

〔報告〕 凝灰岩製石造文化財における劣化現象認識の ための注意点 —京都市個人所蔵石殿の一事例を通して—

朽津 信明・津村 宏臣・森井 順之

1. はじめに

石は一般に燃えにくく、また強固である場合が多いことから、石造文化財は木造文化財などに比べればその保存に細心の注意が払われることは少なく、屋外で放置されたままの石造文化財も少なくない。しかしながら、石造文化財も著しい劣化を示す場合があり、特に凝灰岩製の石造文化財ではそうした事例が豊富に報告されている。そのような場合には、ひとたび対応を誤ると、保存を目指した行為がかえって劣化を促進してしまうようなケースも十分に起こり得るため、まずは劣化状況を正確に認識し、また対策を施す際には事前に慎重に検討することが要求される。本稿では、京都市の個人所蔵の凝灰岩製石殿において、近年に起きた特徴的な劣化現象を紹介することから、凝灰岩製石造文化財における劣化現象を認識するための注意点について考え、今後の石造文化財保存に寄与することを目的とする。

2. 調査対象の概要

本稿で紹介する調査対象（図1）は、石造で切妻造妻入りの建物状に構成されており、軸部



図1. 2012年8月現在の調査対象及び周辺環境
中央が調査対象の石殿

が割り貫かれて内部空間が設けられていることから「石室」²⁾の範疇に含められるかと思われるが、機能的には神道建造物として存在していることから以下では「石殿」²⁾と表現する。この石殿は2012年8月の調査時点で、京都市左京区の個人宅内にある庭に置かれていた。全高は96cm（盛り土の基壇を除く）で、上から屋根石、軸石、基礎石の順に成り立っており、さらに軸石正面には石扉が一枚石の別石で取り付けられており、いずれも全て同質の多孔質な乳白色の凝灰岩四石から成り立っている。調査時点で銘の存在は確認されず、製作背景などの詳細は不明であるものの、その様式からすれば近世以降に造られたと推測され、所有者によれば大正末期頃にこの家に購入されて現在地に運ばれ、それ以降継続して現在地に置かれているという。

石殿（図2のA）は南西に正面を向けて建ち、その正面前方約60cmには左右一対で花崗岩類製の石灯籠（B₁、B₂）が建ち、さらに2m程離れて前方には花崗岩類製の石鳥居（C）が建つことで、邸宅内に模擬的な神社空間が構成された状況となっている（図1）。石殿の近傍には二本の樹木（D₁、D₂）が立ち、時間帯によっては石殿に日影が与えられる状況が考えられるが、それ以外に近傍に草木は殆ど存在せず、蘚苔類を中心とする植生が周辺の地面を広く覆っている程度である。樹木のうちの一本（D₁）は、石殿北側角から18cmの距離に隣接して存在する高木で、石殿への雨の当たり方や日射に強く影響を及ぼすことが考えられる。もう一本の樹木（D₂）は、西側角から50cmの場所に存在する低木で、一部の枝以外は石殿への直接的影響は乏しいと見られる。この石殿は敷地内の北東角に位置し、それぞれ約2m及び約3mで北側及び東側の敷地境界線に至る。それぞれの敷地境界線は、ほぼ南北及び東西の直線状に構成され、2012年8月の時点では笹垣（図2のE）によって仕切られている。笹垣の上端と石殿との相対位置関係は、東側境界線で計測すると、調査時点では石殿上面に比べて比高約-38cmで笹垣上端が存在し、石殿上面より低い位置でほぼ高さは揃えられている（図3）。

3. 風化状況

対象となる石殿について、写真計測の手法により測量を行った³⁾。現地では、デジタル形式のステレオカメラ（民生用自作）およびフィルム形式のHORSEMAN 3Dカメラを利用した。計測手法として、ステレオペア計測と、周囲から撮影した写真を用いたバンドル調整法による計測とを実施した。バンドル調整法による半自

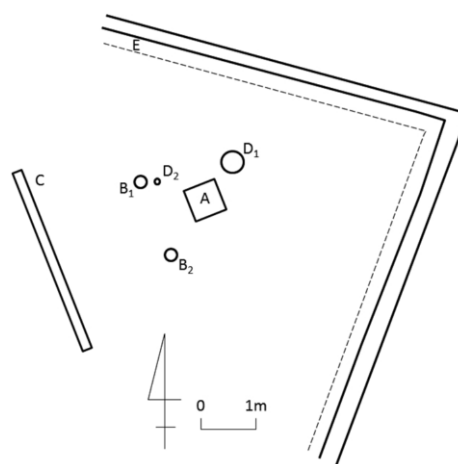


図2. 石殿周辺の平面図
（A：石殿，B：石灯籠，C：石鳥居，
D：樹木，E：笹垣）

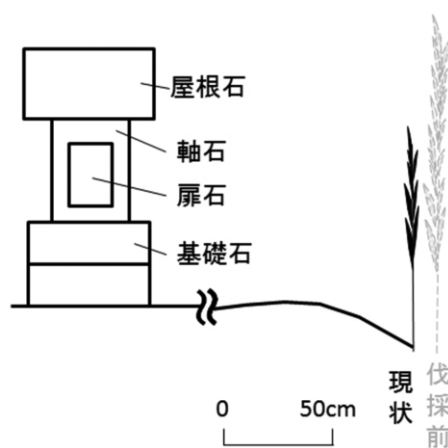


図3. 石殿と笹垣との相対位置関係
笹垣上端は、かつては石殿上面より
も高かったが、現状は低くなっている。

動3次元点群の復元と、撮影した写真のテクスチャー作成を行ったが、このテクスチャーは複数の画像から構成されるため、オルソ画像作成には別のコンパクトデジタルカメラによる写真を利用した。オルソ画像は、先に構成した3次元点群座標値を利用し、正射投影となるよう写真を幾何補正し、これを組み合わせて作成した(図4)。これに基づき、各面の劣化度合いについて検討を行った。

対象の石殿では、2012年8月の時点で軸石に著しい劣化が観察される。まず屋根石に関しては、表面に着生生物の付着が見られるものの、形状の大きな損傷はない。基礎石では、北側樹木近傍に着生生物の付着が見られるが、裏面(北東)、左右両面(北西及び南東)、そして上面を含め侵蝕はいずれもそれ程顕著ではない。例外的に基礎石の正面(南西)側だけは着生生物の付着はほぼ見られず、当初表面が確認できない程度まで侵蝕が進んでいるが、著しく形状の欠損を伴うものとは言えない。また、軸石正面の扉石でも、全体を通じて形状の大きな損傷は見られない。

ところが軸石では、正面(南西側)中下部、右側(南東側)側壁中下部、裏側(北東側)側壁中部、左側(北西側)側壁中下部を中心にいずれも大きく抉られたように凹んでおり(以下、侵蝕層と呼ぶ)、それ以外の部分でも当初表面は確認できない程に侵蝕を受けている部位が多い。各面の最大侵蝕量は、正面(南西面)では24mm、南東側壁では36mm、北東側壁では38mm、そして北西側壁では38mm、と見積もられ、特に北西面では内壁面まで侵蝕が達し、一部で貫通して側壁に穴があいた状態となっている(図4a)。軸石で正面以外の各側壁最下部の基礎石近傍にはあまり侵蝕が進んでいない部位があり、概してそうした部位には着生生物の付着が目立つ(下部層とする)。また、正面を含めた各側壁最上部にも、侵蝕があまり進行していない部位が見られ、そうした部位は凝灰岩本来の乳白色ではなく特徴的な褐色を呈している(上部層とする)。褐色部分は鉱物質で、特に下側の侵蝕層付近には白色の針状結晶を伴う場合が多い。この白色針状結晶が、壁面から一部遊離した状態にある場合も見られる。

軸石各側壁面の状況をもう少し細かく見ると、下部層、侵蝕層、上部層それぞれの幅が各面で若干異なり、例えば正面(南西面)(図4b)では最下部に僅かに着生生物の付着は観察されるものの、侵蝕が進行しているため下部層は定義できないのに対し、裏面(北東側面)ではそれが約16cmでほぼ直線的に認められる(図4d)。左右両側壁(北西及び南東側)では各層の厚さが弧を描くように変化している(図4a及びc)。

基礎石上面には、側壁から崩落したと判断される細粒物質が溜まった状態にあり、特に南東側でその崩落物が顕著に堆積している(図5)。その崩落粒子に交じって、細粒の白色結晶状物質も認められる。また、得られた3次元点群座標値に基づき、上からのオルソ画像(図6)を作成して各部材の水平方向の位置関係を見ると、屋根石は軸石及び扉石の全てを覆い、また基礎石でも正面側は全てが屋根石に覆われるものの、裏面では基礎石の一部が屋根石に覆われずに曝されていることが分かる。

なお、近傍にある二基の石灯籠及び石鳥居の風化はそれ程顕著ではなく、一部表面に緑色の着生生物が認められるが、表面が著しく侵蝕を受けているような箇所は指摘できない(図1)。



図4．右殿各側壁面のオルソ画像
a) 北西面, b) 南西面 (正面), c) 南東面, d) 北東面 (裏面)



図5. 基礎石上面の崩落物（2012年8月撮影）
石材の崩落片に交じって、白色物質が混在する。

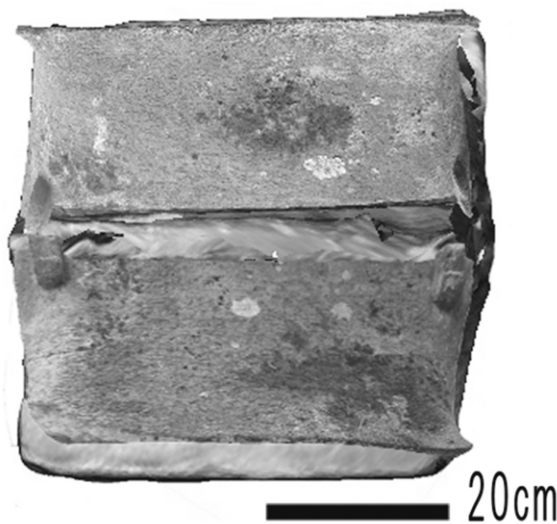


図6. 石殿上側からのオルソ画像
図面上方が正面側，下方が裏面側。
一部にテクスチャーの欠損はあるが，裏面で基礎石が屋根石からはみ出すことが分かる。

4. 過去の状態調査

京都市在住の別の方によって2007年8月に撮影された当該石殿の写真(図7)を参照すると、石殿軸部は現状に比べて侵蝕がかなり乏しいことが確認される。2012年8月の調査時点(図1, 4 b) との比較から目視で推測すると、2007年8月時点では南東側壁の最大侵蝕量は現状のおおよそ三分の一程度かと思われ、また北西側壁では侵蝕が内壁面まで到達しているとは見

えないため、貫通による穴はまだこの時点ではあいていなかったと判断される。これは、「数年前まではそれ程傷んでいた印象がない」とする所有者の記憶を裏付け、現状で確認される風化のうちの小さくない部分は、この5年の間に急速に進行したものであることが確認される。所有者によれば、敷地境界線にある笹垣の高さは、歴史的に継続して現状よりもずっと高い状態にあったと言い、2009年頃（詳細時期は不明）にその上端を切断して低くしたとされる。2007年の写真で切断前の笹垣の高さを確認することができ(図7)、写真に写る鉄パイプなどの高さが不変のものに基づいて上端の高さを推測すると、かつては石殿上面からの比高で+12cm程度、すなわち2012年8月の現状に比べて50cm程度高かったと考えられる(図3)。

所有者によれば、石殿の風化を認識する以前と現状との違いで思い当たるのは、この笹垣上端の高さくらいだとされ、それ以外の周辺の植生に大きな違いは見出せない。また、軸石以外の石殿の他の部材や、石灯笼や石鳥居などの近傍の石造物には、写真で判断する限りこの5年で大きく変わった点は見当たらない。過去の写真からこの敷地周囲の状況についても確認可能で、少なくともこの5年の間に隣接するエリアで建物の高層化や土地利用における変化は見られず、この敷地全体としての日照環境や風環境が大きく変えられたことはあり得ない。



図7. 2007年8月に撮影された対象物の写真(写真提供:「京都を歩くアルバム」)
石殿の風化は現状ほど極端には進行しておらず、笹垣は現状よりも高い。

5. 考察

5-1. 風化に関する考察

調査対象の石殿は、所有者の意向でこの先倉庫に仕舞われることが決まっており、本稿で提示した以上の追跡調査を今後行うことは不可能となる。このため、着生生物の同定や、褐色物質や白色物質の化学分析等を行うことができず、この石殿で起きた風化現象を厳密に解明することはできない。しかしながら、各側壁上部層で白色針状結晶が一部遊離した状態で認められ、また基礎石上面の崩落物に交じって白色の結晶が存在する状況からすると、この石殿で塩類風

化が起きている可能性について検討する必要がある。

例えば吉見百穴⁴⁾など、今回の石殿と類似した性質の凝灰質岩では、以下のような現象がしばしば報告されている。凝灰岩中には、一般に硫黄を含んだ鉱物である黄鉄鉱が含まれていることが多いが、これが水が存在する状況で細菌の関与などあって酸化反応を受けると、最終的に硫酸イオンが石材中に作り出されることになる。石材表面からの蒸発が著しい箇所ではイオンの濃集が起き、岩石と化学反応した末に、さらに水分が蒸発すればそれが塩類の形で結晶することになる。この塩類の結晶成長により、石材が物理的に破壊されて崩落が引き起こされるのが一般的な凝灰岩の塩類風化と考えられている。この現象は、雨が直接当たるなどの理由で水分が過剰に供給されやすい場所や、蒸発速度が遅い洞窟の奥の部分では、イオンの濃集が不十分で塩類の析出が起きなかったり、析出した塩類が潮解したり洗い流されたりして成長しにくいいため、一般には洞窟内部の入り口付近などの雨水が直接供給されにくく、かつ蒸発が盛んな場所で特に起こりやすいことが指摘されている。

調査対象の石殿で考えてみると、同じ凝灰岩でできていても、屋根石と（正面を除く）基礎石ではそれほどの風化が起きておらず、また軸石でも、下部（下部層）は中央部（侵蝕層）に比べて相対的に侵蝕が進行していない。石殿上側からのオルソ画像（図6）に基づけば、屋根石やそこからはみ出している基礎石裏面には雨水の直接的供給が想定されるのに対し、軸石（の中部以上）にはそれが与えられにくいと判断される。また、軸石下部は、特に裏面においては基礎石に当たった雨だれの跳ね返りが想定される。これらの事実からすると、この石殿においても上記に示したような塩類風化が起きているかどうかは別の議論としても、雨水の直接的供給が起きにくい箇所で、風化が進行している傾向を見出すことができる。

一方、軸石上部層で認められる褐色物質は、類似した外見のものが吉見百穴でも洞窟上部で報告されており⁴⁾、それが見られるのは日射の影響が与えられにくい場所に当たる。これは、硫酸酸性下で溶脱された鉄分が、岩石との相互作用に伴うpH上昇によって水酸化物などの形で沈殿したものと考えられ、特に蒸発速度が遅い部分ではイオンの濃集が起きにくくpHが高めになりやすいことから、風化は相対的に進行しにくく、鉄分の沈澱が起きやすいのだと考えられる。石殿の場合には、水分の供給と蒸発速度とが方位や屋根石の形状に大きく影響を受けていると見られ、下部層、侵蝕層、上部層の厚さが正面側と裏面側とで異なったり、左右両側面では境目が弧を描いたりするのは、そうした影響である可能性が考えられる。

こうした風化は、現象自体は石殿が屋外に置かれてから継続して起こる可能性が考えられるものの、今回の調査により、現在地に置かれてから近年までの約80年間に受けていたであろう風化に比べて、長くとも僅かこの5年の間に起きた風化は、それを上回る規模であることが確認された。また、その5年前の時点では石殿の上端よりも敷地境界線の笹垣上端の方が高かったのに対して、2012年8月の現状では少なくとも笹垣上端は石殿軸石の上部よりも低い位置に変化していることがわかる（図3）。この笹垣の切断は、石殿周辺の湿度環境や風環境を変えた可能性があり、だとすれば石殿軸石における蒸発速度にも影響を与えた可能性が十分考えられる。

5-2. 対策に関する考察

次に、他の石造物が、今後同様の風化を起こすことを防ぐ方向性について検討する。既に見たように、この石殿で今回確認された急速な劣化は、石殿が製作されてからの歴史の中で見れば、周辺の笹垣が切断されたのとほぼ同じタイミングで起きていることになる。その直接的因果関係については言及できないものの、少なくともこの笹垣の切断によって、結果として石殿

の保存環境が良好な方向にシフトしたとは思われない。この点から、十分な事前調査なく安易に周辺環境を変えることには、慎重である姿勢が望まれる。

ただし、石殿近傍に存在する、石灯籠及び石鳥居について考えてみると、石殿軸部では著しい侵蝕が現在認められる高さ付近を見ても、風化や侵蝕は現状でほぼ認められない(図1)。だとすれば、仮に笹垣の高さの変化が石殿の劣化の一因となっていたとしても、そのような環境を与えればどんな石造文化財でも急速に劣化してしまうというわけではないことになる。石灯籠と石鳥居は花崗岩類製だが、一般に花崗岩類は凝灰岩に比べて空隙率が低く、岩石内部での塩類の析出が起きにくいことから塩類風化を起こしにくい石材であると指摘されており⁶⁾、環境条件とともに岩質への注意が必要である点が指摘される。

次に、石造文化財の保存に際しては、概して「水の供給が劣化を促進する」と考えられる場合が多い⁶⁾が、既に見たようにこの石殿の現状に関してのみ言えば、「水が供給されやすい場所で侵蝕があまり進行していない」という傾向が認められる。このことから、石造物を風化から守るためには、「水を断てば良い」という単純な発想だけでは不十分であると考えられる。ただしその一方で、今回の分類を当てはめれば下部層に相当するような部位だけが、逆に選択的に侵蝕を受ける「根腐れ現象(図8)」という現象も別の遺跡では報告されている⁷⁾。この場合には、水が供給されやすいところで侵蝕が進んでいることになり、安易に一般化するのではなく、個々の状況を見極めた慎重な検討が必要である点を確認したい。



図8. 根腐れ現象の例(東南アジアの砂岩製遺跡にて)

最後に、表面の着生生物の問題について言及する。現在の石殿表面に着目すると、侵蝕が進行している箇所には着生生物が認められず、逆に着生生物が表面を覆っている下部層は、侵蝕が進行していないという傾向を指摘可能である(図4)。この分布からすると、あたかも着生生物が石殿を侵蝕から保護しているようにも見えるが、その因果関係については慎重に検証される必要がある。例えば軸石正面下部では着生生物は存在するものの侵蝕は防がれておらず(図4b)、少なくともこの部分では着生生物は石材の侵蝕を防げていない。石材の風化と着生生物との関係においては、その分布の類似性を根拠として、例えば「地衣類が存在する場所は石材が風化していないので、地衣類が石材を保護している」と解釈されるような場合⁸⁾も見られるが、因果関係の特定には、もう少し慎重な検証が必要である点を指摘しておきたい。

6. まとめ

近年になって急速に劣化が進行したとされる、個人蔵の凝灰岩製石殿に関して調査を行った。測量及び過去の状態調査から、当該石殿では長くとも過去5年の間に急速な侵蝕が進行したことが確認された。その間には、周辺の笹垣が切断され石殿上部が笹垣上端よりも上に曝される状況に変化したことも明らかにされた。両者の直接的因果関係は不明ながら、周辺環境を安易に変えることへの注意が喚起される事例と考えられる。

謝辞

調査にご協力いただき、本件の公表についてご理解をいただいた当該石造物の所有者様（氏名非公表）に感謝申し上げます。また、2007年8月時点での写真をご提供いただき、その公表をご許可いただいた「京都を歩くアルバム」に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 東京文化財研究所：『石造文化財の保存と修復』（1985）
- 2) 川勝政太郎：『日本石造美術辞典』（1998）東京堂出版
- 3) 二神葉子・津村宏臣：デジタル写真測量技術を用いた文化財建造物の計測と劣化評価，文化財保存修復学会誌，**49**，86-99（2005）
- 4) 高屋康彦・小口千明・山崎麻衣・大西亮平：史跡・吉見百穴の坑道壁面における凝灰質岩の塩類言風化とその影響要因，地形，**32**，279-292，（2011）
- 5) 山田剛・青木久・高橋学・松倉公憲：塩類風化速度に与える岩石物性の影響に関する一実験，応用地質，vol. **46**，72-78，（2005）
- 6) 東京文化財研究所：遺跡保存と水，第22回国際文化財保存修復研究会報告書（2009）
- 7) 内田悦夫：アンコール遺跡の石材と非破壊調査，物理探査，**60**，223-234，（2007）
- 8) Carter, N.E.A. and Viles, H.A.: Bioprotection explored: the story of a little known earth surface process, *Geomorphology*, **67**, 273-281, (2005)

キーワード：風化 (weathering)；塩類 (salt)；着生生物 (epiphytes)；石殿 (stone shrine)
；侵蝕 (erosion)

Notes for Recognizing the Deterioration of Stone Cultural Property Made of Tuff

—Through the Observation of a Privately Owned Stone Shrine in Kyoto—

Nobuaki KUCHITSU, Hiroomi TSUMURA and Masayuki MORII

An investigation was carried out on a stone shrine made of tuff where weathering and erosion are advancing severely. Three-dimensional measurement and survey of old photographs suggest that the shrine has eroded rapidly during these 5 years. Moreover, surrounding bamboo fence was cut during the same time and consequently the upper part of the shrine has become higher than the top of the fence. When considering the conservation of stone monuments, it is often argued that humidity is the enemy of conservation and that the surrounding condition must therefore be kept as dry as possible. However, at least the cutting of the bamboo fence cannot be regarded to be effective in reducing the erosion of this shrine. It is hoped that conservation measures be not practiced based on general common sense that “water is an enemy of stone monuments” but only after sufficient understanding of the condition of the target monuments.