

# 厳島神社大鳥居における海虫対策

新井英夫・森 八郎

## 1. はじめに

重要文化財厳島神社大鳥居は、仁安3年(1168)に初代が創建され、以後弘安9年(1286)、建徳2年(1371)、天文16(1547)年、永禄4年(1561)、元文4年(1739)、享和元年(1800)、明治8年(1875)に重建されたことが記録されている<sup>1)</sup>。現在の大鳥居は、昭和25年(1950)1月5日に修理工事に着手し、昭和26年5月25日に竣工したものである(図-1)。このときの修理報告書によれば、明治8年の重建後は、明治42(1909)~44年(1911)に屋根の葺替および塗装が行われ、大正15年(1925)に鉄筋コンクリートで根巻を行っている。その後25年を経過した昭和25年に各柱の脚部の生物被害が著しく、大鳥居の荷重による各柱の不同沈下が認められるようになったので、柱脚部の根継と屋根裏皮板の取替工事が実施された。このとき、修理工事の実施が決定された後に、根継に用いるクス自然木の探索が行われた。主柱の基部の直径は、約3.6mに及ぶ大木であるため、その探索は困難をきわめたということである。クス材入手後の問題として、鉄道、道路による輸送方法が使えず、海上曳航策がとられた。この経験から、今後の厳島神社大鳥居の修理工事は、用材を確保してから実施しなければならないと強調している。換言すれば、大鳥居の主柱脚部の用材は、入手することがほとんど不可能であるから、現在の主柱脚部は、可能なかぎり長期にわたって保存することが必要となる。

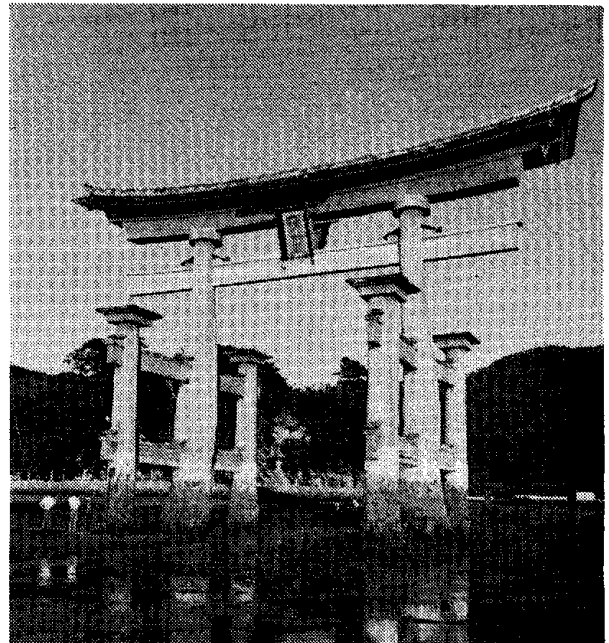


図-1 重要文化財厳島神社大鳥居(昭和56.8.4)

海中にある木材は、各種の生物によって劣化されるが、なかでもフナクイムシ等海虫による被害は甚大である。厳島神社大鳥居の昭和25年の修理時にもフナクイムシの著しい食害が伝えられている。また、海中に生息する各種菌類による軟腐朽(soft rot)も木材劣化の調査時に十分考慮しなければならない。

筆者らは、昭和25年に重建した厳島神社大鳥居の生物劣化を調査し、生物による加害の進行を防止する方策について実験し検討を加えたので報告する。

## 2. 大鳥居柱脚部の被害状況

重要文化財厳島神社大鳥居修理報告書<sup>1)</sup>によれば、大鳥居の構造形式は、つぎのように記されている。すなわち

「四脚造，木造，丹塗，屋根檜皮葺。

基礎，杭打，コンクリート地形，基礎石据。

主柱樟<sup>クス</sup>自然木，袖柱杉自然木使用脚部樟自然木根継，上下桢差横差通，楔締雨覆付，頭横反り付雨覆備え，柱上部台輪付，笠木島木共箱拵え反り付，屋根通板打の上檜皮葺立，上棟銅板包み置渡し，螻羽破風付，島木木口日月の飾紋付。

総体丹塗仕上木口黄土塗。」

昭和25年に大修理を実施した大鳥居は，明治8年の重建大鳥居であるが，重建後34～36年目に屋根の葺替および塗装を行い，50年目に鉄筋コンクリートで根巻きを行って，75年目（昭和25年）に根継等の大修理を行ったことになる。筆者らは，昭和25年の重建後31年目に調査を行ったことになる。つぎに，昭和25年の修理前の大鳥居の被害状況を修理報告書から抜粋し，併せて筆者らが昭和56年8月に調査した被害状況を記述する。

#### 2-1 昭和25年の修理前の被害状況

主柱（西）は，側巻の鉄筋コンクリートの大半が脱落し，下部に大穴があり，内部に空洞が認められた。この柱の内部空洞の直径は約 90 cm におよび，コンクリートが充填されていた。この内部空洞は，底部ほど大きくなり，大鳥居の荷重を支えている底面はわずかであった（図-2）。

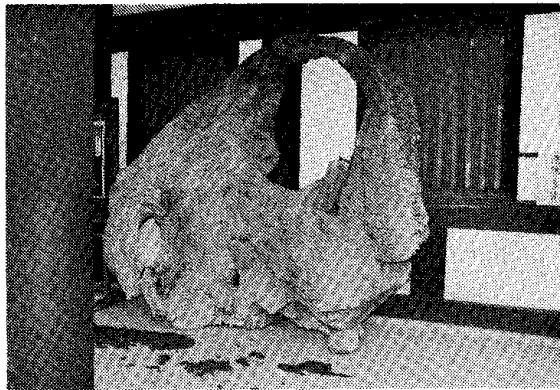


図-2 大鳥居主柱基部の空洞と海虫食痕  
（昭和25年度修理工事の際に残した資料）

主柱（東）は，外見上健全材のように見受けられたが，上部上横付近の埋木を外すと，径 30 cm 以上の腐朽大穴が発見され，穴は柱の下部へ向って広がっていることが懸念されたので，この主柱脚部も新材に取り替えることになった。

4基の袖柱は，程度の差はあるが損傷を受けていた。すなわち，巻きつけた鉄筋コンクリートを取除いて見ると，直径約 30 cm の空洞がクス材の内部に向って形成され，空洞内にコンクリートが充填されていた。コンクリートが密着していた木部は損

傷が認められなかったが，コンクリートと木部に間隙が生じた木部は，甚しい虫害を受けていた。

#### 2-2 昭和56年8月の調査

大鳥居は，昭和26年に修理が完了した後，昭和35年柱脚部に海草が繁茂したので，これをトーチランプ（torch lamp）で焼く作業を行った。昭和40年になると柱脚部にフナクイムシの著しい食害が認められるようになり，このとき埋木・張木を実施した。その後，昭和47年には，砂利と砂を混合したエポキシ樹脂で欠損部の化粧を行って現在に至っている。

筆者らは，昭和56年8月に大鳥居の被害状況を調査して，つぎのような所見を得た。すなわち，大鳥居柱の脚部は，満潮時に海底から約 3 m の高さまでが海面下となる。主柱および袖柱の脚部クス材は，材表面から中心に向って約 10 cm 程度がすでに欠失し，その表面は各種の海虫による食害が進行中であった。しかし，それより内部の材は未だ健全で海虫の食害を受けていない。

柱脚部に認められた生物のなかで，柱を直接加害しているのはフナクイムシとキクイムシであった。フナクイムシは，直径 5～8 mm の孔を木材表面からやや内側に穿孔しているのが観

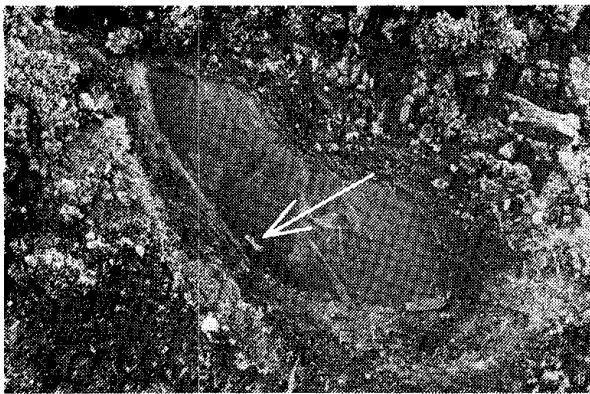


図-3 大鳥居柱脚部に認められるフナクイムシ (*Teredo*) の石灰管



図-4 大鳥居柱脚部に認められるククイムシ (*Limnoria*) の食痕

察された(図-3)。さらに柱脚部の表面に直径約 1 mm 程度の小孔が無数に認められ、海綿状になっている部分があった(図-4)。この部分の木質は、きわめて軟弱となっており、木片で擦ると深さ 1~2 cm 前後が容易に削り取れた。この無数の小孔中には、直径 1 mm 弱、長さ 2 mm 程度のククイムシが生息していた。これより、柱脚部は、ククイムシによって食害された材表面が、波で削りとられながら細くなったり、空洞が形成されるものと考えられた。フナクイムシによる柱内部へのより深い穿孔も加わって相乗的に柱脚部の劣化を促進している。その他に、フジツボ等が柱脚部表面に多数着生していた。なお、昭和25年の大鳥居修理報告書に腐朽という表現があるが、とくに木材腐朽菌による被害は認められなかった。これは、ククイムシの食害部位を表現したものではなかろうか。

### 3. 海虫類の形態、生態および分布

巖島神社大鳥居から採集した主要な海虫、フナクイムシ、ククイムシ(別名ククイシャコ)、ククイモドキ(別名ククイアミ)の形態、生態および分布について記述する。

#### 3-1 フナクイムシ類

分類学上の位置：軟体動物門、弁鰓綱、直正弁鰓目、フナクイムシ科 Teredinidae

わが国に生息するフナクイムシは、最初 *Teredo japonica* CLESSIN と命名されたが、欧・米・濠などに産する *T. navalis* と同一種とみなされるに至ったので、この学名をとることにする。

##### (1) *Teredo navalis japonica* CLESSIN

〔形態〕 殻長・殻高ともに 7.5 mm 内外、白色球形の二枚貝で、前縁部は切断状に開き、ここから足を出す。殻長と殻体前縁部に鋸歯状の刻み目を有し、これで木材を削り、住居を拡張する。頭部の上方に口があり、食道を経て胃・腸に連絡する。中央部に心臓・ボヤヌス器(排泄器)・肝臓・生殖器・神経系を有し、雌雄異体である。殻の後方には、10 cm 以上にも及ぶ水管系が伸びる。末端に2本の尾栓(pallets)を備え、孔口部を塞ぐ(この尾栓が種類を区別する一手がかりとなる)。尾栓の間から入水管と出水管を出し、海水の出入および排泄作用を行う。

〔生態〕 繁殖期は高温な季節(6~9月)であるが、幼虫は温暖な期間中いつでも発見される。卵期は温度によりかなりの差異があるが、意外に長く数週間以上を要するといわれている。卵から孵化した幼虫は、海水中を游泳し水中にある木材に接触附着すると、小孔(0.1 mm 程度)を穿って潜入する。針葉樹より広葉樹のほうが被害が多いといわれているが、木材を栄養

にするのではなく、単に住居とするだけならば、明確な嗜好性は認められないように思われる（しかし、削り取った木屑の一部も養分として利用しているという学説もある）。

木材の表面から数 mm (10 mm 以下) 穿孔すると、孔道の方向を変えて繊維の方向に孔道を伸長させる場合が多いが、他の孔道や障害物があると、これを避けて進むので、孔道は蛇行する。穿孔するにつれて石灰質を分泌して孔道壁を塗り、石灰管をつくる。

栄養・温度等の環境条件により異なるが、適当な環境のもとでは、1, 2カ月のうちに2, 3 cm にも成長し産卵を開始する。最初は1回に100卵位であるが、成熟した成虫は1回に数万個の卵を産む。成長につれて孔道を伸長拡大し、石灰管は径1 cm 内外、長さ10 cm 以上にも達する（高温な地域には20~30 cm に及ぶものがあるというが、種類を異にするのではないかと考える）。

開陽丸のように水没している木材に主として寄生するが、巖島神社大鳥居の例のように1日に2回、数時間の干潮時に露出する木材にも寄生することができる。主たる活動範囲は、水面下200 m までであるが、1,000 m 下でも採集されたことがあるといわれる。

塩分 (NaCl) 濃度3%以上の海水中に生息することが多い。淡水が大量に流入する川尻付近には少なく、塩分1%以下では生息できない。

〔分布〕 一般に高温な地域に多いが、寒冷な地域にも生息することができる。欧州 (英国・オランダ)・米国 (西海岸)・濠州・台湾・中国・日本等世界的に広く分布する。

(2) *Teredo japonica* CLESSIN (ニホンフナクイムシまたはヤマトフナクイムシ)

前述のとおり、わが国で最初に発見されたフナクイムシは、*Teredo japonica* と命名されたが、これは *T. navalis* と同一種とみなされている。

(3) *T. (Lyrodus) yatsui* MOLL. (ヤツフナクイムシ)

東大教授谷津博士の名に由来したもので、殻長・殻高ともに5 mm 内外 (前種よりやや小型)、白色球形の二枚貝で、形態習性も前種に似る。分布も九州から北海道にまで及ぶ。前種と同様に海水中の木材 (木造船・養殖用の筏など) を加害する。本種もまた *T. navalis* と同種ではないかと考えられ、再検討する必要がある。

(4) *T. diegensis* BARTSCH (ディゲンシスフナクイムシ)

(5) *Bankia setacea* TRYON (キタオオフナクイムシ)

*T. navalis* によく似ているが、貝殻は虫体前身の背部にあり、茶褐色を呈する。尾栓は半皿形で緊密羽毛状を呈するという。台湾で記録されているが、日本・アメリカ (西海岸)・カナダ・アラスカなどにも生息するといわれる。しかし、その数は *T. navalis* ほど多くはない。

〔フナクイムシの調査法〕

フナクイムシは、潜入孔が小さいので、表面から見ても孔道が発見し難い。ナイフなどで表面を削って石灰管の有無を調べるとよい。

3-2 キクイムシ (別名キクイシャコ)

学名: *Limnoria* spp., 英名: Sea-lice (海虱)

分類学上の位置: 節足動物門, 甲殻綱, 節甲目 (等脚亜目), キクイムシ科, (キクイシャコ亜科)

わが国に生息する種類は、

(1) *Limnoria lignorum* (RATHKE)

(2) *L. japonica* RICHARDSON

の2種といわれているが、この相違についても検討する必要がある。巖島神社大鳥居および開

陽丸部材から採集したキクイムシは、*L. lignorum* と考えている。

(1) *Limnoria lignorum* (RATHKE)

〔形態〕 体長は 2～3 mm (体幅 0.6～0.8 mm)、体色は黄白色～淡灰色、幼令のものは白色に近い。

体は頭・胸・腹部に分れる。同筒形 (シャコ型であるので、この名がある)、頭部は球状、1 対の短い触角、1 対の複眼、口器は上唇、大顎 (1 対)、小顎 (2 対)、下唇よりなる (大顎で木材を咀嚼し、咀嚼したものを小顎で口腔に送り込んでいるように観察される)。

体 (環) 節 13、胸部 7 節、腹部 6 節。胸部には胸脚 7 対、末端に鉤爪を有し、木材に寄生する。胸部第 1 節が最も長く、第 2 節からだんだん短くなる。腹部 6 節のうち第 1～4 節は比較的短く、第 5 節はやや長く、第 6 節が最も長く、腹尾節という。第 1～5 節に 1 対ずつの片状付属物を有し、游泳を行うと同時に呼吸作用を司る。腹尾節には 1 対の短棒状の尾肢を有し、先端に鋭い短毛をもつ。

〔生態〕 温暖な季節 (水温 15～25°C) が繁殖期で、♀は 1 回に 5～10 個程度産卵、卵は直径 0.3 mm 内外、♀は産卵後母体の覆卵葉下の保育囊中に卵を抱え込む。卵期は 2 週間内外。孵化した幼虫は、海水中を游泳する能力がないので、母孔中で生育、約 40 日で成熟し、母孔を這い出し、海水中を新しい host の木材を求めて浮游する。新しい host の木材に寄生すると、穿孔を開始し、約 65 日で産卵をはじめめる。寄生する木材は、海水中の木材か、浮游している木材である。浮游木材のときは、これについて遠隔の地にまで伝播し、分布圏を拡大する。海水中に固定されている木材の場合は、干満潮の間で食害することが多いが、海底に埋没している木材部分まで食害することがある。

食害する木材部分は、柔らかい春材部を嗜好するようであるが、硬い秋材部も被害を受ける。しかし、固い節の部分は食い残す。食害速度は、年に約 2.5 cm 程度といわれているが、深さ 10 cm 余りまで食入している。数も多く、繁殖も速いので被害は甚大である。木材が多数のキクイムシに穿孔されると、木材の表面は海綿状となり、この部分が流失するにつれて木材は次第に細くなってしまふ。木材は栄養であるとともに住居ともなっている。アカマツ・ヒノキ・ヒバなどの針葉樹の被害が多く、ナラ・ブナ・クリのような広葉樹の被害が少ないといわれている。

海水の塩分 (NaCl) 濃度、温度、流速、pH など環境条件が適当な場合には、年に数世代を繰返す。

塩分 (NaCl) 濃度： 3% 以上が適濃度。したがって、淡水が流入する河川尻には少ない。NaCl の低濃度に対する抵抗性は、*Teredo* より弱い。木材穿孔と生存の活動に必要な NaCl は、1.5～2.0% 程度までで、1% が致死限界となる。

海水温度： 15～25°C が適温。5°C 以下または 30°C 以上では致死の可能性はある。

海水の pH： pH 7.5～8.5 でよく繁殖する。

海水中の酸素濃度： 5.0～7.5 ppm でよく繁殖する。

海水の流速： 75 cm/sec でよく繁殖する。

海水の清濁： 清水を好み、濁水を嫌うので、濁水中には生息しない。

〔分布〕 世界に広く分布する共通種。わが国では、九州・四国・本州沿岸のみならず北海道にまで分布する。温暖地域のほうが多いが、*Teredo* よりさらに寒冷な地域にも生息できる (厳島神社大鳥居はもちろんであるが、寒冷な北海道江差沖に沈んでいる開陽丸にも多数寄生している)。

学名：*Chelura* spp., 英名：Wood-lice (木虱)

分類学上の位置：節足動物門，甲殻綱，端脚目，キクイモドキ科（キクイムシ同様，節甲目，等脚亜目に分類しているものもある）

わが国に生息しているのは，*C. brevicauda* であると記載されているが，欧州に産する *C. terebrans* PHILIPPI や台湾その他太平洋の諸島に産する *C. insulae* CALMAN と比較検討する必要がある。

〔形態〕 キクイモドキは，キクイムシによく似ているが，キクイムシよりやや長大である。触角も長く，腹尾肢はとくに長大である。体表に多くの毛を有す。これらの特徴からキクイムシとは容易に区別できる。

〔生態〕 キクイムシと同様に海水中の木材に寄生し，木材を穿孔して栄養とするとともに住居もしている。虫孔の径は，約 1 mm，加害された木材の表面を観察してもキクイムシと区別しにくい。木材表面から 10 cm の深さにまで穿孔するといわれるが，キクイムシより浅いところで見つかることが多い。キクイムシより数が少ないので，被害程度はキクイムシほど著しくはない。活動は活発で，キクイムシを駆逐する傾向が窺われる。

海水の塩分濃度 2% 以上の温暖な地域に生息する。清水を好み，濁水を嫌うので，濁水中には認められない。干潮 3，4 m 下の木材部分を食害することが多い。

〔分布〕 欧州に多く，太平洋沿岸・日本・台湾その他の諸島にも分布するといわれるが，種類についてはさらに詳細な調査と比較検討が必要である。わが国では，温暖な西日本・四国・九州に生息している。

#### 4. 加害生物防除法について

敷島神社大鳥居クス材は，フナクイムシによる穿孔と，キクイムシによる木材表面からの食害によって，最も顕著な被害を受ける。したがって，大鳥居を少しでも長期間保存するためには，これらの海虫防除対策が必要不可欠である。筆者らは，防虫剤を用いたときの防除効果その他および燻蒸法による防除方法について実験し比較検討した。

##### 4-1 防虫剤による海虫防除

海虫の防除に低毒性薬剤の利用を考えた。すなわち，現在木造船船底や漁網の防汚剤として用いられている防虫剤を，大鳥居の柱脚部に塗布して海虫の食害を防止する方法である。しかしながら，大鳥居周辺が良好なアサリ生息地であるので，薬剤のアサリへの影響が懸念される。そこで，4種の防虫剤で処理したクス材のテストピースを，海中に1年間係留して，薬剤の溶出量を経時的に測定し，かつ汚損および食害を比較検討した。

##### 4-1-1 テストピース

テストピースには，クスの新材および古材片を供試した。すなわち，クスの新材 3×20×200 cm の板と直径約 10 cm，長さ 200 cm の丸太，それにクスの古材の小片 2，3個を 3×20×200 cm のベイマツに固定したもの各 15本を用意した。

##### 4-1-2 供試薬剤と処理方法

防虫剤として A，B，C，D の 4種の薬剤を供試した。すなわち，A はトリブチル錫フタレート 50% 油剤 PWY-A-1，B はトリブチル錫誘導体の 2% 液に銅化合物 10% を加えた油剤 PWY-A-2，C はトリブチル錫ポリマーの 25% 油剤 PWY-A-3 と D が亜酸化銅塗料である。

3種のトリブチル錫化合物は，それぞれケロシンで，A は 100倍に希釈して 0.5% 液，B は 12倍に希釈して 1% 液，C は 25倍に希釈して 1% 液とした後，孔径 3.2 mm のインジェクターで木材に加圧注入した。D の亜酸化銅塗料はそのまま刷毛で塗布した。

## 4-1-3 テストピースの設置

薬剤を注入および塗布したクス材のテストピースは、大鳥居とほぼ同程度に潮の干満のある海底に垂直に固定し、経時的に観察記録した（図-5）。一方、薬剤処理したクス材から薬剤の溶出試験をするために、同一処理した直径約 20 cm、長さ 50 cm のクス材を新木場の貯木場（東京都江東区）に係留し、3 カ月、8 カ月、12 カ月ごとに回収してクス材中に残留するトリブチル錫化合物および銅化合物を定量する試料とした（図-6）。

## 4-1-4 分析方法

トリブチル錫化合物の分析は、各材の端部と中央部から  $1 \times 1 \times 0.5$  cm の薄片を削り取って試料とし、これを吸光分析法で定量した。

試料Dの亜酸化銅の分析は、同様にして  $1.5 \times 1.5 \times 0.5$  cm の薄片を削り取ったものを試料とし、湿式灰化後原子吸光法で定量した。

## 4-1-5 結果および考察

(1) トリブチル錫化合物の溶出試験結果を表-1に示した。分析値にばらつきが認められるが、これはクス材への薬剤注入を、直径 3.2 mm の針で木材中に圧入したので、薬剤が木材中に均一に分散していな

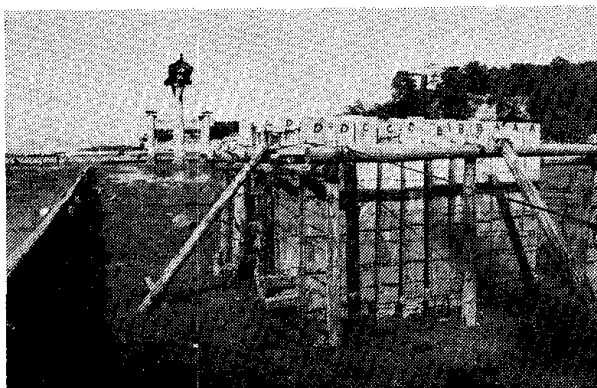


図-5 防虫剤テストピースの実験場（広島県宮島町）



図-6 防虫剤溶出試験のためにテストピースの係留（東京都江東区新木場貯木場）

表-1 クス材からのトリブチル錫化合物の溶出

試料	材の処理	分析対象 浸漬期間	トリブチル錫化合物 (%)		
			3 カ月	8 カ月	12 カ月
A	海水浸漬		0.040	0.027	0.012
	対照		0.037	0.0195	0.045
B	海水浸漬		0.0295	0.0205	0.011
	対照		0.0175	0.027	0.010
C	海水浸漬		0.0195	0.045	0.010
	対照		0.020	0.048	0.017

表一 2 クス材からの亜酸化銅の溶出

試料	材の処理	分析対象	銅含有率(%)		
		浸漬期間	3カ月	8カ月	12カ月
D	海水浸漬		0.036		0.020
	対照		0.125	0.123	0.186

いためと考えられる。しかし、この分析結果から、木材に注入したトリブチル錫化合物が、3種とも木材組織に固着して溶出し難くなっているものと推察される。

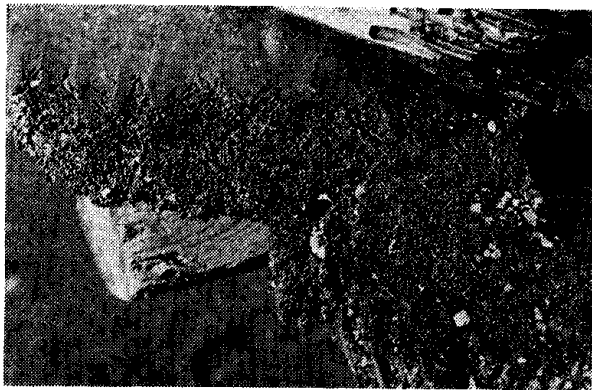
亜酸化銅塗料の分析結果を表一2に示した。これより、亜酸化銅は海中への溶出が著しいことを示している。

(2) 大鳥居の近くに設置したテストピースの観察記録から、つぎの結果を得た。すなわち、トリブチル錫化合物AとBで処理したクス材は、海中に設置後1カ月目から材表面にフジツボが付着し、生長繁殖する様子が観察された。トリブチル錫化合物Cは、6カ月目までフジツボが付着しなかったが、6カ月以後になるとA、Bと同様にフジツボが着生した。一方、亜酸化銅塗料Dを塗布したクス材は、8カ月目までフジツボが付着しなかったが、8カ月を過ぎる頃からフジツボが付着しはじめ、増殖する現象が観察された。

この観察結果は、薬剤分析結果と一致する。すなわち、トリブチル錫化合物A、Bは、木材中に定着され海水中に溶出し難いため、材の表面にフジツボが付着生育することができる。しかし、亜酸化銅塗料は、海水に浸漬直後から溶出するため、材の周辺にフジツボが生息できないことを示している。しかし、亜酸化銅塗料は8カ月以上を経過すると、海中生物の生育を阻害する濃度が失われ、フジツボが材表面に付着しはじめたと考えられる。

(3) トリブチル錫化合物は、木材中への薬剤の残留度が高いので、木材に侵入する海虫は本剤で防除することができる。その1例として、12カ月目に観察したとき、トリブチル錫化合物で処理したクス材中に侵入した海虫は認められなかったが、クス材の支えに用いたベイマツには、フナクイムシおよびキクイムシによる食害が認められた。これより、トリブチル錫化合物は、海虫の侵入を阻止しているといえよう(図一7)。

(4) 亜酸化銅塗料Dは、本実験では8カ月を過ぎると防虫効力が減退した。したがって、海中生物を阻止し続けるには、8~12カ月ごとに同塗料の塗布を繰返す必要がある。



図一7 テストピースの支えに用いたベイマツは12カ月でフナクイムシとキクイムシの著しい食害を蒙った

(5) 本実験結果では、トリブチル錫化合物が木材中に定着して海虫阻止効力を示した。しかし、薬剤の防虫効果は、海中への溶出が緩慢ながら存在しているから薬効を示すと考えられるので、本剤の魚介類への影響が皆無とはいえない。

#### 4-2 燻蒸法による海虫防除

筆者らは、文化財の加害生物は、燻蒸法で防除するのが有効な方法と考えている。厳島神社大鳥居の海虫防除法を検討したとき、大鳥居周辺がアサリの良好な生息地であることを配慮しなければならなかった。



つまり、アサリに防虫剤が蓄積することが懸念された。筆者の1人森は、薬剤の残留毒性が問題となる場合、その薬剤の利用はきわめてむずかしいと考えている。しかし、燻蒸剤ならばアサリへの残留毒性の配慮をする必要がないので、筆者らはその可能性も検討した。すなわち、燻蒸法を軟体動物や甲殻類の殺滅に利用した例が皆無であるので、フナクイムシを殺滅する燻蒸条件を求めることにした。

#### 4-2-1 実験方法

フナクイムシは二枚貝類に属するので、供試材料には主として同じ二枚貝類のアサリを用いて殺滅条件を求めた。燻蒸剤は臭化メチル、海水の代りに人工海水を用いた。

燻蒸は、アサリを人工海水に全浸した場合と半浸した場合について実施し、燻蒸直後と24時間後の生死を調べて燻蒸効果を決定した。アサリの生死は、当初心臓の鼓動を調べて判定したが、水管系がきわめて敏感で、この伸縮の有無を調べて生死の判定をすることが可能であると判明したので、水管系を針の先で刺激し、その伸縮反応の有無によって判定した。

#### 4-2-2 結果および考察

燻蒸剤の薬量ならびに燻蒸時間を変えて実験した結果を表-3に示した。すなわち、大鳥居

表-3 燻蒸法による二枚貝類\*の殺滅条件

実験 No.	臭化メチル 薬 量 (g/m <sup>3</sup> )	燻 蒸 時 間 (hrs)	海水全浸時の燻蒸効果				海水半浸時の燻蒸効果			
			直 後		24時間後		直 後		24時間後	
			生	死	生	死	生	死	生	死
1	100	5	2	3	—	—	3	5	—	—
2	200	4	5	0	1	4	5	0	3	2
3	500	2	2	3	0	5	2	3	0	5
4	200	21	0	10	0	10	—	—	—	—
5	100	20	0	10	—	—	0	10	—	—

\* 二枚貝類としてアサリを供試した。

が、干潮時に完全に露出するのは約2時間であることを考慮して、2~5時間でアサリを殺滅できる薬量を求めた。通常の昆虫の殺虫条件の10倍以上の薬量500 g/m<sup>3</sup>を必要とし、しかも燻蒸直後に全死の結果が得られなかった。つぎに、燻蒸時間を20時間に延長したときの燻蒸効果を検討すると、臭化メチル100~200 g/m<sup>3</sup>で供試したアサリを完全に殺滅することが判明した。

筆者らは、上述の結果に基づき、かつ巖島神社大鳥居の立地条件を考慮したとき、フナクイムシ等を完全に殺滅するには、臭化メチル200 g/m<sup>3</sup>を使用し、20時間燻蒸して燻蒸効果の安全度を確保したいと考えている。燻蒸効果は気温の影響を受けるので、気温が25°C以上ならば上述の条件でよいが、20°C前後の低温時には薬量、燻蒸時間ともに2倍にする必要がある。なお、表-3の実験No.5では、フジツボも供試したが、全個体が死滅していた。

## 5. お わ り に

重要文化財巖島神社大鳥居のフナクイムシ、キクイムシ等による被害を防除する方法として、防虫剤による方法と燻蒸法による方法を検討した。前者では、トリブチル錫化合物が木材

中によく残留して海虫の侵入を防止することが判明した。ただし、実験に用いたクス材が乾燥材であり、大鳥居の脚部は常に海水を含んだ状態にあるので、現場で薬剤処理する場合に薬剤の浸透性の点で差が生ずるが、この方法で十分な処理ができれば3～5年は海虫の食害を防止できるものと考えている。ただし、魚介類の残留毒性が問題となると、本法を利用することは困難となる。

後者について検討した結果、海虫にも十分効果のあることが判明したが、燻蒸法の特徴として残効性がないので、燻蒸処理は毎年実施しなければならない。しかし、魚介類への残留毒性については、まったく懸念する必要がない。二つの方法にはそれぞれ一長一短があり、どちらを選択するかという問題が残される。

本研究を実施するにあたり、文化庁建造物課主任文化財調査官服部文雄氏のご高配を頂き、現地では厳島神社宮司野坂元良氏、同技師調子晴久氏ならびに岡田貞治郎氏のご助力を得ましたことに厚く感謝いたします。大鳥居柱脚部の薬剤処理試験では、吉富製薬KK化成部品部長合屋嘉人氏、同開発研究所次長小田諭氏、同主席研究員眞上眞諭氏にトリブチル錫化合物の提供ならびに分析等にご協力頂き、北興産業KK化学品部部長松岡正幸氏に亜酸化銅塗料を提供して頂きました。ここに深甚の謝意を表します。クス材からの薬剤溶出実験では、林正浩氏に新木場の貯木場（東京都江東区）を斡旋して頂きました。ご厚情に心から御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 厳島神社建造物修理委員会：国宝並びに重要文化財厳島神社建造物昭和25年度修理工事報告書，大鳥居修理工事（重要文化財），昭和33年3月，眞陽社発行
- 2) 森 八郎・新井英夫：水中文化財の海虫対策（予報），古文化財の科学，No. 26，89-95（1981）。

## Protecting the *Ō-Torii* of the Itsukushima Shrine from Marine Borers

Hideo ARAI and Hachiro MORI

### 1. Introduction

The *Ō-Torii*, or Great Gate (Fig. 1), of the Itsukushima Shrine, which is registered as an Important Cultural Property in Japan, was first constructed in 1168. The wooden pillars of the Great Gate are submerged in sea water up to about 3 meters from the base at high tide. These pillars are made of unworked camphor wood with bases measuring about 3.6 meters in diameter. Between the two pillars, the Great Gate has a width of 11 meters, while the main crossbeam rises to a height of 16.6 meters.

The Great Gate has been restored 8 times in the last 800 years, with the most recent restoration work carried out in 1950. Since giant camphor trees are almost impossible to find nowadays, the Great Gate must be preserved as long as possible.

### 2. Investigation of Biodeterioration

When the authors investigated the biodeterioration of the Gate in August 1981, the parts of the wooden pillars submerged in the sea at high tide had been eaten away by about 10 centimeters all around, and the present surfaces were covered by several kinds of marine organisms. The insides of the pillars, however, were not yet damaged by marine borers.

The principal organisms causing damage to the pillars are *Teredo* sp. (wood borers) and *Limnoria* sp. (sea lice). *Teredo* sp. drill tunnels 5–8 cm in diameter into the inside of the wood, while *Limnoria* sp. make numerous small holes about one millimeter in diameter which transform the wood into a weak sponge-like material. Since these sponge-like parts are easily worn away by the waves, the pillars naturally become slimmer year by year.

The authors collected and identified the following marine borers from the Great Gate;

*Teredo navalis japonica* CLESSIN

*Limnoria lignorum* RATHKE

*Chelura* sp.

The morphology, ecology and distribution of these marine borers is also discussed by the authors.

### 3. Methods of Controlling Marine Borers

The authors researched two marine borer control methods. The first method involved treating camphor wood with antifouling agents often applied to ship bottoms and fishing nets, and then observing and analyzing the effectiveness and elution of the agents during a one year test period. The second method involved the fumigation of *Teredo* sp. to see how it worked as an alternative method to the elution of antifouling agents in the

sea.

### 3.1. Treatment with Antifouling Agents

Three kinds of tributyltin compounds and a cuprous oxide paint were tested. After one test year tributyltin phthalate remained firmly embedded in the test wood and showed the best antifouling effects on marine borers. Therefore, in the case of the submerged base portion of the Great Gate, antifouling (antiborer) characteristics can probably be maintained with tributyltin compound treatments once every three or four years. In contrast, the cuprous oxide paint eluted rapidly, losing its effectiveness in about 8 months, thus making it necessary to repaint the Gate pillars every 8-12 months.

### 3.2. Fumigation Treatment

Short-necked clams, *Tapes (Amygdala) japonica* DESHAYES, which like the *Teredo* sp. belong to the Bivalvia group, were used as test organisms in fumigation experiments conducted with methyl bromide. Taking the location conditions of the Great Gate into consideration, it would be necessary to fumigate the pillars with 200 g/m<sup>3</sup> of methyl bromide at 25°C for 20 hours in order to achieve complete fumigation of *Teredo* sp. and *Limnoria* sp.. If the temperature is below 20°C, the dose of fumigant and the fumigation time should be doubled.

As fumigants do not have residual effects, it is most effective against *Teredo* sp. and *Limnoria* sp., if it is used during their breeding season once or twice every year.