49) ——— and R. MANKAU (1978) : Mycologia 70 : 774~783.
- 50) ——— (1978) : J. Nematol. 10 : 236~240.
- 51) ——— and M. F. WACHTEL (1980) : Nematol. 26 : 308~312.
- 52) STURHAN, D. and R. SCHNEIDER (1980) : Phytopath. Zeit. 99 : 105~115.
- 53) THORNE, G. (1940) : Proc. helm. Soc. Wash. 7 : 51~53.
- 54) TRIBE, H. T. (1977) : Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc. 52 : 447~508.
- 55) ——— (1980) : Parasitology 81 : 619~639.
- 56) VINDUSKA, L. (1982) : Rostlinna Vyroba 27 : 257~262.
- 57) WALKER, J. T. (1969) : J. Nematol. 1 : 260~264.
- 58) WALSH, J. A. (1979) : ibid. 11 : 317.
- 59) WATANABE, T. (1980) : Ann. Phytopath. Soc. Japan 46 : 598~606.
- 60) YU, Y. N. (1977) : Acta Microbiol. Sinica 17 : 297~302.
- 61) ZOPF, W. (1888) : Nova Acta Lep. Carol. 52 : 314~376.
- 62) ZUCKERMAN, B. M. et al. (1973) : Nematol. 19 : 117.

次 号 予 告

次4月号は下記原稿を掲載する予定です。

特集：イネミズゾウムシ

昭和59年度植物防疫事業の概要 菅原 敏夫
植物防疫研究課題の概要 岡田 利承

イネミズゾウムシの分類上の位置と形態的特徴 森本 桂
イネミズゾウムシの分布拡大の経過と移動分散 松井 正春

イネミズゾウムシの生活史と気候適応 小林莊一・浅山 哲・下畑次夫

イネミズゾウムシの発生動態 粥見 淳一
イネミズゾウムシの被害解析 浅山 哲
イネミズゾウムシの防除法 佐藤 昭夫

糸状菌のプラスミド利用による病原性制御の可能性 羽柴 輝良
夏ダイズに発生するわい化病

浅田重義・大木 理・尾崎武司・井上忠男
チャ炭そ病菌の侵入機作 浜屋 悦次
植物防疫基礎講座 農薬の魚介類に対する毒性試験法 西内 康浩

定期購読者以外の申込みは至急前金で本会へ
定価 1部 500円 送料 50円

ネコブセンチュウの耕種的防除

熊本県農業試験場園芸支場 ^こ古 ^が賀 ^{せい}成 ^し司

はじめに

近年、農業を取り巻く諸情勢の変動は農業の生産構造に大きな影響を与え、作物生産体制は主産地形成と規模拡大が図られ、施設化、大型固定化および経営合理化が推進されてきた。これに伴い、単一作物の専作化により連作栽培が余儀なくされ、生産基盤となる土壌の環境条件は急速に悪化し、多くの問題をはらむようになった。

連作栽培条件は土壌線虫についても、生存と繁殖に好適な環境をもたらしこととなるので、有害線虫は栽培される作物に応じて増殖し、その結果、被害をもたらししているのが現状である。

ところで植物寄生性の線虫類は、現在のところ約3,000種が知られているが、中でも畑土壌に生息するネコブセンチュウ類 (*Meloidogyne* 属)、ネグサレセンチュウ類 (*Pratylenchus* 属) およびシストセンチュウ類 (*Heterodera* 属および *Globodera* 属) は作物に与える被害が大きく、重要な防除対象線虫となっている。特に、ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウはきわめて広食、多犯性の線虫であるため、連作栽培下ではもとより、線虫を軽視した作物の組み合わせおよび安易な輪作はこれらの線虫の好むところとなり経済的損失の元凶となっている。さらには、これら線虫単独の被害もさることながら、連作によって集積した土壌病原菌、あるいは、環境条件によっては病原性を生ずる不定性病菌の侵入と発病を助長し、被害を激化させるなど連作障害の重要な要因として位置づけられる。現在、線虫、病菌類の防除は薬剤処理が主体に行われており、直接的な速効の効果は十分認められている。

しかし、他方では防除効果の持続性不足や土壌の生態系、理化学性に悪影響をきたすおそれがある。したがって、今後の土壌病害虫防除の基本的な考えかたは耕種的防除法を中心に種々の防除法を組み合わせる、いわゆる総合防除が必要であると考えられる。線虫の総合防除についてはすでに稲垣 (1976) が述べているように各種の防除手段を矛盾なく、有機的に調和させ併用することにより、被害が経済的被害許容水準以下になるよう線虫を制御する防除体制と理解される。実際に現地においても

第1表 土壌線虫に対する耕種的防除手段としての考えかた

耕種的防除法	防除手段・因子
1. 品種の育成、利用……………	抵抗性品種、抵抗性花木
2. 異種作物導入と作物結合……………	輪作、線虫対抗植物、イネ科作物、作付体系
3. 栽培管理の変更と改善……………	作期移動、休閑、健全種苗育成、ほ場衛生
4. 水利用対策……………	短期灌水、田畑輪換、灌漑
5. 土壌環境改善……………	各種有機物施用、深耕、天地がえし

耕種的防除に類似した対策を実施している農家ほど薬剤処理の効果が高く認められ、また、防除回数も節減されている例もある。

薬剤一辺倒から脱し、耕種的防除の見直しとこれらの合理的防除体制の確立が望まれている。そこで、総合防除の一環と考えられる耕種的防除法には次のような手段があり、分類すると第1表のとおりである。

この中の技術には積極的な取り組みにより実用化されたものや、さらに今後実用化までにはかなりの時間を要するものが含まれているが、本稿では、ネコブセンチュウに対する耕種的防除法として、これら防除手段の中から異種作物導入による輪作、水利用対策、有機物施用を主体に述べてみたい。

本文を草するにあたり、種々ご指導とご援助をいただいた九州東海大学農学部小林研三博士ならびに貴重な御助言をいただいた九州農業試験場佐野善一主任研究官に謝意を表する。

I 畑地における輪作体系の確立

輪作は古くから連作障害、忌地対策として、あるいは地力増強と保全の技術として経験の中から体系づけられ行われてきたものである。これは現在の科学的視点から見てもきわめて合理性を持った農法とされていたが、化学的防除法の発達と相まって、経済性を優先する今日の農業の下でその態様が変ぼうしようとしている。その結果として各種の生育障害が生じ、これが産地崩壊、産地移動という、農業経営にとってはゆゆしい問題となっていることは周知のとおりである。そこで、産地永続化のためには、より近代的で経済性の高い合理的な輪作技術

Cultural Control of Root-Knot Nematodes. By
Seiji KOGA

の導入が必要といえる。特に、純畑地帯をはじめ水田化が困難な施設畑、あるいは土壌くん蒸剤が経済性を持たない作物の使用に対しては、輪作以外に有効な防除手段は見当たらない。しかしながら、ネコブセンチュウのほとんどの種は多犯性で寄主範囲が広いため、有効な輪作作物の選定と実用的な作付体系の確立は実際に容易ではない。また、農耕地においては、栽培作物により複数の種が混在している場合も多く、輪作作物の導入にあたっては、線虫の種類の把握と、それに適合した輪作作物の選定が特に重要な作業となる。

後藤 (1981) はこれまでの知見から、線虫の増殖度が低いか、かえって線虫が減少する作物、および線虫の増殖度が高く前作として好ましくない場合がある作物など、主な線虫ごとに作物の分類、整理を行っている。この中で暖地に分布するサツマイモネコブセンチュウに対しては、前者の事例としてラッカセイ、サトイモ、マリーゴールド (抵抗性品種) など、ジャワネコブセンチュウに対してはイチゴ、ラッカセイなどを挙げている。一方、東北、北海道に主として分布するキタネコブセンチュウに対しては、イネ科作物を有望な輪作作物として挙げている。

筆者がラッカセイ、トウモロコシ、対抗植物 (マリーゴールド) の輪作効果を露地野菜畑および施設スイカ畑で検討した結果は下記のとおりである。

1 露地野菜畑における輪作

ラッカセイではキタネコブ、アレナリアネコブセンチュウが増殖するが、サツマイモネコブ、ジャワネコブ、キタネグサレ、ミナミネグサレセンチュウを抑制すると言われてきた。そこで、サツマイモネコブセンチュウを主とするジャワネコブセンチュウとの混合個体群が高密度に生息するほ場において、ナスームギ作跡に連作区はナス、輪作区はラッカセイを導入した。その結果、後作ハウレンソウは連作区では根こぶ指数も高く低収となったが、輪作区は根こぶ指数は低く、薬剤防除区に劣るものの多収を示した。また、輪作効果の持続性は、ラッカセイ作後、ハウレンソウナスと2作まで認められている。

一方、線虫対抗植物のマリーゴールドについて見ると、近岡ら (1971)、大林・近岡 (1973) は神奈川県三浦地方の特産ダイコンに寄生加害するキタネグサレセンチュウの密度抑制効果を認めて実用的利用法を確立した。

他方、トウモロコシについては飼料用、輪作作物として、あるいは畑地の保全的立場から栽培利用されてきた。

そこで、これらの作物はネコブセンチュウに対しても

輪作作物として利用可能か否か判定するため、前試験と同一種が分布するほ場に、マリーゴールドとトウモロコシを導入し、その後ハウレンソウニンジンダイコンと3作まで作付けし、密度抑制効果と効果の持続性を検討した。それによると、マリーゴールド (アフリカン種: キューピットエローおよびフレンチ種: プチハーモニー) は、対照としたラッカセイとほぼ同程度の密度抑制効果を示し、その効果は2作まで認められた。しかし、トウモロコシ (ホホワイトデントコーン) はナスほどではないものの、ネコブセンチュウ密度を高め後作に被害をもたらした。このことから、サツマイモネコブセンチュウ、ジャワネコブセンチュウに対するトウモロコシの輪作導入は問題であると判断された。

2 施設スイカ畑の連・輪作

施設野菜畑は、前述の背景からもっとも高度な土地利用が行われるため、土壌の微生物相や理化学性は急速に悪化しやすい条件にある。事実、多くの生育阻害要因が集積し、作物にとって過酷な生育環境になっていると言える。

したがって、これらの障害を解消し、生産安定を図るためには、基本的対策を講じる必要がある。後述する水利用技術の導入が不可能な施設野菜畑では、輪作が第一の対策技術と考えられる。これまでの知見からイネ科作物であるトウモロコシは、土壌病害の抑制、地力維持、集積塩類の除去などの面から輪作作物、あるいは浄化作物として導入することを推奨されていたことから、スイカを基幹とする施設畑において、トウモロコシの導入効果およびラッカセイの線虫密度抑制効果について検討した。

その結果、スイカーキュウリ、スイカースイカのウリ類連作体系、スイカーレタスの野菜類連作およびスイカートウモロコシ体系は、サツマイモネコブセンチュウの密度増加を著しく助長した。スイカーキュウリ体系で毎作土壌くん蒸を実施した場合も低密度に維持できなかった。

このように、スイカ、キュウリ、レタス、トウモロコシ作は、サツマイモネコブセンチュウの密度増加を著しく助長し、特に、キュウリ、トウモロコシは顕著であり、後作スイカには萎ちょう、枯死株が多発生し、低収となった。したがって、トウモロコシについては露地の試験結果と併せ、輪作導入は危険と判断された。

一方、萎ちょうしたスイカの根は褐変し、褐変部位から *Rhizoctonia* 属菌、そう菌類が分離された。接種試験によると、線虫と *Rhizoctonia* 属菌の混合下で萎ちょう症状が激しくなる傾向が見られ、線虫によって菌との合

併症が引き起こされることがうかがわれた。

スイカーラッカセイ、スイカー休閒体系は、線虫密度を低く抑制し、スイカの被害はみごとに回避された。

小代ら (1983) は、スイカ跡地のラッカセイは無肥料でポリマルチ栽培をし、6月中・下旬に播種すれば収穫は10月上・中旬となり、収量は普通栽培の約1/2となったものの、低収要因となった茎葉病害を防除すればさらに増収は可能であり、実用的であるとしている。ラッカセイの積極的利用が期待される。

スイカ作は場にマリーゴールドを導入した効果について、上村 (1979) はスイカ産地における3か年の成績より、スイカ作後7月から3か月間栽培すれば、単なる休耕よりさらに密度低減効果があり、商品性の高い果実が生産されたとしている。また、3年間マリーゴールドをすき込み、緑肥性について効果を検討した結果、多収性のアフリカントールを早播きすれば収量も多く、除塩効果も大きかったので、マリーゴールドは緑肥としても有効としている。

以上、畑地において、ラッカセイ、トウモロコシ、マリーゴールドなどを導入した場合の輪作の効果について述べたが、実際には、一部の成功例を除けばいまだ確固たる体系が確立されていない現状である。その阻害要因と考慮すべき事項は、第一に、輪作作物の経済性が低いことである。また、輪作に要する諸費用は少ないものの短期的効果は望めず、ある一定期間は場を専用するため、輪作を実施できる程度の耕地面積が必要となることも、その理由である。しかしながら、輪作の必要性を深く認識し、その実施により良好な結果を得ている農家も見受けられる。最近の事例を紹介すると、熊本県の施設野菜畑地帯では、これまでのトウモロコシ栽培に代わり、ネコブセンチュウの密度増加が低いソルゴーを導入して線虫対策、有機物源あるいは地力保全の目的を達成している。また、サツマイモの産地では、ラッカセイとの輪作によって秀品を生産している。

II 線虫対抗植物およびイネ科作物

輪作の終局の目標としては、組み合わせた作物相互ともに好結果を得られる場合が望ましいが、少なくとも基幹作物の安定、ないしは増収によって失われる損失を補うことができれば良いと考えている。ネコブセンチュウの種によってはイチゴ、サトイモ、ダイコンなどの作付けが後作に良いという報告もあるが、ここでは各作物の輪作効果について逐一言及できないため、対抗植物およびイネ科作物についてのみ述べたい。それは前者が経済性には乏しいが、積極的な密度抑制効果が期待されてお

り、実用的活用場面が検討されている段階であること、後者はいうまでもなく今後の輪作体系の中で輪作作物として主役を担うという理由からである。対抗植物の中でマリーゴールドがキタネグサレセンチュウに対し著効を示すことはすでに述べた。ネコブセンチュウに有望な品種として、筆者はマリーゴールド23品種を検討し、アフリカン種のキュービットエロー、フレンチ種ではプチハーモニーを選定した。小林 (1974) はキュービットオレンジで効果を認めたが、実用化には検討すべき問題が多いとした。

また、佐野ら (1983) はフレンチマリーゴールド (カルメン) で効果を認め、密度抑制機構は根に侵入した幼虫の成長発育がまったく起こらないためとした。なお、それらの栽培期間は2か月間では効果が劣り、上村 (1979) がスイカとの輪作試験で得た結果と同様に、3か月間の栽培が必要であった。以上のように、ネコブセンチュウに対するマリーゴールドの効果は認められるが、効果的品種および実用技術の面で論議があるので、さらに問題の整理を行う必要がある。

クロタラリアについては古くから対抗植物として知られており、西沢 (1979) によれば *Crotalaria spectabilis* はサツマイモネコブ、ジャワネコブ以外にもキタネコブ、キタネグサレ、ミナミネグサレセンチュウに共通して有効であるとした。また、西沢 (1979) はシラトロ、佐野ら (1983) はシラトロ、エビスグサのサツマイモネコブセンチュウ抑制効果を認めているため、これら対抗植物の実用的評価が待たれる。

他方、イネ科作物のトウモロコシについては、前述の輪作試験においてサツマイモネコブセンチュウを増加させたため、サツマイモネコブセンチュウ、あるいはサツマイモネコブとジャワネコブセンチュウの混合個体群が分布するほ場において、さらに詳細に寄生、増殖性を検討した。その結果、供試した41品種系統はすべてこれらのネコブセンチュウを増加させ、ほ場密度の低い場合にも顕著な増加が見られた。なお、トウモロコシの根のゴールはきわめて小さく、ウリ科作物に見られるような明確なゴールはほとんど形成されないため、ゴールの有無によって線虫密度を推定するのは危険である。西沢 (1981) もフリント種35品種、主要交配一代雑種36品種のトウモロコシは、サツマイモネコブ、ジャワネコブセンチュウに対してクリーニング効果は希薄であったとしている。

このほか、トウモロコシはキタネグサレ、ミナミネグサレセンチュウの好適寄主であるため、栽培にあたっては注意が必要である。なお、特にキタネコブセンチュウ

の分布する地帯では、トウモロコシは有益な輪作作物となっているため、その導入と利用に誤解のないよう付記する。以上のように、イネ科作物といえどもトウモロコシについては重大な短所が判明したため、これに代わる作物を選出するため、ソルゴー、スーダングラス、ローズグラスなどイネ科飼料作物について検討した。その結果、これらの作物の中には線虫密度を抑制する品種も認められ、その後の試験からもパイパーズダン、ハウキモロコシ、ローズグラス（カタンボラ）、グリーンパニック、ギニアグラスはサツマイモネコブセンチュウを抑制することが判明した。佐野ら（1983）はハウキモロコシ、ギニアグラスで密度抑制効果を認め、その密度抑制機構を解析した。以上のように、線虫対抗植物およびイネ科作物の中にはネコブセンチュウの密度抑制効果の高い作物（品種）も見いだされてきているため、今後さらに有望作物の検索を行い、その実用技術を確立していく必要がある。他方、育種部門との密接な連携のもとに有害線虫の防除を育種目標として、イネ科作物などの品種育成がなされてもよいのではないかと考える。

III 水利用対策

線虫は自然界のさまざまな環境を、生態的に異なる多くの種がすみわけている。農耕地は畑地と水田に大きく分けられ、それぞれ生態を異にした畑地の線虫、水田の線虫が生息している。したがって、土壌環境を逆に転換すれば、本来の線虫は生存が難しくなり、ついには死滅していく。水利用によるネコブセンチュウの防除は陸性である本線虫の生態を逆利用した防除法である。連作によって増加した線虫、あるいは水田転換畑の畑地化に伴い侵入、増殖した線虫に対して、湛水可能な地域では田畑輪換および湛水による防除が有効である。水利施設はあっても、透水性が良く、湛水が不十分となる地域では防除効果が劣るため、補助的手段を併用した手法が有効な技術となる。

1 田畑輪換

田畑輪換による有害線虫の防除効果は古くから注目され、効果の検討と技術組み立てがなされてきた。水田化によるネコブセンチュウ密度の抑制効果については、イネ1作で効果を認めた報告が多いが、連続2～3年の水田化によっても絶滅できなかった場合もある。山田ら（1970）は1年水田化でネコブセンチュウは1/2に減り、2～3年で1/6に減少したが、畑に戻すとその効果は3年前後でなくなるため、輪換方式として水田2年—畑2年が望ましいとした。熊本県においても、水田転作に伴いネコブセンチュウの被害が問題化したため、現地調査

と田畑輪換試験を実施した結果、（ムギ—イネ）と（タバコ—ダイズ）の1年輪換では線虫制御は不十分で、ダイズに被害を認めた。これに対し（ムギ—イネ）2年と（タバコ—ダイズ）1年の輪換方式では、タバコ、ダイズともに好結果を得ており、実際に球磨郡において好成果を挙げている。しかし、（タバコ—ダイズ）を2年連続すれば、容易に密度を回復し、2年目のタバコ、ダイズに被害を生じた例も多い。他方、水田化後（ムギ—ダイズ）2年では密度復元は緩慢であった。したがって、実際には水田2年—畑1年および水田2年—畑2年の輪換方式とすれば効果的である。熊本県のメロン、トマト地帯では、[メロン—（1か月間 短期湛水）—トマト]—[メロン—イネ]の1年輪換によっても好成果を得ている。本体系は湛水機能を毎年活用するとともに、必要に応じて短期湛水の代わりに土壌くん蒸を行うなど、いわゆる総合防除の体系となっているため、その効果が永続している良い例である。

2 有機物施用と水利用の併用処理

田畑輪換は水田期間が長く、水利用の面からも適用場所が水田地帯に限定される。他方、線虫害が問題となる所は、水田地帯に比べ、むしろ施設野菜畑地帯であって、発生は場も広範囲にわたり、その被害も激しい。

また、本地帯は作期が緊密化しているため、稲作が導入され難い条件下にあり、さらには場の透水性が良く湛水効果が不十分となりやすい。したがって、水利用対策としては休閑期を利用した短期間の処理で効果をあげる手段が必要となる。小玉ら（1976）は夏季の温室密閉による土壌消毒法を確立した。本法の骨子は、7～8月に稲わらなど粗大有機物と石灰窒素を施用し、混和後小畝たてをする。次に古ビニルなどで被覆し畝間湛水を行い、ハウスを密閉状態に保つ。これによって地温は40～60℃となるため、15～30日程度でイチゴ萎黄病などの防除が可能であるとした。一方、前述のように湛水が不可能な地帯、あるいは夏季の天候不順による日射量不足のため高地温が得られない年次においては、防除効果の低下が懸念される。このため、ネコブセンチュウの防除効果の促進化と適用場面の拡大および限界を明らかにする必要がある。効果促進には土壌環境の急激な変化が必要と考えられたため、この変化現象をきたすための効果の高い有機物を検索し、これと土壌水分、地温との関連性について検討した。有機物の種類では乾燥豚糞、鶏糞、ローズグラスなどの易分解性緑肥の効果が高く、牛糞、稲わらは劣った。また、全般に発酵過程を経た有機物では防除効果が劣った。野菜に対する家畜糞尿連用基準量（10a 当たり、乾燥豚糞：2t 以下、鶏糞：500 kg

第2表 有機物施用と処理温度による防除効果 (処理 30 日間)

処理温度 (°C)	有機物 (豚糞) 施用			無 施 用		
	湛 水	pF 1.6 ~1.9	pF 2.0	湛 水	pF 1.6 ~1.9	pF 2.0
9	×	×	×	×	—	—
25	○~△	△	×	×	×	×
30~35	○	○	×	○~△	—	×
40	○	○	○	○	△	—
45	○	○	○	○	○	—

○：効果あり，△：一部欠点があるが効果あり，×：効果なし，—：未検討

以下、牛糞：3t 以下) が定められているが、これに従って施用すれば塩類集積は回避されるとともに、防除効果の促進が可能であった。特に、乾燥豚糞施用では、35°C 以上の地温があれば、湛水あるいは土壌水分 pF 1.9 となってもほぼ同等の高い効果が認められ、40°C 以上となれば効果は安定して高かった (第2表)。

湛水などによる線虫の死滅要因については、一般に餓死、酸素不足、運動による体力消耗、有害微生物(細菌)の増殖、産生毒素などが挙げられている。死滅原因がわかれば逆に効果をあげる方法が考えられるため、防除効果の解析を行った。有機物無施用では、長期間の被熱、運動による体力消耗が主因であった。防除効果の高かった有機物との併用処理では、これに加えて細菌類の顕著な増加、土壌の急激な還元化現象が認められ、酸素欠乏がネコブセンチュウの重要な死滅要因であることを明らかにした。したがって、ネコブセンチュウの湛水防除を実施する場合、高温を保持するとともに、乾燥豚糞など易分解性有機物との併用により、酸素欠乏を促進する措置が必要である。

3 土壌病原菌に対する効果

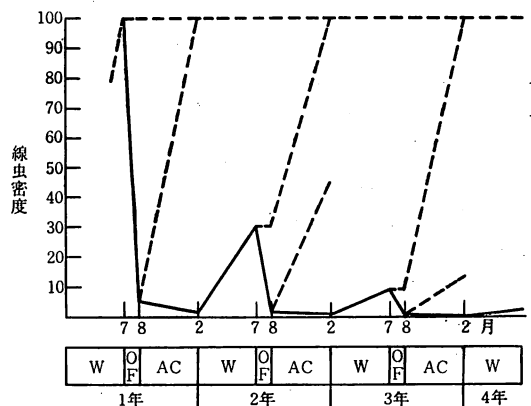
連作障害は線虫とともに、土壌病原菌による障害が重要な問題となる。また、多くの場合、両者の合併症として被害が増幅されてくる。このため、水利用対策が線虫のみにとどまらず、広く土壌病原菌に対しても効果を呈するものであれば、本防除法の適用範囲は拡大され、多くの障害防止に期待がもたれる。小玉ら (1976) は、ハウス密閉処理による土壌消毒法がイチゴ萎黄病をはじめ、トマト白絹病 (菌核)、ナス半身萎ちょう病、線虫類に著効を示すことを認めた。その後、昭和 53 年から農事試験場を中心に関東東山東海地域 11 県 (1982) において連絡試験が実施され、キュウリつる割病、ピーマン疫病、エンドウ立枯病、ネコブセンチュウ、ネグサレセンチュウにきわめて有効であり、トマト青枯病、軟腐病に

は効果が不十分であるなど、その他各種の土壌病害に対する防除効果の評価がなされた。筆者は乾燥豚糞施用と pF 1.6~1.9 の湛潤保持、ハウス密閉処理によってユウガオつる割病、スイカ菌核病 (菌核) に対しても高い防除効果を認めた。

以上のように水利用対策は線虫、病菌に対し、広く効果を示した。これを線虫主体に考えれば、線虫は病菌侵入の誘因となり、病菌との合併症を促し、ひいては連作障害の原因となっているため、水利用対策をとれば、線虫、病菌および合併症の発生がともに抑圧され、連作障害を回避し産地の永続化を図ることができる。スイカで有名な熊本県の植木町では、薬剤処理主体の効果に期待がかけられないため、農家が本技術を導入し、好成果をあげ、これによって産地の永続化を確固たるものにしていく。

IV 総合防除とその考えかた

ネコブセンチュウの耕種的防除法について、防除効果と適用性について述べた。しかし、耕種的防除法は薬剤防除に比べ実施期間が長いうえに、経済性の高い作物が少ないなどの点から、一般には速効の効果のある薬剤防除が主体に行われている。しかし、線虫は土壌中に生息するため完全な防除が困難で、防除後の密度回復も速いので、施用量、回数の増加を余儀なくされ、結果として薬剤費用、労力の多投となっている。したがって、速効の効果は低いながる永続的効果が高い耕種的防除法を線虫防



第1図 スイカ連作畑線虫の耕種的防除体系モデルによる密度変動模式図

- 注 1. 線虫の最高密度を 100 とする
 2. W：スイカ栽培 (×30)，OF：有機物施用と水利用の併用処理 (−95%)，AC：対抗植物，浄化作物栽培 (−80%)
 3. 実線は相当する防除対策が実施された場合，破線は実施されない場合の密度変動

除の基本とすべきである。さらに、ネコブセンチュウが広食、多犯性であり、密度回復力が強いという生態面から考えれば、各種の耕種的手段を有機的に結合して欠点を補完するとともに、付加的に薬剤防除を組み入れていく総合防除が望ましい防除体系と考えられる。スイカのネコブセンチュウにおいて、これまでの知見から推定した定植時の要防除線虫密度と対策手段の関係を示せば、高密度（土壌 50 g 当たり 50 頭以上）では耕種的防除と薬剤防除の併用、中密度（10～49 頭）では耕種的防除を基幹とし、必要に応じて薬剤使用、低密度（9 頭以下）では耕種的防除のみの防除対策が考えられる。ここで注意すべきことは、常に高密度になるような作付体系（連作）であれば、薬剤防除の主導型にならざるをえない状態となるであろう。したがって、耕種的防除を基幹技術とし、速やかに低密度方向へ制御する必要がある。

近年、オランダにおいてジャガイモシストセンチュウ対策として、薬剤、輪作および抵抗性品種を主軸とした防除法が考案されていることから、スイカを基幹とした作付体系における総合防除と線虫の密度変動をこれまでの試験データから模式化した（第1図）。本法によれば、3年以降きわめて低密度となり、連年スイカ栽培も可能

と考えられる。栽培、環境条件などにより多少の密度変動はあるにしても、このモデルから線虫の密度推移の判断が可能と考えられる。

以上、ネコブセンチュウの耕種的防除法について述べたが、ここで言及できなかった抵抗性品種の利用をはじめとして、その他の関連技術についてもさらに検討し、各産地に適合した総合防除を確立する必要がある。

引用文献

- 1) 稲垣春郎 (1976): 植物防疫 30(3): 119～122.
- 2) 後藤 昭 (1981): 土壌線虫の耕種的・生物的防除, “地力維持・連作障害克服のための畑地管理技術指針” (農林水産技術会議事務局), pp. 172～177.
- 3) 近岡一郎 (1971): 神奈川農共研報 2: 1～50.
- 4) 大林延夫・近岡一郎 (1973): 神奈川園研報 21: 91～102.
- 5) 小代寛正ら (1983): 熊本農試研報 8: 33～55.
- 6) 上村道雄 (1979): 農及園 54(12): 63～68.
- 7) 小林義明 (1974): 関東病虫研報 21: 147～148.
- 8) 佐野善一ら (1983): 九病虫研報 29: 132～136.
- 9) 西沢 務 (1979): 23 回応動昆大会講要: 139.
- 10) ——— (1981): 25 回応動昆大会講要: 136.
- 11) 山田俊雄ら (1970): 福岡農試研報 8: 37～42.
- 12) 小玉孝司ら (1976): 農及園 51(7): 49～54.
- 13) 関東東山東海地域 技術連絡会議, 農林水産省農業研究センター (1982): 太陽熱利用による土壌消毒に関する実証的研究, pp. 1～146.
- 14) 古賀成司・古閑孝彦 (1981): 熊本農試研報 7: 51～90.
- 15) ———ら (1982): 九病虫研報 28: 55～58.

本会発行図書

作物保護の新分野

理化学研究所 見里朝正 編

A 5 判 235 ページ 定価 2,200 円 送料 250 円

昭和 56 年から始まった理化学研究所主催のシンポジウム「科学的総合防除」の講演内容を加筆してとりまとめた好著。我が国の先端に行く研究者が化学的、生物的防除はもちろん、光・音・遺伝子工学等を駆使して作物保護の新分野にいどむ最新技術を紹介する。

内 容 目 次

I. 「科学的総合防除」とは

II. 光の利用

光の昆虫誘引作用の利用／光の昆虫忌避作用の利用／紫外線除去フィルムによる植物病原糸状菌の胞子形成阻害／雑草防除における光質の活用

III. 環境制御

湿度環境制御によるハウス野菜病害の防除／環境制御による雑草防除／太陽熱利用による土壌消毒／水の利用による病害防除

IV. 音の利用

音と昆虫／鳥と音／動物と音／魚と音

V. 生物的防除

作物病害の生物的防除／生物的防除と害虫管理／雑草の多様性とその生物的防除／生物的防除への遺伝子工学応用の可能性

VI. ソフト農業の開発

ソフト農業開発の現状／大豆レシチン・重曹農薬の開発／過酸化カルシウム剤の開発／フェロモンの利用・開発

VII. 外国の現状

ヨーロッパにおける科学的総合防除／ソビエトの現状／東南アジアにおける作物保護の現状／アメリカにおける病害虫の総合防除の現状

マツ枯損の真因をめぐって

農林水産省林業試験場 田村弘忠

マツノザイセンチュウがマツ枯損の病因であることが判明してから12年経過し、研究は発病機構の解明へと展開している。

1977年、「松くい虫防除法案」が国会に上程される前後、主に薬剤空中散布に反対する立場からいろいろな意見が誌上ににぎわした。それ以降、マツ枯損の真因をめぐって大気汚染説(吉岡ら, 1975; 吉岡, 1975)や黒色(変)菌説(福岡, 1980)、そしてまた最近、青変菌説(角田ら, 1980, 82)やサビカミキリ説(鈴木, 1983)が出現した。これら諸説が登場する背景として、これまで実施されてきた薬剤防除が決定的効果を上げていないこと、マツノザイセンチュウが発見されるまで林業試験場の樹病、菌類研究者によって精力的に取り組まれた病原菌の探索や接種試験などの結果の一部が特別研究推進会議資料にのみ発表され、学会や学会誌に発表されなかった、などの事情が考えられる。加えて線虫同定や線虫検出上の技術的問題が諸説に見受けられる。マツ枯損のすべてが解明されるまで、今後も真因をめぐってさまざまな疑問や異説が出てくると思われるが、マツ枯損問題が重大であるだけに、それらが研究と防除の進歩に寄与するものであるならば歓迎されるべきであろうと考え、ここで諸説の周辺について、これまでの研究結果に基づいて触れ、最近の研究状況について述べてみたい。

I 線虫に関連のない微生物真因説

1968年から1971年にかけて林業試験場の樹病研究者たちは、マツ枯損に関連すると考えられる根系および材中糸状菌について調査、実験を行った。小林ら(1983a, b)はこれまで未発表であった資料を加えて改めて結果を発表し、黒色(変)菌説と青変菌説にコメントを付けた。

福岡(1980)は黒色菌説の根拠として、マツ枯損発生地帯で外観健全に見えるマツの40%の樹幹木部から未記載の病原菌が検出されたこと、マツノザイセンチュウはマツが半枯れ状態になった後に検出され、線虫の侵入以前にすでに病原菌が侵入し、線虫はこの菌を摂食する二次的害虫にすぎないこと、新発見の病原菌はマツが生理的に異常になり、衰弱したときに激害をもたらす、そ

れは土壌の強酸性化によってまん延した黒線菌が菌根菌を死滅させることによって生じることをあげた。小林ら(1983a)によれば、福岡の黒線菌は小林らが扱った黒色菌と考えられるが、実験結果では福岡が述べたようにこの菌はマツの根部に黒こぶ状病患部を形成しても菌根を破壊することはなかった。また *Cylindrocarpus* 菌は菌根を破壊したがマツを枯死させることはなかった。筆者は最近菌根菌研究者と共同で、マツ枯損に対する抵抗性あるいはマツ枯損の誘因を調べる目的で、多種にわたる菌根菌を接種したマツの苗木を使って線虫接種試験を行った結果、すべての区の苗木が枯死した。線虫感染もしくは接種木では樹脂浸出が停止した時点でも樹体内の線虫数がきわめて少なく、枯死状態になって初めて爆発的に増加する(KIYOHARA et al., 1978)。

角田ら(1980)はマツ枯損の原因として、枯損木から分離した青変菌 *Ceratocytis* 属の新種の菌をあげ、培養による毒素生産などについて発表した(角田ら, 1982; 諸岡ら, 1983)。角田らがマツノザイセンチュウ説に疑問を持った根拠として、枯死木の木部に糸状菌の増殖を示す青変が見られることと、マツノザイセンチュウが菌食性線虫であることをあげた。

青変菌の接種でマツが枯死したという報告は筆者の知る限りでは1例しかなく(BASHAM, 1970)、それも相当苛酷な接種方法で行われている。小林ら(1974)は羽化脱出するマツノマダラカミキリが蛹室から変(青)色菌を持ち出すことを確かめたが、健全木から異常木、枯死木に至る過程における材中菌相の変遷を観察した限りでは、変色菌がマツ枯損の病因とは考え難いと述べている(小林ら, 1983b)。7月以降に発生する線虫感染による異常もしくは枯死木では微生物相の変化が起こるが、もっとも速やかに樹体内で増殖するのはマツノザイセンチュウであり、ほぼ1か月遅れて青変菌 *Ceratocytis* と細菌類が優占的に検出されるようになる。さらに1か月ずつ遅れて青変菌 *Verticillium* および材の黒変を起こす *Macrophoma*・*Diplodia* 菌群が出現した(小林ら, 1974; 小林ら, 1975)。

角田らが発見したという新種の青変菌の同定は二転して、結局は青変菌ではない *Phomopsis* ということになった(諸岡ら, 1983)。この菌の生活史は不明であり、また供試した培養物にも疑問が残っているため、厳密な再

検討が必要であらうし、成木への接種試験が待たれる。

この点については黒色菌説についても当てはまる。両説は共にマツノザイセンチュウが菌食性線虫であることを根拠にあげているが、この線虫の属する *Aphelenchoidea* 科の中には糸状菌を摂食するが、高等植物やカルスでも繁殖する線虫が存在し、マツノザイセンチュウはマツのカルスで繁殖し (TAMURA et al., 1979)、このことはこの線虫が樹体の細胞を摂食できることを示唆している。

II サビカミキリ真因説

マツ枯損の本格的研究は、サビカミキリも含めてそれまで考慮されてきたせん孔虫類によるマツ枯損に疑問が持たれたことから始められた。森本 (1973) はこの経緯について本誌第 27 巻 5 号で詳しく紹介した。せん孔虫類は倒伏したマツや衰弱木で繁殖し、健全木を侵す力の弱い二次的害虫であるが、個体数が増加すると一次的害虫に転化すると考えられていた。その後の詳細な調査によりせん孔虫類の産卵加害するマツは、産卵以前にマツ自体が異常 (樹脂浸出低下) になっていることが明らかにされた。せん孔虫類が健全木に産卵しても卵あるいはふ化直後の幼虫は樹脂に覆われて死亡することから、これらの甲虫は二次的害虫であると結論された。そしてマツノザイセンチュウがマツの異常、衰弱の原因であることが判明した。山田 (1983) は、またサビカミキリは生活史から判断してマツノザイセンチュウの媒介者になりえないことを示した。

III 線虫に関連する細菌

マツノザイセンチュウの接種試験によって、この線虫がマツ枯損の病因であることが判明した経緯やマツ枯損の病徴について徳重 (1971) は本誌第 25 巻 12 号で詳述した。その後この病気の急速な進展から推察して、線虫にさらに病原微生物が関与しているのではないかと疑う余地があった。

Xiphinema などの線虫がウイルスを伝播する例はあるが、マツノザイセンチュウの体内にはウイルスが確認されていない。小山 (1975) はマツノザイセンチュウの体内にクラミディア類似の微生物を観察しているが、その後追認されていない。これまで口針で摂食する線虫の体内には細菌が存在しないと言われているが、線虫が体表に付着した細菌を伝播する例はある。筆者ら (1973) はマツノザイセンチュウの体表から細菌を除去し、その培養線虫を殺菌鉱物油下で 1 年間保存したのち、苗木に接種した結果、線虫の病原力は失われていなかった

(TAMURA, 1978)。またこの線虫の接種木と自然枯死木から分離した無処理の線虫の接種木との間に枯死率の差がなかった (TAMURA, 1983)。

OKU et al. (1980) はマツノザイセンチュウの付随細菌 *Pseudomonas* がマツ針葉汁中でマツ幼苗に対して毒性を示す物質を生産し、自然感染木からも同じ物質が検出されたと発表した。筆者 (1983) はマツノマダラカミキリによって媒介されるマツノザイセンチュウの分散型第四期幼虫から分離した主要な 4 種のグラム陰性菌を培養し、そのうち 3 種の細菌が培養液中にマツの幼苗を萎ちょうさせる物質を生産することがわかった。この結果は幼虫に特異的な一種の付随菌のみが毒性物質を生産するのではないことを示唆した。培養液でもっとも強い毒性を示した細菌を接種した苗木は枯死しなかったが、8 年間無菌的に継代培養した線虫は 10 本中 9 本の苗木を枯死させた。残る可能性は通常はマツの樹皮下などに生息してマツに病原性を示さない菌が、線虫感染によって起こるマツ樹体の変化によって病原性を示すようになることであるが、これを証明するためには無菌的に生育した 2, 3 年生の苗木が必要であらう。

線虫に関連した細菌のみならず、この病気に関連する病原体があるとすれば、その普遍性が確かめられなければならない。

IV 北アメリカにおける線虫の発生と被害状況

1979 年北アメリカでもマツノザイセンチュウが発見され (DROPKIN et al., 1979)、のちにこの線虫は 1934 年にすでに北アメリカで新種として記載されていた線虫と同じ種であることが判明した (NICKLE et al., 1981)。そして媒介者として数種の カミキリムシが発見された (DROPKIN et al., 1981; LINIT et al., 1983)。1982 年までに 20 種のマツと他の針葉樹の枯損木からマツノザイセンチュウが検出され、外来種であるヨーロッパアカマツからの検出例がもっとも多かった。ただしこれらの検出例がすべてマツノザイセンチュウによって枯死したものであるかどうかは不明である (ROBBINS, 1982)。北アメリカにおいては日本におけるような大被害は発生していない。WINGFIELD et al. (1982) は北アメリカ北部 3 州におけるマツの枯損木を調査し、マツノザイセンチュウに感染していたマツは種々の病害虫によって衰弱しており、あるいは部分的に枯死した頂端部や枝からも線虫が検出されたが、日本あるいは中西部 2 州におけるような典型的なマツ枯損の症状は見られなかったと報告した。WINGFIELD et al. のただ 1 回の調査では線虫と他の病害虫のいずれが先にマツに侵入したか判定は難しいと考

えられ、彼らも線虫接種試験や長期観察の必要性を認めている。一方、マツ枯損の被害が発生していない北アメリカにおけるこのようなマツノザイセンチュウの生存状況が、本来の姿を反映しているのかもしれない。

筆者らは、1982 年中西部ミズーリ州で隣り合った林分にあるヨーロッパアカマツと北アメリカの土着種であるストロブマツ、エキナータマツ、パンクスマツの成木に線虫接種した結果、外来種であるヨーロッパアカマツのみが枯死し、同地における自然感染と一致した（未発表）。

日本ではマツを集団的に枯死させるツチクラゲ病のほかに種々の病害虫が存在する。典型的なマツ枯損の病徴と異なる病徴を呈するマツについては、すべての考えられる原因を注意深く調べる必要がある。

V マツ枯損の発病機構解明の現況

真宮 (1976) はそれまでの研究成果を本誌第 30 巻 3 号で紹介した。当初マツ枯損は、マツノザイセンチュウによる物理的破壊によるものと考えられたが、その後の組織病理学的、生理学的観察により、線虫接種後の早い時期における樹脂浸出の低下・停止 (真宮, 1980a) や接種苗木幹部における線虫がまだ少なく、エビセリウム細胞の破壊が起きていない時点で柔細胞の変性が認められた (MAMIYA, 1980b)。さらに接種苗木では早期に形成層の活動が停止し、樹脂浸出停止時に明らかに仮導管形成が抑止されることが判明した (橋本, 1980; 鈴木, 1982)。

これらの結果は、発病機構では樹体内における線虫増殖よりむしろ感染初期の線虫数と樹体内の分散が重要なかぎになっていることを示唆した。このような急速な病変はまた、線虫自体の持つ毒性物質の存在か線虫感染によって生じる毒性物質の存在を想定させた。

OKU et al. (1979) はマツの針葉汁中でマツノザイセンチュウがマツ幼苗を萎ちょうさせる物質を生産すると発表した。しかしながら、この毒性物質は線虫付随細菌によって生産されることが判明し (Oku et al., 1980), その物質は 8-ハイドロキシカーボン-アセトンと構造決定された (奥ら, 1982)。そのほかに毒性を示す物質として安息香酸、カテコール、ジヒドロコニフェリールアルコールが抽出された。BOLLA et al. (1982) はヨーロッパアカマツの線虫感染木から特異的な 4, 5 種類の主要成分を抽出し、そのうちの 1 成分 10-ハイドロキシベルベノンが単独でマツ苗木を枯死させ、合成した同物質も毒性を示すことを報告した。これらの研究では、毒性物質検出の普遍性、生成・作用機構の解明が今後の重要

な課題になろう。

1981 年から林業試験場でマツ枯損の発病機構解明を主要研究課題とした特別研究が始まった。この病気の進展に伴う樹脂浸出停止や蒸散量低下はすでによく知られており、また発病の前条件として水ストレスが注目された (SUZUKI et al., 1978; 鈴木, 1979)。今回の特別研究で、マツ苗木に線虫接種した早い時期に幹部に通水障害が生じ、樹脂の異常漏出が認められた (SASAKI et al., 1983)。また針葉の水ポテンシャルや樹液流速の変化より早く呼吸量が増加し、これが仮導管閉塞や柔細胞傷害による可能性が示唆された (森ら, 1983)。

筆者ら (1983) は、3 種の抵抗種マツと感受性であるヨーロッパアカマツの線虫接種苗木における線虫の分散と組織破壊を調べた結果、強抵抗性であるジェフレイマツでは線虫は接種部位あるいは皮層の樹脂道に分布が限られ、木部は影響を受けないことがわかった。また他の抵抗性種レジノサマツとエキナータマツは木部の樹脂道が一部破壊されたにとどまり、3 種いずれも枯死することはなく線虫は最終的に消滅した。一方、ヨーロッパアカマツでは木部の樹脂道が全面的に破壊されて枯死した。橋本ら (1975) はテダマツで線虫の消滅を観察した。須川 (1982) はクロマツの接種苗木のうち途中回復する苗木で一部組織が破壊されても形成層から新たに形成される仮導管によって通水機能が回復することを示唆した。接種罹病木の治療のために殺線虫剤 (橋本, 1982) や駆虫剤 (松浦, 1982) を処理した苗木でも同じような現象が観察された。清原 (1982) は弱病原性線虫を前接種することによって誘導抵抗性が引き起こされることを示唆した。

今後、接種苗木に見られる通水障害は何に起因するか、また抵抗性は何に起因するか大いに関心が持たれるところである。

マツの成木は実験対象としては大きすぎ、また複雑であるため、苗木を用いざるをえない。そのため苗木に見られる現象が成木でも同じように起きるか問題になることも考えられ、細心の注意を要するが、幸いマツノザイセンチュウによるマツ枯損には典型的な病徴があるため克服されよう。

引用文献

- BASHAM, H. G. (1970): *Phytopathology* 60: 750~754.
 BOLLA, R. et al. (1982): *Proc. 1982 National Pine Wilt Disease Workshop*, Rosemont, IL, U. S. A. 14~15 April, 1982, pp. 17~31.
 堂園安生ら (1973): *日林九支論* 26: 183.
 DROPKIN, V. H. and A. S. FODIN (1979): *Plant Dis. Reprtr* 63: 904~905.

- et al. (1981) : Proc. XVII IUFRO World Congress, Div. 2, Kyoto, Japan, pp. 265~268.
 福岡正信 (1980) : 日本農業新聞 1月22日号。
 橋本平一 (1980) : 91 回日林論 367~370。
 —— (1982) : 日林九支論 35 : 159~160。
 ——・堂園安生 (1975) : 86 回日林講 : 301~302。
 清原友也 (1982) : 日林九支論 35 : 161~162。
 KIYOHARA, T. and K. SUZUKI (1978) : Eur. J. For. Path. 8 : 285~292。
 小林享夫・佐々木克彦 (1983 a) : 森林防疫 32 : 162~168。
 —— (1983 b) : 同上 32 : 182~187。
 ——ら (1974) : 日林誌 56 : 136~145。
 ——ら (1975) : 同上 57 : 184~193。
 小山良之助 (1975) : 同上 57 : 61~63。
 LINIT, M. et al. (1983) : Environ. Entomol. 12 : 467~470。
 真宮靖治 (1975) : 86 回日林講 : 285~286。
 —— (1976) : 植物防疫 30 : 109~113。
 —— (1980 a) : 日林誌 62 : 176~183。
 MAMIYA, Y. (1980 b) : Workshop on Genetic of Host-Parasite Interactions in Forestry, Wageningen, the Netherlands, 11~21 September, 1980, pp. 153~160。
 松浦邦昭 (1982) : 93 回日林講 : 129。
 森 徳典・井上敏雄 (1983) : 94 回日林講 : 104。
 森本 桂 (1973) : 植物防疫 27 : 175~179。
 諸岡信久ら (1983) : 防菌防黴 11 : 423~431。
 NICKLE, W. R. et al. (1981) : J. Nematol. 13 : 385~392。
 OKU, H. et al. (1979) : Naturwissenschaften 66 : 210。
 —— et al. (1980) : Naturwissenschaften 67 : 198~199。
 奥 八郎・上田隆之ら (1982) : 日植病報 48 : 360~361。
 ROBBINS, K. (1982) : Proc. 1982 National Pine Wilt Disease Workshop, Rosemont, IL, U. S. A. 14~15 April, 1982, pp. 3~6。
 SASAKI, T. et al. (1983) : 日林誌 (印刷中)。
 須川豊伸 (1982) : 同上 64 : 112~116。
 鈴木和夫 (1979) : 森林防疫 28 : 90~94。
 —— (1982) : 93 回日林論 407~408。
 SUZUKI, K. and T. KIYOHARA (1978) : Eur. J. For. Path. 8 : 97~107。
 鈴木幹男 (1983) : 27 回応動昆講 : 163。
 TAMURA, H. (1978) : 日線虫研誌 8 : 24~27。
 —— (1983) : 同上 (印刷中)。
 —— and V. H. DROPKIN (1983) : 日林誌 (投稿中)。
 田村弘忠・真宮靖治 (1973) : 日線虫研誌 3 : 30~32。
 TAMURA, H. and Y. MAMIYA (1979) : Nematologica 25 : 149~151。
 徳重陽山 (1971) : 植物防疫 25 : 480~484。
 角田 広ら (1980) : マイコトキシ 12 : 36~39。
 ——ら (1982) : 同上 14 : 29~31。
 WINGFIELD, M. and R. BLANCHETTE (1982) : Plant Disease 66 : 934~937。
 —— et al. (1983) : Can. J. For. Res. 12 : 71~75。
 山田房男 (1983) : 森林防疫 32 : 144~147。
 吉岡金市 (1975) : 公害研究 5 : 25~26。
 ——・松本文雄 (1975) : 同上 4 : 70~74。

協会だより

一本 会一

○新稲作運動の推進について通知

近年の稲作は、需要の動向に即した計画的かつ安定的な生産を図ることが重要であるが、最近の作柄が昭和55年以来4年連続して平年作を下回るなどの状況から、農林水産省並びに関係14団体が一体となって、不良条件を克服し得る「たくましい稲づくり」を全国的に推進することとし、「新稲作運動」を展開することとなった。

本会としては、病害虫防除の推進を通じ、国民の主要食糧の安定的な供給と健全な水稻経営の育成を図るという観点から、この運動に積極的に協力することとし、59年1月24日付で都道府県植物防疫協会長あてに、新稲作運動の趣旨を十分承知の上、関係機関・団体との連絡・協調を密にし、本運動の円滑かつ効果的な推進に協力されるよう通知した。

本運動の進め方は、国、地方公共団体、農業者団体等が共同し、各地域において、関係者が一丸となって全国的に運動を展開することとし、地域の関係者が協議の上、地域の特性に応じた具体的な重点課題を設定した上でその普及徹底を図るとしている。このため、中央においては、国、関係機関及び農業者団体による「新稲作運動推進会議」を随時開催し運動の進め方等必要事項を協

議し、都道府県段階においては、稲作改善に関する既存の推進体制の活用を図りつつ必要に応じ推進体制の見直し整備を行ない、市町村段階においては、これに準ずる推進体制の整備に努めることとしている。

なお、当面の全国的な重要課題の例示としては、(1)適切な品種の選択、健苗の育成と適期移植、施肥・水管理の適正化、病害虫防除の徹底、適期収穫の徹底等の基本技術の徹底、(2)土づくりの徹底、(3)中核農家・高能率生産組織の育成による技術の高位平準化、(4)適正な生育診断と技術情報伝達の迅速化、(5)転作田との適切な利用調整による水田の高度利用があげられている。

○第20回植物防疫研修会を開催す

全国農業協同組合組合員および農業工業会会員会社の従業員を対象にし、1月17~25日の9日間、東京都渋谷区のオリンピック記念青少年総合センターで開催した。受講者69名が全課程を修了し、それぞれに修了証書が授与された。

第20回までの研修修了者数は、1,338名である。

人 事 消 息

(2月1日付)

宮川久義氏(果樹試験場盛岡支場病害研究室)は農蚕園芸局植物防疫課防除班発生予察係長に
 小泉銘冊氏(果樹試口之津支場病害研主任研究官)は果樹試興津支場病害研究室長に

線虫による害虫の防除

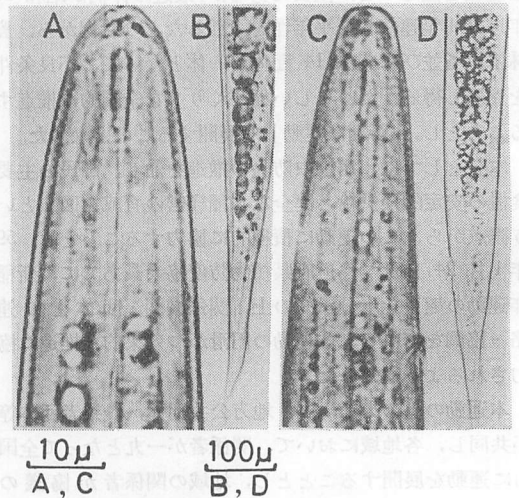
佐賀大学農学部応用動物学教室 いし 石 ばし 橋 のぶ 信 よし 義

I 殺虫性線虫 (entomopathogenic nematodes)

昆虫と関係を持つ線虫には、昆虫によって新しい生息環境に運ばれる昆虫好性線虫と、絶対的に昆虫に依存して发育し、繁殖する昆虫寄生性線虫とがある。前者において、昆虫が便乗者線虫に損害を被るようなことは、一般にはない。むしろ両者には、共生的関係が多々見られる。後者のように、宿主体内で成長または繁殖するようになって、このこと自体で昆虫が死ぬようなことはまずない。多くの場合、宿主の雌が不妊となるか、自分の卵の代わりに線虫を産む偽産卵によって、個体群の減少を招く程度である。自然界では、こういうことでバランスのとれた種族維持がなされている。このグループには *Howardula*, *Heterotylenchus*, *Deladenus* など Tylenchida 目の線虫が多く、糸状菌でも培養できるところから、実際に害虫の防除に用いられたものもある。このなかで、*Deladenus* はタスマニアでのキバチの駆除に成功し、もっとも有名である。これらはすべて、生息環境が悪くなったときに昆虫を利用するので、どちらかと言うと、昆虫好性線虫に近い。昆虫なしにはまったく生活環境を全うできない真正寄生としての線虫は、シヘンチュウだけである。このグループには、昆虫体内で成虫となり繁殖する Teradonematidae 科と、三期幼虫のとき昆虫体外に出る Mermithidae 科がある。前者においては、宿主の雌が不妊となるだけで死ぬことはない。後者では、線虫が体外に出るときに、宿主は体液が流出して死ぬ。したがって実際に害虫を殺す(駆除)目的には、Mermithidae 科でなければならない。しかし、人工増殖には生きた宿主を使わねばならないという悩みがある。

これから論じる Rhabditida 目の線虫は、真正寄生とされたり、任意寄生とされたりした。殺虫剤で死んだ昆虫体にも侵入して繁殖するし、またそれから出てきた感染態幼虫(LⅢ)は、生きた昆虫に侵入し、殺し、繁殖する¹⁾。殺さなければ繁殖できないということから、殺虫性線虫という語も最近では提唱されている。本来この線虫類は、細菌や液体を摂取する食細菌性線虫である。した

がって人工増殖が格段と容易であるため、害虫の生物的防除にもっとも有望視されるゆえんでもある。しかし、分類学的にはまだ混んとした状態で、歴史的に見れば STEINER (1923) がハチの一種から *Aplectana kraussei* を記載したことから始まり、その後 TRAVASSOS (1927), STEINER (1929), FILIPJEV (1934) らにより属名、種名が変わったり、科が新設されてきた。STANUSZEK (1974)²⁾ が *Neoalectana feltiae* は *N. carpocapsae* の各 strain と交雑できることを証明し、WOUTS ら (1982)³⁾ が *Neoalectana* は *Steinernema* のシノニムとして、それまで 20 種ほどあった *Neoalectana* 属の線虫を *S. feltiae* (LⅢの体長 0.7 mm 以下), *S. glaseri* (LⅢは 1.0 mm より大), *S. bibionis* (LⅢは 0.7~1.0 mm で雄の交接刺 60~65 μm), *S. kraussei* (LⅢ 0.7~1.0 mm, 雄の交接刺 45~55 μm) の 4 種類にまとめてしまった。種名が少なくなったことはわれわれには良いことだが、病原性が strain で異なるし、従来の報告が混乱するように思えるので、本誌においては、以前の学名を使用する。実際、WOUTS らのメンバーのひとりである BEDDING でさえも、いまだに *Neoalectana* で発表している状態である⁴⁾。



第1図 感染態幼虫(LⅢ)の頭部と尾部

A, B : *Heterorhabditis* sp.C, D : *Neoalectana carpocapsae* (= *Steinernema feltiae*)

Biological Control of Insects by Nematodes. By Nobuyoshi ISHIBASHI

Heterorhabditis 属は、POINAR (1975) が新科として発表したもので、大きな特徴は後部食道弁がこん跡状になっていることだが、口陥の形状などに問題の多い線虫でもある。

II 生活史

感染態幼虫(被鞘幼虫, L_{III})が昆虫の CO₂ や排せつ物の尿酸やアルギニンなどに誘引され、口器・気門・肛門から侵入する⁵⁾。*Heterorhabditis* は、昆虫の存在下で脱鞘し、歯舌を露出して表皮からも侵入する⁶⁾。口器から侵入した L_{III} は、中腸で脱鞘し、腸壁から貫入して血体腔に入る。血体腔で肛門が再形成され、腸内に保持していた共生細菌(*N. carpocapsae* は *Xenorhabdus nematophilus* を、*H. bacteriophora* は *X. luminescens* を持ち、前者では昆虫死体がコハク色に、後者は赤橙色となって暗所で蛍光を発する)が放出される。細菌は急速に増殖して昆虫に敗血症を起こさせ、ほとんどの昆虫は2日以内に死ぬ。侵入線虫が多いと、昆虫の咽頭部にも細菌が見られる⁷⁾。細菌はどんな種類の昆虫組織でも、線虫に利用される状態に変えるように思われる。細菌には、I型(primary form)とII型(secondary form)があり、I型は病原性が強く、また線虫の繁殖にもよい⁸⁾。したがってI型を線虫(L_{III})に保持させておくことが、殺虫効果のカギを握ると言われている。

Neoaplectana 属は両性生殖で、侵入数が少ないと3~4日で大型(雌成虫5~5.5mm、雄成虫1.8~2.0mm)の第一世代が現れる。雌成虫は初めのころは、昆虫の血体腔内に卵を放出しているが、しだいに体内は卵とふ化幼虫で充満する。次世代の雌成虫は2mm以下と小さくなる。これから産まれた三期幼虫が感染態幼虫(L_{III})となって昆虫死体から出現することになるが、1世代の雌成虫からもL_{III}が現れるときもある。宿主昆虫の体

の大きさ、線虫の侵入数、昆虫の防御反応などに影響され、教科書どおりには観察されない。出現するL_{III}の数も宿主の体の大きさによって変わる。*N. carpocapsae* DD-136はハスモンヨトウ終齢幼虫から約40万頭、ハチミツガ5齢幼虫から約20万頭出現した。*Neoaplectana*のように両性生殖のものは、少なくとも10頭は侵入しないと増殖は期待できない。しかし、1頭でも昆虫を殺すことはできる。昆虫によっては防御反応が顕著なものがあり、昆虫の血球で線虫が被囊化される。しかし昆虫の体内には細菌が増殖し、線虫は死んで繁殖は見られなくても、昆虫は死ぬ場合が往々にして起こりうる⁹⁾。

*Heterorhabditis*は侵入したL_{III}が、第一世代はすべて単為生殖の雌となるので¹⁰⁾、1頭侵入しても成虫となれば、増殖は確保される。単為生殖の雌虫体は卵胎生で、幼虫で充満し、この幼虫から雌・雄が現れ、交尾してL_{III}が出現する。L_{III}の出現は*Neoaplectana*よりも1~2週間遅れるので、昆虫に侵入して3、4週後にL_{III}が得られると思えばよい。*Heterorhabditis*の場合も、共生細菌のI型を維持させていくことが、害虫防除には肝要である。

III 培養と保存

共生細菌を培養できれば、線虫も増殖させることができるわけだが、この共生細菌がどんな培地(昆虫)も、線虫に利用されるように変えてくれるので、線虫の人工増殖は大変助かっている。昆虫で増殖させるときは、ハチミツガ、ハスモンヨトウなど鱗翅目幼虫で室内飼育の容易なものであればよい。キンバエ幼虫、カイコなども飼料とすることはできるが、死体の悪臭が強いので好まれない。食欲旺盛な老熟幼虫が感染率も高く、L_{III}の生産にもよい。線虫は種類やstrainによって、殺虫力が非常に異なる。おそらく線虫のほうの宿主好性に差があるのであろう。例えば、ハチミツガ幼虫に対しては、ほぼ無難にどの線虫も殺し増殖するが、ハスモンヨトウには*N. carpocapsae*(=*S. feltiae*)以外はあまりよくない。*carpocapsae*にもDD-136, Mexican, A11, Bretonなどのstrainに殺虫力の差があり、議論されてきた。*Heterorhabditis*もまたしかりである。これからは、昆虫と線虫との“相性”というものを、より詳しく検討しなければならない。

昆虫に接種するときは、径9cmのペトリ皿にろ紙を敷き、鱗翅目幼虫を5頭入れる。共食いするものは餌を入れる。L_{III}を1,000~2,000その上に振りかけるか、0.1mlほどにして餌の中に入れる。線虫の数が少なく貴重なときは、昆虫の体腔に直接注入したほうがよい。



第2図 ハチミツガ幼虫死体から遡出した *Neoaplectana carpocapsae* (= *Steinernema feltiae*) DD-136 の感染態幼虫

10 頭注入すれば確実に昆虫を殺し、線虫は増殖する。ろ紙上の塗布では殺さない線虫も、こうすると確実に昆虫体で増殖する。どのような方法でも、処理したときの線虫の頭数は、昆虫 1 頭当たり何頭と記入しておいたほうがよい。あとで病原性のチェックに必要なってくる。最初のころはよく虫を殺しても、急に殺さなくなってくるときがある。昆虫が死んだらすぐ 1 頭ずつガーゼに包み、フラスコか試験管につるし、木綿糸 1 本を垂らして、深さ 2, 3 mm に入れた 0.01% ホルマリン液に漬かるようにする。その前に虫体にダニが付いていないことを確かめておく。またシリコン栓をしてダニが入り込まないようにする。23~25°C に置くと、1, 2 週で L_{III} が遊出し、木綿糸を伝って、ホルマリン液に集まる。L_{III} の保存には、出現し始めて 1 週間以内のものにそろえたほうがよい。L_{III} は 2 週間以上も出てくるが、後で出現するものには、病原性に信頼が置けないものもある。回収した L_{III} は、脱脂綿かガーゼにホルマリン液とともにしみこませ 4~7°C に保存する。*Heterorhabditis* はガーゼに包んだ昆虫死体のまま（水洗いせず）、室温で保存したほうがよいと言われている。使用するとき洗って回収する。

人工培地で増殖させるときは、L_{III} を Hyamin 0.1% (w/v) に 5~10 分浸漬するか、0.1% (w/v) Merthiolate に 2~3 時間浸漬し、滅菌水で 3~4 回洗ってから培地に接種する。

ドッグフード培地：メーカーはどれでも構わない。ドッグビスケットをブレンダーで粉状にし、その 100 g を 1% 寒天液 500 ml と混ぜ、10 分間加圧滅菌する。試験管に 10 ml 取り、さらに 15 分加圧滅菌して斜面培地とする。または 1 回目の滅菌を 15 分とし、60°C になったとき滅菌プラスチックベトリ皿に 25 ml 取り、冷却後 L_{III} の懸濁液 (1,000~2,000/ml) を 0.2 ml 滴下する。*Heterorhabditis* は 27~28°C になってもよいが、*Neoaplectana* は 23~25°C に置く。25°C に置いたとき、L_{III} の回収は、*Heterorhabditis* で 4~5 週後に、*Neoaplectana* は 2~3 週後に可能となる。試験管からの回収は、管に水を入れ、管口を布で覆い、逆立てて、ベールマン漏斗かビーカーに立てる。このときは通気するほうがよい。ベトリ皿からの L_{III} の回収には、ろ紙片を培地上に置き、水深 3 mm 程度のホルマリン 0.01% 液を入れた外の容器に垂らしておく。L_{III} はろ紙上を伝わって、外の液に集められる。1 個の皿から、DD-136 は 2~3 週の間に 100~200 万頭得られた¹¹⁾。3 週間以上置くと、雑菌が入りやすいし、共生細菌も II 型が優勢になってくるので、L_{III} の回収はやめる。この方法でも

ほ場試験にはあり余るほど L_{III} は得られるが、BEDDING^{4,12)} は民間企業でも扱えるよう、大規模生産法を発表している。

スポンジ培地：かりにこのような表現を使うことにする。まくらの中に入れるポリウレタンスポンジを、小さく碎片にし、牛・豚・トリなどの内臓をジュースにしてしみこませる。これを加圧滅菌して共生細菌 I 型を植え、4, 5 日後に L_{III} を接種する。実験室段階では次の方法でよい。

Neoaplectana 属には、ブロイラーの内臓 74.1 g を温水 18.5 ml でブレンダーにかけジュース状にし、ポリウレタンフォーム 7.4 g に十分もみながらしみこませる。または豚腎あるいは牛肝 70 g、牛脂肪 10 g、水 20 ml をブレンダーにかけ、フォーム 7.4 g と混和する。

Heterorhabditis 属には、ブロイラー内臓 64.8 g、牛脂 9.3 g、温水 18.5 ml をジュースにし、フォーム 7.4 g にもむ。または、豚腎あるいは牛肝 60 g、牛脂 20 g、水 20 ml をフォーム 7.4 g に混ぜる。

これらをフラスコに適当量（容器の 1/2 以下）入れ、加圧滅菌する。冷えたら直ちにフォームが固まらないうちに、片方の手にフラスコを打ちつけながらほぐしておく。線虫の接種はドッグフードの場合と同じ。細菌 I 型を先に接種しておくほうが望ましい。

大量に生産するには、ポリプロピレン（厚さ 600 μm）の袋（1.0×0.5 m）に 3~5 kg の培地を入れ、袋ごと 120°C で 1 時間滅菌する。これに I 型細菌（100 ml/培地 kg）を接種し、5 日間置き、1 袋にフラスコ内で培養した L_{III} のフォーム全量（600 万頭）を接種して 23°C に置く。袋の両端から殺菌空気を供給する。*Neoaplectana* は 2 週間後に、*Heterorhabditis* は 4~5 週後にフォームを取り出し、厚さ 5 cm ほどに敷き、2 時間水浸する。95% の線虫は水のほうに遊出する。保存するときは線虫を集めて再沈殿させ、新しいフォームにしみこませ、通気しながら 3~7°C に置く。*Heterorhabditis* は水洗いせず、そのままの状態、室温で保存するほうがよい。収量は、*N. bibionis* が 1 袋から平均 13 億、*N. glaseri* は 7 億、*N. carpocapsae* は 15.5 億で、BEDDING の試算では、1 週間にひとりが 500 億の *N. bibionis* の L_{III} を生産し、生産費は 100 万頭当たり 1 セントであった。1 m² 当たり 50 万頭施用するとすると 100 ha 施用できて 500 ドルとなる。培地に用いるブロイラーや牛・豚の内臓は、屠殺場から新鮮なものを入手し、凍結保存しておけばよい。もっとも肝心なことは共生細菌 I 型を、線虫接種 5 日前に接種することであると BEDDING は主張している。

共生細菌の分離と培養：殺虫試験をして病原性の高いことがわかっている *L*_{III} を表面殺菌し、YS 肉汁培地 ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 0.5 g, K_2HPO_4 0.5 g, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.2 g, NaCl 5 g, 酵母抽出物 5 g, 水 1 l) に懸濁して摩砕する。このまま 28°C で 24 時間振とう培養する。I 型であるか否かを確かめるには、その数滴を YS 寒天培地またはトリフェニルテトラゾリウム-Cl (TTC) 0.004 %, プロモチモルブルー 0.025 % 混入した同寒天培地にスプレッドして 25°C に 1 晩置く。I 型のコロニーは白〜コハク色で、円状・凸型であるが、II 型のコロニーはやや透明で、I 型より径の大きい平たいコロニーとなる。色素添加培地では、I 型は赤色に着色し、数日するとコロニーの境界はより明瞭になる。II 型も TTC は還元するが、ブロムフェノールブルーは吸収しない。コロニーはやや茶色で、境界ははっきりしない。I 型と確かめたら、グリセリン 17% を混入し、-18°C に凍結保存する。再使用のときは、56~60°C で急速に溶解する。ペプトン 5%, ショ糖 3% を加えて凍結乾燥して保存してもよい。AKHURST は⁹⁾、線虫の strain によって、I 型の安定性が大きく違うこと、昆虫死体においても、感染時の I 型濃度を 100 とすると、12 日後には 20% 程度になる (*N. carpocapsae* で 8 日後は、Nelson 系で 70%, *Agriotes* 系は 30%) といって注意を喚起している。昆虫死体でも他の培地でも II 型が急速に増加してくる。すなわち I 型から II 型に変わってくるわけで、II 型の増加により感染態幼虫が出現すると考えられている。線虫だけの継代培養でも病原性は一応維持されるが、念には念を入れて、特に商業ベースに乗せるときは、I 型を前もって接種しておかねばならない。

IV 施 用

培地から回収して直ちに施用することもできるが、普通は保存しておいたものを使用するのが便利である。上述のように *Neoaplectana* は低温で十分酸素を供給すれば 1 年間は保存できる (4 か月後に約 10% 死亡するが、その後の死亡率は低い)⁴⁾。*Heterorhabditis* は水洗いするとなぜ病原性が低下するのか、理由はわからない。

*L*_{III} は被鞘幼虫であり、空気中でも立ち上がるほどに乾燥には強い。したがって徐々に脱水していけば、R.H. 30% でも 20% は生存する (石橋、未発表)。*L*_{III} を粉末のようにし、施用時に水和剤のように用いる方法もあると思う。死ぬのは水に戻したときのようにであり¹³⁾、今後の研究課題でもある。現在のところは、冷蔵のまま運搬するのがもっともよい方法であるが、今後取り組むべき問題は多い。

土壌への施用は、水に懸濁したままでよい。土壌表面に散布すると、深さ 2 cm までに 60% 以上がとどまり、土壌内に注入しても上方への移動が大きい。水平方向への蛹への感染は、7 cm 離れて 90% であった¹⁴⁾。垂直・水平方向とも宿主の有無によって、運動性は大きく異なるようであるが、宿主がいなときは、半径 2 cm の円内に散布量の 80~90% がとどまった^{14,15)}。

葉面への散布は、展着剤を添加し、湿度 80% 以上で、しかも虫体に直接かからなければ、効果は期待できない¹⁶⁾。線虫から水の蒸散を防ぐ添加剤も種々検討されてきたが¹⁷⁾、まだ満足すべきものはない。BEDDING はパラフィン (融点 135~145°F) 5~15%, ジェルの TA-LPA 60 軽油を 95~85% とした混液を特許申請した。この組み合わせ以外にもいくつかあるが、彼によれば、線虫の生存にはパラフィンの高い濃度が良く、昆虫への感染には低い濃度がよい。散布して乾燥するのに数時間から 2, 3 日かかるときもあるが、乾燥するまでに時間がかかったほど、昆虫に食入されたり、水に戻して生き返る率は高くなる。しかし、これでも日射の強い日は施用しないほうがよい。線虫類は一般に、紫外線に弱い。

温度も重要な因子で、30°C 以上の高温下では施用しないほうがよい。33°C 以上では線虫・細菌とも死ぬようである。30°C で繁殖は見られない¹⁶⁾。*Heterorhabditis* は *Neoaplectana* より高温を好むが、それでも施用時の温度は 30°C くらいまでである。しかし全般的に見て、温暖湿潤なわが国の気候は、欧米よりもより高い防除効果を期待させてくれる。

*L*_{III} は、殺虫剤、殺ダニ剤、殺菌剤、除草剤など他の農薬との混合施用でならんら損傷を受けない (被鞘して、開口部はないから)。しかし、他の发育ステージは通常の高感受性を持っているので、感染後 (*L*_{III} が昆虫体に侵入して 48 時間後) に殺虫剤でその昆虫を処理すると、发育・繁殖とも低下した¹⁷⁾。しかし、線虫の感染した昆虫は、農薬抵抗性が低下するとも言われており、今後もお追求する必要がある。これは殺虫剤との混合施用を評価するうえで、重要な問題でもある。

V 施用試験例

食葉性害虫：ヨトウムシ類は 5 齢以後の被害が大で、またこの時期から日中は土中に潜入するので、夕刻に地際から地面にかけて散布したのが効果的であった (殺虫率 90%)¹⁸⁾。DD-136 を 1 m² に 20 万頭散布すれば十分である。幼虫時には殺さなくても、蛹化するときほぼ 100% 死亡する。ハムシ、コナガなどには、直接虫体に散布すればよい。1 万頭/m² でも効果はあると言われて

いる。ハマキガは *carpocapsae* のルートでもある。カイガラムシには、線虫が好んで潜入し、殺虫効果は期待できるが、線虫は繁殖できないかもしれない。鱗翅目の蛹には、菌のあるなしに関係なく、線虫は容易に気門から侵入する¹⁸⁾。土壌表面に *N. carpocapsae* の All 系を 5 万頭/m² 散布で、*Spodoptera exigua* の前蛹は 90% 死亡した。これはむしろ例外で (*Spodoptera* 属は線虫に弱い)、一般に土中で蛹化するものは線虫感受性が低く、地上部で蛹化するものは、逆に高い (ほとんどが 84% 以上死亡)¹⁹⁾。例外はあるが、線虫は本来土壌生物であるから、土中で蛹化するものは、その淘汰圧に生き延びてきたものだろうと思われる。葉面への散布は通常の噴霧器でよい。

せん孔害虫：樹幹(枝)にせん入する鞘翅目・鱗翅目幼虫には、顕著な殺虫効果が数多く報告されている。植物体地上部に施用した場合は、線虫にとってもこのような場所が生存に適しているからである。わが国では、ゴマダラカミキリに対し、DD-136 をガーゼに 1,000 頭しみこませて、虫糞発生箇所には置いたものと、枝表面に 1 万頭散布し、それぞれ 90%、67% の殺虫効果を挙げている²⁰⁾。幼虫の齢期に感受性の差はなく、容器内で試験すると成虫も 2 日以内に 100% 死んだ。樹体内で二次感染も期待された。マツノマダラカミキリには、*S. felitiae* (= *N. carpocapsae*) を用い、容器内試験で成虫は 100%、せん入孔に滴下 (1,000/ml) して、幼虫は 87% 死んだ²¹⁾。枯損木に対する薬剤処理は冬から春にかけて効果が落ちるので、この時期に施用し、さらに二次、三次と感染が続けば、きわめて有効な駆除法として期待される (真宮、私信)。線虫を施用したのち、倒木をビニルで覆えばさらに効果が期待されよう。外国ではアナアキゾウムシ^{22,23)}、ボクトウガ²⁴⁾、キクイムシ^{25,26)}、クチブトゾウムシ²⁷⁾などですべて良好な結果が得られている。せん孔虫には *N. bibionis* が一般に良いとも言われている。スグリのせん孔蛾幼虫には 90% 以上の死亡率を与えており、休眠中も施用できるので、有益昆虫への害もない²⁸⁾。

果実食入害虫：チチュウカイミバエの成虫も、実験的には *Neoplectana* や *Heterorhabditis* で死ぬが²⁹⁾、は場試験はされていない。果実害虫にはなお検討を要する。

土壌害虫：コガネムシ幼虫の防除が、この線虫を利用した最初であったように、土壌害虫に対する期待は大きい。ガガンボ幼虫には、DD-136 の 22.2×10³/エーカー施用で 100% 駆除し、BT 剤と混合すると、相乗効果がついたのか両者とも低濃度で防除効果が上った³⁰⁾。コガネムシ幼虫には、春、秋の低温時は *N. glaseri* を、夏の

高温時は *H. bacteriophora* がよい。施用量は *N. glaseri* を 25~50 万頭/m² で死亡率 60~70% であったが、100 万頭/m² では、線虫は塊となって不均一となり、効果はかえって低下した³¹⁾。根部食害のゾウムシにも報告がある^{32,33)}。わが国でもイネミズゾウムシやゴボウゾウムシに試験する必要がある。線虫の土壌施用では、生物的緩衝能の低下した土壌において効果が上がる傾向がある。つまり、くん蒸剤などで土壌処理すると、カブラヤガなどの侵入害虫は大いばりで加害するが、こういう土壌が、線虫の効果も高くなる³⁴⁾。滅菌土壌では、L_{III} の生存も感染力も非滅菌土壌より長く維持される。もっとも、生物的緩衝能の非常に高い土壌においては、線虫を施用する必要はないかもしれないが……。一般に土壌害虫に対しては、土壌表面の散布ではなく、土壌灌注機で注入するほうがよい。注入時の害虫の生息している深さをよく知っておく必要がある。あるいは基肥に線虫を混入することも考えられる。

家畜害虫・衛生害虫：ヒツジキンバエは蛹化時に土中に入るので、DD-136 や *Heterorhabditis* の土壌施用で密度低下をもたらし³⁵⁾。ネコノミには芝生の砂に Breton 系を 65/cm² で効果はあったが、ノミ虫体で線虫の増殖は見られなかった³⁶⁾。カ・ブエは防御反応が強く、侵入数が少ないと 100% 被嚢化される。被嚢化されても細菌によって宿主は死ぬので、密度低下の効果は上がっている³⁷⁾。ヤブカには DD-136 を幼虫時に施用し、幼虫の死亡 82%、蛹で 9%、残りは羽化した。100% 駆除した例もあるが、ノミと同じく線虫は繁殖しなかった⁹⁾。

有用昆虫への影響：ミツバチの働きバチに、直接 DD-136 を散布し、15% 死亡した。巣箱内では成・幼虫とも死亡率 0 であった³⁸⁾。巣箱内は 33~35°C となるから高温のためと思われる。スズメバチは益虫でもあるが、生果実の害虫でもあるため、角砂糖に DD-136 をしみこませて好結果が得られている³⁹⁾。しかし、ミツバチにも影響があるかもしれない。カイコには筆者らの試験で、桑葉に DD-136 1 万頭/ml を水で噴霧し、25°C 曇天、湿度 75% で 1 時間後に摂食させ、56% が死んだ。しかし 4 時間後は 0% になった。晴天時 4 時間後、または降雨後の桑葉はほとんど危険性はない。8 日齢のヒメバチは、宿主の線虫感染により、幼虫で 19% 死に、62% は菌を作ったがすでに線虫に感染しており、羽化しなかった。8 日齢以後の宿主感染ではほとんどが羽化した。菌を作ってしまうと、線虫は貫入できない⁴⁰⁾。筆者らの試験では、アオムシコマユバチの場合、羽化 48 時間前では、宿主が線虫に感染してもなんら影響はなかった。DD-136 接種後 24 時間たったウメケムシを吸血

したヨコヅナサシガメの死亡率は 20% であった。線虫の増殖は見られなかった。

VI 線虫による害虫防除への期待

Rhabditida 目線虫による害虫防除の利点は、大量生産が容易で安価であること、保存が可能、害虫に抵抗性が生じない、農業との総合防除体系に組み入れられる、などいくつか挙げられるが、もっとも興味あることは、線虫類が積極的に宿主を探索し行動することであろう。植物体や土壌中に住む難防除害虫に対しては、その生息場所がこの線虫類にとっても好適な場所である。こういう所に安穩と暮らしていた害虫どもには、まさに脅威の存在に違いない。もう一つ重要なことは、害虫を殺すのは細菌で、線虫はその運び屋にすぎないということである。これは、現在のバイオテクノロジーの技術からみて、二つの可能性を期待させてくれる。一つは病原性の高い細菌を、もう一つは、宿主探索行動の優れた線虫 (strain) の育成ということで、そのいずれが開発されても、現在よりもより効果的な防除成果が挙げられよう。分散能力が小さいことは、天敵としては欠点である。逆に有用昆虫に対する危険性は小さい。二次感染、三次感染で天敵として定着させることも期待されるが、世界の動向はむしろ農薬の取り扱いを目ざしている。このほうが生物農薬として、発展性は大きいかもしれない。また線虫の大量生産に畜産廃棄物の有効な利用ということになれば、そのメリットも大きい。対処すべき問題は多々あるが、またそれだけに、将来の発展が楽しめる課題でもある。

引用文献

- 1) HARA, A. H. et al. (1983) : J. Econ. Entomol. 76 : 423~426.
- 2) STANUSZEK, S. (1974) : Zesz. Probl. Postpow Nauk Roln. 154 : 331~358.
- 3) WOUTS, W. M. et al. (1982) : Syst. Parasitol. 4 : 147~154.
- 4) BEDDING, R. A. (1983) : Ann. appl. Biol. (in press).
- 5) SCHMIDT, J. (1979) : Environ. Entomol. 8 : 55~61.
- 6) BEDDING, R. A. et al. (1982) : Nematologica 28 : 354~359.
- 7) 近藤栄造ら (1983) : 九病虫研究会報 29 : 111~114.
- 8) AKHURST, R. J. (1980) : J. General Microbiology 121 : 303~309.
- 9) WELCH, H. E. et al. (1962) : Can. J. Zool. 40 : 1263~1268.
- 10) POINAR, G. O. Jr. (1975) : Nematologica 21 : 463~470.
- 11) HARA, A. H. et al. (1981) : U. S. D. A. Science & Education Administration, Advances in Agricultural Technology, AAT-W-16/June, 1~8.
- 12) BEDDING, R. A. (1981) : Nematologica 27 : 109~114.
- 13) SIMONS, W. R. et al. (1973) : J. Invertebr. Pathol. 22 : 228~230.
- 14) MOYLE, P. L. et al. (1981) : J. Nematol. 13 : 295~300.
- 15) 石橋信義ら (1982) : 応動昆大会講要, p. 161
- 16) ——— (1981) : 九病虫研究会報 27 : 124~126.
- 17) HARA, A. H. et al. (1982) : J. Nematol. 14 : 486~491.
- 18) ——— (1982) : J. Invertebr. Pathol. 39 : 192~197.
- 19) ——— (1981) : J. Nematol. 13 : 291~294.
- 20) 柏尾具俊 (1982) : 九病虫研究会報 28 : 194~197.
- 21) 真宮靖治ら (1983) : 35 回日林関東支論 (印刷中).
- 22) THOMAS, H. A. (1970) : Entomol. News 81 : 91.
- 23) PYE, A. E. (1978) : Exp. Parasitol. 46 : 1~11.
- 24) LINDEGREN, J. E. et al. (1981) : Calif. Agric. 35 : 25~26.
- 25) FINNEY, J. R. et al. (1977) : J. Invertebr. Pathol. 29 : 7~9.
- 26) THONG, C. S. et al. (1975) : ibid. 26 : 235~238.
- 27) BEDDING, R. A. et al. (1981) : Ann. appl. Biol. 99 : 211~216.
- 28) MILLER, C. A. et al. (1982) : Entomophaga 27 : 109~114.
- 29) POINAR, G. O. Jr. et al. (1981) : IRCS Med. Sci., Microbiol. Parasitol., Infect. Dis. 9 : 641.
- 30) LAM, A. B. Q. (1972) : J. Invertebr. Pathol. 20 : 141~149.
- 31) KAIN, W. M. et al. (1982) : NZ Jour. Exp. Agric. 10 : 447~450.
- 32) GEORGIS, R. et al. (1982) : IRCS Med. Sci., Microbiol. Parasitol., Infect Dis. 10 : 442.
- 33) BURMAN, M. et al. (1979) : Ann. Entomol. Fenn. 45 : 88.
- 34) 石橋信義 (1982) : 九病虫研究会報 28 : 183~186.
- 35) MOLYNEUX, A. S. et al. (1983) : J. Invertebr. Pathol. 42 : 1~7.
- 36) SILVERMAN, J. E. et al. (1982) : J. Nematol. 14 : 394~397.
- 37) MOLLOY, D. et al. (1980) : J. Invertebr. Pathol. 36 : 302~306.
- 38) KAYA, H. K. et al. (1982) : Environ. Entomol. 11 : 920~924.
- 39) POINAR, G. O. Jr. (1972) : J. Invertebr. Pathol. 19 : 331~334.
- 40) KAYA, H. K. et al. (1981) : Environ. Entomol. 10 : 474~478.

澤田さんを偲ぶ

弔 辞

昭和 59 年 1 月 3 日午前 1 時 20 分、2 年近くの闘病生活に堪えてこられた 澤田 肇さんは、御家族の手厚い看護の甲斐もなく、忽然として逝去されました。まことに痛恨の極みであります。

澤田さんは昭和 15 年地元の東京府立農林学校を卒業されましたが、向学心に燃えた澤田さんは、東京帝国大学農学部に進学し、植物病理学を修められ、植物防疫への道を進まれることとなりました。そして昭和 17 年には横浜税関植物検査課に奉職されましたが、間もなく軍務に服され、昭和 20 年復員後、千葉県農事試験場へ勤務され、昭和 34 年には関東東山農事試験場環境部に転任されました。この間 15 年余り、主に甘藷の病害の試験研究に従事され、大きな功績を挙げられました。

日本植物防疫協会には昭和 35 年 8 月から勤務されましたが、当時、協会は委託試験事業が漸く軌道に乗りかかった頃であり、澤田さんはその仕事に日夜奮闘され、爾来 23 年有余、その大部分の期間を専ら委託試験研究事業推進の先導者として情熱を燃やし続けて来られ、48 年からは試験部長として、その態勢の整備確立に全力を注がれ、また部下の指導に当たって来られました。

この間、稲や野菜など一般農薬の委託試験、果樹、茶、

桑の連絡試験は言うに及ばず、特に土壌病害対策、抗植物ウイルス剤、病害虫緊急対策事業等、数多くの調査研究事業の推進をはかられ、委員会、研究会の設立とその運営に貢献されました。これらの業績は当協会の今後の発展のための大きな遺産として、後進に受け継がれていくことと確信いたします。

あなたは仕事に対して極めて厳格、そして几帳面であった反面、園芸をはじめ趣味も豊かで、中でも菊作りは素人の域をはるかに超え、見事な大輪の花を咲かせておられました。あなたの人生は気高く美しく、あたかもその咲きはこった花そのものでした。

澤田さん、あなたと私達はもはや幽明境を異にし、私達はあなたの温顔に接することができません。誠に残り惜しい極みです。ここに謹んで生前のご功績を讃え、ご冥福をお祈りするとともに、お別れの言葉といたします。

澤田さん さようなら。

昭和 59 年 1 月 6 日

社団法人 日本植物防疫協会

理事長 石倉 秀次

澤田さんの思い出

昨年暮 12 月 26 日の昼過ぎに、荒木隆男氏と二人で青梅市の病院に見舞った折、冬の陽射しが暖かい一室で、今日は朝から気分が爽やかで、と奥様の声を耳にされた澤田さんは一瞬笑みさえ浮かべ、年が明けやがて梅がほころびる頃には体も復調しますよ、と固く手を握り交したのですが、誠に痛恨の極みであり哀惜に堪えません。

澤田さんとは私が出版部に替わるまで、約 20 年近くの間、委託試験の仕事ではそれぞれ殺菌剤関係、殺虫剤関係担当としてお互いに協力し合い、辛苦を共にした仲で、長い道程でした。しかし今ではその思い出の数々が、昨日のこのように慕わしく想い起こされます。

昭和 35 年 8 月に澤田さんが協会に来られた当時、協会はモルタル建ての冷房もない手狭な事務所で、その一角で真夏の日射しをまともに受けながらランニングシャツ一枚で書類を汗でぬらした日々、また本郷追分町の仮事務所での委託試験成績の校正、梱包、発送など寒い部

屋で手足がかじかんだ当時のことなどが懐かしく思い出され、酒杯をかたむけながらよく語り合ったものでした。

澤田さんは弔辞にもありますように、仕事に対しては極めて厳しく、几帳面で一貫した誠意、努力の人でした。その人柄の全てが、上司、同僚に信頼され、また部下への思い遣りが常にうかがえ、私共の先導者として、委託試験事業の一代を築き上げられた功績は大きな遺産として後進に受け継がれて行くことでしょう。とくに毎年行われる各種委託試験成績の検討会での気配りは、我我には到底真似のできないものでした。

澤田さんは仕事のかたわら豊かな趣味を持たれ、園芸をはじめスポーツではテニス、卓球また社交ダンスも特技の一つで、几帳面な人柄にふさわしくスマートな身のこなしが脳裏から離れません。しかしその姿はもう見られなくなりました。誠に残り惜しい極みです。

澤田さん安らかにお休み下さい。

(津谷 武樹)

新しく登録された農薬 (59.1.1～1.31)

掲載は、種類名、有効成分及び含有量、商品名（登録年月日）、登録番号〔登録業者（会社）名〕、対象作物：対象病害虫：使用時期及び回数などの順。ただし除草剤については、適用雑草：適用地帯を記載。（…日…回は、収穫何日前まで何回以内散布の略。）（登録番号 15685～15692 まで計 8 件）

『殺虫殺菌剤』

MEP・フサライド・バリダマイシン粉粒剤

MEP 2.0%, フサライド 2.5%, バリダマイシン 0.30 %

ラブバリダスミ微粒剤 F (59. 1. 31)

15689 (北興化学工業)

稲：ニカメイチュウ・いもち病・紋枯病：21日 7 回，但し穂ばらみ期以降は 4 回以内

BPMC・EDDP 粉粒剤

BPMC 3.0%, EDDP 2.5%

ヒノパッサ微粒剤 F (59. 1. 31)

15690 (八洲化学工業)，15691 (日本特殊農薬製造)

稲：いもち病・穂枯れ(ごま葉枯病菌)・ツマグロヨコバイ・ウンカ類：21日 4 回

カルタップ・バリダマイシン粉剤

カルタップ 2.0%, バリダマイシン 0.30%

パダンバリダ粉剤 DL (59. 1. 31)

15692 (武田薬品工業)

稲：ニカメイチュウ・コブノメイガ・紋枯病：21日 6 回

『除草剤』

シアン酸塩・DCMU 水和剤

シアン酸塩 60.0%, DCMU 20.0%

ソワガレ水和剤 (59. 1. 31)

15685 (保土谷化学工業)，15686 (レインボー薬品)，15687 (中外製薬)

公園・庭園・提とう・駐車場等：一年生雑草および多年生広葉雑草：雑草生育期 (草丈 50 cm 以内)

DBN・DCMU 水和剤

DBN 30.0%, DCMU 10.0%

ホクバック水和剤 (59. 1. 31)

15688 (北興化学工業)

大麦 (二条大麦・六条大麦)・小麦：畑地一年生雑草：麦 2～3 葉期 (スズメノテッポウ 1.5 葉期まで)

中 央 だ よ り

—農林水産省—

○昭和 59 年度植物防疫関係予算について

昭和 59 年度予算案は、1 月 20 日大蔵省からの第一次内示が行われ、きびしい財政事情の中での復活折衝を経て、同 25 日政府原案が決定された。

59 年度の植物防疫関係予算は、79 億 56 百万円で、前年対比 2 億 93 百万円 (3.8%) 増となった。

昭和 59 年度植物防疫関係予算要求一覧表

区 分	前年度 予算額	59 年度 要求額	区 分	前年度 予算額	59 年度 要求額
(組織) 農林水産本省	千円 2,646,874	千円 2,639,420	(3)野菜病害虫発生予察費	85,571	81,292
(項) 農林水産本省	4,323	6,441	①果予察員	15,087	14,333
植物防疫事務費	3,537	3,512	②地区予察員	28,846	27,403
農蚕園芸対策特別事務処理費	0	2,151	③産地調査員	29,012	27,561
農業資材審議会農薬部会費	786	778	④能率向上機器等整備費	12,626	11,995
(項) 農業振興費	2,642,551	2,632,979	(4)発生予察調査観察器具費	5,310	5,045
植物防疫対策事務費	17,198	17,028	(5)農薬耐性菌検定費	15,495	14,720
(目) 農業振興事業推進費補助金	2,615,392	2,606,372	(6)ウイルス病診断対策費	28,362	25,526
(目細) 植物防疫対策費補助金	2,615,392	2,606,372	①診断機器導入費	24,940	20,775
1. 職員設置費	813,048	828,614	②診断事業費	3,422	4,751
2. 病害虫発生予察事業費	252,882	238,820	(7)防除適期決定ほ設置運営費	28,429	27,008
(1)普通作物病害虫発生予察費	50,484	47,960	①病害ほ	13,855	13,163
①果予察員	13,437	12,765	②虫害ほ	13,855	13,162
②地区予察員	37,047	35,195	③予察灯更新費	719	683
(2)果樹等作物病害虫発生予察費	31,042	29,490	(8)特殊調査費	8,189	7,779
①果予察員	8,231	7,820	①広域特殊調査費	7,642	7,260
②地区予察員	22,811	21,670	②地域特殊調査費	547	520
			3. 病害虫防除所費	82,335	78,218
			4. 病害虫防除員活動手当	139,136	139,136
			5. 農薬指導取締対策事業費	8,669	8,236
			6. 植物防疫総合推進事業費	798,631	774,458

区 分	前 年 度 予 算 額	59 年 度 要 求 額	区 分	前 年 度 予 算 額	59 年 度 要 求 額
	千円	千円		千円	千円
(1)病虫害防除総合対策事業費	154,982	96,564	別防除事業費		
①病虫害総合診断費	22,685	20,416	①奄美特殊病虫害特別防除費	163,652	144,192
②実践集団指導費	33,111	11,880	②ウリミバエ不妊化虫大量増殖施設設置費	149,318	186,978
③実践集団育成費	99,186	64,268	③トカラ列島等特殊病虫害特別防除費	3,121	3,121
(2)難防除病虫害特別対策事業費	0	44,421	④ミバエ類等侵入警戒調査費	8,234	8,234
(3)イネミズウムシ特別防除事業費	290,455	287,425	8. 特殊病虫害緊急防除事業費	35,000	35,000
①未発生地域発生調査費	2,994	2,819	9. 農業慢性毒性試験事業費	161,365	161,365
②防除費	248,429	234,266	①農業残留安全評価技術確立事業費	80,500	80,500
③防除対策推進費	27,346	21,649	②毒性試験適正実施基準確立技術対策事業費	80,865	80,865
④一般防除化促進費	11,746	28,691	(目) 農業振興対策調査等委託費	9,961	9,579
(4)農業残留調査事業費	20,862	19,819	(細目) 農作業安全推進等委託費	9,961	9,961
①農業残留安全追跡調査費	9,357	8,889	1. 永年使用除草剤総合安全性確認調査技術確立委託費	0	4,495
②農薬土壌残留調査費	4,797	4,557	2. 農薬散布作業適正装備選定試験委託費	5,351	5,084
③農業残留特殊調査費	6,708	6,373	3. 除草剤水産動植物生体内蓄積調査技術確立委託費	4,610	0
(5)農業安全使用技術向上対策事業費	89,094	84,327	(組織) 農林水産技術会議	0	45,223
(6)温州みかん対米輸出地域拡大特別対策事業費	9,768	9,657	(項) 農林水産業技術振興費	0	45,223
①防除技術調査費	1,580	1,879	(目) 農林水産試験研究費補助金	0	45,223
②防除技術実証費	8,188	7,778	新農薬開発のための細胞培養等共通基盤技術開発費	0	45,223
(7)さとうきび病虫害総合防除対策事業費	52,153	49,545	(組織) 沖縄開発庁	1,050,840	1,139,674
(8)農林水産航空安全対策推進事業費	12,532	11,279	(項) 沖縄農業振興費	1,050,840	1,139,674
①安全対策指導費	4,669	4,202	(目) 職員旅費	129	129
②点検調査費	7,863	7,077	(目) 特殊病虫害特別防除事業費補助金	1,050,711	1,139,545
(9)農林水産航空総合対策事業費	108,293	103,103	(組織) 農林水産本省検査指導機関	3,964,724	4,131,192
①農林水産航空技能向上費	19,492	18,742	(項) 農林水産本省検査指導所	3,964,724	4,131,192
②農林水産航空運航総合対策費	42,882	40,738	農業検査所	407,854	439,933
③農林水産航空技術合理化試験費	45,919	43,623	植物防疫所	3,556,870	3,691,259
(10)くん蒸用農薬安全適正使用推進事業費	10,505	9,980	(組織) 地方農政局	178	178
(11)効率的防除促進対策事業費	49,987	58,338	(項) 地方農政局	178	178
①防除要否予測技術導入費	18,146	27,746	植物防疫事務費	178	178
②生物利用防除技術導入費	20,841	20,692			
③農薬資材費低減化技術確立費	11,000	9,900			
7. 奄美群島等特殊病虫害特	324,326	342,525	総 計	7,662,616	7,955,687

植 物 防 疫

第 38 卷 昭和 59 年 2 月 25 日印刷
第 3 号 昭和 59 年 3 月 1 日発行定価 550 円 送料 50 円 1 か年 6,150 円
(送料共概算)

昭和 59 年

編 集 人 植物防疫編集委員会

3 月 号

発 行 人 遠 藤 武 雄

(毎月 1 回 1 日発行)

印 刷 所 株式会社 双文社印刷所

東京都板橋区熊野町 13-11

— 発 行 所 —

東京都豊島区駒込 1 丁目 43 番 11 号 郵便番号 170

社団法人 日本植物防疫協会

電話 東京 (03) 944-1561~6 番

振替 東京 1-177867 番

— 禁 転 載 —



果樹・野菜の
病害防除に

トップジンM 水和剤

灰色かび病・
菌核病の防除に

日曹ロニオン 水和剤

きゅうりの
べと病防除に

アリエッティ 水和剤

大豆の諸害虫・紫斑
病の同時防除に

日曹スミトップM 粉剤

増収を約束する

日曹の農薬

果樹・野菜の
害虫防除に

ホスピット75 乳剤

畑作イネ科雑草の
除草に

クサガード 水溶剤

りんごの収穫前
落果防止に

ビーナイン 水溶剤



日本曹達株式会社

本社 〒100 東京都千代田区大手町2-2-1
支店 〒541 大阪市東区北浜2-90
営業所 札幌・仙台・信越・名古屋・福岡・四国・高岡

テーマは一点。アプローチは無限。

豊作——その確かな道をひらくために、
広く枝葉をひろげる三共農薬の技術。
きょうも広範、緻密な研究を通して、
より豊かな収穫への挑戦をつづけています。

* 水田の省力除草に

クサカリン[®] 粒剤25

* 稲に安全、多年生雑草
にも効く初期除草剤

サンバード[®] 粒剤

* 安定した健苗育成に

タチガレン[®] 粉剤
液剤

* 天然物誘導型総合殺虫剤

カルホス[®] 乳剤 粉剤
微粒剤F



三共株式会社

北海道三共株式会社
九州三共株式会社

発生予察用 性フェロモン製剤

発生予察用性フェロモン製剤につきましては昭和 51 年から当協会が一括斡旋しておりますが、58 年より下記のとおり取り扱い品目及び単価が変更となりましたので、ここに表とともにお知らせいたします。なお、お申し込みは文書または葉書にて、送付先・購入者名及び御注文の製剤害虫名・製造社名・数量を明記のうえ、直接本会へ御注文下さい。

種 類		会社	単 価	使用期間	内 容
野	フェロディン®SL (ハスモンヨトウ用)	武田	11,000円	1 か月	1 箱 8 個
	コ ナ ガ 用	大塚	7,200円	同 上	1 箱 12個
菜	ネ ギ コ ガ 用	武田	7,200円	同 上	1 箱 12個
		大塚	12,000円	同 上	1 箱 12個
茶	チャノコカクモンハマキ用	武田	12,000円	同 上	1 箱 12個
		大塚	7,200円	同 上	1 箱 12個
果	チャ ハ マ キ 用	武田	7,200円	同 上	1 箱 12個
		大塚	7,200円	同 上	1 箱 12個
樹	モ モ シ ン ク イ ガ 用	武田	7,200円	同 上	1 箱 12個
		大塚	9,600円	2 か月	1 箱 12個
	リンゴコカクモンハマキ用	武田	7,200円	1 か月	1 箱 12個
		大塚	7,200円	同 上	1 箱 12個
	コ ス カ シ バ 用	武田	7,200円	同 上	1 箱 12個
		大塚	7,200円	同 上	1 箱 12個
	リンゴモンハマキ用	武田	7,200円	同 上	1 箱 12個
		大塚	7,200円	同 上	1 箱 12個
	フェロコン® ナシヒメシנקイ	武田	7,200円	同 上	1 箱 9 個入り, トラップ 3 台, 粘着板 6 枚
		大塚	7,200円	同 上	1 箱 9 個入り, トラップ 3 台, 粘着板 6 枚
粘 着 ト ラ ッ プ セ ッ ト		武田	2,500円		1 セット トラップ 3 台, 粘着板 6 枚
		大塚	3,500円		1 セット トラップ 1 台, 粘着板 12 枚
ト ラ ッ プ の み		武田	3,000円		1 箱 トラッ プ 6 台
粘 着 板 の み		武田	6,000円		1 箱 粘着板 24 枚
		大塚	3,000円		1 箱 粘着板 12 枚

使用に当たっては、農林水産省の「農作物有害動植物発生予察事業実施要領」に従って下さい。

製造：武田薬品工業株式会社

斡旋：社団法人 日本植物防疫協会

：大塚製薬株式会社（発売元）

〒 170 東京都豊島区駒込 1 の 43 の 11

アース製薬株式会社

電話 03 (944) 1564~6 出版部

イモチ病の発生予察に新しい結露計が開発されました。

自記露検知器 MH-040型

新発売



- 霧囲気(風・塵埃等)の影響を受けずに長時間安定した測定が可能。
- 稲の生育にともない、センサーの高さ、向きを自由にできます。
- 小型・軽量のため、電源のない所にも簡単に設置できます。
- 記録計は入力を6点有しているため、多点測定及び結露に密接な関係をもつ他の気象因子(温度・湿度・日射量等)も同時記録することができます。

仕 様

〔センサー部〕

- ・測定方式 電気伝導方式
- ・耐用期間 約6ヶ月

〔記録計部〕

- ・方 式 電子平衡式記録計(6打点)
- ・記録紙 折りたたみ式 有効巾 60mm
全 長 10m

- ・指示記録速度 5、10、20、40mm/h可変
- ・連続記録日数 20~24日
(指示記録速度5mm/hの場合)
- ・電源(記録計) DC12V
(センサー) DC2.7V(水銀電池)

EKO

英弘精機産業株式会社

本社/東京都渋谷区幡ヶ谷1-21-8 ☎03-469-4511~6
笹塚分室(展示室)/渋谷区笹塚2-1-11(東亜ビル1F) ☎03-376-1951
大阪/大阪市東区豊後町5(メディカルビル) ☎06-943-7588~9



フジワンのシンボルマークです。

堅〇〇〇-HM 器吹針露5ml自

まあ来い、穂いもち、ひとヒネリだ!



穂いもち、フジワン、まず予防。

- 散布適期巾が広く、散布にゆとりがもてます。
- すぐれた効果が長期間(約6週間)持続します。
- 粉剤2~3回分に相当する効果を発揮します。
- 稲や他作物に薬害を起こす心配がありません。
- 人畜、魚介類に安全性が高く安心して使えます。

フジワン[®]粒剤

Ⓔは日本農薬の登録商標です。

《本田穂いもち防除》

使用薬量：10アール当り4kg

使用時期：出穂10~30日前(20日前を中心に)

あなたの稲を守る《フジワン》グループ

フジワン粒剤・粉剤・粉剤DL・乳剤・AV
フジワンブラエス粉剤・粉剤DL
フジワンカヤフォス粒剤
フジワンダイアジノン粒剤

フジワンエルサンバッサ粉剤・粉剤DL
フジワンスミチオン粉剤・粉剤DL・乳剤
フジワンツマミ粉剤・粉剤40DL
フジワンスミバッサ粉剤50DL

フジワンND粉剤・粉剤30DL
フジワンツマサイド粉剤・粉剤DL
フジワンバッサ粉剤DL



日本農薬株式会社

〒103 東京都中央区日本橋1-2-5 栄太楼ビル

—連作障害を抑え健康な土壌をつくる!—

花・タバコ・桑の土壌消毒剤

® **パスアミド**

微粒剤

❖いやな刺激臭がなく、民家の近くでも安心して使えます。

❖広範囲の土壌病害、線虫に高い効果があります。

●安全性が確認された使い易い殺虫剤

マリックス® 乳剤
水和剤

●ボルドーの幅広い効果に安全性がプラスされた有機銅殺菌剤

キノンドー® 水和剤80
水和剤40

❖作物の初期生育が旺盛になります。

❖粒剤なので簡単に散布できます。

●ボルドー液に混用できるダニ剤

ブデン® 乳剤

●澄んだ水が太陽の光をまねく/
水田の中期除草剤

モゲブロン® 粒剤



兼商株式会社

東京都千代田区丸の内 2-4-1

実験以前のこ こと

——農 学 研 究 序 論——

農学博士 小野小三郎著

農業技術協会発行

B 6 判 304 頁 定価 1,600 円 ㊦ 250 円

本書は、「農業技術」に延べ 32 回にわたって連載したものを一括取りまとめたものです。

国立農試で作物の病害研究に専念し、ついで企業の研究所長として新農薬創製の研究管理に当たり、さらに植物病理学会会長を務めた著者が、長い研究ならびに研究管理生活を通じて、苦しみ、悩みながら研究を進めてきた体験にもとづき、創造的研究とは何か、創造的研究の過程はどう分けられるか、各過程における問題点は何か、それらの処し方はどうすればよいかなどを整理し、提示したものです。

農学・生物学についての研究方法論としては唯一的なものであり、文献も豊富に載せられているので、これらの関係の研究者およびその方面に進まれる人達にとって貴重な指針になるばかりでなく、一般読者にとっても科

学的なものの考え方などを知るうえに、少なからず参考になるものです。

——主 な 目 次——

第一部 実験以前のこ こと / I 研究における創造性
II 構想への準備期 III 啓示期 IV 研究計画期 V
実験期 VI 実験周辺の諸問題

第二部 続・実験以前のこ こと / I 研究における個性
論 II 研究における偶然の役割 III 研究における技
術の問題 IV 研究における科学史の意義 V 研究に
おける明部と暗部

注文は農業技術協会 [㊦ 114 東京都北区西ヶ原 1-26-3
Tel 03-910-3787 振替 東京 8-176531] または最寄り
の書店経由でお願いします。

イネミズ防除の決め技！

育苗箱専用強力防除剤

アドバンテージ*

粒 剤

*アドバンテージは米国FMC社の商標です。



特 長

- 高い浸透移行作用でイネミズゾウムシの成虫を速効的に防除します。
- 残効性にすぐれ、イネミズゾウムシの幼虫を長期間にわたり、きわめて低密度に抑えます。
- 成虫、幼虫の両方にすぐれた防除効果を発揮し、稲の生育を守って減収を防止します。
- 1回の箱施用で従来の体系処理(箱処理+本田処理)より高い防除効果が期待できます。
- 稲への安全性が高く、田植3日前から直前までの施用ができます。

販売元



日産化学

原体供給元

FMC

FMCコーポレーション

未来を拓く
技術と創造の

クミカの農薬



農協・経済連・全農

●稲もんがれ病・園芸・畑作難防除病害に

バシタック®

粉剤DL、粉剤、水和剤75、ゾル

●浸透持続型もち防除剤

ビーム® ビーム・ジン

粉剤DL、粉剤、水和剤 粉剤DL、粉剤、ゾル
ゾル、粒剤

安全性・経済性・高い信頼

●水田除草剤

サターンS粒剤

サターンM粒剤

クミリードSM粒剤

★初期一発でも体系使用でも幅広く使える

グラノック粒剤

★稲に安全 一発処理剤のホープ

シルベノン粒剤

自然に学び 自然を守る



クミアイ化学工業株式会社

本社 東京都台東区池之端1-4-26 〒110 91