理学部 応用化学科 中井研究室

教授: 中井 泉　助教: 阿部 善也

当研究室は、自然界や我々の身の回りの物質に内在する諸問題について、構成元素に着目した分析と合成から化学的に解明することを目指す **無機・分析化学** の研究室です。放射光やレーザーなどを用いる先端光分析技術を環境分析や鑑識科学に導入し、 **安全で住みよい社会の実現** への貢献を、また装置メーカーと共同で開発した最先端の可搬型分析装置を用いた文化財の分析を通して、文理融合型研究により、 **文化的、精神的豊かさ** への化学の貢献を目指しています。

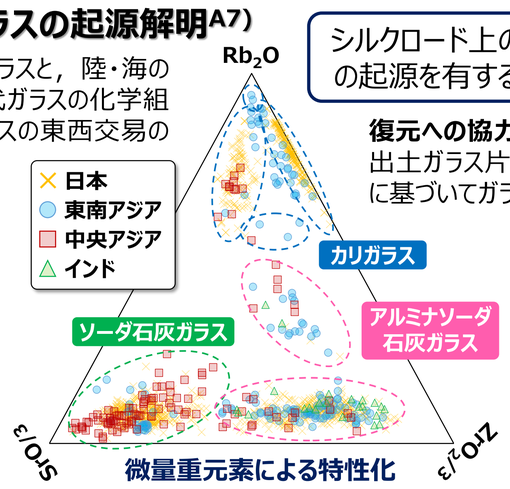
この世の中に存在する人間を含めた全ての物質は、時間の流れの中で生まれた歴史的産物であり、その物質の中にその起源と現在までの歴史が様々な形で刻まれています。我々はこれを「**物質史**」と名付けました。物質史の情報は、その物質を構成する主成分・微量成分組成や元素分布、結晶構造、化学状態、集合組織、同位体組成などの情報として物質に潜在しています。各種の高感度な分析法を用いることにより、 **物質に刻まれた痕跡量の物質史情報を解読** することができます。当研究室では、これらの **物質史情報を計測する先端的手法の開発** や、 **物質史情報を活用する以下の広領域の研究** を行っています。

考古化学

考古学は、発掘により出土した遺物と遺構を研究して過去を明らかにする学問です。当研究室では先端的分析技術を用いて、考古遺物に潜在する物質史情報を読み解き、活用する研究を行っています。可搬型の分析装置を開発し、遺跡現地や美術館内での分析調査を行っているほか[A7)]、最先端の放射光技術[A6,B2)]も利用しています。国内外の様々な文化財・考古学資料を対象に研究を進めています。

◇ 日本出土古代ガラスの起源解明[A7)]

日本から出土した古代ガラスと，陸・海のシルクロードの各国の古代ガラスの化学組成分析を行い、古代ガラスの東西交易の解明を進めている。



微量重元素による特性化

シルクロード上のアジア諸国に同様の起源を有する古代ガラスが流通

復元への協力： 一乗谷・朝倉氏遺跡出土ガラス片を分析し、得られた結果に基づいてガラス作家が復元[D1,F1)]

新沢千塚出土のガラス容器（東京国立博物館 蔵）

奈良県・橿原市の新沢千塚古墳群で出土した日本最古のガラス製容器2点(5世紀後半) を分析し，それぞれ同時代のローマおよびペルシャで作られたものであることを解明。

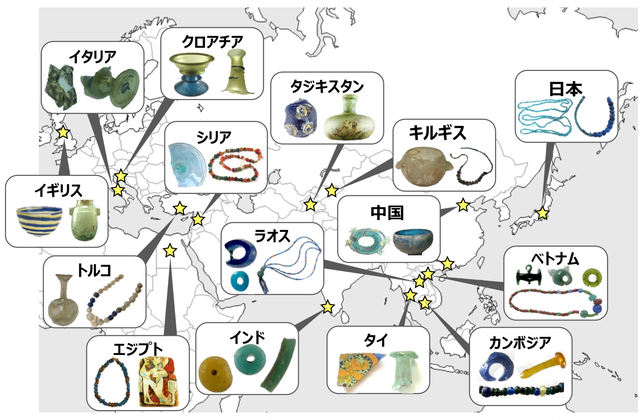
分析した破片と復元作品

◇ 古代エジプト遺物の研究

早稲田大学古代エジプト調査隊（隊長：吉村 作治名誉教授）やプラハ・カレル大学（隊長：M.バルタ教授）が発掘を行っているエジプトの考古遺跡に可搬型分析装置を持ち込んで、出土した考古遺物の非破壊オンサイト分析を行う。

新王国時代（前14世紀）の壁画片

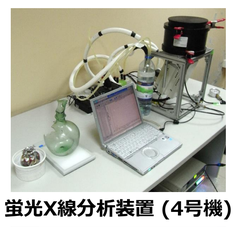
古代の壁画に使用された顔料を化学分析から同定



これまでに分析調査を行った国（2014年度）

◇ 装置開発と応用

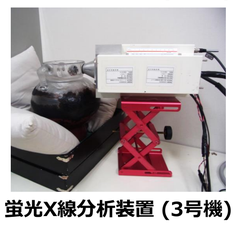
装置メーカーと共同で文化財応用のための可搬型分析装置を開発。考古遺跡や博物館へと持ち込んで、非破壊の分析へと応用している。今年度は新開発の粉末X線回折計と分光分析装置をエジプトで活用。



蛍光X線分析装置（4号機）

粉末X線回折計（2号機）

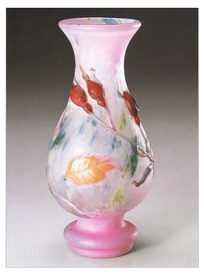
蛍光分光分析装置



蛍光X線分析装置（3号機）

◇ 近代美術作品への応用

古代の遺物だけでなく、美術館との共同研究として、近代美術品の研究にも化学分析を導入。



エミール・ガレ作「フランスの薔薇」(北澤美術館蔵)

19~20世紀の「アール・ヌーボー」を代表するフランスのガラス作家である「エミール・ガレ」のガラス作品に対し，非破壊の化学分析による特性化を行っている。

着色剤の特定や技術の変遷を考察

◇ 古代土器の産地推定

トルコの考古遺跡の発掘調査に隊員として参加し、出土した土器片やガラスの研究を行っている。

糸切り痕土器

考古遺跡から出土した土器の産地を重鉱物組成に基づいて推定することで、当時の土器製作活動や交易関係を科学的に解明し、考古学へ還元

対象遺跡：カマン・カレホユック（上写真）、ボアズキョイ[B3)]、ビュクリュカレ、ヤッス・ホユック

鑑識・安全安心化学

鑑識化学では、実際の法科学応用を視野に入れた、新しい分析技術の開発を行っています。高分解能ICP-MSやLA-ICP-MS、放射光X線分析など、最先端分析技術を導入しています。現在は特に日本全国から集めた土砂の物質史情報を放射光X線により分析し、データベース化して科学捜査へ応用しようというプロジェクト[A4)]が進行中であり、2015年度の完成を目指しています。

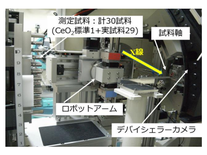
安全安心化学では、安全な社会の実現に、分析化学から貢献します。近年では特に食品の産地偽装を防止するための産地判別法の開発に注力しています[A5)]。物質の起源を表す指標として食品中の微量元素組成や同位体組成に着目し、統計解析などを駆使して信頼性の高い産地判別技術を開発します。また、流通食品中の有害微量元素について、簡易迅速な分析技術の開発も行っています。

◇ 日本全国土砂試料の法科学データベースの開発

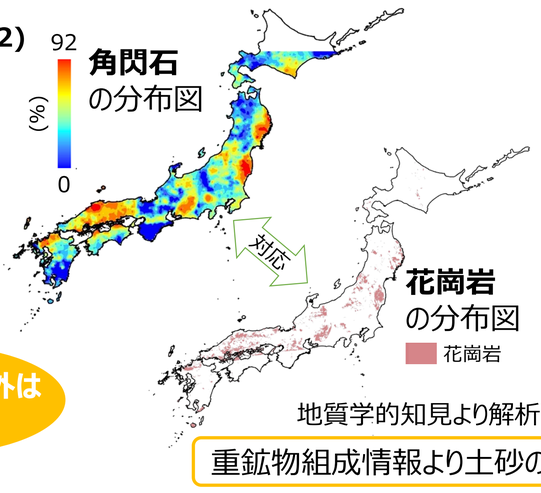
科学捜査への応用を目指し、日本全国の土砂試料約3000点をSPring-8で分析

・XRD、XRFとも全試料の測定が終了
・今年度より北海道の解析を開始
⇒ **2015年度中の完成を目指す**

粉末X線回折（BL19B2）



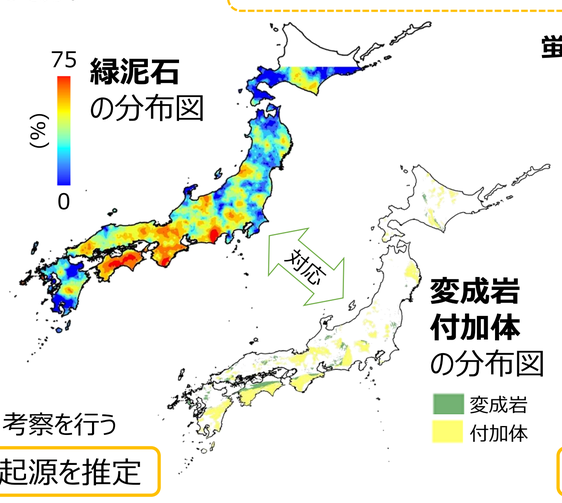
短時間で高分解能な重鉱物組成分析



北海道北部以外は定量済み

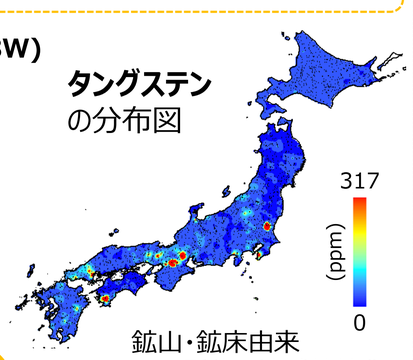
地質学的知見より解析・考察を行う

重鉱物組成情報より土砂の起源を推定



蛍光X線分析（BL08W）

サブppmレベルの重元素組成分析



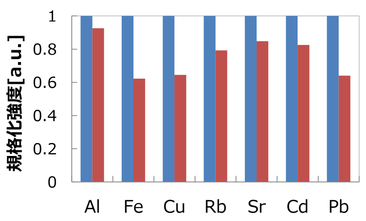
鉱山・鉱床由来
→局所的な地域特性化

XRFは全て終了

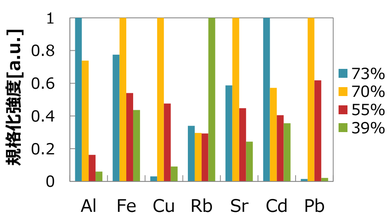
重元素濃度を可視化することで地域特性化

◇ 日本酒の産地偽装や表示不正を見破る方法の開発

微量元素に着目し、ICP-MSを用いて日本酒に含まれる元素の由来を判別する方法を開発



同じ銘柄の大吟醸（青）と吟醸（赤）の微量元素濃度



精米歩合73～39%の試料比較

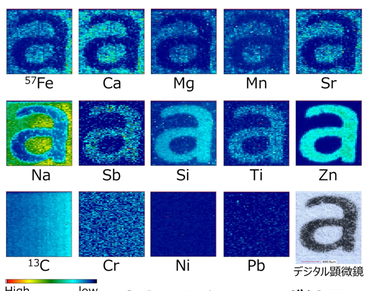
微量元素組成により、産地偽装や表示不正の識別が可能

◇ プリンタトナーの異同識別

脅迫状や文書偽造、偽札など、印刷物は様々な形で犯罪と関係する重要証拠

→ プリンタトナーの異同識別

LA-ICP-MSによるトナーの微破壊分析から、印刷に使用されたプリンタの機種や個体を識別する手法を開発



トナーのイメージング結果

含有元素組成を組み合わせることでより詳細な異同識別を目指す

生体・環境

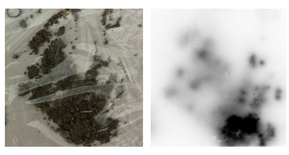
物質史情報を生体・環境へと応用する研究分野です。近年では特に、2011年3月に発生した福島第一原発事故に伴う環境汚染問題に着目し、植物や土壌のCs吸収・吸着機構の解明や、事故により原発から飛散した放射性物質の正体を1粒子レベルで解明する研究を行っています[A1,E1)]。

また、生物や植物による重金属の蓄積に関する研究も継続しています[A8,C1)]。我々日本人の主食であるコメに含まれる鉛の起源分析のほか、重金属を高濃度で蓄積する特殊な植物に着目して、環境浄化や資源回収への応用を検証しています[A8)]。

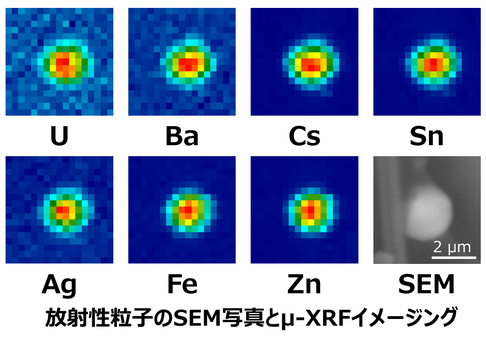
◇ 福島原発由来の放射性粒子の起源推定[A1,D1)]

Csを含む強放射性粒子を採取し、放射光マイクロXRFにより分析

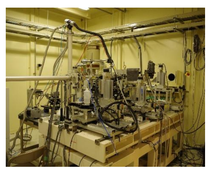
福島県でのサンプリングの様子



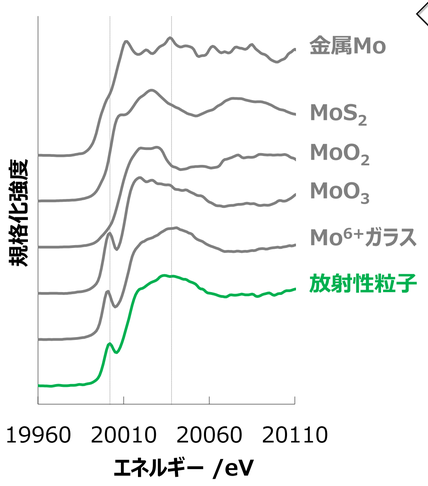
イメージングプレートに採取した堆積物を載せると放射性物質が黒く感光



放射性粒子のSEM写真とμ-XRFイメージング



SPring-8 BL37XU



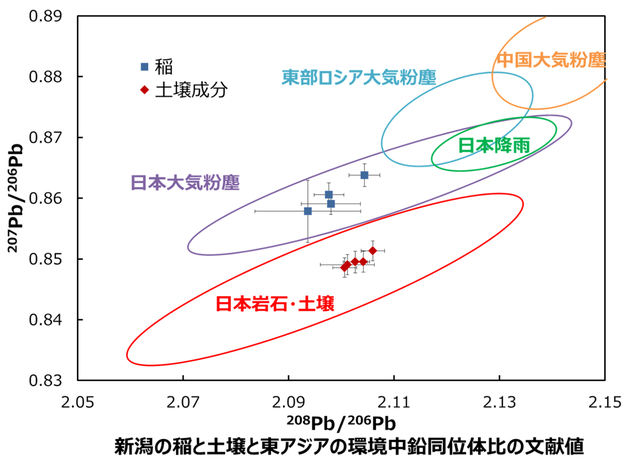
Mo-K吸収端XANESスペクトルの比較

原子炉の爆発に伴い、核分裂生成物を含む炉内の物質が大気中へ微小なガラス粒子として飛散し環境中に長期間残留

◇ 日本の稲に含まれる鉛の起源推定

人体に影響を及ぼす鉛は、米や稲にごく低濃度に含まれる。
その起源を二重収束型ICP-MSを用いた鉛同位体比分析から推定。

分析した稲



新潟の稲と土壌と東アジアの環境中鉛同位体比の文献値

稲に含まれる鉛は土壌による影響が小さいことが判明

2014年に発表した論文・著書・解説

A. 論文（査読あり）

A1) Y. Abe *et al.* : *Analytical chemistry* **86**, 8521-8525 (2014).
A2) M.Ito *et al.* : J. Mineral. Petrolog. Sci. **109**, 222-227(2014).
A3) 菊川 匡 他：『分析化学』**63**, 31-40 (2014).
A4) 前田 一誠 他：『分析化学』**63** , 171-193 (2014).
A5) 土田 英央 他：『分析化学』**63**, 625-628 (2014).
A6) 阿部 善也 他：『X線分析の進歩』**45**, 251-268 (2014).
A7) 柳瀬 和也 他：『X線分析の進歩』**45**, 279-303 (2014).
A8) 小田 菜保子 他：『X線分析の進歩』**45**, 305-316 (2014).

B. 論文（査読なし）

B1) 中井 泉 他：『縄文の森から』**7**, 45-50 (2014).
B2) 阿部 善也 他：『PF Activity Report 2013』#31 (2014).
B3) I. Nakai et al. Istanbuler Mitteilungen, 64, in press(2015).

C. 解説

C1) 久保 優子、中井 泉：『科学フォーラム 2014』**5**, 12-13 (2014).

D. 著書

D1) 中井 泉：『戦国時代の金とガラス～きらめく一乗谷文化と技術』pp. 94-95, 福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館編 (2014).
D2) 阿部 善也：『児島虎次郎は見た！ ―オリエント文化 東西の架け橋―』pp. 16-24, 岡山オリエント美術館編 (2014).
D3)中井 泉・阿部善也：紅白梅図屏風の制作技術について『光琳アート』p p.188-198 ,内田篤呉編、角川学芸出版(2015).

E. 受賞歴

E1) 飯澤 勇信：学生優秀発表賞、日本地球惑星科学連合2014年大会、平成26年4月28日～5月2日、パシフィコ横浜.

F. 展示協力

F1) 『戦国時代の金とガラス～きらめく一乗谷文化と技術』、福井県立一乗谷朝倉氏遺跡資料館、平成26年9月20日～11月9日.
F2) 『児島虎次郎は見た！ ―オリエント文化 東西の架け橋―』、岡山市立オリエント美術館、平成26年11月28日～平成27年1月25日.