

走査型透過 X 線顕微鏡を用いたサステナブル科学の推進

Development of sustainable science by scanning transmission X-ray microscopy (STXM)



●実験組織：○高橋嘉夫¹⁻³、武市泰男³、井波暢人³、菅大暉²、坂田昂平²、宮本千尋²、光延聖⁴、朱鳴⁴、櫻井岳暁⁵、守友浩⁵、上岡隼人⁵、和穎朗太⁶、山口紀子⁶、浅野真希^{5,6}、藪田ひかる⁷、癸生川陽子⁸、間瀬一彦³、小野寛太³
(¹東大院理、²広大院理、³KEK-PF、⁴静岡県立大、⁵筑波大、⁶農環研、⁷大阪大、⁸横浜国大)

●実験ステーション BL-13A,16A (ビームタイム：各期 12h×18d 程度) ●課題有効期間：2013 年 4 月～2016 年 3 月

2013S2-003

要旨

走査型透過 X 線顕微鏡 (Scanning Transmission X-ray Microscopy: STXM) は、主に軟 X 線領域において、フレネルゾーンプレートで集光した 50 nm 程度のサイズの X 線を用い、透過配置で試料を走査あるいはエネルギーをスキャンして、元素あるいは化学種の分布や吸収スペクトルを測定する手法で、環境科学、有機材料、磁性材料、微生物学、地球惑星科学などの広い応用範囲を持つ。我々は 2013 年より独自の設計に基づき市販品よりも大幅に小型で設置・運搬可能な装置 (cSTXM) を開発し、複数のビームラインでの利用を開始した。そして性能テストを行うと共に、この装置を用いて、物質科学・環境科学・資源科学を統合した持続可能な科学「サステナブル科学」をキーワードとした様々な研究を推進して多くの成果を生み出している。本発表ではこれまでに得られた成果と今後の計画について示す。

目的と達成度

PF 独自の STXM を開発してサステナブル社会の実現に資する研究への応用を進めることが目的である。そのために下記の 2 つの STXM を開発して、サステナブル科学的試料の応用測定を行っている

- ① 低エネルギー仕様 STXM (cSTXM) ⇒ 250-1600 eV で使用可能、現在 BL-13A にて稼働中
- ② 高エネルギー仕様 STXM (2 号機) ⇒ 2-5 KeV で使用予定、現在開発中 (BL-15A にて稼働予定)

cSTXM の完成・応用測定・多数の論文発表・プレスリリース・学会賞受賞に加えて、2 号機が組立て段階にあることなど、当初計画を上回るペースであり、達成度は極めて高い!!

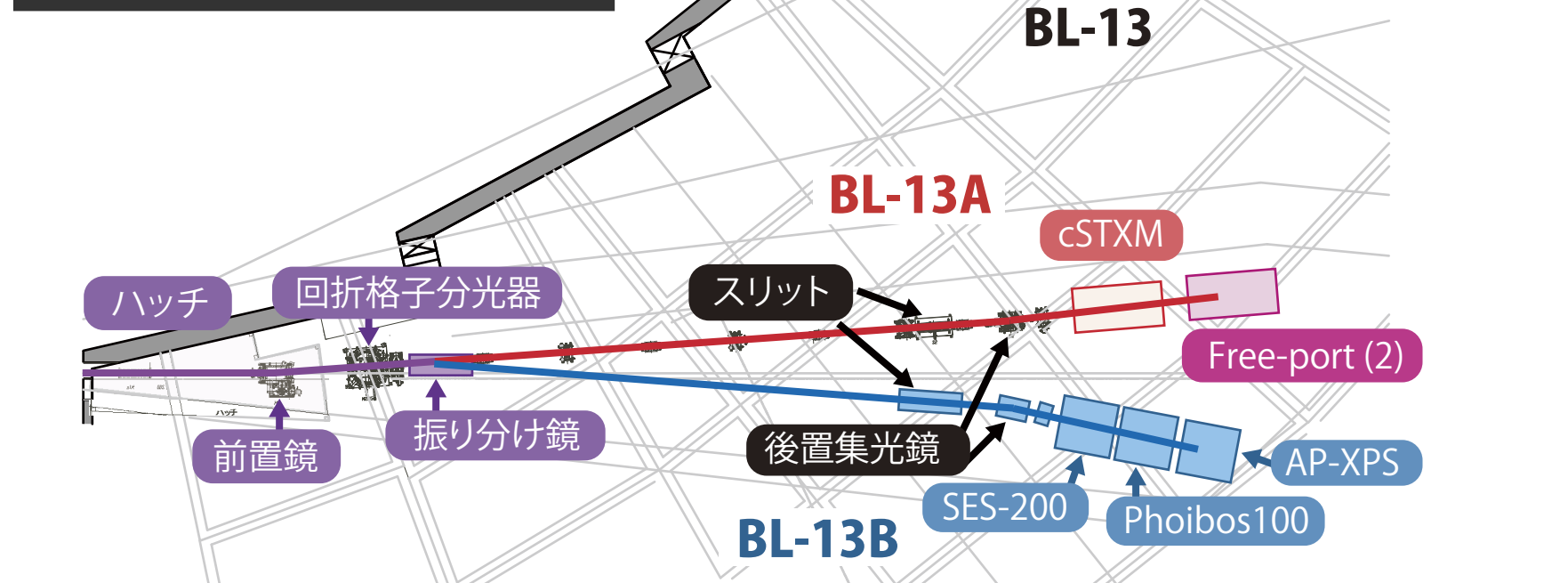
STXM の特徴

放射光 X 線をフレネルゾーンプレート (FZP) で集光し、試料を走査
集光サイズ=空間分解能~数十 nm
吸収スペクトルにより元素や化学状態の識別ができる
電子顕微鏡に比べて試料ダメージが少ない

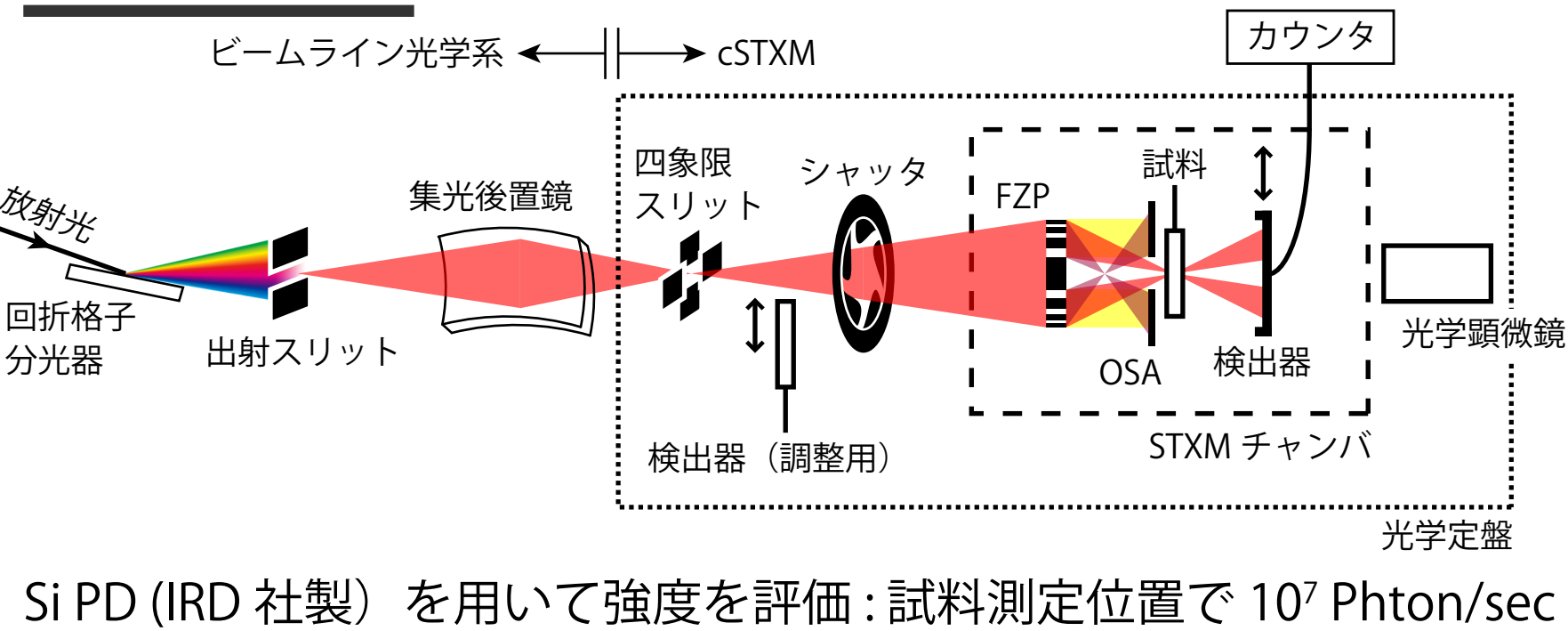
cSTXM の開発と性能評価

- (i) ピエゾ駆動ステージ (attocube ECS シリーズ) を全面採用し、粗動で 50 nm の位置再現性と振動特性の改善、さらに、既存のビームラインに合わせた光学系の開発と、小さい発熱チャンバ全体を非常にコンパクトに設計 / Takeichi et al. (2014)
- (ii) Field-programmable gate array (FPGA) の利用による制御 PC とは独立した高速スキャンシステムの実装 / Inami et al. (2014)

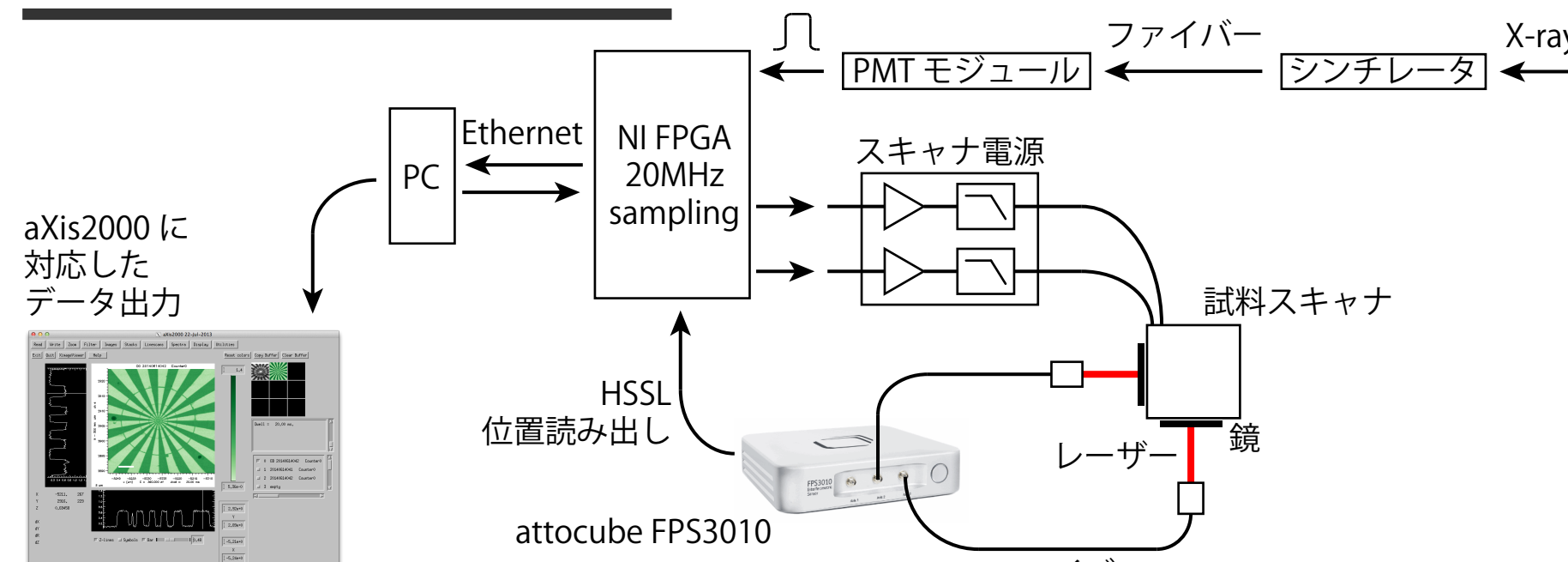
BL-13 での cSTXM の配置



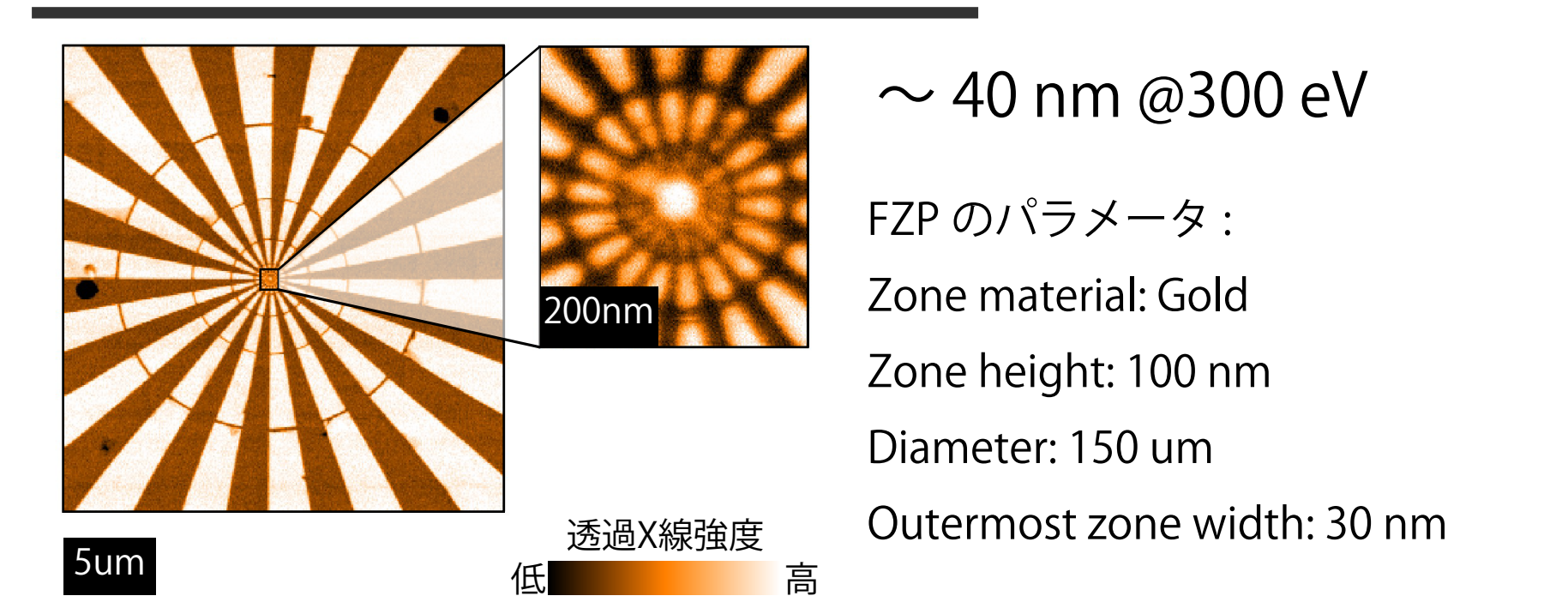
cSTXM の光学系



高速スキャンシステムの概要

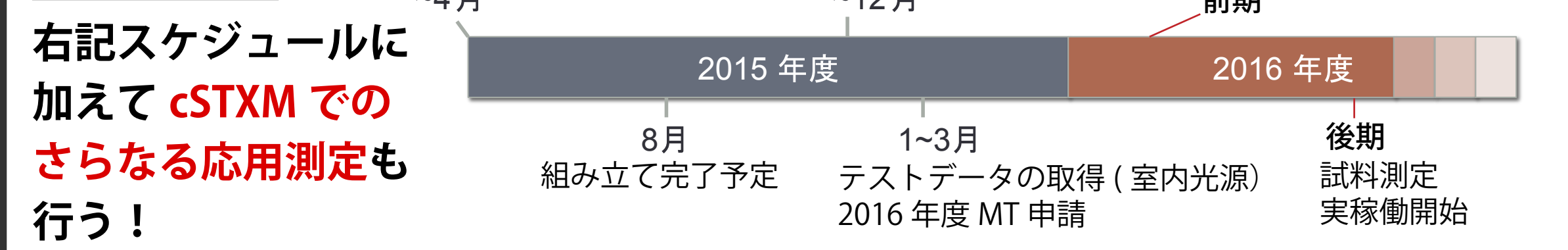


テストターゲットによる空間分解能の評価



2 号機の開発

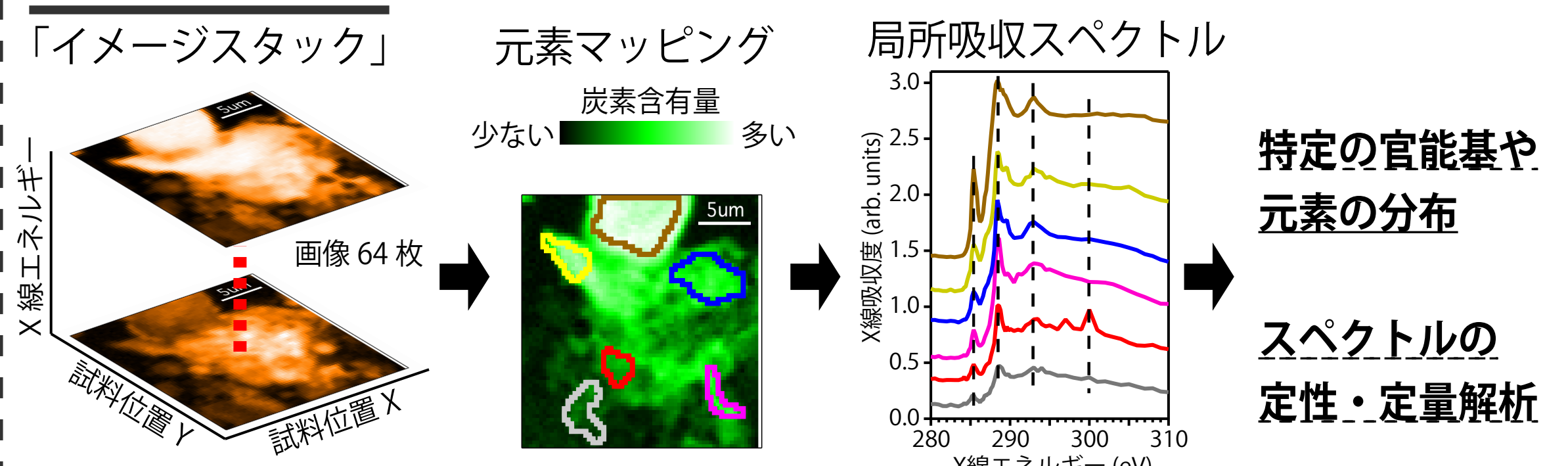
次年度の計画



現在 2 号機の組み立てを行っている

基本構造は cSTXM を継承
かつ蛍光検出を可能に (右図 CAD 図参照)
硫黄・カルシウム・リンの K 端での STXM/XANES を用い、地球温暖化に関連した大気粒子形成プロセスの解明や、資源回収に関連した微生物表面に吸着した希土類元素の吸着サイトの特定などを行う予定である

STXM 測定と解析の例



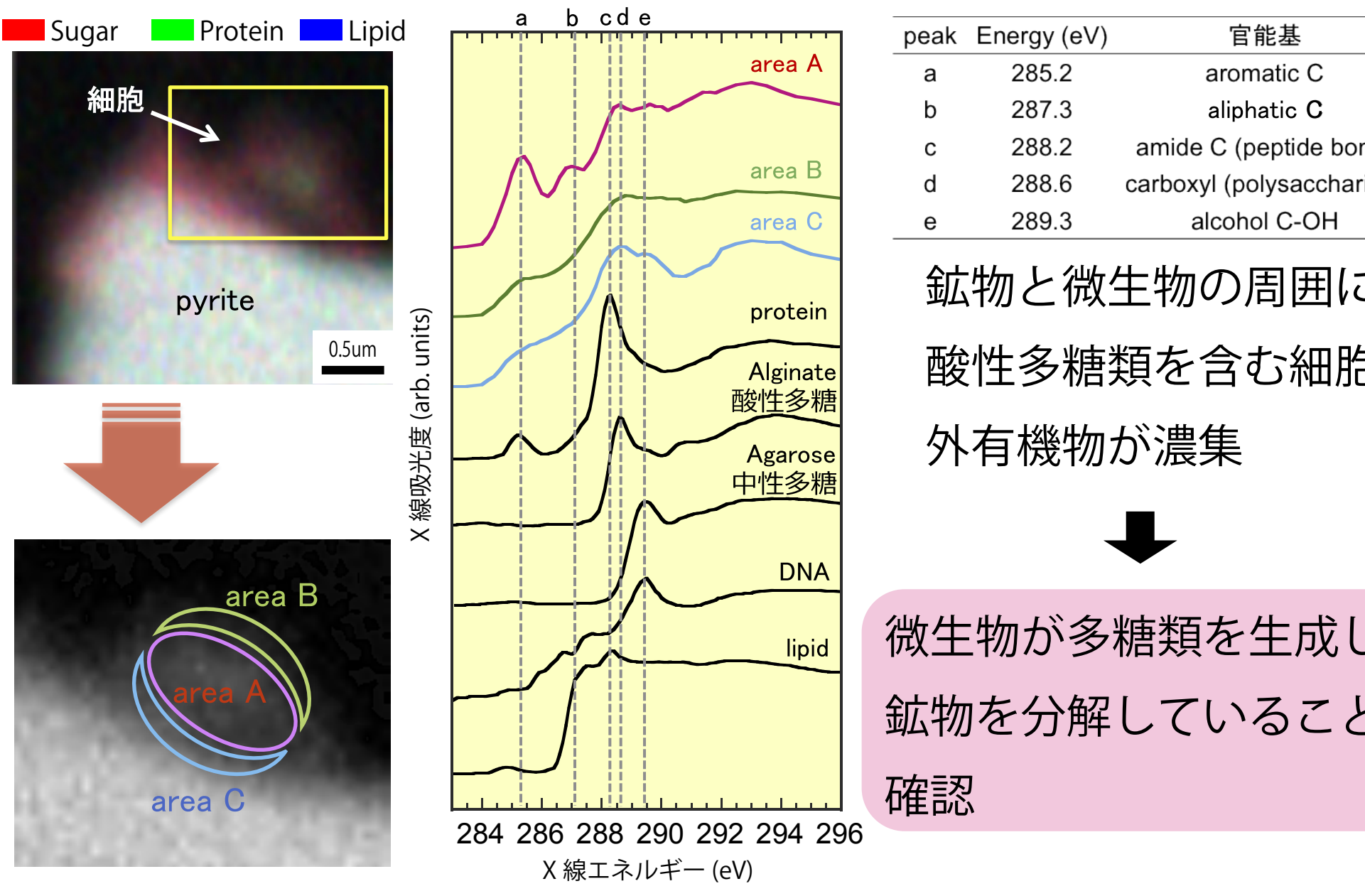
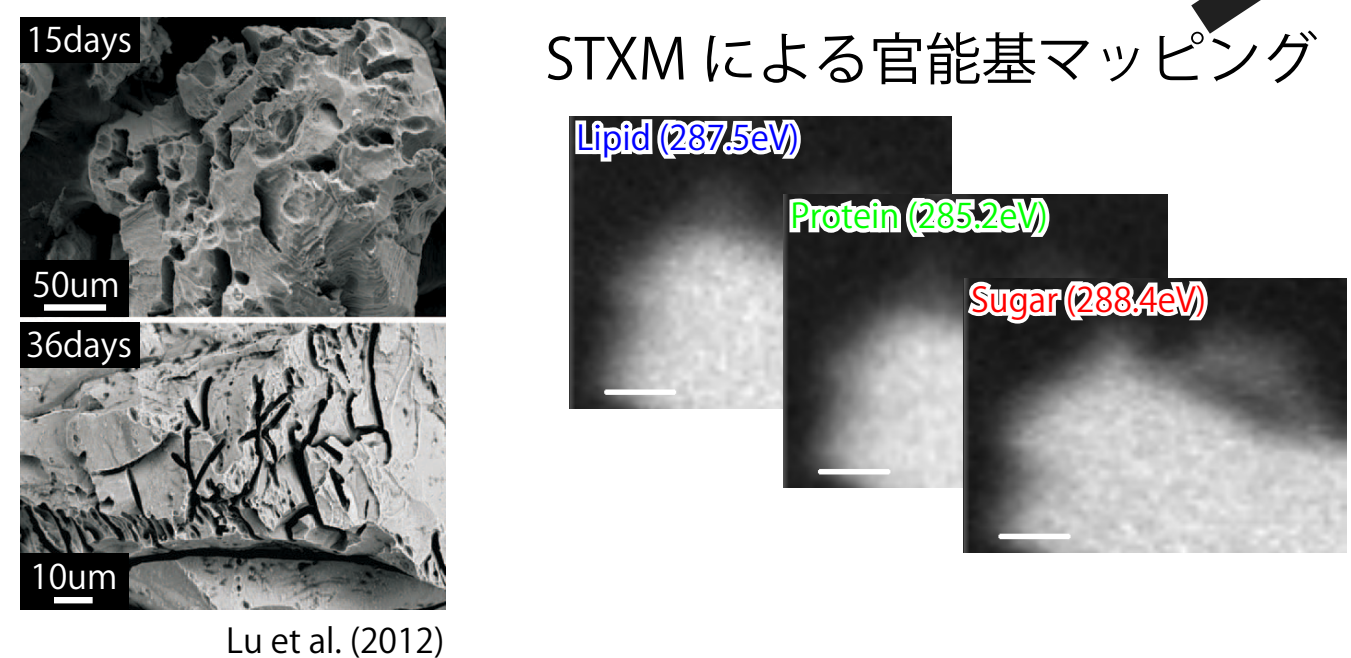
cSTXM を用いたサステナブル科学 (研究成果)

以降の成果以外に、エアロゾル中のナトリウムの大気中での化学反応の解明・黄砂中の炭酸カルシウム粒子表面で大気中酸性物質が中和されるプロセスの解明・希土類磁石の分布像取得と磁区観察・炭素質隕石中の有機物同定などを行った

鉄酸化菌による、鉱物 (pyrite) が分解される

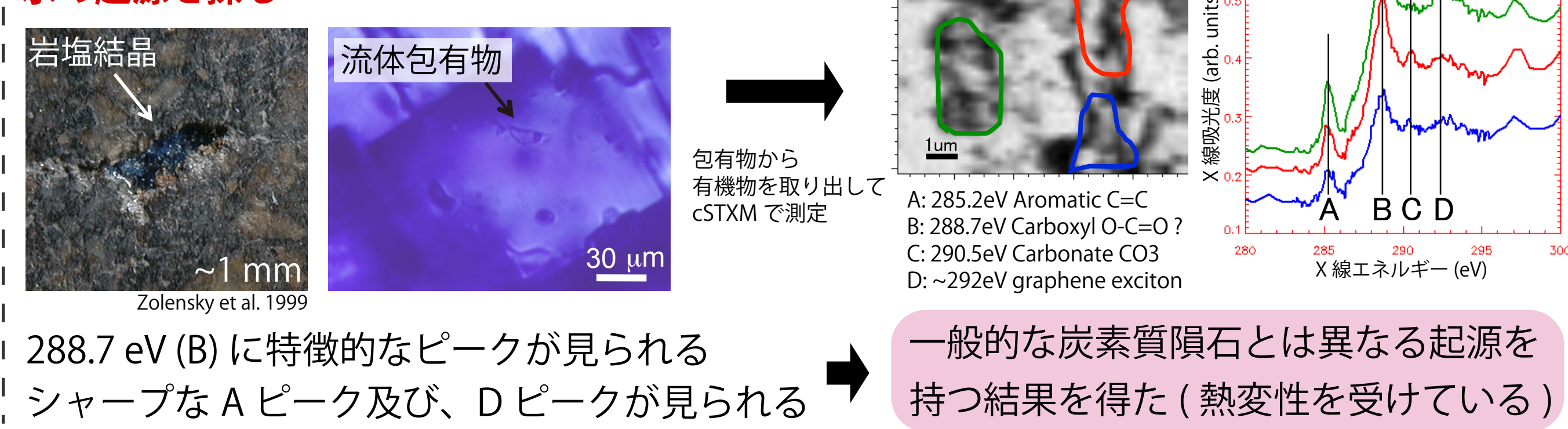
分解のメカニズムを解明し、バイオリチング (微生物を使ったレアメタルの溶出法) 技術に貢献

微生物が存在する系 → 30-40 倍溶解が速い → なぜ??



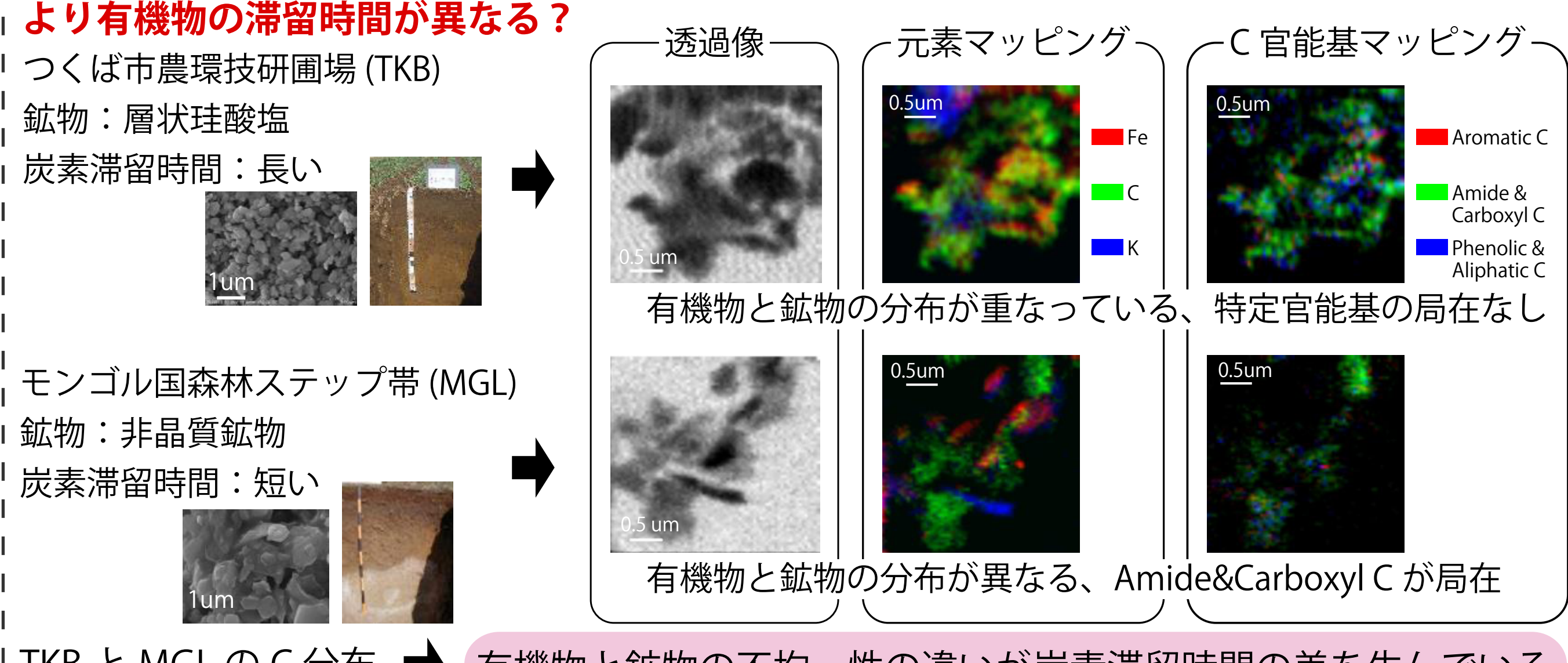
隕石中の岩塩結晶に存在する流体包有物中炭素測定～水はどこから来たのか?～ / Kebukawa et al

Monahans 隕石には岩塩結晶が含まれる (岩塩結晶が含まれる隕石は 2 つのみ)
岩塩結晶中の流体包有物: 隕石母天体 (小惑星など) 内部の水由来の可能性あり
→ 流体包有物中の微細炭素粒子を測定することで水の起源を探る



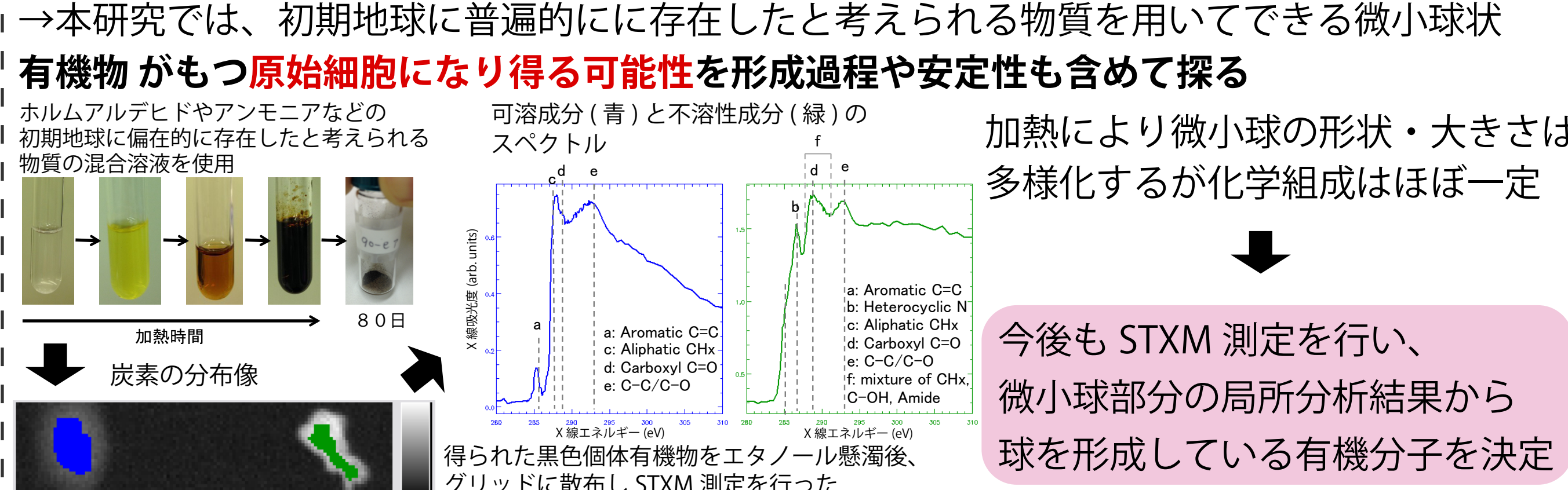
土壤中の鉱物と有機物の相互作用 / Wagai et al

地球温暖化の予測には炭素循環サイクルの情報が不可欠
土壌有機物の滞留メカニズム=炭素循環のメカニズムの理解に寄与
層状珪酸塩鉱物主体土壌 (つくば市:TKB) と非晶質珪酸塩主体土壌 (モンゴル: MGL) を比較有機物を多く含む粒子のバルクでの化学組成は同じだが、土壌中の鉱物と有機物の相互作用により有機物の滞留時間が異なる?



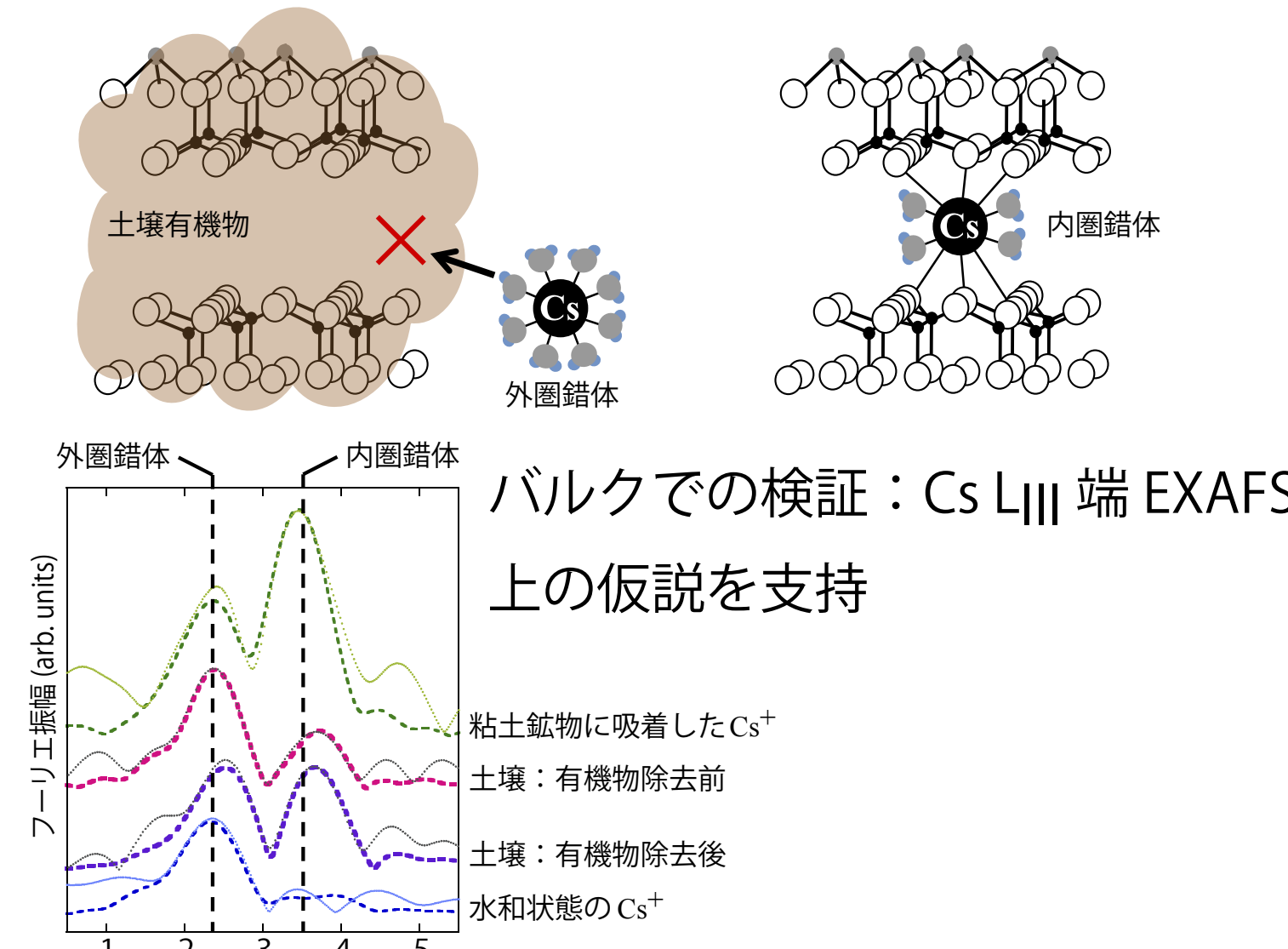
微小球状有機物の組成の解明～初期地球上の生命の起源に関連して～ / Yabuta et al

初期地球上の化学進化過程において、有機分子が形成した微小球が「反応容器」の役割をしたと考えられている / Weber. (2005)
いままでの微小球状有機物の研究は初期地球環境に非現実的な物質や実験条件下で実施
→ 本研究では、初期地球に普遍的に存在したと考えられる物質を用いてできる微小球状有機物をもつ原始細胞になり得る可能性を形成過程や安定性も含めて探る



セシウムを吸着する土壌中の鉱物粒子 / Suga et al. (2014)

チェルノブイリ 福島
土壌有機物: 多い 土壌有機物: 少ない
セシウム: 溶存態が多い セシウム: 懸濁態が多い
有機物が内圏錯体 (→ 懸濁態) の形成を阻害?



有機薄膜太陽電池の分子混合状態 / Moritomo et al. (2014)

バルクヘテロジャンクション型
有機薄膜太陽電池 (右図)
= 次世代の太陽電池
有機分子の混合状態は発電効率にどのような影響を与えているか?

