

21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	東京大学	学長名	小宮山 宏	拠点番号	G 0 7	
1. 申請分野	F<医学系> G<数学、物理学、地球科学> H<機械、土木、建築、その他工学> I<社会科学> J<学際、複合、新領域>					
2. 拠点のプログラム名称 (英訳名)	多圏地球システムの進化と変動の予測可能性 観測地球科学と計算地球科学の融合拠点の形成 (Predictability of the Evolution and Variation of the Multi-scale Earth System)					
研究分野及びキーワード	<研究分野:地球惑星科学>(地球惑星進化)(地球環境システム)(テクトニクス)(地球内部変動)(予測可能性)					
3. 専攻等名	大学院理学系研究科地球惑星科学専攻、地震研究所、気候システム研究センター、海洋研究所					
4. 事業推進担当者	計 25 名					
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)			
(観測リーダー) YAMAGATA Toshio 山形 俊男	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	気候力学・地球流 体力学/理学博士	計画全般の推進と調整 地球環境システム変動予測研究リーダー			
(事業推進担当者)						
NAKAJIMA Teruyuki 中島 映至	気候システム研究センター 教授	大気物理学 理学博士	国際交流プログラム担当 地球環境システム変動予測研究推進			
KIMOTO Masahide 木本 昌秀	気候システム研究センター 教授	気候力学 Ph. D.	国際シンポジウム担当 地球環境システム変動予測研究推進			
NIINO Hiroshi 新野 宏(H16.4.1追加)	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	古気候学 理学博士	地球システムCOE推進室担当 地球環境システム変動予測研究推進			
TADA Ryuji 多田 隆治	海洋研究所 教授	気象学・地球流体 力学/理学博士	大学院予測地球科学コース担当 地球システム進化予測研究リーダー			
HOSHINO Masahiro 星野 真弘	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	磁気圏プラズマ物 理学/理学博士	COE特任助教受入担当 地球環境システム変動予測研究推進			
MATSUURA Mitsuhiro 松浦 充宏	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	地震物理学・地殻 変動学/理学博士	大学院予測地球科学コース担当 地球内部システム変動予測研究リーダー			
KIMURA Gaku 木村 学	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	プレートテクトニ クス/理学博士	地球システムCOE広報・出版企画担当 地球内部システム変動予測研究推進			
IWAMORI Hikaru 岩森 光	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・准教授	マンツルダイナミ クス/理学博士	国際シンポジウム担当 地球内部システム変動予測研究推進			
TERASAWA Toshio 寺澤 敏夫(H18.3.31辞退)	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	磁気圏プラズマ物 理学/理学博士	地球システムCOE広報・出版企画担当 地球内部システム変動予測研究推進			
UTADA Hisashi 歌田 久司	地震研究所 教授	地球電磁気学 理学博士	地球システムCOE推進室担当 地球内部システム変動予測研究推進			
FUKAO Yoshio 深尾 良夫(H16.3.31辞退)	地震研究所 教授	グローバル地震学/理 学博士	地球内部システム変動観測研究推進 戦略シンポジウム企画・開催担当			
KURITA Kei 栗田 敬(H16.4.1追加)	地震研究所 教授	地球惑星システ ム/理学博士	地球内部システム変動観測研究推進 国際シンポジウム担当			
OKUBO Shuhei 大久保 修平	地震研究所 教授	測地学・固体地球 力学/理学博士	地球内部システム変動観測研究推進 大学院予測地球科学コース担当			
HIRATA Naoshi 平田 直	地震研究所 教授	地震学 理学博士	COE特任助教受入担当 地球内部システム変動観測研究推進			
KAWAKATSU Hitoshi 川勝 均	地震研究所 教授	グローバル地震学 Ph. D.	国際交流プログラム担当 地球内部システム変動観測研究推進			
TAKEO Minoru 武尾 実	地震研究所 教授	地震学 理学博士	地球システムCOE広報・出版企画担当 地球内部システム変動観測研究推進			
HAMANO Yozo 濱野 洋三(H19.3.31辞退)	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	地球惑星ダイナミ クス/理学博士	COE特任助手受入担当 地球システム進化予測研究推進			
NAGAHARA Hiroko 永原 裕子	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	岩石学・惑星科学 理学博士	地球システム進化予測研究推進 大学院予測地球科学コース担当			
TANABE Kazushige 棚部 一成	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	地球生命圏進化学 理学博士	国際シンポジウム担当 地球システム進化予測研究推進			
TAJIKI Eiichi 田近 英一	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・准教授	地球惑星システ ム科学/理学博士	大学院予測地球科学コース担当 地球システム進化予測研究推進			
COFFIN, Millard F. コフィン ミラード(H19.12.31辞退)	海洋研究所 教授	海洋底テクトニク ス/Ph. D.	国際交流プログラム担当 地球システム進化予測研究推進			
TAMAKI Kensaku 玉木 賢策(H16.2.16辞退)	海洋研究所 教授	海洋底テクトニクス/ 理学博士	地球システムCOE推進室設立担当 地球システム進化予測研究推進			
ABE Ayako 阿部 彩子(H17.3.1追加)	気候システム研究センター 准教授	気候力学・古気候モデ リング/理学博士	国際シンポジウム担当 地球環境システム変動予測研究推進			
HIBIYA Toshiyuki 日比谷紀之(H18.4.25追加)	大学院理学系研究科 (地球惑星科学専攻)・教授	海洋力学・海洋波動理 論/理学博士	地球システムCOE広報・出版企画担当 地球環境システム変動予測研究推進			
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)	1 5	1 6	1 7	1 8	1 9	合 計
交付金額(千円)	154,000	155,000	152,000	158,540 (15,854)	160,000 (16,000)	779,540 (31,854)

6. 拠点形成の目的

本拠点がカバーする地球惑星科学は、固体地球とそれを取り巻く大気・海洋及び惑星間空間の変動メカニズムを理解し、太陽系の形成から現在に至る地球、惑星、生命の進化の歴史を明らかにするとともに、地球システムの未来変動予測を究極の目的とする、人類社会にとって不可欠の学問分野である。

本拠点形成の目的は、地球進化のプロセスの必然性と偶然性の検証の上に立って、時空間スケール及び支配法則の異なる諸過程が複雑に絡み合う多圏地球システムの未来変動予測可能性の探求を効果的に推進するための先端的研究教育体制を構築することにある。本拠点の特色は、過去の地質データの解析に基づく実地球史の復元と理論モデル計算による仮想地球史の再現の比較研究を通じて現在の地球システムの安定 / 不安定性を検証し、その検証の上に立って、国内外に展開してきた「マルチスケール観測網」を活用した地球変動研究と「地球シミュレータ」等を活用した大規模シミュレーションを融合し、地球システムの未来変動の予測可能性を明らかにする点にある。これは、世界的にも初めての、21世紀の地球惑星科学が人類社会の存亡をかけて挑戦すべき重要課題であり、国際的な研究教育拠点の形成を通じて、国内外の先端的研究者を結集すると同時に、次の世代を担う若手研究者の継続的な育成を推進する必要がある。

支配法則の異なる多様なサブシステムが複雑に相互作用する多圏地球システムの進化の歴史と変動メカニズムを明らかにし、未来を予測するためには、一つの共通理念の下に観測地球科学と計算地球科学を融合し、フィールド調査・観測からモデリング・シミュレーションまでの多様な研究手法を総動員する必要がある。本拠点は、その研究分野においても研究手法においても地球惑星科学の全体をカバーしている。地球 / 惑星系を一つのシステムとして総合的に理解し、その変動の未来を展望 / 予測することで人類の生存のための将来設計に寄与するという、地球科学に課せられた使命を果たすための研究教育拠点を形成する上で、地球惑星科学専攻を構成する基幹講座(理学系研究科)と地震研究所、気候システム研究センター及び海洋研究所の協力講座が連携して一体となった本拠点は、日本だけでなく、学術を通して世界に貢献すると期待される。

本拠点形成の研究面での取り組みとしては、国内外のPDクラス若手研究員のプロジェクト参加を可能にするCOE特任研究員制度の整備、海外の拠点研究

機関(UCLA(米)、IPGP(仏)、SNU(韓)、北京大(中)、UQL(豪)等)との国際交流プログラムによる共同研究の推進、及び定期的な国際ワークショップ及びシンポジウムによる研究活性化と情報発信を行う。また、教育に関する新たな取り組みとしては、国際交流プログラムの推進によるPDクラス若手研究者の育成を図ると共に、大学院博士課程に地球進化と未来変動予測に関する新コース「予測地球科学」を設け、次世代を担う若手研究者の継続的な育成を図る。

具体的には以下を目標とする。

< 研究面での目標 >

- (1)地球進化と変動及びその未来予測に関する世界的レベルの先端的研究体制の確立
- (2)地球史に重大な影響を及ぼした大規模変動の要因分析とそれに基づく予測可能性の検証
- (3)西太平洋域におけるプレート運動と地震活動と火山活動の相互作用及び連鎖のメカニズムの解明
- (4)大規模シミュレーションによる過去の固体地球変動の再現と未来の地殻活動の予測可能性の検証
- (5)大規模シミュレーションによる地球環境システムの敏感度及び変動特性の評価と予測可能性の検証

< 教育面での目標 >

- (1)大学院博士課程「予測地球科学」コースによる体系的教育システムの確立と次世代研究者の創出
- (2)若手研究者(特任研究員)のプロジェクト研究参加による主導的研究者へのレベルアップ
- (3)海外の拠点研究機関と連携した国際交流プログラムによる世界レベルの若手研究者の創出
- (4)観測地球科学と計算地球科学の融合を図ることのできる広い視野を持った研究者の創出

7. 研究実施計画

本研究計画では、まず、a)地質データに基づく実地球史の復元と理論モデル計算による仮想地球史の再現の比較研究から地球進化の偶然性と必然性を明らかにし、現在の地球システムの安定 / 不安定性を定量的に検証する。次に、その安定 / 不安定性の検証の上から、b)地球内部システム変動及び c)地球環境システム変動に関する膨大な観測データと高度な物理モデルを統合した大規模シミュレーションを行い、地球システムの未来変動予測可能性を明らかにする。各サブテーマの具体的研究内容を以下に示す。

a)地球システムの進化と予測可能性

地球進化 45 億年の歴史は、高温状態にあった原始地球の冷却の歴史であるが、それは一方向性の単調なものではなく、地球システムの各圏(大気圏、生命圏、地殻、マントル、コア)に内在する要因と各圏間及び外界との相互作用が引き起こす大規模な変動を幾度となく経験してきた。我々人類の未来を見通すには、地球史上に記録されているこうした大規模変動のメカニズムを明らかにし、その予測可能性を定量的に検証する必要がある。このような観点に立って、地球史における大規模変動の地球物理学的・地質学的な証拠に基づく復元とシミュレーション研究を有機的に結びつけ、地球システムの安定性 / 不安定性を支配する要因、変動現象の偶発性と必然性を明確にし、未来予測につながる法則を抽出する。

具体的には、(1)これまでの太陽系始原物質等を用いた実証的研究の成果から初期条件を設定し、地球進化過程のシミュレーション研究と組み合わせて、地球そのものの固有性と一般性を分別する。(2)地球進化過程で発生した大規模変動、特に地球史上何度も観測される全球規模の表層環境変化と回復過程、超大陸の形成・分裂過程について、表層に残された証拠に基づく復元結果とシミュレーション結果を比較して「予測可能性」検証の観点から再構成し、その物理化学メカニズムと外部擾乱などの確率的要因が果たす役割を解明する。

b)地球内部システムの変動と予測可能性

地球内部の変動は、地球深部の熱エネルギーの地表への流れによって支配されている。地球内部の熱的非平衡状態が作る重力不安定は、コアやマントルに対流運動を引き起こす。コアの電磁流体運動は地球磁場を生成する。一方、マントルの対流運動は、その地表への現れであるプレート運動を介して、地震・火山活動や造山運動などの地殻活動を引き起こす。このように

時間・空間スケールの異なる様々な変動現象のメカニズムとその相互作用を、マルチスケール地球観測研究により固液複合系のダイナミクスとして体系的に理解すると共に、その成果を変動現象のモデル化に反映させ、観測データと高度な理論モデルを統合した大規模シミュレーションによる地球内部システムの過去の変動の再現と未来変動予測を行う。

具体的には、(1)地震研究所がマルチスケール観測網を展開する西太平洋域に焦点を当て、太平洋プレートの運動とプレート間地震の発生と火山噴火活動の相互作用と連鎖のメカニズムを解明する。(2)実環境に近い条件下での全地球規模の三次元コア・マントル対流シミュレーションにより、地球磁場の生成・変動・逆転メカニズムの解明とマントル対流 / プレート運動の再現を試みる。地球表層部の変動現象に関しては、プレート沈み込み帯の日本列島域とプレート衝突帯のヒマラヤを比較対照しながら、大規模シミュレーションによる過去の造山運動や地震・火山活動の再現を通じて、未来の地殻活動の予測可能性を明らかにする。

c)地球環境システムの変動と予測可能性

大気圏・水圏・雪氷圏・生命圏から成る地球表層環境システムは、太陽放射エネルギーの支配下で複雑に進化・変動し日々活発な活動を行っている。各圏の多様な素過程と、それらの相互作用が内包する高度の非線型性ゆえに、この表層システムの変動はカオス的である。地球温暖化予測に代表されるように、地球表層環境システムの未来変動予測は極めて先端的なテーマであり、社会のニーズも高い。21世紀においては、人為的要因がトリガーとなって急激な気候変化を起こす可能性も出てきた。そこで本サブテーマでは、地質データや地球観測データとモデル研究のシナジーを通して様々な時間スケールにおける特徴的な変動現象を抽出し、その安定性と多重解の可能性を探る。

具体的には、(1)気候システム研究センターが開発してきた全球気候モデルを高度化して、氷期・間氷期サイクルや小氷期などの地球表層環境史をシミュレーションで再現し、古環境プロキシデータ及び観測データの解析に基づいて検証する。(2)開発中の超高解像度大循環モデルを完成させ、これと地球観測衛星データや広域現場観測データを融合させた大規模な地球気候変動シミュレーションを行い、過去・現在・未来の地球気候システムの敏感度やエルニーニョ、ダイポールモードなどの気候変動特性とその未来予測可能性を明らかにする。

8. 教育実施計画

a) 大学院博士課程「予測地球科学」コースの新設

本拠点の母体である地球惑星科学専攻では、現在、修士課程の学生を対象に一般基礎科目と専門基礎科目から成るカリキュラムを組み、地球科学者として必要とされる広範な基礎知識の修得を目指した教育を行っている。専門基礎科目では、大気海洋科学、宇宙惑星科学、地球惑星システム科学、固体地球科学及び地球生命圏科学の各専門分野の基礎教育を行っている。時空間スケール及び支配法則の異なる諸過程が複雑に絡み合う多圏地球システムの進化と未来変動予測可能性を探求するためには、一つの共通理念の下に観測地球科学与計算地球科学を融合し、フィールド調査・観測からモデリング・シミュレーションまでの多様な研究手法を複合的に用いる必要がある。そこで、本拠点が目指す研究分野を担う次の世代の人材を継続的に育成するため、修士課程での専門基礎教育をベースに、博士課程に地球進化と未来変動予測に関する新コース「予測地球科学」を以下のように設け、国内外の先端的研究者による体系的な教育を行う。

大学院博士課程「予測地球科学」コースの概要：

(1) 平成16年度開設

- ・平成15年9月までにカリキュラムを定め、12月に学生募集、平成16年2月に選考
- ・外国からの博士課程入学希望者を積極的に募集し、国際性を高める。

(2) カリキュラムの概要と教官団の構成(推進担当者を中心に国内外の研究者を招聘して教官団を構成)

- ・特別講義COEレクチャーシリーズの開講(国内外の指導的研究者による短期集中講義)
- ・先端的計算機リテラシー教育の充実(授業・演習科目の設置/COE特任教員の雇用)
- ・科学英語教育の充実(演習科目の設置/外国人授業アシスタントの雇用)
- ・マルチスケール観測地球科学の体系的教育とモデル/データ・シンセシス教育の充実

(3) 国際交流プログラムによる海外インターンシップの導入(平成15年度試行、16年度以降本格運用)

- ・博士課程の学生を海外の拠点研究機関へ短期(1ヶ月程度)派遣

(4) 本コースの4年間の講義をまとめた「予測地球科学」の教科書シリーズを出版(平成19年度)

b) 海外拠点研究機関との国際交流プログラムの推進

多圏地球システムの進化と未来変動予測可能性に関する世界レベルの先端的研究教育拠点を形成するために、海外の拠点研究機関(カリフォルニア大学(米国)、ソウル大学(韓国)、北京大学(中国)、クイーンズランド大学(オーストラリア)、パリ地球物理学研究所(フランス)、スイス工科大学(スイス)等)と連携して国際交流プログラムを推進し、大学院博士課程学生及びPDクラス若手研究者の育成を図る。国際交流プログラムには、共同研究を通じてのシニア研究者・教官の相互交流も含まれるが、以下では主に若手研究者の育成という面に限定して、その概要を述べる。

海外拠点研究機関との国際交流プログラムの概要：
PDクラス若手研究者を国際的共同研究に積極参加させることで国際経験豊かな主導的研究者に育成
博士課程の学生を対象とする海外インターンシップの実施(前述)

海外拠点研究機関と連携した博士課程の学生を対象とする海外調査・観測実習(平成16年度以降)
海外拠点研究機関の先端的研究者を特任教授・助教授として招聘(講義・セミナーを通じた国際教育)

c) 研究人材等の創出見込み

拠点形成の一環としてこのような教育計画を着実に実施することにより、以下のような成果と研究人材の創出が期待される。

(1) 大学院博士課程「予測地球科学」コースによる体系的教育システムの確立と国際交流プログラムのインターンシップ制度により、多圏地球システムの進化と未来変動予測可能性の探求を目指す次世代の国際的研究者が、平成18年度以降毎年6名程度輩出することになる。この中には、若干名の外国人研究者が含まれると期待される。

(2) 国内外のPDクラス若手研究員のプロジェクト参加により、5年間で凡そ10~15名程度の国際性豊かな先端的若手研究者(外国人を含む)が育成されると期待される。

9. 研究教育拠点形成活動実績

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

研究活動においては6.「拠点形成の目的」に掲げた<研究面での目標>(1)~(5)について全て目的を十分達成した。

教育活動においては6.「拠点形成の目的」に掲げた<教育面での目標>(2)~(4)については全て目的を十分達成したが、(1)については概ねその目的を達成したものの、計画された「予測地球科学」用教科書の執筆が、人事異動などで遅れ、完成しなかったため、その達成度は十分ではなかった。

2) 人材育成面での成果と拠点形成への寄与

教育研究上、きわめて有効であることが確認されている海外インターンシップについては、合計29名の大学院生を世界各地の研究機関に派遣した。一方、博士課程の優秀な大学院生拠点形成アシスタントとして毎年四十数名を採用し、「予測地球科学」コースのコアとなる大学院生として、その先端的な研究活動を支援した。

また年に数回の国際シンポジウム・ワークショップなどを開催し、国内外の指導的な研究者を招聘することによって、若手研究者や大学院生と直接討論するという貴重な場を提供した。また、COE特任助教に専攻内の関連セミナーや演習などを担当させるなど、大学院教育に主体的に関与させることで、その指導性の涵養に努めた。その結果国際性豊かな若手研究者の育成に成功した。

双方向の遠隔講義システムを用いて、本郷地区で行う科学英語教育を地理的に離れた部局に発信することにより、多大な教育効果を挙げることができた。

3) 研究活動面での新たな分野の創成や、学術的知見等

- ・ 日本列島域の地殻活動シミュレーションモデルを開発し、大地震発生の予測可能性を定量的に検証した。
- ・ 現実的な氷期間氷期サイクルの再現にほぼ成功した。また氷期や現在より暖かい時代などの詳細な数値実験を大気海洋結合大循環モデルを用いて実施した。
- ・ 大陸衝突帯のヒマラヤと対比させ、プレート沈み込み帯の地殻変形メカニズムを解明した。
- ・ 地震・電磁気の観測・室内実験を通じて、マン

トル内の水の分布およびマントルダイナミクスに果たす役割を解明した。

- ・ 重力観測による火山体内のマグマ頭位決定に成功し、固体地球内部の流体の分布・移動の研究に貢献した。
- ・ 数百年スケールの気候変化をシミュレートする世界最高解像度の気候モデルを開発し、20世紀気候の再現実験並びに21世紀の温暖化予測実験を完了した。その結果日本付近の地域気候の将来についての知見や20世紀最後の温暖化が人間活動によるとする結果を発表した。
- ・ エルニーニョ現象は年変動のENSOモードと経年的なENSOの二つから構成されることを発見した。両者の強弱により、エルニーニョ現象の伝播特性の10年スケールの変化を初めて説明した。
- ・ 原生代初期の全球凍結現象に関して、北米で現地調査・試料採取/分析を行い、メタンの大量放出による急激な温暖化が、全球凍結からの脱出を引き起こしたことを明らかにした。
- ・ 白亜紀のアジアにおける砂漠の緯度分布および古風系変動を野外調査に基づいて復元し、現在よりやや温暖だった白亜紀後期には、ハドレー循環が現在よりも高緯度まで拡大したが、更に温暖であった白亜紀中期には、逆にハドレー循環が現在よりも低緯度側に縮小した可能性を示した。テクトニクスと気候変動の相互作用を明らかにする目的で、中国内陸部の調査を行い、約460万年前のチベット北縁の隆起の時期と、タリム盆地の乾燥化、タクラマカン砂漠の形成と時期が一致していることを明らかにした。
- ・ 跡津川断層域を中心に屈折・広角反射法地震探査を実施し、断層深部延長の下部地殻強度弱化モデルを高度化する上で非常に重要な知見を得た。
- ・ 中国地震局地質研究所と共同で実施した鮮水河断層におけるGPS観測によって、6.8mm/yr程度の左横ずれの変位速度場を得ることができた。
- ・ 地球ダイナモの数値シミュレーションを行い、レイリー数がある閾値を超えると双極子的磁場構造から非双極子的カオスダイナモへの遷移が起こること、さらに、その閾値は加熱モードの違いに依存し、特に、下部加熱が主である場合、より低いレイリー数で磁場構造が不安定になることを明らかにした。
- ・ 日本列島域の地殻活動予測に向け、プレート境

界での準静的応力蓄積 動的破壊伝播 地震波動伝播の連成シミュレーションに初めて成功した。

- ・地震 CMT データ及び GPS データを逆解析して日本列島域の地殻応力状態及びプレート境界面の固着状態を明らかにした。
- ・鮮新世のように永年エルニーニョ / 永年ダイポールモードが現れる気候下では、熱帯域で海洋が大気から吸収する熱が減少するとともに、中緯度に輸送されて大気に放出される熱が減少することを大循環モデルによるシミュレーションから定量的に明らかにした。

4) 事業推進担当者相互の有機的連携

本COEを構成する関連4部局に所属する事業担当者の専門分野を越えた有機的連携の強化を推進する過程で、マルチスケール地球システムモデル(MUSES: Multi-Scale Earth System Model)の開発計画を誕生させた。地球内部の固体系モデルと表層環境の大気・海洋・雪氷・植生モデルを結合した多圏モデルで、国際的にも例を見ない。さらに、氷期・間氷期における氷床の空間的広がりを推定すべく、氷床モデルに粘弾性地球変形モデルを結合させたシミュレーションプログラムを開発した。

5) 国際競争力ある大学づくりへの貢献度

以下のような貢献度の高い諸事業を遂行した。

- ・外国人授業アシスタントを複数採用し、地球科学英語教育を実行。
- ・院生の海外インターンシップ制度を導入。
- ・海外の指導的研究者を招聘し多圏地球COE特別講義シリーズを開催。
- ・海外拠点研究機関との国際交流プログラムを推進。
- ・海外拠点研究機関と連携した海外調査・観測実習を実施。
- ・COE国際ワークショップを12回開催。

6) 国内外に向けた情報発信

以下の方法で情報を発信した。

- ・多圏地球独自のCOEホームページを開設。(日英両国語)。
- ・国内向けのニュースレターを年2回発行し、関連教育・研究機関に送付。
- ・国際的に著名な研究者を招聘し、国際シンポジウム/ワークショップを公開で開催。その内容を冊子に纏め国内外の関連教育・研究機関に送付すると共

にPDFファイルでホームページにも掲載。

- ・地球惑星科学合同大会に毎年ブースを設置して研究・教育内容を紹介。
- ・メディアを活用したアウトリーチ。

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)

初年度(H15)の補助金のうち約50%は設備備品に投資された。設備の内、特に「四次元シミュレーション可視化システム」と「計算機リテラシー教育用PCクラスター」はその後の教育に大きな力を発揮した。また2年度以降(H16-H19)は毎年人件費が60%を占めた。その大部分は拠点形成アシスタントと特任研究員などへの給与であった。

国際的に活躍し得る若手の研究者が輩出した結果を見ると、補助金の使い方は極めて効果的であったと結論付けられるであろう。

今後の展望

研究面においては、日本気象学会、日本海洋学会、日本火山学会、日本地震学会、日本地球化学会の賞を、本COE拠点関係者が数回受賞していることからもわかるように、今後とも国内の関連学会において高く評価されることが期待される。国際的にも山形拠点リーダーによる、本COE拠点形成のコンセプトに沿った海洋力学と気候力学に関する研究が、全米気象学会・スベルドラップ金メダルを受賞した事実が示すように、今後、研究面での国際的な評価は一層高まることが期待される。

教育面においては、本拠点形成の一環として、理学系研究科地球惑星科学専攻の博士課程に「予測地球科学」コースを設け、先端的計算機リテラシー教育、科学英語教育、COE特別講義シリーズ等を中心とする体系的教育の充実を図ってきた成果は、例えばAGUのOutstanding Student Paper Awardの受賞として現れているが、今後国際競争力を身につけた若手の研究者が育成されると予想される。

また、GPSを用いた津波計測システムの開発と実用化で、国土技術開発賞・最優秀賞(H16年10月)を日立造船と共同受賞するなど、産官学連携の視点からも評価を受けており、さらに社会貢献：地球温暖化予測や地震・火山噴火予知の基礎研究を通じ、社会貢献への期待も一層高まっている。

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)

- ・ 「地球システム変動の予測可能性の探求」という拠点形成の目的は、東京大学新聞の記事「地球変動の予測は可能か」(2003.9.23)や朝日新聞の記事「地球科学研究最前線」(2004.1.30)で採りあげられ、21世紀の地球科学が目指す新しい方向として高く評価された。
- ・ 駿台フロンティア(Vol.1,2004)掲載の記事「46億年の地球の進化を解明し未来の地球像を描く壮大な取り組み」やリクルート進学ネット(2004.6.10)掲載の情報「多圏地球システムの進化と変動の予測可能性」は、大学受験生に対して地球惑星科学の新たな魅力を伝える効果があった。
- ・ 東京大学学内広報(2004.2.12)の21世紀COE国際シンポジウム「多圏地球システムの進化と変動の予測可能性」についての紹介記事や2004年5月開催の地球惑星科学関連学会合同大会展示ブースでのCOEプロジェクトの紹介は、前述の東京大学新聞の記事と併せて、大学院修士課程受験生に地球惑星科学の魅力を再認識させた。その結果として、平成17年度の本専攻修士課程入学希望者数は例年の1.5倍に達した。
- ・ 大学院博士課程に設けた「予測地球科学」コースの科学英語教育については、担当者へのインタビュー記事(Yomiuri Weekly, 2004.5.30)の中で紹介されるなど、注目を集めた。
- ・ 初年度に購入した「4次元可視化装置」による大規模シミュレーション結果のデモンストレーションは、東京大学オープンキャンパス(2004年7月)や模擬授業(2004年12月)で本専攻を訪問した高校生達に強いインパクトを与え、地球惑星科学における計算機シミュレーションの重要性を瞬時に認識させる効果があった。
- ・ 副読本「地球惑星システム」を東大出版会から2004年に刊行し、地球惑星科学を志望する学内外の学生に本拠点の基本コンセプトを判りやすく解説した。
- ・ 地球環境と生命の共進化を一般向けに分かりやすく解説したNHKスペシャル「地球大進化」の監修に、本専攻の田近・阿部両准教授が専門家として深く携わり、地球と生命が辿ってきた歴史の啓蒙活動に貢献した。

21世紀COEプログラム 平成15年度採択拠点事業結果報告書

機 関 名	東京大学	拠点番号	G 0 7
拠点のプログラム名称	多圏地球システムの進化と変動の予測可能性—観測地球科学と計算地球科学の融合拠点の形成—(Predictability of the Evolution and Variation of the Multi-scale Earth System)		
<p>1. 研究活動実績</p> <p>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】</p> <p>・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〕</p> <p>・本拠点形成計画の成果で、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> <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</p> <p>波下線（_____）：拠点からコピーが提出されている論文</p> <p>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>Abe-Ouchi, A., S. Segawa, and F. Saito, Climatic Conditions for modelling the Northern Hemisphere ice sheets throughout the ice age cycle, <i>Climate of the Past</i>, 3, 423-438, 2007.</p> <p>Hibiya, T. and M. Nagasawa, Latitudinal dependence of diapycnal diffusivity in the thermocline estimated using a finescale parameterization, <i>Geophysical Research Letters</i>, 31, L01301, 2004, doi:10.1029/2003GL017998.</p> <p>Isaac A. H., J. L. Kirschvink, E. Tajika, R. Tada, Y. Hamano, and S. Yamamoto, A negative fold test on the Lorrain Formation of the Huronian Supergroup: Uncertainty on the paleolatitude of the Paleoproterozoic Gowganda glaciation and implications for the great oxygenation event, <i>Earth and Planetary Science Letters</i>, 232, 315-332, 2005.</p> <p>Kawakatsu, H. and S. Watada, Seismic evidence for deep-water transportation in the mantle, <i>Science</i>, 316(5830), 1468-1471, 2007, doi: 10.1126/science.1140855.</p> <p>Kido, Y., I. Minami, R. Tada, K. Fujine, T. Irino, K. Ikehara and J.-H. Chun, Orbital-scale stratigraphy and high-resolution analysis of biogenic components and deep-water oxygenation conditions in the Japan Sea during the last 640 kyr, <i>Palaeogeography, Palaeoclimatology, and Palaeoecology</i>, 247(1-2), 32-49, 2007, doi: 10.1016/j.palaeo.2006.11.020.</p> <p>Kimoto, M., Simulated change of the east Asian circulation under global warming scenario, <i>Geophysical Research Letters</i>, 32, L16701, 2005, doi:10.1029/2005GL023383.</p> <p>Lembege, B., J. Giacalone, M. Scholer, T. Hada, M. Hoshino, V. Krasnoselskikh, H. Kucharek, P. Savoini and T. Terasawa, Selected Problems in Collisionless Shock Physics, <i>Space Science Review</i>, Vol.110, 161-228, 2004.</p> <p>Nakajima, T., S.-C. Yoon, V. Ramanathan, G.-Y. Shi, T. Takemura, A. Higurashi, T. Takamura, K. Aoki, B.-J. Sohn, S.-W. Kim, H. Tsuruta, N. Sugimoto, A. Shimizu, H. Tanimoto, Y. Sawa, N.-H. Lin, C.-T. Lee, D. Goto and N. Schutgens, Overview of the Atmospheric Brown Cloud East Asian Regional Experiment 2005 and a study of the aerosol direct radiative forcing in east Asia, <i>Journal of Geophysical Research (Atmospheres)</i>, 112(D24), D24S91, 2007, doi: 10.1029/2007JD009009.</p> <p>Nakamura, Y., T. Noguchi, T. Tsuji, S. Itoh, H. Niino and T. Matsuoka, Simultaneous seismic reflection and physical oceanographic observations of oceanic fine structure in the Kuroshio Extension Front, <i>Geophysical Research Letters</i>, 33, L23605, 2006, doi:10.1029/2006GL027437.</p> <p>Qu, T., Y. Kim, M. Yaremchuk, T. Tozuka, A. Ishida and T. Yamagata, Can Luzon Strait Transport Play a Role in Conveying the Impact of ENSO to the South China Sea?, <i>Journal of Climate</i>, 17, 3644-3657, 2004.</p> <p>Sato H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, T. Iwasaki, T. Ito, K. Kasahara, T. Ikawa, S. Abe, T. Kawanaka, M. Matsubara, R. Kobayashi and S. Harder, Earthquake source fault beneath the Tokyo, <i>Science</i>, 309 (5737), 462-464, 2005.</p>			

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. **International Symposium: Predictability of the Evolution and Variation of the Multi-scale Earth System**
(平成15年度COE国際シンポジウム)
開催時期: 2004年1月8~9日、場所: 東京大学山上会館、参加人数: 約190人(うち外国人25人)
主な招待講演者: Joseph L Kirschvink, Syukuro Manabe, David Yuen, Wolfgang Baumjohann, Mikhail A. Fedonkin
2. **International Workshop on Evolution and Predictability of Earth System**
(平成16年度第1回COE国際ワークショップ)
開催時期: 2004年7月9日、場所: 東京大学総合研究博物館講義室、参加人数: 約80人(うち外国人6人)
主な招待講演者: Peter Clift, John Chappell, Tezer Esat, Patrick De Deckker, David Dettman
3. **Joint Seminar between IGP-ERI-IFREE on Earth Sciences**
(パリ地球物理研究所・東大地震研究所 共同セミナー)
開催時期: 2004年7月12~13日、場所: パリ・サモールキャンパス、参加人数: 40人(うち外国人22人)
主な招待講演者: J.-P. Vilotte, P. Lognonne, M. Takeo
4. **International Workshop on Geodynamics: Observation, Modeling, and Computer Simulation**
(平成16年度第2回COE国際ワークショップ)
開催時期: 2004年10月14~16日、場所: 東京大学山上会館・地震研究所、参加人数: 90人(うち外国人31人)
主な招待講演者: John Rundle, Paul. E. Tapponier, Zhengkang Shen, Peter Mora, Geoffrey Fox
5. **International Workshop on Variability and Predictability of the Earth Climate System**
(平成16年度第3回COE国際ワークショップ)
開催時期: 2005年1月26~27日、場所: 東京大学山上会館、参加人数: 90人(うち外国人18人)
主な招待講演者: George Philander, Paul Valdes, In-Sik Kang, Shang-Ping Xie, Zhengyu Liu, Masa Kageyama
6. **The 21st Century Earth Science COE Program Seminar (COE国際小研究会)**
開催時期: 2005年3月3日~5日、場所: 東京大学理学部1号館、参加人数: 約30人(うち外国人4人)
主な招待講演者: N. Ganyushkina, Lev Zelenyi, Wolfgang Baumjohann, Manfred Scholer
7. **International Symposium on Predictability of the Evolution and Variation of the Multi-scale Earth System**
(平成17年度COE国際シンポジウム)
開催時期: 2005年9月21日~22日、場所: 東京大学山上会館、参加人数: 約140人(うち外国人21人)
主な招待講演者: Toshiro Tanimoto, William B. Moore, Soon-Il An, Osni Marques, Seong-Joong Kim, Michel Crucifix
8. **Ad hoc Workshop on Variability and Predictability of the Earth Climate System (COEミニワークショップ)**
開催時期: 2006年3月14日~15日、場所: 東京大学理学部1号館、参加人数: 約30人(うち外国人約5人)
主な招待講演者: Yign Noh, Soon-Il An, Seong-Joong Kim
9. **International Workshop on Tectonics of Plate Convergence Zones: Toward the Seamless Understanding from Earthquake Cycles to Geomorphic Evolution (平成18年度第1回COE国際ワークショップ)**
開催時期: 2006年9月28日~29日、場所: 東京大学理学部小柴ホール、参加人数: 約80人(うち外国人19人)
主な招待講演者: Philip England, Qi Wang, Jean-Philippe Avouac, Kerry Sieh, Ian Shennan, Kelin Wang, Mian Liu, Sean D. Willett, Niels Hovius, Shuanggen Jin, Xiong Xiong
10. **International Workshop on Turbulence in the Ocean, Atmosphere, and Space**
(平成18年度第2回COE国際ワークショップ)
開催時期: 2007年1月15日、場所: 東京大学医学部鉄門記念講堂、参加人数: 約80人(うち外国人9人)
主な招待講演者: Richard J. Greatbatch, Michael C. Gregg, Timothy J. Dunkerton, Bruce Tsurutani
11. **International Symposium on Predictability of the Evolution and Variation of the Multi-scale Earth System**
(平成19年度COE国際シンポジウム)
開催時期: 2007年12月3日~4日、場所: 東京大学山上会館、参加人数: 約130人(うち外国人10人)
主な招待講演者: Joseph L. Kirschvink, Syukuro Manabe, Axel Timmermann, Ping Chang, Pascal Tarits
12. **HPC教育に関するワークショップ**
開催時期: 2008年2月28日、場所: 東京大学理学部1号館、参加人数: 約30人(うち外国人1人)
主な招待講演者: Osni Marques, 蔭山聡

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

(1)平成16年度から大学院博士課程「予測地球科学」コースを開設し、地球進化と未来変動予測に関する体系的教育を通じて、国際的レベルの若手研究者の育成に取り組んだ。

- ・ 予測地球科学コースは、大気海洋、宇宙惑星、地球惑星システム、固体地球、地球生命圏の5研究分野を横断する博士課程の教育コースとして設定されている。
- ・ コースの学生は上記5研究分野の博士課程に所属する次の者で構成される。
 - a) 拠点形成アシスタント(第I種)
 - b) 拠点形成アシスタント(第II種)
 - c) COE 推薦の学振特別研究員(DC1名)
 - d) 学振特別研究員(DC)の内の希望者
- ・ 平成16年度開講科目：並列計算プログラミング(中島COE特任准教授)、先端計算機演習 I&II(中島COE特任准教授)、科学英語演 I(ゲラー教授、外国人授業アシスタント)、多圏地球COE特別講義 I(地球進化と気候変動/John Chappell 教授他)、II(地球の初期進化/Stephane Labrosse 博士)、III(エルニーニョと古気候のダイナミクス/Samuel Philander 教授)、IV(地球ダイナミクス/Dan Mckenzie 教授)、V(大気と海洋の相互作用/Roger Lukas 教授)、VI(衛星リモートセンシング技術と惑星地形学/David Baratoux 博士)、VII(地球の構造・進化の理解のための地球化学/Francis Albarede 教授)、VIII(大陸のテクトニクス/Philip England 教授)、IX(過去・未来の全球海洋と気候/Thomas Stocker 教授)(対流圏・成層圏の力学/Timothy J. D unkerton 博士)、複雑系地球科学(樋口知之 統計数理研究所教授)、地球システム観測論、気候変動予測論 I&I、環境生命共進化論
- ・ 上記授業は予測地球科学コースの学生に限らず本専攻の全ての大学院生が受講可とした。

(2)海外インターンシップ制度(平成15年度試行、16年度以降本格運用)を導入し、博士課程の学生を海外の拠点研究機関へ短期(1ヶ月程度)派遣することで、国際性豊かな若手研究者の育成に取り組んだ。この5年間で合計29名の学生が、この制度によって渡航した。海外インターンシップは予測地球科学コースの学生のみを対象とした。

- ・ 平成15年度海外インターンシップ経験者3名
- ・ 平成16年度海外インターンシップ経験者5名
- ・ 平成17年度海外インターンシップ経験者8名
- ・ 平成18年度海外インターンシップ経験者6名
- ・ 平成19年度海外インターンシップ経験者7名

(3)博士課程の優秀な学生を対象に拠点形成アシスタント第I種及び第II種を採用し、研究活動を支援した。拠点形成アシスタントの選考は、関連部局の専任教員で構成される地球惑星科学専攻教務委員会が、修士論文の成績、研究発表業績、及び応募時に提出する研究計画の内容に基づいて行った。

- ・ 第I種拠点形成アシスタント(支給月額80千円)(博士課程在籍者の約10%)
平成15年度10名、平成16年度13名、平成17年度14名、平成18年度16名、平成19年度16名
- ・ 第II種拠点形成アシスタント(支給額30千円/月)(同約20%)
平成15年度30名、平成16年度28名、平成17年度29名、平成18年度29名、平成19年度27名

(4)博士取得者を対象としてCOE特任研究員を採用し、共同研究を通じて主導的研究者の育成に取り組んだ。

平成18年4月にCOE特任助手へ、平成19年4月にCOE特任助教へ昇格させた。

COE特任研究員、COE特任助手、及びCOE特任助教の選考は、事業推進担当者による書類審査(研究分野と研究業績)に基づき行った。研究分野間の連携強化を図れる人材という点も、審査の際に重視した。さらにCOE特任助教は、関連部局の専任教員で構成される地球惑星科学専攻人事委員会が、履歴書、及び研究業績書の内容を審査し最終的な承認を行った。

国際シンポジウム/ワークショップの開催に積極的に関与し、海外研究者との交流を深めるように配慮した。

- ・ 平成16年度～平成17年度 COE特任研究員(助手クラスの給与待遇)各年7名
- ・ 平成18年度 COE特任助手 7名(COE特任研究員から昇格7名)
- ・ 平成19年度 COE特任助手 8名(COE特任助手から昇格6名、新規採用2名)

また、平成18年度にCOE特任研究員(非常勤)の採用を開始した。

COE特任研究員(非常勤)の選考も、常勤の研究職と同様に事業推進担当者による書類審査(研究分野と研究業績)に基づき行った。

- ・ 平成18年度～平成19年度 COE特任研究員(非常勤)各年3名

(5)外国人若手研究者(Boossarasiri Thana/THAILAND)をCOE客員研究員として招聘し、博士論文研究「タイ域における大気汚染とそれによる気候変動に関するモデリング研究」の教育指導及び共同研究を行った。

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)

設定された目的は概ね達成された

(コメント)

拠点形成計画全体については、目的は概ね達成されたと評価できる。

人材育成については、大学院博士課程に「予測地球科学」コースを導入し基礎から先端分野まで取り組む試み、海外インターシップ制度の導入、コアとなる学生の拠点形成アシスタント採用、科学英語教育の充実など、体系的教育システムの確立は評価できる。特に、若手研究者に対しては、研究資金をうまく用いて各分野でそれなりの研究成果をあげており、国際交流の機会を与えるインターンシップなど、地球科学分野の底上げの効果は評価できる。

研究活動面については、中間評価における、4部局の有機的連携を望むとの指摘に対して、過去の大規模変動の偶然性と必然性を含んだ地球史の復元と数値モデルによる仮想地球史の再現、観測データと理論モデルを統合した大規模シミュレーションによる地球内部変動および地球環境変動の予測可能性などが、どのように展開されたのかが十分明確になっていない。

補助事業終了後の持続的展開については、研究活動面でも指摘した4部局の連携をどのように展開していくかにかかっていると思われるので、検討を望むとともに、今後の発展を期待する。