

	研究代表者	東京大学・大学院農学生命科学研究科・教授 藤原 徹（ふじわら とおる）	研究者番号：80242163
	研究課題情報	課題番号：26A302 キーワード：元素環境、進化、元素感知、輸送、元素による制御	研究期間：2026年度～2030年度

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

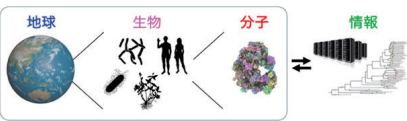
地球上の生物は、環境中の元素を利用して生命活動を営んでいる。環境中の元素組成（元素環境）は時空間的に変化し、それに応じて生物は必要な元素を取り込む仕組みを獲得したり、利用する元素を切り替えたりして、生命機能を維持してきた。また、35億年前に出現した古代光合成生物による酸素発生と、それに続く地球表層の劇的な酸化に代表されるように、生命活動そのものが地球の元素環境を大きく変化させてきた。つまり、地球の元素環境と生命活動は相互に影響しあっており、生物は利用可能な元素の中から特定の元素を選択し、それに依存した生命機能を構築してきたと考えられる（図1）。しかし、特定の元素が選ばれた理由や、元素利用に多様性が生まれたしくみは明らかでない。

生物による元素利用の多様性は、地球における元素環境の変化とともに形成されてきたと考えられるため、従来の生命科学の枠組みだけでは明らかにできない。生物が生存し進化してきた「場」における元素環境を理解する必要がある。これまで、地球における元素環境の変遷は主に地球科学分野で推定されてきた。しかし、生物の元素選択や利用の柔軟性に関わる環境を理解するには、生物を取り巻く局所的かつ具体的な生育環境の元素分布を推定する必要がある。

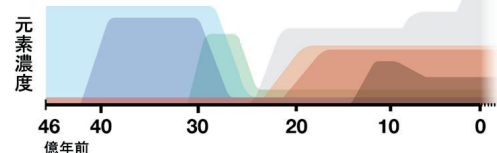
そこで本領域では、生物の元素利用に関する研究で実績のある生命科学者と、地球における元素濃度の高精度な推定で世界をリードする地球科学者との協働を通じて、「生物は環境に応じて利用元素の種類や使い方を変える」というこれまでにない概念を構築し、新たな学問分野「元素生命学」を国内外に先駆けて創成する（図1）。

「元素生命学」
領域の問いと構成

問い

なぜ、生物は各元素を
使うようになったのか？異なる分野の研究者が連携して
「生物と地球の共進化」
を明らかにする

B01 元素環境の変化

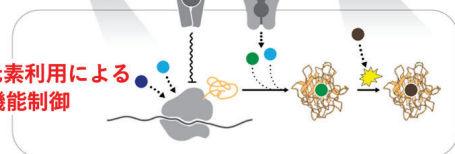


A01 元素利用の進化



生物による各元素の利用歴

A02 元素の感知と輸送

A03 元素利用による
機能制御

●領域の構成

本領域では「なぜ、生物はそれぞれの元素を選択して利用するようになったのか」を明らかにするために、生命と元素に関する課題を生命科学と地球科学で整理しながら連携して研究を進める。具体的には、生物進化における元素の役割、生物による元素の感知・取り込み、取り込まれた元素による生体機能の制御という3点の生命科学的な課題に着目し、それぞれ「適応・進化（A01）」「感知・輸送（A02）」「発現・機能（A03）」として研究項目を設けた（図2）。これらの研究項目では、対象とする生物や生命現象の発現時期・場所を明確にし、その時空間での元素環境を「元素環境多様性（B01）」で地球科学的視点から推定することで、生物がどのように元素環境にตอบสนองしてきたのかを実証的に解明する（図2）。

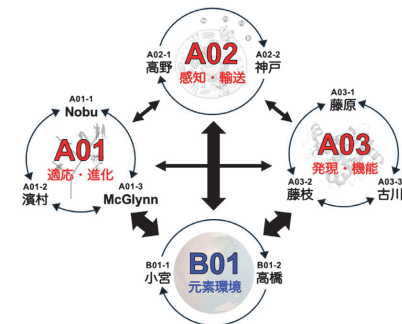


図2 本領域を構成する計画研究

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

本領域では、「なぜ生物は特定の元素を選択して利用するようになったのか」という問いに取り組む（図3）。この問いに答えるため、各研究項目ごとに具体的な目標を以下のように設定している。

●研究項目A01「元素環境と生物の適応・進化」

地球史における元素環境の変化と生物進化の関係を明らかにする。微生物の系統解析と元素利用の実態をもとに、元素利用に関わる進化の分岐点を特定し、その時代と場所を明らかにする。これを基に、B01と連携して当時の元素環境を復元し、環境変化が進化に与えた影響を検証する。

●研究項目A02「元素環境と生物における感知・輸送」

生物が特定の元素を感知・輸送する仕組みと、その獲得時期・環境を明らかにする。さらにB01と連携し、当該元素の溶解性などの変化を解析することで、これらの機構が成立・維持された環境条件を明らかにする。

●研究項目A03「元素環境と生体分子の発現・機能」

遺伝子発現、タンパク質構造、酵素活性が元素環境に応じてどのように変化するかを解明する。B01から得られる地球科学的情報に基づき元素置換を行い、生体分子の構造・機能の変化とその進化的・将来的な可能性を検証する。

●研究項目B01「地球における元素環境の時空間多様性」

A01～A03が対象とする時代・環境について、元素環境の変遷と多様性を明らかにする。堆積岩や小惑星、熱水環境などの試料を用いた精密分析により、元素の存在状態や濃度の変化を復元し、生物進化との対応関係を検討する。さらに、生物学的知見を取り入れて、元素分布に対する生物活動の影響も評価する。

また、総括班が主導するプロジェクトでは、元素環境の履歴が記録された地質サンプルを手がかりに、各時代の環境に対応した微生物の元素利用を同定し、生命がどのように元素を選択して利用してきたのかを明らかにする。さらに、地球化学的予測に基づいて将来の元素環境の変動を見据え、現在は利用されていないが潜在的に利用可能な元素群を抽出し、それらを生物が利用するために必要な細胞・分子レベルの条件を明らかにする。

以上より、生物による元素利用とその環境的背景を生命科学と地球科学の両面から解明し、生物が環境に応じて元素利用を柔軟に変化させてきたという新たな概念を提示する。これにより、「元素生命学」という新しい学問領域の確立を目指す。

生命による元素利用の変遷・仕組みを明らかにする

地球の元素環境にどのような変化があったのか？

どのような元素環境で生命が誕生したのか？

利用する元素がどのように切り替わったのか？



特定の元素がいつから使われ始めたのか？

図3 本領域での解明を目指すこと

図1 「元素生命学」の創成に向けた学術的な問いの設定と領域構成