

理学部 応用化学科 中井研究室

教授：中井 泉 助教：K. タンタラカーン



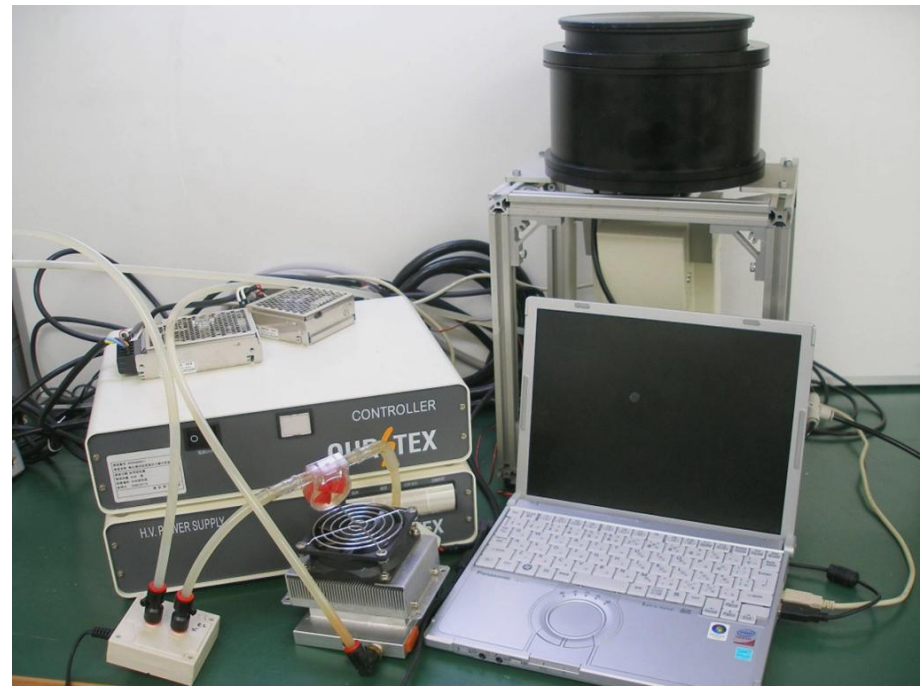
左の写真のSPRING-8は、世界最高性能の放射光を利用することができる大型放射光実験施設です。当研究室では、このSPRING-8や茨城県つくば市にあるPhoton Factoryで放射光を励起源とする蛍光X線分析、XAFS、粉末X線回折法を環境試料、考古試料、鑑識試料、宇宙地球科学試料の分析に応用する様々な研究を展開しています。

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を、元素に着目して分析と合成の両面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科学捜査に導入し、安全で住みよい社会の実現への貢献を、また、当研究室が装置メーカーと開発した最先端のポータブルX線分析装置を用いた文化財の分析を通して、文化的、精神的豊かさへの化学の貢献を目指しています。

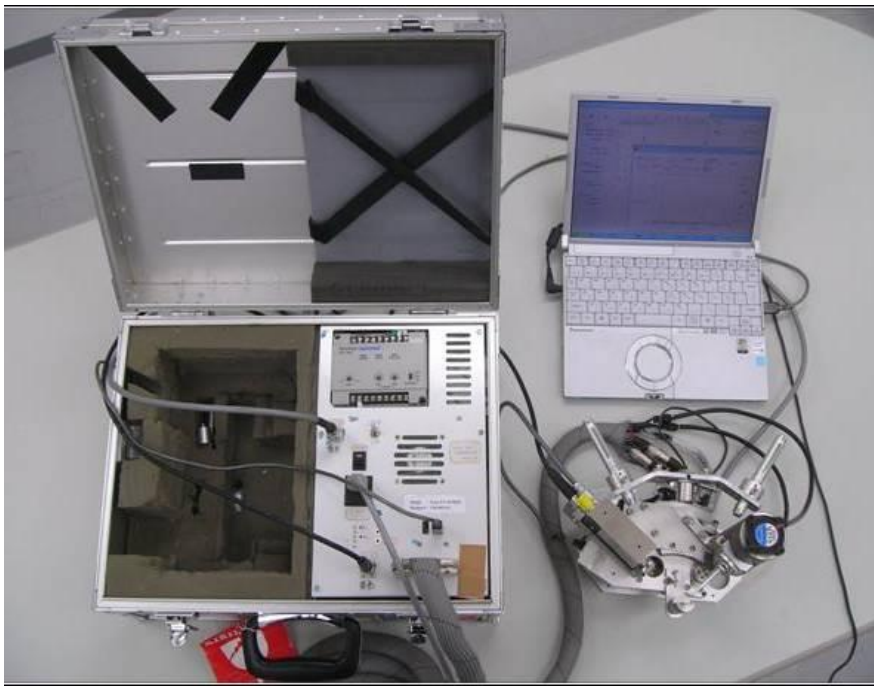
この世の中に存在する人間を含めたすべての物質は、時間の流れの中で生まれた歴史的産物であり、その物質の中にその起源と現在までの歴史が様々な形で刻まれており、これを「物質史」と名付けました。物質史の情報は、その物質を構成する主成分・微量成分組成や元素分布、結晶構造、化学状態、集合組織、同位体組成などの情報として物質に潜在しています。各種の高感度な分析法を用いることにより、物質に刻まれた痕跡量の物質史情報を解読することができます。当研究室では、これらの物質史情報を計測する先端的手法の開発や物質史情報を活用する以下の広領域の研究を行っています。

考古化学

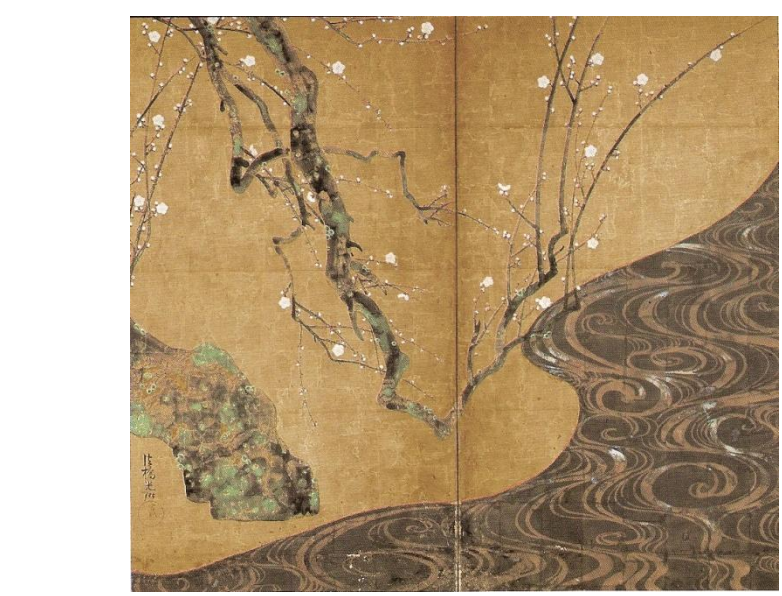
考古学は、発掘により出土した遺物と遺構を研究して過去を明らかにする学問です。当研究室では**先端的分析技術**を用いて、出土遺物に潜在する**物質史の情報**を読み解き、考古学的情報として活用する研究を行っています。現地でのフィールド分析用に**ポータブル型**分析装置を開発し、考古遺物の化学的な特性化を行っています。



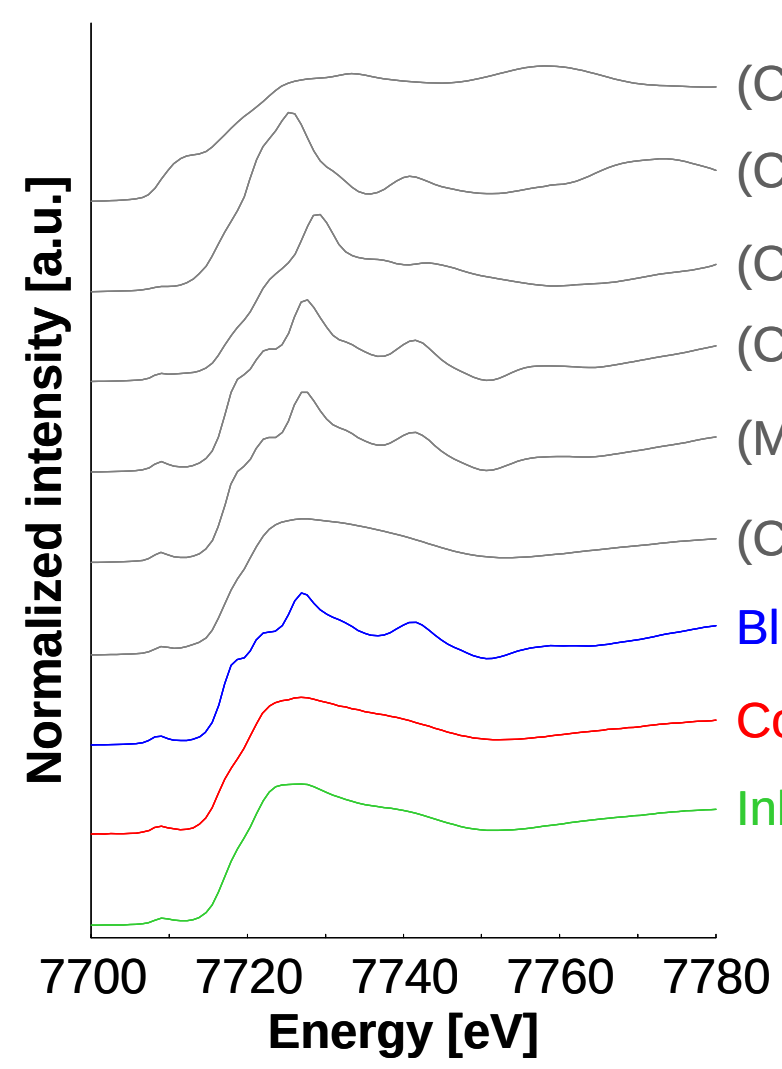
ポータブル蛍光X線分析装置



ポータブル粉末X線回折計



国宝の紅白梅図屏風（MOA美術館）をポータブル分析装置により分析し、製法に関わる数多くの知見を得た。



古代エジプトで使われた青色顔料の同定（放射光Co K-XANESスペクトルを用いた化学状態の比較）

土器に塗布されている青色顔料
 CoAl_2O_4
詳細な化学状態を世界ではじめて実証

ザダール (クロアチア)
ローマ時代 (1~4世紀)
ガラスなど



カマン・カレホック (トルコ)
青銅器時代
～オスマントルコ時代
土器、ガラス、地中探査など

テル・シエハマッド (シリア)
アッシリア大帝国
～ローマ時代
ガラス、陶器、石製品など

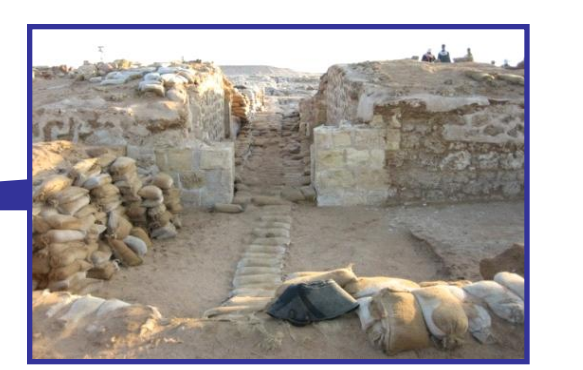
ギザ (エジプト)
古王国時代
ファイアンス、石材、顔料など



アブ・シール 南丘陵 (エジプト)
古王国～新王国時代
青色彩文土器、ガラスなど



ラーヤ (エジプト)
イスラム時代
ガラス、施釉陶器など



国内での分析調査
・唐招提寺の国宝ガラス
・MIHO MUSEUM

・熊本県立装飾古墳館
・岡山市立オリエント美術館
・中尊寺の国宝金銀宇一切経

その他の海外調査
・中国（漢時代ころの翡翠やガラス）
・タイ（ローマ時代以降のガラス）

当研究室で分析調査を行っている考古遺跡・美術館および考古遺物の紹介

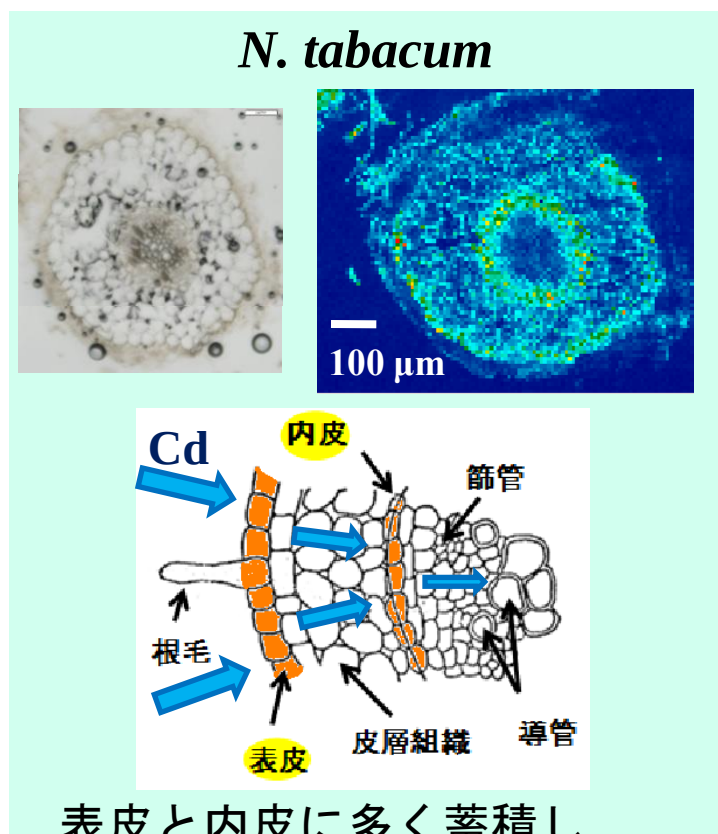
生体・環境微量元素化学

SPRING-8やPFの放射光を使った蛍光X線イメージングやXAFSにより、重金属蓄積植物における重元素の分布と化学状態を組織・細胞レベルで明らかにし、ファイトレメディエーション技術の発展に寄与するなど、“グリーン・ケミストリー”の研究にも積極的に取り組んでいます。

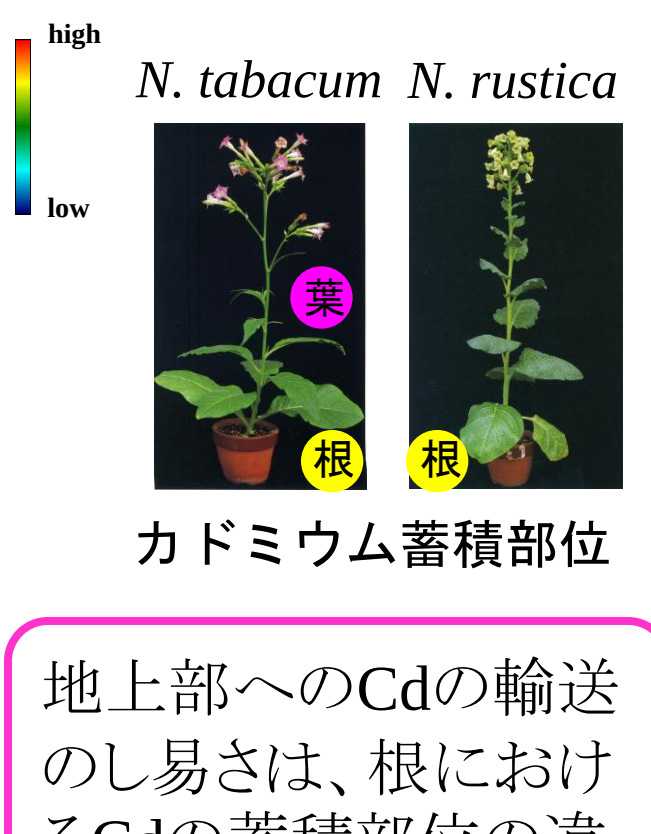
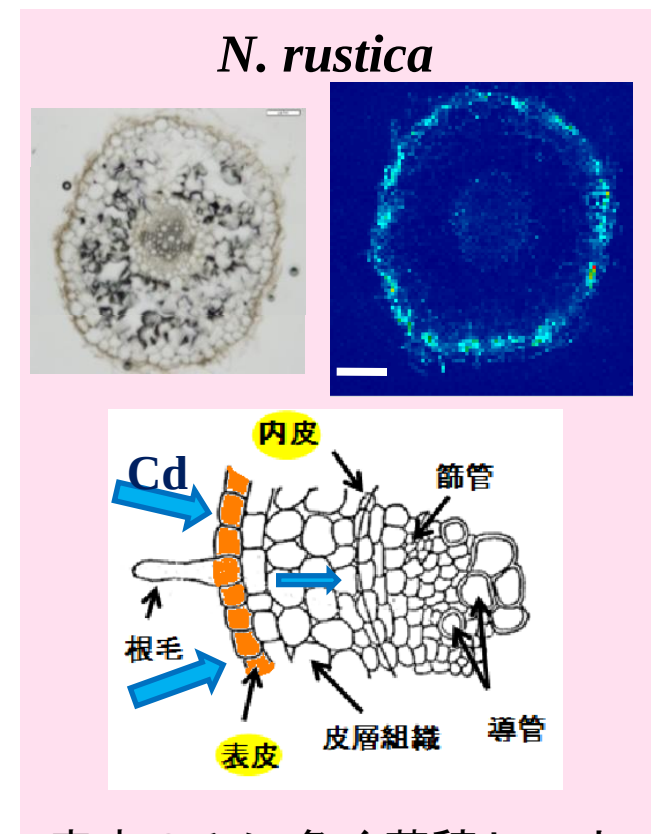
また、超高分解能の次世代X線検出器TESを使ったSEM-TES-EDSシステムの実用化を目指し、動植物や大気粉塵などの環境試料の分析に応用する研究を進めています。

- AsやCd、Pbに対する植物の高濃度蓄積メカニズムの解明
- SEM-TES-EDSによる大気粉塵の発生源解明
- 高エネルギーXRFによる宇宙塵の起源解明

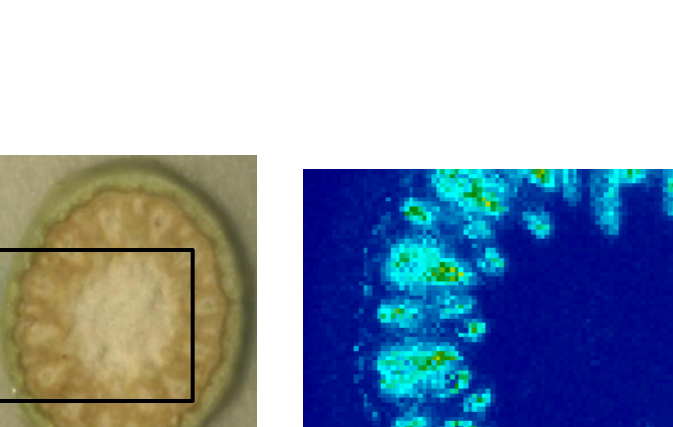
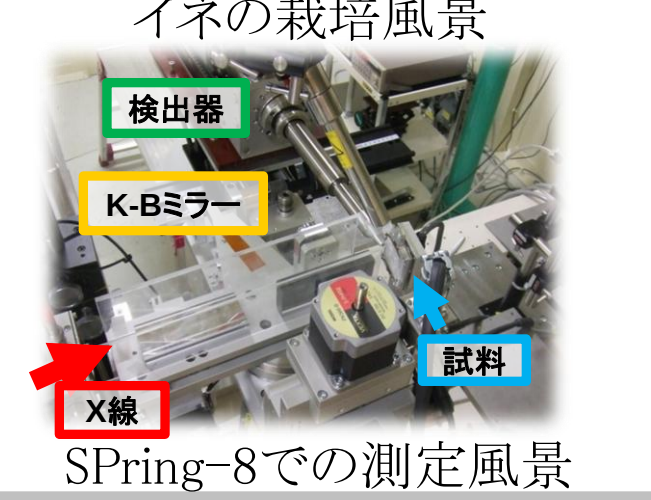
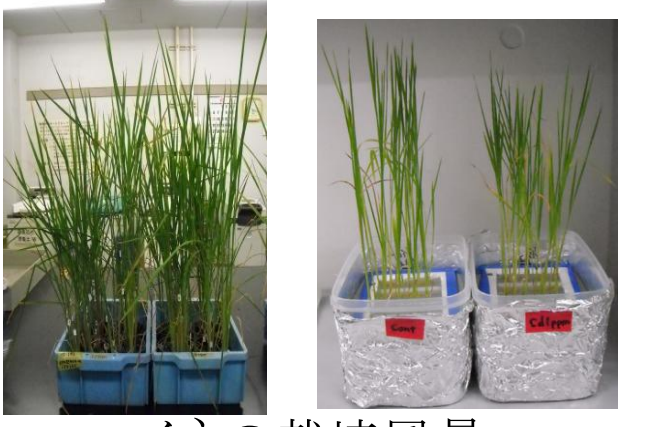
重金属蓄積植物



Cd投与して栽培した2種類のタバコの根におけるCdの分布と根のカドミウム蓄積に関する模式図

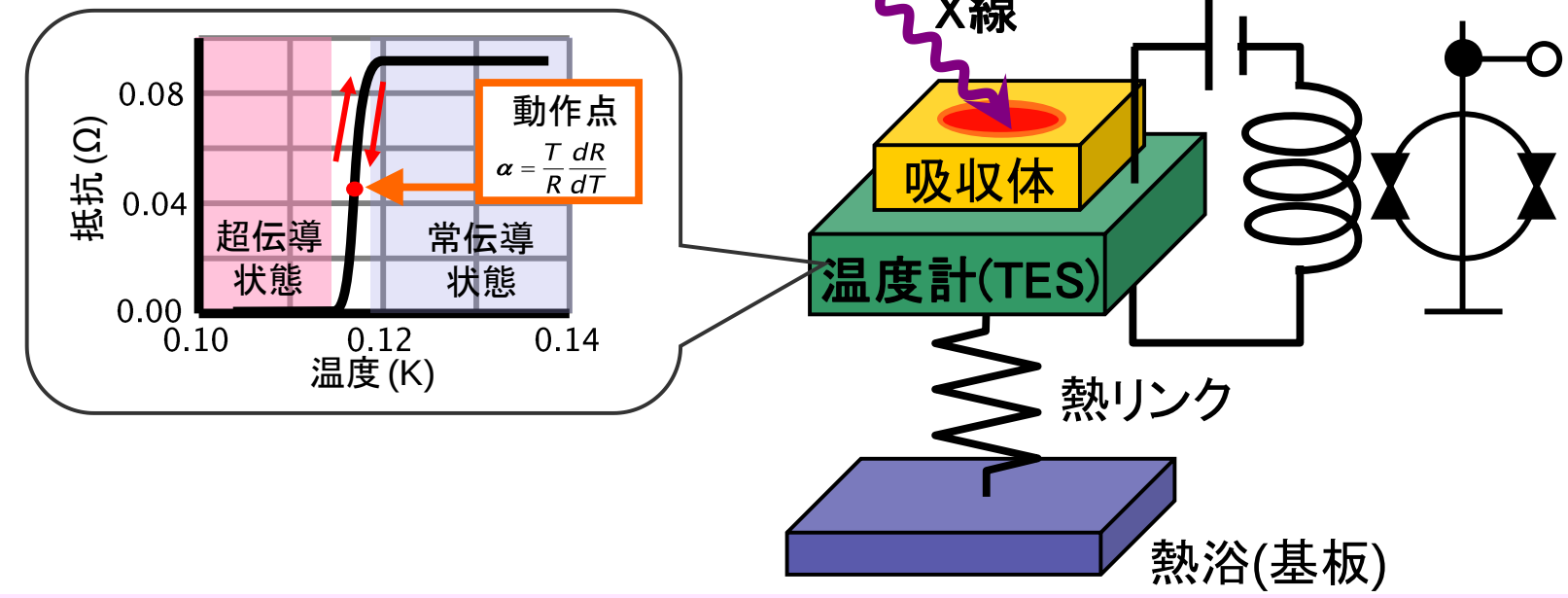


地上部へのCdの輸送のし易さは、根におけるCdの蓄積部位の違いが反映している



イネの茎におけるCdとCuの二次元イメージング
CdとCuの分布に相関が見られた

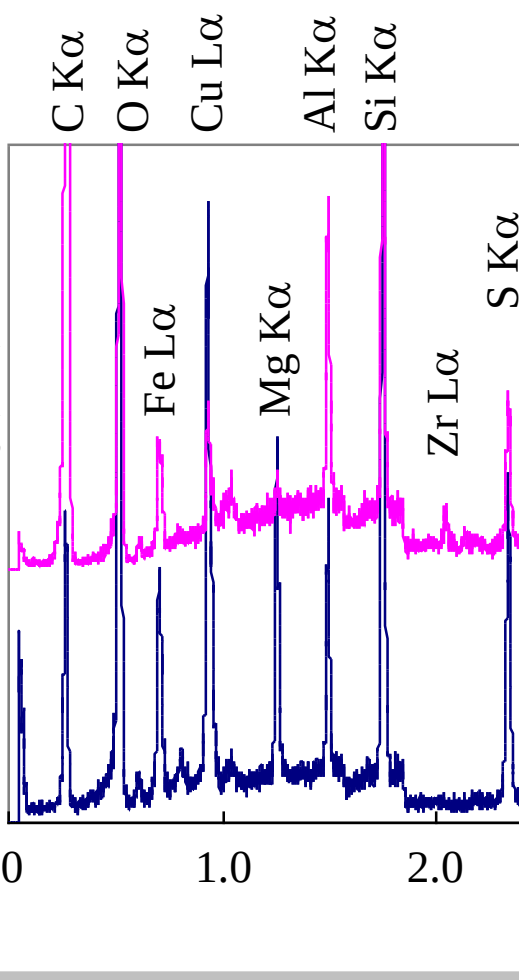
SEM-TES-EDSシステム



電子顕微鏡用次世代高エネルギー分解能X線検出器TESの開発と応用

【原理】超伝導状態の物質にX線光子が入射すると、光子エネルギーに比例して超伝導体の温度が上昇する。その結果、超伝導体の抵抗が急激に増加し、定電圧回路に流れる電流の減少を計測してX線のエネルギーを精密計測する。

環境分野への展開



大気粉塵 SEM像

大気粉塵をFIB加工して得られた断面をSEM-TES-EDSシステムを使って分析することにより、粒子の外部と内部で組成に違いがあることがわかった。高エネルギー分解能のTESシステムでは従来のSSDでは識別困難な元素を分析できるので、大気粉塵の成因に関する詳細な情報を得ることができる。

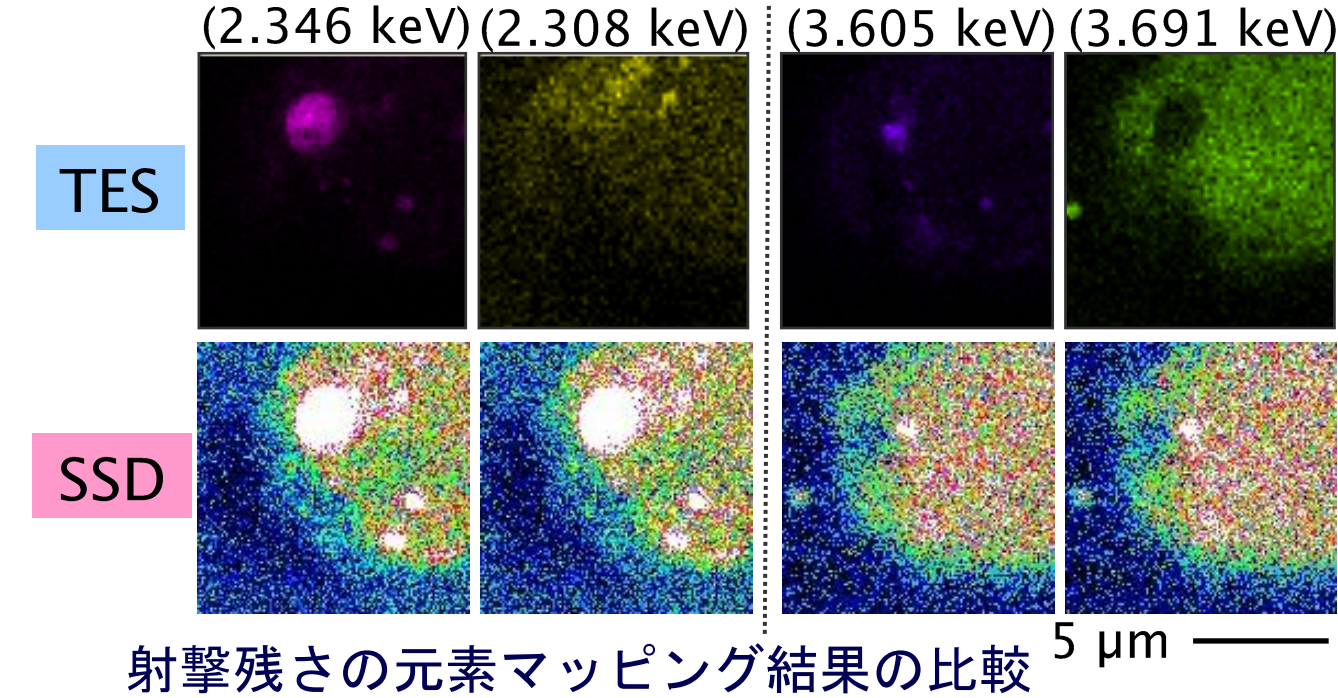
鑑識化学・安全安心化学

鑑識化学は日本の大学で当研究室だけがやっているユニークな研究テーマです。物質史情報を科学捜査へ応用するためにLA-ICP-MS、SEM-TES-EDS、放射光粉末回折法などの先端分析技術を駆使した基礎研究を行い、化学による社会への貢献を目指しています。

食品の物質史を微量元素分析により明らかにし、産地偽装を防止するための産地判別法を開発しています。高感度高エネルギー蛍光X線分析装置や放射光を用いた蛍光X線微量重元素分析により、野菜、豆類、穀物などの食品の物質史情報を抽出し、産地推定を行う研究を進めています。

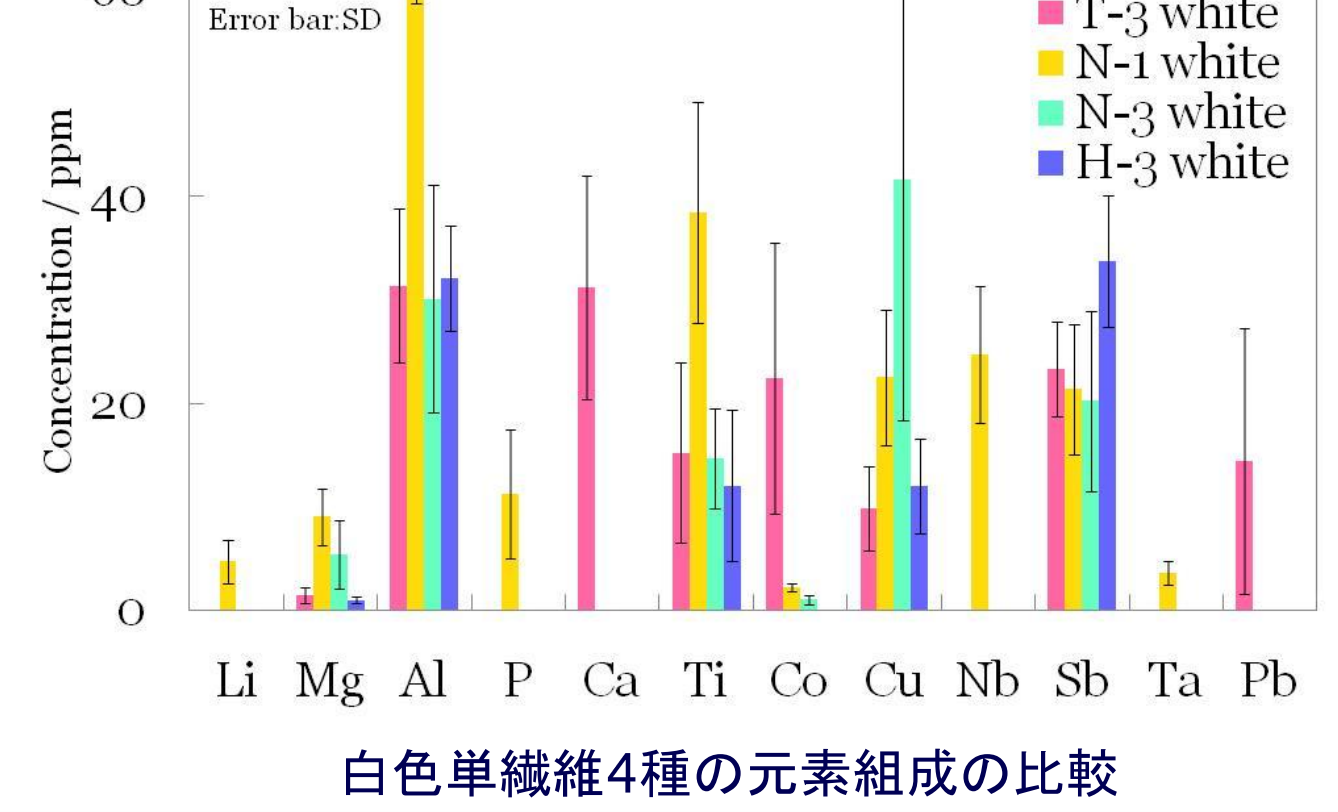
- 高エネルギーXRF装置やハンドヘルド型XRF装置による食品の微量元素分析と産地判別法の開発
- LA-ICP-MSによるトランクマット単繊維の異同識別
- SEM-TES-EDSによる法科学試料(射撃残差、自動車塗膜片)の分析
- 顕微分光法による黒色インクの非破壊異同識別
- 放射光粉末回折法による日本各地の土壌の鉱物マップの作成

SEM-TES-EDSシステムによる射撃残差の詳細分析



射撃残差の元素マッピング結果の比較
SSDでは同様の分布を示すが、高分解能スペクトルが得られるTESではPbとS、SbとCaが異なる分布を示した
⇒射撃残差の正確な元素分布を可視化

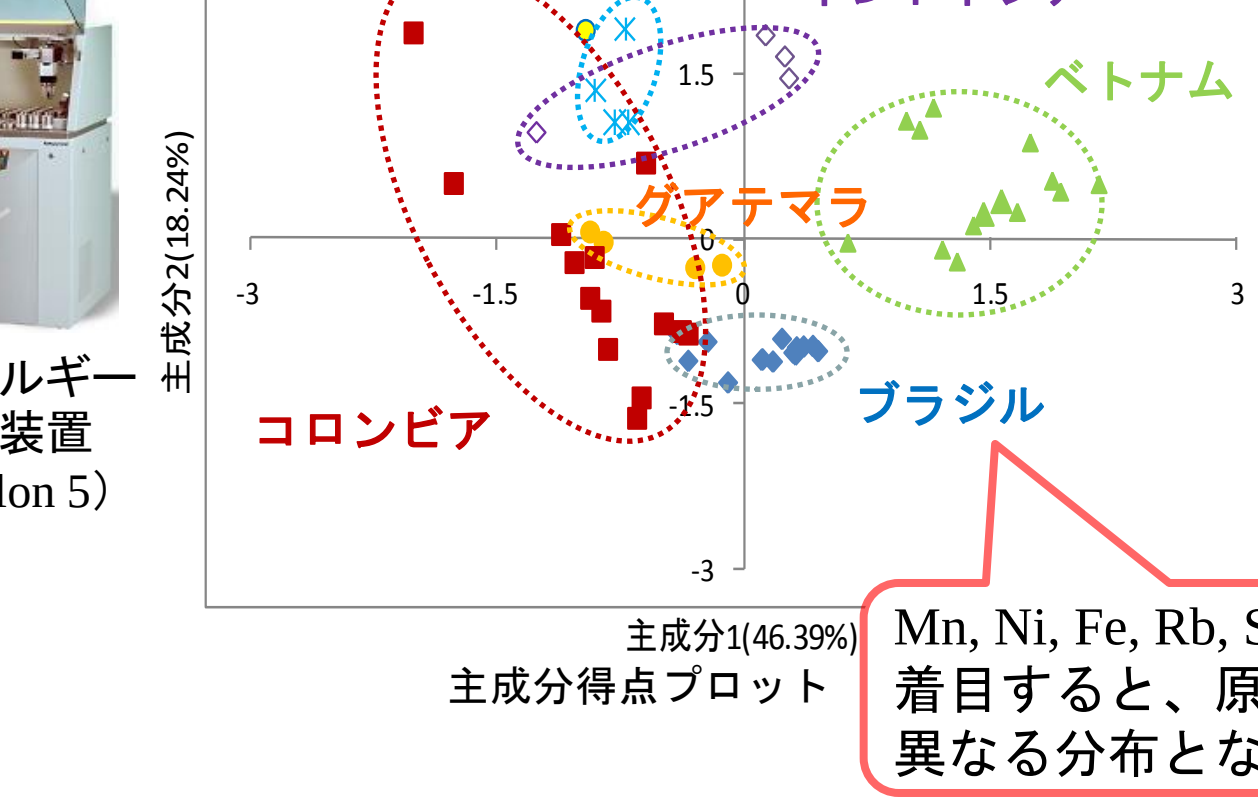
LA-ICP-MSによる単繊維試料の異同識別



白色単繊維4種の元素組成の比較

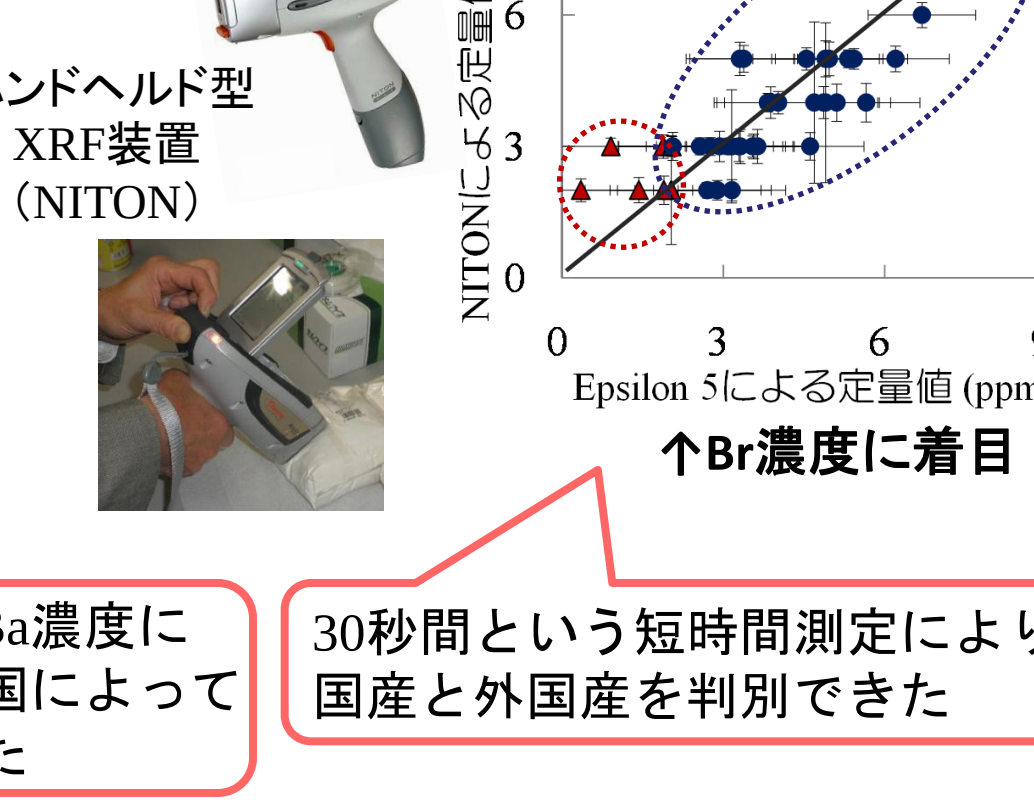
XRFによる食品の微量元素定量法の開発と産地判別への応用

コーヒー豆



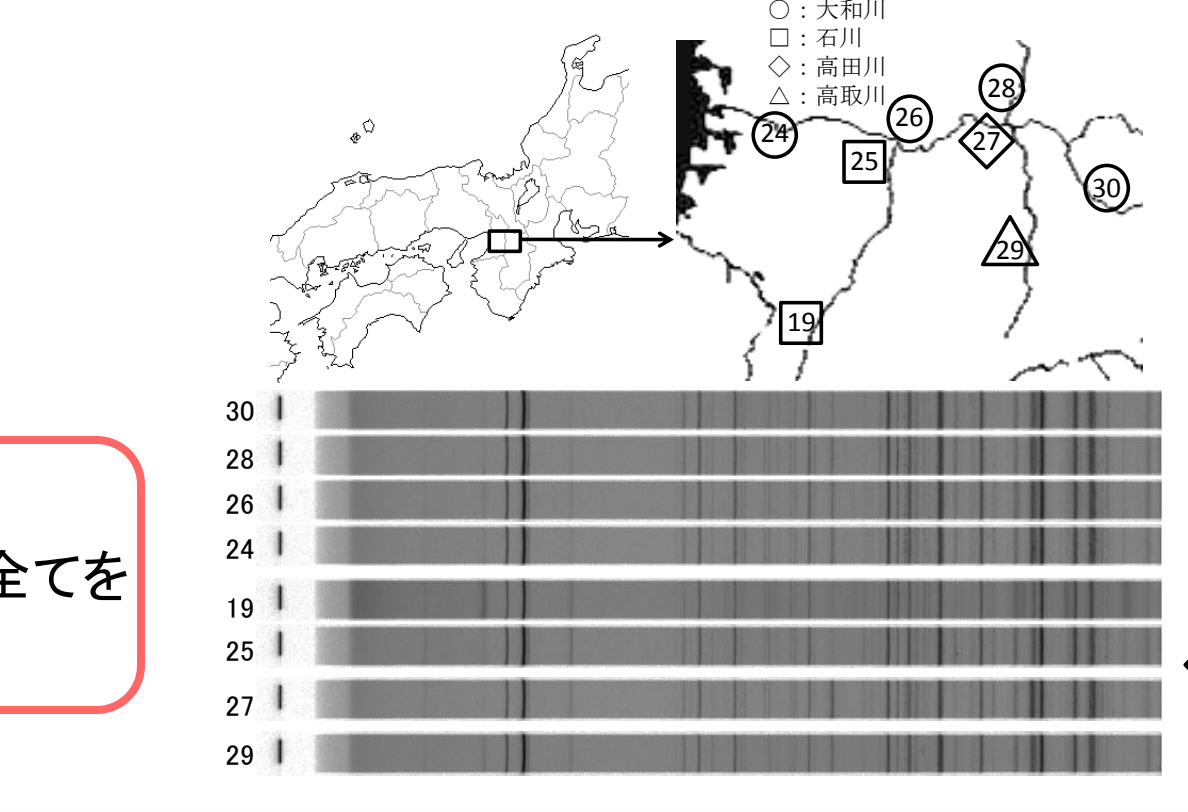
高エネルギーXRF装置 (Epsilon 5)

小麦粉



30秒間という短時間測定により国産と外国産を判別できた

放射光粉末回折法による日本の土壌の鉱物マップの作成



SPRING-8の放射光粉末回折と蛍光X線分析により日本全国の土壌試料の重鉱物組成と重元素組成を明らかにし、日本の重鉱物マップを作成し、法科学に貢献する

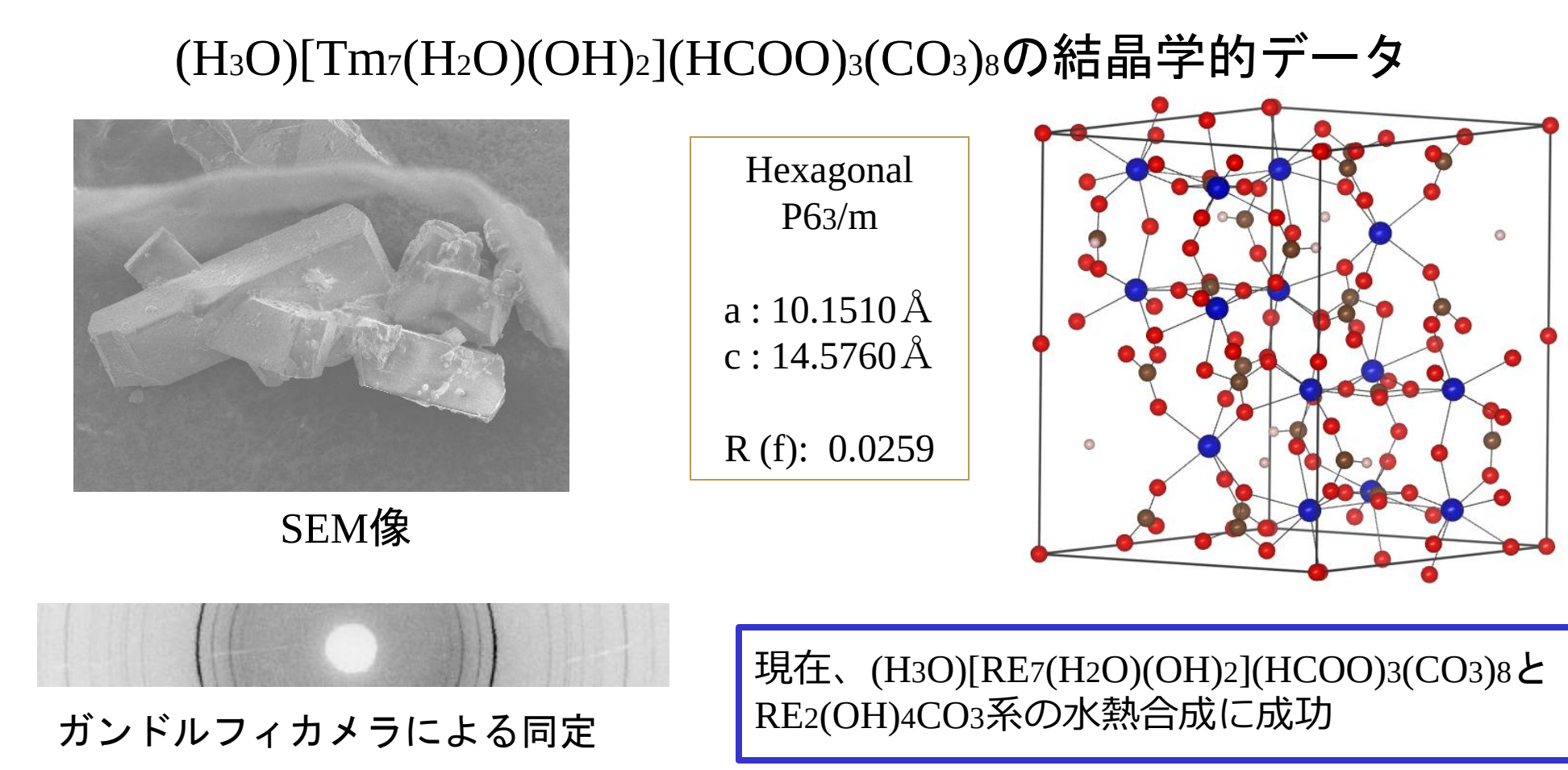
鉱物化学・結晶化学

単結晶X線構造解析、SEM-EDS、LA-ICP-MS、顕微ラマン・赤外分光法、ガンドルフィカメラを用いたリートベルト解析、放射光X線分析、XAFSなど様々な分析手法を駆使して、天然の鉱物に内在する未解明の問題を解決していきます。

結晶化学的に重要な希土類炭酸塩鉱物の水熱合成と結晶構造解析、日本国内の砂金、金鉱石の微量元素による特性化と文化財科学への応用など、国立科学博物館とも共同研究を行っています。

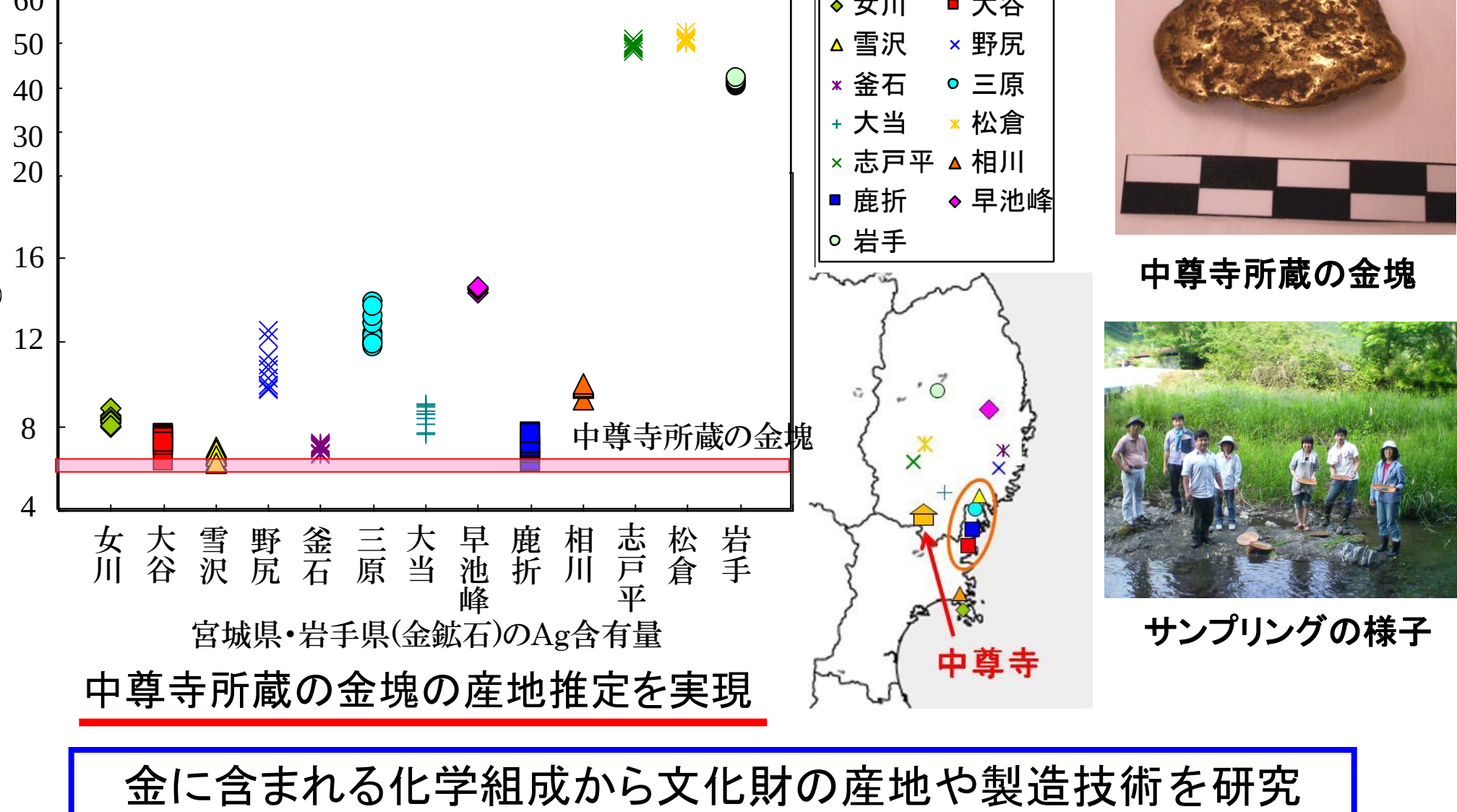
希土類炭酸塩結晶の構造解析

希土類化合物に関する化学的・結晶学的データの重要性→解析がなされていない系の良質な結晶を系統的に合成し、結晶構造解析を行う。



現在、 $(\text{H}_3\text{O})[\text{RE}_7(\text{H}_2\text{O})(\text{OH})_2](\text{HCOO})_3(\text{CO}_3)_8$ と $\text{RE}_2(\text{OH})_4\text{CO}_3$ 系の水熱合成に成功

金及びエレクトラムの産地の特性化



金に含まれる化学組成から文化財の産地や製造技術を研究