

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12613

研究種目：国際共同研究加速基金（国際共同研究強化(A））

研究期間：2020～2023

課題番号：19KK0286

研究課題名（和文）言語学習者の誤用に注目した単語と文の分散表現の獲得と分析

研究課題名（英文）Acquisition and Analysis of Distributed Representations of Words and Sentences
Focusing on Language Learners' Errors

研究代表者

小町 守（KOMACHI, Mamoru）

一橋大学・大学院ソーシャル・データサイエンス研究科・教授

研究者番号：60581329

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 9,700,000円

渡航期間： 8ヶ月

研究成果の概要（和文）：英語・日本語・中国語の文法誤り訂正に関するデータセットの構築と、深層学習を用いた多言語の文法誤り訂正システムの出力の分析と包括的な評価に取り組みました。以下は、研究期間全体を通じて実施した研究成果の概要です。(1) 文法誤り訂正への事前学習モデルの適用 (2) 文法誤り訂正システムの高速度化 (3) 学習者の誤りを考慮した擬似学習者コーパスを用いた文法誤り訂正手法の提案 (4) 文法誤り訂正出力の多様性の分析と改善 (5) 多言語モデルによる文法誤り訂正の言語知識の転移学習 (6) 文法誤り訂正の自動評価手法の開発およびデータセット構築

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究を通じて、最先端の深層学習を用いた文法誤り訂正手法の到達点と限界について明らかになりました。文法誤り訂正の性能が見違えるように改善された一方、これまで用いられてきた文法誤り訂正の評価データセットが深層学習時代の文法誤り訂正手法の評価には適さないことが明らかになり、多言語での評価用のデータセットの構築や、それらを用いた適切な評価尺度の開発の必要性が示唆され、言語学習者の誤用の評価の重要性が再確認されました。

研究成果の概要（英文）：We have worked on the construction of datasets for grammatical error correction in English, Japanese, and Chinese, as well as the analysis and comprehensive evaluation of outputs from multilingual grammatical error correction systems using deep learning. Below is an overview of the research achievements conducted throughout the research period: (1) Application of pre-trained models to grammatical error correction, (2) Acceleration of grammatical error correction systems, (3) Proposal of a grammatical error correction method using a pseudo-learner corpus considering learners' errors, (4) Analysis and improvement of the diversity of grammatical error correction outputs, (5) Transfer learning of language knowledge for grammatical error correction using multilingual models, and (6) Development and dataset construction of an automatic evaluation method for grammatical error correction

研究分野：自然言語処理

キーワード：自然言語処理 深層学習 文法誤り訂正 言語学習支援 言語教育支援

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

我々の研究グループは日本における自然言語処理による言語学習支援の最先端の研究を行っているグループである。我々は、英語文法誤り訂正の 2012 年の共通タスクにおいて、Lang-8 学習者コーパス (Mizumoto et al., IJCNLP 2011) を用いることで前置詞誤り訂正において当時の世界最高精度を達成したことから世界的に注目を受けた。その後、同コーパスが自然言語処理業界で標準的に使われるようになるとともに、この分野での世界的な研究グループと認知されるようになった。特に英語の文法誤り検出の研究が有名であるが、日本語や中国語、ロシア語、インドネシア語など様々な言語における文法誤り・検出の研究を行っており、多数の言語学習者テキストの文法誤り検出・訂正を手がけている研究室は世界に類を見ない。

研究開始当初までに、我々の研究グループは、単語分散表現の訓練において、言語学習者の誤り分布に従ってノイズとなる置換単語を選択することで、英語の文法誤り検出タスクにおいてその当時の世界最高精度を達成した (金子ら, 自然言語処理 2018)。また、そこで獲得された単語分散表現を分析することで、ネイティブの書く単語の用法と非ネイティブの書く単語の用法の違いを比較することができることを示唆した。我々の打ち立てた記録は、その後ケンブリッジ大学の研究グループによって塗り替えられたが、2019 年にはさらに我々の研究グループが現在の世界最高精度を更新した (Kaneko and Komachi, CILing 2019)。このように、英語文法誤り検出の分野においては、2016 年以降我々の研究グループとケンブリッジ大学の国際共同研究先の研究グループが互いに切磋琢磨することによって発展していた。特に、我々の研究グループは、形態論的に英語よりも複雑な日本語およびロシア語の文法誤り検出・訂正においても現在世界最高精度を樹立しており、ケンブリッジ大学の研究グループと共同で研究することで、世界最先端の研究を推し進めることができると考えられた。

2019 年当時はちょうど BERT (Bidirectional Encoder Representation from Transformer; Devlin et al., NAACL 2019) に代表される事前学習モデルの登場前夜であり、深層学習でどのように文の分散表現を学習するのが良いか、どのように文を分割するのが効果的か、そしてそれは言語横断的に適用することができるか、といったようなことが未解決の課題であった。

参考文献

1. Tomoya Mizumoto, Mamoru Komachi, Masaaki Nagata, Yuji Matsumoto. Mining Revision Log of Language Learning SNS for Automated Japanese Error Correction of Second Language Learners. International Joint Conference on Natural Language Processing (IJCNLP). 2011.
2. 金子正弘, 堺澤勇也, 小町守. 正誤情報と文法誤りパターンを考慮した単語分散表現を用いた文法誤り検出. 自然言語処理. 2018.
3. Masahiro Kaneko and Mamoru Komachi. Multi-Head Multi-Layer Attention to Deep Language Representations for Grammatical Error Detection. International Conference on Computational Linguistics and Intelligent Text Processing (CICLing). 2019.
4. Jacob Devlin, Ming-Wei Chang, Kanton Lee, Kristina Toutanova. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding. Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics (NAACL): Human Language Technologies. 2019.

2. 研究の目的

本研究は当初、文の分散表現を学習するために適した分散表現学習の研究を行うことにした。たとえば、多くの自然言語処理アルゴリズムは入力の最小単位を単語としているが、接尾辞や接頭辞、語根のように、単語は文字から意味を構成することができるため、文字の分散表現を用いて単語の分散表現を補完することで、頑健性が高められることが知られていた (dos Santos and Zadrozny, ICML 2014; Bojanowsky et al., TACL 2017)。特に中国語では文字も偏 (へん) や旁 (つくり) といった部首に分解し、部首に対応する分散表現を学習する手法も提案され (Shi et al., ACL 2015)、小さな単位の分散表現を組み合わせることで、さらにデータスパースネスを解消する方法が登場していた。そこで、細かい粒度の分散表現から粗い粒度の分散表現を構成する原理を単純化し、理解しやすいモデルにすることで、解釈性の向上を狙った。また、大規模に入手可能な学習データで学習した深層言語表現モデルを転移学習することで、学習データが小規模にしか入手できないタスクにおいても頑健に学習することが可能となる手法の研究を行った。

一方、2019 年以降は BERT のような深層学習手法が爆発的に普及し、それぞれの言語に特化したような単語の分解に関する研究は影を潜め、Byte-Pair Encoding (Sennrich et al., ACL 2016) や SentencePiece (Kudo and Richardson, EMNLP 2018) を用いた、言語に依存しないサブワード分割手法を用い、単語や文の分散表現を計算する手法が主流となった。そのため、本研究においても 2019 年以降は深層学習モデルに焦点を絞って、深層学習モデルが言語学習者の文法誤り訂正にどのように活用できるのか、そしてそれは多言語に展開できるのか、という問いに取り組むことになった。

参考文献

1. Cicero dos Santos and Bianca Zadrozny. Learning Character-level Representations for Part-of-

- Speech Tagging. International Conference on Machine Learning (ICML). 2014.
2. Xinlei Shi, Junjie Zhai, Xudong Yang, Zehua Xie, Chao Liu. Radical Embedding: Delving Deeper to Chinese Radicals. Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). 2015.
 3. Piotr Bojanowski, Edouard Grave, Armand Joulin, Tomas Mikolov. Enriching Word Vectors with Subword Information. Transactions of the Association for Computational Linguistics. 2017.
 4. Rico Sennrich, Barry Haddow, Alexandra Birch. Neural Machine Translation of Rare Words with Subword Units. Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL). 2016.
 5. Taku Kudo and John Richardson. SentencePiece: A simple and language independent subword tokenizer and detokenizer for Neural Text Processing. Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP): System Demonstrations. 2018.

3. 研究の方法

英語・日本語・中国語の文法誤り訂正に関する評価データセットの構築と、深層学習を用いた文法誤り訂正システムの出力の分析、そしてそれらについての包括的な評価に取り組んだ。また、これら3言語以外の言語も含めた多言語の文法誤り訂正において、深層学習の発展に伴って様々な手法の評価と分析を行った。

4. 研究成果

研究期間全体を通じて、下記に示す研究成果が得られた。

(1) 事前学習モデル (BERT, BART) の適用

前述の通り、2019年以降は事前学習モデルを用いたシステムが様々なタスク・多くの言語で高い性能を示すことが示され、我々のグループも2種類の事前学習モデルを多言語の文法誤り訂正タスクに適用し、それぞれの利点や欠点について分析した。Wang and Komachi (NLP-TEA 2020) と Wang et al. (AAACL-IJCNLP 2020) は中国語文法誤り訂正にBERTを活用した研究、Wang et al. (TALLIP 2022) はBERTに加えてBART (Bidirectional Auto-Regressive Transformers) など中国語で利用できる事前学習モデルを網羅的に検証した研究である。また、Katsumata and Komachi (AAACL-IJCNLP 2020) はBARTを英語、ドイツ語、チェコ語、ロシア語など様々な言語の文法誤り訂正に適用した研究で、非常に単純な手法ながら高い性能を示すことを明らかにした。

(2) 非自己回帰モデルによる高速化

深層学習を用いた文法誤り訂正は典型的には1単語ずつ出力する(自己回帰モデル)ため、文長に比例する処理時間が必要であり、実際の文法誤り訂正システムを構築する際には高速化が必要であるという問題があった。そのため、Homma and Komachi (NLP-TEA 2020) および本間・小町 (人工知能学会論文誌 2022) では、非自己回帰モデルという出力を一度に生成するモデルを用いることで、訂正の精度を落とさず高速化が可能である、ということを示した。

(3) 学習者の誤りを考慮した擬似学習者コーパスを用いた手法の提案

深層学習モデルの性能を向上させるためには質の高い訓練データが必要であるが、大規模に学習者コーパスを構築するのは難しいため、人工的に誤りを発生させた疑似学習者コーパスを用いて事前学習する手法が提案されていた。Takahashi et al. (ACL SRW 2020) や Koyama et al. (ACL SRW 2021) そして Wang et al. (TALLIP 2023) はさまざまな手法で疑似学習者コーパスを生成する手法を比較し、それぞれ英語・日本語・中国語でどのような手法が効果的かということを検証した。

(4) 文法誤り訂正出力の多様性の分析と改善

文法誤り訂正は機械翻訳のような言語生成タスクと異なり、ほとんどの入力が出力にコピーされ、文法誤りのある一部だけが編集されるという特徴がある。そのため、他の言語生成タスクと同じように訂正候補を探索すると、効率よく出力候補を列挙できない可能性がある。そこで、Hotate et al. (COLING 2020) では、誤りの可能性が高い箇所を重点的に探索する手法を提案し、多様な出力候補を得られることを示した。また、甫立ら (自然言語処理 2021) では、最低限の誤りを訂正する場合から、流暢な出力となるよう大きく書き換えた訂正を行う場合まで、訂正度合いを制御した文法誤り訂正を行う手法を提案し、訂正度が制御可能であることを示した。

(5) 多言語モデルによる文法誤り訂正の知識の転移学習

深層学習モデルは一つの言語だけではなく複数の言語のデータを用いて訓練することで、複数の言語の処理能力を獲得することができる可能性がある。そこで、我々は複数の言語で深層学習モデルを訓練し、言語間の文法誤り訂正の知識の転移が可能であるかどうかについて検証し、類似する言語間で文法知識が転移できることを示した (山下ら, 自然言語処理 2022; Yamashita et al., COLING 2020)。

(6) 文法誤り訂正の自動評価手法の開発およびデータセット構築

これらの文法誤り訂正システムが実際に有用な訂正ができているかどうかについて、人手で全ての出力を確認するのはコストがかかるため、自動的にシステムの良し悪しを評価できる尺度があれば有用である。文法誤り訂正では、参照文と呼ばれる文法誤り訂正の正解文を用意することで、自動評価することが一般的である。ただし、全ての言語でそのような尺度が存在するわけではない。そこで、Koyama et al. (LREC 2020) と小山ら (自然言語処理 2023) では、日本語文法誤り訂正の評価データセットを構築した。一方、英語の文法誤り訂正では広く利用されている評価データセットは存在するものの、深層学習の流行以前に作成されたデータセットであり、現在主流となっている深層学習手法の評価に適切であるという保証はない。そこで、Kobayashi et al. (TACL 2024) では、新しく深層学習ベースの代表的な手法に関して人手で評価したデータセットを構築・分析することで、既存の評価データセットに問題があることを明らかにした。

また、そもそも参照文を使わない評価を行うアプローチとして、品質推定というタスクがある。品質推定は、入力と出力の2つを用いて出力の良し悪しを判断するタスクである。しかし、英語の文法誤り訂正では、品質推定器を訓練するためのデータセットが存在していなかった。そこで、Yoshimura et al. (COLING 2020) と吉村ら (自然言語処理 2021)、そして Takahashi et al. (LREC 2022) では、英語の文法誤り訂正の品質推定のためのデータセットを構築し、英語文法誤り訂正の品質推定手法を提案した。また、Suzuki et al. (LREC 2022) では、日本語文法誤り訂正の品質推定のためのデータセットを構築した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Masamune Kobayashi, Masato Mita, Mamoru Komachi	4. 巻 -
2. 論文標題 Revisiting Meta-evaluation for Grammatical Error Correction	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Transactions of the Association for Computational Linguistics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Koyama Aomi, Kiyuna Tomoshige, Kobayashi Kenji, Arai Mio, Mita Masato, Oka Teruaki, Komachi Mamoru	4. 巻 30
2. 論文標題 Construction of an Error-Tagged Evaluation Corpus for Japanese Grammatical Error Correction	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Natural Language Processing	6. 最初と最後の頁 330 ~ 371
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5715/jnlp.30.330	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Wang Hongfei, Kurosawa Michiki, Katsumata Satoru, Mita Masato, Komachi Mamoru	4. 巻 22
2. 論文標題 Chinese Grammatical Error Correction Using Pre-trained Models and Pseudo Data	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Asian and Low-Resource Language Information Processing	6. 最初と最後の頁 1 ~ 12
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3570209	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Yamashita Ikumi, Kaneko Masahiro, Mita Masato, Katsumata Satoru, Imankulova Aizhan, Komachi Mamoru	4. 巻 29
2. 論文標題 言語間での転移学習のための事前学習モデルと多言語の学習者データを用いた文法誤り訂正	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Natural Language Processing	6. 最初と最後の頁 314 ~ 343
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5715/jnlp.29.314	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 本間広樹, 小町守	4. 巻 37
2. 論文標題 高速な文法誤り訂正機能を持つ日本語ライティング支援システムの構築	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 人工知能学会論文誌	6. 最初と最後の頁 B~L22_1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.37-1_B-L22	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 吉村 綾馬, 金子 正弘, 梶原 智之, 小町 守	4. 巻 28
2. 論文標題 文法誤り訂正の参照文を用いない自動評価の人手評価への最適化	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自然言語処理	6. 最初と最後の頁 404 ~ 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5715/jnlp.28.404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 甫立 健悟, 金子 正弘, 勝又 智, 小町 守	4. 巻 28
2. 論文標題 文法誤り訂正における訂正度を考慮した多様な訂正文の生成	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 自然言語処理	6. 最初と最後の頁 428 ~ 449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5715/jnlp.28.428	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Arai Mio, Kaneko Masahiro, Komachi Mamoru	4. 巻 35
2. 論文標題 Example Retrieval System using Grammatical Error Detection for Japanese as a Second Language Learners	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 A~K23_1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1527/tjsai.35-5_A-K23	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また, その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 14件）

1. 発表者名 Masamune Kobayashi, Masato Mita, Mamoru Komachi
2. 発表標題 Large Language Models Are State-of-the-Art Evaluator for Grammatical Error Correction
3. 学会等名 19th Workshop on Innovative Use of NLP for Building Educational Applications (BEA 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Daisuke Suzuki, Yujin Takahashi, Ikumi Yamashita, Taichi Aida, Toshio Hirasawa, Michitaka Nakatsuji, Masato Mita, Mamoru Komachi
2. 発表標題 Construction of a Quality Estimation Dataset for Automatic Evaluation of Japanese Grammatical Error Correction
3. 学会等名 13th Edition of Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yujin Takahashi, Masahiro Kaneko, Masato Mita, Mamoru Komachi
2. 発表標題 ProQE: Proficiency-wise Quality Estimation Dataset for Grammatical Error Correction
3. 学会等名 13th Edition of Language Resources and Evaluation Conference (LREC 2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Naoya Ueda and Mamoru Komachi
2. 発表標題 TMU Feedback Comment Generation System Using Pretrained Sequence-to-Sequence Language Models
3. 学会等名 GenChal 2022: Feedback Comment Generation for Writing Learning (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Aomi Koyama, Kengo Hotate, Masahiro Kaneko and Mamoru Komachi
2. 発表標題 Comparison of Grammatical Error Correction Using Back-Translation Models
3. 学会等名 2021 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Student Research Workshop (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Kengo Hotate, Masahiro Kaneko and Mamoru Komachi
2. 発表標題 Generating Diverse Corrections with Local Beam Search for Grammatical Error Correction
3. 学会等名 28th International Conference on Computational Linguistics (COLING) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryoma Yoshimura, Masahiro Kaneko, Tomoyuki Kajiwara and Mamoru Komachi
2. 発表標題 SOME: Reference-less Sub-Metrics Optimized for Manual Evaluations of Grammatical Error Correction
3. 学会等名 28th International Conference on Computational Linguistics (COLING) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ikumi Yamashita, Satoru Katsumata, Masahiro Kaneko, Aizhan Imankulova and Mamoru Komachi
2. 発表標題 Cross-lingual Transfer Learning for Grammatical Error Correction
3. 学会等名 28th International Conference on Computational Linguistics (COLING) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 Satoru Katsumata and Mamoru Komachi
2 . 発表標題 Stronger Baselines for Grammatical Error Correction Using a Pretrained Encoder-Decoder Model
3 . 学会等名 1st Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics and the 10th International Joint Conference on Natural Language Processing (AAACL-IJCNLP) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hongfei Wang, Michiki Kurosawa, Satoru Katsumata and Mamoru Komachi
2 . 発表標題 Chinese Grammatical Correction Using BERT-based Pre-trained Model
3 . 学会等名 1st Conference of the Asia-Pacific Chapter of the Association for Computational Linguistics and the 10th International Joint Conference on Natural Language Processing (AAACL-IJCNLP) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hiroki Homma and Mamoru Komachi
2 . 発表標題 Non-Autoregressive Grammatical Error Correction Towards a Writing Support System
3 . 学会等名 6th Workshop on Natural Language Processing Techniques for Educational Application (NLP-TEA) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Hongfei Wang and Mamoru Komachi
2 . 発表標題 TMU System Using BERT-based Pre-trained Model to the NLP-TEA CGED Shared Task 2020
3 . 学会等名 th Workshop on Natural Language Processing (NLP-TEA) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 Yujin Takahashi, Satoru Katsumata and Mamoru Komachi
2. 発表標題 Grammatical Error Correction Using Pseudo Learner Corpus Considering Learner's Error Tendency
3. 学会等名 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Student Research Workshop (ACL 2020 SRW) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Aomi Koyama, Tomoshige Kiyuna, Kenji Kobayashi, Mio Arai and Mamoru Komachi
2. 発表標題 Construction of an Evaluation Corpus for Grammatical Error Correction for Learners of Japanese as a Second Language
3. 学会等名 12th International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
	ティフェル シモーネ (Teufel Simone)	ケンブリッジ大学・Department of Computer Science and Technology・Professor	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
	ボレガラ ダヌシカ (Bollegala Danushka)	リバプール大学・Department of Computer Science・Professor	

6. 研究組織（つづき）

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
シャードロー マシュー (Shardlow Matthew)	マンチェスターメトロポリタン大学・Department of Computing and Mathematics・Senior Lecturer	
カマチョ・コラドス ホゼ (Camacho-Collados Jose)	カーディフ大学・School of Computer Science and Informatics・Professor	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
英国	ケンブリッジ大学	リバプール大学	マンチェスターメトロポリタン大学	他1機関