

強化剤を用いた収蔵パピルス文書の一括保存の研究

A Study on Conservation Materials for Collective Conservation of Papyrus Collections

小野智仁
ONO Tomohito

1. 序論

(1) 研究背景

古代エジプト人は記録を残すため様々な筆記媒体を使用し、多様な情報を後世に残している。その中でも重要な筆記媒体はパピルス紙であった。パピルス紙は、カヤツリグサ科のパピルス草(*Cyperus papyrus L.*)の髓を用いて製作されたもので、この紙を利用したパピルス文書は、軽さ、柔軟性、表面に繊維が見える点、基本形が巻物である点、再利用可能な点等の特徴を持つ。

現在パピルス文書は、エジプトをはじめ様々な土地で保管されている。文書の数に対して修復師の数が少ないため修復や管理に限界があり、全ての文書の整理や修復作業は施されていない。処置が施されているものは文化財としての価値の捉え方に偏りのあるものとなっている。未処置の文書は金属や紙製の箱に入れられた状態で保管している現状があり、このような方法で保管されている文書の数は膨大である。このように箱にまとめられて保管されている文書が本論文において対象とする文書であり、このような状態で保管されている文書を一括収蔵文書と呼称する。現在、一括収蔵文書の保存が課題となっている。さらにただ保存するのではなく、パピルス文書が持っている価値を可能な限り残しながら後世に残すことも求められている。

(2) 研究の目的と意義

パピルス文書は専門の修復師による保存処置が一般的であるため修復に偏りがあり、未処置の文書が全体の半数以上を占める。本来、パピルス文書は内容以外にも重要な情報を有している。研究に使用する情報や各個人が影響を受ける情報は多様であり、1つに絞られるものではない。文書が有する情報はあらゆる人に重要である。現在の利用形態を優先した狭い範囲での保存ではなく、広く後世に残す必要がある。本研究を通して強化剤を用いた文書の一括保

存について検証することで、今まで手が付けられずにただ劣化が進行するだけの収蔵文書の保存に貢献できるものと考える。

本研究では、パピルス文書の特徴を最大限残す保存処置方法の検討に主眼を置き、強化剤を用いた収蔵文書の一括保存処置方法の検討を行う。その中で、強化剤塗布によるパピルス文書表面における色の変化と物性の変化に関する影響について検証を行うことを目的とする。

2. 試験方法について

(1) 試験工程について

本研究では強化剤塗布によるパピルス文書表面の色の変化と物性の変化に着目し調査する。そのため、2つの方法でアプローチを行う。まず、文書表面における色の変化についての調査にはパピルス文書表面の測色試験を行い、文書表面の色調変化について調査する。次に物性の変化についての調査は、強化剤塗布前後における重量試験と同温変湿度環境下での吸放湿性能試験を行い、重量変化と吸放湿性能について調査する。

(2) 試験材料について

本研究では、2種類のパピルス試験体を用いて実験を行う。1つは表面にインクを有する「インク付きパピルス試験体」(以下インク付き)、もう1つは希硝酸劣化させた「希硝酸劣化パピルス試験体」(以下希硝酸劣化)である(図1)。インク部分が強化剤塗布による重量変化のみならず、表面部分の見た目がどれほど変化するのかについて調査するためにインク付きを用いた。また、生きた知見を得るために状態の悪いもの用いてデータを得る必要があるため希硝酸劣化を用いた。

強化剤は、文化財保存の現場で用いられているアクリル樹脂{商品名:パラロイド B72(濃度1%、溶媒:アセトン)}・トレハロース(濃度5%、溶媒:水)・ポリ

エチレングリコール{商品名:ポリオックス(濃度3%、溶媒:水・エタノール混合溶液)}・メチルセルロース(濃度3%、溶媒:水)の4種を用いた。

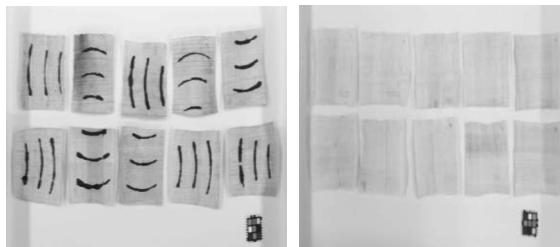


図1 各種試験体(左:インク付き、右:希硝酸劣化)

3. 重量試験について

(1) 試験目的と方法

強化剤を塗布することで変化する重量の分析を目的とする。パピルス試験体への強化剤塗布前後の2回で重量を測定し、塗布前と塗布後の試験体重量から重量差を求めた。測定にはメトラートレド社製 Excellence XS 分析天秤を用いた。測定値は小数点以下第4位まで求めたものを使用している。

(2) 試験結果と考察

図2より各種試験体において強化剤の重量変化が大きいものはトレハロースとメチルセルロースとなり、反対に重量変化が小さいものはパラロイドB72とポリオックスであった。強化剤重量の変化には溶媒が深く関係していると考えられる。今回用いた溶媒は、水、アセトン、エタノールであり、分子量の大きい順に並べるとアセトン>エタノール>水になる。この分子量の大きさの差が浸透性に影響していると考えられる。強化剤塗布によりパピルス文書の重量変化を大きくさせる場合は水を溶媒とする強化剤が適しており、反対に重量変化を小さくさせる場合は有機溶剤を溶媒とする強化剤が適していると考えられる。

表1の結果より、各試験体における g/m^2 辺りの各強化剤における塗布量と塗布後重量における強化剤の割合について考察する。インク付きと希硝酸劣化をみるとトレハロースとメチルセルロースの g/m^2 辺りの強化剤塗布量・塗布後重量における強化剤の割合の変化が共に大きく、パラロイドB72とポリオックスは小さい。劣化の有無により塗布後の強化剤重量に大きく差が生じるものがあるため劣化の進行度合いにより塗布する強化剤を選択する必要がある。

一括収蔵文書ではパピルス文書の特徴である軽きを残す保存方法を選択する。そのため重量増加を可

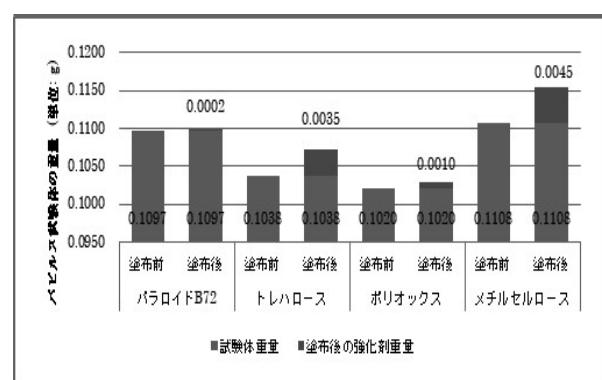
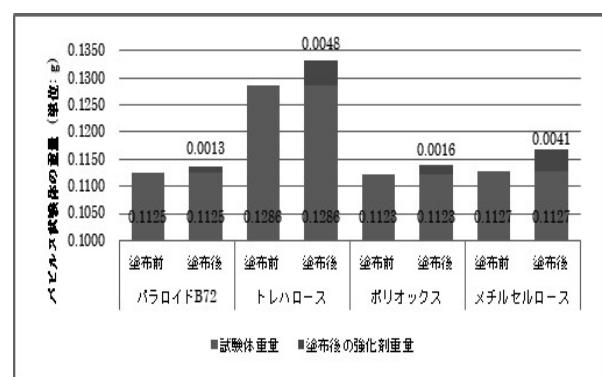


図2 強化剤塗布による重量変化(上:インク付き、下:希硝酸劣化)

表1 試験体への強化剤塗布による変化

試験体	強化剤	1m^2 辺りの塗布重量 (単位: g/m^2)	強化剤/塗布後総重量の割合 (単位:%)
インク付き	パラロイドB72	1.40	1.12%
	トレハロース	5.30	3.58%
	ポリオックス	1.78	1.42%
	メチルセルロース	4.53	3.51%
希硝酸劣化	パラロイドB72	0.19	0.15%
	トレハロース	3.86	3.24%
	ポリオックス	1.08	0.94%
	メチルセルロース	5.05	3.94%

能な限り抑え、 g/m^2 辺りの重さが抑えられるものが良いだろう。それらの条件を満たす強化剤はパラロイドB72もしくはポリオックスである。したがって一括収蔵文書においてパピルス文書の特徴を残しながら保存するのに適している強化剤はパラロイドB72もしくはポリオックスである。

4. 測色試験について

(1) 試験目的と方法

強化剤を塗布することで変化する表面の色調を分析することを目的とする。パピルス試験体に強化剤を塗布する前後で2回の測色を行い、塗布前と塗布後の試験体の色差を求めた。試験体の測色には、コニカミノルタ社製の分光測色計 CM-2600d を用いた。表色系は L*a*b* 表色系を使用した。

(2) 試験結果と考察

図3,4より Δb^* 値の変化が各種試験体とともに大きいため、最も影響を受けるのは色相であると考えられる。塗布した強化剤が固形化した時に反射する色の波長が影響しているとみられ、トレハロースとメチルセルロースの分光反射率を調べた。結果、青色の波長にピークがあり、両強化剤の固形体は青色を呈していることがわかった。強化剤を塗布する際は、固形時の色を把握しておくことで処置時の変化を推察できるだろう。

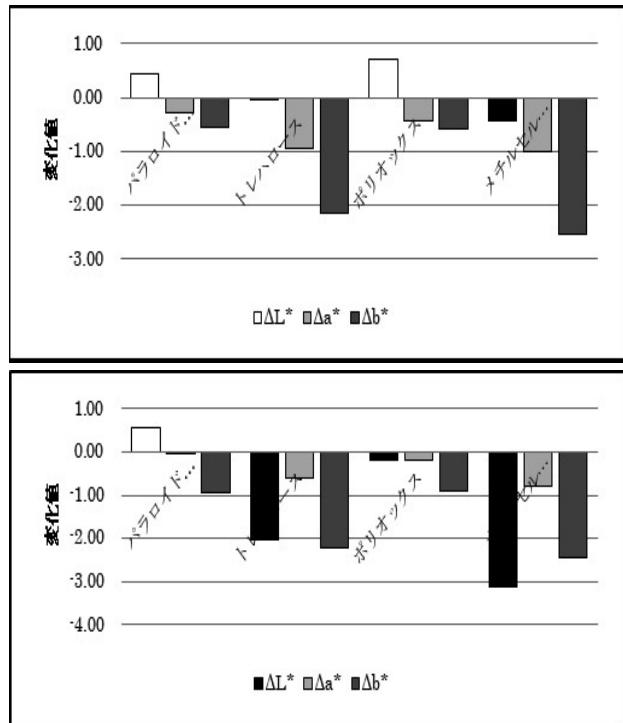


図3 インク付きの ΔL^* , Δa^* , Δb^* 各値の変化(上:表面、下:インク)

インク付きの表面とインク部分を比較すると明度の変化がみられる。特に変化を示すのはトレハロースとメチルセルロースを塗布した試験体だった。明度は物体が反射する光の波長の反射率によって左右されるため¹⁾、分光反射率の低さと強化剤塗布時のインクの滲みが影響していると考えられる。希硝酸劣化とインク付きを比較すると希硝酸劣化の明度で異なる結果がみられた。トレハロースとメチルセルロースを塗布したものは明度が上昇し、パラロイドB72とポリオックスを塗布したものは明度が下降した。分光反射率の強度が強化剤塗布後に変化したことが考えられる。文書の劣化状態により挙動が異なるため注意が必要である。

各強化剤の色差についてである(図5)。インク付きではパラロイドB72とポリオックスが小さく、トレ

ハロースとメチルセルロースは大きい値を示した。各試験体で表面よりインク部分の色調変化が大きいため注意が必用である。一方で表面とインク部分の色差を利用した保存処置も可能であると考える。インク部分の色差の挙動が表面より大きいため、表面とインク部分にコントラストが生じる。これを利用すれば文字部分を目立つように保存したい場合などに有効だろう。希硝酸劣化の色差ではポリオックスが小さく、メチルセルロースが大きい値であった。インク付きと比較して全ての強化剤で変化が小さいため劣化が進行した文書の色調変化は未劣化のものと比べ小さくなると予測できる。

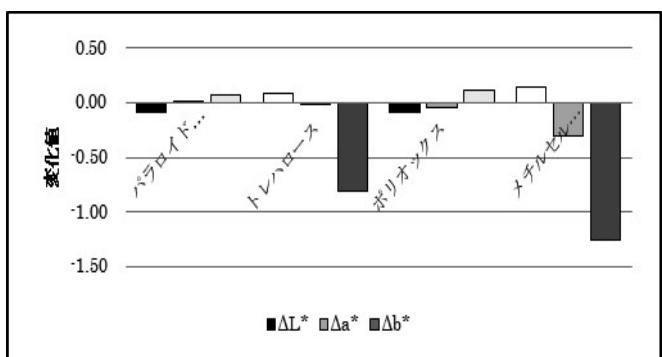


図4 希硝酸劣化の ΔL^* , Δa^* , Δb^* 各値の変化

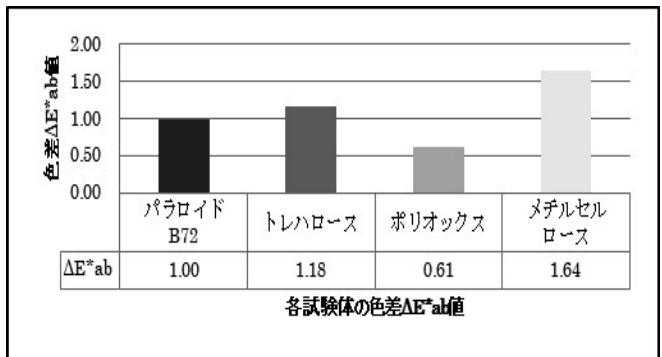
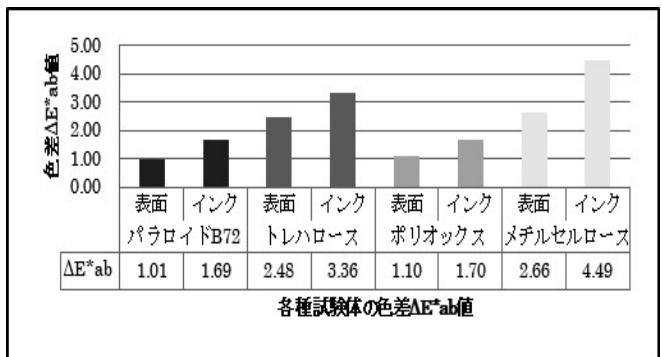


図5 試験体における色差(上: インク付き、下: 希硝酸劣化)

一括収蔵文書ではパピルス文書の特徴である表面状態を残す保存方法を選択する。元の色見から大きく離れた色に変化することは好ましくないため、色

の変化が小さく且つ色調変化も小さい強化剤が適している。それらを満たす強化剤はポリオックスである。ゆえにポリオックスが一括収蔵文書に適している。

5. 光劣化によるパピルス文書の処置への影響について

(1) 試験目的と方法

パピルス文書の保存処置に用いられる強化剤とパピルス試験体の光劣化における影響を評価することを目的とする。耐候性試験には、(株)東洋精機製作所製のサンテスト CPS+を用いて照射試験を行った。照射試験は、照射照度 550W/m²、合計照射時間 600 時間という条件の下で行った。照射実験後の試験体表面における色調の変化にはコニカミノルタ社製分光測色計 CM-2600d で測色し、その際の値は L*a*b* 表色系を用いて示した。

(2) 試験結果と考察

図 6,7 より各種試験体は光劣化によって ΔL^* 値と Δa^* 値に大きな変化を示すことが判明した。光劣化により赤黒く色調が変化することを示唆し、紫外線と熱の影響によりパピルス紙に含まれるリグニンが変色したと考えられる。パピルス紙に紫外線を照射すると白色化し²⁾、加熱させると黒色化すると言われている³⁾。試験中の光照射によって試験体表面の温度が上昇し、リグニンに変化が起きて今回の結果

になったと推測する。

インク付きでは、インクより表面部分の明度変化が大きい。インクよりもリグニンなどの変色の方が大きいためインクより表面部分の明度が大きく変化したと考えられる。明度変化を最も小さい強化剤はポリオックスであり、反対に最も光の影響を受けた強化剤はパラロイド B72 だった。表面はインク部分よりも光劣化の影響を強く受けるため、明度変化に注意する必要がある。希硝酸劣化では明度が最も影響を受けた。明度が大きく変化したものはパラロイド B72 であり、反対に小さいものはメチルセルロースだった。酸劣化により試験体表面が光の影響を強く受けた状態になり、リグニンなどの変化が加速的に進行したと考えられる。希硝酸劣化とインク付きを比較すると希硝酸劣化がより大きく変化する傾向にあるため、劣化が進行したパピルス文書では光に対してより配慮が必要である。

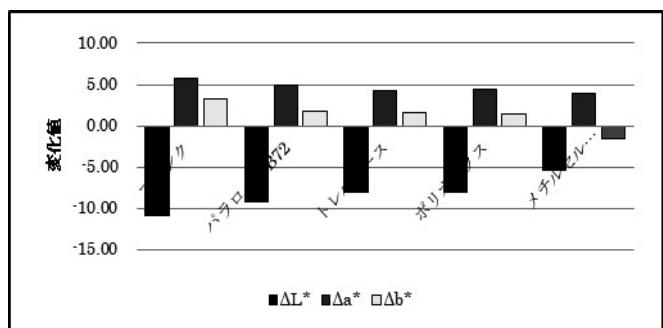


図 7 希硝酸劣化の ΔL^* , Δa^* , Δb^* 各値の変化

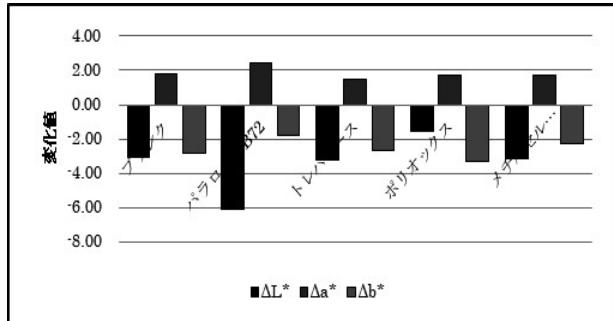
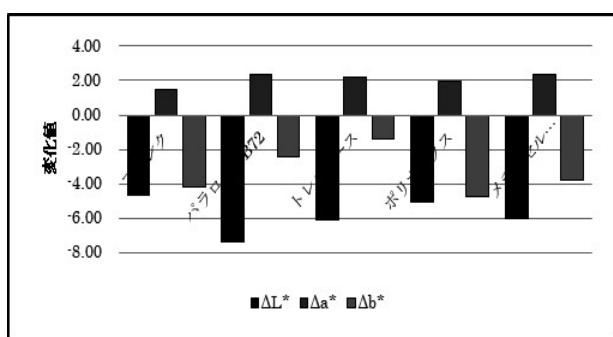


図 6 インク付きの ΔL^* , Δa^* , Δb^* 各値の変化(上:表面、下:インク)

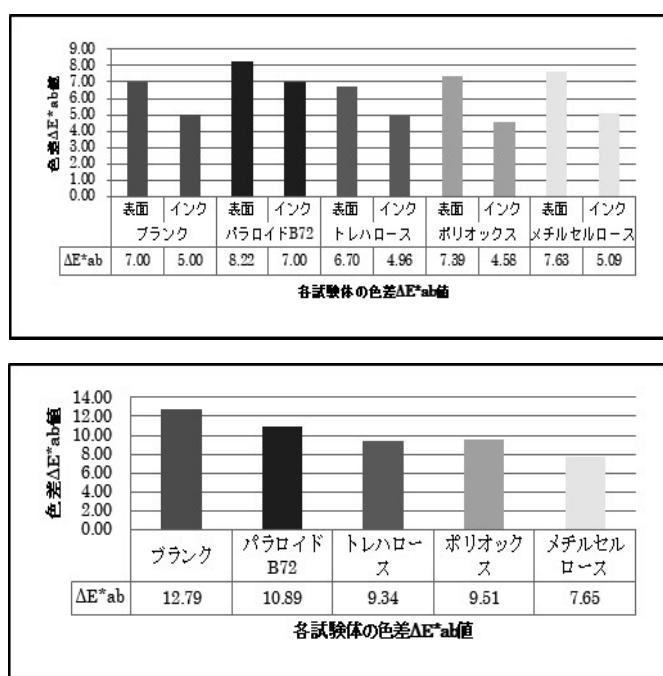


図 8 試験体における色差(上: インク付き、下: 希硝酸劣化)

図8よりインク付きの表面とインク部分における色差はインクより表面部分の変化が大きい。これは表面の色がインクよりも早く黒色を呈することを示している。長期にわたり光劣化の影響を受ける場所に曝されると表面とインク部分の境が分からなくなる可能性がある。インクを保存する場合は表面とインク部分の色差の差を考慮する必要がある。文書全体の色調変化を抑えるならば、表面とインク部分両方の色調変化が抑えられるトレハロース、ポリオックス、メチルセルロースは有効である。希硝酸劣化ではメチルセルロースが色調変化を抑えられたため最も有効である。

一括収蔵文書では文書の特徴である表面状態を残す保存方法を選択する。光劣化によって受けける影響を抑え、色調変化を最小限に抑えることが望まれる。また光劣化により未塗布試験体(プランク)の表面とインク部分のような色差の挙動を示す強化剤が適している。それらを満たす強化剤はメチルセルロースであるため、一括収蔵文書にはメチルセルロースが適している。

6. 強化剤塗布による吸放湿性能への影響について

(1) 試験目的と方法

パピルス文書の保存処置に用いられる強化剤とパピルス試験体の恒温恒湿環境下における吸放湿性能を評価することを目的とする。恒温恒湿試験では、ESPEC 社製小型環境試験器 SH-222 とデシケーターを用いた。試験では、低湿度(20%RH)から順次、50%RH→75%RH→90%RH まで湿度を上昇させ、各湿度にて十分暴露し、重量が恒量に達したところで重量測定を行った。次に放湿過程の測定を行った。90%RH から順次湿度を低下させ、加湿時と同様に重量測定を行った。試験器内の温度は 25°C に設定した。測定した結果は絶乾重量に対する水分増加率で示した。

(2) 試験結果と考察

表2より各種試験体は 50%RH 以下の環境では未塗布試験体(プランク)とほとんど変わらない吸放湿性能を発揮した。50%RH より多湿の環境下では吸放湿性能に差が生じるようになり、90%RH の環境下ではインク付きと希硝酸劣化でそれぞれ異なる水分増加率を示した。この要因として試験体の差異が大きな要因になっていると考えられ、希硝酸でセルロースが劣化したため希硝酸劣化の各試験体の水分増加率が変化したと考えられる。

表2 各環境下の水分増加率一覧

(上：インク付き、下：希硝酸劣化)

(単位: %)

試験体	過程	0%RH	20%RH	50%RH	75%RH	90%RH (予測値)
プランク	吸湿	0.00%	4.71%	9.19%	13.06%	17.59%
	放湿	0.00%	7.46%	11.09%	15.20%	17.59%
バラロイドB72	吸湿	0.00%	4.90%	9.35%	13.79%	18.39%
	放湿	0.00%	7.72%	11.17%	15.81%	18.39%
トレハロース	吸湿	0.00%	4.92%	9.49%	14.24%	18.91%
	放湿	0.00%	7.74%	11.19%	15.67%	18.91%
ポリオックス	吸湿	0.00%	4.58%	9.03%	13.23%	17.66%
	放湿	0.00%	7.18%	10.81%	14.88%	17.66%
メチルセルロース	吸湿	0.00%	4.66%	9.39%	13.67%	18.28%
	放湿	0.00%	7.45%	10.85%	14.85%	18.28%

(単位: %)

試験体	過程	0%RH	20%RH	50%RH	75%RH	90%RH
プランク	吸湿	0.00%	5.73%	9.50%	13.49%	19.72%
	放湿	0.00%	7.51%	11.17%	14.33%	19.72%
バラロイドB72	吸湿	0.00%	5.41%	9.18%	12.81%	19.37%
	放湿	0.00%	7.10%	10.72%	14.10%	19.37%
トレハロース	吸湿	0.00%	5.36%	9.11%	12.51%	20.18%
	放湿	0.00%	7.06%	10.41%	13.01%	20.18%
ポリオックス	吸湿	0.00%	5.65%	9.53%	13.55%	21.82%
	放湿	0.00%	7.27%	11.16%	14.92%	21.82%
メチルセルロース	吸湿	0.00%	5.69%	9.69%	14.74%	21.94%
	放湿	0.00%	7.52%	11.50%	15.06%	21.94%

表3 各試験体の吸放湿過程による水分増加率の差

湿度 環境	強化剤	インク付きパピルス試験体		希硝酸劣化パピルス試験体		(単位: %)	
		吸湿過程 水分増加率	放湿過程 水分増加率	水分増加率の差			
				吸湿過程 水分増加率	放湿過程 水分増加率		
20%RH	プランク	4.71%	2.75%	5.73%	7.51%	1.78%	
		7.46%		7.51%			
	バラロイドB72	4.90%	2.82%	5.41%	7.10%	1.69%	
		7.72%		7.10%			
	トレハロース	4.92%	2.82%	5.36%	7.06%	1.70%	
		7.14%		7.06%			
	ポリオックス	4.58%	2.60%	5.65%	7.27%	1.62%	
		7.18%		7.27%			
	メチルセルロース	4.66%	2.79%	5.69%	7.52%	1.83%	
		7.45%		7.52%			
50%RH	プランク	9.19%	1.90%	9.50%	11.17%	1.67%	
		11.09%		11.17%			
	バラロイドB72	9.35%	1.82%	9.18%	10.72%	1.54%	
		11.17%		10.72%			
	トレハロース	9.49%	1.70%	9.11%	10.41%	1.30%	
		11.19%		10.41%			
	ポリオックス	9.03%	1.78%	9.53%	11.16%	1.63%	
		10.81%		11.16%			
	メチルセルロース	9.39%	1.46%	9.69%	11.50%	1.81%	
		10.85%		11.50%			
75%RH	プランク	13.06%	2.14%	13.49%	14.33%	0.84%	
		15.20%		14.33%			
	バラロイドB72	13.79%	2.02%	12.81%	14.10%	1.29%	
		15.81%		14.10%			
	トレハロース	14.24%	1.43%	12.51%	13.01%	0.50%	
		15.67%		13.01%			
	ポリオックス	13.23%	1.65%	13.55%	14.92%	1.37%	
		14.88%		14.92%			
	メチルセルロース	13.67%	1.18%	14.74%	15.06%	0.32%	
		14.85%		15.06%			

吸放湿実験の結果を基に各環境下における吸放湿過程の水分増加率をまとめたものが表3である。この表から各環境下の吸放湿過程の水分増加率の差を見ると、トレハロースとポリオックスは未塗布試験体(プランク)と比較して各種試験体において全体的に差が小さい。そのため湿度が大きく変動する環境でも機械的劣化を抑えられると考える。パラロイドB72は中湿度(50%RH)で吸放湿過程の水分増加率の差が小さくなり、メチルセルロースは高湿度(75%RH)において差が小さくなる傾向が判明した。この要因として、トレハロースは高湿度環境下でも吸湿しない特性を持ち、多く含侵したものほど吸湿による重量変化が小さいことが知られている⁴⁾。また、ポリオックスは平均分子量20000のポリエチレンゴリコールで、分子量が多くなるほど湿気を吸収しにくくなる性質がある。そのため吸放湿過程の差が小さくなったと考えられる。

一括収蔵文書においてパピルス文書の特徴である柔軟性を残しながら保存するには、どの湿度環境でも安定した吸放湿性能を発揮できる強化剤が適している。着目点は各環境下での水分増加率と吸放湿過程における水分増加率の差である。共に未塗布試験体(プランク)と同じ又は小さくなるものが適している。しかし、今回の試験では適した強化剤に該当するものはなかった。

7. 終章

(1) 結論

本論文で対象とする一括収蔵文書においてパピルス文書の特徴を最大限残す保存処置が可能な強化剤について検討する。検討では有効な強化剤を1つに絞るのではなく、各強化剤がパピルス文書の特徴を如何に残せるかという点と文書の特徴を残すことが難しい点について述べる。まず、パラロイドB72である。この強化剤は「軽さ」という特徴を残しながら保存処置が可能である。重量増加を抑えることに重きを置いた処置を施す場合に有効である。一方で、光劣化による影響を最も受ける強化剤であるため、光の影響をうける利用には注意を払い、利用時間の限定などが必要である。次にトレハロースである。トレハロースは「軽さ」「表面の纖維」「柔軟性」という特徴を残す保存処置は難しい。しかし、パピルス文書の重量増加を大きくするなどの限定的な処置であれば有効である。トレハロースは塗布後に表面状態を大きく変化させるため塗布時に注意が必要

である。続いてポリオックスである。この強化剤は「軽さ」「表面の纖維」という特徴を残す保存処置が可能である。重量増加や見た目の変化を抑えた処置を施す場合に有効である。しかし、光劣化には影響を受けるため注意が必要である。最後にメチルセルロースである。この強化剤は光劣化による見た目の変化を抑えることができるため、文書の「表面の纖維」という特徴を残す保存処置が可能である。光の影響を受けるような展示等の活用が考えられる文書に有効である。しかし、それ以外の他の特徴を残すことには向きであるため注意が必要である。以上が各強化剤のパピルス文書の特徴を如何に残せるかという点と文書の特徴を残すことが難しい点ある。全ての強化剤において文書の「柔軟性」を残す処置ができるものはなかったため、柔軟性を残すような処置を考える際は別の検討が必要になるだろう。

(2) 今後について

今後は細分化した濃度と本研究で用いた4種類以外の強化剤の検討も望まれる。現状としてパピルス文書の保存科学に関する研究はほとんど行われていない。修復師による手作業による保存も重要であるが、保存科学の知見も合わせた研究がこれからパピルス文書の保存にはより重要なになる。

1) 千々岩英彰: 色彩学概説、東京大学出版、p.15、2001

2) Green, L., and Leach, B.; "Investigation of consolidants and facing adhesives for pigments on papyrus", British Museum Conservation Section, Internal Report, 1993/21, 1993, in Leach, B., and Tait, J., "Papyrus", Ancient Egyptian Materials and Technology, edited by Nicholson, P.T., and Shaw, I., Cambridge University Press, pp.227-253, 2000, p.240

3) Weidman, H.G., and Bayer, G.; "Papyrus, the paper of ancient Egypt", Analytical Chemistry, Vol.55(12), pp.1220A-1230A, 1983, in Leach and Tait, 2000, p.240

4) 伊藤幸司・藤田浩明・今津節生: ラクチトールからトレハロース——糖類含浸法の新展開——、考古学と自然科学、pp.1-13、2013