

クラウドワーク市場の 情報伝達ネットワークにおける協調行動の進化的学習 Evolutionary Learning of Cooperative Behavior in Social Networks of Crowdwork Markets

新井崇夫¹ * 倉橋節也¹
Takao Arai¹ Setsuya Kurahashi¹

¹ 筑波大学ビジネス科学研究科
¹ University of Tsukuba

Abstract: In this paper, we present our concept on the analysis of the coordination of crowdworkers by multi-agent systems. The results inferred from the current analysis and the future plan of the analysis are presented.

1 はじめに

1.1 背景

日本国内において、クラウドワーカーの数は約 462 万人にもものぼると推定されており、経済における彼らの重要性は今後も高まっていくことが予想される [1]。しかし、現状において彼らの交渉力は弱く、いくつかの問題点が指摘されている。日本においては、収入の不安定さや、発注の段階で業務内容や報酬が明示されないことが多々あることが指摘されている [1]。アメリカにおいても、仕事がない失業期間が生じてしまうことや、依頼者の指示が不明確で無駄なコストがかかってしまうことがワーカーの生産性が低下させているという声が明らかになっている [2]。

本研究では、オンラインの取引における個人事業主型のクラウドワーカーと企業とのマッチングをモデル化し、クラウドワーカー間でのジョブ紹介やコスト情報の共有、そして検索方法の変化がクラウドワーカー自身の市場への適応に対してどのような影響をもつのかを考察する。このような分析を通じて、クラウドワークという新しい働き方が社会的により良い形で受け入れられるような労働市場のありかたについてモデルとしての示唆を与えることが目的である。

* 筑波大学大学院ビジネス科学研究科
東京都文京区大塚 3 丁目 2 9 - 1
E-mail: s2040051@s.tsukuba.ac.jp

1.2 本研究における用語

クラウドワークに類似する言葉としてフリーランスやギグワークのような用語が存在するが、これらに関して統一的な定義はなされていない。

本研究においては、「フリーランス」と「クラウドワーク」という言葉を区別せずに用い、その定義を「オンラインにおける、法人から個人事業主への業務委託一般」とする。特にここでは IT 系の専門知識を持つクラウドワーカーを想定して議論するが、このことはモデルの他業界の労働者に対する一般化可能性を排除するものではない。

2 クラウドワーカーの情報伝達モデル

2.1 モデルの概要

J 個のワーカーエージェントを用意する。ワーカーエージェントのパラメータは次の通りである。

- $q \in \mathbb{R}$: 作業品質パラメータ
- $C \in \mathbb{R}$: 情報共有コスト
- $N_S \in \mathbb{N}$: 検索数
- $N_A \in \mathbb{N}$: 応募数
- $\hat{\theta} \in \mathbb{R}^J$: 企業の工数パラメータの推定値

I 個の企業エージェントを用意する。企業エージェントのパラメータは次の通りである。

- $\theta \in \mathbb{R}$: 工数パラメータ

- $w \in \mathbb{R}$: 支払い賃金

二種類の無向ネットワークを用意する。公式ネットワークは、ワーカ互助コミュニティにおける情報のつながりを表現しており、ワーカの戦略によって動的に変化する。非公式ネットワークは、ワーカ互助コミュニティ外の固定的な情報のつながりを表現しており、ワーカの戦略に関係なく存在する静的なネットワークである。ただし、 V はノードの集合で、 E はエッジの集合、 f はエッジをノードに対応させる写像を表す。

- $G_o \equiv \{f_o, V_o, E_o\}$: 公式ネットワーク
- $G_u \equiv \{f_u, V_u, E_u\}$: 非公式ネットワーク

ワーカの利得は、互助コミュニティに参加している場合は $w - C - \theta$ である。互助コミュニティに参加していない場合には、 $w - \theta$ である。

2.2 ワーカの意味決定

ワーカは、戦略 { ワーカ互助コミュニティに参加する, ワーカ互助コミュニティに参加しない } を持つ。ワーカの意味決定は、この戦略を決定することである。ワーカは毎期、非公式ネットワーク上で自身と反対の戦略をとる隣接ノードのなかで利得の平均を計算し、自身の利得の大きさととの比較を行う。選択したワーカよりも自身の利得が低かった場合には、戦略を変更する。選択したワーカよりも自身の利得が大きかった場合には、戦略を維持する。ワーカ j がワーカ互助コミュニティに参加する意思決定を行った場合、ワーカ j は自身と公式ネットワーク上の全ノードとのエッジを追加される。ワーカ j がワーカ互助コミュニティに参加しない意思決定を行った場合、ワーカ j は自身と公式ネットワーク上の全エッジを切断する。

2.3 ジョブ紹介

企業の求人に応募したが採用されなかったワーカは、互助コミュニティに参加している場合、公式ネットワーク上の隣接ノードが検索したが応募しなかった企業のうち、自身がその期に検索しておらず、採用ワーカが決定していないものの中から利得の推定値が最大のものに関して、再度応募することができる。

2.4 コスト情報の共有

ワーカが互助コミュニティに参加している場合、情報共有コスト C を支払って公式ネットワーク上の隣接ノードに自身が採用された企業 i の工数パラメータ θ_i を

発信する。情報を受信したワーカは、自身の $\hat{\theta}_i$ を更新する。

2.5 取引アルゴリズム

本研究におけるワーカと企業の取引アルゴリズムは下記のようなになる。

- 企業が賃金 w を提示する
- ワーカが検索数 N_S で検索を行い、利得の推定値が最大の企業に応募を行う
- 失業エージェントは、公式ネットワーク G_o 上の隣接ノードからジョブ紹介を受ける
- 企業 i が作業品質パラメータ q が最大のワーカを採用する
- ワーカが賃金 w_i と工数パラメータ θ_i を得る
- ワーカが利得を評価する
- ワーカが戦略に基づいて行動を行う
- ワーカがゲームを行い、戦略の更新に関する意思決定を行う

3 分析結果

3.1 シミュレーションの実行

実験に用いたパラメータは下表1の通りである。ただし、 $U(a, b)$ は、整数 a から整数 b までの値をとる離散一様分布である。また、本実験で用いたスケールフリーネットワークの次数分布は、図1の通りであった。また、本校における実験ではジョブ紹介ステップについては実行しない場合について検討した。

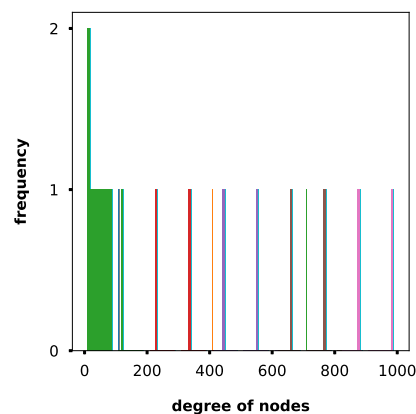


図1 スケールフリーネットワークの次数分布

表1 実験に用いたパラメータ

変数	値
N_f	100
N_w	1000
N_S	10
N_A	1
C	3
q	$x \sim U(1, 10)$
w	100
θ	$50 + \sqrt{x}, x \sim U(1, 100)$
$\hat{\theta}$	$x \sim U(50, 60)$

3.1.1 協調戦略の安定性

戦略の初期値として、今回の実験で全体の1%の人数に相当する10人のワーカがワーカ互助コミュニティに参加しない戦略を取り、他の全員がワーカ互助コミュニティに参加している状況を考える。スケールフリーネットワークを仮定した時、協調ワーカの人数比率の時系列推移は、図2の通りであった。図から、シミュレーション

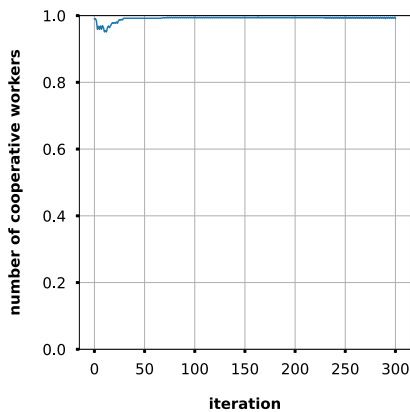


図2 協調ワーカ比率の推移

の初期において協調ワーカがいったん減少するものの、長期的には市場のほとんどが協調ワーカによって占められ、収束しているような様子が観察できる。ワーカの大半が協調ワーカによって占められている時、協調戦略は進化的に安定であることが推察される。

3.1.2 ネットワークの形状と戦略

非公式ネットワークの構造に関する仮定がどのように戦略に作用するのかについて実験を行った。

まず、スケールフリーグラフを用いた場合について考

える。このとき、期末の戦略別でのワーカの利得の分布は図3の通りであった。また、このときの各イテレーション

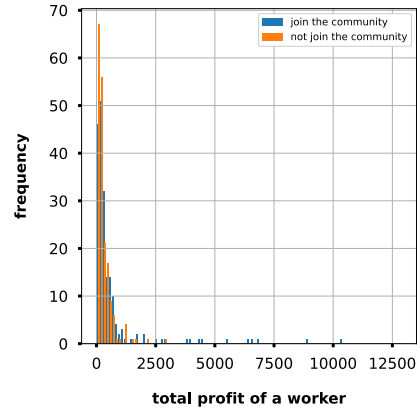


図3 戦略別ワーカ利得の分布

ョンにおいて、ワーカ互助コミュニティに参加する戦略をとったワーカの比率の時系列推移は図4の通りであった。この設定において、協調ワーカ比率に関する複雑

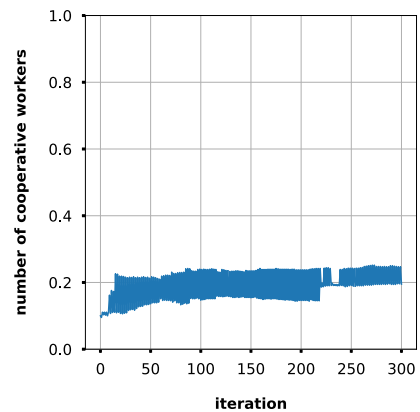


図4 協調ワーカ比率の推移

な変動が観察できる。

次に、非公式ネットワークとして完全グラフを用いた場合について考える。このとき、期末の戦略別でのワーカの利得の分布は図5の通りであった。また、このときの各イテレーションにおいて、ワーカ互助コミュニティに参加する戦略をとったワーカの比率の時系列推移は図6の通りであった。このとき、ワーカ全員がが市場全体を観察して同じ情報を参照しているため、戦略に差が生まれにくくなった結果、ワーカの戦略変更がより不安定になっていることが推察される。

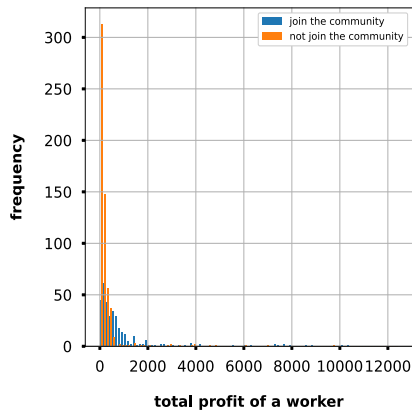


図5 戦略別ワーカ利得の分布

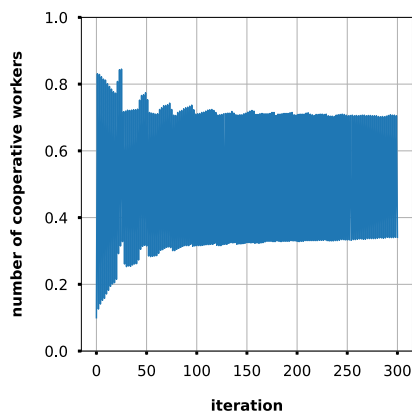


図6 協調ワーカ比率の推移

4 関連研究

マルチエージェントの探索問題という観点での先行研究として、Kephart et al.(2002) [3]において、オンラインの財の取引において Shopbot と呼ばれるエージェントが価格に与える影響が分析されている。本研究の枠組みは、この財の取引を労働力の取引に置き換え修正されたものである。また、Horton(2017) [4]では、オンラインの労働市場について推薦システムが与える影響を考察している。Rogerson et al.(2005) [5]は、エージェントベースの探索理論による労働市場研究のサーベイを行っているが、先行研究では一般的な労働市場における問題を扱っており、コスト情報に関するエージェントの協調的探索について関心をもった例はない。Carvo-Armangol et al.(2005) [6]では、労働者がネットワークを通じて求職するエージェントベースのモデルを考え、ネット

ワークの規模が大きくなるとオンサイトの交流におけるネットワークの冗長化が情報の流通速度を下げ、結果として情報が滞ってしまうという主張を行っている。Du(2019) [7]は、互いに同じ目的の労働を行う労働者の分業における協調問題を、マルチエージェントの進化ゲームによって分析している。

5 今後の取り組み

5.1 数学的詳細の検討

数学的議論についても扱い、計算機実験との整合性を確かめる。本研究で扱うモデルは、モデルを単純化することによって契約理論や進化ゲームにおける何らかの先行研究のモデルによる定式化が可能であると考えられる。さらなる先行研究のレビューを行い、数学的に取り扱うことができる議論の範囲について検討する。

5.2 検索と応募のやりかたの検討

ワーカを検索と応募の仕方が市場に与える影響についても考察する。具体的には、毎期の検索を行わず、企業と固定的な関係を築くワーカの集合を作り、毎期の検索を行って流動的に仕事の獲得を行うワーカとの比較を行う。これにより、ワーカが安定顧客をもつことによる効果について検討することが可能になる。

5.3 コミュニティの生成方法の検討

現状ではワーカ互助コミュニティのネットワークの構造として完全グラフを仮定しているが、このネットワークをを生成的に獲得することも検討する。例えば、ワーカ互助コミュニティへの参加を決めたエージェントのエッジの接続先を、全協調ワーカにするのではなく非公式ネットワーク上の隣接ノードに限定するようなことが考えられる。これにより、オンラインにおける公的な互助ではなく、オフラインにおける非公式な互助の効果を検討することが可能になる。

5.4 情報共有のインセンティブとコストの検討

情報共有のインセンティブについてモデルに組み込む。本稿の実験では、ワーカ間でのジョブ紹介に関して無視しているが、このジョブ紹介と情報共有のインセンティブについて何らかの関係があると仮定して、モデルをより具体化する。例えば、情報共有を積極的に行うワーカほどジョブ紹介を受けやすくなるようなモデルの設

計が考えられる。また、情報共有のコストについて、回数に応じてコストが変化する場合についても合わせて検討する。例えば、ワーカノードの回数が高くなるほど情報共有コストが線形に高くなるようなモデルの設計が考えられる。このようなインセンティブに関するモデル設計が本研究の新規性の核となる予定であり、既存の統計やインタビュー調査を参照して慎重に検討を行う。

参考文献

- [1] 内閣官房日本経済再生総合事務局: 「フリーランス実態調査結果」, (2020)
- [2] Berg, J.: Income Security in the on-demand economy: Findings and policy lessons from the survey of crowdworkers, *CONDITIONS OF WORK AND EMPLOYMENT SERIES*, No. 74, (2016)
- [3] Kephart, J., Greenwald, A.: Shopbot Economics, *Autonomous Agent And Multi-Agent Systems*, Vol. 5, No. 3, pp. 255-287 (2002)
- [4] Horton, J.: The Effect of Algorithmic labor Market Recommendations: Evidence From a Field Experiment, *Journal of Labor Economics*, Vol. 35, No. 2, pp. 345-385 (2017)
- [5] Rogerson, R., Shimer, R., Wright, R.: Search Theoretic Models of the Labor Market: A Survey, *Journal of Economic Literature*, Vol. 43, No. 4, pp. 959-988 (2005)
- [6] Carvo-Armangol., A., Zenou, Y.: Job matching, social network and word-of-mouth communication, *Journal of Urban Economics*, Vol. 57, pp. 500-522 (2005)
- [7] Du, J.: An Evolutionary Game Coordinated Control Approach to Division of Labor in Multi-Agent Systems, *IEEE*, Vol. 7, pp. 124295-124308 (2019)