

洞窟・鍾乳石と人間

鹿島 愛彦

(愛媛大学名誉教授・大阪経済法科大学地域総合科学研究所客員教授・洞窟環境 NET 学会理事)

Cave・Speleothem and Humankind

Naruhiko KASHIMA

ABSTRACT

Cave is defined as naturally or artificially formed underground opening in rocks large enough to admit a humankind. Speleothem is secondary mineral deposit formed in a cave. Common forms by hydrologic mechanisms : dripping water(soda-straw・stalactite・stalagmite・column and drapery), flowing water(flowstone and clastic canopy), pool water(rimstone・shelfstone and cave pearl), seeping water(helictite・shield・blister・boxwork and anthodite) and thermal water(giant crystal). And they can form biologic(diatom speleothem・moonmilk・rootsicle and root stalagmite) and volcanic(lava speleothem) actions and other speleothem(vermiculation). Humankind have used cave / speleothem with many different purposes are summarized as follows : religious and dwelling place, dwelling house, strage and create house, source of water supply, ingredient of herbal medicines, scientific and sports-caving site and tourist attractions.

キーワード: 自然洞窟・人工洞窟・洞窟環境・鍾乳石・観光資源

Keywords: Natural cave, Artificial cave, Cave environment, Speleothem, Tourist attractions

[洞窟環境 NET 学会 紀要 2 号] [Cave Environmental NET Society(CENS), Vol.2(2011),]

1. はじめに

本報は、2010 年 5 月 26 日大阪経済法科大学において講義を行った「洞窟特別講演会」の内容をまとめたものである。講義は Power Point を使用し多くの写真を基にして行ったが、本紀要にはページ制限があるため鍾乳石を主として記述し、その写真 24 枚を使用するにとどめてある。

投稿をお勧めいただいた洞窟環境 NET 学会 沢 勲会長に厚くお礼申し上げる。

2. 洞窟とその種類

洞窟とは、人間の入ることの出来る地下の空間である。人間には種々のイズがあるが、洞長 2m 程度で、洞口の長径が奥行き(深さ)より小さいものとされる。洞内空間は大気で満たされているのが普通であるが、地下水・海水・堆積物で満たされている場合もある。

洞窟は、自然洞窟・人工洞窟・混成洞窟に区分される。自然洞窟＝①火山洞窟(リフト洞窟・ガス噴出孔洞窟・溶岩洞窟・溶岩樹形・気泡孔連続洞窟・偽鍾乳洞)、②侵食洞窟(海食洞窟・湖食洞窟・河食洞窟・風食洞窟)、③溶食洞窟(石灰岩洞窟・石膏洞窟・岩塩洞窟・氷河洞窟)、④構造洞窟(節理洞窟・断層洞窟・崖錐洞窟・地滑り洞窟・地震洞窟)。人工洞窟＝住居・シェルター・トンネル・鉱山坑道・地下施設・地下都市。混成洞窟＝鉱山坑道と自然洞窟の連結洞窟。洞窟の系統図と分類基準については沢ほか(2006)¹⁾・洞窟編集部(2010)²⁾があるが、洞窟環境の特徴としては、恒温性・多湿性・暗黒性・隔離性・遮蔽性・遮音性・耐圧性・耐震性を挙げることができる(鹿島、2010)³⁾。

3. 鍾乳石について

Speleothem は、ギリシャ語の Spelean=Cave と thema=deposit に相当する語で、「洞窟の内部に形成された堆積物」であり、日本語では鍾乳石(鍾=かたまりあつめる、乳=乳状のねっとりとした液体、石=鉱物)(藤堂、1978)⁴⁾、が使用されるが、いまだ鍾乳石=つらら石として使用されている場合もあり両者を区別して使用したいものである。鍾乳石の分類とその種類については鹿島(2006)⁵⁾を参照されたい。

3-1. 滴り落ちる水(Dripping water)で形成される鍾乳石

1. 鍾乳管(Soda-straw) 石灰岩洞窟の場合、石灰岩(CaCO_3)層を浸透してきた CO_2 を多く含む地下水は、 CaCO_3 を過飽和に近く含有しており、洞窟内に出たことによる圧力の低下で CO_2 を放出し、 CaCO_3 (方解石: calcite)を晶出する。水滴が落下した後は直径 4~5mm の方解石結晶の輪が残され、水滴が連続して落下するとこの輪が下方(重力方向)に次々と成長し、中空の管となる。これが鍾乳管で Soda-straw・Macaroni などと呼ばれている(図1)。

2. つらら石(Stalactite) 洞窟の天井部などから、水の「つらら」のように垂れ下がっている鍾乳石で、その中心部には鍾乳管があり同心状に成長するが、滴水・表面の流水の変化などにより、円柱状でないものも存在する(図2)。

3. 石筍(Stalagmite) 洞床面からタケノコ(筍)状に成長する鍾乳石で、基本的には洞天井部のつらら石の真下に形成されているのが通常である。つらら石から滴下する水の状態によっては、頭が水平に近い石筍・ポールのような細長い石筍も形成される。また、滴下する水の化学的変化により、石筍の頭が溶かされて窪みの生じているものも存在する(図3)。

4. 石柱(Column) 洞窟天井部から下方に成長したつらら石と床部から上方に成長した石筍とが合体した鍾乳石である。両者はどちらかがの成長が早く、不均一な形態を示すことが多い(図4)。

5. ドラペリー(Drapery) 洞窟の天井部・壁面を水滴が直線~曲線状に流れた軌跡を出発線として、ここから連続的に垂れ下がるように成長した鍾乳石である。薄いカーテン状のものであるが、成長の過程で粘土粒子が周期的に供給されると、方解石の白色層と粘土粒子の含まれた赤褐色部分とが平行縞状の互層のドラペリーを形成し、ベーコン(Bacon)と呼ばれることがある(図5)。

3-2. 流れる水(Flowing water)で形成される鍾乳石

6. 流れ石(Flowstone) 洞窟の壁面・床面やその他の鍾乳石の表面を薄くシート状に覆う鍾乳石で、洞窟の壁面・床面などをフィルム状に流れる水により形成される(図6)。

7. 流礫棚(Clastic canopy) 洞窟内に流入した砂礫が堆積した後に、流れ石がその表面を覆うと、表面の砂礫は板状に固められる。その後洞窟内の水流により、未固結の砂礫層の下部は洗い流され流れ石で固められた表層の板状部分が、洞窟の壁に残される。地表河川の河岸段丘面に相当する鍾乳石である(図7)。

3-3. 停滞した水域(Pool water)で形成される鍾乳石

8. 畦石(Rimstone) 洞底に形成された水溜まり(プール)の堤防に相当する鍾乳石。プールから水が溢流する部分では、僅かな攪拌や泡立ちにより CO_2 が逸脱し方解石の沈着が起こり畦石が形成される(図8)。畦石によって水流のせき止められた部分が畦石ダム(Rimstone dam)である(図9)。

9. 棚状石(Shelfstone) 洞内プールの表面に、プール周辺部から棚のように薄板状に張り出した鍾乳石。成長を続けてプールの表面を袋状に閉ざしてしまうこともある(図10)。

10. 洞窟真珠(Cave pearl) 海の真珠に似たサイズで表面が平滑な球体を示す鍾乳石で、その中心部にある核を被覆して成長するが、洞床には付着していない。図11は正六面体を示す洞窟真珠である(Poto by Sura Ballmann)(Hill et al., 1997)⁶⁾。

3-4. 浸出水(Seeping water)で形成される鍾乳石



図 1. 鍾乳管(Soda-straw) Grotte de Choranch(France) 左図

図 2. つらら石(Stalactite) 星野洞(南大東島・沖縄県) 中図

図 3. 石筍(Stalagmite) Pestere Ursilor Cave(Romania)右図



図 4. 石柱(Column) 星野洞(南大東島・沖縄県) 左図

図 5. Drapery 星野洞(南大東島・沖縄県) 中図

図 6. 流れ石(Flowstone) 昇龍洞(沖永良部島・鹿児島県)右図



図 7. 流礫棚(Clastic canopy) 昇龍洞(沖永良部島・鹿児島県)左図

図 8. 畦石(Rimstone) 玉泉洞(南城市・沖縄県)中図

図 9. 畦石ダム(Rimstone dam) 芙蓉洞(武隆・中華人民共和国) 右図



図 10. 棚状石(Shelfstone) 龍河洞(香美市・高知県)左図

図 11. 洞窟真珠(Cave pearl) Castlequand Cave(Canada)中図

図 12. 曲り石(Helictite) Sonora Cave (Texas・U.S.A.)右図

11. 曲り石 (Helictite) 地球の重力方向に関係なく、色々な方向に曲りくねった状態で成長する鍾乳石。曲り石はその中心部の毛細管より供給される水で成長する。曲りながら成長する理由として、方解石の結晶が連晶状態で成長する際に、方解石結晶が立方体でなく菱面体結晶であることに由来するとされている(Prinz, 1908)⁷⁾(図 12)。

12. 石楯 (Shield) 中央部の割れ目により 2 枚の平行な楕円～円状の平板に分かれている鍾乳石。中央の割れ目から毛管現象で浸み出す水により成長する。成長と共に円盤状の石楯の下面につらら石などが成長して、クラゲ形やパラシュート形を呈する鍾乳石になることが多い(図 13)。

13. 中空球状鍾乳石 (Blister) 洞窟の天井部・壁面・鍾乳石の表面に形成される中空で球状の鍾乳石。洞壁などの開口部から被圧浸出水が連続的に供給されて成長したものと考えられている(Hill et al., 1997)⁶⁾。殻が単層・二重層のもの、内部に粘土・砂などを含むものも知られている(山内ほか、1967)(図 14)⁸⁾。

14. ボックスワーク (Boxwork) 洞窟の天井部などに、底のない箱枠が平面的に集合した形態を示す鍾乳石である(図 15)。洞窟を形成する母岩の中に方眼状の節理があり、これに沿う石英質などの岩脈が立体的に残されてボックスワークを構成するケースもある。

15. 石花 (Anthodite) 山野に咲き乱れる草花のような形態を示す鍾乳石で、細い針状結晶が放射状に集合したもの、ラップ状に開いた結晶、などさまざまな形態を示すものがある。図 16 に示した花卉状石花の内部は、方解石 (CaCO_3) と霰石 (CaCO_3) との互層で構成されており、地下水の周期的(季節的)な変化の結果を示すものであると考えられている(鹿島、1965)⁹⁾。

3-5. 熱水 (Thermal water) で形成される鍾乳石

16. 巨大結晶 (Giant Crystal) メキシコの Nica Mine(鉱山)において、地球内部より上昇してきた熱水により坑道内に形成された Selenite(透明石膏: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) の巨大結晶(長さ 10m・幅 1m を超える)群が報告されている(Badino, 2008)¹⁰⁾(図 17)。現在の坑道(洞窟)内の気温は 50°C ・湿度は 100% である。

3-6. 生物の関与で形成される鍾乳石 (Bio-speleothems)

17. 珪藻鍾乳石 (Diatom speleothem) 洞窟内に地表から流入した珪藻類が、洞口付近や微光帯内で群体として成長し、洞窟珊瑚のような鍾乳石を構成したものである。光線方向に成長するので Speleophotothems(Lino, 2001)¹¹⁾・Light-oriented stalactite(王福星ほか、1993)¹²⁾ などとも呼ばれている(図 18)。

18. ムーンミルク (Moonmilk) 方解石・苦灰石・水苦土石・マグネサイトなどの鉱物から構成される白色粉末状～糊・クリーム状の鍾乳石であるが、その生成に微生物(バクテリア・菌類・藻類)の関与している鍾乳石である(大出ほか、1978)¹³⁾(図 19)。

19. 樹根管 (Rootsicle) 地表の樹木の根が洞窟内に垂れ下がり、その表面が方解石結晶で覆われ鍾乳管のような外観を示す鍾乳石である。しかし鍾乳管とは異なり、その直径に種々のサイズのものがあることやひげ根部分は鍾乳管が分岐していることから容易に区分される(図 20)。

20. 樹根石筍 (Root Stalagmite) 洞口付近に繁っている樹木が水分を求めて、その根を洞窟内に延長しその先端が石筍のように洞天井に向かって伸びている鍾乳石である。Czech Republic の砂岩洞窟(図 21)のほか、Poland, Germany, Austria, Slovakia, Hungary, Sweden, Spain, South Africa, Australia で発見されている(Roman, 2010)¹⁴⁾。

3-7. その他の作用で形成される鍾乳石 (Other speleothems)

21. バーミキュレーション (Vermiculation) 泥・粘土・方解石などから構成されている軟らかい、不規

則な形をした鍾乳石である。水没した洞窟通路の滞水の後の汀線以下の部分に形成され、虫の這い跡に見られるところから *vermiculation* と名付けられているが、古代の象形文字に似るとして *hieroglyphics* とも言われる(図 22)。

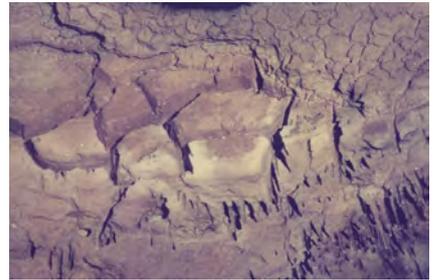


図 13. 石楯(Shield) Marakoopa Cave(Tasmania・Australia) 左図

図 14. 中空球状鍾乳石(Blister) 船久保洞窟(紫波町・岩手県) 中図

図 15. Boxwork シムクガマ(読谷村・沖縄県)右図



図 16. 石花(Anthodite) 深山洞(内子町・愛媛県) 左図

図 17. 巨大結晶(Giant crystal) Nica Cave(Chilhauhau・Mexico)中図

図 18. 珪藻鍾乳石(Diatom speleothem) 戸川境谷洞(日之影町・宮崎県)右図

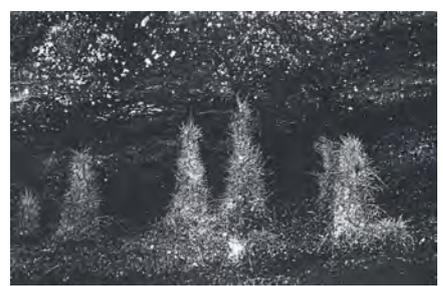


図 19. Moonmilk の流れ石 Sonora Cave (Texas・U.S.A.)左図

図 20. 樹根管(Rootsicle) 挾才窟(濟州島・大韓民国)中図

図 21. 樹根石筍(Root stalagmite) Sandstone Cave(Czech Republic)右図



図 22. Vermiculation 羅漢穴(西予市・愛媛県)左図

図 23. Bracken-like lava stalactite Kazumura Cave(Hawaii・U.S.A.)中図

図 24. Lava pendant 柏原溶岩樹形 No.75(富士吉田市・山梨県)右図

22. 溶岩鍾乳(Lava speleothem) 溶岩洞窟形成直後に、洞窟内に流入した酸素を含む空気により洞窟内壁の溶岩が再溶解して、滴り落ちまた洞壁を流れて形成された鍾乳石である。図 23 はワラビ状溶岩鍾乳(Bracken-like lava stalactite)・図 24 は溶岩平板鍾乳(Lava penndant) である。

4. 人間と洞窟との関わり

過去・現在を問わず人間と洞窟・鍾乳石との関わりについては、洞窟環境の特異性を基に洞窟そのものの利用や鍾乳石の利用など多方面にわたるものが挙げられる。

まず洞窟そのものの利用については、①信仰・祭祀・修業の地、②住居・墓地、③栽培養殖場、④氷室・貯蔵庫・醸成庫、⑤洞窟治療所、⑥各種地下施設(人工洞窟)などが挙げられる。洞内より湧出する地下水は、①飲料水・都市上水道、②灌漑用水・発電用水、③冷泉・温泉、④地下ダムとしての利用がなされている。鍾乳石は、①鑑賞石、②漢方石薬(カルシウム剤)に、③洞窟堆積物よりは黒色火薬の生成やコウモリグアノが窒素-リン酸肥料に利用されているが、過去の環境変化が解析出来るデータバンクとしての重要性が認められている。最も大きな利用として挙げられるのは、観光資源としての洞窟と鍾乳石である。更に学術研究・スポーツとしての洞窟探検や未知の最長・最深の洞窟を求めての洞窟探検を挙げる事が出来る。

5. おわりに

洞窟は地表の風化作用・侵食作用から隔離された地下の過去のデータ・バンクであると共に、地下水の包有体として上水道・農業用水等の源として貴重な存在である。また観光資源として地方活性化の起爆剤となっている。学術研究の対象として、ケービングの対象としても、洞窟内の現状を破壊することなくその完全な管理運営がなされ、次世代に継承されることを期待するものである。

(2011年1月7日受稿、2011年1月8日掲載決定)

参 考 文 献

- 1) 沢 勲・鹿島愛彦・大橋 健:『洞窟科学入門－写真と図解－』、171p、大阪経済法科大学出版部、2006年。
- 2) 洞窟編集部:「洞窟の系統図と分類基準」、洞窟環境 NET 学会紀要、1、51-53、2010年。
- 3) 鹿島愛彦:「洞窟鉱物と洞窟環境」、洞窟環境 NET 学会紀要、1、3-6、2010年。
- 4) 藤堂明保:『学研漢和大字典』、1,740p、学習研究社、1978年。
- 5) 鹿島愛彦:「鍾乳石の分類と種類について」、大阪経済法科大学科学技術研究所紀要、11、29-40、2006年。
- 1) Hill, C. & Forti, P.(eds):『Cave Minerals of the World(second edition)』、463p、National Speleological Society, Huntsvill, 1997.
- 7) Prinz, W.:“Les Cristallisation des grottes de Belgique”, Nouv. Mem. Soc. Bdg.Geol., ser. 4, no.2, 90p, 1908.
- 8) 山内 浩・鹿島愛彦:「沖縄産中空球状鍾乳石」、愛媛大学紀要、II[D]、5、121-132、1967年。
- 9) 鹿島愛彦:「愛媛県深山洞の特異な花卉状アンソダイト」、愛媛大学紀要、II[D]、5、81-88、1965

年。

10)Badino, Giovanni(edt.):『Crystal Giants in the caves of Naica』, 47p, 2008 年.

11)Lino Clayton F.:『Caves the fascination of underground Brazil』, 288p, aedition Gaia Ltda, Sao Paulo, 2001 年.

12)王福星・曹健华・黄俊友・江利登・黄基富・王 晶:『生物岩溶』、国際地質対比計画 299 項、130p、地質出版社、1993 年。

13)大出 茂・滝井 進:「ムーン・ミルクの生成環境と微生物」、洞窟学雑誌、3、44-52、1978 年。

14)Roman Mlejnek:“America, Look for Root Stalagmites!”, NSS News, 68(4), 14/15, 2010 年.