

温度を利用した殺虫法(1)

—低温処理および高温処理による殺虫効果の検討—

木川 りか・永山 あい*・山野 勝次

1. はじめに

1997年9月にオゾン層を破壊する物質に関する第9回モントリオール議定書締約国会議が開催され、日本を含む先進国における臭化メチルの全廃時期が2005年に決定された。臭化メチルは、美術館・博物館等で広く収蔵品の燻蒸に用いられてきた燻蒸剤であり、これに代わる薬剤および防除法の開発が現場から強く要請されている。しかしながら、臭化メチルの効果を完全に代替できる適当な薬剤は、世界的にみても未だないのが現状であり、害虫対策の基本的な考え方自体が変革を迫られる時期にきているといえる。

このような観点から、我々は脱酸素法などの方法について検討を行ってきた。脱酸素法は材質には比較的マイルドな処置であるが、処理にかなりの時間を要する。また、温度・湿度条件が脱酸素処理の殺虫効果に大きく影響するため、処理条件を厳密に守らないと害虫が生き残る場合があり、注意を要する。

一方、最近欧米などで、別の選択肢として温度処理法と呼ばれる方法が導入され、一部の材質の文化財に適用されつつある。温度処理法には、大別して低温処理と高温処理があり、いずれも適用できる材質は限られるものの殺虫効果はかなり期待できる¹⁾²⁾。温度処理法の殺虫条件等についてはStrangの総説¹⁾²⁾に詳しいが、本稿ではわが国で文化財の燻蒸効果判定に一般に用いられているコクゾウを用いて実際に殺虫効果を検討した。その結果、かなり良好な殺虫効果が得られることを確認した。また、Strangらが推奨しているように、水分を通さないフィルムにできるだけ空気をぬいて密封することによって、温度処理の際に懸念される試料の乾燥も防げる可能性が高いことを確認した。

2. 温度処理法について

温度処理法には、低温処理(−20℃～−40℃程度)と高温処理(55℃～60℃程度)がある。一般に急激な温度変化および湿度変化にさらされるため、適用できる材質は限定される。しかしながら殺虫効果は高いとされ、人体・環境にも無害であり、コストも安く、博物館等のスタッフ自らの手で行えるという利点がある。

低温処理法は、応用昆虫学の分野では50年ほど前から検討されているが、文化財の分野では10年ほど前から欧米等で害虫が発生したときの殺虫処置、および虫害はでていないが加害が懸念されるものの処置に利用され始めた方法である³⁾。−20℃～−40℃で3日～1週間程度維持する方法で、紙、布、木の単体でできた作品に利用される。すなわち、主に文書類などの書籍類、一部の布地類、皮革製品、植物標本などに使用実績がある^{4)~7)}。しかし、急激な温度変化・湿度変化にさらされるため、材質によっては使用できない。すなわち、−30℃以下の低温によって油膜やアクリルはガラス状に変化するため、油彩画、アクリル画の類には使用できない¹⁾⁸⁾。また、相対湿度の変化に弱い写真、象牙、漆製品なども処理できない。また複数の材質からなる工芸品の類、表面に塗膜があるもの、厚い彩色層のあるもの、繊細・脆弱なもの、出土木材のように含水率の高

*日本女子大学在学中

いものについても、ひずみ、割れ、剥落などを起こす危険性があるので適用できない¹⁾⁴⁾⁵⁾。

高温処理では、木製品の一部や建造物などに処理例がある。ただし、高温により軟化するワックスや樹脂には使えない。またニスや膠も変性する¹⁾。このように考えると、文化財で適用できる材質は非常に限定されてくるが、文化財そのものではなく保存容器や梱包材、展示パネルなどの殺虫には有効ではないかと考えられる。

高温処理の危険性としては、上記のような熱による材質の変性のほか、熱による材質の乾燥が挙げられる。しかし、これは水分を通しにくい材質のフィルムで密封することによってかなり除外できるとされている¹⁾。高温処理の処理条件は55~60°Cであれば、きわめて速効性のある殺虫法であり、殺虫自体に要する時間は1時間程度であるとされる¹⁾²⁾。ものの中心部が処理温度に達する時間を加えても、一般的には1日以内(8時間~18時間)で十分であり、その殺虫効果もきわめて良好であるといわれている。

3. 実験方法

3-1. 供試虫およびその生死の判定

今回の実験では、一般的な文化財害虫の殺虫効果の指標として古くから燻蒸剤の効力試験に用いられており、(財)文化財虫害研究所で殺虫効果判定用テストサンプルに指定しているコクゾウ *Sitophilus zeamais* Motschulsky を用いた。コクゾウの成虫20匹、および卵、幼虫、蛹がすでに生息している被害玄米約3gを内容積15mlの広口ガラスビン入れ、ビンの口を木綿布で覆った。これを1回の実験につき各区6本ずつ用いた。

成虫は、処理終了後に室温で1日放置し、生死を判定した。ピンセットで触れて体を少しでも動かしたものは、健全・転倒にかかわらず、生きてると判定した。生存率(%)は、[(生存個体数)/(総個体数)]×100とした。生死の判定が困難なコクゾウの卵、幼虫、蛹については、開封後、供試虫を含む玄米を前述と同じ広口瓶に入れて飼育し、1週間ごとに羽化した成虫を回収して羽化数を調べた。最終的に7週間後までに羽化した成虫数の総和を出し、対照群と比較することで処理群の卵、幼虫、蛹の致死率を推定した。

3-2. 供試菌および殺菌効果の判定

Aspergillus niger IAM 2105の胞子を一定量付着させた直径8mmのペーパーディスク5枚を各区3組ずつ用いた。

殺菌効果の判定は、ペーパーディスクを培地に接種して25°Cにて1週間培養し、その生育度を対照群と比較することにより行った。

3-3. 低温処理

低温処理の手順は、主にFlorianの方法⁴⁾を参考にした。

低温処置で良好な殺虫効果を得るには、冷やす速度および温度を室温にもどすときの速度が重要とされる。すなわち、害虫が生理的に低温に適応する‘馴化’を防ぐために、できるだけ急速に冷却する⁴⁾⁸⁾。また、逆に温度を上げるときには、できるだけゆっくりと温度を上昇させることが推奨されている⁴⁾。また、処置の前の低温馴化を防ぐために、低温処理の前の温度は18°C以上が望ましいとされている⁴⁾⁸⁾。

さらに、実際の処理では、急激な温度変化による資料の乾燥や結露から資料を保護するために、資料をペーパータオルなどに包んだうえで、水分バリア性のあるフィルムで包み、できるだけ空気をぬいて密封する^{1)4)~6)}。

今回の試験では、実験用フリーザー(MDF-U 331, SANYO 製)を用いて、 -20°C 以下で1週間保持したときの殺虫効果を検討した。試行1では供試虫のビンを包まずにフリーザーに入れた。また、試行2では供試虫のビンをペーパータオル(キムタオル, 十條キンバリー(株)製)で包んだものを、KON/PEプラスチックバッグ(ポリ塩化ビニリデンコート延伸ナイロン $20\mu\text{m}$ /ポリエチレン $40\mu\text{m}$, 三菱ガス化学(株)製)にヒートシールにより密封した(写真1, 2)。

3-4. 高温処理

実験用恒温機(LTI-600 ED, EYELA 製)を用いて、 55°C 以上で4時間保持したときの殺虫効果を検討した。ただし、3-3項と同様、試行1では供試虫のビンを包装せず、試行2では供試虫のビンにペーパータオルで包み、KON/PEプラスチックバッグで密封した。

3-5. 温湿度計測

処理中の温湿度の測定は、データロガー(TH-3, (株)エスアイエレクトロニクス製)を用いて行った。

4. 結果と考察

4-1. 低温処理の殺虫効果

表1-1, および表1-2に、 -20°C で1週間保持したときのコクゾウ成虫および卵・幼虫・蛹の殺虫効果を示した。この結果より、 -20°C で1週間保持すると、コクゾウのすべての生育ステージが確実に100%致死するといえる。

4-2. 高温処理の殺虫効果

表2-1, および表2-2に、 $55\sim 57^{\circ}\text{C}$ で4時間保持したときのコクゾウ成虫および卵・幼虫・蛹の殺虫効果を示した。この結果から、 55°C 以上では、きわめて短時間でコクゾウのすべての生育ステージが確実に100%致死するといえる。

4-3. 低温処理・高温処理のカビ孢子への効果

Aspergillus niger IAM 2105の孢子を付着させたペーパーディスクのサンプルをビニル袋に入れ、殺虫(試行1)と同様の条件で処理した。その結果、表3に示すとおり、*Aspergillus niger*



写真1 供試虫

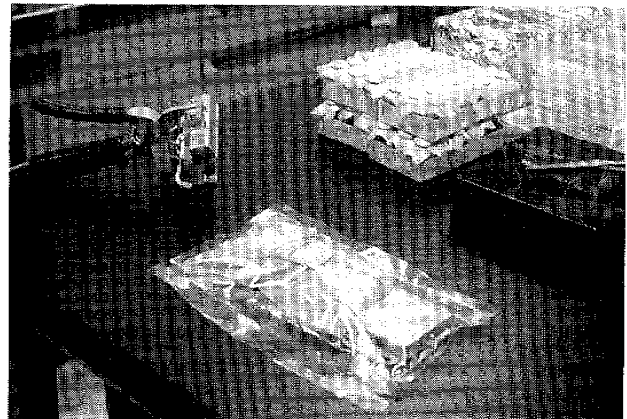


写真2 プラスチックバッグに密封した供試虫

表 1-1 低温処理*のククゾウ成虫に対する殺虫効果

試行		処理個体数	生存個体数	生存率(%)
試行 1	対照群	127	113	90.0
	処理群	122	0	0
試行 2	対照群	119	112	94.1
	処理群	121	0	0

* -20°Cにて1週間保持した。

表 1-2 低温処理*のククゾウ卵・幼虫・蛹に対する殺虫効果

試行		処理後7週間の成虫羽化数
試行 1	対照群	1042
	処理群	0
試行 2	対照群	584
	処理群	0

* -20°Cにて1週間保持した。

表 2-1 高温処理*のククゾウ成虫に対する殺虫効果

試行		処理個体数	生存個体数	生存率(%)
試行 1	対照群	118	112	94.9
	処理群	119	0	0
試行 2	対照群	120	118	98.3
	処理群	125	0	0

* 55~57°Cにて4時間保持した。

表 2-2 高温処理*のククゾウ卵・幼虫・蛹に対する殺虫効果

試行		処理後7週間の成虫羽化数
試行 1	対照群	1023
	処理群	0
試行 2	対照群	591
	処理群	0

* 55~57°Cにて4時間保持した。

表3 カビ *Aspergillus niger* の孢子への効果

処理	カビの生育度*	
-20°C, 1週間	対照群	++
	処理群	++
55°C, 4時間	対照群	++
	処理群	++
エキボンによる燻蒸 25°Cにて24時間	対照群	++
	処理群	-

*表記

++: 非常によく生育

-: 全く生育しない

の孢子に対する殺菌効果はほとんどみられなかった。

ただし、高温処理 (55~60°C) については、カビの菌糸体にはある程度の殺菌効果があるものと考えられ、今後の検討を要する。

4-4. 低温処理・高温処理に伴う温湿度変化

低温処理および高温処理で最も懸念されるのは、材質に及ぶ影響である。急激な温度変化もさることながら、温度処理を行っている間の資料の乾燥は心配である。そこで、資料から水分が奪われないように、厚みのあるポリエチレンフィルムなどの包装材で密封するのが一般的である。また、このときフィルムの内部で資料からの水分の放出を低く抑えるためには、できるだけ空気をぬいておくことが重要である¹⁾。さらに、フィルム内部での結露の防止にペーパータオルなどの緩衝材で資料を包んでおくことが勧められている^{1)4)~6)}。

今回、KON/PEプラスチックバッグを用いて行った試行2では、処理温度に保持している間、処理空間の相対湿度の値はほぼ一定に安定していた (低温処理では約52%RH, 高温処理では約60~64%RH, 図1および図2)。これは、プラスチックバッグの内部から外部への水分の放出がほとんどないことを示すものである。すなわち、適切な包装材を使えば、プラスチックバッグの内部から外部へ水分が奪われる危険性は防止できる。

また、今回の実験では資料の含水量は検討していないが、プラスチックバッグ内部の空気をできる限りぬくことによって、プラスチックバッグの内部の空気に奪われる水分の量も少なくなると思われる。今回用いた包装材は、1週間程度の処理期間に十分な水分バリア性をもつものであったが、水分バリア性は包装材の材質や厚さによって異なるので、用いる包装材の性能を確認し、処理期間に合ったものを選ぶ必要がある。

5. 終わりに

温度処理法は、簡便、かつ人体にも安全にきわめて良好な殺虫効果が得られる方法と考えられる。そのメリットは大きく、今後、処理の対象となる材質を限定すれば活用できる可能性がある。しかし、それと同時に作業上の不備があると、文化財材質に取り返しのつかないダメージが及ぶこともあり、リスクと隣り合わせの方法であることも忘れてはならない。今後は、材質への影響もより詳細に検討し、適用できる文化財の材質をより具体的にしていく必要がある。

今回の試験はコクゾウを用いた予備的なものであるが、今後は実処理に近い形態の材質と供試

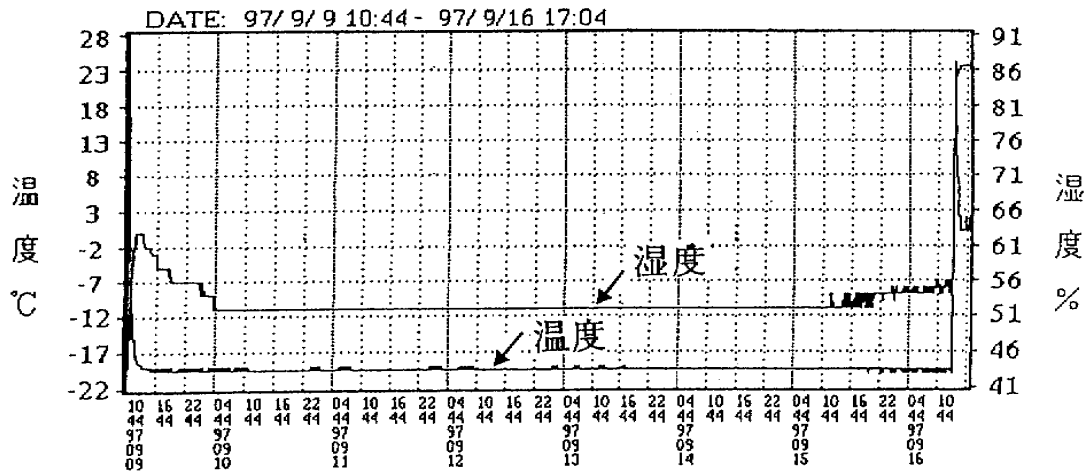


図1 低温処理に伴うプラスチックバッグ内の温湿度変化

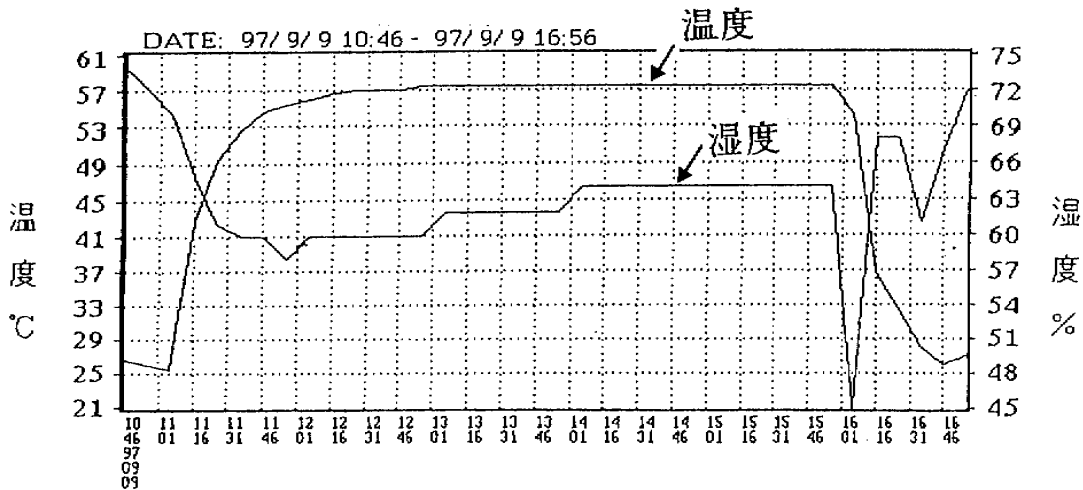


図2 高温処理に伴うプラスチックバッグ内の温湿度変化

虫を工夫し、検討を進める必要がある。

謝 辞

温度処理について種々の資料や情報をご提供下さいました谷村博美氏に感謝いたします。また、供試虫の準備でお世話になりました町田和江氏に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Strang, T. J. K., "The Effect of Thermal Methods of Pest Control on Museum Collections.", in *Biodeterioration of Cultural Property* 3, pp.334-353, (1995)
- 2) Strang, T. J. K., "A Review of Published Temperatures for the Control of Pest Insects in Museums.", *Collection Forum*, 8 (2), 41-67, (1992)
- 3) Tanimura, H. and Yamaguchi, S., "The Freezing Methods for Eradication of Museum Pest Insect -The Safe Method for Both the Human Body and Artifacts. Experiment on Japanese Artifacts and the Present State of the Freezing Methods in Western Countries.", in *Biodeterioration of Cultural Property* 3, pp.555-566, (1995)
- 4) Florian, M. "The Freezing Process -Effects on Insects and Artifact Materials." *Leather*

Conservation News, Vol. 3, No.1, 1-13,17, (1986)

- 5) Florian, M. "The Freezing for Museum Insect Eradication." *Collection Forum*, 6 (1), 1-7. (1989)
- 6) Florian, M. "The Effects of Freezing and Freeze-Drying on Natural History Specimens." *Collection Forum*, 6 (2), 45-52. (1990)
- 7) Nesheim, K. "The Yale Non-toxic Method of Eradicating Book Eating Insects by Deep-Freezing." *Restaurator*, 6, 147-164. (1984)
- 8) Strang, T. J. K., "Guidelines for Museum Pest Insect Control -Low Temperature." *Draft CCI Note 3/2*, 1-7, (1993)

Freezing and Heating for Eradication of Insect Pest:
Verification of Effects with Test Insect *Sitophilus zeamais* and Fungi
Aspergillus niger

Rika KIGAWA, Ai NAGAYAMA* and Katsuji YAMANO

There are many reports on thermal methods for insect eradication. These days, freezing and heating have been reported to be applied in certain materials of museum objects. In Japan, however, fumigation has been a very popular method for insect eradication. To recognize methods like thermal treatment to be an acceptable alternative, evaluation of effects on insects and inspection of effects on materials are necessary.

We tested the effects of thermal treatments on *Sitophilus zeamais*, which we commonly use as a test insect in verifying effects of fumigation. And effects of freezing and heating on fungi *Aspergillus niger* spores were also tested. As a result, both freezing (-20°C, 1 week) and heating (55°C, 4 hours) were highly effective to all the life stages of *Sitophilus zeamais*, resulting in 100% kill. On the other hand, freezing and heating showed little effect on fungal spore mortality.

Damage caused by freezing or heating need to be considered. However, in this experiment, when the insects were packed in a plastic bag of KON/PE (total 60 μ m thick), relative humidity inside the bag remained unchanged during constant phase of thermal treatment, indicating little leakage of water. This facilitates effective prevention of treated materials from fatal dessication.

* Japan Womens University