

# エージェントシミュレーションによる非対称情報市場における フリーライダーに関する研究

○杜 逆索 村田忠彦 (関西大学)

## Study on Free Rider in Market with Asymmetric Information Using Agent-Based Simulation

**Abstract**— In this paper, we examine signals in a market where asymmetric information is only available between sellers and buyers by agent-simulations to avoid the quality deterioration in a market. Our analysis and simulations show that the quality deterioration can be avoided when sellers employ a quality-related signals whose cost depends on their quality rate, and when the cost of goods, the amount of goods, and the cost of signals are appropriately determined. Through simulation results, we found that sellers with lower quality arise in the market and get higher profit because of their lower cost to provide merchandises.

**Key Words:** Lemon Market, Market Quality, Agent-Based Simulation, Signal, Free Rider

### 1 はじめに

本稿では、エージェントベースシミュレーションを用いて、売り手と買い手の間に情報の非対称性が存在する市場におけるフリーライダーに関する分析を行う。Akerlof<sup>1)</sup>は、非対称な情報をもつ市場の例として、中古車市場を取り上げ、非対称な情報下の市場では商品品質が低下することを明確に説明した。

ここで非対称な情報をもつ市場とは、売り手は商品の詳細を知っているが、買い手は商品を購入するまで商品の詳細を知ることができず、良品の分布を知っているような市場である。このような市場では、買い手は期待される平均品質以上の価格を支払いたくなくなることで、それを予想した売り手が平均品質以上の商品の提供を控えることにより、次第に良品をもつ売り手より不良品をもつ売り手の供給が多くなり、市場の商品の平均品質と価格が低下する。この結果、良品をもつ売り手が市場から脱退してしまい、市場に不良品が流通することになる。市場の商品の品質低下を解消する方法として、Spence<sup>2)</sup>は売り手が商品に関する適切なシグナルを表示することをあげた。また、情報をもたない側が、いくつかの選択肢を提示して、情報をもつ側に選択させることにより、情報を取得する仕組みを提案した<sup>3)</sup>。前者<sup>2)</sup>のシグナリングに関しては、多くの研究者が、ゲーム理論の枠組みで分析を行っている。しかし、それらの枠組みでは、均衡点の移動が表現できるものの、学習可能なエージェントの個々の行動変化を示すことは困難である。

KimとLee<sup>4)</sup>は、Akerlofの示した中古車市場に対してエージェントベースのシミュレーションを行い、エージェントの意思決定を観察している。彼らの中古車市場のシミュレーションでは、情報の非対称性による商品品質の低下が再現されている。彼らは、商品品質の低下を解消するためには、市場における高品質の商品

の割合が重要であること、また、中古車の品質を識別できる専門家がいれば、市場の平均良品率が改善されることを、シミュレーションにより示した。しかし、高品質な商品の割合が高ければ、そもそも、商品の低品質化は起こらないこと、また、商品の品質を買い手が正しく認識できるのであれば、情報の非対称性がなくなることになり、レモンマーケットを本質的に解消するための方法を示したわけではなかった。

この課題に取り組むため、中山と高橋<sup>5)</sup>は、市場におけるエージェントに学習能力を与え、良品率に依存したシグナルの導入が市場における商品品質低下の回避に有効であることを示した。しかしながら、彼らのシミュレーション実験では、良品率に依存するシグナルのコストの値は予備実験により設定されており、その値を設定する方法については検討されていなかった。そこで、杜・村田<sup>6,7)</sup>は、売り手と買い手のもつシグナル戦略に応じて売り買いを決定し、利得に応じて生き残りが決定する市場において、市場の品質を保つ、すなわち低品質の商品流通を避けるためには、商品の提供コスト、商品の提供量、シグナルコストの3つのパラメータのバランスが重要であることを解析的およびシミュレーションにより示した。

本稿では、シグナルを用いた市場において発生する突発的な品質の低下に注目し、売り手エージェントのシグナル利用の変化を詳細に分析することにより、良品率が変動するきっかけとなるエージェントのシグナル利用の傾向を示す。杜・村田<sup>8)</sup>では一部の低品質のエージェントが、良品率に依存するシグナルを用いないことで利益をあげ、市場の品質を低下させることを示した。本稿では、突発的に品質が低下する市場のエージェントの動向をさらに詳細に調べ、2つのタイプの低品質の売り手エージェントが現れていることがわかった。これらのエージェントは、フリーライダーとし

て、市場がつくりだした信頼関係を裏切ることにより、一時的に利得を得るが、良品率に依存するシグナルが用いられることで、再び市場が健全化することがわかった。

## 2 モデル

### 2.1 シミュレーションモデル

本研究では、基本的に、中山・高橋<sup>5)</sup>によって提案された市場モデルを用いる。モデルの概要図をFig.1に示す。この市場では、商品の品質に関する情報は売り手エージェントだけがもつ。一方、買い手エージェントは、商品の品質に関する情報を商品購入する前には全く知らないが、商品購入時に考慮したシグナルを記憶する。購入後、発覚した商品の品質に関する情報を用いて、購入時に考慮したシグナルを評価することにより、逐次学習する。また、売り手エージェントと買い手エージェントは市場で十分な満足度が獲得できない時、市場から除外されることとなる。

### 2.2 実験

シミュレーションの初期設定として、Table 1に示したパラメータセットを用いる。Table 1のパラメータは先行研究<sup>6)</sup>で使用された設定にしたがって設定した。Fig. 2に異なる乱数を用いて行った100試行の実験結果を示す。縦軸は図の縦軸は市場の平均良品率（売り手エージェントの良品率の平均値）を、横軸は時間経過を表す。各折れ線は100試行の結果のそれぞれの良品率の推移を示している。Fig. 2からわかるように、100試行の全てにおいて、平均良品率が35%より低い市場になった。すなわち、低品質の商品を販売する売り手が大半の市場となった。本研究で構築した市場モデルに対してTable 1のパラメータを用いることにより、良品率の低いレモンマーケットが再現できることがわかる。

## 3 シグナルコストの検討

市場がレモンマーケットになることを抑制するため、先行研究<sup>5)</sup>では、商品の良品率に依存したシグナルコストの導入により商品の低品質化が避けられることが示されたが、導入されたシグナルコストの値の設定方法は検討されていなかった。そこで、杜・村田<sup>6,7)</sup>では、良品率に依存するシグナルコストの値の決定方法について検討した。

杜・村田<sup>6,7)</sup>により、以下の売り手エージェントの利得の式(1)と良品率に依存するシグナルコストの式(2)から、式(3)が満たされるとき、良品率に依存するシグナルを導入することにより、レモンマーケットが解消されることがわかった。

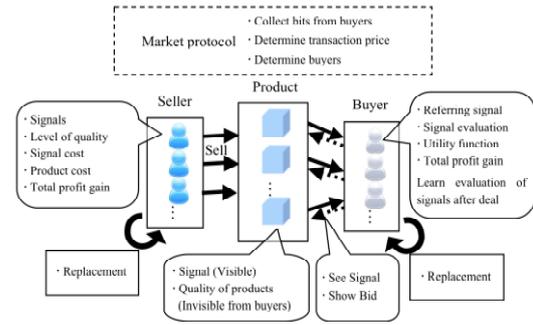


Fig. 1: Market Assumption<sup>5)</sup>

Table 1: Parameters

Parameter	Value
$I$ : The number of seller agents	100
$J$ : The number of buyer agents	100
$M$ : The number of amounts of products from a seller	40
$N$ : The number of signals used by sellers and buyers	3
Probability of signal usage by sellers and buyers	0.5
$a$ : Sellers' production cost	5
$c_n$ : Sellers' signal usage cost	100
$p_i^{\text{good}}$ : the rate of good products	[0,100]
$b$ : constant	100
$eval_{j,n}$ : Initial value of signal evaluation parameter	1.0
$utility_i^{\text{good}}$ : Utility of good product	200
$utility_i^{\text{bad}}$ : Utility of bad product	0
$t$ : Replacement term	25
$k$ : Replacement rate for sellers	5%
$l$ : Replacement rate for buyers	1%

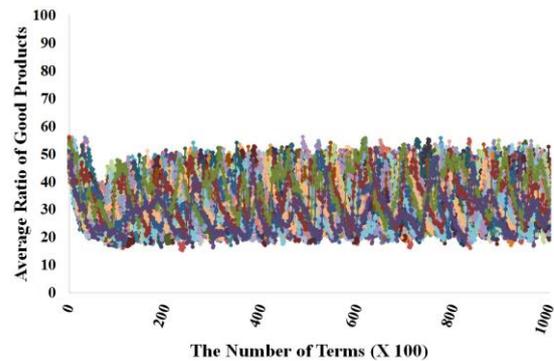


Fig. 2: Lemon Market

$$Profit_i = (M \times price_i) - (M \times a \times p_i^{\text{good}} + Cost_i^{\text{signal}}) \quad (1)$$

$$Cost_i^{\text{signal}} = \sum_{n=N-O+1}^N (c_n^{\text{proposed}} \times (1 - p_i^{\text{good}}) \times signal_{i,n}) + \sum_{n=1}^{N-O} (c_n^{\text{normal}} \times signal_{i,n}) \quad (2)$$

$$c_n^{\text{proposed}} > M \times a \quad (3)$$

ここで、 $Profit_i$ は売り手エージェントの利得、 $price_i$ は商品の販売価格、 $M$ は売り手エージェントの商品提供数、 $a$ は売り手エージェントの商品提供コスト、 $p_i^{good}$ は売り手エージェントのもつ良品率、 $signal_{i,n}$ は売り手エージェント*i*のもつシグナル*n*のバイナリパラメータ、 $c_n^{normal}$ は単純なシグナルを使用するコスト、 $c_n^{proposed}$ は良品率に依存するシグナルを使用するコストを表している。式(1)と式(2)にしたがって、売り手エージェントが高い良品率をもつほど、商品の提示コストがあまりかからなくなる。一方、低い良品率をもつほど、良品率に依存するシグナルの提示コストは高くなることになる。

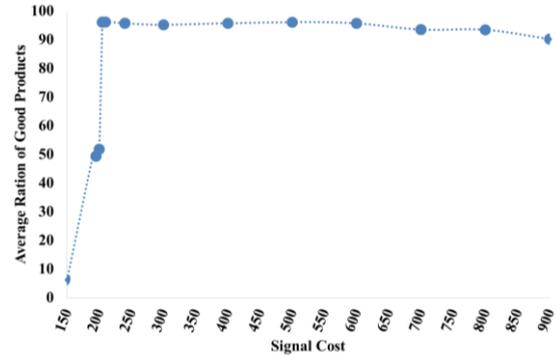
市場を低品質化させないためには、シグナルコストの大きさが最も重要である。先行研究<sup>9)</sup>では、 $c_n^{proposed} > M \times a$ により、良品率に依存するシグナルコストの値の決定方法について検討し、シグナルコストの値が300のとき、高い良品率の市場が達成できることを示した。シグナルコストの値の間隔が広がったため、シグナルコストの値について詳細の検討を行う。

良品率に依存するシグナルのコストの詳細を調べるため、以下の6通りの値を用いた：190, 195, 200, 205, 210, 240。これらの値を用いて、同じシミュレーション実験を行い、Table 2の結果を得た。Table 2に示すように、良品率に依存するシグナルコストの値が200より大きい時、良品率が高い市場を達成できた。良品率に依存するシグナルのコストの値と市場の平均良品率の関係をFig. 3に示す。Fig. 3には、Table 2の結果に加えて、150から900までの結果も示す。図のように、良品率に依存するシグナルのコストが $M \times a = 200$ を越えるときに、最も平均良品率が高くなることがわかる。一方、良品率に依存するシグナルのコストが大きくなるにつれて、平均良品率が下がる傾向が観察された。これは、良品率に依存するシグナルのコストが大きくなるにつれて、式(1)の第2項の商品を調達するコストが高くなるため、良品率に依存するシグナルを利用する売り手エージェントが少なくなり、低い良品率の売り手エージェントが増加するためである。したがって、市場の良品率を最大化するためには、式(3)を満たす最少のシグナルコストを求める必要があることがわかる。

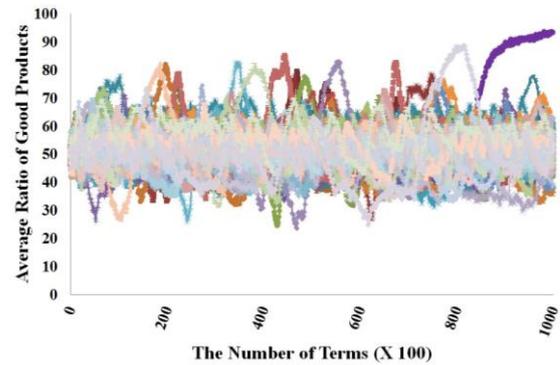
シグナルコストの値が200と205の結果をFig. 4とFig. 5に示す。図の縦軸は市場の平均良品率(売り手エージェントの良品率の平均値)を、横軸は時間経過を表す。Fig. 4から、市場の商品平均良品率が50の周辺で大きく変動し、売り手の良品率が向上しないことがわかる。一方、Fig. 5より、シグナルコストが205のときは、最終的に全ての試行の商品低品質化の問題がほぼ解消されていることがわかる。また、平均良品率が下がっていた試行がいくつかあったが、最後に再び高くなる傾向を見ることができる。

**Table 2:** Average and Standard Deviation Ration of High Quality Goods after the Final Term

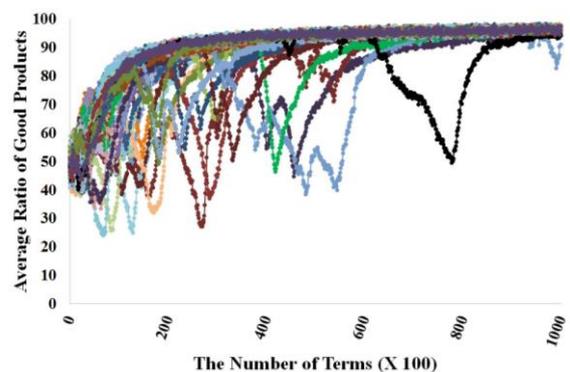
Signal Cost	Average	Standard Deviation
190	49.18	6.48
195	49.28	5.22
200	51.72	6.59
205	96.07	0.85
210	96.12	0.72
240	95.68	3.20



**Fig. 3:** Changes of Average Ratio of Good Products and Signal Cost



**Fig. 4:** Lemon Markets Using a Cost Depending on the Rate of Good Products (=200)



**Fig. 5:** Avoiding Lemon Markets Using a Cost Depending on the Rate of Good Products (=205)

#### 4 良品率に依存するシグナルの分析

良品率に依存するシグナルコスト 205 の時、多数の試行において平均良品率が高くなり、レモンマーケットが解消されているものの、シグナルコストの値が式(3)の条件を満たしているにも関わらず、Fig. 5により、市場の平均良品率が大きく下落するケースが存在することがわかる。杜・村田<sup>8)</sup>は、それらのケースの1つについて、良品率が下落する理由を分析した。そこで得られた結果を以下に示す。

Fig. 5に示した試行の中で良品率が変動したケースの一つを抽出した結果をFig. 6に示す。売り手エージェントの良品率は、エージェント生成時に[0,100]の乱数で与えられているため、市場全体の平均良品率の初期値が50%前後の値になっていることがわかる。取引が進むに連れて、良品率に依存するシグナルコストの導入により、良品率の高い売り手エージェントの売上利得が高くなるため、市場全体の平均良品率も高くなっていることがわかる。しかし、このケースでは、途中から市場の平均良品率が大幅に下がり、その後、再び平均良品率が回復していることがわかった。

市場の平均良品率とシグナルの利用状況との関係を調べるため、シグナルを利用して成立した商品数の平均値をFig. 7に示す。Table 1に示したように、各売り手は、3つのシグナルのいずれかを利用して最大40個の商品を提供する。ここで、売買が成立した際に商品に付随していたシグナルをカウントし、シグナル利用商品数とした。例えば、全ての売り手が、シグナル1を用いて、自分の商品全てを販売することができた場合、シグナル1の平均利用商品数は40となる。これにより、商品の売買にあたって、どのシグナルが考慮されているかを知ることができる。図の左側の縦軸は、市場の平均良品率を表し、右側の縦軸はシグナルを使って提供することのできたシグナル利用商品数の平均を表す。3つのシグナルをそれぞれシグナル1、シグナル2、シグナル3とする。ここで、シグナル3だけが良品率に依存するシグナルであり、シグナル1とシグナル2は、シグナル利用時に、単純なコストが必要となるシグナルである。

Fig. 8に売り手の保持シグナルと利用シグナル変化の結果を示す。図に示すように、全ての期において、ほぼ全ての売り手がシグナル1とシグナル2を持ち、使用していることがわかる。しかし、60,000期付近でシグナル3を持つ売り手エージェントが減るため、利得を向上させるために良品率を高める力が弱まり、市場全体の良品率が下がっていることになる。売り手エージェントが商品を販売する際に選択するシグナルとして、良品率に依存するシグナルが、市場の売り手の良品率の振る舞いに強く関係していることがわかった。

市場の良品率が下がっている61,100期の売り手エージェントの利得ランキング結果をTable 3に示す。ここ

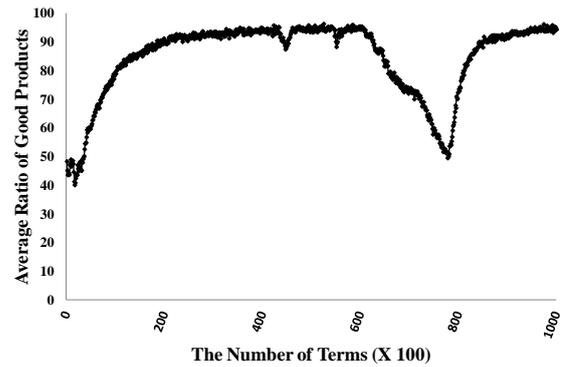


Fig. 6: A trial with Wild Up and Down

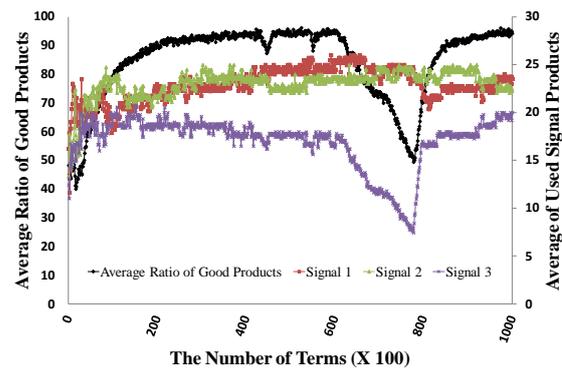


Fig. 7: Changes of Average Ratio of Good Products and Average of Used Signal Products

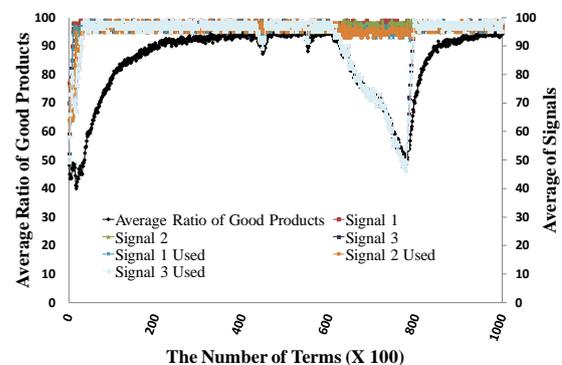


Fig. 8: Changes of Average Ratio of Good Products and Average of Signals

で、良品率は%、販売商品数は25期ごとの販売数（40個 × 25期で最大1000個）、利得は25期で得た利得の合計を表している。第1位と第2位の売り手の良品率は2%と9%と低く、良品率の高い売り手より、高い利得を得たことがわかる。これは、式(1)からわかるように、良品率の高い売り手ほど、商品提供コストがかかるため、良品率の低い売り手が総合的に高い利得を得てしまうことによる。品質の下落が起きるまでの間、ほとんどのエージェントが全てのシグナルをもっているため、

買い手にとって全てのシグナルが高い評価をもつことになり、良品率に依存するシグナルを使わなくても高値で商品を販売できる低品質の売り手（フリーライダー）の参入を許してしまい、その後、Fig. 6に示すように、良品率に依存するシグナルの効果で市場良品率が徐々に回復できたことがわかる。

商品単価を決定する買い手のシグナル評価平均値の変化を調べたところ、Fig. 9に示すように評価平均値がほとんど変化しないことがわかった。良品率が下落することにより、通常のシグナルの評価値が下がることが期待されるが、それまでに購入した商品数が多いため、評価値が下がるのに時間がかかることがわかった。

良品率が突発的に下落するケースと下落しないケースの違いを検討するため、良品率に依存するシグナルコストが205の時の全ての試行における売り手エージェントとシグナルの関係性を調べた。100試行中、80試行で良品率が下落せず、ほとんどの売り手エージェントが3つのシグナルをもっていることがわかった。それに対して、良品率が下落する残りの試行では、売り手エージェントとシグナルの関係性について、次の3通りがあることが観察された、その結果をTable 4に示す。表の中で、Aは良品率に依存するシグナルをもたない売り手エージェントの人数、Bは良品率に依存するシグナルをもっているものの、通常のシグナルのどちらかをを用いないという売り手エージェントの人数である。Aの人数が多数派になる場合、前述した低品質商品を提供する売り手（フリーライダー）が多く存在するため、その良品率の最悪値の平均は、35.5%であった（試行番号1から8の平均良品率の平均値）。Bの人数が多数派になる場合、良品率の最悪値の平均は50.9%であった（試行番号9から18の平均良品率の平均値）。通常のシグナルを用いないことでコスト削減を図るものの、良品率に依存するシグナルの効果で下落時の最悪値が軽減されていることがわかる。これらの結果から、シグナルを使用しないことによるコスト削減に成功するエージェントが発生する時に、良品率の下落が生じることがわかる。また、AとBの人数が共に少ない場合（試行番号19と20）、良品率の最悪値の平均は60.6%であった。これらの試行では、全てのシグナルを持つ売り手人数が大勢を占めているが、市場の品質を安定する前に、品質が少し低い売り手が生き残るため、市場の良品率が下落することがわかった。

## 5 おわりに

本稿では、シグナルコストの検討により、良品率に依存するシグナルコストの値が $M \times a$ の値に近づくほど商品の良品率が高くなることがわかった。また、市場の品質と売り手エージェントの良品率に依存するシグナルの関係性を示した。ここで、市場の品質が変動したシミュレーション結果に着目し、売り手エージェ

**Table 3: Seller-Agent Profit Ranking**

順位	良品率	販売した商品数	利得
1	2	950	3197.13
2	9	950	3183.13
3	100	1000	3180.14
4	100	1000	3180.14
5	100	1000	3180.14
...	...	...	...
97	90	1000	3179.64
98	31	1000	3176.69
99	8	800	2559.51
100	37	650	2153.09

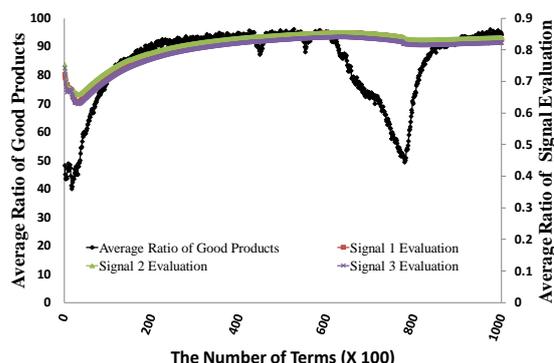


Fig. 9: Changes of Average Ratio of Good Products and Average Ratio of Signal Evaluation

**Table 4: The Relation Between Seller-Agent and Signal**

試行番号	Aの人数	Bの人数	平均良品率
1	74	2	27.20
2	77	3	24.92
3	76	3	25.71
4	75	9	24.37
5	73	0	31.88
6	62	5	38.36
7	51	1	49.43
8	36	1	62.46
9	1	96	47.30
10	0	96	51.33
11	0	97	54.26
12	1	95	49.02
13	0	32	64.95
14	0	95	52.44
15	0	88	54.34
16	0	97	46.43
17	0	90	51.47
18	14	55	37.07
19	1	4	70.96
20	0	2	50.29

ントのシグナル利用の変化を詳細に分析した。分析の結果、良品率の低い売り手エージェントが高い利得を得ることにより、それらの売り手エージェントが市場に増加する。そして、良品率に依存するシグナルの利用が低下することにより、売り手エージェント群の利得構造に変化が生じ、突発的な市場品質の低下が起きることがわかった。また、売り手エージェントが全てのシグナルを使用する時には、市場を安定化し、良品率の下落が生じないことがわかった。

今回のシミュレーション実験の中で、買い手エージェントの市場参加率からみると、まだ不十分であることがわかった。すなわち、取引に参加した買い手エージェントが40%しかおらず、残りの買い手エージェントが取引に参加せず、市場から退出することである。FastenとHofmann<sup>9)</sup>は、市場を安定化させるために、売り手と買い手が十分参加する必要があることを示しているため、今後の実験では買い手エージェントの市場参加について検討する。また、本論文では、高品質の商品が流通している市場で、売り手の利益構造が変化することにより、良品率が突発的に低下することを明らかにしたが、このような良品率の突発的な低下を早期に抑制する方法について検討する。

## 参考文献

- 1) G. A. Akerlof: The market for lemons: Quality uncertainty and the market mechanism, *The Quarterly Journal of Economics*, vol.84, no.3, 488/500 (1970)
- 2) M. Spence: Signaling in retrospect and the informational structure of markets, *The American Economic Review*, vol.92, no.3, 434/459 (2002)
- 3) M. Rothschild, J. Stiglitz: Equilibrium in competitive insurance markets: An essay on the economics of imperfect information, *The Quarterly Journal of Economics*, Vol.90, 629/649 (1976)
- 4) J. Kim, B. Lee: When a lemon market emerges? , *Proc. of the Korean Economic Association*, 1/20 (2005)
- 5) 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 回社会システム部会研究会講演論文集, 23/28, (2012)
- 6) 杜逆索, 村田忠彦: 低品質の商品流通を解消するシグナルのエージェントシミュレーションによる検討, 計測自動制御学会第 2 回社会システム部会研究会講演論文集, 29/34 (2012)
- 7) T. Murata, N. Du, Agent-Based Evaluation for Effects of Signaling in Markets with Asymmetric Information, Proceedings of SCIS and ISIS 2012 (Kobe, Japan, Nov. 20-24), 2134/2137 (2012)
- 8) 杜逆索, 村田忠彦: エージェントシミュレーションによる市場における突発的な品質劣化の発生メカニズムに関する研究, 日本知能情報ファジィ学会第 29 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, 431/434 (2013)
- 9) Erik R. Fasten, Dirk Hofmann: Two-sided Certification: The Market for Rating Agencies, *SFB 649 Economic Risk Berlin*