

GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

地質ニュース

2023

2

Vol.12 No.2



2月号

-
- 32 **日本内陸部のストレスマップをオンライン公開
ー内陸部で発生しやすい・誘発されやすい地震断層の特徴を解明ー**
内出崇彦・椎名高裕・今西和俊
-
- 36 **紀伊半島南部の橋杭岩周辺で巨大津波の証拠を発見**
行谷佑一・前杵英明・穴倉正展・越後智雄
-
- 41 **チャートが生み出した足利の地形：足尾山地南西部「桐生及足利」地域で観察できる地層と岩石**
伊藤 剛
-
- 47 **J.J. ライン著「日本海岸の永年隆起」邦訳**
山田直利・矢島道子
-
- 52 **第 34 回地質調査総合センターシンポジウム「防災・減災に向けた産総研の地震・津波・火山研究ー東日本大震災から 10 年の成果と今後ー」の開催報告**
第 34 回地質調査総合センターシンポジウム事務局
-
- 58 **2022 年度第 2 回地質調査研修実施報告** 利光誠一・金子翔平
-
- 64 **ニュースレター**
元地質調査所次長・地質調査総合センター代表の加藤碩一氏が瑞宝中綬章を受章
-
- 66 **書籍紹介 「地球の中身 何があるのか、何が起きているのか」**

日本内陸部のストレスマップをオンライン公開 —内陸部で発生しやすい・誘発されやすい 地震断層の特徴を解明—

内出 崇彦¹⁾・椎名 高裕¹⁾・今西 和俊¹⁾

本稿は 2022 年 6 月 14 日に行ったプレス発表 (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220614_2/pr20220614_2.html) を転載したものです。

ポイント

- 膨大な微小地震データの AI 処理から断層の特徴を分析し、日本列島にかかるストレスの向きを推定
- 日本各地で起きやすい内陸地震を類型化
- 内陸直下型地震の被害予測に必要な想定地震のモデル化に貢献

概要

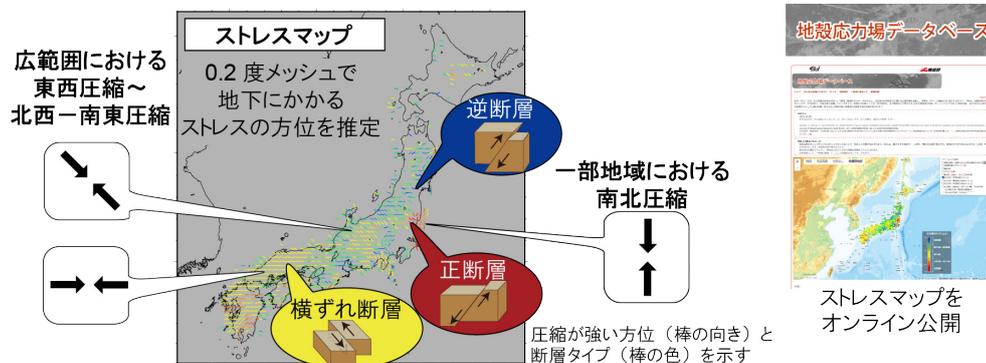
国立研究開発法人産業技術総合研究所(以下「産総研」という)活断層・火山研究部門地震テクトニクス研究グループ内出崇彦上級主任研究員、椎名高裕研究員、今西和俊副研究部門長は、日本列島内陸部にかかるストレスの向きについて、日本列島規模の大局的な傾向から約 20 km 規模(マグニチュード 7 クラスの断層長に相当)の地域的な特徴まで知ることができるストレスマップを作成した(第 1 図)。

このストレスマップの作成を可能にしたのが、AI を活用した地震波形ビッグデータ処理による 21 万件余りに及ぶ微小地震の震源メカニズム解の解析である。ストレスは地震発生のもとの原動力となることから、このストレスマップは、地表の痕跡が不明瞭で活断層の存在が知られていない場所

でも、どのようなタイプの地震が発生し得るかがわかる。巨大地震による誘発地震の発生可能性の評価にも有用である。なお、この成果の詳細は 2022 年 6 月 14 日に米国の学術誌「Journal of Geophysical Research Solid Earth」にオンライン掲載された。このストレスマップは、2022 年 6 月 17 日から地殻応力場データベース(<https://gbank.gsj.jp/crstress/>)で閲覧することができる。

研究の社会的背景

大地震に対する国・自治体の防災計画は、地震発生と被害の予測に基づいて立てられている。地震発生は、主に、過去に発生した地震の履歴に基づいて、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を統計的手法により予測している。予測精度の向上のためには、断層の形状や摩擦のほか、地震の原動力であるストレスを組み込んだ物理モデルで評価する必要がある。ストレスを調べる方法の一つに、実際に発生した地震の震源メカニズム解を利用するものがある。データ解析に多くの時間を要するため、これまでには地域を限定したストレスマップが作られることが多かった。日本全国のストレスを解析する場合は、地震が少ない地域では精度の高い推定ができないという問題があった。



第 1 図 日本内陸部のストレスマップで見るストレス方位の傾向

1) 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：地震、地殻応力場、震源メカニズム解、深層学習

研究の経緯

産総研では古地震調査、室内実験、地球物理観測などを融合させた新しい活断層評価手法の開発に取り組んでいる。その一環として、地震の原動力であるストレス情報の整備を進めてきた。マグニチュード3以下の微小地震がどこでも日常的に比較的多く発生している。そこで、微小地震を解析することで、地域版ストレスマップを整備してきた。関東地方および中国地方のストレスマップは地殻応力場データベースおよび地質図 Navi (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>) で公開している。

さらに深層学習を活用して微小地震の震源メカニズム解を大量に求める手法を開発したことで、一気に日本全国のストレスマップを作る道筋が見ついた。処理を自動化することで、解析対象の地域を広げたり、地震発生の期間を延ばしたりしてデータが増加しても、容易に解析できるようになった。

研究の内容

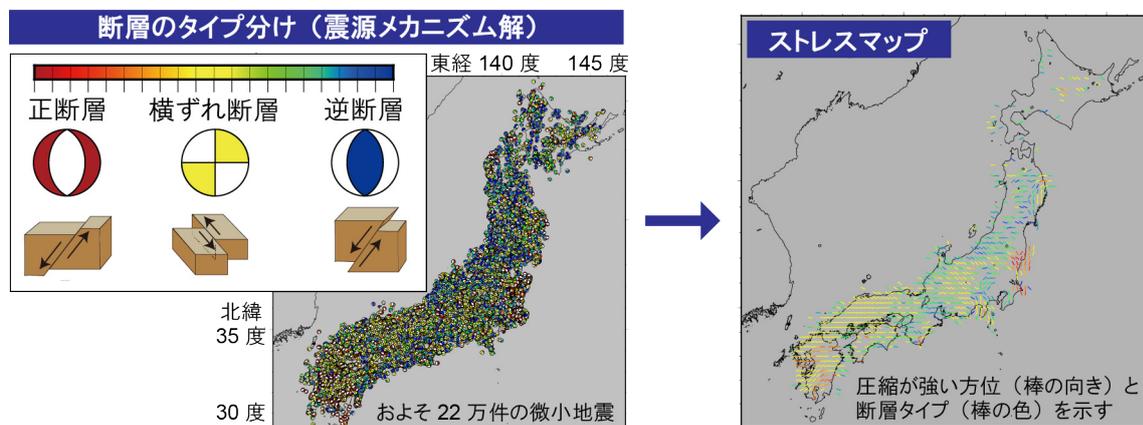
内陸および沿岸海域の下、深さ 20 km 未満で 2003 年～2020 年に発生した微小地震(マグニチュード 0.5～3.0)について、国内に整備されている基盤的地震観測網で記録された 400 万本余りの地震波形から P 波初動極性を深層学習により読み取り、それに基づいて、21 万件余りの地震の震源メカニズム解を精度よく求めた。得られた震源メカニズム解を用いてストレスインバージョン解析を行い、緯度・経度共に 0.2 度(約 20 km)刻みの範囲でストレス分布を得た(第 2 図)。深層学習による自動処理ができるようになったので、従来だと処理できないほど数多くの地震データを

利用することで、日本列島を網羅するストレスマップが完成した。

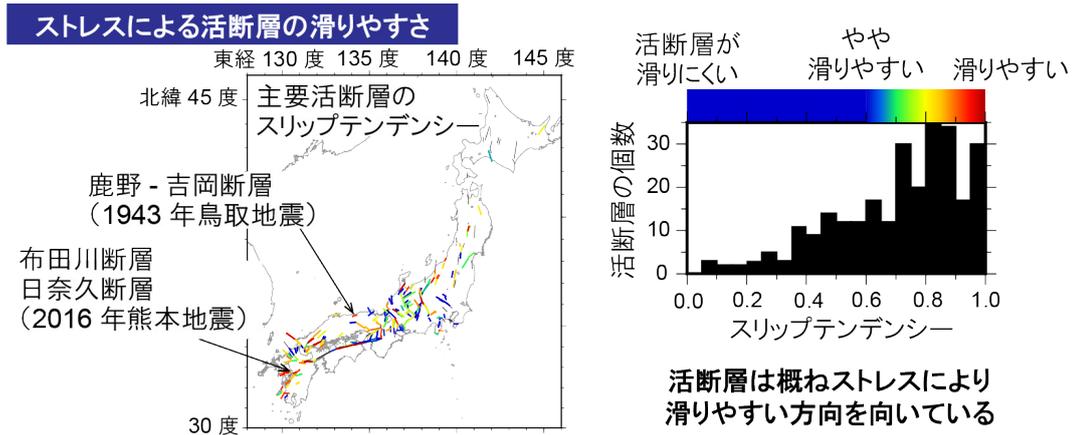
得られたストレスマップにより、滑りやすい断層を類型化することができた。大別すると、中国地方より西側と中部地方の大部分では横ずれ断層型、近畿地方と東北地方の大部分では逆断層型の地震が起りやすい。九州地方や関東・東北地方の太平洋側の一部地域では、正断層型の地震が起りやすい。それ以外に、地域によっては異なるタイプの地震が起っている。政府の地震調査研究推進本部が基盤的な調査対象として選定している 114 の主要活断層帯に着目すると、2016 年熊本地震を起こした布田川断層と日奈久断層、1943 年鳥取地震を起こした鹿野 - 吉岡断層など、多くの活断層が現在のストレスで動きやすい方向を向いていることもわかった(第 3 図)。このストレスマップは、地表の痕跡が不明瞭で活断層の存在が知られていない場所でも、どのようなタイプの地震が発生し得るかわかり、想定地震のモデル化に利用されることが期待される。また、1944 年東南海地震、1946 年南海地震、2011 年東北地方太平洋沖地震のような海溝型巨大地震が発生すると、内陸部にも急激にストレスがかかり、直下型の地震が誘発されることがある。その誘発されやすさは、元々かかっていたストレスと急激にかかるストレスの方向がよく一致しているかどうかが大きく関わる。現在、南海トラフや千島海溝沿いの巨大地震の切迫性が高まっているが、そのような地震が発生した後の直下型の地震活動を評価する上でも、今回作成したストレスマップは有用となる。

今後の予定

ストレスマップの範囲を海域や 20 km 以深に拡大し、海



第 2 図 微小地震の断層タイプに基づくストレスマップの作成



第3図 ストレスによる主要活断層帯の滑りやすさ(スリップテンデンス)

溝型地震や首都圏直下のやや深い地震の評価にも活用できるように発展させる。

論文情報

掲載誌：Journal of Geophysical Research Solid Earth

巻・論文番号：Volume 127, e2022JB024036

論文タイトル：Stress map of Japan: Detailed nationwide crustal stress field inferred from focal mechanism solutions of numerous microearthquakes

著者：Takahiko Uchide, Takahiro Shiina, Kazutoshi Imanishi

DOI：10.1029/2022JB024036

用語の説明

◆ストレス

物体の内部に働く力のこと。応力とも呼ばれる。プレート運動や過去の地震の発生、火山活動などといった様々な地球内部の活動によって、地球の内部はストレスを受けている。ストレスはこれらの活動を調べるための手掛かりである。

◆震源メカニズム解・P波初動極性

震源メカニズム解は地震を特徴づける指標の一つで、断層面と断層滑りの方向に対応する。P波による震動の初めが上方または下方のどちらに動いたかを表す「P波初動極性」を多数の地点で調べることで、震源メカニズム解を決定することができる。

◆基盤的地震観測網

日本の研究機関や大学により運営されている地震計のネットワーク。各機関で得られたデータを一元的に収集

し、インターネット等で公開している。今回はそのうち、国立研究開発法人防災科学技術研究所が管理する高感度地震観測網(Hi-net)と、気象庁と産総研が管理する観測点のデータを使用した。

◆ストレスインバージョン解析

多数の震源メカニズム解によく合うストレスを推定するデータ解析。圧縮するストレスが最も大きい方向を求めることができる。

◆横ずれ断層・逆断層・正断層

断層は滑り方によって、これら3つのタイプに大別される。断層滑りによって、周辺の岩盤が伸びる方向(黒矢印)と縮む方向(白矢印)があり、これらがストレスを知るための手掛かりになる。

◆スリップテンデンス

ストレスによる断層の滑りやすさを示す指標の一つ。本研究で計算したスリップテンデンスは、ストレスが断層を滑らせやすい方向を向いているかどうかを示している。この場合、すぐに地震が起きやすいかどうかという発生時期を示しているわけではない。

文献

内出崇彦・椎名高裕・今西和俊(2022)日本全国内陸部の地殻内応力マップと微小地震の発震機構解のデジタルデータ。地質調査総合センター研究資料集, no. 738, 産総研地質調査総合センター, 6p.

UCHIDE Takahiko, SHIINA Takahiro and IMANISHI Kazutoshi (2023) Stress map of Japan available online - For assessment of future inland earthquakes and understanding of seismotectonics -

(受付：2022年11月21日)

紀伊半島南部の橋杭岩周辺で巨大津波の証拠を発見

行谷 佑一¹⁾・前杵 英明²⁾・宍倉 正展³⁾・越後 智雄⁴⁾

本稿は 2022 年 9 月に産業技術総合研究所が行ったプレスリリース (https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20220912/pr20220912.html) に加筆修正した産総研活断層・火山研究部門の IEVG ニュースレター 2022 年 10 月号 (https://unit.aist.go.jp/ievg/katsudo/ievg_news/vol.09/vol.09_no.04.pdf) をほぼ再掲したものです。

1. はじめに

紀伊半島南部に位置する和歌山県串本町には橋杭岩と呼ばれる巨岩列が存在します(第 1 図)。巨岩列は海岸に一直線状に並んでおり、まるで橋脚のように見えることからその名が付けられたとされ、国の名勝・天然記念物に指定されています。この橋杭岩はマグマの貫入によって生成された岩石です(豊島, 1968)。橋杭岩の周辺には、泥岩でできた波蝕棚と呼ばれる平らな岩礁の上に、多数の岩塊(巨礫)が散らばっている様子を見ることができます。これらの巨礫も同じマグマ由来の岩石からなるので、もともとは橋杭岩にあった岩石が分離してすぐ下に落下し、その後周囲に移動したものと考えられます。

本研究ではこの巨礫の移動の原因について、過去に大きな津波や高潮などで橋杭岩から運ばれたためであると推定しました。そこで、これらの巨礫の位置や大きさを現地で測定し、どのくらいの規模の津波によって巨礫が動くか計算を行いました。この結果、南海トラフ沿いで歴史上最大とされる 1707 年宝永地震による津波の規模でも動かない巨礫が存在することがわかりました。これは 1707 年津波を超える大きな津波がかつてこの地を来襲し、巨礫

を動かしたことを示しています。この成果の詳細は国際誌「Tectonophysics」誌に掲載されています(Namegaya *et al.*, 2022)。

2. 研究の社会的背景

津波に対する防災計画を考える場合、過去にその場所にとどのくらい大きな津波が来襲したのかを知ることが基本的かつ重要な知見になります。例えば、将来に大規模地震の発生が懸念される南海トラフ沿いでは、歴史記録によってこれまでに繰り返し大きな地震や津波が発生したことがよく知られています(例えば、石橋, 2014)。このうち 1944 年昭和東南海地震は南海トラフの東側、1946 年昭和南海地震は西側でそれぞれ地震が発生しました。それらの一つ前の 1854 年安政地震でも南海トラフの東側で地震が発生した後、約 30 時間後に西側で地震が発生しています。ところが、さらに一つ前の 1707 年宝永地震では南海トラフのほぼ全域にわたり地震が発生したことが知られており、この地震が現在知られている最大の地震とされています(例えば、地震調査研究推進本部, 2013)。こういった大きな地震津波は過去数千年以上にわたって繰り返し発生してき



第 1 図 和歌山県串本町橋杭岩周辺の巨礫(「震源域」は地震調査研究推進本部(2013)を利用)。

1) 産総研 地質調査総合センター活断層・火山研究部門

2) 法政大学 〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1

3) 産総研 地質調査総合センター連携推進室

4) 株式会社環境地質 〒210-0014 神奈川県川崎市川崎区貝塚 1-4-15-203

キーワード: 橋杭岩, 南海トラフ, 津波, 1707 年宝永地震, 巨礫

たとえられます。しかし、過去に 1707 年宝永地震津波よりも大きな津波が来襲したか否かという問題に関して、定量的な検討の例はありませんでした。

3. 研究の経緯

産業技術総合研究所ではこれまで地質学的な調査を実施し数値シミュレーションと組み合わせて過去に発生した地震を推定する研究を行ってきました(例えば, Pilarczyk *et al.*, 2021; Sawai *et al.*, 2012)。過去に発生した地震は将来も発生する可能性がある, このような考え方から過去に発生した地震, すなわち古地震の実態解明を進めています。本研究もその一環です。巨礫の分布と津波の数値計算とを組み合わせて地震を推定した研究は過去にも報告例がありますが(例えば, Imamura *et al.*, 2008; Goto *et al.*, 2010), 本研究は巨礫を形成した母体の岩石の位置が判明している, 非常に珍しい調査地を対象としています。

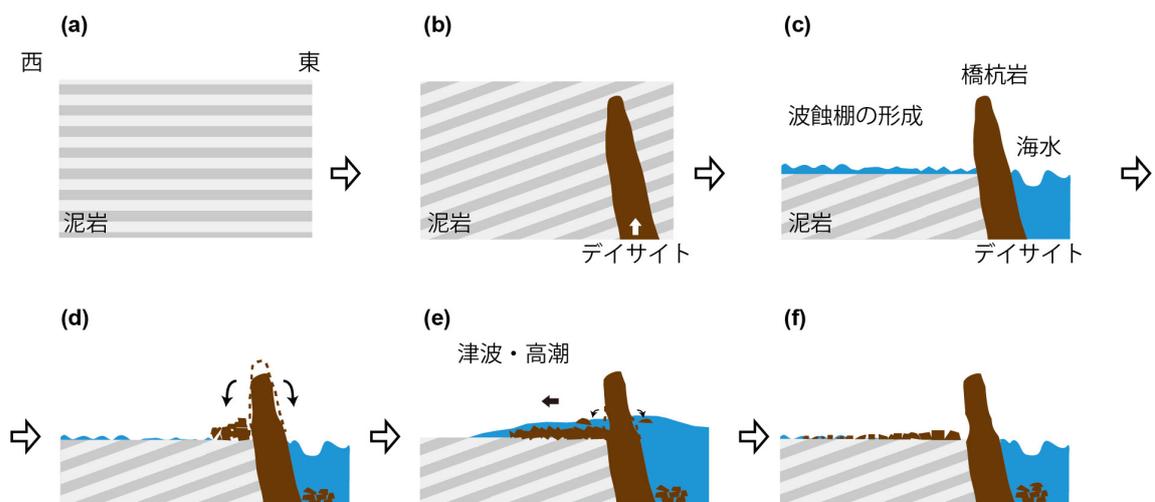
4. 研究の内容

橋杭岩とは和歌山県串本町東岸に位置する, 南北に直線的に並ぶ巨岩列です(第 1 図)。第 2 図のようにこの巨岩列はマグマの貫入に由来したデイサイトの岩脈が, 侵食されずに突出したものであり, その西側には泥岩でできた平坦な波蝕棚が広がります。その波蝕棚の上に橋杭岩と同じデイサイトからなる巨礫が千個以上分布しており, 橋杭岩

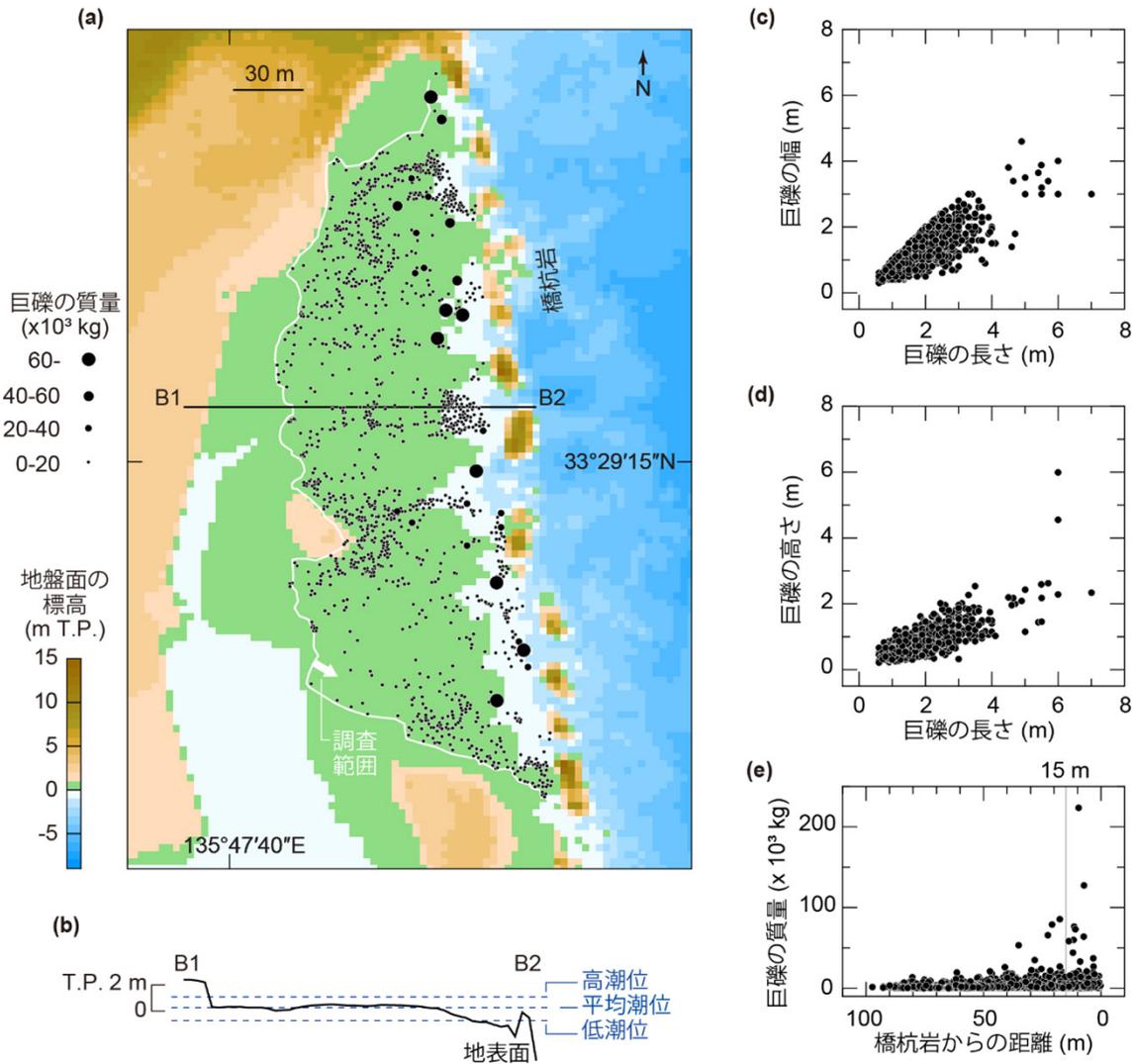
から分離したものと考えられます(豊島, 1968)。波蝕棚はほぼ平坦であるため, 橋杭岩から分離して落下しただけでは, 巨礫は橋杭岩周辺にあるはずですが, 実際には波蝕棚上に広く分布しています。このことから, 巨礫は大波によって(前空・坪野, 1990), とくに津波や高潮などの波の作用によって現在の位置まで運ばれたと推定しました。

本研究では, まず分布する 1,311 個の巨礫の位置や大きさを現地で調査しました(第 3 図)。最も大きなものと長径は 7 m に及ぶものがありました。最も重いものは 220 トンを超えます。調査地域内では, 巨礫はランダムに分布しているように見え, 密集している部分と全くない部分が観察されます。比較的軽い巨礫は橋杭岩からの距離に関係なく均一に分布していますが, 重い巨礫は橋杭岩周辺に分布していることがわかります(第 3 図 e)。

では, これらの巨礫は津波により動くのでしょうか。これを明らかにするために, これらの巨礫が 1707 年宝永地震津波で動くかを数値計算で検討しました。計算の条件として, 橋杭岩から水平距離で 15 m の範囲にある巨礫は単に橋杭岩から自由落下しただけで過去に津波や高潮で移動していないとみなし, それ以外の合計 1,103 個の巨礫を対象としました。また, 1707 年宝永地震では地盤が隆起したと考えられており, 当時の海面の位置を示す生物化石が現在の海面より 1.3 m 高い位置にある(穴倉ほか, 2008)ので, 地盤高を現在の地形から 1.3 m 低く設定して計算しています。1707 年宝永地震以後には 1854 年安政地震や 1944 年・1946 年昭和地震が発生しており, 地震時あるい



第 2 図 橋杭岩および巨礫形成の概略図。(a) はるか昔の中新世前期頃に泥岩が堆積。(b) 中新世中期頃に地下からマグマが貫入。(c) 第四紀後期頃に海水の存在により橋杭岩周辺の比較的柔らかい泥岩が削られ橋杭岩が露出し, その西側では波蝕棚と呼ばれる平らな地面が形成。(d) 風化やひびが入るなどして橋杭岩の一部が分離し巨礫が形成。(e) 巨礫が津波や高潮といった海の波の作用により橋杭岩西側の波蝕棚上へ運搬。(f) 現在の巨礫の分布。(a)-(d) は豊島(1968)に基づいて作成。Namegaya *et al.* (2022) の Fig. 2 を改変。



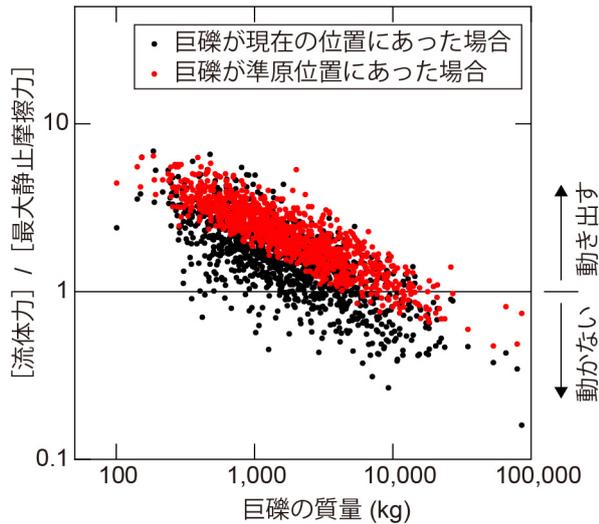
第3図 橋杭岩周辺の巨礫の現地調査結果。(a) 巨礫の分布図。(b) 図(a)のB1-B2測線の地形断面図。(c) 巨礫の長さに対する幅。(d) 巨礫の長さに対する高さ。(e) 橋杭岩からの距離に対する巨礫の質量。Namegaya *et al.* (2022) の Fig. 3 を改変。

は地震と地震との間において地盤面の高さは変動していると考えられますが、この1.3 mというのはそれらも含めてトータルで1707年宝永地震の直前の地盤面が現在よりも1.3 m低かったことを意味しています。

1707年宝永地震の断層モデルとして既存の研究成果である安中ほか(2003), 相田(1981a, 1981b), およびFurumura *et al.* (2011)を用い、コンピューター上で模擬的に津波を発生させ、津波の高さや流速を計算しました。さらに巨礫に働く海水からの流体力と、巨礫と地面との間の最大静止摩擦力を計算し、流体力が最大静止摩擦力を越える場合に巨礫が動き出すという判定を行いました。なお、計算の初期条件として、本来であれば1707年宝永地震の直前における巨礫の位置の状態を復元して計算を実施すべきですが、同地震直前の巨礫の位置を把握することは困難です。そこで巨礫が現在の位置に存在するとして計算した

場合と、巨礫が橋杭岩のすぐそばに位置していたと仮定して計算した場合(準原位置)との2種類を計算しました。この結果、いずれの条件とも全てのモデルにおいて多くの巨礫が動くことがわかりました(例えば、第4図)。しかしながら、特に大きな巨礫など一部で動かない巨礫も存在することがわかりました。このことは1707年宝永地震津波よりも大きな津波が過去にこの地を襲ったことを示しています。

それではどのような津波であれば全ての巨礫が動くのでしょうか。この一つの案として紀伊半島南東沖合にあるプレート境界の分岐断層(Park *et al.*, 2002; Moore *et al.*, 2007)の活動を考えました。1707年宝永地震の津波波源モデルに加え、同時にこの分岐断層も動いた例を考えると、準原位置において全ての巨礫が動く結果となりました。また別の案として、1707年宝永地震の津波波源モデルのす



第4図 1707年宝永地震の断層モデル(安中ほか, 2003)により計算された津波により巨礫が受ける流体力と最大静止摩擦力との比。黒点は巨礫が現在の位置に存在した場合の結果。赤点は巨礫が準原位置に存在した場合の結果。縦軸の流体力と最大静止摩擦力との比が1を超えた場合にその巨礫は動き出すと判定。原位置および準原位置においても、1707年宝永地震の津波では動かない巨礫が存在することがわかる。Namegaya et al. (2022) の Fig. 5c を改変。

べり量を2倍にして計算を行ったところ、より多くの巨礫が動く結果となりましたが動かない巨礫もまだ存在する結果となりました。このほか、本研究では定量的な解析をしていませんが、紀伊半島南東沖合での海底地滑りも巨礫を動かす原因かもしれません。ただし、ここで検討した例はあくまで可能性の一つとして挙げたに過ぎず、当然のことながらほかの要因もありえると考えられます。いずれにせよここで重要なことは、橋杭岩周辺において、歴史上最大と言われる1707年宝永地震による津波よりも大きい津波が過去にあったということでしょう。

一方、台風等による高潮の影響についても検討しました。2012年9月に台風17号がこの地を来襲し、当地における1951年以降の観測統計の中で最大級の潮位の上昇がありました。この台風来襲の前後の期間において橋杭岩周辺の巨礫も含めた地形をレーザースキャンにより測定し、両期間の地形を比較することで巨礫が動いたか否かを調べました。この結果、動いたのは巨礫の中でも小さいもののみで、ほとんどの巨礫は動いていませんでした。さらに、1976年と2007年に撮影された空中写真から巨礫の移動を調べた結果でも、判読可能な範囲では大きな巨礫の移動は確認できませんでした。もちろん未知の巨大な高潮が過去に存在した可能性は排除できません。しかしながら、巨礫の中には第5図のように台座状の泥岩の上に乗ったものも散見されました。これらは巨礫周辺の岩盤面が風化や



第5図 台座に乗った巨礫の例。周辺の地面に比べ一段高く位置する。立てかけてあるのは標尺で下側の黄色部分が1m。

波の侵食作用で削られ、高度を下げたのに対し、巨礫の直下の岩盤面がそういった侵食作用から免れた結果と考えられます。これは巨礫が比較的長期間その場所にとどまった証拠であると考えられます。どの程度の期間その場所にとどまったかは不明ですが、おそらく数十年、数百年といった長いスケールでその場所にとどまっていると推定されます。したがって台座の存在からも、毎年来る台風の高潮で大きな巨礫は動かず、巨礫が現在の分布をしているのは津波によるものと考えるのが合理的だと思われます。

5. 今後の予定

今後は、この巨礫がいつ移動したのか、すなわち巨大津波がいつ襲ったのかについても地質試料の年代測定等を通じて解明することを目指します。また橋杭岩周辺以外にも南海トラフ沿いで宝永地震を超える規模の津波の証拠を探し、検証していく予定です。

謝辞: 和歌山県庁、串本町役場、南紀熊野ジオパークのみなさまから現地調査の便宜を図っていただきました。現地調査においては永井亜沙香氏にご協力いただきました。本研究の一部はJSPS科研費(JP18500779, JP20500895, JP24300319, JP16K01223)の援助を受けて実施しました。本稿の第1図の挿絵、第3図、および第4図はGeneric Mapping Tools (GMT) (Wessel et al., 2013)により作成しました。記して感謝いたします。

文献

相田 勇 (1981a) 東海道沖におこった歴史津波の数値実

- 験. 地震研究所彙報, **56**, 367-390.
- 相田 勇 (1981b) 南海道沖の津波の数値実験. 地震研究所彙報, **56**, 713-730.
- 安中 正・稲垣和男・田中寛好・柳沢 賢 (2003) 数値シミュレーションに基づく南海トラフ沿いの大地震の特徴. 土木学会地震工学論文集, <http://library.jsce.or.jp/jsce/open/00578/2003/27-0307.pdf>.
- Furumura, T., Imai, K. and Maeda, T. (2011) A revised tsunami source model for the 1707 Hoei earthquake and simulation of tsunami inundation of Ryujin Lake, Kyushu, Japan. *Journal of Geophysical Research*, **116**, B02308. doi:10.1029/2010JB007918
- Goto, K., Kawana, T. and Imamura, F. (2010) Historical and geological evidence of boulders deposited by tsunamis, southern Ryukyu Islands, Japan. *Earth-Science Reviews*, **102**, 77-79.
- Imamura, F., Goto, K. and Ohkubo, S. (2008) A numerical model for the transport of a boulder by tsunami. *Journal of Geophysical Research*, **113**, C01008. doi: 10.1029/2007JC004170
- 石橋克彦 (2014) 叢書 震災と社会 南海トラフ巨大地震 歴史・科学・社会. 岩波書店, 260p.
- 地震調査研究推進本部 (2013) 南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版). 平成 25 年 5 月 24 日発表. 94p.
- 前杵英明・坪野賢一郎 (1990) 紀伊半島南部の完新世地殻変動. 地学雑誌, **99**, 349-369.
- Moore, G. F., Bangs, N. L., Taira, A., Kuramoto, S., Pangborn, E. and Tobin, H. J. (2007) Three-dimensional splay fault geometry and implications for tsunami generation. *Science*, **318**, 1128-1131.
- Namegaya, Y., Maemoku, H., Shishikura, M. and Echigo, T. (2022) Evidence from boulders for extraordinary tsunamis along Nankai Trough, Japan. *Tectonophysics*, **842**, 229487. doi: 10.1016/j.tecto.2022.229487
- Park, J. -O., Tsuru, T., Kodaira, S., Cummins, P. R. and Kaneda, Y. (2002) Splay Fault Branching along the Nankai Subduction Zone. *Science*, **297**, 1157-1160.
- Pilarczyk, J. E., Sawai, Y., Namegaya, Y., Tamura, T., Tanigawa, T., Matsumoto, D., Shinozaki, T., Fujiwara, O., Shishikura, M., Shimada, Y., Dura, T., Horton, B. P., Parnell, A. C. and Vane, C. H. (2021) A further source of Tokyo earthquakes and Pacific Ocean tsunamis. *Nature Geoscience*, **14**, 796-800. doi: s41561-021-00812-2
- Sawai, Y., Namegaya, Y., Okamura, Y., Satake, K. and Shishikura, M. (2012) Challenges of anticipating the 2011 Tohoku earthquake and tsunami using coastal geology. *Geophysical Research Letters*, **39**, L21309.
- 豊倉正展・越後智雄・前杵英明・石山達也・永井垂沙香 (2008) 南海トラフ沿いに起きた歴史地震に伴う隆起を記録した紀伊半島南部沿岸の生物遺骸群集. 歴史地震. **23**, 21-26.
- 豊島吉則 (1968) 和歌山県串本町付近の海蝕台と波蝕棚. 鳥取大学教育学部研究報告. 自然科学, 鳥取大学教育学部紀要. **19**, 41-48.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. and Wobbe, F. (2013) Generic Mapping Tools: improved version released. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, **94**, 409-410.

NAMEGAYA Yuichi, MAEMOKU Hideaki, SHISHIKURA Masanobu and ECHIGO Tomoo (2023) Evidence of extraordinary tsunamis around the Hashigui-iwa dacite intrusion, south of the Kii Peninsula, Japan.

(受付: 2022 年 11 月 24 日)

チャートが生み出した足利の地形：足尾山地南西部 「桐生及足利」地域で観察できる地層と岩石

伊藤 剛¹⁾

1. はじめに

NHKの番組プラタモリは、タモリさんが日本各地に赴き、その地域の文化・地質・地形などを取り上げながらその成り立ちに迫る番組である。好評を博し、2022年には200回を超えた。2023年1月28日に放送された#227「足利」回では、栃木県足利市が取り上げられた。同放送では「足利はときどき天下をとる!？」と題して、同市を代表する観光地であるあしかがフラワーパークや日本遺産である足利学校などが紹介された。その中で、筆者は地質・地形の面から見た足利の成り立ちの解説を担当した。

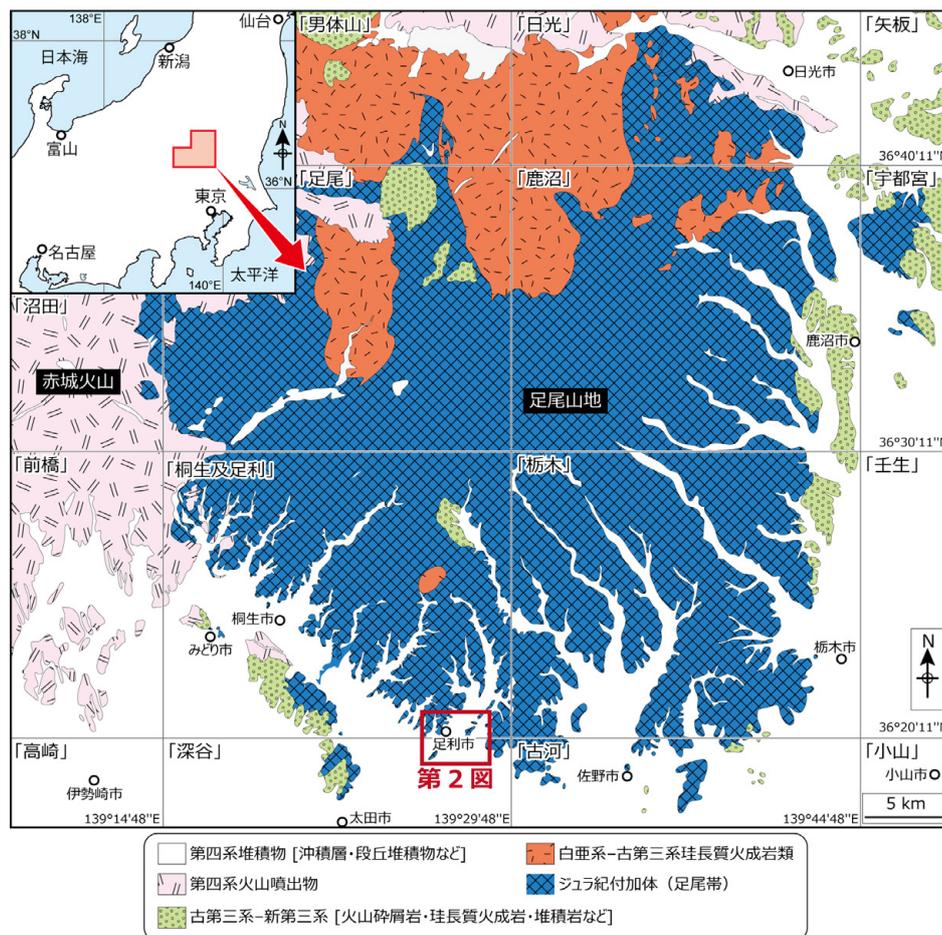
足利の地形は、北東-南西に伸びる山が幾重にも重なっ

ているのが特徴であり、その形成においてはチャートが大きな役割を果たしている。番組では、模型やフリップといった理解を助ける仕組みを用いて説明が行われた。本解説では、改めて図面などを示して補足説明を行う。

2. 足利の地形を作った地質

2.1 足利地域の地質の概要

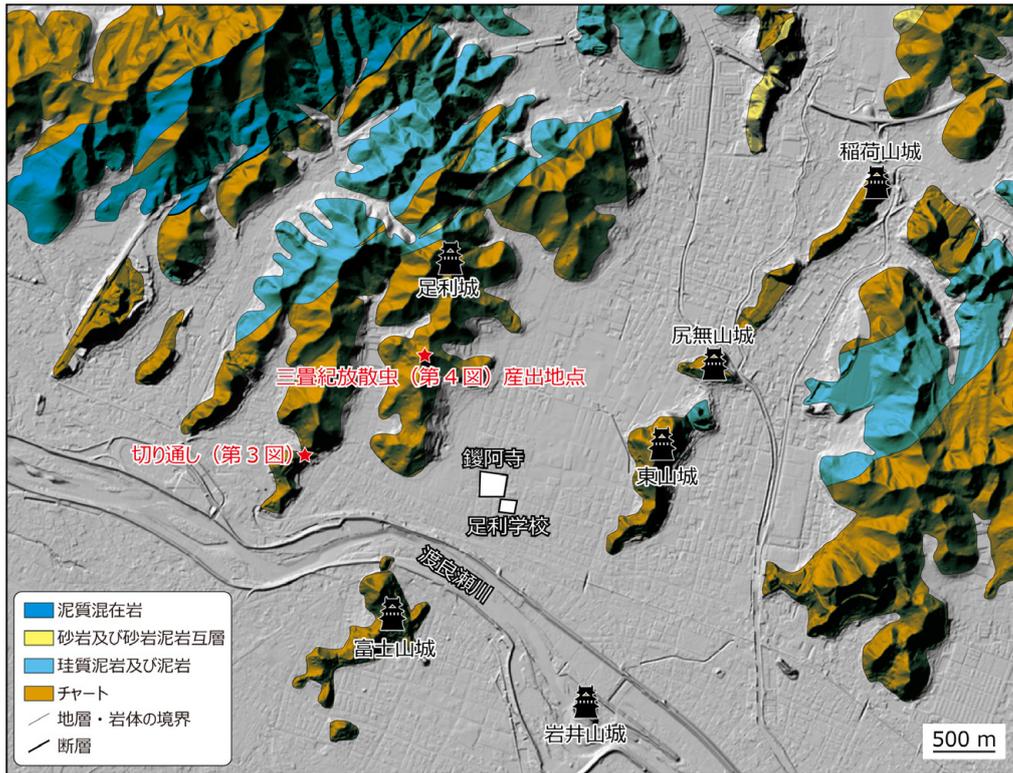
足利市は栃木県の南西端に位置し、同県の佐野市並びに群馬県の桐生市・太田市・館林市・^{おうら}邑楽町と接する。地形的には足尾山地の南部にあたる(第1図)。足利学校や^{ほんなじ}鑊阿寺周辺は平地に存在するが、その周囲は山に囲まれている。



第1図 足尾山地の地質概略図。伊藤ほか(2022)に基づく。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門

キーワード：足利、城郭、チャート、付加体、地形



第2図 足利周辺の地質図と山城の位置。地質図は伊藤ほか(2022)及び著者の未公表データに基づき作成した。山城の位置と名称については、平井ほか(1979)に基づく。

この地形を形作っている地層や岩石のうち、大きな役割を果たしているのがチャートである(第2図)。生物源チャートは、放散虫などの珪質骨格を持つ生物が海底に降り積もってきた堆積岩である。チャートは緻密で硬く(堆積学会編, 1998)、火打石に用いられることもある。

足利周辺を含む「桐生及足利」地域において、筆者らは5万分の1地質図幅を刊行しており(伊藤ほか, 2022)、またその過程で研究成果を公表している(例えば、伊藤, 2021)。足利周辺のチャートは足尾帯ジュラ紀付加体の葛生コンプレックスに属する(伊藤, 2021)。葛生コンプレックスはチャート・珪質泥岩・泥岩・砂岩泥岩互層・砂岩からなるチャート-砕屑岩シーケンスが繰り返す構造により特徴づけられ(鎌田, 1997; 伊藤, 2021)、足利周辺でもその構造がみられる。足利周辺の地質図(第2図)をみると、それぞれの岩相が北東-南西に伸びることが認識できる。この岩相の配列は地形にも反映されており、チャートの分布に沿って山が連なっている。

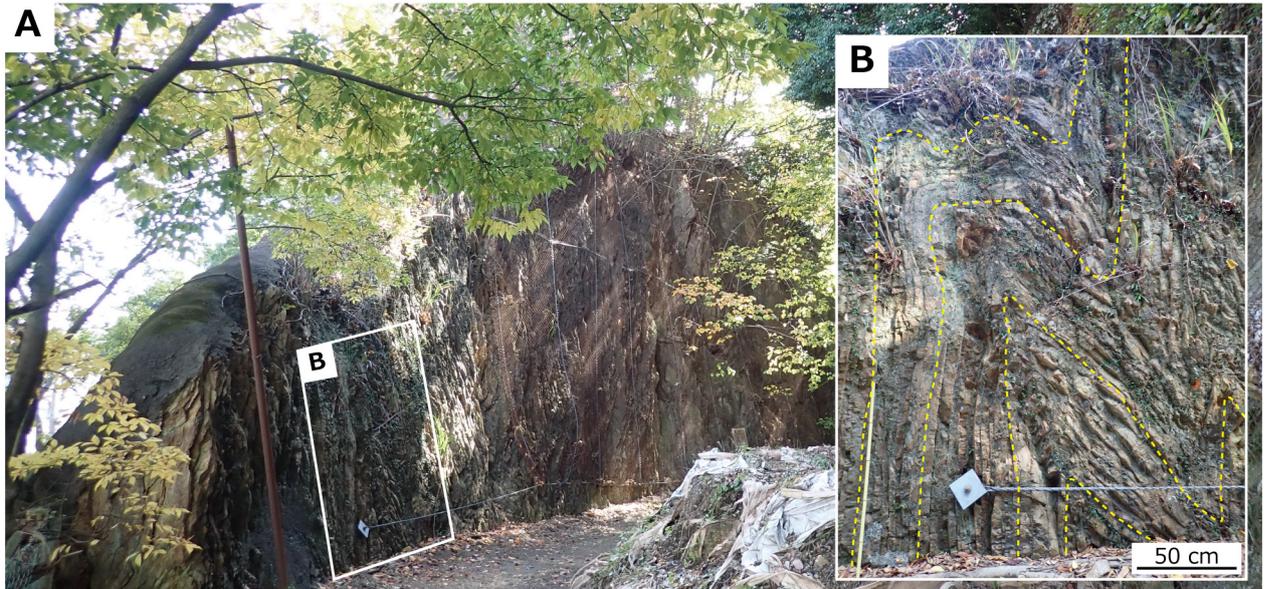
足利市内や周辺の山中では多くの箇所ではチャートが観察できるが、番組では「切り通し」が取り上げられた。以下、この切り通しで観察できるチャートの特徴を述べ、これらのチャートが足利の地形を形作った過程について解説する。

2.2 切り通しに露出するチャートの特徴

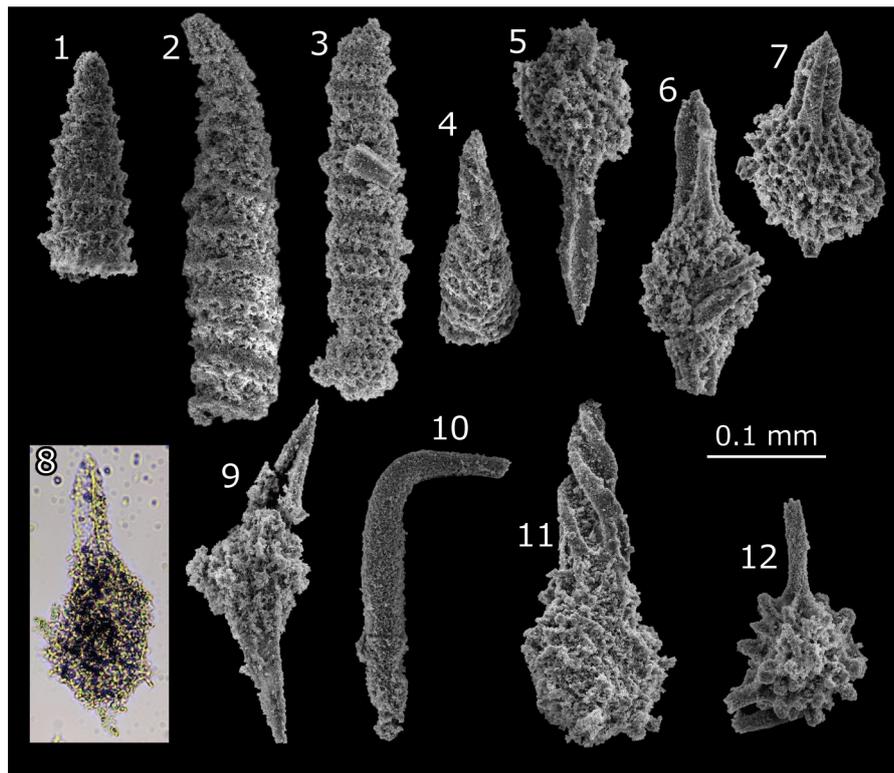
番組で取り上げられたのは足利公園の北方、足利市通7丁目の切り通しである(第2図)。ここは明治時代に切り開かれた道であり、現在の県道67号ができるまでは足利の西部と中心地を結ぶ道であった。この切り通しはチャートの走向に直交するかたちで切り開かれており、チャートがよく観察できる(第3図A)。切り通しのチャートは灰色から暗灰色を呈するものが多く、一部では赤色や明灰色のものもみられる。単層の厚さは5~15cm程度で通常0.1mm程度の泥質薄層を挟んで明瞭に成層する。層状チャートの見かけ上の厚さは数10mに及ぶが、褶曲を繰り返しておりまた断層もみられるため正確な厚さは不明である。

切り通しのチャートは複褶曲しており、様々な褶曲が見られる。第3図Bの範囲内では、下部では「く」の字に曲がっているが、上部では「M」の字に褶曲する様子が観察できる。

切り通しのチャートから化石は得られていないが、北東方に延長するチャートからは三畳紀の放散虫やコノドントが産出している(Ito, 2020, 2021)。織姫公園北方の登山道沿いに露出するチャートから得られた中期三畳紀放散虫(Ito, 2021)を第4図に示す。

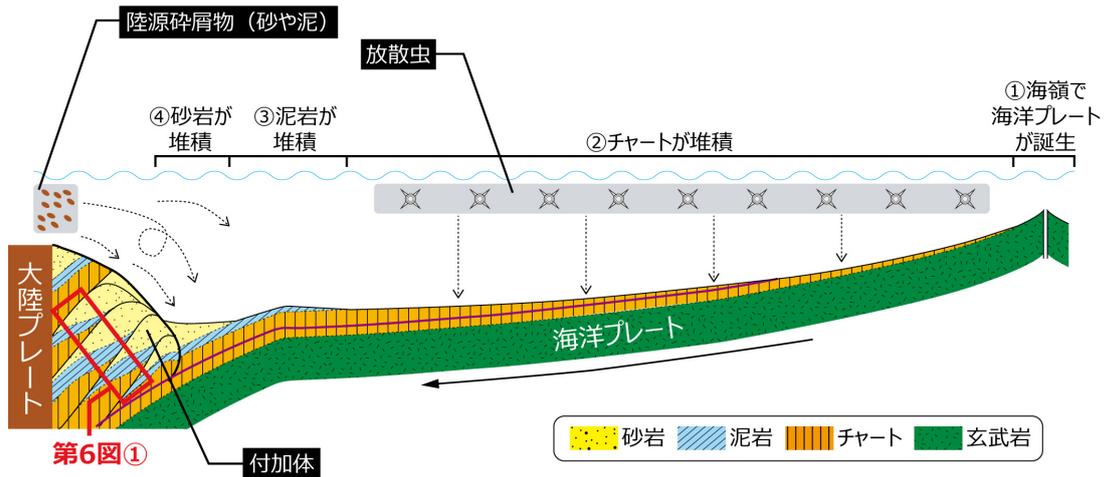


第3図 足利市通の切り通しでみられるチャート。Bの黄色補助線は層理面と褶曲を示す。



第4図 織姫公園北方の登山道沿いに露出するチャートから産出した三畳紀放射虫化石。Ito (2021) から試料 IT18100702 の一部を転載した。

(1) *Triassocampe* sp. cf. *T. deweveri* Nakaseko and Nishimura. (2, 3) *Annulotriassocampe* sp. (4) *Yeharaia* sp. (5–8) *Pseudostylosphaera* sp. cf. *P. japonica* (Nakaseko and Nishimura). (9) *Eptingium* sp. cf. *E. nakasekoi* (Kozur and Mostler). (10) Spine A2 of Sugiyama (1997). (11) *Muelleritortis?* sp. (12) *Xenorum?* sp.



第5図 海洋プレート上の堆積物と付加過程の簡略図。チャート中の紫は珪質粘土岩を示す。

2.3 足利の地形ができるまで

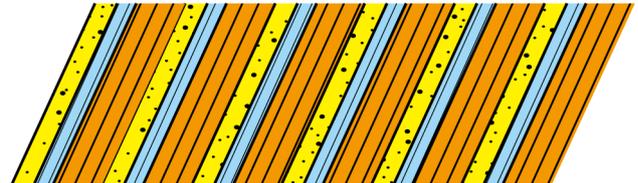
足尾山地はジュラ紀付加体を主体とする。付加体は海洋プレートを構成する岩石やその上の堆積物からなる。一般的なジュラ紀付加体を例として説明する(第5図)。海洋プレートは海嶺で誕生する。陸源性碎屑物が届かない遠洋域では、放散虫などの珪質骨格からなる化石が堆積しチャートが形成される。海洋プレートの移動に伴い大陸に近づいてくると、陸源性碎屑物の供給量が増え、やがて珪質泥岩や泥岩がチャートの上に堆積する。さらに大陸に近づいてプレート境界部に達すると、海溝を充填する堆積物として砂岩が堆積する。付加体によっては、海山を構成する石灰岩や砂岩のさらに上位に礫岩がみられることもある。

海洋プレートの構成岩類やその上の堆積物の一部は、プレート境界部で大陸プレートに付加することがあり、これは付加体と呼ばれる。付加体先端部で剥ぎ取り付加が起きると、チャート-碎屑岩シーケンスが繰り返す構造が形成される。ジュラ紀付加体においては、ペルム系最上部~下部三畳系珪質粘土岩を基底とした繰り返す構造が知られている(例えば、Matsuoka, 1992; Nakae, 1992; 中江, 1993)。

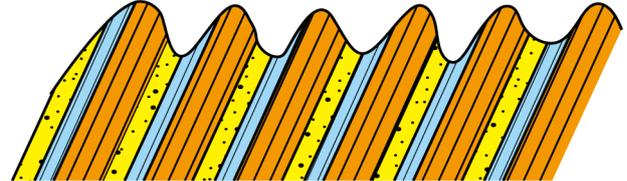
剥ぎ取り付加で形成されたチャート-碎屑岩シーケンスの繰り返す構造は、様々な過程を経て陸化する。陸化した後の過程を第6図に示す。陸化した場合、緻密で硬いチャートは風化しにくく(日本地形学連合編, 2017)、これに対して相対的に柔らかい砂岩や泥岩は先んじて風化していく。その後、地形的低まりにあたる砂岩や泥岩の上には河川からの砂や泥などが堆積して平地が生まれる。こういった過程を経ると、チャートからなる山が連なる地形が形成される。足利はこの典型的な地形と言える。

こうして足利の特徴的な地形が形作られた。平地に築か

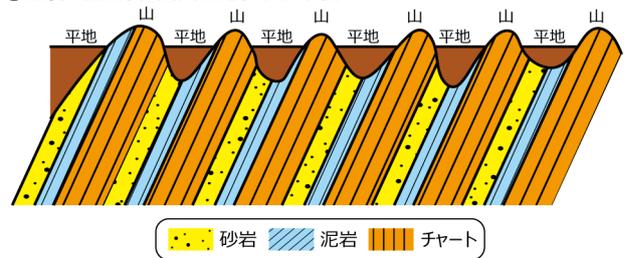
①チャート→泥岩→砂岩の繰り返し構造が形成



②比較的軟質な泥岩や砂岩が風化・浸食



③風化・浸食した箇所に泥や砂が堆積



第6図 チャート-碎屑岩シーケンスの繰り返すからなる地層が陸上に露出した後の過程を示した簡略図。

れた足利学校や鑿阿寺はこれらのチャートの壁に囲まれており、防衛に有利だったと思われる。鎌倉時代から室町時代にかけて、周辺のチャートの山には、足利城や尻無山城など多くの山城も築かれている(第2図; 平井ほか, 1979)。長きにわたってチャートとその地形が活用されてきたと言えるだろう。

3. 終わりに: 「桐生及足利」地域の見どころ

本解説では、足利市周辺に露出するチャートに着目し、

その地形との関係を紹介した。これまで述べてきたように、足利の地形の成り立ちにおいてはチャートが大きな役割を果たしている。チャートは切り通しのほかにも足利の各地で観察でき、市街地にも露出している箇所が多い。庭石としてもしばしば使われており、足利学校の庭園には褶曲したチャートの庭石もみられる。

本解説では足利周辺を取り上げたが、5万分の1地質図幅「桐生及足利」の範囲ではこれ以外に特徴的な地層や岩石が観察できる地点も多い。「桐生及足利」の調査の過程で見つけた観察可能な地点の一部については、巡検案内書として紹介した(伊藤, 2022)。同案内書内の Site 9 や Site 12 ではチャート-碎屑岩シーケンスの繰り返しを示しているほか、Site 10 では足利城のチャートを、Site 11 では足利学校の庭石に使われているチャートを紹介している。チャート-碎屑岩シーケンスの繰り返し構造の形成に大きな役割を果たした珪質粘土岩は、Site 1 で観察できる。巡検案内書で取り上げた地点の特徴を付表 1 に示したので、興味を沸かした方は参照されたい。

文 献

- 平井 聖・村井益男・村田修三編(1979)日本城郭大系 第4巻 茨城・栃木・群馬。新人物往来社, 東京, 481p.
- Ito, T. (2020) Radiolarian age of Triassic striped chert within the Jurassic accretionary complex of the Ashio terrane in the Ashikaga area, Tochigi Prefecture, central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **71**, 297-312.
- 伊藤 剛(2021)足尾山地のジュラ紀付加体の地質と対比: 5万分の1地質図幅「桐生及足利」地域の検討。地質調査研究報告, **72**, 201-285.
- Ito, T. (2021) Radiolarians from Jurassic accretionary complex of the Ashio belt in the Kiryu and Ashikaga District (Quadrangle series 1:50,000), central Japan. *Bulletin of the Geological Survey of Japan*, **72**, 287-324.
- 伊藤 剛(2022)巡検案内書:足尾山地南西部「桐生及足利」地域のジュラ紀付加体。地質調査研究報告, **73**, 143-192.
- 伊藤 剛・高橋雅紀・山元孝広・水野清秀(2022)桐生及足利地域の地質。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, 101p.
- 鎌田祥仁(1997)足尾帯葛生地域におけるチャート-碎屑岩シーケンスの復元。地質学雑誌, **103**, 343-356.
- Matsuoka, A (1992) Jurassic-Early Cretaceous tectonic evolution of the Southern Chichibu terrane, southwest Japan. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **96**, 71-88.
- Nakae, S. (1992) A formative process of the sedimentary complex of the Tamba Terrane in the Wakasa area, Southwest Japan: An example of continuous accretion. *The Journal of the Geological Society of Japan*, **98**, 401-413.
- 中江 訓(1993)デコルマ面としての遠洋性珪質岩中のP-T境界—丹波帯のジュラ紀付加作用に関連して—。地質調査所月報, **44**, 471-481.
- 日本地形学連合編(2017)地形の辞典。朝倉書店, 東京, 1032p.
- Sugiyama, K. (1997) Triassic and Lower Jurassic radiolarian biostratigraphy in the siliceous claystone and bedded chert units of the southeastern Mino Terrane, Central Japan. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, no. **24**, 79-193.
- 堆積学研究会編(1998)堆積学辞典。朝倉書店, 東京, 470p.

付表 1 「桐生及足利」地域の巡検案内書(伊藤, 2022)で紹介された見学地点、伊藤(2022)の付表 1 を和訳した。

番号	見学地点情報	主に観察できる岩相				産出した化石	他のトピック
		黒保根・桐生コンプレックス	大間々コンプレックス	葛生コンプレックス	行道山コンプレックス		
1	対応図 付図1, 2 方山	黒保根土岩;チャート; 珪質粘土岩;珪質泥岩				ジュラ紀とみられる放射虫; 前期三疊紀コノドント	
2	付図3 鳴石	チャート					猿によって運ばれたという伝承
3	付図4, 5 忍山川	チャート;珪質泥岩;泥岩	玄武岩類;チャート			中期ジュラ紀放射虫	桐生川断層
4	付図6, 7 水沼		枕状玄武岩溶岩;チャート角礫岩; チャート;泥質混在岩				
5	付図8 八木原		フズリナ石灰岩			ペルム紀フズリナ	ヘリコプリアオンの産出地点と 考えられる
6	付図9, 10 大崩		玄武岩類;炭酸塩岩類;チャート; レンズ状砂岩を挟む泥岩;泥質混在岩				
7	付図11 小平鍾乳洞		炭酸塩岩類				鍾乳洞
8	付図12, 13 高津戸峡		泥質混在岩				景勝地
9	付図14~16 閑馬川	泥質混在岩;泥岩		チャート;珪質泥岩; 泥岩;砂岩		中期ジュラ紀放射虫	チャート-砂層岩シーケンズ; 閑馬断層
10	付図17 阿曇山			チャート;珪質泥岩; 泥岩;砂岩			足利城
11	付図18 足利学校		チャート(帰属不明)				日本遺産
12	付図19~22 大岩			チャート;珪質泥岩; 泥岩;砂岩	チャート;砂岩; 泥質混在岩	中期~後期三疊紀放射虫; 中期ジュラ紀放射虫	チャート-砂層岩シーケンズ; ストライプチャート;大岩断層
13	付図23, 24 八王子丘陵				チャート	シスリアン世~グアダルピアン世 (前期~中期ペルム紀)放射虫	
14	付図25, 26 名草	チャート及び変成泥岩; 泥岩及び変成泥岩					足利岩体の黒雲母花崗閃緑岩; 国指定の天然記念物
Extra	博物館						地質や古生物の展示

ITO Tsuyoshi (2023) Geography of Ashikaga originated from chert: Strata and rocks observable in the Kiryu and Ashikaga District in southwestern Ashio Mountains, central Japan.

(受付：2022年12月8日)

J.J. ライン著「日本海岸の永年隆起」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 J. J. ライン(1835-1918)は、プロイセン王国政府から日本産業視察の命を受けて 1873～1875 年に日本に滞在し、本州・四国・九州の各地を旅行した。ラインは 1874 年 10 月 18 日、宮城県(当時の水沢県)気仙沼町を通過した際に、気仙沼湾奥の道路際に露出する石灰岩急崖の、湾の最高水位から約 2 m 上のところに、ニオガイによって穿孔された幅約 1 m の水平な縞があることを発見し、これを海岸が最近約 2 m 隆起したためと考えた(Rein, 1875; 山田・矢島, 2020; Nauheim et al., 2020)。

ドイツに帰国後、ラインは 1877 年 5 月 4 日のマールブルク全自然科学振興協会の学術集会において、改めてこの現象を取り上げ、北欧バルト海沿岸の永年隆起現象と比較しながら、論文“Die säculäre Hebung der japanischen Küste”(Rein, 1877)を発表した。本論文によれば、穿孔貝は *Lithophaga*, *Saxicava*, *Petricola* など(いずれもイガイの仲間)であり、これらの殻からなる縞は気仙沼湾最高水位から約 1.5 m(前報の 2.0 m を修正)の高さにあった。ラインはこの値が気仙沼海岸の最新期の隆起量を示すものと考え、その現象は気仙沼湾の湾口における堆砂の原因にもなり、ひいては北上山地の全般的隆起に関係していることから、この現象を「永年隆起」と呼んだ。穿孔貝を用いた海岸隆起の説明は日本ではこれが最初であろう。

上記の論文発表の半世紀後に、Imamura(1927)は、三浦半島南西部の諸磯(現三浦市三崎町)に露出する第三紀層(現今の新第三紀三浦層群三崎層：小玉ほか, 1980)の表面に、穿孔貝によって穿孔された水平な貝穴列の 4 層を認め、それらが、下位から、1923 年、1703 年、818 年、33 年の地震に伴う地盤の隆起現象によって生じたと考えた。「諸磯の隆起海岸」の露頭は 1928 年に国の天然記念物に指定された。この露頭はその後再検討が進められ、いくつかの点で Imamura(1927)の考えは修正を要することが明らかになった(蟹江ほか, 1989)が、Imamura(1927)の考えは基本的にはラインの思考法をさらに発展させたものといえるであろう。

三浦(1966)は気仙沼湾西岸地帯に 5 群におよぶ海岸段丘を識別し、それらが累計 100 m 以上におよぶ隆起運動

によって順次形成されたが、その間に海退と海進の時期も認められるとした。

村上ほか(2013)は、気仙沼湾南部岩井崎に分布する、三浦(1966)の海岸段丘のうち下位の岩月・片浜段丘の堆積物に対して、ルミネッセンス法(pIRIR 法)による年代測定を行い、これらが小池・町田(2001)の海成段丘 MIS 7(約 20 万年前)に対比されることを示し、海成段丘 MIS 5(約 8 万年前)は現在の海底下にあることを示唆した。

丹羽ほか(2015)は気仙沼湾西側の大川平野において掘削されたコア試料の研究から、同地域は完新世全体を通して沈降が卓越していたことを示した。

本論文で示されたような小規模の変動は、ラインが考えたような海岸隆起による場合もあるだろうが、縄文海進期以後の小海退(那須・遠藤, 1996)を示す可能性も考えられる(永広昌之氏のご助言による)。

本論文の邦訳にあたっては、新たに小見出しを設けて読者の理解を助けた。原論文の脚注はまとめて原注とし、訳者らによる注は訳文中の〔 〕内に記入したほか、別に訳注を設けて、原注の後ろに置いた。また、「1. 訳出にあたって」、本文、原注および訳注で引用した文献のリストをまとめて最後に載せた。本論文には図表はまったくないので、邦訳ではラインの塩竈-釜石間旅行ルート図を既存論文から転載して第 1 図とし、またラインが穿孔貝を発見した石灰岩露頭の位置図を第 2 図として添付した。

2. J.J. ライン著「日本海岸の永年隆起」邦訳

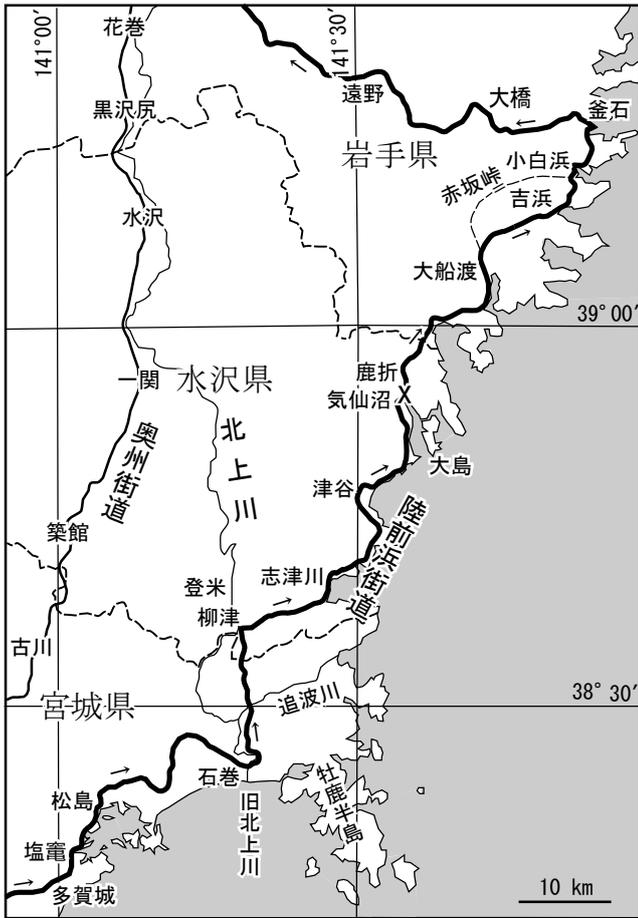
<バルト海沿岸の隆起>

スウェーデンではすでに前世紀[18 世紀]に、バルト海海岸、とくにボスニア湾に沿ってゆっくりと進行する変動が、まさに島と島間の水路および港における砂の埋積として、さらにまた一般的な海退の形で、注目されていた。しかし、よく知られているように、1807 年に L. フォン・ブッフ¹⁾は、これらの事実に従って、そしてまたとくに、バルト海にいまも棲息している種類の貝殻層がスウェーデン内陸の標高の高い地点に産出することに導かれて、これらの現象を正しく評価し、その原因をスカンディナヴィア

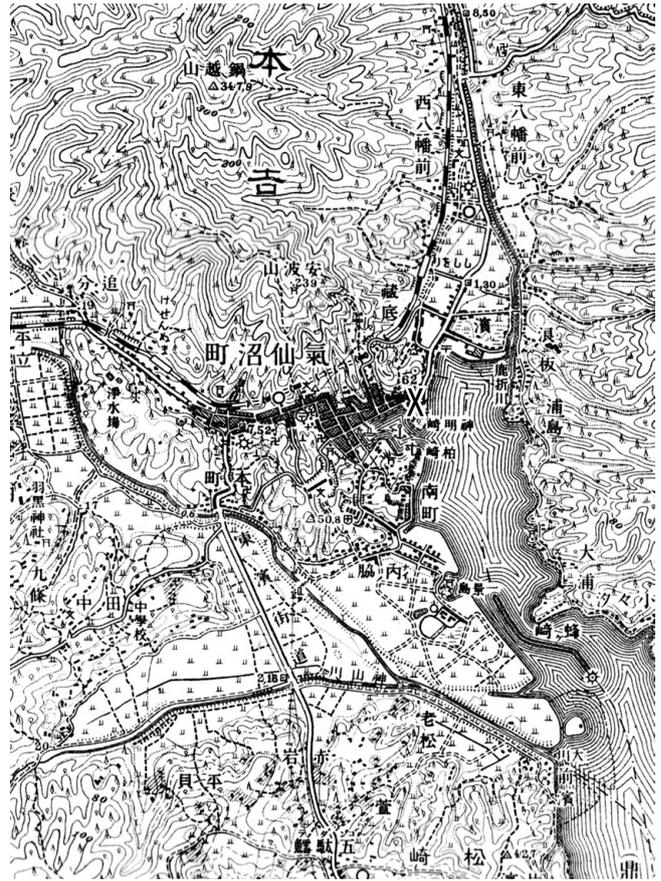
1) 地質調査所(現産業技術総合研究所 地質調査総合センター) 元所員

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：永年隆起, 気仙沼湾, 穿孔貝, 石灰岩, 北上山地, 東日本海岸, 北極圏, 森林植生, バルト海



第1図 ラインの塩竈-釜石間旅行ルート図
山田・矢島 (2020) の第2図を転載。X印はラインが発見した穿孔貝に穿孔された石灰岩の位置を示す。



第2図 ラインが発見した穿孔貝に穿孔された石灰岩 (X印) の位置図
大日本帝国陸地測量部, 大正2年測図昭和8年要部修正測量昭和11年印刷, 5万分の1地形図「気仙沼」の一部を使用。

およびフィンランドの全般的な緩慢な隆起に帰することに初めて成功した。

その後スウェーデン海軍が実施した調査は、まさにバルト海および北海の動物の生態に関するS. [L.] ロヴェーン²の動物学的研究¹⁾と同じように、L. フォン・ブッフの意見をさらに実証した。ブッフの意見はとくに地質学者の側から興味をもって迎えられたが、それは、地表が変化したさまざまな時代、とくに第三紀の海成層および淡水成層の多様な互層をよりよく理解するための手引きとなる手段を提供したためである。

<永年変動>

まもなく同様な観察が他の海岸地域にも広げられ、その結果、同じスカンディナヴィアの多くの地域が緩慢な隆起の状態にあることが示されたが、他方、別の海岸地帯、たとえばオランダ-北ドイツ海岸地帯は漸進的沈降の状態にある。とくに海岸で認められるこれらの変動は、永年変動、または永年隆起・永年沈降と呼ばれている。これらの

変動は、地理学的側面から、なかでも、ルクリュ³の著名な著作『地球』[Reclus, 1868-69]中の「地表の緩慢な変動」の表題の論文およびO. ペシエル⁴の『比較地学の新問題』[Peschel, 1870]の中で詳しく議論された。

<日本列島東海岸の永年隆起>

地球上の多くの火山地帯は永年隆起を示し、そしてそれは、日本列島に関してもこれまですでに認められて来たが、それに関する詳しい証拠は提出されなかった。しかし、自然界では観察によって得られた事実の証明力以上のなものも存在しないので、私が1874年10月に日本の東海岸で観察した奇異な隆起現象は特別に興味があり、その地方がまさに日本の非火山地域に属しているために、一層興味深い。私はこれに関してすでに別な所で簡単に報告した²⁾が、そこで書いた覚書を本論文でさらに完全なものにした。

<私の仙台-釜石旅行>

1874年秋に北日本で行った比較的長期の旅行におい

て、私は、都市仙台(おおよそ北緯 38°, 東経 141°)から太平洋に面する仙台湾に向かい、そしてそれから小都市釜石(おおよそ北緯 39° 45′) [北緯 39° 15′ の間違い] まで、海岸沿いに北へ 27 マイル⁵ の道を取った [第 1 図]。釜石の北西方約 2.5 地理マイル [約 19 km] にある大きな磁鉄鉱床は、日本人が大きな希望を抱く、発生期の工業の基礎となるものであり、私の最大の目的地であった。

<気仙沼湾>

上記の海岸区間 [仙台・釜石間] のおおよそ中央には、かなえがうら 鼎が浦 (原文では Kamamaë-ura) [気仙沼湾の別称] がある。それは陸地に向かって東から西へ約 3/4 ~ 1 地理マイル [約 6 ~ 7 km] にわたって深く、またその半分の幅で入り込み、そしてその幅広い湾口には大島があり、大島との間には狭い水路のみを残している。この湾の背後には、安全で深い港をもつ清潔な小都市、気仙沼 [原文では Kisenuma] が広がっている。この小都市の戸長あるいは市長が私に伝えたように、かつて非常に活発であった船舶交通は最近 30 年の間に次第に衰退し、しかもその間に大島の両側では湾口の堆砂が起きた。私はもちろんこのような堆砂に対する説明を見いだすことはできなかった。なぜなら、ここにはその原因となるような河川は流入せず、また海から打ち寄せる波にもなんらの手がかりはなかったからである。しかし、少なくとも風による砂の運搬という想定は、環境の性質から許されるだろう。

<石灰岩の穿孔と海岸の隆起>

私が、[気仙沼から] 半時間の道のりの、製塩業で繁盛している鹿折ししおり に向かうために、気仙沼を離れたとき、私はその答えを見つけた。新設の道路は湾の縁に沿って続き、[海水面の] 最高水位の約 0.5 m 上に保たれている。気仙沼のすぐ前、[北東に向かって] 道路が北へ曲がる場所に、左手に灰色の石灰岩⁶ の崖が露出していた [第 2 図]。それは方解石の細脈によって貫かれており、おそらく古生代の起源を持つ。この石灰岩の崖には、道路のすぐ上に、石灰岩がまるで海綿のように深く穿孔された約 80 cm 幅の水平の“縞”が認められる。[穿孔貝は、] *Lithophaga*、広く分布する *Saxicava rugosa* およびとくに *Petricola japonica* Dunker (sp. n.) [いずれもイガイの仲間] であり、それらの殻は [石灰岩の] 多数の穴の中にいまもなおよく保存されている。それらは、ポツツォーリ [イタリア、ナポリ県の都市] のセラピス寺院の石柱に見られる *Modiola lithophaga*⁷ と全く同様に、この海岸の最も若い歴史における明らかな [隆起の] 証拠を残している。最新期に鼎が浦の海岸が経験

した隆起は、少なくとも 1.5 m と見積もられる。大島の湾口の浅瀬化は、疑いなくこれ [海岸隆起] と密接な関係にあり、これによって容易に説明される。

<北上山地の全般的特徴>

この地方の全般的な地質特性を解明するためには、なお以下の覚書が役に立つであろう：

この地方の最も重要な河川、すなわち北上川は、北緯 40° より北の、昔からの陸奥の国 (青森県) と南部の国 (岩手県) の境から、南方の仙台湾に向かって、屈曲を繰り返しながら流下するが、その前に枝分かれをして、東方へ、かつ直接太平洋に向かって、腕状に追波川おいはがわ を送り出している [第 1 図]。北上川の東方には、北上川と太平洋に急流として注ぐ沿岸河川との間の分水界として、子午線方向 [南北方向] の山脈 [北上山地] が延びており、それは数多くの円頂丘としておおよそ 1,200 m の高さまでそびえる³。この山脈は結晶質塊状岩 (花崗岩、閃長岩⁸、閃緑岩など) およびセリサイト片岩からなるが、これらは多くの地点でより新期の粘板岩、おそらく下部石炭系⁹ によって覆われている。多くのより低い高度の山地もまたこの粘板岩から構成され、それは長い平頂の山地として西から東へと延び、ここで、ほとんど高くはないが、海に向かって急に低下する。それらは鉄およびマンガンを含むするために暗褐色 ~ 優黒色の色彩を呈し、海食崖を際立たせている。このような山稜は、その急傾斜の突出部と共に、末端ではほとんどすべて湾に移行する小溪谷と交互している。鼎が浦も属するこれらの湾はその成因を海岸浸食に負っていると考えられる。

北上川は、この古い粘板岩層を西方の火山性地帯から分け隔てており、後者には盛岡北方の北緯 40° になって初めてこの川の左岸に孤立した円頂丘が所属する。これに対して、盛岡の 9 マイル [約 67 km] 北方には、保存のよい海生の貝類化石 [原論文では Conchylien] をもつ第三紀層¹⁰ が見いだされる。新第三紀の地層が日本では一般に広い分布を示しているのに対して、化石を含む古い地層はまれにしか産出せず、[そのため] 全般的な地質系統はこれまでほとんど確立されることはなかった。

<日本列島の隆起の影響>

太平洋の北縁における日本列島およびすべての火山帯の隆起は、疑いもなく、カムチャツカ、アリューシャンおよびアラスカの隆起と同様に、第四紀に黒潮の方向に対する大きな影響を及ぼし、それをより南東方に向かわせるにちがいない。もし我々が、黒潮が昔はベーリング海峡を通じて十分に温かい海水を運び入れたことを認めるならば、

我々はこのことが北アメリカ北極圏の気候に与える影響を容易に推測することができるだろう。メキシコ湾流がいまなおヨーロッパの北海岸を洗うように、そして我々〔ヨーロッパ人〕がノール岬〔ノルウェー最北端の岬〕で海が常に開かれているのは〔メキシコ湾流の〕熱供給のためだと考えねばならないように、黒潮は同様な状況下で疑いなく高緯度の北アメリカをずっと穏やかな気候に適応させるに違いない。

<北極圏の森林植生の要因>

第三紀および遡って石炭紀にまで北アメリカ北極圏に存在していた森林植生は、今日そこで見られるような気温より著しく高い気温を必要とした。このような冷却は、我々の惑星の本来の熱の全般的降下に原因があるのか？あるいは黄道の傾斜角の変動によるものか？あるいは昼夜等分の歳差と地球軌道の離心率の合同効果によるものか？あるいは太陽に対する地軸の位置の変化によるものか？あるいは太陽が太陽黒点の現象に関係して放射する熱量の変化によるものか？—あるいはすべての太陽系がこれまでに運行した空間の異なる温度によるものか？—これらの疑問はさまざまな側面から提出され、考察されたが、1つあるいは別の事例に都合がよいように主張された議論は決定的な証拠を持つことはなかった。これらの議論にはさらに、地球の北極圏における気温低下は純粋に地球の現象、すなわち陸と海の配分の変化に帰せられるとする見解が加わる。

これらに対して、永年変動の現象およびまた私が報告した日本海岸の隆起の事例はもちろん特別な価値を持ち、そして我々は、シェーラー^{*11}の見解〔Shaler, 1875〕、すなわち「自然の秩序に最小限の暴力しか加えない」という仮説に同意しなければならないだろう。

原注

- ¹⁾ Om Oestersjön af [S.] L. Lovén. Stockholm, 1863. [スウェーデン語の文献]
- ²⁾ 「仙台・南部海岸」(ドイツ東洋文化研究協会誌〔第1巻〕7号, 横浜, 1875年) [Rein, 1875; 山田・矢島, 2020]
- ³⁾ 南部の首府盛岡の南東方, 早池峰山の未測定山頂は少なくとも1,500 mの標高をもち, 火山性起原であると考えられる。(訳者注. 早池峰山は火山ではなく, 北上山地の古生界基盤の1つで, オルドビス紀の苦鉄質〜超苦鉄質岩類からなる(永広, 1996)).
- ⁴⁾ N. S. シェーラー: 北極圏における温暖気候の可能性の考察. ポストン自然史協会会報, 17巻 [Shaler, 1875].

訳注

- ^{*1} Leopold von Buch(1774-1853). ドイツの地質学者, 古生物学者. フライベルクの鉱山学校でウェルナーに学び, その後火山学, 層序学, 古生物学の各分野で活躍. カルデラ, 示準化石, 隆起火口説などの提唱者として知られる. 後氷期におけるボスニア湾奥の隆起現象

についても注目していた(今井・片田, 1978).

- ^{*2} Sven Ludwig Lovén(1809-1895). スウェーデンの海洋動物学者, 軟体動物学者. スウェーデン自然史博物館教授, スtockホルム大学自然史教授などを歴任. イェーテボリ大学のスヴェン・ロヴェン海洋科学センターは彼の名誉にちなんで命名された(Wikipedia, 2022年2月23日版による).
- ^{*3} Jacques Élisée Reclus(1830-1905). フランス人アナーキスト地理学者. 社会地理学, 地政学, 生態学の先駆者. 主著『La Terre』(Reclus, 1868-69)ほか, 多数の著作がある(野澤, 1986などによる).
- ^{*4} Oscar Ferdinand Peschel(1826-1875). ドイツの近代自然地理学, とくに地形学の基礎を作った地理学者. 1871年~1875年, ライプツヒ大学地理学教授. カール・リッターの目的論を批判し, 地表形態の大縮尺地形図から類似の地形を求め, 発生的に地形の変化を類推した(尾留川, 1989).
- ^{*5} 1(地理)マイルは7,420 mに相当する.
- ^{*6} この石灰岩はペルム紀前期の坂本沢層に属している(神戸・島津, 1961).
- ^{*7} セラピス寺院の円柱に見られるこの穿孔穴は, ライエルの『地質学原理』の口絵に出ているので有名である. 大久保(2005)によると, セラピス寺院の円柱(高さ42フィート, 3本)の表面は, 台座から約12フィートの高さまでは滑らかで無傷であるが, その上方, 12フィートの間は海生の穿孔貝二枚貝シギノハシガイ*Lithodomus*が大理石に穴をあけていた. 円柱は長い間海水に浸かっていたが, あるとき海水面より少なくとも23フィート(干満量を考慮)ほどの高さに持ち上げられたと考えられた. そして, このような海岸の隆起は1538年のモンテ・ヌオヴォ火山形成時に起きたと推定された.
- ^{*8} ラインの「閃長岩」は, 現今の“syenite”(アルカリ長石を主成分とする深成岩)ではなく, 角閃石などの苦鉄質鉱物に富む「花崗閃緑岩」を指す.
- ^{*9} 日本の「古生層」が石炭系とされたのは, Gümbel(1874)がウィーン万国博覧会に出品された日本産フズリナ石灰岩の標本(おそらく美濃赤坂産)のフズリナを鑑定して, これを石炭紀の化石としたためである(加藤, 1993). その後の研究により, 日本のフズリナ石灰岩はほとんどペルム紀のものと考えられるようになった(加藤, 1993).
- ^{*10} 原論文ではTertiärschichten. この地域の第三紀層(現在の新第三系に相当)については, “Japan”, vol. I (Rein, 1881)の第1部「日本の自然地理」の第三章「地質」に, 「盛岡では親切な知事が一戸の末の松山産の第三紀の化石を私に示し, 手渡してくれた. 彼の口述によれば, この地層は硬い層と軟らかい層の互層を含み, その中には保存のよい海生二枚貝が大量に埋積されている.」(原文を簡略化)という記述がある. 中村(1912)は第三紀層が馬淵川沿岸に広く分布することを示し, 「浪打峠(現岩手県二戸郡一戸町と二戸市の境)の頂上, いわゆる末の松山に露出する粗粒砂岩は包蔵する貝殻片の多少によって縞状を呈している」(原文を簡略化)と記している. 「浪打峠の交層」として天然記念物にも指定されているこの凝灰質砂岩層は, 中新世「末の松山層」最上部の米沢砂岩部層に相当する(辻野ほか, 2018).
- ^{*11} Nathaniel Shaler(1841-1906). アメリカ人古生物学者, 地質学者. ハーバード大学ローレンス科学学校で, ルイ・アガシーの下で学んだ. 同大学の講師, 教授を歴任. ケンタッキー地質調査所の所長, アメリカ合衆国地質調査所の地質学者を務め, アメリカ地質学会会長にも選ばれた. 進化論の神学的, 科学的意味合いに関する多くの著書がある(Wikipedia, 2019年9月23日版).

謝辞: ポツダム・ヘルムホルツ研究所のキュッパース氏からはラインの原論文のコピーをいただいた. 東北大学総合学術博物館の永広昌之氏からは気仙沼付近の海岸段丘ならびに最近の海水準変動についてご教示いただいた. 和歌山大学教育学部の島津俊之氏からはペシエルに関して最新の情報をお教えいただいた. 地質情報研究部門の阪口圭一

氏からは旧版の5万分の1地形図「気仙沼」の複写についてお世話になった。牛久中央図書館および国立国会図書館複写受託センターには文献の複写についてお世話になった。最後に、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原稿を読んで貴重なご助言をいただいた。上記の各位に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 尾留川正平(1989)ペシエル, O. F. 日本地誌研究所編, 地理学辞典(改訂版), 二宮書店, 東京, 611p.
- 永広昌之(1996)早池峰複合岩類. 地学団体研究会編, 新版地学事典, 平凡社, 東京, 1037p.
- Gümbel, C. W. (1874) *Japanische Gesteine. Das Ausland*, 23, 479-480.
- 今井 功・片田正人(1978)地球科学の歩み. 共立出版, 東京, 206p.
- Imamura, A. (1927) On the seismic activity of the Kwantô district. *Japanese Journal of Astronomy and Geophysics*, 5, 127-135.
- 神戸信和・島津光夫(1961)5万分の1地質図幅「気仙沼」および同説明書. 地質調査所, 73p.
- 蟹江康光・松田時彦・松島義章・平田大二・鹿島 薫・松原彰子(1989)三浦市天然記念物「諸磯の隆起海岸」および周辺の完新統. 横須賀市博物館研究報告, no. 37, 45-53.
- 加藤 誠(1993)1940年代前半までの日本の古生層研究史. 日本地質学会編, 日本の地質学100年, 33-38.
- 小玉喜三郎・岡 重文・三梨 昂(1980)三崎地域の地質. 地域地質研究報告(5万分の1地質図幅), 地質調査所, 38p.
- 小池一之・町田 洋(2001)日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 東京, 122p.
- 三浦 修(1966)三陸海岸気仙沼付近の海岸段丘. 東北地理, 18, 116-122.
- 村上龍平・近藤玲介・遠藤邦彦・坂本竜彦(2013)三陸海岸南部, 気仙沼湾周辺の海成段丘へのpIRIR年代測定法の適用. 日本地球惑星科学連合大会予稿集, 2013, HQR24-P03.
- 中村新太郎(1912)20万分の1地質図幅「一戸」および同説明書. 農商務省地質調査所, 84p.
- 那須孝悌・遠藤邦彦(1996)縄文海進. 地学団体研究会編, 新版地学事典, 平凡社, 東京, p. 597.
- Nauheim, T., Kusune, S. und Schenk, W. (2020) *JAPAN 1873-1875: Die Tagebücher des Bonner Geographieprofessors Johannes Justus Rein Band 1. Colloquium Geographicum, Band 37, Geographisches Institut der Universität Bonn*, 277p.
- 丹羽雄一・須貝俊彦・松島義章(2015)三陸海岸南部・気仙沼大川平野の完新世における地殻変動. 地学雑誌, 124, 545-560.
- 野澤秀樹(1986)エリゼ・ルクリュの地理学体系とその思想. 地理学評論, 59 (Ser. A), 635-653.
- 大久保雅弘(2005)地球の歴史をよみとく. ライエル「地質学原理」抄訳. 古今書院, 東京, 256p.
- Peschel, O. F. (1870) *Neue Probleme der vergleichenden Erdkunde als Versuch einer Morphologie der Erdoberfläche*. Leipzig.
- Reclus, J. É. (1868-69) *La Terre, Description des phénomènes de la vie du globe*. 2 volumes, Hachette, Paris.
- Rein, J. J. (1875) *Naturwissenschaftliche Reisestudien in Japan (Fortsetzung). Mittheilungen der deutschen Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens*, 1, 7, 21-29.
- Rein, J. J. (1877) *Säculäre Hebung der japanischen Küste. Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften zu Marburg*, 4, Mai, 55-60.
- Rein, J. J. (1881) *Japan nach Reisen und Studien im Auftrage der Königlich Preussischen Regierung. Erster Band, Natur und Volk des Mikadoreiches*. Wilhelm Engelmann, Leipzig.
- Shaler, N. S. (1875) Some considerations on the possible means whereby a warm climate may be produced within the Arctic Circle. *Proceedings of the Boston Society of Natural History*, 17 (1874-1875), 332-337.
- 辻野 匠・工藤 崇・中江 訓・近藤玲介・西岡芳晴・植木岳雪(2018)一戸地域の地質. 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, 161p.
- 山田直利・矢島道子(2020)J. J. ライン著「日本における自然科学的研究旅行」邦訳一日光および仙台・南部海岸一. *GSJ 地質ニュース*, 9, 97-110.

YAMADA Naotoshi and YAJIMA Michiko (2023) Japanese translation of "Die säculäre Hebung der japanischen Küste" (Rein, 1877).

(受付: 2022年8月19日)

第34回地質調査総合センターシンポジウム 「防災・減災に向けた産総研の地震・津波・火山研究 —東日本大震災から10年の成果と今後—」の開催報告

第34回地質調査総合センターシンポジウム事務局¹⁾

1. はじめに

2021年11月12日(金)に第34回地質調査総合センター(GSJ)シンポジウム「防災・減災に向けた産総研の地震・津波・火山研究—東日本大震災から10年の成果と今後—」をオンラインで開催しました(第1図,第2図)。2011年東北地方太平洋沖地震を契機として、国土強靱化が強く意識されるようになりました。2020年12月には「防災・減災、国土強靱化のための5か年加速化対策」が閣議決定され、活断層・火山情報の解析・評価、集約・情報提供が重要施策の一つとして取り上げられました。また、2021年5月31日に公表された国(経済産業省)の「第3期知的基盤整備計画」においても、国土強靱化に向けて活断層・火

山情報の収集・評価と情報提供が重点化・加速化すべき政策とされました。産業技術総合研究所(産総研)では地質調査総合センター活断層・火山研究部門が中核となり、国土強靱化に関する研究を進めています。こうした社会の流れを踏まえ、本シンポジウムでは、産総研が主に2011年以降に進めてきた地震・火山に関する研究成果と今後の研究の方向性について紹介するとともに、国や自治体における取り組みについて気象庁と鹿児島市から基調講演をいただきました(第1表)。本シンポジウムの概要については既に報告済みですが(今西,2021)、この度、講演要旨集(第34回地質調査総合センターシンポジウム事務局,2023)を公開したことを受け、改めて詳細についてご紹介します。

2. シンポジウムの様子

シンポジウムは藤原 治副研究部門長の司会により進められました。はじめに、中尾信典地質調査総合センター長より開会挨拶がありました。産総研は地質調査のナショナルセンターとして国の知的基盤整備計画に基づく国土の地質情報の整備を基幹業務にしていること、さらにはその情報を元に地下資源や環境問題、今回のシンポジウムのテーマである地震・火山などの自然災害の軽減、防災を出口とした研究を推進していることが説明されました。

引き続き、伊藤順一研究部門長より、本シンポジウムの趣旨説明がありました。東日本大震災以降の10年というのは、地震や火山研究を行っている研究者や組織にとって、社会との関連性、研究の取り組みの方向性を転換してきた期間であったこと、産総研では2014年度に組織改編を行っており、活断層・火山研究部門が設置され、以前よりも防災に資するための地質研究がより明示的な形で進められるようになったことが説明されました。そして、東日本大震災から10年という区切りを迎え、産総研が行ってきた地震や津波、火山研究の成果と今後の目指すべき方向



第1図 シンポジウムのポスター。

1) 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：地震、津波、火山、防災・減災、国土強靱化

第 34 回地質調査総合センターシンポジウム開催報告



第 2 図 シンポジウムの様子。A: 開始前, B: 中尾信典氏, C: 伊藤順一氏, D: 吾妻 崇氏, E: 近藤久雄氏, F: 加瀬祐子氏, G: 穴倉正展氏, H: 松本則夫氏, I: 古川竜太氏, J: 下司信夫氏, K: 加藤孝志氏, L: 児玉博史氏, M: 光畑裕司氏, N: 藤原 治氏, O: 産総研つくばセンターからのオンライン配信の様子。

第 1 表 講演プログラムとポスター発表タイトル (注: 役職はシンポジウム時点のもの)。

口頭発表		
10:00-10:05	開会挨拶	地質調査総合センター長 中尾信典
10:05-10:15	趣旨説明	活断層・火山研究部門長 伊藤順一
10:15-10:45	活断層の古地震調査の進展と活断層データベースの高精度化	活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ主任研究員 吾妻 崇
10:45-11:05	長大活断層の連動性評価の研究-活断層調査と断層変位計算-	活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ主任研究員 近藤久雄
11:05-11:25	長大活断層の連動性評価の研究-地殻応力場と数値シミュレーション-	活断層・火山研究部門 地震災害予測研究グループ主任研究員 加瀬祐子
11:25-11:45	地形・地質・史料に基づく海溝型巨大地震の評価	活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ長 穴倉正展
11:45-12:05	南海トラフ地震の短期予測研究の現状と産総研の役割	活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ長 松本則夫
12:05-13:00	休憩	
13:00-13:20	ポスターショートトーク	

第 1 表 続き.

13:20-13:50	火山地質図の整備と国土強靱化のための新たな取り組み	活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ長 古川竜太
13:50-14:20	大規模噴火はどのようにはじまり進行するか：地質学的事例研究から見る噴火推移パターンの多様性	活断層・火山研究部門 大規模噴火研究グループ長 下司信夫
14:20-14:30	休憩	
14:30-15:00	地震・火山防災対策におけるGSJへの期待	気象庁地震火山部 管理課長 加藤孝志
15:00-15:30	桜島の火山防災対策と大量軽石火山灰対応に必要な研究・対策	鹿児島市危機管理課 課長 児玉博史
15:30-15:35	閉会挨拶	地質調査総合センター研究戦略部長 光畑裕司

ポスター発表

東京都区部の3次元地質地盤図	地質情報研究部門 都市域の3次元地質地盤図プロジェクト
長大活断層の連動性評価の研究	活断層・火山研究部門 近藤久雄 ^{#1} ・加瀬祐子 ^{#2} ・今西和俊・内出崇彦 ^{#3} ・ 椎名高裕 ^{#3} ・竿本英貴 ^{#2} ・浦田優美 ^{#3} (#1:活断層評価研究グループ、#2:地震災害予 測研究グループ、#3:地震テクトニクス研究グ ループ)
産総研における活断層調査研究の進展と課題	活断層・火山研究部門 活断層評価研究グループ
物理モデルに基づく大地震の規模・時期予測手法の確立に向けて	活断層・火山研究部門 地震テクトニクス研究グループ
産総研の南海トラフ巨大地震観測ネットワークーゆっくりすべりの観測と 気象庁による常時監視への貢献ー	活断層・火山研究部門 地震地下水研究グループ
東京湾にも津波は来る	活断層・火山研究部門 海溝型地震履歴研究グループ
火山噴火履歴調査と火山活動の時空間分布把握のためのK-Ar、Ar/Ar年代測 定の高精度化・高効率化	活断層・火山研究部門 火山活動研究グループ
噴火発生や活動推移の予測に向けた火山現象のモデル化	活断層・火山研究部門 マグマ活動研究グループ
大規模噴火データベース・噴火推移データベースから読む大規模噴火の推 移と前駆活動	活断層・火山研究部門 大規模噴火研究グループ

性を社会の様々な皆様に紹介しご意見をいただく機会とすべく、今回のシンポジウムを企画した旨が述べられました。

午前中は地震・津波に関する研究紹介として、5件の講演が行われました。まず、吾妻 崇主任研究員より、「活断層の古地震調査の進展と活断層データベースの高精度化」について紹介がありました。産総研では1970年代から活断層に関する古地震調査を実施してきましたが、1995年兵庫県南部地震や2016年熊本地震などの被害地震の発生、国の地震に関する調査研究のあり方が変わってきたことを転機とし、地球科学的な研究から地震防災が主体の研究に変遷してきたことが説明されました。また、これまで実施

してきた活断層調査の成果を集約する活断層データベースについては、現在の縮尺20万分の1程度の活断層図を縮尺5万分の1程度に改善することを目指していることが紹介されました。これにより、活断層の位置を100m未満の精度で特定することが可能になり、都市計画やインフラ整備の基礎情報として活用されることが期待されます。

次に近藤久雄主任研究員と加瀬祐子主任研究員より、内陸地震研究の難題の一つであり、文科省・地震調査研究推進本部の委託研究の一部として進めている「長大活断層の連動性評価の研究」について紹介がありました。長大活断層は、複数の活断層ないし断層区間で構成されており、各区

間単独で活動する場合もあれば、複数区間が連動してさらに大規模な大地震／巨大地震となる場合もあります。最近の事例では、布田川断層帯と日奈久断層帯の一部が連動した 2016 年熊本地震を挙げることができます。このような長大活断層の発生可能性やその発生確率の評価手法を構築するため、古地震学的調査による活動履歴の把握、有限要素法解析による断層モデルの高度化、微小地震解析による詳細な応力場の推定、動的破壊シミュレーションによる連動性評価という複数分野による融合研究を進めていることが紹介されました。発表では、糸魚川－静岡構造線断層帯を対象にした研究成果が紹介され、現在は中央構造線に場所を移して研究を進めていることが紹介されました。当日の質問や講演後に寄せられたコメントからも、この難題への挑戦に大きな期待が寄せられていることが伺えました。

次に、「地形・地質・史料に基づく海溝型巨大地震の評価」と題し、海溝型地震の長期予測研究への取り組みを宍倉正展研究グループ長が紹介しました。産総研では歴史記録や地形・地質に記録された痕跡の調査から、過去の海溝型巨大地震の発生時期や規模を解明し、地球物理学的な検討を通して震源域・波源域を復元する研究を行っています。現在、千島海溝、日本海溝南部、相模トラフ、南海トラフ、日本海沿岸の各地で重点的な調査を進めており、それぞれの調査結果が地震調査研究推進本部の長期評価や国・自治体の津波想定モデルの計算の基礎情報として活用されることを目指していることが説明されました。千島海溝を例に挙げると、産総研では 2000 年代から成果を発信しており、17 世紀に大きな津波と余効変動による隆起を伴う超巨大地震が発生していたことが明らかになっています。これらの成果は 2017 年 12 月に公表された地震調査研究推進本部の「千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)」に反映されており、超巨大地震の将来の発生が「切迫している」と評価されています。産総研はその後津波堆積物や海岸地形の調査を続けており、従来よりも内陸に入ったところで津波堆積物を確認したり、堆積物の情報から 17 世紀の海岸線を正確に復元することに成功したりするなどの成果が挙げられていることが紹介されました。現在、これらの新たな情報を拘束条件として断層モデルの再構築を進めており、より正確な津波想定等へ活用されることを目指していることが紹介されました。

松本則夫研究グループ長は、「南海トラフ地震の短期予測研究の現状と産総研の役割」と題し、地下水等総合観測施設の整備と海溝型巨大地震の予測のカギを握る「ゆっくりすべり」のモニタリングについて紹介しました。産総研では 2006 年から南海トラフ地震の短期・中期予測の研究

のために、紀伊半島から四国にかけて地下水等総合観測施設の整備を進めてきました。この施設では地下水位観測のほか、ひずみ計や地震計を設置しており、現在のところ 17 地点の整備を完了しました(シンポジウムの時点では 16 地点)。今後はさらに 3 地点に観測点を構築し、モニタリングの強化を目指しているとの説明がありました。また、産総研では協定に基づき気象庁のひずみデータを、共同研究により防災科学技術研究所の傾斜データをリアルタイムでデータ交換し、2011 年から南海トラフ沿いの深部ゆっくりすべりの解析を行っていることも紹介されました。同すべりの解析結果は南海トラフ沿いの地震に関する評価検討会や地震調査委員会(月 1 回開催)に報告しており、南海トラフにおける地震の評価に活用されています。その他にも、2020 年 6 月から、産総研のひずみ計データが気象庁の南海トラフ沿いの 24 時間監視に活用されることになったことが紹介されました。これにより、気象庁は南海トラフ全域で通常と異なるゆっくりすべりが発生した際に「南海トラフ地震臨時情報(巨大地震注意)」を発表することが可能となり、産総研のデータが国の防災対応にも貢献しているとの説明がありました。

休憩時間を挟み、9 件のポスターショートトークが行われました。地震ハザード予測や都市インフラ整備などへの活用が期待される 3 次元地質地盤図の紹介のほか、各研究グループの防災・減災に向けた取り組みが紹介されました。

ポスターショートトークに引き続き、火山に関する 2 件の研究紹介が行われました。まず、古川竜太研究グループ長より、「火山地質図の整備と国土強靱化のための新たな取り組み」について紹介がありました。活動的火山の噴火履歴を取りまとめた火山地質図は、国の知的基盤整備の一環として進められており、火山地域の防災・減災対策の基礎資料に活用されています。最近のアウトカムの例として、富士火山地質図を 2016 年に刊行したことにより、ハザードマップで想定する噴火口の位置と噴火規模が見直され、新たに 11 市町(山梨県 2 市、静岡県 2 市 1 町、神奈川県 2 市 4 町、総人口約 79 万人)、合計 27 市町村に火山災害想定影響範囲が設定されることになったとの説明がありました。また、新たな取り組みとして、2 万 5 千分の 1 地形図上に表現可能な精度を持つ火口位置情報を提供する「噴火口図」の開発を開始したことが紹介されました。この情報は、ハザードマップや防災計画策定のための基礎情報として活用されることが期待されます。

次の下司信夫研究グループ長による講演は「大規模噴火はどのようにはじまり進行するか：地質学的事例研究から見る噴火推移パターンの多様性」と題して行われました。

プリニー式噴火と呼ばれる大量の火砕物(軽石や火山灰)を爆発的に噴出する大規模噴火は、全世界で1世紀に数回～数10回の発生頻度ですが、火山周辺に残された噴出物の地質調査から国内の多くの火山でも発生してきたことが明らかにされています。このような大規模噴火の推移やその影響範囲を予測しておくことは、噴火発生時の適切な災害対策のみならず、噴火災害を未然に防止・低減するための長期的な取り組みとしても重要です。産総研では世界各地で発生し記録されている大規模噴火の時間経過をデータベース化し、噴火推移のパターン抽出を試みています。多くの事例をとりまとめた結果、大規模噴火の前駆現象や噴火推移は、地下のマグマの蓄積・上昇・噴出を反映したいくつかの特徴的なパターンに分類できることが明らかになりつつあることが紹介されました。将来発生する大規模噴火の前駆現象を的確に補足し、噴火推移パターンを予測することで、より適切な噴火対策を講じることが可能になるかもしれません。

加藤孝志気象庁地震火山部管理課長からは、「地震・火山防災対策におけるGSJへの期待」と題した講演をいただきました。産総研と気象庁の連携・協力の主な事例として、南海トラフ沿いの地震・地殻活動の監視・評価、及び全国の活火山に対する観測・活動評価について紹介がありました。前者についてはゆっくりすべりの解析技術について産総研から大きな貢献があったこと、産総研のひずみ計データが気象庁の24時間常時監視対象の観測点となったことで、ゆっくりすべりの監視能力が大幅に向上したことが紹介されました。後者については、噴火時における噴出物の分析、平時における活火山の選定作業や日本活火山総覧の取りまとめ等での連携・協力について紹介がありました。また、今後産総研に期待することとして、以下の点を挙げられました。

- ・ひずみ計データ等の気象庁へのリアルタイム提供協力の継続
- ・大地震とゆっくりすべりとの関係についての解明、ゆっくりすべり解析技術の高度化への指導・助言
- ・気象庁で運用する噴火警戒レベルの判定基準への地質学・火山化学の知見導入にあたっての指導・助言
- ・新たな活火山の選定に係る検討やそれらの成果を反映した日本活火山総覧の改定作業にあたっての地質調査結果の提供やとりまとめへの指導・助言
- ・噴火時の降灰調査における研究機関の取りまとめ役と事務局を務める気象庁と協同した業務の推進
- ・地震・津波・火山の専門家が集まっている産総研との日常的な情報交換や人的な交流、連携・協力

これに対して伊藤研究部門長から、気象庁は大事なパートナーであり、研究の推進及び研究成果を社会に役立てる上で、引き続き協力関係をお願いしたいとの返答がありました。

最後に、自治体における防災対策の取り組みとして、児玉博史鹿児島市危機管理課長より、「桜島の火山防災対策と大量軽石火山灰対応に必要な研究・対策」と題した講演をいただきました。鹿児島市の火山防災対策の取り組みとして、2019年3月に策定された「鹿児島市トップシティ構想」の紹介がありました。これは、大規模噴火でも「犠牲者ゼロ」を目指す防災対策、次世代に「つなぐ」火山防災教育、「鹿児島モデル」による世界貢献を3つの柱としており、市民と地域、事業者、研究機関・行政が一体となり、国内外の火山地域の被害軽減のために世界貢献を行う火山防災トップシティを目指す構想との説明がありました。桜島を有する鹿児島市が、ハード・ソフトの両面から長年に渡り火山防災対策に取り組んできたからこそ目指せる取り組みと言えます。また、同じく2019年3月に策定された大量軽石火山灰対応計画についても紹介がありました。これは桜島火山災害に係る大量軽石火山灰降下時等での対応について必要な事項を定めたもので、その後も継続して見直しを行っているとのことでした。2020年度には大正噴火の事例を参考にし、避難勧告発令から30時間以内に住民が避難完了できる条件を検討したことが紹介されました。避難シミュレーションを実施し、自動車での避難する場合は1世帯1台、決められた道路を使って広域避難、駅近隣の住民はJRを利用、高齢者の方などは早めに避難することなどが必要な条件として導かれたとのことでした。最後に大量軽石火山灰対応に必要な研究・対策について説明があり、以下の点が挙げられました。

- ・噴出量・噴出率の予測と風向きを想定した降灰範囲を特定できる先読みのハザードマップの作成(噴火の一定時間前に避難情報を発令するために必要)
- ・大量軽石火山灰がどのエリアにどのくらい堆積したかが把握できるリアルタイムハザードマップの作成(噴火後のライフライン等の早急な復旧のために必要)
- ・住民が避難対象地域に留まることに対するリスクとなる要素等(建物の崩壊など)の専門的知見
- ・医療機関等やむを得ず避難できない施設等におけるハード面・ソフト面の対策

これらの研究や対策を自治体のみで進めることは困難であることから、産総研を始めとした研究機関や大学、防災関係機関と連携・協力しながら取り組んでいきたいとの説明がありました。

全ての講演終了後、光畑裕司研究戦略部長(当時)より閉会挨拶がありました。地震、津波、火山などの地質災害は、日本列島に住んでいる私たちにとっては避けては通れない問題となっており、そのリスクに対して産総研地質調査総合センターは地質の専門家集団として調査・研究を継続し、データベースやマップとして整備するとともに、学術論文として公表していることが説明されました。そして、これらの成果を効率よく災害リスクの回避や軽減に役立たせるためには、成果の受け取り手である皆様の意見を真摯に受け止め、かつ協力して成果の活用を進めていく必要があるとの決意が述べられ、シンポジウムが締めくくられました。

3. おわりに

本シンポジウムには、全国 39 都道府県から 609 名という予想を上回る方に参加登録いただきました。登録者の内訳は、民間企業が 237 名、官公庁が 55 名、研究機関が 168 名、教育機関が 33 名、学生が 38 名、報道機関が 19 名、その他が 59 名でした。4 時間半を超えるシンポジウムでしたが、当日は常時 400 名ほどの方にご視聴いただき、また時間の制約で答えられないほどたくさんのご質問もいただきました。本シンポジウムを開催した意義は大きかったと思います。シンポジウム後に行ったアンケートには、218

名からご回答をいただきました。シンポジウムの満足度は 5 点満点中 4.13 点の評価で、多くの方に満足いただけたようです。一方、講演の理解度については 3.72 点で、やや難しいと感じた方もいたことが伺えます。できるだけわかりやすく伝えることを心がけましたが、さらなる工夫を検討して参りたいと思います。また自由意見として、防災・減災に向けた地道な調査・研究の継続と情報発信を期待する声を多くいただきました。この期待に応えるべく、今後も国土強靱化、防災・減災に資する成果を挙げていくよう全力を尽くして取り組んで参ります。

文 献

- 今西和俊(2021)第 34 回地質調査総合センターシンポジウム「防災・減災に向けた産総研の地震・津波・火山研究—東日本大震災から 10 年の成果と今後—」開催報告. IEVG ニュースレター, **8**, no. 5, 6-8.
- 第 34 回地質調査総合センターシンポジウム事務局(2023)第 34 回地質調査総合センターシンポジウム「防災・減災に向けた産総研の地震・津波・火山研究—東日本大震災から 10 年の成果と今後—」講演要旨集. 地質調査研究報告, **74**, 41-60.

Secretariat of the 34th GSJ Symposium (2023) Report of the 34th GSJ Symposium "Research of Earthquake, Tsunami, and Volcano at AIST toward disaster prevention and mitigation: Achievements of 10 years since the Great East Japan Earthquake and future research".

(受付: 2022 年 4 月 26 日)

2022年度第2回地質調査研修実施報告

利光 誠一¹⁾・金子 翔平¹⁾

1. はじめに

2017年度から開催している地質調査研修は、地質調査総合センター募集特定寄附金：GeoBankによるジオ・スクール事業 (<https://www.gsj.jp/geoschool/index.html>, 閲覧日：2022年11月10日)の一環として実施しています。産総研地質人材育成コンソーシアム(会長：田中裕一郎)に参加する企業・大学等の会員と連携して、産総研地質調査総合センター(GSJ)が実施する事業のひとつです。10月24日(月)～10月28日(金)の4泊5日の日程で、島根県出雲市長尾鼻周辺(島根半島の小伊津海岸)に於いて2022年度第2回地質調査研修を実施しましたので、その概要を報告いたします。今回の研修では、著者の利光が講師を務め、金子がこれを補佐しました。今回は、前年度に募集開始が遅くなり申し込み者が少なかった(利光・遠山, 2022)反省から、GSJホームページでの開催告知を7月末にして、関連学会等への案内も速やかに進めました。結果として、

8月下旬に申込者が定員の6名に達し、開催に向けての参加者への諸々の連絡などを開始することができました。例年、第2回地質調査研修は、これまでに大学や会社などで1度は地質調査や地質図を作成したことのある経験者を対象に募集していますが、実際には毎年度経験の少ない方が少数含まれていました。今回の応募者の中にも地質図作成の経験のあまりない方が半数含まれていました。参加されたのは、地質・資源に関連する企業の方々ですが、地質調査を専門とされる方は少なく、今後の業務に活かすことができれば、という方が大半でした。

調査実習の対象地域の地質は、日本海拡大期に堆積した泥岩・火砕岩など(前期-中期中新世の成相寺層)と日本海拡大直後に堆積した砂岩泥岩互層(中期中新世の牛切層)、そして牛切層に貫入した後期中新世-前期鮮新世の火成岩体です(第1図)。この研修では、初日の昼過ぎに宿泊予定の出雲市駅付近のホテル・ロビーに集合して、短いオリエンテーションの後、すぐに野外に出かけました。研修期間



第1図 調査実習地内の三津町の漁港西岸の風景
出雲市三津町の漁港西岸の風景。写真では、中期中新世の牛切層(砂岩泥岩互層)と、牛切層に貫入する斑れい岩の岩床(シル)が露出している(写真右側の堤防付近)。写真左下では、牛切層の砂岩層の下位に、成相寺層の泥岩が表土と植生に覆われて伏在している。

1) 産総研 地質調査総合センター連携推進室

キーワード：研修、地質調査、座学、野外実習、ジオ・スクール、島根半島

中は連日、昼間に野外での地質調査を行い、調査終了後、夜間に 2 時間程度の座学で地質図を作成するための一連の基本的事項の講義と各自の調査データの整理および地質図作成実習を行いました。

2. 研修の概要

5 日間にわたって行われた研修の概要は以下のようになります。

- ・ 10 月 24 日：[野外] 小伊津海岸において実習地の概要説明と地層観察(第 2 図)の後、地層の走向傾斜の測定実習。/[室内]地質調査の概要の講義。粒度表作成実習。
- ・ 10 月 25 日：[野外] 貫入岩と砂岩泥岩互層の接触部の観察と分布調査(第 3 図, 第 4 図)。歩測とクリノメーターを使った簡易的なルートマップ作成の練習。牛切層の砂岩泥岩互層の地質柱状図作成と粒度表を用いた砂岩の観察(第 5 図)、砂岩層下底面に見られるフルートキャストの観察と古流向の測定(第 6 図)。/[室内]地質調査における観察ポイントと記載方法や地質図を見る際の注意点等の講義。調査データの整理。
- ・ 10 月 26 日：[野外] 牛切層の砂岩泥岩互層と貫入岩境界部の調査と注意点の説明(第 7 図)。成相寺層の泥岩層および火砕岩の観察と分布調査。/[室内]研修 3 日目までの調査データの整理、地層境界の作図と予測(翌日の調査計画立案)。
- ・ 10 月 27 日：[野外] 道路沿いで牛切層から成相寺層に



第 2 図 まずは調査地を見学

研修初日。昼過ぎに宿泊ホテルに到着後、すぐに三津町の調査地に出かけ露頭の概要を見学する。この日は雨の合間をぬっての見学となり、クリノメーターの使用法の説明をして、調査実習地の地質の概要を説明後、いくつかの露頭を観察した。



第 3 図 牛切層に貫入した火成岩(斑れい岩)分布地に見られる地すべり地形の観察

研修 2 日目。出雲市三津漁港西方で中新世の牛切層に貫入する斑れい岩シルの分布を調査する中で、地すべり地形が見られるため、地形図を見ながら説明した。その後、写真右方向に進み、海岸に見られる大きな斑れい岩の地すべり岩塊を観察した。



第 4 図 砂岩泥岩互層の走向傾斜の測定実習

研修 2 日目。三津漁港の西方海岸に露出する牛切層の砂岩泥岩互層の観察を行った。ここでは、海水の水溜りを利用して、クリノメーターを地層面に接触させなくても走向傾斜を測ることができるので、非接触の測定方法の実習を行った。



第 5 図 砂岩の粒度の観察

研修 2 日目。研修初日の夜の座学の際に作成した粒度表を用いて、砂岩の粒度を観察しているところ。ここでは、砂岩泥岩互層を対象として柱状図作成実習を行った。三津漁港の東方道路沿い(第 2 図の露頭の一部)。



第6図 フルートキャストの観察実習
 研修2日目。海岸露頭で牛切層の砂岩層の下底面に出ているフルートキャストについて、その観察と古流向の測定、復元の方法を講義しているところ。三津漁港の東方海岸。



第8図 沢の中で現在地の確認
 研修4日目。沢の調査の中で、微妙な地形の変化を読み取り、自分のいる位置を地図上で確認しているところ。現在はGPSなど便利な機器があるが、条件によっては使えない場所もあるので、地図と地形を“読み”ながら、現在地を的確に押さえる訓練も必要となる。三津町の矢代岳南方の沢。



第7図 斑れい岩シルの上限の境界調査
 研修3日目。出雲市小伊津漁港の西方の沖の島付近の海岸で牛切層に貫入する斑れい岩とその上盤にあたる砂岩泥岩互層との境界を探索。ここでは残念ながら境界露頭は見えないが、地図上で境界位置を押さえることができる。



第9図 牛切層最下部の観察
 研修4日目。出雲市美保町の漁港付近の海岸に露出する牛切層最下部の地層は、前日まで調査した三津町や小伊津町で露出する葉理の発達した砂岩層に対比されるが、火山岩の巨礫を含むなど、岩相が大きく変化している。ここでは、三津町や小伊津町に露出する地層とは傾斜の向きが逆（垂直に近い南傾斜）になっているので、地層の上下判定の実習を行った。

かけての調査。沢筋で成相寺層の泥岩・砂岩・火砕岩の分布調査。別の沢筋で成相寺層から牛切層にかけての調査(第8図)、および急峻な沢筋での地質調査に関する注意点の説明。地層の上下判定(第9図)。／[室内]4日間の調査データ整理と地質図作成、および作業に関する質疑応答(第10図、第11図)。

- ・10月28日：[野外]当地域における地質調査研修の理解を深めるための関連地層・岩石などの巡検(成相寺層および牛切層の火成岩・火砕岩の産状・構造等の観察)。

今回から、上記の出雲市での対面研修に先立って、事前に基本的な事項のeラーニングを取り入れました。そして、講師の利光が過去に参加した研修(2019年10月)やその後の事前下見の際に調査実習地で取得した観察データを例にして、地質図学を用いて地質図を作成していく作業工程の説明も、事前のeラーニングに取り入れました。eラーニングのビデオ視聴が終わった方には、事前課題を出題して解いていただくことにしました。本研修の前週に事



第 10 図 夜の座学の様子 (調査データの整理)

研修 4 日目。夜の室内座学で、地層境界線の分布の描き方を説明した後に、地質図作成に向けて、この 4 日間の研修で調査したデータを整理しているところ。各自の調査データに基づいて地質図を作成するが、適宜質問に対応しながら作業を進めた。



第 11 図 夜の座学の様子 (地質図の作成)

研修 4 日目。各自の調査データをもとに地質図学を用いて地層境界線を描いて地質図を作成する。最後に各地層を色分けして表示していく。

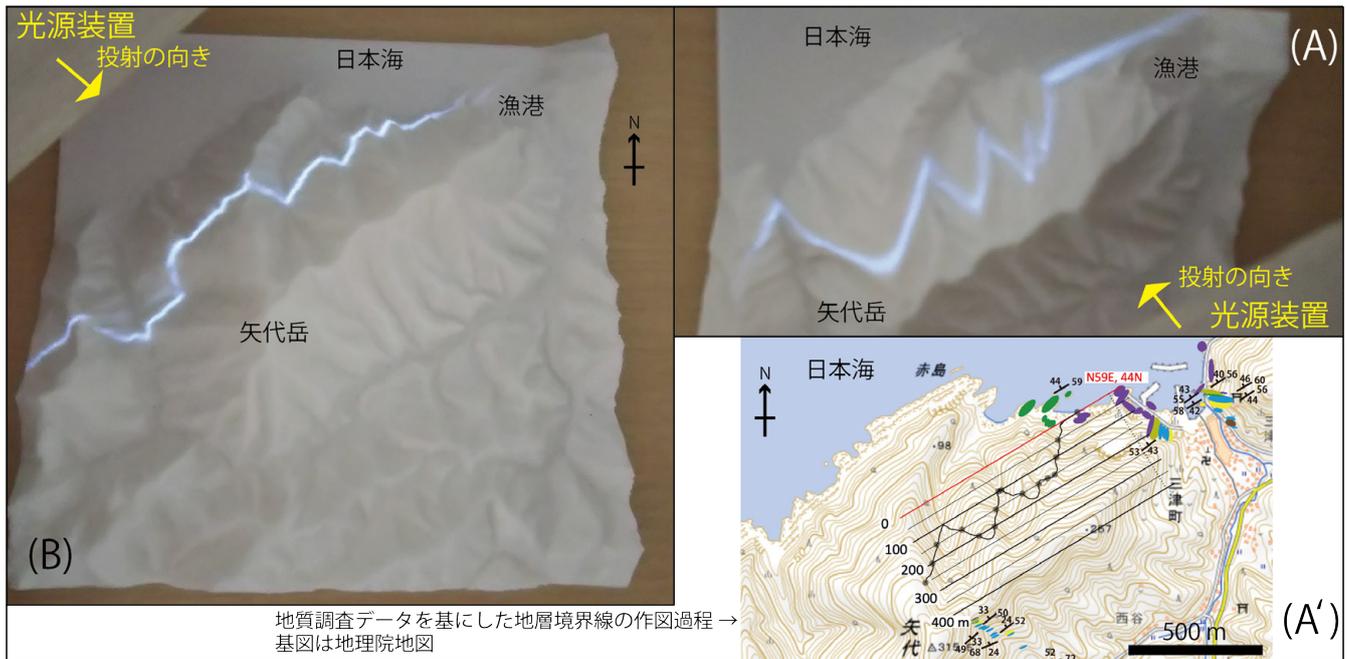
前課題解法説明のリモートレクチャーを行い、ここまでを一連の事前学習のセットとしました。出雲市での研修が終了した時点で e-ラーニングのビデオ再生回数を見たところ、平均して一人 4～5 回以上に当たる再生数になっていることがわかり、e-ラーニングとして有効に活用されたことを認識しました。

昨年の座学で取り入れた岩石標本の観察実習については、今回の実習では時間の都合で実施できませんでしたが、岩石標本セットは夜の座学会場に持ち込んでおき、時間の余裕のある方は観察できるようにしておきました。紙資料で配布する地質図作成工程の説明書については、これまで手書きも交えた図を使用し配布してきましたが、今回は e-ラーニングでも使用できるようにパソコンの描画ソフトを使用して作成し直しました。これまで一部の地層境界線の作成作業で省略していた地質図学の作業過程も表示するようにして内容の見直しもしました。特に、地層の褶曲の要素を含む部分の説明が図としてわかるようにしました。

2022 年 5 月の未経験者向けの研修(利光ほか, 2022)と同様、今回も立体の地形面に線状の光(スリット光)を当てる簡易装置を使用して、紙で折った仮想的な地形模型に地層境界面が“地形面”にどのように現れるかの体験をしていただきました。加えて、3D プリンターで作成した調査実習地の一部の立体地形模型を準備し、それにスリット光を当てて体験もできるようにしました(第 12 図)。この手法では、地層境界線が立体地形模型の表面に現れるので、地形図上に図学的に描いた境界線の曲がり具合と比較することができます。そのため、地形と地層境界の見え方の関係についての立体的な理解がしやすいと好評でした。

3. 研修の進み具合と結果

今回は、出雲市での研修期間のうち、初日と 2 日目に断続的に雨が降りましたが、雨の合間をぬって、ほぼ予定通りのスケジュールを進めることができました。上述したように、あまり本格的な地質調査をしたことのない方も含まれていたため、地質調査に必要な露頭位置の確認や岩相の識別などの基礎的なところから実習しました(第 8 図)。クリノメーターの使い方の基礎的なところも実習しました(第 4 図, 第 6 図)。そして、研修で一通りの調査経験を積みながら、地質図作成に取り組みました(第 11 図)。3 日目・4 日目夜のデータとりまとめ作業では、e-ラーニングでも視聴した地質図作成工程説明の紙資料を配布して、それを参考にしながら地質図作成作業を進めました(第 10 図)。短い対面の研修日程の中ではありましたが、地質図を完成に



第 12 図 立体地形模型にスリット光源を投射した地層境界線の考察

A・B：調査実習地のうち、三津町の漁港から西方にかけて（矢代岳周辺）の立体地形模型に線状の光（スリット光；利光ほか、2022 参照）を投射して、地層境界面が模型表面にどのように線として現れるかを示しているところ。研修中に参加者各自で体験できるようにしていたが、写真は研修後に再現し撮影したもの。いろいろな角度で投射できるが、ここではスリット光を立体地形模型に (A) 南東からおよび (B) 北西から数 10° の傾斜角度で投射。A' は調査データを基に 44° の北傾斜で地質図学により地層等高線を描いて地層境界線を求める過程の図（研修配布資料より）。A と A' は共に北傾斜の境界面で、投射したスリット光と地質図学で描いた境界線は同様なパターンになることを簡単に確認できる。B のように南傾斜の境界面にしてみると、境界線のパターンは A と逆になることを実験的に明示できる。

立体地形模型のサイズは東西約 10 cm、南北約 10 cm（縮尺 1/2 万）、高さを 1.5 倍に強調。この模型の製作には、地理院地図 3D を利用した。

近いところまで進んだ方が何名かいました（第 11 図）。このため、地質図作成の進みの遅かった方も含めて研修参加の皆さんに研修終了後も自宅などで引き続き地質図作成に取り組まれるようお伝えし、地質図作成に関わる作業を終えました。

4. 参加者からの事後アンケートの回答

研修終了後に受講者から回答のあった事後アンケートでは、野外調査および室内座学ともに「非常に満足」・「満足」という高評価を回答者全員からいただきました。e-ラーニングでは、1 名の方から「普通」という評価でしたが、他の方々には満足いただけたようです。

一方で、改善点については以下のようなご意見をいただきました。

- ・5 日間で地質図まで完成させるのはかなり難しかった。
- ・現地で実際に露頭等を見ながらの研修が有効だと思うが、web による講習であると、参加の敷居が低く、参加しやすい。講習の内容によっては、web による講習も開催し

てもらえれば積極的に参加できる。

- ・アドレス登録で情報を届けてくれるようなメーリングリスト的なものはないか。メーリングリスト等での情報発信があってもよいと思う。
- ・初心者には少し難しいと感じた。初級者編・中級者編・上級者編等に区分し、それぞれで開催すれば参加しやすくなると思った。
- ・5 日間のスケジュールなので過密になるのは仕方ないが、もう少し休憩時間がほしかった。
- ・研修 4 日目と 5 日目の研修スケジュールについて少し見直すと良いのではないか。
- ・斑れい岩の特徴を現地で見てもなかなか理解できなかった。事前に岩相の特徴の資料紹介があれば予備知識が増えて飲み込みやすくなるのではないかと思った。

上記の改善に関する意見については、全てに対応できるわけではありませんが、今後の研修の参考にさせていただきたいと思います。

5. おわりに

前述のように10月開催の地質調査研修は、大学等で地質調査や地質図作成の経験はあるが、その後本格的な調査の機会がなかった方、あるいは実際に調査などに携わっている方でもう一度基本的なところから学び直したい方などが対象です。しかし、実際には経験のあまりない方の参加もあり、事後アンケート回答でも初心者向けの指導内容に関する要望があります。本来であれば、5月～6月の未経験者向けの研修を受けていただくのが良いのですが、個々の業務上の事情等で10月の研修に応募せざるを得ないということもあるようですので、対面の調査実習では経験の少ない方にも配慮して研修指導を行っています。このことは、準備する講義資料も含めて、今後も継続して考えておく必要があります。

最後になりましたが、本研修の実施にあたり、島根半島・宍道湖中海(国引き)ジオパーク推進協議会の後援をいた

だき、研修地出雲市の地元の方々に大変お世話になりました。地質調査総合センターおよび地質標本館からの各種助言や教材提供などいただきました。地質情報研究部門の兼子尚知氏には、調査実習地内の一部地域の立体地形模型を製作・提供していただき(第11図)、あわせて地質図学での教育的な活用についても議論していただきました。これらのことで、本研修参加者の理解増進に役立てることができました。この場をお借りして御礼申し上げます。

文献

- 利光誠一・遠山知重紀(2022) 2021年度第2回地質調査研修実施報告. GSJ地質ニュース, 11, 20-25.
 利光誠一・渡辺真人・兼子尚知(2022) 2022年度第1回地質調査研修(地質図作成未経験者向け)実施報告. GSJ地質ニュース, 11, 316-320.

TOSHIMITSU Seiichi and KANEKO Shohei (2023) Report on the geological survey training course for beginner and elementary levels, Autumn 2022.

(受付：2022年11月30日)

元地質調査所次長・地質調査総合センター代表の加藤碩一氏が瑞宝中綬章を受章

佃 栄吉（産総研名誉リサーチャー）

産業技術総合研究所名誉リサーチャー加藤碩一氏が令和4年秋に瑞宝中綬章を受章された。この機会にこれまでの加藤氏のご経歴などを紹介し、ご本人とご家族、並びに地質調査総合センター一同及び加藤氏と関係の深い皆様とともに受章の栄誉を心よりお祝いしたいと思います。

加藤氏は昭和50年4月に工業技術院地質調査所に入所後、環境地質部地震地質課及び地質部層序構造課において活断層、地質構造の研究に従事され、地質部層序構造課長、国際協力室国際地質課長、地質調査所首席研究官、地質調査所企画室長、地質調査所環境地質部長を歴任され、国際協力事業の推進、研究所の管理運営とともに、地質調査所の基幹業務である地質図の出版事業を精力的に牽引されました。平成11年3月には地質調査所次長に昇任され、地質調査所の組織体制、人事など円滑な組織運営に貢献されました。

平成13年4月独立行政法人産業技術総合研究所（以下産総研）の発足に際しては地球科学情報研究部門長に就任され、その後、平成15年4月には産総研東北センター長、平成18年4月には産総研理事を歴任され、全国各地の地域センターの管理運営及び研究所全体の研究環境整備に尽力されました。平成20年4月からは産総研フェローとして地質調査総合センター代表を務められ、地質分野を代表して国際貢献などをリードされました。平成21年3月に産総研を退職されましたが、名誉リサーチャーとして、また、応用地質株式会社の顧問として、その後も活発な著作活動等を通して地質調査にかかる普及活動に尽力されました。

北部フォッサマグナの第三紀・第四紀地質の研究、災害地質学等の分野で多くの研究業績を残されました。とくに、地質調査所の基幹業務である地質図類等の作成出版事業に多大な貢献をされ、とくに加藤氏の主要フィールドである長野県、新潟県地域の5万分の1地質図幅「坂城地域」、「粟島地域」、「長野地域」、「大町地域」は単独または筆頭で完成された力作であり学術的にも高く評価され、また、褶曲構造が良く示されている「信濃池田地域」は、高校の地学副読本に長く掲載されるなど社会で広く活用されています。これらを含め、著者として関係された地質図類の出版数は28にも及び、管理業務と並行して研究成果の公表をされたことは誠に驚嘆に値します。なお、地質調査総合センターが編集協力し、令和4年に出版された『日本列島



写真 加藤碩一氏近影

地質総覧（地史・地質環境・資源・災害）』は、氏が筆頭編集者として刊行されたものです。

昭和58年度から60年度にわたり、トルコ・アナトリア断層地域の地震及び活断層・地殻変動の研究をリードされ、過酷なトルコ東部の調査研究にも従事されました。カウンターパートであるトルコ鉱物資源調査開発総局（MTA）にも厚く信頼されました。東・東南アジア地球科学計画調整委員会（CCOP）には平成10年から平成24年にわたって参加され、プロジェクトの推進や共同研究の調整など多国間国際協力に貢献されました。「Eastern Asia Geological Hazards Map」（2003）が関係者の協力のもとに出版され、自然災害学会から“International Award of Hazards 2000”を授与されました。

日本地質学会では学会誌の編集委員など学会の各種委員会の委員として運営に貢献され、学会誌の編集委員長も務められました。平成14年から16年にかけては副会長を務められるなど日本地質学会の活動に大きく貢献されました。日本地質学会が編集した『日本地方地質誌〈全8巻〉』は加藤氏が刊行委員長として多大なる指導力・調整力を発揮して出版されたものです。

国土交通省、文部科学省、経済産業省など国や地方自治体の専門委員などを多数務められ行政へ貢献されました。また、その幅広い研究実績を生かして、海洋研究開発機構や防災科学技術研究所、（財）資源・環境観測解析センターなどの運営に外部委員として貢献もされました。日本列島地質事百選選定委員会委員、日本ジオパーク委員会委員などで責任ある役割を担われました。また、筑波大学及び茨



城大学の非常勤講師を10数年間勤められました。

宮沢賢治に関する地質学的観点からの研究は在職期間中から始められた加藤氏のライフワークであり、関連する著作・講演は数多く、関係者から高く評価されています。令和元年より刊行されている「宮沢賢治個人研究誌『地と人』」は現在、第七号を数えています。平成19年には岩手県花巻市から、第17回宮沢賢治賞奨励賞を授与されています。

加藤氏のウィットにとんだ弁舌さわやかな講演と広範な知識に基づく著作活動は今後もぜひ継続していただきたいと思えます。益々のご健勝とご活躍をお祈りします。末尾に主な著書をご紹介します。

主な普及著書

加藤碩一 (1989) 『地震と活断層の科学』 朝倉書店。

垣見俊弘・加藤碩一 (1994) 『地質構造の解析—理論と実際—』 愛智出版。

加藤碩一・香村一夫 (1996) 『地震と活断層を学ぶ』 愛智出版。

加藤碩一・脇田浩二総編集・著 (2001) 『地質学ハンドブック』 朝倉書店。

加藤碩一 (2004) 『アナトリア地震紀行』 愛智出版。

加藤碩一 (2006) 『宮澤賢治の地的世界』 愛智出版。

加藤碩一・須田郡司 (2008) 『日本石紀行』 みみずく舎。

加藤碩一・脇田浩二・トーマス・H・ウィルソン (2008) 『日本列島—地学の旅— Geological Travel in Japan』 愛智出版。

加藤碩一・青木正博 (2011) 『賢治と鉱物』 工作舎。

加藤碩一 (2011) 『宮澤賢治地学用語辞典』 愛智出版。

加藤碩一 (2014) 『石の俗称辞典第二版』 愛智出版。

文献

加藤碩一 (1980) 5万分の1地質図幅「坂城」及び説明書。地質調査所, 57p.

加藤碩一 (1981) 5万分の1地質図幅「粟島」及び説明書。地質調査所, 32p.

加藤碩一・赤羽貞幸 (1986) 長野地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 120p.

加藤碩一・佐藤岱生 (1983) 信濃池田地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 93p.

加藤碩一・佐藤岱生・三村弘二・滝沢文教 (1989) 大町地域の地質。地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 111p.

KATO, H., WAKITA, K. and BANDIBAS, J. C. (2003) Eastern Asia Geological Hazards Map. *Journal of Natural Disaster Science*, 25, 65-74.

加藤碩一・脇田浩二・斎藤 眞・高木哲一・水野清秀・宮崎一博 (編) (2022) 日本列島地質総覧—地史・地質環境・資源・災害—。朝倉書店, 東京, 460p.

地球の中身 何があるのか、何が起きているのか

廣瀬 敬 [著]

講談社ブルーバックス
発売日：2022年1月20日
定価：本体 1,200円 + 税
ISBN：978-4-06-526660-1
17.4 cm x 11.4 cm x 1.5 cm
324 ページ
ソフトカバー

地質学という分野は、野外でのフィールドワークがメインの仕事というイメージを持たれていることであろう。もちろん岩石や地層についての研究を行うには、まずフィールドに出かけて、研究対象となる岩石を採取したり地層の記載をしたりする必要がある。しかし、フィールドワークでは手の届かない3つの領域がある。宇宙、深海底、そして「地球の中身」である。

我々が居住する地盤の下には、溶融した熱いマグマが潜んでいると思込んでいる人も多いことであろう。これは日本列島のような火山国であれば、大きくは間違っていない。ただし、溶融したマグマが現存しているのは、富士山・箱根や阿蘇・桜島のような活火山直下のマグマだまりだけであって、多くの場所はそうはなっていないのである。では、我々の足下には何があるのだろうか？我々の足下の土壌や軟弱な地盤を剥ぐと、そこには地殻という層厚 30 km に達する花こう岩質の岩石層が出現する。地殻の下にはより重い岩石からなるマントルが存在する。マントルは地球の体積の 84 %、2860 km 以上の厚さがある。マントルの構成物は、高温・高圧状態にあり、溶けているわけではないが、柔らかく変形することができる。このため、地球の表面を作っている硬い岩石プレート（地殻）がその上で動くことができるのである。マントルは4層に分けられ、このうち最下部マントルを掘り下げていくと、ついに地球の中心を占めるコア（核）に到達するのである。

もちろん、我々人類は、地下深部まで掘り進めて「地球



の中身」を確認できたわけではないし、未だそのテクノロジーを持ち合わせてはいない。現在のところ、人類が穴を掘った最も深いボーリングは、旧ソ連がコラ半島で行った超深度掘削坑 (SG-3) であり、その掘削深度は 12262 m まで達したとされる。しかしこの旧ソ連の威信をかけて実施された SG-3 をもってしても大陸地殻の半分の厚さすら掘り抜けてはいないのが実情なのである。

世界の地質図を見渡すと、マントル物質が地表に出現している場所が少なからず存在する。特にアラビア半島のオマーンオフィオライトは世界的な規模でありよく研究されている。日本列島においては、北海道の日高山脈南西端の幌満^{ほろまん}地域にマントル起源の岩石であるかんらん岩が新鮮な状態で地表に出現していることがよく知られている。新鮮なかんらん岩は「芋ようかん」のような綺麗なウグイス色のかんらん石を主体とする岩石である。一方、マントル深部から上昇してきたマグマを噴き出した火山では、マグマが引き剥がしてきたマントル物質が手に入ることがある。男鹿半島の一ノ目淵では、噴出した火山岩中の捕獲岩としてかんらん岩が見つかることが知られている。さらに、南アフリカのダイヤモンド鉱山として掘削されている場所は、マントル深部から噴出したマグマの通り道であったことがよくわかっている。それ故、ここではダイヤモンドとともに上昇してきた深さ 150 km を上回る部分のマントル物質が手に入るが、この深度であってもその主要な構成物質はかんらん岩（かんらん石）である。



実は、マントルを含めた「地球の中身」は、種々の観測データや室内実験などから間接的に推測されたものである。では、具体的にどのようにしてこれを推測するのか？この疑問に対し、著者である東京工業大学の廣瀬 敬教授が答えを示している。彼の専門は高圧地球科学ならびに地球内部物質学であり、独自に開発した高圧・高温実験装置を駆使して地球内部の環境を再現し、地球の深部には何があるのか？何が起きているのか？地球はどのように生まれ進化してきたのか？について詳しく研究しておられる。地球の表面に居住する我々人類は、地球の表層部しか見て知ることができていない。しかし、科学技術の進歩が「地球の中身」を知るための新たなアプローチを可能にできた。

本書は大きく2部で構成されており、第1部では地球の内部構造とその活動について、第2部では生命の惑星である地球はどうやってできたのか？そしてどのように進化してきたのか？について解説している。目次は以下の通りである。

序章 地球の中に潜る前に

第1部 現在—地球は何でできているのか？どんな活動をしているのか？

第1章 地球を覆うもの—大気、海、地殻

第2章 地球の白身—マントルは何でできているのか？

第3章 地球の白身は動き回る—プレートテクトニクスとマントルの対流

第4章 地球の黄身—コアの構造と運動

第5章 白身と黄身が殻の外側を決める—地球の表層と内部の相互作用

第2部 過去—「生命の惑星」はどうやってできたのか？どのように進化してきたのか？

第6章 はじまり—地球誕生からマグマオーシャン、生命の誕生まで

第7章 進化—地球の過去を復元する

第8章 謎—地球はどうして生命を宿すことができたのか

本書の読みどころは、やはり第2章に詳しく論じられている「高圧高温実験」によるマントル物質への著者らの研究アプローチの件であろう。前述の通り、我々が入手できるマントル物質は深さ150 kmまでであり、それ以上の深度のものが地表にもたらされるメカニズムは存在しえな

い。しかし、マントル内部の化学組成はおおよそ均一だと考えられることから、現在地表で入手できるかんらん岩(かんらん石)をマントル深部の温度・圧力条件にまで高めることができれば、その深度の主要な鉱物を復元できると考えられる。これが「高圧高温実験」の基本的な発想であった。

まず、地表で得られているかんらん石を加圧していくと、15万気圧(深さ410 km相当)で深緑色の異なる鉱物であるウォズリアイトに変化(相転移)する。次に、ウォズリアイトを加圧すると18万気圧(深さ520 km相当)で再び相転移し、紫色のリングウッドイトに変化する。これらの実験により、マントルの主要鉱物が深さ(圧力)によって段階的に変化していくことが確かめられた。ここで使われたタングステンカーバイドの部材を用いた高温・高圧実験装置では、30万気圧弱までしか実験を行うことができなかった。そこで著者らは、1998年に2つのダイヤモンド片で鉱物試料を挟み加圧する高温・高圧実験装置(ダイヤモンドセル装置)を用いた実験室を自ら立ち上げたのである。

ダイヤモンドセル装置を用いた実験により、リングウッドイトは下部マントルの圧力下(24万気圧以上)で2つの鉱物、ブリッジマナイトとフェロペリクレスに分解することが解った。このうち薄い茶色の硬い鉱物であるブリッジマナイトは大量に存在し、地球の体積のほぼ半分を占めると見積もられている。

2002年、ついに著者らの研究グループはブリッジマナイトにマントルの最下部(深さ2600~2900 kmの領域)に相当する125万気圧をかけ、ポストペロブスカイト(自然界では発見されていないのでニックネーム)へと相転移することを確認した。この“鉱物”は雲母のような層状構造を持ち電気や熱を伝えやすいという特徴を持つことが判明したが、圧力を抜くと壊れてしまうので、実物の色はよくわかっていない。

著者らの行った高温・高圧実験によって、マントル最下部の主要鉱物等について物理的特徴が明らかになったことで、マントル内部の温度分布や岩石のマントルと金属のコアの相互作用の理解が一気に進んだのである。さらに著者らの研究グループは、2010年に地球中心の圧力(364万気圧)を実現することに成功し、今後、コアに関する研究が大いに期待されている。

本書では、地震波観測・理論的考察・高圧・高温実験を組み合わせ、「地球の中身」の謎を解く研究をわかりやすく解説している。そのターゲットは地表から深さ6400 kmの中心部まで、現代から46億年前の地球誕生までで

あり，地球をまるごとシステムとして理解しようとする姿勢は地球科学分野の研究者としてたいへん素晴らしい．世界で初めてマントル最下部の構成物を実験室で再現した著者が，自分の言葉で地球科学の研究のあり方を解りやすく述べており，まさに我々の「地球の中身」の概念を一変さ

せる一冊と私は思う．特に高校生から大学生の未来の研究者を目指す世代には，科学研究の進め方を学ぶ入門書として最適の書と思う．

（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）

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 宮地良典
副委員長 小松原純子
委員 竹原孝
児玉信介
戸崎裕貴
草野有紀
宇都宮正志
森尻理恵

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 12 巻 第 2 号
令和 5 年 2 月 15 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 中央第 7

印刷所

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor : MIYACHI Yoshinori
Deputy Chief Editor : KOMATSUBARA Junko
Editors : TAKEHARA Takashi
KODAMA Shinsuke
TOSAKI Yuki
KUSANO Yuki
UTSUNOMIYA Masayuki
MORIJI Rie

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. 12 No. 2
February 15, 2023

Geological Survey of Japan, AIST

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

栃木県足利市の切り通しにみられるチャートの褶曲

[cover photo](#)



群馬・栃木の両県にまたがる足尾山地は足尾帯ジュラ紀付加体から構成される。栃木県足利市の通7丁目には、明治時代に切り開かれた切り通しが存在し、同付加体のチャートが露出している。ここでは、足利市周辺に連なる山を構成する岩石であるチャートとその褶曲が明瞭に観察できる。そのため、2023年1月28日に放送されたNHK『ブラタモリ』#227「足利」回において、足利における地形の成り立ちを説明する場所として使用された。左下の黄色い折尺の長さが1mである。

(写真・文：伊藤 剛 産総研地質調査総合センター地質情報研究部門)

Folds of chert in the cutting, Ashikaga City, Tochigi Prefecture. Photo and caption by ITO Tsuyoshi