

最後通牒ゲームの大規模言語モデルを用いたシミュレーション

— 経済実験における新手法確立に向けて —

北代絢大^a 鶴崎祐大^b 深澤祐援^c 西野成昭^d

要約

本研究は、大規模言語モデル (LLMs) を用いて自律的に意思決定を行うエージェントを用いたシミュレーションが経済実験の代替として機能し得るフレームワークの探求を行った。経済実験は経済学における重要な手法であるが、多くの時間や労力、金銭的成本を要する。経済実験の代替になり得るシミュレーションのフレームワークが確立されれば、研究遂行上のこれらの制約は克服され、経済学の発展が促進されるだろう。本研究では特に、LLMs を用いてワンショットの最後通牒ゲームのシミュレーションを実施し、経済実験をシミュレーションするための主要な 3 つの要素の適切な設定を探索した。結果として、提案側の意思決定を再現する適切な設定が明らかになったが、回答側の意思決定を再現するにはその設定だけでは不十分なことも明らかになった。これにより、LLMs を用いたエージェントシミュレーションが経済実験の代替となり得る可能性と現時点の限界が共に示唆された。

JEL 分類番号： C60, C63, C81

キーワード：経済実験, 大規模言語モデル, マルチエージェントシミュレーション, 最後通牒ゲーム

^a 東京大学大学院工学系研究科 a.kitadai@css.t.u-tokyo.ac.jp
^b 東京大学大学院工学系研究科 y.tsurusaki@css.t.u-tokyo.ac.jp
^c 東京大学大学院工学系研究科 fukasawa@css.t.u-tokyo.ac.jp
^d 東京大学大学院工学系研究科 nishino@tmi.t.u-tokyo.ac.jp

本研究は JSPS 科研費(22H01710)の助成を受けたものである。

1. はじめに

経済学において、経済実験は重要な手法として古くから用いられている一方で、多くの時間や労力、金銭的コストを要することが知られている。一方、近年登場した研究手法として、大規模言語モデル (LLMs) を用いて自律的に意思決定を行うエージェントを用いたシミュレーションが注目を集めている。このシミュレーションにより経済実験と同様の結果が得られれば、経済実験実施上の欠点が補完され、経済学の発展に大きく貢献し得る。Horton (2023), Aher et al. (2023)に代表されるようにこのような研究は行われつつあるが、未だ経済実験に応用可能な新たな研究手法として確立されるには至っていない。

LLMs を用いたシミュレーションを経済実験における新たな研究手法として確立するには、LLMs を用いる適切な設定を明らかにすることが必要である。LLMs は入力するプロンプトやパラメータの設定によって出力を大きく変化させることが知られていることを考慮し、本研究では特に以下の3点に焦点を当てた。「実験終了後に被験者が受け取る報酬額」、「報酬の最大化を目指して意思決定をする指示の有無」、「temperature の値」である。なお、temperature は LLMs の出力のランダム性に影響を与えるパラメータであり、これはエージェントの意思決定にも影響を与えられられる。

本研究の目的は、上記3点の要素が LLMs を用いたエージェントを被験者とした経済実験のシミュレーション結果に与える影響及び適切な設定を明らかにすることである。特に、人間の非合理的な振る舞いが観察されることで知られる古典的な経済実験の一つであるワンショットの最後通牒ゲームを題材としてシミュレーションを実施し、人間を被験者とした Lin et al. (2020) の実験結果と比較することで、LLMs を用いたエージェントシミュレーションを経済実験に提供する際の3要素の影響及び適切な設定を明らかにする。

2. 研究手法

2.1. シミュレーションの枠組み

本研究では LLMs として “gpt-3.5-turbo-0613” を利用し、最後通牒ゲームにおける提案側、回答側のそれぞれについて、3要素を変化させながら、以下の枠組みでシミュレーションを行った。なお、最後通牒ゲームは比較対象である Lin et al. (2020) と同様に 100 コインを分配する設定とし、プロンプトは全て英語で記述された。

- ① LLMs を用いてエージェント (年齢, 性格, 性別) をランダムに生成する。
- ② 各エージェントにゲームをプレイさせる。なおプロンプトの構成は以下の通り。
 - (ア) ①の出力を利用してエージェントを用意する。
 - (イ) 最後通牒ゲームの説明を行う。
 - (ウ) エージェントが意思決定を行う状況の説明を行う。

(エ) エージェントの出力の形式を指定する.

2.2. 感度分析の手法

まず「実験終了後に被験者が受け取る報酬額」については，“Each coin earned is eventually redeemed for x dollars of reality.” という 1 文をプロンプトに加えない場合と， $x = 1, 10, 100$ としてプロンプトに加えた場合の 4 パターンを考えた．また「報酬の最大化を目指して意思決定をする指示の有無」については，“Please make your decision to maximize your profit.” という 1 文をプロンプトに加える場合と加えない場合の 2 パターンを考え，「temperature の値」については，0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 の 5 パターンを考えた．これらの組み合わせとして合計 $4 \times 2 \times 5 = 40$ 通りのパターンそれぞれについて、1000 エージェントによるシミュレーションを行った．

3. 結果及び考察

3.1. 提案側

提案側のシミュレーション結果は図 1 の通りである．グラフの列は「報酬の最大化を目指して意思決定をする指示の有無」に対応しており，左側が指示の無い場合，右側が指示の有る場合の結果である．グラフの行は「実験終了後に被験者が受け取る報酬額」に対応しており，上から順に報酬額の説明無し， $x = 1, 10, 100$ の場合の結果である．各図の横軸は 100 コインのうちの回答者の取り分のシェアを，縦軸は各値を提案した提案者の割合を表している．青色のヒストグラムは Lin et al. (2020) で用いられた実際の経済実験のデータを表しており，他の色のヒストグラムはそれぞれ異なる temperature の値でのシミュレーション結果を表している．

まず左右の列を比較すると，右側の列の結果では 0 の提案値にピークが観察されることが分かる．これは，報酬の最大化を目指して意思決定をする指示を加えることにより，エージェントの意思決定がより合理的なものになることを示唆している．一方で左側の列の結果では，実験終了後に被験者が受け取る報酬額の記載がない一番上のもの以外は 50 の提案にピークが観察されることが分かる．

次に左側の列の各行を比較すると，2, 3, 4 行目の結果にほとんど違いがないことが分かる．これは，実験終了後に被験者が受け取る報酬額の記載の有無はシミュレーション結果に影響を与える一方で，その額の多寡は影響を与えないということを示唆しており，先行研究の知見とも整合的である (Tisserand, 2014)．

最後に temperature の値に注目すると，左側の列の 2, 3, 4 行目の結果において temperature の値が 2.0 に近いほど実際の経済実験の結果に近い分布を示していることが分かる．ただし実際の経済実験の結果との差分として，いずれの場合も 0 の提案値に小さ

なピークが存在している。

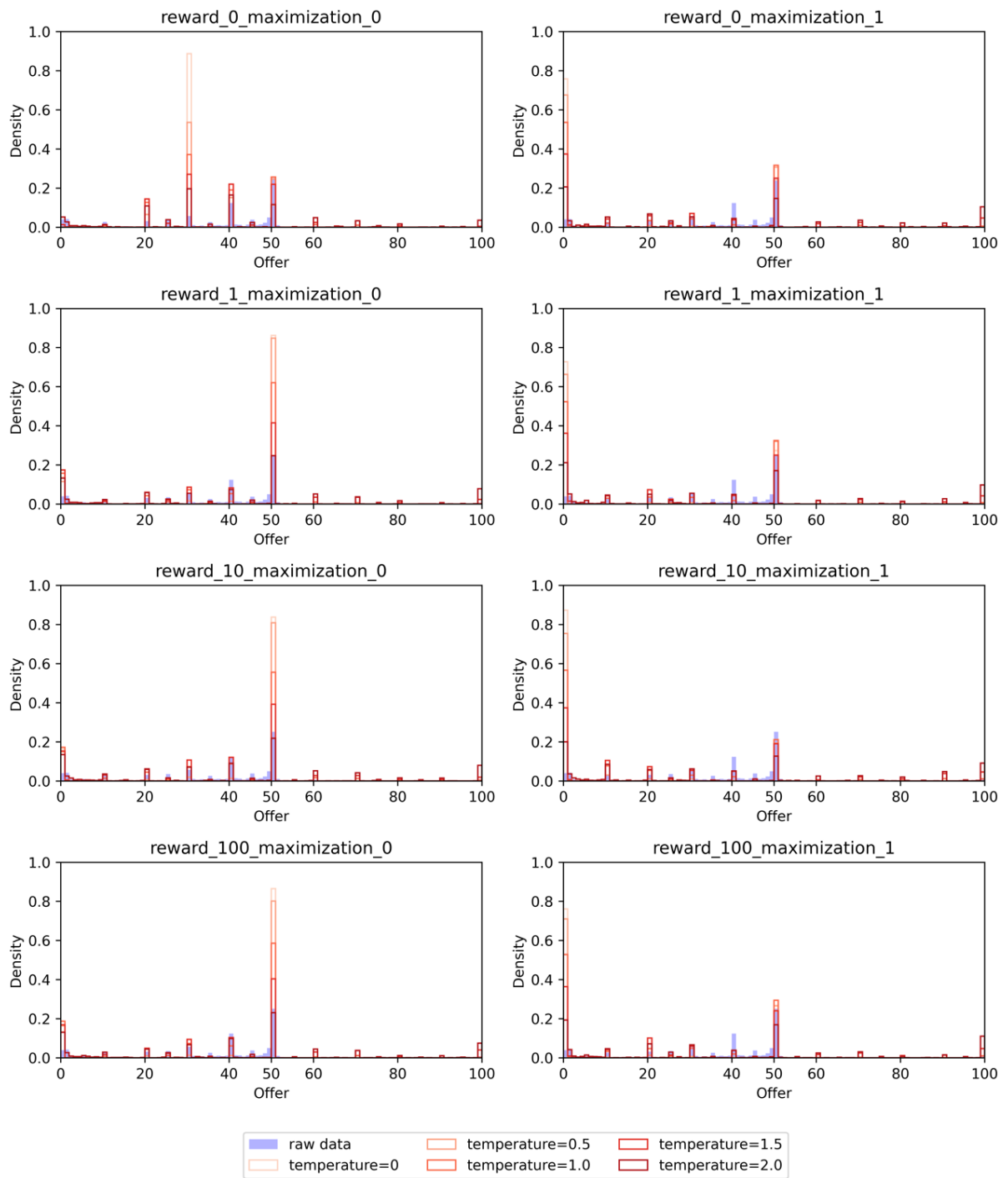


図 1. 最後通牒ゲームにおける提案側意思決定のシミュレーション結果

3.2. 回答側

回答側のシミュレーション結果は図 2 の通りである。提案側と同様，グラフの列は「報酬

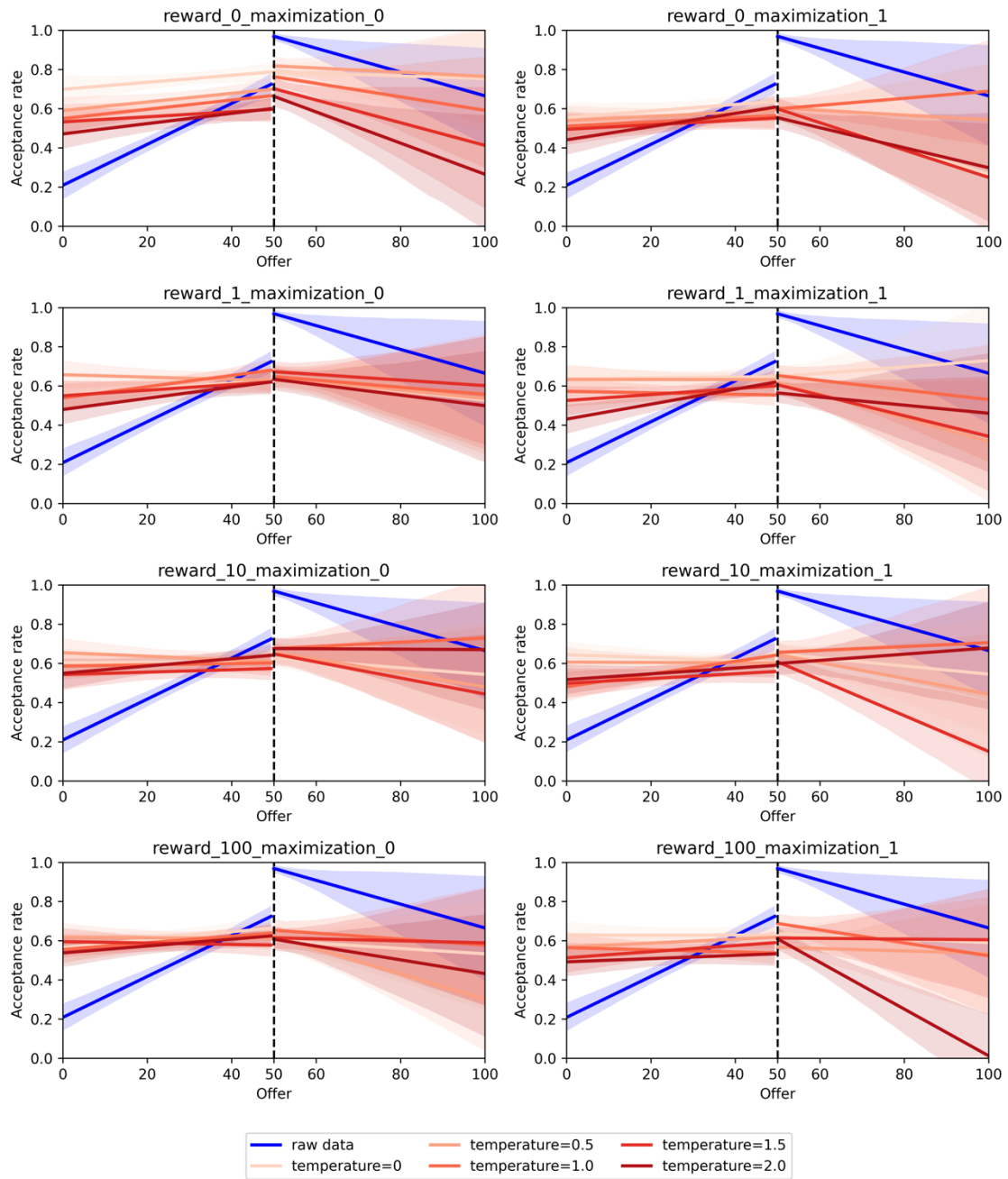


図 2. 最後通牒ゲームにおける回答側意思決定のシミュレーション結果

の最大化を目指して意思決定をする指示の有無」に、グラフの行は「実験終了後に被験者が受け取る報酬額」に対応している。各図の横軸は提案された回答者の取り分を、縦軸は各値を受け入れた回答者の割合を表している。データは Lin et al. (2020) と同様に piece wise regression を用いて分析され、青色のグラフは Lin et al. (2020) で用いられた実際の経済実験のデータの分析結果、他の色のグラフはそれぞれ異なる temperature の値でのシミュ

レーション結果を表している。実際の経済実験の結果では 50 の提案値で有意なジャンプが観察されているが、シミュレーション結果ではいずれの場合においても観察されなかった。

4. おわりに

本研究では、LLMs を用いたエージェントシミュレーションの経済実験への適用法確立に向けて、プロンプトとパラメータの適切な設定を探索した。最後通牒ゲームの提案側意思決定のシミュレーションでは、報酬の最大化を目指して意思決定をする指示はせず、実験終了後に被験者が受け取る報酬額は明示し、temperature は 2.0 に設定すると実際の経済実験の結果で得られた人間の意思決定に近い結果が得られた。一方、回答側意思決定のシミュレーションではいずれの設定でも人間の意思決定に近い結果は得られなかった。本研究では経済実験に代替可能なシミュレーション手法の確立には至らなかったが、それに寄与する示唆が得られたと言える。今後より質の高いLLMsを利用するなどの更なる研究により、回答側についても人間に近い結果が得られる汎用的なシミュレーション手法が確立されることが期待される。

引用文献

- Lin, P. H., Brown, A. L., Imai, T., Wang, J. T., Wang, S. W., and Camerer C. F., 2020. Evidence of general economic principles of bargaining and trade from 2,000 classroom experiments. *Nature Human Behaviour* 4, 917-927.
- Horton, J. J., 2023. Large language models as simulated economic agents: What can we learn from homo silicus?. *National Bureau of Economic Research* 31122.
- Aher, G., Arriaga, R. I., Kalai, A. T., 2023. Using Large Language Models to Simulate Multiple Humans and Replicate Human Subject Studies. *arXiv*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2208.10264>
- Tisserand, J. C., 2014. Ultimatum game: A meta-analysis of the past three decades of experimental research. *Proceedings of International Academic Conferences* 0802032. International Institute of Social and Economic Sciences.