

炭酸カルシウム系鉱物の生成速度および多形に及ぼすシアノバクテリアの影響の定量評価

Quantification of cyanobacterial effects on the formation rate and polymorphism of CaCO₃ minerals

河野 元治 [1]; 小保方 寿峰 [1]

Motoharu Kawano[1]; Sumine Obokata[1]

[1] 鹿児島大・理・地球環境

[1] Earth and Environmental Sci, Kagoshima Univ

地球が誕生してから現在までの地球表層環境の変遷には大気-鉱物-生物の相互作用がきわめて大きな影響を及ぼしている。このうち、炭酸カルシウム系鉱物の生成は大気 CO₂ の消費を進行させることで、地球表層環境の温度コントロールや生態系の維持に重要な役割を果たすとともに、全地球規模の元素循環や珪酸塩鉱物の溶解および析出に対しても様々な影響を及ぼしていると考えられている。このように炭酸カルシウム系鉱物の生成は地球環境の変遷や維持機構を理解するうえできわめて重要であるにもかかわらず、生物圏を含めた地球システムとしての生成反応の実態や関与する因子およびその定量評価、さらに反応機構など、不明な点がきわめて多い。そこでこの研究では、鹿児島県霧島市安楽温泉で進行している炭酸カルシウム系鉱物の生成場を研究対象として、地球システム論的視点からの炭酸カルシウム系鉱物の生成反応について検討した。鹿児島県霧島市安楽温泉では温泉水中の炭酸カルシウム系鉱物の生成とシアノバクテリアを主とするバイオマットの発達を観察される。シアノバクテリアは地球上で初めて酸素発生型光合成を行った生物であり、地球表層環境を酸化型に変化させるなど、地球環境の変遷に大きな影響を与えてきたと考えられている。炭酸カルシウム系鉱物に対しても、光合成などの代謝活動による生成促進や有機分子による多形への影響が考えられる。本研究では、まず安楽温泉の化学環境を明らかにするため、温泉水の化学分析、炭酸カルシウム系鉱物の同定と定量、バイオマットを構成するシアノバクテリアの同定を行った。次に、炭酸カルシウム系鉱物の生成に及ぼすシアノバクテリアの影響を定量的に評価するため、温泉水のみを用いた abiotic 系とこれに安楽温泉から単離したシアノバクテリアを加えた biotic 系での生成実験を行った。さらに、シアノバクテリアの影響を反応機構レベルで明らかにするため、シアノバクテリアから抽出した有機分子を含む organic 系での生成実験を行った。

温泉水の湧出口から 1.5m 間隔で 5ヶ所 (A1 - A5) の試料採取地点を設定し、各地点から温泉水、炭酸カルシウム系鉱物、バイオマットを採取した。試料採取後、温泉水については高速液体クロマトグラフィー (HPLC) 法および比色法による化学分析と地球化学コード PHREEQC Ver.2 および熱力学データベース MINTEQ.DAT を用いた飽和度計算を行った。炭酸カルシウム系鉱物については X 線回折分析 (XRD) 法による構成鉱物の同定と定量を行った。また、バイオマットについては光学顕微鏡による形態観察および紫外-可視分光法 (UV-VIS) による含有色素分析によるシアノバクテリアの同定を行った。シアノバクテリアを用いた炭酸カルシウム系鉱物生成実験では、abiotic 系として A1 - A5 地点の温泉水 100ml を用意し、biotic 系として各温泉水にシアノバクテリアを加えた反応溶液 100ml を用意した。なお、biotic 系では安楽温泉から分離・培養したシアノバクテリア (*Phormidium* sp.) を添加し、細胞数 10⁶ cells/ml 相当量に調整した。反応溶液は温度 25℃、照度 4000lx の条件下で 10 日間静置し、1 日毎に溶液の pH、Ca²⁺、HCO₃⁻、タンパク質および多糖の濃度測定を行った。生成鉱物については、反応期間 10 日後に分離して XRD による同定と定量を行った。

生成実験の結果、abiotic 系と比較して biotic 系では急激な溶液 pH 上昇と HCO₃⁻ および Ca イオン濃度の低下および炭酸カルシウム系鉱物の生成速度の増大が確認された。速度論的解析の結果、Ca イオン濃度の低下は見かけ上 1 次反応で進行し、各反応系の速度定数として、abiotic 系 : 0.44 - 0.52 x 10⁵ s⁻¹、biotic 系 : 0.94 - 1.60 x 10⁵ s⁻¹ が得られた。これらの値は、炭酸カルシウム系鉱物の生成速度に関して biotic 系では abiotic 系と比較して 2 - 3 倍の速度増大が生じていることを示している。このような生成速度の増大はシアノバクテリアによる光合成反応により引き起こされていることが明らかとなった。すなわち、光合成反応による炭酸消費によって溶液 pH の上昇が生じ、これにより炭酸カルシウム系鉱物に対する溶液の過飽和度が増大して、結果として析出速度の増大を招いているものと考えられる。また、生成鉱物の同定と定量の結果、abiotic 系と比較して biotic 系ではアラゴナイト生成量の増加が認められ、シアノバクテリアが炭酸カルシウム系鉱物の多形の生成にも影響を及ぼしていることが確認された。反応溶液中に放出された有機分子分析の結果、pH3 付近に等電点をもつ酸性タンパク質によるアラゴナイト生成促進の可能性が示唆された。