

ブルーダイヤモンドが語る地球深部の物質循環

地球の表面を覆っているプレートの運動によって、地球規模の物質循環が起こっており、地球表層物質はプレートの沈み込みによって地球深部まで運ばれる一方、地球深部物質はマントル対流や火山活動によって地表へと運ばれていると考えられている。しかし、こうした物質循環のしくみがどのようなになっているかはまだ多くの謎につつまれている。アメリカの宝石学者エヴァン・スミスらの研究グループは[1]、ブルーダイヤモンドを詳しく研究し、地球深部の物質循環に新たな光を照らした。

スミスらが注目した物質はホウ素を微量に含んでいて青みがかった輝きを示すブルーダイヤモンドである。ダイヤモンドはキンバーライト・パイプと呼ばれる特異な火山活動で、マントル物質が地球に噴出したときに、地表に噴出した火山灰のような岩石に含まれている捕獲岩中でみつかるといわれる。ダイヤモンドの安定領域は 40 キロバールより高い圧力であり、地球内部では深さ 120 キロ以深で結晶化されたものである。ダイヤモンド中には、結晶ができたところにあった岩石を取り込んでいることがあり、包有物（インクルージョン）と呼ばれている。ホウ素を含むダイヤモンドは、タイプ IIb 型と呼ばれている。このグループには宝石としても有名になったホープダイヤモンドが有名である。ブルーダイヤモンドの青い輝きは魅力的であるが、持ち主を必ず不幸にするといわれているので、悩ましい輝きといったほうがよいかもしれない。

スミスらがブルーダイヤモンドに注目した理由は、不純物としてホウ素を 0.01~10ppm（百万分の一分率）含まれていることである。ホウ素は地球表層部、とりわけ海水中に相対的に多く、マントル物質中では少ない。すなわち、地球深部でできたダイヤモンドにホウ素が含まれていることは、地球表層からもたらされた物質がプレートの沈み込みとともにマントル深部まで運ばれ、それがダイヤモンドの結晶成長の際に鉱物中に取り込まれたということである。

しかし、タイプ IIb 型のダイヤモンドは産出するダイヤモンドの 0.02% 未満であり、非常に希にしか入手できない。スミスらは 2 年にわたって研究に適したブルーダイヤモンドを捜し求め、46 個の研究試料を確保した。その鉱物学的研究によって、不純物として含まれる鉱物の種類を明らかにした。上部マントル起源のダイヤモンドには、かんらん石や輝石などの鉱物が含まれているが、ブルーダイヤモンド中の不純物には特異な性質を示すものが多数あった。

CaCO₃ という鉱物組成を示す鉱物としてワルストロマイトが多く見つかったが、結晶構

造の異なるラーナイトも含まれていた。こうした鉱物は、下部マントル条件下で CaCO_3 ペロブスカイトであったものが、圧力や温度が低下してできた後退変成鉱物である解釈された。すなわち、ブルーダイヤモンドが下部マントルの温度圧力条件下で生成されたあと、マントル上昇流で運ばれ、温度圧力が低い環境下で安定な結晶構造に変化したことを物語る。さらに、ダイヤモンドとして採掘されたということは、地表付近までやってきたことになる。

スミスらは、ラマン分光法で包有物として含まれる鉱物のデータを取得し、圧力履歴を読み取って、ダイヤモンド中の鉱物がどのような圧力下にあったかを推定している。得られた結果によると、地下 660 キロより深い下部マントルの圧力を示すデータもあったという。

この研究における最も重要な知見は、ブルーダイヤモンドに含まれるホウ素がかつて地球表層にあったという点である。もともとホウ素は海水中に含まれていたが、海洋地殻に取り込まれたあと、プレートの沈み込みにともなって、マントル深部まで運ばれた。この考えを裏づけるには、ホウ素の同位体比の分析が必要である。しかし、非破壊での分析の必要性や、そもそもホウ素の含有量が少ないことなど、現状では困難な課題が多くある。

[1] Smith, E.M. et al. (2018) Blue boron-bearing diamonds from Earth's lower mantle. *Nature*, 560, 84-87. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0334-5>