

採択事業要旨集

<<無断複製転載禁止>>

1 大平 和花 新潟大学

新潟県糸魚川市に分布する中新世火山岩類の地質学的・岩石学的研究

2 岡田 花 新潟大学大学院

糸魚川市山之坊地域における角閃石岩類の起源とコスモクロア輝石との成因関係についての研究

3 伊藤 犀 静岡大学

食性情報に基づく明星山固有陸貝ムラヤママイマイの保全

4 小田 健登 福島大学

糸魚川での蛇紋岩地帯における天然水素の探索

5 西澤 ひなた 新潟大学大学院

新潟県糸魚川市周辺に分布する曹長岩の起源とひすい輝石岩との成因関係の検討

6 田村 航遙 東北大学大学院

蛇紋岩化マントルウェッジにおける非生物起源炭素の挙動:糸魚川産グラファイト含有ひすい輝石岩の総合研究

令和7年度 糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.1 大平和花（新潟大学）

【研究の名称】

新潟県糸魚川地域に分布する中新世山本層を構成する安山岩類の地質学的・岩石学的研究

【背景と目的】

新第三系の地層の最下部に位置する山本層について、各所で断層により分断されていることから山本層内部での岩石学的な空間的变化は不明であり、断層の位置や分布境界も全容の解明には至っていない。そこで、本研究では地質図を再検討すること、また、山本層を対象として層序的特徴および岩石学的性質を解明することを目的とする。

【研究内容】

以下のスケジュールにて、本研究を実施した。

日程	主な調査・研究等の概要
令和7年 5月28日	計6日間野外調査を行い、ルートマップ、岩相区分図を作製した。
8月28日	
10月12日	
10月22日 ～24日	
6～7月	薄片作成及び全岩化学組成分析準備
10～11月	全岩化学組成分析
12月～令和8年1月	卒業論文制作
1月26日	卒業論文発表

【研究のまとめ】

本調査地域の山本層は、下部の単斜輝石斑状安山岩、下部の無斑晶質デイサイトに区分されると考えられる。本調査地域より南側における山本層の内部構造との違いより両輝石安山岩を形成したマグマが北側では活動していなかった可能性と、山本層の終期に溶結凝灰岩を形成した火碎流が、北側には到達しなかった、または北側ほどより早く水中環境に移った可能性が考察される。

今後、調査地域北西部、主に田海地区周辺の調査を実施することで推定断層の北西延長がどのような姿勢を示すかを考察する必要がある。

【参考資料】

- 市川 直樹、 内藤 翔平、 渡邊 駿、 *高橋 俊郎 (2017) 「北部フォッサマグナ西縁部、中期中新世火山岩類の地質学的・岩石学的研究」日本地質学会学術大会講演要旨、2017卷、第124年学術大会(2017愛媛)、セッションID R1-P-2、p 343
- 小安孝幸・西戸裕嗣航・大河内誠・齋藤高浩・渋谷典幸・寺崎紘一・吉村尚久・新潟姫川団体研究グループ(2007)「北部フォッサマグナ地域、糸魚川-静岡構造線の西側に分布する中新統山本層安山岩のK-Ar年代」地球科学61卷、149-153
- 内藤翔平(2016)「新潟県糸魚川地域に分布する中新世山本層溶結凝灰岩の岩石学的研究」新潟大学理学部地質科学科卒業論文、1-33
- 長森英明・竹内誠・古川竜太・中澤努・中野俊(2010)「5万分の1地質図福小瀧地域の地質」地域地質研究報告5万分の1地質図幅 金沢(10)第19号 NJ-35-5-3。産総研地質調査総合センター。23-35、63-75
- 白石秀一(2003)「糸魚川温泉井戸の地質と糸魚川-静岡構造線」フォッサマグナミュージアム研究報告、vol.2、1-13。
- 高久獎平(2015)「新潟県糸魚川市根知川地域における主に糸魚川-静岡構造線に関する構造地質学的研究」新潟大学理学部地質科学科卒業論文、1-48。
- Le Maitre et al (2002)「Igneous rocks a Classification and Glossary of Terms Recommendations of the International Union of Geological Sciences、Sub-Commission on the Systematics of Igneous Rocks」Cambridge University Press、236p。

令和7年度 糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.2 岡田花（新潟大学大学院）

【研究の名称】

糸魚川市山之坊地域における角閃石岩類の起源とコスモクロア輝石との成因関係

【背景と目的】

コスモクロア輝石はメキシコのToluca隕鉄で初めて同定され、以降地球で形成されたものが発見されており、日本では蓮華変成帯の大佐山超苦鉄質岩体から発見されている。糸魚川市内では転石として存在が確認されていたが、近年、蓮華変成帯内に位置する新潟県糸魚川市山之坊露頭でコスモクロア含有エケルマン閃石が発見された（鈴木・大木 2019）。

山之坊露頭では、曹長岩塊と蛇紋岩に隣接して角閃石を主体とする岩石（角閃石岩と呼ぶ）がみられる。コスモクロア輝石はこの角閃石岩中に散在し、しばしばクロム鉄鉱を核として放射状に成長している。Takasu et al. (2022)によるWDSを用いた化学組成の分析結果によると、コスモクロア輝石を含有するNa角閃石は主にエケルマン閃石とされる。

Takasu et al. (2022)他様々な先行研究により、コスモクロア輝石の形成過程についての考察がなされているが、関連鉱物である角閃石の形成過程についての考察が十分に進んでいない。そこで、山之坊地域に産する角閃石岩類（本研究では、アクチノ閃石、ウインチ閃石、藍閃石など、様々な角閃石のみで構成された岩石のことを”角閃石岩”と呼ぶこととする。）、コスモクロア輝石を調査し、形成過程を明らかにすることを研究目的とした。本年度は、角閃石がかんらん岩と曹長岩やヒスイ輝石岩との反応縁として形成されたのか、また、CaおよびNaの拡散が起こったかどうかについて検討する。

【研究内容】

以下のスケジュールにて、本研究を実施した。

日程	主な調査・研究等の概要
令和7年5月7日～11日	<ul style="list-style-type: none">・第1回野外調査 <p>調査内容：詳細サンプル採取を行う露頭を探す 調査地域：山之坊コスモクロア輝石露頭、横川</p>
令和7年5月30日～6月8日	<ul style="list-style-type: none">・第2回野外調査 <p>調査内容：露頭の見取図作成 調査地域：山之坊コスモクロア輝石露頭、横川</p>

令和7年9月23日～24日	・第3回野外調査 調査内容：地質図作成のための野外調査、見取図修正 調査地域：山之坊コスモクロア輝石露頭、横川、姫川
令和7年10月20日～24日	・第4回野外調査 調査内容：地質図作成のための野外調査、サンプル採取 調査地域：山之坊コスモクロア輝石露頭周辺の地域、横川
令和7年11月12日～22日	・第5回野外調査 調査内容：地質図作成のための野外調査 調査地域：山之坊コスモクロア輝石露頭周辺の地域

【研究のまとめ】

昨年度の研究結果から、野外調査の結果、角閃石岩はヒスイ輝石岩、曹長岩が蛇紋岩と接する境界や内部の脈に産することが分かった。また、薄片観察、SEM/EDSを用いた分析から、角閃石はCaに富むType1とNaに富むType2に分けられ、Type2がより新しく、コスモクロア輝石はType2と同時期に形成されたことが分かった。山之坊コスモクロア輝石露頭から採取した曹長岩に含まれるジルコンのU-Pb年代は 494 ± 3 Maであり、微量元素測定によりこれは源岩の火成活動の時期を示すと考えられる。これらの結果を踏まえると、Type1の角閃石とType2の角閃石はどちらも曹長岩やヒスイ輝石岩とかんらん岩との間の反応縁であり、Type1の角閃石は主にCa、Type2の角閃石はNaの拡散によって形成されたと考えられる。また、コスモクロア輝石は、Type2の角閃石形成時に、クロム鉄鉱を核として形成されたと考えられる。

本年度に行った地質図作成のための調査の結果から、本調査地域は蛇紋岩メランジと姫川コンプレックスが分布しており、蛇紋岩メランジは低角な断層を介して姫川コンプレックスの上に載っていることが明らかになった。また、断層面は褶曲しており、角閃石の形成に関連すると考えられる曹長岩は、蛇紋岩が分布する地域に限って産出することが分かった。

また、山之坊コスモクロア輝石露頭の詳細スケッチより、角閃石岩は曹長岩の表面に1mほどの厚さで薄くかぶるように分布していることが分かった。

さらに、曹長岩の源岩であると考えられるトーナル岩が蛇紋岩中に取り込まれている露頭を発見した。トーナル岩と蛇紋岩の境界部は複数の岩石で構成されており、トーナル岩側から順に、トーナル岩、緑泥石岩、滑石岩、蛇紋岩と漸移的に変化する様子が確認できた。また、トーナル岩と緑泥石岩の間にはCa角閃石が形成されている様子が見られた。よって、この露頭も山之坊コスモクロア輝石露頭と同じく、曹長岩と蛇紋岩との間で元素拡散が発生し、反応縁として緑泥石岩、滑石岩が形成

されたと考えられる。

【参考資料】

鈴木保光・大木良弥, (2019), 「新潟県糸魚川市山之坊産コスモクロア輝石」, 地学研究, 65, 3・4, 185-187.

Takasu Akira, Suzuki Yasumitsu, Ohki Yoshiya, Ogawara Takahiko and Seto(Sakamoto) Shizue, (2022) 「Newly identified end-member kosmochlor from the Yamanobo outcrop of the Renge metamorphic belt, Itoigawa, central Japan. Earth Science」, 76, 1, 37-42.

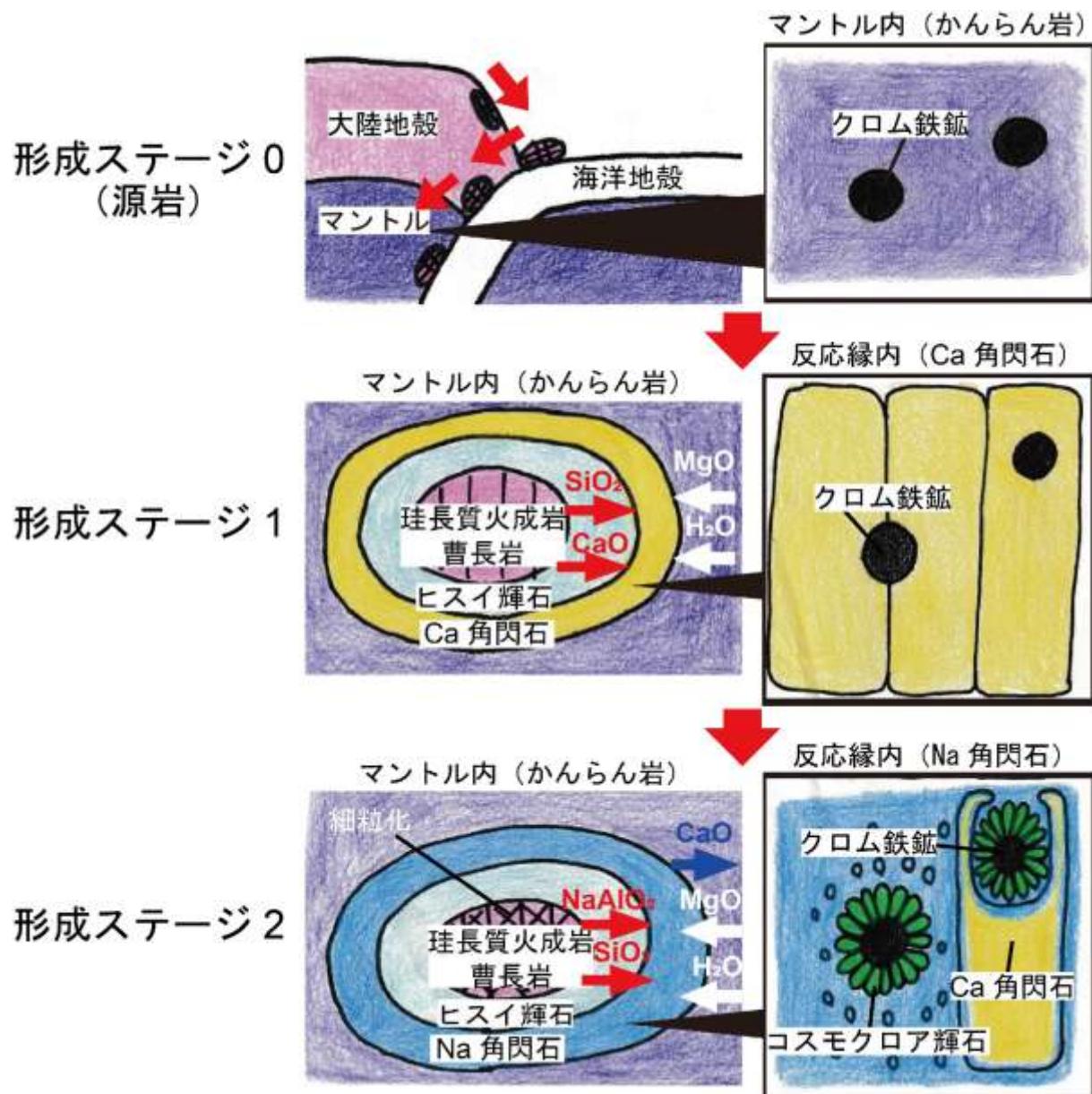


Fig. 1. 糸魚川市でみられる角閃石、コスモクロア輝石の形成モデル図。

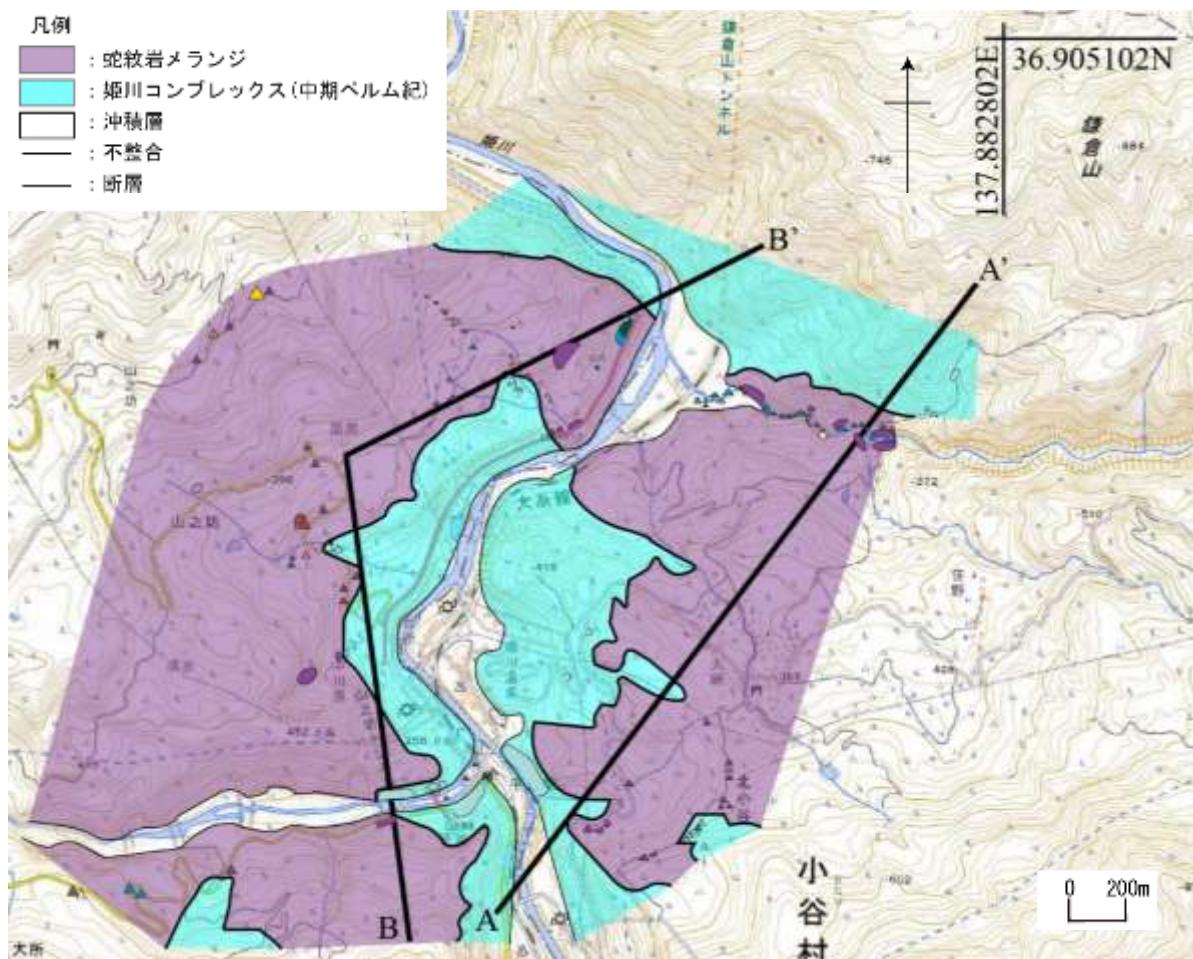


Fig. 2. 調査地域の地質図

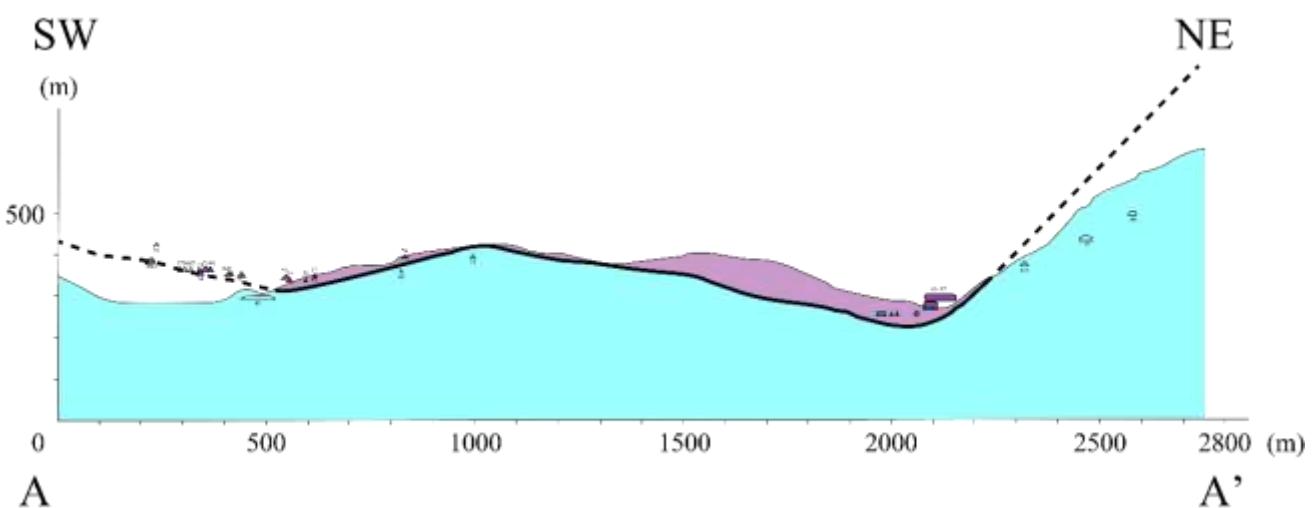


Fig. 3. A-A' 断面図

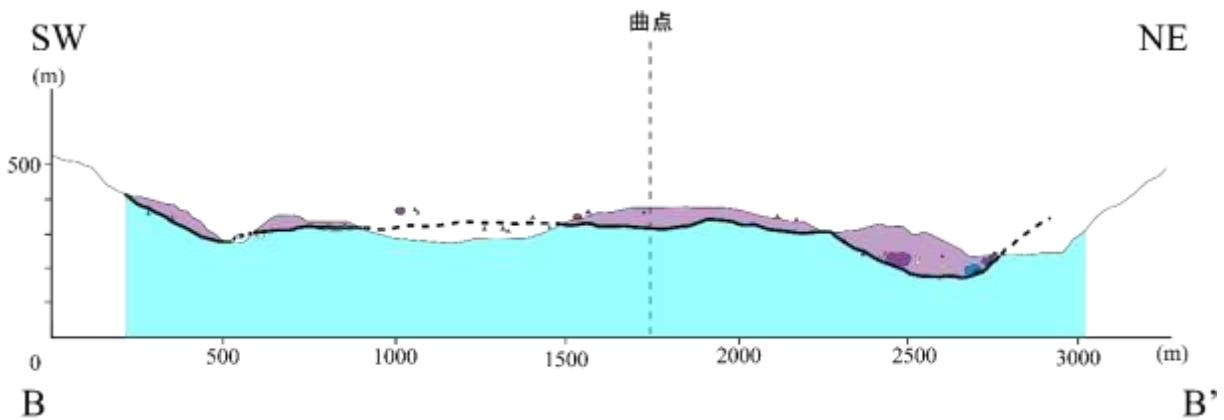


Fig. 4. B-B' 断面図

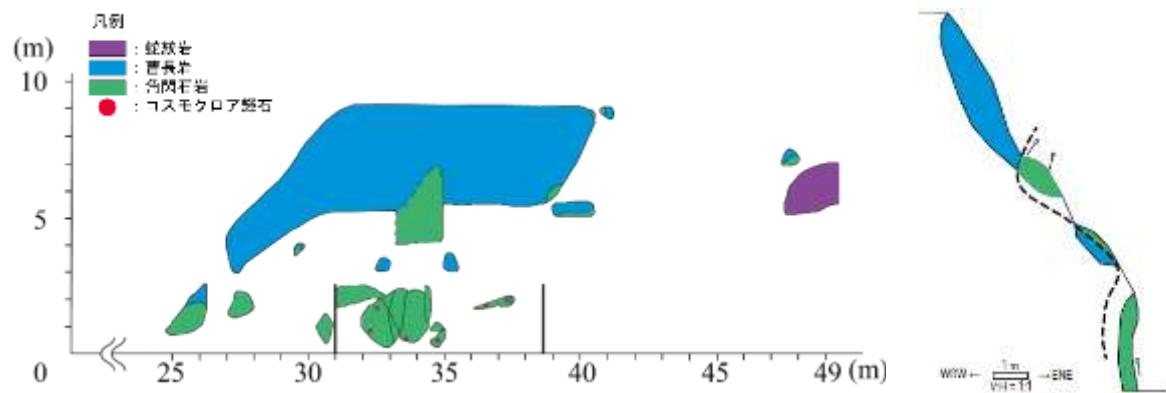


Fig. 5. 山之坊コスモクロア輝石露頭の見取図（左）と断面図（右）

令和7年度 糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.3 伊藤舜（静岡大学）

【研究の名称】

食性情報に基づく明星山固有陸貝ムラヤマママイの保全

【背景と目的】

ムラヤマママイ *Euhadra murayamae* は、糸魚川ジオパーク小滝川ヒスイ峡エリアの明星山だけに生息する固有陸産貝類（カタツムリ）である。本種の形態は同属種の中で特筆した扁平な形態であり、明星山の環境に対する適応進化の結果だと考えられている。しかしながら、本種は各種法令で保護種に指定されるほど、個体数が激減しており、保全活動が急務である。そこで本研究では、保全活動に資するため、本種の餌メニューを明らかにすることを目的にした。

【研究内容】

以下のスケジュールにて、本研究を実施した。なお、対象種であるムラヤマママイは「絶滅のおそれのある野生動植物の種の保存に関する法律（種の保存法）」に基づく国内希少野生動植物種や「糸魚川市希少野生動植物保護条例」に基づく特別指定希少野生動植物種に指定され、生体だけでなく標本であっても、捕獲・採取や譲渡が原則禁止されている。糸魚川ジオパークにおいても、「糸魚川ジオパーク自然資源の保護・保全の基本方針」のもとで、本種は貴重・希少野生動植物保護・保全対象種リストに含まれ、生体の捕獲、採取、殺傷又は損傷することを原則禁止している。そのため、本研究は環境省、糸魚川市、糸魚川ジオパークの許可を受けた上、糸魚川ジオパーク自然資源保全委員会の協力のもとに実施された。

日程	主な調査・研究等の概要
7月、10月	明星山の低標高にて、生きた個体を一時的に採集し、糞を回収するために滅菌したタッパー内で24時間程度キープをした。タッパー内に糞が確認されたら、滅菌楊枝を用いて糞を回収し、100%エタノールで保存をした。糞を回収した個体は全て標識をして、元の生息場所にリリースをした。回収した糞は、DNA抽出を行うまで、-30℃で保管した。夏（7月）に31個体、秋（10月）に29個体分の糞を採取できた。
11月 ～翌1月	冷凍保管した糞からのDNAを抽出し、葉緑体の一部領域を対象にPCRを行った。さらに追加のPCRを行うことで、次世代シーケンスに向けた個体識別用index配列を付加し、ライブラリを作成した。ライブラリはDNBSEQ-G400を用いてシーケンスを行った。シーケンス結果

果は Cladent のパイプライン (Tanabe & Toju 2013) を通して、コンタミネーション等に由来するノイズ処理を行い、97%以上の類似性を持つ配列同士をまとめ、OTUs として扱った。OTUs を分類単位へ割り当てる工程は、QCauto 法 (Tanabe & Toju 2013) を用いた。

【研究のまとめ】

シーケンスは半数以下の個体でしか成功しなかったものの、シーケンスが成功した夏採集の10個体、秋採集の4個体からは、一個体あたりおよそ3.5~4.0のOTUsが検出された。夏と秋で検出されたOTUs数に違いは見られなかった。検出されたOTUsの内、14のOTUsで目よりも詳細なレベルで割り当てがされた。合計で11属11科8目の植物がムラヤママイマイの糞から検出された。中でもツゲ属が最も多くの個体で検出された。ツゲ属の植物は、本種の生息環境に多く自生することが確認されている。その他の植物においても、クルミ科やイネ科の一属を始め、糞中に含まれていた植物のDNAは、明星山で確認されている属や科であった。これはムラヤママイマイが生息地周辺に自生する複数分類群の植物を広く採餌することを示唆する。すなわち、ムラヤママイマイの域内保全を進めるに当たり、餌メニューについては特段の注意を払う必要は少ない可能性がある。その一方で、複数分類群の植物が含まれていたことから、生息地の植物を広く保全する必要性がある。ムラヤママイマイの中でも、中標高や高標高に生息する集団のように、近年の個体数が極めて少ない個体群については、域外保全を取らざるを得ない場合、今回検出された属の植物を餌として与えることが適すると考えられる。

ジオパークにおいて、その地域の生物は地域環境から影響を強く受けるため、地質活動に根差した生態系は注目されている (平田・他 2024; 伊藤 2024)。特にジオパーク内の生態系は、「ジオ」を象徴する自然遺産と見なすことができるため、地質遺産 (ジオサイト) と併せた保全策が求められている (中村 2024; 福井 2024; 立花 2024)。糸魚川ジオパークでは、他のジオパークに先んじて、生物多様性保全を進めており、2020年には「糸魚川ジオパーク自然資源の保護・保全の基本方針」を打ち出し、「糸魚川ユネスコ世界ジオパーク貴重・希少野生動植物保護・保全対象種リスト」を明示した。これにより、本研究の対象種であるムラヤママイマイを含めた複数の分類群の採集が規制されている。この取り組みは、2024年の第52回日本ジオパーク委員会審査事前確認通知においても、優れている点として評価されている。本研究で得られた成果は、世界で糸魚川ジオパーク小滝川ヒスイ峡エリアの明星山にしか生息しない、糸魚川を代表するムラヤママイマイの保全に資する生態記録で

あり、今後の保全活動の裏付けとなることが期待される。このような成果の還元により、ジオパークの倫理規定にある地形・地質遺産と関連づけられる自然や生物多様性の保護・保全につながると考えられる。また、糸魚川ジオパークが特定の種を対象に具体的な保全策を講じることで、他のジオパークのモデルケースになり、国内外のネットワークを通して、「ジオ」と関連した生物多様性保全の波がジオパーク全体に波及することも期待される。

【参考資料】

- 福井智香子. (2024) 自然遺産を守るための戦略の1つ：三好ジオパーク構想のエコサイトの設定. *ジオパークと地域資源*, 6(1), 16-21.
- 平田和彦・中村真介・藤井利衣子・加藤雄也・福井智香子・伊藤 舜・太田悠造・長船裕紀・立花寛奈・森口夏季 (2024). 分科会「ジオ・エコ・ヒト－なぜジオパークで生態学？」の成果：「エコ」に関する理解の共有と交流の活発化. *ジオパークと地域資源*, 6(1), 63-67.
- 伊藤 舜. (2024) 進化が繋ぐジオとエコ：伊豆大島を例として. *ジオパークと地域資源*, 6(1), 28-32.
- 中村真介. (2024) 日本のジオパークにおける「エコ」の捉え方－ジオパークにおける自然遺産の保護へ向けて－, *ジオパークと地域資源*, 6(1), 10-15.
- Tanabe, A. S., & Toju, H. (2013). Two new computational methods for universal DNA barcoding: a benchmark using barcode sequences of bacteria, archaea, animals, fungi, and land plants. *PLoS One*, 8(10), e76910.
- 立花寛奈. (2024) 隠岐ユネスコ世界ジオパーク地域におけるハマナス保全活動の苦悩と未来. *ジオパークと地域資源*, 6(1), 48-54.

令和7年度 糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.4 小田健登（福島大学）

【研究の名称】

糸魚川での蛇紋岩地帯における天然水素の探索

【背景と目的】

次世代のエネルギーとして注目されている水素は現在、水の電気分解やメタンガスなどの改質によって製造されている。しかし自然界でも水素は生成されており、その水素を天然水素と呼ぶ。天然水素は人工による生成と比べて生成コストや、生成時の温室効果ガス削減を見込めるというメリットがある。

この天然水素は水の放射性分解、蛇紋岩化作用、地球深部からの排出、火山活動、岩石のフランチャーリングなどによって発生する。その中でも本研究では生成スピードの速い蛇紋岩化作用に注目し調査を行った。

野坂（2012）では蛇紋岩化作用とは、かんらん石が熱と圧力によって水と反応することで、蛇紋石、ブルーサイト、磁鉄鉱、水素が発生することが示されている（式1）。

蛇紋岩化作用による天然水素について、海外ではオマーン、トルコ、フィリピンなどで確認されている。また国内でも、長野県白馬村の白馬八方温泉で温泉水に水素が溶存しており、蛇紋岩化作用による天然水素発生が確認されている（森本ほか 2014）。

新潟県糸魚川市では蛇紋岩地帯が広く分布し、天然水素の実例のある白馬八方温泉の蛇紋岩地帯とも近く、天然水素発生の可能性があると考え、糸魚川市を研究対象地域とした。

【研究内容】

以下のスケジュールにて、本研究を実施した。

日程	主な調査・研究等の概要
令和 7 年 5 月 28 日～ 29 日	予備調査。 調査場所の選定、移動手段の確認。
6 月 6 日～9 日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域で調査。 土壌ガス調査、露頭での岩石サンプル採取、湧水の調査。
7 月 26 日～	糸魚川市内の小滝地域、蓮華地域で調査。長野県白馬村の白馬八方

28日	温泉の源泉付近で調査。 土壤ガス調査、温泉水水素濃度調査、露頭の調査。
9月26日～ 28日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域、蓮華地域で調査。 温泉水水素濃度調査。露頭で磁束密度の測定、湧水の調査。
10月14～ 15日	糸魚川市内の蓮華地域、青海地域で調査。 露頭で磁束密度の測定、湧水の調査。
11月15日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域で調査。 露頭で磁束密度の測定。
11月29日	糸魚川市内の青海地域、小滝地域で調査。長野県白馬村で調査。 露頭で磁束密度の測定、岩石サンプル採取。
11月-令和 8年1月	室内解析。 FEFLOWによる熱輸送解析、岩石サンプルの磁化率測定。

本研究では新潟県糸魚川市の蛇紋岩地帯を青海、小滝、蓮華の3つに区分し、天然水素発生の事例がある長野県白馬村の蛇紋岩地帯と比較をしながら調査を行った(図1)。

天然水素の兆候をつかむために、土壤ガス調査、温泉水・湧水水素濃度調査、磁束密度・磁化率調査の3つの調査を行った。

土壤ガス調査では、防災科研の地すべり地形分布図と、地球情報・技術研究所のリニアメント図を参考にして調査地点を決め、ハンドオーガーで50 cm掘り、蓋をして10分間放置した。その後、はじめに室内分析用のガスサンプルを容量12 mLの注射器を用いてバイアル瓶にとった。次に携帯用ガス検知器(XP-3360Ⅱ)で水素濃度を測定した。そして、福島大学でガスクロマトグラフ(GC-4000)により詳細な分析を行った。

温泉水水素濃度調査では、はじめに携帯用ガス検知器を用いて、温泉水付近での水素濃度を測った。次に、温泉水のpH、EC(MM-42DP)、ORP(HM-40P)の測定を行った。そして、ガスクロ分析用の温泉水のサンプルを12 mL採取した。後日福島大学でガスクロマトグラフによる分析を行った。また、青海地域の外波川沿いにトンネル湧水を見つけたため、そこでの水質調査、水素濃度調査を行った。

森尻・中川(2015)より、マグнетタイトの量は磁化率と比例するので、磁化率が分かれば蛇紋岩化度がわかると示されている。つまり磁化率の値が小さいほど蛇紋

岩化作用が進行しておらず、天然水素発生の可能性があると解釈される。そこで、現地では露頭で20 cmおきに磁束密度の測定を行った。磁束密度の測定では磁化率を推定することは難しいため、現地で採取した蛇紋岩のサンプルを用いて福島大学の振動試料型磁力計（VSM）で磁化率の測定を行った

また、水素は約300°Cで最も効率的に生成されることがThomas et al. (2009) によって示されている。そのため、地下水流动、物質輸送、熱輸送を有限要素法で解析するシミュレーションコードであるFEFLOW (Diersch 2013) を用いて地下の温度分布を解析した。

【研究のまとめ】

土壤ガス調査の調査地点を図2、結果を表1に示す。携帯用ガス検知器による測定ではどの地点でも検知されなかった。ガスクロによる測定では、5~8 ppm程度で測定された。天然水素の実例のある白馬八方温泉の源泉付近で土壤ガス調査を行ったが、結果は5.62 ppmであった。蛇紋岩地帯での調査だけで水素の発生があるかどうかの評価が難しいため、福島大学の構内で表層は1がローム層、2が強風化花崗岩となっている2地点でガスクロによる土壤ガス測定を行った（図3）。結果は1が定量限界未満で、2が1.76 ppmとなった。この結果より、蛇紋岩地帯では比較的高い濃度で水素が検出されるが、糸魚川と白馬で大きな差はみられなかった。

温泉水・湧水の調査地点を図4、結果を表2に示す。蓮華温泉では姫川温泉と比べて比較的高濃度で水素が検出されたが、天然水素発生の実例のある白馬八方温泉と比較すると、pHは酸性を示し、ORPもプラスの値を示した。また、携帯用ガス検知器での測定では、硫化水素に反応して値が出ている可能性があったため、蓮華温泉では火山ガス検知器を用いて測定を行った。結果は硫化水素がOVER RENGE (5000 ppm以上) で検出されたため、蓮華温泉で測定した水素は硫化水素の可能性がある。また、青海地域のトンネル湧水では水素を直接検知することはできなかったが、蛇紋岩地帯から湧出しているため、測定を続けることで天然水素の兆候をつかむことが出来る可能性があると考えられる。

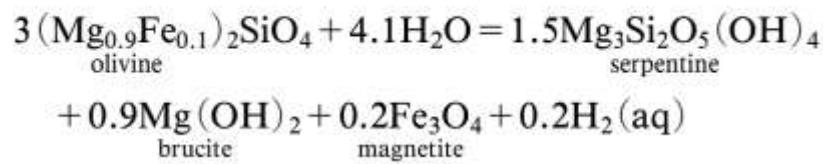
磁束密度調査では、青海、小滝、白馬では0.30 mT程度で大きな差はみられなかった。一方、蓮華地域で測定した転石では0.32~0.53 mTで測定され、比較的高い値であった。磁化率調査では、青海地域、小滝地域、白馬地域で採取した蛇紋岩のサンプルで測定を行った。蓮華地域は中部山岳国立公園内でサンプル採取をすることが出来なかったため測定を行っていない。青海地域のサンプルでは約0.31 m3/kg、小

滝地域のサンプルでは約0.88 m³/kg、白馬地域のサンプルでは約3.62 m³/kgであった。以上の結果より、糸魚川市の蛇紋岩は白馬地域と比較して蛇紋岩化が進行していないなく、水素発生のポテンシャルは高いことが分かった。

FEFLOWによる熱輸送解析では、新潟県糸魚川市から長野県白馬村にかけての範囲でモデルを作成し、地下の熱の分布を解析した。解析の結果、蛇紋岩化作用によって最も効率的に水素が生成される300°Cに到達するのは、標高-2000m程度であることが分かった（図5）。

新潟県糸魚川市の蛇紋岩地帯では、白馬八方温泉のように直接的に水素発生を確認することは出来なかった。しかし、土壤ガス調査では微量であるが検知することはでき、磁化率の値も小さかったため、天然水素発生の可能性は十分にあると考えられる。

まだ調査地点も少なく、調査方法についても見直す余地があると考える。また、蛇紋岩化作用における天然水素の探索方法は世界的にみても確立されておらず、様々なアプローチで調査を行うことでより確実な結果を出すことが出来るかもしれない。そのため今後も、新潟県糸魚川市の蛇紋岩地帯での天然水素の探索を行いたいと考えている。



式1 単純な蛇紋岩化作用の化学式（野坂 2012より引用）

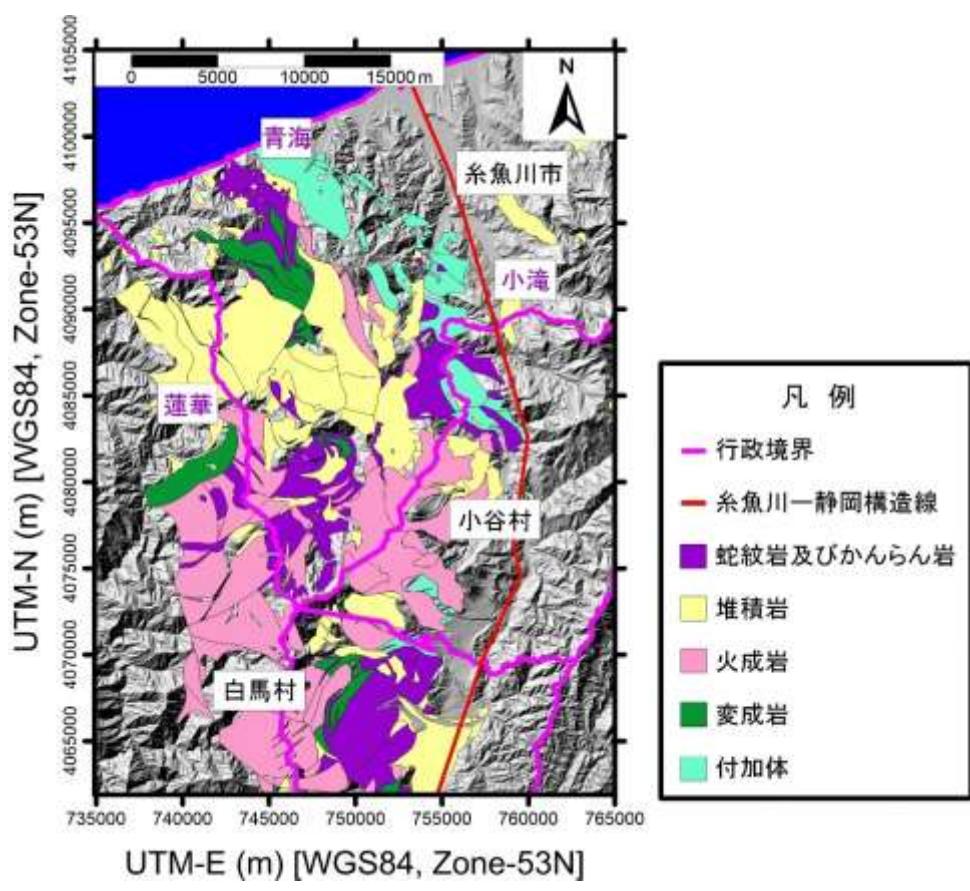


図1 研究対象地域の蛇紋岩と周辺の岩石の分布

（長森ほか 2010、中野ほか 2002より引用）

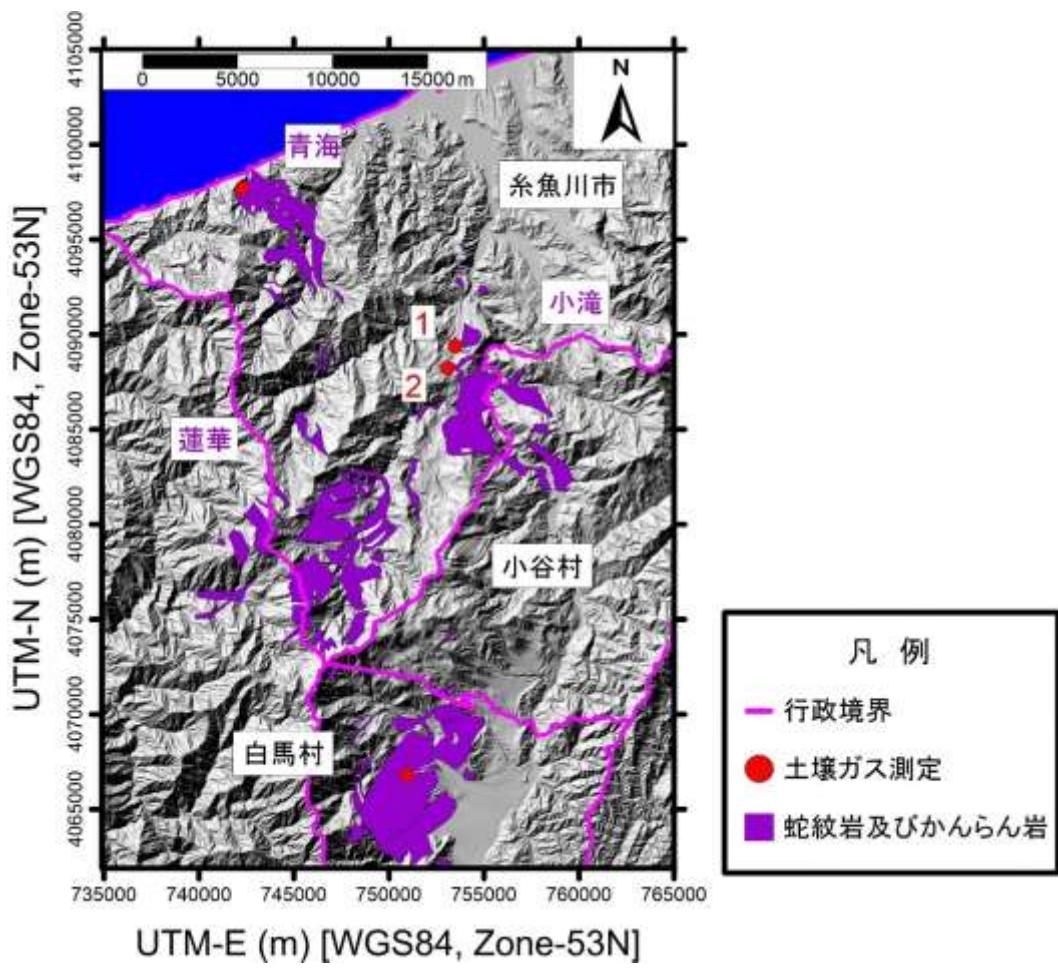


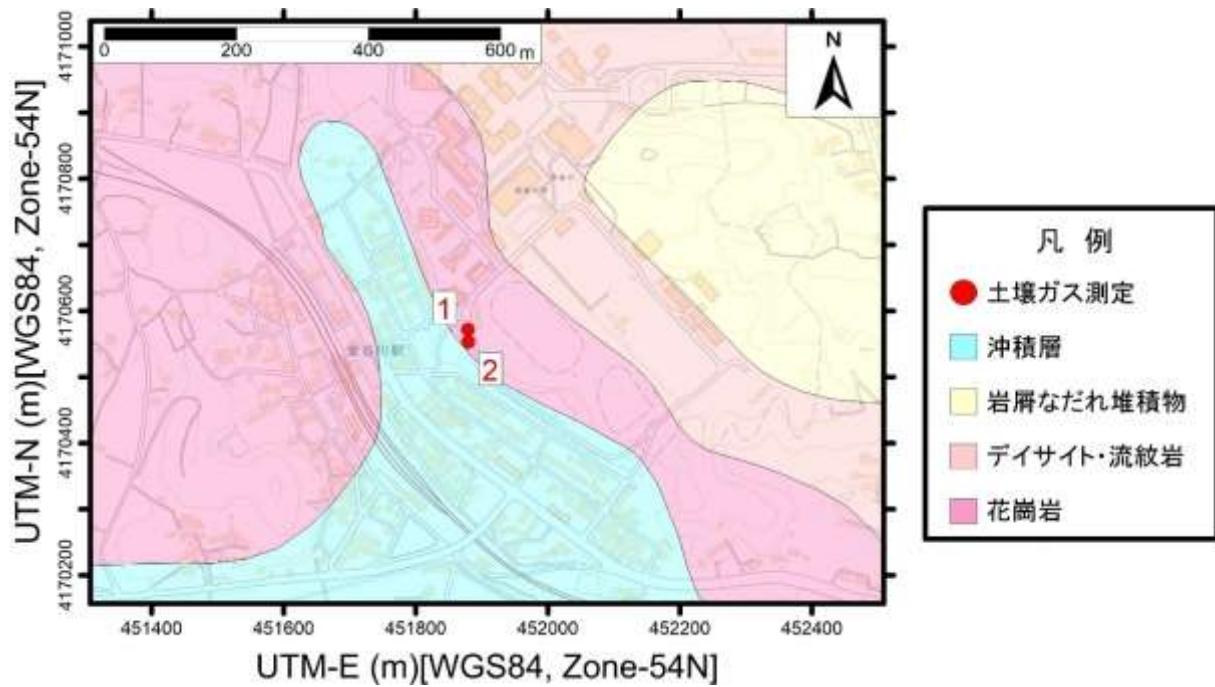
図2 土壤ガス調査地点

(長森ほか 2010、中野ほか 2002より引用)

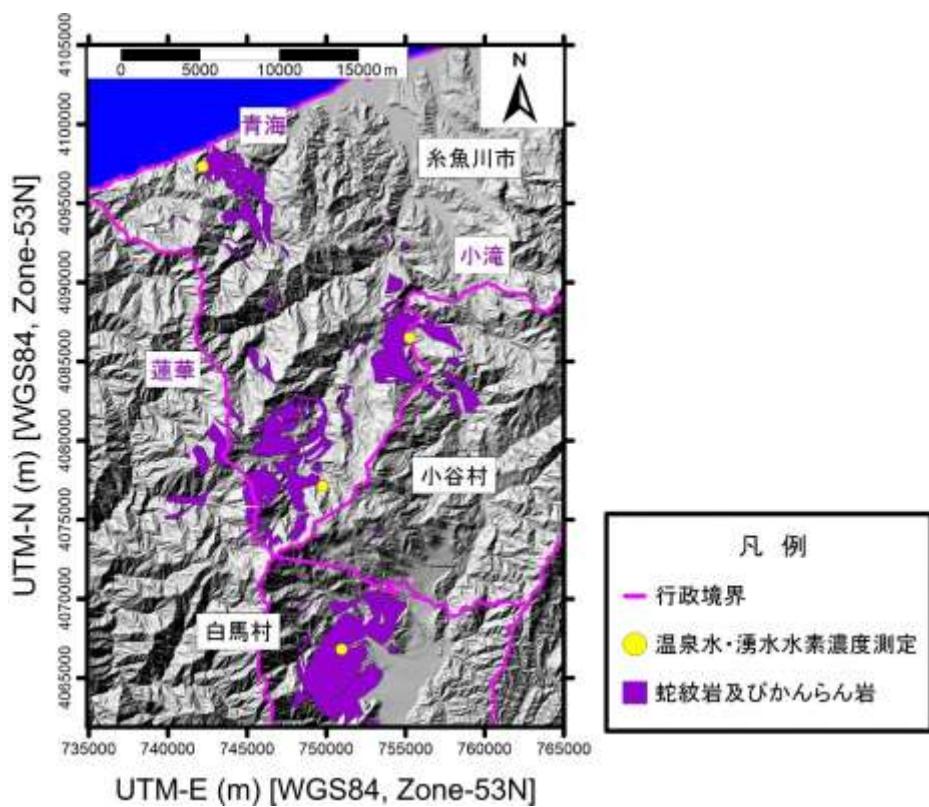
表1 土壤ガスの水素濃度測定結果

	青海	小滝-1	小滝-2	白馬	福島大学-1	福島大学-2
携帯用ガス検知器 ¹	0 ppm	0 ppm	0 ppm	0 ppm	—	—
ガスクロ ²	7.81 ppm	7.02 ppm	5.54 ppm	5.62 ppm	定量限界未満	1.76 ppm

¹表示分解能：1 ppm、²定量下限値：1 ppm、「—」は未測定



(産総研20万分の1シームレス地質図より)



(長森ほか 2010、中野ほか 2002より引用)

表2 溫泉水、湧水の水素濃度と水質測定結果

	姫川温泉 ²	蓮華温泉	白馬八方温泉 ³	青海トンネル湧水
水素濃度 ¹	66 ppm	5000 ppm以上	5740 ppm以上	0 ppm
水温	46.1°C	49.6°C	51.0°C	12.0°C
pH	7.54	3.66	10.75	9.17
ORP	250 mV	232 mV	-808 mV	181 mV
EC	10.55 mS/m	33.7 mS/m	33.7 mS/m	12.76 mS/m

¹携帯用ガス検知器での測定、²温泉水貯留施設での測定、³佐藤（2025）より引用

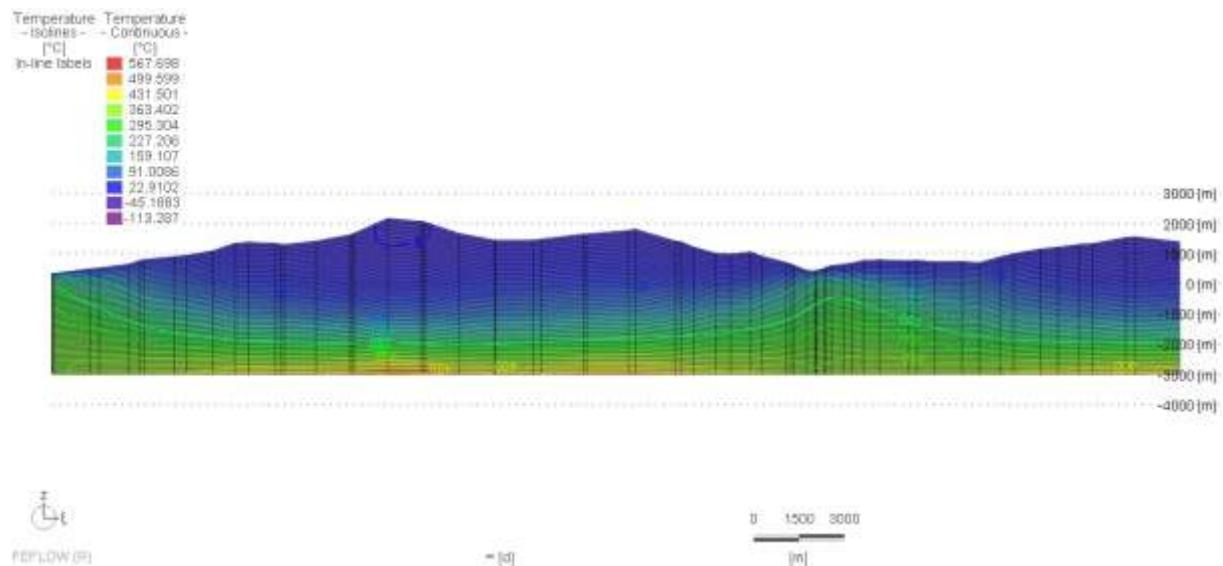


図5 FEFLOWで解析した温度分布の断面図

【参考資料】

野坂俊夫 (2012) 「蛇紋岩化作用における水素の発生に対する岩石学的制約条件」
岩石鉱物科学、41、174-184

森本卓也・小島英和・大河内正一 (2014) 「天然温泉における溶存水素 (H_2)」
温泉科学、64、296-309

長森英明・竹内誠・古川竜太・中澤努・中野俊 (2010) 「小滝地域の地質」
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、130p
中野俊・竹内誠・吉川敏之・長森英明・苅谷愛彦・奥村晃史・田口雄作 (2002)
「白馬岳地域の地質」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、105p

防災科研、地すべり地形分布図

<https://www.j-shis.bosai.go.jp/map/> (2025年6月4日アクセス)

地球情報・技術研究所、地質地盤情報データベース

<https://sv3.gspace.jp/g-space3/map.php> (2025年6月4日アクセス)

森尻理恵・中川充 (2015) 「磁化率 (magnetic susceptibility) を巡る雑感」
GSJ 地質ニュースVol. 4、12、337-345

佐藤史隆 (2025) 「福島県における天然水素探索のための地下水水質解析」
福島大学共生システム理工学類2024年度卒業論文、50p

Thomas M. McCollom and Wolfgang Bach (2009) 「Thermodynamic constraints on
hydrogen generation during serpentization of ultramafic rocks」
Geochimica et Cosmochimica Acta、73、856-875

産総研、20万分の1日本シームレス地質図

<https://gbank.gsj.jp/seamless/> (2025年8月25日アクセス)

令和7年度 糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.5 西澤ひなた（新潟大学大学院）

【研究の名称】

新潟県糸魚川市に分布する曹長岩の起源とひすい輝石岩の成因関係の検討

【背景と目的】

糸魚川産ひすい輝石岩の形成過程については、「曹長石から石英と共にひすい輝石が形成された」「熱水からひすい輝石が析出した」などの説が報告されている。現在は熱水からの析出が通説となっている。しかし、糸魚川産ヒスイ輝石岩内には方沸石+ひすい輝石の組み合わせが報告されているが、 $\text{NaAlSi}_4\text{O}_8\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系においてこれら2鉱物と熱水(H_2O 流体)は共存できないため、熱水起源説では熱力学的な説明が難しい。また、ひすい輝石岩の中には曹長岩の周縁部に生じたものが報告されているが、そのような産状を熱水からの沈殿で説明するのは難しい。このことから、糸魚川産ひすい輝石岩が曹長石岩を母材とした何らかの化学反応で形成された可能性を再検討する必要がある。また、仮に曹長岩がひすい輝石の母材と特定されたとしても、曹長岩自体の起源を明らかにしなければ、ひすい輝石岩の成因を解明したことにはならない。

昨年度行った研究では、ひすい輝石と曹長石が互いに変化しあっていると見られる組織を発見した。また、曹長岩内で見られたジルコンから、U-Pb年代として 494 ± 3 Ma、微量元素測定からジルコンが火成岩由来であるという可能性を見出した。これらの結果を踏まえて、今年度はひすい輝石岩の巨岩の中でどのように鉱物が分布するかを調査し、引き続きひすい輝石岩の成因を再検討した。

【研究内容】

昨年からの野外調査の結果を踏まえ、地質図を作成した。調査地域では、蛇紋岩メランジが低角断層を介して堆積岩からなる姫川コンプレックスに載っていると考えられる。また、蛇紋岩メランジと姫川コンプレックスの境界断層は緩く褶曲していると考えられる。昨年から曹長岩の記載が増えたが、山之坊コスモクロア露頭付近から横川周辺に曹長岩が分布している点は変わらなかった。また、横川の蛇紋岩露頭の内部で、ブロックと見られる岩石（トーナル岩と見られる）を確認した。

上記の横川の岩石についてサンプルを採取し、岩石の外側から内側にかけて観察した。主に石英や斜長石からなる白い岩石で、内側と外側で大きな粒度差は見られなかった。また、同じ外側の岩石であっても、場所によって斜長石の有無の差があるなど、不均質な特徴が見られた。

また、フォッサマグナミュージアム所蔵の橋立地域産ひすい輝石岩について、巨岩や破片の粒度変化や薄片の様子の変化を観察した。緑泥石のリンド（外側の皮状の部分）がついた破片については、リンドから離れるほどひすい輝石の割合が減り、曹長石が多く見られるようになっていた。一方で、巨岩から直接採取したサンプルについては、リンドの近くから粒度が粗粒→粉っぽい細粒→細粒と変化していた。曹長石はひすい輝石と比較して粗粒な傾向にあるため、このサンプルについては外側に曹長石が多い可能性がある。

【研究のまとめ】

今回観察したトーナル岩、ひすい輝石岩について、ともに不均質な成分分布であることが考えられる。仮説では岩石の内側ほど曹長岩が多くシリカ成分に富むと考えていたが、巨岩全体でそのような傾向にならないことが考えられる。同心円状の成分分布ではなく、より複雑な分布をしている可能性がある。

今後について、同じ岩石の中できさらに観察を進め、岩石全体で共通していえる傾向を探していきたい、蛇紋岩メランジのブロックの岩石どうしで共通する傾向を見つけることができれば、メランジ内での成分移動について考察を深めることができると期待している。これによって、糸魚川のひすいや曹長岩の成因について、より深く、根拠を持って再検討することに繋げていきたい。その研究によって、糸魚川のひすいを楽しむ文化をより盛り上げていけたらと考えている。

【参考資料】

茅原一也, 新潟県小滝-青海地方のヒスイ. 宝石学会誌, 1巻1号, p. 7-18, 1974年

茅原一也, 飛騨外縁帯ならびに三郡変成帯のヒスイ輝石岩の構造的意義. 地質学論集, 33号p. 31-51, 1989年

Chihara, K., Komatsu, M., Uemura, T., Hasegawa, Y., Shiraishi, S., Yoshimura, T., and Nakamizu, M., Geology and Tectonics of the Omi-Renge and Joetsu Tectonic Belts (5) - Geology and Tectonics of the Omi-Renge Tectonic Belt -, Science Reports of Niigata University, no. 5, p. 1-61, 1979

Goto, K., Kunugiza, K., Miyajima, M., Phase relation in the NaAlSiO₄-SiO₂-H₂O system for the hydrothermal precipitation of jadeite, albite, natrolite, analcime in jadeitite of the Itoigawa - Omi area, Japan. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 112, p. 271-280, 2017

Iwao, S., Albite and Associated Jadeite Rock from Kotaki District, Japan:

A Study in Ceramic Raw Material. GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN, no.153, 1953
河野義礼, 本邦における翡翠の新産出及び其化学的性質. 岩石礦物礦床學22卷 5
号, p.219-225, 1939年

樋座圭太郎, 後藤篤, 宮島宏, 飛驒外縁帶糸魚川・青海地域のヒスイ輝石-ソーダ
沸石脈の形成条件, 日本岩石鉱物鉱床学会学術講演会要旨, 2000年

樋座圭太郎, 中村栄三, 宮島宏, 後藤篤, 小林桂, 飛驒外縁帶糸魚川 - 青海地域の熱
水作用によるひすい輝石岩の形成年代, 2002年度日本岩石鉱物鉱床学会学術講
演会要旨

Keitaro KUNUGIZA, Eizo NAKAMURA, Atsushi GOTO, Katsura KOBAYASHI, Tsutomu
OTA, Hiroshi MIYAJIMA and Kazumi YOKOYAMA, In-situ U-Pb zircon age dating
deciphering the formation event of the omphacite growth over relict
edenitic pargasite in omphacite-bearing jadeitite of the Itoigawa-Omi area
of the Hida-Gaien belt, central Japan, of Mineralogical and Petrological
Sciences, Volume 112, page 256-270, 2017

5万分の1地質図幅「小滝」(長森英明・竹内誠・古川竜太・中澤努・中野俊, 産
総研地質調査総合センター) 2010年

松本謙一, 飛驒外縁帶-青海地域の蛇紋岩メランジエ, 総合研究「飛驒外縁帶」研
究報告, No.1, 1-1, 1980

宮島宏, ヒスイ輝石岩の色と構成鉱物. 日本地質学会第103年学術大会講演要
旨, 1996年

H, Miyajima., S, Matsubara., R, Miyawaki., K, Ito., Itoigawaite, a new mineral,
the Sr analogue of lawsonite, in jadeitite from the Itoigawa-Ohmi district,
central Japan. Mineralogical Magazine, 63(6), p, 909-916, 1999

大森啓一, 本邦産翡翠の光學性質. 岩石礦物礦床學22卷5号, p. 225-236, 1939年

Shido, F. Calciferous Amphibole rich in Sodium from Jadeite-bearing Albite
of Kotaki, Niigata Prefecture. 地質学雑誌 64卷758号, p. 595-600, 1958

植田勇人, 竹ノ内耕, 小河原孝彦, 神居古潭帶と青海-蓮華帶のひすい輝石岩のジ
ルコンU-Pb年代: 残存島弧の沈み込みによるひすい形成の試論, 日本 地質学会
第131年学術大会講演要旨, ポスター, 2024

Tsujimori Tand GEORGE E. HARLOW, Petrogenetic relationships between
jadeitite and associated high-pressure and low-temperature metamorphic
rocks in worldwide jadeitite localities: a review, European Journal of

Mineralogy, 24(2):371-390, 2012

樋座圭太郎, 後藤篤, 日本列島の誕生場—古太平洋の沈み込み開始を示す飛騨外
縁帶の520 Ma の熱水活動—, 地学雑誌, 119 (2), 279-293, 2010

令和7年度 糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.6 田村航遙（東北大学大学院）

【研究の名称】

蛇紋岩化マントルウェッジにおける非生物起源炭素の挙動：糸魚川産グラファイト含有ひすい輝石岩の総合研究

【背景と目的】

過去10年にわたり、沈み込み帯における炭素循環を定量的に理解するための研究が数多く行われてきた（例：Sverjensky et al., 2014；Galvez and Pubellier, 2019；Plank and Manning, 2019）。その一つのアプローチとして、現在は地表に露出している高圧～超高压（HP-UHP）変成岩に保存された、炭素を含む流体包有物を調べる方法がある。最近、Peverelli et al. (2025) は、ひすい輝石岩や曹長石岩のような高圧・低温の交代作用岩の観察に基づき、 CH_4 や H_2 といった還元的なエネルギー源を運ぶ沈み込み帯の変成流体が、収束プレート境界における地下微生物生命を維持するうえで重要であると指摘した。彼女らは、メタン・水素・グラファイトを保持する鉱物の安定領域が、マントルウェッジ内の深さ 35 km 超から、微生物群集が存続可能なより浅部へ向けて、これらの流体が断続的に移動することを示唆すると結論づけた。

本研究では、地表に保存された炭素含有の高圧交代作用岩である「グラファイト含有ひすい輝石岩」に焦点を当てる。ひすい輝石自体は、HP-UHP変成岩における主要造岩鉱物として安定に存在する。しかし、ひすい輝石を卓越して含む岩石（ひすい輝石岩）は比較的希少で、世界でも産地は19か所しか知られていない（Harlow et al., 2015；Tsujimori and Harlow, 2017）。

ひすい輝石岩は一般に、蛇紋岩が卓越する収束域の環境において、(1) 水流体からの沈殿によって、あるいは(2) 既存岩石が広範囲に交代置換を受けることによって形成される（Tsujimori and Harlow, 2012）。通常、レンズ状・ポッド状・脈状の岩体として、または蛇紋岩化した超苦鉄質岩中のメランジュの一部として産し、低温・高圧条件で形成されたと考えられている（Harlow, 1994；Harlow and Sorensen, 2005；Tsujimori and Harlow, 2012, 2017；Harlow et al., 2015）。ひすい輝石岩の脈状産状は、含水流体からの沈殿を示唆し、沈み込み帯内部の流体履歴を記録する岩石学的証拠として位置づけられる（Harlow and Sorensen, 2005；Takahashi et al., 2017）。したがって、ひすい輝石岩中の流体包有物の研究は、前弧深度においてひすい輝石岩が形成された際に存在した、スラブ起源の変成流体の組成に重要な

制約を与える。

【研究内容】

以下のスケジュールにて、本研究を実施した。

日程	主な調査・研究等の概要
令和7年 6月～11月	DEWモデルの Simple back-Calculated Electrolyte Speciation によるアプローチのモデリング計算を行った。
11月9日～ 11月11日	野外調査を行った。 また、糸魚川市内のひすい販売店で研究観察用のひすい輝石岩試料を購入した。
11月～翌年 1月	採集・購入した岩石の薄片を作成し、偏光顕微鏡・SEM-EDSによる鉱物組織の観察、ラマン分光法による流体包有物の観察を行った。

本研究では、糸魚川の青海蛇紋岩メランジュに属する金山谷上流域から採取したグラファイト含有ひすい輝石岩について、岩石学的調査を行った。加えて、ひすい輝石岩、オンファス輝石岩、MORB、蛇紋岩のバルク組成の参考値を用い、温度300～600 °C、圧力0.5～2.5 GPa、酸素フガシティ (f_{O_2}) -10～-40の圧力-温度条件で、相平衡モデリングおよび DEWモデリングを実施した。

DEWモデリングでは、平衡状態にある岩石の化学ポテンシャルに基づいて水流体の化学組成を計算し、単純な逆計算による電解質スペシエーション手法 (Galvez et al., 2015) を用いた。これらの結果に基づき、グラファイト含有ひすい輝石岩がどのように産するのか（どのような条件・過程で出現するのか）を検討した。

【研究のまとめ】

岩石組織観察の結果、対象のひすい輝石岩は以下の3種類に分類できることが分かった：グラファイトに富む黒色のひすい輝石岩、グラファイトに乏しいひすい輝石脈、そしてグラファイト集合体を欠く非常に淡い緑色のひすい輝石である。これらのタイプは、時間的に順次結晶化したと考えられる。グラファイトは、ひすい輝石結晶の内部と粒界の双方に認められ、ひすい輝石とグラファイトが同時に沈殿することを示唆する。P-Tシユードセクションモデリングでは、ひすい輝石とグラファイトの安定領域が広範に重なることが示され、グラファイトの有無が圧力-温度条件のみによって決まるわけではないことが示唆された。むしろ、グラファイト量は、ひ

すい輝石が沈殿した流体中の炭素含有量と関連している可能性が高い。

比較的低温・低圧条件で生じた炭素に富む流体が、グラファイトを含む黒色ひすい輝石岩を形成したと考えられる。これに対し、Ca・Mg・Feに富む炭素に乏しい流体は、グラファイトに乏しいひすい輝石脈および非常に淡い緑色のひすい輝石を結晶化させており、より高温・高圧条件での形成を反映する。微量元素分析では、ひすい輝石岩の微量元素濃度がMORBやDMMに比べて著しく低いことが示され、沈み込む海洋地殻やマントル物質の影響を強く受けた流体というより、より化学的に「純粋」な流体から沈殿したことを示唆する。

沈み込み帯における流体化学の観点からは、DEWモデリングにより、広い岩石バルク組成に対して、温度・圧力が高いほどpHが低下するという一般的傾向が示された。沈み込むMORBが卓越するより深部の環境では、流体は段階的に酸性化する。一方、ひすい輝石岩や仮想的なオンファス輝石組成のようにSiとNaに富む局所領域では、pH低下が比較的小さい可能性がある。これらの結果は、沈み込み帯におけるグラファイト含有ひすい輝石岩の形成を理解するうえで、流体-岩石相互作用、とりわけ炭素含有量の変動が重要であることを示している。また、収束プレート環境において、変成過程と局所的な組成差が、鉱物組み合わせと流体化学の進化の双方を支配することを強調する。

今後、より多くの種類のひすい輝石岩試料を用いて研究を行うことで、ひすい輝石中の微量元素組成や炭素の存在形態や量を系統的に分析し、地下深部の炭素を含む物質の不均質性をより定量的に議論したい。

【参考資料】

- Galvez, M. E. and Pubellier, M. (2019). How do subduction zones regulate the carbon cycle? In Deep carbon: Past to present, pages 276-312. Cambridge University Press.
- Harlow, G. E. (1994). Jadeitites, albitites and related rocks from the motagua fault zone, guatemala. Journal of Metamorphic Geology, 12(1):49-68.
- Harlow, G. E. and Sorensen, S. S. (2005). Jade (nephrite and jadeitite) and serpentinite: Metasomatic connections. International Geology Review, 47(2):113-146.
- Harlow, G. E., Tsujimori, T., and Sorensen, S. S. (2015). Jadeitites and plate tectonics. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 43(1):105-138.

- Peverelli, V., Olivieri, O. S., Tsujimori, T., Giovannelli, D., Shi, G., Canna`o, E., Piccoli, F., and Vitale Brovarone, A. (2025). Cold-subduction biogeodynamics boosts deep energy delivery to the forearc. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 388:195-207.
- Plank, T. and Manning, C. E. (2019). Subducting carbon. *Nature*, 574(7778):343-352. Pouchou, J. and Pichoir, F. (1988). A simplified version of the “pap” model for matrix corrections in epma. *Microbeam analysis*, pages 315-318.
- Sverjensky, D. A., Stagno, V., and Huang, F. (2014). Important role for organic carbon in subduction-zone fluids in the deep carbon cycle. *Nature Geoscience*, 7(12):909-913.
- Takahashi, N., Tsujimori, T., Kayama, M., and Nishido, H. (2017). Cathodoluminescence petrography of p-type jadeitites from the new idria serpentinite body, California. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 112(5):291-299.
- Tsujimori, T. and Harlow, G. E. (2012). Petrogenetic relationships between jadeitite and associated high-pressure and low-temperature metamorphic rocks in worldwide jadeitite localities: a review. *European Journal of Mineralogy*, 24(2):371-390.
- Tsujimori, T. and Harlow, G. E. (2017). Jadeitite (jadeite jade) from Japan: History, characteristics, and perspectives. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 112(5):184-196.