

# 森林害虫の微生物的防除

農林水産省森林総合研究所昆虫病理研究室 <sup>しま</sup>島 <sup>づ</sup>津 <sup>みつ</sup>光 <sup>あき</sup>明

## はじめに

森林は、永年作物で、環境があまり変わらず、材を直接加害するものを除き害虫の被害許容密度が高い、などの理由から、微生物的防除の場としては好適だといえる。このような背景もあって、今日のように微生物的防除が関心と呼ばれるか以前、戦前から、日本では林業試験場を中心に天敵微生物を利用した害虫の防除が研究されてきた。そうした成果を発展させて林野庁は、1950年代初頭、苗畑のコガネムシ対策に寄生菌を100t単位で量産するという大事業を行った。これは、当時の日本の昆虫病理学が蚕病中心であったことを考えると大変な英断であったし、今日の日本でもできないような画期的なことであるといえよう。このことは後述するが、不幸にしてちょうどそのころ、価格や即効性などの点で優れた有機合成農薬が導入され始め、この事業は中止されてしまった。しかしこの流れは継承されて、林業試験場には日本の国立研究機関で最初天敵微生物研究室が設けられた。現在では、公立の林業研究機関でも微生物的防除の研究が行われている。

現在の日本では、ウイルスと細菌は森林害虫に対してほとんど利用されていない。森林関係の研究機関にこれらを研究する人がいないこともあろうが、今日の日本の森林では食葉性害虫よりもせん孔性害虫のほうが問題が大きいことも理由に考えられる。このため、バキュロウイルスを中心としたウイルスやBtを中心とした細菌の主な宿主である鱗翅目やハバチなどの食葉性害虫の防除研究は後回しになりがちである。逆の理由で、欧米ではカミキリムシの微生物的防除の研究はあまり行われていないようである。

ここでは、森林・林業害虫の微生物的防除について、特に日本における研究例を中心に紹介し、日本での例がないものについては、外国の例を挙げるようにする。本特集が微生物群別ではなく、害虫の分野別であることにならない、ここでも害虫の加害・生活様式別に書くことにする。

## I せん孔性害虫

### 1 マツノマダラカミキリ

Microbial Control of Forest Insects. By Mitsuaki SHIMAZU

この虫はそれ自体が健全な木を加害するわけではなく、マツの材線虫病の病原であるマツノザイセンチュウを媒介するために害虫になっている。この病気の防除法は主として媒介者であるマツノマダラカミキリを対象としている。

微生物的防除を行うため林業試験場では、まず天敵微生物の検索、病原力の検定等を行い、病原力が強く、分生子形成も豊富な糸状菌の一種 *Beauveria bassiana* の1株を選定した(片桐ら, 1979; 片桐・島津, 1980; 島津・串田, 1983)。この菌株とその他2, 3の菌を用いて、分生子懸濁液を樹皮外から散布して、樹皮下に生息する幼虫の駆除、脱出成虫の駆除、及び健全マツの樹冠に散布して後食する成虫の防除の試験を行った(島津・串田, 1980; 島津ら, 1982, 1983)。これらの方法の中では、マツノマダラカミキリ幼虫の生息する枯損木の樹皮外から、秋に散布する方法が最も殺虫率が高く、公立林試による試験でも同様の結果が得られた。しかしその殺虫率は、実験室で100%の殺虫率をもたらす分生子濃度より100倍濃厚な液を散布したとしても、最高でも約70%であり、防除の目的からはなお不十分であった。この最大の原因は、樹皮外からの散布では、樹皮下の標的昆虫に菌が直接接しないためであり、菌を樹皮下に施用する、あるいは、樹皮外からもっと大量に施用する、という対策が考えられた。

そこで、分生子をキイロコキイムシに付着させて樹皮下に持ち込ませる方法が考案された(遠田ら, 1989; 野淵, 1989; 遠田ら, 1991)。この方法の最大の利点は、枯損木をいちいち伐倒しなくてもキイムシが立木の樹皮下に菌を運んでくれることである。初めは、マツの太枝で飼育したキイロコキイムシ成虫に、*B. bassiana* の分生子をまぶしてマツ林に放飼した。試験木の殺虫率から、放虫点に近いところでは推定で約70%のカミキリが感染した(遠田ら, 1991)。キイロコキイムシの人工飼料(小倉・北島, 1991)、さらには、枝から羽化したキイムシが菌を付着させて林内に飛び出す自動付着装置の開発(野淵, 1993)などで、放飼虫の大量生産は少しは簡単になった。しかし十分な死亡率を得るにはまだ大規模な放虫が必要である。

菌の分散をより少なく、また、確実に菌を樹皮下に導入する方法として、*B. bassiana* を種駒のようにして枯

損木に挿入することも考案された。SHIMAZU et al. (1992) の野外試験では、市販のふすまペレットに *B. bassiana* を培養して枯損木に施用し、40~100% とかなり満足できる死亡率が得られた。ただし、この方法でも、*B. bassiana* は枯損木内にシイタケのようにまん延するのではなく、分生子はあくまでも種駒の部分にしか形成されないの、枯損木は伐倒して 30 cm おき程度に種駒を植える必要がある。また、種駒を枝に処理することは困難である。

感染率を高める第二の対策、すなわち樹皮外から分生子を大量に施用する方法として、濃度の高い分生子懸濁液を散布するには限界がある。そこで、SHIMAZU et al. (Appl. Entomol. Zool., 投稿中) は、不織布帯に *B. bassiana* を培養し、マツノマダラカミキリの入った枯損木にいろいろな方法で施用した。その結果、60~96% の非常に高い死亡率を得ることができた。不織布帯を使う方法ならば、枝や立木にも応用が可能である。

## 2 ヒノキカワモグリガ

この虫は鱗翅目であるが、幼虫がスギ、ヒノキなどの樹皮下を食害し、材に変色や傷を残す害虫である。この虫の天敵微生物として核多角体病ウイルス (NPV) (三橋・島津, 1988) と 4 種の糸状菌 (山崎・倉永, 1988) が発見されているが、幼虫が小さいため、NPV の量産は実用的にはできない。MITSUHASHI et al. (1992) は老熟幼虫が春に樹幹を下降してくる習性を利用して、糸状菌 *Paecilomyces fumosoroseus* と未命名の *Paecilomyces* sp. を野外の樹幹に施用して感染させる試みをした。脱脂綿上に菌を培養して分生子を形成させたものをスギ林の樹幹に巻き付け、39 日後に調査したところ、*P. fumosoroseus* では 74% が、また、*Paecilomyces* sp. では 61% が感染して死亡していた。

# II 食葉性害虫

## 1 マツカレハ

かつてはマツカレハは日本のマツの最も重要な害虫であった。この虫の天敵微生物として細胞質多角体病ウイルス (CPV) と糸状菌 *Beauveria bassiana* が知られている。

CPV は激しい流行病を起こすものではないが、高密度時には高い死亡率をもたらす、また、垂直伝搬も期待できる。マツカレハ CPV は、マツケミンという名で我が国の林業薬剤として登録されている。本剤は CPV を接種して飼育したマツカレハ幼虫を磨砕、炉過して得られた CPV の多角体にシリカ粉末と展着剤、乳化剤を加えたものである (KATAGIRI, 1981)。この製剤は我が国で初

めて登録になったウイルス製剤であるが、惜しいことに現在では製造されていない。マツカレハがあまり重要な害虫ではなくなってきたことと、商品としてのこの製剤のメリットがなかったことが原因だと思われる。

日高 (1933) は、天敵を利用した防除法の研究の中で、*B. bassiana* の利用法を開発した。菌の増殖は、自然発生したマツカレハ幼虫を採集し、それに病死虫上に形成された *B. bassiana* 分生子を水に懸濁したものを散布接種し、多数の病死虫を得ることにより行った。これをマツカレハ発生地の風上の尾根に、2~3 m おきに枝に針金で固定することにより施用した。その結果、平均で 70%、最高で 91.5% の死亡率が得られた。

中国では、今日でもマツカレハ類は重要害虫で、これらの防除に卵寄生蜂とともに、*B. bassiana* を利用している。菌は各地の農場でぬかやもみがらを培地として自家生産され、培養物を 7.5~15 kg/ha の割で年 1 回散布する。これにより、85% 程度の死亡率が得られる。散布は、通常の地上散布や空中散布のほか、足場の悪いところでは花火のように砲筒から打ち上げて、空中で炸裂させる方法も用いられているという (片桐, 1983)。

マツカレハには Bt も有効であり、CPV と Bt を併用して死亡率を向上させることもできる (片桐ら, 1974; KATAGIRI and IWATA, 1976) が、大規模試験には至っていない。

## 2 マイマイガ

マイマイガは各種樹木を食害し、大発生しやすいので世界的に有名な森林害虫となっている。本種が大発生すると日本では核多角体病ウイルス (NPV)、あるいは疫病菌 *Entomophaga maimaiga* (SOPER et al., 1988; かつては *Entomophaga aulicae* と同一種とされ *Entomophthora aulicae* の学名も用いられていた) による流行病がしばしば発生し、個体群崩壊の重要な要因となることが多い (小山, 1954; 高村・佐藤, 1973)。

北米では、マイマイガはヨーロッパから 19 世紀中ごろに侵入した害虫であるが、1960 年代から NPV 利用の研究が開始された。60 年代から 70 年代前半は、主に人工飼料の開発、生物検定法の確立と、それによるウイルス系統の選抜、製剤方法の確立などが行われた。最初の野外試験は 1963 年に地上散布により行われ、処理区では幼虫の死亡と、翌年の卵塊の減少がみられた。70 年代から本格的な野外試験が行われ、添加物、ウイルス濃度、散布時期・回数、ノズルの種類などの最適条件が決定された。そして、1978 年にはこの製剤は Gypchek という名前であめりか環境保護庁から登録許可された。本剤は 1, 2 齢幼虫と 4 齢前の 2 回、空中散布することが推奨され、

1979 年にはアメリカの 6 州で合計 4,000 ha の森林に使用された。本剤の散布で、食害防止、次年度の卵塊数の減少など、多くの場合満足すべき効果が得られている (LEWIS, 1981; CUNNINGHAM, 1982; BELL et al., 1981; SHAPIRO et al., 1981)。マイマイガ NPV はこのほかにもソ連、カナダ、イタリア、西ドイツ、ルーマニア、ユーゴスラビアなどでも防除に利用されている (CUNNINGHAM, 1982)。

もう一つの有力天敵微生物の *E. maimaiga* は、北米大陸には土着していなかった。1910 年代はじめ SPEARE and KOLLEY (1912) は、日本からこの菌に感染した幼虫を輸入、アメリカ東海岸に放飼し、菌の導入を図った。しかし流行病は起こらず、菌の導入は失敗したと考えられてきた。その後の入念な天敵微生物の調査にもかかわらず、*E. maimaiga* はアメリカでは発見されなかった (PODGWAITE, 1981)。ところが、1989 年になってアメリカ東海岸でこの菌によるマイマイガの流行病が発見され、状況証拠からこれは 80 年前に導入された菌が細々と生き残ってきたものだ、と考えられている (ANDREADIS and WESELOH, 1990)。その後マイマイガの大発生とともに、この病気はアメリカに広がりつつあるが、菌の広がりが宿主の広がりについていけないため、HAJEK and ROBERTS (1991) はこの菌を人為的に新天地に導入する実験を行った。彼女らは、これまでにこの菌の発生のなかったニューヨーク郊外の広葉樹林で、休眠胞子を含む土壌を試験区中央の木の下に移入、樹幹に巻いて保湿、接種虫を放飼、などの方法で幼虫発生期に施用した。その結果、いずれの方法でも現地のマイマイガ幼虫に病気が起こり、特に、土壌を木の下に置いて保湿した区が感染率が最も高く最終的には 90% 以上の感染率が得られた。感染率は、6 月中旬までは低かったが、老齢幼虫で劇的に増加した。休眠胞子は水分を吸収しながら幼虫期間中少しずつ発芽し、病原貯蔵器的な役割を果たした。

疫病菌類は、自然にはしばしば流行病を起こすことで有名だが、野外への導入試験と、導入例はあまりなかった。上記の例は野外適用の貴重な成功例といえよう。

### 3 *Choristoneura fumiferana*

これは北米大陸でモミ、トウヒ類を食害するハマキガの一種で、日本のコスジオビハマキの近縁種である。外国の例であるが、防除に Bt が最もよく利用されている森林害虫の一つなので簡単に紹介しておく。

カナダでは 1970 年代から BT 剤の空中散布による本種の防除試験が行われ、これら一連の防除試験について MORRIS (1982) がまとめている。それによると 2 種類の BT 剤を空中散布したところ、最高で個体群の 90% 以上

の減少、食害の完全防止という好結果が得られた。この効果は樹種により異なり、*Abies balsamia* のほうが *Picea glauca* より効果が高かった。これは樹種によって葉への付着量や葉の腐朽速度のちがいによる芽胞の残効が異なるためと考えられた。1970 年代後半には、acephate などの化学殺虫剤やキチナーゼを添加する試験が行われ、殺虫効果・食害防止に相乗効果がみられた。

## III 食 根 性 害 虫

### 1 コガネムシ類幼虫

苗畑や幼齡林では、コガネムシ類幼虫は根切虫と呼ばれ重要害虫であるが、化学農薬発明以前には有効な防除手段がなかった。帝室林野局林業試験場では各種森林害虫の天敵微生物をリストアップして利用法を検討していた。この中でコガネムシ幼虫の天敵として、*Isaria kogane* と命名された菌 (長谷川・小山, 1941; 後に DE HOOG (1972) により *B. brongniartii* の異名とされた) が根切虫類防除に有望であった。そこで戦後になって林野庁は、これを根切虫の防除剤として全国の苗畑に配布する計画をした。量産は 1950 年から長野・愛知の 2 か所の微生物培養所で行われた。菌は乾燥蚕蛹に植えて増殖し、乾燥した後、袋詰めして製品として出荷された。*I. kogane* を培養した蚕蛹は、約 182 t が生産され、全国約 150 の苗畑で使用された。しかし、即効性がない等の理由で生産は 1953 年で中止された。一方、1952 年、長野の培養所ではオースポラと呼ばれる病原性の強い菌を分離した。この菌は、その特徴から今日の *M. anisopliae* だと考えられる。室内実験と野外実験の後、3 営林局における試用で好評を得たので、*I. kogane* の方法・施設をそのまま使って生産が始められ、89 t が生産された。営林局苗畑での実用結果のアンケート調査で、全体の 86% がこの製剤の殺虫効果を認め、さらに肥効も認められた。しかし、ちょうど同時代に出現した化学殺虫剤が著しく安価であったのに対し、価格の高価な培養菌は特別会計制度 (国有林野事業) 下にそわないとの理由でこの培養事業は 1956 年で終了した。この事業に関して、さらに詳しくは報告書 (下島, 1957a; b; 1958a; b; c; 浜, 1959) を参照されたい。

その後、林業試験場で、*B. brongniartii*, *M. anisopliae* の新しい分離菌株を使用して防除試験が行われ、パーク堆肥への混入、米による培養、ホワイトカーボン (シリカ粉末) による後培養等の方法が開発された (串田ら, 1974, 1981; 藤下ら, 1974, 1975; 青木ら, 1975)。新しい培養法での *M. anisopliae* の苗畑への施用試験も行われ (SHIMAZU et al., 1993)、菌を施用された土

壤の殺虫活性は非常に高かったが、殺虫に時間がかかることと成虫の移動のため、狭い地域で1, 2年程度の試験では幼虫の密度減少や苗木の被害防止に対する直接の効果は現れなかった。

ヨーロッパでもコフキコガネの一種 *Melolontha melolontha* に対して *B. brongniartii* を利用した防除が行われ、分生子の土壌注入で流行病と次世代までの病気の残存を引き起こした (FERRON, 1978)。

ドウガネブイブイには、これまで特に有効な細菌がなかったが、最近 OHBA et al. (1991) によってドウガネブイブイに高い殺虫活性を持つ Bt が発見され、研究が進められている (SUZUKI et al., 1992; 1993)。今後、防除への利用が期待される。

## おわりに

微生物的防除の研究、特に病原の定着が期待できる森林では、病原の研究とともに流行病の生態学が重要な基礎になっているはずである。しかし、この分野の雑誌に載る日本人の論文は、病原の分子生物学やバイオテクノロジーについては多くみられても、野外に導入した病原の消長と宿主密度との関係や、病原の生活環を調べたような研究はあまりない。これは、はやりもあるだろうが、今の日本の大学のカリキュラムにも問題がありそうである。環境に配慮した害虫防除法が今後いっそう注目され、微生物的防除への期待もより高まってくるであろう将来に備え、微生物的防除のもう一つの柱を強化する人材の育成が望まれる。

微生物的防除の実行に当たっての、日本のもう一つの特徴として、養蚕業とのかかわりがある。昔から養蚕業は重要な産業の一つであり、国策として養蚕を推進してきた日本では、天敵微生物利用に当たって、カイコへの安全性が特に考慮される必要がある。一方、実用化に向けては野外実験が欠かせない。危被害を避けながら、安全なところでは気兼ねなく試験のできる体制を作るには、双方の研究者の協力と国民の理解が必要だろう。

## 引用文献

- ANDREADIS T. G. and R. M. WESELOH (1990) : Proc. Natl. Acad. Sci. USA 87 : 2451~2465.
- 青木襄児ら (1975) : 応動昆 19 : 17~22.
- BELL, R. A. et al. (1981) : The Gypsy Moth : Research Toward Integrated Pest Management (DOANE C. C. and M. L. McMANUS eds.), USDA Technical Bulletin 1584, USDA, Washington D. C., pp. 599~633.
- CUNNINGHAM, J. C. (1982) : Microbial and Viral Pesticides (E. KURSTAK ed.), Marcel Dekker Inc., New York, pp. 335~386.
- 遠田暢男ら (1989) : 100 回日林講 : 579~580.
- ら (1991) : 102 回同上 : 281~282.
- FERRON, P. (1978) : Ann. Rev. Entomol. 23 : 409~442.
- 藤下章男ら (1974) : 85 回日林講 : 215~216.
- ら (1975) : 86 回同上 : 374~376.
- HAJEK, A. E. and D. W. ROBERTS (1991) : Biol. Control 1 : 29~34.
- 浜 武人 (1959) : 長野林友 12 月号 : 22~45.
- 長谷川孝三・小山良之助 (1941) : 帝室林野林試報 4 : 1~74.
- 日高義實 (1933) : 林学会雑誌 15 : 91~101.
- HOOG, G. S. DE (1972) : Stud. Mycol. Baarn 1 : 1~41.
- KATAGIRI, K. (1981) : Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980 (H. D. BURGESS ed.), Academic Press, New York, pp. 733~740.
- 片桐一正 (1983) : 日中農業技術交流代表団報告, 農林水産省経済局国際部, pp. 13~45.
- KATAGIRI, K. and Z. IWATA (1976) : Appl. Entomol. Zool. 11 : 363~364.
- 片桐一正・島津光明 (1980) : 森林防疫 29 : 28~33.
- ら (1974) : 85 回日林講 : 205~206.
- ら (1979) : 23 回応動昆大会講要, p. 105.
- 小山良之助 (1954) : 森林防疫ニュース 27 : 296~298.
- 串田 保ら (1974) : 85 回日林講 : 214~215.
- ら (1981) : 92 回日林講 : 355~356.
- LEWIS, F. B. (1981) : Microbial Control of Pests and Plant Diseases 1970-1980 (H. D. BURGESS ed.), Academic Press, New York, pp. 363~377.
- MORRIS, O. N. (1982) : Microbial and Viral Pesticides (E. KURSTAK ed.), Marcel Dekker Inc., New York, pp. 239~287.
- 野淵 輝 (1989) : 森林防疫 38 : 133~138.
- (1993) : 同上 42 : 213~217.
- 小倉信夫・北島 博 (1991) : 43 回日林関東支講要 : p. 27.
- OHBA, M. et al. (1991) : Lett. Appl. Microbiol. 14 : 54~57.
- PODGWAITE, J. D. (1981) : The Gypsy Moth : Research Toward Integrated Pest Management (DOANE C. C. and M. L. McMANUS eds.), USDA Technical Bulletin 1584, USDA, Washington D. C., pp. 125~134.
- SHAPIRO, M. et al. (1981) : ibid. pp. 633~655.
- 島津光明・串田 保 (1980) : 32 回日林関東支論 : 93~94.
- (1983) : 35 回同上 : 165~166.
- ら (1982) : 93 回日林講 : 399~400.
- ら (1983) : 94 回同上 : 485~486.
- SHIMAZU, M. et al. (1992) : 日林誌 74, 325~330.
- et al. (1993) : Appl. Entomol. Zool. 28 : 103~105.
- 下島武人 (1957a) : 長野林友 11 月号 : 35~45.
- (1957b) : 同上 12 月号 : 20~29.
- (1958a) : 同上 1 月号 : 46~55.
- (1958b) : 同上 2 月号 : 38~47.
- (1958c) : 同上 3 月号 : 22~33.
- SOPER R. S. et al. (1988) : J. Invertebr. Pathol. 51 : 229~241.
- SUZUKI, N. et al. (1992) : Biol. Control 2 : 138~142.
- et al. (1993) : Appl. Entomol. Zool. 28 : 403~405.
- 高村尚武・佐藤平典 (1973) : 日林講 84 : 355~357.
- 山崎三郎・倉永善太郎 (1988) : わかりやすい林業研究解説シリーズ 91, ヒノキカワモグリガの生態と防除, 林業科学技術振興所, 東京, 68pp.