

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 10 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24330088

研究課題名(和文) 自然災害と環境リスクを考慮した動学空間経済シミュレーション

研究課題名(英文) Dynamic Spatial Economic Simulation of Natural Disasters and Environmental Risks

研究代表者

渋澤 博幸 (Shibusawa, Hiroyuki)

豊橋技術科学大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70291416

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、自然災害と空間リスクを考慮した動学空間経済モデルを開発する。産業関連モデル、空間応用一般均衡モデル、都市経済モデル、及び最適化モデルに空間情報を組み込むことによって、新たなシミュレーション分析手法を提案する。巨大地震、津波、氾濫、火山噴火、及び環境リスク等の自然災害が地域経済へもたらす影響が明らかにされる。将来生じうる自然災害の経済被害の推計に有益な手法が示される。

研究成果の概要(英文)：In this study, we develop dynamic spatial economic models for evaluating natural disasters and environmental risks. We propose simulation analysis methods by incorporating the input-output model, the spatial general equilibrium model, the urban economic model, and the optimization model with the spatial information. We show the regional economic impacts of natural disasters such as huge earthquakes, tsunamis, floods, eruptions, and environmental risks. The useful methods for evaluating the impacts of future natural disasters are proposed.

研究分野：都市・地域システム分析

キーワード：自然災害 環境政策 経済政策 シミュレーション工学 防災

1. 研究開始当初の背景

我が国は、日本列島及び周辺の島々を領土とする国家である。世界トップクラスと呼ばれる日本の輸送技術、省エネ・環境技術、及び防災・復旧復興技術を、グローバルネットワークを介して世界展開するための政策・戦略策定は重要な課題である。枯渇性資源から再生可能資源へのエネルギーシフトは、物流・物質循環に大きな変化をもたらそうとしている。

また、リダンダンシーを備える生産物流ネットワークの構築は、地震等の巨大リスクを軽減する防災・復旧復興政策にとって不可欠なものである。流域・陸海域における発展を持続するためには、ロジスティックな視点を含む物質循環の再構築が必要である。このような政策的な課題を、時空間レベルで分析できるフレームワークの出現が期待されている。

2. 研究の目的

本研究では、自然災害リスクと環境リスクを考慮した動学空間経済シミュレーションモデルを開発する。港湾都市・地域とそれらを結ぶロジスティックシステムを対象として、将来起こりうる自然災害リスクと環境リスクを前提に様々なシナリオに基づいて、防災・復旧復興政策、低炭素技術政策及び流域・陸海域における環境政策等の導入が、物流、地域・国際経済、産業構造及び環境負荷等にもたらす影響を空間経済シミュレーションによって分析する手法を開拓する。

3. 研究の方法

(1) 動学空間応用一般均衡モデルを用いた巨大地震の防災復興投資の影響

地震は多大な被害をもたらす。地震が発生する地域や国においては、地震の被害を防ぐための投資や防災・減災に対する取組は重要な課題である。動学空間一般均衡モデルを構築して、巨大地震に対する防災復興投資の経済的影響を計測する。我が国 47 都道府県の地域を対象にしてシミュレーションモデルを構築する。巨大地震がもたらす直接的被害のシナリオをもとに、地震前の防災投資と地震後の復興投資が、各都道府県の地域経済に与える影響を明らかにする。

この分析の特徴は、産業レベルの防災・復興投資という動学的な要素と地域間の財の取引の変化という空間的な要素が同時に取り扱われていることにある。防災投資と復興投資は経済的な費用を伴うため、地震の前後の投資にはトレードオフの関係が存在する。通常、防災投資を行えば地震による被害が減少し、復興投資の費用節約の効果が期待される。一方で、防災投資が実施されなければ、巨大地震から大きな被害を受け、復興投資に多大な費用と時間を要することになる。

一般的に地震の時期と場所に関する正確な予知は難しいとされているが、我が国の巨

大地震に関しては、ある程度の地域性や周期性が存在することが知られている。防災・復興投資の費用と地震の経済的被害の費用の最小化という観点から、防災投資と復興投資の最適なバランスが存在しうる。地震は特定の地域に直接的な被害をもたらすが、地震発生後に各地域へ様々な間接的な被害を及ぼす。

また、同様に地域局所的な地震に対する防災・復興投資は、地震対象地域のみならずその他の地域へ経済的な波及効果をもたらす。巨大地震の場合、地震の直接的な被害と防災・復興投資の地域経済への影響には、どのような関係が存在しうるのかという視点が重要となる。

(2) 小ゾーン情報を用いた自然災害被害の産業連関分析

町丁大字従業者数と産業連関表を用いた経済効果の計測手法を開発し、ある特定ゾーン内の生産活動が、川下および川上産業へもたらす経済波及効果を推計する。自然災害等により同ゾーン内における生産活動が停止した場合を想定し、地域に生じる経済被害額を推計する。自然災害のシナリオは様々であることから、生産活動が停止するゾーンの範囲の変化がもたらす地域経済への影響について分析を行う。

ある特定ゾーンの生産額と粗付加価値は、経済センサスの町丁・大字別の従業者数から周辺ゾーンの生産部門別のシェアを求め、このシェアを産業連関表の生産額と粗付加価値額に乗じることによって求められる。経済センサスの町丁・大字別従業者数は 18 部門であり、産業連関表の部門数に合わせるため、経済センサスの市町村別の 743 部門従業者数から推計した按分比を用いる。

産業連関モデルを用いた経済効果の計測では、ある特定ゾーンに立地している生産部門から生じる地域の川上産業および川下産業への経済効果を、後方連関モデルと前方連関モデルを用いて計測する。

(3) 多地域産業連関モデルを用いた交通遮断の影響

多地域産業連関モデルを用いて、地域間の交通リンクの経済波及効果を計測する。地域間産業連関表を用いると地域間の交易関係の変化を考慮に入れながら地域間の経済波及効果を計測することができる。地域間交易係数変化の経済効果を分析できるチェネリー・モーゼス型のモデルを用いる。

自然災害やインフラの老朽化等により地域間の交通リンクが遮断されると、交易パターンに変化が生じる。これを地域間交易係数の変化として与える。地域間競争移入型の均衡産出モデルを用いて経済効果を計測する。

(4) 流域・陸域における環境リスクの分析

流域・陸域圏における水域環境の健全化・悪化に重要な役割をはたす環境負荷物質に注目し、流域・陸域圏の経済活動から海洋・湾へもたらされる環境負荷物質を推計す

る。産業連関モデルと最適化モデルを用いて、環境負荷削減政策の効果を明らかにする。

(5)都市経済モデルを用いた自然災害リスクの評価

都市空間を対象とした経済モデルを用いて、津波等の地震情報に対する主観的信頼度変化が都市の土地利用変化に及ぼす影響を分析する。また、水害等の自然災害が都市内の地代に及ぼす影響を分析する。

4. 研究成果

(1)動学空間応用一般均衡モデルを用いた巨大地震の防災復興投資の影響

ここでは巨大地震の例として、南海トラフ地震とりあげる。南海トラフ地震では東海・南海・東南海の地域が地震被災対象地域となる。地震の直接的被害として各生産部門の資本ストックの減少を想定する。

南海トラフ地震の動学的インパクトを評価する。地震の直接的被害は、生産部門の資本ストック減少率により与えられるものとする。このケースについて、地震の動学的インパクトを評価する。

Base ケースは、地震が発生しない状態であり、50 期のあいだは定常状態の解とする。Case1 は、地震の発生時期の予知情報がない場合である。対象地域において地震が 25 期目に突然生じると仮定する。このケースでは、各生産部門は地震前に防災投資を行えないため、地震後の復興投資のみ行う。Case2 は、地震の発生時期の予知情報が存在する場合である。対象地域において地震が 25 期目に生じることが予知されている。

一般的に、防災投資がある場合、地震がもたらす直接被害率は減少することが期待されるが、この分析では Case1、Case2 のインパクトの比較を行うために、Case2 の資本ストックの被害率は Case1 のそれと同じものとする。Case2 では、各生産部門は地震前に防災投資を、そして地震後に復興投資を行うものとする。

シミュレーション結果の一部を図 1 に示す。Case1 では、25 期目に予知なしに地震が発生する。東海・南海・東南海の各地域では、地震後の GRP が減少し、その後徐々に回復する傾向を示す。東海・南海・東南海以外の各地域(特に離れた地域)では、地震発生直後に、若干であるが GRP が増加する。これはその他の地域からの財フローによって賄われるためである。

Case2 では、各生産部門は地震の発生を予知しているため、地震発生前に防災投資を行う。そして地震発生後に復旧投資を行う。地震前に東海・南海・東南海では防災投資を行うため、GRP が増加している。地震後は Case1 と同様に GRP が減少し、その他の地域では GRP が増加している。Case1 と比べ Case2 では GRP の減少が緩和され、その後より早く回復する傾向であることが示されている。

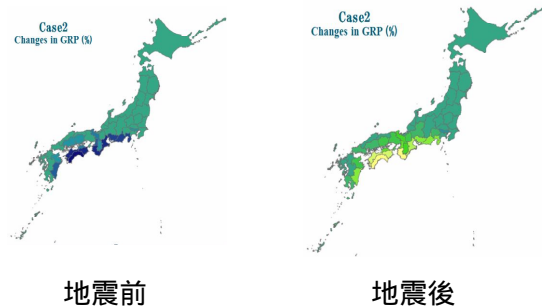


図 1 防災復興投資の GRP への影響

Case2 における地震前と地震後の地域間の製造業財フローの変化量を調べると、二つの主要な変化が存在する。ひとつは、地震発生地域における地域内財フローの著しい増加である。特に東海・南海・東南海の各地域で、地域内財フローが顕著に増加している。その一方で、それ以外の地域では、地域内財フローが減少する傾向がみられる。地震前にその他の地域での地域内財フローが著しく変化

する。二つめは、東海・南海・東南海以外の地域から、東海・南海・東南海の各地域への財フローの増加である。地震後に、東海・南海・東南海の各地域では復旧投資が増加するため、他地域からの財フローが増加する。地震発生直後では、復旧投資が急増するため、地震前よりも地震後に財フローの変化は著しくなっている。同様に、首都直下型地震の影響についても分析を行った。

この他、中国の 30 都市・省を対象として、唐山大地震を参考にして、渤海経済地域及び中国全土に与える巨大地震の影響を分析した。

(2)小ゾーン情報を用いた自然災害被害の産業連関分析

三河港周辺ゾーンの経済効果

三河港臨海部に立地する企業を対象として、町丁字レベルの従業者数と産業連関モデルを用いて経済波及効果を計測する。三河港臨海部企業の後方連関効果と前方連関効果を計測する。南海トラフ地震等の自然災害によって三河港臨海部企業の生産が停止した場合の経済被害額の計測を行う。

三河港臨海部における生産活動の停止がもたらす生産額減少の結果の一部を図 2 に示す。後方連関、前方連関(完全代替)及び前方連関(完全代替なし)の結果をまとめたものである。後方連関効果に比べて、前方連関効果(完全代替)の生産額は小さくなっている。前方連関(完全代替なし)では、2 期目より 3 期目より大きな生産額の減少となっている。三河港後背地域及び愛知県には、自動車関連産業が集積していることから、投入財の技術的構造が生産額の減少に大きく影響を与えると考えられる。

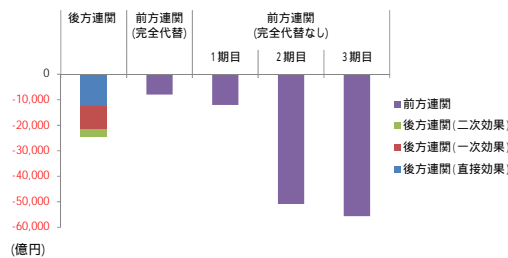


図2 生産停止の影響

三河港臨海部の町丁大字の従業者数と愛知県の産業連関表を用いて、三河港臨海部の経済効果を計測した。川上産業への後方連関効果の計測では、従業者数で見ると、東三河の従業者数の23%に相当する経済効果をもつ。このことから、地域経済における三河港の役割の重要性を再認識する結果となった。

三河港臨海部における津波や液状化の被害は、港湾後背の地域経済に大きな影響が及びことを示唆している。生産部門の中でも、主に自動車産業の被害の波及額が、大部分のシェアを占めることが分かった。特に、前方連関効果では、愛知県内の自動車産業が大きな経済的被害を受けることが示された。南海トラフ地震が発生した場合、自動車産業を中心として、復興・再生政策などによる雇用の維持及び創出の支援が重要であると考えられる。

原発周辺ゾーンの経済効果

原発周辺ゾーンの範囲を変化させて、地域経済に及ぼす影響を分析する。ここでは浜岡原子力発電所を分析の対象とする。原発を中心とした円形を描き、半径5km圏から半径40km圏まで5km毎に周辺ゾーンを変化させた場合の経済効果を計測する。

通常時は、原子力発電施設の周辺ゾーンの範囲が拡大するほど、地域への経済効果は大きくなる傾向がある。単位面積当たりの経済効果では、半径20km圏周辺で経済効果の空間密度関数にピークが存在した。半径20km圏には、市や工業地帯を含むことが理由として考えられる。

部門別では、輸送機械、飲食料品、商業が大きなシェアを占めた。生産停止時の前方連関効果の計測では、その他静岡県への電力供給が減少するため、生産誘発額は大きく減少することになった。また、被害ゾーンが拡大すると自動車関連産業や食料品産業の生産が停止することから、輸送機器や食料品部門へのマイナスの影響が顕著となった。

ゾーンの範囲によって産業構造が異なるため、地域防災や復興にはゾーン内の産業構造を考慮した計画や施策が必要になると考えられる。

(3) 多地域間産業連関モデルを用いた交通遮断の影響

日本の国土を結ぶ青函トンネル、本州四国連絡橋、及び関門トンネルを対象として、地

域間産業連関表を用いて、これらの交通リンクがもつ経済的含意を明らかにする。青函トンネル、本州四国連絡橋、関門国道トンネルがそれぞれ切断されるという3つのケースにおける経済被害を試算した。図3に推計結果の一部を示す。

本州四国連絡橋を切断した場合が、他のケースに比べて、全国に最も影響を齎すことになり、合計約9%生産誘発額が減少した。同様に、日本全国の港湾物流機能が停止した場合の効果についても計測を行った。

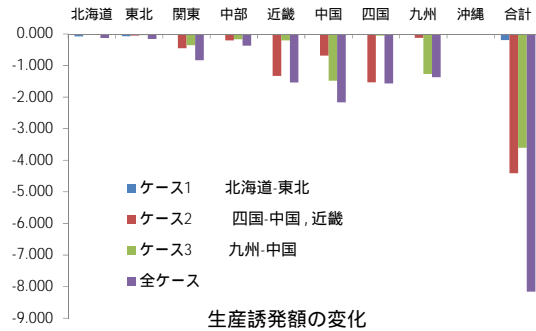


図3 交通リンク遮断の影響

この他、北海道樽前山を対象として、樽前山噴火により交通リンクが遮断した場合の経済被害を計測した。世界産業連関表を用いて、日本から海外へのロジスティックが遮断された場合の経済波及効果を計測した。

(4) 流域・陸域における環境リスクの分析

豊川流域と三河湾を対象として、COD、T-P、T-Nの各流入総量制約を0%から20%まで、5%毎に変化させた場合の生産額の減少率を推計した。市町村別の減少率では、COD削減率15%のときに豊橋市、豊川市の生産額は大きく減少し、COD削減率20%のときに、田原市の生産額の減少率が約12%と大きくなった。図4に産業別影響の推計結果の一部を示す。

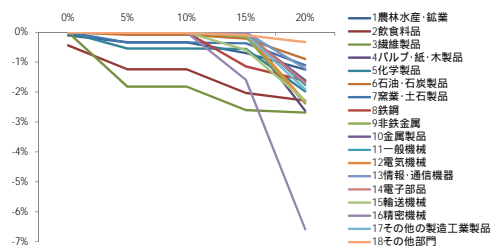


図4 環境負荷制約の生産への影響

部門別の減少率では、COD削減率が10%のときは、飲食料品、繊維製品の生産額減少率が大きい。COD削減率15%のときには、精密機械、鉄鋼の削減率が大きくなった。COD削減率20%の時、ほとんどの部門において生産額が1%~2%減少し、精密機械の生産額減少率は約7%と最も大きくなった。T-N、T-Pでも

ほぼ同じ傾向が得られた。

動学最適化モデルを用いて、豊川流域圏に環境負荷削減のための補助金政策の効果を分析した。この他、同様なアプローチで海外（中国など）の流域を対象として分析を行った。

(5)都市経済モデルを用いた自然災害リスクの評価

家計の地震情報に対する信頼度の上昇に伴い地震危険度の高い地区では地代が減少し、地震危険度の低い地区では地代が上昇する。これにより、付け値地代が農業地代よりも低くなる地区は居住地として利用されなくなるため、各地区の面積は地震危険度の高い地区では縮小、地震危険度の低い地区では拡大する。家計の主観的な情報信頼度の上昇は、地震危険度の高い地区で被災する家計数を事前に地震危険度の低い地区へ移動させ、被災する人口や資源を減少させる効果がある。

この他、インドネシア・パランカヤ市を対象にして都市経済モデルを構築し、水害の恐れがある流域エリアにおける不法居住者の居住立地の課題を分析し、リスクを減少させるための政策効果をシミュレーションにより明らかにした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計9件)

Miyata, Y., An Urban Economic Model over a Continuous Plane with Spatial Characteristic Vector Field - Asymmetric Land Use Pattern and Internalizing Transportation Networks-, Regional Science Inquiry, Vol.4, No.2, pp13-28, 2012.

Miyata, Y., Wahyuni, A. and Shibusawa, H., Economic Analysis of the Impact of Carbon Tax on the Economy of Makassar City, Indonesia, Regional Science Inquire, Vol.5, No.2, pp.15-35, 2013.

Wang, Y., Shibusawa, H., Lemarn, E., and Higano, Y., A Study of Shanghai's Development Strategy to 2020, Regional Science Policy & Practice, Vol.5, No.2, pp.183-200, 2013.

渋澤博幸, 宮田譲, 巨大地震の経済的被害の計測 動学空間応用一般均衡モデルによる分析、地域学研究、Vol.44, No.3, pp.261-275, 2014.

渋澤博幸, 宮田譲, 静岡県原子力発電施設周辺ゾーンにおける生産活動の経済効果の計測、地域学研究、Vol.45, No.2, pp.165-179, 2015.

渋澤博幸, 山口誠, Evaluating the Social and Economic Impacts of the Water Resources in the Toyogawa Basin、雲雀

野、No.36, 2014, pp.45-60.

渋澤博幸, 宮田譲, 上井啓太, 三河湾臨海部の経済効果の計測に関する研究、中部の経済と社会 2014、愛知大学中部地方産業研究所、2015、pp.69-79.

Xu, F., Xiang, N., Nijkamp, P. and Higano, Y., Dynamic Simulation of China's Carbon Intensity and Energy Intensity Evaluation Focusing on Industry and Energy Structure Adjustments by 2020, Environmental Engineering and management Journal, Vol.12, No.10, pp.1897-1901, 2013.

Yang, W., Song, J., Higano, Y., and Tang, J., An Integrated Simulation Model for Dynamically Exploring the Optimal Solution to Mitigating Water Scarcity and Pollution, Sustainability, 2015, 7(2), 1774-1797.

[学会発表](計16件)

Shibusawa, H., Miyata, Y. and Higano, Y., A Framework of Dynamic Spatial CGE Model with Transportation Networks: Equilibrium and Optimality, 9th World Congress of the RSAI, Timisoara, Romania, May 9-12, 2012, pp.1-18

Shibusawa, H. and Li, N., A Comparative Analysis of the Economic Impacts of Earthquakes: Spatial CGE Application to Japan, 59th North American Meetings of the RSAI, Ottawa, Canada, 7-10, November 2012, pp.1-18.

Sakurai, K., Shibusawa, H., and Kobayashi, S., Model Analysis of the Interaction between the Regional Economy and Water Environment in Toyogawa Basin, 23rd Pacific Conference of the RSAI, Bandung, Indonesia, 2-4 July 2013, pp.1-10.

Shibusawa, H., Li, N. and Nakazawa, K., Economic Assessment of Natural Disaster in China: A Spatial CGE Approach, 21st International Input-Output Conference, Kitakyushu, Japan, 7-12 July 2013, pp.1-11.

Li, N., Shibusawa, H., Miyata, Y., Economic Assessment of a large scale earthquake in Bohai Economic Rim, China, 60th North American Meetings of the RSAI, Atlanta, USA, 14 November 2013.

Miyata, Y. and Shibusawa, H., An Analytic Urban Economic Analysis of Illegal Settlements in Flood Prone Areas in Palangkaraya City in Indonesia, 13th Summer Institute of the PRSCO, Loja, Ecuador, 25 July 2014.

Miyata, Y. and Shibusawa, H., A Dynamic

Rural-Urban-Natural Environment Interactive Model of Palangkaraya City in Indonesia, 13th Summer Institute of the PRSCO, Loja, Ecuador, 25 July 2014. Shibusawa, H. and Miyata, Y., Economic Assessment of a Large-Scale Earthquake in China: A Dynamic Spatial CGE Approach, 13th Summer Institute of the PRSCO, Loja, Ecuador, 24 July 2014. Miyata, Y., Shibusawa, H., Permana, I., Economic Analysis of Illegal Settlements in Flood Prone Areas in Palangkaraya City in Indonesia - A General Equilibrium Approach, 54th ERSA Congress, Saint Petersburg, Russia, 27 August 2014. Shibusawa, H., Miyata, Y., Economic Assessment of Large-Scale Earthquakes in Asia: A Spatial-CGE Application, 54th ERSA Congress, Saint Petersburg, Russia, 27 August 2014. Sakurai, K., Shibusawa, H., Nakamura, W., Nakayama, K., A Dynamic Policy Evaluation Model of the Regional Economy and Water Environment in Toyogawa Basin, 61st North American Meetings of the RSAI, Washington D.C., 11 November 2014, pp.1-6. Shibusawa, H., Miyata, Y., and Sakurai, K., Dynamic Impacts of Large-Scale Earthquakes in Japan and China: A CGE Application, 54th Annual Meeting of the SRS, Mobile, USA, 26-28 March 2015, pp.1-15. Miyata, Y., Shibusawa, H., and Mizuno, K., Urban Land Use Change by Information Provision for Nankai Trough Huge Earthquake in Japan - an Analytic Urban Economics Approach -, 24th Pacific Conference of the RSAI, Vina del Mar, Chile, 5-8 August 2015, pp.1-10. Shibusawa, H. and Miyata, Y. Measuring the Economic Effects of Japan's Mikawa Port: Pre- and Post- Disaster Assessments, 55th ERSA Congress, Lisbon, Portugal, 25-29 August 2015, pp.1-13. Shibusawa, H. and Miyata, Y., Evaluating Economic Effects of Production Activities in Zones surrounding the Nuclear Power Station in Shizuoka Prefecture, 62nd North American Meetings of the RSAI, Portland, USA, 11-14 November 2015, pp.1-15. Miyata, Y., Shibusawa, H., and Mizuno, K., Urban Economic Analysis of Land Use Change by Information Provision for Nankai Trough Huge Earthquake in Japan, 62nd North American Meetings of the

RSAL, Portland, USA, 11-14 November 2015, pp.1-10.

〔図書〕(計3件)

渋澤博幸、地震の防災復興投資と地域連携、『都市・地域・環境概論 持続可能な社会の創造に向けて』、大貝、宮田、青木編、朝倉書店、2013、pp.70-79。

Shibusawa, H., Sakurai, K., Mizunoya, T., Uchida, S., Socioeconomic Environmental Policies and Evaluations in Regional Science: Essays in Honor of Prof. Y. Higano, Springer, 2016 (in press).

Zhang, G., Xu, F., Wang, T., Mizunoya, T., Yabar, H., Sha, J., and Higano, Y., Comprehensive Evaluation of the Regional Environmental and Economic Impacts of Adopting Advanced Technologies for the Treatment of Sewage Sludge in Beijing, Spatial Analysis and Location Modeling in Urban and Regional Systems in Advances in Spatial Science (Thiill, Jean-Claude. Ed., New York: Springer Press), 2015.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渋澤 博幸 (SHIBUSAWA, Hiroyuki)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：70291416

(2) 研究分担者

宮田 譲 (MIYATA, Yuzuru)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20190796

氷鮑 揚四郎 (HIGANO, Yoshiro)

筑波大学・生命環境科学研究科・教授

研究者番号：90189762