

Abiotic Organic Matter Formation in the Earth's Upper Mantle:

Evidence from Inclusions in Mantle Xenoliths

(上部マントルにおける非生物的な有機物合成：マントル捕獲岩中の包有物からの証拠)

鉱物学講座 三津川 到

地球のマントル内部において有機化合物が非生物的に合成されている可能性が、19 世紀後半から議論されてきた。近年の高温高压実験および熱力学モデルによって、上部マントル条件下で非生物有機合成や単純有機分子の重合、環化、芳香族化などが起こり得ることが示されている。マントル内部での非生物有機合成を最も直接的に示す証拠は、マントル由来物質中の流体・メルト包有物内に保存された有機物をその場で同定することである。しかし、包有物中の有機物のその場での検出は、これまでキンバライトや超高压かんらん岩において報告されているものの、ごく一部の地域からの報告に限定されている。特に、マントルの大部分を示す海洋下のマントルに由来するマントル捕獲岩から有機物をその場で検出した例はない。したがって、海洋下のマントル内部での非生物有機合成が実際に起こっているのか、起こっていたとしてどのような有機物が、どのようなプロセスで合成されているのかといった点についてはほとんど理解されていない。

本研究の目的は、マントル捕獲岩中に含まれる包有物内の有機物を特定し、その分子特性と共存鉱物、共存流体を明らかにすることで、地球上部マントル、特に海洋下のマントルで実際に起こっている非生物有機合成プロセスを解明することである。地表付近や試料作製、分析過程における汚染を避けるため、包有物はホスト鉱物内に完全に封入された状態で分析された。本研究では、次の 3 種類の分析を行った：(i) タヒチ、サモアおよびその他 9 地域のマントル捕獲岩に対し、放射光 X 線マイクロ CT を用いて有機物を含む可能性のある包有物を探索し、その後、有機物を含有する可能性が高い包有物（タヒチ、およびサモアの

マントル捕獲岩中の包有物) に対して共焦点顕微ラマン分光分析を実施、(ii) タヒチ産マントル捕獲岩薄片試料中の包有物に対する顕微ラマン分光分析および放射光 X 線ナノ CT による解析、(iii) 同薄片中の単斜輝石に含まれる微小包有物に対する放射光 X 線ナノ CT、顕微ラマン分光法、蛍光顕微鏡観察、および X 線吸収端近傍構造解析。

放射光 X 線マイクロ CT 撮影の結果、タヒチ産およびサモア産マントル捕獲岩には多数の包有物が分布している一方、他地域の試料では包有物はほとんど確認されなかった。タヒチ産試料の詳細解析により、包有物の大部分は CO_2 を主成分とする流体包有物であり、その一部はかんらん石中において芳香族主体の有機物および CO といった還元的流体成分を含むことが明らかとなった (Type A)。さらに、ある単斜輝石中の白金族鉱物を含むメルト包有物に対して顕微ラマン分光分析や X 線吸収端近傍構造解析等を実施したところ、 CO_2 および CO と共存する高度に芳香族化した有機物が確認された (Type A')。また、放射光 X 線マイクロ CT によって、包有物の内壁に膜状構造が発達したものや、内部が低密度軽元素物質で満たされている包有物が稀に確認され、これらからタルク・角閃石・蛇紋石などの含水鉱物、カルサイトおよびマグネサイトなどの炭酸塩鉱物、さらに芳香族および脂肪族主体の有機物が検出された (Type B)。また、サモア産マントル捕獲岩中でも、放射光 X 線マイクロ CT 画像中において内部が低密度軽元素物質で満たされた包有物が確認され、顕微ラマン分光分析により脂肪族主体の有機物が同定された (Type C)。

共存流体や共存鉱物の特徴、および検出された有機物の特徴と過去の高温高圧実験における生成物の特徴の比較に基づき、Type A, A', および B の包有物内の芳香族主体の有機物と Type C の包有物内の脂肪族主体の有機物は、マントル内部で非生物的に合成されたものであると結論づけた。この結果は、海洋下のマントルで実際に非生物的な有機合成が起きており、温度・圧力・酸化還元環境の違いにより脂肪族を主体とする有機物が生じる領域と芳香族を主体とする有機物が生じる領域が上部マントル内に存在することを示す。具体的

には、より還元的な脂肪族主体の有機物がマントルのより深部で形成されていることが示唆される。一方、タヒチ産マントル捕獲岩中で含水鉱物と共存する脂肪族主体の有機物は、マントル内部に広く存在すると想定される還元環境ではなく、捕獲岩の地表への上昇に伴う包有物内での流体-鉱物反応によって生じた局所的な還元環境で形成されたと解釈された。このことは、たとえ包有物内の有機物であってもマントル内部で生成したかどうかという点については慎重な検討が必要であるということを示している。本研究は、海洋下の上部マントルに由来するマントル捕獲岩中の包有物に保存された複数種の非生物有機物をその場で同定した初めての研究である。