

地球化学：高圧下におけるパルス中性子回折実験の地球化学への展開

鍵 裕 之

1 はじめに

地球深部にはどのような物質があるのだろうか？ 地球の半径はおよそ 6400 km で長江の全長に相当し、サンプルリターンが実現したイトカワやリュウグウへの距離と比べれば、地表から地球中心部への距離は桁違いに短い。しかし、人類が地球深部へ向けて掘った最も深い穴は、ソ連の科学プロジェクトで造られた超深度掘削坑で、たかだか深さ 12 km 程度である。地球内部は近くて遠い研究対象である。地球深部を構成する物質は、地震学的観測、隕石や地球深部由来の天然試料、地球深部に相当する温度圧力を実現する高温高圧実験が三位一体となって研究されてきた。地震学的観測からは地球内部の密度分布が精密にわかり、得られた密度を重力定数とともに深さ方向に積分すれば地球内部の圧力分布を計算することができるが、化学組成はわからない。天然試料から推測される化学組成に基づいて地球深部に相当する条件での高温高圧実験を行い、地震学的観測で得られた結果とつぎあわせることで地球深部を構成する物質の化学組成や結晶構造が明らかになっている。特に高温高圧実験では放射光 X 線を利用した X 線回折、非弾性散乱などの研究が盛んに行われている。

これまでの研究により地球深部を構成する主要鉱物の化学組成と結晶構造はおよそ明らかになったと言える¹⁾。いまだに解明されていないのが水素に代表される軽元素の地球深部での挙動である。地球の原料となったと考えられる隕石には、約 2 wt.% の水が含水鉱物として取り込まれている²⁾。一方、現在の地球に存在する水の大部分を占める海洋の水は地球の質量に対して 0.02 wt.% にしかならない。これだけ水の量が減少した原因は、地球の進化過程における高温環境で、揮発性の高い水は宇宙空間に飛散したためと考えられていた。ところが 1990 年代に盛んに行われた高温高圧実験によって、地球のマントルを構成する鉱物が現在の海洋に匹敵するかそれ以上の量の水をヒドロキシルイオン (OH イオン) として取り込みうることが示された³⁾。マントルを構成する鉱物に水素が取り込まれることで、地球全体の水の収支に影響が及ぶだけでなく、地球内部の岩石の融解温度、変形強度、地震波伝搬速度などが大きく変化する可能性がある。また、地球の核は鉄ニッケル合金を主成分としているが、地震学的観測から得られた核の密度は鉄

ニッケル合金の密度よりも約 10 % 小さく、何らかの軽元素がとりこまれていると考えられている⁴⁾。太陽系の元素存在度が最も高く、最も軽い元素である水素は核に含まれる軽元素の有力候補であるが、現在のところ核に含まれる軽元素の組成は明らかになっていない。このように、地球深部を構成する物質に軽元素、特に水素がどのように取り込まれているかは、地球化学における重要な研究課題となっている。また、惑星、衛星の内部には水が含まれることが知られており、高圧下での水の結晶構造はその性質を解き明かすために基本的な情報をもたらす。本稿では地球深部化学に関連する研究分野で、近年盛んに利用されるようになったパルス中性子を用いた高圧下での中性子回折実験について紹介したい。

2 中性子回折でわかること

地球深部を構成する物質 (鉱物) の組成や結晶構造は高温高圧実験によって明らかにされてきた。主な研究手段は放射光を利用した X 線回折実験である。地球深部を構成する物質は高温高圧条件でのみ安定で、常温常圧条件には回収できないこともある。また、地球深部条件での鉱物の密度を見積もるためには、高温高圧条件での X 線回折実験から鉱物の単位胞体積を測定する必要がある。上記のような理由によって、地球深部物質の研究には高温高圧下での X 線回折のその場測定が必要となってきた。圧力は単位面積あたりの力で定義される。高圧を発生させるためには、力を増やすか面積を減らす必要がある。したがって、高圧実験においては試料サイズが制限されることになり、微小な放射光 X 線が高温高圧条件での構造解析に威力を発揮する。

X 線は電子と相互作用するため、X 線の散乱強度は原子の電子数の増加とともに大きくなる。電子数が 1 である水素原子による X 線の散乱はきわめて小さいため、X 線回折によって結晶中の水素原子の位置を決定することは実質的に不可能である。一方、中性子は電子とは相互作用せず、原子核と相互作用するため、その散乱強度は電子数に依存しない。図 1 はいくつかの元素について X 線と中性子による散乱強度を比較しているが、水素 (重水素) 原子の中性子散乱長は、他の原子と比べて小さくないことがわかる。結晶中の水素原子の位置は中性子回折パターンから決定することができる。

高圧下の X 線回折は放射光実験施設だけでなく、最

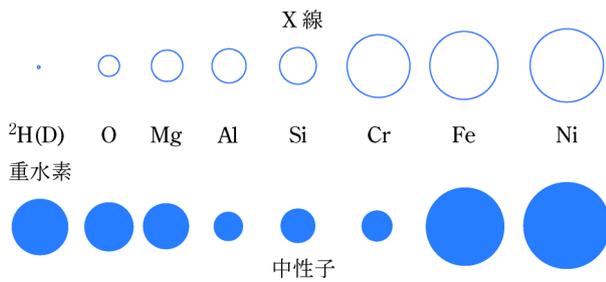


図1 X線と中性子の散乱強度の比較
水素原子による中性子の散乱強度はきわめて高い

近では実験室で利用可能な微小 X 線源と超高压発生装置であるダイヤモンドアンビルセル (DAC) を用いた高压下での X 線回折測定も可能となっている⁵⁾。一方、中性子は実験室レベルで発生させることは不可能であるため、高压下での中性子回折実験を行うことは容易ではない。研究に利用可能な中性子は、原子炉とパルス中性子源の二つである。研究用原子炉は発電用原子炉と同様に ^{235}U の誘導核分裂に伴って放出される中性子を用いるもので、定常的な高いフラックスの中性子ビームを生成する。我が国では日本原子力研究開発機構の JRR-3、京都大学の KUR が代表的で、海外ではフランスの ILL、アメリカ合衆国の ORNL、韓国の HANARO、オーストラリアの ANSTO などの原子炉が利用可能である。一方、水銀などの重元素にパルス状の大強度陽子ビームを入射し、核破砕反応を起こすことでパルス中性子を生成する施設もある。英国 ISIS、米国 SNS が先駆的な施設で、我が国では茨城県東海村の J-PARC (高強度陽子加速器施設) MLF (物質・生命科学実験施設) が世界最高強度を誇るパルス中性子施設として国内外の研究者に利用されている。MLF では 3 GeV シンクロトロンで光速の約 97 % まで加速した陽子を水銀の標的に衝突させることで中性子のビームを作り出している。

3 J-PARC MLF PLANET ビームラインと 高压発生装置

J-PARC MLF には 22 本のビームラインがあり、そのうちのひとつである BL11 PLANET (pressure-leading apparatus for neutron diffraction) が高压専用のビームラインである。英国 ISIS の PEARL ビームライン、米国 SNS の SNAP ビームラインは PLANET が建設される以前から世界の研究者に利用されている高压ビームラインで、PLANET は国際的にみれば後発ビームラインであるが、その分、さまざまな工夫を凝らしたビームラインを建設することができた。PLANET ビームラインの仕様や性能の詳細は Hattori *et al.* (2015) に述べられている⁶⁾。PLANET ビームラインの最大の特徴は、長時間にわたって大容量の試料に対して安定に高温高压条件を発生させ、試料のみからの中性子回折パターンを選

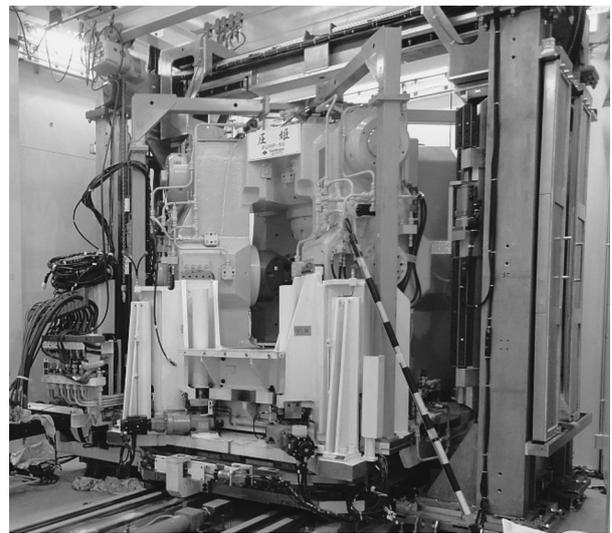


図2 高温高压実験用マルチアンビル高压発生装置「圧姫」
試料を加圧する 6 個の油圧ジャッキがすべて独立しているため、試料の周囲に空間があり、試料からの散乱中性子を効率よく観察することができる。

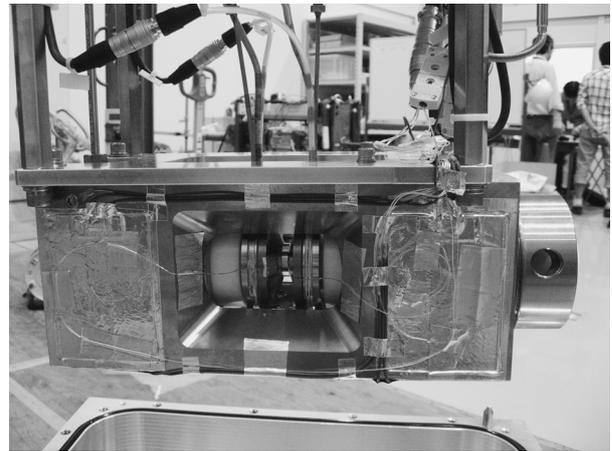


図3 低温高压実験用プレス「Mito system」
アンビルとプレス本体が熱絶縁されているため、低温条件でも油圧で圧力を制御することができる。

択的に測定可能な、大型マルチアンビル高压発生装置が設置されていることである⁷⁾。図 2 に示す「圧姫 (Atsuhime)」と呼ばれる 6 軸型マルチアンビルプレスは、お互いに直交する六つの油圧ラムが設置されており、それぞれが独立して動作することによって立方体の高压セルアセンブリーを加圧する。圧姫を用いることによって、深さ 410 km 以深のマントル遷移層に相当する地球深部の高温高压条件での中性子回折実験が可能となっている。

PLANET ビームラインでは、低温高压条件での中性子回折実験用の Mito system も一般ユーザーに供用されている (図 3)⁸⁾。低温高压条件での中性子回折実験は英国 ISIS でも行われてきたが、低温条件で圧力を制御することがきわめて困難であった。Mito system では低

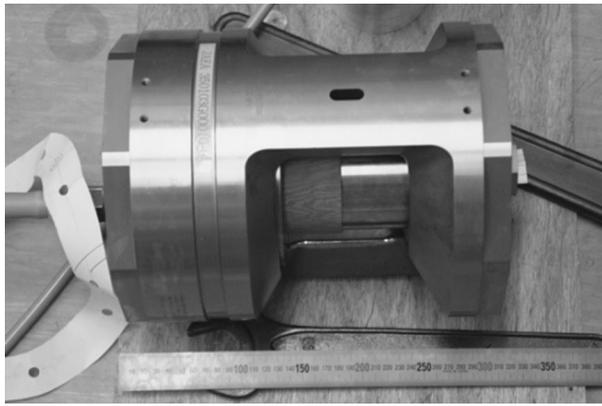


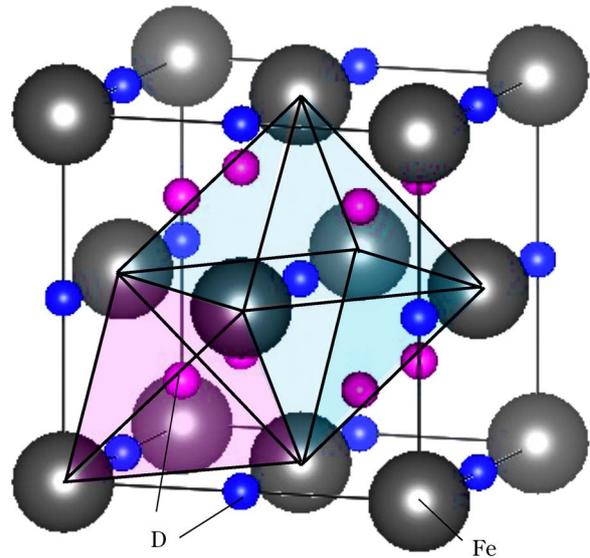
図4 世界の中性子実験施設で利用されている Paris-Edinburgh プレス
主に室温での高圧下中性子回折の測定に用いられる。

温条件になる試料部分を熱的に絶縁することで、加圧に油圧を使用できるようになり、低温条件で自由自在に圧力を制御することが可能になった。このように、圧姫と Mito system は PLANET ビームラインにしかない日本独自の実験装置である。これらに加えて、全世界的に高圧下の中性子回折実験で利用されている Paris-Edinburgh プレス (図4)⁹⁾も利用可能である。

4 PLANET を利用した地球化学に関連した高圧下での中性子回折実験

4・1 鉄中の水素_地球核中の軽元素問題の解決を目指して

既に述べたとおり、地球核を構成する鉄には何らかの軽元素が取り込まれて、純粋な鉄と比較して有意にその密度が低下している。水素は核に含まれる軽元素の有力候補であるが、核に取り込まれる水素量を見積もるためには、水素の取り込みに伴って鉄の単位胞体積がどれだけ増加し、結果として鉄水素化物の密度がどれだけ低下するかを知る必要がある。鉄は常温常圧条件では bcc 構造 (体心立方構造) をとるが、高圧下では fcc 構造 (面心立方構造) または hcp 構造 (六方最密充填構造) をとる。内核に相当する高温高圧下での X 線回折測定から、地球核の鉄は hcp 構造であると考えられている¹⁰⁾。ところで最密充填構造である fcc 構造と hcp 構造の鉄には、図5に示すように6個の鉄原子に囲まれた八面体サイト、4個の鉄原子によって囲まれた四面体サイトの2種類の空隙サイトがある。八面体サイトの方が四面体サイトよりも大きいため、八面体サイトのみに水素が入ると考えられていた。Machida *et al.* (2014) は PLANET ビームラインの圧姫プレスを用いて、高温高圧条件で鉄に重水素を取り込ませ、fcc 構造を持つ鉄重水素化物の中性子回折パターンを測定した¹¹⁾。中性子回折実験を行う際は、軽元素の非干渉性散乱に起因するバックグラウンドの情報を避けるため、重水素置換した



O site (八面体サイト)
T site (四面体サイト)

図5 fcc 構造の鉄重水素化物の結晶構造

重水素は、6個の鉄原子に囲まれた八面体サイト (O site) と4個の鉄原子に囲まれた四面体サイト (T site) の2種類の空隙サイトに入りうる。

試料を用いるのが一般的である。得られた中性子回折パターンをリートベルト解析した結果、988 K, 6.3 GPa の条件で重水素が fcc 鉄の八面体サイトと四面体サイトにそれぞれ占有率 0.532 (9) と 0.056 (5) で取り込まれること、そして重水素原子1個あたりの fcc 鉄の体積膨張は 2.21 \AA^3 となることが示された。鉄中の水素原子の占有率と水素誘起体積膨張は、高温高圧下での中性子回折によってのみ求めることができる。Machida *et al.* (2014) の実験条件は 325 GPa 以上もある内核の圧力と比べるとはるかに低いため、内核に含まれる水素の量を直接的に議論することはできないが、高温高圧状態で鉄中に取り込まれる水素の量と空隙サイトを明らかにできたことは大きな進歩である。

圧姫を用いて実際の地球進化を模擬した中性子回折実験も進められている。Iizuka-Oku *et al.* (2017) は鉄、二酸化ケイ素、重水素化した水酸化マグネシウムを出発試料として、約 5 GPa に加圧した状態で徐々に温度を 1000 K まで上げ、水酸化マグネシウムから脱水した重水と固体の鉄が反応して鉄水素化物が生成する過程を中性子回折測定によってその場観察することに成功した。この結果は、地球核とマントルが分かれる地球形成の初期に、水素が他の軽元素に先駆けて固体状態の鉄に溶け込んだ可能性を示唆している。さらに、鉄、水素に加えて硫黄を加えた三元系での実験も報告され、水素と硫黄が地球形成の初期段階で優先して固体の鉄と反応した後に、他の軽元素が鉄に溶けこみやすくなった可能性が示された¹³⁾。

ダイヤモンドアンビルセルを用いることで地球中心部の圧力 (360 GPa) に到達している放射光利用の X 線回折実験とは対照的に、大きな試料体積を必要とする中性子回折実験における到達圧力は高くない。J-PARC MLF の圧姫を用いた到達可能な圧力は 10 GPa を超える程度となっている。さらに高い圧力における高温高压実験を実現するための技術開発が進められていて、川合型のマルチアンビルセルアセンブリを用いることにより、室温条件で 23.1 GPa, 973 K で 16.2 GPa の圧力発生が報告されている¹⁴⁾。

4・2 含水鉱物の高压下での挙動_水素がマントル物性に及ぼす影響

マントルを構成する鉱物中に無視できない量の水素が OH イオンとして取り込まれうることが高温高压実験から示されたが、マントル由来の天然試料からそのような高压鉱物が発見されることはなかった。2014 年にマントル遷移層由来の天然ダイヤモンドの包有物として水濃度で 2 wt.% に相当する OH イオンを含む Ringwoodite (マントル遷移層に存在する鉱物) が発見され、実際に地球深部の鉱物に OH イオンが含まれる直接的な物証が示された¹⁵⁾。地球内部の高压条件で地球深部を構成する鉱物に OH イオンがどのような構造で取り込まれるかは、地球内部物性を考察する上で重要な問題である。言い換えれば、鉱物中での水素結合が高压下でどのように変化するかが重要な問題となる。

図 6 に水素結合の圧力応答について概要を示す。常圧では水素原子は一つの酸素原子と共有結合を、もう一つの酸素原子とは水素結合を形成している。圧力の増加とともにポテンシャルの形状が変化し、最終的には水素原子が二つの酸素原子の midpoint に位置し、二つの結合が等価になる水素結合の対称化が起こる。赤外吸収スペクトルの観察から、約 60 GPa 以上で出現する氷の高压相 X では水素結合が対称化していることが報告された¹⁶⁾。OH イオンを取り込んだ地球深部鉱物についても同様に水素結合の対称化が起こると考えられる。下部マントルの温度圧力条件で安定に存在できる δ -AlOOH の高压下での構造変化が第一原理計算によって予測され、28 GPa で水素結合の対称化が起こり体積弾性率 (非圧縮率) が約 20 % 増加する、つまり圧縮されにくくなることが示された。水素結合の対称化は中性子回折実験によって直接的に観察することが原理的には可能であるが、対称化が起こりうる高压領域での中性子回折実験はきわめて困難であった。J-PARC BL11 において焼結ダイヤモンド製のアンビルを Paris-Edinburgh プレスに装着して、 δ -AlOOH (実際には重水素置換体の δ -AlOOD) の水素結合対称化が室温下 18 GPa で観測された¹⁸⁾。この論文が出版されるまで水素結合の対称化は間接的な手法による観察にとどまっていたが、大強度

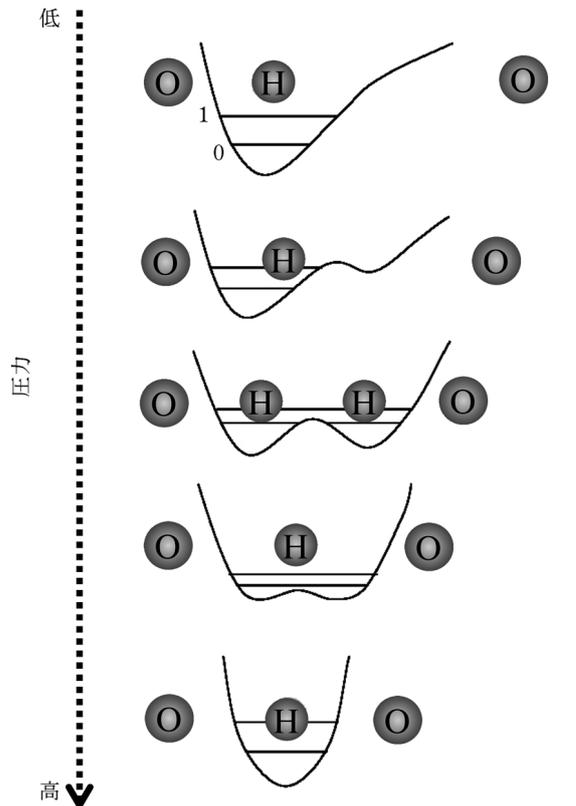


図 6 水素結合の圧力応答

低圧条件では水素原子は一つの酸素原子と共有結合 (左側の O-H 結合) を、もう一つの酸素原子とは水素結合 (右側の H-O 結合) を形成する。圧力の増加とともに結合のポテンシャルが変化し、高压下では水素原子と二つの酸素原子との結合が等価となり、水素結合の対称化が起こる (水素結合と共有結合が一体となる)。

のパルス中性子を用いることで超高压条件での中性子回折実験が実現し、高压下における水素結合の対称化を直接観察することが可能となった。今後は地球深部での高温高压条件での中性子回折実験による水素結合対称化の観察が期待される。

4・3 氷の高压相の結晶構造と性質

氷は単純な構造を持つ水分子が水素結合によって配列した結晶であるが、水素結合ネットワークの多様性によって、温度圧力条件に応じて少なくとも 20 種類もの多形がある。氷の結晶構造を解明するためには水素原子の位置を決定する必要があるため、中性子回折実験が必須となる。氷の相図をみると、室温以下かつ 10 GPa 以下の温度圧力範囲に多くの多形が存在する。氷の研究のためには超高压を発生するよりも低温を含む温度領域で自在に温度を制御して中性子回折測定を行うことが求められる。先に述べた Mito system の開発によって、氷の研究が大きく発展した。

日常的に見られる氷は氷 I_h と呼ばれ、六方晶系の対称性をもつ。一方、水分子の積層の仕方が異なって立方晶系の対称性を持つ氷 I_c も存在することが知られてい

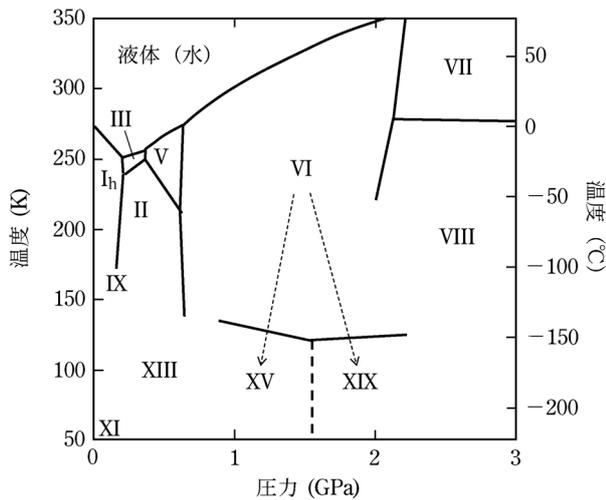


図7 氷の相図

我々の日常生活で目にする氷は I_h 相。室温条件で水に圧力をかけると出現する氷 VI 相は水素が無秩序状態である。氷 VI 相の秩序相は XV と XIX 相（今回発見された新たな氷の高圧相）の2種類が存在する。これまで氷の無秩序相に対応する秩序相はそれぞれ一つずつと考えられていた。

るが、これまで報告されてきた氷 I_c は例外なく積層不整があつて、完全な氷 I_c の存在は確認されていなかった。Mito system 中で氷 I_c と同じ水分子のフレームワークを持つ水素ハイドレートの高圧相 C2 を合成したのちに、低温下で脱圧することで、水分子のフレームワークを保ったまま水素分子のみを取り去り、積層不整のない氷 I_c を合成することに成功した¹⁹⁾。積層不整のない氷 I_c の生成が可能になったことで、今後は氷 I_c の性質が明らかになっていくだろう。

最近になって、低温高圧下の誘電率測定と中性子回折測定を併用することで、新たな氷の多形である氷 XIX が発見された²⁰⁾。図7に新たに発見された氷 XIX 相も含む氷の相図を示す。氷 XIX は、常温の水を加圧して最初に出現する氷 VI を -150°C 程度まで冷却すると得られる。氷 VI の酸素原子の位置は周期的に規則正しく並んでいるものの、水素原子は隣接する四つの水分子のうち二つと水素結合を作りながらバラバラに配置している。このような水分子の配向がバラバラな氷は無秩序相と呼ばれ、温度を下げることで水分子全体が互いに特定方向へと再配向し、水素が秩序化した氷 XIX へと相転移する。これまで秩序化の仕方は、それぞれの無秩序相に対して一通りしかないと考えられていたが、氷 XIX は氷 VI の2番目の秩序相であり、氷の秩序化の仕方が複数存在することが初めて示された。理論計算により他の氷の多形でも複数の秩序相の存在する可能性が指摘されており、今後さらなる氷の構造・物性の多様性を見出されることが期待される。

5 今後の展望

本稿では J-PARC MLF BL11 (PLANET) での高圧中性子回折実験に基づいた地球化学関連の研究例を中心に紹介した。既に述べたとおり、中性子回折にはミリメートルオーダーの比較的大きな試料を必要とするため、地球核に相当するような超高压条件での実験はまだ実現できていない。100 GPa オーダーの高圧条件での中性子回折を行うために中性子回折用のダイヤモンドアンビルセルの開発も進められている。今後、圧力上限がさらに高まることで、地球深部・惑星深部における軽元素に関連した研究が大きく発展していくだろう。

文献

- 1) D. J. Frost : *Elements*, **4**, 171 (2008).
- 2) A. E. Ringwood : *Geochem. J.*, **11**, 111 (1977).
- 3) E. Ohtani : *Chem. Geol.*, **418**, 6 (2015).
- 4) F. Birch : *J. Geophys. Res.*, **57**, 227 (1953).
- 5) K. Yamashita, K. Komatsu, T. Hattori, S. Machida, H. Kagi : *Acta Cryst.*, **C75**, 1605 (2019).
- 6) T. Hattori, A. Sano-Furukawa, H. Arima, K. Komatsu, A. Yamada, Y. Inamura, T. Nakatani, Y. Seto, T. Nagai, W. Utsumi, T. Iitaka, H. Kagi, Y. Katayama, T. Inoue, T. Otomo, K. Suzuya, T. Kamiyama, M. Arai, T. Yagi : *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. A*, **780**, 55 (2015).
- 7) A. Sano-Furukawa, T. Hattori, H. Arima, A. Yamada, S. Tabata, M. Kondo, A. Nakamura, H. Kagi, T. Yagi : *Rev. Sci. Instrum.*, **85**, 113905 (2014).
- 8) K. Komatsu, M. Moriyama, T. Koizumia, K. Nakayama, H. Kagi, J. Abe, S. Harjo : *High Press. Res.*, **33**, 208 (2013).
- 9) S. Klotz, T. Hansen, E. Lelièvre-Berna, L. Amand, J. Maurice, C. Payre : *J. Neutron Res.*, **21**, 117 (2019).
- 10) S. Tateno, K. Hirose, Y. Ohishi, Y. Tatsumi : *Science*, **330**, 359 (2010).
- 11) A. Machida, H. Saitoh, H. Sugimoto, T. Hattori, A. Sano-Furukawa, N. Endo, Y. Katayama, R. Iizuka, T. Sato, M. Matsuo, S. Orimo, K. Aoki : *Nat. Commun.*, **5**, 5063 (2014).
- 12) R. Iizuka-Oku, T. Yagi, H. Gotou, T. Okuchi, T. Hattori, A. Sano-Furukawa : *Nat. Commun.*, **8**, 14095 (2017).
- 13) R. Iizuka-Oku, H. Gotou, C. Shito, K. Fukuyama, Y. Mori, T. Hattori, A. Sano-Furukawa, K. Funakoshi, H. Kagi : *Sci. Rep.*, **11**, 12632 (2021).
- 14) A. Sano-Furukawa, S. Kakizawa, C. Shito, T. Hattori, S. Machida, J. Abe, K. Funakoshi, H. Kagi : *High Press. Res.*, **41**, 65 (2021).
- 15) D. G. Pearson, F. E. Brenker, F. Nestola, J. McNeill, L. Nasdala, M. T. Hutchison, S. Matveev, K. Mather, G. Silversmit, S. Schmitz, B. Vekemans, L. Vincze : *Nature*, **507**, 221 (2014).
- 16) K. Aoki, H. Yamawaki, M. Sakashita, H. Fujihisa : *Phys. Rev. B*, **54**, 15673 (1996).
- 17) J. Tsuchiya, T. Tsuchiya, S. Tsuneyuki, T. Yamanaka : *Geophys. Res. Lett.*, **29**, 1909 (2002).
- 18) A. Sano-Furukawa, T. Hattori, K. Komatsu, H. Kagi, T. Nagai, J. J. Molaison, A. M. dos Santos, C. A. Tulk : *Sci. Rep.*, **8**, 15520 (2018).

- 19) K. Komatsu, S. Machida, F. Noritake, T. Hattori, A. Sano-Furukawa, R. Yamane, K. Yamashita, H. Kagi: *Nat. Commun.*, **11**, 464 (2020).
- 20) R. Yamane, K. Komatsu, J. Gouchi, Y. Uwatoko, S. Machida, T. Hattori, H. Ito, H. Kagi: *Nat. Commun.*, **12**, 1129 (2021).



鍵 裕之 (Hiroyuki Kagi)

東京大学大学院理学系研究科 (〒113-0033 文京区本郷 7-3-1)。東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程中途退学。博士 (理学)。《現在の研究テーマ》地球深部における軽元素の挙動、高圧下での物質の構造変化など。《趣味》ランニング、サイクリングなど
E-mail: kagi@eqchem.s.u-tokyo.ac.jp

ダイオキシン類分析用標準物質頒布のお知らせ

『ダイオキシン類・PCB 同族体分析用 海域底質標準物質 低濃度 (JSAC 0451), 高濃度 (JSAC 0452)』

底質中の塩化ジベンゾジオキシン (PCDD) と塩化ジベンゾフラン (PCDF) の異性体 17 種, ジオルト体を除くコプラナー PCB12 種, 及び 1 塩素化~10 塩素化までの各塩素数ごとの PCB 同族体 10 種の含有率を認証した標準物質です。認証値は, JSAC 0451 (低濃度) では, PCDD/PCDF 異性体 17 種合計で 14.17 pg TEQ/g, CoPCB12 種合計で 2.87 pg TEQ/g, PCB 合計は 87.4 ng/g, JSAC 0452 (高濃度) では, PCDD/PCDF 異性体 17 種合計で 58.9 pg TEQ/g, CoPCB12 種合計で 16.66 pg TEQ/g, PCB 合計は 634 ng/g です。頒布価格: 60 g 瓶入り各 1 本につき本会団体会員のみ 105,000 円, その他は 157,500 円 (送料込み)。

『ダイオキシン類・PCB 同族体分析用 河川底質標準物質 低濃度 (JSAC 0431), 高濃度 (JSAC 0432)』

底質中の塩化ジベンゾジオキシン (PCDD) と塩化ジベンゾフラン (PCDF) の異性体 17 種, ジオルト体を除くコプラナー PCB (CoPCB) 12 種, 及び 1~10 塩素化までの各塩素数ごとの PCB 同族体 10 種の含有率を認証した標準物質です。認証値は, JSAC 0431 (低濃度) では, PCDD/PCDF 異性体 17 種合計で 45.1 pg TEQ/g, CoPCB12 種合計で 9.2 pg TEQ/g, PCB 合計は 1003 ng/g, JSAC 0432 (高濃度) では, PCDD/PCDF 異性体 17 種合計で 63.7 pg TEQ/g, CoPCB12 種合計で 13.9 pg TEQ/g, PCB 合計は 1530 ng/g です。頒布価格: 60 g 瓶入り各 1 本につき本会団体会員のみ 105,000 円, その他は 157,500 円 (送料込み)。

『ダイオキシン類分析用フライアッシュ標準物質 高濃度 (JSAC 0501), 低濃度 (JSAC 0502)』

フライアッシュ中の塩化ジベンゾジオキシン (PCDD), 塩化ジベンゾフラン (PCDF) 及びコプラナー PCB (CoPCB) の含有率を認証した標準物質です。認

証値は PCDD 及び PCDF の異性体 17 種ならびに CoPCB12 種に対して, また PCDD/PCDF について塩素数 4 ないし 8 までの塩素数ごとの同族体について設定されています。JSAC 0501 では PCDD/PCDF 異性体 17 種合計で 2.58 ng TEQ/g, CoPCB12 種合計は 0.02 ng TEQ/g, JSAC 0502 ではそれぞれ 0.93 ng TEQ/g, 0.0172 ng/TEQ/g です。頒布価格: 50 g 瓶入り 1 本につき本会団体会員のみ 105,000 円, その他は 157,500 円 (送料込み)。

『ダイオキシン類分析用土壌標準物質

低濃度 (JSAC 0421), 高濃度 (JSAC 0422)』

土壌中の塩化ジベンゾジオキシン (PCDD), 塩化ジベンゾフラン (PCDF) 及びコプラナー PCB (CoPCB) の含有率を認証した標準物質です。認証値は PCDD 及び PCDF の異性体 17 種ならびに CoPCB12 種に対して, また PCDD/PCDF について塩素数 4 ないし 8 までの塩素数ごとの同族体について設定されています。JSAC 0421 では PCDD/PCDF 異性体 17 種合計で 37.8 pg TEQ/g, CoPCB12 種合計は 4.1 pg TEQ/g, JSAC 0422 ではそれぞれ 112 pg TEQ/g, 11.8 pg/TEQ/g です。頒布価格: 60 g 瓶入り 1 本につき本会団体会員のみ 105,000 円, その他は 157,500 円 (送料込み)。

*その他の標準物質につきましては下記申込先までお問合せください。

申込方法 希望標準物質名, 氏名 (会員の場合は会員番号), 所属, 電話番号, 送付先, 請求書宛名を明記の上, 下記にお申込下さい。なお, 価格は送料込みです。
申込先 〒141-0031 東京都品川区西五反田 1-26-2 五反田サンハイツ 305 号 日本分析化学会標準物質係 [電話: 03-3490-3351, FAX: 03-3490-3572, E-mail: shomu@jsac.or.jp]