

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 3 月 31 日現在

機関番号：24402

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510156

研究課題名（和文） 注文フローと板ダイナミクスの分析とマーケット・メイキングによる株価安定化策の提案

研究課題名（英文） Analysis of order flow and dynamics of distribution of orders, and proposal of the way of a market stability by market making.

研究代表者

中島 義裕 (YOSHIHIRO NAKAJIMA)

大阪市立大学・大学院経済学研究科・教授

研究者番号：40336798

研究成果の概要（和文）：この研究の目的は、市場を安定化するマーケット・メイキング法を開発することにある。オーダー・フローの実証分析を行うためのソフトウェアと、モデルの分析と検証のためのシミュレータを開発した。オーダー・フローの実データを抽出しシミュレータに組み込んだ。同時に、オーダー・フローの統計的性質を再現する確率モデルを作成した。クオートドリブン市場を前提としたマーケット・メーカーのモデルを作成した。上記の人工市場で性能を計測し。我々が定義したマーケット・メーカーが必要とする性質を満たすことを示した。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this investigation is to develop the way of market making to stabilize financial markets. We have constructed the software which analyzes real order flow data and the artificial financial market system which tests market maker models. We have extracted real order flow data. Then we have succeeded to reproduce the same order flow in the artificial financial market. Simultaneously we have constructed stochastic model which follows stochastic properties of real order flow. Now we propose a model of market maker in quote driven market. The model shows the sufficient performance in experiments conducted in the artificial market.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学、社会システム工学・安全システム

キーワード：人工市場、オーダー・フロー、シミュレーション工学

1. 研究開始当初の背景

(1) Tick データの分析と経済物理学の誕生
それまで株価変動の実証分析には月次データや日次データが用いられてきたが、2000 年前後から High Frequency Data や Tick Data と呼ばれる日中の価格変動が扱われる

ようになり、Mantegna や Stanley のレビ切断分布の発見など、経済物理学誕生の契機となった。

(2) オーダー・フロー

その後、2005 年頃から情報通信技術の向上に伴って価格情報のみならず、時々刻々と

到来する注文情報（オーダー・フロー）が分析されるようになった。ファーマらは、この情報を用いて成行注文、指値注文、キャンセルの各到来確率と平均注文数量から、bit-ask スプレッドや価格変動の拡散係数が決定できることを示した。更に、彼らは best-bit と second-best-bit、及び best-ask と second-best-ask の間隔と、価格変動の volatility の間に相関関係がある事を示した。

(3) 東証 Arrows 開始

また、この研究を開始した 2010 年には、東証 Arrows が始まり、約定処理にかかる時間が 2~3 秒からミリ秒単位に劇的に減少し、それに伴って日中の約定回数も劇的に増加した。その後、ミリ秒単位の価格変動に対応する Flush Trade と呼ばれるプログラム取引が増加し、現在では、こうしたプログラムによる注文が、東証に出される注文の 70% を超えるに至ったとも言われている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、株式市場から得られた板情報の実証分析と人工市場による数値実験を通して、オーダーフローに基づく確率モデルを提案し、暴騰暴落などの不安定化要因を取り除くことで安定化を図るマーケット・メーカーの方法を開発することである。

3. 研究の方法

我々は、上記の目的を実現するため(1)オーダー・フローの実証分析、(2)人工市場システムの開発、(3)マーケット・メーカー法の提案と検証という3つの方法により研究を行った。

4. 研究成果

上記の方法に従って、研究成果を報告する。

(1) オーダー・フローの実証研究

日経 NEEDS 社は、東京証券取引所の全上場銘柄について全てのティック・バイ・ティックのデータを収集し販売している。また、インターネット上には様々な市場の板情報をリアルタイムに発信しているサイトが存在する。

我々は本研究を開始した時点で日経 NEEDS 社が提供している 2007 年のデータセットを保有しており、また、本研究助成により 2010 年と 2012 年のデータセットを購入した。同時に、インターネットを巡回しヘラクレスや JASDAQ などの日本の新興市場や海外の板情報を収集するプログラムを開発し、それらのデータを分析に用いている。

我々は、板情報のティックデータから差分を取り出し、オーダー・フローを抽出するソフトウェアを開発した。

東京証券取引所は、2010 年に東証 Arrows と呼ばれる新システムに移行した。それに伴っ

て、公開する板情報を 5 本値から 8 本値に変更した。同時に、更新値幅を始めとする様々な制度を変更している。また、当初より大阪証券取引所の新興市場であるヘラクレスでは板情報として 8 本値を公開している。欧米の市場では価格が整数ではなく、全気配値が公開されているのが一般的である。

本ソフトウェアでは、こうした多種多様なデータに対応すると共に、locale などを利用し、現地時間による時間管理を行っている。

更に、東証はこの研究期間内に複数回にわたってシステムを更新しており、当初秒単位であった処理速度が、現在ではミリ秒、マイクロ秒というオーダーで高速化されている。同時に HFT と呼ばれるプログラムを用いたアルゴリズム取引が盛んに行われるようになった。そのため、分析対象となるオーダー・フローのデータも数十倍に膨らんだ。本ソフトウェアの安定性を向上させると共に、この種のデータが必ず含んでいるエラーを処理する精度も高度化が必要になった。

本研究では、この研究期間内にソフトウェアを完成させるのみならず、こうした研究対象となる証券市場の変化に対応するメンテナンスも行った。

本ソフトウェアにより、オーダー・フローのデータを得ると共に、その統計的性質として直近約定価格からの価格差と、その価格で出される指し値注文の期待数量を算出した。

1. (2) で触れたファーマらの研究では、best の気配値と second-best の気配値の間の価格差（距離）と、約定価格の変動（価格拡散係数）の間の関係に着目している。彼らは、銘柄毎に約 2 年間に渡る平均値を算出している。我々は、こうした長期に渡る銘柄毎の違いではなく、むしろ銘柄を特定せず短期的なオーダー・フローの変化に着目した。この分析結果に基づいて確率モデルを作成した。このモデルについては、まだ公開に至っていないため詳細は省くが、次に紹介する人工市場に組み込み、マーケット・メーカーの性能測定に用いた。

(2) 人工市場システムの開発

我々は、1999 年より続いている人工市場開発プロジェクト "U-Mart" に参加している。特に、研究分担者の森は、U-Mart version 2.0 以降、主要な開発を担っている。

U-Mart システムは、インターディシプリナリーな研究を行なうためのオープンテストベッドとして開発されており、マシン・エージェントによる計算機実験とヒューマン・エージェントによる経済実験やゲーミングをシームレスに行なうことができる。

従来、エージェント・ベース・モデリング (ABM) を行なう際に、KISS (Keep it simple stupid) 原理の重要性が提唱されてきた。こ

れに対し、現実の証券市場における様々な制度を検証するために必要な条件として、小野らは忠実性（現実の証券市場の諸制度が忠実に再現されていること）、通過性（マシン・エージェントとヒューマン・エージェントによる実験がシームレスに行えること）、再現性（計算実験が再現できること）、追跡性（全てのデータが保存されていること）の4つを挙げている。U-Mart システムは version1.0 以来、この4つの条件を満たすことを目標に開発が進められてきた。

U-Mart システムは、version の奇数番号で新しい仕様や制度を実現するシステムを、偶数番号で、その安定版をリリースするという方針を採ってきた。実際、U-Mart version1.0 では板寄せのみに対応したシステムとしてリリースされ、U-Mart version 2.0 で、その安定版をリリースした。同様に、U-Mart version 3.0 では、東京証券取引所を始めとする、世界の多くの証券市場で採用されているザラ場（と一部板寄せを行なうハイブリッド）に対応し、U-Mart version 4.0 は、その安定版となっている。

しかし、内実としては奇数番号の時には、旧システムのコードを継承し、そのシステムを改変して新しい制度に対応しているのに対し、偶数番号の開発においては、その制度に対応して、システム設計自体を見直し、フルクラッチでコーディングしている。このため、奇数番号から偶数番号への変更は外面的にはあまり変わらないものの、中身としてはメジャー・バージョンアップと呼べるものになっている。

本研究では、U-Mart プロジェクト内における開発スケジュールとは別に、個別銘柄に対応しオーダー・フローを再現するという、まったく新しい機能を開発する必要があった。我々が開発チームの主たる役割を担っていることから、これら本研究のために付加された機能や、本研究課題のために実装したプログラムは、U-Mart version 4.0 に組み込まれたため、現在では不可分となっている。ここでは、U-Mart version 4.0 の仕様の中で、本研究のために開発された部分について説明する。

U-Mart 3.0 まで、U-Mart システムは先物の仮想市場として開発されてきた。これは、現実の証券市場が社会に埋め込まれているのと同様に、U-Mart 市場も何らかの外部からの情報と関連すべきであるという考えに基づくものである。しかし、この研究では、主に現物市場のオーダー・フローを扱うため、複数の個別銘柄に対応した人工市場が必要であった。

個別銘柄の市場では、これまでの先物市場とは投資家の口座の処理が異なる。先物市場は最初から信用が付与される一方で、約定時

の証拠金や毎日の値洗いが存在する。株式の個別銘柄においては、原則的に約定したときにのみ口座の現金が増減する。また、潜在的需給を顕在化させるために現金や株式を信用供与する信用取引が存在する。これら個別銘柄市場への対応に加えて海外市場への対応など、より柔軟な仕様を加えた。

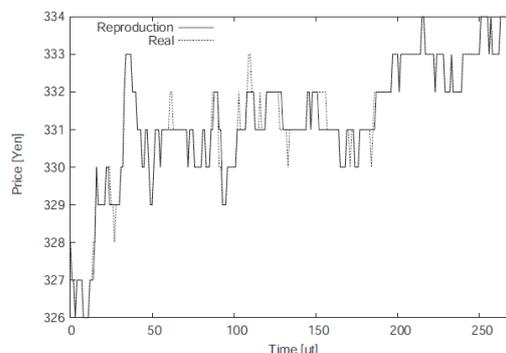


図 1： 現実と仮想価格系列の比較

上の図は、2011 年 10 月 20 日の清水建設株式会社(1803)について、実際の株価と、オーダー・フローをシステムに組み込んで再現した時の価格系列を比較したものである。我々のシステムと現実の市場では時間分解能が異なっていること、注文のキャンセル処理の可否などが影響することなどから、完全に一致はしない。しかし、価格のみならず、約定数量（ティック毎の出来高）や、板そのものについても、多銘柄に渡って比較したが、エラーは無視できる水準にとどまっており、十分に再現できていることがわかった。

(3) マーケット・メーカー法の提案

研究代表者の中島らは、実際に利用可能なマーケット・メーカー・プログラムが満たすべき性質として、流動性の提供のみならず、自身の財務的安定性が重要であると提言してきた。売買により、流動性提供の対価として市場参加者が納得できるレベルの利益を安定的に得ると共に、暴騰暴落が生じた場合でも、マーケット・メーカーが得る日常的な利益の範囲でカバーできる規模の損失しか被らないことが重要である。マーケット・メーカー自身の破産は、市場自体の信用を損なうからである。本研究では、上記の条件の他に、事前に一時的な暴騰暴落自体を緩和し、安定化させるという条件も加えたアルゴリズムの開発を目的としている。

本研究では、当初、オーダー・フローの統計的性質から、そうした暴騰暴落を緩和するマーケット・メーカーのアルゴリズムの開発を試みた。4. (1)で行なったオーダー・フローを 4. (2)で行なった人工市場に組み込み、いくつかの予備実験を行なった。組み込んだ

オーダー・フローとして(a) 現実のオーダー・フロー、(b) 最良気配値からの相対価格に対し、現実のオーダー・フローを対応させたもの、の2種類を用意した。それぞれに仮想的な注文を追加し、その影響が消失するまでの時間を計測した。

下の図は、2011年10月20日のデータを用いて行なった実験結果の例として注文量、日中変動共に大きい東京電力の結果を示したものである。横軸は時間、縦軸は仮想的な追加注文として、1日の全出来高の1%、10%、20%の数量の成行注文を加えた時の価格と、加えなかった場合の価格との差を示している。実験では1日を270のunit time(ut)に分割し、30ut時に追加的注文を与えた。

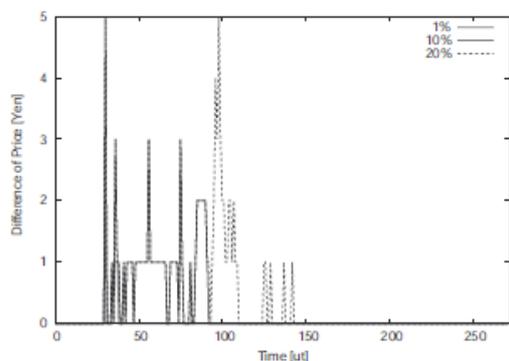


図2：(1) 現実のオーダー・フロー

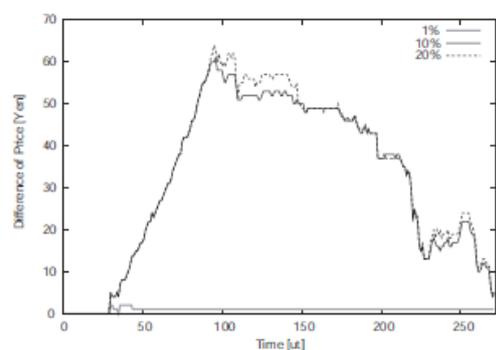


図3：(2) 相対価格に対応したオーダー・フロー

現実のオーダー・フローを再現した市場では、仮想的な注文の数量によらず価格への影響も、実際の価格に戻るまでの時間も変わらない。一方で、オーダー・フローを相対価格に対応した場合、仮想的な注文量が少ない場合は価格差も、復帰にかかる時間も小さいものの、仮想的な注文量が多い場合は、その注文が出された後も、価格差が拡大し続け、復帰までの時間も長期に渡っている。

更に、相対価格に対する注文の到来確率を再現する場合についても実験した。こうした3種類の市場に対し、オーダー・フローの「ゆがみ」(統計的性質を元にした確率モデルから推計されるオーダー・フローと現実のオー

ダー・フローとの間の乖離)を補正するような注文を出すマーケット・メイク・アルゴリズムの開発を試みた。その結果、この研究期間内には上記の条件(流動性、利益確保とリスク回避、市場の安定化)を満足するアルゴリズムは開発できなかった。

そこで、発想を変えオーダー・フローではなく、現在出ている注文(板)のゆがみを取り除くマーケット・メイク・アルゴリズムを開発した。クオートドリブン市場で検証したところ、これは上記の条件を満たしていた。この研究については、現在、論文を作成中であり近日中に公開する。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

①秋元圭人、森直樹、小野功、中島義裕、喜多一、松本啓之亮、「複数銘柄および複数市場に対応したU-Mart システムの開発」計測自動制御学会論文集、47巻、541-548、2011、査読有り

②Yoshihito Akimoto、Naoki Mori、Isao Ono、Yoshihiro Nakajima、Hiroshi Sato、Hiroyuki Matsui、Hajime Kita、Keinosuke Matsumoto、"Development of an Artificial Market System for Analysis of Institutional Issues in Financial Markets", SCIS&ISIS2010, TH-E1-2, 121-126, 2010, 査読有り

[学会発表] (計6件)

①中島義裕、「人工市場とオーダー・フローの分析」、第23回計測自動制御学会SI部門共創システム研究会、2012年3月17日、神戸大学

②秋元圭人、森直樹、松本啓之亮、「U-Mart システム version3.0におけるザラバを考慮したエージェントの開発」、第54回システム制御情報学会研究発表講演会、2010年5月20日、京都リサーチパーク

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中島 義裕 (NAKAJIMA YOSHIHIRO)
大阪市立大学・大学院経済学研究科・教授
研究者番号：40336798

(2) 研究分担者

森 直樹 (MORI NAOKI)
大阪府立大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：90295717

(3) 連携研究者

なし