

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K01556

研究課題名（和文）局所相互作用ゲームの理論と空間経済学

研究課題名（英文）Theory of local interaction games and spatial economics

研究代表者

尾山 大輔（Oyama, Daisuke）

東京大学・大学院経済学研究科（経済学部）・教授

研究者番号：00436742

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）：本研究の目的は、人々の行動が空間、時間、情報を通じてどのように相互作用するのかを、ゲーム理論に基づく統一的な分析枠組みを通してより深く理解することであった。産業の空間的集積と経済成長との関係性、有限人プレイヤーの確率動学ゲームの連続極限近似、不完備情報に対する均衡の頑健性などについて新しい結果・知見を得ることができた。これらの研究成果は国際査読学術誌や学会において発表された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

多地域経済成長の分析については、資本蓄積および立地選択に関する通時的意思決定を取り入れた理論モデルを構築し、均衡の大域安定性を厳密に分析することができた。有限人プレイヤーの確率ゲームの連続極限近似の分析については、やはり forward-looking なプレイヤーを扱って均衡集合一様に成り立つ近似定理を示すことができた。不完備情報に対する均衡の頑健性については、前回の研究課題をより精緻化する結果を得ることができた。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this project has been to enhance our understanding, from a unified perspective based on game theory, on strategic interactions through space, time, and information. I obtained new results and insights on the relationship between spatial agglomeration of industries and economic growth, continuous limit approximation of finite-player stochastic games, and the robustness of equilibria to incomplete information. These have been published or reported in international referred journals and conferences.

研究分野：ゲーム理論，経済理論

キーワード：interaction game network game contagion spatial economics agglomeration economic growth

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

社会は多くの経済主体から構成され、それらの行動は互いに影響しあっている。多くの場合において、その相互作用の範囲は社会全体には及ばず、各主体は一部の主体と強く影響しあい、その他の主体とは薄く影響しあう、あるいは直接影響関係にはない。このことは空間的な関係のみならず、時間や情報という次元においても成り立つ。例えば、新規参入企業は比較的近い過去に参入した既存企業や比較的近い将来に参入してくる企業と競争することになる。さらに、不完備情報ゲームにおいても、プレイヤーたちが受け取るシグナルに相関があれば、各プレイヤーの各タイプは他のプレイヤーの一部のタイプに高い信念確率を割り当て、それ以外のタイプには低い信念確率を割り当てる。このことから、空間、時間、情報を通じた戦略相互作用をそれぞれ定式化する理論モデル、ネットワーク・ゲーム、世代重複構造を持つ動学ゲーム、不完備情報ゲームは類似した数学構造を共有し、「相互作用ゲーム (interaction games)」と呼ばれる一つの大きなクラスとしてまとめることができる。実際、相互作用ゲームに属する3つの理論に関しては、互いに関連する研究結果が得られていて、研究代表者もこれらの分野において研究を行ってきた。

## 2. 研究の目的

本研究は、人々の行動が空間、時間、情報を通じてどのように相互作用するのかを、ゲーム理論に基づく統一的な分析を通してより深く理解することをその目的とする。これらを分析する枠組み—ネットワーク・ゲーム、動学ゲーム、不完備情報ゲーム—に共通する数学的構造注目して包括的な視点からまとめて考察することで、それぞれの分野のさらなる理論的進展を図る。また、得られた成果を空間経済学の文脈に応用し、空間経済ネットワークにおける産業集積と経済成長との関係について新たな知見を得ることを目指す。

## 3. 研究の方法

(1) 不完備情報に対する均衡の頑健性の問題について、不確実性に対する高階信念を分析するための標準的概念である「 $p$ -信念演算子」の拡張版を用いて、任意の情報構造一様に成り立つ均衡行動への影響評価を行う。それに基づいて、応用上重要である2戦略優モジュラー・ゲームのクラスにおいて、頑健均衡の特徴づけを試みる。

(2) 将来期待に基づいて資本蓄積および立地選択を行う経済主体を扱えるような理論モデルを構築し、定常状態の大域安定性のための条件を導出した上で、産業の空間集積と経済成長との関係を明らかにする。そのために、世代重複構造を持つ動学社会ゲーム「完全予見動学」の理論を資本蓄積量などの状態変数を扱える形に拡張する。

(3) 有限  $N$  人プレイヤーの確率ゲームモデルを構築し、そのゲームの、 $N$  が十分大きいときの均衡の振る舞いが、連続体プレイヤーの決定論的動学であるところの完全予見動学の均衡経路によって近似できるための条件を明らかにする。

## 4. 研究成果

(1) 次のような問いを考える。分析者がある社会現象を完備情報ゲーム  $g$  でモデル化し、そのゲームのナッシュ均衡のひとつ  $a^*$  を彼の理論予測として採用した。この完備情報ゲーム  $g$  は高い精度で分析対象を描写しているが、現実の世界には利得に関して微小な不確実性が存在することは否定できない。このとき、微小な利得不確実性を含めてモデルを設定してもナッシュ均衡  $a^*$  は均衡のよい近似でありつづけるであろうか。答えは否で、完備情報ゲームに微小な利得不確実性を入れるだけでもとのゲームの強ナッシュ均衡 (のうちのいくつか) が消えるような例が知られている

(Rubinstein (1989) など). 微小な利得不確実性が入っても消えないようなナッシュ均衡は頑健均衡と呼ばれる. すなわち, 完備情報ゲーム  $g$  のナッシュ均衡  $a^*$  が頑健均衡であるとは, 微小な利得不確実性を含むどんな不完備情報ゲーム ( $g$  の不完備情報摂動) も  $a^*$  に十分近いベイジアン・ナッシュ均衡をもつことである (Kajii and Morris (1997)). 均衡の情報頑健性は非常に強い条件であるが, いくつかの十分条件が知られている (Kajii and Morris (1997), Ui (2001), Morris and Ui (2005) など). Satoru Takahashi 氏との共同研究 “Generalized Belief Operator and Robustness in Binary-Action Supermodular Games” では, 不確実性に対する高階信念を分析するための標準的概念である「 $p$ -信念演算子」の拡張版を考え, 与えられたゲームの単調ポテンシャル (Morris and Ui (2005)) の存在性との関連づけることで, 任意の情報構造の均衡行動への影響の評価式に関する定理, および, それとある意味双対関係にある定理を得ることに成功した. 前者は Kajii and Morris (1997) による「臨界経路定理 (Critical Path Theorem)」と呼ばれる定理の一般化であり, またより簡潔な見通しのよい証明を与えている. 後者の証明には, 利得と信念の双対性に着目した新しい方法論 (線形不等式に関する双対定理による) が使われており, 証明・結果ともに新しいものである. これらの系として, 2 戦略優モジュラー・ゲームにおいて情報頑健性と単調ポテンシャル最大化が同値であることを証明した. この研究成果は *Econometrica* 誌に掲載された.

(2) 研究分担者 (藤嶋翔太氏) との共同研究 “Equilibrium Dynamics in a Model of Growth and Spatial Agglomeration” では, 多地域経済成長モデルを構築し, 産業立地の集積あるいは分散という行動パターンが出現するための条件を考察した.  $n$  地域からなる連続時間重複世代モデルを考える. Forward-looking な主体たち (連続体とする) は各々生まれたときに立地する地域を選び, 生涯そこに住み続けるものとする.  $t$  時点における各地域の立地主体の分布を  $x(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))$  で表す. 成長の源泉としては AK タイプのものを考え, さらに技術的外部性 (波及効果) を導入し, 生産性は自地域および他地域の立地主体の割合に比例すると仮定する. 一方, 分散力としては混雑の負効用を仮定する. 外部性のため, この動学モデルは一般に複数の  $(x(t))$  に関する定常均衡分布を持つが, 均衡動学の下での大域安定性分析による均衡選択を考える. 技術波及の係数からなる行列 (波及効果行列) は  $n$  個の地域を頂点とするネットワークを定義するが, このネットワークの形状と安定均衡分布との関係が分析の対象である. この非線形な均衡動学を一般のケースにおいて分析することは非常に困難であるため, 波及効果行列に三角対称性 (対称行列であることよりやや弱い) という仮定をおく. この仮定のもとでは, このモデルは, ゲーム理論で用いられるポテンシャル関数と呼ばれる関数を持ち, (ある種の正規性条件の下で) ポテンシャル関数を最大化する均衡分布が, 十分小さな時間割引率に対して一意に安定になることを示した. この結果を基に, 空間集積や分散が安定均衡として実現するための条件をポテンシャル関数の形状を通して特徴づけた. また, 追加的な仮定の下で, 波及ネットワークの中心性指標と均衡分布とを関係づける結果を得た. 研究成果をいくつかの研究会で報告し, 国際学術誌に投稿した.

(3) Ryota Iijima 氏との共同研究 “Mean-Field Approximation of Forward-Looking Population Dynamics” (前課題からの継続研究) では, 有限人プレイヤーからなる確率ゲームを考え, プレイヤー数  $N$  が十分大きいときの均衡の振る舞いが完全予見動学によって近似されるための条件を考察した. 論点は 2 つで, (i) 集計レベルでランダムネスが消えるためにはノイズは大きすぎてもいけない, (ii) 従来の繰り返しゲームでのフォーク定理的な効果がマクロ経済レベルで発生しないようにするにはノイズは小さすぎてもいけない. これらの要請をバランスするような適切な条件を定式化し, この条件の下で, (i) どんな  $\varepsilon > 0$  と時間  $T$  に対しても,  $N$  を十分大きくとれば, どんな均衡状態遷移も完全予見動学の均衡経路で  $[0, T]$  上で  $\varepsilon$ -近似される, (ii) どんな  $\varepsilon > 0$  に対しても,  $N$  を十分大きくとれば, どんな均衡経路上の利得も, 「自分一人の行動変更は状態遷移に影響

を与えない」という仮定の下で計算した利得で  $\varepsilon$ -近似される，ということを示した．とくに，シグナルの分布に関する仮定を弱めることに成功し，2 戦略優モジュラー・ゲームにおける均衡の一意性を示すことができた．研究成果を国内外の学会や研究会で報告した．

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Shota Fujishima and Daisuke Oyama	4. 巻 27
2. 論文標題 Equilibrium Dynamics in a Model of Growth and Spatial Agglomeration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Macroeconomic Dynamics	6. 最初と最後の頁 224-249
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1017/S1365100521000377	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 Ryota Iijima and Daisuke Oyama	4. 巻 4629152
2. 論文標題 Mean-Field Approximation of Forward-Looking Population Dynamics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SSRN Working Paper	6. 最初と最後の頁 1-47
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2139/ssrn.4629152	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 該当する
1. 著者名 Daisuke Oyama and Satoru Takahashi	4. 巻 4392540
2. 論文標題 Robustness in Binary-Action Supermodular Games Revisited	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SSRN Working Paper	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2139/ssrn.4392540	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 Takaaki Aoki, Shota Fujishima, Naoya Fujiwara	4. 巻 N/A
2. 論文標題 City center identification as attractive places for people's collective movements	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 arxiv	6. 最初と最後の頁 1-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.48550/arXiv.2211.14496	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 Aoki Takaaki, Fujishima Shota, Fujiwara Naoya	4. 巻 12
2. 論文標題 Urban spatial structures from human flow by Hodge-Kodaira decomposition	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-15512-z	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 Fujishima Shota, Hoshino Tadao, Sugawara Shinya	4. 巻 3729897
2. 論文標題 Heterogeneous Effects of Place-Based Policies and a Practical Treatment Assignment Rule	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SSRN Working Paper	6. 最初と最後の頁 1-33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2139/ssrn.3729897	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 Daisuke Oyama, Satoru Takahashi	4. 巻 88
2. 論文標題 Generalized Belief Operator and Robustness in Binary-Action Supermodular Games	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Econometrica	6. 最初と最後の頁 693-726
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3982/ECTA17237	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 Fujishima Shota, Fujiwara Naoya, Akiyama Yuki, Shibasaki Ryosuke, Sakuramachi Ritsu	4. 巻 16
2. 論文標題 The size distribution of 'cities' delineated with a network theory based method and mobile phone GPS data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Economic Theory	6. 最初と最後の頁 38 ~ 50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/ijet.12254	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7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 藤嶋翔太
2. 発表標題 The Hodge-Kodaira decomposition of human flows
3. 学会等名 システム適応動学セミナー
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤嶋翔太
2. 発表標題 都市・地域経済学の展望：ネットワーク・構造推定・政策評価の観点から
3. 学会等名 第36回応用地域学会研究発表大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤嶋翔太
2. 発表標題 Urban spatial structures from human flow by Hodge-Kodaira decomposition
3. 学会等名 第35回 応用地域学会（ARSC）研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Daisuke Oyama
2. 発表標題 Mean-Field Approximation of Forward-Looking Population Dynamics
3. 学会等名 Econometric Society Virtual World Congress（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shota Fujishima
2. 発表標題 Heterogeneous treatment effects of place-based policies: Which cities should be targeted?
3. 学会等名 2020 Asian Conference in Regional Science (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shota Fujishima
2. 発表標題 Heterogeneous Treatment Effects of Place-based Policies: Which Cities Should be Targeted?
3. 学会等名 Urban Economics Association (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤嶋 翔太
2. 発表標題 企業間取引データを用いた地域活性化政策の政策評価
3. 学会等名 ネットワーク科学セミナー2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 尾山大輔	4. 発行年 2024年
2. 出版社 三菱経済研究所	5. 総ページ数 75
3. 書名 情報設計による遂行の理論	

〔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	藤嶋 翔太  (Fujishima Shota)  (50706835)	一橋大学・大学院経済学研究科・准教授    (12613)	

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