

令和3年度糸魚川ジオパーク学術研究奨励事業 研究概要

No.1 千葉響（新潟大学）

【研究の名称】

糸魚川―静岡構造線の糸魚川地域における挙動と構造発達史の考察

【研究テーマ】

新潟県糸魚川市フォッサマグナパークには糸魚川―静岡構造線の最北部を構成する横川断層が露出する。横川断層は西側に先新第三系、東側に新第三系が分布する東落ちの上下成分を伴う左横ずれ断層とされ、活動時期は山本層堆積以前から今井層の堆積後かつ、後期中新統中新世から前期鮮新世にかけて活動したと考えられている（長森ほか、2010）。ただし、現在は活動していないため初期の断層活動履歴を観察することができる。本研究では、横川断層の活動史を解明することを目的とする。

【研究内容】

本研究では横川断層の活動史を解明するために地表踏査、断層岩や断層岩の原岩観察、X線回折測定を行った。特に、断層岩やその原岩の観察には研磨片や偏光顕微鏡、SEM-EDS、X線CTを用いて観察を行った。

【研究のまとめ】

断層岩組織、姿勢・センス、切断関係から3つのステージに区分した。Stage1においてNE-SW走向、垂直もしくは高角SE傾斜の正断層成分を持つ左横ずれ断層が活動した。この時、先新第三系と新第三系はこの断層で接した。Stage 2ではNE-SW走向、SE傾斜で正断層成分を持つ右横ずれ断層が活動し、Stage 3としてENE-WSW走向SSE傾斜で逆断層成分を持つ右横ずれ断層が活動した。

【参考資料】

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、地質調査総合センター、pp.31-35、66-69、130

No.2 高橋啓太（新潟大学理学部地質科学プログラム）

【研究の名称】

糸魚川西部地域に分布する中生界における地質学的・古生物学的研究

【研究テーマ】

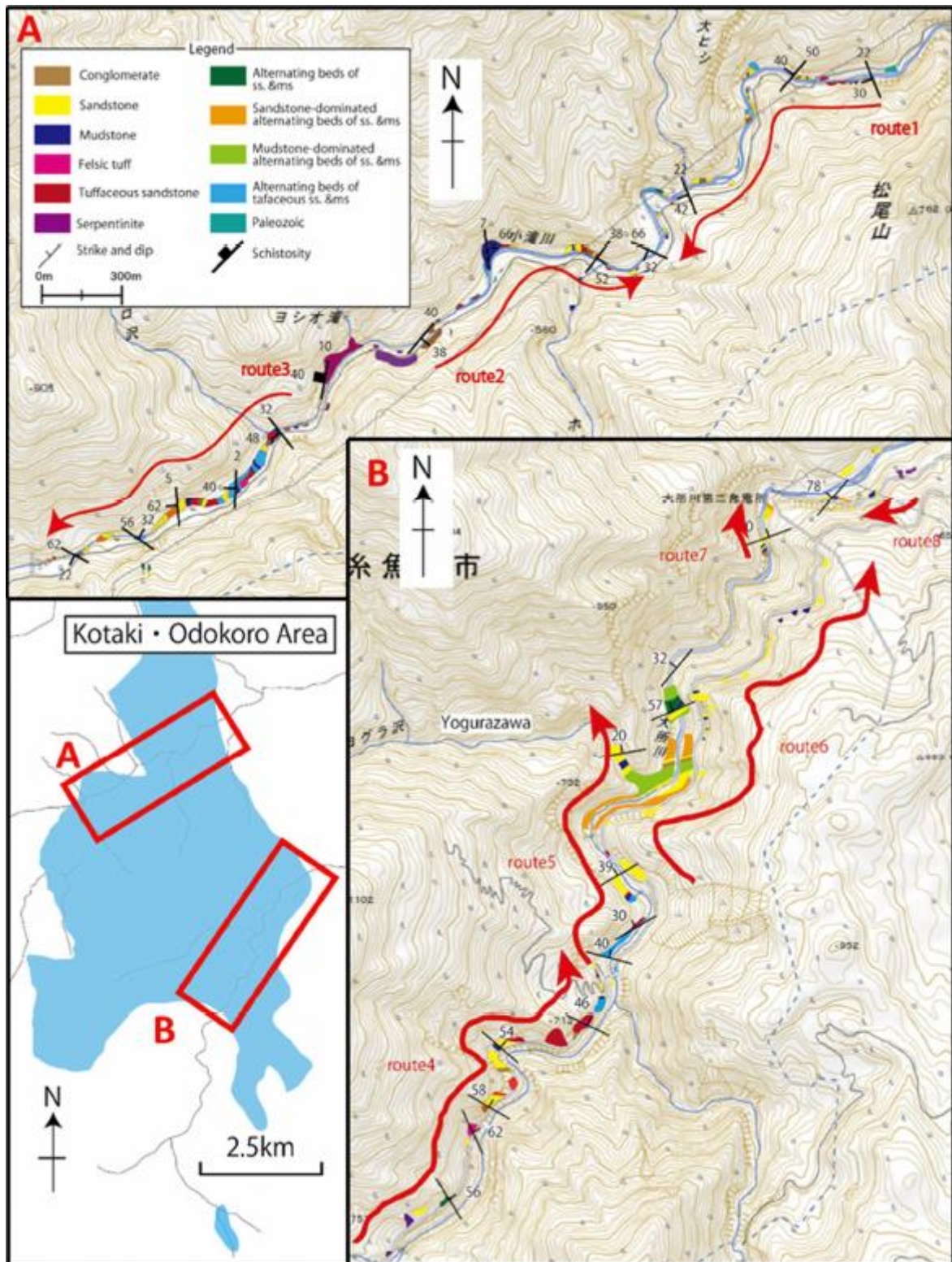
新潟県糸魚川市小滝川流域に分布する中生界の層序及び地質構造の解明

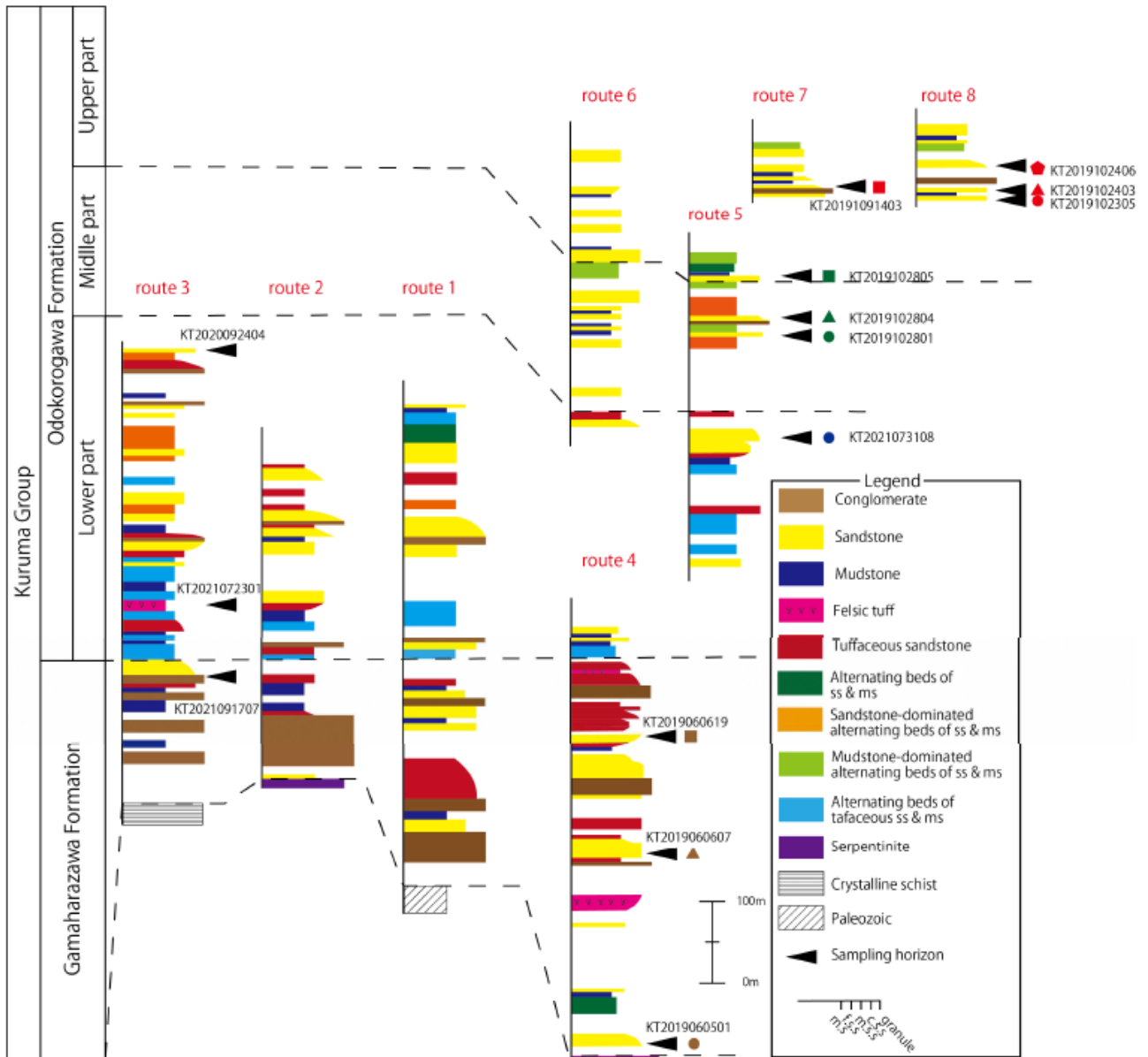
【研究内容】

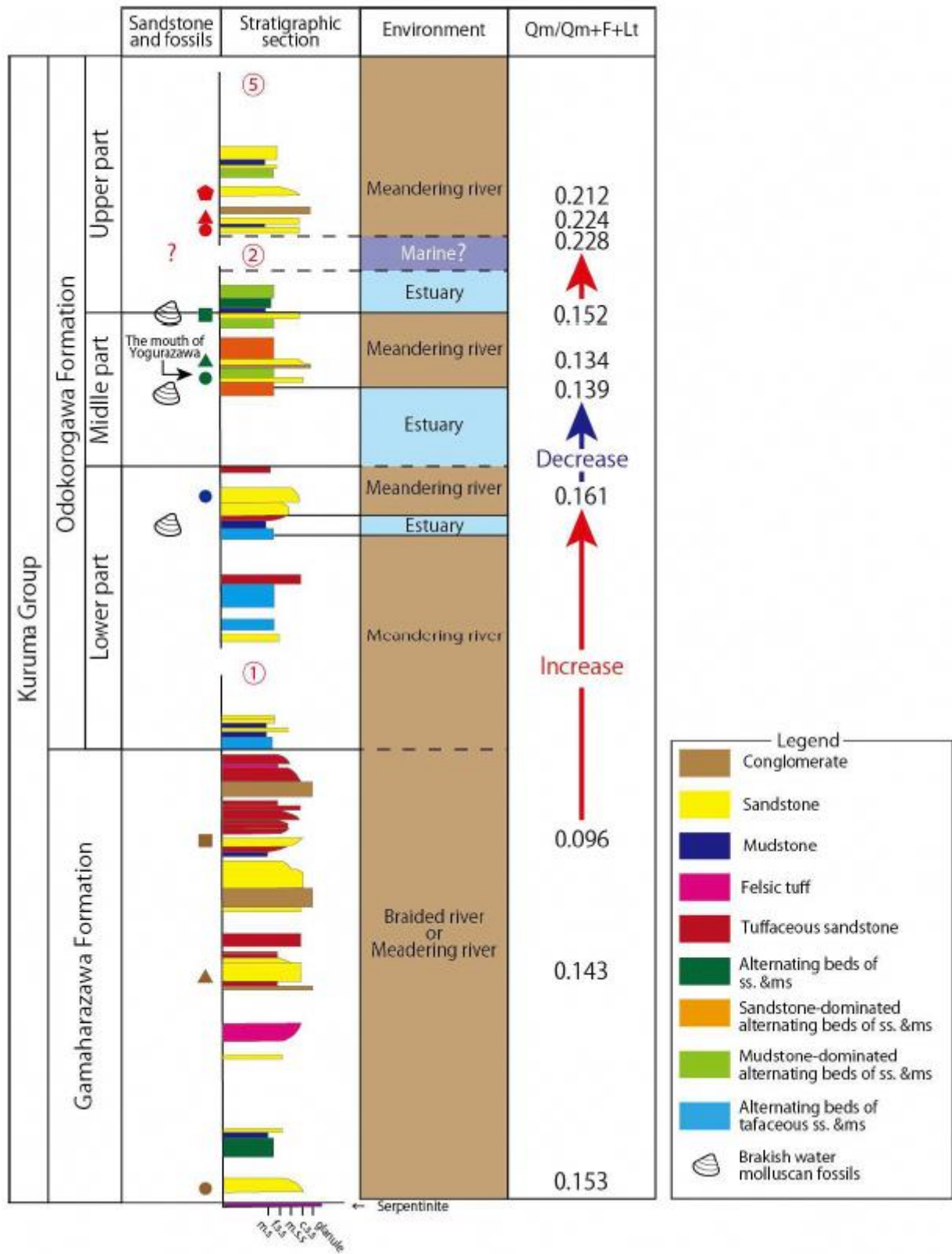
本研究は新潟大学松岡研究室で 2010 年より継続的に行っているグループ研究である。本研究グループはこれまでに糸魚川の中生界の地史について重点的に調査を実施し、その活動報告より糸魚川地域に分布する中生界の意義を内外にアピールしてきた。本研究グループでは、調査の成果として7編の論文を公表し、4回の学会発表を行った。本研究は、糸魚川の中生界の地史（層位関係、生態系、堆積環境、後背地など）の解明を目指している。本年度は、糸魚川市西部に分布する中生界下部ジュラ系来馬層群とペルム系小滝層を対象に、地質学的な野外調査を行う。それに並行して、室内作業として岩石の薄片による詳細な観察を行う。

【研究のまとめ】

小滝地域および大所地域の来馬層群の堆積環境は、網状河川、蛇行河川、エスチュアリーがみられる。大所地域の砂岩組成を測定した試料は、すべて網状河川または蛇行河川で形成された砂岩であった。これらの砂岩組成は、上部層に向かって大局的に Q_m が増加する。しかしながら、大所川層下部から中部にかけては、 Q_m の値が減少する。砂岩組成を測定した試料は、網状河川または蛇行河川で形成された砂岩であり、堆積環境による組成変化は少ないと推定される。よって、大所川層下部から中部にかけての、 Q_m の値の減少は、後背地のテクトニックセッティングが強く関与していると解釈できる。







No.3 樋口絢渉（立正大学大学院 地球環境科学研究科）

【研究の名称】

新潟焼山火山のマグマ混合に関する研究

【研究テーマ】

斜長石の化学組成を用いてマグマ混合様式について検討する

【研究内容】

本研究の対象である新潟焼山は、新潟県南西部に位置する活火山であり、妙高火山群の中では最も新しく、火山列最北端に位置する成層火山でもある（早津、2008）。その活動は早津（2008）、早川ほか（2011）、酒井ほか（2014）により第1期から第5期に区分される。ファイズ・石崎（202）によって新潟焼山の誕生は約 5000 年前であったと報告されている。

岩石学的研究は第3期から第5期の噴出物を対象に行われている（例えば小林・石崎、2013、2014、吉田・斉藤、2019）。これまでの先行研究は第3期から第5期の火山活動に関する検討がほとんどであり、第1期から第5期の活動を包括的に取り扱った検討は行われていない。

そのため本論では第2期を除く第1期から第5期噴出物の全岩化学組成、鉱物組成をもとに新潟焼山の誕生から現在までのマグマプロセスについて包括的な検討を行う。

【研究のまとめ】

試料と鏡下観察

野外調査によって第1期と第3期から第5期に対応する試料の採取を行った。なお、第2期の噴出物は降下火山灰しか見つかっておらず、マグマの本質物質となる岩石は採取されていない。採取された試料は玄武岩質岩、安山岩質岩、斑岩、ドレライトである。

玄武岩質岩・安山岩質岩の斑晶の組み合わせは斜長石単斜輝石＋斜方輝石＋不透明鉱物±カンラン石±普通角閃石であり、カンラン石と普通角閃石の有無が試料によりことなる。また斜長石斑晶には汚濁帯をもつものがみられ、汚濁をもつ斜長石は第1期・第3期に対し第4期・第5期の試料の方が少なくなる傾向がある。

斑岩とドレライトは第1期の試料にそれぞれ1つ含まれており、斑岩は斜長石+石英+普通角閃石+黒雲母+不透明鉱物が斑晶として含まれ、ドレライトは斜長石+石英+普通角閃石+黒雲母+不透明鉱物が斑晶として含まれる。

全岩化学分析

第1期の噴出物のSiO₂量は58.08 wt%~63.87 wt%、斑岩は63.55 wt%、ドレライトは50.65wt%を示す。また、第3期の噴出物のSiO₂量は59.25wt%~63.87wt%を示している。第4期の噴出物はSiO₂量において58.59wt%~62.51wt%の組成差を示し、第5期の噴出物はSiO₂量60.20wt%~60.90wt%の組成差をもっており、第1期から第5期にかけ組成幅が狭くなる傾向がみられる。

鉱物分析

斜長石のコアからリムにかけての分析結果を図1に示す。分析された斜長石の内、汚濁帯のあるものをD-Pl、汚濁帯の無いものをC-Plとし、さらにC-Plの内、コアのAn成分が高いものをC-Pl高An型、コアのAn成分が低いものをC-Pl低An型と分類した。また一部の斜長石には、成長段階で別の斜長石を取り込んだものが観察され、取り込まれた斜長石を図では青丸で囲っている。

加えて普通角閃石の組成について分析を行った。分析箇所は斑晶のリム、またはリムでオパサイト化が進んでいた場合はそのすぐ内側の組成を測定した。分析結果をもとに、温度をFilippo(2021)から、圧力をRidolfi and Renzulli(2012)から求め、図2に圧力と温度の関係を示した。その結果、第1期・第3期に対し第4期・第5期のマグマの方が、温度の最小値が低いことが明らかになった。

考察

今回は、新潟焼山のマグマプロセスを検討するため、試料数が多く、活動期内および活動期ごとに比較できる玄武岩質岩、安山岩質岩に絞って議論を行う。また小林・石崎(2013、2014)の考えを踏襲して下部に高温の玄武岩質マグマ、上部に低温のデイサイト質マグマが存在すると仮定して議論を行う。

初めに玄武岩質マグマの性質を検討するために斜長石の分析結果を整理すると、D-Plがマグマ混合の影響を受けており、C-Pl低An型はマグマ混合後に形成され、C-Pl高An型はマグマ混合の端成分である玄武岩質マグマに含まれていたと考えられる。

図1に示すように、斜長石のAn成分に注目すると、第1期・第3期の斜長石には

An90台のものが含まれるのに対し、第4期・第5期になると最大でAn85%台の斜長石しかみられない。また、第5期の試料にカンラン石が含まれないことも含めて考えると貫入してくる玄武岩質マグマが分化したと考えられる。

Ridolfi and Renzulli(2012)によって求められた圧力からマグマが存在していた深さを求めた。その結果、マグマ溜まりの深さは活動期ごとに変化しておらず、約5～6 kmにマグマ溜まりが存在していたと推定される。フォッサマグナに堆積する新第三系の厚さも約6kmであることから、新潟焼山のデイサイト質マグマ溜まりは、新第三系の下限に存在していると推定される。

また活動期ごとの、D-PlとC-Plの割合をみると、第1期・第3期に対して第4期・第5期のD-Plの割合が少ない傾向がある。加えて、マグマの温度も第1期から第5期にかけて低下する傾向がみられる。そのため貫入してくる玄武岩質マグマの量が減少していたと考えられる。

ファイズ・石崎（2019、2020）による新潟焼山と妙高火山の噴火史の検討から、新潟焼山が誕生した5000年前以降も妙高火山の活動があった可能性が示唆されており、約5000年前は新潟焼山や妙高火山の火山活動が活発だった可能性が考えられる。そのため、新潟焼山の第1期のマグマプロセスと、妙高火山の最終活動期のマグマプロセスの関係性を検討することで、第四紀の北部フォッサマグナ地域のマグマ活動についても明らかにできると考える。

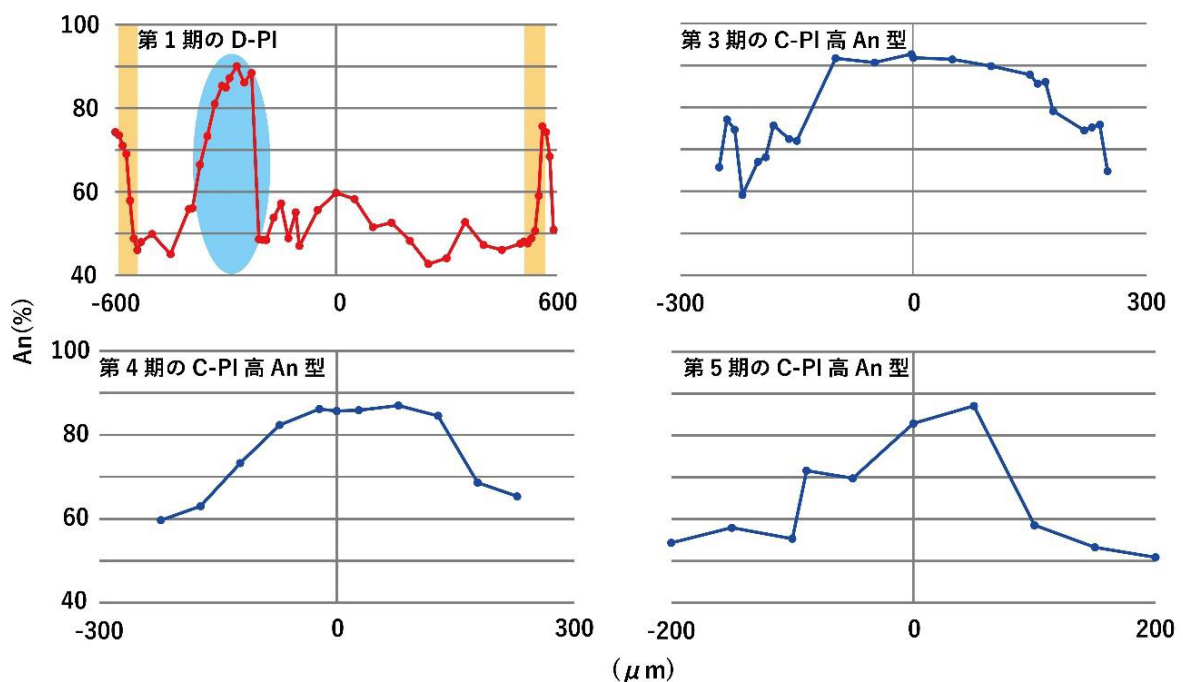


図1 斜長石のコアからリムにかけての組成変化

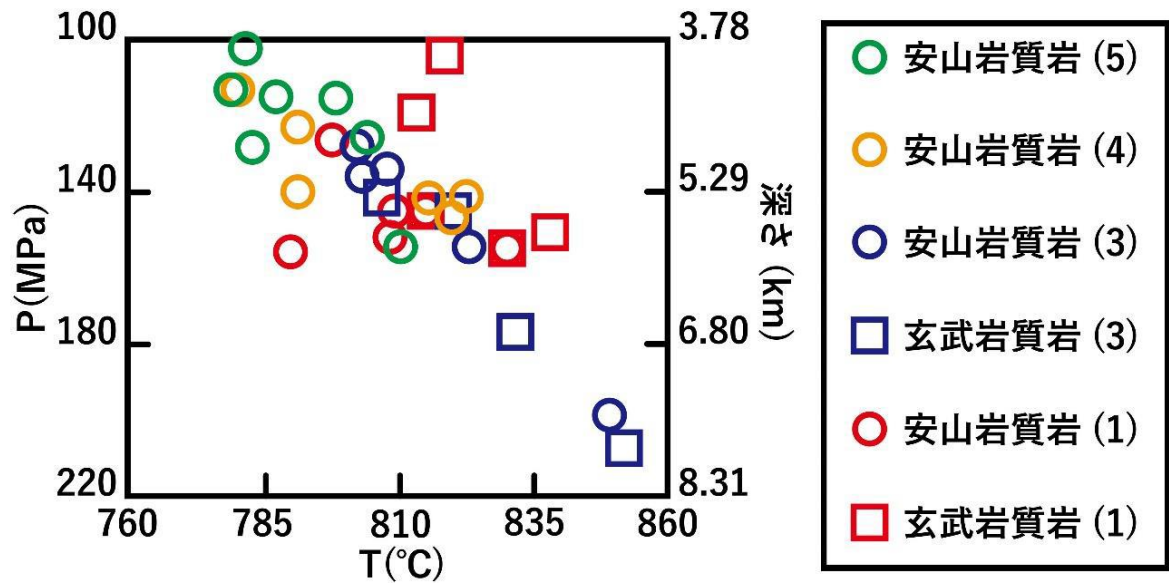


図2 普通角閃石の化学組成から求めた温度と圧力と深さの間系

【参考資料】

ファイズ・石崎(2019) 日本火山学会講演予稿集, p. 153

ファイズ・石崎(2020) 日本火山学会講演予稿集, p. 75

Filippo, R. (2021) Minerals 2021, p. 324

早川ほか(2011) 地学雑誌, pp. 120, 536-546.

早津(2008) 実業公報社, p. 424

小林・石崎(2013) 日本火山学会講演予稿集, p. 118

小林・石崎(2014) 日本火山学会講演予稿集, p. 181

Ridolfi and Renzulli (2012) Contributions to Mineralogy and Petrology. pp. 163, 877-895.

酒井ほか(2014) 自然災害科学, pp. 33, 221-232.

吉田・斉藤(2019) 日本火山学会講演予稿集, p. 151.

No.4 相場菜摘（新潟大学地学部地質化学プログラム）

【研究の名称】

地すべり移動体の流化：2021年3月3日に発生した新潟県糸魚川市来海沢地すべりの例

【研究テーマ】

来海沢地すべりは、地すべり規模に対して土砂移動距離が長く、長距離の流動をしていること 特徴してあげられる。

地すべり移動体が長距離移動する要因には、基岩地質や風化土層の流動化特性として、土砂の強度・コンシステンシー・粒度分布・含水比・鉱物組成が、地形条件として斜面の傾斜や流下経路の形状が、水文・気象条件として融雪水量や地下水の集範囲などがあげられる。

本研究では、地質及び土質の特徴を明らかにし、長距離移動の要因の1つである土砂の流動化プロセスを明らかにすること研究の目的とした。

【研究内容】

野外調査では、地形・地質調査と土質試験用の料採取を行った。

土質試験については 土壌硬度・針貫入試験、液性・塑性 限界試験、透水試験、粒度試験 を実施した。

・野外調査の結果

現地に露出する斜面堆積物（崩土）・風化シルト岩・未風化シルト岩を観察した。崩土は、泥岩・シルト岩を基質とし、泥岩礫・火山岩礫を含む。風化シルト岩は弱風化と強風化に細分化でき、弱風化シルト岩は灰色で亀裂が発達し、強風化泥岩は黄褐色で礫が混在する。未風化シルト岩は、暗灰色の塊状砂質シルト岩及び細粒砂岩・シルト岩互層で、スレーキングしている箇所も確認できた。地すべりからの流出土砂である泥濘状の泥流堆積物も観察した。水分は長期間保持されており、発生から8ヶ月以上が経過した10月調査の時点でも、掘り返すと非常に水分富む泥濘状であった。

地質調査および土質試験の結果を整理して、岩相及び土質性質総括表を作成した（表-1）。

・土質試験の結果

土壌硬度・針貫入試験の結果、本地すべり地の泥岩層や崩土においては、土壌硬度試験結果（支持強度に換算）と針貫入試験結果（一軸圧縮強度に換算）に強い相関関係が示された(図-1)。これにより、支持強度のみ得られた土層においても試験結果を一軸圧縮強度に変換でき、それぞれの岩相の強度を比較できるようになった。

得られた一軸圧縮強度には、風化シルト岩と未風化シルト岩の間に大きな較差が認められた（表-1）。この結果は新潟県の調査によって推定されたすべり面と矛盾しない。

表-1 地質及び土質性状総括表

層名	凡例色	記載	一軸圧縮強度 (kN/m ²)	液性限界 (%)	塑性指数	透水係数 (m/sec)
崩土		基質は赤茶けた泥・シルト、礫は泥岩礫や火山岩礫。土層中や、泥岩層との境界から水が出ていることが確認された。	2966.1～ 4483.3	47.1	13.3～22.9	1.13×10 ⁻⁵
強風化シルト岩		白や黄みがかった部分のある風化シルト岩。内部には礫なども入り込んでいる。	6070.4	52.8	31.2	2.27×10 ⁻⁷
弱風化シルト岩		風化の度合いがやや弱い灰色のシルト岩。クラックやジョイントが見られる。	3282.6	46.7	22.4	3.44×10 ⁻⁷
未風化シルト岩 (基岩)		暗灰色の塊状シルト岩および細粒砂岩・シルト岩互層。露出箇所ではスレーキングなどが見られる。	(3282.6) 18667.3～ 21897.0	42.3～47.7	17.9～26.3	1.26×10 ⁻⁵
泥流堆積物		地すべりによって流れ出した堆積物。崩積土や泥岩に比べても自然状態での水分量が非常に多い。		43.8～49.9	20.9～30.2	4.75～39.4× 10 ⁻⁹

液性・塑性限界試験により、来海沢地すべり地の崩土・風化シルト岩・未風化シルト岩・泥流堆積物のどれもが比較的低い液性限界を持つ結果（表-1）を得た。また塑性図を作成したところ、いずれもA線付近にプロットされ、石田ほか（2018）などによる周辺の長距離移動型地すべり（真木・釜沢など）と類似の傾向が確認できた。

透水試験の結果、来海沢地すべりの崩土・風化シルト岩・未風化シルト岩・泥流堆積物はどれも低い透水係数を有するが、中でも泥流堆積物は風化シルト岩と比べても2桁ほど透水係数が低い結果（表-1）となった。低い透水係数によって、土砂から水が分離されにくく、液体状が保持されやすいと考えられる。

粒度試験を行い、粒径加積曲線（図-2）を作成した結果、崩土の基質部分及び風化シルト岩について、2つの卓越する粒径範囲もつ特徴的な形状が確認できた（図-2B・C）。これは、石田ほか（2018）による周辺の長距離移動型地すべりの崩土の基質部分にも認められる（図-2A）。一方で、泥流堆積物には、卓越する粒径範囲が認

められなかった（図-2D）。崩土や風化シルト岩からなる流出土砂は長距離を移動する過程で粒子破碎を起こしたと考えられる。

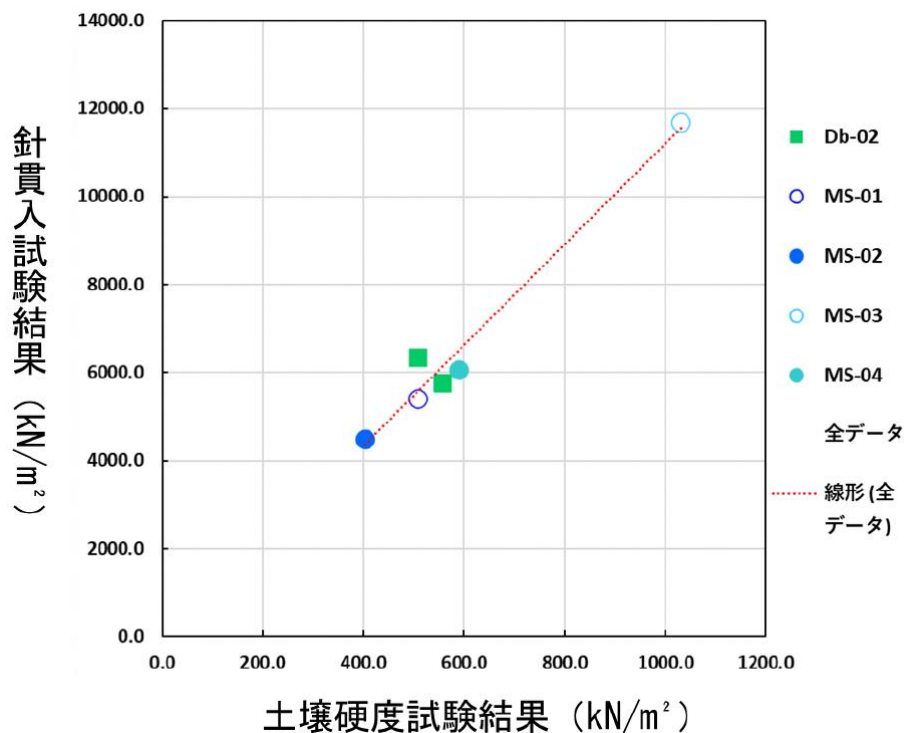


図-1 土壌硬度試験結果と針貫入試験結果の相関

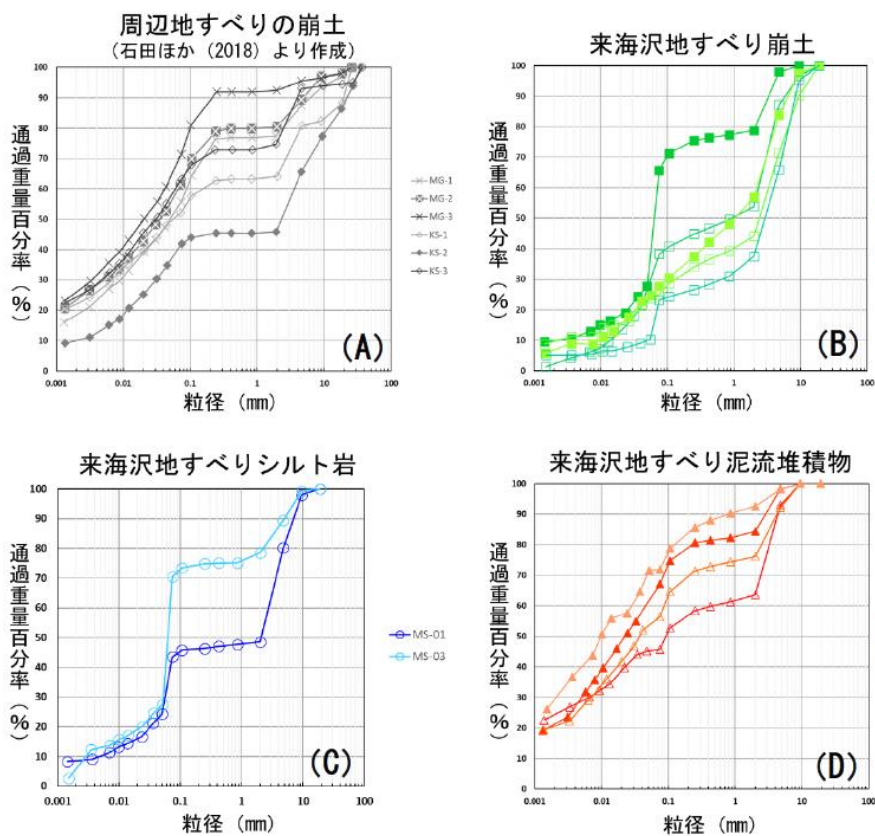


図-2 粒径加積曲線

【研究のまとめ】

1. 液性限界・塑性限界試験の結果、来海沢地すべりの土は少ない含水比で液性限界に至る。

2. 泥流堆積物は風化シルト岩と比べて、透水係数が2桁小さく、水が分離されにくいため、液体状を保ちやすい。

以上のことから、来海沢地すべりの土は比較的少ない水量でも液体状になりやすく、さらに、低い透水性により土砂と水が分離されにくいため、長期間にわたって泥濘状態が保持されたと考えられる。

3. 土砂が流下する過程で粒子破砕による細粒分が増加のために、さらに水分が保持されやすくなり、緩慢な傾斜になってからも長距離を移動した。

【参考資料】

石田孝司・金澤瑛・丸山清輝・石川茂・平松晋也，2018，「糸魚川市海川流域の2箇所が発生した地すべりの特徴と移動体土質性状」第67回平成30年度砂防学会研究発表概要集，pp513-514.

土木学会，2015，「土質試験のてびき(第三版)」公益社団法人土木学会・丸善出版株式会社，pp25-40.

長森英明・古川竜太・竹内誠・中澤努，2018，「糸魚川地域の地質」地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)，pp21-45.

新潟県地すべり対策研究会，2021，「2021年3月3日 新潟県糸魚川市来海沢地区で発生した融雪地すべり(速報)」日本地すべり学会誌，pp58，41-46.

No.5 青木綾乃（新潟大学自然科学研究科）

【研究の名称】

糸魚川市蓮華温泉周辺と大所流域での地すべり分布とその特徴解明

【研究テーマ】

糸魚川市蓮華温泉周辺における、リモートセンシングを用いた、滑動する地すべりのモニタリング手法適用と課題

【研究内容】

大所川流域は、糸魚川-静岡構造線の西縁に位置し、地殻が変成・構造運動による山体深部の破碎により、地すべり性崩壊地が多く確認されている（針生ほか、2003）。

大規模な土砂移動現象による被害を防止するには、地すべりや崩落などの表層や深層の斜面崩壊を早期に把握する必要があるが、地すべりの滑動状態を知ることや滑動する地すべりに対して、継続的に現地で観測することは難しい（神山ほか、2015）。そのため、斜面災害を面的にかつ効率的なモニタリングする手法として、マイクロ波データを利用した差分干渉SAR解析などのリモートセンシングが注目されている（林野庁、2020）。しかしながら、山岳地域での差分干渉SAR解析法の適用については、衛星のマイクロ波照射角度や照射方向によりすべての地すべりが検出できないなどの問題があり、それらを十分考慮せずに使用されている現状がある。

そこで、本研究では、リモートセンシングによる山岳地域での地すべりモニタリングに最適な手法を見出すため、多くの地すべり地形が発達する大所川流域において、差分干渉SAR解析と航空レーザー測量データのイメージマッチング解析を用いて、現在滑動する地すべりの検出を試みた。また、今回リモートセンシングで得られた地すべりの移動量を検証するため、現調査GNSS測量を実施した。

【研究のまとめ】

- ✓GNSS測量：2021年9月14日～10月7日までの2時期で観測した地点では1点のみであり、23日間で12cmの移動が確認された。この地点は白高地沢の地すべり内でも移動量が大きいと予測される地点である。今年度の観測地点と同じ地点で来年度、再計測をすることにより、1年間の地すべり移動量を検出する。
- ✓UAV（ドローン）撮影 UAV空撮画像から作成したオルソ補正は衛星画像や航空レーザー測量では捉えられない30cmほどの礫を捉えていた。また、地すべり上の凹地

- に複数地点で水が溜まっていることも確認できた。そのため、UAVによる撮影を来年度も実施することで、2時期での地すべり面的な変化を観測する予定である。
- ✓地すべりの踏査：地すべりの活動域と不動域の境界に発達する水路を確認した。また、地すべりの移動量が大きいところでは、植生が発達しておらず、砂礫による崖が形成されていた。
 - ✓差分干渉 SAR解析・航空レーザーデータ解析：両手法から検出された地表面変動の候補地をプロットした。地表面変動域は大所川の流域全体に分布していた。また、地すべりの検出にお差分干渉 SAR解析は、航空レーザー測量データでは検出できないような小さい変動を捉えることができるようになった。一方で、航空レーザー測量は差分干渉 SAR解析で検出が難しい傾斜が急な箇所での地すべりや移動量が多い地すべりの検出に適していることが示唆された。
 - ✓過去の空中写真：1976年～2019年の地すべり移動量と2011年～2019年の地すべりの移動量を同一点が特定できる場所で比較したところ、白高地沢の地すべりの下流部では、移動速度に大きな変化はなく、一方、上流部では、2011年～2019年で移動量が大きかった。速度が大きい上流部では、航空レーザー測量データの標高値の差分から、滑落崖周辺からの土砂供給があることが考えられ、地すべりの移動量に影響を及ぼした可能性がある。

【参考資料】

大所地すべりの発生機構とその挙動(針生ほか, 2003).

干渉 SAR解析による斜面の微小変動の把握(神山ほか, 2015).

山地保全調査委託事業報告書(林野庁, 2020).