

ダイヤモンドが溶けて出来たマグマを発見！ ～アセノスフェアにキンバーライトマグマの証拠～

名古屋大学博物館の 苗村 康輔 特任助教は、京都大学大学院理学研究科の 平島 崇男 教授、清水 以知子 准教授、チェコ科学アカデミーの マルティン スフォイック 研究員、東京大学大学院理学系研究科の 飯塚 毅 准教授との共同研究において、アセノスフェア^{注1}由来の岩石からキンバーライトマグマ^{注2}というダイヤモンドを含むマグマが存在する証拠を発見しました。地球を覆う厚さ 100 km のプレート直下には、水飴のように流動するアセノスフェアが存在します。その流動性の原因を理解するためには、そこに存在するマグマの性質を知ることは重要な課題です。そこで、本研究では、造山帯に露出するマントルウェッジ^{注3}のアセノスフェア物質の研究を行いました。その結果、1,200 度の高温で安定なクロム鉄鉱^{注4}中からアセノスフェアに存在したキンバーライトマグマの化石を見出しました。このマグマはマントルウェッジ深部に形成されたダイヤモンドが酸化して溶けることで形成されたと考えられます。このキンバーライトマグマが存在するため、アセノスフェアは水飴のように流動している可能性があります。

この研究成果は、平成 30 年 7 月 4 日付で英国科学雑誌 Scientific Reports 電子版に掲載されました。

なお、この研究は、平成 24 年度から始まった日本学術振興会特別研究員制度の支援のもとで行われたものです。

【ポイント】

- ・チェコ共和国に分布するバリスカン造山帯には、アセノスフェア由来のガーネットかんらん岩^{註5}が露出しています。
- ・ガーネットかんらん岩は、キンバーライトマグマの化石を含んでいます。
- ・二酸化炭素を含む地殻物質が深部で溶けると、ダイヤモンドが形成されます。
- ・ダイヤモンドが酸化して溶けると、キンバーライトマグマが形成されます。

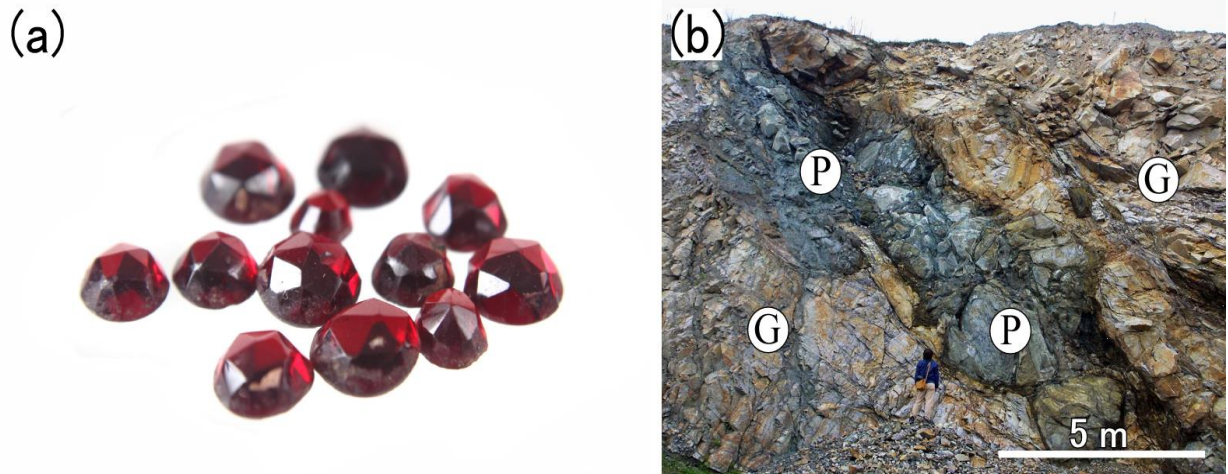
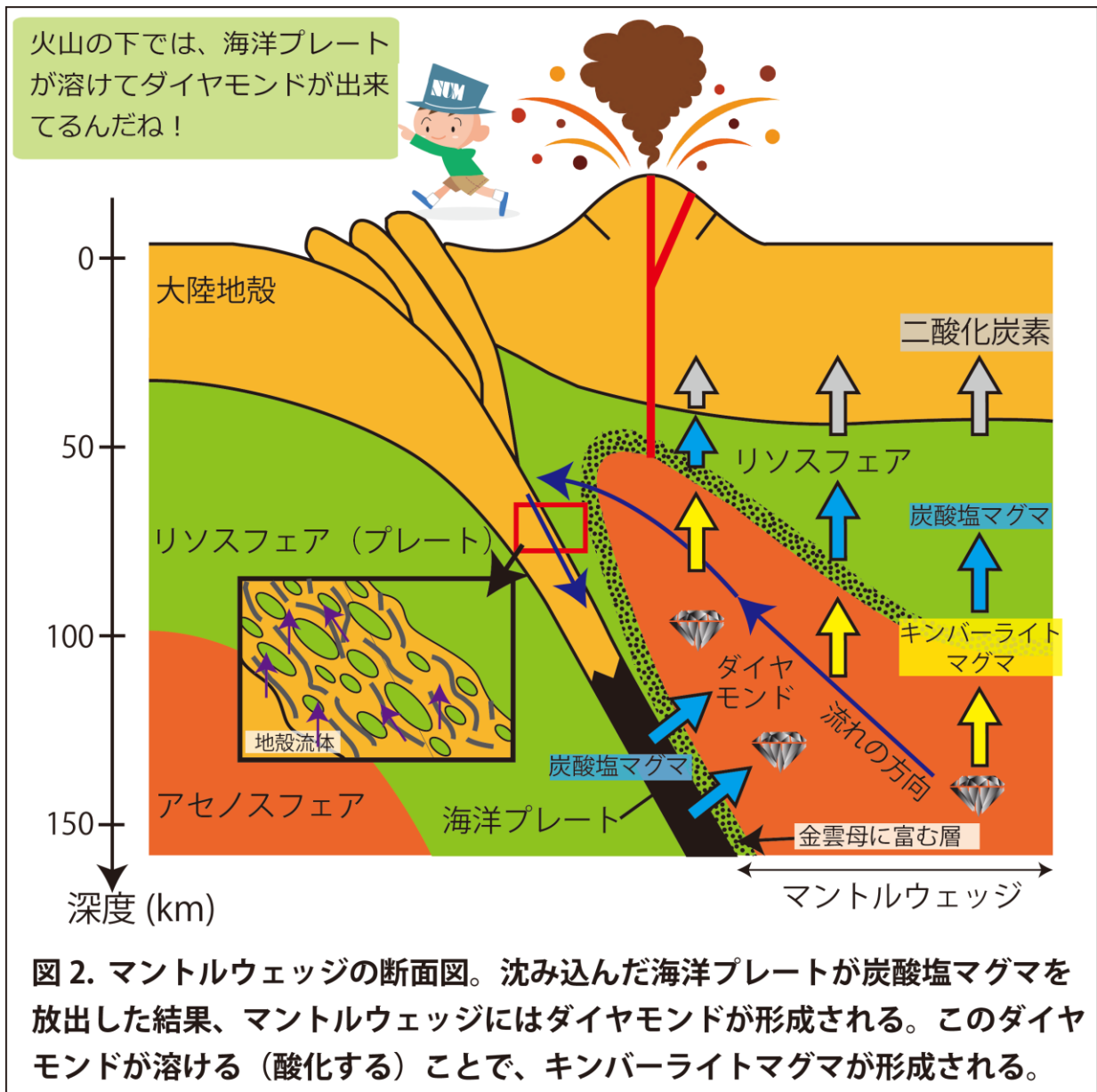


図1. (a) チェコ共和国のガーネットかんらん岩に含まれるパイロープ結晶。(b) ガーネットかんらん岩(P)は、花崗岩質の変成岩(G)に取り込まれて産する。

【研究背景と内容】

チェコ共和国は、古来よりパイロープ（マグネシウムに富むガーネット）の世界有数の産地として知られています。チェコ共和国のパイロープは微量のクロムを含むため美しい赤紫色の結晶（図 1a）で、地下 50 km 以深から浮上した上部マントル物質（ガーネットかんらん岩^{註5}）が地上で風化した際、重いパイロープが分離して鉱床を形成するため、宝石として使われてきました。チェコ共和国に分布するバリスカン造山帯では、花崗岩（図 1b の"G"）中に大小様々なレンズ状のガーネットかんらん岩（図 1b の"P"）が含まれています。これは、山脈の地下で上部マントルに沈み込んだ軽い花崗岩（G）が、重たいガーネットかんらん岩（P）を取り込んだ後、浮力で上昇してきたためです。先行研究から、チェコ共和国のガーネットかんらん岩の多くは、上部マントルの中でも、流動的に振る舞うアセノスフェア（岩流圏）に由来することが指摘されてきました。従って、これらの岩石を研究することで、地下 100 km に存在するアセノスフェア物質の性質を理解することができると期待されます。これまで、かんらん岩で構成されたアセノスフェアが、なぜ流体のように振る舞うのか？といった基本的な問いに対する明解な答えは得られていません。本研究では流動性の原因の一つであるマグマの化学組成を調べた結果、アセノスフェアにキンバーライトマグマが存在した証拠を発見しました。



チェコ共和国のガーネットかんらん岩は、山脈下に存在する「マントルウェッジ」からやってきたと考えられています（図 2）。マントルウェッジ中心部には高温のアセノスフェアが流入し、それが溶けることで火山活動が生じています（図 2）。

私たちは、チェコ共和国産のガーネットかんらん岩から、1,200 度以上のアセノスフェアで形成された鉱物を探索しました。このガーネットかんらん岩では、クロム鉄鉱がガーネットもしくはケリファイト^{注6}に包有される組織が特徴的に見られます（図 3a）。この組織は、1,200 度以上のアセノスフェアで安定なクロム鉄鉱（クロム鉄鉱の結晶化温度は亜鉛量から推定することができます）が冷却により分解し、ガーネットに置き換わったことを示唆します。そこで、アセノスフェアで安定なクロム鉄鉱を多数観察したところ、そこにマグマの化石が多数保存されていることが明らかになりました（図 3b）。

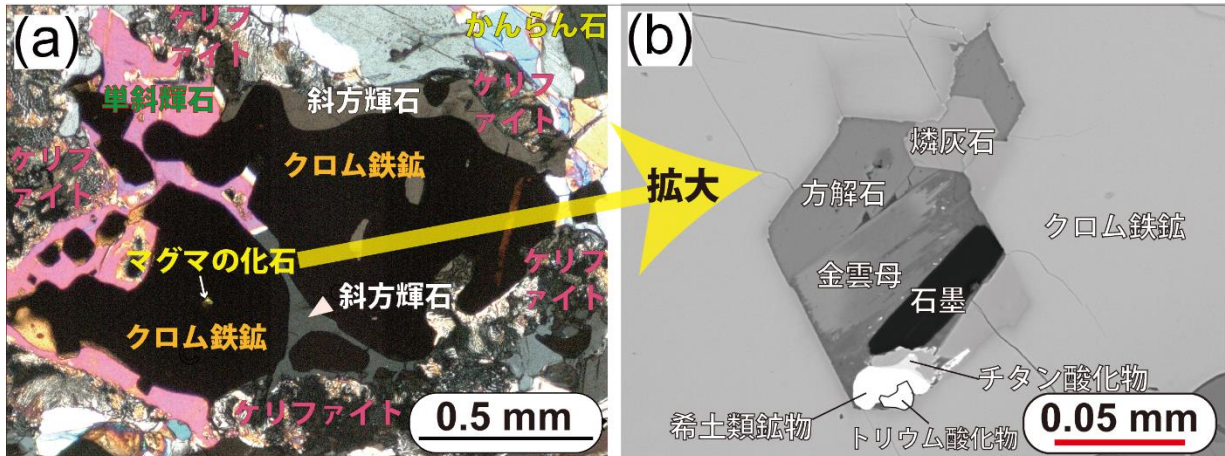


図3 (a) ガーネットに囲まれたクロム鉄鉱（ガーネットはケリファイトに分解している）
 (b) クロム鉄鉱に含まれる「キンバーライトマグマの化石」（沢山の鉱物の集まり）

マグマは急冷された場合にはガラス化しますが、このケースでは造山運動により、ゆっくり冷却（徐冷）されたため、マグマから結晶が析出して「鉱物の集まり」となっています。マグマから析出した鉱物は、おもに金雲母^{注7}、燐灰石^{注8}、方解石^{注9}など、一定の鉱物比率で構成されています（図3b）。そこで、構成鉱物の量比に基づいて、元のマグマの化学組成を復元した結果、キンバーライトマグマの化学組成が復元されました（図4の"K"はキンバーライトマグマを表します）。マグマの化石から復元されたキンバーライトマグマは、カリウムに富む炭酸塩マグマ^{注10}（5重量% K_2O ；22重量% CO_2 ）です。これまで、キンバーライトマグマは冷たくて分厚い大陸プレート下でしか形成されないと考えられてきましたが、私たちの研究結果によって、キンバーライトマグマが高温のマントルウェッジにも存在していることが明らかとなりました。このことは、キンバーライトマグマがアセノスフェアにもっと普遍的に存在する可能性を示唆します。

マントルウェッジに存在するキンバーライトマグマは、沈み込んだ地殻物質に含まれる二酸化炭素が循環した結果、生み出されたものです（図2参照）。地殻物質が深部で溶けると、アルカリに富む炭酸塩マグマがマントルウェッジに放出されます（図2）。このマグマは、酸素に乏しいマントルウェッジ深部にダイヤモンドを析出します。このダイヤモンドが酸化して溶けることで、キンバーライトマグマが形成されます。例えば、2007年にマントルウェッジかんらん岩から日本産のダイヤモンドが発見されましたが、その成因にもキンバーライトマグマが関与した可能性があります。

【成果の意義】

これまで、アセノスフェアに微量（約0.1体積パーセント）のキンバーライトマグマが存在するという仮説が提唱されてきました。しかし、厚さ100 kmのプレート^{注11}（リソスフェア）に覆い隠されたアセノスフェアの試料が入手困難なため、直接、試料を採集して検証する岩石学的な研究はほとんど行われてきませんでした。本研究では、入手が比較的容易なマントルウェッジのアセノスフェア物質をターゲットとして、キンバーライトマグマが存在する証拠を世界で初めて発見しました。

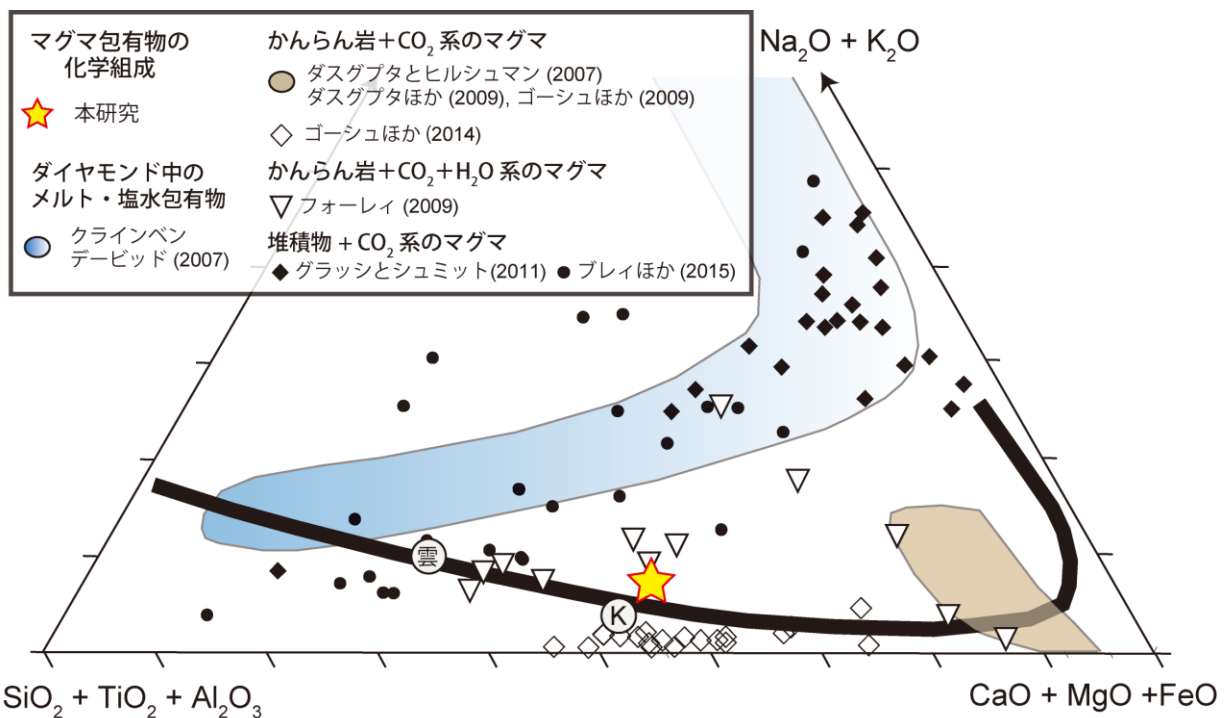


図4. チェコ共和国のガーネットかんらん岩から見つかったマagma包有物の化学組成 (★) を、様々な環境で形成された炭酸塩マagmaと比較したもの。"雲" は金雲母の化学組成、K はキンバーライトマagmaの化学組成である。サンプル中で見出したマagma包有物は、キンバーライトマagmaに近い化学組成を持つことが分かる。

【用語説明】

- 注1) アセノスフェア：プレート（リソスフェア）の下に存在する流動性に富んだ柔らかい層で、地下 100～700 km に存在する。低い粘性率を持ち、部分的に溶融していると考えられている。
- 注2) キンバーライト：金雲母に富む超塩基性の火山岩。ダイヤモンドやマンツルの断片を含む。南アフリカ・キンバリー地方から見つかったダイヤモンドを含む岩石に命名された。
- 注3) マントルウェッジ：沈み込むプレートと陸側プレートに挟まれたマンツル。陸側プレート（リソスフェア）の下にアセノスフェアが存在する。
- 注4) クロム鉄鉱： FeCr_2O_4 磁石を作る鉱物である磁鉄鉱の仲間でクロムに富む。深さ 30～100 km までのマンツル岩石に見られる。
- 注5) かんらん岩：上部マンツルを構成する珪素に乏しい岩石。緑色のペリドット（学術名ではかんらん石）で構成され、比重は $3.3 [\text{g} \cdot \text{cm}^3]$ と重たい。
- 注6) ケリファイト：ガーネットの分解物。
- 注7) 金雲母： $\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ 黒雲母の中でも、苦鉄質（マグネシウム）成分に富むもの。
- 注8) 燐灰石： $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3 \cdot \text{F}$ 火成岩に普遍的に含まれるリン酸塩鉱物（ PO_4 格子で構成された鉱物）で、フッ素に富む。

注 9)方解石： CaCO_3 地殻中によく見られる二酸化炭素を含んだ鉱物。

注 10)炭酸塩マグマ：二酸化炭素に富むマグマ。花崗岩や玄武岩などの珪素に富むマグマとは水と油のように混ざらない性質を持つ。

注 11)プレート（リソスフェア）：地球の表面を覆っている厚さ 100 km 程度の堅い板状の岩盤を指す。地質学的時間スケールではプレートは動いている。

【論文名】

掲載雑誌：Scientific Reports

論文題名：Fossilized melts in Mantle Wedge Peridotites

著者：Kosuke Naemura, Takao Hirajima, Martin Svojtka, Ichiko Shimizu and Tsuyoshi Iizuka

苗村 康輔（名古屋大学博物館特任助教）、平島 崇男（京都大学理学研究科教授）、
マルティン スフォイッカ（チェコ地質科学アカデミー研究員）、清水 以知子（京都大学理
学
研究科准教授）、飯塚 毅（東京大学大学院理学系研究科准教授）

DO: [10.1038/s41598-018-28264-6](https://doi.org/10.1038/s41598-018-28264-6)