

**平成 30 年度研究拠点形成事業
(A. 先端拠点形成型) 実施報告書**

1. 拠点機関

日本側拠点機関 :	国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学
(英国)側拠点機関 :	リーズ大学
(スウェーデン)側拠点機関 :	ストックホルム大学
(ドイツ)側拠点機関 :	ルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン
(イタリア)側拠点機関 :	パドヴァ大学
(フランス)側拠点機関 :	ロレーヌ大学

2. 研究交流課題名

(和文) : 数理論理学とその応用の国際研究拠点形成

(英文) : Foundation of a Global Core Research Center for Mathematical Logic and its Application

研究交流課題に係るウェブサイト : <http://www.jaist.ac.jp/logic/core2core>

3. 採択期間

平成 27 年 4 月 1 日 ~ 平成 32 年 3 月 31 日

(4 年度目)

4. 実施体制**日本側実施組織**

拠点機関 : 国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学

実施組織代表者 (所属部局・職名・氏名) : 学長・浅野 哲夫

コーディネーター (所属部局・職名・氏名) : 先端科学技術研究科・教授・石原 哉

協力機関 : 国立大学法人京都大学

事務組織 : 国立大学法人北陸先端科学技術大学院大学

相手国側実施組織 (拠点機関名・協力機関名は、和英併記願います。)

(1) 国名 : 英国

拠点機関 : (英文) University of Leeds

(和文) リーズ大学

コーディネーター (所属部局・職名・氏名) : (英文) School of Mathematics・Professor・

Michael RATHJEN

協力機関：(英文) **Swansea University**

(和文) スワンジー大学

協力機関：(英文) **University of Strathclyde**

(和文) ストラスクライド大学

協力機関：(英文) **University of Cambridge**

(和文) ケンブリッジ大学

経費負担区分：パターン1

(2) 国名：スウェーデン

拠点機関：(英文) **Stockholm University**

(和文) ストックホルム大学

コーディネーター(所属部局・職名・氏名)：(英文) **Department of Mathematics・**

Professor・Erik PALMGREN

協力機関：(英文) **University of Gothenburg**

(和文) イェテボリ大学

経費負担区分：パターン1

(3) 国名：ドイツ

拠点機関：(英文) **Ludwig-Maximilians-University Munich**

(和文) ルートヴィヒ・マクシミリアン大学ミュンヘン

コーディネーター(所属部局・職名・氏名)：(英文) **Department of Mathematics・**

Professor・Helmut SCHWICHTENBERG

協力機関：(英文) **University of Siegen**

(和文) ジーゲン大学

協力機関：(英文) **Technical University of Darmstadt**

(和文) ダルムシュタット工科大学

協力機関：(英文) **Bundeswehr University Munich**

(和文) ミュンヘン連邦軍大学

協力機関：(英文) **University of Trier**

(和文) トリア大学

経費負担区分：パターン1

(4) 国名：イタリア

拠点機関：(英文) **University of Padova**

(和文) パドヴァ大学

コーディネーター(所属部局・職名・氏名)：(英文) **Department of Mathematics・Associate**

Professor・Maria Emilia MAIETTI

協力機関：(英文) **University of Genova**

(和文) ジェノヴァ大学

協力機関：(英文) University of Insubria

(和文) インスブリア大学

協力機関：(英文) University of Verona

(和文) ヴェローナ大学

経費負担区分： パターン1

(5) 国名：フランス

拠点機関：(英文) University of Lorraine

(和文) ロレーヌ大学

コーディネーター(所属部局・職名・氏名)：(英文) Loria・Associate Professor・Pascal
FONTAINE

協力機関：なし

経費負担区分： パターン1

5. 研究交流目標

5-1 全期間を通じた研究交流目標

本研究交流課題では、広い意味での数理論理学(証明論と構成的数学・計算可能性と再帰理論・代数的論理・非古典論理・公理的集合論・モデル理論など)とその応用分野にまたがる問題解決・先端研究の創出のための国際研究交流拠点の形成と人材育成を目指す。数理論理学は数学・計算機科学を原理的に解明しその深淵に光を当てる一方、実社会における様々なシステムの正しさを理論的に保証し電子社会の急速な発展の基盤を担ってきた。北陸先端科学技術大学院大学は構成的数学、ソフトウェア検証、知識・信念の論理等の分野の世界的拠点をなし、EU第7次研究枠組み計画(FP7)Peopleプログラム国際スタッフ交流事業(IRSES)プロジェクトCONSTRUMATH(2009-2011)、COMPUTAL(2012-2015)、CORCON(2014-2017)の一翼を担う中で、構成的数学からの証明解析手法の提唱、項書換え系における新手法の導入、実数値充足問題の新アルゴリズムの開発、様相論理を用いた人工知能へのアプローチといった革新的成果を残してきた。その背景には、2012年発足の領域横断型学内研究ユニット「数理論理学とその応用」による各分野の深い相互理解、また、計算可能性理論と証明論の融合や連続構造の計算可能性で重要拠点をなす東北大学・国立情報学研究所・京都大学との緊密な連携がある。

この中で、北陸先端科学技術大学院大学には各分野の国内外若手研究者が集い、新たな先端研究を発信する場ともなっている。本研究交流課題ではこの基盤をさらに発展させ、EUプロジェクトと両輪をなして世界を牽引する研究の発信拠点をを目指す。また、既存のプロジェクトの枠を広げ、証明からプログラムを抽出するより包括的な枠組みの構築や様々な計算概念の連続構造への拡張等を目指していく。さらに、集う優秀な若手研究者が多様なシニア研究者との議論を経て研究をリードしていける環境を整え、複数分野を股にかけ研究を国際的に牽引する次世代の拠点リーダーへの成長を促す。

5-2 平成30年度研究交流目標

＜研究協力体制の構築＞

北陸先端科学技術大学院大学は、Horizon 2020・RISE プロジェクト CID (2017-2020) の拠点機関であり、今までのプロジェクトにより構築された国際研究ネットワークを活かし、引き続きその維持・強化・拡大を目指す。特に、本研究交流課題の日本側研究者や若手研究者と EU 側研究者のフェイス・トゥ・フェイスの共同研究を通じたさらなる交流により既存の国際共同研究を深化させ研究協力体制を強化する。これにより、EU プロジェクトと両輪をなして世界を牽引する研究の発信拠点の形成につなげる。

平成 30 年度は、多くの EU 側参加研究者と日本側コーディネーターが協働して申請し採択された、ボン大学ハウスドルフ数学研究所 (HIM) の Trimester Program, Types, Sets and Constructions (5月2日～8月24日) を本事業の連携プログラムとして位置付ける。当該プログラムには EU 側参加研究者の多くが参加し、HIM におけるフェイス・トゥ・フェイスの共同研究の他、1つのサマー・スクール、3つのワークショップが開催される。日本側からは、研究者3名、若手研究者3名、大学院生2名を1ヶ月間～全期間派遣する。HIM における集中したフェイス・トゥ・フェイスの緊密な共同研究は、国際研究ネットワークの維持・強化・拡大につながる。その他の共同研究として、研究者5名、若手研究者8名、大学院生1名を EU 側機関に1週間～3週間派遣し、フェイス・トゥ・フェイスの共同研究を行う。

3月にフランスのナンシーで“Third Workshop on Mathematical Logic and its Applications “ (MLA 2019) を開催する。日本側からは研究者8名、若手研究者5名、大学院生1名を派遣し、講演・意見交換などを通して中間評価結果を踏まえ新たに加わった相手国フランスとの領域横断的な国際共同研究を円滑に立ち上げることを支援する。また、HIM および MLA 2019 では、次年度以降の共同研究とセミナーの運営・企画について意見交換を行う。特に、中間評価結果を踏まえた双方向の研究交流および領域横断研究の推進、構築した国際研究ネットワークの本事業終了後のあり方について集中的に意見交換を行う。

＜学術的観点＞

本研究交流課題は EU プロジェクトのワークパッケージと連携し、(1) 証明論と構成的数学、(2) 自動定理証明とソフトウェア検証、(3) 連続構造の計算可能性、(4) 知識と信念の論理に焦点を絞り引き続き研究を推進する。特に、前年度の国際研究交流により研究成果が得られた(1)、(3) および(4)の研究をさらに深化させるとともに、(1)では弱いバー再帰法の原始再帰性、部分構造論理のラベル付きシーケント計算による定式化とそれらの体系に関する証明論、二階型付ラムダ計算の(部分体系の)プログラムとしての複雑さの順序数解析手法を用いた計測、(3)では計算可能解析学の記述集合論・位相空間論・圏論的アプローチに関する国際共同研究を推進する。また、中間評価結果を踏まえ領域横断研究として(2)では計算モデルと計算量解析に関する国際共同研究を立ち上げ、(4)では前年度までの共同研究を引き続き継続するとともに、数理形態学のための双直観主義論理の拡張が、グラフを代表とする離散空間上での空間的關係に対してもつ表現力に関する国際共同研究を行う。さらに、関係変化に関する動的論理の直観主義的代替は、数理形

態学への論理的アプローチにおいて、画像変換における物差しの役目を果たす structuring element の変化を記述するのに役立つ見通しがあるため、意見交換を行い国際共同研究への発展の可能性を探る。

HIM における Trimester Program には、シニア研究者 3 名を 1 ヶ月間～2 か月間派遣する。自由変数の概念を持たないラムダ計算、実数の Gray コード表現とその理論、構成的数学等の分野で、集中したフェイス・トゥ・フェイスの緊密な共同研究を行う。

これにより上記分野（1）～（4）の境界的な国際共同研究の創出、およびこれらの分野の実社会や他分野への応用の可能性を探り国際共同研究の創出につなげる。

<若手研究者育成>

HIM における Trimester Program には、若手研究者 3 名を 1 ヶ月間～3 か月間派遣する。また、大学院生 2 名を全期間（5 月 2 日～8 月 24 日）派遣し、1 つのサマー・スクール、3 つのワークショップに参加させる。HIM には EU 側のシニア研究者・若手研究者が多く参加するため、若手研究者・大学院生が多様なシニア研究者との議論により研究をリードする環境、EU 側若手研究者と次世代の国際研究ネットワークを構築する環境が整う。さらに、若手研究者 2 名を HIM のサマー・スクールに派遣し、研究交流課題への導入および研究への俯瞰力を養成する。また、昨年度に引き続き 9 月にフィッシュバツハウで開催されるオータム・スクール Proof and Computation 2018（9 月 16 日～22 日）を本事業の連携スクールと位置づけ、若手研究者や大学院生の参加を促す。これにより、研究を国際的に牽引する次世代リーダーの育成につなげる。

フランスのナンシーのセミナー（MLA 2019）では一流の著名な研究者が招待講演を行う環境で、若手研究者が最新の研究に触れ講演・討論を行うことにより、若手研究者の研究への俯瞰力を養成するとともに、国際的に研究を牽引する次世代リーダーの育成につなげる。また、相手国参加研究者によるセミナーを JAIST Logic Seminar Series として集中講義あるいはセミナーの形で開催し、引き続き若手研究者・大学院生に対する研究交流課題への導入を行う。

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

引き続き本研究交流課題のホームページで、セミナーやワークショップの情報を国内外の研究者や国民に発信する。また、本研究課題で得られた成果をプレプリント等の形で国内外の研究者に向けホームページ上に公開する体制を整える。

6. 平成 30 年度研究交流成果

<研究協力体制の構築>

北陸先端科学技術大学院大学は、Horizon 2020・RISE プロジェクト CID（2017-2020）の拠点機関であり、今までのプロジェクトにより構築された国際研究ネットワークを活かし、引き続きその維持・強化・拡大を目指した。特に、本研究交流課題の日本側研究者や若手研究者と EU 側研究者のフェイス・トゥ・フェイスの共同研究を通じたさらなる交流により既存の国際共同研究を深化させ研究協力体制を強化した。これにより、EU プロジェクトと

両輪をなして世界を牽引する研究の発信拠点の形成につながった。

平成 30 年度は、多くの EU 側参加研究者と日本側コーディネーターが協働して申請し採択された、ボン大学ハウズドルフ数学研究所 (HIM) の **Trimester Program, Types, Sets and Constructions** (5 月 2 日～8 月 24 日) を本事業の連携プログラムとして位置付けた。当該プログラムには EU 側参加研究者の多くが参加し、HIM におけるフェイス・トゥ・フェイスの共同研究の他、1 つのサマー・スクール、3 つのワークショップが開催された。日本側からは、研究者 3 名 (本事業経費外)、若手研究者 3 名、大学院生 2 名を 1 ヶ月間～全期間派遣した。HIM における集中したフェイス・トゥ・フェイスの緊密な共同研究は、国際研究ネットワークの維持・強化・拡大につながった。特筆すべきは、大学院生 1 名が HIM においてイタリア側参加研究者の **Schuster** 准教授の指導の下で副テーマ研究を実施し、その成果を論文としてまとめたことである。平成 31 年度には当該大学院生を **Shuster** 准教授の所属するヴェローナ大学に派遣し、論文投稿および今後の研究についてフェイス・トゥ・フェイスの討論・意見交換を行う予定である。また、HIM において日本側若手研究者が英国側研究者と協議し、英国との **JSPS** 二国間共同研究に申請を行った。結果は、英国側採択、日本側不採択であった。その他の共同研究として、研究者 5 名、若手研究者 8 名、大学院生 1 名を EU 側機関に 1 週間～3 週間派遣し、フェイス・トゥ・フェイスの共同研究を行った。

3 月にフランスのナンシーで “**Third Workshop on Mathematical Logic and its Applications (MLA 2019)**” を開催した。日本側からは研究者 6 名、若手研究者 7 名を派遣し、講演・意見交換などを通して中間評価結果を踏まえ新たに加わった相手国フランスとの領域横断的な国際共同研究を円滑に立ち上げることを支援した。その結果、日本側参加研究者が **MLA 2019** に参加した **CNRS IRIT** の **Matthes** 研究員と共同研究を立ち上げるようになった。平成 31 年度には **Matthes** 研究員をフランス側参加研究者に加え、日本側研究者を **CNRS IRIT** に派遣しフェイス・トゥ・フェイスの共同研究を実施する予定である。また、**HIM** および **MLA 2019** では、次年度以降の共同研究とセミナーの運営・企画について意見交換を行った。特に、中間評価結果を踏まえた双方向の研究交流および領域横断研究の推進、構築した国際研究ネットワークの本事業終了後のあり方について集中的に意見交換を行った。EU 側マッチングファンドの制約 (最低 1 ヶ月来日し、それに対し **2000EUR** を支援) が厳しく、特に (家族のいる) シニア研究者にとって利用しにくいのが現状であり、短期の来日を支援するファンドを用意する必要があるという認識を共有した。HIM において日本側コーディネーターは滞在していたスウェーデン側拠点機関のコーディネーター **Palmgren** 教授と意見交換を行い、平成 31 年度に本事業セミナーの 1 つをストックホルム大学で開催することを決めた。

<学術的観点>

本研究交流課題は EU プロジェクトのワークパッケージと連携し、(1) 証明論と構成的数学、(2) 自動定理証明とソフトウェア検証、(3) 連続構造の計算可能性、(4) 知識と信念の論理に焦点を絞り引き続き研究を推進した。特に、前年度の国際研究交流により研究成果が得られた (1)、(3) および (4) の研究をさらに深化させた。

(1) では、若手研究者が英国側拠点機関に滞在し **Shafer** 博士・大学院生らと共同研究、フランス側参加研究者を訪問し **Patey** 博士らと共同研究を行った。その結果、ポーランド空間における最適化問題・不動点定理の逆数学研究 (論文 1 本投稿済み 1 本準備中)、半順序構造の組み合わせ命題の逆数学研究、およびラムゼイの定理の **Weihrauch** 次数について (論文準備中) 成果を得た。

若手研究者がヘルシンキ大学に滞在し、適切さの論理のラベル付きシーケント計算について、**Negri** 教授と共同研究を行った。ラベル付きシーケント計算という枠組みを使用し、適切さの論理の諸体系についてカット除去定理を証明した。今後は同手法を用いて、適切さの論理の幾つかの体系について決定可能性の別証明を与える予定である。

若手研究者がミュンヘン大学に滞在し、順序数の整礎性証明の形式化について議論、スワージー大学に滞在し型理論の証明論的強さに関する共同研究を行った。研究ノートを共同で執筆するなど成果が出始めており、今後論文執筆につなげる。

若手研究者がイタリア側拠点機関に滞在し、**Ciraulo** 准教授、**Maschio** 博士と構成的位相空間論に関する共同研究を行った。前回の滞在期間中に行った共同研究の成果を査読付き学術雑誌へ投稿した。この成果を今後何如に発展させ、さらなる成果に結び付けていけるのかどうか課題である。

(2) では、計算可能解析学の記述集合論・位相空間論・圏論的アプローチに関する国際共同研究を推進した。また、本年度より新たな国内研究協力体制が構築され、分離論理の健全かつ完全な循環証明系に関する共同研究、循環証明系のカット除去定理に関する共同研究を行った。その成果を国際会議 **APLAS** で発表した。

シニア研究者が英国側協力機関の **Berger** 准教授と共同研究を行い、プログラム抽出のための論理体系 **IFP** に関する研究を進めた。また、同機関の **Pauly** 研究員と共同研究を行い、コンパクト集合の **T-omega** 表現について論文を投稿した。

若手研究者がイタリア側参加研究者 **Lago** 教授を訪問し、台頭しつつある確率的項書き換えの基本性質の議論を行い、またフランスのグループとの連携について協議した。

シニア研究者がフランス側拠点機関に滞在し、**Fontaine** 准教授・大学院生と共同で **SMT** ソルバ国際競技会 **SMT-COMP** に **VeriT/raSAT** が参加し、**QFNRA** 部門で 2 位を得た。

(3) では、若手研究者が英国側協力機関の **Pauly** 研究員とドイツ側参加機関の **Schroder** 研究員と、**overt choice** (**positive information** で表現されている閉集合に属している点の一つ選択・計算する問題) の計算可能性・連続性について共同研究を行った。**T₁** 分離公理を満たしている第 2 可算空間の場合、**overt choice** の連続性は **quasi-Polish** 性と同値であることを証明した。**Overt choice** の計算可能性を議論するために **computable quasi-Polish space** の概念を導入し、複数の同値生の特徴づけを与えた。今後、**computable quasi-Polish space** の性質を更に調べて、**computable coPolish space** の適切な定義を検討する予定である。

若手研究者が英国側協力機関に滞在し、**Pauly** 研究員と共同研究を実施した。二階算術における **ATR** に対応する **Weihrauch** 次数の研究および凸集合に関する **Weihrauch** 次数の研究を完成させ、共著論文 2 本を投稿した。また、計算可能性理論と基数不変量の測度論への小さな応用も発見したが、まだ大きな応用には結び付いていないため、今後の研究が待たれる。

(4) では、若手研究者 2 名が英国側拠点機関に滞在した。Stell 講師との平成 29 年度の共同研究の成果をまとめた結果が査読付き国際会議 RAMiCS2018 に採択され、proceedings に論文が採録された。今年度も英国側拠点機関に滞在し、Stell 講師と大学院生を交え双対直観主義論理上でハイパーグラフやその上の同値関係(様相論理の S5 を考えることに相当)の定義可能性について議論をした。また、双対直観主義論理上の命題動的論理 (PDL) について議論した。その結果、ハイパーグラフ、その上の同値関係の両方を直観様相論理式で記述できることを明らかにした。この結果と RAMiCS2018 での結果を合わせ、現在、学術雑誌論文を準備中である。また、滞在中の議論を通じて、双対直観主義論理上の命題動的論理 (PDL) については、Nishimura (1979) を基に考察するのがよいという方向性を明確にしたが、グラフ上の数理形態学についての応用例をさらに議論する必要があることが分かった。

HIM における Trimester Program には、シニア研究者 3 名 (本事業経費外) を 1 ヶ月間～2 か月間派遣し、自由変数の概念を持たないラムダ計算、実数の Gray コード表現とその理論、構成的数学等の分野で、集中したフェイス・トゥ・フェイスの緊密な共同研究を行った。

これらにより上記分野 (1) ～ (4) の境界的な国際共同研究の創出、およびこれらの分野の実社会や他分野への応用の可能性を探り国際共同研究の創出につなげた。

<若手研究者育成>

HIM における Trimester Program には、若手研究者 3 名を 1 ヶ月間～3 か月間派遣した。また、大学院生 2 名を全期間 (5 月 2 日～8 月 24 日) 派遣し (一部本事業経費外)、1 つのサマー・スクール、3 つのワークショップに参加させた。HIM には EU 側のシニア研究者・若手研究者が多く参加したため、若手研究者・大学院生が多様なシニア研究者との議論により研究をリードする環境、EU 側若手研究者と次世代の国際研究ネットワークを構築する環境が整っていた。さらに、若手研究者 2 名を HIM のサマー・スクールに派遣し、研究交流課題への導入および研究への俯瞰力を養成した。その結果、前述したように大学院生 1 名が HIM においてイタリア側参加研究者の Schuster 准教授の指導の下で副テーマ研究を実施し、その成果を論文としてまとめ、若手研究者が英国側研究者と協議し、英国との JSPS 二国間共同研究に申請を行った。また、別の大学院生が、英国側協力機関の Berger 准教授と共同研究を立ち上げ実施した。これにより、研究を国際的に牽引する次世代リーダーの育成につなげた。

フランスのナンシーのセミナー (MLA 2019) では一流の著名な研究者が招待講演を行う環境で、若手研究者が最新の研究に触れ講演・討論を行うことにより、若手研究者の研究への俯瞰力を養成するとともに、国際的に研究を牽引する次世代リーダーの育成につなげた。また、相手国参加研究者によるセミナーを JAIST Logic Seminar Series として集中講義あるいはセミナーの形で以下のように開催し、引き続き若手研究者・大学院生に対する研究交流課題への導入を行った。

年月日	講師	講演題目	備考
H31.01.10	Arnold Beckmann (Swansea University)	Blockchain for Asset Reuse	セミナー
H31.03.06	Helmut Schwichtenberg (LMU Muenchen)	Equality and extensionality	セミナー

<その他（社会貢献や独自の目的等）>

引き続き本研究交流課題のホームページで、セミナーやワークショップの情報を国内外の研究者や国民に発信した。また、本研究課題で得られた成果をプレプリント等の形で国内外の研究者に向けホームページ上に公開する体制を整えつつある。

<今後の課題・問題点>

前述したが EU 側マッチングファンドの制約（最低 1 ヶ月来日し、それに対し 2000EUR を支援）が厳しく、特に（家族のいる）シニア研究者にとって利用しにくいのが現状であり、短期の来日を支援する日本側または EU 側ファンドを用意する必要がある。

スウェーデンとの研究交流が他の相手国と比較して少ない。これに関しては平成 31 年度に本事業セミナーの 1 つをストックホルム大学で開催することで、スウェーデンとの研究交流の活性化を図る。

7. 平成 30 年度研究交流実績状況

7-1 共同研究

整理番号	R-1	研究開始年度	平成 27 年度	研究終了年度	平成 31 年度
共同研究課題名	(和文) 数理論理学とその応用の研究 (英文) Study of Mathematical Logic and its Applications				
日本側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(和文) 石原 哉・北陸先端科学技術大学院大学・教授・1-1 (英文) Hajime ISHIHARA・Japan Advanced Institute of Science and Technology・Professor・1-1				
相手国側代表者 氏名・所属・ 職名・研究者番号	(英文) Michael RATHJEN・University of Leeds・Professor・2-1 Erik PALMGREN・Stockholm University・Professor・3-1 Helmut SCHWICHTENBERG・Ludwig-Maximilians-University Munich・Professor・4-1 Maria Emilia MAIETTI・University of Padova・Associate Professor・5-2 Pascal FONTAINE・University of Lorraine・Associate Professor・6-1				

<p>30年度の 研究交流活動</p>	<p>理論分野における共同研究は、いままでの研究経過・研究成果を考えると、日常的な電子メールやテレビ会議による共同研究に比べ、たとえ数週間でも同じ場所で集中して討論・意見交換を行うことにより、著しく進展し顕著な研究成果が得られる。EUプロジェクトのワークパッケージと連携し、</p> <p>(1) 証明論と構成的数学、(2) 自動定理証明とソフトウェア検証、(3) 連続構造の計算可能性、(4) 知識と信念の論理を中心にフェイス・トゥ・フェイスの共同研究をメールやテレビ会議を併用しながら引き続き推進した。</p> <p>(1) では特に、若手研究者が英国側拠点機関に滞在し不動点定理の逆数学、フランス側参加研究者を訪問しラムゼイの定理に関する共同研究を行った。若手研究者がヘルシンキ大学に滞在し適切さの論理のラベル付きシーケント計算について共同研究を行った。若手研究者がミュンヘン大学に滞在し順序数の整礎性証明の形式化、スワンジー大学に滞在し型理論の証明論的強さに関する共同研究を行った。若手研究者がイタリア側拠点機関に滞在し構成的位相空間論に関する共同研究を行った。</p> <p>(2) では特に、シニア研究者が英国側協力機関の研究者とプログラム抽出のための論理体系 IFP に関する共同研究を行った。若手研究者がイタリア側参加研究者を訪問し確率的項書き換えの基本性質に関する共同毛乳を行った。シニア研究者がフランス側拠点機関に滞在し共同で SMT ソルバ国際競技会 SMT-COMP に VeriT/raSAT が参加した。</p> <p>(3) では特に、若手研究者が英国側協力機関の研究者、ドイツ側協力機関の研究者と overt choice に関する共同研究を行った。若手研究者が英国側協力機関に滞在し二階算術における ATR に対応する Weihrauch 次数に関する共同研究を行った。</p> <p>(4) では、若手研究者2名が英国側拠点機関に滞在し拠点機関の研究者に大学院生を交え双対直観主義論理に関する共同研究を行った。</p> <p>ボン大学ハウスドルフ数学研究所(HIM)の Trimester Program, Types, Sets and Constructions (5月2日~8月24日)を本事業の連携プログラムとして位置付けた。シニア研究者3名を1ヶ月間~2か月間派遣し(本事業経費外)、EU側参加研究者と集中したフェイス・トゥ・フェイスの緊密な共同研究を行った。また、若手研究者3名を1ヶ月間~3か月間派遣し、構成的逆数学等に関する共同研究を行った。また、大学院生2名を全期間(5月2日~8月24日)派遣し、1つのサマー・スクール、3つのワークショップに参加させた。さらに、若手研究者2名をHIMのサマー・スクールに派遣した。その他の共同研究として、研究者5名、若手研究者8名、大学院生1名をEU側機関に1週間~3週間派遣し、領域横断研究を含む研究をフェイス・トゥ・フェイスで行った。</p> <p>HIM およびセミナー (S-1) において、次年度以降の共同研究とセミナー</p>
-------------------------	--

	<p>の運営・企画について意見交換を行うとともに、国内協力機関および相手国との進捗状況の確認・共有を行った。特に、中間評価結果を踏まえた双方向の研究交流および領域横断研究の推進、構築した国際研究ネットワークの本事業終了後のあり方について集中的に意見交換を行った。</p> <p>相手国との研究交流にかかる派遣</p> <p>英国・のべ7名・それぞれ4日間～18日間 スウェーデン（フィンランド）・1名・9日間 ドイツ・のべ10名・それぞれ8日間～115日間 イタリア・7名・それぞれ5日間～21日間 フランス・1名・15日間</p> <p>相手国との研究交流にかかる受入</p> <p>英国・4名・それぞれ14日間～90日間 ドイツ・5名・それぞれ8日間～42日間 フランス・1名・22日間</p>
<p>30年度の 研究交流活動 から得られた 成果</p>	<p>HIMにおけるシニア研究者による集中したフェイス・トゥ・フェイスの緊密な共同研究は、国際研究ネットワークの維持・強化・拡大につながった。HIMにはEU側のシニア研究者・若手研究者が多く参加するため、若手研究者・大学院生が多様なシニア研究者との議論により研究をリードする環境、EU側若手研究者と次世代の国際研究ネットワークを構築する環境が整っていた。若手研究者2名をHIMのサマー・スクールに派遣することにより、研究交流課題への導入および研究への俯瞰力が養成できた。実際、大学院生1名がHIMにおいてイタリア側参加研究者のSchuster准教授の指導の下で副テーマ研究を実施し、その成果を論文としてまとめた。また、HIMにおいて日本側若手研究者が英国側研究者と協議し、英国とのJSPS二国間共同研究に申請を行った。HIMにおいて日本側コーディネーターとスウェーデン側拠点機関のコーディネーターが意見交換を行い、平成31年度に本事業セミナーの1つをストックホルム大学で開催することを決めた。</p> <p>その他の共同研究では、不動点定理の逆数学、ラムゼイの定理、適切さの論理のラベル付きシーケント計算、順序数の整礎性証明の形式化、型理論の証明論的強さ、構成的位相空間論、プログラム抽出のための論理体系IFP、確率的項書き換えの基本性質、overt choice、二階算術におけるATRに対応するWeihrauch次数、双対直観主義論理に関して成果を得た。</p> <p>これにより、国際研究ネットワークの維持・強化・拡大につながった。特に、若手研究者によるこれらの共同研究では次世代の国際研究ネットワークの構築の端緒が得られた。</p>

7-2 セミナー

整理番号	S-1
セミナー名	(和文) 日本学術振興会研究拠点形成事業「第3回数理論理学とその応用ワークショップ」
	(英文) JSPS Core-to-Core Program “Third Workshop on Mathematical Logic and its Applications”
開催期間	平成31年3月11日 ~ 平成31年3月14日 (4日間)
開催地(国名、都市名、会場名)	(和文) フランス、ナンシー、ロリア
	(英文) France, Nancy, Loria
日本側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号	(和文) 石原 哉・北陸先端科学技術大学院大学・教授・1-1
	(英文) Hajime ISHIHARA・Japan Advanced Institute of Science and Technology・Professor・1-1
相手国側開催責任者 氏名・所属・職名・ 研究者番号 (※日本以外での開催の場合)	(英文) Pascal FONTAINE・University of Lorraine・Associate Professor・6-1

参加者数

派遣先 派遣元		セミナー開催国 (フランス)		備考
		A.	B.	
日本	A.	13/ 83		
	B.			
英国	A.	1/ 6		
	B.	1		
スウェーデン	A.			
	B.	1		
ドイツ	A.	1/ 6		
	B.	1		
フランス	A.	3/ 12		
	B.	9		
米国	A.			
	B.	2		
合計 <人/人日>	A.	18/ 107		
	B.	14		

A. 本事業参加者 (参加研究者リストの研究者等)

B. 一般参加者（参加研究者リスト以外の研究者等）

※人／人日は、2／14（＝2人を7日間ずつ計14日間派遣する）のように記載してください。

※日数は、出張期間（渡航日、帰国日を含めた期間）としてください。これによりがたい場合は、備考欄にその内訳等を記入してください。

<p>セミナー開催の目的</p>	<p>本ワークショップは平成 28 年度京都、平成 29 年度金沢で開催した、本研究交流課題の一連のセミナーの 3 回目である。平成 30 年度は、新たに加わった相手国フランスのナンシーで開催する。新しい相手国フランスで開催することにより、フランス側参加研究者との新たな共同研究の円滑な立上げを目指す。セミナーの大きな目的は、(1) 証明論と構成的数学、(2) 自動定理証明とソフトウェア検証、(3) 連続構造の計算可能性、(4) 知識と信念の論理に関する研究にかかる情報交換、国内協力機関および相手国との進捗状況の確認・共有である。また、フランス側拠点機関のロレーヌ大学 (Loria) は、領域横断研究に強みがあり、中間評価結果を踏まえた本研究交流課題での領域横断研究の創出・進展を目的の 1 つとする。</p>
<p>セミナーの成果</p>	<p>本ワークショップにより、本研究交流課題のそれぞれのトピックに関して参加研究者で最新の結果を含む成果が共有できた。また、国内協力機関および相手国との進捗状況の確認・共有できた。タイムリーなテーマで招待講演により、日本側から若手研究者 7 名が参加し研究交流課題への導入および研究への俯瞰力が養成できた。さらに、領域横断研究に強みを持つフランス側研究者との共同研究が創出・進展できた。実際、日本側参加研究者が MLA 2019 に参加した CNRS IRIT の Ralph Matthes 研究員と共同研究を立ち上げることになった。平成 31 年度には Matthes 研究員をフランス側参加研究者に加え、日本側研究者を CNRS IRIT に派遣しフェイス・トゥ・フェイスの共同研究を実施する予定である。</p>
<p>セミナーの運営組織</p>	<p>組織委員会 BONFANTE Guillaume · University of Lorraine · Associate Professor · 6-2 FONTAINE Pascal · University of Lorraine · Associate Professor · 6-1 HOYRUP Mathieu · Loria · INRIA Researcher プログラム委員会 BECKMANN Arnold · Swansea University · Professor · 2-15 BERGER Ulrich · Swansea University · Reader · 2-14 DE BRECHT Matthew · 京都大学 · 講師 · 1-39 HOYRUP Mathieu · Loria · INRIA Researcher RATHJEN Michael · University of Leeds · Professor · 2-1 石原 哉 · 北陸先端科学技術大学院大学 · 教授 · 1-1 小川 瑞史 · 北陸先端科学技術大学院大学 · 教授 · 1-2</p>

	横山 啓太・北陸先端科学技術大学院大学・講師・1-9		
開催経費 分担内容 と金額	日本側	内容 国内旅費 外国旅費 不課税取引・非課税取引に係る消費税	金額 2,968,307円
	(英国)側	内容 外国旅費	
	(ドイツ)側	内容 外国旅費	
	(フランス)側	内容 国内旅費、会議費	

7-3 中間評価の指摘事項等を踏まえた対応

①評価コメント（抜粋）：複数テーマにまたがる研究については、少なくとも中間評価資料からは成果が見えにくいいため、今後は各テーマ内の研究だけでなく、中間評価資料に述べられている「分野横断的な国際共同研究の創出」も期待したい。

対応：平成 30 年度のセミナー（S-1）を、領域横断研究に強みを持つフランス側拠点機関のローヌ大学（Loria）で開催することにより、領域横断研究の創出・進展させた。その結果、日本側参加研究者が MLA 2019 に参加した CNRS IRIT の Ralph Matthes 研究員と共同研究を立ち上げるようになった。平成 31 年度には Matthes 研究員をフランス側参加研究者に加え、日本側研究者を CNRS IRIT に派遣しフェイス・トゥ・フェイスの共同研究を実施する予定である。

また、共同研究では、ボローニャ大学に若手研究者 1 名を派遣し、台頭しつつある確率的項書き換えの基本性質に関する領域横断型国際共同研究を立ち上げ、またフランスのグループとの連携について協議した。リーズ大学に若手研究者 2 名を派遣し、前年度までの双対直観主義論理上でハイパーグラフやその上の同値関係（様相論理の S5 を考えることに相当）の定義可能性について議論するとともに、数理形態学のための双直観主義論理に関する領域横断型国際共同研究を進展させた。

②評価コメント（抜粋）：研究交流活動に関して「双方向交流」という観点で、相手国から日本へ来る研究者がさらに増え、それを基にして若手と若手の組合せによる共同研究が活発化していくことを期待したい。

対応：マッチングファンド CID のコーディネーターは、EU 側から日本への派遣が少ないのは EU Horizon 2020 Marie Skłodowska-Curie actions (RISE) のファンディング方式によるところが多く、頭を悩ませている。この問題に関しては、HIM および MLA 2019 で、次年度以降の共同研究とセミナーの運営・企画について意見交換を行う際に、双方向の研究交流について集中的に意見交換を行った。その結果、EU 側マッチングファンドの制約（最低 1 ヶ月来日し、それに対し 2000EUR を支援）が厳しく、特に（家族のいる）シニア研究者にとって利用しにくいのが現状であり、短期の来日を支援するファンドを用意する必要があるという認識を共有した。

③評価コメント（抜粋）：、世界的第一線にあるシニア研究者による国際研究の深化と同時に、潜在能力の高い若手研究者がこのプロジェクトに参加することにより、一層国際的に活躍できる自信と実績を得られることを期待する。

対応：平成 30 年度は、HIM の Trimester Program, Types, Sets and Constructions (5 月 2 日～8 月 24 日) を本事業の連携プログラムとして位置付け、シニア研究者 3 名を 1 ヶ月間～2 か月間派遣した（本事業経費外）。これにより国際共同研究が深化した。また、若手研究者 3 名を 1 ヶ月間～3 か月間派遣した。さらに、大学院生 2 名を全期間派遣し、1 つのサマー・スクール、3 つのワークショップに参加させた。

HIM には EU 側のシニア研究者・若手研究者が多く参加したため、若手研究者・大学院生が

多様なシニア研究者との議論により一層国際的に活躍できる自身と実績が得られた。実際、大学院生1名がHIMにおいてイタリア側参加研究者のPeter Schuster 准教授の指導の下で副テーマ研究を実施し、その成果を論文としてまとめた。別の大学院生が、英国側参加機関のBerger 准教授と共同研究を立ち上げ実施した。また、HIMにおいて日本側若手研究者が英国側研究者と協議し、英国とのJSPS 二国間共同研究に申請を行った。

8. 平成30年度研究交流実績総人数・人日数

8-1 相手国との交流実績

派遣先 派遣元	四半 期	日本	英国	スウェーデン	ドイツ	イタリア	フランス	韓国 (ドイツ側参加 者)	フィンランド (スウェーデン 側参加者)	合計
日本	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	5 / 100 (3 / 80)	1 / 10 (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	6 / 100 (3 / 80)
	2	2 / 17 (1 / 4)	/ (/)	/ (/)	2 / 49 (3 / 39)	/ (/)	1 / 15 (/)	/ (/)	/ (/)	5 / 17 (4 / 37)
	3	1 / 4 (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	2 / 22 (/)	/ (/)	/ (1 / 8)	1 / 9 (/)	4 / 35 (1 / 8)
	4	4 / 45 (/)	/ (/)	/ (/)	4 / 31 (/)	4 / 60 (/)	13 / 89 (/)	/ (/)	/ (/)	25 / 145 (0 / 0)
	計	7 / 66 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	11 / 100 (6 / 100)	7 / 92 (0 / 0)	14 / 100 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 8)	1 / 9 (0 / 0)	40 / 145 (8 / 100)
英国	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	3	/ (3 / 100)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (3 / 100)
	4	/ (2 / 13)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (2 / 13)
	計	0 / 0 (5 / 100)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (5 / 100)
スウェーデン	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)
ドイツ	1	/ (3 / 38)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (3 / 38)
	2	/ (1 / 8)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 8)
	3	/ (1 / 42)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 42)
	4	/ (2 / 52)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (2 / 52)
	計	0 / 0 (7 / 100)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (7 / 100)
イタリア	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)
フランス	1	/ (1 / 22)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 22)
	2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (1 / 32)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (1 / 32)
	計	0 / 0 (2 / 54)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (2 / 54)
韓国 (ドイツ側参加 者)	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)
フィンランド (スウェー デン側参加 者)	1	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	2	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	3	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	4	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	/ (/)	0 / 0 (0 / 0)
	計	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)
合計	1	0 / 0 (4 / 58)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	5 / 100 (3 / 80)	1 / 10 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	6 / 100 (7 / 100)
	2	0 / 0 (1 / 8)	2 / 17 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 49 (3 / 39)	0 / 0 (0 / 0)	1 / 15 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	5 / 17 (5 / 89)
	3	0 / 0 (4 / 100)	1 / 4 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	2 / 22 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 8)	1 / 9 (0 / 0)	4 / 35 (5 / 100)
	4	0 / 0 (5 / 99)	4 / 45 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	4 / 31 (0 / 0)	4 / 60 (0 / 0)	13 / 89 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	0 / 0 (0 / 0)	25 / 145 (5 / 99)
	計	0 / 0 (14 / 100)	7 / 66 (1 / 4)	0 / 0 (0 / 0)	11 / 100 (6 / 100)	7 / 92 (0 / 0)	14 / 100 (0 / 0)	0 / 0 (1 / 8)	1 / 9 (0 / 0)	40 / 145 (18 / 100)

※各国別に、研究者交流・共同研究・セミナーにて交流した人数・人日数を記載してください。(なお、記入の仕方の詳細については「記入上の注意」を参考にしてください。)

※相手国側マッチングファンドなど、本事業経費によらない交流についても、カッコ書きで記入してください。

※相手国以外の国へ派遣する場合、国名に続けて(第三国)と記入してください。

8-2 国内での交流実績

第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	合計
/ (/)	/ (/)	/ (/)	2 / 8 (/)	2 / 8 (0 / 0)

9. 平成30年度経費使用総額

(単位 円)

	経費内訳	金額	備考
研究交流経費	国内旅費	360,591	国内旅費、外国旅費の合計は、研究交流経費の50%以上であること。
	外国旅費	12,166,135	
	謝金	0	
	備品・消耗品購入費	0	
	その他の経費	0	
	不課税取引・非課税取引に係る消費税	973,274	
	計	13,500,000	研究交流経費配分額以内であること。
業務委託手数料		1,350,000	研究交流経費の10%を上限とし、必要な額であること。また、消費税額は内額とする。
合 計		14,850,000	