

GSJ 地質ニュース

GSJ CHISHITSU NEWS

～地球をよく知り、地球と共生する～

2013

3

Vol. 2 No.3

特集：地質試料の先端分析システムとそのマネジメントの課題



口絵

地質調査総合センター共同利用実験室の概要	小笠原正継	65 ~ 66
誕生石の鉱物科学— 3 月 アクアマリン —	奥山康子	67 ~ 68

特集：地質試料の先端分析システムとそのマネジメントの課題

地質調査総合センター共同利用実験室と震災後の再構築	小笠原正継	69 ~ 73
GSJ 共同利用実験室における微小領域分析機器 —EPMA と SEM-EDS	下司信夫・斎藤元治	74 ~ 78
地質図作成における試料分析システム —岩石カッター室設置機器を中心に—	高橋 浩	79 ~ 81
粒子径を測る！—地質分野の粒子径測定機器のシステム統合化とデータの高度化計画—	七山 太・古川竜太・小笠原正継	82 ~ 85
X 線 CT による地質試料の分析：これから始める人のために	中島善人・中野 司	86 ~ 90
新素材開発における X 線回折の重要性	鈴木正哉	91 ~ 93

サイエンスアゴラ 2012 および産総研臨海副都心センター一般公開出展報告	宮地良典	94 ~ 95
産総研特別顧問の石原舜三氏がハドン・フォレスター・キングメダルを受賞	森下祐一	96

スケジュール / 編集後記

表紙説明

風蓮湖と根室海峡を隔てる走古丹分岐砂嘴と湖岸の急激な地形変化：

風蓮湖は北海道東部の根室半島の付け根に位置する汽水湖であり、北の走古丹分岐砂嘴（写真）と南の春国岱バリア島の形成するバリアによって根室海峡と隔てられている。これらの砂礫帯は摩周火山南麓（写真左上）を起源とする西別川によってもたらされた土砂からなる。即ち冬季に根室海峡沿岸に生じる強い北風に煽られて北西→南東の漂砂系が発生し、西別川流域からの土砂供給が豊富なために、現在でもバリア地形を維持し続けている。走古丹分岐砂嘴は北西から南東に 4 帯存在し、地殻変動に規定され外海側に周期的に遷移し続けているように見える。

（写真・文：別海漁業協同組合・七山 太¹⁾ 1) 産総研 地質情報研究部門）

Cover Page

Hashirikotan barrier spits situated between the Nemuro Strait and Furen-ko lagoon and their topographic change around the lagoon (Photograph and Caption by Betsukai fisheries cooperative and Futoshi Nanayama).

地質調査総合センター共同利用実験室の概要

<小笠原正継¹⁾>

2011年の実験室再構築の一環として移設された共同利用実験室の施設を中心に、岩石粉碎室も含めて紹介する。共同利用実験室にはこのほか粒子解析実験室、光学解析実験室、エックス線CT、岩石磁気・古地磁気実験室、岩石カッター・研磨装置実験室、ボーリングコア処理関連機器等が含まれる。



写真1 電子線マイクロプローブ (EPMA) [151室]。
鉱物やガラスの微小領域元素分析に用いられる。
151室に設置されている2台のEPMAのうちの1台 (JEOL JXA-8900)。



写真2 走査電子顕微鏡 (SEM-EDS-CL) [153室]。
微小領域の電子線像やカソードルミネッセンス像の取得および元素分析・元素マッピングに用いられる (JEOL JSM6610LV)。



写真3 真空蒸着装置 (炭素蒸着等) [152室]。
EPMA や SEM の分析の前処理用。



写真4 各種試料研磨設備 [152室]。
EPMA や SEM の分析のための最終仕上げの研磨が実施できる表面研磨装置。



写真5 レザーアブレーション-ICP-MS (LA-ICP-MS) [154室]。
微小領域微量成分分析、土壌等の地質試料やXRF用ガラス円板を分析試料とする全岩微量成分分析に用いられる。



写真6 エックス線回折装置 (XRD) [164室]。
鉱物の同定等に使用される。室内には4台のXRDが設置されている。分析目的により最適な装置が選択できる。

1) 産総研 地質情報研究部門



写真7 蛍光X線分析装置(XRF) [156室].
全岩化学分析に使用される新旧2台の波長分散型蛍光X線分析装置(Philips PW1404とPANalytical Axios), エネルギー分散型XRF(JEOL JSX-3201), XRFマッピング装置(Bruker M4 Tornado)が設置されている。



写真8 XRF用試料調製装置(ガラス円板作成装置) [155室].
全自動と半自動ガラス円板作成装置(東京科学TK-4500,TK4100). 実験室内には電子天秤, 電気炉, オープン, XRF粉末ベレット用油圧プレス装置が含まれる。



写真9 熱分析装置 [155室].
3台の熱分析ユニットが設置されているが写真はその内の2台(リガクTG8120/DSC8230)。

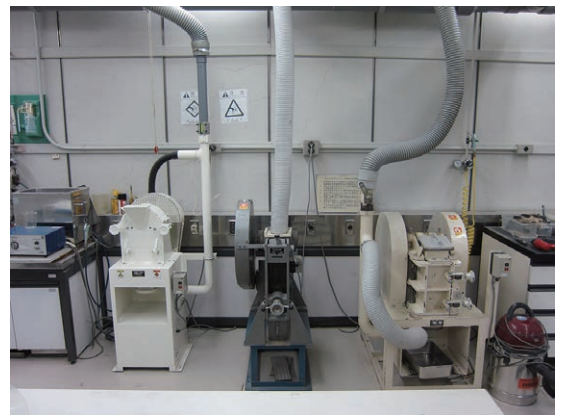


写真10 岩石試料粉碎装置1 [114室].
ジョークラッシャー等粗粉碎装置. 粗粉碎側のスペースに設置されている装置。



写真11 岩石試料粉碎装置2 [114室].
油圧式岩石破断器, 乳鉢, 集塵フード.
集塵フードからの排気は室外設置の集塵機に接続されている。粗粉碎側。



写真12 岩石試料粉碎装置3 [114室].
振動ミル, 全自動試料微粉碎装置等.
微粉碎側のスペース。

写真1～9は第7事業所本館1階へ移設された実験室および実験設備。写真10～12の岩石粉碎室は本館1階の地質標本館側に位置する。各実験室のレイアウトは、安全な作業環境を提供できること、利用者の動線を考慮した機能的な装置や作業機の配置となることを目的に作られた。特に装置の背後にある配線・配管等のユーティリティーについては様々な配慮がなされている。共同で利用する実験室においては、利用者ができるだけシンプルで明解な手順で作業ができるように装置のハードウェアシステムを確立し、さらに適切な使用法マニュアルを準備することが重要である。

誕生石の鉱物科学

— 3月 アクアマリン —

<奥山康子¹⁾>

3月の誕生石は、ブラッドストーン、アクアマリンそして日本限定ながらサンゴと多種類です(奥山, 2012)。ブラッドストーンは、以前は3月の誕生石の筆頭でしたが、濁った緑色の石英である碧玉に赤い酸化鉄のスポットが散った石であり、こんな地味な石が当たっちゃった人を私は気の毒に思ったものでした。ですから、かつてその陰に隠れていたアクアマリンが最近では表に出てきて、少しうれしく思っています。透明な鉱物の煌めきは、宝石としても大きな魅力だからです。

アクアマリン(aquamarine)は、青色をなす緑柱石の変種です。青色であること、そして透明であることが、宝石としての必須条件です。緑柱石は花崗岩ペグマタイトに

特徴的なベリリウム・アルミノケイ酸塩鉱物で、化学組成は $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ 。典型元素のみから構成され、主成分に発色要素は存在しません。しかし通常は、和名の通り、淡い緑色をした六角形の柱状結晶として産出します。アクアマリンの青色の発色は、 Fe^{2+} に起因するとされます(白水・青木, 1989, ほか多数)。

宝石になる緑柱石としては、アクアマリンよりも5月の誕生石エメラルドがはるかに有名で、また値も張ります。アクアマリンは比較的安価で大きめのクリアな石が購入でき、エメラルドよりぐっと大衆的と言えます。その理由は、エメラルドより産地が豊富であることと、非常に大きな良質の石が産することによります。原石サイズは、宝石鉱物



(a)



(b)



(c)



(d)

第1図 パキスタン産アクアマリンの結晶形のバラエティー。

(a) 基本の六角柱状結晶, (b) 小さな三角形の面で頂部が隅取りされた六角柱状結晶, (c) 頂部の三角形の面がかなり大きくなり, (d) ついに頂部はちびた鉛筆のようになる。スケール: (a)・(b)・(d) 画面横幅約2cm, (c) 同じく約4cm。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

の中では群を抜いています。2009年のミュンヘン・ミネラルショーに出展された、通称“Emperor of India”というアクアマリンは、径16 cm、長さ32 cm、重量9.7 kgの威容を誇ったそうです (www.mindat.org/forum.php?read,67,221687,221687,quote=1 2012/12/30 確認)。宝石としては論外の大きさですが、これほどでなくても、10 cm長くらいの透明な石は国内開催のミネラルショーでさえよく目にします。

もう一つの要素である産地のバラエティーも、アクアマリンの大衆化に貢献しているでしょう。アクアマリンといえば、かつてはブラジル、ミナス・ジェラエス州が代表的産地でした。しかし1990年代以降は、パキスタン、そして隣国アフガニスタンのアクアマリンが豊富に出回るようになりました。やや遅れて中国やマダガスカルからも、良質のアクアマリンの標本が入ってきています。これら後発のアクアマリンは、鮮やかな水色が特徴的です。ブラジル産のアクアマリンにはより藍色がかかった色合いの物があり、このため和名「藍玉」(らんぎよく)が名づけられました。アクアマリンの名は、海の水の色にちなみます。藍色がかかったブラジル産の石から明るい水色のパキスタン産の石が数量で卓越する現在の様子は、比喩的に言えば黒潮からサンゴ礁の海への変化かもしれません。

パキスタン産の小さなアクアマリンは、ミネラルショーでは1本300円から1,000円程度で手に入ります。そんな小さなアクアマリンを少しずつ集めていくうちに、結晶の形が非常に多様であるのに気が付きました。アクアマリン(緑柱石)は六方晶系の鉱物なので、最も基本の形は頂面が平滑な六角柱です(第1図a)。しかし、頂面と柱面の角の部分に三角形をした小さな面を持つ第1図bのような結晶は、基本形の結晶以上に高い頻度で見つかりました。さらに、その小さな面が発達して結晶の先がとがっていき(第1図c)、中には使用中の鉛筆の先のような物もありました(第1図d)。一方、最近よく目にするようになった中国南部産のアクアマリンには、雲母の結晶に埋もれた平板状の結晶が珍しくありません(第2図)。

結晶の多様な形態が、結晶が成長する際の諸条件に依存することは、工業利用のために様々な無機物結晶の合成が盛んになって詳しくわかってきました。結晶成長を研究する学問「結晶成長論」は、物性物理学の一分野として確立されています。



第2図 中国産アクアマリン。
白雲母の葉片状結晶に埋もれ、1/3ほどが見えている。柱面が発達しない板状結晶。画面の幅が約6cm相当。

人工結晶よりはるか昔から多様な形態が知られている天然鉱物を、結晶成長論から理解することで、天然の動的環境が解明できるのではないかと着目したのは、旧・地質調査所で最後は鉱床部長まで務められた砂川一郎先生でした。動的環境には、鉱物を育てる鉱液での飽和度、マグマの過冷却度など、当時の鉱物・岩石学が得意とした化学平衡論では知ることができない情報が含まれます。鉱物形態の科学は、個々の結晶の履歴として重要であるだけでなく、集合組織としてみた岩石や鉱物の組織やその形成のダイナミクスを理解するために、本来欠かせないものです。先生は東北大学に転じて、結晶成長論の立場で新しい鉱物学の地平を開いてこられました。定年後も、現役時代とかわらぬ旺盛な好奇心で、学会などで後進と遠慮なく議論しつつ新しい知識を吸収する姿を見ることができました。先生は2012年12月20日、天寿を全うされました。謹んでご冥福をお祈りいたします。

文献

- 奥山康子(2012) 誕生石の鉱物科学—9月 ブルー・サファイアー。GSJ地質ニュース, 1, 264-265。
白水晴雄・青木義和(1989) 宝石の話。技報堂出版, 東京, 190p。

地質調査総合センター共同利用実験室 と震災後の再構築

小笠原正継¹⁾

1. はじめに

産業技術総合研究所（以下、産総研）地質調査総合センターには共同利用実験室が設置され、地質試料の観察・分析に利用されている。2011年まで共同利用実験室は、工業技術院のつくば移転時に設計された実験室の配置を基礎としていた。地質調査総合センターの第7事業所本館は8階建の建物で、その中ほどの5階、そして平面的にも建物の中央部に共同利用実験室の主要な機器が設置されていた。この場所は、建物内のどこからもアクセスが良いという利点がある。建物の中央部は特に床の耐荷重が高く設計されており、共同利用実験室の下層階にはコンピューター室、図書室も配置されている。2011年3月の東北地方太平洋沖地震ではつくば市は震度6弱の揺れとなり、地質調査総合センターでは書棚の転倒等の様々な被害があり、特に建物の上層階ほど被害が大きかった。5階にある共同利用実験室の大型分析装置にも損傷が出た（写真1）。1階の岩石粉碎室では被害は全くなかったが、8階の蛍光X線分析装置（XRF）用試料調製実験室では、約4mの長さで連結されて壁と壁の間に密着して固定されていた実験台が動いていた。これらの状況の分析から、今後の安全を確

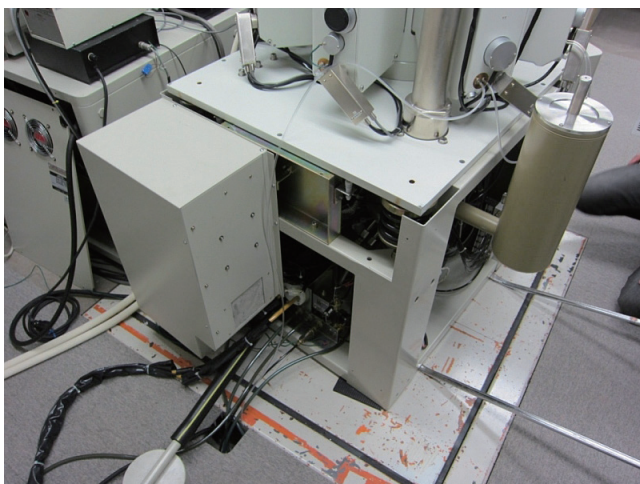


写真1 震災により移動したEPMA本体の状況と担当者等による復旧作業。
EPMA本体は約15cm移動した。引き続き余震により、専用の基礎からはみ出す可能性があるため仮の復旧を行った。

保するため、共同利用実験室の下層階への移設の案が提案され、震災後の実験室再構築の一環として実施されることとなった。最終的には本館1階に移設することとなった。

筆者は共同利用実験室運営委員会の委員長として、2012年3月まで移設作業の取りまとめを行っていたので、共同利用実験室の概要と実験室再構築の経緯を紹介する。

2. 共同利用実験室

地質分野で必要とされる実験は観察・分析系の作業が多く、その手法の多くはすでに確立されており、一度機能的な実験室を作ると10年または20年と長期間利用することが可能である。一方、工学系の実験では、その時々目的に合った効率的な実験室への改造または改廃が行われることがある。その点で地質分野の実験室の在り方には特徴がある。実験室に設置されている設備も同様であり、長い期間使用されることが多い。共同利用実験室に設置されている機器もこのような特徴を持っている（第1表）。

共同利用実験室の主要装置である電子線マイクロプローブ（EPMA）の2台の内1台は、20年近く使用されている。XRFの1台は設置後25年を経過しているが、今なお

第1表 共同利用実験室の主要機器と設置年月。

装置名	設置年月	使用年数
電子線マイクロプローブ(JXA-8900)	2000.9	13
電子線マイクロプローブ(JXA-8800)	1994.2	19
蛍光X線分析装置(PW1404)	1988.2	25
蛍光X線分析装置(Axios)	2007.7	6
X線回折装置(RINT2000)	2003.3	10
X線回折装置(Ultima IV)	2009.3	4
熱分析装置	2000.3	13
エネルギー分散型蛍光X線分析装置	2000.9	13
走査電子顕微鏡	2010.3	3
X線CTスキャナー	1996.3	17
レーザー回折・散乱式粒度分布測定装置	2002.3	11
画像解析方式粒度分布測定装置	2008.12	5
岩石粉碎室装置各種	1964.6-	49-
全自動岩石微粉碎装置	2003.3	10
蛍光X線分析用ガラス試料作製装置	2000.3	13

1) 産総研 地質情報研究部門



写真2 岩石粉碎室の自動乳鉢。
中央の装置は1964年製で、モーター、スイッチ、上部のカバーはオーバーホール時に交換している。

現役の装置であり、精度の良い分析結果を提供している。これらの装置は制御系のコンピューターと制御システムソフトを適時アップグレードすることにより、現在でも使用可能となっている。ただし、20年以上の古い装置のシステムアップグレードや修理は装置メーカーがその対応を終了することもあり、その場合は装置の更新が必要となる。装置を長く利用するためには、常に安全な使用ができるように装置の保守が必要であり、装置担当者はその装置についての十分な知識とメンテナンスの技術が必要である。岩石試料粉碎室の機器はつくば移転時に導入されたものが多く、約30年前に設置された。ただし、中には古い機器も使用されている。自動乳鉢は5台使用されているが、そのうちの1台は約50年前、旧地質調査所に導入されたものであり、世代を超えて今なお利用されている(写真2)。この自動乳鉢は、15年前にモーターとスイッチの電気系の交換、およびガラスカバーの木枠の交換を行い、機械系のオーバーホールを実施しているものである。そのため50年前の装置であるが、安全な使用が可能である。

共同利用実験室整備の経緯について、筆者の担当した部分を中心に振り返ってみる。5階の共同利用実験室はコンピューター室の直上にあることから、冷却水を必要とする装置の夜間連続運転には注意が必要であった。当初、EPMAやXRF等は、毎日、朝に立ち上げ、安定するのを待ち、測定を行い、測定終了後すべてを停止するという利用形態であった。1987年に新しいXRFが導入されるにあたり、専用の空冷循環式冷却水送水装置を設置した。空冷循環式冷却水送水装置は約30Lの冷却水をエアコンのようなシステムで冷却しており、たとえ漏水事故があっても30Lの水の一部が漏れるだけであり、漏水被害は最小限に抑えられる設備を作り上

げ、24時間運転が可能なシステムを構築した。このXRFは導入後25年が経過したが、事故もなく現在も使用されている。1990年代になるとEPMAの担当者による提案で、EPMA用の空冷循環式冷却水送水装置が設置された。そのため24時間連続運転が可能となり、電子銃のフィラメントは常時ONの状態とし、常に安定した電流の電子線を得ることができ、装置立ち上げ後の安定する時間を待つことなく、精度の良い分析が効率良く実施できるようになった。空冷循環式冷却水送水装置の導入はXRFとEPMAの効率的な運用にとって大きな貢献となった。

岩石粉碎室についても、担当者として実験室の整備を行ってきた。地質試料の場合、粉碎し均質な粉末試料を作成する試料調製は、各種分析において最初に必要となる作業である。この粉碎作業を安全に効率良く実施できるように、様々な改装・改善を行ってきた。もともとは大きな部屋であったが、粗粉碎スペースと微粉碎スペースを間仕切りにより区分した。集塵システムは2回の大きな改造を行い現在のものとなっている。粉塵は発生場所またはその近傍から取り去る局所排気型とした集塵システムを構成している(口絵写真11, 本号p. 66)。鉄乳鉢等の粉碎では粉塵が発生するが、その作業もフードの中で行えるようなシステムを作り作業環境の向上を目指した(口絵写真11および12, 本号p. 66)。また作業性を上げるための様々な工夫を加え、その結果として効率的な試料粉碎室を作ることができた。国内外の研究者が見学された際には、その多くの方から機能的な実験室として評価していただいた。

その他の共同利用機器も装置担当者の努力により、機器の更新もなされてきており、効率的な作業ができるような実験室と機器が整備されてきた。共同利用実験室運営委員会は年2回の定例会議で半年毎の使用実績と課題を議論しており、また新たな機器導入への提案の検討もなされている。共同利用実験室運営委員会の存在は長期的視点に立った地質分野での機器の整備に貢献している。

3. 共同利用実験室の運用の課題

国内の大学等の研究機関では共用機器実験室、機器分析センター等の名称で、共同利用機器の運営が行われていることが多い。特に高額な機器については組織全体での運営がなされている。そのような場合は、一般に施設のスペースと人員が確保されており、また運営経費も手当てされている。地質調査総合センター共同利用実験室の運営に関しては、一時期、非常勤職員の方に担当していただいたこと

はあるが、現在、専従の職員はいない。また運営経費に関しては、工業技術院時代は地質調査所全体での対応がなされ、産総研移行後は地質関連研究ユニットに分担金として負担いただいている。現在は地質分野全体で運営経費を負担している。このような環境で、各研究ユニットの研究職員の内その装置の利用が多い職員または装置に関する技術を持っている職員等が、装置担当者として機器の基本的なメンテナンスと使用法の指導および安全管理を行っている。現状では使用に関する課金は行わず、使用の実績のみの集計と報告を行っている。機器使用時間に対応した課金を行う場合は、使用時間の管理業務が必要となり、事務処理に関する専従の職員の手当てが必要と考えられる。また課金を行う場合、装置の利用者は課金に対応した機器の利用から得られる結果を期待することとなり、装置のメンテナンスと使用法の指導に関する要望は高くなる。そのためには専門知識を持つ専従技術職員の対応が必要となる。

国内の研究機関では、テクニシャンまたはテクニカルスタッフとしての技術職員が少ない。これは海外の研究機関の実態と大きく異なる点である。海外の研究機関ではテクニカルスタッフが充実しており、またその地位も高い。ラボ・マネジャーと称されるテクニカルスタッフを頂点にして、常勤のテクニカルスタッフが研究遂行に大きな貢献をしている。またテクニカルスタッフが技術の継承と指導を担っている。さらに新たな機器の導入においては、組織としてその機器の役割を明確にして導入されることが一般的である。研究部門程度の組織の中では、その組織に属している研究者がその部門内の研究グループ等の枠を越えて、その部門内の装置を利用することによっての障害は少ない。さらに部門を越えての利用が可能となるようにシステムが準備されている。そのような機器は米国の大学等では Shared Research Facilities または Open Facilities として位置付けられ活用されている。一方同様な共同利用機器に関しては Common Research Facilities とする表現も、その他の国では使用されている場合がある。日本においては分析機器の導入プロセスとその運営法が異なるため、海外のような機器の利用に至ってはいないのが現状である。国内の機関においては、技術職員が少ないこともあり、研究者が多く時間を割いてその装置のメンテナンスを行うなど、担当する研究者個人または少数のメンバーが導入から運営まで行うこととなる。EPMAの利用については河内・奥村(1972)が課題を指摘しており、それから40年経った現在でも状況は大きくは変化していないと感じる。日

本国内における分析機器の利用に関して国立極地研究所の白石和行氏が議論された(「分析機器はだれのものか」：2012年3月特別シンポジウム“地質試料の先端分析システムとそのマネジメントの課題”での講演)。地質分野における分析機器利用の現状の分析と、今後の在り方に対する貴重な提案を伺うことができた。

実験機器の運営には予算、人、設備(実験機器と設置されているスペース)が適切に管理されることが必要である。地質調査総合センターの共同利用実験室は、上述の国内の研究環境の実態を反映しつつ運営がなされている。共同利用実験室では、担当者による専門的メンテナンス作業が比較的少ない装置が多いのもこのような事情からである。高額な機器であっても、同位体比測定用質量分析装置のように使用者の高度な専門的知識と技術が必要な機器は、共同利用機器としては含まれてはいない。

このような共同利用実験室の運用形態であるが、スペースの効率的運用や消費電力の低減、そして研究予算の効率的運用には十分貢献していると考えている。その一例としては、岩石粉碎室の利用実績がある。広いスペースに効率的な作業スペースがあることからその利用率は高い。分析機器は研究グループで保有していても、前処理としての試料調製は共同利用実験室で行うことが多い。数年前のことであるが、岩石粉碎室は年度の後半になると2か月先まで予約がつまり、実質上利用が困難であると苦情が寄せられた。そのため、コンタミネーションが問題にならない範囲での複数使用者の同時利用も可能とした。予約が取れないことが問題になるほど毎日実験室が利用されるということは、地質調査総合センターの機器とそのスペースが有効活用されていることを示している。

4. 共同利用実験室の震災後の再構築

2011年3月11日の震災により、研究排水システムや局所排気システムには被害が生じた。また電気、水道等の復旧にはすべての系統において損傷がないかの安全確認が必要であり、研究機器の復旧は研究インフラストラクチャーと区分されるユーティリティー関係の復旧作業の進捗と共に実施された。震災直後の3月16日からは装置の状況を把握し、復旧経費の概算の見積もりが始まった。ユーティリティーの復旧前であるが、装置の外観等の状況から判断した。3月28日からは電気のみで運転できる装置については、立ち上げての点検が開始された。電力供給の課題から実験機器の電力消費量調査への対応も行われた。

4月中旬には地質調査総合センターが入る第7事業所では、機器再構築対策チームが地質分野研究企画室の下に組織され、筆者は共同利用実験室運営委員会を代表して対策チームのメンバーとして参加した。4月19日には対策チームによる機器再構築の方針、また復旧スケジュールの概要が示された。その後、復旧は徐々に進み、共同利用実験室の機能は一部を除き5月末にはほぼ回復した。ただし、電力供給の状況から2011年夏の共同利用実験室の利用に関しては、電力使用量が低くなるように計画が立てられた。

5月に、産総研全体として、スペースと電力効率を高めたスペース再構築の方針が出された。この際、他の事業所で大きく被災した図書室を第7事業所へ集約すること、研究ユニットスペースのモザイク解消や電力供給の逼迫に備えた特殊空調や大型機器の集約化などの方針が出された。6月には第7事業所内においても研究室や実験室のスペース再構築の一環としての共同利用実験室の移設計画案が承認された後、具体的な作業が始まった。7月6日には地質分野スペース再構築対策チームが地質分野研究企画室の下に組織され、筆者は共同利用実験室を代表してその対策チームのメンバーとして参加することとなった。対策チームにおいて基本的な方針が議論され、移設計画の策定、費用の積算がなされた。7月12日には、地質分野研究企画室による詳細な移動スケジュールが作成され、7月下旬からは実際の作業が開始した。また同じ頃から、震災による損傷があった機器等をより安全な機器へとする更新の準備も開始された。

この共同利用実験室の移設に際して以下のことを考慮した。

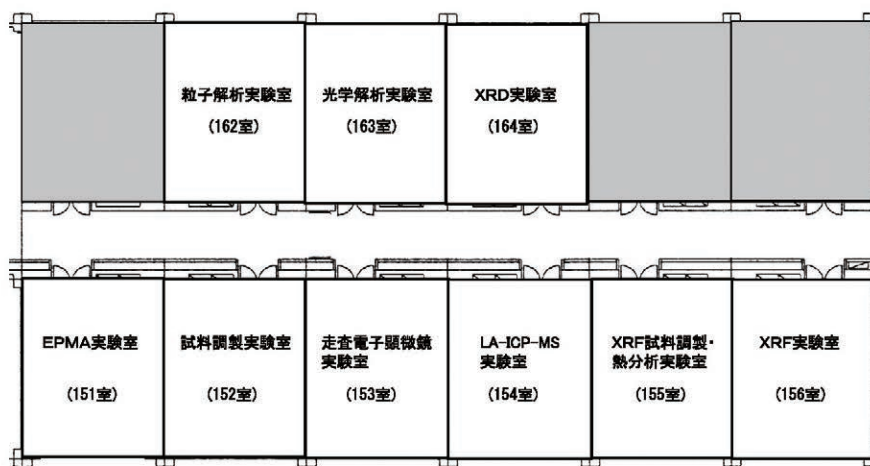
- ・耐震性の強化
 - 1階に移設する実験室・装置類の安全確保と損傷防止
 - 実験作業中の地震等に対する安全性の確保
- ・消費電力の削減、冷却水の使用量の削減、特殊空調使

用の削減

- ・実験室の集約化と機能的な実験室の配置
- ・実験室内の装置類の機能的配置
- ・リサイクルできる^{じゅうき}仕器の活用
- ・不用品の廃棄、つくば移転後実験室内にたまってきた物品の整理

共同利用実験室の移設計画において、実験室の配置は作業の関連性から決められた(第1図)。EPMA実験室と走査電子顕微鏡(SEM)実験室の間の実験室には、両者の前処理に必要な真空蒸着装置と最終研磨を行うことが可能な各種研磨装置が設置された。同様にXRF実験室の隣には、XRF試料の調製が可能な実験室を配置した。移設前の5階の共同利用実験室はすべて温度・湿度の制御がされている特殊空調実験室であったが、移設後はEPMA実験室のみとし、その他の実験室は個別空調にすることにより、消費電力の削減に貢献している。また今回更新される一部の機器は、可能な限り低消費電力のものとするを旨とした。共同利用実験室には今回移設された実験室以外に、岩石カッター室、岩石粉碎室、岩石磁気・古地磁気実験室、X線CT実験室、コアライブラリー内のコア観察・処理施設がある。岩石カッター室については実験室の移設は行わなかったものの、安全で機能的な実験室への整備がなされた。

実験室内の機器の配置については、安全性と研究者の動線を考慮し決めていった。最終的な機器の配置に関しては若干の差異はあるが、ほぼ当初の計画どおり行うことができた。実験室の配置と実験室内のレイアウトに関しては、各実験室の担当者に説明をしつつ、意見を聞き、最終案を作成していった。その中で最も重要な点は、移設後の実験室を担当者がイメージできるかという点であったと考えている。EPMA実験室内のレイアウトについては、担当者の強い希望で現状となっている。また、今回更新される走査



第1図 第7事業所本館1階の共同利用実験室配置。

電子顕微鏡および蛍光エックス線マッピング装置の機能に関しては、担当者が検討し決めている。

実験室には耐震性強化のため、高さ 1.5 m 以上のキャビネット等は置かないようにした。5 階にあったエネルギー分散型 XRF では、プリンターが上部に載ったタイプのパソコンラックが転倒したことから、装置の制御用 PC によく使用されている 2 段または 3 段のパソコンラックは極力使用しないようにした。

共同利用実験室の作業には、XRF 用のガラス円板作成時に約 1000℃の白金をつばをるつば挟みで移動する作業がある。実験作業の安全性を高めるうえで、その作業が省略できる全自動ガラスビードサンプラーを導入した。また実験室内で使用する高圧ガスポンベの数量削減のため、パイプラインガスの使用に切り替え、さらに実験室内で同じ種類のガスを複数の装置が使用する場合は 1 本のボンベから供給できるシステムを作った。このように、実験室内機器の安全性向上と実験作業の安全確保を目的に移設計画が作られた。

今回の移設では、1 階の実験室用に 3 相 200V150A と単相 200V250A の主幹線の新規電源ケーブルを引いた。第 7 事業所を含め産総研つくばセンターの建物は建設後 30 年が経ち、電気配線ケーブルも同じ年数が経過している。今回実験機器用の電力を新たに引いた主幹線から供給できることは、今後の電気供給の安全性の向上にも貢献できると考えられる。この主幹線を新たに引く作業には、第 7 事業所全体の停電が必要となる。毎年 10 月に実施される事業所、および産総研つくばセンター中央地区全体の電気設備の定期点検に合わせての作業が必要であり、この時期を外すと翌年の 10 月まで待たなければならない。そのため共同利用実験室の 1 階移設の計画の中で、この作業は最優先課題として対応がなされた。2011 年 10 月に無事、主幹線の配線が終わり、移設される機器への電気の供給が可能となった。その後主要機器の移設が開始され、2012 年 3 月末には機器の移設は完了した。様々な付帯工事が 2012 年 4 月からも継続し、また更新される機器の設置が行われた。

2013 年 2 月には今回の再構築作業がほぼ完了することとなった。震災後の復旧、その後の移設作業および整備に約 2 年という長い時間が必要となったが、今後 20 年以上にわたり安全で機能的に活用されるような実験室となったと考えている。

5. おわりに

今回の共同利用実験室の再構築はひとまず完了したが、顕微レーザーラマン分光装置等共同利用実験室の設備として整備されることを希望されているものもある。今後さらに整備すべき実験室または機器を常に検討し、地質分野で必要となる機器の整備また更新を継続していくことは必要であると考え。2012 年 12 月 7 日つくばで震度 4 となる地震が発生した。地震直後に装置の点検がなされ、EPMA のターボ分子真空ポンプが故障したことが明らかになった。その他の装置については異常がなかった。EPMA のこの真空ポンプは 2011 年 3 月 11 日の地震以前にも少し大きな地震が起きた際に損傷していた。今回地震による EPMA 本体の移動等ではなく安全は保たれたが、この真空ポンプに関しては地震に対する脆弱性が残っている。立川市にある国立極地研究所は建物自体が免震構造となっており、その中に設置された EPMA や大型の二次イオン質量分析装置である SHRIMP は 2011 年 3 月 11 日の地震でも損傷を受けていない。今後重要機器については免震実験室または免震台に設置することが可能となれば、研究作業の安全性確保と研究活動の継続について貢献できると考える。

謝辞：本文は 2012 年 3 月の特別シンポジウム「地質試料の先端分析システムとそのマネジメントの課題」での講演内容をもとにまとめたものである。シンポジウムの世話人の皆様にはシンポジウムや特集号の準備にご尽力いただいた。また国立極地研究所所長白石和行氏および海洋研究開発機構の谷健一郎氏にはつくばまで講演に来ていただいた。心から感謝申し上げたい。共同利用実験室の再構築にあたっては、地質分野研究企画室には大変お世話になった。また共同利用実験室の運用と今回の移設については共同利用実験室運営委員および担当者の方の様々な貢献に感謝申し上げる。

文 献

河内洋佑・奥村公男 (1972) オンライン制御したエレクトロンプローブによる珪酸塩の定量分析. *MAGMA*, no. 31, 2-6.

OGASAWARA Masatsugu (2013) Re-organization of Shared Research Facilities of the Geological Survey of Japan after the great Earthquake.

(受付：2012 年 12 月 21 日)

GSJ共同利用実験室における 微小領域分析機器－ EPMAと SEM-EDS

下司信夫¹⁾・斎藤元治¹⁾

1. はじめに

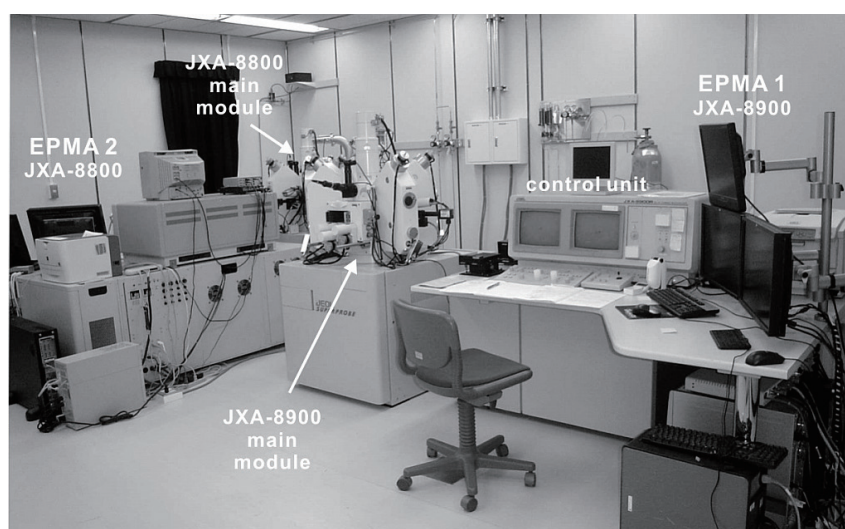
地質試料はその成因を反映した微細な組織・構造を持つ物質であり、その微小な領域の化学組成の決定は地質現象の定量的な理解に不可欠な情報をもたらす。地質調査総合センター共同利用実験室（GSJ 共同利用実験室）では、地質試料等の微小領域の化学組成分析を行うための実験装置として、エックス線波長分散型の電子線マイクロアナライザー（EPMA）と、エネルギー分散型エックス線解析装置（EDS）を搭載した走査型電子顕微鏡（SEM）を運用している。これらの分析機器は、地質試料内における微小領域の化学組成の測定やその分布を分析することが可能であり、地質学・岩石学・鉱床学において広く使用されている。産総研地質分野では主に火山噴出物解析や鉱床鉱物分析に使用されており、幅広い成果を上げている。2011年3月の東日本大震災での地震動や停電によるこれらの機材へのダメージは幸いにも最小限にとどまり、その後の復旧作業により比較的速やかに元の機能を回復できたほか、実験機器の1階への集約によってより効率的な運用を行う環境が

整えられた。ここでは、これらの装置の概要を紹介し、また今後の運用方針やその課題について取りあげる。

2. 共同利用実験室における微小領域化学分析装置

2.1 電子線マイクロアナライザー

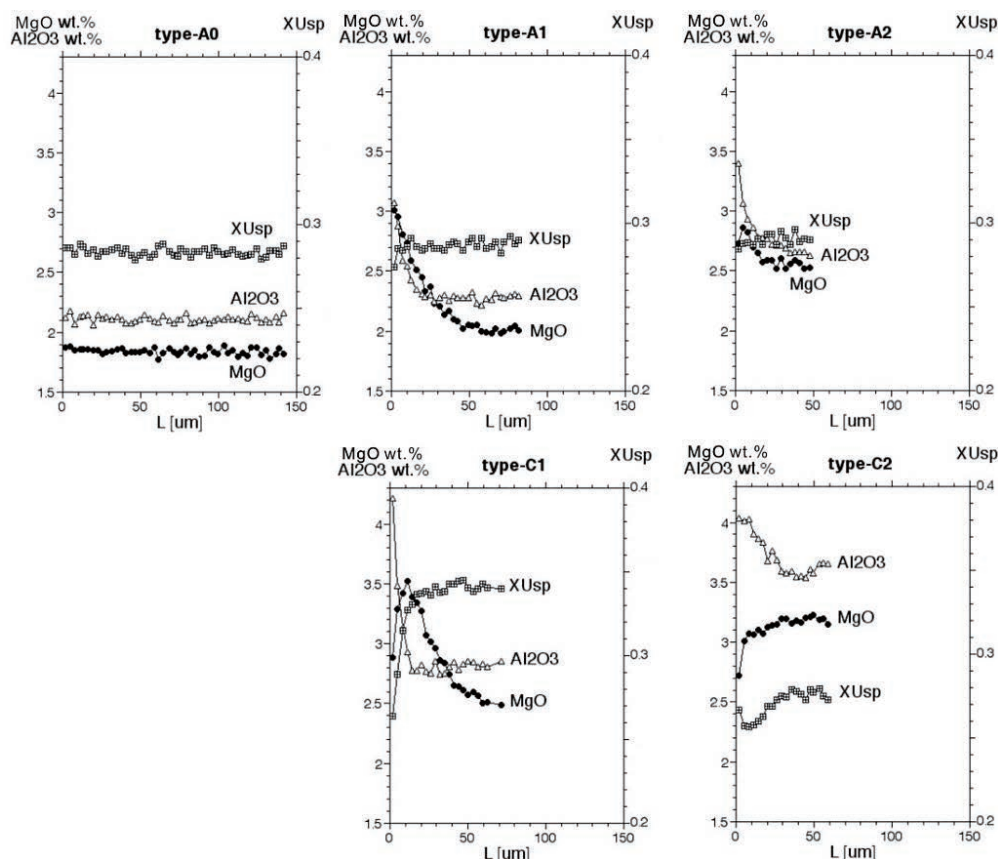
電子線マイクロアナライザー（EPMA）は、最小径1 μ m程度に絞った電子線ビームを試料に照射し、試料から発生する特性エックス線を分光・解析し、元素ごとの特性エックス線の波長と強度から構成元素濃度を測定する装置である。電子線を最も細く絞った場合には試料表面から数 μ m³程度のごく微小な領域をほぼ非破壊で分析することが可能である。EPMAによる微小領域の分析には、後述のEDSに比べ高い波長分解能・検出限界で化学組成を決定できるという利点がある。EPMAにおける元素分析では、分析対象とする元素の特性エックス線に対して、適当な分光結晶を装備した検出器を割り当てて分析するため、一度に分析できる元素数はEPMAが搭載している検出器の個数（5個）以下に制約されるが、試料に含まれる元素が既知



第1図 7-1棟151号室に設置された2台の電子線マイクロアナライザー。

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：共同利用実験室、微小領域分析、EPMA、SEM-EDS



第2図 EPMAにより得られた霧島山新燃岳2011年噴出物に含まれる磁鉄鉱の化学組成プロファイルの例。1月26~27日準プリニー式噴火の灰色軽石に含まれる磁鉄鉱斑晶のゾーニングパターンをEPMAの解析結果から5種類に分類し、その成因を明らかにした。横軸は斑晶縁からの距離。XUsはウルボスピネル成分(主成分)のモル比(東宮昭彦氏による:産業技術総合研究所,2012の第1図を改変)。

の場合、あるいは測定対象の元素が決まっている場合には、高い精度での定量分析が可能である。また、ステージ駆動による連続分析により、無人分析や試料表面の元素分布マップの作成が可能である。

GSJ 共同利用実験室では、日本電子製のJXA-8800とJXA-8900の2台のEPMAを運用している(第1図)。これらのEPMAは基本構成が同じであるため、利用者は2台の機器を区別無く使用することができる。今回のGSJ共同利用実験室の集約により、2台のEPMAが一つの実験室に集中配備されたため、部品の共通利用など、運用の利便性がより高まった。

GSJ 共同利用実験室EPMAによる最近の分析対象は、火山噴出物や、変成岩、鉱床鉱物、津波堆積物など多岐にわたっている。最近の使用例としては、有珠、三宅島、霧島山新燃岳などの火山噴出物に含まれる鉱物や火山ガラスの精密な化学組成分析による、マグマ上昇過程や火山ガス放出過程の研究などがあげられる。特に、EPMAの特性を生かした高い空間精度での高精度の化学組成分析は、火山岩中の鉱物粒子内の累帯構造の解析(第2図)を可能とし、マグマ溜

まり滞留時から火道内上昇過程、あるいは噴出後の冷却過程について定量的な情報を得ることができる。こうした解析により、有珠火山では、噴出物に含まれる斑晶鉱物の化学組成やその分布から、過去数100年の火山活動を駆動しているマグマ溜まりにおけるマグマの長期間の進化を明らかにする研究が行われた。また三宅島2000年噴火では、噴出物中の斑晶鉱物が持つガラス包有物中の揮発性成分(硫黄や塩素など)の解析が行われ、大量の火山ガスの放出メカニズムの解明に貢献した。2011年の霧島山新燃岳噴火では、噴出物中の斑晶鉱物の化学組成およびその構造(第2図)から、マグマの上昇過程の定量的な推定が行われた。このようにGSJ共同利用実験室で整備された設備を使用して、マグマの上昇過程やマグマ混合のタイムスケールといった噴火準備プロセスに関する定量的な情報を噴火継続中あるいは直後に取得し公表することが可能となった。

2.2 エネルギー分散型エックス線解析装置

エネルギー分散型エックス線解析装置(EDS)は、走査型電子顕微鏡(SEM)に搭載された検出器と解析系からな

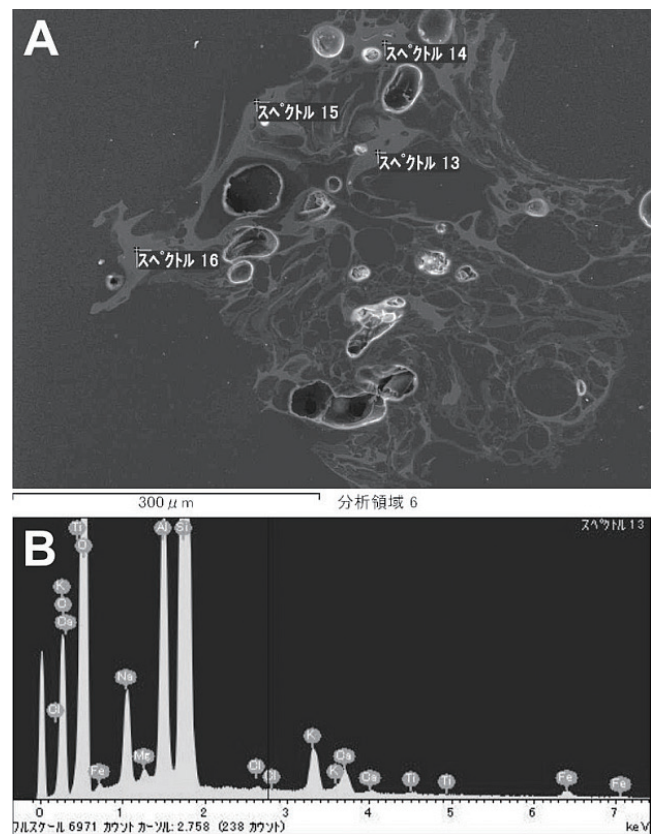
る装置で、SEMの電子銃によって発生させた電子線ビームを径 $1\ \mu\text{m}$ 以下に絞って試料に照射し、試料から発生する元素ごとの特性エックス線のエネルギーと強度から構成元素濃度を分析する装置である。EPMA同様、電子線を最も絞った場合には試料表面から数 μm^3 程度の領域を分析することが可能である。前述のEPMAに比べると検出限界・分解能が劣るが、1つの検出器を用いて広いエネルギー領域のエックス線のスペクトル解析を行うため、ピークを認識できたすべての元素を同時に分析できる利点がある。また、定性分析と定量分析を同時に行うことが可能である。したがって、含有される元素が未知の試料を効果的に分析することができる。さらに、照射電流がEPMAに比べて1桁以上小さいために試料の損傷が比較的軽微であり、ガラス等の易損試料中の軽元素の分析に優れている。また、電子線を走査させることにより、試料表面の元素分布マップの作成が可能であり、検出されたすべての元素について同時にマップを作成することができる。

GSJ共同利用実験室で運用している、日本電子製の走査型電子顕微鏡JSM-6610LVにはOxford Instrumental社製のEDS検出器X-max20を装備している(第3図)。このSEMは高真空モードでの観察に加え、数10Pa~数100Paでの低真空における観察が可能であり、導電性物質のコーティングなしに試料観察・元素分析をすることができる。もちろんSEM単独での使用も可能であり、試料表面形状の観察などにその威力を発揮している。SEMは電子線が照射された試料から発生する二次電子や反射電子をそれぞれ固有の検出器により検出・解析することで、試料の表面形状や試料面の密度分布を知ることが可能である。共同利用実験室のSEMに搭載されたEDS検出器はシリコンドリフト検出器を装備しており、液体窒素による冷却は不要であり、電子的な冷却での動作が可能であるため、電源投入後使用可能になるまでの時間が数分程度と極めて短い。

最近のGSJ共同利用実験室におけるSEM-EDSの分析は、主に火山噴出物の表面形状・内部組織の解析や、試料に含まれる鉱物や火山ガラスの化学組成の決定に使用されている。最近の使用例としては、新燃岳2011年噴火や最近の桜島噴火における噴出物(火山灰粒子)の形状や内部組織、鉱物やガラスの化学組成の解析から、マグマの噴出過程の研究に用いられている。また、火山ガラスの組成を容易に測定できるため、陸上および海底試料中の鉱物や火山ガラスの組成測定によるテフラの同定にも利用されている。特に、電子線照射によるガラスの損傷とそれに伴う軽元素の損失が



第3図 7-1棟153号室に設置された走査型電子顕微鏡。中央に電子銃(SEM gun)があり、その左面にエネルギー分散型エックス線解析装置の検出器(EDS)が搭載されている。装置本体右面にはカソードルミネッセンス検出器(CL)が装備されている。



第4図 エネルギー分散型エックス線解析装置による分析位置の設定(A)と得られた試料の特性エックス線スペクトル(B)の例。図Aでは、二次電子像上に複数の分析領域が設定されており、自動で順次分析が行われる。図Bはその一つの分析点において得られたX線スペクトルの例。横軸がエックス線のエネルギー、縦軸が各エネルギーにおけるエックス線強度を表す。分析試料は桜島火山の薩摩テフラの火山ガラス。0.1 wt.%程度の濃度である塩素(Cl)のピークも捉えられている。

無視できないため、EPMA に比べて弱い電子線を任意の領域に走査させながら照射できる SEM の特性を生かした火山ガラスの化学組成分析に有効である。また、SEM に搭載されている利点を生かし、SEM による形状観察と、EDS による化学組成分析を組み合わせた解析が行われている。微小領域の化学組成の測定がごく簡便に行えることから、試料中に含まれる未知鉱物の同定等にも活用されている。

2. 3 試料準備設備など

微小領域の化学組成分析のためには、試料表面の鏡面研磨や導電性物質によるコーティングなどの前処理が必要となる。これまで、試料準備に関しては必ずしも系統的な体制が取られていなかったが、今回の実験室の移動集約に伴い、樹脂包埋用の各種器具、各段階の研磨機・ダイヤモンド琢磨機、炭素蒸着機等が EPMA と SEM-EDS 実験室の間にある一実験室に集約された。これにより、研磨剤や潤滑剤等の消耗品類の集約化などが図られ、運用の効率性が高まった。また、同時に再整備された 7-3A 棟 2 階の岩石カッター室の機器と組み合わせれば、岩石薄片・樹脂埋込試料の作製から切断、研磨、蒸着までが一連の実験設備で実施できるようになったため、装置使用者がその使用目的に応じて試料の前処理～準備を効率的に行うことが可能となった。

正確な化学組成分析のためには適切な標準試料を使用する必要がある。GSJ 共同利用実験室では、地質試料で想定されるさまざまな元素に対応した標準試料を備えている。また、比較的良好に使用する元素については、装置管理者が典型的な分析条件下での標準試料測定ファイルを随時作成・更新し利用者に提供しているため、利用者本人による標準試料測定の必要性が軽減されている。

3. 装置運用についての課題

EPMA, SEM-EDS とも、主な利用者が装置管理者となり、装置の維持やトラブル対応等を行っている。EPMA は装置の維持のために常時運転状態であり、良好な測定環境を維持するためには、装置本体の真空排気系や冷却水循環系、検出器に導入されているガスの供給等の日常的なメンテナンスが不可欠である。また、電子銃に使用しているタングステンフィラメントは 1～2 ヶ月で断線するため、その交換と調整が必要である。さらに、分光結晶と X 線検出器を特定の幾何光学的配置に保つ機械的な駆動機構を有するため、それらの調整やメンテナンスも定期的 (1～2 年に 1 回) に

必要である。装置を良好な状態に維持するための装置管理体制や予算の確保が引き続き課題となるだろう。また、これまで本館 5 階に設置されていたため、地震動による機械の停止が頻繁に発生し、真空排気系のターボ分子ポンプが損傷したケースもあった。今回の 1 階への移転により、地震動に対する耐性が高まったが、今後も機器の耐震性については対策を重ねる必要があるだろう。

現在 2 台運用している EPMA のうち 1 台 (JXA-8800) は導入から 18 年が経過し、またもう一台も 12 年が経過している。いずれも現在のところ良好な状態が維持されており、十分使用可能であるが、将来的には後継機の導入を検討せねばならない。

SEM-EDS については、分析時のみ運転する運用形態をとっているため、EPMA に比べて日常のメンテナンスの負担は小さい。また、日常的なメンテナンスが必要となるような装置本体の冷却水循環系や機械的な駆動部、検出器冷却のための液体窒素供給などが不要な装置を選定しているため、メンテナンスの負担は小さい。

現在運用している SEM-EDS は導入から 2 年と新しく、装置更新について当面問題となることはない。また、電子後方散乱パターン (EBSP) 検出器を搭載した新たな SEM-EDS 装置の導入を進めており、2012 年度中の運用開始を予定している。この EBSP 解析装置の導入により結晶粒子毎の結晶方位や結晶系の測定が可能となるほか、結晶粒の方位分布から集合組織や結晶相分布が解析可能となる。現在運用している SEM-EDS 装置との役割分担により、さらに機能・効果的な装置運用が期待される。一方、微細な組織観察・解析に特化した SEM の導入も検討課題の一つだろう。なぜなら光学像では観察できないような微細な組織観察・解析は SEM の得意な分野であり、地質試料の微細組織観察は今後より重要性を増すと考えられるからである。現在導入されている EDS や EBSP 検出器を備えた SEM はそれぞれの解析に特化した調整がなされたり、分析・解析に長時間機器が占有されたりすることが予想される。そのため、利用実態に合わせて SEM 本体の機能である微細な組織観察・解析に特化した、顕微鏡としての SEM の導入も検討すべきであろう。SEM のような汎用性が高い機器は、その効率的な運用という視点から考えると多くの利用者が予想される共同利用実験室で整備・運用することが望ましい。

このように、GSJ 共同利用実験室ではそれぞれ異なる特徴を持つ EPMA と SEM-EDS という 2 種類の分析装置を運用し、様々な地質試料に対する化学組成分析を行っている。

より効率的な研究の推進のためには、これらの機器の特性を理解し、目的とする分析に対して最適な機器を使用できる体制を維持してゆくことが必要である。また、現在の利用目的以外にも幅広い地質分野の研究に対してこれらの機器は有効であるため、これらの機器の能力を発揮できる潜在的なニーズを掘り起こしていくことも必要であろう。

4. まとめ

GSJ 共同利用実験室における微小領域の化学分析装置として、2 台の EPMA と 1 台の SEM-EDS 装置が運用され、噴火研究や鉱床鉱物の研究などに活用されている。今回の共同利用実験室の集約化により、実験装置とその試料準備施設を含めて効率的な配置が実現できた。地質調査や火山

活動、鉱物資源の研究をはじめとする様々な地質分野の研究課題に対して、これらの分析機器は今後も高いパフォーマンスを発揮すると期待される。

文 献

産業技術総合研究所 地質調査総合センター (2012) 新燃岳2011年1月準プリニー式噴火のマグマ過程とその時間スケール. 気象庁火山噴火予知連絡会会報, no. 110, 1-6.

GESHI Nobuo and SAITO Genji (2013) Micro-space analysis of geological samples in GSJ-Lab: EPMA and SEM-EDS systems.

(受付: 2012 年 12 月 10 日)

地質図作成における試料分析システム —岩石カッター室設置機器を中心に—

高橋 浩¹⁾

1. はじめに

地質調査総合センターでは、国土の地質情報整備のための基幹業務として各種スケールの地質図幅を作成している。地質図幅とは、国土地理院が発行している地形図や地勢図に合わせて作成した地質図のことであり、現在、地質調査総合センターが出版している主な地質図幅には縮尺が20万分の1と5万分の1のものがある。5万分の1地質図幅は詳しい現地調査に基づいて作成され、20万分の1地質図幅はすでに発行されている地質図や論文などのデータを編集し補足調査を行って作成されている。これらの地質図幅類は国土の基礎地質情報として土地利用、災害防止、資源探査、環境対策、学術資料など幅広い分野で利用されている。

野外地質調査では、地層や岩石を観察・同定し、分布や構造を調べ、試料を採取している。採取試料は実験室に持ち帰り、岩石薄片の作製・顕微鏡観察や化学分析、年代測定等が行われている。堆積岩試料の場合は、化石の抽出・同定などを行っている。これらの野外データと室内分析データを基にして地質原図を作成している。

このように、地質図作成のためには、室内での試料分析が重要な役割を果たしている。

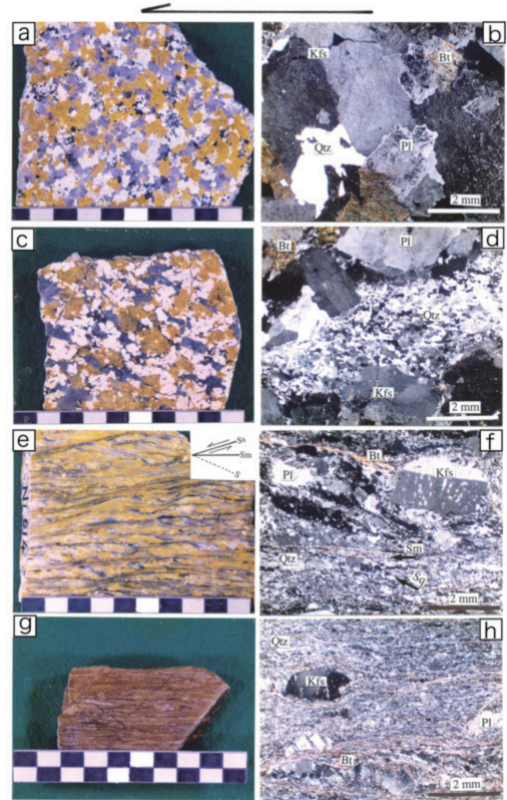
2. 地質図作成のための室内研究

以下に、地質図作成のための室内研究のうち岩石カッター室に関わりの深いものについて解説する。

1) 岩石薄片の作製

深成岩や火山岩等の火成岩や変成岩試料は、岩石薄片を作製し、偏光顕微鏡下で構成鉱物を同定するとともに岩石や鉱物の組織を観察する。変形した岩石の場合は、面構造に直交し線構造に平行な面を岩石カッターで切り出し、この面での岩石薄片(定方位薄片)を作製した後に偏光顕微鏡

下で組織観察を行い、非対称組織が存在すれば剪断センスを求めることができる(第1図)。堆積岩についても、砂岩等では岩石薄片を作製し、鏡下で鉱物を同定し砕屑粒子の割合を求めたり、砕屑性のざくろ石やスピネルが含まれる場合はそれらの化学分析を行って後背地の推定等を行うことが



第1図 日本国マイロナイトのマイロナイト化過程。非変形の岩船花崗岩 (a, b) から片麻状黒雲母花崗岩 (c, d), 黒雲母花崗岩マイロナイト (e, f), 黒雲母花崗岩ウルトラマイロナイト (g, h) へと順次マイロナイト化が進行している。マイロナイト化における剪断センスは左横ずれである。
a: 岩船花崗岩, b: 同顕微鏡写真, c: 片麻状黒雲母花崗岩 (定方位), d: 同顕微鏡写真 (定方位), e: 黒雲母花崗岩マイロナイト (定方位), f: 同顕微鏡写真 (定方位), g: 黒雲母花崗岩ウルトラマイロナイト (定方位), h: 同顕微鏡写真 (定方位)。Takahashi et al. (2012) より引用。岩石カッター室備え付けの岩石カッターを使用して、定方位試料の面構造に直交し線構造に平行な面を切り出して定方位の岩板(定方位スラブ)を作成し、研磨機を用いて表面を研磨した後にカリ長石を染色した。

1) 産総研 地質情報研究部門

できる(七山, 1992; Takeuchi, 1994 など). また, 最近では, 碎屑性ジルコンの U-Pb 年代を測定し, 後背地の推定を行うようになってきた(中間ほか, 2010).

2) 全岩化学分析 (XRF, ICP-MS)

深成岩や火山岩等の火成岩は, マグマが固結した岩石なので, その全岩化学組成を測定することで, もとのマグマの性質や結晶分化作用, マグマ混合, 壁岩の混染作用等のマグマの進化過程を推定することが可能である. 蛍光 X 線分析装置 (X-ray Fluorescence Spectrometer: XRF) では岩石の主要元素と多くの微量元素含有量を測定することができる. また, 誘導結合プラズマ質量分析計 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry: ICP-MS) では, 希土類元素を含むほとんどの元素含有量の測定が可能である.

これらの装置の詳細は本特集号の報告や専門書で記述されているのでここでは述べないが, 採取試料をこれらの装置で分析するためには, 試料の風化変質箇所を取り除き新鮮な分析用試料を取り出すトリミングのために岩石破断機(ギロチン)や岩石カッターが必要であり, さらに, 岩石粉碎装置を用いて岩石を粉末にする必要がある. なお, トリミングや粉碎の際は, ギロチンや岩石カッターブレード, 粉碎装置使用による鉄等の混入を極力避け, また, 付着した混入物質を取り除く必要がある.

3) 鉱物化学分析 (EPMA)

深成岩や火山岩等の火成岩は, 上述の通り, 全岩化学組成の測定によりもとのマグマの性質や結晶分化作用等のマグマの進化過程を推定することが可能であるが, 深成岩の構成鉱物, 火山岩の斑晶鉱物やガラスの化学組成と併せて検討することによりさらに精度の高いマグマ過程の推定が可能となる. また, 変成岩類の場合は, 変成作用の温度圧力条件推定等のため, 変成鉱物の化学組成を測定する必要がある. 鉱物化学組成の測定には電子線マイクロアナライザー (Electron Probe Micro Analyser: EPMA) が用いられる. EPMA 分析は, 通常, 研磨薄片を用いるが, 鉱石の分析には研磨片が用いられることが多い.

4) 年代測定

深成岩, 変成岩や火山岩の生成年代を知るために各種年代測定が行われている. 各方法によって得られる年代の意味や精度が異なるため, 試料ごとに適した年代測定法の選択が必要であり, 得られた年代値の扱いには注意が必要である. 以下に, 現在行われている主な年代測定法について

解説する.

• K-Ar 法

一般的に広く行われている年代測定法であり, 火山岩類や深成岩類, 変成岩類を対象に多くの報告がなされている. 火山岩では, 通常, 全岩試料を粉末にして分析を行うが, 深成岩類や変成岩類では測定鉱物(主に黒雲母と角閃石)を分離して鉱物ごとに測定を行う. 火山岩類は地上に噴出してから急冷するため K-Ar 年代は火山岩類の固結年代を示す. 一方, 深成岩類や変成岩類では, マグマの固結や岩石の冷却に時間がかかり, 鉱物ごとに K-Ar 系での Ar 閉止温度が異なるため, 得られた年代は各鉱物が閉止温度を通過した年代, すなわち, 冷却年代を示している.

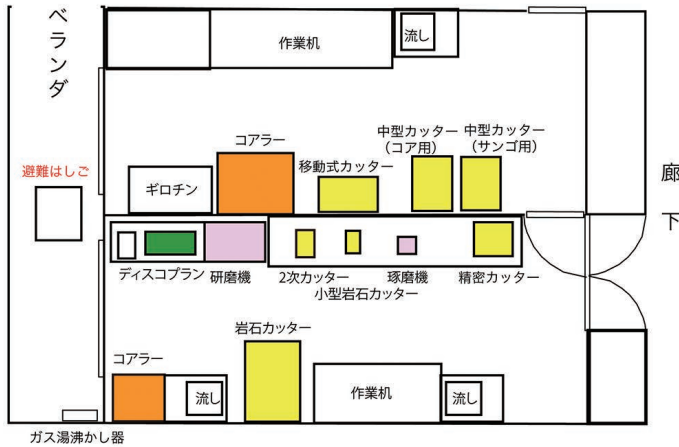
• Rb-Sr 法

Rb-Sr 法による年代測定は, 質量分析計を用いて行われており, 花崗岩類について多くの報告がある. 同一のマグマから分化したと考えられる岩体から分化程度の異なる複数の試料を分析しアイソクロンを引いて年代を求める方法(全岩アイソクロン法)と, 一つの岩石中の鉱物を分離し全岩と鉱物の分析を行いアイソクロンを求める方法(鉱物アイソクロン法)とがある. 全岩アイソクロン年代はマグマの固結年代を示し, 鉱物アイソクロン年代は冷却年代を示す.

• U-Pb 法 (SHRIMP, Laser ICP-MS)

近年, 高分解能イオンマイクロプローブ (Sensitive High Resolution Ion MicroProbe: SHRIMP) を用いた年代測定が行われるようになってきた. SHRIMP は, 数~数十 μm 径の微小領域における同位体分析が可能で, 地球の岩石中に含まれるジルコンの U-Th-Pb 年代測定を得意とする. ジルコンの U-Pb 年代は U-Pb 系の閉止温度 (900 $^{\circ}\text{C}$; Cherniak and Watson, 2000) が高いため珪長質岩においてはマグマの生成年代を示すとされている. また, ジルコンは風化・変質を受けにくく, 風化・変質した岩石においても岩石の形成年代を求めることができる. このように SHRIMP によるジルコンの U-Pb 年代は地質年代の解明のために有用であるが, 機械が高価で, 現在, 日本では, 広島大学, 国立極地研究所に設置されているのみであり, 今のところ, 分析データは限られている.

最近, SHRIMP と同様に, ジルコンの U-Th-Pb 年代を測定可能な Laser ICP-MS が日本国内各地の地質関連研究機関に導入され, 多くのデータが生産されている. Laser ICP-MS は SHRIMP に比べて安価で, 分析精度はやや劣るものの, 分析速度が速く効率がよい. 現在, 共同利用実験室に導入され調整作業が進行している.



第2図 岩石カッター室（7-3A棟221室）見取り図。



写真1 岩石カッター室設置の岩石カッターおよび円筒整形機。

3. 岩石カッター室設置機器について

現在、共同利用実験室の一つである岩石カッター室（7-3A棟221室）には、岩石カッター、中型岩石カッター（2台）、精密カッター（クリスタルカッター）、2次カッター、小型岩石カッター、円筒整形機（コアラー、2台）、研磨機、岩石薄片作製装置（ディスコプラン）、岩石薄片用琢磨機、岩石破断機（ギロチン）等の機器が配置され（第2図、写真1）、岩石薄片作製用具一式（電熱器、スライドグラス、接着剤等）も備えられている。上述のように、岩石カッターや研磨機等は、岩石薄片作製や各種分析の下準備に欠かせない装置であり、使用頻度は定常的に高く使用に際しては予約制をとっている。今年度は、老朽化し更新が求められていた岩石カッター、円筒整形機および岩石薄片作製装置（ディスコプラン）を更新し、同時に排水系の改修工事を行い、岩石カッター室は効率的で使いやすくなった。

岩石カッター室設置機器類の安全かつ積極的な使用により、多くのデータが効率的に生産され、研究成果につながる事が望まれる。

4. おわりに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震により地質調査総合センターの共同利用実験室の分析機器も被害を受けた。本館5階に設置されていたEPMAやXRFをはじめとする共同利用実験室設置機器類は地震の揺れに備えて1階へと移動された。共同利用実験室の1階への移転は、小笠原前共同利用実験室運営委員長をはじめとする関係者の尽力により実現できたものであり、岩石カッター室の改修や機器更新も関係者のサポートによるところが大きい。

今後も岩石カッター室をはじめとする地質調査総合センターの共同利用実験室設置機器が積極的に活用され、多くのデータが生産されることにより地質調査総合センターの一層の活性化と研究能力のさらなる向上に貢献することを期待したい。

文献

- Cherniak, D. J. and Watson, E. B. (2000) Pb diffusion in zircon. *Chemical Geology*, 172, 5–24.
- 中間隆晃・平田岳史・大藤 茂・青木一勝・柳井修一・丸山茂徳（2010）日本列島の古地理学—砕屑性ジルコン年代頻度分布と造山帯後背地の変遷—。地学雑誌, 119, 1161–1172.
- 七山 太（1992）北海道中軸部、日高帯・中の川層群において認められる3帯のpetroprovinceとその意義。地質学論集, no. 38, 27–42.
- Takahashi, Y., Mao, J. and Zhao, X. (2012) Timing of mylonitization in the Nihonkoku Mylonite Zone of north Central Japan: implications for Cretaceous sinistral ductile deformation throughout the Japanese Islands. *Jour. Asian Earth Sci.*, 47, 265–280.
- Takeuchi, M. (1994) Changes in garnet chemistry show a progressive denudation of the source areas for Permian–Jurassic sandstones, Southern Kitakami Terrane, Japan. *Sed. Geol.*, 93, 85–105.

TAKAHASHI Yutaka (2013) System of sample analyses for publication of geological maps—with special reference to equipments in the rock cutting laboratory—.

（受付：2012年12月10日）

粒子径を測る！ —地質分野の粒子径測定機器のシステム統合化と データの高度化計画—

七山 太¹⁾・古川竜太¹⁾・小笠原正継¹⁾

1. 地質分野の粒度分析手法の現状

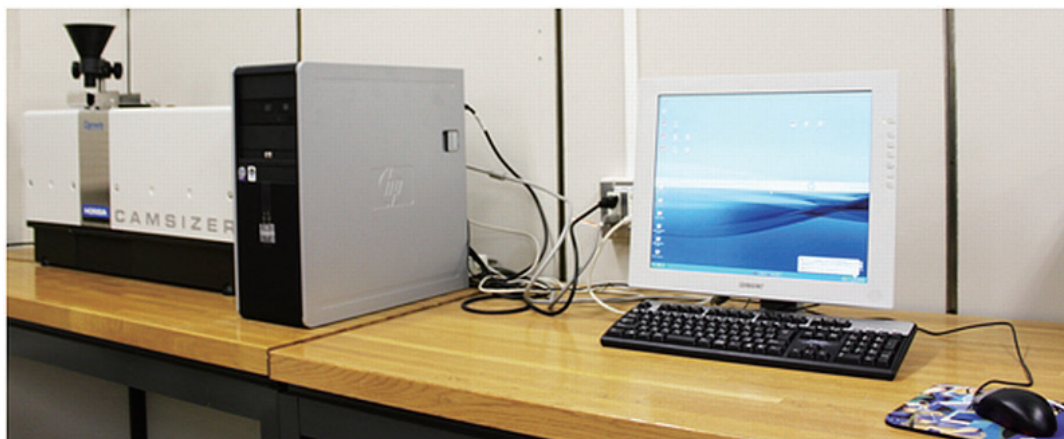
粒子径計測は様々な素材や製品の特徴を評価する上で重要な基礎情報であり、その分析技術は日本工業標準調査会によって JIS(Japanese Industrial Standards) 規格化、国際標準化機構によって ISO(International Organization for Standardization) 規格化されている(椿・早川, 2001; 椿ほか, 2002)。一方、我々地質分野の研究者が取り扱う自然界には様々な物質からなる多様な大きさや形状を持った粒子が混在しており、このため、研究対象ごとに粒子径の測定方法や装置が既に開発されてきている。産業技術総合研究所(以下、産総研)地質調査総合センターでは、砂礫や泥、火山砕屑物をはじめとする天然の粉体の粒子径計測(以下、粒度分析)を工業技術院地質調査所時代より研究業務として行ってきた長い歴史がある。

我々地球科学分野においては、泥、砂、礫の粒度分析を、篩分級法、沈降法またレーザー回折散乱法、もしくはこれらを併用して行うことが一般的であった(公文・立石, 1998)。その一方で、我々と同様な土質を取り扱う土木工学や土壌学の分野では、JIS A 1204「土の粒度試験方法」

に従い、篩法と沈降法を併用し、その分析結果を $75 \mu\text{m}$ (地球科学分野では $62 \mu\text{m}$; 公文・立石, 1998) で繋ぐ方法が主流であり、現在でもこれが標準的な分析方法となっている。但し、土木工学分野においても、近年では泥砂を篩で分離せず同時にかつ短時間で分析できるレーザー回折散乱法(JIS Z 8825-1:2001; ISO13320-1)による分析結果の報告が徐々に増えてきているのが現状である。

我々は過去5年程、粉体工学分野での最新の粒度分析手法の動向を知る目的で分析展・科学機器展や国際粉体工業展等を視察して情報収集を行ってきた。現在、粒子径計測の主流となっているレーザー回折散乱法の最新技術では、各社とも $10\text{nm} \sim 3\text{mm}$ のワイドレンジの粒子群を同時に、高精度かつ短時間に計測することが可能となっている。また青色 LED を光源として採用することにより、ナノスケールの解像度が顕著に向上している。

しかし、単一の物性値を持つ工業製品の粉体ではなく、様々な割合の複合物である自然界の土砂を検討する際には、未だ多くの技術的な課題が山積しているように思える。例えば、サブミクロンオーダーの微小粒子の測定では入射する光の波長が短いほど大きな散乱光強度が得られること



第1図 デジタル画像解析式粒子径分布測定装置 Retsch CAMSIZER の概観。

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：粒子径、地質分野、粒子径測定、システム統合化、高度化計画

が確認されているので、レーザー光だけでは強度が不十分となることが知られている。しかも非球形粒子の形状によって後方錯乱が大きくなり、粒径は細粒側にシフトする傾向が確認されている。また、難解な Mie 理論を利用して逆計算によって粒径を求めるため、粒子屈折率と吸収係数の仮定が必要となり（椿・早川，2001；椿ほか，2002）、自然界の複合試料を取り扱う我々の分野の場合、この仮定は我々ユーザー側にとってはたいへん悩ましい問題の一つとなっている（七山，2009）。

2. デジタル画像解析式粒子径分布測定装置の導入と今後の課題

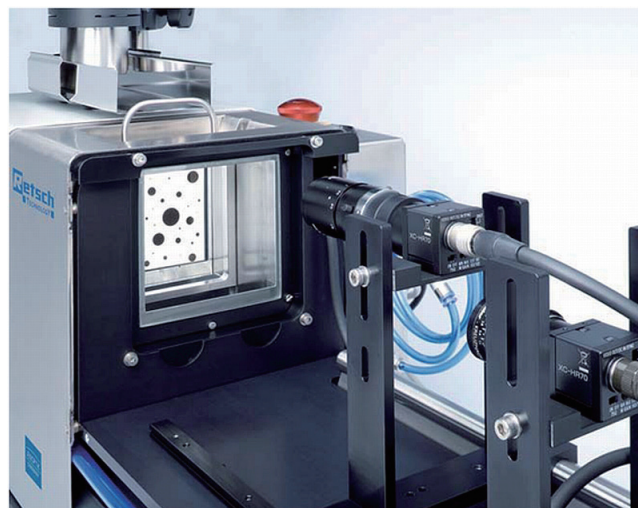
最近の粉体工学分野での粒子径計測では、画像解析法を用いた新しい分析機器の開発が増えてきている。画像解析法は大きく静的（JIS Z 8827-1:2008；ISO 13322-1）および動的（JIS Z 8827-2:2010；ISO 13322-2）の2つの手法に区分されるが、どちらの場合でも粒子群をデジタル画像として取り込み、パソコン上のソフトウェアで処理する手法は同じである。この場合、粒子のデジタル画像を用いた解析手法はレーザー回折散乱法のような仮定条件の設定が皆無であり、ユーザー側からのデータの信頼も得られやすい。

我々は平成20年度共通機器利用体制整備に関わる予算を用いて、デジタル画像解析式粒子径分布測定装置の先駆けとも言える Retsch CAMSIZER を導入した（第1図）。また、これにあわせて2009（平成21）年1月23日に粒子径分布測定法セミナーを所内で開催した。この行事は産総研・地質調査総合センターの共同利用実験室の一部として開設された粒子解析実験室のオープンハウスを兼ねて開催し、所外からも多くの見学者が来場された（七山ほか，2009；第2図）。

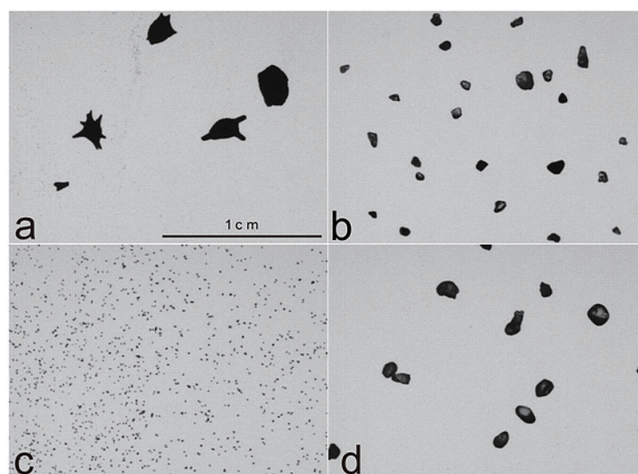
地質分野において、CAMSIZER 導入は世界でも9例のみであり、もちろん本邦では初となる。CAMSIZER はドイツの光学機器の Jenoptik AG 社と粉体機器の Retsch 社によって共同開発された。粒径測定範囲は $30 \mu\text{m} \sim 30\text{mm}$ と超ワイドレンジで、CCD-Basic で $75 \mu\text{m}$ 、CCD-Zoom で $15 \mu\text{m}$ の解像度を持ち（第3および4図）、従来のふるい分け法と同じ分析範囲を簡単な操作で迅速かつ再現性の高い分析結果が得られることが最大の長所と言える。本邦のような変動帯特有の礫混じりの碎屑物や火砕質堆積物の粒度分析には最適の手法と言える。さらに、測定後の試料は測定部下部の受器に回収され、他の分析への再利用が可能というメリ



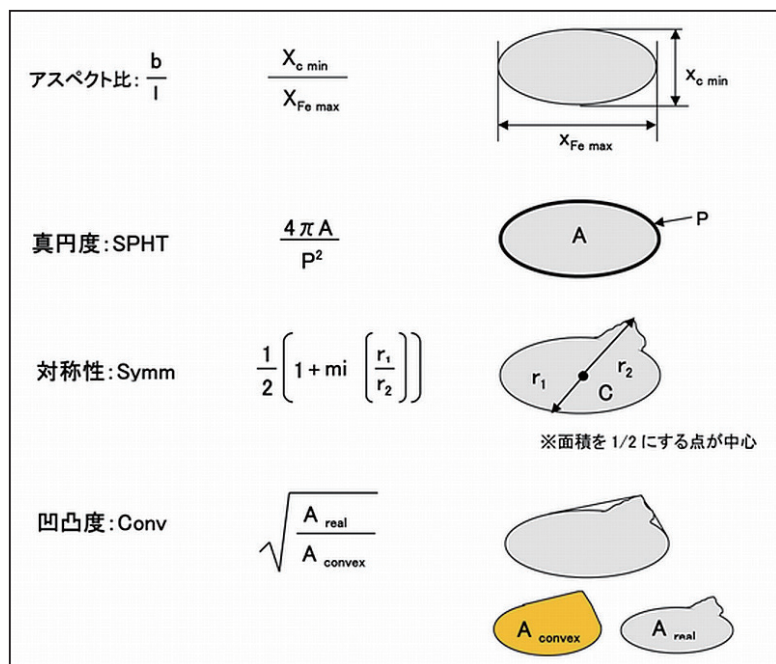
第2図 平成21年1月23日に開催された粒子径分布測定法セミナー開催風景。



第3図 CCD-Basic, CCD-Zoom の2つの CCD カメラを用いて粒子をデジタル画像として捕らえることができる。



第4図 CCD-Zoom で捕らえられた (a) 八重山諸島の星砂、(b) 京丹後市琴引浜の鳴き砂 (c) サハラ砂漠の砂、(d) 相馬標準砂のデジタル画像。



第5図 CAMSIZER で評価できる形状解析パラメーターの例。

ットもある。

また、CAMSIZER では、デジタル画像を採取しながら、各種粒子径、即ち定方向径（フェーレ径、マーティン径）、篩相当径、球相当径を同時に計測することが可能である。さらに、粒子形状を定量的に評価することが可能である。これによって、粒子毎の64方向からの粒子径の同時計測、真円度（SPHT）、対称性（Symm）、凹凸度（Conv）、アスペクト比（b/l）等の各種形状パラメーターを算出することが可能となった（第5図）。粒子径以外にも粒子形状データも併せて解析することが、今後の粒度分析の新しいスタンダードになっていくことが予想される。

現在の CAMSIZER は乾式システムのみであり、 $30 \mu\text{m}$ （very coarse silt）より細粒な泥粒子はこのシステムでは測れない。しかし、最新式の画像解析式粒子径測定装置では、 $0.5 \mu\text{m}$ の解像度で $1 \mu\text{m} \sim 0.6\text{mm}$ の粒径を湿式法で分析できることから泥粒子の分析も可能となり、現在、新機種の導入の検討を行っている。

3. 粒度分析機器のシステム統合化と分析データの高度化計画

現在、7-1-162 粒子解析実験室には、須藤定久氏が退職時に共同利用実験室運営委員会に移管されたレーザー回折散乱式粒子径測定装置 HORIBA LA300 が常備されている（第6図）。本機の測定範囲は $30 \mu\text{m} \sim 0.6\text{mm}$ となっており、上述の通り屈折率の仮定やサブミクロンのデータの信頼性にやや難があるものの、短時間に少量の試料で計測を行うことが可能である。また、Retsch ふるい振盪装置は、測定範囲 $5 \mu\text{m} \sim 8\text{mm}$ の篩セットとともに使用可能である。

我々の管理する共同利用機器とは別に、地質情報研究部門の7-3B-325/326 堆積実験室には沈降天秤法粒度分析装置（測定範囲 $30 \mu\text{m} \sim 2\text{mm}$ ）、泥質堆積物専用のレーザー回折散乱式粒子径測定装置 Cilas 1064（測定範囲 $0.1 \sim 500 \mu\text{m}$ ）が設置されている。さらに、地圏資源環境研究部門には、鈴木正哉氏の管理する動的光散乱および小角X線散乱法を用いたナノスケール粒子の粒子径分

現在、7-1-162 粒子解析実験室には、須藤定久氏が退職時に共同利用実験室運営委員会に移管されたレーザー回折散乱式粒子径測定装置 HORIBA LA300 が常備されている（第6図）。本機の測定範囲は $30 \mu\text{m} \sim 0.6\text{mm}$ となっており、上述の通り屈折率の仮定やサブミクロンのデータの信頼性にやや難があるものの、短時間に少量の試料で計測を行うことが可能である。また、Retsch ふるい振盪装置は、測定範囲 $5 \mu\text{m} \sim 8\text{mm}$ の篩セットとともに使用可能である。



第6図 レーザー回折 / 散乱法粒子径測定装置 HORIBA LA-300 の概観。

布測定装置が既にある。即ち、現在の地質調査総合センターは“ナノスケールから cm スケールまでの粒度分析を全て実施可能なナショナル粒度分析センター”と言える国際レベルの設備を有していることになる。

今後我々はこれらの粒度分析システムの統合化を進め、(1) 各種粒度分析手法のルーチン化・マニュアル化、(2) 分析データの信頼性向上のための標準化と解析手法の高度化、(3) 分析試料・分析手法毎の標準試料アーカイブ作成の3つのテーマに着手したいと考えている。まず(1)については、対象になる試料(例えば、炭酸塩質、火砕質、ケイ酸塩質)、および卓越粒度(礫・砂・泥)毎の分析手法の優劣を比較検討し、それぞれの試料に適した分析カタログを作成し、順次、地質調査総合センターのホームページ上に公表していきたいと考えている。(2)については、同一の試料を用いて、手法毎の分析結果を比較検討し、これによって異なる手法(もしくは分析機器)による分析データ間の信頼性の検討と標準化を行っていききたいと考えている。さらに、粒度分析結果の新規パラメーターの開発や統計処理手法の開発にも積極的に取り組んでいきたいと考えている。最後に(3)については、地質調査総合センターの研究者の協力を得て、分析試料・分析手法毎の標準試料アーカイブ作成を進めたいと考えている。

謝辞：共同利用実験室運営委員の諸賢ならびに地圏資源環境研究部門の鈴木正哉氏、中島善人氏、柳澤教雄氏、濱崎聡志氏には平素から7-1-162 粒子解析実験室の維持管理にご協力頂いている。筆者一同、心から深謝申し上げたい。

文 献

- 公文富士夫・立石雅昭(1998)新版碎屑物の研究法. 地
団研双書 29, 地学団体研究会, 399p.
- 七山 太(2009)砂泥の粒子径を測る！—粒度分析機器
のシステム統合化と分析データの高度化計画—. 産総
研 TODAY, 9, no. 5, 17-17.
- 七山 太・小笠原正継・吉川敏之(2009)粒子径分布
測定法セミナー開催報告. GSJ ニュースレター, no.
53, 1-1.
- 椿 淳一郎・早川 修(2001)現場で役立つ粒子径測定技術.
日刊工業新聞社, 東京, 161p.
- 椿 淳一郎・鈴木道隆・神田良照(2002)入門 粒子・粉
体工学. 日刊工業新聞社, 東京, 219p.

NANAYAMA Futoshi, FURUKAWA Ryuta and OGAS-
AWARA Masatsugu (2013) How to measure the par-
ticle size in sediment? : a planning the sophistication
of the equipment and the data integration system of
grain size analysis.

(受付:2012年12月10日)

X線CTによる地質試料の分析： これから始める人のために

中島善人¹⁾・中野 司²⁾

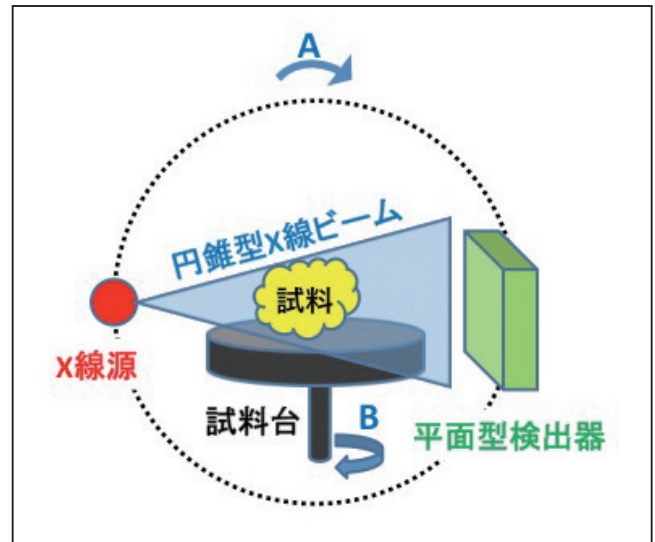
1. はじめに

X線Computed Tomography (CT) とは、試料にX線をあらゆる方向から照射して、光線の道筋ごとのX線吸収率を生データとして獲得し、逆問題を解くことで試料内部のX線の線吸収係数の3次元空間分布を再構成する手法です。その略図を第1図に示しましたが、CT装置の構造は、試料をX線源と検出器ではさみこむ位置関係になっています。この位置関係、およびX線の吸収の程度で内部構造を推定するという点では、健康診断で撮影する肺のレントゲン写真と同じです。しかし、レントゲン写真は1方向からのみ照射しますが、CTはX線源あるいは試料を回転させることで1方向ではなくあらゆる方向から照射する点が本質的に異なります。

CTは、人体を対象にした医療用のマーケットシェアが高いのですが、地質学的サンプルの3次元的な内部構造を高分解能（たとえば数百nm～数百 μ m）・短時間（たとえば数分～数十分）で非破壊デジタル計測できる技術として、地球科学の分野にも着実に導入されつつあります（たとえば田辺ほか、2006；Takahashi *et al.*, 2008；中島・中野、2009；Tanaka *et al.*, 2011；Tsuchiyama *et al.*, 2011）。本論は、CTの高いポテンシャルに魅せられてこれから本格的にCTを使おうという地球科学系の研究者・技術者向けの初歩的な解説です。なお、地球科学に特化したCTのより本格的な解説は、中野ほか（2000）をご覧ください。

2. さまざまなタイプのCT

インターネットで検索すると、さまざまなタイプのCTがヒットして、初心者を混乱させます。まず、この点を整理しましょう。第2図に5つに分類したCT装置を示しました。第2図bの医療用CTは、病院でおなじみだと思います。第2図c、dの装置の名称に含まれている「フォーカス」と



第1図 X線CT装置の概略。

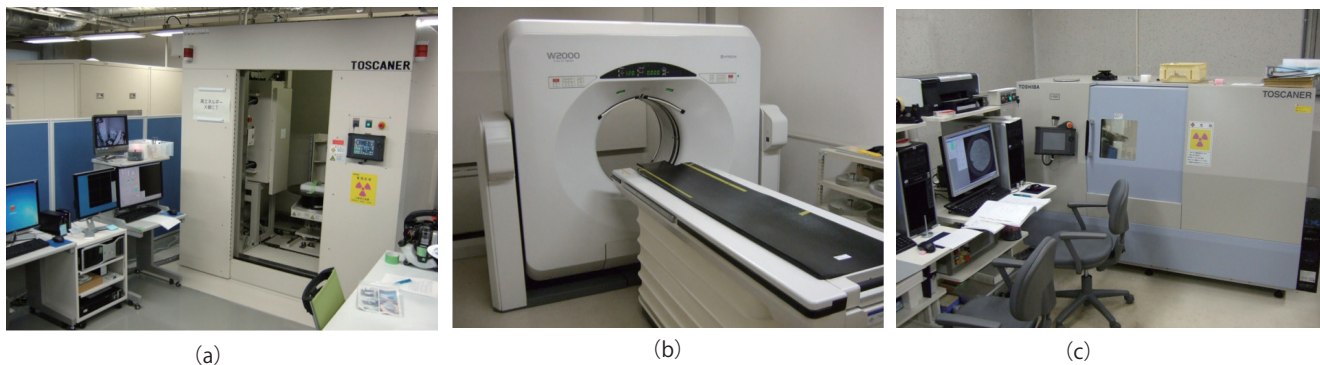
撮影対象（試料）を動かさず、X線源と検出器のセットを360°回転させるタイプ(A)と、X線源と検出器のセットは撮影中は不動で試料台を360°回転させるタイプ(B)の2種類があります。CTのほとんどはBのタイプですが、医療用CTはAのタイプです。

は、X線の線源の領域（焦点）のことで、このサイズが小さいほど（マイクロフォーカスよりナノフォーカスの方が小さい）、X線の指向性が良く結果として空間分解能も優れたものになります。シンクロトロンCTを除けば、装置の大きさは物置小屋サイズ～家庭用洗濯機サイズです。シンクロトロンCTでは、電子をタングステンターゲットに衝突させるのではなく、シンクロトロンで加速させた超高速電子を磁場で進路を曲げることで発生させた非常に輝度の高いX線をCTの線源に採用しています。そのために装置が非常に大がかりなものになっています（第2図e）。

第2図の5機種を分類したのが第3図です。X線の吸収の物理学によれば大きなサイズの試料を確実にイメージングするには透過力の強い（つまりエネルギーの高い）X線を使用する必要がありますので、第3図の5つの楕円はすべて右上がりの形状をしています。第3図は、(i) 試料サイズに対応したX線のエネルギーごとに4機種（高エネルギーCT、医療用CT、マイクロフォーカスCT、ナノフォー

1) 産総研 地圏資源環境研究部門
2) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：非破壊分析、岩石物性、X線CT、計算機シミュレーション、3次元構造



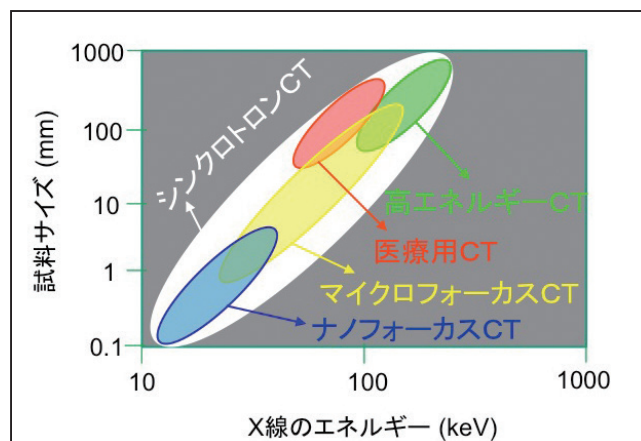
第2図 5種類のCT装置の例。
 (a) 東京都立産業技術研究センターにある高エネルギーCT。(b) 産業技術総合研究所にある医療用CT。(c) 東京都立産業技術研究センターにあるマイクロフォーカスCT。(d) 東京都立産業技術研究センターにあるナノフォーカスCT。(e) 高輝度光科学研究センターの大型放射光施設 (SPring-8) にあるシンクロトロンCTのビームライン (背景の白い壁が、周長約 1400 m の蓄積リングの一部)。



カスCT) が棲み分けていることと, (ii) 別格としてシンクロトロンCTがオールマイティにすべてをカバーしていることを示しています。なお, 試料のX線透過率は試料サイズだけでなく密度や原子番号で異なるので (中野ほか, 2000), 第3図はおおざっぱな半定量的な分類にしすぎないことを付記しておきます。CTユーザーがまず決断しなければいけない重要な点は, 撮影希望の試料のサイズを決め, それにふさわしいCT装置を5機種から選択することです。

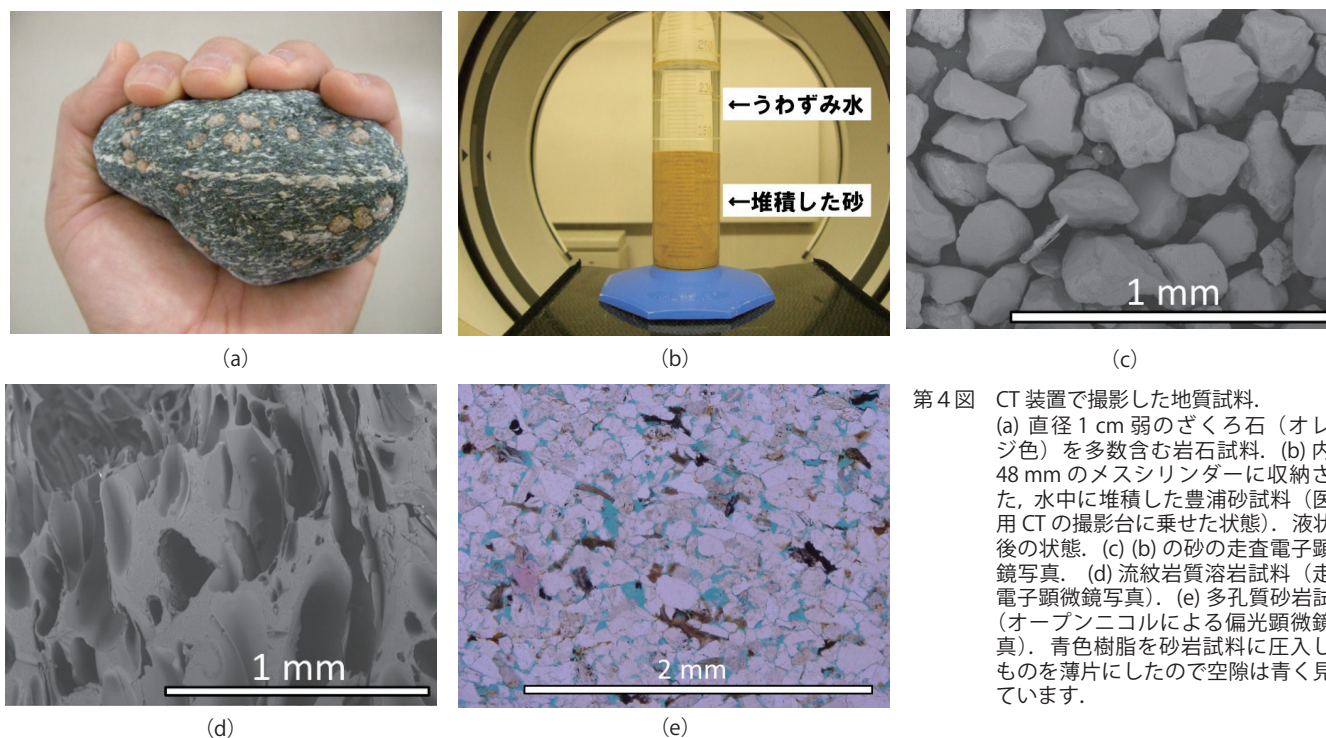
3. CT撮像例

「そもそもCTで地質試料を撮影するとどういふ風に見えるのだろうか?」という素朴な疑問にお答えしたいと思います。今回は, 第4図の地質試料を第2図の5機種でデモ撮影しました。第4図aは, 四国の三波川変成帯で採取した肉眼で見えるほどの大きなざくろ石を含む岩石試料です。高密度岩石ゆえにX線の透過力を要求されるので, 第2図aの高エネルギーCTで撮影しました。第4図bは, 内径48mmのプラスチック製メスシリンダーに収納された, 水で飽和した山口県豊浦産の珪砂試料です。まず, ゆる詰めの状態を第2図bの医療用CT (スペックは, 池原 (1997) を参照) で撮影したあと, メスシリンダーに機械的衝撃を与えて液状化を意図的に起こし, 再び医療用CTで撮影して液状化の前後のCT画像を比較しました。第



第3図 試料サイズとX線のエネルギーの視点で分類した5種類のCT装置。

4図cは, 豊浦砂試料の走査電子顕微鏡写真です。直径数百ミクロンの粒度がほぼそろった砂粒子が確認できます。この数百ミクロンの砂粒子の微視的な堆積状態を確認するために, 豊浦砂試料を水で飽和させて内径6mmのプラスチック容器に移し, 液状化を起こさせた後に第2図cのマイクロフォーカスCT装置で撮影しました。第4図dは, 東京都新島産の高度に発泡した流紋岩質溶岩試料 (中島, 2005) の走査電子顕微鏡写真です。この数百ミクロンサイズの空隙を第2図dのナノフォーカスCT装置で撮影しました。第4図eは, 埼玉県秩父産の空隙率14 vol. %の砂岩 (中島, 2005) の偏光顕微鏡写真です。この多孔質砂岩の円柱試料 (第4図eのような青色樹脂の圧入はせず) を濃厚なヨ

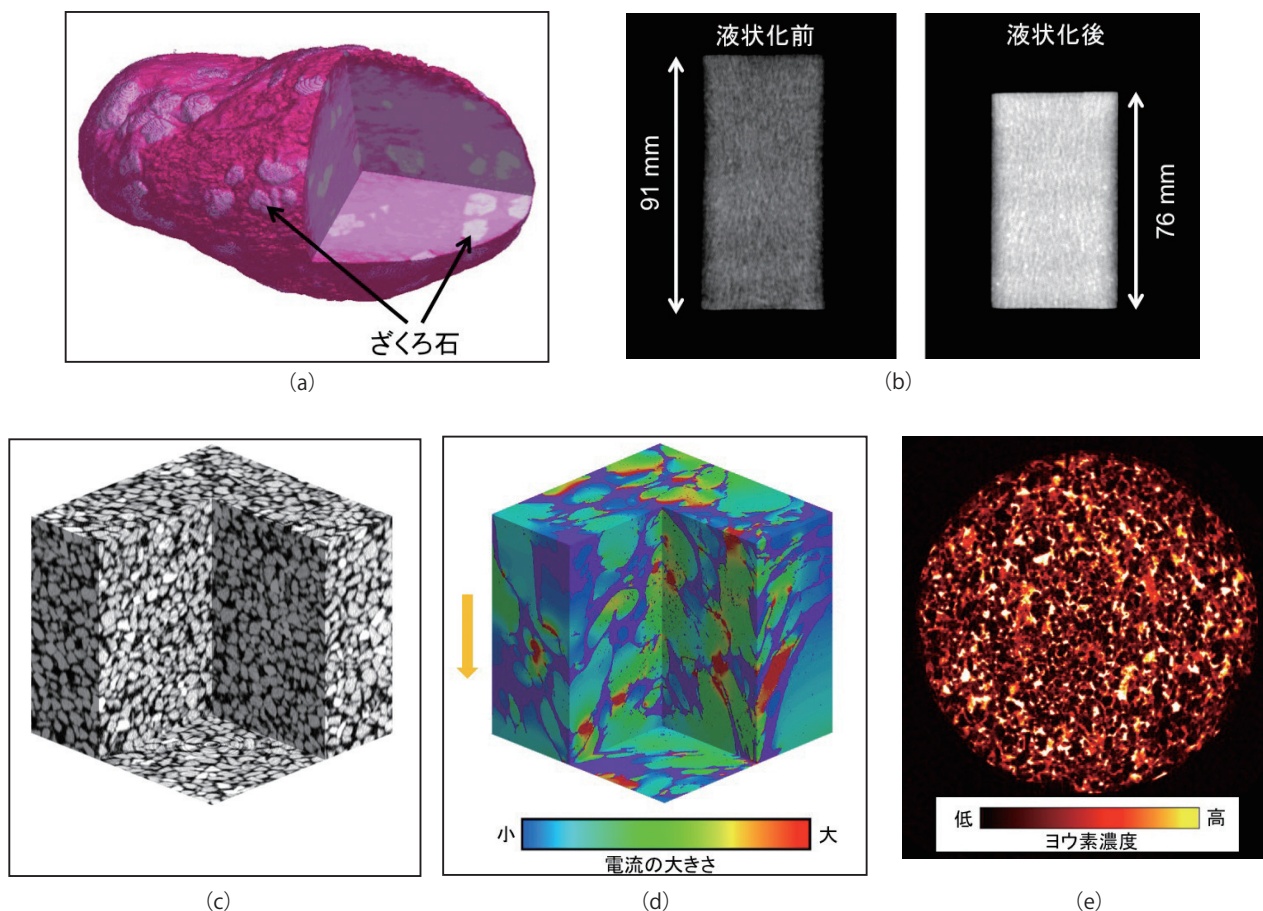


第4図 CT装置で撮影した地質試料。
 (a) 直径1 cm 弱のざくろ石（オレンジ色）を多数含む岩石試料。 (b) 内径48 mm のメスシリンダーに収納された、水中に堆積した豊浦砂試料（医療用CTの撮影台に乗せた状態）。液状化後の状態。 (c) (b) の砂の走査電子顕微鏡写真。 (d) 流紋岩質溶岩試料（走査電子顕微鏡写真）。 (e) 多孔質砂岩試料（オープンニコルによる偏光顕微鏡写真）。青色樹脂を砂岩試料に圧入したものを薄片にしたので空隙は青く見えています。

ウ化カリウム水溶液（50数wt. %）で飽和させて、第2図eの装置でdual-energy CT法という特殊な撮影をしました。すなわち、33 keV付近にあるヨウ素のK吸収端を挟んで2種類の単色光CT撮影を行い、両者の画像セットを差分してヨウ素原子濃度のマッピングを行いました。

第4図の試料の撮像結果を第5図に示します。第5図aでは、高密度で平均原子番号も高いざくろ石が強いX線の吸収体として明瞭に識別できています。なお、CT画像はX線の線吸収係数の大小を画像化しているのが本来は16ビットグレースケール画像ですが、見やすくするため第5図aでは疑似カラー表示してあります。高エネルギーCTは透過力が強いので、高密度岩石以外にも鉄筋コンクリートなどの土木工学的試料にも適用できます（Ito *et al.*, 2004）。第5図bは、医療用CTで見た液状化前後の砂堆積層です。この図では16ビットグレースケールを調整して砂の堆積層のみを明瞭に表示させているので、第4図bのうわずみ液と周囲の空気とプラスチック製メスシリンダー容器はすべて同じ色（黒）に写っています。液状化により、砂の堆積層の厚さが91 mmから76 mmに圧密され、その結果として空隙率が49 vol. %から39 vol. %に低下しました。ちなみに砂の堆積層のCT数（画素の輝度値）は、液状化前が1200 HU、液状化後が1400 HUでした（圧密のせいでバルクの密度が上昇したので、液状化後の砂堆積層はより明るく画像表示されます）。このように液状化の室内模擬実験のモニタリング用として、医療用

CTは有望です。なお、試料内部で起こっている高速に変化する現象をモニタリングしたいなら、1秒間に数百枚もの高速2次元撮影が可能なCTもあります（Misawa *et al.*, 2004）。第5図cは、前述のように豊浦砂試料を内径6 mmの水で飽和したプラスチック容器に移して衝撃を与えて液状化を起こさせたあとに、第2図cのマイクロフォーカスCT装置でズーム撮影したものです。水と砂では密度も元素組成も異なるのでX線の線吸収係数もかなり異なり、そのおかげでCT画像上で両者を明瞭に識別することができます。結果として、第5図bの医療用CTの粗い分解能では見えなかった数百マイクロサイズの砂粒子の3次元配置状況が、第5図cでは手に取るようにわかります。第5図dは、第4図dの溶岩試料を第2図dのナノフォーカスCT装置で撮影したものです。第5図c, dのような空隙スケール画像が得られれば、空隙にそった物質移動などの計算機シミュレーションが可能です（Nakashima and Nakano, 2012）。その一例が第5図dです。固体部分を不導体とみなし、空隙部分に海水などの電導性流体を仮想的に充填させ、オレンジ色の矢印方向に巨視的な直流電位差を与えた場合の、局所的な電流の3次元分布をシミュレートしました。このような空隙スケールシミュレーションは、実際に地面に電流を流して地下構造をイメージする物理探査のデータ解釈に貢献できます。第5図eは、第4図eと同じ産地の砂岩の円柱試料を濃厚なヨウ化カリウム水溶液で飽和させて、第2図eのシンクロトロンCT装置で撮影した結果です。第4図eの青色樹



第5図 地質試料のCT画像。

(a) 第4図aの試料を第2図aの装置で撮影。(b) 第4図bの状態の豊浦砂試料を第2図bの装置で撮影。図中の白抜き数値は、液状化前後の砂の堆積層の厚さ。(c) 内径6mmのプラスチック容器に収めた液状化後の豊浦砂試料を、第2図cの装置で撮影。画像サイズは、 400^2 画素 = 3.8^3 mm³。明るい部分が砂粒子、暗い部分が空隙水。(d) 第4図dの試料を第2図dの装置で撮影。画像サイズは、 600^3 画素 = 2.3^3 mm³。固体部分は紫色。空隙部分に直流電流を流したシミュレーション結果を重ね合わせて表示。(e) 秩父砂岩の円柱試料を dual-energy CT 法を用いて第2図eの装置で撮影。ヨウ素濃度の2次元マッピング画像。砂岩の直径は4mm。

脂で例示したような空隙部分に浸入したヨウ素のマッピングができています。単色X線が使えるシンクロトロンCTならば、他にもセシウム (Ikeda *et al.*, 2004) や鉄 (Tsuchiyama *et al.*, 2013) などの非破壊3次元元素マッピングが可能です。これは、電子線マイクロアナライザ (EPMA) などの従来の分析機器には困難な芸当です。

4. おわりに

以上でCTという機器の威力をわかっていただけたと思います。最近の技術革新のおかげで、CTは以前よりはるかに高性能・低価格・簡単操作になってきています。また、3次元CT画像処理用のソフトウェアの整備も着実に進んでいます (たとえば中野ほか, 2006)。まさに今が旬の分析技術といえます。これから本気でCT研究を始める方には、性能がダントツに優れている第2図eのシンクロトロン

CTがイチオシですが、初心者は全国の公設試験研究機関 (たとえば <http://unit.aist.go.jp/col/sgr/sonota/map/zenkoku.html> 2012/12/10 確認) にある時間貸しCTから始めるのがよいでしょう (依頼分析も可能な公設試験研究機関もあります)。まずは、手元の試料を気軽にCT撮影することから始めましょう。

謝辞: 第5図eは、(財)高輝度光科学研究センターの大型放射光施設 (SPring-8) のビームラインBL20B2のCTシステム「SP- μ CT」で中村光一、池田 進、土山 明、上杉健太郎各氏の協力のもとで撮影されました (課題番号2001B0501-NOD-np)。

文献

Ikeda, S., Nakano, T., Tsuchiyama, A., Uesugi, K., Suzuki, Y., Nakamura, K., Nakashima, Y. and Yoshida, H. (2004)

- Nondestructive three-dimensional element-concentration mapping of a Cs-doped partially molten granite by X-ray computerized tomography using synchrotron radiation. *Am. Miner.*, **89**, 1304–1312.
- 池原 研 (1997) X線CT装置を用いた地質試料の非破壊観察と測定 (1) —X線CT装置の原理・概要と断面写真—. 地質ニュース, no. 516, 50–61.
- Ito, F., Aoki, T. and Obara, Y. (2004) Visualization of bond failure in a pull-out test of rock bolts and cable. In Otani, J. and Obara, Y., eds., *X-ray CT for geomaterials : soils, concrete, rocks*, A. A. Balkema Publishers, Lisse, The Netherlands, 305–314.
- Misawa, M., Ichikawa, N., Tiseanu, I., Tomita, Y. and Shiroyanagi, Y. (2004) Development of a time-resolving X-ray tomography system and its application to multi-phase flows. In Otani, J. and Obara, Y., eds., *X-ray CT for geomaterials : soils, concrete, rocks*, A. A. Balkema Publishers, Lisse, The Netherlands, 111–119.
- 中野 司・中島善人・中村光一・池田 進 (2000) X線CTによる岩石内部構造の観察・解析法. 地質雑, **106**, 363–378.
- 中野 司・土山 明・上杉健太郎・上相真之・篠原邦夫 (2006) "Slice" -Softwares for basic 3-D analysis-, Slice Home Page (web), <http://www-bl20.spring8.or.jp/slice/>, 財団法人 高輝度光科学研究センター (2012/12/10 確認)
- 中島善人 (2005) X線CTで岩石中の空隙をイメージングする. 地学雑, **114**, 1032–1043.
- 中島善人・中野 司 (2009) Rambo : 岩石中の空隙を散歩する話. 地質ニュース, no. 655, 39–46.
- Nakashima, Y. and Nakano, T. (2012) Steady-state local diffusive fluxes in porous geo-materials obtained by pore-scale simulations. *Transp. Porous Media*, **93**, 657–673.
- Takahashi, M., Takemura, T., Lin, W. and Urushimatsu, Y., (2008) Microscopic visualization of rocks by micro X-ray CT under confining and pore water pressures. *Chinese J. Rock Mech. Eng.*, **27**, 2455–2462.
- 田辺 晋・中島 礼・中西利典・木村克己・柴田康行 (2006) 東京都足立区本木地区から採取した沖積層ボーリングコア堆積物 (GS-AMG-1) の堆積相, 放射性炭素年代と物性. 地調研報, **57**, 289–307.
- Tanaka, A., Nakano, T. and Ikehara, K. (2011) X-ray computerized tomography analysis and density estimation using a sediment core from the Challenger Mound area in the Porcupine Seabight, off Western Ireland. *Earth Planets Space*, **63**, 103–110.
- Tsuchiyama, A., Uesugi, M., Matsushima, T., Michikami, T., Kadono, T., Nakamura, T., Uesugi, K., Nakano, T., Sandford, S. A., Noguchi, R., Matsumoto, T., Matsuno, J., Nagano, T., Imai, Y., Takeuchi, A., Suzuki, Y., Ogami, T., Katagiri, J., Ebihara, M., Ireland, T. R., Kitajima, F., Nagao, K., Naraoka, H., Noguchi, T., Okazaki, R., Yurimoto, H., Zolensky, M. E., Mukai, T., Abe, M., Yada, T., Fujimura, A., Yoshikawa, M. and Kawaguchi, J. (2011) Three-dimensional structure of Hayabusa samples: origin and evolution of Itokawa regolith. *Science*, **333**, 1125–1128.
- Tsuchiyama, A., Nakano, T., Uesugi, K., Uesugi, M., Takeuchi, A., Suzuki, Y., Noguchi, R., Matsumoto, T., Matsuno, J., Nagano, T., Imai, Y., Nakamura, T., Ogami, T., Noguchi, T., Abe, M., Yada, T. and Fujimura, A. (2013) Analytical dual-energy micro-tomography: a new method for obtaining three-dimensional mineral phase images and its application to Hayabusa samples. *Geochim. Cosmochim. Acta* (in press).

NAKASHIMA Yoshito and NAKANO Tsukasa (2013) Analysis of geo-materials by X-ray computed tomography: an introduction for beginners.

(受付 : 2012 年 12 月 10 日)

新素材開発における X 線回折の重要性

鈴木正哉¹⁾

1. はじめに

X 線回折は、岩石・土壌などの構成鉱物を同定する上で必要不可欠なものである。X 線回折図形は物質の結晶構造によって定まるため、例えば同じ元素からなる物質でも、石英、クリストバライト、トリディマイト、非晶質シリカはそれぞれ全く異なった X 線回折図形を示す。その一方で元素が異なっても原子配列が同じであれば、同じピーク位置を有する X 線回折図形が得られるため、必ずしも X 線回折だけですべてを決めることができるわけではない。それゆえ化学組成と組みあわせることによって、構成鉱物の同定がなされている。

本章では、X 線回折の一般的な目的である構成鉱物の同定の一例として放射性セシウムを含む福島県の土壌を分級した際の構成鉱物と放射能濃度の関係を示し、もう一つの例として新素材開発にあたっての X 線回折の重要性について紹介する。

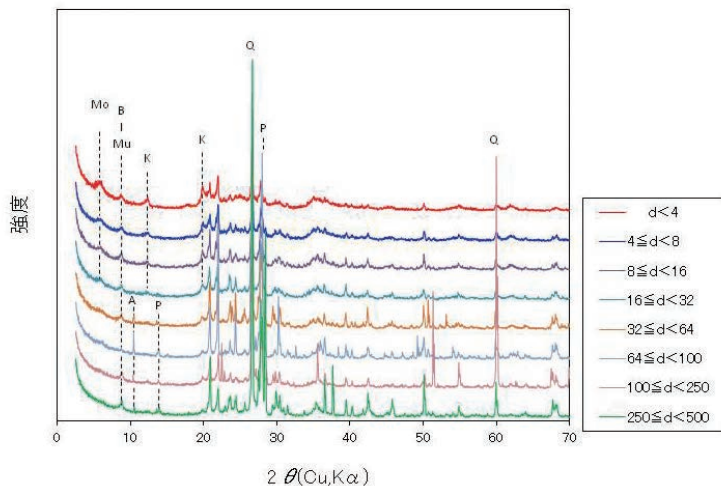
2. X 線回折測定例

2.1 福島県の土壌

試料は放射性セシウムを含む福島県内の土壌を用い、試

料の調整は以下のように行った。土壌に純水を加えよく攪拌した後、まず水篩により粒径 $64 \mu\text{m}$ 以上と $64 \mu\text{m}$ 未満とに分ける。 $64 \mu\text{m}$ 未満の試料については、続けて水篩を行うことにより、 $4 \mu\text{m}$ 未満、 $4 \sim 8 \mu\text{m}$ 、 $8 \sim 16 \mu\text{m}$ 、 $16 \sim 32 \mu\text{m}$ 、 $32 \sim 64 \mu\text{m}$ に区分し、 60°C で乾燥させた。 $64 \mu\text{m}$ 以上の試料については 60°C で乾燥させた後、篩いにて分級を行い、 $64 \sim 100 \mu\text{m}$ 、 $100 \sim 250 \mu\text{m}$ 、 $250 \sim 500 \mu\text{m}$ 、 $500 \sim 1000 \mu\text{m}$ 、 $1 \sim 2 \text{mm}$ 、 2mm 以上に区分した。各サイズに区分した試料について、粉末 X 線回折測定は $500 \mu\text{m}$ 以下の試料に対して行い、ゲルマニウム半導体検出器を用いた放射能測定は全試料に対して行った。粉末 X 線回折測定は、X 線回折装置（リガク社製、RINT2500）を用い単色化した Cu-K α 線にて行った。また測定条件は、発散スリット 1° 、受光スリット幅 0.2mm 、ゴニオメーター走査速度は毎分 2° とした。

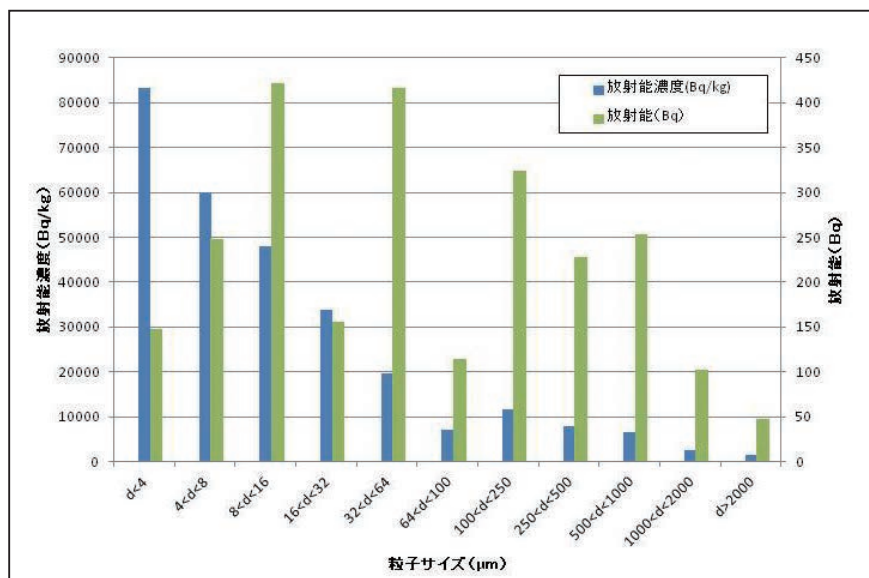
粉末 X 線回折測定の結果を第 1 図に示す（但し、ピークに対しての鉱物への対応付けは見やすいように一部のみを示した）。 $250 \sim 500 \mu\text{m}$ の試料における X 線回折測定の解析では、石英・長石・黒雲母・角閃石の鉱物が含まれていることが確認された。一方、 $4 \mu\text{m}$ 以下の試料における X 線回折測定からは、モンモリロナイトやカオリ



第 1 図 各分級試料における X 線回折図形。
Q：石英，P：長石，A：角閃石，B：黒雲母，Mu：白雲母，K：カオリナイト，Mo：モンモリロナイト，I：イライト。

1) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード：X線回折，鉱物同定，放射線量，新素材，非晶質



第2図 各分級試料における放射能濃度と放射能量。

ナイトのピークが認められ、粘土鉱物が含有されていることが確認された。以上の結果より、本試料は石英・長石・黒雲母・角閃石と花崗岩に含まれる主要構成鉱物からなり、また小さい粒子においては粘土鉱物が含まれていることから、花崗岩起源の風化土壌であると推測される。

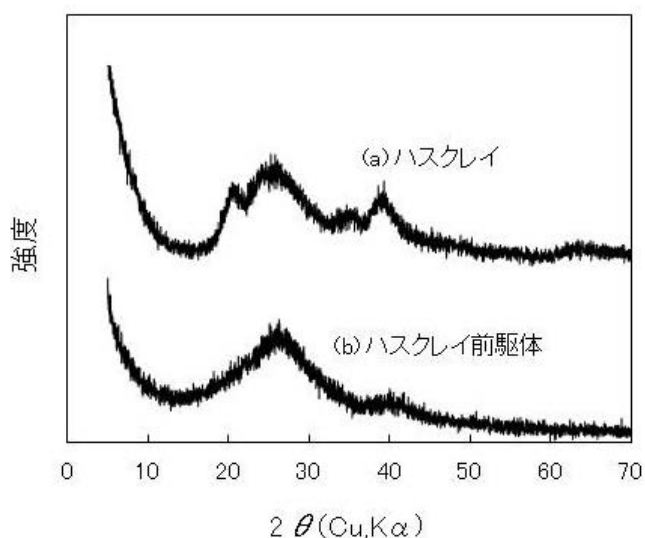
次に第2図に各サイズの試料における放射能濃度、および放射能濃度に試料重量を掛けた放射能量を示す。放射能濃度については、64～100 μmのサイズを除いて、サイズが小さくなるにつれ高くなっていった。これは粒子サイズが小さくなるにつれ比表面積が増え、それだけCs（セシウム）が吸着されるサイトが増えるためであると考えられるが、64～100 μmのサイズにおいて、100～250 μmのサイズよりも放射能濃度が減少している理由については、構成鉱物による可能性も考えられる。一般的にCsを吸着している鉱物としては、雲母類と粘土鉱物が主であると言われている。雲母類はどのサイズにも含まれているが、64～100 μmのサイズにおいて雲母類のピークは小さく、角閃石のピークが他のサイズよりも大きい。つまり64～100 μmのサイズの試料には、雲母類の含有量が少ないため放射能濃度が、100～250 μmのサイズよりも減少しており、また64～100 μmのサイズに多く含有される角閃石には、Csがあまり吸着されないことも示唆される。Csの吸着は当初、微細な粘土鉱物に吸着されているとされていたが、第2図の結果から明らかのように、500～1000 μmという粒子サイズにおいても、全体としてみると相当量の放射能量を有している。雲母類の表面が風化したサイト（フレイドエッジサイト）にCs

が吸着されることが知られており、この吸着サイトの存在により大きな粒子でも相当量のCsが吸着されているため、単に微粒子を取り除く分級だけでは、除染が進まない一端を示している。

2.2 新素材開発におけるX線回折の重要性

粉末X線回折は、単に鉱物を同定するだけでなく、新素材開発においても大変重要な役割を担っている。未知の素材を開発した際、その物質が何であるか、またこれまでに既知となっている物質と異なるかどうかは、その構造を反映するX線回折が主に用いられる。しかし結晶性の低い物質においては、必ずしもこのX線回折が有効ではないが、最終的にはX線回折が決定力を有した一例を以下に示す。

2005年の秋に筆者らは、第3図(b)に示す最終的にはハスクレイ前駆体と称す、優れた水蒸気吸着性能を有する吸着剤を開発した(鈴木・前田, 2012)。図から明らかのように、ハスクレイ前駆体は明瞭なピークを有さず、非晶質アルミニウムケイ酸塩に特有なピークしか見られない。非晶質アルミニウムケイ酸塩には、ナノカプセル状をしたアロフェンが知られており、関東ローム、中でもサツキ等の栽培に用いられる保水性の高い鹿沼土は、その約半分がアロフェンからなる。アロフェンは、高い水蒸気吸着性能を有しているが、今回のハスクレイ前駆体はアロフェンよりもさらに高い水蒸気吸着性能を有しており、明らかに性能は異なる。しかし、X線回折図形が同じであるため、アロフェンと構造が異なることを示すことができず、産総



第3図 ハスクレイおよびハスクレイ前駆体のX線回折図形。
(a) ハスクレイ (b) ハスクレイ前駆体

研の大事な役目の一つである特許の出願ができずにいた。何とか特許出願にこぎつけるため、さまざまな分析を行った結果、ハスクレイ前駆体とアロフェンにおいて、²⁹Si-NMRにて現れるピークが異なることから2006年冬に出願が可能となった。優れた性能を有する吸着剤を開発できても、構造の違いを示した上での物質特許を出願するまで1年以上の時を費やした。

その後も、構造の違いを追いかけ続け、2007年冬に合成過程において、加熱温度をハスクレイ前駆体では95℃であったものを、180℃にして加熱することにより、第3図(a)に示すハスクレイ(Hydroxyl Aluminum Silicateの略称HASとClayから名づけられた造語)という新しい物質が生成されることを見出した。第3図(a)のX線

回折図形は第3図(b)のそれとは明らかに異なり、Cu線源を用いた測定において、 $2\theta = 20^\circ$ 付近と 35° 付近にシャープではないがブロードなピークを有している。その後、加熱温度95℃で合成した非晶質アルミニウムケイ酸塩は、合成時間を40日にする、あるいは180℃で加熱するとハスクレイが生成することが確認され、ハスクレイ前駆体と称することが可能となった。

通常、X線回折は既知の物質の同定に用いられるが、その一方で新たな物質を決める際にも、大きな手法となる分析法でもある。

3. 謝辞

福島県の土壌試料について、試料調整およびゲルマニウム半導体検出器による放射能を測定して下さった、地圏資源環境研究部門の末益 匠氏(現：戸田工業株式会社)に感謝申し上げます。そして長年に亘り、産総研第7事業所共同利用におけるX線回折装置の運営および利用に関しまして、多大なご尽力を頂きました小笠原正継氏に深く感謝申し上げます。

文 献

鈴木正哉・前田雅喜(2012)粘土系無機多孔質材料によるデシカント空調用吸着剤の開発—ハスクレイの除湿性能について—. 日本冷凍空調学会論文集, 29, 89-96.

SUZUKI Masaya (2013) Importance of the X-ray diffraction in new materials development.

(受付：2012年12月10日)

サイエンスアゴラ 2012 および 産総研臨海副都心センター一般公開出展報告

宮地良典¹⁾

産業技術総合研究所（以下、産総研）広報部と臨海副都心センターでは、2012年11月10日、11日の両日、一般公開を実施した。当日は科学未来館や産総研臨海副都心センターにおいて日本最大級のサイエンスイベントである「サイエンスアゴラ」と同時開催された。サイエンスアゴラは、サイエンスを通してみんながつながる「ひろば」である。サイエンスについてのおもしろいこと、気になること、さらにこれからのことを、一緒に楽しみ、語り合い、共有するマルチイベントである。一般向けのサイエンスを楽しむ実験教室やサイエンスショー、科学に興味を持つ学生向けの考えを深め共有するワークショップやシンポジウム、科学技術広報担当者対象のシンポジウムなど、さまざまなバックグラウンドを持つ人たちが企画した、多彩なイベントとなっている。

産総研の一般公開でも、臨海副都心センターのロビーを中心に偏光板を使った万華鏡作りなどの工作教室や、産総研で開発されたセシウム吸着材であるプルシアンブルーの実験、小型ロボットであるチョロメテ2などの体験イベントとともに放射線計測やロボット工学に関する研究紹介の講演会が行われた。産総研臨海副都心センター一般公開には2日間で1,500名の来場者があった。

地質分野に関しては、プリズムメガネで見る日本およびその周辺地域の地形、シームレス地質図およびエキジビッシャー（宮地・兼子，2007）などが展示・公開された。

日本およびその周辺地域の地形に関しては、岸本（2004）で紹介されたもので、プリズムで光が屈折して虹色に分光されるという原理を利用して、色により見える位置を遠近に分け立体的に表現するものである。特に海溝や海底火山など普段目にするのしない海底の地形に大きな反響があった。また、サイエンスアゴラと同時開催であったこともあり、来場者には教員や研究者の方も多く、プリズムメガネを利用した立体視については、プロジェクターなどでの投影による授業での利用の可能性や、日本周辺の地形概観図として配布・販売の要望が寄せられた。また、



写真1 シームレス地質図について、タブレット端末を用いて説明。

考古学の研究者の方からも朝鮮海峡や津軽海峡などの深さと海退期に陸橋になったかなどの質問もあり、通常の普及イベントとは違い多様な質問が寄せられた。

一方、シームレス地質図は2006年に全国の20万分の1地質図を境界のない凡例でつなぎweb上で一般公開されたものである。その後改良され、2011年よりポインタの位置の凡例や簡単な説明がプルアップで表示する機能が付加されたり、タブレット端末やスマートフォンで閲覧可能なバージョンが公開された（西岡，2012）。また、このデータを基にしてカラーのアナグリフ画像に変換した関東地方の地質図を展示した。アナグリフ画像は青・赤のメガネで立体視でき、地質と地形の関係が良くわかる。シームレス地質図は平成23年度に年間アクセス数が1,200万件以上（経済産業省，2012）あり、研究データベースとして活用されているものではあるが、まだ一般には知名度が低いようだった。タブレット端末と無線LANを使った実演を行い、自宅や旅行先の地盤について簡単に知ることができることなどを説明し多くの方に興味を持っていただいた（写真1）。

サイエンスアゴラや産総研臨海副都心センター一般公開に来られた方の多くは地質自体にはあまり関心のない方も多い。このイベントを通じて、多くの方に興味を持って

1) 産総研 地質情報研究部門

キーワード：サイエンスアゴラ、産総研一般公開、プリズムメガネ、シームレス地質図、広報

いただけたと思う。限られた時間での説明ではあるが、他の分野の方からも常に新しい疑問を投げかけられ、説明する方が勉強になることの多いイベントであった。

文 献

経済産業省（2012）参考資料4 知的基盤整備における情報技術への対応。産業構造審議会産業技術分科会・日本工業標準調査会合同会議知的基盤整備特別委員会（第2回）配付資料, http://www.meti.go.jp/committee/summary/0003843/pdf/001_s04_00.pdf (2012/12/10 確認)

岸本清行（2004）日本列島やその周辺海域の地形・地質を立体画像で体験するー最近の表現技術とデータ精度の向上ー。地質ニュース, no. 594, 42-44.

宮地良典・兼子尚知（2007）液状化モデル実験装置「エキジョッカー」。理科教室, 50, no. 2, 36-40.

西岡芳晴（2012）足下の地質が簡単にわかりますーシームレス地質図スマートフォン・タブレットPC版の公開。産総研TODAY, 12, no. 7, 18.

MIYACHI Yoshinori (2013) A booth report about the geography and geology in the Science Agora 2012 and Exhibition in AIST Tokyo Waterfront Open Day 2012.

(受付：2012年12月10日)



産総研特別顧問の石原舜三氏がハドン・フォレスター・キングメダルを受賞

森下祐一（産総研 地質情報研究部門）

石原舜三産業技術総合研究所特別顧問がオーストラリア科学アカデミーのハドン・フォレスター・キングメダル (Haddon Forrester King Medal) を2012年10月19日に受賞しました(写真1)。受賞は石原特別顧問が提唱した磁鉄鉱系およびチタン鉄鉱系花崗岩類の鉱床探査実用面での有効性に対してです。本賞は地球科学、特に鉱物資源の評価と探査に関して独創的な研究を長年にわたり継続して行った研究者を対象に、オーストラリア科学アカデミーから2年に一度、原則1名に対して贈られるもので、1993年の創設以来日本人としては初めての受賞となります。

石原特別顧問は1956年に通商産業省工業技術院地質調査所に入所され、鉱床部核原料資源課でウラン資源探査プロジェクトを担当されました。鉱床部鉱床研究課長を経て1985年に鉱床部長に任ぜられ、その後東北工業技術研究所長に転出した後、1989年に地質調査所長に就任されました。1991年には地質調査所から初めて工業技術院長に抜擢されました。1993年には北海道大学教授に転じられ、定年退官の後には工業技術院特別顧問を経て産業技術総合研究所の特別顧問として現在も精力的に研究を継続されています。

石原特別顧問は中国地方の鉱床と花崗岩類の関係から磁鉄鉱系とチタン鉄鉱系に花崗岩類を分類する着想を得ました。帯磁率計を持ち多くの花崗岩類を巡って日本列島を飛び回り、その分類法を確立した後、この世界的に有名な研究成果を世界中の花崗岩類に適用して普遍的な科学の確立に成功しました。磁鉄鉱系列とチタン鉄鉱系列は花崗岩質マグマの酸化/還元状態を反映していると考えられましたが、帯磁率計で簡単に測定できるために多くの研究者がこのスキームでの議論を行うようになりました。石原特別顧問は常に議論の中心にあり、オーストラリアで提唱されたIタイプ/Sタイプ花崗岩類との対応関係など、数多くの研究論文として後世に残される事となりました。

今回の受賞式はキャンベラのオーストラリア科学アカデミーのホールにおいて行われ、「磁鉄鉱系及びチタン鉄鉱系花崗岩類の発見とその今日的な意義」と題する講演を行うとともに、メダル(写真2)を授与されました。



写真1 オーストラリア科学アカデミー会長の Prof. Suzanne Cory からメダルを受け取る石原特別顧問。



写真2 オーストラリア造幣局が製造した銀製のハドン・フォレスター・キングメダル。

【スケジュール】

1月8日～3月31日	地質標本館特別展「地質情報展2012おおさか再展示」(地質標本館, つくば市)
3月24日～26日	第5回日本地学オリンピック本選(つくば市)
3月26日～28日	INTERNATIONAL PETROLEUM TECHNOLOGY CONFERENCE (China, Beijing)
3月28日～30日	資源・素材学会平成25年度春季大会(千葉工業大学津田沼キャンパス, 習志野市)
3月29日～31日	日本地理学会2013年春季学術大会(立正大学熊谷キャンパス, 熊谷市)
4月7日～12日	ヨーロッパ地球科学連合大会2013(Austria, Vienna)
4月15日～21日	平成25年度(第54回)科学技術週間
4月16日～19日	23rd International Mining Congress and Exhibition of Turkey (Turkey, Antalya)
4月16日～5月31日	春の特別展第3回火山巡回展「霧島火山」(地質標本館, つくば市)

◆ 編集後記 ◆

大きな被害をもたらした東北地方太平洋沖地震から2年が経ちました。その地震で被害を受けた共同利用実験室の再構築についての小笠原さんの解説から始まる今月号の特集は、産総研地質分野が共同で管理する分析機器と関連機器に関する解説です。最先端の研究を支える分析・測定環境がどのように整備されて維持されているか、またそれがどのように活用できるかがそれぞれの記事からわかります。奥山さんの誕生石の連載、3月はアクアマリンです。地質標本館にも美しいアクアマリンが展示されていますので、ぜひ一度ご覧になってください。(3月号編集担当: 渡辺真人)

GSJ 地質ニュース編集委員会

委員長 利光誠一
副委員長 金井 豊
委員 北川有一
杉原光彦
中嶋 健
七山 太
森尻理恵
山本浩万
渡辺真人
宮内 涉
デザイン
レイアウト 菅家亜希子

事務局

独立行政法人 産業技術総合研究所
地質標本館

TEL : 029-861-3754

E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

<http://www.gsj.jp/publications/gcn/index.html>

GSJ 地質ニュース 第2巻 第3号
平成25年3月15日 発行

独立行政法人 産業技術総合研究所
地質調査総合センター
〒305-8567 茨城県つくば市東1-1-1
つくば中央第7

本誌掲載記事の無断転載を禁じます。

印刷所 前田印刷株式会社

GSJ Chishitsu News Editorial Board

Chief Editor: Seiichi Toshimitsu
Deputy Chief Editor: Yutaka Kanai
Editors: Yuichi Kitagawa
Mituhiko Sugihara
Takeshi Nakajima
Futoshi Nanayama
Rie Morijiri
Hirokazu Yamamoto
Mahito Watanabe
Wataru Miyauchi
Design &
Layout Akiko Kanke

Secretariat

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
Geological Museum
Tel : +81-29-861-3754
E-mail : g-news-ml@aist.go.jp

GSJ Chishitsu News Vol.2 No.3
Mar. 15, 2013

National Institute of Advanced Industrial
Science and Technology
Geological Survey of Japan
AIST Tsukuba Central 7, 1-1, Higashi 1-chome
Tsukuba, Ibaraki 305-8567 Japan

All rights reserved

Maeda Printing Co., Ltd

