

[J] 口頭発表 | セッション記号 U (ユニオン) : ユニオン

■ 2019年5月29日(水) 15:30 ~ 17:00 | 壺 103 1F

### [U-04] 地球惑星科学における高速過程を捉える

コンビーナ: 芳野 極(岡山大学惑星物質研究所)、丹下 慶範(高輝度光科学研究センター)、座長: 芳野 極(岡山大学)、河野 義生(愛媛大学地球深部ダイナミクスセンター)、丹下 慶範

破壊・噴火・衝突といった現象はマントル対流のような長いスケールの地質現象とは異なるカタストロフィックな現象である。しかし、恐竜の絶滅に代表される隕石衝突などの地球規模の現象は長期的な変動だけではなく、このような劇的な高速の現象で引き起こされる。つまり、地球の進化・防災を考える上でも、高速のダイナミクスの理解を深めることは重要である。放射光技術の進展で極限状況におけるフェムト秒から数分スケールまでの速い現象を捉えることが可能になりつつある現状を踏まえて、物質科学・観測・数値モデルといった多くの手法から高速のダイナミクスの包括的な理解を目指す。

15:30 ~ 15:45

[U04-07] 衝突蒸気雲内化学反応が結びつける小惑星リュウグウと地球初期進化

★招待講演

\*杉田 精司<sup>1,3</sup>、桑原 秀治<sup>2</sup>、黒澤 耕介<sup>3</sup> (1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 愛媛大学、3. 千葉工業大学)

15:45 ~ 16:00

[U04-08] Time-resolved synchrotron X-ray observations of mineral transformations under static pressures: applications to non-equilibrium behaviors in shocked meteorites

★Invited Papers

\*久保 友明<sup>1</sup>、宮原 正明<sup>2</sup> (1. 九州大学、2. 広島大学)

16:00 ~ 16:15

[U04-09] Ultrafast pump-probe experiments for planetary materials using high-power lasers and XFEL

★Invited Papers

\*尾崎 典雅<sup>1</sup> (1. 大阪大学)

16:15 ~ 16:30

[U04-10] X線自由電子レーザーで捉える動的過程

★招待講演

\*片山 哲夫<sup>1</sup> (1. 公益財団法人 高輝度光科学研究センター)

16:30 ~ 16:45

[U04-11] 放射光 X 線を用いた高速度計測

★招待講演

\*上杉 健太郎<sup>1</sup> (1. 公益財団法人高輝度光科学研究センター)

16:45 ~ 16:58

[U04-12] 大容量プレスを活用した動的地球科学研究の開拓：特に液体の高圧放射光X線実験について

★招待講演

\*河野 義生<sup>1</sup> (1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター)

16:58 ~ 17:00

Discussion

## 衝突蒸気雲内化学反応が結びつける小惑星リュウグウと地球初期進化 Chemical reaction processes bridge between asteroid Ryugu and early evolution of Earth

\*杉田 精司<sup>1,3</sup>、桑原 秀治<sup>2</sup>、黒澤 耕介<sup>3</sup>

\*Seiji Sugita<sup>1,3</sup>, Hideharu Kuwahara<sup>2</sup>, Kosuke Kurosawa<sup>3</sup>

1. 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、2. 愛媛大学、3. 千葉工業大学

1. Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science Sciece, The University of Tokyo, 2. Ehime University, 3. Chiba Institute of Technology

はやぶさ2は始源的小惑星リュウグウの素性が明らかにしつつある。だが、リュウグウのような炭素に富む小惑星が地球に衝突したときに、地球表層環境の進化にどんな影響を及ぼすかを理解することは容易ではない。この理解には、衝突時に起きる高速現象の理解が本質に重要である。本発表では、大気突入の力学過程と地表に衝突した際に発生する衝突蒸気雲内の高温化学反応過程についてレビューし、小惑星探査の結果が地球などの進化に与える影響を推察する。

キーワード：小惑星探査、超高速衝突、衝突蒸気雲、大気突入物理過程

Keywords: Asteroid missions, Hypervelocity impacts, Impact vapor clouds, Atmospheric entry physics

## Time-resolved synchrotron X-ray observations of mineral transformations under static pressures: applications to non-equilibrium behaviors in shocked meteorites

\*久保 友明<sup>1</sup>、宮原 正明<sup>2</sup>

\*Tomoaki Kubo<sup>1</sup>, Masaaki Miyahara<sup>2</sup>

1. 九州大学、2. 広島大学

1. Kyushu University, 2. Hiroshima University

High-pressure transformations occur on timescales of  $\sim 0.01$  to a few seconds in shocked meteorites. Reactions in such short timescales often remain incomplete and/or metastable state, which is usually problematic for the interpretation, but can be good information for shock durations if the kinetics is experimentally known. Here we present some experimental results on curious kinetic behaviors in seifertite and lingunite, those presences in shocked meteorites have been difficult to explain based on phase equilibrium. A conventional method combining multi-anvil high-pressure apparatus with synchrotron white X-ray was routinely used to observe non-equilibrium behaviors and their kinetics in minerals at pressures up to  $\sim 30$  GPa by collecting time-resolved X-ray diffraction data every 10 sec with energy dispersive method. By using this system, we found that seifertite and lingunite are metastably formed at high pressures from silica and plagioclase, respectively. The problematic presence of these phases in shocked meteorites can be reasonably explained as metastable phases. Extrapolations of kinetic data obtained to shorter timescales at higher temperatures of shock events uniquely constrain the critical shock durations and the size of the impactor. Similar strategy has also been applied to the back-transformation recorded in shocked meteorites. Time-resolved X-ray observations have revealed that some high-pressure phases such as bridgmanite and lingunite do not directly transform to their low-pressure phases, but through the amorphous state. This may explain the presence of amorphous phases with enstatite and plagioclase compositions in shocked meteorites. Our studies demonstrate that the conventional 10-second time-resolved synchrotron X-ray observations under static pressures capture the critical processes of solid-state reactions during shock events. On the other hand, crystallization of high-pressure phases from shock-induced melt is another important process to be solved. Improvement of the system with better time resolution and grain observations by 2D detector are required to detect the rapid melt crystallization processes.

## Ultrafast pump-probe experiments for planetary materials using high-power lasers and XFEL

\*尾崎 典雅<sup>1</sup>

\*Norimasa Ozaki<sup>1</sup>

1. 大阪大学

1. Osaka University

Materials at high pressures and temperatures are of great current interest for warm dense matter (WDM) physics, planetary sciences, and inertial fusion energy research. At the high-energy density (HED) conditions, the micro-structures of material significantly influence the behavior and properties. Ultra-short X-ray pulse, *i.e.*, X-ray free electron laser (XFEL), is a unique and powerful tool to directly observe a structure and to reveal the time scale of the structural change under the dynamic high pressures. Here we present recent experimental results on shock-compressed planetary materials using high-power laser and XFEL.

## X線自由電子レーザーで捉える動的過程

### Tracking dynamical phenomena with X-ray free-electron lasers

\*片山 哲夫<sup>1</sup>

\*Tetsuo Katayama<sup>1</sup>

1. 公益財団法人 高輝度光科学研究センター

1. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

X線自由電子レーザー (XFEL) は、フェムト秒の高強度X線パルスを発生する光源として、従来の放射光では観測することが困難だった高速過程 (ダイナミクス) を捉える研究に利用されている。フェムト秒の時間領域では、XFELと同期レーザーと組み合わせた時間分解X線計測によって、原子レベルの時間・空間分解能を併せ持つ「分子動画」<sup>1-3</sup>が可能となった。一方、ナノ秒以上の時間領域であっても、放射光では捉えられなかった不可逆な現象を、XFELの高輝度性を生かしてシングルショットで観測しようという研究<sup>4,5</sup>も展開されている。

本講演では、XFELの光源特性やSACLAにおけるこれらの研究例を紹介し、地球惑星科学におけるXFELの可能性について議論する。

1. T. Katayama *et al.*, submitted.
2. K. H. Kim *et al.*, *Nature* **518**, 385-389 (2015).
3. T. Katayama *et al.*, *Struct. Dyn.* **3**, 034301 (2016).
4. K. H. Kim *et al.*, *Science* **358**, 1589-1593 (2017).
5. E. Nango *et al.*, *Science* **354**, 1552-1557 (2016).

キーワード：X線自由電子レーザー、動的過程

Keywords: X-ray free-electron laser, dynamics

## 放射光X線を用いた高速度計測

### High speed measurement with synchrotron radiation X-ray.

\*上杉 健太郎<sup>1</sup>

\*Kentaro Uesugi<sup>1</sup>

1. 公益財団法人高輝度光科学研究センター

1. Japan Synchrotron Radiation Research Institute

X線は物質に対する透過力が高く、物質の内部情報を得るためのプローブとして適している。たとえば単純レントゲン像に相当する透過X線強度分布により物質内部の状態観察が可能であるが、さらにそのエネルギースペクトルからは物質による吸収・蛍光スペクトルなどが分かる。また回折像からは、物質の鉱物相を同定することが可能である。

放射光X線は基本的には連続スペクトルを有している。これにより、物質の種類や必要とする情報に応じてX線照射エネルギー（波長）を調整し最適化することが可能となる。大型放射光施設SPring-8などの第三世代以降の放射光施設ではX線の光束密度( $\text{photons} / \text{sec} / \text{mm}^2$ )あるいは輝度( $\text{photons} / \text{sec} / \text{mm}^2 / (\text{mrad})^2 / 0.1\% \text{b.w.}$ )を高めるため、アンジュレーターなどの挿入光源が導入されている。アンジュレーターからの放射光X線とラボ用光源からのX線の輝度を比較すると、最大で $10^9$ 倍程度の開きがある。つまりアンジュレーターからはラボ用線源とは比較にならないほどのX線強度(正確には光束密度)が得られ、圧倒的な(時間・空間・エネルギー)分解能を実現できる。

たとえばX線画像計測(X線イメージングとも言う)では、1kHz程度のフレームレートでの観察は十分行えるし、小角散乱計測でも数kHzで昆虫が羽ばたく際の筋肉の運動がその場観察できる。湾曲型の結晶分光器を使うDispersive XAFSという手法ではミリ秒程度でXAFS信号の取得が可能である。これらは様々な非平衡あるいは動的現象を捉えるのに有効である。

講演では放射光X線を利用して実施された高速度計測の事例をいくつか示し、今後どのような地球科学的現象に適用できるか、参加者と議論したい。

キーワード：放射光X線、高速度計測、X線イメージング

Keywords: Synchrotron radiation X-ray, High speed measurement, X-ray imaging

## 大容量プレスを活用した動的地球科学研究の開拓：特に液体の高圧放射光X線実験について

### Recent advances in high-pressure synchrotron X-ray experiments on magmas under pressure at the beamline 16-BM-B in Advanced Photon Source

\*河野 義生<sup>1</sup>

\*Yoshio Kono<sup>1</sup>

1. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター

1. Geodynamics Research Center, Ehime University

大容量高圧プレスを用いた高圧実験と組み合わせた放射光X線測定は、地球内部科学研究における最も有用な手法の一つであり、これまで高圧高温条件下における鉱物の相転移、結晶構造、状態方程式、弾性波速度の測定などにより、地球深部の鉱物相や化学組成などの‘静的’な地球内部構造が解明されてきた。一方、地球内部におけるマントル対流やプレートの沈み込み、それに伴う岩石の変形・破壊、また岩石の熔融や生成したマグマの輸送、初期地球のマグマオーシャンにおける液体地球のダイナミクスなど、数多くの‘動的’な地球科学現象を理解することが、地球内部のダイナミクスを解明する上で重要な課題として残されている。特に、岩石の破壊による地震発生現象やマグマの上昇による火山の噴火など、地球内部に端を発する自然災害のメカニズムの物質科学的理解は、地球内部科学のみでなく、社会的にも重要な課題である。このような‘動的’地球科学現象を理解するためには、これまで行われてきた‘静的’な高圧実験とは異なる‘動的’な高圧実験研究の開拓が必要である。

本発表では、特に液体の高圧放射光X線実験による高圧マグマ研究の開拓について紹介する。マグマは高圧条件下で生成する高圧物質であり、高圧下におけるマグマなどの‘液体’の構造、物性の理解は、地球内部のマグマ活動やそれに関連した地球内部の熱輸送、化学的進化を議論する上で重要な課題である。特に、高圧下におけるマグマの構造変化は、地球内部における鉱物の相転移同様に、最も基礎的で重要な情報であるが、‘固体’の高圧実験と比べて‘液体’の高圧実験は、実験の困難さによりあまり行われていないのが現状である。最近、我々はアメリカの放射光X線施設Advanced Photon Source (APS)の16-BM-Bビームラインにおいて、液体の構造、物性測定技術の開発を精力的に行ってきた（例えば、Kono et al., 2014, Nature Communications, 5, 5091 ; Kono et al., 2014, Phys. Earth Planet. Inter., 228, 269-280）。その結果、高圧下においてケイ酸塩メルトは一気圧下と大きく異なる構造を持つことが明らかになり、高圧下におけるケイ酸塩メルトの構造変化がケイ酸塩メルトの密度や粘性に大きく影響を与えることが分かってきた（例えば、Wang et al., 2014, Nature Communications, 5, 3241）。このような高圧下におけるケイ酸塩メルトの構造変化とそれに伴う物性変化は、地球内部におけるマグマの輸送過程などに大きな影響を与え、地球内部のマグマの状態とその輸送を理解する上で非常に重要であると考えられる。本発表では、高圧放射光X線実験による高圧下におけるマグマの構造、物性測定について紹介し、高圧マグマ実験研究の現状と将来の新しい高圧放射光X線実験へ向けた課題を議論する。

キーワード：高圧、マグマ、放射光X線

Keywords: High pressure, Magma, Synchrotron X-ray