

科学研究費助成事業（基盤研究（S））公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成24年度採択分  
平成27年3月12日現在

持続可能な発展のための資源配分メカニズム設計理論の構築

Establishing Theory of Resource Allocation

Mechanism Design for Sustainable Development

課題番号：24220003

横尾 真 (YOKOO MAKOTO)

九州大学・システム情報科学研究所・主幹教授



研究の概要

我が国の持続可能な発展のために、計算機科学とマイクロ経済学の技術を統合／発展させ、経済的、社会的、環境的な観点からの要求をバランスした、希少な資源の望ましい配分を実現するメカニズムの設計理論を構築する。理論的成果と共に、個々の事例に応じてカスタマイズ／最適化可能な、資源配分メカニズムとソフトウェアパッケージを提供する。

研究分野：総合領域・情報学・知能情報学

キーワード：知的エージェント、ゲーム理論、組合せ最適化、マイクロ経済学

1. 研究開始当初の背景

東日本大震災、エネルギー／環境問題、少子高齢化等により、労働力も含めた希少な資源をどのように配分するかは、我が国の持続可能な発展のための喫緊の課題である。

計算機科学分野では、最適な資源配分を決定する問題は、伝統的に組合せ最適化問題として扱われている。近年、組合せ最適化の要素技術が著しい発展をとげており、大規模な実問題を現実的な時間内で解くことが可能となっている。しかしながら、従来研究の問題点として、意思決定を行う主体は一人であることが前提であり、異なる目的を持つ複数の主体の間での資源配分は考慮されていないことがある。

一方、マイクロ経済学分野では、希少な資源とそれを利用して生産された生産物の社会にとって望ましい配分を考察することが中心的課題であり、異なる目的を持つ複数の主体が存在することを前提としている。特に、マイクロ経済学の一分野であるメカニズムデザインでは、ジョン・フォンノイマンを始祖とするゲーム理論を用いて資源配分メカニズムの解析を行っており、現実の複雑な資源配分状況を扱うことが可能になっているが、従来研究は理論的性質を満たすメカニズムの存在可能性等の議論に重点がおかれ、大規模な問題におけるメカニズムの実現可能性に関する検討が不十分であるという問題点がある。

2. 研究の目的

本研究プロジェクトでは計算機科学とミ

クロ経済学の技術を統合／発展させ、経済的、社会的、環境的な観点からの要求をバランスした、希少な資源の望ましい配分を実現するメカニズムの設計理論を構築する。

3. 研究の方法

以下の3つの柱について研究を進める。

(1) ゲーム理論／メカニズムデザイン分野の知見と組合せ最適化の技術を統合／発展させ、多様な価値観や様々な制約を満足しつつ、現実的な時間内で計算可能なメカニズムを構築する、実現可能な資源配分メカニズムの設計技術を確立する。

(2) メカニズム間の相互作用も含めたメカニズムの安定性を、人手によらず解析する資源配分メカニズムの解析技術を確立する。

(3) 人工知能分野の知識表現技術を利用／発展させ、メカニズム／最適化問題の入力となるパラメータや参加者の戦略を簡潔に表現することを可能にする資源配分メカニズムにおける表現技術を確立する。

4. これまでの成果

実現可能な資源配分メカニズムの設計技術の研究対象分野の1つである制約付き両方向マッチングに関して、世界をリードする重要な結果が得られている。両方向マッチング問題は、学生と学校をマッチする学校選択制、研修医と病院をマッチする研修医配属問題等の様々な応用問題を扱える一般的な枠組みである。

マッチングを求める著名なメカニズムとしてゲールとシャプレイによる Deferred

Acceptance (DA) メカニズムがある。このメカニズムで得られるマッチングは、ある種の安定性を満たし、学生／研修医は自身の選好を偽る誘因を持たない（正直が最良の策／誘因両立性）。しかしながら現実の問題では、マッチングの結果になんらかの制約条件が課せられることが通例である。具体的には僻地や離島の病院に一定の人数の研修医が配属されることを保証する下限制約、都市部の病院に研修医が過度に集中することを防ぐ地域上限制約が存在する。マッチングの結果に種々の制約が課せられる場合に DA メカニズムをそのまま適用することはできない。

横尾、岩崎、上田、安田、小島は世界に先駆けて、このテーマに取り組んでおり、様々な制約条件の元で動作する、望ましい性質を満たすメカニズムの開発に成功している。さらに、田村の専門分野である離散数学の一分野の離散凸解析に着目し、様々な制約を扱う一般的な枠組みを提案している。具体的には、制約が  $M\alpha$ -凹性と呼ばれる、離散領域での凹関数の性質を満たす場合に望ましい性質を満たすメカニズムが構築可能であることを示している。本成果に基づくメカニズムが、実際に九州大学電気情報工学科での卒業研究配属で用いられている。さらに、慶應義塾大学理工学部における学科分けへの適用を検討している。

資源配分メカニズムの解析技術の研究に関して、同じゲームが繰り返しプレイされる繰り返しゲームにおいて、ノイズ等の不確実性が存在する場合に、ある戦略の組合せが均衡となるか否かをチェックするアルゴリズムを開発することは、繰り返しゲームにおける長年の未解決問題である。横尾、神取、岩崎、小原は、他のプレイヤーの状態に関する信念が遷移可能な範囲をチェックするという新しいアイデアに基づいて、有限時間で終了することが保証可能な均衡チェックアルゴリズムの開発を行っており、この長年の未解決課題を解決する目算が得られている。

さらに、メカニズムの表現技術に関しても、協力ゲームの表現法と、それをを用いた協力ゲームの解の効率的な計算方法に関して着実に研究成果が得られている。また、周波数オークション、クラウドソーシング等の応用事例に関して検討が進んでいる。

## 5. 今後の計画

図1の項目に関して研究を推進する。本研究プロジェクトの成果に基づく非専門家が利用可能なソフトウェアパッケージを開発して提供する予定である。

## 6. これまでの発表論文等（受賞等も含む）

- D. Fragiadakis, A. Iwasaki, P. Troyan, S. Ueda, and M. Yokoo: Strategyproof Matching with Minimum Quotas, ACM

H27

H28

グループ1 ① 離散凸解析を用いた  
実現可能なメカニズム設計  
資源配分 ③ より一般的な制約を  
メカニズムの扱うメカニズム設計  
設計技術 ② 資源配分メカニズムの自動設計

グループ2 ④ 繰り返しゲームの  
資源配分 ゲームの均衡解析  
メカニズムの ⑥ 繰り返しゲームの  
解析技術 均衡探索  
⑤ 経済実験を用いた戦略評価

グループ3 ⑦ 協力ゲームの  
資源配分 特性関数の記述方法  
メカニズムに ⑧ 協力ゲームの  
おける表現技術 解の計算方法

ソフトウェア ⑨ 繰り返しゲームの  
パッケージ 均衡解析ツール  
の開発 ⑩ マッチングメカニズムの  
設計ツールキット

応用事例 ⑪ 周波数オークション  
の検討 ⑫ クラウドソーシング  
⑬ 公共事業入札  
⑭ 研修医配属問題

研究成果 国際 ワークショップ  
の公開 ワークショップ  
開催  
書籍の出版 サマースクール  
開催

図 1 : 今後の研究計画

Transactions on Economics and Computation, to appear

- A. Iwasaki, S. Ueda, and M. Yokoo: Finding Core for Coalition Structure Utilizing Dual Solution, Artificial Intelligence, vol. 222, pp. 49-66 (2015)
- M. Kandori and S. Obayashi: Labor union members play an OLG repeated game, Proc. National Academy of Science USA, vol. 111, pp. 10802-10809 (2014)
- ソフトウェア学会基礎研究賞：横尾 (2012)、伊藤 (2014)、平山 (2015)、日本学術振興会賞：伊藤 (2013)、関口 (2015)、情報科学フォーラム (FIT) 論文賞 (2012)、FIT 船井ベストペーパー賞 (2014)、オペレーションズ・リサーチ学会研究賞奨励賞：岡本 (2012)

その他のプロジェクトメンバの主要な成果：査読付き国際会議 47 件、国際論文誌 41 件、国内論文誌 8 件、著書 5 件、教科書 4 件、招待講演 18 件。

ホームページ等

<http://www.mas.inf.kyushu-u.ac.jp>