

シロアリの事典

編 集

吉村 剛・板倉 修司・岩田隆太郎
大村和香子・杉尾 幸司・竹松 葉子
徳田 岳・松浦 健二・三浦 徹



海青社

シロアリの事典

編 集

吉村 剛・板倉修司・岩田隆太郎
大村和香子・杉尾幸司・竹松葉子
徳田 岳・松浦健二・三浦 徹



▲マレーシア・ランピルに生息するコウグンシロアリ（竹松葉子）。



海青社



◀ インドネシア・メラウケの聖堂シロアリ *Nasutitermes triodae* の塚。ニューギニア島南部のシロアリ相はオーストラリア北部熱帯地域と共通しているものが多い。本種もその一つ(竹松葉子)。



▲ 同上塚内部の様子。*Nasutitermes* 属の特徴である兵蟻の頭部形態がよくわかる(竹松葉子)。



◀ 同左。メラウケにあるワスール国立公園には巨大な聖堂シロアリの塚が乱立している（竹松葉子）。



▲ タイ・カオヤイ *Bulbitermes* sp. の樹上巢。一見ハチカアリの巢のようであるが、れっきとしたシロアリの巢である（竹松葉子）。



▲ ボルネオ・ランビルヒルズ国立公園
Dicuspiditermes santschii の塚。ボルネオ島のマレーシア側サラワク州にあるランビルヒルズ国立公園は、故 井上民二京都大学教授がフィールド研究を開始した場所であり、現在でも生態学研究の重要拠点である(竹松葉子)。



◀ ボルネオ・ランビルヒルズ国立公園
Microcerotermes serrula の巣(竹松葉子)。



▲ タイ・カオヤイ *Bulbitermes* sp. の樹上巣。
これもいかにもスズメバチの巣に見える
がシロアリの巣である(竹松葉子)。



◀ オーストラリアの磁石シロアリ *Amitermes meridionalis* の塚。ダーウィン近郊のリッチフィールド国立公園内には正確に南北を向いた本種の塚が整然と並んでいる(竹松葉子)。



▲ 上：インドネシア・イリヤンジャヤ *Microcerotermes* の女王、中左：タイ・サケラート *Macrotermes carbonarius* の女王、中右：ベトナム *Macrotermes gilvus* の女王(竹松葉子)、下：ヤマトシロアリの野外の一つのコロニーから採集された多くの二次女王(松浦健二)(5.2 参照)。女王の肥大した腹部は卵巣で占められている。最大 15 cm に達する場合があります、滋養食品として人間に食される地域もある。



▲ マレーシア・ケニンガウ原木内のイエシロアリ属の巣。心材が腐朽し内部が空洞化した後にシロアリが営巣したものである(竹松葉子)。



▲ 日本最大のシロアリ、オオシロアリ(*Hodotermopsis sjostedti*)。兵蟻の体長は最大2 cmに達する(三浦 徹)。



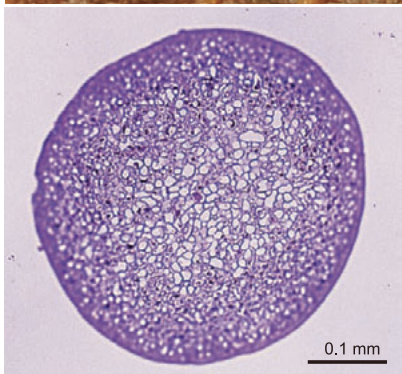
▲ タイワンシロアリの巣から生えたオオシロアリタケの形態。非常に美味であるが発生時期が限られており日本で口にすることは難しい。2.6 参照(金城一彦)。



▲ タイ・サコンナコン *Macrotermes gilvus* の塚から生えたシロアリタケ。タイでは地元のマーケットあるいは道端で売られていることも多い(竹松葉子)。



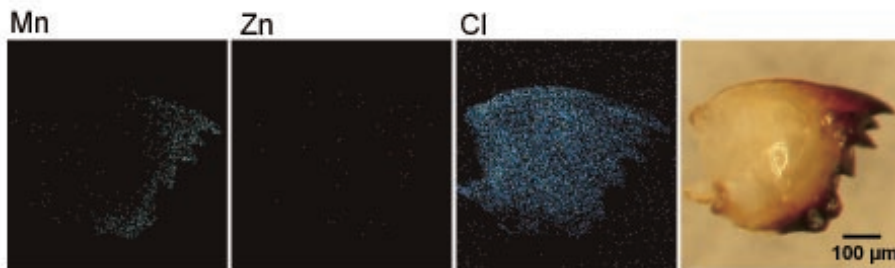
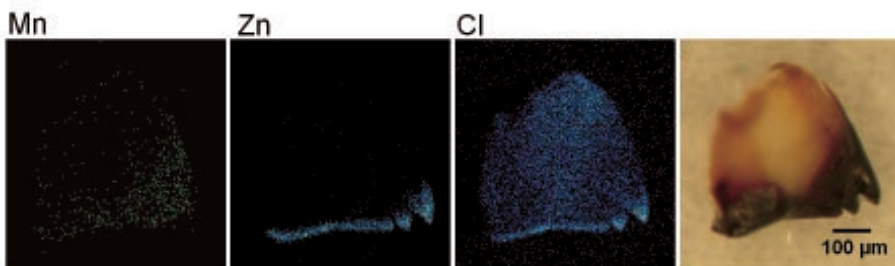
▲ 乾材性シロアリ特異的内部便乗線虫 *Poikilolaimus floridensis*。形態的にも系統的にも他の同属種と大きく異なっている。2.4 参照(神崎菜摘)。



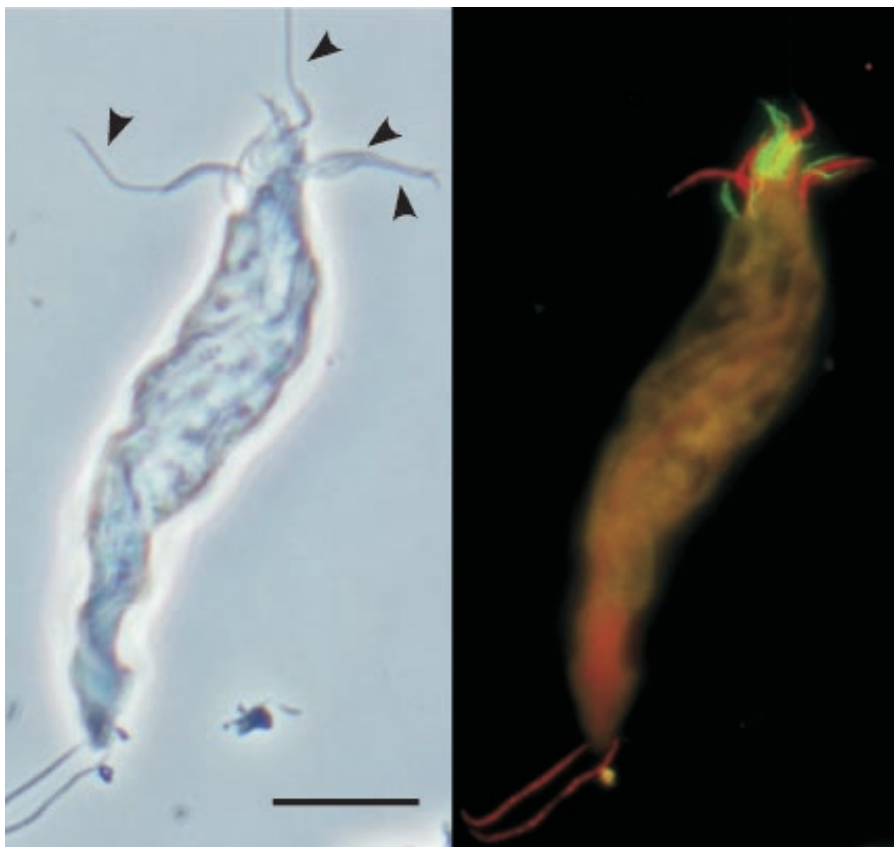
▲ 上：卵塊中の透明な俵型のものがシロアリの卵、褐色の球体がターマイトボール。左：ターマイトボールの組織切片。右：PDA 培地上に生育し、形成された新たなターマイトボール。最初に発見されたヤマトシロアリ以外の種でもターマイトボールを持つ種が多く報告されつつある。2.2 参照(松浦健二)。



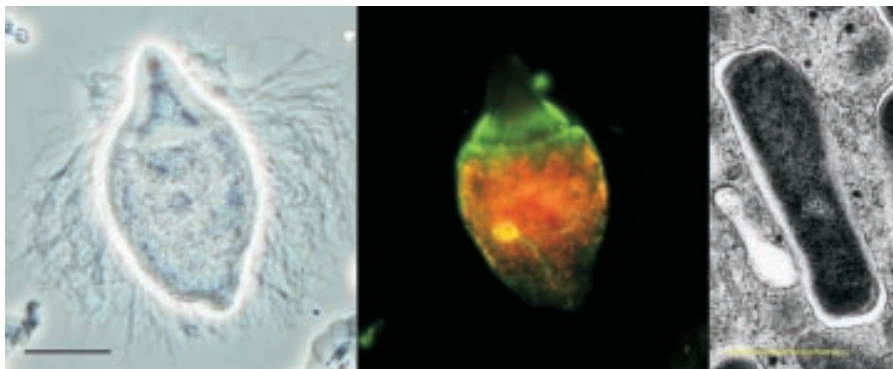
▲ イエシロアリ(左)とヤマトシロアリ(右)の白色光(左図)とブラックライト(右図)による観察。ヤマトシロアリの脂肪体内に多く存在しているノルハルマンが青白い蛍光を発している。3.2 参照(板倉修司)。



▲ シロアリ種による大顎の微量元素分布・存在量の違い(上段：アメリカカンザイシロアリ、下段：イエシロアリ)。レイビシロアリ科に属するアメリカカンザイシロアリの顎先端部分での亜鉛(Zn)の蓄積が明らかに観察される。6.2 参照(大村和香子)。



▲ 原生生物(左)と細胞表面に共生する2種の細菌(赤と緑)(右)。バーは10 μm 。矢印で示した4本のみが原生生物の鞭毛である。2.1 参照(Hongoh *et al.* (2007) *Environ. Microbiol.*9(10): 2631–2635)。



▲ 原生生物と2種の細胞内共生細菌(赤と緑)。バーは20 μm 。下右は、下中で橙色で示したRs-D17細菌の電子顕微鏡写真。バーは0.5 μm 。2.1 参照(Hongoh *et al.* (2008) *PNAS*, 105(14): 5555–5560)。



▲ ダルマイエシロアリハネカクシ
(*Japanophilus hojoi*)

和歌山県産イエシロアリの巣から発見されたシロアリ巢内共生昆虫。共生昆虫の存在の有無とシロアリの天然分布域との関係が以前より検討されている。2.5 参照(提供：丸山宗利氏)。

▼ イエシロアリハネカクシ
(*Sinophilus yukoae*)



▲ 様々な兵蟻の形態。左上：オオシロアリ(奄美大島)、右上：タカサゴシロアリ(西表島)、左下：*Discuspiditermes santschii* (ボルネオ)、右下：*Globitermes sulphureus* (タイ)。それぞれ“かみつき型”、“噴射型”、“弾き飛ばし型”、“自爆型”(この種の兵蟻は外敵との戦いで傷ついた際の化学的な防衛機構として体内にイオウを蓄積していると考えられている)と呼ぶことができる。4.4 参照(竹松葉子)。



▲ マレーシア・ランビルに同所的に生息する4種のコウゲンシロアリ。左上：*Hospitalitermes lividiceps*、右上：*H. sp.*、左下：*Longipeditermes longipes*、右下：*H. hospitalis*。これら4種が空間、具体的には地表と樹上で棲み分けていることが最近明らかになった。6.4 参照(竹松葉子)。



▲ コウグンシロアリ採餌行列形成の4つのステップ①採餌場探索。種類によって1日の中での採餌行動の時間帯がほぼ決まっていることが知られている。6.4 参照(竹松葉子)。

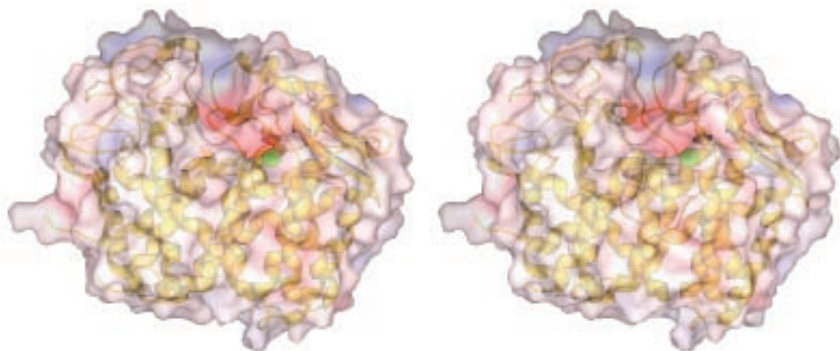
◀ コウグンシロアリ採餌行列形成の4つのステップ②行列形成 (竹松葉子)。



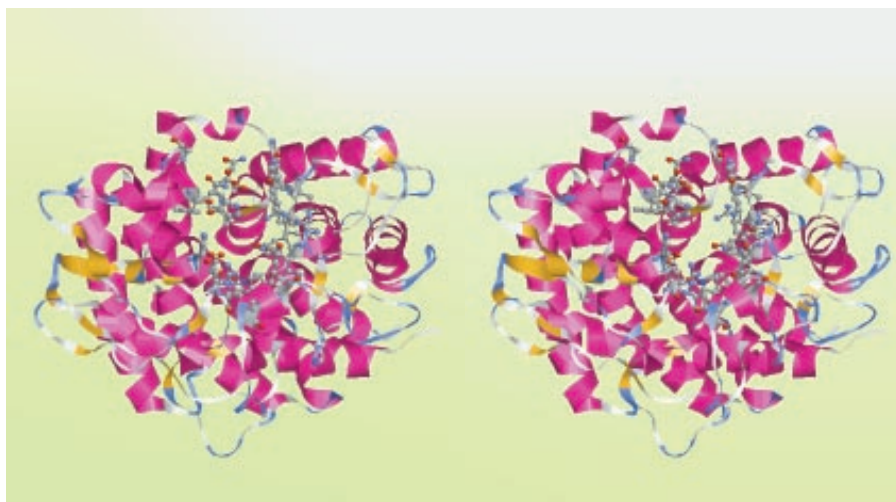
▲ コウゲンシロアリ採餌行列形成の4つのステップ③採餌活動（竹松葉子）。



▲ コウゲンシロアリ採餌行列形成の4つのステップ④採餌終了（竹松葉子）。



▲ タカサゴシロアリセルラーゼの立体構造(交差法によるステレオ画像；左右の目を寄り目にするように寄せてゆくと中央に立体画像が見える)。上部に見える溝は、セルロース鎖と反応する触媒溝である。3.1 および 8.1 参照(徳田 岳・渡辺裕文)。



▲ タカサゴシロアリセルラーゼ NiEG (PDB Accession:1KSA) から予測した改変シロアリセルラーゼ A18 (Ni *et al.* *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 69:1711–20, 2005) の立体構造(交差法によるステレオ画像；観賞法は上記画像と同じ)。基質結合溝を還元末端側から望んでいる。基質(セルロース鎖)との相互作用に関与するアミノ酸をボールスティック、その他の構造アミノ酸をリボンで表現した。8.1 参照(渡辺裕文)。

● 推薦のことば

シロアリ生物学の最新成果が分かる本

放送大学教授
東京大学名誉教授 松本忠夫

シロアリ類は実に魅惑的な昆虫です。昆虫学者はかなりマニア的な人が多く、たいていの人は、自分が研究している昆虫を世界一素晴らしいものと思っているのですが、私もそれに違わずにシロアリ類の世界に惚れ込んできました。本書の執筆者たちも、おそらく、シロアリ類の謎に満ちた健気な生き様に感動しているのでしょう。

もう40年も昔になりますが、私は1972年以来ずっと、年に2、3回は熱帯圏の各国に調査に出かけて、シロアリの世界を見て来ました。日本では、亜熱帯の南西諸島が私のシロアリ研究のおもな場所でした。最初は国際生物学事業計画のプロジェクトに参加してマレー半島の熱帯雨林に2年ほど行きましたが、当時は博士課程の院生でした。その頃は、日本においてシロアリ類を研究する若手は京都大学の安部琢哉さんと私ぐらいしかいませんでしたが、現在の日本では、本書で分かるように、けっこうな人数に増えています。それだけではなく、研究の質と量において格段の進展があり、今や、日本はシロアリ学の世界の先端を行く国と言ってもおかしくありません。本書において、その先端的な研究内容を十分にうかがうことができます。

ところで、アジア、アフリカ、南米、オーストラリアのどこにおいても、サバンナ地帯に行った時、随所に見られる大きなシロアリ塚、そしてその密度の多さにはどなたも圧倒されるでしょう。しかし、シロアリ類は非常に隠蔽的な生活をおくる昆虫ですので、群飛の時や、特殊な種以外は、昼間はその姿を容易に見ることはできません。シロアリ類が外界に採餌に出たとしても、ほとんどが夜間です。したがって、我々人間にとってはシロアリ塚や巣は簡単に見えたとしても、それらをあばかない限り、シロアリの集団を見るのはまず無理です。熱帯雨林の場合はいわゆる緑のジャングルですから、人がそこに立ち入っても樹木の多さに圧倒されて、シロアリ類を直ちに意識する事はないでしょう。

しかし、ひとたび道具を用いて、倒木や落枝、そして落葉層、あるいは樹皮などに探りを入れると、至る所にシロアリ類が採餌した跡を発見し、かなりのところ広範に活躍しているのを見る事ができます。さらには、スコップやクワを用いて地面を掘りますと、シロアリ類が続々と出てくるでしょう。熱帯生態系においては、シロアリ類はまさに、倒木、落枝、落葉など植物枯死体の分解者として君臨しているのです。

本書では、そのようなシロアリ類の生態系における種類相や機能を調査するマクロなスケールの研究から、シロアリ類の形態分化や行動に関する実験室での研究、そして先端の機器を用いた生化学や、遺伝子・ゲノム解析といったミクロなスケールでの研究まで、40年前にはおよそ考えられなかったシロアリ学の幅の広さとその厚さをうかがう事ができます。最近は、さまざまな生物現象の研究において、マクロのスケールからミクロのスケールからまで統合的に行う生物学の重要性が唱えられていますが、まさしくシロアリ類を対象にして、それが展開されているのです。私のような古い世代では、分類学、生態学、生理学、生化学、分子生物学といった生物学の各分科に関わる者たちが、互いの交流をあまりすることなく研究をしていました。ところが、現在の若い人たちは、そのような枠を越えて統合的な研究を展開しているのです。この背景には、研究体制の改良、特に各種の機器や実験技術の進歩があり、また、国際学術雑誌などに蓄積されている学問情報の入手が、インターネット革命などによって相当程度に容易になって来たことがあげられます。

ところで、日本では、熱帯性の昆虫であるシロアリ類の生息北限地帯で、分布している種数は多くはありません。しかし、亜熱帯の南西諸島をかかえていますので、ヨーロッパ諸国に比べるとシロアリ類の顔ぶれはずっと多いのです。また、ヤマトシロアリとイエシロアリの2種には比較的アクセスし易く、それらを対象してみごとな研究を構築しつつあると言えるでしょう。

本書はシロアリ類を対象として、その基礎生物学上の研究紹介が、3分の2ほどをしめています。私はこの10年間ほどの、日本の若手研究者によるめざましい進歩に感嘆しています。中でも下記の人たちの業績は、外国の著名な学術雑誌に載せられています。学問は日進月歩ですが、それらの論文が掲載された時

点では、まさしく世界の先端を行ったもので、この人たちは現在もさらなる進歩をめざしています。

三浦 徹さんによるオオシロアリの兵蟻からの *Sol1* 遺伝子の発見は、シロアリの分子生物学の先駆けとなっています。松浦健二さんによるヤマトシロアリの有性生殖と単為生殖の関係に関する研究はユニークな発見です。また、松浦さんがごく最近発見し、化学的に同定した女王物質の場合は、女王が産む卵に付着していて、それが二次女王の分化を抑制するのですが、この研究は画期的なものです。このヤマトシロアリで解明された事が果たして熱帯のシロアリ類にも通用する事かどうか、今後の検証が待たれます。シロアリ類が分泌するセルラーゼの機能と進化、つまり、木材の主成分である難分解性物質のセルロースをいかにしてシロアリ類が消化しているかは、長年の懸案であった課題ですが、徳田 岳、渡辺裕文、N.Lo さんらの研究によって、かなりのところが明らかにされました。セルロース分解や窒素固定には、腸内に共生している微生物相が活躍していますが、それらの多様性に関しては、守屋繁春さんや本郷裕一さんらのグループが実に精力的に明らかにしました。また、林 良信と北出 理さんによるヤマトシロアリのカースト分化決定に関する遺伝学も、世界のシロアリ学者をびっくりさせました。その他、スペースの関係で、一々評論できませんが、本書にあるどの人の研究も世界をリードする契機を秘めた優れたものです。

本書の後3分の1ほどでは、害虫としてのシロアリへの対策、益虫としての将来の利用方法、そして学校でのシロアリの教材化などに関して、興味深い話題を幅広く載せています。実社会で役立てようとする地味な研究の積み重ねが、やがては花咲くものと思われれます。中には、まだ夢物語に近いものもありますが、ここに解説されている技術研究が、実際の現場で大きく立つ事を期待したいと思います。

最後に、先にかきましたように、シロアリ類の本格的な活躍舞台はなんといっても熱帯ですから、将来はそこのシロアリ類の研究をもっと大掛かりにやっていると、私は思っています。おそらく、日本のシロアリ材料では及ばない大きな発見が期待できるのです。ぜひとも、現地研究者との協力で新たな挑戦を行っていただけたらと思います。

とにかく、本書の内容は、日本における若手シロアリ研究者が行ったここ10年ほどの研究を網羅的に紹介していて、それらはとても刺激的であり、今後の研究に大きな期待をいただけるものです。私は先行きをとても楽しみにしています。

はじめに

本書のタイトルは「シロアリの事典」です。名前からすると、シロアリに関するこれまでの研究成果をすべて総括した総説集、あるいはシロアリに関する用語集と思われるかもしれませんが、決してそうではありません。

本書のコンセプトは、“日本のシロアリ研究者による最新の研究成果を、研究者自身で社会に発信する”、というものです。したがって、その内容は一般の読者の方には少し難しいかもしれませんが、採れたての“ホットな研究成果”をぜひ味わっていただきたいと思います。また、その範囲はいわゆる生物学の範疇だけにとどまらず、建築学や教育学までを含んだ幅広いものとなっています。もしかしたらその点を不満に思われる読者の方もおられるかもしれませんが、シロアリという生き物を対象とする以上、人間社会との関わり合いを無視することはできません。

シロアリとは、「微生物との消化共生系を獲得することによってセルロースという地球上で最大のバイオマス資源を利用できるようになった真社会性昆虫」、であり、その結果、熱帯の生態系における植物遺体の分解者として非常に重要な位置を占めるとともに、木材や建築物の最重要害虫となりました。

本書は全9章から構成されていますが、各章にコーディネーターとしてその分野に詳しい方を配置し、章の構成と全体的な内容の調整を行っていただきました。しかしながら、もとより最新の研究成果について内容の調整を行うことは至難の業です。コーディネーターの方々には本当にご苦労をおかけいたしました。

1章では、まず熱帯におけるシロアリの生態について環境との関わりあいという観点から紹介しています。2章から6章では、シロアリの生物学における最新の研究成果を取り上げましたが、ここで紹介されているトピックの多くはまさしく世界の最先端にあるものです。一方、7章から9章は、それぞれ少し毛色の違う内容となっています。7章は、シロアリ研究のもう一方の重要な柱であるその防除における最新の動きに関するものです。8章では、シロアリを利用した新しい研究成果を紹介していますが、エネルギーオブションの一つとしての

シロアリとその共生微生物の利用は、「ポスト震災」における重要な研究テーマであると思います。そして最後の9章ですが、これまで「シロアリと教育」という内容のまとまった話があったのでしょうか。この章は、執筆と取りまとめに大変苦労されたと聞いておりますが、シロアリ研究における新分野を切り拓いていただいたのではないかと考えています。

最後に、松本忠夫先生には、ご多忙な中を最終ゲラにすべて目を通していただき、そして、編者から説明するまでもなく本書の意図を完全にご理解いただき、過分な推薦のお言葉をいただきました。心よりお礼申し上げます。

先生と故安部琢哉先生がまさにパイオニアであった、熱帯、特に東南アジア地域のシロアリ研究を、我々が今手にしている最先端の手法を使ってこれからどう発展させて行くのか。本書が、日本におけるシロアリ研究の現在の到達点として、これから研究者を目指す若い大学生、大学院生諸君の斬新な発想のヒントとなることを期待しています。

本書の構想について出版社の方と最初に話をしたのは、6年以上前に遡ると思います。新たに発足したばかりの京都大学生存圏研究所の主催で、シロアリの最新生物学とその防除に関する講演会をキャンパス・プラザ京都で開催し、本書にもコーディネーターあるいは著者として参加していただいている北出 理さんと松浦健二さんにも最新の研究成果についてご講演いただきました。講演会が終了した後の懇親会で、「これは絶対本にすべきです!」、と編集者の方に詰め寄られたことを今でも鮮明に記憶しております。

このたびやっと出版にこぎつけることができました。本書の最初の構想から現在まで、動きの遅い編者を叱咤激励いただいた海青社の宮内氏には心からお礼を申し上げたいと思います。ただ、少し弁解させていただくと、逆にその遅れによって本当にホットな研究成果を最後に押し込むことができたということもまた事実です。大変残念なことに、執筆者の一人である 京都大学の角田邦夫先生が昨年10月5日にご逝去されました。心よりご冥福を申し上げますとともに、本書を先生のご霊前に捧げたいと思います。

2012年9月

編者を代表して

吉 村 剛

シロアリの事典

目次

*本文中で㊦印つきの用語は、巻末の
「索引・用語解説」に解説を掲載した。

口 絵	①～⑮
推薦のことば——シロアリ生物学の最新成果が分かる本	(松本忠夫) 1
はじめに	(吉村 剛) 5
1 章 シロアリと環境	(コーディネーター：竹松葉子) 11
1.1 シロアリの種多様性調査と環境	(竹松葉子) 11
1.2 熱帯大規模植林地とシロアリ群集	(竹松葉子) 18
1.3 熱帯林の大型枯死木材分解におけるシロアリの役割	(山田明徳) 24
1.4 オオキノコシロアリの塚の構造と環境適応	(山田明徳) 30
2 章 シロアリと他の生物との関係——寄生から共生まで——	(コーディネーター：岩田隆太郎) 37
2.1 シロアリ腸内共生微生物群集の多様性と役割	(本郷裕一) 37
2.2 シロアリと卵擬態菌核菌ターマイトボールの相互作用	(松浦健二) 46
2.3 シロアリにおける対菌類防除メカニズム	(柳川 綾) 61
2.4 シロアリ共生線虫	(神崎菜摘) 69
2.5 日本産シロアリ巢内共生昆虫	(岩田隆太郎) 82
2.6 オオシロアリタケの多様性と繁殖戦略	(金城一彦) 90
3 章 最新シロアリ生理学	(コーディネーター：徳田 岳) 99
3.1 シロアリと消化酵素	(徳田 岳) 99
3.2 シロアリにおけるノルハルマンの役割	(板倉修司) 111
3.3 シロアリと水——アクアポリン——	(神原広平) 117
4 章 カースト分化の生理機構	(コーディネーター：三浦 徹) 125
4.1 シロアリのカースト分化の生理・発生基盤	(三浦 徹) 125
4.2 カースト分化の際の形態形成機構	(越川滋行) 131
4.3 幼若ホルモンとオオシロアリのカースト分化	(コルネット・リシャー) 141
4.4 テングシロアリの兵蟻におけるジテルペンの合成	(北條 優) 152
4.5 ヤマトシロアリ におけるカースト分化の制御機構	(前川清人) 163

4.6 兵蟻における神経改変	(石川由希) 173
----------------------	------------

5 章 シロアリコロニーの遺伝構造と繁殖システム

..... (コーディネーター：松浦健二)	181
5.1 ヤマトシロアリ属のコロニーと遺伝構造	(北出 理) 181
5.2 ヤマトシロアリの繁殖戦略	(松浦健二) 190
5.3 ヤマトシロアリのカーストとその決定要因 ... (林 良信、北出 理)	202
5.4 ヤマトシロアリ属の幼形生殖虫の分化と生殖虫によるカースト 分化の抑制	(北出 理) 206
5.5 シロアリの女王フェロモンによる二次女王分化制御	(松浦健二) 215

6 章 シロアリの行動戦略

..... (コーディネーター：大村和香子)	225
6.1 シロアリの食物認識と摂食行動	(大村和香子) 225
6.2 外部刺激に対する反応と防衛・逃避行動	(大村和香子) 232
6.3 シロアリの多様な食性——同位体による解析——	(兵藤不二夫) 238
6.4 野外行進するシロアリ——コウゲンシロアリ——(三巻和晃、竹松葉子)	248

7 章 シロアリと防除対策

..... (コーディネーター：吉村 剛)	257
7.1 新しい建築工法とシロアリ対策	(土井 正) 257
7.2 地震・住宅構造とシロアリ	(森 拓郎) 268
7.3 非破壊診断によるシロアリ探知技術	(築瀬佳之) 276
7.4 回収型土壌処理	(角田邦夫) 286
7.5 卵運搬本能を利用した擬似卵型駆除剤	(松浦健二) 293
7.6 乾材シロアリ防除の新展開——バイト工法の応用は可能か？—— (吉村 剛、ユリアティ・インドラヤニ)	298

8 章 シロアリを利用する

..... (コーディネーター：板倉修司)	307
8.1 シロアリセルラーゼの大量生産とその利用	(渡辺裕文) 307
8.2 シロアリセルラーゼの利用	(守屋繁春) 312
8.3 シロアリを用いた有用微生物群のスクリーニング	(青柳秀紀) 320
8.4 シロアリを用いた効率的な水素ガス生産の可能性 (吉村 剛、川口聖真、青柳秀紀、高井晋理)	329

8.5	ペーパースラッジをイエシロアリに食べさせて水素ガスを作る	(土居修一) 336
8.6	食料としてのシロアリ	(板倉修司) 345
9 章	シロアリと教育	(コーディネーター：杉尾幸司) 355
9.1	理科教育教材としてのシロアリ	(杉尾幸司) 355
9.2	中学校教育素材としてのシロアリ	(安田いち子) 366
9.3	高等学校教育素材としてのシロアリ	(井上嘉夫) 376
9.4	大学教育教材としてのシロアリ	(徳田 岳) 388
9.5	環境教育素材としてのシロアリ	(吉村 剛) 397
	資料／シロアリの分類	405
	文 献	409
	索引・用語解説	455

1 章 シロアリと環境

1.1 シロアリの種多様性調査と環境

1.1.1 はじめに

日本の本州でシロアリ採集をすると、ヤマトシロアリとイエシロアリの2種が採集できるだろう。ところが、ボルネオの熱帯雨林でシロアリの調査をすると1 haの範囲だけでも30～40種のシロアリが採集できる。このような地域ごとの生物の生息環境と種組成の違いは、「生物多様性」という概念として注目を集めている。

シロアリは木材害虫として有名な昆虫であるが、この「木を食べる」という性質は、森林生態系において別の重要な意味を持つ。すなわち、シロアリは生態系において枯死植物を食べる「分解者」として、物質・エネルギー循環に関与している。従って、このシロアリの種数を見比べただけでも、シロアリの少ない本州よりも種数の多い熱帯雨林のほうが森林内でのシロアリの分解者としての関与は大きいと感ずることができる。この漠然と感ずることが出来るシロアリの「種数」と「分解者としての寄与」の違いをもっと厳密に比較することによって、シロアリとその生息環境の関係を明らかにしようとする研究が行われている。そのために、様々な生態系の中で「何種のシロアリ(=種多様性)がどれだけ生息しており(=密度・現存量)、それぞれのシロアリは何を餌としているか(=食性グループ)」が調べられている。

本節では、この中でも「何種のシロアリがどのくらい生息しているか」を調べる方法、つまりシロアリの多様性の測定方法について紹介する。

1.1.2 シロアリの多様性測定方法

シロアリ相の調査は昔から様々な地域でなされてきたが、その多くがランダ

このプレビューでは表示されないページがあります。

2 章 シロアリと他の生物との関係

— 寄生から共生まで —

2.1 シロアリ腸内共生微生物群集の多様性と役割

2.1.1 はじめに

シロアリは古来、木造建築物の害虫として人間社会に大きな被害をもたらしてきた。その防除法は現在でも重要な研究課題である。一方では近年、シロアリが木を分解する能力を活かして、人の食料と競合しない木質由来のバイオ燃料を開発する試みがはじまっており、大きな注目を集めている。また、自然環境に目を向けると、シロアリは最も重要な分解者の一つとして、地球の炭素循環に大きく貢献している。こうしたシロアリの人間・地球環境にとっての重要性は、結局、彼らの高効率な木質分解能力に起因している。ではその能力はシロアリ自身のものなのだろうか。

木材はリグノセルロース(リグニン・セルロース・ヘミセルロースの複合体)を主成分としており、ほとんどの動物はこの頑丈な構造物を消化できない。シロアリはまず、彼らの強力な大顎と、前腸にある隆起した構造体で、木片を物理的に粉碎する。さらに、唾液あるいは中腸からセルロースを分解する酵素(セルラーゼ)を分泌して、木片の一部を消化している。

しかし、残りの大部分は、後腸内の微生物の働きによって分解され、シロアリが利用できる物質に変換される。これにより、シロアリはセルロースとヘミセルロースを最大9割まで消化できるのである。また、木片には窒素分がほとんど含まれていないが、必要な窒素分は、腸内細菌の一部が空気中から吸収して補給している。

こうした腸内微生物群の種多様性と役割については、既に1920年代から研究がなされてきた。ところが、腸内微生物群の大部分が未だに分離培養に成功していないため、形態学的研究と、腸あるいはシロアリ個体全体を用いた生理化

このプレビューでは表示されないページがあります。

3 章 最新シロアリ生理学

3.1 シロアリと消化酵素

3.1.1 はじめに

「蓼食う虫も好き好き」とは、ヤナギタデ(柳蓼)のような苦い葉を好んで食べる虫もいるように、人の好みは様々であるという諺である。このような喩えにもなるほど昆虫の食性は複雑で、その結果、昆虫たちは多様な環境に適応している。しかしながら、木材を食べて生き延びることができる昆虫は決して多くない。その中でも地球規模で生態系に影響を与えうるものは甲虫類とシロアリ類だけであり、特にシロアリ類の影響力は高いと考えられている(Cornwell *et al.* 2009)。

木材は主にセルロース・ヘミセルロース・リグニンから構成されており、中でもセルロースはシロアリの主要な栄養分として注目される。セルロースの構成単糖はぶどう糖(グルコース)であり、これらが β -1,4 結合した繊維状の多糖がセルロースである。ちなみに、同じぶどう糖でも α -1,4 結合した場合はらせん状になって柔らかい(アミロース)のに対し、 β -1,4 結合ではぶどう糖が直鎖状に結合するため、束になると構造が密になり非常に硬い(毛利元就の三本の矢を思い浮べてほしい)。また、木材中でセルロースは難分解性のリグニンやヘミセルロースの中に埋まるように存在している。このような物理的な性質に加え、木材の構成成分は窒素分に乏しい。したがって、生物にとって木材は食物としてあまり使い勝手の良いものではない。それにもかかわらず、シロアリは木材に含まれるセルロースを主食として利用し、非常に効率よく分解することができる。

そこで本節ではセルラーゼを中心にシロアリ類が持つ主な木材消化酵素について概説し、シロアリ類のユニークな消化生理に迫ってみたい。

このプレビューでは表示されないページがあります。

4 章 カースト分化の生理機構

4.1 シロアリのカースト分化の生理・発生基盤

4.1.1 はじめに

シロアリは社会性昆虫^①の一大グループであり、古くから人々の興味を惹きつけてきた。防除などの応用的な価値はもちろん、腸内細菌との共生や生態系における分解者としての純粋に生物学的な見地にたっても興味深い昆虫である。シロアリをはじめとする社会性昆虫に興味をひかれる所以は、言うまでもなくその「社会性」にある。「社会性」とは「分業」に基づく社会行動をする性質である。アリやミツバチなどの真社会性昆虫は、形態的に分化した「カースト」(caste)と呼ばれる個体間で、分業を行う。社会性昆虫はコロニーと呼ばれる血縁者集団(すなわち家族)で生活を営んでおり、そのメンバーの遺伝的差違はほとんどない(最近これに反するデータも出ているが)にもかかわらず形態や行動の異なるカーストが生じ、分業を行うのである。社会性昆虫のカーストは繁殖カースト(すなわち王と女王)と不妊カーストに大別され、不妊カーストには労働カーストや兵隊カーストなどが含まれる(Wilson 1971)。

詳しくはのちに解説するが、社会性昆虫のカーストは生まれてから受ける外的な環境要因に基づいて決定される。この「後天的な」発生運命の決定には古くから多くの研究者が興味を持ち、様々な生理学的な研究が行われてきた。しかし、一頭体でも複雑な生理・内分泌のしくみに、環境要因や個体間のコミュニケーションという複雑な要素が加わるため、このような研究は非常に難しいことも事実である。このように後胚発生の過程で受ける環境要因によって表現型が、変わる現象は一般的に表現型多型(polyphenism)と呼ばれ、社会性昆虫のカースト分化だけでなくバッタの相変異やチョウの季節型などが知られている(Nijhout 2003)。しかし、社会性昆虫の場合、一般的な表現型多型と比べ、①

このプレビューでは表示されないページがあります。

5 章 シロアリコロニーの遺伝構造と繁殖システム

5.1 ヤマトシロアリ属のコロニーと遺伝構造

5.1.1 はじめに

ヤマトシロアリ属(*Reticulitermes*)は日本国内の広い地域で普通にみられるシロアリのグループであり、重要な家屋害虫でもある。私達に身近でありながら、近年まで本属の生態や繁殖システムには未解明の点が多く残されてきた。生態観察から推定されてきた本属のコロニーの発達過程は、以下のようなものである。コロニーは雌雄1個体ずつの有翅虫のペア(一次生殖虫)により創設される。成長したコロニーは、複数の枯死木を巣場所として占めるようになり、やがて一次生殖虫が死亡すると、その子供(職蟻・ニンフ)が幼形生殖虫に分化し、生き残った一次生殖虫と、あるいはコロニー内の兄弟姉妹間で近親交配を行う。複数の材を占めるようになったコロニーは、時間とともに占める巣場所が変化していき、また分巢を行う可能性もある(Thorne *et al.* 1999)。しかしながら、野外で創設初期のコロニーの発見が難しいことや、直接観察だけでは成熟コロニーの空間的範囲を見分けづらいことは研究の妨げとなってきた。

コロニーを構成する個体の遺伝的変異を調べ、その情報を用いれば、生態観察だけでは把握が難しいコロニーの範囲や繁殖の様子を推定できる。本節では、北海道からトカラ海峡までの範囲に分布するヤマトシロアリ(*Reticulitermes speratus*)と、山口県西部から福岡県北部の狭い範囲に分布するカンモンシロアリ(*R. kanmonensis*)を対象に、野外コロニーに遺伝子解析を適用した研究結果を紹介し、これらの種の繁殖に関する知見を紹介する。

このプレビューでは表示されないページがあります。

6 章 シロアリの行動戦略

6.1 シロアリの食物認識と摂食行動

6.1.1 はじめに

シロアリは周囲の様々な外部刺激を、刺激の種類に対応した各種感覚毛の基部に存在する細胞で受容し、受容した刺激の種類に対応した行動を示す。これらの外部刺激を受容する感覚子の数や分布は、齢やカーストによっても異なる。本節では、シロアリの摂食行動における食物認識に関連する事象について解説する。

6.1.2 食物認識における化学感覚の役割

シロアリは、常に音(振動)や光・熱・冷、圧力などの機械的刺激や、食物由来の味・におい、他個体からの各種フェロモンなどの化学的刺激に囲まれて生活している。機械的刺激の受容感覚子は全身に分布しており、その形状から鐘状感覚子と称される。鐘状感覚子は触角上の各節に存在するが、頭部に最も近い柄節には存在せず、また各節の上部に沿って分布する。一方、化学的刺激の受容に関わる感覚子は、触角や口器の小顎鬚、下唇鬚上に多く存在する。例えば、*Schedorhinotermes lamaniensis* の触角上には約 1,900 個の感覚子があり、それらは表層に単壁もしくは二重壁の多孔性の感覚子(におい受容感覚子)、先端に単孔を有する感覚子(味覚感覚子)、孔を有しない感覚子(機械受容感覚子)に分類される。食物認識に深く関連する味覚感覚子は、クチクラ装置の先端に孔が1つあり、縦にいくつもの溝を有するという形態的特徴を持つ(図 6-1-1A)。ネバダオオシロアリ (*Zootermopsis nevadensis*) の味覚感覚子は、その基部に 6 個の受容細胞を有し(図 6-1-1B)、1 個は機械受容細胞、残りの 5 個は味受容細胞と推察されている。5 個の味受容細胞は糖、塩、水のほか、アミノ酸や種々の

このプレビューでは表示されないページがあります。

7 章 シロアリと防除対策

7.1 新しい建築工法とシロアリ対策

7.1.1 木造住宅の構法・構造形式

わが国の木造住宅には軸組構法、桝組壁工法(ツーバイフォー工法)、丸太組構法、木質プレハブ工法などがある(表 7-1-1)。軸組構法は構造躯体が柱、梁などの軸組材と壁を組み合わせたもので、伝統軸組構法と在来軸組構法に分類される。

新設住宅着工戸数の推移(図 7-1-1)を見ると、阪神・淡路大震災以降、桝組壁工法の増加により漸減の傾向にあるものの、依然として木造住宅の約 75 % 以上は在来軸組構法であり、今後も木造住宅の主要な構造形式であり続けるものと思われる。しかしながら、同じ軸組構法である伝統軸組構法と在来軸組構法には、地震や台風などの外力(水平力)に抵抗する構造の仕組みに大きな差異がある。伝統軸組構法は、外力には逆らわない変形許容型である。そのため、布基礎などの強固な基礎と土台を緊結するといったものではなく、地面の上に置いた玉石などの上に直接柱を立てるか、土台を置く構造である。一方、在来軸

表 7-1-1 主な木質構造の分類

構法の名称		構造形式(構造躯体)
軸組構法	伝統軸組	軸組、軸組＋壁
	在来軸組	軸組、軸組＋壁
桝組壁工法	ツーバイフォー	壁
丸太組構法	ログハウス	壁
木質プレハブ工法	パネル式	壁
	軸組式	軸組、軸組＋壁

(飯島・鈴木 2002 より改変)

このプレビューでは表示されないページがあります。

8 章 シロアリを利用する

8.1 シロアリセルラーゼの大量生産とその利用

8.1.1 はじめに

シロアリの消化系は咀嚼器官(大顎・前胃)、グルコース生産を担う中腸(および高等シロアリ類の中腸後腸組織複合域)と共生原生生物・原核生物相を擁する後腸からなる。シロアリ類は唾液腺／中腸で内源性セルラーゼ(シロアリ EG)および β -グルコシダーゼを生産し、後腸では様々な共生原生生物および原核生物が多様なセルロース分解酵素を生産している(2.1 および 3.1 参照)。しかしながら中腸と後腸は物理的・生理的に隔離されておりそれぞれ独立した消化系を形成している(3.1 参照)(Nakashima *et al.* 2002a)。シロアリやその共生微生物の培養は工業的には困難または殆ど不可能であり、そこで働く消化酵素も応用研究の俎上に上ることはこれまでなかったが、近年の遺伝子の異種発現技術の発達や普及を背景にリコンビナント生産が可能となり実用化を見据えた研究開発が行われている。シロアリ由来セルラーゼはシロアリ EG および原生生物起源セルラーゼともに mg 当たり対カルボキシメチルセルロース活性が 600 unit/mg (1 unit は 1 分間に 1 μ mol の還元糖を生ずる酵素量)を超える性能をもち、応用素材として有望である(8.2 参照)(Ni *et al.* 2005; Tokuda *et al.* 1997)。

8.1.2 シロアリ内源性セルラーゼ(シロアリ EG)について

シロアリの内源性セルラーゼは 1997 年にヤマトシロアリ (*Reticulitermes speratus*) およびタカサゴシロアリ (*Nasutitermes takasagoensis*) から精製され、1998～1999 年に cDNA および遺伝子が報告された。遺伝子は 448 アミノ酸をコードし、成熟タンパクは 432 アミノ酸からなる分子量約 47,000 のタンパクであると予測されている。糖質加水分解酵素ファミリー 9 (GHF9) に属し、構造

このプレビューでは表示されないページがあります。

9 章 シロアリと教育

9.1 理科教育教材としてのシロアリ

9.1.1 はじめに

シロアリは、そのイメージの善し悪しは別として、チョウやトンボなどと同様に多くの人々にその存在を知られている知名度の高い昆虫であるといつて良いであろう。筆者は、大学の教育学部に所属し教員免許状取得に必要な理科教育法等の講義を担当している。小学校教諭免許状取得希望者向けの講義・実験の際にシロア리를教材として使用することがあるが、シロアリという虫の名前を知らない学生はほとんどいない。

小学校教員希望者の中には、国語や社会などの文系科目や美術や音楽などの芸術系科目を主専攻とする学生も多く含まれており、理科という教科に苦手意識を持っている学生も多い。また、地方都市においても都市化が進んでおり、自然環境にふれあう機会が少なく、子どもの頃に昆虫などの小動物に接した経験等の乏しい学生も多数存在する。このような学生達に、知っている昆虫の種類をあげてもらおうとチョウ・トンボ・セミなどが真っ先にあげられる。その際、シロアリの名をあげる学生はほとんどいないが、こちらから尋ねるとその存在自体はよく知っている。しかし、シロアリはアリの一種類だと思っている学生が大部分で、家を食い荒らす害虫というイメージ以外の知識はほとんど持ち合わせていないのが現状である。このことは、小・中・高等学校の児童・生徒にとつても同様であろうから、シロアリがその知名度の割には実態を良く知られていない昆虫であることに異論はないだろう。

しかしながら、シロア리를理科教育のための教材として考えた場合に、この事はむしろ好都合である。その存在は良く知られているが、実態はあまり理解されていないという生物は、意外性を強調することが可能になるため、児童・

このプレビューでは表示されないページがあります。

資料／シロアリの分類

シロアリは現在世界で約 3,000 種が記載されており、その種数はまだまだ増え続けている。その多くは森林に生息し、世界中で問題になっている害虫種はわずか 100 種程度である。熱帯域に多く分布し、緯度が上がるにつれてその種数は減っていく。

シロアリは、従来 7 科に分けられており、そのうちシロアリ科は「高等シロアリ (higher termites)」と呼ばれ、多様な食性・生態・形態を有しており、全シロアリの約 2/3 の種が属する。一方で、シロアリ科以外は一般に「下等シロアリ (lower termites)」と呼ばれる。近年、シロアリの高次分類が大きな動きを見せている。まず、Inward *et al.* (2007) が「シロアリ目 (Isoptera) はゴキブリ目 (Blattaria/Blattodea) に含まれる」という論文を発表した。近い将来、昆虫分類から「シロアリ目」という名前が消えるかもしれない。さらに、シロアリは 7 科に分けられるとされて来たが、Engel *et al.* (2009) によって化石種を含めての分類の再検討がなされ、新たな高次分類体系が提唱され、9 科に分けられている。まだまだどの分類体系が正しいのかは論争があるので、次ページに両者の比較表を載せておく。従来の分類体系は Kambhampati and Eggleton (2000) を参考にしている。

日本には、12 属 22 種のシロアリが分布している。亜熱帯～温帯域に位置する日本では熱帯に比べ種数は格段に少なく、北限は北海道の旭川付近である。次ページの表に日本の種もまとめているので、本書の参考にしてほしい。レイビシロアリ科とミゾガシラシロアリ科の種に偏っていることがわかるであろう。シロアリ科の 4 種は八重山諸島にしか分布しない。また、アメリカカンザイシロアリ (*Incisitermes minor*) とネバダオオシロアリ (*Zootermopsis nevadensis*) は侵入種である。

(竹松葉子)

このプレビューでは表示されないページがあります。

索引・用語解説

[学 名]

- Acyrtosiphon pisum* / 121
Aedes aegypti / 119, 121
Anopheles gambiae / 106, 121
Apis mellifera / 121
Bacillus / 335
Bacteroides / 335
Bacteroidetes / 324
Bemisia tabaci / 121
Bombyx mori / 106, 119, 121, 122
Cicadella viridis / 119, 121
Clostridium / 335
Coptotermes / 21, 25
 C. acinaciformis / 309
 C. formosanus / 38, 62, 113, 117, 118, 119, 121, 122, 124, 129, 232, 234, 263, 272, 280, 295, 299, 313, 322, 330, 336, 346
Corbicula japonica / 106
Cornitermes cumulans / 82
Cryptotermes domesticus / 117, 234
 C. secundus / 128, 147
Culex quinquefasciatus / 121
Dicuspiditermes / 29
Drosophila melanogaster / 119, 121
 D. virilis / 121
Elusimicrobia / 42
Enterobacter / 335
Enterobacter cloacae / 333
Firmicutes / 324
Globitermes sulphureus / 28
Glossotermes / 132
Glyptotermes / 25
 G. nakajimai / 367
Haematobia irritans exigua / 121
Haliotis discus hannai / 106
Hodotermopsis sjostedti / 128, 135, 142, 170
Holomastigotoides hartmanni / 322
 H. mirabile / 41
Hospitalitermes medioflavus / 136
Incisitermes / 25
 I. minor / 117, 233, 272, 280
Kaloterms flavicollis / 141, 206
Lutzomyia longipalpis / 121
Macrotermes / 30–35, 90
 M. annandalei / 26, 28
 M. bellicosus / 33, 84, 107
 M. carbonarius / 30, 34
 M. gilvus / 35
 M. jeanneli / 32
 M. malaccensis / 27
 M. michaelsoni / 95, 242
 M. muelleri / 107
 M. subhyalinus / 84, 107
Mastotermes darwiniensis / 234
Methanomicrobiales / 324
Microcerotermes / 21
 M. crassus / 28
Microtermes / 21
Nasonia vitripennis / 121
Nasutitermes matangensis / 160
 N. octopilis / 159
 N. takasagoensis / 50, 78, 102, 103, 104, 136, 154, 307, 334, 346
 N. exitiosus / 66
Neotermes / 25
 N. koshunensis / 104, 135, 242
Odontotermes / 28
 O. formosanus / 78, 87, 90, 346, 371, 379, 391
Oxymonas / 313

このプレビューでは表示されないページがあります。

編者・執筆者

● 編 者 数字は執筆箇所、()は編集担当章、①学位、②専門分野、③著書・論文

吉村 剛 (YOSHIMURA Tsuyoshi) 京都大学生存圏研究所 教授 (7), 7.6, 8.4, 9.5
 ① 京大博士(農学)、② 木材保存学・木質劣化生物学、③ 住まいとシロアリ(共著、海青社)、木材
 なんでも小辞典(共著、講談社)、木材保存学入門改訂3版(共著、日本木材保存協会)、外来木材害
 虫アメリカカンザイシロアリの総合的防除に向けた取り組み(木材学会誌)

板倉 修司 (ITAKURA Shuji) 近畿大学農学部 教授 (8), 3.2, 8.6
 ① 京大博士(農学)、② 森林資源化学・昆虫生化学、③ 研究資源としてのシロアリ(環動昆)、マイ
 クロサテライトマーカーを用いたアメリカカンザイシロアリのコロニー構造の解析(共著、環動昆)、
 シロアリのビルビン酸デヒドロゲナーゼ複合体に関する研究(環動昆)

岩田隆太郎 (IWATA Ryūtārō) 日本大学生物資源科学部森林資源科学科 教授 (2), 2.5
 ① 京大農学博士、② 森林昆虫学・木質昆虫学、③ 日本産カミキリムシ検索図説(共著、東海大学出
 版会)、家屋害虫事典(共著、井上書院)、木材科学講座12 保存・耐久性(共著、海青社)、改訂森林
 資源科学入門(共著、日本林業調査会)、日本のシロアリ研究の最前線(家屋害虫)

大村和香子 (OHMURA Wakako) (独)森林総合研究所木材改質研究領域 主任研究員 (6), 6.1, 6.2
 ① 京大博士(農学)、② 木材保存学、昆虫行動学、③ 住まいとシロアリ(共著、海青社)、昆虫ミメ
 ティクス(共著、NTS)、中学生を対象とした宿泊型理科体験学習(共著、理科教育学研究)、ボールペ
 ンに含まれる誘因物質—ヤマトシロアリの道しるべとなる物質(単著、東レ科学振興会)

杉尾 幸司 (SUGIO Koji) 琉球大学教育学部 教授 (9), 9.1
 ① 琉球大学理学修士、② 理科教育学、生態学、③ やわらかい南の学と思想4：普遍への牽引力(共
 著、沖縄タイムス社)、中学生を対象とした宿泊型理科体験学習(共著、理科教育学研究)、ボールペ
 ンに含まれる誘因物質—ヤマトシロアリの道しるべとなる物質(単著、東レ科学振興会)

竹松 葉子 (TAKEMATSU Yoko) 山口大学農学部生物資源環境科学科 准教授 (1), 1.1, 1.2, 6.4, 資料
 ① 九州大学博士(農学)、② 昆虫分類・生態学、③ 住まいとシロアリ(共著、海青社)、シロアリの
 多様性をはかる(木材保存)、日本産シロアリ類の分類の現状(家屋害虫)、シロアリ共生系とバイオ
 リサイクル2.シロアリの分類と多様性(化学と生物)

徳田 岳 (TOKUDA Gaku) 琉球大学熱帯生物圏研究センター 准教授 (3), 3.1, 9.4
 ① 東大博士(理学)、② 昆虫生理学、③ 普遍への牽引力—やわらかい南の学と思想4 (共著、沖縄タ
 イムス社)、美ら島の自然史—サンゴ礁島嶼系の生物多様性(共著、東海大学出版会)、Cellulolytic
 systems in insects (共著、*Annual Review of Entomology*)

松浦 健二 (MATSUURA Kenji) 京都大学大学院農学研究科 教授 (5), 2.2, 5.2, 5.5, 7.5
 ① 京大博士(農学)、② 昆虫生態学・社会生物学、③ シリーズ 現代の生態学5・動物行動学(共著、
 共立出版)、社会性昆虫の進化生物学(共著、海遊舎)、昆虫科学が拓く未来(共著、京都大学出版
 会)、Queen succession through asexual reproduction in termites(共著、*Science*)

三浦 徹 (MIURA Toru) 北海道大学大学院地球環境科学研究院 准教授 (4), 4.1
 ① 東大博士(理学)、② 生態発生学、進化発生学、③ 社会性昆虫の進化生物学(共著、海遊舎)、シ
 リーズ 21 世紀の動物科学11・生態と環境(共著、培風館)、ベーシックマスター発生生物学(共著、
 オーム社)

● 執筆者 数字は執筆箇所

青柳秀紀 (AOYAGI Hideki) 筑波大学生命環境系 教授	8.3, 8.4
石川由希 (ISHIKAWA Yuki) 東北大学大学院生命科学研究所 研究員	4.6
井上嘉夫 (INOUE Yoshio) 京都教育大学附属高等学校 教諭	9.3
ユリアティ・インドラヤニ (INDRAYANI Yuriati) タンジュンプラ大学 講師(インドネシア)	7.6
神崎菜摘 (KANZAKI Natsumi) (独)森林総合研究所森林微生物研究領域 主任研究員	2.4
神原広平 (KAMBARA Kohei) 鳥取大学大学院連合農学研究科 研究員	3.3
川口聖真 (KAWAGUCHI Seima) 元 京都大学生存圏研究所	8.4
北出 理 (KITADE Osamu) 茨城大学理学部 准教授	5.1, 5.3, 5.4
金城一彦 (KINJO Kazuhiko) 琉球大学農学部亜熱帯生物資源科学科 教授	2.6
越川滋行 (KOSHIKAWA Shigeyuki) ウィスコンシン大学 研究員	4.2
高井晋理 (TAKAI Shinri) 元 筑波大学大学院生命環境科学研究科	8.4
角田邦夫 (TSUNODA Kunio) 元 京都大学生存圏研究所 准教授。故人	7.4
コルネット・リシャール (CORNETTE Richard) (独)農業生物資源研究所 遺伝子組換え研究センター研究員	4.3
土居修一 (DOI Shuichi) 元 筑波大学大学院生命環境科学研究科 教授	8.5
土井 正 (DOI Tadashi) 大阪市立大学大学院生活科学研究科 准教授	7.1
林 良信 (HAYASHI Yoshinobu) シドニー大学 研究員	5.3
兵藤不二夫 (HYODO Fujio) 岡山大学異分野融合先端研究コア 助教	6.3
北條 優 (HOJO Masaru) 琉球大学熱帯生物圏研究センター 研究員	4.4
本郷裕一 (HONGO Yuichi) 東京工業大学大学院生命理工学研究科 准教授	2.1
前川清人 (MAEKAWA Kiyoto) 富山大学大学院理工学研究部 准教授	4.5
三巻和晃 (MITSUMAKI Kazuaki) 元 山口大学農学部農学研究科	6.4
森 拓郎 (MORI Takuro) 京都大学生存圏研究所 助教	7.2
守屋繁春 (MORIYA Shigeharu) (独)理化学研究所 基幹研究所 研究員	8.2
安田いち子 (YASUDA Ichiko) 那覇市立安岡中学校 教諭	9.2
柳川 綾 (YANAGAWA Aya) 京都大学生存圏研究所 助教	2.3
築瀬佳之 (YANASE Yoshiyuki) 京都大学大学院農学研究科 助教	7.3
山田明德 (YAMADA Akinori) 東京工業大学大学院生命理工学研究科 研究員	1.3, 1.4
渡辺裕文 (WATANABE Hirofumi) (独)農業生物資源研究所 遺伝子組換え研究センター 研究員	8.1

カバーアート

玉本奈々 (TAMAMOTO Nana)

内面世界を布、色彩で表現する造形作家。主な受賞歴にフランス共和国名誉賞2003/新人賞2004/栄誉賞2005・6、個展に「玉本奈々の世界」(富山県相倉合掌造り集落、2007)、グループ展に「現代美術の展望 VOCA 展」(上野の森美術館、2004)、著書に「マスクの旅路」(文芸社、2009) などがある。大阪府在住。

英文タイトル
Termites Researches in Japan: from biodiversity to control

しろありのじてん
シロアリの事典

発行日 ————— 2012 年 12 月 1 日 初版第 1 刷
定 価 ————— カバーに表示してあります
編 集 ————— 吉 村 剛
板 倉 修 司
岩 田 隆太郎
大 村 和香子
杉 尾 幸 司
竹 松 葉 子
徳 田 岳
松 浦 健 二
三 浦 徹
発 行 者 ————— 宮 内 久



海 青 社
Kaiseisha Press

〒520-0112 大津市日吉台 2 丁目 16-4
Tel. (077)577-2677 Fax. (077)577-2688
<http://www.kaiseisha-press.ne.jp>
郵便振替 01090-1-17991

● © 2012 ● ISBN978-4-86099-260-6 C3045 ● Printed in JAPAN
● 乱丁落丁はお取り替えます

本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することはたとえ個人や家庭内の利用でも著作権法違反です。

ISBN978-4-86099-932-2(PDF)