

金融市場局ワーキングペーパーシリーズ 2001-J-1

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

副島 豊
yutaka.soejima@boj.or.jp

日本銀行金融市場局

〒103-8660 日本橋郵便局私書箱 30 号

2001 年 5 月 7 日

日本銀行金融市場局ワーキングペーパーシリーズは、金融市場局スタッフによる調査・研究成果をとりまとめたもので、金融市場参加者、学界、研究機関などの関連する方々から幅広くコメントを頂戴することを意図しています。ただし、論文の内容や意見は、執筆者個人に属し、日本銀行あるいは金融市場局の公式見解を示すものではありません。

JGB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の存在

副島 豊*

[要旨]

市場流動性が高いオーダーリブ（注文駆動型）市場では、注文の付け合わせ方法が価格変動や市場参加者の注文行動に影響を与え得る。一日数千件の取引が行われているJGB先物市場において注文付け合わせ速度が高められたケースでは、板（注文控え）の状態やその推移が市場参加者にとって判り難くなり、その結果、注文が意図通りに約定されない現象が以前より増加し、短期的な価格変動が高まった。また、こうした約定の不確実性の高まりは注文行動の変化をもたらし、これも価格変動に影響を及ぼしたと指摘されている。本稿では、板情報の誤認（認知ラグ）が発生した点に注目し、付け合せ速度を速めることが価格変動にどう影響するかを分析した。制度変更前後でJGB市場を巡る環境が大きく異なっているため、取引データの実績値をもって付け合せ方法の影響を比較することは出来ない。そこで、まず板へのオーダーフローを復元し、これをパターン分けすることで、板の状況に応じた戦略的注文行動が存在することを確認した。こうした注文行動特性は、直前の注文タイプやビッドアスクスプレッドの大きさを条件とした条件付確率や、注文タイプごとのサイズ分布で捕らえている。次に、板状況や直前の注文に応じて確率的に注文が生成される注文駆動型の人工証券市場を作成し、板情報の誤認が価格変動にどう影響するかをシミュレーションにより分析した。その結果、流動性が高い市場では、板情報の誤認に基づく注文が僅かに混じるだけで、価格変動がボラタイルになることが確認された。

* 日本銀行金融市場局金融市場課市場企画グループ E-mail:yutaka.soejima@boj.or.jp

本稿は、BIS・CGFS（グローバル金融システム委員会）が設置した電子取引に関するワーキンググループに筆者がメンバー参加した際に、日本のケーススタディの一つとして提出したものである。同ワーキンググループは、2001年1月に報告書を公表しており、日本語版訳は日本銀行ホームページ（http://www.boj.or.jp/intl/intl_f.htm）より入手できる。本稿の作成にあたっては、日経 QUICK 情報(株)主催のトレーディングテクノロジー研究会およびMPTフォーラム4月例会の参加者の方々から貴重なコメントを頂いた。なお、原データから注文パターンを抽出する際のデータ処理において嶋谷毅氏の多大な協力を得ている。本稿の分析にはデータ制約上の限界があり、結果の解釈には留意を要する。また、本稿の目的は現行制度の是非を論じるものではなく、市場環境毎に最適な付け合せ制度が存在する可能性を指摘し、制度をデザインする際の要点の一つを指摘するものである。論文の内容や意見は執筆者個人に属し、日本銀行あるいは金融市場局、BIS・CGFSの公式見解を示すものではない。また、有りうべき誤りはすべて執筆者に属する。

目次

1	はじめに	3
2	J G B先物市場の注文付け合わせ方法	5
2.1	J G B先物市場	5
2.2	付け合せ方法の変更	6
2.2.1	注意気配制度の廃止	6
2.2.2	ザラバにおける注文集中時の取り扱いの変更	7
2.3	付け合せ方法変更の影響	7
2.4	注意気配制度の再導入	8
3	データ	9
4	注文戦略の分析	12
4.1	先行研究とデータ制約	12
4.2	注文戦略	13
4.3	各注文タイプの発生確率	16
4.4	注文サイズの確率分布	18
5	シミュレーション	19
5.1	注文付け合せ制度のモデル化	19
5.2	ベンチマークモデル	19
5.3	板情報の誤認を含むモデル	22
6	結論	24
	補論 注文付け合せと板状態推移のアルゴリズム	26
	参考文献	29

1 はじめに

注文駆動型市場における価格の変動と安定性は、板の上でどのように注文が付け合せられるか、市場参加者は注文を入れる際にどのような情報を活用しているかという市場のマイクロストラクチャーに影響される。

JGB 先物を上場し、注文駆動型取引システムにより集中取引している東京証券取引所（以下、東証）は、1998年11月、先物・オプション売買システムの更新に際して、市場参加者からの要望を基に JGB 先物とオプション取引における注文付け合わせ方法を変更した。しかし、実際に新制度を実施したところ次のような問題が発生した。まず、注文の付け合わせ速度が高まったため、価格変化や板の状態の変化が、取引端末上の板（注文控え）表示の更新に比べて速くなり、市場参加者にとって注文の入り具合や約定状況が判り難くなった。その結果、端末で観察した板の状況を前提に出した指値注文が成立しなかったり、成行注文が予想外の価格で成立し、市場参加者の意図とは無関係な価格変動が発生した。こうした注文成立に関する不確実性の高まりと、場中の短期的なボラティリティの上昇は、制度変更により市場の使い勝手が悪くなったという不評を一部に招いた。こうした約定の不確実性の高まりは、市場参加者の注文行動の変化をもたらし、これも短期的な価格形成に影響を及ぼしたと指摘されている¹。また、場中の短期的なボラティリティの高まりや注文行動の変化は、日中の趨勢的な動きにも影響を与えていた可能性もある。東証は、急激な価格変動を抑制する方法に変更すべきとの市場参加者からの要望に応え、こうした状況を改善すべく付け合わせ方法を1999年6月に再度変更した²。その結果、上記の問題は解消したといわれている。

¹ 直前の約定価格は、通常、現在の市場実勢を知るための最適な価格である。しかし、市場参加者の意図した価格水準とかけ離れた価格で約定が成立する現象が相次ぐと、直前の約定価格のこうした機能は失われてしまう。実際、約定価格の変化が市場実勢の変化（市場参加者の見方を反映した指値価格帯の変化、あるいは成行注文が入る売買の方向）を示すものなのか、付け合せ方法の変更に起因するものなのか判らなくなり、その結果、直前の約定価格の周辺に安心して注文を入れ難くなったという指摘が聞かれた。

² 東証が1999年1月に新システムに関するアンケートを実施したところ、「急激な価格変動が起こらないようにシステムを手直しすべきである」とする意見と「新システムの媒介処理に特に問題はない」とする意見がほぼ半々であった。東証は、これを受けて、5月に価格変動のスピードが幾分緩やかになるようシステムを修正し、市場参加者との間でテストを行った。このテストに関するアンケート調査では、修正後のシステムが良いとする意見が多数を占めたため、二度目の変更が実施された。

一般に、電子取引システムは、注文執行と取引情報（約定価格や呼値、板に残る指値注文の分布などを含む）の流通を高速化させ、また情報の入手コストを引き下げる。これは、価格の調整速度を高め、市場参加者間の情報の偏在を正すため、価格形成における質的向上をもたらす。しかし、1日4.5時間の取引時間中³に数千件の取引が行われるJGB先物市場のような極めて流動性が高い市場では、価格の急変動を制御する方策の撤廃は、市場参加者の情報認識能力や対応能力に限界が存在する限り、必要以上の価格変動を招く可能性もある。

本稿では、1999年6月の二度目の変更日前後のティックデータを用いて、JGB先物市場の注文付け合わせ方法の変更が価格変動に与えた影響を検証する。まず、第2節では、最初の変更前と変更後、二度目の変更後の3つの期間について、どのような付け合わせ方法が採られていたか説明する。次に、第3節では、分析に利用した2日間のティックデータについて解説し、両日の価格変動特性を示す。第4節では、注文が入ってきた時の板の状況と直前の取引状況を分析することにより、注文の入り方にパターン性が存在することを示す。こうしたパターン性は、市場参加者の注文行動において、板の状況や直前の取引状況を活用したある種の注文戦略が存在している可能性を示唆している（本稿では、以後、上述のパターン性を注文戦略と呼ぶ）。また、注文サイズの発生特徴についても分析を行った。第5節では、市場参加者の注文戦略に基づく注文駆動型人工証券市場を示し、注文付け合わせ方法の変更が価格変動にどう影響を及ぼすかシミュレーションにより検証する。シミュレーションによる検証方法を採用したのは以下の理由によるものである。異なった注文付け合わせ方法が採られた3つの時期には、重見他[2000]が解説しているように1998年末の運用部ショックや市場間裁定機能の低下などJGB市場に大きなイベントが発生しており、市場環境が大きく異なっている（図表1）。従って、市場変動の実績値を単純に比較することでは、付け合わせ方法の違いが価格形成に与える影響を考察することが出来ない。こうした市場環境の相違の影響を取り除くため、仮想市場における実験を試みている。人工証券市場を用いたシミュレーションでは、市場環境に応じた注文行動をモデル化することが必要になるため、第4節で観察した市場参加者の注文戦略を活用する。最後に、第6節では、結果をまとめるとともに、本稿の分析方法に残された課題を示した。

³ 2000年9月からはイブニング・セッションとして15時30分～18時までの取引が開始され、取引時間は1日7時間に拡張している。

2 JGB先物市場の注文付け合わせ方法

2.1 JGB先物市場

最初にJGB先物市場に関する基本的な事実を示しておく。JGB先物は、東証で集中取引される注文駆動型市場である。東証の会員は、東証の取引システムに直結した専用端末を通じて顧客や自社勘定の注文を入力する⁴。注文には、大別して指値注文と成行注文があり、これらのバリエーションとして、引成（引け成り：引けの板寄せ時に有効となる成行注文）や、不成（できずば引け成り：ザラバ中は指し値注文として機能し、約定しなかった場合、引けの板寄せ時の成行注文となる）などがある。板寄せ（コールオークション）は、通常、前場・後場の寄り付きと引けの合計4回実施される。ザラバ（継続オークション）は、板寄せの直後から開始される。前場、後場の時間帯は、それぞれ9～11時、12時30分～15時である。長期国債先物（10年）と中期国債先物（5年）、超長期国債先物（20年）があるが、取引は長期国債先物（10年）に集中している。本稿では長期国債先物のみを分析対象とする。3、6、9、12月の20日を受渡決済期日とする4限月取引のうち、3限月取引が上場されている（各限月の取引期間は9ヶ月）。取引の中心は直近の限月に集中している。受渡決済期日の7営業日前が取引最終日であり、通常、この数日前に中心限月が交替する（翌限月の取引高が直近限月を上回る）。売買単位は1億円で、呼値の単位（最小ティックサイズ）は額面100円に対し1銭である。1銭の変化幅は、利回りでみると0.1bps（bps：ベースポイント<1bps=0.01%>、以下bpsと表記）前後に相当する⁵。1985年の取引開始以降、取引高が急速に伸び、長期金利のベンチマークとなっている⁶。東証の会員は取引専用端末を通じて板情報を観察することができる。同端末から送信された注文は板に集約され、一定の付け合せルー

⁴ 東証の正会員数は2001年3月末現在119社である。JGB先物およびオプション取引については、銀行を中心とした98社の特別参加者の参加を認めている。

⁵ 図表1が示しているように、終値変化幅でみた前日比のボラティリティは、相場が安定している時期で20銭程度である。これは大体2bpsに相当する。

⁶ 長期国債先物は、標準物クーポンが6%に設定されている（多様な銘柄が存在し流動性が分散している現物に対し、例えば長期国債先物では10年満期クーポン6%の仮想上の債券を想定し、これを集中取引することで流動性を高めている）。このため、現在の低金利水準では、受渡適格銘柄（長期国債先物の場合、7年以上11年未満の10年利付国債）のうち残存期間が最も短い7年の国債が最割安銘柄となる。従って、先物価格は残存期間7年の現物とリンクして変動する。流動性が厚い先物市場の価格変動が現物の価格変動をリードする傾向があるため、現物利回りのボラティリティに関するタームストラクチャーは7年がピークとなる形状を示す場合が多い。

ルに従って付け合せが行われる。会員以外の投資家は、東証の相場報道システムを通じて、最新の約定価格、ベスト・ビッド・アスク（一般気配、以下ビッドアスクと呼ぶ）および各々の数量、注意気配、特別気配（注意・特別気配については後述）など板情報の一部を観察することができる。

2.2 付け合せ方法の変更

2.2.1 注意気配制度の廃止

ビッドアスク・スプレッドが開いたり板の注文が薄い場合に、注文を時間優先価格優先の原則で付け合せると価格が大きく変動する場合がある。板による注文駆動型取引システムでは、「市場参加者の相場観が変化し指値の価格帯が変わることによる価格変動」以外にも、「板にある指値注文の消化状況により相場観とは無関係な一時的な価格変動」が発生する場合がある。後者のような状況では、一時的な偏りが生じていることを周知させることで、偏りを解消するような指値注文が入ってくる（こうした指値注文は優先執行権をもつため、市場参加者は注文を入れるインセンティブを有する）。東証では、才取会員⁷が、一旦付け合せを保留し、注意気配を表示して反対注文を呼び込むことにより価格変動を緩和する方法が採られていた。しかし、マーケットの利便性向上を考える上で、時間優先原則の徹底と付け合せの迅速化を図ることがより望ましいと考えられ、1998年11月、専用端末ネットワークを含む売買システムが更新される際に、注意気配制度は撤廃されることとなった⁸。

⁷ 才取会員は、注文付け合わせを専業とする会員であり、自己勘定での売買は認められていない。従って、ニューヨーク証券取引所のスペシャリストとは機能が異なる。なお、2001年3月9日をもって才取会員による媒介業務は終了し、現在、東証の先物・オプション取引に関する媒介業務は東証自身が行っている。

⁸ ただし、反対注文を呼び込むための「特別」気配は残された（特別をカッコ書きしたのは、1998年以前の特別気配と役割が異なることを強調するため<次節および脚注10参照>）。一度に変動し得る値幅を10銭とし、これ以上の価格変動が生じる場合には、特別気配を直前の価格の10銭上下に提示して、付け合せが60秒間保留される。この間に特別気配値段で付け合せられるような注文が来た場合には即時付け合せが行われ、特別気配値段から10銭以内で付け合せ可能な注文が60秒以内に来なかった場合には、特別気配が更に10銭上下に更新される。図表1に示したように、国債市場が比較的安定しているとき、終値前日比ボラティリティは30銭から40銭である。一回の約定での10銭の価格変動は、終値ボラティリティに比べて大きい価格変化といえよう。なお、第4節でみるように、取引毎の価格の変化幅は、ほとんど0銭か1銭（最小ティッ

2.2.2 ザラバにおける注文集中時の取り扱いの変更

1998年11月以前の売買システムでは、構築時の通信技術上の制約から市場参加者の取引専用端末上の板情報を更新するのに時間がかかるという問題点を抱えていた。また、注文が集中したときの付け合せ処理速度がネックになっており、付け合せ待ちの注文（未登録注文⁹）が滞留した場合には、才取会員の判断により未登録注文を板に一括して登録する板寄せが行われていた。この他、注意気配より更に大きい価格変動が発生しうる場合には、特別気配が出され、即時に板寄せが実行されていた。ザラバにおける臨時の板寄せは、ザラバの付け合せの基本原則である時間優先・価格優先原則のうち、時間優先原則を崩すものであるため、一部の市場参加者には不評であった。従って、システムの処理能力を向上し、ザラバ中の板寄せを行わないようにすることは自然な流れであった。

2.3 付け合せ方法変更の影響

制度変更の副産物として、価格変動のボラティリティが高まったと指摘されている。板に到着した注文は、時間優先・価格優先の原則のもとで瞬時に付け合せられる。新システムの情報転送能力と付け合せ処理能力の飛躍的な向上により、執行の即時性は二重の高まりを示した。例えば、成行売り注文やベストビッドよりも低い売り指値の注文数量が、ベストビッドの注文数量を上回っている場合、売りの残り注文は、順次下値の買い注文と付け合せられる。この際の異なる価格での付け合せ処理は、厳密には段階的に行われるが、その処理時間は非常に短い。そのため、板の画面情報が次に更新されたときには、大きく価格が変動した結果しか観察できない。このため、市場参加者は自ら出した注文の約定状況を観察しながら、キャンセルを行おうとしても、状況を把握するだけの十分な時間的猶予がなかった。この売り注文を出した市場参加者が、買い方の板の状態を正しく把握していた場合、低い価格での約定成立を承知で出した注文であるため、価格変動は市場参加者の意図を反映したものであるといえる。しかし、瞬間の差で他の売り注文にベストビッドの指値注文を先に取られる場合もあり、専用端末画面上で見ている板の状況が、自分の注文が板に到着するまで不変であるかどうかは判らない。こう

ク)である。

⁹ 未登録注文とは、売買システムが受け付けたものの、板への登録がまだ終わっていない注文を指す。先に到着した注文など優先権がある注文が板上で付け合せ中である場合などに発生する。未登録注文間でも時間優先原則に従って優先順位が保たれる。

した板情報の認識のズレによって想定した約定価格がぶれる現象は、かつても発生していた。しかし、新制度下ではその発生頻度が高まり、また、一約定での価格変動幅も大きくなった。専用端末上の板画面は、ごく短時間で更新されるようになったにもかかわらず、注文が集中する局面では、注文が板の状態を変化させていく状態を十分に追跡できないほど、瞬時にかつ急激に変化するようになったといわれている。

2.4 注意気配制度の再導入

1999年6月の付け合せ方法の再変更では、明確なルールに基づく注意気配制度が再導入された。ある注文により価格が直前の約定値段から一約定で2銭(2ティック)以上上昇する場合は、システムが自動的に直前の約定値段の1銭上に注意気配を2秒間表示する。もとの注文は、注意気配値段での買い指値注文に読み替えられ、注意気配の表示により反対注文が呼び込まれる¹⁰。この2秒間のうちに、1銭以下の価格変動で約定可能な売り注文が入った場合、「注意気配が表示された値段」で即時執行される¹¹。一方、こうした反対注文がない場合、当初の買い注文が直前の約定値段から10銭以内で付け合せ可能であれば、その値段で2秒後に付け合せが行われる。

大口の買い注文が入り、連続して指値注文を買い上がっていく場合も、各約定値段ごとに、その都度2秒間付け合せを保留しながら順次付け合せが行われる(注意気配表示中に注意気配価格で付け合せ可能な反対注文入った場合、表示値段で即時執行される)。

また、直前の約定値段から10銭超の価格変動を伴う場合、特別気配を直前の約定値段の10銭上に表示し、ベストビッドが直前の約定値段から10銭より高いところにあることを周知し、反対注文を呼び込み、板寄せによって付け合せが行われる¹²。この場合の付け合せ保留時間は60秒となる。

¹⁰ 注意気配を出す契機になった元の注文も板画面上に表示される。

¹¹ やや込み入った話になるが、2秒間の付け合せ保留中に0銭の価格変動で約定可能な売り指値注文(すなわち直前の約定価格での売り指値注文)が入ってきた場合、同指値価格でなく1銭上の「注意気配が表示されている価格」で付け合せられる。これは、価格を2銭以上上昇させる最初の買い注文が、注意気配での買い注文に読み替えられているため、これがベストビッドとなり、その後入ってきた上記の売り注文は、ベストビッドに付け合せられる筋合いにあるため。

¹² なお、注文が極端に集中し一定数以上の注文が滞留した場合の板寄せ実施は制度として残されたが、システムの処理能力が向上しているため実際に活用したケースはほとんどない。

図表 2 は板の概念図を図示したものである。ベストアスクの指値注文が 133.22 円に 5 億円、ベストビッドの指値注文が 133.19 円に 17 億円が入っている。直前の約定価格はベストビッドと同じ 133.19 円である。今、図中の買いサイドに丸印で示した買い指値注文 20 億円が 133.25 円に入ってきたとしよう。このとき、133.22 円のベストアスクと付け合せると価格が 3 銭上昇するので、2 秒間注意気配が表示される。買い注意気配が、直前の約定価格の 1 銭上 133.20 円に「K」印で示され、また、付け合せ対象となる売り指値注文の価格 133.22 円に「#」印が示される¹³。

板上の指値注文の分布情報から、図表 3 に示したような需要・供給曲線を描くことができる。図表 3 で注目すべきは、板の上での需要・供給曲線は、約定可能な注文が現れた瞬間に交わり、約定が成立した直後に交わらない状態に戻るといふ点である。これは、板を用いた注文駆動型市場の特徴である。

3 データ

完全な板情報は専用端末でしか観察されないため、東証相場報道システムが会員以外に対して公開している情報（直前の約定価格、数量、ビッドアスクの価格・数量、注意気配・特別気配の価格）の一部を、ブルームバーグのヒストリカルデータサービス機能を通じて入手した^{14,15}。第二回目の変更前後日に相当するのは 1999 年 6 月 24・25 日であり、ヒストリカルデータサービスが提供していた両日のデータは以下のようなものである。まず、ビッドアスクのいずれかの価格もしくは数量が更新されると、新しいビッドアスクを一組にして、各々の価格・数量をタイムスタンプ付きで更新する。また、約定が成立すると、約定価格・数量、およびビッドアスクの組（各々価格・数量）を更新す

¹³ 売り注意気配の場合「U」印が、売りと買いの特別気配の場合「ウ」印、「カ」印がそれぞれ示される。

¹⁴ 本稿で使用したデータのタイムスタンプは、ブルームバーグのデータに付されたものである。債券先物の場合、取引頻度が高く 1 秒に数件の注文が入ることもあるため、若干の誤差が生じている可能性もある。なお、注意気配・特別気配についてはヒストリカルデータサービス提供のデータには含まれない（ブルームバーグ端末上では注意気配が観察可能）。

¹⁵ 相場報道システムは、市場情報の拡充として、2000 年 12 月より株式の一般気配の上下 3 本の価格・数量の公表を開始した。債券先物についても、2001 年 2 月から実施されており、情報ベンダーの端末で観察することができる。

る。約定成立によりビッドアスクの価格が変化しない場合でも、ビッドアスクの数量が変化するため、ビッドアスクの組は更新される¹⁶。こうしたデータセットに基づいて、オーダーフローを復元した¹⁷。

以下では、両日の価格変動の特徴について概観しておく。約定価格の日中推移を示したものが図表 4 である。24 日は後場が上げ相場であり、25 日は前日終値比安く始まり、日中レンジ相場で、引け直前に急落した。日中 4 回の板寄せを含む 15 分毎の取引高を図表 5 でみると、24 日が前場・後場を持つ金融市場に典型的に観察されるような W 型（前場・後場とも寄り付きと引け近くで取引高が大きく、場中に低下する形状）を示している。一方、25 日にはこうした形状は観察されず、場中に複数のランダムなピークが観察される。これらを図表 4-2 と照らし合わせると、同じ時間帯に相場の短期的な反転や下落が生じていることが判る。

次に、図表 6-1 で基本的な統計量をみておく。まず、価格の日中平均値は 20 銭しか違わないが、高値安値の差は 24 日が 1 円 3 銭、25 日が 65 銭と、24 日のほうが上げ相場を反映して大きく出ている¹⁸。価格水準でみたボラティリティでも 25 銭対 9 銭と 24 日が 2 倍以上大きくなっている。ビッドアスク・スプレッドの平均値をみると、24 日のほうが 1.7 銭と 25 日の 1.5 銭に比べて若干大きい。ボラティリティがそれぞれ 0.097 銭、0.082 銭なので、0.2 銭の差が有意かどうかは判らない。そこで図表 7-1 でビッドアスク・スプレッドの分布状況をみた。両日とも最も多いのが最小スプレッドの 1 銭であり、全体の 3 割強を占める。2 銭が 3 割弱、3 銭が 2 割と減少し、5 銭以上開くことは殆どないことが判る。両日の差としては、24 日が 4・5 銭と大きくスプレッドが開くことがやや多く、その分、最小スプレッドの割合が少なくなっている。

¹⁶ なお、6 月 24 日のデータには、ビッドアスクのデータを間に含まず買い上がる（売り下がる）約定データが連続するケースが頻繁に見受けられる。一方、6 月 25 日のデータに連続した約定データはなく、買い上がり、売り下がり両方においてもビッドアスクの更新が間に挟まっている（厳密には僅かに 10 個だけ存在したが、その前後のデータが板で生じた現象がトレースできないような不可解な動きを示していたため、データハンドリングにおいて何らかの問題が発生している可能性がある）。こうした相違から、注意気配制度が無かった 24 日と再導入された 25 日には、データの提供され方が異なっていた可能性がある。この点は、5 節の最後に再考する。

¹⁷ 次節の注文タイプ分けで説明するように、復元可能なオーダーフローは即約定に結びついた注文とビッドアスクの更新に関連した指値注文のみである。

¹⁸ 約定・ビッドアスク価格、ともに 1 秒毎に採ったサンプルで平均・ボラティリティを求めている。

図表 6-2 で約定成立回数をみると、3,970 件対 4,226 件と 25 日が若干多い(板寄せは除いている)。ザラバ中の約定の時間間隔の平均値をみると、3.85 秒対 3.83 秒とほぼ等しく、平均して 4 秒弱に 1 回取引が成立していることになる。取引高は、ザラバ中がそれぞれ 3 兆 4 千億円、3 兆 7 千億円(取引最低単位は 1 億円)で、一件あたりの平均サイズは 9 億円弱である。図表 7-2 で約定成立間隔の分布をみると、前の取引から 1 秒以内(図表では 0 秒に相当)に成立した取引件数が最も多かったことが判る。次のピークは 2 秒であり、ついで 1、3、4 秒、やや減少して 5、6、7 秒が続く。8 秒以上になると急減している。両日を比較すると、25 日は 0 秒が多い代わりに、1~4 秒が若干少なくなっている。5~7 秒は 25 日が若干多く、それ以降は大差ない。2 秒にピークが存在する現象は、付け合せ停止に関する 2 秒ルールの有無に関係なく、両日ともに観察されており、むしろ停止ルールがなかった 24 日のほうが多い。仮に、取引発生間隔が 2 秒毎になりやすい原因が、市場参加者の認知・反応速度や、通信速度、処理速度といったシステムに内在されている要因に関係しているならば、付け合せ保留時間を 2 秒に設定したことには、何らかの合理性が存在している可能性がある。

図表 6-3 は、約定価格やビッドアスク価格が日中変化した回数を示している。24 日については、3,970 件の約定成立回数のうち 1,999 回が価格変動を伴うものであり、残りの約半分については直前の約定価格と同一の価格で取引が成立している。一方、25 日については、約定の 40% が価格変動を伴うものであり、24 日に比べてやや変動が少ない。これは、上げ相場とレンジ相場という両日の相場つきの違いを反映したものである可能性がある。図表 7-3 の価格変化幅分布で更に詳細を確認すると、2 銭、3 銭以上大きく価格が跳ぶ割合が、24 日の方が高いことが判る。

また、図表 6-3 は、ビッドアスクの変化回数に関して興味深い現象を示している。すなわち、相場変動の幅は 24 日が大きかったにも拘わらず、ビッドアスク価格の変化回数は 25 日の方が多い。これより、ビッドアスクが狭いレンジでにらみ合うレンジ相場の方が、ビッドアスクが開いたときにこれを埋めるかたちで指値注文が素早く入ってくるため、ビッドアスク価格の変化はむしろ激しくなるという仮説が考えられる。細かくビッドアスクが調整されたほうが、約定価格の変化が少なくて済む可能性を示唆している。

本節では、2 日間の取引状況を概観し、JGB 先物市場の特徴点を概観したが、その過程で、1) 取引高と価格変動パターン(上昇、下落、上昇から下落への反転、その逆、

もみ合い)には何らかの関係性が存在する¹⁹、2)ビッドアスク・スプレッドが示す市場流動性の高低は価格変動に影響を受ける、3)ビッドアスク価格や約定価格の変化の頻度、および両者の頻度の多寡は当日の市場環境によって異なり、その背景には市場参加者の注文戦略が存在している、といった仮説が見出された。これらの点は、本稿の間接的な目的の一つである市場参加者の注文戦略分析と関係している可能性があるだけでなく、日中の価格変動、特に短期的な相場の転換点を考察するうえで重要であると思われる。しかし、本稿の主目的は、付け合せ方法の価格変動への影響であるため、上述の点に立ち入って分析を深めることは本稿では行わなかった。

4 注文戦略の分析

4.1 先行研究とデータ制約

人工証券市場では、状況に応じて注文を出すエージェント(市場参加者)が必要である。本節では、注文駆動型市場における市場参加者の注文戦略について分析した先行研究を参考として、JGB先物市場のオーダーフロー情報から市場参加者の戦略的注文行動を抽出する。こうした行動様式に沿ってオーダーフローを発生させるアルゴリズムを作成し、これをエージェントの発注行動として利用する。

注文戦略に関する先行研究は株式市場に集中しており、Biais, Hillion, and Spatt [1995], Lehmann and Modest [1994], Bollerslev, Domowitz, and Wang [1997], Lo, MacKinlay and Zhang [1997]などがある²⁰。また、宇野・大村[1999]はこれらを含む多くの論文をサーベ

¹⁹ ダウが発見した株価変動の経験則のうち、出来高と株価の関係を指摘したものがある。すなわち、出来高増加を伴った株価上昇が続いている場合、株価が下落しても出来高が少ないなかでの下落ならば、その後反発し上昇トレンドが続く可能性が高い。また、出来高が少ないなかでの株価上昇時に取引高増加を伴った株価下落が観測されれば、近く上昇トレンドが転換する可能性が高い。株価低下トレンドの場合についても、上記の逆が成立する。こうした経験則をティックデータで確認することにより、注文戦略やその背後にある将来株価の期待形成についてインプリケーションが得られると考えられる。

²⁰ 指値注文の理論分析を試みたものとしては、Domowitz and Wang [1997], Parlour [1998]や Foucault [1999], Handa and Schwartz [1996]などがある。これらは、所与の板状態のもとでの注文戦略を考察したり、板を用いずに資産価格を確率過程で与え、そのもとでの最適な注文戦略を考察するアプローチ法を採っている。例えば、Parlour [1998]は市場参加が板の厚みを観察して成行

イしている。Biais, Hillion, and Spatt [1995]は、パリ証券取引所のオーダーフローを分析し、板の状況、直前の約定状況、注文のタイプに基づいて戦略的に注文が出されていることを指摘している。本節では、これを参考にオーダーフローの特性を分析し、その背後にある市場参加者の注文戦略を推測する。ビッドアスク価格を基準に注文のタイプを10分類し、このうち観測可能な8タイプについて、直前の注文のタイプ、および当該注文が板に到着した時のビッドアスク・スプレッドのサイズにより、注文タイプ毎の到着確率（条件付き確率）を求めた。

なお、日本の証券取引所などの注文駆動型市場についての実証分析は、事例が少ない。これは、1998年11月以前はビッドアスクの数量情報が提供されておらず、約定価格・数量およびビッドアスクの価格しか利用できなかったという点も関係している。パリ証券取引所を分析対象とした Biais, Hillion, and Spatt [1995]では、板上の注文の厚みがビッドアスク価格から上下に5本ずつ判るデータが利用できたため、板のダイナミックな変動や、細かい注文パターンの分類が可能となった。これに対し、東証について分析した Hamao and Hasbrouck [1995]や Lehman and Modest [1994]は、出来高は約定毎に判っても板の厚みに関する情報は公開されていなかったために、板の状態とオーダーフローの関係进行分析することができなかった。本稿で用いたデータでは、価格決定に最も重要な役割を果たすビッドアスクについては厚みが判明しているため、価格のみならず数量の変化が観察可能であり、また、数量の変化から注文のタイプをある程度、特定化することが可能となった。なお、東証は上場株式について2000年12月よりビッドアスクを上下三本ずつ公開し始めたため、情報ベンダーなどを通じたデータ提供が進むにつれ、市場参加者の注文戦略や、付け合せ制度・サーキットブレーカー制度などのマイクロストラクチャーの最適なデザイン等、注文駆動型市場に関する研究が進展する可能性が広がった。

4.2 注文戦略

図表8は、指値注文をビッドアスク価格との相対的な関係で10にタイプ分けした模式図である。10のタイプ分けは、以下の基準によって行った。

注文と指値注文を選択するモデルを考え、そこで板の状態に応じた注文パターンが現れてくることを示している。

- Buy' : ベストアスク価格より高い価格への買い指値注文²¹
- Buy : ベストアスク価格での買い指値注文
- Bid' : ビッドアスク・スプレッド間への買い指値注文
- Bid : ベストビッド価格への買い指値注文
- Bid'' : ベストビッドより低い価格への買い指値注文
- Sell' : ベストビッド価格より低い価格への売り指値注文
- Sell : ベストビッド価格での売り指値注文
- Ask' : ビッドアスク・スプレッド間への売り指値注文
- Ask : ベストアスク価格への売り指値注文
- Ask'' : ベストアスクより高い価格への売り指値注文

Buy (Buy') は、即時約定を意図した買い注文であり、Sell (Sell') はその逆である。図表 8 に示したように、これらの注文は、板の売り方、買い方に指されている指値注文、すなわち板に供給済みの流動性を消費しに行く注文である。一方、Bid (Bid') や Ask (Ask') は、より有利な価格でヒットされることを意図した指値注文である。これらの注文は板に指値注文として追加されるため、流動性を供給する注文といえる。

なお、本稿で利用した原データからは、ベストビッドより低い価格での買い指値注文 (Bid'') およびベストアスクより高い価格での売り指値注文 (Ask'') について観測できなかった。このため、全オーダーフローは捕捉できていない。また、本来 Buy' (Sell') として出された注文が、異なる価格で分割約定されたため Buy (Sell) と判断された場合が少なからずあると思われる。後述するように Buy' (Sell') に比べて Buy (Sell) の頻度が極めて高い。しかし、流動性が高く約定成立間隔が短い JGB 先物市場では、注文の執行を優先する場合、直前の約定価格や現在のアスク価格から多少高い値段で買い指値注文を出す場合が少なくない。従って、次節以降での分析結果の解釈では Buy (Sell) と Buy' (Sell') の識別が正しくなされていない点に留意すべきである。また、過去の指値注文のうち板に残っていたものがキャンセルされたケースについても、現在のビッドアスク以外の価格に残っていた分について捕捉できなかったという問題がある²²。

²¹ Buy' タイプの注文は、まずベストアスクの注文と付け合せられる。注文サイズがベストアスクの厚みより大きかった場合、残った額はセカンドベストのアスク注文と付け合せられる。このプロセスが残数量がなくなるまで繰り返される。なお、注意気配制度が存在する場合、異なる価格帯での付け合せごとに注意気配が表示され、即時執行もしくは付け合せの一時保留が判断される。

²² なお、ベストビッドアスク価格でキャンセルされた分は本稿では無視している。

本稿で用いたデータは、以上のような欠損データの問題、データタイプ識別に関する問題を含んでいる。なかでも、シミュレーションを行う上で無視できないのは、タイプ Bid”、Ask”が観察できていない点である。これらは、板に流動性を供給する上で重要な役割を果たしており、特に、売り買い注文が偏り、ベストビッドアスク価格の指値注文が次々に消費されていく時、板に流動性を補う役割を果たしている。ベストビッドアスクからどの程度離れた価格に指値注文を入れてくるかは、相場の方向性に関する市場参加者の読みを反映している。また、指値注文の無料オプション性も指値の決定に関係している²³。ベストビッドアスクから離れた価格帯の板の厚みは売り買いが偏った時の緩衝材になり、価格変動を食い止める、もしくは、偏りが反転するための時間的猶予、相場の方向性について市場参加者が思考する時間的猶予などを与える効果を持つ。従って、このタイプの指値注文のデータは相場変動や市場参加者の注文戦略・価格変動に関する読みを分析するうえで欠かせない。本稿では、このタイプの指値注文の到着確率を外生的に与え、これをシミュレーションの操作パラメーターとして、仮想市場の動きを実際の市場と整合的になるよう調整することで、同タイプの指値注文が及ぼす影響を取り込んでいる。

なお、指値注文と成行注文は識別不可能であったため、成行注文は複数の指値注文から成る注文とみなすことで処理している。この仮定はデータ制約が一番の理由であるが、価格変動が穏やかな場合には成行注文の割合は少ないこと、注意気配が存在する制度では価格をジャンプさせるような成行注文は時間をかけて分割執行されることから、上記の仮定の悪影響は小さいと考えられる²⁴。なお、Buy’ と Sell’ タイプの注文は、上限（下限）価格制約付きの成行注文と解釈することが出来る。

²³ 板に残る（流動性を供給する）指値注文は、キャンセルしない限り他の市場参加者に自由にヒットされてしまう。従って、指値注文は市場参加者にヒットする権利を無料で与えていることになる。これをフリーオプションと呼ぶ。例えば、約定価格帯が上昇し、やや高めに指しておいた売り指値注文が執行されそうになったとき、キャンセルして更に高い売り指値注文に切り替えれば、より有利な約定となるが、キャンセルし損なった場合その機会を逃してしまう。キャンセルができない、あるいはキャンセルが間に合わないような市場では、特にフリーオプション性が指値注文の特性として重要になる。

²⁴ 価格変動が激しい場合、注文執行の即時性を求めて成行注文が増加する可能性があるが、これは予想外の高値（安値）が付くりリスクとのトレードオフで考察されなければならない。なお、価格変動が小さい場合でも引成注文は一定量存在する。これは、終値で取引を成立させたいインセンティブを持つ機関投資家などからの注文をディーラーが受けているためと考えられる。本稿は、ザラバ中の付け合せ制度に分析の焦点があるため、引成注文は考察していない。

4.3 各注文タイプの発生確率

図表 9 は、注文タイプ毎の発生確率を全体の頻度を 100% として表したものである²⁵。また、各注文タイプごとの平均注文サイズ（および標準偏差）と、各注文が入った直前時点のビッドアスク・スプレッドの平均値を示している。これらの観測値から以下の点が指摘できる。1）70%以上の注文が Buy、Sell 注文であり、ビッドアスク価格での約定成立を目指す注文が最も多い、2）流動性を供給する注文 Bid、Ask は平均サイズが最も大きい、3）逆に、流動性を消費する Buy、Sell 注文の平均サイズは小さい、4）ビッドアスクの中間を指してくる注文 Bid'、Ask' は、スプレッドが開いているときに入りやすい、5）逆に、約定成立を目指した注文 Buy、Sell はスプレッドが小さいときに入りやすい。また、流動性を消費する注文数が供給する注文数より多いことから、1）原データから観察できなかった、アスクビッドの外に流動性を供給する注文（Bid'、Ask'）が相当数存在する、かつ/もしくは、2）流動性を供給する注文のサイズは流動性を消費する注文より大きいことが推測される。

次に、条件付きの発生パターンを観察する。図表 10 は、直前の注文タイプ毎に分類した発生確率 $\langle Prob(\text{新規注文} | \text{直前の注文}) \rangle$ である。横の欄が直前の注文タイプを表し、計数を縦方向に足し合わせると 100% になる。例えば、左から 2 列目の Buy の列は、直前の注文が Buy であったとき、次に各注文タイプ（最左列ラベル）が入ってくる確率を示している。この表より以下の点が観察される。1）Buy の後には Buy が、Sell の後には Sell が続くことが多い²⁶、2）Buy の後の Buy 対 Sell の比率はおおよそ 2:1 であり、Sell の後の Sell 対 Buy の比率も 2:1 に近い、3）同じ買い注文でも Bid の場合、後に Bid が続くという傾向は観察されない（他の買い注文 Buy'・Buy・Bid' が、売り注文より入りやすいという傾向も観察されない、また Ask についても同様）、4）スプレッド間への注文 Bid'・Ask' や、ビッドアスクの厚みを積み増す注文 Bid・Ask は、直前の注文タイプには左右されにくい。

上述 1）より、買い注文がアスク価格で約定を付けに行った場合、連続してアスクがヒットされやすく、買いの Momentum がアスクを切り上げていく現象を示している（逆も成立）。売り買いの反転比率 2:1 の割合がより傾斜すれば、短期的な一方向へ

²⁵ 単位時間あたりの発生確率ではない。

²⁶ 前述のように Buy（Sell）は Buy'（Sell'）を少なからず含んでいると思われる。従って、ここでの Buy は、約定を成立させにいく買い指値注文全体と解釈したほうが適切である。

の価格変動が起こりやすくなり、逆に緩やかになれば、価格変動は安定化すると考えられる。比較的サイズが大きい Bid・Ask タイプの注文(図表 9 および次節で解説する図表 13 参照) は、直前の注文タイプに左右され難く、流動性を供給する注文は板情報に基づく戦略的な注文行動というより、むしろ「流動性トレーダー²⁷」の実需に基づく注文であると解釈できよう。

一方、スプレッド間への注文 Bid'・Ask' は、直前の注文タイプには左右されないものの、直前のスプレッドサイズには強く影響されている。図表 11 は直前のスプレッドサイズを条件とした条件付確率である。最小スプレッド 1 銭のときは、スプレッド間への注文は不可能だが、2 銭、3 銭以上と開くにつれ、Bid'・Ask' の割合が上昇する。また、全注文サンプル中のスプレッド比率から、注文が到着したときの 7 割近くは、最小ティックでビッドアスクが隣接していることが判る。3 銭以上開いている場合は 1 割と少ない。

図表 12 は、直前の注文とスプレッドサイズという 2 つの条件を用いた条件付確率である。図表 12-1 の枠囲み部分は、直前が Buy 注文でスプレッドが 1 銭であった場合の、8 タイプの注文の発生確率である。Buy と Sell の 2 対 1 の関係が保たれつつ、スプレッド間への注文がない分だけ Buy と Sell の確率が、それぞれ 60%、30% 近くに高まっている。一方、同じ Buy の条件でもスプレッドが 3 銭以上の場合は、Buy の 60% が約 30% ずつ Buy と Bid' に割れている。Sell の約 30% は、Sell が 5%、Ask' が 26% とむしろ Sell が少なくなっている。こうした現象は、図表 12-1 の右側の Sell 条件付確率でも観察される。シミュレーションには、ここで示した 2 条件付きの確率表を用いて、直前の板の状況(スプレッドサイズ) と直前の注文タイプに応じて、注文タイプを確率的に選択・発生させる。

なお、ここでのオーダーフロー分析には 25 日のデータを用いている。従って、観測されたパターン(注文戦略) は、25 日独自の要因が入り込んでいる可能性もありうる。この点は、5.3 節のシミュレーション結果の解釈部で再考する。

²⁷ マーケットマイクロストラクチャーの分野で、「流動性トレーダー」とは、ポートフォリオの入れ替えや先物によるポジションヘッジのように、本源的な売買ニーズ(流動性ニーズ) が存在し、これを満たすために注文を入れてくる市場参加者を指す。なお、「情報トレーダー」とは、将来の価格変動に関する情報を有していたり、売り買いのオーダーフローから価格変化を予測するといった、私的情報に基づく売買を行う市場参加者である。流動性トレーダーと情報トレーダーは対になる概念ではなく、非情報トレーダーが流動性トレーダーに相当するわけではない。

4.4 注文サイズの確率分布

前節で注文タイプを確率的に発生させる仕組みを説明したが、オーダーフローの生成するには注文サイズも必要となる。本節では、注文タイプごとのサイズの分布を観測し、これを確率分布で表現することを試みた。この確率分布に従って、注文サイズが発生され、シミュレーションに利用される。図表 13 は、サイズの分布形状を注文タイプ別に図示したものである。まず、タイプ Buy をみると、最小単位の 1 億円が最も多いことが判る。また、5 億円の倍数（10、15、20、30 億円）は、突出して頻度が高いというアノマリーが観察される。これは、市場参加者には、小規模注文を出す参加者と切りのい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いる。Buy、Bid' ともに分布型は、アノマリーの部分を除くと指数的に減少する形状を示しており、指数分布、ベキ乗分布にフィットさせた結果から、指数分布を確率分布として採用した²⁸。なお、アノマリーに相当する注文サイズは、指数分布に 5 億円と 10 億円のアノマリーを加えた確率的サイズ決定プログラムを作ることで取り込んでいる²⁹。図表 13-3 に示した Bid は、前二者とは分布形状が異なり、フラットに近い形をしている。前節で、流動性トレーダーが大口の指値注文をビッドアスク価格に積み増すかたちで（タイプ Bid、Ask として）出している可能性を指摘したが、サイズ分布形状の差異はこれを裏付けている。なお、売り注文の分布は、Sell のみを表示したが、ほぼタイプ別に対応した買い注文と同様の形状を示していた。最後に、Buy、Sell の注文サイズと、これがぶつつけられるビッドアスクの厚みを図表 14 で比較した。Buy、Sell ともに小口注文が多いため、ビッドアスクの厚みより小さい場合が 60% 強と最も多くなっている。同じサイズの場合は 10% 前後であるが、これが高いか低いか、すなわち意図的にビッドアスクの厚みと注文サイズを合わせる傾向があったかどうかは、判断が困難である。ビッドアスクの厚みによって注文サイズを変えてくる戦略的注文行動が存在している可能性があるが、本稿では分布型の確認にとどめた³⁰。

²⁸ ベキ乗分布は経済物理学や自己組織化に関する研究で注目を集めている。都市人口サイズ、超短期の金融資産収益率（取引毎の価格変化率等）、企業収益などにおいて、ベキ乗分布のあてはまりの良さを指摘する研究がある。

²⁹ Buy と Sell タイプではそれぞれ 15% の確率で、Bid'、Ask' タイプではそれぞれ 20% の確率で 5、10 億円のサイズを発生させ、残りの確率で推計された指数分布に従ってサイズを発生させた。Bid、Ask タイプには強いアノマリーは存在しないため、すべて指数分布に従って発生させた。

³⁰ この他、クロスの条件付確率を、直前のオーダーサイズ（大中小の 3 分類）と注文タイプで計測してみる方法も、大口注文が板状態にインパクトを与えた後、どのような注文戦略がとられ

5 シミュレーション

5.1 注文付け合せ制度のモデル化

本節では、まず最初にオーダーフローが板の状態を変遷させている様子をアルゴリズムで表現し、これに、JGB 先物市場が体験した即時執行と気配表示による付け合せ保留制度をそれぞれ織り込む³¹。その際、制度のディテイルを表現するのではなく、付け合せ方法の相違がもたらした実質的な効果によって二つの制度を表現する。まず、価格優先・時間優先の原則に基づいて注文を板に残る指値注文と付け合せていくアルゴリズムを与えた（補論参照）。次に、付け合せ保留制度下で生じた現象を、図表 15-1 に示した設定により表現した。すなわち、注文は 1 秒ごとに所与の確率で板に到着し、到着した場合は即付け合わされるが（図中 $t-1$ 期）、市場参加者全員が、その結果、板の状態がどう変化したかを観察でき、翌期（ t 期）に最新の板情報に基づいて注文戦略を考察し、注文を出すことが出来る。注文行動は、第 4 節の確率モデルで与えられる。

これに対し、即時執行の制度下で生じた現象を模倣するため、図表 15-2 で示した仕組みを適用した。すなわち、注文は 0.1 秒毎に所与の確率で板に到着するが、 t 期の注文は $t-1$ 期に得られた板情報に基づいて決定されるため、図のように $t-0.6$ 期に注文が到着した場合、最新の板の状態を知らないまま注文を出してしまう。その結果、買い指値注文を出したつもりが約定しなかったり、予想外の価格で約定が成立したりする現象が確率的に発生する。こうした設定は、即時執行制度下で生じた事態を上手く表現すると考えられる。

5.2 ベンチマークモデル

板の初期状態は、板寄せの結果定まる。6 月 25 日の寄り付き価格とザラバの最初のビッドアスク価格を初期状態とした。ビッドアスクの価格・厚みは実際の値を利用したが、それ以外の板の状態は観察不可能であるため、ビッドアスクの上下 6 本に 50、100、150、200、150、100 億円の指値注文を設定した。これらが無い場合、瞬時に流動性が枯渇してしまうためアドホックに設定した。なお、オーダーフローが極めて頻繁に入るため、初期の板状態がその後の相場動向に影響を及ぼす期間は数分以下であった。ベン

るかを観察する上で有益であると考えられる。

³¹ 本稿の分析では、ザラバ中の板寄せに関する制度変更は考察対象としなかった。これは、各制度下での価格変動の相違に影響を与えたのは注意気配制度の有無であったことによる。

チマークモデルにおける注文発生の可能性は1秒毎にあり、パラメーター: $1-x_0$ により各秒毎の注文発生確率を与えた。次に、パラメーター $2x_1$ により、アスクビッドの外に流動性を供給する指値注文が発生する確率 (Bid'、Ask'の発生確率) を与えた。これらの指値注文は価格変動方向やスプレッドの開き具合に影響され、また、4.2節で指摘したようにその後の価格変動に強く影響すると考えられるが、データの制約から恣意的にかつ簡単な形で与えざるを得なかった。

以上の設定をまとめると、毎秒毎に確率 x_0 で注文が発生せず、確率 x_1 でアスク価格以上での売り指値注文が、確率 x_1 でビッド価格以上での買い指値注文が発生し、残りの確率 $(1-x_0-2x_1)$ で前節で扱った8タイプの指値注文が発生する³²。パラメーター x_1 は、設定に関して参考データが全く存在しないため、流動性が枯渇せずシミュレーションが継続することを条件に適切な範囲を探索し、また、図表16に示したシミュレーションの結果が現実の値と近くなるよう微調整を行うことで特定化した。なお、 $(1-x_0-2x_1)$ の確率は、平均値でみたザラバの注文発生確率0.36(5,798回/16,200秒)で与えたため、パラメーター $\{x_0, x_1\}$ を組み合わせて調整している。図表16は、パラメーター $\{x_0, x_1\} = \{0.64, 0.015\}$ で与えられたシミュレーション結果である³³。 x_1 が0.015より大きい場合、ビッドアスクの外に大量の流動性が供給され、約定価格が一定のゾーンで殆ど変動しなくなる。逆に、0.015より小さいと流動性が枯渇してしまい、シミュレーションが途中で止まってしまうケースが多発する³⁴。こうしたパラメーターセンシティブな結果は、これらの注文の発生モデルに工夫の余地があることを示唆しており、データの利用可能性の向上に伴い精緻化を進めることができよう。パラメーター x_0 は、注文の到着間隔、約定成立の間隔が25日の実際のデータと整合的になるよう調整した結果、0.64が最適

³² ビッドアスク・スプレッドが2銭以上開いている場合の Bid'、Ask'タイプの注文は、指値を与える必要がある。スプレッド間の各指値候補から均等確率で指値を選択した。Buy'、Sell'についてもビッドアスクから上下何ティック離れたところに指すかを与える必要がある。ここでは、70%の確率でビッドアスクの1ティック上下に、30%の確率で2ティック上下に与えた。また、ビッドアスクの外に流動性を供給する指値注文については、40%:1ティック上下、30%:2ティック上下、20%:3ティック上下、10%:4ティック上下、という確率で指値を与えた。これらの設定には観測データによる裏づけはなく、アドホックに決定している。

³³ この組み合わせは、厳密には $1-x_0-2x_1=0.36$ の関係を満たさない。シミュレーションのフィットを良くすることを重視した。

³⁴ 板上から流動性が稀に無くなった場合、一定量の指値注文を補給している(流動性が無くなった側のビッドアスクの3ティック上に10億円の指値注文を追加している)。ベンチマークモデルでは、流動性が枯渇したケースは全体の0.6%以下である。

値であった。

1日分のシミュレーションは4時間30分(16,200秒)から成り、これを千日分繰り返すことで、図表16に示した各種計測値を求めた。表中の約定回数・間隔は現実の観測値に近く、図表17-1で確認した約定間隔の分布形状も図表7-2の現実の分布を大まかに捉えている。価格のボラティリティは、平均値と実際の値の乖離が1シグマ(千個の価格ボラティリティの標準偏差)以内に収まっている。スプレッドは実際の値より小さめに出ており、最小ティックである1銭から乖離することが実際のデータより少なかった。なお、約定価格の変化は実際の値よりやや大きかったが、図表17-2に示した約定価格の変化幅の分布形状は、図表7-3の現実の分布を上手く模倣している。なお、ビッドアスク価格の変化回数は、逆に実際の値より少なくなっている。この点、第3節のデータ解説の際に触れた価格変動の激しさとビッドアスクの更新頻度の関係が、本稿の注文発生アルゴリズムでは取り込めていない可能性を示唆している。

図表18-1は、25日の寄り付き1分強後からの4分間について、ビッドアスクの推移と約定価格・数量について図示したものである³⁵。同図より、1)まず寄り付き後に5銭前後と大きく開いていたスプレッドが1、2銭に急速に締まっている、2)9時3分40秒からの1分間の下げは、タイプ Sell の注文が連続してアスクを叩いたため、ビッドアスクが切り下がることによってもたらされた、3)9時4分40秒からの反転では、この逆が起こった、4)寄り付き直後は10億円以上の大口注文が多かった、ということが判る。また、図表18-2は同日の寄り付き14分後からの4分間を示したものである。同図からは、1)スプレッドがタイトに安定しており、一時的に開いてもタイプ Bid、Ask の注文で直ぐに締まっている、2)Buy、Sell はやはり連続発生する傾向がある、3)その傾向が価格変化をドライブしている、4)約定サイズが寄り付き直後より小さくなっていることが判る。これらの観測値に対し、図表18-3は人工証券市場で生成されたシミュレーション結果を示している。寄り付き14分後の図で確認された上記4つの特徴点は、人工証券市場でも観察することが出来る。注文生成確率の表が日中平均値で作成されているため、寄り付き後しばらく経過し市場が安定した図表18-2により近い特徴を示していると考えられる。以上の過程を経て得られたベンチマークモデルおよ

³⁵ 寄り付きで特別気配が出ない限り、ザラバは9時直後に始まる。しかし、情報ベンダーが提供するヒストリカルデータは9時1分前後開始のものが多い。これは、9時に取引が開始する金融市場が多く、相場報道システムや情報ベンダーのデータ処理能力上、何らかの制約があるためと推測される。

び同一のパラメーターを用いて、板情報の認知ラグを取り込んだ場合、価格変動がどのように変化するかを次節で観察する。

5.3 板情報の誤認を含むモデル

即時執行制度で生じた現象を模倣するモデルでは、注文の一部が過去の板情報、注文情報に基づいて出される。こうした認知ラグ、誤認情報を用いた注文は、条件付確率表に内包された、ある価格変動パターンを作り出す機能を壊し、価格変動を全く異なるものとした。図表 15-2 で示した、注文の到着可能性が 0.1 秒刻みで存在するモデルでは、板の状態にそぐわない注文が相次いだため、瞬間的に価格が高騰し流動性が枯渇する現象がシミュレーションにおいて多発した。そこで、注文のごく一部の割合がラグ情報に基づいて発生するモデルに修正した。こうした注文を出す市場参加者は、ある種のノイズトレーダーであるため、ここでは上記の比率をノイズレシオと呼ぶ。ノイズレシオを 0~3% に設定したシミュレーション結果が図表 19 である³⁶。

ノイズレシオが引き上げられるにつれ、価格ボラティリティが 9 銭から 17 銭へ上昇していることが判る。この間、約定回数や間隔はさほど変化していない。こうしたシミュレーションの結果は、流動性が高い市場では誤認した板情報に基づく注文の割合が若干増加するだけでも、価格変動がボラティルになることを示している。ノイズレシオを 3% 以上に設定した場合、千日分のシミュレーション中で途中で流動性が枯渇するケースが度々発生したため結果を示していないが、価格変動のボラティリティが引き続き上昇することが確認されている。

一方、約定価格、ビッドアスク価格の変化回数は、予想と異なりむしろ若干減る傾向を示した。ビッドアスクを更新するような精度の高い注文(板の状況を認識し優先執行順位を求めてビッドアスクの 1 ティック隣に指値注文を入れてくる戦略的注文)が減少している可能性が考えられる。また、スプレッドはノイズレシオに拘わらず一定であった。これは、価格変動が大きい日(即時執行制度下において価格変動もボラティルであった 24 日)のほうがスプレッドが大きいという第 3 節での観察と整合的でない。

こうしたシミュレーション結果は、オーダーフローから注文行動を抽出する際に用

³⁶ 図表 15-2 で示した注文到着間隔は、シミュレーションでは 0.2 秒に設定した。注文到着の可能性があるタイミングは、16,200 秒×5 回となる。なお、注文到着間隔を 0.5 秒まで狭めても、ノイズレシオを一桁に引き下げないとシミュレーションが連続実行できなかった。

いた 25 日のデータの問題点に影響されている可能性がある。図表 20 では、注文タイプ別の発生割合を 24、25 日で比較したものである。顕著な違いは、Buy'、Sell'の割合が 24 日で高い点である。注意気配制度の有無によりデータ提供方法に相違があったならば、注文タイプの識別において 24、25 日は対称な扱いになっていない(3 節、4.2 節参照)。ビッドアスク価格を指し間違えた、あるいは意図的にビッドアスク価格より低め・高めの指値で注文されることが 24 日のみに発生したとは考え難いので、25 日の Buy と Buy' (Sell と Sell') の識別が正しく行われていないと判断される。こうした注文タイプ識別上の限界と、データが存在しないためアドホックに与えた Bid'、Ask' の注文発生確率が、シミュレーション結果の問題点に關与している可能性がある。

24、25 日の異なる制度下での注文行動に変化がないと仮定すれば、24 日の Buy'、Sell' から、注意気配制度がない高速付け合せシステムゆえに生じたビッドアスク価格の指し間違い相当分を差し引くことにより、意図的にビッドアスク価格より低め・高めで指した注文、および注意気配制度でも生じ得る指し間違い注文相当分が判明する。これから 25 日における Buy'、Sell' の Buy、Sell に対する割合を推測することができる。しかし、このような内訳は識別不可能であるし、また、異なる制度下での注文行動が等しいという仮定も成立していないと推測される。注意気配制度がない高速付け合せシステムでは、直前の約定値段が相場実勢を示しているとは限らず(一時的に約定値段が大きく上下動したに過ぎないのかもしれない)、直前の約定値段や現在のビッドアスクの周辺に指値注文を出し難くなったといわれている。また、成行注文は、予想以上に買い上がる(売り下がる)リスクがあり、使い難くなったともいわれている。こうした環境の変化は、市場参加者の注文行動に影響を与えたと指摘されている。例えば、執行の即時性のニーズが高くない注文は、板に指されている売り指値注文を買いに行くよりも、買い指値注文をベストアスク以下で指して、売り注文からヒットされるのを待つほうが確実かもしれない。実際、正しく識別できている Bid、Ask に関しては 24 日のほうが比率が高くなっているし、ビッドアスクスプレッドも平均的にみれば 24 日のほうが大きい(図表 6-1、7-1 参照)。こうした、注文行動の変化が高速付け合せシステム下での価格変動を大きくした原因になっていると考えられる。これを確認するためには、3 つの期間の注文行動について、更にサンプル日を増やして確認する必要がある。

本稿の分析結果は、市場参加者の注文行動や付け合せ速度の影響について、いくつかの発見を示すことが出来たが、上記のようなデータの問題を含んでおり、解釈には留意を要する。こうしたデータの不完全性に起因する問題は、提供データの質的向上によって改善できる。ビッドアスク上下 3 本の数量提供のような市場情報の拡充が今後進

むにつれ、市場参加者の注文行動や制度設計が価格変動に及ぼす影響の分析が可能となる。一方、情報開示の進展を考える際には、「板情報は誰のものか」という別の論点も存在する。ディーラーや投資家など各市場参加者の収益や市場の発展³⁷にかかわる問題であり、必ずしも完全な情報開示・透明性が望ましいとは限らない。電子取引の普及により、取引情報の透明性の程度が自由に設計できるようになったため、このような観点も情報開示を進めていくうえでの論点となっていこう。

6 結論

注文駆動型市場における注文付け合せ方法は、価格変動に影響を与え得る。本稿では JGB 先物市場の付け合せ制度変更に焦点を当て、制度変更が価格変動にどう影響したかを分析した。同市場のように極めて流動性が高い市場で、付け合せ速度を高め過ぎると、価格変動がかえってボラティルになる可能性がある。これは、1) 最新の板情報を正確に把握することが困難になり、買い指値注文を出したつもりが約定しなかったり、予想外の価格で約定が成立したりする現象が発生したこと、2) こうした不確実性の高まりを受け、市場参加者が注文行動を変化させることで高速付け合せシステムに対応したことによるものと考えられる。本稿では、板情報の誤認という1)の問題について、市場参加者から指摘された現象を検証するために、人工証券市場におけるシミュレーションを行った。その結果、板情報誤認に基づく注文が僅かでも存在すると、価格変動がボラティルになることが確認された。

2 秒の付け合せ保留という注意気配制度の再導入で市場が安定化したことは、注文付け合せの適切な速度や方法のデザインにおいて、注文の発生頻度、市場参加者が板情報を認識するのに必要な時間、注文戦略に基づいて対応する時間、情報が端末に表示される、あるいは注文が中央システムに送信される時間、さらにはこうした環境の変化に市場参加者がどう適応し、注文行動を変えてくるかといった、複雑かつ次元が異なる様々な要素が関係している可能性を示唆している。

注意気配、特別気配は、サーキットブレーカーとしての役割を目的とした制度では

³⁷ ディーラーや大口投資家がある程度の匿名性を好む市場であれば、過度な透明性の向上は、市場の発展を阻害する危険性もある。一方、株式市場の個人投資家のような比較的情報劣位にある者を市場に取り込んで行くためには、積極的な情報開示が必要となる。

なく、反対注文を呼び込む時間的猶予を確保することにより、滑らかな価格変動を実現することを意図した制度である。また、注意気配制度は世界的に見ても稀な制度であるが、海外の取引所においても注意気配とは異なる方法で、瞬時の価格変動を抑える機能を有する市場が多くみられ、これらにおいても、付け合せを保留する時間など制度的な詳細に関しては多種多様である。市場流動性の変化や市場参加者のグローバル化といった環境変化に対応していくためには、取引制度は市場参加者の取引参加形態や機能の変化、進歩によって日々改善しつづける必要があると考えられる。

また、取引制度は情報通信技術の発展とも深く関連している。電子取引の普及に伴い注文駆動型の市場が増加するという指摘があるが、市場流動性や望ましい情報透明性の程度が相違すれば、適切な市場システムもまた異なってくる。情報通信技術の進歩は、様々な市場システムを試す余地を与えてくれる。付け合せ制度を含めた取引制度の最適なデザインを模索する努力は、より良い市場機能の発揮という観点のみならず、金融市場のグローバル化や情報技術革新に伴う市場間競争の激化に鑑みても重要なテーマであるといえよう。

以 上

補論 注文付け合せと板状態推移のアルゴリズム

アルゴリズムは、本論で示した 8 タイプの注文に、ビッドアスクの外へ流動性を供給する指値注文を加えた 10 タイプの注文を板の上で付け合せる方法を表現している。ノーテーションは以下の通り。

A_t : t 期のベストアスク価格、

B_t : t 期のベストビッド価格、

LP_t : t 期の直近の約定価格、

$V_t^A(p_i)$: 指値 p_i におけるアスク側の板の厚み (数量)、

$V_t^B(p_i)$: 指値 p_i におけるビッド側の板の厚み (数量)、

LO_t^A : t 期に到着した売り指値注文の指値、

LO_t^B : t 期に到着した買い指値注文の指値、

LX_t^A : t 期に到着した売り指値注文の数量、

LX_t^B : t 期に到着した買い指値注文の数量、

MX_t^A : t 期に到着した売り成行注文の数量、

MX_t^B : t 期に到着した買い成行注文の数量、

n : 板モデルが取り得る最低価格、

N : 板モデルが取り得る最高価格。

板の状態は、板上に残っている指値注文の残数量の分布を表す $\{V_t^A(p_i)\}_{i=n}^N$ および

$\{V_t^B(p_i)\}_{i=n}^N$ で表現される。ここで、

$$\{V_t^A(p_i)\}_{i=n}^N = \{V_t^A(p_n), V_t^A(p_{n+1}), \dots, V_t^A(p_N)\}$$

$$\{V_t^B(p_i)\}_{i=n}^N = \{V_t^B(p_n), V_t^B(p_{n+1}), \dots, V_t^B(p_N)\}.$$

である。

JGB 先物市場の最小ティック 1 銭で、価格の刻み幅 $p_{i+1} - p_i$ を与える。注文付け合せおよび板の状態の遷移を表すアルゴリズムは、以下のとおり。

(1) t 期に注文が到着しなかった場合、

変数 $A_{t+1}, B_{t+1}, LP_{t+1}, V_{t+1}^A(p_i)$ および $V_{t+1}^B(p_i)$ は t 期と同じ値をとる。

以下、変数 $A_{t+1}, B_{t+1}, LP_{t+1}, V_{t+1}^A(p_i)$ および $V_{t+1}^B(p_i)$ は、アルゴリズム中で言及されない限り、t 期と同じ値を保存する。

(2) t 期に買い指値注文が到着し、かつ、

(a) $LO_t^B \cdot B_t$ である場合、

$$V_{t+1}^B(LO_t^B) = V_t^B(LO_t^B) + LX_t^B$$

(b) $B_t < LO_t^B < A_t$ である場合、

$$B_{t+1} = LO_t^B, V_{t+1}^B(LO_t^B) = LX_t^B$$

(c) $A_t = LO_t^B$ であり、かつ、

i) $LX_t^B < V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = LO_t^B (= A_t), V_{t+1}^B(LO_t^B) = V_{t+1}^A(LO_t^B) - LX_t^B$$

ii) $LX_t^B = V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = LO_t^B (= A_t), V_{t+1}^B(LO_t^B) = 0, A_{t+1} = \text{Min}(p_i / V_{t+1}^A(p_i) > 0)$$

iii) $LX_t^B > V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = LO_t^B (= A_t), V_{t+1}^A(LO_t^B) = 0, A_{t+1} = \text{Min}(p_i / V_{t+1}^A(p_i) > 0), \\ B_{t+1} = LO_t^B, V_{t+1}^B(LO_t^B) = LX_t^B - V_t^A(LO_t^B)$$

(d) $A_t < LO_t^B$ であり、かつ、

i) $LX_t^B < V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = A_t, V_{t+1}^A(A_t) = V_t^A(A_t) - LX_t^B$$

ii) $LX_t^B = V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = A_t, V_{t+1}^A(LO_t^B) = 0, A_{t+1} = \text{Min}(p_i / V_{t+1}^A(p_i) > 0)$$

iii) $LX_t^B > V_t^A(A_t)$ であり、かつ

$$\text{Min}(p_i \mid \sum_{A_t}^{P_N} V_t^A(p_i) \geq LX_t^B) \leq LO_t^B \text{ である場合、}$$

$$LP_{t+1} = \text{Min}(p_i \mid \sum_{A_t}^{P_N} V_t^A(p_i) \geq LX_t^B),$$

$$A_{t+1} = \text{Min}(p_i | \sum_{A_t}^{P_N} V_t^A(p_i) > LX_t^B) \text{ 、}$$

$$V_{t+1}^A(p_i | A_t < p_i \bullet LP_{t+1}) = 0 \text{ 、 } V_{t+1}^A(A_{t+1}) = \sum_{A_t}^{LP_{t+1}} V_t^A(p_i) - LX_t^B$$

$$\text{Min}(p_i | \sum_{A_t}^{P_N} V_t^A(p_i) \geq LX_t^B) > LO_t^B \text{ である場合、}$$

$$LP_{t+1} = LO_t^B \text{ 、 } A_{t+1} = \text{Min}(p_i | V_{t+1}^A(p_i) > 0) \text{ 、 } B_{t+1} = LO_t^B \text{ 、}$$

$$V_{t+1}^A(p_i | A_t < p_i < LP_{t+1}) = 0 \text{ 、 } V_{t+1}^B(LO_{t+1}^B) = LX_t^B - \sum_{A_t}^{LP_{t+1}} V_t^A(p_i)$$

(3) t 期に買い成行注文が到着し、かつ、

(a) $MX_t^B < V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = A_t^B \text{ 、 } V_{t+1}^A(A_t) = V_{t+1}^A(A_t) - LX_t^B$$

(b) $MX_t^B = V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = A_t^B \text{ 、 } V_{t+1}^A(A_t) = 0 \text{ 、 } A_{t+1} = \text{Min}(p_i | V_{t+1}^A(p_i) > 0)$$

(c) $MX_t^B > V_t^A(A_t)$ である場合、

$$LP_{t+1} = \text{Min}(p_i | \sum_{A_t}^{P_N} V_t^A(p_i) \geq MX_t^B) \text{ 、 } V_{t+1}^A(A_{t+1}) = \sum_{A_t}^{LP_{t+1}} V_t^A(p_i) - MX_t^B \text{ 、}$$

$$A_{t+1} = \text{Min}(p_i | \sum_{A_t}^{P_N} V_t^A(p_i) > MX_t^B) \text{ 、 } V_{t+1}^A(p_i | A_t < p_i < LP_{t+1}) = 0$$

(4) t 期に売り指値注文が到着した場合、

買い指値注文(2)の場合と売り買い対称のアルゴリズムが適用される。

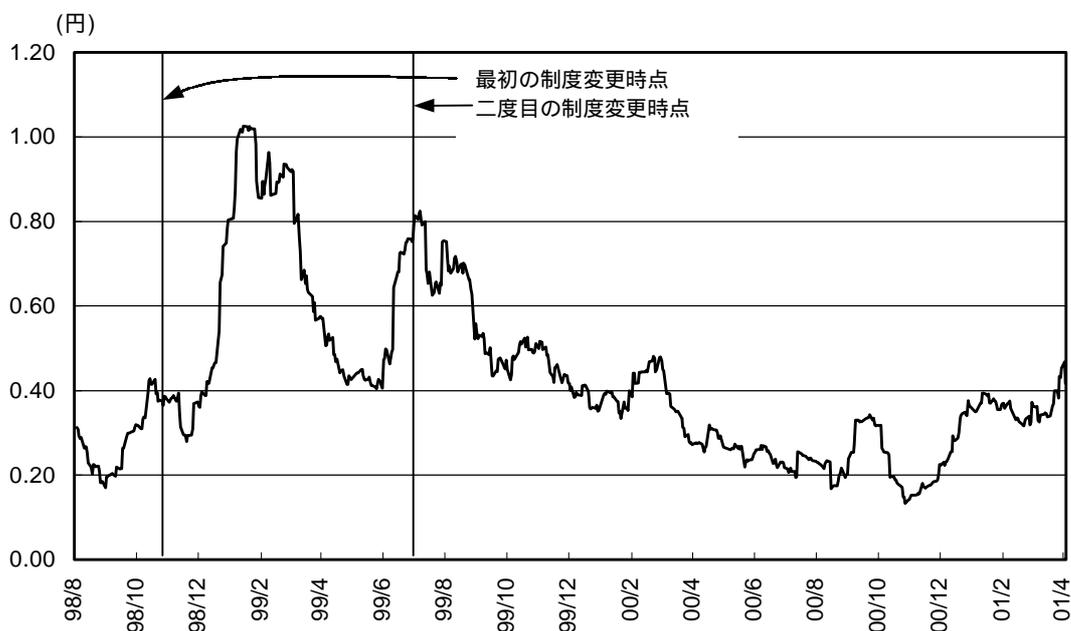
(5) t 期に売り成行注文が到着した場合、

買い成行注文(3) の場合と売り買い対称のアルゴリズムが適用される。

参考文献

- 宇野淳、大村敬一、「マーケットマイクロストラクチャーによる実証分析、第7回 指値注文戦略：ブックと注文フローのダイナミクス」、証券アナリストジャーナル、1999年3月号、pp92-119。
- 重見庸典、加藤壮太郎、副島豊、清水季子、「本邦国債市場における市場参加者行動と価格決定メカニズム：98年末から99年中の市場の動きを理解するために」、日本銀行、金融市場局ワーキングペーパーシリーズ、No.00-J-4、<http://www.boj.or.jp>、2000年3月。
- Biais, Bruno, Pierre Hillion, and Chester Spatt, 1995, “An Empirical Analysis of the Limit Order Book and the Order Flow in the Paris Bourse”, *Journal of Finance*, Vol.L, No.5, pp.1665-89.
- Bollerslev, Tim, I., Domowitz, Ian, and Jianxin Wang, 1997, “Order Flow and the Best Bid-Ask Spread: An Empirical Probability Model of Screen-Based Trading”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, No.21, pp.1471-91.
- Domowitz, Ian, and Jianxin Wang, 1994, “Auctions as Algorithms”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, No.18, pp.29-60.
- Foucault, Thierry, 1999, “Order Flow Composition and Trading Costs in a Dynamic Limit Order Market”, *Journal of Financial Markets*, No.2, pp.99-134.
- Hamao, Yasushi, and Joel Hasbrouck, 1995, “Securities Trading in the Absence of Dealers: Trades and Quotes on the Tokyo Stock Exchange”, *The Review of Financial Studies*, Vol.8, No.3, pp849-78.
- Handa, Puneet, and Robert A. Schwartz, 1996, “Limit Order Trading”, *Journal of Finance*, Vol.L1, No.5, pp.1835-61.
- Lehmann, Bruce, and David Modest, 1994, “Trading and Liquidity on the Tokyo Stock Exchange: A Bird’s Eye View”, *Journal of Finance*, Vol. XLIX, No.3, pp.951-84.
- Lo, W., Andrew, Craig MacKinlay, and June Zhang, 1997, “Econometric Models of Limit-Order Execution”, *NBER Working Paper*, No.6257.
- Parlour, Christine, 1998, “Price Dynamics in Limit Order Markets”, *Review of Financial Studies*, Vol.11, No.4, pp.789-816.

図表1 長期国債先物価格ボラティリティの推移
(終値前日比の1Mボラティリティ)



(注) 中心限月変更日には連続性が途切れるためデータを除去している。

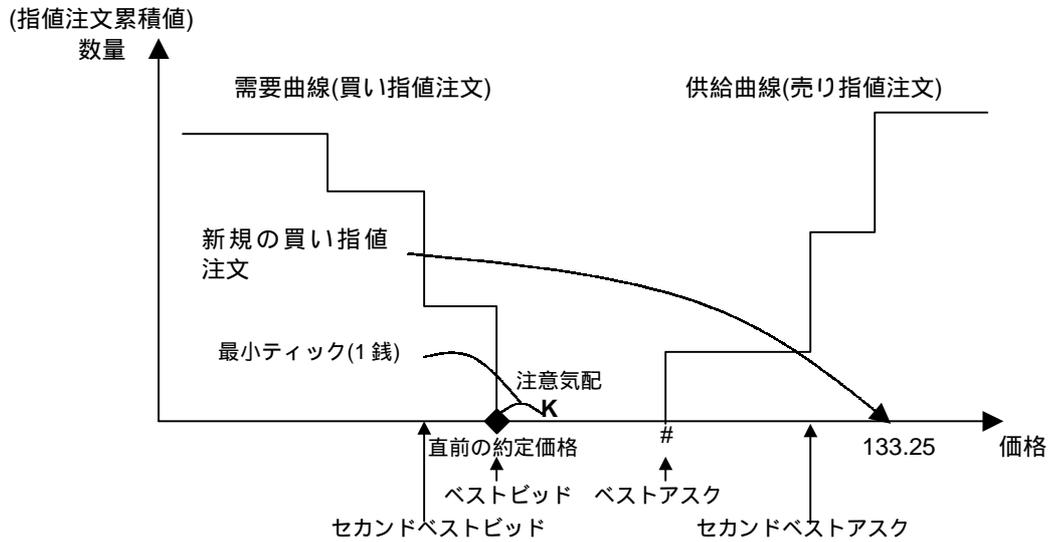
図表2 板の模式図

売指値注文		買指値注文
60	OVER	
45	133.27	
70	133.26	
24	133.25	← (20)
10	133.24	
	133.23	
5	133.22	#
	133.21	
	133.20	K
	133.19	17
	133.18	25
	133.17	14
	133.16	36
	133.15	44
	UNDER	87

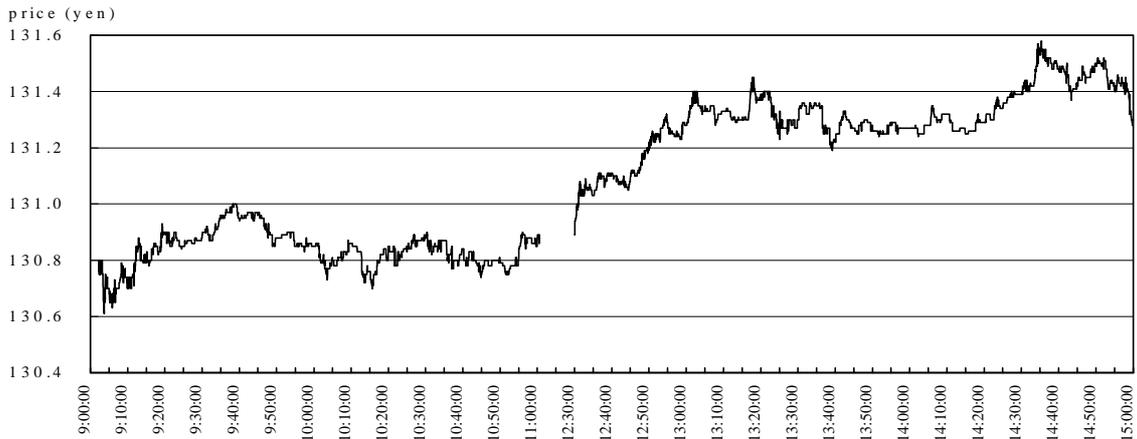
(注) 実際の板画面は、上記の中心的な情報以外に様々なデータを含んでいる。

丸囲みが新規到着の買い指値注文。四角囲みは直前の約定価格。「#」は価格優先・時間優先原則に従って付け合せた場合の約定価格水準を示す。「K」は買い注意気配(買いサイドに付く)。このほか、「U」売り注意気配(売りサイドに付く)、「カ」買い特別気配、「ウ」売り特別気配がある。

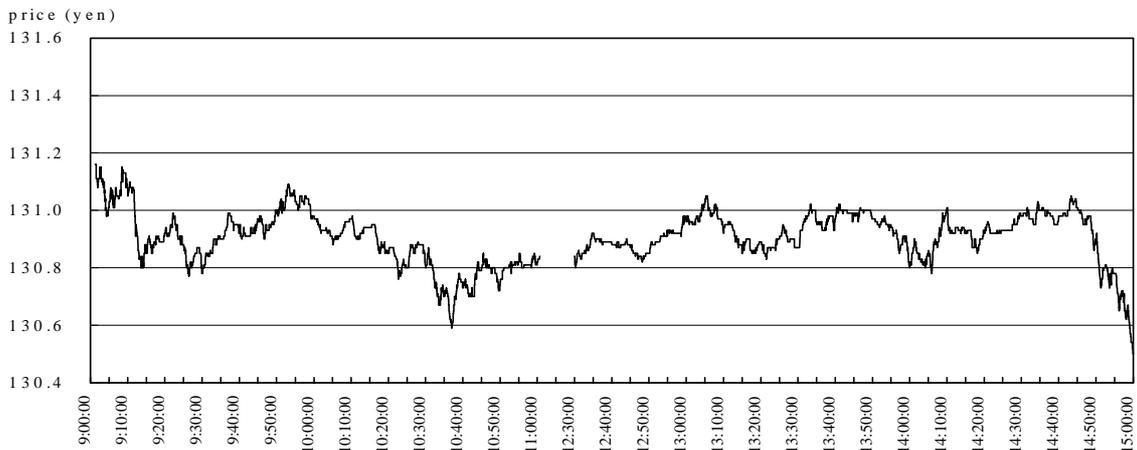
図表3 板情報に基づく需要供給曲線



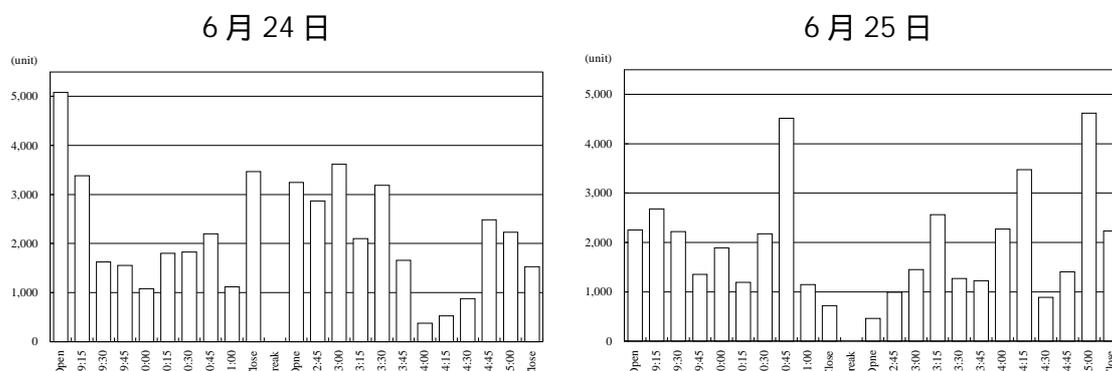
図表4-1 1999年6月24日の約定価格推移



図表4-2 1999年6月25日の約定価格推移



図表5 取引数量の分布



(注) 9:15のカテゴリーは9:00:00から9:14:59までの取引高を示す。

図表6-1 約定価格・ビッドアスクスプレッドの基本統計量

	約定価格 (円)					ビッドアスクスプレッド		
	寄付き	引け	高値	安値	平均	ポラティリティ	平均	ポラティリティ
6月24日	130.80	131.29	131.58	130.61	131.10	0.250	0.0171	0.0097
6月25日	131.09	130.5	131.15	130.50	130.90	0.091	0.0150	0.0082

(注) 約定価格のポラティリティは価格水準で計測している。計算にあたっては、毎秒ごとの約定価格、ビッドアスク・スプレッドの値を求め、これを利用した。約定価格、ビッドアスク・スプレッドは、一秒間に複数回更新される場合が頻繁にある。こうしたケースでは、同じ秒内の最後の状態を利用した。更新がない場合、前の計数を延長適用した。

図表6-2 約定回数と取引高

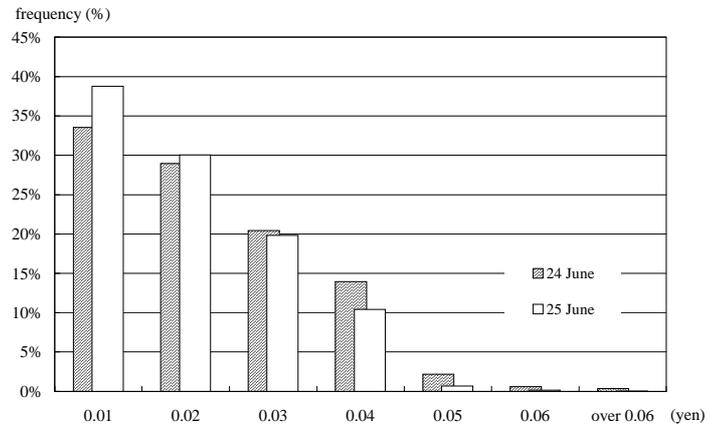
	約定			合計	取引高 (億円)		
	回数	[1秒当り]	平均間隔(秒)		ザラバ	[約定当り]	板寄せ
6月24日	3,970	[0.25]	3.85	47,812	34,494	[8.69]	13,318
6月25日	4,226	[0.26]	3.83	42,960	37,320	[8.83]	5,640

(注) 最小取引単位は1億円。平均間隔はザラバの時間を4時間30分(16,200秒)として計算した。

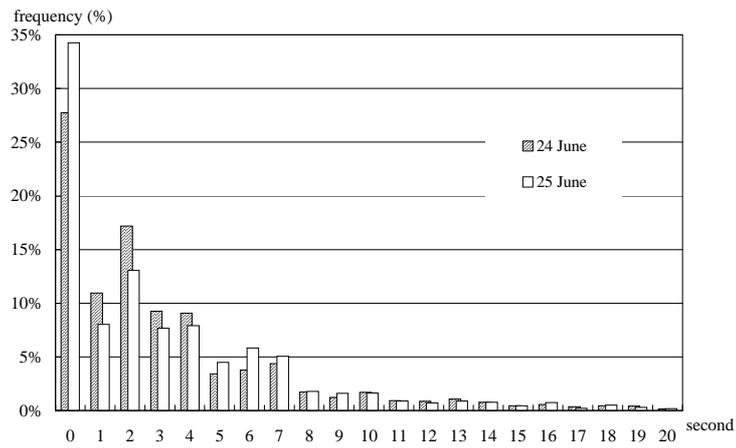
図表6-3 価格変化の回数

	価格が変化した回数			
	約定価格	[全約定中の比率]	ベストビッド価格	ベストアスク価格
6月24日	1,999	50.4%	1,363	1,441
6月25日	1,713	40.5%	1,907	1,908

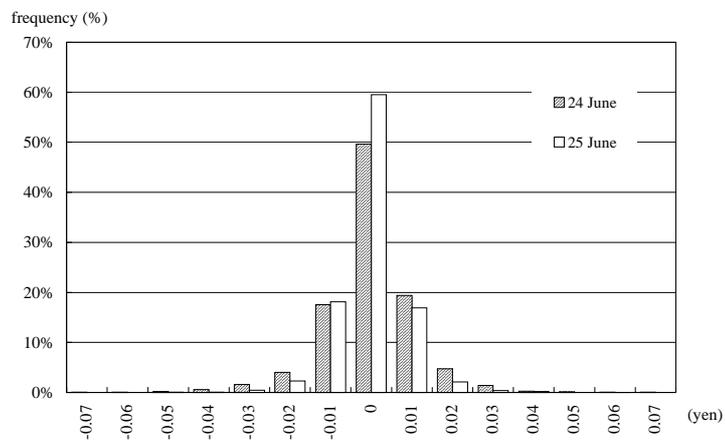
図表 7 - 1 ビッドアスク・スプレッドの分布



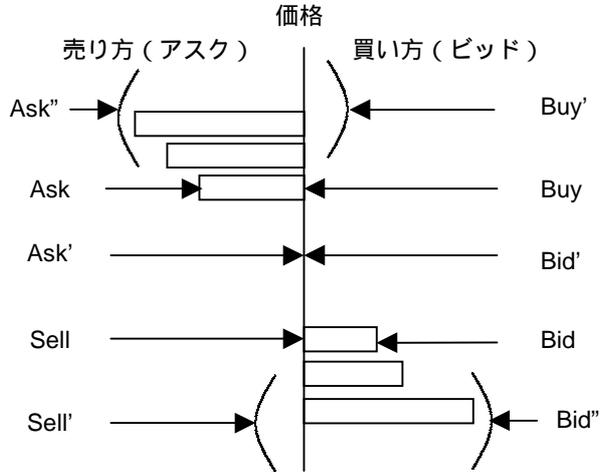
図表 7 - 2 取引成立間隔の分布



図表 7 - 3 取引成立毎に計測した価格変化幅の分布



図表 8 指値のタイプ分け



図表 9 指値タイプ毎の発生確率、注文サイズ、スプレッド (6月25日)

	発生確率		注文サイズ (億円)		ビッドアスクスプレッド
	頻度	確率	平均	標準偏差	平均 (円)
Buy'	17	0.3 %	18.4	11.6	0.010
Buy	2,254	38.9 %	8.6	11.1	0.012
Bid'	444	7.7 %	11.3	15.9	0.025
Bid	317	5.3 %	25.1	27.3	0.015
Sell'	0	0.0 %	-	-	-
Sell	1,950	33.6 %	9.1	11.9	0.013
Ask'	436	7.5 %	11.2	14.0	0.024
Ask	380	6.6 %	21.4	21.0	0.016

(注) 最小ティックは1銭。最小取引単位は1億円。

図表 10 条件付発生頻度：直前の指値タイプ別

(%)

注文タイプ	直前の注文タイプ							
	Buy'	Buy	Bid'	Bid	Sell'	Sell	Ask'	Ask
Buy'	12	1	0	0	0	0	0	0
Buy	71	53	36	35	0	27	28	33
Bid'	0	7	8	9	0	8	1	8
Bid	0	6	9	7	0	4	7	6
Sell'	0	0	0	0	0	0	0	0
Sell	18	22	27	32	0	48	38	33
Ask'	0	6	11	10	0	6	8	13
Ask	0	5	9	7	0	8	9	7

(注) 列要素の縦合計は 100%になる。

図表 11 条件付発生頻度：直前のスプレッド別

(%)

注文全サンプル中の比率	直前のビッドアスク・スプレッド		
	0.01 円	0.02 円	0.03 円以上
Buy'	0	12	0
Buy	45	11	17
Bid'	0	19	29
Bid	6	8	6
Sell'	0	0	0
Sell	42	22	15
Ask'	0	19	25
Ask	6	10	8

(注) 列要素の縦合計は 100%になる。

図表 12-1 条件付発生頻度：直前の注文タイプとスプレッド

(%)

直前の注文タイプ スプレッド	Buy						Sell					
	0.01 円		0.02 円		0.03 円以上		0.01 円		0.02 円		0.03 円以上	
	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い
アスク価格以上	-	1	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
アスク価格	4	60	9	35	5	29	7	31	10	10	10	4
スプレッド内	0	0	18	19	26	31	0	0	17	23	27	26
ビッド価格	28	6	12	7	5	5	57	4	35	6	28	4
ビッド価格以下	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

(注) 直前の注文タイプとスプレッドで条件付けられた 2 列の要素 (図表中の枠囲み部) は、8 つの注文タイプの複合条件付き発生頻度 (確率) を示している。8 つの要素の和は 100% となる。

図表 12-2 条件付発生頻度：直前の注文タイプとスプレッド (続)

(%)

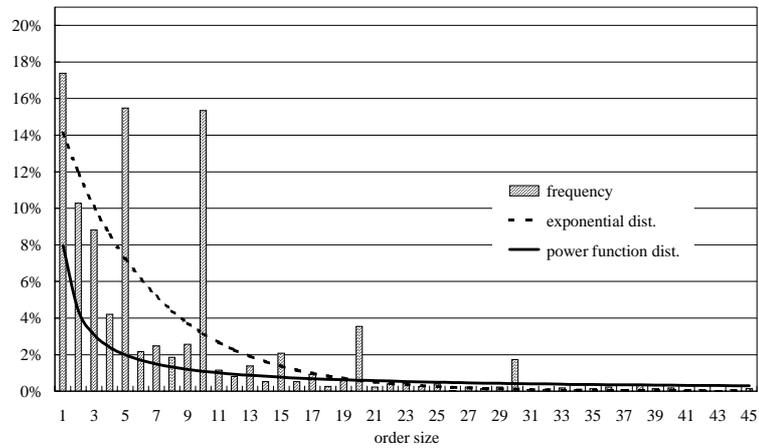
直前の注文タイプ スプレッド	Bid'						Ask'					
	0.01 円		0.02 円		0.03 円以上		0.01 円		0.02 円		0.03 円以上	
	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い
アスク価格以上	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
アスク価格	7	46	13	24	12	18	8	35	12	20	7	14
スプレッド内	0	0	27	11	21	30	0	0	19	20	17	38
ビッド価格	38	7	13	12	6	13	48	9	24	6	21	3
ビッド価格以下	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

図表 12-3 条件付発生頻度：直前の注文タイプとスプレッド (続)

(%)

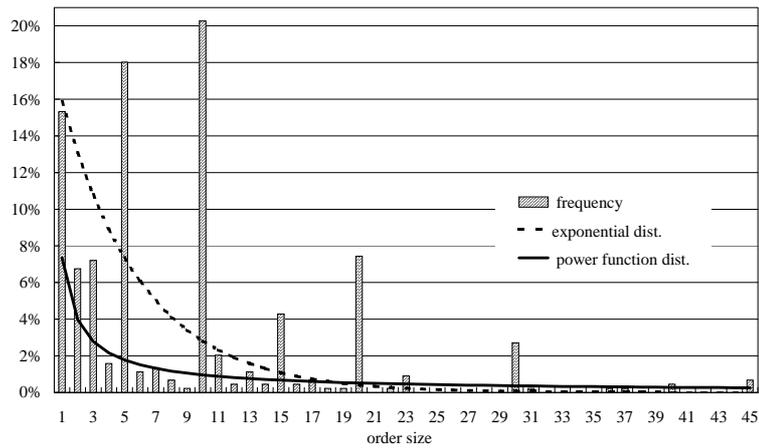
直前の注文タイプ スプレッド	Bid						Ask					
	0.01 円		0.02 円		0.03 円以上		0.01 円		0.02 円		0.03 円以上	
	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い	売り	買い
アスク価格以上	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
アスク価格	5	48	12	15	9	25	5	40	5	29	15	13
スプレッド内	0	0	19	21	25	16	0	0	27	13	35	24
ビッド価格	41	5	22	11	16	9	49	5	16	9	11	2
ビッド価格以下	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-

図表 13-1 注文タイプ別にみたサイズ分布：タイプ Buy

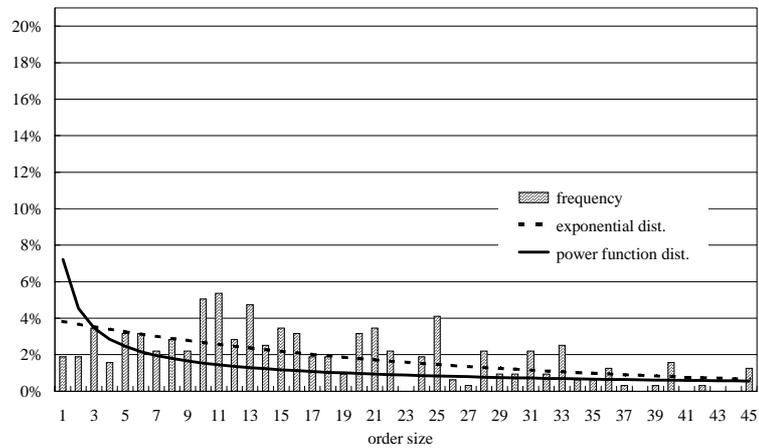


(注) ヒストグラムは、注文サイズの分布を表している。指数分布、ベキ乗分布の推計には、注文サイズ5,10,15,20,30に現れているデータは用いず、隣接するサンプルで線形補間した計数を代わりに用いた。ベキ乗分布の推計は、サイズ50を分布の最大値として行っている。

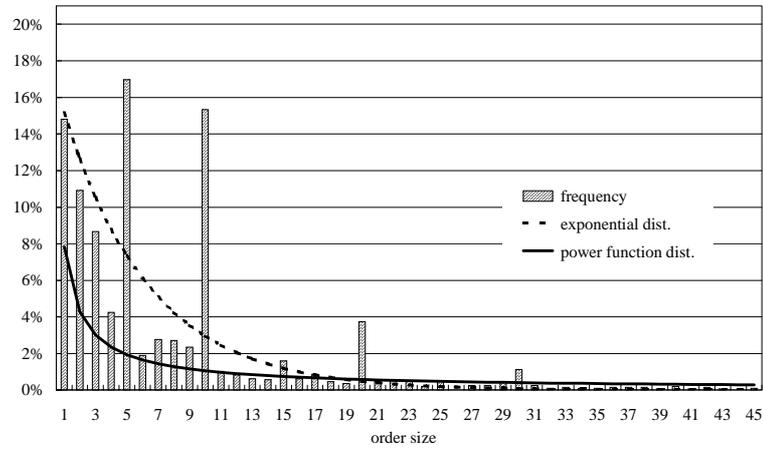
図表 13-2 注文タイプ別にみたサイズ分布：タイプ Bid'



図表 13-3 注文タイプ別にみたサイズ分布：タイプ Bid



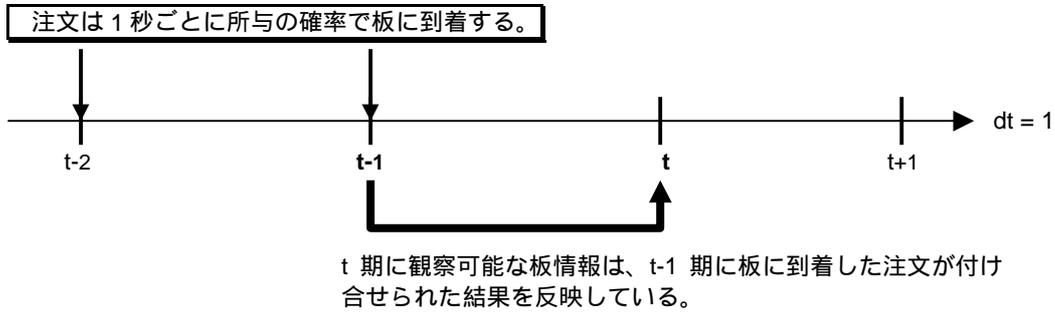
図表 13-4 注文タイプ別にみたサイズ分布：タイプ Sell I



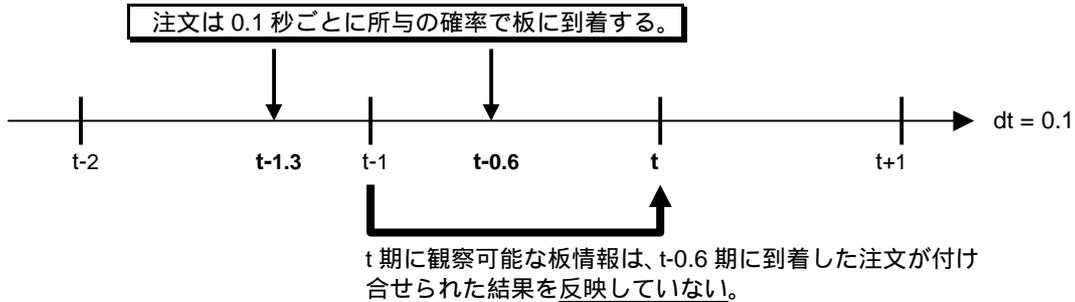
図表 14 注文サイズ：ビッドアスクの厚みとの対比

	タイプ Buy のサイズ vs. アスクの厚み			タイプ Sell のサイズ vs. ビッドの厚み		
	アスクより小	同じ	アスクより大	ビッドより小	同じ	アスクより大
割合	63 %	12 %	25 %	61 %	7 %	32 %

図表 15-1 1 秒毎に所与の確率で板に到着する注文



図表 15-2 0.1 秒毎に所与の確率で板に到着する注文



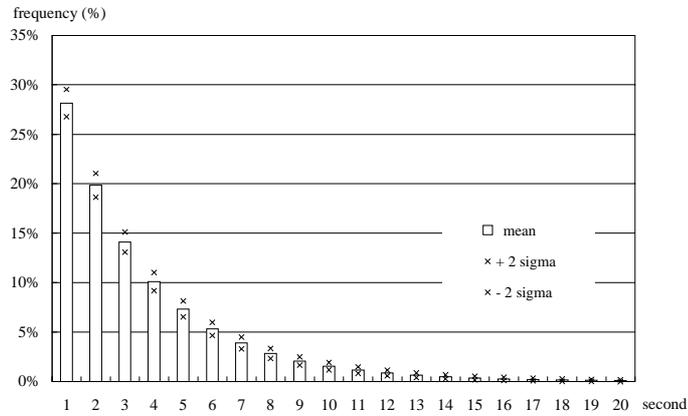
(注) 単位時間あたりの平均注文到着数が、図表 15-1 と 2 で同一になるよう確率を調整している。

図表 16 ベースモデルのシミュレーション結果

	約定回数	約定間隔		価格のボラリティ	スプレッド		変化の回数		
		平均	標準偏差		平均	標準偏差	約定価格	ビッド	アスク
平均	4,407	3.67	3.17	0.073	0.0119	0.0046	2,002	1,062	1,063
標準偏差	56	0.05	0.07	0.057	0.0002	0.0003	45	67	69
最小値	4,212	3.51	2.69	0.016	0.0114	0.0038	1,857	821	821
最大値	4,607	3.84	3.39	0.388	0.0126	0.0057	2,149	1,287	1,132
観測値	4,226	3.85	6.21	0.091	0.0150	0.0082	1,713	1,907	1,908

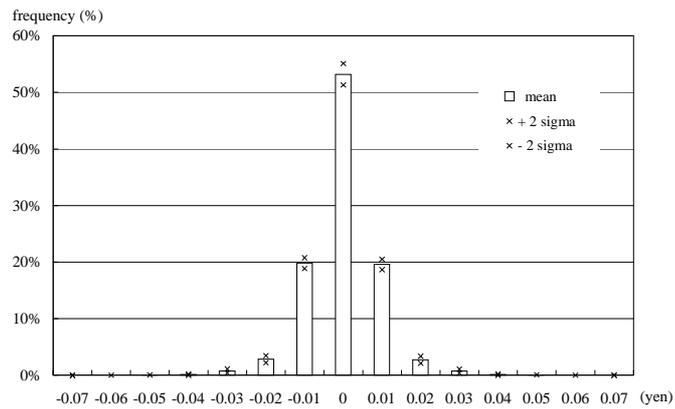
(注) 約定間隔は秒、スプレッドは円単位。観測値は 6 月 25 日のデータによるもの。

図表 17-1 取引成立間隔の分布



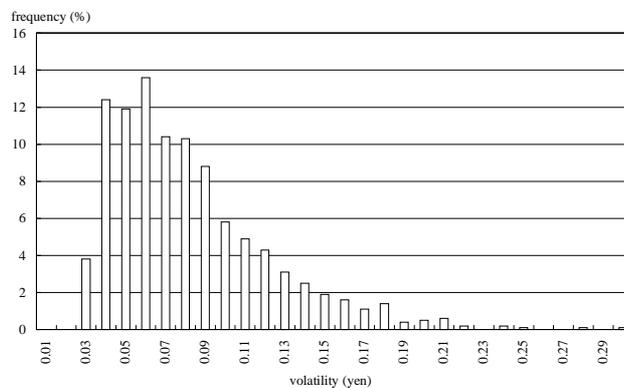
(注) シミュレーション毎に1つの分布型が得られ、シミュレーションを繰り返すことで得られた分布サンプルから各カテゴリごとの標準偏差を求めた。x印は±2シグマを示している。

図表 17-2 取引成立毎の価格変化幅の分布



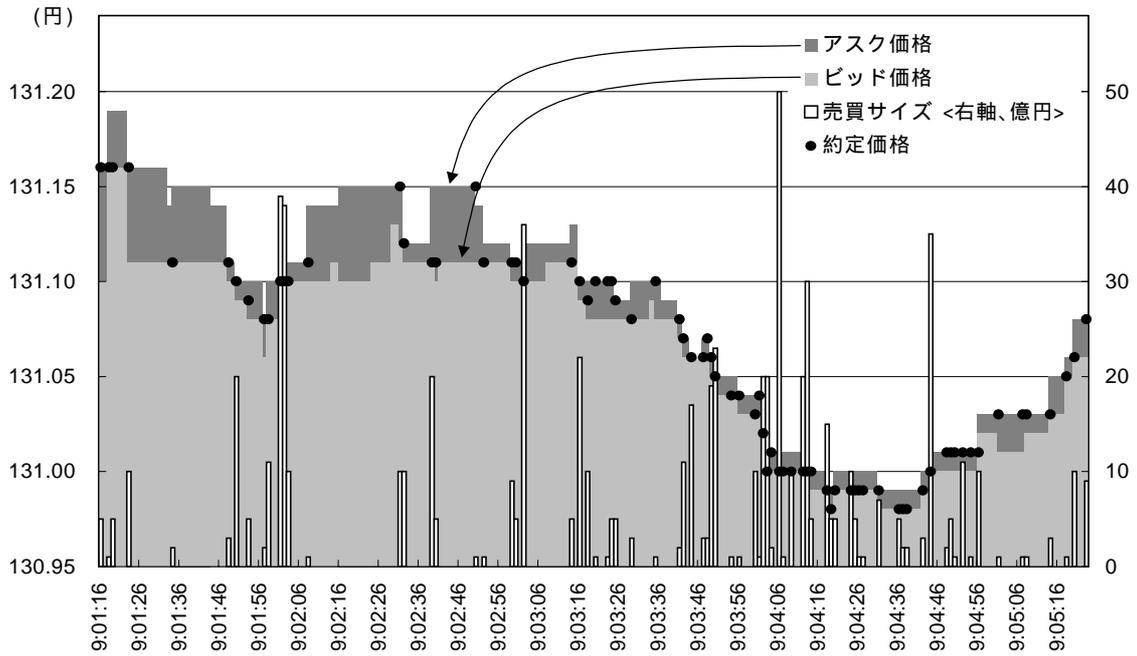
(注) シミュレーション毎に1つの分布型が得られ、シミュレーションを繰り返すことで得られた分布サンプルから各カテゴリごとの標準偏差を求めた。x印は±2シグマを示している。

図表 17-3 約定価格のボラティリティの分布



図表 18-1 約定価格、ビッドアスク価格の推移

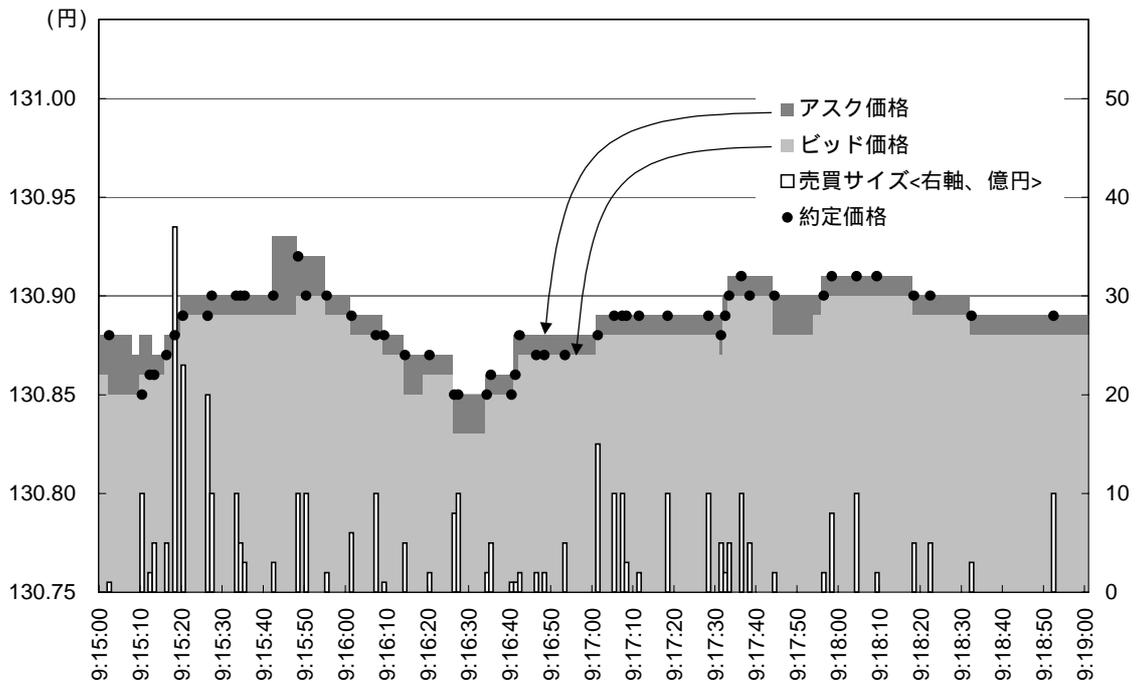
6月25日取引開始直後4分間 9:01:16 ~ 9:05:26



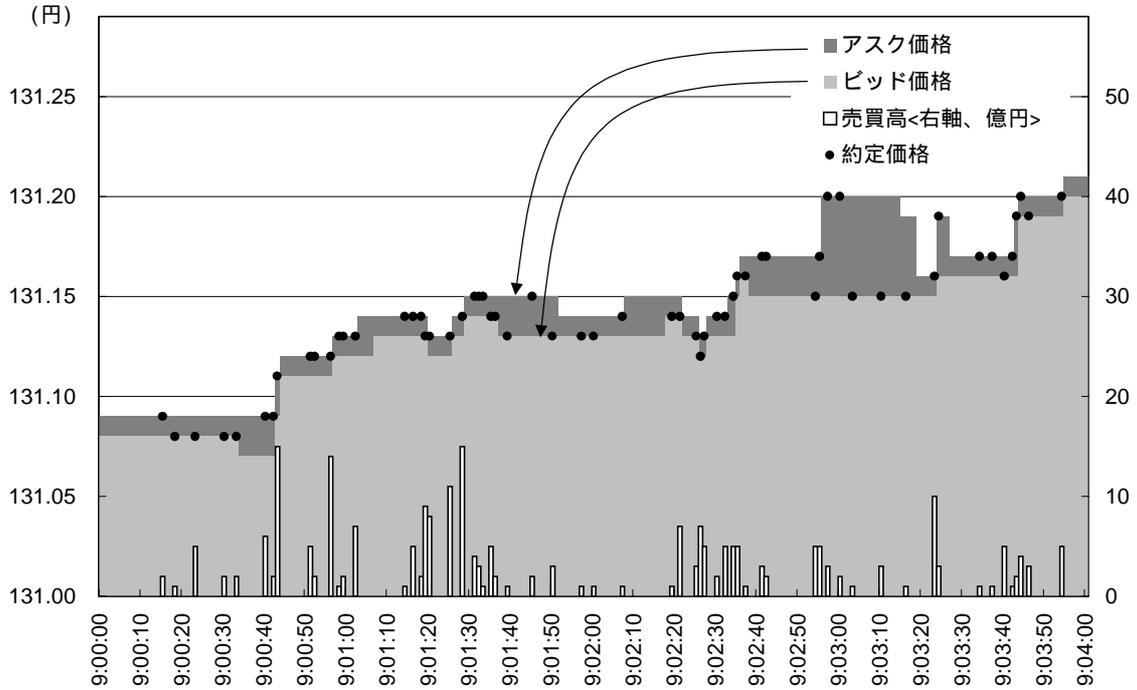
(注) 6月25日の9時1分15秒からの4分間のザラバ動向。複数回の約定、もしくはビッドアスクの更新が同じ秒内に発生した場合、最後の約定やビッドアスクを用いた。

図表 18-2 約定価格、ビッドアスク価格の推移

6月25日取引開始14分経過後の4分間：9:15:00 ~ 9:19:00



図表 18-3 約定価格、ビッドアスク価格の推移
シミュレーションの4分間サンプル



(注) 左右の y 軸および x 軸のスケールは、図表 18-1・2 と同一。

図表 19 拡張モデルのシミュレーション結果

ノイズ・レシオ	約定回数	約定間隔		価格のボラティリティ	スプレッド		変化の回数		
		平均	標準偏差		平均	標準偏差	約定価格	ビッド	アスク
0%	4,391	3.69	3.60	0.093	0.0119	0.0046	1,998	1,059	1,063
1%	4,376	3.70	3.63	0.113	0.0119	0.0046	1,976	1,014	1,016
2%	4,356	3.72	3.71	0.140	0.0118	0.0045	1,948	962	970
3%	4,320	3.75	3.69	0.170	0.0118	0.0045	1,927	912	914

(注) 計数はすべてシミュレーションの平均値。約定間隔は秒、スプレッドは円単位。

図表 20 注文タイプ毎の発生頻度：6月24・25日の比較

	1999年6月24日		1999年6月25日	
	注文数	割合	注文数	割合
合計	4,688	100.0%	5,798	100.0%
Buy'	470	10.0%	17	0.3%
Buy	1,523	32.5%	2,254	38.9%
Bid'	244	5.2%	444	7.7%
Bid	339	7.2%	317	5.3%
Sell'	179	3.8%	0	0.0%
Sell	1,315	28.1%	1,950	33.6%
Ask'	242	5.2%	436	7.5%
Ask	376	8.0%	380	6.6%

(注) 注文数は億円。25日の計数は図表9の再掲。