

鹿児島県沖永良部島鍾乳洞 “昇竜洞” 鍾乳石・石筍群における “よごれ” の発生メカニズムと除去対策

著者	大庭 昇, 荒井 啓, 山内 平三郎, 富田 克利, 山本 温彦, 福元 豊
雑誌名	鹿児島大学理学部紀要. 地学・生物学
巻	18
ページ	21-31
別言語のタイトル	Mechanisms of Generation and Measures for the Removal of the Stains in Stalactites and Staragmites at a Limestone Cave, “Shoryudo”, Okinoerabu-jima Island, Kagoshima Prefecture, Japan
URL	http://hdl.handle.net/10232/00003920

鹿児島県沖永良部島鍾乳洞“昇竜洞”鍾乳石・石筍群に おける“よごれ”の発生メカニズムと除去対策

大庭 昇¹・荒井 啓²・山内平三郎³
富田 克利¹・山本 温彦¹・福元 豊⁴

(1985年6月21日受理)

Mechanisms of Generation and Measures for the Removal of the Stains
in Stalactites and Stalagmites at a Limestone Cave,
“Shōryūdō”, Okinoerabu-jima Island, Kagoshima Prefecture, Japan

Noboru ŌBA¹, Kei ARAI², Heizaburō YAMAUCHI³, Katsutoshi TOMITA¹,
Masahiko YAMAMOTO¹ and Yutaka FUKUMOTO⁴

Abstract

Dark grey~black colored- and yellow~reddish brown colored-stains observed on stalactites and stalagmites, most of those which are characterized by a concentric multicrustified structure, of one of the largest limestone caves in Japan, called “Shōryūdō” locating at Okinoerabu-jima Island, Kagoshima Prefecture, South Kyushu, can genetically be grouped into three : non-organic stains, biogenic stains and composite stains.

The non-organic stains are formed when the non-organic substances are involved in calcareous substance. The non-organic substances are composed mainly of clay minerals and iron oxides those which are originated from impurities contained in limestones, weathered products of non-calcareous geologic constituents, and dust which is brought in accompanying with visitors and air passing through the mouth of cave. If clay minerals and dust are considerably abundant in amount, dark grey~black colored-limestones are formed, while if iron oxides are relatively dominant in amount, yellow~reddish brown colored-limestones are formed. Meanwhile, the biogenic stains are composed of algae in most, and molds, mosses (?) and others in part, with those which the surface of limestones are covered. Algae, molds and others had grown on the inner side of the dark cave before the time when the limestone cave “Shōryūdō” was discovered. Following its discovery, spores, sporules and others have been brought in accompanying with visitors into the cave. In addition to this, since the time when fluorescent lamps were set up along the visitor course, fluorescent light nearly close to the sunrays in light waves have accelerated their growth. Besides, limestone crustified by a calcareous thin layer, within which dead algae are enveloped, is also recognized. Most of the remarkable stains are the composite ones.

Although there is no measure for taking away, except for mechanically cutting off or chemical dissolution, for limestones stained by involving micrograins of the non-organic

¹ 鹿児島大学理学部地学教室 Institute of Earth Sciences, Faculty of Science, Kagoshima University, Kagoshima, 890 Japan.

² 鹿児島大学農学部植物病理学研究室 Laboratory of Plant Pathology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University, Kagoshima, 890 Japan.

³ 玉泉洞観光株式会社 沖縄県玉城村 Gyokusendō Sightseeing Co., Ltd. Tamagusuku-son, Okinawa Prefecture, 901-06 Japan.

⁴ 日本建設技術社 東京都新宿区大久保 1-1-48. Nikken Gijutsusha Corporation. 1-1-48, Ōkubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 160 Japan.

substances, sprinkling by using underground water over the surface of limestones so that the micrograins are washed away, and, at the same time, the formation of fresh and new calcium carbonate is induced, will be effective for the removal and prevention of the stains. Meanwhile, the measures combined with spraying of regular germicide and herbicide, and washing with dustcloth, mop and others by water are most effective to be taken at the present time for killing down and taking away of the biogenic stains. Ultraviolet rays radiated from the sterile lamp is also useful. However, such the measures should be taken periodically at the restricted important areas so that other organisms are not killed unnecessarily, even if any kind of measure will be taken.

I. ま え が き

鹿児島県大島郡沖永良部島（第1図，b）（知名町）に位置する1967年鹿児島県文化財指定天然記念物鍾乳洞“昇竜洞”（第1図a）内の鍾乳石・石筍群に見られる暗灰色・黒色・緑色・黄褐色等の外観を呈する俗称“よごれ”（以下，“よごれ”と称する）について，その構成物質および発生原因を明らかにし，除去防止対策を検討する目的で，筆者らの1人は，1984年現地を調査し，引き続き採取試料について室内実験を行なってきた。本報では，その結果について述べる。

現地調査では，知名町教育委員会平良清義教育長，同神川一郎氏 同大山 俊氏，昇竜洞観光社矢上島経氏，商工会森 直道氏および同朝戸氏に協力頂いた。鹿児島県立博物館恒吉正己氏には藻類について教示頂いた。また，鹿児島県教育庁文化課の協力を頂いた。これらの方々に感謝する。

この研究で，荒井は生物起源“よごれ”を構成する藻・カビ類等の鑑定と除去対策，山内は実務経験に基づく“よごれ”現象の解明と除去防止対策，富田は走査型電子顕微鏡観察と解析，山本は立体反射顕微鏡観察と解析，福元は検鏡試料作成を担当し，大庭は現地調査および全体の総

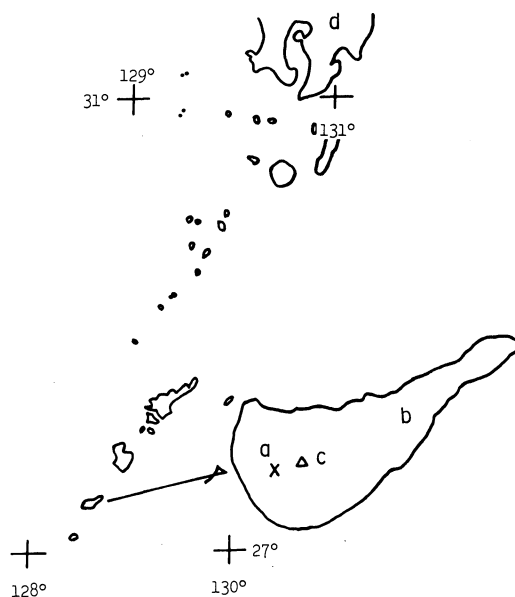


Fig. 1. Location of limestone cave, called “Shōryūdō”, at Okinoerabu-jima Island, Kagoshima Prefecture, South Kyushu, Japan. Locations.—a, Limestone cave, “Shōryūdō”; b, Okinoerabu-jima Island; c, Ōyama; d, Kagoshima Prefecture.

括と考察を行なった。本報が、各地の鍾乳洞における同種の問題解決に役立つものとなれば幸いである。

II. 昇竜洞付近の地質概要

沖永良部島南西部中央に標高246mの大山 (Ōyama) と呼ばれる山稜があり (第1図c), 南西側に緩やかに同心円状段丘群が発達する。同島を含む奄美群島の地質についてはHANZAWA (1935), 大庭 (1956), 中川 (1967) らの研究, また, 同島の地質については波多江ほか (1964), 波多江ほか (1968), 中川 (1967), 野田 (1984 a, b) らによる研究がある。

昇竜洞は大山南西々部に位置し, 一帯の地質は, 先第三紀基盤岩類に属する主に輝緑凝灰岩・砂岩および粘板岩からなる根折層 (Neori Formation) (中川, 1967), これをおおう第四系鮮新統琉球層群 (Ryukyu Group) (中川, 1967) 最下位の下城層 (Shimoshiro Formation) (中川, 1967) および現世の堆積物からなる。

昇竜洞は下城層下部～中部の石灰岩中に形成された溶食洞で, 洞内入口から出口側へ200mの地点では, 洞壁の石灰岩 (図版1, A, a) 下位に根折層由来の長径2～20cm 黒色粘板岩の円礫からなる下城層基底部～下部の円礫層 (図版1, A, b) が露出し, 基盤岩との不整合面の近いことを示唆している。円礫層のマトリックスは赤褐色粘土質風化生成物からなる。同地点の石灰岩および円礫層表面には, 暗灰～黒色を呈する“よごれ”が認められる。

下城層に属する石灰岩と円礫層の境界関係は, 波多江ほか (1968) によれば, 洞入口から出口側へ30 m, 150 m, 380 mおよび出口付近で観察される。洞内で観察される石灰岩の多くはサンゴ石灰岩であるが, 有孔虫砂からなるものも観察される。

III. 洞内石灰岩に見られる“よごれ”の構成物質

洞内鍾乳石・石筍群に見られる“よごれ”の現場における観察, および室内における採取試料の肉眼並びに鏡下観察の結果, “よごれ”は, 無機物質からなるもの, 生物からなるものおよび両者の複合からなるものに3大別される。それぞれ無機物質起源“よごれ”, 生物起源“よごれ”および複合起源“よごれ”と称することにする。また, 以下の記載の便宜上, 特に断わらない限り, 鍾乳石・石筍群を一括して単に石灰岩と称することにする。

1. 無機物質起源“よごれ”

白色以外の色を呈する石灰岩は何らかの不純物, 主として無機物質微粒子を含有する。無機物質微粒子は, 石灰岩の表面に付着するものと内包されるものとがある。白色以外の何らかの色を呈する石灰岩を, 便宜上, 有色石灰岩と呼ぶことにする。

(1) 2系統の有色石灰岩

有色石灰岩は, 暗灰～黒色系統のものと黄～赤褐色系統のものに2大別される。

a. 暗灰～黒色系統の有色石灰岩

暗灰～黒色系統の有色石灰岩中には, 粘土鉱物またはダストの存在が観察される。洞入口から出口側へ60 m, 「昇竜の鐘」と呼ばれる地点における観察:

本地点には「昇竜の鐘」と称される鍾乳石群があり、その直下の石灰岩表面に、天盤から粘土質物質を混入する水滴が滴下し、被膜上に累重硬化した黒色および暗褐色を呈する部分が認められる（図版1, B, a）。黒色被膜状部分を水でぬらした指頭でこすれば、指頭に黒い色が付着する。この事実は、黒色石灰質物質が今も生成されつつあることを示す。

採取試料 No.3 の肉眼観察：

「昇竜の鐘」地点で採取された鍾乳石断面は、表皮厚さ0.05mm で黒色を呈し、その直下内部は最厚5mm の範囲内で、厚さ0.05～0.10mm の淡灰色の層と帯淡黄白色の層を交互に繰り返し累重しており、さらにその内側部分は白～帯淡黄白色を呈する。

試料 No.3 の鏡下観察：

表皮は、粘土鉱物微粒子を含む灰色方解石微晶集合体からなり、赤褐色鉄酸化物微粒子を随伴する。表皮外観が黒色を呈するのは、粘土鉱物微粒子の存在による。藻・カビ類等生物の付着は認められない。

以上のほか、黒色外観を呈する石灰岩は、「長寿の門」と呼ばれている地点から出口側へ約30 m の地点、「昇竜神社」と呼ばれている地点その他洞内多数個所で観察される。

b. 黄～赤褐色系統の有色石灰岩

黄～赤褐色系統の有色石灰岩中には、鉄酸化物微粒子の存在が認められる。

洞入口から出口側へ60 m, 「昇竜の鐘」地点における観察：

天盤から滴下した水滴がちょうど有刺鉄線の部分を通過し、その直下の石灰岩表面に赤褐色石灰質累重被膜を形成している部分が認められる（図版1, B, b）。赤褐色被膜状部分を指頭でこすれば、指頭に赤褐色の色が付着する。この事実は、赤褐色石灰質被膜が形成されつつあることを示す。

以上のほか、黄～赤褐色外観を呈する石灰岩は、「きのこの森」と呼ばれている地点、「夢の国」と呼ばれている地点等で観察される。

(2) 被膜状多層構造の石灰岩

洞入口から出口側へ約400m, 「夢の国」と呼ばれている地点の鍾乳石・石筍群（図版1, C）では、内部の白色石灰岩を黄～橙色石灰質薄層が、また、黄～橙色石灰質薄層を黒色石灰質薄層がおおい、さらにこれらの両者を白色石灰質薄層がおおっており（図版1, D）、全体として明らかに累重被膜状多層構造をなす。

「夢の国」地点で採取された試料 No.10 石筍断面の鏡下観察：

表皮外観黒色を呈する石筍断面は、外側から内側に向かって、厚さ約0.1mm の暗灰色表皮、厚さ約1 mm の白色の層、厚さ約0.05 mm の暗灰色の層、厚さ2～4mm の灰色の層、その直下内部は白色のやや結晶質石灰岩となっており、同心累重被膜状多層構造をなす（図版2, A）。

試料 No.10 石筍断面の走査型電子顕微鏡観察：

表皮は、粘土鉱物微粒子またはダストと思われる微粒子および方解石微晶の集合体からなる（図版2, G・H; 図版3, A・B）。表皮外観が暗灰～黒色に見えるのは、粘土鉱物微粒子を内包するためであることが分かる。微粒子は、大きさ1 μm 前後であるため、鉱物種は判別できない。

以上の事実から明らかなように、洞内のほとんどすべての鍾乳石・石筍群は、肉眼的スケールにおいても顕微鏡スケールにおいても、累重被膜状多層構造をなすものであるということが分かる。

2. 生物起源“よごれ”

洞内石灰岩表面に付着し、暗灰～黒色・緑色等の外観を呈する“よごれ”は、主に藻類、一部カビ類その他からなる。

図版1, Eは、洞内「長寿の門」と呼ばれている地点手前における、特に生物起源“よごれ”の著しい個所を示す。同個所の鍾乳石群表面で暗灰～黒色外観を呈するものおよびその中に点状に草緑色外観を呈するものは、主に藻類、一部カビ類その他からなる。

同個所で採取された試料 No.5 の肉眼観察：

洞内で鍾乳石表面に付着し、外観暗灰～黒色に見えたものは、室内では淡黄灰～黒色を呈し、その中に草緑～暗緑色を呈するものおよびピンク色を呈するものを点在させる。

試料 No.5 の鏡下観察：

外観黒色を呈するものは、鏡下で、黒色センイ状を呈する藻類（図版4, A・B）の密集したもの、また、外観草緑～暗緑色を呈するものは、鏡下で、やや緑色を帯びた白色透明桿～三叉状または蠕虫状を呈する藻類（図版4, C）である。一部のものに藻類の発芽が認められる。

外観黒色を呈する部分に、鏡下、最もカビらしい菌糸状のもの（図版4, D）の密生が観察される。また、鍾乳石の表皮上に点状に存在するピンク色のものは、鏡下、ピンク色キノコ状をなすものの密生したものからなる。これをスライド・ガラス上で押しつぶしたものは、一定の内部構造をもたず、細胞壁不明瞭で、原形質の集合したもののように思われ、変形体と思われる（図版4, E）。また、表皮上に点状に存在する黄色部分は、鏡下、黄色毛虫状のものの密集したものからなる。おそらく上記変形体の変化したものではないかと思われる。

生物起源“よごれ”は、以上の地点のほか、洞内蛍光ランプ設置個所のほとんどすべての地点で観察される。

生物起源“よごれ”には、以上のほか、死滅したカビの菌糸が散見され、また、茎葉が分化し、明緑色樹枝状を呈する蘚類(?)と思われるものが認められる。また、黄色球状を呈する、おそらくピンク色キノコ状の変形体が変化したものではないかと思われるものなどがある。

結局、生物起源“よごれ”は、主として藻類、一部カビ類および蘚類(?)その他からなると言える。これらの内、藻類は、鏡下で、明緑色、やや緑色を帯びた白色、白色透明、褐色不透明等の色を呈し、針～センイ状・桿～三叉状・蠕虫～パイプ状等の形状を示し、いずれも広い意味で緑藻類(?)に属すると思われるものである。図版4, Fは、洞内入口付近の石灰岩表皮上に密生する、鏡下で、明草緑色桿～三叉状を呈する緑藻類(?)を示す。

一方、「昇竜神社」地点で採取された、一見黒色外観を呈する無機物質起源“よごれ”による有色石灰岩と思われた試料（試料 No.9）は、鏡下観察の結果、黒色微細センイ状あるいは蠕虫状および桿～パイプ状の藻類死骸を石灰質被膜内に内包するもの（図版2, B・C・D; 図版3, C・D）、およびその一部を内包するもの（図版3, E・F）であることが明らかにされた。同試料の内部断面は、走査型電子顕微鏡下、明瞭な結晶形態を示す方解石微晶の集合体からなり（図版2, E）、生物起源“よごれ”も無機物質起源“よごれ”も認められない。これに対し、粘土鉱物等無機物質を含有すると認められる部分では、明瞭な結晶形態を示す方解石微晶がほとんど認められない（図版2, F）。この違いがどのような理由に基づくのか、今のところ不明である。

3. 複合起源“よごれ”

洞内で、外観上、特に著しい“よごれ”と見える、主に黒～暗灰色を呈するものの多くは、無機物質起源“よごれ”を呈する有色石灰岩表皮上に藻・カビ類等が付着密生したものである。洞

内「長寿の門」から出口側へ約30 mの地点および洞内中央部「昇竜神社」地点などで見られる“よごれ”がこれに該当する。

IV. “よごれ”の発生メカニズム

洞内石灰岩における“よごれ”発生メカニズムに関し、当初筆者らの1人により、つぎの事項が関与するものと予測された。すなわち、①洞内の気温・湿度、②来観者数、③洞内でのタバコ喫煙有無、④照明に伴う熱と光の影響、⑤洞内地下河川水量変化、および⑥地表山林伐採等による保水量変化。

上記各事項に関し、調査研究の過程で、つぎの事実が明らかにされた。洞内気温は、季節的变化および場所による変化ほとんどなく、また、洞入口および出口の気温も洞内平均気温と大差がない。洞内湿度は常時ほとんど100%である。洞内は禁煙としてはいないが、洞内で喫煙する者がいない（昇竜洞管理者談）。洞直上地表は植生良好であり、保水量低減化は考えられない。しかし、洞内地下河川の水源池、大山山頂付近では多少開発が進み、かつ、同付近における水源池からの取水量増大に伴う洞内地下河川水量の低減化は関係があると推定される。ただし、筆者らの1人、山内によれば、洞内地下河川水量低減化は、洞内石灰岩における“よごれ”形成にほとんど関係がないことを指摘している。

以上の事実から、洞内“よごれ”発生メカニズムに関与するものとして当初予測された前記①③⑤および⑥の各事項は否定された。

一方、洞内照明個所周辺部において、ほとんど例外なく“よごれ”現象顕著であることが確認された。また、来観者数は、1983～1984年当時、年間約10,000人であり、3月および8月に集中し、この2か月間で約3,000人であること、これらの来観者が外部から洞内に孢子・芽胞等を搬入する可能性のあることが考えられた。

以上の結果、当初予測された②および④の2事項が、洞内“よごれ”発生メカニズムに関与するものとして留意された。

1. 無機物質起源“よごれ”の形成メカニズム

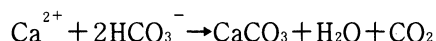
昇竜洞管理者によれば、洞内照明に、1963年頃カーバイト、1964年頃に白熱電燈が用いられ、それ以降は蛍光ランプが用いられている。同管理者により、洞内の“よごれ”がカーバイト使用によるものではないかという可能性が指摘された。しかし、それが一時的現象としてあったとしても、洞内石灰岩表面の色が場所によって異なり、かつ、表面の色のみではなく、石灰岩内部の被膜状多層構造にまで及んでいること、また、蛍光ランプ設置後においても、場所により、また、同一場所でも、白・黒・黄色等各種の色を呈する石灰岩が形成されつつあるという事実から、カーバイト使用による可能性は否定された。

(1) 暗灰～黒色石灰岩と黄～赤褐色石灰岩

純白～白色石灰岩は、不純物をほとんど含まないか、または含まれる不純物の量が極めて少ないものである。これ以外の色を呈するものは、何らかの不純物、主として粘土鉱物・ダスト・鉄酸化物等無機物質微粒子を含む。石灰岩中に含まれるそれらの種類および相対的存在量によって、暗灰～黒色石灰岩と黄～赤褐色石灰岩とに2大別される。

a. 暗灰～黒色石灰岩の形成

方解石集合体からなる母岩の石灰岩を一次生成物とすれば、その中に形成された洞穴，すなわち石灰洞内の鍾乳石・石筍等種々の形態を示すものは，一次生成物から，



の形で二次的に導かれた方解石からなる二次生成物である。二次生成物鍾乳石群の発達が顕著であれば，石灰洞は，一般に鍾乳洞と称される。

炭酸カルシウム水溶液が洞内で滴下し，水の蒸発とともに炭酸カルシウムに過飽和となり，微晶方解石を晶出するようになる。その際，初めの水溶液中に，あるいは滴下中または滴下したその場所で，主として含水アルミニウム珪酸塩からなる粘土鉱物微粒子あるいはダストが水溶液中に混入すれば，方解石はそれらを取り入れながら晶出成長する。洞内で観察される生物起源以外の暗灰～黒色外観を呈する石灰岩のほとんど大部分は，このようにして形成されたものである。

b. 黄～赤褐色石灰岩の形成

水溶液中に Fe^{3+} イオンまたは酸化第2鉄微粒子が含まれ，あるいは混入している場合，炭酸カルシウムに過飽和となった水溶液から微晶方解石晶出時， Fe^{3+} イオンまたは酸化第2鉄微粒子が取りこまれると，外観上，黄～赤褐色に見える石灰岩を形成するに至る。また，初めの水溶液中に Fe^{2+} イオンまたは酸化第1鉄が含まれ，あるいは混入している場合，方解石晶出時または晶出までの過程で Fe^{2+} イオンまたは酸化第1鉄が大気に触れて酸化し，あるいは水に溶けこんでいる酸素と結合し， Fe^{3+} イオンまたは酸化第2鉄となり，前と同様の経過を辿ることもある。洞内で観察される生物起源以外の表皮外観黄～赤褐色を呈する石灰岩は，このようにして形成されたものである。

結局，石灰岩中に含まれる無機物質中，粘土鉱物微粒子および同源のダストが多く，微～少量の Fe^{3+} イオンまたは酸化第2鉄が混在する場合は暗灰～黒色を呈し，混在する Fe^{3+} イオンまたは酸化第2鉄の量が相対的に多くなる場合には黄～赤褐色を呈するということになる。

なお，炭酸カルシウム水溶液中における含水アルミニウム珪酸塩微粒子の存在および Fe^{3+} イオンまたは Fe^{2+} イオンの存在は，水溶液中におけるイオンの移動集散に何らかの関係があるものと推定される。

(2) 粘土鉱物，ダストおよび鉄酸化物の由来

粘土鉱物は，本島の非石灰質基盤岩類の風化生成物，ラテライト質土壌，および石灰岩の風化分解過程で生成されるテラロッサ質土壌に由来する。鉄酸化物も同様の風化分解過程で生成されたものである。

筆者らの1人，山内によれば，鍾乳洞には，一般にどこかに通気口があり，ダストはそれを通じて洞内に侵入する。石灰岩における無機物質起源“よごれ”には，このようにして洞外から運ばれてきたダストの付着および混入によるものがある。ダストの大部分は，洞内外の地質状況からみて，粘土鉱物微粒子およびこれに随伴する鉄酸化物微粒子であると判断される。

1人の来観者の身体・衣服等に付着する“ほこり”（ダスト・糸くず・孢子等）の数は，約20,000個に達すると言われる（山内談）。ゆえに，来観者の多少は，洞内石灰岩における無機物質起源および生物起源“よごれ”の進度と関係があると言える。また，洞内においても，人の動きに伴い，非石灰質地質構成物の風化生成物，主にラテライト質土壌由来の粘土鉱物微粒子が運ばれ，あるいは飛散する。

2. 生物起源“よごれ”の発生メカニズム

(1) 洞内における生物起源“よごれ”の発生個所

洞入口から出口側へ60 m, 「昇竜の鐘」地点(図版1, B)におけるように, 蛍光ランプに近接していても生物起源“よごれ”の認められないもの, また, 洞入口から出口側へ120 m, 「きのこの森」地点におけるように, 蛍光ランプ設置個所周辺部であるにもかかわらず, 生物起源“よごれ”が僅かしか認められないものもあるが, 大多数の場合, 洞内蛍光ランプ設置個所周辺部の石灰岩には, 必ず生物起源“よごれ”の発生が認められる。

この事実は, 蛍光ランプの発する何ものかが生物起源“よごれ”発生に密接に関与していることを物語る。また, このことは, 同時に, 蛍光ランプ設置場所を変更しても, 生物起源“よごれ”発生を防止できないことを示唆している。

(2) 藻・カビ類等の発生条件

暗黒の洞内における藻・カビ類等の生長は, 主としてそこでの温度および湿度によって支配される。筆者らの1人, 山内は, かつて昇竜洞が発見された当時, 洞内を詳細に調査した。それによれば, 暗黒の洞内で, すでに藻・カビ類等の発生していたことが確認されている。

昇竜洞管理者による洞内気温測定結果によれば, 洞内中央部において, 4～5月17～20℃, 6～7月19～22℃でほとんど温度差なく, また, 洞入口で4～5月15～20℃, 6～7月20～24℃であり, 洞内中央部で測定されたものと大差がない。また, 洞内中央部における湿度測定結果によれば, 1984年4～11月の期間中常時100%である。これらの測定値が示す洞内の温度・湿度は, 藻・カビ類等の生育に適する。ゆえに, 洞内は藻・カビ類等生長に適する環境であると言える。

洞内における生物起源“よごれ”に与える蛍光ランプの影響について, 山内は, 蛍光ランプの発する太陽光線に近い光波が藻・カビ類等の生長を促進させると指摘している。ゆえに, 洞内ですでに発生していた藻・カビ類等は, 蛍光ランプ設置後, その生長が一層促進されたということになる。

(3) 生物遺骸を内包する石灰岩

表皮外観黒色を呈する石灰岩の一部には, 図版2, B・C・Dおよび図版3, C・Dに示すように, 既存の死滅した藻類の遺骸を内包または一部内包するものがある。

V. “よごれ”の除去防止対策

1. 無機物質起源“よごれ”の除去防止

粘土鉱物・ダスト・鉄酸化物等無機物質による一見“よごれ”外観を呈する, 一般に被膜状多層構造をなす有色石灰岩は, 無機物質微粒子を内包するものであるため, 物理的に破壊するか, または化学的に溶解する以外に“よごれ”を除去する方法はない。しかし, 破壊または溶解することによって現状を著しく変化させることは避けなければならないため, 一般的には, 「夢の国」地点で見られるように, 種々の色の組み合わせによって生ずる美事な景観をそのまま活用する方が賢明である。

人によって外部から洞内に搬入される“ほこり”(粘土鉱物・ダスト・糸くず・孢子等), 通気口から洞内に流入するダスト, また, 洞内における人の移動あるいは空気の流動によって運ばれ飛散する洞内非石灰質風化生成物由来のダスト等が石灰岩表面に付着する場合, そのまま放置す

れば、部分的にまたは全体が、経年的に炭酸カルシウム水溶液によっておおわれ、やがてダスト等は石灰質被膜によって内包固定化されることになるため、それらを除去し、かつ、新鮮な石灰質被膜形成を促がすように、洞内の地下河川水を用い、必要重要個所について定期的に巡回散水することが必要である。沖縄県玉泉洞においては、この措置を実施しており、比較的好結果を得ている。

2. 生物起源“よごれ”の除去防止

洞内石灰岩表面に密生付着するカビ類による“よごれ”は、通常の市販殺菌剤散布によって容易に除去することができる。除去後は防カビ剤を使用するとよい。藻類等を死滅させるためには、殺菌剤は効力がないかまたは弱いため、除草剤を用いる方がよい。

しかし、藻・カビ類等を死滅させた後、そのまま放置すれば、再びたちまちそれらは密生するようになり、元の“よごれ”の状態に復するため、同様措置を定期的に巡回実施することが必要である。

文化財指定天然記念物鍾乳洞保護の意味は、単に壮大かつ美事な景観の鍾乳石・石筍群の保護にとどまらず、学術研究上貴重な洞内棲息生物すべてを含む鍾乳洞全体を保護しているという意味であり、余り強力な薬剤を大量に使用する時は、洞内の他の場所の他の生物まで死滅される恐れがあるため、使用薬剤の質および量は必要かつ十分な効果のある程度以下とし、洞内必要重要個所に限定使用するように努めることが必要である。

洞内における赤ランプ設置個所周辺部の石灰岩表面には生物起源“よごれ”発生が認められないという事実から、昇竜洞管理者は、蛍光ランプの代わりに殺菌燈の使用を考えている。殺菌燈から発せられる紫外線は、藻・カビ類を死滅させるのに有効である。しかし、殺菌燈は、他生物まで死滅させるため、洞内棲息生物保護の観点から、万止むを得ない特別重要個所に限定して使用すべきである。また、殺菌燈の明かりは紫色に近いため、洞内照明源として使用するには不適當であり、来観者のいない主として夜間、洞閉鎖後に使用することが望ましい。なお、殺菌燈による効力は、水滴の多い場所では低下する。このほか、赤外線熱を用いて藻・カビ類等を死滅させる方法もある。

また、雑布・モップ等による石灰岩表面に密生付着する藻・カビ類等の除去水洗を行うことは、洞内の他棲息生物に全く無害であり、確実有効な手段である。

結局、薬剤による殺菌除草に殺菌燈等を併用し、雑布等で水洗することが、生物起源“よごれ”除去防止上、最も有効適切な措置であるということになる。

なお、一部藻類遺骸を内包することによって一見黒色外観の“よごれ”を呈するに至った石灰岩については、表皮等を破壊または溶解する以外に除去する方法はないが、これまでに述べた各必要措置が有効適切に実施されれば、今後この種“よごれ”は著しく低減化され、あるいは形成されなくなるものと期待される。

VI. ま と め

1. “よごれ”の起源と発生メカニズム

昇竜洞内の鍾乳石・石筍群における“よごれ”と見えるものの構成物質は、無機物質起源のもの、生物起源のものおよびそれらの複合からなるものに3大別される。

鍾乳石・石筍群をつくる石灰岩は、一般に被膜状多層構造をなし、白色以外の“よごれ”と見える無機物質起源有色石灰岩は、石灰岩中の不純物および洞内の非石灰質地質構成物の風化生成物に由来するもの、並びに洞外から洞内に流入する風や人に随伴して搬入されるもの、主として粘土鉱物微粒子・ダスト・鉄酸化物等が、石灰岩表面に付着し、炭酸カルシウム水溶液によっておおわれ、あるいはそれに混入され、水の蒸発とともに炭酸カルシウム過飽和となり、方解石晶出時、すなわち石灰質被膜形成時に内包されてできたものである。粘土鉱物が多く鉄酸化物が少なければ暗灰～黒色石灰岩を形成し、また、鉄酸化物が比較的多ければ黄～赤褐色石灰岩を形成する。

一方、生物起源“よごれ”は、石灰岩表面に密生付着する主に藻類、一部カビ類および蘚類(?)その他からなる。藻・カビ類等は、適度の温度・湿度条件下で昇竜洞発見以前から暗黒の洞内ですでに発生していたと判断され、洞発見後、人に付着して孢子・芽胞等が洞内に搬入され、太陽光線に近い光源、蛍光灯設置後、それらの生長が一層促進されたものである。一部石灰岩に見られる“よごれ”は、藻類遺骸を内包することによって形成されたものである。

また、洞内で、主に黒～暗灰色外観を呈し、特に著しい“よごれ”と見えるものの多くは、無機物質起源“よごれ”による有色石灰岩表皮上に生物起源“よごれ”をつくる藻・カビ類等が密生付着した複合起源のものである。

2. “よごれ”の除去防止

洞内の石灰岩における無機物質起源“よごれ”は、破壊または溶解する以外に、これを除去する方法はない。

洞外から吹きこむ風に随伴し、また、人に付着して洞内に搬入され、また、洞内における人の移動に随伴飛散する無機物質微粒子が、石灰岩表面に付着内包されることを避けるため、洞内の必要重要個所を定期的に巡回し、地下河川水を用い、天盤・側壁等に散水し、石灰岩表面に付着する無機物質微粒子を洗い流すとともに、新鮮な石灰質被膜形成を促すことが必要である。

一方、洞内石灰岩表面に密生付着する生物起源“よごれ”除去には、通常の殺菌剤・防カビ剤・除草剤等を散布し、また、殺菌燈照射を併用し、藻・カビ類等死滅後、雑布・モップ等で水洗することが最も有効な措置である。ただし、強力な薬剤を大量使用する場合、また、多数の殺菌燈を使用する場合は、対象とする場所の生物のみならず、広範囲にわたり他棲息生物までも死滅させる恐れがあるため、それらの使用は必要最低限とし、かつ、洞内必要重要個所のみに限定されるべきである。

文 献

- HANZAWA, S. (1935): Topography and geology of Riukiu Islands. Sci. Rep., Tohoku Univ., 2nd Ser., vol. 17, p. 1-59.
- 波多江信広・石川秀雄・早坂祥三 (1968): 沖永良部島石灰洞の地質 (予報). 海中公園センター調査報告・鹿児島県海中公園学術調査報告, p. 311-315.
- 波多江信広・中川久夫・大西富雄・竹崎徳男・郡山 栄 (1964): 沖永良部島水資源調査報告書. 鹿児島県調査報告書, p. 1-18.
- 中川久夫 (1967): 奄美群島・徳之島・沖永良部島・与論島・喜界島の地質 (1). 東北大学地質古生物学教室研究邦文報告, no. 63, p. 1-19.
- 野田陸夫 (1984a): 沖永良部島の琉球石灰岩 (その1) 一層序一. 地質雑, vol. 90, p. 261-270.

野田睦夫(1984b): 沖永良部島の琉球石灰岩(その2)―堆積相―. 地質雑, vol. 90, p. 319-328.

大庭 昇(1956): 奄美群島の地形及び地質, 特に与論島及び横当島(トカラ群島)について. 鹿児島大学南方産業科学研究所報告, vol.1, no. 3, p.1-12.

Plate 1. Modes of occurrence of conglomerate bed of the Shimoshiro Formation, and stalactites and stalagmites with the non-organic stains and those with the biogenic stains on the inner side of the limestone cave, "Shōryūdō", Okinoerabu-jima Island. Taken by N. ŌBA.

- A. Conglomerate bed (b) composed of pebbles and cobbles of black clayslate those of which came from the basement complex, the Neori Formation, is exposed underbeneath the limestone (a) of the Shimoshiro Formation, the lower most of the Ryukyu Group, at 200m far from the cave entrance toward the gateway.
- B. The black~dark grey colored outer-most calcareous thin layer (a) that was formed and is still being formed from aqueous solution of calcium carbonate in which micrograins of clay minerals and dust are contained, and the reddish brown colored one (b) that was formed and is still being formed from the solution in which iron oxides are contained in the process passing through the oxidized wire, on the surface of stalagmite at a place called "Bell of Rising Dragon", 60m far from the cave entrance toward the gateway. The black disc in center is a cap to camera lense.
- C. Multicrustified stalactites and stalagmites those which are colored due to the containing non-organic substances at a place called "Dream Land", about 400m far from the cave entrance toward the gateway. The yellow~orange colored-stalactites and stalagmites (a) are covered by the black colored ones (b) and both the former two are covered by the white colored ones (c). The black disc at left corner is a cap to camera lense.
- D. Close up of the stalagmite with a multicrustified structure at and around the black disc in C. The white colored-core part of the stalagmite is crustified by the yellow~orange colored-calcareous thin layer (a), the yellow~orange colored one by the black colored one (b), and both the former two by the white colored one (c), cumulatively.
- E. Remarkable biogenic stains observed over the surface of stalactites at a place in the front of a gate called "Gate of Long Life" in the cave. The stained parts looking dark grey~black color and the stained spots, looking grass green color, which are scattered over the former, are composed of algae in most, and molds and others in part.

Plate 1

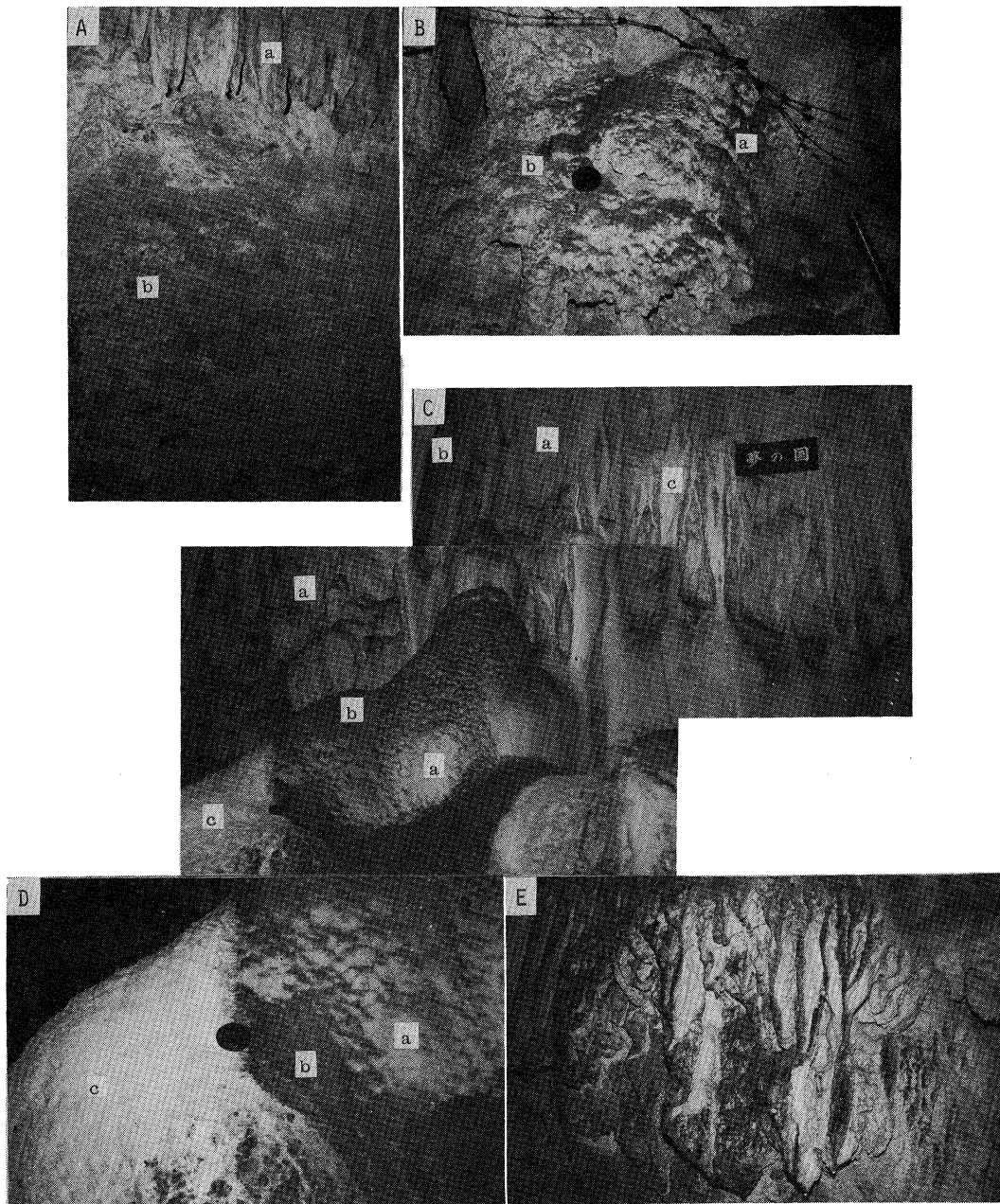


Plate 2. Microphotographs and scanning electron microphotographs of the inside structure and constituent materials of stalactites and stalagmites with the non-organic stains and those without any stain. A~D, Microphotographs. The scale bar in A represents 7 mm; that in B 6 mm; and that in C and D 3 mm. Taken by M. YAMAMOTO. E~H, Scanning electron microphotographs. The scale bars in E and H represent 10 μm ; those in F and G 100 μm . Taken by K. TOMITA.

- A. Concentric multicrustified structure observed on the cross-section of stalactite (sample no. 10).
- B. Black fibre-shaped dead algae involved within the outer-most calcareous thin layer of stalactite with the biogenic stains (sample no. 9).
- C. Close up of the black fibre-shaped dead algae in B.
- D. The black fibre-shaped dead alga involved in part within the outer-most calcareous thin layer (sample no. 9).
- E. Calcite crystals observed on the cross-section of the core part with neither the non-organic stains nor the biogenic stains of stalactite (sample no. 9).
- F. The cross-section of the dark grey-colored outer-most calcareous thin layer with the non-organic stains of stalactite (sample no. 9). Calcite crystals can scarcely be observed.
- G. The cross-section of the dark grey-colored outer-most thin layer with the non-organic stains of stalactite (sample no. 10).
- H. Close up of G. The dark grey-colored outer-most thin layer is composed of micrograins of clay minerals, but not so clear in this photograph, and those of calcite.

Plate 2

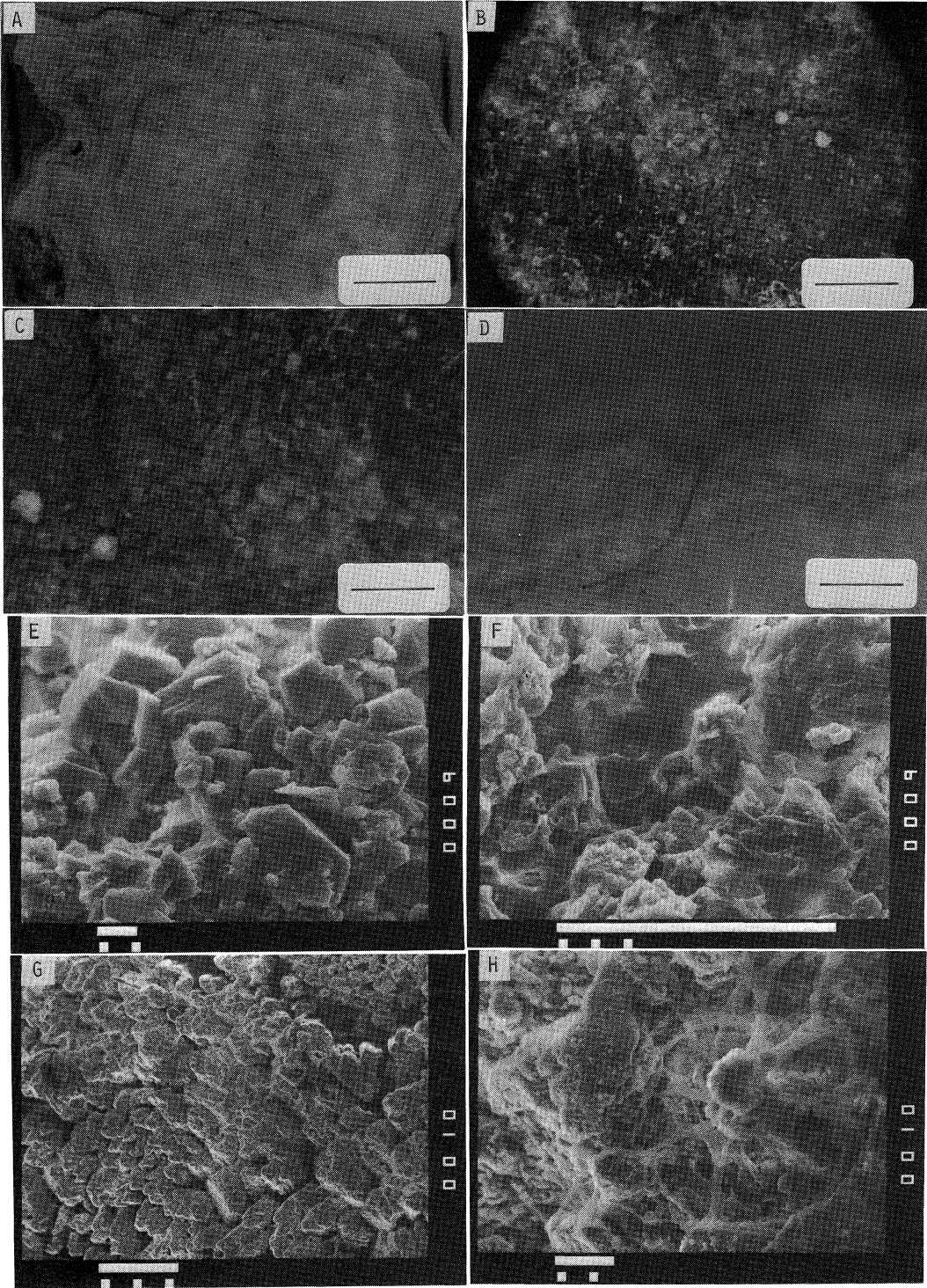


Plate 3. Scanning electron microphotographs of stalactites with the non-organic stains and those with the biogenic stains. The scale bars represent 100 μ m. Taken by K. TOMITA.

- A. The cross-section of the dark grey-colored outer-most calcareous thin layer of stalactite with the non-organic stains (sample no. 10). The growth of acicular~long prismatic calcite crystals in space in center is noted.
- B. Close up of the acicular~long prismatic calcite crystals in A.
- C. Black fibre-shaped dead algae involved within the outer-most calcareous thin layer of stalactite (sample no. 9), looking black-colored appearance owing to the clustered dead algae.
- D. Close up of the black fibre-shaped dead algae involved within the calcareous thin layer in C.
- E. Worm-, rod- or pipe-shaped algae involved in part within the outer-most calcareous thin layer of stalactite (sample no.9).
- F. Close up of the worm-, rod- or pipe-shaped algae in E.

Plate 3

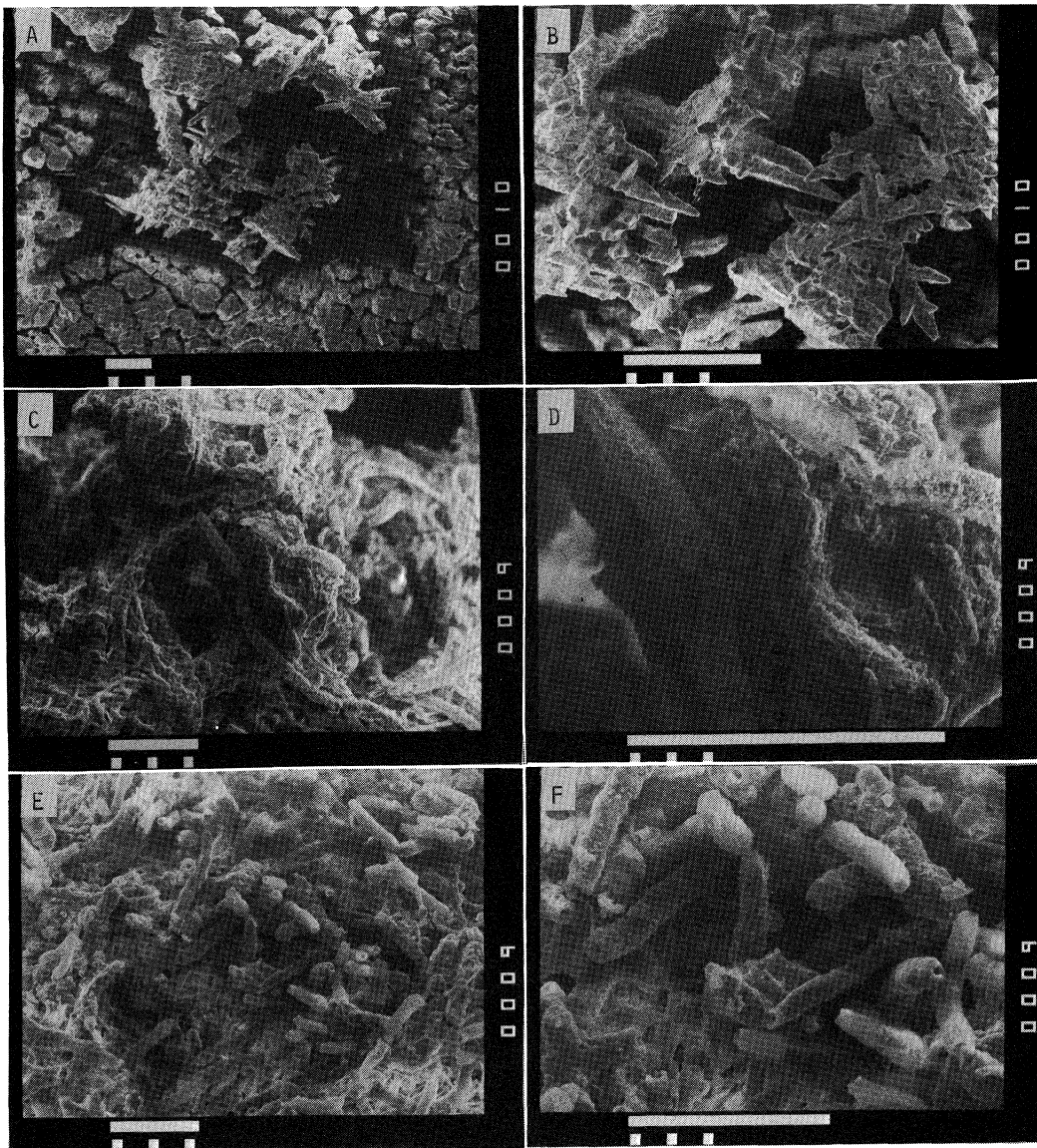


Plate 4. Microphotographs of algae, mycelioid bodies and the mass of protoplasm those which form the biogenic stains on the surface of limestone. The scale bars represent 20 μ m in C and 40 μ m in the others. Taken by K. ARAI.

- A. Fibre-shaped algae collected from the surface of limestone where algae are clustered over (sample no. 5).
- B. Close up of alga in A.
- C. Transparent rod- and three fork-like or worm-like shaped algae, looking white color tinged with green under the microscope, those which form dark green-colored spots scattered over the surface of limestone (sample no. 5).
- D. Mycelioid bodies, which seem most likely to be molds (sample no. 5).
- E. Pink mushroom-like body, which was smashed on a slide glass, collected from pink-colored spots scattered on the surface of limestone (sample no. 5). The body shows an amorphous inner structure, in which cell-walls are obscure and each cell can not be distinguished, and seems to be the mass of protoplasm such as plasmodium.
- F. Clear grass green rod- and three fork-like shaped green algae (?) collected from the surface of limestone (sample no. 1), where green algae (?) are clustered over, nearby the cave entrance.

Plate 4

