

シロアリと水の話*

吉 村 剛**

Termite and Water*

Tsuyoshi YOSHIMURA**

(平成15年8月31日受理)

1. は じ め に

日本において最も重要な木材害虫はシロアリである。年間約1,000億円と推定されるシロアリ防除処理マーケットだけでなく、被害を受けた部材の取り替えやリフォーム費用を合算すると、シロアリ被害に関連する市場は毎年3～4千億円にも達すると考えられる。シロアリ防除施工は、新築時の予防施工および既築建物への駆除施工という2つに大別されるが、いわゆる予防・駆除剤として同じ製剤が用いられていることが多い。これらの施工方法では、シロアリに対する化学的なバリアーを構築することが基本となっており、具体的には床下土壌および木質部材への薬剤処理が行われている。しかしながら、住宅の高気密・高断熱化の進行とそれに伴う床下空間の住宅内部化、あるいはシックハウス症候群に代表される住宅内部の化学物質汚染問題などから、住宅工法と一体となった薬剤だけに頼らない総合的なシロアリ防除システムの構築が、現在、緊急の課題となっている¹⁾。図1にシロアリの総合防除に関する筆者の考え方を示しておいたが、このシステムにおいてシロアリの生理学的および生態学的理解が不可

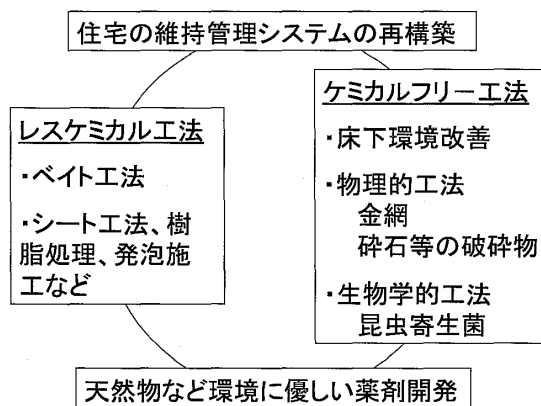


図1 シロアリの総合防除

* 第58回木研公開講演会（平成15年5月14日）において講演した。

** 木質材料機能研究部門 劣化制御分野 (Laboratory of Deterioration control)

Key words : Termite, Feeding activity, Water, Humidity

欠であることは言うまでもない。この一環として、我々は住宅におけるシロアリの食害生態、特に環境条件がその行動に及ぼす影響について検討を行ってきているが、種々の環境条件の中で、住宅におけるシロアリの行動に最も影響を与えると考えられるもの、それは水環境であろう。

シロアリも生物である以上、もちろん水がなくては生きてはゆけない。"シロアリ被害の調査はまず水回りから"、と巷で良く言われるように、日本においてはその被害は湿った住宅部材から生じることが多い。しかしながら、世界的に見ると、これは決して普遍的なことではない。熱帯地域などでは、むしろ屋根組材や家具などの乾いた木材や本など、液体状の水（自由水）が存在しない状態の木材（気乾材）・木質材料に被害が多発する。

このように、シロアリという昆虫グループは、"水"をキーワードとした食害生態からいくつかのグループに分類することができる。本稿では、まずこのグループ別に、その食害生態の特徴を述べ、食害生態上の特徴を利用した水環境のコントロールによる、無薬剤的シロアリ防除工法の可能性について考えてみたい。

2. "水"をキーワードとしたシロアリのグループ分け

最新の研究成果によると、現在、地球上では高等シロアリ 1 科1,885種、下等シロアリ 6 科753種、合計2,638種のシロアリが生活している²⁾。表1は、"水"をキーワードにしてシロアリの科をグループ分けしたものである。

地下シロアリというグループに含まれる日本産害虫種には、経済的に最も重要な種であるイエシロアリとヤマトシロアリ、および沖縄本島以南で稀に被害が観察されるタイワンシロアリがある。その生存には液体状の水が不可欠であるが、土中や枯死木中に特別に加工した巣を造ることが多く、地中に形成した蟻道と呼ばれる通路を通して建築物に侵入する。基礎コンクリートに蟻道を構築し、土台を食害することによってその被害が始まり、その後、柱、大引、根太等へと被害が拡大し、水の供給があれば、小屋組材まで食害を受けることがある。多くの場合、最大十数メートルにも達する水取蟻道と呼ばれる特別な道を造り、地下水などから必要な水を供給している³⁾。図2は、廃屋となった後、数年で屋根までイエシロアリによる被害が拡大した例である。

一方、乾材シロアリと呼ばれるグループは、レイビシロアリ科のシロアリの呼び名であり、その生存に液体状の水を必要とせず、気乾状態の木材中で生き続けることができる、とされている。日本には汎世界種であるダイコクシロアリが奄美大島以南と小笠原諸島に分布するのみであったが、1970年代中頃より北米から家具材などとともに移入したアメリカカンザイシロアリの被害が散発するようになり、現

表1 "水"をキーワードにしたシロアリのグループ化

特徴	グループ名	科	日本産害虫種
地下や地上に特別な巣を造る種が多く、水取蟻道などによって地下水などから水を得る。	地下シロアリ	シロアリ科 ノコギリシロアリ科 ミゾガシラシロアリ科 シュウカクシロアリ科 ムカシシロアリ科	タイワンシロアリ イエシロアリ ヤマトシロアリ
特別に加工した巣は造らず、湿った木材中で生活する。	湿材シロアリ	オオシロアリ科	
特別に加工した巣は造らず、乾いた木材中で生活する。	乾材シロアリ	レイビシロアリ科	アメリカカンザイシロアリ ダイコクシロアリ

在では、東京、千葉、神奈川、和歌山、大阪、兵庫、広島、鹿児島でその被害が確認されている。乾材シロアリは木材の内部を少しずつ食害するため、被害を発見することが非常に難しく、乾燥した砂粒状の糞が材から落ちて初めて気付くことになる。また、材内部に深く穿孔し、数頭の個体からでもコロニーが再生することから、外部から完全に駆除することは難しく、現在のところ日本における乾材シロアリ対策は試行錯誤といった状況である。図3にアメリカカンザイシロアリによる食害例を示すが、典型的には数十頭の個体がいる複数の小部屋が、1頭が通ることのできる細い通路で連結された形をとる。

湿材シロアリとは、湿った倒木や切り株の中で常に生活し、乾材シロアリと同様材の内部を少しずつ食害する。日本産の種類としては、オオシロアリが佐多岬、足摺岬、奄美大島、徳之島、屋久島および種子島に分布するのみであったが、最近兵庫県川西市においてネバダオオシロアリ (*Zootermopsis nevadensis* (Hagen)) の生息が確認された⁴⁾。図4は筆者の研究室で約2年間飼育しているネバダオオシロアリの写真である。両種とも林内に散在する湿った倒木中に営巣しており、今のところ経済的な被害があるわけではない。湿材シロアリは水を運搬する能力がないとされており、湿った木材が餌として必要であると言われている。

これら3グループの健全個体からの水分蒸散率を比較すると、乾材シロアリ1に対して、湿材シロアリが2~3、地下シロアリが5~20と、グループによって大きな差があることが知られている⁵⁾。



図2 壁内部から屋根組みの木材にまでイエシロアリによる激しい被害を受けた廃屋

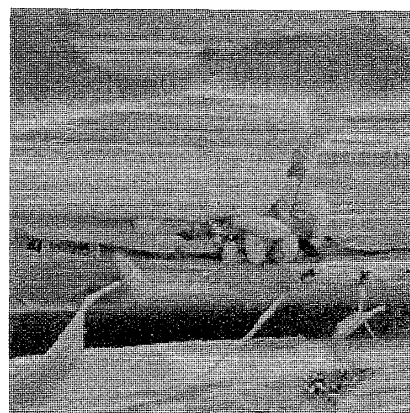


図3 アメリカカンザイシロアリによる食害例
(写真提供：築瀬佳之氏)



図4 ネバダオオシロアリ (兵庫県川西市において採集)

3. シロアリと水をめぐる研究

上述したように、地下シロアリ、湿材シロアリおよび乾材シロアリという3つのグループの中で、木材・木質材料への被害防止という立場から重要なのは、地下シロアリと乾材シロアリである。

シロアリと水との関わりあいを考えてみると、シロアリ自身の水依存性、あるいは餌である木材の含水率や環境湿度と食害活動との関係など、いろいろなレベルでの研究課題が見えてくる。我々は、水分環境制御による新しい無薬剤的シロアリ防除工法の開発を目指し、両グループのシロアリを用いて現在以下のような研究を進めている。

- ① シロアリ（特に地下シロアリ）はどこまで乾燥に耐えられるか？
- ② シロアリ（特に地下シロアリ）の好きな木材の含水率は？
- ③ シロアリにとって快適な生活環境とは？

以下、これまでに得られた研究成果について紹介したい。

4. シロアリはどこまで乾燥に耐えられるか？

乾燥状態への抵抗性、つまり断水状態にどこまで耐えられるか？という疑問は、地下シロアリであるイエシロアリとヤマトシロアリがどこまで食害範囲を拡張されるか？という疑問に直接つながっている。イエシロアリとヤマトシロアリの食害生態における違いを、水をキーワードとして考えてみると、一般的な解釈では次のようになる。"イエシロアリは水を運ぶ能力があるため2階部分にまで被害がおよび、ヤマトシロアリの場合は水を運ぶ能力がないためその被害は水廻りに集中して発生する"。しかしながら、実際の現場ではヤマトシロアリが乾いた木材に被害を与えた例がしばしば目撃される。

では、シロアリは体のどこで水を運ぶのだろうか。今のところ、唾液腺に近接して存在する唾液嚢がそれであろうと考えられており、イエシロアリでは貯水嚢（water sac）として機能する、と書かれた本もある⁶⁾。確かに、イエシロアリ、ヤマトシロアリともにこの器官は存在し、胸の部分を注意深く解剖することによって見ることができる（図5）。この唾液嚢中の水の成分や浸透圧を分析した結果が報告されているが^{7,8)}、その由来については、シロアリが口から飲むことによって直接補充される⁷⁾、という

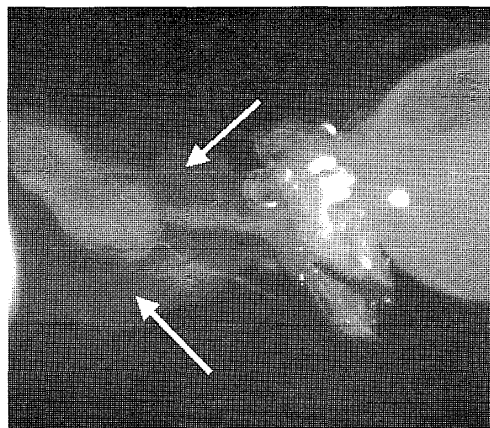


図5 ヤマトシロアリの唾液嚢（内容物の詰まった前腸の上下に見える一対の袋状器官：→で示す）（写真提供：中山友栄氏）

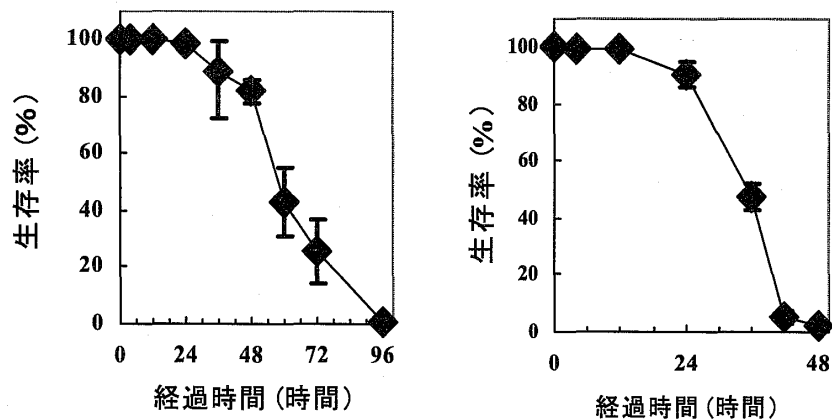


図6 乾燥状態 (25℃、相対湿度70%) に置いたイエシロアリ職蟻 (左) とヤマトシロアリ職蟻 (右) の生存率変化 (Nakayama ら⁹⁾より改変)

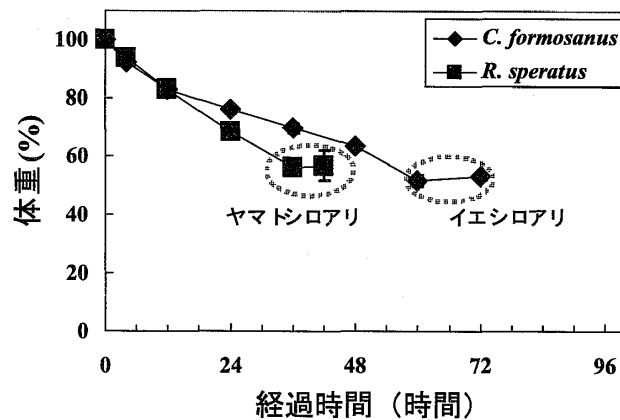


図7 イエシロアリ職蟻とヤマトシロアリ職蟻における断水状態での体重変化 (25℃、相対湿度70%) (Nakayama ら⁹⁾より改変)

ものと、シロアリの体液 (血リンパ) から補充される⁸⁾、というものの2通りの解釈があり、具体的な機能についても不明な点が多い。

イエシロアリとヤマトシロアリの両者に存在する唾液嚢が貯水器官であるとすれば、機能の違いは断水状態への抵抗性の違いとして現れるはずである。そこで、両シロアリの職蟻をシャーレーに入れ一切水を与えずに飼育したところ (25℃、相対湿度70%)、イエシロアリは4日後、ヤマトシロアリは2日後に全滅した (図6)⁹⁾。また、その半分の期間、つまりイエシロアリでは2日間、ヤマトシロアリでは1日間この状態に置くと、その後水を与えても回復できなかった⁹⁾。さらに、断水状態に置きながら体重の変化をモニターしてみると、ヤマトシロアリでは直線的に減少したのに対して、イエシロアリでは初期の急激な減少と、その後のより緩やかな減少という2段階があることがわかった (図7)⁹⁾。

これらの研究結果は、イエシロアリ職蟻とヤマトシロアリ職蟻における異なった乾燥耐性機構の存在を示唆しているようである。それが唾液嚢の機能の違いによるのか、あるいはCollinsが指摘したような蟻道内部の湿度維持や他個体への水分供給などの利他的行動¹⁰⁾によるものなのか、今後の重要な研究課題である。

5. シロアリの好きな木材の含水率は？

上述の通り、その機構についてはまだ明確ではないものの、イエシロアリとヤマトシロアリとでは乾燥状態に対する抵抗性に明らかな差が観察された。次に、木材の含水率と地下シロアリの食害活動との関係について考えてみたい。これまでの通説では、ヤマトシロアリは水を運ぶことができないため湿った木材が必要であり、一方、イエシロアリは水を運ぶことができるため、乾いた木材でも食害を受けるとされている。しかしながら、実際にシロアリによる加害現場を観察すると、必ずしもこの通説が当てはまらない状況に良くでくわす。具体的には、非常に高含水率の木材にのみイエシロアリの加害が集中して見られる場合や、逆に、乾燥した部材にヤマトシロアリの食害が認められる場合である。また、日本では健全な樹木がイエシロアリやヤマトシロアリによって食害を受けることはあまり観察されないが、辺材部分の含水率が数百%にもなることがその理由として一般には考えられている。しかしながら、これまでイエシロアリやヤマトシロアリの食害性と木材の含水率について系統的に検討された例はなかった。

筆者らの研究グループは、まず短期的なシロアリの食害性と木材含水率との関係を見る目的から、

① 1 容器内に含水率の異なるアカマツ辺材試験体を複数個を投入し、イエシロアリおよびヤマトシロアリによって選択的に摂食させる。

② アカマツ辺材試験体を繊維方向に沿って 5 分割し、中央部、最下部あるいは最上部の分割試験体のみに水をできるだけ含ませることによって再構築後の分割試験体間に水分傾斜を発生させ、これをイエシロアリおよびヤマトシロアリに選択的に摂食させる。

という 2 つの実験を行ってみた。表 2 および 3 に、それぞれの実験における典型的な結果を示す（中山ら：未発表）。

まず、含水率の異なる 3 試験体を用いた選択摂食試験では（表 2）、イエシロアリが中程度の含水率を好み、150%という高い含水率の試験体はむしろ気乾状態のものよりも好まれない傾向が観察された。

表 2 異なる含水率の試験体を選択摂食させた場合のイエシロアリ職蟻およびヤマトシロアリ職蟻による摂食率（中山ら：未発表）

イエシロアリ職蟻		ヤマトシロアリ職蟻	
含水率 (%)	摂食率：1 頭 1 日当たりの摂食量 (μg)	含水率 (%)	摂食率：1 頭 1 日当たりの摂食量 (μg)
20.3	59.1	18.8	9.2
79.9	93.3	79.5	31.4
157.7	30.0	148.0	43.8

表 3 異なる含水率の分割試験体を選択摂食させた場合のイエシロアリ職蟻およびヤマトシロアリ職蟻による摂食率（中山ら：未発表）

試験体	イエシロアリ職蟻		ヤマトシロアリ職蟻	
	含水率 (%)	摂食率：1 頭 1 日当たりの摂食量 (μg)	含水率 (%)	摂食率：1 頭 1 日当たりの摂食量 (μg)
最上部①	27.5	1.2	28.6	3.7
②	30.5	1.0	32.7	5.3
中央部③	111.0	58.6	94.8	10.9
④	33.9	5.4	34.2	19.5
最下部⑤	29.5	34.4	28.5	23.7

一方、ヤマトシロアリでは、含水率が高いほど良く摂食される傾向があった。

次に、5分割試験体の中央部のみに水を含浸させ再構築した場合(表3)、イエシロアリでは高含水率(約110%)状態の中央部と最下部が優先的に被害されたのに対して、ヤマトシロアリでは、中央部およびそれより下部の試験体が平均的に良く摂食される傾向にあった。また、最上部の試験体を高含水率に調整した場合、イエシロアリは優先的にその部分を摂食したが、ヤマトシロアリではむしろ比較的乾いた最下部が良く摂食された。

これまでに得られた結果を、それぞれのシロアリについてまとめてみると、

1. イエシロアリは活動的であり、摂食に適した含水率の木材を積極的に探索するが、過剰な水分は嫌う傾向にある。
2. ヤマトシロアリはイエシロアリよりも高含水率の木材を好む傾向にあるが、試験体上部への探索には積極的ではなく、地面に近い部位を摂食する傾向が強い。

となる。つまり、ある程度これまでの通説を裏付けた結果が得られたと言えるが、今後乾材シロアリや湿材シロアリも含めたより広範囲の種を使った実験を行うことにより、シロアリグループ間での違いを検討したいと考えている。

6. シロアリにとって快適な生活環境とは？

我々の最終的な目的は、シロアリと水との関係を詳しく検討し、その結果をもとに水分環境のコントロールによる無薬剤的シロアリ防除工法を開発することである。では、我々がコントロール可能な水分環境には何があるだろうか？それは言うまでもなく湿度であろう。

現在、床下環境改善のために、種々の調湿材料や床下ファンが商品化されている。一説によると、急成長することによって最近消費者とのトラブルが増加している床下調湿材料のマーケットは、シロアリ防除マーケット全体の半分を占めるほどになっているとのことである。しかしながら、湿度コントロールによって本当にシロアリの被害活動を制御することができるのだろうか？筆者らの研究グループでは、乾材シロアリであるダイコクシロアリ、および地下シロアリであるイエシロアリとヤマトシロアリを用いて、種々の湿度条件下における職蟻の摂食活動の変化について検討を行ってきた¹¹⁻¹³⁾。

図8から図10に、恒温恒湿チャンバーを用い、水を与えながら一定の相対湿度下で飼育した場合のダイコクシロアリ、イエシロアリおよびヤマトシロアリによる摂食量を、摂食活動によって発生したアコースティック・エミッション(AE)事象数でモニターした結果を示す。

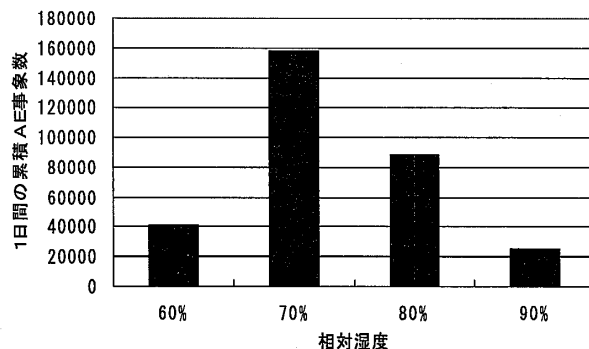


図8 一定相対湿度条件下におけるダイコクシロアリの摂食量 (Indrayani ら¹¹⁾より改変)

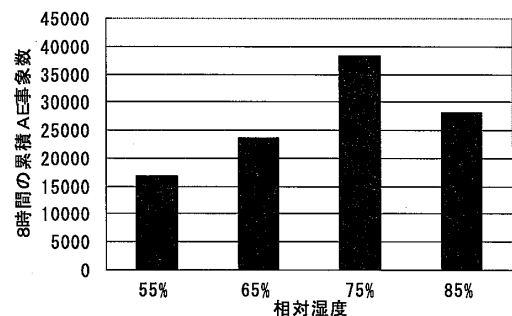


図9 一定相対湿度条件下におけるイエシロアリの摂食量 (Yusuf ら¹²⁾より改変)

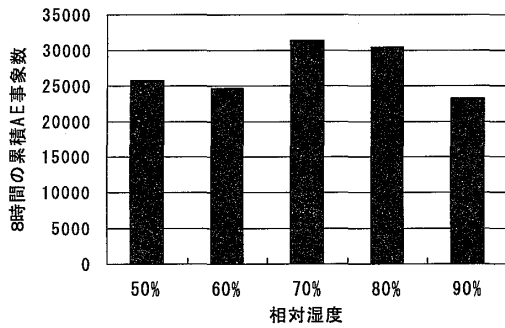


図10 一定相対湿度条件下におけるヤマトシロアリの摂食量 (Nakayama ら¹³⁾ より改変)

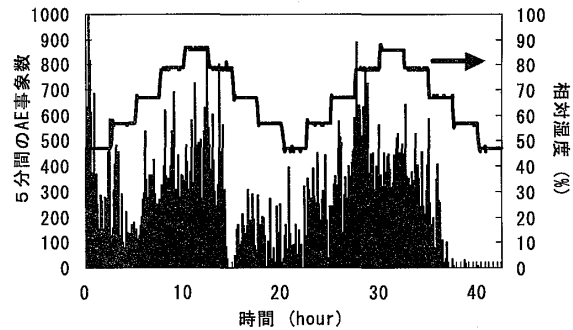


図11 相対湿度変化とヤマトシロアリによる摂食活動によるAE発生量の関係 (Nakayama ら¹³⁾ より改変)

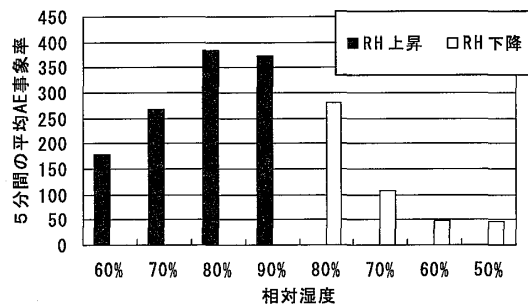


図12 図11のデータより5分毎の平均値を算出した結果 (Nakayama ら¹³⁾ より改変)

いずれのシロアリにおいても、摂食活動によって発生するAE事象数からは、相対湿度70%~80%程度が最適環境条件であることがうかがえた。日本における年平均相対湿度は70%前後であり、ここでの結果はある意味では当然のことであると言える。また、興味深いことに、これら3種の中で最も水分依存性が高いと思われるヤマトシロアリの摂食活動における湿度依存性が最も低いという結果となった。ヤマトシロアリは北海道中央部まで広く分布する種類であり¹⁴⁾、潜在的に高い環境適応性を有するのであろう。

次に、相対湿度を連続的に変化させた場合の発生AE事象数の変化を見てみたい。図11と12は、ヤマトシロアリにおける結果である¹³⁾。

この結果から、ヤマトシロアリにおいて相対湿度が変動する条件下では、摂食に最適な条件として80~90%という値が得られ、相対湿度が下降することによる摂食活性の低下が顕著であることが明らかとなった。4.で紹介したように、ヤマトシロアリの場合、個体レベルでは乾燥に対する抵抗性はイエシロアリより弱く、そのため相対湿度の低下に対して敏感な反応を示したと考えられる。

図8~12の結果から、シロアリの摂食活性と湿度の関係について、以下のような総合的考察が得られた。

- ① 一定の相対湿度条件下では、乾材シロアリ、地下シロアリとも70~80%の間で摂食活動が最も活発になる。一定の相対湿度に対する感受性は、ダイコクシロアリ>イエシロアリ>ヤマトシロアリ。
- ② 実験後の木材の含水率は20%未満であり、水が供給されればいわゆる気乾状態の木材であってもイエシロアリとヤマトシロアリは問題なく摂食できる。

表4 相対湿度とイエシロアリにおける蟻道構築速度との関係
(吉村ら¹⁵⁾より作成)

相対湿度	蟻道構築速度 (mm / 日)
60.0%	2.19
72.5%	1.75
85.0%	5.92

③ 湿度を経時的に変化させた場合、その変化につれて摂食活性も変動する。

④ 60%以下の低相対湿度条件下であっても、シロアリは摂食活動を行っており、湿度コントロールだけでシロアリの食害を防ぐことは難しい。

イエシロアリやヤマトシロアリなど地下シロアリが住宅に被害を与える場合、その侵入ポイントはまず床下部からであり、コンクリート布基礎への蟻道の構築が最初のポイントである。したがって、上述した摂食活性との関係だけでなく、相対湿度と蟻道構築速度との関係もおさえておく必要がある。

表4は、イエシロアリを用い、固定した相対湿度下において構築された蟻道の長さを測定し、1日当たりの速度に換算したものである¹⁵⁾。

データのバラツキが大きかったことから、60.0%と72.5%とでは統計的に有意な差は認められなかったものの、85.0%の場合は明らかに蟻道の構築は速かった。これは、図8～10に示した摂食活性における最適値70～80%よりも高い。蟻道の構築は、職蟻が運搬してきた土の粒子を排泄物や唾液を用いて接着することによって行われる。したがって、効率良く構築するためには、ある程度土の湿り気が維持されることが必要であり、高い相対湿度が必要なのであろう。しかしながら、60%という低い相対湿度の場合であっても、速度は小さいものの蟻道の構築が進行するという事実は忘れてはいけない。

7. 水分環境のコントロールによるシロアリ防除

以上、シロアリと水について、筆者らの研究グループにおける最新の研究成果を中心に紹介した。調湿材料や換気扇といった物理的な水分除去方法によって、湿度は確かに低下する。しかしながら、自由水が存在しない気乾状態の木材であっても水の供給さえあれば地下シロアリは摂食することができ、また、相対湿度が60%という低い条件下でも摂食活性がゼロになるわけではない。さらに、完全に水の供給が絶たれた条件下であっても、イエシロアリでは2日間、ヤマトシロアリでは1日間、それほど体にダメージを受けることなく生存することができる。

これらの事実から、湿度条件のコントロールのみによって、シロアリによる住宅の食害を完全にストップさせることは難しいと考えざるを得ない。一方、シロアリと並んで重要な生物劣化要因である木材腐朽菌の活動については、木材を気乾状態に保ち続けることで完全に抑制することができるが¹⁶⁾、シロアリが加害することによって木材の含水率が上昇すれば、二次的に腐朽が発生することになる。

住宅の生物劣化を防止するためには、構造的な面から床下や壁内に水が滞留しない住宅を考えることがまず基本である。シロアリに対しては、物理的あるいは必要最小限の化学的なバリアーによる侵入防止＋水分環境制御による摂食活動の抑制、という2本立てを考え、ハイテクを用いた新しい食害探知技術も駆使しながら総合的な防除システムを構築しなければならない。

引用文献

- 1) 吉村 剛 住まいとシロアリ、今村祐嗣他編、海青社、大津、pp157-170、2000
- 2) S. KAMBHAMPATI and P. EGGELTON: *Termites, Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology*, T. Abe et al. eds, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp1-23, 2000
- 3) 中島 茂、森 八郎：しろありの知識、森林資源総合対策協議会グリーン・エージ編集室、1961
- 4) 森本 桂：しろあり、122、3-8、2000
- 5) M. S. COLLINS: *Biology of Termites Vol.1*, K. Krishna and F. M. Weesner eds, Academic Press, New York and London, pp433-458, 1969
- 6) M. J. PEACE: *Termites: Biology and Pest management*, CAB International, Wallingford, 1997
- 7) S. CRUBE, D. RUDOLPH and I. ZERBST-BOROFFKA: *Int. J. Insect Morphol. & Embryol.*, **26**, 49-53, 1997
- 8) J. A. L. WATSON, P. H. HEWITT and J. J. C. NEL: *J. Insect Physiol.*, **17**, 1705-1709, 1971
- 9) T. NAKAYAMA, T. YOSHIMURA and Y. IMAMURA: *Sociobiology*, 投稿中
- 10) M. S. COLLINS: *Sociobiology*, **19**, 283-286, 1991
- 11) Y. INDRAWANI, Y. YANASE, Y. FUJII, T. YOSHIMURA and Y. IMAMURA: *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*, **14**, 205-212, 2003
- 12) S. YUSUF, Y. YANASE, Y. SAWADA, Y. FUJII, T. YOSHIMURA and Y. IMAMURA: *Proceedings of the 3rd International Wood Science Symposium*, Nov. 1-2, Uji, 173-178, 2000
- 13) T. NAKAYAMA, Y. YANASE, T. YOSHIMURA, Y. FUJII and Y. IMAMURA: *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.*, **13**, 125-131, 2002
- 14) 森 満範、吉村 剛、竹松葉子：しろあり、127、12-19、2002
- 15) 吉村 剛、高橋旨象、伏木清行、斎藤隆信、勝沢善永：第50回日本木材学会大会研究発表要旨集、482、2000
- 16) 高橋旨象：きのこ木材、築地書館、東京、1989