

みんなくりポジトリ

国立民族学博物館 学術情報リポジトリ National Museum of Ethnology

持続可能な資料保存における有害生物管理の諸課題

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2022-12-15 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 佐藤, 嘉則 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00009992

持続可能な資料保存における有害生物管理の諸課題

佐藤 嘉則
(東京文化財研究所)

- | | |
|---------------------|-------------------|
| 1 はじめに | 5.1 冷凍による微生物制御 |
| 2 ガス燻蒸剤と環境問題に関する諸課題 | 5.2 乾燥による微生物制御 |
| 3 脱酸素剤からの有機酸生成 | 5.3 低酸素濃度による微生物制御 |
| 4 水損被害と持続可能な資料保存 | 5.4 殺菌燻蒸処理 |
| 5 水損資料の微生物被害対策 | 6 おわりに |

1 はじめに

人間活動の持続可能性、換言すると「現代の社会システムにおける便利で豊かな文明を持続可能にしながらさらに発展させていくこと」は現代の私達に与えられている共通の命題である。人間活動の持続可能性の基盤は紛れもなく「有限な地球」であり、かつての人類が漠然と想定していたよりも遥かに脆弱であったその基盤に対して、これ以上の悪影響を与えないようにすることはあらゆる分野が共通して直視すべき主要な問題となっている。資料保存における有害生物管理においても例外ではなく、こうした時流に乗って対策は変遷してきている。殺虫処理方法の例を挙げれば、以前は資料自体あるいは人の健康に対する影響が中心に据えられてきたが、地球環境に与える影響についても考慮することが必要となっている。例えば、資料や収蔵空間の殺虫処理に用いられてきた燻蒸用ガスのひとつである臭化メチルは強力なオゾン層破壊物質であることから、日本を含むいくつかの先進国において2005年以降に不可欠用途を除く生産・消費が全廃となっている。定期的なガス燻蒸によって有害生物管理を行っていた博物館・美術館等では、低酸素濃度殺虫法や低温殺虫法や二酸化炭素殺虫法などの環境低負荷型の処理(木川他 2001, 2004; 日高他 2002)へと移行し、さらに農業分野で生まれた総合的有害生物管理(Integrated Pest Management, IPM)を資料保存に適用した「文化財 IPM」の考え方に基づく予防的な保存管理(木川他 2003a; 三浦 2012)へと移行したことはその具体例である。この趨勢はさらに先鋭化しながらこの先の資料保存における有害生物管理においても継続していくであろうことから、現行の方法のいくつかは見直しが求められてくると考えている。そこで、本稿の前半では、持続可能な資料保存と有害生物管理における将来の課題について、特に殺虫処理手法に焦点を当てて若干の整理を試み、いくつかの問題提起をしたい。

さて、地球環境への影響緩和はあらゆる分野で懸命に取り組まれているものの、すで

に地球はこうした人間活動の影響を受けて、様々な環境変動の最中にある。地球全体の気候を大きく変える「気候変動」を引き起こしている地球温暖化は、資料保存にも暗い影を落とし始めている。例えば、温暖化によって夏季の最高気温と冬季の最低気温の上昇が起こると、害虫個体数が増加したり分布域北限が上がったりする可能性があり、長い年月安定して保存されていた資料がこれまでに出会ったことのないような害虫によって被害を受けることが想定される。害虫のみならず、空調等が無い小規模な保存施設で自然の成り行きで良好な保存環境が維持されていたものが、気候変動の影響を受けてカビ等の発生する劣悪な保存環境へと変化することも想定され、これまでの常識では資料を良好に保存することができない状況が訪れるかもしれない。そして、すでに顕在化しはじめている影響として豪雨災害に伴う資料の水損被害の頻発がある。豪雨災害のような極端な大雨の頻度が長期的に増加する傾向の背景には、地球温暖化の影響があると指摘されている。つまり地球温暖化により地域ごとの気温は不規則に変動しながらも極端に暑くなる頻度が増え、長期的には地球全体の平均気温が徐々に上がり、それに伴って大気中の水蒸気が増加し、それが降雨量の増加となり大雨の頻度が徐々に増えると言われている。これには不確実性も指摘されているが、こうした地球規模の気候変動の最中にあり、これまでに経験したことのないような豪雨災害が起こり得るという想定に基づいて、然るべき適応策を予防的に講じていくことは資料保存における持続可能性と深く関わる課題である。そこで本稿の後半では、豪雨災害等によって資料が水損被害を受けた際に有害生物の発生を抑える応急処置の在り方についていくつかの具体的な手法について紹介し、適応策という観点から持続可能な資料保存について考察したい。

2 ガス燻蒸剤と環境問題に関する諸課題

2005年以降の臭化メチル全廃後、資料保存における殺虫燻蒸剤として推奨されている代替薬剤は現在3種類である。これらは資料の各種構成材料への影響が少ないことが確認され、(公財)文化財虫菌害研究所によって認定薬剤 (<https://www.bunchuken.or.jp/chemical/>) として登録されているものである。このうち、酸化エチレンを有効成分とする殺虫殺菌燻蒸剤(エキヒュームS, 日本液炭株式会社)は大気環境問題に関することで将来課題となる可能性があるためここで触れておきたい。あくまでも潜在的なリスクであって、今すぐに現状の変更を求めている訳ではないことは予め申し添えておく。さて、大気環境問題では1996年に大気汚染防止法が改正され、有害大気汚染物質対策の制度化が決定している。有害大気汚染物質とは、低濃度ではあるが長期曝露によって人の健康を損なうおそれのある物質であり、これに該当する可能性がある物質として、同年10月に中央環境審議会答申「今後の有害大気汚染物質対策のあり方について」において、234物質が指定され、そのなかでも特に健康リスクが高いと考えられる物質を「優先取

組物質（22物質）」として指定されている。その後、有害大気汚染物質に該当する物質や優先取組物質の見直しが行われ、現在、有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質として248物質、優先取組物質として23物質がリスト化されている。エキヒュームSの有効成分である酸化エチレンは、この23の優先取組物質に該当するため、大気汚染防止法に基づき事業者による排出抑制の自主的取組や、国と地方公共団体の連携によるモニタリング等が実施され、環境基準値等の制定が進められている。現在、資料保存におけるガス燻蒸処理での使用自粛等は要請されていないが、「持続可能な資料保存」という観点からも今後再検証をしなければならない時期が近く訪れるだろう。なお、エキヒュームSと同じく認定薬剤で殺菌殺虫処理が可能な燻蒸剤（アルプ、エア・ウォーター株式会社）は有効成分が酸化プロピレンであり、これが248の有害大気汚染物質に該当する可能性がある物質に指定されている。現在では酸化エチレンのように23の優先取組物質には指定されていないが、酸化エチレンの大気汚染防止対策として酸化プロピレンへと代替していくことは結局問題を先延ばしにしているだけで抜本的な解決とはならないことが悩ましいところである。これらについては今後の社会動向に注意深く気を配っていく必要があるだろう。

さて、次に述べるのは温室効果ガスとしての問題である。エキヒュームSは有効成分である酸化エチレン（15wt%）と不活化ガスとして1,1,1,2-テトラフルオロエタン（HFC-134a）（85wt%）からなる混合ガス製品である。後者のHFC-134aはオゾン層破壊が問題となったフロン代替品として広く使われている化学物質であるが、実は二酸化炭素の1,430倍の温室効果を持つ強力な温室効果ガスである（環境省 2012）。2016年ルワンダのキガリにてモンリオール議定書第28回締約国会合（MOP28）が開催され、地球温暖化防止の観点からHFC-134aを含む代替フロンについての生産及び消費量の段階的削減義務等を定める議定書の改正（キガリ改正）が採択されている（経済産業省 2016）。このキガリ改正は2019年1月1日から発効され、HFC類の生産・消費量を今後30年間で80%以上削減することが目標値として設定されている（経済産業省 2016）。

資料保存において、エキヒュームSによるガス燻蒸処理というのは、文化財への長年の使用実績があり、殺虫に加えて殺菌が同時に行えるメリットがあることなどから、著しく虫菌害の被害を受けた資料の処理には今なお広く用いられている方法である。特に災害等によって被災した資料は救出した際に著しくカビ被害を受けているものもあるため、殺菌が行えるガス燻蒸剤は必要不可欠である。酸化エチレンを有効成分とするガス燻蒸剤の使用を当面続けていくためには、ガス燻蒸処理後に酸化エチレンを排気する前に除毒を徹底していかなければならないだろう。そして、HFC-134aの温暖化問題では、例えば防疫用殺菌消毒剤として用いられている不活化ガスのHFC-134aを二酸化炭素に代えた製品（カボックス、日本液炭株式会社）への代替が可能であれば、そういった方法でまずはHFC-134aの使用削減について検討していくことも1つの打開策となる。た

だ、これには資料保存の用途に特化して製造された既存のガス燻蒸処理システムの変更も伴うこととなり、諸々の課題が噴出してくることが予想される。

さて、3つ目の認定薬剤にフッ化スルフリルを主成分とする殺虫燻蒸剤（ヴァイケーン、株式会社スミコエアー）があるが、こちらは地球温暖化問題について慎重な議論が必要な化学物質である。2009年3月に発行された学術論文「Journal of Geophysical Research」の中で「Sulfonyl Fluoride in the Global Atmosphere」と題した研究論文がある（Mühle et al. 2009）。マサチューセッツ工科大学、カリフォルニア大学サンディエゴ校のスクリップス海洋研究所などから成る研究チームが発表した本論文では、大気中のフッ化スルフリル濃度が測定され、それが今後、地球温暖化に影響をもたらしかねない物質であると結論している（Mühle et al. 2009）。この論文では、フッ化スルフリルの大気濃度は微量であるが、二酸化炭素の4,800倍の温室効果を有する強力な温室効果ガスであることから、もし仮に臭化メチルに代わって害虫駆除のガス燻蒸剤として市場拡大へ進んでいけば地球温暖化への影響も無視できないという、警鐘を鳴らす目的があったと考えられる。環境省の報告書では、「フッ化スルフリルの大気中での酸化反応による寿命は長く（>300年）、主要な除去過程は雲水への溶け込みと降水過程と考えられる（想定される寿命は数週間）。最終的には海水中で、無機硫黄とフッ素への分解と考えられており、分解生成物による環境影響も特段の懸念は示されていない。なお、フッ化スルフリルは大きな温暖化ポテンシャルを有していることが報告されている。」（環境省 2018）とされており、雲水へ溶け込み降水となれば地球環境へ与える影響はそれほど高くないものの、潜在的な環境負荷は大きいのではないかと、中立的な評価をしていることが読み取れる。現時点では、フッ化スルフリルの是非について判断することは難しく、今後も国際的な動向にも注視しながら慎重に検討を続けていく必要があるといえるだろう。フッ化スルフリルは高い浸透性と拡散性から殺虫処理に秀でた薬剤であり、引火性・爆発性が無いことがメリットに挙げられ、木材害虫に加害された日光の木造文化財建造物の大規模燻蒸に用いられている（原田他 2013）。しかし、大規模燻蒸を実施するには作業者はもとより参拝者、周辺住民も含め、人の健康影響が全く無いよう高い安全性を確保するために多大なる労力を要することや近年の検疫燻蒸業務の縮小に伴うガス燻蒸処理担当業者の減少など文化財建造物への施工自体が困難になってきている現状があり、今後の処理は温暖化問題とは別の理由で難しい状況になりつつある。もしも温暖化問題への対応も迫られることになれば、これに拍車がかかりフッ化スルフリルによる大規模燻蒸は極めて困難な状況になっていくことが予想される。このような背景もあって文化財建造物の殺虫処理の代替法として研究が進められている湿度制御温風処理（藤井他 2018）は人や地球環境に対して低負荷型の方法として期待され、現在実用化に向けて開発が進められていることはポジティブな話題である。ただし、温暖化問題のみに焦点を当てて2つの処理を比べたとき、フッ化スルフリルの温室効果と湿度制御温風処理の全工程に

におけるエネルギー消費と、どちらの環境負荷が大きいか定量的に評価するライフサイクルアセスメントは必須である。新たな手法を生み出すときには開発の段階からこうした視点を持つことが大切であり、この先の持続可能な資料保存という社会のニーズに相應しい手法であるかは、多角的・総合的に評価することが求められる。

さて、臭化メチル全廃後に各種の環境低負荷型の殺虫処理方法の開発や文化財 IPM の取り組みが推進され、持続可能な資料保存への取り組みが加速したが、当時より懸念されていたガス燻蒸剤の問題が持続可能性というパラダイムによってあらためて顕在化しつつあるといえる。本稿では現行の3つの認定薬剤についてのみ触れたが、他の薬剤についても地球環境に与える影響などから将来対応が迫られるものが出てくることを想定しておかなければならない。一方で、有害生物に対する化学的防除は依然として非常に有効な手法の1つであり、最終的な手段として安易に無くすべきものではないこともまた現実である。変容する社会のニーズに迅速かつ柔軟に対応しながらも、ガス燻蒸がいざという時に必要な技術として残していくための仕組み作りも重要な課題である。いずれにしても、化学的防除による単一手法に依存した資料保存は臭化メチル全廃以来、再びその限界が訪れようとしている。文化財 IPM (三浦 2012) の基本的概念である有効で適切な技術(物理的防除、生物的防除、そして化学的防除)を合理的に組み合わせて資料保存の在り方を構築していくことは、持続可能な資料保存という観点からも核となっていくであろう。

3 脱酸素剤からの有機酸生成

さて、ガス燻蒸剤の環境負荷について紹介したが、一方で代替法のひとつとして普及している低酸素濃度殺虫処理法について最近浮かび上がってきた課題を紹介したい。資料保存の分野で行われている低酸素濃度殺虫法とは、脱酸素剤を封入して密閉空間(容器)を作り、あるいは窒素やアルゴンなどのガスを導入し、内部空間の酸素濃度を0.3%未満に下げた低酸素濃度環境下で一定期間置くことで害虫を殺す方法である(Selwitz and Maekawa 1998; 木川他 1999b, 2003b)。前者の脱酸素剤を用いる殺虫方法は、酸素ガス不透過性(ガスバリア性)の材料で作られた袋に殺虫対象となる資料と脱酸素剤を一緒に入れてヒートシーラーなどで密閉封入し、密閉袋内の酸素が脱酸素剤によって取り除かれることで条件が満たされる。本法は、高度な専門知識・機材・技術を要せず簡単に小規模で処理を行うことができることと、人体への安全性も高いという利点から普及している(木川他 1999a, 2004; 村林 2010)。一方で、脱酸素剤が作り出す低酸素雰囲気や脱酸素反応に伴う化学物質の生成の有無については、それらが同じ密閉空間に置かれる資料へ影響を及ぼさないことが必須条件となる。しかし、RP剤Kタイプ(RP-20K, 三菱ガス化学株式会社)の脱酸素剤からの有機酸の発生について調査を行ったところ、

処理中の密閉袋内で有機酸が生成していることを確認した（佐藤他 2021）。具体的には、メーカー指定の規定量を入れた場合、有機酸濃度は封入から2.5日後と早期に濃度が上がり時間経過とともに減少していき30日経過後には低濃度になることを確認し、RP 剤 K タイプの封入数が規定量よりも少ない場合にはより高濃度となることを確認した（佐藤他 2021）。これは資料の展示・収蔵環境の空気質におけるのぞましい値 [有機酸濃度（酢酸濃度で170ppb 以下）]（東京文化財研究所 2019）を超過する濃度であったことから、処理期間中に副産物である有機酸に資料が曝される可能性が高いことが明らかとなった（佐藤他 2021）。また、他機関における調査でも同様の結果が得られている（及川他 2021）。現在、同一商品の異なる製造ロットや他の脱酸素剤についても検討を進めているが、他の機関においても再現性のある結果かどうか広く検証されることを望んでいる。また、生成する有機酸の成分は資料を構成する材質との化学反応を考えるうえで非常に重要であるため、メーカー側の協力を仰ぎながら分析を進めている。

RP 剤 K タイプの殺虫処理以外の使用として、本剤を密閉封入したままで長期保存が行われる場合がある。これは、資料を保存する環境が良好ではなく生物制御が難しい現場で、防菌防黴を達成するひとつの方法として用いられている場合があるが、有機酸生成の問題を解決しなければ、このような保存方法によって有機酸に脆弱な資料を傷めてしまう危険がある。そのため、RP 剤 K タイプを用いた長期間の密閉保存については、有害生物による被害リスクと照らし合わせた上で検討をしなければならない状況にあるといえる。資料保存においては元来文化財用途で開発されたものではない製品を文化財用途に転用したものも存在し、文化財への影響評価はメーカー側と協力しながら私達保存科学に関わる者も責任をもって実施しなければならない。今後、環境低負荷型の殺虫処理法に重点が置かれて技術開発が加速するかもしれないが、やはり資料保存の基本である「人や資料自体に影響が無いこと」という原則は見落とされないように慎重に評価した上で実用化されるべきである。既存法についても、仕様や製造ロットの変更、機器の老朽化等によって資料に与える影響が大きく変化する場合も想定されるため、折々に資料に与える影響を再評価することも大切である。

4 水損被害と持続可能な資料保存

さて、持続可能性に関わる問題として温暖化をはじめとする地球環境への負荷を抑える緩和策について述べてきたが、ここからは地球規模の気候変動に対する適応策について述べる。適応策とは、現状であってもすでに排出された温室効果ガスによって地球温暖化が進んでいく事実に対して、温暖化した世界にどう対処・適応するのかという対策（三村 2006）のことである。温暖化そのものを防ごうとする緩和策と同様に適応策もまた資料保存における持続可能性と深く関わる課題である。適応策には温暖化の好影響を

利用する方策と悪影響を低減させる方策が存在するが、資料保存においては悪影響が目立ってきており、当面は悪影響に対応する事が適応策の中核になると考えている。近年では、地球温暖化の影響によって、豪雨災害が頻発しており、水損資料への対応について検討していくことが喫緊の課題となっている。近年起きた具体的な事例の一部を挙げると、2013年7月、豪雨による山口大学総合図書館の蔵書の水損被害（木越 2014）、2015年9月、台風18号の豪雨による常総市役所の保存文書や常総市立図書館の蔵書の水損被害（添田 2016）、2016年8月、台風10号の豪雨による遠野市立図書館の貴重書の水損被害、そして2018年7月、西日本豪雨と2019年10月、台風19号では各地で大規模水損被害が起こっており、数多くの資料が甚大な被害を受けている。資料の水損被害は突如として起こるため、水損した資料の救出をすみやかに行うことは非常に難しい。特に激甚災害の場合は、同時に人的被害が起こっていることもあるため、被災した資料を救済することが可能になる時期は遅くなってしまうのが現実である。しかし、一般的に水損してから2日を超えるとカビなどの微生物被害が顕著になってくると言われており、2日以内に適切な応急処置を行うことが理想とされている（文化庁 2004）。この現実と理想との間には大きな溝があるが、これを少しずつ埋めていくことが適応策の課題である。まずできることとしては、平常時に資料の水損を想定して実現可能な救出方法や応急処置方法を確認し、その技術習得を行っておくことが大切であると考えている。本稿では水損資料の微生物被害を最小にする応急処置の基本的な考え方について整理し、適応策の具体例としたい。

5 水損資料の微生物被害対策

微生物とは目に見えない生き物の総称であるが、資料の生物劣化に関わる微生物は主に細菌とカビである。通常の収蔵環境では、資料に含まれる水分は少ないため、乾燥に弱い細菌はほとんど問題になることはなく、もっぱら乾燥に強いカビの被害がほとんどである。しかし、資料が水損すると通常の収蔵環境では対象としない細菌までもが旺盛に増殖するため、細菌とカビの両者の処置が必要となる。細菌とカビの生育を止めるための有効な方法として、低温（冷凍）、乾燥、低酸素濃度、薬剤の4つの処理がある。この4つのうち、冷凍と乾燥の2つは水損した資料の微生物制御の基本となる方法であり、これに基づいていくつかの応急処置方法が提案されている。残りの低酸素濃度と薬剤処理は条件によっては資料に悪影響を及ぼすことがあるため注意点とともに解説する。

5.1 冷凍による微生物制御

一般的に常温域で生存する細菌やカビは低温になるにつれて生育が遅くなり、マイナス10℃以下になると生育が停止する。従って、水損した資料を冷凍することができれば

微生物被害の進行を止めることが可能となる。水損資料の冷凍は非常に有効な手段であり、一旦冷凍することができれば、微生物被害の進行は止まるため、その後の処置について時間をかけて計画を立てることも可能となり、処置をする資料の量も調整することが可能となる。ただし、材料と構造が脆弱な資料では冷凍によって水分が凍結する影響に耐えられないものもあるため、すべての資料に適応可能というわけではない。また、冷凍では生育を停止させるだけで殺菌をすることはできないため注意が必要である。つまり、解凍して常温に戻すとすぐに微生物の生育は再開する。大規模な水損被害を想定した場合、近くで大型の冷凍庫を保有する団体を確認し、あらかじめ災害時の連携について調整しておくことは有効である。小規模な水損被害を想定した場合、施設内にある程度の収容力のある冷凍庫を備えることができれば有用である。冷凍庫は、日常的な資料の殺菌処理として使用することができるため、平常時は虫害対策に用いて、非常時には応急処置に転用するなどの運用も有効である。

5.2 乾燥による微生物制御

微生物の生育を止めるもう1つの方法に乾燥がある。微生物が資料を栄養源として利用するためには、必ず資料に含まれる水分（自由水）を必要とする。そのため乾燥によって自由水を除去すれば微生物の生育は止まる。特に細菌は一般的に水分が多いときに増殖が可能であり、乾燥が進むにつれて増殖ができなくなる。カビは一般的に細菌よりも耐乾性があり、十分に乾燥しなければ生育は停止しないとされている。どの程度乾燥すれば細菌やカビの生育が止まるかについては、乾燥させた資料を入れて密閉したプラスチック袋または密閉容器の中の相対湿度を測定することで概ね判断することができる。密閉容器内の相対湿度が80%以下となっていればほとんどの細菌の生育は止まるぐらいの乾燥状態であり、70%以下となっていれば大部分のカビの生育は止まるぐらいの乾燥状態と判断することができる。これは、微生物が生育するときに必要な自由水の割合を表す指標である水分活性に基づいており、水分活性が0.8以下になるとほとんどの細菌が増殖できなくなり、0.7以下になるとほとんどのカビが生育できなくなるか生育速度が著しく低下する（目視でカビが顕在化するまでに3ヶ月程度）とされている。そして、0.6以下になると、あらゆるカビが生育できなくなるため、密閉容器内の相対湿度が60%以下になれば長期間の保存ができる。水分活性は空間の相対湿度と「水分活性 = 相対湿度 / 100」の関係が成り立つため、密閉空間の相対湿度を測定することで資料の微生物発生リスクを推定することができるという原理である。乾燥の具体的手法には、風乾法、エア・ストリーム乾燥法（グルック他 2011）、スクウェルチ・ドライイング法（小野寺他 2012）があり、それぞれの手法に一長一短があるため該当する文献を参照されたい。

5.3 低酸素濃度による微生物制御

水損資料の微生物生育を止める方法として、低酸素濃度殺虫処理と同じ方法が用いられることがある。これは、ガスバリア性密閉袋の内部の酸素濃度を脱酸素剤や窒素ガス置換によって0.1%未満に下げた状態を維持する処理で、酸素を使って呼吸をする微生物の生育を止めることができる。ほとんどのカビは酸素が無いと生育が止まるため、低酸素濃度処理はカビの生育制御に有効である。しかし、細菌の中には酸素がない環境になると盛んに生育するという特徴を持った嫌気性細菌が存在するため、低酸素濃度処理によって嫌気性細菌による資料の腐敗を助長してしまう可能性がある。従って、水損した資料で水分を多く含む状態では低酸素濃度処理を適用することは適切ではない。ただし、先に述べたように細菌は乾燥に弱いため、資料をある程度まで乾燥させた後、密閉容器に入れて相対湿度を測定し、80%以下となっていれば低酸素濃度処理によってカビの生育を停止させる方法を用いることが可能となる。低酸素濃度処理は先述の通りRP剤Kタイプの脱酸素剤から有機酸の生成が認められているため、有機酸生成の問題を先に解決しなければならない状況にある。

5.4 殺菌燻蒸処理

救出が遅くなった資料など微生物被害が大規模になってしまった場合、最終的に化学薬品を用いた殺菌燻蒸処理が選択される。殺菌が可能な薬剤は先述した酸化エチレンを有効成分とする「エキヒュームS」と酸化プロピレンを有効成分とする「アルプ」の2つである。これらについての諸課題は緩和策のところで述べた通りだが、被災資料の処置では他に代替方法が無く、将来的にも限定的な使用は確保し続けなければならない状況にある。

水損資料の殺菌燻蒸処理を行う際に最も注意しなければならないことは、必ず乾燥させた資料で処理を行うということである。水分が多い状態の資料で殺菌燻蒸を行うと薬剤が水分と反応し、グリコール類（エチレングリコールやプロピレングリコール）を生成する（木川他 2012）。グリコール類は粘稠性があるため、資料に付着して著しい汚損が起る。また、薬剤は水に溶解しやすいため、処理空間のガス濃度を保つために大量の投薬が必要となり、場合によっては既定の濃度が維持されず殺菌燻蒸処理が失敗することもある。資料の乾燥が前提条件として必要であるため、軽度の微生物汚染の際には乾燥することによって微生物制御は達成されるため、化学薬品を用いた殺菌燻蒸処理は必須ではない場合もあるが、どの程度の被害であれば殺菌燻蒸処理を行うべきかの判断基準は曖昧であり、客観性を持たせることが今後の課題である。

6 おわりに

本稿では、持続可能な資料保存をキーワードに有害生物管理における諸課題を列挙したが、明確な方向性や解決策の提示には至っていない課題を中心に挙げた。特に緩和策では、2つの殺菌燻蒸剤が内在している環境問題について指摘したが、まだ有望な解決策・代替策が見出せていないばかりでなく、今後の方向性すら見通せていない。それでもより良い方法を模索していくための動機付けとして課題を列挙し共有することを本稿執筆の目的とした。この先、代替方法が模索されていく中で、地球環境に低負荷であることが条件に加えられていくが、低酸素濃度殺虫処理におけるRP剤Kタイプの事例からも人と資料に悪影響を及ぼさないことは原則であり見落とされてはいけないことである。これは既存方法の再評価においても同様である。

緩和策と同時に適応策を進めていく具体例として、水損した資料の微生物被害を防ぐ応急処置の基本的な考え方を概説した。微生物制御の基本的な考え方は、一様でなく複雑な状況の中で最適解を導き出すための基盤となる。つまり、実践的な処置方法は微生物制御の基本的な考え方を押さえた上で、状況に応じて最適な方法を選択し、必要に応じて複数の方法を組み合わせて実施することではないかと考えている。そのためには平時において応急処置に関する理論を学び、研修等を通して実践的な技術を習得しておくことが非常時に有益であることは言を俟たない。

参考文献

〈日本語〉

及川規・森谷朱

2021 「文化財保存における脱酸素剤使用時の留意点——水分中立型脱酸素剤由来の揮発成分とその文化財材質への影響」『東北歴史博物館研究紀要』22: 43-46。

小野寺裕子・佐藤嘉則・谷村博美・佐野千絵・古田嶋智子・林美木子・木川りか

2012 「津波等で被災した文書等の救済法としてのスクウェルチ・ドライイング法の検討」『保存科学』51: 135-155。

環境省

2012 「平成23年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」

<http://www.env.go.jp/earth/report/h24-06/full.pdf> (2021年3月31日閲覧)

2018 「平成29年度オゾン層等の監視結果に関する年次報告書」

http://www.env.go.jp/earth/report/h30-04/ozone_annual_H29_whole.pdf (2021年3月31日閲覧)

木川りか・佐野千絵・佐藤嘉則・犬塚将英・早川典子・古田嶋智子・山梨絵美子・田中淳・森井順之・岡田健・石崎武志

2012 「水・塩水で被災した資料の殺菌燻蒸の注意点——資料中の水分・塩分による副生成物の生

成量の調査結果について』『保存科学』51: 121-133。

木川りか・長屋菜津子・園田直子・日高真吾・Tom Strang

2003a 「博物館・美術館・図書館等における IPM」『文化財保存修復学会誌』47: 76-102。

木川りか・永山あい・山野勝次

1999a 「低酸素濃度殺虫法—処理温度と殺虫効果の検討」『保存科学』38: 9-14。

木川りか・宮澤淑子・三浦定俊

2003b 「簡易型窒素発生装置と脱酸素剤の併用による中規模の低酸素濃度殺虫処理」『保存科学』42: 72-78。

木川りか・宮澤淑子・山野勝次・三浦定俊・後出秀聡・木村広・富田文四郎

2001 「低酸素濃度および二酸化炭素による殺虫法—日本の文化財害虫についての実用的処理条件の策定」『文化財保存修復学会誌』45: 73-86。

木川りか・山野勝次・三浦定俊

2004 「第2章臭化メチル燻蒸代替法をめぐる文化財の加害生物防除法について」東京文化財研究所編『文化財害虫事典』pp. 208-223, 東京: クバプロ。

木川りか・山野勝次・三浦定俊・前川信

1999b 「窒素等不活性ガスによる文化財殺虫処理装置の試作と処理例」『保存科学』38: 1-8。

木越みち

2014 「豪雨災害による水損資料への対応について」『ネットワーク資料保存』108: 1-3。

グルック, E./G. バーニック/E. ベッカー/M. キューネル

2011 「エア・ストリーム乾燥法」蜂谷伊代訳

<https://www.hozon.co.jp/cms/wp-content/uploads/Air-Stream-Drying-of-Paper-in-Japanese.pdf>
(2021年3月31日閲覧)

経済産業省

2016 「MOP28の報告及び今後の検討方針」

https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/seizo_sangyo/kagaku_bussuitsu/flon_taisaku/pdf/009_05_00.pdf (2021年3月31日閲覧)

佐藤嘉則・岡部迪子・犬塚将英

2021 「低酸素濃度殺虫法に用いる RP 剤 K タイプからの有機酸発生」『保存科学』60: 27-32。

添田仁

2016 「関東・東北豪雨水害から文化遺産を救い出す—茨城大学・茨城史料ネットの取り組み」茨城大学人文学部編『自然災害に学ぶ 茨城の歴史—被災の記憶と教訓を未来へ』pp. 33-43, 水戸: 茨城大学人文学部。

東京文化財研究所

2019 「美術館・博物館のための空気清浄化の手引き」

https://www.tobunken.go.jp/~ccr/pub/190410aircleaning_guideline.pdf (2021年3月31日閲覧)

原田正彦・木川りか・小峰幸夫・藤井義久

2013 「重要文化財輪王寺本堂の大規模被覆ガスくん蒸—実施までの経緯の概要」『保存科学』53: 215-224。

日高真吾・伊達仁美・後出秀聡・木村広・木川りか・三浦定俊

2002 「民俗資料等の二酸化炭素による殺虫処理の実例」『文化財保存修復学会誌』46: 76-95。

藤井義久・原田正彦・北原博幸・藤原裕子・木川りか・佐藤嘉則・小峰幸夫・犬塚将英・古田嶋智子・日高真吾・斉藤明子・福岡憲

2018 「湿度制御した温風処理による甲虫類の駆除——社寺建築における効果の検証」『文化財保存修復学会第40回研究発表要旨集』 pp. 46-47。

文化庁

2004 「文化財防災ウィール」『文化庁ウェブサイト』

https://www.bunka.go.jp/earthquake/taio_hoho/pdf/jyoho_03.pdf (2021年3月31日閲覧)

三浦定俊

2012 「文化財保存におけるIPMへの取り組み」『防菌防黴』40(6): 343-350。

三村信男

2006 「地球温暖化対策における適応策の位置づけと課題」『地球環境』11(1): 103-110。

村林茂

2010 「文化財保護への酸素濃度制御技術の応用」『文化財の虫菌害』59: 19-21。

〈外国語〉

Mühle, J., J. Huang, R. F. Weiss, R. G. Prinn, B. R. Miller, P. K. Salameh, C. M. Harth, P. J. Fraser, L. W. Porter, B. R. Grealley, S. O'Doherty, and P. G. Simmonds

2009 Sulfuryl Fluoride in the Global Atmosphere. *Journal of Geophysical Research* 114: D05306.

Selwits, C. and S. Maekawa

1998 *Inert Gases in the Control of Museum Insect Pests*. Los Angeles: Getty Conservation Institute Press.