

総説 (Review Article)

ニホンキバチ、ヒゲジロキバチと共生菌によるスギ・ヒノキ材変色被害
に関する研究
- 共生菌の種と共生菌のスギやヒノキに与える影響について -

田端 雅進¹⁾

**Study on wood discoloration of *Cryptomeria japonica* and
Chamaecyparis obtusa by *Urocerus japonicus*, *U. antennatus*, and their
fungal symbiont:
Species of *Amylostereum*, and the influence of *Amylostereum*
on *Cr. japonica* and *Ch. obtusa* trees**

TABATA Masanobu¹⁾

Abstract

Two horntails, *Urocerus japonicus* and *U. antennatus*, cause wood discoloration of *Cryptomeria japonica* (Japanese name: sugi) and *Chamaecyparis obtusa* (Japanese name: hinoki) through the transmission of the fungal symbiont (*Amylostereum*) at the time of oviposition. The discoloration of sugi and hinoki caused by the horntails and the symbiont occurs widely from the Tohoku to Kyushu districts of Japan. This paper describes the species of *Amylostereum* associated with the horntails, and the influence of the fungus on sugi and hinoki trees. Cultures from the mycangia of *U. japonicus* and *U. antennatus* showed the same cultural characteristics and mycelial morphology as those of *Amylostereum laevigatum*. Two mycangial isolates from the horntails produced basidiocarps on the stem segments of sugi by artificial inoculation and were identified as *A. laevigatum*. Isolates from the horntails and basidiocarps had almost same ITS and peroxidase sequences. These data indicate that the fungal symbiont of *U. japonicus* and *U. antennatus* is *A. laevigatum*. The symbiont of the horntails has little ability to decay wood. The discoloration does not have an effect on the strength properties of wood. No water conductivity was observed in the wood discolored by the invasion of *A. laevigatum*. In order to evaluate the influence of stem-diameter growth on sugi trees inoculated with the fungal symbiont, artificial inoculation with *A. laevigatum* (A) and sterilized toothpicks (B) was conducted on living sugi trees 13 and 27 years old. No significant differences were found in stem-diameter growth rate, stem-diameter growth pattern, and tracheid density among the trees of A, B, and without the inoculation. The result suggested that sugi trees inoculated with the fungus had little influence on stem-diameter growth.

Key words : *Amylostereum laevigatum*, *Chamaecyparis obtusa*, *Cryptomeria japonica*, fungal symbiont, *Urocerus antennatus*, *U. japonicus*, wood discoloration

原稿受付 : 平成15年5月22日 Received May. 22, 2003 原稿受理 : 平成15年8月13日 Accepted Aug. 13, 2003

1) 森林総合研究所四国支所 〒780-8077 高知市朝倉西町2-915

Shikoku Research Center, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 2-915 Asakura-nishi, Kochi 780-8077, Japan;
e-mail : butter@ffpri.affrc.go.jp

要旨

本研究は、スギやヒノキに材変色被害を起こすニホンキバチとヒゲジロキバチの共生菌の種、共生菌のスギやヒノキに与える影響について、これまでの研究結果をまとめたものである。まず、共生菌の子実体探索、分離菌株の培養の特性や菌糸の形態的特徴、分離菌株の子実体形成、分離菌株における核内rDNAのITS領域の塩基配列やマンガンパーオキシダーゼ遺伝子の配列を調べた。その結果、スギやヒノキに材変色被害を起こすニホンキバチとヒゲジロキバチの共生菌は、これまでにキバチ類との関係が報告されていない *Amylostereum laevigatum* であった。次に、共生菌の木材腐朽力、変色材の強度や水分通導性、共生菌の接種による生立木の直径成長の影響を調べた。その結果、共生菌は木材腐朽力がなく、共生菌による変色は強度にほとんど影響がないと考えられた。また、変色した木部は水分通導性を失っていたが、樹幹2断面の全周に対してニホンキバチの共生菌を接種したスギ生立木では、直径成長への影響はほとんどないと判断された。

キーワード： *Amylostereum laevigatum*、共生菌、材変色、スギ、ニホンキバチ、ヒゲジロキバチ、ヒノキ

1. はじめに

スギやヒノキは、他の樹種に比べて木材の市場価格が高く、広範に植栽されている。林業経営者にとってこれらの樹種は、収入源の大きな柱になっている。スギやヒノキにおいて、変色や腐朽が起ると、材価が著しく低下する。それらの変色や腐朽は、動物や昆虫の食害、菌類などによって引き起こされる。それらの中でキバチによる被害は、外観からほとんど判断できず、主伐や間伐の際などにはじめて発見される。被害木の伐採面に星形の変色が材部に見られるのが本被害の特徴である (Fig. 1, 2)。この材変色は、以前から奈良県吉野地方ではアカバチ、クロバチ、ホシなどと呼ばれ、特に磨丸太、化粧材、無節柱材で木材の市場価格を著しく低下させるため、林業上大きな問題として重視されている (柴田, 1984; 稲田・井上, 2000)。



Fig. 1. キバチによるスギ生立木の星形の変色。
スケール：2cm。

Wood discoloration in the cross section of the stem of *Cryptomeria japonica* (sugi) caused by *Urocerus japonicus* and *Amylostereum laevigatum*. Scale bar = 2cm.

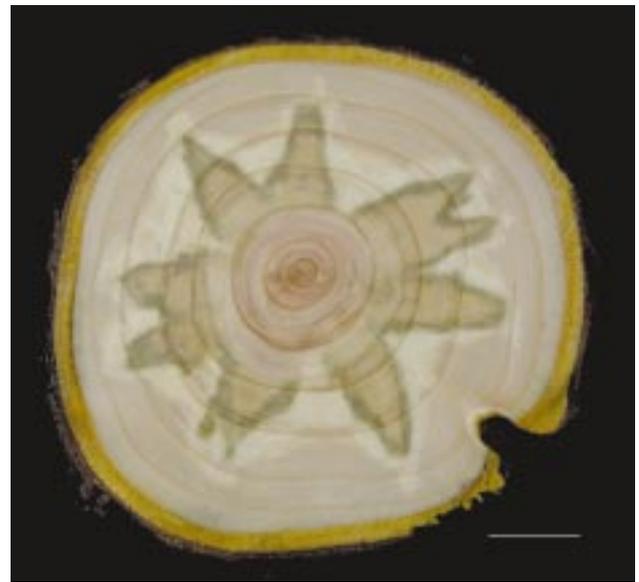


Fig. 2. キバチによるヒノキ生立木の星形の変色。
スケール：2cm。

Wood discoloration in the cross section of the stem of *Chamaecyparis obtusa* caused by *U. japonicus* and *A. laevigatum*. Scale bar = 2cm.

星形材変色は、スギカミキリ、スギノアカネトラカミキリ、ヒノキカワモグリガなどの加害した形跡もないのに、このような変色が見られ、原因不明とされていた。しかし、西口ら (1981) は被害実態調査の結果、星形材変色がニホンキバチの加害によることを明らかにした。その後、被害実態調査や分離菌の接種によって、この星形材変色は、ヒゲジロキバチの加害でも起こることが明らかになった (佐野, 1992; 佐野ら, 1995)。最近になってニホンキバチ、ヒゲジロキバチによるスギやヒノキの材変色被害の実態調査が四国地方や東北地方などで行われ (今, 1998; 宮田ら, 2001)、その結果、ニホンキバチやヒゲジロキバチによるスギやヒノキの材変色被害は、九州地方から東北地方まで広く見られることが明らかになった。

現在、九州地方から東北地方までの広い地域でスギやヒノキに材変色被害を起こすニホンキバチとヒゲジロキバチの共生菌の種の特定、共生菌のスギやヒノキに与える影響を明らかにすることは緊急かつ重要な課題である。そこで本稿では、共生菌の種と共生菌のスギやヒノキに与える影響に関するこれまでの研究成果を、最近の知見を踏まえて紹介する。

II. キバチ類と共生する菌類

キバチ類は、膜翅目 (Hymenoptera)、キバチ科 (Siricidae) に属するハチの小さな分類群で、多くの種が北半球の温帯林に生息する (Gauld and Bolton, 1988)。キバチ類は、針葉樹を加害するキバチ亜科と広葉樹を加害するヒラアシキバチ亜科に分類される (竹内, 1962)。日本ではキバチ亜科の4属10種が記録されているが (竹内, 1962; 坂本, 1997; Togashi, 2001) 針葉樹林で普通に見られるのは、キバチ属 (*Urocerus*) のニホンキバチ (*U. japonicus* Smith, Fig. 3) とヒゲジロキバチ (*U. antennatus* Marlatt, Fig. 4)、オナガキバチ属 (*Xeris*) のオナガキバチ (*X. spectrum* Linne)、ルリキバチ属 (*Sirex*) のニトベキバチ (*S. nitobei* Matsumura) の3属4種である (金光, 1978; 福田, 1997)。

Amylostereum 属菌は、担子菌類 (Basidiomycetes) ウロコタケ科 (Stereaceae) に属し (Donk, 1964) 世界的に5種、*A. areolatum* (Fr. : Fr.) Boidin, *A. chailletii* (Pers. : Fr.) Boidin, *A. ferreum* (Berk. & Curt.) Boidin & Lanquetin, *A. laevigatum* (Fr.) Boidin, *A. sacratum* (G. Cunn.) Burds. が報告されている (Boidin and Lanquetin, 1984; Cunningham, 1963)。*A. areolatum*、*A. chailletii*、*A. ferreum*、*A. laevigatum* は、針葉樹上に発生し、*A. sacratum* は、広葉樹上に発生する。*A. areolatum*、*A. chailletii*、*A. laevigatum* は、北半球でマツ科樹木やその他の針葉樹の腐朽と関連があり (Eriksson and Ryvarden, 1973; Breitenbach and Kränzlin, 1986; Eriksson et al., 1978; Chamuris, 1988; Ginns and Lefebvre, 1993) *A. ferreum* は、中南米でマキ属樹木の腐朽と関連がある (Boidin and Lanquetin, 1984)。また、*A. sacratum* は、ニュージーランドでウコギ科樹木やその他の広葉樹の腐朽と関連がある (Cunningham, 1963)。上記5種の中で *A. areolatum* と *A. chailletii* は、キバチ亜科の昆虫と共生することが確認されている (Gaut, 1969; Gaut, 1970; 寺下, 1970; 佐野ら, 1995)。

1. ニホンキバチとヒゲジロキバチの共生菌の種

佐野ら (1995) は、三重県で採集されたニホンキバチとヒゲジロキバチの腹部の mycangia (菌嚢、以下マイカンギア) から *Amylostereum* 属菌を分離・培養し、その培養的特性によりそれらの菌類を *A. chailletii* であると同定した。一方、Tabata and Abe (1997, 1999) は、ニホンキバチとヒゲジロキバチが発生しているスギ・ヒノキ伐り捨て間伐林における菌類調査によって、*A. laevigatum* がスギ・ヒ



A



B

Fig. 3. ニホンキバチの雄成虫 (A) と雌成虫 (B)。スケール : 1cm。
Adult male (A) and female (B) of *U. japonicus*. Scale bar = 1cm.



Fig. 4. ヒゲジロキバチの雌成虫。スケール : 1cm。
Adult female of *U. antennatus*. Scale bar = 1cm.

ノキ伐り捨て間伐材の樹皮上に発生していることを発見した (Fig. 5, 6)。次に、彼らは、*A. laevigatum* の子実体由来した菌株 (以下、子実体由来菌株) と、ニホンキバチとヒゲジロキバチのマイカンギア由来した菌株 (以下、マイカンギア由来菌株) を用いてこれらの菌系の形態的特徴および培養的特性の比較検討を行い、子実体由来菌株とマイカンギア由来菌株の菌系の形態的特徴および培養的特性はよく一致していることを明らかにした (Fig. 7, 8)。また、彼らは、新鮮なスギの滅菌丸太を用いてマイカンギア由来菌株の子実体形成試験を行い、人工的に形成された子実体の形態を調べた結果、人工的に形成された子実体が、*A. laevigatum* であることを明らかにした (Fig. 9, 10)。最近、田端 (2002) は、三重県で採集されたニホンキバチのマイカンギアから共生菌を分離し、その菌系の形態的特徴および培養的特性によりその菌類を *A. laevigatum* であるとした。三重県で採集されたヒゲジロキバチの共生菌の種を調べる必要があるが、これまでの研究結果から、*A. laevigatum* がニホンキバチやヒゲジロキバチと共生する菌類であると考えられる。本菌は、カナダ、フランス、ノルウェー、スウェーデン、スイス、米国に分布している (Eriksson and Ryvarden, 1973; Breitenbach and Kränzlin, 1986; Boidin and Lanquetin, 1984; Chamuris, 1988; Ginns and Lefebvre, 1993)。また、本菌は、モミ属・ネズミサシ属・イチイ属・ネズコ属樹木で発生することが知られている (Eriksson and Ryvarden, 1973; Breitenbach and Kränzlin, 1986; Boidin and Lanquetin, 1984; Chamuris, 1988; Ginns and Lefebvre, 1993) が、キバチ亜科昆虫と共生する菌類として報告されていない。したがって、Tabata and Abe (1997) の報告が世界で最初のキバチ亜科昆虫の共生菌 *A. laevigatum* に関する報告であり、キバチ亜科昆虫と関係する菌類は、*A. areolatum*、*A. chailletii*、*A. laevigatum* の3種が存在することが明らかになっている。



Fig. 5. ニホンキバチが発生しているスギ伐り捨て間伐材で採集された *Amylostereum laevigatum* の子実体。スケール：1cm。
Basidiocarp of *Amylostereum laevigatum* on sugi bark collected in the field. Scale bar=1cm.



Fig. 6. ヒゲジロキバチが発生しているスギ伐り捨て間伐材で採集された *A. laevigatum* の子実体。スケール：1cm。
Basidiocarp of *A. laevigatum* on sugi bark collected in the field. Scale bar=1cm.

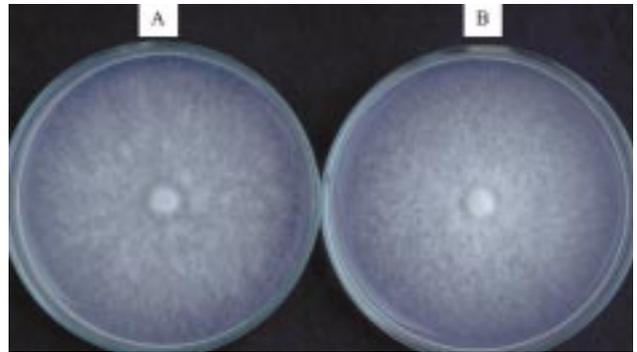


Fig. 7. ニホンキバチのマイカンギア由来菌株 (A) と *A. laevigatum* の子実体由来菌株 (B) の培養菌株。培養菌株はPDA培地上で25℃、1週間培養。
Culture (A) derived from the mycangia of *U. japonicus* and culture (B) from *A. laevigatum* basidiocarp collected on a sugi log. Both cultures were grown on PDA at 25℃ in darkness for 1 week.

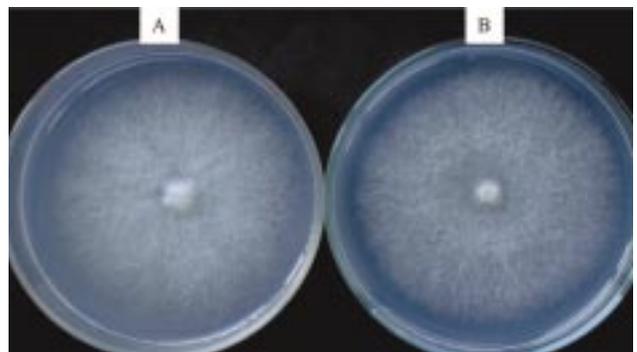


Fig. 8. ヒゲジロキバチのマイカンギア由来菌株 (A) と *A. laevigatum* の子実体由来菌株 (B) の培養菌株。培養菌株はPDA培地上で25℃、1週間培養。
Culture (A) derived from the mycangia of *U. antennatus* and culture (B) from *A. laevigatum* basidiocarp collected on a sugi log. Both cultures were grown on PDA at 25℃ in darkness for 1 week.

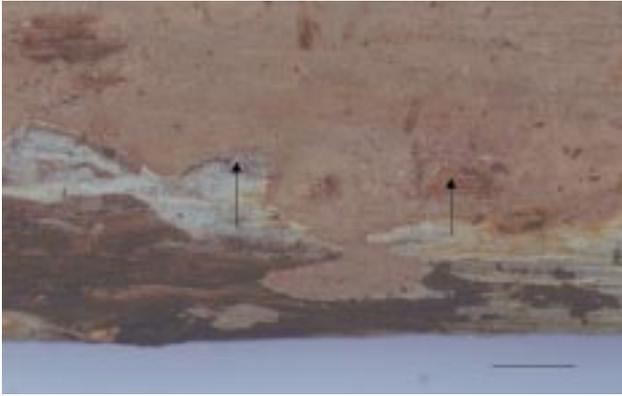


Fig. 9. スギ滅菌丸太にニホンキバチのマイカンギア由来菌株を接種して6ヶ月後に形成された*A. laevigatum*の子実体(矢印)。スケール: 1cm。
Basidiocarp (arrows) of *A. laevigatum* produced on the stem segment of sugi artificially inoculated with the mycangial isolate from *U. japonicus*. Scale bar = 1cm.



Fig. 10. スギ滅菌丸太にヒゲジロキバチのマイカンギア由来菌株を接種して6ヶ月後に形成された*A. laevigatum*の子実体(矢印)。スケール: 1cm。
Basidiocarp (arrows) of *A. laevigatum* produced on the stem segment of sugi artificially inoculated with the mycangial isolate from *U. antennatus*. Scale bar = 1cm.

2. 共生菌の分子系統解析

Tabataら(2000)は、マイカンギア由来菌株と子実体由来菌株が、ほとんど同一のITS領域の塩基配列とマンガンパーオキシダーゼ遺伝子の配列を持っていたことから、ニホンキバチ、ヒゲジロキバチと共生する菌類は、*A. laevigatum* であるとした。

また、Tabataら(2000)は、キバチ亜科のマイカンギアに由来した*Amylostereum*属菌の菌株と子実体や腐朽材に由来した*Amylostereum*属菌の菌株の核内rDNAのITS領域の塩基配列とマンガンパーオキシダーゼ遺伝子の配列により分子系統解析を行った(Fig. 11, 12)。その結果、*Amylostereum*属菌4種は、単系統群を形成していた。また、*A. ferreum*、*A. chailletii*、*A. laevigatum*は、*A. areolatum*と分かれたグループを形成すると思われた。同様にSlippersら(1998)は、ミトコンドリアスモールサブユニット

rDNAの塩基配列や核rDNAのIGS(IGS-1)領域における塩基配列によって、*A. laevigatum*と*A. ferreum*が、*A. areolatum*よりも*A. chailletii*とより近い類縁関係にあることを見つけ、Vasiliasuskasら(1999)も核rDNAのITS領域において、*A. laevigatum*の塩基配列と*A. chailletii*の塩基配列がほとんど同じであることを発見した。

Gaut(1970)は、一核菌系の菌系融合によりアメリカヒノキキバチ(*S. areolatus* Cr.)と共生する菌類を*A. chailletii*であるとした。アメリカヒノキキバチ由来の未同定菌株(CFC010375, カナダ農務省菌株保存機関保管)は、Stillwellによって分離され、*A. chailletii*と同定された。しかし、この菌株のITS領域の塩基配列とマンガンパーオキシダーゼ遺伝子の配列は、*A. laevigatum*のITS領域の塩基配列とマンガンパーオキシダーゼ遺伝子の配列に類似し、

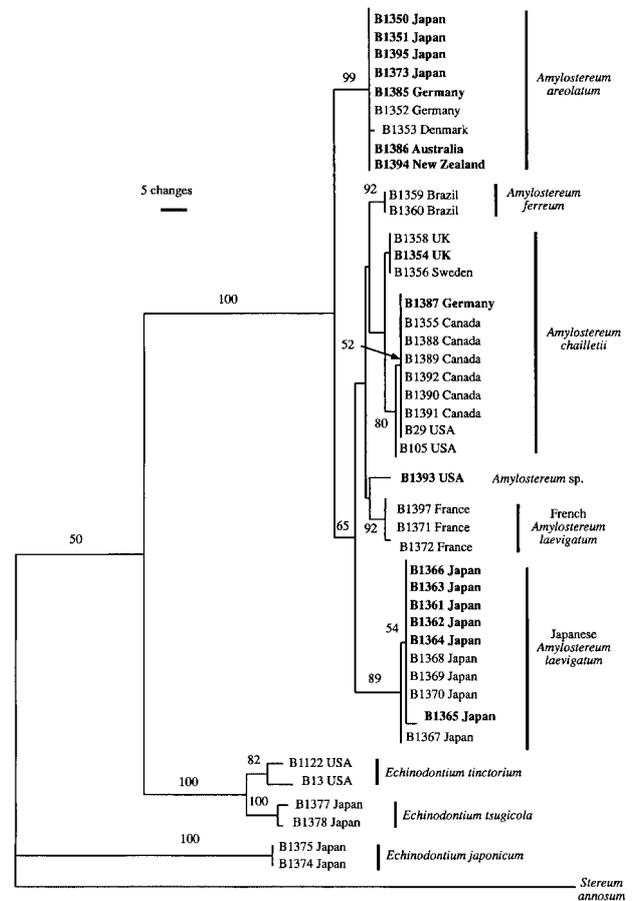


Fig. 11. *Amylostereum*属菌とマンネンハリタケ属菌の核 rDNA の ITS-1, 5.8S と ITS-2 領域における 152 の最大節約系統樹の一つ。外群は *Stereum annosum*。太字の菌株番号はキバチ類由来の菌株。

One of 152 most parsimonious trees based on 564 alignable characters of ITS-1, 5.8S, and ITS-2 regions of the nuclear rDNA of *Amylostereum* and *Echinodontium* species. The tree is rooted to *Stereum annosum*. Isolates number in bold are isolates from horntails.

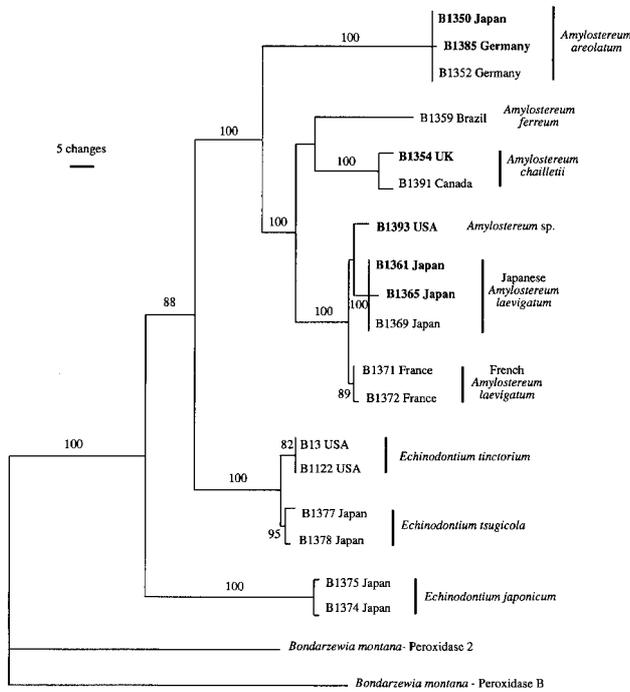


Fig. 12. *Amylostereum* 属菌とマンネンハリタケ属菌のマンガンパーオキシダーゼ A のエキソンにおける 2 の最大節約系統樹の一つ。外群は *Bondarzewia montana* peroxidase 2 と *B. montana* peroxidase B。太字の菌株番号はキバチ類由来の菌株。

One of two parsimonious trees based on 410 characters of exons of a partial sequence of manganese-dependent peroxidase A of *Amylostereum* and *Echinodontium* species. The trees is rooted to *Bondarzewia montana* peroxidase 2 and peroxidase B sequences. Isolate numbers in bold are isolates from horntails.

A. chailletii の ITS 領域の塩基配列とマンガンパーオキシダーゼ遺伝子の配列とは異なっていた (Tabata et al., 2000)。これは Slippers らの報告 (2000) と一致していた。アメリカヒノキキバチは、主に *Cupressus* 属やネズミサシ属のヒノキ科樹木やセコイア属のスギ科樹木を加害し (Furniss and Caroline, 1977)、*A. laevigatum* を持つニホンキバチとヒゲジロキバチの宿主と類似している (Table 1)。今後多くのアメリカヒノキキバチと共生する菌類を用いてその菌類の種を調べる必要があるが、*A. laevigatum* は、主にヒノキ科樹木やスギ科樹木を加害するキバチ亜科のキバチ属・ルリキバチ属昆虫と共生する菌類であり、*A. areolatum* および *A. chailletii* は、主にマツ科樹木を加害するキバチ亜科のキバチ属・ルリキバチ属・マダラキバチ属昆虫と共生する菌類であると推察されている (Tabata et al., 2000)。

日本とフランスにおける *A. laevigatum* の ITS 領域の塩基配列はわずかに異なっていたが、これらのマンガンパーオキシダーゼ遺伝子の配列はほとんど一致していた (Tabata et al., 2000)。ヨーロッパの *A. laevigatum* は、2

つの異なるタイプ、一つはネズミサシ属樹木に発生するタイプ (ネズミサシタイプ)、もう一つはイチイ属樹木に発生するタイプ (イチイタイプ) に分けられる (Eriksson and Ryvarde, 1973)。日本の *A. laevigatum* の標本 (森林総合研究所四国支所保管) とスウェーデンの *A. laevigatum* の標本 (ウプサラ大学標本館保管) を調べた結果、それぞれ担子胞子が小さいネズミサシタイプであった (Tabata et al., 2000)。宿主の違いによって担子胞子の大きさは異なっているが、現在のところは両方のタイプを同一種として扱わざるを得ない。これらのタイプを同一種とするか、あるいは別種として扱うかは、今後の研究の課題である。

トドマツノキバチ (*Xoanon matsumurae* Rohwer) と共生する菌類は、*A. areolatum* の菌株と同一の ITS 領域の塩基配列を持っていた。また、両菌の菌叢は、最初白色、後に褐色、綿毛状で、PDA 培地上に淡褐色、厚壁、棍棒状、先端が鋭角ないしはやや丸い棍棒状のシスチアを形成していた。さらに、両菌は、5-21 μm \times 1-4 μm の分節型胞子を形成していた。これらの ITS 領域の塩基配列と培養的特性の結果から、トドマツノキバチと共生する菌類は、*A. areolatum* と結論された (Tabata et al., 2000)。Tabata らの報告 (2000) が最初のキバチ亜科マダラキバチ属昆虫と関係する菌類に関する報告であるが、供試菌株は 1 菌株であった。

III. 共生菌のスギやヒノキに与える影響

日本ではニホンキバチ、ヒゲジロキバチと共生菌によるスギ、ヒノキの材変色が発生し、林業上重要な問題になっている。この材変色は、スギ・ヒノキ生立木でニホンキバチとヒゲジロキバチの共生菌の作用によって起こることが明らかにされている (讃井, 1986; 山田・奥田, 1987; 佐野ら, 1995; Tabata and Abe, 1997; Tabata and Abe, 1999)。また、材変色は、スギ・ヒノキ伐倒木では生じないことが判っている (周藤, 1994; 福田, 1999)。

ニホンキバチやヒゲジロキバチは、産卵する際にスギ・ヒノキ生立木の材内に共生菌を持ち込む。その後、共生菌は木部柔細胞内に侵入し、柔細胞を変性させる (坂井ら, 1999)。川崎ら (1996) は、ニホンキバチの強制産卵により生じたスギ変色材について木部の水分通導性が失われることを報告した。強制産卵では変色により失われた通導面積が、最大でも断面積の 20% 強と小さくなく、直ちに樹木に水ストレスや成長低下をもたらさないと考えられた。次に、ニホンキバチやヒゲジロキバチが大発生した際に、変色が樹幹に集中して発生し、被害木に枯死や成長低下を起こすかどうかを検証するため、田端 (2002) は、スギ 13 年生と 27 年生の樹幹 2 断面の全周にニホンキバチ共生菌を人工接種し、生立木の枯死の有無や直径成長を調べた。その結果、スギに枯死が認められず、培養楊枝を接種した個体 (以下、菌接種)、滅菌楊枝を接種した個体 (以

Table 1. キバチ亜科昆虫とその共生菌および主要加害樹種
Hosts, horntails, and their symbionts.

キバチ亜科昆虫		共生菌	主要加害樹種	引用文献
属	種 (和名または学名)			
ルリキバチ属	ノクチリオキバチ	<i>Amylostereum areolatum</i>	ラジアータマツ	Gaut, 1969
ルリキバチ属	ニトベキバチ*	<i>Amylostereum areolatum</i>	アカマツ、クロマツ	Gaut, 1970; Terashita, 1970
ルリキバチ属	コルリキバチ*	<i>Amylostereum areolatum</i>	マツ科樹木	Gaut, 1970
ルリキバチ属	アメリカルリキバチ	<i>Amylostereum chailletii</i>	マツ科樹木	Gaut, 1970
ルリキバチ属	アメリカヒノキキバチ	<i>Amylostereum laevigatum</i>	スギ科・ヒノキ科樹木	Tabata et al., 2000
キバチ属	ニホンキバチ*	<i>Amylostereum laevigatum</i>	スギ、ヒノキ	Tabata and Abe, 1997
キバチ属	ヒゲジロキバチ*	<i>Amylostereum laevigatum</i>	スギ、ヒノキ	Tabata and Abe, 1999
キバチ属	モミノオキバチ	<i>Amylostereum chailletii</i>	マツ科樹木	Gaut, 1970
キバチ属	カリフォルニアキバチ	<i>Amylostereum chailletii</i>	マツ科樹木	Gaut, 1970
キバチ属	<i>Urocerus augur augur</i>	<i>Amylostereum chailletii</i>	マツ科樹木	Gaut, 1970
キバチ属	<i>Urocerus augur sah</i>	<i>Amylostereum chailletii</i>	マツ科樹木	Gaut, 1970
マダラキバチ属	トドマツノキバチ*	<i>Amylostereum areolatum</i>	マツ科樹木	Tabata et al., 2000

* : 日本に生息することが報告されているもの (竹内, 1962)

下、楊枝接種) 何も接種していない個体 (以下、コントロール) の成長率に有意な差は検出されなかった。また、スギ13年生と27年生における肥大成長過程や仮道管数は、菌接種、楊枝接種、コントロールで差が認められなかった。この試験では樹幹2断面の全周に対して接種を行い、大きな円形の変色域を形成させた後、直径成長への影響を検討している。自然状態ではこのように大きな変色域を形成する変色が発生することは少ないように思われる。しかし、ニホンキバチやヒゲジロキバチが大発生した際には、変色が樹幹に部分的に集中して発生する可能性は否めない。今後はニホンキバチの共生菌を接種したヒノキ生立木に対して直径成長を検討することが望ましいが、樹幹2断面の全周に対してニホンキバチの共生菌を接種したスギ生立木では直径成長への影響はほとんどないと考えられる。

ニホンキバチやヒゲジロキバチの共生菌のスギやヒノキの材片に対する接種では重量減少が認められず、本菌は、木材腐朽力がないと考えられる (田端・阿部, 1999; 田端, 2002)。一方、共生菌が木材強度に及ぼす影響で、藤原ら (2001) は、*A. laevigatum* の腐朽力に関連したスギやヒノキの強度的性質を調べた。その結果、変色材と非変色材で縦圧縮強さ、曲げ強さ、曲げヤング係数、および引張り強さに有意な差は認められなかった。変色材の強度的性質については、稲田ら (2002) も同様の試験を行ったが、変色材と非変色材で曲げ強さと曲げヤング係数に有意な差は認められていない。また、野外における被害木より採取した小試験体でも、変色材と非変色材で曲げ強さと曲げヤング係数に有意な差は認められていないことから (奥田・野々田, 1994; 加藤・大場, 2000; 宮田, 2001; 村上・大長光, 2002)、ニホンキバチ、ヒゲジロキバチと *A. laevigatum* によるスギ・ヒノキ変色材の

強度は、非変色材と差がないと考えられる。以上のことから、ニホンキバチ、ヒゲジロキバチと *A. laevigatum* によるスギ・ヒノキ変色材は、強度的にほとんど問題がないことが明らかになっている。

IV. 今後の課題

ニホンキバチ、ヒゲジロキバチと共生してスギ・ヒノキ生立木に材変色被害を起こす共生菌の種の分子系統を調べた結果、ニホンキバチ、ヒゲジロキバチおよびアメリカヒノキキバチの共生菌は、同じ種類であり、他のキバチ類の共生菌より近い関係にあることが明らかになっている (Tabata et al., 2000)。キバチ亜科昆虫と共生する菌類は、*Amylostereum* 属菌に限られている (Gaut, 1970; Tabata and Abe, 1997; Tabata and Abe, 1999; Tabata et al., 2000)。今後、キバチ亜科昆虫と関係する菌類の分子系統解析をさらに詳しく進めることで、キバチ亜科昆虫、本昆虫の共生菌、本昆虫の加害樹種の3者間の相互関係が明らかになり、昆虫、菌類、樹木の共進化に関する議論ができるのではないかとと思われる。

ニホンキバチやヒゲジロキバチの体内に保持されていた *A. laevigatum* は、産卵の際に枯死木や伐り捨て間伐木に持ち込まれる。持ち込まれた菌は、材内で広がり、幼虫はその菌を利用して成長すると考えられている (Kukor and Martin, 1983)。その後、その菌はマイカンギアに取り込まれ、再び産卵の際に新たな枯死木や伐り捨て間伐木に持ち込まれると考えられる。一方、材内に広がった菌は、その後枯死木や伐り捨て間伐木上に子実体を形成する可能性がある (Tabata and Abe, 1997; Tabata and Abe, 1999)。子実体を形成することが頻繁でないため、子実体の担子胞子の飛散による被害の拡大は限られていると考えられる。以上のことから、*A. laevigatum* とニホンキバチ

およびヒゲジロキバチは、相互に必要な不可欠な関係であると考えられる。しかし、このような関係の中で材内の共生菌の繁殖様式、ニホンキバチやヒゲジロキバチの体内に共生菌を取り込む機構などは未解明な点が多く、今後の研究が期待される。

謝辞

本稿のとりまとめに当たって、東京大学大学院農学生命科学研究科 鈴木和夫教授、森林総合研究所九州支所阿部恭久博士、アイオワ州立大学植物病理学科 Thomas C. Harrington 教授、東京大学大学院農学生命科学研究科古田公人教授、山田利博助教授、東京大学大学院新領域創成科学研究科 福田健二助教授、神戸大学農学部 前藤 薫助教授、森林総合研究所多摩森林科学園 田淵隆一博士および高知県森林技術センター 宮田弘明氏からは御専門の立場から数々の貴重な御助言を頂いた。心から厚く御礼申し上げる。

また、本研究を進める過程で供試材料の採取やキバチ亜科昆虫の論文の入手に関して御協力を頂いた森林総合研究所四国支所 佐藤重穂氏、弘田孝行氏、門田春夫氏、酒井 武氏、竹内満里子氏、森林総合研究所 川崎達郎氏、井上大成博士、森林総合研究所北海道支所 佐々木克彦氏、森林総合研究所九州支所 伊藤賢介博士、元香川県森林センター 大久保政利氏、元愛媛県林業試験場井上功明氏、高知大学農学部 藤原新二助教授、植村和暢氏、坂井俊朗氏、元山口県林業指導センター 福原伸好氏、山口県林業指導センター 田戸裕之氏、東京農工大学農学部 岸 洋一教授、茨城県林業技術センター 細田浩司氏、横堀 誠氏、小倉健夫氏、元長崎県総合農林試験場 吉岡信一氏、久林高市博士、三重県科学林業振興センター 佐野 明博士、元秋田県林業技術センター 岩谷隆一氏、秋田県林業技術センター 金澤正和氏、静岡県林業技術センター 加藤 徹氏、藤下章男氏、大場孝裕氏、鳥取県林業試験場 井上牧雄氏、元鳥取県林業試験場 西垣真太郎氏、西村徳義氏、和歌山県農林水産総合技術センター林業センター 法眼利幸氏、元和歌山県農林水産総合技術センター林業センター 大槻国彦氏、宮本健治氏および国立科学博物館 篠原明彦博士に対し、心から御礼申し上げる。

引用文献

Boidin, J. and Lanquetin, P. (1984) Le genre *Amylostereum* (Basidiomycetes) intercompatibilités partielle entre espèces allopatriques, Bull. Soc. Mycol. France 100, 211-236.
Breitenbach, J. and Kränzlin, F. (1986) Fungi of Switzerland, vol. 2, Non-gilled Fungi. 180, Verlag Mykologia, Lecerne.
Chamuris, G. (1988) The non-stipitate stereoid fungi in the northeastern United States and adjacent Canada, Mycologia Memoir No. 14, 1-247.
Cunningham, G.H. (1963) The Thelephoraceae of Australia

and New Zealand, Bull. New Zealand Dept. Sci. Ind. Res., No. 145, 122-123.
Donk, M.A. (1964) A conspectus of the families of Aphyllophorales. Persoonia 3, 199-324.
Eriksson, J., Hjortstam, K., and Ryvarden, L. (1978) The Corticiaceae of North Europe, vol. 5, 890-893, Fungiflora, Oslo.
Eriksson, J. and Ryvarden, L. (1973) The Corticiaceae of North Europe, vol. 2, 90-95, Fungiflora, Oslo.
藤原新二・田端雅進・金川 靖 (2001) ニホンキバチの共生菌接種によるスギおよびヒノキ変色材の強度的性質, 日林誌 83, 157-160.
福田秀志 (1997) キバチ類3種の資源利用様式と繁殖戦略, 名大森林科学研究 16, 23-73.
福田秀志 (1999) スギの間伐時期によるニホンキバチの生存率の違い, 中森研 47, 89-91.
Furniss, R. L. and Carolin, V. M. (1977) Western Forest Insects. USDA For. Serv. Misc. Publ. No. 1339, 453-457.
Gaut, I. P. C. (1969) Identity of the fungal symbiont of *Sirex noctilio*. Aust. J. Biol. Sci. 22, 905-914.
Gaut, I. P. C. (1970) Studies of siricids and their fungal symbionts. PhD thesis, 1-166, Univ. Adelaide, Australia.
Gauld, I. and Bolton, B. (1988) The Hymenoptera. 1-332, British Museum (Natural History) Oxford University Press, Oxford.
Ginns, J. and Lefebvre, M. N. L. (1993) Lignicolous corticioid fungi (Basidiomycota) of North America, Systematics, distribution, and ecology. Mycol. Mem., 19., 21, APS Press, St. Paul, Minnesota.
稲田哲治・井上功盟 (2000) 愛媛県におけるキバチ類の分布と材変色被害の実態ならびに防除の試み, 愛媛県林試研報 20, 31-37.
稲田哲治・松岡真悟・田端雅進 (2002) ニホンキバチの共生菌を人工接種したスギとヒノキの曲げ強度性能, 木材学会誌 48, 207-210.
金光桂二 (1978) 針葉樹に入るキバチ類とその寄生蜂, 昆虫 46, 498-508.
加藤 徹・大場孝裕 (2000) キバチ類の被害防除技術に関する調査 (キバチ被害材強度試験), 静岡県林業技術センター平成11年度業務成績報告, 63.
川崎達郎・田端雅進・田淵隆一・酒井 武 (1996) 若齢スギにおけるニホンキバチ被害の変色材の水分通導性障害, 日林関西支論 5, 105-106.
今 純一 (1998) キバチ類の生態と被害実態に関する研究, 平成9年度青森県林業試験場報告, 37.
Kukor, J. J. and Martin, M. M. (1983) Acquisition of digestive enzymes by siricid woodwasps from their fungal symbiont, Science 220, 1161-1163.
宮田弘明 (2001) キバチ類の被害防除技術に関する調査, 高知県森林技術センター平成12年度試験研究実績報

- 告書, 14-15.
- 宮田弘明・加藤 徹・吉岡信一・福原伸好・細田浩司・法眼利幸・井上牧雄・周藤成次・大久保政利・稲田哲治・大長光純 (2001) キバチ類によるスギ・ヒノキ材変色被害の実態と防除に関する基礎調査, 森林防疫 50, 105-113.
- 村上英人・大長光純 (2002) キバチ類によるスギ変色部の強度性能について, 九州森林研究 55, 201-202.
- 西口陽康・柴田叡弍・山中勝次 (1981) キバチ類による生立木の変色, 32回日林関西支講, 257-260.
- 奥田清貴・野々田稔朗 (1994) スギ・ヒノキ変色害実態調査, 三重県林業技術センター平成5年度業務報告書 31, 22.
- 坂井俊朗・田端雅進・阿部恭久 (1999) ニホンキバチ、ヒゲジロキバチと *Amylostereum laevigatum* によるスギ・ヒノキ生立木の材変色について-材変色性、材の含水率変化および木材腐朽力の検討-, 日林学術講 110, 63-64.
- 坂本 充 (1997) 広島県のキバチ類, 比婆科学 177, 23-34.
- 佐野 明 (1992) ニホンキバチ, 林業と薬剤 122, 1-8.
- 佐野 明・三原由美・伊藤進一郎 (1995) キバチ属 (*Urocerus*) 2種の共生菌胞子貯蔵器官から分離された菌類, 43回日林中支論, 125-126.
- 讃井孝義 (1986) 宮崎県における造林木の変色と腐朽 (II) -キバチの産卵後に起こる変色-, 日林九支研論集 39, 197-198.
- 柴田叡弍 (1984) ニホンキバチによるスギ磨き丸太の被害について, 森林防疫 33, 12-14.
- Slippers, B., Wingfield, M. J., Coutinho, T. A., and Wingfield, B. D. (1998) The identify and possible origin of the *Amylostereum* symbiont of *Sirex noctilio* in South Africa. 7th International Congress of Plant Pathology, Edinburgh, Scotland, 3, 55.
- Slippers, B., Wingfield, M. J., Wingfield, B. D., and Coutinho, T. A. (2000) Relationship among *Amylostereum* species associated with siricid woodwasps inferred from mitochondrial ribosomal DNA sequences, Mycologia 92, 955-963.
- 周藤靖雄 (1994) *Amylostereum* sp. によるスギ・ヒノキの材変色-林木の生死が変色の発生と菌の生存に及ぼす影響-, 日林関西支論 3, 163-164.
- Tabata, M. and Abe, Y. (1997) *Amylostereum laevigatum* associated with the Japanese horntail, *Urocerus japonicus*. Mycoscience 38, 421-427.
- 田端雅進・阿部恭久 (1999) ニホンキバチの強制産卵試験と *Amylostereum laevigatum* の木材腐朽試験, 森林応用研究 8, 203-204.
- Tabata, M. and Abe, Y. (1999) *Amylostereum laevigatum* associated with a horntail, *Urocerus antennatus*. Mycoscience 40, 535-539.
- Tabata, M., Harrington, T. C., Wei, C., and Abe, Y. (2000) Molecular phylogeny of species in the genera *Amylostereum* and *Echinodontium*. Mycoscience 41, 585-593.
- 田端雅進 (2002) ニホンキバチ、ヒゲジロキバチと *Amylostereum laevigatum* によるスギ・ヒノキ材変色被害に関する研究, 東京大学学位論文, 1-134, 東京.
- 竹内吉蔵 (1962) 膜翅目・キバチ科, 4-8, 北隆館, 東京.
- 寺下隆喜代 (1970) キバチと共生する担子菌類の一種, 日林誌, 52, 313-316.
- Togashi, I (2001) Description of a new species of *Urocerus geoffroy* (Hymenoptera: Siricidae) from Japan. Proc. Entomol. Soc. Wash. 103, 428-432.
- Vasiliauskas, R., Johannesson, H., and Stenlid, J. (1999) Molecular relationships within the genus *Amylostereum* as determined by internal transcribed spacer sequences of the ribosomal DNA. Mycotaxon 71, 155-161.
- 山田雅博・奥田清貴 (1987) ニホンキバチと共生する *Amylostereum* 属を接種したスギ・ヒノキ生立木の材の変色, 98回日林論, 515-516.