

# 低コスト・低エネルギー型の収蔵環境構築について

— 木質収蔵庫及び木材調湿性についての基礎調査 —

芳 賀 文 絵 (東北歴史博物館)

及 川 規 (東北歴史博物館)

1. はじめに	3. 木材についての基礎実験
2. 木質収蔵庫の温湿度調査結果について	3-1 調湿湿度の違いによる湿度環境
2-1 温湿度調査	3-2 調湿木材箱内の調湿性
2-2 湿度環境改善	3-3 木材の調湿性及び樹種依存性について
	4. おわりに

## 1. はじめに

筆者らは低コスト・低エネルギー型の収蔵庫環境構築のための研究の一環として、収蔵庫温湿度環境調査や安価で簡便に設置できる可換式の収蔵庫用パネルの開発検討を行っている。特に木材は優れた調湿性に加え、樹種により防菌・防虫性を示すものもあり上記の収蔵環境構築のための材料として有望な候補の一つである。文化財収蔵施設のうち、木材を使用した収蔵庫（以下、木質収蔵庫）では、高い調湿性を持ち、低エネルギー型収蔵庫として期待できる。しかし一方、調査事例において木質収蔵庫では長期間空調機器を使用しない状態で、収蔵庫内が高湿度状態で安定する場合があります、その改善が必要とされた。本稿では木質収蔵庫の温湿度調査結果とそれに伴い実施した木材の調湿性についての基礎実験から得られた知見について報告する。

調査、実験に使用した器材等は表1に示した。

表1 使用機器

機器	仕様
温湿度計 (調査2)	おんどとり TR-72wf 測定間隔30min
(実験3-1、3-2)	佐藤計器 SK-L200TH II a 測定間隔1 min
(実験3-3)	HOBO UX100-011 測定間隔5 min
恒温器	定温恒温器 (ヤマト科学) DK810
恒温恒湿器	恒温恒湿器 (ヤマト科学) IG421

## 2. 木質収蔵庫の温湿度調査結果について

木材の有効性を検討するに当たって、まず既存の

木質収蔵庫の温湿度挙動を評価した。

### 2-1 温湿度調査

#### 1) 調査対象・方法

木質収蔵庫の温湿度調査を実施した。調査対象としたのは、町立文化財収蔵施設内の3室であり、それぞれの部屋を収蔵室1、2、3とし、収蔵室について表2に示した。これら3室にデータロガーを1台ずつ設置し、温湿度調査を行った。

#### 2) 結果

温湿度調査結果を表2、図1に示す。温度安定性については、2階層であり、遮光が暗幕のみである収蔵室3の安定性がやや低いが、収蔵室の違いによる著しい違いは認められなかった。湿度安定性については、特に木質収蔵庫である収蔵室1が日較差、年間湿度偏差が共に最も値が小さく高い湿度安定性を持つことを示した。一方で適湿性を見ると、年間湿度平均が80%であり、高湿度環境で安定していることが示された。収蔵室2、3は大まかに春-夏期に高湿になり、秋-冬期にかけて湿度がやや低下する傾向があった。

### 2-2 湿度環境改善

温湿度調査結果から、木質収蔵庫は高い湿度安定性を持つ一方で、高湿状態で安定していることが確認された。高湿環境は文化財資料の生物被害等の原因となりうるため、環境改善が必要とされた。収蔵

室2内の木材中の水分が高湿度の原因の一つと予想されたため、換気による環境改善を試みた。

### 1) 方法

収蔵室1の高湿度環境を改善するため、秋季の一定期間に収蔵室1と収蔵室2の間の扉を開放し、また収蔵庫内を換気するため1日1時間程度扇風機で収蔵室1の空気を、収蔵室2を通して外に排気した。換気日及び扉開放期間は図2中に示した。

### 2) 結果

結果を図2、表3に示す。扉開放期間は収蔵室1の湿度は収蔵室2の湿度変化に追随して低下し、開放期間後の11月から3月の湿度平均を比較すると、前年より約5%程度湿度平均は低下し、中長期間にわたる換気の効果が確認された。しかし一方で扇風機を使用した換気については、換気を実施した時刻には、急激な湿度低下が見られたが、換気終了後、2、3時間で元の湿度値近くに戻っており、湿度低下の効果は見られなかった。よって、収蔵庫内の高湿度環境の改善方法として、一定期間の木材の換気または乾燥は有効であると考えられた。

表2 収蔵室温湿度調査結果

調査対象	収蔵室1	収蔵室2	収蔵室3
調査期間	2014年4月1日～2015年3月31日		
仕様	木質収蔵庫	展示室	一般室
階層	1階	1階	2階
遮光/空調	◎/×	◎/×	暗幕/×
温度 年間平均	12.5	13.3	13.8
夏/冬平均	19.1 / 5.9	19.6 / 6.8	21.3 / 6.3
日較差平均	0.4	0.3	1.5
年間偏差	7.5	7.2	8.6
夏/冬偏差	3.4 / 3.6	3.3 / 3.4	4.0 / 4.4
湿度 年間平均	80.0	73.0	66.5
夏/冬平均	82.0 / 78.0	78.0 / 67.9	68.2 / 64.9
日較差平均	0.9	1.5	2.3
年間偏差	3.8	6.4	5.0
夏/冬偏差	3.9 / 2.4	5.1 / 2.4	5.4 / 4.1
適湿性	年間を通し て高湿	春-夏期が 特に高湿	春-夏期が やや高湿
湿度安定性(夏/冬)	◎/◎	△/◎	△/△

表3 収蔵室換気実施による比較

11-3月湿度	2014		2015	
	平均	偏差	平均	偏差
収蔵室1	78.6	2.1	73.8	2.3
収蔵室2	68.2	2.3	69.8	2.1
収蔵室3	66.2	2.5	65.3	3.0

## 3. 木材についての基礎実験

木質系収蔵庫の温湿度調査結果を受け、木材調湿性に着目した基礎実験を行った。木材の樹種により調湿性に若干の差があることは永井などにより報告されている<sup>1)</sup>。そこで今回はさらに文化財分野に多用されており、かつ揮発成分の文化財材質への影響の知見がある樹種の調湿性について検討した。

### 3-1 調湿湿度の違いによる湿度環境

まず、先の木質収蔵庫環境が高湿度で維持されたことを受け、一定期間ある湿度に調湿された木材が周辺環境に及ぼす影響を確認した。

#### 1) 材料と方法

恒温恒湿器で23℃、60%、80%に調湿した空間に48時間保管した木材試験片及び調湿なしの気乾状態のスギ(10×5×1cm)をそれぞれ2片サンプル管(450mL)内に温湿度計と共に密閉し、恒温器内で6時間ごとに温度を15℃→25℃と繰り返し変化させ、24時間のサンプル管瓶内の温湿度を計測した。試験片は室内に開放系で10年以上保管したものであった。

#### 2) 結果と考察

結果を図3、表4に示した。調湿木材試験片と気乾木材試験片では、温度の上昇に伴い、前者が湿度を上昇させるのに対し、後者は温度上昇による湿度低下の影響を受け、湿度を低下させていた。容器内湿度は、試験片の調湿湿度にほぼ近い値で湿度を安定させていた。初期の湿度変動から安定した3時間以降の標準偏差は、調湿湿度が高い程、大きくなった。

表4 調湿木剤の湿度安定性について

調整湿度	スギ			ブランク
	気乾	60%	80%	—
平均値	29.9	56.8	75.7	27.1
標準偏差(3～24時間)	0.46	0.64	0.81	1.89
較差平均	1.2	1.6	2.4	2.4

※較差平均は6時間ごとの最大・最低湿度の差の平均値。

### 3-2 調湿木材箱内の湿度変動

次に調湿された木材に覆われた環境が、周囲の湿度変動に対しどのように変動するか確認した。

#### 1) 材料と方法

実験3-1と同様に湿度80%で調湿したスギ(10×

5 × 1 cm) とキリ (10 × 5 × 1 cm) の木材試験片 4 片を四角に固定し上底面をアルミホイルで封鎖し、木材で四面を覆われた箱をつくり、その内部空間に温湿度計センサーを封入した。その後、恒温恒湿器で 20℃ 一定で、6 時間ごとに湿度を 60% → 80% と繰り返し変化させ、24 時間の湿度変動を確認した。

## 2) 結果と考察

結果を図 4、表 5 に示した。繰り返しの湿度変動に対して、スギが 70% 程度で安定した湿度環境を示す一方、キリは短時間の湿度変動に対してより多く影響を受ける様子を示し、箱内は外部の湿度値に近づこうと変動した。これにより、樹種により周囲の湿度変動から受ける影響に差があることを示した。

表 5 調湿木材箱中の湿度について

湿度	スギ	キリ	外気
平均値	71.96	67.23	68.32
標準偏差	0.58	1.13	9.49

### 3-3 木材の調湿性及び樹種依存性について

先の実験において、木材の樹種により調湿性及び周囲の湿度変動に差があることがわかった。そこで改めて文化財分野で使用される複数の樹種の調湿性について検討した。

#### 1) 材料と方法

スチール缶 (容量約 9L: 寸法 23 × 23 × 17cm) に温湿度計を設置し、木材試験片のキリ (10 × 5 × 1 cm)、スギ (10 × 5 × 1 cm)、ベイスギ (3 片をステープラーで結合し 10 × 6 × 1 cm としたもの) を 1 片ずつ容器内に長辺を底面として固定し温湿度の計測を行った (乾燥環境)。その後、同様の環境で水分供給源として 100mL サンプル管瓶に蒸留水約 50g を容器内に入れて計測を実施した (水分供給環境)。

#### 2) 結果と考察

結果を図 5、表 6 に示した。温度については各樹種ともわずかに安定性を認められたが、樹種間に大きな差はなかった。湿度については乾燥環境・水分供給環境共にスギがもっとも標準偏差が小さく、調湿性が高かった。特に水分供給環境ではスギはもっとも湿度上昇を抑え、かつ重量増加ももっとも大きいことから、吸湿性が高いことが予想された。キリは水分供給環境でスギに次いで重量増加が大きく、

湿度上昇を抑えていたが、同環境調査期間中の急激な湿度上昇に伴う湿度上昇幅はキリがもっとも大きく、急激な変動に対しては反応が早かった。ベイスギは乾燥環境・水分供給環境の両方で安定した湿度が最も高く、重量変化も小さかった。

表 6 調湿性の樹種依存性について

湿度	乾燥環境下				水分供給環境下			
	スギ	キリ	ベイスギ	外気	スギ	キリ	ベイスギ	外気
平均	35.8	39.1	46.2	57.9	63.6	64.7	72.3	60.9
標準偏差	0.53	0.58	0.55	9.2	1.23	1.50	1.52	10.7
重量変化※	0.07	0.11	-0.01	-	0.43	0.25	0.09	-

※重量変化は実験後から実験前の重量を減算した。

## 4. おわりに

木質収蔵庫及び木材についての基礎実験により、以下の知見を得た。木質収蔵庫は高い調湿性を持つ一方、高湿度で環境を維持する状況が本調査対象施設では確認され、それは短期間の換気では改善されず、改善には一定の中長期間の換気が必要であった。木材自体も一定期間調湿された場合、その調湿湿度に近い湿度環境で周囲に影響を及ぼした。また樹種により異なる調湿性を示した。調湿性、維持される湿度は樹種により若干の差があり、木材により湿度環境を整備しようと考えるとき、周辺環境に応じた樹種の選択が必要であることが示唆された。

今後は、試験対象とする樹種を拡張し、より調湿性の高い樹種を探索するのと並行して、木材の含水率などを調査する基礎実験を行い、実際の収蔵空間に実験モデルを構築し、データを集積する予定である。これらを総括し、実際の収蔵空間の改善を行い、運営方法を含めたトータルなシステムとして、低コスト・低エネルギー型の収蔵管理システムを提示したいと考えている。

本研究の一部は科学研究費補助金 (基盤 C) [課題番号 16K01185] により行われた。

## 参考文献

- 1) 永井智、「木材の調湿・断熱性能評価」、兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 森林林業編 (55)、11-18 (2008)

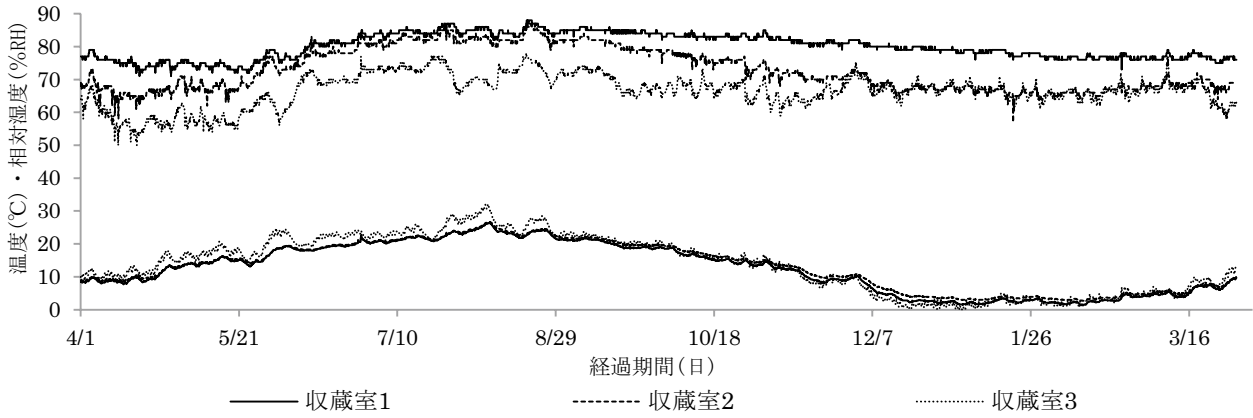


図1 収蔵庫温湿度調査結果 (2014年度)

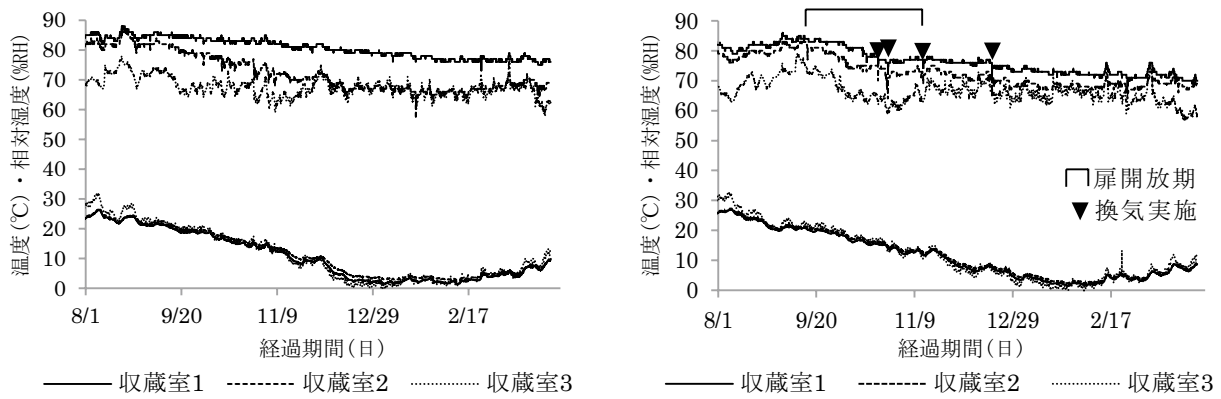


図2 収蔵庫温湿度調査結果 (2014年度(左)、2015年度・換気実施(右))

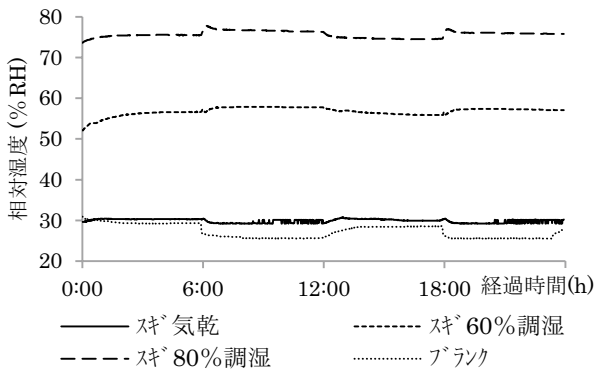


図3 調湿湿度の違いによる湿度変動

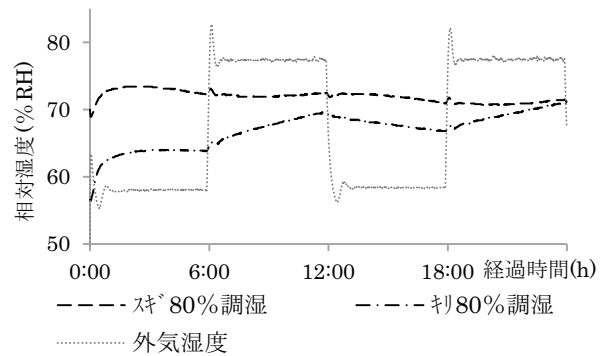


図4 木材箱内の湿度変動

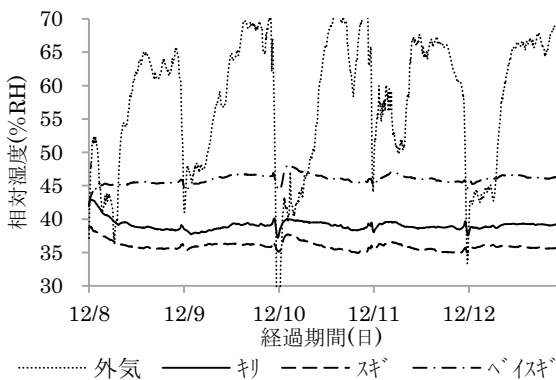


図5 樹種による湿度変動 (乾燥環境下)

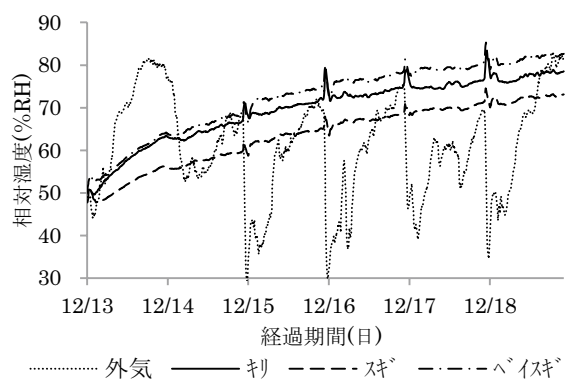


図6 樹種による湿度変動 (水分供給環境下)