

符号付き約定応答にみる先行遅行イベントスタディーの試み： 超高頻度データによる株価指数先物間の分析

吉田 靖*

1. はじめに

株価指数先物市場における銘柄間の先行遅行関係は、長くマーケットマイクロストラクチャー研究の対象として関心を集めてきた。近年、市場によってはナノ秒単位のタイムスタンプを持つメッセージレベルデータが利用可能となり、これらの市場に上場されている銘柄は先行遅行関係を従来よりも遥かに高い時間解像度で分析することが可能となった。本稿は、大阪取引所 J-GATE 3.0 の全注文情報が記録されている ITCH バイナリデータを用いて、日経 225 先物、日経 225mini、日経 225 マイクロ先物、TOPIX 先物の 4 銘柄の注文フローレベルにおける先行遅行関係を、符号付き約定応答から分析するものである。

本稿では 2026 年 1 月 5 日から 2 月 10 日までの取引を現物市場の休憩時間帯等を除く 3 つの時間帯区分に分割して、ある銘柄の約定前後の超短期間内に、他の銘柄の約定系列に変化があったかを集計している。この分析の主要な発見は次の三点である。すなわち、第一に、日経 225 先物の日経 225mini・日経 225 マイクロ先物に対する先行性は、計測間隔 $\Delta t=100$ マイクロ秒のイベントウィンドウにおいて 3 つの時間帯区分すべてで全取引日に観測され、時間帯によらない頑健な構造的現象である。第二に、TOPIX 先物の日経 225 関連 3 銘柄に対する先行性は日中立会時間帯では強固に観測される一方、ナイト・セッションでは強度が大きく低下する。第三に、最も注目すべき発見として、日経 225 先物と TOPIX 先物のペアにおける $\Delta t=100$ マイクロ秒での先行性の方向が、日中立会時間帯は TOPIX 先物が先行しているのに対して、ナイト・セッションでは日経 225 先物が先行するという反転が観測されている。

これらの現象は、日中立会時間帯では現物株式市場が並行して取引されているため、多くの現物株式の情報に優位にある投資家が TOPIX 先物でより能動的に約定させている可能性があり、価格発見における先物市場と現物市場の関係について興味深い示唆を与えうる。逆に、ナイト・セッションでは現物株式の取引がないため、この経路が遮断され、流動性がより大きい日経 225 先物による取引が主導権を握る局面に移行する、という解釈が可能であるが、さらなる分析が必要である。

以下、第 2 節で関連する先行研究を概観する。第 3 節では約定系列指標の構成方法を述べた後に、第 4 節で符号付き約定応答による先行遅行分析の結果を 3 つの時間帯区分について報告し、ナイト・セッションでの方向反転についても論じる。第 5 節で発見をまとめるとともに、今後の研究課題について述べる。

* 東京経済大学 経営学部 教授、統計数理研究所 客員教授

2. 先行研究との関連

Hayashi and Yoshida (2005)は、不規則・非同期に観測される 2 変量拡散過程の実現共変動量推定量 (HY 推定量) を提案し、さらに Hoffmann et al. (2013) は、これを先行遅行関係の推定問題に拡張して、コントラスト関数の最大化により遅延パラメータを一致推定する方法を提案している。

一方、Huth and Abergel (2014)は、フランス株式市場のティック・データに対して HY 推定量を応用した HY cross-correlation function を計算し、2 銘柄間で先行遅行別にラグを取ったときの相関係数の大きさによる lead/lag ratio (LLR) を提案している。この LLR を用いて、CAC40 先物と CAC40 構成銘柄の間で、現物株式同士のペアよりも強い先行遅行関係が観測され、取引間隔の短さ、ビッド・アスク・スプレッドの狭さ、仲値変動の小ささ、1 取引あたり売買代金の大きさによって測られる流動性の高い資産が、相対的に流動性の低い資産に先行する傾向があることを示している。その中で、先物が株式を 0.37 秒先行する例等の計測結果を示しているが、使用データはミリ秒タイムスタンプで、取引時点の最良気配値の変化を使っており、より更新頻度の高いマイクロプライス等は使用していない。

さらに吉田 (2026)は、Hoffmann et al. (2013) の方法を本稿と同じ先物 4 銘柄の 9:00 から 11:30 までの ITCH バイナリデータに用いることで、ナノ秒単位のタイムスタンプを持つすべての注文フローからマイクロプライス時系列の先行遅行関係を分析し、TOPIX 先物が日経 225 関連 3 銘柄の先物に対しておおむね数百マイクロ秒からミリ秒のオーダーで先行する傾向を報告している。ただし、日によってはコントラスト関数の形状が複雑になり、明確な結果とならない場合もあることも指摘している。

このような HY 推定量によるアプローチに加えて、Da Fonseca and Zaatour (2017)のように、多変量 Hawkes 過程によって価格変化イベント間の相互励起構造をモデル化し、その非対称性から先行遅行関係を分析するアプローチも提示されている。この方法は、ある銘柄の価格変化をイベントとし、このイベントが他の銘柄のイベント強度を高めるかどうかを検証している点に特徴がある。

また、HY 推定量は連続セミマルチンゲール過程を想定しているので連続的なマイクロプライス等には自然に適用できるが、約定系列のような点過程的性格を持つ変数での検証には統計学上の理論的拡張が必要となる。Dobrev and Schaumburg (2016)は、このような理論の拡張までには至っていないが、価格や数量データを用いずに計測間隔 1 ミリ秒で各市場の銘柄で約定の活性度を算出し、時間をずらしたときの市場間の活性度の同時性を測定する関数を提案している。その関数のピーク位置から市場間の先行遅行時刻を推定して、米国債の現物・先物市場および S&P 500 現物・先物市場において、±5 ミリ秒のラグがあり、光ファイバー・マイクロ波の伝送遅延に対応することを発見している。林(2017)はこの算出に約定時のマイクロプライスの変動方向を加味して、東京証券取引所、チャイエックスおよびジャパネクスト PTS に上場されている同一現物株式について、東証の株式が他の 2 市場に対して 4 ミリ秒程度先行していることなどを報告している。

直近では Shiotani et al. (2026)が、Dobrev and Schaumburg (2016)の手法を連続時間の点過程理論で定式化し、二変量定常点過程の cross-pair correlation function (CPCF、相対時刻におけるイベント発生密度)を導入し、先行遅行時間を CPCF の最も鋭いピーク位置として定義している。さらにカーネル密度推定に基づく代替推定量も提案し、理論および数値計算上の優位性を示している。

本稿の符号付き約定応答によるイベントスタディーは、価格情報ではなく約定系列情報に着目したイベント分析であり、点過程モデルの発生強度変化を観測していることから、先行研究の点過程に基づくアプローチの流れに近いものではあるが、記述統計的な計測に留まっている。具体的には、Dobrev and Schaumburg (2016)のアプローチに対して、一方の銘柄の約定時刻をイベント時刻とし、約定の能動側符号により区別したイベント時刻前後の超短期での他銘柄の約定の非対称性を測定していると理解できる。Shiotani et al. (2026)と比較すると、本稿の符号付き約定応答指標は、同符号約定ペアの CPCF を約定時刻 $\pm \Delta t$ のそれぞれのイベントウィンドウで累積した量の非対称性指標とも言える。

3. データと約定系列指標の構成

3.1 対象銘柄と期間

本稿では、J P X 総研の ITCH バイナリデータを用いる。本データは、全注文情報の電文で新規注文、取消、約定、価格付き約定等の区別ができ、ナノ秒単位のタイムスタンプ付きで記録しているので、板の状態を完全に再現可能である。

対象銘柄は、日経 225 先物、日経 225mini、日経 225 マイクロ先物、TOPIX 先物の 4 銘柄とし、2026 年 3 月限を分析対象とする。これは吉田 (2026)と同一である。対象期間は ITCH バイナリデータの 2026 年 1 月 5 日から 2 月 10 日分とする。ただし、祝日取引実施日 (1 月 12 日) は、現物株式市場である東京証券取引所の取引がなく、参加者構成および流動性等が他の日と異なる可能性があり除外するため、日中立会は 1 月 12 日を除いた 26 日である。ナイト・セッションは 1 月 5 日 17 時からのデータとなるが、取引所規則上の取引日付は 1 月 6 日となる。また、カレンダー上の 1 月 9 日金曜日 17 時開始のナイト・セッションは取引所規則での取引日は 1 月 13 日となるが、カレンダー上の 1 月 12 日の日中立会を除外したことに伴い除外したため、ナイト・セッションは 24 日分である。

3.2 分析の時間帯区分

分析対象の株価指数先物取引時間は、制度上は日中立会 (8 時 45 分から 15 時 45 分のクロージング・オークション終了まで) とナイト・セッション (17 時 00 分から翌日 6 時 00 分のクロージング・オークション終了まで) からなり、日中立会中の昼休みはなく、現物株式市場の前場・後場のような立会の区分はない。本稿の分析では、現物市場の情報は利用しないものの、先物市場と現物市場の相互の関係が考えられるため、日中立会を現物市場の取引時間に対応して 2 つの時間帯区分に分割し、現物市場の昼休み (11 時 30 分から 12 時 30

分)を分析対象から除外する。また、日中セッションの取引開始直後の市場はそれ以降の時間とは異なる動きをすることがあるので除外する。これらの対応により、一般的な用語とは異なるが、本稿で用いる分析対象の時間帯区分を指す用語として「前場」とは日中立会のうち 9 時 00 分から 11 時 30 分まで、「後場」とは 12 時 30 分から 15 時 40 分（クロージング・オークション開始前）までであり、ナイト・セッションについては、ザラバ部分の 17 時 00 分から 5 時 55 分（クロージング・オークション開始前）までをナイト・セッション（略称してナイトとも言う）とする。

これら 3 時間帯区分は市場の構造的特徴に大きな差異を持つ。前場と後場は東京証券取引所の現物株式市場が並行して取引される時間帯であり、現物市場と先物市場の間の裁定取引が活発に行われる。一方、ナイト・セッションは現物取引がない時間帯であり、先物市場が独立して価格発見を行う時間帯である。さらに、ナイト・セッションには欧州市場時間帯および米国市場時間帯が含まれるため、海外参加者の比重が日中時間帯と比べて高い可能性がある。前場・後場・ナイトの比較により、先行性が現物市場の存在に依存するか、海外市場との関係に影響を受けるかを見ることができる。

3.3 約定系列指標

符号付き約定系列は、その発生時刻と能動側（その約定を引き起こした側）が買い手のとき+1、売り手のとき-1 という値を持つ変数で、約定系列分析の標準的な指標として広く用いられている。符号付き約定系列の構成にあたっては、各約定の能動側を識別する必要がある。伝統的な研究では、Lee and Ready (1991)が提案した約定価格と気配の関係に基づくルール等により、各約定の能動側を推定する手法が用いられてきた。これに対し、本稿が用いる ITCH バイナリデータは、能動側の識別をメッセージ構造から直接行うことができ、事後推定を要しない。これは本稿で用いるデータの大きな利点であり、より信頼性の高い符号付き約定系列の構成を可能とする。

この指標を ITCH バイナリデータから構成する方法は次のとおりである。ITCH バイナリデータの各メッセージはメッセージ・タイプを表す英字 1 文字で識別される。本稿で用いるメッセージ・タイプは次の 4 種類である。「A」は新規指値注文の板登録、「D」は既存指値注文の取消、「E」は指値注文に対する約定（価格は登録時の指値価格に従う）、「C」は約定数量と約定価格をともに記録するタイプの約定（複数の異なる価格にまたがる場合等に発生する）である。各メッセージには、注文 ID（A メッセージで付与され、D・E・C メッセージで参照される識別子）、数量、価格、売買方向（buy/sell）等の属性が含まれる。

例えば、指値注文は、希望価格と数量を指定する注文であり、注文板に反対方向の対当注文がない、あるいは指定価格に到達していない場合は板に登録される。これは ITCH では A メッセージで記録される。一方、成行注文は価格を指定せず最良気配で即座に約定する注文であり、注文板の最良気配にある反対方向の指値注文と即座に対当することにより、その指値注文を「消費」する形で約定が成立する。指値注文であっても、注文板に既に有利な対

当注文があれば即座に約定する。すなわち、約定が発生する場合は必ず、能動側として注文板を「消費する側」と、受動側として注文板に「乗っていた側」が存在する。

E および C メッセージは、約定によって消費された注文板上の指値注文 (resting order) を、注文 ID により参照する。本稿では、板上の注文の売買方向を A メッセージから取得し、これを基準として能動側を判定する。すなわち、約定したとき、板上の注文が売り指値であれば、能動側は買い手であり、符号をプラスとし、逆に板上の注文が買い指値であれば、能動側は売り手であり、符号をマイナスとする。これにより、約定の能動側が買い手であるか売り手であるかを、ルールにより推定することなく、ITCH メッセージ構造から直接判定することができる。

これにより、時間帯区分内の銘柄 X の i 番目の約定のメッセージ (E または C メッセージ) の発生時刻と能動側符号を (t_i^X, ε_i^X) 、銘柄 Y の j 番目の約定の発生時刻と能動側符号を (t_j^Y, ε_j^Y) とおく。なお、符号付き約定系列として各約定の数量 (枚数) に符号を付加する場合もあるが、本稿の分析では時刻と符号のみを用い、数量による重み付けは行わない。

第 4 節 先行遅行イベントスタディー

4.1 方法

本稿の先行遅行イベントスタディーは、銘柄ペア (X, Y) の符号付き約定系列について、銘柄 X の約定イベント前後のイベントウィンドウにおける銘柄 Y の約定イベントの出現非対称性を、複数のイベントウィンドウ幅 Δt により計測する。ここで、イベントウィンドウ幅 $\Delta t > 0$ を固定し、銘柄 X の時間帯区分の i 番目の約定時刻 t_i^X をイベント時刻とし、時刻 $(t_i^X - \Delta t)$ 以上 t_i^X 未満の過去側イベントウィンドウと、時刻 t_i^X 超 $(t_i^X + \Delta t)$ 以下を将来側イベントウィンドウを設定する。これらのイベントウィンドウにおける銘柄 Y の同符号約定 ($\varepsilon_j^Y = \varepsilon_i^X$ となる Y の約定 j) の件数を、それぞれ $N_{before}(i, \Delta t)$ および $N_{after}(i, \Delta t)$ とする。これらを時間帯区分内で集計し、 $N_{before}(\Delta t) = \sum_i N_{before}(i, \Delta t)$ 、 $N_{after}(\Delta t) = \sum_i N_{after}(i, \Delta t)$ とする。この集計された件数を用いて、 Δt 毎の同符号約定応答 (same-signed trade response) $SSTR(\Delta t)$ を、式 (1) のように将来側件数の過去側件数に対する増分を両者の和で除した比として定義する。

$$SSTR(\Delta t) = \frac{N_{after}(\Delta t) - N_{before}(\Delta t)}{N_{before}(\Delta t) + N_{after}(\Delta t)} \quad \text{式 (1)}$$

すなわち $SSTR$ は、時間帯区分内で将来側カウントが多ければ正、過去側カウントが多ければ負となり、 -1 以上 $+1$ 以下の範囲に収まる無次元指標である。つまり、 $SSTR > 0$ のとき X の約定後に同符号の Y の約定が多いことを意味し、 X が Y に先行することを示す。逆に $SSTR < 0$ のとき X の約定前に同符号の Y 約定が多く、 Y が X に先行することを示す。指標の絶対値が先行性の強度を表す。本稿では $\Delta t = 10$ マイクロ秒、 100 マイクロ秒、 1 ミ

リ秒、10 ミリ秒、100 ミリ秒の 5 つのイベントウィンドウ幅について $SSTR$ を計算する。

結果を示す前に、本稿の $SSTR$ と Huth and Abergel (2014) の lead/lag ratio との関係を整理する。両者は cross-correlation function ないし点過程の cross-counting の前後非対称性に着目する点で共通点もあるが、構成上の違いがいくつかある。第一に、Huth and Abergel (2014) の lead/lag ratio は HY 推定量に基づく連続価格時系列の cross-correlation function 全体について、正のラグ側と負のラグ側それぞれの相関係数の二乗和の比として定義される。これに対し本稿の $SSTR$ は、約定イベント（点過程）をイベントウィンドウ Δt 内で直接カウントする方式で構成され、イベントウィンドウ幅 Δt に対応する指標として定義される。したがって $SSTR$ は相関係数算出のような計算期間は必要なく、それぞれのイベント時刻に対して、前後 1 期間ずつの超短期のデータのみを採取した上で、時間帯区分で集計しているので、計算期間内のラグの構造変化に対して頑健であることが期待される。第二に、適用対象の時間スケールが異なる。Huth and Abergel (2014) が報告した株式の応答時間は 1 秒オーダーであるのに対し、本稿は $\Delta t=100$ マイクロ秒という、約 4 桁小さい超短期スケールに焦点を当てている。これにより、Aquilina, Budish, and O'Neill (2022) が議論する HFT 業者間のレース・スケールでの先行性を直接的に観測することができる。第三に、対象の銘柄として Huth and Abergel (2014) が株価指数先物と構成銘柄株式の関係を扱うのに対し、本稿は株価指数先物 4 銘柄相互の関係を扱う点で異なっている。

各銘柄ペアおよび各 Δt について、各取引日で $SSTR(\Delta t)$ を計算し、26 取引日（前場・後場）または 24 取引日（ナイト・セッション）の中央値を当該ペア・ Δt の代表値とする。さらに、各ペア・各 Δt について、対象取引日のうち何日が「 X 先行 ($SSTR > 0$)」、何日が「 Y 先行 ($SSTR < 0$)」、何日が「Tie ($SSTR = 0$)」であったかを集計し、多数派の取引日数を当該ペア・ Δt における先行性の方向性の頑健性として評価する。

予備的に、計測時間間隔 10 ミリ秒・100 ミリ秒・1 秒で時間集約した相互相関関数 (CCF) による分析も実施したが、3 つの時間帯区分ともすべての銘柄のペア、すべての計測時間間隔においてピーク・ラグは 0 であり、先行性は検出されなかった。同時相関値は 3 つの時間帯区分でほぼ同水準（例えば日経 225 先物－日経 225mini の 100 ミリ秒間隔同時相関係数は前場 0.85、後場 0.84、ナイト 0.82）であり、CCF レベルの構造は時間帯区分にほぼ非依存である。これは本稿が対象とする先行遅延構造がミリ秒未満の時間スケールに存在することを示唆しており、以降でより高解像度のイベント時刻分析の結果を報告する。

4.2 前場と後場の結果

前場と後場の結果を概観するために各時間帯区分における 6 ペア \times 5 イベントウィンドウ幅（横軸）の $SSTR$ の全取引日データの中央値（縦軸）を全体像として図 1 に示し、表 1 に $\Delta t=100$ マイクロ秒における $SSTR$ の中央値と先行多数派の取引日数をまとめている。

第一に、図 1 と表 1 から日経 225 関連 3 銘柄の内部における先行性は、すべてのイベントウィンドウ幅および前場・後場両方で $SSTR$ がプラスであることから、先行する順に日経

225 先物、日経 225mini、日経 225 マイクロ先物という現象が多く観測される。表 1 の先行多数派はこれら 3 ペアすべてにおいて、 $\Delta t=100$ マイクロ秒・1 ミリ秒・10 ミリ秒・100 ミリ秒の広い範囲で 26 取引日中 24 日以上で日経 225 先物（または日経 225mini）である。

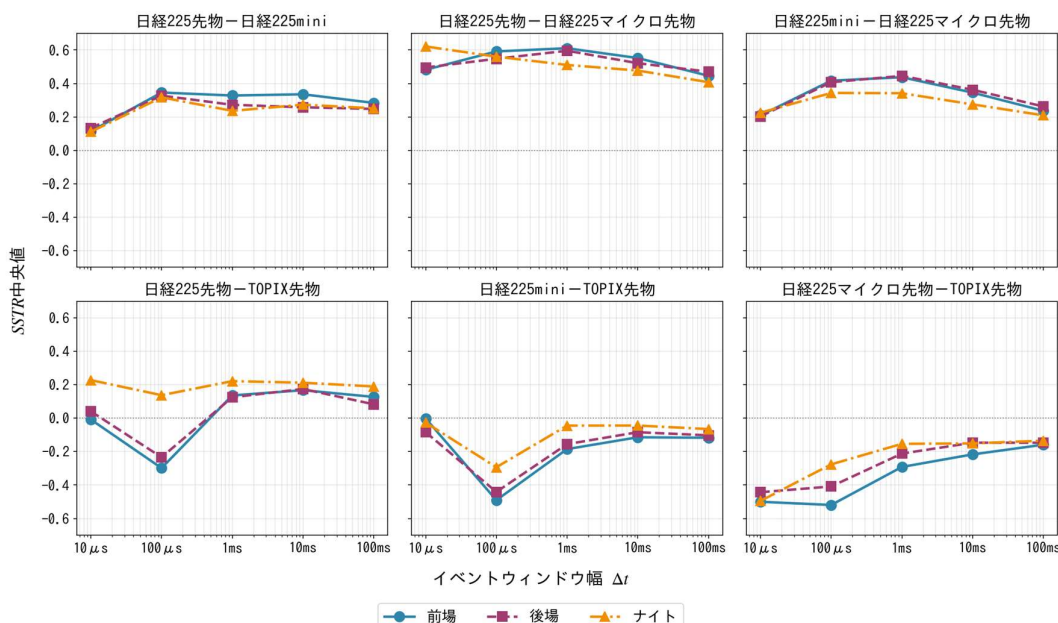


図 1 イベントウィンドウ幅 Δt に対する SSTR 中央値

(注) 各パネルはペア毎の結果を示す。横軸はイベントウィンドウ幅 Δt の対数目盛、縦軸は日次 SSTR データの中央値である。

筆者作成

表 1 $\Delta t=100$ マイクロ秒における SSTR 中央値と先行多数派集計（取引日数ベース）

銘柄のペア $X-Y$	前場 (26取引日)		後場 (26取引日)		ナイト (24取引日)	
	SSTR 中央値	多数派	SSTR 中央値	多数派	SSTR 中央値	多数派
日経225先物－日経225mini	0.346	X (26)	0.327	X (25)	0.317	X (24)
日経225先物－日経225マイクロ先物	0.592	X (26)	0.548	X (26)	0.560	X (24)
日経225mini－日経225マイクロ先物	0.417	X (26)	0.407	X (25)	0.343	X (24)
日経225先物－TOPIX先物	-0.298	Y (26)	-0.234	Y (22)	0.138	X (20)
日経225mini－TOPIX先物	-0.491	Y (26)	-0.441	Y (25)	-0.293	Y (22)
日経225マイクロ先物－TOPIX先物	-0.519	Y (26)	-0.408	Y (26)	-0.276	Y (24)

(注) SSTR 中央値欄は各時間帯区分・各ペアにおける日次 SSTR データの中央値。多数派欄は $SSTR>0$ の日 (X 先行、すなわちペア表記の前者が後者に先行) または $SSTR<0$ の日 (Y 先行、すなわちペア表記の後者が前者に先行) の多数派銘柄と括弧内はその日数を示す。前場・後場の対象は 26 取引日、ナイト・セッションの対象は 24 取引日である。網掛けは TOPIX 先物が先行的であることを示す。

筆者作成

第二に、TOPIX 先物の日経 225 関連 3 銘柄に対する先行性は、 $\Delta t=100$ マイクロ秒という超短期スケールにおいて前場・後場共に観測される。 $\Delta t=100$ マイクロ秒における *SSTR* の中央値は、すべて負であり、TOPIX 先物が日経 225 関連銘柄に先行することを意味する。表 1 の先行多数派を見ると、日経 225 先物－TOPIX 先物ペアにおいて前場 26 日中 26 日、後場 26 日中 22 日で TOPIX 先物が先行している。

しかし、図 1 からわかるように TOPIX 先物の先行性はペアとなる銘柄とイベントウィンドウ幅 Δt に強く依存している。 $\Delta t=1$ ミリ秒以上では、日経 225 先物に対しては *SSTR* の中央値の符号がプラスに反転し、他のペアでは 0 に近づくなど、特に日経 225 先物が TOPIX 先物に先行する傾向が観測されている。

4.3 ナイト・セッションの結果

図 1 と表 1 に見るナイト・セッションの結果は、日経 225 関連先物 3 銘柄の内部関係では前場・後場と類似の関係を維持し、時間帯区分に依存しないことを示している。一方、TOPIX 先物に対する先行性については、ナイト・セッションは前場・後場とは顕著に異なる挙動が観測されている。特に日経 225 先物と TOPIX 先物のペアでは、すべてのイベントウィンドウ幅で、日経 225 先物が先行しており、日経 225mini・日経 225 マイクロ先物と TOPIX 先物のペアでは、 $\Delta t=100$ マイクロ秒における TOPIX 先物の先行性は維持されたものの、他のイベントウィンドウ幅では強度の低下が見られる。

表 1 の $\Delta t=100$ マイクロ秒での先行多数派を見ても、日経 225 マイクロ先物－TOPIX 先物ペアと日経 225mini－TOPIX 先物ペアはナイトでも TOPIX 先物が先行多数派を維持しているのに対し、日経 225 先物－TOPIX 先物ペアでは日経 225 先物が先行している。

4.4 日経 225 先物－TOPIX 先物ペアにおける方向反転

前述のとおり、本稿における最も注目すべき発見として、日経 225 先物と TOPIX 先物のペアにおける $\Delta t=100$ マイクロ秒での先行性の方向が、前場・後場とナイト・セッションで反転することが挙げられる。

この方向反転は、 $\Delta t=100$ マイクロ秒というスケールに固有の現象であり、 $\Delta t=10$ マイクロ秒では 3 つの時間帯区分を通じて方向性が弱く、 $\Delta t=1$ ミリ秒以上では 3 つの時間帯区分すべてで日経 225 先物が安定的に先行する。すなわち、日経 225 先物－TOPIX 先物の *SSTR* による先行遅行関係にイベントウィンドウ幅による違いがあることは前場・後場・ナイトすべてで共通だが、その「短時間スケールでの方向」が前場・後場 (TOPIX 先物先行) とナイト (日経 225 先物先行) で異なる、という現象が観測される。

この現象を詳細に日次データで見るため、日経 225 先物－TOPIX 先物ペアの $\Delta t=100$ マイクロ秒における *SSTR* の取引日別の値を図 2 に示している。図 2 のとおり、前場・後場ではすべての取引日でほぼ 0 以下であり、ナイト・セッションでは大半が 0 以上に分布しており、方向反転が個別取引日のレベルでも観測されることが確認できる。

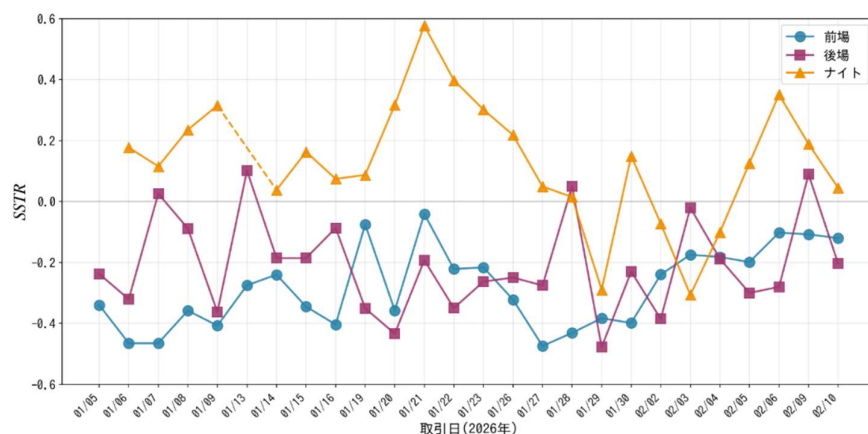


図2 日経 225 先物-TOPIX 先物ペアの $\Delta t=100$ マイクロ秒における SSTR の推移
筆者作成

第5節 先行遅行関係の要因に関する考察

本稿での SSTR を用いた分析で、日経 225 関連先物 3 銘柄の内部での先行遅行関係が明確に観測される結果となった。近年では日経 225mini の売買代金が日経 225 先物を上回っていることと、呼値の単位が日経 225mini が 5 円であるのに対して、日経 225 先物は 10 円であり、先物の期近では売買スプレッドはほぼ呼値の単位と一致しているので、日経 225mini の方が流動性が高いという見方もある。先行研究では流動性が高い銘柄の方が先行するという報告が多いが、流動性を今回の現象の要因と見てよいかはさらなる検証が必要である。

また、日経 225 先物-TOPIX 先物ペアにおける $\Delta t=100$ マイクロ秒での先行性の方向反転および TOPIX 関連ペアにおける先行性強度の時間帯区分による変動は興味深い結果である。これらの現象は、前場と後場では現物株式市場が並行して取引されているため、多くの現物株式の情報に優位にある投資家が TOPIX 先物でより能動的に約定させている可能性があり、価格発見における先物市場と現物市場の関係について興味深い示唆を与える。逆に、ナイト・セッションでは現物株式の取引がないため、この経路が遮断され、売買代金で見た流動性がより大きい日経 225 先物による取引が主導権を握る局面に移行する、という解釈が可能であるが、原因と結果がどちらの方向で働いているのかも含め、さらなる分析が必要である。

しかし、この現象に関してはデータ上の問題が存在している可能性もある。ナイト・セッションの取引密度は前場・後場より低く、特に TOPIX 先物の取引密度は前場の 3 分の 1 程度に低下する。流動性の低下は約定間隔を長くし、観測される先行性の検出精度を低下させる。ただしこの場合、TOPIX 先物の先行性が「弱まる」ことは説明できるが、「日経 225 先物先行に反転する」ことは説明しにくい。日経 225mini-TOPIX 先物ペアおよび日経 225 マイクロ先物-TOPIX 先物ペアでも TOPIX 先物の先行性が弱まるものの方向反転までは至らないことから、日経 225 先物-TOPIX 先物における反転は単なるデータ分析上の要因

では説明し難い独自の現象である可能性が高い。

さらに、いずれの現象にしても、高速取引業者の動向が関わっていると考えられるが、ITCH バイナリデータには発注者に関わるデータがないため、この検証は困難である。

第 6 節 おわりに

本稿では、ITCH バイナリデータの約定時刻と約定の能動側を示すデータのみから算出される同符号約定応答 *SSTR* を用いて、日経・TOPIX 株価指数先物 4 銘柄における先行遅行関係を、前場・後場・ナイト・セッションの 3 つの時間帯区分について、イベントスタディー的な手法で分析した。主要な発見は次のとおりである。

第一に、 $\Delta t = 100$ マイクロ秒のイベントウィンドウ幅において、日経 225 先物の日経 225mini・日経 225 マイクロ先物に対する先行性が、3 つの時間帯区分すべてで 26 取引日（または 24 取引日）の全日に観測された。日経 225 関連商品内部の先行性は時間帯非依存の頑健な構造的現象である。

第二に、TOPIX 先物の日経 225 関連 3 銘柄に対しての先行性は、前場・後場ではイベントウィンドウ幅 $\Delta t = 100$ マイクロ秒で頑健に観測されるものの、ナイト・セッションでは強度が大きく低下する。日経 225mini・日経 225 マイクロ先物との関係では TOPIX 先物先行の方向は維持されたが、*SSTR* 中央値は前場の約半分の強度となった。

第三に、本稿における最も注目すべき発見は、日経 225 先物と TOPIX 先物のペアにおける $\Delta t = 100$ マイクロ秒での先行性の方向が、前場・後場（TOPIX 先物が先行）とナイト・セッション（日経 225 先物が先行）で反転することである。これは現物市場との関係、参加者構成の差異、流動性差異等、複数の仮説によって解釈可能であるが、現段階での特定は困難であり、価格発見における先物市場と現物市場の関係についての興味深い経験的事実と課題を提供している。これらの知見が、先行遅行分析における新しいアプローチと視点を提供するものになることを期待したい。

今後の研究課題として、第一に、本稿で観測された結果の頑健性を別期間データも用いて確認することが挙げられる。特に、ナイト・セッションでの日経 225 先物－TOPIX 先物方向反転がどの程度安定的な現象であるかの検証が必要である。第二に、ナイト・セッションの時間帯区分を細分化することで、米国市場時間帯との重複の有無による先行性構造の変化を検討することができる。第三に、株価指数先物銘柄間関係だけでなく、現物も含めた様々な資産にまたがる検証を積み重ねて行く必要がある。

第四に、本稿で用いた同符号約定応答指標 *SSTR* の理論的整備が最も重要な研究課題である。本稿ではファイナンス分野の実証研究で古くから用いられているイベントスタディーを高頻度分析に単純化したとも考えられるアプローチとなっているが、この指標の基本的な特徴の解明もこれからである。また、結果の信頼性を向上させるためにはシミュレーション分析等も必要である。さらに *SSTR* の計算にあたっては、約定数量（枚数）を加味すべきかどうか、比の計算はイベント毎に行ってから分析の時間帯区分で集計すべきか、時間帯区分で集計してから比を取るべきか、イベントウィンドウはイベント前後の 1 期間でよいか

どうか、マイクロプライス等の価格や板情報、メッセージ属性との組み合わせなど、多くのバリエーションも考えられる。以上のように課題も多いが、これらを踏まえて順次検討を進めることにより、SSTR を高頻度市場における約定反応および先行遅行関係の把握に資する有用な指標として精緻化、発展させて行くことが必要である。

参考文献

- Aquilina, M., Budish, E., and O'Neill, P. (2022) Quantifying the high-frequency trading “arms race”, *The Quarterly Journal of Economics*, 137(1), 493–564. <https://doi.org/10.1093/qje/qjab032>
- Da Fonseca, J. and Zaatour, R. (2017) Correlation and lead-lag relationships in a Hawkes microstructure model, *Journal of Futures Markets* 37(3), 209-312. <https://doi.org/10.1002/fut.21800>
- Dobrev, D. and Schaumburg, E. (2016) High-frequency cross-market trading: Model free measurement and applications, Working paper.
- Hayashi, T. and Yoshida, N., (2005) On covariance estimation of non-synchronously observed diffusion processes, *Bernoulli* 11 (2) 359 - 379. <https://doi.org/10.3150/bj/1116340299>
- Hoffmann, M., Rosenbaum, M., and Yoshida, N. (2013) Estimation of the lead-lag parameter from non-synchronous data. *Bernoulli* 19 (2) 426 - 461. <https://doi.org/10.3150/11-BEJ407>
- Huth, N. and Abergel, F. (2014) High frequency lead/lag relationships - Empirical facts, *Journal of Empirical Finance*, 26, 41-58.
- Lee, C. M. C. and Ready, M. J. (1991) Inferring trade direction from intraday data," *Journal of Finance*, 46(2), 733-746.
- Shiotani, T., Hayashi, T., and Koike, T. (2026) On lead-lag estimation of non-synchronously observed point processes. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.01871>
- 林高樹(2017) 高頻度注文板データの統計解析: 異市場・同一株式価格間の先行遅行関係, 統計数理 65(1) 特集 高頻度金融データに基づく統計的推測とモデリング, 113-139.
- 吉田靖 (2021) 日経 225 先物、日経 225mini、TOPIX 先物の先行遅行関係の推計, 先物・オプションレポート 33(4).

謝辞 本研究は統計数理研究所重点型研究 1(2025-ISMCRP-4302)および東京経済大学個人研究助成費課題番号 25-31 による助成を受けたものです。

本資料に関する著作権は、株式会社大阪取引所にあります。
本資料の一部又は全部を無断で転用、複製することはできません。
本資料の内容は、株式会社日本取引所グループおよびグループ各社（株式会社東京証券取引所、株式会社大阪取引所、株式会社東京商品取引所、株式会社 J P X 総研、日本取引所自主規制法人および日本証券クリアリング機構）の意見・見解を示すものではありません。
本資料は、デリバティブ商品の取引の勧誘を目的としたものではありません。
筆者、株式会社日本取引所グループおよび上記グループ各社は、本資料に基づく投資あるいは類似の行為により発生した如何なる損失や損害に対して、一切の責任を負うものではありません。