

令和 5 年 4 月 25 日現在

機関番号：82627

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04864

研究課題名（和文）超広域災害時における海陸一貫支援物資輸送の計画及び評価

研究課題名（英文）Planning and Evaluation of Land and Sea Intermodal Transportation at Super Wide Area Disaster

研究代表者

松倉 洋史（Matsukura, Hiroshi）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：30373418

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：南海トラフ地震等の巨大かつ超広域の災害では甚大な被害が予想されており、発災直後に大量の支援物資を迅速に輸送する必要がある。このような災害に備えるには様々な被災状況に柔軟に対応可能なよう、予め海上輸送も活用した冗長性の高い輸送システムを用意しておき、状況に合わせ柔軟に組合せて輸送を行うことが望ましい。

本研究ではまず発災直後に被災から免れて利用可能なフェリー/RORO船の分析を行い必要な船腹量を利用できることを示した。続いて非被災港の利用を中心とするフェリー/RORO船隊輸送を想定すると共に、複合一貫輸送シミュレータを用いて超広域震災時の支援物資輸送の各種シナリオを分析することでその有用性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

阪神淡路大震災や東日本大震災を契機に、震災後の船舶利用について各種の調査報告・研究等がおこなわれてきた。しかし、南海トラフ地震等の超広域災害を対象に日本全体の基幹部分の支援物資輸送を取り上げて、大規模な海陸併用輸送を評価した研究はこれまで行われていない。このような海陸を統合した支援物資輸送を扱った研究は、災害後の被害抑制に資するだけでなく、他の島嶼国家にとっても参考となる要素が大きく有用な先事例となると期待できる。

研究成果の概要（英文）：A huge and ultra-wide area disaster such as the Nankai Trough Earthquake is expected to cause enormous damage. Immediately after a disaster strikes, a large volume of relief supplies must be transported quickly. To prepare for such an ultra-wide disaster, it is desirable to prepare a highly redundant transportation system, including marine transportation, in advance so that the system can flexibly respond to various disaster situations. In the event of a disaster, transportation should be carried out by flexibly combining transportation means according to the situation. In this study, we assumed ferry/RORO fleet transportation, which mainly uses non-affected ports. We demonstrate the usefulness of this system by analyzing various scenarios for transporting relief supplies in the event of an ultra-wide-area earthquake disaster using an intermodal transport simulator.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：フェリー/RORO船隊輸送 プッシュ型支援物資輸送 輸送シミュレーション シナリオ分析 AIS 同時多発災害 南海トラフ地震

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

中央防災会議の予測(2012年)では、南海トラフ地震において最大で死者32万人、被災者数千万人、避難者950万人と甚大な被害の可能性が示唆されている。その際には発災直後(発災後7日目程度まで)に大量の緊急支援物資を迅速に輸送する必要がある。現在では基幹部分の輸送は陸上輸送が主で、海上輸送は補助的な位置づけにすぎない。しかし気象・海象・誘発地震・内陸部の深層/表層崩壊・インフラ劣化等の状況により被害は予想を超えた規模・態様となる可能性もある。そのため、この様な超広域災害に備えるには様々な状況に柔軟に対応可能なよう、冗長的輸送手段として海上輸送も活用した多様な輸送システムを用意しておき、状況に合わせて柔軟に輸送を行うことが望ましいと考える。

南海トラフ地震等の超広域災害に関する理工学的研究としては、発災前に地震や津波を予測するものや、土木・建築や避難の工夫により発災時の被害を少なくするものは多いが、発災後に必要となる支援物資の輸送に関するものは少ない。また、支援物資輸送を定量評価するにはシミュレーションによるのが適切と考えるが、それにより国全体を評価した研究はほとんどない。多様な状況を想定して準備すべき輸送体制はどのようなものか解明し、基盤となる知見を提供する必要がある。しかし、これ迄の研究ではそのような社会的要請には十分に答えきれていない。

2. 研究の目的

現在の震災後の支援物資の輸送計画では、海路での輸送は陸路での輸送が奏功しない場合に用いるという補助的な役割にとどまる。しかし、船は長距離・大量・少人数・低エネルギーで輸送を行え、また、発災後に不足する可能性の高いガソリンや軽油ではなくC重油を主に用いるため非被災地域の油槽所から燃料を確保しやすく、また船員の食事・睡眠・休憩や発電・通信等の設備も備えていて災害下でも自立した活動を長期にわたり実施可能であるなど様々なメリットを持つ。一方、発災直後、被災港は津波等により利用不能となる可能性も高く、また全土に同時多発的な被害が予想されることから人員・資機材等の復旧資源の不足によりすぐには利用を再開できない場合もありうる。そこで、本研究では冗長的輸送手段として、日本海側の非被災港を中心としたフェリー/RORO船隊輸送を想定し、海上輸送を含む複合一貫輸送シミュレータを用いて広域震災時の支援物資輸送の各種輸送シナリオを分析することで有用な輸送方策及びその解析手続きを得る。

3. 研究の方法

本研究では、災害シナリオの想定及びそれを入力とした支援物資の輸送シミュレーションが中心的手法である。災害シナリオを想定し、それに応じた輸送需要・輸送環境(利用可能船舶及び港の種類・数・場所、通行可能な道路ネットワーク・走行可能速度等)を作成して発災後の輸送をシミュレーションする。輸送方策としては、日本海側の非被災港を中心に用いたフェリー/RORO船隊による輸送を想定する。ここでは、迅速に輸送を実施するため、必要な都度船を調達する不定期船的な運用ではなく、予め航路・ダイヤを設定し、トラックが予約して利用する定期船的な運用とする。

評価のために、まずはAIS(Automatic Identification System)の年間データ等を用い、発災後、海上輸送に利用可能な船舶の数・種類・初期位置等を確率的に評価し、利用可能船舶数を評価する。次に、南海トラフ地震を対象に、想定震源域の全体から地震が発生する場合を主要シナリオとして想定し、多様なバリエーションシナリオを加味して基幹部分の輸送性能を総合評価する。なお、評価にあたっては、過大な評価としないよう保守的な仮定を用いる。

4. 研究成果

(1) 震災後に利用可能な船の分析

日本全国のフェリー/RORO船が利用対象船の候補となるが、港で被災したり、海上瓦礫により湾内や内海に閉じ込められたり、地域で不可欠の輸送に従事している場合は利用できない。そこで、以下により震災後に利用可能な船の隻数の分析を行った。

まず、日本籍船の船舶仕様データを用い、輸送に適した船を抽出した。主な基準は、フェリー/RORO船であって航海速力15kt、2,000GT以上、近海・限定近海・沿海資格のいずれかであるものとする。これは荷役の迅速性・移動速度・耐航性等を確保するためである。また、非被災海域の幹線及び生活に必須な航路の輸送力を残すため、青函航路と離島航路は就航隻数の1/3(ただし最低1隻)を対象外

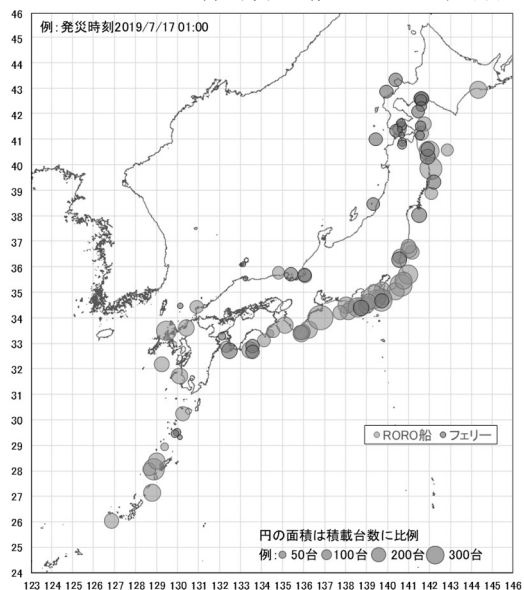


図1 発災後の利用可能船分布例

とした。

次に、中央防災会議の資料における最悪被害ケースを想定し、震度や津波高からみて洋上瓦礫の影響を受ける港と一定以上の津波の被害を受ける港を除外することで、発災後に利用可能な港を抽出した。

また、日本全周の船舶の位置データである AIS データを 1 年分用い（2019 年を対象とする）、各船の 1 時間毎の位置データ（365 日×24 時間=8,760 ケース）を取得し、当該時刻に津波被害を受ける内海にいた船・被災港で停泊していた船を利用不能とした。発災後も利用可能な船の発災時の分布例を図 1 に示す。フェリー/RORO 船とも太平洋側の四国～北海道に多く分布していることが分かる。

図 2 は 1 年間の発災日時に応じたフェリー/RORO 船で利用可能なものの合計隻数の変化である。全体的には、1～3 月にやや輸送力が小さくなる傾向がある。また a)～e) で大きな落ち込みがあるが、それぞれ年始・ゴールデンウィーク・盆・台風(台風 19 号 Hagibis)・年末による運航停止に伴う停泊を理由とする利用可能船の減少が原因と考えられる。安定して船の量を確保するにはこれら特定事由への対策を行うことが必要となる。

次に、日本海側で支援物資を積載する代表港（ここでは新潟港とした）を想定し、利用可能船の 1 時間ごとの発災時位置を基に、そこから利用可能な港で積載済み貨物を降ろす等の必要な準備をしてから代表港へ回航の上で到着するまでの所要時間を評価した。結果を図 3 に示す。

図から、発災 24・48・72 時間後の到着済み船の数はそれぞれ平均 15・64・76 隻、合計積載可能台数は平均 2,000 台弱・12,000 台弱・14,000 台弱と、速やかに大きな海上輸送力を利用可能となることが分かる。発災後も海上輸送は有力な選択肢である。

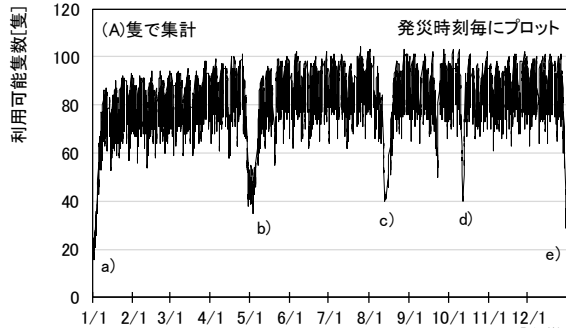


図 2 利用可能隻数の年間の変化(2019 年)

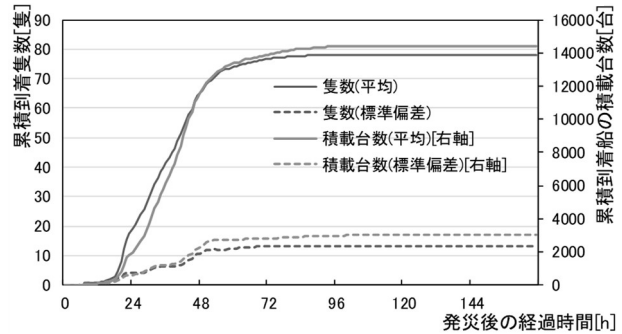


図 3 累積の到着隻数・積載台数の推移

(2) 支援物資輸送の分析

① 基本となる貨物割り当て法

中央防災会議では、発災後 4～7 日目において、被害が大きい場合は食料だけで 1 億食以上の輸送が必要となると見込んでいる。その他の基本輸送品目まで含めれば 10 トントラック換算で数千台以上となる膨大な量の輸送が発生する。ここでは以下のような海陸併用輸送を行った場合にどのような輸送性能となるかを評価する。

なお、以降の分析では想定する輸送システムの基礎的な性能を評価することを目的とすることから、計算パラメータの設定では支援物資の発地・着地である広域物資輸送拠点(以下、広域拠点)・船・港・トラック等の個別事情を考慮せず一律に扱う。

まず、発災の 24 時間後に、非被災地域に分布する貨物の発地からトラックによる支援物資の発送を開始する(以降 72 時間で出荷完了)。ここで発地は図 4 のように非被災県の 19 か所の県庁所在地とみなすと共に、早期に貨物が到着し始めるよう西日本と東日本に分割し、図 4 枠中(b)のようにそれぞれから被災地の 72 か所の広域拠点へと着地を割り当てる。各広域拠点の貨物の需要量は 10 トントラックの台数に換算する。各発地の供給量は、今後、流通在庫の利用が多くなることを想定し、発災の人口に比例させる。

次にトラックの出発時に、対象航路で利用可能(ダイヤが設定されていて船腹に空きがある)かつ陸路走行距離が最短となる経路のうち、最も早く出航する船を予約する。条件に合致しなければ、陸路で広域拠点まで直行輸送する。船は(1)の分析を参考に、10 トントラックを 150 台積載可能で、船速 21.5kt とし、発災後 30 時間後に初便が出発し、以降、6 時間間隔で出航するものとする。

その後、トラックは陸路で船の発港まで移動し、予約した船に搭乗する。陸路の基本移動速度

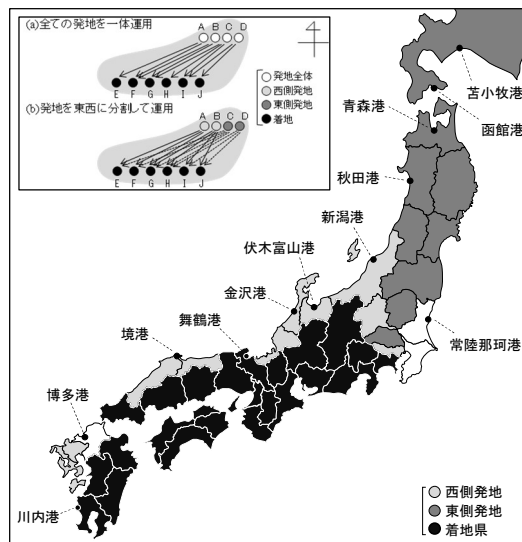


図 4 貨物の発着地域と利用対象港湾

は高速道路 80km/h、一般道 30km/h、その他道路 20km/h とし、被災地の被害に応じてその 1/4、1/8 の平均速度とする(ドライバの休憩・休息、経路の調査や安全確認等に要する時間も加味した安全側の仮定である)。トラックは着港で下船後、広域拠点まで陸路を移動する。乗下船所要時間はそれぞれ 1 時間とする。

最後に被災自治体が広域拠点から避難所まで支援物資を輸送する。これには初期には 24 時間、最終的には習熟等により早まり 12 時間を要すると想定する。

図 5 は物資充足率の時間推移の評価結果を示している。平均充足率を見ると、初期には目標の点線分とほぼ同等、以降はそれよりも早い進展で推移している。一般に船は輸送に時間がかかる傾向があるが、概ね良好な成績であり、また、トラックと比べ大きく遅れるものではないことが分かる。これらは船が海上を一定速度で安定して移動可能であるからと解釈できる。個々にみると広域拠点により、特に初期には目標充足率を大きく下回るころがある。これらはあらかじめ広域拠点や避難所の貯蔵物資の量を増やしておく、あるいは発地を近くに変更する等、様々な対策を施すことではらつきを抑えることが可能である。

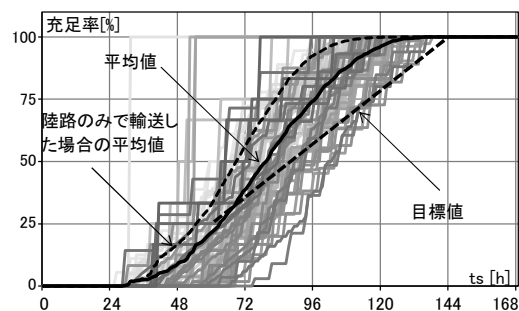


図 5 物資充足率の推移

図 6 は輸送に必要な輸送資源(自走車両、トラック燃料、ドライバ)の指標であるトラック総走行距離を示している(海路は無人航送を想定)。陸路のみの結果と海陸併用の結果を比べると、西側発の貨物でトラック走行距離は 21%減、東側発の貨物では 59%減となり、輸送距離の長い東側発の貨物でトラック走行距離は大きく削減されている。東西の合計でも約 46%減とおおむね半減している。トラック輸送資源の削減に船の利用は効果的である。

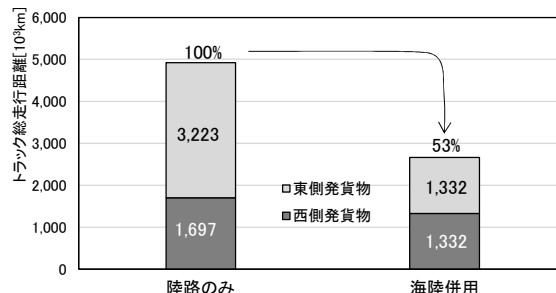


図 6 トラック総走行距離

以上から、海陸併用輸送を行うことで必要な輸送速度を確保しつつ、陸上輸送資源を大幅に削減可能であると言える。

②貨物割り当て法の改良

①では、単純でありつつも出来るだけ迅速性・公平性を確保するよう、発地を東西に分けてそれぞれの西側の発地と西側の着地を順に割り当てる輸送計画を用いた。この場合、充足率の平均値の上昇速度は妥当であるものの、公平性の確保には限界があり、着地毎に見ると充足率が大きく目標を下回るものもある。

そこで、試みに着地毎の物資充足率の差異が小さくできる輸送計画を検討した。基本的な作成方針は、図 4 の枠中 (b) に代えて各着地に対して最も輸送時間の短くなる発地を調べ、その最短の輸送時間が最も長い(不利な)着地から順に、最短時間をなす発地の貨物を割り当てるというものである(他は①と同様)。これにより、輸送時間が長くかかる被害の大きい地域の着地へ有利な(輸送時間の短い)発地の貨物が優先的に割り当てられ、着地側の充足率の均等化に資すると期待できる。

上記を基本に輸送計画のアルゴリズムを作成し、実装して評価した例を図 7 に示す。被災地域の近くにある発地からの貨物を優先的に所要時間の長くかかる着地に割り当てたため、図 5 より物資の届き始めの平均がやや遅くなるものの、平均値を下回る範囲のばらつきは抑えられている。輸送計画作成時に、被災状況を鑑みて重点を置くべき性能を判断し本手順を適宜(部分的でも良い)取り入れるのも一法である。

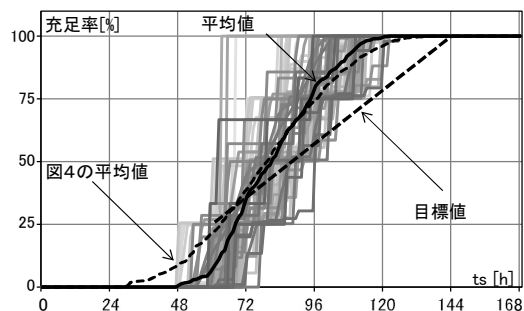


図 7 輸送計画の改良

(3) まとめ

本研究では発災後の利用可能船腹量を評価し、また冗長的輸送手段として日本海側の非被災港を中心としたフェリー/RORO 船隊輸送を想定して複合一貫輸送シミュレータを用い広域震災時の支援物資輸送の各種輸送シナリオを分析することで有用性を評価した。その結果、上記輸送は必要かつ有益な基本性能を持つことが分かった。

南海トラフ地震後の多様な状況においても災害支援物資の輸送は円滑に行う必要がある。今後とも日本海側フェリー/RORO 船隊輸送の検討を進めることは極めて有意義と考える。

<引用文献>

① 中央防災会議:南海トラフ地震対策 各種資料 <<http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/>>、

閲覧 2020. 8.

- ② 国土交通省：ラストマイルにおける支援物資輸送・拠点開設・運営ハンドブック，
<<https://www.mlit.go.jp/common/001282576.pdf>>，閲覧 2021. 6.
- ③ 日本海運集会所：内航船舶明細書 2020，2019. 12.
- ④ (株)東洋信号通信社：AIS データ，2018. 12～2020. 1.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 松倉 洋史, 荒谷 太郎, 間島 隆博	4. 巻 34
2. 論文標題 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用-プッシュ型輸送期間の日本海側フェリー/RORO 船隊輸送-	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 139 ~ 158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2534/jjasnaoe.34.139	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 Matsukura Hiroshi, Aratani Taro, Majima Takahiro	4. 巻 30
2. 論文標題 Ship Utilization for Transporting Relief Supplies after the Nankai Trough Earthquake : Ferry/RORO Fleet Transportation in Japan Sea during Push-type Transportation Term	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集 Conference proceedings, the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers	6. 最初と最後の頁 423 ~ 425
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 松倉 洋史, 荒谷 太郎, 間島 隆博	4. 巻 32
2. 論文標題 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用可能性評価	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会論文集	6. 最初と最後の頁 219 ~ 230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2534/jjasnaoe.32.219	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 松倉洋史、荒谷太郎、間島隆博	4. 巻 -
2. 論文標題 広域震災時における船舶を用いた災害支援物資の基幹輸送	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 第19回海上技術安全研究所 研究発表会	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 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 松倉洋史、荒谷太郎、間島隆博	4. 巻 -
2. 論文標題 南海トラフ地震時における日本海側フェリー/RORO船隊による支援物資輸送	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 第21回海上技術安全研究所 研究発表会	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 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 松倉洋史	4. 巻 -
2. 論文標題 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用 - 日本海側フェリー/RORO船隊輸送の半割れケースの評価と輸送計画の改良 -	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本船舶海洋工学会講演会論文集 Conference proceedings, the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers	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 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 -

[学会発表] 計2件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 松倉洋史、荒谷太郎、間島隆博
2. 発表標題 南海トラフ地震における船舶による支援物資輸送の利用可能性評価法
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和2年秋季講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松倉洋史
2. 発表標題 南海トラフ地震における支援物資輸送への船舶の利用 - 日本海側フェリー/RORO船隊輸送の半割れケースの評価と輸送計画の改良 -
3. 学会等名 日本船舶海洋工学会令和5年春季講演会
4. 発表年 2023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	間島 隆博 (Majima Takahiro) (30392690)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局 等・研究員 (82627)	
研究 分担者	荒谷 太郎 (Aratani Taro) (60610326)	国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局 等・研究員 (82627)	

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