

令和 6 年 6 月 4 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00201

研究課題名（和文）核-マントル境界におけるケイ酸塩マグマの超高压構造転移の解明

研究課題名（英文）Ultra-high pressure structural change in silicate magma at pressures near the core-mantle boundary

研究代表者

河野 義生 (Kono, Yoshio)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・准教授

研究者番号：20452683

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、独自に開発した対向型二段式大容量セルを用いた高压下動径分布関数測定により、過去の研究よりも高いQ範囲までの構造因子[S(Q)]測定を可能にし、高压下におけるSi-O配位数変化を精度よく決定した。その結果、マントル深部に相当する圧力95GPa以上において、マグマのアナログ物質であるSiO₂ガラスは6配位以上の超高压構造へ変化することを解明した。さらに、高品質なS(Q)測定結果と、分子動力学シミュレーション、逆モンテカルロモデリングを組み合わせることにより、高压下においてSiO₂ガラスの構造を精密に解析することにも成功し、高压下におけるケイ酸塩マグマの構造変化の理解を大きく進展させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、地球のマントル深部の圧力下において、ケイ酸塩マグマの構造はSi-O配位数6以上の超高压構造に変化することを明らかにし、6配位構造を持つマントル鉱物よりも高密度な構造に変化することを提案した。このマグマの超高压構造変化とそれに伴う高密度化が核-マントル境界に存在する高密度マグマの形成要因になっていることが考えられ、地球内部におけるマグマダイナミクスとそれに伴う物理化学現象を議論する上で重要な知見を創出した。さらに、本研究で開発した高精度の高压下動径分布関数測定は、地球科学のマグマ研究だけでなく、物理学・材料科学など幅広い分野における液体・ガラスの構造研究にも貢献すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Combination of ultrahigh pressure experiment using opposed type double stage cell and pair distribution function measurement enabled us to determine X-ray structure factor [S(Q)] at much wider range of Q compared to previous studies. The new experiment enabled us to precisely determine Si-O coordination number of SiO₂ glass at in situ high pressure conditions. The results revealed occurrence of ultrahigh pressure structural change accompanied with the Si-O coordination number change to more than six at ~95 GPa. In addition, precise measurement of S(Q) by using newly developed high pressure pair distribution function measurement setup, combined with molecular dynamics simulation and reverse Monte Carlo modelling, enabled us to conduct detailed structural analysis of SiO₂ glass at high pressure conditions. These new experiments advance understanding of the structural change of silicate magmas at high pressure conditions of the Earth's interior.

研究分野：高压地球科学

キーワード：高压 マグマ ガラス 非晶質構造

1. 研究開始当初の背景

マントル深部におけるケイ酸塩マグマの存在は、核-マントル境界における化学反応や熱輸送、ホットブルームの形成などの、マントル深部の化学的進化とダイナミクスに大きな影響を及ぼしていると考えられている。このようなマグマの状態・挙動を理解する上で、高圧下におけるケイ酸塩マグマの構造の変化を理解することは重要である。しかしながら、鉱物の高圧実験と比べて、液体(非晶質)であるマグマやそのアナログ物質であるガラスの構造測定を高圧下で行うことは実験技術的に非常に困難であり、高圧下におけるケイ酸塩マグマの構造変化の理解は乏しい状況であった。

2010年以降、高圧下においてガラスの構造測定を行うための技術開発が、特に、海外(アメリカ、フランス)の放射光 X 線施設で活発になり、室温高圧下においてケイ酸塩マグマのアナログ物質である SiO₂ ガラスの Si-O 配位数変化を伴う圧力誘起構造変化の研究が盛んに行われてきた。その結果、Si-O 配位数変化に伴う高密度化が、地球内部において密度の高いケイ酸塩マグマを形成する要因であることが議論されてきた。しかしながら、過去の実験結果には大きな不一致があり、圧力誘起の Si-O 配位数変化の理解は不十分なまま残されている問題があった。例えば、Sato and Funamori (2010)では、圧力約 10-35 GPa の間において、Si-O 配位数は 4 配位から 6 配位に増加し、その後圧力 102 GPa までは Si-O 配位数 = 6 で一定であると報告されている。一方、Prescher et al. (2017)では、4 配位-6 配位転移については、Sato and Funamori (2010)と似た 15-50 GPa の圧力で起こることを報告しているが、Prescher et al. (2017)では 50 GPa 以上の高圧下において連続的に 6 配位以上の Si-O 配位数に変化することを報告している。一方、Petitgirard et al. (2019)では、Si-O 配位数の 4 配位-6 配位転移自体がより高い圧力である 70 GPa まで続くことを報告しており、少なくとも圧力 140 GPa までの条件下では 6 配位以上の Si-O 配位構造にならないとしている。このように、これまでの実験研究では Si-O 配位数変化が起こる圧力に大きな不一致があり、この不一致が地球のマントル深部におけるマグマの構造転移と高密度化を議論する上で大きな問題となっていた。

過去の研究における Si-O 配位数結果の不一致の原因として、実験精度の問題が考えられる。高圧下における SiO₂ ガラスの Si-O 配位数の決定には X 線動径分布関数測定が主に用いられているが、X 線動径分布関数測定において、正確な配位数の決定には 15 Å⁻¹ 以上の高い Q (=4πE/12.3984×sinθ, E: X 線のエネルギー, θ: 回折角)範囲での X 線構造因子[S(Q)]測定が必要であり、測定 Q 範囲の減少とともに急激に誤差が大きくなることが報告されている。一方、SiO₂ ガラスの超高压実験における X 線構造測定の Q 範囲の多くは 10 Å⁻¹ 以下の非常に小さい範囲に限定されており、これらの実験における Si-O 配位数結果は不確実性が大きい問題があると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、研究代表者が独自に開発した対向型二段式大容量セルを用いた大試料の超高压実験と組み合わせた X 線動径分布関数測定により、超高压下において高い Q 範囲までの S(Q)測定を可能にし、SiO₂ ガラスの Si-O 配位数を正確に決定することで、高圧下における Si-O 配位数変化を明らかにすることを目的とする。さらに、高圧その場環境下において、高精度の S(Q)測定を行うことが可能な動径分布関数測定システムを新たに開発し、分子動力学シミュレーションや逆モンテカルロモデリングなどの精密構造解析手法と組み合わせることで、一気圧下の研究で行われているようなガラスの精密構造解析を高圧下でも可能にし、高圧下におけるケイ酸塩ガラスの圧力誘起構造変化の詳細の理解を目指す。

3. 研究の方法

高圧実験はパリ-エジンバラ型プレス装置を用いて行った。通常超硬アンビルを用いたパリ-エジンバラセル実験に加えて、パリ-エジンバラセル内部に二段目加圧用のダイヤモンドアンビルを挿入した対向型二段式大容量セルを用いることにより、地球のマントル深部に相当する超高压下での実験を行った。ガラスの動径分布関数測定は、すでに測定手法が開発されているアメリカの放射光 X 線施設 Advanced Photon Source(APS)の 16-BM-B ビームラインの多角度エネルギー分散型 X 線回折測定を利用するとともに、より高精度の高圧下動径分布関数測定を行うための新たな測定システムの開発を日本の放射光 X 線施設 SPring-8 で行った。本研究では、主に以下の 3 種類の実験を行った。(1)研究代表者が独自に開発した対向型二段式大容量セルによる大試料の超高压実験と、APS の 16-BM-B ビームラインにおける既存の動径分布関数測定を組み合わせた測定、(2)SPring-8 の BL37XU・BL05XU ビームラインにおいて、高圧その場環境下において高精度のガラスの構造測定を行うための多連検出器回折計の開発を行い、新たに開発した高精度の高圧下動径分布関数測定システムを用いた高品質な S(Q)測定を基に、高圧下におけるガラスの精密構造解析の開発、(3)新たに開発した高精度の高圧下動径分布関数測定システムと対向型二段式大容量セルを組み合わせた超高压下かつ高精度のガラスの構造測定、を行った。

4. 研究成果

(1) 研究代表者が独自に開発した対向型二段式大容量セルを用いることにより、これまでの超高压実験で使用されていたダイヤモンドアンビルセルよりも 100 倍以上大きいサイズの試料を用いて、100 GPa 以上の超高压実験を行うことが可能になった(Kono et al., 2020a)。この大試料の超高压実験と、APS の 16-BM-B ビームラインにおける既存の動径分布関数測定を組み合わせ合わせた実験により、超高压下における SiO₂ ガラスの構造測定を行った。その結果、圧力最大 120 GPa の超高压下において、Q 範囲約 15 Å⁻¹ にわたる X 線構造因子 [S(Q)] を測定することに成功した(Kono et al., 2020b)。これは、これまでのダイヤモンドアンビルセルを用いた測定では Q 範囲が 10 Å⁻¹ 以下に限定されていたことに比べて、大きな進展であり、S(Q) をフーリエ変換して得られる動径分布関数結果の精度が向上し、より正確に Si-O 配位数を決定することが可能となった。その結果、SiO₂ ガラスの Si-O 配位数は、圧力 10 GPa 以上の高圧下において徐々に 4 から 6 に増加し、圧力 54 GPa から 83 GPa において Si-O 配位数=6 で一定となる。そして、その後、圧力 95 GPa 以上の超高压下において SiO₂ ガラスの Si-O 配位数は 6 以上に変化することが明らかとなった(図 1)。

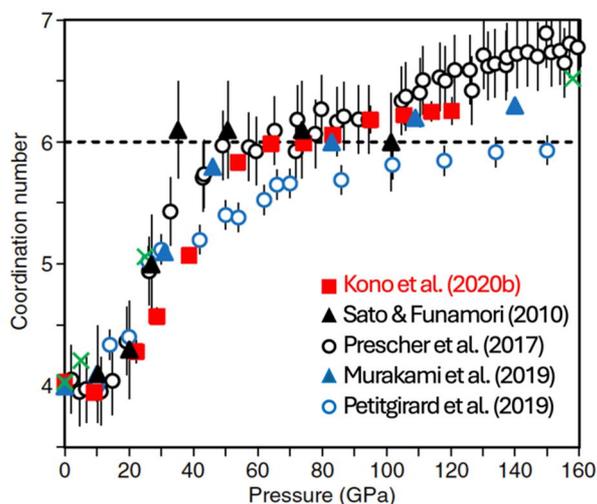


図1. 高圧下におけるSiO₂ガラスのSi-O配位数変化。

本研究の結果は、全体的に Sato and Funamori (2010)、Prescher et al. (2017)の結果と誤差の範囲内で一致している。一方、Petitgirard et al. (2019)の結果は、本研究やこれまでの他の研究結果と比べて、同じ圧力下で明らかに低い Si-O 配位数値であることが分かった。本研究において、高 Q 範囲までの S(Q)測定から Si-O 配位数変化を精度よく決定することにより、圧力 95 GPa 以上の高圧下において、SiO₂ ガラスは Si-O 配位数が 6 配位以上の高密度構造に変化することが明らかとなった。ケイ酸塩マグマのアナログ物質である SiO₂ ガラスにおいて得られたこれら結果から考えると、地球の下部マントル深部の圧力条件下(核-マントル境界の圧力=135 GPa 以下)において、ケイ酸塩マグマの構造は 6 配位以上の高密度構造に変化することが予想される。下部マントルの主要構成鉱物である Bridgmanite は 6 配位の Si-O 配位構造を持つことを考えると、ケイ酸塩マグマの Si-O 配位数が 6 配位以上の構造に変化するという事は、鉱物よりも高密度な構造を持つマグマに変化する可能性を示している。すなわち、このようなケイ酸塩マグマにおける 6 配位以上の高配位構造への変化が、地球の核-マントル境界に存在する高密度マグマの形成要因となっていると考えられる。この成果は、高インパクトファクター雑誌である Physical Review Letters 誌に出版され(Kono et al., 2020b)、さらにその後、国際会議(10th Asian Conference on High Pressure Research)での招待講演依頼を受けるなど、注目される研究となった。

(2) 本研究において、さらに精密なガラスの構造解析を高圧その場環境下で行うことを目指し、日本の放射光 X 線施設 SPring-8 において新たに多連検出器回折計の開発を行った。1 気圧下における測定と異なり、高圧その場環境下における液体・ガラスの動径分布関数測定に最も重要な問題は、試料周りの高圧実験セル構成物質からのバックグラウンドを避け、液体・ガラスからの弱い散乱のみに焦点を当てた精密な測定を達成することである。新たに開発した多連検出器回折計システムでは、スリット幅 40 μm のコリメーションスリットを可能な限り試料直近位置となるように高圧プレスの開口部まで挿入することにより(図 2)、2θ角度=2°の低角においても試料位置でのコリメーション幅=1.4 mm の非常に限定された領域からの散乱のみを測定する高精度のコリメーションスリットシステムを開発した。

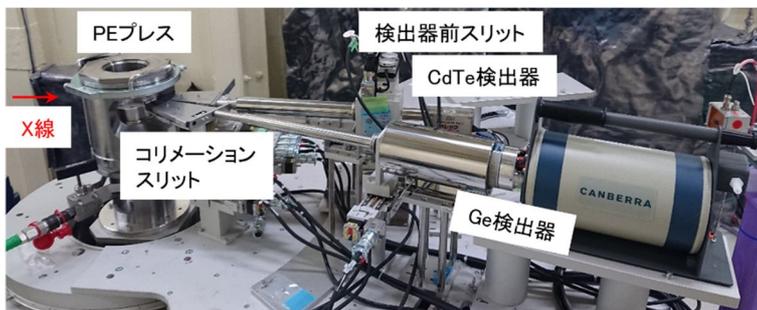


図2. SPring-8のBL05XUビームラインにおいて開発した高圧下でのガラスの動径分布関数測定セットアップ。

この新たに開発した高圧下動径分布関数測定システムを用い、1 気圧から圧力 6.0 GPa の高圧下において SiO₂ ガラスの精密構造測定を行った。実験は、SPring-8 の BL05XU・BL37XU ビームラインで行った。エネルギー40 keV の X 線を用い、SiO₂ ガラスの S(Q)測定は、ポイント型検出器を用いたスキャン式の X 線回折測定により行った。BL37XU ビームラインでは 2θ角度 1°-60°

範囲、BL05XU ビームラインでは 2θ 角度 1° - 70° 範囲での測定を行うことにより、それぞれ Q 範囲 19 \AA^{-1} 、 20 \AA^{-1} までの高 Q 範囲にわたる $S(Q)$ を高圧下その場で測定することに成功した(Kono et al., 2022)。この実験では、(1)の研究で報告した結果よりもさらに高い Q 範囲における測定に成功しており、1 気圧下でのガラスの構造測定と同等のデータを高圧その場環境下で得ることが可能になった。

さらに、高精度の高圧下動径分布関数測定により得られた SiO_2 ガラスの $S(Q)$ 測定結果を基に、高圧その場環境下における SiO_2 ガラスの精密構造解析を行なった。近年、1 気圧下における非晶質物質の構造研究では、実験により得られた $S(Q)$ データを基に、分子動力学(MD)シミュレーションと組み合わせた逆モンテカルロ(RMC)モデリングによる非晶質構造の解析(MD-RMC 解析)により、非晶質物質の構造の詳細についての理解が進んできている。本研究において、高圧その場環境下における実験により得られた高品質な SiO_2 ガラスの $S(Q)$ 結果を基に、MD-RMC 解析を行うことにより、高圧下における SiO_2 ガラスの構造モデルの構築に成功した。そして、構築した構造モデルを用い、高圧下における SiO_2 ガラスの構造解析を行った。特に、理論研究により提案されている構造パラメータ z (ある Si 原子から 5 つ目に近い Si 原子までの距離と 4 つ目に近い O 原子までの距離の差を表すパラメータ) を用いた解析により、この構造パラメータ z の分布が高圧下において二峰性分布を示すことを初めて実験的に明らかにした(図 3)。重要な点として、高圧実験後回収した SiO_2 ガラスの 1 気圧下での構造解析では、このような二峰性分布は得られておらず(Onodera et al., 2020)、高圧その場環境下における高精度の構造解析の重要性を示している。

本研究における実験と MD-RMC 解析により得られた構造パラメータ z の二峰性分布は、 SiO_2 液体の理論研究において報告されているものと良好一致を示した。 SiO_2 ガラスにおける構造パラメータ z の分布は、低圧下においては高い z 値のみの一つの分布を示すのに対し、高圧下においては z 値 = 約 1.7 \AA の分布が増加し、二峰性分布を示す(図 3)。低圧下の SiO_2 ガラスにおける高い z 値の分布は、近接の 4 つの Si 原子が四面体構造を成す構造を示しており、5 つ目に近い Si 原子は第一殻の 4 つの Si 原子とは大きく離れた位置に存在している。この構造は SiO_2 液体の理論研究により報告されている S 状態の構造と同じ構造であることが分かった。一方、高圧下において出現する z 値 = 約 1.7 \AA の分布は、5 つ目の Si 原子が第一殻の 4 つの Si 原子と同じ位置まで接近し、四面体性が失われた乱れた構造を表している。このように、高圧下その場における精密構造解析により、 SiO_2 ガラスは 1 気圧から低圧下では四面体性の高い S 状態構造から主に成る一方、高圧下では四面体性が崩れ、S 状態構造の割合が大きく低下することを初めて実験的に明らかにすることに成功した。理論研究により、この高い四面体性を持つ S 状態の割合の変化が、 SiO_2 液体における高温高圧下での異常特性の要因であることが提案されており、本研究で得られた高圧下における SiO_2 ガラスの四面体対称性の崩れは、 SiO_2 ガラスの高圧下における異常弾性挙動の構造的起源となっていると考えられる。この研究成果は、高インパクトファクター雑誌である Nature Communications 誌に出版され(Kono et al., 2022)、さらにその後、2 件の国際会議(11th International Workshop on Warm Dense Matter, 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems)での招待講演を受けるなど高い評価を受けている。

加えて、本研究で開発した高精度の高圧下動径分布関数システムを用い、次世代の放射光 X 線実験に向けた技術開発も推進することにより、幅広い科学技術分野や産業での利用に向けた実験手法の普及も推進した。SPring-8 の BL05XU ビームラインでは、次世代の放射光 X 線測定の主要要素技術の一つである高エネルギーピンクビームを用いた新しい放射光実験の開発を推進しており、その高エネルギーピンクビームを用いた高圧下における液体・ガラスの動径分布関数測定の開発を行った。100 keV の高エネルギー X 線を使用することにより、さらに高い Q 範囲までの $S(Q)$ 測定が可能になり、 20 - 29 \AA^{-1} の高 Q 範囲にわたる高品質な $S(Q)$ 測定が高圧その場環境下で可能となった。これは、従来の高圧研究における $S(Q)$ 測定の 2 倍以上の Q 範囲である。この開発した測定技術は、地球科学におけるマグマ研究のみでなく、物理学や材料科学における液体・非晶質物質の構造解析に新しい展開をもたらすと期待されている。その一例として、材料科学研究者との共同研究により、テルル化ゲルマニウム、セレン化ゲルマニウムガラスの高圧構造

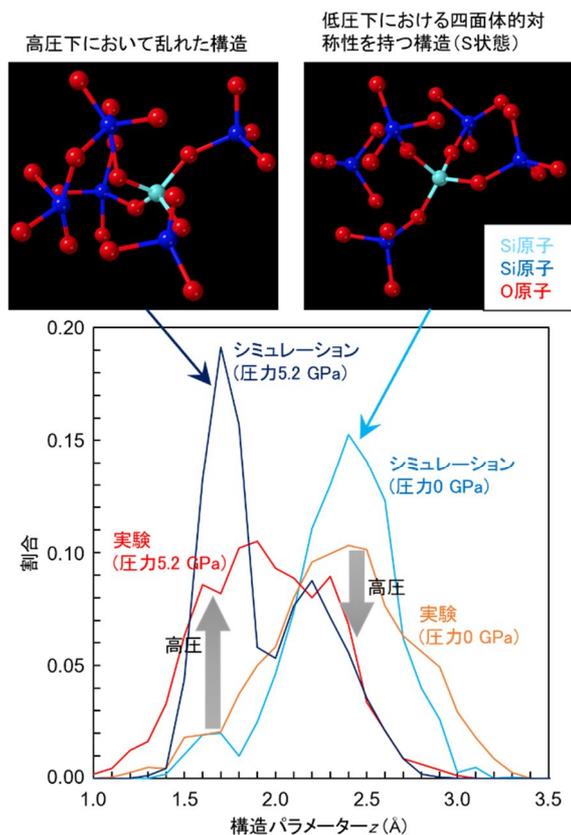


図3. SiO_2 ガラスの構造的特徴と高圧下におけるその割合の変化。

測定研究を行った(Fujita et al., 2022)。高精度の高圧下動径分布関数測定の結果、圧力の増加に伴い、テルル化ゲルマニウム中のパイエルズ様歪が次第に抑制され、大気圧下と比べて約 20 %以下に達すると体積弾性率が大きく増加することが分かった。さらに、より強い歪を示すセレン化ゲルマニウムにおいても、同様の変化がテルル化ゲルマニウムよりも高い圧力下で観察され、歪の抑制と観察されたガラスの相転移の間に有意な相関が見られた。これらの実験結果は分子動力学シミュレーションによっても再現され、ガラスの相転移前後の原子配列がパイエルズ様歪の有無によって特徴づけられることが明確に裏付けられた。この成果についても、高インパクトファクター雑誌である *Nature Communications* 誌に出版されており(Fujita et al., 2022)、本研究で開発した高精度の高圧下動径分布関数システムは、幅広い科学技術分野において有用かつ高いインパクトを与えることを示す成果である。

(3)さらに我々は、(2)で開発した高精度の高圧下動径分布関数システムと、(1)で使用した対向型二段式大容量セルを組み合わせることで、超高圧下において SiO₂ ガラスの精密な構造解析を行うための実験も行った。実験は SPring-8 の BL37XU ビームラインで行い、BL37XU における KB ミラーを用いた集光技術により、約 10 μm サイズに集光した X 線を用いた SiO₂ ガラスの高圧下動径分布関数測定を行った。その結果、圧力 46 GPa の超高圧下において 20 Å⁻¹ までの高 Q 範囲にわたる SiO₂ ガラスの S(Q)を測定することに成功した。この高品質な実験結果を基に、さらに MD-RMC 解析を行い、超高圧下における SiO₂ ガラスの構造のモデル化にも成功した。実験+MD-RMC 解析により構築した構造モデルを用い、超高圧下における SiO₂ ガラスの精密構造解析を行った結果、Si-O 配位数変化と構造パラメーター_z や他の構造パラメーターに相関を得ることに成功した。このような構造パラメーターの相関関係は、高圧下における Si-O 配位数変化を引き起こすメカニズムを理解する鍵となると考えており、超高圧下における Si-O 配位数変化を引き起こす圧力誘起構造変化のメカニズムの理解が進むと考えられる。

以上のように、本研究では、研究代表者が独自に開発した対向型二段式大容量セルによる大試料の超高圧実験と既存の動径分布関数測定を組み合わせた高圧下動径分布関数測定を行うだけでなく、新しく SPring-8 の BL37XU・BL05XU ビームラインにおいて、高圧下において高精度のガラスの構造測定が可能な高圧下動径分布関数測定システムを開発した。この新たに開発した高圧下動径分布関数測定により得られた SiO₂ ガラスの高品質な S(Q)測定結果を基に、MD-RMC 解析を行うことにより、高圧その場環境下において SiO₂ ガラスの精密構造解析に成功した。本研究では主に SiO₂ ガラスについての研究を行ったが、本研究で新しく開発した技術を用いた実験研究をさらに推進することにより、様々な組成のケイ酸塩ガラスやケイ酸塩液体の構造変化を解明し、地球内部の高圧下におけるケイ酸塩マグマの構造変化と高密度化の理解が大きく進むと考えられる。

引用文献

Fujita, T. *et al.* Pressure-induced reversal of Peierls-like distortions elicits the polyamorphic transition in GeTe and GeSe. *Nature Communications* **14**, 7851 (2023); Kono, Y., Kenney-Benson, C. & Shen, G. Opposed type double stage cell for Mbar pressure experiment with large sample volume. *High Pressure Research* **40**, 175-183 (2020a); Kono, Y., Shu, Y., Kenney-Benson, C., Wang, Y. & Shen, G. Structural evolution of SiO₂ glass with Si coordination number greater than 6. *Physical Review Letters* **125**, 205701 (2020b); Kono, Y. *et al.* Experimental evidence of tetrahedral symmetry breaking in SiO₂ glass under pressure. *Nature Communications* **13**, 2292 (2022); Onodera, Y. *et al.* Structure and properties of densified silica glass: characterizing the order within disorder. *NPG Asia Materials* **12**, 85 (2020). Prescher, C. *et al.* Beyond sixfold coordinated Si in SiO₂ glass at ultrahigh pressures. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **114**, 10041-10046 (2017); Sato, T. & Funamori, N. High-pressure structural transformation of SiO₂ glass up to 100 GPa. *Physical Review B* **82**, 184102 (2010).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Kono, K. Ohara, N. M. Kondo, H. Yamada, S. Hiroi, F. Noritake, K. Nitta, O. Sekizawa, Y. Higo, Y. Tange, H. Yumoto, T. Koyama, H. Yamazaki, Y. Senba, H. Ohashi, S. Goto, I. Inoue, Y. Hayashi, K. Tamasaku, T. Osaka, J. Yamada, and M. Yabashi	4. 巻 13
2. 論文標題 Experimental evidence of tetrahedral symmetry breaking in SiO ₂ glass under pressure	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 2292
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41467-022-30028-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 河野義生, 佐藤友子	4. 巻 35
2. 論文標題 高圧環境下その場におけるガラスの構造・物性研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 285-294
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 河野義生	4. 巻 27
2. 論文標題 高圧下におけるSiO ₂ ガラスの四面体構造変化のその場測定	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SPRING-8/SACLA利用者情報	6. 最初と最後の頁 294-299
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 河野義生	4. 巻 28
2. 論文標題 大容量プレスを活用した動的地球深部科学の開拓	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SPRING-8/SACLA利用者情報	6. 最初と最後の頁 26-33
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kono Yoshio, Shu Yu, Kenney-Benson Curtis, Wang Yanbin, Shen Guoyin	4. 巻 125
2. 論文標題 Structural Evolution of SiO ₂ Glass with Si Coordination Number Greater than 6	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 205701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.125.205701	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Kono Yoshio, Ohara Koji, Kondo Nozomi M., Higo Yuji, Kakizawa Sho, Yumoto Hirokatsu, Koyama Takahisa, Yamazaki Hiroshi, Senba Yasunori, Ohashi Haruhiko, Inoue Ichiro, Hayashi Yujiro, Yabashi Makina	4. 巻 95
2. 論文標題 <i>In situ</i> high-pressure pair distribution function measurement of liquid and glass by using 100keV pink beam	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 13904
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0176975	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 6件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 河野義生, 尾原幸治, 近藤望, 山田大貴, 廣井慧, 則竹史哉, 新田清文, 関澤央輝, 肥後祐司, 丹下慶範, 湯本博勝, 小山貴久, 山崎裕史, 仙波泰徳, 大橋治彦, 後藤俊治, 井上伊知郎, 林雄二郎, 玉作賢治, 大坂泰斗, 山田純平, 矢橋牧名
2. 発表標題 SiO ₂ ガラスにおける四面体構造の変化の高圧下その場放射光X線測定
3. 学会等名 第63回高圧討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kono, Y., Ohira, I., Shu, Y., Wang, Y., Shen, G.
2. 発表標題 Structure measurement of silicate and oxide glasses under ultrahigh pressure conditions to >100 GPa
3. 学会等名 10th Asian Conference on High Pressure Research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河野義生
2. 発表標題 高温高圧下における液体・非晶質物質のPDF解析
3. 学会等名 Spring-8シンポジウム2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤望, 河野義生, 尾原幸治, 中田亮一, 伊奈稔哲, Skrzypek Etienne, 山田明寛, 齊藤哲
2. 発表標題 Interaction between cerium and H ₂ O in hydrous rhyolitic melts
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 河野義生, SHU Yu, KENNEY-BENSON Curtis, WANG Yanbin, SHEN Guoyin
2. 発表標題 圧力最大120GPaにおけるSiO ₂ ガラスの超高圧構造変化
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 近藤望, 河野義生, 大平格, HRUBIAK Ross, 尾原幸治, 新田清文, 関澤央輝
2. 発表標題 MgSiO ₃ ガラスとCaSiO ₃ ガラスの高圧構造変化
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshio Kono
2. 発表標題 X-ray Research with PE press
3. 学会等名 Workshop 'Compact Synchrotron Sources and New X-ray Science Opportunities' (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshio Kono, et al.
2. 発表標題 Tetrahedral symmetry breaking in SiO2 glass under pressure observed by in situ pair distribution function measurement
3. 学会等名 11th International Workshop on Warm Dense Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshio Kono, et al.
2. 発表標題 Tetrahedral symmetry breaking in SiO2 glass under pressure investigated by high-pressure pair distribution function measurement
3. 学会等名 9th International Discussion Meeting on Relaxation in Complex Systems (9IDMRCS) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	尾原 幸治 (Ohara Koji) (00625486)	島根大学・学術研究院機能強化推進学系・教授 (15201)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	近藤 望 (Kondo Nozomi) (70824275)	愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・特定研究員 (16301)	
研究分担者	新田 清文 (Nitta Kiyofumi) (00596009)	公益財団法人高輝度光科学研究センター・分光推進室・研究員 (84502)	
研究分担者	則竹 史哉 (Noritake Fumiya) (50755569)	山梨大学・大学院総合研究部・助教 (13501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関