

環動昆

総説	
岩田隆太郎・児玉純一：シロアリによる樹木の被害	55
原著	
東條達哉・菅野裕朗・八木立夫・道岡康史・小笠原士・桜谷保之： 京都府木津川堤防および河川敷におけるチョウ類群集の 季節的・年次的変動（英文）	67
Piyawan Suttiprapan・中村寛志：3種類の採集方法による信州大学 農学部構内のオサムシ科甲虫の種構成と季節変動（英文）	83
桑原保正・森直樹・田辺力：中米産矢毒ガエルのスピロピロリジイン236を 日本産ジヤステ目オカツクシヤステ防御物質の主成分として検出 （英文）	91
短報	
榎原寛・大村和香子・井上国雄：合板工場において捕獲された甲虫類（I） —フライング・インターセプション・トラップの利用—	97
研究奨励賞受賞論文	
中嶋智子：衛生動物の重要度の時間的・空間的変動	103
会報	115
投稿規定	119

Vol. 18

2

2007

日本環境動物昆虫学会

シロアリによる樹木の被害¹⁾

岩田隆太郎²⁾

日本大学 生物資源科学部

児玉純一

宮崎病虫害防除コンサルタント

(Received April 1, 2007 ; Accepted May 11, 2007)

Damage done to trees by termites. Ryûtarô Iwata²⁾ and Junichi Kodama³⁾. ²⁾College of Bioresource Sciences, Nihon University Fujisawa 252-8510, Japan. ³⁾Miyazaki Termite Control & Consultant Co. 1-1-6, Higashi Omiya Miyazaki Japan.

Abstract

Damages done by termites (Isoptera) to living trees were reviewed from the viewpoints of geography, ecology and practical control. To properly understand the phenomena of termite-tree interactions, both termites and trees should be regarded as having aspect of natural "wild lives". Analyzing the phenomena with the viewpoints of behavioral ecology and tree physiology leads to a hypothesis that almost all the termite damages on living trees all over the world can be elucidated as either a consequence of symbiosis between termites and trees with little fitness loss of trees, or a result of termites' optimistic attacks due to trees' weakening through the other causes.

In controlling termites simultaneously damaging constructions and surrounding trees, trials based upon the theory of integrated pest management (IPM) are needed, utilizing bait formulations in most of the cases. Also in Japan, an administrative improvement is needed to facilitate the problems of separated registration system of indoor and outdoor pesticide usages.

はじめに

シロアリ類は真社会性昆虫として、「シロアリ共生系」という極めて興味深い生命現象の中核として、巣形成によるリバンナなどの生態系へのインパクトの主体として、地球生態系の物質循環のキーストーンとして、そして文明開闢以来の人類との木材利用における競合者として、生物学・生物資源科学における非常に重要な研究対象となってきている(岩田, 2006)。そして今ここに、林業地、都市環境などにおける樹木の害虫としての側面がある。しかし日本ではこの側面に関してこれまでほとんど注目されたことはなく、仮に樹木へのシロアリの被害が発生しても、シロアリによる家屋などの被害が専ら注目され、この影にかくれてその経済的損失はマイナーなものとしてほとんど見過ごされてきた。

しかし例えば家屋へのイエシロアリ *Coptotermes formosanus* の加害では、庭における樹木への加害がこれに随伴することがあり、この場合その家屋の敷地内の庭

木や家屋が面する道路の街路樹などにも目を向けなければならず、日本では木造家屋の工法の変化に伴いこのようなケースが現在増加している(児玉, 1997b)。これらのケースでは、シロアリの加害対象として家屋と周辺樹木を一体としてとらえなければ対処できない。

シロアリ類は二次性穿孔虫(枯死木や衰弱木のみを食害する昆虫)との認識が一般的であるが、条件さえ許せば一次穿孔虫(生木の木部を食害する昆虫)となりうる。ではどのような条件のもとでシロアリは一次穿孔虫となるのであろうか? 以下、その概要を国内・海外における事情・事例を含めて述べ、さらにその生物学的背景についても考察を加える。

樹木の防御機構とシロアリ

樹木は野生状態で淘汰圧を受けるという意味で野生生物としての側面を有し、その地上部の最外部が剛健な死組織としての外樹皮、その内側が防御戦略を伴う活動的

1) 本稿は、「2006年11月応用環境生物学系3学会連繫大会」における公開シンポジウム「シロアリ研究の動向」での講演の内容に加筆したものである。

2) Corresponding author : iwata@brs.nihon-u.ac.jp

な内樹皮，その内部の形成層とそのすぐ内側の辺材に続き，樹幹中心部が防御物質が豊かな死組織としての心材となり，地下部が可塑性・活動性に富む根系となって，菌類や昆虫などの外敵に対して万全の防御態勢をとっている。

基本的に樹木が健全な場合，菌類や昆虫にとってこのバリアーの突破は非常に困難で，これにより食材性昆虫に生木喰い（一次性穿孔虫）は少ない。

防御の手段は，具体的には針葉樹では樹脂（オレオレジン）滲出，広葉樹では樹液滲出，カルス形成，樹種ごとの有毒な抽出成分（量的防衛物質）の含有などが挙げられる。

シロアリは基本的に二次性穿孔虫であり，生きた樹木を加害すること（一次性化）はその基本から外れた生態と解される。その場合も食害は死組織である心材に限られ，被圧木，苗畑中の苗，外来樹種に多く，樹木の枯死被害は稀であるとされている（Harris, 1955）。

外来樹種や苗畑の苗木が被害を受けやすいといわれるが，これは本来の分布地ではない土地，本来の発生環境ではない苗畑で生育する樹木が経験する水分ストレスなどが関係するものと考えられている。

つまるところシロアリは，カミキリムシ科やキクイムシ科の一部の種のような樹木の防御機構を突破する手段を持ち合わせていず，樹木の方で何らかの原因でスキを与えるとシロアリがこれに乗じて加害するというシナリオが考えられる。しかし実際には意外と多くの樹木加害例が日本を含む世界各地で見られ，これらすべてが樹木の鉄壁の防御機構とそれを突破するシロアリというシナリオでは説明しきれないものと考えられる。以下，概観する。

日本におけるシロアリの樹木への被害

地球全体で見てシロアリの分布域の最北限に位置する

日本では，ミゾガシラシロアリ科に属する「地下性シロアリ」，即ちイエシロアリ（イエシロアリ属の北限種）とヤマトシロアリ *Reticulitermes speratus*（ヤマトシロアリ属の極東産北限種）が優占的で，樹木に加害する種もこの2種，特に前者イエシロアリである。本土ではイエシロアリの分布，その棲息密度の関係で，九州と南西諸島に比較的多くの事例が見られる。

この場合，樹木は外科的に（刃物，火災，自動車衝突などの物理的な傷による内樹皮組織のダメージと木部露出，それに続く腐朽菌などの菌類の辺材部への侵入，それに続く腐朽の心材部への到達などで），もしくは内科的に（水分ストレスなどで），健全性が損なわれている状態にあると考えられ，地下性シロアリはいわば「日和見性穿孔虫」（通常二次性だが樹木が弱ると一見一次性の様相を呈する穿孔虫）の位置づけとなる。

また鹿児島県などでは乾材シロアリの1種サツマシロアリ *Glyptotermes satsumensis* による広葉樹幼齢木の心材被害も見られ，この場合は生立木の上位枯枝からの侵入が想定される。しかしサツマシロアリの樹木被害に関する事例報告は今のところ見られず，これは元来この種が樹木害虫として重要でないこと，および／または調査・認識がなされていないことによるものであろう。

以上，日本における樹木のシロアリ被害については，「マイナーな虫害」との認識のもと，日本ではまともな考察は全くなされていなかった（岩田, 2006）。また日本は森林国であるが，シロアリの分布は国土の南方に偏り，林業におけるシロアリの害虫としての位置づけ・認識はほとんど見られない。しかし実際には相当の被害量と重要性を伴う問題と考えられ，また今後地球温暖化による影響でレギュラーな森林害虫となる潜在性が認められる。

日本における果樹・街路樹・庭園樹・林木に対するシロアリ被害の，文献における事例報告を表1にまとめた。報告は決して多くないが，被害樹種は意外と多様で，地

表1. 日本における樹木へのシロアリ被害の事例報告

都道府県	樹種	シロアリ種	文献
宮城県	スギ・トウヒ・サクラ	ヤマトシロアリ	広川, 1962
神奈川県	イチヨウ	イエシロアリ	石井, 2006
静岡県	クロマツ	ヤマトシロアリ	森・町田, 1968; 森・町田, 1969
奈良県	スギ	ヤマトシロアリ	森・町田, 1968
福岡県	広葉樹街路樹	イエシロアリ・ヤマトシロアリ	Ohga et al., 1995
	街路樹	イエシロアリ	山本, 2006
長崎県	ヒノキ	ヤマトシロアリ	久林・河辺, 1996
宮崎県	スギ	イエシロアリ	中島・清水, 1959; 児玉, 1997c
	ミカン	イエシロアリ	中島・清水, 1980
屋久島	スギ	イエシロアリ	佐藤ら, 2003
神奈川県・福岡県・宮崎県・鹿児島県・ 沖縄県・三宅島・小笠原諸島	各種針葉樹・各種広葉樹・ 他	イエシロアリ	児玉, 2007

域もシロアリの実際の分布と比べて著しい偏りは見られない。しかし元来シロアリ目は亜熱帯・熱帯地域がその分布の中心であることにより、シロアリによる樹木の被害もその発生頻度は日本国内でも南方に偏る分布が想定され、実際宮崎県、鹿児島県、南西諸島、小笠原諸島にその事例は多いようである。

筆者の一人児玉が東京都小笠原諸島の各島を 1990 年代に 5 回にわたり訪れ、特にイエシロアリについて調査を行った (児玉, 1997a)。ここではその際に得られた 4 調査地における被害の調査結果を紹介する。

図 1 に小笠原諸島の山林内におけるイエシロアリの樹木被害営巣の方形区調査結果を示した。これによると、小笠原諸島の山林内ではイエシロアリが樹木を害害することは極めて普通の現象であることがわかる。

また、これまでに日本国内で筆者の一人児玉が直接確認したイエシロアリによる樹木の被害について、その樹種のリストを表 2 にまとめた (児玉, 2007 一部改変)。これによれば、イエシロアリ営巣確認樹種は 34 科 57 種にわたり、針葉樹・広葉樹を問わず非常に多くの樹種がイエシロアリに被害を受け、また樹木その他ヤシ類やへび類にまで被害が及んでいることがわかる。

イエシロアリの営巣の多い樹種は、本土ではクロマツ>サクラ>スギ>クスノキ>ヤマモモの順、小笠原諸島ではリュウキュウマツ=ウラジロエノキ=ヒメツバキ=モクマオウ>タマナの順であった。

営巣を確認した 57 樹種のうち小笠原の 20 種を除く 37 種の内 35 種が公園樹・街路樹・庭木として利用されており、そのすべてが移植されたものであった。また 57 種の内 15 種が外来樹種であった。その他の日本産樹種においても、本来の自生地の立地とはかけはなれた環境に植栽されているものが多いように見受けられた。

イエシロアリはかくして、日本において家屋害虫としてのみならず樹木害虫としてもシロアリ目の中で最重要種の位置づけがなされるものと考えられる。この種の樹木への営巣は庭木、街路樹、公園等の植栽樹に目立ち、これらの営巣樹木は外来種あるいは本来の生育立地とはかけ離れた状態での移植樹であることが多い。生木への営巣の端緒は樹勢の弱体化によることが大きく、また営巣に際する嗜好性は切株>枯損木>倒木>生立木の順となり、生立木は決してイエシロアリが特に選り好みする対象ではないといえる。そして営巣樹種の嗜好性はある

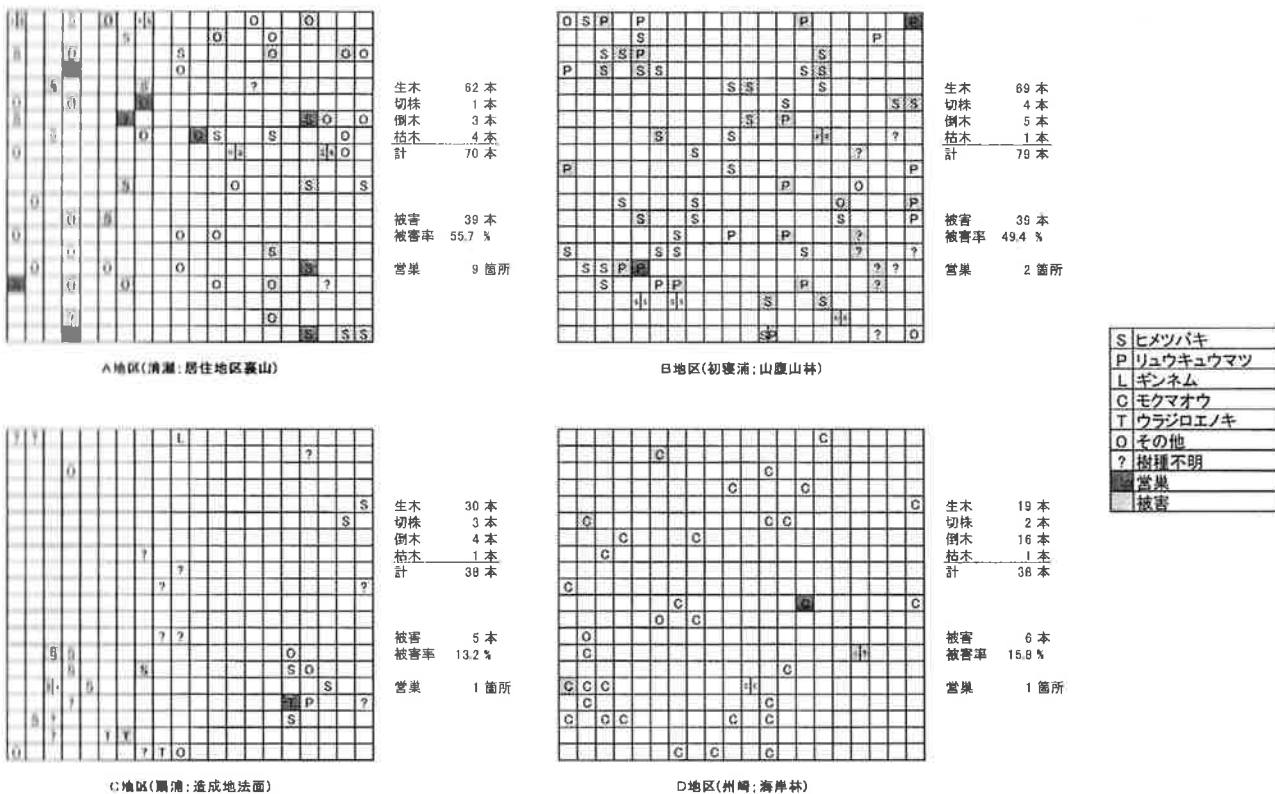


図 1. 小笠原父島の山林内におけるイエシロアリの樹木被害の方形区調査結果。
縦20m×横20m=400m², 1メッシュ=1m²

表2. イエシロアリによる被害営巣樹種

科名	樹種名	営巣確認地
モクマオウ科	モクマオウ <i>Casuarina equisetifolia</i>	小笠原
ヤマモモ科	ヤマモモ <i>Myrica rubra</i>	宮崎県・鹿児島県
ヤナギ科	シダレヤナギ <i>Salix babylonica</i>	宮崎県
	ギンドロ <i>Populus alba</i>	福岡県
カバノキ科	オオバヤシヤブシ <i>Alnus sieboldiana</i>	三宅島
ブナ科	ウバメガシ <i>Quercus phillyraeoides</i>	宮崎県・鹿児島県
	スダジイ <i>Castanopsis cuspidata</i> var. <i>sieboldii</i>	宮崎県・鹿児島県
	マテバシイ <i>Pasania edulis</i>	宮崎県・鹿児島県
ニレ科	ケヤキ <i>Zelkova serrata</i>	宮崎県・神奈川県
	ウラジロエノキ <i>Trema orientalis</i>	小笠原
クワ科	シマグワ <i>Morus australis</i>	小笠原
	アコウ <i>Ficus wightiana</i>	宮崎県・鹿児島県
	ガジュマル <i>Ficus retusa</i>	小笠原
クスノキ科	クスノキ <i>Cinnamomum camphora</i>	宮崎県
	ヤブニッケイ <i>Cinnamomum japonicum</i>	宮崎県
	タブノキ <i>Machilus thunbergii</i>	宮崎県
ハスノハギリ科	ハスノハギリ <i>Hernandia nymphaeifolia</i>	小笠原
ツバキ科	ヒメツバキ <i>Schima mertensiana</i>	小笠原
	モッコク <i>Ternstroemia japonica</i>	宮崎県
オトギリソウ科	テリハボク(タマナ) <i>Calophyllum inophyllum</i>	小笠原
スズカケノキ科	アメリカスズカケノキ <i>Platanus occidentalis</i>	宮崎県・神奈川県
マンサク科	モミジバフウ <i>Liquidambar styraciflua</i>	宮崎県
バラ科	ヤマザクラ <i>Prunus sargentii jamasakura</i>	宮崎県
	ウメ <i>Prunus mume</i>	宮崎県
	シマシヤリンバイ <i>Rhaphiolepis wrightiana</i>	小笠原
マメ科	ギンネム <i>Leucaena leucocephala</i>	小笠原
	デイゴ <i>Erythrina variegata</i> var. <i>orientalis</i>	宮崎県・小笠原
	ホウオウボク <i>Delonix regia</i>	小笠原
トウダイグサ科	アカギ(カタン) <i>Bischofia javanica</i>	小笠原
	ナンキンハゼ <i>Sapium sebiferum</i>	宮崎県
ミカン科	ミカン <i>Citrus unshiu</i>	宮崎県・小笠原
センダン科	センダン <i>Melia azedarach</i> var. <i>subtripinnata</i>	宮崎県
ウルシ科	マンゴー <i>Mangifera indica</i>	小笠原
モチノキ科	クロガネモチ <i>Ilex rotunda</i>	宮崎県
ホルトノキ科	ホルトノキ <i>Elaeocarpus sylvestris</i> var. <i>ellipticus</i>	宮崎県・小笠原
アオイ科	テリハハマボウ <i>Hibiscus glaber</i>	小笠原
ミソハギ科	サルスベリ <i>Lagerstroemia indica</i>	宮崎県
シクンシ科	モモタマナ <i>Terminalia catappa</i>	小笠原
カキノキ科	カキノキ <i>Diospyros kaki</i> var. <i>sylvestris</i>	宮崎県
ムラサキ科	モンパノキ <i>Messerschmidia argentea</i>	小笠原
ヤシ科	オキナヤシ <i>Washingtonia filifera</i>	宮崎県
	オガサワラビロウ <i>Livistona chinensis</i> var. <i>boninensis</i>	小笠原
	トックリヤシモドキ <i>Hyophorbe verschaffeltii</i>	小笠原
	カナリーヤシ <i>Phoenix canariensis</i>	宮崎県
タコノキ科	タコノキ <i>Pandanus boninensis</i>	小笠原
ソテツ科	ソテツ <i>Cycas revoluta</i>	宮崎県
イチョウ科	イチョウ <i>Ginkgo biloba</i>	宮崎県・神奈川県
マツ科	ゴヨウマツ <i>Pinus parviflora</i>	宮崎県
	クロマツ <i>Pinus thunbergii</i>	宮崎県
	ダイオウショウ <i>Pinus palustris</i>	宮崎県
	リュウキュウマツ <i>Pinus luchuensis</i>	小笠原・沖縄県
	ヒマラヤスギ <i>Cedrus deodara</i>	宮崎県
スギ科	スギ <i>Cryptomeria japonica</i>	宮崎県
ヒノキ科	ヒノキ <i>Chamaecyparis obtusa</i>	宮崎県
	カイヅカイブキ <i>Juniperus chinensis</i> cv. <i>pyramidalis</i>	宮崎県
マキ科	ナギ <i>Podocarpus nagi</i>	宮崎県
ヘゴ科	マルハチ <i>Cyathea mertensiana</i>	小笠原

ものの、イエシロアリによる営巣樹種の選別はその木の立地条件が重要と考えられる。

黒玉 (1997b) による日本におけるイエシロアリの立木への被害の形態分類では、①通直な針葉樹や幼木などで根全体を包み込んで巣を形成する場合、②樹木の地際が植土で埋まった場合などで土中の幹下部に側方からまとわりつくように巣を形成する場合、③移植された樹木などで根系に上から包まれるような形で巣を形成する場合、④大径木などで樹幹下部の中に巣を形成する場合、

⑤大径高木などで樹幹の高所の節や枝分れ箇所に巣を形成する場合の5類型を認め (図2)、さらに④大径木の樹幹中に営巣の場合、木口面で見ても (a) 心材が完全に中空になる場合 (広葉樹に多い)、(b) 年輪層に沿って春材のみが同心円状に加害される場合 (若齢木の被害の初期に多い)、(c) 辺材と心材の境界付近が円状に加害されて心材が残る場合 (針葉樹に多い)、(d) 不規則に分散して加害される場合 (材が堅い広葉樹に多い) の4パターンを認めた (図3)。今後はこれらの諸パターン

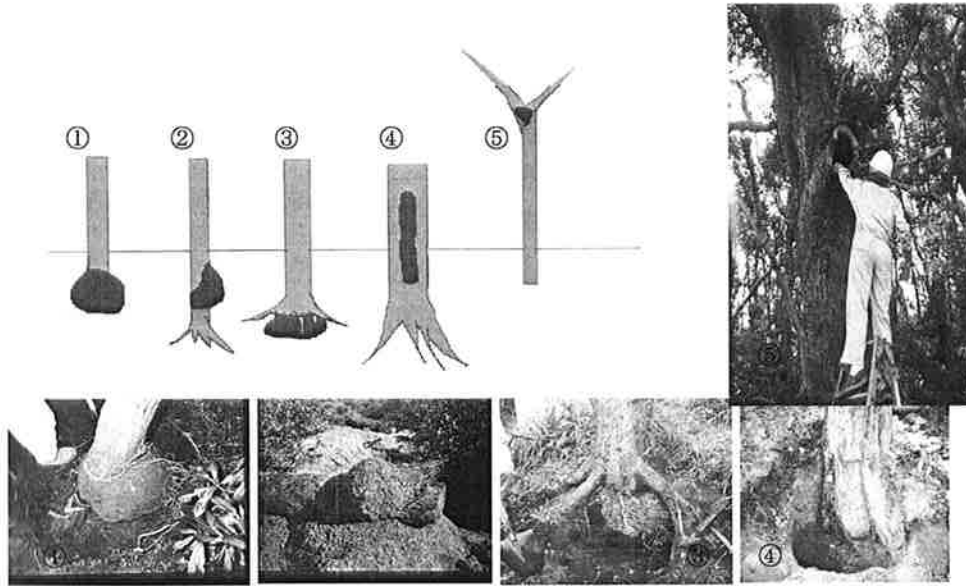


図2. 樹木内部におけるイエシロアリの営巣箇所

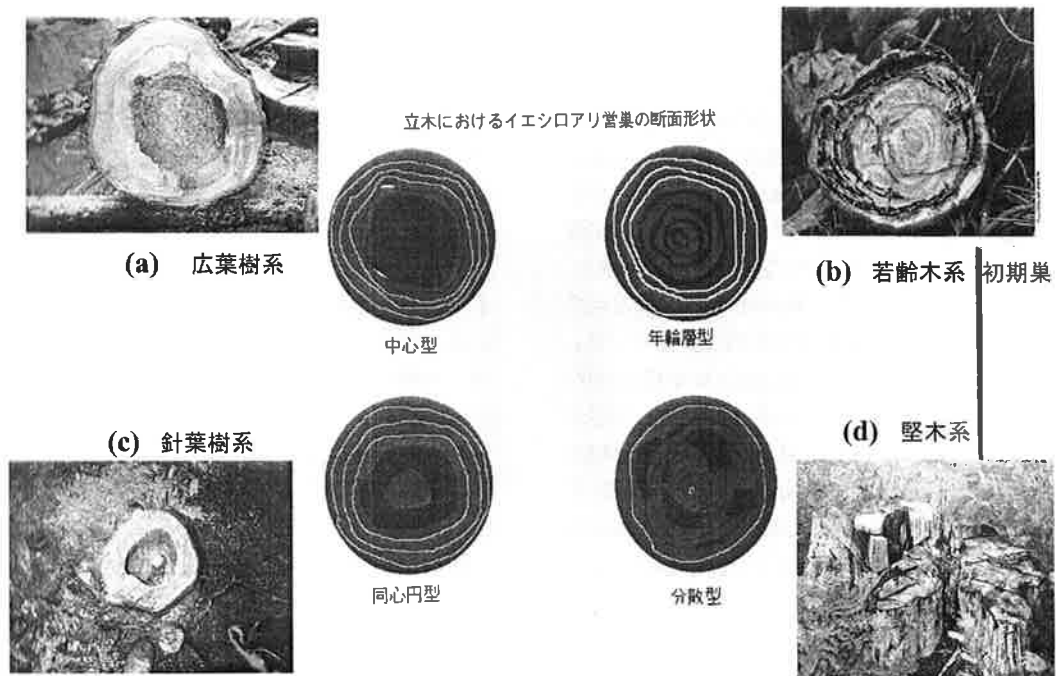


図3. 樹木内部におけるイエシロアリの営巣類型

の生態学的意味、樹種との関連性などについて詳しく研究する必要性が示唆される。

世界各地におけるシロアリの樹木への加害

シロアリ目は上述のように熱帯・亜熱帯がその分布の中心であり、アフリカ、中近東南部、インド亜大陸、東南アジア、極東南部、オーストラリア、太平洋島嶼、中米、南米中部～北部において栄えている。イギリス人の Harris (1955) は、世界各地の英国植民地での戦前戦後の経験をもとに、「シロアリは健全な樹木は攻撃しないという経験則は、アフリカ、インド亜大陸では通用するが、東南アジアでは例外が多く、中米とオーストラリアでは正しくない」とし、さらに Harris (1966) は東南アジア、中米、オーストラリアにおける被害は *Coptotermes* (イエシロアリ属) によるとした。ここで Harris が経験していない南米中部～北部(アマゾン等)における事情は中米におけるそれに準じるものと考えられる。以下国別に概観する。

(1) 中国

オオシロアリ *Hodotermopsis sjostedti* (日本産と同種)、*Glyptotermes* spp. (ミゾガシラシロアリ科)、イエシロアリ、*Stylotermes valvules* (ミゾガシラシロアリ科)、*Heterotermes aculabius* (ミゾガシラシロアリ科)、*Ahmaditermes pyrcephalus* (シロアリ科、テングシロアリ亜科)、等による各種樹木の被害が報告されている(彭ら, 1984)。

(2) インドマラヤ各地

ここに言うインドマラヤとは東南アジア・南アジア・オセアニアの総称であり、全体的に各種シロアリによる林木への被害が多い(Cowie *et al.*, 1989)。

(2-1) マレー半島：*Coptotermes curvignathus* (ミゾガシラシロアリ科、イエシロアリ属)による外来マツ類、ゴムノキ(外来樹種)等の被害(Kalshoven, 1963; Dhanarajan, 1969), *Microcerotermes distans* (シロアリ科、シロアリ亜科)によるフタバガキ科土着種の被害(Dhanarajan, 1969), *Coptotermes* によるココナツなどのヤシ類(単子葉植物)の被害(Kalshoven, 1963)が知られ、シロアリは非常に重要な林業害虫となっている。

(2-2) インドネシア：*Neotermes tectonae* (レイビシロアリ科)によるチークの被害(Kalshoven, 1959), *Coptotermes curvignathus* による各種樹種の被害(Kalshoven, 1963), *Coptotermes curvignathus* によるココナツなどのヤシ類(単子葉植物)の被害(Kalshoven, 1963), *Schedorhinotermes* spp. による *Agathis dammara* (針葉樹)の被害(Kiman, 1983)が知られ、*Neotermes tectonae* は生木の枯枝から侵入するとされている。

(2-3) インド：*Odontotermes* spp. などによるユーカリノキなどの苗畑と林内幼齢木の被害(Thakur and Sen-

Sarma, 1980)が知られる。

(2-4) スリランカ：*Kalotermes militaris*, *K. dilatatus* (レイビシロアリ科)によるチャなどの作物樹の被害が知られる(Jepson, 1929)。

(2-5) パプアニューギニア：Bulolo における *Araucaria cunninghamii* と *Eucalyptus* spp. の造林地山火事現場で、山火事被害木にシロアリや甲虫類の食害発生の報告がある(Wylie and Shanahan, 1973)。

(2-6) オーストラリア：*Coptotermes acinaciformis*, *C. brunneus*, *C. frenchi* (ミゾガシラシロアリ科、イエシロアリ属), *Porotermes adamsoni* (オオシロアリ科), *Ceratokalotermes spoliator* (レイビシロアリ科)による各種ユーカリノキ類の被害(心材の空洞化)(Greaves, 1959, 1962, 1964; Greaves *et al.*, 1965; Gay, 1967; Gay and Calaby, 1970; Fox and Clark, 1972; Elliott and Bashford, 1984; Carne and Taylor, 1984; Perry *et al.*, 1985), *Coptotermes* spp. (ミゾガシラシロアリ科、イエシロアリ属)による *Pinus pinaster* (マツ属)の被害(Perry *et al.*, 1985)が知られる。ここでユーカリノキ類に対する被害の査定は用材の材質劣化の観点からがほとんどで、樹木の枯死に言及したものはほとんどない。ただしユーカリノキ類の心材劣化・空洞化はシロアリ類のみが原因ではないとの研究(Williams and Faunt, 1997)もある。一方 *Coptotermes acinaciformis* によって心材が空洞化したユーカリノキは原住民(Aborigines)の世界最古の民族楽器“didgeridoo”の製造に欠かせないものとなっている(Fletcher *et al.*, 2006; Gay and Calaby, 1970)はこの空洞化を行うシロアリ種を *Mastotermes* (ムカシシロアリ科)としている。

(2-7) ニュージーランド：*Kalotermes brouni* (レイビシロアリ科)によるラジアータマツ(外来樹種)の被害(Zondag, 1959), *Coptotermes acinaciformis*, *C. frenchi* (ミゾガシラシロアリ科、イエシロアリ属; オーストラリアからの移入種)による各種針葉樹・広葉樹の被害(Sandlant, 1985)が知られる。

(3) ヨーロッパ

南欧ではブドウ畑における *Kalotermes flavicollis* (レイビシロアリ科)によるブドウの被害が著しい(López *et al.*, 2006)。

(4) ハワイ

イエシロアリによる広葉樹古木(Ehrhorn, 1934), 広葉樹・針葉樹・ヤシ類(Lai *et al.*, 1983)の被害が報告されている。

(5) アフリカ

各種シロアリによる農作物と樹木への被害(Cowie *et al.*, 1989; Wood and Pearce, 1991)が顕著である。

(5-1) セネガル：*Anacardium*, *Eucalyptus*, *Casuarina* などの公園の樹種がシロアリに加害されるという(Agbogba and Roy-Noël, 1982)。

(5.2) エチオピア：*Eucalyptus*, *Casuarina*, *Grevilla* といった樹種が苗畑と移植直後の林地での幼木でのみシロアリ被害が見られ、根がやられやすいとされている (Cowie and Wood, 1989)。

(5.3) 中央アフリカ・象牙海岸：*Coptotermes sjostedti* (イエシロアリ属) による各種広葉樹心材の被害 (Becker, 1975) が知られる。

(5.4) タンザニア (旧タンガニーカ地域)：各種シロアリ (主としてシロアリ科) によるユーカリノキ類 (外来種) の枯死被害 (Parry, 1959), 各種シロアリ (主としてシロアリ科) による個体数の少ない樹種の被害 (Gould *et al.*, 1993) が知られ、ここでユーカリノキ類の枯死は柱目に値する。

(5.5) 南アフリカ：*Macrotermes natalensis* (シロアリ科, キノコシロアリ亜科) による各種ユーカリノキ (外来種) の被害 (Atkinson *et al.*, 1992) が知られる。

(6) 北米・中米

研究者が多く、その分事例報告は多い。

(6.1) カナダ：*Reticulitermes flavipes* (ミゾガシラシロアリ科, ヤマトシロアリ属) による広葉樹の庭園樹の被害 (Cooper and Grace, 1987) が報告されており、これは日本における状況と類似している。

(6.2) アメリカ合衆国本土：*Paraneotermes simplicicornis* (レイビシロアリ科), *Reticulitermes hesperus* (ミゾガシラシロアリ科, ヤマトシロアリ属), *Heterotermes aureus* (ミゾガシラシロアリ科), *Amitermes acutus* (シロアリ科, シロアリ亜科) による各種広葉樹の被害 (Light, 1994), イエシロアリによる市街地樹木の被害 (ルイジアナ州・アラバマ州) (Spink, 1967; La Fage, 1987; Hu and Qi, 2004), *Reticulitermes* spp. (ヤマトシロアリ属) による相属類の被害 (フロリダ州) (Stansly *et al.*, 2001), *Kalotermites approximatus* (レイビシロアリ科) によるフロリダ州のパラ科庭園樹の被害 (Hetrick, 1961) が報告されている。*Reticulitermes hesperus* では生木が枯死するが、これは移植直後の苗木に限られるという (Light, 1994)。

(6.3) ベリーゼ (旧英領ホンジュラス)：*Coptotermes niger* (イエシロアリ属) による *Pinus caribaea* (マツ属), マホガニーの被害が著名である (Harris, 1959; Williams, 1965)。

(7) ブラジル等の南米

Coptotermes testaceus, *Coptotermes* sp. (イエシロアリ属), 等による土着各種広葉樹, ユーカリノキ (外来種) の心材空洞化被害 (Moraes *et al.*, 2002; Apolinário and Martins, 2004; Amaral-Castro *et al.*, 2004; Zanetti *et al.*, 2005) が著名で、ブラジルでは樹木の心材の空洞化はあたりまえとの感がある。

シロアリと樹木の「共生」

オーストラリア (特にユーカリ類), 中南米におけるシロアリによる健全木の穿孔害は相当顕著にして普遍的な現象であり、これは他の地域におけるものと様相が異なるとの印象を抱かせる。この現象を理解するには2つの基本的概念を援用する必要がある。

まず、(A) 動植物種の形態, 生態, 生理といった性質・形質は、それが安定である場合、「進化的安定戦略」(ESS) としての意味づけや地史的規模の歴史性を考慮してはじめてその意義が理解されることが多い。さらに (B) 樹木は野生状態で淘汰圧を受ける野生生物であると同時に、ヒトの管理下にある有用資源生物としての側面も持ち、この両側面は決して相性良く一致するとは限らない、ということを念頭におくこととする。

この場合、シロアリが樹木を枯死させないという前提のもと、土着の樹木はシロアリによる死組織たる心材の穿孔・空洞化を許す妥協点に両者が到達しているものと解釈される。ここで、食害のきっかけ・メカニズムが樹幹・根の腐朽部・傷口からシロアリが侵入することにあるという点は、他地域と共通である。しかしこれらの樹木にとって心材へのシロアリの穿孔は、野生生物としての両者 (樹木とシロアリ) の生活史の中で「おりこみずみ」のことで、樹木自体の適応度 (残す子孫の数) を損なわず、食害を許すことが ESS となっていることが示唆され、これは一種の「片利共生現象」といえ、あるいはシロアリが樹木に対し何らかの栄養素供給などを行っている場合 (そのようなことは全く立証されていないが可能性はある)、両者が「共利共生」にあるといえる。一方この樹木の木部を材料として利用する人間にとっては、これはゆゆしき問題となる。これは、庭園樹や園芸樹種の葉における虫瘤、野菜や観葉植物の葉の食害傷などと同じ性格であり、これらの被害植物は「商品」としては嫌われ、価値がゼロとなる一方、植物そのものは枯死せず適応度もほとんど損なわれていないという点が重要である。

一方樹木が外来種の場合、その植物はその地での歴史が浅く食害昆虫との相互作用における均衡を得るには至っていない、上の ESS 理論の埒外にある。従ってこれらの植物は枯死に至る被害が生ずる可能性が示唆され、実際こういった外来種に被害が多く見られることは既述のとおりである。

この仮説に立つと、特に中南米・オーストラリアにおけるイエシロアリ属などの樹木加害種は立派な一次性穿孔虫という位置づけがなされることとなる。ただしこの場合の「一次性」とは生立木への加害という意味であって、生組織への加害という意味ではない。なぜならシロアリが穿孔食害する部位は必ず構成細胞が死滅している心材部 (および一部、構成細胞が一部の柔組織を除いて

死滅している辺材部奥部)に限られるからであり、これはスギ・ヒノキなどの針葉樹の飛び腐れを引き起こす穿孔虫のスギノアカネトラカミキリ *Anaglyptus subfasciatus* (カミキリムシ科)の加害習性(横原, 1987)に酷似し、被害植物自身は枯死せず、被害で適応度(残す子孫の数)も低下しない。このカミキリムシは生理的には二次性、生態的には一次性と扱いが妥当で、樹木と共生するシロアリも同じ位置づけが可能である。

上述したように、オーストラリアのユーカリノキ類の心材劣化・空洞化はシロアリ類のみが原因ではないともいわれる(Williams and Faunt, 1997)。また Janzen (1976) は熱帯の樹木に心材腐朽と空洞化が多いが、これは樹木が巨木になると無脊椎動物や菌類などの侵入生物とのせめぎあいがなくなり、非利用空間としての心材部の侵入生物へのすみかの提供と、排泄物などの蓄積による富栄養化による樹木自身の利益といったことが要因となり、樹木と侵入生物との間に一種の共生関係が成り立つ情景であることを示唆した。シロアリと樹木との関係に関する上述の筆者らの理論は、これと矛盾せず、むしろ軌を一にするものである。

一方樹木が適切な立地からはずれた状態、損傷を受けた状態などでは、樹体内部への異生物の侵入を許すような病的状況にあり、そういう場合に限って侵入して被害を及ぼすシロアリは「日和見的二次性穿孔虫」との位置づけがなされるべきであろう。

イエシロアリ属 *Coptotermes* の特異性

以上見てきたように、イエシロアリ、さらにはこの種を含むイエシロアリ属は、日本国内、海外において非常に重要な家屋害虫であると同時に、非常に重要な樹木害虫となっている。少なくともミゾガシラシロアリ科においては、家屋と樹木への食害度は概ね平行しているものと考えられる。

この属は、その分布域が熱帯降雨林・サバンナなどにあたることから、本来は樹木依存性、森林棲息性と考えられる。世界各地の様々なシロアリ種の中で、なぜこの属が特に重要な家屋害虫・樹木害虫になっているかについては、これまでに解析・考察はなされていないが、特に大きな巣を作り、コロニーの構成員数が特に大きく、特に大きな採餌行動圏を擁し、これと対抗する大きなグループである高等シロアリのテングシロアリ亜科 *Nasutitermitinae* と比べてより土壌への依存が高いといった点があるものと考えられる。

樹木と家屋をシロアリから守る

樹木に営巣しているイエシロアリの駆除(特に樹幹内営巣)においては、抜本的かつ即効的な結果を求める場合、樹木の外科的な施術が必要と考えられ(図4)、ここではその内容には深くは立ち入らないが、この技術は樹木医学的観点から、今後詳しく研究する必要性が認め

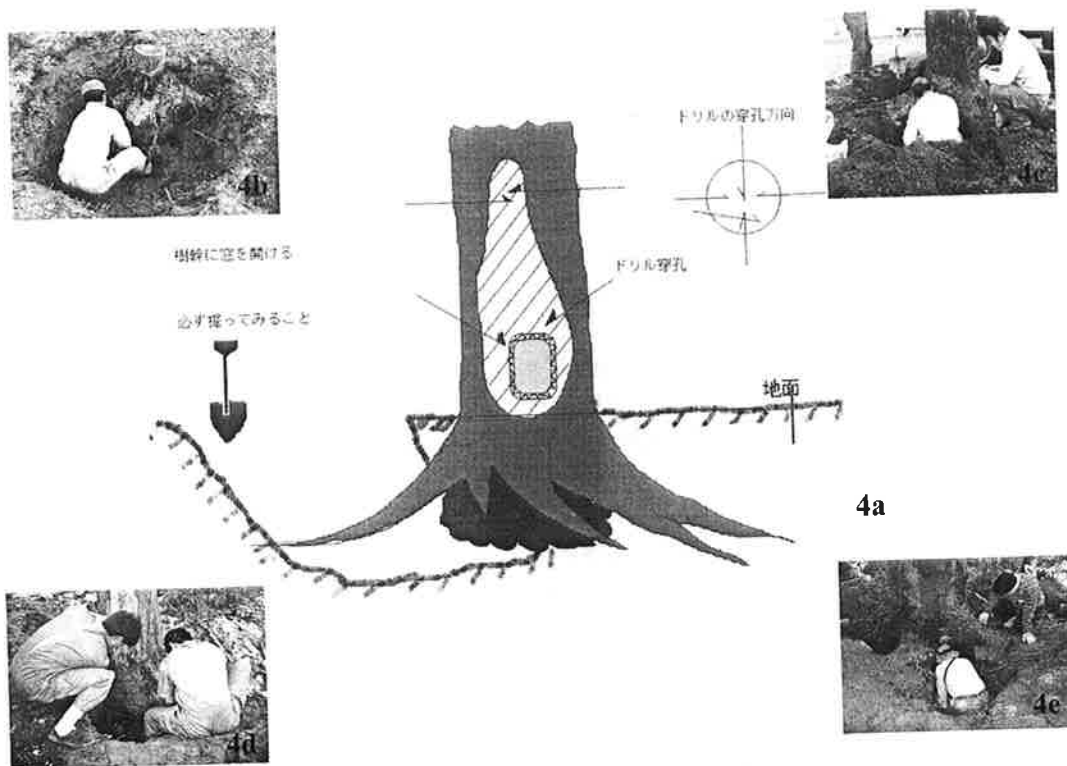


図4. 樹木内部に営巣したイエシロアリの防除事例

られる。樹木内部のシロアリ活動の検出は AE 検出機器を用いると、建築物での検出よりも容易とされている (Mankin *et al.*, 2002)。

アメリカ合衆国 (Su, 1991) と同様、日本でもイエシロアリとヤマトシロアリ属の種 (*Reticulitermes* spp.) が家屋と樹木を同時加害する種であり、これを同時に駆除する必要性が認められる。ここで日本では行政的に重要な問題が存在する。それは、家屋害虫としてのシロアリと、樹木害虫としてのシロアリは、所轄官庁および関連法規が異なる関係で、使用薬剤が容易には共通化できないという点である。しかし以上見てきたように、壁の内と外でこのような行政上・制度上の線引きがなされていても、シロアリはこれをあざ笑うかのように自由に行き来しており、特にイエシロアリのこういった広範囲の活動性に対しては、行政的、制度的にこれを考慮の上で、十分な対応が求められるものと考えられる。これは今後の大きな課題であろう。

一方、林業害虫としてのシロアリの防除法には総合防除 (IPM) の発想が重要である (Logan *et al.*, 1990)。家屋と樹木の同時加害のイエシロアリの駆除の場合も、日本では上述のような制度上の問題があるが、この IPM の発想が求められ、建築物と屋外の樹木をまとめてシロアリから守る方策が必要となる。これは本来アメリカ合衆国南部における考え方であるが、日本 (特に九州・沖縄) でも同様のことが求められる。こういった二重ターゲットの防除にはベイト剤が最適と考えられるが、アメリカ・ルイジアナ州では樹木を加害するイエシロアリをイミダクロプリド・ベイト剤で駆除する試みは成功しないとの報告 (Osbrink and Lax, 2003) もあり、今後の重要課題となっている。しかしベイト剤によるシロアリ駆除は、施用箇所を工夫することで日本における上述の制度上の問題を回避する近道ともなりうる。

米国・フロリダ州の柑橘樹園での *Reticulitermes* spp. の駆除には、ヘキサフルムロンのベイト剤が有効とされている (Stansly *et al.*, 2001)。またベイト剤普及以前の *Coptotermes* spp. の林地での駆除では、樹幹内の巣への殺虫剤注入、植林前の巣の爆破が有効とされている (Cowie *et al.*, 1989)。

オーストラリアではシロアリが家屋とユーカリノキなどの樹木を同時に加害するので、蟻塚を作らない *Coptotermes acinaciformis* などの種の駆除に際しては、まず樹木から検査するという (French, 1991)。単木をシロアリ駆除する場合は、心材に到達する注入孔を穿って薬剤注入する。オーストラリアにおけるユーカリノキのシロアリ駆除ではこの方法が取られている。

結 論

シロアリによる樹木の被害については、加害するシロ

アリと加害される樹木はともに天然の野生生物の側面をもつことを考慮に入れ、さらに生態学的な考え方と樹木の生理学に関する知識が必要で、これにより、世界各地の被害状況は、シロアリと樹木の共生、樹木の弱体化に伴うシロアリの日和見害虫化といった類型化による説明が可能である。

家屋とその周辺樹木のシロアリ同時加害への対処には IPM 的発想が必要で、具体的にはベイト剤が最適と考えられ、その線にそった技術開発と制度の手直しが必要である。

謝 辞

第一著者が本稿に関連する樹木生理学的な知識の御教示を賜った日本大学生物資源科学部の鈴木和夫教授 (現、森林総合研究所) に、また第二著者による樹木被害の事例収集に御協力を賜った小笠原諸島シロアリ対策団員の皆様に、深く御礼申し上げる次第である。

引用文献

- Agbogba, C. and J. Roy-Noël (1982) L'attaque des arbres par les termites dans la presqu'île du Cap-Vert (Sénégal). *Bulletin de l'Institut Fondamental d'Afrique Noire, Sér. A. Sciences Naturelles*, 44 (3/4) : 341-364.
- Amaral-Castro, N.R., R. Zanetti, J.C. Moraes, J.C. Zanuncio, G.D. Freitas, and M.S. Santos, (2004) Species of soil inhabiting termites (Insecta: Isoptera) collected in *Eucalyptus* plantations in the state of Minas Gerais, Brazil. *Sociobiology*, 44 (3) : 717-725.
- Apolinário, F.E. and C. Martius, (2004) Ecological role of termites (Insecta, Isoptera) in tree trunks in central Amazonian rain forests. *Forest Ecology and Management*, 194 (1/3) : 23-28.
- Atkinson, P.R., K.M. Nixon and M.J.P. Shaw (1992) On the susceptibility of *Eucalyptus* species and clones to attack by *Macrotermes natalensis* Haviland (Isoptera: Termitidae). *Forest Ecology and Management*, 48 (1/2) : 15-30.
- Becker, G. (1975) *Coptotermes* in the heartwood in living trees in Central and West Africa. *Material und Organismen*, 10 (2) : 149-154.
- Carne, P.B. and K.L. Taylor (1984) Insect pests. In "Eucalyptus for Wood Production" (Hillis, W.E. & A.G. Brown, eds.), pp.155-168, Academic Press, Sydney.
- Cooper, P.A. and J.K. Grace (1987) Association of the

- eastern subterranean termite, *Reticulitermes flavipes* (Kollar) (Isoptera: Rhinotermitidae), with living trees in Canada. *Journal of Entomological Science*, 22 (4) : 353-354.
- Cowie, R.H., J.W.M. Logan and T.G. Wood (1989) Termite (Isoptera) damage and control in tropical forestry with special reference to Africa and Indo-Malaysia: a review. *Bulletin of Entomological Research*, 79 : 173-184.
- Cowie, R.H. and T.G. Wood (1989) Damage to crops, forestry and rangeland by fungus-growing termites (Termitidae: Macrotermitinae) in Ethiopia. *Sociobiology*, 15 (2) : 139-153.
- Dhanarajan, G. (1969) The termite fauna of Malaya and its economic significance. *The Malayan Forester*, 32 (3) : 274-278.
- Ehrhorn, E.M. (1934) The termites of Hawaii, their economic significance and control, and the distribution of termites by commerce. In "Termites and Termite control" (Kofoid, C. et al., eds.), pp.321-333. (bibliogr. 772-781.), University of California Press, Berkeley.
- Elliott, H.J. and R. Bashford (1984) Incidence and effects of the dampwood termite, *Porotermes adamsoni*, in two Tasmanian east coast eucalypt forests. *Australian Forestry*, 47 (1) : 11-15.
- Fletcher, N.H., L.C.L. Hollenberg, J. Smith, A.Z. Tarnopolsky and J. Wolfe (2006) Vocal tract resonances and the sound of the Australian didgeridu (yidaki) II. Theory. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119 (2) : 1205-1213.
- Fox, R.E. and N.B. Clark (1972) The incidence of termites in eucalypts of the Darwin area. *Australian Forest Research*, 5 (4) : 29-36.
- French, J.R.J. (1991) Baits and foraging behavior of Australian species of *Coptotermes*. *Sociobiology*, 19 (1) : 171-186.
- Gay, F.J. (1967) A world review of introduced species of termites. *Bulletin, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia*, (286) : 1-88.
- Gay, F.J. and J.H. Calaby (1970) Termites of the Australian Region. In "Biology of Termites, Volume II" (Krishna, K. & F. Weesner, eds.), pp.393-448, Academic Press, New York & London.
- Gould, M.S., A.J. Lowe and G.P. Clarke (1993) The frequency of termite (Isoptera) damage to tree species in Namakutwa Forest, Tanzania. *Sociobiology*, 23 (2) : 189-198.
- Greaves, T. (1959) Termites as forest pests. *Australian Forestry*, 23 : 114-120, pls. 1-2.
- Greaves, T. (1962) Studies of foraging galleries and the invasion of living trees by *Coptotermes acinaciformis* and *C. brunneus* (Isoptera). *Australian Journal of Zoology*, 10 (4) : 630-651, 1 inset, pl. 1.
- Greaves, T. (1964) Temperature studies of termite colonies in living trees. *Australian Journal of Zoology*, 12 (2) : 250-262.
- Greaves, T., R.S. McInnes and J.E. Dowse (1965) Timber losses caused by termites, decay and fire in an alpine forest in New South Wales. *Australian Forestry*, 29 : 161-174.
- Harris, W.V. (1955) Termites and forestry. *Empire Forestry Review*, 34 : 160-166, 4 pls.
- Harris, W.V. (1959) Notes on termites injurious to forestry in British Honduras. *Empire Forestry Review*, 38 : 181-185.
- Harris, W.V. (1966) The role of termites in tropical forestry. *Insectes Sociaux*, 13 (4) : 255-265.
- Hetrick, L.A. (1961) *Kalotermes approximatus* Snyder infests roseaceous trees (Isoptera: Kalotermitidae). *Florida Entomologist*, 44 (1) : 53-54.
- 広川享子 (1962) 大崎八幡のシロアリ被害. 慶應義塾大学日吉論文集自然科学編, (1) : 76-87.
- Hu, X.P. and F. Oi (2004) Distribution and establishment of the Formosan subterranean termite (Isoptera: Rhinotermitidae) in Alabama. *Sociobiology*, 44 (1) : 35-47.
- 石井勝洋 (2006) イエシロアリの横須賀市内における棲息域拡大情報について. しろあり, (144) : 44-46.
- 岩田隆太郎 (2006) 日本のシロアリ研究の最前線. 家屋害虫, 28 (1) : 1-27.
- Janzen, D.H. (1976) Why tropical trees have rotten cores. *Biotropica*, 8 (2) : 110.
- Jepson, F.P. (1929) The control of "Calotermes" in living plants. *Bulletin, Department of Agriculture, Ceylon*, (86) : 1-11.
- Kalshoven, L.G.E. (1959) Observations on the nests of initial colonies of *Neotermes tectonae* Damm. in teak trees. *Insectes Sociaux*, 6 (3) : 231-242.
- Kalshoven, L.G.E. (1963) *Coptotermes curvignathus* causing the death of trees in Indonesia and Malaya. *Entomologische Berichten*, 23 (5) : 90-100.
- Kiman, Z.B. (1983) Termites associated with *Agathis dammara* (Lamb.) L.C. Rich. plantations in Java. *BIOTROP Special Publication, Bogor*, (20) : 55-71, (72-73).
- 児玉純一 (1997a) 小笠原諸島におけるシロアリ調査の