

特集：線虫防除の戦略と展望〔4〕

# 野菜を中心にした線虫害の現状と防除戦略

三重県科学技術振興センター農業技術センター生産環境部 きた  
北 がみ  
上 とおる  
達

## はじめに

我が国において土壤線虫問題が初めてクローズアップされたのは、1959 (昭和34) 年から始まった土壤線虫対策事業において、農作物の線虫による被害が広く認識されるようになったことがきっかけであった。そのころ野菜で重要であった線虫は、ネコブセンチュウ類 *Meloidogyne* spp. とネグサレセンチュウ類 *Pratylenchus* spp. (以下それぞれ“ネコブ”, “ネグサレ”とする) であり、当時から連作障害の主要な一因となっていた。これらの線虫は、寄主植物の範囲が非常に広範にわたっており、現在でも難防除病害虫の一つとなっている。また、土壤線虫が植物根部を加害することにより土壤伝染性病害の発病が助長される、いわゆる“線虫複合病”の発生が広く知られるようになり (三井, 1988; 百田, 1988), 土壤線虫防除はさらに重要度を増していった。その後、主要な被害作物の若干の変遷はあったものの、これら2属の線虫は今なお野菜類の主要加害種としての覇権を争うがごとく、線虫世界に君臨し続けている。

ここでは、ネコブおよびネグサレに関して、野菜 (一部花きを含む) における発生と被害の概況、防除対策とその問題点について、三重県の事例を中心に紹介する。

## I 三重県における線虫害の現状

三重県におけるネコブ被害では、トマト、キュウリにおいて顕著であり、本県の特産物であるイセイモやモロヘイヤも被害が大きい作物である。トマトやキュウリなどの果菜類は、ネコブの寄生を受けることで生育が悪くなり、その結果収量が減少する。特に、キュウリ等のウリ科作物は被害の発現が顕著であり、株全体が萎凋し、ひどい場合には枯死に至る事例も稀ではない。イセイモでは、収穫物である芋の表面にネコブが寄生することでイボ状のゴールが多数形成され、商品価値が著しく低下する。また、モロヘイヤでは収穫部位が新芽を含む茎葉であるため、ネコブが寄生すると生育不良となって減収

する。1994~96年度 (平成6~8年度) に県下の各種作物に発生したネコブの種を調査したところ、サツマイモネコブ *M. incognita* が最も広く分布していることがうかがわれた (表-1)。次に検出数が多かったのは、アレナリアネコブ *M. arenaria* で、イセイモから検出される割合が比較的高く、サツマイモネコブと混発しているサンプルが多かった。キタネコブ *M. hapla* の検出数は少なく、散発的な発生に留まっていると考えられる。

ネグサレでは、イチゴとダイコンでの被害が大きく、花きではキクが主な被害作物となっている。イチゴは根部を加害されるため地上部が生育不良となり、収量の低下を招く。特に春期以降は、気温 (地温) の上昇に伴ってネグサレが急増して株が萎凋し、枯死に至る著しい被害に及ぶ場合がある。このような圃場でイチゴの株を調査すると、根1g当たり1,000頭以上のネグサレが検出されることも珍しくはない。ダイコンでは、根部表面に白斑~黒褐色化した加害痕が発生し、商品価値が低下する。さらに、初期密度が高い場合には奇形根や短根となり、品質・収量に与える影響は大きい。キクでは草丈が短くなったり、茎が細くなる等の生育不良や、花径が小さく、葉の色つやが悪くなる等の品質低下が著しい。また、根の機能の低下によって萎凋症状が発生しやすくなる。なお、三重県におけるネグサレの種の分布調査は近年実施していない。

表-1 三重県で採集されたネコブセンチュウの種と主な寄主植物 (三重県農業技術センター, 1994~96年)

ネコブの種	検出件数	主な寄主植物
MI	38	トマト, キュウリ, モロヘイヤ, イセイモ, イチジク, ハクサイ, ダイコン
MA	3	イセイモ, モロヘイヤ
MH	2	シソ, トマト
MI+MA	12	イセイモ, イチジク

MI: サツマイモネコブ, MA: アレナリアネコブ, MH: キタネコブ。

The Present Situation and Control of Nematode Damage in Vegetables. By Tooru KITAGAMI

(キーワード: ネコブセンチュウ, ネグサレセンチュウ, 防除, 野菜)

## II 防除対策と問題点

### 1 化学的防除

#### (1) 化学合成農薬

線虫防除対策の中心的役割を担っているのは、現在のところ化学合成農薬である。化学合成農薬は価格、作業労力等の経済性や防除効果の安定性から判断すると、非常に効率的な線虫防除手段であり、農作物の安定生産に果たす役割が極めて大きいことは周知の事実である。しかし、近年くん蒸型の薬剤は作業者の安全性、臭化メチルをはじめとする地球環境に対する問題の頭在化など、農薬を取り巻く社会情勢の変化により使用が難しくなっている。一方で、防除効果の高い接触型殺線虫剤の登録が増えており、くん蒸型から接触型への殺線虫剤の転換が進んでいくと考えられる。さらに、最近では接触型の薬剤も含めて、化学合成農薬全体の使用を削減していくとする動向（有機農産物生産をはじめとする環境保全型農業への志向、その手段としてのIPMへの関心の高まり等）が強まっている。今後、線虫防除における化学合成農薬の担う役割は、今までとは少し違ったものになっていくのではないだろうか。

#### (2) 化学的防除の問題点

化学合成農薬は、非常に有効な線虫防除対策の一つであるが、様々な問題点を含んでいることも事実である。

まず、防除効果に直接かかわる薬剤感受性の問題がある。キタネグサレ *P. penetrans* が D-D 剤等に対して感受性が低いことは従来から指摘されている（後藤・大島, 1964; 近岡, 1966; 他に数例の報告あり）。また、サツマイモネコブについても D-D 剤等に抵抗性を獲得した可能性を示す事例がある（近岡・竹澤, 1982）。薬剤抵抗性発達の可能性は、接触型の殺線虫剤を含めて十分考えられる。

次に、防除後の線虫密度の復元がある。防除効果の高い薬剤を使用しても、1回の処理で長期間にわたり線虫を低密度に保つのはまず不可能である。ごくわずかでも生き残った線虫や、薬剤処理後に圃場に侵入した線虫が、いずれはその勢力を盛り返す結果となってしまう。特に、くん蒸型薬剤の場合、処理後の土壤中の生物相が単純化するためか、意外と早く密度が回復してしまうことがある。また、化学合成農薬は生物やそれを取り巻く環境に及ぼす影響の評価と対策が困難である。影響を軽減する手法は非常に難しい問題であるが、これはクリアする必要があるだろう。

### 2 耕種的防除

耕種的防除には輪作、対抗植物や抵抗性品種の利用、

有機物の施用、線虫を圃場に持ち込まないなどの手法がある。ここでは対抗植物の利用について紹介する。

#### (1) 対抗植物

対抗植物を線虫防除に利用しようとする試みは古くから検討されており、我が国においても、既に30年以上前にその利用に関する研究が報告されている（西澤ら, 1963）。対抗植物は、線虫の種によって効果のあるものとなひものがある。したがって、導入するに当たってはあらかじめ圃場で発生している線虫の種を同定しておく必要がある。

対抗植物と言えば、まず思い浮かぶのはマリーゴールドであろう。神奈川県三浦ダイコンを対象にキタネグサレに対するマリーゴールド（アフリカントール）の利用法が精力的に研究され（近岡ら, 1971; 大林・近岡, 1973）、普及が図られたことはあまりにも有名である。キタネグサレに対するマリーゴールドの防除効果は安定して高く、しかも土壤中の深層部まで発揮される。また、フレンチマリーゴールドも各種ネグサレに対して高い効果を示し、イチゴのクルミネグサレ *P. vulnus* を長期間抑制したという事例がある（阿部・柿崎, 1996）。

ネコブでは、“キタネグサレ＝マリーゴールド”のように安定した効果が得られる対抗植物はない。しかし、クロタラリア属の一種 *Crotalaria spectabilis* は、サツマイモネコブに対して比較的安定した効果を発揮する。

その他、ギニアグラス（ネコブ類、キタネグサレ）、エンバク野生種 *Avena strigosa*（キタネグサレ）などが対抗植物として市販されている。特に、エンバク野生種は寒冷地での栽培や秋冬作としての利用も可能であり、導入時期の幅が広いという利点がある。また、緑肥作物として広く利用されているソルガムでも、サツマイモネコブに対して効果のある品種が育成されている（北島ら, 1997）。

#### (2) 耕種的防除の問題点

輪作や対抗植物は、基幹となる作物との関係で導入品目や時期が限られてしまう場合が多く、導入作物（対抗植物を含む）の経済性も重要な品目選定のポイントである。また、対抗植物では3か月以上圃場を占有するため、施設栽培では利用が難しい場合がある。ただし、イチゴのように夏期に長期間圃場が空くため、導入しやすい作物もある。

有機物の施用は遅効的で、効果の安定性に欠ける。効果発現のメカニズムが未解明のため、“やってみなければわからない”という面が多分にある。

その他、抵抗性品種の普及には市場での高い評価が伴うことが必要である。線虫の圃場への侵入防止は現実に

表-2 トマトの栽培法, 太陽熱消毒の有無とサツマイモネコブセンチュウおよび褐色根腐病の発生程度(千葉県農業試験場, 1999 を一部改変)

栽培法	土壌消毒法	線虫根こぶ指数			褐色根腐病発病度		
		1995 年	1996 年	1997 年	1995 年	1996 年	1997 年
根域制限	太陽熱	3.1	5.1	9.2	15.6	12.5	7.5
	無処理	36.9	77.2	79.2	19.1	72.7	88.3
地床	太陽熱	5.9	20.3	23.8	12.8	31.3	10.4
	無処理	44.4	72.0	59.2	30.9	90.2	95.8

根こぶ指数・褐色根腐病発病度 = {Σ(階級値×個体数)/調査個体数×4}×100  
 階級値: 0(無)~4(甚)の5段階評価, 太陽熱消毒は毎年実施。

は困難きわまりない。彼らは“あの手この手(水, 土, 風, 農機具, 植物, 動物等々)”を駆使して, 我々の防衛ラインをいとも簡単に突破してしまう。

### 3 物理的防除

線虫の場合, 主に“熱”を利用した方法である。一般的には土壌の太陽熱処理や蒸気消毒, 種苗(芋)類の湯湯浸漬法があるが, 熱水による防除法も検討されている。

#### (1) 太陽熱処理

施設において夏期に実施すれば, 線虫のみならず各種土壌病害虫に高い防除効果が期待できる。実際に現地では, 土壌病害防除を兼ねて行われることが多い。また, 太陽熱処理圃場において遮根シート等を用いて土壌深層部と隔離することにより, 効果の持続性が高まるのが千葉県農業試験場によって確認されている(表-2)。

#### (2) イセイモ種芋の加温・加湿処理

イセイモ(ナガイモ属)は三重県固有の特産物である。これにネコブが寄生すると芋表面にイボ状のゴールを形成し, 商品価値が著しく損なわれてしまう。イセイモは水稲との輪作(水稲が2~3年)が行われているため, 定植時の圃場からはネコブが全く検出されない。一方, 種芋の中にはネコブの寄生が認められる芋が含まれており, 被害発生の主因は種芋による圃場への持ち込みであると考えられる。そこで, 水稲用育苗器(スチーム式出芽器)を利用して種芋を加温・加湿処理(40°C・湿度100%で24時間処理)したところ, 収穫芋での被害が少なく, 高い防除効果が認められた(表-3)。同様の方法は, 千葉県のヤマトイモでサツマイモのキュアリング施設を利用した蒸熱処理として効果が確認されている(萩谷, 1990)。

#### (3) 物理的防除の問題点

太陽熱処理には夏期に1か月程度の処理期間が必要で, 天候によって効果が左右される場合がある。

種苗類の湯湯浸漬等の熱処理では, 発芽等植物体への影響を考慮する必要がある。処理条件を正確に制御したり, 大量の種苗類を処理する場合には, それなりの施設

表-3 イセイモ種芋の加温・加湿処理による収穫芋のネコブセンチュウ被害防除効果(三重県農業技術センター, 1997)

区名	調査芋数	ゴール着生程度別芋数					寄生率	根こぶ指数
		0	1	2	3	4		
処理	236	216	8	3	9	0	8.5%	4.3
無処理	130	81	18	13	16	2	37.7%	19.2

三重県多気町現地圃場試験。収穫芋のゴール着生程度は0(無)~4(甚)の5段階。

根こぶ指数 = {Σ(ゴール着生程度×芋数)/調査芋数×4}×100

が必要となる。

### 4 生物的防除

線虫には, ウィルス, 細菌, 糸状菌, 原生動物, 線虫, ダニ, 昆虫など多数の寄生性天敵, 捕食性天敵が知られている(西澤, 1984)。ネコブの天敵である出芽細菌 *Pasteuria penetrans* (以下, パスツリアとする) は, シストセンチュウに寄生する *P. nishizawae* を見いだした西澤 務氏によって我が国で広く知られるようになった。以来, 有望な生物防除素材として多くの研究者により精力的な研究が行われ, 実用化に向けた試験が実施されてきた。そして, 1998年12月にサツマイモネコブに対してトマト, キュウリ等の果菜類で登録を取得するに至った。

#### (1) パスツリア

パスツリアは, 土壌中に存在する内生孢子がネコブ二期幼虫に付着, 感染する。この孢子は高温, 低温や乾燥等の環境耐性が強く, 土壌中で長期間(数年間)生存することができる。しかも臭化メチルとクロルピクリンを除く薬剤に対する感受性が低い。これらの特徴から, パスツリアがいったんネコブ密度を低減させれば, その効果は非常に長く持続すると期待される。トマトを用いたポット試験では, 2作目以降効果が発現し始め, 9作目においてもサツマイモネコブの寄生を顕著に抑制した(図-1)。

パスツリアの効果発現は遅効的である。パスツリアの

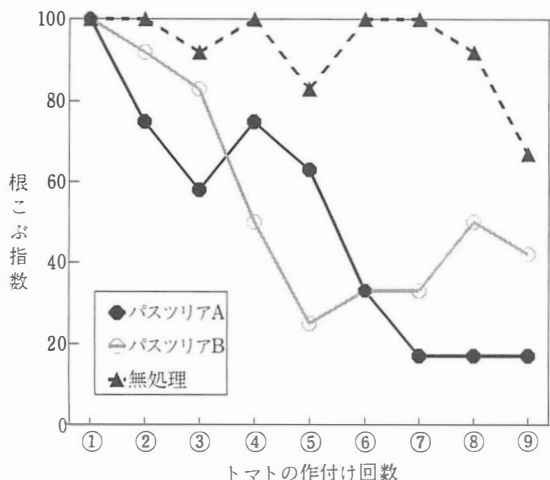


図-1 パストリア処理によるトマトのサツマイモネコブ防除効果 (三重県農業技術センター, 1997~99) ポット試験. 供試パストリア A: 三重県産, B: NT-01 懸濁剤. パストリアは1作目前に各ポット孢子  $5 \times 10^8$  個/m<sup>2</sup> を処理.

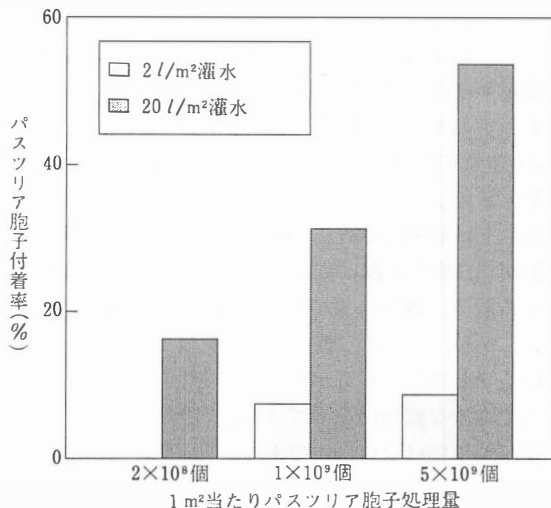


図-2 パストリア孢子処理量および灌水量の違いによるサツマイモネコブに対する付着率の差 (三重県農業技術センター, 1998) ポット試験. 処理7日後に二期幼虫40頭を調査.

効果を少しでも早く発揮させるためには、処理後のネコブへの孢子付着をいかに高めてやるかが、一つのポイントとなる。パストリアは自ら能動的に移動しないので、耕起等によって土壤中での分布を均一にする必要がある。また、土壤水分が多いほうが孢子付着数が明らかに高くなり (佐野, 1997), 孢子処理後の灌水量を多くすることでも、付着率を高めることが可能である (図-2)。パストリアをはじめ線虫の天敵は、一般に不耕起条件のほうが有利であると言われている (GASPARD, 1994)。パストリアを処理した後も、彼らが活躍しやすい環境を整えてやるのが防除効果を上手に発揮させることにつながるであろう。

(2) 生物的防除の問題点

パストリアは遅効的であり、現実的な孢子投入量のレベルでは3~4作目以降でない目に見える効果が現れてこない。それまでは (特に1作目では防除効果は期待できないので) 他の何らかの防除手段によって、ネコブによる被害を抑えておく必要がある。ただし、絶対寄生菌であるパストリアはネコブに寄生しないと増殖できないため、ある程度のネコブ密度は不可欠である。また、増殖速度の適温が約30°C (STIRLING, 1981) と高温性のため、作物の栽培時期によっては十分に増殖できないおそれがある。増殖したパストリアを圃場に還元するため、作物根部は圃場外に持ち出さないことが肝要であるが、これによる土壤病害対策を考慮しておく必要がある。また、培地上で人工培養が不可能なので、現在のところ生

産コストが非常に高くなっている。

天敵糸状菌は人工培養が可能なものが多く、速効的な防除効果が期待できるので、有効な利用法の開発が待たれる。しかし、土壤中における密度を高く保つことが困難で、効果の持続性に問題がある。

いずれにしても害虫の天敵と同様に、生理・生態が解明されることが前提条件であり、その能力が最大限に発揮できるような条件を整えてやることが重要である。ただし、土壤中の環境は非常に複雑であり、一筋縄ではないであろう。

おわりに—今後の防除戦略に代えて—

人間はあらゆる手段を駆使して線虫を効率的に防除しようと試みてきた。しかし、どの防除方法も一長一短で、一時的には有効であっても線虫防除の決定打とは成り得ていない。けれども過去にも種々取り組まれてきたように、複数の防除手段を組み合わせることで互いの短所を補い合い、より精度を高めていくことは十分可能である。土壤中の生態系は多様性に富んでおり、土壤自体の物理性・化学性も様々である。このため、最適な防除方法の組み合わせは圃場ごとに微妙に異なり、栽培される作物が変わればその組み合わせも違ってくる。それでも、いくつかの“基幹となるべき防除技術”は必要である。例えば、ネコブに息の長い効果を発揮するパストリアに、その遅効的な部分を補完する防除法を組み合わせるのも一つの選択肢であり、これは既に検討され始めている。

人間と線虫の戦いが記録されてから世界で200年以上、我が国では100年余りが経過した(一戸, 1992)。今世紀半ば以降“人間帝国軍”は、化学合成農薬という強力な武器を手に掃討作戦を展開してきた。ところが“線虫連邦軍”の勢いは衰えるどころか、逆にその勢力は拡大さえしているように思える。彼らのゲリラ戦術は想像以上に効果的であり、戦況は泥沼化しつつある。人間側が“白旗”を揚げるとは到底考えられず、作物を栽培する限り、戦いは果てしなく繰り広げられるであろう。しかし、そろそろ戦い方を見直してもよい時期に来ていることは我々も気が付いている。“外交”も敵を知る上で立派な戦略の一つであり、“皆殺し”や“征服”だけが戦果ではないはずである。“国境線(=被害許容水準)”をどこに引いて互いに共存していくのか、言い古されたことであるが、改めて見つめ直す価値はあると考える。

## 引用文献および参考資料

- 1) 阿部 卓・柿崎一恵 (1996): 日線虫誌 26: 39.
- 2) 近岡一郎 (1966): 応動昆 10: 163~164.
- 3) ————ら (1971): 神奈川県農業試験研究機関共同研究報告 2: 1~50.
- 4) ————・竹澤秀夫 (1982): 関東病虫研報 29: 168.
- 5) GASPARD, J. T. (1994): 日本線虫学会第2回大会講演予稿集: 5.
- 6) 後藤 昭・大島康臣 (1964): 九州病虫研報 10: 41~43.
- 7) 萩谷俊一 (1990): 今月の農業 12月号: 27~30.
- 8) 一戸 稔 (1992): 線虫研究の歩み(日本線虫研究会編): 3~9.
- 9) 北上 達 (1998): 日線虫誌 28: 26~27.
- 10) 北島美津子ら (1996): 日線虫誌 27: 92.
- 11) 三井 康 (1988): 植物防疫 42: 425~428.
- 12) 百田洋二 (1988): 同上 42: 434~437.
- 13) 西澤 務ら (1963): 第7回応動昆大会講要: 31.
- 14) ———— (1984): 植物防疫 38: 125~131.
- 15) 大林延夫・近岡一郎 (1973): 神奈川園試報告 21: 91~102.
- 16) 佐野善一 (1997): 日線虫誌 27: 88.
- 17) STIRLING, G. R. (1981): Nematologica 27: 458~462.
- 18) 関東東海農業試験研究成績・計画概要集—生産環境・虫害—平成11年度 (1999): 農業研究センター

## ●月刊誌「植物防疫」特別増刊号

発行 日本植物防疫協会

## No. 2 天敵微生物の研究手法

岡田斉夫 編者代表 B5判 222ページ  
定価3,058円(本体2,913円+税) 送料140円

天敵微生物を研究するための一通りの方法(研究施設, 天敵微生物の探索・同定・増殖等)のほかに, 近年進歩が著しい遺伝子解析実験法と天敵微生物の目録を付す。

## No. 3 鳥獣害とその対策

中村和雄 編 B5判 190ページ  
定価2,549円(本体2,428円+税) 送料132円

我が国の農作物に被害を与えている主要な鳥獣について, その分布や生態と被害防止法を詳細にまとめたもので, 本邦初の鳥獣害対策の専門書と言える。

No. 4 植物病原菌の薬剤感受性  
検定マニュアル

日本植物病理学会殺菌剤耐性菌研究会 編  
B5判 172ページ  
定価2,800円(本体2,667円+税) 送料124円

作物病害の防除を主として殺菌剤に頼らざるを得ない現実の中で, 耐性菌の問題は避けて通れない。本書は, 薬剤の試験や現場対応に関係する方々にとって有益な書である。

No. 5 日本産植物細菌病の病名と  
病原細菌の学名

西山幸司 著 B5判 227ページ  
定価3,200円(本体3,048円+税) 送料132円

植物細菌病の診断ならびに病原細菌の分離・同定に関係する方のために, 我が国に発生する細菌病の種類を取りまとめた。

ご購入は, 直接本会「出版情報グループ」に申し込むか, お近くの書店でお取り寄せ下さい。

(社)日本植物防疫協会 〒170-8484 東京都豊島区駒込1-43-11 Tel(03)3944-1561 Fax(03)3944-2103