

森林防疫

FOREST PESTS

VOL.54 No.12 (No. 645)

2005

昭和53年11月8日第三種郵便物認可

平成17年12月25日発行（毎月1回25日発行）第54巻第12号



カラマツ樹幹に発生したエブリコ

須田 隆*

群馬県野生きのこ同好会

エブリコ *Fomitopsis officinalis* (Vill.:Fr.) Bondartsev & Singer は針葉樹のおもにカラマツ、トウヒなどの樹幹で枝の分岐した下部などに発生する、心材の褐色腐朽菌で立方状腐朽をおこす。子実体は多年生で無柄である。傘は半円形で丸山形～釣鐘形、幅10～15cm、高さ10～20cm。表面は初め白色、しだいに灰褐色～淡黄褐色、無毛、初め平滑のちひび割れる。傘肉は白色～黄白色、もろくチーズ様、噛むと強い苦味がある。管孔面はクリーム色～褐黄色、孔口は不正円形、1mm間に3～4個。

エブリコは「薬用」という意味のアイヌ語に由来する。子実体には苦味成分でもあるアガリシン酸が含まれる。
撮影：栃木県日光市・湯の湖畔、1984年9月9日。

* SUDA, Takashi

目 次

マツノマダラカミキリ類の分類と生態(1)―世界的に見たマツノマダラカミキリ―	横原 寛・遠田暢男	255
昆虫の自然免疫と病原細菌(2)―宿主自然免疫に対抗する病原細菌の生存戦略―	山内英男	266
森林総研によせられた問い合わせの多い虫 ベスト3	牧野俊一・中村和子	272
《森林病虫獣害発生情報：平成17年11月受理分》		274
《都道府県だより：東京都・香川県》		274
生物多様性について(3) 生態系、生息地及び種を脅かす外来種の影響の予防、導入、影響緩和のための指針原則(1)		277

マツノマダラカミキリ類の分類と生態(1)

—世界的に見たマツノマダラカミキリ—

Biology of the genus *Monochamus*, especially Japanese Pine Sawyer, *M. alternatus* (Coleoptera, Cerambycidae) (1)

—On global view of *Monochamus alternatus*—

榎原 寛¹・遠田暢男²

マツノサイセンチュウのベクターであるマツノマダラカミキリを知る上において、本種の属するヒゲナガカミキリ属を理解しておく必要がある。さらにカミキリ類、サイセンチュウ類、マツ類は一つのユニットと考えられる。そこで、本報(1)では、基礎的ではあるが、これまであまり語られることの無かったマツノマダラカミキリの側面を紹介する。

なお、本報を草するにあたり、資料提供、作成に多大な尽力をいただいた独立行政法人農業環境技術研究所の吉松慎一主任研究官、独立行政法人森林総合研究所のゲノム解析研

究室津村義彦研究室長、森林病理研究室相川拓也研究官、昆虫生態研究室杉浦真治・加賀谷悦子研究官に深謝する。

世界のヒゲナガカミキリ属

マツノマダラカミキリ（以降マツノマダラ）*Monochamus alternatus* Hope, 1842の属するヒゲナガカミキリ属 Genus *Monochamus* Megerle, 1821* (Dejean, 1821) はフトカミキリ族 Tribe Lamiini Mulsant, 1839の中でも特に大きい一属である。世界で164種が知られ、アフリカ、ヨーロッパ、アジア、北米

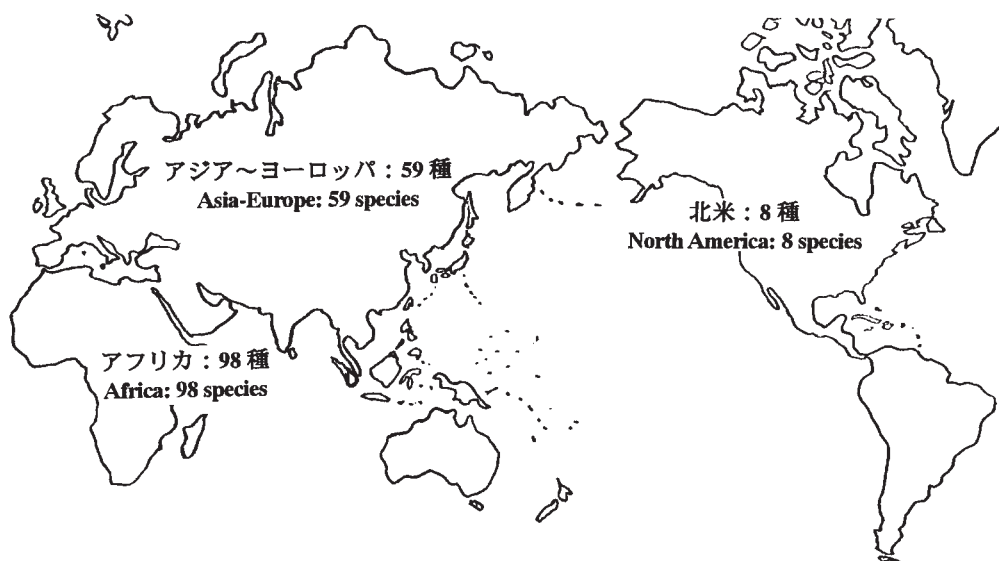


図-1 世界のヒゲナガカミキリ属の種数

Fig. 1. Number of species of the genus *Monochamus* occurring in the world

¹MAKIHARA, Hiroshi, 森林総合研究所海外研究領域；²ENDA, Nobuo, 元森林総合研究所

表-1 ヨーロッパからアジア, 北米に分布するヒゲナガカミキリ属の種
 Table 1. Species of the Genus *Monochamus* occurring in Asia, Europe and North America

	Japan	China including Taiwan	Asia	Europe	Africa	N. America
Asia and Europe						
1 aberrans Ritz., 1881			○			
2 alboapicalis Pic			○			
3 alternatus Hope, 1842	○	○	○			
4 asiaticus (Hayashi, 1962)	○					
5 asper Breuning, 1935			○			
6 basifossulatus Breuning, 1938			○			
7 bimaculatus Gahan, 1888		○	○			
8 binigromaculatus Breuning, 1959			○			
9 bootangensis Breuning, 1947			○			
10 borchmanni Breuning, 1959			○			
11 convexicollis Gressitt, 1942		○				
12 densepunctatus Breuning, 1980			○			
13 desperatus Thomson, 1857			○			
14 fisheri Breuning, 1944			○			
15 flavosignatus Breuning, 1947			○			
16 foveatus Breuning, 1961		○				
17 fruhstorferi Breuning, 1975			○			
18 fukiens Plavilstshikov, 1952 ?		○				
19 galloprovincialis (Ol., 1795)		○	○	○	○	
20 gardneri Breuning, 1938			○			
21 grandis Waterhouse, 1881	○					
22 gravidus Pascoe, 1858		○				
23 guerryi Pic, 1902		○				
24 guttulatus Gressitt, 1951		○	○			
25 hiekei Breuning, 1963			○			
26 impluviatus Motschulsky, 1859		○		○		
27 itzingeri Breuning, 1935			○			
28 jordani Nonfr., 1894			○			
29 kaszabi Heyr., 1955		○				
30 latefasciatus Breuning, 1944		○	○			
31 lateriplagiatus Breuning, 1942			○			
32 luteodispersus Pic, 1927		○	○			
33 maruokai Hayashi, 1962	○					
34 mausoni Breuning, 1950			○			
35 mediomaculatus Breuning, 1935			○			
36 millegranus Bates, 1891		○				
37 msaoi Kusama et Takakuwa, 1984	○					
38 nigromaculatus Gressitt, 1942		○				
39 nigromaculicollis Breuning, 1974			○			
40 nigroplagiatus Breuning, 1935			○			
41 nitens Bates, 1884	○					
42 ochreopunctatus Breuning, 1980			○			
43 regularis Aurivillius, 1924			○			
44 saltuarius (Gebler, 1830)	○	○	○	○		
45 sartor (Fabricius, 1787)				○		
46 semigranulatus Pic			○			
47 serratus Gahan, 1906			○			
48 shembaganurensis Breuning, 1979			○			
49 sparsutus Fairmaire, 1899		○	○			
50 subconvexicollis Breuning, 1967			○			
51 subfasciatus Bates, 1873	○					
52 subgranulipennis Breuning, 1974		○				
53 subtrangularis Breuning, 1972			○			
54 sutor (Linnaeus, 1758)	○	○	○	○		
55 taiheizanensis Mitono, 1943		○				
56 talianus Pic, 1912		○				
57 tonkinensis Breuning, 1935			○			
58 urussovi (Fischer, 1806)	○	○		○		
59 villiersi Breuning, 1960			○			
North America						
1 carolinensis (Olivier, 1792)						○
2 clamator (LeConte, 1852)						○
3 marmorator Kirby, 1837						○
4 mutator, LeConte, 1850						○
5 notatus (Drury, 1773)						○
6 obtusus Casey, 1891						○
7 scutellatus (Say, 1824)						○
8 titilator (Fabricius, 1775)						○

に広く分布しているが、オーストラリア、南米には分布していない (E. Breuning, 1943~1946; S. Breuning, 1961; Zool. Soc. London, 1958~2004)。最も種数の多い地域はアフリカでアジア、ヨーロッパと共通の1種を含む98種が分布している (図-1)。ヒゲナガカミキリ属はアフリカに種類が多いため、アフリカ起源とする説 (王, 1995) もある。しかし、ヒゲナガカミキリ属のタイプ種はヨーロッパ原産のヒメシラフヒゲナガカミキリ *M. sutor* (Linnaeus, 1758) であり、属の生態的な特徴はマツ類を食すること、形態的な特徴は体が大きく、前胸背側方突起は鋭く、上翅基部が荒くしわ状に点刻され、雄の触角、前脚は長いことである (Linsley, 1965)。この特徴は北米、ヨーロッパとアジアの冷温帯地域 of ヒゲナガカミキリ属には当てはまるが、他地域、特に熱帯地域では該当種がない。また、アジアでアフリカ起源のカミキリムシの代表はアオスジカミキリ属 Genus *Xystrocera* や Genus *Eunidia* 等であり、何れもインドより東部のアジア地域の熱帯を中心に (一部が暖温帯地域まで)、分布している。このようなカミキリムシ類はインド亜大陸がアフリカから移動し、アジアにたどりついた生物群の一つだと推定される。新・旧北区にまたがり広く分布する生物群を、ただ単に種数が多いからアフリカ起源とすることは早計である。現在のヒゲナガカミキリ属自体が多系統の種群の寄せ集めだと考えたほうが自然であり、今後、系統分類学的な整理が必要である。

ヒゲナガカミキリ属はヨーロッパからアジアにかけては59種 (図-1, 表-1) が知られる。北米には8種 (図-1, 表-1) しか分布していないが何れの種も、後述するがユーラシア系の種である。中国 (台湾, チベットを含む) には特産11種を含む22種が分布し (S. Breuning, 1961; Hua, 1982; Zool. Soc. London, 1958~2004), 日本との共通種はマツノマダラカミキリを含む4種で、何れも広

域分布種である。

**Monochamus* 属の命名は Guérin により 1826 年に最初に提唱されたとして、日本では長く *Monochamus* Guerin, 1826 が使われてきた。しかし、それ以前の 1921 年に Megerle がすでに発表しており、Linsley & Chemsak, 1984 では Megerle, 1821 を採用している。

日本のヒゲナガカミキリ属

日本にはマツノマダラ (図-2B) を含む10種が分布し、日本特産種は針葉樹加害のヒゲナガカミキリ *M. grandis* Waterhouse, 1881 (図-3A), シラフヒゲナガカミキリ *M. nitens* Bates, 1884 (図-4B) と広葉樹加害のヒメヒゲナガカミキリ *M. subfasciatus* Bates, 1873 (図-6A), アマミヒメヒゲナガカミキリ *M. masaoi* Kusama et Takakuwa, 1984 (図-6B), キマダラヒメヒゲナガカミキリ *M. maruokai* Hayashi, 1962 (図-6C), コゲチャフタモンヒゲナガカミキリ *M. asiaticus* (Hayashi, 1962) (図-6D) の6種である。ただし、ヒメヒゲナガカミキリはアカマツ、クロマツ加害も知られる (小島・中村, 1986)。その他、ヨーロッパまで生息する広域分布種で針葉樹加害のカラフトヒゲナガカミキリ *M. saltuarius* (Gebler) (図-2C), ヒメシラフヒゲナガカミキリ *M. sutor* (Linnaeus, 1758) (図-4A), シラフヨツボシヒゲナガカミキリ *M. urussovi* (Fischer, 1806) (図-5B) が知られている。

ヒゲナガカミキリ属の中で体が黒色となる種でも上翅に斑紋が表れる。この特徴は雌で、また雄でもヒゲナガカミキリでは小型個体で特に顕著となり、種間の類縁性を調べるのにかなり有効だと思われる。日本特産のヒゲナガカミキリ (図-3A) に最もよく似た上翅斑紋を持つ種は *M. galloprovincialis* (Olivier, 1795) (図-3B) であり、前胸背側方のくっきりした黄色紋もよく似ている。*M. galloprovincialis* (図-3B) は東はサハリン、西はポルトガル、アフリカ北部まで分布し、ヒゲナガカミキリ属の中で最も分布が広い。一

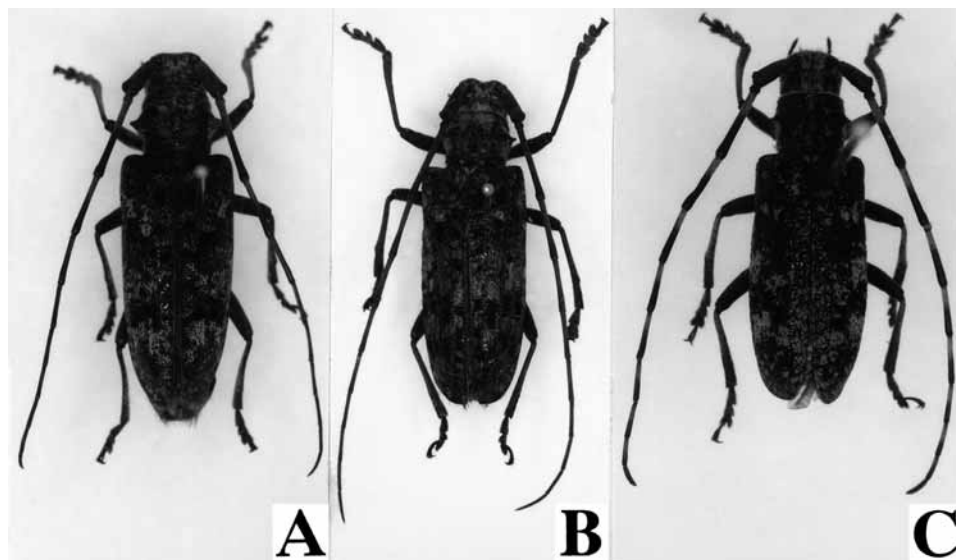


図-2 マツノマダラカミキリとその近縁種, 全て雌個体

A : *Monochamus carolinensis* (アメリカ, ミズリー州産, 体長22mm)

B : マツノマダラカミキリ (日本, 鹿児島県産, 26mm)

C : カラフトヒゲナガカミキリ (日本, 茨城県産, 15mm)

Fig. 2. *Monochamus alternatus* and its closely related species, females

A : *Monochamus carolinensis* (Missouri, USA, body length 22mm)

B : *Monochamus alternatus* (Kagoshima Pref., Japan, 26mm)

C : *Monochamus saltuarius* (Ibaraki Pref., Japan, 15mm)

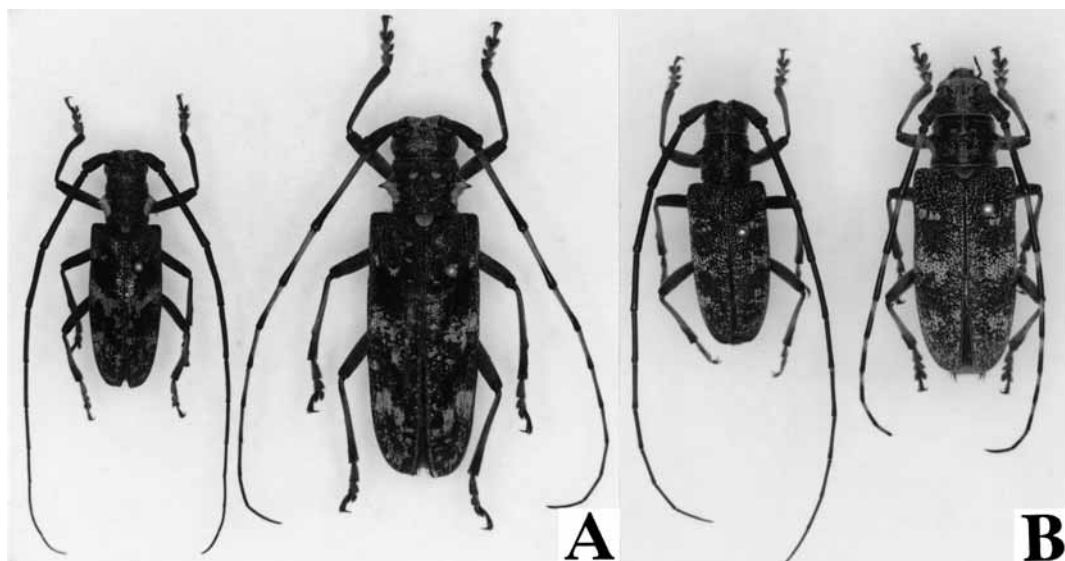


図-3 日本のヒゲナガカミキリとその近縁種, *Monochamus galloprovincialis*

A : ヒゲナガカミキリ, 左: ♂, 日本, 東京都多摩産, 22mm ; 右: ♀, 同左産, 33mm

B : *Monochamus galloprovincialis*, 左: ♂, フランス産, 16mm ; 右: ♀, 同左産, 22mm

Fig. 3. *Monochamus grandis* and its closely related species, *M. galloprovincialis*

A : *Monochamus grandis*, left: ♂, Tama, Tokyo Pref., Japan, 22mm; right: ♀, ditto, 33mm

B : *Monochamus galloprovincialis*, left: ♂, France, 16mm; right: ♀, ditto, 22mm

方、ヒゲナガカミキリ (図-3A) は北海道、本州、四国、九州、南千島に分布し、日本全土に広く生息しているが *M. galloprovincialis* とは分布が重ならない点からも両種の類縁性の高さがうかがえる。

シラフヒゲナガカミキリ (図-4B) は本州、四国の亜高山帯に生息しており、上翅に光沢があるのが特徴である。しかし、上翅斑紋はヨーロッパから北海道まで広域に分布しているヒメシラフヒゲナガカミキリ (図-4A) とよく似ている。この両種も分布が重ならず、非常に近縁だと推定される。

ヒメヒゲナガカミキリ (図-6A)、アマミヒメヒゲナガカミキリ (図-6B)、キマダラヒメヒゲナガカミキリは同系統の種で、中国、

台湾の *M. sparsutus* Fairmaire, 1899, インド、インドシナに分布する *M. dubius* Gahan の近縁種である。

マツノマダラとカラフトヒゲナガカミキリについては後述する。

北米のヒゲナガカミキリ属

北米のヒゲナガカミキリ属は *Monochamus scutellatus* (Say, 1824) (図-5A), *M. obtusus* Casey, 1891, *M. marmorator* Kirby, 1837, *M. mutator* LeConte, 1850, *M. carolinensis* (Olivier, 1792) (図-2A), *M. clamator* (LeConte, 1852), *M. titillator* (Fabricius, 1775), *M. notatus* (Drury, 1773) の8種である。*M. scutellatus* (図-5A) の体はつやのある黒色で、このような色彩をしたヒゲナガカミキリは北米では本種だけである。この種は小型雄個体でも上翅に斑紋が表れず、雌だけに斑紋が認められる。このような特徴を持つ種はヨーロッパから北海道まで分布しているシラフヨツボシヒゲナガカミキリ (図-5B) である。他の7種は何れも上翅は赤褐色から黒褐色で、まだら模様の斑紋を持つ。上翅斑紋の褐色化とまだら模様は、生活場所がマツ類そのものであるため、体色をマツ類の樹皮に似せた(隠蔽色)と思われる。*M. carolinensis* (図-2A) をはじめとして7種は多少の濃淡はあるものの、上翅にアジアのマツノマダラ (図-2B) とユーラシア全体に広く分布するカラフトヒゲナガカミキリ (図-2C) を併せたような斑紋を有している。そして、雌雄での上翅斑紋の差異は小さい。世界的に見ても、マツ樹皮色をしているヒゲナガカミキリの仲間はマツノマダラと北米の種だけである。このことから、褐色をした北米の種はマツノマダラ、カラフトヒゲナガカミキリに近縁で、*M. scutellatus* を含む北米のヒゲナガカミキリ属の種は全てユーラシアの種と類縁関係にあるといえよう。

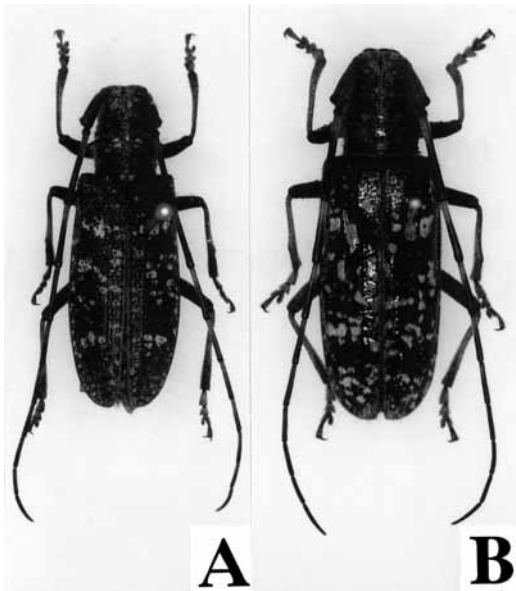


図-4 ヒメシラフヒゲナガカミキリとシラフヒゲナガカミキリ、全て雌個体

A : ヒメシラフヒゲナガカミキリ, 日本, 北海道産, 20mm

B : シラフヒゲナガカミキリ, 日本, 栃木県産, 22mm

Fig. 4. *Monochamus sutor* and *M. nitens*, females

A : *Monochamus sutor*, Hokkaido Pref., Japan, 20mm

B : *Monochamus nitens*, Tochigi Pref., Japan, 22mm

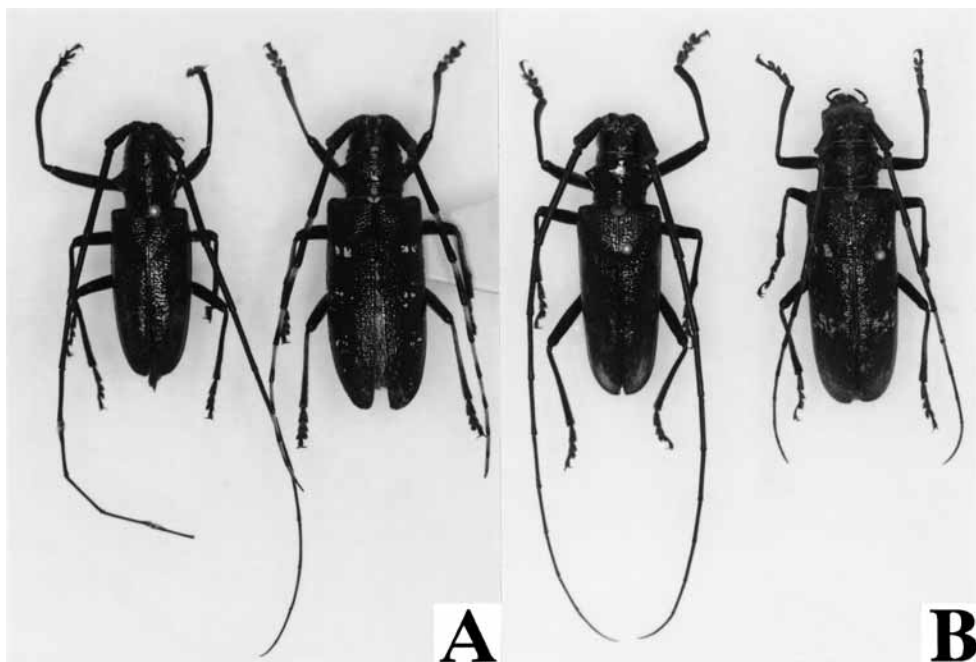


図-5 *Monochamus scutellatus*とその近縁種シラフヨツボシヒゲナガカミキリ
 A : *Monochamus scutellatus*, 左 : ♂, オンタリオ州産, USA, 21mm ; 右 : ♀, 日本に侵入個体, 福岡県, 24 mm
 B : シラフヨツボシヒゲナガカミキリ, 左 : ♂, 日本, 北海道産, 27 ; 右 : ♀, 同左産, 28mm
 Fig. 5. *Monochamus scutellatus* and its closely related species, *M. urussovi*
 A : *Monochamus scutellatus*, left: ♂, Ontario, USA, 21mm; right: ♀, invaded from North America to Fukuoka City, Japan, 24mm
 B : *Monochamus urussovi*, left: ♂, Hokkaido Pref., Japan, 27mm; right: ♀, ditto, 28mm

マツノマダラカミキリ

マツノマダラは中国浙江省舟山群島産の標本に基づき記載された (Hope, 1842)。その後、香港から記載された *Monochammus tesseraula* (White, 1858) はマツノマダラのシノニム (同物異名) である (E. Breuning, 1944)。日本からは1873年に *Monochammus tesseraula* として兵庫から記録されたのが初めてである (Bates, 1873)。そして、日本では長い間、マツノマダラの学名として *Monochammus tesseraula* が使用されてきた。日本のマツノマダラが文献に表れてくるのは Bates 以降、1907年 (明治40年) の播磨 (兵庫県南西部) 産甲虫目録である (大上, 1907)。そして1913年 (大正2年) に矢野宗幹が1905, 1906年 (明治38, 39年) の日本初となる長崎のマツ

枯れ調査を克明に記録し、そのなかでマツノトビイロカミキリ (学名は *Monochammus tesseraula* を使っている) の食害を報じ、さらに雌成虫を図示している (矢野, 1913)。その後、松くい虫被害は1933~1936年 (昭和8~11年) に兵庫県相生町を中心とした被害の報告がある (井上, 1969)。1930年代になるとマツノマダラ密度が高くなったのか、定かではないが文献にたびたび登場してくようになる (小島, 1930 ; Kojima, 1931 ; 小林, 1932)。正確な記録としては鹿児島県三島村硫黄島の1 ♀, 1934年 (昭和9年) 5月14日, 江崎悌三採集, 東京都小笠原村父島の1 ♂, 1935年 (昭和10年) 7月18日, M. Okabe 採集 (Makihara, 2004) が知られる。1930年代までは世界的に見ても、マツノマダラの学

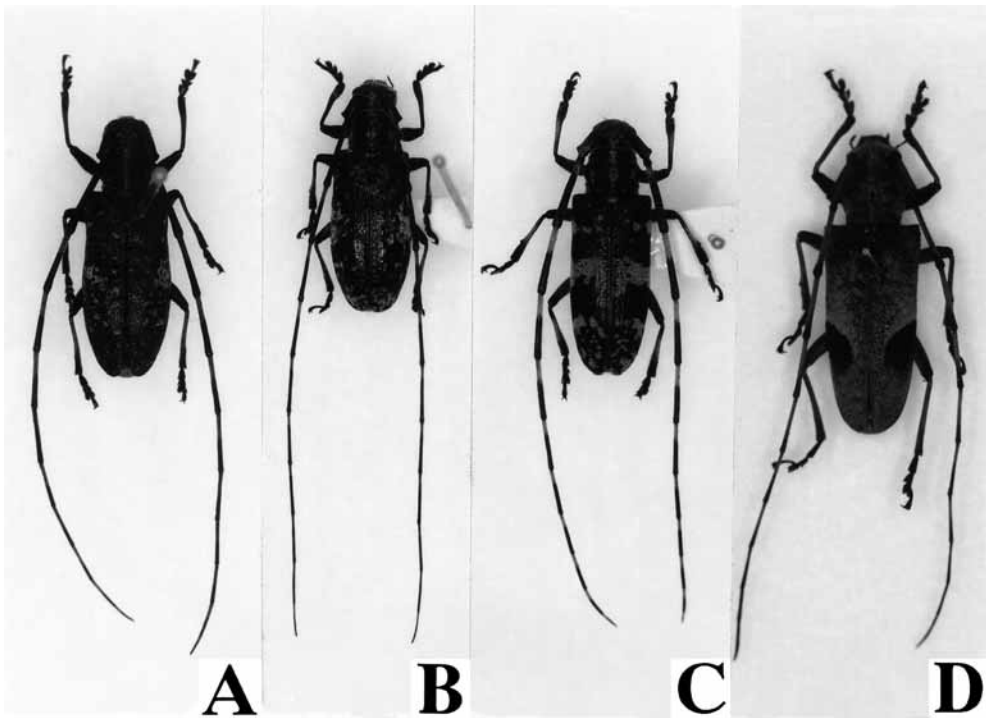


図-6 広葉樹を加害する日本産のヒゲナガカミキリ属の種、全て雌個体

- A : ヒメヒゲナガカミキリ, 岩手県産, 15mm
- B : アマミヒメヒゲナガカミキリ, 奄美大島産, 15mm
- C : マルオカヒメヒゲナガカミキリ, 石垣島産, 15mm
- D : コゲチャフタモンヒゲナガカミキリ, 石垣島産, 30mm

Fig. 6. *Monochamus* species feed on broad-leaved tree, occurring in Japan, females

- A : *Monochamus subfasciatus*, Iwate Pref., 15mm
- B : *Monochamus maruokai*, Amami Oshima Is. of the Ryukyus, 15mm
- C : *Monochamus maruokai*, Ishigaki Is. of the Ryukyus, 15mm
- D : *Monochamus asiaticus*, Ishigaki Is. of the Ryukyus, 30mm

名は統一されていないで、Junkのカタログに、*Monochamus alternatus*, *M. tesseraula* どちらもあり、分布は前者が中国、後者が香港、日本となっている (Aurivillius, 1921)。この名前が *alternatus* に整理統一されたのは1944年 (昭和19年) である (E. Breuning, 1943~1946)。日本では1950年 (昭和25年) に琉球列島のカミキリムシがまとめられ、その中でマツノマダラの学名に *alternatus* が使用されたのが初めてである (Gressitt, 1950)。そして、1955年 (昭和30年) に原色日本昆虫図鑑が出版され、その中でマツノマダラは *Monochamus alternatus* と扱われたため (林,

1955), これ以降はこの学名が一般に使われるようになった。

マツノマダラは現在2亜種に分けられている (Makihara, 2004)。原亜種 *M. alternatus alternatus* は台湾, 中国, ラオス, ベトナムに、日本亜種 *M. alternatus endai* は日本: 本州, 佐渡, 隠岐, 瀬戸内の島嶼, 伊豆諸島, 小笠原諸島 (人為的侵入), 四国, 沖の島, 九州, 奄岐諸島, 対馬, 平戸島, 五島列島, 天草島, 甌列島, 種子島, 屋久島, 硫黄島 (鹿児島県三島村), トカラ列島, 奄美大島, 加計呂間島, 沖永良部島, 沖縄島, 宮古島 (人為的侵入); 韓国南部 (人為的侵入), 齊

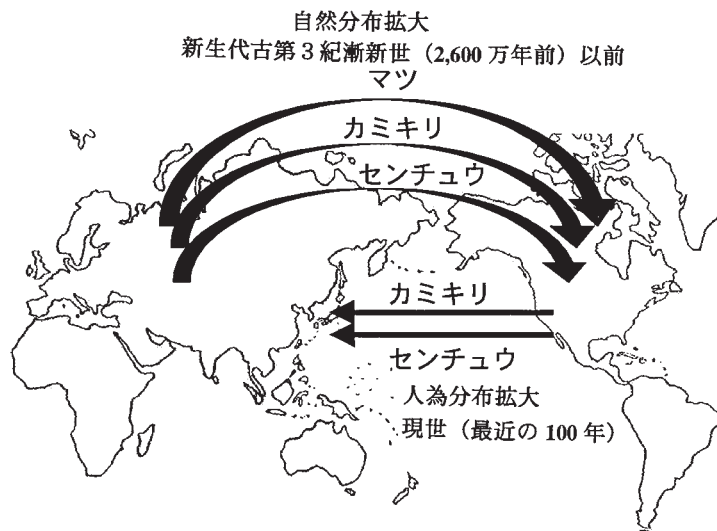


図-7 マツ類 (マツ亜属), ザイセンチュウ, ヒゲナガカミキリ類の移動模式図

Fig. 7. Moving map of Pine trees (Subgenus *Pinus*), wood nematodes and *Monochamus* spp.

州島に分布している。ところで、沖縄島のマツノマダラは自然分布種か侵入種か、よく議論の対象になる。しかし、1940年のカミキリムシ目録に分布としてOkinawa-hontôが出ており (水戸野, 1940), また、1945年に沖縄で観察したとの報告もある (Gressitt, 1950)。さらに本報(2)で述べるように沖縄本島産マツノマダラは休眠覚醒後の終齢幼虫の発育零点が 13°C 以上と本州、九州産のものとは比べてかなり高い。これらの事を総合すると沖縄本島産のマツノマダラは自然分布種と考えた方がよさそうである。

終齢幼虫の発育零点に南北で変異が認められるものの、日本国内では沖縄産も本州産も形態的には差が認められない。そして、日本産のマツノマダラは中国、台湾産とは形態的に異なっている。このことはマツノマダラの祖先種が大陸から沖縄本島を含む日本への侵入がかなり古く、琉球列島と大陸、九州と地続きであった新生代新第3紀中新世中～後期 (約1500万年～1000万年前) (木崎, 1980) の時代であったことを示唆している。この時代にはアマミノクロウサギをはじめ、多くの動

物が大陸から渡ってきている。

日本のカラフトヒゲナガカミキリはマツくい虫被害が増加して、マツノマダラの密度が高くなった地域では姿を消していく。成虫の出現時期、加害木、成虫の生態などやや異なるが (榎原他, 1990), カラフトヒゲナガカミキリが姿を消していく原因は未だにはっきりしていない。しかし、広く見ると分布が重なって見えるが、細かい生息範囲は異なっていた可能性がある。そして、その分布域の広さから、カラフトヒゲナガカミキリの方がマツノマダラよりも系統的に古いと推定される。

マツ, マツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリ

カミキリとマツのどちらが欠けてもマツノザイセンチュウ類は存在できない。すなわち、マツノマダラカミキリとニセマツノザイセンチュウ *Bursaphelenchus mucronotatus* ないしマツノザイセンチュウ *B. xylophilus* とマツ類は一つのユニットと考えられる。そのため、マツノマダラの歴史を語る上で、マツ類、ザイセンチュウ類の歴史も同時に考える必要

がある。

マツ科Pinaceaeの歴史はジュラ紀までさかのぼるが、マツ属Genus *Pinus*はトウヒ属Genus *Picea*, Genus *Cathaya*等の共通祖先から中生代白亜紀初期(1億4,000万年前)に分化したと推定されている(Wang et al., 2000)。マツ類の中でもザイセンチュウ類と関係の深いアカマツ、クロマツなどが含まれるマツ亜属Diploxyylon pines (Subgenus *Pinus*)はユーラシアと北米のマツ類に分けられる。そして、現存の北米のマツ亜属の先祖はベーリング陸橋を伝いユーラシアより北米に侵入したとされる(López et al., 2002)。

北米のマツノザイセンチュウとユーラシアのニセマツノザイセンチュウは一連の近似種群で、Pine Wood Nematode Species Complex (PWNSC) と呼ばれる。マツノザイセンチュウとニセマツノザイセンチュウの共通祖先がヨーロッパ大陸において出現し、北米大陸へ渡ったものがマツノザイセンチュウとなり、その分化年代は新生代古第3紀漸新世(2,600万年前)だとされる(Kanzaki & Futai, 2002)。ユーラシア大陸沿いに日本にまで分布を広げたものがニセマツノザイセンチュウと考えられている。そして、北米より日本にマツノザイセンチュウが侵入したが、それぞれの分布拡大の先端である日本において、これらの種が接触したときには既にこれら2種間には生殖的隔離が起こっていた(岩堀・二井, 1995)。そのため、現在の日本では近縁2種のザイセンチュウが共存するようになったのである。ところで、上記の針葉樹に依存しているセンチュウ類はキボシカミキリ*Psacotha hilaris* (Pascoe, 1857)をベクターとしている*B. conicaudatusi*との共通祖先から、分化したとされる(岩堀・二井, 1995)。このことを考えると広葉樹と針葉樹との接点となるカミキリムシ類の存在が無くては、これらセンチュウ類は存在し得なかったはずである。これに該当するカミキリムシは現時点では広葉樹食

であるが、マツ類も加害するヒメヒゲナガカミキリしか思い当たらない。この仲間(種群)は前述のようにインド以東に分布しており、上翅の斑紋はカラフトヒゲナガカミキリによく似ている。系統関係については今後の詳しい解析が必要であるが、針葉樹と広葉樹、カミキリとセンチュウを結ぶkey speciesの可能性を秘めた種群である。

北米のヒゲナガカミキリ属は前に述べたように黒い体色の*Monochamus scutellatus*と褐色の7種の、2つのタイプに分けることができる。前述のように*M. scutellatus*はユーラシアに広く分布するシラフヨツボシヒゲナガカミキリに近縁である。*M. carolinensis*をはじめとする褐色のタイプの種とマツノマダラ、カラフトヒゲナガカミキリは類縁関係にあると思われる。これらのことから、北米のヒゲナガカミキリ属の種はユーラシアからベーリング陸橋に沿って北米に入ったシラフヨツボシヒゲナガカミキリの祖先種と、マツノマダラ、カラフトヒゲナガカミキリの共通祖先種から分化したと考えられる。このことをマツ、センチュウとさらに古地理と重ね合わせて考えてみよう。

アジアと北米を分けるベーリング海峡は新第3紀中新世後期(約500万年前)よりも以前には存在しなくて、それ以降の新第3紀鮮新世後期(約200万年前)と第4紀更新世(200万年から1万年前)になり、海峡と陸橋を繰り返すようになったとされる(浅野, 1969)。そのため、新第3紀中新世後期以前に東アジアから北米に侵入した生物群も多いと考えられる。その古生物学的証拠として、多くの昆虫、動物、植物において、共通種や類縁性の高い種の東アジアと北米との隔離分布や化石種の分布があげられている(Linsley, 1963)。

前述のように、ヒゲナガカミキリ属の種と関連の深いマツノザイセンチュウがニセマツノザイセンチュウとの共通祖先から種分化したのが新生代古第3紀漸新世(2,600万年前)だとされている。また、現存の北米のマツ亜

属の先祖はベーリング陸橋を伝いユーラシアより北米に侵入したとされる。これらのことを総合的に考えると次のようであろう。

北米のヒゲナガカミキリ属の種の祖先がベーリング海峡存在以前の新生代古第3紀漸新世までにユーラシアよりベーリング陸橋沿いに北米にわたり、種分化した。ただし、北米の中で *M. scutellatus* が2亜種に分けられているし、褐色のタイプの種が7種もいることを考えるとユーラシアから北米へのカミキリムシの進出は何度も繰り返された可能性がある。

北米に2,600万年前より以前にベーリング陸橋を伝って進出し、種分化をとげたマツ類(マツ類の進出が当然のことながら、最も早かったと思われる)、マツノザイセンチュウ、ヒゲナガカミキリ属の種が人為的に太平洋を渡り、日本へと運ばれたわけである(図-7)。マツ類は伐採されているから、死んでいるが、その中にあるマツノザイセンチュウ、ヒゲナガカミキリ属の種は生きた状態で運ばれ、日本に侵入し、最初の確実な記録が1905年(明治38年)である(矢野, 1913)。北米のヒゲナガカミキリ属8種のうち、6種からマツノザイセンチュウが検出されている(Linit, 1990)。その中でも *M. scutellatus* が日本でよく発見される(林, 1964)。そのため、この種が日本にマツノザイセンチュウを持ち込んだ可能性のある種の最右翼である。

これまで、マツノマダラを中心にヒゲナガカミキリ属の概要を述べてきたが、内容は未熟である。今後は本属の種についてDNA解析を含め、詳しい系統分類学的解析が必要で、筆者等は現在研究を遂行中である。

最後に、生物が2600万年以上という長い年月をかけて、獲得したマツ類、ザイセンチュウ類、ヒゲナガカミキリ類の共存関係を人間が生活の営みの中で、わずか100年で壊したという現実を忘れずに今後の教訓にして欲しい。

引用文献

- 浅野 清 (1969) 古生物学入門, 207pp., 朝倉書店, 東京.
- Aurivillius, Chr. (1921) Cerambycidae: Lamiiinae 1. Coleopt. Cat., 73, 322pp., W. Junk, Berlin.
- Bates, H. W. (1873) On the Longicorn Coleoptera of Japan. Ann. Mag. nat. Hist., (4)12, 380~390.
- Breuning, E. (1943~1946) Études sur les Lamiaires (Col. Ceramb.), Douzième tribu: Agniini Thomson. Nov. Entomol., 13(1~4), 1~523.
- Breuning, S. (1961) Catalogue des Lamiaires du Monde (Col. Cerambycidae). 5. Lief., Mus. G. Frey, Munchen, pp.287~382.
- Dejean, P.F.M.A. (1821) Catalogue de la collection de coléoptères de *M. lebaron* Dejean, 136 pp. Paris.
- Gressitt, J. L. (1950) Longicorn beetles from the Ryukyu Islands (Coleoptera: Cerambycidae). Philipp. J. Sci., 79(2), 193~235, 5 figs.
- Guérin-Meneville, F.E. (1826) Dictionnaire classique d'histoire naturelle, 11, 91.
- 林 匡夫 (1955) かみきりむし科. 原色日本昆虫図鑑(甲虫編), 132~190, pls.41~59, 保育社, 大阪.
- 林 匡夫 (1964) 輸入木材付着の天牛科甲虫類について—特に北米産種とその加害樹種—, 外材と木材産業, (4), 1~11., 阪神南洋材検量所.
- Hope, F. W. (1842) Descriptions of the new Coleoptera sent to England by Dr. Cantor from Chusan and Canton, with observations on the entomology of China. Trans. Entomol. Soc. Lond. Proc., 111.
- Hua, L. (1982) A check list of the longicorn beetles of China, Coleoptera; Ceram-

- bycidae. 159 pp., Zhongshan Univ., Guangzhou, China. (In Chinese)
- 井上元則 (1969) 保護・食用菌編・害虫防除. 林業技術史, 3, 637~705.
- 岩堀英晶・二井一禎 (1995) 線虫の分類におけるDNA分析技術の利用—マツノサイセンチュウの場合—. 日線虫誌 25(1), 1~10.
- Kanzaki, N. and Futai, K. (2002) A PCR primer set for determination of phylogenetic relationships of *Bursaphelenchus* species within the *xylophilus* group. *Nematology*, 4(1), 35~41.
- 木崎甲子郎 (1980) 琉球の自然史. 282pp., 築地書館, 東京.
- 小林賢三 (1932) 大阪附近の天牛. 関西昆虫学会会報, 3, 73~79.
- 小島圭三・中村慎吾 (1986) 日本産カミキリムシ食樹総目録. 336pp., 比婆科学教育振興会, 広島県庄原市.
- 小島俊文 (1930) Monochamini (天牛科) 幼虫の形態に就いて. 応用動物学雑誌, II, 153~154.
- Kojima, T. (1931) Further investigation on the immature stages of some Japanese cerambycid-beetles, with notes on their habits. *J. Coll. Agric. Imp. Univ. Tokyo*, 11(3), 263~308, 14 figs., pl. 17.
- Linit, M.J. (1990) Transmission of pine-wood nematode through feeding wounds of *Monochamus carolinensis* (Coleoptera: Cerambycidae). *J. Nematol.*, 22, 231~236.
- Linsley, E. G. (1963) Bering Arc relationships of Cerambycidae and their host plants. Symposium "Pacific Basin Biogeography" presented of the Pacific Science of Association, Univ. Hawaii, USA, 21 August to 6 September, 1961, Bishop Museum Press, 159~178.
- Linsley, E. G. and Chemsak, J. A. (1984) The Cerambycidae of North America, Part VII, No. 1, Taxonomy and classification of the Lamiinae, Tribes Parmenini through Acanthoderini. *Univ. California Publ. Entomol.*, (102), xi+258, 57 figs.
- López, G. G., Kamiya, K. and Harada, K. (2002) Phylogenetic relationships of Diploxylon Pines (Subgenus *Pinus*) based on plastid sequence data. *Int. J. Plant Sci.*, 163(5), 737~747.
- 楨原 寛・鎌田直人・山家敏雄・五十嵐 豊 (1990) マツノマダラカミキリとカラフトヒゲナガカミキリの生態的比較. 101回日林論, 505~506.
- Makihara, H. (2004) Two new species and a new subspecies of Japanese Cerambycidae (Coleoptera). *Bull. FFPRI*, 3(1), 15~24.
- 水戸野武夫 (1940) 天牛科. 日本産鞘翅目分類目録, 94, 283pp., 野田書房, 台北.
- 大上宇一 (1907) 播磨産甲虫, *昆虫世界*, 11, 199~202.
- 矢野宗幹 (1913) 長崎県下松樹枯死原因調査. *山林公報*, 4号附録, 1~14.
- Wang, X., Tank, D. C. and Sang, T. (2000) Phylogeny and divergence times in Pinaceae: Evidence from three genomes. *Mol. Biol. Evol.*, 17(5), 773~781.
- White, A. (1858) Descriptions of *Monochamus Boweringii*, *Batocera Una*, and other Longicorn Coleoptera, apparently as yet unrecorded. *Proc. zool. Soc. Lond.*, XXVI, 398~413.
- Zoological Society of London ed. (1958~2004) *Insecta, Coleoptera. Zool. Rec.*, Vol. 95, Sec. 13, 1960~Vol. 140, Sec. 13, 2004.

(2005. 6. 10 受理)

昆虫の自然免疫と病原細菌(2)

— 宿主自然免疫に対抗する病原細菌の生存戦略 —

Innate immunity of insects, and pathogenic bacteria (2): the strategies for survival of pathogenic bacteria against the innate immunity of insects.

山内 英男¹

1. はじめに

昆虫病原細菌の多くは、バシラス科 (*Bacillaceae*), 腸内細菌科 (*Enterobacteriaceae*), シュードモナス科 (*Pseudomonadaceae*) およびストレプトコッカス科 (*Streptococcaceae*) 等に属する (表-1)。昆虫病原細菌のなかで, *Xenorhabdus* および *Photorhabdus* 属の細菌はグラム陰性であり, 腸内細菌科に属し, 土壌生息性の昆虫寄生性線虫 (*Steinernema* および *Heterorhabditis*) と共生関係にあり, 各種昆虫目の幼虫を宿主とする。

本属の細菌は, 線虫生活環において乾燥等に対して環境耐性を保有する非摂食期の感染態幼虫 (infective 或いは dauer juvenile) の消化管に宿り, 線虫が昆虫体内へ侵入後に

線虫消化管から放出される。放出された細菌が昆虫の自然免疫に対抗し, 増殖して昆虫を殺し, 昆虫組織の分解により線虫増殖のための栄養分を供給する。それと平行して, 細菌が抗菌タンパク質 (bacteriocin) および抗生物質 (antibiotics) を生合成し, 死亡した昆虫体内へ土壌中から混入する他の微生物汚染を防止する。増殖した線虫は感染態幼虫の発育段階となり, 細菌を保有して死亡個体から土壌中に出て, 次の昆虫を探索する。

他の昆虫病原細菌は生息環境から主として経口的に昆虫消化管に取り込まれて感染するが, 本属の細菌はベクターである線虫によって運ばれ昆虫に感染するところが際立った相違である。乾燥等に対して環境耐性を保有する非摂食期の感染態幼虫がベクターとなるので, 生物農薬としての利用価値が高く, 細菌と線虫に関して多様な研究が進展している。

筆者が研究している *Xenorhabdus japonica* はクシダネマ (*Steinernema kushidai*) と共生関係にあり, 主としてコガネムシ幼虫に対して強い病原性を示す。前回の論文 (山内英男, 2004) では宿主側の昆虫自然免疫について概説した。本論文では, 宿主自然免疫に対抗する *Xenorhabdus* および *Photorhabdus* 属細菌の主要な病原性について紹介する。

2. *Xenorhabdus* および *Photorhabdus* 属細菌の病原性

2.1. 定着 (colonization)

表-1 代表的な昆虫病原細菌

細菌	グラム	主な宿主昆虫
<i>Bacillaceae</i>		
<i>Bacillus thuringiensis</i>	+	鱗翅目幼虫
<i>Bacillus popilliae</i>	+	コガネムシ幼虫
<i>Bacillus lentimorbus</i>	+	コガネムシ幼虫
<i>Bacillus larvae</i>	+	ミツバチ
<i>Bacillus sphaericus</i>	+	カ幼虫
<i>Enterobacteriaceae</i>		
<i>Serratia marcescens</i>	-	バッタ, コガネムシ幼虫
<i>Serratia entomophila</i>	-	コガネムシ幼虫
<i>Xenorhabdus japonica</i>	-	コガネムシ幼虫
<i>Xenorhabdus nematophila</i>	-	鱗翅目幼虫
<i>Photorhabdus luminescens</i>	-	鱗翅目幼虫
<i>Pseudomonadaceae</i>		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	-	バッタ
<i>Pseudomonas apisepticus</i>	-	ミツバチ
<i>Streptococcaceae</i>		
<i>Streptococcus faecalis</i>	+	マイマイガ幼虫

+ : グラム陽性, - : グラム陰性

¹YAMAUCHI, Hideo, 森林総合研究所森林昆虫研究領域

線虫と細菌の関係は、*Steinernema*属線虫に対して*Xenorhabdus*属細菌が、*Heterorhabditis*属線虫には*Photorhabdus*属細菌が共生する(表-2)。*Steinernema carpocapsae*の感染態幼虫は、消化管の袋状構造(intestinal vesicle: ITV)に細菌を宿す。未成熟な感染態幼虫では2・3の細菌数が含まれるが、成熟した感染態幼虫では45~70の細菌数が含まれ、この細菌数の増加は初期少数細菌の増殖に由来すると推定されている。この研究には、蛍光タンパク質を常時発現するプラスミドを導入した*Xenorhabdus nematophila*菌株が利用された(Martens *et al.*, 2003a)。トランスポゾン挿入して遺伝子機能を破壊する実験から、*X. nematophila*が線虫消化管へ共生するためには*rpo*遺伝子および*isc-hsc-fdx*遺伝子の発現を必要とする(Vivas and Goodrich-Blair, 2001; Martens *et al.*, 2003b)。

蛍光ラベルした*X. nematophila*をヨトウ類幼虫(*Spodoptera littoralis*)の血体腔へ注射すると、細菌は中腸前部の血体腔側にある筋肉層結合組織の細胞間に定着するが、細胞内に侵入することはない。*S. carpocapsae*感染態幼虫による試験では、昆虫中腸への侵入と同時に*X. nematophila*はITVから線虫消化管に広がり、その後、肛門から体液中に放出され、中腸前部筋肉層結合組織の細胞間に定着する。また、トノサマバッタ(*Locusta migratoria*)では、背脈管に隣接する造血器官結合組織の細胞間に検出される(Sicard *et al.*, 2004)。

*Heterorhabditis bacteriophora*の感染態幼虫は*Photorhabdus luminescens*を消化管前部に宿す。感染態幼虫に昆虫体液を加えると、細菌は線虫の咽頭(Pharynx)方向移動し、口から体外へ放出される。放出される細菌の総数は100個前後である。この細菌放出は、昆虫体液に含まれる分子量1万以下の因子によって誘導され、細菌放出活性は各種昆虫細胞を培養した培養液にも含まれる(Ciche and Ensign, 2003)。

2.2. 線毛 (fimbriae, pili)

腸内細菌科に属する多くの細菌は、何種類ものポリペプチドから構成された線毛と呼ばれる構造を外膜に保有する。線毛は宿主昆虫の上皮細胞への接着活性或いは赤血球凝集活性を示し、菌体と宿主細胞の結合に機能する(レセプターとリガンドの関係)。

*X. nematophila*から精製した線毛は、培養液に添加されたときに、ヒツジ、ウサギおよびヒトの赤血球、ハチミツガ(*Galleria mellonella*)血球細胞を凝集させ、血球表面レセプターとの接着を仲介し、その接着はN-アセチル-D-ラクトサミンの糖添加によって阻害される(Moureaux *et al.*, 1995)。線毛は感染した昆虫の体液中で血球細胞を凝集させ、また共生関係にある感染態幼虫の消化管上皮細胞との接着にも関与すると推定されている。近年、*P. luminescens*および*X. nematophila*から*mrf*および*mrX*線毛オペロンがそれぞれ単離され、その遺伝子群構造およ

表-2 線虫と細菌の共生関係

線虫	細菌
<i>Steinernema carpocapsae</i>	<i>Xenorhabdus nematophila</i>
<i>Steinernema kushidai</i>	<i>Xenorhabdus japonica</i>
<i>Steinernema glaseri</i>	<i>Xenorhabdus poinarii</i>
<i>Steinernema feltiae</i>	<i>Xenorhabdus bovienii</i>
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	<i>Photorhabdus luminescens</i>
<i>Heterorhabditis bacteriophora</i>	<i>Photorhabdus luminescens</i> subsp. <i>laumondii</i>
<i>Heterorhabditis indica</i>	<i>Photorhabdus luminescens</i> subsp. <i>akhurstii</i>
<i>Heterorhabditis megidis</i>	<i>Photorhabdus temperata</i>

び接着に働く遺伝子が明らかにされている (He *et al.*, 2004; Meslet-Cladiere *et al.*, 2004)。線毛遺伝子群の中で主要な17kDaサブユニットを構成するポリペプチドを人工飼料に加えると殺虫活性を示し、培養液に加えると血球細胞を凝集させ、殺虫性と接着の両機能を示す (Khandelwal *et al.*, 2004)。

*X. japonica*の線毛は、SDS電気泳動分析により他の細菌と類似した分子量17kDaを示し (図-1)、N末端アミノ酸配列分析から *E. coli* および *X. nematophila* の17kDaサブユニットと高いホモロジーを示す。*E. coli* をコガネムシ幼虫の体液と混合すると、コガネムシ幼虫の異物認識タンパク質と高い親和性をもって結合する。一方、異物認識タンパク質は *X. japonica* に対してほとんど結合しないが、化学的な処理により菌体表面タンパク質を遊離させると、結合するようになる。現在、線毛を含む菌体表面タンパク質の機能を明らかにするため、*X. japonica* における異物認識タンパク質結合阻害に働く菌体表面タンパク質の特定を進めている。このタンパク質は細菌が昆虫の自然免疫を回避・抑制す

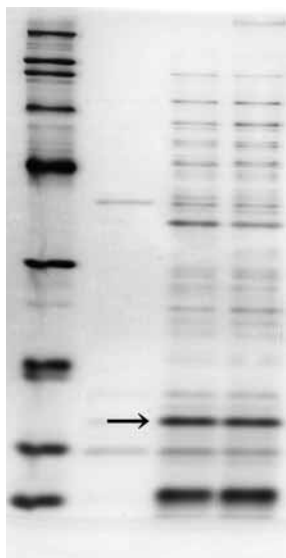


図-1 *X. japonica*の線毛を構成する17kDaポリペプチド(矢印)

る機構と関連すると考えている。

2.3. 昆虫体液プロテアーゼカスケードの阻害

昆虫体液には各種のプロテアーゼ前駆体が含まれ、外傷や異物侵入に呼応して連鎖的にプロテアーゼが活性化されるカスケードが存在する。*X. nematophila*をヤガ科幼虫 (*Agrotis segetum*) の血体腔へ注射すると、体液中のフェノール酸化酵素カスケードによるメラニン化が阻害される (Yokoo *et al.*, 1992)。体液のメラニン化を阻害する因子と遺伝子については、現在も未解明のまま残されている。メラニン化阻害因子は *X. japonica* においても検出され、ドウガネブイブイ (*Anomala cuprea*)、ヨトウガ (*Mamestra brassicae*) およびハスモンヨトウ (*Spodoptera litura*) 等の各種昆虫の体液メラニン化を阻害する。現在、この阻害因子の特定を進めており、この現象も細菌が昆虫の自然免疫を回避・抑制する機構と関連すると考えている。

2.4. トキシンタンパク質

一般的に昆虫病原細菌に感染すると、摂食停止が多くの昆虫で認められる現象である。*P. luminescens*が産生するトキシンは分子量が巨大 (1 MDa) で、トキシン複合体 (toxin complex: tc) を形成しており、それぞれのポリペプチドをコードする遺伝子は *tca*, *tcb*, *tcc* および *tcd* の4種類があり、その中で *tca* は *tcaAi*, *tcaAii*, *tcaAiii*, *tcaBi*, *tcaBii*, *tcaC* および *tcaZ* の各ポリペプチドをコードしている。各ポリペプチド単独では活性が検出されないが、Tca複合体を含む人工飼料を鱗翅目幼虫 (*Manduca sexta*) に与えると、幼虫は摂食を停止し、数日後に致死する。Tca複合体を血体腔へ注射すると、注射後3日以内に摂食を停止し、その後24時間以内に致死する。経口および注射によりTca複合体の影響を細胞学的に観察すると、中腸上皮細胞を

崩壊させる (Blackburn *et al.*, 1998 ; Bowen *et al.*, 1998 ; Daborn *et al.*, 2002)。

*X. nematophila*のトキシンとして, *xptA1*, *xptA2*, *xptB1*, *xptC1*および*xptD1*の遺伝子が単離されている。これらの遺伝子は*P. luminescens*のトキシン遺伝子と高いホモロジーを示す (Morgan *et al.*, 2001)。一方, 経口殺虫活性をもつ新規なトキシン遺伝子が単離され, この遺伝子は42kDaタンパク質をコードし, 中腸を崩壊させる。鱗翅目幼虫 (*Helicoverpa armigera*) はトキシンの注射により直ちに摂食を停止し, 2・3日後に致死する (Brown *et al.*, 2004)。

2. 5. 溶血因子 (hemolysin)

*X. nematophila*の培養濾液には, *S. littoralis*の血球およびヒツジ赤血球を崩壊させる溶血因子C1とC2が含まれる (Brillard *et al.*, 2001)。C18逆相カラムによる精製と質量分析から, 因子C1は分子量10,790Daのペプチドで, α -Xenorhabdolysin (α X) と命名された。 α Xは, 昆虫血球の中でプラズマ細胞 (plasmatocyte) よりも顆粒細胞 (granulocyte) に対して強く作用し, 細胞質の粗面小胞体を膨潤させ, 最終的に細胞を崩壊させる。特に, α Xの作用部位は細胞膜のカリウムイオンチャンネルであり, イオン透過性に影響を与え, 細胞の崩壊を誘導すると推定されている (Ribeiro *et al.*, 2003)。

*P. luminescens*において, *phlA*と*phlB*の2種類の遺伝子が存在し, アミノ酸配列は*X. nematophila*の溶血因子 α Xと相同性を示さず, 他生物を宿主とする病原細菌から単離された溶血因子と高い相同性を示す (表-3)。このように類似した遺伝子が病原細菌の間で広く保存されていることから, 共通の遺伝子から進化してきたと推定されている (Brillard *et al.*, 2002)。

2. 6. 病原細菌増殖と抗菌ペプチド遺伝子発現

*X. japonica*の生菌をドウガネブイブイ幼虫の血体腔へ注射する (約25CFU/幼虫) と, 注射後8~12時間までは体液を採取しても, 細菌はほとんど検出されなく, 細菌は組織表面へ定着していると考えられる。注射後12~16時間以降に細菌は体液中から検出されることから, この時間以降は細菌増殖期であり, 注射後40~48時間で細菌が 1×10^7 個以上に増殖すると, 昆虫は完全に致死する。

細菌増殖との関連で, 脂肪体, 中腸および血球を細胞学的に観察すると, 脂肪体では大きな形態変化は認められない。一方, 中腸内容物は注射後16~24時間で液状化し始め, 注射後40~48時間で致死した幼虫の中腸は少ない内容物と薄い細胞層の組織として観察される。また, 血球は注射後4~32時間で幼虫が致死する以前には正常な形態を示す (図-2)

表-3 病原細菌の溶血因子

グラム陰性細菌	因子名	番号	宿主
<i>Enterobacteriaceae</i> (腸内細菌科)			
<i>Xenorhabdus nematophila</i>	α X	-	昆虫
<i>Photorhabdus luminescens</i>	PhlA, PhlB	BX571859	昆虫
<i>Serratia marcescens</i>	ShlA, ShlB	M22618	ヒト, 昆虫
<i>Edwardsiella tarda</i>	EthA, EthB	D89876	ホ乳類, 魚類
<i>Proteus mirabilis</i>	HpmA, HpmB	M30186	ヒト
<i>Yersinia pestis</i>	YPO	AJ414158	ホ乳類
<i>Pasteurellaceae</i> (パスツレラ科)			
<i>Haemophilus ducreyi</i>	HhdA, HhdB	U32175	ホ乳類, 鳥類

番号: DNAデータベース (Genbank, EMBL, DDBJ) のアクセッション番号

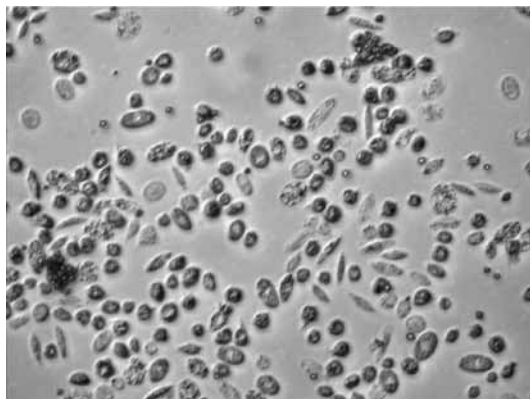


図-2 ドウガネブイブイ幼虫の血球細胞。紡錘形のプラズマ細胞、楕円形の顆粒細胞、大型の核をもつエノシトイド、小さな球状の原白血球等が観察される。

が、注射後40~48時間で幼虫の致死と共に血球細胞は崩壊し、体液中から検出されない。

細菌増殖との関連で、脂肪体、中腸および血球から抗菌ペプチドであるディフェンシン (Yamauchi, 2001) 遺伝子の発現を定量PCR法により検出すると、脂肪体では注射後4~48時間まで一定の発現を示す。中腸と血球のディフェンシン遺伝子発現は40~48時間で低下するが、それ以前においてディフェンシン遺伝子産物であるmRNAが一定量転写されている (図-3)。細菌定着期における抗菌

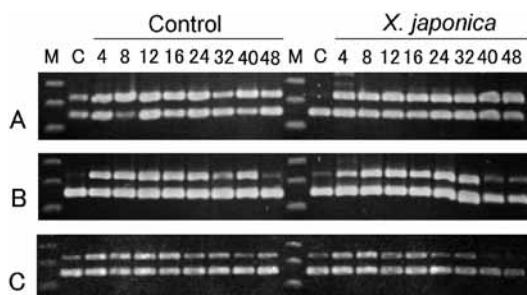


図-3 脂肪体(A)、中腸(B)および血球細胞(C)のディフェンシン遺伝子の発現解析。液体のみの注射した区 (Control) と病原細菌を注射した区 (*X. japonica*), 注射後4~48時間で各組織は摘出され、mRNAが抽出され、発現解析が行われた。上段はディフェンシン遺伝子の発現、下段は内部標準としての常時発現しているリボソーム遺伝子の発現。Mは分子量マーカー、Cは非注射幼虫からの各組織の発現。

ペプチド遺伝子の発現にも拘わらず、ごく少数の細菌が昆虫体内で生存し続け、その後増殖期へ移行する。この現象も細菌が昆虫の自然免疫を回避・抑制する機構と関連すると考えている。

2.7. 全ゲノム解析

近年、*P. luminescens* subsp. *laumondii* TT01の全ゲノム解析が完了しており、ゲノムは5,688,987bpから構成され、4,839の遺伝子を含むと推定されている (Duchaud *et al.*, 2003)。既知遺伝子とのホモロジー検索から、トキシン遺伝子は新規候補が見つかり、異種の病原細菌間で遺伝子水平伝播の可能性が示唆されている。病原遺伝子群はセットとして配列してオペロンを形成し、pathogenicity island (PAI) としてゲノムに存在する。

3. おわりに

多様な生物の病原細菌について広く概観すると、菌体内へ入った異物や薬剤の排出機構、宿主の標的細胞内へ病原因子を菌体から直接注入するタイプⅢ・Ⅳ等の分泌機構およびPAI等の新知見について研究成果が集積してきた。

*Xenorhabdus*および*Photorhabdus*属の昆虫病原細菌においては、昆虫体内への侵入と共にまず組織へ定着し、その後体液中で急激に増殖して各種の病原因子を産生する。宿主が細菌数の少ない定着期に病原細菌を排除できれば、細菌増殖期へ移行できないため、トキシンや溶血因子等が産生されず、宿主に対して致命的とならない。しかし、宿主自然免疫はごく少数の病原細菌さえも排除できない。この定着期に、病原細菌が宿主自然免疫に対抗して宿主体内で生存・増殖できる環境を調節・制御していると推察される。この分子機構については今日もなお未知の領域となっている。病原細菌が宿主自然免疫を回避・抑制する分子機構の存在が推定され、自然免疫の初期反応である異物認識と体液プロテアーゼ

カスケードを阻害することと強く関連すると考えられる。この分子機構を解明することは、生物農薬の新規技術開発へ大きな前進となると同時に、有益昆虫を病原細菌から守る新たな糸口をも提供すると考えられる。

参考文献

- Blackburn, M., Golubeva, E., Bowen, D., Ffrench-Constant, R. H. (1998) A novel insecticidal toxin from *Photorhabdus luminescens*, toxin complex a (Tca), and its histopathological effects on the midgut of *Manduca sexta*. Appl. Environ. Microbiol. 64, 3036~3041.
- Brillard, J., Ribeiro, C., Boemare, N., Brehelin, M., Givaudan, A. (2001) Two distinct hemolytic activities in *Xenorhabdus nematophila* are active against immunocompetent insect cells. Appl. Environ. Microbiol. 67, 2515~2525.
- Brillard, J., Duchaud, E., Boemare, N., Kunst, F., Givaudan, A. (2002) The PhlA hemolysin from the entomopathogenic bacterium *Photorhabdus luminescens* belongs to the two-partner secretion family of hemolysins. J. Bacteriol. 184, 3871~3878.
- Bowen, D., Rocheleau, T. A., Blackburn, M., Andreev, O., Golubeva, E., Bhartia, R., Ffrench-Constant, R. H. (1998) Insecticidal toxins from the bacterium *Photorhabdus luminescens*. Science 280, 2129~2132.
- Brown, S. E., Cao, A. T., Hines, E. R., Akhurst, R. J., East, P.D. (2004) A novel secreted protein toxin from the insect pathogenic bacterium *Xenorhabdus nematophila*. J. Biol. Chem. 279, 14595~14601.
- Ciche, T. A. and Ensign, J. C. (2003) For the insect pathogen *Photorhabdus luminescens*, which end of a nematode is out? Appl. Environ. Microbiol. 69, 1890~1897.
- Daborn, P. J., Waterfield, N., Silva, C. P., Au, C. P., Sharma, S., Ffrench-Constant, R.H. (2002) A single *Photorhabdus* gene, *makes caterpillars floppy (mcf)*, allows *Escherichia coli* to persist within and kill insects. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 99, 10742~10747.
- Duchaud, E., Frangeul, L., Buchrieser, C., et al. (2003) The genome sequence of the entomopathogenic bacterium *Photorhabdus luminescens*. Nat. Biotechnol. 21, 1307~1313.
- He, H., Snyder, H. A., Forst, S. (2004) Unique organization and regulation of the *mrx* fimbrial operon in *Xenorhabdus nematophila*. Microbiology 150, 1439~1446.
- Khandelwal, P., Choudhury, D., Birah, A., Reddy, M. K., Gupta, G. P., Banerjee, N. (2004) Insecticidal pilin subunit from the insect pathogen *Xenorhabdus nematophila*. J. Bacteriol. 186, 6465-6476.
- Martens, E. C., Heungens, K., Goodrich-Blair, H. (2003a) Early colonization events in the mutualistic association between *Steinernema carpocapsae* nematodes and *Xenorhabdus nematophila* bacteria. J. Bacteriol. 185, 3147~3154.
- Martens, E. C., Gawronski-Salerno, J., Vokal, D. L., Pellitteri, M. C., Menard, M. L., Goodrich-Blair, H. (2003b) *Xenorhabdus nematophila* requires an intact *iscRSUA-hscBA-fdx* operon to colonize *Steinernema carpocapsae* nematodes. J. Bacteriol. 185, 3678-3682.
- Meslet-Cladiere, L. M., Pimenta, A., Duchaud, E., Holland, I. B., Blight, M. A.

- (2004) *In vivo* expression of the mannose-resistant fimbriae of *Photorhabdus temperata* K122 during insect infection. *J. Bacteriol.* 186, 611~622.
- Morgan, J. A., Sergeant, M., Ellis, D., Ousley, M., Jarrett, P. (2001) Sequence analysis of insecticidal genes from *Xenorhabdus nematophilus* PMFI296. *Appl. Environ. Microbiol.* 67, 2062~2069.
- Moureaux, N., Karjalainen, T., Givaudan, A., Bourlioux, P., Boemare, N. (1995) Biochemical characterization and agglutinating properties of *Xenorhabdus nematophilus* F1 fimbriae. *Appl. Environ. Microbiol.* 61, 2707~2712.
- Ribeiro, C., Vignes, M., Brehelin, M. (2003) *Xenorhabdus nematophila* (Enterobacteriaceae) secretes a cation-selective calcium-independent porin which causes vacuolation of the rough endoplasmic reticulum and cell lysis. *J. Biol. Chem.* 278, 3030~3039.
- Sicard, M., Brugirard-Ricaud, K., Pages, S., Lanois, A., Boemare, N. E., Brehelin, M., Givaudan, A. (2004) Stages of infection during the tripartite interaction between *Xenorhabdus nematophila*, its nematode vector, and insect hosts. *Appl. Environ. Microbiol.* 70, 6473~6480.
- Vivas, E. I. and Goodrich-Blair, H. (2001) *Xenorhabdus nematophilus* as a model for host-bacterium interactions: *rpoS* is necessary for mutualism with nematodes. *J. Bacteriol.* 183, 4687~4693.
- Yamauchi, H. (2001) Two novel insect defensins from larvae of the cupreous chafer, *Anomala cuprea*: purification, amino acid sequences and antibacterial activity. *Insect Biochem. Mol. Biol.* 32, 75~84.
- 山内英男 (2004) 昆虫の自然免疫と病原細菌 (1) 昆虫体内へ侵入する外来性異物の認識と排除. *森林防疫* 53, 193~199.
- Yokoo, S., Tojo, S., Ishibashi, N. (1992) Suppression of the prophenoloxidase cascade in the larval haemolymph of the turnip moth, *Agrotis segetum* by an entomopathogenic nematode, *Steinernema carpocapsae* and its symbiotic bacterium. *J. Insect Physiol.* 38, 915~924.
- (2005. 6. 13 受理)

— 記録 —

森林総研によせられた問い合わせの多い虫 ベスト 3

牧野俊一¹・中村和子²

どこの公立林業試験場でも同じだろうが、森林総合研究所には本支所問わず個人や団体(公立機関、企業など)からさまざまな問い合わせが電話で寄せられる。研究時間を割いてこうした一般からの質問に答えるのは、たしかに負担ではあるが、研究所(者)として

の重要な役割であることは間違いない。

本所(つくば)の場合、まず電話交換室が質問を受けることになる。質問者が直接、問い合わせる相手(研究室名や研究員名)を指定する場合もあるが、内容を聞いて交換手が質問を振る相手を決めなければならない場合

¹MAKINO, Shunichi, 森林総合研究所森林昆虫研究領域; ²NAKAMURA, Kazuko, 同管財課

も多々ある。電話交換室ではここ数年ほど、すべての問い合わせに関して質問内容と回答者を記録として残しており、似たような質問がきたときに、誰に振ればいいかがすぐわかる仕掛けになっている。ここではその記録をもとに、森林昆虫研究領域（独法化以前は、昆虫関連研究室）に回された質問として、どのような虫に関するものが多いかを見てみよう。

まずは昆虫領域で回答した質問は全体のどれくらいあるだろう。12年度には全質問件数1124件中42件（4%）、13年度は889件中52件（6%）、14年度は579件中25件（4%）、そして15年度は762件中42件（6%）であり、毎年かなり一定している。そこで質問内容を見ると、4年間の合計161件中、多い順に並べると次のようになる。

1. 松くい虫（マツノマダラカミキリ、マツ材線虫）59件（37%）
2. 乾材害虫（ヒラタキクイムシなど）44件（27%）
3. 緑化木害虫（主に庭木）17件（11%）

森林昆虫の専門家にとっては、おおむね予想通りの結果といえよう。松くい虫に関する質問は、「庭のマツが枯れてしまったが原因は？」というごく初歩的なものから、「ベールマン法でマツノサイセンチュウを抽出したら死んでいた。なぜでしょう」という専門的(?)なものまでさまざまである。とはいえ、やはり「どうやったら防除できるか」という質問がいちばん多いのは当然である。この答は、状況（地理的位置、枯損本数、林況）によって異なり、いろいろな知識を総動員しなければならぬので、回答者の腕の見せ所である。なお松くい虫関係の質問は森林微生物研究領域で回答することもあるので、実際の質問件数はもっと多い。

つぎに乾材害虫。このほとんどは、輸入材

から出るヒラタキクイムシに関するものである。ただし質問者の多くはこの昆虫の名前を知らないで、単にクイムシとして質問が寄せられるのが通例。材内の成虫が脱出した後にピンホールのような小さな穴があき、細かい木くずがたまる。輸入材を用いる建材、家具メーカーを始めとして、築後数年の家からこの虫がたくさん出てノイローゼ気味になった住民など、これも質問が多い。シロアリや乾材害虫については、防虫法の専門家が別の領域にいるので、そちらに質問が回されることもある。

緑化木害虫（庭木や街路樹）の質問は種々雑多であり、回答に悩むことが多い。ガ類の被害がわりと多く、質問者には電話口で被害や虫の説明をしていただくのだが、なかなか要領を得ない。近ければこちらで出向くことも可能だが、遠ければ不可能である。標本を送ってもらうのが手取り早いのが、ガの幼虫（いわゆる毛虫や芋虫）だと郵送中に死んでしまい、正体不明になっていることもある。これに限らず、一般の方に標本を送って頂くと、セロテープにべったり貼り付けられたり、バラバラになってゴミと一緒にされた「標本」が送られてきて悲しい思いをすることがある。

このほか、季節によってはスズメバチに関する質問やカブトムシ、クワガタムシに関する問い合わせもしばしば寄せられるし、話を聞いても全く虫の見当が付かない質問もたまにある。「エイリアンみたいな、正体不明な虫を見つけた」というので、喜んで送ってもらったところへビトンボの成虫であった。研究者から見れば、最初に書いたように、質問を受けるために研究時間を割かれるという面は確かにあるが、こうしたさまざまな質問に答える過程で自分の無知を思い知らされるという教育的な側面もあることは間違いない。

森林病虫獣害発生情報：平成17年11月分受理

病害

○マツ材線虫病

宮城県 仙台市，31～189年生クロマツおよびアカマツ天然林および人工林，2005年8～10月発見，被害本数2,671本，被害面積6.77ha（仙台森林管理署・鈴木博）

○マツ材線虫病

宮城県 柴田郡，59年生アカマツ天然林および56年生アカマツ人工林，2005年8～10月発見，被害本数73本，被害面積0.36ha（仙台森林管理署・鈴木博）

○マツ材線虫病

宮城県 刈田郡，39～45年生アカマツ天然林および17年生アカマツ人工林，2005年8～10月発見，被害本数5本，被害面積0.05ha（仙台森林管理署・鈴木博）

○マツ材線虫病

宮城県 伊具郡，46～54年生アカマツ人工林，2005年8～10月発見，被害本数575本，被害

面積1.32ha（仙台森林管理署・鈴木博）

○マツ材線虫病

宮城県 仙台市，36～58年生アカマツ人工林，2005年8～10月発見，被害本数59本，被害面積0.09ha（仙台森林管理署・鈴木博）

○マツ材線虫病

宮城県 仙台市，55～61年生アカマツ天然林，2005年8～10月発見，被害本数106本，被害面積0.34ha（仙台森林管理署・鈴木博）

○マツ材線虫病

宮城県 仙台市，49～77年生アカマツ天然林および人工林，2005年9月29日発見，被害本数13本，被害面積0.07ha（仙台森林管理署・鈴木博）

○マツ材線虫病

宮城県 仙台市，54年生アカマツ天然林，2005年10月11日発見，被害本数4本，被害面積0.02ha（仙台森林管理署・鈴木博）

（森林総合研究所 楠木 学／牧野俊一／川路則友）

都道府県だより

①東京都のシカ保護管理計画について

東京都は平成17年9月にシカ保護管理計画を策定しました。その経過を報告します。

1 シカをめぐる経緯

東京都では，シカの生息域が東京の最西端，最高峰である雲取山と石尾根周辺のみになってきたため，1976（昭和51）年に奥多摩町でオスジカの猟を禁止しました。そして，1980年代半ばに生息数が回復し，農林業被害が発生するようになり，1990年代半ばから，有害鳥獣捕獲を開始し，2002（平成14）年には，オスジカの禁猟を26年ぶりに解除しました。

農林業被害は，ワサビや造林地のスギ，ヒノキが主でしたが，近年では，自然植生の破

壊や退行が見られるようになってきたり，造林地の植生が破壊され表土が流出する現象も見られるようになってきました。

東京都は，シカによる被害をなくし，人とシカが共存する豊かな森づくりを目指して，シカ保護管理計画の策定を進めることとし，その基礎資料とするためのシカの生息状況調査と，それに先立ち森林被害調査も実施しました。

2 生息状況調査

調査方法は，区画法および糞粒法を併用し，平成16年10月～11月末で実施しました。その結果は

(1) 平成14年度調査に比べ，生息エリアが

約90km²拡大

(2) 推定生息数は約2000頭、平均生息密度は6.5頭/km²

この調査結果から、生息数は平成14年度より減少しているものの、推定生息数2000頭は依然として森林の植生・立木の食害、土砂流出をもたらす危機的状況にあり、今後とも監視と対策が必要です。

3 森林被害調査

調査は、多摩地域の森林を519個の1kmメッシュに区画し、シカの生息情報があった275区画について被害レベルを7段階に分けて調査しました。

それによると、シカの生息域の拡大に伴い、被害が拡大・深刻化していることが明らかになりました。

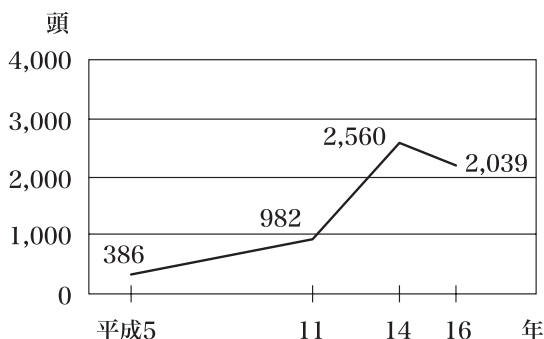


図-1 シカ生息調査による推定生息数

(1) 樹木や地表の植物が採食されて従来の植物が衰退した森林が、調査区画の78%で確認され、10%を超える立木の被害を受けた区画が、私有林等で初めて確認された。

(2) 土砂流出が起こっている森林が、調査区画の49%で確認された。

(3) 生息区域が、2002(平成14)年までの調査に比して45区画増加している。

4 シカ被害緊急対策の実施

森林被害調査の結果を受け、シカ被害に対する緊急対策が必要であるとして平成16年度に都の4局による横断的な取組を行いました。

(1) 従前の年間捕獲数400頭(狩猟、農林業被害防止)に加え、200頭を東京都が特別捕獲

(2) 土砂流出防止のため治山・治水による工事を実施

(3) 水道水源林で約100haを対象に、防鹿柵・単木保護ネットを設置

(4) 山梨県、埼玉県との連携を図り、猟期にシカを重点的捕獲

5 シカ保護管理計画の策定

期間は平成17年9月30日～平成19年3月31日(平成19年度以降第二期計画(5年間)を予定)で、区域は八王子市の一部、青梅市、あきる野市、日の出町、檜原村及び奥多摩町



(土砂が流出し岩山化した森林)



(治山工事による復旧)

の6市町村を対象として策定されました。

計画では、保護管理事業として次のことを実施することとしています。

- (1) 個体数調整のための捕獲及び狩猟規制緩和による生息数のコントロール
- (2) シカの集中を防ぐため、皆伐によらない森林施業及び自然植生の保護・回復のための防護ネットの設置、治山・砂防工事による土砂流出防止
- (3) 防護ネットなどによる、シカによる農林業被害の防除
- (4) 生息状況や生息環境を毎年モニタリングし、計画を評価・検討・修正するフィードバック管理

6 これから

シカの被害を防ぐために、保護管理事業の着実な推進に努めていきます。その中でも特に、増えすぎたシカの生息数を適正化することが急務です。

そこで、被害がなくなるための生息数を400頭と見積もり、概ね4年間で達成を目指すことにしています。ただし、生息数については、被害状況等のモニタリングを踏まえて、適宜見直していきます。

(東京都自然環境部緑環境課)

②香川県におけるキンイロアナタケのヒノキ根株腐朽被害について

1 被害発見から現在まで

香川県のヒノキ造林地でヒノキの根株腐朽被害が報告され、1997年から専門的な調査については森林総合研究所に依頼し、原因の解明と対策について調査をしてきました。伐根の断面に変色部や腐朽部が確認できたものから菌を採取して同定したところ、キンイロアナタケ (*Perenniporia subacida*) による根株腐朽被害(写真1)であることが明らかになりました。しかし、病原菌の生態や分布、被害感染様式など不明な点が多く、そこで様々な調査を行い、その成果を森林経営に活用し



写真1 キンイロアナタケによる根株腐朽被害
年輪に沿って変色またはスポンジ状の腐朽が見られます。

ていく取り組みをしています。

2 これまでの調査内容

これまで、現場での被害実態調査と分布図の作成、被害感染経路の調査、キンイロアナタケの分布調査、被害木の強度試験などを行ってきました。

被害実態調査は間伐木や小面積の皆伐調査区の伐根などを対象に行いましたが、被害の程度は小さいものが殆どで、調査地での被害は劇的に拡大するものではないと考えられます。また、被害の感染は、既に病原菌が感染した古い根株と生立木の根の接触により伝播し、根にできた傷などから材内へと侵入して起こることが明らかになりました。他にも、

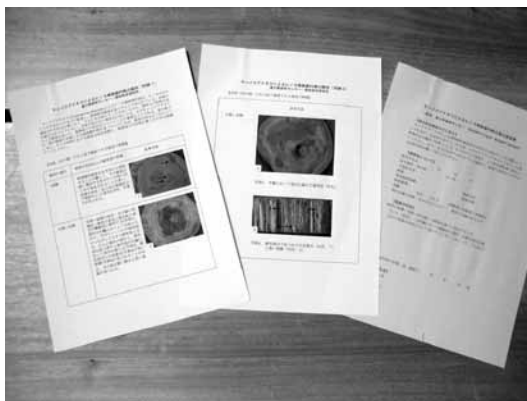


写真2 根株腐朽被害の識別チャート
被害状況に応じて初期、中期-末期と区分しました。

現場でのチェックを客観的かつ確実にこなうために、キンイロアナタケによる変色や腐朽の識別チャート(写真2)を作成しました。

3 森林所有者との連携と今後の調査

今のところ抜本的な防除方法がなく、被害の発生を前提とした森林経営が必要なことや、再造林をはじめ今後の経営については調査と

並行した取り組みとなることから、意見交換を定期的に行いながら森林所有者の理解と協力を得ることが不可欠です。また、今後はより現場で使える技術の開発を目標に、非破壊方法による腐朽木の診断やヒノキが植栽後何年で感染するかなどを調査していく予定です。

(香川県環境森林部 森林センター)

生物多様性について(3)

生態系、生息地及び種を脅かす外来種の影響の予防、導入、影響緩和のための指針原則(1)

これまで、生物多様性に関して京都議定書の内容についてふれてきた。これと関連して、最近外来種が生態系を攪乱したり、生息地を破壊するなど問題となっていることがある。たとえば絶滅危惧種であるアマミノクロウサギが外来種に個体数を減少させられているとか、山羊の異常増加が島の植生を破壊しているとか、あるいは荷物にまぎれて侵入したドクグモが増殖し、人間社会に危険をもたらすなど、テレビ・新聞などをにぎわしている。そこで、今回はそれらの問題と大いに関係する表記について2回にわけて紹介する。

この文書はA総論、B予防、C種の導入、D影響の緩和の4括り、15の原則からなっている。

前文

この文書は、すべての政府、団体に対し、侵略的外来種の拡散と影響を最小化するための効果的な戦略を策定するための手引きである。各国はそれぞれ特有な問題に直面し、それぞれの状況に応じた解決方法を開発する必要があるであろうが、指針原則は政府に対して明確な方向性と、目指すべき一連の目標を与えている。これらの指針原則がどの程度実行可能かは、最終的には利用可能なリソー

ス(資金、人材など)がどの程度供給されるかによっている。指針原則の目的は、保全と経済的な発展という構成要素を統合したものとして、政府による侵略的外来種の対処を支援することにある。この15の指針原則は拘束力があるものではないので、この問題とその効果的な解決方法に関する知見が増えるにつれ、生物多様性条約の下での検討を通じて、容易に修正、拡張されるものである。

生物多様性条約第3条に従い、国際連合憲章及び国際法の諸原則に基づき、それぞれの国は自国の資源をその環境政策に従って開発する主権的権利を有し、また、自国の管轄又は管理下における活動が、他国の環境又はいずれの国の管轄にも属さない区域の環境を害さないことを確保する責任を有する。

以下の指針原則では、注に挙げられた用語が使用されていることについて注意が必要である。(*注)

また、この指針原則の適用に際しては、生態系は時とともにダイナミックに変化するものであり、種の自然分布は、人為によらなくても変化する可能性があるという事実を充分考慮しなければならない。

(*注)以下の定義が使用されている。(i)“alien species”(外来種):過去あるいは現

在の自然分布域外に導入された種、亜種、それ以下の分類群であり、生存し、繁殖することができるあらゆる器官、配偶子、種子、卵、無性的繁殖子を含む。(ii) “invasive alien species” (侵略的外来種) : 外来種のうち、導入 (introduction) 及び若しくは、拡散した場合に生物多様性を脅かす種 (今回の指針原則では、“invasive alien species” は生物多様性条約締約国会議の決議 V/8 における “alien invasive species” と同じとみなす) (iii) “introduction” (導入) : 外来種を直接・間接を問わず人為的に、過去あるいは現在の自然分布域外移動させること。

この移動には、国内移動、国家間または国家の管轄範囲外の区域との間の移動があり得る。(iv) “intentional introduction” (意図的導入) : 外来種を、人為によって、自然分布域外に意図的に移動及び若しくは放逐すること。(v) “unintentional introduction” (非意図的導入) : 導入のうち、意図的でないものすべてを指す。(vi) “establishment” (定着) : 外来種が新しい生息地で、継続的に生存可能な子孫を作ること成功する過程のこと。(vii) “risk analysis” (リスク分析) : (1) 科学に基づいた情報を用いて、外来種の導入の結果とその定着の可能性を評価すること (すなわちリスク評価)、及び(2) 社会経済的、文化的な側面も考慮して、これらのリスクを低減若しくは管理するために実施できる措置の特定をすること (すなわちリスク管理)。

A. 総論

指針原則 1 予防的アプローチ

非意図的な導入の特定と予防においては、意図的な導入に関する決定と同様、侵略的外来種の経路と生物多様性の影響が予測不可能だとすれば、特にリスク分析に関しては、以下の指針原則に従った予防的アプローチに基づいて努力すべきである。予防的アプローチは、1992年の環境と開発に関するリオ宣言の

原則15及び生物多様性条約の前文で明らかにされたものである。

また、予防的アプローチは、すでに定着してしまった外来種の撲滅、封じ込め、防除措置を検討する際にも適用されるべきである。侵入種の様々な影響に関する科学的な確実性が欠如していることを、必要な撲滅、封じ込め、防除措置をとることを先延ばしにしたり、あるいは措置をとらない理由とすべきでない。

指針原則 2 3段階のアプローチ

1 予防は、一般的に、侵略的外来種の導入や定着の後にとられる措置と比較してはるかに費用対効果が高く、環境的にも望ましい。

2 侵略的外来種は、国家間や国内での導入の予防を優先すべきである。侵略的外来種が既に導入されている場合には、初期の発見と迅速な行動がその定着を防止するために極めて重要である。望ましい対応はできるだけ速やかな撲滅 (原則13) である場合がしばしばある。撲滅の実現が不可能あるいは撲滅のためのリソースが利用できない場合には、封じ込め (原則14) と長期的な防除措置 (原則15) が実施されるべきである。(環境上の、経済的な、社会的な) 利益とコストの検討は、長期的な観点でなされるべきである。

指針原則 3 エコシステムアプローチ

侵略的外来種に対する措置は、適当な場合には、締約国会議の決議 V/6 に記述されたエコシステムアプローチに基づくべきである。

指針原則 4 国の役割

1 侵略的外来種については、自国の管轄もしくは支配下での活動が、他国に対して侵略的外来種の潜在的な供給源となり得る危険性を認識し、種の侵略的な性質や侵略的になる可能性に関する入手可能なあらゆる情報の提供を含め、その危険性を最小限にするために必要な独自の行動や、協力の下に適切な行動をとるべきである。

2 そのような活動の例には以下のものが含まれる。(a) 他国の侵略的外来種の意図的な移

動（たとえば、原産国では無害な種であったとしても）(b)その種がその後（人間による媒介のあるなしにかかわらず）他国に分布を広げ侵略的となる危険性がある場合の自国の外来種の意図的な導入(c)導入種が原産国では無害であったとしても、非意図的な導入につながるかもしれない活動

3 各国は、侵略的外来種の拡散および影響を最小化することを援助するため、可能な限り侵略的になりうる種を特定し、その情報を他国が利用できるようにしなければならない。

指針原則 5 調査とモニタリング

問題に対処するための十分な知識の基礎を築くために、適当な場合には、各国が侵略的外来種に関する調査及びモニタリングを実施することが重要である。このような努力には、生物多様性のベースラインとなる分類学的研究が含まれるようにしなければならない。このようなデータに加え、モニタリングは新たな侵略的外来種の早期発見のために重要である。モニタリングには標的を絞った調査と一般的な調査の両者を含むべきであり、地域社会を含む他のセクターの参加によって効果が上がる。侵略的外来種に関する調査には侵入種の十分な同定を含むべきであり、以下のことを記述する必要がある。(a)侵入の経緯と生態(原産地、経路、時期)、(b)侵略的外来種の生物学的な特徴、(c)生態系、種、遺伝的レベルでの関連する影響、社会経済的影響、さらに時間経過に伴うそれらの影響の変化。

指針原則 6 教育と普及啓発

侵略的外来種についての普及啓発の推進は、侵略的外来種の管理を成功させるために極めて重要である。

したがって、各国が侵入の原因と外来種の導入に伴うリスクについての教育と普及啓発の推進をすることが重要である。影響緩和措置が必要とされる場合には、地域社会や適切なセクターの団体をそのような措置の支援に従事させるために、教育と普及啓発を目的と

したプログラムを実施すべきである。

B. 予防

指針原則 7 国境でのコントロールと検疫措置

1 各国は以下の点を確実にするために、侵略的、あるいは侵略的になりうる外来種に対して国境でのコントロールと検疫措置を実施すべきである。(a)外来種の意図的な導入は、適切な許可を必要とする（原則10）(b)外来種の非意図的又は無許可の導入は、最小限に抑える

2 各国は現行の国内法や政策に従って、国内での侵略的外来種の導入をコントロールするために、適当な措置の実施を検討すべきである。

3 これらの措置は、外来種によってもたらされる脅威のリスク分析とその潜在的な導入経路に基づくべきである。

既存の適当な政府機関あるいは権限を有する組織は、必要に応じて強化、拡大され、職員はこれらの措置を実施できるように適切な訓練を受けるべきである。早期発見システムと地域や国際的な連携は予防に不可欠である。

指針原則 8 情報交換

1 各国は、外来種の予防、導入、モニタリング、影響緩和の活動をする際に利用される情報を編纂し普及させるために、インベントリー（目録）の開発、分類や標本のデータベースを含む関連するデータベースの統合、情報システムと相互運用可能な分散型のデータベースのネットワークの開発を支援すべきである。この情報には、事例リスト、近隣国の潜在的なリスク、侵略的外来種の分類、生態、遺伝的特徴、防除方法の情報を、利用できる限りいつでも、含むべきである。これらの情報は、世界侵入種プログラムによって編纂されているような国内の、地域的な、国際的な指針、手順、勧告と同様に、特に生物多様性条約クリアリングウス・メカニズムを通じて広く普及が促進されるべきである。

2 各国は外来種に対する特別な輸入の要件に関する情報，特に侵略的であると特定されている種の情報を提供し，他の国で利用可能にしなければならない。

指針原則 9 能力構築を含む協力

状況次第であるが，国の対応は単に国内だけのこともありうるし，二国間かそれ以上の国による協力を必要とすることもある。それらの協力には以下のようなものが含まれるであろう。(a)特に近隣諸国間，貿易相手国との間，類似した生態系や侵入の歴史を持っている国の間での協力を重点を置き，侵略的外来種に関する情報，潜在的な不安，侵入の経路に関する情報を共有するためのプログラム。貿易相手国が類似した環境である場合には，

特に注意すべきである。(b)特定の外来種の取引，特に有害な侵入種を対象とした取引を規制するために，二国間又は多国間で協定を結び，それを利用すべきである。(c)各国は，外来種の導入と定着が起こった場合のリスクを評価し減少させ，その影響を緩和するために必要な専門的技術や，財政面も含めリソースが不足している国に対する能力構築プログラムを支援すべきである。そのような能力構築には，技術移転や研修プログラムの開発が含まれる。(d)侵略的外来種の特定，予防，早期発見，モニタリング，防除に向けた共同調査や出資。

(竹谷昭彦，以下次号)

お詫びと訂正

11月号表紙写真説明の1行目中ほどのSingevはSingerの誤りです。訂正いたします。また，伊藤一雄先生の計報の著者のお名前「小林亨夫(正)」を誤って「小林亨夫」と記載いたしました。誤りは表紙目次と244ページの2箇所あります。お詫びして訂正いたします。

森林防疫 第54巻第12号 (通巻第645号)

平成17年12月25日 発行 (毎月1回25日発行)
 編集・発行人 飯塚昌男
 印刷所 松尾印刷株式会社
 東京都港区虎ノ門 5-8-12 ☎(03)3432-1321
 定価 651円 (送料共)
 年間購読料 6,510円 (送料共)

発行所

〒101-0047 東京都千代田区内神田1-1-12(コープビル)
 全国森林病虫獣害防除協会
 National Federation of Forest Pests Management Association, Japan
 電話 03-3294-9719, FAX 03-3293-4726
 振替 00180-9-89156
 E-mail shinrinboeki@zenmori.org

林野庁補助対象薬剤

新発売

林野庁補助対象薬剤

新しいマツノマダラカミキリの後食防止剤

普通物で使いやすい

マツグリーン[®]液剤

マツグリーン[®]液剤2

農林水産省登録第20330号

農林水産省登録第20838号

●マツノマダラカミキリ成虫に低薬量で長期間優れた効果があります。

●使いやすい液剤タイプで、薬剤調製が容易です。

●散布後、いやな臭いや汚れがほとんどなく、周辺環境への影響も少ない薬剤です。

野ねずみ、野うさぎの忌避剤

アンレス[®]

農林水産省登録第10342号

●樹木を加害する野ねずみ、野うさぎに対し強い忌避効果を発揮します。

●秋から初冬の間に1回の処理で、翌春の融雪時期まで残効があります。

剪定・整枝後の傷口ゆ合促進用塗布剤

トップジンM[®]ペースト

農林水産省登録第13411号

●ぶな(伐倒木)のクワイカビによる木材腐朽の予防とさくら、きりの傷口のゆ合促進に効果があります。

葉面散布用液肥

ミドリオン[®]

農林水産省登録生第56465号

●松や樹木の緑化増進、生育促進、葉質向上に効果があります。

●根の伸長を良くし、根からの養分吸収を助けます。



株式会社 ニッソーグリーン

〒110-0005 東京都台東区上野3丁目1番2号 TEL.(03)5816-4351

●ホームページ <http://www.ns-green.com/>

マツクイムシ防除に多目的使用が出来る

スミパイン[®]乳剤

マツクイ虫被害木伐倒駆除に

パインサイド[®]S

油剤C

油剤D

伐倒木用くん蒸処理剤

キルパー[®]

松枯れ防止樹幹注入剤

伐倒木くん蒸用分解性シート

パインシート バイオフレックス

グリーンガード[®]・エイト

マツノマダラカミキリ誘引剤

マダラコール[®]



サンケイ化学株式会社

〈説明書進呈〉

本社 〒891-0122
東京本社 〒110-0015
大阪営業所 〒532-0011
九州北部営業所 〒841-0025

鹿児島市南栄2丁目9
東京都台東区東上野6丁目2-1
大阪市淀川区西中島4丁目5-1 新栄ビル
佐賀県鳥栖市曾根崎町1154-3

TEL(099)268-7588(代)
TEL(03)3845-7951(代)
TEL(06)6305-5871
TEL(0942)81-3808



樹幹注入剤で唯一 原体・製品ともに 「普通物」、「魚毒性A類」

...だから安心



松枯れ防止・樹幹注入剤

グリーンガード®・エイト

Greenguard® Eight

ファイザー株式会社

〒151-8589 東京都渋谷区代々木3-22-7

農産事業部 TEL (03) 5309-7900

www.greenguard.jp

Yashima

豊かな緑を次代へ

平成十七年十二月二十五日発行（毎月一回二十五日発行）
昭和三十五年十一月八日第三種郵便物許可
森防五十三卷十一月八日第三種郵便物許可
第五十四卷十一月八日第三種郵便物許可
第五十五卷十一月八日第三種郵便物許可

自然との調和

野生獣類から大切な植栽木を守る

ツリーセーブ
ヤシマレント
ヤシマアンレス

蜂さされ防止

ハチノックL（巣退治）
ハチノックS（携帯用）

大切な日本の松を守る ヤシマの林業薬剤

ヤシマスミパイン乳剤
グリーンガードエイト
パークサイドF
ヤシマNCS

くん蒸用生分解性シート

ミクスト
ちゅらシート

私たちは、地球的視野に立ち、
つねに進取の精神をもって、
時代に挑戦します。

皆様のご要望にお応えする、
環境との調和を図る製品や
タイムリーな情報を提供し、
全国から厚い信頼をいただいております。

定価 六五二円（送料共）



ヤシマ産業株式会社

本社 〒213-0002 神奈川県川崎市高津区二子6-14-10 YTTビル4階 TEL.044-833-2211 FAX.044-833-1152
工場 〒308-0007 茨城県下館市大字折本字板堂540 TEL.0296-22-5101 FAX.0296-25-5159（受注専用）