拠点構想

ホスト機関名	国立大学法人 東京工業大学
全体責任者 （ホスト機関の長）	三島 良直（学長）
拠点構想責任者	廣瀬 敬（東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻 教授）
拠点長	廣瀬 敬（東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻 教授）
拠点名	地球生命研究所（Earth-Life Science Institute（ELSI））
拠点構想の概要	※ 拠点構想の全体概要について簡潔に記載。 ※ 国内外の他の機関との連携体制、運営体制などを含めた、拠点の全体的な体制がわかるような図を記載。 **1. 研究目的** 地球生命研究所（Earth-Life Science Institute。以下、「ELSI」という。）は、「生命はいつどこで生まれ、どのように進化して来たのか」という、ギリシャ哲学に始まり、自然科学が問い続けてきた人類の根源的な謎の解明を目的とする。 生命を生み、その進化をもたらした初期地球の特殊な環境の解明に取り組みながら、生命の起源と進化、持続的生命システムの形成について、地質学的変遷を踏まえて解明する。また、深海の微生物エコシステムや始原的小惑星の探査を通じ、地球の原始環境にも迫る。これらの研究プロセスから、地球の特殊性と普遍性を理解し、また、太陽系内外の生命探査に示唆を与える。 ELSI では、初期地球や初期生命の研究・理解に必須である下記 3 分野を統合し、徹底した異分野融合研究を展開する。 1. 地球科学 生命が形作られ、進化していった初期の地球環境を明らかにする、初期地球を対象とした地質学、地球化学、地球物理学。 2. 生命科学 生命の誕生プロセス、生命と生態系の進化プロセスの解明を担う、生物化学、システムバイオロジーから環境微生物学。 3. 学際科学 「生命はいつどのように生まれ、そして進化したのか」という古典的問題に対して、新たな道を示すことが期待される、数学、物理学、化学に始まり、コンピューター科学へと続く多様な分野とその融合科学。 なぜ、これら3分野なのか。生命科学が初期生命の誕生とその様々な態様の可能性、また、どのようにして初期生命が複雑かつロバストな進化を遂げたのかを議論するために必要な事は言うまでもない。さらに、生命の起源と進化を考えるに当たっては、生命誕生の場としての環境や、生命進化の最適化と連動した環境の進化を深く理解することが必須である。このため、地球科学と生命科学は欠くことのできない要素であると言える。 もし、生命がいつ、どこで、どのように生まれたかについて、大まかにでも妥当な合意があるとすれば、地球科学と生命科学は連携して、生きた細胞の初めての出現に始まる、生命と地球環境の共進化モデルを着実に精緻化できるだろう。しかし、我々が置かれている現状は、これとは程遠い所にあると言わざるを得ない。「生命がどのように形作られたか」という問いについては、それが起こり得る環境を多角的に見つめると共に、初期生命を形作る分子がどのように結合し、進化の過程において複雑に成長・増加するに耐えうる持続性・柔軟性を持った自律的反応を始めたのか、と言ったことも含めて非常に広範囲な議論を継続する必要がある。どのアイデアが正しいか、という問いに答えることができない現状では、直面する課題から一歩離れた地点でそれを見直すこと、また、地球科学や生命科学以外の科学、数学分野からの思考や示唆を議論に導入することも有益だろう。

例えば、20世紀、ある著名な物理学者が生物学分野の研究に足を踏み入れたことが端緒となって、生物学分野の論理的思考方法が革新されたという逸話がある。また、先に述べた自律的反応プロセスの抽象モデル構築（個別具体の化学を取り上げていない）を通して、生命の起源についてよりレベルの高い抽象化についての思考方法を得ることができると期待している。

コンピューター科学者達は、モデルの設計、実行への協力に加え、生物化学者にとっては一般的とは言えない抽象化のあり方を提示するだろう。あるいは、パターン認識やパターン生成などを経験した認知科学者は、最新の生命形成研究を行っている生物学者が簡単に見出せないような方法、例えば、自律的反応プロセスと原細胞の相互作用を彼らのアプローチに採り入れるかもしれない。こうした観点から、第3の分野がELSIの研究には不可欠である。

より具体的なELSIの研究テーマは以下の通り。

(A) 地球の起源

A1. 地球はどのようにして生まれたのか？
A2. なぜ地球に水があるのか？
A3. 地球深部はどうなっているのか？

(B) 地球－生命システムの起源

B4. 生命誕生時の海と大気はどのようなものだったか？
B5. 生命が誕生した場所はどこだったのか？
B6. 初期生命のゲノムはどのようなものだったのか？

(C) 地球－生命システムの進化

C7. 地球大気にはなぜ酸素が存在するのか？
C8. 固体地球の変動は地球生態系をどうかえたのか？
C9. 宇宙の変動は地球環境にどのような影響を与えたのか？

(D) 宇宙における生命惑星

D10. 宇宙の中で地球はどれほどユニークな存在なのか？
D11. 地球外生命体を探す手立ては？

これらの研究に対するELSIの優位性は明白である。

初期地球のユニークな環境については、超高温・高圧実験、惑星形成理論、（地質記録に残る）地球史の解読を統合して取り組む。東京工業大学はこの分野の研究を先導しており、他機関の追随を許さない。また、ELSIに参加する日本人研究者の中には、深海熱水系と言った極限環境における微生物エコシステム研究の第一人者が含まれている。

さらに、東京工業大学は、上に掲げた研究課題を進める上で必要な固体地球科学、惑星科学、地質学、環境生物学、微生物ゲノム科学に関連する異分野融合研究を伝統的に数多く進めており、豊富な経験を有している。例えば、2004年から始まったCOE（Center of Excellence）プログラムとそれに続くGlobal COEプログラムでは、ELSIの研究分野構成と似たチームで、共同研究が精力的になされてきた。ELSIが目指す研究は、COEプログラム及びGCOEプログラムで展開した異分野融合研究を下敷きとして、地球－生命システムの誕生と進化に対して地球内部や宇宙が果たす役割を考究するものである。

これらに上述した第3の研究分野を新たに加え、例えばプリンストン高等研究所の学際研究プログラムなど、多彩な異分野融合研究グループと強固な国際連携を築きながら、研究を促進させる計画である。

2. 組織

(1)全体

研究所長には廣瀬敬教授が就任し、世界を先導する研究拠点、ELSIの構築・運営に全責任を負う。研究所長は、最先端の研究を展開している優秀な研究者をリクルートし、彼らに明確な役割を課した上で、独立して研究する場を提供する。

研究所の運営全般に関する最終的な決定権は研究所長が有するが、運営会議及び国際アドバイザリーボートを置き、人事、研究所の運営、研究者や事務支援スタッフの評価などについて研究所長への助言・サポートを行う。

ELSIは4人の外国人主任研究者（うち2名は女性）と、愛媛大学、プリンストン高等

研究所、ハーバード大学のサテライト機関から各1名の主任研究者を含む総勢16名の主任研究者を擁する研究所となる予定である。各主任研究者は、ポスドク研究者らと共に、自身の研究グループを運営する。

また、ELSIでは、研究に関してより自由度が高い、すなわち、主任研究者が主宰する個々の研究グループとの結びつきが緩やかな立場で研究を進める優秀な若手研究者を、国際公募により雇用することを計画している。

主任研究者、若手研究者とも、その活動・業績の評価は、国際アドバイザリボードメンバーによる年次の業績評価ワークショップで行う。

ELSIでは、研究グループ間の闊達な議論を通じ、異分野融合研究を促進する。議論の場として、プリンストン高等研究所の学際研究プログラムを成功に導いたPiet Hut教授を中心に、幅広い異分野融合研究を促すような定期的なイベントを開催する。これにより、研究所における異分野融合研究の活性化を図ると共に、東京工業大学全体への波及効果を期待する。

(2)事務部門

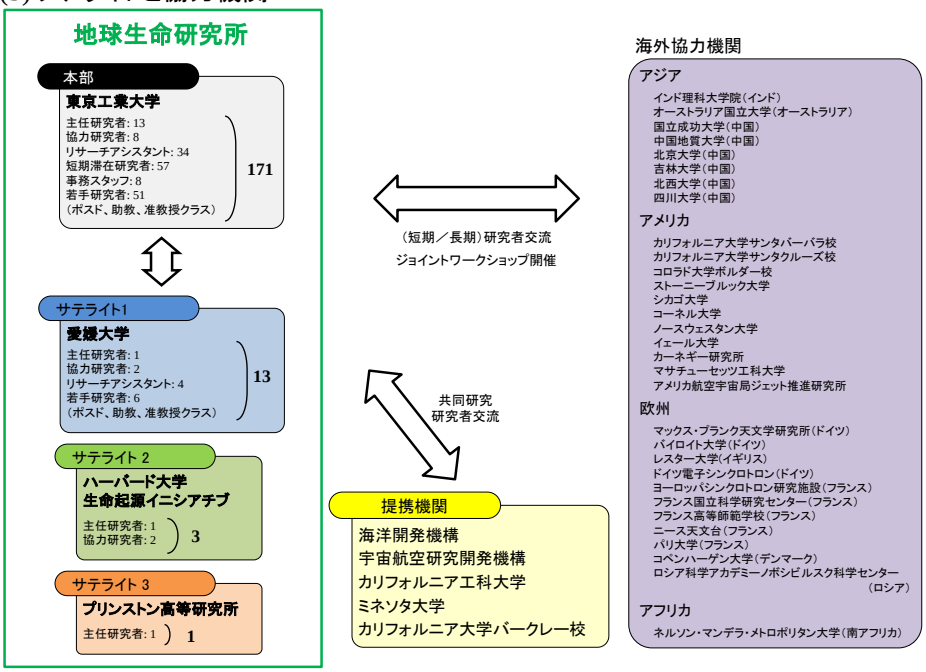
ELSIの運営・管理は、事務部門長に就任予定の中澤清特任教授が中心となって執り行う。中澤特任教授は、新たな研究組織の構築について豊富な経験を有しており、事務部門長として適任である。最初の数年間は、副事務部門長が中澤特任教授を補佐し、ELSIの運営を軌道に乗せていく計画である。

事務部門は「国際推進及び研究者支援部門」、「運営部門」、「社会連携部門」の3つから成り、主として大学の事務組織との連携を行う事務職員を置く予定である。ELSIに勤務する事務スタッフの一部は、サテライト機関であるプリンストン高等研究所に数ヶ月間派遣され、高度な事務組織、効率的な研究支援を学ぶ機会を与えられる。

国際推進及び研究者支援部門には、研究者と事務スタッフの双方の支援を行うため、科学的素養を有するリサーチアドバイザーを置く。また、外国人研究者及びその家族の入国等の手続きや日常生活全般のサポートを行うライフアドバイザーを置く。

社会連携部門には、ジャーナリストとの定例ミーティングの開催や、高校生を対象としたサマーインターンシップ、「はやぶさ」などのELSIの研究と関連し、かつ国民の関心が高いトピックスを取り上げる公開講座の企画・立案・実施など、ELSIにおけるアウトリーチ活動全般を担うリサーチコミュニケーターを置く。

(3)サテライトと協力機関



上図のとおり、本拠点では、愛媛大学、プリンストン高等研究所、ハーバード大学にサテライトを置く。また、サテライト以外にも、ELSIの研究と密接に関連する地球外の惑星探査や深海熱水系の観測など、大規模な調査研究を展開している宇宙航空研究開発機構(JAXA)の宇宙科学研究所(ISAS)や海洋開発研究機構

	（JAMSTEC）から主任研究者を招くなどし、強固な連携・協力関係を築いていく。この他、多数の関連する海外研究機関とも提携し、積極的に共同研究や研究者の交流を行っていく。これは、ELSIがこの分野における世界の交流センターとして機能していくために極めて重要である。
ミッションステートメント 及び/又は 拠点のアイデンティティー	※　ＷＰＩ拠点としてのミッションステートメント及び/又は拠点のアイデンティティーを、明確かつ簡潔に記載。 (1)ミッションステートメント 　これまで、「生命の起源」については、生物化学的に「原始生命を形作る」という限られたフレームの中で議論がなされてきた。地球の環境は、「生命のゆりかご」と表されるが、これは生命と地球環境間の動的相互作用というよりは、生命の支えを意味するものである。 　ELSI では、地球と生命の両方を等しく重視して研究を進め、「生命の起源」に関して徹底的に議論する。この理由として、生命の活動は周囲の環境とのエネルギーや物質のやり取りを通して成立していることが挙げられる。また、生命が生まれると直ちに生命の存在が地球の環境に影響を及ぼし、そして生命の影響を受けた地球の環境が生命に影響を及ぼすという2通りの相互作用、つまり生命の起源と初期地球環境は不可分と言える。このような我々の基本的な見解は、研究拠点の名称（ELSI）にも反映されている。ELSI とは、地球（Earth の E）と生命（Life の L）を科学（Science の S）する拠点（Institute の I）、すなわち地球科学と生命科学を両立させ、研究を展開する拠点という意味が込められているのである。 　我々は生物学的な問いである「生命の起源」を、関連分野の融合が想起されるような問い、「持続可能な生態系の誕生」へと置き換えることを考えている。我々は、研究のゴールを、初期の地球史において生じた、生命にとって厳しく過酷な環境変化に耐え、安定的かつ持続的な生命の存在を可能とした初期生態系の解明に置いている。 　さらに、ELSI では初期の地球環境における生命を研究するとともに、地球自体がどのように形成され、そしてどのように変化したのかについて、地球表層に留まらず、地球内部も研究対象とする。これらの研究過程で、生命を生み出した地球の普遍性と特異性を検証していく。これは、太陽系あるいは太陽系外の地球外生命探査に有益な示唆を与えることになるだろう。 　ELSI は、最先端の実験と、コンピュータシミュレーション、野外観測を組み合わせて研究を推進する。広範な異分野融合研究を通じ、代謝や自己複製について、より抽象的でメタレベルにある概念を開拓する必要があるかもしれない。このような抽象化したモデルを分子レベルで実装し、地球上の生命とどの程度異なるかを追究する。 (2)拠点の特徴 ・NASAの宇宙生命研究所（Astrobiology Institute）の研究テーマは我々のものと似通っているが、ELSIは東京工業大学でなされた共同研究の成果に基づき、生命の起源とその進化全般における地球の役割に重きを置いている点で大きく異なる。最も重要なことは、ELSIがバーチャルな研究拠点では無いことである。異なる分野出身の研究者がELSIに集まり、異分野融合研究拠点を作り上げていく。サテライト機関であるプリンストン高等研究所の学際研究プログラムと同様に、ELSIでは定期的に開催するイベント等を通じ、研究所内のコミュニケーションを活発化させていく。 　・ELSIの成功は、その研究環境と優秀な研究者のリクルートにかかっている。このため、多様なバックグランドを持つ世界トップクラスの研究者にとって魅力的な異分野融合研究プログラムを作り上げていく。ELSIでは、研究者に対し初めから詳細な研究内容を要求しない。むしろ、世界トップクラスの研究者を招聘し、研究者自身のスキルや興味を加味してELSIにおける研究の最適化を図っていくことが望ましいと考える。 　研究所内での分野を超えたコミュニケーションの促進に加え、研究所長は最高の研究環境を提供することに責任を負う。東京工業大学から主任研究者として参加する者はELSIの教員となり、少なくとも学部教育の義務は免除される。また、事務スタ

	ッフの評価や海外研修を通じて、効率的かつ研究に重点を置いた事務組織を確立する。 ・ELSIはまた、コミュニケーション拠点という重要な役割を担う。国内外の多彩な研究者との分野横断的な結びつきを進めるとともに、研究成果をアウトリーチ活動や教育に積極的に活用していく。「はやぶさ」、「はやぶさ2」といった宇宙探査機、地球、生命誕生の謎、地球外生物などは、国民が強く関心を抱いているトピックであり、アウトリーチ活動の題材として最適である。教育に関しては、国内の高校生から選抜された者を対象にサマーインターンシップを企画する予定である。このような活動はELSIだけではなく、ホスト機関たる東京工業大学の国内外における存在感を高めていくだろう。

（１）対象分野

※ 対象分野名を記載するとともに、関連の深い分野のどのような融合領域であるかも明示。
※ 対象分野として取り組む重要性（当該分野における国内外の研究開発動向等）について記載。
※ 類似の分野を対象とする国内外の既存拠点があれば、列挙。
※ 今回の公募の特徴である「我が国の優位性を十分発揮できる領域」「国際的にも魅力ある領域」「将来の重要な学問分野を創造しつつ、10年という比較的長い助成期間を越えて将来性が期待できるよう、絶えず関連する新しい領域を戦略的に生み出し持続的に世界トップレベルに立てる領域」に該当すると考える理由について記載。

対象分野: 固体地球科学、惑星科学、地質学、環境生物学、微生物ゲノム科学、及びこれらの融合分野

本拠点は、初期地球をキーワードに、太陽系における地球の形成と初期進化、初期地球の環境と生命の誕生、地球と生命の共進化につき、関連分野の融合研究を推進する。このような「地球学」を通して、生命を育む地球の普遍性と特殊性を明らかにし、地球外天体における生命の存在に対し予言能力をもつ「生命惑星学」を創造する。そこから導かれる示唆を直ちに地球外生命の探査に活かすため宇宙探査・観測分野とも密接に連携する。

【対象分野の重要性と国内外の動向】

＜地球惑星科学と生命科学の融合＞

生命科学と地球科学は本来不可分のはずである。なぜなら生命の活動は、周囲の環境とのエネルギーや物質のやり取りを通して成立しているからである。本拠点は地球と生命の研究を再び融合し「なぜ我々生命は地球に存在し得るのか」を初期地球に焦点を絞った詳細な研究を通して探求する。これはギリシャ哲学にはじまる自然科学が現代に至るまで問い続けてきた最も重要な問題の一つである。つまり我々が解き明かそうとする対象の重要性は言を重ねる必要なく、自然科学2700年の歴史が証明するものである。そして現在、とりわけここ20年における関連分野の進展はめざましく、生命を宿す惑星・地球に対する認識は今、劇的に変わろうとしている。次にその動向を3つ挙げる。

1.地球に関する認識

近年、地球深部の解析が急速に進み、コアを含めた地球内部の全体像がようやく見えるようになってきた。その大きな要因の1つが、研究所長・廣瀬とサテライト責任者・入舩による、超高圧実験技術の大幅な進歩である。

10年前は地球の深さ2,000kmまでの実験にほぼ限られていたが、今では深さ6,400kmの地球中心をカバーする実験が行われている。その結果、廣瀬らはマントル最下部層がポストペロフスカイト相という未知の鉱物から成ることを発見し、またポストペロフスカイト相への相転移によりマントル内の対流運動が活発化していることを見出すなど、日本発の大きな業績を挙げた。さらには廣瀬らによる地球最深部の内核の結晶構造解析が進むなど、これまで想像に過ぎなかった地球コアの実態が、現実性を持って議論されるようになりつつある。

また、これまでの高圧実験は「現在の地球」を理解する目的で行われたものがほとんどであった。しかし地球の全体像が見え始めた今、「過去の地球」さらには「**初期地球**」をターゲットにした研究が盛んになりつつある。

一連の高圧実験技術の進歩により、地球形成期の超高温状態を再現することが可能になった。廣瀬らは実験により、太古の地球の表層を覆っていたとされるマグマオーシャンが、地球表層のみならずマントル深部にも存在していたという「ボトム・マグマオーシャン」仮説を確認し、これに伴いマグマオーシャンの固化をスタートとする固体地球の歴史が書き替わりつつある。マグマオーシャンの固化という、初期地球の大規模な物質分化が、その後の地球の変動と、その結果としての表層環境の大変動を決定づける大きな要因であることは明らかである。

一方、先カンブリア時代の地質学・地球化学の発展もめざましいものがある。その結果、マクロかつ長期的なタイムスケールにおいて、生命と地球変動が一体として共進化してきたことがいよいよ明らかになりつつある。

1980年代にBill Schopfが主導したPrecambrian Paleontology Research Groupによって先カンブリア時代の地層に細胞の形態を残した化石が次々と発見され、初期地球にも生命活動があったことが明らかになった。しかし単純な形態に基づくバクテリアの分類はほぼ不可能であり、この時点では「どのような生物が活動していたか」については不明なままであった。しかしその後、炭素を始めとする生体必須元素の安定同位体など、地球化学的な生物指標が確立したことで、特定の微生物代謝が地質記録から読み取られてゆき、今やC、 N、 S、 Fe等の生物地球化学循環が太古代に遡って追跡可能なまでになった。

さらにこれらの地球化学研究は、大気組成や海洋の酸化還元状態など、初期地球の化学環境を定量的に推定するレベルに成長しつつある。これらの研究は、国内では熊澤や本拠点主任研究者・丸山が主導した全地球史解読計画が1995年以降先駆的な牽引役を果たした。その後、国際的にはAgouron Instituteにおける南アフリカカラハリ砂漠の掘削プロジェクトがスタートし（主任研究者 Kirschvink）、NASA宇宙生命研究所やフランス・オーストラリアの陸上掘削計画が続いた。これらの地球史研究には、東京工業大学のCOE及びGCOEなどの研究プログラムもその一翼を担っている。

こうした研究の結果、大酸化事変（Great Oxidation Event）などの大気組成変動や本拠点主任研究者のKirschvinkによって見出されたスノーボールアース（Snowball Earth）などの気候変動の詳細が明らかになり、環境の変化と生命の進化の関係性が暗に示された。こうした環境変動の原因は未だに分かっていないが、固体地球変動（急激な大陸の成長や堆積岩の増加、地球磁場の強度の変化）や酸素放出光合成による突然の生物学的進化及び宇宙の影響（地球への宇宙線の増加）が盛んに議論されており、新たな概念のうちのいくつかは東京工業大学GCOEプログラムにおける学際研究の成果によるものである。こうした流れを受け、今や生命の誕生と進化を決定づける要因として、地球深部マントルやコアを含めた地球の熱進化と地球－生命系における長期的な変動との関係をクローズアップする時期に来ている。

2. 地球微生物学

太陽光の届かない深海の熱水系で生態系が発見された1977年以降、生命活動が可能と考えられる環境の範囲は広がってきている。特に微生物は、高温・高圧・低温・低圧・酸性・アルカリ性・酸化・還元など、「過酷な」環境に適応でき、地球外生命の存在を期待させるに十分なデータが蓄積されるに至った。深海熱水生態系発見の衝撃は即座に「深海熱水系が地球生命誕生の場である」という仮説に結び着いたが、以降30年以上にわたる日本・米国・欧州の深海観測と実験により、熱水場の物理・化学特性は極めて多様であること、その化学的多様性に応じて生態系もまた多様であることが明らかになった。従って、最初に生まれた生態系は、マグマオーシャンの固化によってできた原始地殻の組成（岩石種）に支配されていたはずである。また、生態系の駆動メカニズムは地球内部のエネルギーに支えられた化学合成エネルギー獲得代謝を基にするものであり、エネルギーという観点からも、地球と生命の関係を切り離して考えることはできない。これらの認識から、地球惑星科学の大規模な学会（アメリカ地球物理学連合、日本地球惑星科学連合、ゴールドシュミット会議）などでは地球生命科学部門が設立されるに至っている。

本拠点の主任研究者・高井は、JAMSTECによる深海熱水生態系の探査を主導し、Hyper-SLiME説など、生命の起源の解明につながる新たな微生物生態系の解明に成功した。こうした観測を通じ、ほとんどの微生物は単独ではなく、多様なコミュニティとして存在しており、また生命活動は周囲の環境との物質のやり取りを通して成立することがますます深く認識されつつある。一方で、生態系そのものが大気海洋の進化に重要な役割を果たしていることも分かりつつある。

本拠点では、微生物ゲノム・メタゲノム科学も重要な位置づけにある。これらの分野では、次世代シーケンサー及びデータ解析技術の急速な発展により、ビッグデータの取得と整理、さらには新たな知識の発見が可能になってきている。また、長鎖DNAの合成技術の進歩により、人工的にデザインされたDNA配列情報がどのような機能やロバスト性を持つかについての実証実験を可能とする合成生物学も進展してきている。さらに、このどちらの研究対象も、細胞単位だけでなく、細胞群集というシステムへと拡大されつつある。

3. 系外惑星の相次ぐ発見

太陽系外の惑星が初めて発見された1995年以来、見つかった惑星の数は飛躍的に増加しつつある。そして、数年前から太陽系外に地球型惑星（スーパーアース）が続々と発見されるようになってきた。太陽型星が地球に類似した惑星を持つ確率は20%以上にも上るのではないかというのが、最新の観測データと理論モデルからの予測であり、天文学の分野では地球外生命に関する議論が活発化している。

一方、過去の火星にあった水の痕跡の発見や、エウロパやエンケラダスの内部海の存在を強く示唆する観測データは、太陽系内にも地球の他に生命を宿す天体があるのではないかとの期待を抱かせる。

このように、地球外生命を宿す可能性を持つ場所が具体的に想定されるようになってきている状況にお

いて、現在または近い将来の技術で、地球外生命の存在の指標（バイオ・マーカー）、あるいは地球外生命そのものをどのように検出するのかという問題がクローズアップされている。系外地球型惑星が発する光を直接分光してスペクトルをとり、大気組成を探り、オゾンなどの生物起源の成分を検出しようというのが主な案である。

国際協力による次世代超大型地上望遠鏡計画（Thirty Meter Telescope: TMT、Extra Large Telescope: ELT）において、このような分光観測は目玉のひとつになっている。また、電波望遠鏡による星間分子雲の有機物の観測も盛んになっている。

地球外生命探査には、その場解析の方向性もある。昨年11月にNASAが打ち上げ、今年8月5日に火星に到着予定の 「Mars Science Laboratory」は火星表面の有機物の調査も行う予定であるし、「はやぶさ2」も始原的なC型小惑星におけるサンプルリターンによる有機物の検出が目的のひとつになっている。また、今年、計画が認められ、JAXAも協力する欧州宇宙機構（ESA）の「JUICE」は木星の氷衛星（エウロパとガニメデ）を探査するもので、内部海を持つ可能性があるエウロパやエンケラダス（土星の衛星で、水蒸気が吹き出すことが探査機ガリレオによって観測された）の生命探査という次のステップにつながるものである。

このように、地球外生命探査は科学をベースに動き始めており、10年以内には分光観測によって系外惑星が目に見えるようになるだろう。そのとき地球の普遍性と特殊性、さらには生命活動の有無に対する理解が劇的に進み、全く想像しなかった惑星を目にして、地球惑星科学は変革されるだろう。我々はそのような観測が行われる前に生命惑星学を構築し、どのような観測を行って、どのような生命惑星がどこに存在するのか予言を行おうとしている。これは、地球惑星科学全体の流れの中でも急務であるといえる。

＜類似の既存研究拠点＞

- 米航空宇宙局宇宙生命研究所（NASA、 Astrobiology Institute（NAI））
- 超大型地上望遠鏡計画（TMT、ELT）
- 陸上掘削計画（フランス・南ア・欧米）・海底掘削計画（ODPほか）
- 海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域（IFREE）
- 海洋研究開発機構・プレカンブリアンエコシステムラボラトリー（JAMSTEC）
- 東京工業大学GCOEプログラム「地球から地球たちへ」

【拠点の優位性・魅力・持続性・将来性】

＜日本の優位性 ＞

本拠点で行われる研究は、①高圧実験と惑星形成理論によって「地球を作る」こと、②できた地球に「生命を作る」こと（生命起源学）、③「地球と生命を一緒に進化させる」こと（地球史解読）、さらに④これらを一般化し生命惑星の普遍性を解明すること、4つに大別される。

このうち、高圧実験と惑星形成理論は、紛れもなく地球惑星科学分野における日本のお家芸である。高圧実験については、マルチアンビル装置とダイヤモンドセル装置の2つが高圧発生装置として広く用いられている。前者は1960年代に大阪大学の川井直人を中心に開発され、装置そのものと実験技術が日本から世界に輸出されて来た。現在でもその技術開発の最先端を走るのが、本拠点の主任研究者たる愛媛大学の入舩である。後者は試料が極微小というデメリットがあるものの、近年の放射光施設の充実により、高圧地球科学の主力装置になりつつある。

本拠点長・廣瀬らは、地球中心の超高圧・超高温環境を実現できる世界で唯一のグループである。入舩・廣瀬グループとも世界をリードする高圧実験技術をベースに、大きな成果を挙げ続けており、その優位性はこの先10年間、揺らぐことはないであろう。さらに、高圧下にある微小試料の解析には量子ビームの活用が不可欠である。日本は世界最大の放射光施設Spring-8、大強度陽子加速器施設J-PARCといった世界最先端の高圧試料解析施設に恵まれていることも大きな優位性の1つである。

一方、惑星形成論は、1980年代に構築された太陽系形成標準理論「京都モデル」に始まり、現在は本拠点主任研究者の井田らによるグループに引き継がれ、新しい「東工大モデル」が構築されつつある。その発展は大規模コンピューターシステムの開発と密接に結びついており、本拠点主任研究者の牧野を中心に、明確な科学的ゴールを設定することで、世界最速のスーパーコンピューターの開発にも多大な貢献を果たしてきた。これは、ハードウェア開発、計算アルゴリズム開発、ソフトウェア開発、サイエンス研究を一体として進める、世界に例を見ないユニークなアプローチで実現したものであり、今後も優位性が発揮できる。

1990年代、本拠点主任研究者・丸山を中心に「全地球史解読」プロジェクトが推進された。これはNASA宇宙生命研究所が地球初期の生命史解読に乗り出すのに先んじて、地球初期の岩石記録の採取・解読・分析を全世界的に展開してきた。世界各地で採集された岩石試料は合計16万5000個にも及ぶ。これら膨大なコレクションは東京工業大学に保管され、世界中との共同研究に供せられている。固体地球変動をも視野に入れて岩石が採集されていることは、他のコレクションにない特徴である。

また、JAMSTECが主導する深海熱水探査においても日本は世界と比肩する。本拠点主任研究者・高井らはこれまで、深海探査や深海掘削という世界的にも日本が最先端を走る大規模な研究設備をフル活用して、現在の地球上に存在するほぼすべてのタイプの深海熱水活動における地質－生命相互作用に関する膨大な定量的データを有している。さらに、生命の起源の解明につながる、極限環境微生物生態系の有様を決定する原理についてモデルを提出するまでに至っている。

太陽系外惑星の観測及び宇宙における生命探査においては欧米にリードを許しているものの、日本ははやぶさ・はやぶさ2による小惑星サンプルリターンやすばる望遠鏡の系外惑星直接撮像など他国を凌ぐものが多々ある。

個々の研究者の優位性に加え、「全地球史解読計画」「東工大COEプロジェクト：地球」「東工大グローバルCOEプロジェクト：地球から地球たちへ」などにより、既に20年前から始まっている地球科学者・惑星科学者・生命科学者の学際融合研究は、世界的にも日本のお家芸と目されている。

＜国際的な魅力＞

地球の起源、生命の誕生・進化という問題が、古今東西を通じた人類共通の関心事であることは言うまでもない。火星や内部海を持つとされる氷衛星（エウロパやエンケラダス）に生命が存在するのではないかという可能性にも、大きな関心が寄せられている。近年では多数の太陽系外惑星が発見され、中には地球と似た海を持つ惑星も見つかりつつある。このように、宇宙における生命の存在が科学的に議論される時代にあって、生命を育んだ地球の成り立ちを理解する重要性は大きく高まっている。

このような背景の中、NASA宇宙生命研究所は地球外生命と初期地球環境に関する研究プログラムを組織的に開始し、アストロバイオロジー（宇宙生命学）の振興に大いに寄与した。しかしながら、このプログラムはあくまで研究予算プログラムであり、異なる分野の研究者が各所属機関で別個に研究を行う、バーチャルな組織である。

一方、日本国内では、東京工業大学のGCOEプログラムやJAMSTECが推進するシステム地球生命科学プロジェクトである「プレカンブリアンエコシステムラボ」は、異なる分野の研究者が物理的に集結した組織が、はるかに小規模ではあるにせよ、既存の研究領域の壁を壊し、真の分野融合に成功していると言える。事実、生命の誕生や進化をコントロールした固体地球や宇宙の役割が新たな切り口としてクローズアップされている。本拠点はこれら既存のプログラムを土台として、同分野の国際研究拠点を目指す。

また、本拠点がフォーカスする「初期地球」は、ほぼ手つかずの領域である。物証がほとんどないことから、地質学・生命科学にとっては大きなチャレンジとなる。しかし、初期の地球・初期の生命こそが、その後の進化を決定づけていることは明らかである。このような未知かつ重要な分野の国際研究拠点は、世界から魅力ある研究所として映るに違いない。

（２）研究達成目標

※ 実施期間終了時（10年後）の研究達成目標を一般国民にも分かり易い形で明確に設定。その際、異分野の融合等によりどのような領域の開拓が期待されるのか、その上で、どのような科学技術上の世界的な課題の解決に挑戦するのか、またその実現により、将来、どのような社会的インパクトが期待できるのか、をできるだけ分かり易く記載。

※ 上記目標を達成するための研究活動面の具体的計画、及び、関連するこれまでの実績を記載。

【研究目的】

本拠点は、特に生命誕生前後の初期地球にフォーカスし、（A）どうやって居住可能な地球ができたのか、（B）いつ、どこで、どのように地球生命系は誕生したのか、（C） その後、地球と生命が進化した要因は何か、を解明することを目的とする。これらの「地球学」により、生命を育む地球の普遍性と特殊性を明らかにする。また、その結果を活用し（D）地球以外の天体における生命探査に指針を与える。

なお、これらのテーマはいずれも異分野の学際融合により行われる。以下、それぞれについての詳細を述べる。

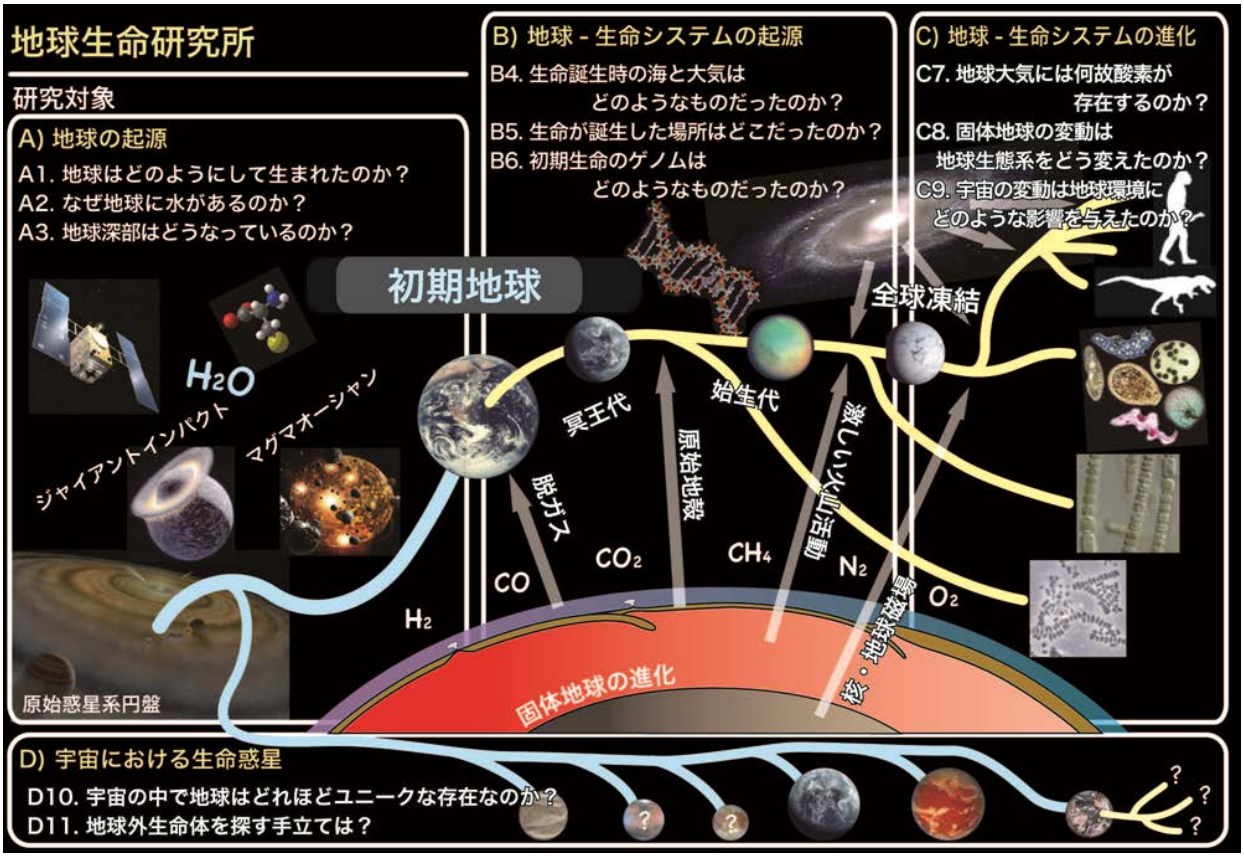


図1. 研究概要

A） 地球の起源

「地球の起源」をテーマに、生命を育んだ地球という惑星の成り立ちを探る。「生命はいつどこで生まれ、どのように進化して来たのか」という人類の根源的な問いに答えるのにも、生命を育んだ環境、そして環境を決めた地球の成り立ちや変動を理解する必要がある。

初めに、(1)太陽系内での地球の成り立ちを第一原理的な理論で理解し、その理論モデルを地球の化学組成という観点からチェックする。次に、(2)従来のハビタブルゾーンに関する考え（単なる水の有無）から脱却し、地球における海水が適切な量となるに至った要因を突き止め、生命を育む惑星の普遍性を解明する。そして最後に、(3)生命誕生前後における初期地球の物質分化を再現する。

A1. 地球はどのようにして生まれたのか？

太陽系の惑星形成を理論的に説明する標準モデルとして京都モデルがよく知られているが、その理論的な枠組みには未解決の問題が残されている。特に近年、太陽系外惑星が観測され、より普遍的な惑星形成理論が求められるようになってきている。本拠点では、従来のモデルで使われてきた単純化を排除し、第一原理に近いところから惑星形成と進化過程を理解するため、惑星形成理論を再構築する。さらに超高圧実験をベースに、現在のコアと下部マントルの化学組成を決定することによって地球全体の化学組成を明らかにし、この理論モデルを検証する。

A2. なぜ地球には水があるのか？

従来、水が液体として存在することが生命の存在しうる惑星の条件とされ、その領域はハビタブルゾーンと呼ばれてきた。しかし、惑星の水量を決定づける要因はほとんど判明しておらず、また生命を育む惑星の条件は海と陸が共存していることにもある。そこで本拠点では、ハビタブルゾーンにありながら、地球にはなぜわずかな海しかないのかという未解決の問題を、惑星形成論から明らかにする。

A3. 地球深部はどうなっているのか？

マグマオーシャンの形成・固化に伴い、地球はコア・マントル・地殻・大気・海洋へと物質的に分化した。そのような地球初期の物質分化がその後の地球内部のダイナミクスや熱進化を決定づけ、火山活動・大陸成長・磁場形成を通じ、表層環境の変動と生命の進化に大きな影響を与えたはずである。本拠点ではそのような物質分化を高圧実験と計算機シミュレーションで再現する。

B) 地球生命システムの起源

初期地球の環境と生命は不可分である。また生命自体も一個の独立した細胞ではなく、生態系として誕生したはずである。生命の起源は大気・海洋・岩石・生物群集を含めた「地球生命システム」の起源であると捉え直し、そのシステムがいつ、どこで、どのように構築されたのかに迫る。特に初期の固体地球が用意した特殊環境と初期生命系の関係を重視し、ELSIでは次の3つの疑問の解決に挑む。

B4. 生命誕生時の海と大気はどのようなものだったのか？

生命の誕生した初期大気・海洋はどのような組成だったか。 冥王代の地球にはどのような特殊な岩石が分布していたのか。これらについて、1）高温実験・理論計算によるフォワードアプローチ、2）初期太古代の地質記録からの逆算と冥王代鉱物の解読に基づく実証的研究、の2つにより、検証可能なモデルを構築する。

B5. 生命が誕生した場所はどこだったのか？

低分子から高分子を経て、持続可能な「地球生命システム」が誕生した「場」はどこであるかを解明する。また初期地球に類似した特殊環境（深海底熱水系、蛇紋岩温泉）の微生物学・地球化学から生命システムの起源を探る。環境エネルギー・生命活動因子物質の量論的特性とそこに生きる微生物・代謝システム組成の関係から生命の起源を探る。

B6. 初期生命のゲノムはどのようなものだったのか？

生命は生態系として誕生した。その遺伝子セットはいかなるものだったか、微生物群集のゲノムから原始の生態系に遡る。また、持続可能・進化可能な生態系が構築される要因は何か、20種類のアミノ酸・遺伝暗号を使い得た初期地球環境とはどこか、どのように生命システムに至るのか、これらの問いに対し実験的にアプローチする。

C） 地球生命システムの進化

生命誕生後、地球環境は生命・地球・宇宙の相互作用により変遷した末、動物の誕生に至った。その地球史的な環境と生命の進化過程の解読を通して現在の地球生命が存立する環境の成り立ちを理解する。特に、光合成生物・真核生物・後生動物の誕生の3つを大きな事件ととらえ、それら生物進化と表層環境変動・固体地球変動・宇宙環境変動の因果関係を追求する。

C7. 地球大気にはなぜ酸素が存在するのか？（大気海洋と生命）

地球内部エネルギーに依存する化学合成から太陽エネルギーに依存する光合成への生物進化と大気海洋化学進化の相互作用解明を、システム生物進化学的な予測と地質記録の解読を融合して行う。酸素発生型光合成はいつ、どこで、なぜ誕生したのか。大気はいつ、どのように酸化されたのか。真核生物の誕生は本当に酸素上昇の結果だったのか。

C8. 固体地球の変動は地球生態系をどう変えたのか？（固体地球と生命）

固体地球の変動は生物・大気・海洋の共進化にどのような駆動力を与えたのかを探る。特に初期地球内部の化学的成層構造の時間発展を対流シミュレーションから明らかにし、火成活動の活動度と大陸成長率を評価する。A3のコアに関する研究からコアの物性値を決定し、コアの対流と熱進化のシミュレーションも同時に行って、内核の誕生のタイミングと磁場強度変化を推定する。一方、地球史試料を用いて、古地磁気強度変化、大規模火山活動、大陸成長を解析し、シミュレーション結果を徹底的に検証する。これらの固体地球がもたらす表層環境変動を考慮し、真核生物誕生から後生動物への進化過程を解明する。

C9. 宇宙の変動は地球環境にどのような影響を与えたのか？（宇宙と生命）

太陽系の形成から現在までの46億年間に起きた銀河系内環境の変化と、その地球史への影響を理論と観測に基づいて予測する。銀河系円盤や渦巻構造、太陽の形成の理解は近年大きく変化しつつあり、これは地球史の理解にも影響が大きい。これを理論・シミュレーション・銀河系の観測から解明する。

一方、地球史試料とりわけ深海堆積物の宇宙地球化学を用いてこれら宇宙史事件の証拠を突き止め、さらにそれらが気候と地球生命進化に与えた影響を明らかにする。

D） 宇宙における生命惑星

D10. 宇宙の中で地球はどれほどユニークな存在なのか？

A1からC9の地球と地球生命に関する研究を通じて、生命を育む惑星の条件、特定の環境変動に対する生命の応答（進化）を洗い出し、それらを一般化して、生命惑星学を創出する。

D11. 地球外生命は探す手だては？

上に挙げたAからCの研究成果を地球外天体（惑星、月及び類似の天体）の生命探査観測に活かすため、宇宙探査・観測分野とも密接に連携する。10年後には、ハビタブルゾーンにある（海を持つ）太陽系外惑星のスペクト

ル観測が可能になる。我々が明らかにする初期地球とその後の姿を比較対象として、系外惑星に生命存在を示す指標を確立する。

【社会的インパクト】

本研究の最終目標は、科学の原点に立ち返って「我々はなぜここにいるのか？」を問い直すことであり、研究活動の結果が我々の地球観・生命観を変革し、また社会に対し思想的な影響を与えることは疑いない。知的好奇心を持ったが故に他の生物と別れた人間本来の本能たる知的欲求を呼び覚ますことで、科学立国日本の将来を担う若者を大いに刺激するだろう。

加えて、サブテーマ個々の研究は明確な科学目標を持ったうえで最先端の手法を独自に開発しつつ行われるものであり、その短期的な社会への波及効果は枚挙に暇がない。例えば、超高圧超高温実験手法の物性計測技術の進展、大規模計算機の超高速化、化学進化実験のベースから有機分子の設計・作成、これまで認識されなかった地球環境変動要因の認識変革、先端環境計測・解析・解読技術の革新、新規有用微生物の発見・開拓・利用、微生物遺伝情報の大量取得、膨大ゲノムデータ解析技術の発展、人間の知的欲求に駆動された宇宙探査技術の進展などを上げることが出来る。しかしながら、これら短期的インパクトは本プログラムの副産物に過ぎない。

【具体的研究計画と関連実績】

上記A1からD11の疑問について学際的研究を通して解明すべく、以下に詳細な研究計画を示す。

A1. 地球はどのようにして生まれたのか？

ガス・ダストからなる原始惑星系円盤の3次元大域シミュレーションをツールとして、惑星形成の理論的理解を目指す。このような方向の研究における技術的な問題は、そもそも原始惑星系円盤のような差動回転する流体の3次元の長時間計算が計算精度・計算資源量の双方で困難であったということがある。精度の問題とは、有限の空間分解能で計算することに伴う数値的なエネルギーや角運動量輸送によって、長時間計算の間に本来は起きない空間分布の変化が起きてしまうことである。計算資源量の問題は、数万から数百万軌道周期という極めて長時間の計算であるために莫大な計算資源量を要求するという問題である。後者の問題については、近年の計算機の能力の進歩自体は非常に大きく、それを有効に使うことができる計算法があれば、原理的には解決可能になりつつある。このため、前者の計算精度の問題がより重要となっている。

これについて、我々は粒子法であるSPH法の改良を進めており、分解能の向上と合わせて近いうちに解決できると考えている。従来行われてきた局所的なシミュレーションによる理解を組み合わせて大局的な理解を構築するアプローチではなく、大域的なシミュレーションの中に必要な物理過程を取り入れていくことで惑星形成過程の多様性を理解するアプローチをとる。

微惑星からの惑星形成の大域的な計算については、本拠点主任研究者の井田及び牧野(1992)が20年にわたり、世界をリードしてきた実績がある。また、多体計算のための専用コンピューターや新しい並列アルゴリズムを開発しており、粒子+流体の回転系という意味では、銀河円盤のシミュレーションでも世界をリードしている。

このような計算科学における実績があるだけでなく、国際的に見ても、我々は惑星形成の理論研究の中心の一つであり、理論研究と大規模シミュレーションを組み合わせることで新たな発展が期待できる。また、素過程の研究についても井田と共同研究者による多数の研究がある。ガス系の大局シミュレーションについては 斉藤ら(2008)による銀河円盤の研究がある。

系外惑星については中心星に非常に近いものが多数見つかっており、これは形成された惑星が円盤ガスとの相互作用等で移動したことを強く示唆する。一方、そのような移動があったとすると、我々の太陽系の形成は困難となる。この矛盾を解決するためには、円盤の構造の進化と惑星形成を同時に解かなければならない。こうした大域シミュレーションの取り組みは将来、隕石重爆撃、小惑星や彗星衝突によるH_2Oの持ち込みといった議論のために極めて重要となるであろう。

一方、超高圧実験に基づき、地球の体積の6割を占める下部マントルの化学組成や、金属鉄を主体とする核の軽元素の特定を行うことは、地球を形成した始原物質を明らかにする上で重要である。地球形成時におけるシリコンや、酸素、イオウをはじめとする揮発性元素の地球深部における存在量を、超高圧実験と地球化学的・地球物理学的情報により制約することにより、地球の原材料の解明が大きく進展すると期待される。これにより、原始太陽系形成過程のシミュレーションに対する重要な境界条件を与えることが可能となり、地球がどのようにして生まれたか、またその惑星形成過程における特異性と普遍性が明らかになると考えられる。

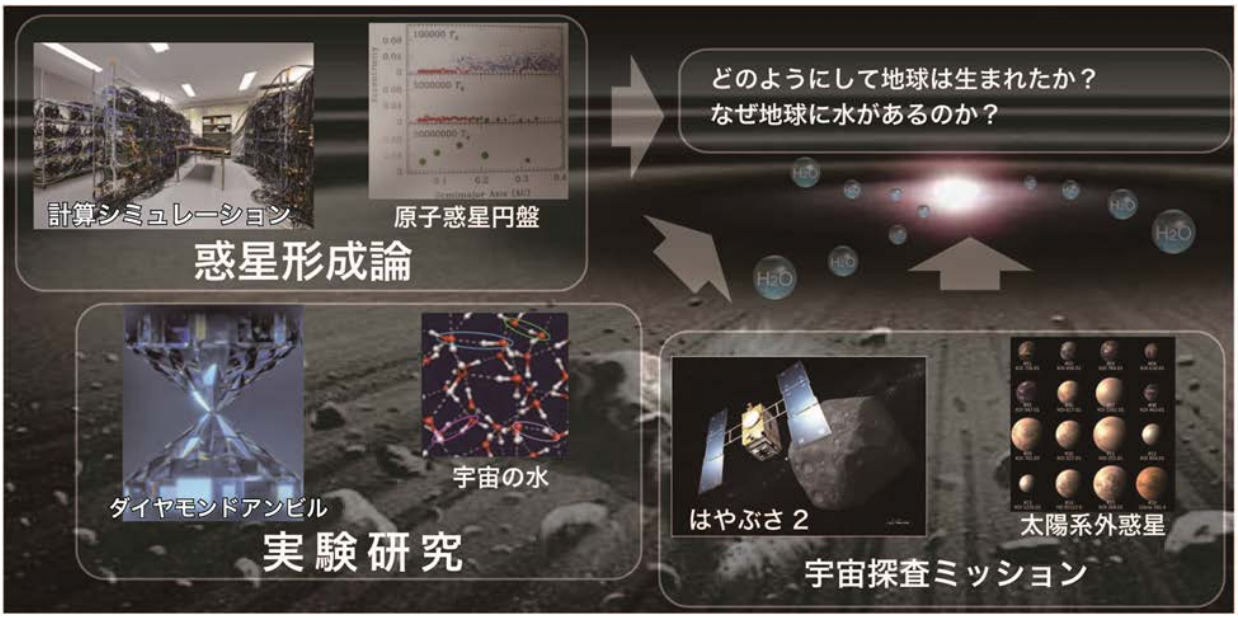


図2. 太陽系における地球の形成は実験的研究の支援の下、計算シミュレーションと惑星探査からの情報を統合して考察される（A1及びA2に関連）。

A2. 地球にはどうして水があるのか？

従来の惑星形成論では惑星質量の1万分の1という微妙な量の海を持つ地球を作ることは極めて難しい。原始惑星系円盤の中では、H_2O氷のダストは160-170K以下の低温領域でしか凝縮しない。それだけの低温になるのは、中心星から3AU以上離れた領域である。そのような領域から来たと推定される隕石にはH_2O水が10wt%程度も含まれるのに対して、小惑星帯の太陽に近い部分から来たと推定される隕石にはH_2O氷は全く含まれず、3AUくらいに氷境界があったとする上記議論を支持するように見える。しかし、それが正しいならば、1AU付近の地球を作ったダストにはH_2Oは含まれていないということになり、地球を作った材料物質にはH_2Oが存在しないことになる。

従来、3AU以遠で形成された小惑星や彗星が何らかの原因で地球に偶然衝突し、水を持ち込んだとする説が専ら研究されてきた。例えば、木星が形成されたことによって、付近にあった氷小天体が散乱する可能性について調べたシミュレーションがあるが、散乱現象はカオスであり、シミュレーション毎に地球は数10wt%が水になったり、全く水を含まなかったりという結果になり、地球の水含有量は予測不可能で、地球の水量や生命の誕生は全く偶然だということにもなる。しかし、小惑星や彗星の衝突モデルでは、地球の重水素同位体比、酸素同位体比と矛盾しないシナリオはまだできていない。こうした「偶然衝突説」に関しては、A1で構築される精密な惑星形成論をもとにした議論を行う。

他方、ELSIでは偶然説にとらわれることなく、別の可能性として、既に大枠を作っている「水素大気・マグマオーシャン反応説」（玄田及び生駒、2008）を追求する。このモデルでは、円盤ガスで凝縮したH_2O氷ダストを捕獲するのではなく、地球型惑星そのものがH_2Oを作るため、海の存在は必然的なものになる。また、このモデルでは必然的に、H_2Oの量もコントロールされる可能性がある。

ハビタブルゾーンとは、そこそこの圧力の大気をまとった惑星表面で海が存在し得る軌道範囲のことである。地球はその真ん中に入っているため、海を持ち、生命を育んだとされているが、何らかのメカニズムでH_2Oが持ち込まれるか、あるいは惑星自身がH_2Oを生成しない限り、海も存在しないし、生命も生まれないのである。なぜ地球で生命が生まれたのかを追求するためにも、太陽系外の惑星系のハビタブルゾーンにある惑星での生命存在可能性を推定するためにも、地球にはなぜ、この量の水が存在するのかを明らかにすることが本質的に重要である。

さらに、氷境界付近で形成されたと推定される始原的なC型小惑星の惑星系形成時におけるH_2Oの挙動に関する情報に富む試料のサンプルリターンを目的とするJAXAの「はやぶさ2」の計画に関与することで、物質科学の立場からもこの問題に挑む。

我々が普段当たり前の存在のように思っている液相のH_2Oというものが、宇宙においては当たり前ではないということがこの研究を通してわかる。液相→固相への相転移において密度が下がる（氷が浮く）というH_2Oの特異な性質はよく知られているところだが、超高圧相にも様々な形態が存在している。物質科学的なH_2Oの研究と、太陽系内のH_2Oを含む天体（地球の海だけではなく、小惑星、彗星、氷衛星や天王星・海王星）の研究を合わせ、

宇宙におけるH_2O、そして生命との関わりという新たな学問分野の創造が期待される。
ELSIには世界をリードする研究者として、惑星形成論の井田や超高圧実験の廣瀬、はやぶさ2の科学及び工学的リーダーの藤本や國中らが参加しており、新しく重要な問題を解決する強力なグループが形成できる。

A3. 地球深部はどうなっているのか？
【下部マントルの化学組成の決定】
地球全体の体積の6割を占める下部マントルの化学組成は、地球全体の化学組成を知る上で重要である。このため、下部マントルの化学組成を解明する。
下部マントル領域に関して、より精密な実験が可能であるマルチアンビル装置を用い、現実的なモデル化学物質を用いた相転移、元素分配、密度・弾性波速度などの決定を下部マントルの温度圧力条件下で行い、地震学的に得られている観測データと比較することにより、下部マントルの化学組成を特定する。これにより、地球の分化過程や層構造の起源、またその原材料やダイナミクスについても重要な実験的制約を与える。

【コアの化学組成の決定】
固体地球科学においてコアの化学組成は最も重要な問題の一つである。ELSIでは、ダイヤモンドアンビルセルと放射光X線を使用し、外核物質の候補であるいくつかの液体鉄合金の高圧高温下における縦波速度と密度を測定し、内部コア境界層における軽元素の差異や、初期地球におけるジャイアントインパクト時の溶融マントルからコアへ軽元素がどの程度溶け込んだのかを求める。
コアの化学組成がわかれば、固体地球のバルク組成も明らかになる。その結果を難揮発性元素に関して、元素の宇宙存在度と比較し、惑星形成理論による地球形成のシナリオとの整合性を確認する。

【マグマオーシャンの固化と原始地殻】
実験により、原始地球における地球コアから原始地殻へと至る層構造を追究する。マグマオーシャンの固化を再現し、それを月が形成されたジャイアントインパクト当時にまで拡張する。マグマオーシャンの固化は底部から始まったと考えられているが、最近の研究において、固化がマントル中央部から始まり、上方と下方のそれぞれへ広がったとするマグマオーシャンの固化プロセスに対する理解を一変するような見解が出ている。
マグマオーシャンの大規模な結晶化が終わった後の融け残りから成る原始地殻の化学組成は、生命に不可欠なリンをはじめとする、岩石学的に言う不適合元素に富んだものである可能性が高い。事実、カリウム、希土類元素、リンが豊富に含まれるKREEPと呼ばれる特異的な岩石が、月の地殻から見出されている。しかし、地球の地殻はこれとは異なっているだろう。

【コアの進化と地球磁場強度の変化】
最後に、我々は、地球コアの物理的性質に基づき、地球コアの熱的進化、動的進化を研究する。これにより、地球史を通じて地球の磁場強度がどう変化してきたのかを調べる。地球コアの化学組成を用い、モデル構築に重要なパラメーターとなる地球コアの温度、熱伝導率、対流に及ぼす（化学的）浮力の影響、コアの持ちうる粘性を決定する。
同時に、地質学チームが大量に収集する先カンブリアン時代の岩石を用いて、古地磁気強度の変動を明らかにする計画である。この計画には、主任研究者のKirschvinkが先カンブリアン時代の古地磁気強度のデータベースを改良するために開発した手法を導入し、併せて我々が推定する地球磁場強度の変動を検証する。
巨大海台から得る多数の貫入岩体を採取し、ウラン/鉛（U/Pb）法による精確な年代測定を実施する。浅部の掘削サンプリングにより得られるサンプルは、古地球磁場強度決定に必要な改良テリエ法もしくはテリエ法に供することが可能と考えられる。また、超電導量子干渉素子を用いた磁気力顕微鏡技術は、冥王代の砕岩質粒子を対象とした解析に寄与するだろう。これらの研究はC8とリンクしている。

【関連するこれまでの研究実績】
ELSIでマグマオーシャンの固化とマントルの化学的成層構造、原始地殻の組成決定などを解明する準備は十分に整っている。上記のコアと下部マントルに関する研究は、超高圧高温実験による鉄合金及びシリケートの物性測定が主となる。廣瀬グループはレーザー加熱式ダイヤモンドセルを用い超高圧超高温実験で、コアの超高圧（＞135万気圧）と超高温（＞4,000ケルビン）を同時に発生できる、現時点で世界唯一のグループである。さらに、静的な実験によって、地球中心（364万気圧・約6,000K）を超える超高圧超高温状態を発生した世界記録を持っている（舘野、 廣瀬 他. 2010、Science）。
このような世界をリードする高圧高温発生技術と放射光X線回折測定を組み合わせ、これまで大きな業績を挙げてきた。それらには、地球マントル最下部層の主要鉱物ポストペロフスカイトの発見（村上、廣瀬 他、2004、Science）、内核における鉄の結晶構造の決定（舘野、廣瀬他、2010、Science）、外核圧力におけるFeOの相転移の発見（小澤、廣瀬 他、2011、Science）、SiO2のcubic構造相の発見（熊川、、廣瀬、2005、Science）などが含まれる。さらに、電気伝導率や熱伝導率（太田 他、2008、Science）、地震波速度（村上 他、2012、Nature）、元素分配（野村 他、2011 、Nature）などの重要な物性についても、これまで高圧下での測定に向けたあらたな手法開発に取り組み、世界に先んずる画期的な成果を挙げてきた。

マントル深部物質の相転移や元素分配の精密決定に関してはサテライトである愛媛大学の主任研究者・入舩による先駆的な研究がある。(（入舩、1994、Nature）、（入舩　他、1998、Science;　2010、Science）、（入舩及び一色、1998、Nature）また、弾性波速度精密測定に関しても入舩　他（2008、Nature）による研究がある。

一方、愛媛大学のグループは、焼結ダイヤモンドアンビルを用いた下部マントル深部領域での相転移・状態方程式精密決定を進めるとともに、超音波法を用いた弾性波速度測定法を世界で初めて下部マントル温度圧力領域に拡大した。一方で、入舩　他（2003、Nature）は、世界最硬ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）のマルチアンビル装置への応用も開始しており、マントル全域における精密実験を可能になりつつある。

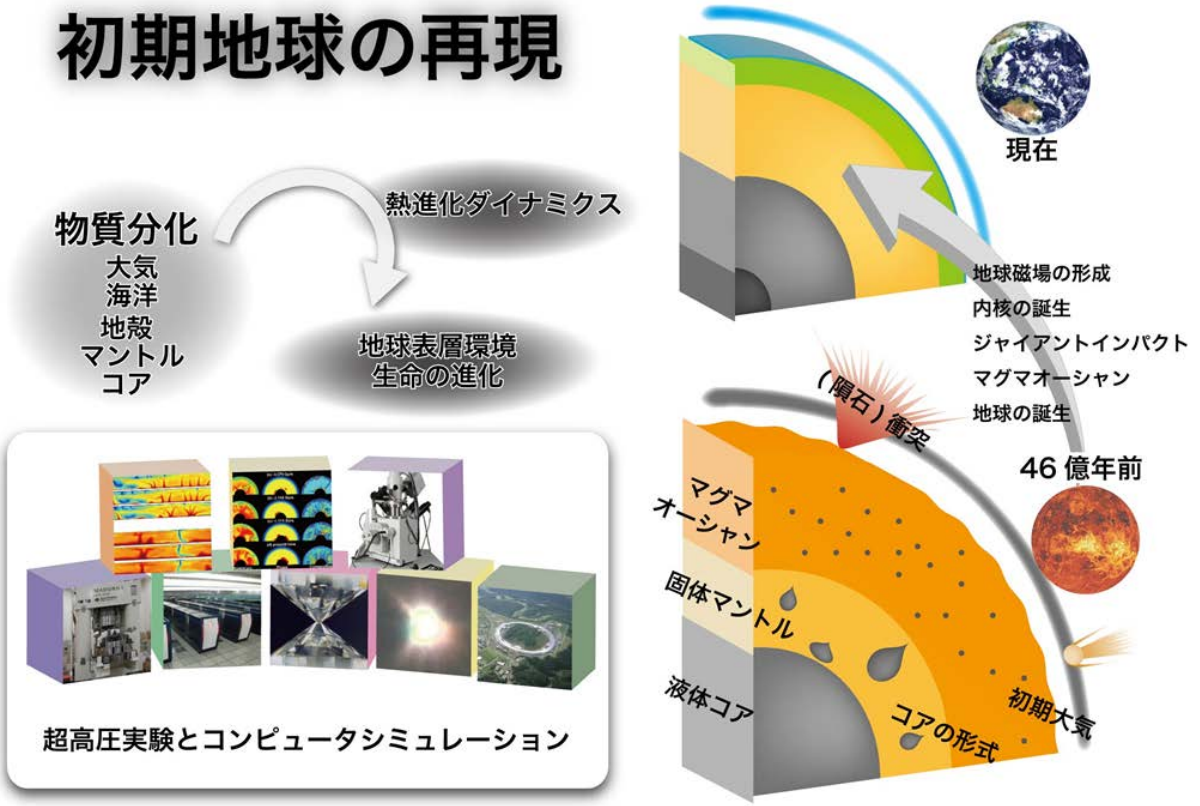


図3. 地球のコアから大気へと至る化学成分の分化は、高圧/高温実験により再現される。そして、地球内部の化学的進化、熱的進化の研究へとつながる（研究テーマA3と関連）。

B4. 生命誕生時の海と大気はどのようなものだったのか？

まずA1～A3の高温実験・理論計算を延長して生命誕生時の大気・海洋組成をフォワードに推定する。この理論予測を物証に基づき徹底的に検証するため、初期太古代の地質記録からの逆算と冥王代鉱物の解読に基づく実証的研究を行い、初期大気海洋に対して検証可能なモデルを構築する。

1） 理論・実験フォワードアプローチ （冥王代）

生命が誕生した原始地球がどのような物理化学環境にあったかを突き止めることを目的とする。従来の標準的な理論モデルでは、微惑星から高温で脱ガスした揮発性成分（二次大気）が原始大気となったと考えられてきた。一般にこれは水蒸気とCO_2/N_2を主とするもので、やがて表層が冷えとH_2Oが液体すなわち原始海洋となり、CO_2に富む酸化的な原始大気が形成されたとされる。ところが、このような酸化大気下では生命誕生の前段階として必要な無機的有機物合成と高分子化は極めて進行しにくい。近年、ネビュラ水素の分散が遅かった可能性（生駒及び玄田）や、 後期重爆撃期（40億）に降り注いだ隕石との反応による大気の改質（Schefer、橋本、倉本）に関する研究が進み、地球の原始大気がH_2/COに富む還元大気であった可能性も指摘されるようになった。さらに東京工業大学のGCOEプログラムでの研究の結果、マグマオーシャン固結後の1億年には後期重爆撃事件より10～100倍量の隕石衝突があり、これがH_2大気を形成した可能性も指摘されるに至った。これらの初期大気像は同時に地球のH_2Oの起源を規定するため、海水の起源とその総量を知る上でも極めて重要である。

そこでまず、惑星形成研究（A）の理論を延長し、全球的な冥王代環境をフォワードに求めることを第一の目的とする。特にこれまで十分予測できなかった ①微惑星タイプ含水量の分布と ②マグマオーシャン後に衝突する物質の集積過程を見直し、その結果、脱ガスした成分としての初期大気海洋の組成及び質量を再考する。その際A3で追求するマグマオーシャン固結時の層構造を高温高圧実験に基づき復元する。これにより原始地殻の組成と量を決定する。これらの情報がマグマオーシャン固結時の最初期大気を規定する。

地球形成の後は火山活動によってマントルから供給されるガスが大気組成を左右する。このプロセスは従来、現在の陸上火山の研究例に基づいて行われきた。しかし陸が殆ど無く海に覆われた初期地球ではむしろ高温の火山ガスではなく、岩石と海水の反応による海底熱水ガスが大気海洋系へのインプットとなっていたはずであり、その点を網羅的に追求した研究例は極めて乏しい。

そこで最初期の海洋地殻を想定した岩石種について熱水実験（水岩石反応）を行い、初期大気海洋へ供給したガス・元素フラックスを体系的に求める。既にその実験設備が主任研究者の高井・丸山のグループによって整っており成果も上げている（吉崎　他、2010）

2)　実証アプローチ（太古代）

これら理論的・実験的研究は物証に基づいて徹底的に検証されるべきである。しかし冥王代（46～40億年前）の地球環境は地質記録が存在しないために、検証のすべは極めて限られていた。ところが、地質記録の残る太古代（40～25億年前）の地球表層環境についてはここ10年で劇的な研究の進展があり、冥王代の初期状態検証のすべを与えるレベルに成長しつつある。特に 1）太古代海洋地殻の断片が次々と見出され、当時の海水による変質過程の詳細が研究されたことで海洋地殻への炭酸取り込みフラックスが定量化されるようになった（中村a、2004、渋谷、2007、2012、ELSI研究チーム）。また 2）大気光化学反応で生じる同位体異常が太古代堆積岩に記録されていることが判明し、当時の大気酸素分圧が極めて低いことが明らかになると（Farquhar、 2000）、さらにこの同位体分別過程・保存過程の研究が進み、温室効果ガス濃度や火山噴火による大気へのガス流量を定量化することも期待できるようになった（Lyons、2007; Danielacheら、2008; 上野ら、2009、ELSI研究チームメンバー）。

このような状況の下、太古代の海水及び大気組成の復元に焦点を絞り、岩石試料の系統的化学・同位体分析と分配・熱力学計算による海水復元を行う。これには東京工業大学が既に所蔵する多くの太古代海洋地殻を用いる。これまでは特定地域での詳細マッピングと変成作用の研究が主として行われ、定点情報が得られているが、これを大幅に拡張し、太古代を通した時間変化を記述できるレベルまで網羅的に行う。その結果、変動原理についての理解が得られる。

また、大気プロキシとしての同位体異常に関する研究は、基本的な仕組みの解明が不十分なため、多くのデータが蓄積されているにも関わらず、その潜在能力を引き出せていない。そこで、分光実験・反応実験・数値実験を行い、同位体効果の波長・組成・温度依存性等を明らかにすることで、太古代の大気の実態を突き止める。主任研究者・吉田とそのグループは数多くの重要な段階を経て光化学的な同位体効果を決定し、この結果は地質学的に保たれている同位体異常を解析することによって太古代の大気のテストモデルを作成する。

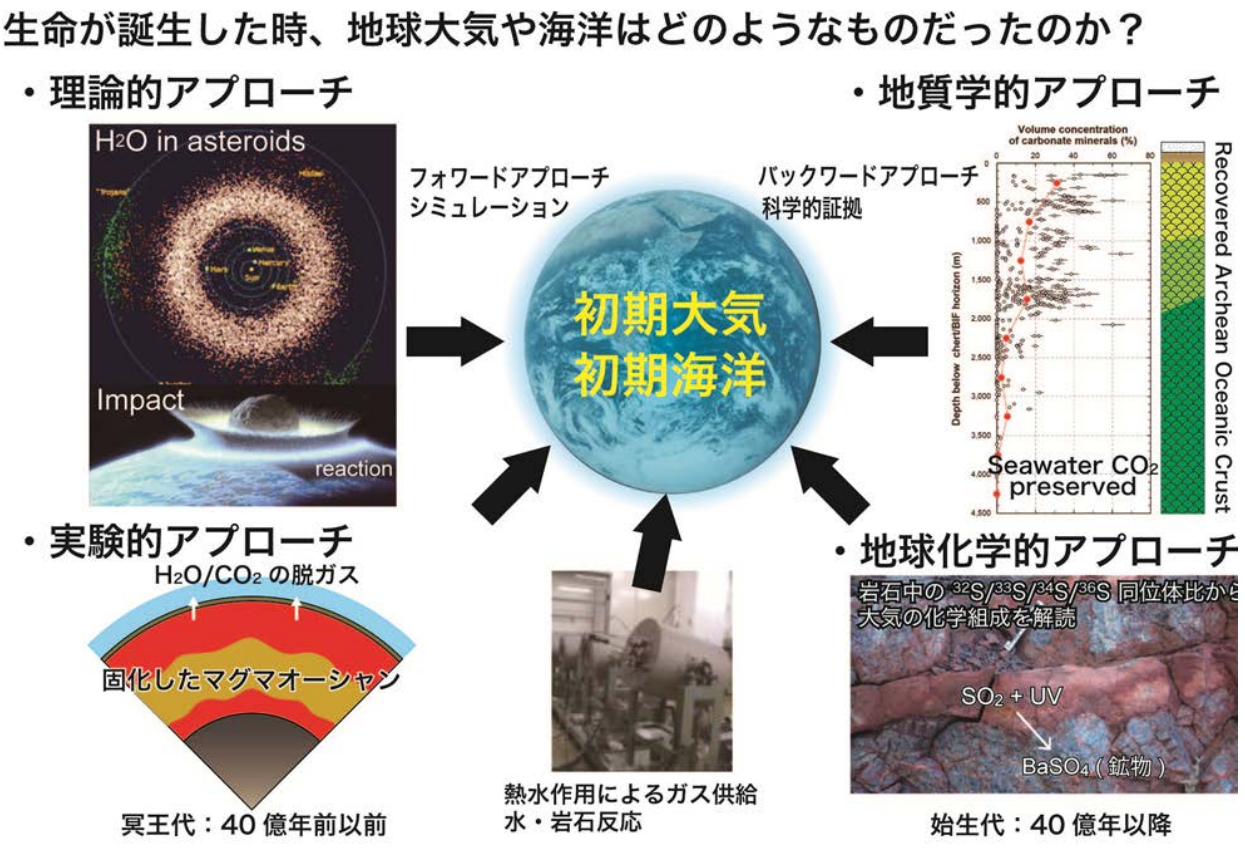


図4. 初期の大気・海洋の化学的特性は、惑星形成理論と地質学的記録を遡ることから決定される（テーマB4と関連）

B5. 生命が誕生した場所はどこなのか？

低分子から高分子を経て「地球生命システム」が誕生し、持続した最も可能性の高い「場」を解明する。また初期地球に類似した特殊環境（深海底熱水系、蛇紋岩温泉）の微生物学・地球化学から生命システムの起源を探る。環境のエネルギー・生命活動因子物質の量論的特性とそこに生きる微生物・代謝システム組成の関係から生命の起源を探る。

全地球的な物理化学環境は生命誕生の背景であり、我々に繋がる持続的生命誕生の場の可能性とは、ある環境での生命誕生・持続可能性の大きさとその環境の存在普遍性の大きさの積で求めることができる。最近の海底熱水系研究の進展の結果、初期地球の海洋底を構成したはずの超苦鉄質岩をホストとする熱水系が広く海洋底に存在し、H2を高濃度に持続的に供給する環境を形成していることがわかっている。本拠点の主任研究者・高井らは既に、この超苦鉄質岩深海熱水環境が水素の代謝によってエネルギーを獲得し、その他の様々な生体必須金属元素や細胞様構造体などを要求する最初の持続的生命システム誕生の場となったとする説を提出している。エネルギー的にはIWバッファーにある火星マントルと地球より酸化的な表層を考慮すると生命の起源は火星にあるとする説もある（Kirschvink）。これら2つの仮説がエネルギー論に焦点を置いたものである一方、生体を構成する必須元素・栄養塩の存在と供給に着目した場合、原始大陸リフトの優位性が際立つという指摘があり（丸山、2012）、これは細胞質構成元素の系統研究から最初期細胞が陸上の温泉に存在した（Mulkidjanian）など支持する最新の研究例も既に出始めている。

いずれにせよ、持続的生命誕生の場の可能性は、あらゆる点からの検証を通じて、生命誕生・持続可能性の大きさとその環境の存在普遍性の大きさを定量的に見積もる必要がある。これらの仮説それぞれの第一人者が本拠点に参加しており、活発な議論と共同研究によって世界最高レベルの新しい学説の構築が期待できよう。

研究はまず、岩石場に応じた化学環境を規定するために水岩石反応実験的によるフォワードアプローチが必要である（B4）。ここではさらにバックワードアプローチを行う。すなわち、これら候補初期環境と駆動原理が共通する現在のアナログ環境において実際どのような微生物・代謝・元素組成及び機能があり、その生態系が環境条件といかに相互作用しているのかを明らかにする。その方法論としては、現場化学センシングや分析、高感度・定量性に優れた現場代謝活性測定や同位体ラベル実験、メタトランスクリプトニック及びメタバイオエレメンタル解析を組み合わせた多面解析が考えられる。既に研究が先行しており、ベースと成る技術と方法論、情報が整っている。

本拠点の前身であるGCOEプログラムでは既に微生物学者・ゲノム科学者・環境化学者・地質学者が共同して陸上熱水研究を行なっており、研究対象となる初期地球類似温泉の学際研究が進行している。また、主任研究者の高井らによるプレカンブリアンラボでは、深海探査や深海掘削という世界的にも日本が最先端を走る大規模な研究設備をフル活用して、現世の地球上に存在するほぼすべてタイプの深海熱水活動における地質—生命相互作用に関する定量的データと作用メカニズムモデルを既に構築しており、現世から冥王代へのバックワードアプローチが進められている（高井及び中村、2010－2011）。

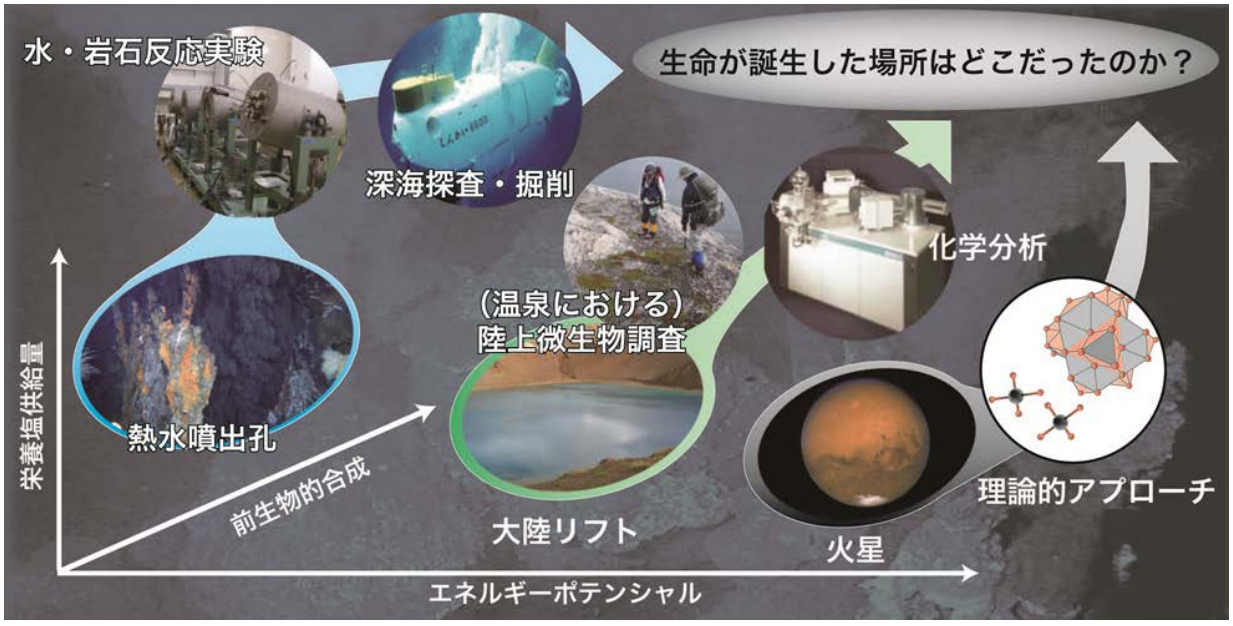


図5. 地球最初の生命は、深海底熱水系あるいは陸上熱水系に現れたのだろうか、あるいは火星から移動してきたものなのだろうか（テーマB5に関連）。

B6. 初期生命のゲノムはどのようなものだったのか？

初期生命が地球に誕生した後、生命が様々な環境擾乱により排除されず持続的かつ安定的に存在し続けるためには、環境擾乱に対してロバストな生命システム、すなわち細胞システムと生態系システムの二つを構築する事が必須となる。ロバストな細胞システムについては、生命科学分野における研究が進んでいるが、ロバストな生態系システムについては、あまり研究が進んでいない。本研究分野では、持続可能かつ進化可能な生態系を創出するダイナミクスを解明し、初期生命誕生からゲノムの多様化、生態系構築までの経緯を明らかにする事を目的に以下の研究を行う。

(1)網羅的情報ベース「地球データベース:EarthDB」の構築

環境因子と遺伝子の関係性を明らかにするために、初期地球に類似した特殊環境を含むあらゆる環境において、メタゲノム解析によりB4及びB5の計画と共同して徹底的に収集した遺伝子情報と環境因子に関する情報の網羅的なデータベース「EarthDB」を構築する。また、それら環境から単離された細菌のゲノム情報もEarthDBに格納する。さらに、土壌や海洋などの現在の地球環境のメタゲノム解析も実施し、遺伝子と環境因子との関係性を徹底的に明らかにする。

主任研究者・黒川らは既に、微生物ゲノム・メタゲノムの網羅的なデータベース「MicrobeDB.jp」を構築している(http://microbedb.jp/)。MicrobeDB.jpにおいては、ゲノム・メタゲノム・メタデータのみならず、微生物の生息環境の記述に用いられる語彙の定義と語彙間の意味的な関係性を徹底的に記述したオントロジー「MEO」を世界に先駆けて構築しており(http://bioportal.bioontology.org/ontologies/3009)、遺伝子と環境因子の関係性を推察する事が可能となっている。また、微生物ゲノム、特にメタゲノム解析に関しては、世界に先駆けて大規模なヒトメタゲノム解析結果を発表するなど(黒川 他、2007)、世界を牽引する研究グループの一つであり、膨大なデータを解析し新規知見を見出す事を可能としている(森 他、2010、Arumugam et al. 2011)。

(2)ミッシングエンザイムの推定と合成生物学実験による初期生命ゲノム構築

EarthDBを利用する事で、推定された初期地球環境における環境因子から、生命を維持するための必須遺伝子群及び環境特異的に必須となる遺伝子群を推定する事が可能となる。推定された遺伝子群には機能未知の遺伝子が多数含まれる事が予想されるが、遺伝子及び予想される代謝物の共起確率を環境横断的に求める事で、ミッシングエンザイムの推定が可能となる。これらを統合し初期地球環境で生存可能な初期生命ゲノムを推測する。なお、主任研究者・黒川らのグループは既に、細菌のゲノム情報からミッシングエンザイムを推定する手法に関して発表している(山田 他、2012)。

推定されたミッシングエンザイムを人工的に合成し、対応した遺伝子を欠損した微生物株、またはその遺伝子が温度感受性となった微生物株にこの人工遺伝子を導入してその機能を確認する。並行して、この人工遺伝子産物を精製し、試験管内での機能測定を行う。

ゲノムを構成する要素が多岐に渡るため、研究の初期段階では、アミノ酸代謝系、及び、タンパク質合成系に焦点を当てた研究を行い、その過程で確立した研究手段によって初期生命ゲノムの全貌解明に挑む。現在の生命での機能部品であるタンパク質は、20種類のアミノ酸の機能バラエティによって、その多様な機能を達成している。しかしながら、現在の生命のアミノ酸代謝系やタンパク質合成系における酵素の欠損は、初期生命の確立前後では、タンパク質を構成するために20種類全ては用いられていなかったということを示唆している。新しく初期生命に取り込まれるアミノ酸は、そのアミノ酸無しに、そのアミノ酸を合成する酵素や、そのアミノ酸を活用するタンパク質合成系が存在しなくてはならない。本研究では、EarthDBの活用により、環境ごとに欠損しうる、もしくは生命の誕生前後にシステム中に取り込まれた「後期アミノ酸」の候補を同定する。このような同定についての現在の生命情報に基づくアプローチと相補的なアプローチとして、地球が化学進化によって初期生命に提供したアミノ酸セットの情報に着目する。

Wet実験によるミッシングエンザイムの合成では、まず、20種類のアミノ酸全てを用いた合成を行う。さらに、いくつかの後期アミノ酸を欠いた状況でもその酵素の機能が発揮できることの実証を、実際にその後期アミノ酸を欠いたタンパク質を人工進化によって創生することで行う。

木賀はこれまでに、地球上には見られない活性を持つ酵素を創出してその特性を測定し、さらにこの酵素を試験管内の反応システムや細胞内に導入することで、20種類のアミノ酸を用いていたタンパク質合成系の機能を拡張している(木賀 他、2002)。また、酵素を天然には無い様式で組み合わせて多段階の反応が自律的に進行するシステムを構築している(鮎川 他、2012)。

(3)ロバストな生命システム「生態系」を創出するダイナミクスの探求

マルチエージェントモデルによる微生物群集シミュレーションに集団進化モデルを外装し、ロバストな生命システム「生態系」がいかにして創出され、進化していくかを明らかにする。コンピューターでのシミュレーションにより、上記(2)で使用した微生物株などに人工的な遺伝子ネットワークを追加し、生きた微生物群集を用いた培養実験を行う。シミュレーションでの挙動と、生きた微生物群集の挙動とを比較し、その差異を検証することで、シミュレーターの精度を向上する。

以上により、初期生命のゲノムを類推するとともに、多様性の創出に関する議論を経て、環境擾乱に対してロ

バストな生命システムである生態系がいかにして形作られてきたかを議論する。主任研究者・黒川らは、細菌群集ダイナミクスをモデル化し、環境変動による群集挙動をマルチエージェント法にてシミュレーション可能なシミュレーター「SimMicrobiome」を開発しており、既に微生物生態系をシミュレーションで表す事を可能としている。木賀はこれまでに、大腸菌内に人工的な遺伝子ネットワークを導入することで、同一の遺伝子セットを持つ大腸菌集団が細胞間の通信を行いながら自律的に多様化する細胞集団システムを構築している（関根　他、2011）。

C7. 地球大気にはなぜ酸素が存在するのか？

化学合成から光合成への生物進化と大気海洋化学進化の相互作用解明を、システム生物進化学的な予測と地質記録の解読を融合して行う。

酸素発生型光合成はいつ、どこで、なぜ誕生したのか。大気はいつ、どのように酸化されたのか。真核生物の誕生は本当に酸素上昇の結果だったのか。これらの問題に対し、地質学的及び地球化学的制約を与えることが、主任研究者・Kirschvinkと彼のグループが取り組む研究の主な目標である。

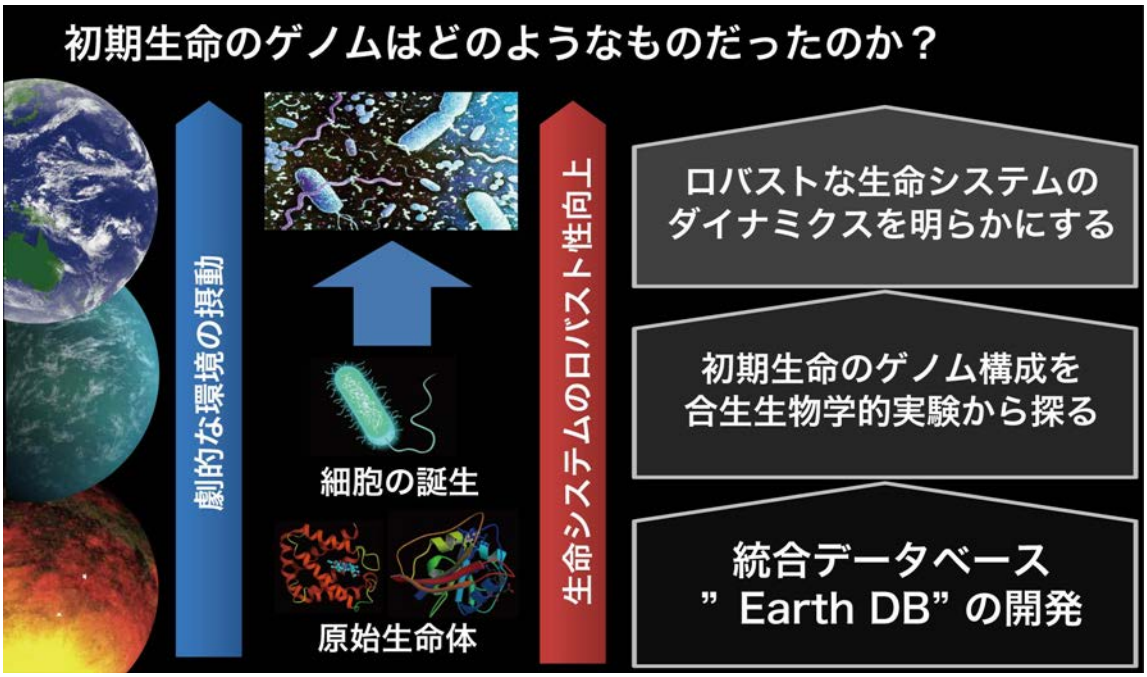


図6. 初期地球の特異な環境で生まれた初期ゲノムの推定は、環境因子と微生物ゲノム・メタゲノムに関するデータベースから行う。このデータベースをさらに発展させ、安定的かつ持続的な生命の存在を可能にした初期のエコシステムの解明を進める（研究テーマB6に関連）。

<u>システム生物進化学的アプローチ</u>

化学合成から光合成へのエネルギー革命はいかに進化できたのか、その段階的な代謝進化は主任研究者・高井らのこれまでの研究により、化学合成代謝と光合成代謝の酵素の分子進化や生物情報学的解析から徐々に進みつつある。その原動力は、初期地球環境の詳細な進化過程の解明と進化ステップの代表となるような特異的な代謝を有する極限環境微生物の発見によるその代謝系の機能・遺伝子解析によるシステム進化の解明が、密接に相関づけられるようになってきた事による。しかし、このような研究アプローチはまだ初期段階のため、本研究計画で強力に推し進めていく。

また、光合成出現に至る前に存在したはずの膨大な微生物群は、現在の環境からはほとんど見つかっていないのはなぜだろうか。その原因は、そのような微生物群を認識していない可能性とそのような微生物群が存在していなかった可能性がある。前者の解答を得るためには、B4の結果をうけ、これまで行わなかったCO大気下など可能な初期環境バリエーションのもとで系統的なインキュベーションを行い、化学合成から光合成へのミッシングリンクを探索する必要がある。後者の理由として、例えば最初の持続的な生命システム誕生の段階から既に原始的な光合成代謝システムが誕生していた可能性も考えられている。B4、B5、B6と連携をとり、このような課題の解明にも鋭意取り組む。

<u>地質学・地球化学アプローチ</u>

一方、化学合成から光合成への生物進化過程は太古代の地質記録に残っているはずである。近年の安定同位体地球化学の発展の結果、メタン生成・硫酸還元などの嫌気生物代謝の一部については太古代岩石からその活動を同位体情報から引き出せるようになった。主任研究者・吉田のグループ及びELSIチームメンバーの大河内、

上野らは地質学的な岩石試料から特殊な代謝活性をトレースする新規な同位体解析技術を開発している（上野他、2006、2008；大河内 他、2007）。

だが、酸素発生型の前にあったはずの嫌気光合成や嫌気生物の重要代謝についての情報はまだほんの一部しか引き出せていない。例えば窒素循環において生命発生初期から重要であったはずの窒素固定や、その後の脱窒・硝酸同化などの記録は地質記録から殆ど読み取られることなく残されている。このため、本拠点では計画の前半でアナログ環境・培養実験による生物代謝プロキシの新規開拓を行い、これと同時またはこれに次いで、計画の後半で地球史試料の同位体システマティクス（H、C、N、O、S、Fe）の系統的な解析を行う。

従来、これらの研究で障害となってきたのは後代のオーバープリントや汚染であり、また他方、汚染の影響が無いはずの堆積物中炭質巨大分子（ケロジェン）からはその情報が取り出せないという技術的な障害があった。後者の障害については技術の進歩が鍵であるため、特に有機窒素・水素・硫黄に着目した新たな有機地球化学的抽出法を確立していく。その結果、化学合成から光合成への微生物圏進化を物証に基づいて明らかにする。

地球化学的アプローチの適用対象となる層準は変動期の前後に的を絞った特定点を選定し、そこに研究を集中する。最適な候補地は①酸素発生型光合成の出現（30～28億）は南アフリカKaapvaal地塊、②真核生物出現期（21～20億）はガボンであり、それぞれでの陸上掘削を計画する。

これまでNAIなど他の国際研究では酸素上昇期25億を対象にして同様の掘削研究が行われてきたが、それとは一線を画する。光合成出現・大気酸素上昇・真核生物出現の変動は25億年前の単発イベントではなく、むしろ30～20億の十億年が移行期間にあたり、その最初と最後が特に重要であると捉え直すことが肝要。

これらの研究の結果は 光合成の起源、酸素大気の起源、真核生物の起源に対して生物的シナリオ（内的要因）を描き、実際の環境変化を記述する。それらがなぜ登場したかについて、外的要因を突き止めることが以下のC8及びC9の役割となる。

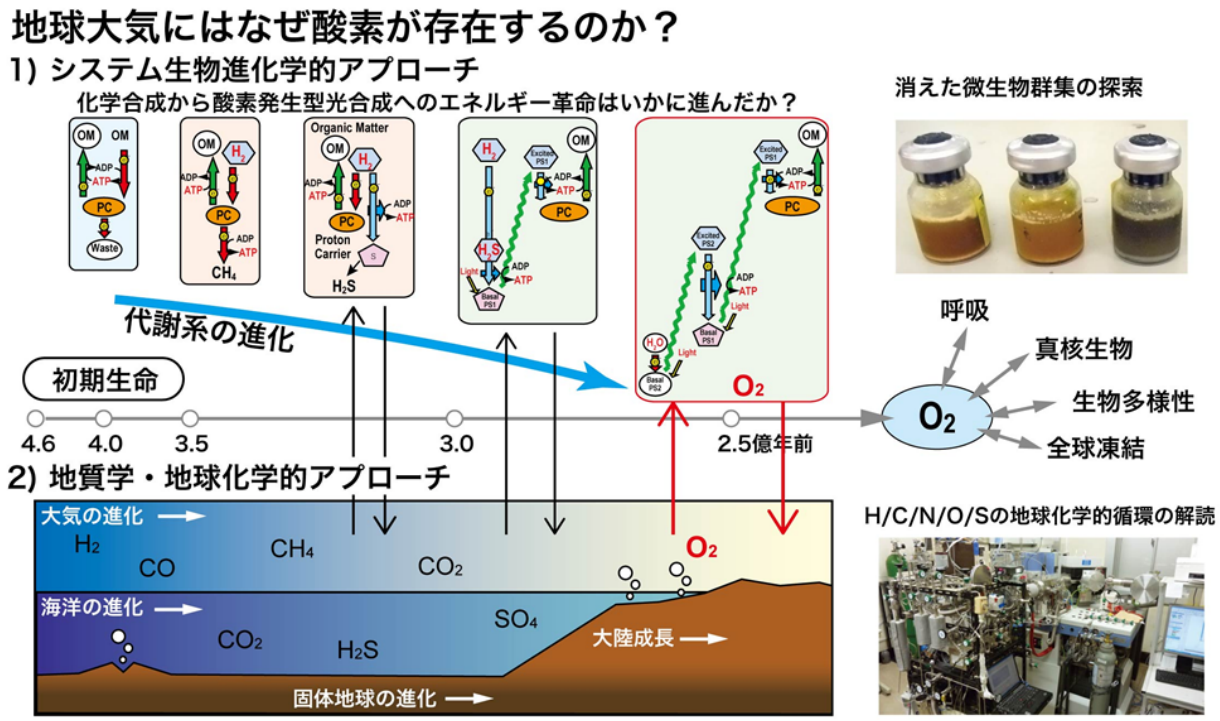


図7. 生命の起源から酸素発生型光合成を行う生物へと至るまでの代謝系の進化は、システム生物学と進化化学的アプローチにより解明する。酸素発生型光合成へと至る過程とそれが生物圏に及ぼした影響は、地質学的記録を観察することから追跡する。（研究テーマC7に関連）。

C8. 固体地球の変動は地球生態系をどう変えたのか？

生命圏と大気海洋の長期的な進化は固体地球の熱進化と深く関わっており、そのリンクは近年急速に見直され始めている。その例として、1）地殻マントルの化学分化と火山活動を通した大気組成変動・進化、2）プレートテクトニクスがもたらす地球表層物質循環の変動と大酸化事変・動物誕生、3）内核形成と磁場強度変動が生命圏にもたらす影響、4）True Polar Wanderイベントと全球凍結（Kirschvink）などがある。これらの原動力は究極的には地球の冷却に伴う固体地球層構造の進化である。

地球史の記録を読むと、陸地の出現と面積増加に伴う堆積岩の増加とそれによる海洋への栄養塩供給を間接的に示唆するSr同位体組成の急変が、21億年前と6億年前に同時に観察されている。これらの急変点は、酸素濃度が急増し、真核生物が出現した時代と、後生動物が出現したタイミングに符合する。これが示唆する因果関係は、萌芽的小大陸の陸地の出現（26億年前）と大規模な陸地の出現（6億年前）が海洋に栄養塩を供給し、堆

積岩の形成によって、酸素濃度の急増が起きたことを示唆する。6億年前の酸素濃度の急増は、冷却する惑星がたどる物理的必然である。

46億年を通した核・マントル・地殻の分化過程、とりわけ放射性元素の初期分布とその後の固体対流での拡散のタイミングを明らかにするため、まずA3で行われる高温高圧実験に基づいて鍵となる地球内部物質の物性・元素分配を決定する。これら基礎データに基づき、マントル対流シミュレーション（対流様式変動期の特定）、熱史計算による内核誕生時期の特定、その際の磁場強度変動ダイナモシミュレーションを行う。

これらの実験的研究は物証に基づいて検証されるべきである。核−磁場リンクについては地球史を通じた岩石試料の古地磁気計測によって行う。古地磁気計測に関しては主任研究者・Kirschvinkが既に分析手法は確立済みである。一方で、主任研究者丸山らは地球史を通じて火成活動が一定では無かった事を明らかにしている（Rino et al. 2008）。火成活動は固体地球の熱進化と密接にリンクしており、掘削試料から読む地球表層進化と比較する事によって、地球内部と表層環境のリンクを明らかにする。環境変化が生態系に与えた直接的な影響については、B4の地球史解読・解析法によってきまる大気海洋組成変動と見比べ、環境変化のどの要因が重要であったのかを突き止める。プレートテクトニクス−生命圏リンクについては掘削試料の地球化学分析と表層物質循環解析を通して行う。主任研究者丸山らはこれまでに地球の冷却に伴って、沈み込む海洋地殻がマントルへと水を運ぶようになり、それ以降海水の総量が減少する事を、広域変成帯に刻まれた沈み込むプレートの温度圧力履歴変化から導きだした（丸山　他、1996、1997;　丸山及びLiou、2005）。この海水の減少に伴って大陸地殻が海水面上に広域に露出し、大陸削剥による海洋への栄養塩供給が増し、光合成によって作られた有機物が堆積物中に埋没したことが酸素濃度上昇の引き金となった可能性がある。動物誕生時（6億年前）の海洋の富栄養で酸化的な環境は地球が冷却する過程において必然的な道筋であったのかもしれない。

GCOEプログラムでは、動物誕生の6億前後に絞って計10本の陸上掘削を行ない、既に成果を上げているため、本拠点では同様の掘削をより過去の重要なイベント層、すなわち酸素濃度上昇と真核生物出現期について行う。

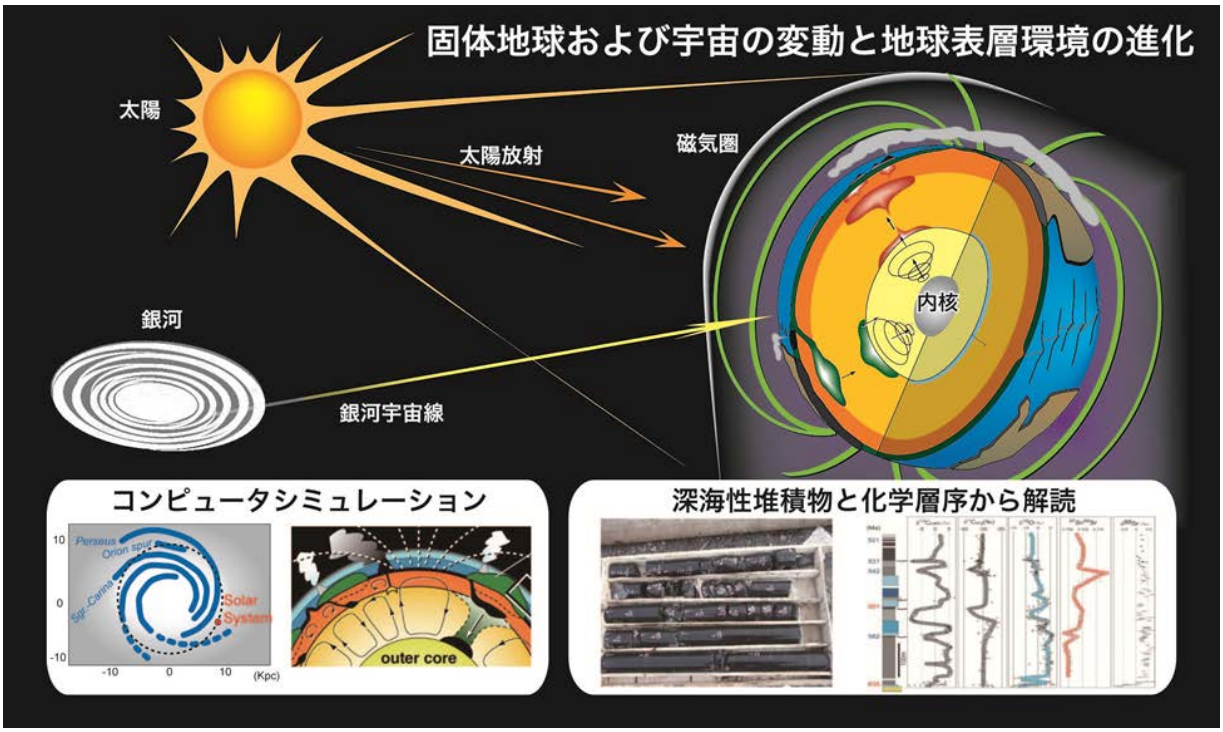


図8. 地球内部の進化は、地球磁場の上昇や陸地と堆積岩の増加という現象を通して、地球表層環境に影響を及ぼしたはずである。宇宙線強度など宇宙からの影響も地球の表層環境の変化にとっては重要である（研究テーマC8及びC9に関連）。

C9. 宇宙変動は地球環境にどのような影響を与えたのか？

地球表層環境変動が宇宙からの強制力によって大きく変動することは、日常的な気象変動（雲形成における宇宙線の役割）から全球凍結（starburst）まで幅広い時間・空間スケールで地球誕生以来深く関わってきた。宇宙との関わりは古くから指摘されてきたが、具体的な証拠に乏しいために、検証不能な仮説として扱われてきた。ところが近年、深部宇宙観測が進み、系外惑星のみならず、恒星、銀河、暗黒星雲の年齢、質量、位置などが急速に詳しくわかるようになった。更に主任研究者・牧野らによるシミュレーション技術の進歩によって、天の川銀河の起源と進化が理論的に解析可能になり、従来の通説とは大きく異なる見解が得られつつある（e.g.　馬場　他、

2012）。

従来の通説では、太陽は銀河系内を円運動し、定常的に存在している渦状肢と周期的に遭遇する、とされていたが、近年の観測では、太陽の運動は円運動から大きくずれたものであり、銀河系内での半径方向の運動が大きな環境変動につながっている可能性が高い。また、渦状肢も定常的に存在しているものではなく大きな時間変動をしめす。さらに、近年の観測では銀河系には大きな棒状構造が存在し、これが太陽や渦状肢の運動に大きな影響を与えている。

研究では大規模計算による銀河ダイナミクスシミュレーションを行い、銀河内で太陽系が経験した事変とそのタイミングを予測する。このような理論からの予言（1.5億年周期の気候変動）は、地球表層環境の記録と比較できるようになり、地球史における宇宙の役割が検証可能な科学になる時代となった。太陽系に影響する銀河イベントは、（1）星形成率の大きな変動、（2）暗黒星雲と太陽系の衝突、（3）太陽系近傍での超新星爆発、の3つが期待される。HIPPARCOS 等による観測からは、46億年前、23億年前、8-6億年前の3回、大きな星形成率の上昇があったことが示唆されている。一方、上に述べた新しい銀河円盤の描像からHIPPARCOSのデータを解釈しなおす必要がでてきている。暗黒星雲は、規模において多様であるが、太陽系との衝突時間を考慮すれば最大で数百万年規模の衝突時間が予測される。超新星爆発の影響は1万年以下であることがこれまでの我々グループの研究から明らかになっている（片岡 他、2012）。

これら宇宙変動の記録は地球表層に記録として残されるだろうか。地球は深い海洋で覆われているため、深海堆積物の中に地球外物質が保存されていることが判明している。暗黒星雲との衝突があれば、星雲起源物質が地球の深海堆積物の中に保存されているはずである。東京工業大学の地球史解読計画において、世界から収集された深海堆積物を用いた地球外起源物質の探索・分離計画が進んでいる。超新星爆発の証拠は氷河時代の始まる鮮新世末の深海堆積物から60Fe同位体異常が報告され、太陽系近傍の超新星爆発が推定されている（Fields et al. 2005）。地球外物質の探索や恒星の輪廻の議論の展開には同位体宇宙化学の手法が鍵となる。本拠点の横山・臼井らは超高精度・極微量の同位体計測技術を発展させており、世界で初めて天然の堆積岩試料からCr同位体計測値を報告している（横山、2012、JPGU）。

これまでの隕石学の知識は、ほとんどすべての隕石が、最近の数十万年以内に地球に落下した隕石に限られる。地球史46億年に遡る過去の隕石の探索と同位体研究は、銀河環境の地球史への影響の実証データを与えることで、現在の構造だけをデータにする銀河系円盤の理論・シミュレーションだけどでは決められない過去の情報から地球史への影響を実証的に確認することを可能にする。

D10. 宇宙の中で地球はどれほどユニークな存在なのか？

上述の研究を経て、我々は、「人類はとは何が特別なのだろうか？」「宇宙の中で地球はどれほどユニークな存在なのか？」という根本的な問いかけに対し、観察や直接観測、実験、シミュレーションに基づいた量的評価に取り組む端緒につくことが可能になるだろう。

まず生命システム誕生とそれに続く進化の条件を明らかにし、さらにその従属関係を確認する。こうした考察は、我々の系外惑星の形成に関するシミュレーションや観測データの検証を可能とする系外惑星探査に対して有用な情報を提供することになる。我々は、系外惑星探査もたらすデータとの突合せによって、大気組成、海陸比率、プレートテクトニクス、磁場発生、惑星内部の進化、惑星間の位置関係、銀河の影響などに関する研究結果の再検証や統合を進める。

このような地球と地球生命に関する研究を促進する中で、地球の持つユニークな側面に気付かされるだろう。ELSIにおける一連の研究を通じて、生命を育む惑星の条件、特定の環境変動に対する生命の応答（進化）を洗い出し、それらを一般化して生命惑星学を創出し、WPIプログラムの期間終了時には「生命惑星学」の教科書を刊行する予定である。

D11. 地球外生命は探す手だては？

上記A～Cの研究による成果は宇宙探査計画、特に内部海を持つ氷衛星（エウロパ、エンセラダス）における生命探査に有用である。折しもJUICE（欧州宇宙機構）による木星の氷衛星探査の準備が決定したところだが、JAXAは6年前の構想段階からこの計画に関し協議を続けており、日本人研究者も協力して氷衛星の研究を推進することになっている。

探査前の準備段階として、海を持つ氷惑星に生命が存在する可能性につき検討する。また近い将来、ハビタブルゾーンにある（海を持つ）太陽系外惑星のスペクトル観測が可能になる。これに向け、生命存在を示す指標を確立する。

太陽系内小惑星・氷衛星探査に対しては、計画の立案に対し、科学的なシナリオを構築して積極的に関わっていく。「はやぶさ2」はもちろん、JAXAも関わっているESA主導のJUICE（氷衛星ミッション）へも積極的に関与する。天文観測による系外地球型惑星のリモートセンシングに関しては、バイオ・マーカーにこだわらず、日本独自のアイデアを追求する。

生命の多様性の議論に関しては、地球極限環境生命と地球外生命探査のデータに、地球史、地球内部物理、惑星形成論による惑星の生命誕生・進化条件の議論を強くリンクする。具体的には、内部海をもつ惑星や衛星の生命存在可能性（エウロパ、エンケラダスにこだわらず、一般的に議論を展開する）やM型星のハビタブルゾ

ーンの惑星をケース・スタディとして取り上げる。M型星は暗いため、ハビタブルゾーンは中心星に近い。それゆえ、潮汐作用により、惑星の自転と公転は同期していて、いつも同じ面を中心星に向けているはずである。M型星の可視光は弱いが、X線、紫外線は太陽などのG型星に比べても弱くないため、そのような惑星が受けるX線、紫外線フラックスは中心星に近い分、強烈なものとなる。つまり、同じハビタブルゾーンの惑星と言っても地球とはずいぶん異なる環境にあると予想され、M型星のハビタブルゾーンの惑星は、形成シミュレーションからスタートして、ケース・スタディとして議論するのに適当である。

図9. ELSIは、近未来の宇宙探査計画（内部海を持つエウロパ、エンケラダス）や、次世代地上望遠鏡を使った太陽系外の地球型惑星のバイオマーカー・リモートセンシング計画に積極的に参画する。（研究テーマD10及びD11に関連）

（３）運営

ｉ）拠点長

※　拠点長候補者の氏名、年齢（2012年12月1日現在）、現在のポスト、専門分野、当該者が拠点長にふさわしいと考えられる理由等を記載。
※　拠点長候補者の業績等を「添付様式2」に従って添付。
※　拠点が対象とする研究分野で世界的な業績のある研究者の推薦状を添付することが望ましい。

氏　　名：廣瀬　敬

年　　齢：44歳

現在のポスト：東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻　教授

専 門 分 野：高圧地球科学

＜当該者が拠点長にふさわしいと考えられる理由＞

拠点長の廣瀬敬教授は44歳という若さにもかかわらず、鉱物物理学、岩石学の分野において、既にいくつかの画期的な成果を上げている。廣瀬教授のこれまでの主たる研究成果は以下の4点に要約される。

1）地球マントル最上部における部分的な溶融によって生成する溶融部組成の最初の決定
2）マントル最下部における主要な鉱物がポストペロブスカイトであることの発見
3）地球中心部の温度、圧力を超える超高圧、超高温状態の静的実験における達成
4）マントル深部の状態における物質の動きに関わる性質（電気伝導度や熱伝導度）の初めての測定

これらの成果は、廣瀬教授の研究に対する強い情熱、及び緻密な研究計画力と研究遂行能力によって産み出されたものであり、廣瀬教授は問題の本質に迫る洞察力を持つ人物であると言える。

また、廣瀬教授は2003年来、世界最大のシンクロトロン放射光施設であるSPring-8のパワーユーザーである。この間、ビームラインBL10XUを再構築し、高圧科学分野において世界をリードする高圧構造物性ステーションを開設、世界の関連研究分野コミュニティに多大な貢献を果たしている。

さらに、日本における学術分野の最も栄誉ある賞たる「日本学士院賞」の受賞者であり、その傑出した業績によりヨーロッパ地球化学会のリングウッドメダルを受賞している。このほか、世界最大の地球科学分野の組織である米国地球物理学連合のフェローに40歳で選ばれ、エルゼビアの学術誌「Physics of the Earth and Planetary interiors」の編集委員として、また「Science」の査読編集委員会のメンバーとしても活躍するなど、世界に広く認知された研究者である。

ダイヤモンドアンビルセルを使った高圧実験の先駆者かつ第一人者であるH-K.Mao博士は、推薦書の中で、次のように述べている。「廣瀬教授の個性とリーダーシップは、ELSIの挑む未踏領域の研究にふさわしい、世界一線級の研究者のリクルートを確実なものにするであろう。彼の研究に対する強い意欲と彼の国際的な認知度によって、確実にELSIの理想的な所長となるであろう」と。

ⅱ）事務部門長

※ 事務部門長候補者の氏名、年齢（2012年12月1日現在）、現在のポスト、当該者が事務部門長にふさわしいと考えられる理由等を記載。

※ 事務部門長候補者の略歴を添付（様式自由）。

氏　　名: 中澤 清

年　　齢: 69歳

現在のポスト: 東京工業大学大学院理工学研究科地球惑星科学専攻 グローバルCOE特任教授

専 門 分 野: 惑星形成論

＜当該者が事務部門長にふさわしいと考えられる理由＞

事務部門長の中澤清特任教授は、新たな組織の立ち上げと、継続可能なシステムの構築に関し、優れた能力を持っている。中澤特任教授は、1992年、東京工業大学教養部の教授であった当時、東京工業大学理学部に地球惑星科学科を創設し、彼の強力なリーダーシップの下、日本国内及びカリフォルニア大学から、将来性豊かなファカルティメンバーを結集することに成功した。ELSIの主体となっているメンバーは皆、若い頃、中澤特任教授の働きかけにより、東京大学から東京工業大学に移ってきた研究者である。

また、当時国内ではまだほとんど行われていなかった、教官のアクティビティに関する外部評価を毎年実施する仕組みを作った。さらには、シラバスの作成や学部学生による授業評価など、当時の日本の大学では行われていなかったシステムを導入した。当時、これらは強い反対を受けたが、現在では東京工業大学はもちろん、日本の大学で当たり前のように行われており、中澤特任教授は世に先駆けて、地球惑星科学科に大学のシステム改革を導入したと言える。これら一連の成果として、東京工業大学の地球惑星科学科は創立直後から世界トップレベルの研究業績を上げ、日本の同分野をリードするグループとして広く認められている。

さらに1998年には、東京工業大大学院に理学流動機構という新組織を立ち上げた。理学流動機構は将来性豊かな若手教官と世界トップレベルの研究者から成る組織であり、研究者は研究のみに集中できるよう、研究以外のすべての業務（大学運営や授業等）を免除された。これは本WPIプログラムの先駆けと言っても良いだろう。現在も理学流動機構には世界的なコンピューター科学者である牧野教授（ELSI主任研究者）をはじめ、優秀な研究者が所属している。

また、中澤特任教授は日本惑星科学会を創設し、その基盤を作り上げた人物としても知られている。中澤特任教授は初代会長とともに初代事務局長を務め、学術誌「遊星人」の創刊や会員管理制度の確立をほぼ独力で成し遂げた。

このように、中澤特任教授の企画力・運営能力・将来を見通す能力は群を抜いており、また継続可能な新しいシステムの導入にも多くの実績がある。彼が立ち上げた地球惑星科学科及び日本惑星科学会の成功を見れば、中澤特任教授が本拠点の事務部門長として最も適任であることは明らかである。

なお、中澤特任教授は本拠点の立ち上げ期に限り事務部門長を務めるため、4年目以降に比較的若手の東京工業大学事務局経験者と交代する予定している。

ⅲ）事務部門の構成

※ 事務部門の構成の考え方等について具体的に記載。

本拠点の事務部門は次の3部門により構成する。

－国際化推進・研究者支援部門
－運営部門
－社会連携部門

これらの部門は、科学的な素養を有し、研究者との橋渡しを行うリサーチアドバイザーと協働し、所掌業務を推進していく。また、東京工業大学の既存組織である総合プロジェクト支援センターや国際室等も、研究所の運営に

対し十分な支援を行うことになっている（図10）。

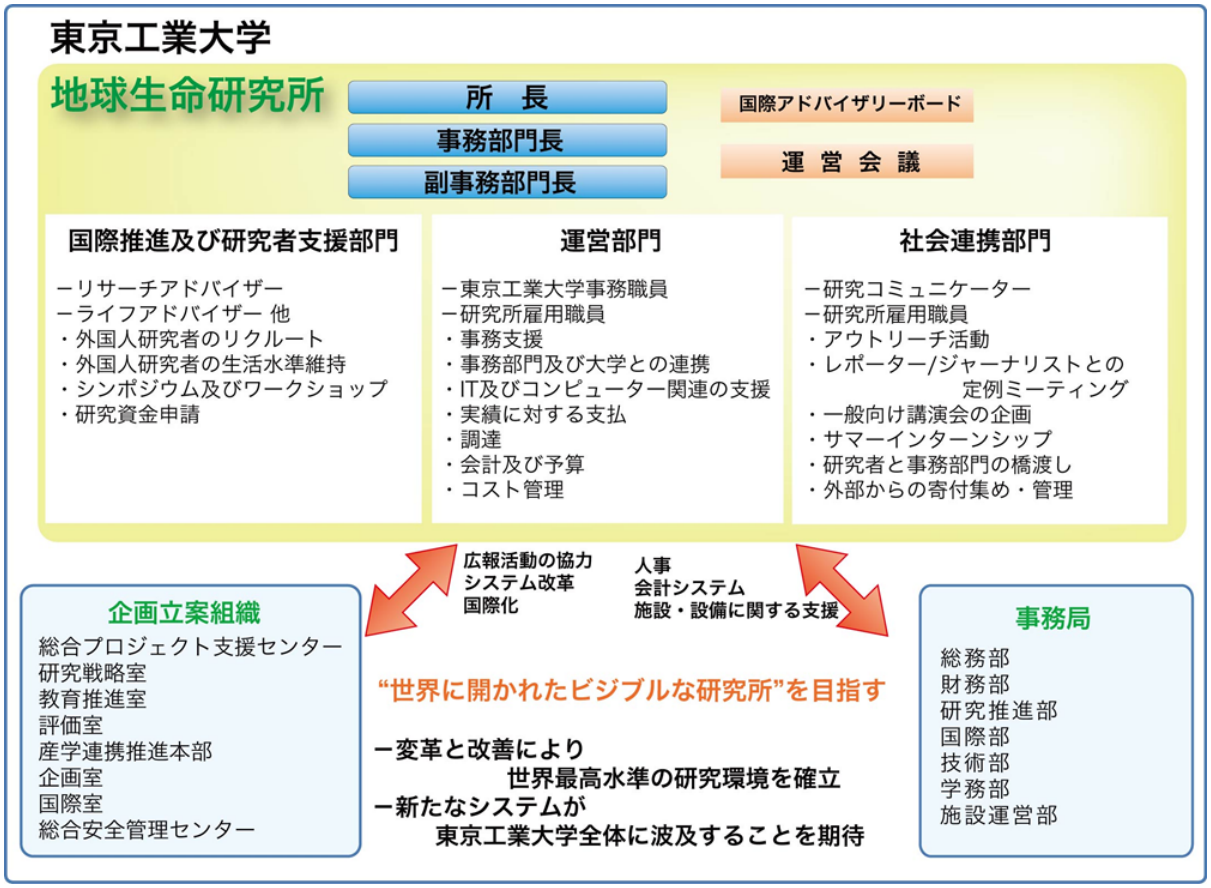


図10. 地球生命研究所の事務部門組織図

国際化推進・研究者支援部門

本部門は、ELSIと世界中の外部機関とをつなげ、また、海外からの研究者への研究所滞在時における支援や、国際シンポジウム、ワークショップ、所内で開催する小規模のセミナー等の運営を執り行う。

特に部門長とリサーチアドバイザーは、国際的なリクルート活動や、外国人のスタッフ、メンバー、及び訪問者の支援を行う。また、外国人研究者等から要望があった場合は、出入国手続きや住居の手配等、日常生活の支援等を行う生活習慣アドバイザーを家庭ごとに配置する。外国人研究者とその家族に対しては、語学面での支援も行う。このほか、本部門では、外国人研究者の外部研究資金獲得のための申請支援も行う。

国際化推進・研究者支援部門の主な業務
・外国人研究者のリクルート
・外国人研究者及び家族への生活支援、語学面における支援
・外国人研究者による研究資金獲得のための申請支援
・国際シンポジウム、ワークショップ等の開催

運営部門

本部門は、ELSIにおけるコスト管理、会計処理等の各種事務業務及び学内の関連する部署との連携・調整等を担当する。

運営部門の主な業務
・事務支援
・事務部門及び大学との連携
・IT及びコンピューター関連の支援
・コスト管理
・会計処理

社会連携部門

本部門は、ELSIのアウトリーチ活動を担当する。広報担当者として科学的素養を持ったリサーチコミュニケータ

ーを雇用し、ウェブサイト等を通じて、ELSIの研究成果を広く社会へ発信していく。リサーチコミュニケーターの業務には、最新の研究成果をELSI内部で共有することや、外部からの寄付金の獲得も含まれる。
　また、外部への情報発信の一環として、各種メディアのジャーナリスト等とのミーティングや、定期的なイベントとしての講演会、高校生を対象とした夏季インターンシッププログラム等を企画・運営する。このほか、民間企業での社員教育等のために教材を提供することも視野に入れている。

社会連携部門の主な業務
・アウトリーチ活動
・ジャーナリスト等とのミーティングの開催
・一般向け講演会の開催
・高校生を対象とした夏季インターンシッププログラムの企画・運営
・外部からの寄付金の獲得

ⅳ）拠点内の意思決定システム
※　拠点内の意思決定システムについて具体的に記載。

　拠点長は、拠点長自身の任命及び任免を除くELSI内の全てに関する決定権を持ち、事務部門長の十分な支援の下、事務部門の運営・管理にも責任を負う。これは柔軟かつ迅速に意思決定を行うためのシステムである。
　ELSI全体に関わる事案については、拠点長を委員長とし、事務部門長、サテライトセンター長、他2名の主任研究者により構成される運営会議が検討し、拠点長の意思決定を助ける役割を担う。また、国際的な観点からの助言を受けるため、外国人を構成員に含むアドバイザリーボードを設置する。拠点長はアドバイザリーボードの助言を受け、最終決定を行う。

ⅴ）拠点長とホスト機関側の権限の分担
※　拠点長とホスト機関側の権限の分担について具体的に記載。

　東京工業大学学長は大学の代表であり、拠点長の任命及び任免について最終的な権限を有する。これに対し、拠点長はELSIの運営会議及びアドバイザリーボードの助言を受け、ELSIにおける人事、給与の決定、予算の作成等についての権限を持つ。

（４）研究体制（拠点を形成する研究者、サテライト等）
ⅰ）ホスト機関内に構築される「中核」
ａ）主任研究者（教授、准教授相当）

	事業開始時点	うち、既存の拠点形成措置によるもの	平成24年度末時点	最終目標（平成27年10月頃）
ホスト機関内からの研究者数	6	6	6	6
海外から招へいする研究者数	3	0	3	6
国内他機関から招へいする研究者数	4	1	4	4
主任研究者数合計	13	7	13	16

※　最終目標を達成するための具体的計画（時期・手順など）を併せて記載。
※　応募時点で拠点への参加が想定されている主任研究者を「添付様式1」に記載。それ以外の将来的に招へいする主任研究者については、招へいするに当たっての方針・戦略について記載。特に、「世界トップレベル」と考えられる研究者については、その氏名の右側に「＊」印を付す。
※　それぞれの主任研究者の業績等を「添付様式2」に従い添付。
※　海外、国内他機関から招へいする研究者については、拠点構想への参加の意思を示した書簡を添付（様式自由）。

　表1及び図11にWPIプログラム開始時点、平成24年度末時点、及び平成25年10月時点の主任研究者数を示す。ELSI発足時には2名の外国人主任研究者が、平成25年と平成27年には各1名の女性外国人主任研究者が、さらに平成26年にはフルタイムの外国人主任研究者が、それぞれ着任予定である。ELSIの主任研究者総数に対する外国人の比率は、発足時は23%（13人中3人）を占め、平成27年10月までの間に37%（16人中6人）まで増える予定である。
　加えて、宇宙航空研究開発機構（JAXA）から2名、海洋開発機構（JAMSTEC）から1名、計3名の国内他機関に

所属する日本人主任研究者がELSIに加わり、サテライト機関である愛媛大学にも日本人主任研究者を配置する予定である。

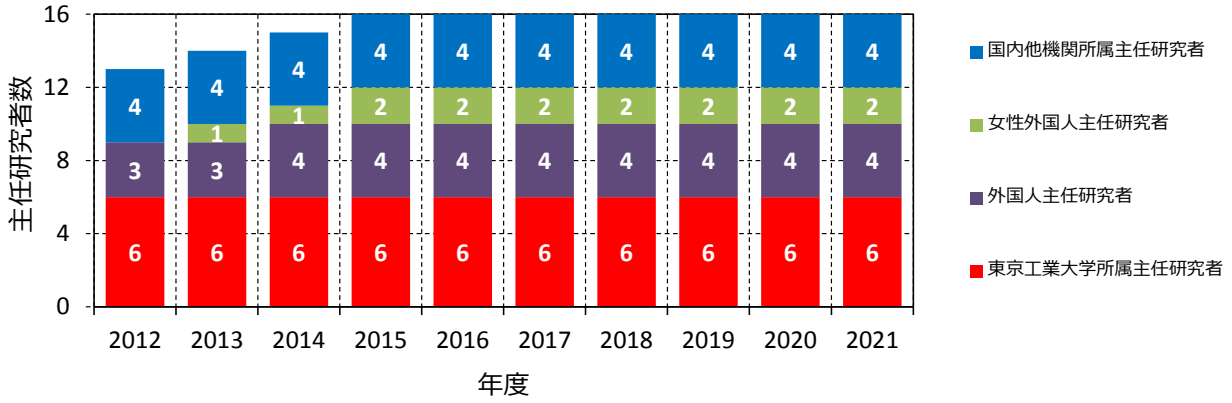


図11.　主任研究者の参加計画

ｂ）全体構成

表2. 人事計画

	事業開始時点	うち、既存の拠点形成措置によるもの	平成24年度末時点	最終目標（平成27年10月頃）
研究者	23 <3.13%> [0.0%]	10 <0.0%> [0.0%]	23 <3.13%> [0.0%]	71 <24.33%> [13.18%]
主任研究者	13 <3.23%> [0.0%]	7 <0.0%> [0.0%]	13 <3.23%> [0.0%]	16 <6.37%> [2.12%]
その他研究者	10 <0.0%> [0. 0%]	3 <0.0%> [0.0%]	10 <0.0%> [0.0%]	55 <18.33%> [11.20%]
研究支援員数	0	0	0	34
事務スタッフ	5	0	8	10
「中核」を構成する構成員の合計	28	10	31	115

※　各欄の人数を記載し、研究者については下段に<外国人研究者数, %>[女性研究者数, %]としてそれぞれの内数を記載。

※　最終目標を達成するための具体的計画（時期・手順など）を併せて記載。

平成27年10月頃までに、ELSIの研究者総数は71人となる予定である。このうち24人、研究者全体の33%を外国人研究者とする計画である。この時点でELSIの当初の人員配置計画は完了することになる（表2、図12）。

計画完了時の研究者には10名の協力研究者、高い研究能力を有すると認められる准教授クラスの若手研究者5名、助教、及びポスドククラスの優秀な若手研究者を含む。若手研究者の大半は、海外のカレンダーに合わせ適宜実施する国際公募により新たに雇用する。准教授クラスの研究者は主任研究者同様、自身の研究チームを率いることができる。各主任研究者は、新たに雇用する助教及びポスドククラスの若手研究者と緊密な関係を築いて研究を推進する。ELSIでは、平成28年度中に行う中間評価に基づき、次期5ヶ年計画を見直す予定である。平成29年度には、次期5ヶ年計画に基づき、人員構成を見直す可能性がある。その際、研究者総数に占める外国人研究者の比率は40%程度にまで増加することが期待される。

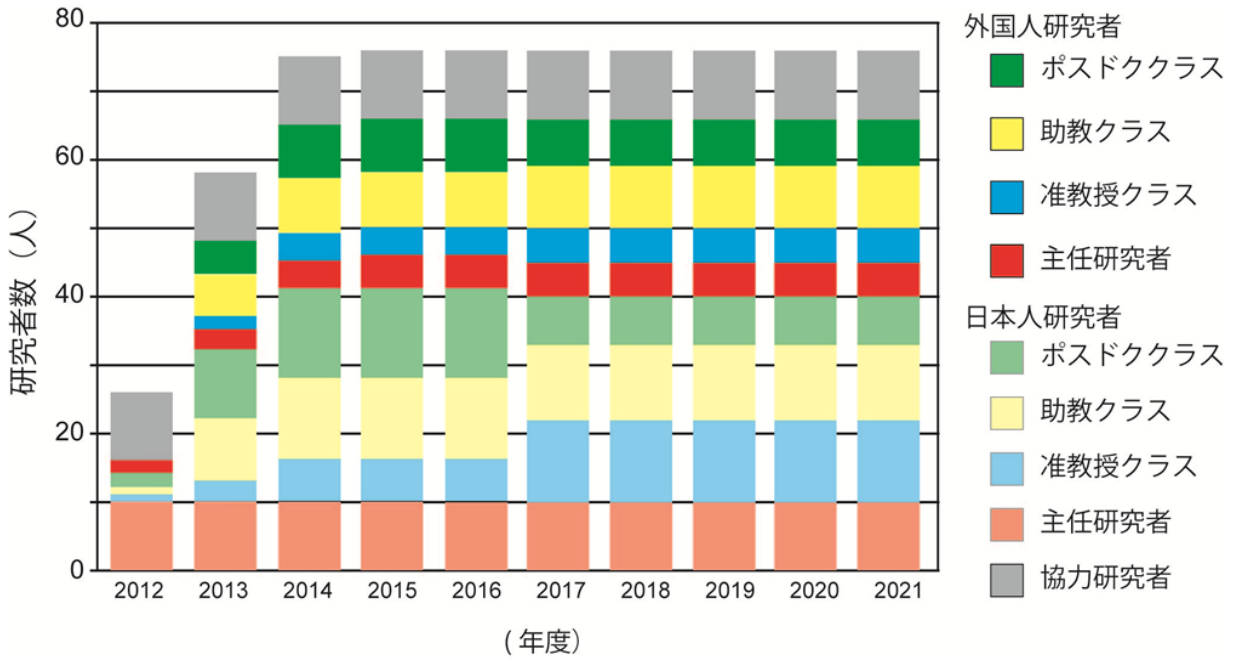


図12. ELSIにおける研究者の構成

ⅱ）他機関との連携

※ サテライト的な組織を設置して国内外の他の機関との連携を行う場合は、当該連携先機関の名称、サテライトの拠点構想における役割、サテライトの人員構成・体制、ホスト機関と当該連携先機関の間の協力の枠組み（協定等の締結、資金のやりとりの考え方等）等について記載。

※ サテライトに主任研究者を配置する場合は、その主任研究者を「添付様式１」に記載（備考欄にサテライト名を明記）。また、それぞれの主任研究者の業績等を「添付様式２」に従って添付。

※ その他、サテライト的な組織を設置しないものの、国内外の他の機関との連携を行う場合は、当該機関の名称、拠点構想における役割、連携の概要等について記載。

1）サテライト

本拠点は以下の3機関にサテライトを設置する。

① 愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター

愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センターは、地球深部の研究に関し、世界的に見ても最先端の研究成果を挙げ続けている。本研究センター長・入船徹男教授は主任研究者並びにサテライト長としてELSIに参画する。また、本研究センターに所属する5名の研究者（うち1名は女性）がサテライトで研究を実施する予定である。

愛媛大学サテライトの主たる役割は、マルチアンビル装置を駆使した高圧/高温実験による個体地球の起源と進化の探求である。本サテライトが有するマルチアンビル装置は、圧力と温度のレンジが限られるものの、レーザー加熱型ダイヤモンドアンビルセルなど他の装置に比べて、実験中のサンプル温度の制御が正確に行えるという利点を持つ。愛媛大学サテライトのアンビル装置と、東京工業大学の装置とのコンビネーションにより、地球深部の構造や動態に関する問いかけに対して最適な解を提示することが可能となるだろう。

② プリンストン高等研究所 学際研究プログラム

プリンストン高等研究所学際研究プログラムのPiet Hut教授はELSI（東京工業大学）とプリンストン高等研究所にそれぞれ約半年ずつ滞在し、主任研究者として、またサテライト長としてELSIの研究、異分野融合研究の促進に携わる。Piet教授がサテライトにいる期間を中心に、ELSIは研究者や事務スタッフをプリンストン高等研究所へ派遣する計画である。プリンストン高等研究所は言わずと知れた世界最先端の研究所であり、常時100名規模の他機関に所属する研究者が集い、研究のアイデアを戦わせ、また新たな人的ネットワークが形成されるなど、研究者にとって理想的な環境となっている。また、事務スタッフにとって、世界トップクラスの研究所における効率的な事務業務について学ぶことは、得るものが大きいはずである。

③ ハーバード大学 生命起源イニシアチブ

ハーバード大学生命起源イニシアチブからは、合成生物学の権威であるJack Szostak教授が主任研究者として、またサテライト長としてELSIに参加する。ハーバード大学サテライトではELSI本体から供される初期地球環境の情報に基づき、生命の起源について研究を進める。この研究は、主として若手研究者の相互交流により推進する計画である。

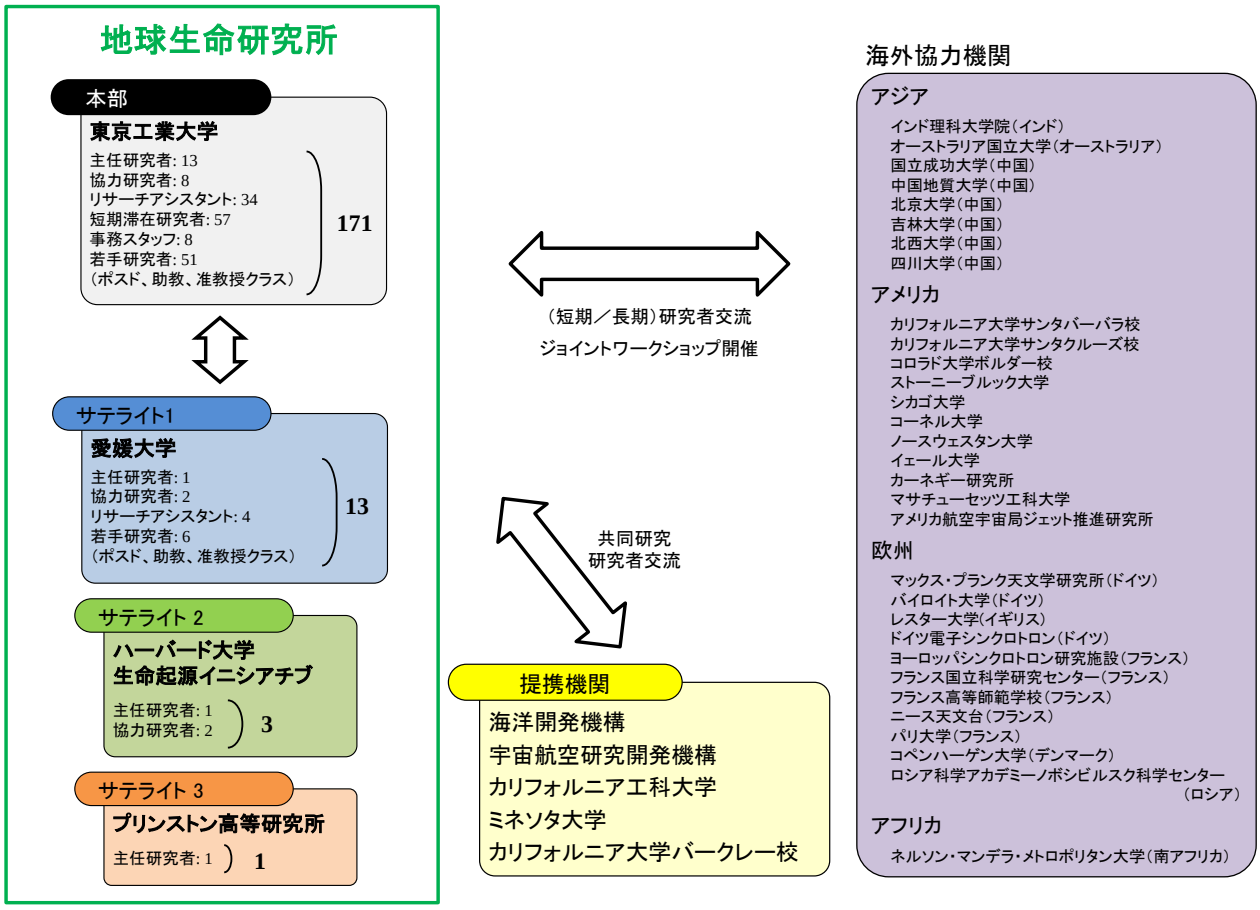


図13. 国内外のサテライト機関、提携機関

2）提携機関

ELSIは①海洋開発機構（JAMSTEC）、②宇宙航空研究開発機構（JAXA）、③ミネソタ大学、④ハーバード大学、⑤カリフォルニア工科大学といったサテライト以外の主任研究者の所属機関とも強い結びつきをもって研究を推進する。さらに、図13に示すように、11ヶ国38機関と提携し、共同研究をはじめ人材やアイデアの交流を図っていく。

（５）環境整備

※　以下のそれぞれの項目についてどのような措置をとるのか、時期・手順も含めて具体的に記載。

ⅰ）研究者から教育研究以外の職務を減免するとともに、種々の手続き等管理事務をサポートするためのスタッフ機能を充実させることなどにより、研究者が研究に専念できるような環境を提供する。

ELSIは主任研究者が研究に専念できる研究環境の提供に努める。主任研究者の下、研究グループを形成する2、3名の博士研究員または特任助教を雇用する。また、科学的素養を持つ数名のリサーチアドバイザーを雇用し、外国人を含む主任研究者に対し、研究申請書の作成、外部研究者との連絡等、各種の支援を行う。

東京工業大学から参加する主任研究者に関しては、研究以外の業務を軽減するため、少なくとも学部学生の教育については免除される。

このほか、ELSIの事務的な業務を担う事務部門を設置し、定期的にミーティングを行うことで、事務スタッフにも最新の研究成果に関する情報を提供し、研究者と事務スタッフとの円滑な意思疎通を図ると共に、事務スタッフの業務に対する意識の高揚を図る。事務スタッフには、サテライトであるプリンストン高等研究所に数ヶ月滞在し、効率的な運営システムについて学ぶ機会を与える。

ⅱ）招へいした優秀な研究者が、移籍当初競争的資金の獲得に腐心することなく自らの研究を精力的に継続することができるよう、必要に応じスタートアップのための研究資金を提供する。

海外から招へいした主任研究者には、スタートアップ経費として、着任初年度及び次年度に500～1,000万円／年程度の資金を提供する。また、研究所長との協議の上、外部研究資金を獲得するまで、さらなる支援を与える可能性もある。外部研究資金の獲得については、特に外国人主任研究者が日本において大型の競争的資金を獲得するために十分な範囲の支援を提供する。我々はまた、研究担当の特任准教授に600万円のスタートアップ資金を提供する。

iii）ポスドクは原則として国際公募により採用する。

我々は主任研究者以外に、国際公募により、ポスドク研究員、特任助教、特任准教授を採用する。ポスドクと特任助教の半数以上は主任研究者と共に研究するが、残りのポスドクと特任助教は特定の研究グループとのつながりを薄くし、より自由に研究を行う。また、すべての特任准教授は独立して研究を行う（日本の大学においては、伝統的に助教は独立した立場にない）。

iv）職務上使用する言語は英語を基本とし、英語による職務遂行が可能な事務スタッフ機能を整備する。

ELSI内の公用語は原則英語とし、書類等も原則、英語で作成する。このため、英語による職務の遂行が可能な事務スタッフを配置する。また、英語に堪能なスタッフを雇用し、海外在住または留学等の経験を有する日本人及び外国人スタッフの雇用も積極的に進める。

v）研究成果に関する厳格な評価システムと能力に応じた俸給システム(例えば年俸制等)を導入する。

研究業績の評価は、毎年3月に開催するワークショップにおいて、学術雑誌への論文投稿数及び研究者の科学的な功績に基づき行う。
各主任研究者の年俸は、研究業績及びELSIへの貢献度並びに外部資金獲得額に基づいて決定する。傑出した業績を生んだ研究者に対しては、より良い研究環境（スペース、資金援助、ポスドク配置等）を与える。
研究者のみならず事務スタッフに対しても年度ごとの評価を行い、優れた実績を上げた事務スタッフには、サテライトであるプリンストン高等研究所に滞在し、先進的な事務システムとその運営について学ぶ研修の機会を与える。

vi）「世界トップレベル拠点」としてふさわしい研究室、居室等の施設・設備環境を整備する。

大岡山キャンパスの地球惑星科学専攻棟に隣接する建物に、十分な研究スペースを確保する（発足時に約1,500m^2、2015年までに2,100m^2程度まで増）。建物内には、事務室、実験室に加え、学際的な研究の鍵となる研究者間のコミュニケーションを促進するための共通スペースを用意する。共通スペースは、リサーチアドバイザーが定例イベントを企画・開催し、研究者や事務職員が集まるような空間とする。
ELSIは、大型計算機でのシミュレーションを行うに当たって、恵まれた環境にあると言える。ELSIの研究者は、東京工業大学学術国際情報センター（GSIC）が所有する国内有数のスーパーコンピューター「TSUBAME」に加え、本拠点主任研究員の牧野教授のグループによって開発されたスーパーコンピューターGRAPEシリーズや、10ペタフロップス計算機「京」、国立天文台、JAXA、JAMSTECを含む他の国立研究機関のスーパーコンピューターも利用することができる。

vii）世界トップレベルの研究者を集めた国際的な研究集会を定期的（少なくとも年1回以上）に開催する。

広範囲のテーマを扱う国際シンポジウムを毎年開催する。テーマは毎年、ELSIの独創的な研究に基づいて設定する。シンポジウムには、世界をリードする科学者と若手の活発な研究者を海外から招聘する。なお、大規模なシンポジウムは若手研究者のリクルートに適した秋に開催する予定だが、他に、学際的なテーマや特定のトピックに関する比較的小規模のシンポジウムも、毎年数回開催していく予定である。
加えて、業績評価のためのワークショップを日本の会計年度の終了月である3月に開催する。ELSIの研究者には、ワークショップにおいて当該年度の研究成果を報告する義務が課せられる。

viii）上記のほかに、世界から集まるトップレベルの研究者が、国際的かつ競争的な環境の下で快適に研究に専念できるようにするための取組があれば記載。

多くの外国人研究者にとって、生活環境は恐らく最大の関心事だろう。このためELSIでは、ビザの取得や学校への転入、銀行口座の開設等、生活に関わるあらゆるアドバイスを来日前から受けられるよう生活アドバイザーを置く。なお、東京工業大学が所有する宿泊施設である百周年記念国際交流会館の家族用20戸、単身用100戸は、外国人研究者とその家族が住居を探すまでの間、一時的に使用することができる。

外国人研究者にとってのもう一つの関門として、外部研究資金の獲得がある。ELSIでは、研究者が研究に専念できるよう、リサーチアドバイザー及び関連分野のスタッフが申請書の作成等を積極的に支援すると共に、東京工業大学の総合プロジェクト支援センター及び研究支援管理室等も支援を行う。

（６）世界的レベルを評価する際の指標等

※　以下のそれぞれの項目について、具体的に記載。

ⅰ）対象分野における世界的なレベルを評価するのに適当な評価指標・手法

ELSIの研究は、極めてアカデミックなものである。アカデミックな業績であっても、その評価は多様な基準、手法を用いて行われる必要があるが、研究のアクティビティ、質、認知度を示すことができる論文分析に基づく評価が主流となっている。

以下、「研究アクティビティ（research activity）」と「研究クオリティー（research quality）」の側面からELSIの国際的な地位を示す。研究アクティビティと研究クオリティーは、論文数と論文被引用数に対応するもので、最も重要かつ客観的な基準の1つである。これらについて、トムソン・ロイター社が提供する「University Science Indicator（USI）」を用いて分析を行った。なお、USIは世界トップクラスの大学を対象とした、研究分野ごとのレベル比較を行う際に最も信頼できるデータベースとされている。

ⅱ）上記評価指標・手法に基づいた現状評価

a）学科スタッフ（faculty staff）1人当たりの論文数（研究アクティビティ）

研究アクティビティの評価には、生産された論文数を該当する学科のスタッフ（faculty staffs）数で除した指標（＝学科スタッフ1人当たりの論文数）を用いる。図14に、 地球科学、惑星科学分野で世界トップクラスのアメリカ、イギリス、日本の大学及びELSIの主任研究者に関する研究アクティビティ指標の変化（1996年～2010年）を示す。ELSIの主任研究者の研究アクティビティは、国内の主要2大学を大きく引き離し、世界トップクラスの大学と遜色ないものであることが分かる。

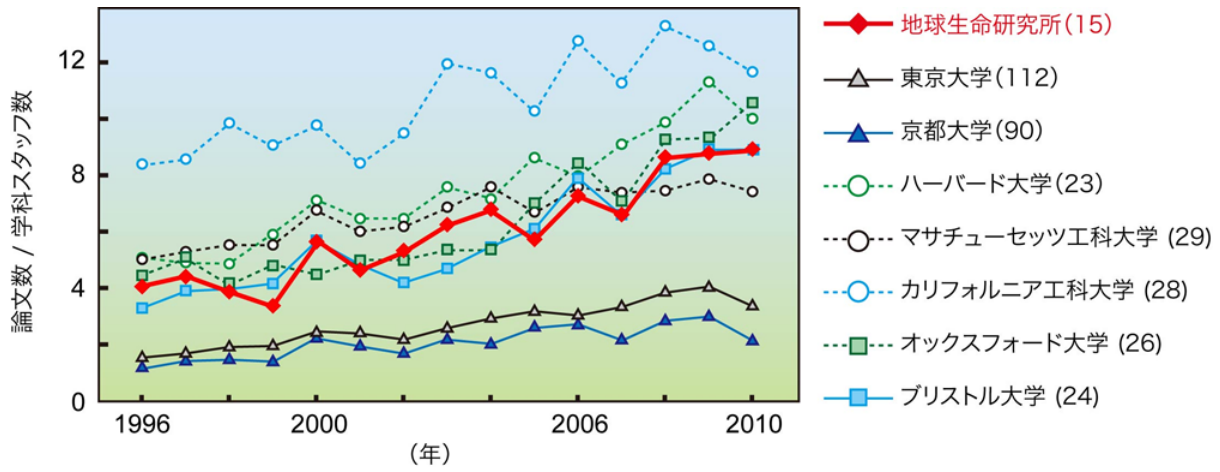


図14. 日・米・英のトップ大学のELSI関連分野（地質学、地球化学・地球物理、環境科学及び学際的地球科学（トムソン・ロイター社の分野分類による））の研究アクティビティ。研究アクティビティは、ELSI関連分野の論文数を該当する学科スタッフ（faculty staffs）の人数で除したものと定義する。論文数のデータは、トムソン・ロイター社USIデータベースから得た。また学科スタッフの人数は、各大学のWebページ上で公表されている数値を用いた。

b）関連研究分野の論文インパクト

研究クオリティーの評価指標には、ある研究者がある分野において著した論文1報当りの平均被引用数を、その分野における全論文の平均被引用数で除して得た値（＝論文インパクト）を用いた。ここでは、地球化学分野及び地球物理学分野について述べる（丸山主任研究者（地質学）、吉田主任研究者（環境化学）、P. Hut 及び J. Kirschvink（学際的地球科学）の論文は分野が異なるため除外した）。研究アクティビティと同様に、ELSIの主任研究者の論文インパクトと、国内及びアメリカ、イギリスのトップ大学に所属する研究者のそれを比較した（図15）。

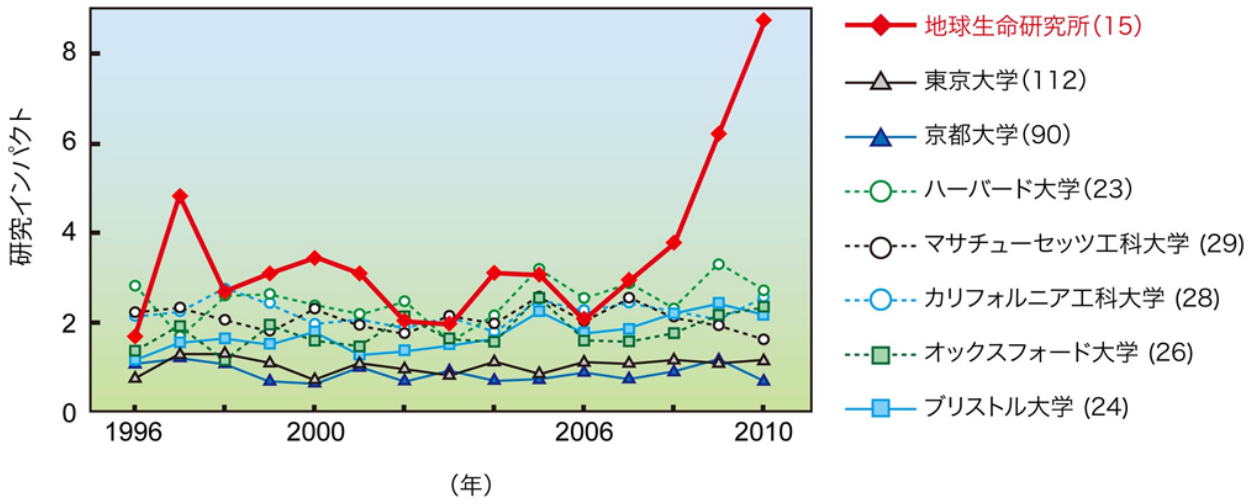


図15.　ELSIの主任研究者が地球化学及び地球物理学分野で著した論文の平均被引用数を当該分野全論文の平均被引用数で除した値（この値を研究インパクトと定義（トムソン・ロイター社））の年次推移。

図15から、ELSIの主任研究者が著した論文の被引用回数は好調に推移していることが読み取れる。2009年以降に見られる大きな伸びは、主任研究者R. Wentzcovitchのグループが発表したいわゆる「hot paper」によるものである。これを除いても、ELSIの主任研究者の論文は、世界トップクラスの大学と比べてより多くの被引用回数を誇っていることは間違いない。

また、ELSIの主任研究者16名中9名が「h-index」35以上であることを付記しておく。ここからも、ELSIは世界トップレベルの研究所として位置づけられる見通しがあると言える。

iii）本事業により達成すべき目標（中間評価時、事後評価時）

ELSIに世界トップクラスの研究者や将来性豊かな若手研究者らが集結し、研究が開始されれば、研究アクティビティも相当程度上がると期待できる。ELSIの目標として、設立後5年以内に研究アクティビティと研究クオリティーの両方で世界トップを目指す（図16）。

また、ELSIは東京工業大学に在籍するプロジェクト評価や科学計量学で著名な研究者や大学の研究支援、研究戦略を担う部署とも連携し、研究の質をはじめ、研究の進捗や研究ポリシー等を客観的に評価する新たなプログラムを検討していく予定である。検討の結果は、ELSIが関連する研究コミュニティや研究資金の提供機関等にフィードバックする。

指標	5年後の到達目標	10年後の達成目標
世界的に見たELSIの優位性・妥当性・資質（年次評価）	・関連分野の世界トップクラスの研究所と同等の競争力を有すること。	・関連分野の研究機関の中で、世界トップとして認識されること。
研究アクティビティ*1及び研究インパクト*2	・研究アクティビティ、研究インパクトで世界トップに位置すること。	・左記に同じ。
研究資金獲得	・競争的資金獲得のための分析、戦略がなされていること。 ・寄付金集めの枠組みを確立すること。 ・若手研究者の競争的資金の獲得額が年額1億1,000万円以上であること。	・安定した寄付金収入があること。 ・若手研究者の競争的資金の獲得額が年額1億7,500万円以上であること。
研究人材獲得	・研究者総数のうち約40%が外国人であること。	・研究者総数に占める女性研究者の割合が30%以上であること。
海外研究者に対する支援	・外国人研究者の80%以上が、各種支援に対して満足すること。	・左記に同じ。

*1研究アクティビティ ＝ 論文総数 / 対象とする学科スタッフ数

*2研究インパクト ＝ 論文1報あたりの被引用数 / 当該論文の分野における論文1報あたりの平均被引用数

図16.　ELSIの達成目標

（７）研究資金等の確保

ｉ）過去の実績

※ 本件拠点構想に参加する主任研究者が獲得した競争的資金等の研究費の合計を、「研究活動時間全体に占める、本件拠点における研究活動（他の競争的資金による研究活動も含む）の実施のために割く時間の割合」（別添様式2におけるエフォート②）を勘案して（例えば、この割合が70%の研究者については、当該研究者が獲得した研究費の70%を上記「研究費の合計」に算入）年度別に記載（平成19年度～平成23年度）。

ELSIの日本人主任研究者は、これまでに科学研究費補助金（科研費）をはじめ、受託研究費、共同研究費、運営費交付金及び事業運営費など、多額の研究資金を獲得してきた。平成19年度から平成23年度までの研究資金獲得実績と、平成24年7月現在、判明している平成24年度及び25年度の研究資金額を表3に示す。

主たる研究資金は科研費で、10人の日本人主任研究者は特別推進研究、特定領域研究、新学術領域研究、基盤研究Sなどの大型科研費をコンスタントに獲得しており、平成19年度から平成23年度における科研費獲得総額の年平均は約2億9,400万円である。また、年を追うごとに、科研費の獲得額が増加していることが見て取れる。また、ELSIの日本人主任研究者の受託研究費、共同研究費の獲得状況も順調であり、2011年以降は獲得額が大きく伸びている。10人の日本人主任研究者による最近5年間における研究資金獲得総額の年平均は6億7,000万円にも上る。なお、ここに示した金額は、各主任研究者のELSIにおけるエフォートを考慮したものである。

図17に、日本人主任研究者10名と協力研究者としてELSIの研究に深く関与する日本人研究者8名を合わせた研究資金獲得総額の年次変化を示す。平成19年度から平成23年度における研究資金獲得総額の年平均は9億8,000万円に達しており、ELSIの研究資金獲得力はWPIプログラムの採択拠点として十分相応しいと言える。

表3.ELSIの日本人主任研究者10名による研究資金獲得実績（平成19～平成23年度）及び獲得予定額（平成24～平成25年度）

単位：100万円

	2007年度	2008年度	2009年度	2010年度	2011年度	2012年度	2013年度
科研費	272.30	262.84	271.26	305.23	359.61	458.45	509.80
受託研究費	114.09	117.51	72.17	64.48	296.07	221.73	221.73
共同研究費	29.70	25.85	30.80	36.30	105.88	92.13	77.83
運営交付金/事業費	189.18	255.29	168.77	177.29	215.14	182.22	181.73
合　計	605.26	661.49	543.00	583.29	976.69	954.52	991.08

□ 2012年6月30日時点での判明分

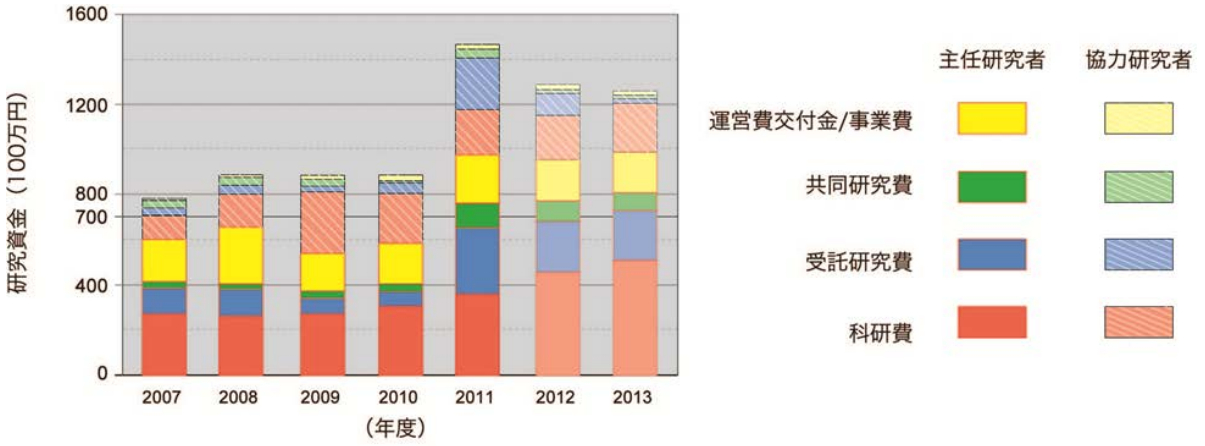


図17. ELSIの日本人主任研究者10名及び協力研究者8名（網掛け）による研究資金獲得額（平成19～平成23年度）及び獲得予定額（平成24～平成25年度）の推移
＊獲得予定額は平成24年7月現在、判明している金額。

ⅱ）拠点設立後の見通し

※上記実績を踏まえつつ、本プログラムからの支援額と同等程度以上のリソースを、どのようにして確保するのか、具体的な見通しについて記載。

※その際、競争的資金等の研究費については、「研究活動時間全体に占める、本件拠点における研究活動（他の競争的資金による研究活動も含む）の実施のために割く時間の割合」（別添様式2におけるエフォート②）を勘案して算入。また、研究費の獲得の見通しについては、上記実績を踏まえた現実的なものとする。

我々は、日本人主任研究者10名と協力研究者の8名が毎年少なくともそれぞれ6億円及び3億円、合計9億円の研究資金を獲得するものと予測している。前節で述べた通り、最近5年間の傾向を見ると、獲得金額は年々増加しており、我々のこの予測は実現可能であると考える。この9億円と言う数字は、上記18名によるものであり、この時点でWPI補助金額を優に上回っている点に留意されたい。さらに、平成27年度以降は、外国人主任研究者6名、准教授クラスの若手研究者5名、40名程度の助教及びポスドククラスの若手研究者により、毎年1億4000万円程度の外部資金の獲得を見込んでいる（1人当たり250万円/年）。従って、平成27年度以降のELSI全体としての研究資金獲得総額は10億円を超える規模になる見込みである（図18）。

以上のような研究資金獲得の見通しを確実なものとするために、ELSIの研究者全員に対し、以下の計画的かつ戦略的な取り組みを実施する。

- 研究者がより多くのファンディングプログラムに申請できるよう、研究に専念できる環境を整える。
- リサーチアドバイザーは、東京工業大学総合プロジェクト支援センターの協力を得ながら、主任研究者の競争的研究資金申請を徹底的にサポートする。
- 各研究者に対し、研究の実現可能性を検討するためのスタートアップ経費の提供、日本語及び英語文書の編

集に関する支援、競争的資金プログラムの情報提供、若手研究者を対象にした申請書書き方講座や添削講座の開催、ELSI内外における共同研究のコーディネート、 ELSI内での申請書の事前査読会の開催などを行い、国内外の研究資金提供機関が実施する競争的資金プログラムへの応募を包括的に支援する。

研究所長や事務部門長は東京工業大学の企画立案組織と共に、政府の政策ポリシーや、関連研究、競争的資金プログラムの動向・状況分析を随時行う。また、これらの分析に基づき、将来を見据えた大型研究プロジェクトを政府に対し積極的に提案していく。

ELSIにとって挑戦的な課題の1つが、寄付金による研究資金の確保である。社会連携部門は、例えば教育産業界から寄付金を得るための検討を行い実行する。また、個人あるいは中小企業からの小口寄付金を募る枠組みについても議論する。我々は平成31年度には、寄付金を含む共同研究費の総額を年間1億5,000万円程度にまで引き上げていきたいと考えている。

東京工業大学は、大学に所属する主任研究者6名（ELSIにおけるエフォート80～90%以上、Effort1）及び協力研究者8名（ELSIにおけるエフォート50%）、事務部門に配属される正規職員の給与を負担する他、大型研究設備の提供などを通じ、年間1億4,500万円程度の支援を行う。

以上をまとめると、WPI補助金の配分がなされる期間を通じ、毎年の補助金額を大きく上回る研究資金の獲得について明るい見通しを得ていると言えるだろう。

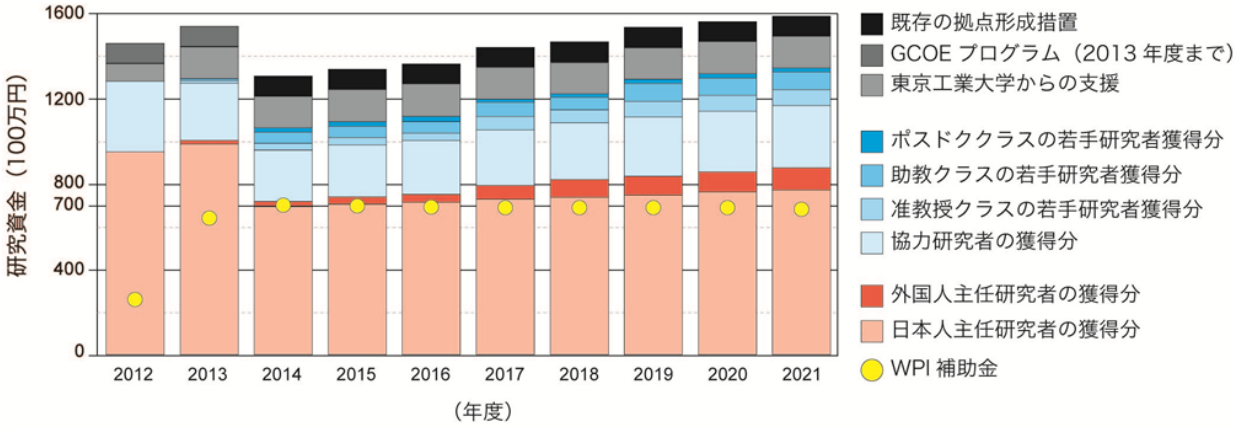


図18. 研究資金獲得の見通し。 科研費、受託研究費、共同研究費、運営費交付金/事業運営費の総額は、我々が申請しているWPI補助金額（黄色の丸印）を大きく上回る。なお、この図には平成24年度まで続くGCOEプログラム補助金と、平成25年度以降、既存拠点形成措置分として学長裁量経費から措置されるものも含まれている。

（８）これまでの拠点形成の成果の活用（該当がある場合のみ）

※ 既存の拠点形成措置が国の施策によるものの場合は、該当事業名、課題名、代表者名等、支援期間等について記載（措置の額については、「3. 充当計画等」において記載すること）。

事業名	課題名	代表者名等	支援期間	備考
グローバルCOEプログラム	地球から地球たちへ	井田　茂	2009年度～2013年度	―

※ また、この他の財源による措置がある場合は、措置の内容について具体的に記載（措置の額については、「3. 充当計画等」において記載すること）。これにはリソースとしてホスト機関からの現物供与等（人件費の部分負担、研究スペースの提供等）も含みうる。

※ 既存の拠点形成措置とは、研究本務者の人件費、その他拠点構成員の人件費、拠点としての活動費、環境整備費（施設費は除く）を指す。

※ これまでの拠点形成の成果を活かしつつ新たな発想も交え世界トップレベルに到達できると考える理由について具体的に記載。

※ 当該の国の施策、その他の財源で時限性がある場合、それが終了した後も、同程度の規模の措置を継続するための自主的なリソース確保に係る見通しについて具体的に記載。

上記のGCOEプログラムにおいて、東京工業大学は次の支援を行ってきた。

財政的支援

・ 2009 年度 9,150,057 円
・ 2010 年度 5,632,000 円
・ 2011 年度 4,063,000 円
・ 2012 年度 4,161,000 円

研究スペースの提供

・ 大岡山キャンパス・石川台地区 6 号館 403、 403、 404、 405 号室
・ すずかけ台キャンパス G1 棟 009、 011、 017 号室
以上 10 ユニット（1 ユニット＝～26 m^2）

GCOEプログラム「地球から地球たちへ」は、地球環境の変化と生命の進化に焦点を当てている。特に5～6億年前に起きたカンブリアン爆発（（海洋）生物が一気に増加した時期）と全球凍結時期の生命体に対象を絞り込み、全球凍結前後の環境変化を地質学的に解読し、また、生物の陸上への適応と関連付けながら生光合成生物のゲノム解析を行ってきた。さらには、19億～20億年前に起きた原核生物から真核生物への進化過程を見てきた。

そして、これらの成果を一般化し、太陽系外の地球型惑星における生命及び生命の陸上への進出へと議論を拡げるために必要なことを議論し、地球表面の環境変化に対する固体地球の役割や銀河、宇宙の影響の重要性を認識するに至っている。このことが、固体地球物理学者・廣瀬敬教授をリーダーとし、固体地球の役割を重視するというELSIの研究計画のモチベーションとなっている。ELSIでは、「生命誕生の場」の探求を行うように、初期生命の研究にも重点を置く。従って、固体地球科学のみならず、惑星形成論の果たす役割も重要であると考えている。

全球凍結と不連続な生命の進化の関係を研究してきた経験を基に、ELSIでは初期地球と生命の起源との関係を探っていく。ELSIは既に、地熱地帯かつ蛇紋岩熱水系として有名な白馬温泉に注目している。白馬温泉は海底の熱水噴出のアナロジーと考えられており、生命が誕生した場の1つの候補として捉えることができる場所である。我々はこうした極限環境に生育する微生物を採取し、ゲノム解析を進めているところである。

さらに、極限環境に生育する生物のデータは、初期地球における生命の起源について、科学的に信頼に足るデータに基づき議論することを促しているようである。この課題を解決するために、ELSIの研究では、国家プロジェクトであるJAXAの「はやぶさ2」による小惑星サンプルリターンミッションや、近い将来に実現する可能性がある氷衛星探査、あるいはJAMSTECの有名な「しんかい6500」による深海熱水系における生命体の探査と緊密に連携する予定である。

生命の視点から見たとき、地球こそ深海と深宇宙をつなぐ存在と言える。上で述べたELSIと各種の探査計画の連携により得られる知見は、我々を多様な系外地球型惑星における生命の理解へと導くだろう。

ELSIの母体とも言える21世紀COEプログラム「人の住む惑星ができるまで」（2004年度～2008年度）及びGCOEプログラム「地球から地球たちへ」（2009～2013）では、地球史、惑星形成論、日本のお家芸と言える超高圧実験と生命科学の積極的な協力がなされてきた。このような多岐に渡る分野横断的な協力から得られた結果に基づき、ELSIでは固体地球や宇宙の果たす役割に重きを置きながら、この協力関係をさらに前進させていく。さらに、生命の進化だけではなく、「はやぶさ2」、「しんかい6500」の探査も含め、生命の誕生についても焦点を当てていく。これにより、ELSIは確実に世界を先導する研究所となり得るだろう。

※ 当該の国の施策、その他の財源で時限性がある場合、それが終了した後も、同程度の規模の措置を継続するための自主的なリソース確保に係る見通しについて具体的に記載。

GCOEプログラムが終了する平成25年度以降、WPIプログラム終了まで、東京工業大学は本拠点に対し、GCOEプログラム補助金と同規模程度の学長裁量経費を配分し、拠点のリソース規模を維持する予定である。

その他

※ 補助実施期間終了後の取組について記載。
※ 他の機関への波及効果（ホスト機関の他部局や他の研究機関が世界トップレベルの研究拠点を構築する際に参考となりうる要素を持つ先導的なものであるか）について記載。
※ その他、世界トップレベルの拠点を構築していくにあたり重要な事項を記載。

(1) 補助実施期間終了後の取組

ELSIの所長は、東京工業大学と連携しつつ、非営利団体、民間企業などから寄付金を得ることに最大限の努力

を払う。「地球外生命体」や「はやぶさミッション」と言ったELSIの研究トピックスは、一般の方々にとっても興味の的である。これは、寄付金集めの大きな助けになるだろう。
WPIプログラムによる支援が終了した後もELSIの活動は、1）主任研究者をはじめ、研究者達が獲得する外部資金、2）東京工業大学からの継続的な支援、3）外部からの寄付金、により継続する。

(2)他の機関への波及効果
ELSIでは次の3つを実現し、他機関の参考となるモデルケースを確立する。

1）国際化
国際化は本プログラムが意図する重要な到達点である。これに対し、ELSIでは以下を実現し、他機関において海外研究者を招へいする際のモデルケースを確立する。
①原則英語による事務業務
②業績評価に基づく給与体系とインセンティブ付与
③外国人家庭のサポートシステム

2）研究指向
ELSIは研究指向の強い拠点を目指し、他機関におけるより研究に重点を置いた事務組織の構築のモデルケースを確立する。ELSIではこの目的のために、以下を実現する。
①毎年、業績評価ワークショップを開催し、各研究者の研究を評価する。評価結果は年俸に反映させる他、研究所長の判断で付与するインセンティブにも反映する。
②科学的素養を持ったリサーチアドバイザーが、多方面に渡り研究者のサポートを行う。
③東京工業大学から主任研究者としてELSIに参加する者については、学部教育の義務を免除するため、ELSIの教授として再任命する。
④研究者の側に立った事務部門を確立する。このため、ア） 研究者による事務スタッフの評価、イ） ア）の結果を反映したインセンティブの付与、ウ）研究者による最新の研究成果の事務スタッフへの発信、エ）海外サテライトにおける効率的な事務システムの研修等を検討・実施する。

3）積極的なアウトリーチ活動
以下のような取組により、積極的にアウトリーチ活動を展開する。これは他機関においても、研究成果の還元という点で参考になるはずである。
①十分な科学的バックグラウンドを持った研究コミュニケーターがELSIのアウトリーチ全般を担う。
②①の研究コミュニケーターを中心としたアウトリート活動を展開する。具体的には、ア）プレスリリース、イ）記者やジャーナリストらと研究者の定期的な懇談会の開催、ウ）高校生を対象としたサマーインターシッププログラムの企画・開催などが挙げられる。

(3)その他
1)研究者等の海外交流
関連する研究分野のコミュニケーションセンターとしての役割を担っていくことを目指す。我々は、サバティカル休暇中の世界トップクラスの教授陣を半年ないし1年間招聘する他、有力な研究者、精力的に活動する若手研究者の短期滞在をサポートする。同時に、ポスドク研究者を含むELSIの研究者には、海外サテライト機関、海外提携機関に一定期間滞在し、滞在先の研究者との討論やアイデアの交換、共同研究の実施を強く推奨する。さらに、サテライトの一つであるプリンストン高等研究所には、事務スタッフを研修のために派遣する。

2）研究成果の公表
国際会議などにおいて、所属研究者が自身の研究テーマと密接に関連するセッション等を企画することを奨励する。2016年には、世界各国から4,000名に及ぶ研究者が集結するゴールドシュミット会議が日本で開催される予定であるELSIは同会議に参加し、5年間の研究成果を総括して公表する。

3)研究環境の整備
我々は既に、21世紀COEプログラム及びGCOEプログラムを通じて、地球科学と生命科学の異分野融合研究を展開してきた。加えてELSIでは、初期地球と初期生命を探究する研究チームの一体化を図るための計画」を検討している。
まずは拠点内部で異分野間のコミュニケーションを促進することが肝要なため、主任研究者・Piet Hut教授が所属するプリンストン高等研究所学際研究プログラムを参考に、研究者の活発な交流を促すコモンルームを整備する。
また、若手研究者が所属するグループの主任研究者だけでなく、他の主任研究者とも交流し、異分野融合研究が促進される環境を作り出す。