

# ニューハクシミに対する簡便な物理的防除方法の開発

高橋佳久・島田 潤

Key Words

ニューハクシミ (Ghost Silverfish)、物理的防除 (Physical Control)、  
総合的有害生物管理 (Integrated Pest Management)、遮断 (Block)

## 1 はじめに

博物館・図書館・文書館等が収蔵する紙資料の永続的保存を脅かす要因には、物理的要因、化学的要因、生物的要因などがある(東京文化財研究所編 2011)。この中で生物的要因が占める割合は大きく、特に文化財害虫による食害は資料の完全性を損なう不可逆的な劣化を引き起こす(小峰ら 2022)。そのため、多くの館で文化財害虫の防除対策が求められている。

シミ類は書籍や古文書などの紙資料を食害する文化財害虫の一種として知られている(山野 2014)。シミ類は紙の表面を食害するため、被害に遭うと文字や絵などの表面に描かれている情報が損失する。昨今、従来よりも強い繁殖能力を持つ可能性のある日本初記録のシミ(ニューハクシミ *Ctenolepisma calvum*) が発見され報告された(島田ら 2022、小峰ら 2022、Shimada et al. 2022)。発見されたニューハクシミの生態の研究によると、日本ではこれまで雌の個体しか見つかっておらず、単為生殖が可能なが推測されている(Watanabe et al. 2023)。そのため既知種よりも紙資料への被害が大きくなる可能性が指摘されている。シミ類の防除対策事例としては、殺虫成分を配合したベイト剤を用いて、マダラシミとニューハクシミに対する殺虫効果を検討した研究があり、その有効性が確認されている(小野寺ら 2023)。

ニューハクシミは2022年の時点で北海道を含む日本国内のかなり離れた複数の地域から発見されている(Shimada et al. 2022)。北海道博物館(以下、「当館」と表記)でも同種の生体が確認されており(図1)、文化財IPM(Integrated Pest Management: 総合的有害生物管理)の一環で設置している粘着トラップには複数の幼虫も捕えられていることから、既に館内で繁殖を許してしまっている可能性が高い。

これまで高橋の目視調査では、ニューハクシミは収蔵庫の壁面を登ることができるが、捕獲用に用いた平滑な

面を持つ容器を登ることはできないことがわかっている。文化財生物被害の研究者間では、シミ類が平滑な面を登ることができないことは経験的に知られているが、これを科学的に検証し物理的防除に応用した例は管見の限り未だない。ニューハクシミが登ることができない材料や表面状態の条件を明らかにすることができれば、既存の収蔵棚や容器を大きく変えることなく防除対策を実現できる可能性がある。特に設備や人員の制約が大きい館の資料保存活動に大きく貢献できると考えられる。当館においても施設老朽化の問題を抱える中で文化財IPMによる短期的な効果が見えづらい状況が続いている。このような状況は今後他の多くの館でも起こり得ると考えられることから、様々な制約を有する場合でも導入できる簡便な物理的防除方法のニーズが高まる可能性は高い。

そこで本研究では、博物館・図書館・文書館等の紙資料を多く収蔵する施設において大きな脅威となり得るニューハクシミについて、その脚の構造を詳細に観察して垂直移動能力を明らかにし、それをもとに物理的防除方法を開発することを目的とした。まず、これまで当館内において観察された事実からニューハクシミの垂直移動能力に関する仮説を提示し、電子顕微鏡(SEM)観察によってそれを検証する。次に、観察によって得られた知見に基づいて物理的防除に有効と考えられる実験材料を検討し、垂直移動能力評価実験を行う。最後に、実験結果に基づいて簡便な物理的防除方法を開発・提案する。



図1 当館内で捕獲したニューハクシミ

## 2 ニュウハクシミの垂直移動能力に関する仮説

当館内で目視調査した限りでは、ニュウハクシミは収蔵庫内の垂直な壁を登ることがわかっている(図2)。また、紙製やポリプロピレン製の資料保管容器内からニュウハクシミの生体、死体、加害痕、糞等が見つかった事例が数件あり、ニュウハクシミはこれらの容器を登れる可能性があると考えられる。一方で、ニュウハクシミの捕獲に用いたポリスチレン製容器内では、水平な容器底部であっても脚が滑って自由に動き回ることができない様子が観察された。これらの事実から、ニュウハクシミが登ろうとする物体の角度よりも表面状態が移動能力に大きく影響していることが推測された。すなわち、「ニュウハクシミの脚(特に爪claw及び前附節pretarsus)の構造と、登ろうとする物体の表面状態との関係によって、その物体を登れるか否かが決まる」という仮説を立て、以下に示す方法でそれを検証した。



図2 当館の収蔵庫内の壁を登るニュウハクシミ

## 3 方法

まず、当館内で捕獲したシミの同定を行った。同定はニュウハクシミの形態に詳しい島田と高橋が協同で行った。次に、当館内でニュウハクシミの捕獲に用いたポリスチレン製容器と捕獲されたニュウハクシミの脚の電子顕微鏡観察を行い、容器の表面状態(特に平滑さ)と脚の先の構造との関係を調べた。また、材料表面状態の比較のため、当館で実際に資料保管に用いているポリプロピレン製容器と、金属製収蔵棚の塗装の一部も観察した。最後に、観察によって得られた知見に基づいて、ニュウハクシミの物理的防除に有効と考えられる材料を検討し、シミの生体を用いた垂直移動能力評価実験を行った。実験にあたっては、シミの行動を常時監視するための監視システムを構築した。

### (1) ニュウハクシミの同定

当館内で捕獲したシミの同定は、高橋が本研究に着手する前から島田に写真を提供して相談しており、実際に当館での目視観察を経てニュウハクシミであることを確かめた。具体的には、ニュウハクシミの形態的特徴である細長い体型、銀色の鱗、半透明の外骨格、乳白色を呈する体、他のシミ類よりも長い触覚と尾毛を持つことなどが挙げられる(図1)。

### (2) 電子顕微鏡観察

観察試料は、ニュウハクシミの捕獲に用いたポリスチレン製角型ヒンジケース1点(図3)、資料保管用ポリプロピレン製容器の一部1点(図4)、金属製収蔵棚の部品の一部1点(図5)、金属製収蔵棚の塗装剥離片2点(図6中に矢印で示した)、当館内で捕獲した体長約2mmから5mmのニュウハクシミ14個体(図7)である。ニュウハクシミの各個体には1~14の試料番号を付した。電子顕微鏡で試料を観察する場合、観察対象の試料を置くための空間(試料室)を原理上真空状態( $10^{-2}$ ~ $10^{-3}$ Pa程度)に保つ必要がある。ニュウハクシミの生体を用いて観察する場合、真空状態下での体内の水分の変化により過度な変形が起きる可能性があるため、ニュウハクシミは全て死体を用いた。そのため、胸部と腹部は死後の乾燥によって生存中よりも収縮し、体長が短くなっている点に注意が必要である。プラスチック製観察試料の詳細情報は表1にまとめた。試料全体をデジタルカメラで撮影した後、カーボンテープで試料台に固定し、スパッタリング装置(サンヨー電子社製 QUICK COATER SC-701)で金(Au)による蒸着を施し、走査型電子顕微鏡(キーエンス社製 超深度マルチアングルレンズ VHX-D500/D510)を用いて拡大観察及び撮影を行った。ニュウハクシミ各個体の脚は、残存しているすべての部分(計44箇所)の撮影を行った。また、ポリスチレン製角型ヒンジケースは内面底部、資料保管用ポリプロピレン製容器は切削加工断面以外の平滑面の撮影を行った。金属製収蔵棚の塗装については、金属に付着した状態のものは表側の平滑面を、剥離片は表裏両面の撮影を行った。

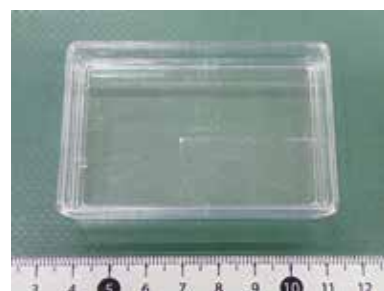


図3 ポリスチレン製角型ヒンジケース



図4 資料保管用ポリプロピレン製容器の一部

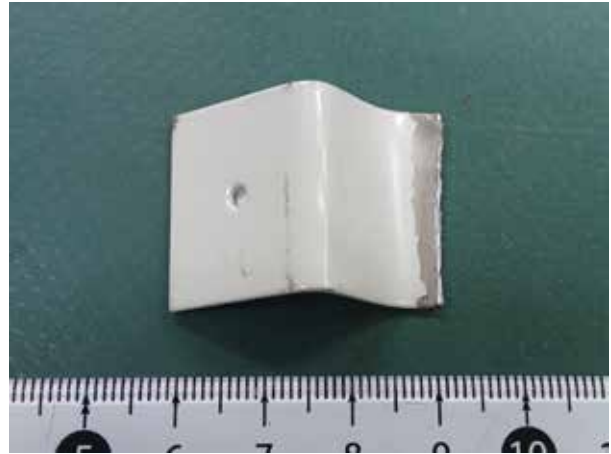


図5 金属製収蔵棚の部品の一部

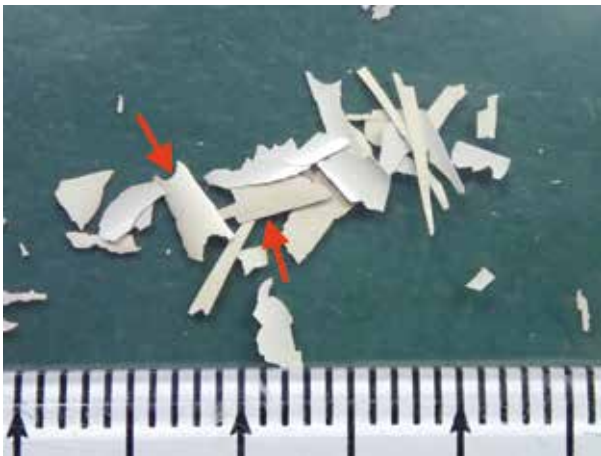


図6 金属製収蔵棚の塗装剥離片



図7 当館内で捕獲したニュウハクシミ

表1 プラスチック製観察試料の詳細情報

観察試料	製品詳細	解説
ポリスチレン製角型ヒンジケース (図3)	製造元：和歌山CIC研究所 製品名：クリーンパック 大きさ：75(W)×50(D)×18(H) mm	当館内でニュウハクシミの捕獲に用いた。 ニュウハクシミがこの容器の垂直面を登ることができないことを目視で確認したもの。
資料保管用ポリプロピレン製容器 (図4)	製造元：岐阜プラスチック工業 製品名：パンコンテナー大型深 大きさ：643(W)×418(D)×162(H) mm	当館内で博物館資料の保管に用いているもの。この容器内でニュウハクシミの生体・死体が発見された事例がある。
金属製収蔵棚の塗装	金属に付着した状態のもの(図5) 1点 金属から剥離したもの(図6) 2点	当館内で使われずに保管されていた部品の一部を観察用に切削加工したもの。

### (3) シミの垂直移動能力評価実験

#### (3) -1 監視システムの構築

実験にあたっては、シミの行動を常時監視するための赤外線カメラを用いた監視システムを構築した。監視システムの外観を図8に示す。デジタルカメラ用撮影スタンド(ハクバ社製 デジカメ撮影スタンド DSS-01)にスマートフォンアダプター用三脚グリップ(Manfrotto社

製 TwistGrip MTWISTGRIP)を取り付け、制御部本体をアダプターに挟んで固定した。赤外線カメラモジュールの受光部(図8に○印で示した)は、アダプター側に取り回し、粘着テープで固定した。

監視システム制御部の仕様を表2に示す。赤外線光源には市販の赤外線LED(Newzerol VR用赤外線ライト)を使用した。監視システムで取得したプレビュー画像を



図9に示す。日中、夜間を問わず動き回るシミを捉えて画像を取得するためには、ある時点での基準画像との差を検出して記録する方法が有効であるため、感度調整のためのスライダーによって差分率の誤差（初期値：10%＝Threshold 10）を設定できる背景差分を利用した画像記録プログラム（澤田 2019）を利用した。監視システムに用いた赤外線カメラモジュールは赤外線を遮断しないため、夜間の撮影に用いられる赤外線撮影技術による画像と同じく赤く表示される。

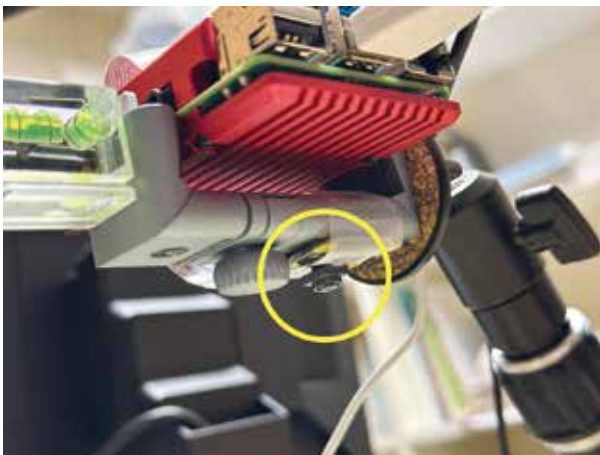


図8 監視システムの外観

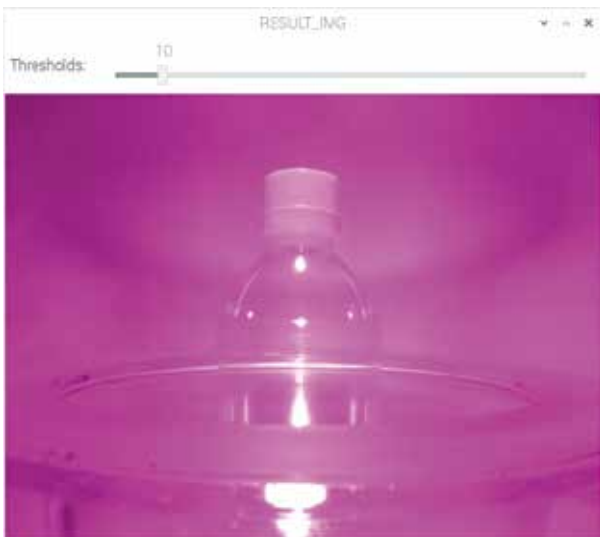


図9 監視システムで取得したプレビュー画像

赤外線光源を監視対象の上部に固定し画像背景を白くするため、図10に示すように撮影ボックスを用いて監視対象を囲うようにした。また、ボックス内の相対湿度を維持するため、ガラス製シャーレに水を入れたものをボックス内に設置した。

表2 監視システム制御部の仕様

ハードウェア	Raspberry Pi 4 Model B 8GB RAM
赤外線カメラモジュール	Raspberry Pi PiNoir Camera Module V2.1
OS	Raspberry Pi OS Buster 32-bit
カメラ用ライブラリ	raspicam_cv 0.1.9
画像処理ライブラリ	OpenCV 4.8.0

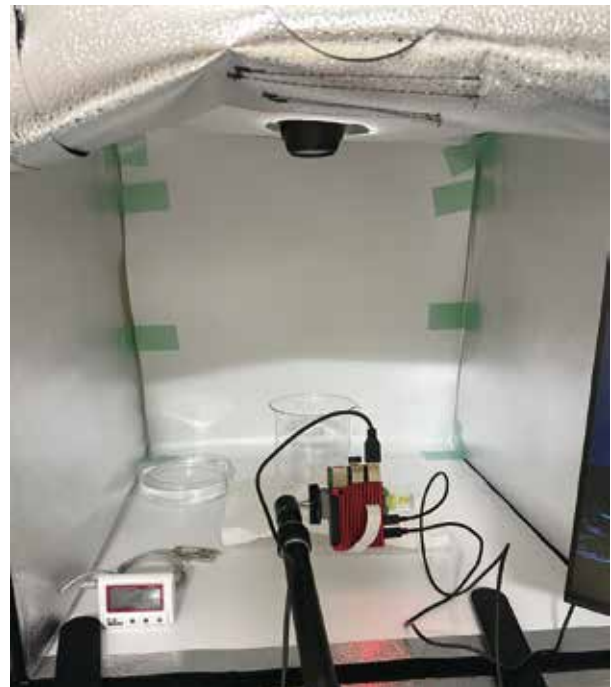


図10 監視システムを使った監視状況

### (3) -2 実験材料の検討

電子顕微鏡観察によって得られた知見とこれまでの経験知から、物理的防除に有効な可能性のある実験材料の検討を行った。他館でも既存の収納棚や容器を大きく変えることなく物理的防除を実現できることを条件に、本研究では入手しやすく安価なペットボトルとPTFE（ポリテトラフルオロエチレン）テープを選定した。

ペットボトルは、その底部を活用して床面から高さを得るための脚部とすることを想定し、市販の500ml炭酸ガス入り飲料用耐圧ペットボトルを用いた。炭酸ガス入り飲料用耐圧ペットボトルは、飲料内部の圧力に耐えるために特有な形状の底部を持ち、円筒部よりも厚く頑丈に作られていることが知られている（福田ら 2011）。このペタロイド形状<sup>(1)</sup>の底部は曲面しか持たず、接地面からの立ち上がりの角度が90度よりも大きいため、シミ類が登りにくく、シミ類の物理的防除効果が期待できる。

(1) <https://www.petbottle-rec.gr.jp/more/kind.html>（最終閲覧日：2023年11月26日）

PTFEは環境の変化に極めて強く<sup>(2)</sup>、通常の保管及び取扱いの条件下では有害なガス等を発することもないため、安全に使用できる。また、滑り性、低摩擦性など本研究の目的に適った多くの物理的性質を有しており<sup>(3)</sup>、同じくシミ類の物理的防除効果が期待できる。

### (3) -3 実験条件

実験には、当館内で捕獲しデシケーター内で図11に示す環境下（平均温度23.9℃、平均相対湿度58.8%）で飼育したニュウハクシミの生体を用いた。餌は2023年11月18日までは市販のティッシュペーパーのみを与え続け、11月19日以降は後述の異なる実験環境を作るため動物性たんぱく質（魚粉）を含む餌を追加で与えた。飼育期間中には産卵があり、孵化した個体が確認された。

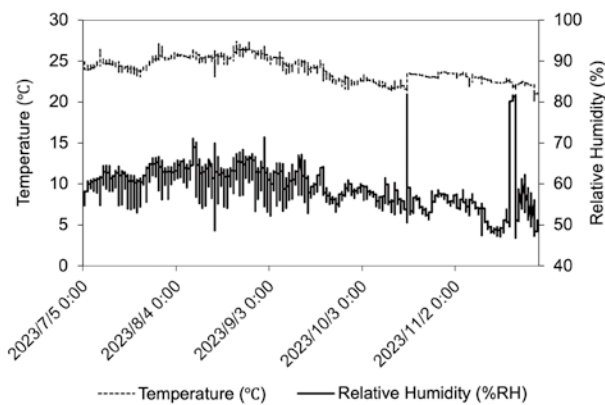


図11 ニュウハクシミの飼育環境の推移

耐圧ペットボトルを用いた実験系を図12に示す。ニュウハクシミが登れないことを確認した1000ml容量のガラス製ビーカー内に、耐圧ペットボトル底部のペタロイド形状部を高さ約40mmに切り取ったものを入れ、その中にニュウハクシミの成虫（体長約6mm～10mm）を10個体投入し、ニュウハクシミがペットボトルを登って外に出られるかを監視した。ニュウハクシミがペットボトル内部から抜け出せなかった場合、ペットボトルの内側以上に角度の大きい外側を登ることは極めて難しいと判定することができると考えた。ペットボトルを登るための動機付けとして、餌を探して動き回るように餌なしの状態を条件1とした。ニュウハクシミは夜行性であることが知られており（Querner et al. 2022）、活発な活動を促すため、部屋の明かりは常時消して可視光が当たらない状態を維持した。この状態で監視システムを用いて一定時間監視し、ニュウハクシミの行動を記録した。



図12 耐圧ペットボトルを用いた実験系（条件1）

条件2として、図13に示すようにペットボトル内に足場となるティッシュペーパーを、ペットボトルの縁に触れないように入れ、ビーカー内に動物性たんぱく質の餌を撒いてペットボトルを登って外に出るためのより強い動機付けを与えた。



図13 耐圧ペットボトルを用いた実験系（条件2）

(2) <http://www.jfia.gr.jp/characteristic.html>（最終閲覧日：2023年11月26日）

(3) <https://www.chukoh.co.jp/teflon/>（最終閲覧日：2023年11月26日）

以上の異なる2つの条件のもと、耐圧ペットボトルのペタロイド形状部に対するニューハクシミの垂直移動能力の評価を行った。耐圧ペットボトルを用いた実験の条件を表3にまとめた。

表3 耐圧ペットボトルを用いた実験の条件

	条件 1	条件 2
実験期間	48 時間 (11/21 - 11/23)	117 時間 (11/23 - 11/28)
餌	なし	ティッシュペーパー 動物性たんぱく質
足場	なし	ティッシュペーパー
部屋の明かり	消灯	消灯
監視システムの 差分率誤差設定	2 %	2 %

PTFEテープを用いた実験系の模式図を図14に示す。フォト光沢紙 (EPSON KA4100PGP) を用いて上面のない直方体の箱 (5面体：底面50×50mm、高さ30mm) を光沢面が箱の外側になるようにして2つ作製し、片方はその内面に幅25mmのPTFEテープ (中興化成工業社製 ASF-110FR) を貼り付けた (図15)。用意した箱2つを、ニューハクシミが登れないことを確認した深さ40mmのガラス製シャーレに入れ、それぞれの箱にニューハクシミの幼虫9個体 (体長約3mm~5mm)、成虫9個体 (体長約6mm~10mm) を3個体ずつ投入し、ニューハクシミが箱を登って外に出られるかを監視した。PTFEテープを貼り付けた箱の内部から抜け出せなかった場合、幅25mmのPTFEテープが垂直移動を制限したと判定することができる。

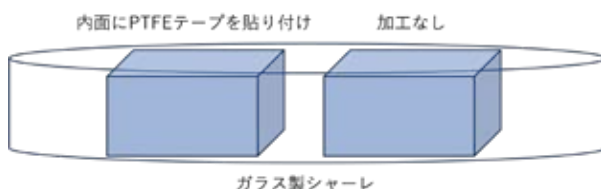


図14 PTFEテープを用いた実験系の模式図

予備実験を行ったところ、図16に示すようにPTFEテープを貼り付けていない箱からはニューハクシミがわずか数秒で外に出られることがわかったため、表4に示す条件で反復試行し、PTFEテープを貼り付けた場合の効果の再現性を確認することに重きを置くこととした。



図15 フォト光沢紙で作製した箱 (図中の破線はPTFEテープの境目を示す)

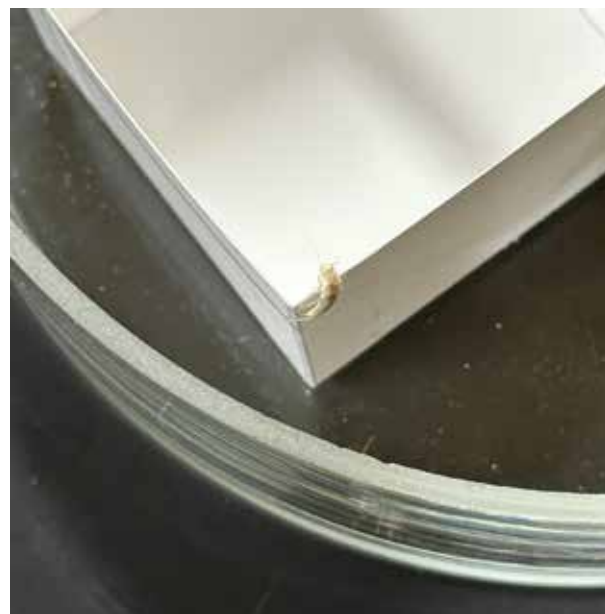


図16 PTFEテープを貼り付けていない箱から出たシミ

表4 PTFEテープを用いた実験の条件

総実験回数	6 回		
実験時間	1 時間/回		
	実験回	テープ有	テープ無
供試した個体 (偶数回目は奇数 回目の個体同士を 入れ替えた)	1	成虫 3	成虫 3
	2	成虫 3	成虫 3
	3	成虫 3	幼虫 3
	4	幼虫 3	成虫 3
	5	幼虫 3	幼虫 3
	6	幼虫 3	幼虫 3
餌	なし		
足場	なし		
部屋の明かり	消灯		
監視システムの 差分率誤差設定	2 %		



## 4 結果

### (1) 電子顕微鏡観察結果

ポリスチレン製角型ヒンジケースの拡大画像を図17に示す。長期間の使用により表面に細かな傷が付いているものの、図17-1からは光沢を有していることがわかる。図17-2から、直線的な傷は長いが浅く、点状の傷は不規則だが深いことが観察された。図17-3から点状の傷は幅 $100\mu\text{m}$ 以下であることが確認でき、ほとんど傷のない箇所を拡大した図17-4では、表面の凹凸は $5\mu\text{m}$ 以下と観察された。

ポリプロピレン製容器の一部の拡大画像を図18に示す。図18-2では、ほとんど凹凸がなく平滑な面を有していることが観察された。成型時に生じたと思われる幅 $10\mu\text{m}$ 程度の細かな線が見られ(図18-3)、場所によって凹凸の度合いが異なることが観察された(図18-4)。また、ポリプロピレン製容器は、ポリスチレン製容器に比べて表面の凹凸が多く、傷の大きい箇所では深さ約 $10\mu\text{m}$ 程度と観察された(図18-8)。

金属製収納棚の部品の一部の拡大画像を図19に示す。材料の堅さによるためか、塗装部分はこれまで見てきたプラスチック製品と比べて細かな傷が少なかった(図19-3)。深さ $5\mu\text{m}$ 程度の瘤状の凹凸が見られた(図19-4)。

金属製収納棚の塗装剥離片の拡大画像を図20に示す。表面は先ほど見た収納棚部品の一部と同じく、細かな傷は少なかった。また、深さ $5\mu\text{m}$ 程度の瘤状の凹凸が見られる状態も同様だった。裏面(金属に接する面)は表面から見えた瘤状の状態がよりはっきりと現れており、凹凸は幅 $30\sim 50\mu\text{m}$ 、深さ $10\mu\text{m}$ 程度と観察され、明らかに表面よりも荒かった。

大きさの異なる代表的なニュウハクシミ2個体の拡大画像を図21と図22に示す。いずれの個体も前附節pretarsusは2本の対称的な爪clawとその間にある爪状の爪間体empodiumで構成されていた。爪の長さは $50\mu\text{m}$ 程度で、爪間体の長さは爪の長さの半分以下と観察された。爪は先端に向かって細く伸びており、最先端部の幅は $5\mu\text{m}$ 以下と観察された。附節tarsusには爪の方向に向かって毛が生えていた。この2個体以外の12個体の観察結果も、上記の状態と同様であった。

### (2) シミの垂直移動能力評価実験結果

耐圧ペットボトルを用いた実験では、条件1・条件2ともに実験終了後にペットボトルの外側に移動できた個体は認められなかった。実験中に排出されたニュウハクシミの糞は、ペットボトルの内部にだけ溜まっており(図23)、ガラスビーカー内には認められなかった。条件2

の実験終了後、体の一部が欠損した死体が1個体確認された。監視システムには条件1で6分19秒(33.3MB)、条件2で21分25秒(112.7MB)の動画がそれぞれ記録された。記録された動画には、実験期間中にペットボトルの外側に移動したニュウハクシミの姿は映っていなかった。



図23 実験中にペットボトル内部に溜まったシミの糞

PTFEテープを用いた実験結果を表5に示す。全6回の実験終了直後では、PTFEテープを貼り付けた箱の外側に移動したニュウハクシミは認められなかった。監視システムの動画記録でも、箱の外側へ移動する様子は映っていなかった。PTFEテープを貼り付けなかった箱では、実験終了直後に箱の外側へ移動した個体が確認された。監視システムの動画記録でも、全6回中5回は箱の垂直面を登って移動している様子が映っていた。

表5 PTFEテープを用いた実験の結果

実験回	実験終了直後に箱の底面に		監視システムで 取得した動画記録
	止まっていたシミの数	テープ無	
	テープ有	テープ無 ( )内は垂直面	
1	3	1(1)	1分21秒(5.8MB)
2	3	2	2分12秒(10.2MB)
3	3	3	37秒(2.6MB)
4	3	3(2)	1分22秒(6.6MB)
5	3	3(2)	1分16秒(5.8MB)
6	3	3(2)	32秒(2.1MB)

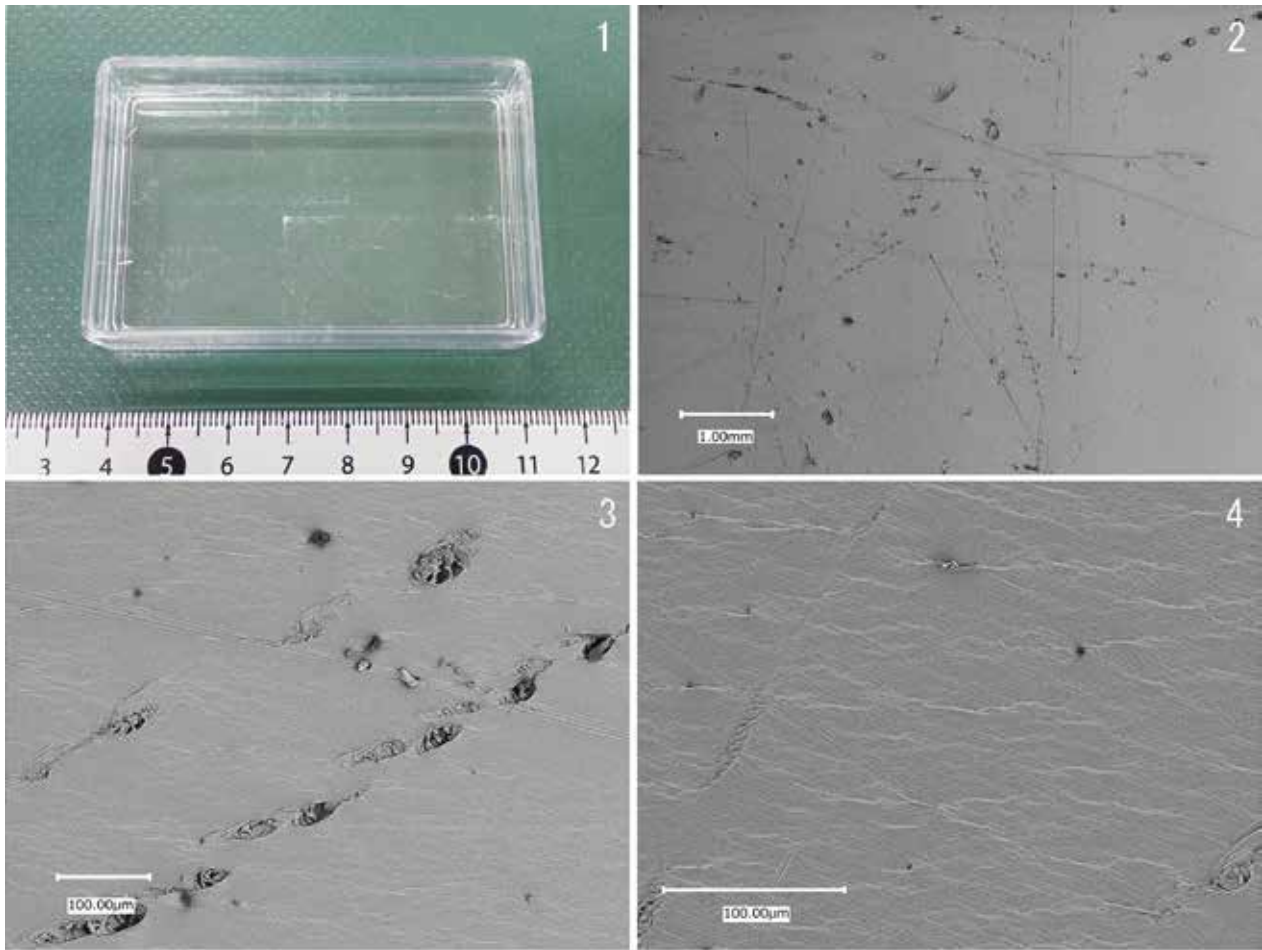


図17 ポリスチレン製角型ヒンジケースの拡大画像 (1：外観カラー画像、2～4：電子顕微鏡画像)



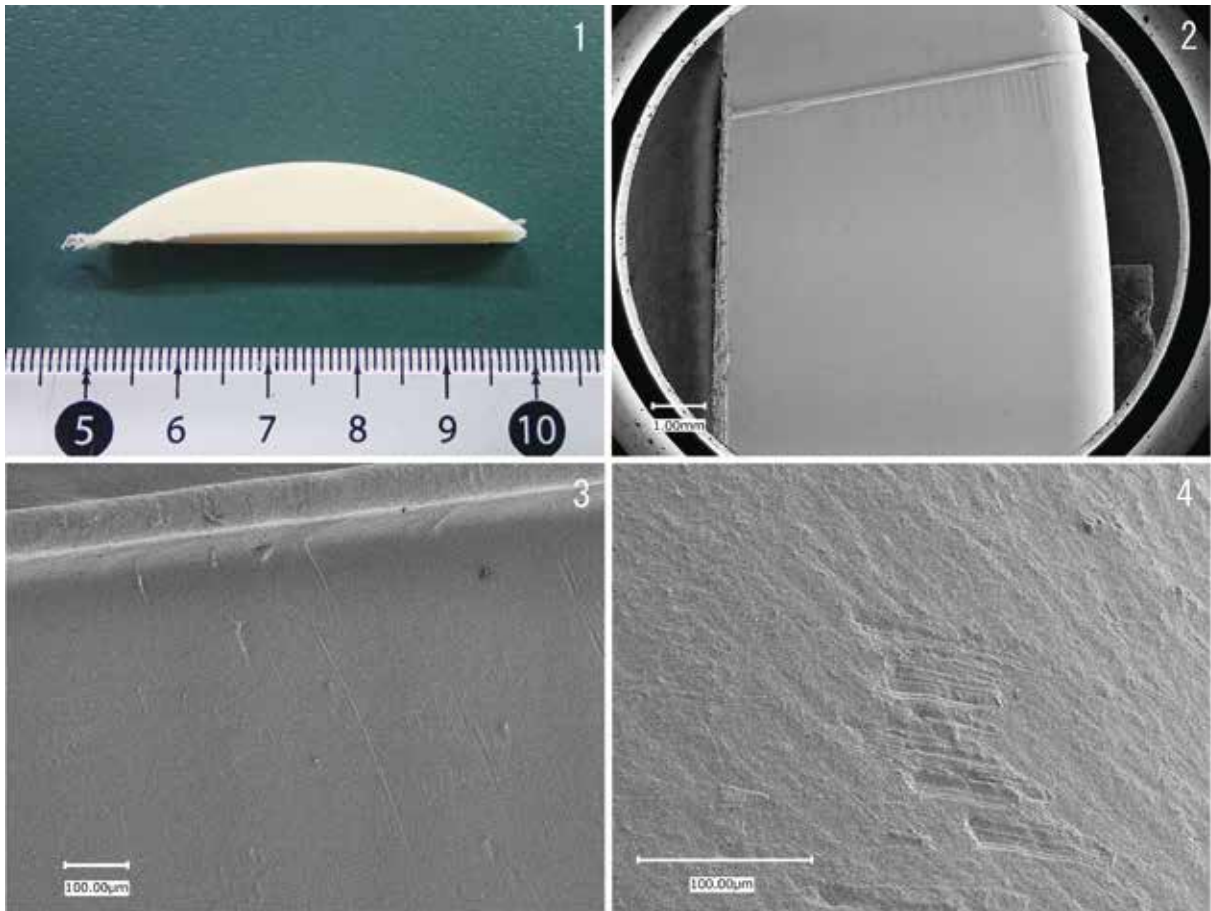


図18 資料保管用ポリプロピレン製容器の一部の拡大画像 (1：外観カラー画像、2～4：電子顕微鏡画像)

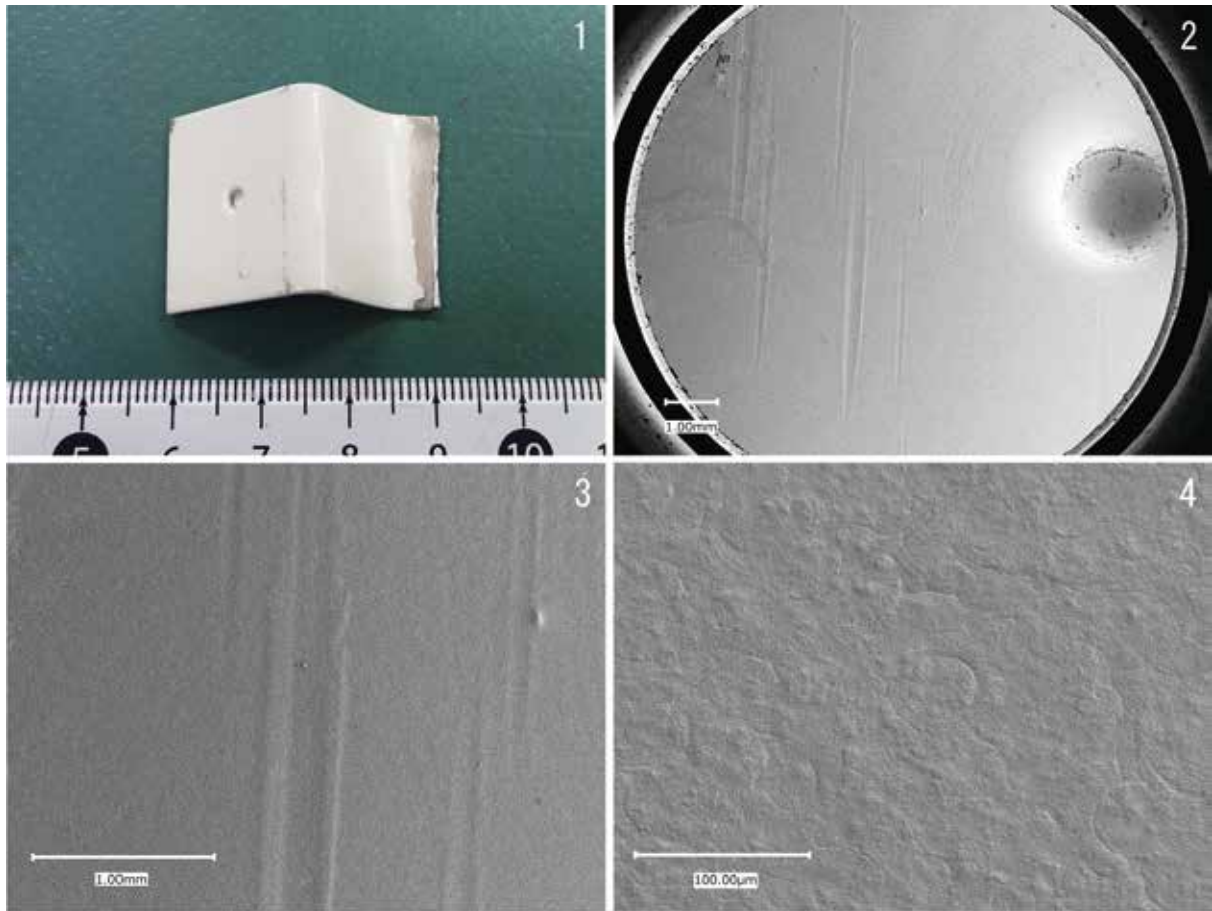


図19 金属製収納棚の部品の一部と塗装の拡大画像（1：外観カラー画像、2～4：電子顕微鏡画像）

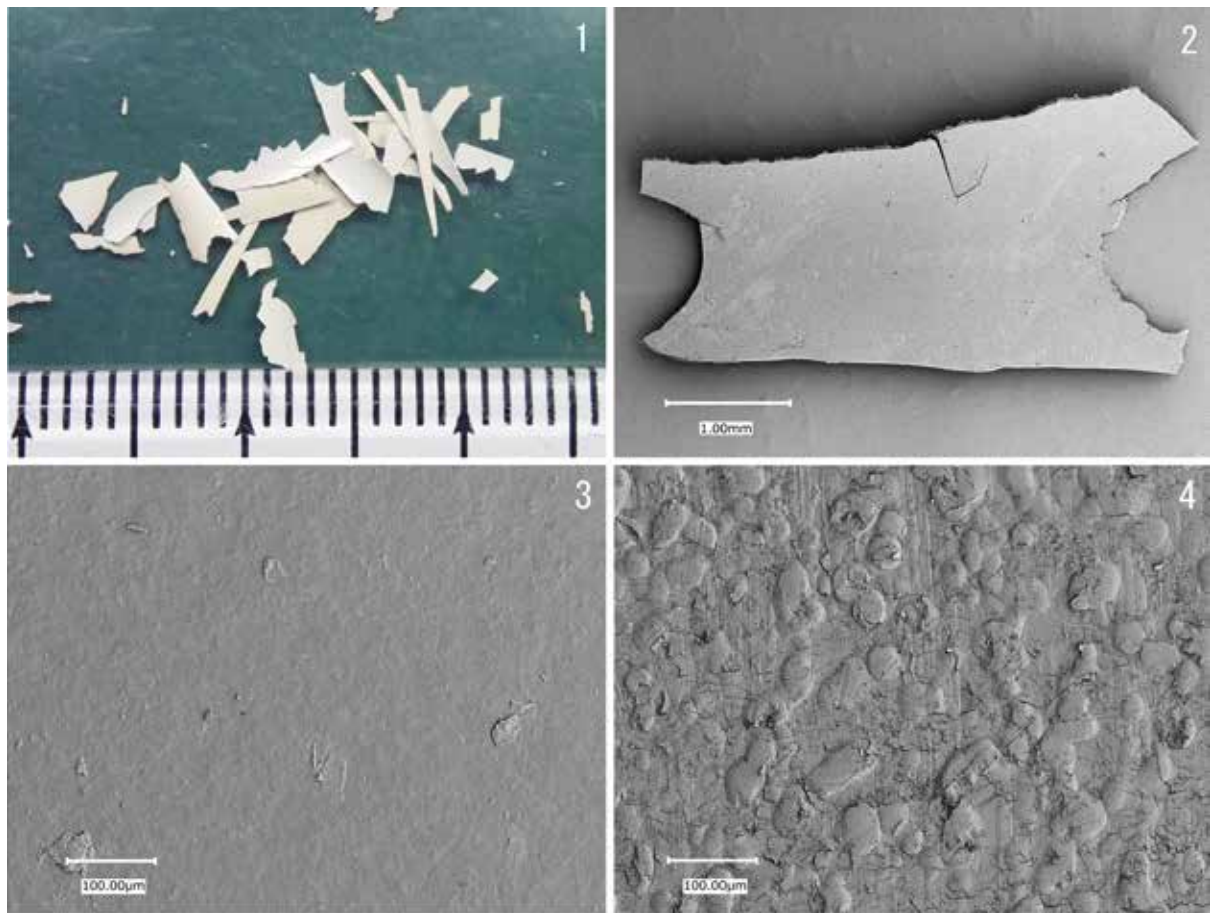


図20 金属製収蔵棚の塗装剥離片の拡大画像（1：外観カラー画像、2～3：表面SEM画像、4：裏面SEM画像）



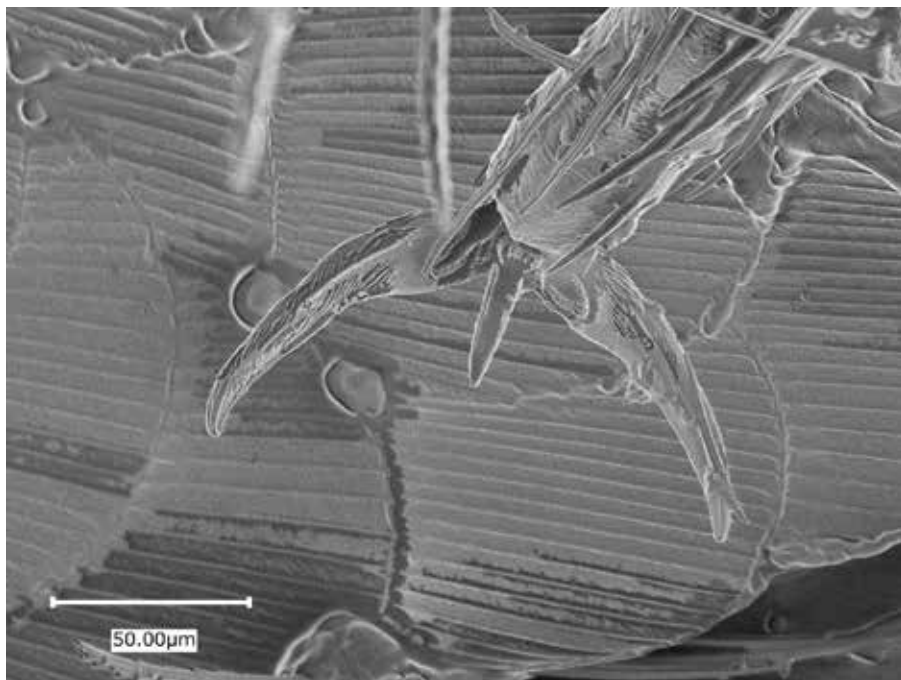
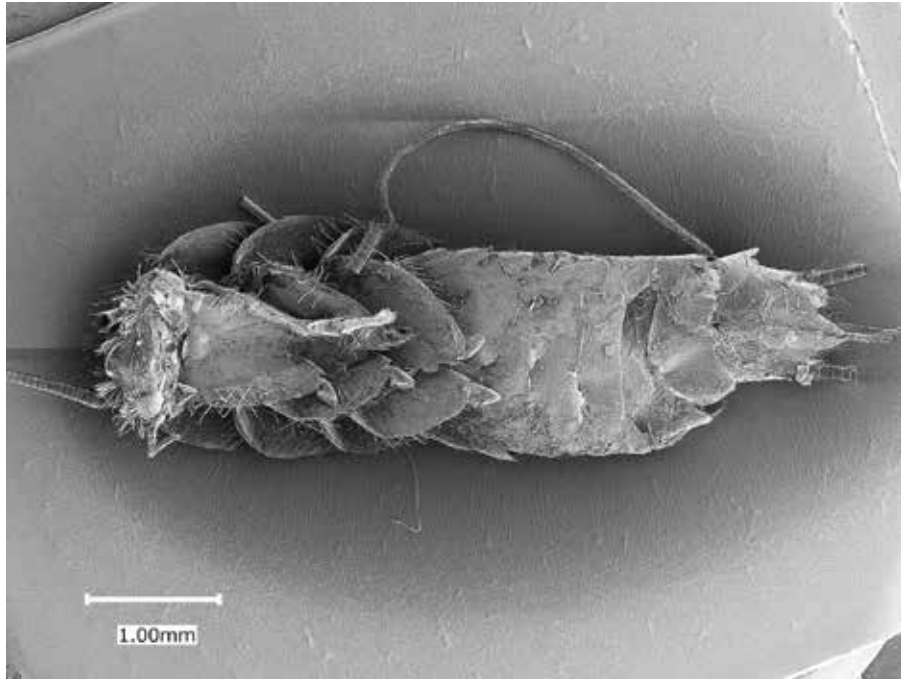


図21 ニュウハクシミ試料No.10の全体像と脚の電子顕微鏡画像

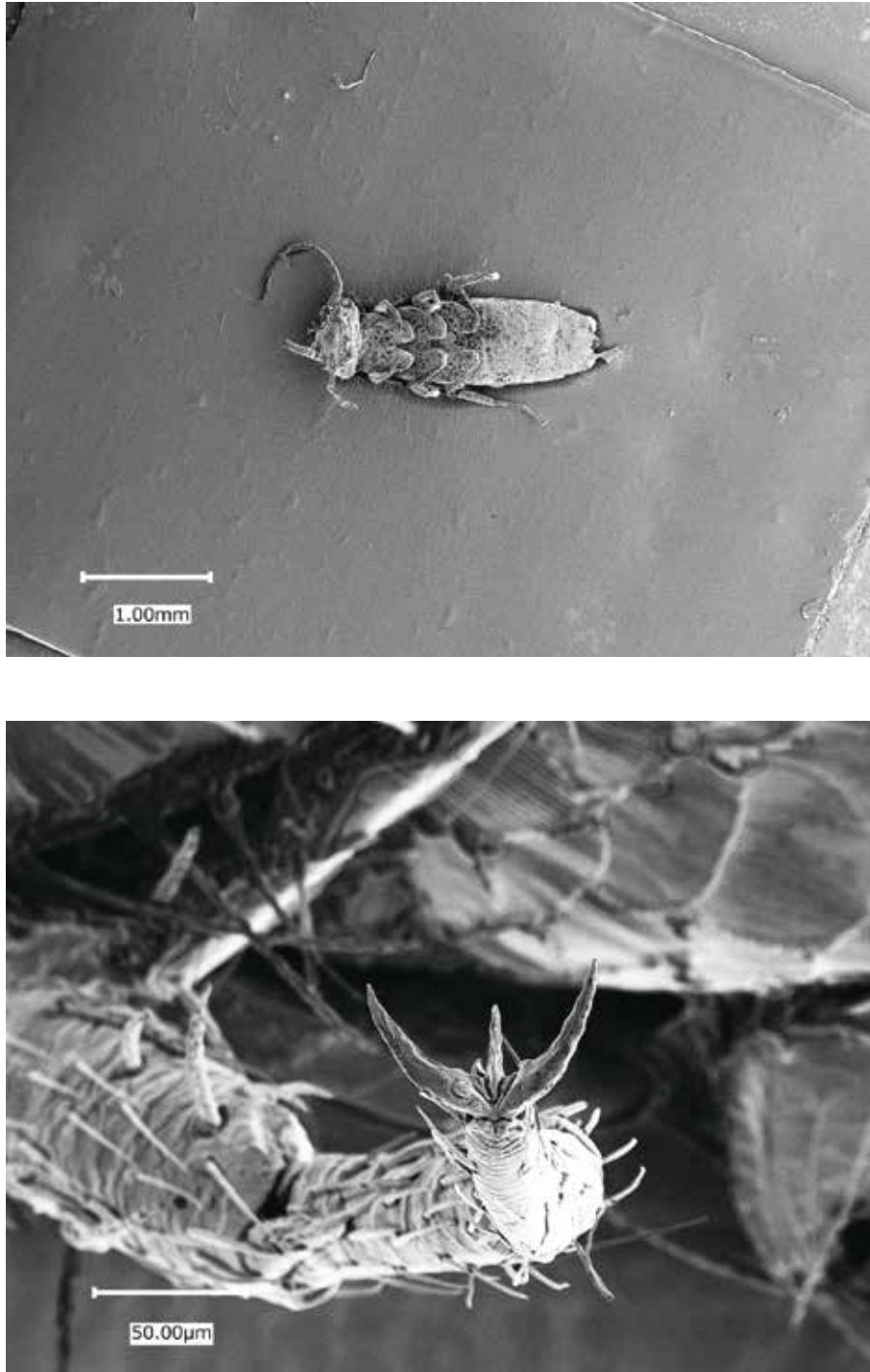


図22 ニュウハクシミ試料No.14の全体像と脚の電子顕微鏡画像

## 5 考察

### (1) ニュウハクシミの垂直移動能力に関する仮説の検証

観察したニュウハクシミの前附節は、2本の爪と爪状の爪間体から成る単純な構造であった。附節tarsusには爪の方向に向かって毛が生えている状態が観察されたが、この毛の向きは垂直な面に対して摩擦抵抗を得づらく、垂直移動能力の向上にはあまり寄与していないと考えられる。垂直な面を移動するために有利な脚の構造としては、ゴキブリが持つ爪間盤やハエが持つ肉盤（褥盤）などが知られている（市川 2015、平嶋ら 2017）が、ニュウハクシミはそれらを持たないことも明らかとなった。したがって、ニュウハクシミは爪の最先端部を対象の物体に引っ掛けて移動しており、爪を十分に機能させられないほどの平滑かつ垂直な面では、自由に移動することは極めて難しいことが示唆された。

ポリスチレン製角型ヒンジケースの表面は、傷がない状態では5 $\mu$ m以下の凹凸しかなく、今回観察したニュウハクシミの爪の最先端部の大きさとほぼ同じ大きさであった。ポリスチレン製容器の傾斜のない底部であっても、ニュウハクシミの脚が滑って自由に動き回れない様子が観察されたのは、容器内を移動するのに十分な凹凸がなかったためと考えられる。冒頭で提示した「ニュウハクシミの脚（特に爪claw及び前附節pretarsus）の構造と、登ろうとする物体の表面状態との関係によって、その物体を登れるか否かが決まる」という仮説は、今回の電子顕微鏡観察の結果からは支持されたと考えられる。

### (2) 材料表面状態の比較

当館で実際に資料保管に用いているポリプロピレン製容器と金属製収納棚の塗装の一部は、ニュウハクシミが自由に移動できなかったポリスチレン製容器と同等かそれよりもやや荒い表面を持っていることが観察された。したがって、大きな傷等を生じない限りはニュウハクシミの垂直移動をある程度制限できる可能性があると考えられる。金属製の収納棚については、塗装の裏面の凹凸が特に大きかったことから、塗装が剥がれて金属が露出している場合には、シミが登れる可能性があると考えられる。

### (3) ニュウハクシミの垂直移動能力評価実験の解釈

今回の実験結果からは、耐圧ペットボトルの底部及びPTFEテープは、ニュウハクシミの垂直移動を制限できる条件を満たしている可能性が高いと考えられる。ペッ

トボトルとPTFEテープは、それ自体が文化財害虫の住処や餌とならず、表面に光沢や低摩擦性を持つなど平滑さに優れた材料としての一面を評価して選定した。電子顕微鏡観察の結果から材料表面の平滑さがニュウハクシミの自由な移動を制限している可能性が示唆されたことと合わせて、行動観察実験でもこれらの持つ材料表面の平滑さや低摩擦性が寄与した可能性が考えられる。

## 6 物理的防除方法の開発

ここまでの検討結果を踏まえ、本研究では以下の2つの物理的防除方法を開発・提案する。(2)で提案する器具の形態は、製作にかかる時間やコストを意識しながら検討を進めた。

### (1) PTFEテープを資料保存容器に貼付する方法

垂直移動能力評価実験でニュウハクシミの垂直移動を制限できる可能性が高いことが確認されたPTFEテープを資料保存容器の周囲に貼り付けることで実現できる極めて単純な防除方法である(図24)。この方法の長所は既存の資料保存容器の材質や構造を一切変えることなく手軽に行える点である。また、PTFEテープは環境の変化に強く、通常の保管及び取扱いの条件下では有害なガスを発することもないため、安全データシート(SDS)に基づき適切に取扱うことで長期的な効果の持続が期待できる。短所はPTFEテープ自体がやや高価な製品であるため、網羅的に施すことが難しい点が挙げられる。また、基本的に容器下部からの侵入を防ぐことしかできないため、容器上部からの侵入(例えば収納棚上段からの落下など)を防ぐためには異なる対策も必要となる。後述の方法と組み合わせることで、容器下部からの物理的防除効果が高まる可能性がある。



図24 PTFEテープを貼り付けた紙製資料保存容器



## (2) 耐圧ペットボトルと押出発泡ポリスチレンを組み合わせた嵩上げ方法

垂直移動能力評価実験でニュウハクシミの垂直移動を制限できる可能性が高いことが確認された500ml炭酸ガス入り飲料用耐圧ペットボトルの下部を脚とし、その上に押出発泡ポリスチレン（スタイロフォーム™ IB、デュポン・スタイロ社製）を渡した器具を用いた防除方法である（図25）。押出発泡ポリスチレンとは、主に一般建築用に断熱材・保温材として利用されるものである。今回使用したスタイロフォーム™ IBは建築用断熱材としてJIS A 9521などの試験法をクリアした製品であり、長期利用する上で有用な様々な物性を有しているため選定した<sup>(4)</sup>。通常発泡プラスチック類を20m<sup>3</sup>以上貯蔵する場合、消防法の取扱いにより「指定可燃物」となり所轄の消防署へ届出が必要である。指定可燃物の判断は酸素指数の試験により26未満のものであり、スタイロフォーム™の酸素指数は26以上（JIS K 7201）のため規制を受けない<sup>(5)</sup>。なお、ペットボトルについても酸素指数は26以上のため、消防法の定めに抵触しない。よって材質としては取蔵庫内で用いることが可能であるが、実際の活用については当館内での実証実験に基づき検証を行っていく段階にある。スタイロフォーム™は建築基準法のシックハウス対策に係る「ホルムアルデヒド発散建築材料」に該当しない製品のため、取蔵庫内の空気質に与える影響は少ないと考えられる。スタイロフォーム™は元来断熱材として利用されるため、床下からの冷気や暖気を遮断する効果があり、一時的な床置きの際にも有用である。また、水を吸収しにくく、水よりも密度が低いいため、浅い浸水時に資料を水濡れから守る効果も期待できる。



図25 耐圧ペットボトルと押出発泡ポリスチレンを組み合わせた嵩上げ方法

### (2) -1 器具の作成方法

- ① スタイロフォーム™を資料保存容器の大きさに合わせて切削加工する
- ② 耐圧ペットボトルの底部（ベタロイド形状部）を切削加工する
- ③ ①のスタイロフォーム™に②の耐圧ペットボトルの底部をはめ込む（図26）

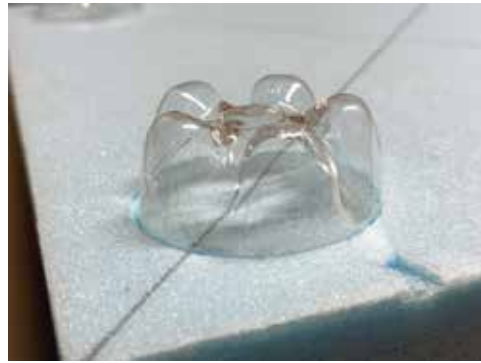


図26 スタイロフォーム™にはめ込まれたペットボトル底部

### (2) -2 耐荷重試験と試験結果

製作した器具の実用性を確かめるため、簡単な耐荷重試験を行った。試験の手順は以下のとおりである。

- ① スタイロフォーム™とペットボトル底部の境界部分に赤色の油性ペンで線を引く
- ② 体重60kg前後の人がスタイロフォーム™の上に乗って全体重をかける
- ③ スタイロフォーム™とペットボトル底部の境界部分に黒色の油性ペンで線を引く
- ④ 赤色と黒色の線の間の距離を測定する

試験の結果、器具が破損することなく、赤色と黒色の線の間の距離は5mm以内に収まることが確かめられた（図27）。



図27 耐荷重試験後のペットボトル底部

(4) <https://www.dupontstyro.co.jp/styrofoam/feature.html>（最終閲覧日：2023年11月26日）

(5) [https://www.fdma.go.jp/relocation/kasai\\_yobo/about\\_shiken\\_unpan/flow2rui.pdf](https://www.fdma.go.jp/relocation/kasai_yobo/about_shiken_unpan/flow2rui.pdf)（最終閲覧日：2023年11月26日）

## 7 まとめ

本研究では、「ニューハクシミの脚（特に爪claw及び前跗節pretarsus）の構造と、登ろうとする物体の表面状態との関係によって、その物体を登れるか否かが決まる」という仮説を提示し、それを検証した。電子顕微鏡観察の結果、ニューハクシミの脚の先は、2本の爪と爪状の爪間体から成る単純な構造であり、ゴキブリやハエのように垂直な面を移動するために有利な脚の構造を持たないことが明らかとなった。このことから、仮説は支持されたと考えられる。

観察結果に基づいて行ったニューハクシミの垂直移動能力評価実験では、光沢や低摩擦性など材料表面の平滑さなどの物理的性質が実際にニューハクシミの自由な移動を制限している可能性が示唆された。

これらの観察と実験によって得られた知見から、入手しやすく安価なペットボトルとPTFEテープを用いた簡便かつ実用的な物理的防除方法を開発・提案した。

今後は、本研究で開発した物理的防除方法の長期にわたる効果検証と評価を当館内で引き続き行う予定である。また、今後ニューハクシミの物理的防除のための他の材料を選定する上で、表面光沢が一つの判断基準となる可能性が考えられるため、材料選定のための光沢度の指標を検討するなどの研究も並行して進めていきたいと考えている。

### 謝辞

当館内でのニューハクシミの生体及び死体の採集には、北海道博物館学芸職員の長期に渡る協力を得た。また、改稿にあたり2名の匿名査読者による指摘と助言をいただいた。ここに記して感謝申し上げる。

本研究は、日本科学協会の笹川科学研究助成による助成を受けた。

## 引用文献

- 市川敏夫 2015. 昆虫の肢の接着器官の動作を監視するセンサーシステムの設計：共通性と多様性. 比較生理生化学 32(1): 10-23. 日本比較生理生化学会.
- 小野寺裕子・島田 潤・渡辺祐基・小峰幸夫・木川りか・佐藤嘉則 2023. マダラシミおよびニューハクシミに対するベイト剤の殺虫効果. 保存科学 62: 193-198. 東京文化財研究所.
- 小峰幸夫・島田 潤 2022. 文化財害虫とその対処—最近のトピックを中心に—. 月刊文化財 709: 7-11. 第一法規.
- 澤田英宏 2019. C++プログラムで人の動きを認識 ラズパイ/PCで体験！ 計測のためのカメラ画像処理. pp.139-149. CQ出版.
- 島田 潤・佐藤嘉則・渡辺祐基・木川りか・小峰幸夫 2022. 新種のシミの報告. 文化財保存修復学会第44回大会発表要旨集. pp.154-155. 文化財保存修復学会.
- 東京文化財研究所編 2011. 文化財の保存環境. 中央公論美術出版.
- 平嶋義宏・広渡俊哉編 2017. 教養のための昆虫学. pp.14-16. 東海大学出版部.
- 福田忠生・尾崎公一・山部匡央・飯坂元哉・早川梯二 2011. 耐圧ペットボトルの構造挙動と耐圧強度に関する一検討. 圧力技術 49(3): 24-29. 日本高圧力技術協会.
- 山野勝次 2014. <昆虫学講座(後編)>文化財の材質からみた主要害虫. 文化財の虫菌害 67: 18-25. 文化財虫菌害研究所.
- Querner, P., Szucsich, N., Landsberger, B., Erlacher, S., Trebicki, L., Grabowski, M., Brimblecombe, P. 2022. Identification and spread of the ghost silverfish (*Ctenolepisma calvum*) among museums and homes in Europe. *Insects* 13(9): 855.
- Shimada, M., Watanabe, H., Komine, Y., Kigawa, R., Sato, Y. 2022. New records of *Ctenolepisma calvum* (Ritter, 1910) (*Zygentoma*, *Lepismatidae*) from Japan, *Biodiversity Data Journal* 10.
- Watanabe, H., Shimada, M., Sato, Y., Kigawa, R. 2023. Development and Reproduction of a Japanese Strain of *Ctenolepisma calvum* (Ritter, 1910) at Room Temperature, *Insects* 14(6): 563.

## Development of Simple Physical Control Methods for Ghost Silverfish (*Ctenolepisma calvum*)

TAKAHASHI Yoshihisa and SHIMADA Megumi

---

As of 2022, the ghost silverfish (*Ctenolepisma calvum*) has been recorded in multiple distant regions in Japan, including Hokkaido. This pest could pose a considerable future threat to facilities that store a large number of paper materials such as museums, libraries, and archives. Through this study, we have proposed and tested the hypothesis that the ability of the ghost silverfish to climb objects is determined by the structure of its legs, especially the claw and pretarsus, and the surface condition of the object it attempts to climb. Electron microscope observations supported this hypothesis by revealing that the tips of the ghost silverfish's legs consist of a simple structure composed of two claws and an empodium, lacking leg structure suited to climbing vertical surfaces as found in other species such as Blattodea or Diptera.

Based on the results of our observations, we conducted behavioral experiments on ghost silverfish. The results suggested that materials with physical properties such as luster, low friction, and high surface smoothness, may actually restrict the free movement of ghost silverfish.

Applying the insight gained from these observations and experiments, we developed and proposed simple, practical physical control methods utilizing readily-available, inexpensive polyethylene terephthalate (PET) carbonated drink bottles and polytetrafluoroethylene (PTFE) tape.

Lead author plans to conduct future long-term efficacy verifications and evaluations of the physical control methods developed in this study at Hokkaido Museum.



