



ヒューマンによる仮想先物市場実験*

—U-Mart 実験報告—

目次

- 1 はじめに
- 2 実験の目的
- 3 事前の準備：先物市場の学習と予備実験
- 4 実験の環境
- 5 実験の結果
- 6 まとめ

谷 口 和 久

概要 ネットワーク上での金融取引に関連して、経済学では、新しい経済システムや制度設計が問題となっているが、本稿は、そのような問題への取り組みを目的として開発されたU-Martシステムによる実験報告である。このシステムは研究に加えて、実験参加者は実践的取引の体験を通して金融市場の理解を深めることができるので教育ツールとしても利用可能である。筆者が行った実験の目的は二つあった。第一は、板情報の開示がトレーダーとしてのヒューマンの取引にどのような影響を及ぼすかを調べることであり、第二の目的は、ヒューマンによるU-Mart実験を実施するにあたって、実験の環境条件など参考となるデータを集めることである。

キーワード 仮想金融先物市場, エージェント・ベースド・シミュレーション, 制度設計, 取引行動

原稿受理日 2005年4月30日

Abstract The U-Mart system has been developed as an educational as well as research tool to better understanding of financial futures market, and the participants in the experiment can enhance their understanding of the market through the practical trading experience. The U-Mart experiment aims primarily to better students' understanding; however, the experiment had another two objectives. The first objective was to examine what effects the availability of order book had on the humans' trading behavior as a trader. The second objective was to collect useful data such as environmental conditions for experiment in conducting the U-Mart experiment by humans. The experiment by humans, compared with that of the programmed machine trader, requires relatively high cost due to the necessity of preparation and restriction on experimental period. Therefore, determining the experimental conditions upon the start of the experiment of this sort needs careful consideration. The author hopes that the present report encourages many to use the U-Mart System.

Key words Virtual future market, Agent based simulation, Design of institution, Trader's behaviors

* 本稿は文部科学省の「平成13年度～17年度科学研究費「特定領域研究」ITの深化の基盤を拓く情報学研究 A06 班『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』」の助成を受けたものである。実験の実施にあたっては、U-Mart 研究会諸氏のご協力を得た。感謝の意を表したい。

1 はじめに

本稿は、2004年に行った近畿大学経済学部における U-Mart 実験の報告である。U-Mart システムは、研究に加えて金融先物市場の理解に役立つ教育ツールとしても開発され、実験参加者は実践的取引の体験を通して市場の理解を深めることができる。よって、U-Mart 実験は第一義的には学生の市場理解を目的として行われるのであるが、それに加えて筆者が昨年行った実験の目的は二つあった。第一は、板情報の開示がトレーダーとしてのヒューマンの取引にどのような影響を及ぼすかを調べることである。この種の実験はすでに筆者によって、2002年に U-Mart システムの初代バージョンで実施されているが、今回の実験は改良された U-Mart の新バージョンで行われたものである。第二の目的は、ヒューマンによる U-Mart 実験を実施するにあたって、実験の環境条件など参考となるデータを集めることにある。ヒューマンによる実験はプログラミングされたマシン・トレーダーの実験と比べて、事前の準備や実験時間の制約を受けコストがかかる。したがって実験を始めるにあたっては、実験条件の設定には注意を払わざるを得ない。今回行った実験は、筆者が2002年に大阪産業大学経済学部にて行った実験の知見をもとに改善したものである。新たに行われるであろう実験の条件を拘束するものではないことは言うまでもないが、1コマ90分の授業で実施する当たっては本実験のデータは参考になるはずである。また、実験にあたっては実験参加者への事前準備も必要であるが、その概略も合わせて報告した。参加したエージェントは、筆者のゼミ学生17名からなるヒューマンと気配値を出すためのプログラム・マシン1個体である⁽¹⁾。

新しい U-Mart システムであるが、初期のバージョンから改良が進み昨年には新バージョンの U-Mart システムがリリースされた。クライアント側では、ユーザー・インターフェースが大きく改良され、取引の状態がトレーダーであるヒューマンにより的確に伝わるようになった。表示されるデータも大幅に増加し、かつそれらの表示方法が扱いやすいように細かく改善された。また、サーバーの OS は旧版では Linux だけであったが、Windows も追加され手軽に実験できるようになった。さらに csv 形式でログ・データが入手できるようになり、実験データの処理も容易になった。前世代の U-Mart システム

(1) 170人規模の学生が参加した U-Mart 実験も行われている。実験の詳細は、松井、小山、石山、小野 [3] を参照されたい。

と比べて取り扱いの操作手順は飛躍的に改善されている。本稿を参考にされて多くのユーザーに利用されることを願っている。

2 実験の目的

今回行った実験の目的は、学生为先物市場の理解に加えて、下記の通りである。

1. 板情報の開示が市場参加者の取引行動に及ぼす影響を調べる。即ち、板情報の開示が、個々のエージェントの注文枚数、約定枚数、注文回数、約定回数、ポジション管理、実現損益等にどのような影響を及ぼすかを調べる。
2. さらに板情報の開示が、市場全体にどのような影響を及ぼすか予備的に調べる。
3. 実験の事前準備を通して、ヒューマンによる U-Mart 実験に適した実験の条件を調べる。

3 事前の準備：先物市場の学習と予備実験

U-Mart 実験の実施に当たっては、先物市場の仕組みや取引ルールに関してあらかじめある程度の知識が必要である。このために、U-Mart 研究会で作成した様々な資料を利用した。

先物市場の学習と平行して予備的な実験を実施した。U-Mart システムは、値洗いや証拠金、ポジション管理など先物市場に関するルールを、実験によって確かめることができる。よって、机上の学習と平行して行うのが効果的である。具体的には、前期に 2 コマの演習時間を利用して実験を行い、その実験で得られたデータを分析する課題を出し、ルールや取引の戦略の理解を深める方法を取った⁽²⁾。また、集中的に行うために夏季に合宿を行った。後期に入って、さらに 2 コマの予備実験を行った。前期の学習経験を生かすために、全員が注文を出し終わって考えることができるように、板よせの時間を全員が納得できるまで取った。第 1 回目の予備実験（9 月 16 日実施）では板情報の見方に重点をおいた学習実験を、また第 2 回目の予備実験（9 月 30 日実施）では板情報の無い状態で、チャートだけを見て行う取引を行った。

(2) 本稿末の「参考資料」レポート課題を参照。

4 実験の環境

板と取引の条件

事前準備と予備実験を通して、本実験の実験条件を下記のように定めた。

1. 1日3回の板よせで1回の板よせ時間を20秒間とする。
2. 30日間の先物市場、即ち、90回分の板合わせが実施する。
3. 実験の実時間は40分である。 $(20秒 \times 3 + 20秒) \times 30日$

実験時間が長いとデータはたくさん取れるが、ヒューマンの集中力が持続しなくなる。本実験では、1回の板の取引時間は20秒であるが、これは10秒くらいまでは短縮可能であろうと思われる。実際、2002年の実験では、板よせ間隔を10秒とし、1日8回の板あわせ、24日間の先物取引で行った。また、U-Mart 研究会では、2004年9月2日に公開実験のU-Mart2004を実施した。このときのヒューマンの参加者は大阪市立大学大学院、中央大学、近畿大学の学生が合わせて28名であったが、その際20日間の先物で1日2回の板あわせ1回の板間隔30秒のものと、同じく20日間の先物で1日90回の板あわせ1回の板間隔が1秒で行った。

板情報の開示と非開示

被験者17名をA、Bそれぞれ9名と8名のグループに二分し、板情報を見ることのできる場合とそうでない場合とで、交互に実験を行った。次に、全員に開示と非開示の場合の実験を行った。板よせの初めに気配値をだすために、マシン・エージェントを1個体だけ参加させた。このエージェントはスプレッドと在庫を見て取引戦略を立てるのであるが、その戦略は、売り気配と買い気配を出すために、売れたら買い気配を上げ、買えたら売り気配を下げるものである。

現物価格データ

U-Mart システムに付属している毎日新聞社のJ30を利用した。約2400回分のスポット価格データが含まれている。各回では90回の板合わせが行われるが、この2400回分のスポット価格データから選んだ。各回の実験で使ったデータの開始ステップは、実験の日程と板情報の有無とともに第1表に示した。

表1 各回の実験条件

	実験日	現物価格J30のステップ	板情報の有無
第1回	10月7日	200ステップ	Aグループ板情報有, Bグループ板情報無
第2回	10月14日	300ステップ	Aグループ板情報無, Bグループ板情報有
第3回	10月21日	600ステップ	両グループともに板情報有
第4回	10月28日	500ステップ	両グループともに板情報無

5 実験の結果

先物価格の変化

各回の価格変化は、第1図～第4図に示した。第1回目と第2回目の実験はおおむね下降傾向にあり、第3回目は後半に上昇傾向、第4回目はほぼ乱高下するものである。また、スポット価格の値動きの幅は、第1, 2, 4回目の実験では約300円、第3回目の実験では約400円である。

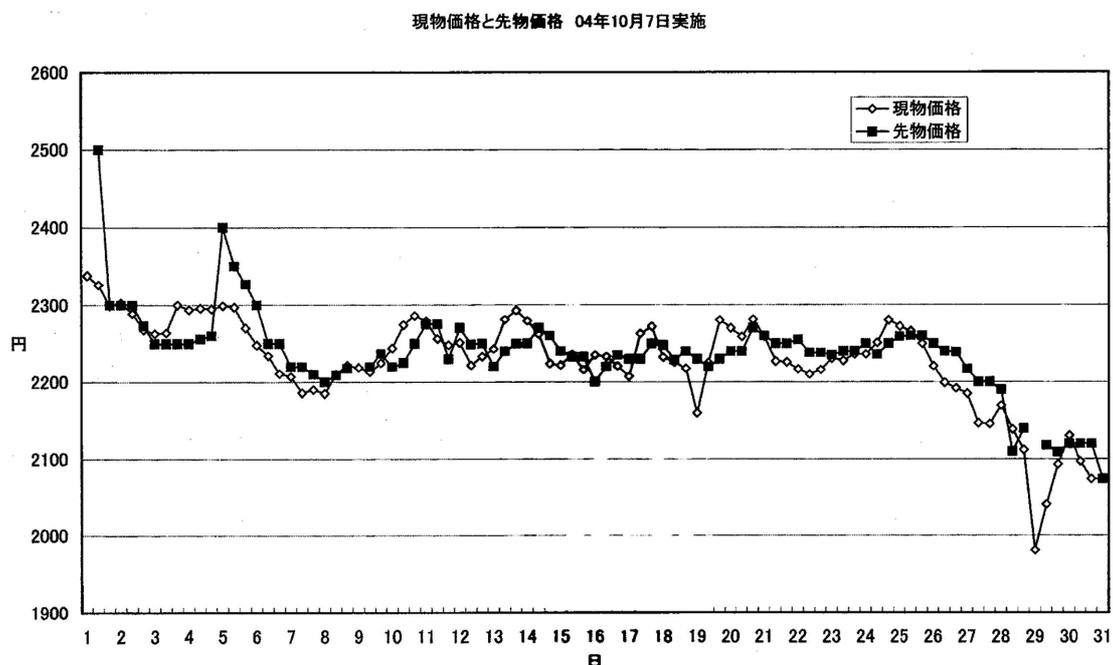


図1 第1回実験：価格変化

現物価格と先物価格 04年10月14日実施

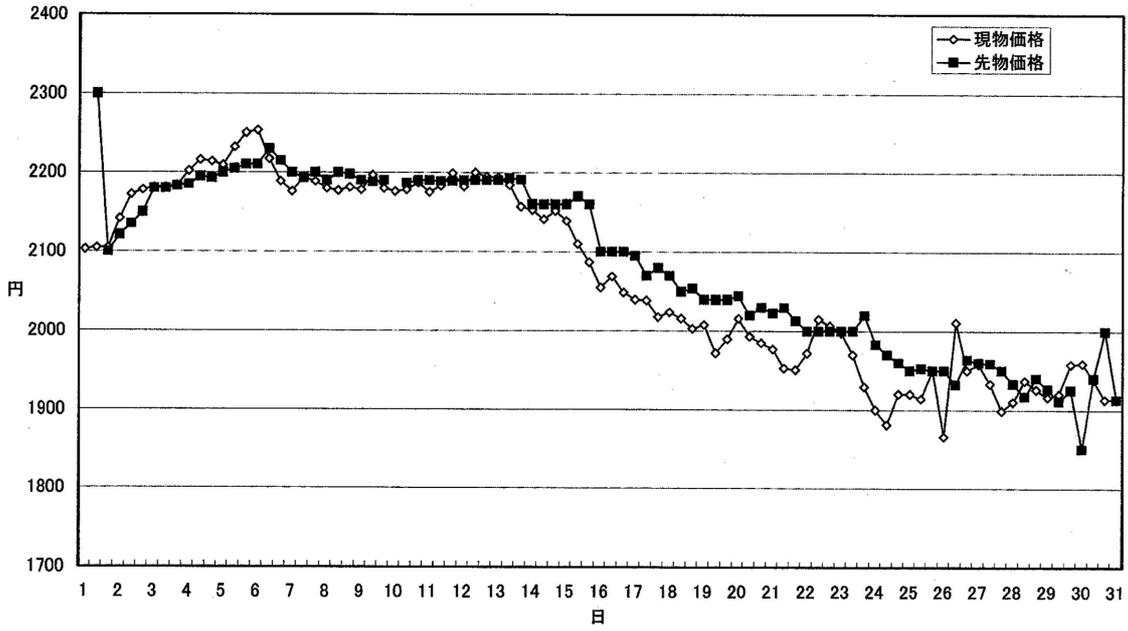


図2 第2回実験：価格変化

現物価格と先物価格 04年10月21日実施

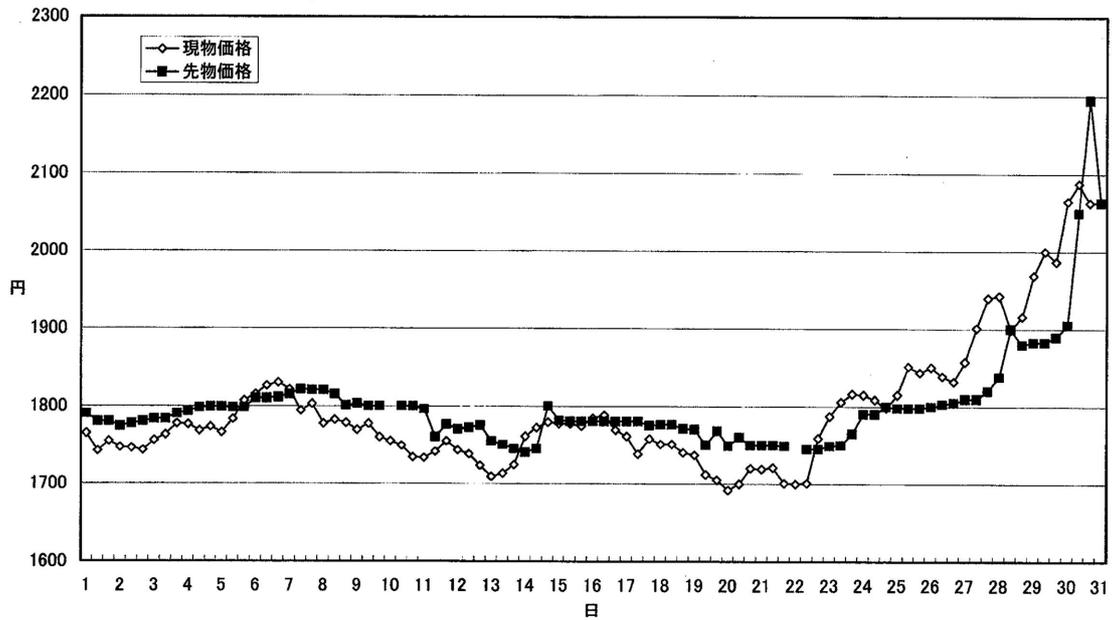


図3 第3回実験：価格変化

ヒューマンによる仮想先物市場実験（谷口）

現物価格と先物価格 04年10月28日実施

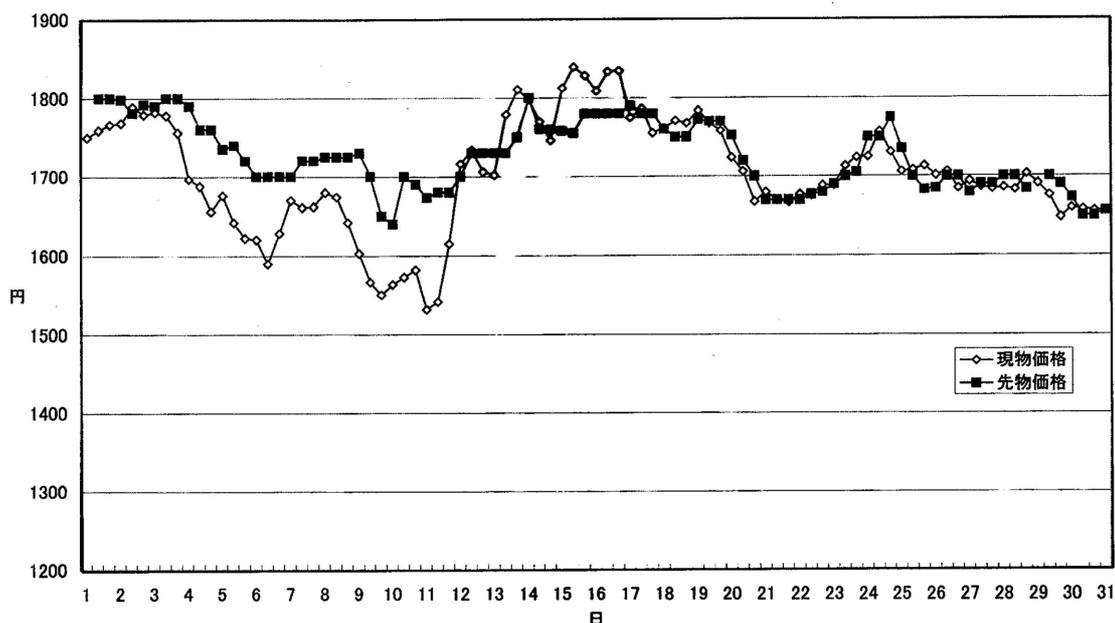


図4 第4回実験：価格変化

板情報の開示と約定率

約定率に関しては次の2種類を定義し、それぞれについて5%の有意水準で仮説検定を行った。

$$\text{約定枚数による約定率} = \frac{\text{約定枚数}}{\text{注文枚数}}$$

$$\text{約定回数による約定率} = \frac{\text{約定回数}}{\text{注文回数}}$$

ただし、注文枚数とは売り注文枚数と買い注文枚数の和であり、注文回数は注文回数と取消回数の和である。各エージェントの約定率は第2, 3表に示した。第3表の約定回数による約定率で、1より大きい値が1箇所あるが、これは1回の注文枚数が多いために1回の板あわせで注文が処理できずに次の板にまで注文が残り、複数回の板あわせで約定したことが含まれているためである。

これらのデータを用いて、板情報の有無を要因として約定率に関する1元配置の分散分析を行った。即ち、「帰無仮説；各組の実験データは同じ母集団に属する。即ち、板の開示は約定率に影響を与えない」という仮説を立て、これに対して5%の有意水準で検定を行った。その結果は第4表と第5表に示した。約定回数による約定率には有意差が現れたが、約定枚数による約定率では、得られた分散比は棄却域外となり、帰無仮説は採択され

ることになった。有意差が現れなかった原因の一つとして、板情報がある場合には、エージェントによって注文枚数に大きな開きがあり、その場合の分散が大きくなっていることがあげられよう。つまり、板情報の開示は注文枚数にはあまり影響を与えないが、20秒間の板あわせのなかで、約定するように注文を出すタイミングを計るのに有効なようである。

表2 約定枚数による約定率

エージェント	板情報有 (第1, 2回)	板情報無 (第1, 2回)	板情報有 (第3回)	板情報無 (第4回)
h1	0.663	0.500	0.559	0.557
h2	0.438	0.255	0.432	0.142
h3	0.563	0.442	0.523	0.472
h4	0.312	0.274	0.577	0.350
h5	0.216	0.147	0.253	0.482
h6	0.380	0.413	0.414	0.591
h7	0.833	0.466	0.349	0.371
h8	0.596	0.460	0.204	0.566
h9	0.508	0.242	0.287	0.191
h10	0.446	0.339	0.425	0.364
h11	0.526	0.428	0.783	0.494
h12	0.353	0.405	0.177	0.746
h13	0.418	0.265	0.387	0.402
h14	0.481	0.552	0.458	0.781
h15	0.158	0.103	0.234	0.338
h16	0.683	0.287	0.505	0.283
h17	0.092	0.379	0.472	0.420
平均	0.451	0.350	0.414	0.444
分散	0.037	0.016	0.024	0.030

表3 約定回数による約定率

エージェント	板情報有 (第1, 2回)	板情報無 (第1, 2回)	板情報有 (第3回)	板情報無 (第4回)
h1	0.718	0.526	0.536	0.586
h2	0.474	0.408	0.538	0.293
h3	0.573	0.517	0.567	0.514
h4	0.462	0.368	0.714	1.091
h5	0.216	0.195	0.264	0.493
h6	0.404	0.396	0.400	0.607
h7	0.789	0.600	0.350	0.595
h8	0.592	0.460	0.229	0.566
h9	0.536	0.271	0.452	0.266
h10	0.471	0.364	0.472	0.370
h11	0.537	0.401	0.774	0.499
h12	0.444	0.392	0.319	0.737
h13	0.491	0.328	0.454	0.405
h14	0.547	0.515	0.484	0.771
h15	0.225	0.143	0.417	0.349
h16	0.706	0.336	0.524	0.305
h17	0.615	0.446	0.513	0.440
平均	0.518	0.392	0.471	0.523
分散	0.023	0.014	0.020	0.043

表4 約定枚数による約定率の分散分析表（第1, 2回の実験の場合）

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	F境界値（5%有意水準）
板情報の有無	0.086	1	0.086	3.266	4.149
誤差	0.844	32	0.026		
合計	0.930	33			

表5 約定回数による約定率の分散分析表（第1, 2回の実験の場合）

変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	F境界値（5%有意水準）
板情報の有無	0.134	1	0.134	7.177	4.149
誤差	0.597	32	0.019		
合計	0.730	33			

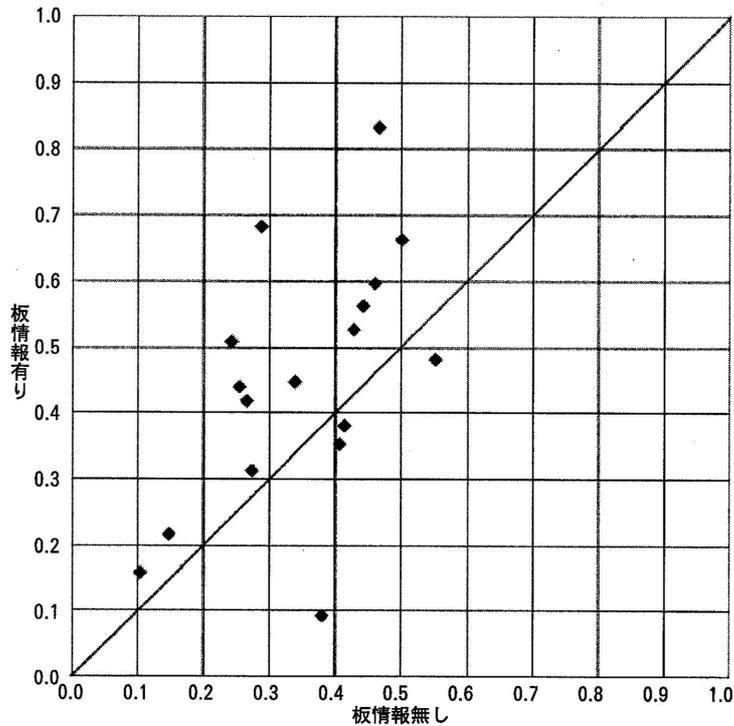


図5 エージェント別の約定枚数による約定率

さらに、各エージェントごとに、板情報の無い場合の約定率を横軸に、板情報の有る場合の約定率を縦軸に取って図に示した。第5図と第6図である。

全員が板情報を参照できる場合（3回目の実験）とできない場合（4回目の実験）では、板情報を参照できる場合のほうが約定率は下がった。これは、価格変化要因や各エージェントにとっての外部環境の相違などが考えられるが、断定的なことはこれだけの実験からは分からない。板情報の開示が市場全体に及ぼす影響は、今回の実験からは明示的には得られなかった。

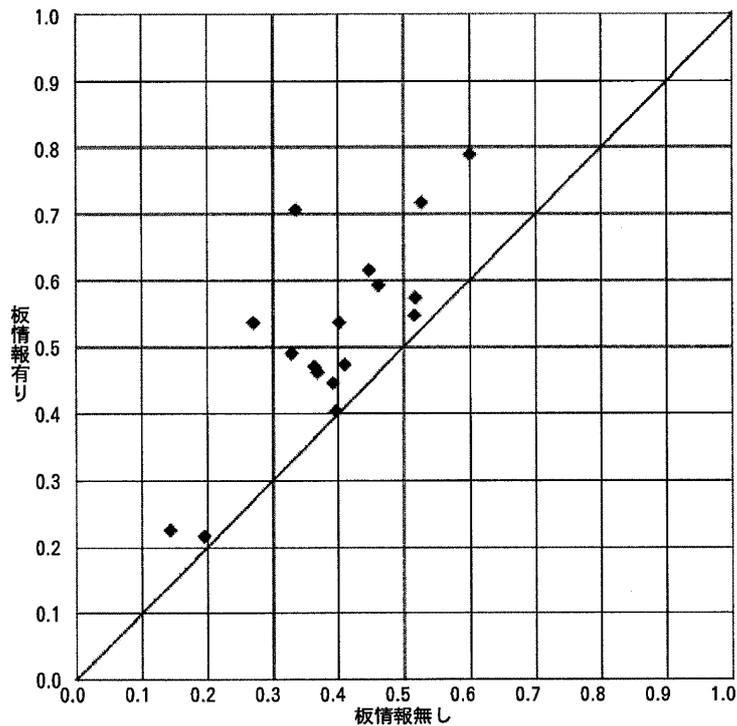


図6 エージェント別の約定回数による約定率

注文枚数と注文回数の変化

実験を重ねるにつれて注文枚数と注文回数は増加し、第4回目の注文枚数は第1回目の約3.1倍にまで増加した。その様子は第7図に示した。注文回数は第8図に示したように大きな変化はなく、1人当たりの平均発注回数は1回の板よせで1.2回~1.6回程度である。これらから、ヒューマンの注文に関しては注文頻度は取引条件にあまり依存しないようである。実際、筆者の経験では20秒間隔の板よせで、注文を出すのは最後の数秒間であり、それまでは様子うかがっているエージェントが多い。また、枚数は実験を繰り返して行うことで学習がすすんでいくようである。この意味では、まだ学習曲線はフラットな状態にまだ達していないと言える。

ポジションの変化

ポジションの管理は学習のための予備実験によって、ほとんどのエージェントができるようになったが、各回の実験での分散を求めると、順に0.049, 0.047, 0.156, 0.069となり第3回実験では、ポジション管理が難しいようであった。大きな価格変化がひびいたように思われる。第9図参照。

売買注文枚数と約定枚数

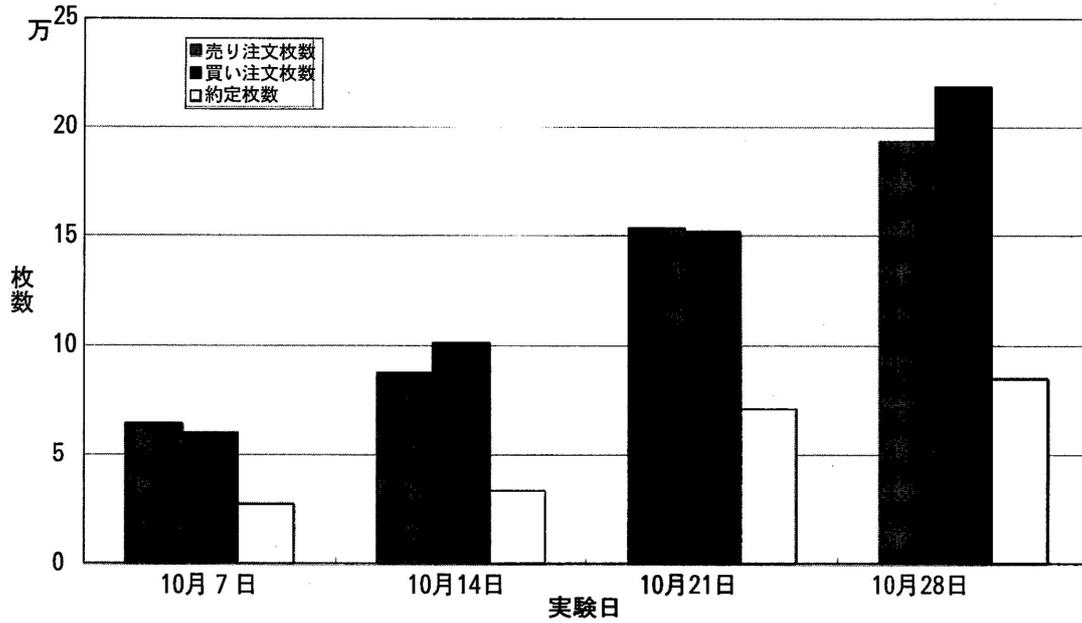


図7 注文枚数と約定枚数

注文回数合計

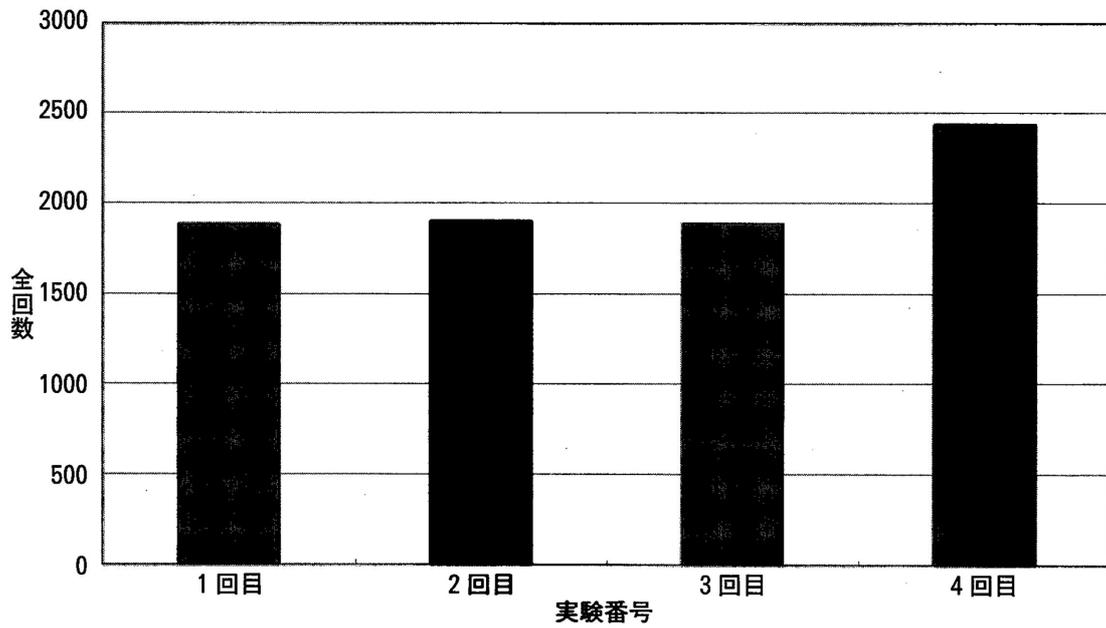


図8 注文回数

実現損益の変化

エージェントの各回の実現損益を第10図に示した。今回の実験からは実現損益は、板情報の開示非開示の影響を受けていないことがわかる。興味深いことは、ヒューマン・エー

エージェントの個性が現れることである。h11 や h16 のエージェントは、大きく負けることもあるが大きく勝つこともある。彼らは「相場師」のごとく市場の動向を読んで勝負に出ているのである。なお、彼らは U-Mart の公開実験である U-Mart 2004でも優秀な成績を出した⁽³⁾。その一方で取引戦略を学びつつもあまり勝負に出ることができず、平均して負け越しているエージェントもかなりの数になっている。

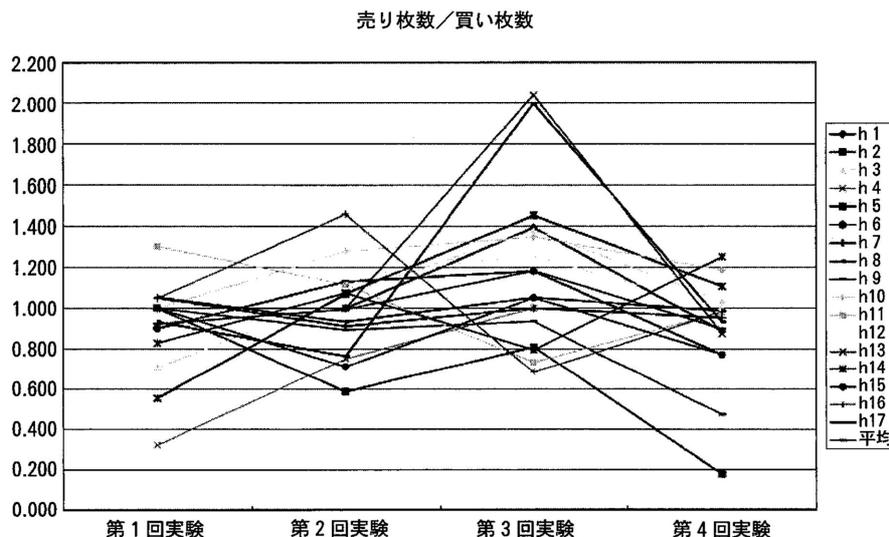


図9 エージェントのポジションの管理 (売り枚数/買い枚数)

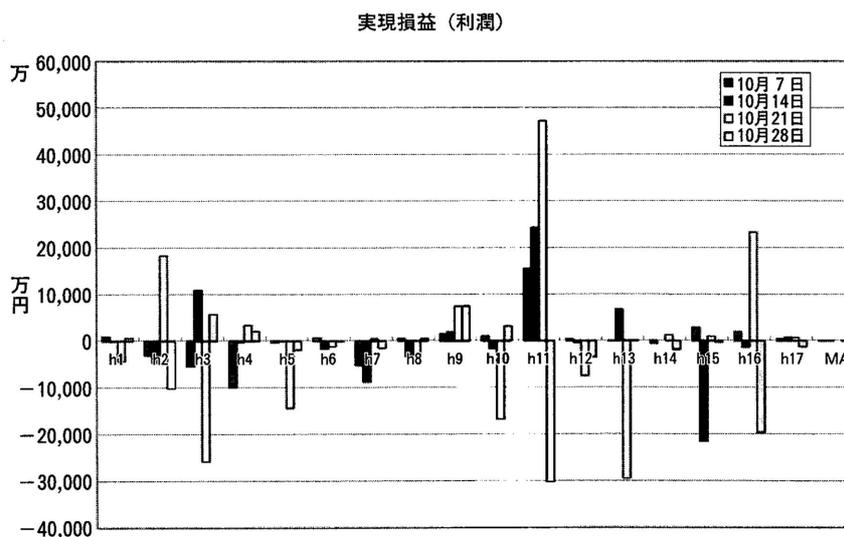


図10 エージェントの実現損益

(3) 谷口和久, 野口陽平「U-Mart 2004実験報告」第9回進化経済学会報告参照。

6 ま と め

筆者は、2002年に U-Mart システムの初代バージョンを用いて、板情報の開示が約定率に及ぼす影響を調べる実験を行ったが、実験結果に有意な差は現れなかった⁽⁴⁾。今回の実験は2002年の実験と基本的に同じ目的の実験であるが、板情報の開示は約定回数による約定率に有意差をもたらした。その原因の1つは、U-Mart システムが改良されたことにあると考えられる。新バージョンは、初代バージョンと比べて扱いやすさが格段に良くなったばかりでなく、ユーザー・インターフェースも大きく変わった。板情報の表示方法も初代にあったグラフ表示に加えて、実際の取引で使われるようなデジタル・データによる表示もなされるようになった。板よせの情報がほぼリアル・タイムに伝わってくるようになったことも大きい。第2の原因は、事前の学習方法にも改善がなされたことがあげられる。例えば、取引の実施にあたって、全員が納得する注文ができるまで何回も注文と取消が出来るように、板よせの時間を十分に取って学習できるようになったことも大きい。第3の原因としては、2002年当時の実験では、ランダム・タイプのマシン・エージェントが20個体参加していたことの影響が考えられる⁽⁵⁾。

しかしながら、両実験では U-Mart システムの新旧のバージョンや参加するマシン・エージェントに大きな相違があるにもかかわらず、注文枚数や注文頻度に関してはほとんど類似の傾向が見られる。また、実現損益やポジション管理に関しても両実験に際立った違いは見られない。「相場師」のような優れたトレーダーが出現することも共通している。ヒューマンの特性に依存する点が多いようであるが断定的なことはまだ言えず、今後の研究の蓄積が必要である。

U-Mart システムは、研究と教育の双方に利用可能な多目的な用途を持つ実験用の仮想証券市場のシミュレータである。研究に関してはすでに多くの成果が報告されている⁽⁶⁾。またプログラミング・マシンの開発を通して工学系の教育でも用いられている。しかし、ヒューマンの参加する実験はコストのかかることもあり、得られたデータは限られてい

(4) 約定枚数による約定率のみの報告である。詳細は Taniguchi, Nakajima and Hashimoto [5] 参照。

(5) 現物価格のまわりにランダムに注文を出すエージェントで、板の厚みを作り出すことができる。

(6) Hajime KITA, Hiroshi SATO, Naoki MORI, Isao ONO [1], Hiroyuki Matsui, Kazuhisa Taniguchi, Yasuhiro Nakajima, Isao Ono, Hiroshi Sato, Naoki Mori, Hajime Kita, Takao Terano, Hiroshi Deguchi, Yoshinori Shiozawa [2], 塩沢由典 [4] 他多数。

る。これからの教育における実践的利用を重ねることで実験のデータが蓄積されれば、より新たな知見の得られることが期待される。

「参考資料」レポート課題

5月13日と20日の2回のU-Mart実験で得られたデータを解析し、自分の取引結果を下記の項目に従ってまとめなさい。

1. 成行注文 marketorder と指値注文 limitorder の回数を調べなさい。
2. 成行注文と指値注文のそれぞれについて、売りの約定枚数 contractvolume と注文枚数 order volume を求めて、その割合を計算しなさい。
3. 同様に、買いの約定枚数と注文枚数を求めてその割合を計算しなさい。
4. 売りのポジション sum of sell position と買いのポジション sum of buy position の時系列をグラフにしなさい。
5. 未実現損益 unsettled profits と余裕資金 surplus を時系列のグラフにしなさい。
6. 実現損益 settled profits を表示しなさい。
7. 2回の実験から、勝ち負けの原因・理由を自分なりに分析しなさい。
8. 実験の感想を自由に書きなさい。

参 考 文 献

- [1] Hajime Kita, Hiroshi Sato, Naoki Mori and Isao Ono. "U-Mart System, Software for Open Experiments of Artificial Market". In *CIRA2003 IEEE Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp. CIRA-SS07-3. pdf. 2003.
- [2] Hiroyuki Matui, Kazuhisa Taniguchi, Yasuhiro Nakajima, Isao Ono, Hiroshi Sato, Naoki Mori, Hajime Kita, Takao Terano, Hiroshi Deguchi and Yoshinori Shiozawa. "Umart Project : New Research and Education Program for Market Mechanism", 2003. 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).
- [3] 松井啓之, 小山友介, 石山 洸, 小野 功。「仮想先物市場U-Martシステムを用いた教育—千葉工大における大規模ゲーミング事例より—」。『進化経済学論集』, 第9集, pp. 577-82, 2005. 進化経済学会。
- [4] 塩沢由典。U-mart から生まれる新しい経済学, 2003. 進化経済学会第7回東京(専修大)大会。
- [5] Kazuhisa Taniguchi, Yoshihiro Nakajima and Fumihiko Hashimoto. "A Report of U-Mart Experiments by Human Agents". In F. Kato R. Shiratori,

ヒューマンによる仮想先物市場実験（谷口）

K. Arai, editor, *Gaming, Simulations and Society —Research Scope and Perspective—*, pp. 49-57. Springer-Verlag Tokyo. 2005.