

炭酸塩パラドックスの解消を目指した炭酸塩生物学

	研究代表者	東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授	
		鈴木 道生（すずき みちお）	研究者番号：10647655
研究課題情報	課題番号	25B401	
	キーワード	炭酸カルシウム、炭素循環、バイオミネラリゼーション、プロトン	

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

サンゴの骨格、貝殻、真珠、甲殻類の殻、ウニの殻、星砂などの有孔虫の殻は生物の作用（バイオミネラリゼーション）によって形成された硬い鉱物である。これらは炭酸カルシウムなどの炭酸塩を主成分としており、石灰岩はほとんどが生物由来だと考えられている。石灰岩は地球上の炭素の化学形態の多くを占める一方で、炭酸塩の生成時に生じる水素イオン（プロトン）の作用により、炭素固定ではなく二酸化炭素を放出する反応であることが、これまでの定説となっていた（炭酸塩パラドックス）。これは生物が積極的に有機分子を利用して炭酸塩を生成するということに分かる前に、石灰化は無機的な反応で進行するという前提で作られた理論である。最新のバイオミネラリゼーション研究により、生物は石灰化においてpHを上昇させ、特殊な有機分子を用いて炭酸イオンとカルシウムイオンを効率的に出会わせていることが分かってきた。この反応を考えると、石灰化によるプロトンの生成で、二酸化炭素が放出しないという新たな可能性が考えられるようになってきた。物質科学、生命科学、生態科学、環境科学の専門研究者の知を結集し、様々な観点から地球の炭素循環における炭酸塩の位置付けを再考することで炭酸塩パラドックスを解消するための炭酸塩生物学を創成する。

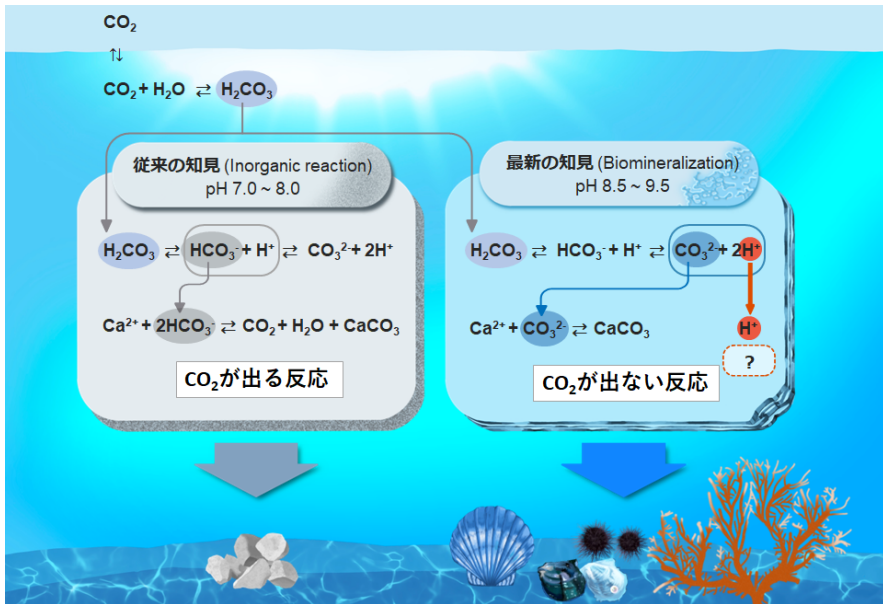


図1 石灰化反応の模式図 左が従来の知見、右が最新の知見

●研究体制

総括班 代表者：鈴木道生（東京大学）

炭酸塩の炭素循環に関する認知度を高めるため講演会、シンポジウムの企画、博物館展示、SNSでの情報発信を行う。またSTEAM教育の専門家が参画しており、アート思考およびデザイン思考を通して領域の融合とアウトリーチの拡大を図り、社会にパラダイムシフトを起こすことを目的とする。

A01物質科学班 代表者：奥村大河（早稲田大学）

有機分子や環境因子が結晶の核生成や成長に与える影響を各反応素過程に分解し、それぞれの素過程が炭素固定に寄与するかどうかを検討する。

A02生命科学班 代表者：鈴木道生（東京大学）

有機基質が石灰化に与える影響を分子レベルで明確化し、プロトンが石灰化の過程でどの細胞組織から代謝、移動するのかを明らかにする。

A03生態科学班 代表者：豊福高志（JAMSTEC）

様々な石灰化生物を室内で精密飼育する技術を有する専門研究者が集結し、観察技術を相互に活用することで詳細な石灰化過程を多角的に記載し比較する。その結果、どの生物の石灰化が、どの程度のプロトンを放出するのか、しないのかを明確化する。

A04環境科学班 代表者：西田梢（東京科学大学）

安定同位体比（B, C, O, Sr）および元素濃度（B, Uなど）を活用し、生物由来の分別効果（vital effect）の精緻化を行うことで、石灰化サイトの炭酸組成や有機基質を介した結晶制御機構を明らかにする。

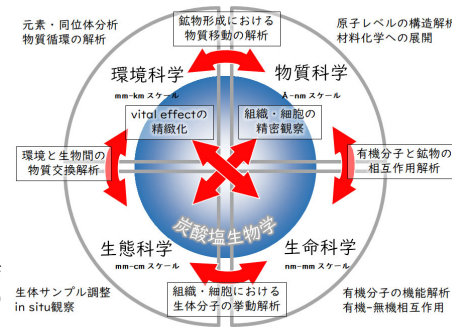


図2 各計画研究の連携の概要

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●炭酸塩の炭素循環における役割の解明

原子からナノレベルの解析を進める物質科学班、ナノからミクロレベルの生体分子を解析する生命科学班、ミクロからセンチレベルの細胞、組織を観察する生態科学班、マクロスケールでの観察、測定を主体とする環境科学班がお互いに緊密に連携することで、炭酸塩生成におけるカルシウム、炭酸、プロトン、有機分子の挙動を明確化する。そして、生物の石灰化反応を精緻化することで炭酸塩生物の炭素収支や石灰化機構の情報を集約し、地球表層圏の物質循環の解読を行う。これらの4つの計画研究は生物における炭酸塩生成について異なる時空間スケールで研究しているが、これらが連携し成果を統合することで「炭酸塩パラドックス」に対する解答が得られ、人類の科学が前進すると信じている。

●社会的パラダイムシフト

生物による炭酸塩が炭素固定に貢献するか否かという問題があるということを、多く学術分野のみならず、社会や、様々なステークホルダーの人々に認識を広げ、炭酸塩パラドックスを解消することで社会的なパラダイムシフトを起こす。これを実現するために、各種研究集会でのシンポジウム企画、論文や書籍の出版、SNSによる情報発信、博物館展示、そしてSTEAM教育を含む教育・アウトリーチ（E&O）活動に力を入れる。

●波及効果

このような取り組みを進めることで炭酸塩の生成が炭素固定に関与すると認知されれば、これまで生態系サービスに含まれなかったサンゴの炭酸塩生成が見直され、環境保全およびネイチャーポジティブを推進する重要性が増すと期待される。また、貝類を含む石灰化生物の養殖産業は、カーボンニュートラルの観点から、CO₂の排出が吸収かで全く逆の評価を受ける可能性がある。さらに、生物による炭酸塩生成のメカニズムを追求することで、人類がCO₂を炭酸塩として効率的に回収する技術の開発に貢献できる。

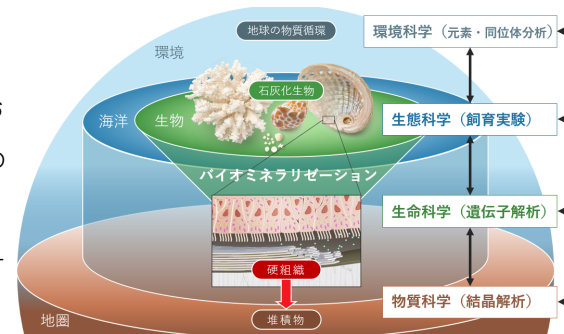


図3 原子から分子、細胞、組織、個体、環境を網羅した研究