

報 告

博物館収蔵庫での酸化プロピレンガス燻蒸処理における
タバコシバンムシ幼虫の生存事例A Report on Survival Case of Cigarette Beetle Larva
in the Propylene Oxide Gas Fumigation Processing in Museum Strage大西 亘¹⁾・加藤 ゆき¹⁾・松本 涼子¹⁾・広谷 浩子¹⁾・渡辺 恭平¹⁾Wataru OHNISHI¹⁾, Yuki KATO¹⁾, Hiroko KUDO-HIROTANI¹⁾, Ryoko MATSUMOTO¹⁾
& Kyohei WATANABE¹⁾**Key words:** Propylene oxide, *Lasioderma serricorne*, Integrated Pest Management

はじめに

博物館収蔵庫で資料に損傷を与える害虫は様々であり、自然史博物館において主な虫害の対象となる乾燥標本の原因虫だけでも、シバンムシ類(タバコシバンムシ、ジンサンシバンムシ等)、カツオブシムシ類(ヒメマルカツオブシムシ、ヒメカツオブシムシ)、ヒョウホンムシ類、コナチャタテ類、ゴキブリ類などが挙げられる(川上 & 杉山 2009)。これらの害虫は、食害資料の嗜好だけでなく、生態、行動といった生物としての基本的な性質が種類ごとに異なるため、博物館における資料への虫害防止は、総合的有害生物管理(Integrated Pest Management, IPM)の観点に基づき、有害生物に対する基礎知識を持った上で、状況に合わせた適切な対処が必要である(川上・杉山, 2009)。しかし、種別や性状の異なる様々な資料が混在して収められている博物館収蔵庫では、比較的広範な害虫に殺虫効果のある化学物質を用いた収蔵庫全体の燻蒸を、収蔵庫における最優先の害虫管理手法として、“とりあえず”実施し続けている例も少なくない(木川ほか, 2009)。



図1 タバコシバンムシ (*Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792) 成虫. A: 全体. B: 触角の拡大. C: 体側面から見た鞘翅。(渡辺恭平 撮影)

博物館資料害虫の中でも、広く様々な乾燥動植物質への食性を示すタバコシバンムシ (*Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792)、図1) は、博物館収蔵庫のみならず広く人家などでも発生し、成長段階のステージによっても薬剤や環境耐性が異なるなど、防虫や殺虫が困難な資料害虫である(Zettler & Keever, 1994; Imai & Harada, 2006; Rajendrana & Narasimhana, 2008; Phillips, 2011; Yu, 2011)。

著者らが所属する神奈川県立生命の星・地球博物館(以下当館)は、神奈川県西部、小田原市の山あい立地した自然史系博物館である。生物標本と化石を含む地学系標本及び関連分野の図書

¹⁾ 神奈川県立生命の星・地球博物館
〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 499
Kanagawa Prefectural Museum of Natural History,
499 Iryuda, Odawara, Kanagawa 250-0031, Japan
大西 亘: wohnishi@nh.kanagawa-museum.jp

表 1 神奈川県立生命の星・地球博物館の収蔵庫 1 における近年の害虫発生事例.

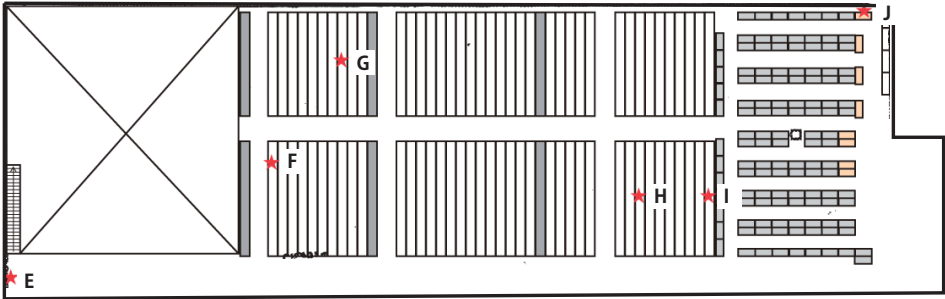
発見時期		資料種別	害虫の種類	発見時の害虫の状態
2008 年	-	植物さく葉標本 (アブラナ科)	不明	害虫は見当たらず
2013 年	7 月	植物さく葉標本 (セリ科)	タバコシバンムシ	幼虫
2014 年	8 月	菌類乾燥標本	タバコシバンムシ	成虫および幼虫
2014 年	12 月	植物さく葉標本	タバコシバンムシ	成虫 (死骸)
2015 年	5 月	菌類乾燥標本	タバコシバンムシ	成虫および幼虫

等、100 万点以上を収蔵し、毎年 6 月に収蔵施設内の密閉燻蒸を実施している。開館した 1995 年より 2001 年までは、臭化メチル、および酸化エチレンの混合剤 (商品名 エキボン) による燻蒸を実施してきたが、モントリオール議定書発効による臭化メチルの製造中止に伴い、2002 年からは使用薬剤を酸化プロピレンーアルゴン混合ガス (商品名 アルプ) による同様の燻蒸に切り替え、2015 年度まで継続してきた。当館の主な収蔵施設であり、現在も継続して燻蒸を実施している箇所は、床面積 1,260 平米、容積約 10,080 立米の収蔵庫 1、床面積 77 平米、容積 308 立米の収蔵庫 2 の 2 室である。このうち、収蔵庫 2 に収蔵されているのは、昆虫標本のみであるが、収蔵庫 1 には同一の空間に、植物さく葉標本、植物・菌類等乾燥標本、昆虫標本、哺乳類・鳥類・両生爬虫類はく製と同骨格標本、甲殻類標本、貝類標本、岩石・鉱物標本、化石、図書等、様々な資料がおおよそ資料の性状・種別ごとに区画を分けて収蔵されている。1995 年の開館以来、収蔵庫 1

内で発見された害虫被害の事例は、植物さく葉標本と菌類標本に対するもので、いずれもタバコシバンムシが原因害虫と考えられるものであった (表 1)。このうち、幼虫が発見された事例では、その由来は不明であるが、収蔵庫 1 内での発生があったものと考えられる。特に、2013 年度および 2014 年度 8 月の虫害については、燻蒸後 2 ヶ月程度のうちに幼虫が発見されている。室温 20℃におけるタバコシバンムシの卵から成虫までの生活環は 120 日程度、蛹化期間はおおよそ 3 週間であることから、これら 2 つの事例では燻蒸処理を通じて害虫が生き残った可能性が考えられる。

これまで国内の博物館において、酸化プロピレンガス燻蒸後にタバコシバンムシの発生が見られた事例についての報告はあるが、それらが燻蒸処理を通じた生存であったのかについては調査されていない (木川ほか, 2009)。そこで、著者らは当館収蔵庫での酸化プロピレンガス燻蒸処理において、タバコシバンムシが死滅するかを調査した。

2F



1F

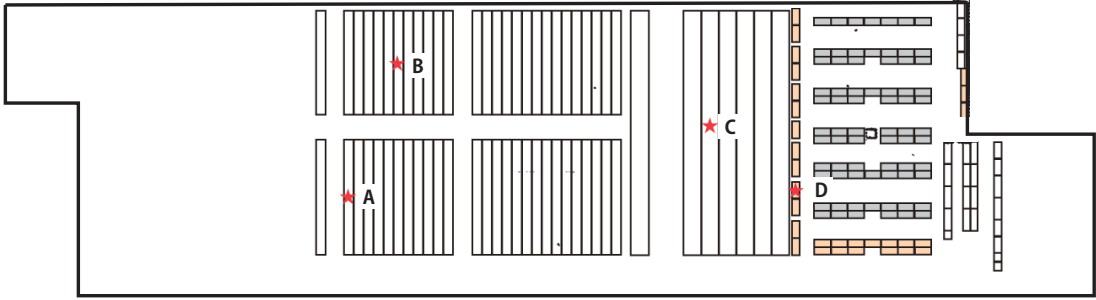


図 2 収蔵庫 1 内の供試虫設置個所. 収蔵庫全体をカバーするように配置した. 図中の A ~ J は Table 2. に対応. 図中に描かれた四角い構造物は標本棚を示す.

方法

2015年6月14日～同6月24日にかけて、燻蒸専門業者に委託し、酸化プロピレン－アルゴン混合ガス（商品名 アルプ）による燻蒸を実施した。燻蒸実施に当たっては、施工業者とは過去の害虫発生状況についての情報共有を行うとともに、事前の打ち合わせを入念に行い、燻蒸時にも十分な点検と確認を実施した。燻蒸中の庫内には燻蒸ガス濃度変化測定用のセンサーを9箇所に設置した。燻蒸実施直前の6月12日に、ガス濃度測定センサーの近傍を含む、収蔵庫1内の10か所へ、供試虫のタバコシバンムシ成虫および幼虫の入ったガラス容器を通気性のある覆いをつけた状態で設置した。設置地点は収蔵庫1内のあちこちに広く分布するように配慮した（図2）。収蔵庫1の2階の床面は金属製の格子であり、1階と2階の間で燻蒸ガスの拡散が妨げられない構造になっている。また対照区として、博物館内で燻蒸ガスの曝露がない場所のうち、収蔵庫から最も離れた図書室（2容器）および地下廊下（1容器）へ同様に供試虫を設置した。

供試虫のタバコシバンムシ成虫および幼虫は、2015年5月に収蔵庫1内の菌類標本（ヒラタケ *Pleurotus ostreatus* (Jacq.:Fr.) P. Kumm.）に発生したものを標本ごとに取り置き、そこに継続して発生していたものを用いた。供試虫は、ガラス製の広口ビンにタバコシバンムシが発生していたヒラタケの一部とともに、あるいはヒラタケの一部ごとに入れた。成虫、幼虫の多くがヒラタケの内部に穿孔し、体の一部または全部を潜り込ませた状態であり、ヒラタケを分解して一頭一頭を取り出した場合、供試虫を傷つけることが懸念されたため、ヒラタケは供試虫の生存に影響がないと考えられる範囲で小片に分解して容器に入れた。このため、容器ごとの供試虫の投入個体数は均一でない。容器の口は通気性のある不織布で覆い、輪ゴムを使って隙間なく固定した。この容器を、タバコシバンムシが通過できない目の細かい金網で覆ったさらに大きなガラス製容器に入れ、タバコシバンムシが脱出できないようにした。これらの供試虫を入れた容器を調査地点ごとに用意し、設置した（図3）。燻蒸後に容器内部の供試虫を取り出し、実体顕微鏡下で虫体の動きを確認することによって生死を判定し、計数した。供試虫とともに容器に入れたヒラタケも慎重に分解し、内部に穿孔しているタバコシバンムシ幼虫および成虫を全て取り出して生死を判定し、計数した。

アルプガスを用いた燻蒸手順は公益財団法人文化財虫害研究所の定める指針に則って実施された。この指針における燻蒸効果判定のた



図3 供試虫設置状況。

表2 タバコシバンムシ供試虫の燻蒸後生死個体数。

設置場所		結果（生死数）					
		成虫		幼虫		蛹	
		死	生	死	生	死	生
収蔵庫1 1階	A	6	0	15	12	1	0
	B	16	0	5	2	3	(1)
	C	2	0	14	0	0	0
	D	8	0	12	7	1	0
収蔵庫1 2階	E	6	0	3	3	2	0
	F	5	0	0	1	0	0
	G	2	0	2	1	4	0
	H	6	0	0	3	3	0
	I	10	0	0	8	2	0
	J	2	0	4	6	1	0
対 照 区 (図書室書庫)	K	1	2	0	14	1	0
	L	2	6	1	7	0	0
対照区（地下廊下）	M	0	3	2	22	1	0
		※ カッコ () 付は生死不明					

めの供試虫はコクゾウムシ *Sitophilus zeamais* (Motschulsky, 1855) が指定されており、本調査時においても、著者らによるタバコシバンムシとは別に、燻蒸施工業者によってコクゾウムシが供試虫として投与され、燻蒸後に公益財団法人文化財虫害研究所に送付し、燻蒸効果判定を受けた。

結果

燻蒸施工業者による実施報告書によれば、投薬開始から60時間後までの燻蒸実施中の燻蒸ガス濃度の変化は、測定した9か所いずれの地点においても1.5－2.0%の範囲であった。供試虫のタバコシバンムシ成虫は、燻蒸ガスの曝露のない対照区を除いて、設置したすべての個所における燻蒸後の死亡が確認された（表2）。一方、同じく供試虫として設置したタバコシバンムシ幼虫は、殺虫に十分な濃度の燻蒸ガスが検出された近傍で燻蒸後も多くの個体が生存しており、活発に運動を行っていた（表2）。同時に、燻蒸ガスの曝露

があった収蔵庫内では、燻蒸ガスの曝露のなかった収蔵庫外の対照区に比べ、より多くの幼虫の死亡が確認された。対照区の供試虫は、成虫・幼虫ともに大多数の個体の生存が見られた（表2）。また、供試虫のコクゾウムシは、公益財団法人文化財虫害研究所により、設置したすべての個所において燻蒸後に成虫・幼虫・蛹がすべて死亡し、虫卵の孵化も見られなかったことが確認された。

考察

収蔵庫1内の供試虫のうち、タバコシバンムシ成虫とコクゾウムシについては、すべての供試虫が死亡した。さらに、収蔵庫1の床面や植物標本棚の下部など、燻蒸前には死骸の見られなかった場所において、燻蒸直後にタバコシバンムシ成虫の多数の死骸が確認された。これらの結果から、タバコシバンムシ成虫に対する酸化プロピレン燻蒸による殺虫効果があったと考えられる。しかし、タバコシバンムシ幼虫については、酸化プロピレンガス燻蒸により死滅しない場合があることが示された。自然史博物館の収蔵資料に対しては、コクゾウムシよりもタバコシバンムシによる虫害の発生頻度、および与える影響範囲が大きく、本調査の結果のように燻蒸により死滅しない、もしくは死滅しなかったと思われる事例が報告されている（木川ほか，2009）。そのため、少なくともタバコシバンムシの虫害発生が疑われる場合には、コクゾウムシのみを供試虫とした燻蒸効果判定を実施することは適切でない。なお、タバコシバンムシ成虫はインターネット通信販売で入手可能である。また、成虫・幼虫ともに10%程度の乾燥酵母粉末（エビオス、等）を加えたトウモロコシ細粉（コーンフラワー）もしくは砕粉（コーングリッツ）を餌として、室温（20-35℃）で飼育が可能であり（Imai & Harada, 2006; 宮竹・大前，2014）、著者らが試みたところ、容器に餌とともに複数の成虫を入れておくことで、容器内で産卵、孵化し、蛹化、羽化を経て、容易に累代飼育ができた。

本調査結果のように、もし、燻蒸を通じて幼虫の一部が生き残り、当館収蔵庫と同程度のおよそ20℃で維持された場合、翌年の燻蒸時期までには2～3世代分の生活史が進行する。この間、増殖したタバコシバンムシによって資料が加害される恐れがある。したがって、少なくとも当館のような博物館収蔵庫においては、酸化プロピレンガス燻蒸の実施だけではタバコシバンムシによる博物館資料への被害防止は十分とは言えない。

幼虫に対する酸化プロピレン燻蒸の効果が十分でなかった原因として、（1）酸化プロピレン燻蒸ガスへの耐性を獲得した個体の出現、（2）致

死量の燻蒸ガスに曝露されていないこと、が挙げられる。（1）に対しては、今回用いた酸化プロピレンとは異なる燻蒸ガス（e.g. 酸化エチレン）の使用により、殺虫効果が得られるかもしれない。ただし、殺虫剤耐性を持つ害虫の出現（Zettler & Keever, 1994; Rajendrana & Narasimhana, 2008）や発がん性などの人体への影響（川上・杉山 2009）を慎重に考慮する必要がある。（2）については、燻蒸ガス濃度測定管のごく近傍に供試虫を設置し、測定された燻蒸ガス濃度が殺虫に必要な濃度範囲であることを確認した。同時に、タバコシバンムシ幼虫の生死数には、収蔵庫1階の調査区では死亡個体の割合が多い傾向が見られた。収蔵庫1階の調査区で幼虫の死亡個体の割合が多い原因は不明だが、酸化プロピレンの比重が空気より重く、空間下部により高濃度で滞留しやすいことと関係があるかもしれない。また、当館のように空間容積が著しく大きな収蔵庫内では、棚や資料の配置など空間内の構造が非常に複雑なため、微視的には燻蒸ガスの拡散や均一な濃度の維持が達成されていなかったり、タバコシバンムシ幼虫が資料内部に穿孔して、致死量の燻蒸ガスに体表面が曝露されない状態にあった可能性が考えられる。棚や資料の配置の変更を実施したり、資料内部に殺虫に十分な濃度のガスが浸透・維持されるよう燻蒸時間を延長することによって、酸化プロピレンガス燻蒸による殺虫効果を高めることができるかもしれない。しかし、虫害の可能性のある資料に限っても、こうした対策を徹底することは、限られた収蔵庫空間の利用状況や予算面から容易に実現できない現状がある。

タバコシバンムシによる収蔵庫資料への被害防止のためには、酸化プロピレンガス燻蒸による殺虫効果を過信せず、他の害虫同様にIPMの観点に基づく、侵入防止、早期発見・駆除、増殖予防などの対策を、状況に応じ、適切な手法を組み合わせる継続的に実施する必要がある。博物館における一般的なIPM手法については、川上・杉山（2009）等に詳述されており、ここでは割愛するが、以下に主に自然史博物館資料を想定したタバコシバンムシ虫害防止対策として、川上・杉山（2009）の補足となる事例を示す。

収蔵庫への侵入防止と、発見時の速やかな駆除を目的とした場合、薬剤によらず、いずれの生活史ステージの状態であってもタバコシバンムシをほぼ確実に死滅させることができる手段としては、低温条件（Imai & Harada 2006）、高温条件（Yu 2011）、二酸化炭素処理（Riudavets *et al.* 2010）などが知られている。これらの手段のうち低温条件はマイナス15度以下を数時間維持することで、

タバコシバンムシを含む多くの資料害虫に対する殺虫効果が知られており (Fields, 1992; Imai & Harada, 2006; Abdelghany *et al.* 2010)、既存の冷凍設備を利用して、日常的に実施することが可能である。そのため、特に試料の損耗のおそれが少ない植物さく葉標本に対しては主に資料受入時の殺虫処理として、欧米の博物館を含め、冷凍殺虫処理が近年広く実施されている。冷凍処理にあたっては、チャック付ポリ袋で密閉するなど、資料を常温に戻した際の結露防止措置を実施する。冷凍処理が品質に悪影響を与える資料には冷凍処理以外の対策を実施する必要がある。

タバコシバンムシを早期発見する手法としては、「ニューセリコ」(富士フレイバー株式会社、東京.) のような性フェロモンや「ムシボン」(ベンハー芙蓉株式会社、岐阜.) などの紫外線誘虫灯による誘引効果を利用した粘着捕虫装置での捕虫状況や、収蔵庫内の死骸数を記録してその変化によって発生を見つける方法が挙げられる。

収蔵庫におけるタバコシバンムシの増殖防止対策としては、資料以外の発生源となり得る標本クズやホコリ、余剰の梱包材・緩衝材を排除することの他、温度管理、忌避薬剤の設置が挙げられる。温度管理は主に空調設備を利用して、害虫が正常な発育や活発な活動ができない温度域に室温を維持管理する。昆虫は一般に 25 ~ 30℃程度で最も活発に発育・増殖を行うため、可能な限りこれよりも室温を低く維持する。タバコシバンムシについては、気温 18℃以下においては卵から孵化できぬまま寿命を迎える実験結果 (Imai & Harada 2006) もある。忌避薬剤としては、自然史系博物館収蔵庫では伝統的に樟脳、ナフタレン、パラジクロロベンゼンなどが主に植物さく葉標本や昆虫標本の忌避薬剤として用いられてきた。しかし、樟脳は高価であり、ナフタレンは 2015 年に労働安全衛生法施行令における特定化学物質に指定されて事実上使用が困難となった。現状の選択肢としてはパラジクロロベンゼンの他、「エコミューアー FT プレート」(株式会社イカリ消毒、東京.) といった合成ピレスロイド系殺虫・忌避剤や「天然ハーブ防虫剤」(宇部マテリアルズ株式会社、東京.) のような天然由来成分を用いた防虫剤、およびこれらに類する家庭用衣類防虫剤が代替品として挙げられる。いずれも必要量換算ではナフタレンやパラジクロロベンゼンに比べて高コストとなる。また、これらの薬剤はいずれも防虫効果のある薬剤を揮散させ、空気中の薬剤濃度を一定にすることで効果を示すものであるため、空気の流れがあるような開放空間で使用するのではなく、ある程度の密閉性を持ち、容積の大きくない標本箱や標

本ロッカー内部に設置し、濃度を維持するため適宜薬剤の交換・補充を行う必要がある。

博物館収蔵庫における現実的な虫害の防止には、収蔵庫燻蒸を活用しつつも、それだけに頼らず、収蔵資料の受入時殺虫処理、人や資材の移動に伴う随伴侵入防止、電灯などによる非意図的誘引の防止、誘引トラップ (フェロモン・紫外線灯) による収蔵庫内の検出と駆除、蒸散型薬剤 (ピレスロイド系など) の設置による忌避・殺虫、低温低湿度環境の維持による増殖の阻止等、実施可能な対策をそれぞれの館の事情に照らして複合的に行い、害虫被害の低減を目指した IPM に基づく収蔵資料管理に継続して取り組む必要がある。

謝辞

神奈川県立生命の星・地球博物館の職員、および燻蒸施工業者の方々には収蔵庫虫害の記録や博物館害虫管理に関して情報提供いただくとともに、調査について快くご協力いただいた。ここに感謝申し上げる。

引用文献

- Abdelghany, A. Y., S. S. Awadalla, N. F. Abdel-baky, H. A. El-syafi & P. G. Fields, 2010. Effect of High and Low Temperatures on the Drugstore Beetle (Coleoptera: Anobiidae). *Journal of Economic Entomology*. **103**: 1909-1914
- Fields, P. G., 1992. The control of stored product insects and mites with extreme temperatures. *Journal of Stored Products Research*. **28**: 89-118.
- Imai, T. & H. Harada, 2006. Low-temperature as an alternative to fumigation to disinfest stored tobacco of the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (F.) (Coleoptera: Anobiidae). *Applied Entomology and Zoology* **41**: 87-91.
- Hori, M., M. Miwa & H. Iizawa. (2011) Host suitability of various stored food products for the cigarette beetle, *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae). *Applied Entomology and Zoology*. **46**: 463-469.
- 川上裕司・杉山真紀子, 2009. 博物館・美術館の生物学カビ・害虫対策のための IPM の実践. 176 pp. 雄山閣. 東京.
- 木川りか・佐野千絵・石崎武志, 2009. 「殺虫 / 殺菌処理、防虫剤などについての緊急アンケート」調査結果について. 保存科学. **48**: 233-240.
- 宮竹貴久・大前雄介, 2014. タバコシバンムシ *Lasiodermas erricorne* は直射ではなく反射 UV-LED によく誘引される. 日本応用動物昆虫学会誌. **58**: 133-135.
- Phillips, T. W., M. M. Hasan, M. J. Aikins & R. Mahroof, 2011. Fumigation and IPM alternatives for arthropod pests of museums. *Journal of Entomological and Acarological Research, Ser. II*, **43**: 205-210.

- Rajendrana, S. & K. S. Narasimhana, 2008. Phosphine resistance in the cigarette beetle *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) and overcoming control failures during fumigation of stored tobacco. *International Journal of Pest Management*. **40**: 207-210.
- Riudavets, J., C. Castañé, O. Alomar, M. J. Pons & Gabarra R. (2010) The use of carbon dioxide at high pressure to control nine stored-product pests. *Journal of Stored Products Research* **46**: 228-233
- Yu, C., B. Subramanyam, P. W. Flinn & J. A. Gwartz, 2011. Susceptibility of *Lasioderma serricorne* (Coleoptera: Anobiidae) life stages to elevated temperatures used during structural heat treatments. *Journal of Economic Entomology*. **104** : 317-324.
- Zettler, J. L. & D. W. Keever, 1994. Phosphine Resistance in Cigarette Beetle (Coleoptera: Anobiidae) Associated with Tobacco Storage in the Southeastern United States. *Journal of Economic Entomology*. **87** : 546-550.

摘 要

大西亘・加藤ゆき・松本涼子・広谷浩子・渡辺恭平・, 2016. 博物館収蔵庫での酸化プロピレンガス燻蒸処理におけるタバコシバンムシ幼虫の生存事例. 神奈川県立博物館研究報告 (自然科学), (45): 145-150. [Wataru OHNISHI, Yuki KATO, Hiroko KUDO-HIROTANI, Ryoko MATSUMOTO & Kyohei WATANABE. 2016. A Survival Case Report of Cigarette Beetle Larva in the Propylene Oxide Gas Fumigation Processing at Museum Strage. *Bull. Kanagawa prefect. Mus. (Nat. Sci.)*, (45): 145-150.]

容積約 10,080 立米の自然史系博物館収蔵庫において、酸化プロピレンガス (Propylene oxide (PPO); Methyl oxirane; C₃H₆O) を主剤とした燻蒸処理を実施した際、タバコシバンムシ (*Lasioderma serricorne* (Fabricius, 1792)) の成虫および幼虫を供試虫としてガスに曝露させた。その結果、成虫はすべて死亡が確認されたが、幼虫については、多くの個体が生存していた。博物館収蔵庫における酸化プロピレンガス燻蒸において、タバコシバンムシ幼虫が死滅しない場合があることが確認された。博物館収蔵庫の害虫対策においては、特定の手法による効果を過信せず、総合的有害生物管理の観点に基づいた管理を実施することが重要である。

(受付 2015 年 10 月 31 日 ; 受理 2015 年 12 月 3 日)