

アノーサイトの水質変成実験から推定されるコンドライト母天体のNa交代変成

Hydrothermal experiments of anorthite with implications for Na-metasomatism on carbonaceous chondrite parent body

*瀬戸 雄介¹、足立 栞¹、市村 隼¹、留岡 和重¹

*Yusuke Seto¹, Shiori Adachi¹, Shun Ichimura¹, Kazushige Tomeoka¹

1. 神戸大学大学院理学研究科

1. Graduate School of Science, Kobe University

CVコンドライトやCOコンドライトには、ネフェリンやソーダライトといったNaに富む鉱物が普遍的に存在する。これらのNaに富む鉱物は、コンドリュール中の斜長石やCAI中のメリライトを置き換えるように存在していることが多い。多くの観察的な研究によって、このようなネフェリンやソーダライトは、炭素質コンドライト母天体上でNaを含む流体による水熱反応によって生成したと考えられている。ただし、この生成反応を検証した再現実験はほとんど行われておらず、具体的にどのような環境でネフェリンやソーダライトが形成するのかという点は不明であった。最近、Ichimura et al. (Geochim. Cosmochim. Acta 210, 114-131, 2017) は、斜長石 (An₄₈) やメリライトの端成分であるゲーレナイト (CaAl₂SiO₇) を出発物質として、Naを含む様々なpH溶液下での水熱合成実験 (200 °C, 168 時間) を行った。実験の結果、アルカリ溶液条件下では様々な種類のNa-ゼオライト鉱物 (ファブリーサイト、カンクリナイト、アナルサイム) が容易に生成することを確認した。さらにそれらのNa-ゼオライト鉱物に対して反応速度論的な解析を行い、想定されている母天体条件でネフェリンへの相転移が十分に起こりうることを報告した。ただし、Ichimura et al.

(2017) で使用した斜長石の組成は実際の炭素質コンドライト中のもの (An 90-100程度) とは隔たりがあり、また、使用した溶液のpHのバリエーションも0, 7, 13, 14とやや極端であった。そこで本研究では、より天然の炭素質コンドライト中のものに近い組成を持つ斜長石 (An₉₅, 北海道余市産) を出発物質とし、さらに溶液のpHを細かく調整 (0, 7, 8.5, 10, 11.5, 13, 14) した実験を行った。また、Ichimura et al. (2017) ではNa⁺濃度が1 mol/Lと1種類であったのに対し、本研究では、1 mol/L, 3 mol/L, 5.5 mol/L (飽和状態) と3種類のバリエーションを加え、さらに水/岩石 (W/R) 比も変化させた。水熱合成実験は200°C, 168時間の条件で行い、回収試料は、走査型電子顕微鏡 (SEM)、透過型電子顕微鏡 (TEM)、およびX線回折装置 (XRD) を用いて評価した。

Na⁺濃度1 mol/Lの溶液を用いた実験の結果、W/R = 46.7の場合にはpH 7, 8.5, 10, 11.5の条件では変成は起こらなかったが、pH 13の条件でソーダライト、カンクリナイトが生成した。さらに、pH 14ではファブリーサイト、カンクリナイトが生成した。W/R = 467の条件では、pH 10, 11.5でアナルサイムが生成し、pH 13でソーダライト、ファブリーサイト、カンクリナイトが生成した。Na⁺濃度3 mol/LではpH 11.5以上の条件でソーダライトの生成を確認し、Na⁺濃度5.5 mol/LではpH 10以上の条件でソーダライトの生成を確認した。生成したNa-ゼオライト鉱物の組み合わせは、Ichimura et al. (2017) で報告されたものと似たような傾向を示している。ソーダライトの化学組成は、Na⁺濃度が高くなるにつれ、実際の炭素質コンドライト中に存在するものに近くなる傾向があった。今回の実験結果から、中程度のアルカリ性溶液 (pH > 10) との反応でも容易にNaゼオライト鉱物 (ソーダライトを含む) が生成することや、高W/Rの条件でのみアナルサイムが生成すること、高NaCl濃度の溶液との反応でソーダライトが優先的に生成することなどを新たに発見した。ソーダライトは、実際の炭素質コンドライト中でしばしばネフェリンと共存している鉱物であり、斜長石から直接生成した報告例はこれまでにない。実験生成物の化学組成は、pHが高くなるほどSi/Al比が高くなる傾向が見られ、これは斜長石から溶脱するAl⁺およびSi⁺成分の溶解現象に関係していると考えられる。またソーダライトの形成には、Na⁺だけではなく、Cl⁻の活動度が強く影響している可能性が高い。今回の実験で模擬した水質変質環境 (200 °C, 中-高アルカリ, 高Na⁺濃度) は、コンドライト母天体で十分想定されている条件である。斜長石がそ

のような溶液とわずか一週間反応することで、ソーダライトや、ネフェリンの前駆物質（ファブリーサイト、カンクリナイト）が生成することを示した本研究の成果は、CVコンドライト、COコンドライト母天体におけるネフェリン、ソーダライト形成プロセスに新たな制約を与える可能性がある。

キーワード：ネフェリン、ソーダライト、コンドライト、水質変成

Keywords: nepheline, sodalite, chondrite, aqueous alteration