

天然素材の湿度調節剤への応用

神 庭 信 幸

-
1. はじめに
 2. 基本的な理論
 3. 実 験
 4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション
 5. 結 論
-

1. はじめに

相対湿度の安定が文化遺物の保存に大きく寄与することは、現在広く受け入れられている事実である。この観点に立ち、博物館や美術館の展示用ケース、あるいはシリカゲルやニッカペレットと言った調湿剤について、多数の研究が行なわれて来た。保存科学者や学芸員など保存関係者の関心は、相対湿度の変動を抑えるために必要な調湿剤の量と、それを最も有効に利用するための方法とに集中している。これらの点は、今後とも更に理論的、实际的に研究されなければならない。

ところが、開発途上国を訪れるイクロム (ICCROM)⁽¹⁾ の研究者たちは、工業製品として市販される調湿剤がその地では依然として入手しがたい物であり、かつ不十分な予算では購入そのものが不可能であるという実感を強く抱く。こうした状況下で、全く意味のない極少量のシリカゲルが一年中展示ケースの中に放置される結果となっている。従って、シリカゲルなどの工業製品の代用となる素材を、我々の身近に存在する様々な自然物や農産物の中から見付け出すことは、これらの国々の博物館や美術館における保存環境を整備するために意味のあることであり、早急に着手しなければならない問題である。有効な使用量に至らないシリカゲルを利用するよりも、十分な量の天然物を利用の方が好ましいはずである。天然素材の中から調湿剤に適した材料

(1) イクロム (ICCROM) とは文化財保存修復国際センターの略称であり、本部はローマにある。ユネスコの下部機関に当たり、保存修復関係者のトレーニングあるいは開発途上国への機材や人的援助、その他、文献や書籍の収集をその主な役割として活動している。

2. 基本的な理論

を探し出す研究は、イクロムによって主張され続けて来たテーマであり、著者自身もこの観点に賛成するものである。しかし、天然素材の内、特に有機物を不用意に扱うならば容易に害虫の侵入を受け、ひいては文化遺物の生物的劣化を招く原因となるので、実際の使用には十分な配慮が必要であることは言うまでもない。

本研究は、この問題を追及するための基礎的な実験手法を確立することを目差し、実験的作業と理論的作業とによって進める。実験的作業とは、更に三つの部分から成り立つ。第一は素材の平衡水分量 (EMC) と比吸放湿量 (SMR) の測定、第二は水分拡散速度の測定、第三は実験に供した幾つかの素材を実験用の展示ケースに応用し、その測定結果から素材の比吸放湿量 (SMR) の演繹である。理論的作業では、実験によって得た数値を用い、電算機によるケース内の湿度変動に関する初歩的なシミュレーションを行なう。

2. 基本的な理論

多くの物質は、その物質を取り囲む空気中から水分を吸収したり、あるいは放出したりする性質がある。温度と湿度が一定に保たれた環境下に置いた物質が平衡状態に達したとき、物質に含まれる水分の量を平衡水分量 (EMC) と呼ぶ。平衡水分量は温度と湿度の両方に依存し、一般的には、温度上昇と共に減少し、湿度上昇と共に上昇する。平衡水分量は、ある一定の温度環境下で測定されるために恒湿曲線とも呼ばれる。

比吸放湿量 (SMR) は平衡水分量曲線から計算する。それは、相対湿度 1% の変化に対して、1 kg の物質が吸放出する水分量をグラム数で表したものに等しい。比吸放湿量が高い方が湿度を調節する能力、つまり調湿能力が大きいことになる。ある相対湿度における比吸放湿量はその点における平衡水分量曲線の傾きを示すものである。

吸湿過程と放湿過程とにおける平衡水分量の値は異なる。前者は後者よりもやや低い値を持つ。この現象はヒステリシスと呼ばれ、両者が異なる値を持つ領域をヒステリシス・ループ⁽²⁾と呼ぶ。このヒステリシス・ループ内においては、比吸放湿量は吸湿過程と放湿過程とで異なる。ヒステリシスは、吸湿過程の方が放湿過程よりも時間がかかるために生じるのではなく、両方の過程において水分活性を示す分子の数が異なる。

(2) WEINTRAUB, S., 'Studies on the behavior of RH within an exhibition case. Part I: Measuring the effectiveness of sorbents for use in an enclosed showcase', ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 1981, 81/18/4

るために生じるのである。⁽³⁾

物質が水分を吸収放出する速さ、つまり反応速度にも注目する必要がある。展示ケース内の相対湿度が変化したとき、内部の物質は水分の放出あるいは吸収を始める。その結果として、ケース内の湿度は変化の起こる前の状態に近づくことになる。⁽⁴⁾三浦は、各種の調湿剤を用いてアクリルケース内の相対湿度が初期の湿度に近づくのに要する時間を測定することによって調湿剤の反応速度を論じている。反応速度はまた、物質内における水分の拡散速度を測定しても求めることができる。拡散速度に対して⁽⁵⁾ストローが与えた式は次のような形である：

$$\frac{Q_t}{Q_\infty} = \frac{cD\sqrt{t}}{\ell} \quad (1)$$

ここで、 Q_t は時間 t における水分量、 Q_∞ は平衡状態に達した時点における水分量、 ℓ は被測定素材の厚さ、 D は拡散係数、 c は定数である。平衡に達するまでに要する時間は、最初の湿度と平衡湿度との差の大きさによって変化する。一般的に、吸湿過程における反応速度は、放湿過程における反応速度よりも遅い。この実験の目的を考えるならば、30% RHと70% RHの間における反応速度を求めることが重要である。各素材の拡散速度を比較することにより、相対湿度の変化に対する反応速度を比較することができる。

トムソンは、⁽⁶⁾展示ケース内における相対湿度変化を自然崩壊の現象として捉え、湿度半減期を導入することにより湿度変化の様子を説明することに成功した。ケース内相対湿度の自然崩壊を表す方程式は：

$$\frac{C - R}{C_0 - R} = \text{EXP}(-kt) \quad (2)$$

ここで、 C は時間 t におけるケース内相対湿度、 C_0 は初期のケース内の相対湿度、 R はケースを囲む環境の相対湿度、 k は減衰係数と呼ばれ、この場合ケースの空気漏れ率に相当する。 t は時間。ケースの湿度半減期とは、ケースの初期相対湿度と周りの相対湿度との中間点にケース内湿度が達するのに必要な時間である。半減期 $t_{\frac{1}{2}}$ において：

(3) URQUHART, A., 'Sorption isotherms', in: Moisture in Textiles, The textile insutitute, Butterworths, London, 1960

(4) MIURA, S., 'Studies on the behavior of RH within an exhibition case. Part II: The statistic and dynamic characteristics of sorbents to control the RH of a showcase', ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 1981, 81/18/5

(5) STLOW, N., 'Controlled Environment for Works of Art in Transit', Butterworths, London, 1966

(6) THOMSON, G., 'Stabilization of RH in exhibition cases: Hygrometric half-time', Studies in Conservation, 22 (1977), 85-102

2. 基本的な理論

$$\frac{C-R}{C_0-R} = \frac{1}{2} \quad (3)$$

つまり、

$$\text{EXP}(-kt_{\frac{1}{2}}) = \frac{1}{2} \quad (4)$$

従って、

$$t_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{k} \quad (5)$$

湿度半減期はケース内に存在する物質によって変化する。それらの物質とは、つまり調湿剤あるいは展示物である。更に半減期はケースからの空気の漏れる割合によっても変る。ケースの空気漏れ率は、単位時間内に行なわれる空気の交換回数を測定することによって知ることができる。この数値はケースにある隙間や亀裂を塞ぐことにより小さくなり、従って湿度半減期は大きくなる。また調湿剤をケースに加えることによっても半減期を大きくすることが可能である。調湿剤と湿度半減期との関係は次のように表す：

$$k^* = \frac{k W_T}{W_T + MB} \quad (6)$$

$$t_{\frac{1}{2}}^* = \frac{0.693}{k^*} \quad (7)$$

ここで、 k は調湿剤を加える前のケースの空気漏れ率。 W_T は温度 T において相対湿度が1%だけ変化するとき、 1 m^3 中の空気に含まれる水分の増減量をグラムで表したものである。例えば、 20°C における飽和水蒸気量は 17.30 g/m^3 であるので、相対湿度1%の変化につき 0.173 g の水分が空气中を移動することになる。 M は調湿剤のSMR値 ($\text{g/kg}\% \text{RH}$)、 B は 1 m^3 当たりの調湿剤の乾燥重量 (kg)、 k^* と $t_{\frac{1}{2}}^*$ はそれぞれ新しい空気漏れ率と湿度半減期である。

自然界に存在する相対湿度変動には二種類がある。一つは日変動であり、もう一つは年変動である。日変動では、夜明け前に最高湿度を記録し、正午近くで最低になり、この変動が毎日繰り返される。一方年変動では、月平均湿度は夏季あるいは雨季に最大になり、冬季あるいは乾季に最低となる。日変動では湿度変動の一周期が24時間であり、年変動では365日である。博物館内に空調設備がない場合には、館内の相対湿度は屋外の湿度変動によって大きく影響を受ける。その結果、展示ケース内の相対湿度も館内湿度の変動に伴って変化することになる。ケース内湿度に生じる変動を減少させかつ遅らせるために、トムソンはケースの湿度半減期を年変動の半周期⁽⁶⁾、つまり半年に延長することを提案している。この簡単で有効な基準は、日変動に

対しても適用できる。展示ケースの湿度半減期が日変動の半周期、つまり12時間に延長されるならば、湿度変化をかなりなまでに小さくすることができるであろう。

3. 実験

3.1 測定した素材

どのような素材が調湿剤として高い能力を供えているかを考える場合、日常生活の中で語り伝えられた生活の知恵、あるいは実際に行なわれている習慣の中から多くのヒントを見付け出すことができるだろう。例えば、米粒はしばしば食卓塩を乾燥させるために塩の中に加えられる。かつては、大豆を入れて米櫃を乾燥させる習慣や、木炭を家屋の床下に敷き広げることがあった。これらはすべて、水分の移動と何等かの係わりがあると考えることができる。

この実験では、次のような素材について試験を行なった。

- 1) 米
- 2) 小麦
- 3) 荒挽きの小麦（粒子の大きさは0.5mm）
- 4) 小麦粉
- 5) 大豆
- 6) 榎殻
- 7) 蕎麦殻
- 8) 麦藁
- 9) ブラックウッド・アフリカン（学名：Dalbergia melanoxylon）
- 10) スギ（木クツ）（学名：Picea abies）
- 11) 木炭
- 12) 兎膠（直径3mmの粒状）
- 13) 亜麻布（学名：Linum usitalissimum）
- 14) 子牛のなめし皮（2mm厚）
- 15) カゼイン（粒子の大きさ0.1mm）
- 16) カルボキシ・メチルセルローズ（粒子の大きさ0.1mm）
- 17) Dydrgil（これは商品名で、組成はある種の粘土鉱物を主体にしたフランス製の調湿剤、直径1mmの粒状）

3. 実験

18) シリカゲルRD (直径3mmの粒状)

3.2.1 平衡水分量 (EMC) の測定

各素材の平衡水分量を測定するために、7種類の相対湿度環境を真空デシケーターの中に作った。安定した一定の相対湿度は塩類の飽和水溶液によって作り出した。相対湿度と用いた塩類は表1に与えてある。各素材の乾燥重量は、五酸化燐を入れた真空デシケーターの中に一定重量が得られるまで入れておく。一定重量に達するには少なくとも10日間が必要であった。乾燥重量が得られたならば、20%RH から順に80%RH までの環境に置いて、それぞれの環境下での平衡水分量を測定する。80%RH の環境に到達したら、今度は逆に20%RH まで湿度を下げながら測定する。測定の様子

表 1 塩類の飽和水溶液と共存して平衡にある気体の相対湿度⁽⁷⁾

TABLE 1. Relative humidity versus temperature for saturated chemical solutions⁽⁷⁾

Temperature (°C)	CH ₃ COOK	MgCl ₂ ·6H ₂ O	K ₂ CO ₃ ·2H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	NH ₄ NO ₃	NaCl	KCl
15	24	33	43	56	68	75	86
20	23	33	43	55	65	75	85
25	22	33	43	53	62	75	85
30	22	32	43	52	59	75	84

%

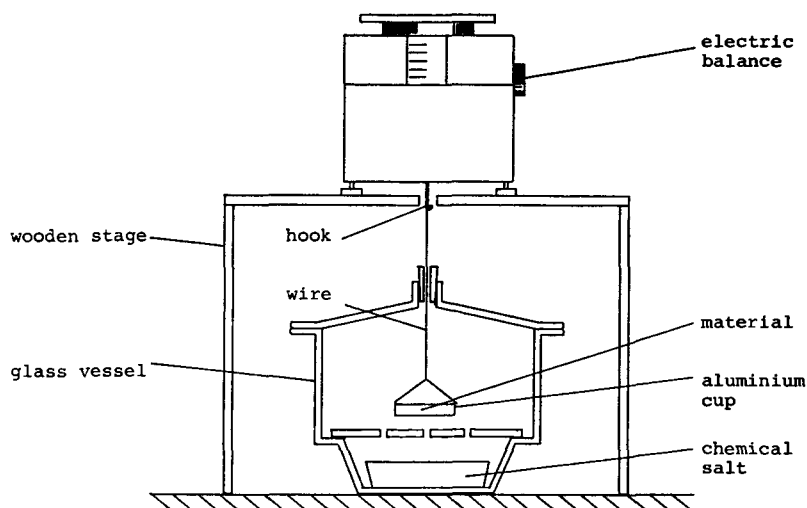


図 1 平衡水分量と水分拡散速度の測定に使用した器具の模式図

(7) 高分子学会編, '材料と水分ハンドブック', 共立出版, 東京, 1968

を図1に与えておいた。それぞれの環境下に素材は48時間放置され、その後重量が測定される。実験中の温度変化は±2°Cであった。

3.2.2 議論と考察

図2は実験結果である。比吸放湿量は各湿度毎に計算した値が与えてある。記号の付かない数字は吸湿過程における比吸放湿量で、-記号の付いたものは放湿過程のものである。これらをまとめたものが表2である。表からほとんどの天然素材は30%RHから70%RHの間でSMRが1の範囲に入ることが分かる。その中で麦藁が最も大き

表2 比吸放湿量による素材の分類

TABLE 2. Classification of the material according to its SMR value.

	RH < 30%	30% < RH < 70%
米 rice seed	+++	++
小麦 wheat seed	+	++
大豆 soy bean	++	++
粳殼 rice capsules	++	++
蕎麥殼 buckwheat capsules	++	++
麦藁 wheat straw	++	++
ブラックウッド・アフリカン Blackwood African	+	+
スギ(木クソ) Spruce	++	++
木炭 charcoal	+	+
兔膠 rabbit glue	++	++
亜麻布 flax fabric	+	++
子牛のなめし皮 calfskin leather	++	++
カゼイン casein	++	++
カルボキシシルキ・メチル・セルローズ carboxy methyl cellulose	+++	++++
Dydrargil	++++	++
シリカゲルRD Silica gel RD	++++	++

+ : SMR < 1, ++ : 1 ≤ SMR < 2, +++ : 2 ≤ SMR < 3, ++++ : 3 < SMR

(SMR below 30% RH is on absorption process and SMR between 30% and 70% RH is on both absorption and desorption process)

3. 実験

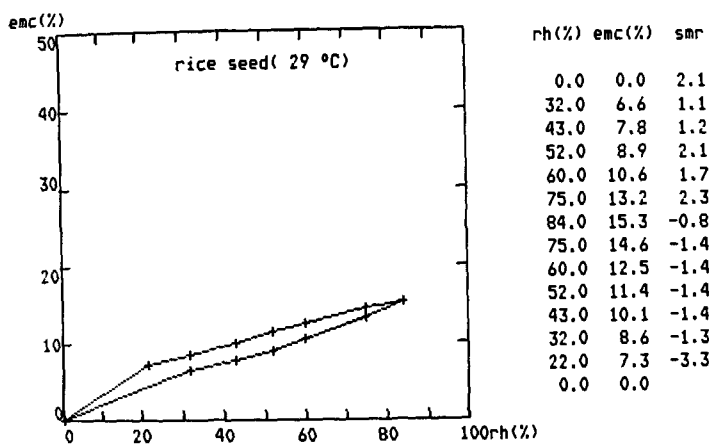


図 2a 米

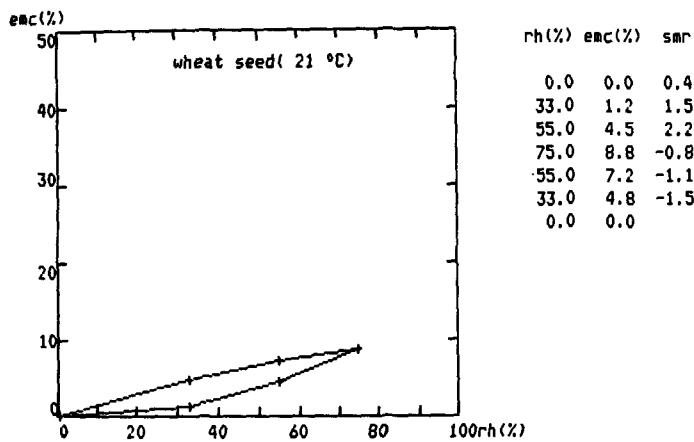


図 2b 小麦

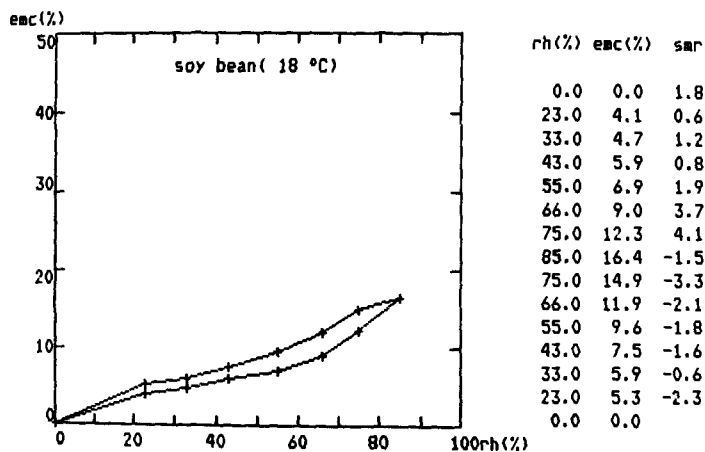


図 2c 大豆

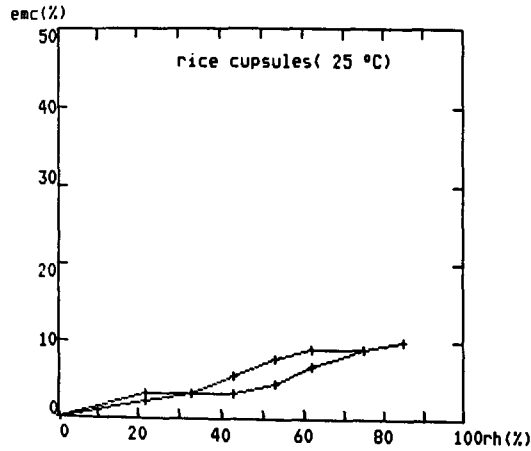


図 2d 粳穀

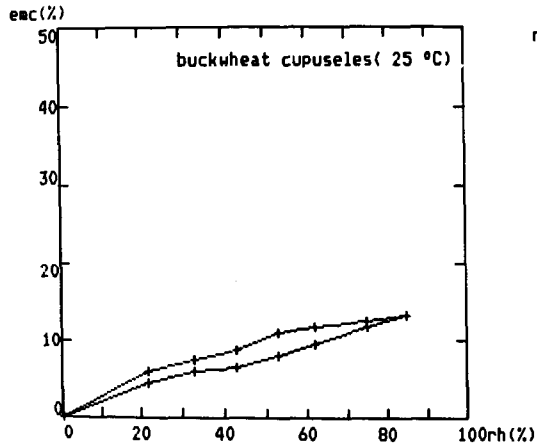


図 2e 蕎穀

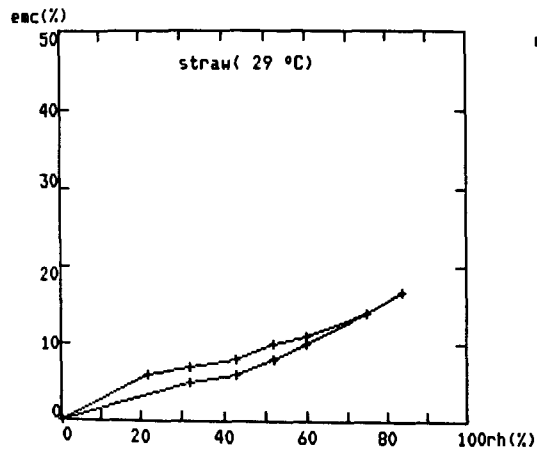


図 2f 麦藁

3. 実験

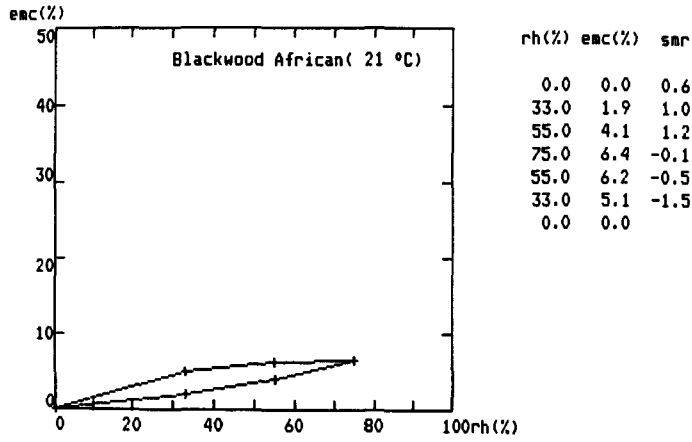


図 2g ブラックウッド・アフリカン

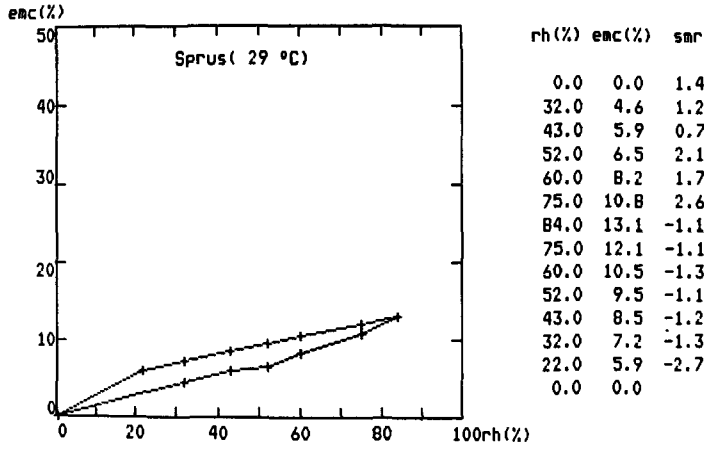


図 2h スギ(木クソ)

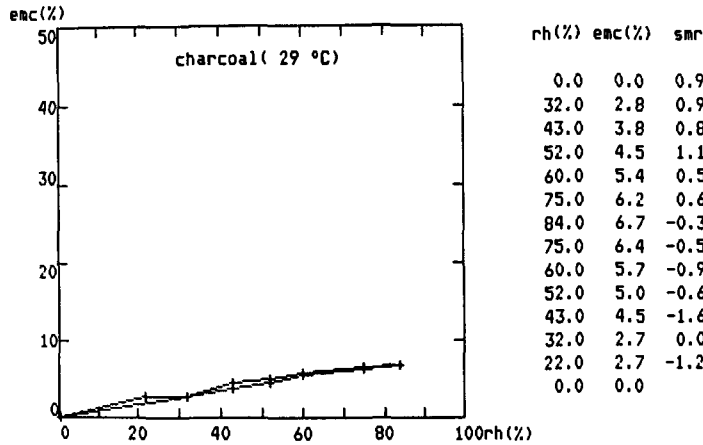
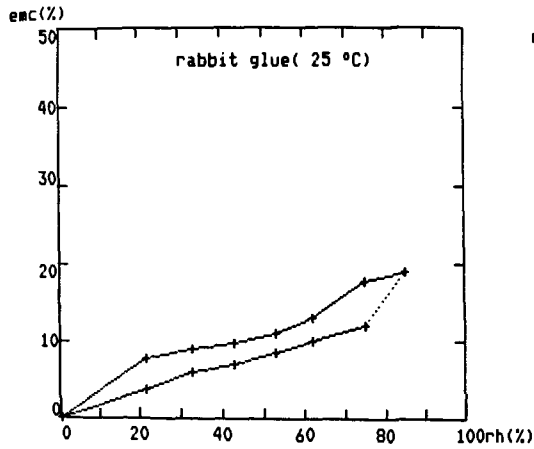
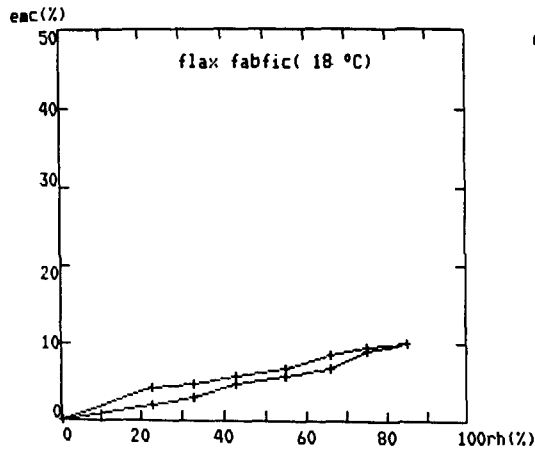


図 2i 木炭



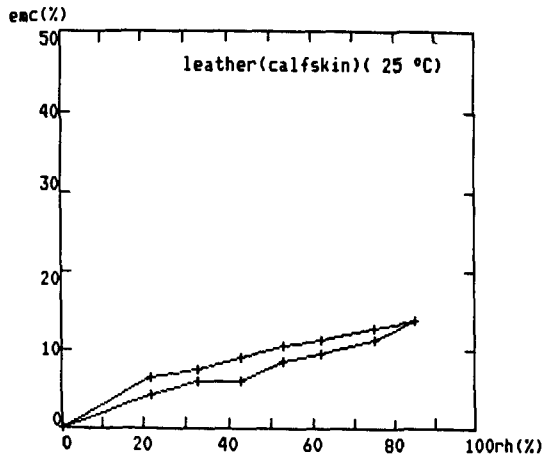
rh(%)	emc(%)	sar
0.0	0.0	1.7
22.0	3.8	2.1
33.0	6.1	0.9
43.0	7.0	1.4
53.0	8.4	1.8
62.0	10.0	1.6
75.0	12.1	6.8
85.0	18.9	-1.1
75.0	17.8	-3.6
62.0	13.1	-2.3
53.0	11.0	-1.2
43.0	9.8	-0.9
33.0	8.9	-1.1
22.0	7.7	-3.5
0.0	0.0	

図 2 j 兔膠



rh(%)	emc(%)	sar
0.0	0.0	0.9
23.0	2.1	1.0
33.0	3.1	1.6
43.0	4.7	0.9
55.0	5.8	0.9
66.0	6.8	2.3
75.0	8.9	1.0
85.0	9.9	-0.5
75.0	9.4	-1.1
66.0	8.4	-1.5
55.0	6.8	-0.8
43.0	5.8	-1.1
33.0	4.7	-0.5
23.0	4.2	-1.8
0.0	0.0	

図 2 k 亜麻布



rh(%)	emc(%)	sar
0.0	0.0	1.9
22.0	4.2	1.7
33.0	6.1	0.0
43.0	6.1	2.4
53.0	8.5	1.0
62.0	9.4	1.5
75.0	11.3	2.4
85.0	13.7	-1.0
75.0	12.7	-1.1
62.0	11.3	-1.0
53.0	10.4	-1.4
43.0	9.0	-1.5
33.0	7.5	-0.8
22.0	6.6	-3.0
0.0	0.0	

図 2 l 子牛のなめし皮

3. 実験

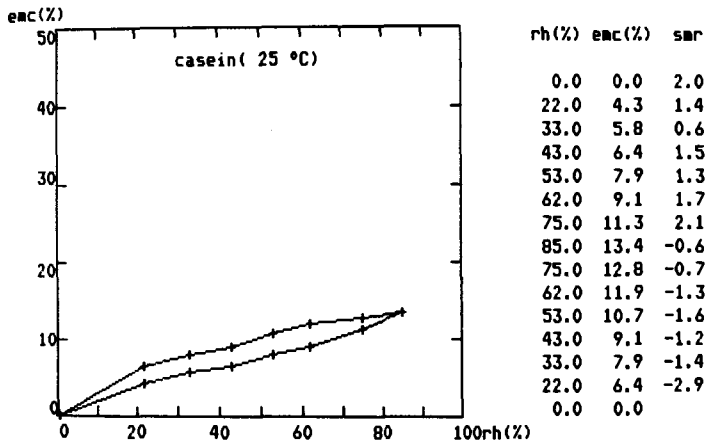


図 2m カゼイン

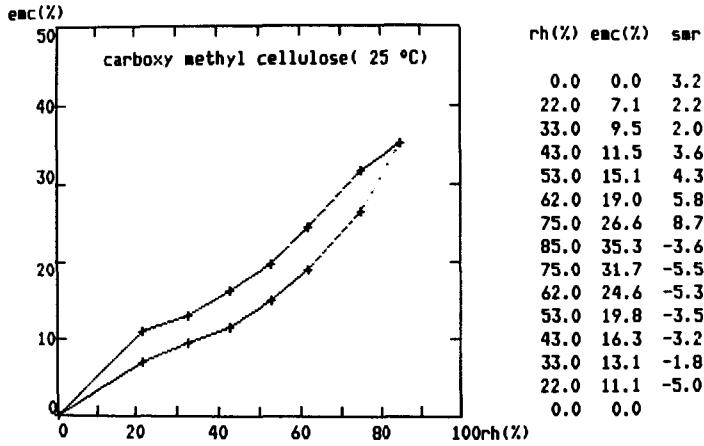


図 2n カルボキシ・メチル・セルローズ

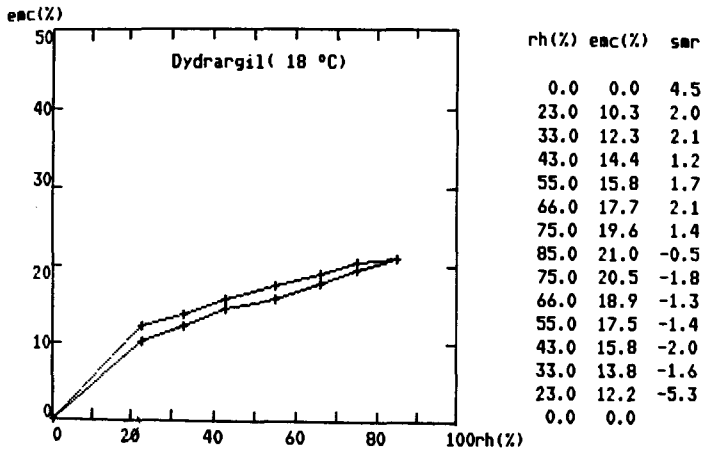


図 2o Dydrargil

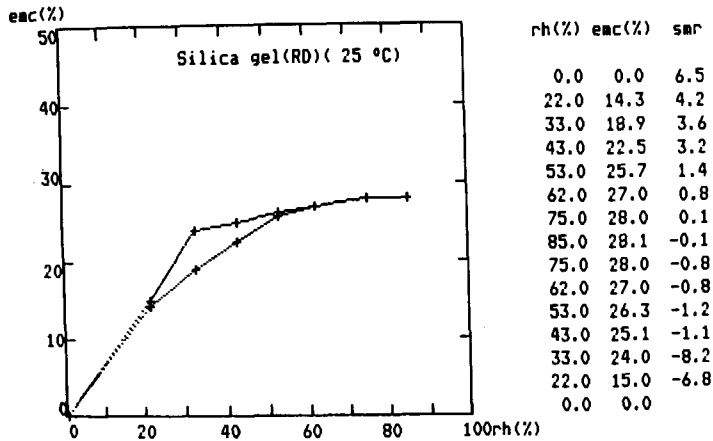


図 2 P シリカゲルRD

な数値を示した。またカルボキシ・メチル・セルローズは非常に高い値を示している。この素材は紙の接着剤として使用されることがあるので、修復家にとっては興味ある現象であるだろう。また木炭の吸放湿量は大変に小さいことが分かった。従って、床下に木炭を敷く理由は木材への水分の上昇を防ぐための防湿層を作るためだと考えられる。表 2 には更に 30%RH 以下における各素材の SMR 値が与えてある。シリカゲル RD と Dydargil の値は低湿度での方が大きく、従って吸湿剤として利用される理由がここにある訳である。米も他の素材に比べて低湿でより水分を吸収するようである。

3.3.1 水分拡散速度の測定

MgCl₂6H₂O によって作った約 30%RH の環境下で、平衡に達するまで放置された素材を、NaCl によって作り出した約 70%RH の環境に迅速に移動する。移動した素材の重量変化を一定値が得られるまで測定する。平衡に達して一定値が得られたならば、今度は 30%RH の環境に移し同様にして重量変化を測定する。素材の厚みの差による拡散速度への影響を取り除くために、直径 5 cm、深さ 1 cm のアルミ製の容器内に 3 mm 厚あるいは素材 1 粒の厚さに広げた。拡散速度への粒子の大きさの影響を観察するために小麦、荒挽き小麦、小麦粉を用意し、実験に供した。

3.3.2 議論と考察

図 3 は拡散速度の測定結果である。30%RH から 70%RH あるいはその逆の湿度変化によって移動する水分量が、全体の 50%と 90%に達するまでに要した時間が表 3 に

3. 実験

与えてある。吸湿に要する時間が放湿に要した時間よりも大きくなる例が幾つか存在し、これは特にブラックウッド・アフリカンにおいて著しい。恐らくこの現象は、実際にはまだ平衡に達していない時点で平衡とみなして観察を打ち切ったためと考えられる。調湿剤としての能力を評価するためには水分が90%移動するまでに要した時間よりも、50%の方に注目する必要がある。吸湿過程において、米、小麦、荒挽き小麦、大豆、ブラックウッド・アフリカン、兎膠、カルボキシ・メチル・セルロース、

表 3 平衡水分量の50%と90%の含水量に到達するまでに要する時間

TABLE 3. Time taken to reach 50% and 90% completion of the EMC.

	吸湿 absorption		放湿 desorption	
	50%	90%	50%	90%
米 rice seed	5.5	9.5	4	9
小麦 wheat seed	5	8.5	5.5	13
荒挽きの小麦 ground wheat	3	6	5	11.5
小麦粉 wheat flour	2.5	6	3	8
大豆 soy bean	6	13	5	10
粳殼 rice capsules	2	5	4	10
蕎麥殼 buckwheat capsules	2.5	6	3	17
麥藁 wheat straw	2	6	1	1.5
ブラックウッド・アフリカン Blackwood African	11.5	20	4	14
スギ (木クソ) Spruce	1	3.5	1.5	8
木炭 charcoal	0.5	3	1.5	2
兎膠 rabbit glue	7	14	4.5	10
亜麻布 flax fabric	2	5.5	4	12
子牛のなめし皮 calfskin leather	1.5	3.5	1.5	8
カゼイン casein	2	5	3	7
カルボキシ・メチル・セルロース carboxy methyl cellulose	4.5	7	3	5
Dydrargil	4	9	4.5	9.5
シリカゲルRD Silica gel RD	2.5	4.5	5	14.5

Figures are given by square of hours.

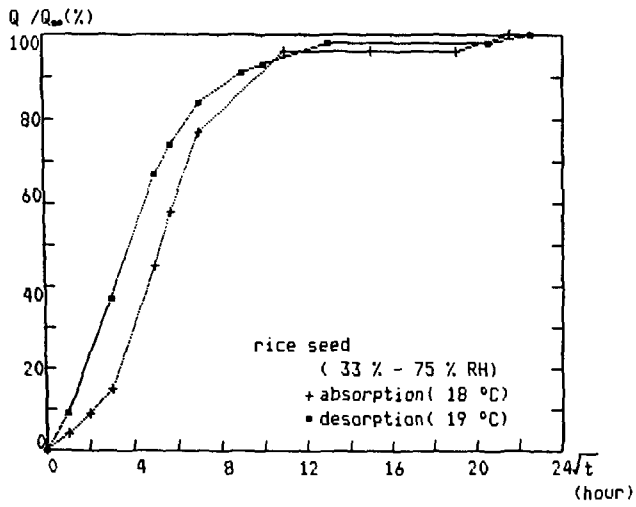


図 3 a 米

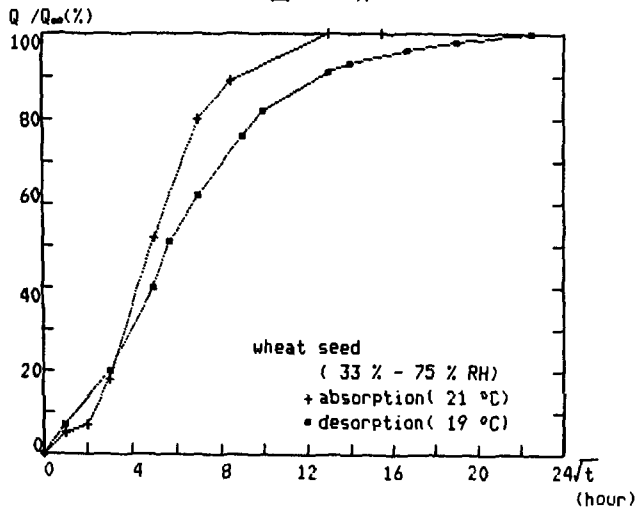


図 3 b 小麦

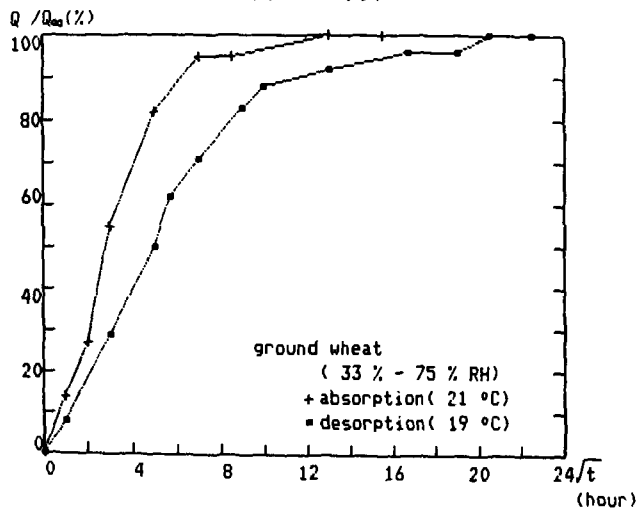


図 3 c 荒挽ぎの小麦

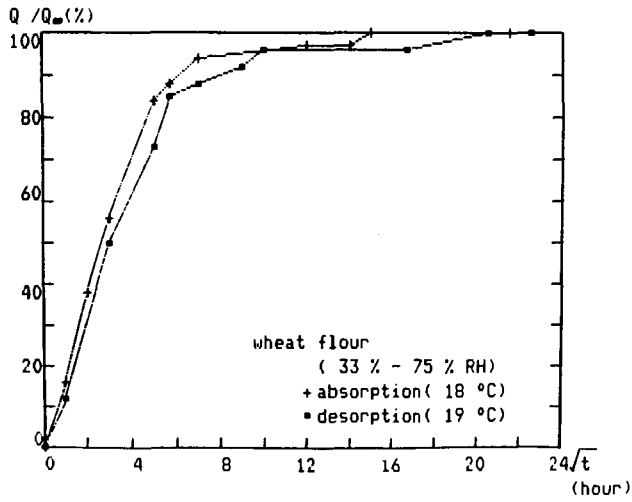


图 3d 小麦粉

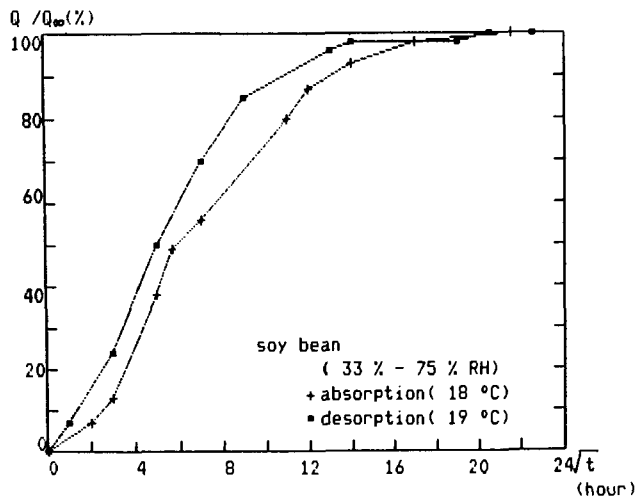


图 3e 大豆

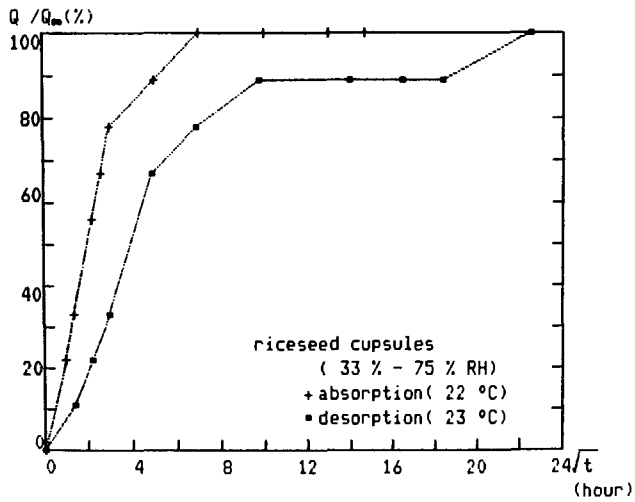


图 3f 粳穀

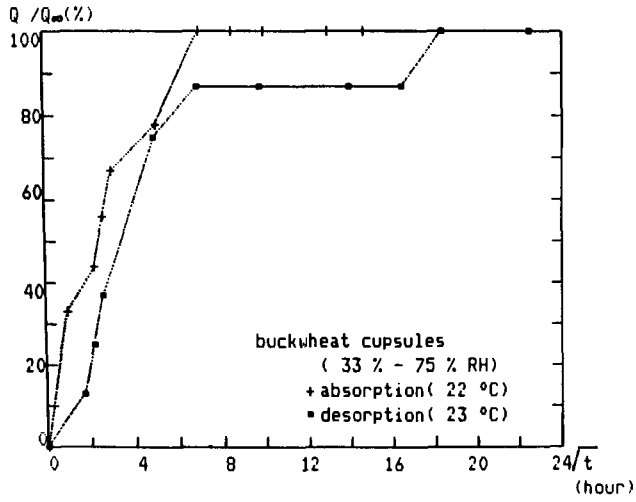


図 3g 蕎麦殻

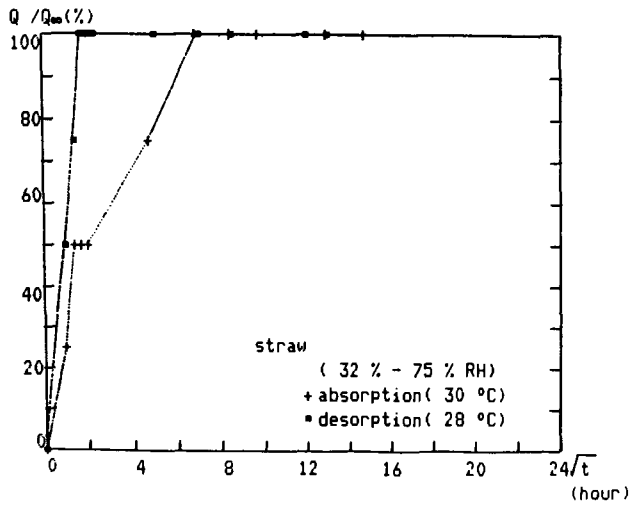


図 3h 麦藁

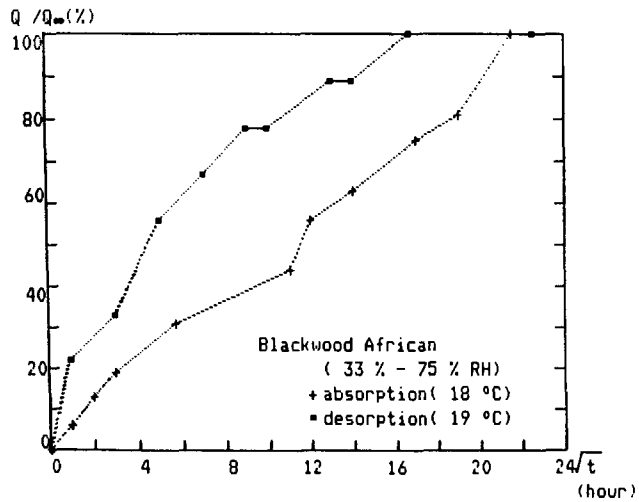


図 3i ブラックウッド・アフリカン

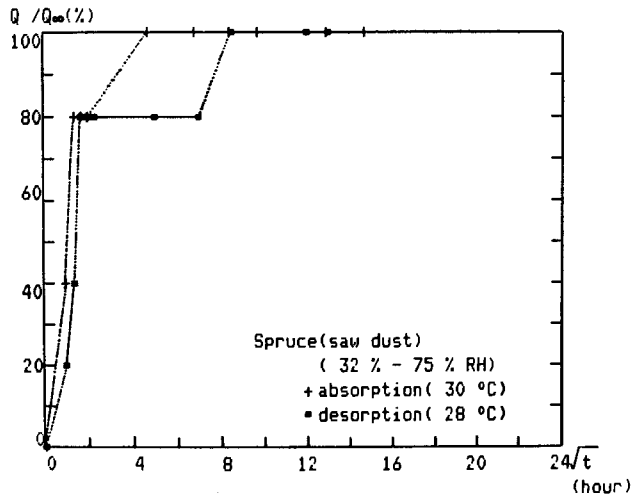


図 3j スギ (木クソ)

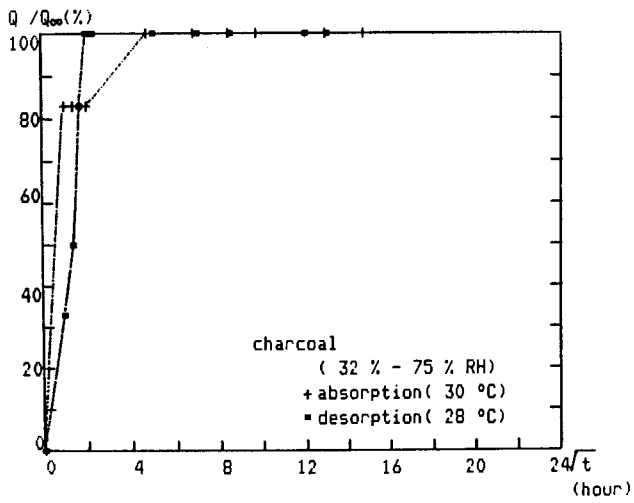


図 3k 木炭

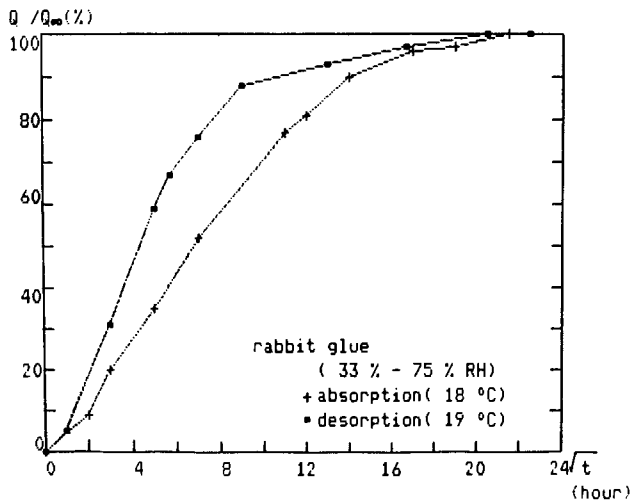


図 3l 兔膠

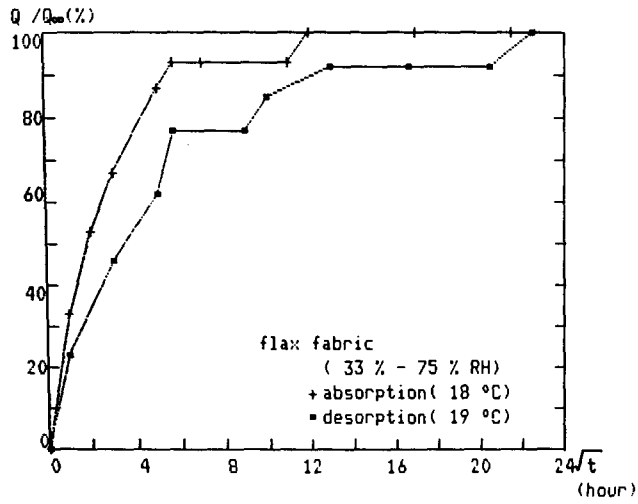


図 3m 亜麻布

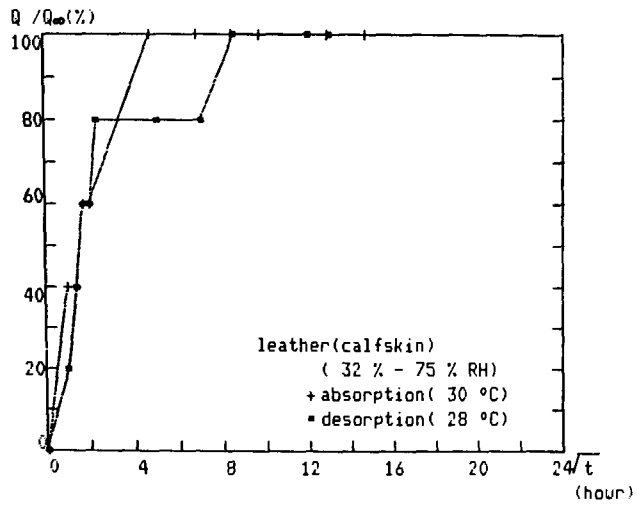


図 3n 子牛のなめし皮

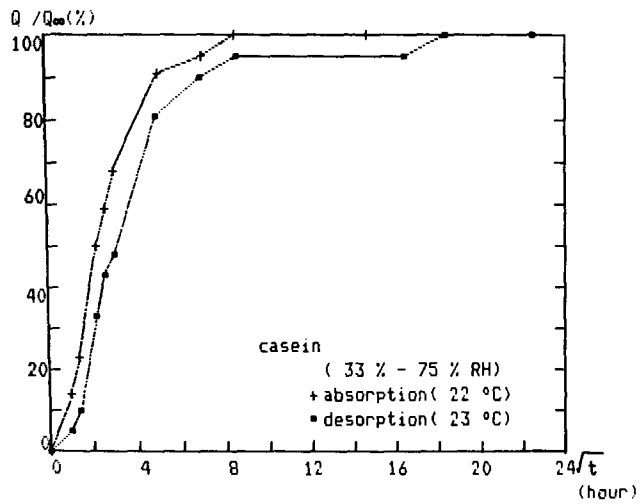


図 3o カゼイン

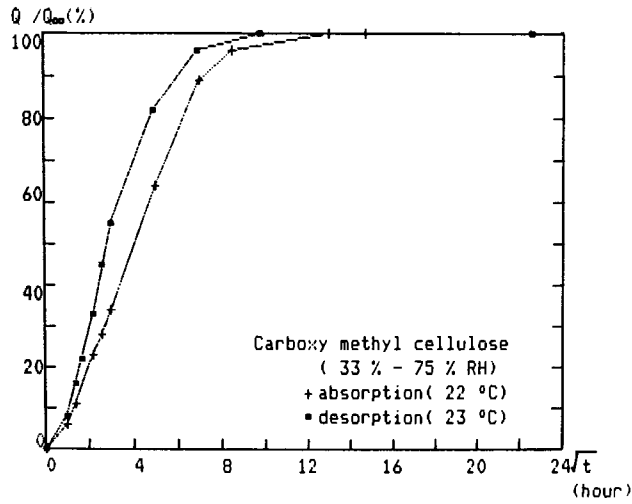


図 3p カルボキシ・メチル・セルローズ

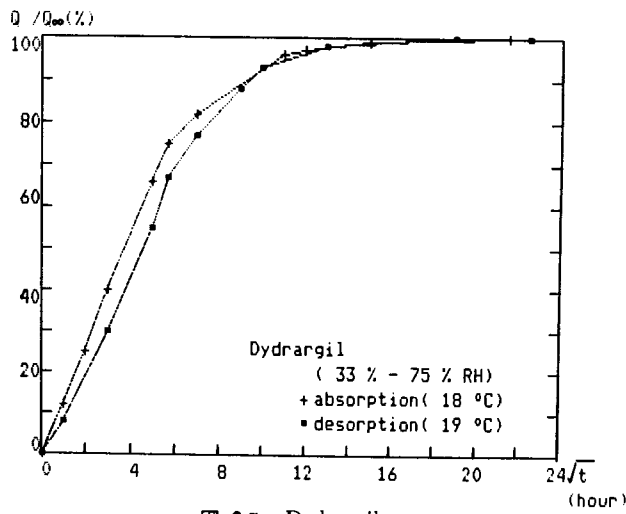


図 3q Dydrargil

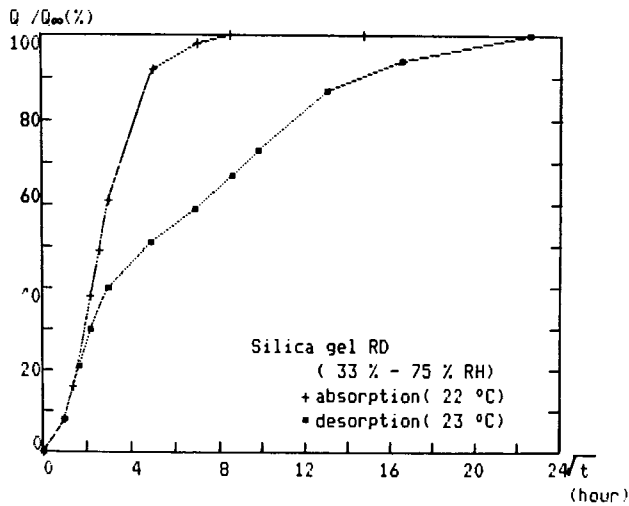


図 3r シリカゲルRD

Dydrargil 等の反応速度はシリカゲル RD よりも大きく、他の素材はシリカゲル RD とほとんど変わらない。一方放湿過程では、ほとんどすべての素材がシリカゲル RD よりも優れていた。つまり、農産物等の天然素材の反応速度は決してシリカゲル RD に劣ってはならず、穀殻、蕎麦殻、麦藁等はむしろ優れているとさえ言える。粒子の大きさの違いによる反応速度の差異は、小麦、荒挽き小麦、小麦粉の結果から、粒子が小さい方がより湿度変化に対する反応が早いことが示された。

3.4.1 比吸放湿量 (SMR) の評価

相対湿度の指数関数的変化の測定から、逆に比吸放湿量を求めるために、実験用の展示ケースを2台用意した。湿度変化に対する影響を最小限に抑えるために、ケースは金属とガラスだけを用いたものを使用した。展示空間と調湿剤収納空間を合わせた体積は 0.25m^3 である (図4)。展示空間の床面と同じ面積を持つ調湿剤の収納トレーは、展示室の直下に入れるようになっている。調湿剤収納空間と展示空間とを仕切る床には、両者で空気の流通が容易に行なわれるように直径5mmの穴が多数開いたアルミシートを使用した。そして、この2台の展示ケースは、ポリエチレン・ビニール・シートで覆われた湿度チェンバーに設置した。湿度測定のために展示ケース、湿度チェンバーのそれぞれには毛髪温湿度自記記録計を設置した。

調湿剤あるいは展示物が入れてない展示ケースの空気漏れ率の測定は次のようにして行なった。最初に予め脱湿しておいたシリカゲルを利用してケース内湿度を40%RHまで下げ、それからシリカゲルを取り除いてケースを閉じる。次に湿度チェンバーの湿度を約70%RH近くまで上昇させ、ケース内湿度が70%RH近くで平衡に達するまで測定を続ける。湿度チェンバーの湿度を上昇させるために当初電動式ファンの付いた加湿器を使用した。ファンによって作り出される弱い空気の流れが展示ケースの空気漏れ率に大きな影響を与えることが分かったため、チェンバー内の湿度は底浅の大きなバットに水を入れ、自然蒸発による方法を採用した。

調湿剤を収納した場合も、上記と同じ方法に従って測定する。調湿剤としてケースに入れられる素材は、2、3週間30%RHの環境下に置いて順化させておく。乾燥重量で1kgの調湿剤をトレーに入れてケースを閉じた後、チェンバー内の湿度を70%RHに上げる。1kgの調湿剤は、このケースの場合には $4\text{kg}/\text{m}^3$ に相当する。測定に使用された素材は米、小麦、大豆、籐、Dydrargil、シリカゲルRDである。

3. 実験

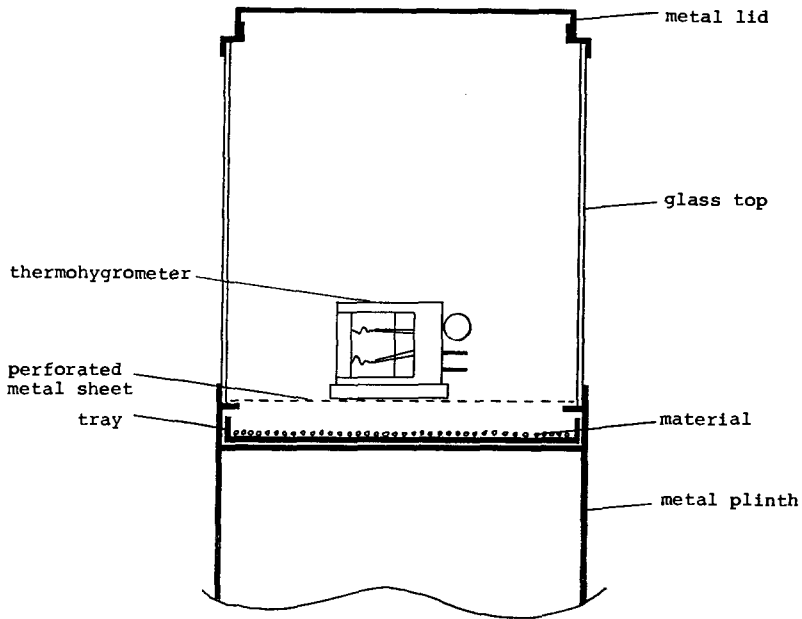


図 4 実験に用いた展示ケースの模式図

ケースの空気漏れ率は方程式(2)から求めることができる。(2)から：

$$\log_e \frac{|C-R|}{|C_0-R|} = -kt \quad (8)$$

従って、

$$\log_e |C-R| = -kt + \log_e |C_0-R| \quad (9)$$

(9)は $\log_e |C-R|$ が k を比例係数として時間 t に比例することを示している。従って、時間 t に対して $\log_e |C-R|$ を座標上でプロットして行けば、その直線の傾き、つまり k を求めることができる訳である。比吸放湿量は方程式(6)と k 、 k^* を用いて求めることができる。

つまり：

$$M = \frac{W_T}{B} \left(\frac{k}{k^*} - 1 \right) \quad (10)$$

上述の計算は図5の中に示してあり、表4に実験結果をまとめておいた。実験よりケース no. 1 の空気漏れ率は 0.38/day, ケース no. 2 は 0.35/day であった。これは約3日毎にケース内の全空気が交換することを意味する。各素材に対して行なった実験では、比吸放湿量は平衡水分量から求めた値よりかなり小さな値を示した。この過小評価に対して考えられる第一の理由は、記録計が置いてある展示空間と調湿剤の収納空間との間でケース内空気が十分に交換されなかったこと、第二の理由は、湿度

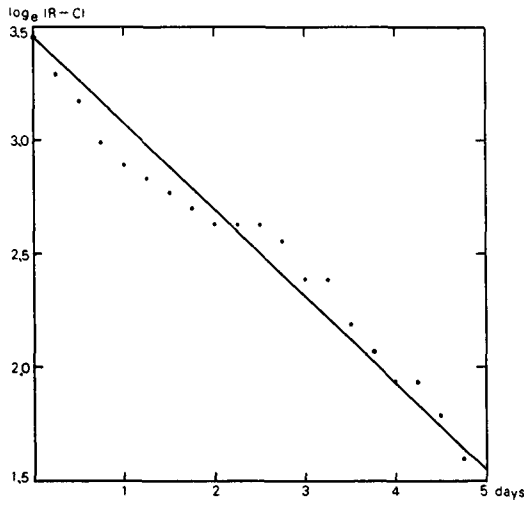


図 5a 展示ケースNo. 1

showcase n°1

ambient air: 81% RH, 27°C

$$k = \frac{3.46 - 1.55}{5}$$

$$= 0.38$$

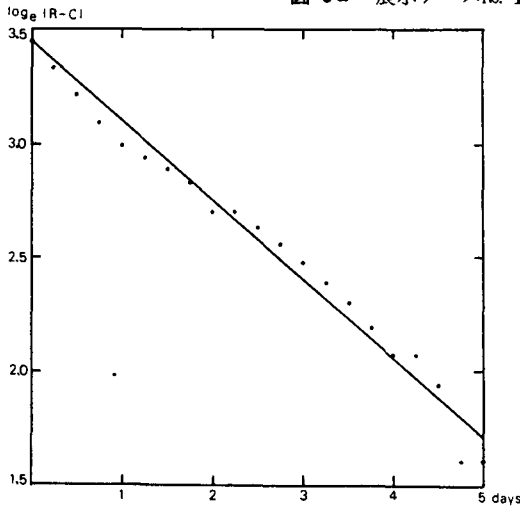


図 5b 展示ケースNo. 2

showcase n°2

ambient air: 81% RH, 27°C

$$k = \frac{3.46 - 1.68}{5}$$

$$= 0.36$$

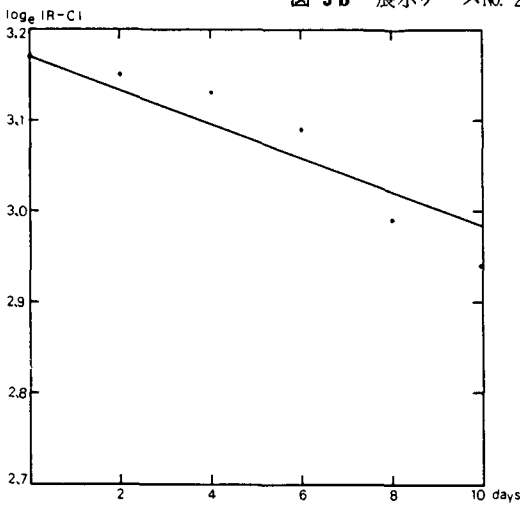


図 5c 小麦

wheat seed

ambient air: 66% RH, 20.5°C

$$k^* = \frac{3.17 - 2.98}{10}$$

$$= 0.019$$

$$M = \frac{0.17}{4} \times \left(\frac{0.38}{0.019} - 1 \right)$$

$$= 0.82$$

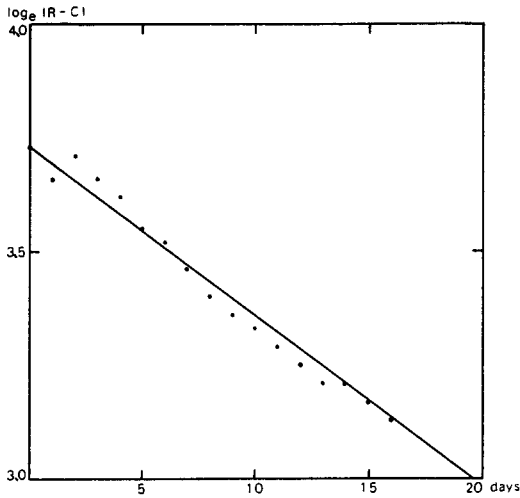


図 5d Dydrargil

Dydrargil

ambient air: 81% RH, 18°C

$$k^* = \frac{3.73 - 3.00}{19.5} = 0.037$$

$$M = \frac{0.15}{4} \times \left(\frac{0.38}{0.037} - 1 \right) = 0.36$$

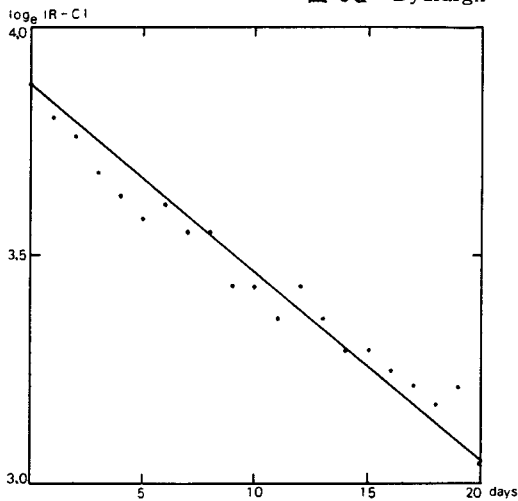


図 5e シリカゲルRD

Silica gel RD

ambient air: 73% RH, 25.5°C

$$k^* = \frac{3.87 - 3.04}{20} = 0.042$$

$$M = \frac{0.24}{4} \times \left(\frac{0.38}{0.042} - 1 \right) = 0.48$$

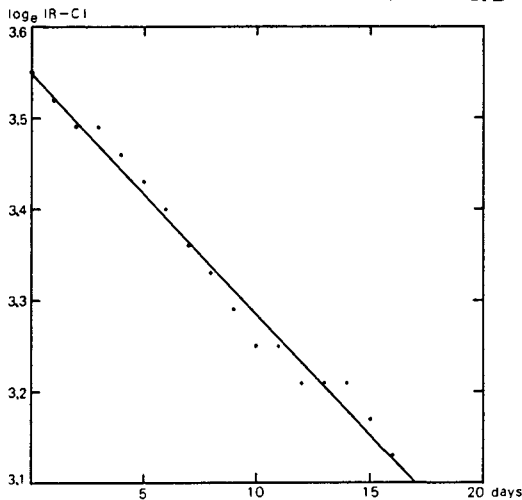


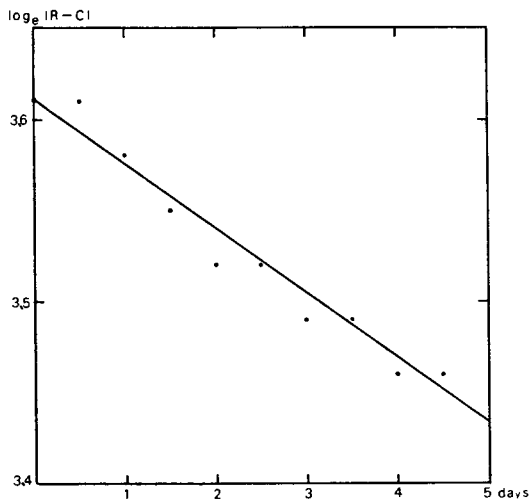
図 5f 米

rice seed

ambient air: 81% RH, 18°C

$$k^* = \frac{3.55 - 3.10}{17} = 0.026$$

$$M = \frac{0.15}{4} \times \left(\frac{0.36}{0.026} - 1 \right) = 0.49$$



soy bean
ambient air: 80% RH, 18.5°C

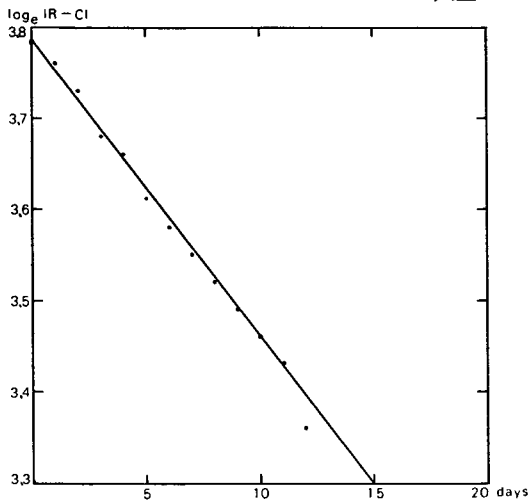
$$k^* = \frac{3.61 - 3.43}{5}$$

$$= 0.036$$

$$M = \frac{0.16}{4} \times \left(\frac{0.36}{0.036} - 1 \right)$$

$$= 0.36$$

图 5g 大豆



soy bean
ambient air: 68% RH, 21°C

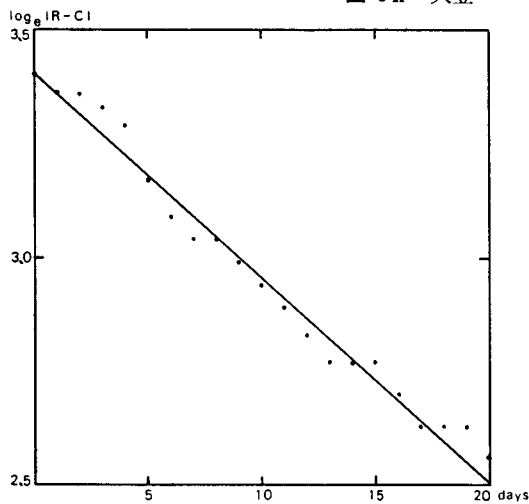
$$k^* = \frac{3.78 - 3.30}{15}$$

$$= 0.032$$

$$M = \frac{0.18}{4} \times \left(\frac{0.36}{0.032} - 1 \right)$$

$$= 0.46$$

图 5h 大豆



rabbit glue
ambient air: 73% RH, 25.5°C

$$k^* = \frac{3.40 - 2.50}{20}$$

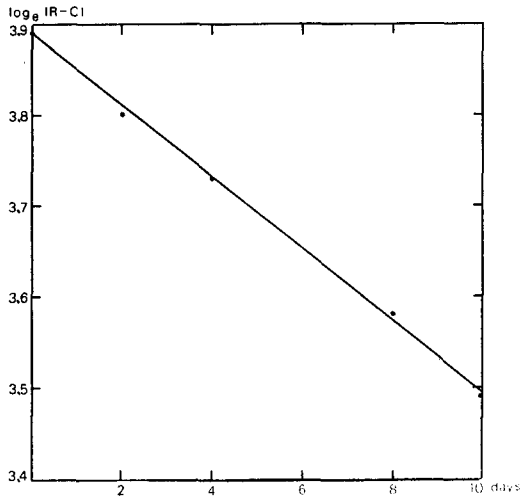
$$= 0.045$$

$$M = \frac{0.24}{4} \times \left(\frac{0.36}{0.045} - 1 \right)$$

$$= 0.42$$

图 5i 兔膠

3. 実験



rabbit glue

ambient air: 66% RH, 20.5°C

$$k^* = \frac{3.89 - 3.49}{10}$$

$$= 0.04$$

$$M = \frac{0.17}{4} \times \left(\frac{0.36}{0.04} - 1 \right)$$

$$= 0.34$$

図 5j 兎膠

表 4 比吸放湿量の計算結果

TABLE 4. Deduction of the SMR.

showcase	material	range of RH change(%)	deduced SMR	SMR from EMC curve
1	小麦 wheat seed	42 — 47	0.82	1.5
1	Dydrargil	39 — 58	0.36	1.5
1	シリカゲルRD Silica gel RD	25 — 52	0.48	4
2	米 rice seed	46 — 58	0.49	2
2	大豆 soy bean	43 — 48	0.36	1.5
2	大豆 soy bean	24 — 39	0.46	1
2	兎膠 rabbit glue	43 — 60	0.42	1.5
2	兎膠 rabbit glue	17 — 33	0.34	1.5

チェンバーから侵入した高湿度の空気が調湿剤によって十分に吸湿されない内に空気交換によってケースの外へ移動したためであろう。後者の理由の場合、ケースに必然的に生じる空気交換によって調湿剤は比吸放湿量のすべての能力を発揮することができなかった訳である。3.3で述べたように、すべての素材は平衡状態に達するまでに時間を要する。従って、比吸放湿量の値のすべてを発揮するためにはある程度の時間を要することになる。ところがケース内空気は3日毎あるいは70時間毎に1回の割合で交換しているために、完全に調湿されない内に次の新しい空気が侵入し、結果として調湿剤はその比吸放湿量の値をすべて発揮できないことになる。従って、有効な比

吸放湿量というものは実際には多少小さくなり、その程度は展示ケースの空気漏れ率に密接に関連していると考えられる。

4. 展示ケース内相対湿度の計算機による シミュレーション

展示ケースに調湿剤を入れることによって湿度半減期が大きくなり、その結果湿度変動が小さく抑えられて行く様子に対するシミュレーションを試みた。⁽⁸⁾シミュレーション用のプログラム BASIC は言語で書き、温度変化を考慮するために方程式(2)と(6)の外に次の式を用いた：

$$E = 0.6105 \text{ EXP} \left(\frac{17.25T}{236.9 + T} \right) \quad (11)$$

$$W_T = \frac{10E}{0.4614 (T + 273.15)} \quad (12)$$

ここで、Eは温度T (°C) における飽和水蒸気圧 (単位は KPa)。⁽⁹⁾(11)と(12)はカーブによって与えられている。

4.1 日変動に対するシミュレーション

相対湿度の日変動を周期24時間の正弦変動として考え、最大値と最低値はそれぞれ変動の平均値の+40%と-40%とした。

図6がシミュレーションの結果である。湿度半減期が6時間では、ケース内変動は屋外相対湿度の変動の半分以下に抑えられている。更に12時間では、4分の1にまで抑えられている。明らかに大きな湿度半減期の方が相対湿度の安定化に有効であることが分かる。

図7は空気漏れ率が10/day、つまり湿度半減期が1.7時間の展示ケースを春に観察された湿度環境⁽¹⁰⁾に置いた場合のシミュレーションである。この期間における屋外気温の平均値は15°Cであるから、飽和水蒸気量は12.84 g/m³である。従って、湿度半減期を12時間に延長するためには、比吸放湿量が0.5の調湿剤ならば2 kg/m³、1の調湿

(8) BRIMBLECOMBE, P., RAMER, B., 'Museum display cases and the exchange of water vapour', Studies in Conservation, 28 (1983), 179-188

(9) KARP, C., 'Calculation atmospheric humidity', Studies in Conservation, 28 (1983), 24-28

(10) このデータは1979年5月にイクロムで観測されたものであり、ギッシュン氏の好意によってここに使用することができた。

4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション

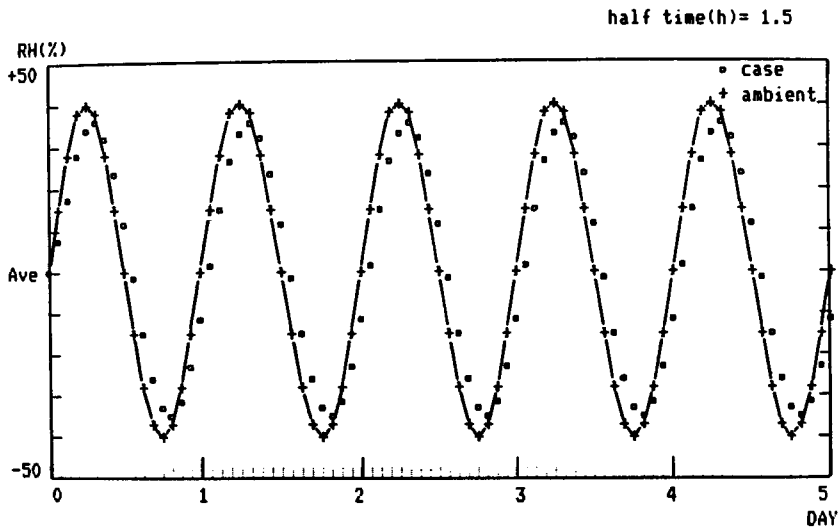


図 6a 湿度半減期は1.5時間

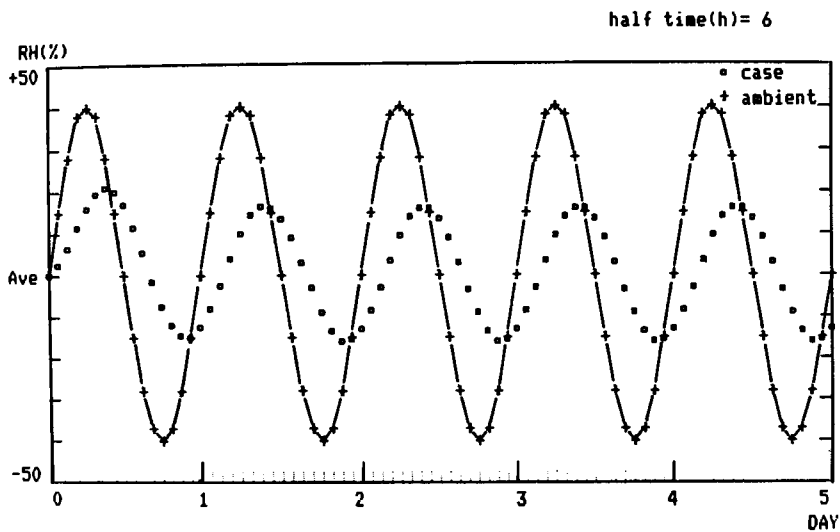


図 6b 湿度半減期は6時間

剤ならば 1 kg/m^3 の量が必要である。ケース内湿度の変動は約 $\pm 5\%$ に抑えられているが、全体としてかなりの影響を受けている。

4.2 年変動に対するシミュレーション

ここでは展示ケースの湿度半減期と屋外相対湿度の年変動との関係をシミュレーションによって見てみよう。屋外相対湿度の年変化は最大値が平均値より $+30\%$ 高く、

half time(h)= 12

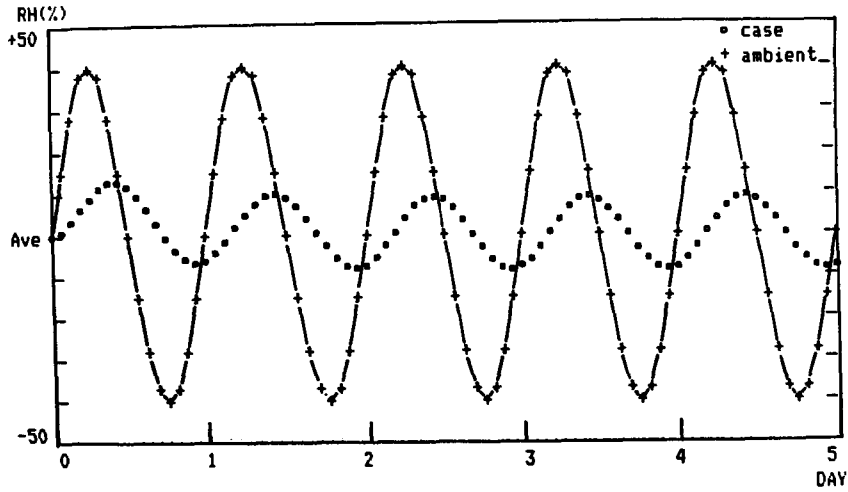


図 6c 湿度半減期は12時間

average T(°C) of outside= 15.4 average RH(%) of outside= 67
 s.m.r.= .5 buffer(kg/m)= 2 air change(/h)= .42

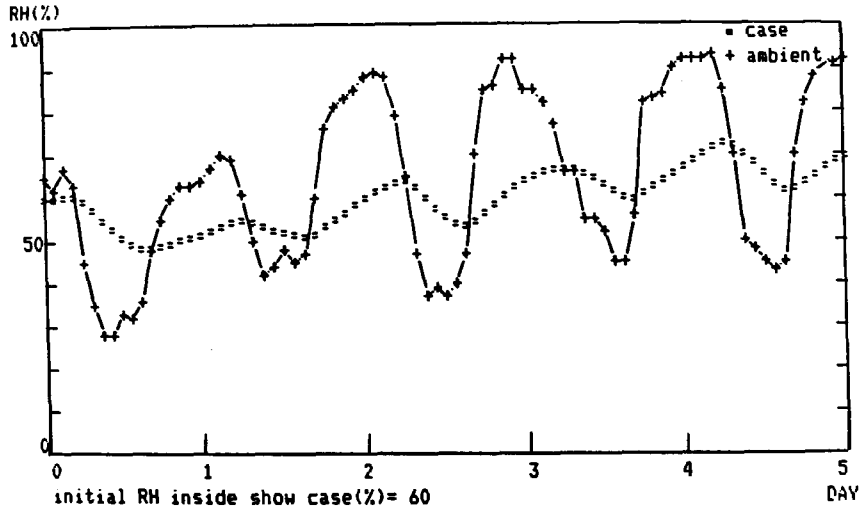


図 7 日変動に対するシミュレーション

最小値が平均値より-30%低い正弦変化とした。図8より湿度半減期が大きくなるに連れ展示ケースの年変動が小さく抑えられて行く様子が分かる。

展示ケースの空気漏れ率が 10/day のときには、湿度半減期を半年近くまで延長するためには200kg/m³以上の天然素材が必要となる。これは現実的には余りにも多すぎる量である。このような場合にはまず展示ケースの空気漏れ率を亀裂部分を塞ぐこと

4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション

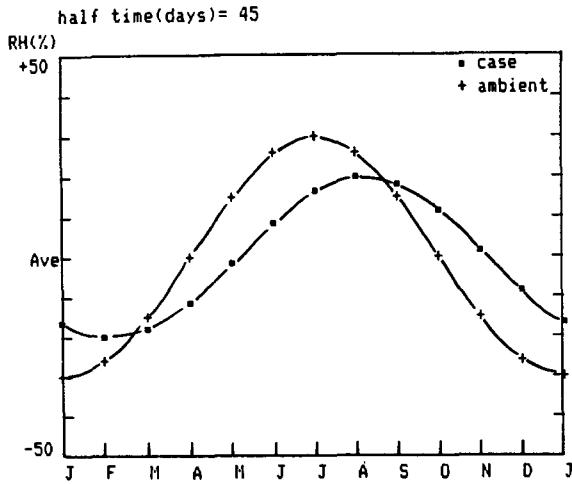


図 8a 湿度半減期は45日

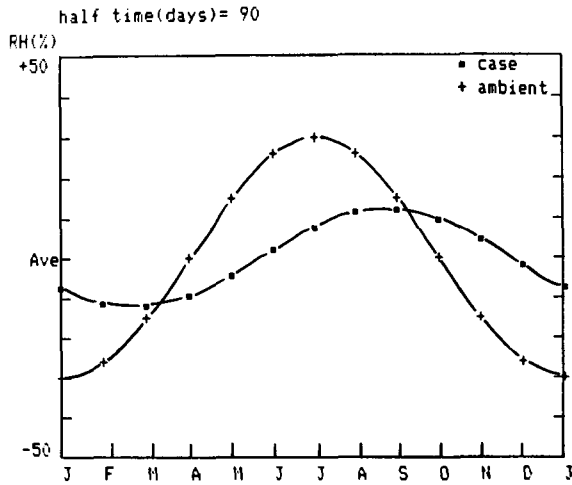


図 8b 湿度半減期は90日

によって1/day 近くまで下げる必要がある。空気漏れ率をそこまで小さくしたとしても、天然素材の比吸放湿量は約1程度であることから、例え $20\text{kg}/\text{m}^3$ の量をケースの中に入れたとしても湿度半減期は90日前後である。ところでどの程度の湿度半減期が展示ケースあるいは収納箱などで文化財を保存するために有効な値であるだろうか。この点に関して、日本で何百年もの長期間に渡って絵巻物や古文書などが保存されて来た木製の収納箱は興味深い事実を提供してくれる。三浦はこの木製の収納箱内

(1) MIURA, S., 'Characters of the wooden box for conserving picture scrolls with regard to temperature and relative humidity', Proceedings of the 1st international symposium on the conservation and restoration of cultural property, 166-174, Tokyo, 1977

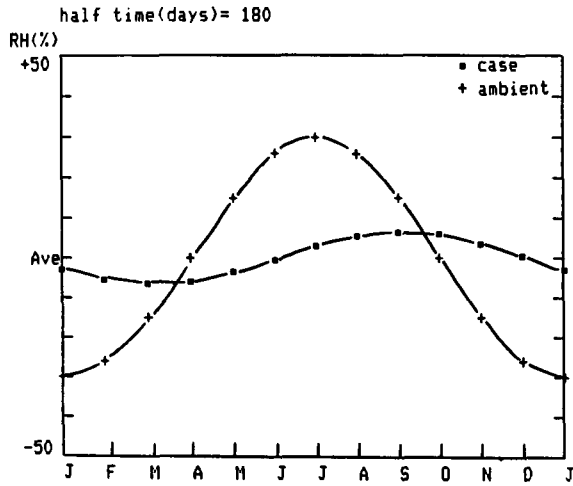


図 8c 湿度半減期は180日

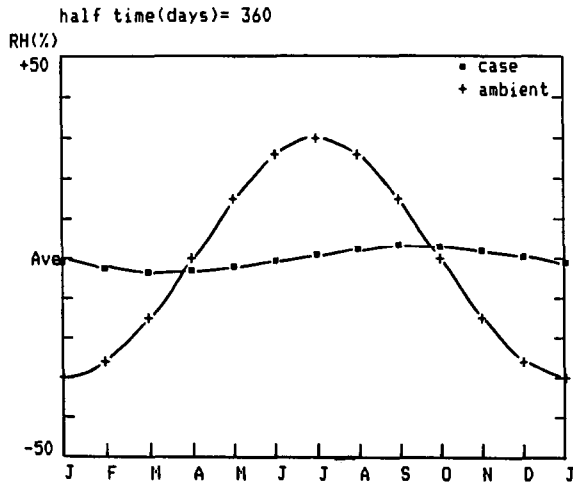


図 8d 湿度半減期は360日

部での湿度変化を観察し、その変化の様子から木製収納箱の調湿能力を議論している。著者がこのグラフから収納箱の湿度半減期を計算してみたところ高々10日程度であった。勿論この収納箱は更に他の箱の中に収められて、結果として湿度半減期は10日より大きくなると考えられるが、決して180日になることはないだろう。とすれば、湿度半減期はせいぜい30日前後を目標にすれば十分なように考えられる。この点は今後検討を行なう余地がある。

次に、様々な気候帯における展示ケースの湿度変動のシミュレーションを行なった。代表的な気候帯からその特徴をよく表す10の都市についてその気象データを拾い上げ、それを屋外変動とした。気候区分はコエップの分類法に従った。気候区分と都

表 5 気候区分と代表的な都市

Table 5. Climate zoon and cities

Climate zoon	city	latitude	longitude	above the sea level
Wet and Dry Tropical	Mwinilunga	11°45' S	24°26' E	1356.3m
Semiarid Tropical	Salisbury	17°50' S	31°08' E	1473.5m
Tropical Desert	Riyadh	24°39' N	46°42' E	591.1m
Dry Summer Subtropical	Rerth	31°57' S	115°51' E	60.1m
Humid Subtropical	Ch'ang-sha	28°12' N	112°47' E	60.1m
Cool Marine	Edinburgh	55°55' N	3°11' W	134.5m
Cool Littoral	Paris	48°49' N	2°29' W	50m
Humid Continental	Suchow	34°17' N	117°10' E	3.4m
Semiarid Continental	Bourke	30°05' S	145°58' E	110.1m
Intermediate Desert	El Paso	31°48' N	106°24' W	1195.6m

市は表5に示してある。屋内の月平均気温と相対湿度は、屋内の気温が一年を通じて15°Cを下らないと仮定し、それによって相対湿度を算出した。例えば12月の屋外の月平均気温が10°C、月平均湿度が70%であるとき屋内は15°Cとし、屋外から屋内に流入する大気の相対湿度は温度上昇によって相対湿度は50%に低下するとした。屋外の気象データと算出した屋内の温湿度の値は表6に与えてある。

もしも、調湿剤の水分量をあらかじめ調節し、その後展示ケースの中に入れたならば、展示ケースの平均湿度はそれが置かれた環境の平均湿度とは異なった値を示す。しかし、ある時間が経過すれば平衡に達して両者は一致することになる。平均湿度が同じになるまでに要する時間は展示ケースの湿度半減期に依存する。ただし、平均値は同じであっても、変動幅は小さくなり、変化に時間的遅れが現れる。平衡状態に達したケース内湿度変化の様子は図9に示してある。

熱帯気候の地域において、調湿剤が長期に渡りケース内に放置されるとすると、ケース内湿度の平均値は外部環境と同じく70%を越えるであろう。このような環境下に文化財を保存することは明らかに危険なことである。ケースを囲む環境の相対湿度の平均値を下げるためには、空気調和設備が必要である。しかし本稿では機械による強

(12) Meteorological Office, London. 'Tables of Temperature, Relative Humidity and Precipitation for the World', 2nd Ed, Her Majesty's Stationery Office, London, 1962

(13) KOEPPE, C. E., DE LONG, G. C., 'Weather and Climate', McGraw-Hill, New York, 1958

表 6 各都市の気象データ

TABLE 6. Selected climate data

Station	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year ⁽¹⁾
Mwinilunga													
Mean Temp(°C)	21.3	21.3	21.3	20.7	18.8	15.7	16.0	18.5	21.9	22.7	21.3	21.3	20.0
Mean RH(%)	77	72	71	58	57	53	48	42	41	43	70	77	60
Mean RH(%)*	77	72	71	58	57	53	48	42	41	43	70	77	60
Salisbury													
Mean Temp(°C)	20.7	20.7	20.2	19.3	16.5	14.0	14.0	16.0	19.0	21.6	21.6	21.0	18.7
Mean RH(%)	65	65	63	56	48	47	45	39	35	35	50	62	51
Mean RH(%)*	65	65	63	56	48	43	41	39	35	35	50	62	50
Riyadh													
Mean Temp(°C)	14.6	16.0	20.7	24.9	30.2	33.6	33.9	33.0	30.8	25.5	21.0	15.4	25.0
Mean RH(%)	57	50	51	49	41	39	26	27	33	36	47	64	43
Mean RH(%)*	56	50	51	49	41	39	26	27	33	36	47	64	42
Perth													
Mean Temp(°C)	23.5	23.5	21.8	19.3	16.2	14.0	13.2	13.4	14.8	16.5	19.3	21.8	18.1
Mean RH(%)	48	48	52	55	65	70	70	67	63	58	52	49	58
Mean RH(%)*	48	48	52	55	65	66	62	58	63	58	52	49	56
Ch'ang-sha													
Mean Temp(°C)	4.5	5.9	11.5	17.4	23.2	26.6	30.3	30.2	25.8	19.6	13.7	7.3	18.0
Mean RH(%)	78	82	72	81	81	79	75	75	76	77	79	77	78
Mean RH(%)*	37	45	63	81	81	79	75	75	76	77	65	45	67
Edinburgh													
Mean Temp(°C)	3.9	3.9	5.3	7.0	9.5	12.9	14.8	14.6	12.3	9.2	6.2	4.5	8.7
Mean RH(%)	84	83	81	78	78	76	80	81	81	82	83	84	86
Mean RH(%)*	40	39	42	46	55	67	80	80	69	57	46	42	55
Paris													
Mean Temp(°C)	2.8	3.9	6.7	10.4	14.0	17.1	18.8	18.5	15.4	10.9	6.4	3.4	10.7
Mean RH(%)	84	80	74	65	65	67	68	69	75	81	85	86	75
Mean RH(%)*	37	39	44	48	61	67	68	69	75	62	48	38	54
Stüchow													
Mean Temp(°C)	-1.4	1.4	7.6	13.4	20.2	25.5	28.3	26.9	21.8	15.7	8.1	2.0	14.1
Mean RH(%)	76	75	62	71	71	67	76	80	70	63	65	77	71
Mean RH(%)*	22	30	38	65	71	67	76	80	70	63	40	32	55
Bourke													
Mean Temp(°C)	29.4	28.6	25.5	20.4	15.7	12.0	11.5	13.7	17.4	21.6	25.8	28.0	20.8
Mean RH(%)	33	37	41	46	56	64	61	51	42	36	34	33	44
Mean RH(%)*	33	37	41	46	56	53	47	46	42	36	34	33	42
El Paso													
Mean Temp(°C)	7.0	9.8	13.2	17.6	22.4	27.2	27.7	26.6	23.8	18.2	11.8	7.3	17.7
Mean RH(%)	48	43	36	31	29	33	47	51	49	48	48	52	49
Mean RH(%)*	28	30	32	31	29	33	47	51	49	48	38	30	37

* : indoor RH (1) Yearly mean temperature and relative humidity

4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション

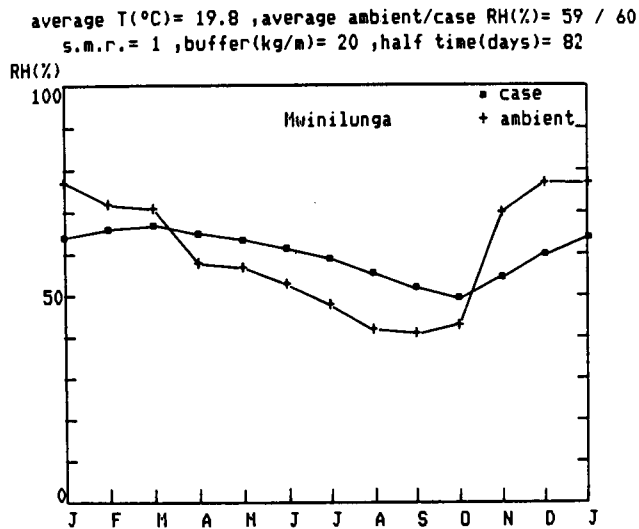


図 9a Mwinilunga (smr = 1)

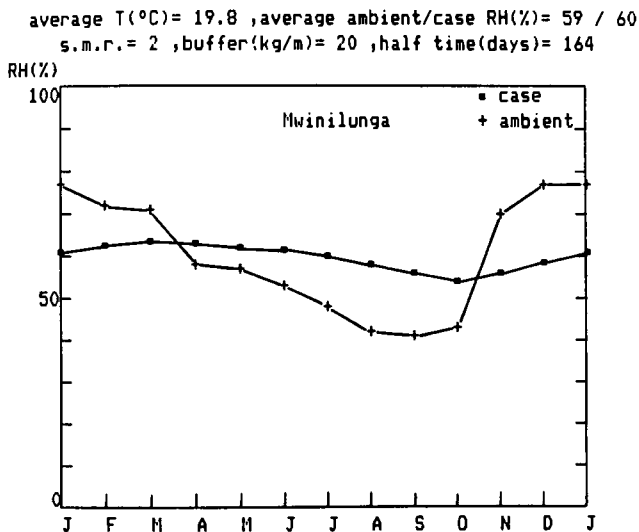


図 9a' Mwinilunga (smr = 2)

制的な湿度調節については議論を行なわないので、熱帯地域あるいは年平均相対湿度が70%を越える地域における調湿剤の利用は却って有害であると考えられ、シミュレーションからは外した。シミュレーションでは展示ケースの空気漏れ率を 1/day とし、調湿剤の比吸放湿量は 1, 2 とした。調湿剤の量は 20kg/m^3 とした。

average T(°C)= 19 ,average ambient/case RH(%)= 50 / 51
 s.m.r.= 1 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 87

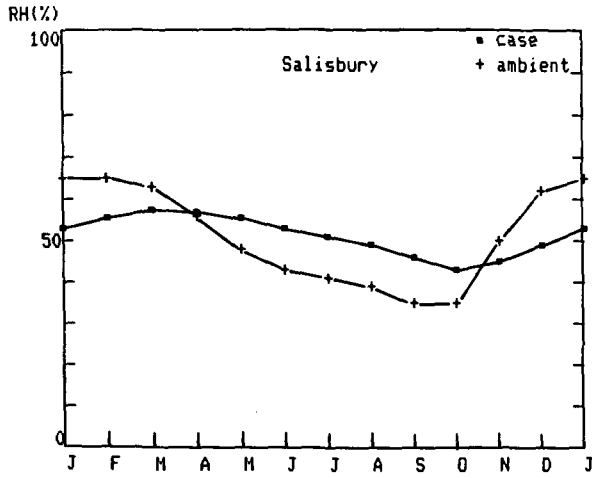


図 9b Salisbury (smr = 1)

average T(°C)= 19 ,average ambient/case RH(%)= 50 / 51
 s.m.r.= 2 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 173

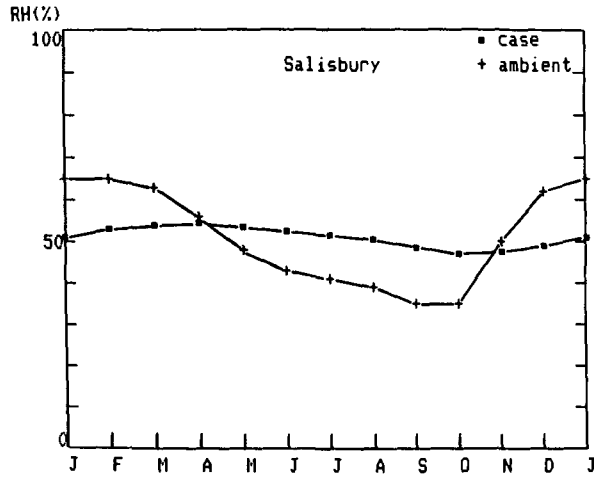


図 9b' Salisbury (smr = 2)

4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション

average T(°C)= 25 ,average ambient/case RH(%)= 43 / 40
 s.m.r.= 1 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 66

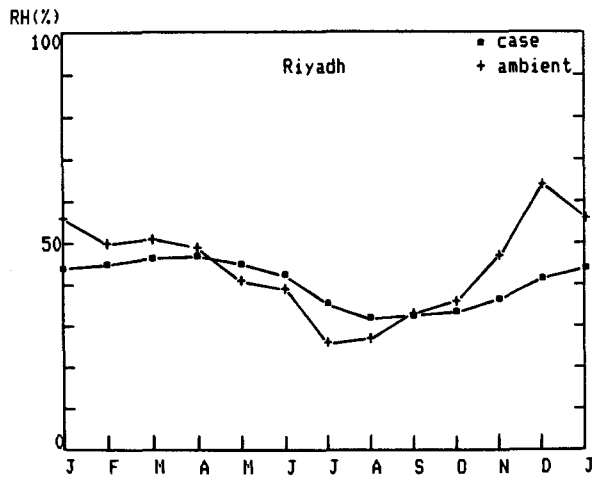


図 9c Riyadh (smr = 1)

average T(°C)= 25 ,average ambient/case RH(%)= 43 / 40
 s.m.r.= 2 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 132

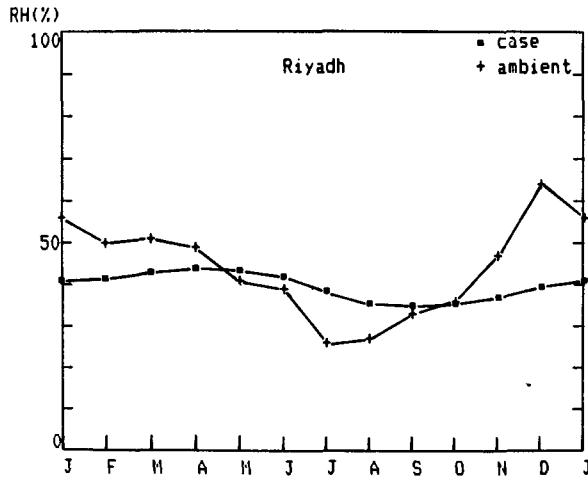


図 9c' Riyadh (smr = 2)

average T(°C)= 18.5 , average ambient/case RH(%)= 56 / 55
 s.m.r.= 1 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 90

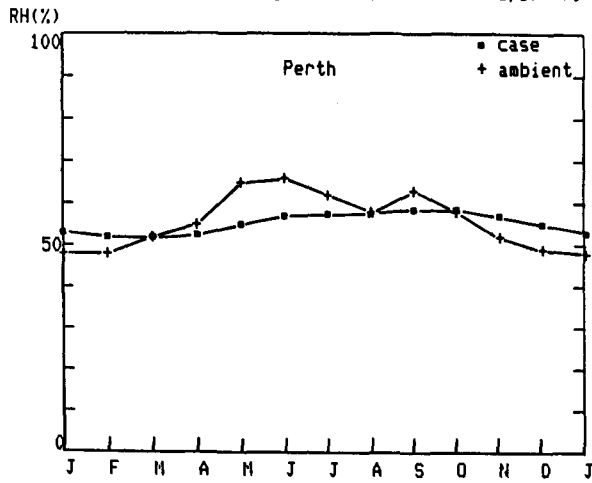


図 9d Perth (smr = 1)

average T(°C)= 18.5 , average ambient/case RH(%)= 56 / 55
 s.m.r.= 2 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 180

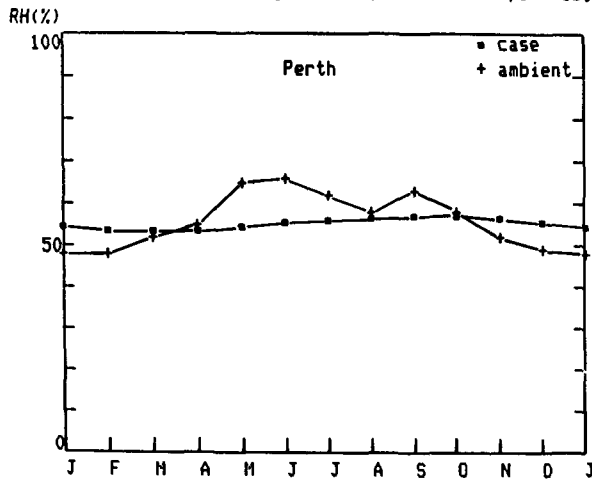


図 9d' Perth (smr = 2)

4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション

average T(°C)= 20.5 , average ambient/case RH(%)= 67 / 69
 s.m.r.= 1 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 83

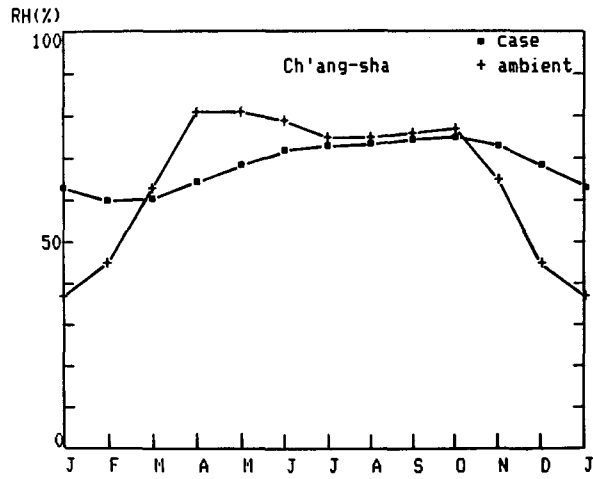


図 9e Ch'ang-sha (smr = 1)

average T(°C)= 20.5 , average ambient/case RH(%)= 67 / 69
 s.m.r.= 2 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 166

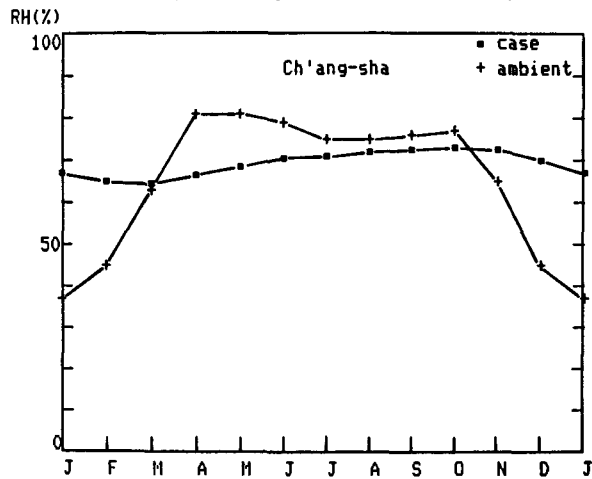


図 9e' Ch'ang-sha (smr = 2)

average T(°C)= 15 , average ambient/case RH(%)= 55 / 55
 s.m.r.= 1 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 109

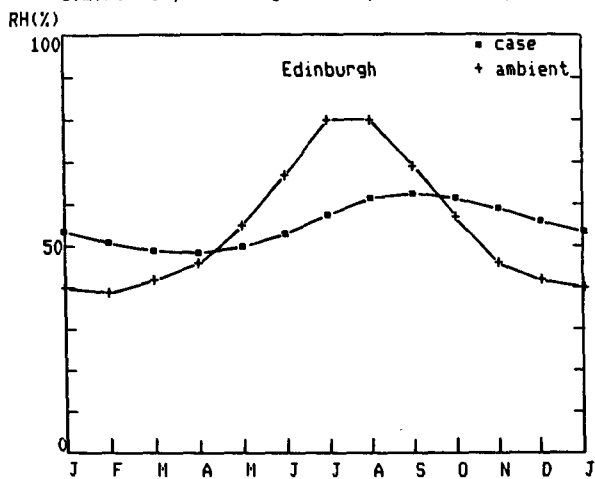


図 9f Edinburgh (smr = 1)

average T(°C)= 15 , average ambient/case RH(%)= 55 / 55
 s.m.r.= 2 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 217

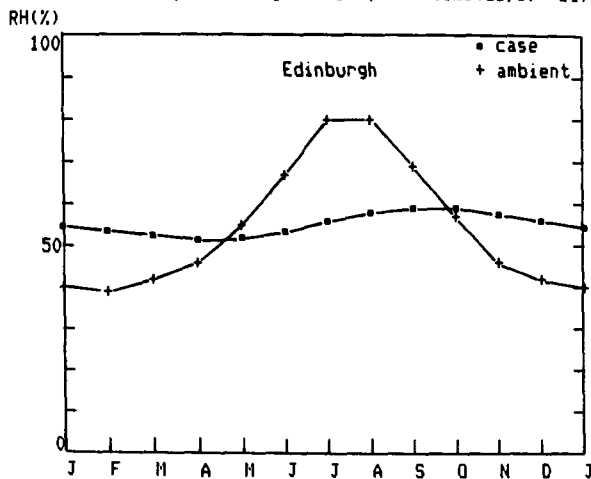


図 9f' Edinburgh (smr = 2)

4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション

average T(°C)= 15.8 , average ambient/case RH(%)= 55 / 55
 s.m.r.= 1 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 104

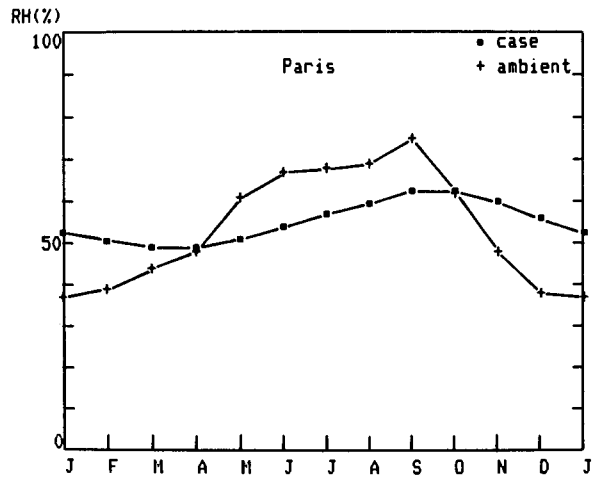


図 9g Paris (smr = 1)

average T(°C)= 15.8 , average ambient/case RH(%)= 55 / 55
 s.m.r.= 2 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 207

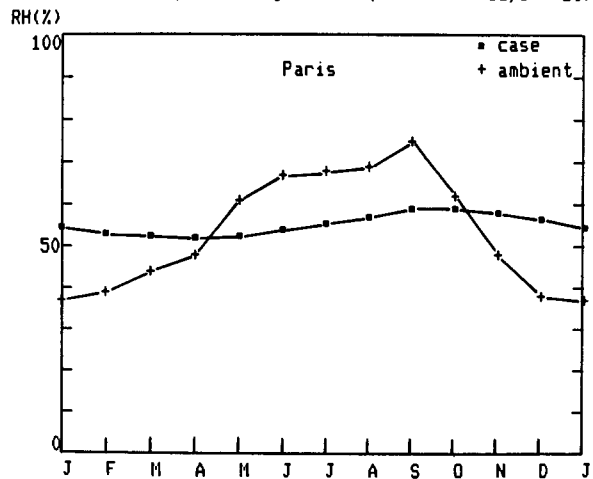


図 9g' Paris (smr = 2)

average T(°C)= 19 , average ambient/case RH(%)= 55 / 58
 s.m.r.= 1 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 90

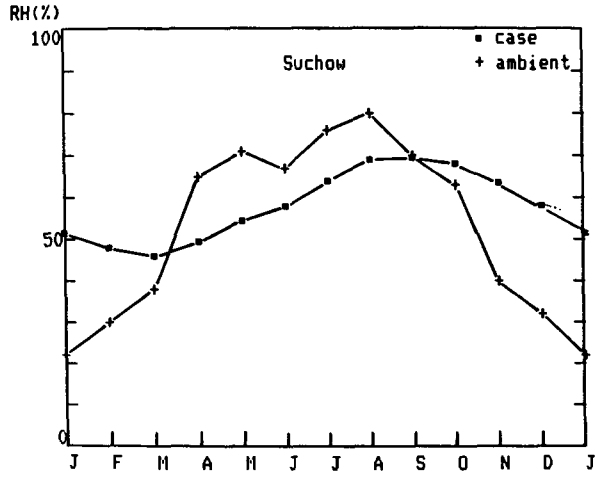


図 9h Suchow (smr = 1)

average T(°C)= 19 , average ambient/case RH(%)= 55 / 59
 s.m.r.= 2 , buffer(kg/m)= 20 , half time(days)= 178

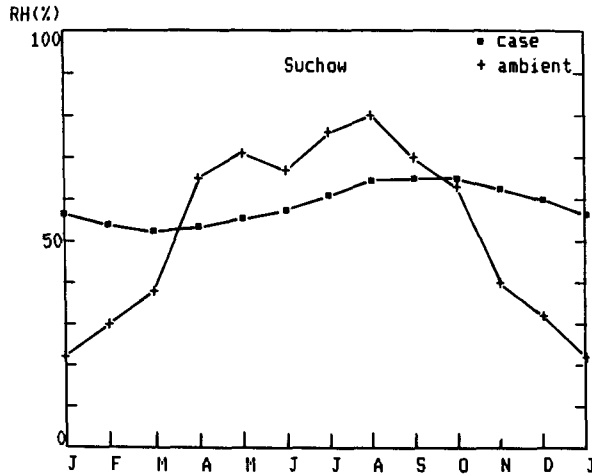


図 9h' Suchow (smr = 2)

4. 展示ケース内相対湿度の計算機によるシミュレーション

average T(°C)= 21.3 ,average ambient/case RH(%)= 42 / 41
 s.m.r.= 1 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 80

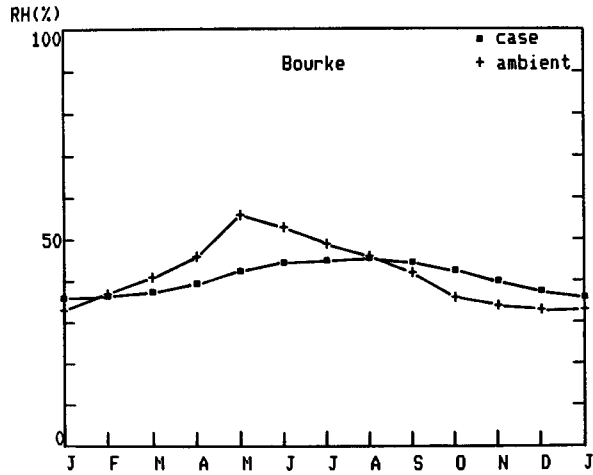


図 9 i Bourke (smr = 1)

average T(°C)= 21.3 ,average ambient/case RH(%)= 42 / 41
 s.m.r.= 2 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 158

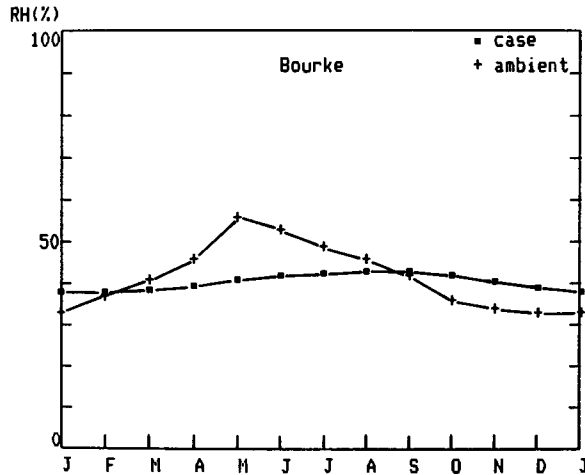


図 9 i' Bourke (smr = 2)

average T(°C)= 19.8 , average ambient/case RH(%)= 37 / 39
 s.m.r.= 1 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 86

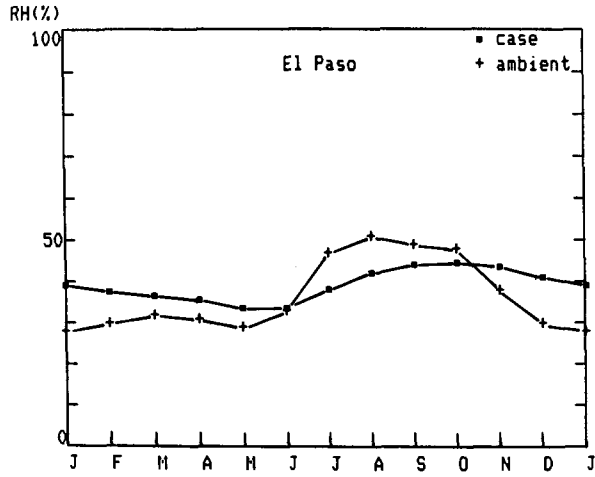


図 9j El Paso (smr = 1)

average T(°C)= 19.8 , average ambient/case RH(%)= 37 / 39
 s.m.r.= 2 ,buffer(kg/m)= 20 ,half time(days)= 171

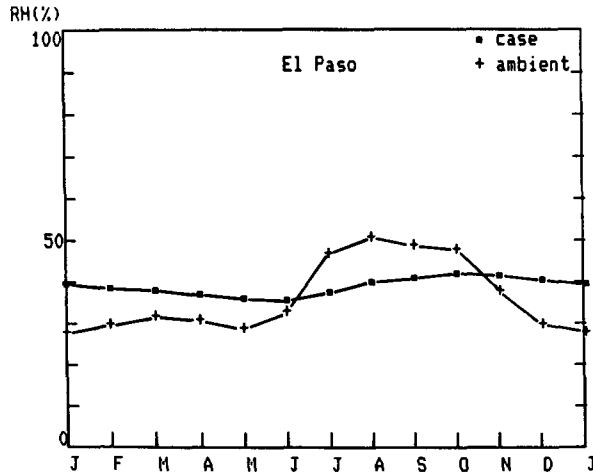


図 9j' El Paso (smr = 2)

5. 結 論

平衡水分量の測定から比吸放湿量を計算し、水分拡散速度の測定によって湿度変化に対する反応速度を調べ、更に実際の湿度変化の測定からそれを調節している素材の比吸放湿量を演繹することによって、天然素材の調湿剤としての能力を評価した。それによって次の点が明らかとなった。天然素材の比吸放湿量 (SMR) はおよそ1で、それら素材の湿度変化に対する反応速度は決してシリカゲルに劣ることはなく、藁、籾殻、蕎麦殻などはむしろ優れている。比吸放湿量が小さいので、展示ケースや収納箱などの内部の湿度調節に応用する場合には、湿度の日変化を抑制するのに適していると言える。ブラックウッド・アフリカンは吸湿、放湿の両過程において平衡に達する時間が他の素材に比べ非常に大きいものであった。従って、このような樹種つまり硬質な木材は、湿度安定のための調湿剤としては不適當であると言えるだろう。カルボキシ・メチル・セルローズの平衡水分量は最も大きく、この結果は我々のみならず紙の修復家にとっても興味あるものである。

次の段階としては、調湿剤に適した無機物から成る天然素材を研究し、博物館において実際に応用するための水分量の調節方法、つまり環境順化の方法を検討する必要がある。また素材に対する防虫防霉剤についても合わせて研究する必要があるだろう。

更に、展示ケースの空気漏れ率と調湿剤の比吸放湿量との関係は、より厳密に研究する必要があることが分かった。有効比吸放湿量は展示ケースの空気漏れ率と密接な関係があり、それによって値を変えると考えられ、比吸放湿量は空気漏れ率が大きくなるに従って小さくなることが予想される。この現象には調湿剤の湿度反応速度が大きく係わっていると考えられる。

シミュレーションに用いた湿度変化を表わす方程式は、ケース外部の湿度が一定な静的条件に対しては良く成り立つと考えられるが、日変動あるいは年変動のように外部湿度が変動する動的条件に対しては十分な検討がなされていないので、今後行なう必要がある。それによって、変動幅の抑制の程度や変動の時間的遅れに関してより正確な答えを見付け出すことができるだろう。

謝 辞

本研究を進めて行く上において多くの助言を頂き、また貴重な時間を割いて快く議論に応じてくれたイクロムのガエル・ド・ギッシュン氏、ブライアン・レーマー氏、ローマ中央修復研究所のミケレ・ベンチボッリオ氏に心から感謝したいと思います。更に、ユネスコ奨学生としてイクロムでの8ヵ月間に渡る研究の機会を与えて下さったイクロム所長のエルダー氏、副所長のトラッカー氏に深謝したいと思います。最後に著者の拙い英文報告書を辛抱強く添削してくれたマリア・テレーザ・アルメイダ・リヒャルド女史に深く感謝致します。

尚、本稿は昭和60年6月から61年1月までイクロムで行なった実験に対し同所に提出した英文報告書を翻訳したものであり、多少の修正を加えた。

参考文献

Weather and Climate

1. COREMANS, P., 'Climate and Microclimate', in: The conservation of cultural property, The Unesco Press, 1968
2. KOEPPE, C.E., DU LONG, G.C., Weather and Climate, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, 1958

Hygroscopic study on materials

3. ACADEMY OF POLYMERS OF JAPAN, Handbook for The Moisture Movement and The Material, Kyouritsu Syuppan, Tokyo, 1968
4. BARRER, R. M., Zeolites and Clay Minerals as Sorbents and Molecular Sieves, Academic Press, London, 1978
5. BROWNELL, W. E., Structural Clay Products, Springer Verlag, Wien, 1976
6. DESCH, H. E., Timber: Its Structure and Properties, Macmillan & Co LTD, London, 1962
7. DUNNOM, D. D., WAGNER, M. P., 'The classification of silicon dioxide powders', ASTM Standardization News, Vol. 9, 10 (1981), 10-14
8. GRIM, R. E., Clay Mineralogy, McGraw-Hill Book Company New York, 1968
9. HEARLE, J. W. S., PETERS, R. H., Moisture in Textiles, Butterworths, London 1960
10. MULLER, H. G., 'Humidity sensors from natural materials', in: Humidity and Moisture, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1965
11. STAMM, A. J., Wood and Cellulose Science, The Ronald Press Company, New York, 1964
12. STEVENS, W. C., 'Seasoning wood', IIC U. K. Group (1967), 4

Museum Climatology

13. BLACKSHAW, S. H., DANIELS, V. D., 'Selecting safe materials for use in the display and storage of antiquities', ICOM Committee for Conservation, 5th Triennial Meeting, Zagreb, 1978, 78/23/2
14. BRILL, R. H., 'Crizzling-A problem in glass conservation', IIC Stockholm Conference on Conservation in Archaeology and the Applied Arts, 1975
15. BRILL, R. H., 'The use of equilibrated silica gel for the protection of glass with incipient crizzling', *Journal of Glass Studies*, 20 (1978), 100-118
16. BRIMBLECOMBE, P., RAMER, B., 'Museum display cases and the exchange of water vapour', *Studies in Conservation*, 28 (1983), 179-188
17. DIAMOND, M., 'A micro-micro-climate', *Museum Journal*, 73 (1973), 161-163
18. DE GUICHEN, G., *Climate in Museum*, ICCROM, Rome, 1980
19. DE GUICHEN, G., 'Pourquoi les conservateurs n'utilisent-ils pas le gel de silica ou les trois usages du gel de silica', ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 1981, 81/18/7
20. DE GUICHEN, G., GAI, V., 'Controle du climat autour de 197 instruments de musique', ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 1984, 84/17/5
21. HOWORTH, F. H., 'An approach to air conditioning', IIC London Conference on Museum Climatology, 1967
22. KARP, C., 'Calculation atmospheric humidity', *Studies in Conservation*, 28(1983), 24-28
23. KENJYO, T., 'Studies on humidity buffering agents (1); Humidity buffering agents required for saving energy', *Science for Conservation*, 20 (1981), 1-4
24. LAFONTAINE, R. H., MICHALSKI, S., 'The control of relative humidity Recent development', ICOM Committee for Conservation, 7th Triennial Meeting, Copenhagen, 1984, 84/17/33
25. LAFONTAINE, R. H., 'Silica gel', *Technical Bulletin of Canadian Conservation Institute*, 10 (1984)
26. MACLEOD, K. J., 'Relative humidity: Its importance, measurement and control in museums', *Technical Bulletin of Canadian Conservation Institute*, 1 (1975), 1-15
27. MIURA, S., 'Control of climate in a showcase by means of zeolite; Report of the exhibition of La Joconda', ICCROM Conference on Climatology, 1978
28. MIURA, S., 'Studies on the behavior of RH within an exhibition case. PartII: The static and dynamic characteristics of sorbents to control the RH of a showcase', ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 1981, 81/18/5
29. ODDY, W. A., 'An unsuspected danger in display', *Museums Journal*, 73(1973), 27-28
30. ORGAN, R. M., 'The safe storage of unstable glass', *Museums Journal*, 56 (1957), 265-272
31. PADFIELD, T., 'The control of relative humidity and air pollution in show-cases and picture frames', *Studies in Conservation*, 11 (1966), 8-30
32. PADFIELD, T., ERHARDT, D., 'Clear weather precipitation inside a museum: A case study in micrometeorology', ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 1981, 81/18/9
33. PADFIELD, T., ERHARDT, D., HOPWOOD, W., 'Trouble in store', IIC Washington Congress on Science and Technology in the Service of Conservation, 1982

34. RAMER, B. L., 'Stabilization relative humidity variation within display cases: The role of silica gel and case design', ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 1981, 81/18/6
35. SACK, S. P., 'A case study of humidity control', Brooklyn Museum Annual, 5 (1963/64), 99-103
36. SCHWEIZER, F., RINUY, A., 'Zur Mikroklimalisierung zweier Vitrinen mit Ikonen für eine temporäre Ausstellung', Maltechnik, 86 (1980), 239-243
37. STOLOW, N., Controlled environment for works of art in transit, Butterworths, London, 1966
38. STOLOW, N., 'Technical supplement: Fundamental case design for humidity sensitive museum collections', Museum News, 11 (1966)
39. STOLOW, N., 'Environmental control during transport of an early Italian painting from Canada to Japan', ICOM Committee for Conservation, 3rd Triennial Meeting, Madrid, 1972, 1/1
40. STOLOW, N., 'The microclimate; A localized solution', Museum News, 53 (1977), 52-63
41. STOLOW, N., 'The effectiveness of preconditioned silica gel and related sorbents for controlling humidity environments for museum collections', ICCROM Conference on Climatology, 1978
42. STOLOW, N., 'Microclimate control for Renaissance and Baroque panel paintings: Some recent museum experiences', The Symposium on the Preservation and Use of Artistic Cultural Heritage, The Metropolitan Museum of Art, New York, 1980
43. STROCK, C., KORAL, R.L., Handbook of Air Conditioning, Heating and Ventilating, Industrial Press Inc., New York, 1965
44. THOMSON, G., 'Relative humidity-variation with temperature in a case containing wood', Studies in Conservation, 4 (1964), 153-169
45. THOMSON, G., 'Stabilization of RH in exhibition cases; Hygrometric half-time', Studies in Conservation, 22 (1977), 85-102
46. THOMSON, G., Museum environment, Butterworths, London, 1978
47. TOISHI, K., KENJYO, T., 'Difference of wood material as buffer against change of atmospheric humidity', Science for Conservation, 6 (1970), 25-36
48. WEINTRAUB, S., 'Studies on the behavior of RH within an exhibition case. Part I: Measuring the effectiveness of sorbents for use in an enclosed showcase', ICOM Committee for Conservation, 6th Triennial Meeting, Ottawa, 1981, 81/18/4

(本館 情報資料研究部)

A Study of Natural Materials as Rh Buffers
and Application to a Showcase

KAMBA Nobuyuki

This study was conducted to investigate alternatives to the relative humidity buffers used in an enclosed space, such as silica gels and Nikkapellet. Various agricultural products and also some industrial products were tested for their equilibrium moisture content, their specific moisture reservoir, and their response time to the change of relative humidity in the environment. Some of these materials were applied to experimental showcases, and the specific moisture reservoir was deduced. The result of a series of experiments showed that the agricultural products may be applied to showcases as a relative humidity buffer, but that the specific moisture reservoir should be studied with the relationship between the air leakage rate of the showcase and the response time of the buffering material.

Futhermore, a computer simulation of the relative humidity change within the showcases has given varying condition.