

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤 C

研究期間：2010～2012

課題番号：22540430

研究課題名（和文）超高压高温実験に基づく”Missing xenon”問題の解明

研究課題名（英文）Study of the “Missing xenon” problem based on high pressure and high temperature experiments

研究代表者

八木健彦 (YAGI TAKEHIKO)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・特命教授

研究者番号：20126189

研究成果の概要（和文）：本研究は、地球の中心核に対応する 130GPa 以上の超高压高温条件下で、キセノン(Xe)が鉄やケイ酸塩と化合物や固溶体を作るか否かを実験で明らかにし、その結果に基づいて、長年地球科学の分野で未解決の大きな問題として残されているいわゆる”Missing xenon”問題の解明に寄与しようとしたものである。レーザー加熱ダイヤモンドアンビル装置を用いた実験技術の改良により、低温下で試料室に鉄と液化した Xe を封入し 150GPa を越す圧力まで加圧した後、レーザーで照射して数千℃まで加熱しながら、X線回折実験を行うことに成功した。その結果、このように核に対応する圧力温度条件下でも Xe は鉄と全く反応せず、固溶体も作らないことが明らかになった。このことは今まで提唱されていた、大気中に欠損した Xe はコア中に溶け込んでいる、という可能性を否定するものであり、Missing Xenon 問題の解明には、別の可能性を考えねばならないことを示している。

研究成果の概要（英文）：In this study we have tried to clarify whether or not xenon reacts with iron and forms new compounds or solid solution under very high-pressure and high-temperature conditions corresponding to that of the lower mantle. After making various improvements of the experimental techniques, we have succeeded to make precise X-ray diffraction study of xenon and iron, which were loaded at low temperature and room pressure, under 155 GPa and several thousands kelvin. It was clarified that even under such extreme condition corresponding to that of the core, no reaction occurs between xenon and iron. As a result, neither any new compounds nor any solid solutions were formed. This result suggests that it is unlikely that the “Missing xenon” is existing in the core. We have to think of some other idea to explain the Missing xenon.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2011 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード：キセノン、コア、鉄、超高压

1. 研究開始当初の背景

現在の地球大気は、生成初期に存在した原始大気とは異なり、地球を構成する物質が集積した後にその脱ガスにより生成した二次的なものと考えられている。そうすると地球大気に含まれる各種希ガスの相対比は、構成する物質と考えられている隕石のそれと類似するはずであり、実際にほとんどの希ガスの比はそれで説明できるが、ヘリウムとキセノンだけは欠損している。ヘリウムは軽いいため地球の重力圏を脱出して散逸したと考えられているが、キセノンは同様のメカニズムは考えにくく、何らかの形で地球深部に存在する可能性が指摘されていた。その中で、キセノン100GPaを越す超高压下では鉄と同じhcp構造を持つ金属になることから、超高压下では両者が合金を作り、それによりキセノンが地球の核中に取り込まれている可能性が指摘されていた。しかしそれを実験的に確かめることは技術的に困難で、これまでキセノン-鉄系の超高压高温実験は50GPa程度の圧力までしか行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究は、コアに対応する超高压高温条件下で、キセノン(Xe)が鉄や珪酸塩と化合物や固溶体を作るか否かを実験によって明らかにし、それらの結果をもとに、長年地球科学の分野で未解決の大きな問題として残されている、いわゆる”Missing xenon”問題の解明に寄与することをめざしている。この問題は地球の生成から進化のプロセス全般の問題と関連していることから、地球化学者だけでなく、多くの研究者の関心を引いてきた。しかし実験でそれを明らかにするには、技術的にきわめて高いハードルがあり、今まで報告された最高圧の実験でも50GPaまでである。しかしXeの金属化は120GPaで起こることから、本研究では当研究室で蓄積されてきた技術を用い、それ以上の圧力で直接実験を行い、Xeの超高压下のふるまいに関して詳細な情報を得ることを目的としている。

3. 研究の方法

まず常圧下で液化したキセノンを安定してダイヤモンドアンビルの試料室に充填する技術の開発を行った。さまざまな試行錯誤の結果、試料室付近をCCDカメラでモニターしながら充填を行う装置を開発し、予め鉄の微小片を入れた試料室にキセノンを確実に充填する技術を確立した。この装置を用いて鉄とキセノンを室温で150GPa以上まで加圧し、それを西播磨の放射光実験施設 SPring-8 に持ち込んで、レーザーで数千°Cまで加熱しながらX線回折実験を行った。幸いきわめて高品質のX線回折パターンを得ることに成功し、圧力を変えたり加熱の前後の変化を明らかにする実験を何回か繰り返した。

4. 研究成果

このような高温高压下X線その場回折実験により、図1に示したような、きわめて高品質のX線回折パターンを取得できた。Feは10数GPaでbcc構造からhcp構造に変化し、キセノンは当初fcc構造を持った固相が次第にhcp構造に転移する様子も観察された。しかし150GPa以上のすべての温度圧力条件下で、キセノンと鉄は明瞭に分離したhcp構造のX線回折パターンを与え、それ以外の回折線は一切生成しないことが明らかにされた。

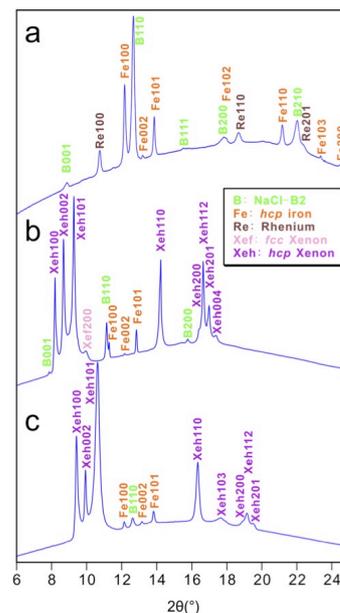


図1. Fe-Xe系の高温高压X線パターン

また図2に示したように、両者の圧縮曲線には、それぞれを単独に加圧した時のそれと有意な違いは見いだされなかった。

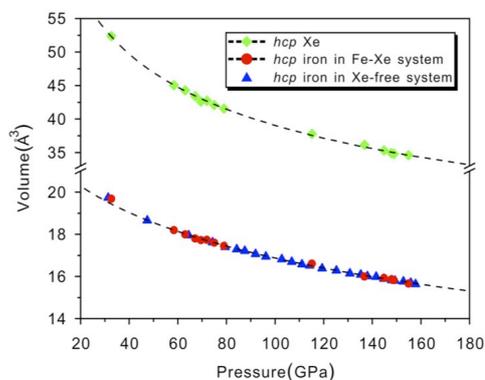


図2. Xe と Fe の室温における圧縮曲線

これらの観測結果は、キセノンと鉄がコアの条件に対応する超高压高温下でも全く反応せず、新たな化合物の生成も、固溶体の生成も起きないことが明瞭になった。

この結果は、従来可能性のひとつと考えられていた、欠損したキセノンがコア中に取り込まれているという考えを否定するものであり、Missing Xenon 問題の解明にはさらに他の可能性を追求する必要があることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 32 件)

1) T. Sato, H. Takada, T. Yagi, H. Gotou, T. Okada, D. Wakabayashi, N. Funamori, Anomalous behavior of cristobalite in helium under high pressure, *Phys. Chem. Mineral.*, 40, 3-10 (2013)

2) D. Nishio-Hamane, M. Zhang, T. Yagi, Y. Ma, High-pressure and high-temperature phase transitions in FeTiO_3 and a new dense FeTi_3O_7 structure, *Am. Mineral.*, 97, 5668-572 (2012)

3) R. Iizuka, T. Yagi, H. Gotou, K. Komatsu, H. Kagi, An opposed-anvil-type apparatus with an optical window and a wide-angle aperture for neutron diffraction, *High*

Press. Res., 32, 430-441 (2012)

4) K. Niwa, T. Yagi, K. Ohgushi, Elasticity of CaIrO_3 with perovskite and post-perovskite structure, *Phys. Chem. Minerals*, 38, 21-31 (2011)

5) T. Okada, T. Yagi, D. Nishio-Hamane, High-pressure behavior of MnTiO_3 : decomposition of perovskite into MnO and MnTi_2O_5 , *Phys. Chem. Minerals*, 38, 251-258 (2011)

6) T. Sato, N. Funamori, T. Yagi, Helium penetrates into silica glass and reduces its compressibility, *Nature communications*, 2, 345 1-5 (2011)

7) H. Gotou, T. Yagi, T. Okada, R. Iizuka, T. Kikugawa, A simple opposed-anvil apparatus for high pressure and temperature experiments above 10 GPa, *High Pressure Res.*, 31, 592-602 (2011)

8) D. Nishio-Hamane, T. Yagi, N. Sata, T. Fujita, T. Okada, No reactions observed in Xe-Fe system even at Earth core pressures, *Geophys. Res. Lett.*, 37, L04302 1-4 (2010)

9) S. Machida, H. Hirai, H. Gotou, T. Sakakibara, T. Yagi, Development of loading system for liquid hydrogen into diamond-anvil cell under low temperature, *Rev. Sci. Instrum.*, 81, 033901 1-4 (2010)

10) D. Nishio-Hamane, T. Yagi, M. Ohshiro, K. Niwa, T. Okada, Y. Seto, Decomposition of perovskite FeTiO_3 into wustite $\text{Fe}_{1-x}\text{Ti}_{0.5x}\text{O}$ and orthorhombic FeTi_3O_7 at high pressure, *Phys. Rev. B*, 82, 092103 1-4 (2010)

[学会発表] (計 38 件)

1) 八木健彦、中村ひとみ、浜根大輔、岡田卓、 Fe_2O_3 の高压下における相関係、第 52 回高压討論会、2011.11.9-11, 那覇、沖縄

2) T. Yagi, D. Nishio-Hamane, N. Sata, T. Fujita, T. Okada, Behavior of Xenon-Iron system under core pressure, American Geophysical Union (AGU), Fall Meeting, Dec. 6-10, 2010, San Francisco, USA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八木健彦 (YAGI TAKEHIKO)
愛媛大地球深部ダイナミクス研究センター・特命教授
研究者番号：20126189

(2) 研究分担者

岡田卓 (OKAD TAKU)
東京大学物性研究所・助教
研究者番号：90343938

(3) 連携研究者

浜根大輔 (HAMANE DAISUKE)
東京大学物性研究所・技術職員
研究者番号：20579073