

注文分布が投資収益と約定率に与える影響分析

山本 真吾[†] 和田志保美^{††} 川越 敏司[†]

[†] 公立はこだて未来大学システム情報科学部複雑系科学科, 北海道

^{††} 公立はこだて未来大学大学院システム情報科学研究科, 北海道

E-mail: †kawagoe@fun.ac.jp

あらまし 人工市場研究において注文数量の分布は指数分布に従うことが報告されているが、注文数量の分布の違いが収益率 (RI) と約定率 (CR) にどのような影響を与えているかは研究されてこなかった。本研究では人工市場 U-Mart を用いて数量分布の違いがもたらす RI と CR を、現物価格の時系列情報ごとと比較した。その結果、どのような注文数量の分布においても、RI が上昇すると CR が低下することがわかった。また、注文数量の分布が定数の時に他の分布と比較して高い RI が観察された。これらの結果から、どのような注文数量決定戦略が有益であるか、またどのような注文数量の分布が市場の効率性を高めるかについて更なる研究の必要性が示唆される。

キーワード 人工市場, U-Mart, 注文数量, 投資収益, 約定率.

How Do Differences among Order Distributions Affect The Rate of Investment Returns and Contract Rate

Shingo YAMAMOTO[†], Shihomi WADA^{††}, and Toshiji KAWAGOE[†]

[†] Future University-Hakodate, Department of Complex Systems, Kameda Nakano cho 116-2, Hakodate City, Hokkaido, 041-8655

^{††} Future University-Hakodate, Graduate School Systems Information Science, Kameda Nakano cho 116-2, Hakodate City, Hokkaido, 041-8655

E-mail: †kawagoe@fun.ac.jp

Abstract Although, in a market study, the distribution of orders follows exponential distribution is reported, researchers rarely questioned about how differences among order distribution affect the rate of investment returns (RI) and contract rate (CR). In this study, we compared several order distributions using U-mart, an artificial market simulation system. We also controlled time series of spot price data and mean of the distribution in our experiment. We found a general tendency that for high value of mean, RI increases, while CR decreases. As to RI, rather a little bit surprising, constant outperforms the other distributions. These results may suggest further study about which quantity management strategy is profitable and which kind of order distribution can improve market efficiency.

Key words Artificial Market, U-Mart, Order Volume, Investment Return, Ctract Rate.

1. 背景と目的

福島 [3] によると、東証で集中取引されるオーダードリブン型市場である JGB 先物市場では、注文数の頻度は指数分布に従う形状を示していることが報告されている^(注1)。

(注1) : ただし福島 [3] は JGB 先物市場の取引数量の分布において最小単位の 1 億円が最も多く、次に 5 億円の倍数 (10, 15, 20, 30 億円) が突出して頻度が高いことも指摘している。このことは、市場参加者の中には、小規模注文を出す参加者と切りのよい単位で注文する大口参加者が含まれていることを示唆して

しかし注文数量の分布が指数分布に従う理由はよくわかっていない。また注文数量の分布が指数分布ではない場合と比べて約定率や投資収益率がどのようなパフォーマンスを示すのかについてもよくわかっていない。このような問題を解明するにあたっては、各取引主体の行動戦略や市場条件をコントロールしやすい人工市場アプローチが適している [2]。

本研究は人工市場を用いて、取引エージェント (TA) の取引

注文数量決定アルゴリズムの違いが約定率や投資収益といった取引結果にどのような影響を与えるかを系統的に調べるものである。

本研究では人工市場の実験環境として U-Mart [7] を用いた。それは U-Mart において取り扱われている市場制度が JGB 先物市場とほぼ同様であるためである。実験では取引数量決定アルゴリズムを除いては、従来研究との比較のため U-Mart に標準添付されている標準エージェントセット (標準 AS) を用いた。実験では (1) 現物価格系列、(2) 注文数量の決定主体、(3) 取引数量の分布、(4) 分布の平均の 4 条件を操作して、これらの条件が投資収益率 (RI) と約定率 (CR) にどのような影響を与えるかを調べた。

2 節では実験における条件設定の詳細を述べ、実験装置ならびに実験手続きについて説明する。3 節において実験結果とその統計的分析について述べた後に、今後の展望を述べる。

2. 実験計画

本節では本研究における実験計画の概要を、使用 TA の内訳、実験における独立変数と従属変数の順に述べる。

2.1 使用 TA の内訳

本研究では実験環境として U-Mart Version 2.0 を用いた [7]。同ソフトに付属の 10 種 20 体で構成される標準 AS を元に、以下で説明するような注文数量決定アルゴリズムを取り入れて改良したエージェントセット (AS) を作成した。

標準 AS では市場参加者数が少ないため、本研究では標準 AS を構成する TA の個体数を 5 倍し、合計 100 体とした。実験で用いた 100 体からなる TA の内訳は Table 1 の通りである。

それぞれの戦略について簡単に説明をしておく。S-RAND と F-RAND はそれぞれ、現物価格あるいは先物価格を基準としてランダムに注文種類 (売り/買い) と指値を決める戦略である。直近の先物価格が上昇している時は上昇すると判断して、下降している時は下降すると判断して注文種類を決める戦略が TREND (あるいは ANTI-T) である。TREND と ANTI-T では直近の先物価格を平均とする正規分布に従って指値を決めている。

S-RSI と F-RSI はそれぞれ現物価格と先物価格の相対力指数 RSI に基づいて指値を決める戦略である。 RSI は価格の動きから相場の転換点を判断するテクニカル指標であり、 $RSI = (U/U + D)$ で求められる。 $RSI < 0.3$ で買い、 $RSI > 0.7$ で売りのタイミングと判断される。ここで U は過去 n 日間の価格上昇額の合計 $U = \sum_{n=1}^{10} \max(p_n - p_{10}, 0)$ 、 D は過去 n 日間の価格下落額の合計であり、 $D = \sum_{n=1}^{10} \max(p_{10} - p_n, 0)$ である。 p_n は n 日前の終値である。

S-MA と F-MA はそれぞれ現物価格と先物価格の移動平均 MA に基づいて指値を決める戦略である。 MA は過去 n 期の価格の平均であり、 $MA(n) = (1/n) \sum_{n=1}^n p_n$ で求められる。

SF-SPR は直近の現物価格 p_s と直近の先物価格 p_f で表されるスプレッド指数 SPR を用いて、 SPR が注文閾値 E に対して $SPR \geq E$ の時は売り注文を、 $SPR \leq -E$ の時は買い注文を出す戦略である ($SPR = (p_f - p_s)/p_s$)。

表 1 使用したエージェントの内訳

エージェント名	個体数
現物ランダム (S-RAND)	15
先物ランダム (F-RAND)	5
トレンド追随 (TREND)	10
トレンド反抗 (ANTI-T)	10
現物相対力指数 (S-RSI)	15
先物相対力指数 (F-RSI)	5
現物移動平均 (S-MA)	15
先物移動平均 (F-MA)	5
裁定取引 (SF-SPR)	10
デイ・トレード (DAY-BS)	10
合計	100

DAY-BS は、直近の先物価格から一定額だけ高い金額での売り注文と一定額だけ安い買い注文を同時に出す戦略である^(注2)。

2.2 独立変数

従来の人工市場研究では TA の取引戦略を変更したり、市場を構成する TA の比率を変更する、あるいは市場制度を変更して RI や CR およびボラティリティの変化を調べたものが大半である [2], [3], [7]。過去の研究では注文数量アルゴリズムについて検討した研究は皆無であった。そこで本研究では注文数量決定アルゴリズムの変更が、RI と CR にどのような影響を与えるかを検討する。

まず、注文数量の決定主体 (DM) として、(1) TA 自体が DM となる場合と、(2) メタ TA が DM となる場合を考える。TA 自体が DM の場合、TA は与えられた確率分布に基づいて注文数量を決定する。メタ TA が DM の場合、与えられた確率分布に基づいてメタ TA が各 TA に定数の注文数量を割り当てる。これは市場全体で注文数量がある確率分布に従っていることが観察されたとしても個々の TA がその分布に従った分布で注文を出しているのか、たまたま注文数量を集計すると特定の分布に従うことになるのか不明のためである。

注文数量の分布 (OD) については、本研究では実際の市場にみられる「指数分布^(注3)」と U-Mart の標準 AS に予め組み込まれている「一様分布^(注4)」の他に、「正規分布^(注5)」「定数」について比較した。

また、注文数量のサイズについては、平均 m と分散 σ^2 について $(m, \sigma^2) = (10, 20), (20, 90), (30, 210), (50, 600)$ の 4 通りを用いた^(注6)。これらの値は福島 [3] が「発注数量が集中しやすい、切りの良い数字」として挙げている 5, 10, 15, 25 を元にした。まず、これらを指数分布の平均とし、次にこれと同じ平均と分散を持つ正規分布を考えた。実際には正規分布の裾が負となる領域が 2.5% 未満になるよう、それぞれの条件で発注

(注2)：なお、このようなテクニカル分析に関しては [5], [6], [8] を参考にした。

(注3)：確率密度関数 $f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ 、平均 $1/\lambda$ 、分散 $1/\lambda^2$ 。

(注4)：確率密度関数 $f(x) = 1/(b-a)(a < x < b$ のとき)、 $f(x) = 0$ (それ以外)、平均 $1/(b-a)$ 、分散 $(b-a)^2/12$

(注5)：確率密度関数 $f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ 、平均 μ 、分散 σ

(注6)：OD が定数の場合、 $\sigma^2 = 0$ である。

表2 実験に用いる独立変数と各水準値

要因	水準
決定主体 DM	1: TA 自身 2: メタ TA
数量分布 OD	1: 指数分布 2: 一様分布 3: 正規分布 4: 定数
平均数量 m (σ^2)	1: 10 (20) 2: 20 (90) 3: 30 (210) 4: 50 (600)
価格系列 PI	1: 上昇 2: 下降 3: 反発 4: 振動

量に定数を加え、各分布で共通の (m, σ^2) を得た^(注7)。

価格系列 (PI) は、U-Mart に付属の 1989 年 12 月 29 日から 99 年 11 月 29 日の J30 の価格情報を用いた。実験では U-Mart の国際大会である UMIE [9] 同様、この PI を「上昇」「下降」「反発」「振動」の 4 つのパターンに分割して比較した。

このように、本実験における市場の条件は (DM, OD, m , PI) の 4 つ組によって表現できる^(注8)。これらの市場の条件設定をまとめると Table 2 となる^(注9)。

Table 2 によれば $2 \times 4 \times 4 \times 4 = 128$ 通りの条件で実験を行うことになる。しかし OD = 4 (定数) の場合は TA 自身が注文数量を決める場合とメタ TA が決める場合で各 TA の注文数量に差が生じない。よって実際には 112 通りの比較で十分である。

UMIE [9] では各条件ごとに 50 回ずつシミュレーションを行っているので、本研究もそれに従い、上記 112 条件ごとに 50 回のシミュレーションを行った。

a) 使用機材

実験には CPU の速度が 2.2GHz でメモリが 128MB のノート型パソコンを用いてシミュレーションを行った。

2.3 従属変数

先に述べた実験条件のもとで、取引数量の分布の違いが RI と CR に及ぼす影響を考える。この RI と CR が本実験での従属変数である。

RI は各 TA の初期資金 ω_0 と終了時点 T における所持金 ω_T を用いて $RI = (\omega_T - \omega_0) / \omega_0$ と定義する。UMIE [9] では 1 日 4 回の板寄せがあるが、ある板によって約定しなかった注文は、その日の間有効なので、ある t 日目の注文数量の総数を N_t と

(注7) : OD が一様分布の場合は、(m, σ^2) を他の分布になるべく等しくするため、(m, σ^2) = (10, 19), (20, 91), (30, 217), (50, 602) とした。

(注8) : なお 4 つ組のうち PI のみ数量決定アルゴリズムに関わっていない。

(注9) : 今回の実験結果は、Table 2 に示した 4 つの要因が RI と CR に与える影響を、以下のようなダミー変数 D を用いた重回帰モデルとして考えることができる。なお重回帰分析のモデルは Greene [4] を参考にした。 $D^m, D_1^d, D_2^d, D_3^d, D_4^d, D_1^p, D_2^p, D_3^p, D_4^p$ はそれぞれダミー変数であり、 $D^m = 1$ のとき TA 自身が DM となり、 $D^m = 0$ のときはメタ TA が DM となる。 $D_1^d = 1$ のとき OD が指数分布、 $D_2^d = 1$ のとき一様分布、 $D_3^d = 1$ のとき正規分布、 $D_4^d = 0$ ($i = 1, 2, 3$) のときは定数である。 $D_1^p = 1$ のとき $m = 10$ 、 $D_2^p = 1$ のとき $m = 20$ 、 $D_3^p = 1$ のとき $m = 30$ 、 $d_i^p = 0$ ($i = 1, 2, 3$) のとき $m = 50$ である。そして $D_1^p = 1$ のとき価格系列が上昇、 $D_2^p = 1$ のとき下降、 $D_3^p = 1$ のとき反発で、 $D_4^p = 0$ ($i = 1, 2, 3$) のとき振動である。よって、推計される回帰式は $y = \alpha + \beta D^m + \sum_{i=1}^3 (\gamma_i D_1^d + \delta_i D_2^d + \epsilon_i D_3^d)$ となる (ただし $y = RI$ (DM, OD, m , PI) または $y = CR$ (DM, OD, m , PI)。また、 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ ($i = 1, 2, 3$) は推計すべき係数)。

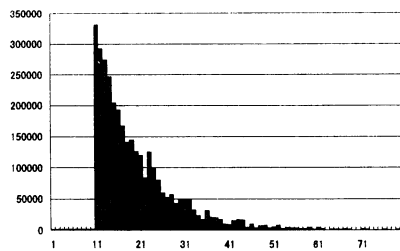


図1 指数分布の時の注文分布

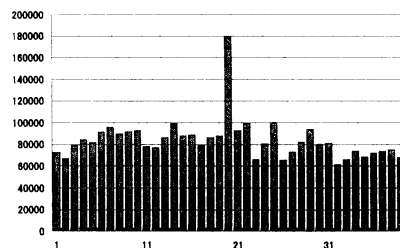


図2 正規分布の時の注文分布

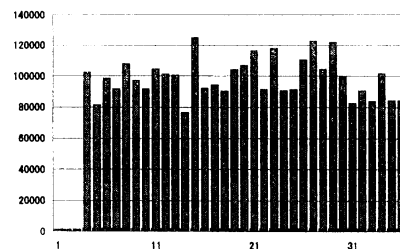


図3 一様分布の時の注文分布

し、同日の約定した注文数量を N_c とすると、CR は N_c / N_t と定義される。

3. 実験結果

以下ではまず実験において DM が TA の場合に注文数量の分布について調べる。その後、RI と CR の平均値が最大と最小となる (DM, OD, m , PI) の組み合わせがどれか調べる。

3.1 注文数量の度数分布

実験計画に述べたとおり、DM が TA の場合にある特定の OD に従って注文を出していても、市場全体での注文数量の分布がその OD に従っているとは限らない。そこで Figure 1、Figure 2、Figure 3 は、 $m = 20$ の時のそれぞれの OD ごとに TA の出した注文数量の頻度をグラフにしたものである^(注10)。

指数分布と一様分布の場合の市場全体の注文数量の分布は、各 TA の注文分布にほぼ従っているとわかる。しかし、正規分布の時は最頻値が $m = 20$ であるものの、一様分布とほぼ違いの

(注10) : m の値が異なる場合であってもほぼ同様の形状のグラフが得られた。

表3 収益率の平均値 (DM=TA)

PI		平均 (分散)	M	OD
上昇	最大	0.9919 (0.0186)	50	定数
	最小	0.9905 (0.0065)	10	定数
下降	最大	0.9911 (0.0077)	50	定数
	最小	0.9903 (0.0034)	10	一樣
振動	最大	0.9899 (0.0023)	10	一樣
	最小	0.9897 (0.0044)	50	定数
反転	最大	0.9916 (0.0088)	50	一樣
	最小	0.9899 (0.0021)	10	正規

表4 収益率の平均値 (DM = メタ)

PI		平均 (分散)	M	OD
上昇	上昇	0.9919 (0.0186)	50	定数
		0.9905 (0.0065)	10	定数
下降	下降	0.9911 (0.0077)	50	定数
		0.9903 (0.0031)	10	一樣
振動	振動	0.9899 (0.0024)	10	一樣
		0.9897 (0.0044)	50	定数
反転	反転	0.9910 (0.0088)	50	定数
		0.9900 (0.0021)	10	定数

表5 約定率の平均値 (DM=TA)

PI		平均 (分散)	M	OD
上昇	最大	0.4135 (0.0002)	10	一樣
	最小	0.3827 (0.0005)	50	正規
下降	最大	0.4114 (0.0001)	10	正規
	最小	0.3789 (0.0007)	50	指数
反転	最大	0.4112 (0.0002)	10	定数
	最小	0.3798 (0.0006)	50	指数
振動	最大	0.4110 (0.0002)	10	指数
	最小	0.3783 (0.0004)	50	正規

ない形状の分布が得られた。このことから、各 TA がある OD(たとえば正規分布)に従って注文を出しても市場全体の注文数量の分布はその OD に従うとは限らない(一樣分布に似ることもある)ことがわかった。

3.2 RI と CR の分析

次にそれぞれの DM と PI ごとに、RI と CR の平均値が最大と最小の場合を Table 3 から Table 6 にまとめた。

Table 3 と 4 を見ると、RI の平均が最大となる場合は、 $m = 50$ の定数の場合が多く(8 件中 5 件)、最小となるのは $m = 10$ の定数の場合が多い。このことから、1 回あたりの注文数量が大きい方が高い RI をもたらすことがわかる。一方、Table 5 と 6 を見ると、CR に関しては特定の OD や m が有利に働く傾向は見られない。

しかし Table 3 と 4、ならびに Table 5 と 6 を比べると、RI の平均が最大となる m と最小となる m はそれぞれ 50 と 10 であるのに対し、CR の平均が最大となる m と最小となる m は反対に 10 と 50 である。RI と CR の間にどのような関係があったか、今後検討の余地がある。

次に全体のまとめと今後の展望を説明する。

表6 約定率の平均値 (DM=メタ)

PI		平均 (分散)	M	OD
上昇	最大	0.4130 (0.0005)	10	指数
	最小	0.3858 (0.0008)	50	一樣
下降	最大	0.4139 (0.0004)	10	指数
	最小	0.3740 (0.0007)	50	一樣
反転	最大	0.4228 (0.0006)	10	正規
	最小	0.3830 (0.0007)	50	正規
振動	最大	0.4131 (0.0005)	10	一樣
	最小	0.3815 (0.0010)	50	指数

4. 結論と今後の展望

本研究では、川越・和田 [10] が「価格戦略の研究はあるのに数量戦略の研究は見当たらない」と指摘するように、過去に研究事例がほとんどない取引数量に関する戦略について取り扱った。過去の研究では注文数量を検討することは皆無であった。

そこで本研究では、TA の発注する取引数量決定アルゴリズムを変えることで、市場での注文数量の分布にどのような影響があるか、また RI と CR にどのような影響があるかを調べた。まず、各 TA が正規分布に従って注文を出しても市場全体の注文数量の分布は正規分布に従うとはいえないことがわかった。また、 m が大きいときは高い RI がもたらされ、 m が小さい時は高い CR がもたらされる傾向があることがわかった。

数少ない研究事例の中で取引数量について昔から知られている戦略に、マーチンゲール [8] がある。しかしマーチンゲールは実行するには多額の資金がなければ破産を招くので、現実的ではない戦略である。

U-Mart の標準 AS を作る際に最も難しいことは、標準 AS が破産しないようにすることである^(注11)。U-Mart において破産するケースは (1)1 日の取引終了後の値洗いの際に残高がなくなつて破産する (2) 最終日に精算した時にポジション管理が出来ていないために破産する、の 2 タイプある。現状の U-Mart に付属の標準 AS は (1) の破産を回避するアルゴリズムが織り込まれているものの、ポジション管理は行われていない。ポジション管理は注文数量を管理すると同時に、価格情報も管理することになるため、数量戦略と価格戦略の間をつなぐ重要項目であると考えられる。

そこで、本研究で用いた TA にポジション管理の手法を組み込んだタイプの TA をさらに加えて実験を行うことが今後必要である。具体的には、ある注文を出すことで生じるポジションの変化が最終日まで持ち越された場合に発生する負債額の割引現在価値を、その注文を出すことで生じる現在の残高の変化と比較しながら意思決定をする TA を組み込んだ実験を行うことが有望であろう。

謝辞 この研究は平成 16 年度未来大学特別研究費の助成を受けて行われた。また、平成 17 年 1 月 17-18 日に実施された公立はこだて未来大学 U-Mart 研究会主催の公開シンポジウム「人

(注11): 平成 17 年 1 月 6-7 日に行われた U-Mart 合宿における開発者の発言による。

工市場研究の新展開」において和泉潔 (産業技術総合研究所)、川村秀憲 (北海道大学大学院情報科学研究科)、佐藤浩 (防衛大学校)、横尾真 (九州大学) [五十音順・順不同] よりコメントを頂いた。ここに感謝する次第である。

文 献

- [1] 和泉潔 (2003). 『人工市場』森北出版.
- [2] 出口弘, 和泉潔, 塩沢由典, 高安秀樹, 寺野隆雄, 佐藤浩, 喜多一 (1997). 『座談会：人工市場を研究する社会的および学問的意義』人工知能学会誌, 12(1), p.1-8
- [3] 福島豊 (2001). 『J G B先物市場の注文付け合わせ方法と価格変動— 戦略的注文行動の分析、市場環境に応じた適切な取引ルールが存在—』金融市場局ワーキングペーパーシリーズ 2001-J-1.
- [4] Greene, W. H. (2002). "Econometric Analysis" Prentice Hall.
- [5] Murphy, J. J. (1986). "Technical Analysis of the Future Markets," New York Insutitute of Finance.
- [6] Murphy, J. J. (1997). "Study Guide for Technical Analysis of the Future Markets," New York Insutitute of Finance.
- [7] Nakajima, Y., I. Ono, H. Sato, N. Mori, H. Kita, H. Matsui, K. Taniguchi, H. Deguchi, T. Terano, Y. Shiozawa (2004). "Introducing Virtual Futures Market System "U-Mart"." Experiments in Economic Sciences - New Approaches to Solving Real-world Problems.
- [8] 田中勝博 (1998). 『テクニカル分析大全集』シグマベイスキャピタル.
- [9] UMIE2004 System Operational Committee (2004). "Overview of UMIE2004 — December 1th, 2003 Version" (U-Mart 開発キットの付録).
- [10] 和田志保美, 川越敏司, 山本真吾 (2005). 『人工市場における市場条件管理の新手法の提案』, 第 35 回システム工学部会研究会.