

第24回保存フォーラム

「持続可能な環境管理—図書館・文書館の資料を中心に—」

書庫・収蔵庫の温度湿度管理

独立行政法人国立文化財機構

東京文化財研究所保存修復科学センター

保存科学研究室長 佐野千絵

本日の内容

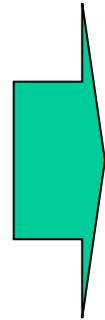
- 図書館・文書館資料の特徴
- 温度湿度の制御と管理
- 温度湿度の計測法
- カビ被害への対応
- 塵埃への対応

Preventive Conservation

図書館・文書館資料の特徴

- 材料種類の多様さ
- 不定型のサイズ
- 商業ベースの材料
- 保存専門家の不在

- 不確定な活用方法
- 未定な価値づけ
- 何年の寿命を期待？

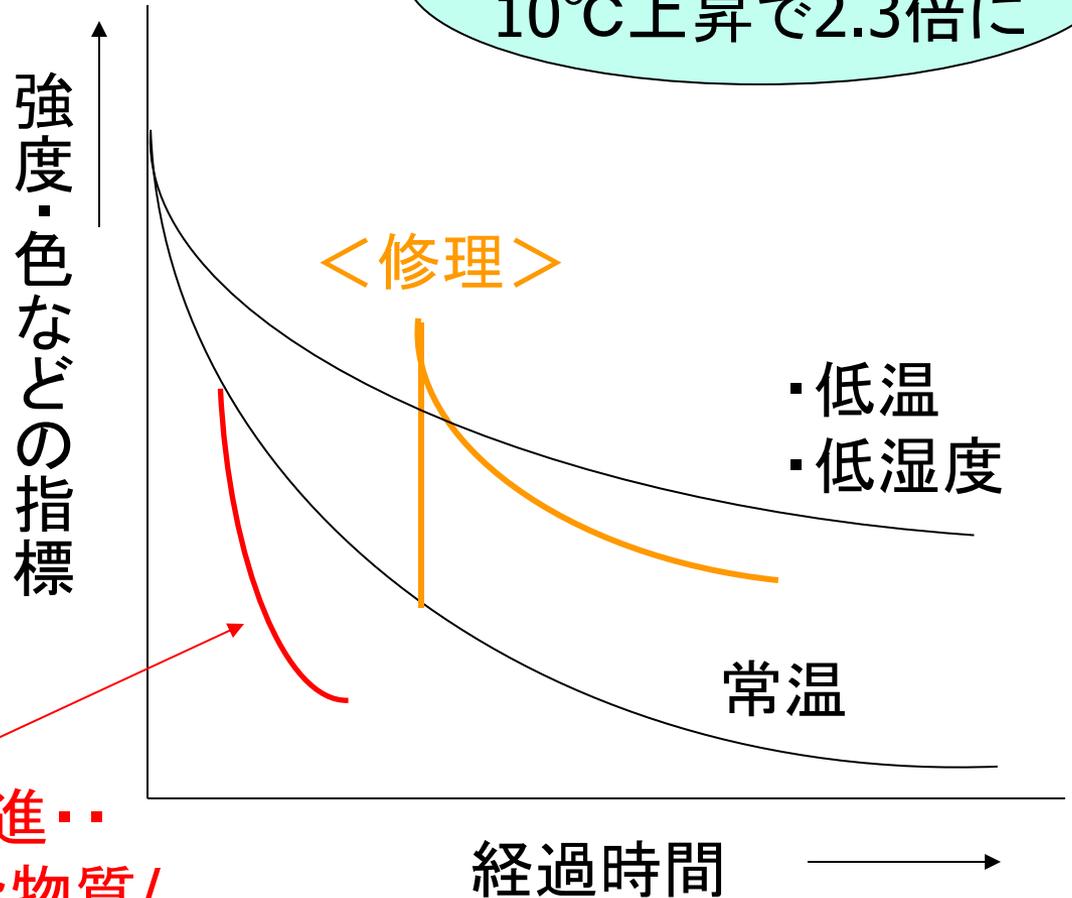


ひとくくりでは取り扱えない

- 材料について知る
- 製造技術について知る
- 環境の、資料に与える影響について知る
- 取り扱いの、資料に与える影響について知る
- **総体での保存を図る**

資料の寿命

- 化学反応は、特定の温度で、材料の濃度のみ依存して進行する
- 強度等は指数関数的に減衰

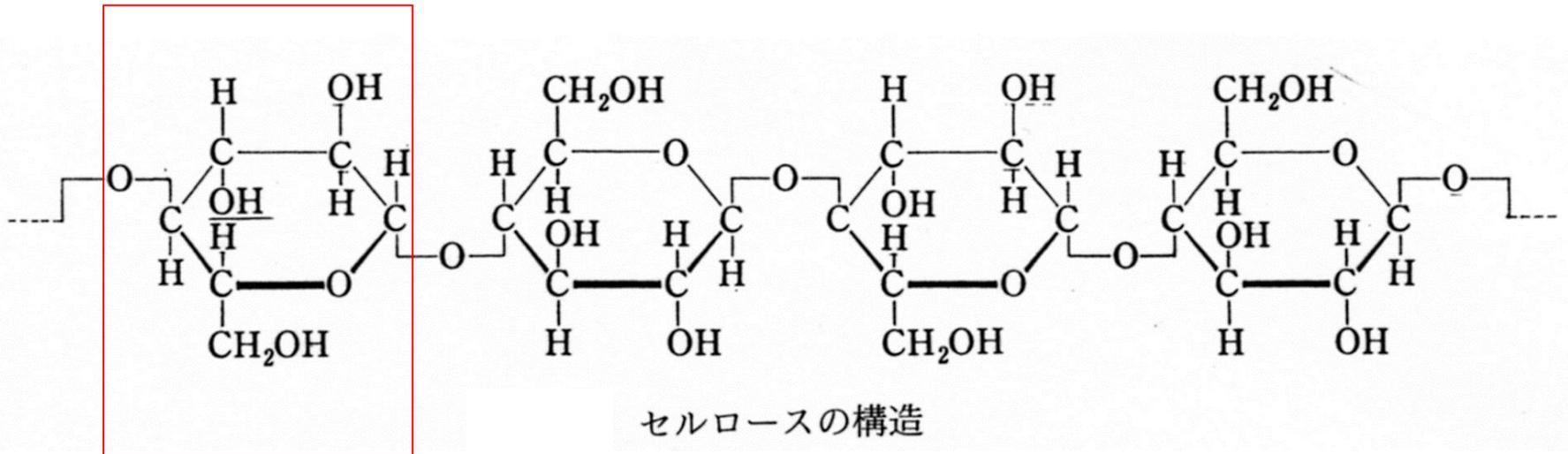


他の要因による劣化促進・・・
温度湿度変動大/汚染物質/
光による損傷/生物被害

寿命を決めるファクター

- 材料が均質であること
- 構造の特異性がないこと

世の中のほとんどの物質は
混合物で不均質



A V A V

寿命の長さの一般則

均質性が重要

一点モノの美術品

＞ 中央政権の歴史史料

＞ 歴史資料

地方文書・公文書・アーカイブ・マイクロフィルム

＞ 民俗資料

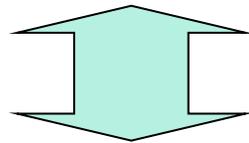
現代美術・画像/映像

＞ 薄利多売の工業製品・生活資材

＞ 一時的な資料・インスタレーション

保存環境づくりとは

- 資料保存の目的
形態・鑑賞価値・情報・技術その他
- 価値付けの主体者 人間
- 空気(酸素・水・二酸化炭素)があり、居住環境の温度帯
人間が利用可能な状態での保存環境設計



資料そのものの寿命

資料保存の基本

<温度と湿度の制御>

湿度優先制御
変動は緩やかに

<光の制御>

紫外線除去、赤外線除去
可視光線 照度制御

<空気汚染>

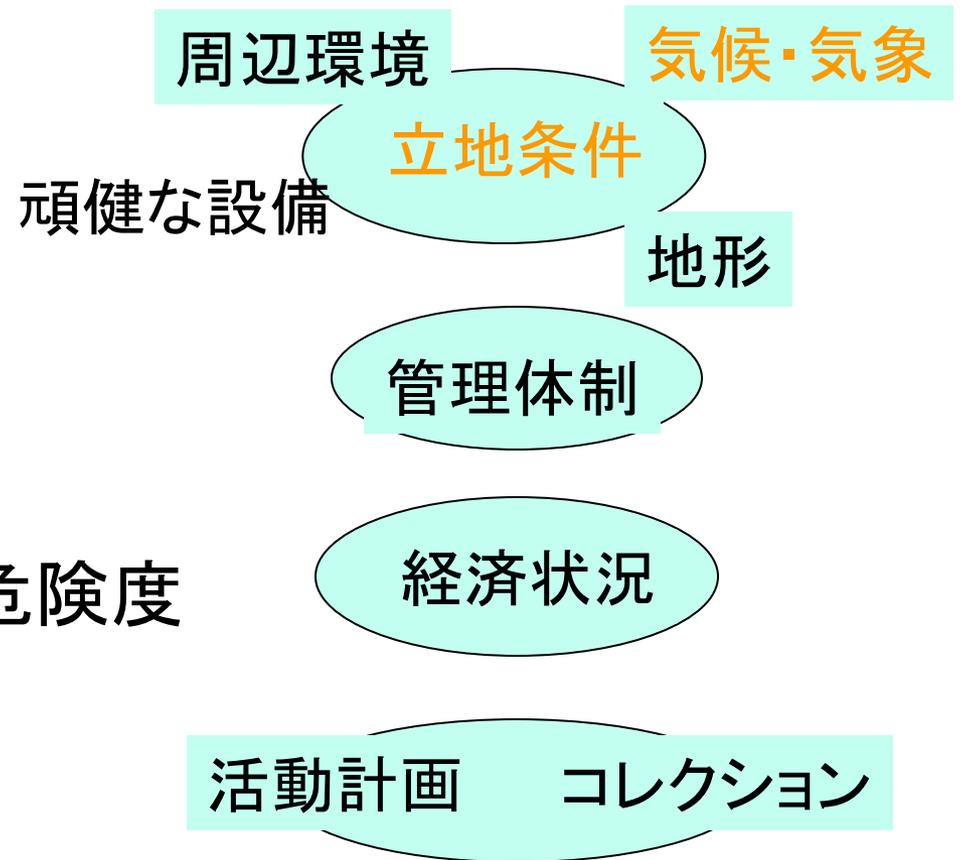
清浄な空間

<生物被害防止>

IPM (Integrated Pest Management)

総合的有害生物(害虫)管理

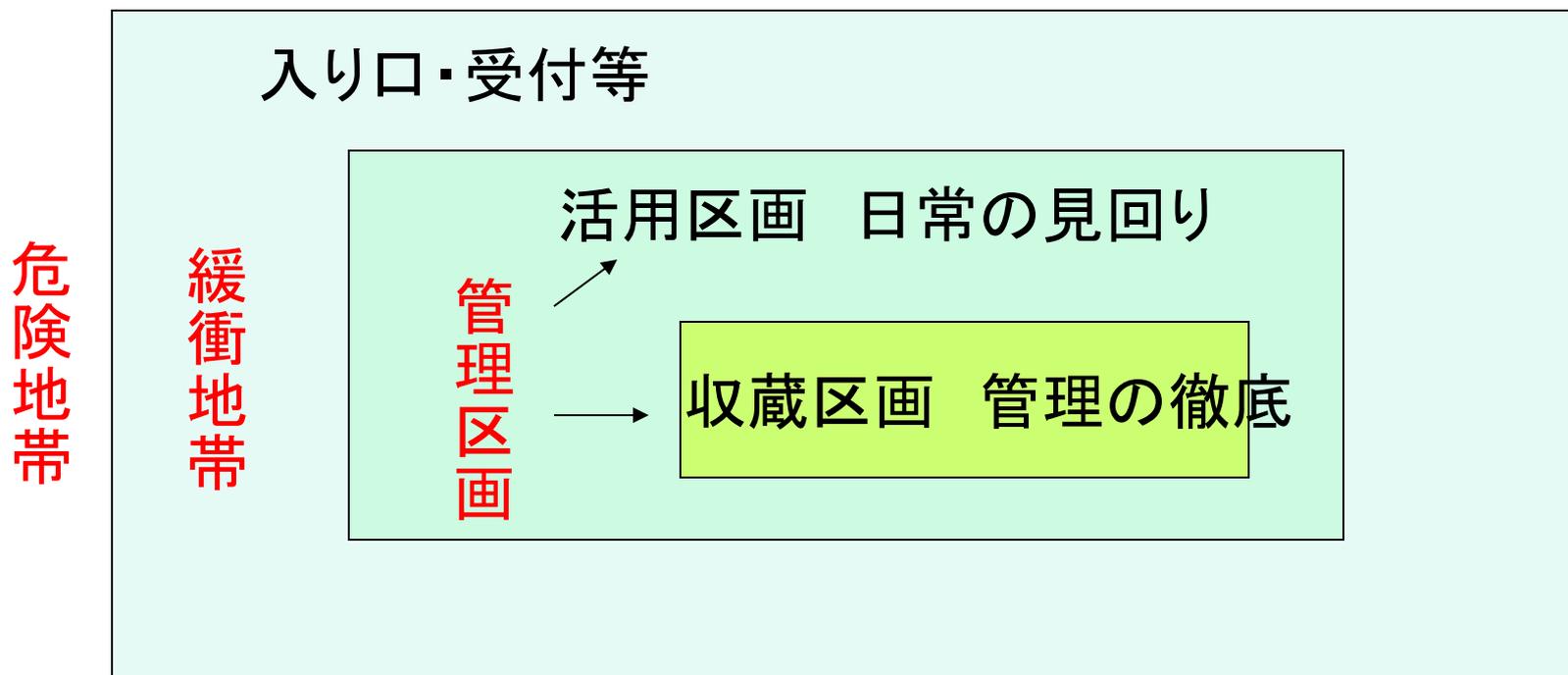
立地条件の影響－保存環境づくり



各要因の被害の大きさ
×事象の発生確率＝危険度

長期保存のための空間ゾーニング

- 熱/光/大気汚染/害虫は外部から波及
- 区画を分けて防衛
- 収蔵区画は外周より内部に



収納箱に資料をしまう

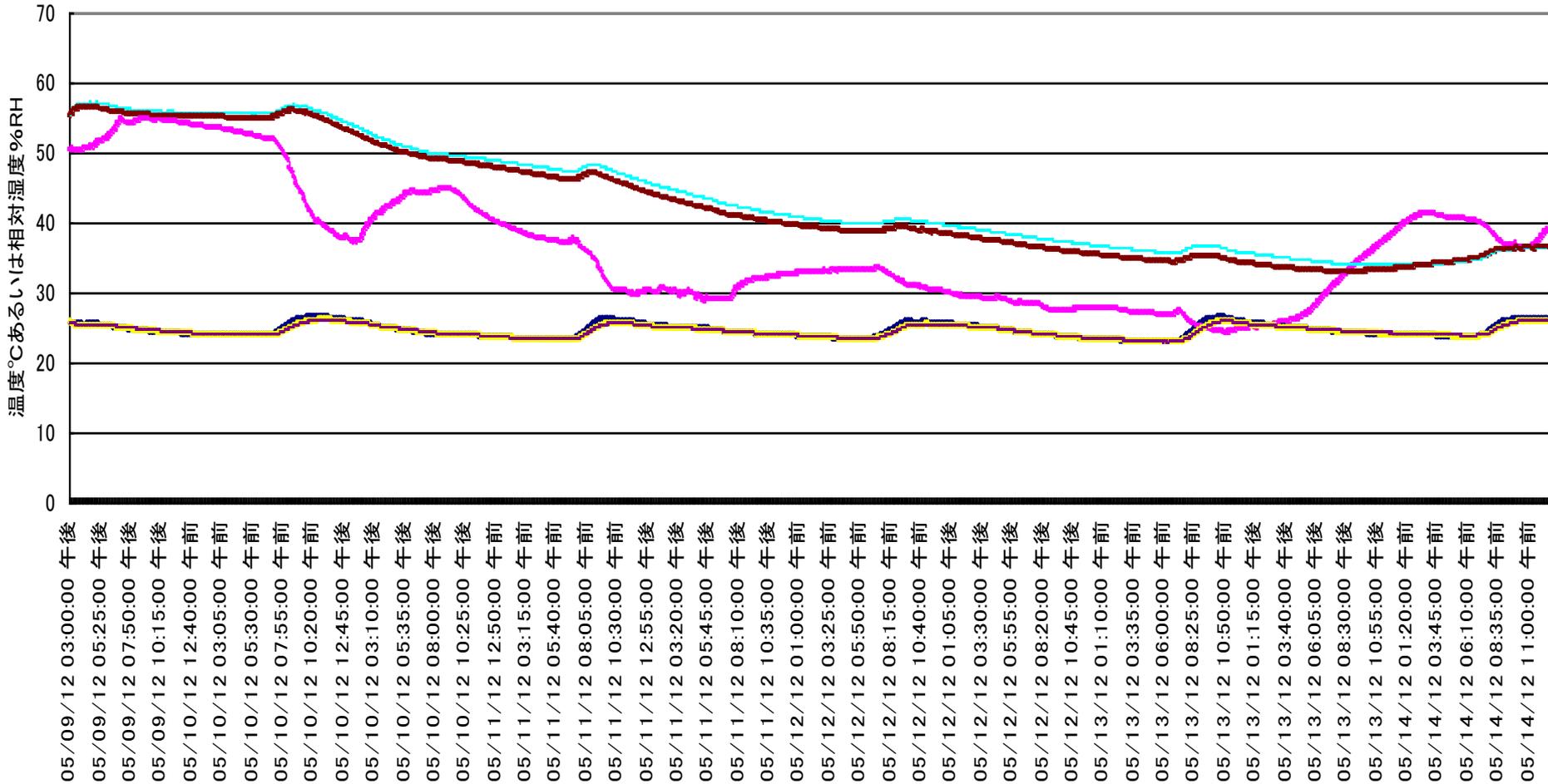


上蓋のみ
ちょっと壊れかけ

収納箱の効果

収納箱のテスト

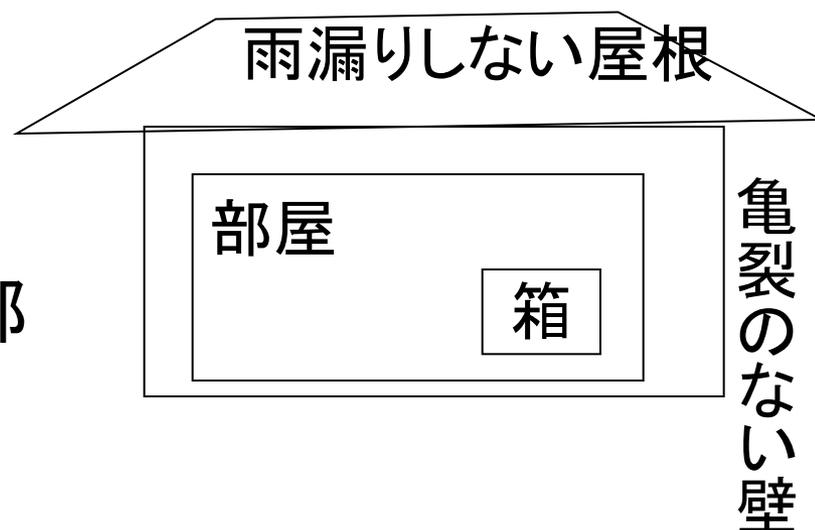
room Temp, ° C room RH, % Large Temp, ° C Large RH, % small Temp, ° C small RH, %



日付

基本的な施設要件—安全な建物

- 浸水しない立地
- 地震で崩れない建物
- 漏水のない建物
- 十分な断熱性能がある屋根・壁
- 資料を安全に取り扱える十分なスペースがある
- やや爽やかで快適な温度湿度環境
- 温度湿度の変化はゆるやか
- ゆるやかな気流
- 深呼吸できる清浄な空気
- 見やすい照明
- 害虫に侵入されにくい開口部



資料保存の基本

資料を正しく理解する(材料・技術・構造)

→ 劣化を予測する

→ 適した環境制御の選択

ゾーニング設計・設備対応と更新・管理

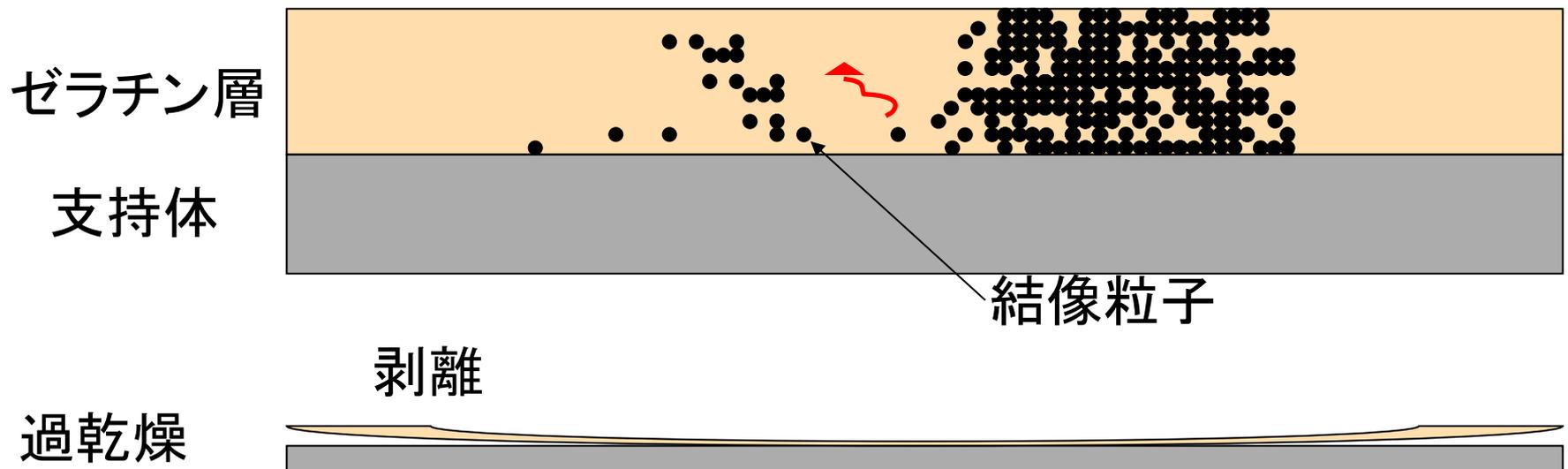
<材料の多様性・予見の困難さ>

フィルムの「保存」

- ・ マイクロフィルム
- ・ 所蔵・貴重書の公開閲覧用/代替物
- ・ 調査記録
- ・ 購入資料
- ・ 記録写真(ネガ・ポジ)
- ・ 映画フィルム
 - 密度の高い情報の保存
 - 処理までの期間の形態の保存

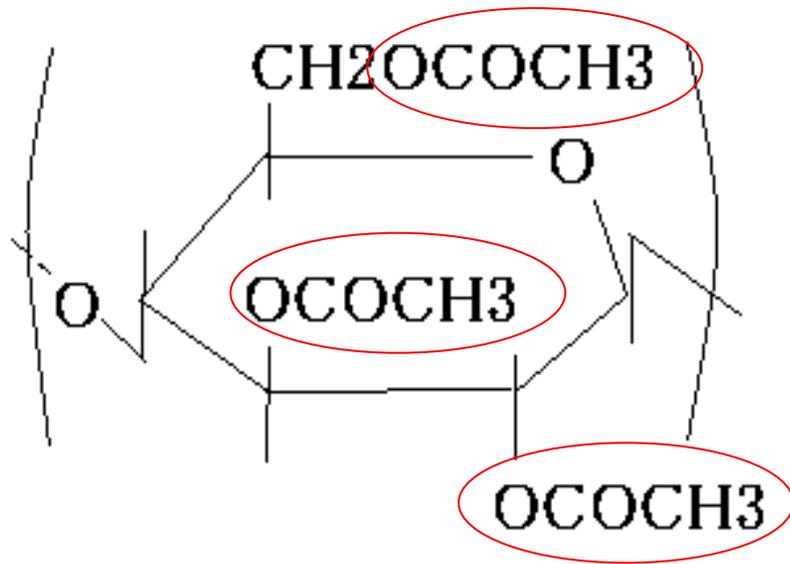
フィルムの構造

- 二層構造
- 温度が高いと結像粒子が動きやすくなる
- 過乾燥で層間剥離が起こる
- ゼラチン層はカビに食べられる、紫外線にも弱い

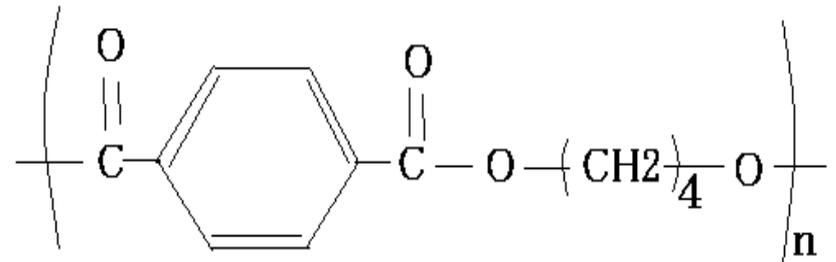


フィルム支持体の分解ービネガーシンドローム

TACは加水分解で酢酸 CH_3COOH を放出する



TACの化学構造



ポリエチレンテレフタレートの化学構造

TACの加水分解の進み方

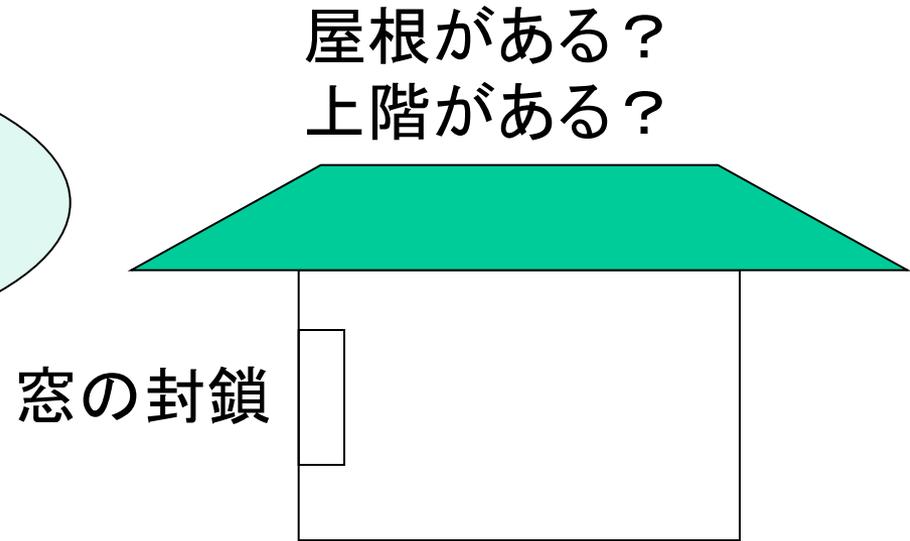
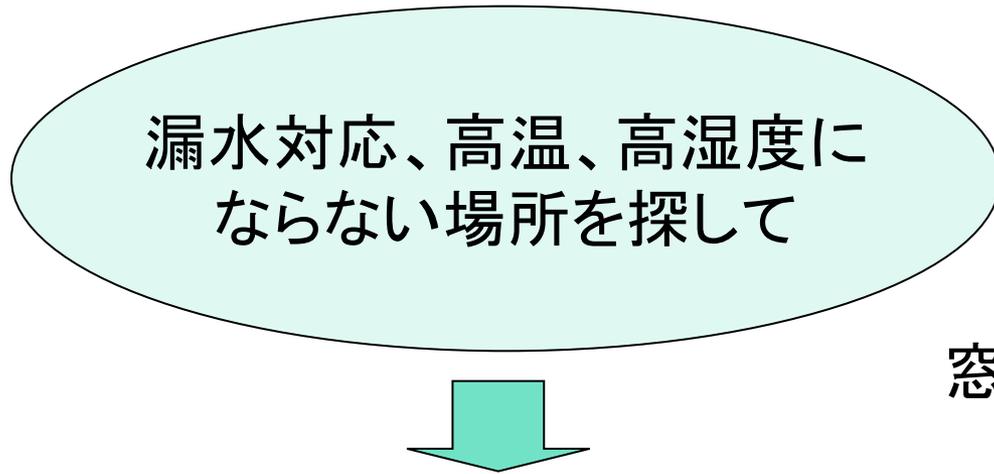
酸性環境では・・・

- TACの加水分解は**温度に依存**
- 熱力学的に平衡状態になる
- 酢酸ガスは触媒として加水分解を促進

新築のコンクリート造建物には
すぐに収納しない

- 1993年にはTACベースからPETベースに
全面切り替え

フィルム保管庫はどこに置くべき？



少しでも低温になる場所を保管場所を選択

建物内の温度湿度変化が緩やかになるよう断熱補強

あるいは、建物の内側にフィルム保管場所を設置

断熱性の高い収納箱＋酢酸除去剤、除湿剤

マイクロフィルム棚の材質は？

- スチールと木製、どちらが良いか？
 - スチールは脱ガスがない
 - 木製家具は断熱性が良い、窒素酸化物を吸着する
 - スチールは局部的に冷えて高湿度・結露にさらされる危険がある
 - 木製は、十分に枯らしてから使用しないと、酢酸ガスが充満することがある

モノへの影響 - 反応の進み方

- 高濃度
- 長時間
- 接触面積 大



反応速度大

- 資料の含水率 高



空間の相対湿度 高

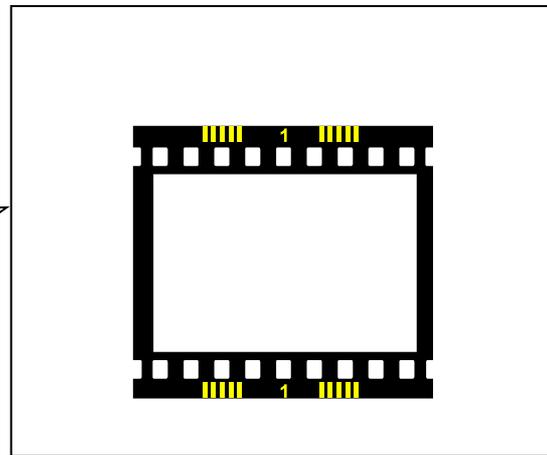
<化学物質の濃縮>

収蔵にあたって・・・低温・低湿・清浄

規格はweb上で閲覧可能

自己分解で発生する
酢酸ガスも除去する

酸性ガス
にも注意
が必要！



新築時のコン
クリートからの
アルカリ性粉
塵に注意！

不衛生なところは
アンモニアが多く
て分解が進む

アルカリリザー
ブは怖い

フィルムの保管にあてはめると・・・

- 密封しない
- 金属缶は温度上昇・低下がすみやかで、結露しやすいので避けるのが無難
- 空間の相対湿度は制御
- 吸着剤・除湿剤であっても接触させない

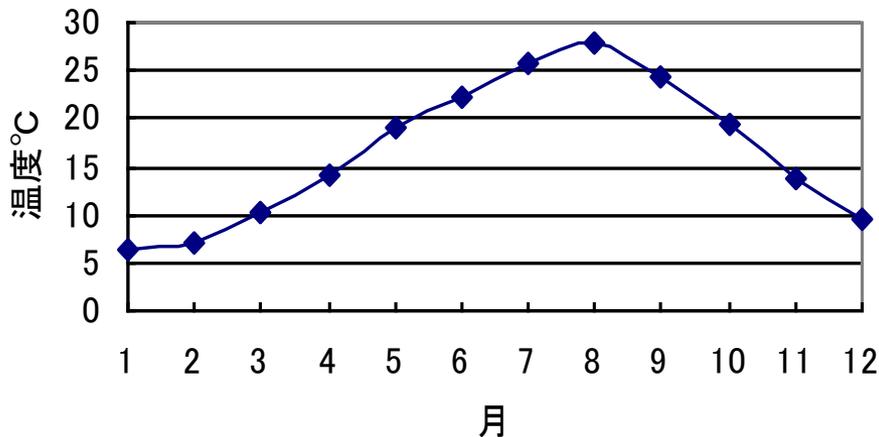


酢酸吸着剤がはりついてしまった例

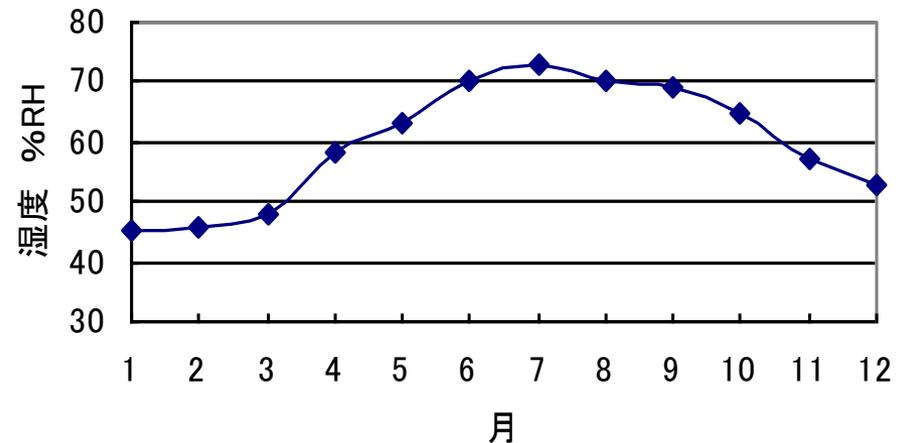
フィルム庫に 化学フィルター付空気清浄機を勧める理由

- フィルム保管条件と外界の環境条件がかけ離れているので、外気導入して換気して酢酸量を減らすのは困難

温度(東京)_3年平均



湿度(東京)_3年平均



東京外気の温度湿度月平均の3年平均値(気象局データ)

フィルムの劣化対策

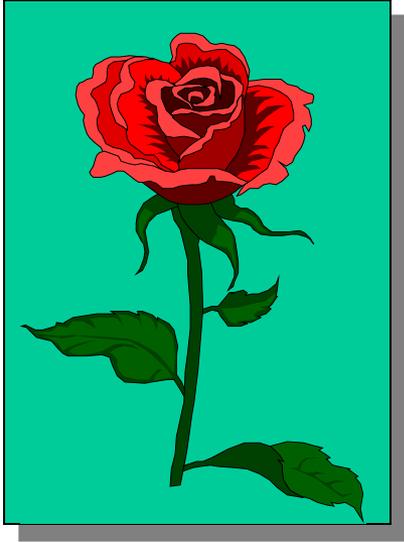
- 断熱の有利な場所にフィルム庫を置き、低温制御を達成しやすくする
- 外気は最小限に
- 除湿を徹底する
- 酢酸吸着剤を利用する
- 空間から酢酸除去するより、放散源の近くで吸着剤で除去する方が効率的
- 多量の資料の保存は空間を対策、少量の資料の保存は閉じ込めてその空間を処置

温湿度の制御と管理

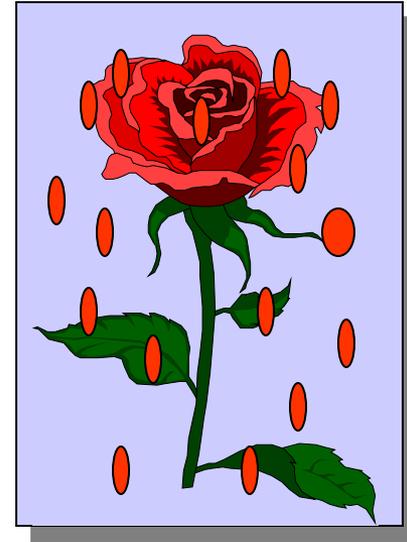
- 形態の変化の抑制
- 物質の移動の抑制
- カビ繁殖の抑止
- 結露させない
- 湿度変化をさせない

変温恒湿

温度と劣化



低い温度

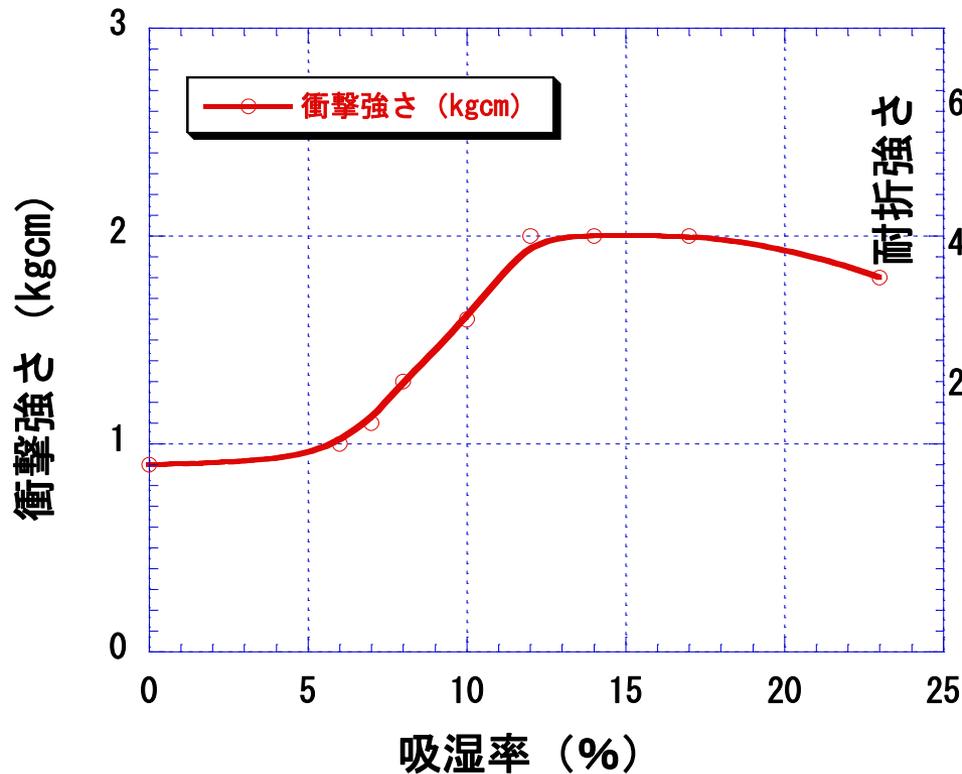


高い温度

材質の劣化＝化学反応  温度が高いほど速く進行

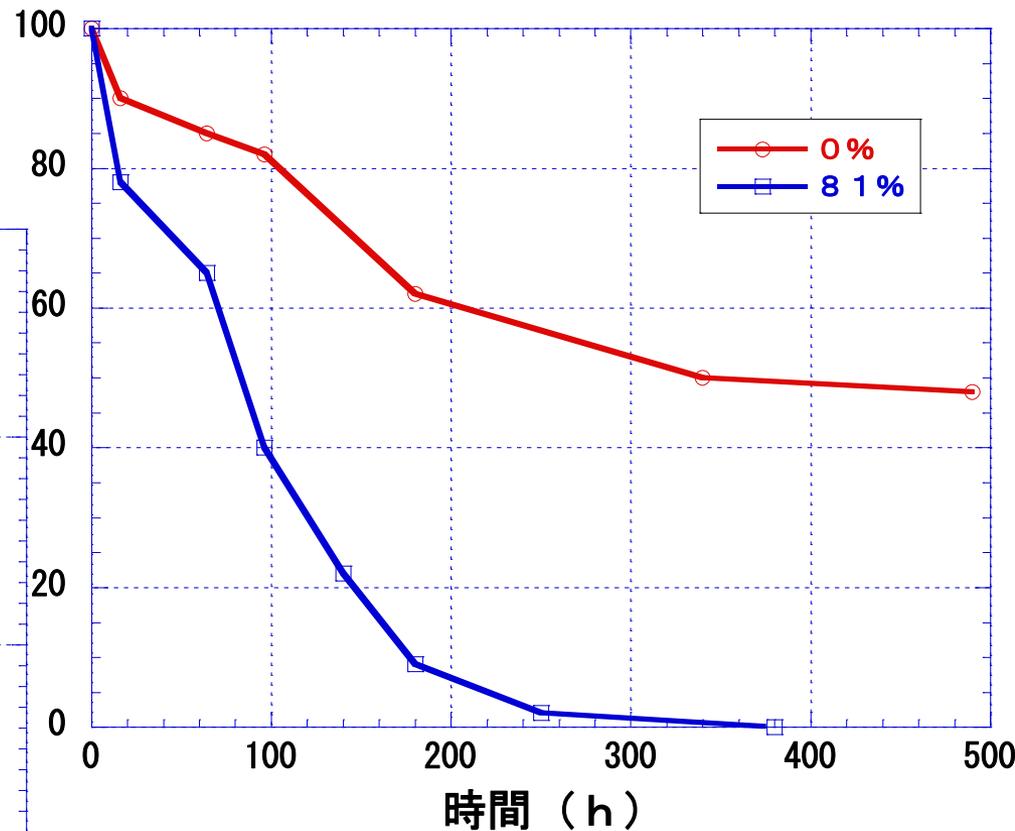
- できるだけ低い温度の方がよいが展示も考慮

紙の強さと湿度の関係



未さらしクラフト紙の吸湿率と
衝撃強さ(吉野)

『材料と水分ハンドブック: 吸湿・防湿・
調湿・乾燥』、高分子学会高分子と吸
湿委員会、共立出版、729(1968)



耐折強さに及ぼす湿度の影響
(ボンド紙、80℃にて老化)

尾関昌幸、大江礼三郎、三浦定俊: 紙の
劣化速度に関する検討、紙パルプ技術
協会誌、36、233-242、(1985)

材質に応じた湿度の条件

◇高湿度◇

100%

出土遺物(保存処置前のもの)
防黴処置が必要

◇中湿度◇

55-65%

紙・木・染織品・漆

50-65%

象牙・皮・羊皮紙・自然史関係の資料

50-55%

油絵

45-55%

化石

◇低湿度◇

45%以下

金属・石・陶磁器

塩分を含んだ物は先に脱塩処置が必要

15～40%

銀・ゼラチンマイクロフィルム(JIS Z 6009)

材質に応じた温度の条件

- 約20°C (人間にとって快適な温度)
- 緩やかな温度変化は許容

環境保全コストの見直し

- すべての温度湿度変化は緩やかであるべきである
- 温度変動は相対湿度変動よりも資料に与える影響は小さい
- $\pm 5\%$ RH内の相対湿度変動では、資料に形態変化を起こすような状態は生じない
- $\pm 10\%$ RHの相対湿度変動は、相対湿度変動に繊細な資料に被害を生じるおそれがある
- 季節変化に伴って環境条件の設定値を変化させるべきである(恒温恒湿制御から変温恒湿制御へ)
- 必要があれば気密性の高いケース・収納などを採用すべきである

“The Plus/Minus Dilemma: The Way Forward in Environmental Guidelines,”
IIC meeting held on 13 May, 2010 Milwaukee Wisconsin, USA

フィルムの保存

- もともと長期保存を期待されていなかった→ 消費者の声を受けて改善
- マイクロフィルムの材質と保管上の望ましい環境条件については、国立国会図書館ホームページや(社)日本画像情報マネジメント協会がインターネット上で情報提供
- 低温低湿度で保管すべき
- JIS Z 6009 銀・ゼラチンマイクロフィルムの処理及び保存方法

永久保存条件 最高温度 21°C

相対湿度	TAC 15%RH	PET 30%
	最高 40%RH	

<温度湿度のチェックポイント>

- 絶対値が65%を超えない
- 絶対値が40%を下回らない
- 短期の変動は避けるべき
- 温度については、資料の安全を図るために、取り扱う人間に負担が少ないよう27℃を超えない

< 施設のチェックポイント >

- 壁・床・天井の温度差は 0.5°C 以内におさめたい
- 湿気だまりを見つけて、解消する
- 結露を避ける

温度測定機器の原理

3ヶ月ごとの校正
が必要

2~3年に一度は
校正を



さまざまな温度湿度測定機器

室内の温度むらをなくす→湿度むらがなくなる

- 温度測定

室内、壁・床・天井

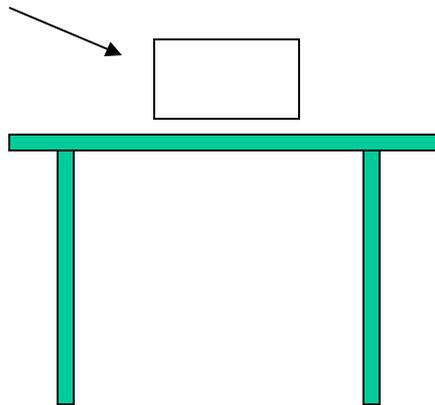
0.5℃以内なら問題なし

- 風速・風向

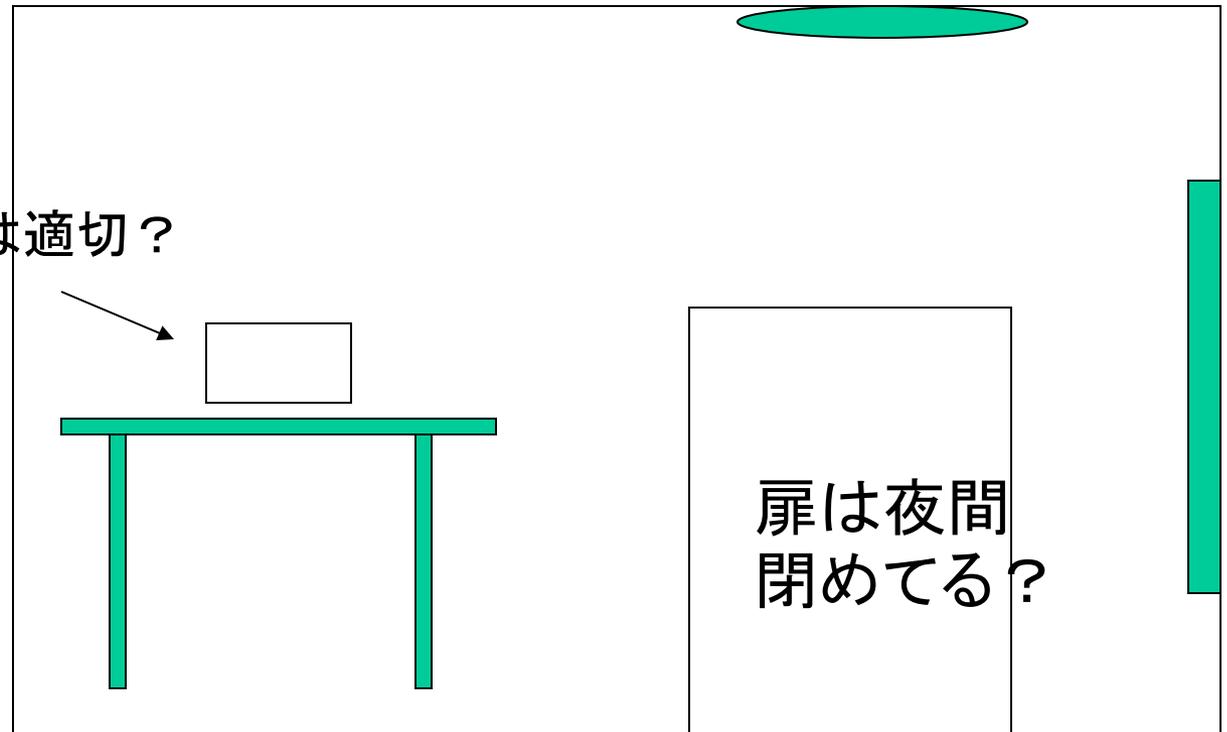
吹き出し口と
展示位置の関係は？



測定器の場所は適切？

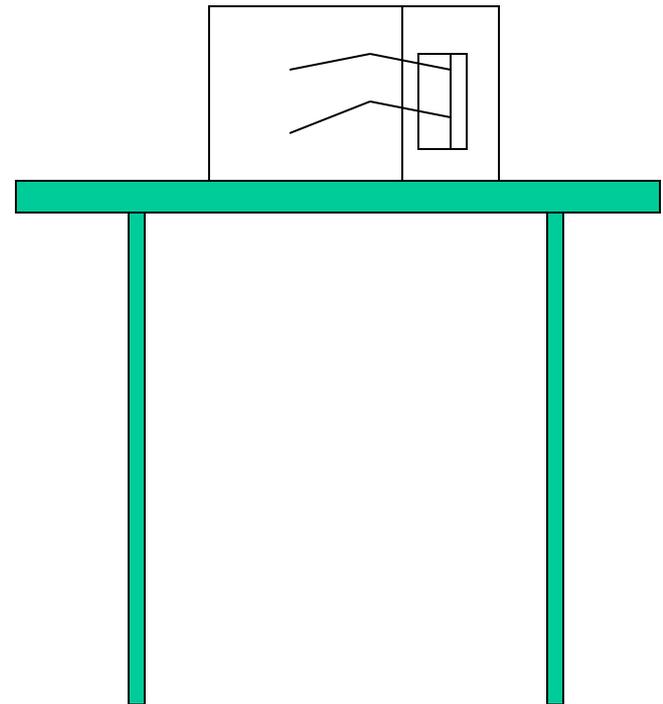


扉は夜間
閉めてる？



温度・湿度の測定

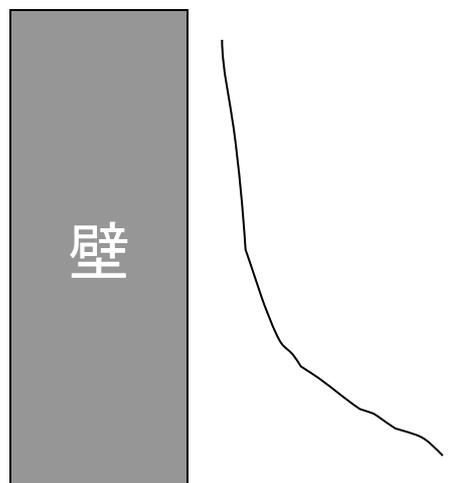
- センサーに風の当たらない場所で
- 床から70cm～120cmの高さに



湿気だまりの解消(1)

—送風機の利用—

- 入り隅
- 低位置



下から
30cmに
湿気は
たまる

吹き出し口の
側が一番汚い

平面図



天吊りの送風機の例

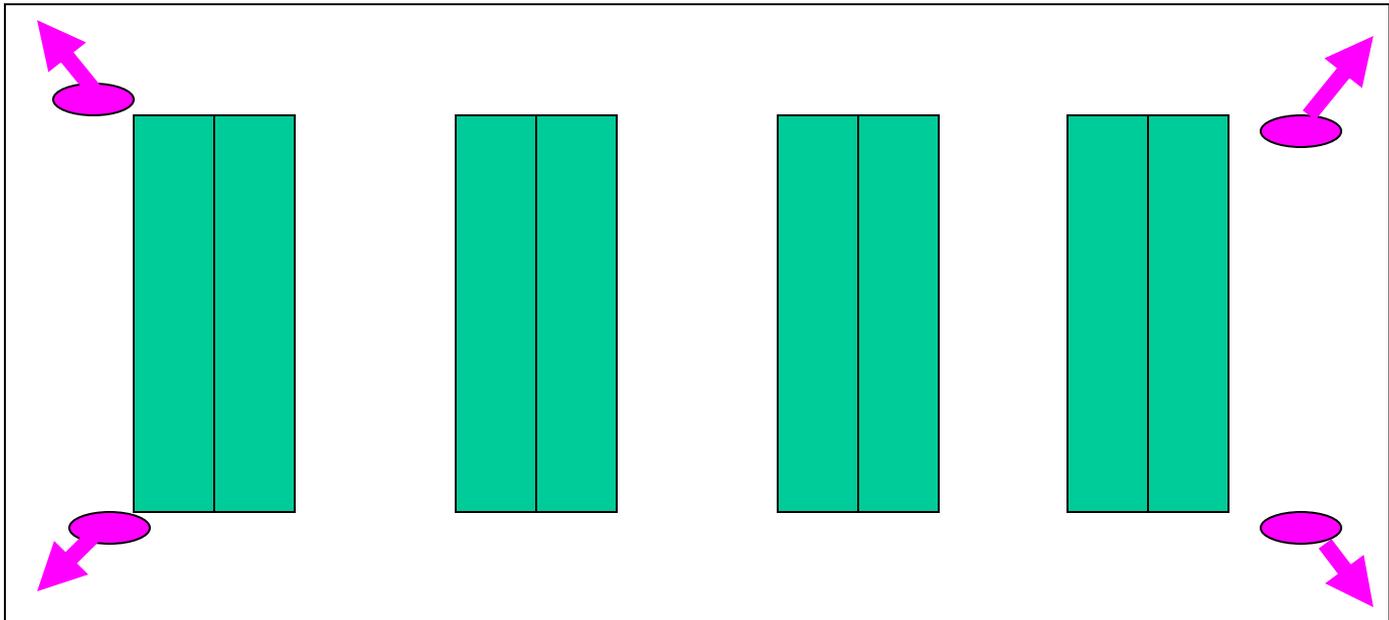


集密棚の方向にあわせて
送風機が設置されており、
部屋内の温度の均一化に
有効

塵埃も巻き上げないので、
空気環境清浄化に良好

湿気だまりの解消(2)

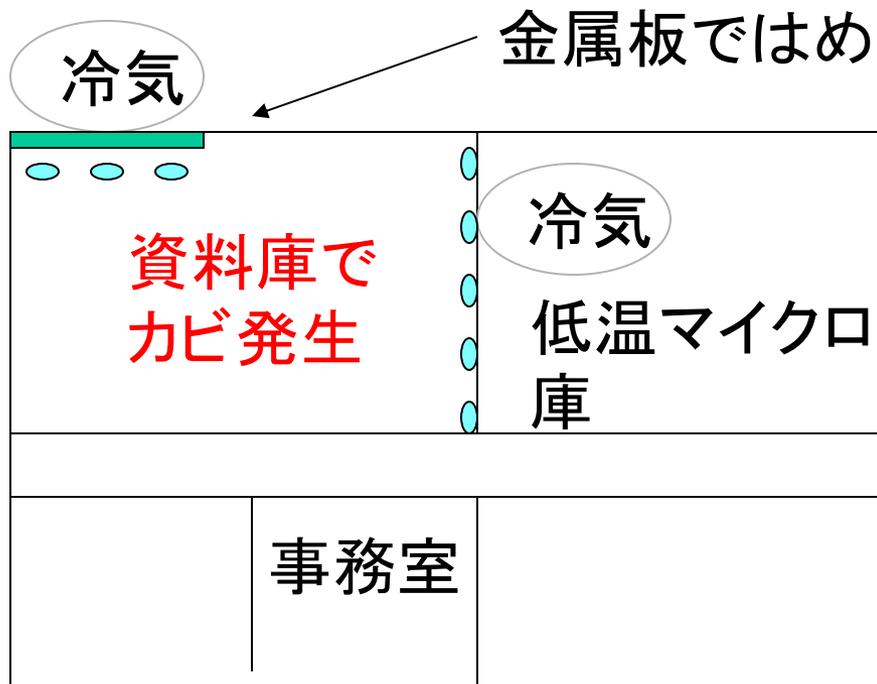
- 扇風機の利用 (温度差の解消)
- 棚等の配置を変える(資料をまもる)



結露を避ける

隣接区画との温度差に注意
→室内に温度むらを作らない

外部が内部より低温の時期



低温になった空間の
湿度が高くなる
→含水率上昇

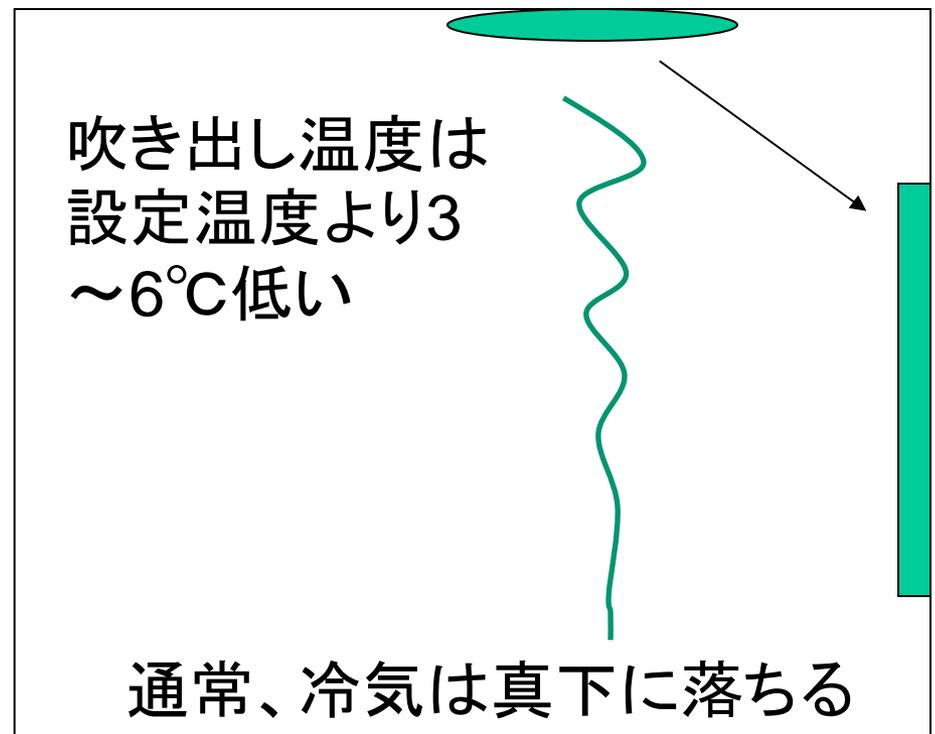
夏に事務室だけ冷房を入れると
カビの発生位置は事務室近傍に動く

被害事例1__吹き出し口の風があたって

- 吹き出し口と展示位置の関係が重要



羽の向きが悪いと、冷気が直接当た
ることも起こる



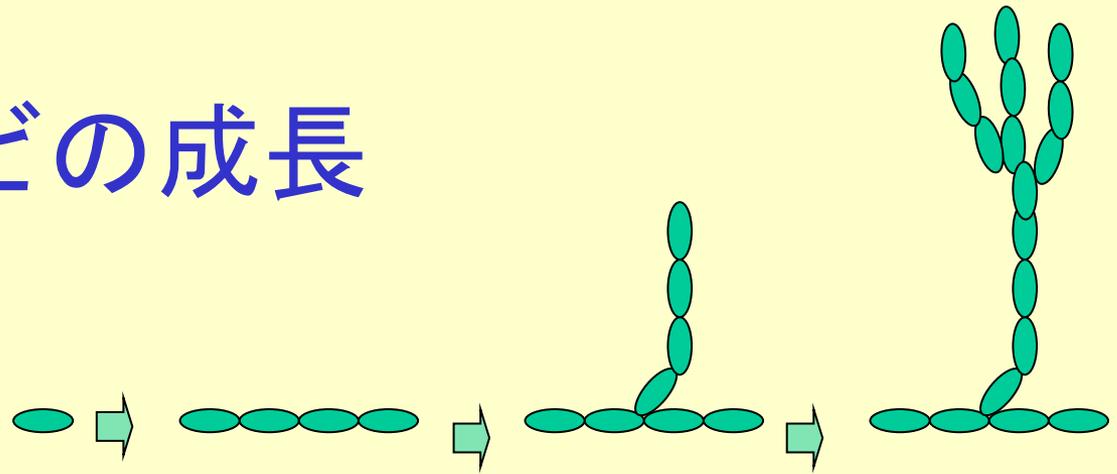
被害事例2__節電のトラブル

- 経費節減から常設展示室は28°C60%に設定していた(露点温度は19.5°C)
- 写真資料を展示していた展示室のみ20°C50%に設定していたが、その展示室まわりの壁が結露してカビが生えた



- 常設展示室温度を27°Cに下げ、写真展示室を21°Cにあげたら、解決した

カビの成長

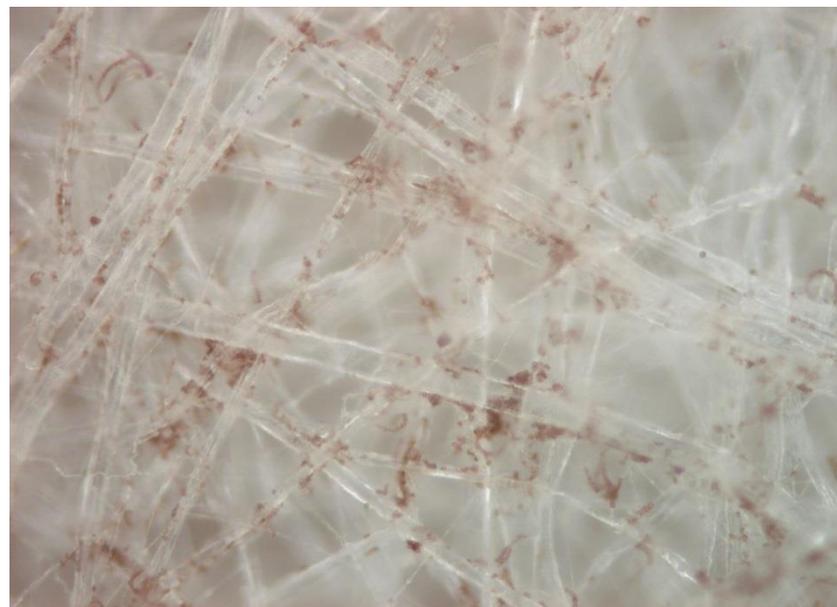


- 水・栄養・酸素などの条件がそろって細胞分裂を開始する
- はじめに基質内で水平方向に成長する(十分に栄養を摂取する、**見つけにくい**)
- 第二段階で気中菌糸が立ち上がる(**気がつく**)
- 環境条件により分生子、菌核、耐久性のある厚膜胞子などを作る
→繁殖あるいは休眠

カビによる影響の周知

- ①色がつく(分生子に色、色素産生、フォクシング)
- ②根が張る(文化財内部に菌糸が生長、物理的破壊)
- ③資料そのものを傷める(代謝物の有機酸などで、化学的影響)

文化財のカビ被害防止チャート
(2004年)

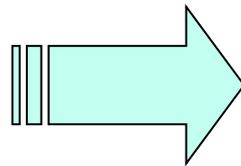


カビの生育条件

栄養分

- ・ 資料を構成する材料(紙、木材、絹、毛など)や糊, 膠など、資料由来の栄養分
- ・ **修復・装幀 新しい栄養分の供給**
- ・ 革製品, 動物標本, 植物標本等のタンパク源そのもの
- ・ ほこり、カビの死骸など

水の量



水の利用しやすさ

カビの生えやすさに、大きく影響

生育速度に関連する要因

- <相対湿度> 高いほど早く成長する、60%RH以下で繁殖できる菌は少ない
- <酸素濃度> 休眠するが死滅しない
- <温度> 成長は遅くなるが止まらない
- <風> 表面の保湿膜を取り除く作用があり、水の利用が阻害される
- <光> 紫外線の影響を受けやすい
- <化学薬剤> 室内大気内に含まれる汚染物質の種類により異なる

カビの制御

- 物理的制御

細胞レベルの対象に損傷を与える手法
→ かならず人体にも影響がある

- 化学的制御

「カビ」は地獄上の最終分解者
→ 何でも栄養にできます

実践編

カビの発生しない環境づくり

- ①施設や展示ケースの定期的な清掃
- ②清浄な空気環境
- ③温度・湿度モニタリング
- ④滞留しない空気の流れ
- ⑤資料点検

生育に必須な要素
(水/酸素/栄養分)
の利用を制限

収納前の資料清掃と隔離

- 収納前の点検と一緒に塵埃を払う
- カビの被害を受けている可能性があれば、他の資料から隔離して保管
- 作業区画を設けて処置



カビ処置の際の注意

- アレルギー 殺菌しても反応
- 病原性 日和見感染に注意



綿のマスクで良い
(分厚いもの)

作業着を着用
(頻繁に洗濯)

呼吸の保護具・・・マスク

- ディスポーザルマスクを推奨
- 可能であれば、食事前後でマスクを更新
- どんなマスクでも、それなりに効果はある
- 作業内容、発塵場所からの距離によって、防塵性能の高いマスクが必要かどうか判断する
- 一般に防塵性能の高いマスクほど吸気抵抗は高く、激しい労働には向かない。
- 長時間、皮膚に触れるものであり、蒸れもあり、肌に炎症を起こすなど相性があるので、数種類のマスクを試してみる

使い捨てマスクの防塵性能

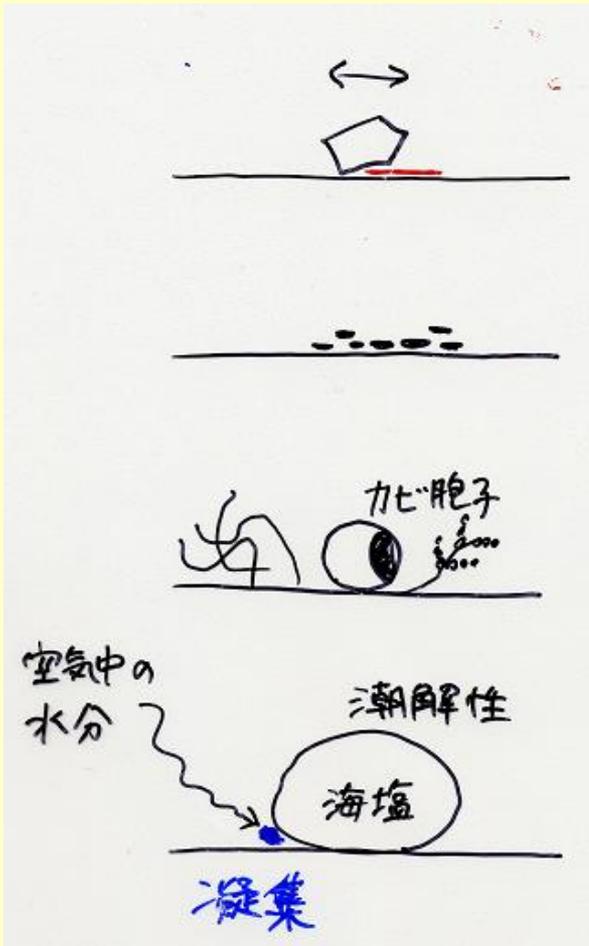
- N95 アメリカNIOSH規格、NaCl粒子で検査、個数基準中央径 $0.075 \pm 0.02 \mu\text{m}$ 、捕集効率95%以上
- DS2 日本国家検定規格、NaCl粒子で検査、個数基準中央径0.06から $0.10 \mu\text{m}$ 、捕集効率95%以上
- FFP2S ヨーロッパEN規格、NaCl粒子で検査、個数基準中央径0.6、捕集効率94%以上
- PFE (particle Filtration Efficiency) 試験 粒径 $0.1 \mu\text{m}$ のポリスチレン微粒子で判定。
- BFE (Bacteria Filtration Efficiency) 試験 ブドウ球菌を含むエアロゾル粒径 $3 \mu\text{m}$ の透過性で判定。

区域	落下細菌数 (5分あたりの個数)	落下真菌数 (20分あたりの個数)	浮遊細菌数 (100リットルあたりの個数)	浮遊真菌数 (100リットルあたりの個数)	付着細菌数 (25平方センチメートルあたりの個数)	付着真菌数 (25平方センチメートルあたりの個数)
汚染区域	100以下		100以下		100以下	30以下
準清潔区域	50以下	30以下	40以下		30以下	10以下
清潔区域	30以下	10以下	10以下	5以下		

数値は、アメリカ航空宇宙局(NASA(ナサ))の定める空気清浄度クラスに対応しており、清潔区域はNASA(ナサ)基準の清浄度100,000にほぼ対応する。(「カビ専門家会合」より、文部科学省HP)

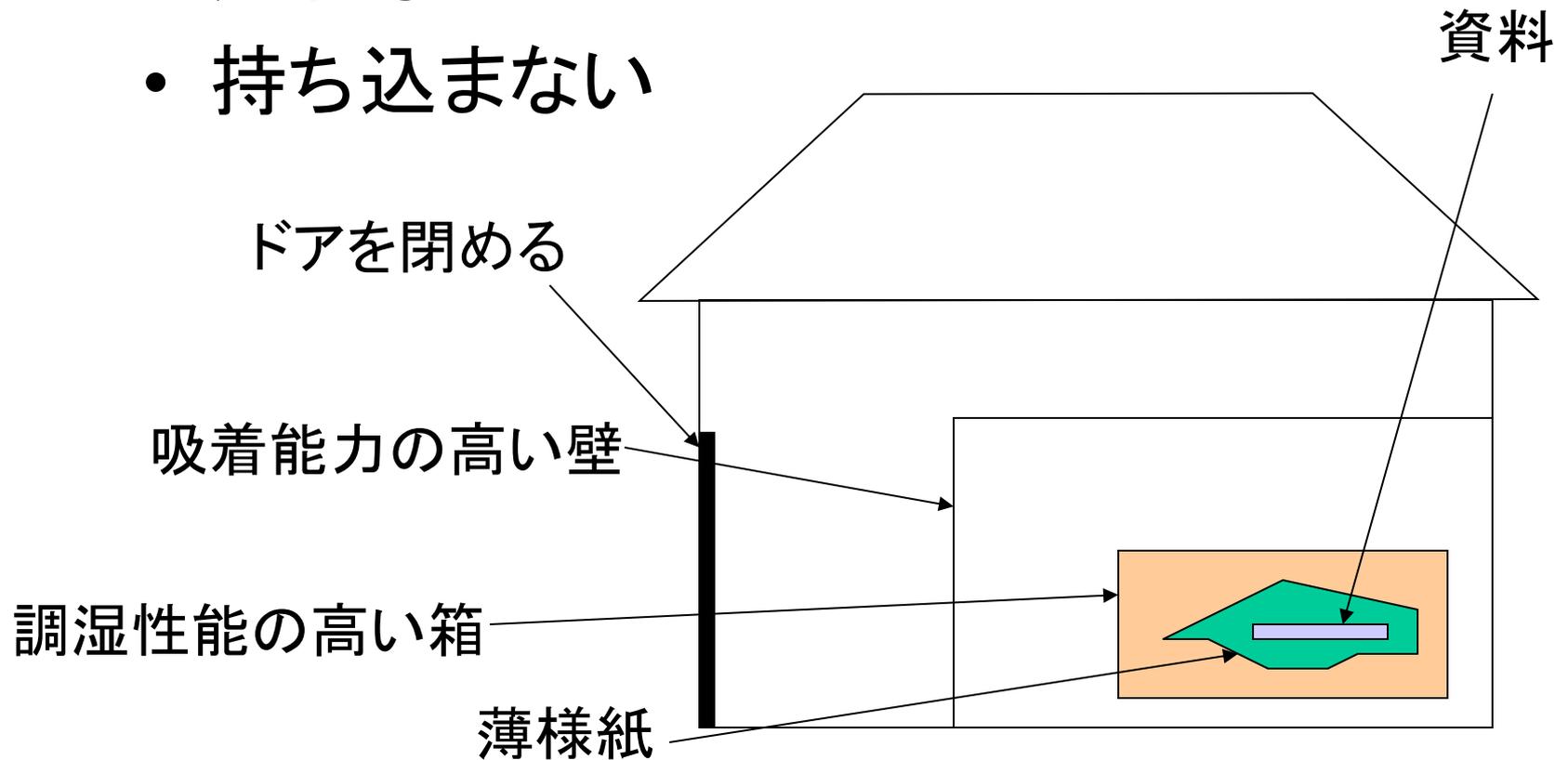
粒子状物質の影響

- 摩耗
- 汚損
- カビの発生→フォクシング
- 資料表面の水分量上昇
→ガス状物質の濃縮・
カビ繁殖の誘因



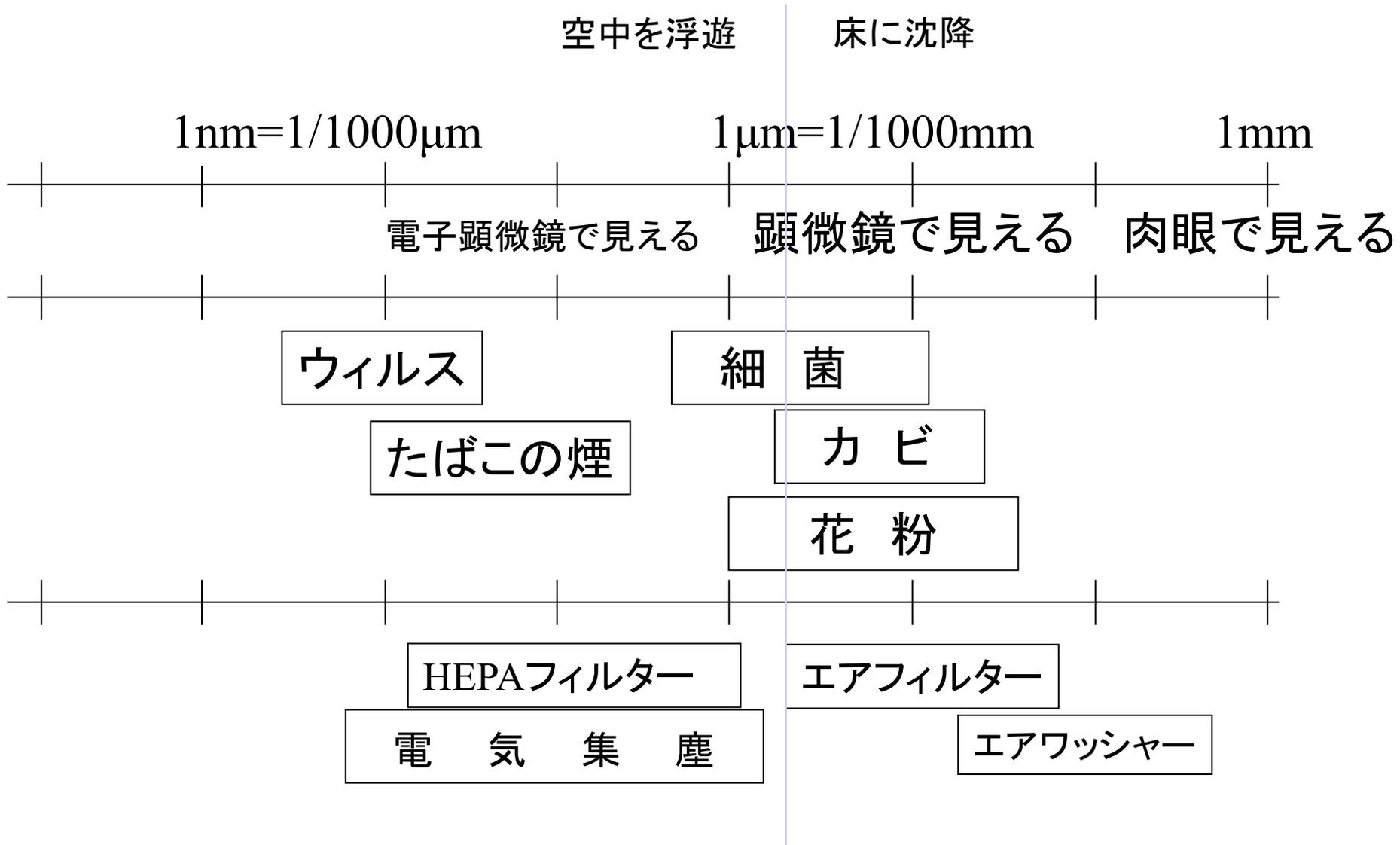
大気汚染対策の基本

- 入れない
- 持ち込まない



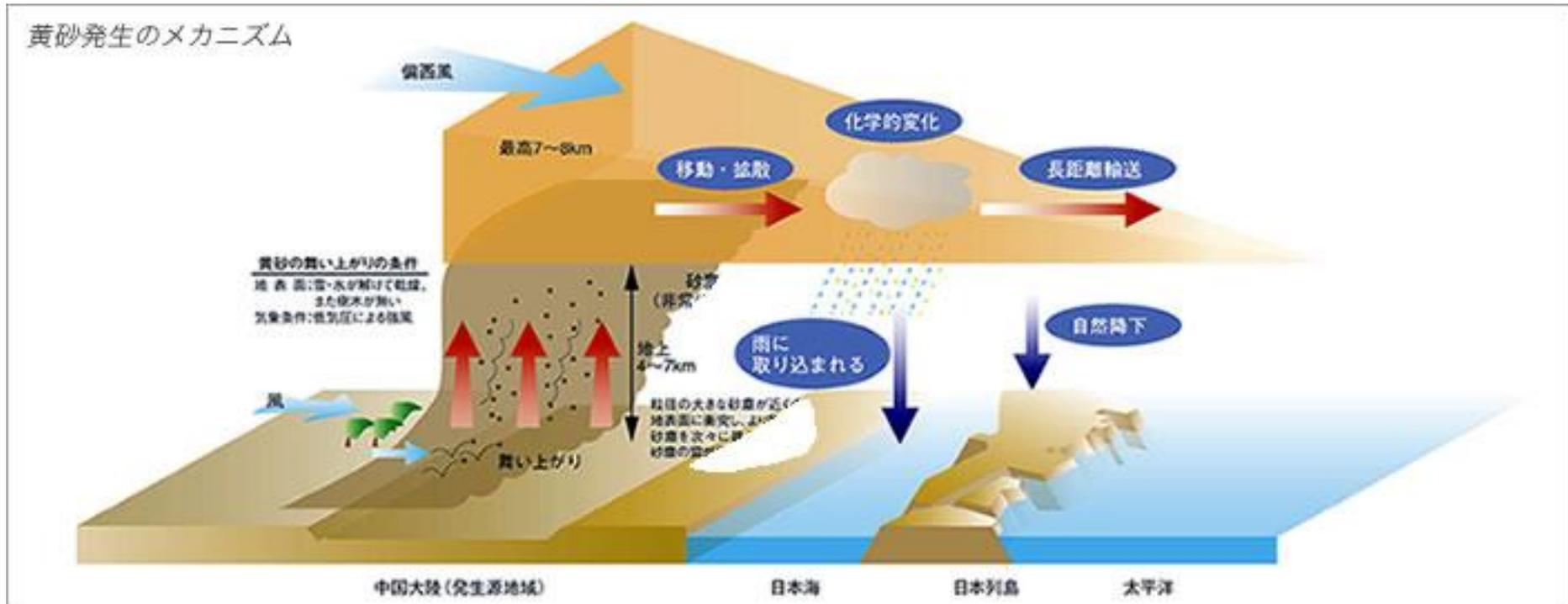
主要な粉塵の粒子径

- 2 μm を境に挙動が異なる

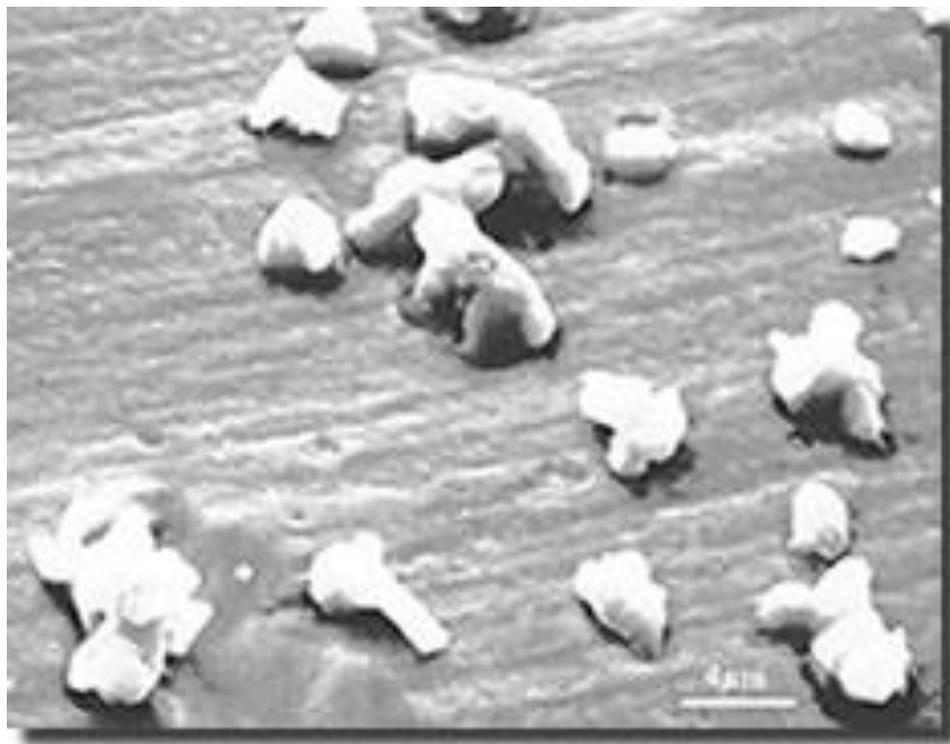


黄砂__文化財管理上の問題

- 吸着した化学物質等への対応が必須



•環境省HP「黄砂の発生と輸送のしくみ」



黄砂粒子には、石英・長石などの造岩鉱物や、雲母、カオリナイト、緑泥石などの粘土鉱物が多く含まれる。

円形ではないものが多いので、非環形粒子状物質として分別される
粒径は0.05～10μmに分布

日本まで到達する黄砂の粒径の分布は、直径4μm付近を中心に分布している。

環境省HP「飛来する黄砂粒子の性質」

文化財への影響 — 大気汚染

化学物質	発生源	影響を受ける材質
硫黄酸化物	工場・火山	金属腐食
窒素酸化物	車	金属腐食、紙・染織品脆化
硫化水素	火山	金属腐食、特に銀の黒化
オゾン	太陽光	有機物脆化
塩化物	海	腐食促進、特にブロンズ病
微小カーボン	車	汚損

PM2.5 とは

- 粒径が2.5マイクロメートル以下大気中の微小粒子状物質
- 環境基準(2009年)
- 一年平均値に係わる基準値 $15\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 一日平均値に係わる基準値 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$
- 2011年度にPM2.5モニタリングが多くの自治体で始まる
- 健康影響や文化財影響は未解明

2011年度の連続測定結果に基づく全国的なPM2.5汚染の状況解析、板野ほか、大気環境学会誌、48(3)、154-160(2013)

上手な掃除のしかた

- 水拭きが先
- 掃除機は後
- 排気が床にあたらないように、持ち上げられるような軽い掃除機が良い
- 繰り返しの掃除が有効
- 壁・天井も10年に一度は掃除



空気清浄機の利用

- 目の細かいフィルターでろ過するタイプを選ぶ
- HEPA等、目の細かいタイプを選ぶ
- 吸い込み・吹き出し 範囲に限界あり



細かな粒子は浮遊
粗い粒子は床に沈降

空調ダクトに組み込むのが1番
扇風機等を利用して風を送る

持続可能な環境管理

- ・ 資料と人にやさしい環境を作る必要がある
- ・ 図書館・文書館の資料の保存年限を定める

• 「手をかけ、目をかけ」

資料を大事に思う心が資料をまもる