

年代測定研究部



研究テーマ・キーワード

- AMS-¹⁴C 年代測定
- ¹⁴C 分析法・測定法の開発
- 宇宙線生成核種分析
- 同位体分析
- 古環境復元
- 地球年代学
- CHIME 年代測定
- 微小領域分析と分光学

地球環境の短期・長期予測とその対策・対応は、人類共通の喫緊の課題である。将来の地球の姿を予測するためには、過去の事象やそれを引き起こした要因の理解を深化することが必要となる。そのため、過去の事象がいつ起きたのかを知ること、すなわち年代決定が重要な意味をもつ。年代測定研究部 (Division for Chronological Research) では「時間軸」をキーワードとし、46 億年にわたる地球史上のイベントから考古学資料、文化財資料や近現代の文物までを研究の対象とした幅広い年代学研究を行っている。また、大学院環境学研究科地球環境科学専攻地球史学講座 (協力講座) として、フィールドワークや実物を重視した年代学と関連研究の教育を行っている。

同研究部のタンデトロン年代測定研究グループでは、加速器質量分析法 (AMS) を用いた ¹⁴C 年代測定を行なっている。約 5 万年前から現在に至るまでの地球環境変動や人類史の理解に向けた学際的な研究を行うとともに、新たな ¹⁴C 分析・年代測定法の研究開発を行っている。また、¹⁴C や ¹⁰Be などの宇宙生成核種の時空間変動に着目した地球・宇宙環境の性状と動態の理解を促す研究、考古学・歴史学などの研究者と連携した文理融合研究なども進めている。

微小領域年代測定研究グループでは、世界に先駆け名古屋大学で開発・実用化された Chemical U-Th-total Pb Isochron Method (CHIME) 年代測定法により、地球が誕生した約 46 億年前から約 100 万年前までの地球史イベントの理解を目指している。ミクロンスケールの空間分解能をもつ電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いることにより岩石試料などの微小領域の年代測定を非破壊分析が可能となり、ジルコンやモナズ石などに刻まれているイベントの遍歴を解読している。

2018 年度の主な活動

JASPAR – 日本・スペイン・パキスタン考古学研究イニシアチブ

The Japan-Spain-Pakistan Archaeological Research Initiative (JASPAR) は、パキスタン南部シンド州の考古学研究イニシアチブである。海外からは Shah Abdul Latif 大学 (パキスタン)、Endowment Fund Trust for Preservation of the Heritage of Sindh (パキスタン)、Universitat Pompe Fabra (スペイン) などの学術機関、国内では NPO 法人南アジア文化遺産センター、東京大学、名古屋大学、産業技術総合研究所などの機関が参加している。本イニシアチブは、初期現生人類が移住期からインダス文明 Harappan 期 (紀元前 2600 年–1900 年) の古環境・考古学・民族生物学研究を推進し、乾燥地域の農耕の起源やその発展史やインダス文明の起源や盛衰、インダス文明の消滅、気候変動とヒトの相互作用などの謎について学際的に検討するものである。2018 年 1 月から 2 月には、パキスタン東部のタール砂漠において考古学・古環境研究者による国際共同調査を実施した。



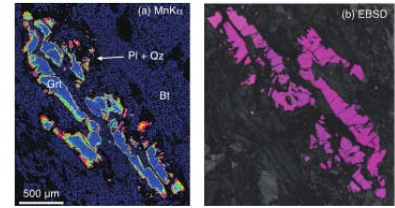
パキスタン東部のタール砂漠での JASPAR 共同調査。

ざくろ石斑状変晶の組織解析

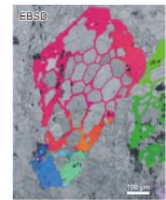
褶曲構造、面・線構造や結晶方位定向配列など、広域変成岩で観察されるさまざまなスケールのファブリックの解析から、広域変成作用は全体として動的過程で進行していると考えられている。昇温・降温変成作用時に、この状態にあったかどうかを検証するため、電子後方散乱回折装置 (EBSD) と電子線マイクロアナライザー (EPMA) を組み合わせて利用してざくろ石斑状変晶の組織解析を行った。

研究対象とした試料は、中国・蘇魯超高压変成岩、ミャンマー・グラニュライト、三波川変成岩である。ざくろ石は単一結晶が複数のセグメント化して集合体となっ

ているもの (上図) とハニカム (蜂の巣) 構造を示すもの (下図) に大別される。個々のセグメント (断片) は互いに共通する結晶方位を維持している。このことは、(1) ざくろ石のセグメント化 (分割) は、機械的な破碎によって起こったのではなく、静的な条件下で進化したこと、(2) セグメント化した以降に変成岩が地表に露出する過程 (exhumation) で、結晶方位を乱す変形運動を記録していないことを意味している。ハニカムざくろ石は、全体として共通した結晶方位を有している。このことは、(1) このざくろ石が単結晶として成長したこと、(2) この組織が形成された後にそれを破碎するような変形運動を記録していないことを示している。これらのデータは、従来の一般的理解とは異なり、様々なタイプの広域変成岩は共通して、それらが地表への露出する過程において、少なくともざくろ石の組織解析から認識可能な期間、静的な環境を経験したことを意味する。



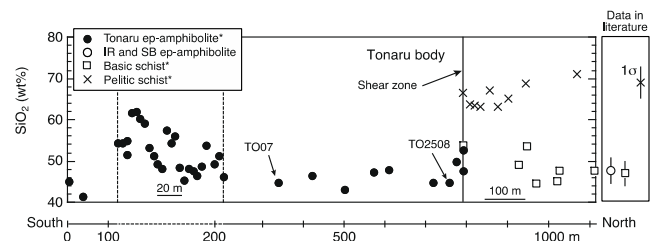
セグメント化したざくろ石の (a) EPMA MnK・マップと(b) EBSD マップ(ミャンマー・Mogok グラニュライト)。鉱物の略号: Bt: biotite, Gtr: garnet, Pl: plagioclase, Qz: quartz.



ハニカム構造を示すざくろ石のEBSDマップ(三波川変成帯 石英片岩)。

四国中央部三波川変成帯緑れん石—角閃岩および周囲の片岩の岩石学的・地球化学的研究

沈み込み帯は、地殻物質が上部マントル内へ沈み込む場であり、ウェッジマントルとスラブの間で様々な化学的相互作用が起きている。四国三波川変成帯には、典型的な沈み込み帯深部において、緑色片岩相から緑れん石—角閃岩相条件下で再結晶した変成岩類が分布している。四国三波川帯別子地域の国領川沿いには、その原岩が下部地殻に由来するとされる緑れん石—角閃岩と陸域表層物質に由来する泥質片岩が広く分布している。このうち、緑れん石—角閃岩は、これまで層状斑れい岩を原岩としていたと考えられてきた。しかしながら、周囲の結晶片岩との境界部付近には、結晶質石灰岩が層状にはさまれており、そのようなおそらく堆積岩に由来すると考えられる変成岩の産状は、緑れん石—角閃岩が層状斑れい岩からなるとする従来の考え方だけでは説明できなかった。両岩相の境界を横切るルートにそって全岩主要元素組成、微量元素組成や希土類元素組成を系統的に分析した結果、緑れん石—角閃岩は、はんれい岩と泥質—苦鉄質岩混合岩相を原岩とする複合岩体を形成していることが明らかとなった。



国領川ルートに沿う全岩 SiO₂ 量の変化。

氷床融解イベントの検出に向けたアムンゼン海の海底堆積物の掘削

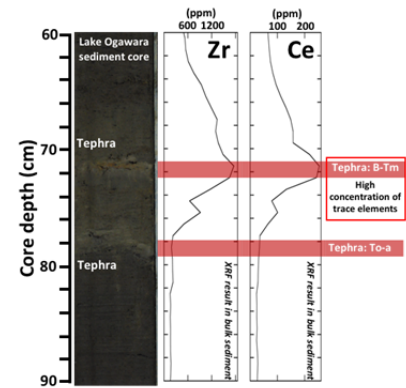
西南極氷床の中でアムンゼン海に流出する区域は、現在の南極で最も氷河が減少しており、地球温暖化による大規模な氷床の融解が危惧されている地域である。2019年1月から3月にかけて、国際深海科学掘削計画 (IODP) 第379次航海が、ジョイデス・レゾリューション号を用いて行われ、南極海のアムンゼン海域の2地点で海底堆積物コアが掘削された。本航海に乗船し、掘削された海底堆積物コアの物理的性質の測定を実施した。今後の詳細な分析から、過去500万年間における西南極氷床の融解イベントの検出が期待される。



ジョイデス・レゾリューション号。

湖底堆積物に保存された白頭山噴火テフラ(B-Tm)の微量元素組成

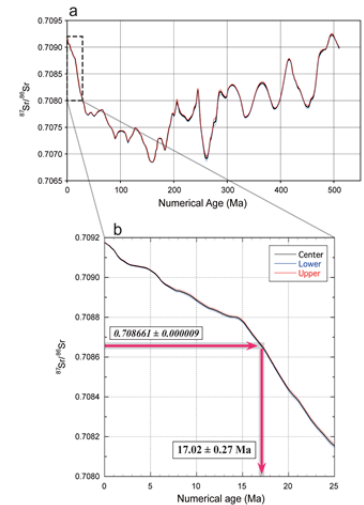
中国と北朝鮮の国境に位置する白頭山 (128°03' E, 41° 00' E) において、西暦 946 年にプリニー式の大噴火が発生した。噴出した火山灰は、日本の東北部や太平洋沿岸、またグリーンランドの氷床コアからも見出されている。噴火年代が 1 年の解像度で決定している白頭山火山灰テフラ (B-Tm) に着目することで、厳密な年代決定を行うことができる。従来の研究において、テフラの同定は火山ガラスの屈折率や EPMA を用いた主要元素の分析結果の主成分分析から行われてきた。本研究ではこれらの分析に加え、青森県小川原湖で採取された湖底堆積物中の B-Tm テフラ層に含まれる火山ガラスのレーザーアブレーション分析 (laser ablation inductively coupled plasma-mass spectrometry; LA-ICP-MS)、堆積物の蛍光 X 線分析および溶液 ICP-MS 分析から、微量元素組成の特徴を明らかにした。B-Tm テフラ層に含まれる火山ガラスには、Zr、Hf、Ta および希土類元素が非常に高濃度である特徴がみられた。また、B-Tm テフラ層の微量元素パターンは、他の日本の火山ガラスと比較して、明らかに異なる元素パターンを持つことが明らかになった。これらの結果より、B-Tm テフラの微量元素分析が、環境試料中の B-Tm テフラ層発見に非常に有効な手段であることが示された。



小川原湖堆積物の Zr、Ce 鉛直分布図と堆積物写真。

球状コンクリーションの Sr 同位体比による高精度地質年代決定法の開発

堆積岩中に普遍的に形成される炭酸カルシウム (CaCO_3) の球状岩塊 (球状コンクリーション) は、地層の堆積後、生物起源の炭酸と海水中のカルシウムイオンとの反応で、非常に速く (数ヶ月-数年で) 形成されること、その形成メカニズムは定量的に一般化できることが明らかとなってきた。この球状コンクリーションは、海底下の地層中で急速に成長する際に、堆積当時の海水中のストロンチウム同位体比 ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) を一般的に保持する。そのメカニズムを利用し、コンクリーション中に記録された $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ を海水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体曲線にフィッティングさせて地層の形成年代の測定を試みた結果 (右図)、化石などで推定される従来の地質年代 (通常、 ± 100 万年程度の年代誤差をもつ) が、高精度 (± 10 万年程度の年代誤差) に決定可能であることが明らかになった。今回の研究結果は、化石を産出しない世界中の堆積岩においても、球状炭酸塩コンクリーションを使って、これまでより精度の高い地質年代の決定が可能であることを意味しており、今までにない地質年代決定法として、地球科学分野や地球資源工学分野での幅広い応用と利用が期待される。



海水の $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 同位体曲線と球状炭酸塩コンクリーションの $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Yoshida et al., 2019)。

EPMA 定量分析モデルの比較

電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いた CHIME 年代測定では、ウラン、トリウムおよび鉛の定量分析の正確さが年代の正確さにつながる。EPMA 定量分析では、標準物質の化学組成と特性 X 線強度、および、未知試料の特性 X 線強度から補正計算により未知試料の化学組成を推定する。補正計算には様々なモデルが提唱されており、用いるモデルにより得られる化学組成が変わってしまう。また、質量吸収係数などの物理パラメータによっても得られる化学組成が変わってしまう。さらに、装置のメーカーやモデルごとにサポートされるモデルやパラメータが異なる。

正確な定量分析を行うことができるモデルを明らかにするため、年代が既知の 2 つのモナズ石試料 (NMQL: Knoper, 2000, 1033 Ma と 44069: Aleinikoff et al., 2006, 426 Ma) の CHIME 年代測定を行い、補正計算に用いるモデルとパラメータを変えて得られる年代を既知の年代と比較した。その結果、PAP、XPh、XPP および Kato (2005) の係数を用いた Bence-Albee 法では 1% 以内の誤差であったのに対し、他のモデルでは系統的に年代が古くなることが明らかになった。

CHIME 年代と LA-ICP-MS 年代の比較

Skrzypek et al. (2018)ではモナズ石を LA-ICP-MS と CHIME で年代測定した。その結果、CHIME の方が誤差・バラツキともに小さいものの、LA-ICP-MS に比べて優位に若く、K-Ar 年代に近い値となった。モナズ石がトリウムに富むことから、CHIME では Th-Pb 系の影響が大きくなり、LA-ICP-MS に比べて U-Pb 系と Th-Pb 系の不一致の影響を受けていると考えられる。このことは、Th-Pb 系の方が U-Pb 系よりも後退変成作用時の影響を受けやすいことを示唆している。

シベリア地下氷の様々な炭素成分の ^{14}C 年代

アラスカやシベリア域の古環境復元の有用なツールとして、永久凍土中の地下氷が、近年注目されつつある。地下氷に保存された過去の気候変動や水文環境変化を読み解くうえで、まず地下氷の形成年代を正確に決定することが重要である。そこで、本研究では、地下氷中の粒状有機炭素 (POC)、溶存有機炭素 (DOC)、気泡中の CO_2 、溶存無機炭素 (DIC)

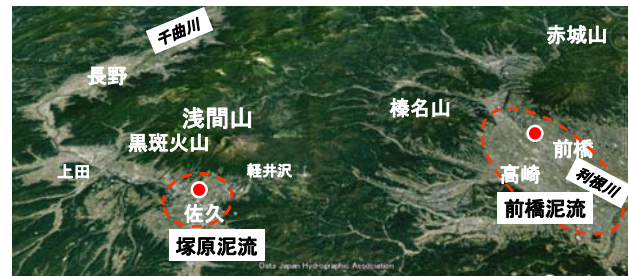
の ^{14}C 測定を行い、それぞれの成分の炭素年代の意味について詳細な考察を行った。本研究で扱った試料は、ロシアのヤクーツク周辺の Syrdakh、および Churapcha の永久凍土の露頭から採取された地下水である。 ^{14}C 測定の結果、POC の年代は、Syrdakh、Churapcha とも堆積層の植物片の年代 (22–24 kBP) より数千から 1 万年程度古い年代となった。DIC と気泡中 CO_2 の年代は、逆に、植物片より数千から 1 万年程度若い年代となった。また、DOC に対しては、粒径 $0.7\ \mu\text{m}$ 以下を分子量 10 kDa と 3 kDa で限外ろ過し、3 分画の ^{14}C 年代を測定した結果、 $>3\ \text{kDa}$ のものは植物片に近い年代を、 $<3\ \text{kDa}$ のものは DIC と気泡中 CO_2 に近い年代となった。このことから、POC は、周辺の古い年代をもつ有機炭素の再堆積の影響で古い年代をもつこと、DOC と DIC・気泡中の CO_2 で年代が異なること、DOC でも分子量によって有する年代情報が異なることが明らかになった。今回の結果は、地下氷の形成過程の解明、ならびに古環境復元につながる成果である。



Churapcha の永久凍土の露頭。

前橋泥流と塚原泥流に含まれる木片の ^{14}C 年代

火山体の崩壊に起因する岩屑流や泥流は、流下の途中で地表付近の水や植物や土壌などの表層物質を巻き込んで流れ下る重力流であり、流下の途中で巻き込まれた樹木片は、 ^{14}C 年代測定試料として山体崩壊の時代を決める有力な手掛かりを与える。本研究では、浅間火山の黒斑火山の山体崩壊に起因する前橋泥流と塚原泥流に含まれる木片の ^{14}C 年代から、前橋泥流、塚原泥流が流下・堆積した年代を調べた。前橋泥流層から採取した木片は、大部分が 23 kBP の年代を示したが、それより 1 万年ほど若い年代や 1 万年ほど古い ^{14}C 年代を示す試料もみられた。また、塚原泥流から採取した木片からも、23 kBP のほか、1 万年以上古い年代が得られた。この結果から、23 kBP に大規模な山体崩壊が起こったことは間違いなく、その他、23 kBP の 1 万年前あるいは 1 万年後にも、山体の一部崩壊が複数あった可能性が示唆される。この結果は、火山体の崩壊の防災にもつながる新たな知見であり、今後、さらに他の泥流の崩壊年代について明らかにすることが重要である。



前橋泥流・塚原泥流の範囲。

奈良県纏向遺跡出土モモの種の ^{14}C 年代

奈良県纏向遺跡から出土した 2800 個に及ぶモモの種のうち 12 個について、高精度 ^{14}C 年代測定を行った結果、これらのモモは西暦 135 年から 230 年のほぼ 100 年間のどこかで実り、食され、種が捨てられたこと、すなわち、纏向遺跡がこの頃に成立していたことが、初めて示された。邪馬台国の所在地論争において、纏向遺跡は邪馬台国の有力候補の一つに挙げられているが、今回の結果は、纏向遺跡が邪馬台国である可能性が高いことを示している。



纏向遺跡から出土したモモの種。