

宇宙が映す生命：地球生命の未来予測に向けた環境応答と制御系ロバストネスの理解

宇宙が映す生命：地球生命の未来予測に向けた環境応答と制御系ロバストネスの理解



筑波大学・医学医療系・教授

村谷 匡史（むらたに まさふみ）

研究者番号：50730199

研究課題
情報

課題番号：25A402

研究期間：2025年度～2029年度

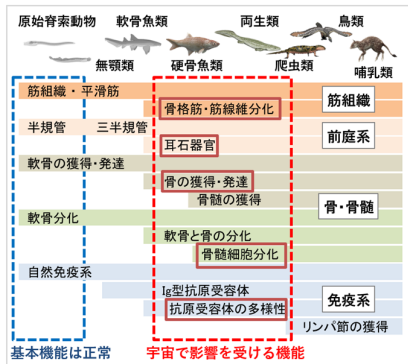
キーワード：宇宙生命科学、重力、環境応答、アストロバイオロジー、システム生物学

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

人類が長期間にわたって宇宙で暮らすためには、健康の維持や食糧の生産といった課題を乗り越える必要がある。それにむけて、多様な生命体が宇宙環境でどのように変化するかを理解する研究が行われてきた。また、40億年にわたり地球で育まれてきた生命が、未知の宇宙環境においてどのような振る舞いを見せるのかを探ることは、地球環境の変動や未来の惑星間進出に対する生命の適応力を見直す新たな手がかりとなる。

国際宇宙ステーションの「きぼう」実験棟では、微小重力環境を利用して、マウスをはじめとした動物や植物を用いた実験が行われてきた。これにより、宇宙では身体さまざまな機能が変化することが明らかとなった。ただし、すべての機能が影響を受けるわけではなく、その変化には特有の傾向がある。その仕組みの解明は、重力が生物にとってどのような意味を持つかを理解する手がかりとなるだろう。



興味深いことに、宇宙で起こる変化のなかには、脊椎動物が進化の過程で海から陸へと進出した際に獲得した機能が低下する現象が含まれている。たとえば、陸上で姿勢維持や運動に必要な骨や筋肉、体内のミネラル環境を保つ仕組みなどが、祖先的な状態に近づくような変化を示す(図1)。

この「宇宙における先祖返り」とも呼べる現象は、生物の特徴が固定された進化の結果だけではなく、地球環境への絶え間ない応答の上にも成り立っていることを示唆している(図2)。さらに、マウスを用いた研究では、宇宙滞在の影響が次世代にも及ぶことが明らかになっている。これまで、生物の基本的な特徴は短期間では変わらないと考えられてきたが、月や火星のように地球よりも重力が小さい環境では、生命が異なる進化の道を歩む可能性が見えてきた。これまで生命の陸上生活に必要な複雑な生体機能が獲得された進化過程の解明は難しいとされてきた。しかし、環境応答に注目すると、実験的なアプローチがより有効となる。この考え方に基づけば、継続的な環境応答と世代間影響をモデル化し、過去や未来を予測することが可能と考えられる。

こうした背景のもと、本領域では、地球上で生体機能を一定に保つ「恒常性維持機能」と、宇宙環境に応じて変化する「環境応答性」という、相反する二つの性質について、ゲノム（遺伝情報）、エピゲノム（遺伝子のスイッチ）、そして世代を超えた影響の視点から解明を目指している。さらに、地球上では通常見えにくかった機能を引き出すことは、ゲノムに隠された新たな能力を発見し、その応用につながる可能性がある。これにより、宇宙と地球における健康管理や食糧生産、環境問題への対応、さらにはバイオメティクス（生物模倣技術）など幅広い分野への貢献が期待される。

こうした背景のもと、本領域では、地球上で生体機能を一定に保つ「恒常性維持機能」と、宇宙環境に応じて変化する「環境応答性」という、相反する二つの性質について、ゲノム（遺伝情報）、エピゲノム（遺伝子のスイッチ）、そして世代を超えた影響の視点から解明を目指している。さらに、地球上では通常見えにくかった機能を引き出すことは、ゲノムに隠された新たな能力を発見し、その応用につながる可能性がある。これにより、宇宙と地球における健康管理や食糧生産、環境問題への対応、さらにはバイオメティクス（生物模倣技術）など幅広い分野への貢献が期待される。

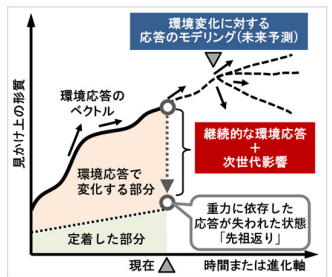


図2 継続的な環境応答と世代間影響

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

●研究項目A01: 発生・解剖・生理学的な恒常性維持機能セットポイントの環境による変化

図1に示す各器官・組織の宇宙環境下での変化に関わる遺伝子やゲノム領域を同定し、共通するエピゲノム制御の特徴を明らかにする。さらに、重力を感知・伝達する中枢および末梢神経の制御機構や、それらの進化的な背景についても掘り下げる。これらの知見を哺乳類以外の生物にも広げ、動物における重力応答の発達と制御の仕組みを探る。

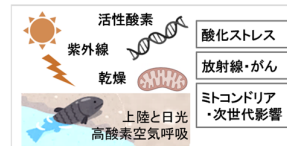


図3 A02が対象とする環境・酸素応答系

●研究項目A02: 環境ストレス応答系の制御と世代間影響

酸化ストレス応答、紫外線や放射線応答、ミトコンドリアの代謝機能は、生命が陸上へ進出した際の環境への適応に関わるものであり、宇宙でも変化がみられる(図3)。本項目では、宇宙実験サンプルや地上模擬実験を用いて、これらの分子機構や世代間影響を解析し、宇宙環境応答に関連する遺伝子やエピゲノム制御の状態を明らかにする。

●研究項目A03: 微生物から生態系、ヒトと社会への展開

植物の宇宙実験では、重力応答と混ざり合っていた光や水、接触刺激に対する屈性やストレス応答といった、それぞれの性質が顕在化する。これらの制御に関与するゲノム領域を明らかにし、進化系統にそって生物種間の比較を行う(図4)。また、重力応答に関与するセンサーや細胞内構造に注目し、進化的背景を探る比較メカニク生物学を展開する(図5)。

●期待される成果と波及効果

地球上での進化を通して定着していたかに見えた生物の基幹的な制御系の頑強性（ロバストネス）が、重力の喪失のような劇的な変化により失われる脆弱性を併せ持つことは、人類が宇宙に進出して初めてもたらされた重要な気づきである。またそれは、いかなる環境にも対応し、世代を繋ごうとする生命の核心とも捉えられる。本領域では、宇宙環境が映し出す、これまで認識されることなかったゲノムに刻まれた潜在機能と生理的適応の広がり、恒常性維持機能と環境ストレス応答を軸に探索し、その頑強性・柔軟性をシステムレベルで解明する。

さらに、そこから演繹的に導かれる推論を、微生物からヒトに及び多様な生物種に相互投射し、理論体系と実験系を発展させ、地球生命の未来予測を展開する。これを通して、人類と地球生態系の調和と宇宙惑星進出という大きな使命の達成に寄与する融合領域としての、新しい生命科学の学理を構築する(図6)。

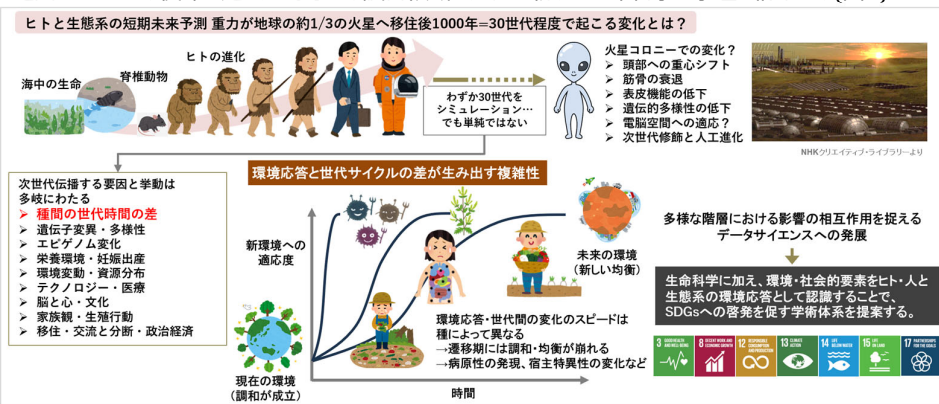


図6 地球生命の持続的生存と発展に資する新たな学理の体系化に向けた取り組み

イメージはBioRender、NHKクリエイティブ・ライブラリー、いらすとや、より

ホームページ等

「宇宙が映す生命」領域ホームページ <https://www.life-in-space.org>

