

腐れとシロアリ食害から家を守る*

角田邦夫**

1. はじめに

日本の国土は南北に細長いため、動植物相が豊かで気候は変化に富んでいます。気候帯区分によれば北海道が冷帯、本州・四国・九州は温帯、沖縄を含む琉球諸島では年平均気温が 20℃を超え熱帯に位置しています^{*1}。北海道を除く地域には梅雨期があり、比較的明確な四季があります。理科年表¹⁾ から日本各地の月平均気温・相対湿度・降雨量を抜粋して示した表 1 を見てみると、一般的には相対湿度が高く、夏季は高温多湿で過ごしにくい地域が多いと言えます。

^{*1} 気候帯区分：緯度、気温、気温と降水量などを基準して気候帯が定められています。気温と降水量によって区分したドイツの気候学者ケッペンの気候区分が良く用いられているようです【気候帯：フリー百科事典ウィキペディア (Wikipedia)】。それによりますと、世界の気候帯は熱帯、温帯、冷帯(亜寒帯)、寒帯、乾燥帯の 5 区に分けられています。

わが国では、世界最古の木造建築である法隆寺、世界最大の木造建築と言われる東大寺に象徴されるように木材を建築にふんだんに使用してきました。山々に住宅材料に適した樹木が豊富にあったことが木材を建築材料として利用してきた大きな要因ですが、優れた木材の特質をわれわれの祖先が経験的に学び、活かす方法を知っていたことは間違いないでしょう。日本住宅を歴史的に見れば、原始・古代の竪穴式住居に続いて通気性に富む高床式住居が登場しました。歴史が進むにつれて様々な住居が出現しますが、建築(住宅)材料の主役は木材でした。構法的には、竪穴式住居にまで遡ることができる木造軸組構法が在来構法として定着しています²⁾。一方、第二次世界大戦後には海外の住宅構法も取り入れられるようになってきています。

1700 年以降の世界の森林面積の変化を表 2 に示しています。1700 年には 62.2 億 ha あった森林面積が 2000 年には 39.6 億 ha に減少し、反対に 1700 年には 2.65 億 ha であった農地面積が 1980 年には 15.01 億 ha に増加しています^{3,4)}。農地面積の増加は、人口の増加に伴って森林が伐採されて農地に転用されたことを物語っています(図 1、表 2)³⁾。

木材の材料としての正の特性(長所)をまとめてみますと、豊富な資源量に裏打ちされた①入手のし易さ、②鋸断、釘打ち、鉋削が容易で作業現場での加工に好適、③比強度(強度を比重で割った値)が高く、軽くて丈夫、④低い熱・電気伝導性、⑤周辺環境に応じて湿気を吸脱する調湿機能、⑥木理(木目)や色などの意匠性などが挙げられます。一般的な負の特性(短所)としては、(a)腐朽菌、変色菌、表面汚染菌(かび)、昆虫による生物劣化を受け易い、(b)含水率の変化に伴う寸法変化(膨張・収縮)、(c)易燃焼性が挙げられます^{5,6)}。材料としてのこれらの短所は、見方を変えれば利点と考えられる場合があります。例えば、(a)は森林での落枝・落葉の分解には不可欠であり、効率的な物質循環を担いますし、(b)は正の特性⑤の裏返しになりますが、居住空間の調湿には極めて有効と言えますし、(c)は薪として利用できることを意味しますから、電気や石炭が十分に供給されない開発途上国では今なお貴重なエネルギー源になります。世界の年間木材消費量の約半分に当たる 18 億 m³が燃料用として消費されています⁷⁾。

上述の通り、日本の住宅は昔から貴重な資源である木材を利用して建てられていますから、材料と

* 2008 年 4 月 2 日作成。第 4 回生存圏研究所公開講演会 (2007 年 10 月 20 日)における講演要旨に加筆・変更を行ったものである。

** 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: tsunoda@rish.kyoto-u.ac.jp

しての欠点を補う対策が講じられなければ長期耐用は困難です。地震国である日本では、住宅の耐震性は極めて重要であるため、幾度となく基準の強化が図られてきました⁸⁾。ここでは、短所として挙げた3点の内、(a)生物劣化で特に重要な腐れ(腐朽)とシロアリから住宅を保護する方法について言及します。

表1 日本各地の月別平均温湿度と降水量

項目	都市名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年*
気温 (℃)	札幌	-4.1	-3.5	0.1	6.7	12.1	16.3	20.5	22.0	17.6	11.3	4.6	-1.0	8.5
	仙台	1.5	1.7	4.5	10.1	14.9	18.3	22.1	24.1	20.4	14.8	9.1	4.3	12.1
	東京	5.8	6.1	8.9	14.4	18.7	21.8	25.4	27.1	23.5	18.2	13.0	8.4	15.9
	大阪	5.8	5.9	9.0	14.8	19.4	23.2	27.2	28.4	24.4	18.7	13.2	8.3	16.5
	宮崎	7.4	8.3	11.7	16.1	19.4	23.0	26.8	27.0	24.1	19.2	14.3	9.4	17.2
	那覇	16.6	16.6	18.6	21.3	23.8	26.6	28.5	28.2	27.2	24.9	21.7	18.4	22.7
相対湿度 (%)	札幌	71	70	67	63	67	74	77	77	73	69	67	70	70
	仙台	65	64	62	64	70	80	83	81	78	71	67	65	71
	東京	50	51	57	62	66	73	75	72	72	66	60	53	63
	大阪	61	60	59	60	62	69	70	67	68	66	64	62	64
	宮崎	63	67	69	73	71	83	80	83	80	78	74	76	75
	那覇	69	71	74	78	80	84	79	80	77	73	71	68	75
降雨量 (mm)	札幌	111	96	80	61	55	51	67	137	138	124	103	105	1128
	仙台	33	48	73	98	108	138	160	174	218	99	67	26	1242
	東京	49	60	115	130	128	165	162	155	209	163	93	40	1467
	大阪	44	59	100	121	140	201	155	99	175	109	66	38	1306
	宮崎	72	90	180	218	250	418	304	269	337	180	89	52	2457
	那覇	115	125	160	181	234	212	176	247	200	163	124	101	2037

* 温湿度は年平均、降雨量は年間降雨量

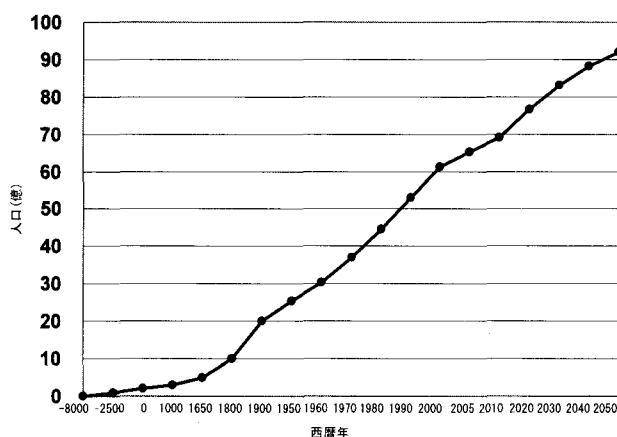


図1 世界人口の経時的変化

表2 世界の森林面積(x 10⁶ ha)の経時変化

西暦年	1700	1850	1920	1950	1980	1990	2000	2005
面積	6215	5965	5677	5389	5053	3968	3959	3952

2. 木材の耐久性

森林資源が潤沢で一部の裕福な階級だけが住居を構えることができた時代には、何百年間も風雪に耐えた耐久性が高い樹種を多量に使用することができました。高耐久性樹種から得られた木材は、

同じ樹種であれば、一般的には心材よりも辺材の耐久性が低く、様々な樹種の耐久性は心材に関して記されています。製材に関する日本農林規格の耐久性は、耐久性の有無による2段階に分けられています⁹⁾。例を挙げますと、耐久性ありD1:ヒノキ、ヒバ、ベイヒ、ベイヒバ、クリ、ケヤキ、ベイスギなど、耐久性なしD2:アカマツ、クロマツ、トドマツ、エゾマツ、ラジアタパイン、スプルース、ベイツガなどです。住宅金融公庫が監修した木造住宅工事仕様書には、公庫融資に関する基準項目と仕様項目が定められており、木造住宅の土台や地面から1 m以内の外壁の軸組(土台を除く)に使用される木材の防腐・防蟻措置として耐久性の高い樹種を無処理で使用することが認められています¹⁰⁾。耐久性樹種の中では植林量が多いヒノキが土台などに利用されています。しかしながら、産地別ヒノキの耐朽・耐蟻性に関する室内試験によれば、耐久性が低いベイツガやヒノキ辺材と比較すれば、ヒノキ心材の耐朽・耐蟻性は高いものの、保存処理をしなくても腐れやシロアリ食害が生じない程の耐久性を備えているとは言い難いようです¹¹⁾。土台の実用条件(土壌と接触せず、風雨の直接的影響が

ない環境)を模した鹿児島での野外実験では、市販のヒノキ土台から採取した寸法 10.5 cm 平方 x 50 cm 長の試験体 10 本を供したところ、試験開始 1 年目で 6 本に、4 年目には全数にシロアリ食害が発生しました。一方、腐れはシロアリ食害よりも遅れて生じ、5 年目に初めて確認できました¹²⁾。試験開始後 3 年経過時点での試験体の含水率は繊維飽和点を越えていましたので、腐れが発生する条件は揃っていたと考えられます¹²⁾。試験開始後 10 年が経過した時点で試験体を回収して調べた結果、辺材部だけでなく、図 2 に示すように心材部にもシロアリ食害が生じていました¹³⁾。同時に試験したヘムファー試験体へのシロアリ食害はさらに甚大であったことは言うまでもありません¹³⁾。

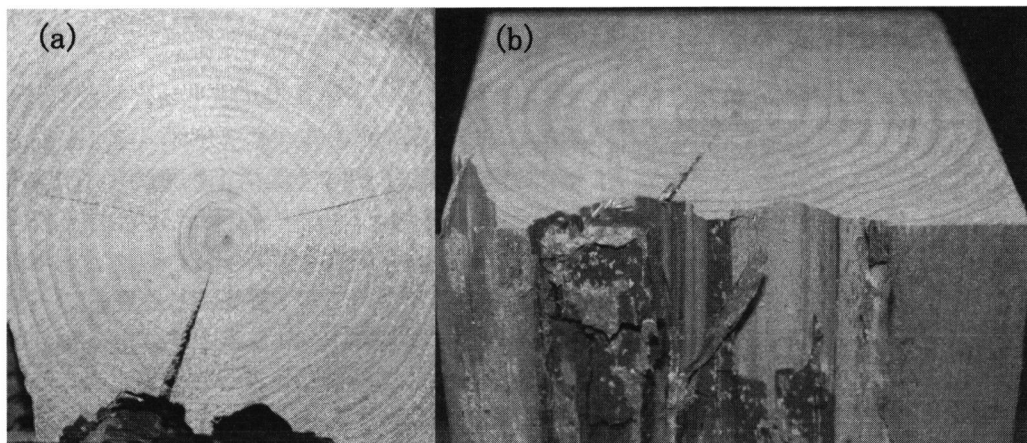


図 2 土台の実用条件模倣野外実験 10 年後のヒノキ試験体 [(a) : 木口面—心材部へもシロアリ食害が拡大, (b) : 左写真部を斜上方から撮影, 試験体設置時に下にした面へのシロアリ食害が激しい]

木材の耐久性評価はかなり以前に実施された試験結果に基づいており¹⁴⁾, 植林地から収穫された樹齢 50 年までの樹木から得られる木材には、必ずしも当てはまらないことを銘記しておくべきでしょう。

3. 腐れはどうして発生するか？

家を構成する木材の腐れには木材腐朽担子菌(白色腐朽菌には子のう菌に属するものがあります)が関与しています。木材腐朽担子菌は木材構成成分に対する分解力の違いを反映して、腐朽木材の色が異なることから褐色腐朽菌と白色腐朽菌に大別され、家の腐朽は主として前者によって引き起こされています。腐れが始まる時の腐朽菌は人間の肉眼では捉えることができない小さな寸法ですから、木材表面の色の変化や軟化が生じてから気がつくのが普通です。木材腐朽菌は産出した分解酵素の働きを利用して木材を分解しながら栄養源にしています。生育する条件として、栄養になる木材(セルロース系材料)があること、木材の含水率が約 30%以上であること(十分な水分があること)、酸素(空気)があること、温度が生育可能な範囲にあることが必須です¹⁵⁾。家を構成する木材が腐ることは、これらの条件が揃う環境にあることを意味します。通常の住環境では、木材の水分以外を制御するのは困難ですから、腐れの発生の予防には乾燥状態を保持しなければなりません。

4. どんなシロアリが家を加害するか？

シロアリに関する日本文献を辿りますと、現存する最古の文献は 9 世紀前半の「日本霊異記」であり、「仏像の首部分が蟻に噛み砕かれた」と記載されています。この「蟻」がシロアリであろうと考えられていますから、約 1200 年も前から被害を及ぼす虫として認知されていたようです¹⁶⁾。17 世紀末にシロアリを意味する「白蟻」の字句が使われるまでは、「羽蟻」、「飛蟻」、「波阿里」などと記されていました¹⁷⁾。

日本には 4 科に属する 21 種のシロアリが生息していますが、家の大敵は南部に分布が限定されて

いるイエシロアリと沖縄から北海道にまで生息しているヤマトシロアリの2種です¹⁸⁾。これら2種のシロアリは地下シロアリと呼ばれ、地下に蟻道を造って採餌行動をしますから人の目に触れる機会は多くありませんが、新たな群落を形成するために有翅虫が飛び出す際に、一般の方々が目にすることがあります。木材の摂食能力はヤマトシロアリよりイエシロアリが高いことが知られていますが、分布域と人口密度(住宅密集度)から推測すれば、経済的に最重要種はヤマトシロアリ、次いでイエシロアリと言えます¹⁸⁾。

5. 住宅工法の改善による腐れ、シロアリ被害低減の可能性

1950年代以降の日本住宅は、耐震性補強のためにコンクリート布基礎が広く受け容れられています。

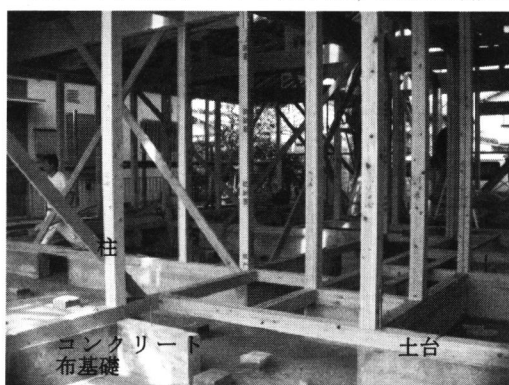


図3 建築中の日本家屋

近年では、床下空間を構成する木材(土台、床束、大引き、根太、床下地材など)の生物劣化を予防するために、床下部の土壌面をコンクリートで覆うことが一般的になっています(図3)。鉄筋を配さずにコンクリートを打設した「土間コンクリート」、布基礎と鉄筋によって一体化を図った「一体基礎」、布基礎と一体化はしていないものの鉄筋を配して補強した「べた基礎」の3つの方法があります。土間コンクリートは亀裂が生じる懸念があり(図4)、防蟻には他の手段を併用しなければなりません¹⁰⁾。一体基礎やべた基礎ではコンクリートに割れが生じ難く、防蟻性は高いと言えます。

さらに、省エネルギー化を達成するために高気密化が図られ、断熱材が使われるようになっていきます。床下土壌面へのコンクリート打設と共に床下の温湿度を住環境と同様にする効果があります。

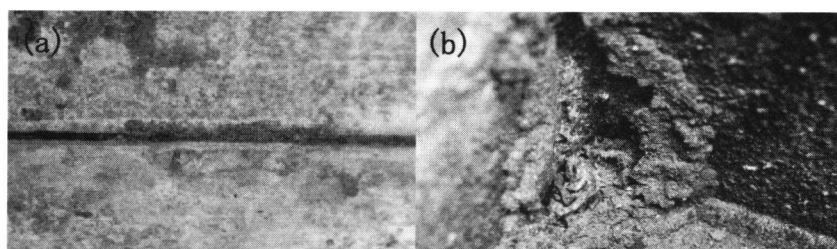


図4 土間コンクリートに生じた亀裂からのシロアリの侵入
〔(a)：土間コンクリート亀裂部の蟻土・蟻道、(b)：隅部からシロアリの侵入〕

住宅の断熱は居住空間を断熱材で囲ってしまうことであり、断熱構造にする部分は、屋根(天井)、外壁(基礎)、床などがあります¹⁰⁾。基礎断熱や床断熱を模した5年間の野外試験で現在上市されている種々の断熱材の耐蟻性を評価したところ、床や基礎に施用される断熱材の内、蟻道構築あるいは食害が皆無のものはありませんでした。さらに、基礎断熱工法の場合にはシロアリ侵入を誘発しかねないことが判明しました(図5)¹⁹⁾。特に、外断熱工法の場合には、外装仕上げと断熱材料との間や断熱材と布基礎との間に生じた隙間をシロアリが侵入路にしてしまう可能性を忘れてはならないでしょう。シロアリは彼らが通過できる隙間を探り当てる達人ですから油断は禁物です^{20,21)}。

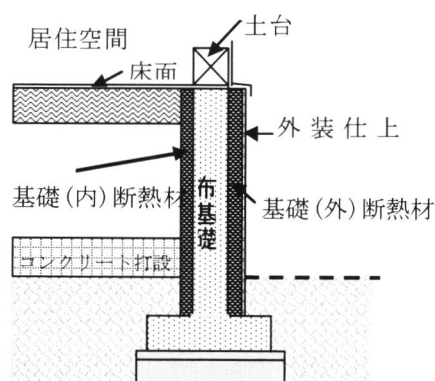


図5 基礎断熱工法

基礎断熱工法の場合には、基礎の内外に断熱材料を施用するのが最も効果的でしょうが、内か外の方であることが多いようです。いずれにしても、断熱材を地中に埋めることになりますから、シロアリが断熱材上を移動して家の木部材を加害したり、断熱材自体が地中を穿孔してくるシロアリの食害対象になる可能性があります¹⁰⁾。図6に鹿児島での野外試験で確認された断熱材のシロアリ食害の実例を示します。

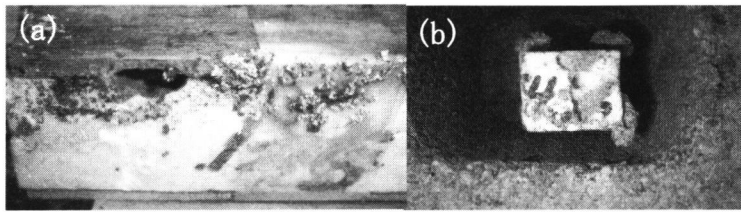


図6 野外試験開始1年後の発泡ポリスチレン断熱材に発生したシロアリ食害
[(a)：床断熱を模した試験, (b)：基礎断熱を模した試験]

6. 腐れとシロアリ食害を予防・制御する手段

腐れとシロアリから家を保護するためには、攻撃の対象になる木材に耐久性を付与するか、あるいは、腐れやシロアリ食害が発生し難い環境を作り出す必要があります。腐れに関しては、床下地面へのコンクリート打設、防湿シートの施用、断熱工法などによって床下環境が改善された結果、腐れが発生する程の木材含水率(約30%)になる可能性が低いことが示唆されています²²⁾。しかしながら、調査期間が「家」に期待される耐用年数に比べて短いため、早計に結論を出すことは危険であり、木部の防腐に注意しなければなりません。一方、シロアリの中でも家に甚大な被害を及ぼす地下シロアリ種は、腐れと同じように考えていると痛い目に遭いかねません。ヤマトシロアリはイエシロアリに比べると水分要求度が高く、相対湿度70%前後で摂食活動が高いことが実験的に確かめられていますが、通常の相対湿度範囲で摂食が停止することはありません²³⁾。しかしながら、床下環境から水分を除去する調湿によって、防蟻にも有効であると考えられています^{24, 25)}、完全に防蟻が達成できるわけではありません²⁶⁾。最近の床下地面のコンクリートによる被覆は、適正配合のコンクリートをミスなく施工できれば防蟻障壁として効果があります^{27, 28)}。ネコ土台工法は、床下換気を図る方法ですが、必ずしも防腐・防蟻を保障するものではないようです²⁸⁾。床下環境改善による防腐・防蟻は、結局、いかに水分(湿気)を管理できるかが成否の鍵を握っています。

薬剤に依存しない防蟻をさらに考えてみましょう。腐れなど微生物由来の劣化は水分管理で抑止できそうですから、防蟻の実効を上げるための努力目標に言及します。まず、敷地内からの木材等シロアリ食害対象物とシロアリに加害された物質を除去することによって、シロアリ密度が低くなる環境を作ることが重要です。山を切り開いて開発される新興住宅地の場合には、自分の家の真下にたまたまあった切り株にシロアリが巣を造営する可能性を想像すれば恐ろしいことですが、山や丘があれば周辺にシロアリがいると覚悟しなければなりません。シロアリが貫通できない物理バリアーを施すことは新築の場合には極めて有効ですが^{21, 27, 28)}、不注意な施工ミスがあれば防蟻目的を果たすことができず、資源の無駄使いに終わってしまいます。我々、一般人ができることとして、家をよく観察することです。シロアリが侵入すれば何らかの変化がありますから、それにいち早く気づくことが、被害を未然に防止し、駆除費用を節約することに繋がります。

従前のように、床下地表面に多量の防蟻薬液を散布したり、5年後に再処理したりする方法は、床下地面へのコンクリート打設の普及に伴い、現実的に困難になってきました。それでは、加害対象である木材を保存剤で処理することによって保護することが想定できますが、処理される木材量は増加していないようです。

7. おわりに

環境負荷の軽減を重視しながら防腐・防蟻を実現できる家はあるのでしょうか？床下地面のコンクリート被覆やネコ土台による床下空間からの換気促進と地面からの水分蒸散の抑制、シロアリ侵入監視システム導入を新築時から行うことは有効な予防措置と言えます。同時に、劣化調査を容易にする構造(床下や天井裏への移動ができなければ、的確な調査できないことがあります)の普及が望まれま

す。シロアリ食害が発見されれば、少量の薬剤使用で高い効果が得られるベイト工法や回収型土壌処理法に頼るのが賢明でしょう。腐れや蟻害による家の劣化部分の現場駆除処理を、ケミカルフリーに固執して物理的手法だけに依存すれば、かえって環境負荷を増幅させることになるかも知れません²⁹⁾。

参考文献

- 1) 文部科学省・国立天文台編：理科年表(机上版)，丸善株式会社(東京)，1030pp.，2006.
- 2) インターネット・フリー百科事典ウィキペディア(Wikipedia)：日本の住宅，堅穴式住居，木造軸組構法
- 3) Turner II, B. L. *et al.*, The earth as transformed by human action-Global and regional changes in the biosphere over the past 300 years, Cambridge Univ. Press. (Cambridge, UK), 713pp., 1993.
- 4) FAO : State of the World's Forest 2007, FAO, 44pp., 2006. Population Division of Department of Economic and Social Affairs of the United Nations, Secretariat : World Population Prospects-The 2006 Revision, <http://esa.un.org.//unpp>, 2006.
- 5) 上村 武，木材の実際知識，東洋経済新報社(東京)，276pp., 1977.
- 6) 木質科学研究所(現，生存圏研究所)木悠会編，木材なんでも小事典，講談社(東京)，346pp, 2001.
- 7) ノーマン マイヤーズ，ジェニファー ケント，65億人の地球環境，産調出版株式会社(東京)，304pp. 2006.
- 8) 例えば，<http://www.anhouse.co.jp/law-taisin.html>:建築基準法 木造住宅の耐震基準の変遷.
- 9) (社)日本農林規格協会：製材の日本農林規格，農林水産省告示第1625号，1994.
- 10) 住宅金融公庫監修：木造住宅工事仕様書(平成17年改定一全国版)，(財)住宅金融普及協会(東京)，355pp.，2005.
- 11) 西本孝一ほか，産地別ヒノキの耐朽性・耐蟻性，*木材研究・資料*，20，104-118，1985.
- 12) 角田邦夫ほか，地下シロアリおよび腐朽に対する八ホウ酸二ナトリウム四水和物(ティンボア)処理家屋土台の劣化抑止効果，*木材学会誌*，48(2)，107-111，2002.
- 13) Tsunoda, K. *et al.*, Performance of borate-treated lumber after 10 years in protected, above-ground field test in Japan (Final report), *The International Research Group on Wood Protection Document* No. IRG/WP-30395, 2006.
- 14) 日本木材加工技術協会・木材保存部会編，木材保存ハンドブック，昭晃堂(東京)，906pp.，1961.
- 15) (社)日本木材保存協会編，木材保存学入門(改訂2版)，265pp.，(社)日本木材保存協会(東京)，2005.
- 16) (社)日本しろあり対策協会編，創立30年誌，(社)日本しろあり対策協会(東京)，179pp.，1988.
- 17) 今村祐嗣ほか編，住まいとシロアリ，海青社(大津・滋賀)，174pp.，2000.
- 18) Tsunoda, K., Economic importance of Formosan termite and control practices in Japan, *Sociobiology*, 41(1), 27-36, 2002.
- 19) 住宅工法および材料開発研究会(代表者 角田邦夫)，野外試験による断熱材料の耐蟻製評価(II)，しろあり，148，1-9，2007.
- 20) Sornnuwat, Y. *et al.*, Tunneling of subterranean termites, *Coptotermes gestroi* Wasmann and *Coptotermes formosanus* Shiraki, into gravel physical barrier, *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 7(1), 13-19, 1995.
- 21) 角田邦夫，物理的工法によるシロアリ防除，*住宅と木材*，29(344)，14-18，2006.
- 22) (財)住宅・建築 省エネルギー機構：基礎断熱工法普及検討事業，平成10年度報告書(増補版)，187pp.，1999.
- 23) Nakayama, T. *et al.*, Effects of humidity changes on the feeding activity of a pest termite, *Reticulitermes speratus* (Kolbe), *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 13(3), 125-131, 2002.
- 24) (財)日本住宅・木材技術センター，木炭を生かす，76pp.，1997.
- 25) 伏木清行，床下調湿材料のモニターハウス実験，しろあり，112，16-22，1998.
- 26) 吉村 剛，床下環境とシロアリ，*環動昆*，11(3)，125-135，2000.
- 27) Standards Australia, Termite management Part 1: New building work, AS 3660-1-2000, 72pp.，2000.
- 28) 吉村 剛，新しい住宅工法とシロアリ被害，*住宅と木材*，29(344)，19-25，2006.

29) 角田邦夫(訳), 住宅管理—英国の住宅に使用される木材の保護と修理, *しろあり*, 139, 18-26, 2005.