慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	デジタル画像を用いた15世紀装飾本の顔料分析の試み
Sub Title	
Author	池田, 真弓(Ikeda, Mayumi)
Publisher	慶應義塾大学デジタルメディア・ コンテンツ統合研究センター
Publication year	2016
Jtitle	慶應義塾大学DMC紀要 (DMC Review Keio University). Vol.3, No.1 (2016. 3) ,p.58- 62
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO32002001-00000003-0058

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

慶應義塾大学 DMC 紀要 3(1), 58-62 ,2016

デジタル画像を用いた 15 世紀装飾本の顔料分析の試み

池田 真弓（DMC 研究センター研究員　理工学部専任講師）

1. はじめに

ヨーロッパ中世の写本（手書きの本）や、15 世紀半ばから製作が始まった印刷本に施された挿絵や装飾などに用いられた絵具の顔料の種類は、当時の記録[1]や現存作品の分析などを基にした研究によってかなり判明してきている[2]。その結果、中世ヨーロッパで用いられた顔料の種類は限定的である上、本の装飾に使われた顔料は、その他の絵画作品（板絵や壁画など）で用いられる顔料と共通していること、欧州内では早くから貿易・流通が発達していたこともあり、地域ごとで使用される顔料の種類に極端な違いは見られないことなどが明らかになりつつある[3]。

顔料の分析手法としては、文化財保護の観点から非破壊検査法を用いるのが基本である。X 線回折法、蛍光 X 線分析法、ラマン分光法、反射スペクトル法などが例として挙げられる。前 3 者の手法は、検査対象を構成する化合物や個別元素の同定を行い、そこから顔料を推定するため精度が高いという特徴を持つ。ただし、鉱物、金属由来の無機顔料の判定には効力を発揮するが、動植物由来の有機顔料は判別することができない、もしくは判別に困難を伴う[4]。それに対し反射スペクトル法は、検査対象の反射スペクトル特性をマスターデータと照らし合わせて顔料の種類を推定する方法で、前 3 者のように化合物などの特定はできないものの、比較的簡易的な機材での運用が可能なうえ、有機、無機を問わず測定することができる。中世で用いられた顔料の種類は限定的であることや、各々の顔料は、目視によっても微妙な色味の違いを確認することができる場合も少なくないことを鑑みれば、発色特性を基にした顔料推定には一定の有用性があるといえ、他の手法と組み合わせるなどしての研究利用も進んでいる[5]。

筆者は、中世に用いられた絵具に関し、それぞれの発色特性の違いで顔料を同定しうるという点に注目し、デジタル画像を用いた顔料同定の可能性を模索している。具体的には、カラーマネジメントシステム（CMS）に則って製作された画像、つまり、適切な条件下で撮影され、正しいカラープロファイルを充てて製作した画像から得られる L*a*b* 値を個々の顔料のマスターデータと照らし合わせることで、その色に用いられた顔料を推定しようという試みである。現在は、この試みの妥当性を検証すべく予備実験を進めている。以下、当実験について報告する。

2. 実験手法

本実験では、2008 年に慶應義塾大学デジタルアーカイヴ・リサーチセンター（DARC）の HUMI（Humanities Media Interface）プロジェクトが撮影した、ニューヨーク・モーガン図書館所蔵のグーテンベルク聖書（旧約聖書のみ現存、PML 12；以下 PML 本）の画像データを用いた[6]。本データは、PhaseOne 社のデジタルカメラバック P45+（3,900 万画素）に、BronColor 社のストロボヘッド Pulso F2 とジェネレータ Grafit A2 で撮影セットを組んだ。撮影対象ページの表面に均質に光が当たるようセッティングを行い、本の姿勢に変更を加えるごとにカラープロファイル作成用のカラーチャート（X-Rite 社 ColorChecker Digital SG）を新たに撮影し直し、そのデータを用いて本の姿勢ごとにカスタムプロファイルを作成、画像に適用した後、全画像のプロファイルを Adobe RGB (1998) に変換した[7]。本データを今回の実験対象に採用したのは、上記の通り、厳密なカラーマネジメントを行って製作した画像であるという点、そして筆者自身がその製作に関わったので、画像の品質を理解している点による。

PML 本は、ドイツのマインツで活動したフスト・マイスターと呼ばれる逸名の装飾画家によって装飾が施されている[8]。他の多くのグーテンベルク聖書と同様、聖書各書の序文や本文冒頭の頭文字（イニシャル）が華やかに彩られているほか、本書冒頭ページと、通常は下巻 1 ページ目となるはずの『箴言』冒頭はページの余白全体を植物文様が埋め尽くしている。使用された絵具の色はそれほど多くはなく、緑、桃、青、赤、灰が大半を占める。また残念なことに、本書はおそら

図 1　PML 本サンプルデータの取得

図 2　中世顔料の色見本

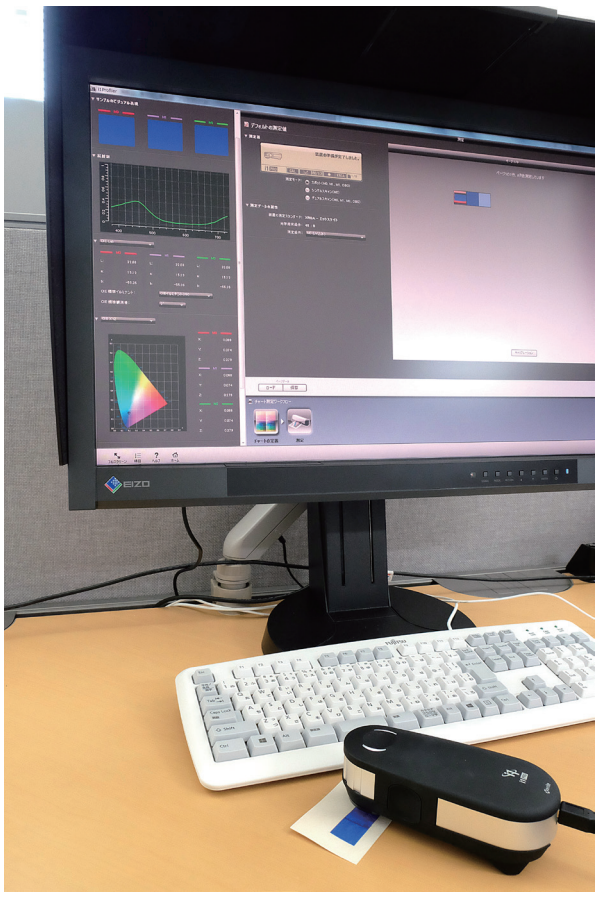

図 3　マスターデータの取得

く 19 世紀末か 20 世紀初頭にページの洗浄が行われたようで、全体的に絵具の保存状態は良くない。そのような制約がある中、比較的状態が良好と思われる箇所から上記 5 色のサンプルデータを取得した。

サンプルデータの取得には以下のページの拡大撮影画像を用いた：I-84r、I-102r、I-193v、I-226r、I-226v、I-231v、I-279r、II-101v、II-150r。各ページ中、比較的顔料の状態が均質な箇所を複数選択し、Adobe Photoshop を用いて L*a*b* 値を取得した [9]（図 1）。さらに、同一ページのうち同一顔料のものと思われるサンプルデータの L*、a*、b* それぞれの値の平均値を算出した。その際標準偏差が、明度を示す L* 値は 3 以下、色相（色味）を決定する a* 値と b* 値は 2 未満となるようなデータ群とした。色相は顔料の発色特徴が明確に現れる要素であるのに対し、明度は、光の当たり具合や支持体（この場合は紙）の色や性質、白色顔料と混色しているかなど、外的要因によって容易に変化するため、ある程度のばらつきが出ることが想定されるためである。

L*a*b* 値のマスターデータは、中世に使用された顔料を用いて製作したテンペラ絵具を羊皮紙に塗布して作製した色見本から取得した [10]（図 2）。色見本には原則として、その顔料を混色しない状態で塗布したもの（純色）と、白色顔料と混色したもの（白混）の 2 種類が用意されており、その双方を測色した。X-Rite 社の分光測色計 i1Pro 2 を用いて試料を測色し、各色の L*a*b* 値を得、マスターデータとした（図 3）。PML 本の画像から取得した L*a*b* 値と、それらに用いられた可能性のある複数の顔料のマスターデータの L*a*b* 値から色差 Δ Eab* を算出し、比較を行った。

3. 実験結果

以下、各色ごとに実験結果を示し、考察する。

【緑色】（表 1）

PML 本の緑色は保存状態が良く、比較的均質なデータを取得することができた。比較の結果、淡色マラカイト（純色）が全てのサンプルデータの L*a*b* 値で最も色差が小さかった。マラカイトは本の装飾で用いられるテンペラ画法に適した顔料で、美しい緑色に発色するとされている。淡色マラカイトは濃色よりも顔料の粒子が細かく、色の深みが出ないことから、濃色マラカイトよりも安価であったはずである。PML 本はいわゆる贅を尽くした特注本ではなかったので、淡色マラカイトの使用は妥当であろう。

表１．PML本緑色部と緑色顔料の色差

	ΔEab*				
	I-84r	I-102r	I-193v	I-226r	平均
濃色マラカイト（純）	12.04	11.15	12.42	13.32	12.23
濃色マラカイト（白混）	17.06	15.93	13.24	14.81	15.26
淡色マラカイト（純）	9.31	7.41	5.29	8.15	7.54
淡色マラカイト（白混）	23.68	23.10	20.78	21.45	22.25
ヴェルデグリ（純）	45.47	44.98	44.36	45.22	45.01
ヴェルデグリ（白混）	20.71	19.92	17.44	18.44	19.13
テールベルト（純）	17.83	19.85	21.94	19.08	19.68
テールベルト（白混）	25.41	25.26	23.38	23.34	24.35
サップグリーン（純）	37.88	39.90	42.17	39.29	39.81
サップグリーン（白混）	29.18	32.98	34.66	32.28	32.27

【桃色】（表なし）

桃色は赤色に白色顔料を混ぜて作るのが一般的である。PML 本の桃色は保存状態が極めて悪く、どの箇所でもくすんだ色となっている。フスト・マイスターの他の作品で使用されている桃色と比較してもその差は歴然で、精確なデータの取得は望めない。実際に測定したところ、5 ページ中 1 ページは辰砂（白混）と最近似し（Δ Eab*=14.33）、4 ページでシノピア（白混）と最近似した（Δ Eab*=11.86, 5.94, 12.18, 10.23）。シノピアは赤色の土性顔料で、フレスコ画の下絵や板絵などに用いられる。フスト・マイスターが他の作品で多用した、モーヴに近い発色の良い桃色とは異なる色味の顔料で、PML 本で用いられたのか疑問が残る。

【青色】（表 2）

青色も、保存状態の良い箇所が少なかったため十分なデータが取得できなかった。また、純色もあれば、白色顔料と混ぜて青から水色へのグラデーションとして用いているケースも多く、適切なサンプルデータを取得するのは困難であった。ただ、アズライトとウルトラマリンのマスターデータと照らしたところ、一貫してアズライトとの色差が小さかった。中世の良質な青色顔料の代表といえばラピスラズリから生成するウルトラマリンが有名だが、実はドイツはヨーロッパにおけるアズライトの一大産地で、当地で制作された装飾写本でも、アズライトが主要な青色として用いられており、むしろウルトラマリンの使用は少ない。PML 本でも使用されたのはアズライトである可能性は高い。

表2．PML本青色部と青色顔料の色差

ΔEab*						
	I-102r（頭文字E）	I-102r（植物文様）	I-193v（水色）	I-193v（青色）	II-150r（水色）	平均
濃色アズライト（純）	2.78	13.50	38.08	16.83	35.30	21.30
濃色アズライト（白混）	50.08	40.33	16.88	39.88	18.09	33.05
淡色アズライト（純）	24.11	12.93	14.52	10.94	13.44	15.19
淡色アズライト（白混）	52.69	42.87	19.15	41.70	20.97	35.48
濃色ウルトラマリン（純）	24.85	34.49	56.57	34.50	54.14	40.91
濃色ウルトラマリン（白混）	33.68	25.56	15.84	23.47	15.20	22.75
淡色ウルトラマリン（純）	22.41	13.46	16.15	13.36	13.66	15.81
淡色ウルトラマリン（白混）	49.08	39.75	17.76	38.98	18.74	32.86

【赤色】（表 3）

PML 本では赤色の使用頻度は低く、やはりそれほど状態も良くないため、多くのデータを取得できることができなかった。しかし、結果は一定してヴァーミリオンとの色差が最も小さかった。ヴァーミリオンは高価な辰砂を人工的に作製した顔料で、写本装飾でもよく使用されていたので、PML 本でも使われていた可能性は十分にある。

表3．PML本赤色部と赤色顔料の色差

ΔEab*				
	I-226r	I-231v	I-279r	平均
辰砂（純）	9.26	9.25	10.52	9.68
辰砂（白混）	31.89	33.00	30.61	31.83
ヴァーミリオン（純）	6.13	3.46	8.93	6.17
ヴァーミリオン（白混）	37.62	38.59	36.08	37.43
茜（純）	17.03	17.12	13.64	15.93
茜（白混）	45.51	46.43	43.07	45.00
鉛丹（純）	38.48	39.09	43.36	40.31
鉛丹（白混）	34.02	35.25	34.12	34.46

【灰色】（表 4）

灰色は黒色顔料に白色顔料を混ぜて作るのが一般的であるため、マスターデータも黒を白混したものを用いた。PML 本の灰色箇所の状態はさほど悪くはないものの、もともと薄い色であることも影響し、表面の汚れの影響を受けやすく色味が変わってしまっているように見える部分も多く見受けられた。そのため適切なデータを多く確保することができなかった。また、2 種の黒色顔料の間で顕著な色味の違いもないため、判別には注意を要する。しかしながら全ての測定箇所で、若干ではあるがヴァインブラック（白混）により近似しているとの結果が出た。ヴァインブラックはぶどうの蔓を炭化させて得る顔料で、高品質のものは最良の黒色顔料として重宝されていた。また、白混して灰色としても用いられていた。逆にランプブラックは、主としてインクの材料として用いられ、絵画でも使われたが混色には向いていない。以上を踏まえれば、本書の装飾でもヴァインブラックが用いられた可能性は高い。

表4. PML本灰色部と灰色顔料の色差

ΔEab*				
	I-226r	I-231v	II-101v	平均
ランプブラック（白混）	24.37	23.56	28.20	25.38
ヴァインブラック（白混）	20.31	19.56	24.59	21.49

4. 考察とまとめ

今回分析した 5 色のうち、桃色を除く 4 色で妥当な結果が得られたことから、まだ検討の余地はあるものの、本研究のアプローチそのものには一定の可能性があるといえそうである。実験当初の懸念としては、L*、a*、b*、3 つの数値のみで、顔料ごとの特徴を十分に示した固有データが得られるのかどうか、そして、絵具の保存状態があまり良くない PML 本でどれほど信頼性の高いサンプルデータが取得できるかという点があった。実際、マスターデータとサンプルデータの色差が「最近似」である場合でも、数値としては 10 以上の開きがあるなど、判定し難いケースも少なくなかった。どれほど近似していれば同一の顔料と同定しうるのか、慎重に検討する必要がある。また、今回は色差Δ Eab* を判定指標として用いたが、実は色相差Δ Hab* も参考として算出した。しかし後者のデータは予想に反して妥当性が低かったため、今回は使用しなかった。ただ今後も、より精度の高い判定指標を模索する必要がある。

今回桃色で妥当な判定結果が得られなかった点が示している通り、ある程度良好なサンプルデータが得られなければ、正確な判定は期待できない点も重要である。対象物そのものの保存状態が良好であることはもちろん、画像データについても、本来の色が正しく再現されていることが担保されていなければ判定試料として用いるのは難しいであろう。ただしこの点については、異なる画像取得条件を設定して得られたデータを検証し、どのような条件が揃っていれば試料として用いられるかを検証する予定である。

中世の写本や印刷本は、いわゆる稀覯書に分類され、通常は研究用途など限られた場合でしか閲覧が許されておらず、扱いには慎重を要する。当然、顔料の特定は所蔵先の保存・修復部門の担当者や特別な許可を得た者のみが行うこととされ、使用機器も特殊なものであるのが通常である。しかし昨今、稀覯書のデジタル化がこれまでになく進んでいる点や、研究利用のための写真撮影を許可している所蔵機関が増えてきていることから、デジタル画像を用いた顔料分析の手法が確立すれば、より簡便に大量の顔料データを得られるようになり、作品研究に新たな方向が生まれる可能性もあると考える。

(Endnotes)

1　代表的な記録は、チェンニーノ・チェンニーニ『絵画術の書』辻茂編、石原靖夫、望月一史訳、東京：岩波書店、1991 年。

2　中世の顔料についての基本文献としては、以下が挙げられる。Thompson, Jr., Daniel V. The Materials of Medieval Painting. London: George Allen & Unwin, 1936. また、テンペラ画法と使用顔料については、ダニエル・バーニー・トンプソン『トンプソン教授のテンペラ画の実技』佐藤一郎、中川経子訳、松戸：三好企画、2005 年を参照のこと。

3　Chaplin, Tracey D. et al. “The Gutenberg Bibles: Analysis of the Illuminations and Inks Using Raman Spectroscopy.” Analytical Chemistry 77.11 (2005): 3611–22.

4　Pessanha, S., M. Manso, and M. L. Carvalho. “Application of Spectroscopic Techniques to the Study of

Illuminated Manuscripts: A Survey.” Spectrochimica Acta Part B 71-72 (2012): 54–61.

5　Fletcher, Shelley, Lisha Glinsman, and Doris Oltrogge. “The Pigments on Hand-Colored Fifteenth-Century Relief Prints from the Collections of the National Gallery of Art and the Germanisches Nationalmuseum.” The Woodcut in Fifteenth-Century Europe. Ed. Peter Parshall. New Haven; London: National Gallery of Art, Washington; Yale University Press, 2009. 277–297; Cosentino, Antonino. “FORS Spectral Database of Historical Pigments in Different Binders.” e-conservation 2 (2014): 53–65.

6　『デジタルアーカイヴ―その継承と展開：慶應義塾大学デジタルアーカイヴ・リサーチセンター報告書（2006 － 2009）』東京：慶應義塾大学デジタルアーカイヴ・リサーチセンター、2009 年。本聖書のデジタル画像は、モーガン図書館の以下のサイトで公開されている。The Morgan Gutenberg Bible Online, The Morgan Library & Museum, http://www.themorgan.org/collection/Gutenberg-Bible（閲覧日：2016 年 2 月 29 日）。

7　樫村雅章『貴重書デジタルアーカイブの実践技法：HUMI プロジェクトの実例に学ぶ』東京：慶應義塾大学出版会、2010 年。

8　池田真弓「グーテンベルク聖書の手書き要素から辿る来歴」『書物の来歴、読者の役割』松田隆美編、東京：慶應義塾大学出版会、2013 年、79–98 頁。

9　「Photoshop：Lab カラーモード」、https://helpx.adobe.com/jp/photoshop/kb/216868.html（2016 年 3 月 2 日閲覧）。

10　「羊皮紙工房」製作（2013 年）。

付表．各顔料のマスターデータ

名称	L*	a*	b*
濃色マラカイト（純）	63.83	-33.94	14.88
濃色マラカイト（白混）	82.33	-19.84	7.85
淡色マラカイト（純）	72.70	-28.19	10.16
淡色マラカイト（白混）	86.38	-11.89	6.11
ヴェルデグリ（純）	55.47	-48.92	-21.38
ヴェルデグリ（白混）	84.74	-15.35	6.78
テールベルト（純）	51.60	-12.51	12.80
テールベルト（白混）	84.98	-6.33	6.64
サップグリーン（純）	34.37	-2.42	16.77
サップグリーン（白混）	60.28	2.73	31.87
濃色アズライト（純）	31.81	2.06	-36.82
濃色アズライト（白混）	74.62	-6.56	-10.72
淡色アズライト（純）	51.45	-12.80	-29.20
淡色アズライト（白混）	78.68	-7.36	-12.92
濃色ウルトラマリン（純）	28.71	16.58	-53.68
濃色ウルトラマリン（白混）	64.40	-0.64	-27.53
淡色ウルトラマリン（純）	52.31	-3.45	-27.44
淡色ウルトラマリン（白混）	75.29	-3.65	-13.45
辰砂（純）	41.41	43.63	26.73
辰砂（白混）	74.86	23.14	15.71
ヴァーミリオン（純）	48.17	46.03	25.10
ヴァーミリオン（白混）	78.70	20.36	12.00
茜（純）	36.17	37.23	16.54
茜（白混）	79.14	13.43	3.58
鉛丹（純）	61.85	54.89	59.55
鉛丹（白混）	80.49	25.41	23.24
ランプブラック（白混）	49.39	-0.80	-2.41
ヴァインブラック（白混）	52.76	0.60	1.77