

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月21日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21530169

研究課題名（和文）戦略的補完性に基づく複数財オークションと競争状況下のリアルオプションの分析

研究課題名（英文）An analysis of auction theory for multi-objects and real options incorporating game theory under strategic complementarities

研究代表者

渡辺隆裕（WATANABE TAKAHIRO）

首都大学東京・社会科学部研究科・教授

研究者番号：70220895

研究成果の概要（和文）：

本研究では「不確実性がある競争状況下の投資評価」について成果を得た。まず最初に有限期間のマルコフゲームについて各成分が戦略的補完性を持つ場合に、純粹戦略均衡が存在するための十分条件を明らかにした。次に既存企業と新規企業が参入のタイミングを決定する投資ゲームについて、個人情報をもつ既存企業だけが持つ場合について考察し、均衡を特徴付けし、社会厚生が情報完備なときに比べて歪められる条件について明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In this research, we obtained the following two results. First of all, we provide the sufficient conditions for a Markov perfect equilibrium in pure strategies to exist for a class of stochastic games with finite horizon, in which any stage game has strategic complementarities. Secondly, we investigated a game in which an incumbent and an entrant decide the timings of entries into a new market. The incumbent privately knows the information and has an incentive to delay the timing of the investment in order to hide the information strategically. We characterize the equilibria of this signaling game and give the conditions in which the social welfare is distorted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・理論経済学

キーワード：①ゲーム理論 ②オークション③リアルオプション④優モジュラ関数

1. 研究開始当初の背景

ゲーム理論は、経済現象を整合的に描写する理論だけではなく、実験経済学等と融合して具体的な市場制度の設計（マーケットデザイン）や、競争状況下での投資戦略や投資価値の算出（競争状況下でのリアルオプション）など、現実の問題解決に直接役立つ理論としても成果を挙げてきている。研究代表者は、上記2つのテーマを中心に近年の研究を進めており、その中で浮かび上がってきた課題は、市場制度設計において注目されている複数財オークション理論における理論の整備を行うことと、競争状況下でのリアルオプションにおいて、段階的に投資を行う状況での理論の発展の必要性である。

一般的なゲームの均衡点の性質は複雑で分析が困難であるが、ゲームに戦略補完性と呼ばれる性質が存在する場合は、均衡点の解析や求解が比較的容易となることが知られている。本研究は、複数財オークションの理論と競争状況下でのリアルオプション理論の双方に、この戦略補完性の概念を用いることにより理論を発展させようと試みるものである。

2. 研究の目的

本研究は、複数財のオークションと、不確実性がある競争状況下の投資評価の、2つの状況における戦略的補完性（優モジュラ性）について分析することを目的とする。具体的には、以下の2点を明らかにする。

(1)複数財のオークションにおいて戦略的補完性（またはそれに近い性質）が存在する条件を明らかにし、従来は困難であった均衡点の比較静学のための理論を整備するとともに、複数財オークションの不完備情報モデルを発展させる。

(2)不確実性下における企業投資において、戦略的補完性が存在する条件での評価モデルを構築し、比較静学のための理論を整備するとともに、従来は困難であった多次元の状態下での価値評価のための計算方法を構築する。

3. 研究の方法

研究は、以下のような方法で行った。

(1)（複数財オークション）単一財オークションにおいては、やや弱い戦略的補完の性質（准優モジュラ性と単一交差性）が成立することが知られており、これを用いて不完備情報下での均衡点の存在証明や単調性が示され、この分野を大きく発展させている。（Athey (2000), McAdams (2003), Reny and

Zamir (2003)）。しかしこれを複数財のオークションに適用することは難しく、特に研究代表者が継続して研究してきた「異質財のオークション（組合せオークション）」に適用した例はない。本研究は弱い戦略補完性の概念を複数財に拡張できるかどうかを検討し、制限された状況でその概念が適用できることを示すことによって、従来は困難であった均衡点の比較静学のための理論を整備してゆく。

(2)（競争状況下でのリアルオプション）従来のリアルオプションとゲーム理論の融合研究は、1度の投資タイミングを決定する最適停止問題を中心とした研究であったが、多くの投資評価においては段階的に投資を行う「マルコフゲーム」による解析が有効である。このような問題は動的寡占市場の問題として、産業組織論で80年代後半から盛んに研究されている。特にEricson and Pakes (1995), Pakes and McGuire (2001)などに代表される「各期に企業が投資レベルを選択し、毎期に製品の価格競争が行われる」モデルは構造推定などを用いて実証分析にも広く応用されており、競争状況下でのリアルオプション評価にも有効であると考えられる。

しかしこのモデルにおいて、企業が非対称で戦略が離散的な場合に純粋戦略均衡が存在するかどうかは明らかになっていない。一般的なマルコフゲームにおける均衡点の存在は、混合戦略に戦略を拡張すればShapley (1953)などで古くから証明されているが、純粋戦略での均衡点の存在は困難な問題である。各ステージゲームが戦略補完性を持ち、純粋戦略の均衡を持ったとしても、そのマルコフゲームが戦略補完性を持たず、純粋戦略均衡を持たないことがVives (2007)などで示されている。

Curtat (1996), Amir (2002)は、各段階の成分ゲームが戦略補完性を持つ場合のマルコフゲームについて分析し、純粋戦略均衡が存在する十分条件を明らかにした。しかしこれらのモデルでは、戦略空間と状態空間に連続性を課しているが、動的寡占市場のデータを用いた実証研究や、現実の投資評価＝リアルオプション評価では投資量・価格などが離散的であり、離散環境での性質を明らかにすることが必要とされる。そこで本研究では、Curtatらの研究を参考にして、状態と戦略が離散であるようなゲームが戦略補完性を持つ場合に、そのゲームを成分ゲームとするマルコフゲームに純粋戦略均衡が存在する条件を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 複数財オークションについては、以下のような結果を得た。

① 戦略的補完性に関する基本的な性質をまとめ、離散環境における理論を整備するとともに、海外の研究動向に関してサーベイを行った。平成 22 年度・23 年度においては、複数財のオークション（特に組合せオークション）と戦略的補完性の関係について検討した。まず財の集合を導出順序(induced order)で順序付けをし、その順序に基づいてオークションが戦略的補完性を持つことを示そうとしたが、その関係は見出せなかった。

② 理由として、ベルトラン競争などを含む差別化市場での複数財の価格競争とオークションとの最適反応戦略の構造の違いがあげられる。差別化市場での複数財の価格競争においては、相手の戦略の変化に関する自分の最適戦略の変化は、ある意味で「滑らか」であると言える。例えば、価格競争において他社が価格を僅かに下げれば、自分もそれに応じて少し下げるとするのが最適な戦略である。

これに対し、オークションでは必ずしも最適戦略は滑らかには変化しない。1 つの財のオークションの例でこれを説明するならば、他のオークションの参加者の入札額が自分の許容額を下回る場合は、他の参加者の 1 番高い入札額の僅か上の金額を入札し、安く財を購入することが最適戦略となる。ここで、2 番目以降の入札額が僅かに上下しても、自分の最適戦略は変化しない。ここが市場の価格競争との 1 つ目の違いである。また 1 番高い入札額が評価額を上回った場合、自分は評価額以上を入札しないことが最適戦略であるので、やはり最適戦略は変化しない。

このように、オークションの最適戦略の変化は価格戦略の変化に比べて、不連続的であり、やや離散的な動きをする。そのため戦略的補完性や優モジュラゲームよりも、一般的な離散構造を持ったゲームの均衡点を解析するための理論の整備が必要とされる。

以上を総括すると、オークションに関しては目標としていた研究成果に到達することはできなかった。本研究の過程において、離散環境における不動点定理の研究の必要性が強く感じられた。特に、第 1 価格入札により組合せオークションの均衡に離散不動点定理が応用できる可能性を発見している（第 2 価格入札に近いヴィクレイ・クラーク・グロブズメカニズムについては、支配戦略が存在するため、特にこのような定理は必要ない）。したがって、本研究の過程で得られた成果を活かし、離散不動点定理をゲーム理論やオークションに応用する研究を、現在も継続して行っている。

(2) リアルオプションとゲーム理論については、以下のような結果を得た

① 渡辺と山下は、各段階の成分ゲームが戦略的補完性を持つ場合のマルコフゲームについての分析を行った。Curtat (1996), Amir (2002) は、戦略と状態の集合が 1 次元の有限区間で、時間が離散で無限期間の場合に、各状態での成分ゲームが戦略補完性とさらにいくつかの条件を持つ場合のマルコフゲームについて、優対角条件と呼ばれる条件を課し、戦略の唯一性を保障することで、純粋戦略均衡が存在することを証明し、投資を伴う価格競争ゲームなどにその結果を応用している。この結果は、本質的には離散的な環境においても成立することが予想されるも、連続的な状態と戦略のために、関数解析における定理を多用して証明されており、証明が分かりにくくなっていた。また、現実的なモデルを構築し、計算機の環境に合わせるためにも、戦略と状態を離散化することが必要であった。また応用上は、戦略と状態を多次元化することも望ましく、成立するかどうかの分かりにくい優対角条件も外すことが望ましい。

このことから本研究では、戦略と状態を n 次元の整数区間として分析を行った。その結果として、期間が有限の場合には、戦略的補完性と Curtat (1996), Amir (2002) が課した条件があれば、優対角条件を課さなくても、成分ゲームの均衡点が束構造を持ち、その結果として最大元（または最小元）が存在する事から、マルコフゲーム自身にも、その各成分ゲームの最大元から構成される均衡が存在することを示すことができた。また、その均衡点は状態に関して（ベクトルの意味で）単調に増加することを証明した。

本成果は、いくつかの国際学会（スペイン・イタリア・オランダゲーム理論国際学会、リスボンゲーム理論コンファレンス、中国ゲーム理論国際学会など）で発表すると共に、discussion paper としてまとめ、現在、国際雑誌に投稿中である。

なお無限期間の結果については、現在、研究を継続中である。

② また、リアルオプションとゲーム理論を組み合わせたモデルにおいて研究を進める過程において、不確実な状況下での投資競争における情報の非対称性とシグナリングに関する重要性を認識し、その研究も行った。ここでは投資競争において、規模の大きさやコストの優位性が異なる既存企業と新規企業の市場参入の問題について考察した。この問題では、2 つの不確実性 (1) 既存企業だけが情報を持つ潜在的な利益の高低、と (2) 両企業に共通する幾何ブラウン運動で表現される

市場利益の不確実性が存在する。本研究では、市場に入るタイミングが既存企業と新規企業で、先手と後手の2企業に分かれる状況について考察した。この状況では、先手である既存企業が市場の潜在利益が高いという情報を持っている時に、自分に最適なタイミングで市場に参入（リアルオプションを行使）すると、市場の利益に関する先手の情報が顕示されてしまい、後手が参入するタイミングを早めてしまう。これは、先手の独占利益を損なうため、先手は最適なタイミングで参入すべきか、タイミングを遅らせて後手に情報を隠すべきか、というトレードオフが発生する。そこで、どのような条件が先手の最適なタイミングでの参入を促すか、また社会的厚生期待値はどのように損失を受けるか、などについて考察した。

この設定では、先手が最適なタイミングで入るか（分離均衡）、それを遅らせて情報を知らせるか（一括均衡）、もしくはその両方を確率的に選択する混合戦略を用いるか、という3つの状態が均衡として起こりうる。本研究では、どのような条件で、どのような均衡が起きるのかを明らかにした。その結果、先手が最適なタイミングで参入する条件は、(1)先手の市場参入のコストが十分に低い、(2)後手の市場参入のコストが十分に低い、(3)後手の参入後の複占時の先手の利益が十分に高い、となることを解析的に証明した。また数値実験により、(4)市場利益の変化のボラティリティが十分に低い時に、先手が最適なタイミングで参入することを数値的に明らかにした。

本研究成果は、その途中経過を Springer 社から出版された Dynamics, Games and Science I に掲載するとともに、リアルオプション国際学会やヨーロッパ OR 学会国際会議にて発表した。また最終的な結果は、京都大学のディスカッションペーパーとしてまとめ、現在国際論文誌に投稿中である。

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4件)

- ① Takahiro Watanabe and Hideaki Yamashita, Existence of a Pure Strategy Equilibrium in Markov Games with Strategic Complementarities for Finite Actions and States, Research Paper Series, Department of Business Administration, Tokyo Metropolitan University, 査読無, No.71, 2011, 1-19.
- ② Takahiro Watanabe, Strategic Information Revelation Through Real

Options in Investment Games, Dynamics, Games and Science I, 査読無, 2011, 769-784.

- ③ Takahiro Watanabe, Real Options and Signaling in Strategic Investment Games, Kyoto University Institute of Economic Research Working Papers, 査読無, No.809, 2012, 1-37.
- ④ Takahiro Watanabe and Takuya Iimura, Existence of a pure strategy equilibrium in finite symmetric games where payoff functions are integrally concave, Research Paper Series of Department of Business Administration, Tokyo Metropolitan University, 査読無, 2012, 1-18.

〔学会発表〕(計8件)

- ① Takahiro Watanabe, Existence of equilibria in Markov games with strategic complementarities for finite actions, SING5(第5回スペイン・イタリア・オランダゲーム理論国際学会), 2009年7月3日, アムステルダム, オランダ.
- ② 渡辺隆裕, Existence of an equilibrium in Markov games with strategic complementarities and its application, 日本OR学会2009年秋季発表会, 2009年9月9日, 長崎, 日本.
- ③ Takahiro Watanabe, Existence of a pure strategy equilibrium in Markov games with strategic complementarities for finite actions and finite states, The 1st Annual UECE LISBON MEETINGS -- GAME THEORY AND APPLICATIONS(ゲーム理論とその応用-第1回リスボン国際会議), 2009年11月9日, リスボン, ポルトガル.
- ④ Takahiro Watanabe, Real Option and Signaling in Strategic Investment Games, 14th International Annual Real Option Conference, (第14回リアルオプション国際会議), 2010年6月17日, ローマ(イタリア).
- ⑤ Takahiro Watanabe, Real Option and Signaling in Strategic Investment Games, EURO 2010(2010年第24回ヨーロッパOR学会国際会議), 2010年7月12日, リスボン(ポルトガル).
- ⑥ Takahiro Watanabe, Existence of Pure Strategy Equilibria in Finite Markov Games with Strategic Complementarities, 第1回中国ゲーム理論・実験経済学国際会議, 2010年8月25日, 北京(中国).

- ⑦ Takahiro Watanabe, Real Option and Signaling in Strategic Investment Games, SING7 (第7回スペイン・イタリア・オランダゲーム理論国際学会), 2011年7月18日, パリ (フランス) .
- ⑧ Takahiro Watanabe, Real Option and Signaling in Strategic Investment Games, 京都大学経済研究所ミクロ経済学・ゲーム理論研究会, 2011年11月17日, 京都 (日本) .

[その他]

ホームページ等

<http://www.nabenavi.net/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺隆裕 (WATANABE TAKAHIRO)
首都大学東京・社会科学研究科・教授
研究者番号：70220895

(2) 研究分担者

山下英明 (YAMASHITA HIDEAKI)
首都大学東京・社会科学研究科・教授
研究者番号：30200687

(3) 連携研究者

松井知巳 (MATSUI TOMOMI)
中央大学・理工学部・教授
研究者番号：30270888
(H21のみ)