



経済物理学の誕生

The Advent of Econophysics

高安秀樹
Hideki Takayasu

(株) ソニーコンピュータサイエンス研究所
シニアリサーチャー

1 経済と物理の出会い

人間の欲望に基づく経済現象と、人為とは全く無関係に宇宙が誕生したときから成立する物理現象、これらの間に、様々な類似性があることがこの数年の最先端の研究で明らかになってきた。そのような研究を進めているのが、経済物理学(エコノフィジックス)という新しい研究分野である。主な研究者は物理学者で、デジタル化されて蓄積されている膨大な金融データを物理現象のデータと同じように解析し、そこから法則性を見出している。経済学者や金融の実務家も関心を持ち、研究会や学会では従来の研究分野の枠をはるかに超えたレベルで活発な議論がされている。

金融市場の膨大なデータの山は、この分野の研究者にとっては宝の山である。例えば、少し前までは、円ドルレートのデータでも一日ごとのデータしかなかったが、今では、取引ごとの交換レートが、秒単位のタイムスタンプつきで蓄積されている。円ドル市場の場合、取引の頻度は平均的には7秒に1回程度なので、データ量は1日で1万個となる。データの量が、従来の1万倍になったことになる。従来の日時データの解析を顕微鏡で病原菌を探すレベルに例えれば、高頻度データの解析は電子顕微鏡でウィルスを検出するレベルに例えることができる。高頻度データによって初めて本当の市場の様子が明らかになってきたのである。

それにしても、人間の行動が生み出す経済現象が、物理学の手法で上手く解析できるはずはない、と思う方も多いかもしれない。しかし、それは誤解である。少なくともこれまでの経緯では、稀にしか起こらないような物理現象の実験データなどよりもはるかにきれいな結果をだす経済データはたくさんあり、そこから様々な展開がみられているのである。

経済物理学が誕生したのはまだ数年前のことであるが、日進月歩の勢いで研究報告が相次いでいる。特に、市場価格の変動のミクロな性質に関しては、かなり詳細な事実がデータ

に基づいた形で検証されており、確率論に立脚した金融工学などとの違いも明瞭になってきている。また、研究対象も市場価格の変動だけに留まらず、個人や企業の所得の分布や変動の問題、さらには、応用としてリスク対策に関するような研究から、通貨とはそもそも何かというような経済の根本に関わるような研究にまで及んでいる。

2 経済物理学の基本的な成果

ここでは、これまで得られてきた経済物理学の重要な研究成果について概説する。

2.1 市場価格変動のフラクタル性

経済物理学の研究の発端となったのは、市場価格の変動のフラクタル性の確認である。フラクタルとは、いくら拡大しても同じように複雑に見える形の総称で、今では、地形や雲や樹木の形状など非常に広範な自然界の形に適用できることが明らかになっている。この概念を生み出したマンデルブロは、1960年代に市場価格の変動のグラフを拡大しても縮小してもいつでも同じように見える性質を見出した。その研究が端緒となり、フラクタルの概念に発展していった。フラクタルの研究は1980年代に花開き、物理学のあらゆる分野に及び、さらに、自然科学・工学・医学などほとんど全ての理系の研究に影響を及ぼした。1990年過ぎに、フラクタルの研究が社会科学にも及び、フラクタルの原点だった市場価格の変動の解析に改めて注目が当てられた。60年代のマンデルブロの研究のときよりもデータの量と質ははるかに高くなって検証が行われたのである。

図1は、円ドルレートの変動を観測する時間スケールを変えて一部分を拡大したプロットである。それぞれの段階でおよそ10倍スケールが拡大されているが、大きなスケールで粗く観測した為替レートの変動とその部分を拡大した変動の

様子はよく似たものになっており、実際、レートの変動にフラクタル性が確認できる。

このような市場価格の変動のもうひとつの重要な特徴は、単位時間当たりの分布関数に見られるべき分布である。図2は、1分あたりの円ドルレートの変位の頻度分布を両対数プロットしたものである。このプロットで直線になる分布がベキ分布であり、一般に金融工学で仮定するような正規分布よりもはるかに大きな変動を高い頻度で含んでいることがわかる³⁾。このことは市場価格の変動が臨界ゆらぎであるという視点と整合する。臨界ゆらぎとは相転移現象に伴う普遍的なゆらぎであり、一般にゆらぎの変位の分布はベキ分布に従うことが物理学における相転移現象の研究の成果として知られている。市場のゆらぎの背後に潜む相転移とは次節のような意味である。

2.2 市場の相転移

一般に、需要にランダムなゆらぎが伴うとき、供給を需要の平均値と一致させるよりも、意図的に供給超過あるいは需要超過にする戦略をとるほうが利益を高くすることができることがわかってきた¹⁾。デパートで売られているほとんどの商品は超過供給になっており、売れ残った商品は処分されているし、週刊誌などは初めから30%程度売れ残ることを見越して生産されている。また、これとは逆に、自動車に代表されるように受注生産で売れ残りを出さないように供給する

ような超過需要戦略をとり、在庫を抱えるロスをなくすことによって利益率を高くしているような商品もある。

このような需要と供給の関係は、アダム・スミスに由来する伝統的なバネのモデルでは特徴を捕らえることはできない。その代わりに次のように相転移の視点を導入すると需給の問題や市場価格の変動に関わる様々な現象を全て合理的に理解することができる。供給が超過している状態と逆に需要が超過している状態とのふたつの状態があり、需給が平均的に釣り合った状態をふたつの状態の境目としてみなすのである。オープンマーケットでは、価格が変動することによって、平均的には需給はほぼ釣り合ったちょうど境目の状態を維持しつづけることになる。

物理学では、相転移点でのゆらぎには、大きなスケールで観測しても小さなスケールで観測しても同じような統計性を示すフラクタル性を伴うことが広く知られている。このような相転移に伴うゆらぎは、特に、臨界ゆらぎとよばれている²⁾。逆に言えば、臨界ゆらぎの性質が観測しているゆらぎの中に見出されれば、そのようなゆらぎを生み出す背後に相転移のメカニズムが潜んでいることが推定されることになる。

2.3 裁定機会

裁定機会とは、複数の市場での価格差を利用して、循環的に取引することで利益を上げることができるような状態のことである。金融工学を含めて経済学では、裁定機会はあってはならないものとされている。道にお金は落ちていない、なぜなら落ちているお金はすぐに拾われてしまうはずだから、という論理である。

しかし、高頻度の為替のデータを解析することによって、裁定機会が市場に確かに存在することはデータから実証されている⁴⁾。例えば、循環的に、円をドルに、ドルをユーロに、そして、ユーロを円に戻すという操作を行なうことで売値と買値を考慮しても、元金よりも増えることが時々起こるので

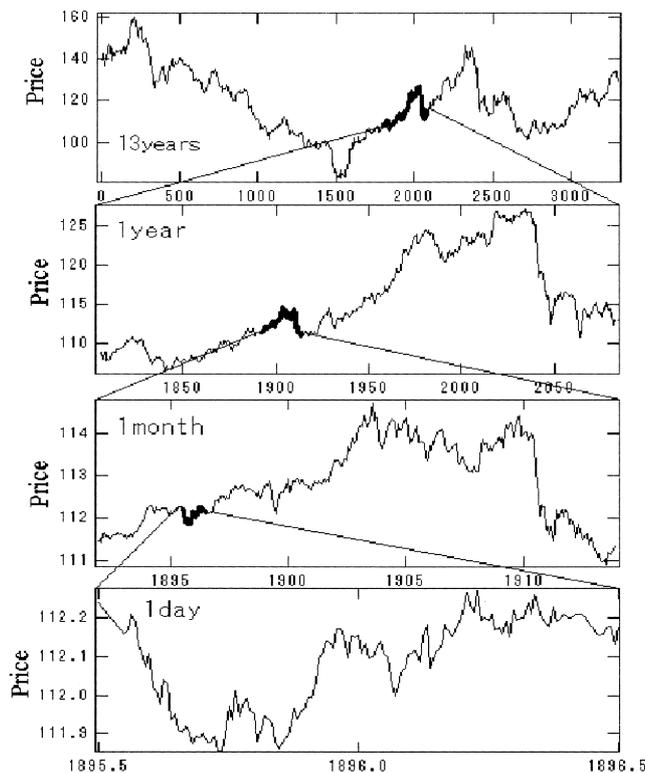


図1 円ドルレートの変動の例

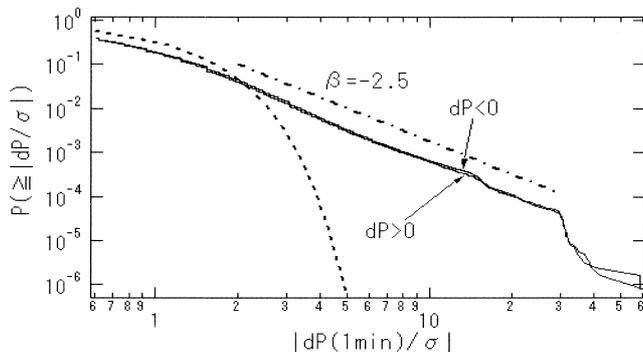


図2 円ドルレートの1分間の変位の累積分布
標準偏差σで規格化している
実線のdP > 0は円安方向の変位、dP < 0は円高方向の変位、
点線は正規分布、直線はベキ分布

ある。お金を拾うことに例えれば、ある確率でお金を落とす人は確かに存在し、そのお金が拾われるまでもに有限の時間がかかるといわけである。裁定機会は、市場価格が大きくゆらいだときに発生し、平均的には、取引時間の5%程度の時間に観測できる可能性があることがわかっている。図3は、円ドル市場におけるレートと、円でユーロを買って引き続きユーロでドルを買った場合の円ドルレートを表している。長時間では両者のレートは同じような動きを見せるが、短時間ではそれぞれのレートの動きは独立に近く、大きなずれを示す。そして、特に大きなずれが生じたときには、裁定機会が発生する。市場価格のゆらぎは一般にベキ分布で近似できるような大きな変動を伴っており、その結果として、秒単位で見れば裁定機会も発生と消滅を繰り返しているのである。

裁定機会の持続時間は数秒から数分程度である。したがって、従来のように1日刻みでデータを見ていては決して裁定機会は観測できない。また、この時間の長さは取引をできるぎりぎりの時間であり、この裁定機会を見出した後で取引のオーダーをしても利潤を必ずあげられるものではないことを注意しておく。しかし、金融の現場でのディーラー達は、裁定機会の存在を陰に陽に感じながら実務をこなしているのである。

2.4 ミクロとマクロのリンク

ミクロなスケールから市場価格の変動を記述するモデルとしては、それぞれが戦略を持ったディーラーをプログラムの形で用意しておき、コンピュータの中で仮想的に取引をさせて時間発展を観測するような人工市場のアプローチがある⁵⁾。人工市場のアプローチでは、まず、理論的に市場価格が安定しないことを示し、決定論的なダイナミクスに従うようなディーラー集団であっても、市場価格はランダムな変動と見分けがつかないような変動を引き起こすことが確かめられる。さらに、金融工学で使われているような確率モデルが実現するための条件をモデルの中では明らかにすることができる。

図4は、マクロな現象で、第2次世界大戦直後にハンガリ

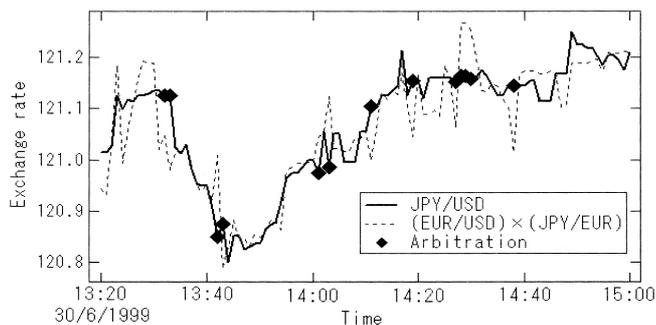


図3 直接の円ドルレートとユーロを挟んだ円ドルレート
四角の部分では、循環的な取引によって利益が出る場合を示す

ーで起こったインフレのデータからプロットした為替レートの推移である。交換レートは途中まではほぼ指数関数的に増大しており、その後、指数関数よりも急激に増大するハイパーインフレの特徴を示している。この後半の部分は、2重指数関数とよばれる関数型にしたがっていることがグラフのフィッティングから経験則として導くことができる。

ミクロな市場価格変動を正しく記述する確率的な挙動を含んだ動力学的方程式に対し、統計物理学において開発されている繰り込みの手法を適用すると、観測スケールを大きくした極限では、ゆらぎが無視でき、決定論的なマクロな価格方程式を演繹的に導くことができる。そして、この2重指数関数を見事に説明できるのである⁶⁾。これまでは伝統的に、ミクロ経済とマクロ経済は別物として扱われることが多かったが、このような物理学の手法を取り入れることによって、ミクロからマクロまでの経済現象を連続的に解析できるようになったといえる。

2.5 企業所得の分布

経済物理学の対象は、市場価格の変動ばかりではない。企業の所得や個人の所得のデータからもきれいな法則性が見出されている。図5は、過去30年間の日本企業の所得分布を両対数プロットで描いたものであるが、グラフの傾きはほぼ-1のまま全体に平行移動している。つまり、指数が-1のベキ分布が常に成立しているのである。ひとつひとつの企業を見るとその所得は年度ごとに大きく変動しているのであるが、それにもかかわらず、社会全体では同じ型の分布に従っていることは、全く自明でない経験則である。

このような法則に対してもモデルを介した理論的な解析が進んでいる¹⁾。シンプルで、しかも現象をうまく説明するモデルは、企業のある年度の所得が、前年度の所得にランダムに決まる成長率を掛け、さらに、ランダムな加算ノイズを加

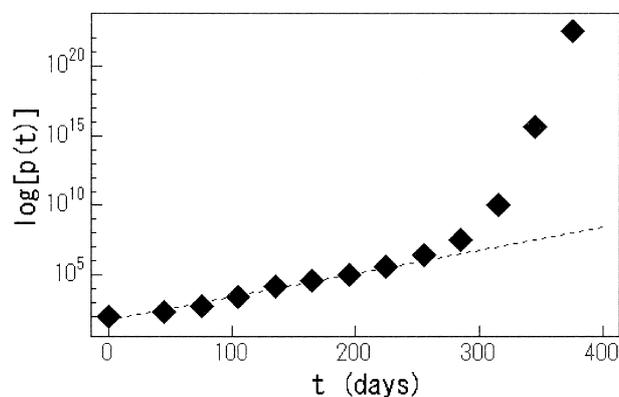


図4 第2次世界大戦直後のハンガリーにおける通貨の交換レートの推移
200日過ぎまでは通常の指数関数的なインフレ、それ以降は、典型的なハイパーインフレとなっている

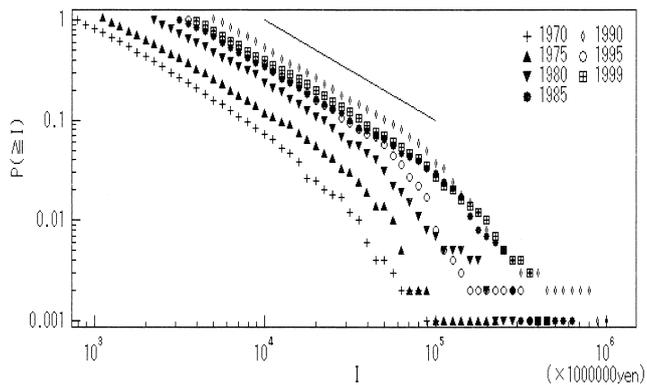


図5 日本企業の所得分布の経年変化
直線は、指数が-1のベキ分布の傾きを表す
所得全体は景気によってシフトしているが、ベキ分布の部分は
ほぼ30年間変わらない

えたもの、とする数理モデルである。数学的には、掛け算と足し算のノイズが入った確率過程ということになるが、そのような確率過程においては、定常的な状態において変数の値の分布が非常に一般的にベキ分布にしたがうことが知られている。ちょうど指数が-1のいわゆるジップの法則が成立するのは成長率の期待値が1、すなわち、全体として成長も減衰もしていないことを表している。したがって、このモデルに基づいて考えれば、日本の経済は、この30年ほどの間、ほとんど定常的な状態にあるということになる。バブルの崩壊までは日本の経済は成長し、その後、バブル崩壊によって経済が低迷した、というのが一般の理解のようであるが、バブルがらみの現象は土地の値段だけが異常な動きをしただけで、日本経済全体の基本的な構造は30年ほど拡大も縮小もしていないとみなすべきなのである。

2.6 企業通貨構想

円ドル為替が変動するために、日本全体では毎年約1兆円もの損失を出していると言われている。為替変動の先読みの失敗も原因のひとつであるが、金融リスクを回避するための保険費として金融派生商品を購入するためのロスが大きな要因である。

為替リスクを減らすためのエコノフィジックスの研究としては、今のところ金融工学の現実的な修正が主だった成果である。しかし、さらに抜本的な対策としては、図6に示したような民間企業が主体となって運営する既存の通貨のバスケットを独自の通貨単位とするような電子通貨システム構想がある¹⁾。バスケットとは、例えば、40円+0.3ドル+0.25ユーロを新しい通貨の単位とする、というような既存通貨の重み付けの和によって定義される通貨である。仮に新通貨の価値を既存の通貨のように市場にゆだねることにすると、そこに通貨の価値自体を投機に利用する動きが生じ、通貨の価値が絶えずゆらぐことになる。しかし、このようなシステムを

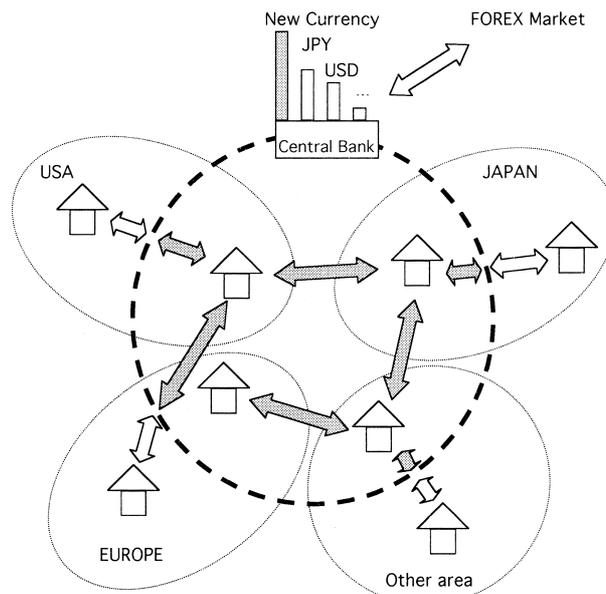


図6 企業通貨システム概念図
電子的なネットワークの内部は、バスケット型の電子通貨が流通する

導入すると、通貨圏内の経済価値が為替変動の影響を受けずに済むことになり、また、企業全体の無駄な通貨交換を極限まで減らすことができる。

詳細の説明は省略するが、この電子通貨システムは、電気回路におけるノイズを小さくする手法を、どうすれば為替システムに翻訳することができるか、というような着想で考えられたものである。国家を超えた通貨ユーロの誕生、電子通貨の発展、そして、ポイントやマイルという形で民間企業が発行するお金、さらには、地域で民間が発行する地域通貨など、1国家1通貨という20世紀の通貨の常識は21世紀になって大きく変わる兆しが見えてきている。また、この企業通貨システムは形を少し変えて、アジア債券市場に応用される可能性も検討されている。もしも、このようなバスケット型の電子通貨システム実現することができれば、現実のお金の流れを大きく変え、社会を変えるようなポテンシャルを持つものと期待される。

3 今後の展望

経済物理学の研究会は、毎年世界各地で開催され、日本でも定期的に研究会やシンポジウムが開かれ報告書も出版されてきている^{7,8)}。経済物理学は膨大な経済データを分析する時勢を得たものであり、また、既存の経済学と金融の実務とをリンクする役割をになっており、今後ますます重要性は増大するだろう。生物物理学が生物学を大きく変貌させたように、経済学自体も大きく変わり、自然科学の枠組みに組み込まれていくことも考えられる。

参考文献

- 1) 高安秀樹, 高安美佐子: エコノフィジックス, 市場に潜む物理法則, 日本経済新聞社, 東京, (2001)
- 2) 高安秀樹, 高安美佐子: 経済・情報・生命の臨界ゆらぎ, ダイヤモンド社, 東京, (2000)
- 3) Mantegna, R. N., and Stanley : H. E., An Intorduction to Econophysics, Correlations and Complexity in Finance, Cambridge Univ. Press, Cambridge, (2000) ; 中嶋眞澄訳: 経済物理学入門—ファイナンスにおける相関と複雑性, エコノミスト社, 東京, (2000)
- 4) 齋場行洋, 羽田野直道: 外国為替市場における揺らぎと相互作用—裁定機会の存在とその影響, 数理科学, 特集エコノフィジックス最前線, 10 (2002), 20.
- 5) 佐藤彰洋, 高安秀樹: デイラーモデルから金融工学へ, 数理科学, 特集エコノフィジックス最前線, 10 (2002), 27.
- 6) 高安秀樹, 水野貴之, 高安美佐子: インフレーションの数理, 数理科学, 3 (2002), 78.
- 7) H. Takayasu : Empirical Science of Financial Fluctuations — The Advent of Econophysics, Springer Verlag, Tokyo, (2002)
- 8) H. Takayasu : The Application of Econophysics, Springer Verlag, Tokyo, (2004)

(2004年5月17日受付)