

アジア古籍のための環境管理

稲葉政満

(東京藝術大学大学院美術研究科助教授)

私の仕事は紙を劣化させることでありまして、保存させることではありません。毎日、大学で紙を一生懸命蒸し焼きにして、どれだけ弱くなったかというのを測っております。私は保存期間の期待値ということを良く言っていますが、今日はどちらかというと環境管理の話で、特に温度と湿度の話をしていただきます。温度と湿度の管理で寿命が延びる部分もありますが、先ほど木川先生からもお話がありましたようにそれ以外の要因で劣化することもあるわけです。ですから、全体のバランスをどのように取って、皆さんの資料を残すのが大事になりますが、大体資料館や図書館、博物館の方も「何年ぐらい保存したいのですか」と聞くと、「永久です」と気軽におっしゃいます（笑）。実は物には寿命がありまして、永久ということはありません。

図1は対数で年数が書いてありまして、1年、10年、100年、1000年、1万年まで、一応作ってまいりました。右の方が過去に起きたことですが、放馬灘紙というのが今いちばん古いといわれている紙で、大体紀元前1世紀ないし2世紀の紙です。蔡倫の105年以前に紙があったといわれていますし、そういうものが発掘されておりますので、実際に2000年以上残った紙があるということです。

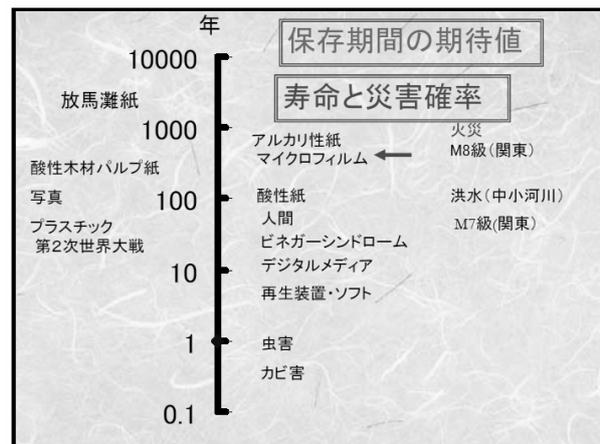


図1 保存期間の期待値

最近問題になった酸性の木材パルプ紙というのは大体100~200年ぐらい前に始まって、

酸性紙問題の原因になったわけです。写真は、たかだかまだ 100 年しか保存の期間がありません。まだ発明されて 100 年程度ですので、これから実際にどの程度残るかというのはよく分かりません。プラスチックなども 100 年経っていないようなもので、予測はできませんが、実績はまだないのです。

戦争の確率はちょっと計算のしようがなかったので、とりあえず第二次世界大戦が数十年前にあったということで、日本でも何十年かに 1 回は戦争がある可能性があるとしてしました。このような戦争とか、いろいろ書いてある災害などが 1 回でも来ると、場合によっては資料が全部駄目になってしまいます。それをどういうふうクリアして、どうやって何年保存するかということを考えなければいけないということになります。

災害の方をどうやって調べたかという、火災の 1000 年に 1 回ぐらいというのは、ホームページに呉市の火災の発生件数と世帯数が出ていたので、そこから単純に計算したデータです。ですから、皆さんのところの資料を 1000 年以上残したいと思っても、1000 年に 1 回起こる火災に対して、どう対処するかということがクリアされていなかったら、1000 年以内に火事でなくなる可能性があるということです。

地震については、この関東地区ですとマグニチュード 7 級は数十年に 1 回あるし、200～300 年に 1 回だとマグニチュード 8 級のものが参ります。ですから、保存期間が 100 年ぐらいであるならば、マグニチュード 8 級の地震のことは考えないことにしようというのもありだと思いますが、500 年とか 1000 年残すということを考えていたら、これがクリアできるように考えなくてははいけない。もちろん現物は、場合によっては燃えたりしてなくなってしまうかもしれませんが、その場合に代替物のコピーだけでも残すということも、非常に貴重な資料である場合には必要かと思えます。

最近洪水が多いですが、数年前の名古屋の水害のときに知ったことですけれども、中小河川は 100 年に 1 回程度までの水害に耐えるように、堤防が設計されているということです。裏返せば、100 年か 200 年に 1 回は必ず洪水が出るのですから、立地条件の悪いところであれば、当然そのことも考えていなければいけないということです。「天災だから自分たちのせいではない」というのは、数百年残したいと思う人にとっては無責任な発言になります。私は現場を抱えていないので、非常に気楽に言っております（笑）。

寿命ですが、人間はこのあたりで、大体自分の目の黒いうちだけとりあえず取っておけば、あとは責任がないと考えたくなるわけですが、多くても 100 年ぐらい考えると、「孫の代まで」というような言い方もありますが、皆さんのところの資料だともっと長い期間

ですので、どうするか考えていただきたいということになります。

今日の最初の木川先生のお話のカビ・虫の害は、環境条件によって随分違いますが被害が進むのがすごく早いです。あっという間、場合によっては3か月ぐらいでひどい害が出てしまいます。虫の被害は、1年ぐらいで起きてしまうということです。ですから、やはりカビや虫の害をどう防ぐかということがいちばん大事なことになります。熱帯地方ですと温湿度が高いし、本当は例えば20℃、55%にしたほうがいいけれども、そんなお金はないというところだと、温度を上げると劣化は早くなるけれども、温度を上げることで湿度が下がれば、カビによる害が抑えられるので、数か月でだめになるよりは、寿命が半分になっても、そのほうが良いということも、最近は実際に行われています。

それから、デジタルメディアとか再生ソフトの寿命も短いです。システムとしての寿命は非常に短く、機械がよくもって10年です。わざわざ図書館や資料館のために、現有の機械を作ってくれることはありませんので、たまたまメディアが残っても、それを再生することは機械的にもできないし、ソフト的にも大抵できなくなります。それから、マイクロフィルムは最近では数百年もつといわれていますが、「ビネガーシンドローム」といって、その前に使われていたTACベースのものは、ひどいと数十年で酢酸のにおいがして、非常に劣化してしまっている例があります。寿命予測では、開放系でやったときは数百年あったのに、ビネガーシンドロームが発生して痛んでいるものを密封すると、痛んだ物自体の分解ガスで劣化が早くなり寿命が短くなることが知られています。結果が分かってから劣化実験をやったら、そのとおりであったということが分かっています。それから、酸性紙ですと寿命は100年、アルカリ性紙ですと大体700年ぐらいです。

図2は沖縄県の文書館の写真で、たまたまきれいに並んでいたもので、喜んで撮ってきました。これはビデオテープの再生装置です。これだけないと、ここ数十年のビデオは再生できないわけです。

例えばエジプトのミイラの保存のためには、密閉して加湿をし、窒素ガスを用いて容器の中を酸素のない条件にしています。

アメリカの独立宣言はアルゴンガスの中で

保存されています。物は酸素で酸化しますので、より長く延ばそうと思ったらこういう方



図2 ビデオテープの再生装置

法で保存する必要があります。ですから、より長くというのであれば、このくらいのこと
は最低していただきたい、温度も下げていただきたいということになりますが、そうする
とコストが非常に高くなりますので、大量の資料を保存することはやはりコスト的にでき
ないということです。本当に最重要のものについては、そういうことを考える必要があり
ますが、より一般のものについては、ごく普通の状況から少しいい状況で何とかもたせら
れないかということを考えなければなりません。

長寿命化にはコストがかかりますので、例えばアルカリ性紙であれば 700 年ぐらいもつ
といわれていますので、実際 500 年ぐらいと期待して考えたらとどうかと、最近私は言っ
ております。ただ 500 年後に、それからまた延ばそうというのはもう無理です。200 年か
250 年ぐらいすればそれ以上取っておく必要がある物の数は多分減ると思いますので、そ
こでまた評価があつて、残したい物はそこからまた 500 年残るような、よりよい環境に物
を持っていくということを繰り返していけばいいのではないかと思います。もちろん最初
から貴重であることが分かっていたら最善の手を尽くす必要がありますが、ほとんどの物
については、歴史的評価が定まるまである程度取っておけばかなりの物は要らなくなるの
ではないかと考えています。

紙の劣化のお話に移りたいと思います。和紙に墨で書かれたものは非常に安定で、保存
性はいいわけです。わき道にそれますが、「アルカリ性紙は 700 年ぐらいもつ」と稲葉が
言ったとしても、しかしアルカリ性紙にゼロックスでコピーしたものだとする、ゼロッ
クスというのは表面にカーボンをワックスでロウで固着したようなものです。ひよっとす
ると、700 年後にその資料を出すと、紙はきれいなまま残っていて表面のゼロックスのコ
ピーの黒いところはふっと吹くと飛び散るおそれもありますので、案外インクジェット印
刷のほうが残ることもあるかなと思っています。

日本では数十年前までは、とにかく虫に食われるか、東大寺の二月堂の焼経みたいに火
事で燃えるかしなければ、永久に残ると言われていました。だから、棚にちゃんと置いて
おけばいいと皆さん考えておられたわけです。ところが、ちょうど私がこの文化財の分野
に入ってきたころに、アメリカから 100 年ぐらいで本が変色し、ページをめくればぼろぼ
ろになってしまうという話が入ってきました。ですから、棚に保管しておいても棚の中で
化学的に紙が劣化してしまうということが分かって大騒ぎになったわけです。その原因は、
紙をにじまなくするためのサイズ剤と呼ばれているものでした。

ヨーロッパで昔から行われているタブサイズという方法がありますが、ヨーロッパの古

い紙は繊維原料も非常によい原料を使っていますし、このタブサイズもにかわにごく少量のミョウバンを使っているだけです。紙自体の中にけっこうアルカリが残っていますので、1回つけるぐらいではあまり酸性化せず、このころの紙は非常によく残っているものが多い。ひよっとすると、悪い紙はもうとつくになくなっているという話もあるので、丸ごと信じるのは危ないのですけれども。ところが、大量に紙が必要になると、1回作った紙をもう1回ぬらして処理するなどということは非常に面倒くさいわけです。それで、賢い人がロジンと硫酸アルミニウムを繊維の懸濁液の中に混ぜて紙をすき上げるとサイズが利くという、非常にありがたい方法を発明してくれました。問題は、この硫酸アルミニウムは非常に酸性なのです。繊維の懸濁液そのものを酸性の水の中につけてしまいますので、すき上がった紙は当然酸性になります。しかも、酸性度が強ければ強いほど、紙を作る場合にはいろいろありがたいことがありまして、本当にpHが3とか2とか、なめたら酸っぱいような紙がけっこう残っています。

それから、材料が保存性にかかわりますので、紙の場合も繊維長の長い紙のほうが有利です。ですからコウゾのほうが有利ですし、宋版の中で使われている竹紙の場合は非常に短くて細かい繊維ですので、印刷適正は非常に高いのだけれども強度的には低いので、最初からそういう点では不利です。それから、製造方法もかかわってきます。アジアですと、貝多羅葉のような、葉っぱのような、保存性としてはあまりないものも使われていることがあります。ほかに、木材や絹などがあります。絹も500年もつぐらいでしょうか。今残っている絹絵は、大体後ろの肌裏といわれている紙に無理やり接着剤でつけて残っているということです。

加工方法としては、日本画の場合は当然ドウサといわれるニカワとミョウバンがありますが、この場合のミョウバンはかなり濃度が高いので、塗りすぎると酸性紙になってしまいます。作者はそれほど塗らなくても、以前は修理のときに必ずドウサを塗布しましたので、ある時点で酸性化が進んでドウサ焼けという劣化を起こしているものがたくさんあります。ほかに、鉄インクとか緑青といわれている金属イオンがあると、これが紙の酸化を促進しますので劣化としては早くなります。午後の木部さんのワークショップでクリップとかホチキスは外しなさいという話が出てくると思いますが、それは遊離した鉄が紙の酸化を非常に促進するからです。

図3は、コウゾの紙の保存性を調べた私どもの結果の一部です。横にミョウバン塗布量となっているのはドウサの量で、酸をどのくらい塗ったかという量が出ています。煮熟剤

として、伝統的な木灰や石灰のほかに、現在使われているソーダ灰（炭酸ナトリウム）と苛性ソーダ（水酸化ナトリウム）をあげています。タイコウゾといわれている輸入のコウゾの場合は、大体苛性ソーダで煮ないとうまく煮えませんが、現在売られている日本のコウゾ紙はほとんどこちらの苛性ソーダが使われて劣化が早いです。pH ゼロを中性にしてくれれば、プラスがアルカリ性でマイナスが酸性でとても分かりやすかったのですが、そこまでは最初に定義した科学者はやってくれなかったので、pH7 というのがなぜか中性で、それより下に行くと酸性が強まるし、上に行くとアルカリ性が強まります。私どもが作った紙を測るとなぜか最初の状態はほとんど pH7 で、みんないわゆる中性領域の紙で一見問題がなかったのですが、それに酸を塗るとゆっくり pH が落ちるグループと急激に落ちるグループがあります。酸加水分解による紙の劣化というのは、酸性度の強さに起因します。同じ酸が来たとき、この場合はわざと塗ったわけですが、ほかに大気汚染物質からの酸が来る場合もありますし、紙自体が劣化してくるとやはり酸が生じます。そういうものが来たときに、割合 pH が落ちないで耐えるもの、保存性のよい紙と、急激に落ちてしまう紙があったわけです。

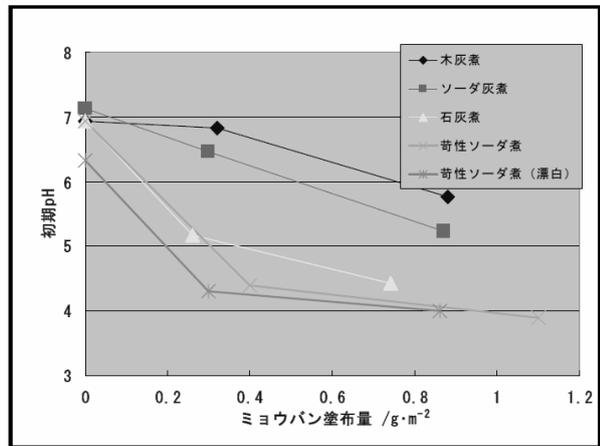


図3 コウゾの保存性調査結果

図4はということかといいますと、もう見たくもないという感じになってきているかもしれませんが、横軸はアルカリを酸で中和したという、小学校6年生ぐらいでお塩を作ったりする実験をされたかたもあると思いますが、NaOHに塩酸を入れると塩ができるわけです。「pH7 ぐらいにしてください」というので、小さいときに随分苦労した覚えがあります。こういう強アルカリ・強酸系というのは、ちょうど中和するあたりの pH のところではほとんど緩衝性がなくて、1滴酸が来ると

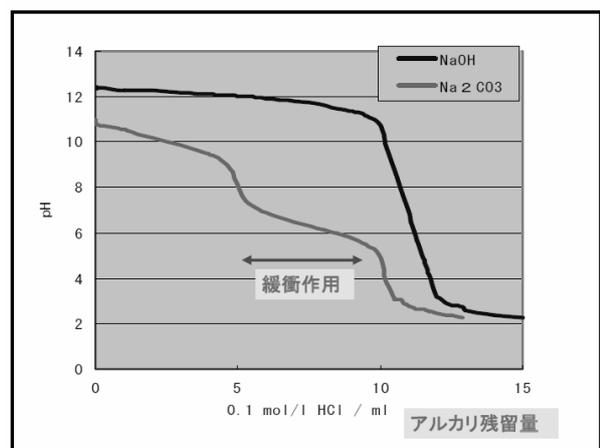


図4 中和曲線

すごく酸性になってしまうし、1滴アルカリが行くとすごくアルカリ性になってしまいます。炭酸ナトリウム系ですと、このあたりは非常にゆっくり変化いたします。ですから、同じ pH7 でも、強アルカリ・強酸系はちょっとでも酸が来ると、すぐ pH が低下してしまいますし、炭酸ナトリウムがたくさん入っているものであれば、少しぐらい酸が来ても、だんだらとなかなか pH が落ちないということです。ですから、初期 pH だけを測っても、実際に紙の中のアルカリの量を測ってやらないと、その後の劣化というか保存性は判断ができないことがあります。そのために、よく紙の保存では、アルカリ残留量がある程度以上あるものを使いましょうという話が出てまいります。

また見たくないものが出てきたと思われませんが、次の説明をするのに必要なので。図 5 はセルロースの分子モデルです。ここに n と書いてあったら、n が大体 1000 とか 2000 とかたくさん、この一つ一つのユニットが 2000 ぐらいつながってセルロースという高分子ができています。セルロースというのは、一つ一つのユニットが、グルコースでできています。ここで 1 番と 4 番がつながっている絵が書いてありますが、このユニットとこのユニットがちょうど 180 度反転した状態でつながっています。まっすぐつながるとでんぷんになってしまっただけになってしまうのですが、ちょうど逆向きにつながっているのです。二つ一組で手の位置が直線状に来るのです。ということは、それが

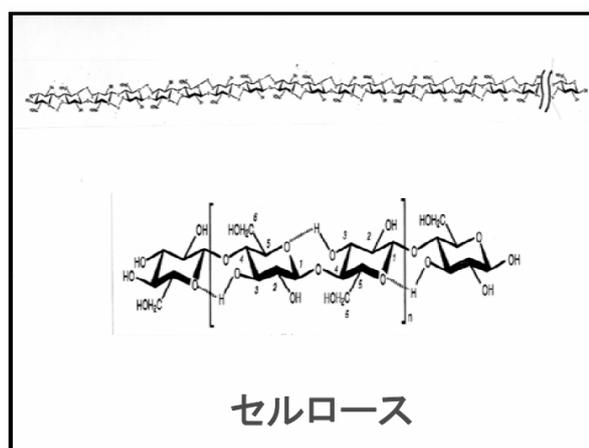


図 5 セルロースの分子モデル

無限につながってもまっすぐな分子になりますので、繊維を作りやすいということになります。「この n というのは分かりにくいからつなげなさい」と某先生に言われて、一生懸命縮小しながらつないだのですが、たかだか 18 でこのぐらいになってしまいますので、遠くから見ると、ただの 1 本の線になろうかと思えます。

実は酸加水分解というのは、酸がこの手の結合位置をランダムにアタックしてしまいます。端から切っていってくると被害は少ないのですが、酸加水分解の場合はランダムに切りますので、真ん中で切れてしまえば、それ 1 回で長さが半分になってしまいますから、急激に重合度は低下してしまいます。この反応には酸と水が関与します。ですので、酸加水分解の場合は、酸性度の強さと水の量が反応のスピードを変えます。あとは一般的な化

学反応と同じで、温度が高ければ高いほど反応は早くなります。

図6は紙の劣化のミクロなモデルですが、先ほどのセルロースの分子が1本の線で書いてあります。それがきれいに並んでいるところを結晶部といって、配列の乱れているところは非結晶部、あるいは非晶部というような呼び方をしています。結晶部はきれいに並んでいますので非常に硬い。多分、鉄よりも硬いぐらいのものです。それに対してこの非晶部は緩やかに結合していますので、例えば外力が来たときには曲がってくれるところです。そのかわり、ここはすき間だらけですので、酸素も入ってきますし、水も入ってきますし、酸も入ってきますので、優先的にここが劣化いたします。ここが劣化することで、全体として、ここがもろくなって弱くなるということがまず一つあります。さらに鎖の長さが短くなりますので、水が出入りすると今まで配列が乱れていたところが非常に動きやすくなってきます。お互いにもいい位置関係になって、ここも一種の結晶部みたいな感じの比率が高くなってきます。そうすると全体的に硬くなってきます。

さらに、もう少しマクロなところで、図7は繊維の細胞壁のモデルです。先ほどの束が一つの角柱だと思っていただくといいのですが、それがまた、さらに細胞壁の中ではお互いにきれいに並んで、結合している部分とすき間が開いている部分があります。このすき間の開いている部分には水が入っています。ですから、水が入ってくると全体が膨らんで膨潤しますし、水が出ていくと収縮して壁が薄くなって、紙としても縮むということになります。口を開けたり閉めたりしているうちはいいのですが、非常に乾いた状態のところにおくと口が閉じるわけです。たまたまそのときに、またお互いによい位置関係になるとくっついてしまって、次に水が来てもなかなか口を開けなくなります。

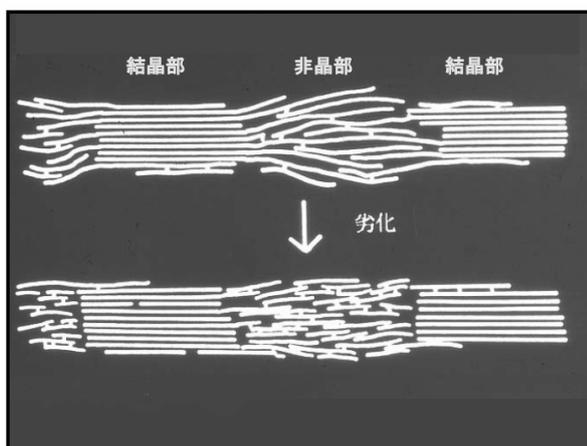


図6 紙の劣化モデル
Koura & Krause (1980)

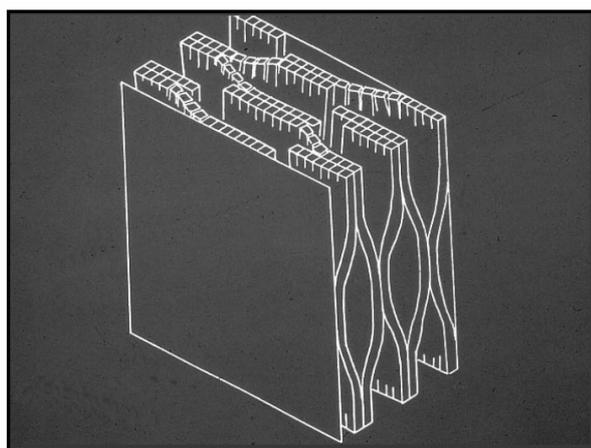


図7 繊維の細胞壁モデル
Scallan (1974)

紙は枯れた状態になりますので、水に対して反応が鈍くなりますから寸法安定性は増してきます。

ただし、先ほどのマイクロなモデルと同じように、やはり力がかかったときに離れているところが変形につきあうことができるわけで、くっついているところは板状で非常に硬いので、くっついたところばかりになると外力が来たときに非常に抵抗します。抵抗してくれると硬くなってよいように思いますが、手つなぎ鬼と同じで、大人の中に一人子供がいて、大人が頑張ってしまうと、子供のところは非常に弱いのでそこに力が集中しますので、破壊が起きやすくなります。ですから、全体がしなやかに動いている間は破壊は起きにくいのですが、硬くなってくるともろくなってきてしまいます。それで、紙は劣化すると考えております。

紙資料損傷の原因としては、水と酸素とエネルギーというように三題ばなしでお話することが多いのです。酸素、オゾンの問題があります。それから、大気汚染物質であるとか、金属イオンがあると酸化を触媒するという話がありますし、水があるとカビ・虫が寄ってくるという話もありました。光の話も当然しなくてはいけないのですが、こういうことをやっている、大体私はいつも3時間ぐらい話していますので、時間が足りません。今日は基本的に水と温度の話だけをさせていただきます。

60%以下の湿度であればカビは生えない。ですから、カビが生えたらどうしたらいいかと言われたら、湿度60%以下というのがいちばん最初に守ることです。例えば写真のネガのようなものを保存する場合には、60%以下を最低限守ることです。それ以上の場合、必ず生えるわけではなくて、時間的な問題もあるというお話は、先ほど木川先生のほうからされました。

紙の寿命はどうかというと、一律でなく紙によって異なります。表1は R. D. Smith という人が紙の劣化を試験して、25℃で50%という相対指数のときの寿命を1としたときに、温度や湿度が変わったら、どのように寿命が変わるかということを経験で求めたものです。もうきれいにアレニウス・プロットに乗りますが、温度を10℃下げると5.81倍になり

平均温度 ℃	平均相対湿度%			
	70	50	30	10
35	0.14	0.19	0.30	0.68
25	0.74	1.00	1.56	3.57
15	2.74	5.81	9.05	20.70

cf. Richard D. Smith

表1 温湿度と紙の劣化速度

「図書館と資料保存」安江明夫他 p.138
雄松堂出版 1995 より

ます。100年もった紙が600年近くもつと。さらにその状況で湿度を10%まで下げれば20.70倍になりますから、2000年もつので、できればここで私のお話は終わりということにしたいぐらいの話ですが、問題もあります。

今の R. D. Smith のデータを使って、少し遊びをいたしまして、まず1年間どの時期に劣化しているかということ計算してみました(図8)。それぞれの月の平均温度で計算することにしまして、どれを使おうかと思ったら、たまたま冷泉家のお蔵の温度を測っている京大の先生がいたのでそれを使っています。ですから、冷泉家のお蔵の月平均の温度です。夏が大体26~27℃ぐらいで、冬は5℃ぐらいになりまして、先ほどの R. D. Smith の表を使い、湿度は50%で計算しています。湿度が一定とかなりまゆつばの計算ですが、ごらんになって分かるように、劣化というのは大体夏の間に起きて冬は起きないのです。ですから夏の冷房は非常に意味がありますが、冬の暖房は劣化を促進していることになります。

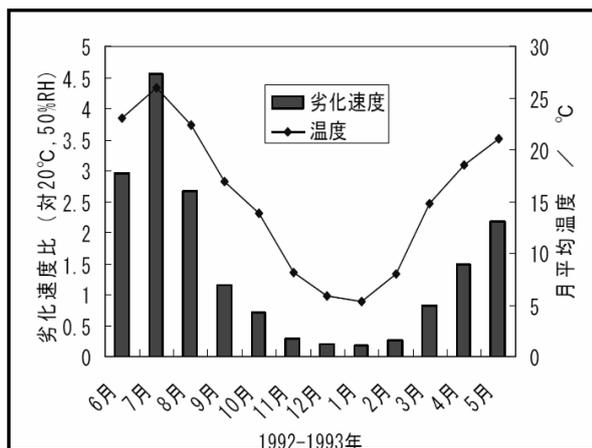


図8 年間気温と劣化速度

さらに遊びついでに、この1年間分を足して、1年間一定温度のときの劣化速度とを比較したグラフが図9です。これは冷泉家の文蔵です。多分これよりずっ

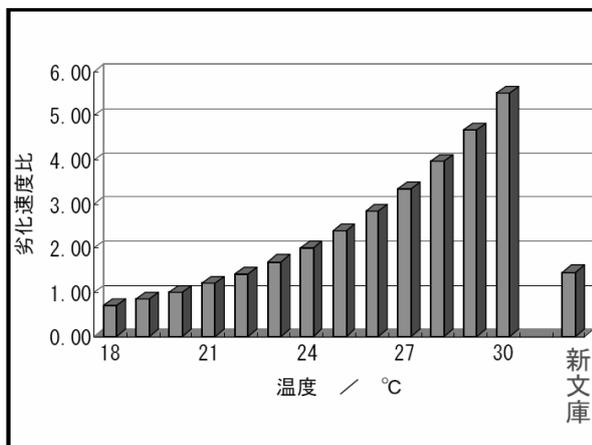


図9 劣化速度比(20°C基準)

と高いのではないかと考えていますが、万が一この計算が合っていれば、空調していないところと、大体皆さんが一生懸命お金をかけて年間一定温度にしているところの劣化速度が、ひょっとしたら同じかもしれない。多分違いますが、ひょっとしたら同じかもしれないということがあります。冬、暖房するのは皆さんのためであって、資料は本当は冷たいところに置いておいたほうがいいはずで

さらに衝撃的なのは、これも皆さんよくご存じのグラフだと思いますが、洋書の劣化状態を調査した図10です。アメリカのエル大学のグラフがあり、そのあと国会図書館と

早稲田と慶応で洋書だけについてそれぞれ調査をしています。山の形は同じですが日本は非常に低いので、酸性紙問題はあまり顕在化していなかったということがあります。多分アメリカはお金持ちで、日本は貧乏だった。アメリカは冬、多分がんが暖房していた。アメリカのことだから、25℃ぐらいまで加温していたのではないのでしょうか。しかも、湿度も与えませんから、過乾燥の状態になって劣化が顕在化した。日本では書庫を暖房するなんてとんでもないという状況で非常に涼しいところに置いてあったので、ヨーロッパも同じような状況があるようですが、これだけの劣化の差が出たと考えています。日本も豊かになりましたので、50年後に、この山の高さがどのくらい上がっているか心配しているわけです。グラフのピークのちょうどこのあたりで木材パルプが発明されたり、酸性のサイズが発明されたり、塩素漂白が発明されました。

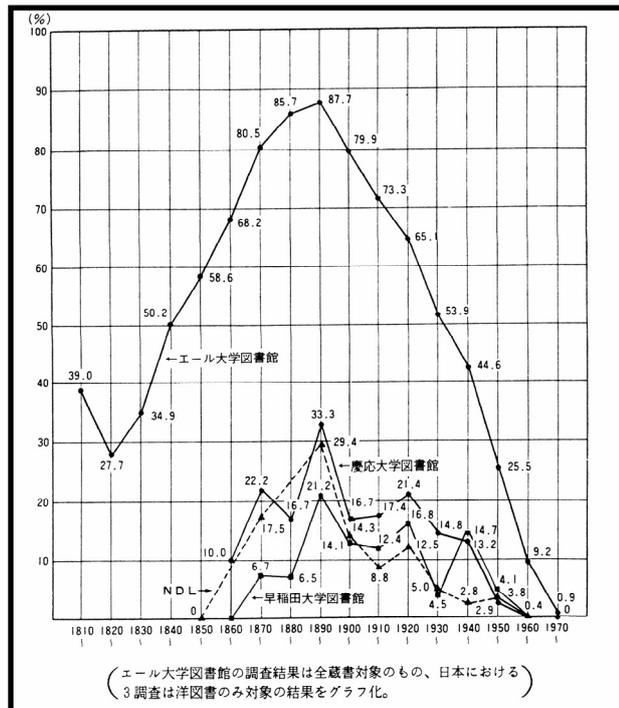


図 10 劣化図書の比率—日米比較

「図書館と資料保存」安江明夫他 p.136
雄松堂出版 1995 より

紙にとって悪いものがたくさん発明されたために、これ以前のものに比べると、このあたりのものが悪いピークになっています。ほかに日本の紙で調査すれば、当然、第二次世界大戦の戦中・戦後、非常に悪い紙がありますので、そのころのものは非常に劣化が大きいと思います。

さらに、ホームページを見ていたら面白いものが見付かりまして、図 11 は衣類の虫の活動条件です。大体 15～30℃で活動するということです。逆にいうと、ここにありますが、保管ルームの場合、10～15℃で保管しているのです。要するに、15℃以下で保管していれば、虫の心配はないのです。実際にロンドンのキューガーデンはその

衣類の虫の活動条件

(ヒメカツオブシムシ、ヒメマルカツオブシムシ、イガ、コイガ)

- 温度15～30℃、湿度50～70% で食害。
→現在は、秋、冬でも暖房により一年中活動。
- 温度10℃以下、湿度90%以上で活動停止。
成虫は45℃で80分、
幼虫は50℃で死滅。卵は40℃で死滅。
→衣類の有料保管ルームは、温度10～15℃、湿度50%に管理されている。

関西テレビ、発掘あるある事典
<http://www.ktv.co.jp/ARUARU/search/arushunou/shunou3.htm>

図 11 衣類の虫の活動条件

状態でした。私は風邪を引きやすいのですが、どうしても調べたいものがあって行ったら、「ちょっと悪いけど、うちは虫の心配があるので収蔵庫の温度を低めにしているから」と言われて、冬だったので厚着はしていましたが、15℃のところでは数時間調査をしました。人間にとっては非常に辛いですが、15℃以下なら、カビは出てくる可能性はありますが、虫の心配は全くないのです。それを今、20℃以上にしているから、1年じゅう虫の心配をしなくてはいけません。

次に湿度の問題です。先ほど、湿度を非常に下げると保存性がよくなると言いました。実際に中国の砂漠から古い紙が出てきていますから、そのとおりなのでしょうけれども、実は水というのは紙の中では潤滑剤なのです。その水がない状況ではどうなのかというと、特に折り曲げ強さ（耐折強さ）は、この65%の相対湿度のときを基準にして、例えば15%の相対湿度のときだとマイナス90%ぐらいになります。乾いたときはかさかさで潤滑剤がないので、ちょっとでも力が入ると簡単に折れてしまいます。ですから、10%のような極めて低い湿度のところでは、力を加えてはいけません。もちろん閲覧などは問題外ですし、書棚でも力がかかるような状況であるとやはりそこでかなりのストレスになります。それが非常にぬれている状況ですとカビは生えるかもしれませんが、リラックスしています。本が変形してしまうかもしれませんが傷みません。ですから、通常使う物をあまり乾いた状況に置くことはできないということです。湿度に関しては、カビが生えない程度で少し乾いたところに置いておくのが、一般的なよい条件になります。もちろん貴重なもので、一切触らないで湿度変化もないところに置いておく分には、乾いたところのほうが良いと思います。

図12は木材のデータで、伸び縮みとかいろいろ問題になるので実際には紙についてのデータで話をしないといけないのですが、含まれている水分量がどういふふうになるかを表したグ

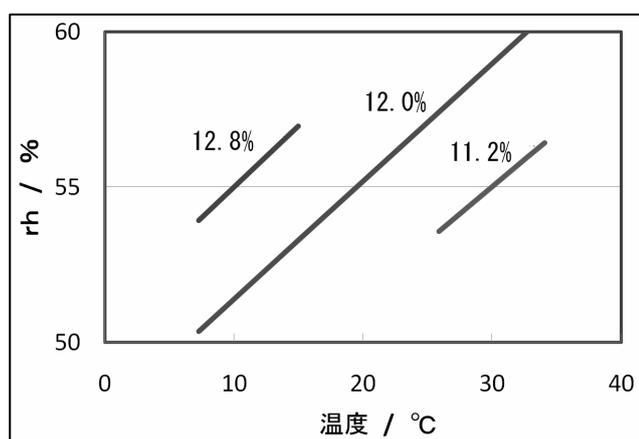


図12 木材の平衡水分に及ぼす温度と相対湿度の影響

ラフです。温度20℃、55%で、紙は12%水を含んでいます。それが、10℃まで下げると0.8%水分量が上がります。それと同じ変化が、10℃のところで見ただくと、大体3%の相対湿度の変化で同じことが起きてしまいます。物を移動したりする場合には、温度が

10℃とか 20℃、飛行機で運ぶ場合には 20℃ぐらい温度が動くのはよくあることですが、その場合にはそれなりの対策が必要です。相対湿度が一定ではなくて、このライン上を動くように工夫をしなくてはいけないのですが、通常の収蔵庫であれば温度はそれほど動かないわけですから、この相対湿度をコントロールしてやれば紙の中の水分量はコントロールできるので、相対湿度を幾つにしましょうという話が繰り返し出てくるわけです。

このグラフだけは理解して帰っていただきたいというものがあります (図 13)。これは

横軸が温度です。縦軸が絶対湿度という、ふだん皆さんがお聞きにならない言葉が出てきますが、この場合ですと、空気中に 1m³ 当たり何 g の水が含まれているかというものでグラフが作ってあります。いちばん上の曲線が、それぞれの温度で最大限空気中に含まれる水の量を示しています。100%飽和と

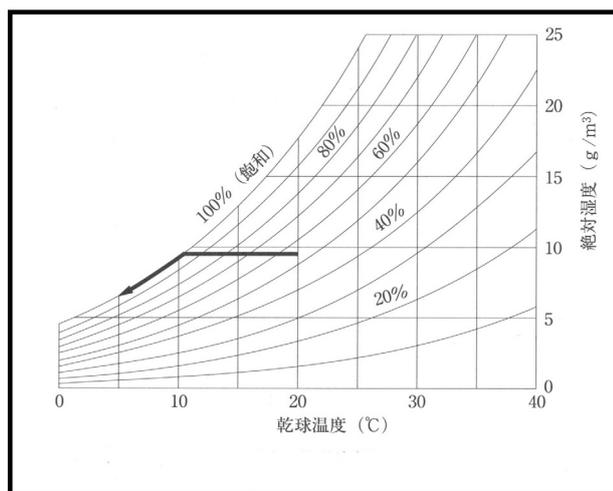


図 13 湿り空気線図

「国文学研究資料館史料館編：アーカイブズの科学」
柏書房 2003 より

書いてありますが、例えば 20℃ですと 17~18g の水を空気中に含むことができます。温度が下がってくると、例えば

10℃ですと、9g ぐらいでもう飽和になってしまうということを表しています。さらに、それぞれの温度、例えば 20℃で 17 の半分の量、例えば 8~9g 含んでいるときは、100%飽和に対して何%水が入っているかということで表したのが相対湿度という単位になります。同じ相対湿度でも温度によって空気中に含まれている水の量は変わりますが、相対湿度を使うと比較的、紙が含む水の量は規定できるので、我々は相対湿度をよく好んで使います。

それで、このグラフがどういうふうありがたいかといいますと、例えば 20℃、55%、最近はもうちょっと低くなっているかもしれませんが、一応理想的な温度と湿度という状況で、温度が低いほうが保存できるということです。例えば 5℃の冷蔵庫にしまっておいた本を出してくるとどういことが起きるかという、5℃の本の周りの空気は冷やされます。冷やされますが、水の量は変わりませんので横軸に平行に落ちてきて 5℃まで行けばいいのですが、ここで 100%飽和になります。あとはこの曲線に沿って落ちてきますので、この絶対湿度の差の分だけ、空気はどこかに水を捨てなければいけません。捨てるのは大体本の表面で、結露として表れるわけです。収蔵庫は寒いほうがいいとお話ししまし

たが、例えば閲覧室を 20℃、55%として、収蔵庫が 5℃ですぐに持ってきてしまうと、本の表面に結露が起きてしまいます。やはりふだん使う本だと、そこまで温度差を上げるのは難しいので、私が申し上げているのは、「通常は、上着 1 枚ぐらい羽織って収蔵庫に行くぐらいの温度差にしたらいかがですか」という言い方をしています。

同じことは、外壁の内側の表面温度がやはり 5℃になってしまうと、そこで結露が起きるわけです。今日は木川先生がいるから言いにくいのですが、東京文化財研究所の人は温度・湿度を案外一般的にはおっしゃらないのです。それは、沖縄から北海道をまわって状況が違うところで、20℃、55%とやると、とんでもないことが起きる場合があるのです。壁の断熱が悪いと、当然壁のところでは結露が起きてトラブルが起きるわけです。それぞれのところに応じて設定値を変えていく必要があるので、一律に幾つがいいとはなかなか言えません。

では、どうしたらいいかというと、一つは、例えば壁に扇風機で風を当てて、壁の表面温度が上がるようにしてやれば、ひょっとしたら結露が起きないかもしれないし、もっといいのは壁の断熱性を上げて 9℃以上になるようにしてやる。建物の改修ということになります。それもできないとなると、例えば 20℃を保ちたいとなれば、少し設定湿度を下げ、壁の表面で結露しないところまで下げてやれば、結露は起きなくなります。ですから、逆にいうと、寒いところのほうが対応は楽です。沖縄などは、このあたりでかなり苦労していました。

それから、このグラフはいろいろ面白いことを教えてくれます。クーラーとか除湿機、最近のいいクーラーはいいのですが、安物のクーラーはどういうことが起きているかというと、例えば表面温度を 5℃にして、そこに室内の空気を取り込んで空気を冷やします。そうすると空気の温度が冷えるのでクーラーとしての役目をしますし、そのときに結露が機械の中で起きて水を絞り出します。部屋の絶対的な水分量は減りますが、出てくる空気は、実は部屋の中に戻ってきます。暖まってくるとトータルとしては乾いていますが、この時点では湿度は 90%以上です。ですから、クーラーや除湿機の目の前に資料を置いておくと、動いている間その前はしけます。夜電気を止めると、水は十分昼間にもらって夜に温度が上がって、木川先生を呼ばなくてはいけないようなものが生えてくるわけです。もちろんちょっと離れたところに置くと、今度は乾きすぎて資料が割れてしまったりいろいろな害が出ますので、やはり気をつけていただきたい。特にクーラー、除湿機で失敗するのは、予算請求して、施設の人の物分りがいいとすごく能力のあるやつを 1 個ドーンと

入れてくれるのです。そうすると、その前に置いたものが全部乾燥で割れて、部屋の奥のほうはだめということで、下手なものを一つ入れるよりは、小さいものを小まめに入れたほうが、全体的にうまくいく場合が多いように感じています。

箱の話は多分木部さんが後でワークショップでお話されると思いますが、国文学研究資料館で、文書箱の中にいろいろ紙の量を変えて入れて、1年間温湿度変化を測りました。酸素も通さないような袋に入れたものとか、いろいろ比較したのです。この文書箱というのは実はかなりすかすかで外の影響が大きいのですが、箱の裏に1枚、調湿紙という湿度を調整してくれるものを入れたら、水を通さない袋に入れたビニールのもとはほとんど同じ結果が得られています。湿度変化というのは、1日ごとの変化と2週間ごとの変化と季節変化です。日本の湿度を1年間平均にしていくと大体70%に近づきますので、カビが生える状況になってしまいます。ニューデリーはたしか1年間を平均すると50~60%で、1年間もつように調湿剤を入れておくと永久に大丈夫なのですが、日本はだいぶ乾いてきたとはいっても、まだだめです。気をつけていただきたいのは、調湿剤は非常に効きます。短期的な変化を抑えてくれますが、永久に水を吸ったり吐いたりするわけではありませので、やはり適度に、乾燥が必要であれば乾燥させる必要があるし、乾きすぎであれば少し加湿してやる必要はあります。2週間程度までの変化を抑えてやれば、季節変化以外の変化はかなり抑えられるということです。

東寺の百合文書が入っていた杉の箱ですが、前田のお殿様が、「この文書は大切であるからこの箱を100箱寄附した」ということが書いてあります。このように箱に入れることも大事ですが、きれい好きな人が少し汚くなったものを整理しないように、中のものが大事であるとアピールをすることも案外大事ななと感じております。

今日は写真関係の人はいないと思いますが、表2をご覧ください。これはマイクロフィルムのJISから取った表ですが、中期保存となぜか永久保存条件と書いてあります。私は、アーカイバル(archival)条件がなぜ永久保存になるのかよく分かりません。一見こうすれば永久に保存できると、JISが言っているようなものなのですが、実はそうではありません。実はマイクロフィルムというのは、

フィルムの保存に適した相対湿度及び温度の条件				
保存条件	相対湿度 %			温度 °C
	最高	相対湿度 %		最高
		セルロースエステル	ポリエステル	
中期保存条件	60	15	30	25*
永久保存条件	40	15	30	21

* 理想的には、温度は長期間にわたって25Nを超えてはならず、20℃より低い温度が望ましい。短期的なピーク温度は32℃を超えてはならない。
備考1. この温度及び湿度の条件は、1日24時間維持しなければならない。
備考2. セルロースエステル及びポリエステルのフィルムを同一の場所で保存する場合、永久保存で推奨される相対湿度は30Nである。

表2 JIS Z6009
銀・ゼラチンマイクロフィルムの
処理及び保存方法

ご存じのようにビネガーシンドロームを起こしたセルロースエステルタイプとポリエステルタイプ、現在はポリエステルタイプにほとんど全部変わっていると思います。非常に面白いのは、この保存性の悪いセルロースエステルの最適保存条件は、湿度が15～40%の範囲で保存しなさいと書いてあります。ところが、保存性がいいポリエステルは、30～40%の間で保存しなさいと書いてありまして、一見、逆になっているのです。

どうしてこういうことが起きるかという、実はマイクロフィルムというのはベースの上に、ゼラチン層に銀が懸濁したものが塗布してあるのです。ゼラチンは、水が来ると伸びたいのです。セルロースエステルはもともとセルロースですので、一緒に伸びてくれるのです。湿度がかなり変わっても一緒に動いてくれるからあまり問題ないのですが、ポリエステルは水に対して非常に安定ですので、水が来ても動きません。でも上の画像が載っている層は動きたいのです。ですから、湿度をかなりきっちりとしてやらないと層間剥離が起きてしまう。ベースは安定だけれども、上の画像が剥落したりするおそれがあるということです。世の中みんなこういうことがあるので、ベースが安定になったから安心ですというのは危ないです。ですから、システムとして本当によくなっているかということを確認しながらいかないと大失敗します。

史料保存プロジェクト(図14)ということで、日常的課題と収納環境の調査ということがあります。それから、史料保存のための調査ということで、脆弱度とかpH値、その他とあります。収納環境はそれぞれのところによって違いますので、自分のところがどういう環境かということやはり調べて、どういうところがしけやすいかということは調べる必要があります。史料保存のための調査で、

脆弱度とpH値というのは、それぞれのところで特徴がおありでしょうけれども、ありがたいことにお金をたくさんかけて調査したデータがあります。例えば最近ですと、公文書館がものすごい勢いで調査をしていますので、文書類は、明治から先のものであれば、基本的には公文書館のデータがそのまま使えるはずで、自分のところが特別いい材料を使っていれば、それだけいいですけども、ほとんど同じだと思いますので、そのデータ

史料保存プロジェクト

- 日常的課題
- 収納環境の調査
 - 温湿度、生物、大気汚染、照明
- 環境調節用機器のメンテナンス
 - 湿度計
 - 基準計測器の整備と他の機器のチェック
- 史料の保存のための調査
 - 脆弱度、pH値、その他

→ 予防的保存(Preventive Conservation)

図14 史料保存プロジェクト

が使えます。

環境調査も公文書館はしっかりお金をかけてやっていますので、そのデータを見て、そこと自分のところは違うのかと。大体、公文書館というのは後ろに高速道路が走っていて、非常に環境が悪いところですので、そこより悪いところはそうそうないと思います。それから、あそこには内閣文庫が燃えた物が入っていますので、けっこう傷んだ物からガスも出てきて、酢酸の濃度が高いとか非常にいい場所ですので、そのデータをぜひごらんになってください。今ホームページで公開していますので、非常にありがたいのです。公開してくれないと、たまたま何とか委員とかでそのデータを見ても、外で使えないのですが、公開していただくと何の遠慮もなく使えます。そういう点では、非常にありがたいところです。私が行ったところは守秘義務があつて、そこで知りえたことは言っただけいけないということですので、表向きには、紀要に書いたことしか使っただけいけないという困ったことがあるのです。木川さんもだいぶいろいろご存じだと思うのですが、守秘義務があつて、なかなかどこが悪いと言えないというところがおありだと思います。

基本的には予防的保存です。木部さんは予防的保存処置ということで、**Preventive Conservation** をかなり狭義で使っていますが、やはり起きてからではなくて、起きないようにするというのが今のやり方ですし、先ほどの木川先生のお話の **IPM** というのは、実はこの予防的保存の中の一部に相当いたします。要するに、目通し・風通しをなさないとというのが結論ということになってしまいます。先ほど木川先生からのお話にもありましたが、正倉院の場合は1年に1回、一応全点チェックということになっています。もちろん、ぼろきれのたぐいまではされていないようですが、全点、毎年1回チェックしているのです。あそこは湿度が少し高めに設定されていますので、当然カビは生えてくることがあります。でも、そのときにはけで取ってしまえば、翌年まで大丈夫であるということです。なかなか皆さんそれが嫌なので、毒ガス作戦でとりあえずやっておけば責任を執らなくて済むということを、ここ数十年やってきたわけですが、もうそれは許されない状況です。やはり適当な間隔で目でチェックする。湿度65%だったら、3年に1回と、たしか木川先生はおっしゃっていたと思いますが、少し湿度が高めだったら、少なくとも3年に1回は掃除とチェックをなさないとということになります。日本はどうしても湿気がたまりやすいので、風を通して、ある程度乾かしてやる必要があるということになります。

何かここまでで質問がございますでしょうか。木川先生への質問でも大丈夫だと思います。少し配付資料の説明をしましょうか。虫関係の情報は木川先生の方に出てくると思

ましたので、基本的に除いてきました。実は木川先生、三浦先生、佐野先生の最近の本（『文化財保存環境学』）はこの資料に入っていないのですが、藝大での講義のノートがつい最近、朝倉書店から出ています。ちょっと本格的ですが最近の本です。資料館のかたでしたら、いちばん下の国文学研究資料館史料館編の『アーカイブズの科学』というのが、災害のことからすべて出ています。私も書いていて今日のお話も入っています。下の『図書館・文書館における環境管理』というのも今日のお話の内容です。そのほかに保存科学として読みやすいのは日経アート編の『美術品を 10 倍長持ちさせる本』で、寝そべりながら読めるし、記者のかたが書いているのでとても読みやすい本です。ただし、専門家が基本的に内容をチェックしていますので表題以外は大丈夫です。表題には、みんなで文句を言いました。「10 倍なんてありえない。2~3 倍だよ」と言ったのですが、やはりこれは「2~3 倍」では売れないので、「10 倍」ということで押し切られました。

あとは、データベースのところですが、本格的にお調べになりたいかたは、英語ですと「AATA Online」というのが、文化財関係のすべての世界じゅうの文献の要旨集になっています。現在もう無料ですので、登録さえすれば自由に見ることができます。それから、行事の予定は、「修復家の集い掲示板」というのがいちばんよく載りますので、ここをチェックされていると、資料保存関係でどういう講演会があるかということは載ります。それから、今日の午後ワークショップをやられる木部さんの「ほぼ日刊資料保存」というのが、これさえ読んでいけば、紙資料の保存に関する主なものは分かるという、非常にありがたいものです。前はアメリカで「Abbey Newsletter」というのがあったのですが、ついにはリタイアされてしまいまして、もう情報が入らなくなったのです。木部さんは大体外国のものも全部調べておられるので、ここをチェックされていると講演会の情報もありますし、終わったあとでどういう内容だったかという報告もありますので、これをごらんになられるといいと思います。

何かご質問がありますでしょうか。

(Q) 25℃、50%と比較したときの紙の有効寿命の表がありまして、例えば 15℃とRH10%にすれば 20 倍になるというのは、これはアレニウス・プロットだけの話であって、後でお話しされた、湿度が下がったときにもろくなるというようなことは、一切加味されていないということでしょうか。

(稲葉) 全くしていません。ただ、意外とそれで書いてある人がいるので、気をつけていただきたいです。それから、特に非常に乾いたところは角質化といって、壁と壁がくっついてしまうこともありますし、実は今日はお見せしていませんが、紙は非常に乾いたところと非常に湿ったところでは、伸び縮みが非常に大きくなります。そのときには相当ストレスがかかりますので、例えば、屏風の場合ですと切れたりするのは、乾きすぎのときに、特に紙としては伸びることができなくて、縮もうとするので裂けてしまう。高湿ではカビの問題はありますが、変形はしても伸びるので、直接的な被害が出ないので、やはりあまり湿度を下げたところ、特に 10%以下はかなり危険だと思っていただきたいということがあります。もう一言いえば、実際に湿度を変えてサイクルで実験した人がいます。物の見事に、室温で湿度を振ってだけで、きれいにセルロースの重合度は落ちてきます。よろしいでしょうか。

(Q) 日本で今まで保存されている文書でいちばん古いものは、何年ぐらい前のものと確定されているのでしょうか。例えば仏教の非常に古い文献が、2,000 年ぐらい前だろうと思うのですが、そういうものは何かお調べになったことがありますか。

(稲葉) はっきり覚えていないのですが、とにかく紙としていちばん残っているのは 2000 年以上。ただし、砂漠のごみためなどの中から出てきた、発掘されたものです。日本の場合はそういう状況では残りません。日本のものでは、年代のはっきりしているいちばん古いものは 702 年の、正倉院にあります美濃とか越前などの戸籍用紙の裏側を使ったものが残っています。それは 702 年というのが入っています。それよりも古いものとして、可能性があるのは、これは本当かどうか分かりませんが、一応聖徳太子がお経の解説をしたという『法華経義疏』というものが残っていますが、これがもし本物であれば、聖徳太子の年代です。日本のものとしては、そのあたりがいちばん古いものといわれています。外国のものとしてはもう少し古いものがあつたと思いますが、はっきりとは覚えておりません。

(Q) インドとか、アジアの国から輸入して買っている新しい本などでも、やはり虫の心配をする必要があるのでしょうか。やはり、買ったときに一度ちゃんと手当てをした方がいいのでしょうか。

(稲葉) 量が少なかったら、脱酸素剤を入れてフィルムに包んで数か月置いておけば、虫は全部死にますので、それがいちばん簡単だと思います。

(木川) 基本的に古いものと、大体虫がついていることが多いです。例えば、今、出版されている新しい書籍ということであれば、問題ない場合もけっこうあるのですが、どういものかにもよりますが、古いものだと、基本的にはついているという前提で処置をしていただいたほうが良いと思います。

(Q) 例えば美術館とか、博物館とか、あるいは専門の独立した機関なら、ある程度お金をつけて、そこでまとめてやれば良いと思うのですが、例えば、大学などだと小さい部署ごとに対策を考えなければいけない場合があります。日本の大学のような機関で、一括して何かシステムティックに対応しているような例はあるのですか。

(木川) 実は大学の例というのは、私もあまり存じ上げていないのです。例えば博物館の例ですと、民俗資料館などの小さなところは、県博が薫蒸するときと一緒に入れてもらうというようなことは、けっこうシステムとしてあります。それから、困ったときには県博に相談して、そこで一緒にやっていただくとか、そういうシステムとしてはありますが、あとは何かご存じですか。

(稲葉) 予算がないとおっしゃっているけれども、大学などで大抵のところは1年ないし2年、あるいは3年に1回、薫蒸されていたはずですが。多くのところは、その分の予算があるはずですが。ありがたいことに業者さんも薫蒸で食っていけなくなったので、IPMのほうで食べることを考えていますので、その予算を使うとかなりできるのかなと。今までの先進的なところは、非常に一生懸命IPMをやったかたがいるところでしか動いていなかったのは、要するに業者さんに委託できなかったということもあったと思うのです。ようやく業者さんも立ち上がり始めてきているので、そういう使い方があるのではないかという言い方を私はふだんしているのですが。

(Q) 木川先生のお話で、細かな努力というかすぐやれるようなことについて参考にな

ったのですが、やはり聞いていながら、けっこう大規模なことも考えなければいけないと思いました。今日ここにいらっしゃる方は大学の図書関係の方も多いと思うのですが、いいサンプルがあればお伺いできればと思ったのです。何かあれば、そのうち教えていただけるとありがたいと思います。

(木川) そういうものを、逆に東京大学で作っていただければという気もいたします。

(Q) 努力いたします。