

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24730174

研究課題名(和文) 最小費用木問題における効率的かつ公平(衡平)な費用分担ルール設計

研究課題名(英文) Design of efficient and fair cost allocation rules in minimum cost spanning tree problems

研究代表者

近郷 匠 (KONGO, Takumi)

福岡大学・経済学部・准教授

研究者番号：70579664

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：最小費用木問題などのネットワークの形成・維持費用を複数の利用者に適切に分配する問題を中心とした、複数経済主体による余剰配分問題を理論的に考察した。公理的手法を主とし、とくに余剰配分が無駄なく行われるという効率性や、余剰を生み出した主体が互いに不満をなるべく持たないようにするという公平性を重視しながら、現実に見られるオークションのルールや、提携型ゲーム理論における既存の余剰配分ルールに新たな特徴付けを与えた。

研究成果の概要(英文)：This project studies how to distribute the surplus generated by cooperation among multiple agents. A typical example of such kind of problems is that distribution of cost of forming/maintaining networks among multiple users like minimum cost spanning tree problems. Following an axiomatic approach, especially focusing on efficiency, which requires that the surplus is fully allocated among agents, and fairness, which requires that no agent is dissatisfied with allocations, an auction rule and a solution for transferable utility coalitional games are axiomatically characterized.

研究分野：ゲーム理論

キーワード：提携型ゲーム 公平性 効率性 公理的特徴付け オークション

1. 研究開始当初の背景

近年の情報通信技術の発達は、それまでには達成することができなかつたような規模で人々、企業、国家などを結びつけている。そういった主体たちとのネットワークは、物理的な通信路といった枠組みだけにとらわれず、人間間、企業間あるいは国家間の相互関係や、異なる規格の間の互換性といった、我々の社会の様々な場面的に描写できる。したがって、現代社会を理解する上でその重要性は無視できない。

様々なネットワークを形成・維持していくためには費用が必要である。そしてその費用はそのネットワークの恩恵を受ける利用者から適切に徴収する必要がある。これは、ネットワークへの参加を強制されない場面では、受ける恩恵以上の費用を徴収される利用者はネットワークへの参加を取りやめることが可能となるためである。多くの利用者が参加することによって規模の経済が働くことなどを考慮に入れると、このようなネットワークから退出する主体を防ぐことは重要である。なぜならば、多くの主体が自発的にネットワークに参加することで、参加する主体の多さから余剰が生まれるためである。そして、その余剰を参加主体それぞれが享受できるように適切な費用徴収ルールを通じた余剰配分を行うことが求められる。すなわち言い換えると、配分を公平（衡平）に行うことで参加者の自発的参加（あるいは、自発的な退出を防ぐこと）を促し、それにより余剰を保証し、効率的な運用を行う。つまり、このような問題では公平（衡平）性と効率性がそれぞれ重要であるということだけでなく、その両者が相互に影響しあっている。

このような適切な費用分担や余剰配分を巡って、経済学においてはしばしば最小費用木問題や提携型ゲーム理論といったモデルが用いられ、理論的に考察されてきた。最小費用木問題は、木によってあらわされたネットワークの一つ一つの要素を形成する費用を明示し、一定の要件を満たす（全主体が相互に接続される）上でその総費用が最小になるという意味での効率的なネットワークの形成と、その総費用の利用者間での公平・衡平な配分（利用者がなるべく不満をもたない等）が同時に考察されている。提携型ゲーム理論では、より一般的に、複数の経済主体が協調的行動をとることにより発生しうる経済的余剰の配分を考察する。余剰を余らせることなく主体たちにすべて分け与えるという効率性や、利用者間での様々な形での公平・衡平性などが公理として定式化され、様々な公理を満足する望ましい余剰配分ルールが考察されている。また、それだけでなく、

望ましい余剰配分ルールを主体たちの戦略的行動の帰結として実現するための、主体間の交渉過程なども戦略型ゲーム理論を通じて考察されている。

2. 研究の目的

1. で述べたような背景を踏まえ、本研究では、最小費用木問題のようなネットワーク形成・維持費用分担問題に代表される複数主体の協調成果配分問題を理論的に考察する。この考察については最小費用木問題だけに限定するというよりも、それにも密接に関係し、また、より広く協調成果配分問題をとらえることができる提携型ゲーム理論に基づいた接近を試みる。また、現実の世界でも近年盛んに活用されている、協調成果の最終的な配分を定める具体的な方式の一つであるオークションについても同様に理論的な分析を行う。つまり、より広い視野から集団における協調成果配分問題を理論的に考察する。

考察においては、1. で述べたように、効率性と公平（衡平）性という、協調成果の実現における極めて重要な二つの要素を定式化した公理を中心とし、その他にも望ましいと考えられる性質を公理として定式化するという公理的な議論を進める。

研究の到達目標としては次の2通りが考えられる。一つには、様々な経済的な環境において、現存するルール（余剰配分ルールやオークション方式）がなぜ現在も活用されているかを、そのルールがもつ望ましい性質・公理に還元することで説明することを試みる。また、もう一つには、ルールがもつべきである望ましい性質を公理としてリストアップし、いくつかの望ましい公理の組み合わせとして新たなルールや、現存するもののあまり注目されていなかったルールを特徴付けることである。これらを通じて、最小費用木問題をはじめとした、現実でも広くみられる重要な協調成果配分問題において、複数の異なる余剰配分ルールの中から、どれか一つを採用する際の選択基準などを明確化する。

3. 研究の方法

(1) ネットワークの一例として挙げられる道路の建設は、公共事業の一環として行われる。そしてその工事施工者の決定にあたっては、しばしば入札（オークション）という方法が用いられることがある。道路工事以外でも、伝統的に行われている美術品などの収集家の間でのオークションや、情報通信技術の発達により市場規模が近年急速に拡大した、個人間売買のインターネットオークション、検索エンジンを利用する際に表示される広告のオークションなど、現代社会では様々なオークションが

日夜行われている。オークションは公開入札方式と封印入札方式の二つに大別できるが、その後者の方式には代表的なものとして以下の2種類が挙げられる。一つは、入札者の中で最も高額な入札を行った主体が、自身の入札額と同額の金銭を支払い、オークションで販売されている品物入手する第一価格オークションである。もう一つは、最高額の入札主体が品物を手に入れるものの、その主体が支払う金銭額は自身を除いた入札者の中で最高額の入札者の入札額(すべての入札者の中で二番目に高い入札額)と同額である第二価格オークション(Vickrey 1961)である。第二価格オークションは、オークション参加主体がオークションで販売されている品物に対してもつ自身の評価額と同額の入札を行うことが常に悪くはない結果を生むという耐戦略性を満足していることが分かっている。そして、その性質と衡平性などによって、一意に特徴づけられている。しかしながら、第一価格オークションに関するそのような性質に基づいた特徴付けは知られていない。第一価格オークションは耐戦略性を満足しない一方で、様々な経済モデルで耐戦略性と並列的に考察されることがある非介入性は満足する。非介入性は、入札者が戦略的行動により自身の結果を最終的に変えられないのであれば、他者の結果も変えられないという性質である。この非介入性に基づいて、第二価格オークションと同様に第一価格オークションについても特徴付けを与え、両者の類似性・相違点を明確にする。

(2) ネットワーク形成費用の分担問題などを含んだ、より一般的な余剰配分問題としても考えることができる提携型ゲーム理論において、特に公平性・衡平性に関連する公理を再検討する。このモデルにおいて、異なる主体を公平・衡平的に扱う公理は様々な形で提唱されている。例えば一つには、主体の存在が限界的に生み出す余剰に基づく他者に対する貢献が全く同様になるような主体たちは、最終的な余剰配分において同等の結果を得るという公理がある。また、任意の二主体の間で、互いの存在が、相手が最終的に受け取る余剰配分に与える影響(相手がいる状況における余剰配分の結果と相手がいらない状況における余剰配分の結果の差分)を均衡させるという公理(Myerson 1980)がある。さらには、ひとつ前の公理の一般化として申請者が過去の研究で定式化したものとして、任意の集団内においてなんらかの主体の順番を定め、前者の存在が後者の最終的な余剰配分に与える影響の総和が、後者の存在が前者のそれに与える影響の総和と均衡するという公理(Kamijo & Kongo 2010)がある。これらはすべて、限界的に生み出す

余剰や余剰配分ルールの差分に注目して定式化されている。その一方で、過去の関連研究では、2番目に挙げた公理について、余剰配分ルールの差分ではなく、比(商)に注目して同様の公理が定式化され、それを満足する余剰配分ルールに関して議論がされている(Ortmann 2000)。1番目や3番目の公理に関して同様の検討を行い、公平性・衡平性に関してより豊かな検討を試みる。

4. 研究成果

(1) 近年のいくつかの研究で様々な特徴付けが与えられている。第二価格オークションが考察されている設定と同様の設定(単一財で入札者の選好が一般的な環境)において、第一価格オークションは、非介入性、効率性(パレート最適性)、個人合理性、厚生に関する匿名性により特徴付けられることを示した。効率性は通常の経済学における設定と同様、すべての人が不満をもたない形で結果をこれ以上改善できないことを要求する。個人合理性は品物を得ず何も払わないというオークションに参加しない状況よりも好まない結果に至る主体がいらないことを要求する。また、厚生に関する匿名性は、オークション結果に関する選好の上で、特定個人を優遇しないことを要求する。非介入性以外の3つの性質は第二価格オークションも満足する性質である。既存研究の結果と比較することで、第一価格オークションと第二価格オークションという現実でも広く使われている2つのオークション方式は、非介入性と耐戦略性という主体の戦略的行動に関する性質の違いとして並列的に理解できることが明確になった。また、この特徴付けをベンチマークとして、関連する公理を入札者が自身の好みにおいて他者の結果を羨まないという非羨望性や、衡平性に関する公理などと入れ替えても同様に第一価格オークションの特徴付けが得られることを示した。これらの結果から、耐戦略性という望ましい性質を満足しない第一価格オークションが、現実に用いられる理由の一端を解明できた。

(2) 提携型ゲーム理論の余剰配分ルールが満足する性質に関して、過去の研究では差分をもとに定義されている性質を比(商)によって定義し直し、それら新しい性質について余剰を無駄なく配分するという効率性などとの関係を吟味した。主な結果として、効率性、申請者の過去の研究で定式化された集団内において循環する形である主体から他の主体への影響の総和が均衡するという公平性を差分ではなく比に基づいて定式化した新しい公理、および他の主体と協調していてもしていなくても

全体として得られる余剰の総和は変わらないダミープレイヤーといわれる主体の存在は他者の余剰配分に影響を与えないという公理を用いてプロポーションナル値 (Ortmann 2000) といわれる既存の余剰配分ルールに新たな特徴付けを与えた。既存研究の結果と比較すると、差分に基づく性質と比に基づく性質の違いがそれぞれシャプリー値 (Shapley 1953) とプロポーションナル値といわれる余剰配分ルールと密接に関連していることがより明確になった。

< 引用文献 >

- Kamijo Y. Kongo T. Axiomatization of the Shapley Value using the Balanced Cycle Contributions Property, *International Journal of Game Theory*, Vol.39, 2010, 563-571
- Myerson RB, Conference Structures and Fair Allocation Rules, *International Journal of Game Theory*, Vol.9, 1980, 169-182
- Ortmann KM, The Proportional Value for Positive Cooperative Games, *Mathematical Methods of Operations Research*, Vol.51, 2000, 235-248
- Shapley, LS, Kuhn, H. & Tucker, A. (Eds.) A Value for n-Person Games *Contributions to the Theory of Games II*, Princeton University Press, Princeton, 1953, 307-317
- Vickrey W, Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders, *Journal of Finance*, Vol. 16, 1961, 8-37

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 2 件)

Y.Kamijo and T.Kongo
Properties based on relative contributions for cooperative games with transferable utilities, *Theory and Decision*, 査読有, Vol.78, 2015, 77-87
DOI:10.1007/s11238-013-9402-3

T. Adachi and T.Kongo
First-Price Auctions on General Preference Domains: Axiomatic Characterizations, *Economic Theory Bulletin*, 査読有, Vol.1, 2013, 93-103
DOI:10.1007/s40505-013-0001-9

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

近郷 匠 (KONGO, Takumi)
福岡大学・経済学部・准教授
研究者番号 : 7 0 5 7 9 6 6 4