



TITLE:

## 1.4.シロアリと生存圏科学：シロアリは地球を救うか？

AUTHOR(S):

吉村, 剛

---

CITATION:

吉村, 剛. 1.4.シロアリと生存圏科学：シロアリは地球を救うか?. 生存圏研究 2007, 2: 30-37

ISSUE DATE:

2007-03-27

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/50973>

RIGHT:

# シロアリと生存圏科学—シロアリは地球を救うか？—

吉村 剛\*\*

## 1. はじめに

これまでに世界で約2,600種類が記載されているシロアリは<sup>1)</sup>、最大の種類でも体長2センチ程度、日本に広く分布するヤマトシロアリにいたっては3~5ミリ程度と、まさにちっぽけな虫である。しかしながら、木材や木質材料だけでなく、樹木・農作物の大害虫としてもその悪名はとどろきわたっている。角田によれば、シロアリ被害にとまなう費用は、アメリカ合衆国が最も多く年間約2,400億円、中国がその半分の約1,200億円、次いで日本の約1,000億円と推定されているが、ヨーロッパについてはシロアリの分布域と種が限られることから、全体で240~250億円程度と少ない<sup>2)</sup>。また、オーストラリアについては、600億円程度のマーケットであるとされている<sup>3)</sup>。中国以外のアジア諸国に目を向けてみると、インドネシアで年間200~300億円<sup>4)</sup>、マレーシアで10~20億円<sup>5)</sup>というシロアリ被害額が報告されているものの、その他の国については残念ながら信頼できる統計はない。アフリカ諸国と南アメリカ諸国についても、現在までのところデータはない。

では、なぜシロアリはこのように害虫として嫌われる存在となってしまったのだろうか。それは木材を餌として食べるためである。ではなぜ木を食べることができるのかと言えば、セルロースという地球上で最も豊富なバイオマス資源を利用することに成功し、その結果として最大数百万頭からなる巨大な社会を維持できるようになったからである。しかしながら、シロアリ界全体を見てみると、約半分の種類が土を餌としている、いわゆる「土壌食性」(soil-feeder)シロアリであり、シロアリ=木材害虫とは簡単に言い切れないところがある。実際、合計2,600種余りのシロアリのうち木材害虫としてリストアップされているものは、僅か4%程度、100種ほどに過ぎない。

本稿では、害虫として嫌われるシロアリの、生態系におけるエコシステムエンジニアとしての役割を紹介するとともに、その能力を生かした新エネルギーの創成の可能性について考えてみたい。

## 2. シロアリの生態的地位

### 2.1 世界におけるシロアリの分布<sup>6)</sup>

最新の研究成果によると、現在地球上では高等シロアリ1,885種、下等シロアリ753種、合計2,638種のシロアリが生活している<sup>1)</sup>。その分布の中心は熱帯から亜熱帯にかけての地域であり、生物区で言う新熱帯区(Neotropical:中南米地域)から481種、熱帯アフリカ区(Afrotropical:アフリカ大陸の地中海沿岸部を除く全域)から664種、東洋区(Oriental:中国南部からインド、マレー半島、インドネシアの一部を含む)から1,030種が知られている。ちなみに、日本を含む旧

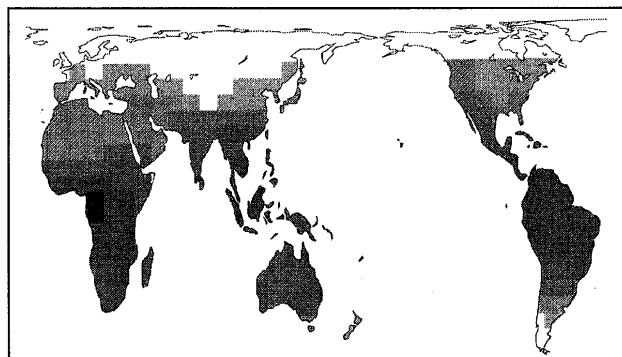


図1:シロアリの種多様性<sup>6)</sup>。

\* 2005年11月10日作成

\*\* 〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所居住圏環境共生分野. E-mail: tsuyoshi@rish.kyoto-u.ac.jp

北区 (Palearctic) からは僅か 40 種が報告されているに過ぎない。図 1 は世界におけるシロアリの種多様性をグリッドで表したものであり、色の濃い地域ほど種類が多いことを示している<sup>6)</sup>。これによると、最もシロアリの種多様性が高いのが中央アフリカの熱帯雨林地域、次いで東南アジアと南米の熱帯雨林地域となる。これらの地域では、数百種類というシロアリがいろいろな生活様式を示しながら共存し、確固たる生態的地位を占めているのである。図 2 には、インドネシア・西イリアン州において樹木に形成された *Microcerotermes* 種の巣とそこから伸びる蟻道を示しているが、ほとんどすべての木にこのような蟻道が這い上がっている。

## 2.2 シロアリの起源と害虫としての歴史<sup>7,8)</sup>

シロアリの化石は、樹液の化石である琥珀に閉じこめられた形で比較的多く算出される。現在知られている最も古いシロアリ化石は、スペインで発見された 1 億 3 千万年前のものである。これには明らかに職蟻と思われる個体が含まれており、すでにこの時代にシロアリの社会性が発達していたことを示す重要な手がかりとなっている。これを含めて白亜紀 (1 億 3 千 6 百万年～6 千 5 百万年前) のシロアリ化石 15 種が、ヨーロッパ、アジアおよび南北アメリカから採集されており、このことはシロアリが超大陸パンゲアの温帯域～熱帯域にかけて広く生息していたことを示している。さらに、現生のシロアリを見てみると、多くの科で類縁種が汎世界的な分布を示すことから、パンゲアに続くゴンドワナ超大陸が分裂する以前に科の分離・進化が生じたと推測される。つまり、現在見られるシロアリの多様性というものは、シロアリの祖先が、現在の大陸が形作られる前にすでに高い多様性を示し、繁栄していたことによると言ってもよい。

では、その繁栄はどのようにして得られたのであろうか。その理由として、微生物との消化共生系の確立と、ジュラ紀に起こった被子植物の爆発的な分布域の拡大を挙げることができる。いろいろな昆虫グループがこの被子植物の爆発的増加とともに進化してきたことはよく知られており、シロアリやアリ・ハチなどの社会性昆虫もまた例外ではないと考えられる。被子植物の多様性の増大につれて多様な生活空間 (生態的ニッチ) が創造され、微生物との共生系を築くことによってセルロースを餌とすることができるようになったシロアリは一気にその多様性を増大させ、その結果、生態系における数的に豊富な現在の地位を獲得したと考えられるのである。

上述したように、シロアリが人類の害虫となってから、つまり、我々の直系の祖先であるホモ・ハビリスが登場してから約 240 万年、さらにいわゆる文明というものが築かれてから約 5,000 年という期間は、シロアリの歴史から見ると昨日のようなことと言ってもよいだろう。現在でもアフリカなどでは群飛した羽アリをタンパク源として利用していることから<sup>9)</sup>、初期人類にとってシロアリは大切な食糧であったに違いない。また、同じくアフリカでは、シロアリの塚を掘り崩し、その土を畑の肥料に用いていることも良く知られている。

## 2.3 シロアリはどのくらいいるのか

エコシステムエンジニアとしてのシロアリを考える場合、まず熱帯におけるその圧倒的存在量に触れておく必要がある。動物の存在量の多さを示す一つの基準に、1 平方メートルあたりの湿重量 10 グラムというものがあり、シロアリは、ミミズ、サバンナの草食動物、そして人類とともにこれをクリアしている。これまでに報告されたシロアリの最大存在量は、カメルーンで 1 平方メートルあたり 100

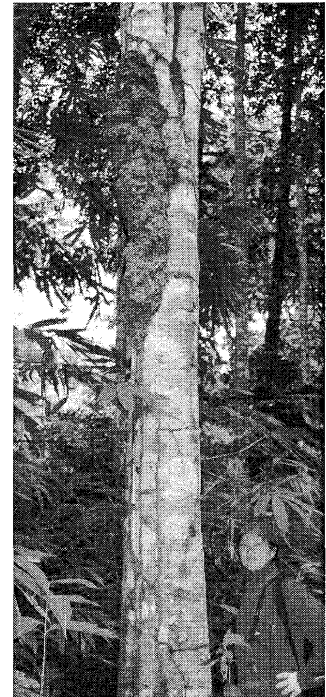


図 2: インドネシア・西イリアン州の森林における樹木のシロアリ被害。

グラム以上、個体数として1万頭というすさまじいものがある<sup>10)</sup>。表1は、熱帯林、亜熱帯林及び温帯落葉樹林におけるシロアリなどの大型土壌動物の存在数と量をまとめたものであるが<sup>11)</sup>、熱帯林、特に熱帯多雨林ではシロアリの存在量が群を抜いて多いことがよくわかる。一方、温帯落葉林においては、ミミズの存在量が圧倒的になる。

ここで、日本の都市部、例えば京都におけるシロアリの存在量を計算してみたい。

- ・ 1ヘクタール（100メートル x 100メートル）に100軒の住宅があるとする。
- ・ 住宅の被害率を30%とする<sup>12)</sup>。
- ・ 京都に分布するヤマトシロアリの1コロニーあたりの個体数を最大30万頭とする<sup>13)</sup>。
- ・ 以上の仮定より、1ヘクタールあたりのヤマトシロアリの個体数は900万頭となり、1平方メートルあたりでは900頭となる。
- ・ これを湿重量に換算すると1頭を2ミリグラムとして、1.8グラムとなる。
- ・ しかしながら、この推定はすべてが最大値で計算しているため、実際にはこの値の数十分の一というのが妥当なラインであると考えられる。

この結果、驚くべきことに日本の都市部においては、西表島とあまり変わらないシロアリの存在量が推定されることになり、木造住宅の害虫としての重要性が再認識されるものとなった。言い換えれば、シロアリにとっては森にいるのも都市にいるのも、餌の存在量と言う点では全く何らかわりはなく、まさに木造住宅は都市の森林なのである。

表1：熱帯林、亜熱帯林及び温帯落葉樹林における1平方メートルあたりの大型土壌動物の存在数と量<sup>11)</sup>。

	熱帯多雨林		熱帯落葉林： タイ	亜熱帯多雨 林：西表島	温帯落葉林： 東北
	サラワク	パソ			
シロアリ	1,125 (1.78)	3,485 (9.41)	100 (0.09)	58 (0.12)	0
ミミズ	26 (0.65)	25 (0.18)	10 (0.38)	61 (7.48)	68 (17.75)
アリ	457 (0.47)	1,624 (0.82)	200 (9.17)	142 (0.17)	346 (5.45)
その他	280 (1.36)	253 (2.07)		251 (4.49)	
合計	1,888 (4.26)	5,387 (12.48)	310 (9.64)	512 (12.26)	432 (23.20)

注：数字は存在個体数（湿重量：グラム）

## 2.4 エコシステムエンジニアとしてのシロアリ

熱帯において著しい存在量を示すシロアリは、当然その餌であるリグノセルロースを出発点とする物質循環（＝腐食連鎖）に大きな役割を有している。例えば、ナイジェリアのサバンナでは、地表にあるリター（枯枝や落ち葉など）の55%がシロアリによって消費されるという報告もある<sup>10)</sup>。つまり、極端な話、シロアリがもし今地球上から消えてしまったとすると、熱帯ではリター類の分解の多くの部分が停滞してしまい、自然の物質循環に大きな支障が出ることは間違いない。

一方、シロアリは、直接的な腐食連鎖以外にも、その活動によってまわりの環境に大きな影響を与える。このような生物を「エコシステムエンジニア」と呼び、シロアリは、ミミズ、アリとともに熱帯における有名なエンジニアである。以下に、シロアリの持つ「エコシステムエンジニア」としての役割を挙げておく<sup>10)</sup>。

- ・ シロアリ塚への有機物やミネラルの蓄積。
- ・ セルロース分解性の細菌や菌類の繁殖による窒素の増加。
- ・ トンネルを掘ることによる土壌への水の浸透性の改善。
- ・ 結果として、例えば塚周囲の植物の成長を促進。

これらの役割を、アジア、アフリカの熱帯地域に多いキノコシロアリを例として図示したものが図

3である<sup>10)</sup>。

## 2.5 シロアリと生存圏科学

以上、シロアリという虫を弁護する立場からその生態学的な重要性について紹介してきた。しかしながら、森林資源の長期的な有効利用や住宅の防災という立場からは、その防除対策に真剣に取り組む必要があることもまた真実である。さらに、後述するように、シロアリはその発生するガスによって大気圏環境や地球温暖化現象とも深い関わりを持っている。

つまり、シロアリというものは、居住圏（都市圏）、森林圏、大気圏という、人類の生存基盤である「生存圏」全体と深く関わった生物であり、非常に魅力的な研究対象であると言える。

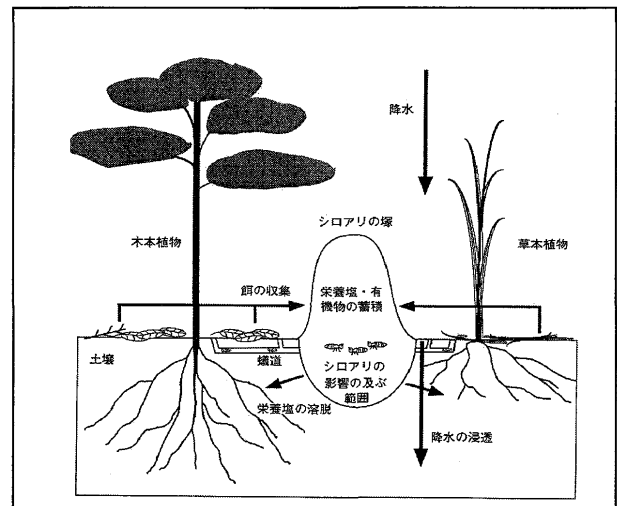


図3:「エコシステムエンジニア」としてのシロアリ<sup>10)</sup>。

## 3. シロアリによる新エネルギーの創成

### 3.1 新エネルギーオプションの現状

米国やオーストラリアが参加していないとはいえ、本年2月の京都議定書の発効は、二酸化炭素排出量の削減による地球温暖化防止に向けた大きな一歩であることは間違いない。化石資源に依存したエネルギー消費型社会はすでに限界点に達しつつあり、二酸化炭素排出の少ない新エネルギーオプションを活用した持続的社会的構築が21世紀の人類にとって急務の課題である。「生存圏科学」の究極の目標もここにある。

図4は、National Geographic誌2005年8月号に掲載された、2002年の世界のエネルギー消費に占める化石燃料とその他の新エネルギーオプションとの割合を、2030年の予測値とともに図示したものである<sup>13)</sup>。これによると、2002年の世界の全エネルギー消費のうち、原子力発電、水力発電、バイオマス発電、風力発電、太陽発電、潮力発電、地熱発電など、化石燃料に依存しないエネルギーソースは全体の約20%に過ぎず、残念ながらこの割合は2030年でもあまり変わらない予測になっている。

現時点では、こういった新エネルギーオプションはエネルギー変換効率やコストの面でまだまだ十分とは言えず、同記事の中のインタビューでDan Kammen博士が述べているように、“The more we diversify our sources, the better”（より多くの新しいエネルギーソースを開発することが必要）を目指すべきであろう。バイオマス資源、特に圧倒的に存在する木質系バイオマス資源のエネルギーとしての新しい利用法の開発もその有力なオプションの一つである。

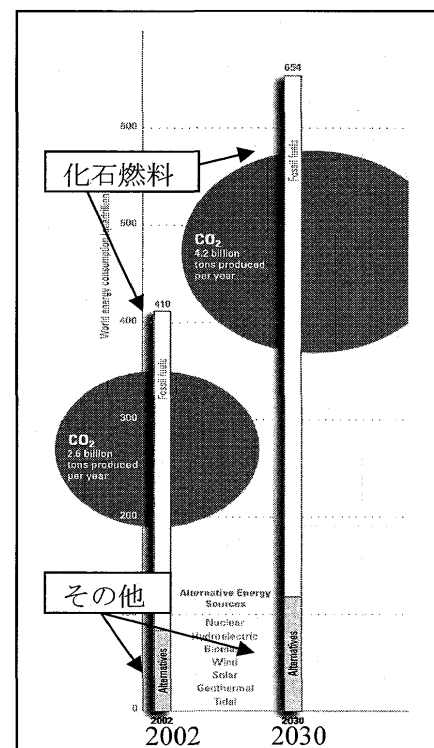


図4:2002年の世界のエネルギー消費における化石燃料とその他の代替物の割合及び2030年の予測<sup>13)</sup>。

### 3.2 シロアリによるエネルギーガスの生成

それでは、シロアリを利用した新エネルギーオプションの開発にはどのような可能性が考えられるだろうか。

シロアリが消化管中に生息する細菌や原生動物との共生関係を築くことによって、セルロースを効率良く消化していることは良く知られている<sup>14-15)</sup>。本稿ではそのメカニズムについて詳しく触れることはしないが、木質バイオマスの分解におけるシロアリ腸内微生物相の役割に関する様々な研究から、原生動物および細菌によるセルロースの嫌気性発酵によって水素とメタンが定常的に発生し、新しいエネルギー源として検討する価値があることが見出されてきている。シロアリからの水素とメタンの発生については、

- ① 原生動物や細菌（例えば *Clostridium* 属細菌）によるグルコースの嫌気性発酵による酢酸、二酸化炭素と水素の生成： $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2CO_2 + 4H_2$
- ② メタン菌による二酸化炭素と水素からのメタン生成： $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$
- ③ 酢酸菌による二酸化炭素と水素からの酢酸生成： $2CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$

という3つの反応が関与していると考えられており、この結果、理想的にはグルコース1 mol から最大4 molの水素が発生する可能性がある。このことは、1モル180グラムのグルコース、つまり400グラム程度の木材から、最大約90リットルの水素が得られることを意味している。したがって、シロアリによる新エネルギーオプション開発のターゲットとしては、水素が最も可能性が高いと言えるのである。

ここで、水素のエネルギー利用に関する最近の情勢について少し紹介したい。水素は最も軽い気体であり、その燃焼時の発熱量は重量あたりでは大きく、二酸化炭素を発生しないが、4%以上の濃度で爆発する危険性があることからその保存には注意が必要である。また、水の電気分解の逆反応により、水素と酸素を反応させて直接電気エネルギーを取り出すことができる。この反応を行うのが、いわゆる燃料電池である。従来の発電が熱エネルギーや位置エネルギーを用いて発電機を回すことによって電機を取り出すのに対して、燃料電池では化学エネルギーから直接電機を取り出すことになる(図5)。

このように、燃料電池は二酸化炭素を全く発生しないクリーンなエネルギー源であると言えるが、水素は地球上に分子としてほとんど存在していないため、現実には何らかの原料から造ることが必要であり、そのプロセスにおける環境負荷を勘案しなくてはならない。燃料電池自動車の温室効果ガス排出に関するライフサイクルアセスメントを行った解析結果によれば、米国車を想定した場合、現行のガソリン車が1km走行あたり300グラムの二酸化炭素を排出するのに対し、ガソリンの改質によって取り出した水素を用いた燃料電池車が約半分の150グラム弱、太陽光発電で製造した水素を用いた場合排出量は20グラム程度と1割以下の環境負荷となっている<sup>16)</sup>。

次に、水素製造のための燃料としての効率を見てみると、化石燃料の中で最も効率が良いのがガソリンで、60リットルから約20キログラムの水素を得ることができる<sup>16)</sup>。上述したように、グルコースの嫌気的発酵では400グラムの木材から最大100リットル程度の水素を得ることができるが、この質量は8グラムに過ぎない。つまり、60リットル、比重を0.5と仮定すると30キログラムの木材から得られる最大水素量は0.6キログラムとなり、残念ながら効率の点で化石燃料などの炭化水素には及ばないのである。

このような背景から、筆者らの研究グループでは、

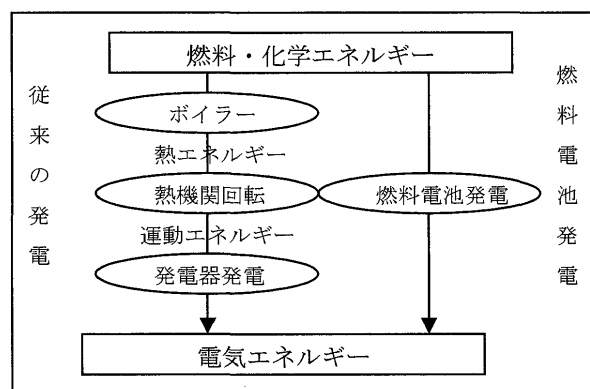


図5：燃料電池発電と従来発電のプロセスの比較<sup>16)</sup>。

現実的にはシロアリを用いた総合的な木質系廃棄物処理システムの中に、水素の生成—回収—利用というサイクルを組み込むことが重要であると考えている。

### 3.3 シロアリ水素の効率的利用を目指した取り組み

Sugimoto らの総説によれば<sup>17)</sup>、シロアリによる水素とメタンの発生量はシロアリの属や餌の種類によって大きく異なる。日本において木材の大害虫として著名かつ実験室での飼育が容易なイエシロアリは、同じく害虫として日本に広く分布するヤマトシロアリと比較して多量の水素を発生することが既に筆者らの研究グループによって確かめられている<sup>18)</sup>。したがって、現在我々は研究ターゲットとしてはイエシロアリを選び、効率的な水素発生条件について検討を行っているが、以下、これまでに得られた成果の一部を紹介したい。

シロアリによる水素発生を効率よく進行させるための方策としては、①原料であるグルコース、すなわちセルロースを多く摂食させる、及び②メタン菌や酢酸菌による水素の消費を押さえる、の2つの方向が考えられる。我々は、まず①についてどのようなタイプの餌の場合にシロアリが最も大量の水素を発生するかについて実験を行った。餌として、木粉、繊維状セルロース、微結晶セルロース、カロボキシメチルセルロース (CMC)、セロビオース及びグルコースをえらび、2日間絶食させたイエシロアリ職蟻に摂食させて、その水素発生率を測定した。なお、測定には半導体センサーを検出部に用いた水素用ガスアナライザーを用いた<sup>19)</sup>。

表2に結果をまとめて示すが、網掛けをした部分、繊維状セルロースを7日間以上摂食させた場合に、実験前の値を上回る最大2倍の水素発生率が得られた。このことは、餌を適切に選択することにより、シロアリによる水素発生量を増加させることができることを示唆している。また、セロビオースやグルコースといった低分子量の糖では、水素発生量は絶食後の水準にとどまったままであり、これらの物質がシロアリ消化管内で水素生成に関与する微生物にとって利用できないものであることが明らかとなった。

表2：各種セルロース系物質で飼育したイエシロアリ職蟻の水素発生率<sup>19)</sup>。

餌	水素発生率 (職蟻 1 頭 1 時間あたりの nmol 数)							
	絶食前	絶食後	1 日後	3 日後	5 日後	7 日後	14 日後	21 日後
木粉	1.72	0.15	0.41	0.66	0.77	0.73	1.30	1.01
繊維状セルロース	1.72	0.15	0.43	0.56	1.60	2.64	3.46	2.79
微結晶セルロース	1.72	0.15	0.25	0.66	1.09	1.41	1.95	0.85
CMC	1.72	0.15	0.33	0.15	0.42	0.51	0.56	0.65
セロビオース	1.72	0.15	0.20	0.12	0.15	0.15	0.18	0.10
グルコース	1.72	0.15	0.10	0.15	0.20	0.21	0.19	0.11

次に、②の方向について、メタン菌及び酢酸菌の活性を抑制する方法として、濾紙を各種抗生物質で処理しシロアリに取り込ませた場合の、水素発生量の変化を追って見た。表3にその結果をまとめて示すが、実験前と比較して2倍以上の発生率を示した場合を網掛けで表示してある。

5種の抗生物質の中では、ペニシリンの効果が最も早く発現し、1日後には実験前の4倍以上、職蟻1頭1時間あたり最大17.62nmolの水素を発生した。この発生率は100万頭のコロニーが1日で約10リットルの水素を発生することを意味している。では、この最大発生率はグルコースからの変換効率としてどの程度の値になるのだろうか。1日職蟻1頭あたりの濾紙の摂食量を最大0.1ミリグラムと仮定すると<sup>20)</sup>、100万頭のコロニーでは100グラムになり、最大水素発生量は約25リットルとなり、変換効率は40%と計算することができる。この値がシロアリとして限界なのか、あるいはもう少し効率を上げることができるのかどうか、現在他の抗生物質等を用いた検討を引き続き実施しているとこ

ろであり、最終的には、バイオマス廃棄物の総合的な再利用システムの一部に組み込むことを目指している。

表3：各種抗生物質を取り込ませたイエシロアリ職蟻の水素発生率<sup>19)</sup>。

抗生物質	水素発生率（職蟻1頭1時間あたりのnmol数）				
	実験前	1日後	3日後	5日後	11日後
無処理	4.05	3.73	4.78	7.70	6.40
ペニシリン	4.05	17.62	16.89	12.15	9.68
カナマイシン	4.05	5.18	16.48	14.01	9.36
ストレプトマイシン	4.05	3.73	12.11	13.53	10.94
クロラムフェニコール	4.05	9.48	14.34	14.09	9.72
テトラサイクリン	4.05	7.41	17.29	12.64	10.89

#### 4. まとめ

以上、シロアリというちっぽけな害虫をめぐる「生存圏科学」について、筆者らの研究成果の一端とともに紹介してきた。これらの研究成果が、化石資源依存型社会から脱却し、太陽エネルギーに基盤をおいた真の持続的・再生的資源社会を支えるための技術開発に生かされることを切に願っている。

なお、本稿で紹介した研究成果は、日本学術振興会科学科学研究費「木材劣化生物を用いた保存処理木材のバイオプロセッシングと新規エネルギーの創成」（基盤A：代表吉村 剛）による補助金によって得られたものである。

#### 参考文献

- 1) Kambhampati, S. and Eggleton, P., Taxonomy and physiology of termites, *Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology* (Abe, T., D. E. Bignell and M. Higashi eds), Kluwer Academic Publishers, 1-23, 2000.
- 2) 角田邦夫, 吉村 剛編, シロアリ防除に役立つ豆知識, (社)日本木材保存協会・西日本事業推進本部, 14-15, 2003.
- 3) Creffield, J. W. and M. Lenz, オーストラリアにおけるシロアリ制御の現状 1. 蟻害の程度, 被害の探知, 規格および木材・木質材料の保存処理, *しろあり*, No. 138, 31-33, 2004.
- 4) Yusuf, S., インドネシアにおけるシロアリ制御の現状, *しろあり*, No. 138, 22-24, 2004.
- 5) Lee, C.-Y., 半島マレーシアにおけるシロアリ制御の現状, *しろあり*, No. 138, 25-28, 2004.
- 6) Eggleton, P., Global patterns of termite diversity, *Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology* (Abe, T., D. E. Bignell and M. Higashi eds), Kluwer Academic Publishers, 25-51, 2000.
- 7) 角田邦夫, 吉村 剛編, シロアリ防除に役立つ豆知識, (社)日本木材保存協会・西日本事業推進本部, 2-3, 2003.
- 8) Thone, B. L., Grimaldi, D. A. and Krishna, K., Early fossil history of the termites, *Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology* (Abe, T., D. E. Bignell and M. Higashi eds), Kluwer Academic Publishers, 77-93, 2000.
- 9) 所 雅彦, サバンナのシロアリは植林木がお好き, *住まいとシロアリ* (今村祐嗣、角田邦夫、吉村 剛編), 海青社, 115-126, 2000.
- 10) 陀安一郎, 熱帯の生態系とシロアリの役割, *住まいとシロアリ* (今村祐嗣、角田邦夫、吉村 剛編), 海青社, 103-113, 2000.



- 11) 安倍琢哉, シロアリの生態－熱帯の生態学入門－, 東京大学出版会, 1989.
- 12) 森本 桂, シロアリの生態と被害, しろあり及び腐朽防除施工の基礎知識, (社) 日本しろあり対策協会, 11-37, 2005.
- 13) Perfit, M., Powering the future, National Geographic, August 2005.
- 14) Inoue, T., Kitade, O., Yoshimura, T. and Yamaoka, I., Symbiotic association with protists, Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology (Abe, T., D. E. Bignell and M. Higashi eds), Kluwer Academic Publishers, 275-288, 2000.
- 15) Breznak, J. A., Ecology of prokaryotic microbes in the guts of wood- and litter-feeding termites, Termites: Evolution, Sociality, Symbiosis, Ecology (Abe, T., D. E. Bignell and M. Higashi eds), Kluwer Academic Publishers, 209-231, 2000.
- 16) 文部科学省科学技術政策研究所 科学技術動向研究センター編著, 図解水素エネルギー最前線, 工業調査会, 269pp, 2003.
- 17) Sugimoto, A., Inoue, T., Tayasu, I., Miller, L., Takeichi, S. and Abe, T., Methane and hydrogen productions in termite-symbiont system, *Ecol. Res.*, 13, 241-257, 1988.
- 18) Miura, M., Yanase, Y., Fujii, Y., Okumura, S., Yoshimura, T., Imamura, Y., Maekawa, T. and Suzuki, K., Detection of hydrogen and methane from the feeding activity of termites using a gas analyzer, *Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Wood Science Symposium*, Sept. 17-19, 2004, Kyoto, 151-156.
- 19) Kawaguchi, S., Yoshimura, T., Imamura, Y., Miura, N., Yanase, Y., Fujii, Y., Okumura, S. and Suzuki, K., Energy gas production from wood biomasses by termites -A preliminary result-, *Proceedings of the 6<sup>th</sup> International Wood Science Symposium*, Aug. 29-31, 2005, Bali, 198-203.
- 20) Yoshimura, T., Tsunoda, K. and Takahashi, M., Cellulose metabolism of the symbiotic protozoa in termite, *Coptotermes formosanus* Shiraki (Isoptera: Rhinotermitidae) IV. Seasonal changes of the protozoan fauna and its relation to wood-attacking activity, *Mokuzai Gakkaishi*, 40, 853-859, 1994.