

# 指値注文ブックと収益性

——流動性の供給と注文の形態——

森 谷 博 之

## The Limit Order Book and Its Profitability: Liquidity Creations and Order Types

Hiroyuki MORIYA

The advancement of electronic data processing techniques and high-speed trading have changed the micro-structures of financial markets. Standard passive market-making — leaving a limit order in both sides of market — is sure to make money when the premium spread is positive but cannot cover losses caused by adverse selections due to external shocks. Therefore, market makers who mix limit and market orders in order to reduce adverse selection risk may perform better under turbulent environments. This paper analyzes the Nikkei 225 Futures markets for 35 months from January 2016, testing four types of passive market making style and clarifying the properties or profitability for each market making strategy.

Key Words: limit order book (指値注文ブック), ticks (呼値の刻み), liquidity (流動性), liquidity trader (流動性トレーダー), market maker (マーケットメイカー), algorithmic trade (アルゴリズム取引), Adverse selection (逆選択リスク)

### I 金融取引の高速化による構造変化の把握

市場経済では、商品の売り手と買い手が、需要と供給の均衡点で共通の価格を定めて、取引を成立させる。しかし、取引量、取引時間、取引価格など異なる条件をもつ経済主体が取引を成立させることは容易ではない。そこで、金融市場では証券・先物取引所を設立し、取引参加者を定められた場所、建物に集め取引を円滑に行うための仕組みを構築した。ブローカー、スペシャリスト、マーケットメイカーなどの仲介業者が導入され流動性を供給する構造を確立した。このような市場を安定して持続させる仕組みは、売買の提示価格の差である売買スプレッド、流動性の源泉である仲介業者の在庫、そしてその数などの観点から分析されてきた。市場の参加者は仲介業者に加え、私的情報をもつ情報トレーダー、市場外の要因で行動を起こす流動性トレーダーに分類され、その相互作用が流動性や売買ス

プレッドにどのような影響を及ぼすかが分析された。グロステンとミルグロムはスプレッドと在庫リスクの関係を検討し仲介業者の役割と直面する逆選択リスクの存在を明確にした(1985 [14])。グロスマンとミラーは流動性の観点から市場の構造を明らかにし、流動性トレーダーの緊急性に着目した(1988 [17])。また、プファイデラーとアドマティは流動性トレーダーと情報トレーダーの関係から値動きの日中のパターンを明確にした(1988 [1])。しかし、このような仕組みはコンピュータの計算能力の飛躍的な向上により、急速に変化しつつある。その1つがアルゴリズム取引の登場であり、もう1つが高速取引の影響である。

アルゴリズム取引とは、投資の決定、注文の発注、在庫の管理等をコンピュータ化されたアルゴリズムを用いて行う戦略である(2010 [22])(2009 [23])。ミリ秒単位で取引を行う高頻度取引業者、高速トレーダーはアルゴリズム取引の一形態である。高頻度取引の活発化により、マーケットメイカーよりも市場に流動性を供給できるのは流動性供給の義務のない高速トレーダーになりつつあるという報告もある(2011 [9])。一方で、価格操作、インサイダー取引等の高頻度取引に関する多数の問題点の報告もある(2012 [10])。フランス金融市場庁(AMF: Autorité des marchés financiers)は、ユーロネクストにおける市場参加者の接続性に関する調査を行い、高速取引の社会的役割について検討を行った(2016 [2])。

本稿では仲介業者の中でも特にマーケットメイカーの行動と役割について、約定データを用いて収益性の観点から分析していく。価格データは、実際に取引が行われた約定データと売買の気配を提示する気配値で構成される。約定価格の分析では、その難しさに対する報告が多数ある。それは主に、ビッド・アスク・バウンス(1992 [21])(2011 [18])、季節性・パターン(1991 [12])(1994 [24])、売買スプレッド(1984 [27])、値動きの非正規性(1998 [16])、ティックの大きさの影響(2000 [11])(1985 [14])(1991 [12])(1985 [15])、ボラティリティ・クラスタリング(1991 [19])(1988 [20])、価格のジャンプ等である。これらの特性を踏まえて、各市場参加者の収益性を分析していく。

第II章ではマーケットの仕組みと流動性トレーダー、情報トレーダー、マーケットメイカーなどを定義し、歴史的な背景を踏まえながら市場の基本的な仕組みを検討し、最近のアルゴリズム取引、高速取引の影響についての報告を検討する。

第III章では、本稿で用いる市場参加者の収益性を分析するフレームワークを説明する。第II章での検討を踏まえて、市場参加者に制限を加えていく。

第IV章は、バックテストに用いる日経225miniについて説明する。

第V章では、バックテストの結果について検討する。

第VI章で結果を述べる。

## II マーケットの仕組み

取引参加者の需給の一致するところで価格を決め、取引を成立させる市場では、仲介業者が取引条件の不一致から生じる需給の不均衡を在庫として一時的に保有し、円滑な取引を実現している。仲介業者はそのリスクの見返りとして、売買スプレッドを受け取る。これが基本的な仲介業者を用いた市場の仕組みである。このような市場の特徴は仲介業者、流動性トレーダー、情報トレーダーという異なる情報をもつ3つのタイプの市場参加者を用いて説明される。流動性トレーダーは、金融資産の将来の価値についての情報とは無関係に取引を行う合理的な参加者である。かれらは、過去の取引データに加え、現在の価格と公的な情報を共通してもつが、その属性はさまざまで、企業としては業種、資本構成、従業員数など、個人としては職業、年齢、家族構成、勤務先などの違いにより取引の動機は、多様で確率的で予測が不可能である。ノイズトレーダーと呼ばれることもある(1986 [3])。これ以外の市場参加者は情報トレーダーである。情報トレーダーは流動性トレーダーのもつ情報に加えて私的な情報をもつトレーダーで、投機を目的として取引を行う。

### 1 情報トレーダーと逆選択リスク

マーケットメイカーは最良売気配値に指値で売り注文を出し、最良買気配値に指値で買い注文を出すなどの行為により市場に流動性を供給する仲介業者の1つである。流動性トレーダーや情報トレーダーは、その指値に対して成行注文を出し、取引を成立させる。市場では、情報の非対称性が存在し、異なるタイプの市場参加者は異なる情報をもつ。マーケットメイカーは流動性トレーダーよりも私的な情報をもつが、情報トレーダーほどの私的情報はもたない。したがって、取引の相手が情報トレーダーであると、相場の方向性とは逆の在庫をもたされる可能性がある。この在庫は時として大きな損失につながる。これがマーケットメイクに関する在庫保有のリスクである。逆選択リスクと呼ばれる。このリスクは売買スプレッドの決定要因の1つである。

#### (1) リスク中立性とマーチンゲール

グロステンとミルグロム(1985 [14])は売買スプレッドの動きにより、スペシャリストの逆選択による損失を、仲介により得た売買スプレッド(収益)により補うというモデルを構築した。ここでは、スペシャリストを対象としたグロステンとミルグロムのモデルを、マーケットメイカーに当てはめてその概要を説明する。

すべての市場参加者をリスク中立な経済主体とする。これは、マーケットメイカーが無限の在庫、現金をもち、在庫の保有費用がゼロになるだけでなく、期待収益もゼロとなることを意味する。リスク中立である投資家は保有現金をすぐに消費に回すか、それとも

将来に回すかを自らの好みで選択できる。この効用のパラメータを  $\rho$  とすると、 $\rho$  が高ければ将来の消費を好み、低ければすぐに消費することを好むとする。マーケットメイカーの場合は  $\rho = 1$  である。この値は市場参加者の間で確率的に分布する。したがって、資産の単位当たりの価格の期待値  $V$  は確率的であり、 $V > 0$  かつ  $Var(V) < \infty$  となる。よって価格はマーチンゲールにしたがう。

## (2) 価格と売値と買値

マーケットメイカーは市場参加者がどのように市場に参加してくるかを確率分布として把握できる。観測データとこれらの情報をもとにマーケットメイカーは正しい統計的推論を行い、売値 ( $A$ ) と買値 ( $B$ ) を決定する。 $H_t$  は公的な情報、 $J_t$  は私的な情報、そして  $F_t$  を  $H_t$  プラス現在の価格情報を反映したものとする。そうすると、売買の判断は

$$Z_t = \rho_t E(V|F_t) = \rho_t(1 - U_t)E(V|H_t, J_t, A, B) + \rho_t U_t E(V|H_t, A, B)$$

を用いて行われる。トレーダーは  $Z_t > A$  で買い、 $Z_t < B$  で売ることになる。 $U_t = 1$  のときは流動性トレーダー、 $U_t = 0$  のときは情報トレーダーである。マーケットメイカーは自らの情報を反映して、 $V$  よりも低い買値 ( $B < V$ ) と、高い売値 ( $A > V$ ) を提示する。 $V$  が一定であるときに、マーケットメイカーは  $A$  で売り、 $B$  で買う仲介業務を繰り返すことで収益を蓄積する。その際に約定価格の動きは負の自己相関をもつ。しかし、逆選択により損失が発生するような場合は、負の自己相関とはならない。

また、マーケットメイカーは独自の情報をもつが、その情報はすぐに行きわたるので、その情報をもとに利益を上げることはできない。したがって、一般の情報をもとにしたファーマ (1970 [8]) のセミストロングの効率性よりも若干強くなる。

## (3) スプレッドの決定要因

売買スプレッドを決定する要因は幾つかあり、つぎの場合に増加する。

1. 価格のボラティリティの増加。
2. 逆選択による損失の増加。
3. 情報トレーダーのもつ情報の信頼性の向上。
4. 情報トレーダー数の流動性トレーダー数に対する比率の上昇。

また、売買スプレッドは逆選択リスクだけではなく、どのようなパターンで情報トレーダーが市場に現れるかにも影響される。逆選択の損失の後に、いったんスプレッドは影響を受けるが、取引が継続する過程で、その情報は一般に行きわたりスプレッドは一定の値に収束する。ただし、これらの条件がさらに強まると、売買スプレッドはさらに広がり、ある水準で需給の弾力性の限界を超え、市場は機能しなくなる可能性がある。

## 2 裁量・非裁量の流動性トレーダー

プファイデラーとアドマティ (1988 [1]) は流動性トレーダーと情報トレーダーの相互作用を分析し、日中の価格、ボラティリティのパターンを分析した。流動性トレーダーはさらに裁量の流動性トレーダーと(非裁量の)流動性トレーダーに分類される。流動性トレーダーは、市場情報とは無関係に取引を行う経済主体であり、取引に時間等の指定はないが、場合によっては取引時間を特定したほうが良い場合を知っている。機関投資家のような取引量の大きな流動性トレーダーにとって、ある限られた時間では期待する量の取引が成立しないかもしれない。したがって、事前に取引のパターンの存在が分かっているならば、そのパターンを利用したほうが良い。裁量の流動性トレーダーは

1. 集中して取引を行う。
2. 取引を異なる時間に分散する。
3. 取引の均衡を考え、より多くの需要が実現する時間帯に取引を集中する。

また、取得情報が内生的であると、流動性トレードが集中する期間に多くの私的情報を取得できる可能性があるため、そのような時間に取引をすることを好む。

## 3 外生的要因と逆選択リスク

取引量、取引時間、取引価格などで異なる条件をもつ経済主体がなるべく早く取引を成立させたいと思う理由は、時間の経過にしたがい不利な状況に追い込まれることを避けたいからである。マーケットメイカーは市場参加者のもつ緊急性を軽減するために流動性を供給すると考えることができる。グロスマンとミラー (1988 [17])<sup>1)</sup> は、マーケットメイカーが需給の緊急性ギャップを短期的に埋め、長期的に均衡させる役割を担っていることに着目して、マーケットメイクのモデルを構築した。このモデル化の特徴は、すべての市場参加者のリスク許容度をリスク回避的と定め、均一にしたことである。そして、流動性トレーダーの取引の動機を外生的な要因に求め、かつそこに緊急性を付与することで、かれらを指値ではなく、成行注文を用いて取引を成立させる流動性の消費者として定義した。

### (1) 市場の定義

市場は、無リスクで収益ゼロの現金 ( $B$ ) と  $t$  期の価格が  $S_t (S_t \geq 0)$  のリスク資産 ( $S$ ) で構成される。市場の参加者(経済主体)は流動性トレーダー ( $LT_1, LT_2$ ) とマーケットメイカー ( $MM$ ) からなり、3 期間だけ取引ができる。 $B_t^j$  と  $W_t^j$  は  $t$  期の経済主体  $j$  の保有現金と富を表す。 $t$  期の経済主体  $j$  の資産  $S$  の在庫量は  $q_t^j$  で表され、 $t = 0$  では、 $MM$  は資産

1) 本節の式の表記、展開は The Grossman–Miller Market Making Model with and without Trading Costs April 11, 2017 にしている。

をもたず,  $LT_1$  は在庫  $q_0^{LT_1} = n \neq 0$  をもち,  $LT_2$  は  $q_0^{LT_2} = -n$  をもつ。すべての経済主体の保有在庫の最初の総量はゼロ, すなわち  $\sum_j q_0^j = 0$ , または  $q_0^{MM} = q_0^{LT_1} + q_0^{LT_2} = 0$  である。 $t = 3$  で証券の評価を行う売値と買値の差はスプレッドと呼ばれ非負の流動性プレミアムである。マーケットメイカーは継続した流動性供給者としてふるまう。資産価格は,  $t \in 1, 2, 3 \subset 0, 1, 2, 3$  でランダムウォークにしたがい

$$S_t = S_{t-1} + \epsilon_t = S_1 + \sum_{\tau=2}^t \epsilon_\tau = \mu + \sum_{\tau=2}^t \epsilon_\tau \quad (1)$$

と変化する。ここで,  $\epsilon$  は平均ゼロ, 分散  $\sigma^2 > 0$  の正規分布にしたがう独立同一な確率変数である。 $t = 1$  は  $S_1 = \mu \geq 0$  から始まり,  $t = 1$  の  $S_1$  が実現した時点で  $t = 2$  の価格は

$$S_2 = S_1 + \epsilon_2 \sim N(\mu, \sigma^2)$$

となる。 $\mu$  は確定的な項,  $\epsilon_2$  は確率的な項である。 $t = 2$  の時点で,  $t = 3$  の価格は,  $S_2$  の価格が実現した後で,  $S_3 = S_2 + \epsilon_3$  に変化する。 $S_3$  を条件付確率変数として表記すると

$$S_3 | \epsilon_2 = S_2 | \epsilon_2 + \epsilon_3 = \mu + \epsilon_2 | \epsilon_2 + \epsilon_3 \sim N(S_2, \sigma^2)$$

と分解できる。 $S_2 | \epsilon_2 = \mu + \epsilon_2 | \epsilon_2$  は確定的な項,  $\epsilon_3 \sim N(0, \sigma^2)$  は確率的な項である。ここで,

$$\text{Var}(S_3 | S_2) = \text{Var}(S_2 | \epsilon_2) + \text{Var}(\epsilon_3) = \text{Var}(\epsilon_3) = \sigma^2$$

が成り立つ。

## (2) 最適在庫と流動性プレミアム

市場の流動性の指標である在庫量と流動性プレミアムの最適値は, (1) と効用関数 CARA を用いて求められる。市場のすべてのトレーダーは,  $U(W_t^j) = -\exp(-\gamma W_t^j)$  で与えられるリスク回避度をもつと仮定される。 $\gamma > 0$  はリスク回避パラメータである。経済主体  $j$  は  $t$  時点での  $t + 1$  期の期待効用関数

$$\max E[U(W_{t+1}^j) | \epsilon_t], \quad (2)$$

を用いて  $q_t^j$  を選択する。

$\epsilon$  が実現し

$$W_{t+1}^j = B_t^j + q_t^j S_{t+1}, \quad (3)$$

$$W_t^j = B_t^j + q_t^j S_t \quad (4)$$

の再帰式が成り立つ。(3) と (4) から現金の量  $B_t^j$  を消去すると、最終的な富の価値は

$$W_{t+1}^j = B_t^j + q_t^j S_{t+1} = W_t^j - q_t^j S_t + q_t^j S_{t+1} = W_t^j + q_t^j (S_{t+1} - S_t) \quad (5)$$

となる。 $E[\exp(X)] = \exp(E[X] + 1/2\text{Var}[X])$  を用いると、この期待効用関数は

$$\begin{aligned} E[U(W_{t+1}^j)|\epsilon_t] &= E[-\exp(-\gamma W_{t+1}^j)|\epsilon_t] \\ &= -\exp\left(E[-\gamma W_{t+1}^j|\epsilon_t] + 1/2\text{Var}[-\gamma W_{t+1}^j|\epsilon_t]\right) \end{aligned}$$

となる。(5) を用いて、

$$-\exp\left(-\gamma E[W_t^j + q_t^j (S_{t+1} - S_t)|\epsilon_t] + 1/2\gamma^2 \text{Var}[W_t^j + q_t^j (S_{t+1} - S_t)|\epsilon_t]\right)$$

と書き換えることができる。 $\epsilon_t$  と  $\epsilon_{t+1}$  は独立であるので、 $\text{Var}[S_{t+1}|\epsilon_t] = \text{Var}[S_t + \epsilon_{t+1}] = \text{Var}[\epsilon_{t+1}] = \sigma^2$  となる。よって上式は

$$\begin{aligned} &-\exp(-\gamma(W_t^j + q_t^j (E[S_{t+1}|\epsilon_t] - S_t)) + 1/2(\gamma q_t^j)^2 \text{Var}[S_t + \epsilon_{t+1}|\epsilon_t]) \\ &= -\exp(-\gamma(W_t^j + q_t^j (E[S_{t+1}|\epsilon_t] - S_t)) + 1/2(\gamma q_t^j \sigma)^2) \end{aligned} \quad (6)$$

と書ける。(6) から、(2) の最適化問題は期待効用関数の微分をゼロと置くことで得られる。

$$\frac{\partial}{\partial q_t^j} E[U(W_{t+1}^j)|\epsilon_t] = E[U(W_{t+1}^j)|\epsilon_t] \left(-\gamma(E[S_{t+1}|\epsilon_t] - S_t) + q_t^j(\gamma\sigma)^2\right)$$

効用関数  $U(W_t^j) = -\exp(-\gamma W_t^j)$  の条件付期待値はゼロではないので、

$$-\gamma(E[S_{t+1}|\epsilon_t] - S_t) + q_t^{j,*}(\gamma\sigma)^2 = 0$$

となり、最適在庫量

$$q_t^{j,*} = \frac{E[S_{t+1}|\epsilon_t] - S_t}{\gamma\sigma^2} \quad (7)$$

が得られる。(,\* ) は最適を意味する。

$t = 2$  の観点から (1) は単純に、 $E[\epsilon_3|\epsilon_2] = E[\epsilon_3] = 0$  となり (7) から

$$q_2^{j,*} = \frac{E[S_3|\epsilon_2] - S_2}{\gamma\sigma^2} = \frac{E[S_2 + \epsilon_3|\epsilon_2] - S_2}{\gamma\sigma^2} = \frac{S_2 + E[\epsilon_3|\epsilon_2] - S_2}{\gamma\sigma^2} = 0 \quad (8)$$

が得られる。 $t = 2$  から  $t = 3$  までの間では、(1) で構築された、条件付期待リターンがゼ

口なので市場参加者が危険資産  $S$  の在庫をもつことはない。

効率的価格  $\bar{S}_1$  の実現値  $\bar{S}_1 = \mu$  は  $t = 0$  と  $t = 1$  の間で明らかになる。 $t = 1$  で  $MM$  は  $LT_1$  に資産価格の売値  $S_1$  を提示する。実現値  $S_1$  は条件付期待値  $\mu$  と同じであるとは限らない。 $t = 2$  という時点から見ると  $S_3$  の期待値は  $E[S_3|S_2] = S_2$  であるが、 $t = 1$  の時点の  $S_3$  の期待値は確率変数  $\epsilon_t$  の実現値に影響を受け不確かだからである。 $t = 1$  における最適在庫量を求める際の条件は異なるが、用いる過程は同じなので、(7) を用いて

$$q_1^{j,*} = \frac{E[S_2|\bar{S}_1 = \mu] - S_1}{\gamma\sigma^2} = \frac{\mu - S_1}{\gamma\sigma^2} \quad (9)$$

となる。 $S_1 - \bar{S}_1$  の差はマーケットメイクの対価であり流動性プレミアムである。条件付期待値を用いると、

$$E[S_3|S_1] = E[E[S_3|S_2]|S_1] = E[S_2|S_1]$$

となる。したがって、(9) の最適在庫量は

$$q_1^{j,*} = \frac{E[S_3|\bar{S}_1 = \mu] - S_1}{\gamma\sigma^2}$$

と書くこともできる。

### (3) 複数のマーケットメイカー

$J = \{LT_1, MM_1, \dots, MM_m\}$  は経済主体の集合であり、 $MM_1, \dots, MM_m$  は同一のマーケットメイカーである。 $t = 0$  で  $LT_1$  は在庫  $q_0^{LT_1} = n$  をもち、各  $MM$  の在庫はゼロであるので、 $MM \in J/\{LT_1\}$  として需給関係

$$m(q_1^{MM} - q_0^{MM}) + (q_1^{LT_1} - q_0^{LT_1}) = 0$$

が成り立つ。(9) の最適在庫量  $q_1^{MM} = q_1^{LT_1} = q_1^{j,*}$  をこの均衡式に代入し、

$$\begin{aligned} mq_1^{j,*} + 0 + q_1^{j,*} - n &= (m+1) \frac{E[S_2|\bar{S}_1 = \mu] - S_1}{\gamma\sigma^2} - n \\ &= (m+1) \frac{\mu - S_1}{\gamma\sigma^2} - n = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

を得る。構成し直して、 $j \in J$  の各経済主体の最適在庫量は

$$q_1^{j,*} = \frac{n}{m+1} = \frac{\mu - S_1}{\gamma\sigma^2} \quad (11)$$

となる。

### (4) 取引費用

取引所に払う一株当たりの手数料  $\theta$  のような一般的な取引費用は、2つの仲介取引の間



の時間差 ( $t = 1, t = 2$ ) の価格リスクを補うものと考えることができる。これから展開する理論では、マーケットメイクを緊急性を供給するオプションとしてだけでなく、情報をもつ流動性トレーダーによるマーケットメイクの損失を補うような他の要素を加えていく。

(8) のように、 $t = 2$  の最適在庫量は、参加者が売りと買いについて同じポジションを取り、また  $LT_2$  の取引を期待して  $j \in J$  で

$$q_2^{j,*} = \frac{E[S_3 - \tilde{\theta}|\epsilon_2] - (S_2 - \tilde{\theta})}{\gamma\sigma^2},$$

$$q_2^{LT_2,*} = \frac{E[S_3 + \tilde{\theta}|\epsilon_2] - (S_2 + \tilde{\theta})}{\gamma\sigma^2}$$

となる。ここで、 $\tilde{\theta} = \text{sign}(n)\theta$  である。 $t = 1$  では  $LT_1$  の最適在庫量は、(11) のように

$$q_1^{LT_1,*} = \frac{E[S_2 - \tilde{\theta}|\hat{S}_1 = \mu] - (S_1 - \tilde{\theta})}{\gamma\sigma^2} = \frac{\mu - S_1}{\gamma\sigma^2}, \quad (12)$$

となる一方、マーケットメイカーについては  $MM \in J / \{LT_1\}$  として

$$q_1^{MM,*} = \frac{E[S_2 - \tilde{\theta}|\hat{S}_1 = \mu] - (S_1 + \tilde{\theta})}{\gamma\sigma^2} = \frac{\mu - S_1 - 2\tilde{\theta}}{\gamma\sigma^2} \quad (13)$$

となる。(12) の  $S_1 - \tilde{\theta}$  は手数料が売値を下げ、(13) の  $S_1 + \tilde{\theta}$  は買値を上げることを表現している。(13) の  $2\theta$  は  $LT_1$  と  $LT_2$  の2つの取引から生じたと解釈することができる。

#### (5) 最適価格とプレミアム

$t = 1$  においては  $LT_1$  と  $MM$  の間で取引が行われるので、需給の均衡 (10) に (12), (13) を代入して、

$$n = mq_1^{MM,*} + q_1^{LT_1,*} = m \frac{\mu - S_1 - 2\tilde{\theta}}{\gamma\sigma^2} + \frac{\mu - S_1}{\gamma\sigma^2} = (m+1) \frac{\mu - S_1}{\gamma\sigma^2} - m \frac{2\tilde{\theta}}{\gamma\sigma^2}$$

を得る。最終的に最適取引価格として

$$S_1 = \mu - \frac{n}{m+1} \gamma\sigma^2 - 2\tilde{\theta} \frac{m}{m+1} \quad (14)$$

を得る。流動性トレーダーの売却の場合、この手数料は取引される株の売値を押し下げ、買値を押し上げる。

$n$  と  $\tilde{\theta}$  は同じ符号であり、 $\mu > S_1$  では  $n > 0$  でディスカウント、 $\mu < S_1$  では  $n < 0$  でプレミアムとなるので、手数料を含む流動性プレミアム (ディスカウント) は、

$$p = |\mu - S_1| = \frac{|n|}{m+1} \gamma\sigma^2 + 2\theta \frac{m}{m+1} \quad (15)$$

である。(14), (15) に含まれる  $2\theta$  は (13) から継承している。流動性プレミアムは、リスク回避パラメータ  $\gamma$ , ボラティリティ  $\sigma$ , 在庫数  $|n|$ , 手数料  $\theta$  の上昇により増加する。また、市場の競争的  $MM$  の数が増えると減少する。つまり  $MM$  の増加は流動性の増加の可能性を意味する。 $m \rightarrow \infty$  の極限では、 $p \rightarrow 2\theta$ , したがって  $S_1 \rightarrow \mu - 2\tilde{\theta}$  になる。 $\gamma$  と  $\theta$  または  $\sigma$  と  $\theta \rightarrow 0$  としたとき、 $p \rightarrow 0$  が得られる。

スプレッドは

$$S_1^{ask} - S_1^{bid} = \left( \mu + \frac{n}{m+1} \gamma \sigma^2 + 2\tilde{\theta} \frac{m}{m+1} \right) - \left( \mu - \frac{n}{m+1} \gamma \sigma^2 - 2\tilde{\theta} \frac{m}{m+1} \right) = 2p$$

となる。

(15) と  $S_1 > 0$  により,

$$p = \frac{n}{m+1} \gamma \sigma^2 + 2\tilde{\theta} \frac{m}{m+1} < \mu$$

と

$$n < (m+1) \frac{\mu}{\gamma \sigma^2} - 2\tilde{\theta} \frac{m}{\gamma \sigma^2}$$

を得る。したがって、(12), (13), (14), (15) は流動性が高く、効率的な資産価格との対比でプレミアム  $p$ , ないしはスプレッド  $2p$  が小さい市場でのみ成り立つことが分かる。これは  $\theta$  が小さくなければならないということも意味する。実際の取引では流動性トレーダーはさらに自身の取引手数料  $\theta$  を払う必要がある。

#### 4 アルゴリズム取引

アルゴリズム取引とは、投資の決定、注文の発注、在庫の管理等をコンピュータ化されたアルゴリズムを用いて行う戦略である (2010 [22])(2009 [23])。執行の時間、取引高などを目的に合わせて小分けして最適化する方法である。一般的な方法として取得価格を取引を行った時間加重平均する TWAP, 取引高に応じて加重平均する VWAP などがある。インベストメントバンク、年金基金、投資信託、ヘッジファンドなどにより用いられている。このような取引の活性化の引き金になったのが、2001年の米国での呼値の単位の変更である。それまでは小数点以下の価格は  $1/16$  刻みであったものが  $0.01$  ドルに変更されたのである (2005 [32])。これによりスプレッドが縮小し投資家の費用の削減につながり、マーケットメイカーの収益性も改善したと SEC は報告している (2012 [30])。

取引の執行の効率化を目的に発展したアルゴリズム取引であるが、データの取得、解析、戦略の選択、注文の発注、発注執行後の在庫管理までも一括管理することから、従来型のテクニカル分析、ウォンツ分析、統計分析等を用いたさまざまな戦略に適用され、2008年

から 2009 年にかけて取引の高速化が行われ、特にマーケットメイキング、裁定取引の分野で急速に普及した。そして、アルゴリズム取引という用語は収益の獲得を目的として自動化されたトレードシステムにも用いられるようになった。

#### (1) アイスバーク注文、ステルス注文

機関投資家が、市場の許容範囲を超えた大きさの注文 (2003 [13])、市場に大きな影響を与えてしまうほど大きな注文を出す際に、負の影響を極力少なくするために細かい注文を多く出すという注文戦略を取ることがある。また、投資家が株式などを売買する際に、その投資家の行動が別の投資家に利用される可能性があるため、極力他の参加者に自らの行動を気づかれないようにしなければならない。そのような場合に、アイスバーク注文が利用される。ステルス注文も同じ目的で用いられるが、この場合には、注文がそもそも板上に現れない。また、このような現象は非表示注文、潜在流動性とも関係する問題であり、公表されている研究結果は多くない (2015 [4])。

#### (2) 高頻度取引、高速取引

東京証券取引所では 2010 年 1 月より、証券取引所の株式売買システムサーバーと同じ建屋内に高頻度取引サーバーを置く、コロケーションサービスを開始した [33]。

限られた資本で、多くの注文に対して流動性を供給する仲介業者が、在庫を維持する期間は非常に短い。また、仲介業者は、情報の非対称性の問題を抱えているので、大きな逆選択リスクをもつ (2012 [6])。このような問題の解決策の 1 つとして、仲介業者は取引の高速化により、極力短い期間で確実に収益を上げる取引を繰り返し、そこから得られる収益で、逆選択により生じた損失を補うという戦略を採用している (2011 [5])。

日本では注文をコロケーションからコンピュータにより自動発注しているトレーダーが高速取引の規制対象になっている [36]。2019 年 8 月 27 日現在、日本の高速取引行為者の登録数は 53 である。

#### (3) ヘッジファンドとマーケットメイキング

取引所取引の電子化は約定データ、提示価格データの取得を容易にし、市場参加者の行動の詳細な分析を可能とした。フランス金融市場庁はユーロネクストにおける市場参加者の接続性に関する調査を行った。一般に、仲介業者、機関投資家などは市場に参加する際には、取引の慣行、資本の状況などに制限が課されている。一方、機関投資家の組織の一員でありながらも自己勘定で取引するプロットレーダーや、投資家の資金を自己勘定の取引と共に運用するヘッジファンド、または高速取引に特化した自己勘定のトレーダーなどにはそのような制限はない。また、市場の参加者の間には利益相反や情報の非対称性がある。このような市場参加者の接続性は、取引所がもつ公共性、公正性に影響を与える可能性がある。ピエ等 (2016 [2]) は制約のないトレーダーは在庫の管理に関して制約がない

ために、優位な立場にあり、高速取引の技術のないトレーダーは厳しい逆選択リスクにさらされていると報告している。また、取引の速度に関係なく、プロップのトレーダーは市場の方向性に反して在庫を保有する逆張りのトレードにたけていて、成行注文を利用して、市場のショックを吸収しながら流動性を市場に供給し利益を上げている。指値を用いて流動性を供給する高速トレーダーであっても利益を維持できるとは限らず、成り行き注文を用いるプロップトレーダーは損することなく流動性を供給している。したがって、IT 技術だけでは逆選択リスクを回避できないことを報告している。

### Ⅲ 受動的なマーケットメイクとその収益性

マーケットメイカーは、市場に流動性を供給することでその対価として売買スプレッドを獲得する。基本的には最良売気配と買気配に指値を置くことで市場に流動性を供給している。緊急性のあるトレーダーはその指値に対して成行注文を出すことで、マーケットメイカーの供給する流動性を消費する。一般的には、この役割を演じるのは流動性トレーダーと情報トレーダーである。もちろん、時間に余裕がある緊急性のないトレーダーは指値で売買に参加することができる。したがって、指値を出すのは必ずしもマーケットメイカーであるとは限らない。

最近では、アルゴリズム取引の多様化により、流動性トレーダー、情報トレーダーが指値注文を組み合わせた戦略を利用した取引をする場合も増えている。したがって、流動性の供給という意味も複雑になっている。このような議論はビエ等 (2016 [2]) に詳しい。しかし、本稿ではマーケットメイカーは主に最良売気配値で売り、最良買気配値で買うという行動を機械的に繰り返し、売買スプレッドを利益として獲得する経済主体と限定する。また、その取引相手は流動性トレーダー、または情報トレーダーとする。情報トレーダーが私的な情報を利用して取引をするとマーケットメイカーは逆選択リスクにさらされ、大きな損失を招く可能性がある。また、取引相手が流動性トレーダーであっても、外生的要因で市場が動いているときにはマーケットメイカーは逆選択リスクにさらされる。このような仕組みで受動的、機械的に注文を発するマーケットメイカーを受動的マーケットメイカーと呼ぶことにする。

#### 1 取引の方向性の判別

取得データにはどのような過程で取引が成立したのか記載がないので、取引が買い手主導で行われたのか、それとも売り手手動で行われたのか判断できない。つまり、約定取引において、最良買気配値で取引が行われたのか、最良売気配値で取引が行われたのか、または何か別の形で取引が行われたのか分からないのだ。そこで、その判断を行う方法として、ティッ

ク法、クオート法、クオート突合せ法、Lee-Ready 法などがある (2000 [7])(1991 [25])。簡単に説明すると、ティック法ではその前の取引との価格差で判断する。価格が高ければ買い手主導、低ければ売り手主導である。クオート法では中値より高ければ買い手主導となる。Lee-Ready 法はこの 2 つを組み合わせたもので、最初にクオート法で判断し、それが採用できなければ、ティック法を用いる。クオート突合せ法では最良売気配値と約定価格が同じであれば、買い手主導、逆であれば売り手主導である。もしこの方法が採用できなければ、ティック法を用いる。本稿ではクオート突合せ法を用いる。ただし気配値の提示がない約定については取引がなかったものとして扱う。

## 2 収益の源泉

マーケットメイカーの損益は、つぎのような価格と在庫の状況に左右される。

- ・ 最良売気配と買気配が動かずに安定しているために、その間の売買を繰り返すことで売買スプレッドを獲得し、利益を蓄積する。
- ・ 取引が約定した後に約定価格がポジションとは逆の方向に動いたために損失が発生する（逆選択リスク）。
- ・ 各立会の間在庫に偏りが生じ、立会間の価格の動きが損益を発生させる。
- ・ 各立会終了後に在庫を保有したために当セッションの終値から次セッションの始値までの価格差から損益が生じる。

## 3 マーケットメイカーのモデル化

すべてのマーケットメイカーは同じ基準のもとで行動すると仮定する。取引所に払う手数料はゼロで、在庫は無限に保有可能であるとする。ザラバ方式の取引ではクオート突合せ法で取引の方向性を判断できるが、板寄せ方式の取引ではできないので、マーケットメイクの対象とはせずにレギュラー・セッション終了時の在庫の不均衡の削減に用いることにする。その際に、売り手側、買い手側のすべての取引をマーケットメイカーが占めることがある。

このような状況を踏まえ、4つのタイプのマーケットメイカーを定義する。

1. 受動的マーケットメイカー 1 (PMM1)：レギュラー・セッションにおいて、最良売気配と買気配に継続的に指値を置くという機械的な発注を繰り返す。レギュラー・セッション終了時のマーケットメイカーの在庫には偏りが生じるが、それを意図的に解消せずにつぎの立会に繰り越す。一時的にマーケットメイカーは正味の買い、または売りの在庫を継続してもつことになる。これを在庫リスクと呼ぶ。この市場ではすべての指値注文はマーケットメイカーによるもので、成行注文は流動性トレーダーか情報

トレーダーによるものである。

2. 受動的マーケットメイカー 2 (PMM2) : マーケットメイカーに若干の制約を課し、レギュラー・セッション終了時の在庫の偏りを寄り引けの板寄せを用いてできる限り減らす取引を行う。これは、裁量的流動性トレーダーは市場の寄付きと引けに取引を集中させる傾向があるので、その性質を利用している (1988 [1])。この市場での注文形態の特性は PMM1 と同じで、すべての指値注文は PMM2 のものである。
3. 受動的マーケットメイカー 3 (PMM3) : マーケットメイカーが、レギュラー・セッション終了時に在庫の不均衡をもつときに、日中立会であれば東京時間の 15:00 から 15:10 までマーケットメイクを中止し、偏った在庫の解消に努める。さらに在庫の偏りがあれば、引けの板寄せで処理する。それでも正味の在庫に偏りがあれば、つぎの立会に持ち越し、寄り付きの板寄せで処理する。夜間立会では在庫の処理は PMM2 と同じである。この市場では日中立会の 15:00 までの指値注文はマーケットメイカーによるもので、それ以後は PMM3 の 15:00 時点での在庫の状況による。
4. 受動的マーケットメイカー 4 (PMM4) : マーケットメイカーは、レギュラー・セッション終了時の偏りのある在庫を引けの板寄せで処理する以外に、立会中にマーケットメイクを中止し立会の引けには在庫をゼロにする能力をもつとする。この際に立会の終わりから逆算してマーケットメイクを中止する時期を算出する。したがって、立会の寄付きの在庫はいつでもゼロである。この場合の収益の源泉は III-2 節の 1, 2, 3 に限られる。この市場では、日中の立会では PMM4 がマーケットメイクを中止するまではすべての指値はマーケットメイカーによるものである。

#### IV 日経 225 先物市場

日本証券取引所に上場されている日経平均株価の先物は日経 225 先物と日経 225mini がある。主な違いは、日経 225 先物の取引単位は日経平均株価 (日経 225) の 1,000 倍であるのに対して mini は 100 倍である。また、呼値の単位は日経 225 先物が 10 円であるのに対して、mini は 5 円である。本稿の分析対象は日経 225mini である。

##### 1 日経 225mini

データは大阪取引所で取引されている日経 225 mini の先物を使用する。分析期間は 2016 年 1 月から 2018 年 11 月までである。

大阪取引所で取引される日経 225mini の特徴はつぎのとおりである。

- ・ 日経平均株価を原資産とする株価指数先物取引である。

- ・ 将来の特定の日に、日経平均株価の 100 倍を現時点で取り決めた約定価格で売買する。
- ・ 証拠金と呼ばれる担保を差し入れて取引を行う。
- ・ 5 円刻みの価格で注文でき、5 円刻みで価格は変動する。
- ・ マーケットメイカー制度の導入。
- ・ 立会時間は日中立会と夜間立会に分かれる。分析期間の立会時間：

——2016 年 7 月 17 日以前

- \* 日中立会のオープニング (板寄せ) が 9:00, レギュラー・セッションが 9:00-15:10, クロージング (板寄せ) が 15:15 である
- \* 夜間立会のオープニング (板寄せ) が 16:30, レギュラー・セッションが 16:30-翌日 2:55, クロージング (板寄せ) が翌日 3:00 である。

——2016 年 7 月 18 日以降

- \* 日中立会のオープニング (板寄せ) が 8:45, レギュラー・セッションが 8:45-15:10, クロージング (板寄せ) が 15:15 である
  - \* 夜間立会のオープニング (板寄せ) が 16:30, レギュラー・セッションが 16:30-翌日 5:25, クロージング (板寄せ) が翌日 5:30 である。
- ・ 限月の採用：限月は 4 半期限月のものとその他の限月に分かれる。4 半期限月は 3, 6, 9, 12 限月である。各限月の取引は第 2 金曜の前日に終了する。

約定の方式は、オープニングとクロージングには板寄せ方式が、レギュラー・セッションではザラバ方式が採用される。

- ・ 板寄せ方式：これは定められた時間に売り注文と買い注文のバランスするところで価格を決定する。
- ・ ザラバ方式：時々刻々と入る注文をもとに取引が成立していく。

日経 225mini の 3 月, 6 月, 9 月, 12 月の限月の終了の月には、取引の終了日まで取引の活発な限月が複数あることに注意が必要である。また、この分析には期近ものといわれる取引終了日までの日数が一番近い限月を用いているわけではない。これは 4 半期ものと期近ものの流動性を見た場合に必ずしも期近物の流動性が一番高いわけではないことによる。

## 2 日経 225mini のマーケットメイク制度

日本証券取引所 [34] によるとマーケットメイカーとはプライマリーマーケットメイカーと流動性供給参加者をいう。プライマリーマーケットメイカーは継続的に売り呼値と買い呼値の提示等により投資者の取引機会を確保し、流動性供給参加者は適当と判断する範囲内で対当する呼値を行う。プライマリーマーケットメイカーも流動性供給参加者もそれぞれの規定により取引手数料の割引を受ける。プライマリーマーケットメイカーのマーケットメイクとしての条件は日中の立会時間であること、3、6、9、12限月以外の限月を対象とすること、呼値の最大のスプレッドを6ティック(30円)とすること、そして最低数量は10単位であることである。2019年9月2日現在登録されているプライマリーマーケットメイカーは12、流動性供給参加者は21である。日経225先物についていうとプライマリーマーケットメイカーの制度はなく、流動性供給参加者が32いるだけである。

## 3 データの基本特性

分析期間中の全約定データ、平均スプレッド、1ティック(5円)のスプレッドの全データに占める割合の月ごとの推移を図1から図3に示した。

図1は約定数の推移を示している。2017年10月、2018年1月と10月にピークを作っている。

図2は平均スプレッドの推移が2016年の1月から8月にかけて下落しその後はほぼ安定していることを示している。

図1 月別約定数の推移

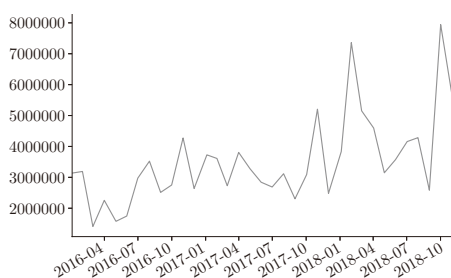


図2 月別平均スプレッド

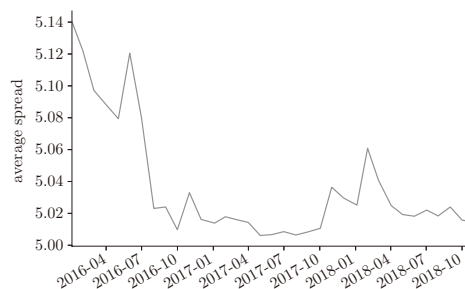
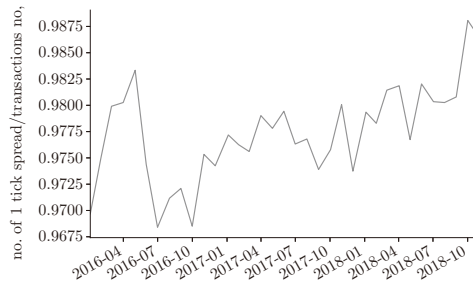


図3は5円幅スプレッドの割合で、2016年5月にジャンプし、7月には下落、その後安定した上昇傾向を示している。これは図2と同様に、売買スプレッドが時間の経過と共に安定していることを示している。



図3 月別5円スプレッドの割合



#### 4 約定価格実現ボラティリティの定義と外生的要因

ここでは外生的インパクトの指標として約定価格実現ボラティリティ

$$RV = \sum_{n=1}^N (S_n - S_{n-1})^2$$

を用いる。 $S_n$  は  $n$  番目の約定価格であり、 $N$  は立会のレギュラー・セッションの始めから終わりまでの約定の数である。対象期間の長短に応じて  $N$  も変化する。したがって、 $RV$  は対象期間の長さ、約定の数とその前の約定との価格差に影響を受ける。価格差がゼロで約定した場合にはゼロが加算される。 $RV$  は、すべての約定の価格差の2乗を加算している。したがって、価格の上下動で相殺される値動きがなく、外生的事象がどのように値動きに影響を与えたかを色濃く反映する。詳細は森谷 (2017 [26])(2018 [35]) を参照。図4は月別の実現ボラティリティの推移を表している。2016年1月をピークに2017年半ばまで下落傾向を示しているが、2018年にふたたび2つのピークを付けている。

図4 月別実現ボラティリティの推移

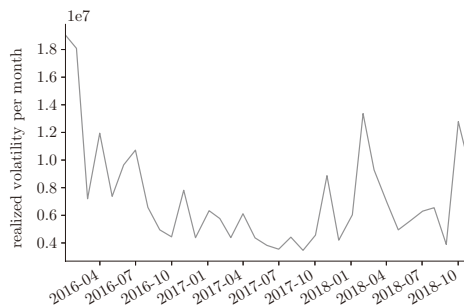


表1は  $RV$  を大きい順に上から10個を並べたものである。立会日時は立会の開始時刻、 $co$  は立会中の価格差、 $oc9$  は前立会と今立会との間の価格差、事象はKabutanマーケット

日報の市況コメントから得たものである<sup>2)</sup>。どれも外生的要因(ショック)と判断できる。

表1 トップ10 約定価格実現ボラティリティ

立会日時	<i>RV</i>	<i>co</i>	<i>oc9</i>	事象
2016/07/29 08:45	2,672,575	85	-75	日銀決定会合
2016/01/29 09:00	2,347,288	550	0	日銀決定会合
2016/06/24 09:00	2,060,540	-1335	-125	ブレグジット
2016/04/28 09:00	1,673,536	-955	70	日銀決定会合
2016/11/09 08:45	1,503,552	-1105	45	トランプ当選
2018/02/06 16:30	1,125,197	510	140	米金利急上昇
2016/02/12 09:00	1,019,225	-375	-685	欧州金融不安の再燃
2018/02/09 08:45	962,028	30	-145	米金利上昇圧力
2018/02/06 08:45	921,583	-200	-215	米金利急上昇
2016/01/21 16:30	871,950	535	-50	中国景気減速懸念

## V バックテストとその結果

2016年1月からの日経225miniの約定価格と裁量気配値のデータを用いて、4つのタイプのマーケットメイカーについて、その収益と在庫の状況の推移を調べた<sup>3)</sup>。特に逆選択リスクの原因とその影響について調べた。

### 1 バックテストに用いたデータ

バックテストには3, 6, 9, 12限月の日経225miniを使用した。12, 1, 2月は3月限, 3, 4, 5月は6月限, 6, 7, 8月は9月限, 9, 10, 11月は12月限を用いた。

### 2 各トイモデルの結果

表2は各トイモデルの損益と在庫の関係を要約したものである。立会中・終了時の在庫の量が収益に与える影響が大きいことを示している。

表2 各マーケットメイカーの損益(百万円)と在庫(千枚)

トイモデル	損益の平均	分散	在庫の平均	分散
PMM1	189	8571	-458	156
PMM2	-14	659	-3	23
PMM3	-15	292	-0.7	11
PMM4	-10	181	0	0

2) <https://kabutan.jp/>

3) Pythonコード:[github.com/innovation1005/research/master/kigyo/limit\\_order\\_book\\_and\\_its\\_profitability](https://github.com/innovation1005/research/master/kigyo/limit_order_book_and_its_profitability)

各トイモデルについて詳しく見ていく。

(1) 受動的マーケットメイカー 1(PMM1)

図5は累積損益の状況を表している。x軸は時間、y軸は累積損益である。累積損益はだまかに上昇傾向にある。

図6は在庫の時間経過による推移を示している。carry over position は累積在庫を表し、zaraba position は立会終了時の在庫の不均衡を表している。在庫のプラスは売りポジションで、マイナスが買いポジションである。累積在庫は2016年には下落傾向にあり、2017年は上昇傾向にある。2018年にはふたたび下落に転じている。これはPMM1が主に買いポジションを積み上げたことを意味する。それが図5の累積収益の原因である。

図5 累積損益

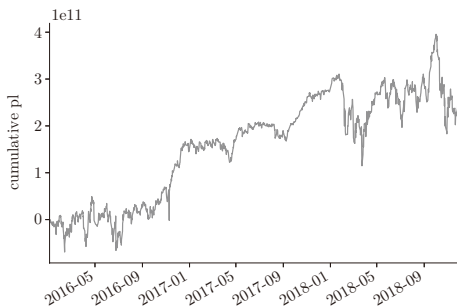


図6 保有在庫/累積在庫

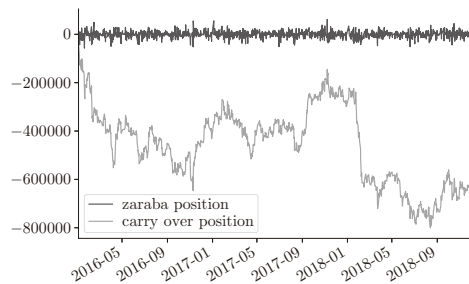
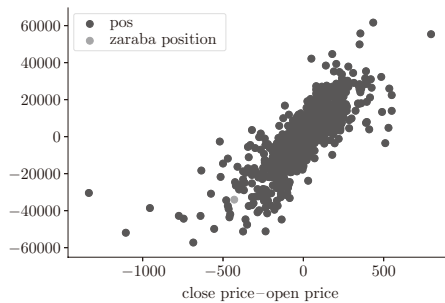


図7は在庫と立会の終値から始値の差 (co) との関係を示している。x軸は価格差 (co), y軸は在庫を表している。pos は累積在庫の立会毎の差分を示している。この場合には、pos とレギュラー・セッション終了時の在庫とは全く同じものになる。レギュラー・セッション終了時の在庫はcoとの間に正の相関がある。これは、立会中にPMM1の在庫が買いポジションに傾くと立会中に価格は下落し、売りポジションになると価格は上昇する関係にあることを示している。しかし、その因果関係は不明である。

図7 在庫と価格変化



## (2) 受動的マーケットメイカー 2(PMM2)

図8から、収益の傾向はPMM1とは異なる。これは板寄せを利用してレギュラー・セッション終了時の在庫の不均衡を削減した結果である。累積損益は2018年までの2年間はほぼ横ばいであるが、その後下落傾向に転じる。

図8 累積損益

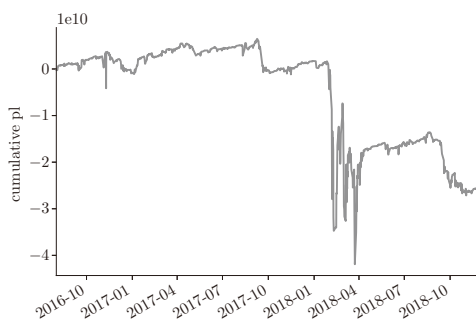


図9は累積在庫の推移である。板寄せを利用してレギュラー・セッションで生じた在庫の解消に努めたことがグラフに現れている。しかし、不均衡が完全に是正されているわけではなく、ところどころ2つの在庫の乖離がある。2018年の1月の中旬から2月の中旬までの1か月間は急激に買いポジションが増加し、それが2月初旬の市場の下落で大きな損失を発生させている。図10もPMM1とは異なる動きを示していて、図9と同じ傾向、変化を説明している。

図9 保有在庫/累積在庫

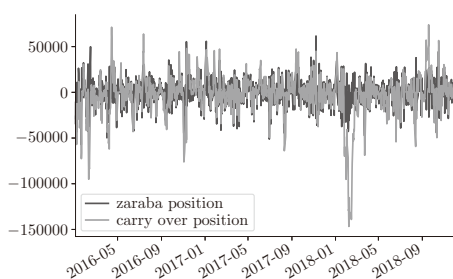
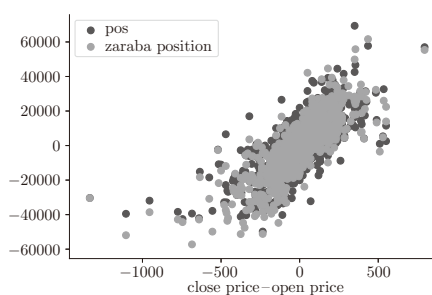


図10 在庫と価格変化



## (3) 受動的マーケットメイカー 3(PMM3)

図11はPMM1ともPMM2とも違う傾向を示し、下落傾向が鮮明である。また、2016年11月9日と2018年2月、2018年9月に収益の急激な損失がみられる。2016年11月9日は大統領選挙の経過報告を受け混乱し、トランプ政権の誕生でそれに拍車がかかった結

果である。2018年2月5日は米雇用統計の発表を受け米国で長期金利が急上昇し、市場は混乱した。2018年9月12日には米中貿易摩擦の解消が米誌で報道され、市場に買い安心感が伝わり、その後も相場は上昇を続けた。

図 11 累積損益

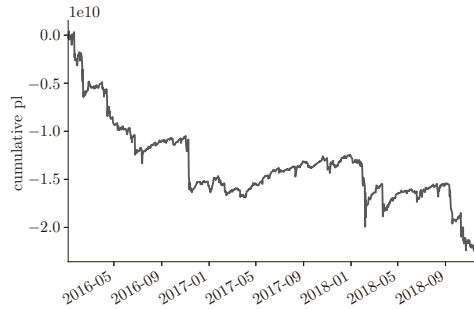


図 12 から在庫の状況は、日中立会 15:00 以降の在庫調整が効果を発揮し、レギュラー・セッション終了時の在庫をかなり解消している。しかし、完全には解消されていない。図 13 から同じ傾向が見える。

図 12 保有在庫

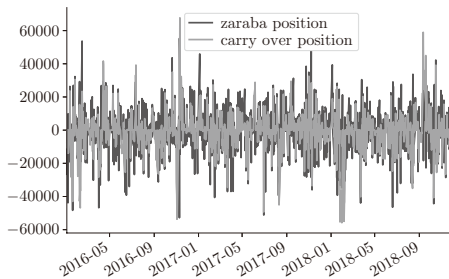
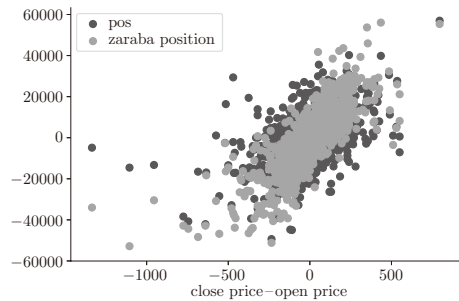


図 13 保有在庫と価格変化



(4) 受動的マーケットメイカー 4(PMM4)

図 14 から損益の出方は PMM3 と PMM4 は似ているが同じではない。累積損益は下落傾向にあるが、2016年に一度、2018年に数回ジャンプしている傾向は PMM3 と同じである。

図 14 累積収益

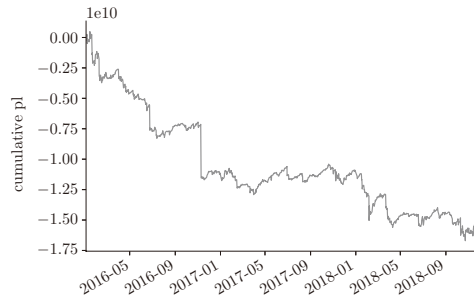


図 15, 図 16 から明確であるように累積在庫はゼロである。

図 15 保有在庫

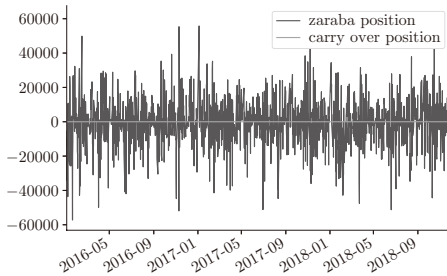


図 16 保有在庫と価格変化

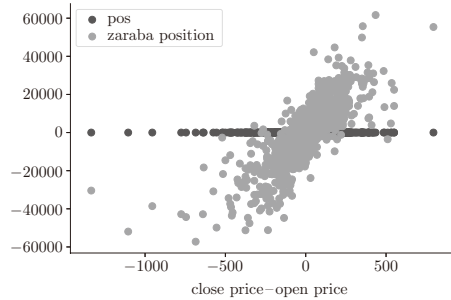


図 17 はレギュラー・セッションの終値から始値を引いた、レギュラー・セッション中の価格の変化 (co) と収益の関係を示している。この場合の収益はレギュラー・セッションでのマーケットメイクの結果である。価格差 (co) が大きいと、損失が大きくなる傾向があり、また、価格差 (co) が少ないと収益を得られる可能性が高いことが分かる。

図 18 はレギュラー・セッション終了時の収益と約定価格  $RV$  の関係を示している。実現ボラティリティが大きくなるにしたがい、分布は上下に広がっていくことが分かる。これと図 17 の結果から  $RV$  が大きく価格差が大きい時には損失になる傾向が強く、実現ボラティリティが大きく価格差が小さい時には利益を得られる可能性が高いことを示している。

図 17 収益と価格変化

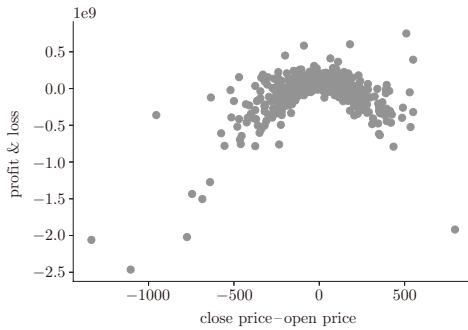
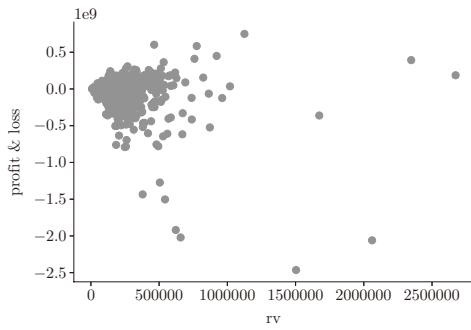


図 18 RV と収益



### 3 約定価格実現ボラティリティと外生的要因

PMM1, 2, 3, 4 のレギュラー・セッションでのマーケットメイクの方法とその成果は同じである。ただし, PMM3,4 はレギュラー・セッションの一部を利用して, 在庫の調整を行っているため, 最終的な損益の出方は異なる。ここではレギュラー・セッションでの受動的マーケットメイク 4 による成果を分析する。

図 19 は RV を大きい順に並べて上位 100 のグループとそれ以外のグループに分け, その立会中価格差 (co) を分布として表したものである。2 つのグループの価格差 (co) の平均値は  $-102$  円と  $+10$  円, 標準偏差は 364 と 127 である。平均値の違いを表す p-値 (t 分布) は 0.000 であり差は明確である。外生的要因はグロスマンとミラー (1988, [17]) の指摘にあるようにマーケットメイカーへの売り圧力となる。

図 20 は RV を大きい順に並べて上位 100 のグループとそれ以外のグループに分け, その立会間価格差 (co9) を分布として表したものである。2 つのグループの価格差の平均値は 13 円と 0 円, 標準偏差は 128 と 50 であり, 平均値の違いを表す p-値は 0.033 であり差は明確である。しかし, その差はわずかである。したがって, 立会中に影響を与えた外生的要因の立会間値動きへの影響は軽微であると推測できる。

図 19 RV の違いによる立会中価格差

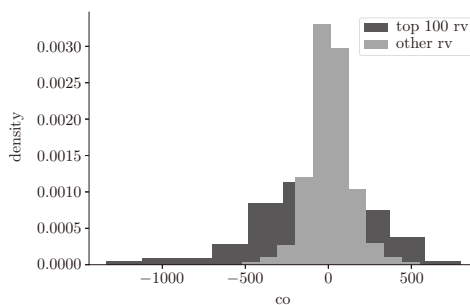


図 20 RV の違いによる立会間価格差

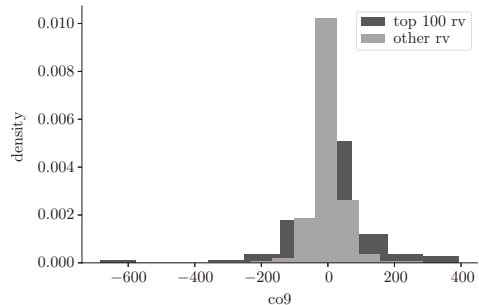


図 21 は  $RV$  を大きい順に並べて上位 100 のグループとそれ以外のグループに分けてそのレギュラー・セッション終了時点の在庫の状態を分布として表したものである。2つのグループの在庫の平均値は  $-8,376$  枚と  $161$  枚、標準偏差は  $22,034$  と  $12,853$  であり、平均値の違いを表す  $p$ -値は  $0.000$  であり差は明確である。マーケットメイカーが外生的要因により流動性トレーダーの売り圧力にさらされていることが分かる。

図 22 は  $RV$  を大きい順に並べて上位 100 のグループとそれ以外のグループに分けてそのレギュラー・セッション終了時点の損益を分布として表したものである。2つのグループの損益の平均値は  $-137e6$  円と  $-1.12e6$  円、標準偏差は  $552e6$  と  $107e6$  であり、平均値の違いを表す  $p$ -値は  $0.000$  である。損益の差は明確である。受動的マーケットメイカーの逆選択リスクは外生的要因により大きくなると考えられる。

図 21  $RV$  と在庫

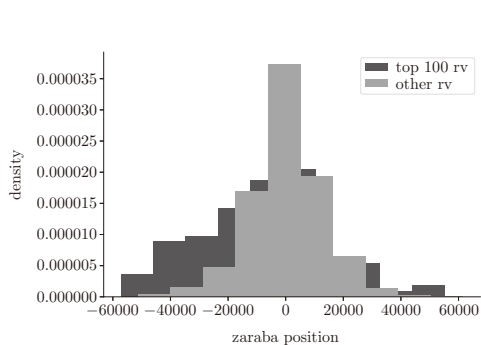


図 22 実現ボラティリティと収益

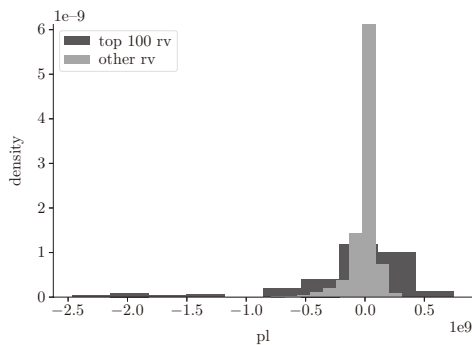


図 23 は同じく  $RV$  を大きい順に並べて上位 300 のグループとそれ以外のグループに分けてその終了時点の損益を分布として表したものである。2つのグループの損益の平均値は  $-64e6$  円と  $3.68e6$  円、標準偏差は  $357e6$  と  $83.3e6$  であり、平均値の違いを表す  $p$ -値は  $0.000$  であり差は明確である。外生的要因のない市場では、受動的マーケットメイカーでも利益を上げる機会があることを示している。

図 24 はレギュラー・セッションの間の取引高を加算し、それでレギュラー・セッション終了時の在庫を除いたものである。まれに  $\pm 20\%$  を超えるが総じて  $10\%$  以内に収まっている。



図 23 実現ボラティリティと収益

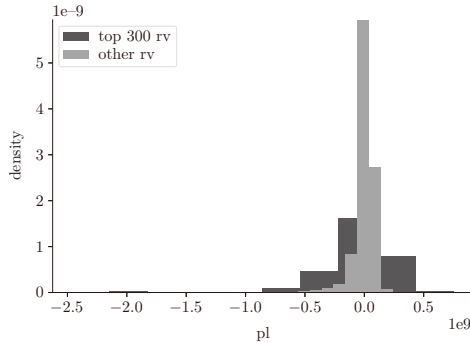
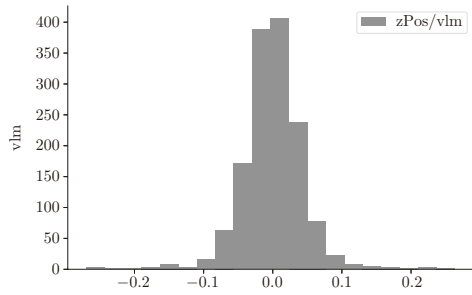


図 24 在庫不均衡の割合



## VI 結 論

マーケットメイカーの行動を分析するトイモデルを作成し、日経 225mini を用いて、損益と在庫の推移をシミュレーションした。受動的なマーケットメイカーにとって外生的要因による逆選択リスクは非常に大きく、マーケットメイクにより収益を上げるのが難しいことが分かる。しかし、日経平均は 2016 年 1 月から 2018 年 11 月の間で上昇しているの  
 で、買いポジションの在庫をマーケットメイカーが保有していれば、収益を得られる。これは受動的マーケットメイカー 1 に相当する。ただし、一般にはマーケットメイカーは在庫の保有に制限があり、各立会の終了時点で在庫を極力処分する必要がある。これらは受動的マーケットメイカー 2, 3, 4 に相当し、外生的要因による逆選択により収益を上げることができていない。

ここで注目すべき点は、プライマリマーケットメイカー、流動性供給参加者の数が十分ではなく、さまざまな外生的要因にさらされているながらも、図 2, 3 にあるように売買スプレッドはほとんど動かないことである。これはグロステンとミルグロム (1984 [14]) の主張とも、グロスマンとミラー (1988, [17]) の主張とも異なる。かれらの主張と整合性を保つためには、さまざまな市場参加者が指値注文を効率的に利用していることが必要である。そうすることで、流動性の供給が単にマーケットメイカーが指値を置くことで達成されるわけではなく、ピエ等 (2016 [2]) が主張するように、流動性の供給は成行注文でも達成されることになる。しかし、その際に流動性の供給者は逆張りの戦略を適切に用いることができること、機械的な発注だけではなく、相場観をもった行動をとれることなどが要求される。さまざまな市場参加者が指値注文を利用して、古典的なマーケットメイカーの役割を果たせば、式 (15) の  $m \rightarrow \infty$  が実現され、最小のスプレッドが維持される。これをさらに進化させるためには呼値のさらなる縮小化、取引の小口化やそれを生かしたさまざまなアルゴリズムの開発が必要である。

## 参考文献

- [1] Admati, A.R. and Pfleiderer, P. (1988) “A Theory of Intraday Patterns: Volume and Price Variability”, *The Review of Financial Studies*, Volume 1, Issue 1, January, pp. 3–40
- [2] Biais, R., Declerok, F. and Moinas, S. (2016) “Who supplies liquidity, how and when?”. BIS Working Papers No 563 [https://www.bis.org/publ/work\\_563.pdf](https://www.bis.org/publ/work_563.pdf)
- [3] Black, F. (1986) “Noise”, *The Journal of Finance* VOL. XLI, NO.3, JULY
- [4] Bloomfield, R., O’Hara, M. and Saar, G. (2015) “Hidden Liquidity— Some New Light on Dark Trading”, *The Journal of Finance*, 70(5), pp. 2227–2274
- [5] Bouchard, B., Dang, N-M. and Lehalle, C.A. (2011) “Optimal control of trading algorithms— a general impulse control approach”, *SIAM Journal on Financial Mathematics* 2(1), pp. 403–438
- [6] Cartea, A. and Penalva, J. (2012) “Where is the value of high frequency trading?”, *Quarterly Journal of Finance* 2(3) September
- [7] Ellis, K., Michaely, R. and O’Hara, M. (2000) “The Accuracy of Trade Classification Rules — Evidence from Nasdaq”, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, December
- [8] Fama, E.F. (1970) “Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work”, *The Journal of Finance* Vol.25, No.2, May, pp. 383–417
- [9] Friederich, S. and Payne, R. (2011) “Computer-based trading, liquidity and trading costs”, *The Future of Computer Trading in Financial Markets*, the UK Government’s Foresight Project.
- [10] Friederich, S. and Payne, R. (2012) “Computer-based trading and market abuse”, *The Future of Computer Trading in Financial Markets*, the UK Government’s Foresight Project.
- [11] Ane, T. and Geman, H. (2000) “Order flow, transaction clock, and normality of asset returns”, *The Journal of Finance*, 55, pp. 2259–2284
- [12] Goodhart, C.A.E. and Figliuoli, L. (1991) “Every minute counts in financial markets”, *Journal of International Money and Finance*, 10, pp. 23–52
- [13] Gabaix, P., Gopikrishnan, P., Plerou, V. and Stanley, H.E. (2003) “A theory of power-law distributions in financial market fluctuation”, *NATURE*, vol.423, 15 May
- [14] Glosten, L.R. and Milgrom, P.R. (1985) “Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders”, *Journal of Financial Economics*, 14, pp. 71–100
- [15] Gottlib, G. and Kalay, A. (1985) “Implications of the discreteness of observed stock prices”, *The Journal of Finance*, 11(1), pp. 135–152
- [16] Granger, C.W.J. (1998) “Extracting information from mega-panels and high frequency data”, *Statistica Neerlandica*, vol.52, issue 3, pp. 258–272, November
- [17] Grossman, S.J. and Miller, H.H. (1988) “Liquidity and Market Structure”, *The Journal of Finance*, XLIII(3) July
- [18] Han, Y. and Lesmond, D. (2011) “Liquidity biases and the pricing of cross-sectional idiosyncratic volatility”, *The Review of Financial Studies*, 24(5), pp. 1590–1629
- [19] Harris, L.E. (1991) “Stock price clustering and discreteness”, *Review of Financial Studies*, 4(3), pp. 389–415
- [20] Hasbrouck, J. (1988) “Trades, quotes, inventories and information”, *Journal of Financial Economics*, 22(2), December, pp. 229–252

- [21] Hausman, J.A., Lo, A.W. and MacKinlay, A.C. (1992) “An ordered probit analysis of transaction stock prices”, *Journal of Financial Economics*, 31, pp. 319–379
- [22] Hendershott, T.J., Jones, C.M. and Menkveld, A.J. (2010) “Does algorithmic trading improve liquidity?”, *Journal of Finance*,
- [23] Hendershott, T.J. and Riordan, R. (2009) “Algorithmic trading and information”, SSRN eLibrary.
- [24] Kawaller, I.G., Koch, P.D. and Peterson, J.E. (1994) “Assessing the intraday relationship between implied and historical volatility”, *Journal of Futures Markets*, 14(3), pp. 323–346
- [25] Lee, C. and Ready, M. (1991) “Inferring Trade Direction from Intraday Data”, *The Journal of Finance*, 46, pp. 733–746
- [26] Moriya, H. (2017) “Quantized price volatility model for transaction data”, *Evolutionary and Institutional Economics Review* December 2017, Volume 14, Issue 2, pp. 397–408
- [27] Roll, R. (1984) “A simple implicit measure of the effective bid-ask spread in an efficient market”, *The Journal of Finance*, 39, pp. 1127–1139
- [28] Sornette, D. and Becke, S. (2011) “Crashes and High Frequency Trading”, *The Future of Computer Trading in Financial Markets*, the UK Government’s Foresight Project.
- [29] TóToth, B., Eisler, B., Lillo, F., Kockelkorena, J., Bouchaud, J.P. and Farmer, J.D. (2012) “How does the market react to your order flow?”, *Quantitative Finance*, vol.12, 7, pp. 1015–1024
- [30] U.S. Securities and Exchange Commission (2012) “Report to Congress on Decimalization” ([http:// www.sec.gov/news/studies/2012/decimalization-072012.pdf](http://www.sec.gov/news/studies/2012/decimalization-072012.pdf)).
- [31] 金融庁ホームページ 高速取引行為者リスト (2019/9/15 現在) <https://www.fsa.go.jp/menkyo/menkyoj/kousoku.pdf>
- [32] 近藤真史 (2005) 東証立会市場における呼値の単位の変更の影響 JPX ワーキングペーパー [https://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/tvdivq000008q5y-att/JPX\\_working-paper\\_No7.pdf](https://www.jpx.co.jp/corporate/research-study/working-paper/tvdivq000008q5y-att/JPX_working-paper_No7.pdf)
- [33] 日本取引所グループホームページ: コネクティビティサービス (2019/9/15 現在) <https://www.jpx.co.jp/systems/connectivity/index.html>
- [34] 日本取引所グループホームページ: マーケットメイカー制度 (2019/9/15 現在) <https://www.jpx.co.jp/derivatives/rules/market-maker/index.html>
- [35] 森谷博之 (2018) 「緊急性取引の値動きのランダム性と安定性」『企業研究』第 33 号 8 月 31 日
- [36] 横山 淳「高速取引行為 (HFT) 規制 証券・金融取引の法制度」2017 年 6 月 22 日 全 17 頁