



Title	古墳時代鍍金の色調計測の可能性
Author(s)	田中, 由理
Citation	待兼山考古学論集. 2025, 4, p. 633-642
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105077
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

古墳時代鍍金の色調計測の可能性

田 中 由 理

1. 目 的

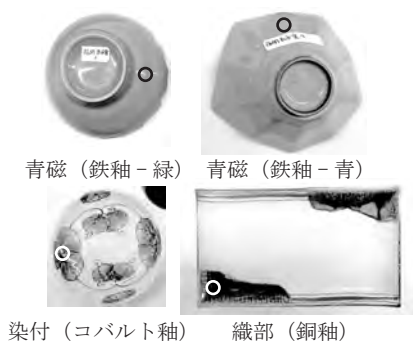
考古資料において、色調を客観的に計測すること自体が多くなく、特に金属製品のうち金製品、銀製品や鍍金製品については「金色」「銀色」などと表記される程度である。その理由は光沢により金属色の測色自体が難しいうえに、錆が覆っていて一部しか見えなかったり、金属自体が退色や変色することによって本来の色の評価が難しいためである。

古墳時代の金属製品で多用された鍍金技法は、5世紀中頃以後、東アジアより我が国にもたらされた技術の一つであり、対外交流や日本列島の文化の発展過程を明らかにする重要な要素である。その一方で奈良県の珠城山1号墳出土透三葉文杏葉など一見銀色を呈し、比率の異なる金－銀合金による鍍金が行われていることが成分分析から分かったものもあるものの（田中2022）、その色差などの客観的な評価はまだ十分になされていない状況である。

筆者はこれまで施釉陶器において分光測色計を用いた色調分析を行っており、従来目視により指摘されていた、釉薬の色の違いが生産地の違いや時期差を反映することを反射スペクトルの分析から客観的に証明した。その経験を生かして、鍍金製品の色調計測を行い、比率の異なる金－銀合金による鍍金の判別をはじめとして、それらの色調を客観的に評価することを目指しており、その研究の可能性や展望について述べる。

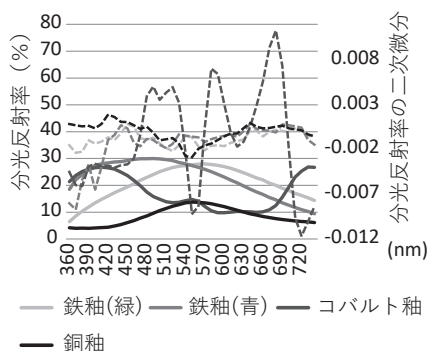
2. 研究の経緯

筆者は大阪大学考古学研究室において発掘調査が行われた京都府亀岡市篠窯跡群の報告書作成にともなう検討（田中2012）を端緒として、平安期緑釉陶器をはじめとした施釉陶器の釉調の色彩学的検討を行っている。これらの研究において、反射スペクトルの比較、特に絵画資料の顔料の分析で用いられている二次微分スペクトルの比較を行うことにより、釉の薄さと釉調・胎土の色の関係など目視で感じることでできる色の特徴を、グラフ上から見出せる可能性を確認し、産地に特徴的な釉薬や胎土色の傾向をある程度見出せ得ることが分かった。また一方で、鉄釉の青磁やコバルト釉の染付の反射スペクトルを調べると、鉄やコバルトに特徴的な反射スペクトルを見出すこともでき、材料や成分の違いを色からもある程度は推定できる可能性がある



田中由理 2020「施釉陶器の色調計測」
『元興寺文化財研究所研究報告 2019』参照

図1 現代の陶磁器



(SCE 値：正反射光除去)
(測点は図1○印の箇所)

図2 現代の陶磁器の測色結果

ることを見出した (図1・2：田中 2020)。

また筆者はかねてから、出土した金属製品の鍍金の色には青みがかかったものや赤みがかかったものなど多様なものがあるのではないかと感じており、金箔が金と銀の含有比率の違いにより何種類も分類され、色味も異なることを知った際、とても感銘を受けた。勤務先の元興寺文化財研究所での出土資料の保存処理において、銀色に見える箇所も必ずしも銀張や鍍銀とは限らず、成分分析の結果、金が一定量含まれ、「鍍金」との分析結果が出た経験もあり、出土した古墳時代の耳環について、多様な金銀の比率、色合いの鍍金が存在するという指摘 (渡辺 1997)⁽¹⁾ についても自分なりに考えるようになった。一方、施釉陶器の色調計測を行うなかで、釉調は土や釉薬など多様な成分、窯内雰囲気など多様な要素から発色し、それぞれの反射スペクトルが混ざり、解釈が曖昧になることが問題となっており、その解決策のためにも、成分や発色要因がある程度単純な金属についての色調計測は意義があると考え、研究を開始した。

3. 計測・分析の方法

用いた測定器械は、コニカミノルタ製の CM-2600d (金箔・奈良国立博物館所蔵の珠城山 1 号墳出土馬具) および CM-26dG (奈良県立橿原考古学研究所附属博物館所蔵の牧野古墳出土馬具と烏土塚古墳出土馬具) である。測定条件は SCI (正反射光含む)、SCE (正反射光除去) の二通りで行っている。反射スペクトルで用いているデータは、緑釉陶器の分析では光沢分を除去した本来の色を比較するため、SCE (正反射光除去) のデータを用いているが、金属の場合は光沢分に色がついてしまうため SCE のデータではなく、SCI (正反射光含む) のデータを用いた。

分析は反射スペクトルを比較して行っているが、金箔の色調など、金銀成分の微妙な比率の

差は、反射スペクトルそのままの状態では漫然とした傾向しかわからない。そこで波長ごとの分光反射率の数値について、微分を二度繰り返した数値によるグラフ、すなわち二次微分スペクトルを作ること、その変化点や変化の傾きを明確にできる。二次微分を算出するのはエクセルなどの一般的な表計算ソフトではできないため、「Igor Pro（Wave Metrics 社）」というデータ解析ソフトを用いている。

4. 現代の金箔の測色

金箔には、金の純度（主に銀との比率）の違いにより、異なった名前が付けられており、純度の高い方から、24 K、五毛、1号、2号、3号、4号、三步、定色である（表1）。24 Kから4号まではほぼ100%から、1%刻みで下がっていく程度であり、金が94.4%となる4号でもあまり色味に違いを感じない。一方で、三步（金：銀がおよそ4：1）と定色（金：銀がおよそ3：2）は、肉眼でも容易に判別できるほど色が異なる。これらは工業製品として均一に作られ、金と銀の比率が明らかになっているものであるため、まずこれらを基準資料として、分光測色計で測色したところ、金や銀に特徴的な反射スペクトルを確認し、金や銀の比率の違いによって、強さやピークが変化することが分かった（図3）。

24 K～4号の金箔（金の比率ほぼ100%～94.4%）の特徴は、480nm付近から急激に上がっていくような反射スペクトルで共通し、二次微分スペクトルで比較したところ、490nmに上向き、530nmに下向きというほぼ共通するピークがあることが分かる。そしてさらに銀の比率が上がると、ピークが低波長側にずれる。具体的には金：銀の比率が4：1となる三步は430nmに上向き、480nmに下向きのピークがあり、金：銀の比率が3：2と銀が増す定色では400nmに上向き、460nmに下向

表1 各種金箔・銀箔一覧表

		成分（金箔は比率（%））			色調（L*a*b* 値）		
		金	銀	銅	L*	a*	b*
金箔	24 K	99.99			85.89	7.22	36.03
	五毛	98.91	0.49	0.59	87.39	6.97	36.65
	1号	97.66	1.35	0.97	87.25	6.21	35.74
	2号	96.72	2.60	0.67	87.22	5.25	35.47
	3号	95.79	3.53	0.67	89.12	4.17	36.48
	4号	94.43	4.90	0.66	89.6	2.66	37.57
	三步	75.53	24.46	0.00	91.89	-5.14	27.26
	定色	58.01	41.99	0.00	93.38	-3.81	17
銀			○		94.26	0.71	8.17

成分比はかなざわカタニ.com ホームページより

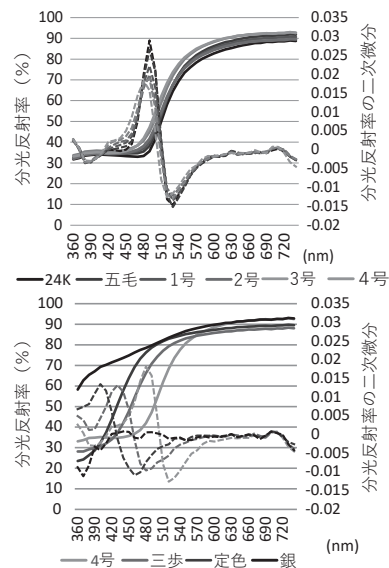


図3 各種金箔・銀箔の測色結果

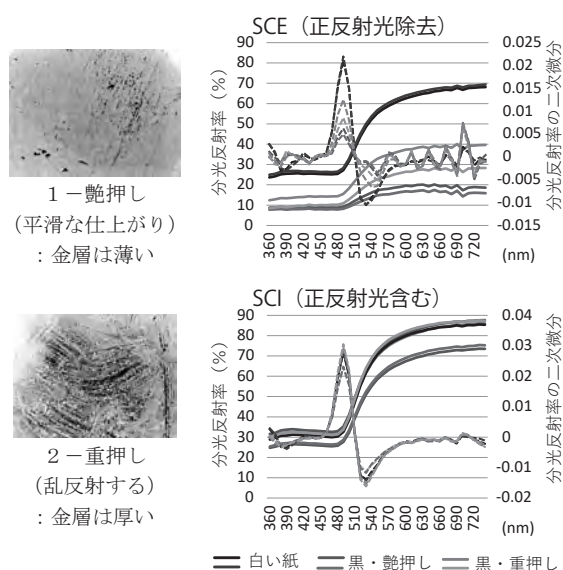


図4 貼る素材や表面状態の異なる24K金箔の測色結果

紙・黒いプラスチックの2種類の素材に、平滑・乱反射の2種類の状態で貼った金箔の色調を計測した。その結果、分光測色計の測定条件を SCE (正反射光除去) にすると金箔を貼る素材や表面状態の影響を大きく受ける一方、反射した金属そのものの色を計測できる SCI (正反射光含む) の条件にすることで、金箔にある程度厚く覆われていれば、その影響をほとんど受けず、同様の反射スペクトルが得られることが分かった (図4: 田中 2021)。このことから、実際の資料を測定する場合も、鍍金層に厚く覆われ、残りも良い箇所であれば、鍍金の測色が可能であると想定された。

5. 古墳時代の鍍金の色調計測

①計測資料

そこで古墳時代の馬具について鍍金の色調分析を行いたいと考える。対象としたのは、奈良国立博物館所蔵珠城山1号墳出土半球状雲珠・透三葉文杏葉と奈良県立橿原考古学研究所附属博物館所蔵の牧野古墳出土心葉形鏡板・杏葉、烏土塚古墳出土車文楕円形鏡板付轡である。

珠城山1号墳出土馬具には時期が異なる2セット、すなわち剣菱形杏葉と半球状雲珠・半球状辻金具からなる先行する時期のセットと辻金具や透三葉文杏葉からなる後行する時期のセットがある (奈良県教委 1956)。前者の半球状雲珠は通常の金色を呈している一方、後者の透三葉文杏葉は目視でもわかるほど銀色よりとなっており、後者は成分分析によれば、銀・金・水銀などが検出され銀の比率が高い鍍金とされる (田中 2022)。

きとピークが低波長側に移動していくのである。一方銀単体では低波長部分から分光反射率が60%と高く、上がり続けるといった全く異なるスペクトルを見せる。

また出土資料では、金そのものよりは鍍金の下に銅などの異なる素材があったり、鍍金の上に鉄錆が覆ったり鍍金層が傷つくなど鍍金の状態が悪い場合もある。つまり鍍金層の薄さにより下の銅の色を透かす可能性や、鍍金層自体の状態についても鉄錆や保存処理の樹脂などにより多様でありかたが想定される。この点については、白い

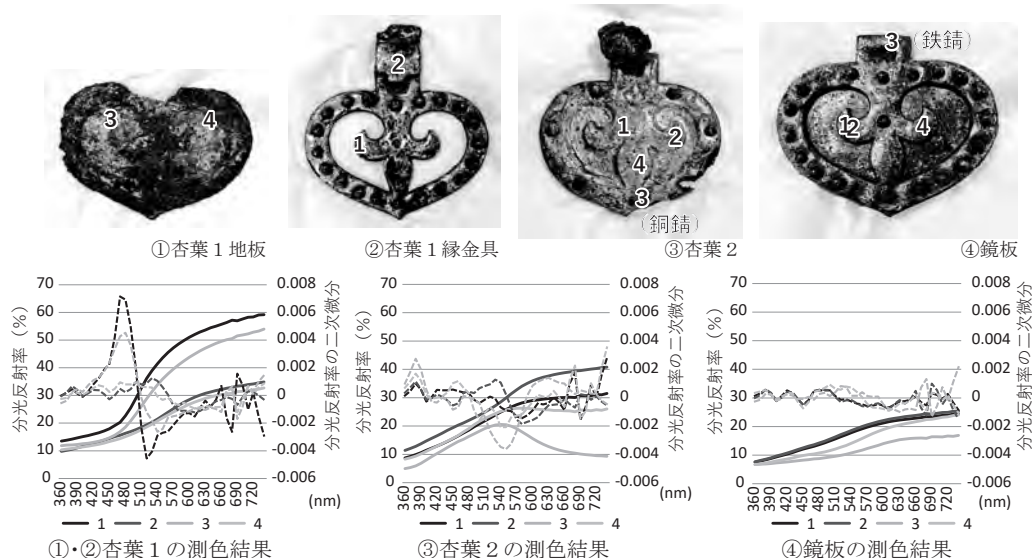


図5 牧野古墳出土馬具（奈良県立橿原考古学研究所附属博物館所蔵）の測色結果

また牧野古墳出土心葉形杏葉については、6世紀後葉の古墳であり、ほぼ同形ながら、金銅板の被せ方に違いのある2セットが知られており、一方は縁金具と地板に別々に金銅板を被せ（別被せ）、もう一方は縁金具・地板の上から一枚の金銅板を被せる技法（一枚被せ）となっている。加えてほぼ同形の鏡板があり、金銅板は別被せとなっているので、別被せの杏葉とセットと考えられ（河上編1987）、これらの型式差が色調の差にも出ないか検討したい。

烏土塚古墳は6世紀中～後葉で、出土車文楕円形鏡板付轡は縁金具が断面方形になるほど分厚く、金銅板が別被せとなっており（奈良県教委1972）、地板があるので透かし造りではないが、珠城山1号墳出土透三葉文杏葉と縁金具の厚みなどが類似しているため、計測を行うことにした。

ただし、分光測色計は対象に測色部を接触させて測らなければならないので、3cm程の径がある測色部を資料に当て、3mm径の測定孔に測色したい部分を接する必要がある。馬具は、鏡板や杏葉の縁金具や、辻金具・雲珠の宝珠飾、花卉形金具、鈺、責金具など構造的に凹凸が激しいため、測色が不可能なことも多い。またある程度の重量がある機械を資料に当てて計測することから、資料を傷つけないように細心の注意が必要だ。

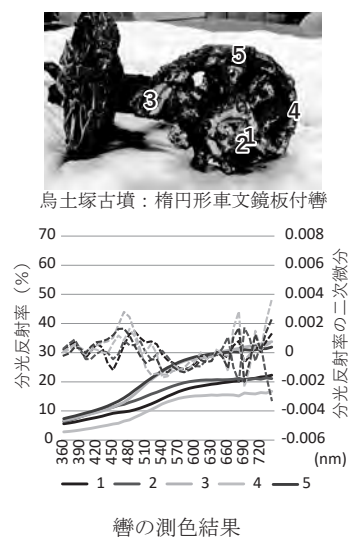


図6 烏土塚古墳出土馬具（奈良県立橿原考古学研究所附属博物館所蔵）の測色結果

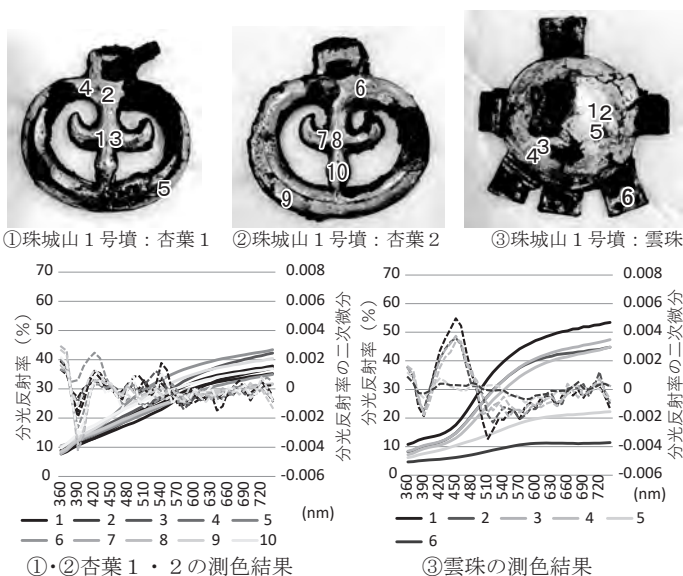


図7 珠城山1号墳出土馬具の測色結果

比較すると、低波長部から緩やかに上がっていく「銀色の金」と450nm～480nm付近から急激に立ち上がる「金色の金」という異なる傾向が見られる。これを二次微分スペクトルで比較すると、「金色の金」はばらつきがあるが、牧野古墳出土杏葉1や烏土塚古墳出土轡では470～480nmに上向きのピーク、520nmに下向きのピーク、珠城山1号墳出土雲珠では450nmに上向きのピーク、520～530nmに下向きのピークがある。一方、「銀色の金」の珠城山1号墳出土杏葉の場合、420nmに上向きのピーク、460nmに下向きのピークとなる。

これらを成分が明らかな金箔と比較してみよう。まず「銀色の金」を、銀を多く含み銀色に近い金箔である三步（金：銀の比率が4：1）や定色（金：銀がおおよそ3：2）と比較すると、三步は430nmに上向きのピーク、480nmに下向きのピーク、定色は400nmに上向きのピーク、460nmに下向きのピークとなるので、ピークの位置からみると、三步と定色の間程度の金銀比ではないかと推定できる。

次に「金色の金」を金の比率が高い24K～4号（金の比率94.4%～100%）と比較すると、24Kから2号まで490nmに上向きのピーク、530nmに下向きのピーク、4号で480nmに上向きのピーク、520nmに下向きのピークとなっており、上向きのピークが470～480nm、下向きのピークが520nmとなる牧野古墳出土杏葉1や烏土塚古墳出土轡の「金色の金」は4号とほぼ類似したピーク位置となる。これに対し上向きのピークが450nm、下向きのピークが500～520nmとなる珠城山1号墳の「金色の金」は、4号よりも20～30nm低波長側に寄っており、同様にピークの位置から推定すれば、金の含有率が4号と定色の間と推定できるのではないだろうか。

しかし一方で分析が困難だったものとして、牧野古墳出土杏葉2・鏡板がある。杏葉2は、

②色調の計測結果

実際の出土資料は、工業製品である金箔と異なり、鍍や土、金属の変色などの影響で、反射スペクトルはばらついているものの、珠城山1号墳出土杏葉2点（図7-①・②、以下「銀色の金」とする）と珠城山1号墳出土半球状雲珠（図7-③）・牧野古墳出土杏葉1（図5-①・②）・烏土塚古墳出土轡（図6、以下「金色の金」とする）を

金銅板を縁金具・地板に別々に被せる杏葉1と異なり、縁金具・地板の上から一枚の金銅板を被せるもので製作技法の差異と鍍金の色に相関があるかという点に注目しており、肉眼で見て黄色みの少ない銀色よりの鍍金ではないかと予測した。また鏡板については、杏葉1と同様な金銅板を縁金具・地板に別々に被せる技法なのであるが、杏葉1の鍍金は黄みが強いのにに対して、肉眼で見ると黄みが少なく、白っぽい印象があった。しかしざ計測しようとする、杏葉2には青い鍍（銅の緑青・図5-③の計測点3）、鏡板には茶色の鍍が多くて鍍金部の範囲が狭く、紙や縁金具に阻まれ、有効なデータが得られなかった。

なお、鉄鍍のスペクトル（図5-④の計測点3）は520nmに上向き、630nmに下向きのピークが最も顕著な特徴であるが、低波長部にも小さな上下のピークがあり、これらが金のスペクトルのピークと混在した場合に、どのように判別するかという点にも課題がある。また本稿の検討では、鍍金の色調と金箔の色調を同一視して比較を行っているが、鍍金はあくまで銅の上に水銀アマルガム技法によって、金（金・銀合金）を定着させたものであり、金・銀の合金を薄く伸ばしただけの金箔とは異なる。鍍金の場合は、銅との化学反応によって銅の色が金にしみ出している（金・銀・銅合金）の可能性も今後考えていかなければならない⁽²⁾。

6. ハイパースペクトルカメラ使用での可能性—実験品の計測—

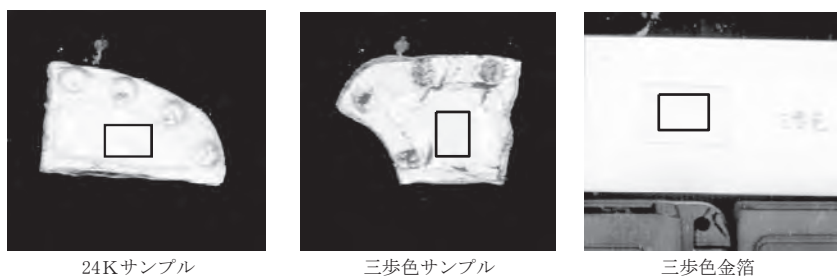
このように、実際の考古資料を調査したところ、金銀の比率の異なる鍍金が存在することも確認できたが、鍍や形状の複雑さにより、接触型の分光測色計で色調計測できる対象が限定的かつ調査の安全性に課題が残ることも問題となった⁽³⁾。そこで、今後その計測方法としてハイパースペクトルカメラを導入することを検討している。ハイパースペクトルカメラは2000年代から新たに普及し、各種産業で注目され導入が進んできた計測機械であり、カメラと名の付くように離れたところから撮影することで、対象物からの反射光を、数十から数百もの波長に分光し、解析できる分光画像技術であり、色調の客観・定量的な評価や、対象物の物性・成分を特定することができる⁽⁴⁾。

筆者はまだ実際の鍍金資料をハイパースペクトルカメラで計測したことがないが、実験的に保存処理の際に用いる復元用のエポキシ樹脂で杏葉片を模したサンプルを作製し、金銀の比率の異なる金箔を貼りつけたものをハイパースペクトルカメラで計測する機会を得た（エバ・ジャパン株式会社2024）。

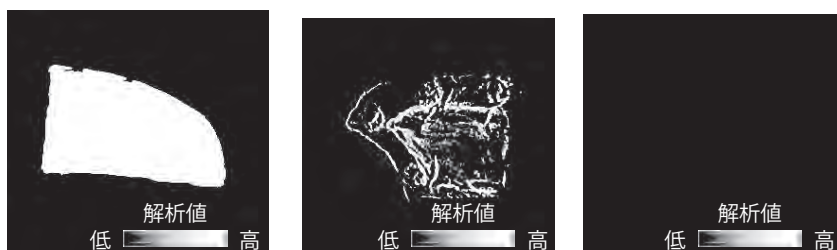
杏葉片のサンプルは、形状的に分光測色計で計測できないものを作るべく、2cm程度四方で紙や縁金具を配したサンプルを作製した（図8-①）。このように作製した2片について、鉄鍍色を模したこげ茶色のアクリル絵の具で補彩したのち、24K（金99.9%）、三歩（金：銀の比率が4：1）の金箔を金箔専用接着剤（ハクがつく / かなざわカタニ）で接着した。また比

較用の金箔サンプルとして、三步を白い厚紙にスティックのりで貼り付けたものも用意した。

この3サンプル（復元杏葉片2・金箔片1）に対し、エバ・ジャパン株式会社製ハイパースペクトルカメラ NH-8（画像解像度：122.8 万画素（1200 × 1024pixel））により、均一 LED 照明を当てて計測した結果が図8－②・③である。その結果3つのサンプルの色味（スペクトル）の違いからそれらを判別可能であることが示された。また、三步色系統（三步色サンプルと三步色金箔）のサンプル同士はスペクトルが類似していたが、24 Kサンプルは他2つと比べて大きく異なるスペクトル特性を示していたため、図8－②の通り、24 Kサンプルと三步色系統のサンプルで分類することも可能であった。確かに復元杏葉片の立体形状の複雑さにより影などの影響はあり、これについては通常ハイパースペクトルカメラの計測で用いるハロゲン光



①グラフ取得箇所



解析値：解析画像の色が24Kサンプルの特徴が白色系統、三步色金箔のスペクトルの特徴が黒色系統となるように、特定の波長における反射率を組み合わせる算出した数値。

②解析結果（均一 LED 照明）

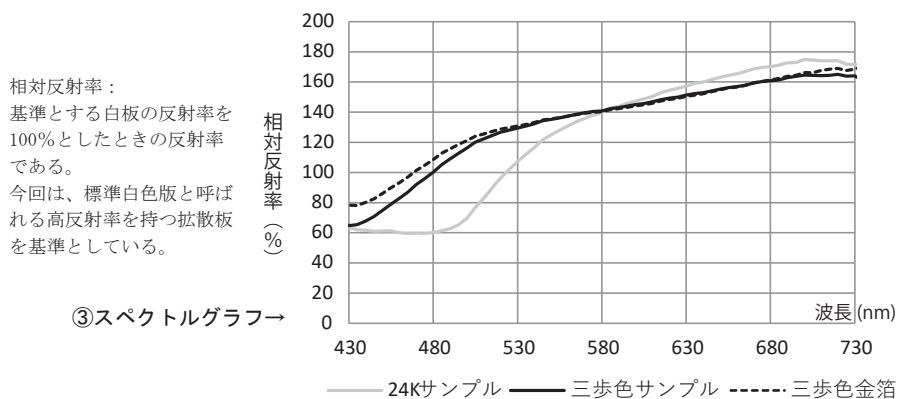


図8 スペクトルの解析結果・グラフ（エバジャパン株式会社 2024 を改変）

より照射光が均一な LED を用いた方が、影の影響が少なく、その判別精度も高かった（エバ・ジャパン株式会社 2024）とのことであるが、とにかく分光測色計では計測不可能なものについても、非接触で安全に色調を計測できることが分かったのである。なおこの計測では 122.8 万画素（1200 × 1024pixel）の 1 ピクセルごとに反射スペクトルを得ることができ、分光測色計と同様に波長ごとのデータも得られる（図 8-③）。まだ実際の考古資料で計測していないため、予想でしかないが、1 ピクセルごとに錆を避けて鍍金部分の反射スペクトルを得ることが出来れば、今回分析が困難であった牧野古墳出土杏葉 2 や鏡板の鍍金の色調を計測し、金銀の比率を推定することも可能になるかもしれない。

おわりに

「銀色の金」の色調を呈する奈良国立博物館所蔵の珠城山 1 号墳出土杏葉は、2010 ～ 2011 年に筆者の勤務する元興寺文化財研究所に保存処理を委託され、錆の除去によって鍍金を表出した。『日本馬具大観』（鈴木ほか 1992：図版 p. 104）に掲載されている保存処理前の写真を見ると、部分的に鍍金が見えていたものの、大部分を覆っていた銅錆の印象のためか、「金色の金」にしか見えない。このように鍍金の色調は錆の有無などによる目の錯覚などに多分に影響を受けるものであり、現在保存処理による錆の除去がなされていない資料に関しても、一部表出している鍍金部分を測色すれば、今まで単純に「金色」だと考えていて、気づかれなかった多様な鍍金の色調が明らかになるのではないだろうか。

しかもハイパースペクトルカメラを用いた場合、接触型の分光測色計では測定の大変な複雑な形状の資料も含めて、客観的定量的に計測できることから、対象とする資料の幅が広がり、今まで以上に、鍍金製品の成分比率の差などの色調の評価を、科学的根拠を持って提示できるようになると考える。今後も資料の対象を広げて調査を行っていきたい。

謝 辞

奈良国立博物館吉澤悟氏、中川あや氏、奈良県立橿原考古学研究所附属博物館吉村和昭氏、平井洸史氏には資料の色調計測およびデータ・写真の掲載に際して、ご高配を賜りました。また本稿は日本文化財科学会第 40 回大会でポスター発表した内容を中心としており、ポスター発表時に渡辺智恵美氏、杉本和江氏、紀芝蓮氏、山田卓司氏、平田凌大氏をはじめとした多くの方々から有益なご意見を頂き、大変有意義な経験になりました。ハイパースペクトルカメラに関しては、新宮千遥氏、高良洋平氏、大橋郁氏をはじめとしたエバ・ジャパン株式会社の方々から、多くのご教示を頂き、いろいろなことで大変お世話になりました。そして大谷 3 号窯で緑釉陶器の色調分析を始めた時から継続して、極端になりがちな私の思考を常に軌道修正して導いてくださる高橋照彦先生、色調分析にのめり込ん

でから、馬具の研究から遠く遠く離れてしまい、常にご心配をおかけしております福永伸哉先生に拙稿を献呈いたしたく思います。厚く御礼申し上げます。

註

- (1) 渡辺智恵美氏が古墳時代の耳環を検討される中で、銀色に見えるものも金が多く含まれていることを指摘している（渡辺 1997）。ただし色調計測に関しては、光沢のある金や銀などの金属は正確な測色が困難であると考えられ、目視で行ったとのことをご本人よりご教示を得た。
- (2) 日本文化財科学会第 40 回大会で杉本和江氏よりご指摘を受けた。
- (3) 橿原考古学研究所附属博物館での資料調査の際に、分光測色計での接触して行う計測の問題点について吉村和昭氏のご指摘を受け、平井洸史氏に計測に立ち会っていただいた。解決すべき課題が多かったなか、資料調査を実現させてくださったことに大変感謝申し上げます。
- (4) エバ・ジャパン株式会社高良洋平氏のご教示による。

引用・参考文献

- エバ・ジャパン株式会社 2024『計測報告書』東京
- かなざわカタニ.com「金箔とは 金箔バリエーション一覧」<https://www.k-katani.com/archives/2470>
(2024 年 3 月参照)
- 河上邦彦編 1987『史跡 牧野古墳』広陵町文化財調査報告、奈良
- 鈴木友也ほか 1992『日本馬具大鑑 古代上』日本中央競馬会・吉川弘文館、東京
- 田中由理 2012「緑釉陶器の色彩学的検討」『篠窯跡群大谷 3 号窯の研究』大阪大学考古学研究室篠窯調査団 JSPS 科研費 JP20520659、大阪：pp. 351-388
- 田中由理 2020「施釉陶器の色調計測」『元興寺文化財研究所研究報告 2019』、奈良：pp. 45-58
- 田中由理 2021「金属の色調計測の可能性について」『技と慧眼—塚本敏夫さん還暦記念論集—』塚本敏夫さん還暦記念論集事務局、奈良：pp. 233-242
- 田中由理 2022「鍍金の色調計測の可能性」『鹿園雑集』第 24 号 奈良国立博物館、奈良：pp. 77-88
- 田中由理 2023「鍍金の色調計測の可能性」『日本文化財科学会第 40 回大会要旨集』、奈良：pp. 210-211
- 奈良県教育委員会 1956『珠城山古墳』、奈良
- 奈良県教育委員会 1972『烏土塚古墳』奈良県文化財報告第 27 集、奈良
- 渡辺智恵美 1997「耳環小考—製作技法、材質からみた分類—」『元興寺文化財研究所 創立三十周年記念誌』元興寺文化財研究所、奈良：pp. 73-83

図版出典

図 1～図 7：筆者作成・撮影

図 8：エバ・ジャパン株式会社 2024 の図を再構成