

**平成30年度 日独共同大学院プログラム  
中間評価資料(進捗状況報告書)**

## 1. 概要

<b>領域</b>	数物系科学	分科	地球惑星科学
		細目	岩石・鉱物・鉱床学
<b>プロジェクト名</b>	(和文) 地球深部揮発性元素循環研究に関する日独共同大学院プログラム (英文) Japanese-German Graduate Externship for Research on Deep Earth Volatile Cycle		
<b>採択期間</b>	平成 28年 4月 1日 ~ 平成 33年 3月 31日 ( 5 年間)		
<b>日本側実施機関名</b>	東北大学大学院理学研究科		
<b>コーディネーター 所属・職・氏名</b>	東北大学大学院理学研究科・教授・中村美千彦		
<b>構成員数</b>	教員等 33名、 学生 32名		
<b>ドイツ側実施機関名</b>	バイロイト大学		
<b>コーディネーター 所属・職・氏名</b>	大学院数学自然科学研究科・教授・Daniel J. FROST		
<b>構成員数</b>	教員等 18名、 学生 23名		

## 2. 目標

申請時に計画した目標とその達成度について記入してください。(2頁以内)

### ○申請時の目標

過去 30 年間、地球内部の研究は、超高圧発生技術と地震波トモグラフィ・MT 法による内部観測技術を両輪として大きく発展し、最近では専門細分化の段階を経て、統合の段階へと入りつつある。システム科学としての本来の地球科学の目的を高い次元で達成するためには、広い分野の研究者が有機的に連携することが常に必要とされている。この過程で、多くの研究領域に共通して明らかになって来たことは、惑星地球を特徴づける「揮発性成分」(C, H, O, N, S, Cl, F, などとその化合物)が「鍵」となる役割を果たしているということである。そこで、本プログラムでは、揮発性元素の循環を共通項とすることで、地球科学の広い分野を効果的に連携させ、さらに惑星科学へとシームレスに接続した「地球を丸ごと考える」大学院教育・研究を実施することを目指す。

地球惑星科学は物理・化学・生物を基礎とした学際科学であり、幅広い研究手法を活用している。そのため、それぞれの技術が発展し先鋭化してくることで、一人の研究者が幅広い先端的手法をカバーすることがだんだん難しくなっている。固体地球分野に限っても、もはや一つの専攻レベルでは、オールラウンドな研究体制を敷くのは難しい。このような状況にあたり、本プログラムによって、世界トップレベルの研究機関をパートナーとし、研究教育スタッフの層を厚くし、深さと広さを兼ね備えた強力な体制を構築する。本プログラムは、東北大学のスーパーグローバル大学創成支援事業の要である国際共同大学院(環境・地球科学分野)の中核として位置付けられ、理学研究科における教育課程の整備を行い、大学本部からの支援を得て実施する。

### ○目標に対する達成度

- 目標は想定以上に達成された。
- 目標は想定どおり達成された。
- 目標はある程度達成された。
- 目標はほとんど達成されなかった。

#### 【理由】

東北大学環境・地球科学国際共同大学院が平成 28 年 10 月に設置され、その枠組みの中、履修内規の整備を行い、(1)英語または英日バイリンガル講義と、パイロイト大学での博士研究からなる「国際・学際研究力涵養プログラム」、(2)実習や野外巡検、共同セミナーでの研究発表などからなる「専攻・国境横断型コアプログラム」の二つの授業群から構成される、共同教育課程の整備が完了し、二年間でのべ 14 科目が開講された。学術交流協定および共同指導博士課程学生プログラムに関わる覚書が締結され、パイロイト大学とのジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリー(JSD)を授与する体制が整うとともに、責任指導体制を明確にする Individual cotutelle agreement を結ぶことも取り決められた。これらの科目群は、理学研究科の履修内規・学生便覧に明記され、さらに国際共同学位の取得を目指す学生の選抜や QE (Qualifying Examination) は、学位プログラム推進機構による質の保証を受ける体制が整った。平成 29 年度には、パイロイト大教員も参加して、英語による QE1 を実施し、受験した学生は、明確で重要な問題設定の上に以降の博士研究を行うことができるようになった。共同セミナーは計 4 回開催され、日独双方のプログラム学生・教員が参加して最新の研究発表を行い、教員は今後の共同指導に向けて、研究内容の相互理解を深めることができたとともに、学生の博士研究の推進や発表練習にも役立った。日本開催の共同セミナーでは、国際共同大学院との共催により、パイロイト大以外の世界トップレベル研究者も交え、広く地球惑星科学全体を視野に入れた研究発表や議論を行うことができた。JSD を目指す学生には、総長裁量経費による RA 経費や奨学金経済支援が行われている。以上のように、共同指導体制・組織的な協力体制を構築する

ことができた。

以上の共同課程を実施するため、2年間でのべ教員 21 名、学生 26 名をバイロイト大学に派遣した。平成 29 年度には、2 名の学生がバイロイト大学教員との共同研究を一部に含む博士論文を提出し、課程博士を取得した。また現在 5 名の博士後期課程学生が、バイロイト大学との MOU に基づいた国際共同指導によるジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリー取得を目指している。これらの学生は、のべ原則 6 か月以上（最低 3 か月以上）バイロイト大学に滞在して博士研究を実施し、本格的な日独共同指導を受けることになっており、既に 2 名がその要件を満たしている。平成 30 年度末に、バイロイト大学との JSD 学位を取得する学生の第一号が誕生する予定である。以上のように、本プログラムは、大学院学生の育成、博士論文作成に大きく貢献している。

本プログラムにより、地球深部揮発性元素循環およびそれに関連する分野の学問が、深化・発展しつつある。東北大学教員の着想に、バイロイト大学教員の超高压実験地球科学・高压鉱物物理学分野での強味（厚く先端かつ多彩な実験技術）を活用することで、東北大教員のみで指導した場合よりも、より 深く掘り下げた研究 を遂行することが可能となり、すでに日独国際共著の学会発表や論文発表に繋がっている。さらに、本プログラムを前提として研究テーマを一から設定することにより、東北大学の幅広い研究対象と、バイロイト大学の多角的な方法論を組み合わせることで、地球深部での流体移動のシミュレーションや、リソスフェア・アセノスフェア境界物性の研究などについての 新たな研究分野 が創成した。

日本側コーディネーターは、共同課程を完成させ、環境・地球科学国際共同大学院の早期設置に尽力し、プログラム学生に対する経済支援、事務的支援を可能にするとともに、理学研究科および全学の中で明確かつ厳密に共同教育課程を位置付けた。さらに、バイロイト大学との学術交流協定、および国際共同指導による博士課程学生指導に関する覚書を締結した。プログラム担当教員は、共同課程の構築と実施に協力し、またバイロイト大学教員と緊密に連携して、博士課程学生の共同指導研究テーマを策定して実施するとともに、バイロイト大学の IRTG 学生の受入れも開始した。

以上から、本プログラムの目標は、想定どおり達成された。

### 3. これまでの交流を通じて得られた成果

これまでの交流を通じての成果を「共同課程の整備状況」、「ドイツとの継続的協力関係の構築状況」及び「教育研究効果」の観点から記入してください。(3頁以内)

#### ○共同課程の整備状況（共同課程の概要、共同指導体制、組織的な協力体制 等）

##### 【共同課程の概要】

本プログラムの共同課程は、(1)国際・学際研究力涵養プログラム (2)専攻・国境横断型コアプログラムの二つの授業群から構成している。以下にそれぞれの概要をまとめる。

(1)国際・学際研究力涵養プログラムでは、座学（環境・地球科学特殊講義）、および博士課題研究によって、国際的にトップレベルの創造的研究を行うために必要な基礎学力と、博士学位取得以降の成長を支えることになる、学際的な視点や知識・技術を身に付ける。

環境・地球科学特殊講義Ⅰ～Ⅲ：パイロイト大学および東北大学教員が、地球深部での揮発性元素循環を理解するために、(1)地殻・上部マントルにおける揮発性元素の移動論、火山活動を通じた地球内部と大気海洋との揮発性元素の授受 (2)地球深部の揮発性成分の存在量と、その核・マントルダイナミクスに与える影響 (3)地球外物質に含まれる揮発性成分の特徴や、初期太陽系進化における揮発性元素の役割 などについて、最新の研究成果を含めた講義を、集中講義形式で英語または英日バイリンガルで行った。大学院生は、対話形式の講義を通じて、またドイツ側の学生も同時に受講することで、先端研究力だけでなく、コミュニケーション能力を向上されることができた。また東北大学教員も、地球深部科学や、揮発性元素の循環に大きく寄与する変成岩の生成に関する講義をパイロイト大学において行った。なお、異なる入学年度の学生が受講するため、各学生ごとに、受講した順番に応じてⅠ～Ⅲの単位を割り振っている。

環境・地球科学特別実験Ⅰ：東北大学のプログラム学生が、パイロイト大学に比較的長期滞在し、高圧実験や化学分析、数値シミュレーション等を含む博士研究を行う科目である。博士課程在籍期間に、のべ原則6か月（最低3か月）以上、パイロイト大学、および同大学での研究実施に必要な関連実験施設等に滞在して研究を実施した場合に単位とするもので、これまでに 既に2名が要件を満たしている。本単位は、環境・地球科学国際共同大学院に所属する学生に、ジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリーを付与する主要な要件となっている。大学院生は、日独双方の指導教員と緊密に議論しながら研究を遂行した。その多くは日本では実施できない研究課題であると同時に、学生には、研究を遂行する上での考え方や研究環境、チームワーク等の、様々な日独間の相異に関する貴重な知見・経験を獲得してもらうことができた。研究成果は、国際学会・シンポジウム等において発表し、博士論文や投稿論文の作成につなげることができた。

(2)専攻・国境横断型コアプログラムは、演習・実習科目、および共同セミナーでの研究発表などの多様な実践型授業によって構成される。これらの活動の中で、各学生が履修した順番に、環境・地球科学実践演習Ⅰ～Ⅲの単位を割り振る。

環境・地球科学実践演習：H29, H30年の2月には、のべ9名の東北大学のプログラム学生と1名の教員が参加し、パイロイト大学において鉱物学実験ショートコースを実施した。学生は、パイロイト大学のみならず、欧州の各国から参加した大学院生とともに、理論や原理の講義に続いて、少人数のグループに分かれて実習を履修することができた。また東北大学およびパイロイト大学でのワークショップの際には、それぞれ野外巡検（フィールドトリップ）を実施し、日独双方の学生は、大きく異なるテクトニックセッティングや地史、地質を実地で学ぶことができた。さらに、西ドイツ・アイフェル火山地帯での野外調査・サンプリングを行い、日本には見られない、極めて二酸化炭素に富みマントル深部に起源を持つマグマによる火山活動の研究を行うことができた。大学院生は、事前準備や行動計画の策定に参加し、「現場に強い」「独自の一次デー

タを取得する」実践力・応用力を身に付けるとともに、日独両国の大学院生の相互理解を深め、研究者としての将来の人的ネットワークを構築した。

共同セミナー：H28, H29 年度とも、東北大学およびバイロイト大学にて各 1 回ずつ、計 4 回の共同セミナーを実施することができた。日本開催の 1 回目（H28 年 7 月）は、日独共同大学院キックオフシンポジウムと位置づけ、東北大学において実施する文部科学省研究大学強化促進事業の一環である東北大学知のフォーラム テーマプログラム「Earth and Planetary Dynamics」と同時開催し、バイロイト大以外にも、世界各国から招聘した世界をリードする研究者も交えて活発な議論を行うとともに、本プログラムにおける活動を周知することができた。学生はポスターセッションを行い、バイロイト大をはじめとする各国からの参加者と議論を行うことができた。日本開催の 2 回目（H29 年 5 月）は、環境・地球科学国際共同大学院との共催により、国際ワークショップ“Earth Sea and Sky-II”として開催し、東北大日独プログラム、バイロイト大 IRTG の学生は、博士研究により得られた成果を口頭およびポスターセッションにて発表するとともに、両大学およびそれ以外の海外大学教員とも議論を行うことができた。

H28 年度のドイツ開催の 1 回目は、IRTG 学生がまだ揃っていなかったこともあり、日独双方の教員およびバイロイト大が招聘したトップレベル教員による講義によって構成された。H29 年度のドイツ開催 2 回目は、それまでに採用されたバイロイト大の IRTG 学生および、他財源による実験地球科学専攻の PhD 学生がほぼすべて参加し、東北大からは 6 名のプログラム学生が参加して研究発表を行った。日本の学生は、極めて多国籍な環境の中で、内容、プレゼンテーションともに勝るとも劣らぬ発表を行うことができ、自信に繋げることができた。バイロイト大教員からも高い評価を得るとともに、IRTG 学生とも、良い刺激を与え合うことができたと思われる。

#### 【共同指導体制・組織的な協力体制等】

本プログラムは、東北大学スーパーグローバル大学創成事業の柱である国際共同大学院の一部として実施されている。履修内規の整備はプログラム開始時には既にほぼ完了しており、日独共同大学院プログラムの参加学生は、関係科目を正課単位として履修できる体制が整った。中でも 5 名の博士後期課程学生は、バイロイト大学との国際共同指導によるジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリー（JSD）の取得を目指して本プログラムに所属している。これにより、同学生には、総長裁量経費（国際共同学位取得支援制度）による RA 経費（日本で就学中）や奨学金（ドイツ滞在中）による経済支援を行うとともに、大学本部、理学研究科からの運営上の全面的な支援と、以下に詳述する「質の保証」を受けることが可能となった。なお JSD を目指す学生以外も、既述の国際共同大学院科目の履修・単位取得が可能である。

理学研究科博士前期課程に在籍する大学院生、または博士後期課程を受験する大学院生で、バイロイト大との共同指導による JSD を目指す学生は、M2～D1 の期間に、環境・地球国際共同大学院に出願し、選抜試験を受ける。選抜試験の内容と選抜結果は、学位プログラム推進機構・国際共同大学院プログラム部門教務委員会において承認手続きを経ている。H29 年度には、プログラム入学後 1 年となる学生を対象に、QE (Qualifying Examination)-I を実施した。該当する学生は、博士研究の意義・目的、これまでの研究成果と今後の研究計画について英語で発表し、続いてバイロイト大教員 2 名を含む 5 名の海外招聘教授陣からなる審査員との質疑応答を行った。指導教員は同席するものの発言はせず、審査員のコメントは後日、学生および指導教員にフィードバックされた。学生は、海外教授の英語による国際レベルの QE を経験することで、問題設定能力、説明能力が鍛錬されるとともに、東北大教員も国際標準の QE インタビューについて学ぶことができた。QE の内容についても、国際共同大学院プログラム部門教務委員会に報告し、最終的な学位審査も同教務委員会で定めた手続きに則って行う。

バイロイト大との JSD に関する MOU では、各学生について、具体的に共同指導教員や研究テーマを定め、

本学理学研究科長ならびにバイロイト大学長の署名を伴う “Individual cotutelle agreement” を取り交わすことが記載されている。これにより、ダブル・ディグリーなみに指導・責任体制を明確化した国際共同指導を行うことになる。これまでに、博士後期課程 2 年の学生 1 名について、同 agreement の締結が完了している。

本プログラムにおける研究教育活動を社会に向けて発信するため、ホームページを設置し、また環境・地球科学国際共同大学院の Twitter アカウントを開設して、学生の募集要項などについて随時情報発信を行っている。また、H28、H29 年度 5 月に幕張メッセで開催された日本地球惑星科学連合大会では、展示ブースを出展し、研究者コミュニティへの情報発信や、大学院の学生獲得に向けた広報活動を行った。

### ○ドイツとの継続的協力関係の構築状況（交流協定の締結状況 等）

バイロイト大学大学院数学・自然科学研究科(BayNAT)と東北大学大学院理学研究科は、平成 28 年 2 月 5 日に 部局間学術交流協定を締結した。東北大側の連絡調整責任者およびバイロイト大の担当教員は、それぞれ、本日独共同大学院プログラムコーディネーターを務める中村美千彦教授、ダニエル・フロスト教授である。また日本側担当教員として鈴木昭夫准教授も加わっている。さらに、平成 28 年 8 月 9 日には、東北大学大学院理学研究科とバイロイト大学との間における 共同指導博士課程学生プログラムに関わる覚書 (The Memorandum on a Program for Jointly-Supervised Ph.D. Students Between Graduate School of Science, Tohoku University and University of Bayreuth) を締結した。これらに加え、東北大学の研究大学強化促進事業における、「広義のベンチマーク校」としてバイロイト大学を追加し、「若手リーダー研究者海外派遣プログラム」等の事業によっても、両大学間での共同教育研究の実施を支援できる体制が整った。環境・地球科学国際共同大学院は、平成 28 年度概算要求から、概算要求・機能強化促進費によって、国際競争力を強化するとともに世界的に魅力的なトップレベルの教育研究を行うための事業として認められ、3 年目となる H30 年度概算要求においては、機関経費化を目指す予定である。以上のように、東北大学本部および理学研究科の全面的な支援により、ドイツとの堅固で継続的な協力関係が構築された。

### ○教育研究効果（大学院学生の育成、博士論文作成への貢献 等）

平成 29 年度には、既に 2 名の学生（大平格・松岡萌）がバイロイト大学教員との共同研究を一部に含む博士論文を提出し、課程博士を取得した。今後、これらの研究に基づく日独共著論文を学術雑誌等に公表予定である。また、現在 5 名の博士後期課程学生が、バイロイト大学との MOU に基づいた国際共同指導によるジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリー(JSD)を目指している（D3 前田郁也、D2 藤田和果奈・Huang Yongsheng・Liang Yuan、D1 油谷拓）。これらの学生は、のべ原則 6 か月以上（最低 3 か月以上）バイロイト大学に滞在して博士研究を実施する。平成 30 年度末に、JSD の学位を取得する学生の第一号が誕生する予定である。以上のように、本プログラムは、大学院学生の育成、博士論文作成に大きく貢献している。

さらに、波及効果として、環境・地球科学国際共同大学院において、バイロイト大学以外の多数の海外連携大学と国際共同教育を実施している学生とも共同したワークショップを開催するにより、本プログラムの対象分野に限らない、幅広い視点から「地球を丸ごと理解する」国際的教育が可能となっている。また、本プログラムがエンジンとなって牽引した大学院教育の国際化・高度化は、留学生比率を高めるとともに、博士後期課程への進学率を支えることに貢献している。現在、博士前期課程 2 年次に、国際共同大学院の博士後期課程に進学してバイロイト大学の教員との国際共同指導による JSD 取得を目指すことを前提としたが 2 名在籍している。

## 4. プロジェクトの実施状況

### (1) 分野およびプロジェクトの深化・発展

ドイツとの共同実施を通して、対象とする分野がいかに深化・発展したか記載してください。

#### (1) 先端的な超高压実験・鉱物物理学による深化

バイロイト大学は、地球惑星物質科学に関する世界的な研究拠点であり、特に超高压実験地球科学・高压鉱物物理学においては、極めて層の厚い世界トップレベルの教員・研究者と、先端的かつ多彩な実験技術を誇る。これまでに、バイロイト大学の各教員から協力を得て、先端的な技術を用い、深く掘り下げることができた博士学生の研究が、すでに学会発表や論文発表に繋がっている（超高压下結晶化学および熱力学：Frost 教授、鉱物の酸化還元状態・電子スピン状態：McCammon RA、透過型電子顕微鏡による実験産物や隕石構成鉱物の解析：Miyajima 博士、高压鉱物の単結晶育成技術：Kawazoe 博士、大容量高压合成実験：McCammon RA、岩石物性の数値シミュレーション：Golabek 准教授、岩石—流体系のレオロジー：Thielmann 博士）。これらの研究はいずれも、東北大学教員の着想にバイロイト大学教員の協力が加わって成し得たものであり、地球深部揮発性元素循環研究が深化しつつあると言える。また、国際的な次世代研究者の育成に大きく貢献している。

#### (2) 両大学の特徴を生かした、新たな研究の創成

本プログラムを前提として研究テーマを一から設定することにより、東北大学の幅広い研究対象と、バイロイト大学の多角的な方法論を組み合わせた研究分野が新たな展開を見せている。東北大学の岩石物性に関する理論・岩石組織再現実験・高分解能 X 線 CT 撮影のノウハウと、バイロイト大学の数値シミュレーション技術の組み合わせによる地球深部での流体移動の研究や、東北大学教員が世界に先駆けて発見し世界をリードするブチスポット研究と、バイロイト大学での実験岩石学の組み合わせによるリソスフェア—アセノスフェア境界物性研究などがその例である。

### (2) コーディネーター及び参加教員の取り組み状況

日本側コーディネーター及び参加教員は当該プロジェクトを適切に実施したかどうか、日本側コーディネーターや教員等の取り組み状況に触れながら記載してください。

日本側コーディネーターは、環境・地球科学国際共同大学院設置ワーキンググループ運営委員として同大学院の設置を推進し、また平成 28 年 10 月の設置後は、同副プログラム長として、バイロイト大学との共同教育課程及び共同教育研究体制の整備を行い、国際共同大学院の教育課程の中に正規に位置付けられるようにした。また、バイロイト大学との部局間学術交流協定、ならびに共同指導博士課程学生プログラムに関わる覚書の締結を主導した。これにより、バイロイト大学との国際共同指導学位（ジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリー）を授与することができるようにするとともに、継続性を備えた共同教育を実施する体制を構築した。平成 28, 29 年度に、年 2 回、各数週間ずつ渡独し、バイロイト大学および東北大学学生の研究指導や、学生・教員の派遣および受入れのための研究打ち合わせをドイツ側コーディネーター・フロスト教授らと行った。また、フロスト教授らと協力し、年間 2 回の共同セミナーを企画・開催した。

日本側参加教員は、東北大学およびバイロイト大学において、バイロイト大学教員と繰り返し協議の上、共同指導による東北大学博士研究テーマを策定し、博士後期課程学生を受け入れて研究指導を行った。また共同セミナーに参加し、地球深部揮発性元素循環に関する研究発表や講義を行った。また、バイロイト大学 IRTG 学生の受入れについても、バイロイト大学教員と繰り返し協議を行い、研究室内の受け入れ態勢を整えて、受け入れを開始した。H29 年度には、長期（のべ 6 か月）滞在する学生 2 名の受け入れを開始し、H30 年度内には、他に 4 名の IRTG 学生の長期日本滞在予定が決定している。

### (3) 教育研究環境の整備

プロジェクトの目的を達成するにあたって行われた施設設備、及び経済的負担の軽減措置等、日本側実施機関における組織的な取り組みについて記載してください。

平成 28 年 10 月に、理学研究科地学専攻および地球物理学専攻の教員が主体となった、「環境・地球科学国際共同大学院」を設置した。本プログラム学生のうち、特にバイロイト大学との共同指導学位（ジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリー）取得を目指す 5 名の博士後期課程学生は、東北大学環境・地球科学国際共同大学院に申請、選考の上で採用され、総長裁量経費である「国際共同学位取得支援制度」に基づき、月額約 20 万円の RA 経費（日本滞在中）・奨学金（ドイツ滞在中）による経済支援を受けている。また長期滞在する学生の派遣については、東北大学において実施する文部科学省研究大学強化促進事業の「若手リーダー研究者海外派遣プログラム」から支出を行い、なるべく多くのプログラム学生がバイロイト大学との共同教育に参加できるようにした。なお、バイロイト大学の IRTG 学生受け入れに関する事務については、理学研究科に新たに設置された「国際共同大学院支援事務室」による支援を行った。

### (4) 経費の合理性

経費が適切に執行されたかを記載してください。

直接経費は、平成 28 年度は 90%以上、平成 29 年度は 80%以上を、本事業を実施するための渡航旅費とそれに必要な国内移動旅費に使用した。これにより、プログラム学生は、バイロイト大学において、博士課程研究を実施、あるいはセミナー・実習等を受講し、プログラム教員は、バイロイト大学教員とのプログラム学生の共同指導や、その打合せを行った。それ以外の経費は、共同指導する博士課程学生の研究に必要な消耗品等に適切に使用した。

間接経費は、本事業の実施を補佐する事務職員 1 名の雇用費、ならびにその業務に必要な消耗品に適切に使用した。

## 5. 活動実績

## (1) 共同課程

実施した「共同課程」について概略を記入してください。

1	科目名等	環境・地球科学特殊講義 I	提供期間	平成 28 年 7 月, 平成 29 年 1 月
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	地球深部物質を理解する上で最も重要な基礎となる化学熱力学、相平衡論、状態方程式等についての講義が行われ、高温高圧実験の理論的基礎が補強された。またそれに関する地球内部の先端的な諸問題が議論された。講義は英語 (FROST 教授)・英日バイリンガル (KATSURA 教授) により行われ、日本人学生の英語力強化も意図された。評価はレポート提出により行われた。		
2	科目名等	環境・地球科学特別実験 I	提供期間	平成 28 年 4 月～
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	本プログラム参加学生が、バイロイト大学において原則 6 か月 (最低 3 か月) 以上の研究を行った場合、博士課題研究の単位に加えて本単位を与えるものであり、今年度から、バイロイト大への派遣と、その準備の研究が開始された。研究内容は、高温高圧実験、実験産物や天然含水鉱物の透過型電子顕微鏡観察、海底火山試料の分光測定、バイロイト大共同指導教員との議論など、揮発性元素循環に関わる幅広いものである。		
3	科目名等	環境・地球科学実践演習 I	提供期間	平成 28 年 10 月～平成 28 年 10 月
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	火山碎屑物薄片試料の偏光顕微鏡観察による記載岩石学の実習。世界各地の典型的な 18 試料を厳選し、マグマの種類と成因、揮発性成分の脱ガスなどの火山噴火過程、堆積過程などについて議論を行った。すべての試料について、それぞれ参加者全員分の薄片が用意され、参加大学院生は、まず試料に関する一切の情報を与えられずに顕微鏡観察を行ってから、それぞれの観察結果に基づき、上記についての意見を英語で表明し、議論をした上で講義を行うことにより、鉱物鑑定力、岩石組織観察力、火砕物の生成過程に関する知識と論理的考察力を格段に深めることができた。		
4	科目名等	IRTG ワークショップ	提供期間	平成 28 年 9 月～平成 28 年 9 月
	提供した大学	バイロイト大学	単位数	1
	概要	バイロイト大学・東北大学の教員に加え、クレモンフェラン大 (仏)・オルレアン大 (仏)・パリ大 (仏)・チューリッヒ工科大 (スイス) 等、バイロイト大学が招聘した世界トップレベル研究者による、地球深部揮発性元素循環に関する多角的な研究分野のレクチャーが開講された。広い分野の大学院生を対象としたレベル設定により、専門がやや離れた大学院生にもわかりやすい講義が行われた。		
5	科目名等	フィールドトリップ	提供期間	平成 28 年 9 月～平成 28 年 9 月
	提供した大学	バイロイト大学	単位数	1
	概要	Wirsberg から Weissenbach までの約 3 km の見学コース、および Weissenbach から Weissenstein までの約 3 km のコースを歩きながら、ボヘミア地塊北西部の Münchberger 片麻岩体の藍閃石エクロジャイトの見学を行った。東北大学の学生は、沈み込み帯とは異なるテクトニックセッティングに産するエクロジャイト岩体の形成史・上昇過程について学ぶとともに、世界各地から参加した研究者・大学院生と野外討論を行うことができた。		
6	科目名等	環境・地球科学特殊講義 I	提供期間	平成 29 年 6 月～平成 30

				年 2 月(内8日間)
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	揮発性元素の地球循環を理解するために、最新の研究成果を含めた講義を英語または英日バイリンガルで行った。大学院生は、対話形式の講義を通じて、またドイツ側の学生も同時に受講することで、先端研究力だけでなく、コミュニケーション能力を獲得することができたと期待される。各大学院生が最初に受講した内容に本単位を割り振っている。		
7	科目名等	環境・地球科学特殊講義Ⅱ	提供期間	平成 29 年 6 月～平成 30 年 2 月(内8日間)
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	揮発性元素の地球循環を理解するために、最新の研究成果を含めた講義を英語または英日バイリンガルで行った。大学院生は、対話形式の講義を通じて、またドイツ側の学生も同時に受講することで、先端研究力だけでなく、コミュニケーション能力を獲得することができたと期待される。各大学院生が二番目に受講した内容に本単位を割り振っている。		
8	科目名等	環境・地球科学特殊講義Ⅲ	提供期間	平成 29 年 6 月～平成 30 年 2 月(内8日間)
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	揮発性元素の地球循環を理解するために、最新の研究成果を含めた講義を英語または英日バイリンガルで行った。大学院生は、対話形式の講義を通じて、またドイツ側の学生も同時に受講することで、先端研究力だけでなく、コミュニケーション能力を獲得することができたと期待される。各大学院生が三番目に受講した内容に本単位を割り振っている。		
9	科目名等	環境・地球科学実践実習Ⅰ	提供期間	平成 29 年 5 月～平成 30 年 2 月(内24日間)
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	(1)パイロイト大教員との蔵王火山への野外巡検、(2)ドイツ西部・アイフェル火山での野外調査・地質巡検、(3)Parkstein 火山とドイツ大陸深部掘削プロジェクトの掘削サイトへの巡検、(4)実験ショートコース を行った。これらの活動の中で、各大学院生が最初に受講した内容に本単位が割り振られる。大学院生は事前準備や行動計画の策定に参加し、「現場に強い」「独自の一次データを取得する」実践力・応用力を身に付けるとともに、日独両国の大学院生の相互理解を深め、研究者としての将来の人的ネットワークを構築した。		
10	科目名等	環境・地球科学実践演習Ⅱ	提供期間	平成 29 年 5 月～平成 30 年 2 月(内24日間)
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	(1)パイロイト大教員との蔵王火山への野外巡検、(2)ドイツ西部・アイフェル火山での野外調査・地質巡検、(3)Parkstein 火山とドイツ大陸深部掘削プロジェクトの掘削サイトへの巡検、(4)実験ショートコース を行った。これらの活動の中で、各大学院生が二番目に受講した内容に本単位が割り振られる。大学院生は事前準備や行動計画の策定に参加し、「現場に強い」「独自の一次データを取得する」実践力・応用力を身に付けるとともに、日独両国の大学院生の相互理解を深め、研究者としての将来の人的ネットワークを構築した。		
11	科目名等	環境・地球科学実践演習Ⅲ	提供期間	平成 29 年 5 月～平成 30 年 2 月(内24日間)
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	(1)パイロイト大教員との蔵王火山への野外巡検、(2)ドイツ西部・アイフェル火山での野外調査・地質巡検、(3)Parkstein 火山とドイツ大陸深部掘削プロジェクトの掘削サイトへの巡検、(4)実験ショートコース を行った。これらの活		

		動の中で、各大学院生が三番目に受講した内容に本単位が割り振られる。大学院生は事前準備や行動計画の策定に参加し、「現場に強い」「独自の一次データを取得する」実践力・応用力を身に付けるとともに、日独両国の大学院生の相互理解を深め、研究者としての将来の人的ネットワークを構築した。		
12	科目名等	環境・地球科学特別実験 I	提供期間	平成 29 年 4 月～平成 30 年 3 月
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	東北大学生がパイロイト大において博士研究を行った。博士課程在籍期間にのべ3か月以上の場合に単位となり、環境・地球科学国際共同大学院によるジョイントリー・スーパーバイズド・ディグリーを付与する主要な要件となる。大学院生は、東北大およびパイロイト大双方の指導教員と緊密に議論しながら研究を遂行した。多くは日本では実施できない研究課題であると同時に、学生には研究を遂行する上での考え方や環境の相異などについても貴重な知見を獲得してもらうことができた。また研究により得られた結果は、本プログラム開催のワークショップにおいて日独双方の教員と議論を深め、さらに国内外の学会・シンポジウム等の機会にも発表し、投稿論文・博士論文の作成につなげることができた。		
13	科目名等	環境・地球科学特別実験 II	提供期間	平成 30 年 3 月～平成 30 年 3 月(内22日間)
	提供した大学	東北大学	単位数	2
	概要	東北大において、パイロイト大の学生が揮発性元素循環に関する博士課程研究をのべ3か月以上実施する科目であり、IRTG の Research Visit に対応する単位である。日本の立地条件を生かした、島弧火山岩に含まれる斑晶メルト包有物の化学分析や、多孔質岩石の浸透率の数値シミュレーションコード検証のためのアナログ実験を開始することができた。大学院生は日独双方の指導教員と来日前から緊密に議論し、準備をした上で本研究を開始した。東北大側の本プログラム学生との共同研究にもなっている。ドイツでは実施できない研究課題であると同時に、研究を遂行する上での考え方や環境の相異などについても貴重な知見を獲得してもらうことができた。		
14	科目名等	IRTG ワークショップ	提供期間	平成 29 年 9 月 14 日～15 日(2 日間)
	提供した大学	パイロイト大学	単位数	1(12 時間あたり)
	概要	パイロイト大・東北大の教員が参加し、地球深部揮発性元素循環に関する日独双方の博士課程学生の研究成果発表をセミナー形式で行った。大学院生は、指導教員以外の教員から多くの質問・コメントを得ることができた。特に日本から派遣した学生は、極めて多国籍の、様々なバックグラウンドを持つ博士学生が一堂に会して研究発表を行うという、通常とは異なるセミナーを経験すると同時に、環境は異なっても科学研究において共通して重要となる要素を身に付けることができたと思われる。コーヒブレイクや昼食・夕食時にも、教員や他大学学生との交流を行い、人的ネットワークの形成にも役立った。		
15	科目名等	フィールドトリップ	提供期間	平成 29 年 9 月 30 日(1 日間)
	提供した大学	パイロイト大学	単位数	1(12 時間あたり)
	概要	パイロイト大からほど近い Parkstein 火山への野外巡検において、ライン地溝帯の地史を学ぶとともに、開析された火山の浅部構造(岩頸)を詳細に観察することができた。また、ドイツ大陸深部掘削プロジェクトの掘削サイトの見学を行い、資料や保存されている掘削コアの見学を通じて、9 km を超える大深度大陸掘削の成果を学ぶことができた。		

※ 記入欄が足りない場合には、適宜追加してください。

## (2) 派遣・受入実績

本事業で経費を負担した派遣及び受入の人数を記入してください。

(名)

	派遣数(日本→ドイツ)			受入数(ドイツ→日本)		
	教員等	大学院学生	合計	教員等	大学院学生	合計
平成28年度	12	13	25	14	6	20
平成29年度	9	13	22	3	2	5

## (3) 共同セミナー

共同セミナーの開催実績について記入してください。

1	セミナー名	独立行政法人日本学術振興会 日独共同大学院プログラム・キックオフシンポジウム				
	開催期間	平成 28 年 7 月 3 日～平成 28 年 7 月 6 日				
	開催場所	東北大学 青葉山キャンパス 工学部中央棟 2 階 大会議室				
	参加者数	日本側	合計 38 名(教員等 15 名、大学院学生 13 名、その他10名)			
		ドイツ側	合計 32 名(教員等 13 名、大学院学生 11 名、その他8名)			
2	セミナー名	ドイツ研究振興協会 IRTG-独立行政法人日本学術振興会 日独共同大学院プログラム ジョイントワークショップ「地球深部揮発性元素循環」				
	開催期間	平成 28 年 9 月 28 日～平成 28 年 9 月 29 日				
	開催場所	バイロイト大学 building AI, H3				
	参加者数	日本側	合計 5 名(教員等 2 名、大学院学生 3 名)			
		ドイツ側	合計 37 名(教員等 15 名、大学院学生 15 名、その他7名)			
3	セミナー名	東北大学環境・地球科学国際共同大学院・独立行政法人日本学術振興会日独共同大 大学院プログラム共催「地球・海・空-Ⅱ:環境・地球科学国際共同大学院ワークショップ」				
	開催期間	平成 29 年 5 月 28 日～平成 29 年 5 月 30 日				
	開催場所	東北大学理学研究科				
	参加者数	日本側	合計 43 名(教員等 14 名、大学院学生 10 名、その他19名)			
		ドイツ側	合計 3 名(教員等 2 名、大学院学生 1 名)			
4	セミナー名	独立行政法人日本学術振興会日独共同大学院プログラム「地球惑星揮発性元素に関 する博士学生セミナー」				
	開催期間	平成 29 年 9 月 14 日～平成 29 年 9 月 15 日				
	開催場所	バイロイト大学				
	参加者数	日本側	合計 7 名(教員等 1 名、大学院学生 6 名)			
		ドイツ側	合計 32 名(教員等 10 名、大学院学生 13 名、その他9名)			

※ 記入欄が足りない場合には、適宜枠を追加してください。

## (4) 研究発表

教員等・大学院学生が本プロジェクトの成果として実施期間中に発表した主な論文等(本事業名が明記されているもの)を記載してください。参加教員等・大学院学生の氏名にはアンダーラインを付してください。また、ドイツ側の参加者との共著論文には、文頭の番号に○印を付してください。

## ① 学術雑誌等(紀要・論文集等も含む)に発表した論文

・査読がある場合、印刷済み及び採録決定済のものに限り、査読中・投稿中のものは除く。また「査読」欄に○印を付す。

整理番号	著者名、発表論文名、学会誌名、発表年月巻号等	査読	相手国名 (共著の場合)
①	F. Maeda, S. Kamada, E. Ohtani, N. Hirao, T. Mitsui, R. Masuda, M. Miyahara, and C. McCammon, Spin State and Electronic Environment of Iron in Basaltic Glass in the Lower Mantle. American Mineralogist, 102, 2106-2112, (2017).	○	ドイツ
②	T. Kawazoe, I. Ohira, T. Ishii, T. Boffa-Ballan, C. McCammon, A. Suzuki, and E. Ohtani, Single crystal synthesis of $\delta$ -(Al,Fe)OOH American Mineralogist, 102, 1953-1956, (2017)	○	ドイツ
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

## ② 国際会議における発表

・著者名(参加研究者を含む全員の氏名を、論文等と同一の順番で記載すること)、発表題名、発表した学会名、開催場所、論文等の番号、発表年月日等を記載すること。発表者に○印を付すこと。

・査読がある場合、「査読」欄に○印を付す。

整理番号	著者名、発表題名、学会名、開催場所、口頭・ポスター等の形式、論文等の番号、発表年月日等	査読	相手国名 (共同発表の場合)
①	OI. Ohira, T. Kawazoe, T. Ishii, T. B. Ballaran, C. McCammon, A. Suzuki, and E. Ohtani, Single Crystal Synthesis of $\delta$ -(Al,Fe)OOH Using Multi-anvil Apparatus, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, Chiba, Japan, Oral, May 20-25, 2017.		ドイツ
②	OI. Ohira, J. M. Jackson, W. Sturhahn, G. J. Finkelstein, S. Kamada, T. Kawazoe, F. Maeda, N. Hirao, S. Nakano, A. Suzuki, and E. Ohtani, Compressional Behavior of $\delta$ -(Al, Fe)OOH to Lower Mantle Pressures, 55th EHPRG Meeting, Poznan, Poland, Oral, Sept. 3-8, 2017.		ドイツ, アメリカ合衆国
③	OI. Ohira, S. Kamada, J. M. Jackson, W. Sturhahn, G. J. Finkelstein, T. Kawazoe, F. Maeda, N. Hirao, S. Nakano, A. Suzuki, and E. Ohtani, Compressional Behavior of $\delta$ -(Al, Fe)OOH to Lower Mantle Pressures, High-Pressure Mineral Physics Seminar (HPMPS-9), Saint Malo, France, Poster, Sep 24-28, 2017.		ドイツ, アメリカ合衆国
④	OM. Matsuoka, T. Nakamura, N. Miyajima, N. Imae, A. Yamaguchi, and H. Kojima, Spectral and Mineralogical Properties of Dehydrated Carbonaceous Chondrites, The 8th Symposium on Polar Science, Tokyo, Japan, Oral, Dec. 6, 2017 .		ドイツ
5	OL. Yuan, E. Ohtani, D. Ikuta, S. Kamada, J. Tsuchiya, N. Hirao, Y. Ohishi, and A. Suzuki, Chemical Reactions between Fe and H <sub>2</sub> O Up to Megabar Pressures and Implications for Water Storage in the Earth's Mantle and Core, JpGU2018, Chiba, Japan, Poster, May 20-24,		

	2018.		
⑥	OW. Fujita, P. Eichheimer, M. Thielmann, A. Popov, G. J. Golabek, and B. Kaus, Permeability Benchmark Using 3D Numerical Modelling, JpGU2018, Chiba, Japan, Poster, May 20–24, 2018. (Poster)		ドイツ
⑦	OY. Huang, T. Nakatani, M. Nakamura, and C. McCammon, Experimental Constraints on the Dihedral Angle between Olivine and Multicomponent Aqueous Fluids in the Upper Mantle Conditions, JpGU2018, Chiba, Japan, Oral, May 20–24, 2018.		ドイツ
⑧	OF. Maeda, S. Kamada, N. Miyajima, S. Petitgirard, N. Hirao, C. McCammon, D. J. Frost, T. Sakamaki, and A. Suzuki. Stability of MgCO <sub>3</sub> in Fe-rich Hydrous Lower Mantle. Earth, Sea and Sky III: International Joint Graduate Program Workshop in Earth and Environmental Sciences, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Poster, May 27–29, 2018.		ドイツ
9	OK. Goto and A. Suzuki, The Melting Behavior in Albite–Brine System at 1.5 GPa : the Effect of NaCl on Melting Temperature, Earth, Sea and Sky III: International Joint Graduate Program Workshop in Earth and Environmental Sciences, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Poster, May 27–29, 2018.		
⑩	OW. Fujita, P. Eichheimer, M. Thielmann, A. Popov, G. J. Golabek, B. Kaus, M. Nakamura, and K. Uesugi, Permeability Benchmark Using 3D Modelling and Quantification of Intergranular Fluids Connectivity in Synthetic Quartzite, Earth, Sea and Sky III: International Joint Graduate Program Workshop in Earth and Environmental Sciences, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Poster, May 27–29, 2018.		ドイツ
⑪	OY. Huang, T. Nakatani, M. Nakamura, and C. McCammon, Experimental Constraints on the Dihedral Angles in the System of Olivine–Multicomponent Aqueous Fluids at 800–1100°C and 1–4 GPa, Earth, Sea and Sky III: International Joint Graduate Program Workshop in Earth and Environmental Sciences, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Poster, May 27–29, 2018.		ドイツ
⑫	ON. Araya, M. Nakamura, S. Okumura, A. Yasuda, D. Miki, M. Iguchi, and N. Geshi, Very Shallow Magma Storage at the Sakurajima Volcano, Earth, Sea and Sky III: International Joint Graduate Program Workshop in Earth and Environmental Sciences, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Poster, May 27–29, 2018.		ドイツ
⑬	OL. Yuan, G. Steinle–Neumann, E. Ohtani, and A. Suzuki, Compressibility and structure of hydrous silicate melts from first–principles, Earth, Sea and Sky III: International Joint Graduate Program Workshop in Earth and Environmental Sciences, Tohoku Univ., Sendai, Japan, Poster, May 27–29, 2018.		ドイツ

### ③国内会議・シンポジウム等における発表

・②と同様に記載してください。

整理番号	著者名、発表題名、学会名、開催場所、口頭・ポスター等の形式、論文等の番号、発表年月日等	査読	相手国名 (共同発表の場合)
1			
2			
3			
4			
5			

### ④図書

整理番号	著者名、著書名、出版社名、刊行年月日等	相手国名(共著の場合)

1		
2		
3		
4		
5		