

研究報告書

「情報環境での人間行動モデルに基づく知識・情報取引メカニズム設計理論の構築」

研究タイプ: 通常型

研究期間: 平成23年10月～平成27年3月

研究者: 櫻井 祐子

1. 研究のねらい

本研究では、ヒューマンコンピューテーション／クラウドソーシングで人間の知を有効に活用するために、人間が個々の能力を十分に発揮するインセンティブ(誘因)を与えるためのメカニズム設計(制度設計)を行うことを目的とする。

メカニズム設計(制度設計)とは、ある環境に存在する人間の集団が何らかの社会的意思決定を行う際、望ましい結果を得るためのメカニズムを設計することである。ネットワーク環境の発展に伴い、計算機科学とミクロ経済学／ゲーム理論の新たな融合領域として活発に研究が行われており、インターネットオークションや検索連動型広告オークションなど実サービスの基盤技術として適用されている。

近年、計算機と人間のどちらか一方では求解が困難な問題に対して、計算機と人間の知を組み合わせることで問題解決を図るヒューマンコンピューテーションの概念が提唱された。クラウドソーシングはヒューマンコンピューテーションを実現するプラットフォームであり、仕事発注者と作業者を仲介する仕組みである。クラウドソーシングは新たな労働力確保の手段としても着目されているが、実サービスで用いるためにはその作業品質や必要に応じた労働力の確保が課題となっている。従来、作業品質管理や労働力の確保は作業発注者側に委ねられていた。

そこで、本研究課題では、作業者らもこれらの課題解決に自発的に貢献することで効率的なクラウドソーシングシステムの構築を目指す。具体的には、実際のクラウドソーシングを利用して人間の行動データを取得し、人間の認知力や理解力に応じた適切なインセンティブの与え方(報酬設定)を実現する、知識・情報取引メカニズム設計理論の構築を行う。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究の主な研究成果は下記の3項目である。

- (1) マイクロタスク型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術
- (2) 参加型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術
- (3) チーム型クラウドソーシングのためのタスク割当て技術

各研究において、人間行動に関する「知識力の相違」、「自己充足性」、「人と人の相互作用」の側面にそれぞれ着目した。

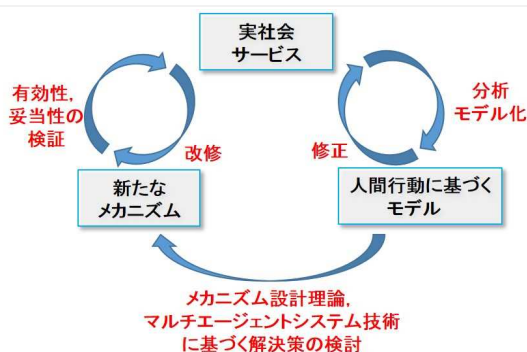


図1: 研究方法の概要

本研究では、図1に示す研究方針に基づいて実環境で取得したデータを活用し、不正行為に頑健である(嘘を付いても効果がない)といった理論的に望ましい性質を保証するだけでなく、実際のクラウドソーシングサービスを利用して有効性の検証を行った。

(2) 詳細

【研究テーマ1】 マイクロタスク型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術の確立

これまで、メカニズム設計理論においては、メカニズム参加者は合理的で、行動を選ぶための計算能力に制限がなく、自身の効用を最大化する行動を非常に多数の候補から適切に選択できるということを仮定していた。しかしながら、クラウドソーシングのように不特定多数の人々が参加する場合、メカニズム(ルール)自体を理解できない、自身の効用を最大化する行動は限られた候補からしか選択することができないといった課題があることを、実際のクラウドソーシングサービスを利用した予備実験で明らかにした。

そのため、本研究テーマでは、一般の人々を対象にした場合でも、理論的に望ましい性質を満たすだけでなく、人間の行動選択に即したメカニズム(報酬設定)の開発を行った。

マイクロタスク型クラウドソーシングは、画像判断などの単純作業であり、誰もが容易に実行できるため、クラウドソーシングで実行される作業の主流となっている。その一方で、必ずしも発注者が望む品質が得られるとは限らないため、効率的に結果を得ることが求められている。そこで、本研究テーマでは、各作業者の作業結果に対する自信(confidence)に着目し、自信に応じた報酬の差別化を行うことで、作業者の能力の差別化を実現可能にした(図2)。

自信に関して数値を直接的に入力させる場合、過大評価や過小評価などの認知バイアスだけでなく、評価そのものが難しいという問題があることが判明した。そのため、作業者に自信を直接表明させるのではなく、報酬プランを選ばせることで間接的に自信を申告させるという間接表明メカニズムを開発した。実際の作業者による作業結果では、本メカニズムを適用しない単純多数決の場合よりも安い費用で正解を得ることに成功した。

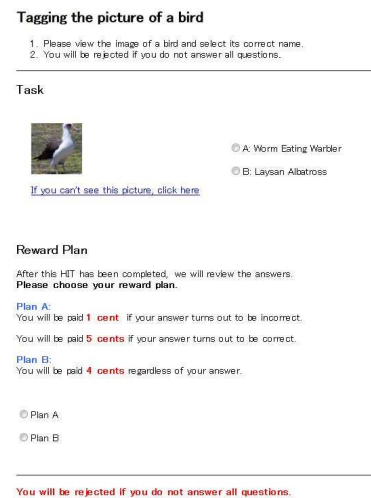


図2: Amazon Mechanical Turkでの作業画面の例

【研究テーマ2】 参加型クラウドソーシングのためのメカニズム設計技術の開発

クラウドソーシングは、実社会の情報を効率的に取得するために利用されることも多く、参加型クラウドソーシングと呼ばれる。例えば、地図情報をできる限り正確かつ迅速にアップデートするために、街の写真を撮って収集する取り組みなどが挙げられる。このとき、作業発注者としては、労働力の確保が課題の一つとなる。本研究テーマでは、作業者が作業可能な時間帯を予測し、その予測通りに行動するための誘因を与える(自己充足性を満たす)メカニズムの検討を行った。

作業者に自身の行動を予測させる場合、実際に行動を決定するとき、予測と異なった行動を取った方が作業者の利得が増加する可能性がある。さらに、作業者が取り得る行動は無限に存在するため、最適な予測を決定することは計算量的に求解困難である可能性がある。そ

のため、本研究では、予測通りに行動することで利得の最大化が保証される報酬メカニズムを提案するとともに、期待利得を最大化する予測を決定するためのヒューリスティックアルゴリズムの開発を行った。

このメカニズムは、クラウドソーシングでのスケジュール管理でなく、電力会社やバス会社といった、顧客の需要を満たす必要がある供給者にとって需要と有益であると考えられる。

【研究テーマ3】 チーム型クラウドソーシングのためタスク割当て技術の開発

複数の作業員（エージェント）がチームを組むことで作業が完了するチーム型クラウドソーシングでは、人と人との間に生じる相互作用を考慮する必要がある。すなわち、作業員をどのように組み合わせるかによって結果（利益）が大きく異なる。この問題を解決する一つの手段として、ゲーム理論の一分野である協力ゲーム理論を応用することができる。協力ゲーム理論は、利己的に行動するエージェント間で提携を形成することのできる場合のエージェントの振る舞いに関する理論である。利己的なエージェントが協力関係を結び、チーム（提携）を形成する場合に解くべき問題は次の二つに分けられる。一つ目が最適な提携構造の形成であり、一般に提携構造形成問題と呼ばれ、全員で協力することが最適ではない場合に、得られる利益の総和が最大となるようにエージェントの集合を分割する問題である。二つ目が各提携での利益の配分についてである。

本研究テーマでは、まず、提携構造形成問題に対して、人工知能分野でブール関数を簡略に表現するグラフ表現である二分決定グラフを応用し、高速に最適な提携構造を発見するアルゴリズムと、利得の配分について、各エージェントが提携から逸脱する誘因を持たないことを保証する利得配分をエージェント数の多項式時間で求解可能なアルゴリズムを開発した。

次に、得られた利益の配分方法に関して、最も良く知られている配分方法としてシャプレイ値が存在する。シャプレイ値は各エージェントの提携に対する貢献度の期待値であるが、求解に関する計算量の問題があった。本研究テーマでは、提携間で外部性がある場合、すなわち、他の提携がどのように構成されているかによって得られる利益が異なる場合において、エージェントの関係を木構造で簡潔に表現することで、木のノードの数の多項式時間で求解可能なアルゴリズムの提案を行った。

3. 今後の展開

本研究の成果は、実環境で取得したデータに基づいて、人間の行動特性を考慮したメカニズム設計に関する基盤技術を構築したことである。メカニズム設計理論は社会的に望ましい結果を得るためのルールの構築に有用である。しかしながら、クラウドソーシングの状況では不適切ないくつかの前提が置かれていたことを明らかにし、クラウドソーシングに適したメカニズムの開発を行った。

クラウドソーシングは新たな労働市場の場としても注目されているだけでなく、市民科学のプラットフォームとしても有効であると考えられている。本研究では金銭的報酬に特化してメカニズム設計を行ったが、市民科学での作業に対する動機付けは非金銭的誘因も含まれる。また、本研究で対象としたマイクロタスク、参加型、チーム型クラウドソーシング以外に様々な形態のクラウドソーシングが存在する。

本研究で得られた結果を発展させ、社会的／経済的持続可能なクラウドソーシングシステム

の構築を目指して、人間の行動特性を十分に考慮し、可用性の高いメカニズムの開発を行うために、人間を主体としたメカニズム設計理論に関する研究を推進していきたい。

4. 評価

(1) 自己評価

(研究者)

クラウドソーシングでは、作業品質管理と労働力の確保が重要な課題である。本研究では、メカニズム設計理論を応用し、人間に適切なインセンティブを与えることで、高品質かつ可用性の高いクラウドソーシングを実現するメカニズムの開発を行った。まず、作業者の知識や能力の分散が大きいクラウドソーシングの状況に既存メカニズムを適用してもメカニズム設計者／作業発注者の意図通りの結果を得ることができないことを指摘した。すなわち、従来のメカニズム設計理論では、メカニズムの存在性やメカニズムの計算論的な実行可能性は議論されているが、人間に対する実現可能性は十分に議論されていなかったことを意味する。そこで、本研究では、人間の選好／個人情報に関する表明能力の限界、行動の不確実性、認知バイアスの存在を考慮することで、作業者らに直接的に選好を表明させるのではなく、行動選択の結果から選好を抽出する間接表明メカニズム等を開発することで、作業結果の品質を従来よりも頑健に推定すること、作業者(労働力)を安定的に確保することを可能にした。

クラウドソーシングという複雑かつこれまで十分に検討されていなかった実問題に対して、理論と実社会を繋ぐ研究成果を創出することができた一方で、限定的な状況での有用性の検証や理論的成果に留まっている研究もある。したがって、実証実験を継続すると共に、今後も、人間の行動特性を考慮し、実社会に適用可能なメカニズム設計理論の体系化を行っていききたい。

(2) 研究総括評価(本研究課題について、研究期間中に実施された、年2回の領域会議での評価フィードバックを踏まえつつ、以下の通り、事後評価を行った)。

(研究総括)

クラウドソーシングは将来の労働市場を一変させる可能性を秘めている。本研究は、ミクロ経済学やゲーム理論を背景に、人々がクラウドソーシングに適切に能力と時間を提供するための制度設計を生み出そうとするものである。マイクロタスクに関しては、作業者の自信の度合いを用いることで、高品質かつ可用性の高いクラウドソーシングが実現できることを示した。さらに、作業者が報酬プランを選ぶことで、間接的に自信を表明する仕組みを開発している。また、チーム型クラウドソーシングに関しては、協力ゲーム理論を応用し、最適な提携構造の形成を可能とするアルゴリズムを提案している。この研究は国際会議で最優秀論文に選ばれている。本研究は、情報経済の理論研究者が、実世界の問題であるクラウドソーシングの制度設計に挑戦したもので、その研究姿勢は高く評価できる。理論的研究の成果を実応用に活かす方法は一通りではない。今後はさきがけでの経験を活かし、基礎研究が世の中を変えるシナリオを様々に構想し、社会の変革をリードしていくことを期待したい。

5. 主な研究成果リスト

(1)論文(原著論文)発表

1. **Yuko Sakurai**, Tenda Okimoto, Masaaki Oka, Masato Shinoda, Makoto Yokoo: Ability Grouping of Crowd Workers via Reward Discrimination. The 1st AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing (HCOMP 2013), 2013, pp.147-155
2. **Yuko Sakurai**, Tenda Okimoto, Masaaki Oka, Makoto Yokoo: Strategy-Proof Mechanisms for the k-Winner Selection Problem. The 16th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2013), 2013, pp.292-307
3. **Yuko Sakurai**, Makoto Yokoo: Generalized Partition Mechanism Framework for Combining Multiple Strategy-Mechanisms. IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT-2012), 2012, pp.502-509
4. **櫻井祐子**, 沖本天太, 岡雅晃, 横尾真. エージェント間に外部性が存在する場合の戦略的操作不可能な割当てメカニズムの提案. 電子情報通信学会論文誌 J96-D(12), 2013, pp.2960-2969
5. **Yuko Sakurai**, Suguru Ueda, Atsushi Iwasaki, Shin-ichi Minato, Makoto Yokoo: A Compact Representation Scheme of Coalitional Games Based on Multi-Terminal Zero-Suppressed Binary Decision Diagrams. The 14th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2011), 2011, pp.4-18

(2)特許出願

研究期間累積件数:0件

(3)その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

【国際会議】

- Masaaki Oka, Taiki Todo, **Yuko Sakurai**, Makoto Yokoo: Predicting Own Action: Self-fulfilling Prophecy Induced by Proper Scoring Rules. The 2nd AAAI Conference on Human Computation and Crowdsourcing (HCOMP 2014), 2014, pp.184-191
- **Yuko Sakurai**, Tenda Okimoto, Masaaki Oka, Masato Shinoda, Makoto Yokoo: Quality-control mechanism utilizing worker's confidence for crowdsourced tasks. The 12th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems (AAMAS 2013), 2013, pp.1347-1348
- **Yuko Sakurai**, Masaaki Oka, Satoshi Oyama, Makoto Yokoo: How confident are you? Classification of Workers in crowdsourcing. The 4th annual Web Science Conference (Web Science 2013), 2013 (Poster presentation)

【国内会議】

- **櫻井祐子**, 沖本天太, 岡雅晃, 兵藤明彦, 篠田正人, 横尾真: クラウドソーシングにおける品質コントロールの一考察. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2012), 2012

- **櫻井祐子**, 上田俊, 岩崎敦, 横尾真: MTZDD に基づく提携ゲームの簡略記述法の提案. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム(JAWS2011), 2011

【解説記事】

- **櫻井祐子**, 松原繁夫: ヒューマンコンピューテーションのためのメカニズムデザイン. 人工知能学会論文誌, 2013, Vol.29, No.1, pp.19-26

【招待講演】

- **櫻井祐子**, アウトソーシングからクラウドソーシング - 数百万の「人力」へのアクセスが拓く世界 -. CEATEC JAPAN (10年後の暮らしをスマートにする+ α な価値を創る AI), 2013年10月

【受賞】

- PRIMA2011 Best Paper Award
Yuko Sakurai, Suguru Ueda, Atsushi Iwasaki, Shin-ichi Minato, Makoto Yokoo: A Compact Representation Scheme of Coalitional Games Based on Multi-Terminal Zero-Suppressed Binary Decision Diagrams. The 14th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA 2011), 2011, pp.4-18