

2025

6

Vol.14 No.6

GSJ 地質ニュース

地球をよく知り、地球と共生する



6月号

口絵 131

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

135

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—

七山 太・重野聖之・石井正之

153

サンゴは CO₂ 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

158

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

160

FREA 開所 10 周年記念式典が開催されました

浅沼 宏

161

書籍紹介 「扇状地の都 京都をつくった山・川・土」

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

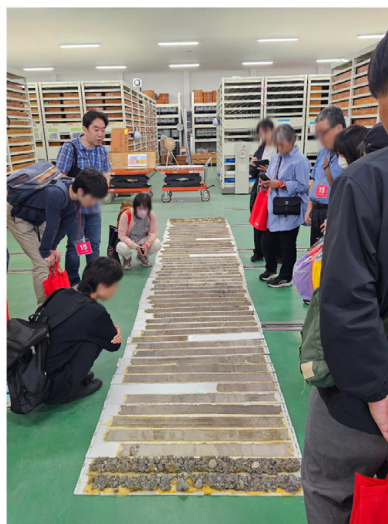
中島 礼¹

2024 年 10 月 5 日 (土) に産総研特別公開 2024 が開催されました。これまでは一般公開という名称で開催されていましたが、今回は特別公開という名称に変更されました。科学技術に興味のある中高生以上 (メインは大学生、大学院生、高専生) が対象となっています。今回の特別公開では、生の研究に触れ現役研究者と交流することを目的としたラボツアーと体験ブース、そして新規企画として採用に向けた研究者や人事担当者との座談会が企画されました。GSJ ではラボツアー 2 件、体験ブース 6 件を出展し、採用座談会に 5 名の若手研究員が参加しました。当日は午後からの雨にもかかわらず大盛況となり、1,659 人の来場者がありました。GSJ ブースにも行列ができるほどの賑わいとなりました。出展担当の皆様、大変お疲れ様でした。



第 1 図

産業技術【岩石】研究所：石を採取する、そしてアーカイブする。地質調査をささえる屋台骨！岩石保管庫見学ツアー。【内容】GSJ の研究者たちが地質調査で採取する岩石標本の収蔵庫にご案内！収蔵数 11 万点を超えていままなお増える標本を保管する「岩石の立体駐車場」のような設備はもちろん、全国よりすぐりの岩石標本を展示。サヌカイトでできた石琴の演奏もできますよ！【担当者】柳澤教雄、佐藤 努、角井朝昭 (地質情報基盤センター)。



第 2 図

産業技術【ボーリングコア】研究所：掘って掘って、平野の地面の下をさぐれ！「コア箱」居並ぶボーリングコア庫の見学ツアー。【内容】平野部の地質調査って、海岸や沢のような露頭がないから難しいんだよねあ…。ではどうするかって？掘るんです、地面の下を！掘りたてホヤホヤのボーリングコアの分析現場と、全国で掘られた標本を収蔵しているコア倉庫をご案内します。土地の成り立ちを雄弁に語るコア標本の面白さを感じてください！【担当者】納谷友規、田邊 晋、國本節子 (地質情報研究部門)。

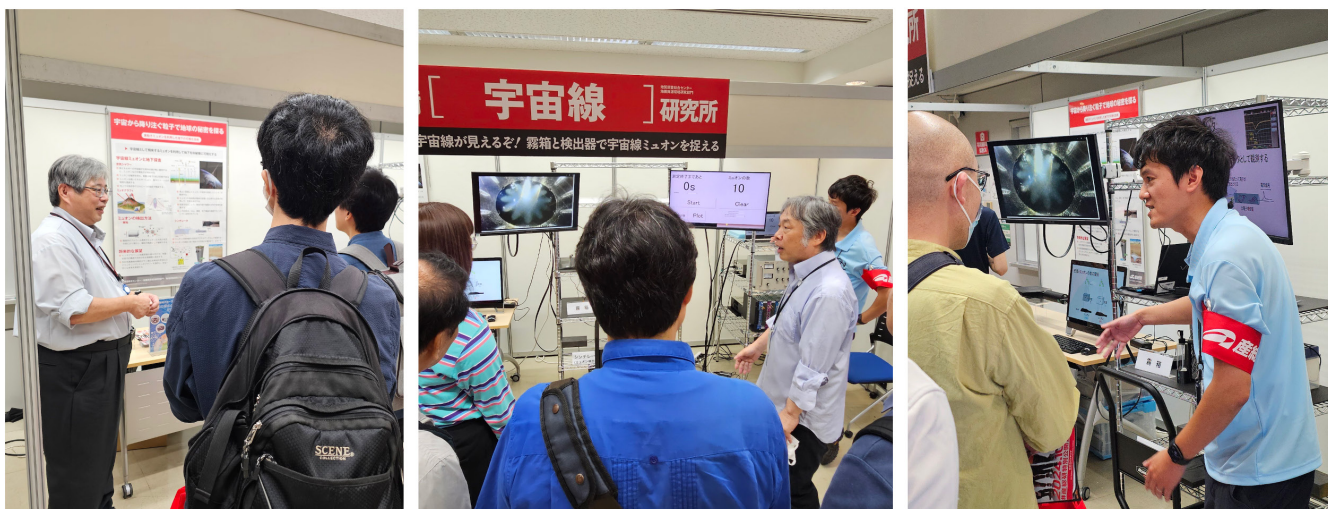
各ラボツアー及び体験ブースの出展内容については、以下の産総研特別公開 2024 の Web ページを参考にしました。

<https://www.aist.go.jp/sc/openhouse/2024/labtour.html> (閲覧日：2024 年 10 月 8 日)

<https://www.aist.go.jp/sc/openhouse/2024/booth.html> (閲覧日：2024 年 10 月 8 日)



第3図 産業技術【土壌環境】研究所：汚染された水を綺麗にする魔法。【内容】刮目せよ！汚染された水（に見立てた色水）を（砂や土に通水・濾過することで）綺麗にする魔法…！砂や土の種類によって化学物質の吸脱着特性はさまざま。その違いがわかるよう、国内の代表的な土壌を取り揃えて実験します。実体顕微鏡で、環境中に放出される身近な化学物質の観察もできますよ。【担当者】原 淳子, 杉田 創, 井本由香利, 斎藤健志, 吉川美穂, 土田恭平（地図資源環境研究部門）。



第4図 産業技術【宇宙線】研究所：見える、私にも宇宙線が見えるぞ！霧箱と検出器で宇宙線ミュオンを捉える。【内容】絶えず宇宙から地球に降り注いでいる宇宙線ミュオン（ μ 粒子）。「密度の高い物体ほど透過しにくい」という性質があるので、見えない地中の空洞や水の状態の可視化に応用できるんです！実際の検出器にも使われるシンチレータや、飛跡を可視化できる霧箱で、宇宙線ミュオンを捉えてみよう！【担当者】児玉匡史, 湊 翔平, 横田俊之, 神宮司元治, 梅澤良介, 小森省吾（地図資源環境研究部門）。



第5図 産業技術【断層】研究所：動きやすい断層って、いったいどんなの？【内容】正断層、逆断層、横ずれ断層…さまざまな種類の断層は、どうしてその方向にずれたんでしょう…？じつは断層のずれ方は、断層の「角度」や「すべりやすさ」などの条件によって変わるんです。どんな姿勢の断層がどう動くのか、模型で体験し、PCで計算してみよう！【担当者】大坪 誠（活断層・火山研究部門）。



第6図
産業技術【大噴火】研究所：
キッチン火山で噴火体験！
【内容】地球の雄大な営み、
火山噴火。ダイナミックなこ
の現象を、ご家庭にもある身
近なもの（ゼラチン）で再現
する噴火実験を観察しまし
ょう。透明なゼラチンで作
った模擬火山なら、シース
ルーでマグマの動きがはっ
きり見えますよ！顕微鏡で
、実際の噴火で放出された
マグマの破片（火山灰）も
見てみよう！お土産とし
て火山灰を持って帰るこ
ともできますよ。
【担当者】宝田晋治、石塚
吉浩、古川竜太、宮城磯
治、山崎誠子、中谷貴之、
Chris Conway、Derek
Weller、谷内元、河野裕
希、松本恵子（活断層・火
山研究部門）。



第7図 産業技術【岩石】研究所：見ればわかる？割らねばわからぬ！石のこと。【内容】地質調査の基本は、岩石を割って風化していない断面（＝フレッシュな面）を観察すること。ハンマーで岩石を割って、フレッシュな面を観察しましょう。硬さや割れ方で、岩石の個性がみえてきます。全国各地で収集したいろんな岩石を取り揃えて待ってます。【担当者】村岡やよい、山岡健、羽田裕貴、藪田桜子、三國和音、伊藤剛、西岡芳晴（地質情報研究部門）。



第8図
産業技術【地震のしくみ】研究所：
岩石破壊実験で地震発生のメカニズムを探れ！【内容】地震は、地下深くで岩石が壊れる際に発生する波が地表を揺らす現象です。実際に岩石を壊して、波が生じるか実験してみましょう。【担当者】GSJジオメカサークル（高橋美紀，細野日向子，前田純伶，朝比奈大輔，大橋聖和，北村真奈美，竹原 孝，金木俊也，宮崎晋行）。



第9図 産業技術【採用】研究所：【内容】この企画は、学生を中心とした参加者から、産総研への就職について、学生の時の就職や研究への取り組みや考え方、職場としての産総研の印象などの質問を受け、研究者が本音で語る座談会です。【担当者】高田モモ，堀川卓哉（地図資源環境研究部門），草野有紀（活断層・火山研究部門），松岡 萌，志村侑亮（地質情報研究部門）。

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—

七山 太^{1,2}・重野 聖之³・石井 正之⁴

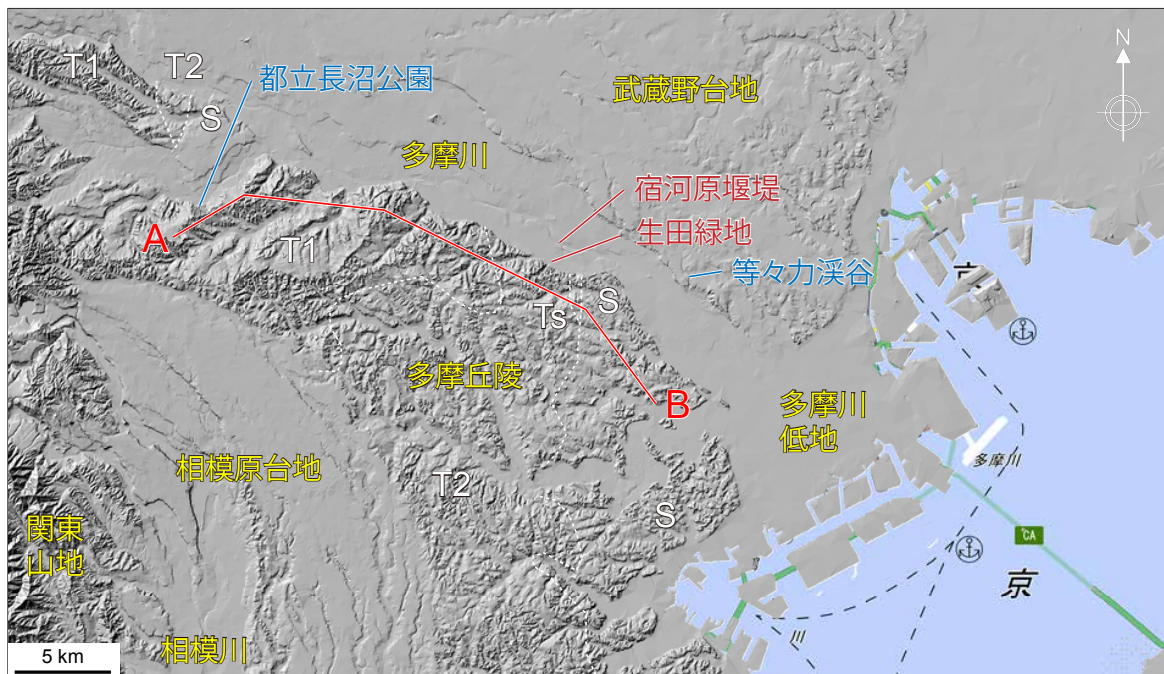
1. はじめに

地形学の世界では、台地 (plateau) よりも古く、より河川による開析の進んだステージの地形を、丘陵 (hills) と呼んで区分して取り扱っている (チョーレーほか [大内訳], 1995)。ただし、その地形区分は必ずしも厳格ではない。例えば、多摩川を挟んだ武蔵野台地 (山の手) の西側に立地する丘陵は、古くから多摩丘陵と呼ばれている (羽鳥・寿円, 1958; 菊地, 1984; 貝塚ほか編, 2000)。この一帯は、昭和の高度成長期の時代に、東京近郊のベッドタウンとして大規模に宅地化が進められていた地域として知られている (第1図)。多摩丘陵は武蔵野台地よりも20～40万

年ほど古く、その成り立ちを詳しく知ることによって、東京都心部の立地する武蔵野台地 (山の手) の未来の地形の姿を予測することができる。

多摩丘陵の西縁は関東山地に隔てられ、北縁は多摩川、南縁は境川上～中流と横浜市を流れる帷子川^{かたびら}によって分けられる。丘陵の幅は約40 kmであり、西側に位置する東京都八王子市の都立長沼公園周辺では標高200 m程度、東方に向かって徐々に低くなっていき、神奈川県川崎市多摩区に位置する生田緑地^{いくた}では概ね標高100 m程度まで低下する (第2図)。

生田緑地は、川崎市内最大の総合公園である。この付近は、江戸と相模国を結ぶ津久井道と川崎と武蔵国を結ぶ府



第1図 多摩丘陵～多摩川低地を中心とした陰影起伏図。地理院地図の機能を利用して作成した。T1 (多摩Ⅰ面), T2 (多摩Ⅱ面), Ts (土橋面), S (下末吉面), 等の地形区分は、貝塚ほか編 (2000) を引用して編図した。A-B は、第2図の断面測線の位置を示す。

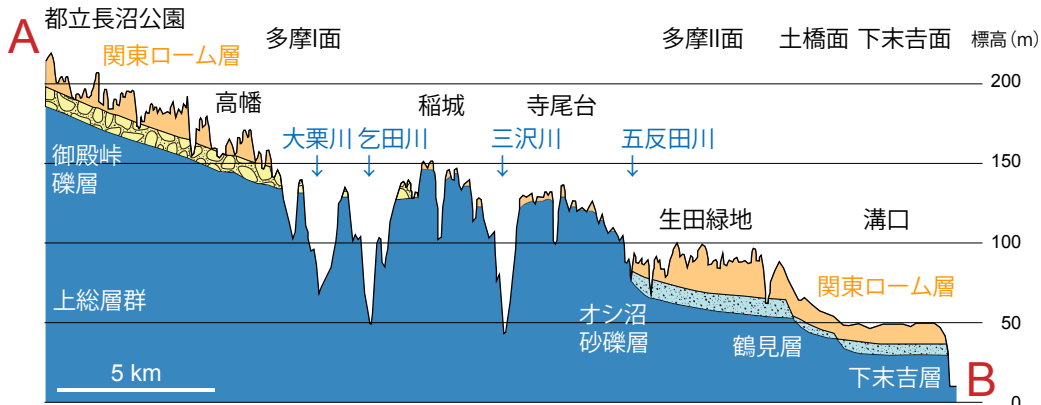
1 産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター

2 ふじのくに地球環境史ミュージアム 〒422-8017 静岡県静岡市駿河区大谷5762

3 明治コンサルタント (株) 北海道事業部 〒064-0807 北海道札幌市中央区南7条西1-21-1

4 石井技術士事務所 〒007-0872 北海道札幌市東区伏古12条3丁目6-28

キーワード：多摩丘陵, 地形発達史, 川崎市, 生田緑地, 神奈川県



第2図
多摩丘陵の模式地形断面図。
関東第四紀研究会(1970)の
第1図を、貝塚ほか編(2000)
を参照して編図した。上総層
群を青色、関東ローム層を橙
色、非海成の段丘礫層を黄色、
海成の段丘砂礫層を水色
で示す。

中街道の交点にあたり、^{のぼりと}登戸宿が置かれた古くからの交通の要衝であり、多摩川水運の拠点の一つでもあった。江戸から神奈川方面まで見渡せる杵形山(標高約84 m)一帯には、鎌倉時代にこの地を支配していた稲毛三郎重成が本拠を構え、山頂に杵形城を築いたと言われている。近代以降は急速に都市化が進み、生田緑地周辺の緑豊かな風景は劇的に変化した。しかし、この周辺は、この地域の本格的な宅地開発が始まる前に川崎市が緑地として都市計画に組み入れていたこと、ならびに、その一角に小田急の向ヶ丘遊園が当地域の環境保全を志しつつ営業していたこと、の2点から、多摩丘陵の豊かな森林環境が残されることとなった。

生田緑地の園内は、歩行者向けの遊歩道がきちんと整備されている。また、かわさき宙^{そら}と緑の科学館(川崎市青少年科学館;以下、科学館)、生田緑地ばら苑、川崎市藤子・F・不二雄ミュージアム、川崎市岡本太郎美術館(以下、岡本太郎美術館)、川崎市立日本民家園(以下、日本民家園)などの観光もしくは文化施設が園内に複数設置されており、都市部近傍に立地しながら、ご家族で週末に訪れることができる手軽な観光地もしくはレクリエーション施設となっている(<https://www.ikutaryokuti.jp/shisetsu.html> 閲覧日:2024年12月30日)。

2. ジオ散歩の準備

これまでと同様に、観光がてらのジオ散歩と言えども、ある程度の事前準備はあった方がよい(七山ほか, 2023, 2024)。ここで私たちがお勧めするのは、(1)国土地理院のweb版地理院地図(<https://maps.gsi.go.jp/> 閲覧日:2025年2月15日)を用いたルートの確認、(2)Google Earthを使った空中写真の確認(ストリートビューがあれば、現地の写真も合わせてチェックしておくといい)、(3)国立研

究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構の歴史的農業環境閲覧システム(<https://habs.rad.naro.go.jp/> 閲覧日:2025年2月15日)を用いて、“明治時代の河川系を確認すること”の3点である。ジオ散歩中には、現地でネットが使える電子端末(スマートフォンやタブレット)を持参することをお薦めする。これらを持参すれば、GPS機能で位置情報が即時にわかるので、地図の読み取りに不慣れであっても、決して迷子になることはない。

また、もし現地で不明なことがあれば、文末の引用文献を検索すれば、多くの疑問は自力で解決できると思う。さらにご不明な点があれば、産総研・地質調査総合センターが業務として行っている地質相談お問い合わせ窓口(<https://www.gsj.jp/inquiries/consul.html> 閲覧日:2025年2月15日)のご利用をお薦めしたい。

生田緑地の園地において、ネグリ鎌やスコップを用いた試料採取や露頭破壊は厳禁である。この点を含めて文末の9章に注意書きがあるので、ご確認いただきたい。また、毎週火曜日と金曜日には、科学館による学校団体向けの地層観察が行われていることが多いため、できるだけ避けた方が無難である。また、日曜日には不定期に科学館主催の市民向けの地層観察会が催されるので、もし参加を希望される際は、科学館ホームページ(<https://www.nature-kawasaki.jp/> 閲覧日:2025年2月15日)でイベント情報をご確認いただきたい。

生田緑地でのジオ散歩の服装については、観光地でもあるので、ピクニック程度の軽装で十分である。ただし、遊歩道から少し外れた藪や湿地には蚊やブヨの類が多く生息するので、できるだけ長袖、長ズボン、帽子の着用が望ましい。また、整備された遊歩道であっても、場所によっては湧水によって生じた湿地や崩壊箇所が所々にあるので、足元は普段使いのスニーカーの着用が望ましい。

一方、宿河原堰堤下流側の多摩川河床も合わせて訪れる

場合は、当日の天候以外にも国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所 (https://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin_index002.html 閲覧日：2025 年 2 月 15 日) のホームページで、河川の水位情報を調べておくのが無難である。特に、河川に入水して河床を観察する際には、予め転倒によって濡れることを想定した服装が望ましい。河床の泥岩は滑りやすく、場所によっては深みや流れが速くなっている部分があるので、足下については、濡れても良いスニーカー、もし可能であれば、滑り止め付きの地下足袋か丈の長い長靴を持参されることをお勧めしたい。

3. 生田緑地へのアクセス

生田緑地の東口と西口には、それぞれ有料駐車場が整備されているので、自家用車での来園も可能である (<https://www.ikutaryokuti.jp/access.html> 閲覧日：2025 年 2 月 15 日)。ただし、休日やイベント開催時には駐車場の混雑が予想される。また、園内は、川崎市周辺の学校の校外学習施設としても利用されており、この場合は、大型バスを使った来場が多いようである。よって、少人数での来園の場合は、小田急線、JR 南武線もしくは小田急バス、川崎市営バスのご利用をお勧めしたい。

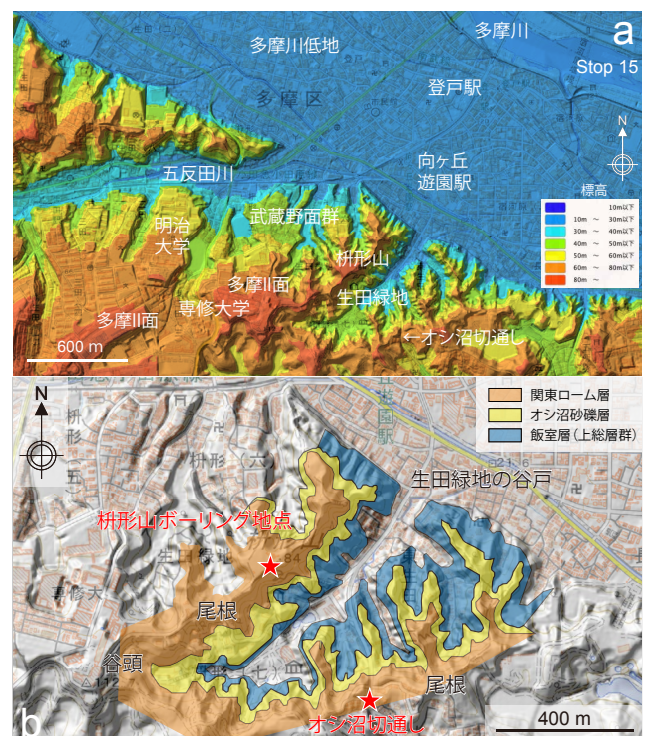
例えば、川崎市の都心である川崎駅からは、JR 南武線を使って最寄りの登戸駅までおおよそ 30 分ほどで行ける。一方、東京副都心の新宿駅からは、小田急線を使えば登戸駅や向ヶ丘遊園駅まで、おおよそ 20 ～ 25 分ほどで行ける。生田緑地東口ビジターセンター（以下、東口ビジターセンター）までは、向ヶ丘遊園駅からなら徒歩 15 分程度（移動距離 1 km）、小田急線と JR 南武線が交差する登戸駅からであれば、徒歩 25 分程度（移動距離 1.5 km）で到着できる。

4. 多摩丘陵で観察できる地形とは？

多摩丘陵を構成する古い地形面は、大きく多摩Ⅰ面 (T1) と多摩Ⅱ面 (T2) に分けられている (第 1 図；貝塚ほか編, 2000)。もちろん多摩丘陵地域内にも武蔵野面群や立川面群に対比されるような新しい地形面も認められているが、本稿ではこのような局所的な地形区分については取り扱わない。また、多摩Ⅱ面と下末吉面 (S) の間に想定されている土橋面 (Ts) およびその段丘構成層である鶴見層 (海洋酸素同位体ステージ (以下, MIS) 7；243 ～ 191 ka；ka = 1000 年前；鶴見・大村, 1966；岡ほか, 1984；須貝ほか, 2013) についても、詳しくは触れない。

多摩Ⅰ面は西側 (八王子市側) に分布し、旧相模川の河床が陸化して生じた御殿峠礫層 (多摩Ⅰ面段丘構成層) を覆う古期の関東ローム層中に 38 万年前 (375 ± 21 ka; MIS 11 ～ 10；加藤ほか, 2022) の大町 A₁ テフラ (A₁Pm) が含まれることなどから、その離水時期は約 60 ～ 50 万年前頃 (MIS 14 ～ 13) と推定されている (貝塚ほか編, 2000)。なお、最近の図幅調査によれば、御殿峠礫層は分布高度により、3 層準に再区分されているが、個々の段丘の離水年代については、詳細は不明のままである (植木ほか, 2013)。一方、多摩Ⅱ面は、主に多摩丘陵の東側 (川崎市側) に分布する。33.7 ～ 30 万年前 (MIS 9；Lisiecki and Raymo, 2005) に浅海成層であるオシ沼砂礫層 (多摩Ⅱ面段丘構成層) が堆積し、その後、離水し段丘化したとされる (貝塚ほか編, 2000)。今回のジオ散歩を実施する生田緑地周辺は、主に多摩Ⅱ面と沖積面に相当する。

多摩丘陵地域のような関東ローム層が厚く覆う地域の地形学的な特徴として、崩壊によって生じた急峻な崖 (谷頭) と深い谷戸の存在が挙げられる (第 3 図)。一般に地形学では、谷の最上流部を谷頭と呼ぶ。そして、谷頭に崖が切り立ち、行き止まりになった谷地形を谷戸と呼ぶ。関東には、谷津、谷地、谷内などの地名が数多く存在するが、こ



第 3 図 (a) 生田緑地を中心とした周辺の段丘図。 (b) “生田緑地の谷戸” を中心とした陰影起伏図。国土地理院の地理院地図の機能を利用して作成した。その上に岡ほか (1984) の地質図を投影した。★：第 13 図の柱状図の作成地点。

れらは全て谷戸を示す地形が語源と考えられている。ちなみに、茨城県の常陸国風土記に登場する夜刀神^{やとのかみ}は、人による環境破壊から谷戸を守る祟り神として言い伝えられている。

一方、谷頭に崖が切り立っているのは、そこには湧水があり、常に崖が侵食を受け崩壊し続けているからである。ゆえに谷戸は、土質が柔らかく侵食が容易な関東ローム層の広がる土地だからこそできる特徴的な侵食地形と言える(第3図b)。

生田緑地の河川侵食地形は谷戸であることは明確であるが、この地の谷戸に関する正式な名称は与えられていないし、谷戸に焦点をあてた地形研究の事例は知られていない。そこで本稿では、“生田緑地の谷戸”と呼ぶことにする(第3図b；第4図)。

5. 多摩丘陵で観察できる地層とは？

多摩丘陵の基盤岩は、鮮新世～中期更新世(280～50万年前)に浅海～深海域に堆積した上総層群であることが古くから知られている(増田, 1971；高野, 1994)。この地層は、模式地である房総半島中部の丘陵部や海岸地域に分

布する。実は、これに対比される地層が、東京都や神奈川県東部の地下や台地・丘陵部の基盤岩として広く分布していることが1970～1990年代の地質調査で明らかにされている。

生田緑地付近では、多摩丘陵地域に分布する上総層群の上位層準に位置する飯室層^{いひむろ}を観察できる(岡ほか, 1984；高野, 1994；増淵, 2001)(第3図b)。また、ほぼ同層準の地層が、多摩川の宿河原堰堤南側の河床で広域に観察でき、しかもこの露頭からは、保存良好な大型化石が多産することが古くから知られている(松川ほか, 2001)。

生田緑地において、飯室層の上位に観察できる段丘構成層は、オシ沼砂礫層と命名されている(羽鳥・寿円, 1958)。この地層は、房総半島の下総層群菰層に対比される浅海成層である。オシ沼砂礫層との上位には、多摩Ⅱローム層から立川ローム層までの一連の関東ローム層が覆っている。ローム層とは陸上で風などによって運ばれた風成塵の総称であり、含まれる火山灰の起源の多くは、箱根火山や富士火山である。生田緑地付近においては、かつて関東ローム層の模式的な露頭があったとされ、ここでは数多くのテフラ研究がなされたことが知られている(町田ほか, 1974)。

6. 枳形山ルートで観察できる地層と地形

本稿でご紹介する生田緑地でのジオ散歩は、前半と後半に区分される。前半は東口ビジターセンター(Stop 0)から出発し科学館(Stop 11)までの枳形山遊歩道沿い(以下、枳形山ルート)の各stopポイントを順に観察していただきたい(第5図)。後半は、科学館(Stop 11)から出発して、西口広場(Stop 13)を目指し、再び東口ビジターセンター(Stop 0)に戻っていただくことを想定している(第5図)。このジオ散歩の総移動距離は2.5 kmほど、所要時間は観察時間も合わせておおむね2.5時間程度である。

(Stop 0) 生田緑地東口ビジターセンター

東口ビジターセンターは、生田緑地の総合案内所として2012年4月にオープンした。館内では、生田緑地内の施設や四季折々の自然の見どころなどをパネルで紹介している。また館内にはトイレ、自動販売機、コインロッカーが設置され、雨天時にお弁当が食べられる休憩スペースも完備されている。

1階には職員が常駐しているので、園内で不明な点があれば問い合わせると良い。2階には多目的スペースがあり、50席程度の机・椅子があるので、団体での利用も可能である。



第4図 (a) “生田緑地の谷戸”の原風景を留めた奥の池。(b) ショウブが植えられた菖蒲池。写真は、生田緑地整備事務所からご提供いただいた。



第 5 図 生田緑地のジオサイト案内図。東口ビジターセンター (Stop 0) を出発点とし、園内を一周して、再び戻ってくることを想定している。Google Earth 画像を基図として利用した。

(Stop 1) 杣形山遊歩道入り口付近に設置された地層案内板

東口ビジターセンターを出て、園路の向かい側にある杣形山遊歩道入り口に移動する。この地点には、杣形山ルートで観察できる地層を解説した案内板があるので、確認しておくといい。この看板付近には、生物擾乱で堆積構造が消されている砂質泥岩層の露頭があるが、苔むしているため、観察に適した露頭部分は限られている。この地層については、次の Stop 2 で詳しく述べることにする。なお、この道路面の標高は、地理院地図で確認すると 33.4 m である。

(Stop 2) 杣形山遊歩道沿いに露出する飯室層

遊歩道の階段の左手には、堅くて灰色の砂質泥岩層が道路沿いに点々と露出している。露頭表面の多くの部分は風化のため褐色がかっているが、新鮮な面を観察すると灰色である。この地層は多摩丘陵の基盤岩である上総層群のメンバーであり、この地域の地名から飯室層と命名されている(第 6 図)。本層中には、二枚貝類や腹足類(巻貝)、有孔虫、サメ等の海棲生物の化石が産出することが知られているが(増渚, 2001)、これに関しては、狛江市宿河原堰堤付近の多摩川河床(Stop 15)の節にまとめて記述する。また、大型化石以外にも様々な生物によって生じた生痕も観

察できるが、ここでは露頭を削って観察することは厳禁である。

飯室層は、外側陸棚環境もしくは内湾泥質環境で堆積したと考えられる。その堆積年代は、ナンノプランクトン化石層序に基づく 136 ~ 110 万年前(1.36 ~ 1.10 Ma; Ma = 100 万年前)と推定されている(小泉, 1990)。上総層群の模式地である房総半島では、この当時にはタービダイト層(黄和田層)からなる海底扇状地が形成されており、その水深は約 1000 ~ 2000 m に達していたことが底生有孔虫化石を用いた検討によって明らかにされている(尾内ほか, 2023)。

(Stop 3) 飯室層とオシ沼砂礫層の岩相境界

遊歩道の階段を 20 m ほど上ると突然岩相が変わり、円磨された礫を含む砂礫層(オシ沼砂礫層)が出現する。現在の Stop 3 の露出では、オシ沼砂礫層と下位の飯室層の直接の関係は明瞭には見られないが、両層の上下関係は推察できると思う。両層の直接の関係は、後ほど訪れる Stop 10 の露頭において詳しく観察できる。この岩相境界の標高は、地理院地図で確認すると 50.6 m である。



第6図 生田緑地で観察される上総層群飯室層の層相。(a)湧水により苔むした砂質泥岩層の表面(Stop 1)。(b)生物擾乱で堆積構造が消された砂質泥岩層(Stop 1)。(c)風化面で観察できる各種生痕化石(Stop 2)。(d)奥の池南岸の露頭(Stop 12)。湧水によって表面が湿っている。

(Stop 4) オシ沼砂礫層の示す浅海成層

階段を5 mほど上り、休憩場所を少し通り過ぎたあたりの左手に、黄褐色を呈するオシ沼砂礫層が出現する(第7図)。杵形山ルートで観察される砂礫層の層厚は、約5 mほどである。また、オシ沼砂礫層は海成層であることが知られている(岡ほか, 1984)。この露頭からの海生生物化石の産出報告は知られていないが、周辺では幾つかの報告がある(岡ほか, 1984; 小泉ほか, 1990)。その堆積年代は33.7 ~ 30 万年前(MIS 9)の海進期(=間氷期)と推定されているが(町田・新井, 1992)、その根拠についてはStop 5で詳しく述べたい。

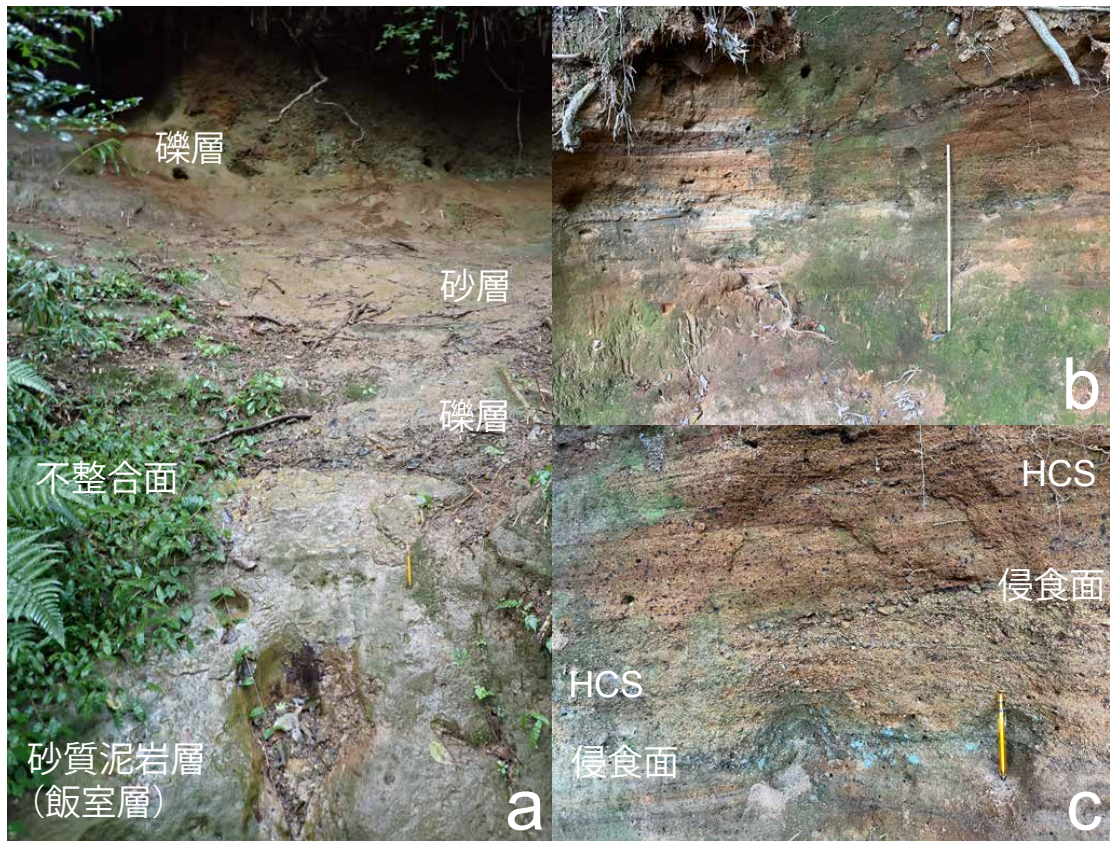
この露頭では、オシ沼砂礫層のなす綺麗な堆積相が観察できる。この露頭で認められる低角な斜交層理は、現在の海浜よりも少し沖合の下部外浜~内側陸棚環境の浅海底で生じていることが知られており、ハンモック状斜交層理(HCS: hummocky cross-stratification; Dott and Bourgeois, 1982)と呼ばれている。オシ沼砂礫層に含まれる礫の礫径は2 ~ 3 cmであり、丸みを帯びており平べったい形状を示し、海岸付近での波の作用で生じた海浜礫が起源と推察される。房総半島に分布する下総層群木下層は、谷を埋めて積もった下部層と、海水面の高さが波食台の上まで上昇

した際に堆積した上部層に区分される。この露頭のオシ沼砂礫層は、木下層の上部層によく似ている(下総台地研究グループ, 1984)。

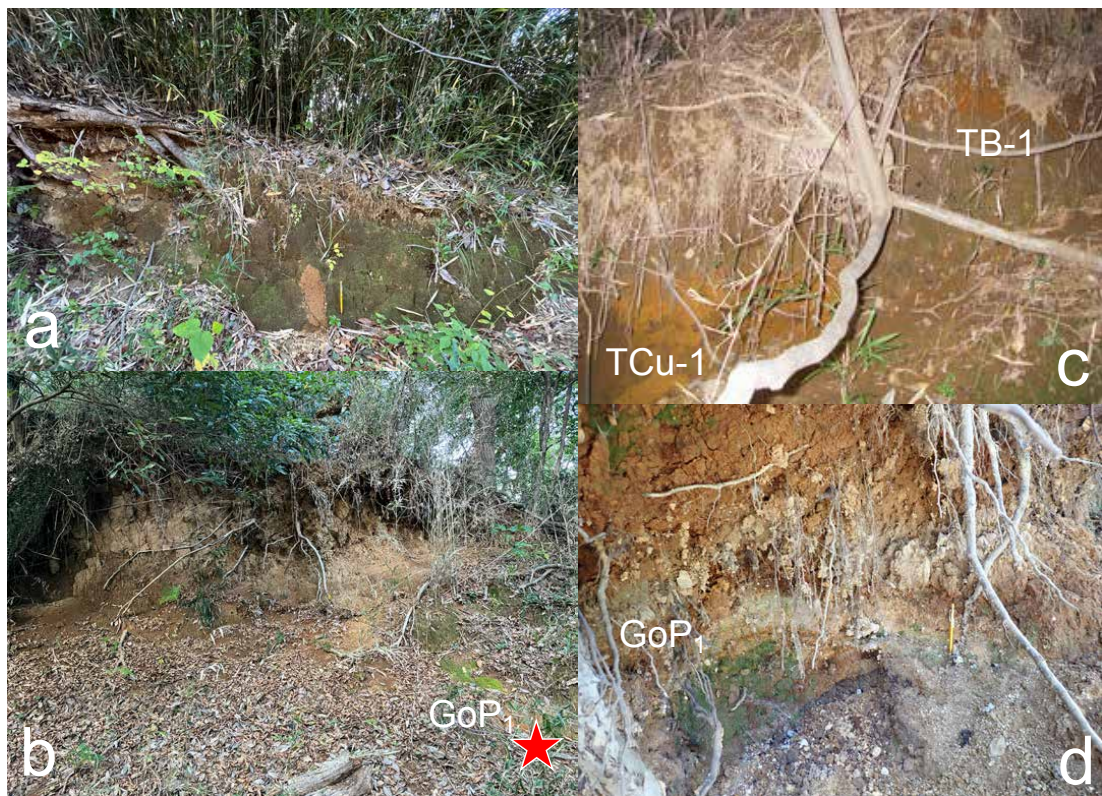
(Stop 5) オシ沼砂礫層と関東ローム層の岩相境界

Stop 3の露頭の足下付近では、かつてオシ沼砂礫層が観察された。この岩相境界の標高は、地理院地図で確認すると56.0 mである。この露頭でオシ沼砂礫層の露出は終わり、これより山側では関東ローム層のみが観察できる(第8図)。

現在の露頭では、下位のオシ沼砂礫層との関係を観察することができないが、飯室層とオシ沼砂礫層の境界部のような大きな時間間隙はない。生田緑地の関東ローム層基底部付近には、ゴマ塩第1軽石(GoP_1)とゴマ塩第2軽石(GoP_2)の2層のテフラが挟在されており(第8図d)、これらの噴出源が八ヶ岳であったことが判明していることから、供給源を冠して $Yt-GoP_1$ 、 $Yt-GoP_2$ とも呼ばれている(貝塚ほか編, 2000)。 GoP_1 はMIS 9の浅海成層(下総層群藪層下部層準)中に挟在される $Yb5$ に対比される広域テフラとして知られている。テフラの年代値として、 GoP_1 からは 0.36 ± 0.16 Ma、 GoP_2 からは 0.27 ± 0.12 Maと言うや



第 7 図 生田緑地で観察されるオシ沼砂礫層の層相。(a) 飯室層とオシ沼砂礫層の不整合関係が観察できる大露頭 (Stop 10)。(b, c) オシ沼砂礫層の堆積構造。ハンモック状斜交層理 (HCS) と侵食面が綺麗に観察できる (Stop 4)。



第 8 図 生田緑地で観察される関東ローム層の層相と主要テフラの写真。(a) 七草峠の尾根を覆う立川ローム層。(b) オシ沼砂礫層を覆う多摩Ⅱローム層。★は写真 d の撮影地点。(c) 箱根火山起源のパヤリース軽石 (TB-1/Tm-8-1) とドーラン軽石 (TCu-1/Tm-2-1)。(d) 八ヶ岳起源のゴマ塩第 1 軽石 (GoP₁)。

や誤差範囲の大きめなフィッシュントラック年代が報告されているが(鈴木ほか, 1998), 概ね GoP₁ が MIS 9 (33.7 ~ 30 万年前) の範囲内にあり, しかも MIS 9 の浅海成層であることが判明している数層中に挟在されることから, MIS 9 の海進末期を示唆する 30 万年前という年代値を採用するのが妥当であろう。この場合オシ沼砂礫層は, MIS 9 の間氷期に生じた浅海成層(貝塚ほか編, 2000)と考えるとほぼ矛盾がない。

なお, 最近鈴木ほか(2023)は, 多摩丘陵西部地域においても, 新たな道路工事によって生じたオシ沼砂礫層の露頭を記載している。一方, オシ沼砂礫層の堆積時に, 上記の通り房総半島では数層の浅海成層が堆積していたことが知られている(岡崎ほか, 2000)。入月ほか(2011)および須貝ほか(2013)は, 関東平野北西部のボーリングコアで, MIS 9 相当の海成層の存在を報告している。ただし, 現時点では MIS 9 相当層の分布に関する地質情報は, 限定的と言える。

(Stop 6) 様々なステージの関東ローム層の累重

階段の脇に赤褐色のローム層が露出している。下位からゴマ塩第 1 軽石(GoP₁)を伴う多摩Ⅱローム層, ウワバミ軽石(TAm-5/Tu-8)を伴う土橋ローム層, 東京軽石(Hk-TP)を伴う武蔵野ローム層, 始良 Tn 火山灰(AT)を伴う立川ローム層の順である(鶴見・大村, 1966)。

かつてこのオシ沼切通しから枳形山一帯は, 多摩ローム層の研究模式地として広く知られていた(町田ほか, 1974)。このルート上の露頭でも, 多数のテフラが記載されていた。しかし 1958 年の狩野川台風来襲時に大規模な斜面崩壊が発生し, その後, 露頭の護岸工事が実施されたため, 現在の関東ローム層の露出は断片的なものになっている。また, 記載されたテフラの多くは掘り尽くされており, 現状ではとても露頭観察をお薦めできる状況とは言い難い。生田緑地の関東ローム層やテフラについては, Stop 11 でご紹介する科学館の枳形山ボーリングコア展示でご確認いただくことをお薦めする。

なお, 東口ビジターセンターや科学館の南側の丘陵を周回するあじさい山ルートでは, 現在でも遊歩道脇の崩壊斜面に多摩Ⅱローム層を示準するドーラン軽石(TCu-1/Tm-2; MIS 8.2 or 8.4; 270 ~ 250 ka; 笠間, 2008)(下位), バヤリース軽石(TB-1/Tm-8; MIS 7.3 or 7.5; 246 ± 12 ka; 笠間, 2008)(上位)(第 8 図 c)や土橋ローム層を示準するウワバミ軽石(TAm-5/Tu-8; MIS 6; 191 ~ 130 ka; 笠間, 2008)等の箱根火山起源のテフラの露頭があったとされる(吉澤・高橋, 2011)が, 現在の露出状況につ

いては不明である。なお, かつて生田緑地で観察された関東ローム層やテフラ露頭については, “神奈川の自然をたずねて”の 53 ページ(神奈川の自然をたずねて編集委員会編, 2003)に詳しく記載されているので, 関心をお持ちの方は参照していただきたい。

(Stop 7) 枳形山展望台から望む武蔵野台地の景観

枳形山山頂の広場には自動販売機やトイレが設置されている。この広場(標高 84.2 m)は人の手によって整地されているが, おおむね海成段丘(厳密には段丘構成層であるオシ沼砂礫層とそれを覆う関東ローム層の堆積頂面)である多摩Ⅱ面の高度を示していると言えよう。

現在の広場の北縁には, エレベーターが完備された展望台が設置されている。この展望台からの眺望は素晴らしく, 武蔵野面群と立川面群の地形境界である国分寺崖線(貝塚ほか編, 2000)を含めた多摩川中流域の河川地形が観察できる。真下を見下ろすと, “生田緑地の谷戸”が多摩丘陵に深く切れ込んでいる様子が見てとれる。さらに, 東京都心部や新宿副都心の高層ビルが林立する武蔵野台地, 荒川低地に建つ東京スカイツリー, 川崎市武蔵小杉駅周辺のタワーマンション群を見渡することができる(第 9 図)。

(Stop 8) 七草峠付近の尾根を覆う立川ローム層

枳形山広場から西口サテライト(専修大学生田キャンパス)方向に向かって尾根の上の遊歩道を 150 m ほど歩く(第 10 図)。七草峠の三叉路の右手手前に関東ローム層の小露頭が存在する。このローム層はやや黒みを帯びており黒色のスコリアを伴うこと, 尾根の表面に近いことから立川ローム層と推定されている。

(Stop 9) 西口サテライト付近の尾根の多摩Ⅱ面

七草峠を通過し尾根道を 300 m ほど歩くと, 西口サテライトに到着する。この間の尾根に沿った狭い平坦面(標高 84.1 m)が多摩Ⅱ面である(第 10 図)。

(Stop 10) オシ沼砂礫層と飯室層の不整合関係

西口サテライトから七草峠の三叉路まで戻り, 今度は谷に向かう石段を下り, 七草峠の坂を下りきる手前の左手の茂みの奥には, 生田緑地において最大規模の露頭が出現する。この露頭は Stop 3 の西方延長部に相当し, 下位は飯室層の灰色砂質泥岩, その上位をオシ沼砂礫層の淡褐色の砂礫層が覆っている。この岩相境界の標高は, 地理院地図で確認すると 50.3 m である。後者に含まれる礫径は 2 ~ 3 cm である。礫種は砂岩, 泥岩, チャートなどの他に花崗



第 9 図 枳形山展望台からの眺望。(a) 北東側を望む。(b) 東側を望む。武蔵野台地の上に林立する高層ビル群。天候が良ければ、隅田川沿いに建てられた東京スカイツリーが眺望できる。

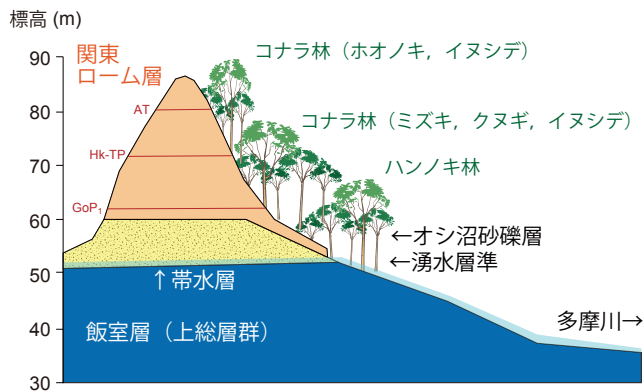


第 10 図 (a) 枳形山展望台から専修大学方面を望む。手前の平坦面(枳形山広場)が多摩Ⅱ面。尾根道が西口サテライトまで続く。(b) 西口サテライト付近の狭い尾根に残る多摩Ⅱ面。

閃緑岩や緑色凝灰岩などが含まれ、丹沢山地に由来することが明らかにされている(羽鳥・寿円, 1958)。

飯室層とオシ沼砂礫層の境界は侵食面であり、両層の間には 80 万年以上の年代差が想定されることから、不整合関係にあると判断されている。生田緑地一帯での不整合面はほぼ水平であり、その標高は 50 ～ 60 m の範囲内にある。ただし、この露頭を見ると不整合面には凹凸がある。不整合面直下の飯室層には、直立した穿孔貝による生痕化石が認められることから、波の侵食によって生じた波食台起源と考えられている(岡ほか, 1984)。

さらに露頭をよく観察すると、不整合面あたりの層準から地下水がしみ出して濡れていることがわかる。生田緑地では、地下にしみこんだ雨水は関東ローム層を通過し、オシ沼砂礫層を帯水層とし、その後、難透水層である飯室層との岩相境界面(不整合面)を通して地表にしみだすことになる(第 11 図)。このような湧水は、台地や丘陵を刻む谷戸の奥でよく観察される。武蔵野台地の例を挙げると、世田谷区にある等々力不動尊付近の溪谷が元々谷戸であったと考えられており、湧水層準が武蔵野礫層の基底層準、その代表的な湧水スポットが不動滝なのである(七山ほか, 2023)。



第 11 図 枳形山の地質断面図と湧水層準の模式図。生田緑地整備事務所からご提供いただいた原図に、加筆して作成した。

(Stop 11) 科学館に設置された枳形山ボーリングコア展示の観察 (枳形山ルートのもつめ)

科学館は、自然・天文・科学に関する展示や観察会、体験学習を行っている川崎市唯一の自然科学系の登録博物館であり、入館料は無料である。館内には世界最高水準の精緻な星空投影を楽しめるプラネタリウム (有料) や、大型望遠鏡を備えた開放的な天体観測スペース、動植物標本の展示室が設置されている (第 12 図 a)。

この館の 1 階展示室では、川崎の自然を「川崎の大地」、「丘陵の自然」、「街の自然」、「多摩川の自然」、「生田緑地ギャラリー」の 5 つのテーマに分けてわかりやすい展示を行っている。特に、「川崎の大地」のコーナーには、生田緑地を含めた川崎市に出現する地層が柱の上に柱状図として表現されている。またこの展示室には、2009 年に枳形山山頂の展望台付近から長さ 35 m のボーリングコアを採取し、これを半割して表面を樹脂で固めた展示物がある。是非、ここで前半の枳形山ルートで観察した地層や岩相境界を、枳形山ボーリングコアの中から見出すことを試みていただきたい。特に重要な観察ポイントは、現在の枳形山ルートの関東ローム層の露頭では観察しにくくなっているテフラの多くが、このコア展示では明瞭に観察できる点である (第 12 図 b; 第 13 図)。もし生田緑地の地形や地質に関して解らないことがあれば、館の職員に相談してみるのが良いであろう。

科学館の 1 階テラスにはカフェが併設されており、休憩場所としてお薦めできる。もし時間に余裕があれば、世界最高水準のプラネタリウムの映像をご覧になることもお薦めしたい。

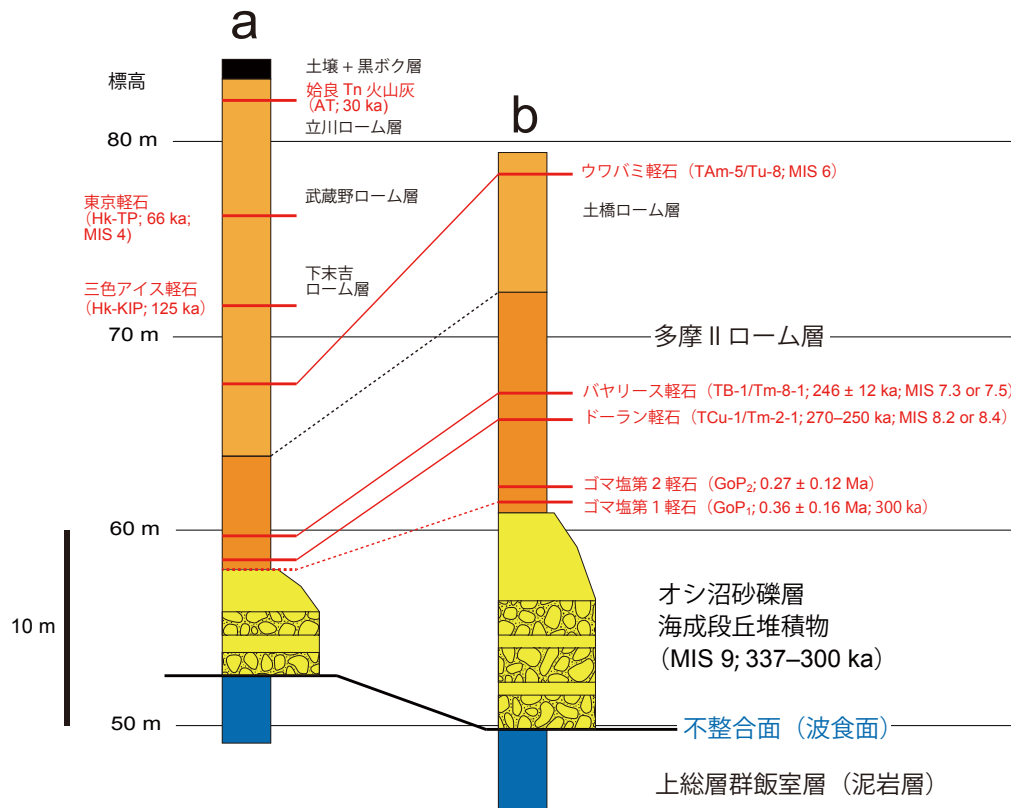


第 12 図 (a) 科学館の外観。写真は、生田緑地整備事務所からご提供いただいた。(b) 1F の枳形山ボーリングコアの展示。(c) バヤリース軽石 (TB-1/Tm-8-1) およびドーラン軽石 (TCu-1/Tm-2) 層準の接写写真。(d) オシ沼砂礫層基底の不整合面の接写写真。

(Stop 12) 奥の池付近に潜む川崎ローム斜面崩壊実験の事故現場

後半は、科学館を出発し、西口広場を目指して園路に沿って西方に進む。谷戸の奥に向かって 250 m ほど進むと、この一帯の遊歩道沿いにはメタセコイア (*Metasequoia glyptostroboides*) の林が続く。メタセコイアは、裸子植物マツ綱のヒノキ科メタセコイア属に分類される落葉針葉樹の 1 種である (大橋ほか編, 2015)。メタセコイア属は後期白亜紀に出現した植物と考えられており、シベリア東部、日本を含む北太平洋沿岸、北米から化石が報告されている。メタセコイア属は化石植物として 1941 年に提唱されたが、そのすぐ後に中国で生き残っていることが発見されたため、現在では生きている化石とも呼ばれている。メタセコイアの林の途中に奥の池があり、その南側のつつじ山を少し登った斜面上には、現在は梅園がある。奥の池の南側の道路脇には慰霊碑が奉られている。

1963 年 11 月に、神奈川県と東京都に跨る南多摩地域の都市計画が決定された。東急田園都市線、小田急多摩線、京王相模原線の新設工事の進捗に伴い、この地域のニュータウン建設が急激に進み、多くの工事現場で関東ローム層



第 13 図 生田緑地周辺の層序。(a) 科学館に保存された枅形山ボーリングコアの層序。展示物から柱状図を作成した。(b) オシ沼切通し付近の層序。鶴見・大村(1966)および羽鳥(1996)の記載を参照し、編図した。Ma は 100 万年前, ka は 1000 年前, MIS は海洋酸素同位体ステージを示す。柱状図の作成地点は、第 3 図 b 上に赤い★で示す。

の崖が露出(露頭)するようになったのである。このため、軟弱なローム層の崖の斜面崩壊が多発するようになり、大きな社会問題に発展していた。

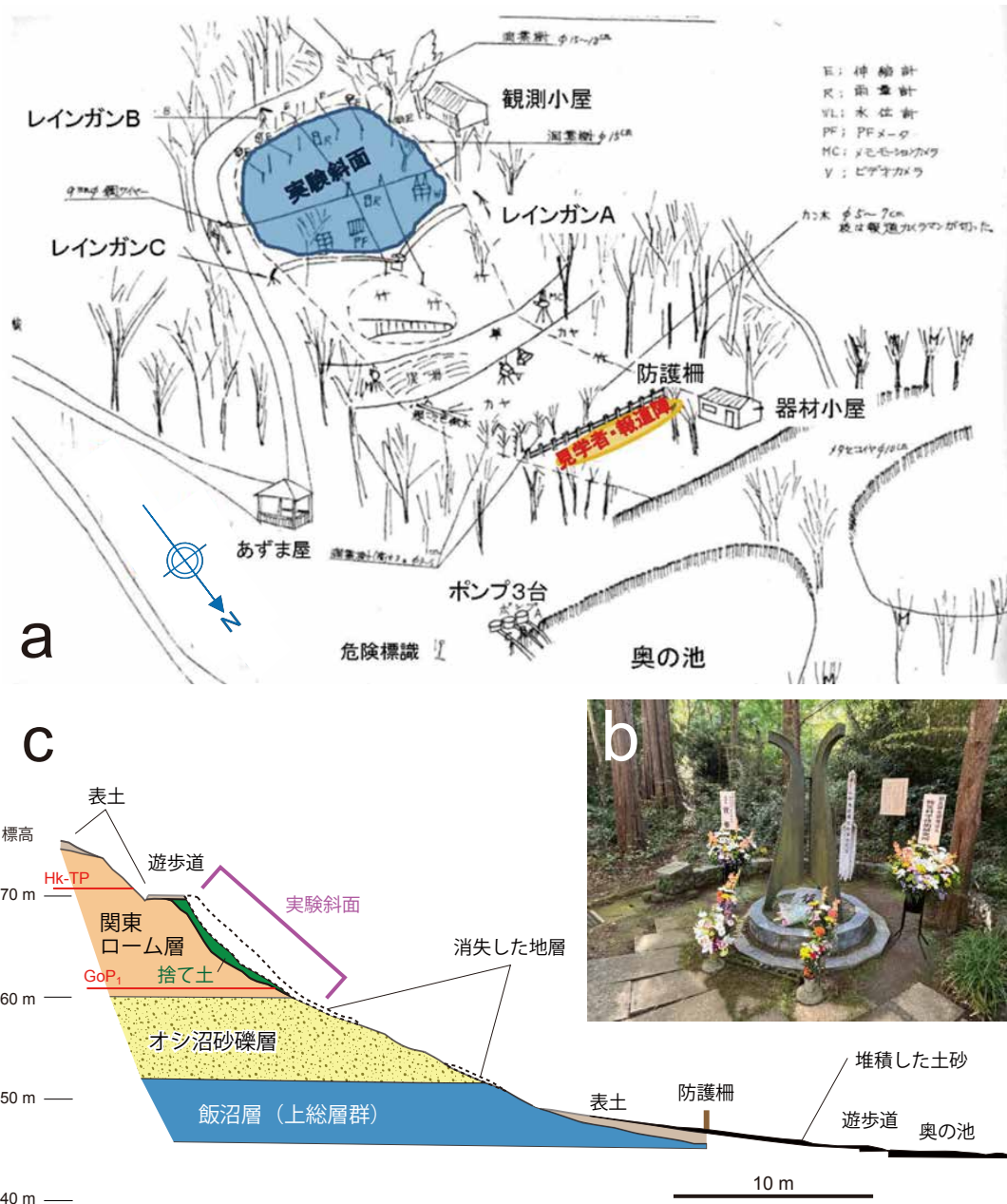
1971 年 11 月 11 日に、このつつじ山の勾配 30°の南斜面を試験地として、科学技術庁国立防災科学技術センター(現在の国立研究開発法人防災科学技術研究所)、通商産業省工業技術院地質調査所(現在の国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター)、自治省消防庁消防研究所(現在の消防庁消防大学校消防研究センター)、ならびに建設省土木研究所(現在の国立研究開発法人土木研究所)が、その当時、南関東のローム台地で頻繁に発生していた土砂くずれに関する総合研究を共同で行っていた(井口, 2022; 第 14 図 a)。具体的には、関東ローム層からなる斜面に多数の穴を掘って 100 台以上の計測機器などを設置し、集中豪雨を想定して、奥の池の水を汲み上げ、レインガンを用いて人工降雨を降らせて、地盤の変形を観測しながら斜面崩壊を発生させ、斜面の 150 か所に設置した観測機器で土砂や水の動きを記録するという大規模な現地実験であった。

ところが、突然想定以上の規模の斜面崩壊が発生し始めた。しかも当初予想されていたような関東ローム層がゆっ

くりと撓むような動きでは無く、突発的な土石流が発生し、その流動速度は時速 60 km と当初想定されていた 3 倍の速度に達した。1971 年 11 月 13 日に放映された NHK ニュースの映像が、NHK 首都圏ナビの WEB リポートで公開されているので、この実験事故に関心をお持ちの方はご確認頂きたい(<https://www.nhk.or.jp/shutoken/wr/20211230a.html> 閲覧日: 2025 年 2 月 15 日)。

この実験の結果、当初安全とされていた防護柵より池側にいた実験関係者ならびに報道関係者を含む 25 名が、土石流に巻き込まれ生き埋めとなった。そして、15 名(実験関係者 11 名、報道関係者 4 名)が死亡、10 名が負傷する痛ましい事態となった(村瀬・鈴木, 1991; 井上, 2022)。その後、実験関係者が刑事裁判に問われて 10 年以上にわたる長期の公判が続いたこともあり、この事故の原因究明に関して、関係者の間でも詳しい議論が避けられる状況が長らく続いていた(井口, 2022)。

ちなみに、この実験で流動した土砂の殆どは、実験のわずか 4 年前に園内の遊歩道を整備する際に削られて、斜面に放棄された捨て土だった(第 14 図 b の緑色に塗色した部分)。しかも、この事実が明らかになったのは、実験地が生田緑地に決まった後のことであつたらしい。



第 14 図 川崎ローム斜面崩壊実験の状況。(a) 井口 (2022) のスライド 20 を転載した。(b) 奥の池の南側に事故後に建てられた慰霊碑。(c) 実験斜面の地質断面図。井上 (2022) の第 11 図および羽鳥 (1972) の記述を参照して編図した。

(Stop 13) 岡本太郎美術館裏の西口広場に残る谷頭

メタセコイアの林を抜けた先には石段があり、その上には川崎市生まれの芸術家である岡本太郎を顕彰する岡本太郎美術館が建てられている。また、ここにはお洒落なカフェテリアが併設されており、休憩場所としてお薦めである。

岡本太郎美術館の建物の横には生田緑地湧水地の立て札があり、現在は、この地点から“生田緑地の谷戸”の東流が始まっている。岡本太郎美術館のエントランスの階段を上り奥に進んでいく(第 15 図)と、大きなモニュメントが目に入る。その右手奥にさらに進むと、一面が芝生に覆われ

た西口広場が広がっている。そして、尾根(多摩Ⅱ面)の上には専修大学の校舎が建っている。よって、地形的には、この付近が“生田緑地の谷戸”の谷頭である。

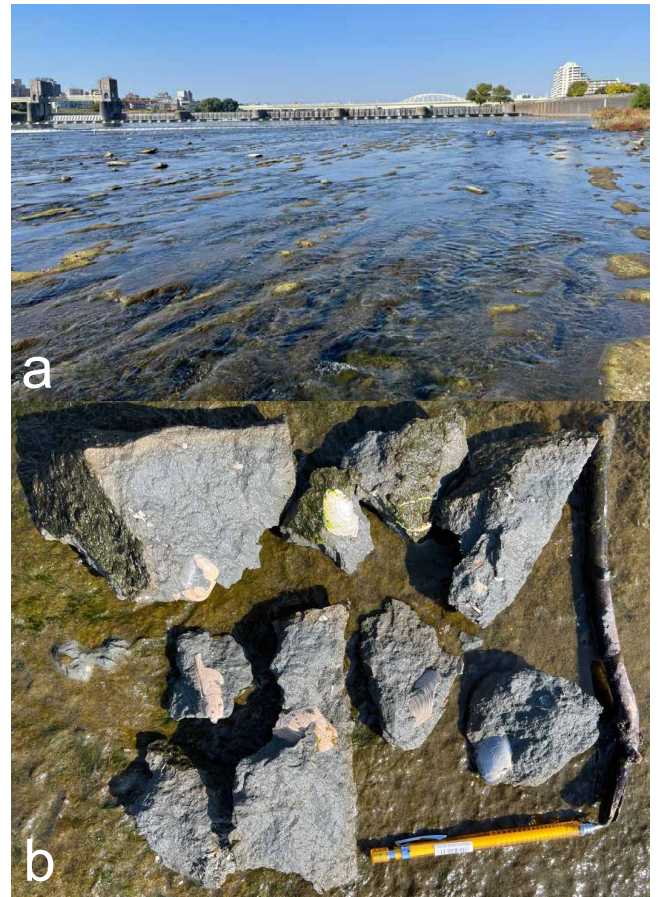
ちなみに、この付近の西側の尾根の地下(おそらく上総層群)を掘削してトンネルを建設し、府中本町駅と武蔵小杉駅の間を結ぶ JR 武蔵野貨物線が通過している。

(Stop 14) 日本民家園を経由して再び東口ビジターセンターへ

科学館、日本民家園経由で東口ビジターセンターに戻る。飯室層は日本民家園裏の崖にも露出し、その後も東口ビジ



第 15 図 岡本太郎美術館周辺の風景。(a) 谷頭である美術館奥の芝生の敷かれた西口広場の風景。尾根(多摩Ⅱ面)に建つ建物は、専修大学生田キャンパス。(b) 岡本太郎美術館のエントランスから望むメタセコイアの林。林の中に奥の池がある。



第 16 図 (a) 宿河原堰堤南側の多摩川河床に露出する上総層群飯室層の露頭。写真左手が神奈川県川崎市、右手が東京都狛江市。(b) 飯室層から産出する貝化石の産状例。

ターセンター付近までの道路沿いに点々と続く。

日本民家園は、日本の古民家を中心とした川崎市立の野外博物館である。この施設では急速に消滅しつつある川崎市市内および主に東日本の代表的な古民家や水車小屋などの建物が移築されるとともに、民俗資料の収集と活用を行っている。また、敷地内には、そば屋が併設されている。

ここから東口ビジターセンターまでは 80 m 程である。ここで手洗いとトイレを済ませてから、次の目的地を目指していただくのが良いであろう。

7. 狛江市宿河原堰堤南側の多摩川河床で観察される飯室層

東口ビジターセンターに到着した時点で、さらに 2 時間ほど時間に余裕があれば、宿河原堰堤付近の多摩川河床に露出する飯室層を合わせて観察されるのが良いと思う。宿河原堰堤へは、東口ビジターセンターから登戸駅経由で多摩川を跨ぐ多摩水道橋を渡って、堤防上の遊歩道を下流側に歩いても、50 分程度(移動距離 3.5 km)で行ける。また、

向ヶ丘遊園駅まで歩いて小田急線に乗車して和泉多摩川駅まで移動し、そこから堤防上の遊歩道を下流側に歩いても 15 分程度(移動距離 1 km)で行き着ける。

なお、多摩水道橋の対岸は県境を跨ぎ、東京都狛江市の所轄となる。この橋は、1953 年(昭和 28 年)に開通した。それまでは、多摩川を渡るための“登戸の渡し”があり、津久井道の往還に重要な役目を果たしていたが、同年に廃止された。

(Stop 15) 多摩川河床で観察できる飯室層と貝化石

宿河原堰堤下流側の約 100 ～ 300 m の間に、飯室層が多摩川河床と狛江市側の河原に露出している(第 16 図)。この地域の飯室層の層相は、塊状の砂質泥岩からなり、生田緑地と同様である。生物擾乱により層理面は明確ではないが、走向は E-W 方向で、北側に 2 ～ 3° 程度傾斜していると考えられている(松川ほか, 2001)。

宿河原地域は、古くから、多くの海棲動物化石の産地として有名な場所であった。そのうち貝化石については多く

の報告があり、特に正岡(1976)、松川ほか(2001)、馬場(2015)には、詳しい産出報告がある。多産するサメの歯の化石(板鰓類化石)については、田中・樽(2022)の報告がある。近年では、泉・佐藤(2017)が甲殻類のエンコウガニの化石の産出を報告している。脊椎動物化石については、小泉(1990)がトド科とアシカ科の骨格化石、甲能ほか(2007)が大型の海牛であるダイカイギュウ(*Hydrodamalis* sp.)の全身骨格化石の産出を報告している。これらについて関心をお持ちの方は、原著をご確認いただきたい。

宿河原堰堤下流側の河床露頭において、場所によって二枚貝の殻の保存状態には差があり、総じて堰堤に近い上流側では、殻が良く保存されている傾向がある。合併の二枚貝は、生息時の姿勢を保持しほぼ直立している。一方、小型の巻貝や二枚貝の破片、および材化石は、しばしば密集して産出するが、これは暴浪時に起こった流れによる掃きだめの作用の影響と考えられる。

狛江市側の河原では、河川礫の観察もお薦めである。ここでは中礫が多く、細礫や大礫サイズのものも含まれる。礫はやや丸みを帯びていて、楕円球状の形状のものが多く、礫種は砂岩や泥岩が主で、まれにチャートが含まれる。これらは多摩川上流の関東山地から運ばれてきたものであり、生田緑地のオシ沼砂礫層で観察した礫種とは違いがある。もちろん現世の河川礫の中には、コンクリートブロック等の人工物が混じっている点には、ご注意ください。

この河床露頭には、白色の軽石層を多量に含む層準があるとの記述があり、この軽石層は登戸パミス(Np)と命名されている(岡ほか, 1984)。その2.5 m 上位の層準に層厚5~20 cmの細粒砂サイズの灰白色火山灰である第1登戸タフ(Nb1; 岡ほか, 1984; 小泉, 1995)(= NB; 神奈川県知事公室企画審議課編, 1955)が記載されている。Nb1は、南西方向に2 kmほど離れた稲田登戸病院(2006年に廃院)入り口付近や生田緑地の日本民家園の裏の露頭に続いていると報告されている。これらを含めて、飯室層中には7~10層のテフラ層が記載されている(小泉, 1990)。鈴木・村田(2011)は、NBテフラ(飯室層)とKd17テフラ(黄和田層)間の広域対比に基づいて、堆積速度曲線から1.396 Maの年代値を算出した。

多摩川河床での地層観察が終わった後は、帰路につく。この後、東京方面に向かうのであれば、小田急線の和泉多摩川駅から乗車するのが最も便利である。なお、多摩川の河川水は飲用や手洗いに適さないので、乗車前に駅構内か駅前のコンビニエンスストアのトイレをお借りして手洗いをすることをお薦めする。

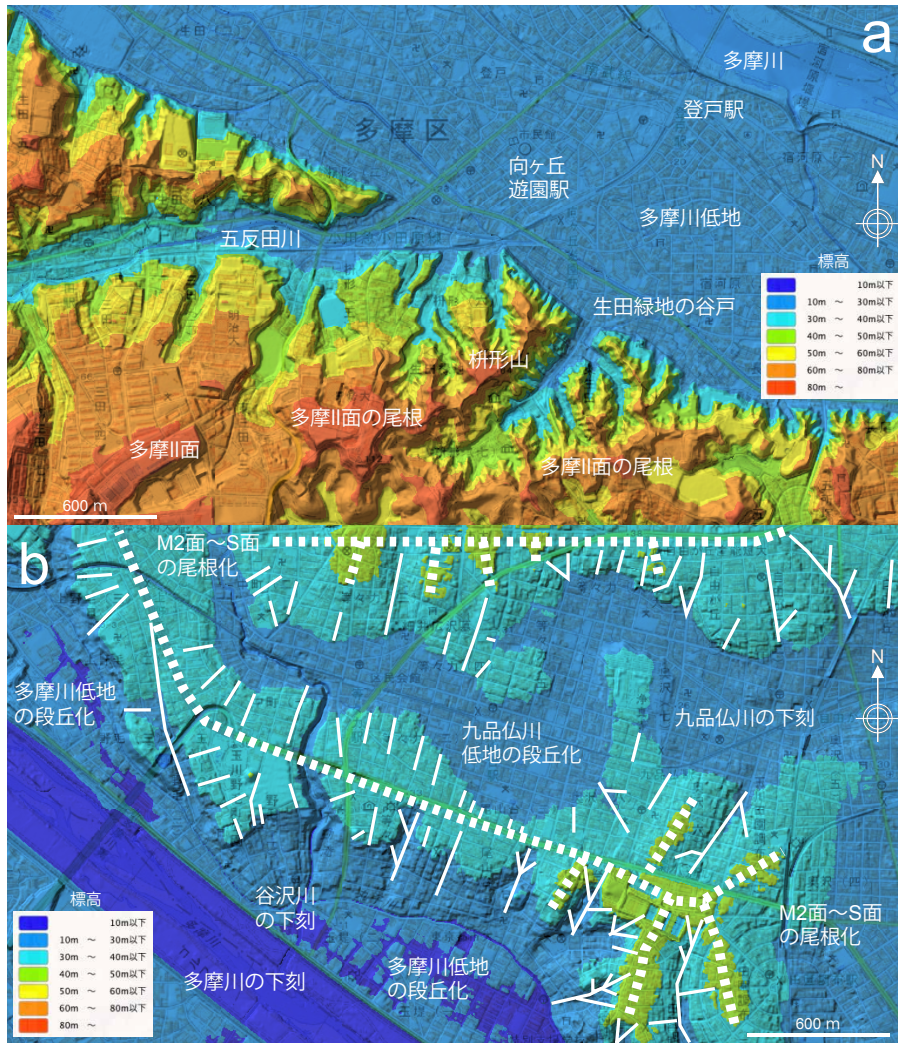
8. 20 万年後の武蔵野台地(山の手)の姿を想像してみよう!

多摩丘陵の地形の特徴とは何か? 武蔵野台地(山の手)との違いは何か? これらの疑問に対する答えは至ってシンプルで、前者の方がよりギザギザしているのが特徴なのである。段彩図や陰影起伏図を見ると、多摩丘陵では大きな谷戸から小さな谷戸へ、そしてより小さな谷戸へとフラクタルな分岐を繰り返し、多摩丘陵を複雑に刻んでいる様子が読み取れることであろう(第3図; 第17図)。今回ご紹介した生田緑地を含む多摩丘陵東部と武蔵野台地(山の手)では、地質の構成メンバーはほぼ変わらない。ではなぜ、多摩丘陵には武蔵野台地(山の手)と比較して、こんなに多くの谷戸が生じたのであろうか? これらは、主に流水による侵食や崩落によって生じた筈である。侵食時間が長ければ長いほど谷戸は複雑に分岐し、また、深く掘られていく。つまり、多摩丘陵に見られる分岐した谷戸は、武蔵野台地(山の手)よりも長期間にわたって侵食を受けてきた証拠と言える。

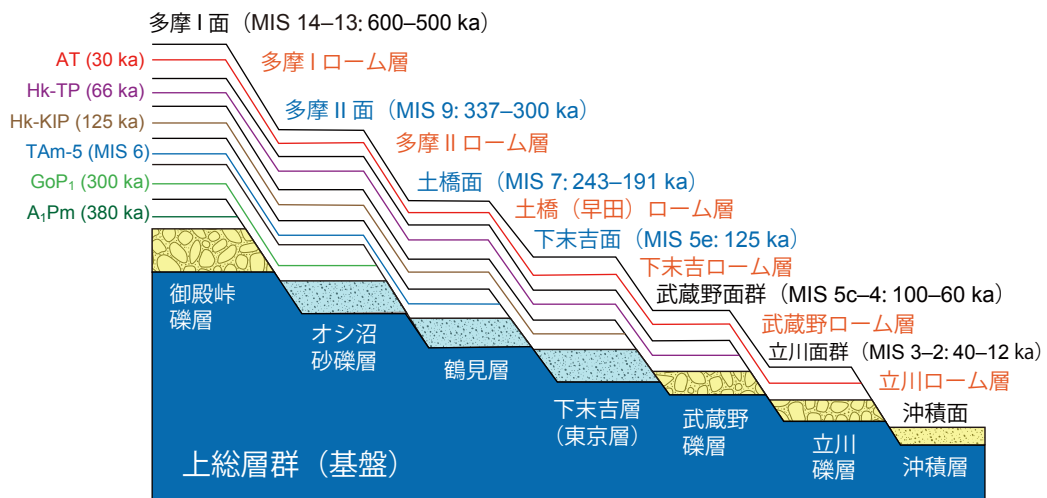
一方、現在の多摩丘陵の尾根を線でつなぐと、ほぼ標高が揃っていることがわかる(第2図)。この高さこそが、かつて存在した段丘面の残骸であり、このような定高性を示す尾根のことを、地形学者は背面(summit plane)と呼んでいる(チョーレーほか[大内訳], 1995)。枳形山広場と西口サテライトを結ぶ尾根に沿って、狭くて平坦な段丘面(多摩II面)が残っていることから(第10図; 第15a図)、かつての生田緑地周辺には、平坦な段丘面が広がっていたことは、容易に想像できることであろう。

武蔵野(中位)面(M2面)が離水したのは約8万年前である(貝塚ほか編, 2000; 遠藤ほか, 2019)。一方、今回紹介した多摩II面が離水したのは約30万年前と推定されることから、その差は20万年程度と見積もられる(第18図)。現在の武蔵野台地(山の手)にも、湧水に伴って谷戸が発達し、地域によっては等々力溪谷のように深い谷戸ができている場所もある(七山ほか, 2023)。おそらく20万年経過すれば、これらの谷戸の侵食が広範囲かつフラクタルに進み、台地の平坦面が殆ど削られて、最後は河川流域境界である背面のみが残されることを示唆している。もちろん、その頃には武蔵野台地は現在よりも50 m程隆起している筈であり、立川面群の下位には現在の沖積面が段丘化して分布していることであろう。

よって、現在から20万年経過した後の武蔵野台地(山の手)には、分岐が進んだ深い谷戸が幾筋も発達し、それらを隔てる狭い尾根が枝状に分岐した険しい地形に変化し



第 17 図 多摩丘陵の生田緑地と武蔵野台地の段彩図の比較。国土地理院の地理院地図の機能を利用して編図した。(a) 生田緑地の段彩図。(b) 武蔵野台地の段彩図(七山ほか, 2023)に 20 万年後の地形改変のイメージを書き加えた。太い白色の破線は、武蔵野(中位)面(M2 面)から下末吉面(S 面)が尾根化したイメージを示す。細い白色の実線は、今後発生が見込まれる谷戸の位置を地形図から目視で読み取って示した。



第 18 図 関東ローム層の層序、段丘構成層と段丘の関係。基盤の上総層群を濃い青色、海成の段丘構成層は水色系、河川成の段丘構成層は黄色系で示している。貝塚ほか編(2000)を参照して編図した。ka は 1000 年前、MIS は海洋酸素同位体ステージを示す。

ていることが予想される。ただし、谷戸の深さは、必ずしも離水後の経年のみによって規定されるわけではない。地質学的(物性的)な拘束条件から、おそらく湧水層準である武蔵野礫層基底の侵食面(=下末吉層(東京層)の泥岩層の上面)の高さまでは下刻は進行すると思う。ただし、その後も地殻変動に伴う地盤隆起によって谷戸の下刻作用は進み、最終的には生田緑地のように上総層群の泥岩層の基盤まで到達するのであろう。なお、多摩丘陵の尾根と谷戸の形状と基盤の上総層群の岩相との関係については、吉永・武内(1986)による議論があり、これによれば、飯室層のような泥質な基盤の方が、より谷の発生が密となり、尾根が痩せると考察されている。

9. 最後に、注意とお願い

今回ご紹介した生田緑地や宿河原堰堤は立地条件が良く、古くから小中高校の理科実習や大学の地形学や地質学の学生実習の場所として利用されている(岡部, 1992; 松川ほか, 2001; 三次ほか, 2002; 吉澤・高橋, 2011; 葛岡・松川, 2013)。また、大学の地質学や地理学の実習地として利用している旨のネット情報が、数多く認められる。ただし、例えば教育目的での来訪としても、ここはあくまでも川崎市の運営する公園もしくは観光施設であり、リフレッシュ目的で来園になっているみなさまへの十分な配慮は必要と思われる。

特に川崎市の生田緑地は、市内屈指の観光スポットであり、週末や休日には多くの家族連れが訪れる。また、園内では年間を通して各種イベントが開催されている。生田緑地は川崎市建設緑政局生田緑地整備事務所が所管し、民間企業3社の共同事業体が指定管理者として管理運営を行っている。また、多数の市民活動団体に所属するボランティアが自然環境の保全・管理活動に主体的に関わっている。念のため申し添えておくが、もし生田緑地の園地内において試料採取を伴うような本格的な地質調査を実施する場合は、生田緑地整備事務所(<https://www.city.kawasaki.jp/530/page/0000096596.html> 閲覧日: 2025年2月15日)への公園内行為許可申請が必要である。上記した学生実習や巡検等の実施にあたっては、少人数の場合は事前の許可申請は必要ないが、団体や有料ツアー等での利用にあたっては申請が必要になる場合があるため、必要に応じて生田緑地整備事務所に相談していただきたいとの旨である。

一方、多摩川河床でツルハシやハンマー等を用いて化石採集を行う際は、事前に国土交通省関東地方整備局京

浜河川事務所(https://www.ktr.mlit.go.jp/keihin/keihin_index002.html 閲覧日: 2025年2月15日)宛に許可申請が必要である。露頭観察や河原の礫の観察等の破壊を伴わない行為であれば、特に申請は必要ないと思われる。

この辺りの現地の事情について十分ご配慮いただいた上で、ご家族や友人と一緒に生田緑地でのジオ散歩を楽しんでいただければ、紹介者としてたいへん嬉しく思う。

謝辞: 科学館ならびに生田緑地整備事務所、川崎市立日本民家園、川崎市岡本太郎美術館の皆さまには、粗稿の内容確認をお願いした。国立研究開発法人防災科学技術研究所の井口 隆博士ならびに自然災害情報室の皆さまには、2021年度土砂災害予測に関する研究集会プロシーディングのインターネット情報についてご教授いただいた。GSJ地質ニュース編集委員会の皆さまには、原稿推敲のアドバイスを賜った。上記の皆さまに対し、厚く御礼申し上げる次第である。

文 献

- 馬場勝良(2015) 関東平野西縁部の下部更新統上総層群の貝化石群集と環境変動—地学の野外実習教材開発の基礎として—。岐阜聖徳学園大学紀要(教育学部編), 54, 65-87.
- チャーレー(Chorley, R. J.)・シャム(Schumm, S. A.)・サグデン(Sugden, D. E.) (著)・大内俊二(訳)(1995) 現代地形学。古今書院, 692p.
- Dott, R. H., Jr. and Bourgeois, J. (1982) Hummocky stratification: Significance of its variable bedding sequences. *Geological Society of America Bulletin*, 93, 663-680.
- 遠藤邦彦・千葉達朗・杉中佑輔・須貝俊彦・鈴木毅彦・上杉 陽・石綿しげ子・中山俊雄・舟津太郎・大里重人・鈴木正章・野口真利江・佐藤明夫・近藤玲介・堀 伸三郎(2019) 武蔵野台地の新たな地形区分。第四紀研究, 58, 353-375.
- 羽鳥謙三(1972) 川崎市生田緑地における崩壊実験事故現場の地質と問題点。地球科学, 26, 85-88.
- 羽鳥謙三(1996) (KT-34) 多摩丘陵オシ沼の多摩ローム。日本第四紀学会第四紀露頭集編集委員会編, 第四紀露頭集—日本のテフラ—, 日本第四紀学会, 205.
- 羽鳥謙三・寿円晋吾(1958) 関東盆地西縁の第四紀地史(I) —多摩丘陵の地形発達—。地質学雑誌, 64, 181-194.

- 井口 隆 (2022) 1971 年 11 月の川崎市生田でのロー
ム実験事故の概要と教訓—事故発生 50 年の節目を迎
えて—. 2021 年度土砂災害予測に関する研究集会プ
ロシーディング, 防災科学技術研究所研究資料, no.
480, 7-29.
- 井上公夫 (2022) 川崎ローム斜面崩壊実験事故の背景—
大石道夫先生と私—. 2021 年度土砂災害予測に関す
る研究集会プロシーディング, 防災科学技術研究所研
究資料, no. 480, 31-46.
- 入月俊明・納谷友規・山口正秋・水野清秀 (2011) 中期
更新世 (MIS11 および MIS 9) における古東京湾湾
奥の環境変遷—埼玉県菖蒲コアの下総層群産貝形虫化
石の群集解析—. 地質学雑誌, **117**, 35-52.
- 泉 賢太郎・佐藤武宏 (2017) 東京都狛江市の上総層群
飯室層から産出したエンコウガニ化石の追加標本. 神
奈川県立博物館研究報告 (自然科学), no. 46, 1-5.
- Lisiecki, L. E. and Raymo, M. E. (2005) A Pliocene-
Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic
 $\delta^{18}\text{O}$ records. *Paleoceanography*, **20**, PA1003,
doi:10.1029/2004PA001071.
- 貝塚爽平・小池一之・遠藤邦彦・山崎晴雄・鈴木毅彦編
(2000) 日本の地形 4 関東・伊豆小笠原. 東京大学
出版会, 349p.
- 神奈川県知事公室企画審議課編 (1955) 神奈川県下の天
然瓦斯地下資源. 神奈川県知事公室企画審議課, 神奈
川県, 39p.
- 神奈川の自然をたずねて編集委員会編 (2003) 神奈川の
自然をたずねて [新訂版] (日曜の地学 20). 築地書館,
269p.
- 関東第四紀研究会 (1970) 南関東の下部更新統—多摩丘
陵の三浦層群について—. 第四紀研究, **9**, 93-100.
- 笠間友博 (2008) 大磯丘陵, 多摩丘陵に分布する箱根火
山起源のテフラ. 神奈川県立博物館調査研究報告 (自
然科学), no. 13, 111-134.
- 加藤茂弘・檀原 徹・山下 透・岩野英樹 (2022) 埼玉
県秩父盆地, 尾田蒔丘陵のチバニアン期 (中期更新世)
テフラの岩石記載的特徴とフィッシュ・トラック年
代. 人と自然, no. 32, 69-88.
- 菊地隆男 (1984) 多摩丘陵—上総層群とその堆積環境—.
アーバンクボタ, no. 23, 40-43.
- 甲能直樹・薬師大五郎・小林英一 (2007) 東京都狛江市
の下部更新統飯室層よりダイカイギュウの全身骨格
化石の発見. 化石, **82**, 1-2.
- 小泉明裕 (1990) 川崎市の上総層群飯室層 (下部更新統)
産アシカ科動物化石について. 神奈川県立博物館研究
報告 (自然科学), no. 19, 45-66.
- 小泉明裕 (1995) 多摩丘陵東部の下部更新統, 上総層群
飯室の火山灰層. 川崎市青少年科学館紀要, no. 6,
41-47.
- 小泉明裕・松島義章・新井房夫 (1990) 横浜北部オシ沼
層下部層の長鼻類化石と古環境について. 神奈川県立
博物館研究報告 (自然科学), no. 19, 1-17.
- 葛岡 大・松川正樹 (2013) 川崎市に分布する地層の露
頭とその教材としての評価. 東京学芸大学紀要 (自然
科学系), **65**, 41-72.
- 町田 洋・新井房夫 (1992) 火山灰アトラス—日本列島
とその周辺. 東京大学出版会, 276p.
- 町田 洋・新井房夫・村田明美・袴田和夫 (1974) 南関
東における第四紀中期のテフラの対比とそれに基づく
編年. 地学雑誌, **83**, 302-338.
- 正岡栄治 (1976) 生田緑地公園周辺の地形・地質について.
川崎市文化財調査収録, no. 11, 11-20.
- 増渕和夫 (2001) 100 万年以上の時をこえて飯室層の化
石—地層, 時代, 古環境—. 自然ガイドブック 12,
川崎市青少年科学館, 63p.
- 増田富士雄 (1971) 多摩丘陵の地質について. 地質学雑誌,
77, 153-164.
- 松川正樹・新海拓也・林 慶一・三次徳二・馬場勝良
(2001) 過去の海底を歩こう—東京都狛江市の多摩川
河床に露出する第四系上総層群に基づいて. 地学教育,
54, 193-201.
- 三次徳二・松川正樹・林 慶一 (2002) 宿河原および生
田緑地地域の地質教材化. 多摩川環境調査助成集,
24, 183-201.
- 村瀬 正・鈴木尉元 (1991) 生田事故 20 回忌と事故の
あらまし. 地質ニュース, no. 438, 63-64.
- 七山 太・重野聖之・石井正之 (2023) 武蔵野台地 (山
の手) の地質断面とそこから読み解ける地形発達史—
世田谷区, 等々力溪谷でのジオ散歩のススメ—. GSJ
地質ニュース, **12**, 336-349.
- 七山 太・重野聖之・石井正之 (2024) 湘南海岸の景勝地
“江の島” で学ぶ相模トラフ変動帯の地形・地質と自
然災害—“江の島” ジオ散歩のススメ—. GSJ 地質
ニュース, **13**, 101-117.
- 大橋広好・門田裕一・邑田 仁・米倉浩司・木原 浩編,
(2015) 改訂新版 日本の野生植物 1. 平凡社, 666p.
- 岡 重文・菊地隆男・桂島 茂 (1984) 東京西南部地域
の地質. 地域地質研究報告 (5 万分の 1 地質図幅),

- 地質調査所, 148p.
- 岡部孝行 (1992) 生田緑地の露頭の教材化. 川崎市青少年科学館紀要, no. 3, 27-32.
- 岡崎浩子・佐藤弘幸・中里裕臣・鎌滝孝信 (2000) 中部更新統下総層群麓層から復元された砂嘴-内湾システム. 堆積学研究, no. 52, 63-74.
- 尾内千花・亀尾浩司・桑野太輔・北里 洋 (2023) (T12-P-14) 上総層群黄和田層上部の底生有孔虫化石群集と前期更新世における上総海盆の海底環境. 日本地質学会第 130 年学術大会 (2023 京都) 講演要旨, doi:10.14863/geosocabst.2023.0_412.
- 下総台地研究グループ (1984) 千葉県手賀沼周辺地域における木下層基底の形態と層相の関係. 地球科学, 38, 226-234.
- 須貝俊彦・松島 (大上) 紘子・水野清秀 (2013) 過去 40 万年間の関東平野の地形発達史—地殻変動と氷河性海水準変動の関わりを中心に—. 地学雑誌, 122, 921-948.
- 鈴木毅彦・村田昌則 (2011) 上総層群黄和田層とその相当層に介在するテフラの層序と対比. 地質学雑誌, 117, 379-397.
- 鈴木毅彦・藤原 治・檀原 徹 (1998) 関東・中部地方に分布する第四紀テフラのフィッション・トラック年代. 地学雑誌, 107, 348-367.
- 鈴木毅彦・渡辺 樹・田中宏沖・川畑美桜子 (2023) 関東平野内陸部, 多摩丘陵北西端における MIS 9 地形面. 2023 年度日本地理学会春季学術大会発表要旨集, 207.
- 高野繁昭 (1994) 多摩丘陵の下部更新統上総層群の層序. 地質学雑誌, 100, 675-691.
- 田中 猛・樽 創 (2022) 東京都狛江市の下部更新統上総層群飯室層より産出した板鰓類化石. 神奈川自然誌資料, no. 43, 147-156.
- 鶴見英策・大村 纂 (1966) 多摩丘陵東部の地形およびローム層に関する若干の知見. 第四紀研究, 5, 59-64.
- 植木岳雪・原 英俊・尾崎正紀 (2013) 八王子地域の地質. 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, 137p.
- 吉永秀一郎・武内和彦 (1986) 多摩丘陵西部小流域の地質条件と斜面地形. 東北地理, 38, 1-15.
- 吉澤健吾・高橋 修 (2011) 都会で見られる露頭を題材にした環境教育—神奈川県生田丘陵に分布する更新統を例に—. 東京学芸大学紀要 (自然科学系), 63, 41-52.
-
- NANAYAMA Futoshi, SHIGENO Kiyoyuki and ISHII Masayuki (2025) The future topography of the Musashino Plateau (Yamanote) can be deciphered from the geomorphology and geology of the Tama Hills: Recommendation for a Geowalk around the Ikutaryokuchi Park, Kawasaki City, central Japan.
- (受付: 2024 年 12 月 20 日)

サンゴは CO₂ 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¹・窪田 梓²・大野 良和¹・安元 純^{3,4}・
飯島 真理子⁵・鈴木 道生⁶・廣瀬(安元) 美奈⁷

※本稿は、2024 年 12 月 10 日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2024/pr20241210/pr20241210.html) に加筆し、再編したものです。

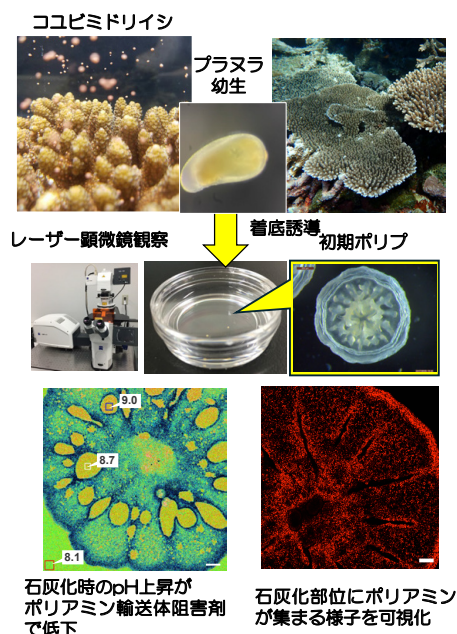
著者らは、総合地球環境学研究所 LINKAGE プロジェクト^(注1)の一環で、ミドリイシサンゴの幼生の骨格形成時の pH^(注2)を、共焦点レーザー顕微鏡による pH イメージング^(注3)という手法で調べました。その結果、サンゴ幼生が海水を骨格形成部位に取り込み、その部位にポリアミン^(注4)という生体アミンを輸送して pH を上昇させ、炭酸カルシウム (CaCO₃) の骨格を形成する新しい石灰化モデルを提案しました。従来の石灰化モデルでは、サンゴの石灰化^(注5)が二酸化炭素 (CO₂) を放出する可能性が指摘されていましたが、本研究では、サンゴがむしろ CO₂ を CaCO₃ として効率的に固定していることを明らかにしました(第 1 図)。この発見は、サンゴ礁が地球規模の CO₂ 固定において果たす役割を再評価する重要な一歩となります。本研究結果は、アメリカ化学会 (ACS) が刊行する“Environmental Science

& Technology” 誌に、2024 年 12 月 10 日付で掲載されました。

1. 研究成果のポイント

●サンゴの骨格形成における新たな石灰化メカニズムを提唱

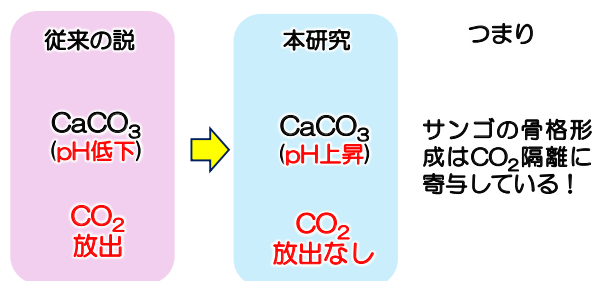
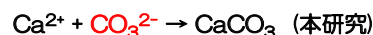
サンゴが骨格形成を行う際、細胞外石灰化液 (Extracellular Calcifying Medium: ECM) の pH を周囲の海水よりも 0.5 ～ 1 単位高く保つ仕組みを調べたところ、この pH 上昇には造骨細胞に存在する生体塩基であるポリアミンが寄与することが明らかになりました。これにより、骨格になる炭酸カルシウム (CaCO₃) 形成時に、従来言われていた CO₂ 放出は起こらないことが明らかになりました。



海水中ではサンゴが骨 (CaCO₃) を作るとき、HCO₃⁻ が原料となり CO₂ が大気へ放出されると考えられていた。



本研究ではサンゴは CaCO₃ を作るとき pH を自ら上昇させ、CO₃²⁻ が原料となりこの pH 上昇に生体アミンが寄与することがわかった。



第 1 図 概要図。

1 北里大学 海洋生命科学部 〒252-0373 神奈川県相模原市南区北里 1-15-1
2 日本電子株式会社 〒196-8558 東京都昭島市武蔵野 3-1-2
3 琉球大学 農学部 〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1 番地
4 総合地球環境学研究所 〒603-8047 京都府京都市北区上賀茂本山 457 番地 4
5 産総研 地質調査総合センター地圏資源環境研究部門

6 東京大学 大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1
7 (一社) トロピカルテクノプラス 〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12-75 沖縄健康バイオテクノロジー研究開発センター内

キーワード：サンゴ, CO₂ 固定, pH 上昇, ポリアミン, 石灰化

●サンゴの骨格形成の場となる細胞外石灰化液（ECM）の詳細な観察

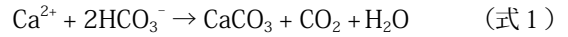
サンゴは ECM に海水を取り込む際に、細胞間の隙間からカルシウムイオン (Ca^{2+}) を取り込み、ECM 内の pH をポリアミン輸送体という生体塩基を使って上昇させることがわかりました。ポリアミンは CO_2 を保持する化学的な性質があるため、細胞内から CO_2 を輸送している可能性が示されました。

●サンゴの炭素循環への寄与を示唆

これまでサンゴや貝などの海洋生物の石灰化プロセスが大気中に CO_2 を放出すると言う考え方がありましたが、本研究では、石灰化プロセスがむしろ CO_2 を吸収することを示し、地球規模の炭素循環におけるサンゴ礁の役割を再評価しました。

2. 研究の背景

造礁サンゴは、石灰化と呼ばれるプロセスを通じて骨格を形成し、その骨格がサンゴ礁を構成します。この石灰化プロセスは、大気中や海水中の CO_2 が海水中のカルシウムイオン (Ca^{2+}) と反応し炭酸カルシウム (CaCO_3) として固定されるという一見すると CO_2 固定反応です。しかし、従来は、海水中の pH が 8 程度であることから、海水中に溶けている炭酸水素イオン (HCO_3^-) を原料とすると仮定され、式 1 のような石灰化反応で説明されてきました。

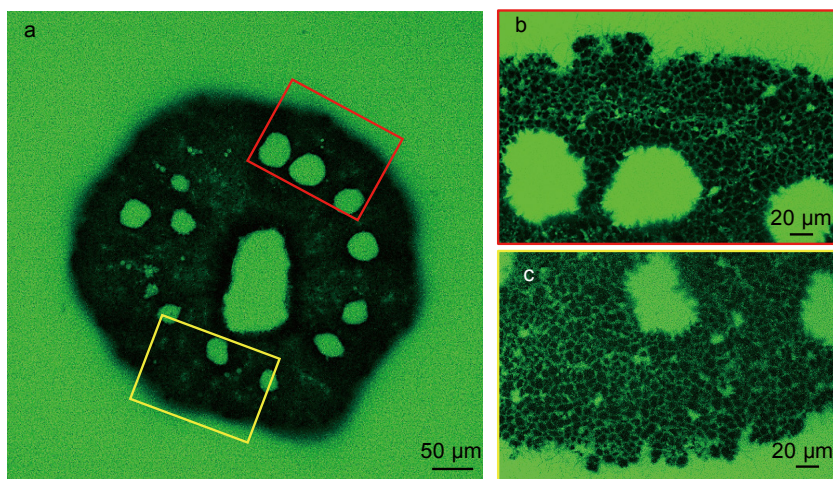


そのため、石灰化過程が海水中への CO_2 放出を伴うと考えられ、サンゴの骨格形成が地球温暖化を加速する可能性が議論されてきました。しかし、現在の地表の炭素のうち、約半分は石灰岩などの炭酸塩堆積物として膨大な量の CO_2 が閉じ込められており、地球の CO_2 固定に大きく寄与しているとの考えもありました。このように、サンゴ礁が地球規模の炭素循環において果たす正確な役割については、不確定な部分が残されていました。生き物が CaCO_3 などの鉱物を作る作用をバイオミネラリゼーションと言い、近年の機器分析技術の発展により、バイオミネラリゼーションの解明が進んでいます。

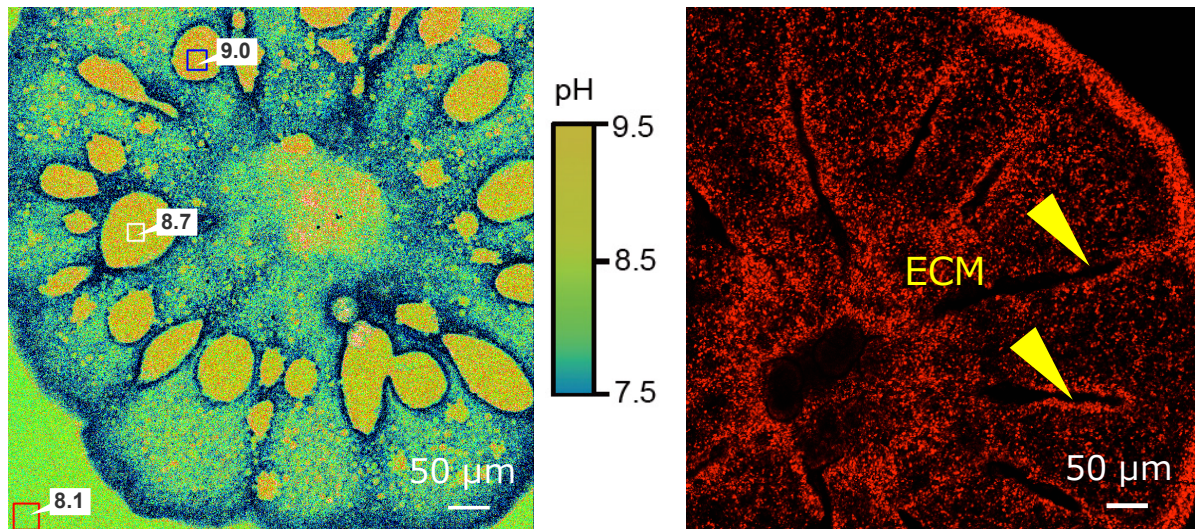
3. 研究内容と成果

研究グループは、共焦点レーザー顕微鏡を用いて、ココビミドリイシ(造礁サンゴの一種)のサンゴ幼生の骨格形成部位である ECM を様々な方法で観察しました。カルシウムイオン (Ca^{2+}) を可視化するカルセインという蛍光試薬を用いて海水から ECM への Ca 輸送経路を調べたところ、サンゴ幼生は細胞間の隙間から Ca を ECM に取り込んでいることが明らかになりました(第 2 図)。これまで細胞内からカルシウムを輸送するサンゴも知られていましたが、この種のサンゴは細胞間の隙間が大きく海水が容易に ECM に入り込むことがわかりました。

また、ECM の微細な pH 変化を pH イメージングという



第 2 図 サンゴの幼生における ECM (細胞外石灰化液) 内の細胞間隙の可視化 (カルセイン染色を用いた共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) 観察) : (a) サンゴ幼生全体の様子を示した画像 (スケールバー : 50 μm)。 (b) (a) の赤い四角で示された領域を拡大した画像 (スケールバー : 20 μm)。 (c) (a) の黄色い四角で示された領域を拡大した画像 (スケールバー : 20 μm)。 (b) と (c) の両方で、ECM 内における細胞間隙が視覚的に確認されていることが示されている。つまりサンゴの ECM には海水が容易に入り込むことがわかる。



第3図 (a) サンゴ幼生における ECM (細胞外石灰化液) 内の pH の可視化 (pH 指示薬を用いた共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM) 観察). 写真中の数字は pH をそれぞれ示す. ECM の pH は 8.5 から 9.0 と海水の pH8.1 より 0.5 から 1 程度高い. この pH 上昇は石灰化を促進させるためだが, ポリアミン輸送体阻害剤を添加すると pH 上昇は抑制され, ポリアミンの pH 上昇への寄与が示された. (b) サンゴ幼生の ECM 近傍の造骨細胞内のポリアミンの可視化 (ポリアミン染色試薬を用いた CLSM 観察). ECM 近傍にはポリアミンを多く含む造骨細胞が集まっている様子が見られた.

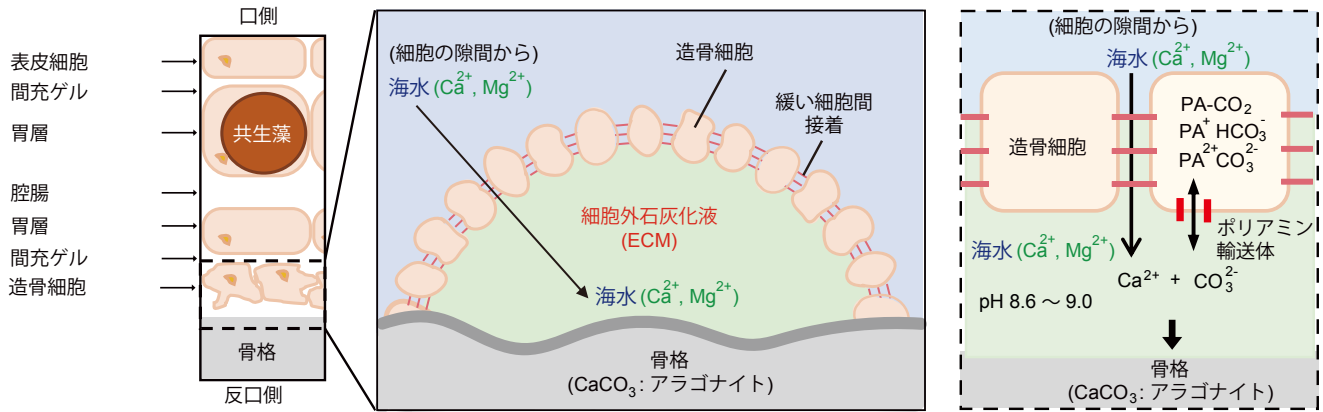
手法で可視化しました. その結果, サンゴ幼生は骨格形成時に ECM の pH を 0.5 ~ 1 程度上昇させていることがわかりました (第3図 a). この pH 上昇の機構としては Ca^{2+} 輸送体の寄与が推定されていました. 本研究では CO₂ を保持する生体塩基のポリアミンの寄与を推定し, ポリアミンの輸送体阻害剤と生合成阻害剤をサンゴ幼生の飼育海水に添加して ECM の pH 上昇への影響を調べました. その結果, ポリアミン輸送体阻害剤を添加した際に, ECM の pH 上昇が有意に低下しました. つまり, サンゴは, ポリアミンという生体塩基を用いて ECM の pH を上昇させていることを発見しました. この pH の上昇により, 炭酸イオン (CO_3^{2-}) の供給が促進され, CaCO_3 が CO₂ 放出を伴うことなく効率的に形成されることが明らかになりました. 細胞内のポリアミン量も蛍光プローブを用いて可視化することに成功しました. これにより, ポリアミン量の多い細胞が ECM の周囲に集まっている様子が観察されました (第3図 b).

上記の結果を基に, サンゴ組織の模式図と ECM における骨格形成反応の新仮説を提案しました. サンゴの炭酸カルシウム骨格は細胞外の ECM で作られ, 材料となるカルシウムは細胞の隙間を通して海水からも供給されます. サンゴの ECM での石灰化プロセスにおいて, アルカリ化は無機炭素がポリアミンと共にポリアミン輸送体を介して移動することで, pH が上昇し, 石灰化を促進すると考えられます (第4図).

4. 環境への影響

海洋生物が炭酸カルシウム (CaCO_3) を生成する過程で CO₂ を放出するという (式 1) は CO₂ が飽和した溶液中での CaCO_3 再沈殿を表すものであり, 海洋生物の石灰化がこの反応に完全に従うという十分な証拠はありません. 無機化学的には, 石灰化は主に Ca^{2+} と CO_3^{2-} の反応によって進行し, 高い pH 環境が必要です. 一方, CaCO_3 の溶解は低い pH で起こります. したがって, pH が継続的に低下すると, CaCO_3 の沈殿は起こりません. 最近の研究では, 従来の「石灰化中の pH 低下」という主張に反して, pH の上昇がサンゴ以外の生物でも観察されています. CaCO_3 結晶は, 炭酸 (H_2CO_3) とカルシウムを含む塩基 (例えば水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)) の中和反応によって生成される塩であり, CaCO_3 の形成は塩基に依存しています. 炭酸水素イオン (HCO_3^-) 由来の水素イオン (プロトン) は塩基や $\text{Ca}(\text{OH})_2$ によって中和されるため, すべてのプロトンが周囲の海水に放出されるわけではありません.

近年, 海にアルカリ薬剤を添加して CO₂ 固定を促進する海洋アルカリ化という試みも海外では実施されてきています. サンゴなどの石灰化生物が CO₂ を放出するか固定するかを議論するには, 生態系全体の観点で評価する必要があります. CO₂ は光合成によって有機物に変換され, 石灰化生物はこの有機物をエネルギー源として CaCO_3 骨格を作ります. このプロセス全体を考えると, CO₂ は実質的に



第4図 サンゴ組織の模式図とECM（細胞外石灰化液）における骨格形成反応の新仮説。サンゴの炭酸カルシウム骨格は細胞外の石灰化液（ECM）で作られる。材料となるカルシウムは細胞の隙間を通して海水からも供給される。また、サンゴの石灰化プロセスにおいて、ECM内でアルカリ化が起こる。ECMのpHは周囲の海水よりも0.5～1.0高い。この仮説では、無機炭素がポリアミン（PA）と共にポリアミン輸送体を介して移動することで、pHが上昇し、石灰化を促進すると考えられる。

CaCO₃に変換されており、CO₂は固定されていると言えます。

5. 今後の展開

海水中に存在するCaCO₃の滞留時間は3億年といわれ、ほとんど溶解しないことが知られていますが、海洋環境でのCO₂吸収への寄与は、海草などの光合成による有機物生産（ブルーカーボン）が主に注目されています。本研究では高pH条件下での石灰化が必ずしもCO₂の放出を引き起こさずCO₂固定となることを示しました。今後は、貝など様々な海洋生物の石灰化機構を詳細に検証すると共に、サンゴ礁海域での石灰化によるCO₂固定量を再検証し、サンゴ礁が地球のCO₂隔離に貢献することを証明していきたいと考えています。将来的には石灰化生物による新しいブルーカーボン（Biogenic Calcifying Blue Carbon）を提唱し、サンゴ礁保全に貢献できる仕組み作りに取り組んでいきたいと考えています。

論文情報

論文名：The Role of Polyamines in pH Regulation in the Extracellular Calcifying Medium of Scleractinian Coral Spats

邦題名：造礁サンゴ幼生の細胞外石灰化液におけるpH調節におけるポリアミンの役割

掲載誌：Environmental Science & Technology

著者：窪田 梓（日本電子）、大野良和（北里大学）、安元

純※（琉球大学、総合地球環境学研究所）、飯島真理子※（産業技術総合研究所）、鈴木道生（東京大学）、井口 亮※（産業技術総合研究所）、安元加奈未（東京理科大学）、廣瀬（安元）美奈（トロピカルテクノプラス）、坂田 剛（北里大学）、末弘宗滉（北里大学）、中前華帆（北里大学）、水澤菜々美（北里大学）、神保 充（北里大学）、渡部終五（北里大学）、安元 剛※（北里大学）。

※ LINKAGE プロジェクト共同研究員

DOI：10.1021/acs.est.4c10097

用語解説

注1：LINKAGE プロジェクト

地球環境問題の解決をめざす国立の研究機関である総合地球環境学研究所のプロジェクトの一つ。琉球弧や西太平洋の熱帯・亜熱帯に位置するサンゴ礁島嶼系において、陸と海の水循環を介したつながりや、暮らしの中で育まれてきた生物と文化のつながりや多様性、多様な資源のガバナンスの規範・組織・制度の変遷や重層性の解明を目的としている。得られた成果のつながりを可視化し、陸と海をつなぐ水循環を軸としたマルチリソースの順応的ガバナンスの強化をめざす。プロジェクト期間は、2022～2026年。

注2：pH

水中の水素イオン濃度を0～14の数字で表したもの。7.0が中性で、7より小さいと酸性、7より大きいとアルカリ性を意味します。海水のpHが1高くなると、海水中のCO₂濃度は1/10に減少するため、石灰化中のCO₂放出は

抑制されることが考えられます。

注3：pH イメージング

共焦点レーザー顕微鏡と pH 指示薬を使って、サンゴの石灰化組織の pH を生きたまま観察する手法です。サンゴの石灰化組織では pH の上昇が観察され、この pH 上昇にポリアミンという生体塩基が寄与することがわかりました。

注4：ポリアミン

ポリアミンは全ての生物の細胞内に普遍的に存在する生体塩基です。このポリアミンは水溶液中で二酸化炭素と容易に反応して保持する化学的性質があり、海水に加えるだけで簡単に炭酸カルシウムが沈澱します。サンゴもこのような化学的性質を利用して CO₂ を大気中から取り込んで炭酸カルシウムの骨格を作っていることがわかってきました。

注5：サンゴの石灰化

ヒトを含む脊椎動物の骨はリン酸カルシウムで作られています。サンゴや貝などの無脊椎動物の一部は炭酸カルシウムの骨格を持っています。この炭酸カルシウムの原料は海に溶けている二酸化炭素とカルシウムイオンです。そ

のため、サンゴの骨格には二酸化炭素が閉じ込められていると言えます。

研究資金

本研究の一部は、(独)環境再生保全機構の環境研究総合推進費(JPMEERF20194007, JPMEERF20221C01)、(独)日本学術振興会(JSPS)の科研費(19K12310, 20H03077, 20H00653)、国立研究開発法人産業技術総合研究所・環境調和型産業技術研究ラボ(E-code)、総合地球環境学研究所の LINKAGE プロジェクト、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の支援を受けて実施しました。

YASUMOTO Ko, KUBOTA Azusa, OHNO Yoshikazu, YASUMOTO Jun, IJJIMA Mariko, SUZUKI Michio and YASUMOTO-HIROSE Mina (2025) The role of polyamines in pH regulation in the extracellular calcifying medium of scleractinian coral spats.

(受付：2025 年 1 月 6 日)

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¹・利光 誠一²・武井 勇二郎¹・瀬口 寛樹¹・朝川 暢子¹・清水 裕子¹

1. はじめに

2024(令和6)年12月7日(土)に茨城県つくば市にあるショッピングセンター・イーアスつくばの1階センタースペースで、出張産総研 ミニミニ一般公開 SECOND (https://x.com/AIST_JP/status/1857589477750853884 閲覧日:2025年2月5日)が開催され、4つの実験体験ブースの内の1つで体験型イベント「星砂を観察しよう！」を実施しました。

2. イベント内容

「星砂(ほしすな または ほしずな)」とは、サンゴ礁周辺の暖かい浅い海に棲んでいる「有孔虫」の殻が集まった砂です。サンゴ礁は亜熱帯～熱帯の澄んだ海に多く見られる造礁サンゴが造る地形で、色とりどりで多くの種からなる豊かな生態系が特徴です。そんなサンゴ礁の中で、目立たないけれど重要な生態的地位を占める生き物が有孔虫です。有孔虫は原生生物に属するグループで、主に石灰質の殻を作ります。普通は1mm以下の大きさですが、星砂の有孔虫は2～3mmにもなるので「大型有孔虫」と呼ばれます。有孔虫はこのとおり小さな生き物ですが、膨大な個数によってサンゴ礁での生物生産の多くを担う、実は主

役級のグループなのです。星砂に多く含まれる有孔虫の一種、*Baculogypsina sphaerulata* (和名:ホシスナ)は特徴的な放射状の棘をもち、その外形は5本の光芒が伸びた“お星様”のように見えます(写真1a)。同じく星砂に多く含まれる*Calcarina gaudichaudii* (写真1b)は、タイヨウノスナという和名が付けられています。

この体験型イベントは、厚紙製のプレパラートに両面テープで石垣島産の星砂を貼り付けて、虫眼鏡で観察するという内容です。参加者に両面テープを貼り付けたプレパラート台紙を配布し、小箱に入れた星砂に押し付けてもらいます。黒い両面テープに白っぽい星砂がびっしりと貼り付くので、指で軽く押さえてしっかり固定します(写真2)。これを虫眼鏡で観察すると、有孔虫の表面の細かな模様や、有孔虫以外にもサンゴ礁に生きる様々な生物の殻が混じっていることがわかります。このような星砂の特徴を説明しながらプレパラートを作り、虫眼鏡で観察をしたのちに、自分で作ったプレパラートをイベント体験の成果品としてお持ち帰りいただきます。

ミニミニ一般公開は、小学生以下の参加者約10人が1つの班をなし、4つの班が1時間ほどの間に4つのブースをぐるっと一巡するという方式です。ブース毎に10分ほどで体験・説明を完結して、次のブースへと移動します。このサイクルを午前1回、午後2回実施して、全体では約

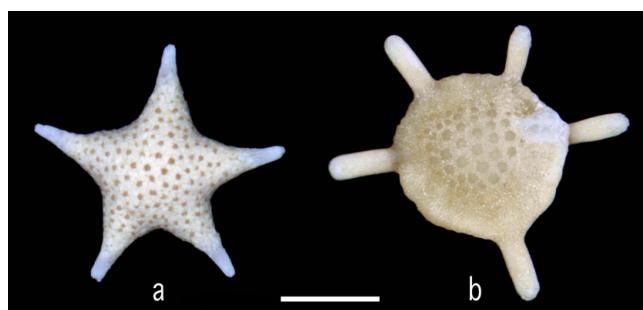


写真1 a: *Baculogypsina sphaerulata* (和名:ホシスナ)と、b: *Calcarina gaudichaudii* (和名:タイヨウノスナ)。スケールは1mm。



写真2 完成したプレパラート。

1 産総研 地質調査総合センター地質情報基盤センター

2 産総研 地質調査総合センター連携推進室

キーワード: 地質調査総合センター、地質標本館、星砂、有孔虫、プレパラート、虫眼鏡、ミニミニ一般公開



写真3 参加者に星砂の説明をするようす。

120名の小学生とそれぞれに同伴する保護者の方々に説明を行いました(写真3)。参加者の小学生たちもその保護者の方々も、虫眼鏡で星砂を拡大して観察すると、その模様やいろんな生き物の殻がたくさん貼り付いた様子に驚きの声を上げていました。短い時間の体験ですが、楽しんでいただけたことと思います。スタッフ一同にとっても、慌ただしい1日でしたが充実したイベントとなりました。

3. おわりに

参加者へのアンケートでは、全ての方々から満足との回答を頂き、よかったところとして「体験できたこと」、「研

究者と話せたこと」が80%を占めました。

最後になりましたが、本イベントの企画・実施にご尽力くださったACADEMIA イーアスつくば店、産総研ブランディング・広報部広報室コミュニケーショングループのみなさま、産総研地質調査総合センター連携推進室の小松原純子氏、また、星砂および有孔虫に関してご助言くださった産総研地質情報研究部門の井口 亮氏に篤くお礼申し上げます。

KANEKO Naotomo, TOSHIMITSU Seiichi, TAKEI Yuujirou, SEGUCHI Hiroki, ASAKAWA Nobuko and SHIMIZU Yuko (2025) Report on hands-on event "Let's observe hoshisuna", at Open house event for kids.

(受付：2025年1月17日)

FREA 開所 10 周年記念式典が開催されました

浅沼 宏¹

福島再生可能エネルギー研究所 (FREA) は、2011 年に策定された「東日本大震災からの復興の基本方針」に基づき、「世界に開かれた再生可能エネルギーの研究開発の推進」と「新しい産業の集積を通じた復興への貢献」を大きな使命として、2014 年 4 月に福島県郡山市において開所しました。

FREA 開所から 10 年が経過した 2024 年 11 月 28 日(木)に福島県郡山市において FREA 見学会、脱炭素成長型経済構造移行推進機構 (通称：GX 推進機構) との協定交換式、FREA 開所 10 周年記念式典、式典懇親会が開催されました。このうち、郡山市内のホテルで開催された FREA 開所 10 周年記念式典では、武藤容治経済産業大臣 (ビデオメッセージ)、内堀雅雄福島県知事、品川萬里郡山市長、GX 推進機構の重竹尚基 COO (専務理事) から祝辞を賜るとともに、村山宣光産総研副理事長から「産総研の研究戦略とカーボンニュートラル社会の実現」について、古谷博秀 FREA 所

長から「FREA の 10 年の歩みとカーボンニュートラル化実現に向けた取り組み、そして今後の展開」についての発表がありました。本式典へは祝辞等を頂いた来賓 6 名のほか、国会議員 10 名、郡山市議会全議員のうち 8 割の市議が式典に出席しました (式典総参加者数 190 名)。

記念式典に引き続いて開催された懇親会では、来賓代表として清水建設株式会社の関口 猛副社長から御挨拶いただいた後に国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の飯村亜紀子理事からの乾杯の御挨拶が行われました。会の終盤に株式会社 AIST Solutions の逢坂清治社長からのメッセージが披露され、中尾信典地質調査総合センター長からの閉会の挨拶がありました。

末筆ではありますが、FREA および再生可能エネルギー研究センターは、今後も GSJ との緊密な連携関係の下、再生可能エネルギーの大量導入を目指す予定です。



写真 1 FREA 開所 10 周年記念式典会場の様子。



写真 2 中尾地質調査総合センター長の御挨拶。

¹ 産総研 エネルギー環境領域再生可能エネルギー研究センター
キーワード：福島再生可能エネルギー研究所 (FREA)、開所 10 周年記念式典

ASANUMA Hiroshi (2025) FREA 10th Anniversary Ceremony Held.

(受付：2025 年 1 月 8 日)

扇状地の都 京都をつくった山・川・土

藤岡 換太郎・原田 憲一 [著]

小さ子社
発売日：2024 年 10 月 25 日
定価：2200 円（税別）
ISBN：978-4-909782-24-3
四六判
208 ページ



京都は、794 年の平安遷都から 1868 年の東京行幸（遷都）までの 1000 年を超える間、天皇の在所であり、また文化の中心である都でした。なぜ、京都が平安京として成り立ち、その後長くにわたり都であり続けたのかを、地球科学の立場から考える著作が出版されました。

著者は、幅広い観点から多くの著書を出されている藤岡換太郎氏と原田憲一氏のお二人です。京都で生まれ育ち、海洋地質の研究を出発点にしたという共通点が、お二人の出会いと 50 年以上にわたる交流につながり、最近の京都での議論が本書で実を結んだということです。

本書は以下の 5 章からなります。文章はわかりやすい講演の語り口のように、歴史や文物を語り部として伝えていくように感じられます。話が大きくわき道にそれそうになるところは、コラムで詳述されています。

- 第 1 章 地球科学から見た平安京の系譜
- 第 2 章 災害が京都にもたらしたもの
- 第 3 章 京都の文化を支えた資源
- 第 4 章 対談 地球科学から見た京都
- 終 章 京都と東京の比較—扇状地か三角州か—

第 1 章では、平安京の成立までの都の変遷とそれらの地球科学的な立地の比較から検討が始まります。

794 年に平安京に遷都される前には、643 年に成立した

飛鳥板蓋宮から長岡京まで 10 の都があり、平均 15 年という短期間で次々と遷都されていました。それらの都のすべてが奈良盆地・大阪平野・滋賀の南部・京都盆地と近畿地方の中央の低地にあることから、この地域が国の政治の中心にふさわしい地理的な位置だったと思われます。そして、平安京が 1000 年以上も都であり続けたのは、平坦地の広さ・水の豊かさなど都の立地に必要な地球科学的条件がそれまでの都より優れており、その後の発展にも対応できる地勢が備わっていたからと思われます。

さらに深く京都の特性を考える基礎として、平安京とその周辺を含む地域の地史を概観し、成り立ちが紹介されています。5 億年前からユーラシア大陸の東端で、付加作用により成長して日本列島の骨格が形成されました。2000 万年前頃から日本海の形成に伴い大陸から離れて移動した陸塊が日本列島になりました。その後のプレート運動による応力場の変化により、近畿三角地帯と呼ばれる山地と盆地の配列する複雑で特徴ある地形が形成されました。160 万年前以降、京都盆地・奈良盆地・大阪平野では、海水準の変動により海成層と淡水成層の繰り返しからなる大阪層群が埋積して平坦な地形が形成されました。最終氷期の低海水準から現在の海水準へ至る過程で作られたのが扇状地や三角州になります。

第 2 章では、都の存続を危うくすることもある様々な災害を考察しています。



地震は現代の日本でも最も深刻な災害をもたらす現象です。この章では、地震の発生機構、南海トラフ地震の発生状況などの日本の歴史地震、京都に大きな被害のあった地震が詳しく論じられています。京都には多数の活断層が存在し、1596年の伏見城の天守閣が大破し豊臣秀吉も命拾いした慶長伏見地震など大きな被害のあった地震も多くありましたが、海に面していないので津波もなく壊滅的な災害とはならなかったようです。そのほかの災害である台風・洪水・地滑り・火災(大火)についても、京都に与えた被害や被害からの復興、さらに災害がその後の恵みになった例も紹介されています。

第3章では、京都の文化の発展に関連した資源について語られます。

資源とは、「現在(当時)の技術で経済的に利用可能な、有用な天然物を言う」と定義され、具体的な資源として、水資源(河川水・地下水)、森林資源、生物資源(淡水魚・京野菜)、陶土資源(粘土・釉薬・壁土)、岩石・土砂資源(庭石・白砂・石材・砥石・顔料)が詳しく説明されています。それらは、京都での生活・生産・交流の発達、技術の高度化と多様な文化の発展の過程で、扇状地である京都の川と地下、そして近隣山地(東山・北山・西山)の天然物を資源として認識し利用してきた歴史です。大阪層群の利用でも、西山の丘陵のタケノコ生産地では淡水成粘土を客土に使い、清水焼では海成粘土を陶土に使うといった粘土の特性を生かしていることなど、それぞれの資源と文化に係る逸話が語られています。

第4章は、本書の出版責任者の設定された課題を中心に、お二人が自由に語られている対談です。1-3章における議論の補足に加え、将来への考えるべき問題の提起がされています。著者らの体験や研究に関する話を通して、その観点のユニークさが見事に表れているところです。ここは、二人の会話を楽しんでもらいたいところです。

終章では、都が1000年以上続いた扇状地にある京都と、江戸時代の始まりから政治の中心となり明治から都となった三角州にある江戸・東京を、二つの都市の立地とそれが産業や文化に与えた影響を考察しています。江戸は三角州にあるため、京都の伏見の酒造や清水焼のような地下水や近隣の陶土を利用するような産業は発達しませんでした。近代～現代は産業革命により物流・産業・人口動態に

多大な変化をもたらし、東京などの沿岸域の都市は土木・建築技術の開発により立地の制約が無くなったかのように発展しました。著者らは、沿岸域都市の繁栄を支えるエネルギー・鉱物資源の殆どを海外に依存していることと現在の東京への一極集中の脆弱性を指摘し、将来の日本の大都市や地方都市の在り方を地球科学的な視点で考えることを提言しています。

私は著者のお二人と同じく、海洋地質の調査・研究をしてきました。藤岡氏とは伊豆-小笠原弧の深海掘削の航海で、原田氏とは地質調査所の南太平洋でのマンガン団塊調査の航海で一緒しました。航海のほか様々な場で一緒した時のお二人の楽しく巧みな話術が、この本に現れているのを感じました。私もお二人と同じく京都に生まれ、この本という鴨川の扇状地で育ちました。底冷えの冬や暑い夏といった気候や市内のどこからでも見える山並みから、京都が盆地であることはいつも感じていました。しかし、扇状地であることは意識していなかったと思います。九条通にある東寺の五重塔(高さ55m)のてっぺんの標高が北大路通にあたると小中学校で教えられたことや、街中の東西の小路に短い急な斜面があったことを思い出しますが、それらは扇状地の南北に広がる大きな斜面の比高と扇状地形成時の起伏の名残だったと理解できます。地下水が豊富で良質であるという本書の記述には、小学校低学年ごろまで自宅でも井戸水を使っていたことや、通っていた小学校に豊臣秀吉が茶の湯に使ったと伝えられる「豊園水」という古井戸があったことを思い出しました。次に京都を訪れた時には、この本で書かれた扇状地をキーワードとして、名所・旧跡や伝統産業の老舗がなぜそこにあるかを考えてみたくなりました。

都としての京都における都市と文化の発展の歴史と地史・地形・資源を含む地球科学的事象との関係の解明を試みたこの本を、まずは京都を深く知るためのガイドブックとして読んでいただきたい。この本は、京都にとどまらず日本の都市や地域での人々の営みとその場の地球科学的特性との関連性を考える新たな視点を提供する本として活用いただけるものと思います。

(産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門 西村 昭)

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 6 号
令和 7 年 6 月 10 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

印刷所

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. 6
June 10, 2025

Geological Survey of Japan, AIST

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



国道 274 号の通過する日勝峠の標高は 1022 m ではあるが、植生や気候から見ると本州の標高 3000 m 級の山岳地帯に匹敵する厳しい環境下にある。この峠一帯には、日高山脈北部の脊梁部を構成する 17 Ma に貫入した日勝峠花こう岩体が露出している。東斜面側に位置する第一展望台からは、北海道を代表する畑作地帯である十勝平野が一望できる。周辺の台地は中期～後期更新世に隆起して大規模な扇状地を形成しており、平野の中心部付近まで大量の土砂が流入することにより、現在の平野の形状が成立したと考えられている。

(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)

The Tokachi Plain seen from Nissho Pass, the northern backbone of the Hidaka Mountains, central Hokkaido, NE Japan. Photo and caption by NANAYAMA Futoshi