

史料収蔵環境に対する保存箱の効果

The effect of storage boxes on humidity change

青 木 陸

共同執筆 高 瀬 亜津子

稲 葉 政 満

実験協力 斎 藤 京 子

史料館研究紀要 第三〇号（一九九九年）

目 次

1. まえがき
2. 実験の概要
 - 2-1 実験の目的と課題
 - 2-2 研究課題と先行研究
 - 2-3 実験の方法と実験経過
3. 実験内容
 - 3-1 保存箱設置場所
 - 3-2 実験器具
 - 3-2-1 保存容器
 - 3-2-2 収納物
 - 3-3 測定方法
 - 3-4 外気の温度・湿度
 - 3-5 保存箱の外側・内部の測定データの加工
 - 3-5-1 短時間での変化（微分値）
 - 3-5-2 1日毎の変化
 - 3-5-3 数日毎の変動周期（コレログラムの作成）
4. 実験結果と考察
 - 4-1 保存箱の外側の環境
 - 4-2 保存容器外と保存容器（空箱）内
 - 4-3 各保存箱内
 - 4-3-1 収納物の量と種類による影響
 - 4-3-2 保存箱の種類を変えた場合
 - 4-3-3 調湿紙の効果
 - 4-3-4 実験のまとめ
5. おわりに

四五〇

1. まえがき

わが国の近世以降の文書記録史料は、民間とくに個人所蔵にかかるものが多く、その保存環境・条件は概して適切な保存条件におかれることなく劣悪である。また、史料を保管する文書館等での収蔵庫内の環境は施設ごとに様々であり、24時間体制の空調設備による環境管理が行えず、現実には管理を含めた経済的問題から実施できない場合が多いことも事実である。さらに、恒温の設定のため、冬季にはだいぶ高めの温度となり、かなりの加湿を行って制御している場合がみうけられる。

本稿は、このような状況における史料の周辺環境を少しでも改善する方法を検討するため、平成8・9年の2年間、国文学研究資料館史料館（以下、史料館と称す）の史料収蔵施設を実験場所として行った「史料収蔵環境に対する保存箱の効果」の成果の一部を、実験対象機関の青木睦と高瀬亜津子（元：東京芸術大学大学院）・稲葉政満（東京芸術大学大学院美術研究科文化財保存学助教授）が協力してまとめ、斎藤京子の実験協力えて行ったものである^(注1)。

2. 実験の概要

2-1 実験の目的と課題

史料の多くを占める紙（和紙・洋紙）の保存には温度・湿度の管理が重要である。史料の劣化要因は生物的要因、化学的要因、物理的要因に分けられるが不適切な温・湿度環境はこれらの要因による劣化を促進することになる。

歴大な量の史料を保管する文書館等での収蔵庫内の環境は施設ごとに様々であるばかりでなく、同施設内においても異なる場合がある。一般に24時間体制の空調設備による環境管理が望ましいとされてきたが、実施できない場合が多い。また、夏期の24度設定の高さでは、冬季においては設定温度が高く、必ずしも年間一定という環境が従来の蔵での保存と比較して良いとは言えない

のではないかとも考えられる^(注2)。一方、空調による環境制御が行えず、とりわけ希少な史料や劣化に敏感な史料を保管する際の特製の収蔵庫等が用意されていない場合、史料の最も身近な周辺部分の環境制御方法として大きな効果が期待されるものに、保存箱への収納や調湿紙の使用が挙げられる。

わが国の古典籍や古文書は、古くから木箱や帙に収納されて保存が図られてきた。収納保存のための材料としての桐材は、古来から優れているとされ、箆筒・木箱などの収納容器として広く使用されており、各種の文化財の保存用器材にも用いられている。桐が使用されるのは、ヤニが出ない、虫害が少ないという要素もあるが、吸放湿性が高いことも重要な特性と思われる^(注3)。

文書館などの史料保存利用施設では膨大な量の紙史料を収蔵しているため、これらの多くを収納できる保存容器が必要とされる。桐箱に近い働きをし、かつ安価なものとして提供されているのが紙製の各種保存容器である。素材も酸性紙の劣化が問題となってから保存容器にも中性紙が用いられるようになった。この中性紙製の「容器入れ」の有効性は、1980年代の中頃、わが国の図書館や文書館に紹介された^(注4)。保存箱に利用されている紙ボードなどの効果の一つに、環境の変化に対する緩衝材として働くことがあげられる。また保存箱は埃、煤塵等の汚染物質や、種々の有害ガスから資料を護り劣化を緩和してくれる。保存容器の利用により、収蔵設備内にさらに制御された保存環境を創ることが出来るからである。また保存容器の利用は物理的な損傷を避けるにも有効である。たとえば湿度変化による紙史料の伸縮が抑制される、地震の際の棚からの落下による損傷も少なくなるなどである。このような理由から保存容器の利用が推奨され、多くの収蔵施設においては収蔵施設の管理に加えて保存容器に収納することにより、種々の劣化要因から紙史料を保護する予防的処置を講じている。

鈴木英治^(注5)によれば、中性紙といわれている紙は、中性サイズ紙（弱アルカリ紙と非アルカリ紙）、無サイズ紙、酸性サイズ中和紙に便宜的に分けられる。中性サイズ紙は中性、または弱アルカリ性領域で紙繊維に定着し、効果を

発揮するサイズ剤を使用したものである。このうち填料として炭酸カルシウムのようなアルカリ性物質を使用したものが弱アルカリ紙でpH7以上を示す。これに対し中性サイズ(中性抄紙)された、非アルカリ紙はpH6~6.5を示す。保存用途では、資料がアルカリによって害を受ける恐れのある場合は(写真等に直接接触する場合)このような無酸、無アルカリのボード等を使用するのが良いとされている。浮世絵も染料がアルカリによって退色することから、中性から弱酸性の保存容器が適するとされている。無サイズ紙はサイジングの必要のない用途の紙である。pH5~7の弱酸性を示す。酸性抄紙中和紙は酸性サイズ、または酸性抄紙したものを後工程で中和処理した紙でpH7以上の弱アルカリ性を示すが、中性サイズされた弱アルカリ紙の方が長期的には安定していると言われている。

中性サイズ紙を用いた保存容器は国内外でメーカーが開発を行っており、既製の組立式の容器もあるが、各館において紙ボードを資料の寸法に合わせて加工する方法も採られている。保存箱の制作にあたっては有害物質の発生しない接着剤を使用するか、接着剤を使わず綿テープを通して閉じるなどの方法が用いられている。

今回の実験では市販の弱アルカリ紙製の保存容器：保存箱を中心に環境緩和効果を調べることにした。

2-2. 研究課題と先行研究

三浦定俊^(注6)は、伝統的保存箱である桐箱がどのように箱内の温・湿度を一定に保っているか、桐の二重箱、杉の一重箱、他に金属、パルサの箱を制作して実験を行い、桐・杉の保存箱は外界の急激な湿度変動を緩和するという結果を得ている。

神庭信幸^(注7)は11種の収納箱や展示ケースを用いて実験を行っている。この実験でも桐材の湿度変動に対する高い緩和効果が観察されている。これらの研究では保存箱による変動の緩和は日変動のような急激な変動の場合に見られ、

季節を通じた長い周期の外界の変動には保存箱内の変動も追従すると指摘している。三浦と神庭の実験については安藤正人・青木睦の報告^(註8)でまとめられているので参照されたい。

上村武^(註9)は木箱の効用についての実験を行った。まず身近な例として著者が使用していた同形同大の鋼製戸棚と木製戸棚内の湿度変化を冬期に測定した。雨や日中の温度上昇により湿度が変化しているが、鋼製戸棚では44から59%RHの湿度変動を示したのに対して木製戸棚は47から50%RHの安定した湿度変動を示した。次に同じ大きさの木製容器の中、ガラス容器の中、容器の外の温・湿度を3日間測定した実験で、容器の中の温度は容器の外の温度とともに上下動しているが、変化の幅は木製の容器のほうが小さく、湿度はガラス容器では箱の中の水分量が変わらないので温度と逆に上下動するが、木製容器では相対湿度は殆ど変化しないという結果を得ている。

ゲッティー美術館では、アメリカで一般に用いられている4種類のMuseum case (Solandor box, Portforio box, Archival document caseおよびMusic box)の湿度緩和効果を知るため、各容器を20℃、48%RHの恒湿槽に一定時間置いた後、恒湿槽の相対湿度を上昇(82%RH)、または下降(32%RH)させて容器内の温度と湿度の計測を行い、湿度半減期を比較した(表1)^(註10)。この湿度半減期とは箱の湿度が外部の湿度との中間点に達するまでの時間をさし、箱の緩和効果の大きさを表す数値のことである。Sorandor boxはMat board(コットンラグマット)を入れた場合と入れない場合の実験を行い、Mat boardを入れることでSorandor boxの調湿効果が増大したことが示されている。

以上は実測値に考察を加えた報告であるが、吉田治典^(註11)は文書の保存環境(冷泉家文庫蔵、陽明文庫)の実測に加え、そのシュミレーションを行っている。

この理由は(1)新たな収蔵庫の設計に利用できる計算方法を作る、(2)測定結果から得た統計値では(1)の目的に利用するにはデータとして不足である、(3)800年の保存実績を持つ冷泉家の庫と近代的な建築ではあるが空調装

表1 DANIELとMAEKAWAの実験結果 (注9)

保存容器	素 材	湿度緩和効果	原 因
1 Sorandor box	ボード、クロス張り	良い効果を発揮	素材の吸湿性
2 Portfolio box	ボード、耐水性クロス張り	湿度半減期が1よりわずかに短い	素材の吸湿性が少なかったため
3 Music box	紙	湿度緩和効果が微量	表面を通して簡単に水分が入る 噛み合わせの隙間から水分が出入する 水分を殆ど又は全く吸収しない素材
4 Archival document case	ボード	湿度緩和効果はわずか	表面を通して簡単に水分が入る 水分が出入りする隙間が表面にある 水分を殆ど又は全く吸収しない素材

史料収蔵環境に対する保存箱の効果(青木)

置のない陽明文庫の保存環境を同時に1年間調査し、それらの差や特質を調べることである。

晩夏(8、9月)の測定値では(1)外界変動に対し庫内は温度湿度とも非常に安定している、(2)冷泉家の庫は陽明文庫に比して湿度において若干変動が大きい。これは陽明文庫は前室があるため外気の侵入量が非常に少ないためである、(3)両庫は構造が相当異なるが、両庫とも湿度は77%RH程度で非常に類似している、(4)温度は冷泉家が約29℃、陽明文庫が約27℃で夏期に庫内でこの程度の温度が保持できることに注目すべきである、としている。

次に実験理由の(1)のため、熱と水分の同時移動を考慮した室の温湿度計算式を立てコンピュータシミュレーションを行っている。計算は、ケース1：古文書が収蔵されていない場合、ケース2：古文書が収蔵されている場合、ケース3：古文書が収蔵されているが、その吸放湿効果を考慮しない場合、の3種類について行い以下の結果を得ている。

(1) 古文書の収蔵の有無による差は温度・湿度ともに明瞭である、古文書による長期の吸放湿効果は一定の(相対)湿度を維持することにある。(2) ケース3では特に湿度において全く実測値と一致せず、外界の湿度が変動しても、

四四五

内部の(相対)湿度は収蔵されている文書の吸放湿作用により一定値が保たれるという事実が裏付けられた。(3) ケース2の計算結果は実測値に近い値となった。

陽明文庫は内装が全面桐で仕上げられている。この桐を通常の建材合板に変えるとどの程度環境が変化するか試算したところ、桐材は特に湿度の安定に寄与があることが確認された。

吉田は、現実問題として維持管理を考えると永久に空調環境を維持できる保証はなかなか得にくいもので、エネルギーの無駄を省き未来永劫に過去の遺産を存続させるには、維持管理の容易な、できれば放置してもよい庫が理想であろうと述べている。さらに、吉田は室内に古文書がある場合古文書の吸放湿効果による湿度変動の緩和がみられることを、計算結果との一致によって確認しているが、保存箱内に古文書がある場合も同様の効果が考えられる。

安藤・青木は箱自体の湿度緩和効果を解析するには適切な方法ではないとしながらも、容器内に文書を収納した実際の保存環境を知るためにその温度・湿度の測定を行っている。彼ら兩名は山梨県大月市星野家で温度・湿度を長期継続測定し、1年目は文庫蔵のみ、翌年は母屋2階、文庫蔵2階の2ヵ所について室内、茶箱内、桐箱内、段ボール箱内の温度・湿度を測定した。また古文書用桐箱を試作し、3箱を星野家に送り保存機能の調査を行った^(注9)。

文庫蔵2階の湿度は75~82%で安定しており、吉田の調査で冷泉家の文庫蔵も庫内湿度が年間70~80%に一定していることから、土蔵内の高湿度安定という特徴は、土蔵自体の持つ特性によるのではないかと推察している。吉田も木材や土壁の材料特性である平衡含水率に依存する、と述べている。上村は木は湿度が上がると吸湿し、湿度が下がると水分を出してバランスをとっており、この調湿効果が内容物を保護しその長期保存を可能にしているといえ、その他の材料と比べてみると木以外でも土壁などは木よりも作用が小さくなっているが同じ様な調湿性がある、と解説している。

茶箱はその密閉性により収納する文書に含まれる水分量が多い場合は高湿度

に固定化されることが調査結果にも表われていた。段ボール箱は湿度変化に対する緩和効果がそれなりにあることが示されていた。但し収納文書の効果を差し引くとすると、湿度変化に対する緩和効果は桐箱に比べかなり低くなっていた。桐箱は最も緩やかで安定的な緩和効果を持っており、全期間を通じて室内湿度よりやや低い70～80%の範囲を維持していた。

三浦^(注6)および神庭^(注7)は彼らの実験から、

- (1) 容器内に史料が収納されている場合は調湿材のような緩和効果があるのか、
- (2) 密閉容器内湿度変化は室内湿度の影響よりも室内温度変化によること、
- (3) 現存している古史料保存容器の材料と構造を調査し、その保存機能についても科学的な目で見直すことが必要であること、を挙げている。

(1) で、和紙が吸放湿を行った場合、史料が湿度の緩和効果を持つことになるが、湿気を吸ったり吐いたりすると紙は伸縮するので史料にストレスがかかっていることになること、あるいは恒温・恒湿の容器であっても吸放湿効果のないものを用いた場合、湿り気のある史料を入れたまま見過ごすと大変危険な状態となってしまう可能性も指摘している。

本研究は、三浦および神庭の指摘を踏まえ、保存容器内に紙史料が収納されている場合を想定し、紙史料の量、保存箱の種類を変えた保存容器内の温・湿度変化を測定し、どの様な要因が箱内の保存環境に寄与するのかについて検討した。

2-3 実験の方法と実験経過

測定場所の選定 平成8年4月、まず測定実験を行う場所の選定を実施した。民間所蔵史料の収蔵施設の条件下に類似した場所で、かつ多くの24時間空調体制を行えない史料保存利用施設にも近似しており、実験の成果が両者の保存環境改善に役立つデータを採取できることを選定理由とした。そこで史料館収蔵

施設の内、温・湿度の変動が大きい3階鋼鉄製扉付近（収蔵施設内側の鉄扉直前）を選んだ。なお、実際上は、この3階鉄扉付近には収蔵史料を配架していないことを断っておく。

測定期間 平成8（1996）年6月1日～平成9（1997）年6月30日までの1年間長期継続測定を行った。

測定場所の概観

[建物] 測定実験の建物は、文部省史料館時代の昭和37（1962）年5月に建築したほぼ長方形に近い北館と称するところである。昭和37年当時、史料は鉄筋コンクリート3階建収蔵庫の3棟（2棟は三井文庫より建物を購入）に収蔵され、鉄筋コンクリートで建築した北館には日本実業史博物館準備室旧蔵資料が納められていた。その建物が、改組に伴う変更によって現在のような一階を入り口・クローク・閲覧室・撮影室・洗面所と収蔵庫に、2・3階を収蔵庫として使用することになった。改組時は、数年で改築するという計画が頓挫したため、閲覧室と収蔵庫の入り口が近接して公共空間を史料を持って通ることや、閲覧室と閲覧業務担当の情報閲覧室が別の建物の一階と五階に離れて配置されていることなど、多くの問題を今に残している。

北館の各階は、鉄扉で2ブロックに分かれ、ブロックごとに電灯電源がある。北側と東館側には8つの小窓があり、収蔵庫部分のそれは両面6つずつ（他は階段部分）である。小窓は、収蔵庫を無窓状態とするため埋め込んである。入り口のほか、1・3階の西側に民俗資料用の搬入のための大きな鋼鉄製扉がある。この鋼鉄製扉（室内側前面）付近が今回の実験場所にあたり、現在は開閉を行って使用することはない。3階屋上および屋根部分は平面型である。北館1階床下は、高床式となっており、高さ約1.5mの空間が設けられている。

[建物内環境] 北館全体には温・湿度調整のための空調設備がないため、収蔵庫内に除湿機を1・2階4台、3階には5台を設置している。除湿機の稼働

時間は、ほぼ9時から17時の間であるが、自動運転ではないため、相対湿度 $60 \pm 5\%$ を目安に職員が調節している。そのために全体で3台の自記温湿度計(毛髪式)を設置している。

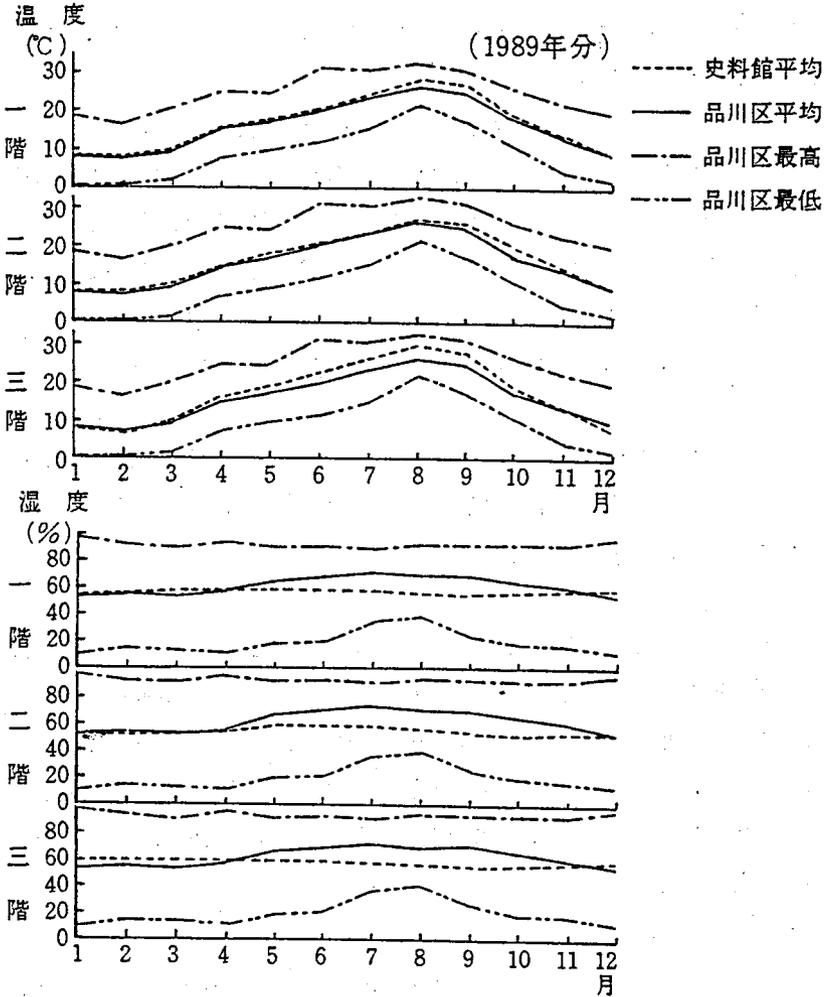
収蔵庫内は無窓であり自然光の侵入はない。収蔵庫内の電灯の無紫外線蛍光灯化や防紫外線フィルター装着は行っていないが、出納の際には各階のブロックごと点灯する方法をとり、慢性的な点灯を極力少なくする配慮をしている。

北館の収蔵庫は、竣工してから36年という年月を経ており、建物として老朽化しているため、外壁や収蔵庫内の床の剥離が目立ってきた。また、昭和47年段階で、一部改装しただけで使用に踏み切ったこともあり、史料の保存面だけでなく管理面からも多くの課題を抱えている。現状では移転の可能性が高いこともあり、理想的な史料の保存環境の整備にむけた施設・設備そのものに対しての早急な改善を行うことはもはや困難である。

史料館では保存環境・条件の整備にできるだけ努めてきたが、結果として前述した現状では到底万全とは言えない状況であるが、かえって、本研究の実験測定としてふさわしい場所といえる。ゆえに、本共同研究は、史料館の現状を少しでも改善に導く方法の検討を重ねる現状の再認識を行いうる機会であって、この成果は史料館にとっても意義あるものとなるのである。

全収蔵庫の温度制御機器はないが、除湿機を運転している。その運転は、自記温湿度測定器(毛髪式)で毎日の温・相対湿度を測定し、その値によって稼働時期をきめている。平成2年段階の北館の温・湿度の平均と品川区の最高・最低温・湿度を組み合わせたグラフが(図1)である。この表によって収蔵庫の保存環境を見ると、(イ)北館収蔵庫の温・湿度の平均は、外環境が変化しても平均値内である。しかし3階は、平面屋根であるため外気に早く反応して、夏期の温度が高い。8月の1階と3階の平均温度の差は、4度にもおよぶ、(ロ)湿度はほぼ $60 \pm 5\%$ を示している、(ハ)冬季の湿度が若干高い(湿度が適応範囲内 ($60 \pm 5\%$) かつ低温であることともあり除湿器を運転していない、ということがわかる。なお、史料館の一日の最高・最低温・湿度の関係は、

図1 史料館書庫の温・湿度



史料館研究紀要 第三〇号 (一九九九年)

四四〇

品川区で最高最低を記録している2月・8月で見ても急激な変化はなく温・湿度の変化はともに緩慢であった。この時期における3階の一日の温・湿度の動きをみてみると、朝夜で温度1度・湿度2～3%程度の差である。一日の急激な変化はないが、高温期が続くのは影響が心配される。

高温多湿は、生物の発生・増殖を起こすばかりか、史料自体の劣化・変質を促進させてしまう。一日の間の急激な変化も影響がある。いまのところ史料館の建物内の変化は少なく、外気が低くなると徐々に建物と内部も冷えていき、高くなると同じ様に緩やかな上昇ですんでいる。結果的には夏期の高温を除けば、除湿器の稼働によって湿度の制御は行われている結果となった。しかし、夏の高温は、外観では計り知れない史料内部への影響が心配される。

実験測定データの蓄積と分析 データはすべてパソコンに入力した。データ採取は、毎月行った。東京都内での実験場所を選定した理由は、データを直接パソコンに採集しやすいことも一因である。

実験参加者 史料館の収蔵施設内でデータを採集するため、青木が実験測定機器の管理を行うとともに測定場所の環境概要をとりまとめた。共同研究者の高瀬は、データ採集・蓄積・整理およびデータの加工と結果の考察を主となって担当し、実験全体のプランニング立案と進捗の調整およびデータ結果の考察を稲葉がとりまとめた。他に、協力者として斉藤京子(東京芸術大学大学院)が加わって実験を進めた。

本稿では、以上の実験によって得られた成果のうち、温度・湿度の変動に対する紙史料を収納した保存箱の効果に絞って報告したい。この他の課題である今回用いた保存箱の種類・材質ごとの詳細な検討については、なお検討・考察を続行中であり、成果の報告は他日を期したい。

3. 実験内容

3-1 保存箱設置場所

国文学研究資料館史料館（東京都品川区豊町1-16-10）北館収蔵庫3階

北館 1962年築 鉄筋コンクリート3階建（1階は、入り口、クローク、閲覧室、撮影室、洗面所、収蔵庫。2、3階は、収蔵庫。各階は鉄扉で2部屋に分かれる）

3階収蔵庫については、前述したとおりであるので、保存箱の設置場所について詳述したい。西側に面した民俗資料搬入用の鋼鉄製扉は、その扉の外側にバルコニーがあり、内側に外気の影響を緩和するため断熱材が貼られている。実験用の保存容器はこの西側の鋼鉄製扉のすぐ内側の床面に設置した。（図2、写真1）なお、設置場所は収蔵庫内で一番温湿度が大きく変化しやすいと考えられており、通常は収蔵品を置いていないが、箱の効果を検討するには実際的であると判断した。

3階に空調設備はなく、保存箱設置場所の1m離れたところに除湿器が設置されている。3階の温度・湿度は一室内の中央で自記温湿度計（毛髪式）で測定している。除湿器は収蔵庫内の湿度が60%以上になると稼働させ、65%を越えないよう調整している。

除湿器（日立製除湿器 RD-1022LD型）定格除湿能力 10ℓ/day

実験測定期間内の稼働期間（1996年度）6月6日～9月26日

3-2 実験器具

3-2-1 保存容器

市販の中性紙段ボール箱、同素材の中性紙ボード（厚紙）箱、他社の段ボール箱の3種類と、フィルム封入用具を用意した。いずれも文書保存用として市

販されている。

- ・中性紙段ボール箱 (TS.スピロン もんじょ箱 外寸 385×520×260mm)
pH8.5
- ・中性紙ボード箱 (TS.スピロン AFハードボード 1mm厚を用いて中性紙段ボール箱と同じ外寸のものを特注で作成した。)
pH8.5 (写真2)
- ・段ボール箱 (ゼネラル イージーワーボ 外寸 345×450×307mm)
(写真3)
- ・密閉度を高めたものとして、中性紙段ボール箱をフィルムで密封したものを用意した。本実験では脱酸素剤の使用のために開発された包装フィルムとクリップを使用した。

フィルム (三菱ガス化学 PTS袋^(注12)800×850mm) セラミック蒸着系フィルム 三方シール袋 酸素透過度 (0.5ml/m²・day・atm) 水蒸気透過度 (0.08g/m²・day)

クリップ (三菱ガス化学 PTS袋用クリップ)

3-2-2 収納物

保存容器内には楮・木材パルプ混合紙 (pH7.6、坪量約42g/m²) を多量に収納したもの、少量収納したもの、コピー用紙を収納したものを用意した。楮・木材パルプ混合紙は和紙史料を収納する場合、コピー用紙 (コクヨ B5判コピー用紙 pH9.2、坪量64g/m²) はその他の資料 (書籍等) を収納する場合を想定して収納している。楮・木材パルプ混合紙は1枚ずつ四ツ折にし、さらに5枚一組で二ツ折にして収納した。コピー用紙は包装紙から出し、そのままの大きさで収納した。

今回の実験では、紙史料を収納し調湿紙を入れた保存容器と、同量の紙史料のみを収納した保存容器の環境を比較して、調湿紙の効果と紙史料の吸放湿性

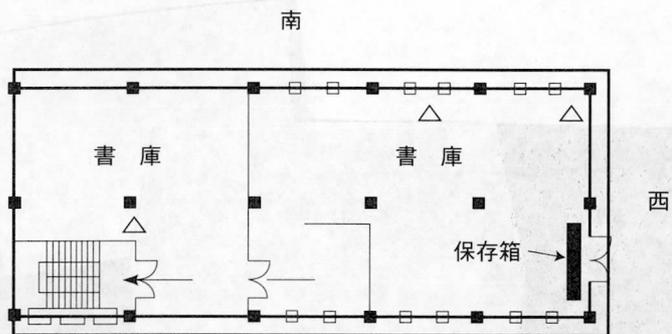


図2 収蔵庫3階の見取り図と保存箱の設置場所

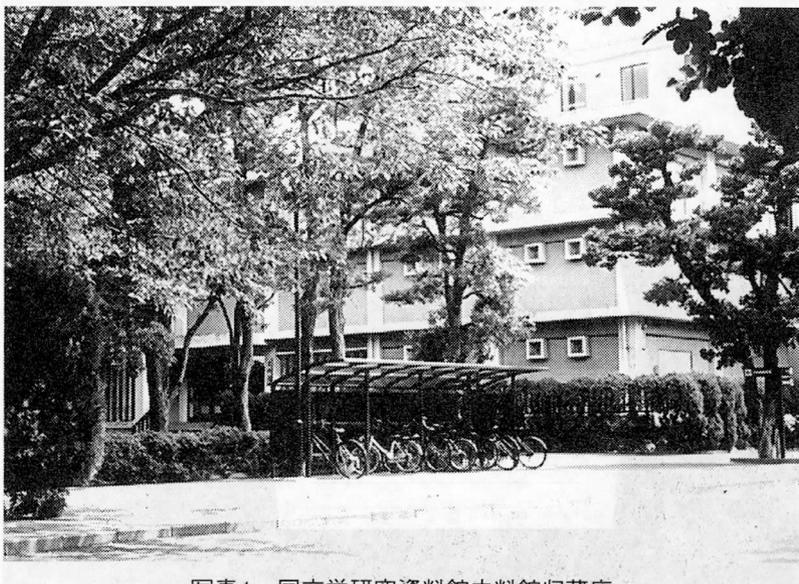


写真1 国文学研究資料館史料館収蔵庫

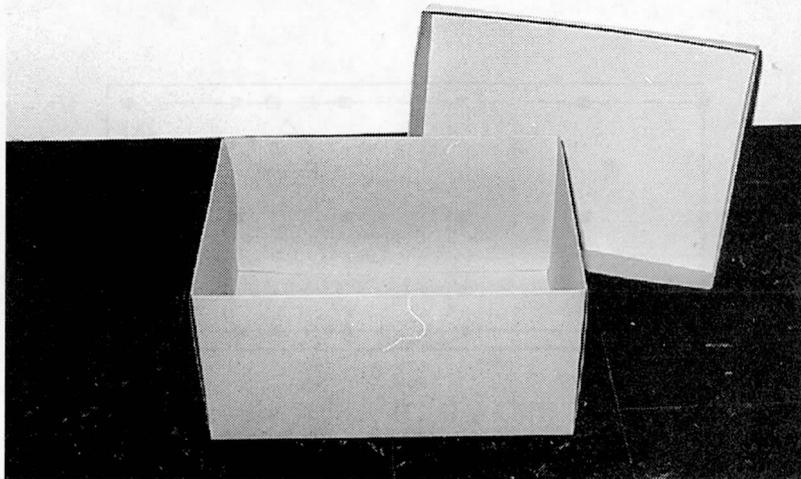


写真2 中性紙ボード箱（市販の中性紙段ボール箱と同一サイズに特製）

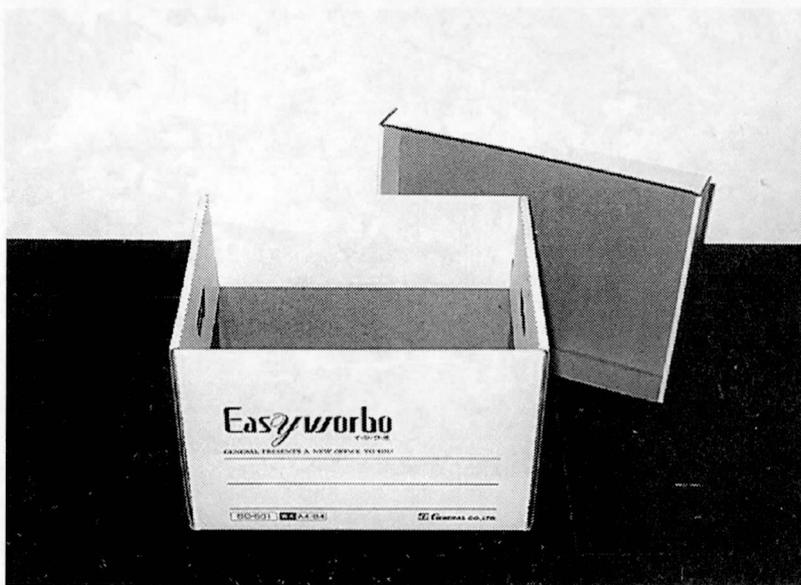


写真3 段ボール箱

との関係の観測も試みた。調湿紙は保存容器の蓋の裏側に両面粘着テープで張り付けた。

- ・ 調湿紙 (TS.スピロン SHCボード 350×470mm)
- ・ 両面粘着テープ (3M社 スコッチ両面粘着テープ)

保存箱の利用に加えてさらに積極的な調湿効果を持つものとして種々の調湿剤と調湿紙などがある。その中でも調湿紙は湿度変化に対する応答性がよく急激な変化を緩和する能力が高い^(注13)。本実験で用いた調湿材の主成分は天然ゼオライトの一種を特殊な方法で処理した多孔質のアルミナケイ酸ソーダであるが、適応環境に応じて細孔径や粒径、材質の異なる数種類の調湿材を適宜混合して使用している^(注13)。

サンプルの条件設定 (収納物、箱) は、1年間継続して利用可能な超小型温度・湿度計測器 (データロガー、以下データロガーと記す) の数量により以上の8箱に限定した。

3-3 測定方法

保存容器内に所定の収納物を入れ、収納物の上部中央にデータロガー (ACR社製 MODEL TL-2) を設置した (写真4)。保存容器外の温度・湿度はフィルムで密封した保存用容器 (写真5) の蓋の上にデータロガーを置いて測定した (図3、写真6)。1996年6月～1997年6月の1年間10分間隔での測定を行った。

データロガー データロガーは小型の温度湿度計で本体に温・湿度データを蓄積することができ、密閉された環境の測定も可能である。食品や化学、物流、クリーンルームなどの一般産業分野での温度や湿度等の測定が主な用途であるが、図書館や文書館の収蔵庫内の温度・湿度の測定にも適している^(注14)。

今回使用したデータロガーは本体に内蔵されている温度・湿度センサーの他に、ケーブルを接続し外部温度・湿度センサーを2本付けることが出来る。今

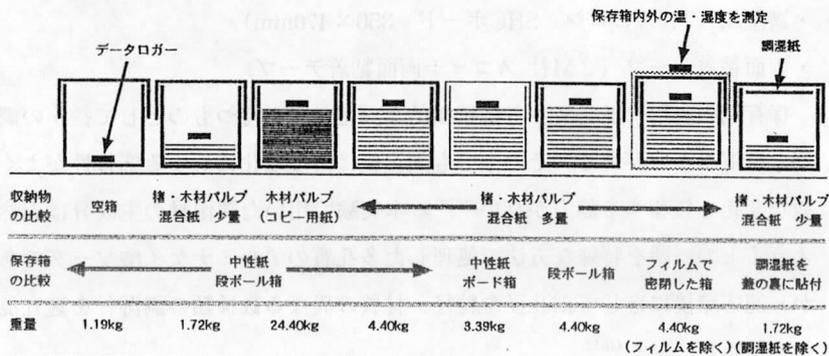


図3 実験サンプル

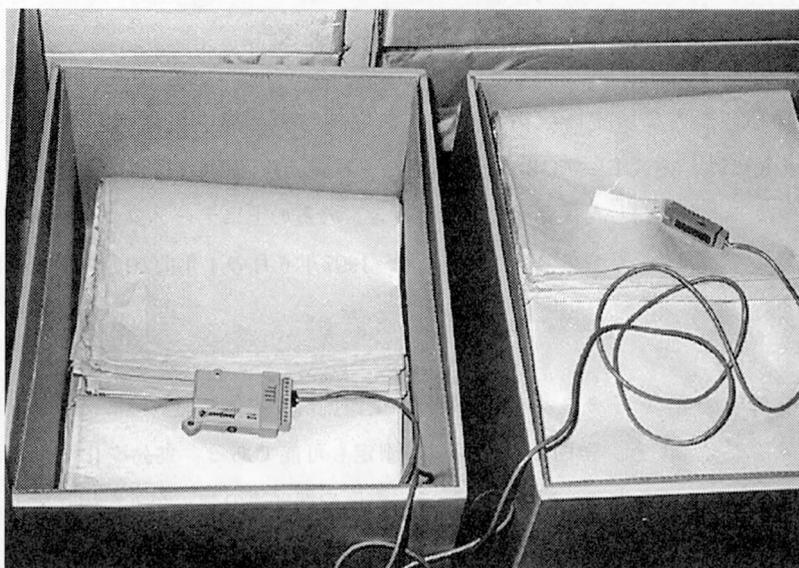


写真4 中性紙段ボール箱への紙とデータロガーの設置状況
(楮・木材パルプ混合紙：左少量、右多量)

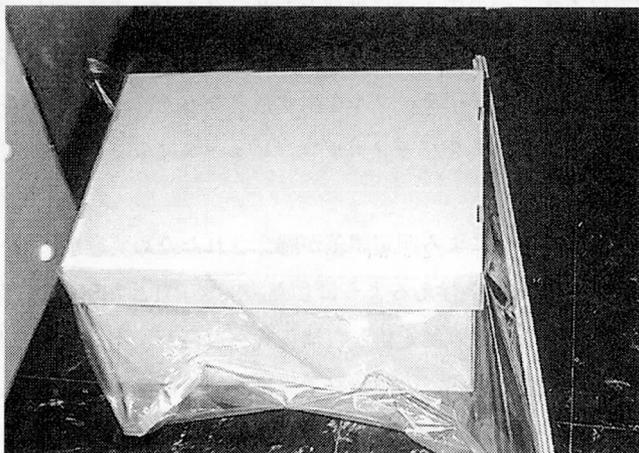


写真5 フィルムで密封した中性紙段ボール箱

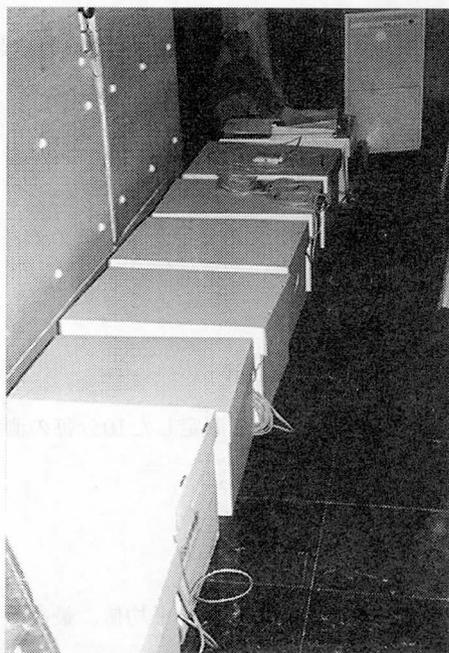


写真6 各サンプルの設置状況
(左に見えるのが断熱材が張られている扉)

回の実験では本体5台の内4台に外部センサー各1セットをつけ、計9点で測定を行った。データロガー本体とセンサーはケーブルで繋がっているため、箱の角の隙間からセンサー用ケーブルを出す形となった。データロガーは約1ヵ月半毎に回収し、データをパーソナルコンピュータに取り込み後元に戻し、測定を継続した。

データロガーは個体による測定誤差が懸念されたため実験前に同一湿度環境に置き測定値から補正を行えるようにした。33%RHと75%RHに保ったデシケータ内に1週間ずつ入れ測定値から補正式を導いた。実験結果の湿度はこれにより補正した。尚、すべての測定終了後再度補正値を求めた所+3~-4%RHのずれが認められたが本実験では実験開始前の補正値のみで補正した。

3-4 外気の温度・湿度

国文学研究史料館から南70mの位置にある東京都環境保全局大気監視課品川豊町測定所のデータを使用した。ここでの観測は10分毎に収録している。

3-5 保存箱の外側・内部の測定データの加工

保存箱の外側・内部の測定間隔は10分毎とし、そのデータから以下の処理を行い、以下の考察の一助とした。

3-5-1 短時間での変化(微分値)

温湿度変動の速さを検討する目的で測定した10分毎の測定値の10分前の測定値との差(微分値)を求めた。

3-5-2 1日毎の変化

測定した10分毎のデータから、1日毎の平均値、最高値、最低値および標準偏差を求めた。標準偏差値についてはさらにこの1ヵ月毎の平均値も算出した。なお、標準偏差とは数値のばらつきの指数である。ここでは0に近いほど

1日の間の温度・湿度の変動が少なかったことを示す。

3-5-3 数日毎の変動周期 (コレログラムの作成)

保存箱外の温度変動の数日毎に現われる周期を明らかにするため、1日の平均値を使って、コレログラムを作成した。

コレログラム コレログラムとは、時系列データを少しずつずらしながら元の時系列データとの相関 (一緒に増減する傾向) を図に示したものである。コレログラムが高い値を示した位置の横軸目盛「時点の遅れ」によって、データの周期変動の周期を読み取ることが出来る。

相関係数 相関係数とは、一緒に増減する傾向 (相関) の強さを示す値である。-1から1までの値で表わされ、増減が完全に一致していると1、完全に反対だと-1、無関係であると0になる^(注15)。

4. 実験結果と考察

4-1 保存箱の外側の環境

収蔵庫内にある保存箱の周辺環境と建物外における外気の温湿度変動の緩和効果をみるため、外気の温度・湿度測定値 (国文学研究資料館史料館の南70mの地点) と、サンプルの保存容器の上に設置したデータロガーで測定した温度・湿度の測定値とを比較した。このことをさらにわかりやすくするために一日毎の最高と最低の温湿度を求めてグラフにしたのが図4である。保存箱の周辺環境の測定場所は前述の通り収蔵庫内でも特に外気の影響を受けやすいと思われる場所であったが、1日の最高値・最低値をみると、年間を通じて外気に比べ収蔵庫内では変動の幅が大きく抑えられていた。このグラフから温度につ

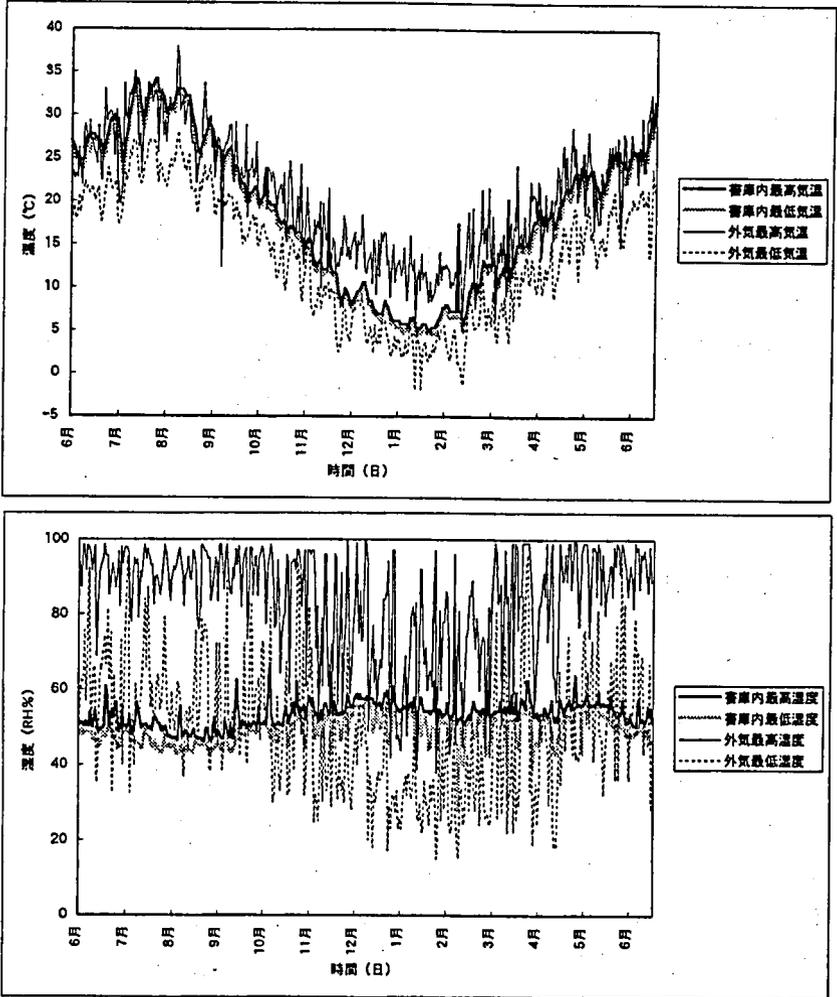


図4 毎日の最高および最低値での外気と書庫内(保存箱上)の温度と湿度の比較

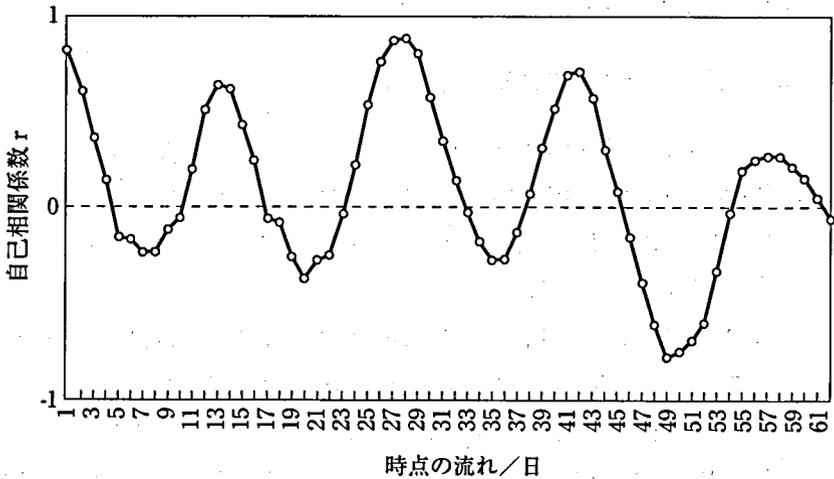


図5 保存箱外の日平均温度のコレログラム

いては12月から2月で顕著に現れているが、収蔵庫内の温度はある限られた変動幅中に抑えられており、外気の大きな変化が抑えられているのが良く分かる。ただし、冬季では外気の最低温度に近い所で安定しているのに対し、夏期では最高温度に近い所で安定している。また、外気の細かな変動は収蔵庫内ではかなり滑らかになっているが、1～2週間程度の波と、周年の変動は起きていることが分かる。一方、湿度変動の最高と最低を示すグラフでは外気では最低20%から最高100%近くまでと大きく変化しているのに対して、収蔵庫内では50%を中心に±10%程度の幅に収まっている。

保存箱外の温度変動には1日毎に現われる周期の他に、数日毎に現われる周期がみられた。この数日毎に現われる周期を明らかにするため、1日毎の平均値を使って、コレログラムを作成した(図5)。コレログラムでは時系列データを14日ずらした点、28日ずらした点、42日ずらした点と、14日毎に値が高くなっており、保存箱外の温度の周期変動が14日周期であることが解った。保存箱内の湿度変動も、この収蔵庫内の温度の変動に影響を受けている。よって、この14日における温度変動による影響を抑えることが出来れば、季節的

な変動以外は大きく抑制できることになる。

4-2 保存容器外と保存容器（空箱）内

資料の保存では保存容器が直接床面に置かれて保存されることはないが、今回の実験ではサンプルの保存容器を出来るだけ同一の環境に置くスペースの都合上と、収蔵庫内で温度湿度変動の顕著な位置で測定を行うため、あえてサンプルの保存容器を床面に置いている。

先に述べたように収蔵庫内の温度は短期では1日毎に長期では14日周期で変動していたので短期と長期に分け各保存箱の環境を比較した。

長い周期の変動を見るために1日毎の平均値を用いて夏期、冬期および春期の温度と湿度をプロットしたのが図6である。保存箱の外と保存箱内との比較では湿度変動に差はみられなかった。保存箱内の湿度は長期では保存箱外の湿度に追隨していた。

短い周期の変動をみるため6月中の湿度変動の激しかった2日間の測定値を微分し、湿度変化を比較した（図7）。微分値は10分前の測定値に比べた変化を表わし、短い周期の変動の速さをみることが出来る。保存箱外の変化の幅+2～-4%RH/分に対し、保存箱内（空箱）ではその変動は±1%RH/分に抑えられており、短時間に起きた急激な湿度変動が保存箱によって半分以下の値に緩和されていることが示された。

4-3 各保存箱内

各保存箱内の1日の変動を比較するため、上述の微分値に加えて1日の温度・湿度変化を標準偏差で表わし、月毎の平均値を比較した（図8）。この図においては、値が0に近いほど1日の間で変動が少なかったことを示している。夏期の8月と9月の温度変化で調湿紙を入れたものが不安定であるが、これは保存箱の設置場所の違いによると思われる。各箱は収蔵庫の壁沿いに1列にならべて設置したが保存箱の大きさと設置可能なスペースにより、調湿紙を入れ

データは、一日ごとの平均値。

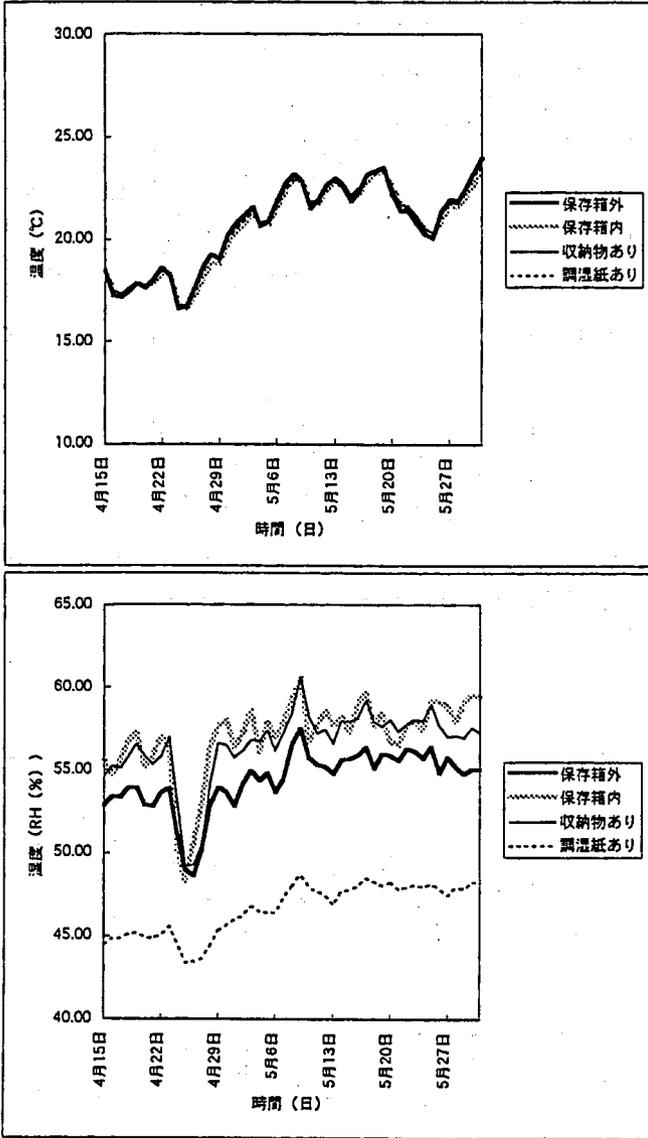


図6-1 保存箱・収納物・調湿紙の影響
保存箱外・保存箱内 (空箱)

データは、一日ごとの平均値。

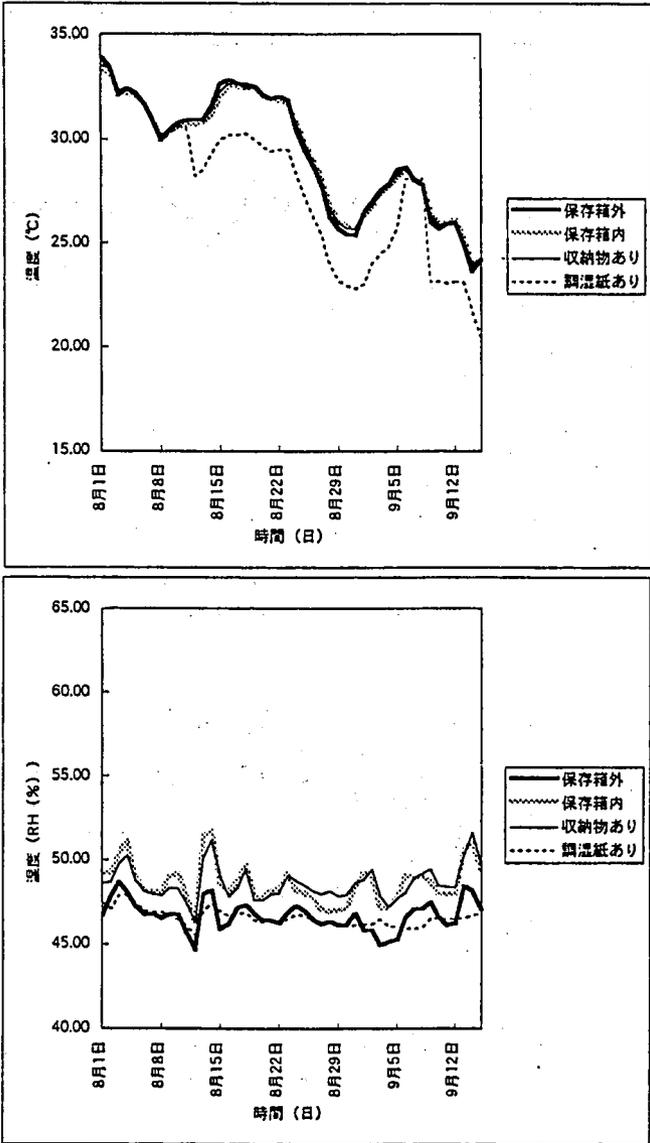


図6-2 収納物あり
(中性紙段ボール箱十楮・木材パルプ混合紙少量)

データは、一日ごとの平均値。

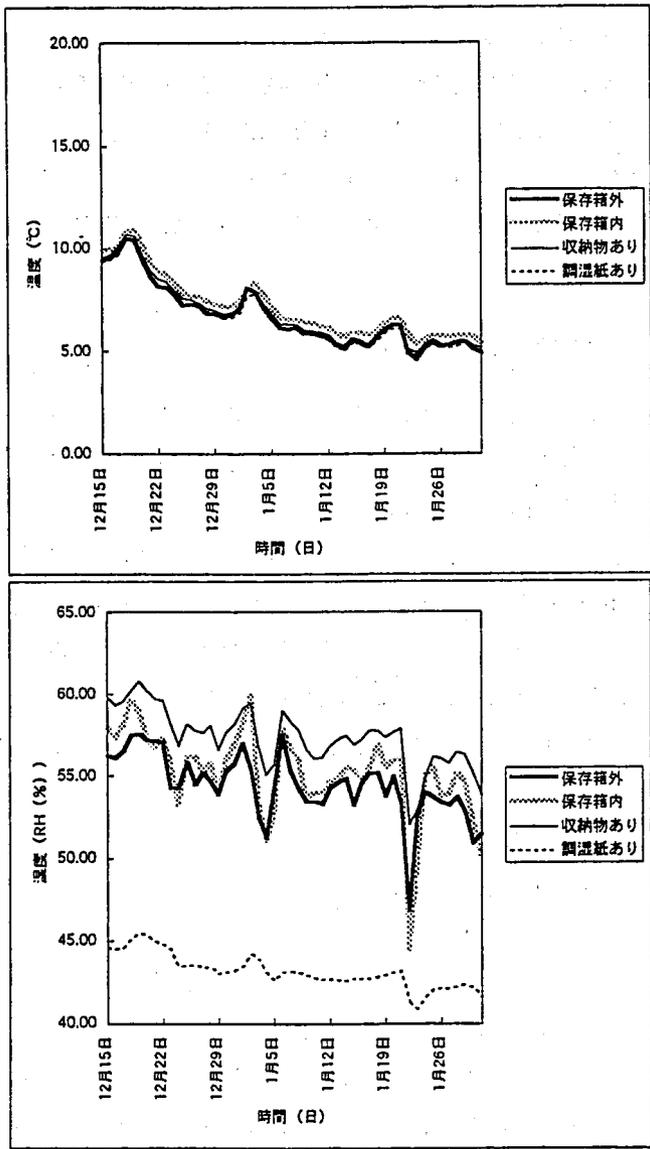


図6-3 調湿紙あり

(中性紙段ボール箱十楯・木材パルプ混合紙少量十調湿紙)

た保存箱は断熱材を貼った扉前から離れた端の位置に設置していた。これを除くと温度の標準偏差の変動は0.1~0.4であった。

収納する紙史料の劣化には保存容器内の湿度変動が直接影響するため、以下湿度の変動に着目し結果をまとめる。また長期的変動は保存箱外の変動に追随していたため短期(1日)の変動を比較した。

各保存箱内の湿度の変動を収納物と保存容器の条件別に比較すると以下の結果となった。

4-3-1 収納物の量と種類による影響

微分値(図7)で比較すると、中性紙段ボール箱では中に資料が入っても湿度の変化率は10分間で1%以下と空箱と同程度であり、ただそのピークの数が多い減少している傾向が読みとれる。

一方、変動の標準偏差(図8)では、楮・木材パルプ混合紙少量(0.53kg) > 楮・木材パルプ混合紙多量(3.21kg) > コピー用紙(23.21kg)を入れた箱で空箱よりも標準偏差は小さくなっており、変動の回数(微分値のピークの数)は余り変わらなかったが、内容物による調湿作用によって変動の大きさが抑えられており、その程度は内容物の重量に依っていることが明らかとなった。

4-3-2 保存箱の種類を変えた場合

楮・木材パルプ混合紙を多量に入れた異なる箱を比較する。中性紙段ボール箱と同じ大きさに作成した中性紙ボード箱では、微分値に於いて変化の大きさは同じであったが、ピークの本数は顕著に減少していた。さらに市販の段ボール箱ではピークの本数は中性紙段ボール箱とあまり変わらないがピークの高さは0.3%程度と約1/3になっていた。フィルムで密封した場合には一点原因不明のピークがあるが他のピークはほとんど抑えられていた。ここで用いたフ

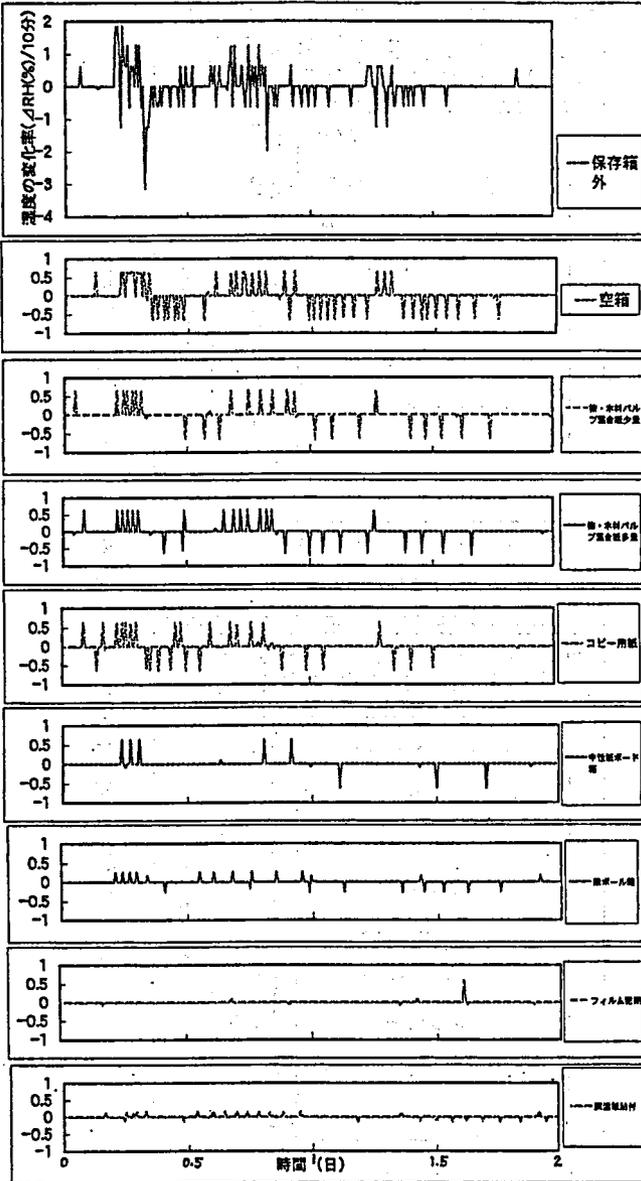


図7 湿度の時間変化 (微分値)

フィルムも全く水蒸気や酸素を透過させない訳ではないが、その量を極めて小さくする効果があるので、14日周期のような比較的短い周期の湿度変動はほぼ完全に抑えられる。よって、密封した箱で現れた湿度変動は水分の容器内外での移動ではなく、温度変動により容器内の紙(資料、箱)から放出あるいは吸収された水分に起因する。一方、他の箱の密封した箱の変動よりも大きな湿度変化は外界からの水分の出入りに依存していることを示す。逆に言えば、市販の段ボール箱<中性紙ボード箱<中性紙段ボール箱の順で水分が出入りしやすいことが分かった。中性紙ボードと中性紙段ボールそれ自体の水分透過率にはここでの変化に寄与するほどの大きな差異は考えにくいことから、この両者の違いは箱の構造、すなわち蓋と身との間隙の差に基づくといえよう。

4-3-3 調湿紙の効果

測定期間を通じて変動が少なく保存箱内の湿度の高かった冬期も低い湿度を保っていた(図6)。1年後の機器検査での33%RHにおけるデシケータ内におけるここで用いたデータロガーの偏差が-4%であり、他のデータロガーの値の約倍であったが、その分として冬季以降のデータに2~4%を加えてもまだ低い値を示していることになる。この理由についてははっきりしない。微分値ではピークの高さが調湿紙をいれない箱に比べ低くなっている。実験で使用した調湿紙は、開封した時の湿度を維持する。調湿紙を入れた試料に内容物として楮・木材パルプ混合紙を少量入れたので、同量の紙が入っている中性紙段ボール箱の試料と比較すると、微分値(図7)では箱の密封度は同じであるので、ピークの本数には違いがなかった。しかし、その湿度変化率は調湿紙の存在で大きく抑制されており、調湿紙は箱内の環境をすばやく安定化していることが分かる。その結果、1日の湿度変動の標準偏差でもフィルム密封した試料とほとんど変わらない大きさになっており、調湿紙を組み合わせれば、湿度に関しては短期的変動は十分抑えられることが明らかとなった。

前にあげたグッティーミュージアムの実験結果(表1)では、湿度半減期の

差は保存容器の厚さによる保存容器表面からの水分の出入、構造上の隙間からの水分の出入り、素材の吸湿性の違いによると述べられていた。今回の実験に用いた保存箱の比較では組み立て方の違いによって2重になっている部分の量、間隙が異なっていること、紙の密度の違いなどが挙げられる。また段ボールの場合組み立てには接着剤を用いていないが、段ボールはボードを接着剤で貼り合わせたものであるため使用されている接着剤がフィルムでコーティングした場合のような効果を持たせていることも考えられる。また段ボールに塗装紙が貼ってある場合も同じ効果が期待できる。

4-3-4 実験のまとめ

以上の結果をまとめると湿度変動を抑えるには箱の透気度を低下させる、第一にはフィルムで密封する、ついで、箱にコーティングなどを施し、さらに箱の隙間を小さくすることが重要という良く知られた結果になった。空気の入りが少なくなれば、外界からの汚染ガスや埃の影響を小さくできる。フィルム密封ではさらに脱酸素吸収剤との併用で、紙の酸化劣化や虫害の抑制が期待できる(注16)。

一方、紙史料の促進劣化試験によれば、紙は一枚ずつ劣化処理するよりも、重ねた状態で同じ環境に置いて劣化させたときの方が劣化の進行が早いことが知られている(注17)。このことを考慮するならば、密封保存は、紙自体あるいは密封された環境内に存在する他の物質から発生する有害ガスの影響をまともに受けることになり、必ずしも最良の保存環境とは限らないことになる。たとえば、箱に用いたコーティング剤や接着剤からも有害ガスが発生するかもしれないし、茶箱の例で取り上げたように、外からの水分の流入を抑える代わりに、湿った資料を入れるとその状態を長く保ってしまうという問題もある。

調湿紙を入れた箱では、箱自体の密閉度は余り良くないのにも拘わらず湿度変動が非常に良く抑えられており、短期的な湿度変動の抑制に大きな効果を持ち、無理矢理密閉度の高い環境を作らなくとも良いことが分かった。本実験で

は調湿紙を入れた箱に収納したのは少量の紙であったが、実際に使用する場合保存箱内に出来るだけ多くの資料を入れる場合がある。その時の調湿紙の効果は今回の実験では調湿紙と収納する資料の量の関係は明らかにできなかったが、ほぼ同様の効果は期待できよう。実際には資料の利用回数などを考慮してどの保存・出納システムを選択するかということになろう。

資料は周囲のさまざまな環境条件から影響を受けており、保存する側はそれを科学的に理解し、制御していこうとしている。市販されている保存箱もそのための大きな役割を果たしていることが今回の実験でも確認された。調湿効果の高い調湿剤も提供されている。今後も開発された保存用品の有効性を使用する側が検証を行い、メーカーとの協力で資料の長期保存に適した環境づくりを目指していく必要が感じられる。

5. おわりに

紙史料保存用の紙製容器内の温・湿度変化の測定を、実際に紙史料が収納されている場合を想定して行い、以下の結果を得た。

紙史料を収納した箱では紙史料が保存箱内で吸放湿を行い保存箱内の環境を自ら制御していたが、紙史料の吸放湿による環境の制御よりも保存箱の違いによる制御の方が値が大きくなっており、保存箱の利用が環境の制御、収納資料の保護に果たす役割が大きいことがわかった。

湿度変動の緩和効果は、フィルム密封した箱、調湿紙を入れた箱、段ボール箱、中性紙ボード箱、中性紙段ボール箱の順に低くなっており、調湿紙を入れた箱以外の比較では保存箱の密閉性が影響していると推察された。

保存箱内に収納した紙史料が保存箱内で吸放湿を行うことへの改善策を検討すると、保存箱の密閉性を高めることが考えられるが、内部で悪条件となった場合害を及ぼす物質が外に拡散されない弊害もあり、密閉する場合にはそれに

見合った事前処置が必要である。

調湿紙を入れた場合は湿度変動が著しく抑制され、短期的な湿度変動には箱の密閉度を高めなくても調湿紙の併用で十分抑制効果があることがわかった。

[謝辞] 本研究を行うにあたり機材を供与された東京国立文化財研究所の佐野千絵氏、資材を供与されたTSスピロン(株)、三菱ガス化学(株)および外気温度湿度のデータを供与された東京都環境保全局大気監視課品川豊町測定所に感謝いたします。

[注]

- 1) 本共同研究は、実験対象機関の青木睦と高瀬亜津子(元:東京芸術大学大学院、現在:「表阿弥」所属石川県金沢市文化財修理)・稲葉政満(東京芸術大学大学院美術研究科文化財保存学助教授 高瀬亜津子指導教官)が協力してまとめたものである。
- 2) 稲葉政満「環境基準と制御—温度と相対湿度—」『記録史料の情報資源化と史料管理学の体系化に関する研究報告No.1』、p.147-154 国文学研究資料館史料館(1997)
- 3) 吉田治典「文庫の保存環境・実測と予測」、「記録史料の保存・修復に関する研究会」実行委員会編『記録と史料の保存と修復—文書・書籍を未来に遺す—』p. 66、アグネ(1995)
- 4) 相沢元子・木部徹・佐藤祐一「容器に入れる—紙資料のための保存技術」日本図書館協会(1991)、山田哲好・廣瀬睦「史料館における史料保存活動」史料館紀要22(1991)
- 5) 鈴木英治「紙の劣化と資料保存」日本図書館協会(1993)
- 6) 三浦定俊「保存箱内の温湿度変化」『表具の科学』東京国立文化財研究所、p.125(1985)
- 7) 神庭伸幸「相対湿度変化に対する収納箱の緩和効果」、古文化財の科学37、46-53(1992)
- 8) 安藤正人・青木睦「民間所蔵史料の保存・管理に関する研究」、国文学研究資料館史料館研究紀要第27号(1995)
- 9) 上村武「木づくりの常識非常識」学芸出版社(1992)

- 10) DANIEL, V & MAEKAWA, S. "Hygrometric Harf-lives of Museum Cases", Restaurator, 14, 30-44 (1993)
- 11) 吉田治典「文庫の保存環境・実測と予測」、「記録史料の保存・修復に関する研究集会」実行委員会編「記録と史料の保存と修復—文書・書籍を未来に遺す—」 p. 66, アグネ (1995)
- 12) 同社からは、現在さらに気体透過度の低い「エスカル」が市販されている
- 13) 中野修「湿度を調節する紙SHCペーパー」『ポリファイル』特種製紙(株) (1994)
- 14) 小宮英俊「紙の文化誌」丸善ライブラリー-056 丸善株式会社 (1992)
- 15) 大村平「予測のはなし」日科技連出版社 (1993)
- 16) 木川りか、山野勝次「文化財の新たな害虫駆除法に関する研究 (1) —パラジクロルベンゼン併用による低酸素濃度殺虫法の処理時間短縮—」、文化財保存修復学会誌 40、24-34 (1996)
- 17) SLAVIN, J & HANLAN, J. "An Investigation of Some Environmental Factors Affecting Migration-induced Degradation in Paper", Restaurator, 13, 78-94 (1992)