

人工市場における買い手エージェントの取引参加率安定のための 分析とモデル化

○宮内みずほ 佐々木晃 (法政大学)

Analysis and modeling for stabilizing the market transaction participation rate of buyer agents in artificial markets

* M. Miyauchi and A.Sasaki (Hosei University)

概要一 情報の非対称性が存在する市場での問題として、市場の商品品質の低下が起こるレモンマーケット問題が挙げられる。この問題を解決するための手法にはシグナリングがあり、先行研究ではこれを用いた市場をモデル化し、シグナルを用いた戦略の有効性をエージェントベースシミュレーションによって明らかにした。一方、市場安定化のために必要とされる買い手の取引参加率が市場へ与える影響の分析が不十分であることが課題として挙げられていた。本研究では、先行研究の市場モデルの変更を通じて、先行研究にて課題であった買い手の取引参加率の低下の傾向について分析し、買い手が十分取引に参加し公平な取引が行われる市場のモデル化を実現する。

キーワード: 社会シミュレーション, 情報の非対称性, シグナリング

1 はじめに

情報の非対称性が存在する市場とは、売り手は商品についての情報を有しているが、買い手は購入まで商品の詳細を知ることができないような市場である。このような市場で生じる問題として、レモンマーケット問題が挙げられる。これは買い手が売り手へ商品の買い取り価格を提示する際に、商品が不良品の場合でも許容できる価格しか提示できない制約のために起こってしまう。そのため、商品に適切な評価額が提示されず、良品を提供する売り手は利益が得られなくなり、不良品を提供する売り手が儲けることとなる。結果として、良品を提供する売り手が退出し、市場に不良品ばかりが流通してしまう。これがレモンマーケット問題である。このような市場の例としてAkerlof¹⁾は中古車市場を取り上げ、市場に不良品が流通することを明確に説明した。

この問題の解決方法には、売り手が買い手へ適切な情報を示すシグナリングが挙げられる²⁾。シグナリングの分析には様々な手法があり、多くの研究はゲーム理論によって行われているが、エージェントの学習など状況が動的に変化する場合には、個々の行動変化を示すことが困難である。状況が動的に変化する市場の例にはeBayの古本オークション市場³⁾がある。また、多様な趣向を持つ買い手や、買い手の取引経験に基づく動的学習を考慮し、より精密な市場取引を再現できるエージェントベースシミュレーションが提案されている²⁾³⁾。これらの研究は、非対称情報下の市場におけるシグナリングをモデル化し、良品率に依存するシグナルを用いた戦略の有効性を明らかにした。一方、市場の安定化のために必要とされる買い手の取引参加率が市場へ与える影響の分析が不十分であることが課題であった。

本研究では、先行研究⁴⁾⁵⁾において提案された市場モデルに基づいて、非対称情報下における市場の良品率の安定のための方策、また課題であった買い手の取引参加率を検証する。モデル変更により取引参加率の改善、また市場の良品率との関係について分析を行う。買い手の取引参加率が安定し公平な取引が行われる市

場のモデル化を実現する。

2 関連研究

先行研究⁴⁾⁵⁾における、情報の非対称性が存在する市場のモデル化について取り上げる (Fig.1)。この市場では商品の情報は売り手のみが持ち、売り手は買い手に商品の情報を提示するためのシグナルを持つ。買い手は取引後に判明した商品の品質に関する情報、ならびに売り手が提示したシグナルを記憶することで、逐次学習を行う。一定期間の取引後、十分な利得を得られなかった下位 k%の売り手と下位 1%の買い手は市場から退出し、退出した数と同数の新たなエージェントが市場に参入する。

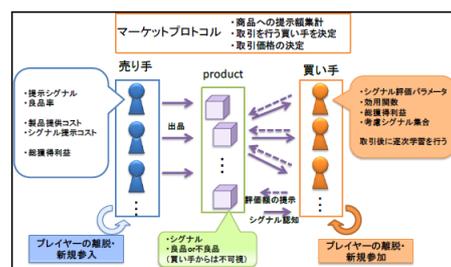


Fig.1 市場モデルの概要図

2.1 マーケットプロトコル

売り手エージェントは買い手エージェントに情報を提示するために N 個のシグナルを持ち、各シグナルには 1 または 0 の値が与えられ、1 の場合はそのシグナルを提示し、0 の場合はそのシグナルを提示しない。シグナルが提示されると、買い手エージェントは提示されたシグナルを基に商品を購入し、商品の評価額を売り手へ提示する。すべての買い手エージェントの評価額を集計したのち、オークション形式により最終的

な販売価格が決定する。提示された評価額順により、商品を購入できる買い手エージェントが決定される。販売する商品の品質は、売り手エージェント自身が持つ良品率により個々の商品に対して確率的に決定される。取引する買い手エージェントが決定した後、商品を取得した各買い手エージェントは商品の品質に応じて、逐次学習を行う。

価格を決定するオークション形式は、Vickrey⁶⁾により提案された形式を用いる。この形式では、まず売り手エージェントは市場に最大で M_{max} 個の同一の商品を提供する。買い手エージェントはそれぞれ商品を購入するために自己の評価パラメータに基づき評価額を提示し、入札する。評価額の上位から M_{max} 位までの買い手エージェントがオークションに勝ち、取引に選ばれることとなる。そのときの最高評価額の2番目の価格を商品の販売価格とする。

2.2 売り手エージェント

売り手エージェントのパラメータとして良品率があり、提供する商品が良品か不良品かを確率的に決定する。市場の良品率は、市場に存在する売り手の良品率の平均値から算出する。また、売り手エージェントが持つシグナルについては、通常のシグナルと、売り手の良品率に依存する戦略シグナルの2種類のシグナルが存在する。通常シグナルは提示すると良品率に関係なくコストが発生する。例として商品の広告が挙げられる。戦略シグナルは提示する売り手の良品率が低いほどコストがかかり、逆に良品率が高いほどコストが低減される。戦略シグナルの例には商品の口コミやレビューなどが挙げられる (Fig.2)。売上から、商品提供コストとシグナルのコストを引いた差額が売り手の利得となる。定期排除周期において利得が下位の売り手は市場から退出し、新たな良品率、シグナルを持つ売り手が市場に参入する。



Fig.2 シグナルの提示例

2.3 買い手エージェント

買い手は売り手が持つシグナルと同数の考慮シグナルを持ち、買い手によって考慮するシグナルは異なる。買い手は売り手が提示するシグナルと、自分が考慮するシグナルを比較し、取引を行う。この時、売り手が提示したシグナルと自分が考慮するシグナルが一致しなかった買い手は取引を行わない。買い手は各シグナルについて、過去の取引の中でそのシグナルが提示してあった商品が良品であった割合を記憶するための評価パラメータを持つ。評価額の決定は、評価パラメータ

を基にして行われる。取引後、買い手は商品に提示されていたシグナルと購入した商品が良品であったかを記憶し、評価パラメータを更新することで逐次学習を行う。商品から得た効用から取引価格を引いた差が買い手の効用となる。定期排除周期において効用が下位の買い手は市場から退出し、新たな考慮シグナル、評価パラメータを持つ買い手が市場に参入する。

3 研究手法

3.1 市場モデル

本研究では、先行研究で提案されたモデルを基に市場ならびに売り手と買い手のモデル化を行い、さらに買い手の取引参加率の向上また安定を目的としてモデルの改良を行った。Fig.3に本研究で提案するモデルのシミュレーションフローを示した。また、Table 1に本研究の手法について、先行研究^{4) 5)}との差異を示した。

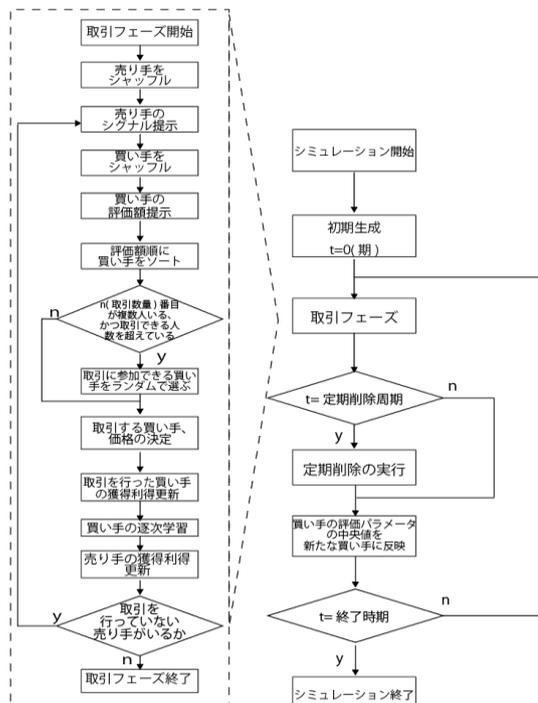


Fig.3 シミュレーションフロー

Table 1 先行研究との差異

	先行研究	本研究
エージェントのシグナル提示, 考慮	すべてランダム	全くシグナルを提示, 考慮しない場合は少なくとも一つ提示, 考慮するよう設定
新規買い手エージェントの各シグナル評価パラメータの初期値	すべて1.0	既存の買い手エージェントの中央値
エージェントの入退出处 (25期ごと)	売り手:5エージェント 買い手:1エージェント	売り手:25エージェント 買い手:10エージェント

- 本研究では、以下の点に留意してモデル化を行った。
1. 市場に新たに参入する売り手また買い手がシグナルを全く提示, 考慮しない場合, シグナルを少なくとも一つは提示, あるいは考慮するように設定
 2. 売り手, 買い手を取引ごとにランダムに入れ替え

3. 取引可能な買い手エージェントの選出にて、 M_{max} 位の個体を選択する際（本研究では40）候補となるエージェントが複数存在する場合はランダムで選出
4. エージェントが新たに参入する際に評価パラメータを既存の買い手エージェントの中央値に設定
5. 定期排除周期にて、エージェントの入退出数を⁴⁾⁵⁾によるものから変更（買い手10, 売り手25）

まず、項目1の売り手、買い手のシグナルの出し方について、この市場モデルにおける取引は、売り手が提示したシグナルと、買い手が考慮するシグナルが一つでも一致した場合に行われる。逆に、売り手の提示シグナルと買い手の考慮シグナルが全く一致しなかった場合は、取引は行われない。そのため、いずれのシグナルも提示あるいは考慮しないエージェントは一切取引に参加しないこととなる。このことから、これらのエージェントの市場参入を防ぐことにより、取引参加率が向上することを期待した。

項目2また3の売り手、買い手の入れ替え、また買い手エージェントの M_{max} 番目の選出については、偏りが発生し、同じ買い手エージェントが取引に選出されることを防ぐためにシャッフルを行う。

この市場モデルでは買い手は評価パラメータに基づき売り手に提示する価格を決定する。評価パラメータの数値が高いほど提示価格も高くなる。すべての買い手の価格提示後、買い手は提示価格順にソートされ、 M_{max} 位までのエージェントが取引に参加できる。ここで、新たに市場に参入する買い手の評価パラメータについて、先行研究のモデルでは一律で最大値の1.0となっていた。この状態で取引が行われると、評価パラメータが最大である新規の買い手は高い価格を売り手に提示し、取引に必ず選ばれてしまう。買い手間の格差を是正するため、新規の買い手エージェントの評価パラメータの初期値を既存のエージェントの中央値に設定する項目4について行う。

項目5については、エージェントの入退出数を増やすことにより、エージェントの入れ替えが活性化され、市場の良品率及び取引参加率がより早い期で改善することを期待した。

3.2 分析について

買い手の取引参加率について、期間の経過による推移を可視化する。取引参加率の突発的な低下が見られた期について、エージェントのパラメータを抽出し、市場の良品率、買い手の利得また売り手のシグナルの提示状況等との相関関係を調べ、取引参加率の低下の傾向を分析する。また、モデルの改変を適宜行い、買い手の取引参加率向上について分析を行う。

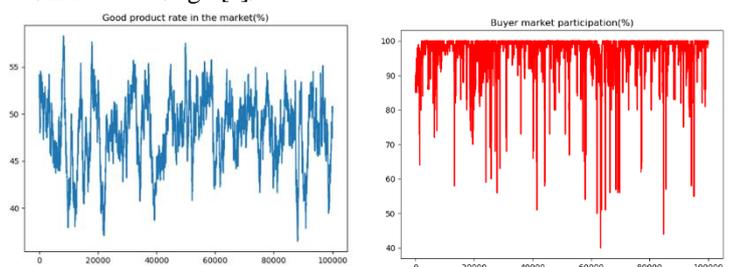
取引参加率の安定については、買い手の取引参加率が8割以上である状態を買い手が十分に取引に参加している状態とし、反対に1期前から2割以上の減、あるいは5割を下回る状態を取引参加率が不安定な状態とする。

4 結果

4.1 予備実験

予備実験では、先行研究²⁾³⁾と同様の条件下にて、戦略シグナルのコストが商品の提供コストよりも上回る場合に良品率が安定すること、また買い手の取引参加率が不安定であることを検証する。取引参加率が不安定である場合、何割程度にまで低下するかについて検証する。先行研究と同様のパラメータを用い、戦略シグナルのコストを変化させて行った（Fig.4, 5）。

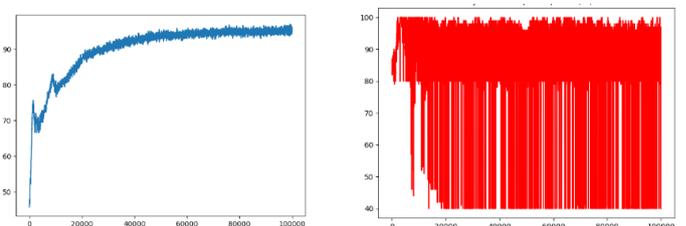
先行研究と同様、戦略シグナルのコストが商品の提供コストである200より大きい場合に、市場の良品率が安定することが結果として得られた。また、いずれの場合にも買い手の取引参加率の突発的な低下が見られ、不安定であることが確認できた。特に、良品率が安定する戦略シグナルのコストが200より大きい場合に、買い手の取引参加率が40%程度になってしまい、残りの買い手は取引に参加しないまま市場から退出してしまうことが確認できた。買い手の取引参加率と市場の良品率の関係については、良品率が安定しない戦略コストが200以下の場合には相関は見られないことが確認できた。良品率が安定する場合においては、高い良品率の期で買い手の取引参加率が落ち込む場合が見られた（Fig.5[c]）。



[a]市場の良品率の推移

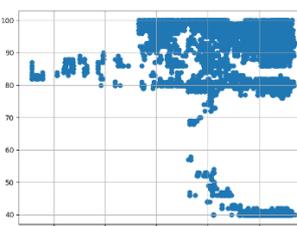
[b]取引参加率の推移

Fig.4 戦略シグナルのコスト 200 の場合



[a]市場の良品率の推移

[b]取引参加率の推移



[c]良品率と取引参加率の相関

Fig.5 戦略シグナルのコスト 400 の場合

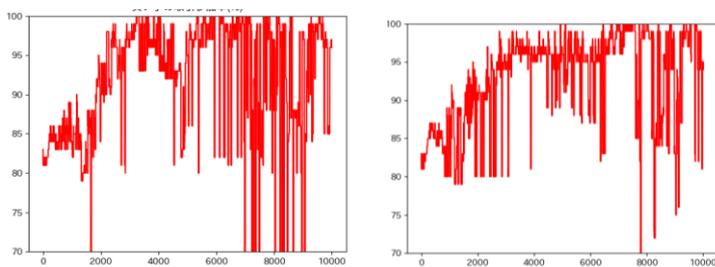
4.2 分析

予備実験を踏まえ、4割程度であった買い手の取引参加率を改善し、安定させるためにモデル改変により分析を行う。

この市場モデルにおける取引は、売り手が提示したシグナルと、買い手が考慮するシグナルが一つでも一

致した場合に行われる。逆に、売り手の提示シグナルと買い手の考慮シグナルが一致しなかった場合は、取引は行われない。このことから、シグナルを提示、あるいは考慮しない売り手また買い手の市場参入を防ぐことにより買い手の取引参加率の向上が見られると予測した。そこで、市場に新たに参入する売り手また買い手がシグナルを提示、考慮しない場合にシグナルを少なくとも一つは提示、あるいは考慮するようモデル改変を行った (Fig.6)。

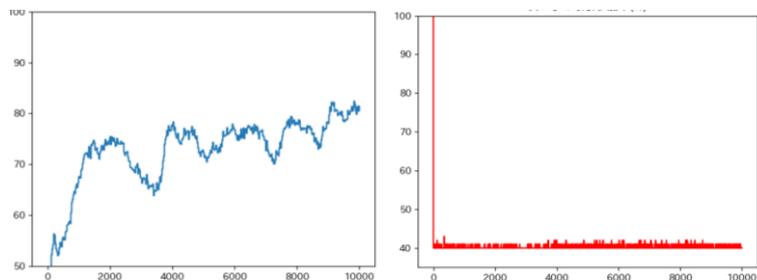
結果より、依然として取引参加率の急激な低下は発生するものの、改変前の結果と比較すると、20%以上の急激な変化が減少していることが確認できた。また、20%以内の軽度の低下も減っていることがわかった。売り手、買い手のシグナル提示、考慮状況が取引参加率に影響を与えることが判明した。



[a]改変前の推移 [b]改変後の推移

Fig.6 実験結果

次に、比較のため、すべてのシグナルを提示、あるいは考慮するようなモデル改変を行った (Fig.7)。このとき、売り手が各シグナルを提示、また買い手が各シグナルを考慮する確率は1となる。



[a]市場の良品率の推移 [b]取引参加率の推移

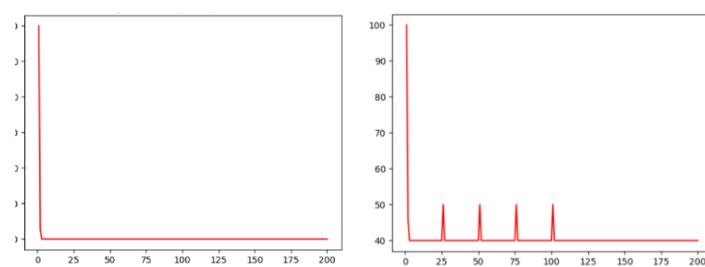
Fig.7 実験結果

結果より、買い手の取引参加率は概ね40%に収束した。考えられる要因として、すべてのエージェントのシグナルが一致しているため、エージェントが偏り、特定のエージェントのみが取引に選ばれること、また、40番目のエージェントが複数存在した場合、自動的に同じエージェントが選ばれてしまうこと、その他に売り手、買い手共にすべてのシグナルを提示、考慮しているためシグナリング戦略による効果が意味を持たなくなっていることが考えられる。

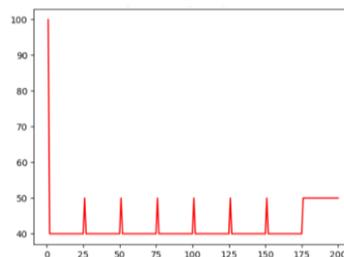
また、結果から周期的に取引参加率が40%より高くなっていることが確認できる。原因の分析のため、取

引に参加した買い手エージェントの可視化を行ったところ、新たに市場に参入した買い手エージェントが必ずオークションで既存のエージェントに勝ち、取引に参加することが判明した。これについては、新しく市場に参入する買い手エージェントの評価パラメータの初期値が1.0であることが原因であると考えられる。市場に元から存在する買い手エージェントのパラメータより高く、売り手へ高い評価額を提示するため取引に選ばれやすいことが考えられる。

市場に新たに参入する買い手の評価パラメータの初期値を調整することにより、取引参加において新たに参入するエージェントが有利になることを防止できると予測し、評価パラメータの初期値を変えて実験を行った (Fig.8)。



[a]初期値が0.5の場合 [b]初期値が0.6の場合



[c]初期値が0.7の場合

Fig.8 実験結果

結果より、新たに参入する買い手エージェントの評価パラメータを変更することで、買い手の取引参加率に影響が出ることが確認できた。初期値0.5の場合は既存の買い手と新規の買い手が公平に取引に参加できているが、初期値0.7の場合は変更前と概ね同じ結果になった。そのため、200期までの期間における既存の買い手エージェントの評価パラメータはおおよそ0.5から0.6の間で分布していることが考えられる。しかし、取引が行われるごとに評価パラメータは都度更新されるため、固定値ではなく随時既存の買い手の評価パラメータに合わせた値を用いて調整する必要があると考えられる。

4.3 実験

先述の実験を踏まえ、3.1で述べたモデル改変を行う。実験では、改変後のモデルでの買い手の取引参加率が

何割程度で推移するかについて改変前の結果と比較し、定義した取引参加率の安定を充足するか検証を行う。また市場の良品率の推移についても改変前と比較して違いが見られるか検証を行い、買い手の取引参加率の安定化により市場の良品率に改善が見られるかについて確かめる (Fig.9, Fig.10)。

まず、買い手の取引参加率について、改変後のモデルは80%以内で遷移しており、1期前との差が20%以上である急激な変化が起こらず、取引参加率が高い水準で推移していることが確認できた。良品率についても改変前と比較してより早い期での改善が見られ、3000期以降からはおよそ80%で推移している。

このことから、シグナルを全く提示、考慮しないエージェントが市場に参入しないこと、エージェントの偏りの防止、新たに市場に参入する買い手のエージェントの評価パラメータを既存の買い手エージェントの分布に従って設定することにより、取引参加率を安定させることができた。また、取引参加率を安定させることにより、市場の良品率にも改善が見られた。

エージェントの入退出数について、今回のモデル改変では買い手エージェントを1から10倍の10、売り手エージェントを5から5倍の25とすることでエージェントの入退出を活性化させ、早期での良品率及び取引参加率の改善を実現した。しかし、今回の実験では入退出数の数値の変化が良品率及び取引参加率にどの程度影響を与えるかに関して検証が不十分であった。エージェントの入退出数を段階的に変化させ、市場に与える影響についての分析を課題として挙げる。

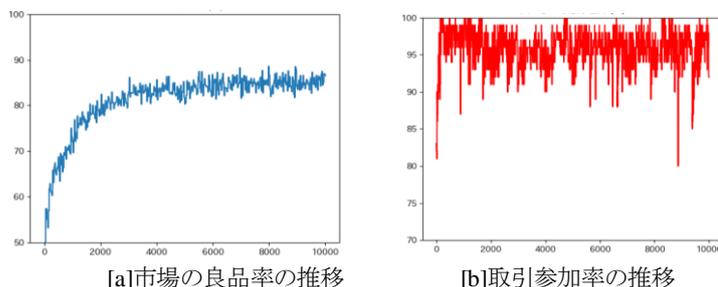


Fig.9 実験結果

により、より高い評価額が売り手に提示され、売り手は利得を得ることとなる。新たに市場に参入する売り手は、各シグナルにおける既存の買い手の評価パラメータの中央値が0.5以上の場合、そのシグナルを提示する。一方で中央値が0.5より小さい場合には、売り手はそのシグナルを提示しない。Fig.12にシグナル提示の例を示す。

結果より、買い手の取引参加率はおよそ500~3000期においては落ち込みが見られるが、4000期以降からは8割以上を維持しており、安定していることが確認できた。これは初期生成の買い手の評価パラメータはいずれのシグナルも1.0だが、取引が行われるごとに買い手の評価パラメータが更新され、0.5に近づくためであると考えられる。中央値が0.5に近づくことにより、新たに参入する売り手のシグナル提示条件と一致し、適切な評価がなされていることが考えられる。

売り手が提示する各シグナルの割合また買い手の考慮する各シグナルの割合の推移、評価パラメータの推移を可視化することで、評価パラメータとシグナル提示の関係について更なる検証を行うことが課題として挙げられる。

買い手のシグナル評価に即し、売り手が提示するシグナルを決定する実際の市場での具体例としては、採用市場が挙げられる⁷⁾。応募者が売り手、採用側の企業が買い手に相当する。採用過程が一巡し教育投資(売り手のシグナルコストに相当)に対し買い手からどの程度利得が得られるかについてある程度市場に知れわたると、売り手に相当する新規の応募者がシグナルとなる学歴取得にかかる費用を判断、つまり提示シグナルを決定することに相当する。

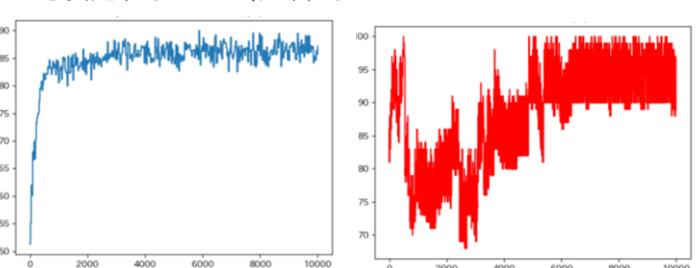


Fig.11 実験結果

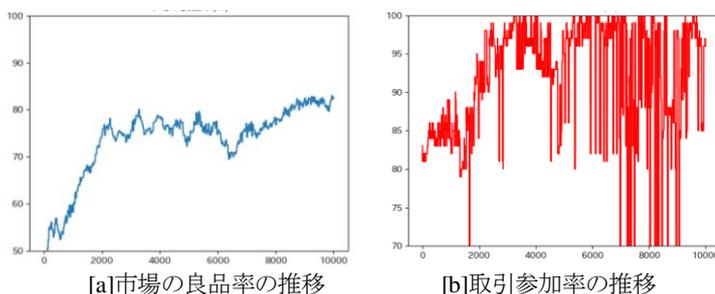


Fig.10 モデル改変前の実験結果

4.3 買い手の評価に即したシグナル提示

これまでのモデルでは、新たに市場に参入する売り手のシグナル提示をランダムで決定していたが、買い手の評価パラメータに応じて提示するシグナルを決定するようモデル改変を行った (Fig.11)。買い手の評価パラメータが高いシグナルを売り手が提示する戦略

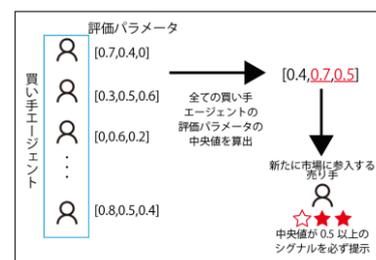


Fig.12 シグナル提示の例

5 おわりに

本論文では、先行研究の市場モデルを基に、非対称

情報下の市場をシミュレーション上で再現し、シグナリング戦略の有効性について検証した。また先行研究において課題であった買い手の取引参加率に着目し、買い手の取引参加率が安定し、公平な取引が行われる市場について定義した。モデル改変により取引参加率の急激な変化が起こる原因について分析を行い、売り手、買い手のシグナルの出し方、新たに市場に参入する買い手の評価パラメータの設定、取引を行うエージェントの偏りが取引参加率に影響を与えることがわかった。これらの結果を基に先行研究での市場モデルを改変し、買い手が十分に取引に参加し、公平な取引が行われる市場を再現することができた。また、取引参加率を改善させることにより、市場の良品率に改善が見られることがわかった。加えて、買い手の評価パラメータの中央値に従い売り手のシグナル提示を決定するモデル改変を行い、買い手の評価パラメータが収束する 0.5 をシグナル提示の条件とすることにより、買い手の取引参加率の向上が見られた。

今後の課題については、エージェントの入退出数の数値変化による良品率ならびに取引参加率改善への影響に関する分析、また追加実験のモデルでの評価パラメータとシグナル提示の関係についての更なる検証が挙げられる。

加えて、実際の市場では、新たに参入する買い手また売り手は既存のエージェントの評価パラメータを知ることが難しい。また、今回の実験では、価格決定方式の違いによる市場への影響についての分析が不十分であった。実際の非対称情報下での市場での実験の結果との比較や、実際の市場で使われている価格決定方式と比較し、価格決定方式が市場の良品率、買い手の取引参加率に与える影響についての分析を課題とする。

参考文献

- 1) G.A.Akerlof :The market for lemons: Quality uncertainty and market mechanism , The Quarterly Journal of Economics, Vol.84, No.3, 488/500(1970)
- 2) 横尾真：オークション理論の基礎 ゲーム理論と情報科学の先端領域, 58/62, 東京電機大学出版局(2006)
- 3) Michaël Dewally and Louis Ederington, :Reputation, Certification, Warranties, and Information as Remedies for Seller - Buyer Information Asymmetries: Lessons from the Online Comic Book Market , The Journal of Business Vol. 79, No. 2 , 693/729(2006)
- 4) 中山陽平, 高橋真吾：相互学習エージェントシミュレーションによるシグナリング現象の分析, 計測自動制御学会第 1 回社会システム研究会講演論文集, 23/28, (2012)
- 5) 杜逆索, 村田忠彦：非対称情報下の市場におけるシグナルに関するエージェントベースシミュレーションによる研究, システム制御情報学会論文誌, Vol. 27, No. 7, 309/318 (2014)
- 6) W.Vickrey :Counterspeculation, auctions, and competitive sealed tenders , Journal of Finance, Vol.16, No.1., 8/37(1961)
- 7) 小野 浩：労働経済 スペンス『市場でのシグナリング活動』, 日本労働研究雑誌 58(4), 2/5 (2016)