



RIETI Discussion Paper Series 08-J-052

## オンライン市場における価格変動の統計的分析

水野 貴之  
一橋大学

渡辺 努  
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<http://www.rieti.go.jp/jp/>

# オンライン市場における価格変動の統計的分析

水野貴之\*  
一橋大学

渡辺 努  
一橋大学

2008年8月1日

## 要旨

本稿では、価格比較サイト「価格.com」において仮想店舗が提示する価格と、それに対する消費者のクリック行動を秒単位で記録した新しいデータセットを用いて、店舗の価格設定行動と消費者の購買行動を分析した。本稿の主要なファインディングは以下のとおりである。第1に、店舗の価格順位（その店舗の価格がその時点において何番目に安いかが1位でない場合でもクリックが発生する確率はゼロではない。ただし、価格順位が下がるとクリック確率は下がり、価格順位とクリック確率（の対数値）の間には線形に近い関係が存在する。この線形の関係は、消費者に店舗の好みがあり、消費者が自分の好みの店舗群の中で最も安い価格を提示する店舗を選択していることを示唆している。第2に、各店舗が提示する価格の平均値は、ドリフト付きのランダムウォークに従っている。これは価格変動の大部分が店舗が保有する在庫のランダムな増減によって引き起こされていることを示している。ただし、価格が急落する局面などではランダムウォークからの乖離がみられ、各店舗の価格づけの戦略的補完性が値崩れを招いている可能性を示唆している。

*JEL Classification Numbers:* E30; L11; L81; L86

*Keywords:* オンライン市場; 価格のばらつき; ランダムウォーク; フラクタル性

---

\*連絡先：一橋大学経済研究所，一橋大学物価研究センター（mizuno@ier.cc.hit-u.ac.jp）。本稿の作成に際しては高安美佐子氏，高安秀樹氏，渡部敏明氏との議論が有益であった。また，株式会社カクコム及び株式会社BCNからは本稿で使用する価格データの提供を受けた。カクコム社の大堂充久氏，BCN社の赤荻悠介氏にはデータの性質について詳細な説明をいただいた。記して感謝したい。なお，本稿は日本学術振興会学術創成研究「日本経済における物価変動ダイナミクスの解明」（課題番号：18GS0101）の活動の一環として作成されたものである。また本稿で使用するデータセットの構築費用の一部は独立行政法人 経済産業研究所の資金援助によって賄われた。

# 1 はじめに

インターネットの普及が我々の生活を根底から変えるのではないかという予測は急速に支持を失いつつあるように見える。ネット社会において消費者や企業の行動が変化してきたし、これからも変化を続けるのは事実であるがそれは普及の当初に考えられていたほどではなかったということであろう。

しかしインターネットの普及が間違いなく重大な影響を及ぼしている分野がある。それはネット上での経済取引に関する経済学者や経営学者の研究である。特に企業の価格設定行動と消費者の購買行動に関する研究はオンライン市場の登場により大きな影響を受けた。それにはいくつかの理由があるが最も重要なのはデータ収集が格段に容易になったということである。例えば同一の商圈に属する企業が展開する価格競争のモデルは多数存在するがそれを検証するのは難しい。競合企業の価格をオフライン市場で大量に収集するのはほぼ不可能に近いからである。特定の商品の特定の時期について収集するのが精々である。それに比べれば、価格比較サイトなどの「市場」で競合している店舗がそれぞれどのような価格を提示しているかを知るの容易であり、まとまった量のデータセットを構築することも難しくない<sup>1</sup>。

本稿では、わが国の代表的な価格比較サイトである「価格.com」のデータを用いて企業の価格設定行動と消費者の購買行動を実証的に検討する。本稿で用いるデータは、価格.comで扱われるほとんど全ての商品をカバーしている。商品はバーコード（JANコード）単位で定義されるもので、集計が一切なされていない。これらの商品について電子店舗（E-retailer）は時々刻々、提示価格を更新する。一方、価格.comのサイトを訪れる消費者は様々な価格を提示する店舗の中から気に入ったものをクリックし購入する。本稿で用いるデータセットは、各店舗によって提示されたすべての価格と、消費者のすべてのクリックを秒単位のタイムスタンプとともに記録したものである（期間は2006年11月1日から2007年9月30日まで）。

<sup>1</sup>Ellison and Ellison (2005) はもうひとつの理由としてオンライン市場が「実験」環境の整備に貢献していると指摘している。例えば、オンライン市場において消費者は価格のサーチを費用をかけずに行うことができる。しかし消費者の意思決定は価格だけで決まるのではなく、その店の顧客サービスの充実度（アフターサービスが充実しているか否かなど）や店に対する各顧客の選好などにも依存する。オンライン市場の登場は価格のサーチ費用がゼロまたは極端に低いという環境を創出することにより、それ以外の要因がどれだけ重要なかを正確に計測する機会を与えてくれる。インターネットの普及が経済学者の研究スタイルに及ぼした影響についてさらに詳しくは Varian (2002) を参照。

本稿で用いるデータセットはユニークな性質をもっている。米国を中心とするこれまでの研究では、インターネット上で電子店舗が提示する価格をロボットを用いて1日に何回か収集し、それを分析対象とするというのが典型的であった。しかしロボットの収集対象となった店舗が互いの価格を監視し合う競合関係にあるとは限らない。また各サイトで提示される価格の定義も同一でない。これに対して本稿で用いるデータセットは、価格.comという規格化された「市場」に正式に登録した店舗がカカクコムコンピュータに送信した価格の記録である。各店舗は互いにその価格を監視しており、消費者もそれらの価格を見比べている。これがこれまでのデータセットとの大きな違いである。また、本稿で用いるデータセットには消費者のクリックに関する情報が含まれており、供給側だけでなく需要側の様子も観察できる。既存研究は店舗の提示する価格だけを収集しており、その価格で商品が実際に売れたのか否か、価格が変化したときに購買行動にどのような変化が起きたかといった重要な点を観察できていなかった<sup>2</sup>。

本稿の主たる関心は、(1) 提示価格の店舗間のばらつきがどのような規則性をもつか、(2) 各店舗の提示する価格の平均値の時系がどのような規則性をもつかの2点である。まず、(1)の横断面の性質については、インターネットの普及とともに同一商品の店舗間での価格のばらつき（dispersion）は消滅するとの見方が少なくとも十年前には多数派であった。各店舗の提示する価格がパソコンの画面で一覧できるのだから全ての消費者は最も安い店から買うはずで、その結果、それ以外の価格を提示する店舗は淘汰されると考えられていたのである。しかし実際には、価格.comの画面を開けばすぐわかるように、同じ商品に対して異なる価格が提示されており、価格のばらつきは消滅していない。同様の現象はこれまででも多くの研究によって指摘されている（例えば Baye et al. (2006) を参照）。消費者のサーチコストが下がっているにもかかわらずばらつきが消滅しないのはなぜだろうか。ばらつきは消費者のサーチが終わるまでの過渡的な現象なのだろうか。それともサーチが完了してもなお残る均衡現象なのだろうか。

この点に関する本稿のファインディングは、第1に、消費者は常に一番安い店舗を選択するわけではなく、二番手、三番手、あるいはそれより高い価格を提示す

<sup>2</sup>唯一の例外は Baye et al. (2007) である。この論文では英国の価格比較サイトである Kelkoo.com に掲載された PDA の価格とそれに対するクリックデータを分析している。

る店舗をクリックしているということである。これは、二番手以降の店舗も十分な勝算があって高めの価格を設定していることを示している。

第2のファインディングは、最安値を提示している店舗をクリックされる確率、二番手の店舗をクリックされる確率、三番手の店舗をクリックされる確率というように価格順位とクリックされる確率の関係を調べると、クリックされる確率（の対数値）と順位の間には線形に近い関係が存在するということである。この線形関係は、それぞれの消費者が各店舗について「好き」か「嫌い」かの好みをもっており、好きな店舗群の中で最も安い価格を提示している店舗をクリックすると考えると説明がつく。見知らぬ店舗がきちんと配達してくれるのか、商品保証をつけてくれるのかなど、店舗について消費者が不安を抱えており、そのため自分の知っている信頼できる店舗から購入しようとしていると解釈できる。あるいは店舗に対する顧客のロイヤリティとも解釈できる。いずれの解釈をとるにせよ、消費者にとって各店舗は異質であり、その異質性が価格のばらつきを生み出している。

本稿で扱う第2の話題である価格の時系列特性については、第1に、平均価格（特定の商品について各店舗が提示する価格の平均値）はドリフト付きのランダムウォークに従うというファインディングが得られた。また、店舗の保有在庫もランダムウォークに従っている。この2つのファインディングは、消費者の来店（在庫の減少要因）と商品の入荷（在庫の増加要因）がポアソン過程に従っており、そのために保有在庫がランダムウォークに従い、それを反映して平均価格がランダムウォークに従っていると解釈できる。

ただし、平均価格は常にランダムウォークに従っているわけではなく時々そこから乖離する。典型的には価格の下落が続くともう一段下落する確率が高くなる傾向が観察される。こうした一方方向へのトレンドは保有在庫には見られない。これらの結果は、価格がランダムウォークから乖離するときには保有在庫との関係が崩れていることを示唆している。ある店舗が価格を下げると別な店舗がそれに追随するというように店舗間で戦略的補完性が存在し、そのために価格下落がさらなる価格下落をよぶという現象が生じていると解釈できる。

本稿の構成は以下のとおりである。第2節では本稿で使用するデータについて詳細を説明する。第3節では店舗間の価格のばらつきに関する分析結果を Watanabe and Mizuno (2008) に即して紹介する。第4節では価格の時系列変動に関する分析結果を Mizuno and

Watanabe (2008a) に即して紹介する。第5節では価格のばらつきや時系列変動を再現するための単純なモデルを (Mizuno and Watanabe (2008b) に即して説明し、シミュレーション結果を示す。第6節は本稿の結論である。

## 2 データ

価格.com は、株式会社カカコムが運営するサイトであり、主にパソコンや家電商品を販売する約1300店舗が、それぞれの販売価格を登録している。現在、約30万商品が取り扱われ、毎月約1200万人が利用している。このサイトでは、それぞれの商品ごとに登録されたすべての店舗について、販売価格が安い順に店舗名と価格が表示される。

価格.com では、店舗名と価格の情報のほかに、店舗の属性情報も表示される。主な属性情報としては、送料の有無（有りの場合は送料表示）、クレジットカード払い対応の有無、代金引換払い対応の有無、配送センターの住所、リアル店舗所有の有無、過去に店舗を利用した顧客による店舗評価などがある。価格.com を訪れた消費者が商品を購入する際には、これらの情報を見ながら、はじめに商品を購入する店舗を選び、次にサイト上に表示される店舗の詳細情報のページから「店の売り場に行く」というボタンをクリックすることにより店舗側の商品販売の Web サイトへと移動する。消費者は店舗側の Web サイトに表示される「購入」のボタンを押すことにより商品を購入する。

一橋大学物価研究センターではカカコム社との共同プロジェクトにおいて、価格.com のサイト上で行われる各取引を秒単位の時刻スタンプ付きの情報として記録したデータセットを作成した。具体的には、本稿で用いるデータセットは、価格.com における2006年11月1日から2007年9月30日までの期間に取り扱われているすべての商品について、各店舗によって提示されたすべての価格（約7000万レコード）と、消費者の「店の売り場に行く」というボタンをクリックした履歴（約6000万レコード）を記録したものである。各店舗がどのような価格を提示するかはいわば商品の供給サイドの様子を表すものであり、各消費者がいくらの価格を提示するどの店をクリックしたかは需要サイドの様子を表すものである<sup>3</sup>。

<sup>3</sup>「店の売り場に行く」というボタンがクリックされたからといってそれが最終的な購買に結びつくとは限らない。しかしクリックされた回数と実際に売れた商品の個数の間には強い相関があると言われている。価格.com での「店の売り場に行く」というボタンのク

### 3 店舗間の価格のばらつきに関する分析

1990年代後半には、インターネットの普及により消費者は各店舗の価格を容易に比較できるようになるので、価格のばらつきが早晩消滅すると指摘されていた。例えば1999年11月20日付けのThe Economistには以下の記述がある。

The explosive growth of the Internet promises a new age of perfectly competitive markets. With perfect information about prices and products at their fingertips, consumers can quickly and easily find the best deals. In this brave new world, retailers' profit margins will be completed away, as they are all forced to price at cost.

実際、価格.comでは、この予測どおり、熾烈な価格競争が日々繰り広げられている。例えば、キャノン株式会社が販売するデジタルカメラIXY DIGITAL 910 ISについては、約65店舗が売価を価格.comに登録し、2007年9月だけで292回、多い日は1日に約30回の最安値の価格の更新が起きた。このことは、数分から数時間単位で店舗が価格を更新し、最安値の争奪戦をしていることを意味する。また、このときの1回の最安値の変動する幅は1円から数百円程度の範囲であった。

しかしこのような安値争奪戦が繰り広げられる一方で、これに加わらない店舗も少なくない。IXY DIGITAL 910 ISを例にとると、ある日のある時点で最安値が29,840円のとときに、最も高い値段としては49,578円が提示されており、高い方から5番目の店舗でも43,890円であった。しかもこのような店舗はいつも高値を提示する傾向が見られる。こうした店舗に、高値を提示する理由を聞くと、少々高めの価格設定でもロイヤリティの高い顧客を中心に販売量を確保できているとの回答があった。つまり、これらの店舗では安値競争に加わることなく、高めの価格を維持するというビジネスモデルが成立している。このような価格設定行動は、店舗間での価格のばらつき (dispersion) が大

リックを通して販売された数量のデータが存在しないため両者の正確な関係は観察できないが間接的に相関を計測することは可能である。具体的には、BCN社により収集された家電量販店26社(約2350店舗)のスクリーンデータを用いて、クリック数の多い代表的な商品について、1週間単位の価格.comでのクリック数とそれら26社での販売実績数を比較したところ(期間は2006年11月1日から2007年9月30日まで)、比較したすべての商品で約0.9という高い相関係数の値が計測された。この結果はクリック数が販売数の代理変数として有用であることを示している。

きく、また消費者が実際に購入する価格についてもばらつきが大きい可能性を示唆している。

#### 3.1 店舗の順位とクリックされる確率

高めの価格で果たして売れるのだろうか。Watanabe and Mizuno (2008)は、価格.comのデータを用いて、同一の商品について提示価格を調べた結果、消費者は常に一番安い店舗を選択するわけではなく、二番手、三番手、あるいはそれよりも高い価格を提示する店舗をクリックしていることを確認した。つまり、二番手以降の店舗が提示する価格はあながち的外れではない。二番手以降の店舗も十分な勝算があって高めの価格をつけているといえる。この意味で、価格のばらつきは、合理的な選択の下で生まれる均衡現象である可能性がある<sup>4</sup>。

Watanabe and Mizuno (2008)は、最安値を提示している店舗がクリックされる確率、二番手の店舗がクリックされる確率、三番手の店舗がクリックされる確率というように価格順位とクリックされる確率の関係を調べている。図1は液晶テレビAQUOS LC-32GH2について両者の関係を示している。横軸は順位 $r$ 、縦軸はその順位の店舗がクリックされる確率 $P(r)$ (の対数値)を示している。この図から直ちにわかるのは、1位をとりさえすれば100%の確率でクリックされるわけではないということである。また、10位であったとしてもクリックされる確率がゼロというわけではない。さらに重要な点は、各順位の店舗がクリックされる確率は、1位で約30%、2位が約21%、…、10位が約1.5%と単調に小さくなっており、両者の間には

$$\log P(r) = -ar - b \quad (1)$$

という線形に近い関係が成り立っているということである( $a$ と $b$ は正のパラメータ)。このような関係は他の商品でも同様に観測できる。

図1の結果は、順位とクリックされる確率の関係を示すものであるが、順位が高ければ当然、価格も高いので、価格の高さがクリックされる確率を下げ

<sup>4</sup>米国のデータを用いた研究でも、ネット上での価格のばらつきが消滅していない、あるいは過去と比べて小さくならなっていないという事実が確認されている。例えば、Brynjolfsson and Smith (2000)は書籍とコンパクトディスクの価格のばらつきを調べ(期間は1998-1999年)、ばらつきが大きいと指摘している。同様に、Ellison and Ellison (2004)は2000-2001年の期間におけるメモリーモジュールの価格を、Baye et al (2004)は1999-2001年の期間における消費者家電の価格を、Chevalier and Golsbee (2003)は2001年における書籍の価格を調べ、それぞればらつきが存在すると報告している。

いる可能性も否定できない。つまり、図1の結果は、価格が高くなるとクリックが減るという単純な関係を示しているに過ぎないのかもしれない。この点を調べるために、Watanabe and Mizuno (2008) は、連続する順位、第  $i$  位と第  $j$  位 ( $j = i+1$  or  $i-1$ ) の店舗間の提示価格の差  $R(i, j)$  と、第  $i$  位の店舗でクリックが起きる確率  $P(i)$  の関係に注目した。具体的には  $R(i, j)$  は

$$R(i, j) \equiv \frac{p(i) - p(j)}{p(j)} \quad (2)$$

と定義される。ここで、 $p(i)$  と  $p(j)$  はある商品における第  $i$  位と第  $j$  位の店舗が提示した価格である。 $p(j)$  で割っているのは、商品の違いによる価格帯の違いや物価変動の影響を取り除くためである。

図2は、 $i$  と  $j$  が1位または2位の場合の計測結果を示している。1位と2位の価格差が十分に小さい場合（つまり  $|R(1, 2)| = |R(2, 1)| \approx 0$  の場合）、1位の店舗がクリックされる確率  $P(i = 1 | |R(1, 2)| \approx 0)$  は約0.4であるのに対して、2位の店舗がクリックされる確率  $P(i = 2 | |R(1, 2)| \approx 0)$  は約0.2である。つまり、ほとんど同じ価格を提示しているにもかかわらず最安値の店舗と二番手の店舗ではクリックされる確率が2倍も異なる。

一方、 $R(1, 2)$  がゼロ近傍でない領域では緩やかな右下がりとなっており、1位の店舗あるいは2位の店舗が順位の変更を伴わない範囲で価格を上げるとクリック確率が低下する（下げると上昇する）ことを示している。この右下がりの線の傾きは通常の価格弾性値を表す。ここでのポイントは、順位の変化と比べると（店舗間の）相対価格の変化がクリック確率に与える影響は小さいということである。消費者は相対価格ではなく順位を重視していること、つまり1円でも安い店で購入しようとしていることを示している。ただし、1円でも安ければ全ての消費者がその店に向かうのかというそうではなく、2位の店舗でもクリックされる確率はゼロではなく、同様に1位の店舗でもクリック確率は1ではない。この点では図1の結果と整合的である。Watanabe and Mizuno (2008) は7位の店舗まで調べた結果、6位と7位でさえも順位の壁が存在し、ほとんど同じ価格でもクリックされる確率は6位と7位で1.5倍程度違うことを確認している。

### 3.2 価格のばらつきを生むメカニズム

図2の結果は、消費者が1円でも安い店を選択する傾向があることを示している。しかし同時に、図1でみたように、消費者は必ずしも最も安い店でだけ購入するわけではない。この2つの事実を整合的に説明するにはどのように考えればよいだろうか。

いま、ある消費者に注目し、その消費者が各店舗について予め「好き」か「嫌い」かの選好をもっているとする。全体の店舗の中で好きな店舗の割合を  $\theta$  とする。同様に、各消費者は、全体の店舗の  $\theta$  の割合の店舗が好きで残りは嫌いという選好を持っているとする。ただし、各消費者の店舗に関する好き嫌いは異なっており、互いに独立であるとする。この設定の下で、各消費者は自分の好きな店舗の中で最も安い価格を提示している店をクリックすると仮定する。このとき、安い方から数えて順位  $r$  の店舗がクリックされる確率  $P(r)$  は

$$P(r) = (1 - \theta)^{r-1} \theta \quad (3)$$

となる。両辺対数をとると、順位とクリックされる確率（の対数値）の間に線形の関係が存在することがわかる。これは(1)式と同じ式である。

ここでは、消費者は(1)まず好きな店舗を選ぶ、(2)次にその中から実際に購入する店舗を選ぶという2段階の選択を想定している。そこでのポイントは、消費者は嫌いな店舗では絶対に買い物をしてないという点である。嫌いな店舗がいかに安い価格を提示しようともなびくことは決してない。その意味で好きな店舗と嫌いな店舗の間の「壁」は非价格的であり、それは非常に高い。しかしその一方で、消費者は好きな店舗群に属する店舗を価格以外の理由で差別することは決してない。好きな店舗群については非価格の要素は完全に同一であり、したがって価格だけが唯一の判断基準である。だからこそ最も安い店舗を選ぶのである。

各店舗に「好き」か「嫌い」かの選好が与えられているということの意味は、消費者の購買先候補のセットが絞られていることであり、消費者のサーチに限界があると解釈できる。価格比較サイトによって検索技術が向上したとはいっても消費者が使える時間はあくまで誰でも平等に24時間であり、有限である。そのため消費者が徹底的な検索を行い、すべての店舗に関する完全な情報を入手することはあり得ないという見方である。その代表例としては、いわゆる“rational inattention”（合理的無関心）という考え方がある<sup>5</sup>。

<sup>5</sup>合理的無関心仮説については例えば Sims (2006) を参照。

商品を購入しようとする消費者は、見知らぬ店舗がきちんと配達してくれるのか、商品保証をつけてくれるのかなど、店舗について不安を抱えており、そのため情報の収集できた自分の知っている店舗の範囲から購入しようとする と解釈できる。

(3) 式が消費者の購買行動を示す式であるとすれば、図1を用いて  $\theta$  の値を推計することができる。最尤法による推計値は  $\theta = 0.18$  であり、この商品の価格を提示している店舗が 40 店舗であったことを踏まえると、この商品をクリックした消費者は、好みの店舗として平均的に 7 店舗 ( $40 \times 0.18 \approx 7$ ) をもっており、それらの店舗の中で最も安い店舗をクリックしたと考えることができる。

ただし、図1を注意深くみると、 $\theta = 0.18$  を示す実線は高い順位（価格の安い店舗）では実績との乖離が大きくなる傾向にある。実際、1位から10位の店舗だけを用いて  $\theta$  を推計すると  $\theta = 0.13$  となる（図中の破線は  $\theta = 0.13$  を表す）。図からわかるように、10位以降の店舗がクリックされる確率は  $\theta = 0.13$  の直線よりも上にある。これは、10位以降の店舗は上位の店舗に比べて選好の強さを表す係数  $\theta$  が  $0.13$  よりも大きくなることを意味している。つまり、下位の店舗ほど、消費者に好みの店舗として選ばれる可能性が高い。これは、高値をつけている店舗は価格以外の競争力（多様な支払い手段、ネームバリュー等）をもち、だからこそ高めの価格設定を続けることができると解釈できる<sup>6</sup>。

## 4 価格の時系列変動に関する分析

Mizuno and Watanabe (2008a) は、各店舗の提示する価格の平均値の時系列特性を調べている。本節では同論文をもとに時系列特性について主要な分析結果を紹介する。

価格.com のデータは秒単位の時間スタンプが押されているので、株式市場や外為市場などの資産市場において各トレーダーが提示する quote とよく似ている。例えば、外為市場は金融機関という「店舗」が外貨という「商品」について店頭で価格を表示し、そこを訪れる客が好みの価格を探す場である。そのように考えれば価格.com と外為市場の間に大きな差はない。そこで以下では、外為市場や株式市場で quote の時系列

<sup>6</sup>この価格以外の競争力が何であるのかを調べることにより店舗の異質性を明らかにすることは今後の研究課題である。

特性を調べる際の手法を借用して価格.com における商品価格の性質を調べることにする。

資産市場の分析では資産価格がランダムウォークに従うか否かが論点とされてきたが、特にどのような局面でランダムウォークから乖離するのかに研究者の関心が集まっている<sup>7</sup>。デジタル家電など耐久消費財の価格はしばしば大きく値崩れすると言われているが、これは資産価格の暴落と似た仕組みによるものかもしれない。そうした視点から商品価格の時系列特性を見ていくことにしよう。

### 4.1 商品価格のフラクタル性

商品価格のフラクタル性を調べるところから議論を始めよう。図3は液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 における各店舗の提示する価格の平均値の時系列である。一番上の図は2006年11月から2007年9月までの11ヶ月間の価格の変動の図、2段目はその一部分を拡大した3ヶ月間の図、一番下はさらにその一部分を拡大した10日間の図である。どの図でも、同じように様々な時間間隔で価格が上がったり下がったりしているのが確認できる。このように一部分を拡大したものが全体と似ている性質を総称してフラクタル性と呼ぶ。1960年代に Mandelbrot が綿の市況にこのフラクタル性があることを発見して以降、多くの研究者によって様々な資産価格を対象に研究が行われ、このフラクタル性はすべての資産価格に共通して存在する性質であることが確認された (Mantegna and Stanley (1999), Pictet et al (1995))。

ハースト指数 価格のフラクタル性を定量的に調べるには、 $\tau$  時間だけ離れた2時点間の価格変化の標準偏差  $\sigma(\tau)$  と時間スケール  $\tau$  との関係調べればよい。価格変化の標準偏差  $\sigma(\tau)$  は、

$$\sigma(\tau) \equiv \sqrt{\langle (p(t+\tau) - p(t) - \langle p(t+\tau) - p(t) \rangle)^2 \rangle} \quad (4)$$

で定義される。ここで  $p(t)$  は時刻  $t$  における価格、 $\langle x \rangle$  は与えられたデータ  $x$  の標本平均である。価格にフラクタル性が存在する場合には  $\sigma(\tau)$  と  $\tau$  の間に

$$\sigma(\tau) \propto \tau^\alpha \quad (5)$$

という関係が成り立つ<sup>8</sup>。この係数  $\alpha$  はハースト指数と呼ばれている。価格がランダムウォーク過程に従う

<sup>7</sup>経済物理学の手法を用いた研究としては、Mizuno et al (2003), Takayasu et al (2006) などがある。

<sup>8</sup>この点について詳しくは Feder (1988) を参照。

場合には  $\alpha = 0.5$  となり、これは各時刻の価格変動がお互いに独立であることと関係している。 $\alpha > 0.5$  の場合は  $\alpha = 0.5$  に比べ価格は速く拡散する。価格変動に正の相関があり、価格にトレンドが一旦生じると、それが増幅されることを意味している。これに対して、 $\alpha < 0.5$  の場合は mean-reverting であり、一方方向への単調な変化は起こりにくい。

円ドル相場に関する研究では、時間スケール  $\tau$  が 10 分よりも長い領域で  $\alpha = 0.5$  が成り立ち、10 分よりも短い領域で  $\alpha < 0.5$  となることがわかっている (Tsonis et al (2001))。つまり円ドル相場は 10 分以上の時間スケールではランダムウォークに近い挙動を示すが、10 分以下の時間スケールではランダムウォークから乖離し mean-reverting な性質をもつ。

図 4 は、液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 の価格の平均値について、 $\tau$  時間だけ離れた 2 時点間の価格変化の標準偏差  $\sigma(\tau)$  と  $\tau$  の関係を示している。図中の直線は、ランダムウォーク過程のときに成り立つハースト指数  $\alpha = 0.5$  を表している。この図からわかるように、時間スケール  $\tau$  が 1 分から 3 ヶ月の全時間領域にわたって  $\alpha = 0.5$  の直線に従っている。つまり、価格変動はどのような時間スケールでもランダムウォークに近い挙動をしている。Watanabe and Mizuno (2008a) は、液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 以外にも、デジタルカメラ IXY DIGITAL 900IS や家庭用ゲーム機 Wii など各商品カテゴリーのクリック数の上位の商品についてハースト指数を計算し、価格変動の挙動は全時間領域にわたってランダムウォークに近いことを確認している。

**価格と在庫の関係** 価格.com の商品価格がランダムウォークに近い性質を示すのはなぜだろうか。資産価格の場合は価格にその時点における情報が完全に反映されているという前提の下で、情報の到達が過去に依存しない、つまり情報の到達がポアソン過程に従うことがその理由とされている。

このアナロジーで考えると、価格.com の商品価格についても、価格の変動が何らかのショックによって引き起こされているとして、そのショックがポアソン過程に従っていると推測される。例えば、消費者がある商品の購入を思い立ち価格.com のサイトを訪れるという事象がポアソン過程に従う可能性がある。消費者の購買に伴って安い店舗の価格から順に在庫がなくなっていくとすれば、それは店舗の提示する平均価格を引き上げる。一方、価格.com に登録している店舗における商品在庫の入荷がポアソン過程に従っており、これ

が平均価格の引き下げを起こしている可能性がある。

こうした推論が正しく来客や入荷という事象がポアソン過程に従っているとすれば店舗の抱える在庫はランダムウォークに従っているはずである。この点を実際に確認してみよう。

価格.com に出店している店舗の典型像は小規模経営であり、抱えている在庫も少ない。メーカーなどから少数の在庫を仕入れ、それを売り切ると同じ商品をまた仕入れたり、別な商品を仕入れたりするという回転の速い商売を行っている。こうした店舗は、在庫を持っている間は価格.com の店舗として登録するが、在庫がなくなると登録を抹消する。このような登録制は、在庫のない店舗が価格を提示し顧客に迷惑をかけるのを回避するための工夫であり、在庫がないにもかかわらず登録を抹消しない店舗に対してはカカクコム社からペナルティが課されることになっている。本稿で用いるデータセットでは各商品について各時点での「登録店舗数」が分かっている。この登録店舗数は在庫を持つ店舗の数であるから、価格.com という 1 つのオンライン市場における流通在庫の代理変数とみることができる。メーカーが増産したり、大手の流通業者が価格.com に登録する店舗に在庫を供給すれば登録店舗数は増加する。また反対に、消費者が価格.com に登録する店舗で商品を購入すれば登録店舗数は減少する。以下ではこの登録店舗数を用いて在庫と価格の関係を調べることにする。

Mizuno and Watanabe (2008a) は、 $\tau$  時間だけ離れた 2 時点間の登録店舗数の差の標準偏差  $\sigma_N(\tau)$  とその時間スケール  $\tau$  との間には

$$\sigma_N(\tau) \propto \tau^{0.5} \quad (6)$$

という関係が存在することを見出した。つまり、登録店舗数もランダムウォークに近い挙動を示している。この結果は、在庫の減少（店舗への消費者の来客）と在庫の増加（メーカーや流通業者からの商品の入荷）がともにポアソン過程に従い、その結果として在庫がランダムウォークに近い挙動を示していると解釈できる。

次に、Mizuno and Watanabe (2008a) は登録店舗数の変化と価格の変化の関係を調べ、図 5 の結果を得ている。この図からわかるように、登録店舗数が増加すると価格の平均値が下落するという安定的な関係が存在する。登録店舗数の変化は在庫の変化であり、取引フローとみることができる。資産価格の microstructure の分野では取引フローが価格に影響を及ぼすことが知られているが<sup>9</sup>、ここでの結果はこれと類似している。

<sup>9</sup>例えば Wood et al (1985) を参照。



図5に見られる安定的な線形関係は在庫変動によって価格変動のかなりの部分が説明できる可能性を示唆している。Mizuno and Watanabe (2008a) はこれを確認するために、まず両者の関係を

$$p(t+1) - p(t) \approx b[N(t+1) - N(t)] + f(t) \quad (7)$$

と書き表す。ここで  $N(t)$  は時刻  $t$  における登録店舗数を表す。係数  $b$  は登録店舗数の変化と平均価格の変化の間の線形な関係を表しており、図5の直線の傾きから推計できる。 $f(t)$  は確率的な攪乱項である。この式から、登録店舗数の変動が価格に及ぼす影響  $p^*(t)$  を計算することができる。

$$p^*(t) \equiv b \sum_{T=0}^{t-1} [N(T+1) - N(T)] + P_0 \quad (8)$$

ここで、 $P_0$  は与えられたデータにおける初期時点の価格水準である。Mizuno and Watanabe (2008a) は、 $p^*(t)$  の変化と  $p(t)$  の変化には強い相関が存在し、多くの時期で相関係数が0.8を超えることを確認している。

## 4.2 ランダムウォークからの乖離

前節では、(1) 価格変動がランダムウォークに近いこと、(2) その背後には在庫のランダムウォークに近い変動があることを確認した。しかしこれは時系列の「平均的」な特性であり、商品価格が常にランダムウォークに従っているとは限らない。実際、しばしば指摘されるように、デジタル家電は価格の下落がさらなる下落をよぶというような大きな値崩れをみせることがあり、それはランダムウォークからの乖離を示唆している。本節ではどのようなときにそうした乖離が生じるのかを調べてみよう。

価格変動の相関 まず、価格変化の相関からそうした乖離が検出できるかどうかみてみよう。1時間の価格差  $\Delta p(t) = p(t+1 \text{ hour}) - p(t)$  の自己相関関数は

$$C(T) \equiv \frac{\langle \Delta p(t+T) \Delta p(t) \rangle - \langle \Delta p(t) \rangle^2}{\sigma(\tau = 1 \text{ hour})^2} \quad (9)$$

で定義される。Mizuno and Watanabe (2008a) は、液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 やデジタルカメラ IXY DIGITAL 900IS、美容機器 EH2493、家庭用ゲーム機 Wii などについて、それぞれの商品の1時間の価格差の自己相関を調べた結果、 $C(T)$  がほぼゼロであることを確認した。

しかし自己相関関数がゼロであることは相関が一切ないということの意味するものではない。例えば、ある時期の価格変動には正の相関が存在し、また、他のある時期には負の相関が存在する場合、このように正と負の相関が同じ期間ずつ存在していれば、自己相関関数は打ち消しあってゼロとなるからである。別な言葉でいうと、自己相関関数は時刻の離れた2点の価格差の相関のみを調べる方法である。したがって、価格変動に2時点以上でないことのできない相関があれば、その相関は自己相関関数を用いて観測することはできない。

このような複雑な相関を分析するには、up-down 解析と呼ばれる分析手法が有効である<sup>10</sup>。Up-down 解析では、まず、価格が上がったときを「+」、価格が下がったときを「-」と示し、価格変化の時系列を「+」と「-」の羅列に変換する<sup>11</sup>。そのうえで「+」と「-」の時系列の性質を調べる。

仮にコイン投げのように「+」と「-」がランダムに出現するのであれば、「+」が出現した次の時刻に「+」が出現する条件付きの確率  $P(+|+)$  と「+」が2回続けて出現した次の時刻に「+」が出現する条件付き確率  $P(++|+)$  は等しくなるはずである。表1は液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 についてこれらの条件付き確率を計算した結果を示している<sup>12</sup>。これをみると「+」が連続すればするほど「+」が出現しやすく、また「-」が連続すればするほど「-」が出現しやすくなるのがわかる。例えば「+」の出現が1回の条件付き確率は  $P(+|+) = 0.35$  であり、「+」の出現が2回の条件付き確率は  $P(++|+) = 0.40$  である。この傾向は「+」の出現回数が増えるほど大きくなり、「+」の出現が7回の条件付き確率では  $P(+++|+) = 0.60$  まで上昇している。

在庫変動の相関 Up-down 解析の結果は価格変動が純粋なランダムウォークではないことを示している。ではなぜこのような複雑な相関が生じるのだろうか。2つの可能性がある。第1は在庫変動にこのような複雑な相関が存在し、価格変動はそれを反映していると

<sup>10</sup>ここで用いる手法は Mizuno et al (2003) や Ohira et al (2002) によって開発されたものである。これは計量経済学という duration dependence に近い。例えば、Lunde and Timmermann (2004) は株式市場が bear または bull の状態を持続する期間の長さが bear または bull の期間の終焉という事象の確率とどのように関係しているかを調べている。

<sup>11</sup>価格の変動が全くないときは無視する。

<sup>12</sup>確率の後の計数は信頼区間を表す。誤差  $\hat{\sigma}$  の値は  $\hat{\sigma} = 1/(2n^p)$  で定義される ( $p$  はそれぞれの確率の点推定値、 $n$  はサンプル数を表す)。ここでは数値計算を用いて  $\hat{\sigma}$  を算出した。

いう可能性である。前節では来客がポアソン過程であると考えればランダムウォークが生じると説明したが、その考え方を延長すると、客が客をよぶというような来客の相関があるとすればランダムウォークからの乖離が生じる。例えば、口コミなどを通じて商品の人気は自己増殖的に拡大するような状況では、「+」が続けば続くほど次に「+」の出現する確率が増加する。

第2は、在庫変動とは独立に、価格自身に複雑な相関を生み出す仕組みが内在しているという可能性である。例えば、デジタル家電については店舗間で最安値の奪い合いやライバル店舗が値下げしたことによる値下げの追従が起きていると言われている。店舗の価格づけにこのような戦略的補完性があるとすれば、価格の下落がさらなる価格の下落をよぶ現象が生じる。「-」が続くればするほど「-」が出現しやすくなるという性質はこれを反映しているのかもしれない。

2つの可能性のどちらが正しいかを知るには在庫変動について up-down 解析を行い、価格と同様の複雑な相関があるかどうかを確かめればよい。表2は在庫  $N(t)$  について up-down 解析を行った結果を示している。対象商品はこれまでと同じく液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 である。この表から分かるように「+」が続くと次に「+」の出る確率は上昇するもののその上昇幅はわずかであり、統計的に有意でない。「+」が何度か続いた後で「+」の出る確率は無条件の確率と有意に異なるのである。「-」についても同様で「-」が続いても次に「-」が現われる確率の有意な上昇は認められない。この結果は、在庫変動には複雑な相関がないことを示しており、ハースト指数の計測結果と合わせて考えると、在庫変動は純粋なランダムウォークであるといえる。

この結果は、価格のトレンド的な上昇・下落が在庫変動に起因するものではないことを示している。つまり、価格のトレンド的な上昇・下落を、来客や商品入荷のポアソンの性質の崩れによるものとするのは適当でない。客が客を呼ぶというような性質は他の商品については当てはまるのかもしれないが少なくともこの商品の価格変動を説明する上では適切でない。価格のトレンド的な上昇・下落は各店舗の価格づけにおける戦略的補完性などの要因によると考えるのが適切である<sup>13</sup>。

<sup>13</sup>この結果は(8)式で定義した  $p^*$  の動きとも整合的である。Mizuno and Watanabe (2008a) は、 $p$  と  $p^*$  が大きく乖離することがあり、それは典型的には  $p(t)$  の大幅な下落時期であることを見出している。こうした時期について価格  $p(t)$  の変化と  $p^*$  の変化の相関はほぼゼロとなっており、在庫の変動を伴わない価格下落が起きていることを示している。このような価格変動と在庫変動の乖離

## 4.3 価格変化分布

4.1 節では価格変化の標準偏差を、4.2 節では価格変化の相関を見てきた。本節では価格変化の幅について見ておくことにしよう。ここでは時間  $\tau$  だけ離れた2時点間の価格の差  $p(t+\tau) - p(t)$  の累積密度関数を計算する。

$$P(\geq x) \equiv n(\geq x)/S \quad (10)$$

ここで  $n(\geq x)$  は  $x$  以上の価格変化が生じた回数、 $S$  は価格変化の総数である。なお、累積密度関数は、通常、確率変数がある値よりも小さい確率と定義されるが、ここではその反対に、ある値よりも大きい確率と定義されている(そのため counter-cumulative distribution function とよばれることもある)。

図6では、液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 の価格について、価格が値上がりする方向と価格が値下がりする方向、それぞれについて時間スケール  $\tau$  が1分間、100分間、1週間の価格変化  $|p(t+\tau) - p(t)|$  の累積密度関数を示してある。この図におけるこれらの関数の横軸は、各時間スケールの価格変化の標準偏差  $\sigma(\tau)$  で割ることによって規格化されている。すなわち、横軸は

$$|p(t+\tau) - p(t)|/\sigma(\tau)$$

である。

図中の直線は指数関数を、曲線は標準正規分布を表す。この図からは、まず、十分に大きな時間スケールでみると( $\tau = 1$ 週間)、累積確率密度関数は正規分布に近いことがわかる。一方、短い時間スケールでみると( $\tau = 1$ 分間と100分間)、値上がりする方向と値下がりする方向ともに、大きな価格変動の確率が正規分布が示すよりも大きく、累積密度関数は指数分布のそれに近いことが読みとれる。Mizuno and Watanabe (2008a) は在庫がポアソン過程に従う場合に在庫の変化の分布と価格変化の分布がともに指数分布に近くなることを数値例によって示している<sup>14</sup>。

現象は、最安値の奪い合いやライバル店舗の値下げへの対抗的な値下げなど店舗間で内生的に起こる競争によるものと考えられる。

<sup>14</sup>外国為替相場の価格変化分布については、ここでの結果と同じく大きな価格変動の確率が正規分布が示すよりも大きい、その関数形は指数関数ではなく、べき関数であると報告されている(Mizuno et al (2003), Mantegna et al (1999))。商品価格と資産価格で価格差の関数形に違いが生じる一因は投機目的の市場参加者の存在であると考えられる。実際、資産市場のディーラーの行動をモデル化した研究では、投機目的のディーラーの割合が多いほど価格差の密度関数がべき分布に近くなると報告されている(Takayasu et al (1992))。これに対して価格.comの商品は原則として店舗と消費者の間で1回だけ取引されるものである。購入者(消費者や店舗)が

## 5 オンライン市場モデル

### 5.1 モデルの設定

店舗の価格提示に関する行動や消費者の購買行動を記述することにより、オンライン市場の価格の時系列特性を再現するような手法は、資産市場の研究ではしばしば用いられる。例えば、Smith et al (2003) は株式市場のような連続オークション市場における order book (各ディーラーが市場に提示する指値注文と成り行き注文の状況) の時間発展を記述する確率モデルを構築した。Mizuno and Watanabe (2008b) は、市場に存在する同一商品の様々な価格の在庫の増減を、この株式市場の order book のように記述した確率モデルである。以下ではその概要を紹介する。

図 7 は、市場に存在する在庫のスナップショットをイラストしたものである。同一商品でも店舗によって価格設定が異なるために、市場には様々な価格の在庫が存在する。イラストでは、最も安い在庫が 1 単位、2 番目に安い在庫が 4 単位、3 番目が 2 単位、以降... と市場に在庫が存在している。我々が導入するモデルでは、各店舗、1 単位までしか在庫を持ってないと設定する。このようにすると、各店舗が提示する価格の平均値は、在庫 1 単位の平均価格と等しい。次に、モデルにおける市場の在庫状況の時間発展ルールとして、消費者の購買による在庫消費とメーカーの増産等による在庫増加を解説する。

各消費者は各店舗に対して「好き」か「嫌い」かの選好をもっているとする。各消費者が、それぞれの店舗を好きである確率は  $q_1$  で与えられる。各時刻において、確率  $p_1$  で消費者による 1 単位分の商品購入が発生し、確率  $1 - p_1$  で発生しない。商品の購入が発生した場合、その消費者は自分の好きな店舗の中から最も安い価格を提示している店舗の在庫を購入する。この様子を、イラストで示したのが図 8 である。図 8 では、時刻  $t$  での市場の在庫状況が図 7 であった状況下で、時刻  $t+1$  に消費者における購買が発生し、その消費者の「好き」な店舗 (図 8 の線で囲まれている在庫) の中から最も安い価格を提示している店舗の在庫 (図 8 の破線の在庫) が購入された。このケースでは、時刻  $t+1$  の各店舗が提示する価格の平均値は、図 7 で示した時刻  $t$  の市場の状態より安い在庫が 1 単位消失したために、時刻  $t$  に比べて上昇する。このモデルでは、

安い在庫ほど消費者に購入されやすいために、購買が発生すれば、多くの場合、価格の平均値は上昇する。

各時刻において、確率  $p_2$  でメーカーや流通業者から新たな 1 単位の在庫を手に入れた店舗が市場に参入してくる。このとき、参入してくる店舗も、消費者の選好と同じように、各店舗に対して「競合店」か「競合店ではない」かの選好のようなものをもつとする。ある店舗に対して、それぞれの店舗が競合店である確率は  $q_2$  で与えられる。店舗の参入が発生した場合、その店舗は自店舗に対する全ての競合店よりも 1 円安い価格を在庫に付けて市場に投入する。この様子を、イラストで示したのが図 9 である。図 9 では、時刻  $t+1$  での市場の在庫状況が図 8 であった状況下で、時刻  $t+2$  に新たな在庫を持った店舗の参入が発生し、その店舗の「競合店」(図 9 の線で囲まれている在庫) の中で最も安い価格を提示している店舗の在庫 (図 9 の破線の在庫) よりも 1 円安い価格で市場に在庫を投入する。このケースでは、時刻  $t+2$  の各店舗が提示する価格の平均値は、安い在庫が市場に 1 単位投入されたことによって、時刻  $t+1$  に比べて下降する。このモデルでは、新たに投入される在庫の値段は、多くの場合、市場に現存する他の多くの在庫に比べて安いために、価格の平均値は下降する。以上が、このオンライン市場モデルのルールと解説である。

### 5.2 モデルのシミュレーション

導入したオンライン市場モデルには、在庫の変動という外生的な要因は組み込まれているが、内生的な店舗間の競争は組み込まれていない。従って、表 1 で示すような up-down 解析による条件付き確率の値の違いは再現できない。しかしながら、それ以外の基本的な価格に関する統計性については再現することができる。

横断面 (店舗間の価格のばらつき) の統計性については、このモデルによって図 1 で見られるような、各店舗で購買が発生する確率の対数値とその店舗の最安値からの安値順位の間関係の線形性を再現することができる。

モデルによって作られる価格の時系列面 (価格の時間変動) の統計性について述べる。図 10 は、モデルのパラメータを  $p_1 = p_2 = 0.3$ ,  $q_1 = q_2 = 0.4$  と設定してシミュレーションをおこなったときに生成される各店舗が提示する価格の平均値と在庫数 (登録店舗数) の時系列である。この平均価格は、図 4 で見られるようなハースト指数 0.5 のフラクタル性や、図 6 で示した短い時間スケールで見られる価格差の指数関数に従う頻

投機的な転売を目的として売り買いを繰り返すということは原則として起きない。これが資産と財の重要な違いであり、その違いが累積密度関数の裾の形状の違いとして現われていると解釈できる。

度分布と長い時間スケールで見られる正規分布、自己相関関数の値がゼロを示す価格差など、これらの時系列特性をすべて満たす。また、在庫数についてもハースト指数 0.5 のフラクタル性や、図 5 で見られるような在庫数の変化と平均価格の変化の線形な関係も成立する。

このオンライン市場モデルにおいても、これまで現象論的にデータから抽出された「来客と商品入荷がポアソン過程に従う 保有在庫がランダムウォークに従う 各店舗が提示する価格の平均がランダムウォークに従う」という外的な在庫変動の要素による価格変動のメカニズムが確認される。この結果からも、オンライン市場には、このメカニズムが潜んでいると考えて間違いない。

### 5.3 残された課題

オンライン市場モデルのパラメータの大部分は、実際のデータから見積もることが可能である。各時刻における消費者による購買が発生する確率  $p_1$  や在庫を手に入れた店舗が市場に参入してくる確率  $p_2$  は、与えられたデータから単位時間あたりの購買数と登録店舗数の変化を測定することにより推定できる。各消費者がそれぞれの店舗を好きである確率  $q_1$  や、参入してくる店舗がそれぞれの店舗を競合店として選ぶ確率  $q_2$  は、購入が発生した店舗の順位の確率密度関数や参入した店舗の順位の確率密度関数から推定できる。それぞれの商品カテゴリーに対してパラメータを見積もり、シミュレーションをおこなうことによって、各商品の性質に合わせた価格安定化に向けた制度設計を探ることができる。このようにモデルを利用して市場制御への理解を深めていくことが今後の課題である。

モデルの改善点として次の 2 点が指摘できる。第 1 点は、内生的な店舗間の競争をモデルに組み込むことである。現在のモデルでは、一度、価格を付けた店舗は価格の付け替えをおこなわない。現実では、新たに参入した店舗の価格を契機として既存の店舗は価格を更新し、その価格更新はまた別の店舗の価格更新をしばしば引き出す。このようなメカニズムをモデルに組み込み、表 1 で見られるような up-down 解析による条件付き確率の値の違いを再現することが課題である。この改善により、各商品における各時刻の値崩れのリスク推定がモデルから可能になる。改善の第 2 点は、店舗についての異質性の導入である。高値を付ける店舗は比較的いつも同じであり、逆に安値を付ける店舗もほぼ決まっている。データ分析の結果、高値をつけて

いる店舗ほど価格以外の競争力（多様な支払い手段、ネームバリュー等）があることが示唆された。従って、モデルでは消費者が各店舗を好む確率を店舗に依らず一定としていたが、現実の市場に近付けるためには、そこを修正し店舗ごとに確率を変える必要がある。この改善により、同一商品であっても価格にばらつきが存在することが、店舗の利潤最適化と整合的であるかどうかを、モデルから調べることが可能になる。

## 6 おわりに

本稿では「価格.com」に参加する各店舗によって提示されたすべての価格と消費者のすべての購買を秒単位のタイムスタンプとともに記録したデータを用いて、2 つの実証分析とオンライン市場のミクロモデルの構築について紹介した。

第 1 の分析は、提示価格の店舗間のばらつきについてである。データ分析の結果、各商品に関して、各店舗で購買が発生する確率の対数値とその店舗の最安値からの安値順位の間には線形に近い関係が存在することが確認された。この線形の関係は、消費者にとって各店舗は異質であり、その異質性が消費者の選好を生み出していると考えると理論的に説明がつく。

第 2 の分析では、インターネット上の各店舗の提示価格の平均値（平均価格）の時系列特性を明らかにした。平均価格は主にドラフト付きのランダムウォークに従い、稀にランダムウォークから外れて大きく下落する。ランダムウォークの特性は、「来客と商品の入荷がポアソン過程に従う 保有在庫がランダムウォークに従う 平均価格がランダムウォークに従う」という外的な要因が基になるメカニズムにより発生していることを、ミクロ実証分析により突き止めた。ランダムウォークから外れる大きな価格の下落は外的な要因では説明できず、デジタル家電でしばしば指摘される店舗間の過当な競争による価格の下落のような、内生的に起きる店舗間の競争が価格変化に影響していることを示唆している。

店舗の価格提示に関する行動や消費者の購買行動を記述するオンライン市場モデルを紹介した。このモデルは、在庫の変動という外的な要因に起因する価格変動の時系列特性を忠実に再現することができることを示した。ただし、今回提示したモデルでは、店舗間の内生的な競争を組み込んでいない。これは今後の課題である。

## 参考文献

- [1] Baye, M. R., J. R. J. Gatti, P. Kattuman, J. Morgan, "Clicks, Discontinuities, and Firm Demand Online," Unpublished, Indiana University, July 2007.
- [2] Baye, M. R., J. Morgan, P. Scholten, "Information, Search, and Price Dispersion," December 2006. Forthcoming in *Handbook on Economics and Information Systems*.
- [3] Baye, M. R., J. Morgan, P. Scholten, "Temporal Price Dispersion: Evidence from an Online Consumer Electronics Market," *Journal of Interactive Marketing* 18 (4), 101-115, 2004.
- [4] Brynjolfsson, E., and M. D. Smith, "Frictionless Commerce? A Comparison of Internet and Conventional Retailers," *Management Science* 46 (4), 563-585, 2000.
- [5] Chevalier, J., and A. Goolsbee, "Measuring Prices and Price Competition Online: Amazon.com and BarnesandNoble.com," *Quantitative Marketing and Economics* 1, 203-222.
- [6] Ellison, G., and S. Ellison, "Search, Obfuscation, and Price Elasticities on the Internet," MIT Working Paper, 2004.
- [7] Ellison, G., and S. Ellison, "Lessons about Markets from the Internet," *Journal of Economic Perspectives*, Vol. 19, No. 2, 139-158, 2005.
- [8] Feder, J., "Fractals," Plenum Press, New York, 1988.
- [9] Lunde, A. and A. Timmermann, "Duration Dependence in Stock Prices: An Analysis of Bull and Bear Markets," *Journal of Business and Economic Statistics*, 22, 252-273, 2004.
- [10] Mantegna, R. N. and H. E. Stanley, "An Introduction to Econophysics," Cambridge University Press, New York, 1999.
- [11] Mizuno, T., and T. Watanabe, "Time series analysis of product prices on the online market," 2008a, Work in progress.
- [12] Mizuno, T., and T. Watanabe, "Modeling fluctuations of prices on the online market," 2008b, Work in progress.
- [13] Mizuno, T., S. Kurihara, M. Takayasu, and H. Takayasu, "Analysis of high-resolution foreign exchange data of USD-JPY for 13 years," *Physica A* 324, 296-302, 2003.
- [14] Muller, U. A., M. M. Dacorogna, R. B. Olsen, O. V. Pictet, M. Schwarz, C. Morgengegg, "Statistical study of foreign exchange rate: Empirical evidence of a price change scaling law and intraday analysis," *Journal of Banking and Finance* 14, 1189-1208, 1995.
- [15] Ohira T., N. Sazuka, K. Marumo, T. Shimizu, M. Takayasu, and H. Takayasu, "Predictability of currency market exchange," *Physica A* 308, 368-374, 2002.
- [16] Sims, C., "Rational Inattention: A Research Agenda," Princeton University, March 2006.
- [17] Smith, E., J. D. Farmer, L. Gillemot, S. Krishnamurthy, "Statistical Theory of the Continuous Double Auction," *Quantitative Finance* 3, 481-514, 2003.
- [18] Takayasu, M., T. Mizuno, and H. Takayasu, "Potentials force observed in market dynamics," *Physica A* 370, 91-97, 2006.
- [19] Takayasu, H., H. Miura, T. Hirabayashi, and K. Hamada, "Statistical properties of deterministic threshold elements: The case of market price," *Physica A* 184, 127,134, 1992.
- [20] Tsonis, A. A., F. Heller, H. Takayasu, K. Marumo, T. Shimizu, "A characteristic time scale in dollar-yen exchange rate," *Physica A* 291, 574-582, 2001.
- [21] Varian, H. R., "The usual decorous waltz between prices and sales becomes a lively tango in the world of online sales," *New York Times*, December 19, 2002.
- [22] Watanabe, T., and T. Mizuno, "Price dispersion on the online market", 2008, Work in progress.

- [23] Wood, R. A., T. H. McInish, J. K. Ord, “An investigation of transactions data for NYSE stocks,” *The Journal of Finance* 40, 723-739, 1985.

表 1: 商品価格に関する Up-down 解析

$P(+)$	$0.24 \pm 0.007$	$P(-)$	$0.76 \pm 0.007$
$P(+   +)$	$0.35 \pm 0.016$	$P(-   -)$	$0.79 \pm 0.008$
$P(+   ++)$	$0.39 \pm 0.028$	$P(-   --)$	$0.82 \pm 0.008$
$P(+   +++)$	$0.43 \pm 0.046$	$P(-   ---)$	$0.85 \pm 0.009$
$P(+   ++++)$	$0.44 \pm 0.070$	$P(-   ----)$	$0.86 \pm 0.009$
$P(+   +++++)$	$0.50 \pm 0.087$	$P(-   -----)$	$0.87 \pm 0.009$
$P(+   ++++++)$	$0.57 \pm 0.106$	$P(-   -----)$	$0.88 \pm 0.010$
$P(+   +++++++)$	$0.60 \pm 0.115$	$P(-   -----)$	$0.89 \pm 0.010$

表 2: 登録店舗数に関する Up-down 解析

$P(+)$	$0.50 \pm 0.016$	$P(-)$	$0.50 \pm 0.016$
$P(+   +)$	$0.49 \pm 0.022$	$P(-   -)$	$0.49 \pm 0.022$
$P(+   ++)$	$0.49 \pm 0.032$	$P(-   --)$	$0.48 \pm 0.032$
$P(+   +++)$	$0.56 \pm 0.045$	$P(-   ---)$	$0.46 \pm 0.045$
$P(+   ++++)$	$0.56 \pm 0.064$	$P(-   ----)$	$0.54 \pm 0.064$
$P(+   +++++)$	$0.54 \pm 0.091$	$P(-   -----)$	$0.54 \pm 0.091$

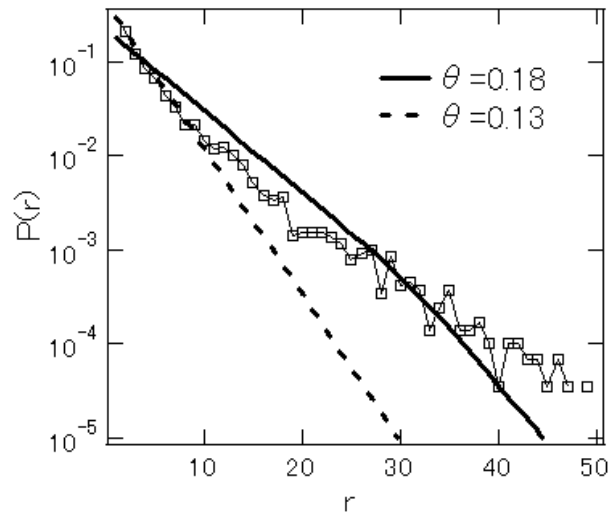


図 1: 価格順位とクリック確率

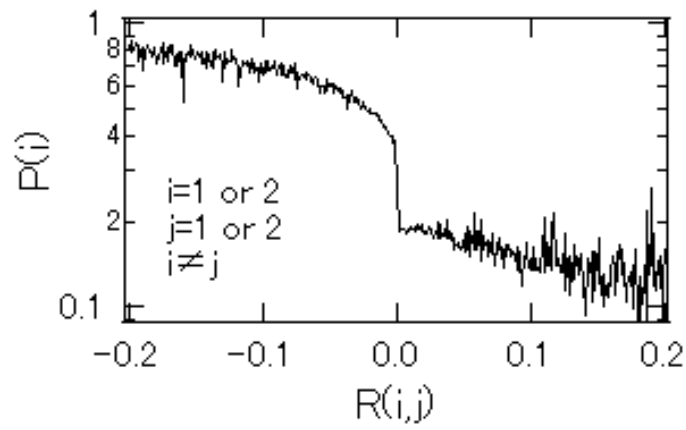


図 2: 1位と2位の価格差とクリック確率



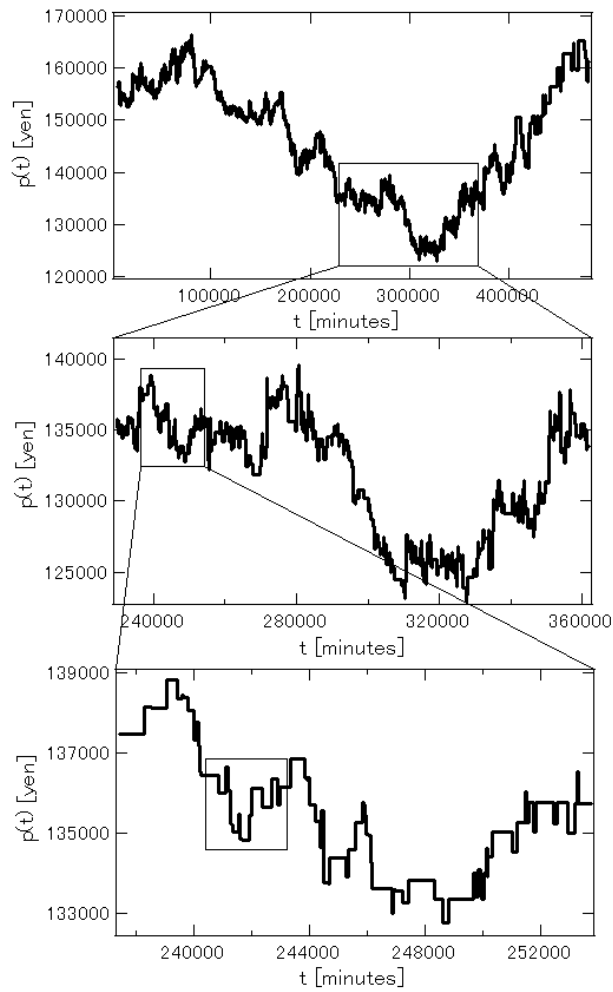


図 3: 液晶テレビ AQUOS LC-32GH2 の平均価格の推移  
 上から順に、2006/11/01 から 2007/09/30 までの 11ヶ月間の価格変動、  
 その一部分を拡大した 2007/04/10 から 2007/07/10 までの 3ヶ月間の価格変動、  
 さらにその一部分を拡大した 2007/04/16 から 2007/04/26 までの 10 日間の価格変動を表す。

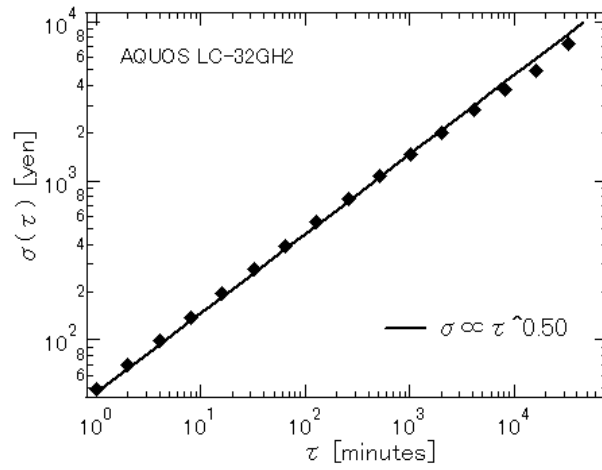


図 4: 価格のハースト指数

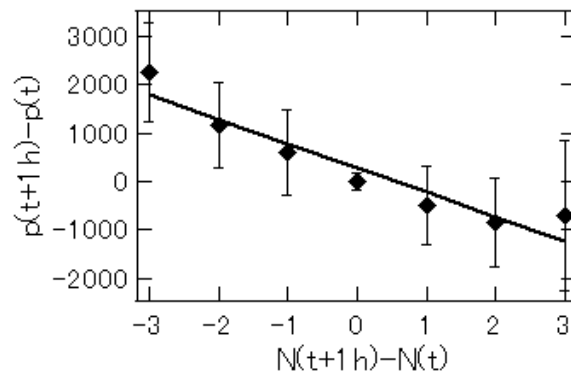


図 5: 1 時間の登録店舗数の変化と価格変化の関係

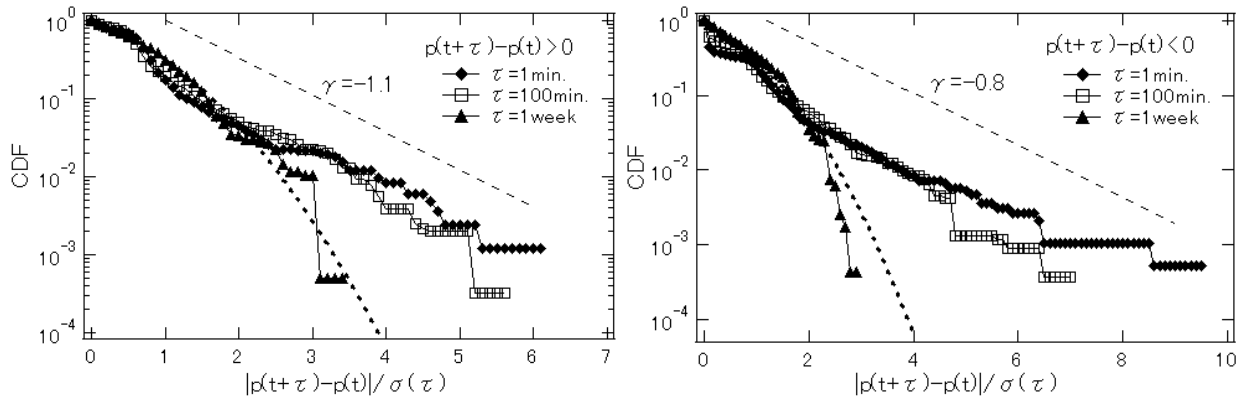


図 6: 価格変化の累積確率密度関数  
 左は値上がり, 右は値下がりのケースを表す。  
 直線は指数関数を, また曲線は標準正規分布を表す。

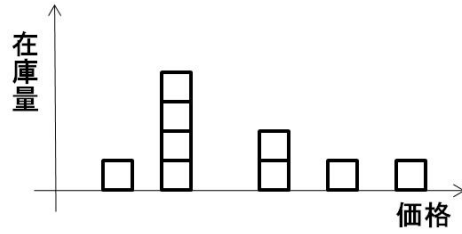


図 7: 価格帯別の在庫量

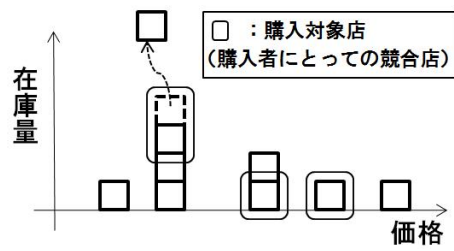


図 8: 消費者の購買に伴い在庫が減少

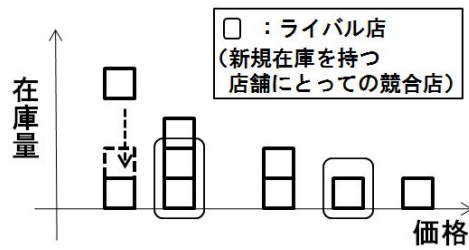


図 9: 商品の入荷に伴い在庫が増加

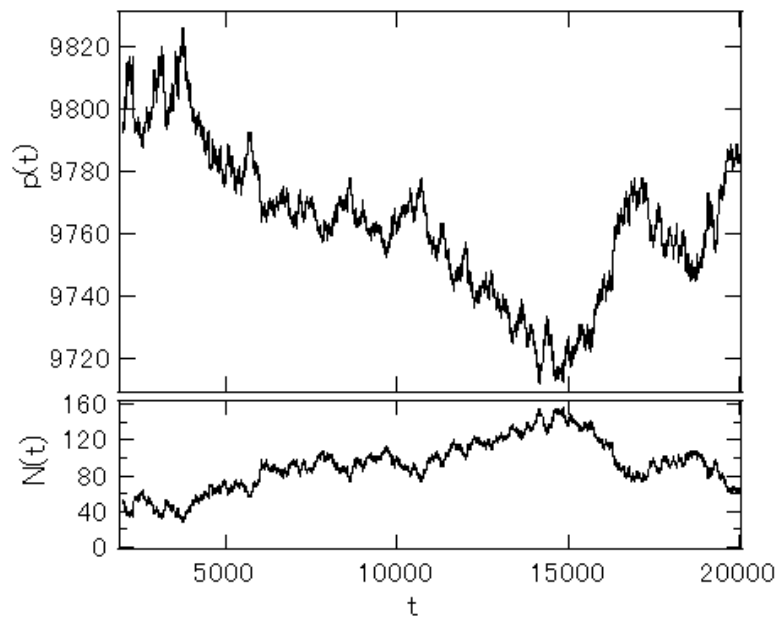


図 10: オンライン市場モデルによる商品価格と在庫の推移