

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：82620

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K01140

研究課題名(和文) 環境制御による古墳に繁茂する緑色生物の軽減法に関する研究

研究課題名(英文) Study on reduction methods of green organisms in old tombs through environmental control

研究代表者

朽津 信明 (Kuchitsu, Nobuaki)

独立行政法人国立文化財機構東京文化財研究所・保存科学研究センター・室長

研究者番号：50234456

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：国指定史跡・石人山古墳において石棺表面に観察された緑色生について調査し、それを制御する方法について検討した。同古墳で緑色生物が繁茂するに至ったのは、かつては年間積算照度が10000lxのオーダーだった箇所が、2004年に墳丘上の樹木剪定を行ったことによって年間積算照度が100000lxのオーダーに上昇したことに伴って引き起こされたと判断され、今後は、湿度条件を変えないように留意しながら覆屋入り口に適切な光対策を行うことによって年間積算照度を10000lx程度にまで戻すことができれば、カビなどの弊害を生むことなく緑色生物を軽減できる可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The green organisms on the stone sarcophagus was investigated in order to control the organisms. It is concluded that the luxuriant growth was brought through the pruning of trees there in 2004. The pruning changed the illumination on the sarcophagus from 10000lx to 100000lx. Then, it may be effective to reduce the illumination to be 10000lx with keeping the relative humidity stable. Such countermeasure will reduce the green organisms without evil influence such as mold.

研究分野：鉱物学

キーワード：古墳 藻類 照度 湿度 含水率 石棺 洞窟 保存

1. 研究開始当初の背景

国宝である高松塚古墳でカビの被害が出たことは国民的関心事となり、この影響もあって装飾古墳の現状が調査されてその保存方法が議論されている。装飾古墳の劣化要因は多岐に渡り、適切な保存方法をすぐに言及することは容易なことではないが、数ある問題点の中でも一般の見学者にすぐに認知されやすい問題として、緑色生物の繁茂の問題が挙げられる。これは、古墳のような湿った環境下で見学者用に照明が用いられることによって、藻類などの緑色生物が壁面に繁茂することで、装飾が見学しにくくなる問題として認識される。実はこうした問題は別に装飾古墳に限られたことではなく、見学可能な古墳の石室や石棺においてはどこでも普遍的に見られる現象であり、また古墳に限定せずとも、例えば石仏や石塔など、公開されている屋外石造物に共通する問題と言える。

こうした緑色生物の除去を目的として、薬剤が用いられて処理されることも少なくない。確かに薬剤を塗布することにより、こうした緑色生物が軽減され、対象物が見学しやすくなったとされている文化財も存在する。しかしながら、彩色顔料が用いられているような場合に、そうした薬剤が化学的に色彩に影響を与えないかどうかはあまり検証されておらず、また石材自身への影響も良くわかってはいない。また、薬剤によって特定の生物が軽減できたとしても、そのことで却って別の生物の繁茂を促すケースも知られており、薬剤使用はいたちごっこを生む可能性も指摘されている。

こうした状況で注目されるのが、環境制御という方向性である。考えてみると、未盗掘古墳が発掘されたばかりの段階で、緑色生物が繁茂していたという報告はこれまで知られていない。つまり、古墳内であっても、環境によっては緑色生物は繁茂しない場合があることは明白であり、問題は古墳の公開を前提としながらそれを実現できるかどうかという点に帰着される。そこで、公開されている古墳内であることを前提として緑色生物が繁茂しにくい環境を特定し、その環境を実現できれば、薬剤を使うことなく緑色生物を軽減することに貢献可能と期待される。緑色生物が軽減されれば、見学者に対してその文化財の持つ価値をより有効に伝えられるようになるだろう。

2. 研究の目的

公開されている古墳内部には、藻類などを主体とする緑色生物が繁茂する 경우가多く、特に内部に壁画が存在する場合には、こうしたものの存在が古墳の鑑賞を大きく妨げることが多い。そこで本研究では、こうした生物繁茂の軽減法について研究するものである。特にその際には、薬剤を用いて生物を殺すのではなく、こうした生物が繁茂しにくい環境を与える方向性について考える。緑色生

物が繁茂しにくい環境を明らかにし、その環境を古墳内に実現することによって緑色生物を軽減し、それにより古墳の公開活用の促進に寄与することを目的とする。

本研究の大きな特色は、繁茂している緑色生物自身に対して、例えば化学薬品で処理するとか物理的に削るとかの直接的対処をすることなく、あくまでも間接的に環境に働きかけることで結果的に繁茂を軽減することを目指している点にある。環境への働きかけで緑色生物を軽減できた例としては、研究代表者の朽津らによるフゴッペ洞窟での先例があるが、これは人工照明のコントロールで実現された事例であり、開口した古墳にすぐに適用できるものではない。自然光を対象として行われる本研究は、古墳ばかりでなく石塔や石仏などの屋外文化財全般に応用可能であると期待される。

また、直接的に緑色生物に働きかけるのではなく間接的に環境に働きかけるのだとしても、例えばそのことによって別の生物の繁茂を促すような弊害も考えられるが、本研究ではテストピースを用いて実験を行うことにより、実際の古墳を傷めることなく予め弊害についても理解しようと試みる点に独創性がある。弊害を予め理解できていれば、実際の古墳で行うときにはそれを避ける手段を事前に考えることができると期待され、本当の意味での古墳の保護に貢献できるだろう。

本研究により、古墳内での緑色生物の繁茂を軽減する環境について具体的に提示することができ、また弊害を伴うことなくその環境を実現する方法についても提案できることが期待され、古墳をよりよい状態で公開・活用していくことに寄与できることが期待される。

3. 研究の方法

本研究では、古墳の公開を目的として、その際に見学の妨げになるような緑色生物がなるべく繁茂しにくい環境を特定し、それを実現する手段を模索することを目的とした研究を試みた。具体的な調査対象は福岡県広川町にある国指定史跡・石人山古墳で、石棺の表面には緑色生物が著しく繁茂しており

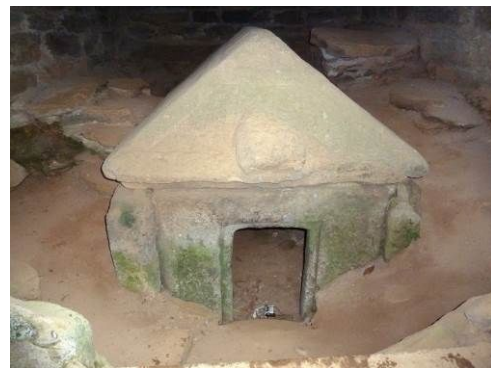


図1. 石人山古墳石棺

(図1) 場所によっては装飾文様の観察を

妨げる状態にあった。緑色生物は開口している西側面には顕著だが、それ以外の面には肉眼ではほぼ認められず、奥側の東側面には存在が確認できない状態だった（図2）。

まずは文献や写真資料によって、緑色生物



図2．石人山古墳石棺奥側（東側）

が現状のように繁茂するに至った経緯を検証した。次に、緑色生物の存在状態とその原因を理解するために、繁茂が顕著な石棺西側と、顕著ではない東側とにおいて、各種計測を行った。計測項目は、石棺表面での含水状態の把握を目的とした赤外線吸光度測定、同じく緑色度合いを定量する目的での表面測色、そして西側東側それぞれの石棺近傍における温度、相対湿度、積算照度の各環境計測である。また、石棺表面に繁茂している緑色生物を採取して同定し、代表的な生物を単離した。

次に、石棺石材と同材質の凝灰岩を用いて、5 cm×5 cm×厚さ1 cmのテストピースを用意し、それを石棺近傍に設置してその後の経過を観察した（図3）。テストピースは石棺手前側と奥側との、照度条件の異なる5カ所にそれぞれ2個ずつ、合計10個設置したが、結果的にテストピース表面に肉眼的に認知可能なレベルで緑色生物が繁茂するには至



図3．テストピースの設置

らなかった。

そこで、同種のテストピースを新たに10枚用意し、単離された緑色生物を表面に植え付けた状態で各所に設置し、その後の経過を観察した。その結果、いずれのテストピースも初期値は顕著な緑色を呈したが、一年後にはいずれも当初のテストピースの色に戻っていた。

また、関連調査として、北海道のフゴッペ洞窟と和歌山県の和歌山城穴蔵状遺構でも調査を行った。フゴッペ洞窟は約1700年前の線刻壁画が描かれている洞窟遺跡で、現在は保存施設内で保存が図られ、人工照明によって見学者の便宜が図られている。フゴッペ洞窟箇所とで年間積算照度を計測し、合わせて代表的な季節に現地調査を行い、各ポイントで赤外線水分計による水分計測と、測色計による色彩調査を試みた。

和歌山城穴蔵状遺構は、和泉砂岩の切石で構築された石室が近年の発掘で確認されたもので、2006年以降強化ガラス製の屋根が取り付けられて公開が続けられている。このため、ガラス屋根の下に位置する石室石材にはほぼ雨水は供給されない状況にあるが、屋根の範囲から外れた場所にある石材は常に風雨に曝される条件にある。各石材の上面に注目すると、屋根の直下にある石材上面には生物の沈着は肉眼では確認できず石材本来の色を示すのに対して、屋根の範囲から外れた場所にある石材上面は微生物で覆われ、暗褐色を呈している（図4）。この穴蔵状遺構において、石人山古墳で行ったのと同様の項目について調査を行い、さらに、屋根がカバーする範囲と生物が沈着する範囲とを計測によって比較することを試みた。



図4．和歌山城穴蔵状遺構

4．研究成果

石人山古墳の石棺における緑色生物として、特に *Tolypothrix* 属、*Halospirulina* 属、*Cyanidium* 属といった藍藻や、*Chloroidium* 属の緑藻などが同定されたことから、その繁茂条件について検討を進めた。現地における環境条件の実測値に基づき、平均温度13.8、平均相対湿度94%の石人山古墳の環境条件であれば、年間積算照度がおおよそ $3 \times 10^5 \text{lxh}$ の地点（開口している西側面）では緑色生物が顕著に繁茂し、おおよそ $2 \times 10^3 \text{lxh}$ の地点では緑色生物がほぼ存在しないことが明らかとなった。テストピースによる実験から、年間積算照度おおよそ $2 \times 10^4 \text{lxh}$ の地点で緑色生物は顕著になっておらず、また緑色生物を植え付けた状態のテストピースもその条件で一年後には緑色が軽減されることが確認された。つまり、おおよそ 10^5lxh のオーダーの

年間積算照度が、緑色生物が繁茂する条件の一応の目安になると考えられ、それを軽減するとすれば、 10^4 lxh のオーダーの年間積算照度が想定されることになる。

過去の経緯の検証から、石人山古墳の石棺では、2004 年頃までは緑色生物が顕著でなかった(図5)ものが、2004 年 11 月に樹木伐採作業が行われた後の 2005 年頃から繁茂が顕著になってきた(図1)が、恐らくはその剪定作業に伴い、現状の 10^5 lxh のオーダーの年間積算照度が与えられる地点が出てきたのではないかと推測される。それ以前に緑色生物が顕著でなかったのは、樹木の陰になって基本的に石棺面では上記で考察した目安である、年間積算照度が 10^4 lxh オーダー以下の状態が保たれていたのではないかと推察できる。だとすれば、現在は年間積算照度が 10^5 lxh のオーダーになっている箇所の照度を何らかの方法で下げ、 10^4 lxh のオーダー以下の状態を取り戻すことが対策として考えられることになる。



図5 . 2003 年の石人山古墳石棺

もちろん、そのことによって他の弊害を助長することは許されず、例えば光環境を変えることによって温度や湿度などの他の条件に影響を与えては、カビの発生などの別の問題を引き起こすことが懸念されるため、光環境だけを変える方法を考案する必要がある。今回、緑色生物を植え付けたテストピースでは、現状の年間積算照度 10^4 lxh のオーダーの地点で一年後に緑色生物が軽減された際に、例えばカビの大量発生のような目立った弊害は観察されていないことから、光環境以外の温度や湿度などの他の環境条件が変わらない前提であれば、年間積算照度を 10^4 lxh のオーダー以下にするという目標値で、緑色生物軽減が検討できることになるだろうと期待される。

ただし、フゴッペ洞窟における関連調査では、年間積算照度 10^4 lxh のオーダーの地点で

は確かに緑色生物の繁茂は見られないものの、それよりもさらに低い、年間積算照度 10^2 lxh のオーダーの地点で緑色生物が認められるという、上記推測とは矛盾する結果も見られた。このことは、緑色生物の制御は単純な光条件だけでコントロールできるものではなく、水分条件など、他の条件と合わせた総合的な対処が必要であることを示している。実際、和歌山城穴蔵状遺構でも、強化ガラス製の直下でも屋根から外れる範囲でもそれ以外の地点と照度のオーダーは変わらない結果が得られており、にも関わらず生物繁茂状況に著しい違いが生じていたのは、雨水の供給条件が全く異なっているからと考えられ、光だけではなく水分コントロールが重要であることを示している。石人山古墳におけるテストピースによる現地実験でも、年間積算照度 10^5 lxh のオーダーの入り口付近でも現実には一年後に緑色生物は軽減されており、これはテストピースだったために地面からの水分供給が十分ではなかったことが原因と考えられる。

従って、年間積算照度 10^4 lxh のオーダーというのはあくまでも目安に過ぎず、その条件をクリアしても確実に緑色生物の繁茂を防げるというものでもなく、また逆にその目安を超えても、水分コントロールの方で繁茂を軽減する余地が残されていると考えるべきである。今後はそうした観点も含めたさらなる研究が望まれる。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

佐藤嘉則、西澤智康、小沼奈那美、犬塚将英、森井順之、木川りか、朽津信明：石人山古墳装飾石棺表面に形成した着生生物群集の構造解析，保存科学，査読有，56，1-14，(2017)

<http://www.tobunken.go.jp/~ccr/pdf/56/5601.pdf>

[学会発表](計 1 件)

朽津信明他：石人山古墳における石棺装飾の保存に関する調査文化財保存修復学会第37回大会(2015)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

朽津 信明 (KUCHITSU Nobuaki)
東京文化財研究所・保存科学研究センター
・修復計画研究室長
研究者番号：50234456

(2)研究分担者

犬塚 将英 (INUZUKA Masahide)
東京文化財研究所・保存科学研究センター
・分析科学研究室長
研究者番号：00392548

森井 順之 (MORII Masayuki)
東京文化財研究所・保存科学研究センター
・主任研究員
研究者番号：30342942

佐藤 嘉則 (SATO Yoshinori)
東京文化財研究所・保存科学研究センター
・生物科学研究室長
研究者番号：50466645

西澤 智康 (NISHIZAWA Tomoyasu)
茨城大学・農学部・准教授
研究者番号：40722111

脇谷草一郎 (WAKIYA Soichiro)
奈良文化財研究所・埋蔵文化財センター・
主任研究員
研究者番号：80416411

木川 りか (KIGAWA Rika)(平成27年
度のみ)
東京文化財研究所・保存科学研究センター
・生物科学研究室長(当時)
研究者番号：40261119

(3)連携研究者

()

研究者番号：

(4)研究協力者

吉田 東明 (YOSHIDA Tomei)
(福岡県教育庁)
尾崎源太郎 (OZAKI Gentaro)
(広川町教育委員会)
浅野 敏昭 (ASANO Toshiaki)
(余市町教育委員会)
新谷 和之 (SHIN'YA Kazuyuki)
(和歌山市和歌山城整備企画課)
小沼奈那美 (KONUMA Nanami)
(茨城大学大学院)