

〔報文〕 屋外石造文化財における金箔の保存条件に関する研究

朽津 信明・渡邊 尚恵・佐多 麻美・森井 順之

1. はじめに

石塔や石仏などの歴史的屋外石造文化財の表面に、金箔が認められる場合があり¹⁾、一方で分析によって石造文化財表面に漆が検出された報告もある²⁾ことから、それらの金箔は漆で貼られている可能性が想定される。その一方で、漆が紫外線による劣化を受けやすいことはよく知られており³⁾、従って屋内環境に比べて一般に紫外線強度が高い屋外環境では漆の劣化は進行しやすく、必然的にそうした金箔は剥がれやすいことが予想される。実際に、築造当初から覆屋内に存在し続けてきた石塔の表面には豊富に金箔が残存する場合があるのに対して、同じ墓所内ではほぼ同時期に同様の経緯で造られた石塔でも、屋外にあり続けたものには同等の箇所に金箔は見られない傾向が報告されている⁴⁾。もちろん、漆の劣化は紫外線以外に水分などの他の要因によっても進行することが考えられるため、金箔の損失は紫外線だけによるものとは考えられないものの、水が豊富な埋蔵環境から出土した板碑にむしろ金箔の残存例が多い⁵⁾ことから、やはり屋外環境における紫外線の影響は少なくないことが予想される。

そこで本研究では、屋外石造文化財において、漆などの膠着剤の劣化に伴う金箔の損失を防ぐことを目的として、紫外線強度及びそれに関連する環境の実測調査を行ったので、その結果を報告し、そのことに基づいて、現存する金箔を保存するための適切な環境について考察を試みる。

2. 計測の考え方

歴史的な屋外石造文化財に金箔が残存する場合には、例えば笠石の陰など、一般には直射日光が供給されにくい部位にのみ限定的に確認される。これに対して、覆屋内で長期間伝えられてきた石造文化財では、金箔が比較的広範囲に残存する場合も少なくない。覆屋内で保存が図られている石造文化財の中には、覆屋の構造上、その一部にのみ日射が与えられる状況が見られる場合がある(図1)が、そのような状況にある石造文化財に金箔が施されていると、日射の与えられる部位では既に剥落して確認できないのに対して、日射の与えられない部位では金箔の残存が確認されることがある(図2)。これらは、金箔を貼った際の膠着剤、恐らくは漆(そうでなかったとしても何らかの有機物)の劣化状況の違いにより、劣化の進行している部位で選択的に金箔の剥落が進行している状況と解釈される。もちろん先述のように漆の劣化には、光だけでなく水分などの他の要因も複雑に関係していると考えられるが、同一覆屋内にあることから他の要因による影響の差が十分に小さいと仮定すれば、こうした金箔の残存状況の違いは、主として日射の影響の違いとして議論できることが期待される。「日射の影響」という言葉の中にも、もちろん様々な物理量が想定され得るが、漆の劣化には特に紫外線の影響が指摘されていることから本研究ではまずは紫外線に着目し、また一般的な光の影響と対比するために、照度にも注目して検討することとする。

この場合の日射の条件については、同じ部位でも例えば晴天日と雨天日などの天候条件に



図1 覆屋内で、一部分にのみ日射が供給されている石造文化財の例



図2 覆屋内石造文化財における金箔残存状況の部位による違い
金箔は上部には残存するが、下部にはほぼ認められない。

よって大きく異なるのはもちろん、季節による太陽高度などの時々刻々とした変化によっても全く変わってくるため、たまたま日射が観察されたタイミングでデータを実測するだけでは議論の構築は困難と言える。このため、季節変動と天候変化とを考慮した形で、最低でも1年間の継続した計測が要求されることになる。もちろんそれ以外にも、その年その年の気象条件の違いにより、年間の総量は年々変動することが予想され、さらに言えば環境汚染や太陽活動の変動などの条件も考慮すれば、現代の計測がどこまで過去の履歴を反映するかには疑問もある。それでも、ある一年間における、金箔が残存する箇所と残存しない箇所での年間の積算値を比較することにより、第一段階としては金箔の損失を生み得る紫外線放射量及び照度の閾値を推測する上での目安を把握することには、十分寄与できることが期待される。

そこで本研究では、一部が開いた状態にあり、直射日光の影響が表面に及ぶことが起こり得る覆屋内の石造文化財で、しかもそれが築造当初から継続してその状態にあり続けたと考えられるものを調査対象として選定し、そこでの日射の影響を実測した。

3. 調査対象と調査方法

調査対象は、長崎県大村市本経寺の国指定史跡・大村藩主大村家墓所内にある10代藩主・大村純昌墓⁶⁾とした(図3)。これは1838年に建てられた石造覆屋(石霊屋)内に石造(玄武岩)の墓碑が置かれているもので、墓碑は築造時から現代にいたるまで継続してこの石霊屋内にあり続けてきたと判断される。石霊屋は北西に面して開口して(図4)これを遮るような樹木は近傍に皆無であるため(図3)、晴天日の夕方には日光の差し込みが石霊屋内に見られる場合が

ある。なお、石霊屋内の床面には扉の痕跡かと思われる穴が残されており、また墓所内にある同構造の他の石霊屋内の当該箇所には木造扉の残欠が現存する事例もあることから、大村純昌墓の石霊屋内にも築造当初には木造扉が存在した可能性が高い。その場合には、扉が閉じられれば墓碑への直射日光の供給はほぼなくなることになり、扉が存在した時代にはそれが日中に閉じられることがあったのかどうか、そして扉の欠損がいつ起きたのかという点が現状ではわからないことから、厳密な環境の履歴はわからないことになる。しかし、他の霊屋内には扉の残欠が見られる場合があるのに対して、大村純昌墓の場合には扉の部材と見られるものが一切残されておらず、また扉に関する伝承も本経寺には伝えられていないことから、まずは現状を重視して調査を試みた。

墓碑は、幅約60cm、高さ約80cmで、没年月日と法名とが正面（北西面）に葉研彫りの陰刻で刻まれ、その文字の内部には金色物質や赤色物質が認められる（図5）。金色物質は拡大写真で粒子が確認できず、膜状に存在していることから金箔と推測され（以下、金箔と仮定して議論を進める）、石材との間には必ず赤色物質が認められることから赤色物質は赤漆などの接着剤と見られ、赤色物質が最表面に存在する場合には金箔が既に剥落した状況と解釈される。金箔は、墓碑上部の文字で下部の文字よりも一般に良好な状態で残存し、下部には現状ではほぼ認められない。また、墓碑中央部には円形の文様が左右対象に存在するが、向かって右側（南側）には金箔が良好に残存するのに対して左側（北側）では非常に残りが悪い。それぞれ、①上部（図6）、②下部（図7）、③左部（図8）、④右部（図9）でそれぞれ一文字（左右は円文）を



図3 大村純昌石霊屋外観
北西面して入り口が広く開口した状態にある。

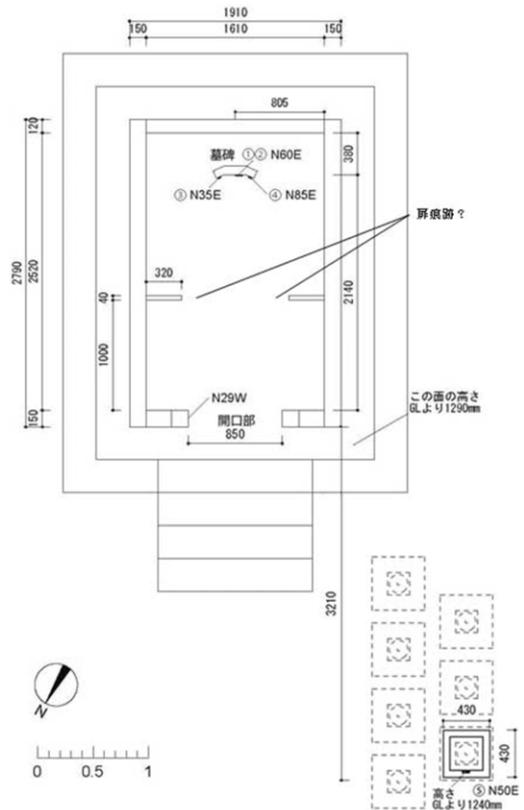


図4 大村純昌石霊屋平面図

デジタルカメラで撮影し、それを Photoshop 上にて赤色・金色それぞれのピクセル数を数えることで、金箔の現状における残存率を見積った。

また、上記の①～④の4カ所の近傍にセンサーを設置して(図5)、各ポイントで照度(lux)と紫外線強度(mW/cm²)とを実測し、合わせて石霊屋内の温度と湿度も計測した。これと比較するために、石霊屋外のデータとして、屋外に並ぶ石灯笼列の北西端のもの(図4)で、陰ができにくい位置にあると判断される石灯笼の中台北西面上にセンサー⑤を設置し(図10)、同様の計測を行った。計測は、T&D CorporationのデータロガーTR-74Ui-Hを用い、2014年10月2日16:00から2015年10月2日15:00までの間、1時間ごとに計測値を連続的に記録した。なお、紫外線センサーは、260~400nmの波長域を紫外線と認識して計測し、正時ごとの計測データはいずれも、直前の1時間に10分ごとに6回計測された値の平均値として記録された。

4. 結果

各ポイントにおける金箔の残存率は、①上部で85%、②下部で1%、③左部で4%、④右部で63%とそれぞれ算出された(表1)。

環境計測の結果、期間中の石霊屋内の平均気温は18.9℃、平均相対湿度は66%で、最大最小値はそれぞれ35.6℃と100%、1.6℃と17%だった。⑤石霊屋外では、2015年3月25日から6月23日の間にデータが欠損したが、得られた範囲での最大最小値はそれぞれ、38.6℃と100%、-2.3℃と19%だった。

2014年10月2日から2015年10月2日までの1年間の、石霊屋内の照度と紫外線強度の実測値の推移を、図11と図12にそれぞれ示す。いずれの計測値も、②、③、④、①の順に高い傾向と



図5 大村純昌墓碑と石霊屋内センサー設置状況
①：上部，②：下部，③：左部（北側），
④：右部（南側）



図6 上部（センサー①近傍）の文字
金箔が良好に残存する。

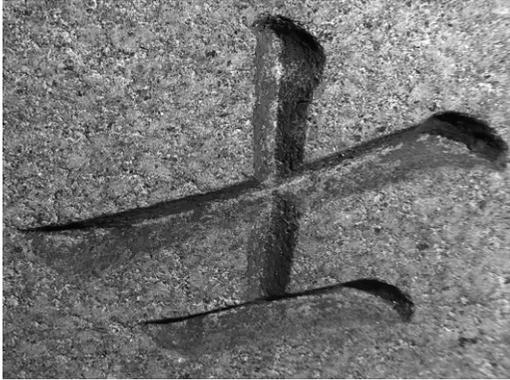


図7 下部（センサー②近傍）の文字
金箔はほぼない。

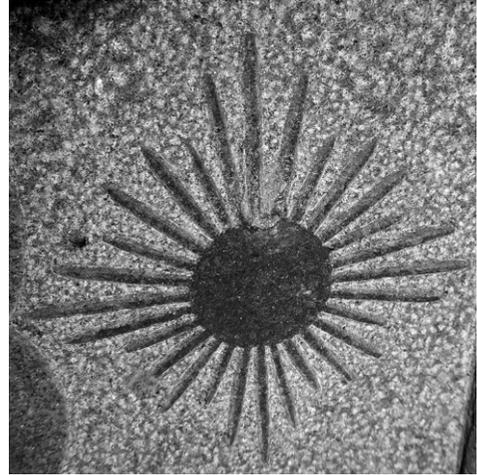


図8 左部（センサー③近傍）の円文
金箔はかなり剥落が進む。

して観察され、また①上部以外の各値は、夏に高めで冬に低めの季節変化が観察された。また、それぞれの最大値と、1年分の実測値を地点ごとに合計した値を表1に示す。いずれの値も、②，③，④，①の順に高い値として観察された。

⑤石霊屋外では、値の得られた範囲では照度も紫外線強度もいずれも石霊屋内の10倍以上の値が認められ、データの欠損期間を除いた積算値も、石霊屋内よりも一桁程度上のオーダーだった（表1）。

5. 考察

石霊屋内では、照度も紫外線強度もいずれも石霊屋外よりも遥かに低い値が観察され、日射に関して覆屋の効果が実測されたことになる。石霊屋内で見ると、いずれも②下部で①上部よりも高く、③左部（北）で④右部（南）よりも高い傾向が見られ、これはとりもなおさず、照度及び紫外線強度が高い値を示す場所ほど金箔残存率が低く、低い場所ほど残存率が高い傾向に相当する（表1）。こうした違いは、石霊屋の開口部が限られているために差し込む日射が墓碑下部ほど当たりやすく、上部では陰になって与えられにくいことと、その開口部が北西面するために、中央部では北側の方が南側よりも日射が与えられやすいことが理由として考えられる。また、夕日が最も北側に沈む夏至付近で日射は供給されやすくなり、最も南側に沈む冬至付近では供給されにくくなると考えられるが、上部①だけはそもそも直射日光が与えられる季節がないために季節変化があまり顕著には見られないのだろう。

この1年分の実測値が、純粋に気象条件だけで考えても過去の状況をどこまで反映しているかはわからず、また扉の状況を含めたその他の様々な要因の変化を考えると、過去には異なる環境が存在していた可能性も否定はできない。それでも、大村純昌墓が造られた1838年以降、改葬の記録は見られず、また周辺は墓所として継続的に管理されてきたことから植生の影響は歴史的に考えられず、マクロに見た場合の墓碑の存在状態は大きくは変わっていないと考えられる。今回金箔残存率を求めたそれぞれの文字で用いられた膠着剤と金箔は、一連の工程と判断されることから同一の物性と評価され、その現時点での残存率の違いの原因は主として環境要因に求められるため、ここでは現状に基づいて金箔の保存条件について考察を進める。

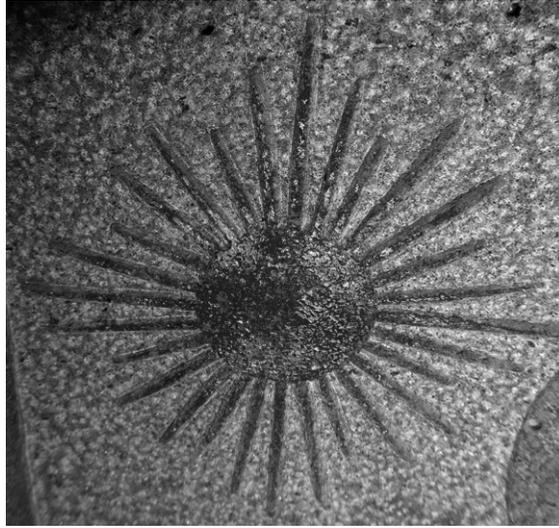


図9 右部（センサー④近傍）の円文金箔は比較的残存する。

今回各正時に記録された実測値の1年分の合計値（表1）は、各地点の年間積算照度（lux・h）と年間紫外線積算放射量（Wh/cm²）に相当すると考えられる。この各年間積算値が、墓碑の築造時から現在まで継続したと仮定して177（1838年～2015年）倍すると、各地点が経験した総積算値が見積もれることになる（表1）が、これは扉が日中に閉じられることが全くなかったという仮定に相当するため、実際にはやや過剰に見積もられた値である可能性がある。その前提で、例えば金箔残存率が1%の②下部では、総積算照度が $5.37 \times 10^8 \text{ lux} \cdot \text{h}$ 、総積算紫外線放射量が 13.5 Wh/cm^2 （ $4.87 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ ）とそれぞれ計算されるが、この墓碑で使われているのと同種の膠着剤によって同等の技法で貼られた同種の金箔は、同じ気象条件下で積算紫外線放射量が 13.5 Wh/cm^2 （ $4.87 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ ）に達すれば99%が剥落する恐れのあることを意味している。逆に、85%の残存率である①上部では総積算照度が $1.51 \times 10^8 \text{ lux} \cdot \text{h}$ 、総積算紫外線放射量が 0.930 Wh/cm^2 （ $3.35 \times 10^7 \text{ J/m}^2$ ）と計算されることから、同様の金箔への積算紫外線放射量を 0.930 Wh/cm^2 （ $3.35 \times 10^7 \text{ J/m}^2$ ）以下、すなわち上記条件の15分の1程度にまで抑えることができれば、ある程度の保存が期待されることになる。仮に50%の残存率を目標とする場合には、③左部（北）と④右部（南）との間程度の条件が必要ということとなり、おおよそ 8 Wh/cm^2 （またはおおよそ $3 \times 10^8 \text{ J/m}^2$ ）程度以下の



図10 ⑤石霊屋外のセンサー設置状況

表 1 各地点の照度，紫外線データと金箔残存率

	①上部	②下部	③左部(北)	④右部(南)	⑤石霊屋外*
年最大照度 (lux)	572	3,470	2,645	1,916	(85,030)
年最大紫外線強度 (mW/cm ²)	0.005	0.056	0.038	0.032	(1.078)
年間積算照度 (lux・h)	853,228	3,032,368	2,535,488	2,264,644	(34,617,193)
年間積算紫外線放射量 (mWh/cm ²)	5.252	76.496	50.249	45.754	(669.043)
総積算照度 (lux・h)	1.51×10^8	5.37×10^8	4.49×10^8	4.01×10^8	(6.13×10^9)
総積算紫外線放射量 (Wh/cm ²)	0.930	13.5	8.89	8.10	(118)
金箔残存率	85%	1%	4%	63%	

* : () 内は、2015年3月25日～6月23日のデータ欠損期間を除いた値

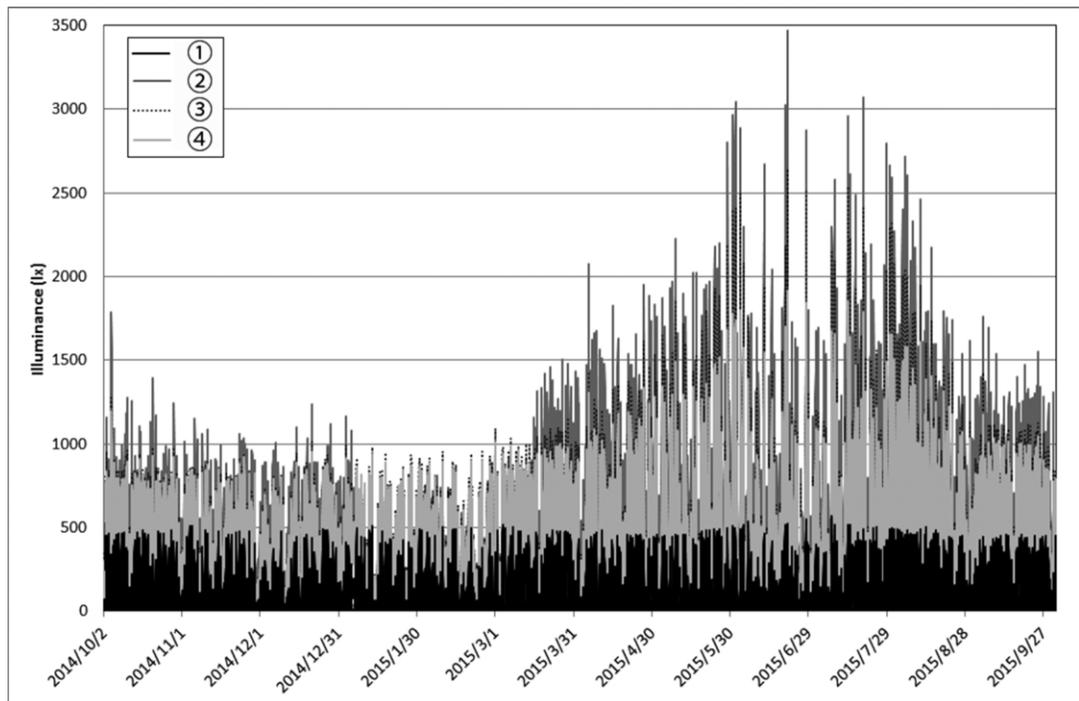


図 11 石霊屋内各地点の照度測定結果
測定期間：2014年10月2日～2015年10月2日
①：上部，②：下部，③：左部（北側），④：右部（南側）

積算紫外線放射量（あるいは $4 \times 10^8 \text{ lux} \cdot \text{h}$ 程度以下の積算照度）が一応の目安として想定されることになる。

石霊屋外では温度湿度のデータがこれとは異なっており、雨水の影響も異なることが予想されるため単純な比較にはならないが、1年のうちの約3か月分のデータが欠損した状態での積算値(表1)を用いて計算すると、屋外では約12年で目安の 8 Wh/cm^2 を超える積算紫外線放射量に到達すると見積もられ、20年余りで99%の剝落を生む可能性が指摘されることになる。これにデータ欠損分を考慮すれば、屋外環境ではさらに短い10年未満での金箔の剝落が予想され、これは近年になってから漆によって金箔が施工された屋外石造文化財における状況との間に大

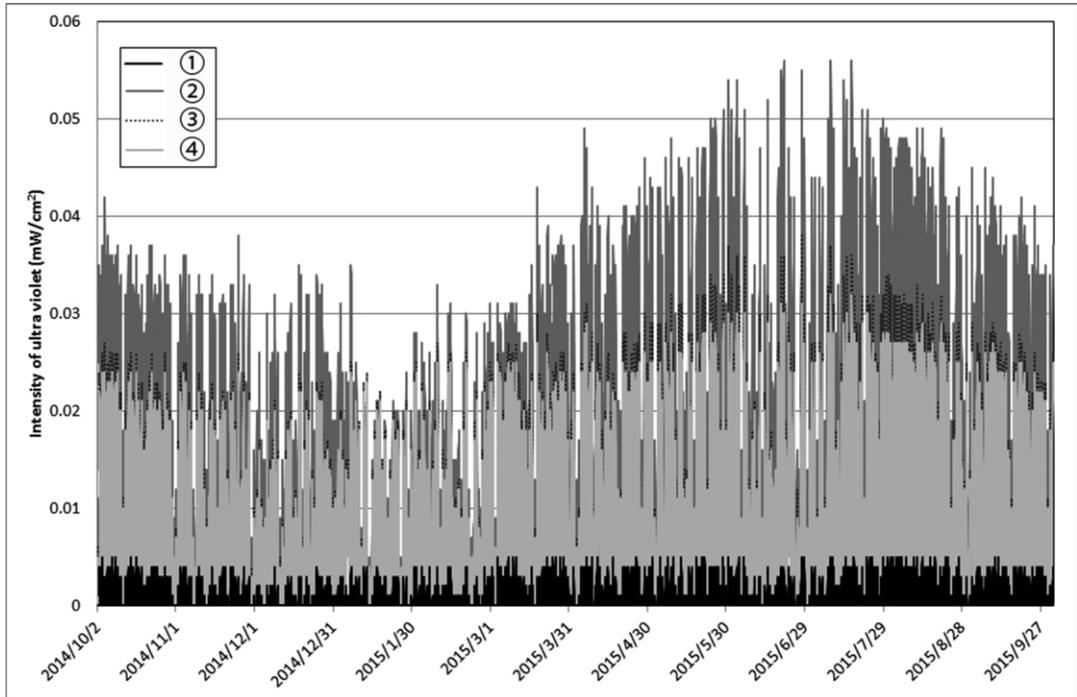


図12 石霊屋内各地点の紫外線強度測定結果
 測定期間：2014年10月2日～2015年10月2日
 ①：上部，②：下部，③：左部（北側），④：右部（南側）

きな齟齬は感じられない。

これらの議論では積算値のみに注目したが、紫外線に限定しても例えば最大値など、他にも考慮されなければならない概念は指摘可能である。また、総積算値の差がそれ程大きくはない③と④とで金箔残存率がかなり異なっており、今回は小さいと仮定した日射以外の環境の差にも考慮が必要かもしれない。上記はあくまでもいくつもの仮定の上で導かれた目安に過ぎず、また膠着剤や金箔の物性が異なればその目安もまた大きく変わってくることも予想されるため、数値だけが独り歩きすることは避けなければならない。それでも、このようにして他の様々な物性を持つ金箔についても同様の考え方でデータが蓄積されていけば、やがては統計的に信頼性の高い目安が導かれるかも知れない。そうした目安は、例えば陰を作るなどして環境改善が試みられる際の具体的な目標を与えることに繋がり、屋外石造文化財における金箔の適切な保存に今後寄与することが期待される。

謝辞 本研究における現地計測は、大村家ご子孫の勝田直子氏と所在地である本経寺の佐古亮景住職のご協力により行い、その実現のために、大村市教育委員会の今村明氏、元長崎歴史文化博物館の大石一久氏、南島原市教育委員会の岩永正貴氏に様々な便宜をお送りいただいた。また本稿を纏めるに当たり、明治大学の本多貴之氏から有益な情報をご教示いただいた。以上を記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 朽津信明：中世石造物に見られる彩色顔料の特徴について、日本文化財科学会第30回研究発表要旨集、214-215 (2013)
- 2) 本多貴之、朽津信明、前原豊：群馬県前橋市二宮 赤城神社に現存する石造宝塔の表面塗装の分析、日本文化財科学会第27回研究発表要旨集、404-405 (2010)
- 3) 神谷嘉美他：紫外線強制劣化させた漆塗膜に対する外観評価、文化財保存修復学会誌、51、51-58 (2006)
- 4) 朽津信明：石塔に対する覆屋の保護効果に関する研究、保存科学、51、97-109 (2012)
- 5) 朽津信明：板碑に見られる彩色について、考古学ジャーナル、602、20-22 (2010)
- 6) 大村市教育委員会：国指定史跡大村藩主大村家墓所保存管理計画書 (2007)

キーワード：大村家墓所 (graveyard of the Omura Family)；紫外線 (ultraviolet rays)；照度 (illuminance)；漆 (urushi)；剝離 (exfoliation)

A Study on the Conservation Condition of Gold Foil on Outdoor Stone Monuments

Nobuaki KUCHITSU, Hisae WATANABE, Asami SATA and
Masayuki MORII

The grave of Sumiyoshi Omura, made of stone with gold foil decoration, has been located in a stone shelter since it was built in 1838. The gold foil at the upper part of the grave is well preserved (about 85%) but not at the lower part (only about 1%). In addition, about 65% of the gold foil on the southern part of the grave remains, while about 4% remains on the northern part. The illuminance and intensity of ultraviolet rays were measured at 4 spots of the grave for one year. As a result it was found that both the illuminance and intensity of ultraviolet rays were low where the gold foil is well preserved and high where the gold foil is lost. It is expected that appropriate environment in order to preserve gold foil well can be discussed based on these results. Specifically, the limit of integrated illuminance and integrated ultraviolet irradiance required for conservation of outdoor gold foil can be calibrated and pointed out.