



TITLE:

<総説>地球生態系とシロアリ・木材保存

AUTHOR(S):

角田, 邦夫

CITATION:

角田, 邦夫. <総説>地球生態系とシロアリ・木材保存. 木材研究・資料
1998, 34: 22-29

ISSUE DATE:

1998-12-01

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/51407>

RIGHT:

地球生態系とシロアリ・木材保存*

角 田 邦 夫**

Global ecosystem and termites/wood preservation

Kunio TSUNODA

(平成10年9月16日受理)

1. はじめに

WWF(World Wide Fund For Nature)とSIPC(Shell International Petroleum Company Limited)が協力して開始された“Tree Plantation Review”と題する調査の結果報告が、一連の冊子にまとめられている。その1つにStudy No.3“Industrial Wood(IW)”があり、IWを製材から種々の木質系材料の原料や紙・パルプ製造原料として利用される全ての木材と定義し、薪炭材と対をなすものとして位置付けている。Study No.3¹⁾の要約の中から、幾つかの興味ある点を拾ってみよう¹⁾。

- a) 地球規模での森林面積は約40億 ha であり、全地表面積の30%に相当する。現実的な商業林は約22億 ha であるとされ、開発国と開発途上国とにほぼ均等に分布している。
- b) 植林面積は約1億 ha であり、商業林の5%にも満たない。
- c) 木材(IW)の年間生産量は17億 m³であり、丸太として収穫された全量の48%に過ぎない。残りは薪炭材として消費される。
- d) 森林資源の分布状態とは異なり、木材(用材)生産は北半球温帯域の開発国[北アメリカ、CIS(旧ソビエト)、ヨーロッパなど]に集中し、全生産量の約80%を占める。
- e) 開発国人口の世界人口に占める割合は約25%であるにもかかわらず、全木材(用材)供給量の約75%を消費する。
- f) 未利用森林面積が大きく、生長量と伐採量との関係からは将来的な需要拡大に対応できるように思えるが、経済的見地を加味すれば単純には結論を導けない。
- g) 将来的木材需要は増加するが、その割合は緩慢で比較的安定すると予測される。主要供給源は、北半球の温帯域に存在する天然林であり、不足分を人工林に依存する。
- h) 人工林の約25%を占める早生樹林が今後増大する。これは、森林経営として採算が合うと考えられるからである。マツ及びユーカリが主要樹種である。
- i) 中華人民共和国とCIS(旧ソビエト)での新規植林が多く、世界全体では年間700万 ha 前後である。これらは、林産学研究に携わる者の基本的知識として銘記しておきたいものである。人工林からの生産

* 第53回木研公開講座(平成10年5月22日、宇治)において講演。

** 劣化制御分野(Laboratory of Deterioration Control)

Keywords: Global ecosystem, Global warming, Termites, Wood Preservation, Environmental impact, Life cycle assessment

は収穫であり、天然林からのそれは採集である。いずれにせよ、計画的な伐採と合理的な経営が森林資源の恒続的生産を可能にすると理解しておくべきである。

森林資源の用途に想像を絶するような変化がない限り、上述のように、供給される資源の質的变化はあるものの、将来的に枯渇する事態には至らないと楽観的に構えていいのだろうか？植林が旺盛に実施されている反面、過去の土地利用は林地は農耕地へと転換され、林地面積は減少してきたことを物語っている²⁾。森林資源の分布と利用地域との不一致、熱帯地域での天然林の過伐、早生樹植林の増加などを考慮すれば、森林資源をいかに有効に利用するかは重要な研究課題であると言わざるを得ない。

本報では、防除の対象となるシロアリ、地球生態系とシロアリ及び地球生態系の保全に果たす木材保存の役割について概説する。

2. 害虫としてのシロアリ

地球上に出現、生存してきた歴史からすれば、シロアリにとっては人類が侵入者なのであろう。人類が居を構え、材料や道具を製造するようになると、人類にとってはシロアリが害敵となってしまった。シロアリによる被害は、セルロース系材料からなる建造物や家具、樹木（特に、植林されたユーカリやゴムノキなど）はもちろんのこと農作物（サトウキビ、コーヒーなど）にまで及ぶ。これまでに記載されている2,000種以上のシロアリの内、5%前後が食材性とされている^{3,4)}。全地球表面の3分の2にシロアリは生息し、熱帯地域での分布密度が高く、食害行動が旺盛である。シロアリによる被害額あるいは予防／駆除処理に要する費用を算定することは困難であるが、アメリカ合衆国の例ではデータは少々古いながらも年間1億から35億ドルを被害箇所の修理や薬剤処理に費やしている⁵⁾。発見されない被害や被害が放置されている場合を含めると、膨大な経済的損失になることはまちがいない、火災による被害額と同程度になるとも言われている。したがって、シロアリ防除には懸命の努力をしてきたわけである。

建造物のシロアリ防除は、建造前の予防と被害が発生してから実施する駆除・予防がある。建造前の予防処理には、シロアリが摂食する物質の敷地内（特に床下部分）からの除去と床下の乾燥、また、木部及び土壌の薬剤処理が含まれる。建造後にシロアリ被害が発生すれば、被害箇所の交換、薬剤による駆除（予防も兼ねる）処理などを行うのが普通である。このように、従来のシロアリ防除は薬剤に依存していた。最近になって、薬剤による環境汚染など様々な弊害が顕在化するようになった。有機塩素系防蟻剤使用禁止後の代替薬剤の効力持続性が低いこと、製材に利用される溶剤に起因するVOCの揮散や空気中の微量物質などによる健康障害などが報告されるようになった。クロルデンに代表される有機塩素系、有機リン系、カーバメート系、合成ピレスロイド系など多種多様な化合物が防蟻剤として登場してきて、より低毒性の薬剤へと代わってきた。しかしながら、環境への負荷や人間への影響を配慮し、薬剤に依存してきた防蟻の概念の変換が求められている。

新規防蟻法として可能性のあるものとして、次の3つが考えられる。

- 1) バイトシステム (bait system)：一般に、シロアリ社会はエサを採集できる個体と採集できない個体で構成されており、食物交換が行われている。そこで、シロアリ自身が感知するのが困難な化学物質をエサと共に摂食させれば、摂食個体からコロニーの構成員すべてに化学物質が行き渡ることが期待できる。被害現場のシロアリの活動範囲内に化学物質を含んだエサ（バイトステーション）を設置し、少量の化学物質によってコロニーの根絶や被害箇所の駆除を図るものである。利用する化学物質は、遅効性であることが望ましく、生理作用阻害剤や昆虫生長制御剤などが実用の可能性を示唆されている⁶⁾。利用する化学物質量が少なくすむことや他生物への影響が少ないことを利点として挙げることができる一方、シロアリ活動のモニタリングによってバイトステーションの設置場所をきめる必要のあることや処理の完遂までに数カ月以上を要する⁷⁻⁹⁾ことを忘れてはならない。効果の発現はシロアリの生態に左右されるため、シロアリの種類別にバイトシステムの適用性を検

討する必要がある。

- 2) フィジカルバリア (physical barrier) : 物理的防除法として、碎石を利用する方法¹⁰⁻¹³⁾とステンレススチール網を利用する方法¹⁴⁻¹⁶⁾が考案されている。後者の場合には、シロアリの侵入を阻止するサイズ (0.66×0.45mm) の網目を有する腐食しにくい高品質のステンレススチール製網をシロアリの進入路に敷設することによって食害対象物を保護することができる。碎石による方法は、玄武岩あるいは花崗岩から作った一定サイズの碎石を用いる。碎石のサイズは、シロアリが碎石間のスペースを自由に通過できる程大きくなく、かつ、シロアリが運搬できる程小さく (軽く) ない範囲でなければならない。したがって、シロアリの種類によって侵入を阻止できる碎石サイズは異なる。ここに紹介した2つの防蟻方法は、オーストラリアではすでに規格化¹⁷⁾されている。原理的には、日本産地下シロアリであるイエシロアリやヤマトシロアリにも適用可能であり、日本の建築工法に応じた設置方法を検討すべきである。
- 3) バイオロジカルコントロール (biological control) : 生物的防除は、物理的防除と同様にまったく化学物質を使用しない手段である。アメリカ合衆国では、昆虫寄生菌の1種である *Metarhizium anisopliae* を利用して、シロアリコロニーの構成員を死に至らしめる方法が環境庁に登録されている。したがって、処理効果は如何にしてシロアリを昆虫寄生菌に感染させ、感染個体の死亡前に如何に効率よく二次感染を引き起こすことができるかにかかっている¹⁸⁾。日本ではまだ実用されてはいないが、将来的には検討に値する安全な手段であろう。

これらのシロアリ防除方法は、“化学物質離れ”を実現できるばかりでなく、環境負荷の軽減に貢献しながら、防蟻目的を達成できる点は高く評価される。一方、処理そのものが熟練された者によって実施されなければ想定する効果が得られないと思われることや、処理の確実性 (信頼性) に問題はないだろうか? などが懸念される。将来的には、床下環境の住宅木質部材の劣化に及ぼす影響^{19,20)}と、防蟻における住宅のメンテナンスの重要性の認識に基づいて、住居の維持管理の一環として防蟻が組み込まれ、様々な防蟻手法を駆使することになると予想される²¹⁻²³⁾。さらに、世界的に見れば、地域によって防除の対象になるシロアリ属あるいは種が異なることから²³⁾、各シロアリの生態や生理などに関する基礎的研究は不可欠である。

さて、樹木や農作物へのシロアリによる食害の対策が厄介である。日本では、立木の被害例はさほど多くないが、熱帯地域では移入種が食害の対象になることが報告されている²⁵⁻²⁷⁾。植林されたゴムノキやユーカリなどがシロアリに食害され、経済的に大打撃を被ることが珍しくない。カナダのトロントのような寒冷地であっても、街路樹や公園に植えられた樹木がシロアリに攻撃されたことが知られている²⁸⁾。食害を受けた樹木の駆除処理は、関与する巣の存在場所などを配慮して行って初めて成功するが、植林された苗木をシロアリの攻撃から保護することは困難である。薬剤処理をユーカリの苗木の保護に適用したが、期待した成果が得られなかったことが報告されている²⁹⁾。遺伝的形質の相違が耐蟻性に影響することは当然であろうが³⁰⁾、耐蟻性種を選別して高耐蟻性樹種を育種するには長年月を要する。

農作物のシロアリ被害も無視できない。被害の発生はシロアリの活動が旺盛な熱帯域に発生することが多く、サトウキビ、トウモロコシ、キャッサバ、落花生、コーヒーなどが食害される^{4,27)}。植林された苗木や農作物の保護は、対象面積が広い上に保護対象物を特定できないこともあって、薬剤施用は賢明な手段とは言いがたい。他生物への影響がほとんどないであろう前出のベイトシステムは、処理面積の大小に関係なく効果を発揮できる保護手段として一考の価値がある。

3. 地球生態系とシロアリ

前節ではシロアリを害虫として捉え防除方法を中心に論を進めてきたが、シロアリが地球生態系にとって重要な役割を担っていることを忘れてはならない。森林におけるシロアリは、リター類 (枯死木、

表1 シロアリによるメタン生成量（室内での測定）

出典	シロアリの種類	平均メタン生成量 (nmol/termite/hr)	
Zimmerman et al. (1982) ³³⁾	<i>Reticulitermes tibialis</i> Banks	1.107	
	<i>Gnathamitermes perplexus</i> Banks	1.034	
Rasmussen and Khalil (1983) ³⁴⁾	<i>Zootermopsis augusticollis</i> (Hagen)	2.344	
Zimmerman and Greenberg (1983) ³⁵⁾	<i>Zootermopsis augusticollis</i> (Hagen)	6.25 (20°C)	
		14.84 (25°C)	
	<i>Zootermopsis nevadensis</i> (Hagen)	20.31 (25°C)	
Messer and Lee (1989) ³⁶⁾	<i>Zootermopsis augusticollis</i> (Hagen)	10.3	
Sinzato et al. (1992) ³⁷⁾	<i>Neotermes koshunensis</i> (Shiraki)	2.24	
	<i>Nasutitermes takasagoensis</i> (Shiraki)	0.53	
	<i>Odontotermes formosanus</i> (Shiraki)	0.20	
	<i>Reticulitermes speratus</i> (Kolbe)	0.38	
	<i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki	0.50	
	Tsunoda et al. (1993) ³⁸⁾	<i>Coptotermes formosanus</i> Shiraki	0.418 (26°C)
			0.689 (30°C)

表2 シロアリによる温室効果気体の生成量 [Khalil ら(1990)から改変]

出典	メタン(10 ⁶ トン/年)		二酸化炭素(10 ⁶ トン/年)	
	推定値	範囲	推定値	範囲
Zimmerman et al. (1982) ³³⁾	150	75~300	50,000	25,000~75,000
Rasmussen & Khalil (1983) ³⁴⁾	50	10~90	—	—
Collins & Wood (1984) ³⁹⁾	15	<34	5,000	—
Seiler et al. (1984) ⁴⁰⁾	4	2~5	6,000	—
Fraser et al. (1986) ⁴¹⁾	14	6~42	—	—
Khalil et al. (1990) ⁴²⁾	12	2~20	4,000	2,000~12,000

落枝、落葉、倒木などと呼ばれる植物や小動物遺骸の分解を通して、森林土壌の肥沃化に役立っており、森林生産を促進している。反対に農作物にとっては、収穫後の残渣がシロアリに食害されれば、土壌の肥沃さが低下してしまう。サバンナや熱帯雨林でのシロアリ現存量³¹⁾からすればシロアリによる土壌改変が如何に重要であるかが認識できよう。シロアリと地球生態系との関係と言えば、このような事柄が記されることがほとんどであったが、地球温暖化が顕在化するにつれて、シロアリによるメタンの放出が取り沙汰されるようになった。

シロアリが、総体的に炭素や水素を多量に含有する木材などのリグノセルロース物質を食料として利用する場合、過剰に摂取した炭素と水素をメタン(CH₄)として体外に排出しなければ生理機能を維持することができない。メタンは種々の物質の微生物分解、バイオマスの燃焼、反趨動物の腸内発酵やシロアリによる生成などによって大気中に放出される。シロアリなどのような生物によるメタン生成は、メタン生成細菌の関与があって初めて可能であるとされる。シロアリ消化管内に古細菌であるメタン生成細菌³²⁾の存在が確認されている。日本産イエシロアリの後腸内原生動物の1種に寄生するメタン生成細菌が蛍光顕微鏡下で観察されている。室内条件下でイエシロアリ職蟻のメタン生成量を測定したところ、供試個体数、試験容器寸法、飼育温・湿度、飼育時間、飼育期間中の食物などによって異なるが、飼育

初期に最大値を示し、検出されたメタン量は、0.25~0.76nmol/termite/hrであった。シロアリの種類によってもメタン生成量は異なり(表1参照)、温湿度や雨量の季節的変動に伴うメタン生成量の変化も無視できない。シロアリによる年間メタン生成量の算出には、世界のシロアリ生存数の推定と各種シロアリのメタン生成量測定値を合わせて考えなければならないため、誤差が大きく信頼性に欠けることは否めない。これまでに提出された推定値は表2に示したように、地球全体の年間メタン生成量の0.3~12.5%に相当する。

メタンの大気中濃度は1.7ppmで、大気中に約40~50億トン存在しているとされ、新たに大気中に放出される年間約12億トンが地球の温暖化を助長しており、年間約0.015ppmずつ大気中濃度が上昇している。二酸化炭素と比較すると量的には少なく、半減期は10年と短いものの温室効果は約20倍高いためにその温暖化への影響は無視できないものである⁴³⁾。一方、視点を変えてみれば、メタンは天然ガスの構成成分であり、エネルギー源として利用可能であるところから、メタン生成細菌を利用したメタン製造工場の建設を夢見る科学者や技術者がいてもおかしくはない。やはり、夢物語に終わってしまうのだろうか？

シロアリは共生関係を研究する者にとって格好の対象であった。共生がもたらす利点に関しては必ずしも全てが理解されているわけではないが、シロアリの木材分解能と関与する酵素系などに関する知見は確実に増大している。シロアリ自身がセルラーゼを分泌できたとしても腸内共生動物の助けがなければ栄養源として活用できないことや⁴⁴⁾、腸内に原生動物を保有している下等シロアリでは、特定の原生動物にメタン生成細菌が寄生していることなどは興味ある事実である。二者間だけでなく複雑な共生関係が示唆されているようで、今後の研究成果が待たれるところである。

4. 地球生態系と木材保存

地球環境に係わる深刻な問題の1つは、環境汚染の軽減及び温暖化とも関連する化石燃料の代替エネルギーの確保が挙げられる。化石燃料の供給が永遠に続くことはありえないことから、環境にとって安全なエネルギー生産技術の開発が、将来にわたって現在の生活水準を維持していく上には緊要である。地球生態系保全のために木材保存が果たす役割に関して検討したい。

保存処理木材や木質材料は長期間の実用が可能であることから、多量の森林資源の節約に直結するとの考えが古くから存在し、データを集めて解析した事例がアメリカ合衆国で報告されている⁴⁵⁾。その報告の中で次のように言及されている。1910年にアメリカ木材保存協会が林野庁と協力してまとめたところによると、1909年には64の保存処理工場から7,550万ft³(=約214万m³)の保存処理木材が生産されていたが、アメリカ合衆国全土に敷設された約8億本のマクラ木の内わずかに3%が保存処理されていたに過ぎなかった。そのため、毎年304本/マイル(=190本/km)の割合で交換され、7,900万本以上のマクラ木を必要とした。1963年には、鉄道路線距離が32万5千マイル(=52万km)に達したが、1950年代に保存処理マクラ木が定着して以来、交換率は83本/マイル(=約52本/km)になり、年間7,182万5千本のマクラ木が節約でき、その量は26億ボードフィート(=614万m³)に相当すると述べられている。

日本での年間の保存処理木材生産量(50万m³)、耐用年数(50年、無処理は10年)、製品歩留り(50%)、森林蓄積量(100m³/ha)、単位森林面積当りの二酸化炭素吸収量(6.0ton/ha)などを仮定し、環境コストをゼロとして森林資源の節約量を算出すると50年毎に200万m³(森林面積4万haに相当)になり、24万tonもの二酸化炭素を吸収できる面積に匹敵する⁴⁶⁾。同様に、世界全体での森林資源節約量を算出すると、日本の場合の50倍以上に達するであろう⁴⁷⁾。

環境コストがどれ位必要かは、薬剤の種類や処理工場の設備とも密接に関係するため一概には言えない。木材保存が薬剤に依存する以上、処理製品の製造から廃棄に至るあらゆる過程において土壌、水質、大気汚染の可能性は否定できないが、その程度は悲観する程深刻ではなく、人類の英知によって克服で

きるレベルであると考えられている。木材保存産業に起因する環境汚染とその制御への関心は世界的に増大しており、国際シンポジウムや会議などでしばしば論議されている。今後も検討すべき事項を列記してみると、(1) 環境負荷が少なく安全な木材保存薬剤の開発、(2) 処理木材からの薬剤の溶脱防止・木材中での薬剤固着の増進、(3) 排出物を可能な限り少量にするための保存処理方法の開発、(4) 環境汚染防止のための処理工場及び廃棄物の管理、(5) 化学修飾による保存処理、(6) 木質材料及び木質系複合材料の保存処理技術、(7) 廃棄保存処理木材製品の回収・再利用・再生利用及び処理、(9) ライフサイクルアセスメント (LCA) による木材及び保存処理木材と他材料との比較などである。

地球気象モデルや過去の気温と大気中の温室効果気体に関する研究から、地球の温暖化がさらに温室効果気体の大気中濃度の上昇を助長することが知られている⁴⁸⁾。林地の再生や植林は二酸化炭素の大気中濃度を下げることに貢献できるが、それは樹木が生長し続ける期間に限定される。木材が今なお世界の広範囲で燃料源として利用されている事実からすれば、何らかのエネルギー革命がなければ、木材が他材料に取って代わられる可能性は極めて低く、将来的には、早生樹林を拡大して世界での木材の需給バランスを保つことになるのであろう⁴⁹⁾。すでに述べたように、人工林面積は収穫可能な森林面積のわずか5%にも満たないことから、森林資源供給潜在力は高いと捉えがちであるが、それほど楽観視できるものではない⁵⁰⁾。したがって、林地生産を恒続的なものにするために森林資源から得られた林産物を可能な限り長期間利用することが求められ、環境負荷の少ない保存処理が必要である。

二酸化炭素の年間放出量は7～9 bmt、その内訳は化石燃料の消費によって5.6bmt、森林の伐採によって1.5～3.0bmtと推定されている⁴⁸⁾。大気中の二酸化炭素濃度の上昇は、急速な工業化と人口増加によると一般に考えられている。したがって、化石燃料消費の大幅な削減、森林の伐採停止、森林再生・植林の推進などが現実のものにならなければ、地球温暖化防止は達成されない。木材保存産業が林産業の一部であり、林産業は林業に支えられているとの認識に立てば、今一度森林の役割を熟慮し、木材保存の地球生態系保全への貢献を評価すべき時機であろう。植林や再生を包含した恒続的森林経営から生産される森林資源に、要求される耐用年数を付与した製品を有効に使用することが肝要である。林木からの製品の生産、製品の実用、実用後の処理（再使用や廃棄など）などの全過程に係わる環境コストを軽減するために、上述の課題に関する研究の発展が望まれる。

石油のように特定の国あるいは地域にその存在が偏れば、1970年代初めの石油危機がいつ再現されるかも知れない。全ての国々が共有できる資源から代替エネルギーを獲得する技術が確立されることを願って止まない。太陽や風など自然の恩恵を利用したエネルギー生産の進展は期待できようが、水から作る水素エネルギー技術の確立^{50,51)}が待たれるところである。

5. おわりに

原料/材料及びエネルギー源としての森林資源への人々の関心は著しく増大している。それは、森林資源が更新可能 (renewable) で恒続的供給が可能 (sustainable) な資源であり、再使用可能 (reusable)、再生利用可能 (recyclable)、かつ生分解性 (biodegradable) の原料/材料であることと無縁ではない。環境汚染や温暖化などが人類の活動（工業化や人口増加）に原因があり、問題解決の光明が見出せないなら、世界各地に偏在する資源をいかに有効に利用するかを苦心せざるをえない。人口増加の抑制や資源の保全は一国の問題に止まらず、ある地域あるいは世界全体の問題として対処しなければならない時機にきている。先進国が国際・世界規準に沿って模範を示し、開発途上国が同様のことを成就できるように支援することが求められている。種々の製品に関する規格の国際化が進行する中、保存処理木材に関してもいずれは統一規格が定められるであろう。

環境負荷の少ない処理法で生産される保存処理木材が、安全な長期耐用を保証するならば、木材保存が森林伐採量を減少させ、森林資源ひいては地球生態系の保全に貢献することが正しく認識される時の

到来はそう遠いことではないと信じたい。

引用文献

- 1) M. D. BAZETT : Tree Plantation Review Study No. 3 Industrial Wood, Shell/WWF, 112pp. (1993)
- 2) J. F. RICHARDS : Land transformation [In] The earth transformed by human action Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years (ed. by B. L. Turner II and others), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, 163-178 (1990)
- 3) T. G. WOOD and R. A. JOHNSON : The biology, physiology and ecology of termites [In] Economic impact and control of social insects (ed. by S. B. Vinson), Praeger, New York, 1-68 (1986)
- 4) M. J. PEARCE : Termites Biology and pest management, CAB International, Oxon, UK, 172pp. (1997)
- 5) R. H. BEAL, J. K. MAULDIN and S. C. JONES : Home and Garden Bulletin, USDA Forest Service, Washington, D. C., USA, 36pp. (1983)
- 6) J. BALLARD : *Pest Control* February 1997, 30-31, 34, 36 (1997)
- 7) N. -Y. SU : *Down to earth* **50** (1), 8-17 (1995)
- 8) J. J. DEMARK, E. P. BENSON, P. A. ZUNGOLI and B. M. KARD : *ibid*, 20-26 (1995)
- 9) D. M. CHAMBERS and E. P. BENSON : *ibid*, 27-31 (1995)
- 10) M. TAMASHIRO, J. R. YATES and R. YAMAMOTO : *Hawaii Architect* December 1987, 12-14, 40 (1987)
- 11) N. -Y. SU, R. H. SCHEFFRAHN and P. M. BAN : *J. Econ. Entomol.* , **84** (3), 912-916 (1991)
- 12) D. M. EWART and J. R. J. FRENCH : The Int. Res. Group on Wood Preserv. Document No. IRG/WP 95-10114, 6pp. (1995)
- 13) B. AHMED and J. R. J. FRENCH : *ibid*, IRG/WP 95-10118, 7pp. (1995)
- 14) M. LENZ and S. RUNKO : IRG/WP 93-10014, 10pp. (1993)
- 15) M. LENZ and S. RUNKO : *Sociobiology* **24** (1), 1-16 (1994)
- 16) B. KARD : *Pest Control* February 1998, 54-55 (1998)
- 17) Standards Australia : Australian Standard AS 3660 Part 1, 57pp. (1995)
- 18) A. RATH : *Pest Control* February 1995, 42-43 (1995)
- 19) 建設省住宅局住宅生産課監修, 日本住宅・木材技術センター編: 木造住宅3 - 耐久性向上の手引, 丸善, 110pp. (1982)
- 20) 雨宮昭二: しろあり No. 104, 3-12 (1997)
- 21) J. R. J. FRENCH : *Sociobiology* **24** (1), 77-91 (1994)
- 22) 鈴木憲太郎: 日本の科学者 **32** (5), 259-263 (1997)
- 23) 吉村 剛: 木材工業 **53** (3), 109-114 (1998)
- 24) 吉村 剛: 木材保存 **21** (1), 23-27 (1995)
- 25) P. Y. LAI, M. TAMASHIRO, J. R. YATES, N. -Y. SU, J. K. FUJII and R. H. EBESU : Proc. Hawaiian Entomological Society **24**, 283-286 (1983)
- 26) Anonymous : Termite Times No. 2, 3-4 (1993)
- 27) T. G. WOOD and M. J. PEARCE : *Sociobiology* **19** (1), 221-234 (1991)
- 28) P. A. COOPER and J. K. Grace : *J. Entomol. Sci.* **22** (4), 353-354 (1987)
- 29) R. MAZODEZ : *Suid-Afrikaanse Bosboutydskrif* No. **62**, 21-25 (1992)
- 30) P. R. ATKINSON, K. M. NIXON and M. J. P. SHAW : *Forest Ecology and Management* **48**, 15-30 (1992)
- 31) 安部琢哉: シロアリの生態, 東京大学出版会, 東京, 156pp. (1989)
- 32) 古賀洋介: 古細菌, 東京大学出版会, 東京, 149pp. (1988)
- 33) P. R. ZIMMERMAN et al. : *Science* **218**, 563-565 (1982)
- 34) R. A. RASMUSSEN and M. A. K. KHALIL : *Nature* **301**, 700-702 (1983)
- 35) P. R. ZIMMERMAN and J. P. GREENBERG : *Nature* **302**, 354-355 (1983)
- 36) A. C. MESSEAR and M. J. LEE : *Microb. Ecol.* **18**, 275-284 (1989)
- 37) N. SHINZATO et al. : Proc. 5th Int. Colloquium on Endocytobiology and Symbiosis (ed. by S. Saito et al.), Tubingen Univ. Press. , 161-166 (1992)
- 38) K. TSUNODA et al. : *Wood Research* No. **79**, 34-40 (1993)
- 39) N. M. COLLINS and T. G. WOOD : *Science* **224**, 84-86 (1984)
- 40) W. SEILER et al. : *J. Atmos. Chem.* **1**, 171-186 (1984)

角田：地球生態系とシロアリ・木材保存

- 41) P. J. FRASER et al. : *ibid.* **4**, 295-310 (1986)
- 42) M. A. K. KHALIL et al. : *J. Geophys. Res.* **95**, 3619-3634 (1990)
- 43) (社) 環境情報科学センター編：図説環境科学，朝倉書店，東京，169pp. (1994)
- 44) 井上徹志，安部琢哉：化学と生物 **33** (7), 421-423 (1995)
- 45) J. N. ROCHE : *Proc. A WPA* **61**, 11~15 (1965)
- 46) 日本木材防腐工業組合環境対策委員会：木材保存と環境保全，11pp. (1992)
- 47) 日本木材保存協会木材保存基本問題検討会：木材保存の未来像を求めて，84pp. (1996)
- 48) R. A. HOUGHTON : [In] *Global climate change and life on earth* (ed. by R. L. Wyman), Chapman and Hall, New York, USA, 43-55 (1991)
- 49) W. R. J. SUTTON : *Proc. of the Conf. on The Globalization of Wood : Supply, Process, Products and Markets*, Nov. 1~3, 1993, Portland, USA, 21-28 (1993)
- 50) T. CASHMAN : *Whole Earth Review*, Spring 1995, 50-53 (1995)
- 51) M. A. PEAVEY : *Fuel from water* (6th ed.), Merit Inc., Louisville, Kentucky, 251pp. (1995)