

建物壁面石材を用いた大学での環境科学教材の開発

Development of Teaching Materials for Environmental Science at Universities Using Building Stones

石川 牧子¹⁾・清家 一馬²⁾

ISHIKAWA Makiko SEIKE Kazuma

要約

野外での教育活動は、環境教育に大きく貢献する。しかし、学生数の多い私立大学などの教育機関にとって、さらに、2020年からの新型コロナウイルス感染症 (Covid-19) の蔓延に伴う様々な活動制限により、その実施は容易ではない。

建物の建築石材には特徴的な化石が含まれていることがあり、また、石材によっては産地、当時の堆積環境や堆積年代の詳細が明らかにされている。これらを利用することで、野外巡検で得られる教育効果のエッセンスを模することができる。ヤマザキ動物看護大学南大沢キャンパス1号館の建物内壁面には“モカクリーム”の名で知られるポルトガル産の石材が使用されている。“モカクリーム”は中期ジュラ紀の浅海に堆積した石灰岩であり、特徴的な堆積構造(級化構造や斜交葉理など)が観察される。また、石材中には二枚貝・サンゴなどの海棲生物の化石や生痕化石が含まれており、ジュラ紀の生物相を垣間見ることができる。本稿では本石材の教材利用のために必要な年代や産地、堆積環境などの情報をまとめた。本学の環境科学教育では、環境問題の新聞報道等を副教材とするNIE (Newspapers in Education) の手法を取り入れ、現在の地球表層の環境と生物多様性、環境変動などの分野を学修するが、本石材の観察実習を実施することで、こうした学修分野の統合的な理解を深める効果が期待される。

キーワード：環境教育、建築石材、ジュラ紀、“モカクリーム”、NIE

1. はじめに

環境教育をはじめとする自然科学教育において、実物標本の観察や野外での活動は、身近な現象や日々の生活を科学する上で欠かせない重要な手法である。こうした観察、実験などを通じた探究活動の重要性は、文部科学省が示した高等学校学習指導要領等にも明記されている¹⁾。これまで、鉱物・岩石標本を用いた実験実習や天体望遠鏡を用いた星空観察、野外での観察会・巡検などの実践教育が多くなされてきたが、課題

や問題点も数多く指摘されている^{2,3)}。例えば、学生数の多い私立大学などで実施される実験実習科目では、履修者全員分の教材資料・実物標本を確保することや、少数の引率者による大人数での野外巡検の実施は容易ではない。さらに、2020年からの新型コロナウイルス感染症 (Covid-19) の蔓延に伴う様々な制限措置により、こうした遠方への移動を伴う野外での活動実施や、教材資料のグループ内共有・回覧に特別な配慮が必要になっている。

このような実情を踏まえ、著者らは身近な教材として注目されている建築石材⁴⁻⁶⁾を利用した自然科学・環境教育の大学レベルでの実習授業を模索している。石材によっては、堆積した当時の古環境や生物相の情

1) ヤマザキ動物看護大学 動物看護学部動物人間関係学科

2) 埼玉県立自然の博物館；早稲田大学 教育学部

報が含まれており、その観察は野外巡検に類する教育効果を生むと期待できる。大学構内での石材の観察実習は、長距離の移動や現地の地権者への申請が不要であり、日時の都合も合わせやすく、感染リスクを上げるとされる“3密”（密閉・密集・密接）を回避できる。ただし、石材を教育資料として十分に活用するためには、その石材の年代や産地などの情報を正確に把握することが不可欠である。

ヤマザキ動物看護大学南大沢キャンパスは2004年3月に1号館が竣工し、建物内壁面には“モカクリーム”の名で知られるポルトガル産の石材が使用されている。“モカクリーム”はジュラ紀の海底で堆積した石灰岩であり、浅海に特徴的な堆積構造が観察される。また、石材には海棲生物の化石が含まれており、その保存状態は良好である。本学の環境科学教育では、地球表層の様々な環境と生物、地球環境変動史、生物多様性の理解とその重要性などの分野を学修するが、本石材はこうした学修分野の統合的な理解に役立つ。すなわち、堆積構造から推測される当時の古環境、含まれる化石から地史および生物多様性の変遷や生息環境などを学修することができる。本稿では大学での環境教育の学修内容に即した本石材の利用を紹介し、そのために必要な石材の年代や産地、堆積環境などの情報を提供する。

2. 試料と方法

東京都八王子市南大沢（京王相模原線南大沢駅）に所在するヤマザキ動物看護大学南大沢キャンパスにおいて、1号館内壁面に用いられている建築石材“モカクリーム”を用い、堆積構造、粒度および含有化石を観察して記載した。さらに、より微細な岩石組織を観察するために、“モカクリーム”および“モカクリームダーク”として販売されている石材片（140 mm × 100 mm × 19 mm）を購入してこれらの岩石薄片を作成した。岩石カッターで整形後、片面をカーボラダム#400、#800、#1500、#3000で研磨したあと十分に乾燥させ、二液混合型エポキシ樹脂（セメダインスーパー60分硬化型）で接着した。二次切断後に厚さを確認しながらカーボラダム#400、#800、#1500、#3000で研磨した。低倍率での観察と撮影には実体顕微鏡を用い、高倍率での観察では偏光顕微鏡を用いた。環境教育への活用については、文献を基に本石材の産

地や堆積年代などの情報を統合するとともに、NIE (Newspapers in Education) の観点から現代の環境問題と関連させることで教育効果が向上する話題を選定し、大学の環境科学教育における教材としての実践的活用を検討した。

3. 建築石材としての“モカクリーム”と地質情報

3-1. 石材“モカクリーム”の建物利用

石材“モカクリーム”は、名前の由来でもあるコーヒークリーム色の地肌と流れ模様が特徴的なジュラ紀石灰岩である。日本では1990年代に石材カタログで紹介されるようになり、主に内装用石材に使用されている。本稿で詳しく紹介するヤマザキ動物看護大学南大沢キャンパス1号館（図1A）、そして都内では、西本（2020）でも紹介されている新宿高島屋スクエア、KITTE丸の内、品川インターシティ⁶⁾の他に、品川グランドセントラルタワー、浜離宮インターシティで見ることができる。これらの中で、品川インターシティでは内壁および一部の外壁に広範囲で使用されている。ここは大型複合商業施設で通路も広く取られており、この石材の教材利用観察が可能な場所の一つであろう（図1B）。

ヤマザキ動物看護大学南大沢キャンパスでは、1号館1階のエントランスおよび廊下、エントランス正面の階段に“モカクリーム”が用いられている。壁面には780 mm（または720 mm）× 1,120 mm × 22 mmの艶消し水磨が施された大型板状石材を用い、隣接する石板とできるだけ流れ模様を連続させた配列になっている。壁に反射した光は暖かな間接光となる。柔らかい石材のため、階段等の角部分では欠けが生じている場合もある。

3-2. 石材“モカクリーム”の地質情報

石材“モカクリーム”の産地は、ポルトガルのリスボンから北北東に約80 kmのサンタレン県／レイリア県境界付近であり、アルカネデ郊外などに数箇所の大規模な採石場がある（図2）。現地では粒度、色や模様（層理や葉理などの堆積構造）の特徴によって10を超える商標名に細分されているが、日本ではすべて“モカクリーム”ないし“モカクリームダーク”と称され流通しているようである。“モカクリームダーク”は

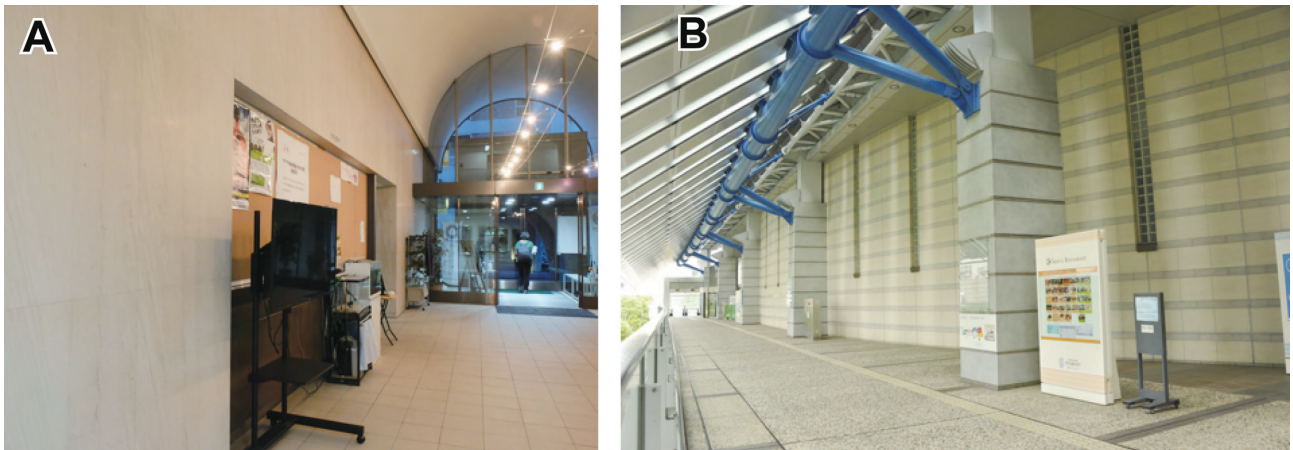


図1 “モカクリーム” 石材の利用例

A：ヤマザキ動物看護大学南大沢キャンパス1号館1階エントランス。
 B：品川インターシティ A棟西3階の外回廊スカイウエイ。

“モカクリーム”よりも粗粒で生物遺骸片を多く含み、そのために濃い色を呈する石材を指すが、これは現地では使用されていない名称である。そのため、本稿では特に区別の必要がない場合、両者を合わせて“モカクリーム”として表記した。

中生代は、現在と比較してかなり温暖な気候であったとされ、現在の5つの大陸が融合したパンゲアと呼ばれる超大陸が分裂しながら移動し、インド・中東からヨーロッパにかけて広大なテチス海と呼ばれる暖かな海が広がっていた。ポルトガルの位置するイベリア半島は、中生代にはその広範囲が海面下にあり、中期ジュラ紀には中央部の陸地の東側にテチス海に続く水路が、西側では大西洋が開口を開始し、半島の周辺に堆積盆地（沈降などによるへこみ部分に生じる堆積の場）が発達した⁷⁾。ポルトガルには上部三畳系-下部白亜系（後期三畳紀-前期白亜紀）ルシタニア堆積盆地の地層が広く露出する。その中でも、ジュラ紀の海成層（海で堆積した地層）は石灰岩や苦灰岩（ドロマイト）などの炭酸塩岩が主体であり、その建材としての利用価値から採石場も数多い⁸⁾。ここから採石される“モカクリーム”は魚卵状の石灰質粒子（ウーイド）と生物源堆積物からなる石灰岩で、特にウーライトと呼ばれる。現地の石材メーカーがホームページ上で公表している化学組成分析によれば、この産地のウーライトはほぼ純粋な炭酸カルシウムで構成され、ケイ酸塩やマグネシウムが微量であることが示されている⁹⁾。堆積年代は中期ジュラ紀のバトニアン期（およそ1億

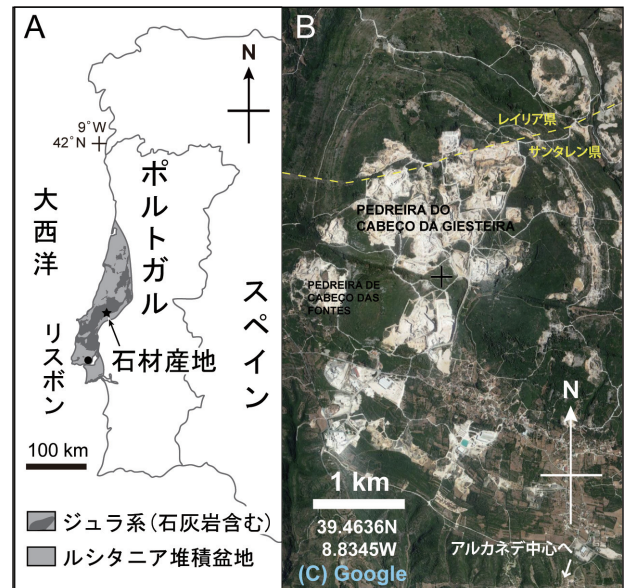


図2 “モカクリーム” 石材の産地

A：ポルトガルのジュラ系と石灰岩産地¹³⁾。B：アルカネデ郊外にある巨大採石場の空中写真（グーグルマップ、2021年8月閲覧に追記）。

6820万年前-1億6530万年前)¹⁰⁾とされ、主な石切場（例えばアルカネデ郊外のジエステイラ（Giesteira）採石場；図2）の産出層準はいずれも Santo António-Candeeiros層に相当する¹¹⁾。同層からは二枚貝類、腹足類、層孔虫、ウミユリ、サンゴ、ウニ類など海棲動物の化石が報告されており、なだらかに傾斜して深海に至る遠浅の浅海の斜面（ランプ）における堆積物であったとされる¹²⁾。このような堆積環境に炭酸塩

の粒子が堆積した「炭酸塩ランプ」環境は、中生代のヨーロッパ地域などで知られている。さらに同層はそのなかでも波浪や暴風の影響を受ける水深約20 m以浅の高エネルギー環境であり、特に平板型斜交葉理(ないし斜交層理)^{注1)}の発達する層準は、波浪が卓越する水深7 m～0 m程度の浅海(日本周辺に広がる陸棚環境における上部外浜相当)と解釈されている¹³⁾。日本における同時代の地層としては、アンモナイトを産する福井県の手取層群九頭竜亜層群貝皿層が挙げられる¹⁴⁾。ジエステイラ採石場近くのVale de MeiosにはSanto António-Candeeiros層の同時異相(同時期に堆積した岩相の異なる地層)で、一部指交関係(側方で岩相が異なる)にあるSerra de Aire層(より陸側のラグーンから潮汐低地、前浜の堆積環境)¹²⁾が露出し、恐竜の足跡化石を多産する¹⁵⁾。

3-3. 他のジュラ紀産の建築石材との比較

ジュラ紀石灰岩の石材の代表格である“ジュライエロー(Jura Marmor)”は、日本では“モカクリーム”より身近な石材で、西本(2020)で紹介されている丸の内オアゾ内壁、赤坂サカス外壁、地下鉄三越駅内壁⁶⁾の他に、ポートシティ竹芝内壁、Otemachi One内壁、早稲田大学11号館内外壁など都内でも少なくとも十数か所で見ることができる。両石材を比較すると“モカクリーム”は石材の中では柔らかめで吸湿性もあるため、日本では風雨にさらされる可能性のある外壁面には適さない。他方、“ジュライエロー”は比較的硬質で吸湿性も小さく、野外の壁面にも使用される。“ジュライエロー”はドイツのトロイヒトリンゲン-ゾルンホーフエン-アイヒシュテット地域とペータースブーフ-エルカーツホーフエン-カドルフ地域を主産地とする主に上部ジュラ系の石材の総称ともいえ、そのひとつの上部ジュラ系キンメリッジアン階トロイヒトリンゲン層(石材名Treuchtlinger Marmor)は暴風時波浪限界(storm wave base; SWB)以深に堆積した珪質海綿やトロンボライトからなるバイオストローム^{注2)}が主体である¹⁶⁾。“ジュライエロー”は頭足類などの大型の軟体動物や海綿の化石を豊富に含み、それらの断面を生かすために当時の水平面(層理面)に平行に切り出されていることが多い。一方、“モカクリーム”はその特徴的な堆積構造を模様として生かすため、最終的に当時の水平面に対して垂直な方向、かつ、しばしば葉理が斜交する方向に平板として

切り出される。このように産出年代、堆積環境と岩質に加え、切り出し面の違いが両石材の外観の違いに大きく影響していると考えられる。

4. “モカクリーム”の堆積構造と化石の観察

ヤマザキ動物看護大学の学部教育科目「環境科学」¹⁷⁾では、現代の地球環境の特性や環境汚染に関する基礎知識の修得、そして地域あるいは地球規模の主要な環境問題の生成要因についての統合的な理解等を基盤とし、環境保全、環境修復について考察し、自らの言葉で表現できるようになることを到達目標としている。

こうした目的の下、講義では、地圏・大気圏・水圏の構造と特性、物質循環について体系的に学び、当該年度あるいは近年における環境問題に関連した報道を教材として、問題の根源と解決策について考えさせる講義構成としている。シラバス項目で取り扱う環境問題に関連し、本石材は様々な分野の教材としての価値を持つため、ここに紹介する。

4-1. 級化構造の観察

現在の地球表層環境と地球上の多様な生物は、46億年の地球の歴史の中ではぐくまれてきた。過去の地球表層の環境、例えば当時の気候や火山活動、大陸配置や生物多様性を知る手掛かりとなるのが、地層である。

堆積岩を構成する堆積粒子(日本では碎屑粒子と呼ぶことが多い)は岩石の風化侵食作用で形成されるものがイメージしやすいが、火山灰や無機沈殿物、生物起源硬組織も含まれる。堆積粒子はその大きさ(粒度、粒径)により分類され、堆積岩では直径2 mm以上の粒子を礫、直径2～0.0625 mmを砂、直径0.0625 mm未満の粒子を泥と呼ぶ。こうした粒度および淘汰(粒径が揃っているか否か)は、当時の堆積場の環境(水深や水流、地形等)を知る手掛かりとなる。また、堆積岩の地層は重力方向の上側に新しい地層が堆積する(地層累重の法則)が、特に日本列島のような地殻変動の激しい地域では、地層は大きく傾斜していることもしばしばで、時間方向を判別し、環境の移り変わりを知らするために地層の上下判定が欠かせない。堆積物・堆積岩の粒度は地層の上下判定に重要なツールである。様々な粒径の堆積粒子が水流で同時的に運搬される場合、水流が緩やかになるに従って、粒径の大

きい粒子ほど早く流れから脱落して堆積していく。そのため、地層中には粒径が異なる繰り返しが生じることがあり、級化構造と呼ばれている。地層（正層序）の上に向かって粒径が小さくなる一連の構造は正級化と呼ばれており、様々な堆積構造でみられる（例えばタービダイト成砂岩泥岩互層や斜交葉理・斜交層理）。“モカクリーム”は当時の海底面と垂直に切り出され、明瞭な堆積構造が見られるため、こうした古環境を判断する上で重要な基礎知識を学修する絶好の教材となる。

4-2. 斜交葉理の観察

“モカクリーム”では、仕上げ面側において斜交葉理が観察できることが多い（図3）。コンケープ状平板型斜交葉理（図3A上部、単層下面の層理面に対して葉理面が収束するように観察される）、もしくはプランナー平板型斜交葉理が頻繁に観察できる（図3A中央部、単層内で葉理面の傾斜角が互いにほぼ平行である）^{注1)}。層理面に対する葉理面の傾斜角は15～35度であることが多いが、より低角な葉理や、平行葉理もみられることがある。壁面では堆積構造を3次的に観察できないため、低角の葉理が切り出し方向によるものかは判断できない。当時の水平面に対する葉理の傾斜方向は一般に形成時の水流の方向（古流向）を示すとされ（例外として逆を向く反砂堆もある）、この石材でもひとつの決まった方向であることが多いが、稀に傾斜方向が左右双方向を示すことがある（図3B）。また、地層の上に向かって粒子が徐々に小さくなる薄い正級化の繰り返しもみられる（図3C）。

4-3. ジオペタルの観察

ジオペタル（geopetal）構造は、岩石中で形成時の重力方向が推定できるような様々な構造の総称であり、堆積岩における地層の上下判定に極めて有効である。よく知られる代表例としては、アンモナイトや腹足類殻内のジオペタル構造がある¹⁸⁾。未固結時にこうした軟体動物の殻内に堆積物が入り込み、上部に堆積物が充填しない空間が残ったまま続成過程を経た場合、その空間が方解石などの充填鉱物のみで埋められていることがある。“モカクリーム”石材では腹足類や二枚貝類の殻内が堆積物主体の部分と方解石のみの部分で区切られて充填されていることがよくある（図3D矢印部分）。また、堆積粒子の淘汰が不良で間隙の

多い堆積岩においても、特に大きな不定形粒子や生物遺骸の下側に大きな間隙が保持されていた痕跡があり（図3F破線枠部分）、これらも上下判定に有効である。

4-4. 堆積粒子の観察

研磨片・薄片観察において、“モカクリーム”（細粒タイプ）の堆積粒子は主に中粒砂の粒径（0.5～0.25 mm）で、粒径の揃った（淘汰のよい）ウーイドからなるが、細粒砂サイズの石灰質粒子であるペロイドもみられる（図3E, G）。生物源堆積粒子は全体的に少ない。“モカクリームダーク”（粗粒タイプ）では、堆積粒子は主に極粗粒砂の粒径（2～1 mm）であるが、中粒砂（0.5～0.25 mm）から細礫（4～2 mm）までみられるように全体的には淘汰が悪く、軟体動物化石やその貝殻断片も豊富に含む（図3F, H）。“モカクリーム”（細粒タイプ）および“モカクリームダーク”（粗粒タイプ）には、石英や斜長石などの火成岩の代表的造岩鉱物の堆積粒子はみられなかった（図3G, H）。粒子間の間隙（圧密の程度）には、場所による明らかな違いが認められることがあった（図3G）。南大沢1号館や品川インターシティなどの壁面で使用されている石材の主な粒径は、中粒砂（0.5～0.25 mm）から細礫（4～2 mm）までの範囲内である。

4-5. 化石の観察

ヒトは生態系から、光合成による酸素の供給、環境の浄化、燃料、食料や医薬品への利用等、様々な恩恵を受けてきた。こうした現在の生態系および生物多様性は、生命が46億年にも及ぶ環境変動史に回答するように適応や進化、絶滅を繰り返し、形成されてきた結果である。化石試料の観察は、この生物多様性の形成過程を理解する上で欠かせない項目である。また、地球上では古生代以降、5回の大量絶滅が起きているが、現代はヒトによる直接的（乱獲など）、または間接的（環境破壊や温室効果ガスの排出に伴う温暖化など）な要因による6回目の大量絶滅が起きつつあることが警告されており¹⁹⁾、生態系および生物多様性、過去の大量絶滅が生態系に与えた影響などに関する理解を深めることは環境科学においても喫緊の課題である。

私たちヒトが含まれる動物界は、ボディープラン（生物の体のつくり）にみられる特徴から大きく34の分類群（門）に分けられている²⁰⁾。その中で、化石と

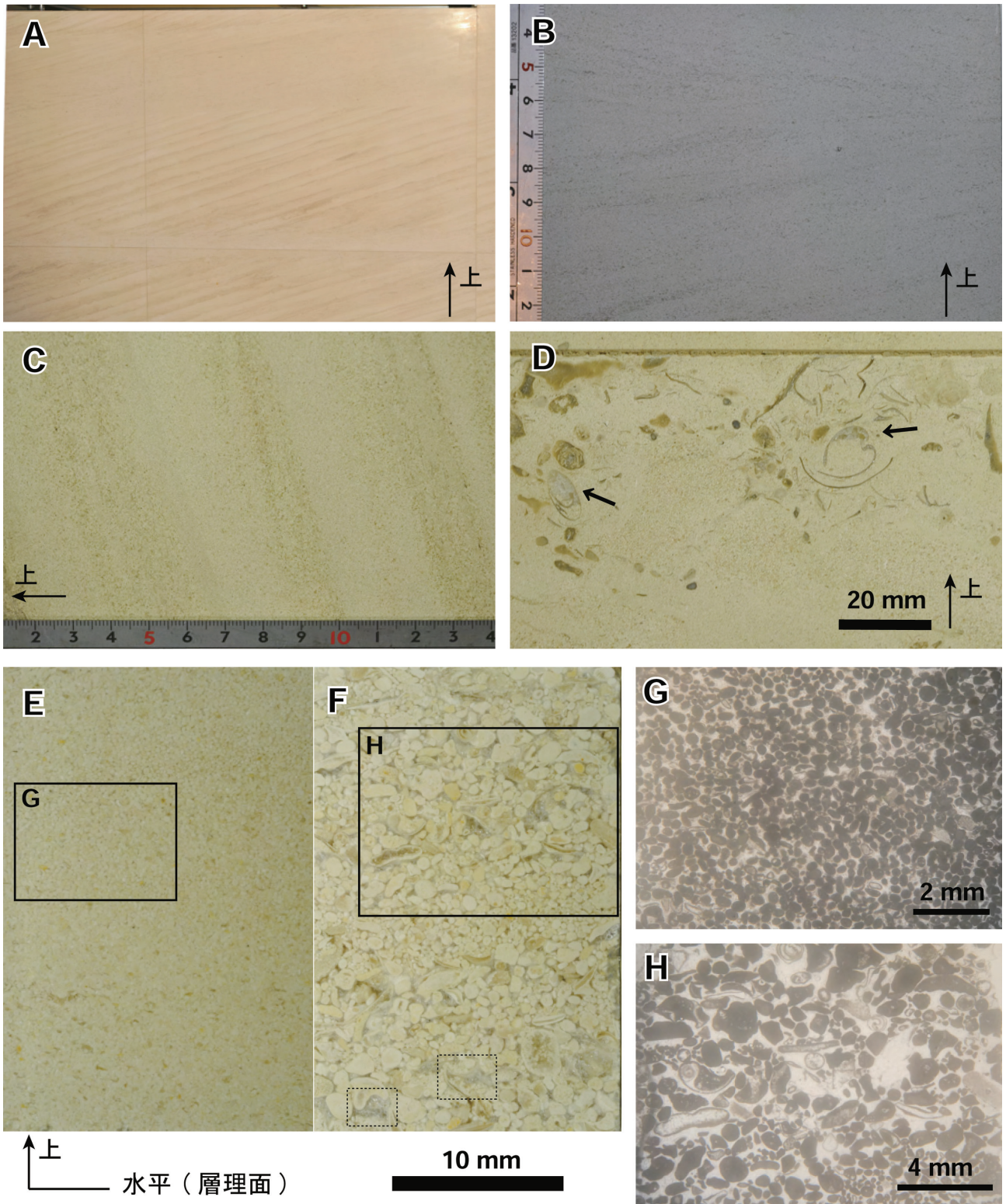


図3 ジュラ紀石材“モカクリーム”に見られる堆積構造および研磨片の顕微鏡写真

A-D ヤマザキ動物看護大学南大沢1号館壁面に見られる堆積構造. E-H 購入石材の観察.

A: 二種類の平板型斜交葉理. B: 双方向を示す斜交葉理. C: 葉理内の粒度変化. 正級化がみられる. D: 化石が密集した産状とジオベタル構造(矢印). E: “モカクリーム”(細粒タイプ)の研磨片. ウーイド粒子に細かい繰り返しの粒度変化がみられる. F: “モカクリームダーク”(粗粒タイプ)の研磨片. 様々な大きさのウーイド粒子および生物源堆積粒子がみられる. 破線枠はジオベタルの例である. G: “モカクリーム”(細粒タイプ)の薄片拡大写真. 通常光による透過光撮影. 拡大箇所はEに対応する. H: “モカクリームダーク”(粗粒タイプ)の薄片拡大写真. 通常光による透過光撮影. 拡大箇所はFに対応する.

してよく保存されるのは硬組織を持つ分類群に限られ、刺胞動物門のサンゴ類、軟体動物門の二枚貝類、腹足類、有殻頭足類(アンモナイトなど)、ほか腕足動物門、苔虫(外肛)動物門などの硬組織や、脊索動物門の脊椎動物の骨などが主である。また、硬組織を持たず体化石が残りにくい動物でも、鉱物置換などで体形の痕跡が残った印象化石や、地表に残る足跡や海底に形成した巣穴などの生痕化石を通じて情報を得ることができる場合もある^{21, 22)}。

南大沢1号館壁面では、刺胞動物(サンゴの一種)、軟体動物(二枚貝類、腹足類)、腕足類などの体化石、そして節足動物門の甲殻類によるとみられる生痕化石が観察できる。また、西本(2020)は、品川インターシティなどの“モカクリーム”でウミユリの破片や二枚貝、腕足類の殻を観察している⁶⁾。南大沢1号館壁面で多く観察される体化石は二枚貝類、腹足類であり、断面からの種の識別は困難であるが、殻のつくりを観察し、失われた軟体部についても現生種を参考にすることで、ボディープランについての理解を深めることができる。二枚貝類は殻長が20 mm以下の個体がほとんどであるが、稀に40 mmに達する個体もある(図4A)。薄い殻を持つがふくらみが強く、表面は滑らかな種が多い。多くが右殻と左殻の離れた離弁個体で、複数の離弁殻が傾いた葉理に沿って下に凸で配列しているものがみられた(図4B)。生息時のような合弁での産出は稀である。こうした離弁の殻は腕足類との識別が困難であるが、二枚貝には開閉を支えるヒンジプレートも観察される(図4A矢印部分)。腹足類(巻貝類)は、殻長20~40 mmのネリネア科ネリネア属の巻貝(図4C)や、見かけ上の殻長・殻幅比が1程度で殻長10~20 mmの小型の種(図4D)が観察された。ネリネア類はジュラ紀から白亜紀の熱帯域(テチス海)の浅海域に生息し、殻形や螺管内の特徴的な褶(図4C矢印)などからの同定が可能である²³⁻²⁵⁾。軟体動物の貝殻は結晶構造の異なるいくつかの殻層で構成され、それらは分類群によって様々である。溶出・再充填や再結晶化作用が進んでいない殻ではこうした層構造が保存されている。また、貝殻内に堆積物が入りこみ、ジオバタルを形成しているものが存在する(図3D, 4D)。

生痕化石では、層理面に対してほぼ鉛直方向に形成される棲管がふつうにみられる(図4E)。管径は10~25 mmで厚い裏打ち構造はみられない。また、葉理を

乱しており、側面で葉理が下方向に変形している。連続性がよい棲管には40 cm以上にもなるものが確認できる。棲管内部の堆積物に平衡痕などの構造は見られないが、周囲とは異なる堆積物で充填されている場合があるため、形成者が生息していた時には中空であったと考えられる。これらの特徴を踏まえると、鉛直方向に伸びた分岐を持たない生痕化石は、砂質の浅海相でよく見られる生痕属*Skolithos*であると同定できる²¹⁾。分岐を持つ、または斜め方向に掘削された生痕化石は極めて稀で、一標本のみ確認できた(図4F)。これは生痕属*Thalassinoides*の一種であろう²²⁾。これらの生痕化石から、葉理の変形と充填物の観察による地層の上下判定が可能である。ほかに、水平方向に葉理を乱しながら進んだ移動痕が稀にみられる。その断面と思われる生痕化石では、葉理が擾乱される範囲は直径40 mm程度の円形に近いスペード型である(図4G)。砂質堆積物中でみられる潜行性ウニ類の移動痕²¹⁾と断面形状が類似するが、それらによくみられる水平方向に沿った特徴的な後方充填構造はどの壁面においても確認できず、生痕属を同定するに至らなかった。生痕の形成時期や海底面からの深さの違いによる生痕同士の関係性(タイアリング)は確認できなかった。

こうした生痕化石は、品川インターシティで使用されている“モカクリーム”石材では非常に稀であったが、ヤマザキ動物看護大学では普通に見られた。ただし、両石材とも生物擾乱の程度は低く、初生的堆積構造は広く保持されている。極粗粒砂~中粒砂サイズのウーイドを主体とし、様々な斜交葉理の発達がみられること、生物擾乱が小さいことから、“モカクリーム”は底生生物の生息環境としては不安定な波浪の卓越する浅海環境で形成されたというAzerêdo(2007)の解釈と整合的な堆積学的特徴が読み取れる¹¹⁾。

5. NIE (Newspapers in Education) による現代の環境問題との対比

ジュラ紀は、大気二酸化炭素分圧の上昇と、現代より5℃以上も高い急激な地球温暖化が起きた時代である²⁶⁻²⁸⁾。“モカクリーム”の堆積した中期ジュラ紀のバトニアン期には、Late Bathonian Warmingとして知られる温暖化が起きており、世界平均気温が22.7℃と推定されている²⁸⁾。これは最新の気候変動に關す

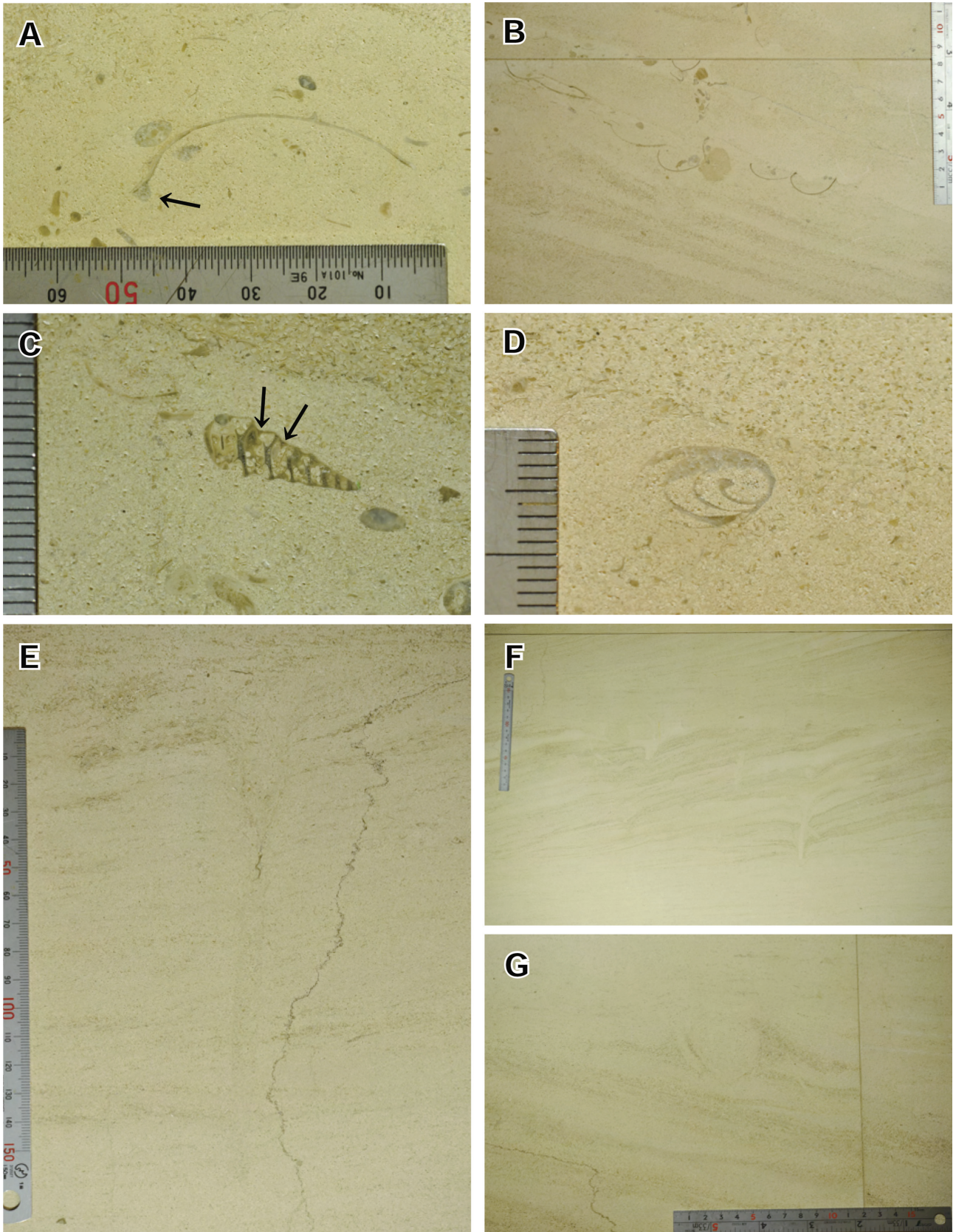


図4 ヤマザキ動物看護大学南大沢1号館の壁面で観察できる化石(上位方向はすべて上方向)

A: ヒンジプレート(矢印)が保存された二枚貝化石の断面. B: 傾いた葉理面に沿って定方位に配列した二枚貝化石.
C: ネリネア属の巻貝化石. 螺管に特徴的な褶が見られる(矢印). D: ジオペタルが形成された巻貝化石. E: よくみられる垂直稜管の生痕化石 *Skolithos*. F: 分岐を伴う *Thalassinoides* 様生痕化石と乱された葉理. G: 水平移動痕と解釈できる生痕化石.

る政府間パネル (IPCC) 第6次評価報告書における21世紀末の最も高い気温上昇予測よりも高温となっている²⁹⁾。その後のカロビアン期にはCallovian Cool Eventで知られる寒冷化が起きているが、それでもその当時の世界平均気温は19.4℃²⁷⁾と、現在の世界平均気温(約15℃)より4℃以上高い。こうした古気候の変遷や、温暖期の気候の中での生物応答は、私たちが直面しつつある地球温暖化による問題の理解に極めて重要である。

本学における環境科学の講義では、各講義回の内容に関連した環境問題の新聞報道等を副教材とするNIE (Newspapers in Education) の手法を取り入れ、理解を深める構成としている。近年行った講義の中で、南大沢1号館“モカクリーム”石材を用いることでより教育効果が向上する話題を選定し、以下に紹介する。

5-1. 地下水の制御と挙動の理解

地球上の淡水量は地球表層に存在する水の2.5%程度であり、淡水のおよそ70%が主に極域の氷の状態で、30%が地下水として存在し、私たちが利用しやすい湖沼や河川水は淡水全体の0.4%に満たない²⁹⁾。こうした水資源における制限および水質汚染は現代社会における非常に重要な環境問題である。

地下水は重要な水資源として、工業用水や農業用水、飲料水などにも利用されているが、その過剰な汲み上げが地盤沈下を引き起こすこともある。また、工業排水や鉱山、農地からの農薬の流入など、様々な汚染も問題になっており、特に飲料水として利用している地域では深刻な健康被害を引き起こすこともある。近年では、2000年1月頃から2003年3月頃までに茨城県神栖市において飲用井戸を共用していた数家族に原因不明の神経症状が現れ、その後の検査で井戸水から環境基準の450倍もの有機ヒ素化合物が検出された^{31, 32)}。その後の地質調査によって汚染の広がりおよび汚染源の特定がなされ、汚染源は1993年以降に再投棄された旧日本軍の遺棄化学兵器によるものであることが明らかとなり、汚染源の除去と被害者の比較的迅速な救済につながった^{31, 33)}。

地層の透水性(水の通しやすさ)は、粒度および圧密の程度と密接に関連しており、一般に粒度が小さいほど水を通しにくい^{34, 35)}。そのため、地下水は、泥岩層などの不透水層(水を通しにくい層)の直上にある帯水層(砂岩層などの水を通しやすい層)から汲み

出される。地下水汚染が起きた時には、汚染源の特定を含む地下水の分布や流路の評価が必要となるが、その際には当該地域における地下地質構造、粒度などの岩相、孔隙率と浸透率の情報等が不可欠である³⁵⁾。南大沢1号館の壁面で使用されている“モカクリーム”石材中の堆積粒子は丸く、模擬的粒度見本と比較してイメージがしやすい。粒径は細粒砂(0.25~0.0125 mm)から細礫(4~2 mm)まで様々であるが、ルーペを用いれば粒子を識別できる範囲である。また、地層の上に向かって粒径が小さくなる正級化構造が見られるため、地層の上下判定が可能である。粒度見本と比較しながら研磨断面を観察できる同石材は、こうした堆積岩の粒度のイメージをつかむために格好の教材となる(図5)。また、同石材は圧密の程度が小さいため、堆積物の粒子間には地下でも隙間が保持されうることを実感でき、それらの隙間が地層水から晶出した方解石などのセメント物質で埋められていくことも併せて理解してもらうのに適している。

地下水の制御と挙動の理解は、山崩れなどの被害や、工事による地盤沈下や陥没の回避にも重要である。2016年11月8日に、福岡県のJR博多駅前の道路が幅27 m、長さ30 m、深さ15 mにわたって陥没した³⁶⁾。これは、岩盤に地下鉄のトンネルを通す工事中に、風化してもろくなった岩盤層にひびが入り、上部の砂岩層に帯水していた地下水が土砂とともに流れ込んだことが原因と考えられている³⁶⁾。トンネル等の開発工事では、軟弱地盤の補強と不透水層の掘削が



図5 ゼミ学生による壁面の観察の様子

地層の上下判定や堆積物の粒度、体化石および生痕化石の観察を行っている。教室内で講義を行った後、同じ講義棟の廊下にてそのまま観察できることも大きな利点である。

重要であり、ナトム工法、シールド工法、開削工法等があるが、地下水やそれに伴う土砂の流入に細心の注意が必要である³⁷⁾。また、2020年10月18日には、東京都調布市の東京外かく環状道路(外環道)のトンネル工事直上で長さ5 m、幅2.5 m、深さ5 mの陥没が起こり、東日本高速道路(株)の調査によって、地表面まで砂層が続く特殊な地盤条件の地域での施工が要因であったと報告されている³⁸⁾。2001年4月1日より「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」が施行され、地下地質の理解はますます重要となっている³⁹⁾。

5-2. 堆積粒子の運搬作用の理解と福徳岡ノ場の火山噴出物(軽石)漂流

堆積物を構成する砕屑粒子などの堆積粒子は、形成場から様々な運搬営力で堆積場に到達する。営力の大きさは堆積場の堆積粒子の粒度をコントロールする最も重要な要素である。学生がイメージしやすい営力は、水流であろう。更に理解を深めるためには、堆積物の給源との距離、堆積物の形状や密度に依る特異な運搬作用、水流以外の営力で運搬される場合を考慮する必要があるが、ここでは割愛する。

南大沢1号館の“モカクリーム”には、葉理の形成時の水流変化に伴う正級化の粒度変化がみられる。正級化が見られる代表例がタービダイト成砂岩泥岩互層で、様々な粒径を含む混濁流が斜面を流れ下る際の流速変化で形成され、日本各地で見ることができる。しかし、堆積粒子の大きさの変化を考えると、これだけでは理解できない現象が存在する。たとえば、河川の洪水や、多孔質な火山噴出物の堆積場では、単層内で上方に向けて粒度が増す逆級化層理が見られることが報告されている⁴⁰⁾。今回は、多孔質の火山噴出物である軽石の堆積を例に、これらに関連させた学修に適した事例のひとつを挙げる。

2021年8月13日に、小笠原諸島の海底火山である福徳岡ノ場の大規模なプリニー式噴火が確認された⁴¹⁾。本稿執筆時の同年10月半ばには、この噴火により放出された大量の軽石が沖縄・奄美地方に漂着し、場所によっては港の海面を覆いつくすほどとなっている。エンジンの冷却に海水を利用している船舶では、海水と同時に軽石も取り込むことで機器が故障する恐れがあり、沖縄県糸満市の南方では、実際に海上保安部の巡視艇がエンジンの冷却装置に軽石を吸い込んで航行不能になる事態が起きている⁴²⁾。こうした

故障や事故を回避するため、漁船や離島フェリーなどを含む多数の船舶が航行を見合わせており、漁や物資の運搬、旅客の運搬に大きな影響が出ている⁴¹⁾。また、沿岸の養殖場では魚の大量死も報告されており、軽石を体内に取り込んだ可能性が指摘されている⁴³⁾。このように、大量の軽石は様々な問題を引き起こし、その除去は各地で大きな環境問題になっている。軽石は、孔隙の気体の浮力により、海流に乗って長距離移動することができる。時間の経過とともに物理的な破損や孔隙への水の浸入、付着生物による侵襲などで重くなり、徐々に沈降してゆくが、小さい軽石は水が浸入するのが早く、逆級化が見られることとなる⁴⁰⁾。堆積岩の観察において、堆積粒子の長距離に及ぶ移動と多様な運搬作用、それによって引き起こされる環境問題を実感させるには格好の話題であろう。

6. まとめと展望

ヤマザキ動物看護大学南大沢キャンパスの1号館内壁にはポルトガル産石灰岩“モカクリーム”が用いられている。本石材は中期ジュラ紀のバトニアン期(約1億6820万年前-1億6530万年前)に浅海で堆積した地層である。当時は現在に比べ大気中の二酸化炭素分圧も高く、Late Bathonian Warmingとして知られる温暖化が起きており、世界平均気温が22.7℃と推定され、現在の世界平均気温15℃と比較して非常に高温である。本石材には当時生息していた生物の体化石および生痕化石が含まれており、生物の環境応答や進化を考える上で重要な教材となる。また、本石材は堆積構造が明瞭で、地層の上下判定、粒度観察など、地球の環境変動史を学ぶ上で適した教材である。

環境科学教育を考える上で、ヒトが環境に及ぼす影響と、地球の活動がヒトに与える影響とを両輪で理解することは極めて重要である。特に私たちの暮らす日本列島はプレート境界にあり、地震や火山噴火などの自然災害への理解と対策は喫緊の課題である。本石材を用いた環境教育は、こうした単元の理解の大きな助けとなるであろう。

2020年から2021年にかけては、新型コロナウイルス感染症(Covid-19)の世界的流行により、対面講義や野外での実習などの教育活動が著しく制限された年であった。身近な建築石材を利用した実習授業は、地質現象を観察して考察するきっかけとして有用であ

り、今後の環境科学をはじめとする様々な自然科学分野の教育への展開が期待されるだろう。

謝辞

本研究を行うにあたり、ヤマザキ動物看護大学堀井隆行講師および大学管理課の皆様には写真撮影への協力をいただいた。三和石材産業株式会社 五十嵐敬氏には建築石材についての情報をいただいた。国立科学博物館地学研究部の重田康成博士および神奈川大学理学部の加瀬友喜博士には、査読を通じ有用な助言をいただき議論を深めることができた。ジョン・アルバート・ロビンソン氏には英文校閲をいただいた。厚くお礼申し上げる。

注

- 1) 斜交層理・斜交葉理：水や風などの運搬営力により堆積粒子が運ばれる際に、堆積時の水平面に対して斜めに堆積を繰り返して形成された堆積構造で、傾いた縞模様（セット）が何枚も繰り返すように見える。面と面の間が広いものを層理、狭いものを葉理と呼ぶが、識別基準は統一されていない。斜交葉理ないし斜交層理が連なるセットの底面に各葉理面（層理面）が収斂するように交差するコンケーブ状（凹面状）平板型斜交葉理（層理）、セット内で各葉理面（層理面）がほぼ同じ傾斜角を保持したプラナー平板型斜交葉理（層理）などに分けられる。詳細は斎藤文紀（2001）を参照のこと⁴⁴⁾。
- 2) バイオストローム（biostrome）：生物活動で集積された層状構造物や生物遺骸を主体とする層状堆積物からなる地層のうち、マウンド状・レンズ状形態を示さず、基底面上から側方へ広く連続して発達したものをさす。適切な和訳語が存在しないため、片仮名で表記した。詳細はKershaw（1994）を参照のこと⁴⁵⁾。

参考文献

- 1) 文部科学省，【理科編 理数編】高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説，https://www.mext.go.jp/content/20211102-mxt_kyoiku02-100002620_06.pdf，2021年12月14日閲覧
- 2) 三次徳次，2008，小・中学校理科における地層の野外観察の実態．地質学雑誌，114(4)，149–156．
- 3) 廣木義久・寺戸 真，2017，高校生の火成岩組織に関する知識と火成岩標本の鑑定能力に関する調査．地学教育，70(1)，23–29．
- 4) 相沢昭三，1981，都会の石材（建築物）を利用した岩石の観察．地学教育，34.1，15–18．
- 5) 北沢俊幸，2011，立正大学熊谷キャンパスの石材，地球環境研究，13，87–93．
- 6) 西本昌司，2020，東京「街角」地質学，イースト・プレス，200p．

- 7) Vissers, R., van Hinsbergen, D., Meijer, P. T., and Piccardo, G. B., 2013, Kinematics of Jurassic ultra-slow spreading in the Piemonte Ligurian ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, 380, 138–150.
- 8) Carvalho, J.M.F. and Lisboa, J. V., 2018, Ornamental stone potential areas for land use planning: a case study in a limestone massif from Portugal. *Environmental Earth Sciences*, 77, 206, <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7382-x>
- 9) Moca Stone S. A., <https://www.mocastone.pt/en/project/moca-cream-limestone/>, 2021年10月11日閲覧
- 10) Gradstein, F. M., Ogg, J. G., Schmitz, M. D., and Ogg, G. M., eds., 2020, *The Geologic Time Scale 2020*. Elsevier, 1357p.
- 11) Azerêdo, A. C., 2007, Formalização da litostratigrafia do Jurássico Inferior e Médio do Maciço Calcário Estremenho (Bacia Lusitânica). *Comunicações Geológicas, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, Lisboa*, 94, 29–51.
- 12) Azerêdo, A. C. and Wright, V. P., 2004, Multi-scale signatures and events in carbonate systems (Middle to early Upper Jurassic, Lusitanian Basin). In: Duarte, L. V. and Henriques, M. H. eds., *Carboniferous and Jurassic Carbonate Platforms of Iberia*. 23rd IAS Meet. Sedimentology, Field Trip Guide Book 1, Coimbra, 75–91.
- 13) Azerêdo, A. C. and Duarte, L. V., 2017, Stratigraphy, sedimentary patterns, and reservoir characteristics of Jurassic carbonate successions in the Lusitanian Basin. *Ciências da Terra / Earth Sciences Journal*, 19, 13–33.
- 14) Handa, N., Nakada, K., Anso, J., and Matsuoka, A., 2014, Bathonian/Callovian (Middle Jurassic) ammonite biostratigraphy of the Kaizara Formation of the Tetori Group in central Japan. *Newsletters on Stratigraphy*, 283–297.
- 15) Razzolini, N. L., Oms, O., Castanera, D., Vila, B., dos Santos, V. F., and Galobart, À., 2016, Ichnological evidence of Megalosaurid dinosaurs crossing Middle Jurassic tidal flats. *Scientific Reports*, 6, 31494, [pmid:27538759](https://doi.org/10.1038/s41598-016-08759-9)
- 16) Schmid, D. U., Leinfelder, R. R., and Schweigert, G., 2005, Stratigraphy and Palaeoenvironments of the Upper Jurassic of Southern Germany – A Review –. *Zitteliana Serie B*, 26, 31–41.
- 17) ヤマザキ動物看護大学，2021，「ヤマザキ動物看護大学シラバス（令和3年度）」，<http://univ.yamazaki.ac.jp/univ/student/>，2021年1月18日閲覧
- 18) Seilacher, A., 1971. Preservational history of ceratite shells. *Palaentology*, 14, 16–21.
- 19) Barnosky, A.D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G.O., Swartz, B., Quental, T.B., Marshall, C., McGuire, J.L.,

- Lindsey, E.L., Maguire, K.C., and Mersey, B., 2011, Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?, *Nature*, 471(7336), 51–57.
- 20) 角井敬知, 動物界の分類群・系統 — いまだに解けない古い系統, 2018, 日本動物学会編, 動物学の百科事典, 54–57.
- 21) 野田浩司, 1994, 日本産生痕化石研究への序説. 洛思社, 東京, 284p.
- 22) プロムリー, リチャード・G 著, 大森昌衛監訳, 1993, 生痕化石 — 生痕の生物学と化石の成因, 東海大学出版会, 364p.
- 23) Sohl, N. F., 1987, Cretaceous gastropods: contrasts between Tethys and the temperate provinces. *Journal of Paleontology*, 61, 1085–1111.
- 24) Wiczoewk, J., 1979, Upper Jurassic nerineacean gastropods from the Holy Cros Mts (Poland). *Acta Palaeontologica Polonica*, 24, 299–350.
- 25) Shikama, T. and Yui, S., 1973, On some nerineid gastropods in Japan (preliminary report), *Science Report of the Yokohama National University, Section 2*, 20, 9–57.
- 26) McElwain, J.C., Wade-Murphy, J. and Hesselbo, S.P., 2005, Changes in carbon dioxide during an oceanic anoxic event linked to intrusion into Gondwana coals, *Nature*, 435(7041), 479–482.
- 27) Slater, S.M., Twitchett, R.J., Danise, S. and Vajda, V., 2019, Substantial vegetation response to Early Jurassic global warming with impacts on oceanic anoxia. *Nature Geoscience*, 12(6), 462–467.
- 28) Scotese, C.R., Song, H., Mills, B.J. and van der Meer, D.G., 2021, Phanerozoic paleotemperatures: The earth's changing climate during the last 540 million years. *Earth-Science Reviews*, 103503.
- 29) IPCC, 2021, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press.
- 30) Lal, R., 2015, World water resources and achieving water security, *Agronomy Journal*, 107(4), 1526–1532.
- 31) 渡辺俊一, 江種伸之, 平田健正, 横山尚秀, 山里洋介, 森田昌敏, 2010, 茨城県神栖市で起きた有機ヒ素化合物による地下水汚染の実態解明, *地盤工学ジャーナル*, 5(1), 147–157.
- 32) 茨城県神栖市, 有機ヒ素汚染の発覚と経過, <https://www.city.kamisu.ibaraki.jp/shisei/machi/1003712/1004458.html>, 2021年12月14日閲覧
- 33) 浅見真理, 櫻田尚樹, 2018, 環境によるさまざまな健康リスク, *保健医療科学*, 67(3), 241–254.
- 34) Shepherd, R.G., 1989, Correlations of permeability and grain size, *Groundwater*, 27(5), 633–638.
- 35) 高清水康博, 岡 孝雄, 2007, 十勝平野の下部更新統の堆積相と水理地質, *地質学雑誌*, 113 (Supplement), S65–79.
- 36) 「JR 博多駅前 陥没事故1年 (朝日新聞, 2017年11月8日朝刊)」, 2021年12月15日閲覧
- 37) 「時々刻々「軟弱な地層 対応甘く」 (朝日新聞, 2016年11月9日朝刊)」, 2021年12月15日閲覧
- 38) 東日本高速道路(株), 東京外かく環状道路工事現場付近での地表面陥没事象等について, https://www.e-nexco.co.jp/news/cms_assets/news/2021/04/02/01.pdf, 2021年12月15日閲覧
- 39) 国土交通省, 大深度地下利用, <https://www.mlit.go.jp/toshi/daisindo/index.html>, 2021年12月15日閲覧
- 40) 戸倉則正, 藤岡達也, 澁江靖弘, 2012, 高校地学における堆積学的内容の教材・プログラム開発と授業実践: 逆級化層理の形成モデルからのアプローチを例として, *地学教育*, 65(5), 183–191.
- 41) 産総研地質調査総合センター, 2021, 福徳岡ノ場火山 2021年噴火と漂流軽石災害情報, <https://www.gsj.jp/hazards/volcano/fukutokuokanoba/2021/index.html#reference>, 2021年12月27日閲覧
- 42) 「漂流する軽石の影響 海保の巡視艇が航行不能に (NHK ニュース, 2021年10月24日)」, <https://www3.nhk.or.jp/news/html/20211024/k10013319361000.html>, 2021年12月27日閲覧
- 43) 「死んだ魚の胃袋に詰まる「軽石」 養殖魚が大量死 沖縄25市町村に漂着 (沖縄タイムス, 2021年10月26日)」, <https://www.okinawatimes.co.jp/articles/-/852803>, 2021年12月27日閲覧
- 44) 斎藤文紀, 2001, 堆積構造, 堆積相, 堆積システム, 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 「地質学ハンドブック」, 朝倉書店, 65–77.
- 45) Kershaw, S., 1994, Classification and geological significance of biostromes. *Facies*, 31, 81–91.

Development of Teaching Materials for Environmental Science at Universities Using Building Stones

ISHIKAWA Makiko¹⁾, SEIKE Kazuma²⁾

Abstract

Field trips, an educational activity that takes place outside of the regular classroom, can enhance the educational experience of students studying natural science including environmental science. However, it is difficult to organize field trips for large classes at private universities, especially during the Covid-19 pandemic era with its restrictions on face-to-face, in-person activities.

Fortunately, there is a substitute close-at-hand: the stone materials of sedimentary rocks used in the walls of various local buildings occasionally contain fossils, which can be associated with information such as localities, depositional age, and sedimentary environments. The necessary improvement in the educational experience can be achieved by observing these materials during short, local field trips. For example, a Portuguese building stone known as “Moca Creme” was used in the walls of the building at the Minami-Osawa campus of Yamazaki University of Animal Health Technology in Hachioji City, Tokyo.

“Moca Creme” is a limestone that was deposited in a shallow marine environment during the Jurassic period (Bathonian age) and one can observe characteristic structures such as grading and/or cross lamination. Moreover, well-preserved marine fossils such as bivalves, gastropods, corals, and trace fossils are also found in this stone. Thus, we can gain insight into the Jurassic biota by observing them. In this study, we provide information about the observation of this stone as teaching materials.

Environmental science education allows students to systematically learn about the lithosphere, atmosphere, and hydrosphere of our planet. The motions, cycles, current environmental situation, biodiversity, and various changes in the Earth's surface layers can be understood. The lithosphere materials described above (for example, “Moca Creme”), can be useful to achieve a more global understanding of environmental science, such as how water affects the laying down of sedimentary rock layers according to the motions of the hydrosphere and atmosphere. Studying the past also assists our growing understanding of how global warming affects the Earth.

Key words: Environmental education, building stone, Jurassic, “Moca Creme”, NIE

¹⁾ Yamazaki University of Animal Health Technology, Faculty of Animal Health Technology

²⁾ Saitama Museum of Natural History; School of Education, Waseda University

