

「AIの経済学」に関する文献レビュー

報告者：畠山喜充

京都大学大学院経済学研究科 修士1回

2023年9月26日

イントロダクション

- AI (Artificial Intelligence, 人工知能)とは？
 - ⇒ 人間の知能に関連する認知機能を模倣することを目
的として設計された技術
- AIは、機械化、自動化することができなかった領域
においても活用が進んでいる
 - 例 翻訳、病気の診断、問い合わせ対応、自動運転、
ECサイトにおけるダイナミックプライシング

経済学分野における現在までのAIに関連する研究の潮流
を調査するとともに、そのうち報告者が特に興味深いと
感じたアルゴリズム入札に関する論文を取り上げ、その
概観を紹介

AIに関する経済学的研究の動向

論文の抽出方法

AIに関連する研究の潮流を調査するために、主要な雑誌及び学会等からAIに関する既存研究を抽出

- 検索単語
 - ⇒ "AI"、"Artificial Intelligence"、"Machine Learning"
- 検索対象
 - ⇒ 6学会（2020年以降の定期カンファレンスにおける報告が対象）、24雑誌

結果、302本の論文を抽出

既存研究の動向

経済学分野におけるAI関連の研究は、3つに大別される

- ① AI関連手法の性質を計量経済学的観点から分析した研究 (Tag: Method)
- ② AI関連手法を分析に利用した研究 (Tag: Using ML)
- ③ 経済におけるAI関連技術の役割を分析した研究

"3. 経済におけるAIの役割を分析した研究" はさらに内容に応じて分類、タグ付け

⇒ "Pricing", "Antitrust", "Advertisement", "Productivity",
"Innovation", "Labor", "Decision Making", "Ethics",
"Policy", "Finance"

既存研究の動向

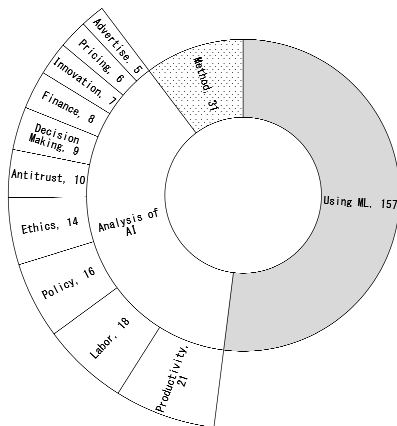


Figure. 今回抽出した論文全体の内訳
出所) 各学会及び雑誌のwebページより筆者作成

既存研究の動向

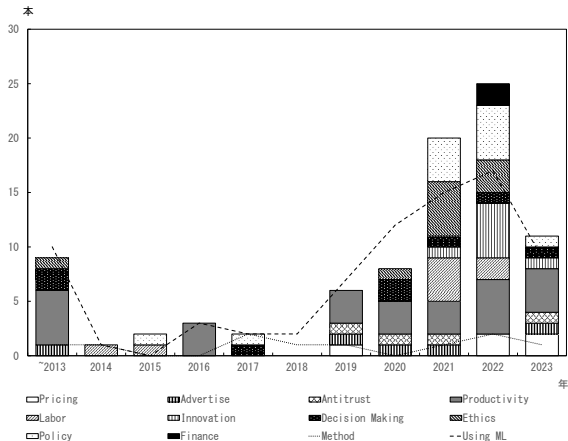


Figure. 雑誌に掲載された論文数の推移
出所) 各学会及び雑誌のwebページより筆者作成

既存研究の方向性 : Productivity

AIと生産性に関する研究

- Brynjolfsson et al. (2019) "*Does machine translation affect international trade? Evidence from a large digital platform,*"
 - AIの主要な応用である機械翻訳の導入によって、このプラットフォームでの国際貿易が大幅に増加することを発見
- Choudhury et al. (2020) "*Machine learning and human capital complementarities: Experimental evidence on bias mitigation,*"
 - 生産性を高めるために機械学習を使用するには、機械学習の予測から生じる可能性のある重要なバイアスを考慮する必要があることを指摘

既存研究の方向性 : Labor

AIが雇用に与える影響について分析した研究

- Babina et al. (2022) *"Firm investments in artificial intelligence technologies and changes in workforce composition,"*
 - 従業員の履歴書と求人情報のデータセットを独自に組み合わせて、企業レベルのAI投資と、学歴、専門分野、階層などの従業員構成変数を測定
- Acemoglu et al. (2022) *"Artificial intelligence and jobs: evidence from online vacancies,"*
 - 2010年以降の米国のほぼ全世界のオンライン求人に関する事業所レベルのデータを使用して、AI が労働市場に与える影響を研究

既存研究の方向性 : Antitrust

AIによる取引が共謀を引き起こす可能性に関する研究

- Calvano et al. (2020) "*Artificial intelligence, algorithmic pricing, and collusion,*"
 - 価格競争を繰り返す寡占モデルにおいて、アルゴリズムが相互に通信することなく、競争的水準を上回る価格を請求することを一貫して学習すると指摘
- Calvano et al. (2023) "*Artificial Intelligence, Algorithmic Recommendations and Competition,*"
 - 製品市場におけるアルゴリズムレコメンドの潜在的な反競争効果に関して、レコメンドシステムの利用が市場集中と価格の上昇につながることを実証

既存研究の方向性 : Ethics

AIが引き起こしうる倫理的問題に関する研究

- Arnold et al. (2021) *"Measuring racial discrimination in algorithms,"*
 - 公判前の保釈決定の設定におけるアルゴリズムによる差別を測定する準実験ツールを開発し、機械学習アルゴリズムが黒人被告を差別していること実証
- Avery et al. (2023) *"Does Artificial Intelligence Help or Hurt Gender Diversity? Evidence from Two Field Experiments on Recruitment in Tech,"*
 - フィールド実験から、人間ではなく AI によって評価されることを潜在的な応募者が知ること、過小評価されている少数派の応募が増加することを発見

既存研究の方向性

その他のタグは次のような内容を示す

- Innovation
AIがイノベーション創出に与える影響に関する研究
- Pricing
AIの取引への利用が価格に及ぼす影響に関する研究
- Decision Making
AIを用いた意思決定のパフォーマンスに関する研究
- Policy
政策当局のAIの利用やAI推進産業政策に関する研究
- Finance
金融・証券市場におけるAIの活用に関する研究
- Advertise
広告におけるAIの活用に関する研究

論文紹介 : Banchio and Skrzypacz (2022)

Banchio and Skrzypacz (2022)

"Artificial Intelligence and Auction Design"

入札者が（ナッシュ均衡パラダイムを使用せずに）単純な人工知能アルゴリズム(Q学習)を使用して入札を決定するオークションを分析した論文

- オンライン広告オークションにおいて普及が進む自動入札アルゴリズムを、複数の競合他社が使用し、それぞれが所有者に代わって最適化を行った場合、そのようなオークションでのプレイがどのように進化するのかという疑問
- アルゴリズム・プライシングに関する最近の研究が示している、プライシングに使用されるアルゴリズムが（暗黙の）談合を助長しかねないという懸念

関連文献

- アルゴリズムによる共謀に関する研究
Calvano et al. (2020), Klein (2021),
Asker et al. (2022), など
- アルゴリズムによる価格設定に関する実証研究
Musolff (2022), Assad et al. (2020),
Alcobendas and Zeithammer (2021), など
- Q学習に関する研究
Watkins (1989), Watkins and Dayan (1992)
Zhang et al. (2021), など
- ゲームにおける機械学習に関する研究
Brown (1951), Erev and Roth (1998),
Börgers and Sarin (1997), など
- オークションにおける共謀に関する理論研究
McAfee and McMillan (1992), Skrzypacz and
Hopenhayn (2004), Athey and Bagwell (2001), など

モデル

2人の入札者が連続するオークションに参加する状況

- 異なる落札価格設定
 - ① 一位価格オークション(FPA)
 - ② 二位価格オークション(SPA)
- オークション終了後に得られる情報の違い
 - ① 勝敗のみが通知
 - ② それぞれの入札額も通知

これらのケースにおいて、Q学習アルゴリズムがプレイヤーとなった場合に、アルゴリズムはどのような行動を学習し実行するのかをシミュレート。

Q学習アルゴリズム

Q学習：ゲームにおける最適化によく利用される強化学習という機械学習の1分野の基礎となるアルゴリズム

- Q学習において、エージェントは、割引された報酬の合計を最大化することを目的としている
- Q学習では、DP問題の価値を考える代わりに、Q関数と呼ばれる行動価値関数を推定する

$$Q(a) = \mathbb{E} \left[r \mid b^i, b^{-i} \right] + \gamma \mathbb{E} \left[\max_{b'} Q(b') \right]$$

- アルゴリズムは単純で、任意の初期アクション値関数から開始し、アクションを選択した後、次のようにQ関数を更新する

$$Q_{t+1}(b_t) = (1 - \alpha) Q_t(b_t) + \alpha \left[r_t + \gamma \max_b Q_t(b) \right]$$

結果①

オークション終了後、勝敗しかオークション参加者に通知されない場合

- FPA
 - 入札者は時間の経過とともに低い入札価格に収束
- SPA
 - 静的ナッシュ均衡の予測に従った入札に収束

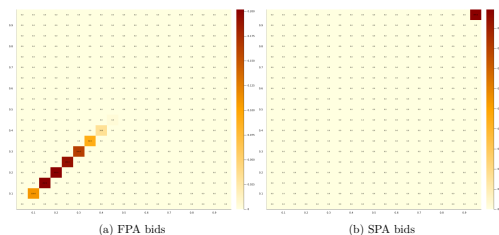


Figure. 収束時の各戦略のペアの頻度を示すヒートマップ
(出所) Banchio and Skrzypacz (2022), Figure 1

結果②

FPAとSPAの異なる結果の理由

⇒ 落札した高入札者がどのように行動するかという点

- SPAでは、その入札者のペイオフは現在の入札額に依存しないので、入札者を高入札や低入札に押しやる一次的な力は存在しない
- FPAでは、落札者は少しでも安く落札するインセンティブを持つため、アルゴリズムは、一定の相手入札に対して、最適な逸脱は 1 入札増分であることを学習する

結果③

FPAで、勝敗に加えそれぞれの入札額も通知される場合
- 時間の経過とともに競争力の高い入札に収束

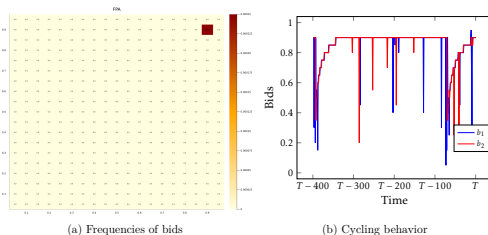


Figure. 同期更新がある場合のシミュレーション結果
(出所) Banchio and Skrzypacz (2022), Figure 6

※入札額が分かる場合、現在の入札だけでなく、すべての反実仮想入札についてQベクトルを更新できるが、それを同期更新と呼ぶ

まとめ

- AIに関係する研究は、経済学分野でも近年急速に増加している
 - そのうち、経済におけるAI関連技術の役割を分析した研究も増加
 - AIの影響を分析される対象も、雇用、価格、倫理など、多岐にわたる
- 論文の具体的例 : Banchio and Skrzypacz (2022)
 - Q学習がプレイヤーとなるFPAでは、勝敗しか情報が提供されない場合に、アルゴリズムが暗黙の共謀を引き起こしうることを発見

References

- ACEMOGLU, D., D. AUTOR, J. HAZELL, AND P. RESTREPO (2022): "Artificial intelligence and jobs: evidence from online vacancies," *Journal of Labor Economics*, 40, S293–S340, publisher: The University of Chicago Press Chicago, IL.
- ARNOLD, D., W. DOBBIE, AND P. HULL (2021): "Measuring racial discrimination in algorithms," in *AEA Papers and Proceedings*, American Economic Association 2014 Broadway, Suite 305, Nashville, TN 37203, vol. 111, 49–54.
- AVERY, M., A. LEIBBRANDT, AND J. VECCI (2023): "Does Artificial Intelligence Help or Hurt Gender Diversity? Evidence from Two Field Experiments on Recruitment in Tech," *Evidence from Two Field Experiments on Recruitment in Tech (February 14, 2023)*.
- BABINA, T., A. FEDYK, A. X. HE, AND J. HODSON (2022): "Firm investments in artificial intelligence technologies and changes in workforce composition," *Available at SSRN 4060233*.
- BANCHIO, M. AND A. SKRZYPACZ (2022): "Artificial Intelligence and Auction Design," ArXiv:2202.05947 [cs, econ].
- BRYNJOLFSSON, E., X. HUI, AND M. LIU (2019): "Does machine translation affect international trade? Evidence from a large digital platform," *Management Science*, 65, 5449–5460, publisher: INFORMS.
- CALVANO, E., G. CALZOLARI, V. DENICOLA, AND S. PASTORELLO (2020): "Artificial intelligence, algorithmic pricing, and collusion," *American Economic Review*, 110, 3267–3297, publisher: American Economic Association 2014 Broadway, Suite 305, Nashville, TN 37203.
- CALVANO, E., G. CALZOLARI, V. DENICOLA, AND S. PASTORELLO (2023): "Artificial Intelligence, Algorithmic Recommendations and Competition," *Algorithmic Recommendations and Competition (May 14, 2023)*.
- CHOUDHURY, P., E. STARR, AND R. AGARWAL (2020): "Machine learning and human capital complementarities: Experimental evidence on bias mitigation," *Strategic Management Journal*, 41, 1381–1411, publisher: Wiley Online Library.