

# 博物館等施設の室内空気汚染 —ホルムアルデヒドの庫内濃度—

佐野 千絵・小瀬戸 恵美\*・三浦 定俊

## 1. はじめに

温湿度・照明・空気環境の制御は資料の保存上いずれも重要であるが、その中でも空気汚染の問題は比較的新しい問題であり、その影響について確定していない部分が多い。室内で起こる汚染に関しては、日本においては従来開放度の高い施設が中心であり、建物の気密性が高くなったのはここ近年のことであり、今、健康被害という形でようやく顕在化しはじめたところである。一方、文化財収蔵施設については防火・防犯上の必要から、比較的早くからコンクリート造施設が採用されており、かねてより収蔵庫内での木質壁からの脂や酸による汚染が指摘されていた。当研究所保存科学部でも、特に新築コンクリート造施設内のアルカリ性物質濃度が高く油画などに影響を与えることを早くから指摘し<sup>1,2)</sup>、それらの成果は、重要文化財などの国指定品の新規公開施設への館内環境指導という形で、行政的にもまた地方公共団体への助言という形で社会還元されている。現在、展示ケースの制御方式として気密性の高い「エアタイト方式」が推奨されていることもあり、収蔵庫や展示ケース内などのもっとも資料に近く長期にわたって資料を収蔵する空間内での空気汚染物質の確定とその測定法、改善法の研究が急務である。

現在までに空気環境についてどのような規制がなされているか、ここでまとめることとする。大気全般や工場などの事業所との境界における空気環境については、その測定対象物質やその測定法について環境庁が定め(環境基本法, 大気汚染防止法, 悪臭防止法), 広域でのモニタリング成果については環境白書の形で毎年公表されている。一方建物内部の空気環境については、建物の基礎的な部分は建設省, 事業所・事務所などの労働環境に関しては労働省(労働安全衛生法), 一般ビル内の公衆衛生の部分は厚生省管轄の公衆衛生院(建築物における衛生的環境の確保に関する法律, 公衆衛生法)が一定の基準値を示している。この通称「ビル管理法」といわれる法律によって、およそ延べ床面積 3,000 m<sup>2</sup>以上の美術館などの不特定多数の人の立ち入る特定建造物に関しては、温湿度条件, 室内での風速, 粉塵量, 二酸化炭素・一酸化炭素ガス濃度の諸項目について規制されている。学校衛生については文部省の体育局長官の管轄で、都条例の形で規制もあるが、一般的な建物内の空気環境について国の規制は特になのが現状である。これらの規制の多くは一般法であり、行政処分の対象となるような罰則を含むものはあまり多くはない。空気環境の内、公衆衛生に関する国際的な基準値としては国際連合の組織 WHO (1946 年設立) の推奨値が示されているほか、各国の対応はまちまちである<sup>3)</sup>。例えばホルムアルデヒドについては、0.1 ppm 以下という推奨値が公衆衛生上一般的な規制値といえる。

文化財の置かれる収蔵施設内の空気環境については、「国宝・重要文化財の公開に関する取扱い要項」(平成 8 年 7 月 12 日, 文化庁長官裁定)の通知があり、その中の「6 公開の環境」で、「重要文化財の公開は、じんあい, 有毒ガス, かび等の発生や影響を受けない清浄な環境のもとで行うとともに、温度および湿度の急激な変化は極力避けるとともに、次に掲げる保存に必要な措置及び環境を維持すること。」と規定されている。その実際の施行にあたっては当所が協力しており、このうち新設博物館内のアルカリ性物質濃度については目安にあたる「変色試験紙法」, 補足とし

\* 東京芸術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻システム保存学保存環境学研究室

て「アamani油試験紙法」の2方法が事実上の公定法になっている<sup>2)</sup>。

内装材料や施工中に室内に放出されるガスにはいろいろあり、その文化財への影響もこれまでに検討されている<sup>3,4)</sup>。このうち防殺虫かび剤として輸入材に特に濃く用いられるホルムアルデヒドは、金属のさびの誘発が報告されている<sup>5)</sup>。ホルムアルデヒド自身は酸性ではないが、アンモニウムイオンと反応し反応系からアンモニウムイオンを取り除くと同時に酸を生じる<sup>6)</sup>と考えられている。顔料については、市販の岩絵の具18種、油絵の具15種についての影響が検討されたが、洋紅がわずかに褪色するもののあまり影響はなかったとのことであった<sup>5)</sup>。植物染料で染めた染織品の場合には、媒染剤の種類によってそのうける影響が大きく異なることが報告されている<sup>5)</sup>。ホルムアルデヒドを多く含む合板はパーティション壁や展示ごとの造作物、輸送時の梱包材、また新築時の床の養生時に室内に持ち込まれることが多いが、特に外気へ放出する形の希釈換気でしか室内濃度を下げられない物質であるため、収蔵庫のように換気回数の少ない場所への汚染物質の持ち込みは、できる限り避けるよう努力すべきであろう。またでんぷん系のりは、腐敗防止のために必ずホルムアルデヒドを含んでいるので、その含有量には注意すべきである。

その他のアルデヒド類の文化財への影響については、特に報告例はない。

建物中のホルムアルデヒド濃度については、収蔵庫、展示ケース、美術倉庫などでの建設中から竣工後18ヶ月までのある一時期の測定データがあり<sup>7)</sup>、近隣外気が検出限界以下～110 ppbであるのに対し、60～950 ppbの高濃度が検出されている。竣工後も顕著な減少の傾向が認められないとのことであるが、継続して計測したデータは少ない。これらのアルデヒド類の放散については、その物質ごとに温度依存性が異なり一様ではないが、温度が高いほど放散が早いと考えられ、40℃に昇温して揮発を早める試みも行われている<sup>8)</sup>。

本報では、特に新設博物館内のアルデヒド濃度に注目し、庫内汚染物質の状況、換気の効果、放散量の温度依存性および減衰挙動に関して現在行っている研究の進展状況について報告する。

## 2. 実験

### 2.1 実験方法の詳細

アルデヒド類の定量方法に付いては、蒸留水に通気して捕集しイオンクロマトグラムで定量する方法をはじめとしていろいろな方法がある。低濃度であり、かつアンモニアなどの各種の共存ガスがさまざまな濃度レベルで存在することを考えると、測定手法の選定はとても重要である。低濃度のガス分析に関する公定法の1つである悪臭規制物質分析方法<sup>12)</sup>(平成5年9月8日、環境庁告示72号)では、試料採取袋を利用して採取し、その後2つの方法で(2, 4-ジニトロフェニルヒドラゾン<DNPH>で濃縮してGC-FTDで分析、あるいは常温で捕集管で捕集後ふたたび低温捕集しGC-MS/EI法で分析)測定することが定められている。今回我々はDNPHを添加した市販の捕集用カラムを利用することとした。標準溶液には0.1 mg/ml、6種類アルデヒド化合物混合標準液悪臭物質 HPLC用、和光純薬工業(株)をアセトニトリルで50倍または200倍に希釈して使用した。概要は以下の通りである。

捕集：Sep-Pak カラム short body (Waters 社製)

採取：試料採取袋あるいは直接通気して捕集

約1.5リットル/分で約22.5リットルをポンプで吸引

試料調整：5 mlのアセトニトリル(和光純薬工業、高速液体クロマトグラフ用)で溶出後、定容

定量：高速液体クロマトグラフを使用、島津製作所(株) LC-10 ADほか

使用カラム：Waters Nova-Pak C<sub>18</sub> (I.D.3.9 mm × 150 mm 長)

移動相：超純水：アセトニトリル：THF=70：25：15

流量：1.3 ml/分

カラム温度：50°C

検出器：紫外分光光度計，島津製作所(株) SPD-10 AV，340 nm

注入量：10  $\mu$ l

## 2.2 試料採取館の状況

館aは平成3年開館の博物館施設であり，収蔵庫は既存施設を同時期に改修したものでベニヤ合板の壁で覆われている。試料採取時期は10月下旬，採取時の温度は展示室，展示ケース内で23.4°C 43%RH，収蔵庫内では20.6°C 51%RHであった。

館b,cはいずれも新設の美術館であるが，状況はいくらか異なっている。館bは平成9年4月開館予定で収蔵庫の二重壁には天然の杉材を使用し，棚等の収納具は設備されていない時点で試料空気を採取している。展示室は床養生のためにベニヤ合板が敷き詰められていた。試料採取時期は8月，採取時の温度は展示室で24.9°C 57%RH，展示ケース内で25.0°C 57%RH，収蔵庫内では22.8°C 59%RHであった。

館cは平成8年11月にすでに開館している施設で，収蔵庫4は杉材による在来工法，収蔵庫2は木質系調湿壁を使用している。試料採取時点では棚等がすでに設置されていた。展示室内にはパーティション用のボードを多数設置している。試料採取時期は8月，採取時の温湿度は常設展示室で24.4°C 54%RH，企画展示室で25.4°C 56%RH，収蔵庫2では22.8°C 61%RH，収蔵庫4では22.7°C 63%RH，応接室は26.9°C 58%RHであった。この時点での臭気はかなり強く，目への刺激とともに頭痛などの症状があった。調査の後2週間ほどガス消火設備用の強制排出装置を使用して強制換気を行ったが，9月第2週には資料の搬入があり，その後は24時間で空調がなされ，22度60%に調整されていたため，ほとんど換気されていない状況であった。収蔵庫4は展示替えのための出入りが多く，特に大型の資料の移動が多いために開扉時間も比較的長いのが日常の状況であった。強制排気による換気および開館の影響を確認するために，11月の開館後の12月にもアルデヒド類の定量をおこなった。12月の調査時点でまだ新築独特の臭いは完全には抜けていなかったが，一部の部屋を除き強い刺激は特になかった。換気不足と感じられた。

館dは現在建築中の博物館で，収納具はまだ設置されていない。試料採取は9月15日，10月14日，11月11日，12月12日の4回，採取時の温湿度は図3の通りである。12月の試料は現地で試料採取袋にて採取し，その後実験室内(18.1°C)でカラムに再捕集したものである。館dでは特に庫内で使用する壁材，床材，接着剤などの建築材料についてあらかじめ変色試験紙法で選別が行われ，比較的中性に近い材料を選定していた。これは建築後の空気清浄化にかかる時間を短縮するための方策として，アルカリ性物質，酸性物質の他，特別に庫内のホルムアルデヒド濃度が低くなるように配慮したものである。二重壁には木質系調湿材料が用いられている。空調などを通しての換気はまだ行われておらず，24時間連続で除湿器が稼働しており，人の出入りは除湿器の排水のために一日2回，それに加えて週1回程度，温湿度記録のための入庫があった。

## 3. 結果と考察

### 3.1 アルデヒド類の庫内汚染状況

図1に実在する博物館等収蔵施設の庫内アルデヒド濃度の分析結果を示す。本来，濃度の表示方法としては，基準の温度を設定して(通常は0°C)比較すべきであるが，この実験結果は温度による校正をかけていないデータである。

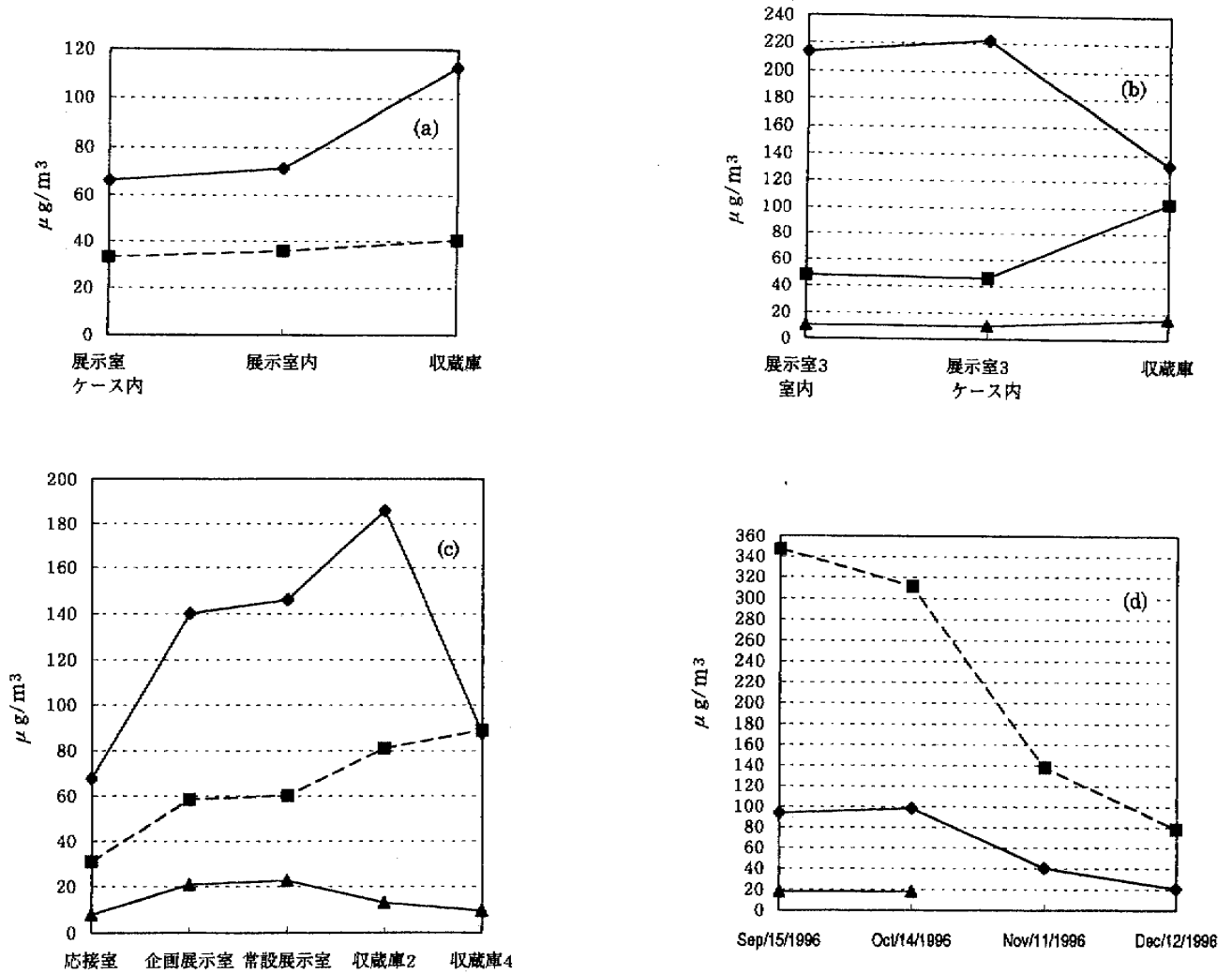


図1 博物館等収蔵施設内のアルデヒド類の濃度

$\blacklozenge$ :ホルムアルデヒド  $\blacksquare$ :アセトアルデヒド  $\blacktriangle$ :プロピオンアルデヒド  
 (a) 館 a (b) 館 b (c) 館 c (d) 館 d

アルデヒド類の庫内濃度については(図1), 通常の建築材料で特に選定しないで建設された館 a~c ではホルムアルデヒド>アセトアルデヒド>プロピオンアルデヒドの順に高くなっている。これに対して館 d ではホルムアルデヒド濃度が低くなっている。これは、館 d では特に庫内で使用する壁材, 床材, 接着剤などの建築材料についてあらかじめ変色試験紙法で選別が行われ, 比較的中性に近い材料を選定し, 特別に庫内のホルムアルデヒド濃度が低くなるように配慮された結果であり, 庫内の空気汚染状況を改善するために建築材料の事前の選定が有効であることがわかった。

展示室と杉材による在来工法の収蔵庫を比較すると, 一般的に展示室の方がホルムアルデヒド濃度は高い(図1-b, c)。展示室については主としてパーティション壁材料のベニヤ板およびクロス貼り用の接着剤, 収蔵庫については床板を貼る合成のりや建築後に持ち込まれる収納棚など

が放出源となっていることが多いが、これを裏付けたデータと言える。しかし、ベニヤ合板を用いて改修された館 a の収蔵庫内の濃度はシーズニング中の 2 館の収蔵庫内濃度と比較しても高く、壁・床などの建築材料の選定がいかに重要かを示している。

次に濃度レベルについて検討する。平成 8 年度環境白書によると、大気中のホルムアルデヒド濃度は検出限界以下～52  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった<sup>11)</sup>。これに比べて、室内に放出源を持つ庫内のホルムアルデヒド濃度は大気よりも高いレベルにあるのが通常である。事務所などの集合ビル内のホルムアルデヒド濃度分布は 10～70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ との報告例もあり、その中央値は 20～30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ である<sup>10)</sup>。開館後、館 a では年 6 回以上の展示替えを行っているために自然に換気が行われて、すでにプロピオンアルデヒドは検出限界以下、ホルムアルデヒドの濃度レベルも展示室、展示ケース内ともに幹線道路の周辺大気程度まで減少している。ホルムアルデヒドは発ガン性物質であるため、環境中の濃度を 0.1 ppm 以下に下げることが望ましいとされているが、その量は約 160 マイクログラム/立方メートルに相当する。新設館の b, c では特に展示室での濃度が高く、健康被害の懸念される 0.1 ppm を越える状態にあることがわかった。

3.2 換気の効果およびアルデヒド類の減衰挙動

館 c のホルムアルデヒド濃度については、8 月の時点ではいずれの地点もかなり高く、特に展示室、収蔵庫 2 で高い状態であった。図 2 に平成 8 年 8 月および 12 月の調査結果を対比して示す。8 月の採取温度は前述の通り、12 月の採取時の温度は常設展示室で 23.0℃、企画展示室で 23.0℃、収蔵庫 2 では 22.7℃、収蔵庫 4 では 22.5℃で、8 月の採取時点と大差なかった。ホルムアルデヒドについては開館後にはいずれの展示室で激減し、もう少し換気をすれば良い状態に達するものと思われる。一方収蔵庫については、特に収蔵庫 2 の方で濃度が高くなる結果となっていた。室内に発生源のあるアルデヒドについては、有効に処理できる還気処理用フィルターもないことから、外気の導入量を増加させない限り減少させるのは難しく、徐々に蓄積したものと考えられる。収蔵庫 4 については若干減少しているが、これは日常の使い方の中で、換気が自然に取れる状態があったのではないかと推測される。これらの結果から、積極的に換気が行われてい

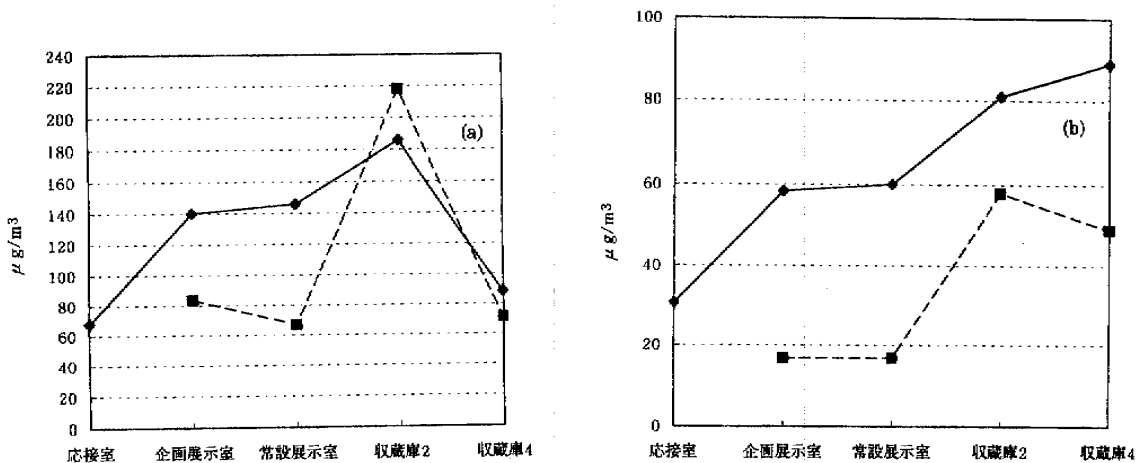


図 2 館 c における開館前後の室内アルデヒド類濃度の変化

◆：開館前 ■：開館後

(a) ホルムアルデヒド (b) アセトアルデヒド

ない収蔵庫のような室内では庫内温度が一定の場合、ホルムアルデヒド濃度は一定で減少しないことがわかった。また展示室のように開放度の高い場所では、入館者とともに出入りする空気による換気が汚染空気の浄化に役立つことがわかった。

アセトアルデヒドについてはいずれの地点も減少していた。プロピオンアルデヒドについても12月採取試料では検出限界以下であった。これらはホルムアルデヒドの挙動と異なるもので、9月初めの強制換気の効果があったためと考えられる。居住室内でのホルムアルデヒド濃度は換気の取れない夜間に上昇することが報告されている<sup>9)</sup>が、アセトアルデヒドやプロピオンアルデヒドについてはその放散がホルムアルデヒドより早いのかどうか、今後検討する予定である。

### 3.3 放散量の温度依存性

平成8年9月から12月にかけて、1カ月に1回、館dのアルデヒド類の濃度を定量した。8月末頃館dの庫内では床板を貼る作業が行われ、9月半ばの調査時点では強い刺激臭があった。

図1-dにアルデヒド類3種の定量結果を示す。9月から10月にかけてはアルデヒド類の濃度は他の時期のデータよりも高かったが、ホルムアルデヒド濃度については建材の状態で低濃度の材料を選定して用いていたためか、その発生量は建築直後であるにもかかわらず他館に比べて低い状態であった。また、特に換気も行わないにもかかわらず12月にはほとんど臭いのない状態まで濃度は下がっていた。臭気の主体となっていたアセトアルデヒドについても減少が著しく、12月の時点でほぼ臭わないレベルにまで達している。プロピオンアルデヒドについては9月、10月のみ検出され、それ以後は検出限界以下となった。

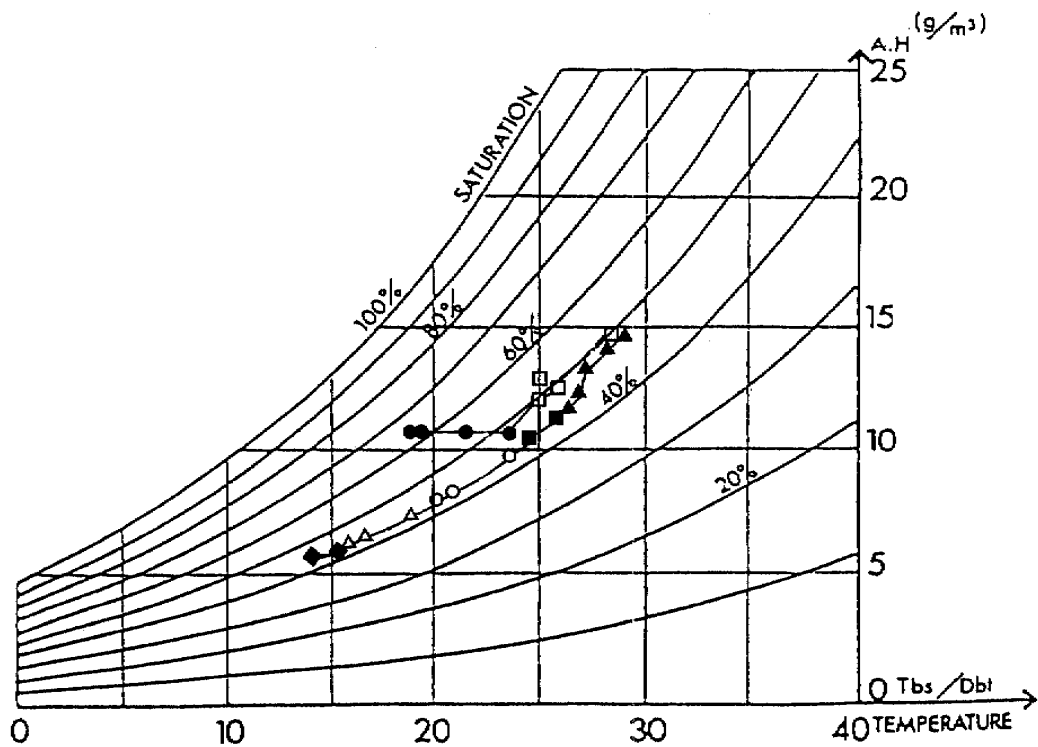


図3 館d収蔵庫内の温湿度変化(1996年5月~12月)

●: 5~6月 □: 7月 ▲: 8月 ■: 9月 ○: 10月 △: 11月 ◆: 12月

この間の室内の温湿度の推移を、湿り空気線図上に示す(図3)。このデータは毛髪式の温度湿度記録計で得たものであるが、同時に電気式センサーを用いている記録計でも計測が行われ、一週間ごとに校正がなされた。5月から7月初めにかけては庫内は $11\text{ g/m}^3$ の一定の水分量に保たれているが、その後建材からの放出か、あるいは庫外からの流入かにより水分量は上がり7月末には最大値に到達する。その後、除湿器の設定を40%RHに下げたために水分量は下がり、9月末にようやく7月初旬の上昇前の値に到達する。その後も除湿器の台数は減らしながら稼働し続けたため、庫内の水分量は下がり続け、12月末の時点で約 $6\text{ g/m}^3$ となっている。

一方この間の変色試験紙によるモニター結果は、9月から10月にかけては濃緑色の強アルカリ性を示していたが、その後徐々に改善され12月には緑色のややアルカリ性と変わってきている。

この間、収蔵庫内はまったく換気が行われていないことから、庫内のホルムアルデヒド濃度が著しく減少する可能性はなく、この見かけの減少は庫内温度の影響を受けて放散量が見た目減少していると考えられる。おそらく壁などに吸着しているものと考えられるが、平成9年6月まで空調設備の運転は行われなかったため、温度上昇期のデータとあわせて今後も引き続き検討をおこなう予定である。

#### 4. おわりに

本報により、新設博物館内のアルデヒド濃度レベルはどのくらいか、換気の効果はあるか、放散量は温度で変化するかどうかについて述べた。研究は緒についた時点であり、今後は特に各汚染物質の放散挙動について検討する予定である。また研究としてはあわせて、低濃度レベルでの各種の汚染物質の影響についても検討を加える予定である。

#### 謝 辞

本報をまとめるにあたり、変色試験紙法による建材の選定に関し、ご教示いただきました東京国立博物館保存修復管理官の石川陸郎氏に感謝いたします。

#### 参 考 文 献

- 1) 佐野千絵・三浦定俊：「アルカリ因子」についての再考，保存科学，30，31-43（1991）
- 2) 登石健三・見城敏子：第2節空気汚染，第7章美術工芸品の環境科学と対策，「美術工芸品の保存と保管」，pp. 343-348 フジテクノシステム，（1994）
- 3) 池田耕一，「室内空気汚染のメカニズム」，鹿島出版会，（1992）
- 4) 黒坂五馬：展示室・収蔵庫における使用建築材料の内部収蔵物に与える有害性，日本インテリア学会論文報告集，3，（1993）
- 5) 森 八郎，第3節 文化財に及ぼす燻蒸剤の影響，「文化財の虫菌害と保存対策」，pp.230-237，財団法人文化財虫害研究所，（1987）
- 6) 化学大辞典 ホルムアルデヒドの項，pp. 841
- 7) 三谷一房，岩波洋，我妻信行：美術館の空気質に及ぼす内装用ボード類の影響に関する基礎的実験，空気調和衛生工学会大会梗概集，1996
- 8) S. Ozao, T. Irie, M.Hori, S.Matsui, and M.Kyo: Experimental Study Concerning the Reduction of Indoor Formaldehyde Concentrations by a Bake Out Process, Indoor Air '96, Vol. 3, 625-632, (Nagoya, 1996)
- 9) S. Muramatsu, S. Okamoto and T. Matsumura: Formaldehyde Concentration of Airtight Homes, Indoor Air '96, Vol. 3, 59-64, (Nagoya, 1996)

- 10) Kazuaki Iijima, Masanori Fujii, Hiroyuki Toda and Susumu Yonetsu: Measurement of Indoor Air Quality in Office Building, Indoor Air '96, Vol. 2, 91-96, (Nagoya, 1996)
- 11) 第4章 環境の現状 2 国内の大気環境の現状, 「環境白書 平成8年度版 総説」, 環境庁編, pp. 398, 大蔵省印刷局, (1996)
- 12) 第4章 資料 代表的な悪臭原因物質の濃度と臭気強度の関係, 「新訂ハンドブック 悪臭防止法」, 環境庁大気保全局大気生活環境室 監修, pp. 433-435, ぎょうせい, (1996)



Indoor Air Pollutants in Museum  
—Formaldehyde Concentration in a Storage: Case Studies—

Chie SANO, Emi KOSETO\* and Sadatoshi MIURA

Indoor air pollution has become an awful problem in every museum, but there are only a few cases where concentration of pollutants like formaldehyde in a museum were reported. In this report, some aldehydes concentration in some museums were measured and discussed the quantity of aldehydes concentration, decrease in concentration by ventilation and temperature dependence of emission of aldehydes from construction materials.

The concentration decreased formaldehyde, acetaldehyde and propionaldehyde in that order in a newly constructed museum. There were some differences in the concentration of formaldehyde among the many rooms in a museum and the concentration of formaldehyde in an exhibition room was higher than in a storage in a newly constructed museum by an ordinary way. The result also showed that the quantity of formaldehyde can be suppressed by selecting the construction materials before use. It was appeared that the formaldehyde concentration in an exhibition room decreased well after the museum was opened, but the formaldehyde concentration in a storage didn't decrease because the ventilation rate in an air conditioning system was minimized after the objects were transported into the storage room.

---

\* Lab. of Preservation, Tokyo National University of Fine Arts and Music,  
13-7, Ueno Park, Taito-ku, Tokyo 110, Japan