

# U-Mart and Econophysics -An Artificial Market as a Common Test Bed-

中島義裕<sup>1</sup>

## 概要

エージェントベースドシミュレーションを中心とした仮想株式先物市場 U-Mart システムによる研究が進められている。システムの基本的な特性を探るために、このシステムを単純な Input-Output システムとしてみる必要がある。この論文では、国際公開実験 UMIE2002 (U-Mart International Experiment 2002) の実験データを用いて、(入力) 株価の系列の違いや (内部状態) 対戦相手の違いが (出力) 各エージェントの順位に与える影響について調べた。時系列の違いが与える影響は大きく、対戦相手の違いが順位に与える影響は小さいという結果が得られた。更に、人工市場で計画的な実験を行う場合には「人工時系列の作成」や「市場の標準状態の定義」などが必要であることがわかった。

## 1. 人工先物市場 U-Mart

U-Mart とは、毎日新聞が発表している株価指数 J 30 を原資産とした仮想先物市場の名前である。U-Mart プロジェクトは (1) 人間 (ヒューマン・エージェント) による取引練習と (1') 複数の人間による取引実験、(2) 投資プログラム (マシン・エージェント) 開発用ツールと (2') 複数の投資プログラムによる取引実験、そして (3) ヒューマン・エージェントとマシン・エージェントが混在した取引実験が、統一的な環境で行えるツール群を提供している。

近年、計算機による数値実験や人間による実験やゲーミングなど新しい研究方法が注目されている。その市場制度への応用として人工市場研究が盛んに行われるようになった[3]。一方で、市場のマーケット・マイクロ・ストラクチャに関する研究も近年目覚ましい発展を遂げている[1-2]。U-Mart は、これらの研究成果の融合を目指し学際的な研究者が利用できる共通のテストベッドと、それらの研究者が会おう場を提供する事を目的に開発されてきた。

U-Mart プロジェクトの活動は研究・教育・公開実験の運営に分けられるが、それら3つの活動は相互に深く結びついている。例えば公開実験と研究の関係に着目しても、3年に渡って公開実験を開催した事によって、研究に必要なプログラム・エージェントやデータが得られ、更に新しい研究テーマが発見できた。また、研究が進む事によって公開実験の方法や規則などが明確になっている[7-11]。

本稿では、昨年行われた国際公開実験 UMIE2002 (U-Mart International Experiment 2002) の実験データを用いて、(入力) 株価の系列の違いや、(内部状態) 対戦相手の違いが、(出力) 各エージェントの順位に与える影響について報告する。エージェントの順位に関する順位相関から、エージェントの組成による影響よりも現物価格の影響の方が大きい事がわかった。この

---

<sup>1</sup> 大阪市立大学大学院経済学研究科 yoshi@econ.osaka-cu.ac.jp. この研究は科学研究費補助金、特定領域研究「情報学」「仮想先物市場 (U-Mart システム) を用いた経済システムの制度創発に関する研究」及び若手研究 B 「非線形時系列分析による金融市場の変動要因の発見、及び人工市場研究への応用」による助成を受けた。この研究は U-Mart 実行委員会 (<http://u-mart.econ.kyoto-u.ac.jp>) の協力によるものである。

結果をシミュレーションを通じて検証するには、模擬時系列の作成とエージェントの標準的な組成（U-Mart システムの標準的な状態）を定義する必要がある。その端緒として簡単な例を紹介する。

## 2. 国際公開実験と、Input-OutputシステムとしてのU-Mart

U-Martプロジェクトはこれまでに2度の国際大会と3度の国内大会を開催した[10-11]。これらの経験や研究を通じて、現在はマシン・エージェントのみが参加できる国際公開実験（UMIE2002, UMIE2003）とヒューマン・エージェントとマシン・エージェントが両方参加できる国内公開実験（U-Mart2002, U-Mart2003）とに分かれて開催されている。国際公開実験はマシン・エージェントのみが参加できる大会であるから、条件を変えて数多くの加速実験を行い総合的にマシン・エージェントを評価できる。UMIE2002では、現物価格として4つの時系列を用い、対戦相手の違いによって3種類の実験を行い、3種類の評価基準<sup>2</sup>をもとにしたパレート順位法による順位づけを行った。

U-Martを入出力システム（U-Mart:入力×内部状態→出力）とみなすと、上記の実験系は以下のようにまとめる事ができる。

[時系列：外部データのバリエーション]

上昇トレンド、下降トレンド、振動、反転の4種類

[組成：内部状態のバリエーション]

Ex1：応募エージェント1体+標準エージェントセット<sup>3</sup>の計21エージェント

Ex2：全応募エージェント48体+標準エージェントセットの計68エージェント

Ex3：Ex2からランダムに半数のエージェントを選択、計34エージェントの3種類

[順位：システムのアウトプット]

各エージェント毎に12回の順位

パレートランク(表1)											
	Ex1					Ex2					Ex3
	ALL	ASC	DES	OSC	REV	ALL	ASC	DES	OSC	REV	ALL
T01_TestStrategy	1	1	4	1	10	2	3	23	4	19	3
T02_KK_B00	1	1	1	1	1	2	13	4	9	3	2
T02_KK_B05	1	1	1	1	1	3	10	5	8	4	2
T02_KK_B10	1	1	1	1	1	2	9	6	7	4	3
T02_KK_B15	9	8	8	8	13	11	15	17	18	20	11

表1はエージェントの順位表の一部である。

<sup>2</sup> 評価基準は全試行の中での最高利益額、平均利益、黒字率である。

<sup>3</sup> エージェント応募者に事前に配布した開発キットに組み込まれているマシン・エージェント・セット。順張り系、逆張り系、裁定系など10種類の戦略を持つエージェント各2体、計20エージェントからなっている。

ASC, DES, OSC, REVはそれぞれ現物価格の時系列の種類をあらわしている。また、各実験系の“ALL”は、パレート順位を計測する時の試行を時系列毎に分けず各実験系でなされた全て合わせた時の順位である。

まず、内部状態のバリエーションがエージェントの順位に与える影響を調べるために、各Exの”ALL”の順位相関を調べた。その結果相関行列の全ての欄で1%有意水準で相関が見られ、また相関係数自体0.65-0.85程度の高い数値であった。次に、Ex1とEx2において各時系列間の順位相関を調べた。その結果、どちらの実験系においても上昇と反転の間の相関と、下降と振動の間に有意な相関が見られた。これは、通期の平均価格よりも終値が高かった時に強い「ブル」グループと安かった時に強い「ベア」グループにわけられる事を意味する。以上の結果から、UMIE2002で集まったエージェントは「強いエージェントは誰と対戦しても良い成績を収めるが、それぞれには得意な相場環境がある事」がわかった。

	Ex2	Ex3
Ex1	0.66	0.69
Ex2		0.84

	Descent	Oscilation	Reversal
Ascent	0.17	0.20	0.46
Descent		0.80	0.29
Oscilation			0.38
Ex2 の順位相関			
	Descent	Oscilation	Reversal
Ascent	-0.24	-0.10	0.37
Descent		0.56	0.25
Oscilation			0.11

### 3. 今後の課題（入力と内部状態の標準化）

以上の結果は、国際公開実験から得られたログデータ解析によって得られたものでありU-Martシステムが持つ性質の傾向を示したに過ぎない。より精緻な計画に従った実験を行う必要がある。その際に入力と内部状態のバリエーションに関する正確なコントロールの可否が問題となる。入力として用いる価格の模擬時系列は、「上昇率や下降率、ボラティリティなど、注目したいパラメータに関しては正確にコントロールされていながら、他の統計量は現実の株価データに即している」という条件を兼ね備えていなければならない。「もっともらしさ」の面で、効率的市場仮説のアノマリーに関する研究や[4-5]や、経済物理学の分野における研究[6]の成果を最大限取り入れる必要がある。その端緒として、谷口が行ったヒューマン・エージェントによる実験の際に用いられた模擬時系列の作成方法を紹介する[11]。以下のような手順で作成した。

- (1) 実際の株価時系列からトレンド（傾き）を測定する。
- (2) ティレンドを取り除き、差分を取る。
- (3) 差分データを標準化し、順番を入れ替える
- (4) 必要な平均や分散を与え、累積をとって時系列に戻す
- (5) 必要なトレンドを与える

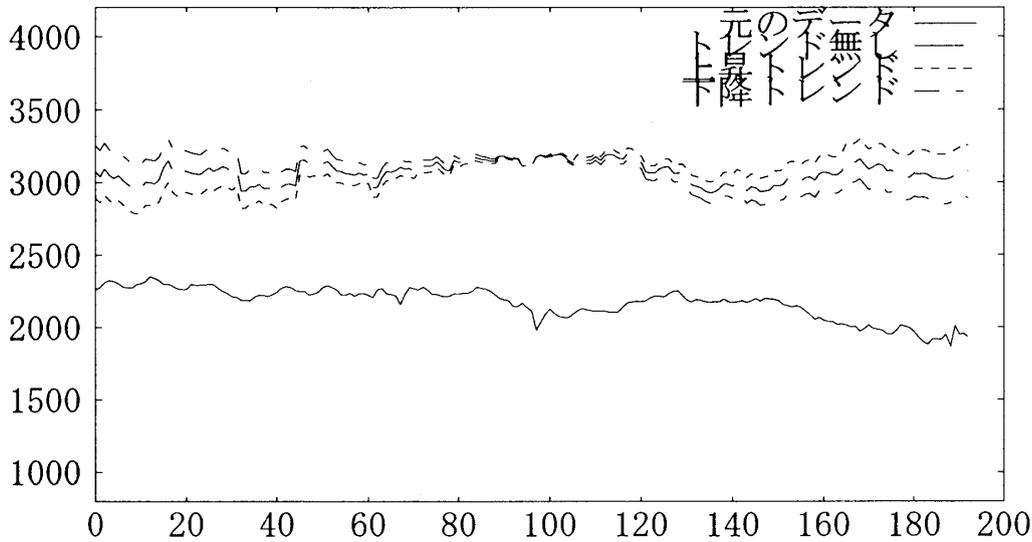


図 1

図 1 がその実例である。凡例の上から順に、「もとの株価データ」「トレンドの無い模擬データ」「上昇トレンドを与えたデータ」「下降トレンドを与えたデータ」である。この方法によると株価データが持つ裾野の広い分布は維持できるものの、変動幅を 2 乗したデータの自己相関がしばらくの間正の値を取るという一般的に見られる性質が損なわれている。更なる研究が必要である。

## 参考文献

- [1] A. S. Kyle, "Market Structure, Information, Futures Markets, and Price Formation in International Agricultural Trade", *Advanced Readings in Price Formation, Market Structure, and Price Instability*, ed. G. Story, A. Schmitz, and A. Sarris, Westview Press, 1984.
- [2] M. O'Hara, "Market Microstructure Theory", Blackwell, 1996. (「マーケットマイクロストラクチャー」大村敬一・宇野淳・宗近肇 (訳), 金融財政事情研究会, 2000)
- [3] 和泉潔, 植田一博, 「人工市場入門」, 人工知能学会誌 15-6, pp.941-950, 2000.
- [4] E. F. Fama. "Efficient Capital Markets, J. Finance 25, pp.383-417, 1970.
- [5] E. F. Fama. "Efficient Capital Markets 2, J. Finance 46, pp.1575-1617, 1991.
- [6] R. N. Mantegna, H. E. Stanley, "An Introduction to Econophysics". Cambridge University, 2000. (「経済物理学入門」, 中嶋眞澄 (訳), エコノミスト社, 2001.)
- [7] 喜多一, 出口弘, 寺野隆雄, オープン型人工市場 U-Mart: 構想, 成果, 展望, 信学技報, 2001
- [8] 塩沢由典, 出口弘, 喜多一, 寺野隆雄, 「V-Mart 研究の目指すもの」, SICE システム情報部門合同シンポジウム 99, pp.169-174, 1999.
- [9] 寺野隆雄, 出口弘, 社会科学におけるエージェント研究の動向と課題, 信学技報, 2001
- [10] Tomomi UEDA, Kazuhisa TANIGUCHI, Yoshihiro NAKAJIMA: "An Analysis of U-Mart Experiments by Machine and Human Agents", CIRA2003 IEEE Computational Intelligence in Robotics and Automation, CD-ROM papers/CIRA-SS07-5.pdf, 2003.
- [11] Kazuhisa Taniguchi, Yoshihiro Nakajima, Fumihiko Hashimoto: "A Report of U-Mart Experiments by Human Agents", ISAGA2003 International Simulation And Gaming Association (ISAGA) The 34th Annual Conference Hosted by Science Council of Japan (SCJ) and Japan Simulation And Gaming Association (JASAG), 2003.
- [12] Yoshihiro NAKAJIMA, Tomomi UEDA: "Analysis of Submitted Agent to UMIE2002- Influence of Spot Data and Opporments on Agents", NAACSOS2003 (UMIE2003) North American Association for Computational Social and Organizational Science Conference, CD-ROM: NAACSOS\_PAPERS\_DAY3/Nakajima, Ueda\_Yoshihor, Tomomi\_s2\_d3.pdf, 2003.