

GSJ

地球をよく知り、地球と共生する

地質ニュース



1月号

-
- 1 **年頭のご挨拶 –カーボンニュートラルと鉱物資源–** 中尾信典
-
- 3 **巨大地震発生後の亀裂形成による排水は地震が起こるための水圧に影響を与えるか？** 大坪 誠
-
- 8 **東京スカイツリーと東京の地下駅での重力計測記** 杉原光彦
-
- 14 **地殻内応力マップ on 地質図 Navi**
内藤一樹・中井未里・今西和俊
-
- 20 **2021 年度第 2 回地質調査研修実施報告**
利光誠一・遠山知亜紀
-
- 26 **一般向けオンラインライブ配信「さんそうけん☆サタデー」第 3 回出演報告** 吉澤和子・清家弘治・天野敦子・兼子尚知

年頭のご挨拶

—カーボンニュートラルと鉱物資源—

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長
中尾 信典



2022年(令和4年)の年頭にあたり、産業技術総合研究所地質調査総合センター(GSJ)を代表してご挨拶申し上げます。

新型コロナウイルス感染症によるパンデミックが起きてから、はや2年近くが経ちます。ワクチン接種の浸透などもあり、昨年秋口から暮れにかけて大きな感染の波が収まりつつあるようにみえましたが、新たな変異株が出現してこの先の状況が不透明なところもあります。この2年間で培われてきた日常生活における感染予防対策や健康管理を、引き続き徹底するしかないと感じております。皆様におかれましてはくれぐれもご自愛ください。

産総研第5期中長期計画では、社会課題解決と産業競争力強化を主なミッションに掲げており、本年は5ヶ年の3年目に当たります。喫緊の社会課題とはエネルギー・環境制約、少子高齢化、国土強靱化、コロナ対策などです。GSJでは社会課題解決に向けて、環境と調和を取りながら資源・エネルギーの開発や国土利用推進を図る研究を産総研内の領域融合による「環境調和型産業技術研究ラボ(E-code)」として推進するとともに、強靱な国土と社会の構築に資する地質情報の整備と地質の評価研究、後述のクリーンエネルギー研究や、コロナ対策などを中心に取り組んでいます。

その中で特に世界の注目を集めているのは地球温暖化問題であり、2050年に向けた脱炭素社会の構築、カーボンニュートラルを実現するための技術革新の推進が緊急課題であると認識しています。日本政府も2020年10月に、2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、カーボンニュートラルを目指すことを宣言したところです。少し前までは低炭素化社会がキーワードとなっていましたが、今では脱炭素化、カーボンニュートラルに向けてさらに踏み込んだ議論に進んでいます。そのためには、再生可能エネルギーの大幅な導入などによる最適なエネルギーミックス、省エネルギー化の徹底や、様々な革新的技術開発が必要です。2021年10月に閣議決定された第6次エネルギー基本計画の中でも、「2050年カーボンニュートラル」を見据えた2030年への政策対応が示されています。

GSJでも再生可能エネルギーの一つである地熱・地中熱に関して福島再生可能エネルギー研究所を中心拠点として、エネルギー環境領域と連携・融合して研究を推進しています。また、化石燃料使用による大規模CO₂排出源等か

らCO₂を回収し地下に封じ込める二酸化炭素回収貯留技術(CCS)については、二酸化炭素地中貯留技術研究組合に参加するとともに、産総研のゼロエミッション国際共同研究センター(GZR)と連携して取り組んでいます。

カーボンニュートラルを達成するには再生可能エネルギーなどのクリーンエネルギー技術を大幅に導入することが必要ですが、それに伴ってレアメタルなどの鉱物資源の需要が急増することを、国際エネルギー機関(IEA)が2021年5月に報告書として発表しています。報告書では、2050年のカーボンニュートラル達成には、2040年までに現状の6倍もの鉱物資源が必要となり、特に電気自動車(EV)などに必要なリチウムは40倍、黒鉛、コバルトやニッケルは20倍から25倍、電力ネットワーク拡大に必須の銅は2倍の需要拡大になると予想しています(IEA, 2021)。

日本では、鉱物資源のほぼすべてを輸入に頼っています。国内にも鉱物資源がないわけではありませんが、産出量が少ないことなどにより生産コストが経済的に見合わないため、利活用されていないのが現状です。このような情勢を反映し、国は鉱物資源の安定供給を確保するため、1)資源国との関係強化による海外資源確保の推進、2)レアメタルの備蓄、3)代替材料と省資源化、4)リサイクルと都市鉱山、そして、5)海洋鉱物資源の開発、を柱として総合的な政策を実施しています(経済産業省, 2018)。ただし、新たな需要の拡大に対しては、リサイクルの推進、代替材料と省資源化で対応するとともに、自明のことですが、新規の資源(鉱床)を見つけて生産をしていくことが持続可能な社会には必要不可欠となってきます。

GSJでは、国からの委託研究や、民間との共同研究、資源

国の地質調査機関等と連携しながら、国の総合的政策の1番目と5番目の柱に関連した鉱物資源研究を推進しています。1番目の柱に関しては、資源の早期確保に貢献する鉱床学的研究として、東南アジア地域における鉱物資源開発可能性調査、国内の希土類資源の評価、新たな地化学探査法開発、リモートセンシングによる鉱床探査技術の開発に注力しています。鉱石や素材製品の価値向上のための選鉱技術および精緻な分析・評価では、リン鉱石からの副成分としてのレアアース回収法等の技術開発を行うとともに、国内外の鉱物資源データベース・地質図幅の整備にも取り組んでいます(相馬, 2020)。

国の総合的政策の5番目の柱は「海洋鉱物資源の開発」です。ターゲットとなる海洋鉱物資源は大別すると、海底熱水鉱床、コバルトリッチクラスト、マンガン団塊、レアアース泥の4つです。水深や分布の状態、含まれる金属が異なるため、個別の技術開発等が必要となります。国はコバルトリッチクラストの生産について2028年までに商業化の可能性を追求するとしています。資源開発では、開発と同時に環境アセスメントも行い、開発による環境への影響を最小限としていくことが求められています。海洋鉱物資源については環境影響評価に係る標準的な手法がまだ確立されておらず、国連機関を中心に議論が行われている段階です。GSJでは前述の領域融合研究ラボE-codeが中心となり、日本のコバルトリッチクラスト探査契約鉱区で環境現況(ベースライン)調査を実施し、国際的な環境管理計画の策定に資する情報を積極的に提供しています。それにより、海洋鉱物資源開発において日本が世界をリードする事ができると考えています。また、水深6000mのレアアース泥については戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)に参画し、賦存量の調査・分析を行っています。

国際的な連携については、コロナ禍により海外出張等の活動が全面的に止まっていますが、これまで長年参画している東・東南アジア地球科学計画調整委員会(Coordinating Committee for Geoscience Programmes in East and Southeast Asia: CCOP)における各種活動や、ASEAN枠組での鉱物資源データベースAMDIS構築、および関連国への利活用普及に向けたウェビナー開催など、現状で実施可能な国際連携活動に取り組んでいます。

以上、今後益々需要が拡大すると予想される鉱物資源の安定供給に向け、GSJが陸域および海域の両面において研究開発に取り組んでいることを紹介しました。2022年、



2021年2月15日夕方、雨があがった後に産総研第7事業所の4階にある居室から見えた虹。本年が皆様にとって虹色となりますことを祈念して。

GSJは創立140年の節目を迎えます。地質調査におけるナショナルセンターとして、地質情報を整備し、資源、環境、自然災害の軽減・防災を出口とした研究活動をより一層充実してまいりたいと思います。皆様からのご支援・ご鞭撻をよろしくお願いいたします。

文 献

- IEA (2021) The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions. IEA, Paris <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions> (閲覧日: 2021年12月27日)
- 経済産業省(2018)世界の産業を支える鉱物資源について知ろう。 <https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/anzenhosho/koubutsusigen.html> (閲覧日: 2021年12月27日)
- 相馬宣和(2020) 鉱物資源研究グループの紹介。 GREEN Report 2020, 26-29. https://unit.aist.go.jp/georesenv/product/gr/green_report2020.pdf (閲覧日: 2021年12月27日)

巨大地震発生後の亀裂形成による排水は地震が起こるための水圧に影響を与えるか？

大坪 誠¹⁾

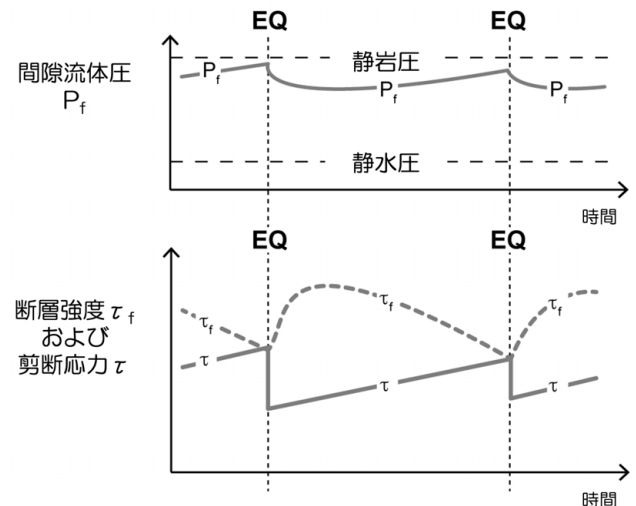
※本稿は2020年8月に、産業技術総合研究所地質調査総合センターが行ったプレス発表を修正・加筆したものです。

1. はじめに

日本列島周辺では複数のプレート(地球の表面を覆う、十数枚の厚さ30~100 kmほどの岩盤のことで、地殻とマントルの最上部を合わせたもの)が接していて、地震災害リスクを検討する上で、南海トラフをはじめとするプレート境界での巨大地震の発生メカニズムを解明することは非常に重要です。特に南海トラフでは駿河湾から日向灘沖にかけてのプレート境界を震源域として、約100~150年間隔で巨大地震が繰り返し発生しており(地震調査推進本部, 2013)、今後の地震発生に向けて早急な減災・防災への対策が求められています。また南海トラフでは近年研究が活発なスロー地震とよばれるゆっくりとした地震も発生しています。プレート境界での巨大地震も、スロー地震も、それらの地震の発生にはプレート境界の水の存在が鍵になっています。測地学・地震学的観点から、プレートの境界での巨大地震の発生メカニズムの検討が進んでいますが、同時に物質科学的な観点からのプレートの境界での巨大地震の発生メカニズムの解明も進める必要があります。南海トラフから沈み込んだプレート境界の日本列島直下付近で発生する地震の発生メカニズムを検討する一環で、活断層・火山研究部門、地質情報研究部門、アメリカ地質調査所、東京大学大気海洋研究所および東京海洋大学の共同研究の成果として「Localized fluid discharge by tensile cracking during the post-seismic period in subduction zones」というタイトルの論文が、2020年8月3日付でScientific Reports誌にオンライン版として公開されました(Otsubo *et al.*, 2020)。今回はその成果について紹介します。

2. プレート境界付近の地震と水圧の関係

プレート境界付近の岩石内部の水圧(間隙水圧)が静岩圧(その深度に対応する地圧)に近い圧力にまで高まると地震が発生する条件が整うと考えられています(第1図)。これは間隙水圧の変化と地震発生の関係を説明したモデル

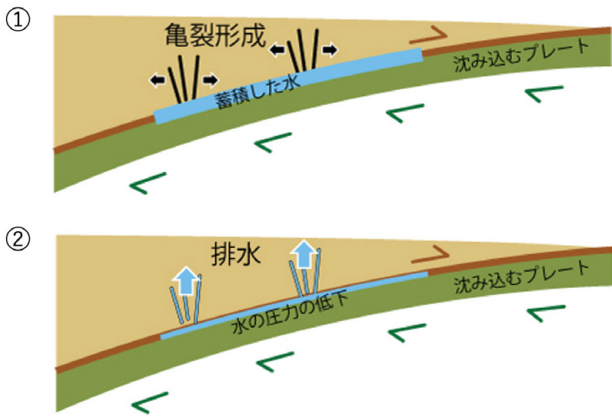


第1図 間隙水圧の変化と地震発生の関係を説明したモデル (Fault-valve モデル)。Sibson (1992) を一部改変。断層周辺での水圧上昇は、断層が動こうとすることに対する抵抗力(断層強度)が相対的に低下することで地震の発生に繋がると考えられています。

(Fault-valve モデル, Sibson, 1992) として構造地質学や地震学分野で広く用いられています。この Fault-valve モデルを用いながら、「①地震後に形成された断層周辺の引張り亀裂は排水を促進する流路となる。②そのことで蓄積していた水圧が低下して断層面の摩擦が上昇して断層が滑りにくくなる。」という考えが提案されています(第2図; Sibson, 2013)。しかしながら、水圧が地震後に実際にどの程度が低下するか?についてはよく分かっていませんでした。そこで、私たちは、過去にプレートの境界付近で巨大地震が発生したとされ、南海トラフのプレート境界付近の様子に類似している痕跡が陸上に露出している宮崎県の延岡衝上断層の周辺に分布する亀裂を埋める石英脈(第3図)に注目しました。今回、石英脈ができるまでの亀裂内部の水圧変化を考慮した亀裂モデルを用いることによって、海溝型巨大地震の発生前後での水圧の変化を求めて、プレートの境界付近に蓄積される水圧とプレート境界付近の断層の滑りやすさの関係を調べました。

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：亀裂、海溝型地震、流体移動、沈み込み帯

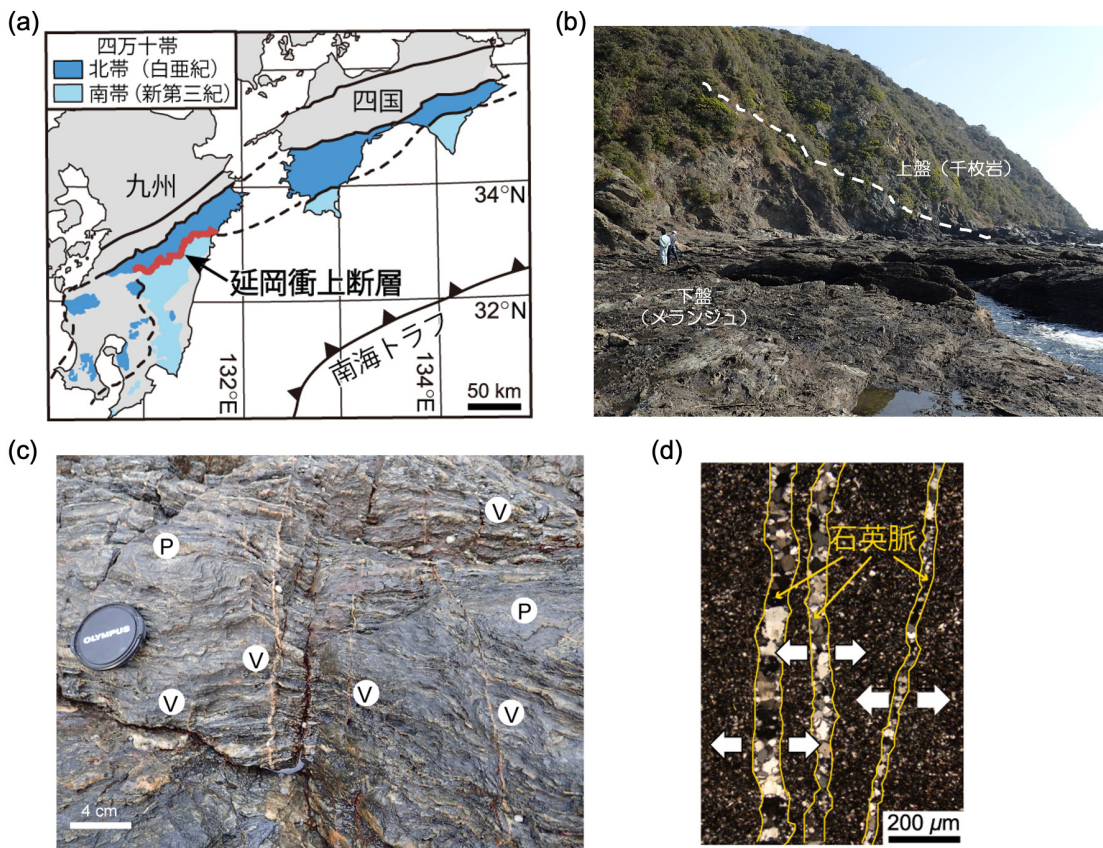


第2図 巨大地震発生後の亀裂形成による排水の模式図. Sibson (2013) を一部改変. ①巨大地震発生後に亀裂ができた様子. ②亀裂を介してプレート境界付近の水が排水されることによって断層周辺の間隙水圧が低下する様子.

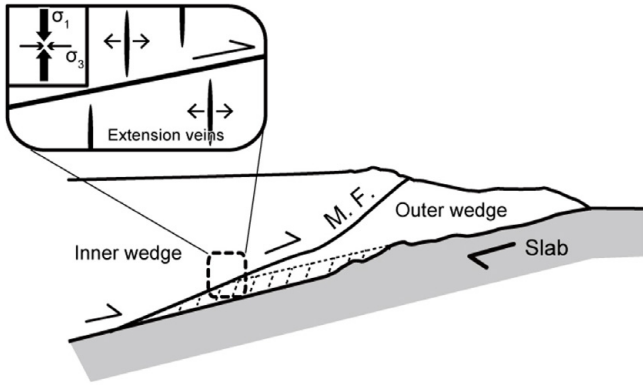
3. 陸上露頭で観察される鉱物脈

宮崎県延岡市の海岸(第3図 a, b)で, 延岡衝上断層の周辺に分布する亀裂を埋める石英脈(第3図 c)を800条ほど観察しました(地質学では鉱物脈は「条」と数えるのが一

般的です). 延岡衝上断層は四万十帯の北帯(白亜紀)と南帯(古第三紀)を境する大規模な断層です. ここで観察した亀裂はすべて力が亀裂面に直交に働く引っ張り亀裂のみでした(第3図 d). つまり, 剪断のある亀裂は認められませんでした. これらの引っ張り亀裂は, 岩石に働く最小圧縮応力軸の方向(σ_3 軸方向)に直交する向きに形成されると考えられています. 引っ張り亀裂形成時の最小圧縮応力軸の方向が延岡衝上断層が運動した方向と合うことから, これらの引っ張り亀裂は延岡衝上断層の運動後(地震発生後)に形成されたことが提案されています(第4図, 例えば, Otsubo *et al.*, 2016). これは, 延岡衝上断層が動いた方向に岩体が引っ張られたことによるものと考えられています. このような延岡衝上断層の周辺での応力場の時間変化が2011年東北地方太平洋沖地震(マグニチュード9)の発生前後の応力場の変化に似ていることを示しています. 大規模な地震が発生すると断層周辺の応力場が大きく変化することが2011年東北地方太平洋沖地震以外にも報告されています.



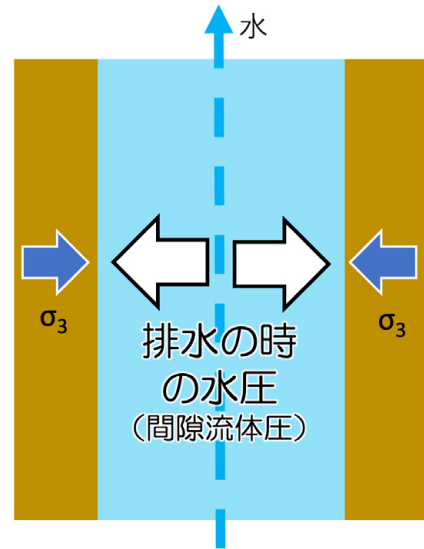
第3図 (a)九州-四国の地質概略図と延岡衝上断層. 村田(1998)を一部改変. (b)延岡衝上断層を観察できる海岸の露頭写真. (c)延岡衝上断層周辺の石英脈の写真. (d)延岡衝上断層周辺の石英脈の薄片試料の偏光顕微鏡写真.



第4図 延岡衝上断層が動いた後に形成される引っ張り亀裂と鉱物脈の模式図. Otsubo et al. (2016) を一部改変.

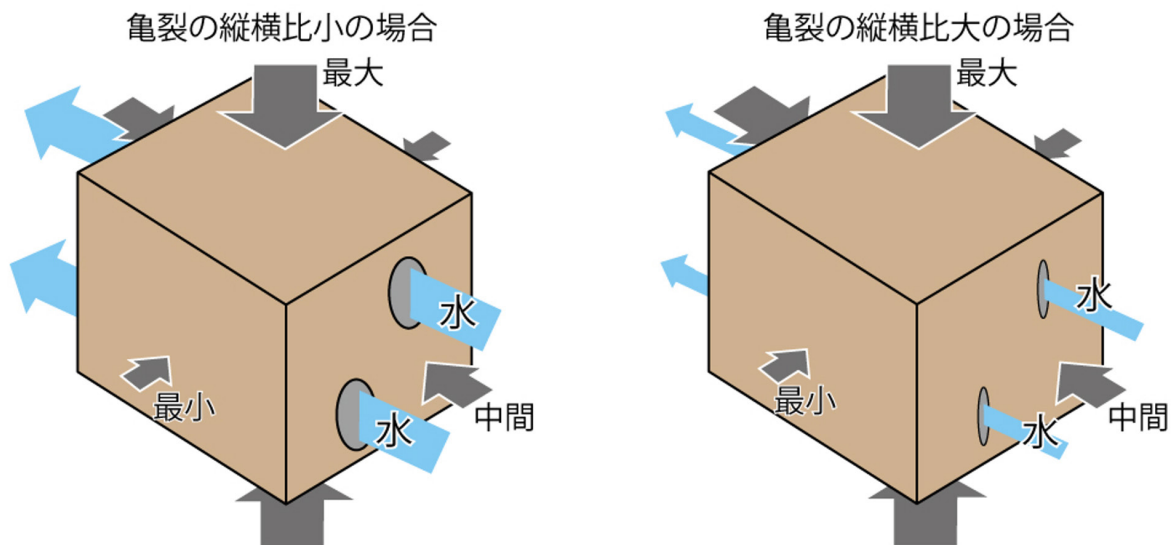
4. 亀裂を埋める鉱物脈の形成プロセス

亀裂を埋める鉱物脈は過去に岩石内の亀裂を流れた水の痕跡です。この鉱物脈は開口した亀裂を埋めたものですが、元々の開口した亀裂は亀裂が開いた際の水の圧力が岩石に働く最小圧縮応力(σ_3)を超える時に形成されます(第5図)。これは、亀裂が開いた際の水の圧力が岩石に働く最小圧縮応力(σ_3)を超えなければ、亀裂が開くことを維持できないからです。 σ_3 を超える分の間隙水圧のことを私たちは余剰間隙流体圧(Pore fluid overpressure, ΔPf)と呼びます。石英の脈は、石英つまりシリカが溶け込んだ水が亀裂の中を流れていくなかで石英が亀裂の中に沈殿して形成されます。



第5図 引っ張り亀裂中に水が流れる時の岩石に働く応力と間隙水圧の関係を示す模式図。亀裂中の水の圧力が岩石に働く σ_3 を下回ると亀裂は閉じるが、その時までには亀裂は石英の沈殿で埋められる。亀裂が閉じる際に流体圧は余剰間隙流体圧分が減圧すると考えています。

私たちの研究では、余剰間隙流体圧の推定に多孔質弾性体モデルを利用しました。このモデルでは、鉱物脈の縦横比(アスペクト比)は亀裂が開く際の σ_3 を超える分の間隙水圧(余剰間隙流体圧)と母岩のヤング率に依存します(Gudmundsson, 1999)。この多孔質弾性体モデルに基づくと、亀裂が開いた際に排水される水の圧力の大きさ(余剰間隙流体圧の大きさ)が大きいほど亀裂の空隙は円に近



第6図 亀裂モデルに基づく、岩石に亀裂が開いた際に排水される水の圧力の大きさと亀裂の縦横比の関係。

づきます(実際は楕円状の隙間, 第6図)。さらに亀裂が縦横まんべんなく開くためには岩石の固さも関係します(Gudmundsson, 1999)。私たちの研究では鉱物脈の長さや幅は海岸露頭と薄片観察から取得し, 岩石の硬さを示すヤング率は岩石破壊実験から取得しました。

5. 明らかになった亀裂形成と間隙流体圧

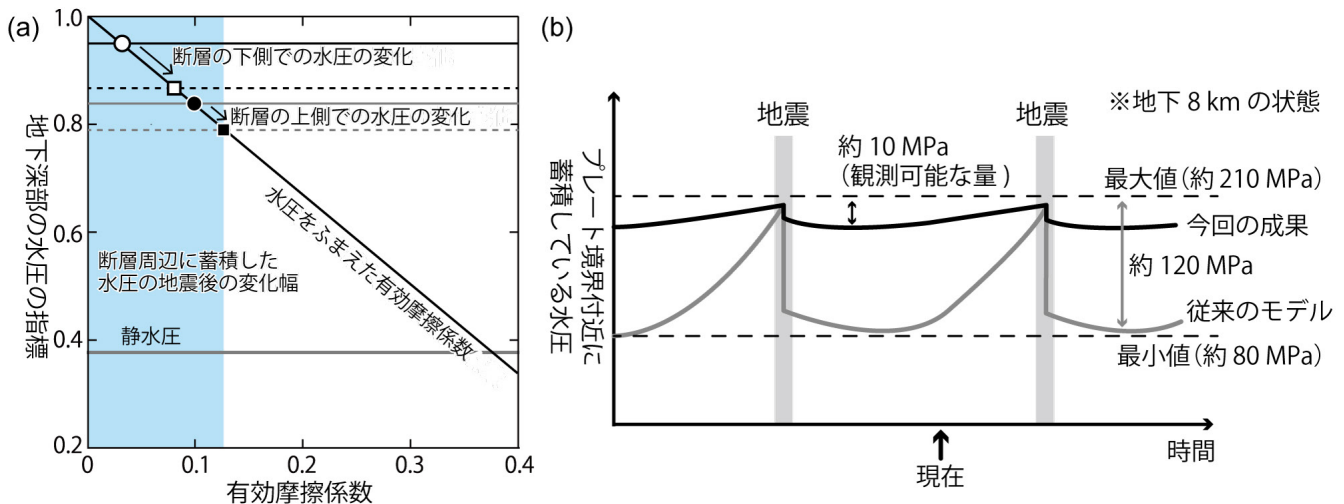
Gudmundsson (1999) の多孔質弾性体モデルによると, 延岡衝上断層の周辺での引っ張り亀裂が形成される際の余剰間隙流体圧は約 10 MPa でした。つまり, 亀裂中に働く水圧が岩石に働く σ_3 の大きさより 10 MPa 大きい状態となります。岩石の密度を 2700 kg/m^3 と仮定すると, 地下約 8 km の環境では約 10 MPa の水圧低下は間隙水圧全体の約 8% に相当します。

亀裂中の水の圧力が岩石に働く σ_3 を下回ると亀裂は閉じてしまいますが, その時には亀裂は間隙流体から沈殿した石英で埋まっています。亀裂は閉じる際に流体圧は余剰間隙流体圧分が減圧します。つまり, 亀裂形成によって, 余剰間隙流体圧分が変化するという事です。そこで, 延岡衝上断層に沿った有効摩擦係数に関して流体圧の変化の前後に注目すると, 引っ張り亀裂の形成によって間隙流体圧が小さくなった後(第7図aの白四角や黒四角)の有効摩擦係数は0.15以下でした(第7図a)。これは一般的な断層の摩擦係数0.6をはるかに下回っており, 地震後に亀裂が生じて水が亀裂を通じて排水されても, プレートの境界付近の断層面の摩擦は低いままであった可能性があります。

地下で地震時に生じる亀裂が開いて閉じる現象は岩石中の間隙水圧を上昇させ, 断層周辺での水圧上昇は地震に直接繋がります。間隙水圧の変化と地震発生の関係を説明したモデル(Fault-valve モデル, Sibson, 1992)では間隙流体圧変化の定量的な議論は多くありませんでした。このFault-valveモデルでは一般的に引っ張り亀裂発生によって静岩圧から静水圧まで大きく変化するといわれており, その変化量は地下8 kmでは約120 MPaです。私たちの研究で明らかにした間隙水圧の変化量が約10 MPaだったことは, これまで考えられてきた変化は大きすぎる可能性があります(第7図b)。

6. 南海トラフのプレート境界付近での水圧の状態は?

本研究によって延岡衝上断層周辺で見積もられた地震後の水圧は, 現在の南海トラフのプレート境界付近(深さ8 km程度)における水圧の状態とほぼ同じであることが分かりました。このことは, 現在の南海トラフのプレートの境界付近(深さ8 km程度)に蓄積している水圧は, 南海トラフで生じた直近の大地震(1946年南海地震)の発生後に現在までの間に亀裂で排水された後の状態であることを示唆しています。亀裂の形成で解放された分の水圧が今後時間をかけて静岩圧近くまで増加していくと次の巨大地震が発生する条件が整うこととなります。従来考えられてきた120 MPa程度の水圧の変動は現在の技術では観測することは困難と考えられていますが, 今回の成果で示したような10 MPa規模の水圧変動をモニタリングするための技術



第7図 (a) 延岡衝上断層周辺に蓄積していた水圧の地震前後での変化と (b) 繰り返す地震が起こる条件と水圧の関係。私たちの研究成果からは, プレート境界で地震が発生するサイクルの中ではプレート境界付近での水圧はある程度高い状態が維持されていると考えています。

はすでに存在するため、プレート境界付近で 10 MPa 程度の変動であれば観測することが可能かもしれません。

7. おわりに

以上が、私たちの成果の紹介です。南海トラフのプレート境界付近の様子に類似している陸上露頭に注目したこと、鉱物形成と岩石力学を組み合わせたアプローチを採用したこと、が今回紹介した研究の特色です。私たちは、この研究の成果は南海トラフで次の巨大地震が起こるまでのモニタリング指標に水圧変化を加えることで地震発生予測の精度が上がる可能性を示すものと考えています。なお、この研究成果をもとにしたインタビュー記事が講談社 Bluebacks「ブルーバックス探検隊が行く」に掲載されました (<https://gendai.ismedia.jp/articles/-/75870>)。

文 献

Gudmundsson, A. (1999) Fluid pressure and stress drop in fault zones. *Geophysical Research Letters*, **26**, 115–118.
地震調査推進本部 (2013) 南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について. https://www.jishin.go.jp/main/chousa/13may_nankai/index.htm (閲覧日: 2021 年 11 月 30 日)

村田明広 (1998) 四万十帯のデュープレックスと低角ナック構造. *地質学論集*, **50**, 147–158.
Otsubo, M., Miyakawa, A., Kawasaki, R., Sato, K., Yamaguchi, A., Kimura, G. (2016) Variation of stress and pore fluid pressure using vein orientation along seismogenic megasplay fault - example of Nobeoka Thrust, southwestern Japan. *Island Arc*, **25**, 421–432.
Otsubo, M., Hardebeck, J., Miyakawa, A., Yamaguchi, A., Kimura, G. (2020) Localized fluid discharge by tensile cracking during the post-seismic period in subduction zones. *Scientific Reports*, **211**, 283–293.
Sibson, R. H. (1992) Implications of fault-valve behavior for rupture nucleation and recurrence. *Tectonophysics*, **18**, 1031–1042.
Sibson, R. H. (2013) Stress switching in subduction forearcs: Implications for overpressure containment and strength cycling on megathrusts. *Tectonophysics*, **600**, 142–152.

OTSUBO Makoto (2022) How does the drainage due to fractures after the large earthquakes affect the pore fluid pressure for the next earthquake occurrences?

(受付: 2021 年 11 月 30 日)

東京スカイツリーと東京の地下駅での重力計測記

杉原 光彦¹⁾

1. 緒言 —東京スカイツリーに到着するまで—

2016年12月9日に東京スカイツリーと東京都心部の地下駅などで可搬型重力計シントレクス CG5 (シリアル番号 352: 以下 CG5 重力計) を用いて重力計測を行った。CG5 重力計にはクランプ機構が無く、移動中でも記録 ON にすれば重力と傾斜 2 成分の記録が得られる。好奇心から飛行機・フェリー・新幹線での移動中に記録 ON にしてみたところ傾斜が安定していた一部分では考察可能なデータが得られた。次に意図的に台車・観覧車・エレベータ(杉原, 2011)での計測を試みて、各々興味深いデータを得た。そこで次は国内最長級の大井町駅のエスカレータでも計測したいと思っていた。東京では、ほかに東京スカイツリーと地下駅構内でも CG5 重力計で計測したいと考えていた。CG5 重力計は可搬型と言っても約 8 kg の本体重量があるので通常は自動車で測定地点間を移動する。しかし測定したいと考えている場所へは公共交通機関での移動の方が便利である。しかも場所柄、通常の作業服よりもスーツ姿の方が違和感なさそうに思えた。そこで、午後に秋葉原で開催される地圏資源環境研究部門の研究成果報告会に出席するためにスーツ姿での日帰り出張を予定していたこの日を計測日に選んだ。さらに、午後は報告会に参加する必要が

あるのと、エスカレータでの計測には早朝の人が少ない時間帯が好ましいと考えて、始発電車で東京に向かい、まずは大井町駅のエスカレータ、そして開館一番に東京スカイツリー、余った時間で数か所の地下駅巡り、と大雑把な予定を立てた。

当日は山菜採り用の大きいリュックに CG5 重力計を押し込んで背負い、スーツ姿で TX (つくばエクスプレス) の始発電車に乗った。JR 秋葉原駅構内のエスカレータが途中で平らになる特殊な構造だったのを見て、「ここでエスカレータ計測の予行演習を」と思いつき、重力計をリュックから取り出してエスカレータでの計測を試みた。エスカレータに乗ってから重力計を静置して水準を合わせている間に水平箇所にはさしかかってしまったが測定手順は確認できた。大井町駅での本番計測でも重力計の水準合わせに時間を要して当初思い描いていたような長区間計測は必ずしも達成できなかった。しかし秋葉原の予行演習で難点を知ったおかげで徒に長居することなく 1 往復半の計測で見切りをつけて次の観測地点、東京スカイツリーに向かった。

東京スカイツリー到着後、逸る気持ちを抑えて、まず館外の歩道の標石上で計測してから受付に向かった。意外にも行列は無く、エレベータの乗客は僅かだった。エレベータ内での計測も行えそうだったが、ここで怪しまれては元



写真 1 東京スカイツリー天望フロア 350 での CG5 重力計による計測風景。

1) 産総研 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門

キーワード：東京スカイツリー、地下駅、重力計測、CG5 重力計、超伝導重力計、重力モニタリング、住吉駅

も子もない、と自制した。天望フロア 350 に到着してから近くにいた職員と思しき人に計測希望を伝えると、どこかに連絡したあとで「人の流れの邪魔にならない場所であれば」と承諾してくれた。スーツ姿が効果的だったかもしれない。写真映りも考慮して外が見渡せる窓際に CG5 重力計をセットして計測を始めた(写真 1)。CG5 重力計の背景に隅田川が見えた。かつて在原業平が通り、謡曲「隅田川」所縁の地でもある渡し場跡はわかったが、その奥に見えるはずの筑波山は靄っていた。西方に目を向けると三ノ輪・浅草界限、そして午後に参加予定の報告会会場がある秋葉原も見えた。東京スカイツリーのマスコット人形ソラカラちゃんとの記念撮影会を予告する館内放送が聞こえて少し惹かれたが、この後の地下駅での計測時間確保を優先して撮影会の待行列には並ばなかった。

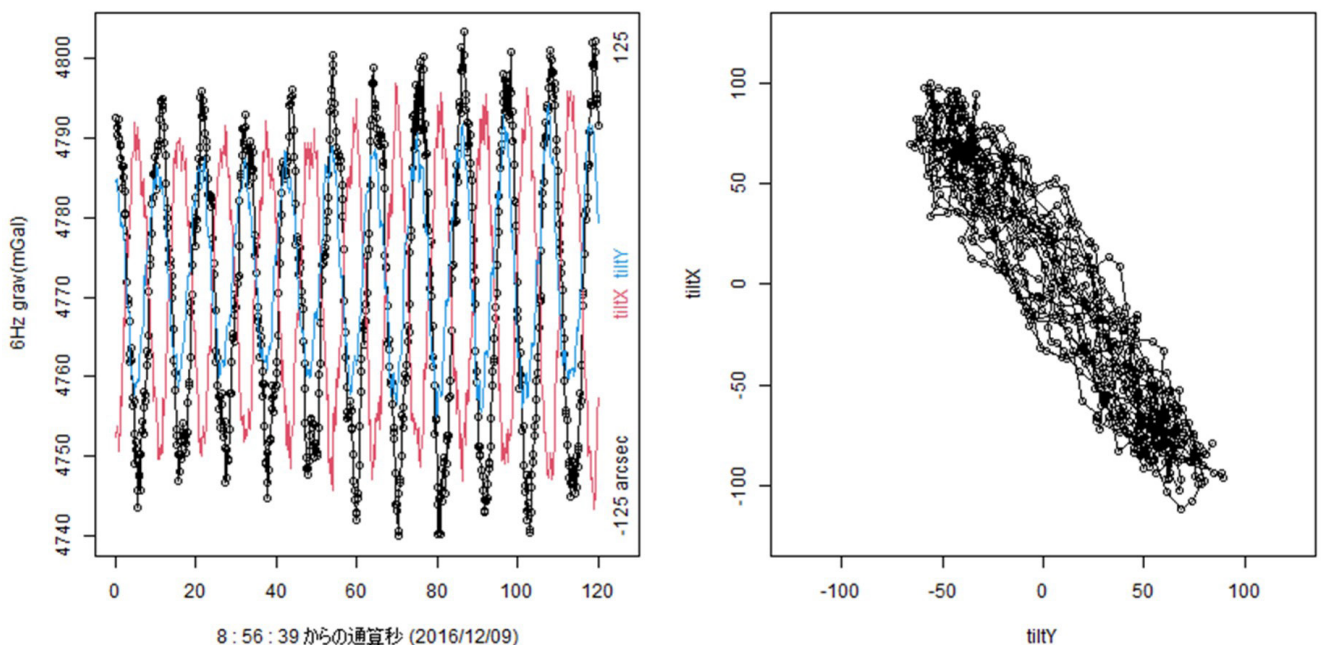
2. スカイツリーでの計測結果 —固有振動は見えた—

大きいリュックを背負ったスーツ姿で講演会場に現れた私を見て訝しんだ同僚に経緯を説明した。東京スカイツリーで重力計測した目的を聞かれて「そこに東京スカイツリーがあるからさ」と答えた。その時点では未だデータを確認していなかったが念願の計測を済ませた高揚感が残っていた。翌日、ダウンロードしたデータを見ると興味深い

特徴を確認できた。

CG5 重力計の標準的な使用方法では予め設定した秒数の重力平均値が記録される。測定回数を設定すると自動的に計測を繰り返す。重力値の他に傾斜 2 成分と内部温度も記録される。この点は前身の CG3/CG3M 重力計も同じだったが CG5 重力計には Raw データ記録機能がある。この機能を ON にすると 6 Hz サンプリングの重力値、傾斜 2 成分と内部温度も記録される。ただし記録長に応じて欠測も生じる。欠測時間はデータ長に依存する。東京スカイツリーと地下駅での計測では記録長を 120 秒としたが、この場合の欠測時間は 20 秒だった。以下で示すのは、この 6 Hz サンプリングデータである。

天望フロア 350 での CG5 重力計の記録を見ると重力成分も傾斜 2 成分も周期 10 秒程度の振動成分が目立つ(第 1 図左)。傾斜 2 成分について軌跡を追うと縦軸(Tilt-X 方向)から反時計回りに約 30 度方向に軸をもつ振動であることがわかる(第 1 図右)。計測時の写真(写真 1)と位置図(第 2 図)を比較してわかるように CG5 重力計はほぼ北向きに置かれていたので CG5 重力計の X 軸は概ね北向きに一致する。従って傾斜 2 成分の軌跡図が意味するのは NNW-SSE 方向の揺れである。最寄りのアメダス観測地点「江戸川臨海」の記録によれば、天望フロア 350 での計測時間帯は南東～南方向からの数 m/s の風が吹いていた。この風に



第 1 図 東京スカイツリー天望フロア 350 で計測した重力データ。6 Hz サンプル記録。左図：黒が重力値(スケールは左縦軸に表示)、赤と青は傾斜 2 成分(スケールは右縦軸に表示)。右図：傾斜 2 成分のパーティクルモーション図。縦軸は重力計の X 方向(写真 1 右で重力計に向かって手前から奥への方向)。



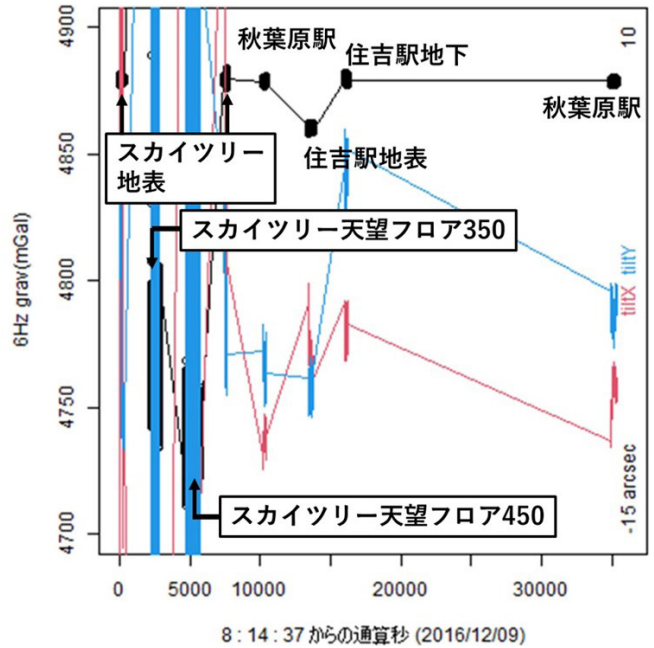
第2図 重力計測点(東京スカイツリー, 秋葉原駅, 住吉駅)および周辺の位置図。地理院地図から編集した。

励起された東京スカイツリーの固有振動が見えていると考えれば辻褄が合う。

もう一つ確認できたことがある。東京スカイツリー館内での計測の前と後に東京スカイツリー館外近傍の歩道の標石上で計測していた(第3図)。そこでの計測値を基準にすると天望フロア350での平均重力値は109.5 mGal, 天望フロア450での平均重力値は139.5 mGalと、地表での値よりも小さい値が得られた。各々の高度差350 m, 450 mで割ると重力鉛直勾配値は各々-0.313 mGal/m, -0.310 mGal/mとなる。標高差の数値が概数値であることを考慮すれば、いずれも標準的なフリーエア重力勾配値に一致していると評価できる。各々のフロアでは振動の影響が大きかったものの重力計測値の平均値が各々のフロアでの平均重力値として意味のある値が得られたと言えるだろう。

3. 地下駅での計測結果 —重力記録は意外にフツーだったけど謎も残った—

東京メトロの国会議事堂前駅と新御茶ノ水駅は大学生の時に通学に使っていたが、どちらも地下深部のプラットフォームに向かう長いエスカレータが印象的だった。「東京、深い、地下駅」で検索するとランキングが出てくる(日本経済新聞, 2016)。深い地下駅といっても地表からの相対深度が深い駅と海拔深度が深い駅とは異なる。地表からの相



第3図 東京スカイツリー地上部での最初の計測を行った2016年12月9日8時14分37秒から10時間の重力計測記録。6 Hz サンプル記録。黒が重力値(スケールは左縦軸に表示), 赤と青は傾斜2成分(スケールは右縦軸に表示)。

対深度最深駅は42.3 mの(都営)大江戸線の六本木駅(港区)で、次いで37.9 mの(東京メトロ)千代田線の国会議事堂駅(千代田区), 33.6 mのTX秋葉原駅(千代田区)と続く。一方、海拔深度最深は33 mの住吉駅(江東区)で、

ここは地上口付近が海拔 0 m なので相対深度も 33 m である。そこで地下駅の計測場所に TX 秋葉原駅と住吉駅を選んだ。深度に加えて秋葉原と東京スカイツリーからのアクセスの良さが決め手だった。東京スカイツリーでの計測後に一旦、TX 秋葉原駅に寄り、地下駅計測シリーズの手始めとしてプラットフォームで計測を行ってから住吉駅に向かった。住吉駅の地上出口と地下駅の半蔵門線プラットフォームでの計測を終えたところで 12 時 43 分。そこで地下駅計測シリーズを中断して都営新宿線で岩本町駅に行き、徒歩で会場に向かい、13 時 30 分の報告会開始に間に合った。

深い地下駅で重力計測しようと思ったのはアクセスが良く、ノイズレベルが小さい環境を求めたからだ。実際に取得した記録を比較すると、TX 秋葉原駅地下プラットフォーム、住吉駅地下プラットフォーム、住吉駅地上出口付近、いずれの記録も見かけは良く似ていた(第 4 図)。ノイズレベルの差が目立たなかったのは意外だったが、地下プラットフォームでは自然のノイズレベルが低いとしても電車と乗客の出入りによる人工的ノイズがあり、一方で住吉駅地上出口が面していた道路の当日の交通量は予想よりも少なかった。

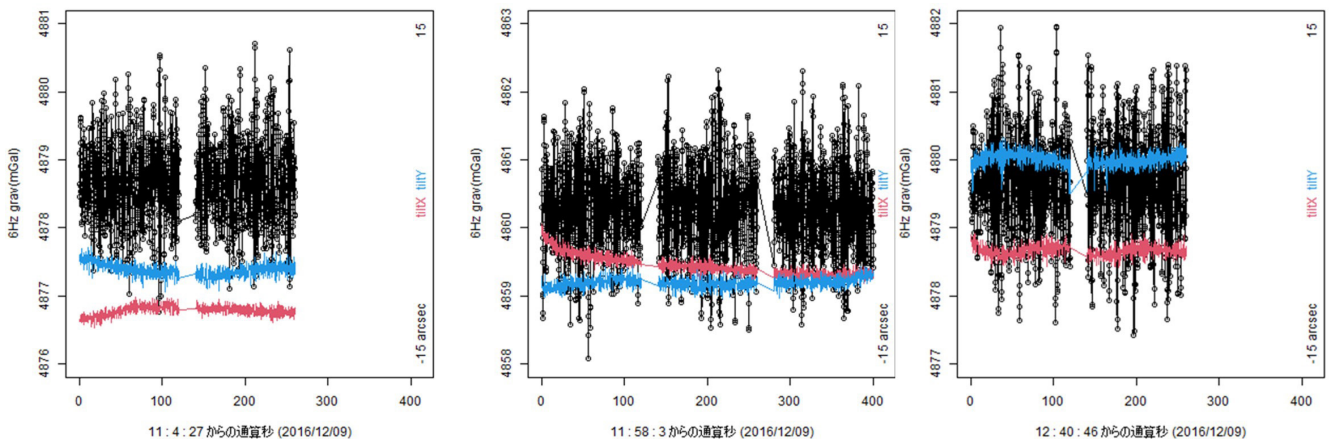
次に 3 か所での平均重力値を比べてみる(第 3 図)。まずは地表からの相対深度がほぼ等しい秋葉原駅プラットフォームと住吉駅プラットフォームでは重力値の差が約 1 mGal であった。2 つの地点で重力差がほぼ無いのは水平重力差と鉛直重力差がほぼ相殺した結果と考えられる。一方、住吉駅の地上出口と地下プラットフォームでは約 19.4 mGal の重力差があった。この値は両地点の相対深度差が 33 m であることから推定される鉛直重力差の効果よりかなり大きい。見かけの重力鉛直勾配値は、地下物質の密度を考慮し

ないフリーエア勾配(約 0.31 mGal/m)よりも大きい絶対値になってしまう。地下駅の構造は複雑なので、地上口と地下駅プラットフォームの計測地点の 3 次元の位置関係を正確には把握できていないが水平重力差の影響にしては大きすぎる。この値の解釈は悩ましい。CG5 重力計の各信号成分の挙動に不自然さは認め難い(第 4 図)が、計測時刻を眺めていると疑問が湧いてきた。①なぜ住吉駅では地上出口の計測後に地下駅プラットフォームで計測したのか?②住吉駅では地上口での計測後、プラットフォームでの計測開始までに 38 分も要したのはなぜか?

疑問①については、秋葉原からの移動は地下鉄日比谷線、地下鉄半蔵門線と乗り継いだので、住吉駅到着後は改札口を出ずに一階下の最深地点があるプラットフォームに移動して計測するのが自然な動線のはず。住吉駅では当初、地上出口と最深地点の往復測定を予定していたが、講演会開始時刻の 13 時 30 分までに秋葉原に戻ることを意識して、計測手順に迷ったけれどもそれが影響したのだろうか。疑問②については正直なところよくわからない。結局、謎は残った。

4. 結語 一都会の地下での重力定点観測構想一

部門研究成果報告会を終えて TX 秋葉原駅の改札を抜けて駅構内に入った。地下駅プラットフォームで約 7 時間ぶりの再測を行ってこの日の重力計測は完了した。TX に乗車して、まだ確認していないデータに思いを馳せた。東京スカイツリーの固有振動は見えただろうか、地下駅でのデータのノイズレベルはどの程度だったのだろうかと思っているうちに TX 浅草駅を過ぎた。間もなく三ノ輪の「三層の家」



第 4 図 左図: TX 秋葉原地下駅ホームでの CG5 重力計の 6 Hz サンプル記録。黒が重力値(スケールは左縦軸に表示), 赤と青は傾斜 2 成分(スケールは右縦軸に表示)。中図: 住吉駅地上出口での CG5 重力計の 6 Hz サンプル記録。成分対応は左図と同じ。右図: 住吉駅地下駅ホームでの CG5 重力計の 6 Hz サンプル記録。成分対応は左図と同じ。

の真下を通過することに気づいた。三層の家の内部を実見したことはないが紹介記事(藤森・普後, 2016)を読んで建築の概要は知っていた。敷地内から出土した被災遺品を展示し「コンクリートの壁の内側にひそかに大地をムキ出し、井戸のようにして地と天のあいだに空間の垂直軸を通して」建物、その直下を通過することは、地下駅構内と東京スカイツリーでの重力計測を終えた帰路に相応しいと思った。東京スカイツリーはこの日の計測で一段落だとしても地下駅構内の方は今後も展開する可能性があると考えた。出張先からの帰路、飛行機等での移動中の楽しみは出張を回想しつつ今後の計測計画を夢想すること(杉原, 2000)だが、この日、帰路のTX車内で考えたのは都会の地下での重力定点観測構想だった。数か所だけ異なる2枚の図を見比べて違いを探すゲームがしばしばTV 娯楽番組に登場する。重力定点観測は、このゲームに似ている。漠然と眺めていては気づきにくいのが系統的に見比べると微小な違いを発見できる。時間の経過とともに変化する重力成分を精度よく抽出して、重力変化を引き起こす原因となった質量分布変化等を探るのが定点観測による重力モニタリングの手法だ。何をターゲットにするかが問題だが、例えば地下水分布の把握である。一昔前は地下水の過剰汲み上げによる地盤沈下が各所で問題となっていたが、最近は逆に地下駅での浮力対策が検討課題になっているらしい。この日に行ったような可搬型重力計による計測を後日再び行って重力変化を評価する方法もあるが、より有効なのは定点での重力連続計測だろう。桁違いに高感度でドリフトが小さい超伝導重力計を使用すれば実現可能と思われる。我々は2012年以降、CO₂ 地中貯留テストサイトで超伝導重力計によるモニタリング技術開発を試行していた(相馬ほか, 2014; 杉原ほか, 2014)。その成果はこの日の部門研究成果報告会でも紹介された、まさにその手法だ。都会の地下に限らずトンネル周囲の地下水挙動把握にも役立つかもしれない、それは以前、神岡観測坑内で見たオーソドックスな超伝導重力計による観測(杉原, 2016)に近い状況でないかなどと考えていた。

東京スカイツリーと地下駅での計測から5年経過した今でも、この構想は有望だと思う。超伝導重力計は高感度な精密観測用機器なので、通常は極めて静かな観測所などに設置されているが、我々はある程度のノイズレベルがある環境下でも適用可能な重力モニタリング技術を開発してきた。最近、CO₂ 地中貯留研究グループの後藤宏樹らが超伝導重力計を用いたモニタリングを精力的に行っている(Goto *et al.* 2019, 2020, 2021)ことで、構想は確信に変わったとさえ言えるかもしれない。最近5年間で変わった

ことは他にもある。CO₂ 地中貯留研究グループにCG5 重力計の後継機CG6 重力計が入った。こちらは10 Hz サンプリング重力データを欠測なく記録できる。サイズがCG5 重力計の半分程度になったので山菜採り用ではない普通のリュックでも運べる。地下での重力定点観測構想にとって、より重要そうな進展としては量子型重力計の登場(杉原, 2021)がある。約10年間、超伝導重力計の高分解能データを見てきた私の超伝導重力計への信頼は揺るがないが、量子型絶対重力計には取扱いが手軽そうなこと、絶対重力計であることという別の利点がある。計測器として選択肢になりうるかも知れない。

重力計測しているとノーベル賞級の研究現場に近づけることがある(杉原, 2016)。東京スカイツリーでも最近、光格子時計による計測結果が報告された(Takamoto *et al.*, 2020)。東京スカイツリーの方は一段落と書いたが、光格子時計の研究はこれからいよいよ佳境に向かうのだろう。

文 献

- 藤森照信・普後 均 (2016) 現代住宅併走 34 霊が通る家 三層の家. TOTO 通信 2016 年夏号, https://jp.toto.com/tsushin/2016_summer/modernhouse.htm (閲覧日: 2021 年 11 月 30 日)
- Goto, H., Sugihara, M., Ikeda, H., Nishi, Y., Ishido, T. and Sorai, M. (2019) Continuous gravity observation with a superconducting gravimeter at the Tomakomai CCS demonstration site, Japan: applicability to ground-based monitoring of offshore CO₂ geological storage. *Greenhouse Gases: Science and Technology*, **9**, 934–947.
- Goto, H., Ikeda, H., Sugihara, M. and Ishido, T. (2020) Laboratory test of a superconducting gravimeter without a cryogenic refrigerator: implications for noise surveys in geothermal fields. *Exploration Geophysics*, **51**, 494–505.
- Goto, H., Sugihara, M., Nishi, Y. and Ikeda, H. (2021) Simultaneous gravity measurements using two superconducting gravimeters to observe temporal gravity changes below the nm s⁻² level: ocean tide loading differences at different distances from the coast. *Geophysical Journal International*, **227**, 1591–1601, doi:10.1093/gji/ggab300
- 日本経済新聞 (2016) B8 には何が…知られざる地下の背比べ、トラベルセレクション, 日本経済新聞朝刊

- 2016年1月14日付 <https://style.nikkei.com/article/DGXMZO96054960T10C16A1TBQ000/>(閲覧日: 2021年11月30日)
- 相馬宣和・杉原光彦・石戸経士・名和一成・西 祐司 (2014) CO₂ 地中貯留のための多面的モニタリング技術の検討. GSJ 地質ニュース, **3**, 137-142.
- 杉原光彦 (2000) 2000年 GRC 年次大会参加記. 地熱, **37**, 331-336.
- 杉原光彦 (2011) 孔内重力計測の疑似体験. 地質ニュース, no. 679, 32-39.
- 杉原光彦 (2016) 絶対重力計測の現場から —神岡編—. GSJ 地質ニュース, **5**, 9-20.
- 杉原光彦 (2021) 絶対重力計測の現場から, 石岡編. GSJ 地質ニュース, **10**, 198-204.
- 杉原光彦・名和一成・相馬宣和・石戸経士・西 祐司 (2014) テキサス州ファーンズワース CO₂ 地中貯留調査サイトでの超伝導重力計の導入. GSJ 地質ニュース, **3**, 129-132.
- Takamoto, M., Ushijima, I., Ohmae, N., Yahagi, T., Kokado, K., Shinkai, H. and Katori, H. (2020) Test of general relativity by a pair of transportable optical lattice clocks. *Nature Photonics*, **14**, 411-415. doi:10.1038/s41566-020-0619-8
-
- SUGIHARA Mituhiko (2022) A field report of gravity measurements in TOKYO SKYTREE and at underground stations, Tokyo.
-
- (受付: 2021年12月1日)

地殻内応力マップ on 地質図 Navi

内藤 一樹¹⁾・中井 未里²⁾・今西 和俊²⁾

1. はじめに

日常生活を送る上で意識することはほとんど無いと思いますが、私たちの足下は四方八方から力がかかり圧縮された世界です。通勤ラッシュの満員電車の中でぎゅうぎゅう押されているような状態を想像してみてください。このような地下の岩盤にかかる力のことを地殻内応力と呼びます。地殻内応力は地質学や地震学のみならず、土木・地盤工学、資源・エネルギー分野等においても非常に重要です(山路, 2000; Zang and Stephansson, 2010; Zoback, 2007)。例えば地震学分野においては、応力は地震の駆動力そのものであり、将来発生する地震の最大規模や発生様式の評価、さらには切迫性を数値シミュレーションにより予測するための基礎情報として使われています(例え

ば, Ando *et al.*, 2017; Ohtani and Imanishi, 2019)。しかし現状では情報が不十分な地域も多く、その整備が急務の課題となっています。このような背景から、産業技術総合研究所地質調査総合センター(以下, GSJ)では、主に微小地震の分析から日本列島全域における高分解能な地殻内応力マップ(以下応力マップ)の作成に取り組んでおり(今西, 2014)、得られた結果は地殻応力場データベース(中井, 2007) (<https://gbank.gsj.jp/crstress/>)で公開してきました(第1図)。

この情報を専門家のみならず一般の方にも見ていただき、さらに地質図など各種の地質情報と組み合わせることでいろいろな面からの検討も行いやすくすることを考え、地質図 Navi(内藤, 2014) (<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>)に応力マップのデータを追加し、7月16日に公開しまし



第1図 地殻応力場データベース：直線は10 km メッシュ内の水平最大主応力 (SHmax) の向きを表し、色は応力場を示す。
<https://gbank.gsj.jp/crstress/> より

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 活断層・火山研究部門

キーワード：地殻内応力, 地質図 Navi

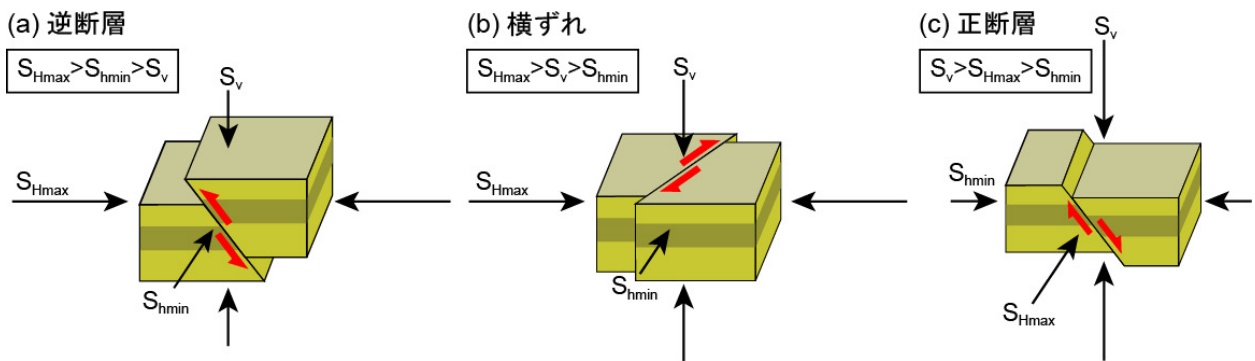
た。地質図NaviはGSJがこれまで整備してきた数多くの地質図を表示するとともに、活断層や第四紀火山、地球化学図などの地質情報を地質図と合わせて表示することが可能なオンラインビューアです。PCのみならずスマートフォンでも軽快に操作することができ、当初は専門家の利用を想定していましたが、一般の方にも広く利用されるようになりました。本稿では応力マップの見方も含めて紹介します。

2. 地殻内応力マップ on 地質図 Navi

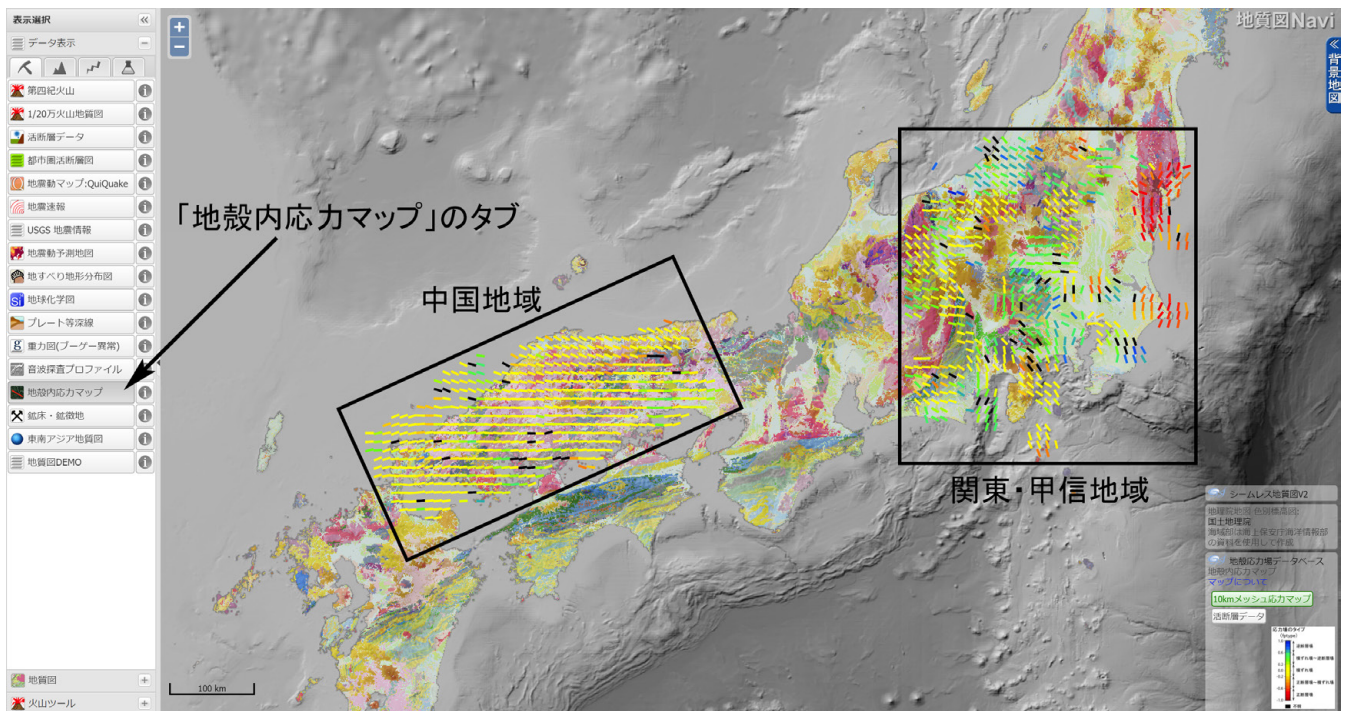
地殻応力は近似的に水平 2 成分、鉛直 1 成分の 3 成分で表現され、これらを主応力といいます。基本的な応力場の 3 つのタイプ (逆断層、横ずれ、正断層) は、主応力の 3 成

分の大小関係に因ります(第 2 図)。全ての情報を平面上に表示するのは難しいため、通常は水平面に作用する 2 つの主応力のうち、絶対値の大きい方の方位(第 2 図の S_{Hmax}) と応力場のタイプの 2 つの情報を表示することが多いです。地殻応力場データベースでは、この表示方法で応力方位が示されています(第 1 図)。同データベースでは、この他にもいろいろな地殻応力に関する情報が公開されていますので、地殻応力について詳細に知りたい方は、是非ご利用になってください。

この度、地質図 Navi のメイン画面メニューバーの「データ表示」「地質」のタブに、「地殻内応力マップ」が新たに加わりました。このタブをクリックしていただくと、第 3 図のように応力マップが表示されます。現在、関東・甲信地



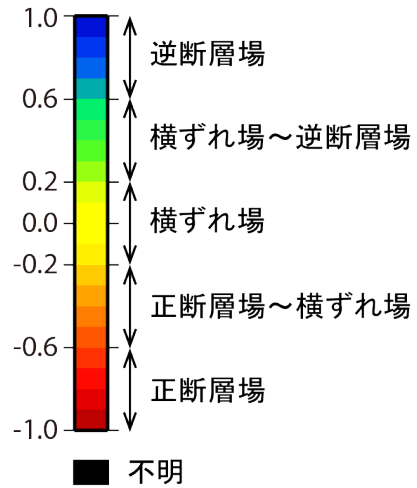
第 2 図 逆断層場、横ずれ場、正断層場と主応力の大小関係。 S_v は鉛直方向の主応力、 S_{Hmax} と S_{hmin} は水平方向の主応力を示す。ここで水平方向の主応力のうち、値が大きい方 (S_{Hmax}) を最大水平圧縮応力と呼ぶ。



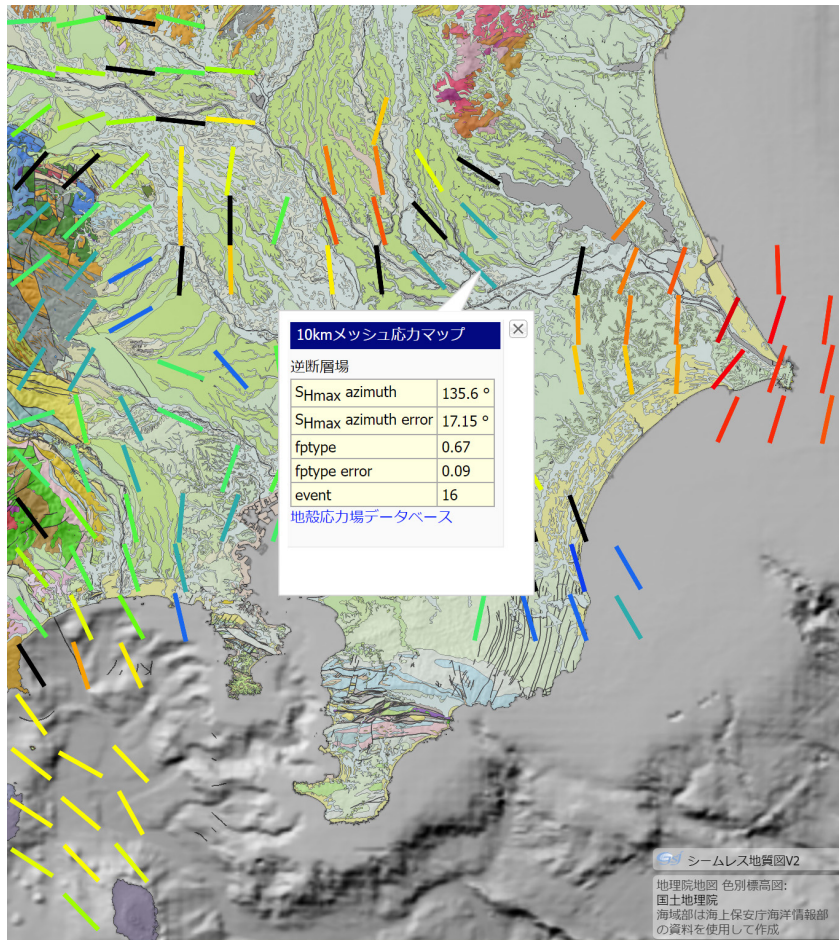
第 3 図 地質図 Navi 上での応力マップの表示例。日本列島の背景は 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html> 2021 年 7 月 29 日参照)。

域(今西ほか, 2019)と中国地域(今西ほか, 2021)の2地域の10 km メッシュの応力マップをご覧いただけます。ここで示しているのは、概ね深さ20 km までの平均的な応力と考えてください。色の付いた直線マーカーは、メッシュ毎の応力情報を示します。直線マーカーの向きは S_{Hmax} 方位を示しており、色は応力場のタイプを示しています。空白のメッシュは、データが不足して応力情報が得られなかった領域です。第4図に応力場のタイプの凡例を示します。逆断層は青色、横ずれは黄色、正断層は赤色です。実際には逆断層と横ずれが共存する場、横ずれと正断層が共存する場もあるため、それらを表現できるようにグラデーション表示にしています。定量的には、応力測定から $fptype$ (Shearer *et al.*, 2006) という -1 から 1 の間の値を取る数値を計算しています。応力マップでの応力情報の表示では、この数値を用い、 $fptype$ が -1.0 ~ -0.6 の時に正断層場、-0.6 ~ -0.2 の時に正断層と横ずれが共存する応力場、-0.2 ~ 0.2 の時に横ずれ場、0.2 ~ 0.6 の時に横ずれと逆断層が共存する応力場、そして 0.6 ~ 1.0 の時に逆断層場と応力場のタイプを表示します。第5図は

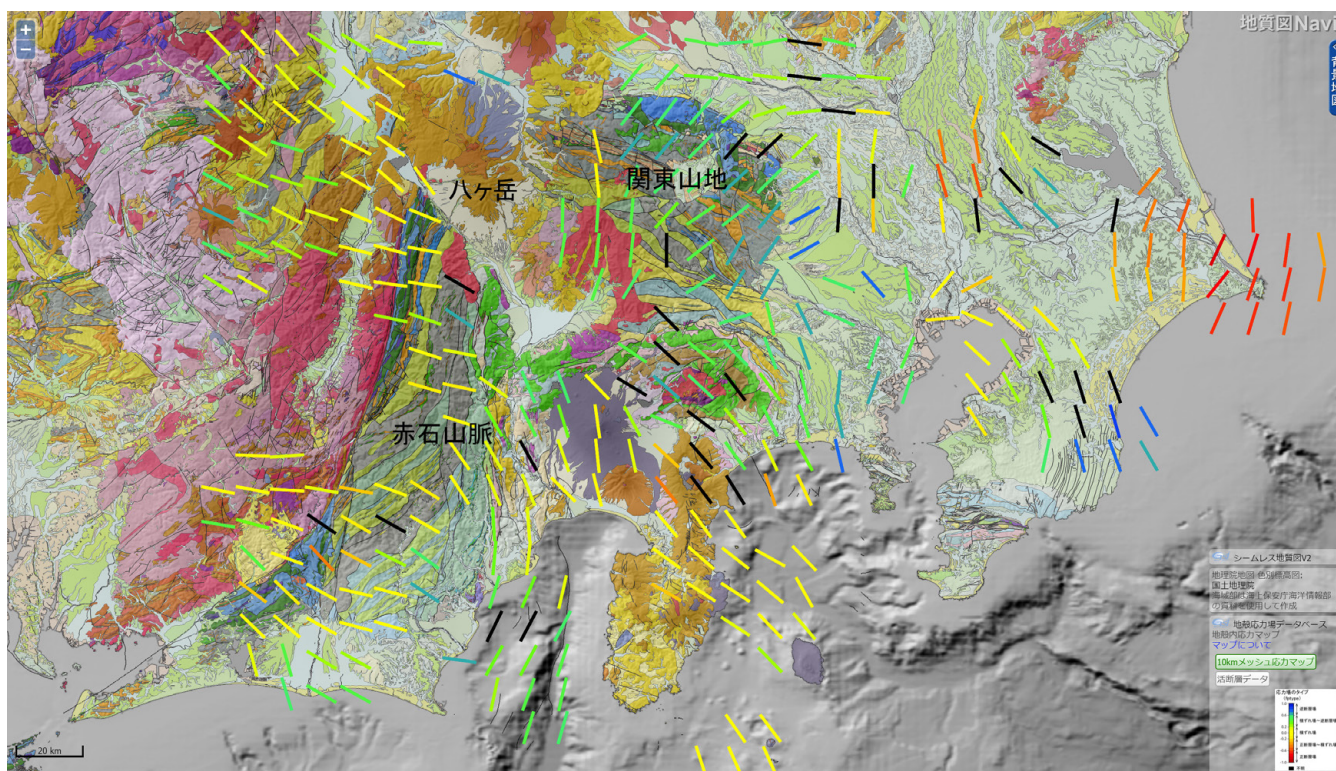
応力場のタイプ ($fptype$)



第4図 応力場のタイプの凡例。応力場のタイプが決められなかった場合、黒色で表示。



第5図 マーカーのクリックで表示される応力場の表示例。日本列島の背景は20万分の1日本シームレス地質図V2 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html> 2021年7月29日参照)。



第6図 地質構造と応力マップ。日本列島の背景は20万分の1日本シームレス地質図V2 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/v2.html> 2021年7月29日参照)。

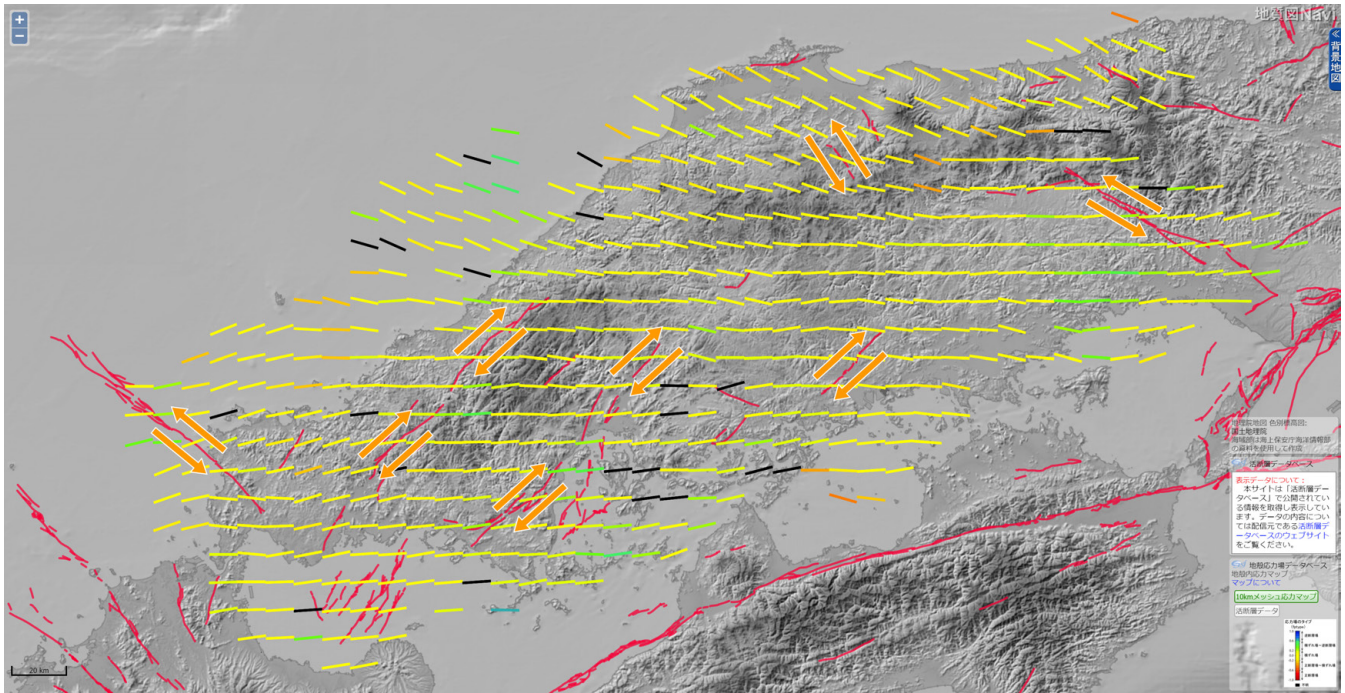
第3図の一部分を拡大したのですが、ここに表示されている任意の直線マーカーをクリックしていただくと、吹き出しに応力場の詳細が表示されます。表の上に応力場のタイプが書かれており、この事例では逆断層場であるとわかります。表は上から順番に、 S_{Hmax} の方位角、 S_{Hmax} の方位角の誤差、 f_{type} 、 f_{type} の誤差、応力場を求めた際のデータ数(地震の個数)の情報が書かれています。以下では地質図 Navi と応力マップから読み取れる特徴の一部を紹介します。

まず第3図を再度ご覧ください。概観すると、中国地域は東西方向の S_{Hmax} を持つ横ずれ場が卓越していることがわかります。一方、関東・甲信地域は様々な S_{Hmax} 方位を持ち、応力場のタイプも横ずれから逆断層、さらには正断層まで存在し、非常に複雑な様相を示します。これは東側から太平洋プレートが、南側からフィリピン海プレートが沈み込むとともに、伊豆-小笠原弧が陸に衝突するという世界的に見ても非常に複雑なテクトニクス場に位置していることが一因です。

次に地質構造との関係を見てみましょう。第6図に甲信地域を拡大して示します。この地域には先新第三系(約2500万年以前に形成された地層)が広く分布しており、地

質構造は八ヶ岳付近を頂点に北に凸の八の字に屈曲し、赤石山脈付近では北東-南西に、関東山地では東南東-西北西方向に配列しています。このような地質構造は新第三紀以降の伊豆-小笠原弧の衝突によるものと考えられていますが、応力方位と重ねてみるにより、長い年月をかけて形成された地質構造のダイナミックな動きが見えてきます。

第7図は中国地域の応力マップと活断層データベース (<https://gbank.gsj.jp/activefault/>) の活断層線を重ねたものです。中国地域の活断層は、ほとんどが横ずれを主体とする鉛直の断層です(地震調査研究推進本部 地震調査委員会, 2016)。活断層周辺の S_{Hmax} の方位と断層の走向との幾何学的な関係から、北北西-南南東もしくは北西-南東に延びる活断層は左横ずれとして、東西もしくは北東-南西に延びる活断層は右横ずれとして動くことが直感的にわかれると思います。実際にこの運動方向は、活断層調査から明らかになっている運動センスと調和的です。このように応力情報の利用が容易になることで、専門家でなくてもどのような地震が起こりえるのか理解することが可能になります。地域防災や教育現場などでの活用にも繋がることを期待しています。



第7図 中国地域の活断層分布と応力マップ。活断層(赤線)は活断層データベース(<https://gbank.gsj.jp/activefault/>; 2021年7月29日参照)による。代表的な場所のみであるが、応力マップから期待される活断層の運動センスをオレンジ色の矢印で表示している。

3. おわりに

本稿では、応力マップを地質図 Navi に載せることにより地質構造や活断層分布と重ねて、そこから読み取れる事例を紹介しました。地質図 Navi ではその他にも地形や第四紀火山の分布、地下構造を反映している重力図などと重ねることができます。その場の様々な地質情報と重ねて応力マップを見ることで、新しい発見に出会えるかもしれません。ぜひ一度、地質図 Navi で様々な地質情報とともに応力マップをご覧ください。最後に、現時点では関東・甲信地域と中国地域の応力マップしか表示できませんが、現在、最新の計算技術を導入しながら、日本列島全域の応力マップの完成に向け加速化を進めています(Uchide, 2020)。応力マップの今後の発展にもご期待ください。

文献

Ando, R., Imanishi, K., Panayotopoulos, Y. and Kobayashi, T. (2017) Dynamic rupture propagation on geometrically complex fault with along-strike variation of fault maturity: insights from the 2014 Northern Nagano earthquake. *Earth, Planets and Space*, **69**, 130.

今西和俊 (2014) 地震テクトニクス研究グループの研究紹介. GSJ 地質ニュース, **3**, 100-101.

今西和俊・内出崇彦・大谷真紀子・松下レイケン・中井未里 (2019) 関東地域の地殻内応力マップの作成. 地質調査研究報告, **70**, 273-298.

今西和俊・内出崇彦・椎名高裕・松下レイケン・中井未里 (2021) 中国地域の地殻内応力マップの作成. 地質調査研究報告, **72**, 23-40.

地震調査研究推進本部 地震調査委員会 (2016) 中国地域の活断層の長期評価(第一版). https://www.jishin.go.jp/main/chousa/16jul_chi_chugoku/chu_honbun.pdf. (閲覧日: 2021年7月21日)

内藤一樹 (2014) 地質図 Navi. GSJ 地質ニュース, **3**, 83-86.

中井未里 (2007) 地殻応力場データベース 検索機能と地図描画機能を充実させたデータベース. 産総研 TODAY, **7**, 28.

Ohtani, M. and Imanishi, K. (2019) Seismic potential around the 2018 Hokkaido Eastern Iwate earthquake assessed considering the viscoelastic relaxation. *Earth, Planets and Space*, **71**, 57.

Shearer, P. M., Prieto, G. A. and Hauksson, E. (2006) Comprehensive analysis of earthquake source spectra in southern California. *Journal of Geophysical Research*, **111**, B06303.

Uchide, T. (2020) Focal mechanisms of small earthquakes

beneath the Japanese islands based on first-motion polarities picked using deep learning. *Geophysical Journal International*, **223**, 1658–1671.

山路 敦 (2000) 理論テクトニクス入門 構造地質学からのアプローチ. 朝倉書店, 東京, 287p.

Zang, A. and Stephansson, O. (2010) *Stress field of the Earth's crust*. Springer, Netherlands, 322p.

Zoback, M. D. (2007) *Reservoir Geomechanics*. Cambridge University Press, Cambridge, 449p.

NAITO Kazuki, NAKAI Misato and IMANISHI Kazutoshi (2022) Crustal stress map on GeomapNavi.

(受付：2021 年 8 月 2 日)

2021 年度第 2 回地質調査研修実施報告

利光 誠一・遠山 知亜紀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 (<https://www.gsj.jp/geobank/index.html>, 閲覧日：2021 年 11 月 11 日) によるジオ・スクール事業の一環として、実施しています(鹿野・村岡, 2018; 内倉ほか, 2019; 利光ほか, 2021a, b, c). 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 25 日～10 月 29 日の 4 泊 5 日の日程で、島根県出雲市長尾鼻周辺(小伊津海岸)に於いて 2021 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、遠山がこれを補佐しました。

今回は、前年から続くコロナ禍の中でも感染拡大の最も広がった時期に研修の企画立案をすることになったため、GSJ ホームページへの募集の掲載が 8 月 18 日と遅くなりました。さらに、その後の社会情勢を見ながら、実際に関係の学協会へのお知らせをしたのが 9 月中旬後半となってしまったこともあり、応募者が定員の 6 名には達しませんでした。10 月上旬までに申し込みのあった 4 名が参加して研修を実施しました。例年の第 2 回の募集は、これまでに大学や会社などで 1 度は地質図を作成したことのある経験者向けの募集ですが、今回の応募者の中には地質図作成の経験のない方も含まれていました。参加されたのは、地質・資源関連企業の現場で技師をされている方、大学院生、火山研究をされている個人などでした。

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。この研修では、初日の昼過ぎに宿泊予定のホテル・ロビーに集合して、すぐに野外に出かけます。研修期間中は連日、昼間に野外での地質調査を行い、夜間に 3 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す。

2. 研修の概要

以下に、5 日間にわたって行われた研修の概要について記します。

10 月 25 日：[野外] 小伊津海岸において実習地の概要説明(第 1, 2 図)と地層観察の後、地層の走向傾斜の測定実習(第 3 図)。/[室内] 地質調査の概要の講義。粒度表作成実習と岩石標本の観察実習。

10 月 26 日：[野外] 貫入岩と砂岩層の接触部の観察と分布調査(第 4, 5, 6 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。クリノメーターを用いて離れたところにある物の高さ(崖の高さなどを想定)を測定する実習。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粒度観察、砂岩層下底面に見られるグループキャストの観察と古流向の測定(第 7 図)。/[室内] 地質調査における観察ポイントと記載方法と地質図の見方に関する講義。調査データの整理。岩石標本の観察実習。



第 1 図 まずは、クリノメーターの磁針の確認
研修初日。出雲市三津漁港で、クリノメーターの示す方位を確認。磁針が N(磁北)を示す目標物を設定し、全員で同じ立ち位置からこの目標物への方位を測って、各自のクリノメーターの磁針がほぼ 0 度を示すかを確認した。前年の研修で、方位表示が大きく異なるクリノメーターを持参した受講生がいたことから、今回の調査を始める前に全員のクリノメーターの比較・調整をした。地図(航空写真)と照合しながら、地磁気偏角についても説明した。

1) 産総研 地質調査総合センター 研究戦略部

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



第 2 図 調査地の概要説明

研修初日の調査開始時に、研修期間中に調査対象となる地層・岩石などの概要について資料を見ながら説明。この後、道路沿いにある露頭を実際に見ていきながら堆積岩と貫入火成岩の概要を説明した。出雲市三津漁港。



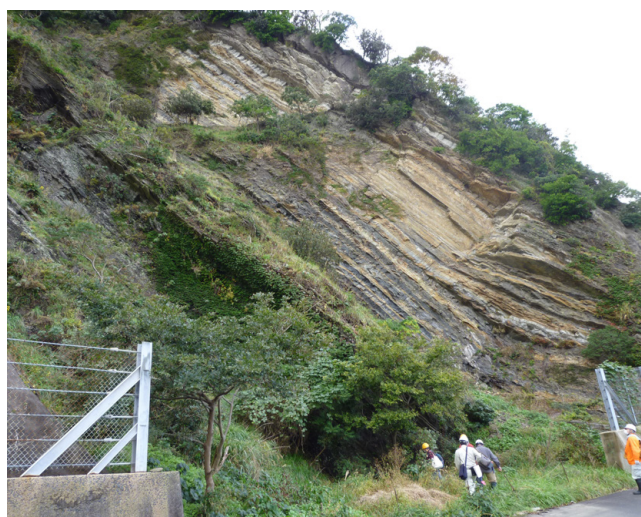
第 3 図 地層の走向傾斜の測定実習

研修初日。実際の地層で走向傾斜を測る練習を実施した。クリノメーターを使い慣れていない受講生もいたため、中新世の牛切層の砂岩泥岩互層の中で、実際にどのようなところを測れば良いかなどを説明した。出雲市三津漁港の東方。



第 4 図 牛切層に貫入した火成岩(斑れい岩)の観察

研修 2 日目。三津漁港東岸で中新世の牛切層に貫入する斑れい岩の岩床(シル)を観察し、周囲の砂岩層との境界部分も観察した。



第 5 図 三津漁港の西岸に露出する地層の観察

研修 2 日目。三津漁港の西岸道路沿いの崖に露出する牛切層の砂岩泥岩互層の観察を行った。その後、さらに道路を西方に進み、斑れい岩のシルとの境界を調査して、漁港の対岸(東岸)で見られる境界との位置関係について確認した。

10月27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 8 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から地層境界等の作図のための講義と調査データの整理、地層境界の作図実習と予測(翌日の調査計画立案；第 9 図)。

10月28日：[野外] 道路沿いで牛切層から成相寺層にかけての調査(第 10 図)。沢筋で成相寺層の泥岩・火砕岩・



第 6 図 斑れい岩シルの上盤側にある砂岩泥岩互層の観察
研修 2 日目。三津漁港の西方にある海岸で、斑れい岩シルの上盤側の砂岩泥岩互層を観察。ここでは、当時の海底地すべり堆積物（スランプ層）が見られる。砂岩泥岩互層が海岸に露出している場合の走向傾斜の測定の仕方などについても説明した。



第 8 図 斑れい岩シルの上盤側の砂岩泥岩互層の観察
研修 3 日目。出雲市小伊津の沖の島付近で、斑れい岩シルと上盤側の砂岩泥岩互層との境界を調査し、あわせて砂岩泥岩互層を観察した。写真右上に見えるのは、沖の島の斑れい岩シル。



第 7 図 砂岩層下底面に見られるグループキャストの古流向の測定
研修 2 日目。出雲市小伊津町長尾鼻の西方で、牛切層の砂岩泥岩互層の柱状図の作成実習を行った。そこで、砂岩層の下底面に見られる堆積構造（グループキャスト）の観察と、古流向の測定を行い、傾いた地層を水平に戻した時の古流向の復元方法について説明した。



第 9 図 斑れい岩シルの下底面の分布を地図上に作図
研修 3 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、この 3 日間の研修で調査した斑れい岩シル下底面および牛切層最下部砂岩層の基底面の分布状況について地質図学を用いて地図上に描いているところ。その後、三津漁港の南西方にある矢代岳付近にどのように分布が広がるかの予測図を作成して、翌日の調査計画を立案した。

砂岩の分布調査。別の沢筋で成相寺層から牛切層にかけての調査、および急峻な沢筋での地質調査に関する注意点の説明(第 11 図)。牛切層最下部の砂岩層の西方延長地点での岩相の観察と地層の上下判定(第 12 図)。／ [室内] 貫入火成岩体・火砕岩・砂岩・泥岩等の地層分布図作成に関わる講義(第 13 図)と地質図の作成(第 14 図)。

10月29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;第 15 図)。

3. 研修の進み具合と結果

研修期間中は、2 日目の昼前に 1 時間ほど雨が降りましたが、その後は概ね天候には恵まれました。また、最終日



第 10 図 泥岩露頭での走向傾斜の測定

研修 4 日目。小伊津トンネル南側出口付近の成相寺層の泥岩露頭で、凝灰岩薄層や砂質葉理などの走向傾斜を測定しているところ。各自が走向傾斜を測ることのできる場所を探し、クリノメーターで測定。その後、測定した走向傾斜の値を相互に比較し、それぞれの測定方法の正確さも含めて自己確認した。



第 12 図 出雲市美保漁港における牛切層最下部の観察

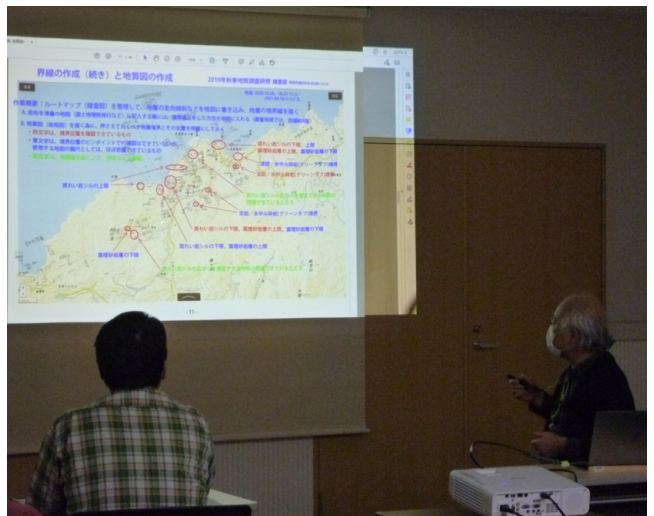
研修 4 日目。三津漁港などで細粒砂岩層であった牛切層最下部は、西方ほど粗粒になり、出雲市美保町の美保漁港(唯浦漁港)では火山岩(流紋岩・安山岩)の礫岩層となっていることを観察。ここでは、地層の上下判定の仕方を実習(ソールマーク、級化層理など)。写真右側(海側)が地層の上位方向にあたる。



(←)

第 11 図 急斜面に露出する成相寺層の砂岩層の観察

研修 4 日目。三津漁港の南西方向にある矢代岳南方の沢(三津町西谷の支流)で成相寺層の中に見られる砂岩層を観察し、走向傾斜を測定しているところ。この露頭は沢筋の脇にある急斜面を 20 m ほど登ったところに露出しており、このような地層はクリープ(重力的なたわみ)している可能性のあることを説明した。実際、ここでは砂岩層の傾斜が沢筋の地層に比べてかなり緩くなっている。



第 13 図 調査データのまとめと地質図作成の工程の説明

研修 4 日目。夜の室内座学で、研修 4 日間の調査で得たデータを整理して、地質図作成のための作業工程を説明しているところ。



第 14 図 地質図作成作業の様子

研修 4 日目。地質図作成の工程説明 (第 13 図) の後、各自で地質図作成を行った。受講者は作業の途中で講師に質問したり、講師が個々の進行状況を見ながら補助説明を交えたりした。地層の走向傾斜が調査地域の東部と西部で一様ではないため、どのように地層境界線の分布を繋いでいくかの考察が難しく、地質図を完成できた受講者はいなかった。しかし、3 日目、4 日目で観察した火砕岩を含めて地層境界線の分布を線で描いて、色鉛筆で地層ごとに着色し始めるところまで進んだ受講者もいた。進行状況に個人差があったが、未完成の地質図については帰宅後に引き続き作成して完成するよう皆さんに伝えて座学を終了した。

には、やや風があり波が高く、潮汐の時間との関係から海岸露頭の巡検で見学順序を入れ替えるなどして対処する必要が生じましたが、概ね予定通りの見学ができました。

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、クリノメーターの使い方や、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 1, 3 図)。位置情報の確認では、最近では GPS (Global Positioning System) 装置やスマートフォンなどを使って簡単に自分の位置情報を知ることができるため、研修中もそれらを利用されている方もいました。しかし、この研修ではできる限り基本的なことを押さえていただくため、“地形図を読んで”位置確認をしていただくことを推奨しました。岩相の観察については、簡単な説明をした後、自分の目で見て地層から情報を読み取っていただくようにしました。地層の走向傾斜のデータをとる際も、受講者自身で個々に測定していただきましたが、同じ露頭でも測る場所や層が受講者ごとに異なることもあり (第 10 図など)、測り方の検証も兼ねて測定後に研修者全員で“答え合わせ” (全員の測定値を聞き取りして相互に比較; 利光ほか, 2021b) をするようにしました。実際



第 15 図 出雲市猪目町の流紋岩火砕岩および溶岩の露頭観察

研修 5 日目。研修最終日には、前日までの 4 日間で調査した地層、岩石に関連した地質巡検を行い、知見を広めていただいた。この日は、出雲市猪目町猪目湾、大社町日御碕^{ひのみさき}などを訪れて、流紋岩溶岩、流紋岩火砕岩、安山岩破砕岩などの露頭を観察した。当日は潮汐に加え、風による波の影響で見学に支障をきたす場所 (海岸) があったが、見学場所の順序を入れ替えることで概ね予定した露頭の見学ができた。

の地層は完全な“平面の板”ではなく多少のうねりがありますし、クリノメーター自体の誤差もあるので、全員の測定値が全く同じになるわけではありません。他の受講者と測定値を比較することで、各自の測定データや測定方法の信頼性を確認しながら慎重にデータ取得をしていただくよう配慮しました。そのようにして、野外での研修で一通りの調査経験を積みながら、ホテルでの夜の室内作業で地質図作成に向けて取り組みました。3日目、4日目の各自で観察して得た調査データから地質図にしていく作業では、昨年の研修の反省から(利光ほか, 2021b, c), 事前に地質図作成のための工程説明書を準備し、その説明書を参考にしてお互いに助け合っていました。結果として、3日目の室内作業である貫入岩(斑れい岩シル)の下底面や牛切層の最下部の砂岩層の下底面の分布を描いて、その西方での分布を予測する作業(第9図)は研修参加者全員が予測図を作成できました。進行の速い方は成相寺層の火砕岩の地層境界線の分布などを描く作業にも着手していました。4日目は、昼間に前日の予測が合っていたかどうかを調査し、予想とは異なっていたことを現場で確認しました。夜はデータ整理をしながら(第13図)、実際の地層境界はどのように分布しているのかを描き、地質図を作成していただきました(第14図)。残念ながら、地質図を完成できた方はいませんでしたが、その前段階となる地層境界線の分布を描く作業まで進んで、地層ごとの色の塗り分けに差し掛かった受講生がいました。期間内に地質図の完成には至らなかったため、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、研修を終えました。このため、次年度の研修では、さらに地質図完成に近づけるような方策を検討していきたいと思っております。

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」という高評価を回答者全員からいただきました。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。

- ・ 宿泊ホテルと調査現場との移動時間が長いので、近いところに宿泊施設があると良い。
- ・ 昼間の調査と夜の室内座学・データ整理とで疲労も溜まって後半は集中力が落ちてきたので、1日、2日の研修日程の延長なども考えられないか。
- ・ 野外踏査よりも地質図作成の方で特に苦労したので、地質図の作成に焦点を当てた座学の研修があれば参加したい。
- ・ 事前に知らされた持ち物について、実際にはフィールドでよく使ったが示されていないもの(ルーペなど)があったので、入れておいた方が良い。

これらのご意見には実現の難しいことも含まれていますが、今後の研修を企画する上で参考にさせていただきたいと思っております。

謝辞: 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もいただき、本研修参加者の理解増進に役立てることができました。また、コロナ禍での感染拡大の中での研修の企画調整にご尽力いただいた地質調査研修事務局の皆様にもお世話になりました。この場をお借りして御礼申し上げます。

文 献

- 鹿野和彦・村岡やよい(2018) 2018年度春期地質調査研修報告. GSJ 地質ニュース, 7, 235-238.
- 利光誠一・柳沢幸夫・荒岡大輔・眞弓大介(2021a) 2020年度地質調査研修報告: 地質図作成未経験者向けプログラム. GSJ 地質ニュース, 10, 15-21.
- 利光誠一・柳沢幸夫・荒岡大輔・眞弓大介・後藤宏樹(2021b) 産総研地質調査総合センターの地質調査研修の紹介. 大分地質学会誌, no. 27, 23-34.
- 利光誠一・柳沢幸夫・後藤宏樹(2021c) 2021年度地質調査研修報告(地質図作成未経験者向け)実施報告. GSJ 地質ニュース, 10, 221-224.
- 内倉里沙・内田嗣人・小山栄造・松岡一英・松本孟紘・山崎誠子・鹿野和彦(2019) 2018年度秋期地質調査研修報告. GSJ 地質ニュース, 8, 273-276.

TOSHIMITSU Seiichi and TOYAMA Chiaki (2022) Report on geological survey training course for beginner and elementary levels, Autumn 2021.

(受付: 2021年12月2日)

一般向けオンラインライブ配信 「さんそうけん☆サタデー」第3回出演報告

吉澤 和子^{1), 2)}・清家 弘治^{1), 3)}・天野 敦子¹⁾・兼子 尚知¹⁾

1. はじめに

産総研では、小さな子どもから大人まで、幅広い年齢層の方々が楽しみながら学べる科学技術のコンテンツを提供する「さんそうけんサイエンスタウン」というホームページを運営しています (https://www.aist.go.jp/science_town/index.html, 閲覧日: 2021年11月22日, 写真1a)。このホームページからアクセスすることのできるコンテンツの一つに、オンラインのリアルタイムライブ「さんそうけん☆サタデー」があります(写真1b)。これは、毎月第3土曜日にYouTubeでライブ配信され、その後アーカイブとして公開されているもので、その内容は、司会者とともに研究者がスタジオトークやライブ実験などを行うというものです。ライブ配信は1回あたり1時間、予約なし

で誰でも視聴することができ、視聴者はチャット機能で出演者に質問をすることができます。第3回目の配信となる2021年10月16日には、「割らずに中をたしかめる! X線CTスキャンで岩石の宝さがし♪」、「ゴミを燃やした灰はゴミじゃない? 生まれ変わった材料が、みんなのまわりにも♪」、「爆発! 危険だけどピュアな化学現象 きちんと知る以外に安全への近道はない」という3つの内容がそれぞれ15~20分程度で配信されました (https://www.youtube.com/watch?v=vsBNNm9XtuM&list=PLpRkUCb8X_nvZDNgpL7DkJ5X8hvheIU2&index=3, 閲覧日: 2021年11月22日, 写真1c)。このうち、X線CTスキャンに関するテーマにおいては地質調査総合センターに所属する職員が出演し、スタジオトーク形式で話題提供を行いました(写真2)。



写真1 a: ホームページ「さんそうけんサイエンスタウン」のトップページ。b: YouTubeで配信される「さんそうけん☆サタデー」の画面。c: 2021年10月16日に配信された内容。

1) 産総研 地質調査総合センター地質情報研究部門
2) 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻 〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1 理学部1号館
3) 東京大学大学院新領域創成科学研究科自然環境学専攻 〒277-8563 千葉県柏市柏の葉 5-1-5 環境棟 5F

キーワード: さんそうけんサイエンスタウン, さんそうけん☆サタデー, X線CTスキャン, 3Dプリンター, 化石, YouTube



写真2 「さんそうけん☆サタデー」のスタジオトークの様子。司会者2名と地質調査総合センターの職員の会話形式で進行した。

2. X線 CT スキャン技術について

X線CTスキャン技術を活用することの大きな利点は、非破壊かつスピーディに岩石内部にある化石等の形態を確認できること、そして三次元のデータが得られることです。スタジオトークでは、こうした利点を視聴者に知っていただくことを目的に、内容を構成しました。前半は、実際に岩石のX線CTスキャンを行い、内部に化石があることが確認できるようになる様子を紹介し、後半は、X線CTスキャンにより得られたデータと3Dプリンターを用いて作成した模型が研究に活用できるということを説明しました。配信日の前日である10月15日は「化石の日」でありましたが、産総研からも化石の日に近い日程で化石にちなんだ話題を提供できたことを嬉しく思います。それぞれの概要は下記のようなものです。

3. 動画前半 (X線CTスキャンと化石の観察について)

スタジオトークを行うにあたり、事前にX線CTスキャンや画像解析の様子を収録し、撮影条件を設定する様子や、実際に撮影を行う様子、画像処理によって次第に岩石内の化石の形態が観察できるようになる様子を短い動画にまとめました(写真3)。ライブ配信中は、この動画を流しながらスタジオで説明を行うという形式を取りました。X線CTスキャンには地質調査総合センターに設置されている、医療用X線CTスキャン装置(日立製作所 Supria Grande)を用いました。撮影した岩石試料は、宮城県気仙沼市にある前期三畳紀の地層から採取された、骨化石を含む泥岩です(東京都市大学理工学部自然科学科 中島保寿准教授より貸与)。X線CTスキャンにより得られたデータは、画像解析ソフトウェア Amira 2020.2 (Thermo Fischer Scientific社)を使用して処理し、岩石内部の構造を観察しました(写

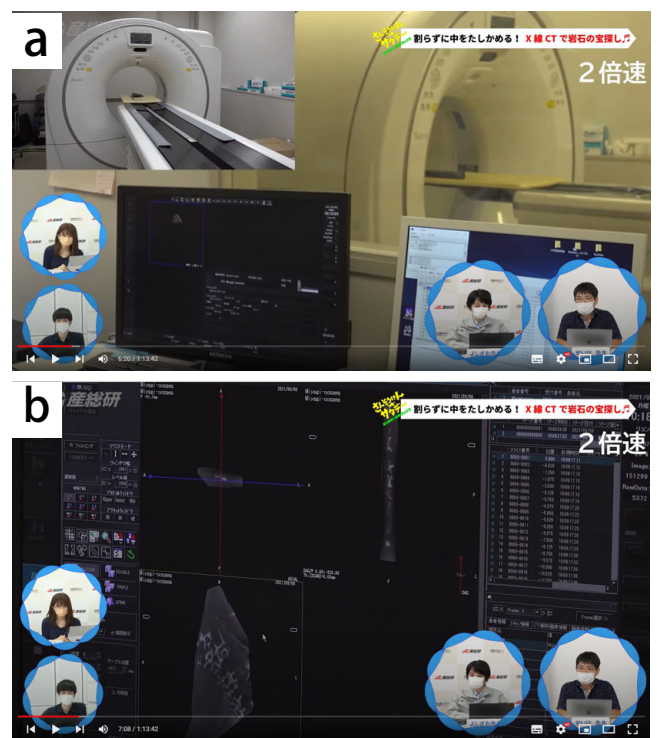


写真3 岩石試料をX線CTスキャンしている様子の動画を流しながら説明しているところ。事前に収録した動画を流している間、出演者は画面内の小窓に表示される。
a:撮影中の様子。b:撮影直後に結果を確認しているところ。

真4)。動画に用いた岩石試料は、化石がほぼ表面に露出していないものであり、外見からはどの部分にどのような形態の化石が含まれているのかわかることができないものでした。しかし、X線CTスキャンを行い、画像処理を施したことで、岩石の中には脊椎動物の化石が含まれていることが判明しました。具体的には、椎骨、神経棘、下顎の一部、肩甲骨らしき骨が含まれていました。この観察結果を視聴者に示し、何の化石だと思うかをチャット欄に書き込んでもらいました。恐竜の骨と考える方が比較的多くおられました。当該の岩石試料は恐竜が出現した時代(中生代

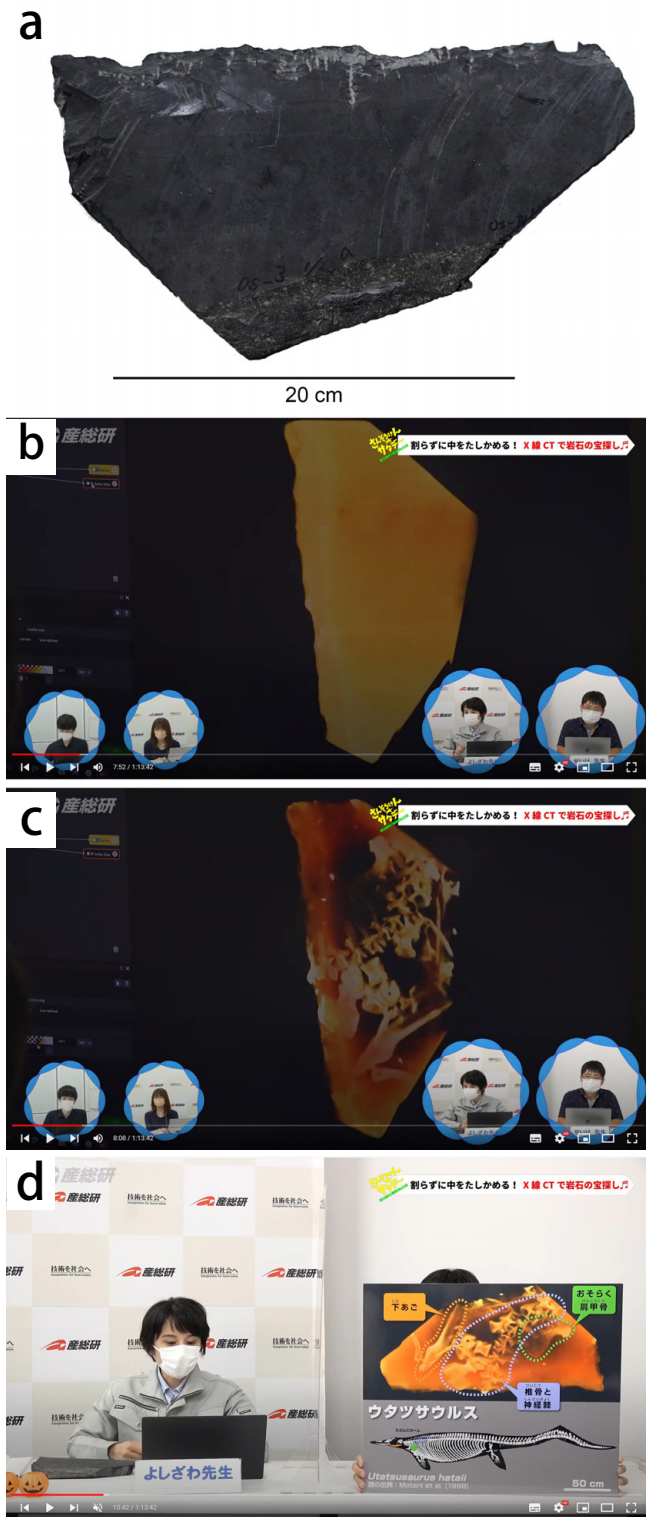


写真4 X線CTスキャンを行った岩石試料内の骨化石を観察していく様子。

- a: 撮影した岩石標本。
 b: 撮影して得られたデータから、岩石表面部分をソフトウェア上で立体構築したところ。
 c: bの状態からさらにソフトウェアで操作を行い、内部の骨化石が見えたところ。
 d: フリップを用いて、岩石試料内に含まれている骨化石がどのような骨と考えられるかを説明し、この試料が採取された地層からはウタツサウルスという「魚竜」が報告されていることを話しているところ。

後期三畳紀)よりもさらに古い、前期三畳紀の海底の地層からなる泥岩であり、この中に含まれる化石は恐竜ではなく、当時の海中で生活していた爬虫類、「魚竜」の骨であると考えられます(厳密な分類では、魚竜類(Ichthyosauria)というグループとそれに近縁な分類群を合わせたグループを魚鱗類(Ichthyopterygia)としています。ご紹介した化石は、魚鱗類に属する生物の骨と考えられますが、一般的には魚鱗類のことを「魚竜」と呼びならわしていますのでここでは「魚竜」という呼称を使用しました)。岩石試料が採取された地層からは、「魚竜」の中でも世界最古級とされるウタツサウルスの化石が産出します(Shikama *et al.*, 1978; Motani *et al.*, 1998)。

従来、化石を観察するためには、岩石中から化石を露出させるプレパレーションという作業が必要ですが、プレパレーションには手間や時間がかかります。X線CTスキャン技術を利用することで、岩石内の化石の状態をプレパレーション前に知ることができたり、プレパレーションが不可能な化石の形態も観察できたりと、化石観察に新たな可能性が開かれることがお伝えできていれば幸いです。

4. 動画後半(3Dプリンターで作成した模型の活用)

X線CTスキャン技術の紹介に続けて、3Dプリンターにより模型を作成する技術についての紹介を行いました。模型は、プレパレーション済みの化石をX線CTスキャンにより得られたデータを用いて作成します。実際に作成したデスマスチルスの頭骨及び有孔虫の模型をスタジオで示しました。デスマスチルスは1000万年以上に絶滅した哺乳類で、産総研の地質標本館に実物大の復元模型が展示されています。実物の頭部は40cmほどの長さがありますが、模型は手のひらに乗る程度の大きさに縮小して作成し、扱いやすくしました(写真5)。一方、今回のデータのもととなった有孔虫の実物は直径が0.5mm内外の大きさですが、こちらも手で扱いやすいよう100倍程度に拡大して模型を作成しました(写真6)。このように任意の大きさに拡大・縮小した模型を作成することで、あらゆる方向から形態を観察することができ、さらに模型を切断することで内部の形状を観察することもできます。3Dプリンターを効果的に活用することで研究がよりスムーズに進むようになったということをお話しました。

5. おわりに

最初はコロナ禍での一般公開として企画されましたが、

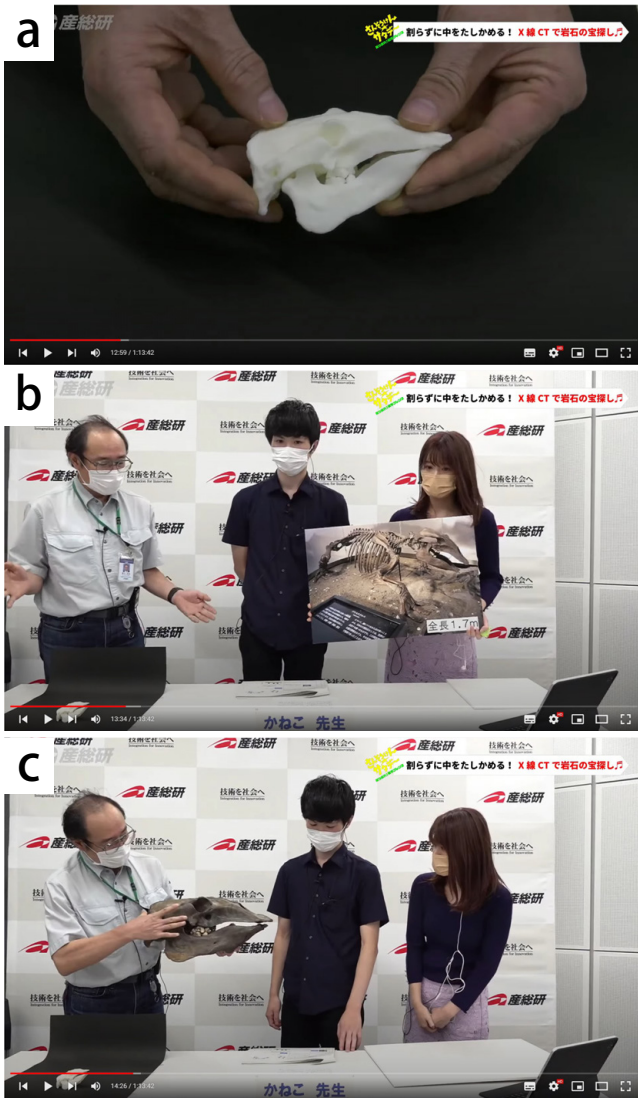


写真5 3Dプリンターを用いて作成したデスマスチルスの頭骨の縮小模型の説明を行っているところ。
 a：模型を持った手元をアップで映し、サイズ感を伝えている様子。
 b：フリップを用いてデスマスチルスの説明をしているところ。
 c：デスマスチルス頭骨の実物大模型を示し、模型と対比している様子。

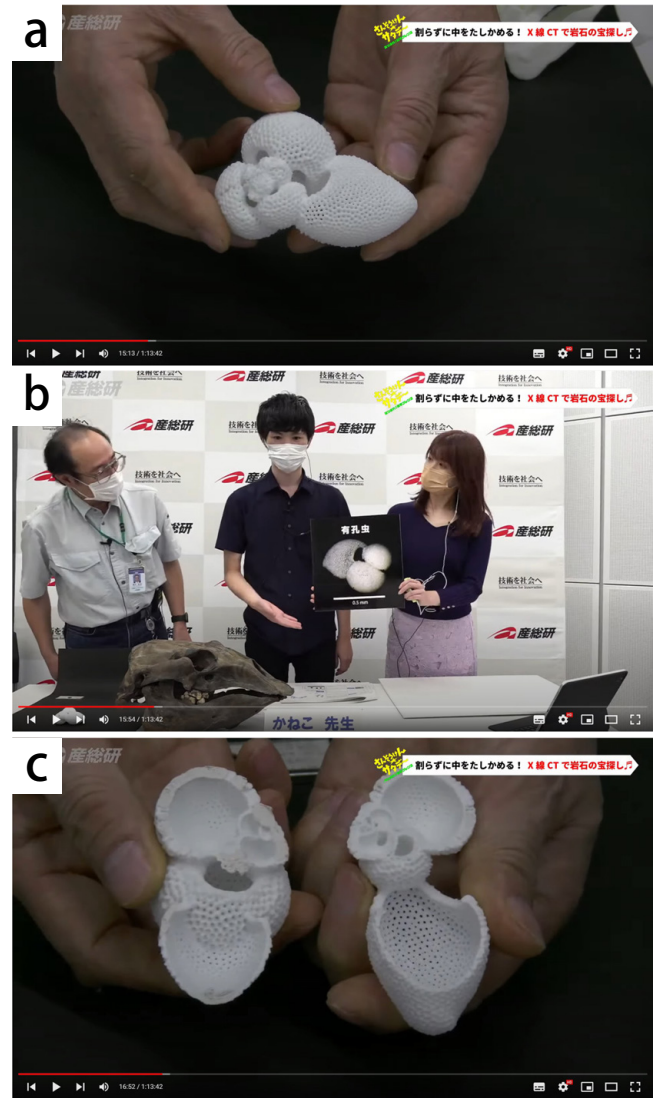


写真6 3Dプリンターを用いて作成した有孔虫の拡大模型の説明を行っているところ。
 a：有孔虫の模型を持った手元のアップ。
 b：フリップを用いて有孔虫の説明を行っているところ。
 c：有孔虫の模型を切断すると、内部構造が観察できることを紹介している様子。

誰でも、どこからでも無料で視聴することのできる形で配信するという「さんそうけん☆サタデー」は、産総研で行われている研究についてより多くの人に気軽に知っていただくための一つのアプローチとなります。本報では、X線CTスキャン技術関連の話題提供について報告しましたが、産総研の他の領域からも様々な研究内容について紹介が行われています。今後、より分かりやすく、興味を持ってもらえるコンテンツとなるように工夫し、さらに多くの人に産総研の研究について知ってもらえる機会になることを期待します。

最後になりましたが、「さんそうけん☆サタデー」の制作・配信については、広報部が担当しました。出演研究者はリアルタイムの動画配信に不慣れではありましたが、広報部の方々とリハーサルを繰り返し、無事に配信を終えることができました。東京都市大学理工学部自然科学科の中島保寿准教授には岩石試料を貸与いただきました。地質情報研究部門のテクニカルスタッフ横井久美氏にはX線CTスキャンを行っていただきました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

文 献

- Motani, R., Minoura, N., and Ando, T. (1998) Ichthyosaurian relationships illuminated by new primitive skeletons from Japan. *Nature*, **393**, 255–257.
- Shikama, T., Kamei, T. and Murata M. (1978) Early Triassic ichthyosaurus, *Utatusaurus hataii* gen. et

sp. nov., from the Kitakami Massif, Northeast Japan. *The Science Reports of the Tohoku University. Second series, Geology*, **48**, 77–97.

YOSHIZAWA Kazuko, SEIKE Koji, AMANO Atsuko and KANEKO Naotomo (2022) Report on the online live event of AIST for general public in October 2021.

(受付：2021年12月3日)

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 杉田創
児玉信介
戸崎裕貴
森田雅明
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 11 巻 第 1 号
令和 4 年 1 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 : SUGITA Hajime
KODAMA Shinsuke
TOSAKI Yuki
MORITA Masaaki
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. 11 No. 1
January 15, 2022

Geological Survey of Japan, AIST

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



岩手県盛岡市の三ツ石神社には3つの花崗岩巨石（三ツ石）が祀られており、これらは三ツ石様と呼ばれている。3つ目の岩はやや小ぶり、写真では右側の巨石の裏に隠れている。伝説によると、悪事を働いていた鬼達を神が三ツ石に縛り、今後悪さをしないこととこの地方に近づかないことを誓わせ、三ツ石に約束の手形を押し逃がしてやったという。この「岩に手形を押ししたこと」が岩手の語源だと言われている。鬼の退散を喜んだ住民は幾日も踊り続け、これが東北5大祭りである「さんさ踊り」の起源であり、本祭りのパレードはこの神社が起点となっている。

花崗岩の巨石は大きなもので、高さ6m、周囲9mで、岩石中には長径数cmの優黒質なゼノリスが多数認められる。三ツ石神社は段丘堆積物の上にあるが、地下には前期白亜紀の北上花崗岩類が伏在しており、三ツ石は本花崗岩の転石である。

(写真・文：内野隆之 産総研地質調査総合センター 地質情報研究部門)

Mitsuishi (three boulders) and demon's hand print, Mitsuishi Shrine, Morioka. Photo and caption by UCHINO Takayuki