

臼杵磨崖仏群における紫外線を用いた生物制御の試み

川野 邊 渉・朽 津 信 明・早 川 典 子

1. はじめに

臼杵磨崖仏群の保存のために、東京国立文化財研究所と臼杵市とは、覚書を取り交わし、数年後にも予定されている保存修復事業において、様々な問題に対してより効果的な手法材料を採用するために種々の研究を行っている。臼杵磨崖仏群においては、壁面に菌類・地衣類などが繁茂し、景観上も壁面保護上も好ましくない状況を呈している。これらの生物群は、消長はあるものの1年を通して繁茂し¹⁾、従来は、手作業で除去していた。この作業はピンセットなどを用いて物理的に行うために、膨大な時間がかかるとともに、壁面を傷つけてしまう危険性もある。このような問題点を他の方法で解決できないかという提案が臼杵市側から出されたことを受けて、これらの生物群を効果的に制御する手法についていくつかの実験を行っている。

2. 紫外線を用いた生物制御の考え方

紫外線は、波長280nmから4000nm程度の範囲の電磁波をさすが、太陽に由来する紫外線は、大気による吸収によって約290nm以上の波長のものが地上に到達し、日焼けや皮膚がんなどの原因となっていることが知られている。これらの紫外線のうち、UVCと呼ばれる波長280nm付近のものはもちろん、UVBと呼ばれる波長290nmから320nmのものが主に皮膚障害などの原因として近年のオゾン層破壊との関連などで話題となっている。この範囲の紫外線が生物のDNAを損傷することなどを通して生物に被害を与えることは様々な文献によってよく知られている^{2,3)}。さらに、従来安全であると考えられていたUVAと呼ばれる波長320nmから400nmのものでさえ、生物被害を引き起こす可能性が指摘されている。このように、紫外線が生物に被害を与える原理は、DNAのように生物の生存に中心的な役割を有する有機物質の分子結合に切断、再結合などの反応を引き起こし、異なる物質に変化させてしまうことによる。この効果は、紫外線の波長と強度によって異なるが、絹や紙、染料などの有機質文化財には退色や脆弱化など深刻な被害を与えることは良く知られている。この効果を利用して絹本の修復材料として用いる補絹用の劣化絹の調整も行われている⁴⁾。また、生物においては、紫外線を照射することによって体を構成する有機物質の働きが阻害され、様々な障害の原因となる。このことを利用して食品工業や医療現場における空気や水、器具、手などの殺菌にも用いられている。このような紫外線による広範な生物の抑制効果が、磨崖仏群で繁茂している種々の生物にも効果的であるかどうかを検討するために今回の実験を行った。この効果としては、紫外線照射によって生物群が枯死すれば、その枯死した生物の除去は、乾燥によって体積が減少しているために除去が容易になるであろうこと、紫外線照射にかかる電力費に比べて照射範囲が広いために作業日数や人件費が低減できる、などが期待された。また、期待通りの除去効果が得られた場合、除去後に生物密度の極端に低い区域が生じるために、高等植物群の占有種交代でも観測されるように、従来当該区域で優先していた種類の生物種以外のものが優先的に繁茂する状況とその対策についても検討する予定である。

3. 実験区域

実験は、後でも検討したように、残存していると推定される各種の顔料および、岩体本体に対する影響は原理的に考えられないが、慎重を期して存在が確認されている各種顔料を用いて試験片を作成し、生物除去のために処置と同様の条件で紫外線照射を行い、無機物質に対する影響がないことを確認した。しかしながら、今回は最初の実験であることから、予想し得ない条件が存在することも推定して、磨崖仏本体への影響がないと考えられる部分で、かつ、前回の整備事業で作られた部分のみで行った。

4. 実験方法

原理的には、300nm以下の短い波長で、できるだけ強力な紫外線を発生することによって、より短時間に広範囲の生物に対して効果が期待できる。しかしながら、現地での作業であるために万一人間が紫外線源を直視しても短時間では、影響がほとんどでない強度であること、将来この手法を他の区域や文化財に応用する場合に微妙な照射強度の調整が可能であること、装置および線源が安価で入手しやすいこと、などを考慮して、一般に空気や水の殺菌用に市販されている260nmを波長中心とする出力20Wの蛍光灯を線源として用いた。この蛍光灯を2ないし4本をひとつの金属製の装置にセットし、外部に紫外線が漏れないように周囲にカバーを付けるとともに、照射時には、装置と岩体の隙間をアルミホイルによってふさぐ構造とした。紫外線強度は、2本の装置が装置中央で7～8 mW/cm²、4本の装置が5～6 mW/cm²であった。

具体的には、照射は古園石仏群において、石仏が見られない部分で著しい緑色生物の繁茂が観察された箇所（図1・図2）において行った。また、これが石仏自身に対して何らかの悪影響がないかを見積もる目的で、試験片石材を用いた実験も行った。試験片は、石仏が彫られているのと同様の阿蘇非熔結凝灰岩を岩石用カッターにて切断し、これの表面に顔料を塗布して作成した。顔料は、朽津・山田（2000）⁵によって白杵磨崖仏での使用が推定されている、ペンガラ、黄土、白土、墨の、それぞれ現在市販されているものをメチルセルロースを膠着材として用いて塗布し、一片は顔料を塗布しないでコントロールとして用いた。それぞれの試料は、塗布直後の段階で分光測色計にて測色を行った後に、2000年6月9日に現地の紫外線照射地点に設置し、同6月26日までの17日間照射した後に回収し、再び測色を行った。

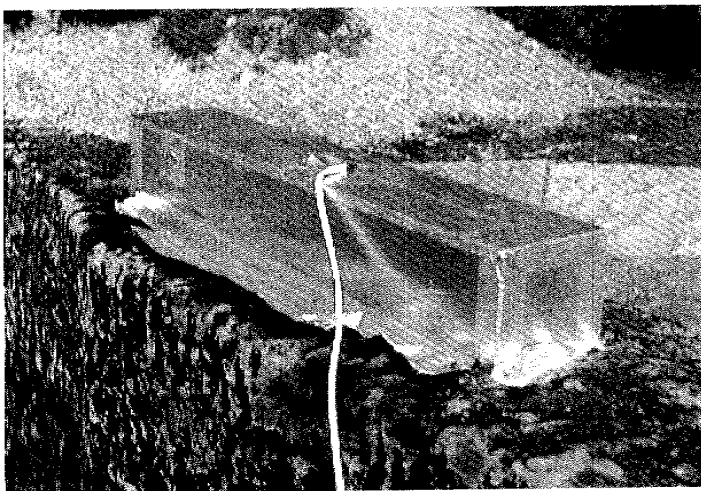


図1 紫外線照射装置



図2 紫外線照射後

5. 実験結果

5-1 生物群への照射

5-1-1

2本の殺菌灯を用いた装置を用いて照射を行った。24時間後には、照射面の生物の緑色がやや暗色化し、1週間後には、全体が明灰色になり、その後変化は見られなかった。照射停止後、ほぼ1月で単一種と見られる生物種の発生が全面で観測された。

5-1-2

4本の殺菌灯を用いた装置を用いてより広範囲の照射を行い、照射面の明灰色への変化を確認後、エチルシリケートのオリゴマー溶液を散布した。この溶液の散布は、岩体表面の水分を生物に利用しにくい状態に変化させて紫外線により除去できた生物群の再繁茂を防ぐことにより、紫外線照射効果の持続を意図したものである。すでに、岩体表面の水分制御を目的として臼杵磨崖仏群内の数ヶ所で自然の崖面で各種の構造を有するシリコン化合物の撥水・保水効果および雨水の有無による効果の持続程度など検討していた。それらの試料中から比較的表面を乾燥状態に維持する試料を選んで実験を行った。その結果、紫外線照射の効果が現れた直後にシリコン溶液の散布を行うことで、数ヶ月（平成12年12月現在）にわたって生物の繁茂は検出されていない。

5-2 顔料および岩体に対する影響

照射前後の各試料の可視光反射スペクトルを図3に示す。

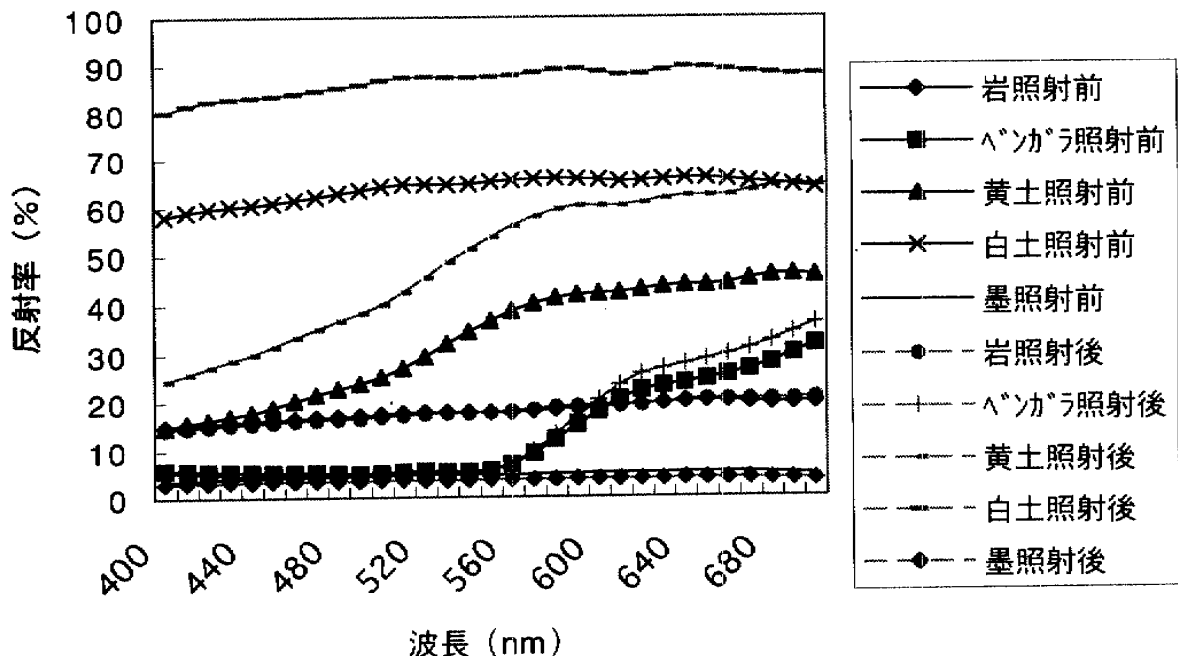


図3 紫外線照射前後の顔料の可視光反射スペクトル変化

顔料を塗布しない石材においては、照射前後に色の変化はほとんど認められなかった。白土、黄土、ベンガラについては、照射後にスペクトルの波形は変わらないままで、反射率が若干上がる（すなわち色が明るくなる）傾向が見られた。墨では、逆にごく僅かに反射率が下がる（色が暗くなる）傾向が見られた。

6. 結 論

石仏を構成する岩質と無機顔料については、いずれの試料でも、紫外線照射前後でスペクトルの波形に大きな変化が見られなかったことから、無機的には顔料鉱物あるいは岩体自体に変質はないと判断される。にもかかわらず、白土、黄土、ベンガラで、照射後に明度が上がっていたのは、恐らくは膠着材としての有機物が破壊されることによって顔料粒子が表面で浮いた状態となり、表面での光の乱反射が増えているためと推定される。実際、ベンガラなどでは、表面を指で触ると、顔料が容易に指に付着する状態になっていた。墨については、膠着材が存在する方がむしろ表面反射を示す性質があり、結果が逆になることはむしろ妥当と思われ、同様に膠着材の破壊が示唆される。結局、紫外線照射の顔料への影響としては、石仏に用いられているような顔料自体を変質させることはほとんどないと考えられるが、膠着材に影響を与える可能性が考えられる。実際の石仏の場合に、顔料が現在どういう状態で石仏に吸着されているかによるが、場合によっては、今回の実験のように、顔料の色が若干明るめになる可能性も考えられる。ただし、そもそも通常の状態でも雨の日と晴れの日では彩色の見え方が違っていることから実感されるように、顔料の見え方というのは、明るさという面に限って言えばその時その時の微妙な水分条件で違ってくるため、たとえ紫外線照射で若干石仏の色が明るくなるのが万が一あったとしても、それ程大きな違和感を与えることになるとは考えにくい。むしろ問題は、今回の実験で表面をなでただけで顔料が付着したように、膠着材が破壊されることに伴って顔料粒子同士が互いに遊離しやすくなる可能性である。もしもこうしたことが起こるのであれば、それは現存する顔料の損失を容易にすることを意味するだろう。これについては、そもそも顔料の現状での吸着状況が分からないため、こうしたことが実際に起こりうるかどうかは今のところ判断できず、今後も慎重な検討を続ける必要があるだろう。

一方、生物群の効果的な除去と言う観点からは、短期間（数日以内）に効果が見られる。処置後の岩体表面の清掃は、やわらかいブラシなどで容易に行える。このことから、従来の物理的な清掃方法に比べて岩体に対する損傷の危険が少ない。また、複雑な凹部など、ピンセットなどを用いにくく、作業に長時間かかる部分にも適用が可能である。さらに、処置後速やかに低濃度のシリコン溶液を散布することで効果を持続することができる。など、従来の方法に比べて、時間的にも経費的に著しく低減できる効果が期待される。

謝辞

試験片の顔料の塗布にご協力いただきました東京芸術大学大学院美術研究科文化財保存学専攻システム保存学の島津美子氏に感謝します。

参考文献

- 1) 大分県立歴史博物館 (1999) 石造文化財の保存対策のための概要調査 2
- 2) Quait, F.E., B.M. Sutherland and J.C. Sutherland, *Nature*, 358, 576-578
- 3) 瀧澤行雄 *科学* 53, 717-719
- 4) 川野邊渉・佐野千絵・米山めぐ美・三浦定俊・田畔徳一・岡岩太郎 (1996) 紫外線劣化絹の修復材料への応用の可能性 *保存科学*, 35, 40-48
- 5) 朽津信明・山田拓伸 (2000) 大分県下の石仏の彩色について *保存科学*, 39, 33-42
- 6) 早川典子・川野邊渉 (2001) 事例報告：白杵磨崖仏群における表面樹脂処理試験 *保存科学*, 40, 69-74

Controlling Vegetation Growth on the Usuki-Magaibutsu (cliff sculpture)

KAWANOBE Wataru, KUCHITSU Nobuaki and HAYAKAWA Noriko

In order to control Vegetations growth on Usuki Stone Buddhas, a UV light source having a power of some mW/cm^2 and wave length of 260nm as a mean value was used experimentally. The effectiveness of the treatment was confirmed after 6 months. The binding media, methyl-cellulose, may have deteriorated, very little influence was observed on the pigments, i. e. hematite, yellow ocher, kaoline and Chinese ink. Compared with physical meanness usually taken, UV radiation treatment cists less and dose not require so much time.

Although a more precise experiment is required to establish a practical measure, UV radiation Treatment Showed a good result in controlling vegetation growth.