

2025

12

Vol.14 No.12

GSJ 地質ニュース

地球をよく知り、地球と共生する



12月号

339 J. J. ライン著「バミューダ諸島とそのサンゴ礁ならびに
ダーウィンの沈降説に対する付言」邦訳 山田直利・矢島道子

352 新刊 5 万分の 1 地質図幅「高見山」の紹介
竹内 誠・常盤哲也・森 宏・志村侑亮

356 構造色がつくる輝く火山噴出物 ―噴火堆積物から見い
だされた「虹色スコリア」の発色原理を説明― 松本恵子

360 埼玉県主要部の地下の軟弱層の分布を 3 次元で可視化
―埼玉県南東部の 3 次元地質地盤図の公開―
米岡佳弥・野々垣 進・中澤 努・小松原純子

363 月の宝探し：ハイパースペクトルリモートセンシング
技術を駆使した月の資源鉱物マッピング
山本 聡・松岡 萌・長岡 央・大竹真紀子・池田あやめ

367 書籍紹介「湖の地形学 海跡湖の起源とヒューマンインパクト」

370 GSJ 地質ニュース 総目次 2025 年 1 月号～12 月号

J.J. ライン著「バミューダ諸島とそのサンゴ礁 ならびにダーウィンの沈降説に対する付言」邦訳

山田 直利¹・矢島 道子²

1. 訳出にあたって

ドイツ人地理学者ヨハネス・ユストス・ライン(1835–1918)は、プロイセン帝国(現ドイツ)ヘッセン大公国のラウンハイム・アム・マインに生まれた。ギーセン大学で言語学・地質学・数学・物理学・化学・動物学・植物学などを学び、フランクフルト・アム・マインの養護院・感化院、エストニアの騎士学校の教師などをやりながら研究を続け、1861年にはロストック大学から論文「エストニアの気候、土壌および植生について」によって学位を取得した。同年にはロンドンのキュー王立植物園および大英博物館で自然科学研究に従事し、同植物園の初代園長であったウィリアム・ジャクソン・フッカー卿(1785–1865)の紹介で、翌年から英領バミューダ諸島総督ハリー・オード卿の息子たちの家庭教師に雇用された(以上, Koch und Conrad, 2006, p. 25–30 の「ライン略伝」による)。

バミューダ諸島は北米大陸から 1,000 km 以上も離れた北大西洋の西部に、孤立して分布する小島の集まり(第 1 図)であるが、サンゴ礁がそれらを環状に取り囲んでいることで知られている。ラインは、バミューダ諸島滞在期間(1862–1863)の自由な時間を使って、同諸島を隈なく調査し、同諸島およびサンゴ礁の自然地理学および植物学的研究結果をフランクフルト・アム・マインのゼンケンベルク自然研究協会で発表した(Rein, 1870, 1873)。

Rein(1870)は、バミューダ島および同サンゴ礁の分布図(第 2 図)を作成するとともに、それらの生成に関する意見を表明し、ダーウィンのサンゴ礁沈降説(Darwin, 1842)に対する批判的議論に向かった(Koch und Conrad, 2006)。しかし、この意見は学会で十分に取り上げられなかったため、1881年に改めて発表することになった。この間にラインは、プロイセン政府からの依頼による日本の産業と商業に関する調査旅行(1873–1875年)を実施し、その科学的成果が高く評価されて、マールブルグ大学の新設の地理学教授に就任していた。その頃、世界の探検航海(1872–1876)に出発していた英国海洋探査船チャレン

ジャー号は、バミューダ諸島にも寄港し、同島のサンゴ礁の研究ならびに周辺海域のドレッジ調査を行っていた(西村, 1992)。

さて、今回邦訳するのは、ベルリンの第 1 回ドイツ地理学会議で発表された論文“Die Bermudas-Inseln und ihre Korallenriffe, nebst einem Nachtrage gegen die Darwin'sch Senkungstheorie”(Rein, 1881)である。その内容は、改めてバミューダ諸島とそのサンゴ礁の実態を明らかにしながら、特に環礁生成に関するダーウィンの沈降説に対する批判を正面に出して、議論するものであった。

ラインは本論文の前段で、バミューダ諸島が下位のサンゴ層と上位の風成層からなり、風成層はシンターによって硬く膠結しており、諸島を取り巻くサンゴ礁の外縁には硬い風成層の名残がいくつかの岩礁として認められるとしている。一方で、同諸島の一部(アイルランド島)には、顕著な風成層が地下 16 m で発見され、海水準の変動を示すものと見なされていた。

中段では、サンゴ礁の成因に関する諸説が紹介され、なかでもチャレンジャー号探検の中心メンバーであったジョン・マレイの意見(Murray, 1880)、すなわち、「環礁および水中に沈下した堆(Bank)は本来海面下様々な深度に聳える火山であり、それらが海面に向かって高まる結果として、その上に生物起源の堆積物が重なり、そして最終的にはそれらの山頂にサンゴが成長した」という考えを高く評価した。

後段(「付言」という見出しが付けられており、第 1 回地理学会議での発表後、著者によって急遽書き加えられたもの)では、デーナとダーウィンによるサンゴ礁沈降説は証拠に基づくものではなく、推論にすぎないことを指摘し、フォン・フリッチュによる各地質時代におけるサンゴ石灰岩の厚さがいずれも 100 m 以下であるとの意見を援用しながら、海底山地(海底火山あるいは古期岩類からなる深海底の台地: Bank)上の「戴冠」(深海性堆積物の堆積)および海面近くでの造礁性ポリプの活動という過程がバミューダに最もふさわしいとしている。

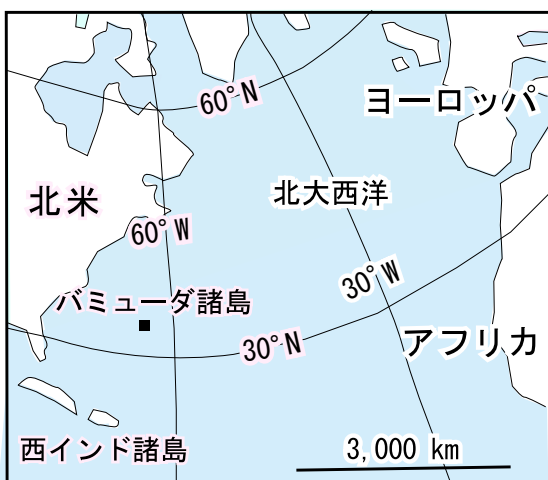
¹ 地質調査所(現産業技術総合研究所 地質調査総合センター) 元所員

² 東京都立大学 理学部 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1

キーワード: J.J. ライン, バミューダ諸島, 大西洋, サンゴ礁, 環礁, 礁湖, 風成層, ダーウィン, 沈降説, 隆起説

ラインの上記の結論は、断面図あるいは生成モデル図などが全くないために、十分に理解できないところがある。一方、バミューダ諸島に対するダーウィンの説明 (Darwin, 1842, p. 204-205) をよく読み返してみると、ダーウィンが一度もバミューダを訪れておらず、ネルソン大尉による覚書の情報のみに依存していること、そして、バミューダ諸島が環礁によく似ているけれども、それが「沈降説」によって説明されるとは書いていないことに気付く。結局、バミューダのサンゴ礁に関してダーウィンは議論をしていないので、ラインのダーウィン批判は一方的な批判に止まってしまった。現在、ダーウィンのサンゴ礁沈降説は広く受け入れられている (例えば、杉村, 2023) が、バミューダサンゴ礁に関する限り、ラインの隆起説は無視できないと思われる。なお、動植物の学名の表記については原文に従った。

原論文には図が全く載っていないので、新たに、大西洋におけるバミューダ諸島の位置を第 1 図に、また Rein (1870) の図版“Bermuda-Inseln”を簡略化しリライトした「バミューダ諸島およびバミューダサンゴ礁分布図」を第 2 図に示した。原文には「付言」以外には見出し語がないので、訳文全般にわたって見出し語を付けて、読者の理解を助けた。原文ではページごとの脚注になっている注は、まとめて原注^(1)~)として本文の終わりに置いた。訳文中の〔 〕内には訳者による短い説明を入れ、そのほか別途訳注^(1)~)を設けて、原注の次に置いた。また、「訳出にあたって」、邦訳、原注および訳注に引用されている文献名を最後にリストアップした。



第 1 図 バミューダ諸島の位置図。諸資料より作成した。

2. J.J. ライン著「バミューダ諸島とそのサンゴ礁ならびにダーウィンの沈降説に対する付言」邦訳

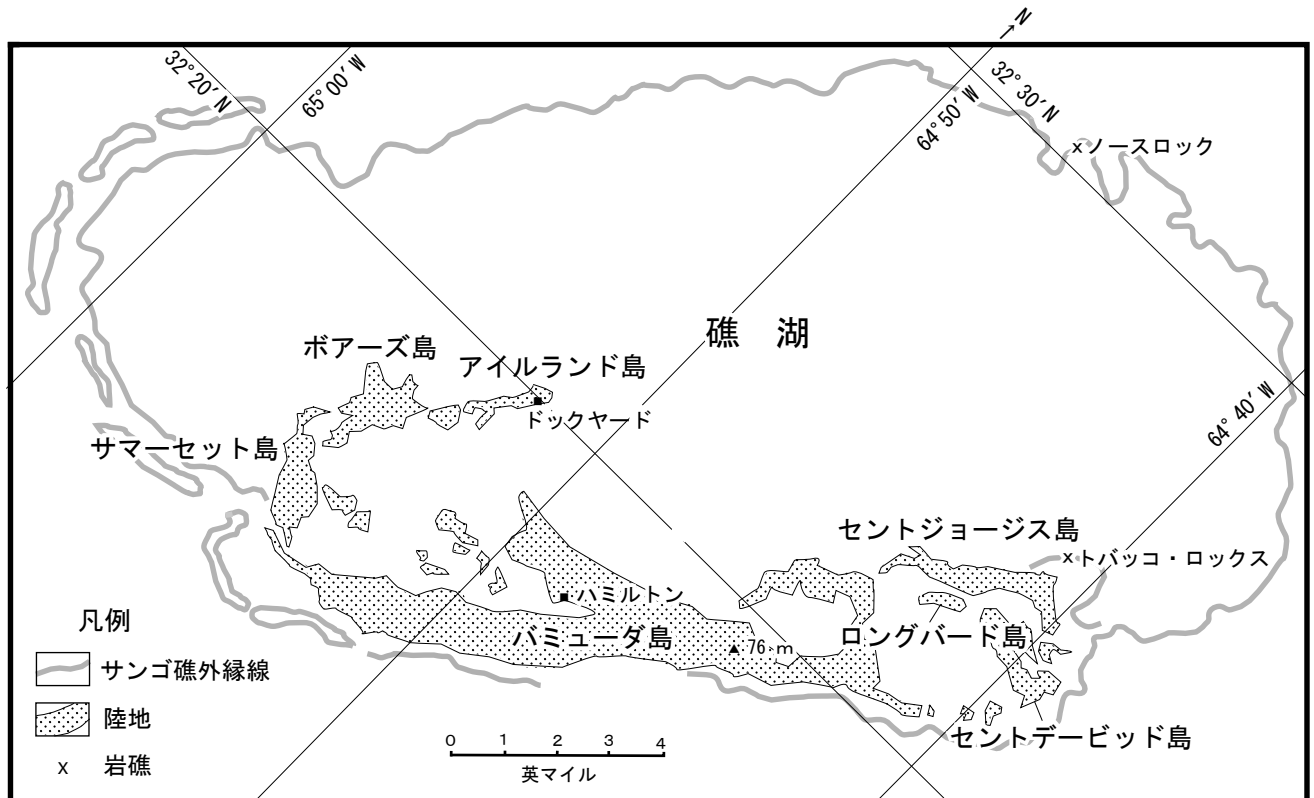
<バミューダ諸島の位置と従来の研究>

カナダ・ノヴァスコシア州ハリファックスと西インド諸島〔ヴァージン諸島〕セントトーマス港を結ぶ線のほぼ中央、北緯 32°の緯線と西経 65°の経線が交わるところに、バミューダ諸島という小さな島の集まりがある¹⁾(第 1 図)。この諸島は、最も近い陸地であるハッテラス岬〔アメリカ・ノースカロライナ州〕からでも 600 海里〔約 1,100 km〕離れており、絶海の孤島というにふさわしい。

バミューダ諸島は、北米大西洋沿岸都市ならびに西インド諸島の住民には、昔から良質の野菜、特にジャガイモ、トマトおよびタマネギの産地として主に知られ、またイギリス人には英米艦隊の駐屯地および冬季基地として、また貴重で高価なクズウコンの供給地として知られている。しかし、自然研究者および地理学者にとっては、この諸島は何よりも、熱帯からはるか遠く離れたサンゴ礁であることが興味的であった。なぜなら、バミューダ諸島のこのような状態およびその位置の孤立性が、1873 年のチャレンジャー号¹⁾の何回もの探検を引き寄せ、その近海の詳細な深海探査へと導いた理由でもあったからである。

ワイヴィル・トムソン卿²⁾の著作『大西洋』〔Thomson, 1877〕第 1 巻は、バミューダ諸島に関してかなり詳細な報告を載せており、その多くがよく知られていると言えよう。私の意図は、これらに関してさらに詳細に論ずることではなく、この探検の観測が、バミューダ諸島そのものに限定される限りでは、私が以前にそこで試み、1870 年および 1873 年にフランクフルト・アム・マインのゼンケンベルク自然研究協会の年報で公表した研究〔Rein, 1870, 1873〕と比較すれば誰もがそれを認めるように、新知見をもたらすものではないことを強調したい。

私は、1862 年および 1863 年の 2 年間のバミューダ諸島滞在期間³⁾中に、この小さな諸島をすべての方向に跋涉し、当地の自然史に精通するための機会を持った。私はその際に、バミューダ礁については、いわゆるダーウィン説〔Darwin, 1842〕は適切なものではないことを知り、上記の報告においてもこれに対する疑念を短い言葉で述べた。この機会に発表された私の考えは、最近でも多くのドイツの新聞で、ジョン・マレイ⁴⁾によって提出された「サンゴ礁およびサンゴ島の生成に関する新理論」〔Murray, 1880 のドイツ語訳〕として引用されているものと要点において合致するので、私は今回の会議の機会に簡潔に論ずることにした。なぜなら、上記のゼンケンベルク協会の報告が多くの



第2図 バミューダ諸島およびバミューダサンゴ礁分布図. Rein (1870) の図版“Bermuda-Inseln”を簡略化して示した。礁湖内にはサンゴ礁が広く分布するが、本図ではすべて省略した。

人によく知られているとは私は思っていないからである。

チャレンジャー号では、惜しくも亡くなったフォン・ウィレモース・ズーム博士⁵が以前神戸港の船上で私に伝えた[Nauheim et al., 2021, p. 180]ように、その他のことも知られていた。しかし、マレイ氏もワイヴィル・トムソン卿も私の報告を読んでいたようには思えない。

<バミューダ諸島およびバミューダ礁の概要>

バミューダ礁は、長さ 20 海里〔約 37 km〕、幅約 10 海里〔約 18.5 km〕の、北東－南西方向に延びた楕円形を示す〔第2図〕。バミューダ諸島はバミューダ礁の南側に偏って分布しており、北東－南西方向の緩やかな弧を描いている。島々は互いに非常に接近しており、そのため、それらのうち 5 島は道路によって相互に結ばれ、島々を隔てる狭い水路には橋が架けられている。それら 5 島は、セントジョージス島、バミューダ島または主島、サマーセット島、ボアーズ島およびアイルランド島である。これら 5 島のほかに、セントジョージス島の南東に、さらに 2 つの島、すなわちセントデービッド島およびロングバード島があり、住民が住んでいる。これらには多数の小岩礁が加わっている。面積は 1 ドイツ平方マイル〔約 57 km²〕もなく、14,000 人

の住民のうち半分以上は黒人および有色人である。

<バミューダ諸島の構成物>

バハマ諸島や太平洋—そしてインド洋—の多くの島々のように、バミューダ諸島もまた、最低海水位より下位のサンゴ層と上位の風成層から構成されている。前者〔サンゴ層〕を支配したポリプ⁶の生命力および後者〔風成層〕を形成した水および風の機械的作用は、いずれも今なお活動している営力である。局地的に死滅した動物または植物の痕跡でさえ、今日まで全く発見されていないが、それらはなお発見が期待される。古い山脈構造あるいは火山生成物の痕跡はどこにも見られない。構成要素はどこでも同様であり、石灰に富む軟らかい砂丘砂から、ハンマーで叩けば鳴り烈しい磯波にも抵抗する非常に硬い岩石までである。海に生息し、石灰質または珪質の骨格を形成するほとんどすべてのものは、諸島の構成要素を提供した。すなわち、魚の遺骸、貝殻片および棘皮動物の殻、もはや個々の起源を知ることでできないサンゴの断片、珪藻および有孔虫の殻、チョークの軟泥、石灰で被われた藻類、ならびに波によって打ち寄せられ、大抵は識別不可能な物質にまで擦り潰されたその他多くの物質が、ここにひとまず堆積した。

打ち寄せる波がこれらの構成要素を陸上に運び、陸上ではこれらは乾燥し、それから強い風によって吹き上げられ、空中高く内陸へ運ばれる。炭酸を含む大気中の水は部分的に石灰を溶かし、それからそれをシンターとして再び沈殿する。シンターは軟らかい物質を次第に硬く結合させ、この点に関して重要な役割を演じる。しかし、生成した岩石は大抵極めて多孔質のままであり、海綿のように雨水を吸い上げ、そしてそれを多数の小さな地下水路を通して急速に再び海へ運ぶ。

このような根拠から、多くのほかのサンゴ島が淡水の水源を全く持たないように、バミューダ人はむしろ屋根によって集められた雨水や貯水池に貯められた雨水で間に合わせているに違いない。人々はこのようなことの受け入れに容易に慣れる。人々が掘削した井戸では、地盤中に浸透した海水の上に淡水層が載り、特に長い間雨が降らない時に、それによって容易に汽水性となる。

すべての丘陵—最高地点は標高 79 m (260 フィート) および 74 m (245 フィート) —の断面は、前述の岩石や砂の鞍状および様々に屈曲した層理を示しており、それからは多数の中心点の周りに多くの物質が集積したと推定されている。このように推定された生成様式に対応して、そこには海生の化石は全く見つけられない。これに対して、ここにバラバラに露出している個々の砂層および巣(動物の巣穴)は、軟らかく多孔質の石灰岩層によって被われており、2 種のカタツムリの仲間(*Helix Bermudensis* Pfr.[リンゴマイマイ]と *H. Reiniana* Pfr.) のよく保存された巣で充たされていた。これらはバミューダ諸島に固有で、そのうち前者[リンゴマイマイ]は石の下に大量に生きているのが見られた。

サンゴ礁の北側、バミューダ島から約 8 マイル離れた 4 個の孤立岩体は注目に値する。それらは最高海水位より 3 m 高く聳え、ノースロック²⁾と呼ばれている。それらは、バミューダ諸島の比較的硬い岩石と同様に、シンターによって硬く浸透された岩石からなり、明らかにこの地点における、より大きなかつての風成の陸地形成の最後の名残である。そのほかにも、絶えず構築しまた破壊する海が、時の経つうちにバミューダ諸島を根本的に変化させる様々な徴候があるが、バミューダ諸島全体としては以前占めていたよりも面積が縮小したに違いない。

<バミューダ諸島に見られる海水準変動>

M. ジョーンズ³⁾が報告したように、1870 年、非常に興味深い発見が、アイルランド島においてなされた [Jones, 1870]。この時、英国製の大きな浮きドックが通常の海面

下 52 フィート [約 16 m] の深さまで岩石を破碎した。42 フィート [約 13 m] の深さでは、厚さ 2 フィート [約 60 cm] の赤色含鉄土壌層に突き当たり、同層にはバミューダ・スギ (*Juniperus Barbadensis* Grieseb.) の明らかに識別可能な遺骸が見出された。類似の、しかしより薄い赤色含鉄土壌層には、同層に最良のクズウコンが栽培されたのに対応して、すでにかつての発掘の際に到達していたが、それがさらに注目することはなかった。

しかし、この発見は、今日の海水準がかつてより少なくとも 14 m 高いことを証明している。もしバミューダ諸島がこの量だけ隆起したと考えるならば、諸島の全面積は外縁の帯状サンゴ礁の全領域を包含するであろう。深度 52 フィート [約 16 m] までの岩石の性質は、諸島の最高地点の岩石と同様であり、若干ち密で、同じような風成層であり、石灰によって接合され、サンゴを含まない。

<バミューダ植物の起源>

バミューダ諸島の植物は、バハマ諸島およびこれに隣接するアメリカ合衆国南部諸州に起源を持つ。いわゆるバミューダ・スギ (*Juniperus Barbadensis* Griseb., *J. Bermudiana* L.) およびいつも一緒に出るランタナ [原文には “Salbeistrauch” (サルビア灌木) と書かれてあるが] (*Lantana odorata*) は、バミューダ諸島の発見の時と同じように、今日でもなお丘を被っている。盆地や小谷では、杉の林はもちろん斧や鋤によって伐採されるに違いない。ここでは可憐なスズメバト (*Chamaepeleia passerina*) がヨーロッパの雑草の種子を集め、それらは耕作に繋がった。しかし、耕作されていない日当たりのよい土地には硬いメヒシバ (*Stenotaphrum Americanum*) が広がり、それに *Lippia nodiflora* [イワダレソウ] および *Bryophyllum calycinum* [セイロンベンケイソウ] のような様々な後期侵入者が仲間に加わり、一方、春には狭い葉のアイリスである *Sisyrinchium Bermudianum* [ニワゼキショウ] の多数の紫色の花が目立っていた。

<バミューダ諸島の海生生物群>

私は、ここで貧弱な植物群の構成要素や、またやはり貧弱な陸上動物群の構成要素を取り上げるつもりはなく、むしろ、海とその注目すべき生物に注意を向けたい。乾燥した大地では動植物の種数が少ないのと対照的に、自然は海とその生物の中で、驚くほどの宝庫と多様性を発達させている。それら海の生物は、高い海水温とサンゴ礁をもたらし、それらはメキシコ湾流の分流の完全な影響下にあり、それらはサンゴ礁の周りで生息し、繁栄する。この海生有機体の胚

芽は、バハマ諸島、トートウガス礁〔フロリダ半島先端の礁〕およびフロリダ海岸からの海流と共に到達したのであり、それゆえ、バミューダ諸島の海生植物群および動物群の特徴は西インド諸島北西部のそれと密接な関係がある。

＜サンゴ礁の外縁＞

いつも見られる白く泡立つ波の環は、どこでも、バミューダ諸島を取り巻く楕円形のサンゴ礁の外縁を示している。サンゴ礁は、火山錐の斜面のように、外側に向かって著しい深さまで急斜し、一方、内側ではおだやかな礁湖(Lagune)に連なる。波の活発な動きの中にのみ、十分に成長した造礁ポリプが見られる。それらは、暴風の大波が破碎して堤の内側に向かって投じたものを、ここで短い間に再び築き上げる。サンゴ礁の比較的高い外縁は多くの地点でせいぜい1ファースデン〔約1.8 m〕の海水によって被われ、実際にそれらは引潮時には若干は海面上に頭を出す。これらサンゴ礁の多数の狭い水路は、経験ある船乗りによる大型船舶の安全な操縦を可能にするには、わずか3ファースデン〔約5 m〕でも十分に広く、かつ深い。この理由から、サンゴ礁はバミューダ諸島にとって重要な天然の要塞であり、その内側では英国艦隊がいつでも安全に碇泊することができる。

＜サンゴ礁の構成物＞

バミューダ諸島には、〔イシサンゴの仲間である〕*Madrepora*, *Cladocora* および *Astrangia* のような、西インド諸島を含む熱帯の大型サンゴ礁構成物が欠けている。その代わりに、多くの〔サンゴの仲間である〕*Oculina*、特に *Oculina diffusa*、さらに *Astrea*〔マルメキクメイシ属〕*radians*、そして *Diploria cerebriformis*, *Symphyllia*〔ダイノウサンゴ属〕*dipsacea*, *Porites*〔ハマサンゴ属〕*clavaria* が多量に、そして立派に発達しているのが見られ、例えば、*Diploria*〔ノウサンゴ属〕*cerebriformis* (いわゆる脳石⁷⁾) は直径2～3フィート〔60～90 cm〕の半球状の集団の中に普通に見られる。しかし、重要なことに、それらすべては、今日では腔腸動物と見なされ、バミューダ礁を主として構成する *Millepora*〔アナサンゴモドキ属〕*alcicornis* および *M. ramosa*〔現在は腔腸動物と見なされているが、サンゴ礁でごく普通に認められることから、造礁サンゴに含められている〕に対して貧弱である。

しかし、以上述べた種のすべてならびにそのほかの様々な種は、単にサンゴ礁外縁のみでなく、礁湖の中でも見出されており、礁湖ではそれらは、一部は *Porites*, *Diploria* および *Symphyllia* のように孤立的に出現し、一

部は *Millepora* および *Oculina* のように1～8ファースデン〔約2～14 m〕の水深に生じている。

これらすべてのうち、*Porites clavaria* は最も抵抗力が強いように見える。この種は浅い海岸の泥質の海底においてもなお生息し、そこでは濁った海水がすべての他の種の存在を不可能にしている。類似の観察は、その他の *Porites* 種のサンゴ海、すなわちフィジー諸島で、デーナによりすでになされている。

＜礁湖の環境＞

さて、サンゴ礁の内側には平均的深さ5～6ファースデン〔約9～16 m〕の壮大な礁湖が広がっている。礁湖の水は、通常は、広大な静けさ、異常なほどの透明さ、そして見事な緑色を示す。しかし、ハリケーン(回転する暴風)が礁湖に打ち寄せ、海底のチョークの泥を掘り起こすと、礁湖は煮立った牛乳のように見える。

船舶のマストあるいは近接する丘陵の頂上から礁湖を眺めると、様々な形や大きさの多数の褐色の斑点および帯に気が付くだろう。それらは、澄み切っている空で太陽によって照らされた離れ離れの雲が滑らかな水面に作りだした褐色および紫色の影のように、エメラルド・グリーンの水域から際立っている。礁湖の平滑な鏡面上のこの褐色の影は、より小さなサンゴ礁によって引き起こされたものであり、それは最も低い海水準にまで隆起して表面で死滅し⁴⁾、植物学者や動物学者に興味を持たれた。

それは大きな海底庭園の苗床であり、その上では、*Rhipidigorgia*〔現在は *Gorgonia*〕*flabellum*, *Plexaura crassa*〔現在では *Pseudoplexaura flagellosa*〕および *Pterogorgia americana* を伴う *Pl. flexuosa* のような、様々な色の大型灌木サンゴ(*Gorgoniaceae*)〔ヤギの仲間〕が灌木を、*Caulerpa*〔イワズタ属〕のようなオリーブ色、褐色、赤色および可憐な緑色の海藻がシバを作り、そして様々な色の魚類、貝、ウニおよびその他の動物が、彼らの餌取り場、運動する場および隠れ場を〔そこに〕見出す。

＜造礁サンゴの生成条件＞

造礁サンゴ類は経験的に、年間の海の平均的温度が少なくとも20℃で、活発な波の打ち寄せが起き、そして海水が透明であるところでのみ存在することができる。この第1および第2の条件は、その存在を本質的に熱帯および約30ファースデン〔約50 m〕の深さまでの最上部の海の帯に限定している。しかし、第3の条件〔透明度〕は〔造礁サンゴ類の〕河口前および大抵の平らな海岸への移住を不可能にする。なぜなら、ここでは水中の塩分の少なさ、供給され

た岩屑および波の打ち寄せによって掻き立てられた泥が、それらの命を絶つからである。

サイクロンがサンゴ海、特に浅い礁湖の水を海底までかき混ぜ、そこに堆積していた灰白色のチョークの泥を乳のように濁らせ、そして後に、生きているポリプの上に沈殿させる時には、単に大抵の個体またはばらばらの塊として表れる種類のみでなく、サンゴ礁の全域でも死滅し、そして他の動物、例えば *Nullipora* [かつてはサンゴモの属の1つとして使っていた属] や *Vermetus* [ムカデガイ属の仲間] ならびにポリプ塊の死滅した表面の藻類もまた移住する。けれども、近くになお生きているサンゴ類の活動は、木の癌が新しい樹皮によって再び被われることがあるように、しばしば、その箇所を被い、蘇生させることを可能にする。私はこの現象をバミューダ諸島において多くの地点で観察することができた。

熱帯の海では非常にしばしば、造礁サンゴの存在に関する3つの上記の基礎条件が成り立ち、そして、その上にサンゴ礁は認められないけれども、1～20 ファーデン [約2～40 m] の深さで硬い基盤が見られる。したがって、造礁サンゴの存在は、今日まで観察および知識に達していないなお多くの要素に依存しているに違いない。

<サンゴ礁の成因に関する諸説>

私は、サンゴ礁の成因に関する旧来の見解のうち、最も注目すべきもののみについて触れておきたい。それは、サンゴ礁の構造を海底の証拠から推定したフォルスター^{*8}の見解 [Forster, 1778] およびサンゴ諸島・サンゴ礁を海底山地上の「戴冠」(Krönung) として説明し、特に環状に閉じた環礁 (Atoll) を海底に沈んだ火口縁上の「花環」(Kranz) と見なしたシャミッソー^{*9} [Chamisso et Eysenhardt, 1821] とビーチー^{*10} の見解 [Beechey, 1831] である。

フォルスターの見解は、太平洋におけるドウモント・ドアービル^{*11} の探検時のクア^{*12} とカイマール^{*13} の正確な観察 [Quoy et Gaimard, 1825] ならびに紅海に生きているサンゴ礁に関する後のエーレンベルク^{*14} の研究 [Ehrenberg, 1834] が、どこでも浅い水深 [のサンゴ礁] しか示さなかったもので、支持することはできなかった。

しかし、シャミッソーとビーチーがサンゴ礁の成因に関して行った説明は、周知のように、一見単純、明快なダーウィンの沈降説—この説のために原著者 [ダーウィン] は、ビーグル号世界周航の期間に、特にインド洋の小キーリング諸島およびココス諸島を徹底的に調査して、資料を収集した—によって否定された。

チャレンジャー号探検隊の自然研究者の1人であった

ジョン・マレイ^{*5} は、正当にも、ダーウィン説が、主として2つの事実、すなわち、造礁サンゴ動物は経験的に20～30 ファーデン [約36～55 m] より深い水深では生きられないという生理学的事実および、大地は常に緩慢な隆起・沈降、簡単にいえば、永年運動の中に置かれているという物理的事実に基づいていると述べている [Murray, 1880]。

南太平洋のサンゴ礁に関する基礎的研究者の1人であり、著名な北アメリカの鉱物学者、地質学者であるデーナ^{*15} は、彼の著作『サンゴとサンゴ諸島』 [Dana, 1875] の中でダーウィン説を支持し、それによりダーウィン説の支配を論証することに大きく貢献した。

サンゴ礁およびサンゴ島の生成に関するダーウィン説によれば、何よりもまず裾礁 (fringing reef) (裾礁または磯礁) が生じ、その時、造礁サンゴ動物自身は、上述の基礎的条件に従って可能である限り、海岸の周囲の浅瀬に移住する。今や島あるいは大陸の海岸がゆっくりと沈降する程度に、サンゴ礁は上方に向かって成長し (海流に流された側では餌の不足により幅が狭くなる)、そして、サンゴ礁と海岸の間の海の隙間は広く、かつ深くなり、結果としてこの隙間は最後には幅広い航行可能な水路となる。この段階では、サンゴ構築物はダーウィンに従って堡礁 (barrier-reef) (堤礁または壁礁) と命名される。この過程、すなわち、島のゆっくりとした沈降および進行するサンゴ構築物成長のさらなる継続に関しては、以前の島が海面下に没し、その場所に、環礁という名前のサンゴ礁に囲まれて礁湖が出現するような状況が最後には生ずる。発達 of のさらなる経過の中で、上述の海や風の活動によってサンゴ礁の場所は被われ、その上に低いサンゴ諸島が高まることになる。それに引き続く地下の地盤の隆起もまた島を出現させる方向に作用する。

そこまでは大体においてダーウィン説はうまく行っている。それをバミューダ諸島に適用する時、その楕円形のサンゴ礁は環礁のように見える。周辺の海底の調査によれば、環礁は礁湖によって海底の山頂を被っている。山頂は深海海底からほとんどモンブランの高さにまで険しく聳え、その地質学的状態について我々は多くを知っている。それは、東大西洋の諸島 [カナリア諸島など] の山頂のように火山性であるかもしれず、あるいは大西洋のセントポール岩礁 [中央海嶺上の岩礁群] のように古期の結晶質岩石から構成されているかもしれない。造礁性ポリプが山頂上で生み出した被いがどれくらいの厚さであったのかは、同じように不明である。バミューダ諸島あるいは同礁湖のある地点でサンゴ礁内部を2つの方向に向かってボーリングすれば、期待された情報を得ることができるだろう。

我々はここで、すでに引用したマレイの論説 [Murray, 1880] に戻る。この著者は、C. ゼンパー教授^{*16} がパラオ諸島のサンゴ礁の調査⁶⁾ [Semper, 1863] の際に、観察した現象にダーウィン説を適用するにあたって、いかに大きな困難に陥ったか、そしてチャレンジャー号が訪れたサンゴ礁海域でも類似の困難と疑念が彼 [マレイ] に生じたかを力説した。彼の論説の目的は、第 1 に、造礁性サンゴ類は 30 ～ 40 ファーデン [約 54 ～ 72 m] より深い水深では生きられない—それは一般に真実と思われる—が、大洋の熱帯地方では他の力が働いていて、それによってずっと深い水深からの海底隆起が生じ、サンゴ礁の基礎を作ったであろうこと、第 2 に、地球の表層部は新しい地質時代に多くの変動を経験したことが承認される一方で、しかし、サンゴ礁およびサンゴ諸島のすべての主要特性は、大規模で一般的な沈降に助けを借りなくとも説明できることを示す点にあるだろう。

これに続く、我々にとって興味ある事実が、以下の訳文 [Murray, 1880 のドイツ語訳] の中に記されている。

1) 「環礁は最初に火山性山地の上に載っているのであって、しばしば想定されるように、水中に沈下した大陸の上に載っているのではないということが、すべての根拠から承認される。」

2) 「いかにして、海面下、いわば半英マイル [約 800 m] の海底の山が、造礁サンゴが生息できる海面近くまで十分に構築され得るかをはっきりと理解するためには、熱帯地方の深海動物群および植物群を注意深く観察することが必要である。」

3) 「これらの環礁および水中に沈下した堆 (Bank) が、本来は海面下様々な深度に聳える火山であり、それらが海面に向かって高まる結果として、その上にさらに生物起源の堆積物が重なり、そして最終的にはそれらの山頂にサンゴが成長したと見なすことは、極めて自然に即した見解である。」

私はここで、関連する多くの指標が示すように、バミューダ諸島がダーウィンの沈降説では説明できないことを力説せねばならない。そしてさらに、すでに 11 年前、1870 年のゼンケンベルク自然研究協会の年報に発表した「バミューダ諸島の自然地理に関する報告」 [Rein, 1870] という論文から以下の箇所を引用したいと思う。

同年報の 158 ページにはこう書かれている。

「トロール網を用いた海底探査は、フォーブス^{*17}、サーシュ^{*18}、カーペンター^{*19}、そして特にフォン・プルタレス伯^{*20} によって実施された探査のように、サンゴ礁形成に関して全く新しい視点を生み出した。」

「今日では、人類が到達したすべての水深で活発な動物が生息していること、そして、多数のサンゴ類、貝殻、棘皮動物殻の碎屑物からなる硬い礫岩の厚層が砂やチョークの泥と混ざり、より深い海底から積み上げられていることが、知られている。」

「ここで我々が、バミューダ諸島の生成に際して海底山地または海底丘陵 (なぜならそれらの高地にはほとんど堆積しないから) を認めることを妨げているものは何か。[これらの海底山地・丘陵は] セントポール岩礁あるいはカナリア諸島およびカーボベルデ諸島の基盤のように古い地質年代の岩石からなる可能性があり、そしてこれらを硬い基盤としてその上に類似の群体が移住し、さらにその上に、プルタレスがフロリダ礁近くの 90 ～ 300 ファーデン [約 150 ～ 540 m] の水深で発見したものと同一ような地層を形成した—この知識は L. アガシーによって正当にも学問に対する最も重要な成果と呼ばれている—。大深度で生きているこれらの動物種は、引き続く活動によって、幾世代もの生存と死滅 [の痕跡] が見出された土台を、それらが海面に近づくまで構築を続けたので、最後にはより大きなサンゴ生成者が現われて、構築を続け、そしてサンゴ礁を生み出した。」

これらの文章には、誰もが容易に認めるように、いわゆるマレイ説の根本思想が含まれている。私が 12 年も前に書き留めたように、深海調査はまず、海面上で生き死にするグロビゲリナの顕微鏡的サイズの石灰質殻の長雨の沈降物から始められた。これらおよびそのほかの石灰質殻がかなりの水深の炭酸水により溶解することは、全く予想されなかった。造礁ポリプの必要食餌量はまだ十分に究明されなかったが、それから、また海流の方向からサンゴ礁の形態および広がりに関して明らかになるすべての結果がさらに引用された。

マレイはこの点に関して、豊富な観察資料に恵まれていて、そしてその一部を十分に利用した。サンゴ礁が海底火山の上に載っているという彼の仮定では、彼はシャミッソーの見解に立ち返り、そして私の意見そのものを再び限られた立場で受け入れている。

これに対して私は、海水の温度・透明度および打ち寄せる波による食餌供給に関する発生ポリプの移住に関する基礎条件、ならびに硬い基盤が与えられたところでは、サンゴ礁はどこでも生成可能であるという考えを固持したい。 今では、この基盤は沈水した海岸あるいは海底地盤の隆起かもしれないし、あるいは海底の火山性、有機物性あるいは他の営力に帰せられるかもしれない。

付 言

私はヴェネチアの地理学会議の期間に急に本題に立ち帰る新たな動機を見出したが、その時には、ベルリンで開かれた第1回地質学会議の際に私が用意した講演に関する上記の要約〔前項の最後の数行：アンダーライン部分〕は、すでに印刷に回されていた。

ジュネヴァのイッセル教授は、ヴェネチアの会議に、永年運動に関する興味深く入念に作成された講演を用意しており、彼はそれを世界地図上で、隆起現象を示す海岸を赤色に、沈降が認められる海岸を青色に表現した。私は、熱帯地方内部の多くの認定された沈降に関しては、彼が他の研究者と同様に、サンゴ礁の起源に関するダーウィン説に従ったこと、そして観察された事実によってそれを行ったのではないと判断し、これに対して私の有効な反論を主張した。この主張は、特にこれに大きな関心を持つドーブレらの出席していた地質学者によって受け入れられたのであった。

私がここでダーウィンの沈降説に反対する根拠を簡潔に説明することは、いま私にとって、私および他の研究者に対する義務であるように思われる。

＜デーナの見解＞

デーナは、サンゴ礁地帯における海岸の沈降の証拠として、ダーウィンと同様に、何よりも、島とその堡礁の間の幅広く深い水路ならびに礁湖―諸島または環礁の存在を観察した。デーナとダーウィンがここで私の見解に対して犯している大きな誤りは、彼らが1つの可能性または、いわば我々自身の確からしさを、事実のように扱っていること、そして彼らはまず理論を立て、それからこれによって沈降の存在を実証しようとするのである。彼らはサンゴ礁沈降の実際の観察から理論へ逆戻りしてしまったのだ。しかし、彼らはこのような直接的証拠をどこへも提出することはできず、逆に、サンゴ海内部の隆起現象に対する証拠は少なからず存在している⁷⁾。堡礁と海岸の間の深い水路ならびに環礁の成因を沈降によって説明するために、彼らは上記の両形式〔深い水路と環礁〕が多数出現することから逆に、海岸の広範囲の沈降運動および沈降による多くの島々の海中への埋没を推論している。彼らは同様な思考をさらに進めて、種々のサンゴ礁の厚さ、あるいは垂直方向のそれらの厚さの計算へと進む。

デーナは（ダーウィンも）、沈水した斜面の傾斜角は一般に近接する海岸の傾斜角に一致するという見解から出発して、その斜面の角度およびサンゴ礁の海岸からの距離から

サンゴ礁の厚さを計算した。彼は、8°の傾斜の際に海岸から1マイル離れたサンゴ礁の厚さは740英フィート〔約230 m〕になるべきであることを認め、それゆえ、ガンビア諸島〔南太平洋ポリネシア〕の外縁礁の厚さを1,750フィート〔約530 m〕（ダーウィンは2,000フィート〔約610 m〕）に、タヒチ島のサンゴ礁の厚さを250フィート〔約500 m〕に、ウポル島〔サモア諸島〕のサンゴ礁の厚さを260フィート〔約80 m〕に決定した。「ヴィティ〔フィジー諸島の主島〕サンゴ礁の多くは、同じ原理に従えば、厚さ2,000フィートより小さくないだろう⁸⁾」〔Dana, 1875〕。これによって、海岸の沈降も少なくとも同程度に認められねばならなかった。

しかし、ノルウェー海岸で検証された隆起に対応して、熱帯の海岸が後氷期にわずか約200 m ゆっくりと沈下し、沈降運動の初期にはすでに造礁サンゴの移住が始まり、そして、理論の主張者がこれを認めるように、サンゴ礁構築が沈降と同じ速さで保持されたと仮定すれば、サンゴ礁は少なくとも200 mの厚さを示さなければならない。

今日では測錘によって堡礁および環礁の外側の地盤のかなり急な低下および急激な移行がかなりの水深まで発見されているが、実際には完新世のサンゴ礁の厚さはまだどこでも測定されていない。それはまた実測値と隔たった多くの理論上あるいは計算上の厚さに匹敵したであろう。多分最初に試みられてこれを明るみに出した環礁内部の試錘は、私の知る限りでは、これまで海面下16 m以深では実施されたことがなく、それゆえに十分なものではなかった。

＜地質時代のサンゴ礁の厚さに関するフリッチュの見解＞

近世またはより古い地質時代に現代の海面よりも上に隆起したサンゴ礁の容易に測定できる厚さを、海底サンゴ礁の推定された厚さと比較することは、私にとって重要に思われ、またそれに対する私の知識と観察は十分ではないので、私は、それを1人の地質学者、私の友人であるハレ〔大学〕のフライヘルン・フォン・フリッチュ教授²¹⁾にお願いすることにした。私はすべての問題において彼から多くの刺激を受けており、彼の興味ある地質学的記述を以下の文章の中で追って行きたいと思う。

デーナは、サンゴおよびサンゴ諸島に関して繰り返し引用された著作の中で、南太平洋の新期の火山活動によって隆起した多くのサンゴ礁を列挙している。それらの厚さの測定も大抵は行われなかったが、それらはすべての場合に100 mよりずっと小さく、多くの場合には6～7 mに止まることが知られている。

〔以下、フリッチュの意見〕

「しかし、ヨーロッパおよびその他の調査地域の有名なサンゴ石灰岩体もまた、全く同様に、サンゴ諸島に対して通常認められる厚さに及ばない。私は、ほとんどすべて太古の群生サンゴからなる地層が大抵は 100 m よりずっと小さい厚さしか持たないことを知っている。

以下の事項が考慮されている：

- 1) しかし、私がプレヴェン〔ブルガリア〕で斜面の非常に目立つテラスに露出しているのを見た中新世のサンゴ堆は、実はわずか 10 m の厚さしかないように見えた。マデイラ諸島〔ポルトガル領〕のサンヴィンセンテの中新世のサンゴ堆もまた辛うじて 20 m の厚さしかない。この地層の異なった統に属する漸新世のサンゴ石灰岩、例えばヴィチェンツァ〔イタリアヴェネト州〕では、最大 20 m の厚さに描かれている。
- 2) アルプス山脈南斜面の始新世のサンゴ石灰岩は、25 m 以下の厚さの堆を作っているであろう。ボルネオの貨幣石石灰岩およびスマトラの類似の堆積物の全層厚は 100 m 以下に過ぎず、そして個々の部分 (Partie) および層 (Lage) あるいは堆 (Bank) のみが真のサンゴ石灰岩からなる。
- 3) 造礁物に価する白亜紀サンゴは様々な地域に累積している。マーストリヒト〔オランダ〕近くの、いわゆるペテルスブルク石灰岩 (原文では Kalkfuffs) の一部であるファクゼ石灰岩、プロヴァンス〔フランス〕のゴーサウ層およびそれに相当するサンゴ層は、フランツ・トゥラ²² および私によって観察されたもので、真のサンゴ堆は最大 20 m の厚さしかないと記憶している。私はまた、バルカン山脈北斜面のウルゴニアン—アプティアン階〔前期白亜紀〕の「カプロティーネン石灰岩」や、似たような種類の南フランスの地層などを記憶している。
- 4) ジュラ紀のサンゴは、特にマルムでずっと以前から造礁性のものとして知られている。しかし、ナットハイム〔ドイツ〕でも、他のシュヴァーベンおよびスイス地方でも、ロレーヌ〔フランス〕も、ハノーファーも、イギリスのサンゴ石灰岩もまた、より若い地層よりも大きな厚さには達していない。
- 5) 三畳紀石灰岩、特にダッハシュタイン階〔三畳紀後期〕の石灰岩は、時にはサンゴ石灰岩として出現するが、同時にまた、明らかに花虫類遺骸からなるこの地層は、それらの堆の全層厚が 30 m 以下である。
- 6) 石炭紀の石灰岩ならびにデボン紀およびシルル紀の石灰岩は、四放サンゴ類、ファボシテスなどからなる古生代サンゴ石灰岩によく類似している。アイフェルのサンゴ石灰岩、ハルツの石灰岩、ゴットランドの石灰

岩および我々がモロッコのアルディセチューゲルで発見した石灰岩は、どれも厚さ 20 m に達しない。もちろん時には、薄い中間層によって分けられた多くの堆が重なり合っているのが見られる。しかし、その時でもサンゴ石灰岩コンプレックスは厚さ 100 m 以下に止まる。

デーナは現に、石灰岩体 (および時々産出するドロマイト) の大部分が、造礁作用の際に無化石岩に成り得ることを示した。しかし、長距離を運ばれる時にサンゴの破片が完全には保存されず、例えば他の岩石が近くに存在する時に、サンゴおよび貝殻などの物質の円磨された破片からなる細粒礫岩が (あるいは全く細粒の砂も) 生ずるに違いないことを特に考慮するならば、サンゴ石灰岩はサンゴ礁のかつての厚さの抛り所として見なし得るであろう。

サンゴの樹幹のかけらが、サンゴ堆の化石に大抵見出されるすべての遠隔的性質を失うことなしに、海岸からわずか 1 km 離れたところへ運ばれ得ることを認める時には、我々はすでに許される最大限を超えてしまっている。しかし、サンゴ石灰岩がそのようなものとして、かつてのサンゴ礁—その中で周囲の石灰岩と結合することが可能であった—からすべての側に 1 km も広がれば、サンゴ石灰岩の厚さは常におおよそかつてのサンゴ礁の厚さに対応しているに違いない。いくらか広がったサンゴ礁での仮の計算の試みによれば、それは古いサンゴ礁の高さの 0.6 ~ 0.8 倍になる。

多くのサンゴ石灰岩堆は相互に重なり合っているので、これらは多分 1 つのサンゴ礁に属している可能性があるが、それに対する地質学的—古生物学的根拠は、通常、ブルガリアの下部白亜系石灰岩の場合などのように、必ずしもその可能性に有利ではなく、むしろサンゴ礁の繰り返された再生に有利である。

デーナもまた、現在のサンゴ礁の大きな厚さが推定されている根拠がいかに薄弱であるかを、サンゴ礁の基盤を構成する島々の傾斜による計算から、確かに示したが、このことは今なお強調されなければならない。それゆえ、古い基盤山地が今なお海底の山頂を作っていることは、特に、多くの山頂を持つガンビア諸島〔南太平洋ポリネシア〕で非常に確からしいものになっている。

太平洋地域における沈降について私は、通常示されるような厚いサンゴ構成層はないと信じている。そして、南チロルのドロマイト礁も私は同様に考えているが、この造礁性サンゴについてはこれまで詳しく知られていない。このドロマイトが三畳紀に (多くは別々に) に生じたことはまさに以下に示されている (フォン・フリッチュ)。

<私の見解>

海岸と外縁礁の間の浅海域では、支配的な流れは、陸上を流れる淡水に類似した方式で、海底の地盤に浸食的に作用することはできないのだろうか？この方式では、海岸とそれに隣接するサンゴ礁の間のあれこれの深い水路は、存在しえないだろうか？さらに、非常に起伏に富む地勢の島の場合、それらの海岸の斜面が同じように海面下に続くことが認められるだろうか、あるいはここでもまた海底の起伏が、そのまま残されている時、深い鞍部や褶曲を示すことが、かえって本当らしくないだろうか？そのように問いつける時、結局多くの裾礁と海岸の間の深さ 15 ～ 40 ファーデン〔約 27 ～ 72 m〕の水路の現象を、沈降説のみが説明できるということは、かなり奇異なことなのか？

沈降説の正当性に関する最初でかつ非常に注目すべき疑問は、ゼンパーが表明した〔Semper, 1863, 1869〕。彼は、パラオ諸島を研究した際に、この諸島の北部に、小区域ではあるが、最近の隆起現象および様々な種類のサンゴ礁を発見したが、それらの現象は、彼の見解によれば、ダーウィン説によって説明することは不可能である⁹⁾。

造礁性サンゴの毎年の成長に関する今日までの局地的でかなり矛盾した観察からは、それは種類と所在に従って非常に様々であり、多くのイシサンゴおよび *Oculina* の場合、非常に好適な環境下では、例えば垂直方向に年 3.5 インチ〔約 8.9 cm〕の値を持つことのみが結論されているにすぎない。デーナは「これに関しても不確定性がいかに大きいか」、「しかし、サンゴ礁がその高さあるいは広がりを経極めてゆっくりと増大させていることは明らかである。」と言っている。それから彼は、厚さ 5 フィート〔約 1.5 m〕のサンゴ礁の生成には、1,000 年間、毎年 1/6 フィート〔約 5 cm〕の増大が必要だろうと計算している。

これ以後、近年造られたサンゴ礁の年代に関する確実な結論は、これが海に生息していた絶滅種を伴う様々な地層の化石サンゴ礁の際にはほとんど不可能であるように、決して引き出すことはできないので、その物理的性質は我々にそれほど未知なのか？それゆえ、サンゴ礁の成長に係る地質学的時間評価が、年に 1/6 フィート〔約 5 cm〕または 1/1 フィート〔約 30 cm〕という非常に疑わしい結果を与えるに違いないことは明らかである。

ダーウィンは、火口縁上の環礁の生成があり得るし、そして多分存在することを否定していない。同様に彼は、個々に存在する堆の上に成長するサンゴ礁には、環礁に似た生成が辛うじて認められるとしている。

「それゆえ、深海中に水没した、切り立った側面および平らな表面を持つ堆の数ファーデンの厚さのサンゴが成長

する時には、環礁とは区別できないサンゴ礁が生成するかもしれない。」

「しかし、この見解によれば、それぞれの個々の場合に基盤が平らな堆からなることが認められねばならない。なぜなら、それらが山体のように円錐状に形成されたとしたら、我々はなにゆえサンゴが中央部および最高部から成長しないで、側方から成長しなければならないのかという証拠を見出すことができない」(Darwin, 1842, p. 89)。

土台が造礁サンゴの移住に適している水深の直線状の堆であり、一側面が他の側面より強い大洋の波の打ち寄せがあると仮定すれば、どう見てもこの側面へのサンゴ動物の移住の可能性が、他の側面に向かうより、そしてそこに多分礁が孤立して存在するより、高い程度に与えられるだろう。これに対して、堆の方向の支配的波が両側からの波および餌を同様な仕方で供給するならば、サンゴ礁はあらゆる方向に発達し、そして同時に両側のサンゴ礁の風上側への結合が起こるだろう。決定的要素は一般に餌の供給である。この、ほぼ馬蹄形から輪状に閉じた礁湖までの形成については、さらなる進展はないだろう。

ダーウィン自身は、卵型および円形の環礁を単に線状のサンゴ礁の変形と見なしている。彼はさらに、貿易風にさらされる環礁グループでは、礁湖の中の船舶水路はほとんどいつも風下側か、あるいは貿易風にさらされていない側にあること、あるいはこれら水路はここでは全く見られないことを強調している。この事実は上記の説明と調和しているように見える。

それにもかかわらず、ダーウィンは彼の沈降説に固執したが、それはなぜかという、彼自身は、多数の海底の山および堆が存在し、それから多くの環礁の起源を導き出すことができるとは考えなかったからである。

しかし、マレイが強調するように、チャレンジャー号およびタスカローラ号²³⁾による海底の新しい系統的な探索—我々はまたこれらと同等のガツェーレ²⁴⁾の業績も忘れたくない—は、海面下 2,500 ～ 3,000 ファーデン〔約 4,500 ～ 4,800 m〕から数百ファーデンの深さにまで聳える多くの海底の高地を明らかにした。それらの高地が、マレイの言うようにすべて火山性でなければならないことは私には自明ではないが、ここではそれらの地質学的性質をさらに考察することはない。

私にとってより重要なのは、それらがグロビゲリナ軟泥および翼足類軟泥に被われること、ならびに「浅い水深で急速に死滅した珪藻殻および石灰殻がその上に堆積している事実である。このような堆積物が、造礁性サンゴの基盤として役立つほど十分に高く海面に現われるよりずっと前

に、それらは堆を造り、その上に多くの種類の有孔虫、海綿、腔腸動物、深海性サンゴ、環形動物、ウミトサカ類〔八放サンゴ〕、軟体動物、コケムシ類、棘皮動物などが成長する。そのように海底の山は次第に発達して、その上には最終的に造礁性サンゴの脚が根着き、そして環礁を造ることができる」〔Murray, 1880〕。

すでに以前に述べられたように、バミューダ諸島の大きな礁湖の中の多数の小さなサンゴ礁は、厚い外縁礁と同じ種類から構成されている。これと類似のことをデーナは南太平洋の様々な環礁の内部で認めた。しかし、小さな礁湖の存在と成長が、何よりも大きな外縁礁中の開かれた水路による食餌輸送に依存していることは、疑いを容れない。後者〔水路〕が多数存在すればするほど、それによって公海の食餌輸送水は自由に礁湖の中に入り込み、造礁性ポリプはここで容易に成長する。これに対して、この水路が塞がれるところでは、高潮が碎屑物と泥を礁湖のサンゴ礁の上に投ずるところと同様に、死がやって来る。

それゆえデーナは、ホンデン島（仏領ポリネシア、パウモツ）の礁湖でただ1つ生きている種類のサンゴを発見し、そして、海との接合が不完全であったため、すべての他の種類が消滅しただろうと述べた。しかし、閉ざされた礁湖でもまた、食餌輸送および清澄な水のほかに、温度と塩分の著しい変化がポリプ群体の生死を決することが可能である。

サンゴ礁の形態は、特に基盤の状態および食餌輸送の海流に依存している。環礁は、縁辺群体がより多く優先される結果として、より小さなサンゴ礁に覆われた表面から徐々に発達するが、これがすなわち弧状の山稜（火口縁あるいはその他の種類）を造礁者の移住のために提供する時には、それもまた地盤の形から直接に生ずるのである。

私は結論として、以下の文章において、前記の議論の要点をもう一度総括したい。

- 1) サンゴ礁地域内部の著しい沈降の仮定は、推定に基づくものであり、正確な観察によって支えられていない。それに基づいて計算された新期サンゴ礁の大きな厚さは虚妄であり、なんら実際の測定によって検証されていない。
- 2) サンゴ礁のすべての形態の産状および狭い地域内での最近の隆起現象は、ゼンパーがパラオ諸島北グループに関して示し、南太平洋のその他の地域でも十分に確かめられたように、ダーウィンの沈降説では説明できない。
- 3) いかなる地層にも、新期海底サンゴ礁に対して沈降説の信奉者によって認められ、計算されるような、おお

まかな厚さのサンゴ礁は存在しない。それゆえに、後者〔新期海底サンゴ礁〕の厚さは、第三紀およびそれより古い地質時代のサンゴ礁の厚さをおそらく超えることなく、これらと同様に 100 m よりずっと少ない値に留まるだろうと結論される。

- 4) [サンゴ礁の] 出現と特徴は、著しい沈降を承認することなしに説明される。なぜなら、同じものを海底山地の「戴冠」〔海底山地の埋積〕と見なすことは、より単純で自然だからである。これは個々の場合には絶えず埋積される島々であるかもしれないが、その多くは火山活動によって、あるいは他の方式によって、聳え立っているものであり、そしてその山頂は最後には動物・植物の遺骸の構築によって海面近くまで到達し、そこではそれから、造礁性ポリプが仕事を始めたということが、より本当らしい。
- 5) [サンゴ] 礁、特に環礁の形は、まず第1に、基盤の形および食餌輸送の種類に依存する。この2つの基本要素の導入は、島々の沈降〔という考え〕を導入するよりも、単純であり、自然である。
- 6) 今日までサンゴ礁で観察された成長現象は、サンゴ礁の成長期間の算出のための地質学的時間標準として役立つものではない。

原注

- 1) バミューダ諸島の地理的位置は、サンゴ礁を加えると、より正確に、北緯32° 13' 30" ~ 32° 30' 40", 西経64° 37' 25" ~ 65° 2' 20" となる。バミューダの公式名称は、より正確にはBermudasであるが、発見者のスペイン人によれば、Juan Bermudezである。
- 2) フランスの海図ではこの地点は「小バミューダ」と記されている。
- 3) Matthew Jones (1870) : The visitor's guide to Bermuda. London, Reeves & Turner.
- 4) 生きているサンゴ礁は、非常に凹凸のある表面およびすべての方向に向いた孔と空洞を示す。サンゴが死滅すると、表面の凹凸はその上に堆積した岩屑によってさらに平滑化され、空洞と管は充填される。浸透する水から沈殿した石灰質シンターは、初めは軟らかかった物質と固着したポリプ塊を接合させて、硬い岩石へとさらに変化させる。
- 5) "The structure and origin of Coral Reefs and Islands" (エジンバラ王立協会においてジョン・マレイ氏によって発表された論文の要旨). Nature, 12巻, August, 1880.
- 6) Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, 13巻, 553ページ [558-570ページの誤り] に掲載されたゼンパー博士の旅行記。
- 7) ここで誤解を避けるために、ダーウィンの沈降現象の極めて不確かな観察の理由として、非常に多くの確認された隆起現象を挙げているものを、私が完全に認めるということを、明確に指摘したい。私はまた、サンゴ海では海面変動が他の場と同様に生ずるが、沈降説が示す要求する規模および効果ほどには生じないと、信じている。
- 8) Dana: Corals and Coral-Islands. 127p., London, 1875.
- 9) Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie, 13巻, 563-569ページ およびSemperの"Die Philippinen und ihre Bewohner", 100-108ページ, Würzburg, 1869を見よ。

訳注

- *1 英国海軍のコルヴェット艦チャレンジャーVI号による1872～1876年の世界一周海洋探検。測深、生物と底質の採集、採水を行い、海洋の物理学・化学・地質学、特に動物学に貢献した(佐藤, 1996)。バミューダ諸島へは1873年4月4日に到着、21日まで滞在し、サンゴ、シダ類、ヒモムシなどを観察した。バミューダ諸島には同年5月31日～6月13日にも再訪した(西村, 1992)。
- *2 Wyville Thomson(1830–1882)。スコットランドの自然史研究者、海洋動物学者。特にウミユリの研究で有名。チャレンジャー号探検の団長を務め、同探検の全般的報告(Thomson, 1877)を出版した(西村, 1992)。
- *3 ラインは1862–1863年にバミューダ諸島〔英領〕総督のハリー・オード卿(1819–1895)の息子の家庭教師としてバミューダ諸島の首都ハミルトンに滞在し、この間の自由な時間を使って同諸島の自然地理および植物を研究した。
- *4 John Murray(1841–1941)。スコットランドの海洋学者、海洋生物学者。近代海洋学の開拓者の1人。チャレンジャー号探検の中心的な博物学者として活躍した。トムソンの死後、50巻もの探検リポートを完成させた(西村, 1992)。
- *5 von Willemoes-Suhm(1848–1875)。ドイツ人ナチュラリスト。チャレンジャー号探検に加わったが、航海中に病死した(西村, 1992)。日本に寄港した時、神戸でライン博士を訪問している(Nauheim *et al.*, 2021, p. 180)。
- *6 ポリプは、刺胞動物に見られる形態の基本形の1つで、固着生活をする個体型。体は円筒形(新村編, 1998)。
- *7 brainstone。人間の脳のような外形を持つサンゴの集合体(俗語)。
- *8 Johann Georg Adam Forster(1754–1794)。ポーランド生まれ、プロイセンの博物学者、民俗学者、旅行家。ジェイムス・クックの二度目の太平洋航海(1772–1775年)に参加。著作『世界一周旅行』(Forster, 1778)により近代の科学的旅行文学の創立者とされる。(https://ja.wikipedia.org/wiki/ゲオルク・フォルスター 閲覧日: 2025年3月29日)
- *9 Adelbert von Chamisso(1781–1838)。フランス生まれのドイツ人。植物学者としてロシアの探検船リューリクに乗り込み、世界一周をした。(https://ja.wikipedia.org/wiki/アーデルベルト・フォン・シャミッソー 閲覧日: 2023年12月4日)
- *10 Frederick William Beechey(1796–1856)。イギリスの海軍将校、地理学者。1825–1828年のイギリスの太平洋―ベーリング海峡の探検航海に船長として参加し、旅行記(Beechey, 1831)を残した。(https://ja.wikipedia.org/wiki/フレデリック・ウィリアム・ビーチャー 閲覧日: 2024年12月22日)
- *11 Jules Dumont d'Urville(1790–1842)。フランス人探検家、海軍士官。植物学者・地図製作者として南・西太平洋、オーストラリア、ニュージーランド、南極を探検した。(https://ja.wikipedia.org/wiki/ジュール・デュモン・デュルヴィル 閲覧日: 2024年10月18日)
- *12 Jean René Constant Quoy(1790–1869)。フランス人、フランス海軍の軍医、動物学者。ウラニー号太平洋探検航海(1817–1820年)およびアストロラーベ号探検航海に博物学者として参加した。(https://ja.wikipedia.org/wiki/ジャン・ルネ・コンスタン・クア 閲覧日: 2024年2月24日)
- *13 Quoyardの名は見つからない。サンゴのポリプに関しては、Quoy et Gaimard(1825)の研究があり、ラインは引用の際に“Gaimard”を“Quoyard”と書き間違えた可能性がある。
- *14 Christian Gottfried Ehrenberg(1795–1876)。プロイセンの医師、動物学者、植物学者。ベルリンのフンボルト大学教授。微古生物学・微植物学の開拓者。紅海のサンゴ礁を生理学的、分類学的に研究した。(https://ja.wikipedia.org/wiki/クリスチャン・ゴットフリート・エーレンベルク 閲覧日: 2024年2月24日)
- *15 James Dwight Dana(1813–1895)。アメリカ人地質学者、鉱物学者、ナチュラリスト。エール大学卒業後、海軍教官としてヨーロッパ各地を巡り、またWikes探検隊に加わって太平洋を周航。のちエール大学教授。結晶面記号法を考案、地向斜・地背斜の述語・概念を普及させた(今井, 1996)。
- *16 Carl Gottfried Semper(1832–1893)。ドイツ民族学者、動物生態学者。ハノーファー工業大学に勤務。1858年～1865年にフィリピンおよびパラオ諸島を調査旅行し、太平洋の民族の消滅した文化慣習を解明、出版した(Semper, 1863, 1869)。ドイツにおけるダーウィニズムの初期信奉者。(https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Semper 閲覧日: 2025年11月10日)
- *17 Edward Forbes(1815–1854)。イギリス人博物学者。北大西洋のヒトデ類の研究や地中海のドレッジ調査から、水深550 m以深では生物が存在しない帯があることを主張したが、その後彼の無生物帯は否定された。39歳の若さで生涯を閉じた(西村, 1992)。
- *18 Georg Ossian Sars(1937–1927)。ノルウェーの海洋生物学者。チャレンジャー号探検に参加し、甲殻類の研究を分担した(西村, 1992)。
- *19 William Benjamin Carpenter(1813–1885)。イギリスの近代生理学の創始者の1人。ロンドン大学などで生理学、法医学、博物学などを講じ、大西洋・地中海の有孔虫の研究でも功績を挙げた。チャレンジャー号探検の計画では中心的な役割を果たした(西村, 1992)。
- *20 ラインはこと少し後に“von Graf Pourtales”(ドイツ人貴族・外交官: 1853–1928)の名を挙げているが、これは“Luis François de Pourtales”(1824–1880)の間違いであろう。L. F. de プールタレスはスイス生まれのアメリカ人博物学者で、アメリカ沿岸測量部において海洋探査、特に深海のドレッジ調査を行い、多くのサンゴ生物種を研究した。『深海サンゴ』などの著書がある。アガシーの弟子の1人。(https://en.wikipedia.org/wiki/Louis_François_de_Pourtales 閲覧日: 2025年4月4日)
- *21 Karl Wilhelm Georg Freiherrn von Fritsch(1838–1906)。ドイツのハレ大学の鉱物学・地質学教授。ラインのモロッコおよびカナリア諸島の研究旅行に同行した。ラインの親しい友人の1人(Koch und Conrad, 2006, p. 28; 楠根, 2021)。
- *22 Franz Toula(1845–1920)。オーストリアの地質学者、鉱物学者、古生物学者。ウィーンの工科大学教授。1870年代、バルカン半島の地質を研究し、多くの著作を著した。(https://en.wikipedia.org/wiki/Franz_Toula 閲覧日: 2023年11月22日)
- *23 米国の測量船。1874–1876年に千島海溝のタスカローラ海淵(深度8,514 m)を発見した。
- *24 プロイセン王国海軍のアルコナ級フリゲート艦SMS Gazelleのこと。ガゼルとも呼ばれる。1862–1884年間、主に海外任務に就き、1870年代には民族学、動物学、海洋学的調査も行った。(https://en.wikipedia.org/wiki/SMS_Gazelle 閲覧日: 2025年3月21日)

謝辞：東京大学大学院新領域創成科学研究科の須貝俊彦氏からは Rein(1881) の原論文のコピーを、またポツダム・ヘルムホルツ研究所のアンドレアス・キュッパース氏からは Rein(1870) の原論文のコピーを、それぞれ頂いた。東北大学変動海洋エコシステム高等研究所の井龍康文氏からは、ライン論文(Rein, 1881)に頻出する専門用語の邦訳について貴重なご助言を頂いた。上記の各位に心からお礼申し上げる。

文 献

Beechey, F. W. (1831) *Narrative of a Voyage to the Pacific and Beering's Strait, to co-operate with the polar expeditions: Performed in His Majesty's Ship Blossom, under the command of Captain F. W. Beechey, R. N. in the years 1825, 26, 27, 28.* Henry Coburn and

- Richard Bentley, 493p.
- Chamisso, A. et Eysenhardt, K. W. (1821) De animalibus quibusdam e classe vermium Linneana, in circumnavigatione Terrae, auspicante Comite N. Romanoff, duce Ottone di Kotzebue, annis 1815–1818 peracta, observatis Fasciculus Secundus, reliquos vermes continens. *Nova Acta Physico-Medica Academiae Caesareae Leopoldino-Carolinae Naturae Curiosorum*, **10**, 343–373, Pl. 24–33.
- Dana, J. D. (1875) *Corals and Coral Islands*. London, 127p.
- Darwin, C. (1842) *Structure and Distribution of Coral Reefs*. Smith, Elder & Co., London, 227p.
- Ehrenberg, C. G. (1834) Beiträge zur physiologischen Kenntniss der Corallenthiere im allgemeinen, und besonders des rothen Meeres, nebst einem Versuche zur physiologischen Systematik derselben. *Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften*, Berlin, **1**, 225–380.
- Forster, J. R. (1778) *Observations Made during a Voyage Round the World, on Physical Geography, Natural History, and Ethic Philosophy*. G. Robinson, 649p.
- 今井 功 (1996) デーナ. 新版地学事典, 平凡社, 東京, 876.
- Jones, M. (1870) *The visitor's guide to Bermuda*. Reeves & Turner, London, 156p.
- Koch, M. und Conrad, S. (2006) Johannes Justus Rein. Briefe eines deutschen Geographen aus Japan, 1873–1875. *Monographie aus dem Deutschen Institut für Japanstudien*, IUDICIUM Verlag GmbH, München, 423p.
- 楠根重和 (2021) ヨハネス・ユストス・ラインの『日本日記』とは. 第39回ライン祭, ライン博士顕彰会, 364–382.
- Murray, J. (1880) On the structure and origin of coral reefs and islands. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, **10**, 505–518.
- Nauheim, T., Kusune, S. und Schenk, W. (2021) *Japan 1873–1875: Die Tagebücher des Bonner Geographieprofessors Johannes Justus Rein. Band 2*, E. Ferger Verlag, Bergisch Gladbach, 265p.
- 新村 出編 (1998) 広辞苑第5版. 岩波書店, 東京, 2988p.
- 西村三郎 (1992) チャレンジャー号探検 近代海洋学の幕開け. 中公新書 1101, 中央公論新社, 東京, 264p.
- Quoy, M. M. et Gaimard, J. P. (1825) Mémoire sur l'accroissement des Polypes lithophytes considéré géologiquement. *Annales des Sciences Naturelles*, **6**, 273–290.
- Rein, J. J. (1870) Beiträge zur physikalischen Geographie der Bermuda-Inseln. *Senkenbergischen Naturforschenden Gesellschaft zu Frankfurt am Main, Jahresbericht*, 1870, 140–158.
- Rein, J. J. (1873) Über die Vegetationsverhältnisse der Bermuda-Inseln. *Senkenbergische Naturforschenden Gesellschaft zu Frankfurt am Main, Jahresbericht*, 1873, 131–153.
- Rein, J. J. (1881) Die Bermuda-Inseln und ihre Korallenriffe, nebst einem Nachtrage gegen die Darwin'sche Senkengstheorie. *Verhandlungen des 1. Deutschen Geographentages*, Berlin, 29–46.
- 佐藤任弘 (1996) チャレンジャー探検. 地学団体研究会編, 新版地学事典, 平凡社, 東京, 825.
- Semper, C. (1863) Reisebericht. *Zeitschrift für wissenschaftliche Zoologie*, **13**, 558–570.
- Semper, C. (1869) *Die Philippinen und ihre Bewohner*. Würzburg, 100–108.
- 杉村 新 (2023) 大地の動きをさぐる. 岩波現代文庫, 社会 340, 岩波書店, 東京, 295p.
- Thomson, C. W. (1877) *The voyage of the 'Challenger'. The Atlantic. A preliminary account of the general result of the exploring voyage of H. M. S. 'Challenger' during the year 1873 and the early part of the year 1876*. 2 vols, Macmillan, London, 391p.
-
- YAMADA Naotoshi and YAJIMA Michiko (2025) Japanese translation of "Die Bermudas-Inseln und ihre Korallenriffe, nebst einem Nachtrage gegen die Darwin'sche Senkungstheorie" (Rein, 1881).
-

(受付: 2025年5月7日)

新刊 5 万分の 1 地質図幅「高見山」の紹介

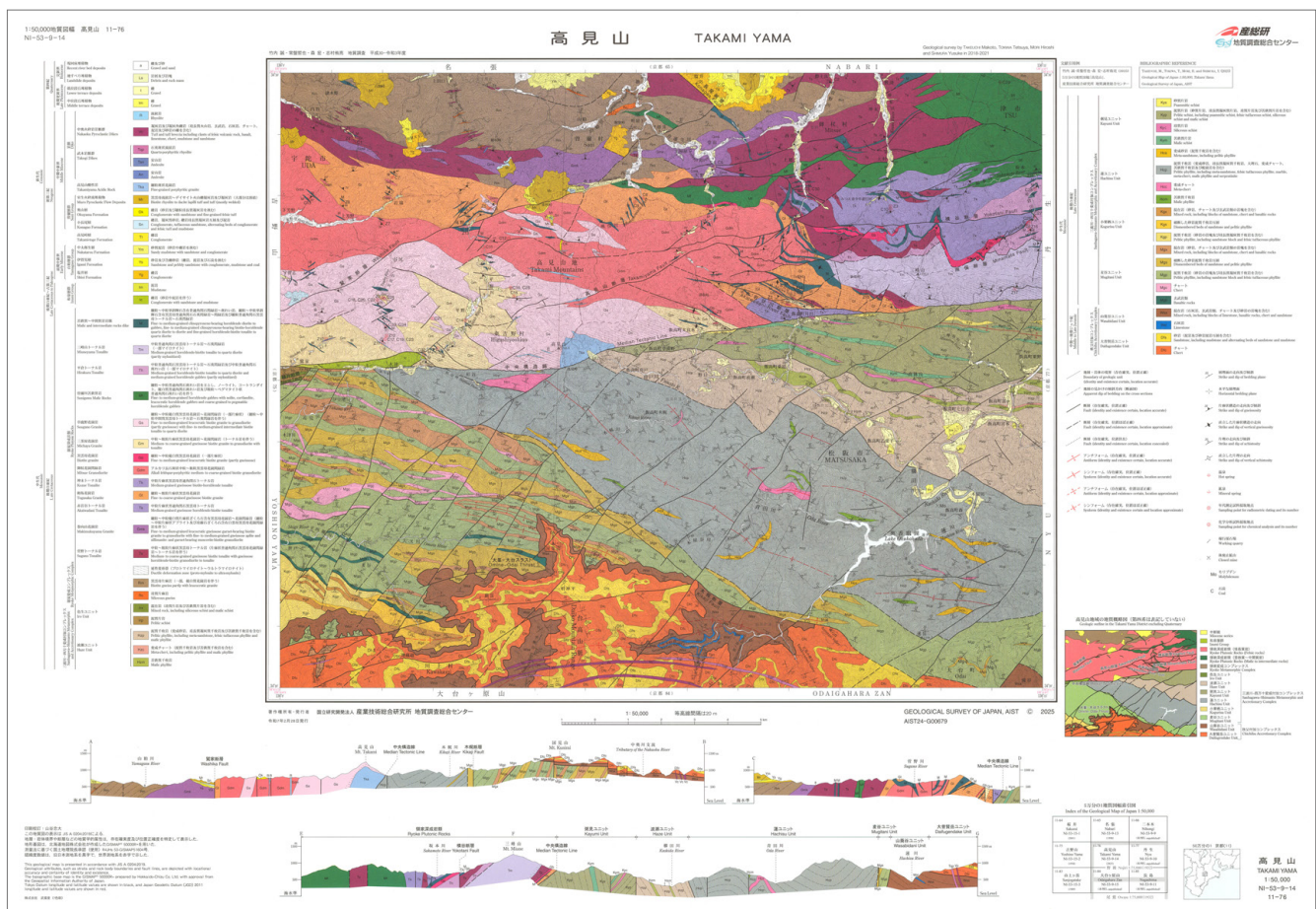
竹内 誠^{1,2}・常盤 哲也³・森 宏³・志村 侑亮¹

1. はじめに

国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センターでは、紀伊半島中央部、三重県松阪市西方の高見山地域の地質調査結果をまとめた地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅)「高見山」(竹内ほか, 2025)(以下「本図幅」という)を刊行しました(第 1 図)。5 万分の 1 地質図幅のデータは、最も詳細で位置精度の高い地質図であり、20 万分の 1 地質図幅や web 配信で全国を統一凡例で表示されるシームレス地質図等の基本データとなり、重要な位置付けにあります。

本図幅地域から東方の紀伊半島東部では、1932 年に刊行された 7 万 5 千分の 1 地質図幅「野後」(飯塚, 1932)以降、2017 年に刊行された 5 万分の 1 地質図幅「鳥羽」(内野ほか, 2017)以外に詳細な地質図は整備されていませんでした(第 2 図)。紀伊半島は日本最大の多雨地域で、豪雨時にはしばしば土砂崩れが発生し、社会活動に影響を及ぼしてきました。また、東南海地震想定震源域にも近いため、地震時の被害想定にも詳細な地質情報が必要になります。

この度、2018～2021 年にかけて当該地域の地表踏査を約 250 日間実施し、化学分析や年代測定などの室内作業による結果も合わせて、本図幅地域に分布する領家変成コ



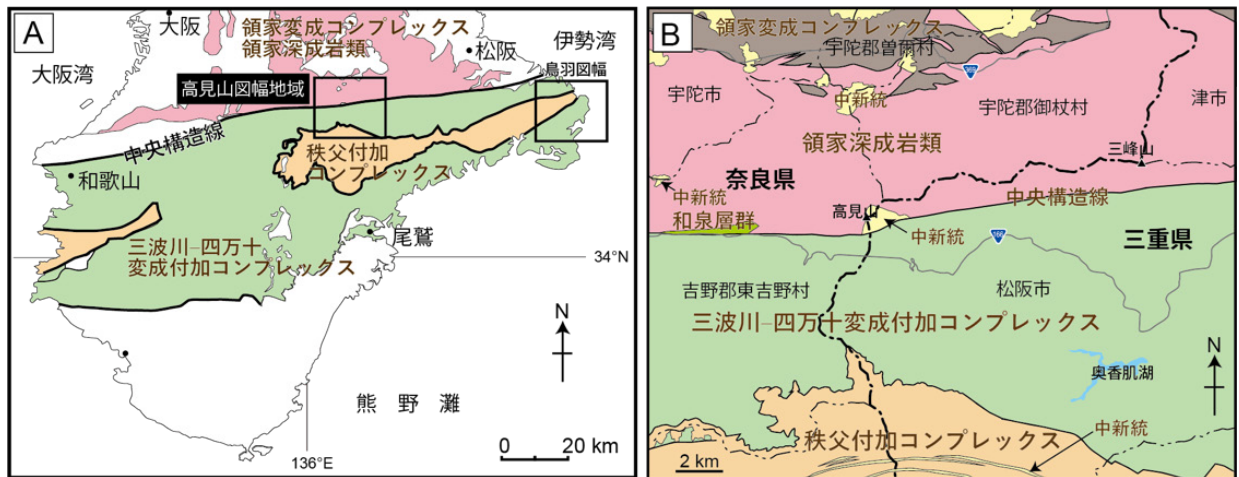
第 1 図 5 万分の 1 地質図幅「高見山」。

1 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2 名古屋大学 大学院環境学研究所 〒464-8601 愛知県名古屋市中千種区不老町

3 信州大学 学術研究院理学系 〒390-8621 長野県松本市旭 3-1-1

キーワード：1:50,000, 地質図幅, 高見山, 領家帯, 三波川帯, 四万十帯, 秩父帯, 白亜紀, ジルコン U-Pb 年代, 中央構造線



第 2 図 5 万分の 1 地質図幅「高見山」地域の位置図 (A) と地質概略図 (B)。

ンプレックスと領家深成岩類、三波川-四万十変成付加コンプレックスと秩父付加コンプレックスを基盤岩とする地質を詳細に明らかにして、精緻な地質図を作成し、その内容を本図幅としてまとめました。

2. 高見山図幅地域の地質

本図幅地域の中央部には、中央構造線と呼ばれる世界最大級の総延長約 1000 km の断層が東西に分布しています。中央構造線の北側には白亜紀の火成弧深部が隆起・削剥され露出した領家変成コンプレックスと領家深成岩類が、南側には白亜紀の付加コンプレックス及び変成コンプレックスからなる三波川-四万十変成付加コンプレックスが分布します(第 2 図)。

本図幅では、領家深成岩類 17 試料のジルコン U-Pb 年代測定を行い、岩相と年代に基づき岩体区分を行い、従来よりも詳細な地質図を作成しました。この結果、火成作用は 103 Ma 頃に始まり、93 Ma から 69 Ma までの間ほぼ連続的に起こったことがわかりました。

また、中央構造線南側の地層は、従来、四万十付加コンプレックスと三波川変成コンプレックスに区分されていましたが、本図幅地域では両者の変成度が漸移的に変化するため、両者を区分せずに三波川-四万十変成付加コンプレックスとしました。三波川-四万十変成付加コンプレックス中の碎屑性ジルコンの U-Pb 年代の年代構成や最若年代(志村ほか, 2017, 2018; Shimura *et al.*, 2019; Jia and Takeuchi, 2020)と岩相に基づいてユニット区分をしました。本図幅地域の最南部にはジュラ紀秩父付加コンプレ

ックスが分布します。秩父付加コンプレックスは水平な地質構造を呈し、白亜紀変成付加コンプレックスの構造的上位に大峯-大台スラストを介して接します。

本図幅地域の中央構造線は国の天然記念物に指定されている月出露頭で観察することができます(第 3 図)。中央構造線の活動は、後期白亜紀～古第三紀の左横ずれ断層運動と正断層運動が認識され(例えば、島田ほか, 1998; Wibberley and Shimamoto, 2003; Fukunari and Wallis, 2007; Shigematsu *et al.*, 2012), 領家深成岩類にはマイロナイト化が生じています(例えば、島田ほか, 1998; Shigematsu *et al.*, 2012; Bui *et al.*, 2023)。これら主要な活動の後には、多様な運動方向の活動も認識されています(例えば、梅田, 1973; 大平, 1982; Shigematsu *et al.*, 2017; Katori *et al.*, 2021)。

本図幅中央部の中央構造線沿いには新生代中新世に貫入した高見山酸性岩が分布し、その岩体からなる高見山(標高 1248.4 m)がひととき高くそびえています(第 4 図)。このような中新世の火山岩類は、本図幅北部の室生火砕流堆積物や南部の中奥火砕岩岩脈などとして分布します。

本図幅地域の中央構造線を活断層とする報告はありませんが、派生する断層も含めて、これまでの活動により広範囲の岩盤が破碎されています。そのため月出露頭でも断層岩の浸食・崩壊が激しくなっています。本図幅では中央構造線から派生する断層の詳細な分布も明らかにしています。断層の分布や地質構造などの地質災害に関する地質情報を集約した本図幅は、本図幅地域における防災・減災、土木・建築などへの活用だけでなく、学術研究の基礎資料としての活用も期待されます。



第3図 (A) 中央構造線月出露頭。白矢印が断層面。飯高町月出の月出川流域のワサビ谷流域。(B) 中央構造線月出露頭。明瞭な境界(白矢印)を有し、写真左の灰白色部が領家深成岩類のマイロナイト、右の黒色部が粥見ユニットの泥質岩を原岩とする断層岩。飯高町月出の月出川流域。



第4図 中央構造線沿いの東西性の谷と高見山(中央奥の三角の山)。高見山は中央構造線沿いに貫入した中期中新世高見山酸性岩からなる。高見山図幅西部の新木津トンネル上部の道路よりドローンにて東方面を撮影。写真は名古屋大学大学院生(当時)の李 雨嘯氏から提供を受けた。

3. 入手先

本図幅は、産総研地質調査総合センターのウェブサイトからダウンロードできます(<https://www.gsj.jp/Map/JP/geology4.html> 閲覧日: 2025年5月9日)。また、産総研が提携する委託販売先から購入することも可能です(<https://www.gsj.jp/Map/JP/purchase-guide.html> 閲覧日: 2025年5月9日)。

文 献

Bui, D. V., Takeshita, T., Ando, J., Yamamoto, T., Huang, W., Yeo, T. and Czertowicz, T. A. (2023) Development of the Median Tectonic Line-related shear zone, southwest Japan: An analysis of strain localization processes. *Tectonophysics*, **850**, 229751. doi:10.1016/j.tecto.2023.229751

- Fukunari, T. and Wallis, S. R. (2007) Structural evidence for large-scale top-to-the-north normal displacement along the Median Tectonic Line in southwest Japan. *Island Arc*, **16**, 243–261.
- 飯塚保五郎(1932) 7 万 5 千分の 1 地質図幅「野後」及び同説明書. 地質調査所, 33p.
- Jia, S. and Takeuchi, M. (2020) Sedimentary history and provenance analysis of the Sanbagawa Belt in eastern Kii Peninsula, Southwest Japan, based on detrital zircon U–Pb ages. *Journal of Asian Earth Sciences*, **196**, 104342. doi:10.1016/j.jseaes.2020.104342
- Katori, T., Shigematsu, N., Kameda, J., Miyakawa, A. and Matsumura, R. (2021) 3D fault-zone architecture across the brittle–plastic transition along the Median Tectonic Line, SW Japan: Fault-rock characterization. *Journal of Structural Geology*, **153**, 104446. doi:10.1016/j.jsg.2021.104446
- 大平芳久(1982) 紀伊半島中央部・高見山北方地域の領家帯の地質. 地質学雑誌, **88**, 467–481.
- Shigematsu, N., Fujimoto, K., Tanaka, N., Furuya, N., Mori, H. and Wallis, S. (2012) Internal structure of the Median Tectonic Line fault zone, SW Japan, revealed by borehole analysis. *Tectonophysics*, **532–535**, 103–118.
- Shigematsu, N., Kametaka, M., Inada, N., Miyawaki, M., Miyakawa, A., Kameda, J., Togo, T. and Fujimoto, K. (2017) Evolution of the Median Tectonic Line fault zone, SW Japan, during exhumation. *Tectonophysics*, **696–697**, 52–69.
- 島田耕史・高木秀雄・大澤英昭(1998) 横ずれ圧縮場における地質構造発達様式：紀伊半島東部，領家帯南縁部のマイロナイト化と褶曲形成の時空関係. 地質学雑誌, **104**, 825–844.
- 志村侑亮・常盤哲也・竹内 誠・山本鋼志(2017) 紀伊半島中央部に分布する四万十帯白亜系麦谷層の地質と砕屑性ジルコン U–Pb 年代. 地質学雑誌, **123**, 925–937.
- 志村侑亮・常盤哲也・竹内 誠・山本鋼志(2018) Erratum：紀伊半島中央部に分布する四万十帯白亜系麦谷層の地質と砕屑性ジルコン U–Pb 年代. 地質学雑誌, **124**, 776.
- Shimura, Y., Tokiwa, T., Takeuchi, M., Mori, H. and Yamamoto, K. (2019) Lithological, structural, and chronological relationships between the Sanbagawa Metamorphic Complex and the Cretaceous Shimanto Accretionary Complex on the central Kii Peninsula, SW Japan. *Island Arc*, **28**, e12325. doi:10.1111/iar.12325
- 竹内 誠・常盤哲也・森 宏・志村侑亮(2025) 高見山地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅). 産総研地質調査総合センター, 118p.
- 内野隆之・中江 訓・中島 礼(2017) 鳥羽地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 地質図幅), 産総研地質調査総合センター, 141p.
- 梅田甲子郎(1973) 紀伊半島中部の中央構造線. 杉山隆二編, 中央構造線, 東海大学出版会, 139–147.
- Wibberley, C. A. J. and Shimamoto, T. (2003) Internal structure and permeability of major strike-slip fault zones: the Median Tectonic Line in Mie Prefecture, Southwest Japan. *Journal of Structural Geology*, **25**, 59–78.

TAKEUCHI Makoto, TOKIWA Tetsuya, MORI Hiroshi and SHIMURA Yusuke (2025) Introduction of new Geological Map of Japan 1:50,000 Takamiyama.

(受付：2025 年 5 月 15 日)

構造色がつくる輝く火山噴出物 —噴火堆積物から見いだされた「虹色スコリア」 の発色原理を説明—

松本 恵子^{1,2}※本稿は、2025 年 2 月 19 日に行ったプレス発表（https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2025/pr20250219/pr20250219.html）に加筆し、再編したものです。

1. はじめに

私たちは、虹色光彩を示す火山噴出物（スコリア）の詳細な観察と分析を行い、虹色光彩は噴出物表面の微細組織から生じた構造色^{*1}であることを世界で初めて明らかにし（第 1 図）、論文として公表しました（松本・川崎、2025a）。この論文の内容を分かりやすくご紹介します。なお、本稿は 2025 年 2 月に産業技術総合研究所が行ったプレスリリース、及び IEVG ニュースレター（松本・川崎、2025b）を修正・加筆したものです。

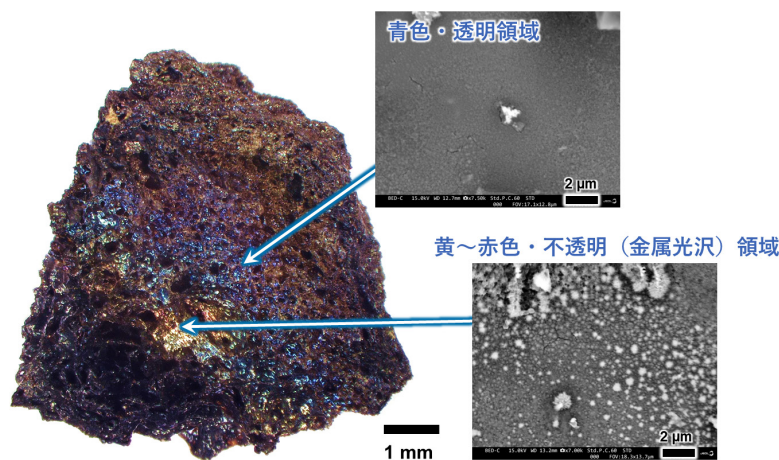
火山の爆発的な噴火の際に生成される空隙の多い噴出物のうち、黒っぽい色のものをスコリアと呼びます。スコリアは、玄武岩質から安山岩質のマグマの噴火で多く見られ、その化学組成を反映して黒色や灰色、また長時間高温で酸化した場合は赤褐色を呈していますが、中には青色や虹色に輝く光彩を示すものがあります。このような光彩を持つスコリアはしばしば見つかりますが、光彩そのものについて詳細な科学的分析や成因解明は行われていませんで

した。

今回、伊豆大島の 1986 年噴火の火山噴出物のうち、虹色光彩を示すスコリアの表面と断面の詳細な観察と分析を行いました。その結果、スコリア表面に可視光波長程度のサイズの微細組織を認め、虹色光彩はその微細組織で生じた構造色であることを世界で初めて明らかにしました。また、微細組織は火山噴火の際に噴煙柱^{*2}内部の高温ガス環境下で形成されたことが分かりました。本研究により、スコリアの構造色の分析が火山の噴火過程の詳細を知る手がかりになることが期待されます。

2. 研究の社会的背景

火山噴火は地下のマグマが地表に出る現象で、噴火の際には溶岩や火山灰、火山礫^{れき}といったさまざまな火山噴出物が地表や大気中に放出されます。火山噴出物はマグマが地表に出る時や噴煙柱内を上昇する時に冷えて固まったり砕けたりして形成されるため、噴火前のマグマの温度や圧



第 1 図 伊豆大島 1986 年噴火（B 火口）の虹色光彩が発現したスコリア。各色領域の電子顕微鏡像には微細な組織が見られる。

1 産総研 地質調査総合センター研究企画室

2 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード：構造色、虹色、火山、噴火、伊豆大島

力、そして地表に移動して堆積する間のそれらの変化や化学反応の情報を含んでいます。そのため、噴出物やそれに含まれる鉱物などの化学組成、鉱物の形や鉱物同士の配列といった組織を分析することで、マグマの蓄積条件や噴火の際の上昇過程だけでなく、噴煙柱内部の温度やガス組成など噴火の際の物理化学的変動を調べることができます。

マグマの蓄積、噴出、固化と多くの過程を経て形成される火山噴出物では、黒色や灰色、赤褐色などの色彩が観察されます。このような色彩は、特定の波長の光を噴出物内部のガラスや鉱物を構成する分子が吸収して生じている物質色であり、噴出物の化学組成や鉱物の種類を反映しています。一方、スコリアの中には虹色に輝く光彩を示すものがあります。昆虫や鳥、CDなどの光学ディスクやシャボン玉など、身近なものにも見られる虹色に輝く光彩は、物質表面の微細な構造で光が回折や干渉、散乱して生じる構造色です。これまで火山噴出物に見られる虹色の光彩については、詳細な科学的分析や成因説明は行われていませんでした。

3. 研究の経緯

産総研では、これまで火山噴出物やそれに含まれる鉱物の化学組成の分析から、噴火前のマグマだまりの温度、圧力、揮発性成分(火山ガス)組成といった物理化学条件を推定したり、火山灰の化学組成分析や組織解析を噴火時系列に沿って行い、噴火様式の変遷を引き起こすマグマの上昇過程を明らかにしたりする研究を行ってきました。今回、噴火の時系列が詳しく判明しており、かつ堆積物と対比可

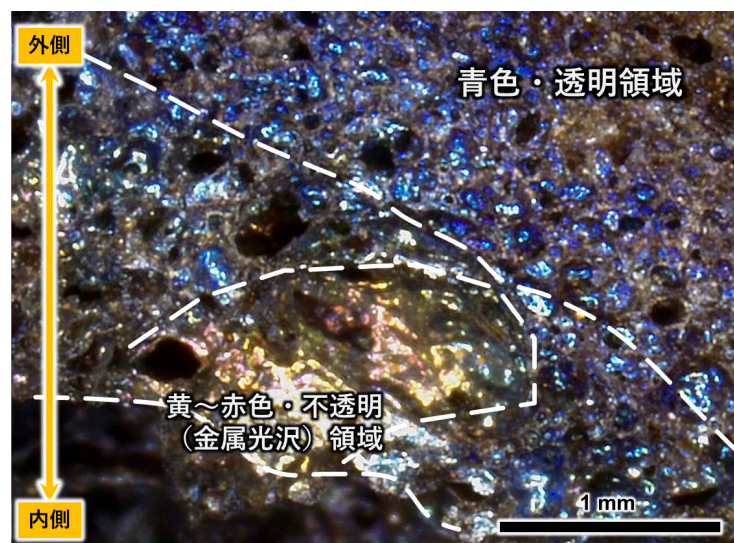
能な1986年伊豆大島噴火のうち、B火口の噴火の堆積物に見られる虹色に輝く光彩に着目し、その光彩が生じる原因を検討しました。

4. 研究の内容

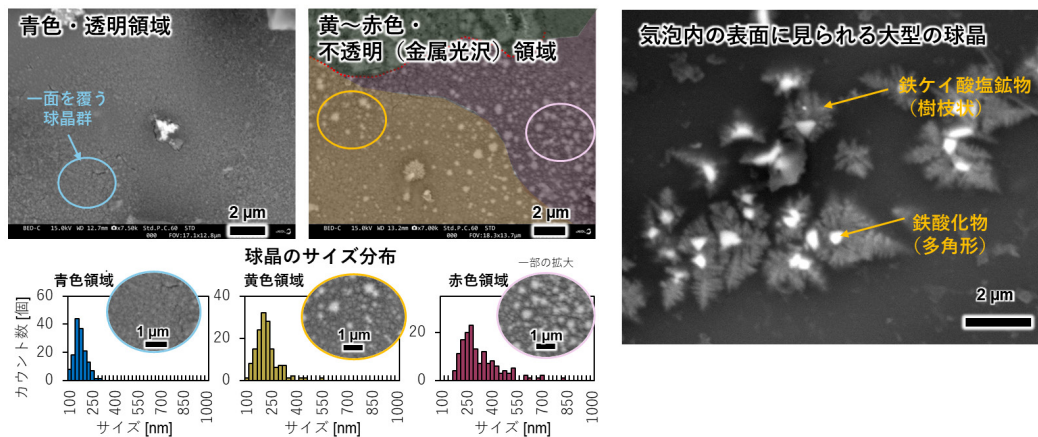
今回の研究では、「火山噴出物のよくある見た目の一つ」と見過ごされ、詳細な科学的分析や成因説明が行われていなかった虹色光彩が、極めて特殊な特徴ではないかと考えました。スコリアに形成された構造色の物質的な成因を解明するだけでなく、その特徴が火山噴火ダイナミクスの理解につながることを示しました。

伊豆大島は、1986年、三原山山頂のA火口と、側方のB・C火口と呼ばれる割れ目火口から噴火しました。特にB火口の噴火は規模が大きく、噴煙高度は最高で16,000 mに達しました。本研究の虹色スコリアは、B火口噴火の最初期の堆積物に見られます。観察には、肉眼で光彩が見られるものを選択しました。なお、伊豆大島はそのほとんどの地域が環境省の国立公園に指定されており、サンプル採取には環境省の許可が必要です。

スコリアの虹色光彩は、スコリア粒子の外側から内側にかけて、青色で透明な領域から黄～赤色で不透明(金属光沢)な領域に遷移していました(第2図)。この光彩は観察角度によらず、同じ領域で同じ色を示します。スコリア表面の電子顕微鏡による観察では、それぞれの領域の表面に金平糖のような細粒の結晶(球晶^{*3})が群れのように密に分布していました(第3図左上、電子顕微鏡写真)。球晶のサイズは可視光の波長よりやや短い程度で、青色領域で小



第2図 伊豆大島1986年噴火のスコリアの虹色光彩部分の拡大図。



第3図 (左) 虹色光彩が見られる各領域の表面の電子顕微鏡像とその球晶サイズ分布。(右) スコリアの気泡表面に分布する多角形の鉄酸化物と樹枝状の鉄ケイ酸塩鉱物。

さく、黄色、赤色領域へと色変化するとともに、サイズも大きいものに変化していました(第3図左下)。スコリア表面及び断面の観察とX線元素マッピングから、個々の球晶は多角形の鉄酸化物とそこから伸長した鉄を含むケイ酸塩の樹枝状結晶から構成されることが判明しました(第3図右)。また、この球晶のほかに、マグネシウムやカルシウムを含む鉱物が結晶化していた可能性があることが分かり、スコリア表面付近のガラスにナトリウム、マグネシウム、カルシウムなどの元素がより多く濃集している様子も観察できました。

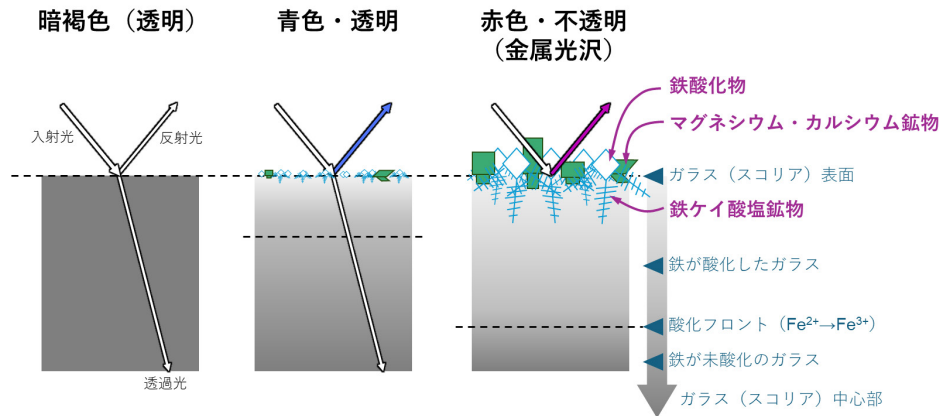
第3図に見られるような複雑な組織について、本研究では、先行研究による玄武岩質ガラスの加熱酸化実験を参考に組織形成メカニズムを推定しました。スコリア表面の鉱物種の組み合わせ・鉱物の形状・ガラス内部の元素分布は、ナトリウムを比較的多く含むスコリアが、硫酸ガスを含んだ酸化的な高温のガスと化学反応することで生じます。スコリアに含まれる鉄が酸化された結果、ガラスをつくる分子のネットワークが組み替わり、ガラスに含まれていたほかの元素が拡散できるようになったことで、スコリアの表面付近に特定の元素が濃集するとともに、複数の鉱物が結晶化したと推定されます。多角形の結晶はこの時に生じたと考えられます。その直後に急速に冷却されたため、さらに樹枝状の結晶が生じたと説明できます。

噴出物がこのような特殊な高温ガス環境と冷却過程を経験できるのは、噴火の“瞬間”に火山噴煙が立ち上る領域(噴煙柱)内部であると考えられます。本研究の虹色スコリアは、伊豆大島B火口の爆発的な噴火のうち、最初期の噴出物にのみ観察され、一連のB火口噴火の最盛期に見られる赤褐色のスコリアとは明確に異なります。すなわち、1986

年噴火の場合、虹色スコリアは特殊な高温ガス環境の指標であるといえます。この結果は、野外での噴出物観察により、観測例のない噴火における噴煙柱内部の温度・ガス環境の推移を追えるようになる可能性を示しており、いまだ挙動が解明されていない火山噴煙のダイナミクスの理解につながる成果です。

さらに、スコリア表面の複雑な組織が虹色光彩を発現するメカニズムについても考察しました(第4図)。まず、観察した青色・透明領域と黄～赤色・不透明(金属光沢)領域に鉱物やガラスなど構成物質の違いがなかったことから、虹色光彩は物質色ではなく構造色といえます。虹色光彩のうち、透明か不透明(金属光沢)かは、球晶を構成する鉄酸化物のサイズや数の違いを反映していると考えられます。また、観察角度によらず同じ領域で同じ色を呈することは、“要素”がランダムに配列して生じる単色の構造色であることを示します。虹色スコリアにおいてこの特徴を生じる“要素”は球晶群の分布だと考えられ、色の違いは、個々の球晶サイズや球晶同士の間隔などを反映したものと推測されます。スコリアの外側から内側にかけて青、黄、赤へと移り変わるのは球晶サイズの増大を反映しており、大きいほど結晶の成長時間が長かったと考えられることから、スコリア粒子の外側からの冷却を反映していることを示しています。

本研究により、虹色スコリアの構造色を発現する微細組織の様相と、形成メカニズムが明らかになりました。さらに、虹色スコリアは噴火という極限環境での特殊な過程で初めて形成されることが分かり、無機物質の新しい発色技術の開発につながる可能性があります。



第4図 スコリア表面の微細組織と構造色の原因の模式図。

5. 今後の予定

伊豆大島 1986 年噴火のスコリアの詳細な鉱物分析、噴火の推移に沿ったスコリアの特徴の変化、及び他の火山・他の噴火様式で生じた虹色スコリアとの比較から、計測機器で直接測定できない噴煙柱内部の物理化学的条件の差異や変動を明らかにしていきます。火山噴火という極限環境を経験した岩石の動的な形成プロセスを解明していくことで、過去の噴火のダイナミクスの解明を進めます。また、より高分解能な顕微鏡などを用いて構造色が生じる微細組織の光学的仕組みを理解し、新たな機能性材料開発に役立つ知見を提供します。

論文情報

掲載誌：岩石鉱物科学

タイトル：虹色スコリアの構造色を生む微細組織：伊豆大島 1986 年噴火における成因

著者名：松本恵子・川崎誠二

DOI：10.2465/gkk.240806

用語解説

※ 1 構造色

物質内部での光の吸収などの結果生じる物質の固有色ではなく、物質の成す構造や微細組織に基づく光の物理的作用による発色をいう。構造色を引き起こす主な微細組織には、薄膜(シャボン玉など)、厚さ方向(多層膜、真珠層など)や水平面(回折格子、CDの光学ディスクなど)の2次元周期構造、3次元周期構造(オパール、フォトニック結晶な

ど)などがある。

※ 2 噴煙柱

マグマの破片(火砕物)を多量に噴出する爆発的な噴火で、火砕物と火山ガスに地表の大気が混合して形成する、火口から立ち上る噴煙部分。噴火の際の推進力を維持しており、火砕物と火山ガスは比較的高温を保っている領域であると考えられている。噴煙柱が成層圏まで達すると、噴煙は成層圏と平行に拡散して傘型噴煙領域を形成する。この領域では、噴煙内部の火砕物の温度は周囲とほとんど同じ程度まで低下していると考えられている。

※ 3 球晶

結晶核を中心に結晶が放射状に伸長し球状に発達した多結晶の集合体。

文 献

松本恵子・川崎誠二(2025a) 虹色スコリアの構造色を生む微細組織：伊豆大島 1986 年噴火における成因。岩石鉱物科学, 54, 240806.

松本恵子・川崎誠二(2025b) 構造色がつくる輝く火山噴出物—噴火堆積物から見いだされた「虹色スコリア」の発色原理を解明—. IEVG ニュースレター, 12, no. 1, 4-8.

MATSUMOTO Keiko (2025) Rainbow brilliance of volcanic ejecta created by structural color: uncovering the coloration mechanism of “rainbow scoria” during an eruption.

(受付：2025 年 6 月 10 日)

埼玉県主要部の地下の軟弱層の分布を 3次元で可視化 —埼玉県南東部の3次元地質地盤図の公開—

米岡 佳弥¹・野々垣 進¹・中澤 努¹・小松原 純子^{1,2}

※本稿は、2025年4月24日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2025/pr20250424/pr20250424.html) に加筆し、再編したものです。

1. ポイント

- 1万地点以上の調査データをもとに埼玉県南東部の地下地質構造を3次元で可視化
- さいたま新都心をはじめとする埼玉県主要部の地下の軟弱層分布が明らかに
- ハザードマップ作成や都市インフラ整備等での活用を期待

2. 研究背景

国立研究開発法人 産業技術総合研究所(以下「産総研」という)は、埼玉県南東部の地下地質構造を3次元で詳細に可視化する都市域の地質地盤図「埼玉県南東部」を公開しました。埼玉県南東部は、首都東京に隣接し、都市化が著しい地域であり、さいたま新都心を擁する行政的にも商業的にも重要な地域です。いつ起きてもおかしくないとされる首都直下地震において、大きな被害が想定される地域でもあります。

3. 研究内容 (第1図)

産総研は、埼玉県環境科学国際センターの協力のもと、1万地点以上に及ぶボーリング調査データの解析により、埼玉県南東部の地下数十メートルまでの地質構造を可視化しました。その結果、低地の地下に昔の谷を埋めるように分布する軟弱な沖積層の3次元分布形状を詳細に描き出すことができました。また一般に地盤が良いとされる台地の地下にも沖積層に似た軟弱な地層が分布することが明らかになりました。軟弱層は地震の揺れを増幅させたり、地盤沈下の原因にもなります。このような地層の3次元分布形状を示した地質地盤図は、ハザードマップ作成や都市計画、土木・建築にかかる設計等への活用が期待されます。

3.1 低地の地下の軟弱な沖積層

埼玉県南東部の低地には沖積層と呼ばれる軟弱な地層が分布します。沖積層は、最終氷期(最盛期は約2万年前)に形成された谷地形を埋めるように分布することが従来から知られていましたが、今回大量のボーリング調査データの解析により、この沖積層の3次元の分布形状を詳細に描き出すことができました(第1図C)。また地域ごとの沖積層の特性をみると、荒川低地の沖積層は泥層を主体としながらも砂層をやや多く含む傾向があり(第2図A)、深度30mまでの平均 N 値は10前後が多いことがわかりました(第2図B)。一方で中川低地では泥層が卓越し、深度30mまでの平均 N 値は5以下(多くは3以下)で、極めて軟弱な地盤からなることが明らかになりました(第2図B)。

3.2 台地の地下の軟弱な^{きおろし}木下層下部

一般に低地に比べて台地は地盤が良いとされ、大宮台地においても多くの部分で高い N 値を示します。一方で今回大量のボーリング調査データの解析により、荒川低地と中川低地に挟まれた大宮台地の地下にも軟弱層(木下層下部)を見だし、この軟弱層についても詳細な3次元の分布形状を描き出すことができました(第1図D)。大宮台地の地下の軟弱層は、沖積層が埋積する谷よりも古い、約14万年前の氷期に形成された谷を埋めるように分布しています。台地の地下に軟弱層が厚く分布するさいたま市浦和区から大宮区にかけての地域は、台地でありながら深度30mまでの平均 N 値が10前後と、荒川低地とあまり変わらない値を示すことが明らかになりました(第2図B)。

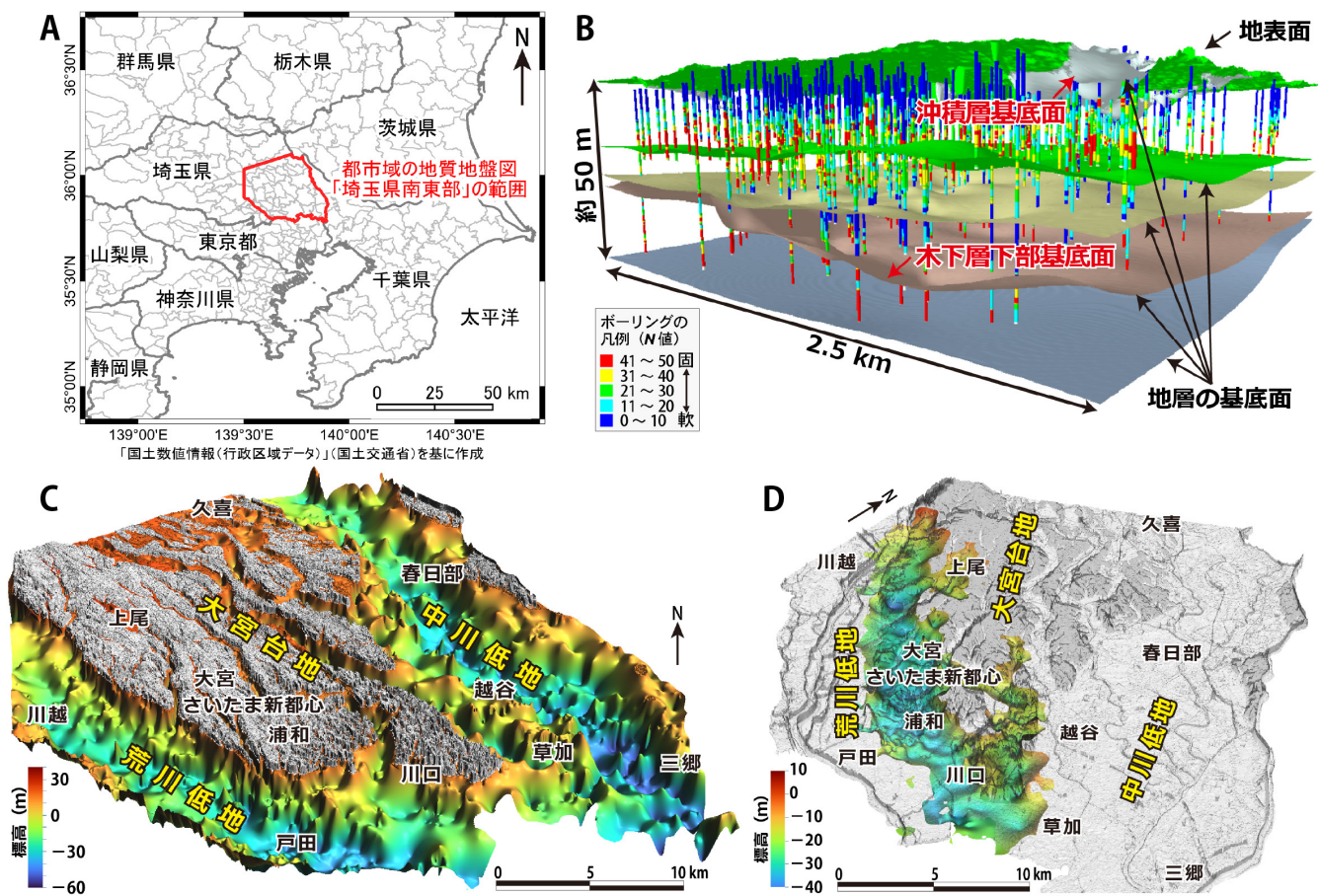
入手先

本地質地盤図は、産総研地質調査総合センターのウェブサイト「都市域の地質地盤図」から閲覧できます(<https://gbank.gsj.jp/urbangeol/> 閲覧日:2025年10月31日)。

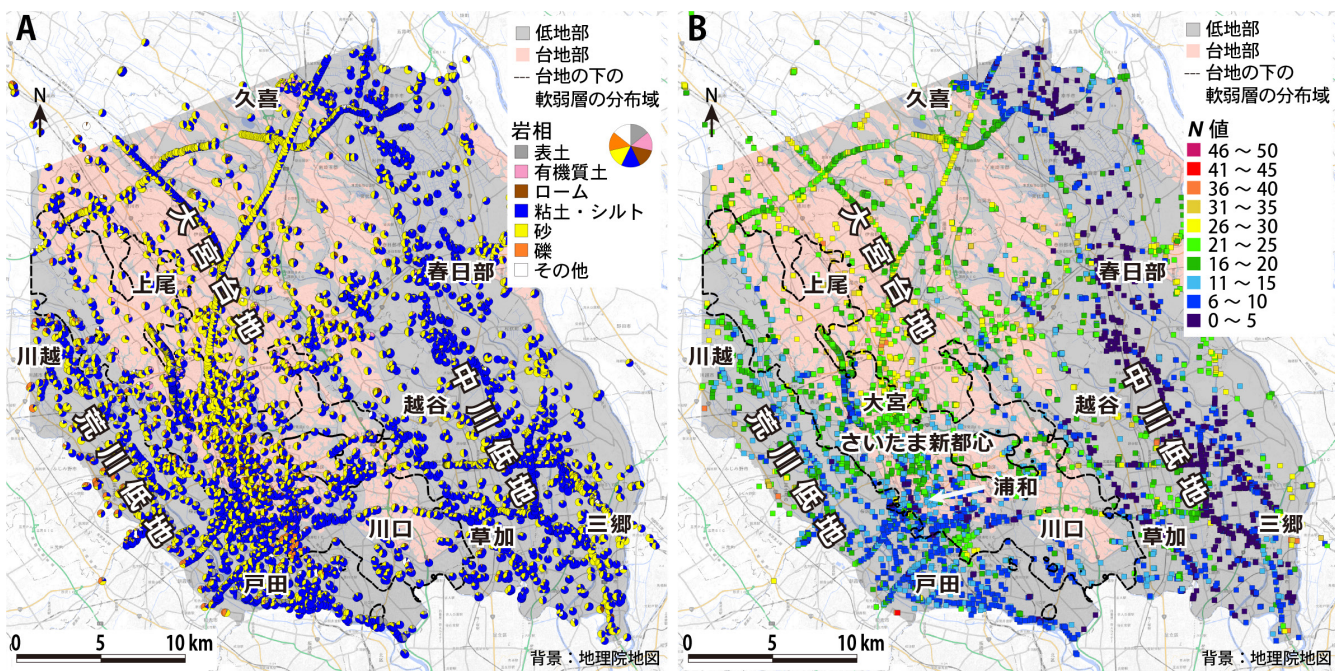
1 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

キーワード: 都市域の地質地盤図, 埼玉県南東部, 軟弱層, 可視化, 沖積層, 木下層下部, N 値



第1図 (A)都市域の地質地盤図「埼玉県南東部」の位置図、(B)さいたま新都心周辺の地質立体図、(C)低地の下の軟弱層(沖積層)基底面の3次元分布形状、(D)台地の下の軟弱層(木下層下部)基底面の3次元分布形状。



第2図 (A) ボーリング地点における深度 30 m までの岩相構成, (B) ボーリング地点における深度 30 m までの平均 N 値.

用語解説

都市域の地質地盤図

ボーリングデータ等をもとに都市域の地下の地層の分布を3次元解析することによって作成した地質図のシリーズ。地層の3次元の分布形態を平面図・断面図・立体図で表示したり、解析に使用したボーリングデータを閲覧することができる。これまでに都市域の地質地盤図は、首都圏を中心に「東京都区部」「千葉県北部地域」が公開され、「埼玉県南東部」はシリーズ3作目となる。

低地

河川沿いや沿岸域に広がる標高の低い平坦な土地。河川や沿岸域の堆積作用により形成される。埼玉県南東部では、中川・古利根川沿いの「中川低地」、荒川沿いの「荒川低地」のほか、台地を開析する小河川沿いにも狭い低地（谷底低地）が分布する。

沖積層

最終氷期最盛期（約2万年前）以降に河川沿いや沿岸域に堆積した地層。新しい時代に形成された地層で、水分を多く含むため、軟らかいことが多い。低地の地盤を構成し、東京下町から埼玉県南東部の低地の地下には、最終氷期に形成された深い谷を埋めて沖積層が厚く分布している。

台地

地盤の隆起あるいは海面の低下により河川の侵食（下刻）がすすみ、河川沿いの低地よりも高くなった平坦な地形を指す。段丘ともいう。埼玉県南東部では、さいたま市域を中心に「大宮台地」が発達している。低地よりも古い時代の地層で構成され、大宮台地は主に10万年前よりも古い時代の地層により構成されている。

最終氷期

約70万年前以降の地球は、およそ10万年のサイクルで氷期（氷河期）と温暖な間氷期（氷期の間の意）を繰り返してきた。一番新しい氷期は11.5万～1.17万年前であり、最終氷期と呼ばれる。最終氷期の最盛期は約2万年前とされ、氷床の発達により地球上の海水が減少し、海面は現在よりも120～130mも低かった。そのため河川の侵食により各地に深い谷が形成された。

N値

地盤の強度等を調べる標準貫入試験の値。63.5kgのおもりを76cmの高さから落として、地面に垂直に立てたロッドの頭をたたき、ロッドの先端に付けたサンプラーが地盤に30cm貫入するのに必要なおもりの落下回数をN値として表す。N値が大きいほど固い地盤、小さいほど軟らかい地盤を示す。新しい時代の泥層はN値が小さい（軟らかい）ことが多く、それに比べて砂層や礫層はN値が大きい（固い）傾向にある。

木下層

関東平野に分布する、12～13万年前頃の温暖期（間氷期）に堆積した主に海成層からなる地層。千葉県印西市木下で模式的に観察できることから「木下層」と呼ばれる。木下層は下部と上部に分けることができ、上部は関東平野に広く分布するが、下部は昔の谷を埋めるように局所的に分布することが知られる。この木下層下部が軟弱な泥層からなることが多い。

YONEOKA Keiya, NONOGAKI Susumu, NAKAZAWA Tsutomu and KOMATSUBARA Junko (2025) 3D visualization of the distribution of soft strata beneath the main part of Saitama Prefecture —Release of the 3D Urban Geological Map of the Southeastern Area of Saitama Prefecture—.

（受付：2025年6月10日）

月の宝探し： ハイパースペクトルリモートセンシング技術を 駆使した月の資源鉱物マッピング

山本 聡¹・松岡 萌¹・長岡 央²・大竹 真紀子^{3,4}・池田 あやめ¹

※本稿は、2025 年 3 月 17 日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2025/pr20250317_2/pr20250317_2.html) に加筆し、再編したものです。

1. はじめに

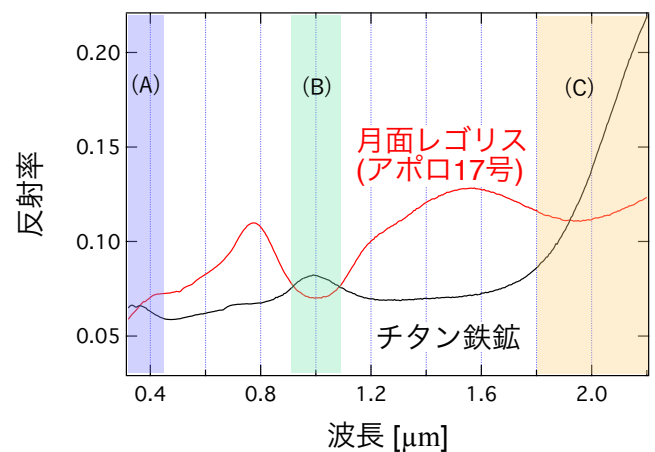
近年、月での産業利用・資源探査に向けた取り組みが加速しています。月面での水や酸素の採取技術や月面基地・輸送装置の設計・製造などに様々な民間企業が取り組む中、月面で調達可能な資源の重要性が高まっています。その代表的な資源がチタン鉄鉱（イルメナイト； FeTiO_3 ）です。チタン鉄鉱は、月面の玄武岩に含まれる黒色または褐色の鉱物で、鉄とチタンを主成分としています。玄武岩は月の内部で生成したマグマが地表面に噴出してできたものであり、玄武岩中のチタン鉄鉱を詳しく調べることは、月の内部組成や進化の理解に役立ちます（例えば、大竹ほか、2021）。さらに、チタン鉄鉱からは水や酸素、鉄、チタンが得られるため、月面基地建設などの有人活動に欠かせない重要資源とされています（例えば、Hawke *et al.*, 1990；Papike *et al.*, 1991）。したがって、月面のチタン鉄鉱の分布を明らかにすることは、月の科学と資源探査の両面で重要です。

この記事では、リモートセンシング技術を用いた月の資源鉱物マッピングの研究事例(Yamamoto *et al.*, 2025)として、月面におけるチタン鉄鉱の濃集地域を明らかにした研究成果のプレス発表(2025 年 3 月 17 日)を基に、加筆・再構成しています。

2. 月のチタン鉄鉱をどうやって探すのか？

月面のどこにチタン鉄鉱が濃集しているのかを知るには、リモートセンシングデータの活用が欠かせません。こうしたデータから月面の表層にある特定の鉱物を判別するには、それぞれの鉱物が持つ反射スペクトルの特徴を詳しく知る必要があります。反射スペクトルとは、対象物が

特定の波長の光をどの程度反射するかの割合（反射率）を、様々な波長にわたって示したものです。第 1 図は実験室で測定されたチタン鉄鉱の反射スペクトルを示したものです。チタン鉄鉱を含む酸化チタン系の鉱物は、紫外線（UV）から青色の波長にかけて、反射率が高くなるという特徴があります（第 1 図の (A) の波長帯）。一方、月の主要鉱物である輝石、カンラン石、斜長石は、同じ波長帯で反射率が低下することが知られています。この違いを利用して、これまでの月のリモートセンシング解析では、UV 波長の画像と可視光の画像の比を取ることで、酸化チタンに富む玄武岩の分布を推定してきました。しかし、この方法には限界があります。玄武岩以外の領域には適用できず、特に



第 1 図 アポロ 17 号で回収された月面レゴリスの代表的な反射スペクトル（赤線）とチタン鉄鉱の反射スペクトル（黒線）。(A) の UV 波長から青色波長の領域ではチタン鉄鉱の反射率が少し上昇し、月面レゴリスでは減少する。また、(B) 及び (C) の波長帯において、チタン鉄鉱はスペクトルのピークまたは反射率の増加が見られるが、月面レゴリスでは逆に反射率が下がっている。スペクトルデータは RELAB Spectral Database (<https://sites.brown.edu/relab/relab-spectral-database/> 閲覧日：2025 年 6 月 26 日) より。

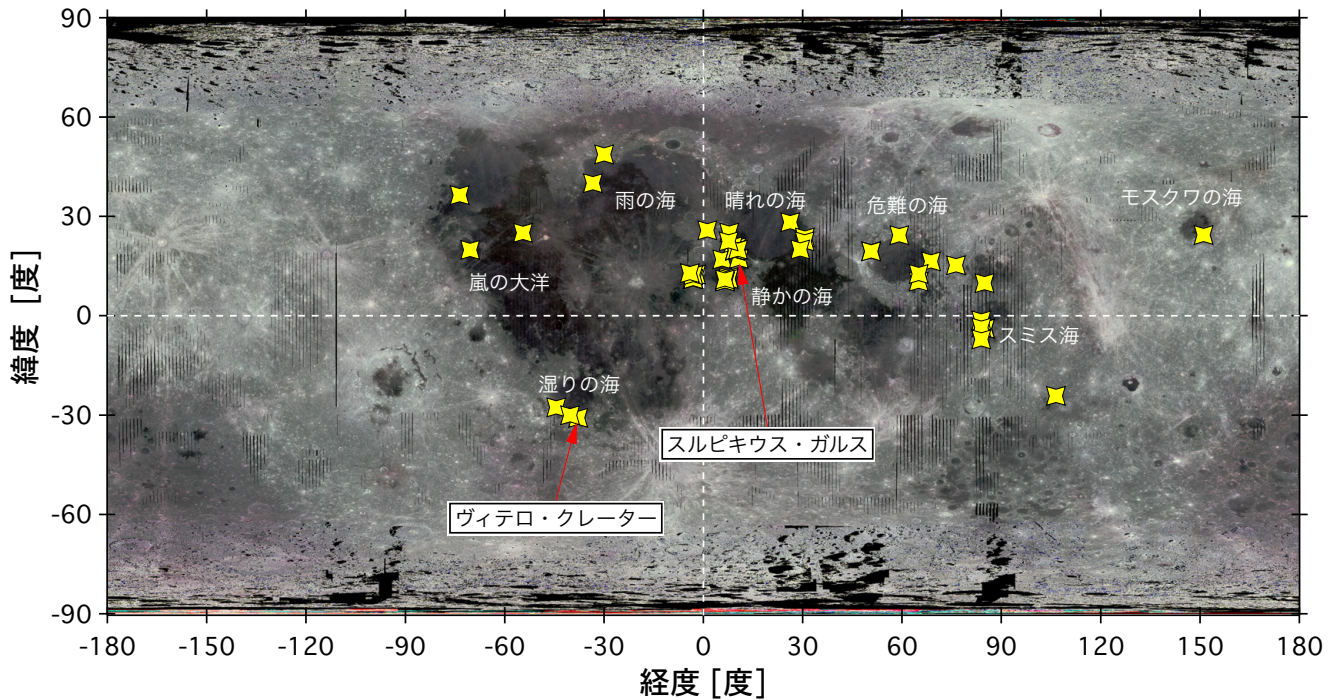
1 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

2 立命館大学 宇宙地球探査研究センター（ESEC）〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

3 岡山大学 惑星物質研究所 〒682-0193 鳥取県東伯郡三朝町山田 827

4 会津大学 コンピュータ理工学部 〒965-8580 福島県会津若松市一箕町鶴賀

キーワード：リモートセンシング、地質層序解析、月、イルメナイト、月の知的基盤整備、月基地建設



第2図 月全球のチタン鉄鉱濃集地域の分布図(黄色印)。縦破線は地球から見た月面中心の緯度線，横破線は月の赤道に相当。背景は月の明るさマップで，月の中央付近の黒いところは，玄武岩で覆われた「海」と呼ばれるところに相当。

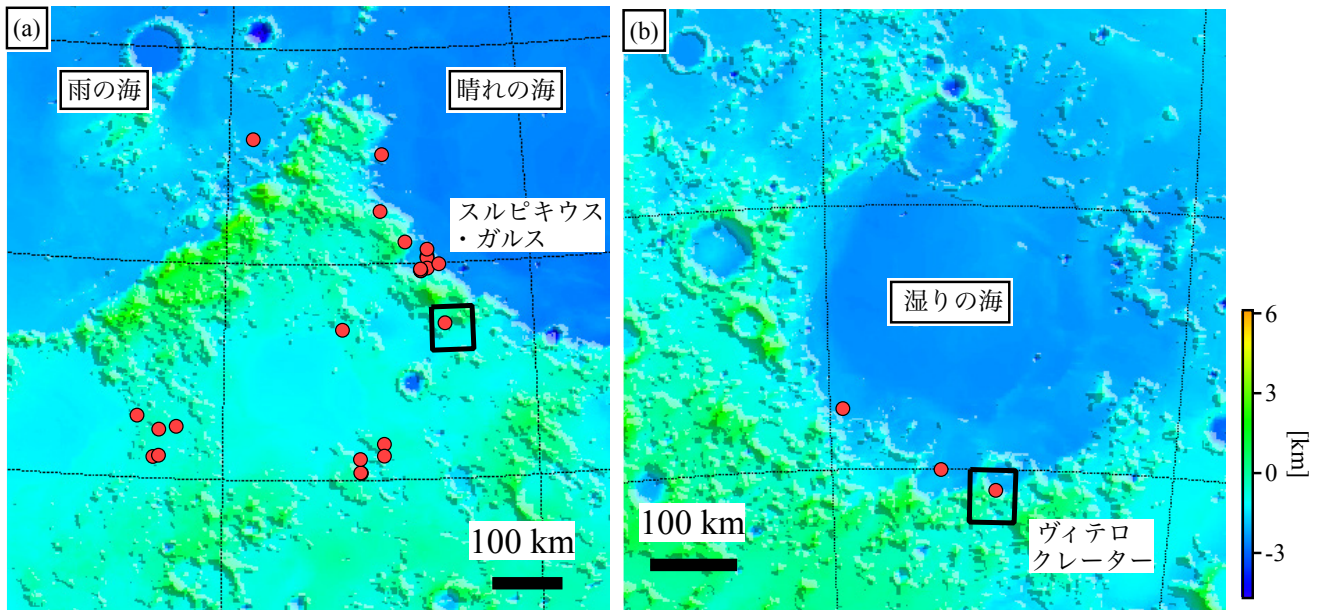
火山性ガラスが広がる領域では酸化チタンのUVの反射スペクトル特性が識別できなくなってしまうのです。そのため，月全体でチタン鉄鉱がどこに濃集しているのか，これまで十分に把握されていませんでした。

一方，チタン鉄鉱の近赤外線(波長0.8～2.5 μm付近)の反射スペクトルは，月の主要鉱物が混在した典型的なレゴリス(大気を持たない月や小惑星の表層で見られる，隕石衝突により形成された堆積物の総称)とは異なる特性を示すことが知られています。第1図では月面の代表的なレゴリスとチタン鉄鉱の反射スペクトルを比較しています。レゴリスのスペクトルは，波長1 μmと2 μm付近で反射率が低下し，下に凸の特徴を示します(第1図の(B)と(C)の波長帯)。これに対して，チタン鉄鉱は波長1 μmで反射率が増加し，上に凸の特徴を示します。さらに波長2 μmでも反射率が高くなります。このような反射率の増加を，以下では「スペクトルのピーク」と呼びます。このピークはレゴリス中にガラスや様々な鉱物が混在している場合でも，微弱な信号として検知できる可能性があります。

3. 「宝探し」：大量のスペクトルデータに対するデータマイニング

そこで私たちは，月探査機かぐや(SELENE)搭載の

Spectral Profiler(略称:SP)によって取得された，約7000万に及ぶ膨大なハイパースペクトルデータの中から，「スペクトルのピーク」を持つものだけを抽出するデータマイニングを行いました。ハイパースペクトルデータとは，数10～数100の連続した波長帯で取得された詳細な反射スペクトル情報を含むもので，複数の鉱物が混在する中でも微弱なスペクトルピークを識別できる精度を持っています(SPやSELENE搭載の他の光学センサの詳細については宇宙航空研究開発機構，2007を参照)。このデータマイニングの結果，月面上でスペクトルのピークを示す51地点を特定することができました(第2図)。これらの地点はほぼ全て月の表側に集中しており，裏側にはわずかしかな存在しないことが分かりました。また，多くの地点が「海」や「嵐の大洋」と呼ばれる地形の周辺に位置しており，具体的には，雨の海，晴れの海，危難の海，スミスの海，モスクワの海，湿りの海及び嵐の大洋の北西部で見つかっています。第3図では，雨の海，晴れの海や湿りの海周辺の検出地点を拡大して示しています。これらのチタン鉄鉱が濃集する地域は，従来着目されていた玄武岩の「海」(第3図の青色の部分)ではなく，その周囲に広がる火山活動によって堆積した火砕堆積物領域に分布していることが分かりました。



第3図 (a) 雨の海と晴れの海周辺及び(b) 湿りの海周辺のチタン鉄鉱濃集地点(赤丸)。第4図で示しているスルピキウス・ガルスとヴィテロ・クレーターの位置を黒四角で囲んでいる。背景はかぐや(SELENE)による高度データ(Araki et al., 2009, 2013)。

4. リモートセンシングを使ったチタン鉄鉱濃集サイトの層序解析

さらに私たちは、チタン鉄鉱の濃集地域に対して、SELENE 搭載のマルチバンドカメラ(以下「MI」という)と地形カメラ(TC)の画像を用いた融合解析を行い、チタン鉄鉱の岩体や周辺の地質を詳細に調べました。MIは、波長0.5～1.7 μm の範囲に対して9種類の異なる波長帯で反射スペクトルを取得する画像センサで、数10 mの空間分解能で鉱物や岩石の分布を詳細に把握することができます。その結果、チタン鉄鉱に富む物質は、玄武岩が広がる領域よりもやや高いところに位置する「月の高地」と呼ばれる地域に堆積した火砕堆積物中(第4図(a))や、天体の衝突で形成された外縁部(第4図(b))などに濃集していることが分かりました。また火砕堆積物の周囲には火山性ガラスも多く分布しており、第4図(b)の緑色の部分が火山性ガラスの分布を示しています。

一方、過去の研究で酸化チタンに富むと考えられてきた玄武岩の「海」では、チタン鉄鉱の濃集を示すスペクトルのピークが確認されませんでした。この理由として、玄武岩中に多く含まれる輝石やカンラン石が、チタン鉄鉱のスペクトルの特徴を覆い隠している可能性が考えられます。また、玄武岩中の酸化チタンは必ずしもチタン鉄鉱として存在するわけではなく、玄武岩中で他の鉱物に取り込まれている場合や、隕石衝突によって生成されたガラス状物質に含まれている可能性もあります。いずれにしても、玄武岩

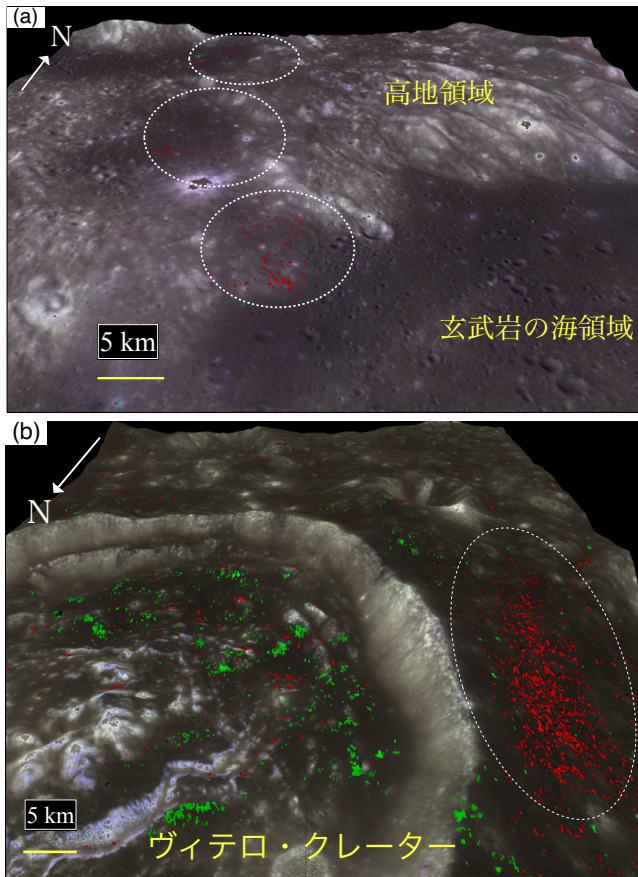
中のチタン鉄鉱の濃度が他の鉱物に比べて十分に高くないため、スペクトルのピークが現れなかったと考えられます。逆に言えば、今回見つかった51か所の火砕堆積物には、スペクトルのピークが明瞭に現れるほど、チタン鉄鉱が高濃度で存在している可能性が高いといえます。

5. 将来の月資源探査としての重要性

月の火砕堆積物は、マグマが噴出する過程で細かい粒子となり、月の表面に堆積したものと考えられています。玄武岩からチタン鉄鉱を取り出す場合と比べて、粒子の細かい火砕堆積物中のチタン鉄鉱は、より効率的に採取できる可能性が高いと考えられます(Hawke et al., 1990)。また、粒子が細かいほど、全体としての表面積が大きくなるため、水素を用いた還元処理を効率良く行えます。そのため、資源探掘及び精製の両面で玄武岩より有利です。

注目される埋蔵量ですが、第4図(a)の「スルピキウス・ガルス」と呼ばれる領域では、 10^{14} kg(1,000億トン)存在すると算出されました。この量は月の資源開発において十分過ぎるほどの量であると考えられます。したがって、今回見つけた火砕堆積物に含まれるチタン鉄鉱は、従来知られてきた酸化チタンに富む玄武岩よりも資源としての利用価値が高いと言えます。

月は今や科学の対象にとどまらず、産業利用や資源探査に向けた人類の活動領域になりつつあります。月面での有人活動に関連する技術開発に、国内外の民間企業が取り組



第4図 (a) 晴れの海の南西にあるスルピキウス・ガルス (Sulpicius Gallus) 及び (b) 湿りの海にあるヴィテロ・クレーター (Vitello crater) 周囲の火砕堆積物領域の鳥瞰図 (天底角 60 度)。チタン鉄鉱に富む場所を赤点, ガラスに富む場所を緑点で示した。白点線で囲まれた火砕堆積物が覆っている暗い場所に, 多くの赤い点が分布している。背景はマルチバンド画像で作成した合成カラー画像と, 地形カメラによる高度データを使用して作成。

みを始めている中で, 本研究の成果は, 資源鉱物に関する月の重要な地質情報を提供するものです。今後は, チタン鉄鉱濃集地域に対して高解像度画像や熱赤外データなど多様な地質情報を用いた融合解析を進め, チタン鉄鉱の化学組成, 純度 (濃度) や火砕堆積物の粒度など, 詳細な層序と組成分布を明らかにしていく予定です。これにより, 具体的な採掘候補地点の絞り込みに必要な月資源に係る知的基盤の整備を目指します。

文 献

Araki, H., Tazawa, S., Noda, H., Ishihara, Y., Goossens, S., Sasaki, S., Kawano, N., Kamiya, I., Otake, H., Oberst, J. and Shum, C. (2009) Lunar global shape and polar topography derived from Kaguya-LALT laser altimetry. *Science*, **323**, 897–900. doi:10.1126/

science.1164146

Araki, H., Noda, H., Tazawa, S., Ishihara, Y., Goossens, S. and Sasaki, S. (2013) Lunar laser topography by LALT on board the KAGUYA lunar explorer – Operational history, new topographic data, peak height analysis of laser echo pulses. *Advances in Space Research*, **52**, 262–271. doi:10.1016/j.asr.2013.02.018

Hawke, B. R., Coombs, C. R. and Clark, B. (1990) Ilmenite-rich pyroclastic deposits: An ideal lunar resource. In Sharpton, V. L. and Ryder, G., eds., *Proceedings of the 20th Lunar and Planetary Science Conference*, 249–258.

大竹真紀子・長岡 央・本田親寿 (2021) 第3章 マグマオーシャン (初期地殻の形成を含む)。並木則行・諸田智克・西野真木・佐伯和人・小河正基・大竹真紀子編, 月サイエンスブック 第一部, 月サイエンスブック編集委員会, 53–91.

Papike, J., Taylor, L. and Simon, S. (1991) Lunar minerals. In Heiken, G. H., Vaniman, D. T. and French, B. M., eds., *Lunar Sourcebook: A User's Guide to the Moon*, Cambridge University Press, Cambridge, 121–181.

宇宙航空研究開発機構 (2007) 月周回衛星「かぐや (SELENE)」, 観測ミッション, LISM [地形カメラ (TC)・マルチバンドイメージャ (MI)・スペクトルプロファイラ (SP)]. https://www.selene.jaxa.jp/ja/equipment/tc_j.htm (閲覧日: 2025 年 6 月 26 日)

Yamamoto, S., Matsuoka M., Nagaoka H., Ohtake M. and Ikeda, A. (2025) Global distribution and geological features of ilmenite-rich sites on the lunar surface. *Journal of Geophysical Research: Planets*, **130**, e2024JE008663. doi:10.1029/2024JE008663

YAMAMOTO Satoru, MATSUOKA Moe, NAGAOKA Hiroshi, OHTAKE Makiko, IKEDA Ayame (2025) "Lunar Treasure Hunt" Mapping of lunar resources and minerals using hyperspectral remote sensing technology.

(受付: 2025 年 6 月 26 日)

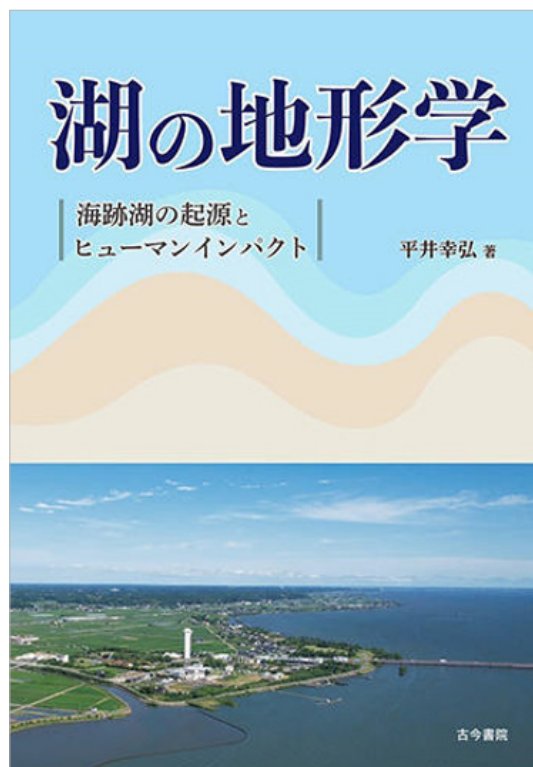
湖の地形学 海跡湖の起源とヒューマンインパクト

平井 幸弘 [著]

(株) 古今書院
発売日：2025 年 2 月 28 日
定価：3000 円 (税別)
ISBN：978-4772281270
14.8 cm x 20.9 cm x 1.2 cm, 並製
176 ページ

今から 5 年ほど前に遡るが、土曜日の夜に家族と夕食をとりながら NHK の人気番組である「ブラタモリ」を拝見していた。その日のお題は、「なぜサロマ湖の砂州は日本一細長いのか?」であり、サロマ湖の成り立ちについて地形学的に解説するストーリーであった。番組の冒頭から駒澤大学文学部教授の平井幸弘先生が登場され、タモリさんたちにサロマ湖の成り立ちについて説明をされていたことを覚えている。私は GSJ 入所以来、北海道東部の海岸地域を調査する機会が多かったが、現在でもふじのくに地球環境史ミュージアムの研究員として釧路市の春採湖の湖底堆積物を使った千島海溝沿岸域の古地震研究を継続して行っている。その一方で、地震や津波の影響を受けていないオホーツク海側のサロマ湖、網走湖や^{とうふつ}瀧沸湖の成り立ちについても少なからず関心を持っていた。

海跡湖は、その名の通り海の名残であり、現在は湖と海とが砂州などによって隔てられ狭い潮流口で海とつながっている状況にある。国内では、上述した北海道東部(十勝～根室地域の太平洋沿岸及びオホーツク海沿岸)、茨城県や青森県の太平洋沿岸、そして青森県から島根県にかけての日本海沿岸に点在している。例えば、茨城県の霞ヶ浦(西浦)、北浦、涸沼などは、その代表例である。今回、GSJ 地質ニュースの読者の皆さまに私からご紹介する書籍は、今春古今書院から刊行された「湖の地形学―海跡湖の起源とヒューマンインパクト」という書籍であり、著者の平井先



生が国内外の海跡湖の地形の成り立ちとその土地利用について詳しく論じられた地形学(自然地理学)の教科書である。

海跡湖は、海に近接して位置するので、淡水と海水が混じった汽水環境となっている場合が多く、海陸両側から栄養分が豊富に供給されるため、多種多様な生物の生息域となっている。そして、人々が水産物を得るための狩猟場や塩作りの場として生活に欠かせない重要な場所であった。例えば、霞ヶ浦の湖岸に、上高津貝塚や陸平貝塚に代表される縄文時代の大規模な貝塚が多数存在するのも、そのような理由からである。しかし、高度経済成長期を経た 1970 年代以降には、大規模な干拓事業や都市的土地利用のための埋め立てが行われ、洪水対策・水資源開発を目的とした湖岸堤防の建設、そして湖水の水質・水位の管理の為に常陸川水門の建設などが行われるようになった。その結果として、本来湖沼の豊かな生態系が担っていた環境のバランスが、崩壊し始めているのである。

このような海跡湖に対するヒューマンインパクト(=人為的影響)の評価や、近年、湖岸で行われている自然再生や環境保全に関する活動については、まずはその対象となっている湖の地形や成り立ちを学び、その上で人と湖との関わりについて検討する姿勢が最も必要である。しかし、この問題は地形学に留まらず、地質学、環境学、農学並びに工学など多岐の分野に渡り、これまでそのような複眼的

視点からの検討は行われてこなかったのである。

著者の平井先生は、海跡湖の地形学もしくは自然地理学研究の第一人者としてその名が広く知られている。これまでも古今書院から湖や沿岸地形に関する多数の教科書を刊行されているが、このうち「湖の環境学」、「海面上昇とアジアの海岸」(共著)、「ベトナム・フエラグーンをめぐる環境誌—気候変動・エビ養殖・ツーリズム—」の3冊については、私がこれまで行っていた国内や東南アジアでの沖積層研究とも密接に関連する内容であったため、繰り返し読ませていただいていた。本書の目次は、以下の通りである。

はじめに

本書で取り上げる湖沼

第Ⅰ部 湖と海をへだてる砂州

(第1章) サロマ湖の砂州は、なぜ日本一長いのか? / (第2章) サロマ湖の砂州に付されたアイヌ語地名 / (第3章) 人は砂州をどのように利用してきたのか? / (コラム1) 悩ましい砂州と砂嘴

第Ⅱ部 湖岸をふちどる段丘と湖棚

(第4章) 霞ヶ浦にはなぜ、多くの湖水浴場があったのか? / (第5章) 海跡湖の湖盆を取りかこむ更新世段丘と湖岸低地 / (第6章) 人は湖岸をどのように改変してきたのか? / (コラム2) タイ・ソンクラーク湖と八郎潟の浜堤列

第Ⅲ部 湖奥にひろがる三角州

(第7章) 網走湖にはなぜ、日本一の鳥趾状三角州があるのか? / (第8章) 海跡湖に特徴的な鳥趾状三角州 / (第9章) 人は三角州をどのように広げてきたのか? / (コラム3) 沙漠や火星にもあった鳥趾状三角州

第Ⅳ部 湖の生い立ち

(第10章) 海跡湖の起源—海跡湖は、いつ生まれどのように変化してきたのか? / (第11章) ヒューマンインパクト—人為的地形改変による湖沼環境への影響 / (第12章) 海跡湖の今後—これから海跡湖とどう付き合うのか? おわりに

索引

本書では全体を4部構成とし、前半の第Ⅰ～Ⅲ部では、海跡湖に共通して見られる砂州、段丘と湖棚、そして鳥趾状三角州の3つの地形に焦点をあてて解説を試みている。上記した3つの地形について、話題の展開としては、①まずそれぞれ最初の章で、その地形が最も綺麗に観察できる国内の湖を紹介、②次に、その地形の成り立ちについて詳しく解説、そして最後に、③それらの地形と人々が具体的

にどのように関わってきたかといった人文地理学的視点で進められている。

第Ⅰ部では、冒頭にもご紹介した北海道のサロマ湖を例として、“なぜそのような日本一長い25 kmにも達する砂州ができたのか?”について、古い地形図やボーリングデータ、湖底地形の解釈を通して砂州の生い立ちを論じている。そして、サロマ湖の砂州と当時そこに住んでいたアイヌの人々との関わりについて、江戸時代末の1859年に刊行された「東西蝦夷山川地理取調図」に記されたアイヌ語地名を手がかりに考察を試み、これまで人は砂州をどのように利用してきたのかについて詳しく述べている。

第Ⅱ部では、茨城県の霞ヶ浦を例として、湖岸沖水深1～3 mに広がる湖棚という平坦な地形について紹介している。ここでは湖棚に近接する湖岸には、1960年代には13か所もの湖水浴場があったという興味深い話題が提供されている。そして、なぜこの湖では広い湖棚が発達したのかについて、湖岸の地質と過去約1万年間の海面変動との関係から考察を加えている。さらに、湖岸の低地には、比高数mの湖岸段丘とその背後に標高25～30 mの台地(更新世段丘)が広がっており、その湖岸段丘を取りかこむ台地の成り立ちからこの地形を人々がどのように利用してきたのかについて述べている。

第Ⅲ部では、北海道の網走湖を例として、鳥趾状三角州について紹介している。網走川の流入口付近の湖岸には、分岐したローブ(過去の流入口付近に生じた砂堆)が12か所も生じている。なぜこのような多数のローブが存在するのかについて、過去の網走川の工事履歴や湖水位の変動の関係から詳しく述べている。

第Ⅳ部では、一般的な海跡湖の成り立ちについて解説している。大変興味深いことに、今から約13～12万年前の最終間氷期の温暖期には、現在とほぼ同じ位置に海跡湖が存在していて、その後海面が100 m以上低下した最終氷期や縄文海進を経て、現在の海跡湖に戻っているのである。ここでは、湖の周辺でどのような環境変化が起こってきたのかについて論じている。そして最後に地形学の立場から、現在全国各地で取り組まれている湖岸の自然再生活動や地球温暖化・海面上昇に伴う自然災害対策に対して、平井先生のお考えを述べられている。

巻頭には、本書で取り上げる湖沼の位置が地図上に示されている。第Ⅰ～Ⅲ部の各部の最後には、主題となる3つの地形に関連した国内外の調査事例の紹介を含めたコラムが付記されている。巻末には湖沼名と事項に区分された詳しい索引が付記されている。本書のカバー表紙側には霞ヶ



浦の海岸低地と更新世段丘，裏表紙側には網走湖の鳥趾状三角州とサロマ湖の砂州のカラー写真が解説付きで掲載されており，本文の内容の理解に役立つことであろう。

おそらく平井先生の読者への思いは，本書を通し，地形学という視点から海跡湖の成り立ちを深く理解し，そして海跡湖の環境に対する過去のヒューマンインパクトの影響について正しく理解した上で，保全や自然再生の取り組みを実施することにあると私は感じ取っている。今後，我々が自然と調和して生きる環境を未来に維持するためには，

過去から学び，地形の成り立ちを正しく理解する姿勢が不可欠と思う。その意味で，地形学や環境学に関心を持っている高校生や大学生の皆さまを始め，自然保護の活動や地域開発に携わる官公庁の行政職員，環境コンサルタントの技術者，NPO に携わる一般市民の皆さまにご一読をお薦めしたいと考えている。

（産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター／ふじのくに地球環境史ミュージアム 七山 太）

1 月号 (Vol.14 No.1)

表紙：霞ヶ浦（西浦）東岸から臨む紫金山・アトラス彗星と稲敷台地……………写真と文：兼子尚知 年頭のご挨拶 一産総研第 5 期から第 6 期に向けて—／中尾信典…………… 1	
花崗岩類にみられるマグマ混合の産状：野外・鏡下での特徴／山崎 徹…………… 3	
湧水に浸すと発電できる「湧水温度差発電」—流れ去る湧水の熱エネルギーを電気として有効利用—／天谷康孝・—／瀬 彩・井川怜欧…………… 10	
これまでの 10 倍の効率で花粉を地層から分取し高精度年代測定を可能に —大型花粉によって今まで諦めていた地層からの年代測定が実用化—／太田耕輔・横山祐典・宮入陽介・オブラクタ スティーブン・山本真也・藤原 治…………… 15	
微生物を活用した鉱山廃水処理システムの開発に成功 —細菌の新しいマンガン酸化のしくみを利用—／渡邊美穂・Tum Sereyroith・片山泰樹・Gatore Obey・岡野邦宏・松本親樹・保高徹生・宮田直幸…………… 18	
産総研生配信「産総研の研究者だけど 質問ある？」：火山研究の紹介／宝田晋治・宮城磯治・中谷貴之…………… 22	
産技連 知的基盤部会 地質地盤情報分科会 令和 5 年度講演会「ハザードマップ作成における地質地盤情報の利活用」開催報告／野々垣 進・小松原純子・納谷友規・宮地良典…………… 26	
2024 年度地震・津波・火山・斜面災害に関する自治体職員研修プログラム開催報告／宮下由香里・今西和俊・石塚吉浩・穴倉正展・深沢佐知子・藤原 治…………… 29	

2・3 月号 (Vol.14 No.2, 3)

表紙：久住・赤川温泉と神戸・五社温泉の白と茶の幻想的な温泉沈殿物……………写真と文：森川徳敏	
口絵：大阪市中央公会堂の内装に使用される大理石石材：赤坂石灰岩産「美濃霞」と秋吉石灰岩産「長州霞」の比較／中澤 努・西本昌司・乾 睦子・平賀あまな…………… 33	
地質標本館 特別展「プレートテクトニクスがつくる なぞの温泉『深部流体』」開催報告／東郷洋子・森川徳敏・高橋正明・高橋 浩・清水 徹・中村仁美・風早康平・清水日奈子・都井美穂・瀬口寛樹・福田和幸・朝川暢子・清水裕子・常木俊宏・森田澄人…………… 35	
20 万分の 1「甲府－静岡地域重力図（ブーゲー異常）」の概要と重力調査の紹介／大熊茂雄・伊藤 忍・江戸将寿…………… 38	
令和 6 年度経済産業省こどもデー出展報告／須田 好・穴倉正展・小松原純子・落 唯史・兼子尚知・宮地良典…………… 47	
静岡県が創設した思考を拓く自然系博物館“ふじのくに地球環境史ミュージアム”の歩き方／七山 太…………… 51	
「地質情報展 2024 やまがた応援プロジェクト」開催報告／見邨和英・穴倉正展・利光誠一・川邊禎久・須田 好・板木拓也・瀬戸大暉…………… 59	

地質標本館体験イベント「地球のかげらを覗いてみよう！きれいな砂の世界」開催報告／兼子尚知・川邊禎久・森田澄人・武井勇二郎・常木俊宏・福田和幸・瀬口寛樹・中川圭子・中村由美・下川浩一・高橋正明・朝川暢子・清水裕子…………… 63	
「地質相談所」の記録／利光誠一・酒井 彰・下川浩一…………… 65	
ニュースレター「令和 6 年『水路記念日』海上保安庁長官表彰について」…………… 69	

4 月号 (Vol.14 No.4)

表紙：融雪期の旭川市街地から望む大雪山系……………写真と文：七山 太	
「地質情報展 2024 やまがた—山と盆地をつくる大地のヒミツ—」開催報告／須田 好・穴倉正展・利光誠一・小松原純子…………… 71	
地質情報展 2024 やまがた ロックバランシング体験コーナー／土田恭平・嶋田侑真…………… 79	
地質情報展 2024 やまがた：体験学習コーナー「塗り絵で地質図」／利光誠一・長江敦子・瀬戸大暉…………… 81	
地質情報展 2024 やまがた：山形県の岩石・鉱物・化石展示／柳澤教雄・角井朝昭・中島 礼・辻野 匠・瀬戸大暉・細井 淳・利光誠一・天谷宇志…………… 84	
産総研福島再生可能エネルギー研究所からの地質情報展 2024 やまがたへの出展報告／石原武志・箱崎早苗・鳥越雄太郎・富樫 聡・内田洋平・山口雄一・夏井憲司・清水彰一・上原由記子…………… 88	
地質情報展 2024 やまがた 体験・実験コーナー「鳴り砂」／兼子尚知・齋藤直輝…………… 91	
地質情報展で展示した地形模型／兼子尚知・金子翔平・須田 好…………… 93	
地質情報展 2024 やまがた「火山噴火実験」報告／川邊禎久・山崎誠子…………… 95	
地質情報展 2024 やまがた 地質調査の第一歩！石を割ってみよう！／村岡やよい・片桐星来…………… 98	

5 月号 (Vol.14 No.5)

表紙：羅臼市街地から望む知床連峰の最高峰、羅臼岳火山……………写真と文：七山 太	
地質情報展 2024 やまがた 産総研東北センターからの出展報告／田口修弘…………… 101	
地質情報展 2024 やまがた：山形県の鉱物資源／天谷宇志・左部翔大…………… 103	
地質情報展 2024 やまがた 化石レプリカづくり／石野沙季・中村由美・利光誠一・中島 礼・百目鬼洋平・山谷忠大・川邊禎久…………… 108	
2024 年度地質標本館における博物館実習／中村由美・森田澄人・兼子尚知・川邊禎久…………… 111	

地質標本館イベント「自分で作ろう！化石レプリカ」開催報告 ／兼子尚知・利光誠一・森田澄人・川邊禎久・常木俊宏・福 田和幸・瀬口寛樹・中村由美・朝川暢子・清水裕子……	116
地質標本館イベント「地球なんでも相談」開催報告／兼子尚知・ 川邊禎久・森田澄人・武井勇二郎・常木俊宏・藤原智晴・ 福田和幸・瀬口寛樹・下川浩一・朝川暢子・清水裕子 ……………	118
2024 年度 GSJ 見学会開催報告／草野有紀・中村佳博・梅澤良介・ 今泉博之……………	120
2024 年度 FREA 一般公開での GSJ 展示を担当して／柳澤教雄・ 中川圭子・伊藤順一・内野隆之・小松原純子……………	125

6 月号 (Vol.14 No.6)

表紙：日高山脈北部の脊梁部，日勝峠から望む十勝平野 ……………写真と文：七山 太	
口絵：産総研特別公開 2024 における地質調査総合センターの 出展報告／中島 礼……………	131
多摩丘陵の谷戸と尾根の成り立ちから読み解く武蔵野台地（山 の手）の未来の姿！—川崎市生田緑地でのジオ散歩のスス メー／七山 太・重野聖之・石井正之……………	135
サンゴは CO ₂ 固定に貢献している！— 骨格形成時の pH 上昇 機構を解明 —／安元 剛・窪田 梓・大野良和・安元 純・ 飯島真理子・鈴木道生・廣瀬（安元）美奈……………	153
ミニミニ一般公開 SECOND「星砂を観察しよう！」開催報告 ／兼子尚知・利光誠一・武井勇二郎・瀬口寛樹・朝川暢子・ 清水裕子……………	158
FREA 開所 10 周年記念式典が開催されました／浅沼 宏 ……	160
書籍紹介「扇状地の都 京都をつくった山・川・土」……	161

7 月号 (Vol.14 No.7)

表紙：知床半島プユニ岬の断崖をつくる後期更新世溶岩と オホーツク海に流れ落ちるフレベの滝 ……………写真と文：七山 太	
廣川研究助成事業の概要とその成果について／中尾信典…	163
令和 6 年度廣川研究助成事業報告：熱環境攪乱が地圏環境に 及ぼす影響評価に関する国際共同研究打ち合わせ／斎藤健 志……………	165
令和 6 年度廣川研究助成事業報告：地下深部における断層帯 の亀裂形成と力学・水理学的特性の理解に向けたヨーロッ パ岩石力学シンポジウム参加報告／細野日向子……	170
令和 6 年度廣川研究助成事業報告：海底下生命圏における重 金属動態解明のための国際共同研究に向けたロサンゼルス 南カリフォルニア大学での予備実験と事前協議／宮嶋佑典 ……………	173
令和 6 年度廣川研究助成事業報告：地下水・土壤汚染の微生 物による浄化メカニズム解明に関する国際共同研究へ向 けた事前協議／吉川美穂……………	176
令和 6 年度廣川研究助成事業報告：国際学会（The 9th Asian Particle Technology Symposium）での成果発表及び研究 動向の情報収集／綱澤有輝……………	180

令和 6 年度廣川研究助成事業報告：5th SerpentineDays 2024 への参加と国際共同研究に向けた沈み込み帯における水 流体の移動・分離過程に関する情報交換／中谷貴之 ……………	183
令和 6 年度廣川研究助成事業報告：石炭紀からジュラ紀の超 海洋パンサラッサ遠洋域における生物源シリカ堆積プロ セスの解明に向けた国際共同研究の事前協議及び研究活 動調査／武藤 俊……………	189
令和 6 年度廣川研究助成事業報告：地殻構造の描像と地震発 生過程の解明に向けた最先端研究の情報収集／椎名高裕 ……………	197

8 月号 (Vol.14 No.8)

表紙：伊豆半島東岸から望む相模トラフ地震によって隆起した 中期更新世溶岩の島，初島……………写真と文：七山 太	
サンゴの骨格形成過程で生じる結晶微粒子を可視化／大野良 和・高橋有南・堤 元佐・窪田 梓・井口 亮・飯島真理 子・水澤奈々美・中村 崇・鈴木 淳・鈴木道生・安元 純・渡部終五・酒井一彦・根本知己・安元 剛……	201
2024 年度第 2 回地質調査研修実施報告／藪田桜子・利光誠一 ……………	204
第 42 回 GSJ シンポジウム・令和 6 年度地圏資源環境研究部門 成果報告会 脱炭素と社会・経済が調和したトランジショ ンに向けて—エネルギー・環境・資源制約へ対応する燃料 資源地質研究—／地圏資源環境研究部門広報委員会…	211
地下微生物が天然ガスの起源を偽装！？／眞弓大介・坂田 将・ 鎌形洋一・玉木秀幸・加藤創一郎・五十嵐健輔・佐藤朋之・ 皆川秀紀・西川泰則・Ellen Lalk・小野周平……………	214
温暖期なのに昔の東京湾は冷たかった？—過去の温暖期を生 きた貝化石から水温の季節変化を復元—／三木志緒乃・ 窪田 薫・中島 礼・棚部一成・山口飛鳥・白井厚太郎 ……………	219
塵も積もれば山となる？低濃度のリン酸塩でもサンゴの生育を 阻害 稚サンゴの飼育実験から負荷量の重要性を検証／飯 島真理子・安元 剛・安元 純・井口 亮・鈴木 淳……	223
最終氷期（2 万年前）以降の日本海水温変化復元に成功 ～2 万年前の福井沖の年平均水温は現在のオホーツク海並みの 約 5℃だった～／池原 研・岡崎裕典・小野寺丈尚太郎・ 谷崎恭平・西園史彬・江頭一騎・友川明日香・佐川拓也・ 堀川恵司……………	227
表層土壌評価基本図～中国地方～の刊行／原 淳子・土田恭平・ 川辺能成……………	232
ニュースレター「干支コレクションアワード『巳』2 位獲得！」 ……………	235

9 月号 (Vol.14 No.9)

表紙：つくばセンター広場に用いられている『筑波山塊の花崗 岩』……………写真と文：杉原 薫	
IUGS Heritage Stones と『筑波山塊の花崗岩』／杉原 薫…	237

ネイチャーポジティブ技術実装研究センターについて／今泉博之	247
2024 年度第 3 回地質調査研修（中級者向け）実施報告／利光誠一・宮崎一博	249
産総研地質調査総合センターの地質調査研修のあゆみ／利光誠一・斎藤 眞	254
CCOP 第 60 回年次総会・第 83 回管理理事会参加報告／内田洋平	262
2024 年度野外観察会「地層と化石の観察会—霞ヶ浦周辺の化石産地を訪ねて—」／中村由美・中島 礼・矢部 淳・兼子尚知・利光誠一・武井勇二郎・瀬口寛樹	267
第 41 回 GSJ シンポジウム「デジタル技術で繋ぐ地質情報と防災対策～活断層－火山－斜面災害－海洋地質～」開催報告／石塚吉浩・三澤文慶・太田耕輔・宝田晋治・都井美穂・須田 好・田中裕一郎・藤原 治・阿部朋弥・岩橋くるみ・中村佳博・中村淳路	272

10 月号 (Vol.14 No.10)

表紙：薩摩藩が築庭した仙巖園と園内で使用されている吉野火砕流堆積物起源の石材	写真と文：七山 太
第 43 回 GSJ シンポジウム「地質を用いた斜面災害リスク評価—高精度化に必須の地質情報整備—」開催報告／片桐星来・村岡やよい・宮地良典	275
World Bosai EXPO 2025 参加報告／小松原純子・穴倉正展・藤原 治・宮地良典・田村 亨	278
(開催報告) 海水準データベースの構築にむけたニュージーランドとの 2 国間ワークショップ／田村 亨・板木拓也・水落裕樹・澤井祐紀	280
外核の天井を地震波が進む速さ —E の分割—／大滝壽樹	283
2024 年度 CCOP-GSJ 国際研修 開催報告／内田洋平・宮崎一博	292
東・東南アジア地球科学計画調整委員会 第 84 回管理理事会参加報告／内田洋平	298
地質標本館イベント「ガイドツアー」開催報告／福田和幸・下川浩一・村岡やよい・小川 浩・高橋正明	301
新人紹介／雨澤勇太・新谷直己・池永有弥・木尾竜也・太田耕輔・井上智裕・石橋未来・長澤 真・中西 諒	304

11 月号 (Vol.14 No.11)

表紙：鹿児島空港からの霧島山新燃岳の連続噴煙	写真と文：及川輝樹・木尾竜也
------------------------	----------------

口絵：霧島山新燃岳の 2025 年噴火／及川輝樹・木尾竜也・池永有弥・宮城磯治・風早竜之介・岩橋くるみ・新谷直己・古川竜太・篠原宏志・松本恵子・川邊禎久・草野有紀・東宮昭彦・山崎誠子・クリス・コンウェイ・宝田晋治・石塚吉浩・石塚 治	307
地質調査総合センターの 2025 年度研究展開／藤原 治	311
活断層・火山研究部門の 2025 年度研究戦略／石塚吉浩	314
地圏資源環境研究部門の 2025 年度研究戦略／相馬宣和	317
地質情報研究部門の 2025 年度研究戦略／野田 篤	320
再生可能エネルギー研究センターの 2025 年度研究戦略／森田澄人	325
ネイチャーポジティブ技術実装研究センターの 2025 年度研究展開／今泉博之	329
地質情報基盤センターの 2025 年度業務戦略／岩男弘毅	331
地質標本館企画展開催報告：テフラ 2—空から降った地下からの手紙—／宮城磯治	333
新人紹介／田上綾香・牛丸健太郎・山田来樹・小野誠太郎・鈴木健士・中山宏之・TUM Sereyiroith・橋本優里	336

12 月号 (Vol.14 No.12)

表紙：大規模海食崖，屏風ヶ浦の景観とそこで観察できる犬吠層群，香取層及び関東ローム層	写真と文：七山 太
J.J. ライン著「バミューダ諸島とそのサンゴ礁ならびにダーウィンの沈降説に対する付言」邦訳／山田直利・矢島道子	339
新刊 5 万分の 1 地質図幅「高見山」の紹介／竹内 誠・常盤哲也・森 宏・志村侑亮	352
構造色がつくる輝く火山噴出物 —噴火堆積物から見いだされた「虹色スコリア」の発色原理を解明—／松本恵子	356
埼玉県主要部の地下の軟弱層の分布を 3 次元で可視化 —埼玉県南東部の 3 次元地質地盤図の公開—／米岡佳弥・野々垣 進・中澤 努・小松原純子	360
月の宝探し：ハイパースペクトルリモートセンシング技術を駆使した月の資源鉱物マッピング／山本 聡・松岡萌・長岡 央・大竹真紀子・池田あやめ	363
書籍紹介「湖の地形学 海跡湖の起源とヒューマンインパクト」	367
GSJ 地質ニュース 総目次 2025 年 1 月号～12 月号	370

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 中 島 礼
副委員長 戸 崎 裕 貴
委員 竹 原 孝
天 谷 宇 志
草 野 有 紀
宇 都 宮 正 志
山 岡 香 子
大 滝 壽 樹

事務局

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
地質情報基盤センター 出版室
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ 地質ニュース 第 14 巻 第 12 号
令和 7 年 12 月 1 日 発行

国立研究開発法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター

〒 305-8567 茨城県つくば市東 1-1-1
中央事業所 7 群

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : NAKASHIMA Rei
Deputy Chief Editor : TOSAKI Yuki
Editors : TAKEHARA Takashi
AMAGAI Takashi
KUSANO Yuki
UTSUNOMIYA Masayuki
YAMAOKA Kyoko
OHTAKI Toshiki

Secretariat Office

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geoinformation Service Center Publication Office
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol. 14 No. 12
December 1, 2025

Geological Survey of Japan, AIST

AIST Tsukuba Central 7, 1-1-1, Higashi, Tsukuba,
Ibaraki 305-8567, Japan

大規模海食崖，屏風ヶ浦の景観とそこで観察できる犬吠層群， 香取層及び関東ローム層

[cover photo](#)



千葉県東部，銚子市名洗町から旭市刑部岬間（約 10 km）にわたって，高さ 65 ～ 25 m の海食崖が観察できる。下総台地の縁辺が断崖をなす景観は屏風ヶ浦^{びょうぶがうら}と呼ばれている。この大露頭において観察できる地層は，下位から，約 300 ～ 40 万年前の深海成相である犬吠層群，約 10 ～ 8 万年前の浅海成相である香取層，表層付近の関東ローム層であり，消波堤上の遊歩道から観察することができる。犬吠層群の下部層準には，更新世最初期（約 250 万年前）を示準する含ザクロ石テフラ（Tn-GP）が挟在される。

（写真・文：七山 太 産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター／ふじのくに地球環境史ミュージアム）

View of the large sea cliff of Byobugaura, and the Inubo Group, Katori Formation and Kanto Loam Formation that can be observed there, Chiba Prefecture, central Japan.

Photo and caption by NANAYAMA Futoshi