



領域代表者	東京工業大学・理学院・教授	
	上野 雄一郎（うえの ゆういちろう）	研究者番号:90422542
研究領域情報	領域番号：22A206 キーワード：惑星環境、化学進化、前駆代謝、バイオマーカー	研究期間：2022年度～2026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

この研究領域は、生命を生み出す惑星環境を解明することを目的とし、一酸化炭素COから有機分子が生成する惑星環境(CO world)の研究を学際的に推進することでブレークスルーを生み出す計画である。

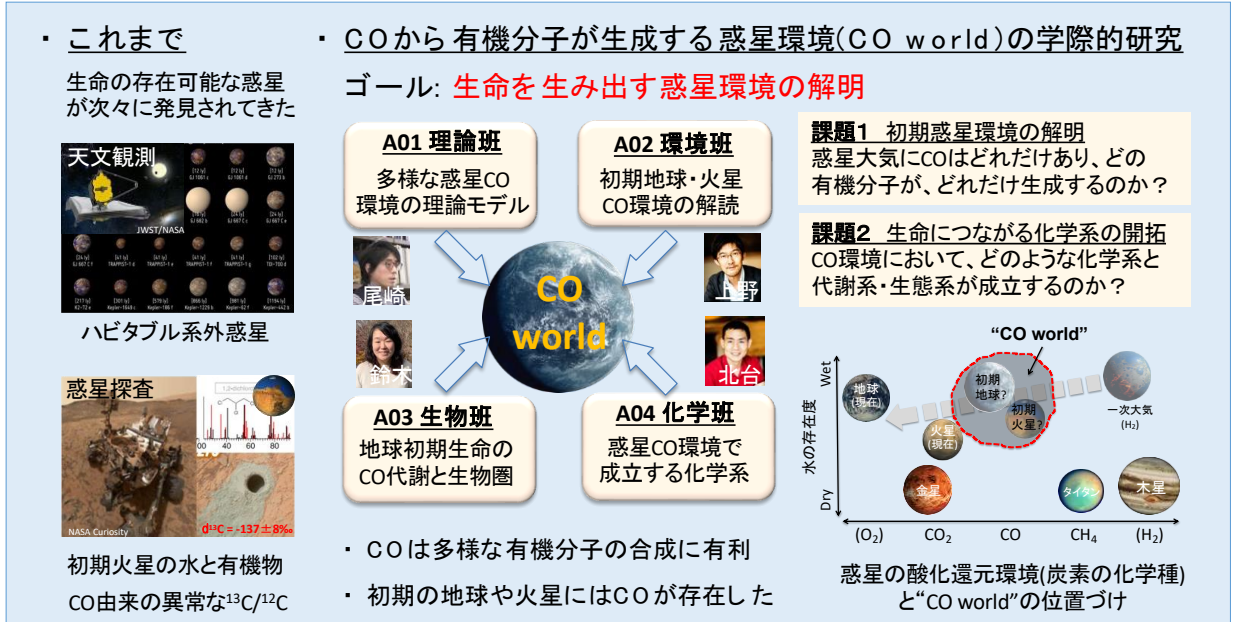


図1 CO world研究領域の概要

これまでの天文観測や惑星探査によって、地球以外にも、生命活動の可能な天体が次々に発見され、これらの天体に、生命の痕跡を発見することを目指した観測がすでに始まっている。しかしながら、どのような惑星環境が生命の誕生に必要なのか？という根本的な問題は未解明である。

この研究領域では、酸化還元状態に応じた主要な炭素の化学種(CO₂/CO/CH₄)の違いがもたらす惑星環境の多様性を俯瞰し、その体系化を目指す。なかでも、COに富む環境は、多様な有機分子を合成するのに適している。一方、微生物代謝を見ても、最古の炭素固定経路はCOを炭素源として利用できることも地球生命の初期代謝にとって極めて興味深い。さらに近年、初期の地球や火星の大気にCOが存在したことが理論的に予測され、その地球化学的な証拠も見つかっている。

このような研究分野の現状を踏まえて、この領域では、従来見過ごされてきた惑星環境“CO world”の研究を、4つの学問分野の融合により推進する。理論班(A01)と環境班(A02)は、それぞれ惑星大気・物質循環の理論モデルと同位体分子等の地球化学的な観測・実験から、初期の地球や火星、その他の系外惑星の大気にCOがどれだけ存在するのか、また、そのCOからどの種の有機分子がどれだけ生成するのかを明らかにする。一方、生物班(A03)と化学班(A04)は、そのような惑星環境の下で、どのような生態系と化学反応系が成立するのかを明らかにする。

生命を生み出すには、材料となる有機分子が存在するだけでは不十分である。むしろ、それらの材料分子が常に生み出される反応のシステムが環境中に存在している必要がある。本領域は、COに着目することにより、生命代謝につながる化学系(前駆代謝系)が、現実の惑星環境において成立することを実証する計画である。また、このような分野を横断する取り組みを通し、今後の天文観測と惑星探査において生命活動の痕跡を判別するための具体的方法（バイオマーカー）を提示することにより、当該分野の変革をもたらす。

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

- **理論班**は、大気中の炭素の酸化還元状態に応じた地球型惑星環境の多様性を理論的に研究し、次世代望遠鏡等を用いた生命を宿す惑星の探査に向け、理論的基盤を確立する。特にCOを主成分とする惑星大気中で、生命の前駆代謝に重要な有機化合物の生成速度や環境状態を明らかにする。また、太陽系外惑星としての検出可能性を検証する。具体的な達成目標は、1) 地球型惑星がCO大気をもつ物理化学的條件の解明、2) 初期地球や初期火星に代表される惑星CO環境中で生じる物質循環過程の定量評価、3) CO₂/CO/CH₄ 大気分光特性の包括的理解と生命存在指標(バイオマーカー)の確立である。
- **環境班**は、地球と火星の初期環境の復元を目的として、直接観測できない過去の大気化学、生物活動、無機合成過程を解読するために、分子レベルの安定同位体比計測法(同位体分子計測)を開発する。大気・生物・化学過程でそれぞれ生成する有機分子が示す同位体分子組成の特徴を明らかにし、生物がつくる有機分子を判別する指標(バイオマーカー)を確立する。大気COの化学過程は火星大気の観測と室内での光化学実験により解明し、CO大気から供給される有機分子とその同位体分別の特徴を明らかにする。また、極限CO環境の観測を生物班と協働し行い、初期地球アナログ環境の物質循環を解明するとともに、指標の有用性を実証する。以上の同位体指標と、理論班と協働で構築する大気モデルを用いて、地球史岩石試料および火星隕石に残る有機分子の同位体異常を解析することにより、初期地球および火星において、大気COを起点とする物質循環を明らかにし、生物の存否も含めたそれらの初期惑星環境を解読する。
- **生物班**は、未だ不明な部分が多いCO代謝の微生物学を拡充し、COが駆動する始原的生命代謝に迫る。酸素に満ちた現在の地球においてCO環境は例外的である。この研究では、現在の地球に残る初期環境アナログで、酸化還元度の異なる2つの極限環境「非生物由来のCH₄とCOが共存する超還元蛇紋岩水系」および「CO₂とCOが共存する深海の液体CO₂プール」でフィールド調査を行う。それらの環境から新規CO代謝微生物の分離培養し、代謝解析、進化学的解析を行うことで、CO駆動型生命のエネルギー代謝、炭素固定、生体分子合成に至る過程の多様性を提示する。また、COが駆動する微生物代謝の成因・特性・環境制約を体系的に明らかにする。重要な酵素・代謝経路は、合成生物学的手法・生化学的手法を用いて創出・解析し、いかなるCO環境でこういった原始的生命代謝が進行したかを提示する。
- **化学班**は、COを起点として惑星環境中で成立し、生命代謝につながる化学系(前駆代謝)を理論的に追究し、実験により実証する。まず、数理モデルから、必要な反応の組み合わせや、反応選択性の数値目標を導き出す。この設計に基づき、実験ではCOやその派生物を炭素源とした有機酸生成ルート、及びN₂や硝酸を窒素源としたアミノ酸・ペプチド・核酸塩基の生成ルートを順次開拓する。また、アミノ酸/ペプチド-鉱物複合体触媒を開発し、反応選択性の向上に利用する。前駆代謝の反応メカニズムは、生物班が導く始原的CO代謝の情報と、合成生物学的手法で作出す疑似酵素から推測する。一方、理論班と環境班が導き出すCO環境を模擬した実験を行い、COを含む単純な無機物から、アミノ酸などの材料分子を持続的に生成・重合する化学系が、実際の惑星環境で成立することを実証する。

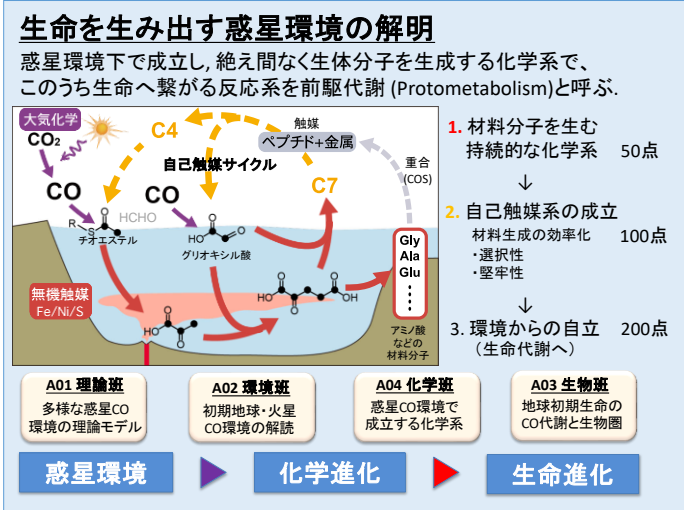


図2 領域ゴール1: 生命を生み出す惑星環境の解明

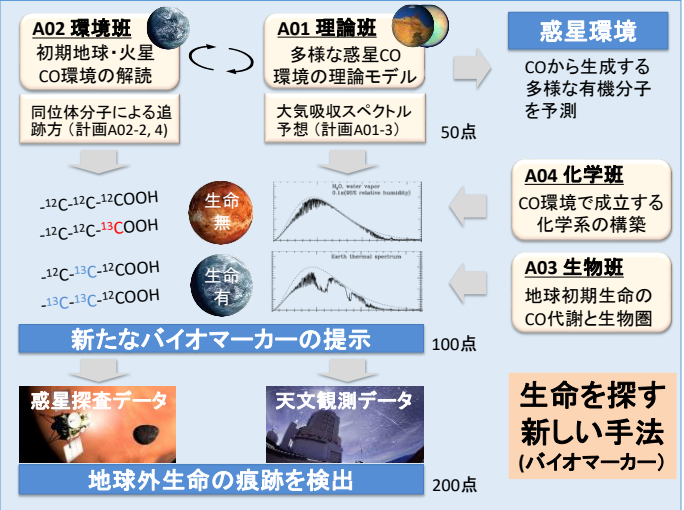


図3 領域ゴール2: 惑星観測によるバイオマーカーの構築