

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

2018.9 No. 25



フォトンファクトリー BL-19

施設情報

フォトンファクトリー新 BL-19 建設 クライオ電子顕微鏡導入

J-PARC MLF 高出力化へ向けて イベント報告 J-PARC 施設公開 2018 開催 KEK 一般公開 2018 開催





# 7人の惑星 分析班

#### 「宇宙人はいると思いますか?」

地球上の生物と似た生命が存在するためには、水が必要だ。私たち地球型生命体は、必要な栄養素を水に溶けた形で吸収し利用しているからだ。かつては、液体の水は地球にしかないと考えられていたが、太陽系には地球以外に液体の水が存在する、あるいは存在した惑星があることが分かっている。火星からの隕石にかつて水が存在した痕跡をもつ物質があることから、火星には40億年前に水があったと考えられているし、木星や土星の氷衛星\*の内部(氷の下)にも海があることが分かってきた。

残された土から、かつてどんな水が存在したか、どんな化学反応を経て今の状態になったか、それを調べる手段がフォトンファクトリー (PF) にある。軟 X 線を使った走査型透過 X 線顕微鏡 ( $\underline{STXM}^*$ : Scanning Transmission X-ray Microscope) だ。水が存在可能な星に残された土の成分を調べれば、過去の水質が分かり、地球外生命の存在予測ができるかもしれない。

\* 氷衛星:表層が水・アンモニア・メタンなどの氷で覆われた衛星。

\*STXM:「スティクサム」と読む。放射光を集光して 試料に当て、透過した X 線の強度を検出しイメージン グを行い、X 線のエネルギーを変化させることで吸収ス ペクトルを得て、試料の化学的・磁気的特性を調べるこ とができる。

PFのSTXM は武市 泰男 助教らによるオリジナル設計。

## ◯ 水惑星学の創成

宇宙に広がる水惑星の形成や進化を、生命にまでつながる学問体系として考えたものが「水惑星学」だ。昨年度、文部科学省で新しい研究プロジェクトが始動した。「新学術領域研究 水惑星学の

創成」だ。このプロジェクトでは、火星・氷衛星・ 小惑星・地球を対象として、地球科学と惑星科学 を融合させ、水惑星の形成論と進化論を組み立て る。つまり「水惑星学」を創成する。

プロジェクトチームは大きくAとBの2つに分けられる。Aで始まる研究班は、生命を宿す天体において水がどんな働きをしているか理論を構築する。一方、Bで始まる研究班は、その理論を時間軸で切り取って実証するのが役割だ。

B01 分析班は、分子地球化学分析を担当し、時代ごとのその惑星の代表的な環境を再現することを目標としている。火星からの隕石の分析は既に始まっている。また、国際宇宙ステーションで捉えた宇宙塵の有機物分析を目指す「たんぽぽ計画」との連携も進んでいる。さらに、JAXAの「はやぶさ2」が岩石を採取しようとしているC型小惑星「リュウグウ」は、水の痕跡があるという期待が持たれている星だが、分析班も「リュウグウ」の試料分析への応用を目指している。

物構研からも 4 人が分析班のメンバーとして 参加し、PF の新ビームライン BL-19 の建設とそ こでの STXM 測定の準備を進めている。物構研 からの参加者は、木村 正雄 教授・武市 泰男 助教、 研究協力者として、小野 寛太 准教授・足立 伸一 副所長である。

A01 班 太陽系天体における水 - 岩石反応 A02 班 太陽系天体における水 - 氷相互作用 A03 班 太陽系天体における水・物質循環のモデリング B01 班 水惑星学創成に向けた分子地球化学分析 B02 班 水惑星学の創成に向けた太陽系探査

新学術領域研究「水惑星学の創成」の組織

文部科学省のプロジェクト「新学術領域研究 水惑星学の創成」分析班は、活動の場の一つとしてフォトンファクトリー(PF)の活用を計画している。分析班の代表、金沢大学の福士 圭介 准教授、試料の加工・分析を担う 東京大学の博士研究員 菅 大暉さん、PFの木村 正雄 教授、武市 泰男 助教にお話を伺った。



「水惑星学の創成」分析班 代表 金沢大学 環日本海域環境研究センター 水質地球化学研究室 福士 圭介 准教授 温泉に行くと必ず「水質成分表」があって、その温泉が どんな性質を持つのか一目で分かるようになっている。 福士氏は「惑星の水質成分表」を作るのを仕事とする、 水質地球化学の専門家だ。

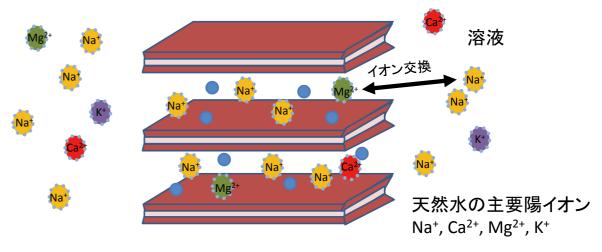
## 水の痕跡から水質成分表を

水は低いところを流れる。海はもちろん、陸なら谷に川はある。岩と岩の隙間に水が流れるのは、kmのスケールでも、mでも、mmでも、はたまたnmのスケールでも同じ。星の岩と岩の隙間にあたるところから小さな岩石を採ってくると、微細な試料の中にも小さな岩があって、岩と岩の間に極細の川があったことが見えるという。

水と岩石が反応すると土ができる。土とは細かい鉱物の集合体で、これを粘土鉱物とよぶ。粘土鉱物は水がないところにはできない。粘土鉱物を作った水がなくなっていく過程で、その中には、陽イオンと結合している水だけが残る。すべての

水がなくなったとき、陽イオンになることができる元素(例えば、ナトリウム Na やマグネシウム Mg)だけが「水の痕跡」として残される。

乾いた粘土鉱物は、おびただしい数の結晶が重なって層をなしている。粘土の層の間に取り残された陽イオンの組成を、STXMなどの分析を基に割り出せば、当時の水質に焼き直すことができる。この方法は、もともと放射性廃棄物の地層処分に関する研究において、粘土鉱物に閉じ込められた水の分析の手段として考案されたものだ。水惑星プロジェクトにおいては、このような技術を応用して、元素の濃度・化学種・同位体から水惑星の環境を推定する手法の確立を目指している。



粘土鉱物のイメージ図(福士 圭介 氏 ご提供)

物構研 News No.25

水惑星学の創成 分析班 メンバー 東京大学 理学系研究科 地球惑星科学専攻 分子地球化学研究室 菅 大暉(すが ひろき)氏

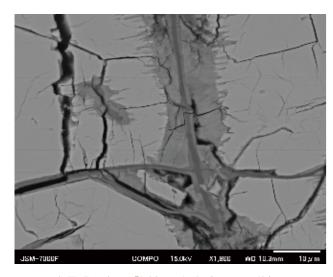
菅氏は 分子地球化学研究室 (高橋 嘉夫教授研究室) に所属し 火星などの隕石試料を多数扱ってきた。



#### 分析のプロトコル

観察装置だけでなく、<u>FIB</u>\* などの試料調製装置も使いこなす。手が震えてしまいそうな希少で微小な試料を扱うことも、「慣れですね」と落ち着いている。

ひとつの試料を、予備観察し、装置に合わせて加工しながら、複数の顕微鏡で見る。まず、試料の見たい場所(谷や川)を SEM(走査型電子顕微鏡)で確認する。小さい割れ目を探して、見るべき箇所が決まったら、見たい「川の断面」の両側から FIB で掘っていく。加工の範囲は  $\mu$  m オーダーだ。 見たい場所は水の反応でできた脆い鉱物なので、他の岩より先に削れていってしまう。 STXM で分析するためには軟 X 線が透過する 100 nm の厚さになるまで、慎重に薄くしなければならない。



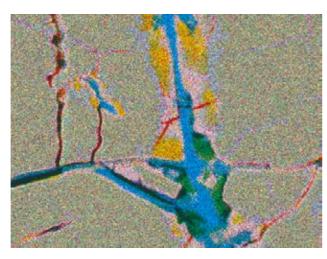
火星隕石中の「川」の痕跡(SEM 画像)

試料調製の技術に加え、分析の手順は「プロトコル」と呼ばれ重要視される。試料は小さなかけらが一つきりでも、分析は非破壊とは限らないから、その順序が違えば結果が変わってしまう。それぞれの目的と試料の特性に合わせて、試料調製と分析を組み合わせたプロトコルを考えることが第一歩となる。

このプロジェクトでは、SEM、NanoSIMS\*、STXM、TEM(透過型電子顕微鏡)などを組み合わせ、必要なデータを集める予定だ。菅氏の頭の中では、「はやぶさ 2」が持ち帰る予定の試料の分析プロトコルが既にできあがっている。

\*FIB:集束イオンビーム装置。細く絞ったガリウムのイオンビームを試料表面で走査し観察しながら加工する。

\*NanoSIMS:空間分解能かつ高感度で二次イオン像観察が可能な二次イオン質量分析(SIMS)装置。同位元素の三次元分布をイメージングできる。



左の画像に対応する元素分析結果 水色の部分は Si(左右とも 菅 大暉 氏 ご提供)

#### PF が選ばれる理由

国内には X 線顕微鏡を備えた放射光施設は複数あるが、なぜ PF を選んだのか、その理由を挙げていただいた。

#### ○ 軟 X 線を使った PF の X 線顕微鏡は、軽元素 でできた微細な試料に最適

PFの放射光の持つエネルギー範囲が軽元素でできた試料に適している上、PFのSTXMはX線が40 nm以下に絞れるので、数10 nmの空間分解能で検出でき微細な粘土鉱物の分析に適している。

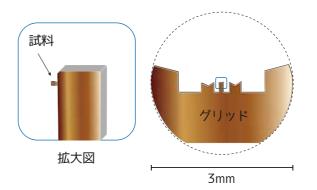
#### ○ PFのオリジナル X 線顕微鏡は、唯一無二の 試料を測るのに好都合

STXM は市販されていて世界の複数の放射光施設にあるが、試料によっては既成の装置での測定が難しいことがある。その点、PF の STXM は施設内で開発された装置なので、試料に合わせて最適なセッティングを構築可能だ。

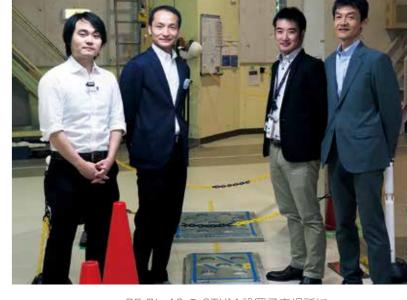
#### ○ 試料の移動と汚染のリスクが少ない

地球外試料の分析では、試料に地球由来のものが混入(汚染)しないよう厳密に管理する必要があるが、試料を持ち歩く距離が短い方が移動による事故のリスクが少ないと言える。

NanoSIMS・STXM・TEM の3つの分析装置ではいずれも、グリッドと呼ばれる直径3 mm の薄い板に固定された試料を観察する。グリッドは共通して使えて、一度作成したら、そのグリッド上で装置に合わせて厚さなどを微調整すればよい。3つの分析手法のうち試料に対するダメージが最も少ないのがSTXMなので、初めにSTXMで観察することになるが、その場所に事前観察のためのSEMと試料調製に使うFIBがあるのは好都合だ。



グリッドと試料のイメージ図 試料の大きさはおよそ 10 μm 角

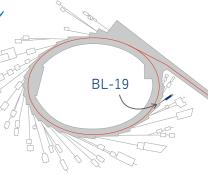


PF BL-19 の STXM 設置予定場所に 設置された架台の基礎前にて 左から菅氏、福士氏、武市氏、木村氏 (2018 年 6 月撮影)

PF内には、NanoSIMS・TEM こそないが、実験ホール内にSEM と FIB がある。限られたスペースの中で分析だけでなく事前観察や試料調製も汚染することなくでき、信頼性が高いという。

#### 。 専用ビームライン PF BL-19

分析班活躍の舞台となる予定の新ビームラインBL-19は、PF実験ホールの東方奥に位置する。(次ページで進捗状況をご紹介)



フォトンファクトリーの ビームライン

BL-19 が稼働した

ら、分析班は火星隕石や宇宙塵を中心とした地球科学試料・環境試料の分析を始める計画である。今年7月「はやぶさ2」がC型小惑星「リュウグウ」に到着したが、順調に行って試料を分析できるのは3年後という。「はやぶさ2」が帰ってくる前に、水惑星学が対象とする試料などを多数分析し実績を上げる予定だ。

「水惑星学の創成」は 5 年間のプロジェクトだ。 水惑星環境の新たな知見を得るために、水の惑星 分析班が、PF から大きな一歩を踏み出す日を心 待ちにしている。 (執筆:深堀協子)

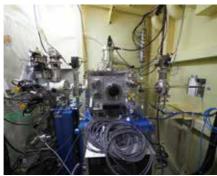
## フォトンファクトリー BL-19 建設

2018年9月の状況

PF 実験ホールでは、今年春に旧 BL-19 の解体が終わり、新 BL-19 の骨格ができあがっています。 来年度初頭に共同利用に供するべく、物構研内外の多くの方々が協力し急ピッチで作業が進められています。



フォトンファクトリー BL-19 全景 放射光は銀色の管を通って奥から手前にやってくる 中央に見える白いキャップの先に STXM が設置される





ビームラインの上流部(左下の写真の奥) 放射光は左方(光源加速器)から来て角型真空槽内で 集光され、細い管を通って壁を抜け釜型真空槽に入る



釜型真空槽を開けたところ 普段は見えないが、放射光を分光する装置と その冷却のための配管が詰まっている

# 構造生物学研究センター (SBRC) に クライオ電子顕微鏡導入

クライオ電顕は透過型電子顕微鏡(TEM)の一種で、凍結したまま試料を観察できることから、壊れやすい生体高分子、特に分子量の大きなタンパク質複合体の観察に適しています。現在、構造生物学分野では、クライオ電顕が、放射光を用いた X 線結晶構造解析と並ぶ生体高分子の立体構造解析手法になりつつあります。





2017年、日本医療

研究開発機構(AMED)でクライオ電顕の導入が検討され、長年の PF での X 線結晶構造解析分野における共同利用支援の実績が認められて SBRC が予算を獲得しました。SBRC は国内の生物分野でのクライオ電顕共同利用の中心的役割を担う予定です。

2018年2月に、KEK つくばキャンパス中央にある COI 棟に機器が搬入され、メンバーは測定技術の向上に努めています。今後、クライオ電顕と放射光を活用した研究成果が期待されます。



# J-PARC MLF で出力 1MW 相当の安定運転に成功

物質・生命科学実験施設 MLF では世界最高レベルの強度の陽子を用いた核破砕反応により、世界最高強度のミュオンおよび中性子ビームを発生させるべく、現在のほぼ倍の出力 1MW での運転を目指しています。

7/3、種々の試験に続いて、1MW 1 時間連続運転試験が行われました。物構研ではミュオン標的グループが制御室などで作業にあたり、ミュオン・中性子の各ビームラインでは、遮蔽能力の確認や標準試料の測定、データ収集システムの確認などを行いました。







J-PARC 施設公開 2018 を開催 8/19 東海キャンパス

> MLFのようすです。今年は、第2 実験ホールが公開されました。





もちろん、 リピーターさんも 大歓迎です!



来年も一般公開を開催します。今までフォトンファクトリーに来たことがない方、 実験のときしか来たことがないという方も普段とは違うスタッフに会いに、ぜひ足 をお運びください。楽しんでいただける企画を考えてお待ちしています。



**®KEK** 

編集: 物構研 広報委員会(小杉 信博(委員長)、足立 伸一、安達 成彦、阿部 仁、岩野 薫、宇佐美 徳子、大島 寛子、木村 正雄、下村 浩一郎、瀬谷 智洋、本田 孝志、伴 弘司、深堀 協子、的場 史朗、山田 悟史)

発行: 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1 https://www2.kek.ip/imss/

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1 https://www2.kek.jp/imss/TEL: 029-864-5602 e-mail: imss-pr@ml.post.kek.jp <sup>禁無断転載 ©All rights reserved by High Energy Accelerator Reseach Organization (KEK)</sup>



フォトンファクトリー 実験ホールにて