



東京工業大学 地球生命研究所

Earth-Life Science Institute, Tokyo Institute of Technology



ELSI概要

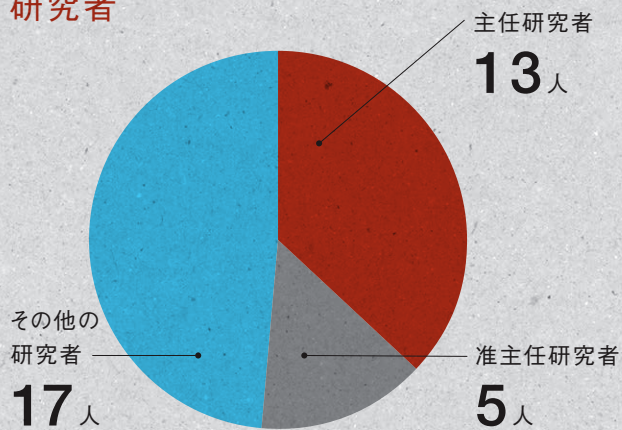
(2022年8月1日現在)

研究者と支援職員 合計**61**人

メンバー



研究者



多様性

外国人研究者 **17**人(49%) 女性研究者 **8**人(23%)

査読のある学術誌に
2021年に発表された論文

165本



論文

シンポジウム



ELSIが主催した国際シンポジウム

10回

世界の研究機関・大学との
国際共同研究



ネットワーク

環境



オープンでフラットな研究環境

毎週水曜日の午後には、
ELSIやゲストの研究者によるセミナーを開催



セミナー

アウトリーチ



社会的インパクトの評価を行うため、
年間を通じてエビデンスに基づく
アウトリーチ活動を実践



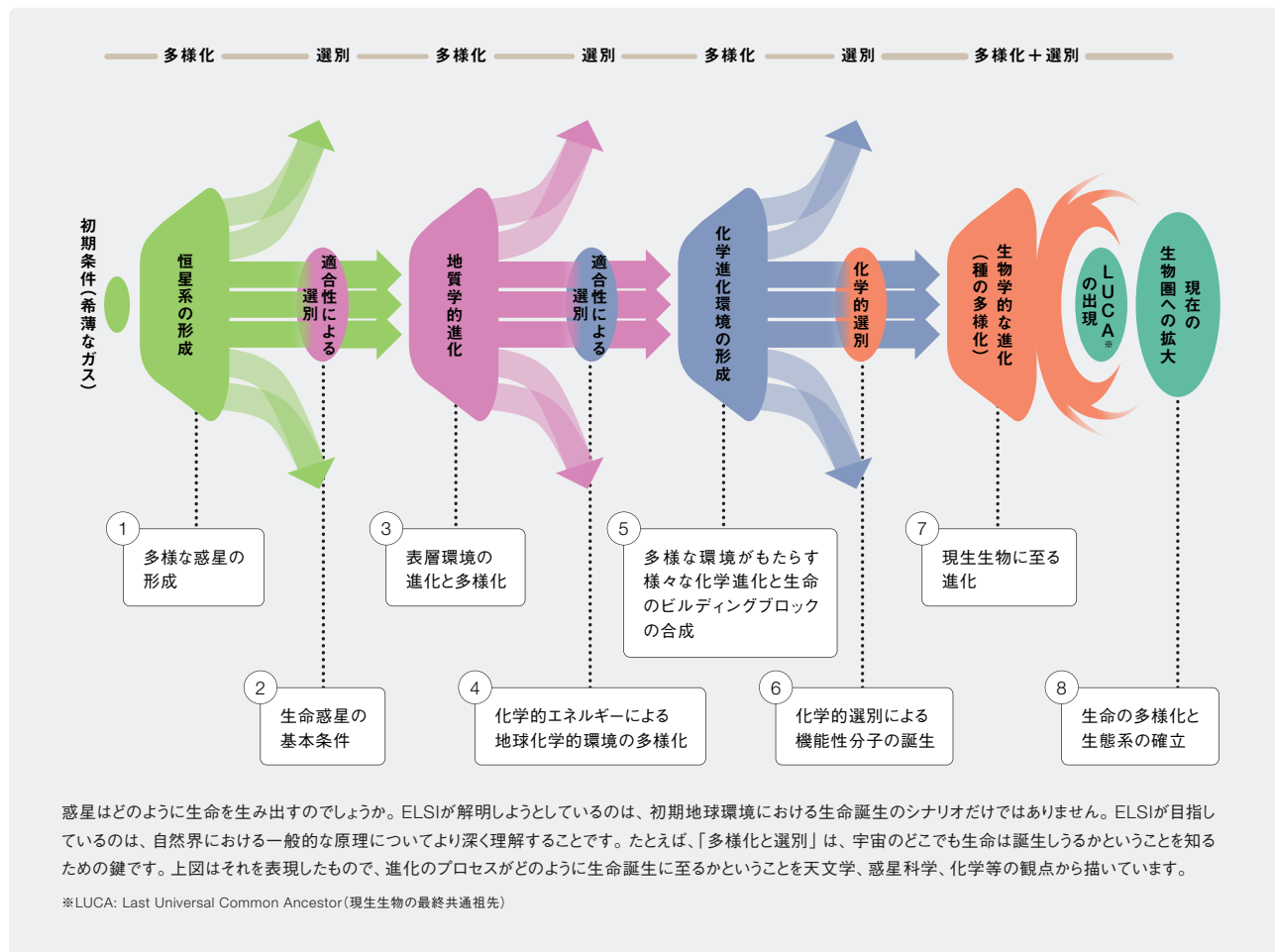
ELSIについて

生命は無機物質からどのようにして誕生するのでしょうか。この大きな謎は、少なくとも一度は解決しました。謎を解いたのは人間ではなく、38億年以上前の初期の地球の自然環境です。人が作りあげた学問は、天体物理学や地質学、あるいは化学などの分野に分かれていますが、自然はそのような分野の壁の中で生命を生み出したわけではありません。生命は、原始的な惑星に存在していた無数の資源と制約のない自然環境の中で誕生しました。地球生命研究所 (ELSI) は、この自然界の実例にヒントを得て、分野の垣根を超えたオープンなコラボレーションと多様性という、自然に倣った独自の成功戦略を取り、科学史上の最難問の一つに取り組むためにふさわしい、新しい文化を創造しています。

「ELSIだからできる」——東京にあるELSIを訪れた研究者が、その経験を説明するときにこのようなセリフをよく口にします。こ

れは、研究者同士の対話や協力体制、そしてアイデアがELSI独自のものであることを示しています。ELSIでは、幅広い分野の研究者が集まり、他では見られないような異分野間の共同研究を行っています。例えば「アゴラ」と呼ばれるオープンスペースでは、毎日のコーヒータ임に天体物理学者、化学者、地球物理学者、生物学者たちの間で議論が自然に始まり、ユニークかつパワフルな新しい科学的概念が生まれています。こうしたことが実現できるのは、ELSIがこれまでに例のない幅広さと野心をもつ研究機関だからです。東京工業大学（東工大）の環境や、新たな科学の領域を創造し支援する特別な環境の中で自然発生的に起こる日本と世界の間のダイナミックな相乗効果によって、「ELSIだからできる」ことは増えていきます。

ELSIは、世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) の一環として文部科学省の補助金により設立されました。WPIの目



標は、(1) 最先端の科学を進展させ、(2) 新しい学際融合領域を創出し、(3) 世界水準の国際的研究環境を提供し、(4) これらの目的を達成するために適した運営組織を形成するための改革を実施することです。これらの4つの柱は、ELSIの計画に深く織り込まれており、このすべての目的に責任をもって取り組むことが、設立後、最初の10年間の指針となりました。2022年にELSIはWPIアカデミー拠点の認定を受け、大学院プログラムを通じて地球生命科学の正式な教育を行うことになりました。そのため、WPIの新しいミッション「世界を先導する卓越研究と国際的地位の確立」「国際的な研究環境と組織改革」「次代を先導する価値創造」にも適応しています。ELSIは、日本の卓越した大学・研究機関に設置された17のWPI研究機関の一つであるだけでなく、地球と生命の起源の学際的研究を行う、他に類のない研究・教育機関です。



「科学」「融合」「国際化」「改革」という従来の4つのミッションを高度化し、「次代を先導する価値創造」を加えた、新たなWPIミッションが策定されました。

- ① ICReDD：北海道大学 化学反応創成研究拠点
- ② AIMR：東北大学 材料科学高等研究所
- ③ QUP：高エネルギー加速器研究機構 量子場計測システム国際拠点
- ④ IIIS：筑波大学 国際統合睡眠医科学研究機構
- ⑤ MANA：物質・材料研究機構 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点
- ⑥ Kavli IPMU：東京大学 カブリ数物連携宇宙研究機構
- ⑦ IRCN：東京大学 ニューロインテリジェンス国際研究機構
- ⑧ Bio2Q：慶應義塾大学 ヒト生物学・微生物叢・量子計算研究センター
- ⑨ NanoLSI：金沢大学 ナノ生命科学研究所
- ⑩ ITbM：名古屋大学 トランスフォーマティブ生命分子研究所
- ⑪ iCeMS：京都大学 物質－細胞統合システム拠点
- ⑫ ASHBi：京都大学 ヒト生物学高等研究拠点
- ⑬ IFReC：大阪大学 免疫学フロンティア研究センター
- ⑭ PRiMe：大阪大学 ヒューマン・メタバース疾患研究拠点
- ⑮ SKCM²：広島大学 持続可能性に寄与するキラルノット超物質拠点
- ⑯ I²CNER：九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所



ELSI
東京工業大学
地球生命研究所
拠点長：関根 康人

世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) は、全国17の研究機関で構成されています。

ELSIの科学

地球の起源と生命の起源を探ることは、どちらも「惑星はどのようにして生命を生み出すのか?」という問いに答えることにつながります。ELSIは、地球の起源と生命の起源が同じ科学的問題の一側面であるという理解に基づいて設立されました。地球はいくつかの段階と層を経て形成されましたが、ELSIの主要な研究領域はそれらの段階に対応しています。惑星の形成を知るには、星の誕生時に遡る必要があります。なぜなら、誕生の時期に、その星の多様性の最初の基盤が形成されるからです。惑星は常に構造的、化学的に変化し、大気や、時には海や磁場を形成しながら、時間とともにそれぞれの惑星の独自の地質学的歴史を歩んでいきます。地球や、おそらく他のどの惑星でも、地表付近の地質の化学反応が、生命を生み出す最初の分子やエネルギーの流れを作り出したと考えられています。地質化学と生物化学は常に絡み合い、その結果、長い時間をかけて地質と生物の組み合わせによる進化が起こってきました。惑星と生物圏で複雑性を生み出すための多様化と淘汰の根底にある共通のダイナミズムを知ることで、地球上の生命の惑星の基盤を理解し、太陽系外惑星における複雑性の可能性を探ることができます。

ELSIの研究者は、幅広い分野の研究に従事しています。たとえば、時間のスケールでは数十億年からマイクロ秒まで研究対象です。また、空間のスケールでは、銀河から生体内の分子まで、または深海熱水噴出孔から陸温泉まで、地球の中心から海王星の衛星まで、といった多様な研究に取り組んでいます。ELSIでは、これらの研究がすべて一つの建物内で行われていま

す。このため、微生物学者が惑星科学者と、化学者が神経ネットワークの専門家と相談することが可能です。地球や生命の起源といった広範で困難なテーマを扱うには、分野ごとに分かれた通常の体制とは異なる方法で、研究者同士が関わり合う必要があります。研究者同士のつながりを持つこと、そして分野の垣根を超えて耳を傾けることは、科学的目標とは別に、ELSIの研究者や学生が目指していることです。「惑星はどのようにして生命を生み出すのか?」という問いに答えるという共通の目的が、新しいアイデアや技術を探求する刺激となり、他分野の研究者と交流しあう原動力となっているのです。ELSIの研究成果は、比較的短期間のうちに、世界中の惑星研究に取り組む研究者を触発し、生命とその起源について考える新しい革新的な方法を提供することができています。

ELSIに過去に在籍した多くの研究者たちは、現在世界中の研究所で、分野横断的な科学的探求を基礎とした独自の研究を構築しています。ELSIは学際的かつ国際的な大学院プログラムとして「地球生命コース」を新たに設立しました。このプログラムでは、教員はチームで学生の指導を行い、惑星や生命といった幅広いテーマを統合的に扱います。これは単一の学院で行うことができない画期的なアプローチです。学生は地球生命科学という学問の広大さを体験します。ELSIは、宇宙の生命の起源と進化に関する現在の惑星化学の知識を拡大するブレイクスルーの触媒となり、次世代をリードする研究者が誕生する舞台を整えています。





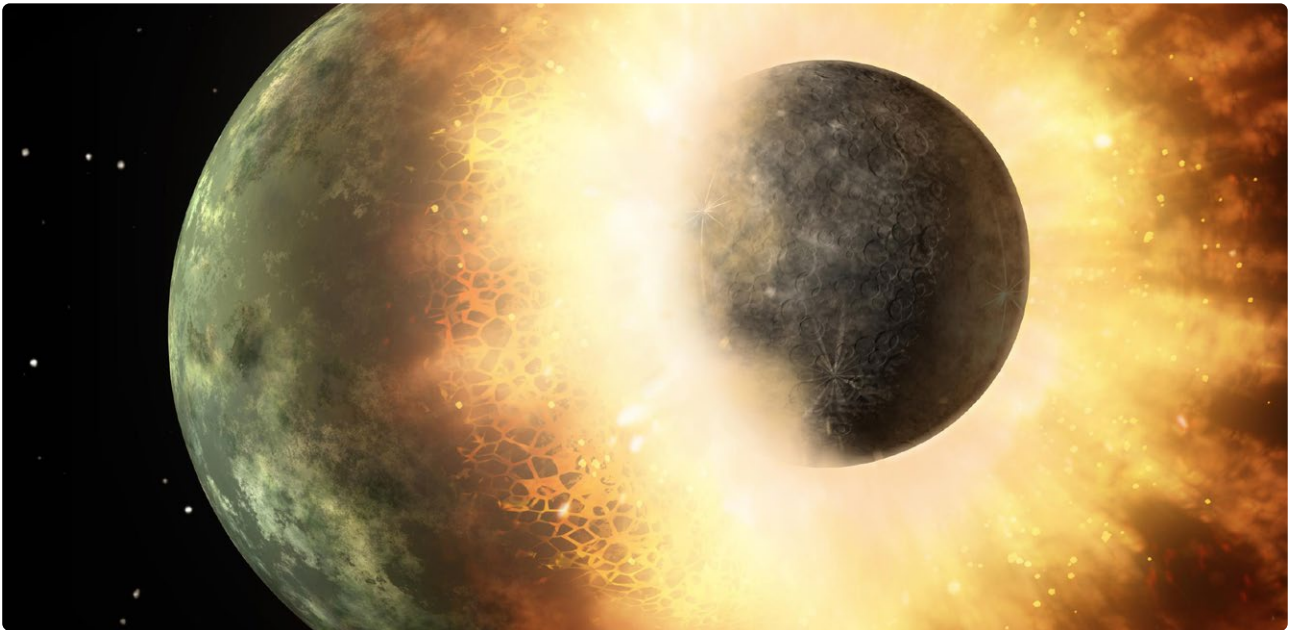
恒星系の形成

惑星の起源

惑星の起源に関する問いはいくつもあります。地球がどこどのように形成されたのか、何がその組成を決定したのか、その内部状態が時間の経過とともにどのように成熟したのか、大気や海洋を形成する重要な化学元素がどのように供給され保持されたのか、生命に必要な地表条件がこれらの初期段階にどのように依存していたか、などです。ELSIでは、地球形成の重要な段階を再現することによって、これらの疑問に答えようとしています。例として、原始惑星系円盤における降着と輸送に関して、初めての統合モデルをつくりました。このモデルは、ガスや塵から、「ペブル（小石）」と呼ばれる重要な中間段階を経て、原始惑

星の軌跡の移動、ジャイアント・インパクトの効果までのスケールの異なる過程を考慮したものです。計算モデルと宇宙化学的な測定を組み合わせることによって、太陽系および系外惑星が示す多様性や、初期地球における軽元素（C、O、Si、H、S、N）の供給源の可能性を絞ることが可能になりました。地球は、乾燥した地域と完全に海に覆われた地域の両方を持ち、極めて繊細、かつ、おそらく非常に稀有なバランスの上になりました。この研究では、生命が誕生する可能性が最も高い、水が存在する天体の研究を始めています。太陽系内にも水が存在する天体が3つもあります。

**ELSIは、惑星形成のモデルを、
地球や太陽系内外の他の天体からの観測結果と照らし合わせて検証しています。**



疑問

- ガスと塵からどのように、またどの程度の速度で惑星が形成されるのでしょうか？
- 惑星や惑星系全体の多様性はどのように説明されるのでしょうか？
- 月の形成のような特別な現象は、その後の惑星の将来的な進化にどのような影響を与えるのでしょうか？
- 惑星形成の初期条件は、惑星が生命圏を形成する可能性にどのように影響するのでしょうか？

ツールと手法

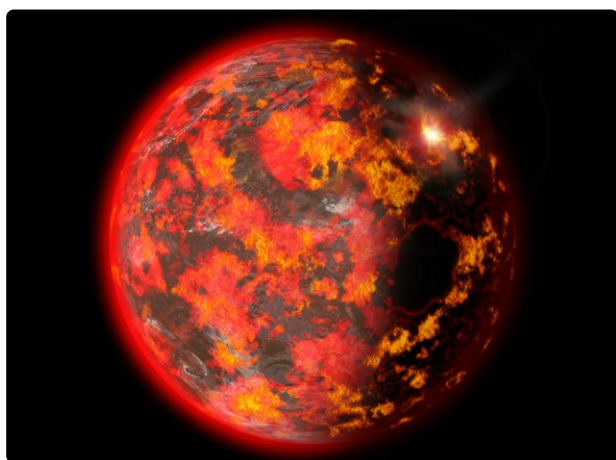
ELSIでは、太陽系形成の初期段階の統合的な理解を得るために、ガスや多粒子力学の最新理論とモデルと、隕石や彗星の同位体データおよびクレーター年代学から得られた証拠を融合させます。また、国内外の宇宙ミッションや望遠鏡プロジェクトと連携することで、太陽系外惑星のデータに根差した惑星の多様性に関するモデルを構築し、ミッション計画への参画を可能にしています。



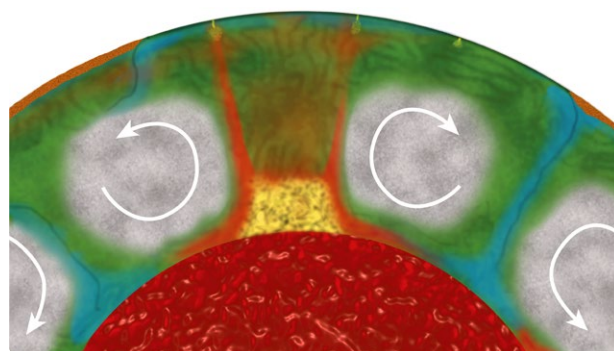
地質学的進化

惑星の進化

ELSIでは、地球をはじめとする太陽系内の天体を徹底的に研究し、惑星進化における原理や関連性を解明しようとしています。惑星の降着がひと段落すると、惑星進化の初期段階であるコアとマントルの分化が起こりますが、地球の場合、マグマオーシャンの段階を経て進化してきたと考えられています。ELSIは、地球のコアがマントルと分離した際に、従来考えられていたよりもはるかに多くのケイ素と酸素、そして大量の水素が取り込まれた可能性があることを発見しました。コアが冷却される初期段階で酸化ケイ素が沈殿し、強い浮力と攪拌力が生みだされると、初期の磁場が形成される可能性があります。この磁場が太陽風による地球大気の喪失を防いだと考えられます。さらに



今日の金星のような有毒な大気を持っていたかもしれない初期の地球のイラスト。



BEAMS(Bridgmanite Enriched Ancient Mantle Structures) モデルは、早期の地球における高粘性のマントルがプレートテクトニクスの持続をもたらした可能性を示しています。

ELSIは、初期の惑星表面の冷却率が、太陽放射照度に非常に敏感だったことも発見しました。金星と地球は、隣同士であるにもかかわらず太陽放射照度は10倍以上も差があります。その結果、金星では温室状態がずっと続き、地球は気候変動への適応力を持つようになりました。地球が、コア、マントル、地殻という層状構造に落ち着いた際に起きた初期の鉱物分化は、地球深部の大規模な不均一構造を生み出し、現在に至るまで地殻変動や火成活動を引き起こしている可能性があります。ELSIは、揮発性元素の分配と循環をモデル化することで、生命の起源と進化に必要な複雑な化学反応を維持できる岩石惑星間の違いを調べています。

ELSIでは、地球および太陽系内の他の天体を徹底的に研究し、惑星進化における原理や関連性を解明しようとしています。

疑問

- どのような惑星が大気・海洋・磁場を形成し、維持しているのでしょうか？
- 熱や揮発性物質(水、窒素など)、元素存在量は、ガス状大気・地殻表層・岩石マントル・金属コアにどのように分配されているのでしょうか？
- 地球の大気は、どのように変化したのでしょうか？
- 太陽系の他の天体では、どのようなプロセスが起こっているのでしょうか？
- 生命が存在する可能性のある惑星は、全体の何割くらいでしょうか？

ツールと手法

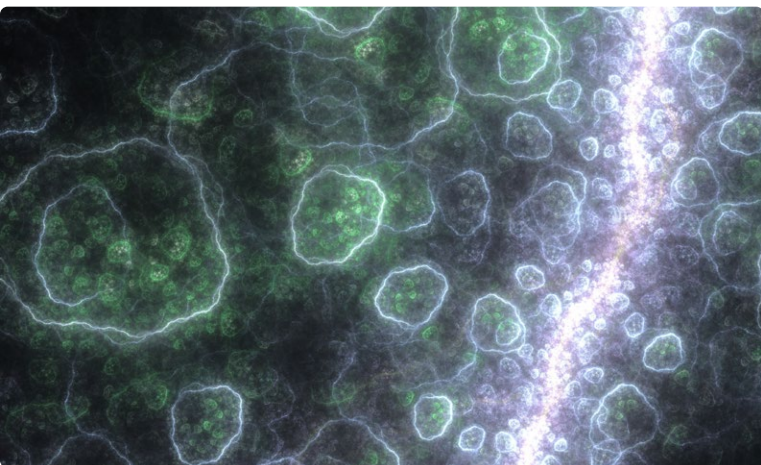
ELSIは、実験的、理論的、観測的アプローチを組み合わせることによって、惑星がどのように進化するかを決定する惑星システムの重要な要素を特定します。また、地震波観測を高温高压実験による鉱物物理学や計算機モデリングと組み合わせ、地球深部の構造とダイナミクスを解明します。ELSIの研究者は、ジャイアント・インパクトの数値シミュレーションのために、世界で最も高度なコンピューターコードを開発しました。また、実験室では、太陽系内の海洋世界に類似した状況を構築して実験しています。



生命の化学進化

ELSIでは、生命の起源を新しい地球システムの出現として理解し、大気、海洋、固体地球の初期化学進化における主要な要素間の相互作用を解明しようとしています。惑星において炭素が生み出す化学的多様性に影響を与える最も普遍的な要因は、電子供与体と電子受容体の間の非平衡性です。この疑問に対し、ELSIは、地球形成後期に起きた1回のジャイアント・インパクトが水素に富んだ二次大気を生成し、それが冥王代初期の約2億年間続いたことを発見しました。さらに、硫黄の複雑な安定同位体比から、地球上のCO/CO₂比は、かつて考えられていたよりも高く、その状態が太古代まで続いたことが示唆されました。この2つの発見は、生命の起源につながる有機化合物の合成とその後の変換に大きな影響を与えるものです。

惑星表層の多様性は、生命の誕生にとって必要不可欠な条件であった可能性があります。ELSIでは、海洋底と陸地の栄養塩の供給源としての役割や、エネルギー供給源としての太陽、大気、岩石—水の界面、地下の放射性物質の役割を研究してきました。加えて、地球に水が供給された時期や、原始海洋と原初大陸の組成も研究しています。これらの研究は、生命を生み出す能力という点で、地球がいかに特別であることを明らかにしてきました。ELSIの研究は、熱水噴出孔における電気化学的勾配、ガンマ線の電離作用から生じる二次電子、大気中の紫外線放射などの多様なエネルギー源がどのようにして反応性の高い炭素化合物や窒素化合物を生み出すかを示してきました。



した。ELSIの研究者達が作ったモデルによれば、硝酸塩、アンモニア、一酸化炭素などが原始海洋中で利用可能であったことがわかっています。そして、核酸塩基などの生体化合物の前駆体を生み出す反応経路、さらには重合を推進する活性化因子も発見しました。地球上の生命にとって多様な環境がいかに重要かを理解し、その理解を太陽系や他の恒星系の研究に展開すれば、ハビタビリティ(居住可能性)という複雑な概念をより深めることができます。

計算科学により多様な有機分子の組み合わせを網羅的に調べることで、地球生命のどの要素が化学反応に固有な限界を反映しているのか、そして普遍的な要素は何かという研究が可能になりました。ELSIは、生物的なアミノ酸の組み合わせが、存在する可能性のあるランダムなアミノ酸の組み合わせよりも、タンパク質の機能に必須の幅広い物理化学的特性を備えていることを明らかにしました。自然淘汰によって、生物がタンパク質に用いるアミノ酸のセットは、化学的な多様性を最も維持するようなユニークな組み合わせになったのです。

疑問

- 生命とは何でしょうか？
- 生命誕生以前の地球ではどのような分子がどのくらいの期間、利用可能だったのでしょうか？
- 環境中に存在していた化学物質はどのようにして生命に組み込まれたのでしょうか？
- 初期の地球環境はどのようなもので、生命の化学進化にどのように貢献したのでしょうか？
- 化学的に異なる種類の生命は多く存在するのでしょうか、それとも一つしかないのでしょうか？

ツールと手法

ELSIは、理論、計算科学、化学合成と分析、合成生物学の手法を組み合わせ、様々な疑問に取り組んでいます。研究所内には、初期の惑星環境を模擬的に再現する装置や、高放射線環境、高温／高圧環境、蒸発環境などを創り出し、繊細な化学分析を可能にする最先端の設備があります。

ELSIでは、生命の起源を理解するために、原始的な惑星環境で有機化合物がどのように形成され反応したのかを研究しています。



生物学的な進化
(種の多様化)

生命と地球の相互作用と共進化

ELSIの研究者は、進化し続ける生物圏を形成する主要な変遷として、進化の構造や様式、時間とともに変わる惑星環境への依存性について研究しています。また、生物学的進化が地球の地質学的な歴史をどのように変えてきたのかを見極める研究もしています。さらに、合成生物学と進化生物学を統合し、初期の生物の構造や機能の要素を理解しようとしています。一方で、よりシンプルな遺伝暗号で翻訳された機能性タンパク質を作成し、人工的な細胞膜の合成や、人工膜の内外におけるイオン濃度勾配を再構成しました。生命が惑星の化学的環境といかに共進化し、信頼性の高い大規模な分子システムを維持することができるのかを示すため、原始的なバクテリアのゲノムと生体エネルギーの駆動システムの再構築にも取り組んでいます。また、同位体および鉱物学的特徴から、生物の重要な進化段階と岩石記録を結びつけ、硫黄代謝と酸素発生型光合成という、地球上のあらゆる表層環境に影響を与えた生物の革新的進化を説明しました。

地球上のゲノムは、他のゲノムとのさまざまな相互作用で続きます。その極端なものの一つが「自由に生きる」細胞であり、もう一つは、宿主の細胞を必要とするウイルスです。このような多様性の中で、現在観察されているゲノム-ゲノム相互作用が、共通祖先のゲノム環境の結果であるかもしれないことを理解することが、生命の複雑さと生態に関する重要な問題を解く鍵になります。ELSIは好熱性の古細菌に感染するウイルスの多様性に関する知見をほぼ2倍に増やし、現在では古細菌ウイルスの世界最大のコレクションの一つを保有しています。ELSIの研究者は、地球史のいくつかの条件に類似した温泉を研究することで、系統樹と生理学の理解を深め、熱力学的にまだ発見されていない代謝を予測しました。



キーワード

同位体比質量分析 - メタゲノム - タンパク質工学 - 祖先配列の復元 - RNA化学 - 人工細胞 - ウイルス学



ELSIは、最初の細胞の

前駆体となる分子や、それらの分子と

初期の区画構造との相互作用、

初期の地球に似た環境に存在する

微生物やウイルスの多様性と

生態について研究しています。

疑問

- 最初の生物はどのようなものだったのでしょうか？ 実験室で再合成できるのでしょうか？
- 惑星の進化は生物の進化にどのような影響を与えたのでしょうか？
- 短いペプチドやRNAはどのような機能を持ち、どのように進化してきたのでしょうか？
- 古代の岩石中の化学的な痕跡から古代の生物のどのような特徴を推定することができるのでしょうか？
- ウイルスや細胞のような生命体は、どのように関わり合いながら遺伝という生命特有の歴史を形づくってきたのでしょうか？
- 生物進化の歴史とはどのようなもので、どのような種類の生物が地球上で発見されているのでしょうか？
- どのような分子の多様性から、細胞が構築されたのでしょうか？

ツールと手法

ELSIでは、バイオインフォマティクス、進化工学、同位体地球化学、合成生物学を組み合わせることで遺伝子や生命体の進化の歴史を研究し、それらを惑星進化のモデルと統合しようとしています。また、遺伝子配列の比較や合成手法を用いて、原始的なタンパク質や反応経路を再構築し、これらをタンパク質やRNAの活性測定法と組み合わせることで、生命の創成期の高分子化していく分子の要素を理解することができます。これらは岩石記録や約40億年前の予想される地球化学環境における生命の痕跡と関連付けることができます。ELSIでは、細胞機能の主要な研究に人工細胞を利用しています。新たなゲノムとライフサイクルを抽出し特徴づけるため、進化工学と合成生物学を用いています。



生命の複雑性

地球と生命の歴史に関する研究において、ELSIは、多様化と選別という2つのプロセスの繰り返しが、一つのシナリオに導く枠組みであるということを明らかにしようとしています。これは、恒星のまわりをめぐる惑星に生命が存在できる可能性や、地球と類似した、あるいは異なる惑星における生命誕生の原則を理解する出発点となります。生命の複雑性に関する研究の中核をなす問いは、遺伝や適応といった生命の特徴は前生物学的な化学システムにおいても存在したのか、また、惑星化学的環境においてどのような条件の下で遺伝や適応性が生まれるのか、ということです。ELSIでは、こうした疑問を、個別の組織や複製機能を持たないシステムに適用できるように定式化しました。その結果、この

ようなシステムの中には、遺伝や限られた範囲での適応をサポートできるものがあることを明らかにしました。遺伝は、化学物質の組み合わせによってつくられる大規模な化学物質ライブラリーを利用できるときに、最も強力に働きます。ELSIでは、このようなライブラリーの多様性が、前生物学的にありそうなアルファベットから、単純な反応を通じて作り出されることを実証しました。組み合わせの結果生じた化学的ポリマーを選別する方法や、それらのポリマーが機能するように折りたたみを制御する方法についても研究しています。特に、RNAとペプチドの重要な相互作用を制御する方法については、関連づけられたRNAとペプチドのライブラリーに関するハイスループット研究を行っています。

ELSIは、理論的、計算科学的、実験的アプローチを通じて、 生命の複雑性の背後にある原則の解明に取り組んでいます。

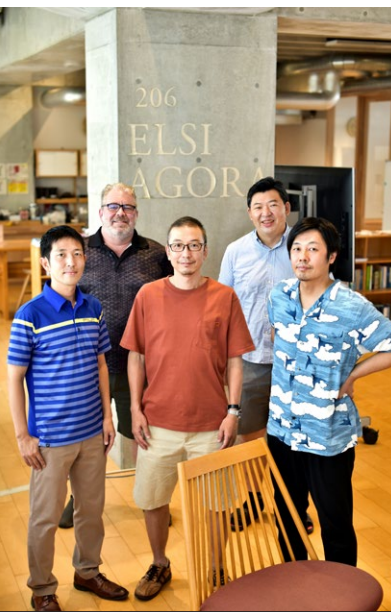


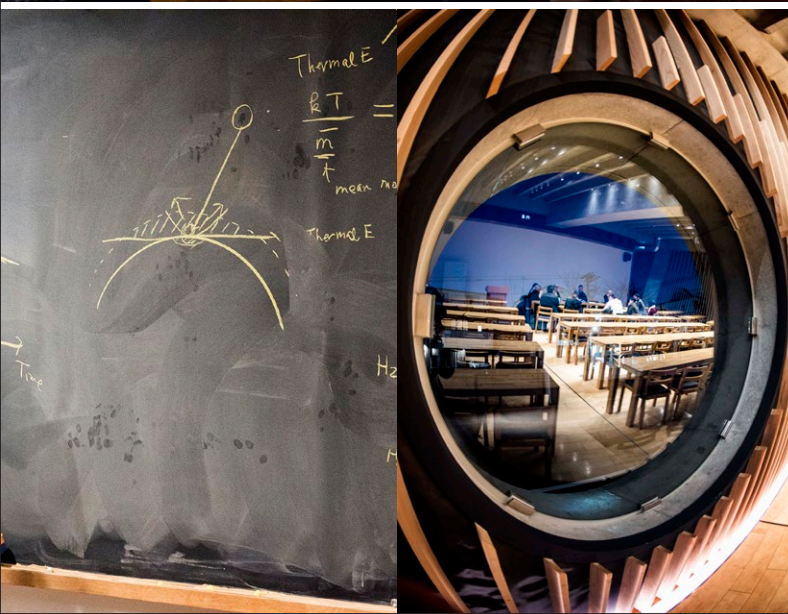
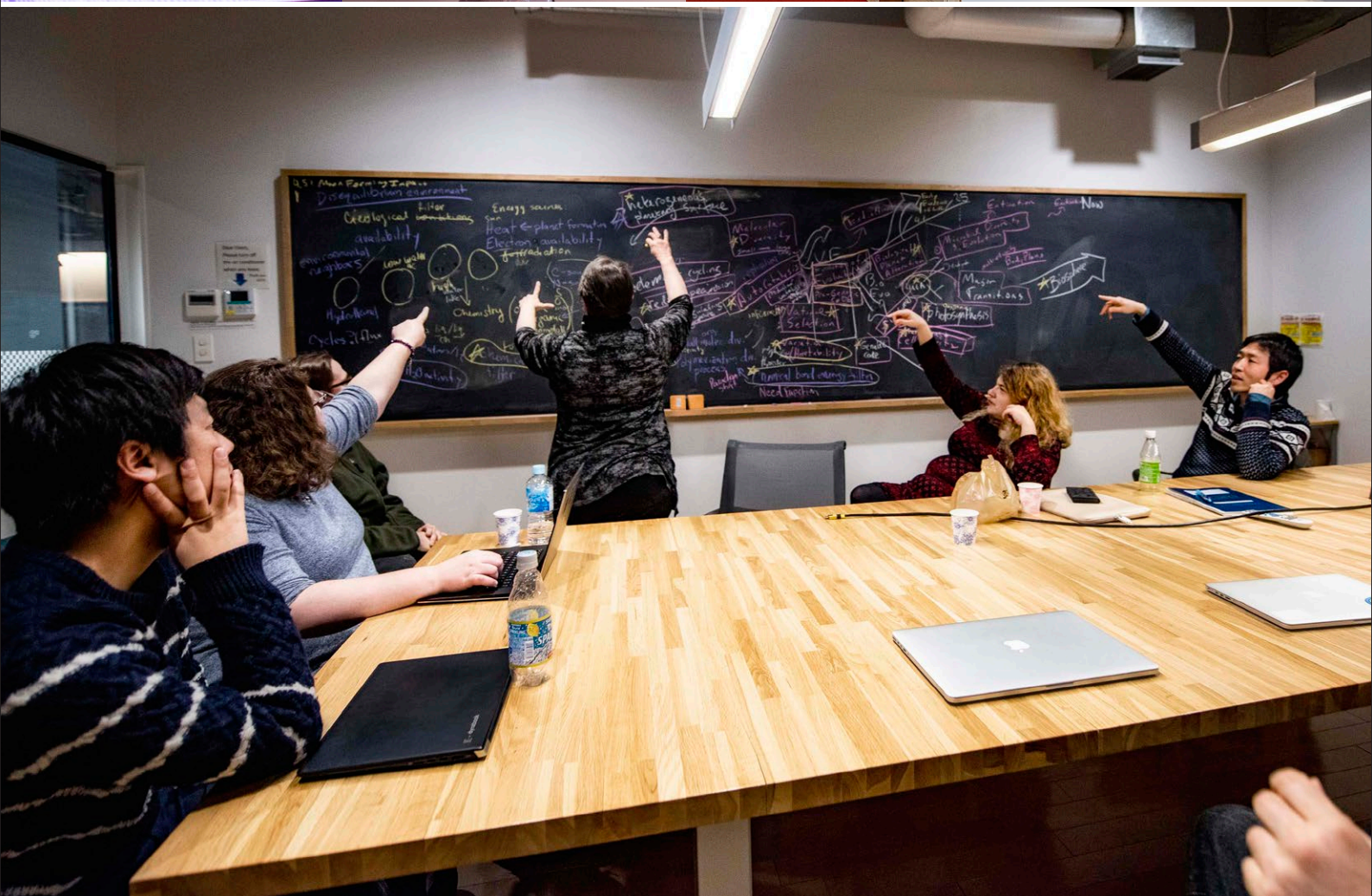
疑問

- 化学的システムは環境からの圧力に対してどのように適応するのでしょうか？
- ある化学的システムにおいて、どのような特徴が選別され、どのような特徴が選別されないのでしょうか？
- 特異性をもたない化学的システムの混合から、どのように化学的特異性が生じるのでしょうか？
- どのようなメカニズムで、化学的システムから遺伝性や進化が形成されるのでしょうか？
- 主要な変遷の無限の繰り返しのによって進化が起こるかどうかは、何によって決まるのでしょうか？

ツールと手法

ELSIでは、理論的、計算科学的、かつ実験的アプローチを統合し、多様化と選別という包括的な概念を構築します。計算科学的アプローチには、抽象的な「ミニマルモデリング」と機械学習が含まれます。理論的概念においては、情報理論、粗視化、統計物理学、相転移を利用します。実験的アプローチには、ランダムなオリゴマーライブラリーの生成、mRNAディスプレイ、無細胞タンパク質合成などが含まれます。





教育

地球生命コースの紹介



2022年4月、ELSIは新たに地球生命科学を専攻する大学院プログラムを開始しました。本プログラムは、日本では珍しい完全英語による大学院です。5年の修士・博士後期課程一貫プログラムで、学生には修士号と博士号が授与されます（2年目に修士論文、5年目に博士論文の審査が行われます）。ELSIでは、年間最大10名（日本人5名、留学生5名程度¹）の学生を受け入れることを目標としています。学生のための経済的支援もあります（後述参照）。学生は以下のいずれかの系にも所属し、同系に所属するELSIの主任研究者が研究指導を行います²。

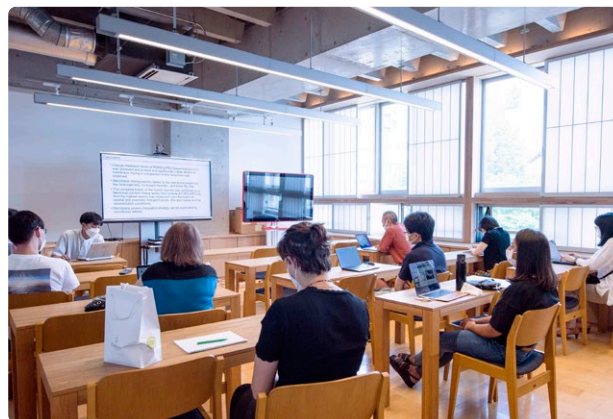
- 地球惑星科学系（EPS）
- 生命理工学系（LST）
- 応用化学系（CSE）

1. 留学生とは、留学ビザで日本に居住することができる者を指します。
2. ELSIの准主任研究者が共同で学生の研究指導を行うことも可能です。

出願方法

外国人留学生には4月あるいは9月入学の年2回、日本人学生は4月入学の年1回の出願の機会があります。出願するためには、まず受け入れ先のELSI主任研究者³に連絡し、よく相談の上出願してください。なお外国人留学生については「同意書」の発行を受ける必要があります。学生は東工大のシステムでオンライン出願します（海外の学生は国際大学院プログラムIGP(C)、日本の学生はA日程⁴）。前述のいずれかの系に応募してください。系ごとに異なる学内選考が行われた後（ELSIは選考に加わりません）、ELSI主任研究者との面接があります。面接では、研究計画書のプレゼンテーションを行います。可否はこれらのプロセスののちに決定されます⁵。

3. 准主任研究者は同意書を発行する資格はありませんが、主任研究者と共同で学生を指導することは可能です。
4. オンライン出願・支払システムの技術的エラーなど、出願締切間際の不測の事態に備えるため、また、他国と異なる厳しい出願要件であることをふまえて、海外からの出願者は早めに出願することを推奨します。
5. 詳細については、<https://www.titech.ac.jp/admissions>を参照してください。





プログラム内容

大学院のプログラムは完全に英語で行われます。授業の履修と研究の両方を行い、希望すればアウトリーチ活動の経験を積むこともできます。惑星科学、生物学、化学、グローバルサイエンスコミュニケーションなど、さまざまな授業を選択でき、最初の1、2年で授業を履修します。また、この期間に共同プロジェクトにも参加でき、博士課程で研究計画の設計に活かすことができます。学生はELSIの広報室と共同でアウトリーチ活動に参加するオプションもあります。博士課程では研究が中心となるため、後半の数年間は研究に専念することになります。地球生命科

学は学際的な分野で、学生、主となる指導教員と、もう一人のELSI研究者（共同指導教員、准主任研究者、研究員など）との間で少なくとも一つの共同プロジェクトを行うことが推奨されます。自身が筆頭著者となる論文を発表することは、厳密にはプログラムの要件ではありませんが、学生は所属する系ごとの要件（系によって異なる場合があります）に従う必要が生じる場合があります。また、このような出版は外部フェローシップの要件となる場合があります（下記参照）。

経済的支援

地球生命コース専攻の学生には、日本円で月給（約17万円）が支給されます。この給与（リサーチ・アシスタントとしての課税所得）は、他の競争的な外部フェローシップや奨学金にも応募しようとする限り、5年間は保証されます。ただし、奨学金付きの外部フェローシップや奨学金を受けた場合は、リサーチ・アシスタントとしての給与を直接受け取ることはできなくなります⁶。他の一般的な日本の大学と同様、入学金と授業料の両方が課され、学生は直接支払う必要があります⁷。

6. 外部フェローシップや奨学金がリサーチ・アシスタントの給与より少ない場合、リサーチ・アシスタントの給与で学生の経済的支援を補うことができ、給与の総額は月額17万円を下回ることはありません。場合によっては、フェローシップ支援をELSI支援と併用し、17万円以上の給与が支給される場合もあります。
7. ELSIも所属する研究室も、入学金や授業料を直接支払うことはできません。学生はそれらを自分で支払う必要があり、経済的支援はリサーチ・アシスタントの給与としてのみ提供されます（外部フェローシップを受ける場合を除く）。ただし、留学生の場合は、ELSIではなく東工大に申請し、承認されれば、2学期目以降の授業料が免除されることがあります。日本人の学生の場合は入学金と1学期目の授業料、及びそれ以降の授業料の免除を申請することができます。

地球生命コースに関するお問い合わせ：edu-info@elsi.jp

ELSIの活動

融合

ELSIでの学際研究

38億年以上前に、自然は生命を誕生させましたが、そこには天体物理学、地質学、生物学といった人為的な区分はありませんでした。光合成や多細胞化など、生命の進化における革命的变化は、生命のユニークな組み合わせを統合し（近接）、相互作用を促進し（コミュニケーション）、同じ種類の外的要因に応答して協調的かつ頑強なシステムレベルでの行動（文化）の発展を必要としました。ELSIでは、生命が革命的進化を成し遂げた方法を手本とし、学問分野間の融合を行うことに成功しています。



グローバル化

研究者の多様性

ELSIによる科学研究の飛躍的前進と組織改革は、国際的な研究環境とELSIのメンバーによって生み出されています。ELSIは幅広い国際ネットワークを構築しており、若手からベテランまで世界中からトップクラスの研究者を採用しています。2022年8月現在、ELSIの研究者は、主任研究者が13名、准主任研究者が5名、その他17人の合計35名です。そのうち、外国人研究者は17名（49%）、女性研究者は8人（23%）です。

国内外の共同研究

ELSIは、愛媛大学、プリンストン高等研究所、ハーバード大学、東京大学、コロンビア大学（ニューヨーク）、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、アメリカ航空宇宙局（NASA）など、国内外の機関と共同研究を行っています。また、ELSIの研究交流プログラムを利用してELSIに専門家を短期間招聘したり、ELSIメンバーが他の研究機関や大学を訪問して共同研究を行うなど、ELSIのネットワークは拡大を続けています。

ELSIのシンポジウム

ELSIでは年に1回、生命の起源とその関連分野の研究に関する国際シンポジウムを開催しています。毎年10カ国以上から100名をこえる研究者が参加し、プレゼンテーションや討論が行われます。シンポジウムでは分科会、研究者間の議論、パネルディスカッションを通じて、活発に意見が交わされます。

2013年	3月	第1回 ELSI国際シンポジウム
2014年	3月	Origin & Evolution of the Earth-Life System
2015年	1月	Life in the Universe
2016年	1月	Early Earth, Venus & Mars
2017年	1月	Expanding Views on the Emergence of the Biosphere
2018年	1月	Building Bridges from Earth to Life
2019年	1月	Comparative Emergence
2020年	2月	Extending Views of Catalysis
2021年	1月	Science in Society
2022年	1月	ELSI Past & Future
2023年	3月	The Living Universe

改革

所長室

ELSIのディレクターは、毎週会議を開いて重要かつ緊急性のある事柄を話し合っています。この定期的なミーティングは、機関のニーズを調整し、研究範囲を戦略的に決定するのに役立っています。所長室は、所長、副所長、事務部門長、コミュニケーション・ディレクターによって構成され、秘書がサポートしています。

トップダウン式の管理システム

ELSIは、所長のトップダウンによる迅速な意思決定と効率的な研究所運営を行うシステムを採用しています。所長は、毎週開催される所長室会議において意見を聞き、研究所の運営に関する重要な意思決定を行っています。重要な決定については、事務・技術面でのサポートメンバーを含む全スタッフと学生が参加する月1回のELSI ALLミーティングで報告され、研究者やスタッフからのフィードバックを得ています。また、重要なトピックについては、通常所長室会議で意思決定される前に、主任研究者と准主任研究者が出席する運営会議で話し合います。

若手研究者を育成する取り組み

ELSIでは、若手研究者が外部の研究費を獲得する前でも研究を始められるよう、スタートアップ資金を提供しています。同時に若手研究者は年間1件以上の外部研究費への応募を行うよう求められます。これにより、若手研究者は、研究費申請のスケジュールを常に把握し、研究に必要な予算計画を作成し、申請書作成のスキルを磨くといった、競争的資金（研究費）を獲得する能力を高めることができます。

年次評価と奨励賞

各研究者は、毎年1月に年次評価シートを作成します。若手研究者はシートを主任研究者に提出し、所長室はその結果を精査してまとめ、その年の奨励賞受賞候補者を選出します。受賞者はその後のELSI ALLミーティングで発表されます。一度は若手研究者が主任研究者の評価をしたことがありましたが、実際的ではなかったため、2018年には国際アドバイザーボードに外部審査を依頼しました。国際アドバイザーボードは、各主任研究者に対し3人の審査員を選び、***高、**中、*低の定量的評価を行いました。14人の主任研究者が、合計38.5の星（*）を獲得し、主任研究者あたりの平均星数は2.75でした。



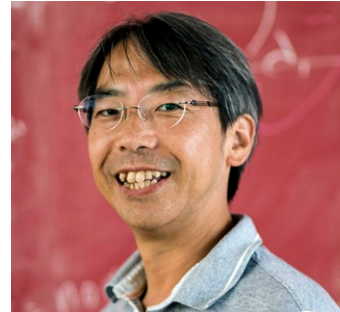
研究者

主任研究者



私の夢は地球以外の太陽系で生命を見つけることです。ELSIは素敵な仲間たちと一緒にこの夢を追う最良の場所です。あなたの夢は何ですか？

関根 康人 (アストロバイオロジー)



私は、地球深部の構造、ダイナミクス、進化をELSIで研究しています。さまざまな分野の研究者と一緒に研究し、視野を広げるすばらしい場所だと思います。

廣瀬 敬 (高圧地球科学)

生命は惑星規模の共同作業の成果であり、生命の起源と限界を本当に理解するには、科学においてもその方法にならう必要があります。

John Hernlund
(地球物理モデリング)



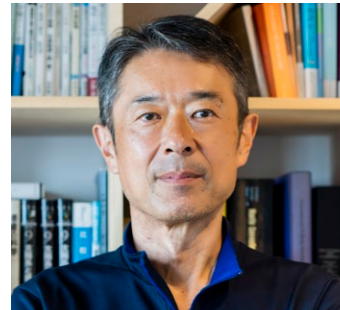
あなたは、あなたの両親、そしてその両親と、40億年連綿と続く血統のおかげで存在しています。ELSIに参加して、自身の系譜についてもっと知りましょう！

Piet Hut (宇宙物理学)



私たちは、現在の生命システムの根底にあるルールを見つけ出し、それを使って生命を再構成したいと考えています。

松浦 友亮 (生物工学)



ELSIには系外惑星と系外生命に対する自分の関心を追求し、一步一步前進できる環境があります。

井田 茂 (惑星形成論)

私は、かつてこの地球や他の場所に存在していたかもしれない高分子を作っています。分子から生命へのパラダイムシフトをELSIで実現したいと考えています。

藤島 皓介
(アストロバイオロジー・合成生物学)



ELSIは、これまで私が訪れた研究機関中でも、おそらく最も知的にわくわくする場所です。現在の理解から離れ、未知に遭遇して親しむ絶好の場所です。

Shawn McGlynn (微生物生化学)



ELSIは、インパクトの高い研究を行い、独自の角度で探求し、スピーディーに論文を発表する良い雰囲気を作っています。

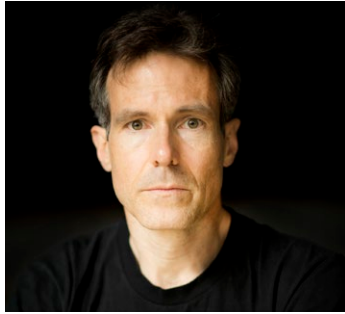
玄田 英典 (惑星形成論)



私は自然界におけるエネルギー変換プロセスの美しさに魅了されています。ELSIでは、深海の電流が生命の起源のきっかけとなった可能性を研究しています。

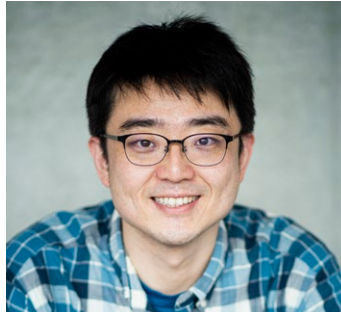
中村 龍平 (電気化学)

准主任研究者



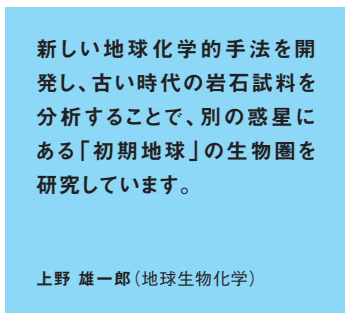
かつて、生命と地球はまったく別物だと考えられていました。でも最近では、生物学と地質学がお互いに関連するような研究分野が数多く現れています。

Eric Smith (複雑系科学)



惑星、地球、生命に関する学際的な研究の境界に立つELSIで、前生物化学がどのように地球上で最初の区画を構築したかを一緒に解き明かしましょう!

Tony Z. Jia
(前生物化学・アストロバイオロジー)



新しい地球化学的手法を開発し、古い時代の岩石試料を分析することで、別の惑星にある「初期地球」の生物圏を研究しています。

上野 雄一郎 (地球生物化学)



惑星はどのように形成し、生命と共進化するのでしょうか? この問いへの答えを探求することが私のELSIでの研究の原動力です。私たちと一緒に、この謎に挑み、さらなる謎を見つけましょう!

黒川 宏之 (惑星科学)



ELSIは、何が可能で何が不可能かを模索する場所です。

Mary A. Voytek
(アストロバイオロジー)



ELSIと一緒に地球の生命の歴史を解き明かしましょう!

Liam Longo (タンパク質の進化)



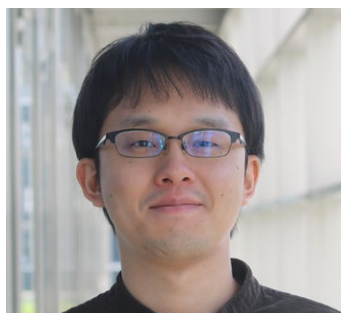
ELSIは、生命とは何か、そしてそれがどこから来たのかという根本的な疑問を研究するのに最適な場所です。生命はどのように、そしてなぜ誕生したのでしょうか?

Nathaniel Virgo (人工生命)



ELSIには、自分の興味に沿って地球と生命の起源に関する最先端の研究ができる、国際的で分野横断的な環境が整っています。

寺坂 尚紘 (合成生物学)



アウトリーチ

エビデンスに基づくアウトリーチ

ELSIの広報室は、学生や一般の方々を対象に、英語と日本語によるアウトリーチ活動のコーディネートを行っています。このアウトリーチ活動は、「社会とともにある・社会のための科学 (Science with and for Society: SwafS)」の枠組みのもと、一般市民と研究者が一つの社会的コミュニティとして多面的に関わることを目的として実施されています。この活動は、ELSIの生命と地球の起源に関する学際的な研究を紹介し、関心をもってもらうことに重点を置いています。

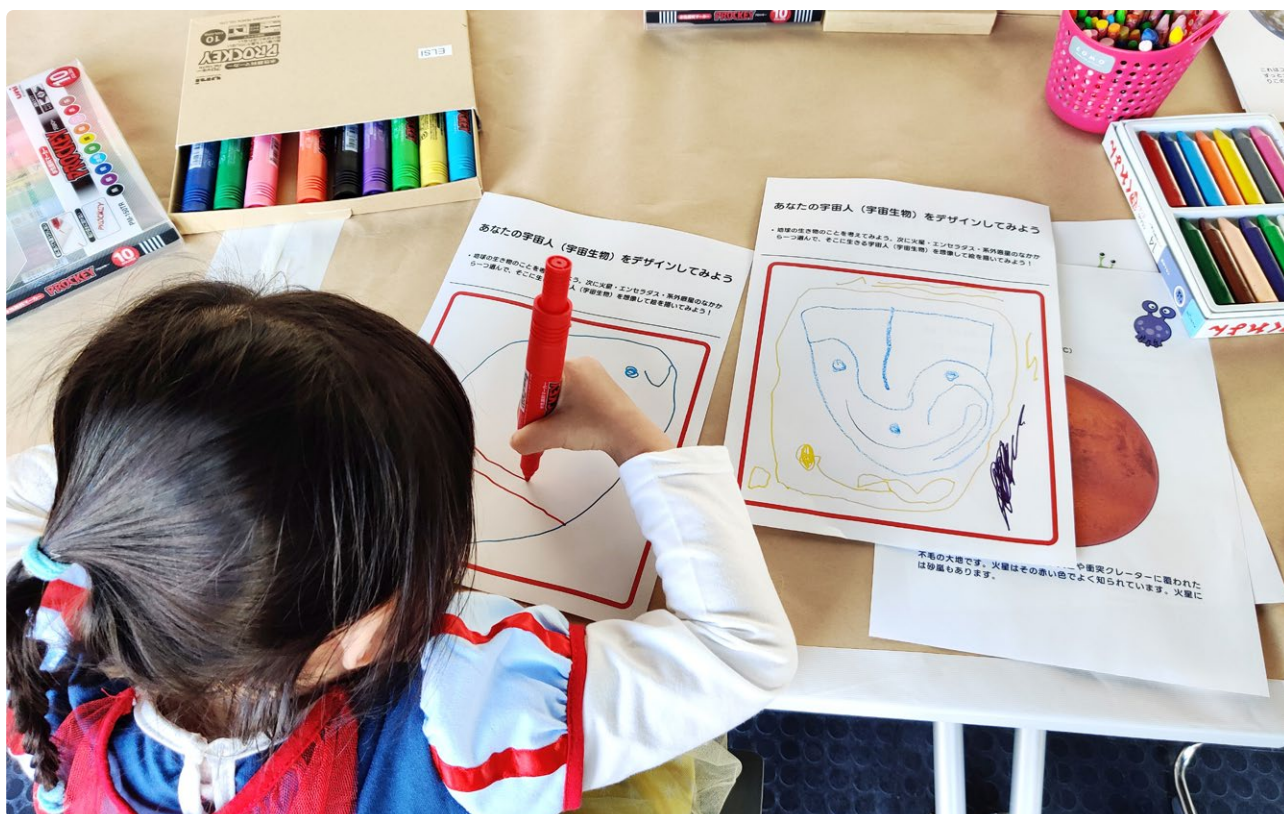
例えば、ELSI一般講演会、東京大学のカブリ数物連携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) とニューロインテリジェンス国際研究機構 (IRCN) との合同一般講演会、そして工大祭などでのアウトリーチ活動を通じて、ELSIの最新の研究活動を紹介しています。ELSIの学校訪問プログラムでは、中学生・高校生たちが研究者や大学院生と直接交流するだけでなく、研究室の見学や実験も体験します。また、ELSIの研究者や大学院生は、頻繁に学校を訪問し、講義やその他の活動を行っています。これらの研究所内外のアウトリーチ活動で主に伝えているのは、研究

や科学者のキャリア、およびELSIの大学院プログラムについてです。

また、ELSIエディトリアルボード (編集委員会) とともに、プレスリリースとリサーチハイライトを発行し、メディア、一般の方々、科学者コミュニティに最新の研究成果を届けています。年間の記事数は着実に増加し、国内外のメディアで頻繁に取り上げられています。

従来の手法にとらわれず、科学とアートを融合させた新鮮で創造的なアプローチを通し、研究の人間の側面を強調することにも力を注いでおり、「サイエンス・アート・レジデンス・プログラム」を設立しました。このプログラムには、毎年1名のアーティストが選ばれ、ELSIの研究者グループと特定のテーマで共同作業を行います。その成果として制作された作品は、ELSIの建物の3階に展示されています。

広報室は、ELSIの最新研究成果を一般の人々に公開することで、より多くの人々の興味や、ワクワクする気持ち、そして好奇心を呼び起こすという役割を担っています。



サイエンスコミュニケーション

科学を効果的に伝える



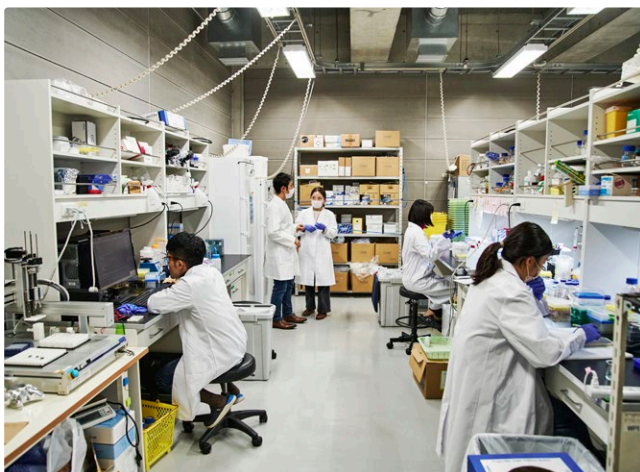
ELSIは、科学をわかりやすく伝えることの重要性を認識し、一般の人々とのエンゲージメントが科学資本の発展に役立つと考えています。科学はオフィスや大学の講堂のドアの向こうに隠されたものではなく、オープンで理解しやすく、一般の人々にとってアクセス可能でなければなりません。ELSIがサイエンスコミュニケーションスキルを提供する取り組みは、2018年に開始されました。科学は、理解しやすく、アクセス可能な言語で、すべての人に伝えられる必要があります。

ELSIでは、地球生命コースの大学院課程で、サイエンスコミュニケーションに関する正式な教育を実施しています。このコースでは、理系の大学院生に関連する最新のトレンド、ツール、スキルなどを英語で提供しています。参加した学生は、コース中に学んだことの実践プロジェクトを行い、体験をしながら学

ぶことができます。

ELSIは、サイエンスコミュニケーションのワークショップやシンポジウム、カンファレンスなどを共同で開催しています。ジャパン・サイコム・フォーラム（JSF）は、ELSIが支援している重要な取り組みの一つです。JSFは日本のサイエンスコミュニケーションのコミュニティを結集してネットワークを構築し、専門家による優れた取り組みを共有する場となっています。

また、ELSIでは、研究者や大学院生を対象としたサイエンスコミュニケーションのワークショップやシンポジウムを毎年開催し、研究を効果的に伝えるために必要なスキルを提供しています。2022年には「Falling Walls Engage Hub Japan」を立ち上げ、日本における科学エンゲージメント活動を展開し、世界の専門家とのネットワークを構築しています。



ELSIの内部

建物と設備

文部科学省の補助金を受け、2015年に待望のELSIのための研究施設が大岡山キャンパスに完成しました（石川台7号館、総床面積4,970m²）。この建物は、「和と洋の調和」をデザインコンセプトとし、研究スペースとコミュニケーションスペースのバランスにも配慮して設計されました。

1階のエントランスには「三島ホール」と命名された、100名以上を収容するレクチャーホールがあります。2階、3階には、ELSI所属の研究者はもちろん、長期滞在する客員研究者のためのコンパクトで機能的な研究室があります。さらに学生室、

広報室、秘書室や事務室のほか、提携研究機関の研究者がELSIで研究するための共同研究室もあります。

2階には、吹き抜けのコミュニケーションルーム「アゴラ」があり、多くの研究者が学際的な交流のために利用しています。3階には、ELSIサイエンス・アート・レジデントが毎年制作してきたアート作品が展示されています。

地下1階には、電子顕微鏡、高圧実験設備、地球化学実験室、生命科学実験室、化学実験室があります。

学長からのメッセージ

東京工業大学 学長

益 一哉



地球生命研究所 (ELSI) は2012年、東京工業大学が文部科学省の世界トップレベル研究拠点プログラム (WPI) に申請し、採択されて設立されました。現在では、本学の研究拠点組織の中核研究所となっています。国際公募により研究者の約半数が外国人であること、世界トップクラスの研究者からなる共同研究ネットワークを築き上げたこと、真に国際的な研究環境を提供していることなど、ELSIは東京工業大学の誇りです。世界最高峰の研究大学を目指す本学にとって、ELSIはその先導と位置づけられます。

新たな発見をすること、新しい研究分野に取り組むこと、そして研究の最前線における数々の困難を克服すること。そこにお

いて鍵をにぎる要素の一つはDiversity — 多様性です。ELSIは多様な研究テーマに取り組む「ひと」の多様性で、本学の先頭を走っています。

ELSIは学長のリーダーシップで運営される、本学の恒久的で独立した研究拠点であり、国内外の様々な研究支援組織から資金を獲得しています。こうした実績から、ELSIの未来は明るく、WPIプログラムの実施期間が終了した後もELSIは発展を続け、活発な研究活動を展開して行くでしょう。

ELSIと本学はこれからも共に歩み、未来に向かって成長を遂げて行きます。

所長からのメッセージ

東京工業大学 地球生命研究所 所長

関根 康人



ELSIは最初の10年間で、現在の地球生命系を生み出した一連の多様化と淘汰のメカニズムについての見解を示してきました。次の段階として、地球生命系の誕生に至る重要な変遷を理解するという試みを維持しつつ、さらに宇宙における別の惑星生命系を理解し、その存在を予測するための新しいアプローチを模索していきます。また、「地球と生命の起源と進化」から「地球外生命の兆候探し」へと研究範囲を広げ、宇宙探査ミッションと密接に連携していきます。

ELSIのミッションは、東京工業大学に設置された世界トップレベル研究拠点 (WPI拠点) として、世界中から優れた頭脳を集め、科学のフロンティアにおけるブレークスルーを促進すること、地球と生命の起源に関する学際的研究を推進すること、そ

して日本の大学におけるシステム改革と組織的な卓越性を実践・促進する上での主導的役割を果たすことです。ELSIは、地球や他の惑星の起源の研究を通じて生命の起源を探究するために、学問分野を統合した国際的な研究者コミュニティを育成してきました。また、ELSIでは、革新的なアイデアを生み出すために、何十人もの短・長期間の訪問者を受け入れています。地球生命コースの大学院プログラムを実施して将来の研究者を育成することや、科学教育の実践、一般の方々と研究成果の共有にも取り組んでいます。ぜひ、ELSIを訪れてください。ELSIのメンバーの誰もが、地球と地球に住む生命の起源を理解するための探求に加わる人たちを歓迎します。

東京工業大学 地球生命研究所

〒152-8550 東京都目黒区大岡山 2-12-1-IE-1

Tel: 03-5734-3414 / Fax: 03-5734-3416

Email: information@elsi.jp / Web: www.elsi.jp



東京工業大学 地球生命研究所

ELSI ロゴマーク：アートディレクター福岡南央氏によるデザイン。右側の、円を基調とした象徴的な形状は、月をつくった惑星同士の巨大衝突のようにも、細胞分裂にも、また、惑星の軌道のようにも見える。上下に分かれた系統樹は生物の進化だけでなく、その起源、さらには地球の起源と進化も表している。このようにELSIの研究内容の持つ様々な側面が、ひとつの造形に込められている。「ELSI」の背後には文字に共通するシンプルなエレメントが見える。無限大マークのようにも見えるエレメントは、これからの研究で発見・実証される未知の部分・ELSIの可能性を表している。



Tokyo Tech



東京工業大学 地球生命研究所 2023年2月発行

編集:Thilina Heenatigala, 白倉美奈子 / アートディレクション:古田雅美 (opportune design inc.) / イラストレーション:Dan Matutina / テキスト作成:Thilina Heenatigala, Tony Z. Jia, 黒川宏之, Shawn McGlynn, Christine Houser, 藤島結介, 玄田英典, John Hernlund, 櫻井隆, 田中暁子 / 写真:3ページ(上), 12ページ(左上), 13ページ(右下), 14ページ(上), 22ページ(下段2枚)の写真撮影:水野聖二。寺坂を除く18-19ページの写真および3ページ(下), 6, 10, 11, 12ページ(左上と左下を除く), 13ページ(右上と右下を除く), 14ページ(上段除く), 15-17, 23ページ(下)の写真撮影:Nerissa Escanlar / 7ページのイメージクレジット:NASA/JPL-Caltech。

