

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 8 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26870200

研究課題名(和文) 実用的オークションシステム構築の理論及び実験的発展

研究課題名(英文) Theory and practical improvement for auction system design

研究代表者

高橋 里司 (Takahashi, Satoshi)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：40709193

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)：本研究は、実用的なオークションシステムを開発し、新たな市場を創造することを目的とした。単一財複数ユニットオークションに対して、近似アルゴリズムとVCGメカニズムの被験者実験を行い、近似アルゴリズムの実社会適用可能性を統計的に示した。また、VCGメカニズムが実用上うまく働くための条件の1つを実験によって明らかにすることができた。さらに、電気自動車の充電市場、サービス選択市場、広告取引などの実用化されている取引に対して、オークションによる価格決定の応用を示した。また、ゲーム理論、数理最適化の応用として、情報拡散ゲームの純粋戦略ナッシュ均衡の特徴付けや、ロバスト最適化の理論研究も行った。

研究成果の概要(英文)：This research aimed at developing a practical auction system and creating a new market. Experiments on an approximation algorithm and the VCG mechanism for single item multi unit auctions were conducted and the real world applicability of approximate algorithms was statistically presented. Moreover, one of the conditions for the VCG mechanism to work well in practice could be clarified by experiments. In addition, we showed the application of price determination by auction against practically used transactions such as electric vehicle charging market, service selection market, advertising transaction etc. Also, as an application of game theory and mathematical optimization, we also performed a theoretical study on characterization of pure strategy Nash equilibrium of information spreading games and robust optimization.

研究分野：数理最適化，オークション理論

キーワード：数理最適化 オークション理論 実験経済学

1. 研究開始当初の背景

電子商取引が実用化され、時間的、空間的制約を受ける事無くサービスを楽しむようになった。今後既存取引の電子商取引化が予想されるため、既存取引に見られるより複雑な取引を円滑に行うためのシステム開発が急務である。従来現実取引では、取引モデルやユーザの意思決定に関する研究が幅広く行われ、その多くが実践されている。

電子商取引では、多数の財とユーザが混在する複雑な市場を考えなければならない。既存研究によって複雑な取引モデルやそこで起こりうる状況の数理的解析が行われてきたが、実用化に至った研究は少ない。その理由として、既存研究で扱っているモデルが現実の取引と比べ、非常に限定的な状況のみの解析しかしていないところにある。そこで、理論の実用化のために、単純なモデルの数理的結果を用いて、より複雑なモデルでの解析をしなければならない。

2. 研究の目的

電子商取引が実用化され、時間的、空間的制約を受ける事無くサービスを楽しむようになった。今後既存取引の電子商取引化が予想されるため、既存取引に見られるより複雑な取引を円滑に行うためのシステム開発が急務である。一方で、電子商取引は、既存研究によって複雑な取引モデルや状況の数理的解析が行われてきたが、実用化に至った研究は少ない。

本研究の目的は、種々のオークションモデルにおける実用化を妨げている問題点を明らかにし、それらの問題点について経済学、情報科学、数理最適化の知識を融合させ、具体的に解決を試みる事によって、実用的なオークションシステムを開発し、新たな市場を創造することである。そのために、以下の3つの問題点を挙げ、研究課題とする。

[問題点 1] オークションの割当て問題の構造解明と特徴付け

[問題点 2] 経済学的に望ましい解を出力する近似アルゴリズムの開発

[問題点 3] 実世界と同様の複雑なモデルのシミュレーション的解析

3. 研究の方法

本研究目的を達成するために、研究目的で挙げた問題点 1, 2 及び 3 について具体的な問題を対象に解決を試みる。問題点 1 及び 2 の解決のために、数理最適化および経済学の視点から評価関数または入札形態に

制限をかけた問題を考え、理論適特徴付けを行う。さらに、既知のアルゴリズムの適用を試み、計算機実験によって基礎分析を行う。明らかになった特徴を用いたアルゴリズムを構築し、計算機実験によって解の精度及び計算時間について評価する。また、実社会への適用可能性を評価するために被験者実験によって配分効率性及び売手の利益についての統計的分析を行う。また、問題点 3 の解決のために、高性能計算機による複雑なシミュレーションを行い、大規模な電子商取引における本研究の成果の挙動を解析する。以上を経済学、情報科学の研究者と協力し、遂行する。

まず、具体的な電子商取引について、数理モデルを構築し、その理論的性質、特徴付けを行う。その後、効率的な商取引を行うためのアルゴリズムを構築し、計算機ベースでの実証実験を行う。得られた実験結果を基に、実社会での反応を見るために被験者実験を行い、システム実現の可能性を統計的に解析する。その後、大規模かつ複雑なシミュレーションによってシステムの挙動を解析する。

4. 研究成果

(1) 動的環境下のオークションに対する被験者実験のインストラクションおよび分析手法の開発を行った。電気自動車の充電システムや、広告オークションなどの動的な環境におけるオークションメカニズムとして、Parkes はオンラインメカニズムを提案している。本研究では、オンラインメカニズムの被験者実験を実施するためのインストラクションの作成、実験インターフェースのデザインおよび、実験データの分析手法の開発を行った。

(2) 単一財複数ユニットオークションに対する VCG メカニズムの被験者実験による評価。VCG メカニズムは複数種類の財や複数個の財のオークション取引に有用な優れたメカニズムであることが理論的に保証されているメカニズムである。しかしながら、被験者実験などの不確実な状況下では、うまく機能しないことが報告されている。本研究で行ってきた単一財複数ユニットオークションでの VCG メカニズムは実験データの分析によってうまく機能していることが

わかっている。うまく機能する要因を探るために本研究では、入力の仕事や結果の提示方法などを工夫し、再実験を行った。その結果、財 1 個に対する単位評価値を与えて被験者に入力させていたことが要因の 1 つであることをつきとめた。また、VCG メカニズムと近似アルゴリズムの比較実験を行った。実験では、近似アルゴリズムを用いた結果と VCG メカニズムを用いた結果を比較した結果、配分効率性は劣るものの、売り手の利益に関しては差がないことが統計的に確認された。これにより、近似アルゴリズムを実社会に適用できる保証を与えることができた。

(3) 広告配置オークションに対する新しい価値付加モデルの開発を行った。広告配置オークションとは、新聞や雑誌などのペーパーメディア、ポータルサイト等のインターネットメディアの広告掲載欄に広告を割当てるオークションである。従来のモデルでは、メディア論や、ビジネス科学で論じられている広告価値を考慮できていなかったが、広告価値を考慮した、二段階オークションモデルを構築し、性質について分析を行った。

(4) サービス選択市場の逆オークションモデルに対する動的計画法の適用。クラウドサービスなどのリソース割当に対して、逆オークションモデルを用いた価格決定に取り組んだ。VCG メカニズムを用いたモデルに対して、通常の動的計画法よりも計算量を削減した動的計画法を利用した厳密アルゴリズムを構築した。

(5) Toroidal Grid Graph 上での競合拡散ゲームに関して、一般の頂点数に対しての純粋戦略ナッシュ均衡を求めた。これにより、Toroidal Grid Graph に関する競合拡散ゲームを完全に解くことができた。情報拡散ゲームに関する研究は、他のグラフの場合などさらなる発展も見込むことができ、商取引への応用も考えられる。

(6) バックボーンネットワーク上の混雑度最小化に対するロバスト最適化アプローチに取り組んだ。ロバスト最適化は不確実な状況において、最悪なケースを最小化する最適化手法である。本研究では、既存の上下制限約に比べ、提案する楕円の制約が有効であることを実験によって示した。ロバスト最適化は、不確実な状況を想定する取引モデルへの応用が考えられる。

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 3 件)

- (1). S. Takahashi, Y. Izunaga, and N. Watanabe: An Approximation Algorithm for Multi-unit Auctions:

Numerical and Subject Experiments. Operations Research and Decision, 28(1), (2018, accepted, 査読有).

- (2). B.C. Das, S. Takahashi, M. Muramatsu, and E. Oki: Network Congestion Minimization Models Based on Robust Optimization, IEICE Trans. on Communication, E101-B(3), (2018)772-784, (査読有).
- (3). Y. Sukenari, K. Hoki, S. Takahashi, and M. Muramatsu: Pure Nash Equilibria of Competitive Diffusion Process on Toroidal Grid Graphs, Discrete Applied Mathematics, 215(2016)31-40, (査読有).

[学会発表](計 10 件)

- (1). Satoshi Takahashi, Yoichi Izunaga and Naoki Watanabe: An Approximation Algorithm for Single-item Multi-unit Auctions: An Experimental Study. 13th European (formerly Spain-Italy-Netherlands) Meeting on Game Theory (SING13), 2017.
- (2). S. Takahashi: A Human Subject Experiment for Online Mechanism in Dynamic Environment Auctions. 6th IIAI International Congress on Advanced Applied Informatics (2017) 919-922.
- (3). K. Tsuji and S. Takahashi: A Dynamic Programming Method for A Reverse Auction Model in Service Choice Markets, 2nd International Conference on Social Informatics and Systems Science in 6th International Congress on Advanced Applied Informatics (2017, Poster) 1057-1058.
- (4). 辻啓太, 高橋里司: サービス選択市場の逆オークションモデルに対する動的計画法の適用, 第 2 回国際 ICT 利用研究学会, (2017).

- (5). 高橋里司：産業の中の数理最適化：
組合せ最適化とその応用 .自動車技術
会フォーラム「数学・数理学の最近
の進展に基づく自動車の制御・モデリ
ングの新展開」, (2017) (招待講演)
- (6). S. Takahashi and T. Matsuo: A
revenue improvement auction protocol
for advertisement transactions. 31st
International Conference on
Computers and Their Applications
(2016)159-164.
- (7). H. Mizuno and S. Takahashi: Goods
Sharing Problems for Emergency Supply,
1st International Conference on
Social Informatics and Systems
Science in 5th International Congress
on Advanced Applied Informatics
(2016)1168-1173.
- (8). 水野博文,高橋里司:災害発生時にお
ける物資共有計画問題,日本オペレーシ
ョンズ・リサーチ学会春季研究発表会,
(2016).
- (9). S. Takahashi and T. Matsuo: Revenue
improvement mechanism based on
advertisement 's values and layouts.
International Workshop on Collective
intelligence and crowd/social
computing in The Tenth International
Conference on Knowledge, Information
and Creativity Support Systems (2015)
248-255.
- (10). 高橋里司,松尾徳朗:広告価値と配置
に基づくリベニュー改善,電気学会情報
システム研究会(IS-15-045), (2015).

〔図書〕(計 0 件)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 里司(TAKAHASHI Satoshi)
電気通信大学・大学院情報理工学研究科・
准教授
研究者番号:40709193