

アルゴリズム/AIとカルテル・共同行為： 経済分析の視点

荒井弘毅（共立女子大学ビジネス学部）

本日のアウトライン

1. イントロダクション
2. アルゴリズムカルテルの経済分析
 - (1) 理論研究
 - (2) シミュレーション研究
 - (3) 実験研究
3. 価格変更行動の検討
4. 結論と対症療法

2020年10月30日
公正取引委員会デジタル市場における競争政策に関する研究会

1. イントロダクション

- この資料では、近年議論が増えているアルゴリズムカルテルや人工知能（Artificial Intelligence: AI）によって引き起こされる共同行為の可能性に関する経済分析を俯瞰し、競争政策推進上の留意点を検討する。
- 特に、近年の情報技術の進展に伴うアルゴリズム/AIの利活用による、市場における競争に悪影響を与える事業者の行動の可能性を扱った経済分析をサーベイして、その内容を分類・整理する。
- 経済分析を用いて政策検討を行う際に必要な接近法としては、定評ある経済学専門誌に掲載された論文を中心に見ていく。
- 他方、いわば作用機序の理論に相当する理論研究や実験室実験的なシミュレーション・経済実験も検討する。
- 無作為割付や前向きコホート研究は難しさもあるので、ケーススタディとして実証分析も紹介していくものとする。



2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(1) 理論研究

• ア. アルゴリズムによる共謀：需要予測の改善は販売業者間の調整を容易にするか

- Miklos-Thal and Tucker (2019) “Collusion by Algorithm: Does Better Demand Prediction Facilitate Coordination Between Sellers?” *Management Science*, 65(4) 1455-1497.

- この研究は、ゲーム理論モデルを構築し、アルゴリズム、機械学習及び人工智能による、より良い需要予測が産業における共謀の持続可能性にどのように影響するかを調べている。
 - ここでの予測とは、企業が過去のデータを遡及的に調べて価格を設定するのではなく、需要予測に基づいて価格を最適化する価格設定アルゴリズムを利用できるようになることを意味するものとして考えている。
- 予測能力の向上は消費者に利益をもたらす可能性があることが示されている。
- なぜなら、予測需要が高い時期に価格を引き下げる企業の誘惑を高め、その時期にカルテルが高い価格を設定する能力を制限するからである。

2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(1)理論研究

• イ. カルテルにおけるプライバシーの維持



- Takuo Sugaya and Alexander Wolitzky (2018) “Maintaining Privacy in Cartels.” *Journal of Political Economy*, 126 (6), 2569-2607.
- この研究は、競合他社の価格、販売、利益を監視するカルテルの透明性は、共謀を促進するという従来の見方に対して、行動と結果が非公開で観察されない場合に、カルテルがより高い利益を維持できることを示している。
 - これは、例えば、市場分割戦略のカルテルにおいて、企業のプライバシーの維持が最適である条件を提供する。
 - アルゴリズム共謀との関連でいえば、AI/アルゴリズムの採用による市場の透明性の向上が共謀を阻害することになるというカルテルへの影響に関する理論的分析に関連する。

- この論文の典型的な状況は「2人の売手のそれぞれがアイスクリームか傘のどちらかの入ったカートを持ってきて販売する『デュオポリー』ゲーム」である。
- アイスクリームは晴れの日には需要があり、傘は雨の日には需要があり、両方の売手が同じ商品を持ってきた場合、彼らは値下げした価格で販売することとなる。
- 天気予報士がいない場合、一方の売手がアイスクリームを持ってきて、もう一方の売手が傘を持ってきて、それぞれが独占利益の半分を得るのが均衡である。
- しかし、天気予報士が売手に対してカートに品物を詰める前に天気の情報伝えれば、売手は両方とも需要のある商品を持ってきて、両者は減った後の利益を分配することになる。
- このように、この単純な例では、天候に関する透明性（企業の行動や結果に関する透明性ではない情報）が、実際には独占利益の半分を得ること（共謀）を阻害することになる。

2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(2) シミュレーション研究



• ア. クールノー寡占モデルにおけるQ学習 (※) プレイヤー

- Ludo Waltman and Uzay Kaymak (2008) “Q-learning agents in a Cournot oligopoly model.” *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32 (10), 3275-3293.
- この研究は、繰り返し行われるクールノー寡占ゲームにおける企業の学習行動をモデル化するためのQ学習の使用を扱っている。
- クールノー寡占ゲームにおける企業の学習行動をモデル化するためにQ学習を用いると、一般的に共謀的な行動になることを示すシミュレーション結果が示された。

(※) Q学習は、強化学習の一種である。

2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(2) シミュレーション研究



• ア. クールノー寡占モデルにおけるQ学習 (※) プレイヤー

- Ludo Waltman and Uzay Kaymak (2008) “Q-learning agents in a Cournot oligopoly model.” *Journal of Economic Dynamics and Control*, 32 (10), 3275-3293.

- この研究は、繰り返し行われるクールノー寡占ゲームにおける企業の学習行動をモデル化する際にQ学習の使用を扱っている。
- クールノー寡占ゲームにおける企業の学習行動をモデル化するために

Q
レ

- この論文で検討しようとしているアルゴリズムカルテルでの価格引上げはクールノー競争のレベルへの価格引上げを考えている。
- 囚人のジレンマ的状况において、Q学習をするプレイヤーがこういった価格設定行動を取るかのシミュレーションとなっている。
- 次の研究では 価格レベルはQ学習で（上限下限を予め定めず）設定され、シミュレーションが繰り返される。

ユ

る。

2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(2) シミュレーション研究



• イ. クールノー寡占モデルにおけるQ学習プレイヤー

- Emilio Calvano, Giacomo Calzolari, Vincenzo Denicolo`, and Sergio Pastorello (2020) “Artificial Intelligence, Algorithmic Pricing and Collusion.” *American Economic Review*, forthcoming.

- この研究は、Q学習を用いたアルゴリズムの振る舞いを、価格競争を繰り返す寡占モデルにおいて実験的に研究したものである。
- 結果としては、アルゴリズムは互いに競合するのではなく、一貫して競争的な価格を超過する価格を設定するようになることを学習していくものとなった。
 - このような高価格は、逸脱があっても、有限のペナルティの段階を経て、徐々に協力に戻るといふ共謀的な戦略によって維持されるものとなった。
 - この結果は、費用や需要の非対称性、プレイヤーの数の変化、不確実性の様々な状況にロバストなものであった。
 - この論文では、価格設定アルゴリズムが「自律的に」共謀することを学習するのかどうかを研究対象としている。

2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(3) 実験研究



• ア. 2では少なすぎ、4では多すぎる

- Steffen Huck, Hans-Theo Normann, and Jörg Oechssle (2004) “Two are Few and Four are Many: Number Effects in Experimental Oligopolies.” *Journal of Economic Behavior & Organization*, 53(4) 435-446.
- この研究は、クールノー競争での市場の競争が企業数によってどのように変化するかを実験的に調べている。
 - 企業数によって市場競争がどのように変化するかに関し、2者、3者、4者、及び、5者による一連の実験を行った。
- 2者では、いくらかの共謀が見られたが、3者の寡占的な市場では、完全競争的なレベルでの生産を行う傾向となった。4者、5者が存在する市場は、決して共謀的にはならず、典型的にはクールノー均衡の結果かそれ以上の数量が供給される競争状態の結果となった。

2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(3) 実験研究



• イ. 非対称的なクールノー複占における共謀と交渉-実験

- Christian Fischer and Hans-Theo Normann (2019) "Collusion and Bargaining in Asymmetric Cournot Duopoly—An Experiment," *European Economic Review* 111, 360-379.

- この研究は、サイドペイメントのない非対称（大企業と小企業）の囚人のジレンマゲームの実験を行っている。
- コミュニケーションがない場合、プレイヤーは協力せず、基本的には静的なナッシュ均衡の（完全競争的な）結果が得られた（これまでの結果と一致している）。

2. アルゴリズムカルテルの経済分析

(3) 実験研究



• イ. 非対称的なクールノー複占における共謀と交渉-実験

- Christian Fischer and Hans-Theo Normann (2019) "Collusion and Bargaining in Asymmetric Cournot Duopoly—An Experiment," *European Economic Review* 111, 360-379.

• この研究は サイドペイメントのない非対称（大企業と小企業）の囚人の

- これら経済実験の研究は、アルゴリズム/AIの共同行為・カルテルの直接の研究ではない。
- 価格設定行動が現実になされる実験を行った結果、市場競争の実験室内の人間の行動としては 共謀的行動を取る結果は少なかった。
- したがって、アルゴリズム/AIの価格設定が導入され、普及していく中で、共同行為・カルテルが生じる場合は、こうした人間による決定を超えて、プログラムが（自律的に）動いている可能性があることも指摘できる。



3. 価格変更行動の検討

ダイナミックな価格設定がなされているとされる産業の状況

- アルゴリズム/AIでの共同行動・カルテルはまだ多くの産業で弊害が生じていることが実証的に示されているわけではなく、研究での可能性が指摘されてきているレベルのものである。
- こうした新しい経済行動に対する評価を行う手法として、ランダム化比較試験や前向きコホート研究といった手法があることは前に述べたとおりである。
 - しかしながら、社会科学では、こうした手法はいまだ発展途上であり、政策決定に際しての証拠を活用した検討もまさに導入中といったものである。
 - こうした考え方において、経済学では従来は観察に基づくデータ処理、いわゆる実証分析が行われてきた。
- ここでは、アルゴリズム/AIでの共同行為・カルテルが前提としている、ダイナミックな価格設定に対する経済厚生上の評価について、幾つかの産業で実証的に分析されてきた結果を簡単に紹介したい。



3. 価格変更行動の検討

ダイナミックな価格設定がなされているとされる産業の状況

- アルゴリズム/AIによる価格設定の普及と影響の検討がなされる際には、ある産業で価格設定(価格変更)がどのようになされているか、(例えば、瞬時に設定された価格で取引がなされるのか、年に一度厳しい価格交渉があるのか、先物市場で定まった価格に定率(定額)が乗せられる形の価格設定になっているのか、) その産業ごとの異なる価格設定方法を踏まえた上で、アルゴリズム/AIによる価格設定が用いられる場面を検討することが、現実的な議論につながると考えられる。
- ガソリン市場、航空市場、卸売電力市場、スーパーマーケットの多品目多頻度価格設定に対する実証分析での評価を取り上げて、ダイナミックな価格設定がなされたとされる産業で、そうした価格設定は何をもたらしたのかを概説する。

3. 価格変更行動の検討

(1) ガソリン小売市場・ (2) 航空料金・ (3) 卸電力市場・ (4) スーパーマーケット



- ガソリン小売市場におけるダイナミックプライシング
- 原油価格の変動に対してガソリン価格は非対称に変動する
- 小売ガソリンスタンド市場におけるエッジワース価格サイクル、コストベース価格、粘着性のある価格設定
- ローカルガソリンスタンドの小売市場での対称的なダイナミック価格設定
- 寡占価格における混合戦略。タイミング規制の前後のガソリン価格サイクル
- 非対称小売業者の共謀。ガソリン価格固定のケースからの証拠
- 「ゴールデンルール」アメリカ航空業界のマルチマーケット・コンタクトについて
- 航空会社の料金表出版事件は共謀を減らしたか？
- 電力が貯蔵可能な場合の戦略的な価格設定について
- カリフォルニア州の規制緩和された電気市場における価格設定と企業行動
- 戦略的消費者と寡占的競争の中でのダイナミックな価格設定
- 消費者選択の下での複数の生鮮品の共同ダイナミック価格設定

3. 価格変更行動の検討

ダイナミックな価格設定がなされているとされる産業の状況

- 実証分析での評価は、主として次のとおりである。
 - ガソリン小売市場では、原価(原油価格)の変動に伴い、エッジワースサイクルという価格は上がりやすいが下がりにくい価格設定行動がなされており、市場支配力等が価格設定(価格変更行動)と関係している。
 - 航空市場では、ダイナミックな価格設定がなされているものの、多面的競争では価格競争が起こりにくく、情報技術の革新は共謀的状況を定着させており、ダイナミックに価格は設定され得るが、それだけでは競争は生じるものではない。
 - 卸電力市場では、価格キャップの有効性も示されているが、ダイナミックな価格設定がなされることは、共謀や共同行為水準の価格設定につながらないことが示されている。
 - スーパーマーケット等のダイナミックな価格設定に関しては、消費者の戦略的行動・水平／垂直な製品差別化を考慮し、在庫や時間的分散など様々な要素に基づく多様な価格設定が必要であり、それらによって競争していくことの必要性が示されている。



4. 結論と対症療法

— 弊害が生じるか

- アルゴリズム/AIカルテルの経済分析では次の検討がなされてきた。
 - 経済理論的には、需要予測の改善、その他情報収集・処理能力の向上によって、共謀の可能性のある事業者は逸脱の可能性が増えることから、共謀/共同行為は減る可能性が指摘されている。
 - シミュレーション研究では、特に、Q学習を用いた大規模試行実験によって、共謀/共同行為がなされる可能性が大きいことが指摘されている。
 - 経済実験では、2者を超える3者以上における市場での競争実験では、共謀/共同行為が成立する可能性は小さいことが指摘されている。
- また、実際の市場における競争において、企業の現実の価格設定行動の実証分析では、アルゴリズム/AIの共同行為・カルテルの前提となるかもしれないダイナミックな価格設定がなされてきた産業それぞれの状況（ガソリン小売市場の非対称性、航空市場の寡占、卸電力市場での割引率の高さ、スーパー等での多品種多顧客市場での競争）を踏まえた行動とその結果が生じており、これらを踏まえて議論を進めていくことが必要と考えられる。

4. 結論と対症療法

— 弊害が生じるか

- これらに基づくと、現時点では、経済学を研究しようとしている者の一人からすると、アルゴリズム/AIのカルテル・共同行為に関しては、シミュレーション研究ではその可能性が指摘されてはいるものの、理論・実験研究からの示唆及び現実の価格設定行動の実証研究を踏まえると、（時間の制約・競争環境の安定性・事業者の非対称性等のシミュレーション研究の限界と、それを超えた別の研究手法の結果からのメタな視点も加味すると、）一定の取引分野における競争に対する大きな問題となるとは、すぐには考えにくいかもしれない。

4. 結論と対症療法

――弊害が生じているときの対応策

- しかしながら、仮に何らかの弊害が生じる場合、生じているように見えるとき、それに対する対応策を考えておく必要がある。
 - 原因が分からず、特効薬がない状況でも、熱が高く苦しんでいる者に対して、熱を下げたり、苦しみを取り除いたりする方策が求められるかもしれない。

① 経済学での考え方を踏まえた対症療法

- カルテル・共同行為で弊害が生じているのは、次の状況と考えられる。

[カルテル継続時の利益の流列 > 逸脱で得られる利益 + それ以降の価格競争での利益の流列]

② 調査のための権限の積極的な活用

③ 事業者における価格設定の実態の調査・第三者の活用

御清聴、ありがとうございました。