

2025 年 12 月 24 日

2025 年度 東京都立大学若手研究力強化派遣実施報告書

東京都立大学学長 殿

所 属 システムデザイン学部 情報科学科

職 名 助教

氏 名 伊澤 侑祐

1. 派遣先： デュッセルドルフ大学 (Heinrich Heine University Düsseldorf) (国名：ドイツ)

2. 研究課題名 (和文) ※研究課題名は申請時のものと変わらないように記載すること。

汎用計算コンパイラの深層学習コンパイラ化3. 派遣期間： 2025 年 6 月 1 日 ~ 2025 年 9 月 30 日

4. 研究の概要

本研究は、「汎用計算コンパイラの深層学習コンパイラ化」という研究課題名のもと、汎用的な計算処理を対象として設計されてきたコンパイラ技術を、特定分野に特化した高度な計算処理へと展開するための基盤技術を明らかにすることを目的としている。その中でも本派遣期間中は、深層学習そのものを直接の対象とするのではなく、将来的な応用を見据えた基礎研究として、汎用コンパイラにおける「拡張性」および「実行時最適化機構」の検討に重点を置いた。

具体的には、RPython を用いた処理系実装を対象として、既存の汎用計算コンパイラに対し、新たな解析や最適化を段階的に組み込むための仕組み (GenExtension) や、言語仕様を厳密に記述した形式的仕様 (p4spectec) を実行系と結び付ける手法 (RPyP4SpecTec) について検討を行った。これらはいずれも、汎用コンパイラを単一用途に固定するのではなく、用途や計算特性に応じて柔軟に拡張・特殊化するための基盤技術である。

GenExtension に関する研究では、meta-tracing JIT コンパイラにおけるコンパイル・最適化処理を、部分評価 (partial evaluation) を用いて段階的に特殊化する可能性とその限界について整理を行った。また、RPyP4SpecTec に関しては、言語仕様レベルで記述された構造や制約を、実行時の処理系実装とどのように対応付けるかという問題に着目し、仕様駆動型の処理系設計の実現可能性を検討した。

これらの検討は、現時点では深層学習計算に直接適用されるものではないものの、将来的に特定分野向けコンパイラ (例：深層学習、データ処理、専門計算) を汎用コンパイラ技術の延長として構築するために不可欠な基礎的知見を与えるものである。本派遣期間中の滞在および現地研究者との議論を通じて、こうした基盤研究の位置づけや研究としての意義を国際的な文脈の中で明確化することができた。

5. 所期の目的の遂行状況及び成果

【記載事項】

○研究・調査実施状況及びその成果（関係学会、学会誌等への発表等）

※学会発表に関する記載事項：学会名，発表題目名，口頭・ポスター等の形式，発表年月日等

※学会誌等への発表に関する記載事項：著者，発表論文名，学会誌名，発表年月巻号等

○海外に身を置くことで得られた経験・知見等

研究・調査実施状況および成果

本派遣期間中およびその前後を通じて、プログラミング言語(PL)・仮想機械(VM)分野における国際的研究活動を継続的に推進し、以下の成果を得た。

(1) ECOOP 2025 (European Conference on Object-Oriented Programming: オブジェクト指向およびプログラミング言語分野における欧州最大級の国際会議)において、“A Lightweight Method for Generating Multi-Tier JIT Compiler Virtual Machine in a Meta-Tracing JIT Compiler Framework” という題目で、伊澤・増原 (科学大)・Bolz-Tereick (デュッセルドルフ大、本滞在のホスト) と共に研究成果の国際会議発表を実施した。動的言語処理系および実行時最適化に関する研究成果を発表し、欧州を中心とする研究者から有益なフィードバックを得た。[1]

(2) UIST 2025 (ACM Symposium on User Interface Software and Technology: ユーザインタフェース技術とソフトウェアシステムを対象とする国際会議)のポスターセッショントラックにおいて、“VisMorph: A Live Programming Environment for Shape-Adaptive Computers” という題目で伊澤・門本 (東大)・入江 (東大) による論文が採択され、インタラクティブシステムおよびライブプログラミング環境に関する研究成果を発表した。PL 分野に限らない幅広い研究者との意見交換を通じて、研究の応用可能性と新たな評価軸を確認する機会となった。[2]

(3) VMIL 2025 workshop (Virtual Machines and Intermediate Languages: 仮想機械および中間言語を対象とする国際ワークショップ)において Program Committee Chair を務め、国際ワークショップの企画・運営に主体的に関与した。これにより、当該分野における研究動向を俯瞰的に把握するとともに、国際的研究ネットワークの中核的立場としての役割を果たした。当成果が国際的に認知され、VMIL の運営委員にメンバーとして参加することができた。[3]

(4) ドイツ・ポツダムにある Hasso Plattner Institute および、オランダ・エンシュクデーにある University of Twente において招待講演を行った。両講演はそれぞれ Prof. Robert Hirschfeld、Prof. Fernando Castor の招待・ホストによるものであり、多段コンパイラを軽量に自動生成する手法に関する研究成果を発表した。いずれの講演においても、少人数かつ距離の近い環境で集中的な議論を行うことができ、国際会議発表では得にくい率直かつ具体的なフィードバックを得ることができた。また、研究内容にとどまらず研究者個人としての交流も深めることができ、国際的な研究者ネットワークの拡大につながった。[4, 5]

これらの活動は、単発の研究成果に留まらず、国際的研究コミュニティにおける継続的な貢献および可視性の向上につながるものであり、本派遣の目的である研究力強化に直接的に資する成果である。

研究成果リスト

[1] **Izawa, Yusuke**, Hidehiko Masuhara, and Carl Friedrich Bolz-Tereick (June 30th, 2025). A Lightweight Method for Generating Multi-Tier JIT Compilation Virtual Machine in a Meta-Tracing Compiler

Framework. In: 39th European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP 2025). Ed. by Jonathan Aldrich and Alexandra Silva. Vol. 333. Leibniz International Proceedings in Informatics (LIPIcs). Dagstuhl, Germany: Schloss Dagstuhl - Leibniz-Zentrum für Informatik, 16:1-16:29. isbn: 978-3-95977-373-7. arXiv: <http://arxiv.org/abs/2504.17460>.

[2] **Izawa, Yusuke**. Junichiro Kadomoto, and Hidetsugu Irie. (Sept. 28th, 2025). VisMorph: A Live Programming Environment for Shape-Adaptive Computers. In Adjunct Proceedings of the 38th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST Adjunct '25). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 123, 1-3.
<https://doi.org/10.1145/3746058.3758364>

[3] Marr, Stefan, Shoaib Akram, **Yusuke Izawa**. (Oct. 17. 2025). Proceedings of the 17th ACM SIGPLAN International Workshop on Virtual Machines and Intermediate Languages. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA.

[4] **Izawa, Yusuke** (Sept. 2025). A Lightweight Approach to Multi-Tier JIT Compiler VM in a Meta-Tracing Compiler Framework. University of Twente Colloquium.

[5] **Izawa, Yusuke** (July 2025b). A Lightweight Method for Generating Multi-Tier JIT Compilation Virtual Machine in a Meta-Tracing Compiler Framework (Extended Version of ECOOP 2025). Systems Design Research Meeting, Hasso-Plattner-Institute.

海外に身を置くことで得られた経験・知見

ドイツ・デュッセルドルフに滞在し、現地研究者や学生と日常的に交流する中で、研究遂行および研究組織運営に関して以下の重要な知見を得た。

ドイツにおける研究現場では、個人の専門性や強みを明確に意識し、それらを分担・組み合わせることで、限られた時間内でも高い成果を生み出す研究スタイルが定着していることを実感した。また、休息を重視し、コーヒータイム等の非公式な場を活用して、リラックスした雰囲気の中で議論を行う文化が根付いており、これが創造的なアイデア創出に大きく寄与していると感じた。特に、デュッセルドルフ大学の構内には大小合わせて約6か所のカフェテリアが整備されており、日常的に同僚や学生と気軽に会話や議論を行える環境が印象的であった。朝早くから研究活動を行い、夕方以降は私生活に時間を割くという時間管理の考え方も、研究の持続性という観点で示唆に富むものであった。

EU 圏内に拠点を置くことの大きな利点として、国際会議への出張が地理的・制度的に容易である点、ならびに EU の研究枠組みを通じた国際共同研究が進めやすい点を実感した。国際化の推進が大学運営の基本方針として位置づけられており、他国からの客員研究員やインターン学生を定期的に受け入れているため、自然な形で研究者ネットワークが拡大している。また、国際課のスタッフの中には博士号を有する職員もおり、滞在許可証に関する手続きや現地の外人局との調整について専門的な助言や助力を得ることができた点は、非常に心強かった。これらの要素は、研究成果の迅速な発信および国際連携の加

速に直結する重要な基盤である。

修士・博士学生、ならびに同僚研究者との間では、立場に依らないオープンかつフラットな議論文化が根付いており、研究アイデアの初期段階から率直な意見交換が行われている。たとえば、未成熟なアイデアを教員が提示し、それに対し学生が率直にコメントを述べることは日常茶飯事である。採択者も学生とフラットに議論を進める中で、学生のポテンシャルの高さを感じ、指導対象ではなく一人の若手研究者として接していくようになった。このような環境は、若手研究者や学生の主体性を引き出し、研究の質を高める上で極めて有効であると感じた。

時差のない対面環境での共同研究活動は、定期的なオンラインミーティングを継続する場合と比べて、はるかに大きな成果を生むことを実感した。採択者は本滞在以前からホスト研究者と約3年間にわたり国際共同研究を行ってきたが、COVID-19の影響により、主にオンラインでの共同作業に限られていた。その間にも国際会議発表や論文発表といった成果は得られたものの、研究者ネットワークの拡大という点では制約があった。本滞在中を通じて、約4か月という比較的短期間で2件の新規研究プロジェクトを立ち上げるとともに、デュッセルドルフ大の2名の修士学生を共同研究プロジェクトに加えることができた。これは、対面での密なコミュニケーションに加え、短期間であっても研究グループに物理的に所属することで、自身の研究者としての存在が認知されたことによる成果であり、オンラインのみの共同研究では得られなかった経験である。

6. 今後の活動予定

(学内発表会や公開講座、教員を対象とした公開シンポジウム、オープンキャンパス等)

本派遣で得られた成果および知見を踏まえ、今後は以下の活動を計画している。

- (1) 学内研究会やセミナー等において、派遣成果および国際研究動向に関する報告を行い、学内研究者および学生への知見共有を図る。
- (2) 国際共同研究を一層加速させるため、海外研究者との定期的なオンラインミーティングを継続するとともに、共同執筆論文の準備・投稿を進める。特に、欧州研究者との連携を軸とした中長期的研究プロジェクトの立ち上げを目指す。
- (3) 学生指導への還元として、国際的な研究水準や研究遂行スタイルを教育・研究指導に反映し、修士・博士学生の研究テーマ高度化および国際発信力の強化を図る。

これらの取り組みを通じて、本派遣の成果を一過性のものとせず、大学全体の研究力向上および国際的プレゼンス強化に継続的に貢献していく予定である。