

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

わが国の文化財虫害対策と臭化メチル燻蒸： 導入から定着まで

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2022-12-14 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 森田, 恒之 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.15021/00009981

わが国の文化財虫害対策と臭化メチル燻蒸

— 導入から定着まで

森田 恒之

(国立民族学博物館名誉教授)

- | | |
|----------------------------------|---|
| 1 はじめに | 10 燻蒸用酸化エチレン混合ガスの誕生 |
| 2 臭化メチルによる初期の文化財燻蒸 | 11 臭化メチル・酸化エチレン混合ガスの誕生 |
| 3 燻蒸剤としての臭化メチル | 12 民博（開館以前）での大型燻蒸 |
| 4 臭化メチル燻蒸のわが国への導入過程 | 13 臭化メチル・酸化エチレン混合ガスの実用化への試み
— 秋田県立博物館の場合 |
| 5 日本万国博覧会後の臭化メチル燻蒸 | 14 博物館収蔵庫の大空間燻蒸への挑戦
— 民博の場合 |
| 6 正倉院の燻蒸罐 | 15 文化財燻蒸作業技術者の育成 |
| 7 公立博物館での燻蒸罐の導入
— 神奈川県立博物館の場合 | 16 おわりに |
| 8 公立博物館での燻蒸装置普及と民俗学資料 | |
| 9 臭化メチル燻蒸の普及に伴って生じた諸問題 | |

1 はじめに

1997年9月19日、東京国立文化財研究所（現・東京文化財研究所、以下東文研）開催の文化財保存修復研究協議会において、数日前にカナダのモントリオールで開催した第9回モントリオール議定書締結国会合に参加して帰国したばかりの東文研保存科学部長（当時）・三浦定俊ほかによる会合報告会は、その厳しい結果に異常な雰囲気包まれた。

地球を包むオゾン層を保護して人類の生活環境を守るために1985年に国連が「オゾン層保護のためのウィーン条約」を採択し1988年に発効、同時に日本も国内法を整備して締結し加盟国となった。ウィーン条約に基づく具体的な計画である通称「モントリオール議定書（以下、議定書）」が1987年に国連採択、日本はウィーン条約とともに締結した。当初「議定書」が指定する規制対象の化学物質薬剤はフロンガスほか気化性塩素化合物が中心だったが1992年には臭化メチルを追加、さらに1995年には、先進国での全廃を2010年とすることが決まった。それまでの日本の博物館、文化財保存の虫害対策を大きく臭化メチル燻蒸に依存していた。国内の情報共有の不備もあって、文化財用の使用には何らかの緩和措置が取られるのではないかという淡い期待があった。適用免除の請願も行われた。

しかし三浦らの報告は甘い望みを打ち砕いたばかりか、さらに先進国の規制を5年繰

り上げ2005年に臭化メチルの生産を全廃するという内容だった。この報告を受けて、2004年末以降の虫害対策について急速な転換がはじまる。第9回モンテリオール議定書締結国会合前後の動きについては、東文研の『保存科学』No.55に掲載された三浦定俊、木川りか、佐野千絵の共著報文が詳しい（三浦他 2016: 35-47）。

博物館の虫害対策といえば臭化メチル燻蒸と同義とまで思われていた時期もあるが、文化財保存の目的で臭化メチルをいつから使用したかあまり定かでない。臭化メチル全廃以降の動向については多くの報文があるが、導入と定着までの過程はこれまで記録が少ないので、とりあえずわかる範囲での事項をここにまとめてみた。

本稿では、原則として臭化メチルの呼称を使用するが、引用では原著者の表示を尊重し、メチルプロマイド、メチールプロマイド、メチール・プロマイドその他の呼称をそのまま使用することをあらかじめお断りしておく。クロルピクリンも同様である。また、省庁名、試験研究機関名については、文化財保存と直接関係深い組織を除いて、それぞれの事項が行われ、または公開された当時の名称をそのまま使用した。

2 臭化メチルによる初期の文化財燻蒸

岩崎友吉著『私は国宝修理屋』は文化財保存領域での臭化メチル導入に関する1つの情報を残している。出版当時、著者は東文研保存科学部化学研究室長の職にあった。

ある有名な寺の蔵で内張を全部桐にしてあったが、これに全面的に虫がつき、見ると穴だらけになってしまっていた。そこで寺ではいちいち穴に殺虫剤の液を注射して、との粉であとをうめたりしたが、間に合わず、ちょうどその時われわれと御縁ができたので、メチルプロマイドによる燻蒸を実施した。これがわれわれの文化財の燻蒸実施の第一号であって、文化財の殺虫には現在でもメチルプロマイドの燻蒸が一般に行なわれている。引火性のない性質等をはじめ文化財にまず実害がないこと、たとえば青酸ガスのようなはげしい毒性がないこと、開放後揮散のはやいこと等扱いやすい性質のため、ひろく使うようになった（岩崎 1962: 92-93）。

ここには、「いつ、どこで」がまったく記されていない。後述の薬剤入りの缶が走り回った件について、だいぶ前だが時期と場所を、著者に直接質問したことがある。「あれか？ 芝の増上寺だよ、（昭和）30年だったかなあ」。

この文化財の燻蒸第1号については、関野克もごく短い記録を残している。

ビニール製の蚊帳を張ってその中に文化財を入れ、メチール・プロマイドで燻蒸することは、極めて作業が容易で効果も大きい。先年東京の増上寺の経蔵内の輪蔵に収められている約一万五千冊の重要文化財である大蔵経が虫に侵されて被害がはなはだしかったので、岩崎友吉

技官によってメチル・プロマイドの燻蒸を行ったのは比較的大掛りの場合であった。この経蔵内の容積は181立方坪で、内容物容積は17立方坪あり、殺虫剤の必要濃度は6時間後において0.5lb/1,000ft³と要求された。そこで勝田高司助教授の協力を得て、炭酸ガスを利用して換気回数を測定してもらったが、換気回数は0.345回/hr、これからメチル・プロマイドの必要量は139lbと算出されたによって実施した（関野 1958: 10）。

余談ながら、戦後の増上寺と国の文化財保護機関のご縁の始まりは東京タワーだった。1950年代から相次ぐ民放テレビ局の開局が続き、テレビ用電波の送信装置増強の必要が生じた。それまで放送局ごとに所有していた送信施設に代わる共用の高い放送塔の建設が決まり、1957年6月着工、翌58年暮れの完成である。場所は東京都港区の芝公園に決まり、土地の一部を増上寺が提供することになった。建設にあたって、増上寺所蔵文化財の保存処置について東文研保存科学部が全面的に協力をした。これが岩崎の言う「ご縁」である。「ご縁」に伴う諸事業は計画段階から始まっていたようだが、記録が見当たらない。

文化財保護委員会編『文化財保護の歩み』によれば、「文化財の虫害の防止は、(中略)メチル・プロマイドの応用が進められた」とあり、続けて「昭和二十六年京都醍醐寺霊宝館、昭和二十七年根津美術館、及び東京国立博物館倉庫等はその好例である」(文化財保護委員会編 1960: 448)と記されており、燻蒸第1号の増上寺の件はまったく触れられていない。

岩崎、関野いずれの文章にも、実際に作業したのが誰かは記載がない。いずれかの虫害防除業者であるはずだが不祥である。

しかし、岩崎は前掲に続く部分で作業の様子を詳細に記している。

この薬の小さい容器はちょうどビールの罐づめそっくりの状態で耐圧罐に液状で封入してある。これを開罐するとただちに気化する。はじめて試みた時は罐が噴出する内容物のためジェットエンジンようになり、倒れたままあちこちころげまわってあばれるので困った。今はすっかりコツを覚えているから、そんなことはおこらず、こまかい点まで、間違いはない(岩崎 1962: 93)。

ここに記されたビールの缶詰はいまでは全く見かけることができない。大きさはいまの633cc入りのアルミ缶とほぼ同じだが、薄い鉄板製で、缶の上下が半球状に凹んでいる。今日では携帯型ガスコンロ用に市販するガスボンベの底部が同じ形状である。開缶は先端が角錐状になった鉋石採取用ハンマーで缶の上面を思い切りたたいて穴をあける。この方法は1970年代半ばまでかなり広く行われていた。「倒れたままあちこちころげまわる」という様子にはびっくりするが、1968年秋に、私が国内で初めて立ち会った臭化

メチルによる燻蒸現場では、缶が走り回ることにはなかったが、開孔すると薬液が吹きあがるので、飛沫が飛散しないよう耐圧缶を深い空バケツに入れて作業をしていた。飛沫は低温で、飛散すると空中の水分を集め、資料に当たると染みを作ることがある。ガスマスクと防護服は着用しているものの、加圧液化した有毒ガス入りの缶を手作業で処理していたのは確かである。

岩波写真文庫172『東京国立博物館』の19ページの写真6に実験中の岩崎の写真がある（岩波書店編集部編 1955: 19）。防毒マスクを付け、机上にガラス製の蛇管を備えた精留管風の装置を見つめている。装置にはゴム管を介して「メチプロン」と表示のある耐圧缶がつながっている。久野島化学製臭化メチルの商品名である。実験の目的や内容は不明であるが、臭化メチルを利用していることはわかる。でも、この写真はいわゆる「やらせ」だろう。缶を固定していないので、この状態でガスを放出したら、それこそ缶が倒れて暴れ回ってしまう。この薬剤は蒸気圧が常温で約1,900kPaと高く、この状態でガスを放出すると撮影者を含めて周囲は危険にさらされる。

ただ、この1枚の写真は、この時期に、研究室には臭化メチルの缶詰があり、何らかの実験をやっていたことだけは確実に物語っている。同書の刊行は奥付によれば1955年12月なので撮影は同年夏以前だろう。

ついでに触れておけば、東文研保存科学部には開設以来、物理、化学、生物の3研究室があったが、1970年まで生物研究室は常勤職員がなく、室長は化学研究室長の岩崎が兼務、非常勤職として学術専門の学習院大学教授の江本義数が兼任していた。

3 燻蒸剤としての臭化メチル

臭化メチルが殺虫効果を持つ燻蒸剤としての有効性を発見したのはフランスの M. Le Groupil, 1932年のことである (Le Groupil 1932: 169-172)。この発見は農業害虫対策として注目を集め、1930年代半ば以降とくにアメリカで応用研究が進み、アメリカ応用昆虫学会の機関紙 *Journal of Economic Entomology* に多くの関係投稿論文が掲載されている。

当初の使用目的は主に植物検疫であったが、1960年代までには、各種商品類、穀粉類、食糧倉庫、船舶、鉄道車両にまで急速に拡大している、と国際連合食糧農業機関（以下、FAO）が公開した虫害対策用燻蒸マニュアル *Manual of fumigation for insect control*（以下、FAO マニュアル）で述べている。同書によれば、臭化メチル燻蒸が普及した理由として次の様な事項を上げている（FAO 1984）。

- 従来の殺虫剤が使えなかった植物、野菜一部の果物類に有効である。
- 効果は酸化エチレンの1割程度であるが、細菌やカビ類にも有効である。

- コウジカビ、アオカビ等の微生物に有効である。
- ガス吸着性のある物質に対しては、常圧下で急速に深く浸透する。
- 施工時においては、放散が早く、大量対象物に対しても安全な処置を可能にする。
- 数ある殺虫処理法の中で、このガスは、多くの生きている植物類に悪影響が少ない。
- 通常的环境下では、引火性、爆発性がなく、火気に対する特別な配慮が不用である。
- 燻蒸剤としての殺虫力は、従来使用されてきたシアン化水素、アクリロニトリル、二臭化エチレンに比べると十分ではないが、汎用燻蒸剤として十分な効果がある。
- 沸点が低く吸収が不十分になる物質も多く、他の燻蒸剤と比較すると低温処理には不向きである。

今日のみで見れば安全性の配慮や、取り扱い上の注意で不十分な点は散見するが、これが半世紀前の先進的な認識の要約であったことは否定できない。

4 臭化メチル燻蒸のわが国への導入過程

日本では、臭化メチルに先行する燻蒸剤として青酸ガス、クロルピクリンとホルマリンがよく知られていた。

貯蔵穀物の燻蒸剤には、大正中期からクロルピクリンが広く使われた。1921年4月には、三共(株)が日本の合成農薬・害虫燻蒸剤の第1号として害虫燻蒸剤として国産化した。1947年以降、葉タバコ用を皮切りに農産物用の土壌燻蒸剤としても普及し、現在では南海化学、日本化薬、三井化学アグロ(旧三井東圧化学)の3社が生産し、工業会を作っている。クロルピクリンは粘りのある液体で、簡単な加熱で気化する。

ホルマリンは主に養蚕業で使われた。明治以来、絹は日本が外貨収入を得る主要輸出品であり、とりわけ第1次世界大戦開戦から第2次世界大戦開戦にかかる時期に、養蚕業は大きな発展を見た。第2次大戦中に男手が出征によって失われたことで、産業としては後退し、戦後は一時期だけ復興は見たものの、合成繊維の急速な発展でほとんど衰退した。春から夏の時期に1回、蚕の卵を孵化、生育して絹糸を得る。この間に黴や菌類による蚕病が発生すると経済的被害が大きい。産卵期が終わると、蚕室や、種紙(卵を産み付けた和紙)を含む各種の養蚕具を燻蒸するのが普通だった。蚕室内に七輪を置き、水で希釈したホルマリン液を珪瑯の洗面器などに入れて蒸気を出す。刺激臭が強いが、水蒸気を多く含むので人体被害は手ぬぐいのマスクでもある程度防除できた。

臭化メチルによる燻蒸が日本へ導入された過程は、原田豊秋の「新燻蒸剤 Methyl Bromide に関する研究」の諸言が詳しい。

終戦後海外事情が判明すると燻蒸剤はメチルブロマイドの実用化により再転していることが明

らかになった。斯る際昭和23年6月朝鮮米軍顧問 Leon Fountain 氏が、朝鮮生活管理院並生活営団職員を伴い貯穀燻蒸にメチルブロマイド使用を指導する様望まれたが、当時吾が国に於いては本剤に関する試験がなく且又生産（燻蒸用としての）も無かったので、従来のクロロピクリンによる方法を指導し帰鮮せしめる際にメチルブロマイドの入手方を依頼せしところ、帰鮮後早々にアンプル入り（20cc入60本）を恵送せられたので研究に着手する機会を得た次第である（原田 1951: 107）。

20ccアンプル入りの臭化メチルは前記「FAO マニュアル」にも供給形体として登場する標準品で、1950年代半ばまでアメリカのDow Chemical社から発売されていた。日本では農林省・食糧研究所での実験用以外に使用した報告が見つかっていない。

原田の報告は前文に続けて「其後試験的に稍大量を輸入することが出来、実験倉庫に於ける試験も実施する運びとなった。一方国内に於てもこれが生産に着手されるに至り（以下略）」と記している。

「これが生産に着手」と述べた部分は、同じ報告の謝辞の中で「国産メチルブロマイドを供給された久野島化学工業株式会社」の名があげられている。本稿冒頭部分で紹介した『岩波写真文庫・東京国立博物館』掲載の岩崎氏の写真に写っている「メチプロン」と同一物である。この製品は、その後、複数回の製造会社の企業統合を経て、2004年の製造中止時点では北九州市の池田興業（株）が権利を所有していた。権利移転の経緯は表1の注記に示しておいた。

原田による「新燻蒸剤 Methyl Bromide に関する研究（第2報）—低温時に於ける燻蒸試験」にも、昭和26年1月から3月に実施した試験の概要報告にも同じ製品を使用した記述がある（原田 1952: 109）。

原田らによる食糧研究所の一連の研究を追って、同じ農林省の附属機関である全国各地の検疫所でも麦、小麦粉、野菜、果物などに対する応用研究が始まるが、主たる課題はガスの浸透と残留だった。文化財領域でも、森八郎と熊谷百三が金属と顔料に対する薬害確認を行っている（森・熊谷 1954; 1955; 1957）。

独立行政法人農業水産消費安全技術センター（旧農林省農薬検査所、FAMIC）が公開する「登録・失効農薬情報／登録失効農薬一覧」によれば、農薬登録を受けた臭化メチル燻蒸剤は表1の通りである。ただし、2004年の法律に基づく廃止後に、改めて「検疫用」「不可欠用途用」として申請・登録を受けたものは除外した。なお、酸化エチルも臭化メチルと混合して文化財の燻蒸に比較的多く使われたので、臭化メチルに準じて表2にまとめておく（独立行政法人農業水産消費安全技術センター（FAMIC））。

原田の穀物倉庫での臭化メチルによる一連の試験は実用化を認めるものであるが、その後の運用については記載がない。実務レベルでは施工企業の参画があったはずである。

第2次大戦終戦の1945年8月から1951年9月まで、敗戦国日本の占領政策を指揮した

のは連合国軍最高司令官総司令部（GHQ）であったが、運用は複数のアメリカ陸軍師団が担当した。このうち首都圏での実務と全国の調整を担当したのは横浜に本部を置いた第8軍である。1946年5月創業の国際衛生（株）は、この年に第8軍との間で、駐留軍の全施設、艦艇、車両の定期消毒を行う唯一の指定業者としての契約を結ぶ（国際衛生（株））。社名の「国際」は駐留軍御用達を示すものでもあったらしい。東京都の虫害防除業者の協会誌にある会員紹介記事を参考にすると、1947-1948年頃の燻蒸はまだ青酸ガスが主だった。新しい燻蒸法の情報源は、米軍軍属の昆虫学者 Austin W. Morrill Jr. な

表1 農薬登録を受けた燻蒸用の臭化メチルおよびその混合薬剤一覧¹⁾

登録番号	成分	商品名	登録企業名	登録年月日	失効年月日
1001	臭化メチル	メチルプロマイド	大阪化成	1950.09.18	1953.09.18
1002	臭化メチル	メチブロン	久野島化学	1950.09.18	1968.09.18
1112	臭化メチル	臭化メチル	三光化学	1951.02.26	1960.02.26
1174	臭化メチル	ネオキール	三和化学	1951.04.23	1954.04.23
1284	臭化メチル	メチブロン(警戒剤入り1号)	帝人化成	1951.01.21	2004.12.27
1448	臭化メチル	メチルプロマイド	江戸川化学	1952.06.10	1955.06.10
1472	臭化メチル	ガスノール	松川農産化学	1952.07.12	1955.07.12
1546	臭化メチル	メチブロン(警戒剤入り2号)	帝人化成	1952.12.20	2003.12.20
1610	臭化メチル	メチルプロマイド	東洋化学	1953.03.10	1956.03.10
2296	臭化メチル	メチブロンB	久野島化学	1955.05.23	1964.05.23
2297	臭化メチル・クロルピクリン	臭化ピクリン	久野島化学	1955.05.23	1964.05.23
2675	臭化メチル	メチブロンA	久野島化学	1956.04.07	1968.04.07
2821	臭化メチル・クロルピクリン	メチクロール	三光化学	1956.08.24	1959.08.24
2989	臭化メチル・クロルピクリン	複合ブロン30	扶桑農産	1956.12.26	1959.12.26
3092	臭化メチル	ブロムメチル	東洋燻蒸	1957.02.01	1960.02.01
3590	臭化メチル	三光臭化メチル	三光化学	1958.03.26	2004.12.27
6452	臭化メチル	クノヒューム	帝人化成	1964.10.09	2004.12.27
7683	臭化メチル	プロヒウム	ケミクレア	1966.07.19	2004.12.27
8094	臭化メチル	アサヒメチルプロマイド	洞海化学	1967.03.10	2004.12.27
8895	臭化メチル	カヤヒューム	日本化薬	1968.05.10	2004.12.27
10782	酸化エチレン・臭化メチル	エキボン	液化炭酸	1970.03.10	2000.03.10
10974	酸化エチレン・臭化メチル	ニチヒューム	日宝化学	1970.05.29	2004.12.27
14318	クロルピクリン・臭化メチル	サイロン	帝人化成	1980.06.17	2004.12.27
14544	臭化メチル	アサヒヒューム	洞海化学	1981.03.30	2004.12.27

(独立行政法人農業水産消費安全技術センター（FAMIC）のホームページで公開する「登録・失効農薬一覧」（2021.12.31現在）に基づいて筆者作成）

(臭化メチル全廃が決定した1994年12月以降に「検疫用」、「不可欠用途用」として登録したものは除外した。)

表2 農薬登録を受けた燻蒸用の酸化エチレンおよびその混合薬剤一覧²⁾

登録番号	成分	商品名	登録企業名	登録年月日	失効年月日
7225	酸化エチレン	カボック—10	液化炭酸	1965.12.08	2007.12.08
7226	酸化エチレン	エボン—12	液化炭酸	1965.12.08	1992.12.08
7231	酸化エチレン	フミスター	日産化学工業	1965.12.08	1968.12.08
8696	酸化エチレン	ダイサイドH	大同酸素	1968.04.09	1971.04.09
10782	酸化エチレン・臭化メチル	エキボン	液化炭酸	1970.03.10	2000.03.10
10974	酸化エチレン・臭化メチル	ニチヒューム	日宝化学	1970.05.29	2004.05.29
11083	酸化エチレン	フミゲン	住友精化	1970.07.31	1994.07.31

(独立行政法人農業水産消費安全技術センター（FAMIC）のホームページで公開する「登録・失効農薬一覧」（2021.12.31現在）に基づいて筆者作成）

る人物だという（東京都ペストコントロール協会 2019: 99）。臭化メチルの紹介が米軍経由であったことを考慮すれば、国際衛生（株）の関与は十分に想定できる。同社のホームページにある沿革には、1964年に「奈良正倉院宝物殿、芝増上寺、中尊寺金色堂等の重要文化財のガスくん蒸実施」とある（国際衛生（株））。諸事情から判断すると、中尊寺金色堂以外は実施年が異なるが、同社が施工担当したことは確かだろう。なお中尊寺金色堂は1964年春から修理のため解体し、部材を同年夏完成の東文研の新庁舎へ運んで耐圧缶を使った包み込み燻蒸を行った。

芝増上寺は前掲の1955年頃、正倉院については後述するが1960年の燻蒸導入に伴う運用である可能性がある。駐留軍関係の消毒業務独占契約業者として取得した燻蒸業務の技術経験が、日本の再独立後に大きく生きたことは想像に余りある。

5 日本万国博覧会後の臭化メチル燻蒸

私事であるが、1970年の大阪万国博覧会の1年前から、筆者は日本万国博覧会協会（以下、協会と記す）・万国博美術館学芸課で保存担当の職員として採用辞令を受けた。博覧会終了後の半年を経た1971年3月にすべての業務を終えて美術館組織が解散するとともに、私は事業課へ配置転換となり、博覧会会期中に太陽の塔内に展示された世界の民族資料と、会期終了後に各国パビリオン等から寄贈された各種の資料の保存対策を担当することになった。前者の大方は現在、国立民族学博物館（以下、民博）所蔵資料の一部に、後者は万博公園内のEXPO'70パビリオンに保存されている。前者は民族学博物館構想の下に収集されたものではあったが、この時点では、博物館の場所、名称、組織を含む具体的な計画は全くなく、やがてできるはずの組織に引き継ぐために資料類を損なわないような必要な措置を講じておくことが職務だった。真夏を含む半年足らずの期間に、1日平均35万人強を数えた博覧会入場者のうち過半数が訪れたと推定されている太陽の塔内部に展示されていた資料類は、相当量の塵埃付着と微生物による汚染があったので、すべての資料に簡単な清掃と燻蒸処置を施すことにした。この時期でもまだ文化財の燻蒸は認知度が低かった。関西圏では、個人コレクションを基礎とする中小の私立美術館や社寺の宝物館は多くあったが、京都、奈良の国立博物館を除くと大規模博物館がなく、文化財燻蒸の実務経験者もいない状況だった。奈良の正倉院事務所は燻蒸装置を所有していたが、宮内庁所管で他の組織と連携が薄く、装置も小型で大容量資料に対応できるには程遠いものだった。

この当時、関西圏で燻蒸作業を実施していた企業はすでにいくつかあった。このうち、大阪・神戸の両港でおもに船舶の積荷と倉庫の燻蒸作業を大規模に受託していた一社（東洋燻蒸（株）神戸支店）に臭化メチルによる燻蒸を依頼した。この企業は、首都圏の横浜港でも大規模な燻蒸を受注しており、東文研の紹介でいくつかの社寺等の建造物を含

む文化財燻蒸の経験を持つ社員が在籍することを確認していた。処置は協会が所有し、会期中は業務委託した輸送業者（日本通運（株））が、資材倉庫に使用していた仮設建物内部で行った。庫内に多数の棚をグループ化して配置し、資料を配架した。グループ化した棚をそれぞれゴム引きシートで包み込み、床面は隙間がないようにシートの端を複数の砂袋で閉じた。建物は作業員の出入りする小さい扉以外の開口部の隙間はすべて事前に広幅のポリプロピレン製粘着テープで目張りした。準備完了後に、防毒マスクを装着した作業員がシート内で数個の臭化メチル入り耐圧缶をハンマーで開孔して脱出、その後作業扉も他の開口部と同様にポリプロピレンテープで封印した。倉庫はすでにほとんど利用者のない駐車場の一郭にある独立した建物で作業期間に駐車場を閉鎖すれば人の立ち入る心配がない。駐車場は使用禁止とし、少し離れた守衛所からも十分に監視できる体制を整えた。かなり不完全なガス漏れ対策であるが、ギリギリまで縮小した組織ではこれが精いっぱいだった。

6 正倉院の燻蒸罐

文化財を対象とする臭化メチル対応の燻蒸罐の導入は、正倉院事務所が1960年に導入したものが最初である。この装置は現在、九州国立博物館が保管している（写真1・2）。基本的な設計は森八郎が行った。森は、内田祥三の提案をもとに東京帝大大学院生だった1944年以来続けた減圧加温殺虫法、減圧下での殺虫機構など一連の研究により1952年に農学博士の学位を得た（関野 1958; 井上 1988）。1950年に国と朝日新聞社が協力して



写真1 正倉院が1960年に導入した燻蒸装置外観。現在は九州国立博物館が所蔵
(提供：九州国立博物館)

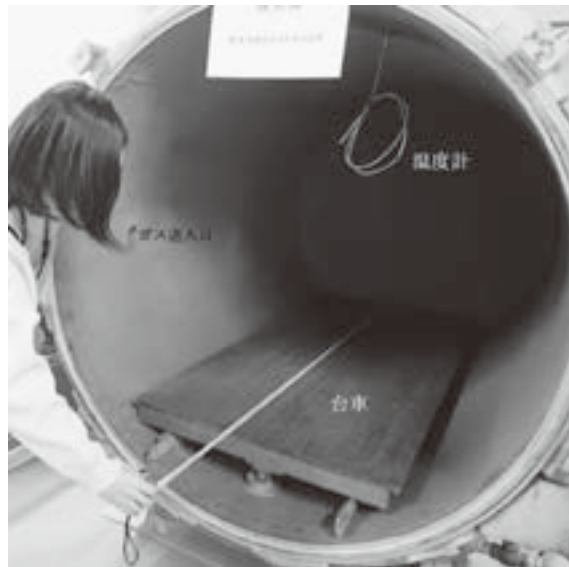


写真2 正倉院が導入した燻蒸装置内部（提供：九州国立博物館、写真中の文字は筆者が追加）

実施した岩手県・中尊寺の文化財総合調査で、生物被害調査と対策を担当し、一部文化財の現地での包み込み燻蒸を指導監督している。1950年代前半には、文化財に使われる金属、顔料に対する薬害の検討も行っていた（森・熊谷 1954; 1955; 1957）。こうした経験をもとに森の設計した装置は減圧殺虫法と臭化メチル燻蒸を組み合わせたものである。大きな鉄の円筒を横倒しにして、ガス注入口を作り、密閉扉をつけ、奥まで資料を入れるための台車とレールがある。熱電対と思われる隔測温度計を備え、装置上部に圧力計と温度計の直読目盛りがついている。罐の内側は口径121cm、奥行き198cm、従って内容積は約 2.27m^3 になる。ガス注入口は $1/2\text{lb}$ (約225g) 耐圧缶に対応しているので、注入量はほぼ $100\text{g}/\text{m}^3$ 、後年の標準値に比べると相当高濃度である。

製作は特許理化興業（株）と宝戸示鉄工所（株）である。前者は1919年以来、主に病院用の減圧殺菌消毒装置の開発販売を行ってきたこの業界での老舗企業、後者は同じ経営者による減圧罐部分の加工会社である。1990年代前半までに燻蒸罐を導入したほとんどの博物館とその関連機関が導入した製品は両社の共同製作だった。

この燻蒸罐と臭化メチルを用いて文化財の減圧殺虫を始めて行ったのは1960年11月7日である（文化財虫菌害研究所編 2006: 3）。

正倉院に先立ってもう1基、森は自らが主宰する文化財虫害研究所（以下、文虫研）用に装置を試作していた。従前のホルマリン用燻蒸装置を臭化メチル用に改造したものだった。ホルマリンの殺菌力は大であるが、殺虫力が乏しい。文虫研が借用していた東

京・深川の宝戸示鉄工所の用地内に設置し、寺社等からの委託を受けて古文書等の燻蒸に使ったが早い時期に廃棄された、という。

7 公立博物館での燻蒸罐の導入 — 神奈川県立博物館の場合

専用装置を利用した燻蒸が普及したのは1970年代前半である。先導したのは1967年3月20日に横浜市に開館した神奈川県立博物館（現・神奈川県立歴史博物館）である。歴史、民俗、自然の3部門を持つ総合博物館として開館した。建物は1904年建設の旧横浜正金銀行本店を利用したもので、地下の金庫室を改装した収蔵庫前にある荷捌室の一面15.4m²をコンクリート壁で区切って消毒室とし、ここに臭化メチル対応の燻蒸罐を配置した。国公立博物館では最初の導入である。同博物館の開館準備にかかる予算は1963年度から執行されているが、1965年度までは建設費、人件費と資料収集費のみが計上され、施設設備・備品費は開館年度の1966年度しか計上されていない。建設費に含めた可能性もあるが関係者がほとんど他界しており確認できない。この装置の導入を勧めたのは当時の東文研保存科学部長・関野克と慶応大学教授・森八郎であったことが複数の関係者から聴取できた。装置は20世紀初頭まで存続したが、臭化メチルの使用規制強化の下で廃棄され、仕様詳細も記録がない。

1980年11月発行の『神奈川県立博物館概要』に導入時のままの燻蒸罐の様子が分かるよい写真が残っている（写真3）（神奈川県立博物館 1980: 16）。正倉院が導入したもの

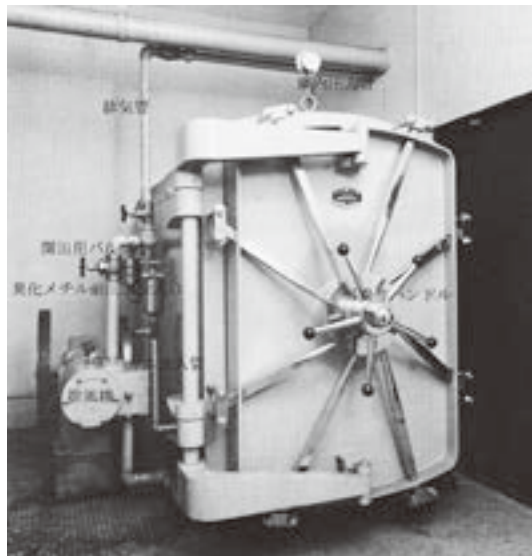


写真3 神奈川県立博物館が1967年に導入した燻蒸装置
 (『神奈川県立博物館概要』(1980)より転載、
 写真中の文字は筆者が追加)

に比べると、一回り大きく、形もスマートになっている。本体部分の中剥りした無溶接の鉄塊に鉄扉を付けたものである。扉と本体は気密を保つためのパッキングを挟んで、ハンドル操作で密閉する。写真では見えないが、正倉院のものと同様に内部にレールの敷設がある。大型、重量の資料を扱う時は扉を開いた開口部の前に仮設の延長用レール台を置き、ここに鉄製の小型台車を乗せて奥まで挿入する。扉が閉まったことを確認し写真左下にある排気モーターを利用して罐内の上下から空気を抜き3分の2気圧程度まで減圧する。外気取り入れ用バルブは完全に閉めて置く。ガス注入器の蓋を開けて1lbの臭化メチルの耐圧缶を入れる。注入器の底部にあらかじめ鋭い三角錐が付いた生け花用の剣山に似た鉄板をセットしておく。グリースを塗った注入器の蓋をしっかりと締め、蓋についた開缶ハンドルを回す。耐圧缶が押し下げられ、三角錐で底部に孔が開き、液化した臭化メチルがパイプを伝って気化しながら鑿内に送りこまれる。臭化メチルの沸点は4℃であるが、気温が低いと一部が液体のまま滴下、飛散することもある。1970年代後半以降に造られた装置では挿入器を加温する温水パイプを装備したものが登場するが、この装置では加温は考慮されていない。必要に応じて注入器に雑巾を巻いて熱湯をかけ温めてから開缶ハンドルを回す工夫をしていた。鑿内にガス注入後は開扉までの間、罐を設置した燻蒸室（消毒室）は扉を閉め、専用の排気ダクトを使って室内を陰圧に保ち、万が一の漏気に備える。作業担当者は解毒缶を備えたガスマスクを着用した。

24時間以上放置したのち外気を取り入れながら排気ダクトを使ってガスを建物の屋上付近から大気中に放出した。この方法は、後年まですべての施設で共通だった。半日以上以上の排気後に開扉し処置の終わった資料をとりだす。

神奈川県立博物館の開館に5年遅れた、1971年4月に北海道開拓記念館（現・北海道博物館）、同年11月に埼玉県立博物館（現・埼玉県立歴史と民俗の博物館）の2つの博物館が開館し、準備期間に神奈川県立博物館とほぼ同様の燻蒸罐を導入した。ガスの加温方法を含めて運用方法も神奈川県の方法に準じた。この結果として、このあと開館する公立博物館は燻蒸罐を設置するのが望ましい流れが生まれる。

燻蒸罐を導入した施設では、ごく少数館を例外として、運用に当たったのは電気系の技術職員だった。元東文研保存科学部長・登石健三は、減圧した燻蒸罐の中で急激な乾燥状態が生じていることを実証して対応を相談に訪れた神奈川県立博物館技師・小山守を高く評価していた。かつて正倉院事務所で保存科学部門を担当した永嶋正晴（国立歴史民俗博物館名誉教授）は、「1972年に着任後からしばらくの間、宮内庁京都事務所の電気技師がときどき奈良までやってきて空箱などの燻蒸をやっていたが、自分達はノータッチだった。80年代には装置をほとんど使っていなかったと思う」と回顧する。当時の正倉院事務所は組織図上では宮内庁京都事務所の一部だった。

8 公立博物館での燻蒸装置普及と民俗学資料

1970年代以降に開館した公立施設で臭化メチル燻蒸が普及した1つの原因は民具（民俗学資料）の増加である。

1950-1960年代の急速な経済成長の結果、東京、大阪、名古屋の3大都市圏への過剰な人口流入とそれに伴う全国的な村落部からの人口流出があったことはよく知られている。とくに若年層の移動が顕著だったために労働力を失った村落部では農林業などの生産規模縮小による不使用機材の数が増加した。急激な工業化による電力不足は大型ダムの建設につながり、村落の廃村を生んだ。家電製品の普及は従来の生活様式を大きく変化させ、衣食住すべての面でむかしから使ってきたさまざまな品物が見捨てられるようになった。生産製業にかかわるもの、信仰・儀礼に関わるものなどを含めて広義で日常生活に使用した歴史的遺物をまとめて民具と呼ぶ。体系的な民具の収集はアチックミュージアムほかいくつかの組織では戦前から行われていたが、この1950-1960年代の急速な社会変化の中で注目を集めるようになり、多くの自治体で収集が始まった。民具の収納には大きい容積を必要とするものが多く、収集が進むとともに大型の保管場所が必要となり地域博物館設立を促した側面がある。

1956年9月発表の文部省白書『学制百年史』（第2編：戦後の教育改革と新教育制度の発展、第3章：学術文化、第4節：文化財保護、三：無形文化財及び民俗資料の保護）は以下のように言う。

昭和二十九年の文化財保護法の改正によって、新たに指定制度が設けられた重要民俗資料については、職業階層から見て、また地域的・時代的に見て、代表的・典型的なものや、それらの特色を示すにたる重要な系列を構成するものについて厳選して指定する方針の下に、同年中に六件を指定し、その後毎年数件ずつ指定を行ってきた。その結果、四十七年一月現在で、総数八四件となっている。近年、産業の近代化や生活様式の変化に伴って民俗資料も急速に散逸、滅失しつつあり、その保存対策を講じつつあるが、最近各地方に急速に設置されてきた地方歴史民俗資料館および五十一年開館を目標に文化庁で設立準備を進めている国立の歴史民俗博物館が、民俗資料の保存活用に大きな役割を果たすことが期待されている。なお、民俗資料の保存のために、三十四年度から民俗資料収蔵庫を国庫補助により建設してきており、四十六年度までに二〇館を建設した（文部省 1956）。

民具類の多くは、最後に使用したまま十分な掃除をすることもなく収集時点まで物置や納屋に放置していたものも多い。その間に著しい虫害や黴の発生を受け、あるいは実害は少ないものの虫の巣になりがちだった。そのまま収蔵施設に搬入しても被害は継続するばかりか、他の資料に拡大する恐れがあった。民具の組織的な収集はそのまま家屋

害虫やカビ類に対する収集機関での大規模な生物被害対策と直結していた。臭化メチル燻蒸の有効性はすでに知られていたが、実用にはまだ困難が残っていた。密閉度のある倉庫、寺社の宝物庫などの小規模の独立した建物、あるいは包み込み燻蒸が始まっていたが、処置中のガス漏えいを考えると、処理場所は人間の居住区域と十分な距離が保てる必要がある。過疎地や農地・森林に囲まれた現地では条件が厳しくないが、いったん市街地の施設に移動した資料では、関係者以外の隔離が可能な燻蒸専用装置の必要が増した。

9 臭化メチル燻蒸の普及に伴って生じた諸問題

臭化メチル使用を意図した文化財用ガス燻蒸罐はこうした背景で1970年代から利用が増えてくる。しかし、養蚕業が盛んだった地域では、1930年代末までに小学校を卒業した世代の中にホルマリン燻蒸の経験者がかなりいた。経験者の協力を得てホルマリンの使用を続けた地域の小規模施設があったことを筆者は見聞している。刺激臭はあるものの取り扱いの簡便さと臭化メチルに比べると危険が少ない。生物被害には有効であるが、金属に錆の発生を促すことに加えて、経験者の高齢化もあり1980年代以降は中小の博物館類似施設でも利用されなくなった。

臭化メチルのガス吸引や液体との接触で中毒症状を呈することが知られている。環境省が公開している『化学物質の環境リスク初期評価』第1巻によると、ヒトへの急性毒性は、吸引による場合の最小毒性濃度 (TCLo) は35ppm、経皮による場合の最小中毒量 (TDL_o) は同800ppmという³⁾。またヒトへの影響として「主に燻蒸作業及び有機合成作業における暴露で神経系及び非神経系(肺、鼻腔粘膜、腎臓、眼、皮膚)への影響が報告されており、この際の主たる暴露経路は吸入と皮膚接触である。(中略)(燻蒸作業の)作業者に中毒患者が発生した事例では、作業中より嘔吐、窒息感があり、運動失調から四肢ないし全身の痙攣、入院中にてんかん様発作がみられている。(中略)主症状としては急性中毒、軽症型では嘔吐・歩行失調、重症型では全身痙攣と昏睡、劇症型では急性肺浮腫を見たことが報告されている」(環境省環境リスク評価室 2012: 237)とある。致死に直結するものではないが、ガスの漏えいが危険であることは間違いない。

臭化メチルは沸点4℃、蒸気圧166kPa(20℃)で、常温下では浸透力が強い。このために多孔質の有機物や土壌などには短時間で深くまで浸透して殺虫効果を示すが、燻蒸作業では処理の僅かな隙間でも漏えいする危険がある。建物では、開口部はいうまでもなく、板壁や気泡を多く含むコンクリート壁でも浸透、漏気は起こりうる。このために隙間の封鎖には十分な注意を要する。しかし、農林省の食糧研究所が臭化メチルを穀物燻蒸用途に導入することを目的に実験を開始した段階では、ガス漏えいに対する危険をどの程度意識していたかは疑問がこのころ。担当の原田らが、事前に行った文献調査は当時

としてはかなり高水準であったことが、報文の参考文献からわかる。しかし、参照した資料はほとんどがアメリカの広大な農地を対象にしており、多少の漏気はごく短時間のうちに大気で影響を無視できる程度まで希釈されるので、漏気対策に深く触れていない。漏気を重視していないことは、原田の第2報のうち、「I：試験の概要」の項で「燻蒸庫扉の間隙は幅5cmの『クラフト』紙に『アラビアゴム』を塗布した封緘紙を利用して密封した」ところ「漏えいは完全に防止することができた」という（原田 1952: 104）。実験場所は東京都江東区塩浜にあった政府食糧倉庫の一郭で、通常は関係者以外ほぼ無人、きわめて通風良好の地であり、漏洩はあっても瞬時に風で希釈されてしまったのだろう。クラフト紙は厚手、丈夫なパルプ紙で水滴などは通しにくいだが、圧力のかかった気体は容易に透過する。アラビアゴムも植物樹脂を原料とする水溶性接着剤であるが、接着力は強靱ではなく接着剤としての塗膜も水分が蒸発すると微気泡が残り、高圧気体の透過を防止できない。

政府系農業研究機関が臭化メチル燻蒸の漏気防止にクラフト紙を使用していた情報はかなり早い時期から、一部民間の虫害対策業者間では知られていたらしい。筆者も実際に経験したことがある。

1973年の秋、筆者が在籍した埼玉県立博物館の展示場の一部でヒラタキクイムシの発生があり、燻蒸罐で処置するには大きすぎ、移動も困難なため数日の臨時休館をして当該部分をシートで包み込んで燻蒸をしたことがある。作業は臭化メチルの作業経験のある業者を県当局の入札で決定し、仕様は博物館で作成した。作業の発注仕様書では漏気については「展示室を完全に密閉し、当該区域以外への漏気を防止」という以上のことを書くことができなかった。落札業者が決定し、処置方法の詳細打ち合わせ中に、ポリ塩化ビニルのシートで包んだ資料を置いた展示室の扉とシャッター部分をクラフト紙と粘着テープで封鎖する、と言いだした。万が一を考えると、壁を隔てた別棟とはいえ同じ建物内で作業する職員の安全確保には、クラフト紙の目張りでは自信が持てない。館長と相談して、投薬当日は最小限の職員を残して、他の職員は近隣施設での館外研修に出てもらい、残った職員と守衛は安全確認の完了まで館庭を隔てた正門脇の入館券販売所で待機という体制をとった。このとき、投薬後に当該展示室の外部で若干認められたガス漏洩は、4時間後にはまったく検知できなくなった。ということはシートから漏れたほとんどのガスがクラフト紙の封鎖を抜け、建物の隙間から外部に出てしまったことになる。

燻蒸鑿やポリ塩化ビニルのシート等を利用した包み込み燻蒸以外による文化財の燻蒸で、倉庫、展示場の様な大空間を対象にして、漏気防止方法が本格的に検討されるのは1970年代末から1980年代初頭を待たねばならない。

現実に臭化メチルの漏気は、微量ではあっても現実に起こっていた。実験段階でも漏気の確認は絶対不可欠である。

わが国で最初の導入実用化実験を行った原田の報告は「(b) 瓦斯検知試験 尚瓦斯検知試験を行ったが、その方法はアルコールランプに細目銅網を炎の部に巻きつけ燃焼せしめて後之に検知せんとする瓦斯を吸引器により吸引して静かに炎に吹きつけるものである」と記す。米を入れた俵内部におけるガス分布の検知を目的とした実験で、俵内からテント外までゴムの細管を配して吸引器を利用した、という（原田 1951: 118）。

銅を十分に加熱して表面に酸化銅（Ⅱ）を作り、ここにフッ素以外のハロゲン（塩素、ヨウ素、臭素）化合物の試料を付着して炎で再加熱すると濃緑から青の炎色反応を呈する。これをバイルシュタイン法と呼ぶ。簡単かつ高精度でハロゲン化物の存在を確認する化学分析の古典的方法としてよく知られている。原田が利用したのはこの方法である。その後、臭化メチル燻蒸作業の普及に伴って、小型バーナーの先端に銅線や銅板を装着したものが各種登場して1970年代末まで広く使われた。熱源は、プロパンガス（または液化天然ガス、メチルアルコール）を封入した携帯小型ボンベを接続する。臭化メチルは難燃性ではあるが、文化財の近辺で直火を扱うことには抵抗があった。

1970年代半ばから北川式ガス検知管に臭化メチル対応が登場し、小型の吸引ポンプで空気を吸引するだけで濃度が測定できる簡便さが評価され、ガス検知と濃度測定は次第に検知管方式に移行する。さらに1980年代後半から高価ではあるが半導体利用の自動検知器が複数開発され、利用頻度の高い燻蒸処理会社などに導入された。

1960年代までの、とくに穀物倉庫用を中心に臭化メチルの応用開発で中心的役割を果たした原田は1971年に農林省を退職、在職中から手掛けた別の燻蒸剤リン化水素の応用開発技術を持って民間企業に転出し、以後、臭化メチルから離れる。

10 燻蒸用酸化エチレン混合ガスの誕生

臭化メチル燻蒸の普及に関わる諸事情について、主要な文化財燻蒸剤製造会社の1つである液化炭酸（株）（現・日本液炭（株））の開発部門で長年活躍された井上市郎から直接伺った話を中心にまとめておきたい。

井上が1965年に就職した液化炭酸（株）は、2年前の1963年10月に新しい燻蒸剤として酸化エチレンと液化炭酸ガスの混合物を40kg入り鋼鉄製ボンベで商品化することに成功した。同年12月、この新製品の販売会社として日本ガス殺菌工業（株）（現・ステリテック（株））を設立した（日本液炭（株））。井上は入社後、短期間の本社勤務ののち、1971年4月に開設した日本ガス殺菌工業・神戸出張所へ責任者を兼ねて出向となり、この新製品の用途開発と販売を担当する。

酸化エチレンの優れた殺虫殺菌力は1930年代初頭から注目されていたが、数回の爆発事故が起こったことから実用化に限界があった。ちなみに酸化エチレンは、沸点11℃、引火点-29℃、発火点425℃、爆発範囲3～100%である。爆発範囲は爆発限界ともいい、

特定の気体が空気と混合したとき、発火源がなくとも爆発、急激な燃焼を引き起こす可能性のある混合比の下限と上限の値を示す。2つの値の差が大きいほど危険が大きい。しかし酸素の量が減れば危険は減少する。

東京工業試験所の樋口幸雄が記すところによれば「(酸化エチレン10%と炭酸ガス90%)組成のものは決して爆発限界内に入らない。米国やその他の国では、かなり以前からこのような組成の混合ガスが鋼製のボンベに充てんされて市販されている。わが国では酸化エチレンの殺虫、殺菌への利用は非常におくれている、このような混合ガスボンベが製造されるようになったのは昭和38年以降である」という(樋口 1964: 31)。

本稿では、酸化エチレン、炭酸ガスの混合物を「希釈EO剤」と表示する。液化炭酸(株)は酸化エチレン10%の製品を「カボックス-10」として、1965年12月に農業用燻蒸剤として農林省の農薬認可を得た。日産化学(株)も類似の10%希釈EO剤を開発し、「フミスター」の商品名で「カボックス-10」と同時に農林省の農薬認可を得た。

既に原田が1952年の段階で「クロールピクリンの生産量の漸減と共に一方新燻蒸剤としてのメチルプロマイドの国内生産も行われるに至り」(原田 1952: 109)とのべているが、加えて、井上の記憶によれば、1970年前後から燻蒸剤としてのクロールピクリンが次第に使い難くなっていた。原因は、大都市圏での人口増加と市街地拡大である。食糧倉庫の多くは港湾近くか地方の田園地帯にあった。首都圏と並ぶ穀物消費地の京阪神圏で輸入穀物の多くが集積する神戸港周辺には大規模食糧倉庫群があった。クロールピクリンによる穀物燻蒸の漏気と排ガスは強い刺激臭があり、次第に新興住宅地となった近隣住民からの苦情が集まるようになった。当時の臭化メチルはまだ耐圧缶をハンマーで直接開孔する方式で、大規模倉庫での実用化には設備や労働安全の面でいくつかの課題を残していた。井上らは、クロールピクリン燻蒸に変わる方法として「カボックス-10」を販売するための応用技術開発に賭けた。希釈EO剤の主な用途は、穀物燻蒸と1970年前後に登場する使い捨て型医療器具(注射器、メス等)の生産現場だった。

10%希釈EO剤は、爆発の危険は大幅に抑えているが、穀物燻蒸の場合、俵や麻袋などの内部まで必要十分な量の酸化エチレンを浸透させるには時間がかかり、効率が悪い。会社は酸化エチレン20%、30%の製剤を「カボックス-20、-30」として商品化した。酸化エチレン濃度が上がった分だけ爆発の危険が生じ、取扱いも複雑になる。

結局、日本ガス殺菌工業(株)では、穀物燻蒸に比べて燻蒸容積が小さく、ガス浸透もよい医療器具向け用途に販売主力を転換することになり、穀物部門を担当していた井上は親会社の開発部門に戻った。1968年、日産化学は「フミスター」の認可を更新申請せず撤退するが、「カボックス-10」は、2007年まで生産を続けた。

11 臭化メチル・酸化エチレン混合ガスの誕生

本社に戻った井上らは、炭酸ガスの代わりに不燃性で殺虫力の強い臭化メチルを使うことを思いつき、実験を重ねた。臭化メチル・酸化エチレン混合ガスは殺虫と殺菌が同時に出来る利点がある。臭化メチル85%、酸化エチレン15%のものが殺虫効果も高く、操作性もよいことを確認した。この新製品を「エキボン」の商品名で農薬申請し、1970年3月10日付で認可を得た。2ヶ月半遅れて、大阪のヨウ素剤メーカーだった三宝化学工業もほぼ同じ組成を持つ燻蒸剤を「エキヒューム」の商品名で農薬認可を受ける。

12 民博（開館以前）での大型燻蒸

民博は1974年6月に創設され、8月から、開館に向けて国内外での収集活動が始まった。年が明けるところから、どんどん収集した資料が到着する。まだ建物がなかったので利用していない万国博記念協会所有の仮倉庫を借用して収蔵品を納めた。収集に当たったのは文化人類学の研究者で、有害害虫や菌類に詳しいわけではない。海外からの収集資料は収集地の生物環境が不詳なのが普通だった。わが国には存在しない生物や菌が付着したまま到着している可能性もある。1975年5月、館長梅棹忠雄の指示で、新収集資料の一部を倉庫の屋外で包み込み燻蒸処理することにした。館側で担当したのはこの年に着任した吉田集面である。彼は薬学博士の学位を持つ文化人類学者だった。実務は、イカリ消毒（株）と液化炭酸（株）が担当した。イカリ消毒の大阪支店長と梅棹はすでに10年以上の個人的交友があり、動物学に精通した梅棹も燻蒸に関するかなりの最新情報を入手していた。処理対象の資料数もさることながら、個体容積の大きいものが相当あり、臭化メチル1lb缶では相当数が必要になるほか、国内にいない菌類が付着していることも想定して、殺菌力も大きい希釈EO剤「カボック-10」を採用した。ポリ塩化ビニルのシートでしっかり包み込んだ資料と30kgの薬剤を充填した鋼鉄製ボンベを金属の細管で繋ぎ先端のノズルからガスを送りこむ方法である。同じ方法で1976年6月まで4回実施した。この間に穀物燻蒸では全く問題にならなかったことが起こった。気温が高いときに実施すると、噴射した炭酸ガスの気化熱で周囲の空気が過冷却されて水滴が生じ、資料表面に汚点を残すことがある。結果を見れば当然であるが、準備段階で見落としていたのだ。吉田は希釈EO剤の適用方法を再検討することにした。

13 臭化メチル・酸化エチレン混合ガスの実用化への試み — 秋田県立博物館の場合

秋田県立博物館は、大規模な博物館資料燻蒸を導入したもっとも古い施設の1つであ

る。博物館は、1967年に始まる県の総合開発計画の一部として計画され、1975年5月に開館した。博物館準備室では、開館前年の、資料収集がある程度まで進んだ段階で第1回目の資料燻蒸を実施した。この施設の主な収集資料は、歴史、民俗、古美術、自然史に関するものである。第1回目燻蒸の詳細は不明であるが、県の指名競争入札により、三共（株）が落札した（武石・半田 1980: 142）。三共（株）は大正年間にわが国最初のクロロピクリン合成に成功した企業であるが、その後とくに第2次世界大戦後は同業を利用した穀物燻蒸を全国的に手掛けていた。秋田県立博物館は1974年10月の定礎なので、燻蒸は博物館とは別の場所で行ったと思われる。使用薬剤は記録がないが、当時を知る何人かの関係者の断片的な記憶を聴取した限りでは、耐圧缶入り臭化メチルを利用した屋外での包み込み燻蒸だったようである。第2回目から1979年の第4回目までは、イカリ消毒（株）が落札した。第2回目の実施は落札社の資料によると1975年9月である。使用したのは液化炭酸（株）で井上らが開発した臭化メチル85%、酸化エチレン15%の混合物、商品名「エキボン」である。この混合ガスは従来の1lb耐圧缶でなく、40kgの液化した薬剤を封入した鋼鉄製の耐圧ボンベで供給され、ノズルとつないで噴射する。新薬剤の採用には、投薬方法の大きい改良があった。この方法は投薬量をバルブの開閉で操作できる。前述のとおり、臭化メチルの沸点は常圧下で4℃であるが、蒸気圧は4℃で1 kg/m³、23℃で2 kg/m³、55℃で5 kg/m³と指数関数で上昇する。高压であるほど資料内部への浸透が良く高い効果が得られる。前述のように、燻蒸罐では投薬口付近に雑巾を巻いて熱湯をかけるような工夫もしたが、大きい効果は得られなかった。

井上らは、40kgの薬剤を封入したボンベと投薬ノズルの間に使用する専用の加温装置（以下、気化器）を開発し、常温以上のガスを送りこむことを可能にした。着想は簡単だが装置の開発は細部でかなりの困難があったと聞いている。

気化器を併用した臭化メチル／酸化エチレン混合ガスの使用は、わが国では最初の試みであったが、得られた結果は大変良かった。これまで時々起こしていた空中水分の露滴問題なども解決し、安全も確認できたうえに、過剰量投薬もなくなった。以後、エキボンによる燻蒸はメチルの使用制限が始まるまでわが国での文化財燻蒸の標準仕様となった。

14 博物館収蔵庫の大空間燻蒸への挑戦——民博の場合

1977年春、民博の建物が完成し同年秋の開館に向けて最終的な準備が始まる。開館以後の燻蒸は気化器を通したエキボン使用が原則となる。

民博では、収集担当者以外は収集地の環境条件に疎く、担当者でも資料の付着物までは関心が乏しい。民族学資料は、それぞれの土地で日常生活に実際に使われていたモノであるほど価値がある。生物汚染を受けた資料をそのまま収蔵すれば、他の資料類への

被害拡大の恐れがあるばかりでなく、資料管理担当の職員や最悪の場合、展示場で一般観客をも巻きこむ危険を無視できない。収集品をそれまで実際に使用していた現地の人たちには、付着物に免疫があっても、日本では無理というものもある。民博での殺虫殺菌は、資料の損傷という以外に、人体への防疫という独自の視点が求められていた。収集資料は、容量 $2\text{ m}^3 \sim 3\text{ m}^3$ の燻蒸罐に収まらない程度に大きいものや、大量の一括収集があることを十分承知していたので、燻蒸罐の導入を見合わせ、代わりに大小2つの専用燻蒸室を設計段階で用意した。ガスの操作は専門業者に委託することにした。

開館準備の仮事務所、仮収蔵庫からの移動が終わり、新しい建物での燻蒸を再開する予定だったが、燻蒸室の構造に大きい欠陥が見つかった。燻蒸室は厚いコンクリートで囲まれ、金庫風の二重扉で完全密閉し、薬剤ガスは壁に埋め込んだパイプを通じて外部から送りこむ方式である。準備段階では館内に保存科学の専門職員が不在だったのも一因ではあるが、建築の設計者、施工会社、施工管理担当者のいずれもが、臭化メチルのガスは、高い蒸気圧のゆえに外気温 20°C 以上では厚さ10数cmのコンクリートでも容易に漏気することに無知だった。急遽、複数のウレタン系の塗料で透気防止膜を作り、さらに発泡ウレタンの厚い層を作った。この部屋が使えるようになったのは開館3ヶ月前の8月上旬である。やむなくこの間は数回の包み込み燻蒸でしのいだ。

開館後もいくつかの深刻な虫害問題が収蔵庫と展示場で生じた。収蔵庫では、大方資料搬入の容易さを求める発注者の強い希望を設計者がそのまま受け入れた結果、扉1枚で外部につながる開口部が出来ていた。展示場では排煙窓が害虫幼虫の侵入を許した。わずかでも被害を見つけた展示資料は撤去して燻蒸庫で処理したり、移動の難しい大型資料は現場で「エキボン」による包み込み燻蒸で対処した。開口部も改修をした。

大問題は収蔵庫だった。うす暗いので被害を見落とししたり、侵入した害虫が産卵したりする可能性は否定できない。事実、数ヶ月ごとに被害を確認できたので、侵入が続いたか産卵・孵化のサイクルがあったはずである。収蔵庫全域の燻蒸は不可欠だった。開館当初の収蔵庫は約 $1\text{ 万}8,000\text{ m}^3$ の一般収蔵庫に加えて、独立した空気環境を要する3つの密閉型特別収蔵庫（合計 $1,000\text{ m}^3$ ）が一体になっていた。一般収蔵庫は2つの防火シャッターで3つの部分に区切ってあった。天井高は5m強ある。有人の建物内で $1,000\text{ m}^3$ を超す大空間で臭化メチル燻蒸を経験した業者はなかった。

1979年7月、とりあえず一般収蔵庫のうち第3収蔵庫 $7,000\text{ m}^3$ の処置を考えた。平面図上は2つの四角がL字型を作っている空間で、扉1枚で外部とつながる開口部がある。試験としては難題が多いが、被災程度からは優先せざるをえない。

初めての経験なので、新年度早々から計画づくりが始まる。メンバーは民博側は宇野文雄技官ほか収蔵庫管理担当の標本資料係、業務委託したイカリ消毒（株）の技術者と液化炭酸（株）開発部門である。この過程の半ばで、筆者が民博に着任し、チームに参加した。単位容積当たりの投薬量はそれまでの経験から 30 g/m^3 を基準にした。しかし大

空間でこの薬量を生かすには、出来るだけ均一なガスの分布を図るために密閉した室内の自然気流を考慮した投薬地点（複数）の検討、漏気を最小に留めるための諸方法など、前後に複数回の（燻蒸剤を使わない）擬似実験が必要だった。燻蒸期間は臨時休館処置をとってあったが、第1回目では、収蔵庫直上にある無人の展示室で空調機の配管を通じた漏気があり、配管封鎖の補強が必要になった。翌1980年7月には隣接する第2収蔵庫7,000m³で2回目の実用化試験を行った。この収蔵庫は外部との開口部がなく密閉度が高い。

2回の大規模投薬実験と複数回の擬似試験の結果をもとに、1981年7月中旬に収蔵庫全域1万9,000m³の燻蒸を実施した。ガスの封入時間は、3回とも48時間である。ガス漏洩の確認は検知管によった。

穀物倉庫のように独立した、開口部も少ない施設と異なる、開放型大容量空間を対象にしたわが国最初の屋内燻蒸は、ひとまず成功し、被害の拡大は収まった。処置の要点のみ下記に記しておく。

- ① 大きい開口部は木枠をつけた厚手のベニヤ板をポリ塩化ビニルのシートで包んだもので塞ぐ。隙間はポリプロピレン粘着テープ、必要に応じパテでしっかり塞ぐ。
- ② 空調機を止め、ダクト、マンホールその他すべての開口部をポリ塩化ビニルのシート、粘着テープ、パテ等でしっかり封鎖する。
- ③ 事前の調査で、主たる対象とする害虫（または菌）の種類を決めておく。投薬量、封鎖時間、供試虫や採菌培地の種類はその結果による。
- ④ 使用薬剤にとくに敏感なものはあらかじめ退避または保護しておく。
- ⑤ 事前に処理区域を閉鎖し、空調機も停止して空気の流れを知っておくと対策を考えやすい（気流はドライアイスに温水をかけながら確認した）。
- ⑥ 処理中は定期的なガス漏洩監視を怠らない。
- ⑦ 作業管理者、警備員配備を含めて十分な危機管理対策を事前に用意するとともに、万一来、警察、消防、医療機関等との緊急連絡方法を用意しておく。

燻蒸ガスを排気する前に図1に示すような循環式ガス回収装置を使用した。約100kgの活性炭を収めた容器の上部開口をポリ塩化ビニルのシートでしっかり封鎖しておき、容器下部には吸引排気扇を接続しておく。さらに吹き出し口には活性炭粉末の飛散防止用フィルターをつけて周囲の汚染を防ぐ。燻蒸が終わったら、防護服をつけた作業員が室内に入り、ビニルシートを外して排気扇のスイッチを入れる。室内の空気は活性炭を通して循環させ、臭化メチルを許容安全限界まで吸着させる。回収装置は密閉空間内で長時間空気を循環浄化する方法は予想以上に効率が悪く、複数台の装置を時間差で順次作動させる方が回収効率も良いこともわかった。

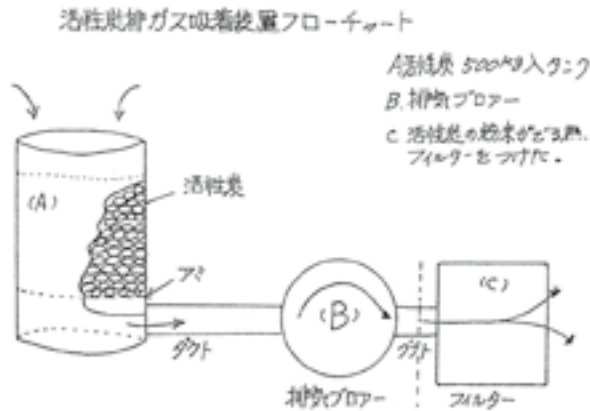


図1 密閉した大型収蔵庫の燻蒸終了時点で使用した臭化メチルガス回収装置の概要
(民博の1981年度燻蒸結果検討会資料より転載)

この回収装置は小規模のものを第1回目実施の準備段階から常設の燻蒸室で使い始めていた。1970年代半ばから大気汚染に関する社会的関心が高まっていたことを受けて、有害ガスの空中放棄量を極力減らすための試みだった。使用済みの活性炭は有害産業廃棄物処理業者に処理を委託した。

これも余談であるが、1980年代末近くに筆者は、個人的な交友を持つ小グループの旅行业に参加して、四国の山地にある産業廃棄物の最終処理工場を短時間だが見学したことがある。工場では各地から搬入される有機廃棄物の大方を高温で焼却していた。活性炭もその仲間である。高い煙突から昇る煙を見ながら、私たちのガス回収は地球環境保護に有効だったのかと、考え込んだことがある。

活性炭を使ったガス回収を含めて、民博の大規模燻蒸の経験は文化財保護に関与する多くの虫害防除業者の間で共有され、1980年代半ばには各地に普及した。同じころ、国内ほとんどの都府県と主要都市に博物館が整備され、とくにある規模以上の人文系施設では燻蒸罐を導入するのが普通になった。併せてこのころから整備が進む公文書館などでも導入が増えた。

15 文化財燻蒸作業技術者の育成

前記「6 正倉院の燻蒸罐」の項、末尾で森八郎が主宰する文虫研のことに触れた。研究所は1951年3月に森が中心となって創設、1956年7月に文部省系の財団法人の認可を得た。正倉院の燻蒸罐を作った4年後には森が慶応義塾大学の専任教員として多忙になり、研究所は名前だけ残して休眠状態に入った。1976年に大学を定年退職し、東文研の非常勤調査研究員になると、当時の所長だった関野克の支持を得て文虫研の活動再開準備

備に入った。1979年から森を所長とする新体制の文虫研が再スタートした。最初の事業が、「文化財虫害防除作業主任」の資格認定制度と講習会の導入だった。この資格は業務独占資格、名称独占資格、必置資格のように法律に基づく根拠を持たない民間資格ではあるが、しっかりした技術を持つ虫菌害防止業者や一部の国公立博物館（美術館を含む）の支持を得た。とくに文化財保護の領域で臭化メチル燻蒸が広く普及していく傍らで、大学を含む専門家養成機関では燻蒸という用語以上の基礎知識がほとんど供与されていなかった。教育機関の多くが文系だったことも一因である。

燻蒸に対する専門知識の不足は、大学教育などばかりではなかった。新井英夫と森八郎は、1980年に「燻蒸剤の性質を十分に知らない所が設計施工した設備は、燻蒸剤の漏洩が著しく危険で使用できない」として設計上の注意点を列記している（新井・森 1980: 6）。

使用薬剤の化学、薬学、農学などの側面からの情報、有害生物の生態や同定法、安全管理、文化財を構成する物質に対する影響やその調査方法などの総合的な理解は不可欠で、文化財管理に関わる人たちに対する追加研修・能力認定としては時を得たものだった。

なお2013年から文虫研の正式名称は「公益財団法人文化財虫菌害研究所」と改称している。

16 おわりに

日本での文化財に対する臭化メチル燻蒸は、1960年代末から約15年で科学技術としても、操作技術の面でも一定の水準に到達し、ほぼルーティンワークとして実施できるところまで到達したといえる。この燻蒸法は本来、殺虫・殺菌のための技術であるが、ほぼ完成期にはいったとほぼ同時に、公害問題、発がん性などが新しい検討課題に入った。加えて、この方法の有効性が知られる一方で、虫菌害の予防にも有効であるという誤解も生まれていた。1980年代からは、新しい課題に対応するとともに、誤解を解くための新技術開発の試みがいくつか着手したところで、モンリオール議定書に基づく臭化メチル規制に続く全廃問題が起こり、虫菌害対策は大きく方向変換をすることになった。21世紀以降の流れは他稿にまかせたい。

2年に及ぶコロナウイルス禍騒動のお蔭で、十分な調査活動もできないままに入手できた範囲の情報で、わが国の文化財保存における臭化メチル燻蒸の導入から定着までをまとめてみた。面談できないまま電話やメールで情報提供をいただいた方もある。とりわけ貴重な情報をいただいた、井上市郎（元・液化炭酸（株））、川越和四（環境文化創造研究所）、木川りか（九州国立博物館）、斎藤實（元・国際開発ジャーナル）、丹治雄一（神奈川県立歴史博物館）、永嶋正春（国立歴史民俗博物館名誉教授）ほかの皆さまに厚く感謝を申し上げたい。

追記

2年半以上にわたって続くコロナウイルス禍の流行とそれに伴う移動制限の結果、いくつかの重要な調査ができないままにあった。幸いにして本稿の初稿校正の期間中に、ごく限られた時間ではあったが、かつて正倉院事務所で使用した臭化メチル用燻蒸罐（現在・九州国立博物館所蔵）を実見する機会を得た。博物館から提供された写真と聞き取りをもとにした報文と若干の相違を確認できたので簡単に追記をする。

九州国立博物館では、燻蒸装置の収蔵にあたり、可能な範囲で装置各部の位置関係を原状維持するよう努めたという。

博物館から提供された写真では、燻蒸罐の薬剤の投入部分が明確ではなかった。実見で、燻蒸罐本体の右手の床面に薬剤気化装置との名札がついた装置一式があることを確認した。装置は基本的に蓄熱水槽と薬剤投入装置で構成される。蓄熱水槽は目測で高さ1m、直径30cmほどの密閉した円筒形の金属容器で、水位計とアルコール温度計を伴っている。水温は75℃程度以下を想定している。薬剤投入装置はU字型の断面を持つクロムメッキの鋳鉄製品で、同じ鉄製の蓋を閉めつけて密閉できる。内側の底部に耐圧薬剤缶の穿孔装置を持つ。このほか装置には聯成計（圧力計）がついている。薬剤投入装置は蓄熱水槽の直上にある。耐圧缶から出た加圧液化ガスは下部のパイプを通して燻蒸罐に導かれるが、この過程でパイプは蓄熱水槽の中を通過して薬剤の加温気化が促進される。蓄熱水槽内の送気管の様子は確認していない。燻蒸罐本体と気化装置は床面に配したパイプで連結している。床面には複数のパイプが複雑に交叉し、一部分は覆いがあったり、他の装置の背後で見えにくいなどの理由で正確な連結状況は確認ができなかった。

この気化装置は、特許理科興業製の博物館用製品第3号にあたる、神奈川県立博物館納入品以降では十年以上見限られて、加圧液化薬剤を減圧した罐内に直接挿入する方式が採用される。圧力差のみで気化する方法である。森は臭化メチルをいったん加温気化して燻蒸罐に送入する方が効率が良いことに気がついていた。しかしガスの送入方法に不備があったのだろう。原因は複数の想定ができるが、現状では想像の範囲を出ない。

注

- 1) 登録企業名は、企業統合または分社、権利譲渡、社名変更などにより、次の様な変更がある。原則として、変更があれば3年毎に行われる更新時に修正申告するが、申告漏れもある。
久野島化学 (1949-1968) → 帝人化成 (-2005) → 池田興業 [企業統合または権利譲渡]
洞海化学 (1948-2007) → 旭硝子エスアイテック (2007-2008) → AGC エスアイテック [社名変更]
液化炭酸 (1923-2005) → 日本液炭 (2005-) [会社合併・社名変更]
ヒマラヤ (1955-1958) → 市川合成化学 (1958-1999) → ケミクレア (1999-) [社名変更]
- 2) 前掲注1)
- 3) この引用部分に示された最小毒性濃度 (TCLo) と最小中毒量 (TDLo) には、ppm 表記のほか、体積当たりの重量比 (mg/m^3) が記されているが、あえてこれを削除した。表示された数値に計算もしくは校正の誤りが含まれるためである。同書が注記で出典とする、後藤稠他編『産業中毒便覧 (増補版)』(1994, 医師薬出版) および、後藤らが引用したとする American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ed.), *Threshold Limit Values* (1976) は、いずれも ppm 値のみで、重量比を表記していない。

参考文献

〈日本語〉

新井英夫・森八郎

1980 「新設博物館における生物学的問題」『保存科学』19: 1-7。

井上嘉幸

1988 「森八郎先生の研究業績」『家屋害虫』35, 36合併号: 3-10。

岩崎友吉

1962 『私は国宝修理屋』東京：朝日新聞社。

岩波書店編集部編

1955 『東京国立博物館』（岩波写真文庫172）東京：岩波書店。

神奈川県立博物館

1980 『神奈川県立博物館概要』横浜：神奈川県立博物館。

環境省環境リスク評価室

2012 『化学物質の環境リスク初期評価 第1巻』pp. 233-241, 東京：環境省環境保健部環境リスク評価室。

国際衛生株式会社

「沿革」<https://www.kokusaieisei.jp/company/enkaku.html> (2021年8月30日閲覧)

関野克

1958 「文化財の保存科学」『生産研究』10(8): 185-194。

武石基・半田和彦

1980 「報告—秋田県立博物館の全館燻蒸消毒の報告」『秋田県立博物館研究報告』5: 142-146。

東京都ベストコントロール協会

2019 「正会員・賛助会員紹介」『Pest Control, Tokyo』76 (50周年記念特別号): 98-117。

<https://www.pestcontrol-tokyo.jp/img/pub/076r50a/076-34.pdf> (2021年12月1日閲覧)

独立行政法人農業水産消費安全技術センター (FAMIC)

「登録・失効農薬一覧」

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko1.html>

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko2.html>

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko3.html>

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko4.html>

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko5.html>

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko6.html>

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko7.html>

<https://www.acis.famic.go.jp/toroku/sikko8.html>

(2021年12月31日閲覧)

日本液炭株式会社

「沿革」<https://www.n-eco.co.jp/company/history/index.html> (2020年11月25日閲覧)

原田豊秋

1951 「新燻蒸剤 Methyl Bromide に関する研究」『食糧研究所研究報告』5: 107-126。

1952 「新燻蒸剤 Methyl Bromide に関する研究 (第2報) 低温時に於ける燻蒸試験」『食糧研究所研究報告』6: 109-120。

樋口幸雄

1964 「酸化エチレンの爆発性について」『有機合成化学』22(6): 454-460。

文化財保護委員会編

1960 『文化財保護の歩み』東京：文化財保護委員会。

文化財虫菌害研究所編

2006 『文化財虫菌害研究所50年史』東京：文化財虫菌害研究所。

三浦定俊・木川りか・佐野千絵

2016 「《報告》臭化メチル全廃とその後の10年の歩み」『保存科学』55: 37-45。

森八郎・熊谷百三

1954 「文化財に対する燻蒸剤の薬害について — I. 金属に及ぼす影響」『古文化財の科学』8: 17-21。

1955 「文化財に対する燻蒸剤の薬害について — II. 顔料に及ぼす影響」『古文化財の科学』11: 21-28。

1957 「古文化財に及ぼす燻蒸剤の影響」『化学の領域』11(9): 3-9。

文部省

1956 『学制百年史 (白書)』

https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/htm/others/detail1317872.htm

(2021年8月31日閲覧)

〈外国語〉

Le Groupil, M.

1932 Les propriétés insecticides du bromure de méthyle. *Revue de pathologie végétale et d'entomologie agricole* 19: 169-172.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations)

1984 *Manual of fumigation for insect control.*

<https://www.fao.org/3/X5042e/X5042E00.htm>; This publication is based on the Manual of fumigation for insect control (FAO Agricultural Series No. 79, FAO Plant Production and Protection Series No. 20) by H. A. U. Monro, which first appeared in 1961 and was republished in 1964. A second edition revised by the author (= Bond), was published in 1969 and was reprinted five times. (2021年9月6日閲覧)