

木彫仏像など文化財の燻蒸時間短縮法について

森 八郎・新井英夫

1. はじめに

わが国には幸にも戦災や震災・火災などをまぬがれて全国の寺院や博物館などに無事に保存されている木彫仏像や古書古文書の数は少なくないが、これらのセルロース質の文化財がセルロース嗜好性の昆虫によって加害され、崩壊してしまう事例も決して少なくない。まことに惜しむべきことであるので、害虫防除は保存科学の重要な一分野であるといえる。わが国における木彫仏像や古書古文書の代表的害虫は、シバンムシ (Deathwatch and drugstore beetle, Anobiid) 科 Anobiidae に属し、そのうち前者ではケブカシバンムシ (Pubescent anobiid) *Nicobium castaneum* Olivier によって、後者ではフルホンシバンムシ (Book borer anobiid) *Gastrallus immarginatus* Müller とザウテルシバンムシ (Sauter anobiid) *Falsogastrallus sauteri* Pic によって加害されることが多い。これらシバンムシ科の害虫の食痕は、すべて細い錐か太い針で穿孔したような直径 1~3 mm くらいのトンネル状虫孔であり、かなり深部に達していることが少なくないので、殺虫剤の吹付け法や塗布法ではとうてい目的が達せられず、燻煙法でもほとんど効果が期待できず、拡散浸透性に最も優れているガス燻蒸法のみが唯一の有効適切な殺虫法である。しかし、木彫仏像や古書古文書のような文化財でも、顔料・染料によって彩色が施れていることがあるので、このような場合には燻蒸剤でも薬害がひどく、とうてい使用できない薬剤がある。現在市販されている10数種の燻蒸剤のうちで、比較的薬害の少ない薬剤は臭化メチル CH_3Br (Methyl bromide), 弗化サルフリル SO_2F_2 (Sulfuryl fluoride), 酸化エチレン $(\text{CH}_2)_2\text{O}$ (Ethylene oxide) の3種である。このうち、弗化サルフリルは木材への浸透性その他諸種の優れた特徴を有するが、殺卵力が劣る欠点があり、酸化エチレンは引火性・爆発性があるので、他の燻蒸剤では十分目的を果すことのできない殺菌を必要とするときのみ使用し、殺虫だけを目的とする場合には臭化メチルを単用することになっている。したがって、殺虫を目的とする今回の実験では臭化メチルだけを使用した。これでも漆塗りや色彩のある文化財の場合には、薬量が多かったり、燻蒸時間があまり長かったりすると、薬害をおこすので、薬量をできるだけ少なくし、燻蒸時間をなるべく短縮することが今回の実験の主要な目的であった。

この目的のために、従来からも常圧 (1気圧) 燻蒸ではガス濃度 20 g/m^3 以上、燻蒸温度 20°C 以上で24時間燻蒸を必要条件としたところを、減圧燻蒸法を採用して燻蒸時間の短縮を試みてきたが、これでも完璧に殺虫目的を達するに60 mm (Hg) で4~5時間が必要であった。これまでの減圧燻蒸では260 mm (Hg) 程度の減圧が利用されることが多かったが、燻蒸時間を短縮するため今回はすべて60 mm (Hg) まで減圧することにした。文化財の減圧で案ぜられることは、減圧にするために排気ポンプで Vacuum chamber 中の空気を吸引する場合、空気中の水分も同時に吸引し、文化財に乾燥の影響が及ぶことであるが、これを防ぐために筆者の1人新井 (1973) が chamber 内に水盤を納めて約 50°C の湯を注ぐと、乾燥を防ぐことが可能であるとすでに報告し、それ以来減圧燻蒸の chamber にはすべて水盤が設置されている。低い気圧が文化財に何らかの影響を及ぼしはしないかと案ずる人もあるが、地球上では

重力が作用するので、無重力状態の宇宙游泳のように文化財が減圧のために浮き上がるような現象は絶対におこらない。乾燥が案ぜられる文化財を減圧燻蒸する場合のみ乾燥を防ぐことを考慮すれば十分である。しかも今回の実験の結果、減圧状態にする時間を極端に短縮し、30分以内（主に15分内外）にして常圧に戻す方法を採用したから、乾燥する時間も極めて短かく、乾燥の影響がほとんどなくなったので、文化財の減圧燻蒸法を画期的に改良したと考える。

2. 実験材料と実験方法

(財)文化財虫害研究所が指定しているテストサンプル用ガラス瓶(図-1)に主としてコクゾウ *Sitophilus zeamais* Motschulsky 成虫を1瓶ごとに約20匹ずつ入れて供試虫とし、多くは1実験に2瓶ずつ使用した。最後に念のためコクゾウよりガスに対して抵抗性の強いヒラタコクヌストモドキ *Tribolium confusum* J. du V. 成虫およびイガ *Tinea pellionella* L. 幼虫も若干供試した。

実験に使用した減圧燻蒸装置は東京国立文化財研究所に設置されている特許理化興業製丸型2号(円筒形 Vacuum chamber 内容積 2.5 m³)減圧滅菌機(図-2)である。

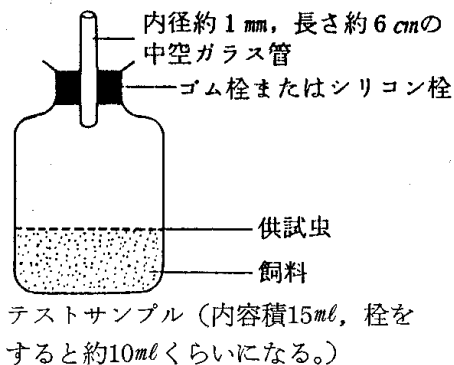


図-1 テストサンプル

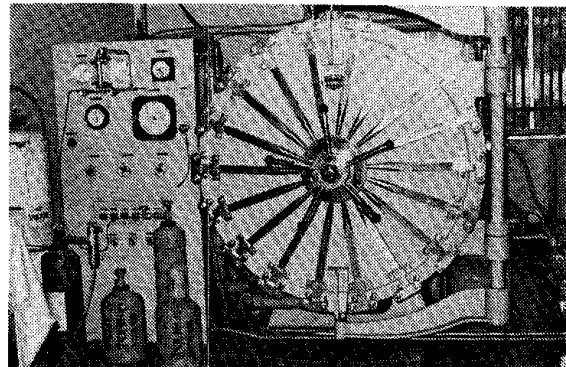


図-2 減圧燻蒸装置

実験方法は Vacuum chamber に前記の供試虫を入れたテストサンプル瓶を納め、閉扉して排気ポンプを作動させ、約 60 mm (Hg) まで減圧にした後、所定の薬量の臭化メチルを導入して種々の時間減圧状態を保持し、しかる後に常圧(1気圧)に戻し、所定の時間保持し、再び排気して残留ガスを除去後、常圧に戻して開扉し、供試虫をとり出して、燻蒸終了直後と24時間後における供試虫の転倒(Knock Down=K. D.)を調べて燻蒸効果を判定した。(ガス濃度はすべて chamber 内の空間ガス濃度である)。

3. 実験結果と考察

〔実験 1〕

ガス濃度 11 g/m³, 燻蒸時間60分(60 mm 減圧下に一定時間保持しないでガス導入後減圧から直ちに常圧に戻す), 供試虫コクゾウ成虫45匹, 燻蒸終了直後の転倒(KD)数9匹(20%), 24時間後の KD 数45匹(100%)。

燻蒸終了24時間後では KD 100% となったが、直後では僅かに20%であった。直後に100%の成績が得られなかったのはガス濃度がこの程度では不足であり、また、減圧下に所定の時間保持しないで、ガス導入後減圧から直ちに常圧に戻したために減圧の効果が十分発揮できなかった結果であると考察した。

〔実験 2〕

ガス濃度 14 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（実験 1 同様に直ちに常圧に戻す）、供試虫コクゾウ成虫 45 匹、燻蒸終了直後の KD 数 27 匹（60%）、24 時間後の KD 数 45 匹（100%）。

実験 1 よりガス濃度を少し増したために他の条件はほぼ同じでも終了直後の KD 率が 60% となったが、まだガス濃度が不足であると考察した。

〔実験 3〕

ガス濃度 10 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（減圧下に保持 15 分、常圧 45 分）、供試虫コクゾウ成虫 48 匹、燻蒸終了直後の KD 数 26 匹（54.2%）、24 時間後の KD 数 48 匹（100%）。

ガス濃度は少ないままにし、減圧下に保持 15 分後、常圧に戻した。燻蒸終了直後の KD 率が 54.2% と増したが、まだ 100% にならなかった。これはやはりガス濃度が不足であると考察した。

〔実験 4〕

ガス濃度 10 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（減圧下に保持 30 分、常圧 30 分）、供試虫コクゾウ成虫 41 匹、燻蒸終了直後の KD 数 1 匹（2.4%）、24 時間後の KD 数 38 匹（93%）。

本実験の成績が劣る理由は判明しないが、ガス濃度 10 g/m^3 では不足であって、この程度で 60 分の短時間燻蒸では 100% の成績が得られないことが明らかになった。

〔実験 5〕

ガス濃度 14 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（減圧保持 15 分、常圧 45 分）、供試虫コクゾウ成虫 45 匹、燻蒸終了直後の KD 数 42 匹（93.3%）、24 時間後の KD 数 45 匹（100%）。

ガス濃度を 14 g/m^3 まで増したために燻蒸終了直後の KD 率が 93.3% に達した。100% を期するにはもう少しガス濃度を増量する必要があると考察した。

〔実験 6〕

ガス濃度 14 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（減圧保持 30 分、常圧 30 分）、供試虫コクゾウ成虫 46 匹、終了直後の KD 数 25 匹（54.3%）、24 時間後の KD 数 46 匹（100%）。

〔実験 7〕

ガス濃度 15 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（減圧のまま 60 分保持）、供試虫コクゾウ成虫 40 匹、燻蒸終了直後の KD 数 1 匹（2.5%）、24 時間後の KD 数 20 匹（50%）であった。

本実験の成績が最も悪く、その理由も明らかでなかったが、ガス濃度がまだ不足であったことと、60 分燻蒸で 60 分全時間減圧に保持することがかえってテストサンプルの瓶中へのガスの侵透量が少ない結果であるように考察した。

〔実験 8〕

ガス濃度 16 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（減圧 30 分、常圧 30 分）、供試虫コクゾウ成虫 45 匹、燻蒸終了直後の KD 数 45 匹（100%）、24 時間後の KD 数 45 匹（100%）。

本実験の諸条件で一応燻蒸終了直後で KD 率 100% となった。したがって、ガス濃度は最低でも 16 g/m^3 が必要であることが判明した。また、減圧状態も 30 分以内で常圧に戻したほうがよいように考察した。

〔実験 9〕

ガス濃度 18 g/m^3 、燻蒸時間 60 分（減圧 10 分、常圧 50 分）、供試虫コクゾウ成虫 48 匹、燻蒸終了直後の KD 数 48 匹（100%）、24 時間後の KD 数 48 匹（100%）。

本実験の結果、減圧は 10 分以上でよいようであった。KD 率は終了直後においても、24 時間後でも、いずれも 100% であった。終了直後の供試虫を観察すると、肉眼的には致死状態であったが、双眼顕微鏡で調べてみると、ほとんどの個体がまだ微動していた。これが 24 時間後では微動する個体はまったく鏡検できなかった。

〔実験10〕

ガス濃度 18 g/m^3 ，燻蒸時間60分（減圧20分，常圧40分），供試虫コクゾウ成虫 46 匹，燻蒸終了直後の KD 数46匹（100%），24時間後の KD 数46匹（100%）。

本実験の成績は前実験とまったく同様であったので，減圧は10～20分（約15分）がよいと考察した。

〔実験11〕

ガス濃度 19 g/m^3 ，燻蒸時間60分（減圧のまま60分），供試虫41匹，燻蒸終了直後の KD 数19匹（46.3%），24時間後の KD 数41匹（100%）。

本実験の結果，ガス濃度を 19 g/m^3 まで増しても，減圧のまま 60 分燻蒸する場合には燻蒸終了直後の KD 率が 46.3% でテストサンプルの瓶中へのガスの浸透量がやはり少ないか，あるいは減圧下で昆虫の呼吸量が少なく，虫体内へのガスの吸い込み量が少ないかのいずれかの結果であると考察した。

〔実験12〕

ガス濃度 24 g/m^3 ，燻蒸時間60分（減圧30分，常圧30分），供試虫コクゾウ成虫 53 匹，燻蒸終了直後の KD 数53匹（100%），24時間後の KD 数53匹（100%）であった。

本実験の結果，ガス濃度を 24 g/m^3 まで増しても，燻蒸終了直後の供試虫は肉眼では100% KD していたが，双眼顕微鏡で調べると，実験 9・10 の場合と同様に微動していた。

〔実験13〕

ガス濃度 20 g/m^3 ，燻蒸時間30分（減圧15分，常圧15分），供試虫コクゾウ成虫 48 匹，燻蒸終了直後の KD 数0 匹（0%），24時間後の KD 数48匹（100%）。

燻蒸時間 30 分のような短時間燻蒸では，ガス濃度 20 g/m^3 では，燻蒸終了直後において全然 KD できないことが判明した。それでも24時間後においては KD 率 100% であった。

〔実験14〕

ガス濃度 20 g/m^3 ，燻蒸時間45分（減圧15分，常圧30分），供試虫コクゾウ成虫 45 匹，燻蒸終了直後の KD 数39匹（86.7%），24時間後の KD 数45匹（100%）。

ガス濃度 20 g/m^3 では燻蒸時間をやや延長して 45 分にしても，燻蒸終了直後においては，KD 率が86.7%で100%には達しなかった。まだ燻蒸時間が足りないようであった。24時間後においては，もちろん 100% であった。したがって，燻蒸終了直後において KD 100% でなくともよいという場合には30～45分のような短時間燻蒸でも差し支えないといえる。

〔実験15〕

ガス濃度 21 g/m^3 ，燻蒸時間60分（減圧15分，常圧45分），供試虫コクゾウ成虫 47 匹，燻蒸終了直後の KD 数46匹（97.9%），24時間後の KD 数47匹（100%）。

この実験の条件ならば，これまでの試験成績からいって，燻蒸終了直後の KD 率が 100% になってもよいはずであったが，ただ 1 匹の個体がガスに対する抵抗性が強かったために97.9%となった。このような抵抗性の強い個体も存在するので，実地の場合には十分な殺虫効果をあげるために濃度や燻蒸時間に若干の安全度が必要であることが判った。

〔実験16〕

ガス濃度 20 g/m^3 ，燻蒸時間75分（減圧15分，常圧60分），供試虫コクゾウ成虫 47 匹，燻蒸終了直後の KD 数47匹（100%），24時間後の KD 数47（100%）。

〔実験17〕

ガス濃度 17 g/m^3 ，燻蒸時間 120 分（減圧のまま 120 分），供試虫コクゾウ成虫 70 匹，燻蒸終了直後の KD 数50匹（71.4%），24時間後の KD 数70匹（100%）。

燻蒸時間を120分に延長したが、減圧のまま120分保持した場合、ガス濃度 17 g/m^3 では終了直後のKD率は71.4%で、やはり100%に達しなかった。(24時間後にはもちろんKD率100%であった)。

〔実験18〕

ガス濃度 18 g/m^3 、燻蒸時間120分(減圧のまま120分)、供試虫コクゾウ成虫66匹、燻蒸終了直後のKD数34匹(51.5%)、24時間後のKD数66匹(100%)。

ガス濃度を少し増し、その他の条件は前実験17とほぼ同様にしてやってみたが、結果はだいたい同様、むしろ若干劣る成績となったので、減圧による短時間燻蒸の場合には10~30分(約15分)間の減圧保持で常圧に戻すことが、吸い込みガス量を多くする方法であることが明らかになった。

〔実験19〕

ガス濃度 18 g/m^3 、燻蒸時間120分(減圧約13分、常圧約107分)、供試虫コクゾウ成虫59匹、燻蒸終了直後のKD数59匹(100%)、24時間後のKD数59匹(100%)。

この燻蒸条件では、燻蒸時間60分で、燻蒸終了直後においても、24時間後においても、いずれもKD100%の成績が得られたのであるから、燻蒸時間120分で100%のKD率が得られるのは当然で、効果を再確認したものであった。

〔実験20〕

ガス濃度 100 g/m^3 、燻蒸時間60分(減圧のまま60分)、供試虫コクゾウ成虫40匹、燻蒸終了直後のKD数40匹(100%)、24時間後のKD数40匹(100%)。

殺黴の場合に使用するガス濃度 100 g/m^3 を用いれば、減圧のまま60分保持しても、燻蒸終了直後においても、24時間後においても、KD率は100%であった。

〔実験21〕

ガス濃度 21 g/m^3 、燻蒸時間60分(減圧15分、常圧45分)、供試虫ヒラタコクヌストモドキ成虫20匹、イガ幼虫20匹、燻蒸終了後のKD数、前者の場合20匹(100%)であったが、かなり旺盛に脚を動かせていた。後者の場合20匹(100%)であったが、虫体全体がかなり動いていた。したがって、これらの害虫は明らかにコクゾウ成虫よりガスに対する抵抗性が強いことが示された。それでも24時間後にはいずれも100%KDした。

〔実験22〕

ガス濃度 60 g/m^3 、燻蒸時間1時間(減圧15分、常圧45分)、供試虫ヒラタコクヌストモドキ成虫20匹、イガ幼虫20匹、燻蒸終了直後のKD率は、前者も後者も100%で、両者ともほとんど動かなくなっていた。すなわち、ガス濃度を 60 g/m^3 まで増せば、ガスに対して抵抗性の強いこれらの害虫でも、燻蒸終了直後において100%瀕死または致死の状態になることが判明した。

以上の諸実験全般を通じていずれも、燻蒸終了直後より暫時若干回復(Recovery)の現象を呈する個体があったが、これも次第に致死し、24時間後においては回復の現象はまったく認められなかった。

4. 結 論

実験1~22の成績を総括して以下のように結論することができる。

1) ガス濃度： $16\sim 20 \text{ g/m}^3$ で十分100%の殺虫効果をあげることが可能であるが、虫孔に虫糞が固く詰り込まれているためにガスの浸透が悪いこともあるので、実地の場合、効力安全度をみるならば、この2倍量を使用する。とくに短時間燻蒸を実施しなければならないときに

は3倍量, すなわち, $50\sim 60\text{ g/m}^3$ とする。

2) 燻蒸時間: 60 mm (Hg) の減圧燻蒸を10~30分, だいたい15分内外行ない, 常圧(1気圧)に戻してそのまま燻蒸を続ける方法を採用するならば, 燻蒸時間は全体で60分で十分であるが, 実地の場合, 前述と同じ理由で, 効力安全度を考慮するならば, 2倍とし, 2時間燻蒸とする。

以上の条件で減圧燻蒸するならば, 普通一昼夜(24時間)以上を要する常圧燻蒸に比し, 燻蒸時間を $1/24\sim 1/12$ 以下に短縮したことになり, また, 4~5時間を要する従来の減圧燻蒸に比し, 燻蒸時間を約 $1/4\sim 1/2$ に短縮できる結果となった。(以上の実験はだいたい温度 $20\sim 30^\circ\text{C}$ において行なった。燻蒸はもとより高温のほうがより有効であるが, 減圧燻蒸の場合には, 常圧燻蒸ほど温度に影響されない優れた特徴があるので, 冬季の低温時においても十分所期の殺虫目的を達することができる)。

参 考 文 献

- 1) 森 八郎: 減圧の殺虫機構と減圧を応用する殺虫法に関する研究, 応用動物学雑誌 17 (1・2): 83—96 (1952)
- 2) 森 八郎: 減圧の殺虫機構と減圧を応用する殺虫法に関する研究(続), 応用動物学雑誌 17(3・4): 111—144 (1953)
- 3) 新井英夫・登石建三: 減圧滅菌機の湿度調節, 保存科学 11: 15—29 (1973)
- 4) 新井英夫・森 八郎: 減圧時の燻蒸条件, 古文化財の科学 19: 61—65 (1975)

Means of Shortening Fumigation Time for Wooden Statues and Other Cultural Properties

Hachirō MORI and Hideo ARAI

Using as test insects the adults of rice weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky and insects of even higher resistant type against gas such as the adults of confused flour beetle, *Tribolium confusum* J. du Val and the larvae of casemaking clothes moth, *Tinea pellionella* L. the authors made a series of reduced-pressure fumigation tests 1-22, reaching the conclusion as stated below. By these experiments they established conditions of fumigation which can shorten the length of time heretofore required in the earlier reduced-pressure fumigation. The reduced-pressure employed in this series of tests was always 60 mm (Hg).

(1) Gas concentrations: After repeated tests under different gas concentrations, the authors reached the conclusion that experimentally the concentrations of 16-20 g/m³ are appropriate. There can be cases, however, that pest insects are of a more strongly resistant type against gas, or that they have filled up the wormhole with their faeces which delay the infiltration of gas. Practically, therefore, two or three times the concentrations, namely 40~60 g/m³, are to be used for surer efficacy.

(2) Duration of fumigation: Experimentally, insecticidal purpose can be satisfied thoroughly by fumigating for about 15 minutes (10~30 minutes) under reduced-pressure of 60 mm (Hg), and then continuing the fumigation under restored normal pressure (1 atmospheric pressure), altogether 60 minutes (1 hour). Due to the same reason stated above, however, the desirable period of time for sure efficacy will be double this time, that is 120 minutes (2 hours).

Reduced pressure fumigation under the above-mentioned conditions can shorten the time needed in normal-pressure fumigation, ordinarily requiring 24 hours, to 1/24~1/12, and the time needed in reduced-pressure fumigation under 60 mm, which has been tried all this while requiring 4~5 hours, to about 1/4~1/2.

As a result, contact of important cultural properties with fumigation gas can be finished in much shorter time. It eliminates danger of chemical damage, and also lessens the duration of feared desiccation caused by reducing air-pressure.