



Tokyo Gakugei University Repository

東京学芸大学リポジトリ

<http://ir.u-gakugei.ac.jp/>

Title	東京学芸大学所蔵古書籍の虫害状況と保管法に関する研究
Author(s)	服部, 哲則; 吉川, 也志保
Citation	東京学芸大学紀要. 第4部門, 数学・自然科学, 55: 213-224
Issue Date	2003-08-01
URL	http://hdl.handle.net/2309/1637
Publisher	東京学芸大学紀要出版委員会
Rights	

東京学芸大学所蔵古書籍の虫害状況と保管法に関する研究

服部 哲則・吉川也志保

文化財科学科*

(2003年3月28日受理)

HATTORI, A., KIKKAWA, Y. : The studies of damage by insect pests and conservation, for the old books hold in Tokyo Gakugei University. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Sect. 4, 55 : 213-224 (2003) ISSN 0371-6813

Abstract

The aged Japanese books stored in "The 3rd Human Science Building" of Tokyo Gakugei University are attacked by insect pests. We have searched the damage of the old books and identified the species of insect by catching with the pheromone traps and by observing with the microscope. Moreover, we have experimented on the treatments of exterminating insect pests with removing oxygen method. With the result of these studies, we have proposed the simple, low-priced and safety method of storing for archives, with the Oxygen Absorber and the sealing materials. (in Japanese)

Key words : old books, insect pests, pheromone traps, Oxygen Absorber

Department of Cultural Properties Science, Tokyo Gakugei University, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan.

はじめに

言語文学第一学科中国語学中国文学研究室が保管している東京学芸大学所蔵の古書籍が、虫害虫により多大な被害を受けているとの連絡を受けその実態調査を行うとともに、簡便な保管法についての試案を提示するため以下の観察研究を行った。

保管されている古書籍の多くは、東京府女子師範学校時代(1900~1943年)に購入され、東京学芸大学竹早分校(1949~1955年)図書館を経て移管されたものと、新制東京学芸大学(1945年~)設立以降購入されたものがあり、主に江戸時代の書籍とその復刻本である、また中国の版本も含まれており研究上貴重な史料が多い。¹⁾これらは、人文研究棟第3号館1階廊下にある金属製保管庫に収められているが、目視による観察の結果、版本本体の虫による食害と糞による破損、汚染にとどまらず、保管庫棚上に積もった虫糞、昆虫

死骸の量から環境の劣悪さは容易に想像された。

管理者の許可を得て、古書籍の被害状況を観察するとともに、保管庫内の温湿度などを調査することにより、それらの劣化原因とより安全な保管法について考察した。

1. 保管環境現状調査

(1) 保管場所(図1, 写真1~2)

建物1階廊下であり、北側出入口に近いので雨天時や夏季、中庭からの湿気が入りやすいだけでなく、通行する学生、教職員が持つ傘からの雫により、廊下下面が長時間濡れたままの状態になる。保管庫は密閉性の高いものでないため、庫内の湿度も外気の影響を受けやすく、また虫などの侵入も容易であると考えられる。

(2) 防虫対策

不定期ではあるが、管理者により乾燥期の虫干しが

* 東京学芸大学(184-8501 小金井市貫井北町4-1-1)

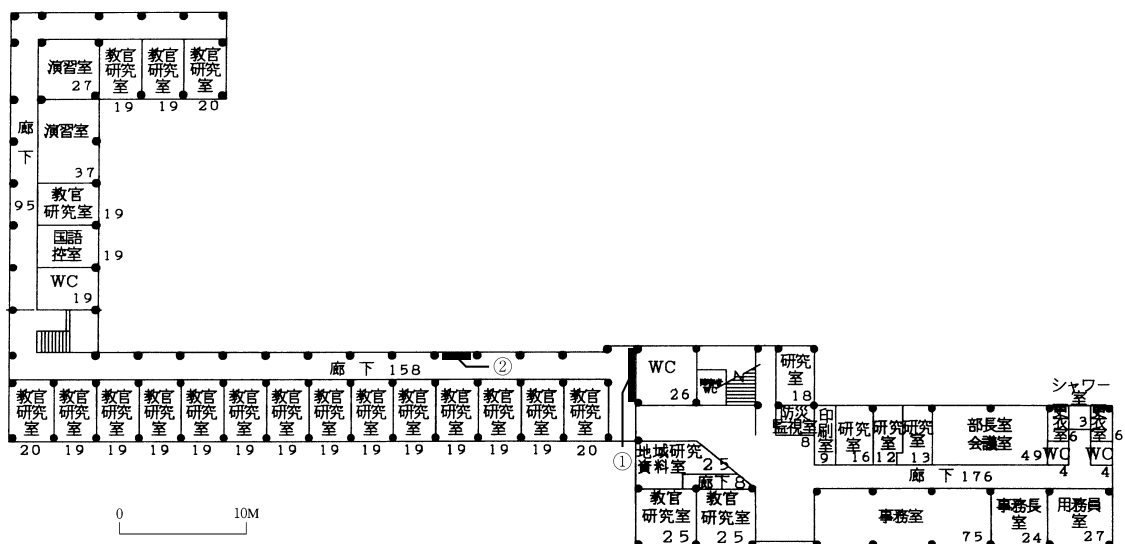


図1 人文科学系研究棟3号館 1階 平面図



写真1 古書籍保管状況(データロガー設置箇所)
および北側出入り口 (図1-①)



写真2 古書籍保管状況(トラップ設置箇所)
(図1-②)

行われてきた。この際ナフタレンシートを挟み込むなどの防虫殺虫対策も行われたが、虫害の現状から十分な効果があったとは認められない。

(3) 温湿度調査

古書籍を収めている保管庫内の温湿度環境を、自動記録装置(データロガー)を用いて測定した。

①測定装置

データロガー：佐藤計量器製作所製 SK-L200 TH

②測定期間

2001年5月1日～2002年4月30日

③測定結果(図2,表1参照)

日毎の平均気温,湿度を算出しグラフに表した。

保管環境は、予想した以上に温湿度の変化が顕著であることがわかり、特に湿度は、季節ごとの変化だけでなく、一日の間にも大きな変化がみられる期間が確認された。

まず、測定期間中の温度に関しては、1ヶ月間の平均温度と最高温度が、ともに最も高かったのは7月であり、平均温度が最も低く全体を通しての最低温度を記録したのは1月であった。湿度に関しては、平均湿度が最も高かったのは8月の77.1%で、最高湿度は9月11日に記録された92.5%だった。平均湿度が最も低かったのは2月の49.5%で、最低湿度は3月20日に記録された44.0%であった。

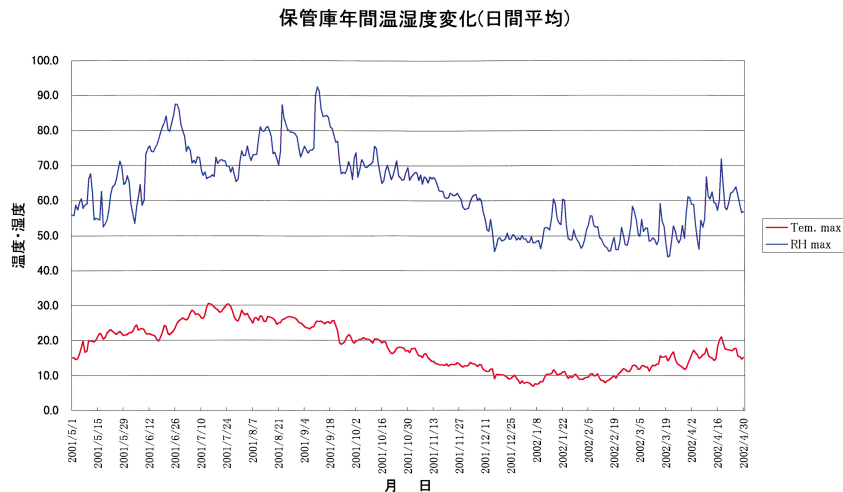


図 2

また，一日の中で，非常に湿度差が大きかったのは 5 月中旬で，10%以上の上下動が見られた。11月になると温湿度はともに，なだらかで起伏の少ないグラフを示しながら徐々に下がっていった。12月 9 日から16日にかけて急激な湿度の低下が見られたが，その後は，1 月10日ごろまで温湿度の変化は小さかった。1 月の中旬からやや温度が上がり始めるのと同時に，湿度変化も大きくなり始めた。

(4) フェロモントラップによる調査

杉山真紀子氏によると，トラップ（害虫捕獲器）による調査の利点には，

- 1) 有害な薬剤を使用することなく害虫の個体数が比較でき，棲息している害虫の分析も可能。
- 2) 殺虫剤等を用いる場合と違って死骸はトラップの中に入ったままの状態になるので，保管環境に死骸を残さず清潔。
- 3) 害虫を潜んでいるところからおびき出し，発生源をつきとめることが可能。
- 4) 費用も経済的で，入手しやすい。

などがあるとされてる。²⁾ 本研究調査で用いるフェロモントラップとは，各昆虫特有の集合フェロモンあるいは性フェロモンを人工的に合成したものを利用して，特定の昆虫を誘き寄せ捕獲するものである。

本研究が対象とする書籍に対する主要な虫害昆虫はシバンムシであったため，その種類の特定と発生状況を把握するためトラップを用いた調査を行うに至った。現在，市販されているシバンムシ用フェロモントラップには，タバコシバンムシ用とジンサンシバンムシ用がある。よって，この 2 種類のトラップを設置し，一定期間定期的に点検することで捕獲個体数を把握する

方法をとった。タバコシバンムシは，雑食性で，あらゆる乾燥性植物質などに幅広く被害を与える文化財の重要害虫であり，ジンサンシバンムシは生態がタバコシバンムシに類似し西洋において書籍を加害する例が報告されている。³⁾

保管環境や版本自身から書籍害虫としてよく知られているシバンムシが多く発見された。このうち，最も東日本で被害が顕著なのはフルホンシバンムシによるもので，西日本ではザウテルシバンムシが活躍している。しかしながら，フルホンシバンムシの生態は，依然として不明な点が多く，⁴⁾ 現在フルホンシバンムシ用およびザウテルシバンムシ用のフェロモントラップは，市販されていない。(2. 参照)

表 1

月	平均気温	平均湿度	最高気温	最高湿度	最低気温	最低湿度
5	19.9	60.7	23.1	71.3	14.6	52.5
6	22.8	73.7	26.4	87.5	19.8	53.5
7	28.1	70.2	30.5	78.3	25.5	65.5
8	26.3	77.1	28.5	87.3	24.5	70.2
9	23.4	77.0	25.6	92.5	18.8	66.0
10	18.9	69.2	20.8	75.5	16.3	65.0
11	14.2	63.8	17.8	68.2	12.3	57.5
12	10.8	53.1	13.7	61.9	7.6	45.5
1	9.3	51.5	11.7	60.6	6.8	46.4
2	9.9	49.5	12.0	55.7	7.9	45.6
3	13.4	51.3	16.9	61.2	11.3	44.0
4	16.6	59.1	21.1	71.9	14.4	46.1

①実験材料（写真 4～5 参照）

i) タバコシバンムシ用フェロモントラップ

製品名：ニューセリコ[®]

主成分：セリコルニン（4,6 - ジメチル - 7 - ヒドロキシナン - 3 オン）

ii) ジンサンシバンムシ用フェロモントラップ

製品名：パニシウム[®]

主成分：ステゴビエン {2,3 - ジヒドロ - 2,3,5 - トリメチル - 6 - (1 - メチル - 2 - プテイル) - 4H - ピ

ラン - 4 - オン}
 i), ii)とも
 製造元: 富士フレイバー
 販売元: JTアグリズ



写真4 ニューセリコ®



写真5 パニシウム®

②調査期間

2001年4月20日～2001年11月30日

③設置条件

A-L: 保管庫上段・タバコシバンムシ用フェロモン
 トラップ

A-D: 保管庫上段・ジンサンシバンムシ用フェロモ
 ントラップ

B-L: 保管庫下段・タバコシバンムシ用フェロモン
 トラップ

B-D: 保管庫下段・ジンサンシバンムシ用フェロモ
 ントラップ

④調査結果(表2参照)

4月から6月にかけては、タバコシバンムシ、ジン
 サンシバンムシともに、捕獲された個体数は0～1な
 いし2頭であった。しかし、7月に入るとタバコシバ
 ンムシの個体数は急激に増え、7月から8月までは1
 ヶ月に9頭～6頭が確認された。そして、9月に入
 ると再び急激に減少し、10月に1カ所でタバコシバン
 ムシ4頭が確認されたのみで、11月には個体数が二箇所

とも0頭になった。また、ジンサンシバンムシは調査
 期間中に捕獲数が4頭以上になることは無かった。し
 たがって、この保管環境において、タバコシバンムシ
 はジンサンシバンムシより多く棲息し、7月～8月の
 間にタバコシバンムシの成虫は最も多く活動してい
 るといえる。

2. で紹介する各シバンムシの特徴からいえるよう
 に、シバンムシは成虫の時期にほとんど摂食をするこ
 とがなく、書籍を食害するのは幼虫の時期である。こ
 のため、このようなトラップは実際に食害をしている
 個体を捕らえることはできないが、害虫の発生を早期
 に確認することや、その種類の特定、発生源をつきと
 めることに貢献できる。

特記すべきこととして9月に、上段のジンサンシバ
 ンムシ用トラップでフルホンシバンムシの死骸が1頭、
 発見された。これは、偶然だったのか、それともジン
 サンシバンムシとフルホンシバンムシのフェロモンに
 共通性があったのかという問題については、データが
 不十分なため検討することができないが、本研究の調
 査対象となった保管環境において主な加害昆虫はフル
 ホンシバンムシであると想像されるので(2. 参照)、
 日本において書籍の主要な害虫であるフルホンシバ
 ンムシのためのトラップの開発は必須かつ緊急の課題で
 ある。

表2

設置期間	A-L	A-D	B-L	B-D	平均気温(°C)	平均湿度(%)
01/4/26-01/04/30	0	0	1	0	18.4	55.0
01/05/01-01/05/31	0	0	1	0	19.9	60.7
01/06/01-01/06/30	1	0	0	2	22.8	73.7
01/07/01-01/07/31	9	1	8	0	28.1	70.2
01/08/01-01/08/31	8	1	6	0	26.3	77.1
01/09/01-01/09/30	1	3	0	1	23.4	77.0
01/10/01-01/10/31	0	1	4	3	18.9	69.2
01/11/01-01/11/30	0	0	0	0	14.2	63.8

(5) 小結

温湿度の測定結果とトラップによる調査結果から、
 タバコシバンムシの捕獲個体数は、26以上の環境に
 おいて最も多くなり、平均温度が18～24の環境で
 は捕獲数は0～1ないし2頭であり、15以下にな
 ると0頭になる。捕獲個体数の合計が最も多かった月
 は7月であり、測定期間中の平均温度が最も高かつた
 のも7月であることから、気温が高いほど成虫の活動
 が活発になっているといえる。逆に、湿度90%前後
 を記録した6月と9月の各捕獲個体数の合計は、7
 月や8月の捕獲合計数よりもかなり少ないことから、
 湿度の高さは成虫の活動の活発さにあまり影響を
 与えていない可能性が指摘できる。よって、シバン
 ムシの捕獲個体数の変動は、湿度よりもむしろ温
 度変化の影響を受

けている可能性が指摘できる。(表2参照)

本調査の温湿度測定結果によると、書籍の保管に最適とされる温度16 ~ 18℃, 相対湿度55 ~ 60%の条件⁵⁾を満たす期間は、調査期間中は4月の下旬から5月の初旬を除いてほとんどない。保存には理想とされる条件からやや外れていたとしても、安定した環境ならば保存に適さないとは言いきれない場合もあるが⁶⁾、この保管環境は全体的にも部分的にも温湿度の変動が大きく、トラップを用いた調査によってタバコシバンムシとジンサンシバンムシの棲息が確認された以外に、書籍中からフルホンシバンムシの棲息も確認されたため、保管環境として劣悪なことは明らかである。

また前述したように、この保管環境の周辺には木々や雑草が繁茂しているため、昆虫の侵入を招きやすい。このことは、1952年に岩崎友吉氏が寺社の蔵で保管される古文書を調査した際の環境に類似している⁷⁾。虫害の防除対策として、書籍を不適切な保管環境を改善することが最も望ましいが、書籍を他の場所に移すことができない場合には、応急処置として同じ場所に置きながら外部からの害虫の侵入を断つのが効果的である。

2. 虫害虫の同定

加害昆虫を防除するには、その種類を特定する必要がある。本章では、調査・実験中に確認された成虫、幼虫、食痕などから、対象物を加害する昆虫の種類の同定を試みた。そして、3.におけるトラップを用いた調査の結果をふまえ、主要な害虫を特定した。

同定にあたっては、4), 8), 9), 10)の文献を参考に、食痕・虫糞・昆虫の目視観察と顕微鏡観察をおこなった。

(1) 食痕の確認

1.で調査した保管環境に所蔵され、被害にあった書籍の食痕から加害昆虫の種類の特定を試みた。

①シバンムシの食痕

シバンムシは、体長約3~2.5mmで最も深刻に食害を与える種である。書籍・巻物らの表面に直径1mm程度の虫孔をあけ、書籍内部を縦横無尽にトンネル状の食痕をつくる。表面にあく孔が小さいため、閉じたままの状態では被害状況がわかりにくいだが、内部をぼろぼろに食い荒らすことがある。

本研究で対象とした版本にも、シバンムシの食痕が認められた。版本は、横に寝かせて積み上げられて保管されており、背表紙ではなく小口をこちらに見せて

いたため、積み重なった小口に1mm程度の虫孔が見られた。虫孔からは、虫糞とかじりカスのまじった粉が多く出、食痕が重なり合い、ページが開きにくい状態であった。比較的開きやすい部分をあけると、内部はかなり損傷していた。(写真6)

②ゴキブリ類の食痕

ゴキブリは、文化財の中でも書物に対する被害が多い。糊や紙の種類によって、嗜好性に差があり、糊に関しては外国から輸入された洋書の被害が多く、和紙はそれだけでも食害される。書物の糊付けした装丁の部分をかじり、洋書のクロースや和書の表紙がはげてなくなってしまうこともある。

対象の版本表紙に嚙りとられたような食痕が発見された。装幀に使用された糊が原因でゴキブリに食べられたものと考えられる。(写真7)

(2) 採取された虫害虫

調査・実験中採取された成虫、幼虫、蛹、抜け殻などを顕微鏡による観察し、種類を同定した。本調査により、フルホンシバンムシ、タバコシバンムシ、ジンサンシバンムシの成虫とヒメマルカツオブシムシの幼虫が確認された。以下に、その結果と各昆虫の特徴をあげる。

①シバンムシ

調査の初期段階から、シバンムシと思われる幼虫・成虫は多数確認されていた。したがって、まず顕微鏡による観察でシバンムシの同定を行った。

i) フルホンシバンムシ *Gastrallus immarginatus* (Müller).

本調査において、書籍外、書籍内で、フルホンシバンムシは最も多く発見された。判断の基準となったのは、成虫の上翅が黒味を帯び、10節からなる触角の先端3節が大きくなっていった点と、幼虫が細長かった点などである。もう一つの代表的な書籍害虫として知られ、西日本に多く分布するザウテルシバンムシ、*Falsogastrallus sauteri* Picは、頭部の形態や色が異なるため、ここで発見されたものはフルホンシバンムシだと断定した。(写真8)

〔分布〕 日本(本州、四国、九州)、北アフリカ、ヨーロッパ

〔形態〕 成虫: 体長2.2~3.6mm。円筒形、赤褐色で、上翅は通常側縁部と翅端を除いて黒味を帯びる。体背面は非常に細かい顆粒を装う。前胸背板はフード状に頭部を覆っており、背面から頭部が見えることはない。上翅には不明瞭な数本の条溝と明瞭な3本の側条溝をもつ。

幼虫：終齢 5 mm に達する。C字状に腹方に曲がった一般的な体形をしているが、他のシバンムシ科の幼虫に比べて、かなり細長い。全体乳白色で短毛を疎生する。頭蓋は長卵形。肢は非常に短い。

〔生態〕

書籍を加害することが古くからわかっているが、酒井雅博氏によると、その生態はまったくわかっていない。³⁾ 幼虫は書物内部を穿孔食害する。孔道は不規則に掘られ線状に続くことはない。直径は 1 mm 未満であるが、いくつもの孔道が出会ってかなり大きな孔道が形成されることもある。

幼虫は老熟すると孔道内にペレット(虫糞)を唾液で固めて蛹室をつくり、その中で蛹となる。加害された本を無理に開くと、この蛹室部から破れることが多い。

被害を受ける書籍は、和紙で作られた古書に最も多い。特に江戸時代末期の本は糊が多く被害がはなはだしいといわれる。

糞は粟粒状で球形に近いものとやや長方形のものが半ば混在していて、球形のものは幼虫の糞である。

ii) タバコシバンムシ *Lasioderma serricorne* (Fabricius)

保管環境において 7 月～ 8 月の間、トラップにかかることが多かった(第 4 章参照)。判断の基準となったのは、タバコシバンムシ用の合成フェロモンを利用したトラップにかかっていた点、成虫が赤褐色である点、頭部が大きく、体型が長楕円形である点、書籍内から採取された幼虫の頭蓋が淡赤褐色である点などの特徴である。(写真 9)

〔分布〕 日本全土、世界各地

〔形態〕 成虫：体長 1.7～3.1 mm。長楕円形、赤褐色。体全体が黄色の微毛で密に覆われる。頭部は大きい下方を向いており、背面からは見えない。上翅は、点刻列や条溝をもたない。

幼虫：老熟幼虫で 4～5 mm。やや黄味がかかった白色で、体全体が繊細な長毛で密に覆われる。頭蓋は前頭部が淡赤褐色に色づけされる。

〔生態〕

成虫は通常 5～6 月から 10～11 月の間現れるが、暖かい地方や保湿性の良い部屋では 4 月から 12 月初旬まで発生が続き、さらに温度条件が満たされれば真冬でも成虫が見られる。

幼虫の最適発育条件は、相対湿度 70% で 25～32.5 にある。北日本をのぞいて年 2～3 世代を営む。ジンサンシバンムシと同様、温度や食事などの環境状態に

よって蛹化が抑制され、最も環境耐久性の強い幼虫体の体制を維持できる。

老熟幼虫はペレットなどを唾液で固めて楕円形の蛹室を作り、その中で蛹化する。蛹期間は 5～7 日で、羽化後、性的に成熟するまでさらに 4～5 日間蛹室内にとどまる。成虫の寿命は蛹室から脱出後 10～25 日間で、この間、食物はいっさい取らず、もっぱら生殖活動に費やされる。

iii) ジンサンシバンムシ *Stegobium paniceum* (Linnaeus).

トラップによる捕獲数が、夏も含め 1 ヶ月間にほぼ 1 頭前後であり、決して書籍の主要害虫とは言えないが、確認されてしまった事実は否めない。ジンサンシバンムシ用の合成フェロモンを利用したトラップにかかっていた点、成虫の状態が茶褐色である点、上翅に明瞭な条線を持つ点などから、ジンサンシバンムシであることが断定できる。

(写真 10)

〔分布〕 日本全土、世界各地

〔形態〕 成虫：体長 1.7～3.6 mm。赤褐色～茶褐色。体は黄褐色の細毛に覆われる。上翅は、それぞれ 11 本の細かい明瞭な条溝をもつ。

幼虫：老熟幼虫では 4 mm に達する。黄白色で頭蓋もタバコシバンムシのような斑紋を欠く。C字状に腹側に強く湾曲し、毛は繊細で、頭蓋では密であるが、その他の部分では多くない。

〔生態〕

越冬態は幼虫で、成虫は西日本では、保湿性の良い一般家屋で 4 月中～下旬に出現する。ただし温度条件さえ整えば、休眠することなく発生を繰り返す。

本種の発育に好適な温度帯は意外に狭く、22～30 でそれ以上またはそれ以下では極端に発育が悪くなる。

蛹化は孔道内でペレットなどを唾液で固めて蛹室を作りその中で蛹化する。蛹期間は 25 で 5.68 日、30 では 4.42 日である。羽化成虫は、羽化後 4～12 日間蛹室内にとどまる。

成虫の生存期間は 25 で 21 日程度、30 で 10 日前後と、低温で長く高温で短い。

② ヒメマルカツオブシムシ *Anthrenus (Nathrenus) verbasci* (Linnaeus)

ヒメマルカツオブシムシは、繊維害虫の代表として知られるが、今回の調査で採取された害虫のひとつとして紹介する。版本のケースである帙からヒメマルカツオブシムシの幼虫と蛹の抜け殻が発見され、帙の繊

維を食害していたとみられる。幼虫の形態的特徴と光をあてると素早く物陰に隠れる嫌光性という性質から、ヒメマルカツオブシムシであることを特定した。(写真11)

〔分布〕 世界各地・温帯に多い。

〔形態〕 成虫：体長1.7～3.2mm。体は丸くて厚みがある。地色は濃赤褐色ないし黒色，体は長卵形または亜三角形の鱗片で覆われている。

蛹：淡黄色で鈍紡錘型，体長3～3.5mm。

幼虫：老熟幼虫の体長4mm内外。やや細長いダルマ型を呈し，灰褐色。全体は短毛に覆われ，尾端から刷毛状の毛束が出ている。

〔生態〕

1年に1回発生し，幼虫で越冬する。3～4月頃蛹化し，約20～30日で成虫が羽化する。成虫の寿命は30～50日と比較的長い。羽化後，屋外へ旅立ち，花蜜を食するために訪花する。訪花成虫は春から初夏にわたって観察される。幼虫は，3～5で活動を停止する。発生の最適温度は，25である。

(3) 小結

以上の結果から，フルホンシバンムシ，タバコシバンムシ，ジンサンシバンムシの3種類のシバンムシとヒメマルカツオブシムシの幼虫が確認され，食痕からゴキブリが棲息していた可能性も指摘できる。

シバンムシの中でも，フルホンシバンムシが書籍内外で最も多く確認され，この保管環境における主要害虫はフルホンシバンムシであった。そして，観察した限り，書籍によっては，タバコシバンムシと考えられる頭蓋が淡赤褐色な幼虫や，丸みを帯び湾曲した幼虫などが確認でき，幼虫の段階での同定は難しいが，複数の種類のシバンムシ幼虫によって食害されていた可能性が指摘できる。

調査中に確認されることがなく，ゴキブリ用トラップにかかることもなかったため，ゴキブリに関しては，食痕以外に棲息を示すものは発見されなかった。そして，ヒメマルカツオブシムシの成虫も同様に発見されることがなかった。しかし，書籍の保管されているロッカーから約1m離れたところにある常に開放された出入り口の外は草木が多く生え，昆虫が生息するのに適した環境であり，人の気づかないところで自由に昆虫が行き来できる状態であるため，今回確認されなかった昆虫が屋外に潜んでいる可能性もある。



写真6



写真7



写真8



写真9

3. 防虫保管法の検討



写真10

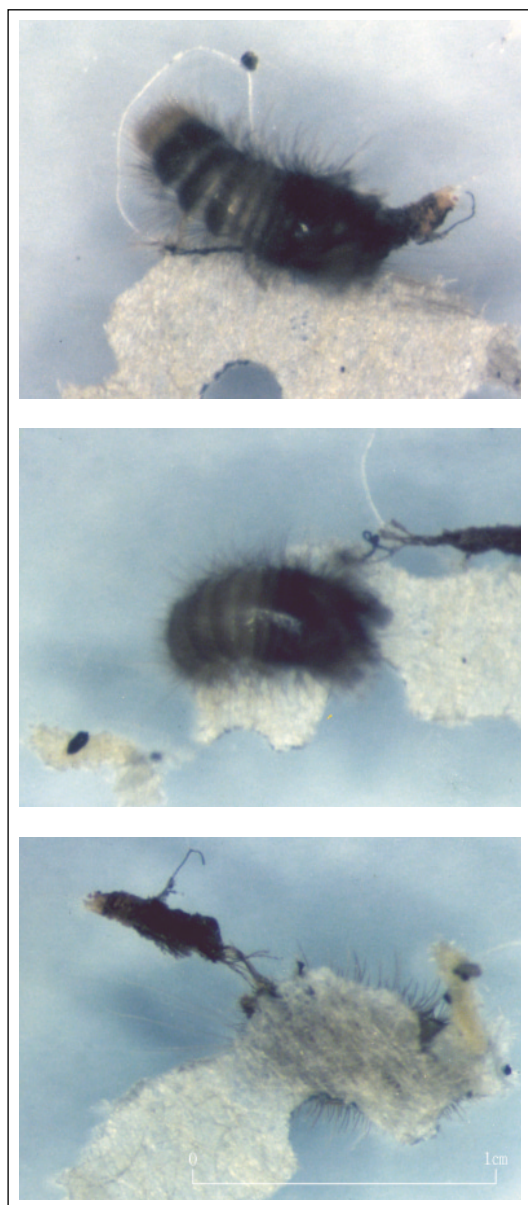


写真11 幼虫の嫌光性

従来、博物館、美術館、図書館等で行われてきた害虫駆除法は酸化エチレンと臭化メチルの混合ガスによる燻蒸処理が主流であったが、この方法は燻蒸剤原料の1つである酸化エチレンがアメリカで発がん性物質とされる等人体や環境に対する悪影響から見直しが必要とされていた。さらに、燻蒸剤のも1つの原料である臭化メチルが、オゾン層を破壊するフロンガスの一種であるとして2005年までに世界的に使用が禁止されることが決定したことは、新たな殺虫法が必要とされる大きな転機となった。また、近年 IPM (Integrated Pest Management = 総合的有害生物防除管理) とよばれる方針に基づいた害虫防除法が、欧米の博物館で定着して効果を上げている。IPM とは、FAO (国連食糧農業機関) によって「環境を保護しながら、あらゆる適切な技術と方法で害虫の成育を抑えながら、被害が拡大していかないように管理していくこと」と定義され、IPMの基本は、できる限りに非化学的な対策により、害虫の侵入を遮断、昆虫の隠れ場所および繁殖場所を根絶することに重点を置き、害虫の棲息が認められた場合には生理学的な方法などを中心に駆除を行い、化学的薬剤の使用は必要最小限にする。²⁾と解釈されている。

このような経緯の中で、開発された害虫駆除法・殺虫法はいくつかあるが、本研究では、現有材料を生かせ、かつ簡便・安価な方法として低酸素殺虫法を選んだ。低酸素殺虫法は、人体や環境に対する安全性において優れた方法であるが、処理時間が燻蒸に比べて長いことが問題とされ、また温度や昆虫の種類や発育段階によって処理時間が左右されるため、その実用化に向けてさらなる研究開発が続けられている。¹¹⁾ 低酸素殺虫法の1種である脱酸素剤法とは、脱酸素剤を用いることで密封空間に酸素濃度0.1%以下の環境をつくり、他の低酸素殺虫法と同様に、酸素の欠乏による窒息と昆虫の呼吸器官である気門からの脱水による生理学的致死を引き起こす方法である。脱酸素剤法は、大量の書籍を一度に処理するには適さないが、不活性ガスと酸素とを置換するタイプの低酸素殺虫法に比べて取り扱いが簡便であることから、書籍を管理する一般の人々が早期に害虫の発生源となった書籍を発見した際に、それを根絶するのに適しているため、その実用化は大いに価値のあるものとする。

現在のところ、木川りか氏らのグループによって、書籍にコクゾウムシ *Sitophilus zeamais* Motschulsky, タバコシバンムシ *Lasioderma serricornis* (Fabricius), ジン

サンシバンムシ *Stegobium paniceum* (Linnaeus). を埋め込んだ脱酸素剤殺虫実験が行われ, 30 で 3 週間処理するという条件が適用できる可能性が示唆された。¹²⁾ 本研究では, さらに実験室で育った供試虫ではなく, 実際に書籍内で繁殖し食害を続けてきたフルホンシバンムシ *Gastrallus immarginatus* (Müller). (日本の最も代表的な書籍害虫) を対象に, 実験を行うことでこの方法の実用化に貢献する知見を得ると同時に, 対象とした版本の虫害の禍根を除くことを目的とした。

実験試料とした版本は, 書名を『左傳註疏正義』といい, 奥書によると文化十二年(1815年)に発刊された全二十巻の歴史書であり, フルホンシバンムシによる虫害を一様に激しく受けていた。詳細は(2) - ①のとおりである。実験では, まず試料の材質が和紙という空気を多く含む素材であることから, 低酸素環境をつくるのに必要とされる脱酸素剤の封入量を算出するための予備実験を行い, その結果をふまえて, 実際に書籍を対象とした殺虫実験を行い処理に要する時間を検討した。

(1) 低酸素環境予備実験

脱酸素剤殺虫法を行うにあたって, まず低酸素環境をつくらねばならないが, 本研究では②に示す脱酸素剤を用いた。この脱酸素剤は三菱ガス化学株式会社製「RPシステム」[®] RP剤3Kタイプ(以下「RP-3K」)で, 酸素濃度を0.1%にする一方, 相対湿度は初期値を維持する。また, 硫化水素, 亜硫酸ガス, 塩化水素, アンモニアなどの腐食性ガスを吸収し, その濃度を 1 ppm以下に保つ¹³⁾ ので, 書籍を大気の大気汚染物質による劣化から守ることも可能であり, 書籍の保存対策の応急処置用として大いに効果的が期待できる。

脱酸素剤の封入量を決定する密閉空間内の空気量を正確に出す必要がある。しかし, 対象物に含まれる空気量は対象物の材質よってまちまちであり, 製造者側の示している計算式(式A)はすべての材質に必ずしも対応せず, 特に今回対象とした和紙製品は, 比重が軽く空気含量の多いので誤差が大きい。殺虫にあたって, 封入量が不足すると十分な殺虫効果が得られない。追加しようとしても際封入の際初めに使用した脱酸素剤は可逆性がなく再利用できないので廃棄せざるを得ず, 改めて適量の新しい脱酸素剤不足分を封入しなおさねばならない。実用化に向け, このような非効率かつ非経済的な事態を避けるべく, 対象物に含まれる空気量を出来る限り正確に算出するための実験が必要となる。

式A: 非金属系文化財保存時の計算式¹³⁾

$$\text{空気量 (ml)} = \text{中身入り袋の全体積 (ml)} - \frac{\text{中身の重量}}{\text{中身の比重 (≒1)}}$$

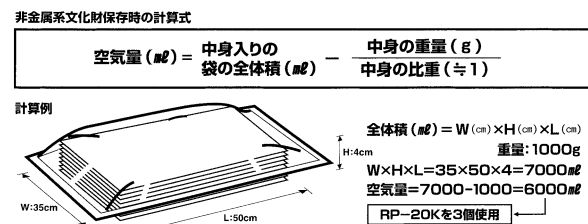


図3 三菱ガス化学株式会社「RPシステム」[®]による

①試料

書名: 『左傳註疏正義』第九巻(概要は(2) - ①参照)
 主な材質: 和紙
 体積: $25.7 \times 17.7 \times 1.7 = 770.304 (\text{cm}^3)$
 重量: 215 (g)
 比重: 0.279 (g/cm³) (小数点第4位以下は切捨て)

②実験材料

脱酸素剤; RP-3K(水分中立型) 対応空気量: 300ml)
 ガスパリア袋; エスカル[®]
 酸素検知剤(酸素インジケーター)
 密封用クリップ

以上 製造販売: 三菱瓦斯化学株式会社

式Aから求められた封入量

ガスパリア袋内の容積は,

$$27.0 \times 24.0 \times 2.0 = 1296.0 (\text{cm}^3)$$

であったので, 式①にしたがって, 封入量を求めると

$$\text{空気量} = 1296 (\text{ml}) - \frac{215 (\text{g})}{0.279} = 525.4 (\text{ml})$$

よって, 封入量は, RP-3K(300ml対応)を2個使用すればよいことになる。

しかし, 式Aによると比重が1より小さい場合に空気量が減ってしまうが, 実際は, 和紙のように繊維間に多く空気を含む材質の場合, 空気量はより増えるべきであるため, 矛盾が生じる。

④実験方法

上記の試料と脱酸素剤を, 酸素及び水蒸気の透過度の極めて低いガスパリア袋に入れクリップで密閉した後, 酸素検知剤を用いて酸素濃度が0.1%以下になるのに, RP-3Kが幾つ必要であったかを調べた。

⑤結果

RP-3Kを5個使用したとき, 酸素検知剤は酸素濃度0.1%以下を示した。5個分は, 1500(ml)に対応

し、1200(ml)に対応する4個分では不十分であったため、1200~1500(ml)に対応する分量の脱酸素剤を必要とする結果が出た。この分量は、試料を含まないガスバリア袋内の空気容積に匹敵する。すなわち、和紙の体積を無視すに等しいほど含まれる空気量が多いという結果が得られた。

(2) 脱酸素剤殺虫実験

仮に外部からの害虫の侵入を防ぐ防虫処置を行っても、書籍中で加害を続けている昆虫の殺虫や駆除を行わない限り、他の書籍への被害が拡大することは避けられない。前述した脱酸素実験の結果をふまえ、書籍中に生息する害虫の常温における脱酸素殺虫法の実用化にむけて、その有効性と処理時間について知見を得ることを目的とする。

実験するにあたって、物理的条件をできる限り同一にするため、寸法と害虫による加害形態の条件がほぼ同一の書籍を選択した。確認された試料書籍中の害虫はフルホンシバンムシ *Gastrallus immarginatus* (Müller) の成虫及び幼虫である。

①試料 (写真12~13 参照)

書名：『左傳註疏正義』

員数：全二十巻中、第一巻と第二巻は所在不明

寸法：縦25.6~25.7, 横17.6~17.7, 厚さ1.6~2.0(cm)

奥付：「出雲寺和泉掾、津外清左衛門、梅村三郎兵衛、村上勘兵衛 蔵版」「文化十二乙亥年」(1815年)

料紙：楮系料紙。薄く、漉きむらがある。製紙過程である板干しの際についたと考えられる刷毛の毛が付着した箇所がある。

状態：虫損極めて甚だしく、ページを開くには破損の危険が伴う。

備考：奥書によると文化十二年(1815年)に出版されたことになるが、それに20年先立つ寛政七年(1795年)に出版された『続日本後紀』(宮内庁書陵部蔵)と料紙の特徴に類似する点が多くあった。第一に、裏ページの印刷が透けて見えるほど薄い。第二に、漉きむらがあり、和紙特有の長い繊維を目視で確認することができる。以上の特徴は、この時代の版本にしばしばみられるものである。

②実験方法(写真14参照)

前述のガスバリア袋内に対象となる書籍と脱酸素剤を封入し、酸素濃度を0.1%以下の状態で書籍中の害虫を殺虫する。数冊を対象に20 前後の室内常温で行い、処理時間を変えて、生存個体数を調べた。

③実験材料

(1) と同

④結果(表3 写真15参照)

表3 脱酸素殺虫処理死亡個体数

処理期間	生存幼虫	死亡幼虫	生存成虫	死亡成虫
処理前	32	0	1	55
1 week	2	26	0	6
2 weeks	0	47	0	37
3 weeks	0	46	0	15

2週間で成虫および幼虫の100%の致死効果が得られた。

(3) 小結

脱酸素剤の必要封入量は密閉空間内に含まれる空気量に対応することから、酸素濃度0.1%以下の低酸素環境をつくるのに必要な脱酸素剤の封入量を算出するための実験を行った。対象とした版本の主な構成材料である和紙は予想以上の空気を含んでいることが判明した。本実験で使用した脱酸素剤を製造する三菱瓦斯化学株式会社の呈示している計算式は、比重を1と仮定した式であるため、比重が1以下であり、なおかつ材質内に多く空気を含む場合は適用できないといえる。

殺虫実験に関しては、20 前後の条件下において2週間で書籍内のフルホンシバンムシの成虫および幼虫(写真15)に対して、100%の殺虫効果が得られた。卵の殺虫効果は確認できなかったが、現在のところ処理後の書籍に関してフルホンシバンムシの再発生は確認されていない。よって、上記の条件で書籍内害虫の殺虫効果は十分得られると判断された。

考察と展開

本研究では、虫害を受けた古書籍を対象に、劣化要因を解明するための材質分析、保管環境調査、加害昆虫の種類の特定と、劣化防除対策に関する保存科学的研究を行った。

調査対象の古書籍を保管してきた環境は、調査の結果、予想した以上に温湿度の変化が顕著であることが判明し、特に湿度は、季節ごとの変化だけでなく、一日の間にも大きな変化がみられる期間あることが確認された。これらの結果は保管環境の温湿度が、開放されたままの出入り口が近いことにより外気や通行者の影響をかなり受けていることを意味する。90%以上の湿度や30 以上の温度、また急激な温湿変化がみられる環境で、書籍を保存することには化学的、物理学的、生物学的にも不適切である。

この環境内で棲息していると考えられる害虫については、トラップを用いた調査によりジンサンシバンム



写真12 『左傳註疏正義』第17巻



写真13 漉きむらのある料紙



写真14 脱酸素殺虫処理実験体



写真15 脱酸素殺虫処理により死んだ幼虫

シとタバコシバンムシの存在が確認された。欧米の主要な書籍害虫であるジンサンシバンムシ³⁾は、確認はされたものの少数であったため、この環境における主要な書籍害虫とはみなすことができないだろう。少数の場合は元々保管環境内に棲息していたのではなく外部からトラップの誘引物質にひかれてきた可能性もある。一方、気温の高い時期には、比較的多くのタバコシバンムシが確認されていた。しかしながら、この保管環境における主な加害昆虫は、東日本の書籍害虫として最も代表的なフルホンシバンムシ⁴⁾であったことが書籍の内外から検出された害虫の種類を同定した結果、明らかになった。このフルホンシバンムシ用のトラップは未だ市販されていないが、書籍害虫の早期発見や防除対策に大きく貢献するため、その開発と普及を期待する。また、シバンムシ類の他には版本の表紙に使われた糊をゴキブリが食害した痕跡が認められたほか、書籍に直接害を与えてはいなかったが、版本を入れるケースの役割を持つ帙からは、帙の布繊維を食害していたヒメマルカツオブシムシが発見されている。

これらの害虫の防除対策として、まず保管環境内を清潔に保つよう定期的な点検・清掃を続けることである程度の効果は望めるが、すでに害虫を大量に発生させてしまった書籍には殺虫処理が必要である。殺虫実験では、江戸時代の版本を対象に、人体や環境に対し

て安全性の高い脱酸素剤を用いた低酸素殺虫法による実験を行った。この方法は、博物館や図書館などで従来主流だった燻蒸殺虫法で用いられてきた臭化メチルの使用が環境に与える悪影響のため2005年までに全廃されることが決定したのをうけて、燻蒸に代わる方法として現在実用化に向けた研究がさらに進められている。¹¹⁾

今回実験した低酸素濃度環境が保たれているガスバリア袋内に書籍を密閉する保管法は、外部から新たな害虫の侵入を防ぐこともできる。殺虫が完了した後はそのまま密封状態で保管し、書籍使用時のみ清潔な場所で開封し、使用後新しい脱酸素剤とともに封入して再保管すれば、昆虫の侵入が多いような劣悪な環境内においても、対象とした書籍をさらなる虫害劣化から守ることができる。本研究のように実験室で育った供試虫ではなく、実際に書籍内に棲息している害虫を対象にした脱酸素剤殺虫法の効果と処理時間に関する実験のデータは少ないので、このような実験は、低酸素殺虫、脱酸素剤殺虫法の実用化に向けた今後の研究に有用な資料を提供するであると考えられる。

殺虫に要される酸素濃度0.1%以下の低酸素環境をつくるための脱酸素剤の封入量は材質により異なる。この封入量を正確に算出し適用することによって、脱酸素剤殺虫法は十分な殺虫効果が得られた。対象とした

版本の主な構成材料である和紙は比重が軽く繊維間に多くの空気を含んでいることが予想されていたが、本実験で使用した脱酸素剤を製造する三菱瓦斯化学株式会社の呈示している計算式は、比重を1と仮定した式であるため¹³⁾ 比重が1以下であり、なおかつ材質内に多く空気を含む場合は適用できなかった。実験の結果、脱酸素剤の封入量は対象物である版本の体積を除かないガスバリア袋内全体の体積に対応する量に匹敵することがわかった。すなわち、対象とした版本に含まれる空気体積は、その版本の空気体積に匹敵する可能性が示され、和紙製である書籍を対象にした脱酸素剤の封入量の目安を示すことができた。

この結果をふまえた脱酸素剤殺虫実験では、20 前後の条件下において2週間で書籍内のフルホンシバンムシの成虫および幼虫に対して、100%の殺虫効果が得られた。卵の殺虫効果は確認できなかったが、現在のところ処理後の書籍に関してフルホンシバンムシの再発生は確認されていない(脱稿時)。よって、上記の条件で書籍内害虫の殺虫効果は十分期待できると判断される。従来行われてきた燻蒸による殺虫法の処理時間は準備期間やガス抜き作業を含め1週間である¹⁴⁾のに対し、脱酸素剤殺虫法を含む低酸素殺虫法は処理時間が長いことが欠点とされているが、燻蒸は処理後に残留ガスを安全に処理しなければならない点や、布や和紙のように繊維間に空気を多く含む素材は処理後も数ヶ月にわたって有毒ガスが残留する点は、燻蒸処理をされた書籍を扱う人間の健康に害を与える。実際に、河野益近氏らの研究グループによると、彼らが実験試料とした古文書片に多く見つかったBr(臭素)は「かなり以前に用いられた薬剤が現在でも残留しているもの」とみなされ、「このことは、文化財保護のために用いられた薬剤が、文化財を汚損する可能性があることを示唆している。」との見方もある¹⁵⁾。これらの環境や人体に及ぼす燻蒸剤の悪影響を与える期間を考慮に入れると、今回用いた低酸素殺虫法などの方法が安全性の面でより優れていると言えよう。また、脱酸素剤を用いた殺虫処理は材質に与える影響が少ないことでも知られているが²⁾、ガスバリア袋内に密閉されているときは酸素の分だけ体積が減るので、書籍を包むガスバリアフィルムが密着し、書籍に物理的影響を与えている可能性がある。今後は、書籍に対する押圧力など物理的影響への配慮も必用となるであろう。

<註>

- 1) 版本蔵書印, および現管理者の説明による。
- 2) 杉山真紀子『博物館の害虫防除ハンドブック』雄山閣出版(2000)
- 3) 小野正武「外国図書館の虫害問題紹介」文化財の虫菌害No. 5 pp.29~47 文化財虫害研究所(1982) および 同上No. 6 pp.11~41 文化財虫害研究所(1983)
- 4) 酒井雅博「シバンムシ」日本家屋害虫学会編『家屋害虫辞典』pp.266~279 井上書院(1995)
- 5) 登石健三「図書館における書籍・古文書等の保存環境」pp.127~147『書籍・古文書等のむし・かび害保存の知識』文化財虫害研究所(1983)
- 6) 沢田正昭『文化財保存科学ノート』近未来社(1997)
- 7) 岩崎友吉「古文書の虫害とその対策について」古文化財之科学 第5号pp.17~19 古文化資料自然科学研究会(1953)
- 8) 森 八郎「書籍古文書を加害する昆虫とその対策」pp.49~91『書籍・古文書等のむし・かび害保存の知識』文化財虫害研究所(1983)
- 9) 安富和夫・梅谷献二編『原色図鑑 改訂 衛生害虫と衣食住の害虫』全国農村教育協会(1995)
- 10) 独立行政法人文化財研究所 東京文化財研究所編『文化財 害虫事典』クバプロ(2001)
- 11) 木川りか・山野勝次「[報文]文化財の新たな害虫駆除法に関する研究(1) パラジクロロベンゼン併用による低酸素濃度殺虫法の処理時間短縮」pp.24~34文化財保存修復学会誌 第40号(1996)
- 12) 木川りか・実宝和子・山野勝次・三浦定俊・後出秀聡・木村広・富田文四郎「低酸素濃度および二酸化炭素による殺虫 日本の文化財害虫についての実用化」第21回文化財保存修復学会講演要旨pp.116~117 文化財保存修復学会(1999)
- 13) 三菱ガス化学脱酸素剤事業部『RPシステム』(2001)
- 14) 関東港業株式会社文化財保存対策事業部『燻蒸工程表』関東港業株式会社(2000)
- 15) 河野益近・吉田紘二・森谷公一・法澤恵造・内藤正裕・江南和幸・田中利生・高田実彌「PIXE法による古文書片の微量元素分析 古文書に含まれるBr(臭素)の起源について」日本文化財科学会第14回大会研究発表要旨集pp.194~195 日本文化財科学会(1997)