

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01360

研究課題名(和文) 二相流動 - 変形 - 化学的浸透の統合的連成による遅い流れ場での泥質岩岩石物理学の創成

研究課題名(英文) Rock physics of argillaceous rocks under extremely slow fluid flow conditions by integrating two-phase flow, deformation, and chemical osmotic processes

研究代表者

徳永 朋祥 (Tokunaga, Tomochika)

東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：70237072

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、二相流体体系に拡張した多孔質弾性論と化学的浸透現象に関する理解を基盤とし、1) 化学的浸透現象によって引き起こされる変形過程、2) 極めて遅い流れ場で発生する空間的に不均質な二相流体流動に伴う変形過程、に着目した実験研究を行った。また、実験結果を説明するモデルの構築を行い、さらに、数値解析コードとして現象を定量的に評価可能とした。そのうえで、実験・理論・数値解析を統合し、極めて遅い流れ場における泥質岩挙動を表現する体系を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

泥質岩は、放射性廃棄物処分や二酸化炭素地中貯留を実現する場合において重要な役割を果たす岩石であると考えられている。これは、泥質岩は、その透水性が極めて小さいことから、物質を長期にわたって閉じ込める能力を持つと考えられているからである。一方、そのような岩石においては、一般的な地下流体挙動の理論では取り扱われることが少なかった連成過程(例えば流動に伴う変形や濃度差に伴って発生する流れや変形)が重要な位置づけを持つ場合が起こりうる。本研究は、そのような状況における泥質岩の挙動に関して、理論的体系を構築するとともに、室内実験を通し実際の現象を把握し、数値解析的に評価することを可能にしたものである。

研究成果の概要(英文)：In this study, we conducted laboratory experimental studies focusing on 1) deformation induced by chemical osmotic processes, and 2) deformation caused by spatially heterogeneous two-phase flow through porous medium under extremely slow fluid flow regimes. The samples used were argillaceous rocks because these rocks are expected to function for flow barrier in subsurface. For the theoretical analysis, we applied the theory of poroelasticity extended to two-phase fluid flow condition and the theory of semi-permeable membrane behavior of rocks. Then, we developed a model to explain the laboratory experiments, and also developed a numerical simulation code to quantitatively evaluate the rock behavior. Finally, we integrated the laboratory-based, theoretically-based, and numerically-based approaches to discuss rock physical behaviors of argillaceous rocks under extremely slow fluid flow conditions.

研究分野：地殻工学

キーワード：地下流体挙動

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地下(地圏)環境は、適切な領域を選定し、工学的対処をすることにより、人類・社会にとって有害な影響を与える物質を超長期にわたって隔離することを可能とする。二酸化炭素回収・地中貯留(CCS)や高レベル放射性廃棄物処分などは、その典型的な事例である。地圏を構成する物質のうち、泥質岩は、それ自身が持つ低透水性、非濡れ性流体の浸入に対する大きな閾圧力、泥質岩を構成する粘土鉱物が持つ高い吸着/収着性、破壊後の自己修復性をもちうる、という特性などにに基づき、高レベル放射性廃棄物処分を実施する際の対象岩の一つとして考えられている。また、CCSの実現にあたっては、能力の高い帽岩としての泥質岩の存在が極めて重要な観点となってくる。

地下での流体挙動の研究は、帯水層や油層中を対象として発展してきたため、地下の「遅い」流体挙動とそれに伴って発生する岩石物理学的挙動については、現時点でも十分な理解に至っていないといわざるを得ない点がいくつも残されている。研究代表者は、そのような観点から研究の現状と残された課題を明らかにすることを目的とし、2012、2013年に、地学雑誌に特集号「地下の遅い流体挙動」を取りまとめた。その中では、「遅い」流れのレジームにおいては、流れに対して他の物理過程との連成現象が重要な意味を持つ場合が発生しうることを示している。これらに関連して、泥質岩が示す連成挙動に関しては、変形-流動という観点、化学的浸透という観点から検討が進められ、我々のグループも個々の連成過程についての研究を実施してきた。さらに、CCSの場合には、水-二酸化炭素の二相流体、高レベル放射性廃棄物処分においては、建設段階における空気の岩盤中への浸入による水-空気の二相流体が存在する場での「遅い」流れの理解が必要とされ、それに関しても、我々は実験並びに数値解析による検討を行ってきた。

このような研究の進展からは、以下に述べるように、これらの連成過程がさらに相互に影響を与え合い、泥質岩の挙動を複雑なものにしていることが想定される。我々は、その複雑な挙動の統合的理解をおろそかにすると、今までの理解に基づく評価の結果が、場合によっては、誤った評価となってしまったり、今までの理解に基づく設計が、思いもかけない事象を発生させ、地圏高度利用に対する負のインパクトを与えかねないことがありうると考えるに至った。

その一例として挙げられるのが、化学的浸透に伴う極めて大きな圧力勾配並びに異常間隙水圧の発生である。泥質岩中の間隙水の塩濃度と掘削水の塩濃度が違う場合や、拡散現象を評価する実験を行うために、試料の両端の塩濃度を変化させる場合には、その結果として化学的浸透が発生し、大きな圧力変化が局所的に発生しうる。このような間隙水圧変化は、変形を引き起こすことになり、場合によっては、岩石・岩盤の破壊や、その結果としての岩石の性能劣化をもたらすかもしれない。

また、乾燥したガス(二酸化炭素や空気)が泥質岩中を移動すると、その過程で、間隙水の蒸発が引き起こされる。CCSにおいては、その結果として、間隙中に塩の析出が起こることが指摘されているが、その結果として、間隙水中の濃度が空間的に変化し、化学的浸透が引き起こされることが予想される。さらに、我々の予察的な実験並びに数値解析によると、極めて遅い流れ場においては、一般的な変形-二相流体流動連成過程では表現できない現象が起こっている可能性が強く示唆されている。地下での二相流体挙動は、その流速に強く依存し、マクロに安定した界面を形成しながら流れたり、均質な地層中でも局所的に非濡れ相流体が移動する(fingering)場合があることが知られており、泥質岩中においてもこのような現象が起こっていることが想定される。

このように、CCSや高レベル放射性廃棄物処分のような地圏高度利用を対象とする場合、極めて遅い地下流体挙動とそれに伴う連成過程の理解は、まだ道半ばであり、早急に研究を進展させ、統合的な「泥質岩挙動に関する岩石物理学」を構築させることが必要とされている。

2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ、泥質岩を対象としてこれまでに行ってきた変形-二相流動連成過程評価に関する理論的成果並びに実験的検討、化学的浸透に伴う流動-物質移動過程連成解析に関する実験的成果と、地下の遅い流れ場で発生する流れの局所化に関する研究成果に基づき、これらを統合することによる「極めて遅い流れ場における地圏高度利用に資する泥質岩岩石物理学」の構築を目標とする。ここでいう「泥質岩岩石物理学」とは、極めて遅い流れ場における泥質岩挙動を特徴づける現象として個別に研究されてきた変形-流動、流動-物質移動を統一的に説明可能なモデルの提示とそれに基づく数値解析コードの作成であり、そこでは、極めて遅い流れの条件下での二相流動過程による流れの局所化の効果と、間隙水濃度変化の結果発生する化学的浸透現象-変形を表現できるものとする。

3. 研究の方法

本研究では、二相流体系に拡張した多孔質弾性論と化学的浸透現象に関する理解を基盤とし、研究目的を達成するために、1)化学的浸透現象によって引き起こされる変形過程、2)極めて遅い流れ場で発生する空間的に不均質な二相流体流動に伴う変形過程、に着目した実験研究を行う。また、実験結果を説明するモデルの構築を行い、さらに、数値解析コードとして定量的に

現象を評価可能な形に仕上げる。最終的には、実験・理論・数値解析を統合し、新たな泥質岩挙動に関する体系として提示する。

4. 研究成果

(1) 化学的浸透現象によって引き起こされる変形過程に関する実験的研究

本テーマを遂行するにあたり、まず、現象がどのように発現するかを理解を深めるために、半透膜性を持つ泥岩中での圧力・濃度挙動および岩石の変形を記述する数理モデルを作成し、作成したモデルをもとに数値計算を行った。その結果、計算結果に多孔質弾性体的な挙動と半透膜的な挙動を確認した。その結果に基づき、第一段階の実験として、電気式歪ゲージを貼り付けた泥岩試料を用いて室内実験を行い、実験から得られた歪の挙動と計算結果の比較により、二つの結果の間に整合性を確認できた。一方、実験においては、電気式歪ゲージの長期的安定性に課題があることが明確になり、特に、本研究で必要な長期間の安定した計測では、他の計測手法の導入が必要であることが示された。そこで、次の段階の実験として、化学的浸透と変形の連成過程に関して、泥岩試料内に濃度差を与えることにより化学的浸透を引き起こし、それに伴う変形を計測する室内実験を行った。歪計測は分布式光ファイバーセンシングおよび電気式歪ゲージの2通りで行った。実験では、泥岩の側面及び上面にシリコンを塗布し、これらの面が周囲の溶液と接しないようにした上で、泥岩を間隙水より10g/L程度濃度の高い溶液中に設置し、一次的に化学的浸透が発生する条件で実験を行った。実験結果より、10日程度の実験においては、分布式光ファイバーセンシングによって安定した歪計測を行えることが示された。一方、電気式歪ゲージによる計測では時間的に密な計測を行えるという利点はあるものの、計測安定性に大きな課題があるために、実験結果の評価が困難であるという結論に至った。実験では、稚内層泥岩および小鹿野町層泥岩の2種類の泥岩を用いたが、両者ともに100 μ 程度の周方向の収縮が計測された。海水の濃度が30g/L程度であることを考えると、沿岸域において半透膜性を持つ地層が100 μ 程度変形することは普遍的である可能性があることが示された。

このようにして得られた長期間安定した計測データに対し、室内実験の条件を模した数理モデルを作成し、支配方程式に含まれる未知の物性値について感度解析を行うことで、実験結果に特に影響を与える4つの物性値を抽出した。また、主要な4つの物性値を組み合わせることにより、3つのパラメータを設定したうえで、それらを用いて支配方程式を無次元化し、室内実験条件において、歪挙動からこれらのパラメータの値を決定できるタイプカーブを作成した。作成したタイプカーブを室内実験の結果に適用することで、3つのパラメータのうち圧力拡散および濃度差によって生じる変形の規模を記述する2つのパラメータを決定できること、濃度変化に関わるパラメータの決定には反射係数の濃度依存性についての検討が必要になることを明らかにした。

以上の結果は、化学的浸透に伴う流動・変形・物質移行に関して、その物理過程を記述するモデルが適切に構築されていることを示すとともに、そのモデルの中に導入が必要になると考えられる非線形性の影響がどの段階にどのような形で現れるかを示すことに成功しており、泥質岩の岩石物理学的性質の一面を明らかにしたものと考えている。

(2) 極めて遅い流れ場で発生する空間的に不均質な二相流体流動に伴う変形過程に関する実験的研究

極めて遅い流れ場での空間的に不均質な二相流体流動に伴う変形過程の検討に向けて、水で飽和した泥質岩中に極めて遅い流量でガスを圧入する室内実験を実施した。この実験結果は、試料両端の圧力差を同程度にした水圧入に伴う実験結果とは大きく違う変形挙動を示した。すなわち、ガスを圧入した場合の変形は水圧入時に比べ極めて小さく、また、その進展の挙動も単相の流体圧入に伴う多孔質弾性体モデルから予想されるものとは大きく異なっていた。この違いは、ガス圧入時の岩石中のガス挙動がいわゆるフィンガリングを起こしていることであると想定された。その評価に向けて、第一段階として、空間的に不均質な二相流体流動を表現する仮想的なモデルとして、コア試料の中心軸に沿った局所的なガスの流動を想定し、変形-二相流体流動連成解析を実施したものの、実験結果は再現されなかった。これは、ガス流路のパターン設定の単純さが原因となった可能性があり、ガスの流路としてより現実に近いものを適用し、解析を試みる必要があると考えた。

そこで、次の段階の検討として、水で飽和した泥岩試料にガスを圧入する室内実験を実施するにあたり、試料内部のCT値分布と試料の周方向の歪分布のデータを取得することを試みた。その結果、試料全体における不均質な二相流体流動と特徴的な収縮歪の観察に成功した。ここで得られた知見に基づき、実験で得られた事象を表現することを目指した数値シミュレーションを実施した。その結果、少なくとも実験の初期段階で観察された歪挙動は、二相流体流動と多孔質弾性変形の連成過程に基づき定量的に説明されることが明らかとなった。

本研究で対象とする現象を観察する手法の開発を目的とし、線CT設備での間隙内流体挙動に関する撮影を実施した。また、その結果を評価するために、間隙スケールでの二相状態の圧力挙動を解析するための解析コードの導入と解析を行った。この手法に関しては、今後更なる検討が必要であるが、今回の研究を通して、一定の方向性が見通せたものと考えている。

(3)モデルの構築と数値解析コードの開発

多孔質弾性体中の二相流動 - 溶存物質浸透 - 変形 - 熱輸送の連成現象の解析理論を熱力学的考察および思考実験に基づき導出するとともに、連成解析のための数値解析コードの計算フロー設計を行った。浸透現象における反射係数の塩濃度依存性については先行して Bresler (1973) の理論に基づきコードを構築した。また、連成解析は、これまであまりデータの蓄積がない物性パラメータの設定を地質媒体の不均質性の影響も含めて非常に多く必要とするため、それらの不確実性を可視化しながら逆解析する手法についても検討し、遺伝的アルゴリズムに基づいて推定する手法を構築した。そのうえで、上述の過程を通して導出した多孔質弾性体中の二相流動 - 溶存物質浸透 - 変形 - 熱輸送の連成理論に基づき、有限差分法によるシミュレータのコーディングを行った。その一環として、数値拡散による誤差評価のために、極座標系において分子拡散と水力学的分散の両方を含んだ移流分散方程式の解析解を導出し、コードの精度検証を行った。

この有限差分シミュレータについては、室内実験に対する再現解析事例を対象としつつ、数値安定性向上や逆解析手法へのスモウザーアルゴリズム導入などの改良を行った。特に、反復連成解析機能を構築し、連成解析と非連成解析の計算結果について、容易に比較可能となるような改良を行った。また、三次元デカルト座標系および円筒座標系に対応した化学的浸透-飽和多孔質弾性論を連成した解析が可能な有限差分シミュレータを開発した。このシミュレータを汎用逆解析ソフト PEST と連結し、物性パラメータの探索も可能とした。最終的には、開発したシミュレータを用い、室内実験に対する再現解析を実施し、良好な結果を得ることができた。

< 引用文献 >

Bresler, E., 1973, Anion exclusion and coupling effects in nonsteady transport unsaturated soils: I. Theory. Soil Science Society of America Proceedings, 37, 663-669.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Liu, J. and Tokunaga, T.	4. 巻 55
2. 論文標題 Future Risks of Tsunami Induced Seawater Intrusion Into Unconfined Coastal Aquifers: Insights From Numerical Simulations at Niijima Island, Japan	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Water Resources Research	6. 最初と最後の頁 10082-10104
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1029/2019WR025386	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 Liu, J. and Tokunaga, T.	4. 巻 62
2. 論文標題 3D modeling of tsunami-induced seawater intrusion and aquifer recovery in Niijima Island, Japan, under the future tsunami scenario	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Groundwater Hydrology	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 Aichi Masaatsu, Akitaya Kento	4. 巻 12
2. 論文標題 Analytical solution for a radial advection-dispersion equation including both mechanical dispersion and molecular diffusion for a steady-state flow field in a horizontal aquifer caused by a constant rate injection from a well	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Hydrological Research Letters	6. 最初と最後の頁 23~27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3178/hrl.12.23	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 Liu, J. and Tokunaga, T.	4. 巻 56
2. 論文標題 Regime identification, dimensionless numbers, and parameter sensitivity of variable-density flow in porous media based on numerical simulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Water Resources Research	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） 10.1029/2020WR027623	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 Joshi, A., Aichi, M. and Tokunaga, T.	4. 巻 59
2. 論文標題 Poroelastic modeling of a heterogeneous geologic medium: A case study from Kanto Basin in Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Groundwater	6. 最初と最後の頁 453-467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/gwat.13070	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Aichi, M.	4. 巻 382
2. 論文標題 Land subsidence modelling for decision making on groundwater abstraction under emergency situation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences	6. 最初と最後の頁 403-408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5194/piahs-382-403-2020	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 愛知正温・富樫聡	4. 巻 62
2. 論文標題 地下水分野の近未来を見据えた新たなハード・ソフトに関する研究構想	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 地下水学会誌	6. 最初と最後の頁 547-561
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5917/jagh.62.547	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件(うち招待講演 0件/うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Goto H., Tokunaga, T. and Aichi, M.
2. 発表標題 Numerical simulation of experimentally observed deformation behavior of mudstone due to the infiltration of non-wetting phase fluid
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 森垣勇人・愛知正温
2. 発表標題 塩水層へのCO2貯留で発生しうる乾燥状況を想定した塩の析出実験
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田翔伍・徳永朋祥・薛自求・朴赫
2. 発表標題 光ファイバーセンシング技術およびひずみゲージを用いた泥岩中の化学的浸透による岩石の変形の定量化と計測された歪挙動の比較
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 廣田翔伍・徳永朋祥
2. 発表標題 実験による泥岩中の化学的浸透現象に伴う岩石の局所的変形定量化の試み
3. 学会等名 石油技術協会平成 30 年度春季講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Liu, J. and Tokunaga, T.
2. 発表標題 Numerical Modelling of Density-Driven Flow and Mass Transport in an Unsaturated-Saturated Aquifer under Horizontal Groundwater Flow Conditions
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Padhi, S. and Tokunaga, T.
2. 発表標題 Simulating fluoride transport in a soil column: Diffusional mass transfer versus chemical non-equilibrium
3. 学会等名 Americal Geophysical Union Fall Meeting
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 赤木俊文・山本肇・後藤宏樹
2. 発表標題 TOUGH-GeoFEM による多相流存在下における岩石の弾性変形挙動の数値解析
3. 学会等名 平成30年度土木学会全国大会第73回年次学術講演会概要集
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Aichi, M.
2. 発表標題 Uncertainty of parameter estimation and future prediction in land subsidence modeling with a genetic algorithm
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 後藤宏樹・愛知正温・徳永朋祥
2. 発表標題 Saturation dependency of Bishop's effective stress coefficient strongly affects strain behavior of rocks under two-phase flow condition
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣田翔伍・徳永朋祥
2. 発表標題 岩中の化学的浸透による岩石の局所的変形に関する実験的・数理的検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Padhi, S. and Tokunaga, T.
2. 発表標題 Surface complexation modeling of fluoride adsorption by soil and the role of dissolved aluminum on adsorption.
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Liu, J. and Tokunaga, T.
2. 発表標題 Numerical Modeling of Variable-Density Flow and Mass Transport in the Unsaturated-Saturated Aquifer under Ambient Groundwater Flow Conditions
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Liu, J. and Tokunaga, T.
2. 発表標題 Variable-Density Flow and Mass Transport in an Unsaturated-Saturated Aquifer under Horizontal Groundwater Flow Conditions: a 2-D Numerical Modelling Study of Flow Regimes and Parameter Sensitivity
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Aichi, M.
2. 発表標題 Land subsidence prediction with uncertainty analysis by a smoother algorithm with a multiple calibration-constrained null-space Monte Carlo method
3. 学会等名 EGU General Assembly (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 愛知正温
2. 発表標題 有限差分法によるu- ρ 混合定式化多孔質弾性反復シミュレータの開発
3. 学会等名 日本地下水学会2021年春季講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Liu, J. and Tokunaga, T.
2. 発表標題 Modeling of tsunami-induced seawater intrusion into unconfined coastal aquifers: uncertainties analysis and water management
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 廣田翔伍・徳永朋祥・薛自求・三善孝之・朴赫
2. 発表標題 泥岩中の化学的浸透現象と岩石の変形：数値モデルによる検討と室内実験との比較
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hirota, S., Tokunaga, T., Aichi, M., Xue, Z. and Park, H.
2. 発表標題 Coupled chemical osmosis and rock deformation processes in semipermeable mudstone-theoretical and experimental approaches-
3. 学会等名 EGU General Assembly (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
研究分担者	山本 肇 (Yamamoto Hajime) (10417090)	大成建設株式会社技術センター・その他部局等・チームリーダー (92702)	
研究分担者	愛知 正温 (Aichi Masaatsu) (40645917)	東京大学・大学院新領域創成科学研究科・講師 (12601)	
研究分担者	後藤 宏樹 (Goto Hiroki) (50781449)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究員 (82626)	

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
---------	---------