

液晶調光フィルムを用いた光質連続可変照射系の文化財照明への応用

—縄文打製石器への実践—

中山 敬三 (近畿大学 理工学部, keizo@ele.kindai.ac.jp)
 中村 一郎 (奈良文化財研究所, nakamura-i3j@nich.go.jp)
 宮路 淳子 (奈良女子大学 文学部, miyaji@cc.nara-wu.ac.jp)
 中山 満子 (奈良女子大学 文学部, michiko@cc.nara-wu.ac.jp)

Light-quality-tunable illumination system using a liquid crystal light control film for application to lighting for cultural properties:

Practice for chipped stone tools in the Jōmon period

Keizo Nakayama (Faculty of Science and Engineering, Kindai University, Japan)
 Ichiro Nakamura (Nara National Research Institute for Cultural Properties, Japan)
 Atsuko Miyaji (Faculty of Letters, Nara Women's University, Japan)
 Michiko Nakayama (Faculty of Letters, Nara Women's University, Japan)

要約

照明の光質（光の柔らかさ）は被照射体の表面の凹凸情報や色情報の見えに大きく影響を与える。一般的に、写真撮影時に柔らかい光を作り出すにはトレーシングペーパーや布などを光拡散材として用いる。そのため、光質の調整は光拡散材の交換やそれらの移動などで実現する必要があり、微調整が容易ではない。さらに、機材の転倒などによる被照射体の損傷リスクも高い。希少価値性の高い文化財の記録写真は表面の凹凸情報や色情報などを多角的に記録することが本来望ましいが、これらの理由から、同じ文化財に対して異なる光質で写真撮影が系統的に行われることは大掛かりとなるため少ない。本研究では、窓などに貼る建材として普及し始めている液晶調光フィルムを縄文打製石器写真撮影時の光質の柔硬調整に応用した。提案の照射系は機材の移動を伴わず電気制御のみで連続的に光質を変えることが可能なうえ、調整に際しても被照射体への物理的損傷リスクがないため、文化財写真撮影時の照明として極めて有用である。さまざまな光質条件で縄文打製石器を撮影した結果、光沢のある状態からマットな状態までを連続的に変化させることができた。黒曜石の場合、硬い光での撮影時は凹凸情報が読み取りやすい写真となり、柔らかい光で撮影した写真は色味の情報が読み取りやすい傾向が示された。また、本手法は、博物館・美術館において光質をリアルタイムに変更して鑑賞者の興味の視点を誘導する新しい展示照明としての可能性も有している。

Abstract

The light quality, i.e., the softness of the illumination, has a significant effect on both the color information and the roughness information of the surfaces of illuminated bodies, which are read by observing these illuminated bodies. Generally, to create soft light when taking photographs, tracing paper, white cloth, or similar materials are used as light diffusers. Consequently, the light quality must be adjusted by replacing or moving the light diffusing material, and fine adjustment can be difficult. Moreover, there is a high risk of physical damage being caused to the illuminated bodies because of the equipment falling over. In this study, we have applied a liquid crystal light control film of the type that is widely used to switch between transparent and opaque windows to adjust the light quality required for photography of chipped stone tools. The proposed illumination system can vary the light quality continuously using electrical control only, without using moving parts, and thus reduces the risk of physical damage to illuminated bodies during light quality adjustment. Therefore, the proposed illumination system using the liquid crystal light control film is extremely useful for photography of valuable cultural properties. As a result of the assessment of photographs of chipped stone tools that were taken under various light quality conditions, it was possible to change their states continuously from glossy states to matte states. Photographs of a chipped stone tool composed of obsidian acquired under hard light tended to make the roughness information easier to read; however, photographs taken under soft light tended to make their color information more readable. In addition to its use in photography of cultural items, the illumination system proposed here has potential for use as a lighting system that can guide each viewer's point of view in real time by controlling the light quality during observation of cultural exhibits in museums.

キーワード

液晶調光フィルム, 打製石器, 光質, 文化財, 展示照明

1. はじめに

視覚情報を用いた対象物の理解は、光情報である映像から

対象物の特徴を得ることであるため、照明は極めて重要な要素となる。照明の役割としては、視覚情報を的確に取り入れるための視覚援助があげられる（照明学会, 2006: 2）。しかし、個別の照明計画においては何が「的確」であるかに関しては一般的には定まらないことが多い。例えば、検査目的であれば

対象物の光沢・色・テクスチャなどの客観的な情報をできるだけ観察者に的確に伝えることが照明の役割となる（中村, 1958; 照明学会, 2006: 284）。一方、同じ対象物でも芸術・美術的展示の場合、展示者が意図した展示物の見えを実現し鑑賞者に的確に伝えることが照明の役割となる（洞口他, 1990; 照明学会, 2021: 17）。つまり照明計画においては、客観的表現と主観的表現のバランスを照明により制御することが重要となる。しかし、客観的な照明表現と主観的な照明表現の境界は曖昧であり、かつ、さまざまな照明条件の変化で影響を受ける。そのため、照明の効果を理解し、目的に合わせて適切に照明条件を制御する技術が重要となる。

照明の効果としてモデリングおよび質感表現（材質感表現）がある。モデリングとは照明により陰影を作り被照射体の特徴的な立体感を表現すること、あるいは表現された状態を指す（野口, 1981; 江島, 1977; 洞口他, 1990; 照明学会, 2020: 224; 照明学会, 2021: 42）。質感表現とは被照射体の表面の微細な凹凸などを陰影や光沢で表現することをいう（照明学会, 2020: 224; 照明学会, 2021: 42）。

このモデリングおよび質感表現に直接影響を与えるのが照明の「光の方向性」と「光の拡散性」である（照明学会, 2020: 224）。「光の方向性」は被照射体に生じる陰影の場所に影響を与える。「光の拡散性（指向性）」は陰影の強さに影響し、スポットライトのような拡散性が弱い（指向性が強い）光により作り出される影は濃く輪郭が明瞭であり、硬い影と表現される。一方、拡散性が強い（指向性が弱い）光で被照射体が照らされると、影の輪郭部分に半影の領域が増え輪郭が不明瞭になり、柔らかい影となる。作り出される陰影の違いを光の性質すなわち光質と捉え、硬い影を作り出す光を「硬い光」、柔らかい影を作り出す光を「柔らかい光」と表現することも多い（照明学会, 2020: 279）。また、光質つまり影の柔硬感は影の濃さなどの客観的情報の変化のみならず、硬い影だと真夏の日差しをイメージするなど主観的な印象にも影響する。

ところで、文化財の保存・研究・啓発などの文化財活動において、画像・映像として記録する資料化は必須の工程であり（城野, 2016）、照明は重要な役割を果たす。文化財の写真撮影の目的は、対象文化財そのものをそのままに、すなわち客観的な照明表現で記録したいわゆる記録写真が基本と考えられる。しかし、対象文化財の質感および立体的形状を的確に伝えるためには、撮影者が意図的に照明をコントロールする必要がある。さらに、美術的文化財の場合には、文化財の作者が想定していたであろう照明環境を撮影者が汲み取り、造形の美しさを最も引き出した写真が資料として求められることもある。このように、文化財写真においては個々の撮影者が個々の文化財の種類に応じてモデリング・質感表現のバランスを考え写真撮影に挑んでいる（遠藤, 2012; 中村, 2012; 佐々木, 2012; 城野, 2012）。

すなわち、写真撮影のみならず鑑賞者が直接文化財を観察する際の展示照明なども含め、文化財照明では光質の調整技術が極めて重要となる。しかし、光質の連続的な調整は難しい。一般的な光質の調整はトレーシングペーパ、布、アクリル板などを光拡散材（ディフューザ）として利用する方法であるため、微調整はディフューザ自体を交換する方法や、被照

射体から見た光源の立体角（相対的な光源の大きさ）を変化させるために光源とディフューザの距離を変えるなどの方法がとられる。しかしながら、希少価値の高い文化財写真撮影では時間的制約に加えて照明機材の転倒などによる損傷リスクを避けるため、照明機材の物理的な変更・移動には細心の注意が必要となるため、この手法での高頻度での光質調整は難しい。当然のことながら、リアルタイム性が重要な展示照明での光質の変化はより難しくなる。

このように撮影現場では常に光質調整のニーズが存在していたにもかかわらず、我々の知る限り、物理的な移動を伴わずかつ十分な効果を得られる解決手段を提案・実証した例はなかった。その様な中、筆者らは液晶調光フィルム⁽¹⁾を可変なディフューザとして利用する照射系を照明に用いることを提案し、実際に写真撮影で利用できることを実証した（中山・中山, 2020）。液晶調光フィルムは透明状態と白濁（散乱）状態を電気的に変化させることができ可能な高分子と液晶の複合膜であり、窓ガラスなどに貼る建材として普及し始めているため入手容易性が高い。また、フィルム状のディフューザであるため、写真や動画撮影時にこれまで用いられてきたディフューザの技術とほぼ同様の扱いができる、極めて実践に近い手法である。

本研究では、文化財である打製石器の撮影・鑑賞時に液晶調光フィルムを用いることを提案し、実際に写真撮影を行った。第2章では液晶調光フィルムを用いた撮影手法を説明し、第3章では実際の撮影データを示す。第4章では文化財記録写真の撮影技術としての視点から、光質の連続可変技術の有用性について考察する。また、本手法は印加電圧変化のみで光質をリアルタイムに変更できることから、博物館・美術館における展示照明への応用についても考察する。

2. 液晶調光フィルムを用いた写真撮影方法

光源は被写体に対して斜め上方に俯角約45°、カメラは逆光撮影となる斜め上方に俯角約50°で設置し、斜俯瞰撮影の配置を構築した。光源と被写体の間に光質を制御する液晶調光フィルムを鉛直に設置した（図1）。この配置は、アクリル板やトレーシングペーパなどのディフューザを用いた撮影での典型的な配置と同じである。

液晶調光フィルム（TOPPAN株式会社、LC MAGIC）のサイズは1500 mm × 1500 mmであり、電圧無印加時に最も白濁しており、印加電圧を高くするほど透明な状態となる。液晶

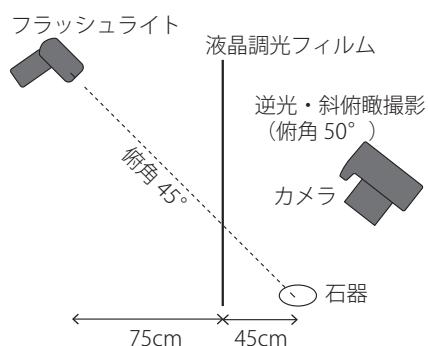


図1：石器撮影に用いる光質連続可変照射系

調光フィルムへは40Hzの矩形波電圧を印加した。光源には瞬間光であるフラッシュライト（キヤノン株式会社、600EXII-RT）を用い、フラッシュライトの照射角度は最も広角側に設定した。カメラにはデジタルカメラ（キヤノン株式会社、EOS 1Ds Mark IIIおよびEOS R6）を使用した。光質の変化はディフューザである液晶調光フィルムの白濁状態の変化であるため光源の光量が一定であれば被照射体への照度は変化する。本実験では光量の制御にカメラのTTL（Through the Lens）自動調光を用いた。照射光の色温度の計測にはコニカミノルタジャパン株式会社の演色照度計CL-70Fを用いた。

ディフューザも含めた照明条件が全く同一であっても被照射体の大きさや表面状態が異なれば、実際に生じる光沢や陰影は異なる。そこで本研究では、光質状態自体の評価を目的とした実験では被照射体に直径10cmの球体を用いた。文化財資料の打製石器には奈良文化財研究所保管の山内清男資料（縄文時代）を用いた。

3. 実験結果

3.1 球体撮影結果

図2は、液晶調光フィルムへの印加電圧として0V、15V、20V、25V、40V、50Vで撮影した直径10cmの球体の写真である。

まず、色温度の影響について述べる。フラッシュライト自体の色温度は 6.4×10^3 Kで、0V印加時の液晶調光フィルムを通過した照射光のそれは 6.1×10^3 K、50V印加時は 6.3×10^3 Kであった。プロの撮影でも用いられるディフューザのアートレ（銀一株式会社）を用いると透過光の色温度は 6.1×10^3 Kであることから、この液晶調光フィルムによる色温度変化は

一般的に使われるディフューザでの色温度変化の範囲と同程度であり、実使用で問題になることは少ないと思われる。厳密に色合わせが必要な時はカラーチェッカーを被照射体と共に撮影して、ポストプロダクション時（RAW現像やレタッチと呼ばれる撮影後にコンピュータ上で行う画像編集作業時にホワイトバランス調整を施すことが一般的に行われているが、本撮影手法でも同様の手法を用いることが可能である。

次に、光質について述べる。用いた液晶調光フィルムは印加電圧を高くするに従い透明に変化するタイプであるため、0V（図2 (a)）が最も柔らかい光、50V（図2 (f)）が最も硬い光である。図2 (a)では光沢と影の輪郭が不明瞭であり非常に柔らかい光が実現できている。それに対して図2 (f)では光沢はスポット状に近づき影の輪郭は非常に明瞭で硬い光である。この結果は、構築した照射系では液晶調光フィルムの印加電圧の変化のみで、10cm程度の被照射体に対しては十分な光質変化幅の実現が可能であることを示している。さらに、図2 (b)、(c)、(d)の5V毎の変化、および(e)、(f)での10Vの変化を比較すると、使用した液晶調光フィルムでは、15V～25Vで大きく光質が変化し、40V以上はほぼ変化が飽和していることがわかる。

以上の結果は、既に建材として流通している液晶調光フィルムでの光質の制御幅は、液晶調光フィルムサイズなど適切な条件であれば、サイズが10cm程度の被写体の撮影では既に十分実用的であることを示している。

3.2 石器撮影結果

撮影構図としては、複数の対象物を並べそれぞれの立体感や存在感を再現するための撮影で用いられる石器集合写真

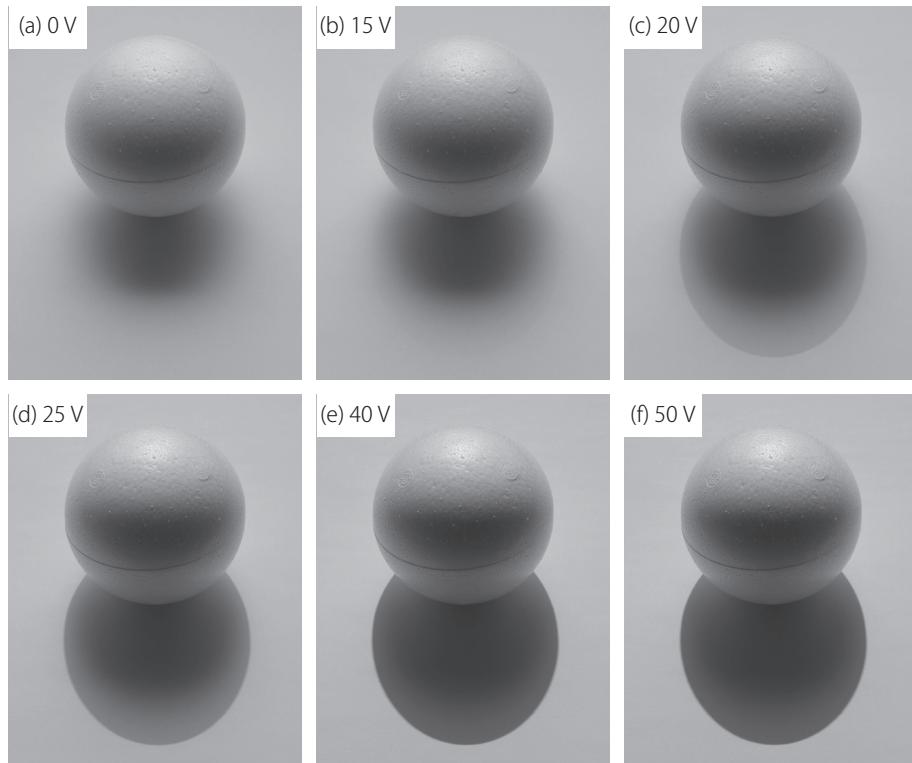


図2：光質連続可変照射系を用いた様々な印加電圧で撮影した球体写真

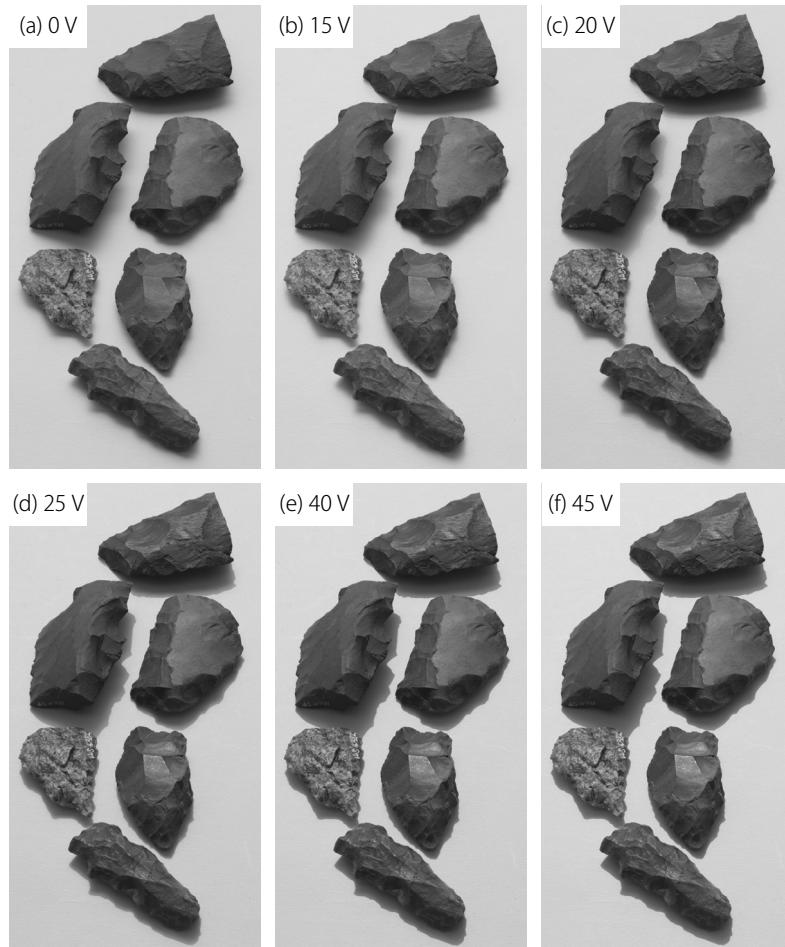


図3：光質連続可変照射系を用い様々な印加電圧で撮影した石器集合写真

(図3)、石器自体の質感や色調・剥離痕跡などを明瞭に再現する目的で用いられる石器単体写真(図4)の2種類を使用した。

石器集合写真については液晶調光フィルムへの印加電圧が0V、15V、20V、25V、40V、45Vの6種類の調光を例に示す(図3)。図3 (a)では全体的に均質な光が照射されており、それぞれの石器が持つ立体感が穏やかなマットな状態で再現される。しかし最も硬い光である図3 (f)と(a)を比較すると、図(a)では石器表面での陰影が少なく確認しにくい凹凸の情報が存在することがわかる。それに対して図3 (f)では、陰影が強くなるのに加え光沢も発生し表面の凹凸情報は明瞭になる。その反面、図3 (f)のみでは光沢部分の色味の客観的判断は難しくなる。また、背景(床)に発生する影が濃くエッジが非常に明瞭な硬い影になる。

次に、赤褐色の黒曜石の石器単体写真を例に、光質の変化で石器撮影写真が受ける影響について詳しく述べる。図4 (a)～(c)は液晶調光フィルムへの印加電圧をそれぞれ0V、19V、50Vとした際の写真である。図4 (e)の19Vの写真は本提案手法の特性を活かし、液晶調光フィルムへの印加電圧を微調整して、光質のバランスを図って撮影した一例である。図4 (d)～(f)は、光質変化の影響を強く受けている図(a)中の白四角の領域を拡大した写真である。

光質が柔らかい図4 (d)を見ると表面での陰影や光沢が無

いためコントラストの低い写真となっており石器表面の立体情報は読み取りづらい。それに対して、硬い光質の図4 (f)では、僅かな石器表面の凹凸で陰影が発生し、平らな面では光沢が発生するなど石器表面の立体情報が読み取りやすい。実際、画像データを分析し比較すると、図4 (d)の輝度(0～255値)の標準偏差が10.6であるのに対し、図4 (f)のそれは33.1と大きく輝度の分布幅が広がりコントラストが高くなつたことを反映していた。

一方、色味に関しては、光質が柔らかい方が表面の凹凸による陰影の発生の少なさ、鏡面反射による色味の消失などが少なく、一般的には読み取りやすくなる傾向にある。図4 (d)ではほぼ全体で石器自体の色味(実際の色味は赤褐色)を示しており、色の確認がしやすい。それに対して、硬い光質の図4 (f)では、光沢すなわち鏡面反射光の成分が強くなっている部分では光源色である白味が強くなり石器本来の色が判別しづらい。また、石器表面の凹凸による陰影の発生により色味の少ない暗い領域も増えて石器本来の色情報が読み取りにくい場所が多く発生していることがわかる。これは彩度の変化を示していることから、画像データの彩度(0～100値)の平均を調べたところ、図4 (d)では16.5であるのに対して図4 (f)では8.4と低く、色の鮮やかさが少ない画像であることが示された。

この例では、凹凸情報と色情報に着目したが、それらの情

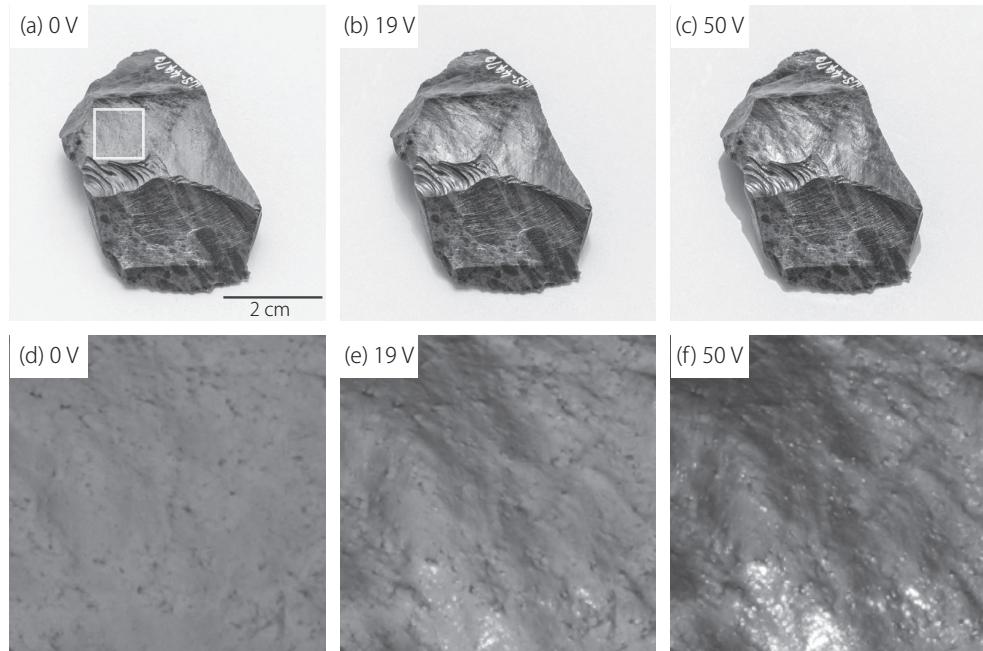


図4：光質連続可変照射系を用いた様々な印加電圧で撮影した石器単体写真

報が得やすい写真を撮影するための最適な光質が異なっている。このことからも、光質を変化させて写真データを蓄積することが非常に重要であることを示しており、これを実現するために液晶調光フィルムを応用した本提案手法が極めて有用である。

4. 考察

4.1 記録写真撮影照明技術としての考察

本節では提案の照射系を石器写真撮影時の照明に用いる視点で考察を行う。

3.2節で述べたように、柔らかい光と硬い光で撮影した写真から得られる石器の情報には差がある。さらに、硬い光で照射した際に背景(床)に生じる硬い影は、影自体が独立した視覚対象になり、石器写真の観察行為のノイズになりうることがわかる。また、石器の種類や表面状態により光沢などの発生具合が異なることから、石器の写真撮影を行う際は、照明光の光質制御は本来、石器毎に微調整することが望ましい。また、画像資料データベース作成などでは多角的な情報を記録しておくために同じ被写体の同じ構図で光質を変化させた写真を記録しておくことが望ましいことになる。

しかしながら、現在用いられている一般的な撮影機材での光質の微調整を行うことが困難であることは1章で述べたとおりである。図3、4の実際の石器写真を見ると、液晶調光フィルムへの印加電圧変化のみで、光質の柔硬制御が十分な変化幅で行なえており、また図4(e)のように中間状態の微調整も容易であることがわかる。

これらの結果は、提案の照射系が、撮影者が希望する光質を的確かつ簡便に実現する照明技術になりえること、および電圧制御のみで行えることから文化財写真のデータベース作成時の光質調整の自動化などにも極めて有望な照明技術であることを示している。

4.2 観察・展示照明技術としての考察

本節では提案の照射系を、石器の観察や展示時の照明に用いる視点で考察を行う。なお、光質の制御を観察者自身が自由に行えるようにすると観察照明・検査照明として用いることになるが、本質的に違いはないことから、展示照明への応用をメインに考察を行う。

美術館・博物館での文化財展示における照明は、鑑賞者にとっての文化財資料に対する客観的な理解を深め、また印象を強く与えるために大変重要な役割を果たしている。リアルタイムで実施できる光質変化を展示照明へ活用すれば、展示資料の概観を示す第一印象、次に資料の製作技術(の高さ)を強調する印象、資料の素材感と機能を示す印象、と鑑賞者の学びについて、照明の光質を変化させることによって段階的に理解を深めることができる。

今回実験に用いた縄文打製石器を例に、鑑賞時の光質変化に伴う鑑賞ポイントの変化例を示す。まず柔らかい光をあてるにより細かい凹凸情報や表面の平坦性ではなく、全体の形状を印象付け、石器の色味など材質そのもの情報を提示し客観的に石器の種別を示すことができる。次に光質を硬い光に変化させていくことによって強調される陰影や光沢により、表面の凹凸情報の印象が強くなる。すなわち、石器製作時に表面に生じる打点、リング、フィッシャーと呼ばれる痕跡を明瞭に見せられ石器の製作手順や製作技術を知ることができるようになる。

このような光質の継続的な変化による新しい照明演出は、実際の文化財資料を肉眼で観察する学びの魅力の再発見にもつながり、本研究結果は文化財以外の展示技法のアイディア創出にも影響を与えると考えられる。

なお、新しい機能性を有する照明技術でも、既存の設備等が全く利用できないのであれば実用のハードルは相当高い。しかし、液晶調光フィルムは名前の通りフィルム状であり、

また裁断により希望の寸法に加工できるため、反射防止・UVカットフィルターなどとほぼ同様の扱いができるから、通常の用途での液晶調光フィルムの施工も既存の窓への貼り付けなどで行われている。そのため、展示照明として利用する場合も、硬い光であるスポットライトと既存のケースのガラス面等への貼り付けによる施工などが利用できる。例えば、一般的に利用されている5面ガラスの行灯型アイランド展示ケースを利用した照明計画が一例として考えられる。図5に示すように側面2面および上面ガラスに独立した液晶調光フィルムを張り、ケース外から各面にむけ独立したスポットライトで照射する。光質制御時の鑑賞方向は360度ではなく液晶調光フィルムを張っていない面に基本限定されるが、キーライトの選択（陰影の方向性の選択）およびそれらの光質の制御（光の柔硬の選択）がリアルタイムにできることになる。前述したように、観察時に感じられる光質の変化は被照射体の大きさとディフューザの大きさに依存するため、展示ケースの寸法などは計画時の時点から資料自体の大きさのみでなく、希望の光質の変化が感じられる液晶調光フィルムの寸法を考慮する必要がある。

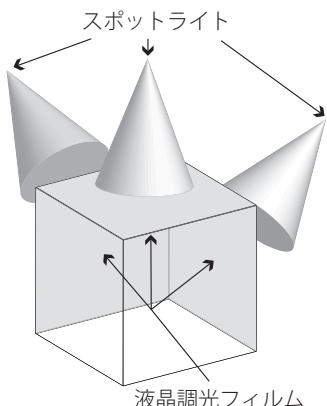


図5：展示ケースを用いた照明例

5.まとめ

本研究では、窓などに貼る建材として普及し始めている液晶調光フィルムを打製石器写真撮影時の光質調整に応用し、実際に光質を変化させながら写真撮影を行った。撮影した打製石器写真を評価すると、光沢が支配的な状態から、光沢がほとんど見られないマットな状態間を連続的に変化させることができることがわかった。光質の状態により得られる石器の情報が異なることから、機材の移動を伴わず電気的制御のみで光質を連続変化できる提案の照射系は、石器のみならず文化財写真撮影時の照明として極めて有用である。

また、機材の移動を伴わないことは被写体への損傷リスクの低減のみならず光質調整にリアルタイム性を導入できることを意味する。つまり、美術館・博物館において鑑賞者が文化財資料を観察している最中に「鑑賞者の興味の視点」にあわせて（あるいは誘導するために）、光質変化をさせるなど新しい展示方法としての可能性を秘めている。

以上のように、提案の液晶調光フィルムを利用した光質の連続可変な照射系は、光質という新しい制御可能な軸を

一般照明へ導入することを意味し、文化財の保存・研究・啓発の全てのプロセスにおいて活躍できる可能性を有している。

注

⁽¹⁾ 高分子と液晶の複合膜は作製方法・構造の違いにより高分子分散型液晶 (polymer dispersed liquid crystal)、高分子ネットワーク型液晶 (polymer network liquid crystal) などに細分化され、さらに、これらの総称として「高分子分散型液晶」という用語が使われることもある。本論文の技術は、原理的にPDLC、PNLCなど光散乱タイプの液晶調光フィルムを用いることが可能である。本論文では「液晶調光フィルム」は光散乱タイプの液晶フィルムを表す用語として用いる。

引用文献

- 江島義道 (1977). モデリング. 照明学会雑誌, Vol. 61, No. 6, p. 298.
- 遠藤桂 (2012). 美術彫刻における写真表現. 日本写真学会誌, Vol. 75, No. 5, pp. 378-383.
- 洞口公俊・森田政明・中矢清司 (1990). 美術館・博物館の展示物に対する光放射環境と照明設計. 照明学会誌, Vol. 74, No. 4, pp. 206-211.
- 中村一郎 (2012). 文化財写真私想. 日本写真学会誌, Vol. 75, No. 5, pp. 370-371.
- 中村正躬 (1958). 検査照明の分類と実例. 照明学会雑誌, Vol. 42, No. 2, pp. 41-47.
- 中山敬三・中山満子. 高分子分散型液晶を用いた光質連続可変照射系構築手順の提案. 照明学会誌, Vol. 104, No. 2, pp. 76-81.
- 野口透 (1981). 照明のモデリング効果に関する調査研究. 照明学会誌, Vol. 65, No. 9, pp. 452-457.
- 佐々木香輔 (2012). 文化財を撮る—奈良国立博物館の撮影現場から—. 日本写真学会誌, Vol. 75, No. 5, pp. 375-377.
- 城野誠治 (2012). 撮影者の感情と心の揺らぎ. 日本写真学会誌, Vol. 75, No. 5, pp. 364-369.
- 城野誠治 (2016). 写真を利用した文化財の調査. 日本写真学会誌, Vol. 79, No. 3, pp. 280-284.
- 照明学会編 (2006). コンパクト版照明ハンドブック 第1版. オーム社.
- 照明学会編 (2020). 照明ハンドブック 第3版. オーム社.
- 照明学会編 (2021). 美術館・博物館の照明技術指針 JIEG-012. 照明学会.

受稿日：2025年6月6日

受理日：2025年7月1日

発行日：2025年12月25日

Copyright © 2025 Society for Science and Technology



This article is licensed under a Creative Commons [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International] license.

doi <https://doi.org/10.11425/sst.14.111>