

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：94314

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03573

研究課題名(和文)自由エネルギーランドスケープ理論を用いたガラス転移とエージングの研究

研究課題名(英文)Free-energy-landscape approach to glass transition and aging

研究代表者

小田垣 孝(Odagaki, Takashi)

科学教育総合研究所株式会社(研究・開発部)・その他部局等・主任研究員

研究者番号：90214147

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文):自由エネルギーランドスケープ(FEL)描像により、次のことを示した。(1)温度変動に対する応答からFELの緩和時間が求まる;(2)非平衡系のエージングが2種類に分類でき、FELの緩和は第I種エージングを生じる;(3)協調緩和領域の物理的な定義を与え、Adam-Gibbs関係式が厳密に導ける;(4)協調緩和領域の温度依存性を分子動力学シミュレーションで決定した;(5)緩和の緩慢化とFELの緩和が共存する系では、二種類のエージングがクロスオーバーする。本研究の数学的手法を応用して、COVID-19の対策にはPCR検査が重要であることを示し、波状感染曲線が生じる原因を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自由エネルギーランドスケープ描像により、非平衡系の動的性質と熱的性質を統一的に記述できることが示され、非平衡系物理学の新しいパラダイムの確立に向けて前進した。この描像により様々な現象が理解でき、(1)ガラス物性とエージング(2)タンパク質のアミロイド繊維化を含む生体高分子の構造転移(3)高分子材料の物性コントロールなどへの応用が期待される。

研究成果の概要(英文):Exploiting the free energy landscape (FEL) approach, I have obtained the following results.(1) The relaxation time of the FEL can be obtained from the response to temperature modulation. (2) The aging of non-equilibrium systems is classified into two types, and the relaxation of the FEL gives rise to the type II aging. (3) A clear definition of the cooperatively rearranging region (CRR) is given and the Adam-Gibbs relation is rigorously derived. (4) The temperature dependence of the size of CRR is determined by MD simulation. (5) In a system where a distribution of the jump rates and the relaxation of the FEL exist, two types of aging cross over when the temperature is raised.

The mathematical method used in this research is exploited to analyze compartment models for COVID-19. Importance of the quarantine measure is theoretically proved in controlling the pandemic and the origin of wavy infection curve is clarified.

研究分野：物性物理学

キーワード：非平衡系 自由エネルギーランドスケープ 緩和現象 協調緩和領域 Adam-Gibbs関係式 エージング 待ち時間依存性 コンパートメントモデル

1. 研究開始当初の背景

ガラス転移は、1923年の発見[1]以来すでに100年以上が経過するが、その本質を理解する物理学的枠組みが確立しておらず、今なお物性物理学の最後のフロンティアとよばれている。ガラス転移の物理的理解が困難なのは、それが非平衡状態における転移現象であり、転移に関連する異常が履歴に依存するので、どの現象を本質的なものと考え、物理学的描像を描くかにコンセンサスがないことによる。仮想温度や協調緩和領域などの概念が明確な定義がされないまま広く用いられている。ガラス転移を統一的に理解する一つの考え方は、温度が下がったときに起こる熱力学的な1次転移を理想ガラス転移(構造エントロピーが消滅するカウツマン温度に対応)とする考え方(ランダム1次転移理論(RFOT))[2]である。この考え方では、冷却速度依存性などの非平衡系特有の特徴は議論の対象とはされず、さらに多谷構造上の系の運動は転移を不明瞭にするにすぎないと見なされる。もう一つの考え方は、自由エネルギーランドスケープ(FEL)上のダイナミックスの緩慢化によって、熱力学転移と動的転移が、その冷却速度依存性などを含めて統一的に理解できるという申請者が提唱する考え方(FEL理論)[3]である。ガラス転移現象および提案されている様々な概念を統一的に理解する理論的描像を確立することが課題となっていた。

2. 研究の目的

FEL理論を非平衡系物理学のパラダイムとして完成させるために、これまで導入されていた仮説や概念をFEL理論に基づいて統一的に理解すること、FELを直接実験で観測する方法を開発すること、さらに現実の物質への応用・検証とガラス転移そのものを理解する理論的枠組みを構築することを目指して基礎的知見を得ることが本研究の目的である。

(1) FEL描像によるエージングの理解

温度を突然変化させたときの系の応答の遅れ(エージング効果)は、これまでアドホック的な「内部時計」の導入[4]や二種類の緩和の仮定[5]に基づいて議論されているにすぎない。FELは温度変化に応答し、FELの緩和からFELの構造に関する知見を得る方法を確立する。

(2) FELを用いたAdam-Gibbs仮説の基礎付け

Adam-Gibbs[6]によって導入された協調緩和領域(CRR)の存在は、RFOT理論においてもFEL理論においても重要な働きをしている。FEL理論によりCRRの物理的に明確な定義を与え、Adam-Gibbs仮説の物理的根拠を明らかにする。

(3) 分子動力学(MD)シミュレーションとの比較による検証

モデル系のMDシミュレーションとの比較からFEL理論の検証を行う。

(4) ガラス転移の本質の理解

ガラス転移に対するFEL理論は、相転移に対するランダウ理論に対応している。相転移に対する繰り込み群の方法による理解と同じレベルでガラス転移を理解できる枠組みを作り、ガラス転移の本質を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では、研究目的で説明した課題に対して、京都工芸繊維大学及び東北大学の研究者と協

力しつつ、順次研究を進めた。

(1) 温度変化に対する応答とエージングの研究

温度を不連続的に変化させたときの緩和関数のエージング現象を解析し、FEL の緩和の効果と分布関数の変化の効果の現れ方の違いを明らかにする。また、温度をある振動数で変調したときの非線形応答について、FEL の緩和の効果の発現の仕方を明らかにする。

[研究協力者：京都工芸繊維大学猿山靖夫教授、水口朋子准教授]

(2) Adam-Gibbs 仮説の基礎付け

FEL 理論に基づき協調緩和領域の明確な定義を与え、二つの構造間の遷移率を求めて、Adam-Gibbs 仮説の物理的根拠を明らかにする。

[研究協力者：東北大学吉留崇助教]

(3) モデル系の解析

レナード・ジョーンズ・ガウス (LJG) 型ポテンシャルで相互作用する系は、2次元、3次元において安定なガラスが形成できる。LJG 系の協調緩和領域の温度依存性に関して、FEL 理論の結果とMDシミュレーションの結果を比較し、理論の検証を行う。

[研究協力者：京都工芸繊維大学水口朋子准教授]

(4) FEL 上の代表点のランダムウォークの解析法の確立

ガラス転移の繰り込み群による理解に向けた基礎研究として、ジャンプ距離に分布がある場合のランダムウォークの解析方法を構築する。

4 . 研究成果

自由エネルギーランドスケープ (FEL) 描像は、非平衡系の熱力学的性質と動的性質を統一的に説明する唯一の理論であり、FEL 理論を非平衡系物理学のパラダイムとして確立させることに向けて、本研究では次の成果を得た。

- (1) 温度変調に対する緩和関数および感受率の振る舞いから F E L の緩和時間が求められることを明らかにした。
- (2) 非平衡系のエージングが2種類に分類できることを示すとともに、FEL の緩和により第II種のエージングが生じることを示し、エージングの待ち時間依存性から FEL の緩和の情報が求まることを示した。
- (3) FEL 理論に基づき、協調緩和領域の明確な物理的定義を与え、その領域の大きさと構造エントロピーおよび緩和素過程との関係を明確にして、FEL 理論の枠組みの中で厳密に Adam-Gibbs の関係式を導いた。
- (4) 新しい定義に基づく協調緩和領域を分子動力学シミュレーションにより決定し、その温度依存性がフォージェル-ファルチャー則と矛盾しないことを示した。
- (5) 第I種のエージングを生じる緩和素過程の遷移率の分布と第II種のエージングを生じる FEL の緩和が共存する系として、FEL の緩和を表す仮想温度に依存するトラッピング拡散モデルを考え、中間散乱関数の待ち時間依存性を解析して、昇温変化の場合待ち時間が増加すると二種類のエージングのクロスオーバーが起こることを示した。

- (6) 新しいランダムウォークモデルとして、変動距離（バリエブルレンジ）ランダムウォークモデルを導入し、3次元モデルの基礎的性質を調べ、距離の分布によっては局在化が起こることを示した。これはガラス化に対応すると考えることができる。
- (7) 本研究遂行中にパンデミック COVID-19 が起こり、緊急的に COVID-19 に関する研究を行った。本研究で緩和現象の解析に用いた数学的手法がパンデミックのコンパートメントモデルに応用できることを発見し、COVID-19 に対する SIQR モデル及び SPAQR モデルを提出して、PCR 検査の重要性、行動制限と緩和を繰り返すことにより波状の感染曲線が生じること、日ごと陽性者数の経時変化および発症率の推定、および感染状況が9種類に分類できることなどを示した。

<参考文献>

- [1] G. E. Gibson and W. F. Giauque, J. Am. Chem. Soc. 45, 93 (1923).
- [2] G. Parisi and F. Zamponi, Rev. Mod. Phys. 82, 789 (2010); T. R. Kirkpatrick and D. Thirumalai, Rev. Mod. Phys. 87, 183(2015).
- [3] T. Odagaki, J. Phys. Soc. Jpn. 86, 082001 (2017).
- [4] T. Hecksher et al., J. Chem. Phys. 133, 174514 (2010).
- [5] S. L. Simon and G. B. McKenna, Thermomech. Acta 307, 1 (1997)
- [6] G. Adam and J. H. Gibbs, J. Chem. Phys. 43, 139 (1965).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 小田垣孝	4. 巻 2024
2. 論文標題 COVID-19 のコンパートメントモデル コロナ対策の評価のために	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 衣笠科学論壇	6. 最初と最後の頁 2024-0001-1-8
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 無
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 Mizuguchi T, Odagaki T	4. 巻 35
2. 論文標題 Determination of cooperatively rearranging regions in a binary glass former	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 334003 ~ 334003
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1361-648X/acd50c	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 Odagaki Takashi	4. 巻 92
2. 論文標題 Unusual Mechanocaloric Property of Rubber	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 053001-1-3
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.7566/JPSJ.92.053001	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 Odagaki Takashi	4. 巻 13
2. 論文標題 New compartment model for COVID-19	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 5409-1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-32159-6	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 Odagaki Takashi	4. 巻 35
2. 論文標題 Waiting time dependence of aging	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Condensed Matter	6. 最初と最後の頁 124001 ~ 124001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-648X/acb4cf	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 小田垣孝	4. 巻 78
2. 論文標題 不規則媒質中の波動伝搬におけるコヒーレント波の 考え方	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 45-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11316/butsuri.78.1_45	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 Odagaki Takashi	4. 巻 603
2. 論文標題 Variable range random walk	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 127781 ~ 127781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2022.127781	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 T. Odagaki	4. 巻 2
2. 論文標題 Estimation of the onset rate and the number of asymptomatic patients of COVID-19 from the proportion of untraceable patients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Epidemiology and Public Health Research	6. 最初と最後の頁 1-5
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 Takashi Odagaki, Reiji Suda	4. 巻 11
2. 論文標題 Classification of the Infection Status of COVID-19 in 190 Countries	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Clinical Trials	6. 最初と最後の頁 472-1~5
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 Odagaki Takashi	4. 巻 91
2. 論文標題 Foundation of the Adam-Gibbs Relation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 043602-1~3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.91.043602	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 Odagaki Takashi, Suda Reiji	4. 巻 11
2. 論文標題 Classification of the infection status of COVID-19 in 190 countries	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Clin. Trials,	6. 最初と最後の頁 472-1--5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1101/2020.12.17.20248445	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 T. Odagaki	4. 巻 573
2. 論文標題 Self-organization of oscillation in an epidemic model for COVID-19	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica A	6. 最初と最後の頁 125925-1--5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2021.125925	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 T. Odagaki, Y. Saruyama, T. Ishida	4. 巻 xxx
2. 論文標題 Relaxation of the free energy landscape and temperature modulation spectroscopy	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Non-Crystalline Solids	6. 最初と最後の頁 119448-1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jnoncrysol.2019.05.024	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 Odagaki Takashi	4. 巻 11
2. 論文標題 Self-organized wavy infection curve of COVID-19	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1936-1--6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-81521-z	査読の有無 無
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 Odagaki Takashi	4. 巻 564
2. 論文標題 Exact properties of SIQR model for COVID-19	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications	6. 最初と最後の頁 125564 ~ 125564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physa.2020.125564	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 Odagaki Takashi	4. 巻 5
2. 論文標題 Analysis of the outbreak of COVID-19 in Japan by SIQR model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Infectious Disease Modelling	6. 最初と最後の頁 691 ~ 698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.idm.2020.08.013	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 小田垣孝	4. 巻 8
2. 論文標題 新型コロナウイルスの蔓延に関する一考察	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 物性研究・電子版	6. 最初と最後の頁 082101-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14989/259181	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 S. Matsumoto and T. Odagaki	4. 巻 88
2. 論文標題 Theoretical Study of Discharge in a Nonlinear Medium	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Phys. Soc. Jpn.	6. 最初と最後の頁 034704-1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.034704	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26件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 上野綾大, 小田垣孝, 水口朋子
2. 発表標題 トラッピング拡散モデルにおけるエージング現象の待ち時間依存性
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 T. Odagaki and T. Mizuguchi:
2. 発表標題 Free-energy Landscape Approach to the Adam-Gibbs Relation and the Cooperatively Rearranging Region
3. 学会等名 9th Int. Dis. Meet. Rel. Comp. Syst. (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 T. Mizuguchi and T. Odagaki
2. 発表標題 Determination of cooperatively rearranging regions in simple glass formers
3. 学会等名 9th Int. Dis. Meet. Rel. Comp. Syst. (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小田垣 孝
2. 発表標題 COVID-19の新しいコンパートメントモデル
3. 学会等名 MIMS研究会(online) 社会物理学とその周辺
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Odagaki
2. 発表標題 Response of the Free Energy Landscape to Temperature Modulation and Aging
3. 学会等名 The 18th International Conference on Liquid and Amorphous Metals (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 協調緩和領域－歴史と物理－
3. 学会等名 第10回松ヶ崎サイエンスフォーラム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 感染経路不明者の割合と市中感染者数
3. 学会等名 MIMS研究会「社会物理学とその周辺」
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Odagaki
2. 発表標題 Self-organization of oscillation in an epidemic model for COVID-19
3. 学会等名 APS March Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Odagaki
2. 発表標題 Rigorous foundation of the Adam-Gibbs relation
3. 学会等名 APS March Meeting (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 感染症の周期的感染曲線の自己組織化
3. 学会等名 第127回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 FEL描像とAdam-Gibbs 仮説
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Odagaki
2. 発表標題 Recent progress in the free-energy-landscape approach to super-cooled liquids and glass transition
3. 学会等名 Liquid Matter Conference 2021(LMC 2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 COVID-19の特徴を理解する
3. 学会等名 第1回松ヶ崎サイエンスフォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 エイジングの待ち時間依存性について
3. 学会等名 東京大学物性研究所短期研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 SIQRモデルの厳密解とコロナ対策の最適化について
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究集会「社会物理学の新展開」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 波状感染曲線の自己組織化
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究集会「社会物理学の新展開」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 須田礼二、小田垣孝
2. 発表標題 190ヶ国のCOVID-19感染状況の分析と収束国の特徴
3. 学会等名 統計数理研究所共同研究集会「社会物理学の新展開」
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Odagaki
2. 発表標題 Waiting time dependence of aging
3. 学会等名 APS March Meeting (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 自由エネルギーランドスケープ理論によるエイジングの理解
3. 学会等名 第125回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猿山靖夫、漆谷雅弘、吉内友章、青谷俊、辰巳創一、八尾晴彦、小田垣孝
2. 発表標題 速い温度変化に対する緩和時間の追性の速度論的考察
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小田垣孝
2. 発表標題 自由エネルギーランドスケープの緩和とエイジング
3. 学会等名 日本物理学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Odagaki
2. 発表標題 FEL approach to aging phenomena
3. 学会等名 XV International Workshop on Complex Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小田垣 孝
2. 発表標題 ガラスの不思議 -物理学の立場から-
3. 学会等名 科学を語る会
4. 発表年 2018年～2019年

1. 発表者名 小田垣 孝
2. 発表標題 自由エネルギーランドスケープの緩和と温度変調応答
3. 学会等名 日本物理学会 2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田垣 孝
2. 発表標題 ランダウ自由エネルギーの緩和と温度変調応答
3. 学会等名 科研費討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小田垣 孝
2. 発表標題 温度変調応答について
3. 学会等名 東京大学物性研究所短期研究会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 小田垣孝	4. 発行年 2023年
2. 出版社 裳華房	5. 総ページ数 208
3. 書名 エッセンシャル統計力学（電子版）	

1. 著者名 小田垣 孝・佐野 幸恵・山崎 義弘・山本 健	4. 発行年 2022年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 330
3. 書名 社会物理学	

1. 著者名 M. コーエン、S. ルイ（翻訳）小田垣 孝、吉留 崇、大久保 毅	4. 発行年 2021年
2. 出版社 吉岡書店	5. 総ページ数 612
3. 書名 現代の物性物理学	

〔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
研究協力者	猿山 靖夫 (Saruyama Yasuo)		

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
研究協力者	水口 朋子 (Mizuguchi Tomoko)		
研究協力者	吉留 崇 (Yoshidome Takashi)		

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