

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02280

研究課題名（和文）網羅的シミュレーションと機械学習を用いた精度の高い短期交通需要予測手法の開発

研究課題名（英文）The development of short term prediction of traffic state considering the real-time observation of traffic

研究代表者

佐々木 邦明（SASAKI, KUNIAKI）

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：30242837

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 11,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、災害時において近年利用が可能になってきたリアルタイム観測データを活用し、その分布に対して行動シミュレーションの同化を行うことで、行動シミュレーションを補正し、災害時の行動を再現するシステムの構築を行った。またLSTMによる災害検知可能性の検討や、災害に適切に対応できる施策検討に必要な出力を行った。特に、対象とした災害として、コロナ禍を一種の災害と見立てて、首都圏全体の緊急事態宣言下での行動再現によって、鉄道の混雑などを再現する仕組みを構築したほか、台風災害を対象として行動の変化及び道路交通の再現までの一貫したシステムの構築を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の意義は、災害時にリアルタイムデータを活用した精度の高いシミュレーションを行い、今後の予測や適切な施策検討を行うための仕組みを作ったことと、それを実装することによる社会システムの高度化である。この社会的な意義としては、都市システムの強靱化に貢献するとともに、災害による被害を抑えることである。学術的には様々なビッグデータが整備される中で、それらを都市マネジメントにおいて有効に利用する方法の開発である。

研究成果の概要（英文）：This study utilizes real-time observation data, which has become available in recent years, and assimilates behavior of people in the event of a disaster to the distribution of the data, thereby correcting the behavior simulation. The system also offers the materials for an appropriate countermeasure and makes disaster detection possible by LSTM. In particular, the following disasters were targeted. For the corona virus infection, we constructed a system to reproduce railroad traffic congestion and other problems by reproducing the behavior of the entire Tokyo metropolitan area under a state of emergency declaration. For the typhoon disaster, we constructed an integrated system to reproduce changes in behavior and road traffic.

研究分野：都市計画・交通工学

キーワード：災害時マネジメント 行動シミュレーション ビッグデータ データ同化

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究の技術的背景

技術的背景としては、PC 等の並列計算能力の向上により、東京都市圏のような大規模な都市においても、実用的な計算時間で、個人の行動に基づくシミュレーションが可能になってきたことがあげられる。個人単位でのシミュレーションができることから、各種施策に対する反応を個人の特性に応じて予測できる。

シミュレーション技術の進展とは別に、リアルタイムの地域別の滞在人数の推定値、ETC 等の交通関連データ、車両の走行軌跡や各種特性を持ったプローブデータなど、人流や交通量などに関連するパッシブな観測を活用した交通に関するビッグデータが利用可能になってきたことも研究の背景としてあげられる。これらの詳細なデータは、必ずしも従来型のサンプリング理論に基づいたデータではないが、リアルタイムでかつ時系列の変動を追うことができる。

またこれらのシミュレーションに加えて、機械学習や深層学習の手法の発展もある。時系列のデータからの異常検出を行う手法の開発も進んでいる。

(2) 社会課題としての背景

災害の激甚化によって、交通システムの混乱が多発してきたことが背景としてあげられる。特に物流が高頻度配達トラックに依存し、その細かなオペレーションは交通障害によって大きく影響を受ける。さらに各種経済の配送システムへの高度な依存によって、交通障害による経済的被害が増大してきたことも研究の背景となっている。

2. 研究の目的

上記の背景に基づいて、本研究は、災害時の行動再現および災害検出 2 つの目的を設定した。

(1) 災害時の行動再現

災害時の行動再現は、行動モデルに基づいたシミュレーションを実施し、それとビッグデータを活用して、通常時とは異なる災害時の行動再現を行う。

(2) 異常時の発見と原因推定

時系列のビッグデータを活用して、人の動きの変化から、以上検出を行う。そのために、時系列のデータを活用することとなる。

これら 2 つの目的を統合して、災害の検知と、それに基づいたシミュレーションを行い、異常時にどのような行動が起きているのかを明らかにし、施策に対する変化を明らかにする方法を提案する。

3. 研究の方法

研究の方法は、

- 1) 個人の移動データに基づいたモデル構築
 - 2) モデルを用いた行動シミュレーション
 - 3) 網羅的シミュレーションのビッグデータへの同化による行動の逆推定
 - 4) ビッグデータから異なる状態の検知を行い、災害の逆推計の検証
 - 5) 再現された行動より道路ネットワークへの配分を行い、道路のビッグデータと適合する走行状態の推計を行う
- の手順で実施している。

(1) 行動シミュレータ

行動再現に用いるシミュレータはアクティビティシミュレータと呼ばれる個人の行動を再現するモデル体系である。アクティビティモデルは主に 2 種類存在する。一つは、時空間の固定活動と時空間の移動制約を考慮して、移動制約内での効用最大化行動をとるシミュレータである。本研究では PCATS (Prism Constraint Activity and Travel Simulator) を用いる。これは分担者の菊池らの開発によるものである。このシミュレータは、固定的な活動を与えることから、災害によって、勤務時間や場所の変更や、出勤ができないために家に滞在するパターンなどに適用性が高いと考えている。もう一つは制約を考慮しない Bowman・Ben-Akiva モデルである。制約が無いため、出勤等の取りやめの判定に使いにくい。

(2) 使用するデータ

使用するビッグデータは、アクティビティモデルの再現性の確認に、NTT ドコモインサイトマーケティングが提供するモバイル空間統計を主に用いる。特にモバイル空間統計の特性から、リアルタイムに近い運用ができる 500m メッシュでのデータを活用することとした。また自動車の走行状態を再現するために、貨物車プローブデータを活用する。これには災害当日の

走行データが記録されており、ネットワークシミュレーションの結果を補正するために用いる。その他各種の属性データは国土数値情報やオープンストリートマップ等を利用する。

(3)変化・災害検知

時系列のビッグデータを用いた災害検知のために、時系列関係を取り扱うことのできる深層学習モデルである LSTM を用いる。

4. 研究成果

本研究で行った成果の一部を示す。

(1)コロナ禍での行動変化の推計

本研究は当初気象災害を対象として研究開発を始めたが、研究開始当初に、コロナウィルスの感染拡大を抑制するための行動抑制等が行われ、これが一種の災害であることと、本研究のベースシステムがこのような災害を再現できるのかの可能性を検討した。構築したシステムは東京都市圏の PCATS による網羅的行動シミュレーションとモバイル空間統計リアルタイム版への同化からの行動変化の逆推計である。

当初、東京 23 区を対象に実施したが、最終的には首都圏の 3000 万人を超える行動をシミュレートし、モバイル空間統計のリアルタイム版を用いて、それに同化するリモートワーク率を推計した。実例として 2020 年 4 月の居住地別のリモートワーク率、就業地別のリモートワーク率をそれぞれ図 1、図 2 に示す。

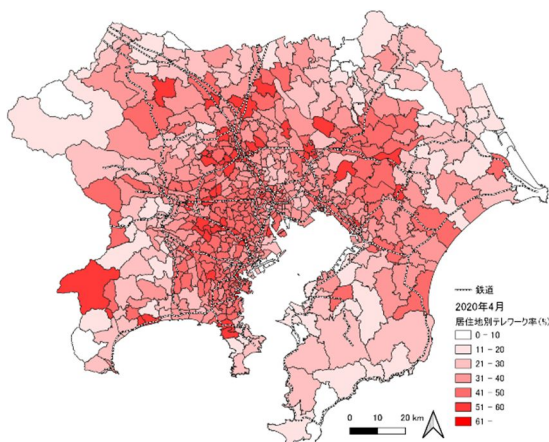


図 1 居住地別リモートワーク率

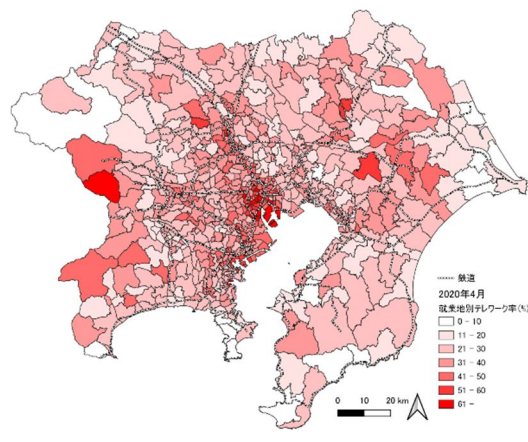


図 2 就業地別リモートワーク率

図に示したように、居住地では鉄道沿線や近郊部でリモートワーク率が高く、就業地別では、大手町・丸の内や、他の副都心などにおいてリモートワーク率が高いなど、予想通りの結果が示された。さらに、郊外部の観光地での失業状態も併せて推計することができた。さらに一人一人を再現したことから、年齢階層別や、職業別のリモートワーク率を推計するなど、一般のアンケート調査が一断面においてリモートワークの状況を尋ねているのに対して、リアルタイムにリモートワークを推計し、それによる OD 変化を推計することができた。それによって鉄道の混雑の推計、ターミナルへの時間帯別の集中量等も計算可能であり、このような災害時の行動再現と施策評価に適していることを示した。この成果を土木計画学研究発表会や・国際交通行動学会、欧州地域学会等の学会で発表し、多くの質疑を通じて、提案方法の新規性と有効性を示すことができた。

さらにこのコロナ禍による行動変化を一種の災害時と見立てることが可能であること、さらにその緊急性を鑑みて、コロナ禍によって、行動変化が発生したことの検知可能性を、深層学習を用いて検証した。その結果、地域の土地利用に応じて変化が異なり、特定の地域では大きな変化があり、予測精度が急激に低下することから異常検知を行うことができたが、特定の地域では変化が穏やかに変動していき、情報を更新する予測を用いた場合には、その変化に適応してしまうことから検知が困難となった。また、パターンを更新せずに予測を行い大きな誤差が発生した際に異常を検知したとして、そこから新たな学習を始めることで、人流の変動の予測が可能になった。その一例として、人口変動の予測と、誤差変動、さらに検知したのちの学習による予測精度を検証した結果の一部を図 3 に示す。

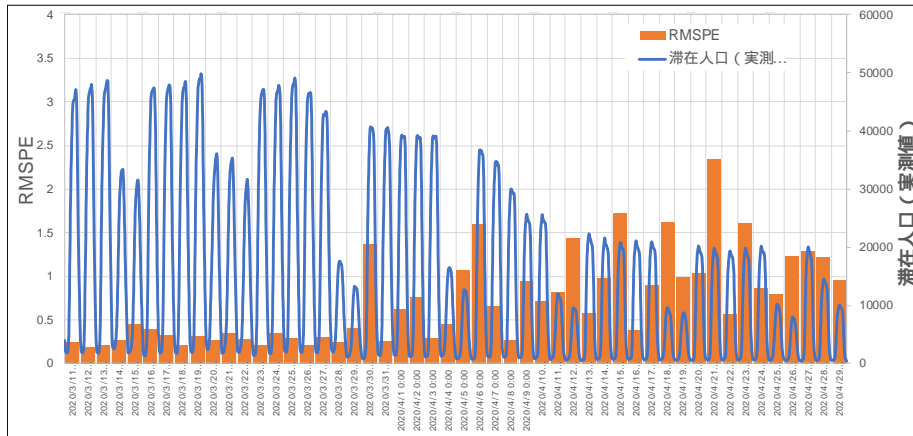


図3 ある地域の人口変化の予測と誤差変動

CNNなどの他の学習方法を適用した結果と比較したうえで、土木計画学研究発表会において研究発表を行った。その質疑応答では、パターン変化の再学習にどの程度のデータが必要なのかなど、行動変化検知後の予測可能性について議論がなされた。

(2) 台風災害時の行動再現と交通ネットワーク再現

(1)において、リアルタイムデータを活用した災害時の行動変化の予測可能性について知見を得たため、より詳細でかつ、道路混雑等の変化の記述を行った。対象とした災害は2019年の台風15号である。この台風15号は、2019年9月9日に上陸し、市原市を含む千葉県を中心に甚大な被害を出し、公共交通機関の運休が相次いで発生した。また長期の停電に見舞われ、その状況も即座には示されず、長期にわたって生活に影響が出た。この災害を対象に、対象地域を特に被害が大きく、停電のある範囲やネットワーク特性を参考に、千葉県市原市を選定し、その状況再現を先に示した方法論を用いて行った。

PCATSシステムは、基本的に都市圏レベルの再現を行うもので、計画基本ゾーンレベルを想定してシステム構築がなされているが、市原市に限定した場合には計画基本ゾーン数が5であることから、停電の影響や交通ネットワークへの影響を考えると粗すぎると判断した。災害時の行動特性など勘案して42の小学校区単位で、シミュレーションシステムやデータの構築を行った。42ゾーンに再編した状態で、PT調査をもとに、PCATSを用いて災害時の再現を行った。その際には、鉄道の運休状況などから、ある一定以上の通勤時間がかかると判断された場合には在宅すると判定し、さらに時空間制約を満たす範囲では、勤務地以外に外出を可能とした。それによってゾーンでの滞在人数の再現性は大きく向上した。さらにモバイル空間統計に同化することで、その補正を行うことができた。シミュレーション上では交通手段選択も行っていることから、災害時にどのような手段変化があったのかも示すことができる。例えば、平常時は公共交通のシェアが65%程度であったのに対して、当日は移動量の総量が5%程度とわずかではあるが減少したうえに、公共交通の分担率が50%以下に減少していることなどが示され、台風災害による運休や遅延によって行動が変化していることを再現できた。この時の滞在人数分布の再現状況と移動手段の分担率を図4および図5に示す。

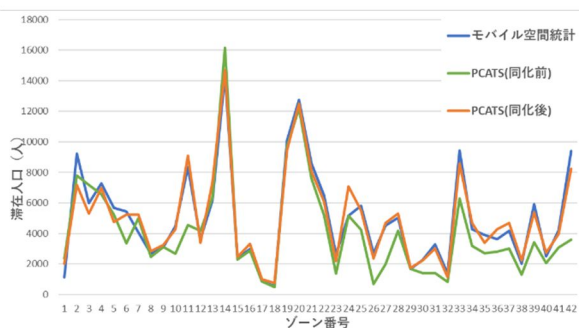


図4 在宅率を考慮した台風当日の人口分布

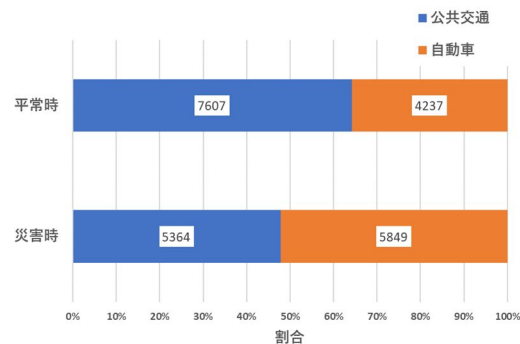


図5 台風当日の移動手段分担率変化

行動再現シミュレーションの出力から、居住者のODデータを作成し、道路交通センサスより市内通過交通量を推計し、それらを統合して市内の交通ネットワークでのマイクロシミュレーションを行った。その際に、当日の貨物車プローブから得られた、時間帯別リンク別の速度分布データを用いて、リンクコストを観測データに適合するように動的に変動する交通シミュレーションシステムを適用した。その結果、シミュレーションとプローブの測度差はわずかながらの改

善を示し、交通量について検証したところ、コスト更新を行うことで、通常時の交通量に近づくという結果となった。その結果は図6に示す。

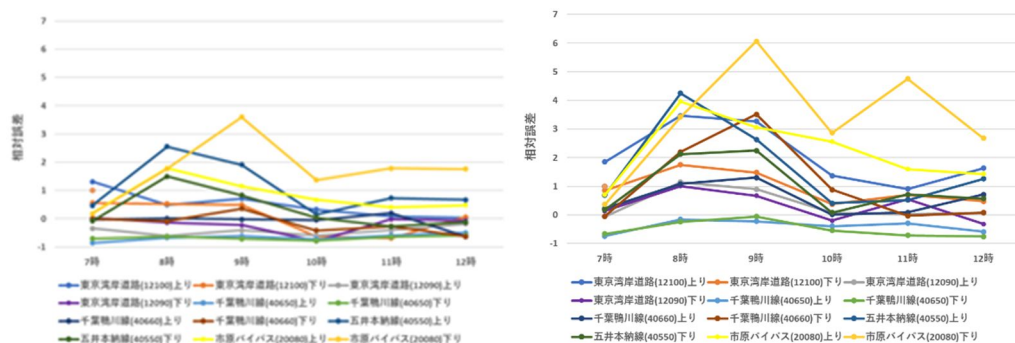


図6 断面交通量との比較(左：コスト更新有，右：コスト更新無)

このように、道路交通シミュレーションについては、市内通過のOD交通量が一致しているとの保証が無い中で、一部区間の速度分布だけを用いてネットワークの再現性は困難である結果となった。更なる再現性向上のための観測データの活用が求められるが、現実的に当日のOD交通量を得ることは難しく、分担者の上石が進めるような、災害当日のプローブを、速度だけでなく走行画像データを活用して道路状況や交通量の推計などを行うことや、トラフィックカウンターデータの活用を行うことが望まれる。

以上、本研究の目標である、災害時におけるリアルタイムデータを用いて災害時の行動を再現し、さらには交通ネットワークの再現を行うこと、さらに深層学習を用いて災害時の逆推計を行い、状態を再現するシステムの構築が実施できたことを報告する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 4件）

| | |
|--|-----------------------------|
| 1. 著者名 阿部 雅人、杉崎 光一、中村 一樹、上石 勲 | 4. 巻 1 |
| 2. 論文標題 深層学習を利用した沿線カメラ画像による積雪深評価方法の検討 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 AI・データサイエンス論文集 | 6. 最初と最後の頁 217-220 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11532/jsceiii.1.J1_217 | 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 中村一樹、砂子宗次朗、上石勲、宮島亜希子、仲条仁 | 4. 巻 38 |
| 2. 論文標題 スマートフォン画像を用いたAI路面判定システムの開発 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 寒地技術論文・報告集 寒地技術シンポジウム / 北海道開発技術センター 編 | 6. 最初と最後の頁 103-108 |
| 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 小宮山茜、佐々木 邦明、福田 大輔、石井 良治 | 4. 巻 78 |
| 2. 論文標題 東京都市圏におけるアクティビティシミュレーションと観測データの融合手法 | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 土木学会論文集（土木計画学） | 6. 最初と最後の頁 I_553-I_560 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2208/jscejipm.78.5_I_55 | 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 Abe Ryosuke、Ikarashi Tatsuya、Takada Shin、Fukuda Daisuke | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Impact of working from home on travel behavior of rail and car commuters: A case study in the Tokyo metropolitan area | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Case Studies on Transport Policy | 6. 最初と最後の頁 100938-100938 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cstp.2022.100938 | 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 Dantsuji Takao, Fukuda Daisuke, Zheng Nan | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 Simulation-based joint optimization framework for congestion mitigation in multimodal urban network: a macroscopic approach | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Transportation | 6. 最初と最後の頁 673-697 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11116-019-10074-y | 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 該当する |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Masato ABE, Koichi SUGISAKI, Kazuki NAKAMURA, Isao KAMIISHI | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 SNOW DEPTH EVALUATION FROM HIGHWAY MONITORING CAMERA USING DEEP LEARNING | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Intelligence, Informatics and Infrastructure | 6. 最初と最後の頁 26-29 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11532/jsceiii.2.1_26 | 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10件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

| |
|--|
| 1. 発表者名 Kuniaki SASAKI, Koichi HIROSE, Akira KIKUCHI |
| 2. 発表標題 How much has COVID-19 promoted remote work in Tokyo? An examination by applying an activity simulator |
| 3. 学会等名 60th congress of European Regional Science Association (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ryosuke ISAKA, Kuniaki SASAKI, AKIRA KIKUCHI |
| 2. 発表標題 Who Are Working Remotely under COVID-19 Pandemic? A Big Data analysis with the activity simulator for the post-Pandemic transportation planning |
| 3. 学会等名 IATBR 2022, Santiago (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 廣瀬光一, 佐々木邦明, 菊池輝, 斧田佳純, 浅野礼子, 鈴木俊博 |
| 2. 発表標題 リモートワークの普及を考慮したアクティビティシミュレータによるコロナ禍での行動再現 |
| 3. 学会等名 第63回土木計画学研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 高森駿, 佐々木邦明 |
| 2. 発表標題 ニューラルネットワークによる滞在人口の短期間変動予測可能性に関する研究 |
| 3. 学会等名 第64回土木計画学研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 井坂凌佑, 佐々木邦明, 菊池輝 |
| 2. 発表標題 アクティビティシミュレータと観測データを用いた個人の行動再現に関する研究 - コロナ禍の在宅勤務の再現 - |
| 3. 学会等名 第65回土木計画学研究発表会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 中村 一樹, 砂子 宗次朗, 上石 勲, 宮島 亜希子, 仲条 仁 |
| 2. 発表標題 スマートフォンAI路面判定システムの開発 |
| 3. 学会等名 雪氷研究大会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 井坂凌佑, 佐々木邦明 |
| 2. 発表標題 逐次的意思決定過程モデルとモバイル空間統計を用いた個人の行動予測の適用性に関する研究 |
| 3. 学会等名 第63回土木計画学研究発表会 |
| 4. 発表年 2021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 | 菊池 輝 (KIKUCHI AKIRA) (00343236) | 東北工業大学・工学部・教授 (31303) | |
| 研究分担者 | 上石 勲 (KAMIISHI ISAO) (60455251) | 国立研究開発法人防災科学技術研究所・雪氷防災研究部門・主幹研究員 (82102) | |
| 研究分担者 | 福田 大輔 (FUKUDA DAISUKE) (70334539) | 東京大学・大学院工学系研究科(工学部)・教授 (12601) | |

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 |
|---------|---------|