

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI)

令和3(2021)～令和6(2024)年度WPIアカデミー拠点活動状況報告書

ホスト機関名	東京科学大学	ホスト機関長名	大竹 尚登
拠点名	地球生命研究所		
拠点長名	関根 康人	事務部門長名	吉田 尚弘

全様式共通の注意事項：

※特に指定のない限り、令和7(2025)年3月31日現在の内容で作成すること。

※文中で金額を記載する際は円表記とすること。この際、外貨を円に換算する必要がある場合は、使用したレートを併記すること。

WPI アカデミー拠点の活動状況の概要 (2ページ以内に収めること)

2012年から2022年までの最初の10年間、ELSIは現在の「地球-生命系」へと至る一連の多様化と選択のプロセス(通称「ELSIモデル」)を提示した。しかし同時に、これは新たな根本的問いを提起することとなった。宇宙には、これとは別の「惑星-生命系」が存在するのか。生命誕生に至る道筋は他にもあるのか。もし生命の存在しない惑星を発見した場合、それをどのように特徴付け、そこから何を学ぶことができるのか。地球は、現在、我々が生命の存在を知る唯一の惑星である。地球における生命の起源を明らかにすることは、特定の一つの歴史を研究することに近い。生命起源の科学が「ユニバーサル・バイオロジー(普遍生物学)」へと昇華するためには、ELSIモデルにおける「代替的な生命」や「生命が存在しない惑星」の出現可能性を理解することが不可欠である。

WPI補助金期間終了後、ELSIは「ユニバーサル・バイオロジー」の発展に向け、多様な惑星環境の形成と進化、およびそこで起こる化学進化プロセスの解明に取り組んできた(図1)。地表の水、栄養素の利用可能性、大気や海洋の酸化還元状態といった惑星環境は、太陽系内外の地球型惑星や氷天体において多様である。惑星の形成過程は、これらの環境を決定づける上で、極めて重要な役割を果たした。我々は、こうした多様な惑星環境下で地球化学的循環や有機化学進化がどのように起こるのか、また、それらの分類や体系化が可能かどうかを調査している。最終的には、合成生物学や複雑系科学の手法を用い、各環境下で生成され得る分子システムを予測する方法論の研究にも取り組んでいる。

図1に示す「惑星形成から分子システムの形成まで」を網羅する研究ビジョンのうち、ELSIは特に以下の2つの主要トピックと4つのサブトピックに注力している。主要トピックの一つとして、ELSIは惑星環境における有機・地球化学ネットワークの予測を試みている(1. 惑星における有機・地球化学ネットワーク)。地球力学的な循環と水文地球化学サイクルの知見を組み合わせることで、惑星における生命に不可欠な元素や栄養素の化学循環に関する一般モデルの構築を目指す。さらに、有機化学、システム化学、触媒化学との連携を通じて、異なる地質学的背景を持つ惑星天体における原始代謝ネットワークや化学進化の可能性を調査する。これらは、機能性高分子や分子の多様性と選択性を予測するためのボトムアップ・アプローチとなる。

もう一つのトピックとして、惑星科学の文脈における合成・理論生物学を発展させている(2. 宇宙における合成生物学および理論生物学)。合成生物学、天文学、惑星科学の連携により、変化する惑星環境下での人工進化実験を行う。初期火星や冥王代の地球を考慮すると、それらの系における惑星居住環境は、現在の地球よりもダイナミックに進化していた可能性がある。ネットワーク理論、地球物理学、天文学を組み合わせることで、環境変化に応じた生物地球化学ネットワークの規模や複雑性の変化を予測する。これら2つのトピックに関する詳細な個別研究については、後述のセクション2に記載する。

これら仮説上の惑星環境の形成と、そこでの有機化学進化は、現在進行中あるいは将来予定されている太陽系探査や系外惑星の宇宙望遠鏡による観測結果と比較されるべきものである。したがって、ELSIはJAXA、NASA、ESA、国立天文台(NAOJ)などの研究機関と国内外で連携を図るべきであり、これはまさにWPIとしての「研究ハブ」となるという我々のビジョンに合致するものである。

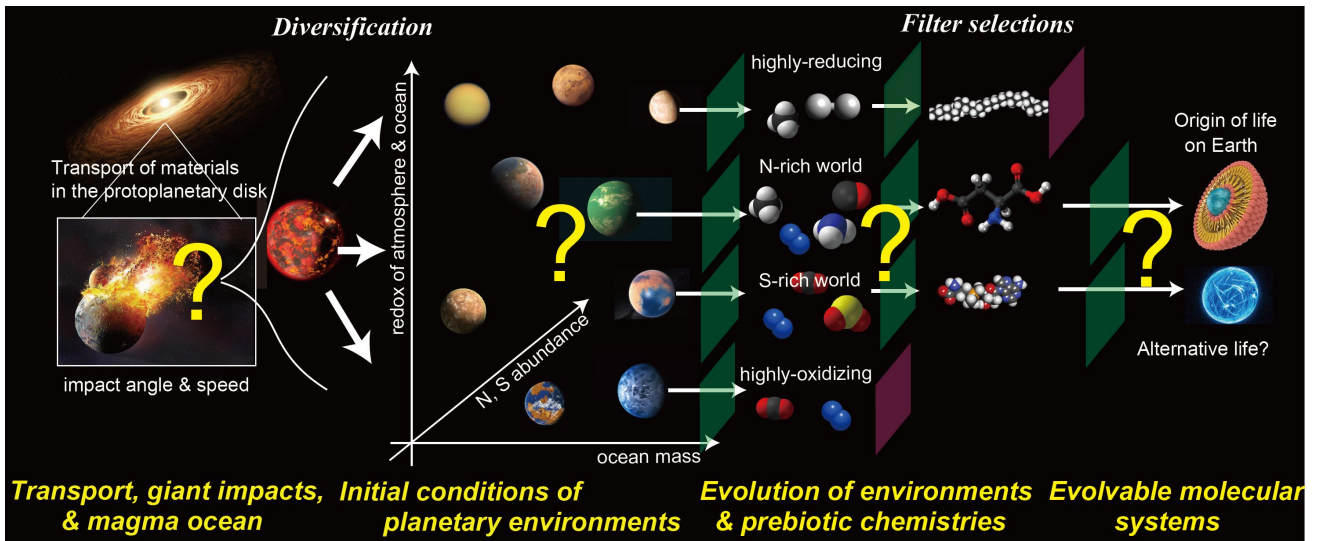


図 1：海洋の量、栄養素の利用可能性、大気・海洋系の酸化還元状態などを含む、惑星環境の多様化の形成に関する模式図。特定の環境下では、有機化学進化が起こり得る。ELSI は、この全体像を描き出し、宇宙探査機や望遠鏡による観測結果と比較する試みを続けている。

所長およびサイエンス・コーディネーターは、国際共同研究を牽引するために主導的な役割を果たしてきた。特に、以下の3つの手法を通じて、世界トップクラスの頭脳の国際循環を促進している。第一に、若手研究者（ELSI 所属の研究者および ELSI コースの博士課程大学院生）を対象に、欧米の主要な研究パートナー機関と2年程度の長期派遣・交流を推進している。第二に、将来有望な中堅・若手研究者を、任期付の准主任研究者（A-PI）または研究員として採用している。受入機関として、ELSI は世界最高水準の施設・設備を提供するとともに、外国人研究者への生活支援体制も整備してきた。これら2つの取り組みを通じて、ELSI は宇宙・地球・生命科学を繋ぐ学際的な研究者の「アゴラ（集いの広場）」であり続け、アストロバイオロジーや普遍生物学といった真に新しい学問領域を創出していく。これらに加え、アストロバイオロジーおよび生命起源科学の分野において世界をリードするトップ機関の一つであり続けるため、国際シンポジウムや会議を継続的に開催している。ELSI は、卓越した科学のハブとして機能し、世界中からアクセス可能で魅力的な研究拠点となるよう、たゆまぬ努力を続けている。