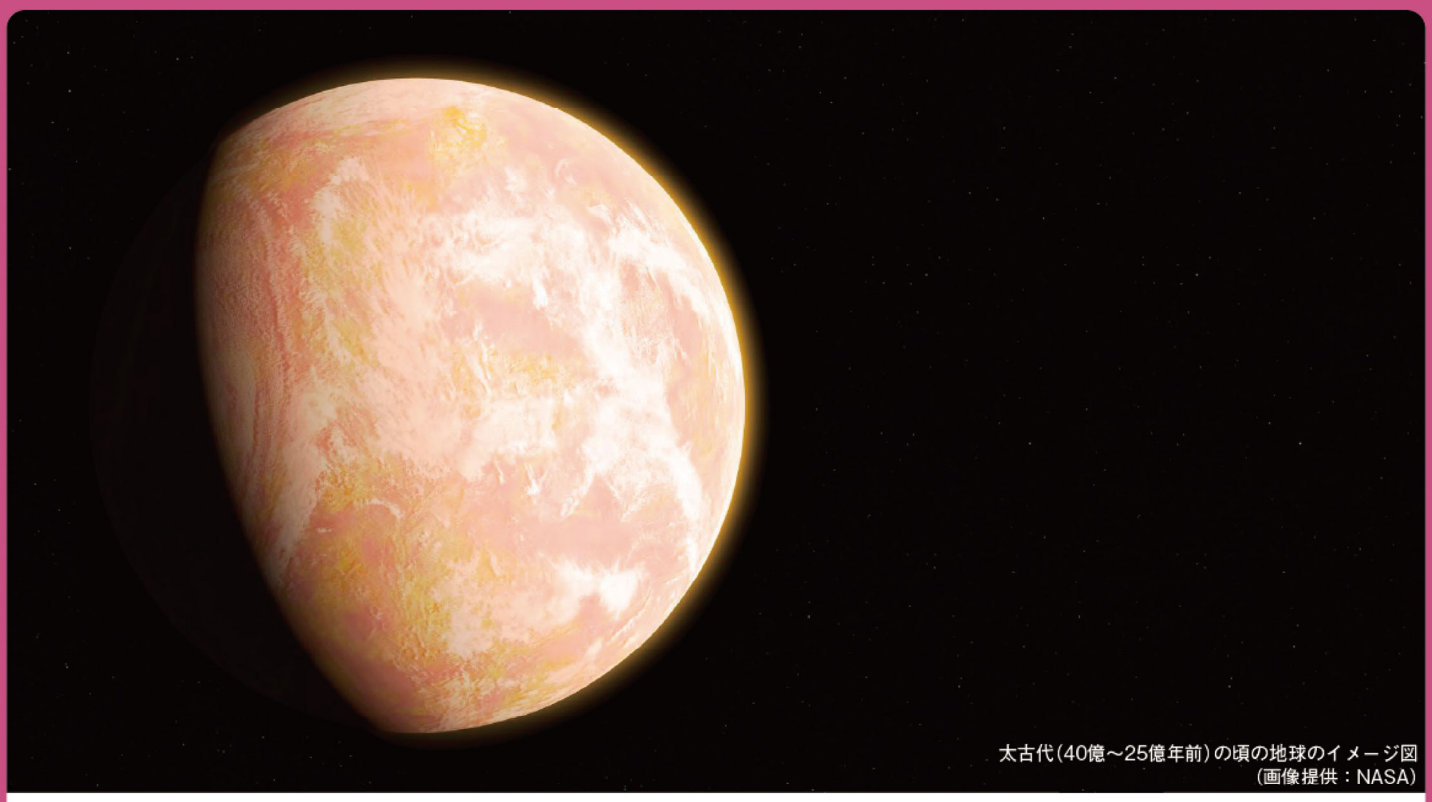
Origins

2026.11.1
ELSI通信
vol. 14
東京科学大学
地球生命研究所
EARTH-LIFE SCIENCE INSTITUTE

特集：惑星と生命の進化



太古代（40億～25億年前）の頃の地球のイメージ図
（画像提供：NASA）

地球と生命の46億年の物語を読み解くために

地球は、宇宙の中にぽつんと存在する小さな惑星です。ここに数えきれないほどたくさんの生命が存在することが奇跡のように思えます。地球は窒素や酸素の大気に包まれ、たくさんの生物を育む場所としてとらえている人も多いでしょう。

しかし、地球は最初から現在のような姿だったわけではありません。今から46億年前、誕生したばかりの地球の表面は、煮えたぎるマグマの海に覆われていました。そして、時間の経過とともに外側から冷えていき、遅くとも35億年前までには、地球生命が存在したと考えられています。

初期の地球には酸素がありませんでしたが、27億～21億年前に、その環境が大きく変わります。光合成によって酸素を発生させるシアノバクテリアが登場したことで、海の表層や大気中の酸素濃度が段階的に上がっていきました。

この頃から地球全体が凍りついてしまう全球凍結が何度か起こっています。地球の歴史の中でも、全球凍結はとても過酷な時期ですが、詳しいことはわかっていません。

門屋辰太郎特任助教は、数値シミュレーションを使ってこの謎に挑み、全球凍結中でも分厚い氷床の下では液体の水が存在し、岩石の風化が起こる可能性があることを示しました。

このような地球の環境変化の中で、生命の多細胞化や大型化が進み、やがて陸上へ進出します。地球の風景も大きく変わっていったことでしょう。生息環境に合わせ、生命は進化し、現在、多種多様な生物がひしめき合っています。そして、様々な生命の活動により、地球の環境が変化していきます。

このように、地球と生命は互いに影響を与えながら共に進化し、現在の関係をつくりあげています。Liam Longo特任准教授は、生命の重要な構成要素であるタンパク質の進化から、地球初期に現れた生命について知ろうとしています。

地球と生命の関係性や進化の過程を知ることは、生命の起源を解き明かす重要な手がかりを与えてくれるでしょう。ELSIでは、いろいろな分野の研究者が連携し、地球や生命の秘密を解き明かすために、日々、研究を重ねています。

地球のしくみを丸ごと理解したい

門屋 辰太郎
特任助教（地球システム科学）

私たちは地球上に暮らしていますが、地球について理解していることは限られています。過去の出来事であればなおさらです。門屋辰太郎特任助教は、大気、海洋、マントルなどの物質のやり取りを調べ、１つのシステムとして地球を理解していく試みに取り組んでいます。



子どもの頃は恐竜や化石が好きで、化石を発見したくて、よく地面に穴を掘っていました。科学雑誌をよく読んでいたこともあり、科学は全般的に好きでした。

私が小学校に入学した1995年は、最初の系外惑星が発見され、アストロバイオロジーという概念が提唱された年です。私が大学や大学院に在籍した時期には、これまで空想科学の話であった地球外生命の存在がリアリティを持って語られるようになりました。このような状況で、生命が存在する環境を探求する学問として、地球科学に興味を持ちました。

地球は１つの惑星ですが、注意深く見ていくと大気、海洋、マントル、生命など、いくつもの要素（サブシステム）によって構成されていることがわかります。従来は、それぞれの要素に分けて、深く研究していく要素還元的な手法が主流でした。

この手法でわかったことはたくさんありますが、地球という大きなシステムを理解するには、それぞれのサブシステムがどのように影響しあっているのかという関係性を把握する必要があります。地球システム科学は、地球を俯瞰的に眺め、１つのシステムとしての成り立ちを総合的に考えていく学問です。

たとえば、炭素は二酸化炭素として火山から大気中に放出され、その後、地球内部に戻っていきます。その過程で、炭素がどのように動くのかは、大気や海洋の状態で決まります。大気中に二酸化炭素が増えると、温室効果が強まり、気候が温暖化しますが、長期的には大気中の二酸化炭素の減少につながります。このように複雑に絡み合った関係を、科学の視点から紐解いています。

地球は、46億年の歴史の中で全球凍結という極端に寒冷な気候状態を少なくとも3回は経験しています。全球凍結が終わるときは、寒冷な環境から温暖な環境へ一気に変化します。これは地球上の生命が経験した最大規模の気候変動です。地球規模で起きた大きな出来事をコンピュータでシミュレーションすることで、地球のシステムを明らかにしようとしています。

地球科学の大きな問題は、実験ができないことです。しかし、全球凍結という過去の出来事をコンピュータ上で再現することで、実験の代わりに、これまで見えにくかったサブシステム間の物質のやり取りなどを明らかにすることができます。

これまでの仮説では、地球が全球凍結すると、地球表面に液体の水がなくなることで、火山活動によって放出される二酸化酸素が大気中に溜まっていき、温室効果によって凍結が解除されるというシナリオが考えられていました。

しかし、全球凍結していても、分厚い氷の下には液体の水が存在する可能性もあり、それを考慮してシミュレーションしてみると、岩石が液体の水や二酸化炭素と反応して、氷床下でも風化が進む可能性が示されました。これにより、大気中の二酸化炭素の増加が遅くなり、全球凍結からの脱出が遅れるシナリオも考えられるようになりました。岩石の風化は生物が存在するために必要な栄養を供給するプロセスの１つでもあります。

地球の歴史を振り返ると、全球凍結という過酷な環境でも、生き延びた生命が存在します。これは本当に不思議なことで、生命のたくましさを感じます。今のところ、地球以外の天体では生命が確認されていません。地球と他の天体の違いが明らかになれば、生命への理解も深まるのではないかと思います。



グリーンランド氷床。全球凍結は地球全体がこのような状況であったと想定されている（画像提供：NASA / Michael Studinger）



ELSI を訪れた都内の高校生に講義をする門屋特任助教

タンパク質の進化から生命の起源を探る

Liam Longo

特任准教授（生命の起源、タンパク質の進化）

いくつものアミノ酸が連なっているタンパク質は、複雑に折りたたまれ、独特の立体構造をつくることで、生命の体の中で様々な働きをしています。Liam Longo 特任准教授は、このタンパク質の進化を研究し、生命誕生の謎に迫ろうとしています。



子どもの頃は、植物学と農業に興味があり、学校の授業が終わると、毎日、温室に行って植物の世話をしました。高校生のときには、フロリダ州で開催される科学フェアに応募しようと、共生菌を使った水耕栽培で、キュウリの収量を増やすことに挑戦したこともありました。

私を研究者に導いたのは、あるタンパク質との出会いでした。「線維芽細胞増殖因子1(FGF-1)」と、名前は難しくて退屈そうな印象を受けますが、その立体構造は「ベータ・トレフォイル（β-trefoil)」と呼ばれるとても美しいものでした。三つ葉のクローバーのような美しいβ-trefoilの対称性に魅了された私は、タンパク質を研究する道に進むこととなったのです。

タンパク質は生命を構成する重要な物質です。現在、地球上で暮らしている多種多様な生命は、共通の祖先から進化してきたという仮説が主流です。共通祖先から現生生物に至る過程で、タンパク質も進化しながら受け継がれていると考えられています。そのように進化してきたと考えられるタンパク質のグループを「タンパク質ファミリー」と呼びます。

タンパク質ファミリーは現在、2500種類以上知られていて、最も古いものは約40億年前までさかのぼることができます。タンパク質の構造を研究することで、初期の地球に現れた生命について検討できるのです。

タンパク質はいくつものアミノ酸が連なった1本のひものようなものです。しかし、生体の中では、それぞれのタンパク質が折りたたまれ、特有の立体構造を取りますし、様々な物質との相互作用によって、まるでダンスをするかのように形を変えたり、移動したりします。

しかし、なぜ、タンパク質の折りたたみが生命の中で重要な働きをするのかはよくわかっていません。これは、生命誕生の謎に匹敵するほどの大きな謎です。私は、地球生命をつくった最初のタンパク質の形態と機能を明らかにすることを研究の目標にしています。これからの研究人生の中で、納得のいく答えが得られるものと信じています。

この目標を達成するには、様々な分野にまたがる深い専門知識が必要です。ELSIには、理論生物学者、分子生物学者、惑星科学者、合成化学者など、様々な分野の専門家が集まっている世界的にも珍しい場所です。自分の興味を存分に追求できる自由な環境が整えられています。しかも、ELSI内での共同研究は、私に新たな視点を与えてくれ、視野を広げてくれます。

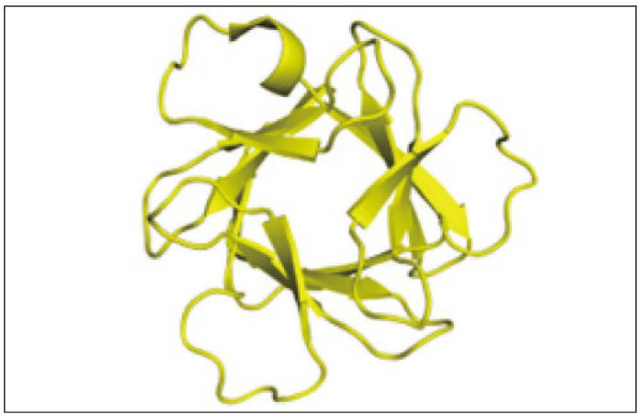
例えば、理論研究者のEric Smith教授からは、洗練された理論的な視点や手法を学びました。さらに、学生たちのあふれんばかりの熱意と創造性に触れることで、私自身、大きな刺激を受けています。

人間を含む地球上のすべての生命は、地球と直接結びついています。私たちはよく、「母なる地球」という言葉を使います。私はこの言葉を、比喩表現以上の強い意味を持つものととらえています。

生命の起源を深く理解するには、様々な分野の知見が必要です。私は地球初期に起きたタンパク質の進化を明らかにすることで、この問いを解き明かすことに貢献していきたいと考えています。



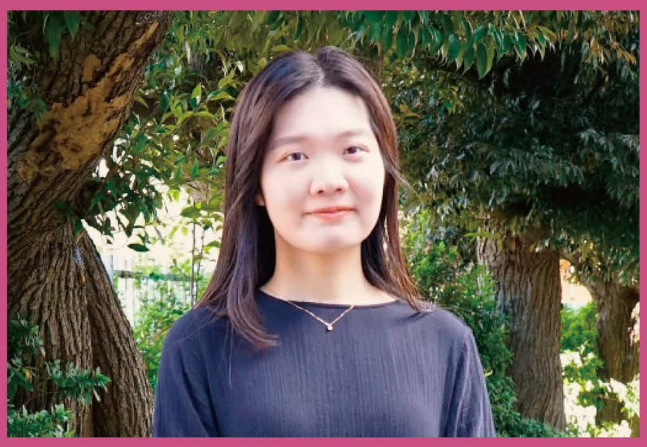
研究室の大学院生とディスカッションをするLongo特任准教授



Longo特任准教授を魅了したベータ・トレフォイル（β-trefoil）の立体構造

ELSI Life Style

様々な分野の研究者と交流し、進める学際研究



阿部レイ

生命理工学院博士課程

ふだん、あまり語られることのない大学院生たちの生活。ELSIの学生がどのような生活を送り、研究に取り組んでいるのか、語ってもらいました。

私は、古細菌（アーキア）のゲノムを解析し、アーキアが持つ酵素が進化の過程の中で、どのように変化してきたのかを探っています。特に注目しているのは、非リボソームペプチド合成酵素（NRPS）という特殊な酵素です。

多くのタンパク質やペプチドは細胞内にあるリボソームという器官でメッセンジャーRNA（mRNA）を読み取ることで合成されます。ところがNRPSは、リボソームを経ずに独自にペプチドをつくります。細菌や真菌ではNRPSの研究が進んでいますが、アーキアではわからないことがたくさんあります。

私は、アーキアのNRPSの分析から、まだ知られていない酵素の進化の過程を明らかにしたいと考え、公開されている世界中のアーキアのゲノム情報をコンピュータで解析しています。研究室での私の1日は、前の日に実行させていた解析結果を確認することから始まります。想定通りに結果が出ている日もあれば、エラーが出て解析が止まっている日もあり、エラーの原因を探ることに時間を費やしてしまうこともよくあります。

解析が思うように進まないときは、カラオケで思いっきり歌を歌い、気分を切り替えるようにしています。すると、不思議なことに新しいアイデアが浮かぶことがよくあるのです。

最近はコンピュータでの解析に加えて、研究をさらに発展させるために実験にも取り組むようになり、実験室で過ごす時間も増えてきました。指導教員の藤島皓介さん、一緒に研究を進めている先輩や後輩との議論を通じて、思いもよらなかったアイデアが生まれることも多く、とても充実した、楽しい日々を過ごしています。

ELSIには、生物学、惑星科学、地球化学など、さまざまな分野の研究者が集まっています。ラボローテーションや研究発表会などで、自分の研究室以外の先生や学生からもアドバイスをいただく機会が多く、異なる視点からの意見が研究のヒントになることも多々あります。

分野を超えて学び、議論できる環境はELSIの大きな特徴です。ここでの研究生活は、新しいことを学び、新しい人と出会い、新たな疑問に向き合うことの連続で、とても刺激的です。



研究の発展のために実験に取り組む



学生主催のクリスマス会では、研究者も一緒に交流を深める

［発行］東京科学大学 地球生命研究所（ELSI：Earth-Life Science Institute）
〒152-8550 東京都目黒区大岡山2-12-1-IE-1
Tel：03-5734-3414 E-mail：pr@elsi.jp Web：www.elsi.jp
Facebook：@ELSIorigins／X：@ELSI_origins
企画 Thilina Heenatigala／ELSI 広報室
取材・文 荒舩良孝

公式ウェブサイトやSNSで、より詳しい情報をお届けします。

Website　X　Facebook