

令和元年 7 月 19 日

報道機関 各位

東北大学大学院環境科学研究科

**地震による爆発的な水の蒸気化が引き起こす  
シリカナノ粒子の生成**  
—地震による瞬間的な鉱脈形成のメカニズムを示唆—

【発表のポイント】

1. 地震の瞬間に断層内で起こると考えられる高温流体の急減圧（フラッシング）を特殊な実験装置を用いて実現し、地殻成分を溶かし込んだ流体からアモルファスシリカのナノ粒子が瞬間的に生成することを発見。
2. 生成したシリカナノ粒子は、400℃以上の高温流体が存在する地殻環境において、短期間（1日以内）で石英の微粒子へと変化することを発見。
3. 地震によって断層内で高速の鉱物析出が起こることが示され、地震発生と鉱脈形成とをつなぐ新たな物質科学的な地震モデルの確立が期待される。

【概要】

東北大学大学院環境科学研究科の岡本敦准教授、土屋範芳教授、平野伸夫助教、本宮憲一技術職員、修士課程学生の新部貴理氏、元大学院生の天谷宇志氏は、地震が発生した時の岩石—水反応を理解するために、特殊な実験装置を用いて、地下の高温高压環境で岩石の成分を溶かし込んだ水のフラッシング実験を実施しました。その結果、流体の圧力の減少に伴って爆発的な水の蒸気化がおこり、一瞬でアモルファスシリカのナノ粒子が生成することを発見しました。また、高温の地殻環境において、このようなアモルファス粒子は非常に短期間に安定な石英の微粒子へと変化することを見出しました。このような短命なシリカ粒子は断層内を高速で移動し、亀裂を閉塞させるために、断層の性質を大きく変化させると考えられます。このような現象は、金鉱床などの地下の鉱脈が地震とともに瞬間的に形成されることを示唆しており、地下資源の形成と地震活動を結びつける新しい研究の解明が期待されます。

本成果は、2019年7月5日、英国の科学誌 **Scientific Reports** に掲載されました。

**【問い合わせ先】**

＜研究について＞

東北大学大学院環境科学研究科

准教授 岡本 敦

電話: 022-795-6334

E-mail: [atsushi.okamoto.d4@tohoku.ac.jp](mailto:atsushi.okamoto.d4@tohoku.ac.jp)

＜報道について＞

東北大学大学院環境科学研究科 情報広報室

助手 物部 朋子

電話: 022-752-2241

FAX: 022-752-2236

E-mail: [tomoko.monobe.d4@tohoku.ac.jp](mailto:tomoko.monobe.d4@tohoku.ac.jp)

## 【詳細な説明】

地殻内の地震は地下の深さ数〜数十 km における断層での岩石の高速な破壊によって引き起こされます。このような破壊が起こると、断層面に新たな間隙を作り出したり、地殻の不透水層(水の通りにくい層)を壊して亀裂のネットワークを作ったりすることで、断層を満たしている水の瞬間的な減圧(フラッシング)が起こると予想されます。一方、地下の高温高压の水には地殻の岩石成分(主にシリカ、 $\text{SiO}_2$ )が溶け込んでおり、シリカ鉱物が貴金属とともに析出することで金鉱床などの鉱脈が形成されています。近年、地下の鉱脈が地震と関連して形成するのではないかという仮説が提唱されていましたが、実証されたことは今までありませんでした。

本研究は、 $250^\circ\text{C}$ から  $450^\circ\text{C}$ の高温の地下環境を再現する特殊な実験装置を用いて、花崗岩を溶かした水のフラッシング実験を実施しました(図 1)。その結果、高温高压の流体が大気圧まで一気に減圧すると、1 秒以内に水が蒸気化し、それに伴って  $100\text{ nm}$  から  $5\text{ }\mu\text{m}$  のアモルファスシリカ粒子が瞬間的に大量に生成することを発見しました(図 2)。また、このように生成したシリカ粒子は、地殻環境では準安定であり、高温流体の存在する環境下に保持すると、1 日以内に安定な石英の微結晶に変化することを見出しました(図 3)。

このようなシリカ粒子は流体によって岩石の隙間を運搬され、断層面に付着して、間隙を目詰まりさせるという特徴があります。それによって、断層の摩擦特性や、流体圧を変化させることで実効的な強度に大きな影響を与えられと考えられます。現在、日本列島の地下で頻発している地震の震源域においても、地殻中の流体移動が起こり、シリカ粒子が生み出されていると考えられます。今後、このようなシリカ粒子が地震断層のダイナミックな特性に与える影響が解明されることが期待されます。

地殻には、石英などのシリカ鉱物が、金などの貴金属とともに析出した鉱脈が地下資源として存在し、開発されています。このような鉱物資源は、長い年月をかけて形成されていると考えられていましたが、本研究の結果より、地震によってトリガーされる短期間のイベントの繰り返しによってできるという新しい描像が得られ、今後、その形成メカニズムの理解が進むことが期待されます。

また、現在、新しい再生可能エネルギーのターゲットとして、超臨界流体が存在する地熱貯留層の開発プロジェクトが進められています。今回の実験は、このような高温の地熱流体を噴気させてエネルギーを回収するときの状況と類似しています。シリカなどが地熱流体から配管やタービンに付着するものは「スケール」とよばれ、地熱発電の作業上の大きな問題となっています。このシリカ粒子の挙動を解明することにより、スケール抑制、除去の応用も期待されます。

本研究は、日本学術振興会(JSPS)科学研究費助成事業 基盤研究(B) (No. 16H06347, 17H02981)、特別推進研究(No. 25000009)の支援をうけて実施されました。なお、本研究の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果から得られたものです。

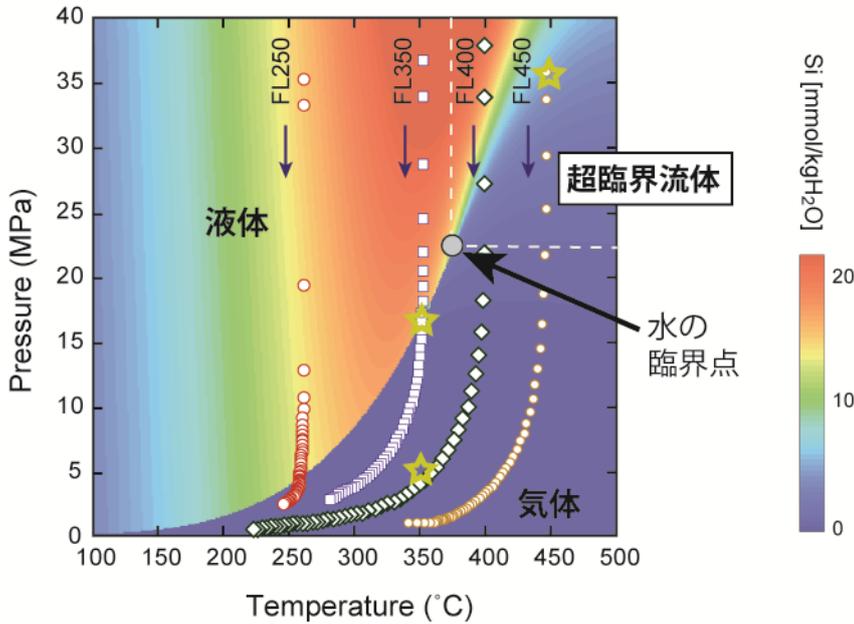


図1 石英の水に対する溶解度の等高線図とフラッシング実験の温度圧力条件。FL250、FL350、FL400、FL450の矢印は、フラッシング実験による減圧に伴う温度圧力の経路(0.1秒ごとの時間間隔)を示す。石英の溶解度は、Siの濃度のカラーで示している。石英やアモルファスシリカなどのシリカ鉱物は、密度が高い液体の水には溶け込みやすく、密度が低い水蒸気には溶け込みにくいのために、急減圧によって、過飽和な状態が作られて、アモルファスシリカの粒子が発生した。星印は、フラッシングにより生成したシリカ粒子を熱水中で保持した実験の温度圧力条件を示す。

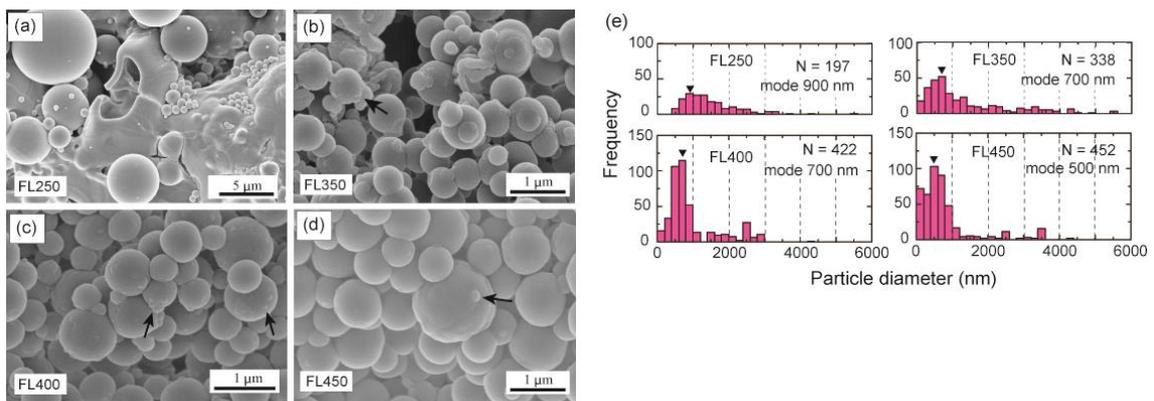


図2 フラッシング実験で生成したアモルファスシリカ粒子の走査型電子顕微鏡写真。(a) 250°C、(b) 350°C、(c) 400°C、(d) 450°C。(e) アモルファスシリカ粒子のサイズ分布。析出したアモルファスシリカ粒子は直径100 nmから5 μmの球状をしている。また、写真の黒矢印で示すように、表面の凹凸を持っており、核形成した粒子の凝集が起こったことを示唆している。

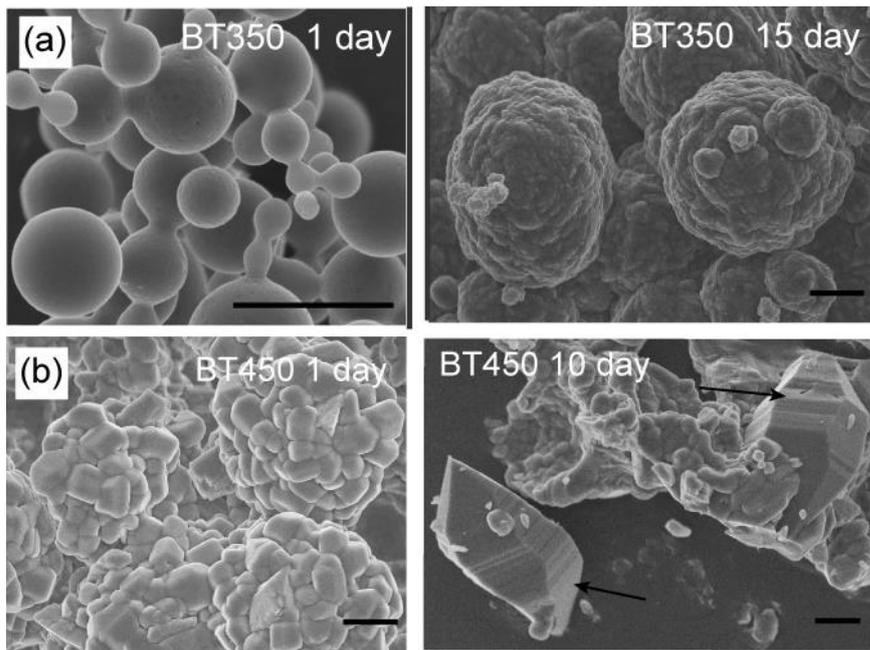


図 3 アモルファスシリカ粒子を熱水中で保持した実験後のシリカ鉱物の走査型電子顕微鏡写真。(a) 350°C、飽和蒸気圧条件で 1 日(左)、15 日間(右)保持したもの。反応が遅く、15 日経過しても結晶度の低いシリカ鉱物(オパール C)ができています。(b) 450°C、36 MPa の超臨界流体の中で 1 日(左)、10 日(右)保持したもの。1 日で、石英の微小な結晶に変化し、10 日後には大きな結晶に変化している。写真中のスケールバーの長さは 2  $\mu\text{m}$ 。

【掲載論文】

タイトル : Silica nanoparticles produced by explosive flash vaporization during earthquakes

著者名 Takashi Amagai<sup>1,2</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Takamasa Niibe<sup>1</sup>, Nobuo Hirano<sup>1</sup>, Kenichi Motomiya<sup>1</sup> and Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>

著者所属 : 1 国立大学法人東北大学大学院環境科学研究科、2 独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

掲載雑誌 : Scientific Reports

DOI: 10.1038/s41598-019-46320-7