

市場品質改善のためのエージェントシミュレーションにおけるシグナルコストの検討

○杜 逆索 村田忠彦 (関西大学)

Examination of Signal Cost in Agent-Simulation for Improving Market Quality

* D. Nisuo and T. Murata (Kansai University)

Abstract— In this paper, we examine effects of signaling in a market where asymmetric information is only available between sellers and buyers. In such a market, it is known that goods quality becomes low through trading. In order to cope with the problem, sellers are encouraged to show appropriate signals about their goods. In our simulation, we show how signals have effects on the goods quality in a market by an agent-based approach. A preceding study shows a signal cost depending on the goods quality is effective. However, there was no suggestion how to specify the value of the cost. Through our simulations and analysis, we found the signal cost should be larger than the product of the amount of goods and their handling cost. In this paper, we show some detail results on what happen when cost is appropriately specified.

Key Words: Lemon Market, Market Quality, Agent-simulation

1 はじめに

本研究では、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シグナル利用の分析を行う。情報の非対称性が存在する市場では、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ない。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、市場に良品が不足し、市場の平均品質が下がることとなる。このような買い手と売り手の関係により、市場に不良品が流通することになる。Akerlof¹⁾はこのような情報の非対称性が存在する市場をレモンマーケットと呼び、中古車市場での不良品率の高さの理由を説明した。

Akerlofの挙げた中古車の市場にしたがって、KimとLee²⁾はエージェントベースのシミュレーションを行った。彼らの中古車市場のシミュレーションでは、レモンマーケットが再現されている。彼らはシミュレーションにより、レモンマーケット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と、また、中古車の品質を識別できる専門家がいたら、市場の平均良品率が改善されることを示した。しかし、レモンマーケットを本質的に解消するための方法を述べているわけではなかった。

レモンマーケットを解消する方法の1つとして、売り手が商品に関する適切なシグナルを表示することがあげられる³⁾。多くの研究者が、ゲーム理論の枠組みでシグナル影響に関する分析を行っている。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。この課題に取り組むため、中山・高橋⁴⁾は、エージェントベースシミュレーションモデルを使用し、市場における各エージェントに学習能力を与えた。彼らのシミュレーションにより、良品率に依存したシグナルの導入がレモンマーケットに有効であることが示された。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⁵⁾は、売り手と買い手のもつシグナル戦略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、複数のシグナルを同時に使用することによっても、高品質の商品が流通する市場が達成できることを示す。市場の品質が低下するシミュレーション結果に着目し、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。さらに、良品率に依存するシグナルのコストの設定を検討する。

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⁴⁾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

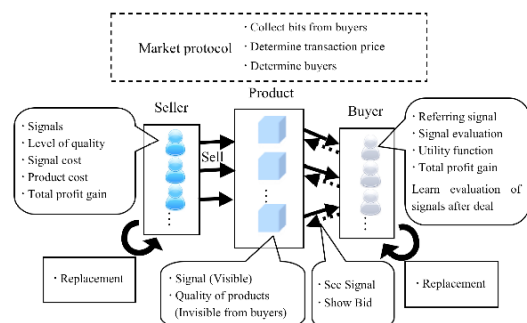


Fig. 1: Market Assumption⁴⁾

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^{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%

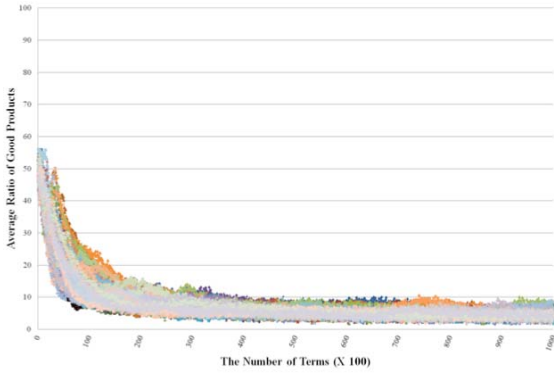


Fig. 2: Lemon Market

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⁴⁾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。Fig. 2からわかるように、100試行のすべてにおいて、平均良品率が20%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⁴⁾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⁵⁾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⁵⁾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。

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

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

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

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⁵⁾では、 $c_n^{\text{proposed}} > M \times a$ 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。しかし、Table 1のパラメータ値より導入される $M \times a = 200$ に対して、シグナルコストの値は300の1.5倍である。そこで、シグナルコストの値について詳細の検討を行う。また、先行研究⁵⁾のシミュレーションでは、販売できた商品数を売り手の提供数 M の値と同数にしていた点を変更し、文献⁶⁾から、 M の値を市場で販売できた商品数と合わせた値として、実験を行った。

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、100試行の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、シグナルコストの値が205のとき、シミュレーション終了時、高い良品率の市場が達成できた。また、この時、偏差値が最も小さくなることがわかった。

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

Signal Cost	Average	Standard Deviation
190	49.18	6.47
195	49.28	5.19
200	51.72	6.59
205	95.88	2.65
210	95.54	4.62
240	95.67	4.29

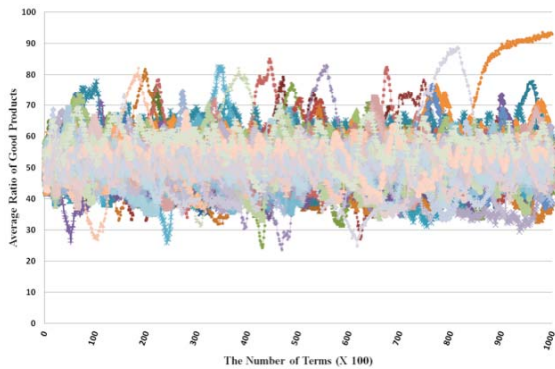


Fig. 3: Lemon Markets Using A Cost Depending on the Rate of Good Products (=200)

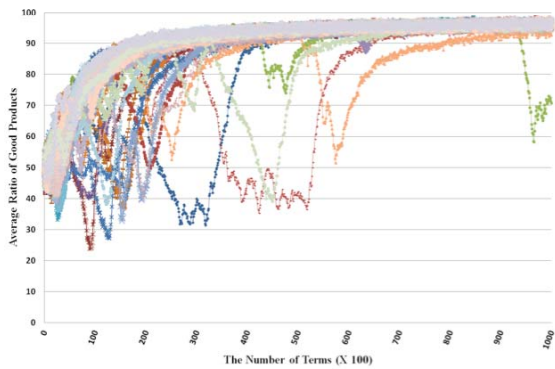


Fig. 4: Avoiding Lemon Markets Using A Cost Depending on the Rate of Good Products (=205)

シグナルコストの値が200と205の結果をFig. 3とFig. 4に示す。Fig. 2と同様に、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. 3から、市場の商品平均良品率が50の周辺で大きく変動をし、市場が混乱していることがわかる。一方、Fig. 4より、シグナルコストが205のときは、全ての試行においてレモンマーケットの問題がほぼ解消されていることがわかる。1つの試行で平均良品率が下がっていたが、最後に再び

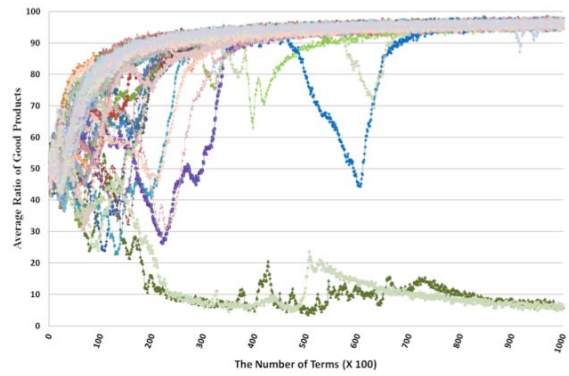


Fig. 5: Effect of the Signal Depending on Good Product Rate (=300)

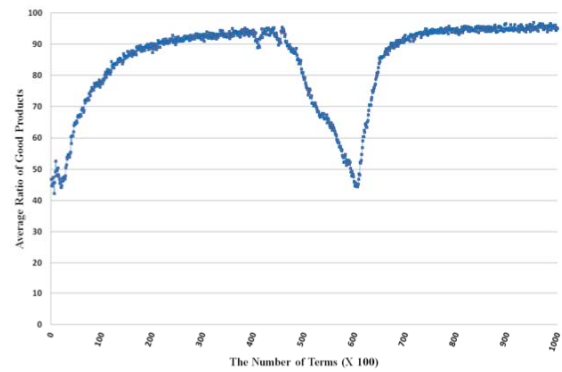


Fig. 6: A trial with Wild Up and Down

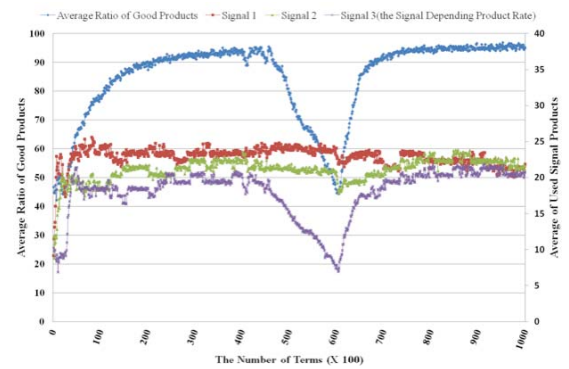


Fig. 7: Changes of Average Ratio of Good Products and Average of Used Signal Products

高くなる傾向を見ることが出来る。このように、 $M \times a = 200$ の値を越えたときに最も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ことがわかる。

4 良品率に依存するシグナルの分析

4.1 単一の良品率に依存するシグナル

単一の良品率に依存するシグナルを利用するにあたり、Table 1の M と a の値を式(3)に代入することにより

良品率に依存するシグナルの値が200となるため、良品率に依存するシグナルコストの値が200を超える300のときのシグナルを利用した場合に対して分析を行った。シグナルコストの値が300の時の結果をFig. 5に示す。

Fig. 5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. 5より、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ことがわかる。しかしながら、シグナルコストの値が上記の条件を満たしているにも関わらず、高い良品率の市場が達成できていないケースや良品率の変動が見られるケースが存在することがわかる。本稿では、それらのケースについて、良品率が変動する理由を分析する。

Fig. 5に示した100試行の中で良品率が変動したケースを抽出した結果を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としては、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益が高くなるため、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る。

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、シグナルを使って成立した商品数の平均値に関する結果をFig. 7に示す。Table 1に示したように、各売り手エージェントは、3つのシグナルを用いるかどうかを決定して、商品を提供する。各売り手エージェント1回の取引で、自分が利用するシグナルを付随して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、全ての売り手エージェントが、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、Fig. 2からFig. 5と同様に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、シグナルを利用するときに、単純なコストが必要となるシグナルである。

Fig. 7より、市場の良品率の低下が発生する50,000期よりも前の40,000期あたりの時期から、良品率に依存するシグナルであるシグナル3を用いた商品の販売が落ちていることがわかる。その結果、市場の良品率が低下することにつながっている。

このような振る舞い起こる理由は次のように推測される。当初は、市場全体の良品率が高くないため、良品率に依存するシグナルを使用することにより、高い利得が得られる。その結果、市場の平均良品率が高くなる。続いて、40,000期あたりになると良品率に依存するシグナルが取引において使用されず、普通のシグナルのみが使用されるようになり、市場全体の良品率が下がることになる。普通のシグナルを用いる場合、良品率の高い売り手エージェントが高い利得を得るこ

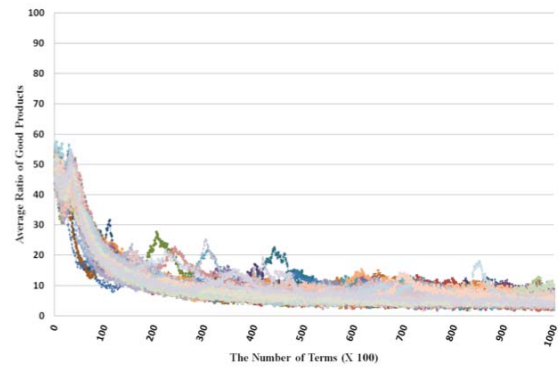


Fig. 8: Effect of the Signals Depending on Good Product Rate (=60)

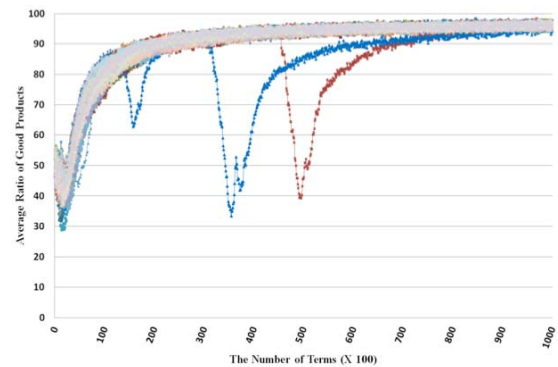


Fig. 9: Effect of the Signals Depending on Good Product Rate (=70)

とにつながらないため、結果として、市場の良品率を高めることにはつながらず、市場全体の良品率が下がることになる。売り手エージェントが商品を提供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。

4.2 複数の良品率に依存するシグナル

ここで、良品率に依存するシグナル数を増やした場合を検討する。文献⁵⁾に示された良品率に依存するシグナル数とシグナルコストのバランスを検討した上で、シミュレーションでは、3つのシグナルすべてを良品率に依存するシグナルにする。各シグナルの提示コストを60と70にして、実験を行った。Fig. 8およびFig. 9に100回の試行の結果を示す。シグナルコスト60の場合、Fig. 8に示すように、100試行全てにおいて、市場はレモンマーケットとなった。これは、3つのシグナルを使ったとしても、シグナルコストの合計が180となり、 $M \times a = 200$ の値を下回ることから妥当な結果である。一方、Fig. 9より、シグナルコスト70の場合、途中で良品率が下落する試行があるものの、最終的に全ての試行において、商品の品質を維持した市場が達成できた。

そこで、良品率に依存するシグナルコストが70の時、良品率の下落が観察された1つの試行を抽出し、さらに、各試行の各シグナルの平均良品率の分析を行う。下落

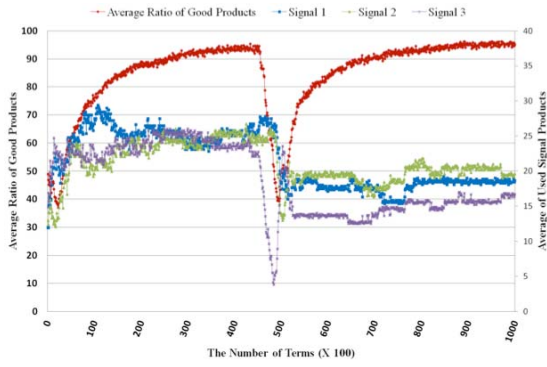


Fig. 10: Changes of Average Ratio of Good Products and Average of Used Signal Products (Case 1)

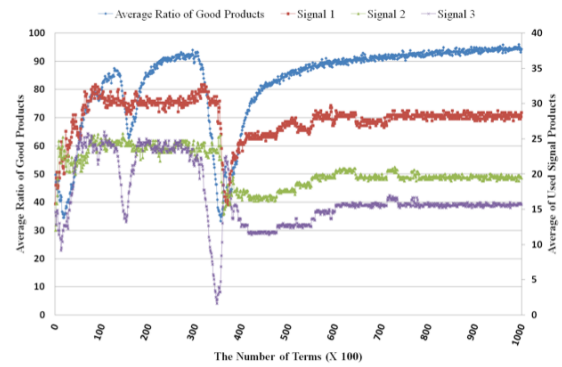


Fig. 13: Changes of Average Ratio of Good Products and Average of Used Signal Products (Case 2)



Fig. 11: Changes of Average Ratio of Good Products and Average Ratio of Good Products by Signal (Case 1)

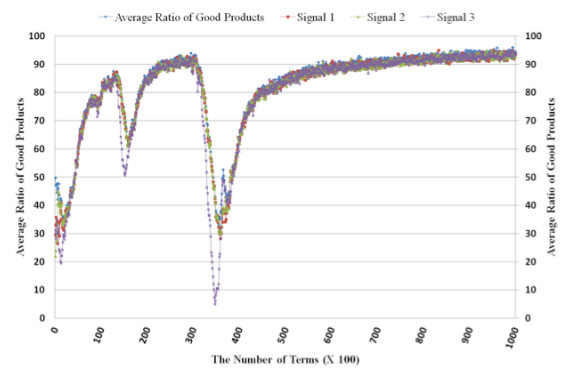


Fig. 14: Changes of Average Ratio of Good Products and Average Ratio of Good Products by Signal (Case 2)

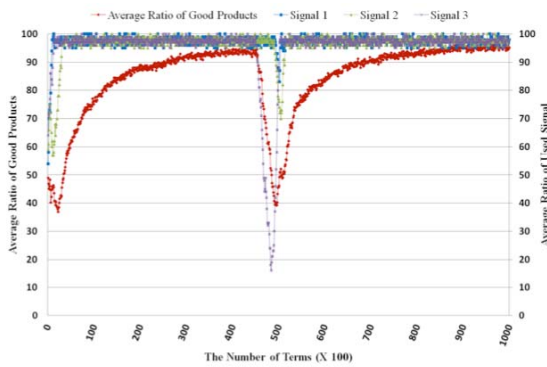


Fig. 12: Changes of Average Ratio of Good Products and Average Ratio of Used Signal (Case 1)

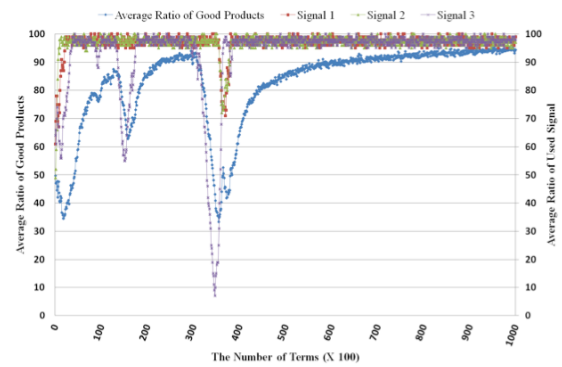


Fig. 15: Changes of Average Ratio of Good Products and Average Ratio of Used Signal (Case 2)

が1度の試行をケース1, 下落が2度観察される試行をケース2とする. 各試行中での売り手の平均良品率の推移と, 平均シグナル利用商品数, 売り手のシグナルの良品率, シグナルの利用率の推移を重ねて表示した結果を, ケース1をFig. 10からFig. 12に, ケース2をFig. 13からFig. 15に示す. ここで, シグナルの良品率とは, シグナルを使って販売した商品の真の良品率を表す. また, シグナルの利用率とは, 売り手エージェントの中で, そのシグナルを利用しているエージェントの割

合を示す.

Fig. 10において, 市場の平均良品率が下がる際, シグナル利用商品数も落ちていくことがわかる. すなわち, 取引の際にシグナルが利用されなくなることで, シグナルを利用するコストが下がり, 売り手エージェントの利益が, 良品率に依存しなくなるために, 良品率の低下が起こることがわかる. また, Fig. 11から, シグナルを付随して販売した商品の真の平均良品率がわかるが, 売り手エージェントの良品率が下がること

により、個々のシグナルの良品率も下落することがわかる。一方、Fig. 12 に示すように、売り手エージェントは、全てのシグナルを使わなくなるわけではなく、今回の事例では、シグナル1 とシグナル2 は使用し続けるものの、シグナル3 の利用率が低下することにより、シグナル利用コストに変化が生じることがわかる。

Fig. 13からFig. 15のケース2においても同様に、シグナル3の利用率が低下することにより (Fig. 15を参照)、そのシグナルを利用して販売する商品の数が低下し (Fig. 13を参照)、売り手の良品率が低下することにより、シグナルが付随して販売される商品自体の良品率が低下する (Fig. 14を参照) ことがわかる。

5 おわりに

本稿では、シグナルコストに検討することにより、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。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を示した。また、複数のシグナルを同時に使用し、高品質の商品が流通する市場が達成できることを示した。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、市場の品質の低下に先立って、売り手エージェントのシグナル利用の状況が変化することがわかった。特に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益構造に変化が生じ、良品率の低下売り手エージェントが市場に増加することがわかった。

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) J. Kim, B. Lee: When a lemon market emerges?, *Proc. of the Korean Economic Association*, 1/20 (2005)
- 3) M. Spence: Signaling in retrospect and the informational structure of markets, *The American Economic Review*, vol.92, no.3, 434/459 (2002)
- 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部会講演論文集, 23/28, (2012)
- 5) 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回社会システム研究部会講演論文集, 29/34 (2012)
- 6) 杜逆索, 村田忠彦: 市場の品質変動と売り手エージェントのシグナル利用との関係, 第3回進化計算学会研究会資料集, 102/106 (2012)