

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25年 3月31日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2010～2012

課題番号：22300052

研究課題名（和文） クラウドソーシング型問題解決メカニズムの研究

研究課題名（英文） Research on mechanisms for crowdsourced problem solving

研究代表者

松原 繁夫 (MATSUBARA SHIGEO)

京都大学・情報学研究科・准教授

研究者番号：80396118

研究成果の概要（和文）：クラウドソーシング型問題解決メカニズムとして以下を考案・解析した。(1)請負者の不均等な割当てを回避するため、グループ分割に基づく協調的タスク割当て法を考案した。(2)報酬配分法としてゲーム理論で提案されている Shapley 値に基づく配分を用いた場合、労働力の過小供給が生じ得ることを示した。(3)解の妥当性を維持するために投票がよく用いられる。投票に要する費用を抑制しつつ、意思決定の質を向上させるために、逐次参加 m 票先取投票メカニズムを考案した。

研究成果の概要（英文）：This research have developed/analyzed the following three mechanisms for crowdsourced problem solving. (1) We have devised a cooperative task allocation mechanism based on group division to avoid the unequal allocation of workers to tasks. (2) We have showed that reward distribution based on the Shapley value, which is extensively studied in the game theory, may cause the undersupply of the work force. (3) Votes are often used to maintain the solution quality. We have developed an m votes to win mechanism with sequential participation to improve the quality of collective decision making with the reduction of the cost for voting.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	5,300,000	1,590,000	6,890,000
2011年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2012年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
年度			
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知能情報学

キーワード：クラウドソーシング，集合知，メカニズムデザイン

1. 研究開始当初の背景

近年、集合知の一形態として、不特定多数の人に業務を委託するという新しい雇用形態であるクラウドソーシングが注目を集めている。これは、従来の組織内での問題解決

やアウトソーシングによる問題解決を補完するものと考えられ、企業の研究課題の解決からソフトウェアのローカライズまで様々なタスクが取り扱われている。しかし、現行のサービス提供方法には、請負者間の協調や

取引の透明性の確保といった点で問題がある。本来、知識を組み合わせるの価値創造が期待されるにもかかわらず、現行サービスは、請負者がチームを形成して協調しながら作業を進めるための支援を提供していない。また、請負者が自身の貢献が正当に評価されているかを確認する手段も限られており、適用範囲を拡大する上での障害となっている。この問題の解決には、アルゴリズムからゲームという視点の変換が必要となり、請負者の参加に対するインセンティブを扱う上で、メカニズムデザインの考えを導入する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 協調的タスク割当てメカニズムの開発

クラウドソーシング型問題解決の特徴の一つは、依頼者が請負者を選択するのではなく、請負者がタスク（依頼者）を選択する点である。これにより、依頼者はどの請負者が高いスキルを持つか知らなくても、そのような請負者にタスクを割り当てるのが可能になる。一方で、依頼者が複数タスクを持つ場合、不均等な請負者の割当てが発生する恐れがある。あるタスクはすぐに処理されるが、別のタスクは中々処理されないという状態であり、全体としての問題処理能力が低下することになる。これは個々の依頼者の問題に限らず、マーケットプレースの問題としても考えられる。

このような問題に対する解決策の一つは報酬額を調整することである。しかし、報酬額調整も万能ではない。不人気タスクの報酬額を上げれば、全体としての処理費用が増大することになる。また、人気タスクの報酬額を下げるとしても、作業に対する市場価格といったものが存在するため、任意に報酬額を下げることもできない。この問題を解決するタスク割当てメカニズムを開発する。

(2) 取引の透明性を実現する報酬配分メカニズムの解析

クラウドソーシングの特徴は、複雑なタスクを単純なサブタスクに分割して、複数の請負者にサブタスクを処理させ、その結果を統合する点にある。例えば、翻訳タスクと校正タスクを考えた場合、翻訳が高品質に行われれば、校正は簡単な作業で済む。一方、翻訳作業が低品質な場合校正は負荷の高い作業となり、翻訳作業がさらに低品質になれば、いくら校正に労力を費やしても結果として得られる翻訳文の品質は低いままであろう。このようにサブタスク間に依存関係がある場合は、各サブタスクの報酬設定は困難な課題となる。この問題を解決するには、事前に報酬額を設定するのではなく、全体の作業が終わってから、事後に報酬配分をする方法が

考えられる。ただし、報酬配分の決定過程を観測できないと、請負者は参加意欲をなくすかもしれない。そこで、各請負者にとって、自己の貢献が適切に評価されていることを確認できるような、取引の透明性を実現する報酬配分メカニズムを開発が必要である。

(3) 解の妥当性維持のための投票メカニズムの開発

クラウドソーシングにおいて、依頼者は請負者から報告された解の妥当性をつねに評価できるとは限らない。例えば、あるコミュニティでロゴ作成を依頼し、2つのデザイン案が投稿されたとする。このとき、どちらのデザインがコミュニティの活動に合っているか一人の依頼者が判断することは難しい。このような場合、コミュニティメンバに意見を聞いて、それを集約することで、より良い決定が可能になると考えられる。意見集約法の一つとして投票があり、代表的なものが単純多数決である。しかし、単純に多数決を用いることには問題がある。全員に投票を強制すれば、コミュニティ全体での意思決定に要する費用が増大する。一方で、一人の意見で決めれば全体の総意と異なる代替案が採用されてしまうかもしれない。この問題を解決するため、投票に要する費用を下げつつ、意思決定の質を向上させる投票メカニズムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 協調的タスク割当てメカニズムの開発

本研究での協調とは、社会的に望ましい形で請負者がタスクを分担できることを指す。ある一つのタスクに請負者が集中せず、かつ、請負者のタスク選択希望も満たされる状況であり、社会的余剰（参加者全員の効用の総和）の最大化として定式化できる。請負者はタスク選択に関する戦略を持つことになり、実現される結果はBayesian-Nash均衡になると考えられる。

このもとで、本研究では組織論的観点から、グループ分割によるタスク割当ての制御を検討した。グループ分割とは、請負者の集団を2つに分割し、その中でタスクを選択させるというものである。請負者の自発的な選択を保証しつつ、選択の幅を狭めることを意味する。グループ分割法としては、請負者のスキルに応じて、(1)低スキルグループと高スキルグループに分割する方法と、(2)低スキルと高スキルが混在するように全体を2つに分割する方法である。それぞれの設定の元で、均衡解析を行い、社会的余剰の大きさを比較する。特に、請負者のスキル分布に関して、一樣な場合、低スキル請負者が多い場合、高スキル請負者が多い場合に分けて議論する。

(2) 取引の透明性を改善する報酬配分メカニズムの解析

サブタスクの処理費用や品質が他のサブタスクの結果に依存する状況を扱うには、全体の成果物が得られた後で、その価値を評価し、その対価を請負者内で配分する方法が良いと考えられる。これは、提携ゲームとしてゲーム理論で定式化されており、計算機科学の側面からも様々な研究がなされている。提携ゲームは、(1) どのような提携を形成するか、(2) ある提携の内部でどのように利得を配分するかという2つの問題を含んでいる。報酬配分の問題は後者に相当し、配分法に理論的な裏付けが存在すれば、それは透明性を高めることになる。

しかし、その応用は直接的ではない。それはクラウドソーシングにおいては、連携が高い柔軟性を持つためである。例えば、請負者1は請負者2請負者3と一緒にあればタスクを請け負うが、請負者2が参加せず、請負者1と請負者3のペアとなれば拒絶するといった希望を述べる事が可能である。

本研究では、クラウドソーシング型問題解決における2つの要求、(1) 依頼者の要求を満たす多様な請負者の組合せが提供されること、(2) 組合せ計算の負荷を下げること、タスクの無駄な細分化を避けること、が既存の収益配分法(均等配分とShapley値に基づく配分)で達成されるかどうかを検証する。

(3) 解の妥当性維持のための投票メカニズムの開発

本研究では投票に要する費用を抑制しつつ、意思決定の質を向上させる投票メカニズムとして逐次参加型m票先取投票メカニズムに着目する。逐次参加とは、投票者が同時に投票を行うのではなく、与えられた投票期間中に順に投票を行い、かつ、web上のサイトやメーリングリストでの掲示・周知により、投票者はそれまでの投票結果を知ることができることを意味する。m票先取の可決条件とは、ある代替案にm票集まった時点で投票過程が終了し、その代替案に可決される。このm票先取の投票方式は単純多数決とは異なる。例えば、2つの代替案A案B案が存在するとする。m票先取の投票メカニズムでは、先にA案がm票獲得すると、その時点で投票は打ち切れ、A案が可決案となる。まだ投票していないm+1人がB案を選好すると主張しても、A案の可決は覆されない。この投票メカニズムに関して、個々の参加者の効用モデルを作成して均衡分析を行い、その元で社会的余剰を計算する。社会的余剰は、決定案から得られる効用の総和から投票に要する費用の総和を引いたものである。これを、単純多数決やランダム意思決定と比較する。

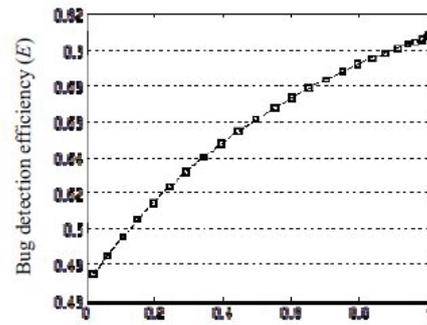


図1 スキル混合と問題解決効率

4. 研究成果

(1) 協調的タスク割当てメカニズムの開発

本研究では、組織論的観点から請負者をグループに分けることで、全体の問題処理効率を向上させることを考えた。請負者を低スキルと高スキルの2つのクラスに分け、どのような難易度のタスクを選択するか、タスク処理にどの程度の労力を投入するかを調べ、均衡戦略を導出した。

つぎに、請負者の能力に応じて高スキル請負者グループと低スキル請負者のグループを作る場合と、能力によらずランダムに請負者をグループ分けする場合との性能を比較するためにシミュレーションを行った。シミュレーションにおいては、スキル水準は連続的な値を取ると仮定している。図1は請負者の能力が一様分布する場合の、問題解決効率を表している。横軸はグループ内における請負者の混合具合を表している。これより、スキル別にグループ分割するよりも、ランダムにグループ分割する方が、全体としての問題処理効率が向上することが判明した。つまり、各タスクへの不均等な請負者の割当てを解消するために、グループ分割を導入する場合、ランダムに分割すれば良いことになる。この結果を知的エージェント技術に関する国際会議 IAT-2012 で発表した。

(2) 取引の透明性を改善する報酬配分メカニズムの解析

本研究では、全体で得られた報酬を個々に配分するという課題に対して、積算方式や均等配分方式がうまく機能しないことを示した。これは、個々の請負者単位で見たときに、報酬額がタスク処理に要する費用を下回る場合が発生するためである。また、Shapley値に基づく方法を取ったとしても、タスク処理に関して過小供給の状態が生じることを示した。

つぎに、タスクを構成するサブタスクの数や、一部のサブタスクが処理された場合の価値に関して、過小供給の問題が緩和されるか深刻になるかを分析した。その結果、サブタスクの数が増えれば、請負者の戦略的行動の

影響は小さくなり、過小供給の問題が緩和されることがわかった。また、全てのサブタスクが処理されなければ依頼者にとって価値がないといった場合は、請負者は戦略的行動を取っても得るものが少なく、過小供給の問題が緩和されることがわかった。この結果をサービス指向コンピューティングに関する国際会議 ICSOC2011 で発表した。ここで得られた結果は、今後クラウドソーシング型問題解決に適した新たな配分法を考案に役立つと考えられる。

(3) 解の妥当性維持のための投票メカニズムの開発

本研究では、逐次参加型 m 票先取の投票方式に着目し、意思決定の品質向上と投票に要する費用削減をどう両立させるかという課題に対して、社会的余剰による評価を行い、投票方式の性質を調べた。 m 票先取における投票者の最適行動を解析し、以下を示した。まず、可決票数 m の最適値については、多数派少数派の人数比が小さい場合は、コミュニティのサイズが大きくなるほど m の値を大きく設定する必要がある。一方、多数派少数派の人数比が大きい場合は、 m の値の変化は小さくなることを明らかにした。

つぎに、投票順における投票参加の有無については、多数派少数派の人数比が小さい場合、投票順序の早い投票者が投票に参加する傾向にあり、一方、人数比が大きい場合には、投票順序のやや早い投票者と遅い投票者が頻繁に投票に参加する傾向があることを明らかにした。つぎに投票方式間の性能比較については、 m 票先取の投票方式は、ランダム意思決定や強制参加に比べてより優れた性能を示す場合が多いが、逐次参加型単純多数決は、 m 票先取と同等かより効率的となることが明らかになった。しかし、逐次参加型単純多数決では、投票が最後に集まるという問題を指摘した。最後に、1 投票者に限って投票順序に関する戦略的行動を許容しても、それが社会的余剰に与える影響は小さいことを確認した。これらの知見は、 m 票先取投票方式を適用する際、 m の値をどう設定するかといった問題を解決するのに役に立つ。これらの成果をマルチエージェントに関する国際会議 PRIMA2011 で発表し、また、情報処理学会論文誌で発表した。本研究では、代替案の数を 2 に限定して議論を行ったが、3 以上の代替案が存在する場合に議論を進展させることは今後の課題である。

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 1 件)

- ① 鍵福竜也, 松原繁夫. 逐次参加型 m 票先取投票方式の分析. 情報処理学会論文誌, 査読有, Vol. 53, No. 11, 2012, 2457-2465

〔学会発表〕(計 15 件)

- ① 斎藤陽介, 松原繁夫. ディスプレイ広告オークションにおける仲介者としての入札戦略. 情報処理学会全国大会第 75 回全国大会, 2013.3.7, 仙台
- ② Huan Jiang, Shigeo Matsubara. Improving Crowdsourcing Efficiency Based on Division Strategy. IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT-12), 2012.12.6, Macau
- ③ 王美楽, 松原繁夫. クラウドソーシングにおける不誠実ワーカーの排除に向けた報酬設定法の提案. 合同エージェントワークショップ & シンポジウム (JAWS2012), 2012.10.24, 静岡県掛川市
- ④ 斎藤陽介, 松原繁夫. ディスプレイ広告における広告掲載系列の改善. 2012 年度人工知能学会全国大会 (第 26 回), 2012.6.14, 山口県山口市
- ⑤ 松原繁夫, 鍵福竜也. 人間・エージェント系における集成的意思決定. 2012 年電子情報通信学会総合大会, 2012.3.22, 岡山市
- ⑥ 北本進悟, 松原繁夫. 対話型 FAQ 検索システムの構築における転移学習の適用. 電子情報通信学会 人工知能と知識処理研究会, 2012.3.13, 定山溪, 北海道
- ⑦ Shigeo Matsubara. Profit Sharing in Service Composition. 9th International Conference on Service Oriented Computing (ICSOC2011), 2011.12. 8., Paphos, Cyprus
- ⑧ Ryuya Kagifuku and Shigeo Matsubara. Costly Voting with Sequential Participation. The 14th International Conference on Principles and Practice of Multi-Agent Systems (PRIMA-2011), 2011.11.16, Wollongong, Australia
- ⑨ Shigeo Matsubara, Masanori Hatanaka and Huan Jiang. Inefficiency of Equilibria in Task Allocation by Crowdsourcing. CrowdConf2011, 2011.11.2., San Francisco, USA
- ⑩ Huan Jiang and Shigeo Matsubara. Crowdsourcing Software Bug Detection and Division Strategy. 合同エージェントワークショップ & シンポ

- ジウム 2011 (JAWS2011), 2011.10.26, 静岡県熱海市
- ⑪ 鍵福竜也, 松原繁夫. 意思決定の質と費用の観点から見たオンラインコミュニティにおける投票方式の検討. 情報処理学会第 73 回全国大会, 2011.3.4, 東京
 - ⑫ 松原繁夫. エージェントコミュニティにおける研究事例紹介. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS-10), 2010.10.28, 富良野
 - ⑬ 松原繁夫. 複合 web サービスに対する収益配分法の検討. 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2010 (JAWS-10), 2010.10.27, 富良野
 - ⑭ 境 良太, 松原繁夫. 未知の選好を含む最大安定度マッチングの定式化. 第 24 回人工知能学会全国大会, 2010.6.9, 長崎市
 - ⑮ Hiromichi Araki, Shigeo Matsubara and Yuko Sakurai. Analysis of an Internet Auction Market where Ascending Auction and Fixed Price Selling Simultaneously Exist. Web Science Conference 2010 (WebSci'10), 2010.4.26, Raleigh, North Carolina, USA

[図書] (計 1 件)

- ① Ahlem Ben Hassine, Shigeo Matsubara, Toru Ishida: Horizontal Service Composition for Language Services, Ishida, T. (Ed.) The Language Grid: Service-Oriented Collective Intelligence for Language Resource Interoperability, Chapter 4 (Springer, 2011) 15 ページ

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: オークション出品価格設定支援装置
発明者: 松原繁夫, 荒木博道, 櫻井祐子
権利者: 京都大学, ヤフー株式会社
種類: 特許
番号: 特許出願 2010-176877
出願年月日: 2010.8.6
国内外の別: 国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松原 繁夫 (MATSUBARA SHIGEO)
京都大学・大学院情報学研究科・准教授
研究者番号: 80396118