

# 〔報告〕天草市・アンモナイト館における緑色生物の制御

朽津 信明・森井 順之<sup>1</sup>・柳沼 由可子<sup>2</sup>・廣瀬 浩司<sup>3</sup>

## 1. はじめに

1919年に史蹟名勝天然記念物保存法<sup>1)</sup>が施行されて以降、日本では断層などの自然史資料は遺跡などの人文資料と同じ法律の範疇で保護が図られてきた歴史があり、これは現行法である文化財保護法でも踏襲されていて、今日でも天然記念物は文化財の範疇と理解されている<sup>2)</sup>。にもかかわらず、本誌に掲載された過去の論文を見てみても、これまで保存科学の研究対象とされてきた文化財は人文資料が圧倒的であり、自然史資料が保存科学的観点から取り扱われる研究はあまり一般的ではなかった。これには、人文資料の保存を担う人文系研究者は自然科学分野には相対的に馴染みが薄いため、資料保存については保存科学の協力を求めやすい傾向があるのに対して、自然史資料の保存を担う自然史系研究者は、自らが自然科学に精通しているという自負から保存科学者の協力を必要とは感じにくかった側面があるのではないかと推測される。また、そのようにして一たび事例が蓄積されると、先例を踏襲する過程で人文資料の保存時には、過去の保存科学の成果を参照するため直接的に同種の対象物でなくても先例が踏まえられやすいが、自然史資料の保存時には、異なる対象物で既に行われている先例があったとしても考慮されにくい状況となる。このため、例えば地質学的に重要な露頭が現地でそのままの状態でも保存・活用されること(図1)は珍しくないが、その際に磨崖仏や横穴墓などの人文資料で蓄積されている、露出した岩盤の保存活用のための保存科学による研究成果が反映されることはあまりない。しかし現実には、自然史資料でも人文資料でも、そこで起きる風化という科学現象は共通している面が多いと考えられ、もしも相互に交流が乏しいために情報共有が進んでいないのであれば、それは惜しまれる状況と言える。

本研究では、保存活用されている自然史資料の一例として、天草市指定天然記念物である、アンモナイト館におけるアンモナイト化石を取り上げる。ここでは、地層内に挟在する化石が原位置のままで保存公開されている施設だが、保存科学的観点からみればその存在状態は、磨崖仏や装飾を持つ横穴墓の存在状態と類似している。そこで、過去に行われてきた人文資料保存の考え方を踏まえ、自然史資料であるアンモナイト化石を有効に保存活用していくことへの貢献を試みたので、以下にその報告を行う。

## 2. アンモナイト館の歴史と現状

### 2-1. 牧島のアンモナイト化石

アンモナイト館は、天草市御所浦町の牧島という離島に位置している(図2)、白亜紀のアンモナイト「ユパキディスカス属の一種(*Eupachydiscus* sp)」の化石が、泥岩地層中に包含された状態のままで公開が行われている施設である<sup>3)</sup>。もともと牧島の海岸に径60 cm大の

<sup>1</sup> 研究時は東京文化財研究所 現在の所属は文化庁

<sup>2</sup> 研究時は東京文化財研究所 現在の所属は足立区

<sup>3</sup> 天草市御所浦白亜紀資料館



図1 保存公開が試みられた火砕流堆積物露頭の公開5年後の状況  
既に地層を全く確認できない状態となっている。

アンモナイト化石が露出した状態にあることは地元ではよく知られていたが、1972年の海岸道路建設工事に伴い、化石露出部分だけは上にマンホール状のものが取り付けられて、道路の下に埋まった状態で現地保存が図られた(図3)。その時代には、見学者が自らマンホールを外せば、道路下の空間内に下りて化石を見学できる状態で公開が図られていた(図4)。1999年になって、専用公開施設である「アンモナイト館」が化石の覆屋として建てられ(図5)、マンホールの代わりに地上施設内のガラスの覗き窓から、見学者が下を覗き込む形で常時見学可能な状態で公開が続けられている(図6)。

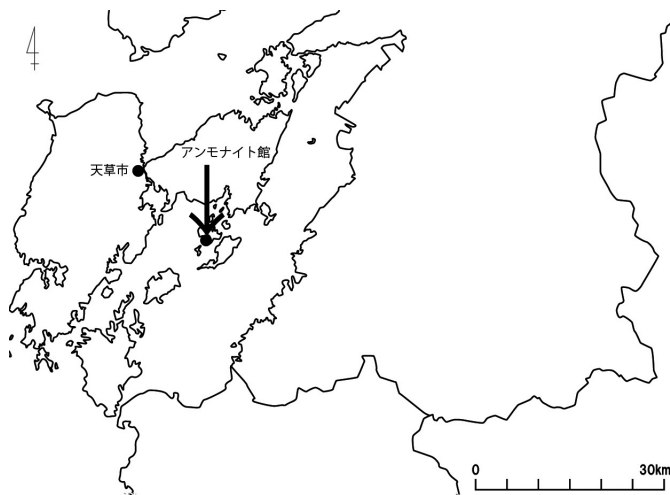


図2 アンモナイト館の位置  
熊本県天草市御所浦町の離島である牧島に存在



図3 マンホールによる化石の保護（1985年9月撮影）  
道路の下で化石を保存



図4 過去のアンモナイト化石の状態（1985年9月撮影）  
図3のマンホールを開けて降りた地下に存在

## 2-2. アンモナイト館

アンモナイト館の建物は、透明な屋根と壁によって天然の採光がなされていて（図5）、建物内の見学スペースに人工照明は設置されていない。建物内に見学用の覗き窓が設置されているが、その覗き窓にも季節や時間帯によっては日射の供給が見られる（図6）。地上の施設内にあるボタンを見学者が押すと点灯する人工照明（180 Wのハロゲンランプ2灯）が地下空間内に設置されていて、点灯後3分で自動的に消灯するように設定されている。見学者は、自らボタンを押した後に地上の覗き窓から地下空間にある化石を見学するという形で化石の公開が続けられていたが、2016年の時点で化石面は藻類と見られる緑色生物で覆われ、本来の化石面の観察が若干しにくい状態に至っていた（図7）。



図5 アンモナイト館外観  
建物内は天然の採光がなされている。

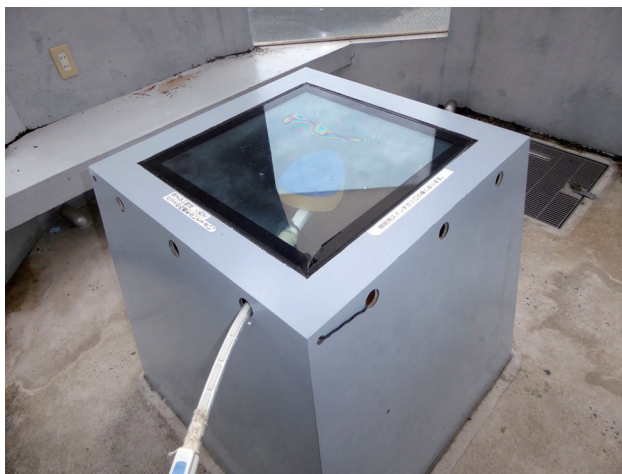


図6 アンモナイト館内の化石の覗き窓（2016年撮影）  
ガラス面に窓からの日射の供給も認められる。  
覗き窓の奥の床面に、化石面に降りるための管理孔（鉄格子）がある。

### 3. 調査方法と研究経過の概要

石造の人文資料の表面に、アンモナイト館で見られたのと類似した外見の緑色生物が繁茂したケースとしては、例えばフゴッペ洞窟で線刻壁画表面が藻類に覆われた事例が知られており、その際には、水と光の制御によって緑色生物は減少し、本来の資料表面が取り戻されたことが報告されている<sup>4)</sup>。アンモナイト館では、海岸近くの地下に化石面が存在していることから、水分制御は非現実的であると判断し、本研究では供給される光に注目した。

光の計測は、T&D CorporationのデータロガーRTR-574を化石面近傍に設置し、照度を連



図7 緑色生物が顕著な化石面（2016年12月撮影）

続的に計測して一時間ごとの積算照度を自動記録し、それぞれ設定される期間の積算照度の値を把握することによって試みた（図8）。また、それぞれの時点での緑色生物の繁茂状況を把握する目的で、フゴッペ洞窟で使用されていたのと同じ分光測色計（ミノルタ CG-420C）を用いて、径2 cm 内の各地点の色彩値を、調査に訪れたタイミングで定量し、 $L^*a^*b^*$ 表色系で表示した。測色対象は、化石の存在する地層面（地点A）、補強用のコンクリート面（地点B）、そして地層の新しい破断面（地点C）で石材本来の色を反映していると見られる箇所、の3点である（図8）。

調査としては、まず2016年12月5日に状況視察を行った後、2016年12月18日より化石面における照度の連続計測を開始した。そして2018年3月9日に測色を行って状況を把握した後に、それまでに得られた各データに基づいて次章以降に述べるような能動的な緑色生物対策を試み

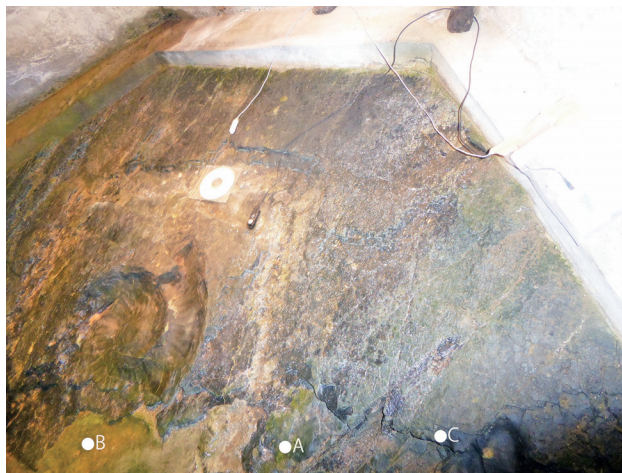


図8 計測ポイント

A：化石の存在する地層面，B：補強用のコンクリート面，C：地層の新しい破断面  
また、化石近傍にて照度を連続計測。

た。その後、2019年3月11日に再び同一地点で測色を行って、一年間行った対策の効果について評価した。さらに2019年6月22日に見学者用の照明交換を行い、その約9か月後の2020年3月4日に測色を行って最終的に評価した。その後、新型コロナウイルス感染症の影響で照度の連続計測は中止したが、2020年11月25日に化石面の状態確認だけを行った。以下では、Ⅰ. 対策を行う前の2018年3月以前の状況、Ⅱ. 対策後1年が経過した2019年3月までの状況、そしてⅢ. 2019年3月以降の状況に分けて、それぞれの期間のアンモナイト館の状況と計測結果について詳細を報告する。

## 4. 対策以前の状況

### 4-1. 概況

2016年12月5日の時点で化石面には緑色生物が見られ、補強のコンクリート部分も顕著な緑色を呈していた(図7)。そのままの条件で公開を続け、2018年3月9日まで従来の環境のままで計測を続けた。

### 4-2. 調査結果

2018年3月9日に行った測色結果を表1に示す。石材本来の色と見られる地点Cは顕著ではなかったが、それ以外の2地点ではいずれもa\*値が顕著に負の値を示した。また、対策以前の2017年で見学者が多い繁忙期であるゴールデンウィーク期間中と、閑散期である初冬期のそれぞれ代表的な照度変動の様子を図9に示す。いずれも日中に顕著なピークを示し、特にゴールデンウィーク中の積算照度の最高値は一時間あたり500 lxhに到達した。この期間Ⅰの年間積算照度は、 $2.49 \times 10^5$  lxhだった(表2)。

表1 各調査時点の各地点における測色値

		2018年3月9日	2019年3月11日	2020年3月4日	2020年11月25日
地点A	L*	24.96	29.58	31.83	33.93
	a*	-3.97	-2.97	-0.60	1.10
	b*	12.52	13.11	13.04	14.20
地点B	L*	21.10	29.98	29.97	48.28
	a*	-2.98	-2.50	0.23	1.41
	b*	9.20	15.34	19.67	16.34
地点C	L*	12.85	11.43	27.26	26.39
	a*	-0.63	-1.06	-0.89	-0.68
	b*	2.97	4.42	6.32	5.43

表2 各期間の積算照度値とそれを年間積算照度に換算した値

期間	見学条件	積算照度値 (lxh)	年間換算値
Ⅰ	蓋なし180W ハロゲン球	$2.49 \times 10^5$ /365日	$2.49 \times 10^5$ lxh
Ⅱ	蓋あり180W ハロゲン球	$7.78 \times 10^4$ /354日	$8.02 \times 10^4$ lxh*
Ⅲ	蓋あり100形相当昼光色 LED	$2.60 \times 10^4$ /245日	$3.87 \times 10^4$ lxh

\*：期間Ⅱでは、その後の異常点灯の影響により年間の実測値は $2.94 \times 10^5$  lxh。

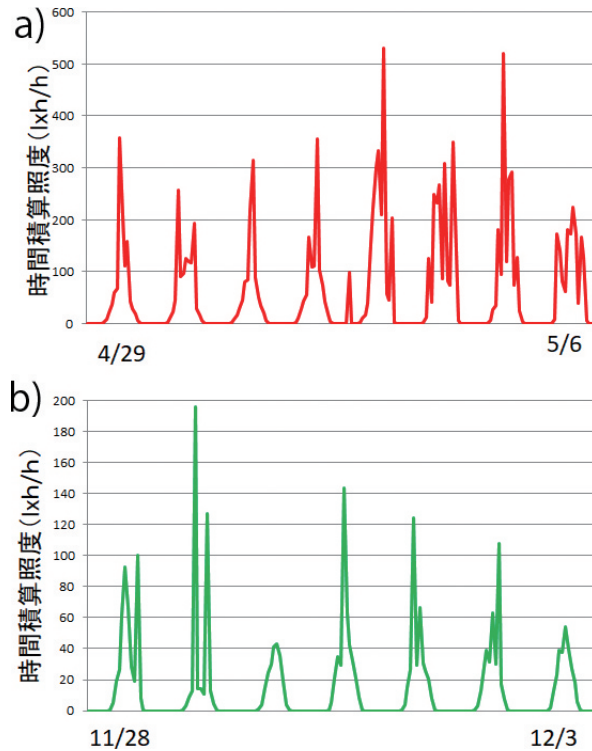


図9 対策がない2017年（期間Ⅰ）の時間積算照度の推移  
 a) 4/29～5/6（繁忙期），b) 11/28～12/3（閑散期）

## 5. 2019年3月までの状況

### 5-1. 概況

人文資料での経験から、水分供給が十分にある場所では、年間積算照度が $10^5$  lxhを超える地点で一般に緑色生物の繁茂が顕著となる傾向が経験的に指摘されている<sup>5)</sup>ため、化石面本来の色を取り戻すためには、年間積算照度を $10^4$  lxhのオーダーまで下げることが一つの対策として想定される。そこで、覗き窓を通じて化石面へ供給される太陽光を軽減する目的で、2018年3月9日の測色後にガラス製覗き窓の上に木製の蓋を取り付け、見学時のみ見学者自らが蓋を開けて化石を見学し、見学後は半自動的に蓋が閉じる仕組みを構築した（図10）。見学時には蓋が覗き窓の南側をカバーするように開く設定とし、これにより、化石面に供給される太陽光を可能な限り遮蔽することを試みた。また、太陽光の差し込みが想定された管理孔（図6）にも遮光シートを施し、通気を確保して他の条件を極力変えることなく化石面に供給される光を軽減した。なお、見学者の便宜と管理の都合を考慮し、照明の種類や照度、ボタンを押して点灯した後の自動消灯までの点灯時間などの見学条件は敢えて従来そのままに対応した。

### 5-2. 調査結果

対策約1年後の、2019年3月11日に行った測色結果を表1に示す。地点A、Bともに、2018年のデータに比べて $a^*$ 値は微妙に上昇したが、引き続き負の値を示し、化石面の緑色生物は、対策前に比べれば薄くなったものの依然として化石面を覆って存在していた（図11）。2018年



図10 太陽光の遮光を意図した蓋（2018年3月撮影）

のゴールデンウィークと初冬期のそれぞれの照度変動を図12に示す。積算照度の最高値は概して1年前の同時期よりは低めになっており、また初冬期は終日ほぼ0の値を示す日が頻繁に認められた。2018年3月9日から2019年2月25日まで（期間Ⅱ）の354日間積算照度は $7.78 \times 10^4$  lxh だった（表2）が、2月26日以降に約10日間連続して1300 lx 程度の異常照度の状態が計測された結果として、1年間の積算照度値は $2.94 \times 10^5$  lxh となった。なお、その異常照度が計測された期間はアンモナイト館の塗装工事が行われた期間と合致しており、見学者用の点灯ボタンにペンキが付かないように、ボタン部分がきつく養生されていた。つまり、意図されず見学者がいない状態でも約10日間照明が与えられ続けていたと思われる。

## 6. 2019年3月以後の状況

### 6-1. 概況

2019年6月にアンモナイト館の照明設備に異常が発生し、既存のハロゲンランプが交換されることとなったのを機に、代替照明の選定を行った。緑色の光合成生物は、おおむね640



図11 対策一年後の化石面（2019年3月）



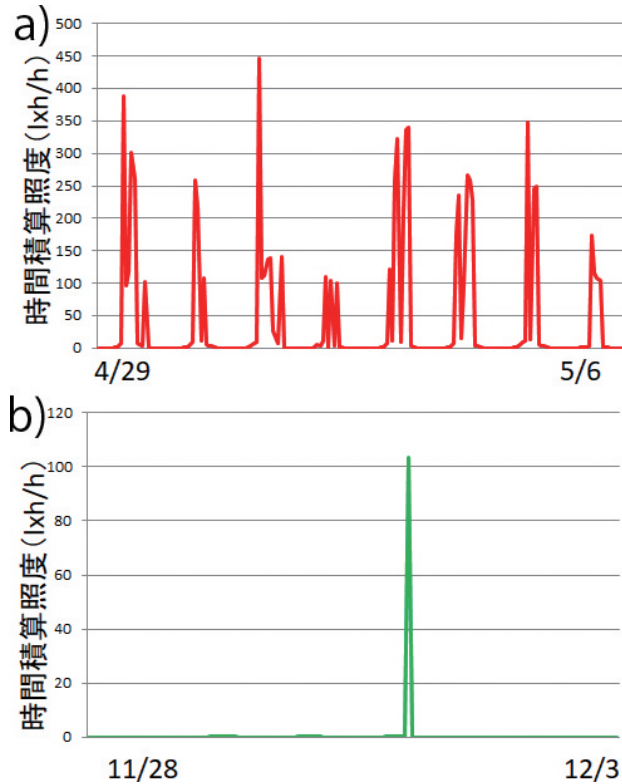


図12 太陽光の差し込みを制御した2018年（期間Ⅱ）の時間積算照度の推移  
 a) 4/29～5/6（繁忙期）、b) 11/28～12/3（閑散期）

nm～680 nm 付近に吸収を持つことが知られており<sup>4)</sup>、この部分の光が光合成に利用されることが考えられるが、ハロゲンランプはその部分の成分を比較的多く含む。これに対して市販の汎用型LED照明の中では、昼光色LEDでは比較的その範囲の成分が少ないため、今回は昼光色LEDを採用することとし、また化石の観察に支障を来さない範囲で化石面の照度を下げることを目標に、それまでは180 W ハロゲンランプ2灯だったものを、100形相当の昼光色LEDランプ（オーム電機 OHM LDR10L-W A9）2灯へと変更した。その結果、化石面での点灯時の最大照度は、ハロゲンランプだった時代の約1300 lxから、約1200 lxへと変化した。化石の観察しやすさが損なわれることはなかった。それ以外の公開条件は、覗き窓への蓋の設置や管理孔への遮光シートの取り付け、そして3分間の点灯時間などには変更を加えず、評価を続けた。2020年4月7日に緊急事態宣言が出されて以降、アンモナイト館での見学条件に変更はなかったものの、訪問者は例年に比べて激減していたことが想像される。

## 6-2. 調査結果

照明交換約9か月後の2020年3月4日の測色結果を表1に示す。地点Bの $a^*$ 値はプラスの値を示し、地点Aの $a^*$ 値も0にかなり近い値となって、化石面の緑色生物は肉眼的にはあまり検知できなくなった（図13）。その一方で、カビなどの他の生物も目視では化石面で認められず、本来の化石面が良好に観察可能な状態が取り戻されるに至った。2019年のゴールデンウィークと初冬期のそれぞれの照度変動を図14に示す。照明交換後である初冬期の積算照度の

最高値は、2018年の同時期（図12）よりもさらに低めの傾向となった。照明交換後の2019年6月22日から2020年3月4日の期間Ⅲの245日間積算照度は $2.60 \times 10^4$  lxhであり、これを年間積算照度に換算すると、 $3.87 \times 10^4$  lxhに相当する（表2）。また、2020年11月25日の化石面の状態を図15に示し、測色結果を表1に示す。緑色生物は認知できなくなり、化石面やコンクリート面本来の色が取り戻されて $a^*$ 値はそれぞれ正の値を示すに至った。

## 7. 考察

アンモナイト化石がマンホール下で公開されていた時代には、供給される光がほぼ0に近かったと推測され、それで緑色生物は殆ど繁茂せずに化石面が保たれていたのだろう。それが1999年のアンモナイト館完成によって太陽光が透明な屋根や壁と見学者用の覗き窓を通じて定期的に化石面に供給されるようになり、豊富な水分供給があったために2016年までに緑色生物が繁茂するに至っていたと考えられる。実際に2018年3月以前に化石面で計測された年間積算照度が $10^5$  lxhを超える値は、人文資料で経験的に緑色生物繁茂の目安とされた値を超えており、従来の公開環境が緑色生物繁茂を誘引しやすい状況だったと判断される。

2018年3月に試みた、蓋を設けることなどによる太陽光の遮蔽により、その状態が定常環境であれば年間積算照度を $10^4$  lxhのオーダーに制御できていたと考えられるが、2019年3月の計測時には結果的にトータルで前年度と同等以上の年間積算照度が与えられてしまっていたために、その時点では効果を検証することができなかった。これは塗装工事の際の養生によって照明が連続点灯されたことが原因と判断され、このことは、いかなる保存対策も単純なミスによってすぐにその効果が失われてしまう危険性があることを示しており、戒めとなるだろう。

その後、市販の昼光色LEDの選択と、180 Wだったものを100形相当へと転換したことで、年間積算照度で目標の $10^4$  lxh オーダーを実現できたと判断され、実際に化石面の状態も改善が確認されるに至った。ただし積算照度の値で見ると照明交換以前と以後とでは1年あたり2倍程度の違いがあることになり、先行して行っていた蓋などによる遮光の工夫と、後から行った照明交換との、いずれの対処がより効果的だったかは判別できない。アンモナイト館においては、双方の対処によって、結果的に化石面の緑色生物が軽減されたという評価とならざるを得ない。それでも緑色生物の軽減に伴う、例えばカビなどの他の生物繁茂のような弊害も認め



図13 照明交換約9か月後の化石面（2020年3月撮影）

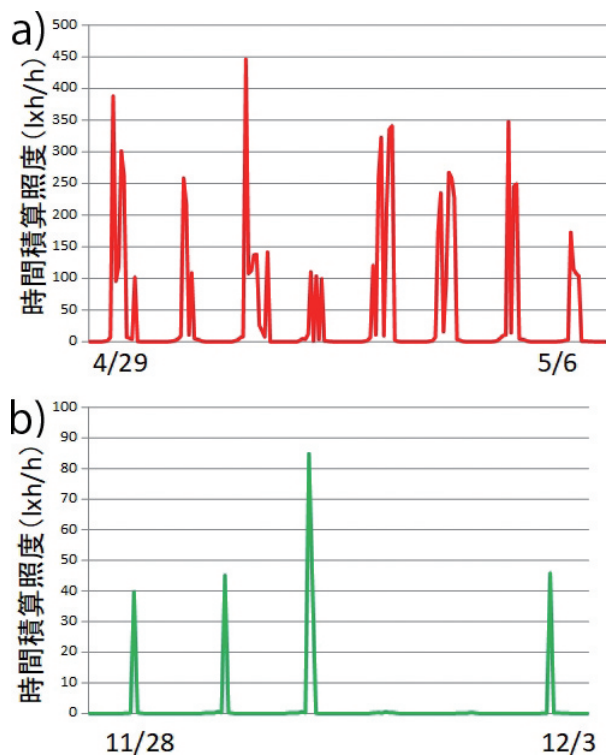


図14 2019年の時間積算照度の推移  
 a) 4/29～5/6（繁忙期）， b) 11/28～12/3（閑散期）  
 b) は見学者用の照明交換（2019年6月22日）以後（期間Ⅲ）のデータ。



図15 緊急事態宣言期間を経た以降の化石面（2020年11月25日）

られず、見学者が良好に化石見学を行える状態が取り戻されたと判断される。

緊急事態宣言以降、見学者が激減した時期を経た後と推測される2020年11月25日の観察で、本来の化石面の状態が取り戻されたと判断されることから、現状でこれ以上の対処が必要とは考えにくいですが、何らかの事情で今後もし必要が生じた場合には、これまでの対処に加えて見学者がボタンを押す際の点灯時間を調整したり、フィルターなどの利用によって特定の波長域を制御したり、さらには人工照明を汎用品ではなく波長特性を検討した上での特注品に変更するなどの追加対策を検討することによって、さらなる対処も可能になると考えられる。今回のような考え方は、鍾乳洞や古墳など、類似した照明植生の問題を持つ他の文化財の保存にも寄与できることが期待される。

**謝辞** 本研究は、1985年当時、御所浦に勤務されていた鶴田孝三教諭からマンホール下に保存されているアンモナイト化石についてご教示いただいたことに由来する。また、天草市の松本博幸氏には調査の便宜をお図りいただき、東京文化財研究所の前川佳文氏には現地調査にご協力いただいた。以上を記して御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) 史蹟名勝天然紀念物保存法 [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/html/others/detail/1318165.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/others/detail/1318165.htm) (2020年12月4日閲覧)
- 2) 文化財保護法 [https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws\\_search/lsg0500/detail?lawId=325AC1000000214](https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=325AC1000000214) (2020年12月4日閲覧)
- 3) 鶴飼宏明：天草御所浦ジオパークでの化石と露頭の保護、化石研究会会誌、46、76-80 (2014)
- 4) 朽津信明・浅野敏昭・江本匡・伊藤尚久・田保(石原)知佳・三田直樹・芳賀卓・石田宏司：フゴッベ洞窟における照明制御による緑色生物繁茂への対策、保存科学、41、69-81 (2002)
- 5) 朽津信明：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、科学研究費研究成果報告書 (2018)

キーワード：照明制御 (light control)；藻類 (algae)；化石 (fossil)；自然史資料 (natural history materials)；覆屋 (shelter)

## Control of Green Organisms Grown on a Fossil at Ammonite House, Amakusa City

KUCHITSU Nobuaki, MORII Masayuki\*,  
YAGINUMA Yukako\*\* and HIROSE Koji\*\*\*

The present study deals with an ammonite fossil conserved and utilized *in situ* in Cretaceous sedimentary rocks in Ammonite House, Amakusa City, Kumamoto Prefecture. After the public opening of Ammonite House which has translucent ceilings and walls, the fossil surface became covered with green organisms such as algae. Though the interruption of sunlight was tried by putting a lid on the observation window, the effect could not be evaluated sufficiently because of accidental surplus lighting during a repair of the House. After that, existing halogen lamps for visitors were replaced with daylight color LED lamps, and the illumination at the fossil surface was accordingly reduced. As a result, the annual estimate illumination at the fossil surface became low enough into the order of  $10^{-4}$  lxh/y. It was finally confirmed that the green organisms were reduced significantly on the fossil surface to be inspected as clearly as before.

---

\*Current affiliation: Agency for Cultural Affairs

\*\*Current affiliation: Adachi Ward

\*\*\*Goshoura Cretaceous Museum