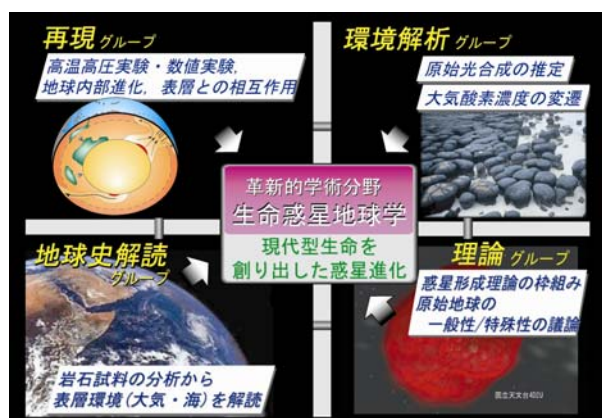


21世紀COEプログラム 平成16年度採択拠点事業結果報告書

機関名	東京工業大学	学長名	伊賀 健一	拠点番号	K11	
1. 申請分野	K〈革新的な学術分野〉					
2. 拠点のプログラム名称 (英訳名)	地球：人の住む惑星ができるまで How to build habitable planets?					
研究分野及びキーワード	〈研究分野：地球惑星科学〉(惑星形成・進化)(地殻・マントル・核)(地球史)(地球惑星電磁気圏)(環境変動)					
3. 専攻等名	大学院理工学研究科地球惑星科学専攻、化学専攻、物質科学専攻、大学院生命理工学研究科生物プロセス専攻、生体システム専攻、大学院総合理工学研究科環境理工学創造専攻、火山流体研究センター、バイオ研究基盤支援総合センター					
4. 事業推進担当者	計 24 名					
ふりがなくローマ字 氏名	所属部局(専攻等)・職名	現在の専門 学位	役割分担 (事業実施期間中の拠点形成計画における分担事項)			
(拠点リーダー) TAKAHASHI EIICHI 高橋 栄一 HIROSE KEI 廣瀬 敬 KANESHIMA SATOSHI 金嶋 聡 (平成17年9月30日辞退) OGAWA YASUO 小川 康雄 (平成17年10月1日追加) KAWAMURA KATSUYUKI 河村 雄行 HONKURA YOSHIMORI 本藏 義守 MARUYAMA SHIGENORI 丸山 茂徳 YURIMOTO HISAYOSHI 丸本 尚義 (平成17年3月31日辞退) HIRATA TAKAHUMI 平田 岳史 ARISAKA FUMIO 有坂 文雄 EGUCHI TADASHI 江口 正 TAKAMIYA KENICHIRO 高宮 健一郎 (平成17年10月21日辞退) OHTA HIROYUKI 太田 啓之 YOSHIDA NAOHIRO 吉田 尚弘 NAKASHIMA SATORU 中嶋 悟 (平成17年1月15日辞退) SHIBUYA KAZUHIKO 渋谷 一彦 KOHSHIMA SHIRO 幸島 司郎 (平成21年1月4日辞退) KOBAYASHI KEISUKE 木庭 啓介 (平成17年1月1日追加、平成18年10月31日辞退) KOMIYA TSUYOSHI 小宮 剛 (平成18年10月1日追加) YOKOYAMA TETSUYA 横山 哲也 (平成19年10月1日追加) IDA SHIGERU 井田 茂 NAGAI TSUGUNOBU 長井 嗣信 FUJIMOTO MASAKI 藤本 正樹 (平成18年3月31日辞退) NAKAMOTO TAISHI 中本 泰史 (平成18年8月1日追加)	大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・助教授 火山流体研究センター・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・助教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・准教授 大学院生命理工学研究科 生物プロセス専攻・准教授 大学院理工学研究科 物質科学専攻・教授 大学院生命理工学研究科 生体システム専攻・教授 バイオ研究基盤支援総合センター ゲノム情報解析分野・教授 大学院総合理工学研究科 環境理工学創造専攻・教授 大学院理工学研究科 広域理学講座 (理学研究流動機構)・教授 大学院理工学研究科 化学専攻・教授 大学院生命理工学研究科 生体システム専攻・連携教授 大学院理工学研究科 環境理工学創造専攻・講師 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・准教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・准教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・助教授 大学院理工学研究科 地球惑星科学専攻・准教授	実験岩石学 理学博士 超高压実験 博士(理学) 地球内部物理学 理学博士 地球内部物理学 理学博士 鉱物物性理論 理学博士 地球電磁気学 理学博士 地質学 理学博士 宇宙化学 理学博士 分析化学 理学博士 構造生物化学 米國博士(Ph. D.) 生化学 理学博士 植物生理学 理学博士 植物生化学 農学博士 環境化学 理学博士 環境物質科学 仏國博士(理学) 有機物理化学 理学博士 環境動態解析学 理学博士 環境動態解析学 農学博士 地質学 理学博士 宇宙地球化学 博士(学術) 惑星物理学 理学博士 宇宙空間物理学 理学博士 宇宙プラズマ物理学 理学博士 惑星物理学 理学博士	再 現 グループリーダー 地球形成過程・マグマオーシャン 再 現：地球形成過程、核・マントル分化 教育国際化担当 再 現：地球史、マントルダイナミクス 研究交流担当 再 現：地球史、マントルダイナミクス 研究交流担当 再 現：表層および深部物質の分子構造 成果普及担当 再 現：地球史、地磁気ダイナモの発展 将来構想担当 解 読 グループリーダー 表層環境解読・最古の生命化石探査 解 読：原始太陽系、地球史表層環境 研究教育評価担当 解 読：地球史、核・マントルと海洋の化学進化 若手育成担当 解 読：現世シアノバクテリアとの比較 研究教育評価担当 解 読：古細菌から見た原始生命 教育国際化担当 解 読：光合成の起源 研究教育評価担当 解 読：葉緑体の進化 若手育成担当 環境解析 グループリーダー 環境変動：古大気の高酸素濃度 環境解析：古環境解析、光合成と環境進化 研究国際化担当 環境解析：オゾン生成消滅反応の解析 教育環境担当 環境解析：極地での生命環境 研究交流担当 環境解析：古環境解析、同位体地球化学 研究国際化担当 環境解析：古環境解析、環境進化 研究国際化担当 環境解析：原子太陽系、地球表層環境の化学進化 研究教育評価担当 理 論 グループリーダー 惑星形成理論・系外惑星天文学 理 論：磁気圏の構造とダイナミクス 研究国際化担当 理 論：初期地球高層大気物理 教育システム担当 理 論：初期地球高層大気 教育システム担当			
5. 交付経費(単位：千円) 千円未満は切り捨てる ()：間接経費						
年 度(平成)	16	17	18	19	20	合 計
交付金額(千円)	114,000	94,000	88,620	92,000 (9,200)	96,900 (9,690)	485,520

6. 拠点形成の目的

『人の住みうる惑星がいかにして誕生したのか?』この人類の根元的な問いかけに未だ正面から挑戦した研究組織はない。COE「地球：人の住む惑星ができるまで」プログラム(以下、「COE地球」)は、東京工業大学理工学研究科・地球惑星科学専攻を核として学内の環境科学・生命科学の研究者と融合し、『マグマオーシャンに始まり、原始生命を経由して、ついには酸素呼吸する大型生命の出現に至る歴史』を地球表層環境の変遷を軸として、総合的に解明することを目指して組織された。本COEプログラムの終了時までには新たな自然科学の一分野である「生命惑星地球学」の創出を目指す。本計画においては以下4つの研究の柱を掲げ、それらが有機的



に結合することにより、上記目的を達成することを目指した。

(<http://coe21.geo.titech.ac.jp/top.html>参照)

- (1) 実験岩石学・地球内部物理学を基礎とした“原始地球再現グループ” (再現)
- (2) 地質学・地球化学・生命科学を基礎とした“地球史表層環境解読グループ” (解読)
- (3) 地球環境学を基礎とした“古生物生息環境解析グループ” (解析)
- (4) 理論惑星科学・天文学に依拠した“汎惑星形成理論グループ” (理論)

上記個別分野はこれまでに長い歴史と実績を持つものであるが、本研究のように一つのテーマのもとに地球科学・古生物学・地球環境学・理論惑星科学を横断的に融合し、新たな地球惑星科学の分野を開拓しようとした例はない。

『革新的学術分野』と考える最大の、かつ、唯一の理由はここにある。

7. 研究実施計画

(1) 地球形成進化過程の再現

惑星形成理論モデルから予想される原始惑星の温度圧力構造に基づき、原始地球で起きた金属核とマントル鉱物との熔融分離過程を実験的に再現する。特に地球形成の最終段階で起き、月を作った原因と考えられるジャイアントインパクトの役割評価に重点を置く。地殻・マントル・核の三者間での元素分配を高圧実験と理論計算から解明する。また、生命を太陽風から護るシールドとなった地磁気の生成条件を探るため、高圧実験に基づく内核成長モデルを参考に、様々な熱進化条件のもとでダイナモ数値実験を行う。

(2) 地球生命環境の記録解読

ジルコン結晶の同位体と包有物の解析から、45億年～5億年前の地球史における大陸の成長、マントルの化学進化を解読する。微化石を含む岩石試料から、40億年間の大気・海洋の化学組成の変遷と海水中に溶存する酸素濃度変化を解読する。最古のシアノバクテリア化石を岩石試料から探索し、酸素発生型光合成の誕生時期を特定する。シアノバクテリアの植物細胞への共生開始(葉緑体の前駆体)を印す化石証拠を探索する。現存シアノバクテリア類の光合成遺伝子群の進化に着目して、葉緑体の真のルーツを探る。

(3) 大気海洋環境進化の解析

アイソトポマー比計測技術を応用し、大気・光化学環境反応を手がかりに、古大気の酸素濃度変遷を推定する。得られた酸素濃度変化から酸素発生型光合成の誕生時期を推定する。各時代の微化石に含まれる遷移金属とS、Nの組み合わせから光合成分子種を推定し、分子の光吸収・酸化還元特性と種々の表層環境シミュレーションを組み合わせ、大気海洋環境の変遷を解析する。

(4) 理論化

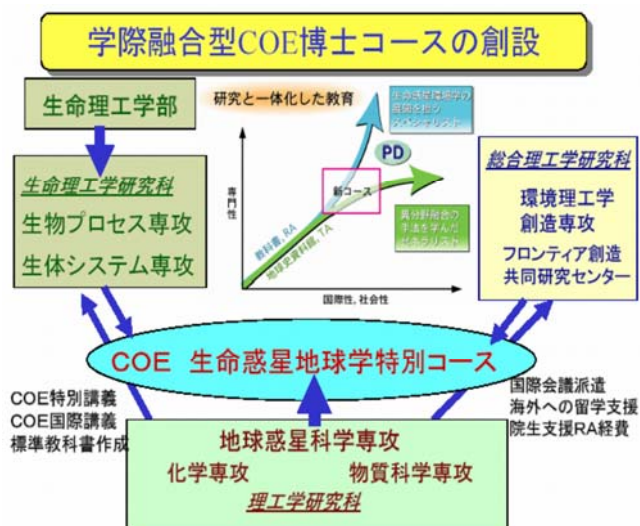
生命の存在を可能とする惑星表層環境と、軌道・惑星サイズ等の天体力学条件、惑星形成過程との因果関係を解明する。磁気圏と太陽風・宇宙線との相互作用を数値計算し、表層環境への影響レベルを評価する。惑星内部過程や磁場発生条件も考慮して、海洋が持続的に保持され、酸素大気が形成され得る惑星の条件を求める。

系外惑星観測を参考に惑星形成論の一般化を試み、生命進化可能な惑星の実現確率を求める。

8. 教育実施計画

本研究拠点形成計画は、個々の研究の充実、明確なキーワード共有により可能となる①最先端成果の統合、②その成果の社会への公表、③新しい生命惑星環境観の構築、からなる。教育の観点から、これらのプロセスは、専門性の充実・発展、異分野成果の融合スキームの獲得、国際性の涵養、幅広い視野の確保、社会性獲得の機会であると捉えられる。

拠点形成においては、東工大の教育理念と本拠点の目的を踏まえ、極めて高い専門性を身に着けたスペシャリストと、高い専門性に加え、幅広い視野と国際性を兼ね備え、科学の社会的責任を強く意識したゼネラリストの育成を行う(下図)。



具体的な実施項目は以下の通りである。

1. 専門性の充実と視野の拡大

(1) 新しい教育コースの形成

・従来の地球惑星科学に生命科学の一部を融合させた新分野に対応する教育コースを整備する。事業担当者に加え、本拠点で採用するCOE教員を核として、この拠点形成計画で創出される新分野の革新性を発展させる次世代研究者を育成する。

(2) PD・RA・TA制度の充実

・活発な研究活動を行うPDを多数雇用する。PDは先端的な研究に関する大学院生への指導

も行い、大学院生にとっても大きな刺激となる。

・RA/TA制度の充実は、大学院生を研究および関連した教育活動に集中させ、新分野創出に積極参加することで、専門性の獲得および、自身の研究と将来の教育への関与に対する有効な動機付けとなる。

2. 国際性の涵養

(1) 国際集会への派遣

研究成果をあげつつある大学院生を国内外で開催される国際集会へ派遣する制度を充実させる。これにより、大学院生に世界へ向けて成果を発表することを意識させ、国際性を涵養する。

(2) 研究のための海外滞在の奨励

海外の最先端研究機関での大学院生の滞在を促進する。研究促進に有益だけでなく国際性を身に着けることにもつながる。東工大の大学院生を海外に派遣するばかりでなく、海外の有力大学の大学院生を積極的に東工大に招待し、研究交流を図る。

(3) 外国人研究者の招聘

海外の著名な、あるいは活発な研究者を積極的に招聘する。研究課題の遂行に有効だけでなく、大学院生を刺激し、世界レベルを意識させ、国際性を涵養する機会ともなる。

3. 社会における専門家の役割の理解

『COE地球史解析センター』での成果公表

本拠点の成果によって創出される新しい生命惑星観を、『COE地球史解析センター』などを通じて、社会に公表・還元する。成果公表の機会に大学院生をRA・TAとして積極的に登用することで、『生命惑星環境学』と社会との関わり、専門家としてわかりやすくかつ正確に情報発信していく役割などについて、体験・実践し、理解する機会とする。既存の『地球史資料館』一般公開への大学院生参加はボランティア形式ですで行われているが、これを教育実践の場かつ成果公開事業の場として体系的に実施する(解説・資料公開技術の研鑽、研究成果公表用資料の整備、大学院生による公開事業の自主運営など)。

9. 研究教育拠点形成活動実績

① 目的の達成状況

1) 世界最高水準の研究教育拠点形成計画全体の目的達成度

COE地球の事業推進担当者、特任助教、研究員およびCOE-(S)RAは、5年間に合計514編の論文を国際誌に発表し（うちNature(8編)、Science(7編)掲載：2008年12月時点）、地球惑星科学を基礎として生命・環境を学際的に研究する新たな拠点として、国際的に高い評価を獲得するに至った。

また、COE地球の研究を推進する目的で、学長裁量スペースおよび学長裁量経費の支援を得て、東京工業大学の学内措置研究センターとして「地球史研究センター」が2004年に設置された。（<http://www.rceep.titech.ac.jp/>参照）「地球史研究センター」には1) 高圧研究室、2) 宇宙地球化学研究室、3) 環境化学研究室、4) 生命科学研究室、5) 惑星理論研究室があり、それぞれ世界最高水準の研究設備（マルチアンビル装置・単結晶ダイヤモンドアンビル装置・ICPMS分析装置・同位体質量分析装置・遺伝子導入装置・重力問題専用計算機、など）を備えている。これらの設備は、研究室・専攻・研究科の枠を超えて、COE地球の事業推進担当者、COE教員、COE-RAに広く共同利用されており、COE地球の分野横断的な共同研究を支えてきた。また、教育面では、東工大の理工学・生命理工学・総合理工学の3研究科7専攻をまたぐ「生命惑星地球学特別教育コース」を設置し、地球惑星・生命・環境の異分野からなる教員が専門分野を異にする大学院生に学際教育を実施し視野の広い若手研究者を育成することに成功した。高い研究成果に加えて高度な人材を育成する環境を整えたことで、拠点形成の目的は十分達成したと自己評価している。

2) 人材育成面での成果と拠点形成への寄与

それぞれの専攻で教員と大学院生の信頼関係に基づく密接な研究指導を進める一方、生命惑星地球学特別教育コースでは学際領域をカバーする3つの特別講義（光合成生物の科学・酸素大気化学・生命史と極限環境下の生物、計

3単位）を毎年開講した。また専門分野の異なる大学院生RAが合宿型式のセミナーで相互に研究発表するCOEコロキウム1～6（計12単位）、著名な外国人研究者を招聘して行うCOE国際講義1～10（計10単位）を開講した。コースの目的はそれぞれの専門教育の上に、COEで目指す生命惑星地球への共通理解を生むことなので、必修単位はCOEコロキウム（8単位）と特別講義・国際講義から2単位に限定して院生の負担を抑えた結果、毎年COE-RA全員が特別教育コースに参加した。

5年間に外国人2名を含む延べ11人の特任助教と延べ5名の博士研究員(PD)を採用した。彼らは、研究、教育、機器管理、プログラム運営に従事し、COE地球の活動を研究・運営の両面から支えた。COE助教の多くは、研究成果を評価されその任期中に他大学教員として赴任し、PDは、本COE助教や他大学教員に採用されているなど、流動性の高いことが特徴である。また、次世代の学際研究をになう人材を育成するために、博士課程学生を対象に、5年間に外国人4名を含む延べ103人のリサーチアシスタント(RA)を採用した。事業推進担当者を主または副指導教員とする大学院博士課程在学者(JSPS-DCを除く)から選考を行い、COE-RA経費を支給した。また、2006年度からは、博士課程学生に対し海外派遣支援を行い、延べ79名の学生がこの経費を使用し、国際学会参加、海外研究機関における共同研究、およびフィールド現地調査を行った。国際性涵養に関する目標は90%達成した。

3) 研究活動面での新たな分野の創成や、学術的知見等

高橋・拠点/再現Gリーダーは地球の形成と化学進化に及ぼす原始地球のマグマの海から現地球に至る様々なマグマの起源に関する論文多数を公表(Ren, Takahashi他, Nature, 2005; Hirano, Takahashi他, Science, 2006)。理論Gの生駒助教と玄田COE特任助教は原始地球のマグマの海と大気反応による海の形成を提案(Ikoma & Genda, 2006 Astrophys J)。

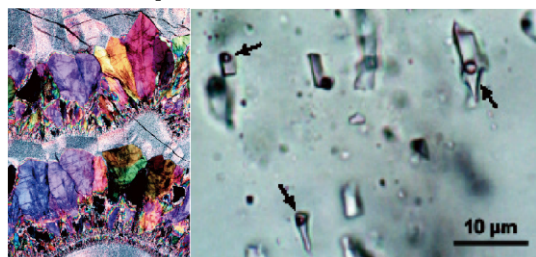
井田・理論Gリーダーは、太陽系外の木星型惑星のデータと直接比較検討可能な世界唯一の惑星系形成モデルを構築し、5編からなる一連の論文を出版した (Ida & Lin, 2004-2008, *Astrophys. J.*)。地上望遠鏡観測立案の必須モデルとなる一方、系外地球型惑星(特に海を持つハビタブル惑星)の予測も可能にしつつあり、解読Gの成果のもと系外地球型惑星での生命メーカーの衛星望遠鏡による将来観測計画への貢献も期待されている。

再現Gの廣瀬教授・村上COE特任助教(現・東北大学准教授)らは、マン



トル物質のペロフスカイトが深さ2700kmで相転移することを発見し (Murakami, Hirose他 2004, *Science*)、数十年前から知られていたマントル最下部の地震波異常層の起源を解明してコア・マント

ル境界の研究を加速 (Ohta, Hirose 他 2008, *Science* など関連論文20編以上)。また、理論G井田リーダーと千秋特任研究員(現・千葉工業大学惑星探査センター上席研究員)らは、これを基礎にSuper-Earthsの内部構造計算を開始した。



吉田・環境Gリーダーと上野COE特任助教(現・東工大グローバルエッジ特任助教)らは、解読Gの西オーストラリアの35億年前の岩石試料からアイソトポマー法(化学分子種同位体分析)で当時の古細菌が出したメタンガスの分析に成功し、最古のメタン生成古細菌を発見した

(Ueno, Yoshida, Maruyama 他, *Nature* 2006)。丸山・解読Gリーダーらは南中国でカンブリア生命進化大爆発期を貫通する900mの掘削コア

を採取し、同位体・微量元素分析により従来にない高分解能・高精度の化学層序を明らかにし、この境界での環境変動と生物絶滅/進化の関係を議論した (Ishikawa, Maruyama 他, 2008, *Gondwana Research*など)。

太田・生命Gリーダーは膜脂質物質が光合成機能に必須だが (Kobayashi, Ohta他, *PNAS*, 2007)、葉緑体とその起源のシアノバクテリアで合成経路が異なることを示した (Awai, Ohta他, *Plant Physiol*, 2006)。生命G下嶋COE特任助教と伊規須RA(指導教員:丸山)らは、膜脂質が残存しやすいことに着目し、解読G試料の微生物化石を局所赤外分光で同定する今後の発展がみこまれる新手法を開発 (Igisu et al *Precambrian Research* in press)。

4) 事業推進担当者相互の有機的連携

本拠点は「COE地球運営委員会」および「地球史研究センター運営委員会」により運営された。毎月1回の定例運営委員会およびメールを用いた頻繁な書面審議において、拠点事業・共同研究・教育・セミナー運営等に関する審議を行い、構成員間の有機的連携を図った。異なる研究分野の研究者および大学院生の共同研究を生み出すための、異分野情報交換の場として、COEセミナーを大岡山とすすかけ台の2つのキャンパスで交互に開催した(計107回)。その結果、「微生物の進化を同位体と痕跡元素に基づき推定する」(地球史+環境+生命)、「微生物化石の形成過程を探るための人工化石化実験」(生命+地球史)、「惑星形成過程における巨大衝突ジャイアントインパクトの役割解明」(再現実験+地球史+惑星理論)など多数の分野横断研究が生まれた。

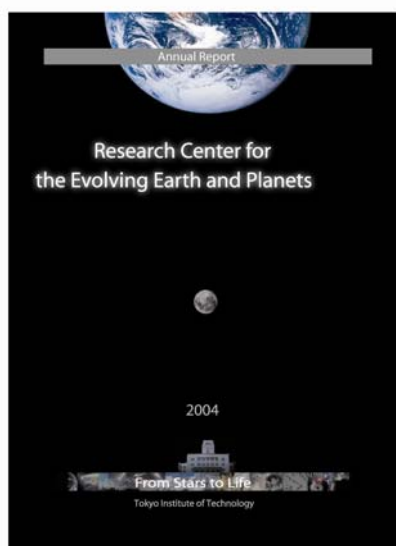
5) 国際競争力ある大学づくりへの貢献度

内外の第一線の研究者を招聘して、計9回の国際シンポジウムを開催・共催した。また、大学院生が第一級の外国人研究者と直にふれあい国際的視野を広げることを目的とし、事業推進担当者が第一線の外国人研究者を招聘し、共同研究を推進すると共に、計9科目の国際集中講義を開催した。本拠点の事業推進担当者はいずれもそれぞれの分野で高い国際評価を受けて

いたが、分野横断共同研究が始まったことで研究拠点としての国際競争力はさらに高まった。今後を担う若手研究者および大学院生の国際競争力を高める目的で以下の施策を実施してきた。1) 海外研究機関への中長期派遣(エール大学、イリノイ大学、カリフォルニア大学、コペンハーゲン大学など)、2) 海外での学会発表支援(本拠点博士課程大学院生は2年間で46回の海外学会発表を経験した)、3) RAに国際会議運営を任せ、4) 英文によるセンター年報執筆をRAにも義務付けた、5) 英語を母国語とする研究者による「英語論文執筆講座」を開催した。これらの結果、本拠点の若手研究者・RAの国際競争力は飛躍的に高まった。

6) 国内外に向けた情報発信

事業推進担当者・COE教員・RAによる英文での成果報告書「**Annual Report of the Research Center for the Evolving Earth and Planets**」を毎年作成し(各年度実績:150ページ1000部)、国内外の関連研究者に配布している。また「COE地球ホームページ」により研究成果、各種シン



ポジウム、公開講座、人事公募などの情報を発信している。高校生・大学生・社会人に向けて内容を精選した「COE地球公開講座」を計9回実施した。その内訳は、グループリーダー・事業推進担当者によるCOE地球の研究紹介(6回)を中心に、文部科学省科学技術振興調整費「理工系女性研究者プロモーションプログラム」による東京工業大学男女共同参画推進センターとの共催で、ゲスト講演者(JT生命誌研究館館長・中村桂子氏)による講演(第七回)と、日本科学未来館との共催による「アースラウンジvol.6」における2回の講

演となっている。

7) 拠点形成費等補助金の使途について(拠点形成のため効果的に使用されたか)

中国西安大学との国際共同掘削事業を実施し、世界に類を見ない連続掘削試料を採取した。計9回の国際会議を主催した。事業推進担当者への研究経費配分は必要最小限とし、若手研究者の育成支援にCOE経費の70%以上を割り当てた。RA経費、若手研究者研究費はいずれも公募制をとり、RA応募書類、研究計画書を「COE地球運営委員会」が厳正に審査している。

②今後の展望

地球史研究センターを中心に、本COEプログラムで得た地球に関する知見、および萌芽させた学際研究プログラムをさらに発展させ、生命地球惑星学を発展させる。また、急速に発展しつつある太陽系外惑星研究を取り込み、生命惑星学の一般化へと発展させる。この目的のために、「地球から地球たちへ:生命を宿す惑星の総合科学」としてグローバルCOEプログラム(GCOE)を2009年度に東京工業大学から申請中である。GCOE拠点リーダーは井田茂教授。「COE地球」の事業推進担当者から12人が引き続きGCOE事業推進担当者になるほか、連携先研究機関として東京大学から8人を含む全体で25人の事業推進担当者で組織される。

③その他(世界的な研究教育拠点の形成が学内外に与えた影響度)

東工大COE地球の生み出した新たな学問領域、生命惑星地球学への国内国外からの関心は非常に高い。一例を挙げれば、COE地球は英国の地球科学のリーダー的存在であるブリストル大学地球科学科と学生および若手研究者の相互訪問協定を結んだ。またカリフォルニア大学のD. Lin教授は東工大COEの井田茂グループリーダーと共同して、日本・アメリカ・中国・台湾・オーストラリアの惑星科学・天文学の若手研究者および大学院生の交換ネットワークをNSFに申請している。

21世紀COEプログラム 平成16年度採択拠点事業結果報告書

機関名	東京工業大学	拠点番号	K11
拠点のプログラム名称	地球：人の住む惑星ができるまで		
<p>1. 研究活動実績</p> <p>①この拠点形成計画に関連した主な発表論文名・著書名【公表】2頁以内・1研究者5件以内・主な論文3件のコピーを添付</p> <ul style="list-style-type: none"> ・事業推進担当者(拠点リーダーを含む)が事業実施期間中に既に発表したこの拠点形成計画に関連した主な論文等〔著書、公刊論文、学術雑誌、その他当該プログラムにおいて公刊したもの〕 ・本拠点形成計画の成果で、DP(ディスカッション・ペーパー)、Web等の形式で公開されているものなど速報性のあるもの <p>※著者名(全員)、論文名、著書名、学会誌名、巻(号)、最初と最後の頁、発表年(西暦)の順に記入 波下線() : 拠点からコピーが提出されている論文 下線() : 拠点を形成する専攻等に所属し、拠点の研究活動に参加している博士課程後期学生</p> <p>高橋栄一拠点リーダー</p> <p><u>Tange Y., E.Takahashi, Y.Nishihara, K.Funakoshi and N.Sata</u> Phase relations in the system MgO-FeO-SiO₂ to 50 GPa and 2000C: an application of experimental techniques using multianvil apparatus with sintered diamond anvils, J.Geophys. Res 114, B02214, doi:10.1029/2008JB005891, 2009</p> <p><u>Sakamaki K., E. Takahashi, Y. Nakajima, Y. Nishihara, K. Funakoshi T.Suzuki and Y. Fukai</u> Melting phase relation of FeHx up to 20 GPa: Implication for the temperature of the Earth's core, Physics, Earth Planet. Inter., 174, 192-201,2009</p> <p><u>N.Hirano, , E.Takahashi, J.Yamamoto, N.Abe, S.P. Ingle, I.Kaneoka, T.Hirata, J.Kimura, T.Ishii, Y.Ogawa, S.Machida, and K.Suyehiro</u> Volcanism in response to plate flexure, Science, 313,1426-1428, 2006</p> <p><u>Zhong-Yuan Ren, S. Ingle, E. Takahashi, N. Hirano, and T. Hirata</u> The chemical structure of the Hawaiian mantle plume. Nature, 436, 837-840, 2005</p> <p><u>J. Tuff, E. Takahashi and S.A. Gibson</u> Experimental constraints on the role of garnet pyroxenite in the genesis of high-Fe mantle plume derived melts. J. Petrology, 46, 2023-2058, 2005</p> <p>丸山茂徳サブリーダー</p> <p><u>Maruyama S.</u> Models on Snowball Earth and Cambrian explosion: A synopsis Gondwana Research, 14, 22-32, 2008</p> <p><u>Maruyama S.</u> Superplume, supercontinent, and post-perovskite: mantle dynamics and anti-plate tectonics on the core-mantle boundary Gondwana Research, 11, 7-37, 2007</p> <p><u>Maruyama, S. and J.G.Liou</u> From Snowball to Phanerozoic Earth. Inter. Geol. Rev., 47, 775-791, 2005</p> <p><u>Komiya, T., S. Maruyama, T. Hirata, H. Yurimoto, and S. Nohda</u> Geochemistry of the oldest MORB and OIB in the Isua Supracrustal Belt, southern West Greenland: Implication and temperature of early Archean upper mantle. The Island Arc, 13,47-72, 2004</p> <p>吉田尚弘サブリーダー</p> <p><u>Yamagishi, H., M. B. Westley, B. N. Popp, S. Toyoda, N. Yoshida, S. Watanabe, K. Koba, and Y. Yamanaka</u> Role of nitrification and denitrification on the nitrous oxide cycle in the eastern tropical North Pacific and Gulf of California, J. Geophys. Res., 112, G02015, doi:10.1029/2006JG000227, 2007</p> <p><u>Ueno, Y., K. Yamada, N. Yoshida, S. Maruyama, and Y. Isozaki</u> Evidence from fluid inclusions for microbial methanogenesis in the early Archean era. Nature, 440, 516-519, 2006 (添付論文一)</p> <p><u>Well, R., H. Flessa, F. Jaradat, S. Toyoda, and N. Yoshida</u> Measurement of isotopomer signatures of N₂O in groundwater, J. Geophys. Res., 110, G02006, doi:10.1029/2005JG000044, 2005</p> <p><u>Ogawa, M., and N. Yoshida</u> Stable isotope fractionation of nitrous oxide during thermal decomposition and reduction processes. J. Geoph., Res. Atmos., 109, doi:10.1029/2004JD004652, 2004</p> <p>井田茂サブリーダー</p> <p><u>Ida, S. and Lin, D. N. C</u> Toward a Deterministic Model of Planetary Formation.V. Accumulation Near the Ice Line and Super-Earths, Astrophys. J., 673, 487-501, 2008</p> <p><u>Ida, S. and Lin, D. N. C</u> Toward a Deterministic Model of Planetary Formation.IV.Effects of Type I Migration. V. Accumulation Near the Ice Line and Super-Earths, Astrophys. J., 673, 487-501, 2008 (添付論文二)</p> <p><u>Ida, S. and D. N. C. Lin</u> Towards a deterministic model of planetary formation. III Mass distribution of short-period planets around stars of various masses. Astrophys. J. 626, 1045-1060, 2005</p> <p><u>Ida, S. and D. N. C. Lin</u> Toward a deterministic model of planetary formation. I. a desert in the mass and semi major axis distributions of extra solar planets. Astrophys. J., 604, 388-413, 2004</p> <p>太田啓之</p> <p><u>Okazaki Y, Shimojima M, Sawada Y, Toyooka K, Narisawa T, Mochida K, Tanaka H, Matsuda F, Hirai A, Hirai MY, Ohta H, Saito K</u> A Chloroplastic UDP-Glucose Pyrophosphorylase from Arabidopsis Is the Committed Enzyme for the First Step of Sulfolipid Biosynthesis. Plant Cell, 21 892-909, 2009</p> <p><u>Kobayashi K, Awai K, Nakamura M, Nagatani A, Masuda T, and Ohta H</u> Type B Monogalactosyldiacylglycerol synthases are involved in phosphate starvation-induced lipid remodeling and are crucial for low-phosphate adaptation, Plant J, 57, 322-331, 2008</p> <p><u>Kobayashi, K, Kondo M, Fukuda H, Nishimura M, and Ohta H</u> Galactolipid synthesis in chloroplast inner envelope is essential for proper thylakoid biogenesis, photosynthesis, and embryogenesis. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 104, 17216-17221, 2007</p> <p><u>Awai, K., Kakimoto, T., Awai, C., Kaneko, T., Nakamura, Y., Takamiya, K., Wada, H., and Ohta, H.</u> Comparative Genomic Analysis Revealed a Gene for Monoglucosyldiacylglycerol Synthase, an Enzyme for Photosynthetic Membrane Lipid Synthesis</p>			

in Cyanobacteria. *Plant Physiol.* **141**, 1120-1127, 2006

廣瀬敬

Ohta, K., Onoda, S., Hirose, K., Sinmyo, R., Shimizu, K., Sata, N., Ohishi, Y., Yasuhara, A. The electrical conductivity of post-perovskite in Earth's D'' layer. *Science*, **320**, 89-91, 2008. (添付論文—3)

Hirose, K., R. Sinmyo, N. Sata, and Y. Ohishi. Determination of post-perovskite phase transition boundary in MgSiO₃ using Au and MgO pressure standards, *Geophys. Res. Lett.*, **33**, L01310, doi:10.1029/2005GL024468, 2006

Kuwayama, Y., K. Hirose, N. Sata, and Y. Ohishi. The pyrite-type high-pressure form of silica. *Science*, **309**, 923-925, 2005

Murakami, M., K. Hirose, K. Kawamura, N. Sata, and Y. Ohishi, Post-perovskite phase transition in MgSiO₃, *Science*, **304**, 855-858, 2004

Iitaka, T., Hirose, K., Kawamura, K., Murakami, M., The elasticity of MgSiO₃ post-perovskite phase at the Earth's lowermost mantle, *Nature*, **430**, 442-445, 2004

平田岳史

Iizuka, T. and T. Hirata. In-situ Hf isotopic analysis on zircons using ArF excimer laser ablation-ICP-mass spectrometry. *Chemical Geology*, **220**, 121-137, 2005

本蔵義守

Takahashi, F., M. Matsushima and Y. Honkura. Simulations of quasi-Taylor state geomagnetic field including polarity reversals on the Earth Simulator. *Science*, **309**, 459-461, 2005

長井嗣信

Nagai, T., M. Fujimoto, R. Nakamura, W. Baumjohann, A. Ieda, I. Shinohara, S. Machida, Y. Saito, and T. Mukai. Solar wind control of the radial distance of the magnetic reconnection site in the magnetotail. *J. Geophys. Res.*, **110**, A09208, doi:10.1029/2005JA011207, 2005

河村雄行

Ikeda-Fukazawa, T., K. Kawamura, and T. Hondoh. Diffusion of nitrogen gas in ice Ih, *Chemical Physics Letters*, **385**, 467-471, 2004

幸島司郎

Kohshima S, Takeuchi N, Uetake J, Shiraiwa T, Uemura R, Yoshida N, Matoba S, & Godoi MA Estimation of net accumulation rate at a Patagonian glacier by ice core analyses using snow algae. *Global and Planetary Change*, **59**, 236-244, 2007

Sekiguchi, Y., Arai, K., Kohshima, S. Sleep in continuously active dolphins. *Nature*, Vol. **441**, E9-10, 2006

Takeuchi, N., Dial, R., Kohshima, S., Segawa, T., Uetake J. Spatial distribution and abundance of red snow algae on the Harding Icefield, Alaska derived from a satellite image. *Geophysical Research Letter*. Vol.33, L21502, 2006

有坂文雄

Kostyuchenko, V.A., P.R. Chipman, P.G. Leiman, F. Arisaka, V.V. Mesyanzhinov, and M.G. Rossmann. The tail structure of bacteriophage T4 and its mechanism of contraction. *Nat Struct Mol Biol.* **12**, 810-813, 2005

Shuji Kanamaru, Yasutaka Ishiwata, Toshiharu Suzuki, Michael G. Rossmann and Fumio Arisaka. Control of Bacteriophage T4 Tail Lysozyme Activity During the Infection Process. *J. Mol. Biol.* **346**:1013-1020, 2005

江口正

Eguchi, T. Mevalonolactone-d₉; A versatile tool for biosynthetic study of isoprenoids. Synthesis and its application, *J. Synth. Org. Chem. Jpn.*, **63**, 1069-1079, 2005

渋谷一彦

Furui, E., Akai, N., Ida, A., Kawai, A., Shibuya, K., Observation of collision-induced near-IR emission of singlet oxygen O₂ a¹Δ_g generated by visible light excitation of gaseous O₂ dimol, *Chem. Phys. Lett.* **471**, 45-49, 2009

Akai, N., Kawai, A., Shibuya, K., Cryogenic Neon Matrix-Isolation FTIR Spectroscopy of Evaporated Ionic Liquids: Geometrical Structure of Cation-Anion 1:1 Pair in the Gas phase, *J. Phys. Chem. B* **113**, 4756-4762, 2009

Tsuge, M., Tsuji, K., A., Kawai, A., Shibuya, K., Infrared spectroscopy of ozone-water complex in a neon matrix, *J. Phys. Chem. A*, **111**(18), 3540-3547, 2007

小川康雄

Tank, S.B., Y. Honkura, Y. Ogawa, M. Matsushima, N. Oshiman, M. K. Tuncer, C. Celik, E. Tolak, and A. M. Isikara, Magnetotelluric imaging of the fault rupture area of the 1999 Izmit (Turkey) earthquake, *Physics of the Earth and Planetary Interior*, **150**, 213-225, 2005

木庭啓介

S. Hobara, K. Koba, T. Osono, N. Tokuchi, A. Ishida and K. Kameda. Nitrogen and phosphorus enrichment and balance in forests colonized by cormorants: Implications of the influence of soil adsorption. *Plant and Soil*, **268**, 89-101, 2005

藤本正樹

H. Hasegawa, M. Fujimoto, et al., Transport of solar wind into Earth's magnetosphere through rolled-up Kelvin-Helmholtz vortices, *Nature*, **430**, 755, 2004

塚本尚義

Nagashima, K., Krot, A. N. and Yurimoto, H. Stardust silicates from primitive meteorites. *Nature* **428**, 921-924, 2004

Yurimoto H. and Kuramoto K. Molecular cloud origin for the oxygen isotope heterogeneity in the solar system. *Science* **305**, 1763-1766, 2004

金嶋聡

Helffrich, G. and Kaneshima, S. Seismological Constraints on core composition from Fe-O-S liquid immiscibility, *Science*, **306**, 2239-2242, 2004.

横山哲也

Yokoyama, T., Walker, D. and Walker, R.J. Low osmium solubility in silicate at high pressures and temperatures. *Earth Planet. Sci. Lett.* v.279 p.165-173, 2009

Yokoyama, T., Vinai, R.K., Alexander, C.M.O'D., Lewis, R.S., Carlson, R.W., Shirey, S.B., Thiemens, M.H. and Walker, R.J. Osmium isotope evidence for uniform distribution of s- and r-process components in the early solar system. *Earth Planet. Sci. Lett.* v.259 p.567-580, 2007

②国際会議等の開催状況【公表】

(事業実施期間中に開催した主な国際会議等の開催時期・場所、会議等の名称、参加人数(うち外国人参加者数)、主な招待講演者(3名程度))

- 1) 2005年3月11日、東京工業大学大岡山キャンパス石川台2号館 (コンビナー:高橋リーダーほか)
International workshop on the Earth's Core 参加人数30名(うち外国人2名)
 招待講演者 D.Rubieバイロイト大学教授、八木健彦東京大学教授、大谷栄治東北大学教授ほか
- 2) 2005年5月20日-22日 海外職業訓練センター 幕張
The Early Earth Symposium—I 参加人数100名(うち外国人15名)(コンビナー:高橋リーダーほか)
 招待講演者 J. Kastingペンシルバニア州立大学教授、R.Claytonシカゴ大学教授、J.Lunineアリゾナ大学教授
- 3) 2005年5月24日-25日 幕張メッセ
The Early Earth Symposium—II 参加人数300名(うち外国人15名)(コンビナー:高橋リーダーほか)
 招待講演者 B.J.Woodブリストル大学教授《当時》、D.Linカリフォルニア大学教授、K.Zhanle NASA研究員ほか
- 4) 2005年10月3日-5日 東京工業大学大岡山キャンパスデジタル多目的ホールほか
The Post-Perovskite Conference 参加人数75名(うち外国人35名)(コンビナー:廣瀬ほか)
 招待講演者 R.Jeanloz カリフォルニア大学教授、唐戸俊一郎エール大学教授、J. Brodholt ロンドン大学専任講師ほか
- 5) 2006年2月28日 東京工業大学大岡山キャンパス石川台6号館 (コンビナー:高橋リーダーほか)
International Workshop“Earth's Core Formation 参加人数30名(うち外国人3名)
 招待講演者 B.J.Wood Macquarie大学教授、関根利守物質・材料研究機構主席研究員、阿部豊東京大学教授
- 6) 2006年8月27日-8月31日 米国カリフォルニア大学サンディエゴ校University of California San Diego(UCSD) (コンビナー:吉田)
The 3rd International Symposium on Isotopomers(アイソトポマーを用いた地球史環境解析に関する国際会議 略称ISI2006)
 参加人数150名(うち外国人130名) 招待講演者 R.Marcus California Institute of Technology教授、M.Johnson Copenhagen大学教授、梶原正宏明治薬科大学大学院教授
- 7) 2006年9月21日 東京工業大学大岡山キャンパス石川台6号館 (コンビナー:高橋リーダーほか)
The Core-3 : Discusson Meeting on the Earth's core
 招待講演者 G.Helffrich Bristol大学教授、田中聡JAMSTEC主任研究員、土屋卓久愛媛大学地球深部ゲノミクス研究センター准教授

COE「地球:人の住む惑星ができるまで」2004-2008の軌跡“Perspective of 2004-2008, COE21 How to Build Habitable Planets?” 下記3部構成の国際会議、いずれも於:日本科学未来館

- 8) 第1部 2008年9月28日 (コンビナー:高橋リーダー)
“Research Perspective of COE21“How to Build habitable Planets?” 参加人数201名(うち外国人46名)
 招待講演者 B.Windley Bristol大学教授、D.Yuen Minnesota大学教授、M.Thiemens UCSD教授、
- 9) 第2部 2008年9月29日-10月3日 (コンビナー:丸山)
“International symposium of “From Genome to Snowball Earth, Metazoan Evolution and Habitable Planets:Multidisciplinary Relations” 参加人数201名(うち外国人46名)
 招待講演者 R.Douglas Carnegie Institution of Washington教授、D.Evans Yale大学教授、N.Shaviv Hebrew大学教授、
- 10) 第3部 2008年10月4日- 8日 (コンビナー:吉田)
The 4th International Symposium on Isotopomers 参加人数201名(うち外国人46名)
 招待講演者 M.Thiemens UCSD教授、R.Marcus California Institute of Technology/ノーベル賞受賞者、A.Batenburg Utrecht大学教授、
- 11) 2008年10月21日-24日 栃木県日光市 (コンビナー:廣瀬)
The Post-Perovskite Conference”The Transport Properties of the Lower Mantle”参加人数65名(うち外国人35名)
 招待講演者 D.Rubie Bayerisches Geoinstitut教授、J.Francisco Sao Paulo大学教授、A.Hofmeister Washington大学教授、Y.Fei Carnegie Institution of Washington教授

高校生を含む一般人向けの公開講座を開催し、広くCOE地球プログラムの研究成果普及に努めた。

- 公開講座第1回「地球中心部への旅」「地球史46億年の旅」 高橋栄一・小宮剛 2004年10月23日 地球史資料館
 公開講座第2回「我々はどこから来たのか、我々は何者か、我々はどこへ行くのか」 丸山茂徳 2004年12月20日 百年記念館
 公開講座第3回「プラネット・ハンターになろう！」 井田茂 2005年6月27日 デジタル多目的ホール
 公開講座第4回「大気中の酸素が減っている！」 吉田尚弘 2005年12月21日 百年記念館フェライト会議室
 公開講座第5回「雪と氷の世界の生き物たち—氷河生態系と地球環境—」 幸島司郎 2007年1月31日 百年記念館
 公開講座第6回「ウィルスの世界—形・形成・感染—」 有坂文雄 2007年10月31日 百年記念館フェライト会議室
 公開講座第7回「自然・日常と向き合う科学を求めて—生命誌研究館で考える—」 中村桂子JT生命誌研究館館長
 2009年1月30日 すずかけホール

アウトリーチ(日本科学未来館共催)第1回「PLAY GROUND地球」2008年9月27日

第1部:「地球学のピース」高橋栄一・廣瀬敬・玄田英典・上野雄一郎・太田啓之・吉田尚弘・藤本正樹

第2部:「生命惑星学へのパズル」丸山茂徳・井田茂

アウトリーチ(日本科学未来館共催)第2回「LIVE GROUND地球」2008年10月4日 井田茂・鈴木謙介(国際大学グローバルコミュニケーションセンター)

2. 教育活動実績【公表】

博士課程等若手研究者の人材育成プログラムなど特色ある教育取組等についての、各取組の対象（選抜するものであればその方法を含む）、実施時期、具体的内容

COE地球では本学の理工学・生命理工学・総合理工学の3研究科、関連7専攻をまたぐ「生命惑星地球学特別教育コース」を設置し、地球惑星・生命・環境の異分野からなる教員が、専門分野を異にする大学院生に学際教育を実施し、視野の広い若手研究者を育成することに成功した。それぞれの専攻で教員と大学院生の信頼関係に基づく密接な研究指導（アカデミックマイスター主義教育）を進める一方、生命惑星地球学特別教育コースでは、学際領域をカバーする3つの特別講義（光合成生物の科学・酸素大気の化学・生命史と極限環境下の生物、計3単位）を毎年開講した。また専門分野の異なる大学院生RAが合宿形式のセミナーで相互に研究発表するCOEコロキウム1～6（計12単位）、著名な外国人研究者を招聘して行うCOE国際講義1～10（計10単位）を開講した。コースの目的はそれぞれの専門教育の上に、本COEで目指す「生命惑星地球学」への共通理解を生むことであるため、必修単位はCOEコロキウム（6単位）および特別講義・国際講義から2単位に限定して大学院生の負担を抑えた結果、毎年COE-RA全員が特別教育コースに参加した。

COE特別講義

本COEが目指す革新的学術分野「生命惑星地球学」の内容を大学院学生に伝えるため、本COEの事業推進担当者が手分けして、COE特別講義「光合成生物の科学」、「酸素大気の化学」、「生命史と極限環境下の生物」を毎年開講した。これらの特別講義は博士課程RA以外にも修士課程の大学院生、また他専攻の大学院生にも広く公開し、合計500人以上が受講した。

COE特別コロキウム

理工学研究科、生命理工学研究科、総合理工学研究科にまたがる異分野の博士課程大学院生がお互いの研究内容を理解し、分野横断研究を開始するきっかけを作るため、博士課程大学院生RA全員とCOE若手教員（特任助教）による学内および学外合宿形式でのセミナーを毎年開催した。RAを中心に大学院生が中心となって企画し、自らの研究内容を相互に発表・議論することで、分野融合的に研究を発展させていく手法を獲得することを目指した。



COE国際講義

講義と質疑も全て英語による集中講義形式の国際講義として以下の9科目を大岡山・すずかけ台の両キャンパスで開講、COE-RA以外の学生も広く受講した。

国際講義 1 2006年2月20日、21日 Bernard J.Wood・Macquarie大学教授

“Geochemistry and origin of the Earth's core”

国際講義 2 2006年9月26日、27日 George Helffrich・Bristol大学教授

“Thermodynamic controls on seismic discontinuities in the mantle and core”

国際講義 3 2008年6月3日、10日、17日、24日 James Tuff・Bristol大学講師

“How to write research papers in “good English”?”

国際講義 4 2007年9月26日、27日 George Helffrich・Bristol大学教授

“What Any Mantle Geologist Needs to Know About Seismology?”

国際講義 5 2008年7月1日、8日、15日、22日 James Tuff・Bristol大学講師

“How to write research papers in “good English”?” II”

国際講義 6 2007年10月16日、17日 Matthew S.Johnson・Copenhagen大学准教授

“Kinetic isotopomer fractionation in atmospheric chemistry”

国際講義 7 2008年9月25日、26日 Mark H.Thiemens・California大学教授

“Stable Isotope Effects: New and Old and their Applications towards understanding climate, solar system evolution, Mars, and the Origin of Life”

国際講義 8 2007年11月1日、2日 Eske Willerslev・Copenhagen大学教授 “Ancient DNA”

国際講義 10 2007年11月19日、20日 Glen R.Stewart・Colorado大学 “原始惑星系円盤・土星リングのダイナミクス”

21世紀COEプログラム委員会における事後評価結果

(総括評価)

設定された目的は十分達成された

(コメント)

拠点形成計画全体については、学内に措置研究センター「地球史研究センター」を設置するなど、拠点リーダーのリーダーシップが十分発揮される拠点形成が進められた結果、5年間に514編という論文を国際誌に発表することができ、地球惑星科学を基礎として生命・環境を学際的に研究する拠点として国際的にも高い評価を得たと評価できる。

人材育成面については、理工学研究科・生命理工学研究科・総合理工学研究科の3研究科博士課程をまたぐ「生命惑星地球学特別教育コース」を設立し、地球惑星・生命・環境の異分野からなる教員による学際教育を実施した。また、5年間に11人の特任助教と5名の博士研究員を採用し、拠点活動を研究・運営の両面から支えた。さらに延べ103人のRA（リサーチ・アシスタント）を採用し、博士課程在学者延べ79名の学生を国際学会などに参加させるなど、これらの成果は課程博士授与数53名という若手研究者の創出として評価できる。

研究活動面については、マントル最下部での結晶構造の相転移に関する発見、惑星系形成モデルの構築、マグマの起源に関する研究、国際共同掘削事業による世界で類を見ない連続掘削コアの採取とその同位体・微量元素分析による環境変動と生物絶滅/進化に関する研究などが進められ、これらの成果は514編の論文と併せ、新たな分野横断的研究として結実しつつあると評価できる。

補助事業終了後の持続的展開については、成果を継承し発展させるために、地球惑星科学・地球環境学・生命科学・天文学の国際的教育研究拠点構築が計画されており、今後、天文学・地球惑星科学・生命科学を俯瞰することのできる研究者の養成が期待される。