



日本取引所グループ
JAPAN EXCHANGE GROUP

JPX WORKING PAPER

JPXワーキング・ペーパー

ダークプールが市場に与える影響等について

若松 弘晃

2026 年 1 月 30 日

Vol. 51

JPX ワーキング・ペーパーは、株式会社日本取引所グループ及びその子会社・関連会社（以下「日本取引所グループ等」）の役職員及び外部研究者による調査・研究の成果を取りまとめたものであり、学会、研究機関、市場関係者他、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おります。なお、掲載されているペーパーの内容や意見は執筆者個人に属し、日本取引所グループ等及び筆者らが所属する組織の公式見解を示すものではありません。

ダークプールが市場に与える影響等について

若松 弘晃[†]

2026 年 1 月 30 日

要旨（概要）

ダークプールは気配情報が配信されないため、取引所等の気配情報が配信されるベニュー以外の流動性を探索したいというニーズや取引意図の秘匿等を目的とした、主に機関投資家向けのサービスとして発展してきた。一方で、オンライン証券等を中心に個人投資家向けにも価格改善等を目的にダークプールでの約定サービスの提供も拡大してきている。そうした中、株式取引等におけるダークプールでの売買代金のシェアも徐々に増加し、ダークプールにおける売買が市場全体に影響を及ぼす可能性も大きくなりつつある。

本稿では、ダークプールの売買代金比率（対東証立会内）から見たダークプールの利用、ダークプールにおける売買が市場の質に与える影響、そしてダークプールにおける約定値段及び価格改善率に影響を与える要素等について分析を行った。

ダークプール比率は、市場のボラティリティが高い状況においては、低下する傾向にあることが分かった。個人投資家によるダークプールの利用が増加傾向であるとはいえ、現状のダークプールの主な利用主体は機関投資家だと考えられる。ボラティリティが高い環境下では、デレイコスト等の回避のため、ダークプールの利用を控える結果としてダークプール比率が低下するとみられる。

ダークプールにおける売買が市場の質に与える影響については、市場環境によりその影響は変化し、現状のダークプールの売買代金比率の水準においては、低ボラティリティ環境下では相対的に市場の質にプラス、高ボラティリティ環境下ではマイナスの影響を与えるものと考えられる。

ダークプールにおける約定値段及びダークプールにおける価格改善率は東証立会内市場の注文板の状況（デプスを加味したマイクロ・プライス）の影響を受けることが分かった。ダークプールの自己側の約定は価格改善率が相対的に悪い傾向にある。自己側と同サイドのデプスが大きい、ボラティリティの低い等の状況が見られる時間帯で自己の約定確率が上昇しているという点に加えて、マイクロ・プライス等を加味した値段で約定する点を踏まえると、自己側の価格改善率が相対的に悪化して見えるということがわかった。

[†] 株式会社東京証券取引所株式部課長、CFA 協会認定証券アナリスト。本稿に掲載されている内容や意見は筆者個人に属し、株式会社日本取引所グループ及び株式会社東京証券取引所等、筆者が関係する組織の公式見解を示すものではない。また、ありうべき誤りは、全て筆者個人の責に帰すべきものである。

目次

1	はじめに	5
2	ダークプールの概要	6
2.1	ダークプールとは	6
2.1.1	ダークプールを利用するメリット	6
2.1.2	ダークプールを利用するデメリット	7
2.2	日本におけるダークプールの特徴	7
2.2.1	ダークプールの定義	7
2.2.2	立会外市場	9
2.3	ダークプール・フラグ導入後の取引データ等	11
3	先行研究	17
3.1	先行研究	17
4	分析内容	19
4.1	使用データ	19
4.2	分析手法	19
5	分析結果	23
5.1	分析対象期間における市場環境等	23
5.2	ダークプール比率へ与える影響	26
5.3	ダークプールが市場の質に与える影響	29
5.3.1	ボラティリティ	29
5.3.2	Variance Ratio（分散比）	34
5.3.3	autocorrelation（自己相関）	34
5.3.4	当日終値と翌営業日 10 時の株価との乖離率	36
5.3.5	（補足）低ボラティリティ期間、高ボラティリティ期間における HST の取引について	37
5.3.6	市場の質に関する分析結果のまとめ	39
5.4	ダークプールの特徴	40
5.5	ダークプールにおける約定値段（相対値）	40
5.6	ダークプールにおける価格改善率	41
5.6.1	買方の価格改善率	41
5.6.2	売方の価格改善率	43
5.6.3	（補足）ダークプールにおける自己による約定に関する分析	44
6	おわりに	47
	参考文献	48

1 はじめに

日本における株式等の執行ベニューとして、大まかに証券取引所、私設取引システム（Proprietary Trading System：PTS）、ダークプール、店頭取引（Over The Counter：OTC）が存在する。本稿ではその中でも、ダークプールに着目して分析を行うが、ダークプールの特徴はその名のとおり、気配情報（板情報）が発信されず、投資家はダークプールに発注されている注文等の状況を把握することができない。一方で、投資家側の発注は誰にも見えないため、取引意図の秘匿等のメリットも存在する。

ダークプールにおける取引主体は主に機関投資家だとは考えられるものの、昨今証券会社等による個人投資家に対する Smart Order Routing（SOR）サービスの提供も行われてきており、個人投資家の注文がダークプールにおいて約定するケースも増加傾向にある。そうした状況下、ダークプールにおける売買代金は 2020 年 8 月の 1,000 億円/日程度から 2024 年 10 月の 3,000 億円/日程度¹へ約 3 倍に増加し、また日本市場における売買代金シェアでも 2020 年 8 月の 2%後半から 2024 年 10 月の 4%超²と増加し、その影響については大きくなってきている。

本稿では、2020 年 8 月よりダークプール・フラグの付与が開始され、ダークプール取引の把握が可能となった時期以降のデータについて、ダークプールにおける取引が市場の質に与える影響と、ダークプールにおける約定価格がどのように決定するのか等について分析を行う。市場環境によりその影響も異なる可能性もあることから、市場のボラティリティが高い時期とそうでない時期について、それぞれ分析を行うこととする。

まず 2 でダークプールの概要及びダークプール・フラグ導入後の状況等について述べる。3 で先行研究について述べ、4 で分析内容について述べる。5 で分析結果について述べ、6 で結論について述べる。

¹ 2025 年 11 月は 6,000 億円/日を超える水準となっている。

² 2025 年 11 月は 6%弱程度。

2 ダークプールの概要

2.1 ダークプールとは

ダークプールとは、証券会社が顧客（投資家）から受託した注文を取引所に回送せずに、自己勘定の注文もしくは顧客注文同士で、対当させ約定させる仕組みのことであり、その名のとおり、気配情報（板情報）が公表されない（取引前透明性がない）という特徴がある。また、ダークプール（Dark pool）と対比して取引所のように気配情報が公表される市場のことをリットプール（Lit pool）と呼ばれることもある。

ダークプールは気配情報が非公表という特徴を持つため、ダークプールにおける取引は、顧客とダークプール運営者との間の信頼関係をベースに成り立っている。気配情報が非公表のなか、ダークプールにおける取引価格はダークプール運営者が定めているルールに基づいて決められるが、顧客がその取引価格の公正性・妥当性を都度確認することは難しい状況であった。

しかし、2019年2月及び6月に開催された金融審議会「市場ワーキング・グループ」の議論を踏まえ、2020年6月19日に「金融商品取引業等に関する内閣府令」及び「金融商品取引業者等向けの総合的な監督指針」が改正され、その状況も変化しつつある。当該改正の内容としては①顧客保護の観点から、ダークプールへの回送条件・運営情報の説明³、②価格改善の実効性の確保に向けた情報の記録・保管⁴、③価格改善効果の顧客説明であり、ダークプールにおける取引の透明性を高めるための法改正がなされている。また、取引所においても2019年に開催された金融審議会における議論を踏まえ、ToSTNeT市場におけるダークプールの透明性向上等の観点から2020年8月より、取引参加者はダークプールを経由してToSTNeT市場に注文を付けだす場合にはダークプール・フラグを付与する旨等⁵の規則改正を行っている。

2.1.1 ダークプールを利用するメリット

ダークプールを利用する投資家のメリットは（1）取引意図の秘匿（マーケット・インパクトの低減）、（2）取引価格の改善、（3）流動性へのアクセスといったことがあげられる。

大きな注文数量を取り扱う機関投資家にとって、自身の発注を取引所の注文板に晒すこと等により株価を自身にとってより不利な方向に動かしてしまうことは、高い執行コストの負担につながり、結果として運用パフォーマンス等にも悪影響を与えてしまうこととなる。そのため、気配情報が公表されないダークプールにて注文を執行することは、自身の取引意図を秘匿し、かつマーケット・インパクトも抑えることができるという点で非常に有用であると考えられる。

また、（2）の取引価格の改善についてだが、後述のとおり、ダークプールにおける取引の多くは、各銘柄の主たる市場⁶におけるBBO（Best Bid and Offer、最良気配）の内側で執行され、その多くはミッドポイント（midpoint、中値）で約定している。後述するが、日本においては売買代金ベースで6割程度がミッドポイントで約定している。

³ 改正内閣府令・金商業等監督指針は2020年9月1日から施行し、①については同日より適用。

⁴ ②および③については2021年9月1日から適用。

⁵ 当該規則改正の概要についてはJPXのウェブサイト（<https://www.jpx.co.jp/rules-participants/rules/revise/nlsgeu000004r93w-att/gaiyoTSE.pdf>）を参照。金融審議会において、ダークプールを経由した信用取引について、利用者保護や市場の公正性への懸念が示されたことから、ToSTNeT市場における信用取引が可能な取引類型の明確化（ダークプールを経由した信用取引について禁止等）も同時に行っている。

⁶ 日本のダークプールにおいては、どの市場を主たる市場とするかについて特段の定めはなく、ダークプール運営者により決定されている。一般的には、最も流動性が高い（売買が最も多く行われる）、東京証券取引所の立会市場を主たる市場とするケースが多いと考えられる。

(3) のメリットである流動性へのアクセスについては、リットプールと呼ばれる取引所、PTS 等に出てこない流動性にアクセスできるという点が挙げられる。リットプールには様々な属性の投資家がアクセス可能だが、ダークプールは証券会社が提供しているため、当該証券会社と取引のある特定の投資家のみ⁷がアクセス可能となっている。特定の投資家のみのアクセスが可能となっていることで、投資家によってはダークプールにのみ大きな注文を置いているケースもあり、一般の投資家にとってアクセスが難しい流動性にアクセスできるという点にメリットを見出す投資家も存在する。

2.1.2 ダークプールを利用するデメリット

ダークプールを利用する投資家のデメリットは (1) 取引執行の不確実性、(2) 取引意図の漏洩可能性があげられる。取引執行の不確実性とは、投資家がダークプールに発注した注文が、投資家の意図どおりに約定するか否か不確実であるということ。ダークプールはリットプールと異なり気配非公表という特徴を持つため、ダークプールにおける注文板 (order book) を確認することはできず、どの値段でどれくらいの数量の取引が執行されるのか、もしくは取引自体が成立しないのかといった不確実性を抱えながらダークプールを利用することとなる。ダークプールに発注した注文の執行に想定以上の時間を要し、その間に価格が不利な方向に変動し取引コスト (ディレイコスト) が掛かってしまう可能性がある。

(2) の取引意図の漏洩可能性については、ダークプール利用のメリットにおいて取引意図の秘匿をあげており、気配非公表により取引意図が漏洩することはないように思えるが、ダークプールの多くは HST⁸が供給する小口の流動性に依拠しており、ダークプールで取引が執行されていく過程において、HST にダークプール利用投資家の大口注文の存在を察知される可能性がある。

2.2 日本におけるダークプールの特徴

2.2.1 ダークプールの定義

諸外国は、ダークプールが有する市場の特性やダークプールにおける取引の特性に着目し、市場の一類型として⁹ダークプールを定義しているのに対し、日本においては、ダークプールの市場としての定義を直接しておらず、証券会社が行う業務の 1 つとして整理されている。

証券会社における PTS 業務に係る認可¹⁰の留意事項を定めた、金融商品取引業者等向けの総合的な監督指針 (IV-4-2-1①イ) には、以下の記述がある。

イ. 取引所金融商品市場又は店頭売買有価証券市場における有価証券の売買の取次ぎを行い、又は他の単一の金融商品取引業者に有価証券の売買の取次ぎを行うシステムについては、私設取引システム

⁷ オンライン証券を中心に、より良い価格で売買を執行させるサービスの 1 つとして SOR (Smart Order Routing) 機能を個人投資家等に提供しており、ダークプールも執行市場に含まれている場合があるため、徐々に個人投資家等のアクセスも増加傾向にある。

⁸ High Speed-Trading の略。High Frequency Trading と記載されるが、日本においては、2018 年 4 月より高速取引行為を行うためには高速取引行為者としての登録が必要となっている。

⁹ 例えば、米国では ATS (Alternative Trading Systems、代替取引システム) の一類型としてダークプールを定義したうえで、市場として必要となる規制を課している。また、オーストラリアではクロッシング・システム (Crossing Systems)、香港では ALPs (Alternative Liquidity Pools) といった呼び名で、それぞれダークプールの市場性に着目した定義がなされており、また、欧州においては、原則として取引前透明性の確保を原則としつつも、取引特性に応じてその適用除外項目を設け、当該適用除外に該当する取引を取り扱う市場を一般にダークプールと呼んでいる。

¹⁰ 証券会社 (金融商品取引業者) については登録制となっているが、証券会社が PTS 業務 (金融商品取引法第 2 条第 8 項第 10 号) を行う場合には、内閣総理大臣の認可を受けなければならないものとされている (金融商品取引法第 30 条)。

及び取引所金融商品市場等に該当しないものとする。

（注）例えば、金商業等府令第 70 条の 2 第 7 項¹¹に規定する価格その他の取引の条件の決定又はこれに類似する行為を行うものを使用して行う同項に規定する取次ぎは、基本的に、私設取引システム及び取引所金融商品市場等に該当しない。一方、当該取次ぎであっても、システム内で注文の集約又は相殺等を行うような場合は、私設取引システム又は取引所金融商品市場等に該当する可能性がある。

日本においては、上記注記の前段部分「例えば、金商業等府令第 70 条の 2 第 7 項 に規定する価格その他の取引の条件の決定又はこれに類似する行為を行うものを使用して行う同項に規定する取次ぎ」が、ダークプールと認識されている。具体的には、証券会社内のシステムで顧客等の注文を対当させ、実際の約定は取引所等の立会外市場（例えば、東証における ToSTNeT 市場等¹²）で行うものをダークプールと定義付けている。

¹¹ 法第三十五条の三の規定により金融商品取引業者等（取引所金融商品市場における有価証券の売買若しくは市場デリバティブ取引（当該取引所金融商品市場を開設する金融商品取引所の業務規程で定める売買立会又は立会によらないものに限る。）又はこれらの取引の委託の取次ぎ（有価証券等清算取次ぎを除く。）であって社内取引システム（当該金融商品取引業者等その他の者が、電子情報処理組織を使用して、同時に多数の者を一方の当事者又は各当事者として、当該有価証券の売買若しくは市場デリバティブ取引の価格その他の取引の条件の決定又はこれに類似する行為を行うものをいい、令第二十六条の二の二第七項に規定する私設取引システムを除く。以下同じ。）を使用して行うものを業として行う者に限る。）が整備しなければならない業務管理体制は、第一項の要件のほか、次に掲げる要件を満たさなければならない。

一 その使用する社内取引システム（当該金融商品取引業者等が開設するものを除く。）の運営の状況を把握するための措置がとられていること。

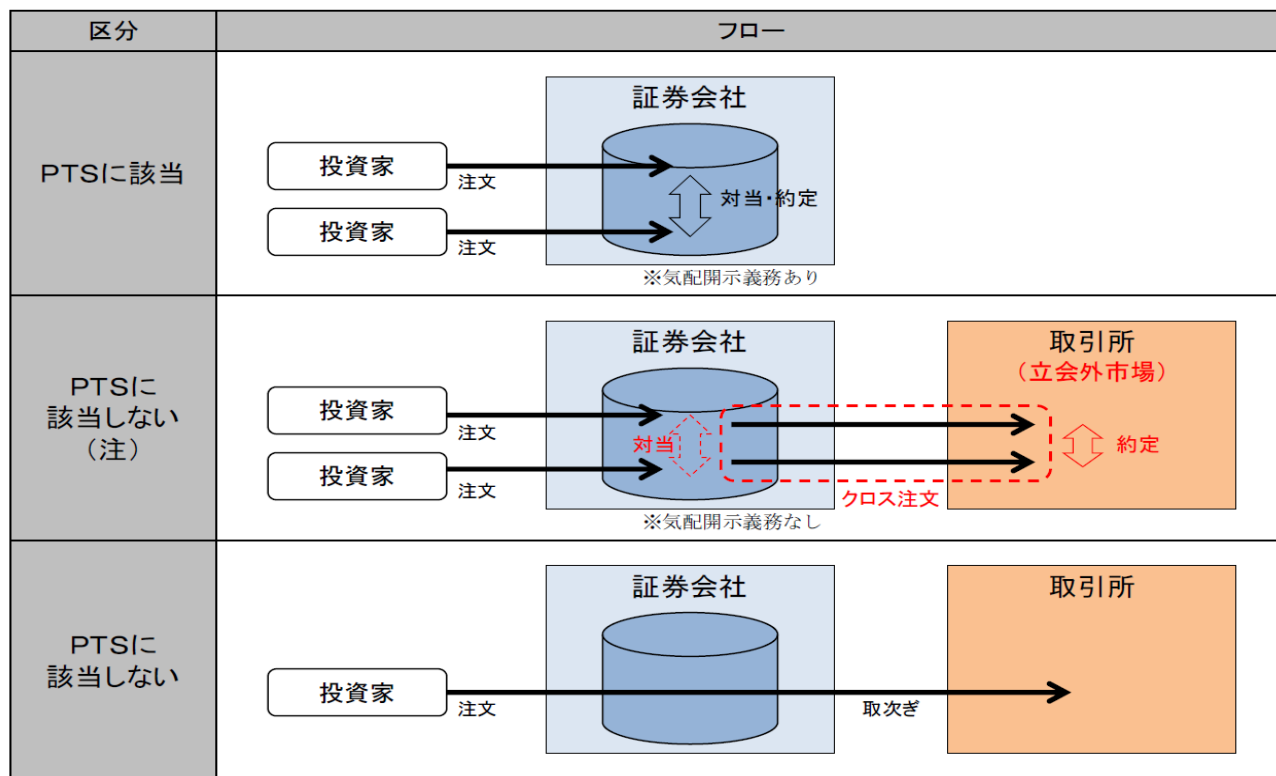
二 その使用する社内取引システムに関し、顧客に対して、次に掲げる事項について、当該顧客の知識、経験、財産の状況及び当該有価証券の売買又は市場デリバティブ取引を行う目的を踏まえた適切な説明を行うための措置がとられていること。

イ 当該社内取引システムを使用する場合の条件

ロ 当該社内取引システムを開設する者、取引の条件の決定に参加できる者、取引の条件の決定方法その他の当該社内取引システムの運営に関する情報

¹² 金融審議会 市場制度ワーキング・グループ 第二次中間整理において、「取引所の「立会外」取引（例：ToSTNeT）は TOB5%ルールの適用対象外であるのに対して、これに類似する PTS 取引は TOB5%ルールの適用対象となっている。PTS 取引の中で取引所の立会外取引に類似するものについても、取引所の立会外取引との類似性を踏まえ、TOB5%ルールの適用対象外とすべきである。」と記載がなされている。当該第二次中間整理に基づき、金商業等府令第 70 条の 2 第 7 項の改正（社内取引システムの取次先として、取引所立会外市場に加えて、取引所立会外取引に類似する P T S が追加）がなされ、2024 年 12 月 1 日より施行されている。

日本におけるPTSの整理（イメージ）



（注）この結果、気配開示義務にとどまらず、PTSにかかる規制全般が排除されることとなる。

（出所）金融審議会「市場ワーキング・グループ」（第2回）事務局説明資料より抜粋

図 2.2.1 日本におけるダークプールのイメージ¹³

2.2.2 立会外市場

先ほど記載したとおり、ダークプールで対当した注文の約定は立会外市場で行う必要があり、その取引データ（約定情報）は取引所が公表する取引所立会外取引に含まれる形で公表されている。2020年8月16日以前はダークプール・フラグが付与されていないことから取引所立会外取引に含まれるダークプール取引を正確に識別することは困難であったが、2020年8月17日以降はダークプール・フラグが付与されており、取引所立会外取引に含まれるダークプール取引を識別できるようになっている。

取引所の立会外市場について、取引の種別によって区分がなされている。例えば東証では、（1）単一銘柄取引¹⁴、（2）バスケット取引¹⁵、（3）終値取引¹⁶、（4）自己株式立会外買付取引¹⁷が存在する。ダークプールの約定として利用されているのは上記の取引のうち、単一銘柄取引（ToSTNeT-1）となっている。その他の ToSTNeT 取引もダ

¹³ 図の中段「PTSに該当しない」という区分が日本におけるダークプールに該当。

¹⁴ 単一銘柄取引には、直近約定価格をベースとする取引以外にも、VWAP（Volume Weighted Average Price、売買高加重平均価格）をベースとした、VWAP ギャランティ取引や VWAP ターゲット取引も含まれる。

¹⁵ バスケット取引は指数構成銘柄といった複数銘柄（15銘柄以上かつ総売買代金1億円以上）の取引を一括で行う場合に利用される。

¹⁶ 終値取引は、前日終値、前場終値、後場終値といった特定時点の価格での取引を行う場合等に利用される。

¹⁷ 自己株式立会外買付取引は、上場企業における事前公表型の自己株式取得を行う場合等に利用される。また、自己株式立会外買付取引とは反対の取引である、立会外分売と呼ばれる取引も存在するが、立会外分売は東証の規則上、ToSTNeT 取引には分類されていない。立会外分売は売買立会によらない売買に区分され、また売買立会によらない売買は ToSTNeT 取引も含む概念（ToSTNeT 取引≒売買立会によらない売買）となっている。

ークプールの約定先として利用することは可能ではあるものの、取引方式、取引時間、取引価格の観点から実質的に利用可能な取引方法は単一銘柄取引に限定¹⁸されている。

表 2.2.1 ToSTNeT 市場の概要

	ToSTNeT-1		ToSTNeT-2	ToSTNeT-3
	単一銘柄取引 (※1)	バスケット取引	終値取引	自己株式立会外 買付取引
主な利用方法	個別銘柄の大口 取引等	複数銘柄の一括 取引	特定時点の価格で の取引	事前公表型の自 己株式取得
取引方式	クロス取引、 相手方指定取引	クロス取引、 相手方指定取引	個別競争売買 (クロス優先・時間 優先) 8:20-8:45, 11:30-12:15, 15:00-16:00 (15:30-16:30) (※4)	板寄せ (※2)
取引時間	8:20-17:30 (8:20-18:00) (※3、4)	8:20-17:30 (8:20-18:00) (※3、4)		8:45
取引価格	直近約定価格の± 7%以内	基準代金 (※5) の±5%以内 15 銘柄以上かつ	前日終値、前場終 値、後場終値	前日終値
売買単位	最低単位から可能	総売買代金 1 億 円以上	最低単位から可能	最低単位から可能

※1 単一銘柄取引には、VWAP ギャランティー取引も含まれるが、ここでは直近約定価格をベースとする取引のみを記載。

※2 売申込数量の多い取引参加者から最低単位を配分し、さらに残数量にあん分比率（買残株数量/売残株総数量）を乗じた数量（最小単位未満切捨て）を対当させた後、切捨て数量が多い参加者から最小単位を配分する。

※3 ただし、2 日目決済の取引は 12:30 までとなる。

※4 2024 年 11 月 5 日以降、東証の立会内市場における取引時間が 30 分延伸され、それに伴い ToSTNeT 市場の取引時間も変更されている。括弧内の時間が変更後のもの。

※5 バスケット取引における基準代金とは、バスケットを構成する各銘柄の立会市場の直近約定価格を基に算出される総売買代金を意味する。

¹⁸ 単一銘柄取引では、①同一取引参加者間のクロス取引が可能であり、②取引時間は 2024 年 11 月 5 日以降、午前 8 時 20 分～午後 6 時まで可能となっており、③取引価格は直近取引価格の±7%以内であれば可能であるため、ダークプールの約定を行う場合の制約がほぼないと言える。

2.3 ダークプール・フラグ導入後の取引データ等

前述のとおりダークプールの透明性向上の観点から、2020 年 8 月よりダークプール・フラグの付与が開始され、正確にダークプール取引の把握が可能となった。2020 年 8 月～2024 年 11 月¹⁹のダークプールの売買代金およびダークプールのシェア²⁰は以下のとおり。全期間のダークプールでの 1 日平均売買代金は 1,892 億円、ダークプールの売買代金シェアは 3.6%となっており、図 2.3.1 からわかるようにダークプールにおける取引が緩やかに拡大していることがわかる。

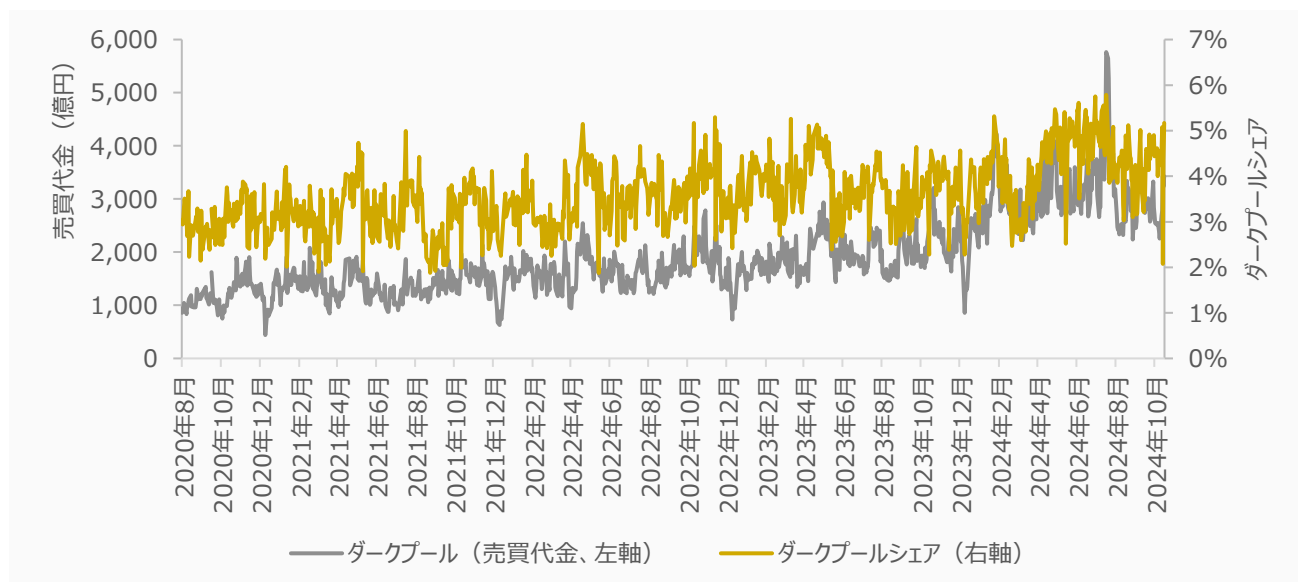


図 2.3.1 ダークプールの売買代金とシェアの推移

また、銘柄区分等別、指数区分別のデータは以下のとおり。ダークプールにおける相対的な流動性を比較するため、ダークプール/東証立会内の売買代金比率を加えている。ダークプールで取引される商品の多くは株式であり、また表 2.3.2 を見ると株式のなかでも特に TOPIX Mid400 構成銘柄の取引が相対的に活発であることが伺える。Mid400 構成銘柄での取引がダークプールにおいて活発な一つの理由として、流動性と比して呼値の単位が相対的に大きい²¹ 期間が含まれているため、価格改善をダークプールの取引において実現しやすかったことが挙げられる。それ以外には、投資証券（特に REIT）のダークプールの利用が活発となっている。

¹⁹ 東証の現物売買システム arrowhead4.0 稼働開始日の前営業日（2024 年 11 月 1 日）までのデータを用いている。

²⁰ ダークプールフラグが付された約定データから計算。日本証券業協会が公表している取引所外取引の取引データ（Off-exchange Information Network, PTS Information Network）及び取引所（札幌証券取引所、東京証券取引所、名古屋証券取引所、福岡証券取引所）の取引データより算出。

²¹ 2023 年 6 月 5 日より TOPIX Mid400 構成銘柄に対する呼値の単位の適正化を実施している。

表 2.3.1 銘柄区分等別ダークプールの売買代金

	1 営業日平均売買代金 (円)	比率	ダークプール/東証立会内比率
プライム/東証一部 ²²	180,415,184,433	95.36%	5.51%
スタンダード/東証二部、JQ スタンダード ²³	2,430,367,687	1.28%	2.40%
グロス/マザーズ、JQ グロス ²⁴	2,328,127,038	1.23%	1.54%
投資信託受益証券 ²⁵	255,665,974	0.14%	0.09%
投資証券 ²⁶	3,767,312,245	1.99%	8.22%
優先出資証券	33,826	0.00%	0.06%
合計	189,196,691,204	100.00%	

表 2.3.2 指数区分別ダークプールの売買代金

	1 営業日平均売買代金 (円)	比率	ダークプール/東証立会内比率
Core30	38,602,673,369	20.40%	4.36%
Large70	41,050,986,948	21.70%	4.38%
Mid400	82,716,204,983	43.72%	7.80%
Small	18,332,970,885	9.69%	4.39%
その他	8,493,855,018	4.48%	1.56%
合計	189,196,691,204	100.00%	

ダークプールは各銘柄の主たる市場の BBO 内の値段で約定することがほとんど（図 2.3.4 参照）であり、ダークプールの取引は取引所の取引時間内に行われていると考えられる。データ取得期間のダークプールにおける 1 営業日あたりの 1 分毎の取引数量（出来高）の割合を示したもの（ボリュームカーブ）が図 2.3.2。ダークプールの取引は、前場及び後場の寄り付き時間帯が多く、その次に大引け直前が多くなっている。東証の立会内取引（図 2.3.3）と比較すると、東証の立会内取引は大引け、前場寄り付き及び後場寄り付きに取引が集中していることがわかる。。

また、ダークプールにおける 99.76%の取引は東証の立会時間内に行われているが、東証の立会時間外でのダークプールでの取引も存在²⁷する。最も多い時間帯は後場終了後の 15 時 01 分で、1 日の取引の 0.22%程度を占めている。後場終了後のダークプール取引は当日 VWAP 等での取引が多いものと推察される。

²² 2022 年 4 月 1 日以前のデータについては東証一部の上場銘柄を含む。

²³ 2022 年 4 月 1 日以前のデータについては東証二部及び JASDAQ スタンダードの上場銘柄を含む。

²⁴ 2022 年 4 月 1 日以前のデータについてはマザーズ及び JASDAQ グロスの上場銘柄を含む。

²⁵ ETF、ETN を含む。

²⁶ REIT、インフラファンドを含む。

²⁷ 前場寄り付き前や昼休み（11 時 30 分～12 時 30 分）におけるダークプール取引も存在するが、その時間帯における取引はダークプール取引全体の 0.01%に過ぎない。

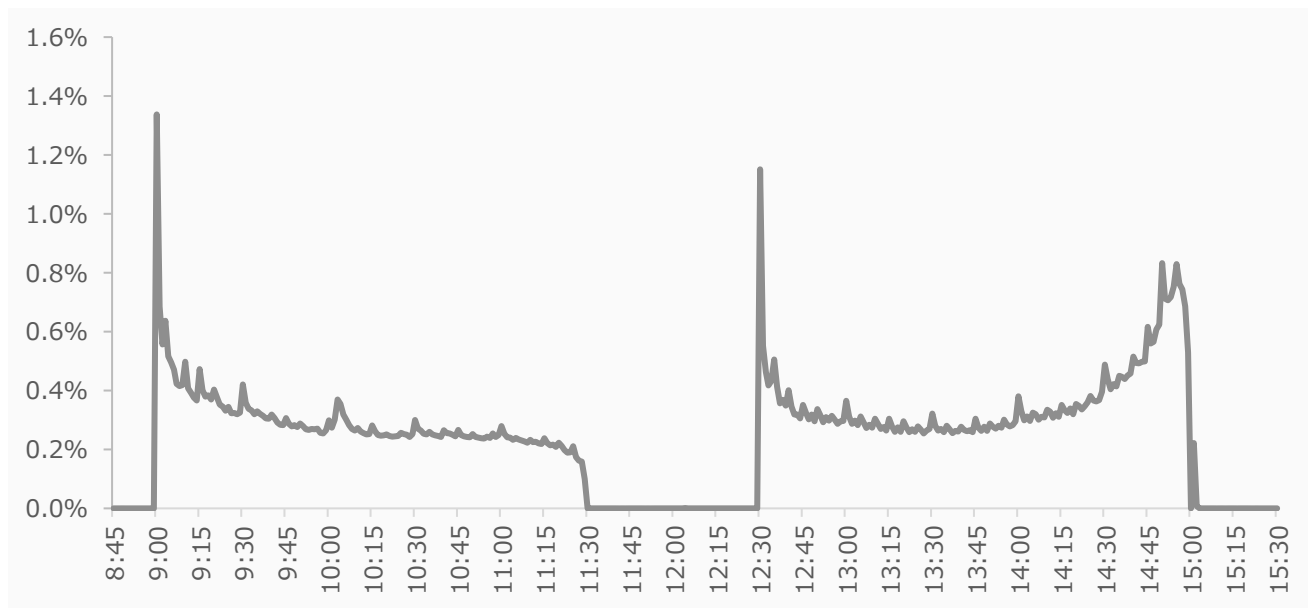


図 2.3.2 ダークプールの平均ボリュームカーブ

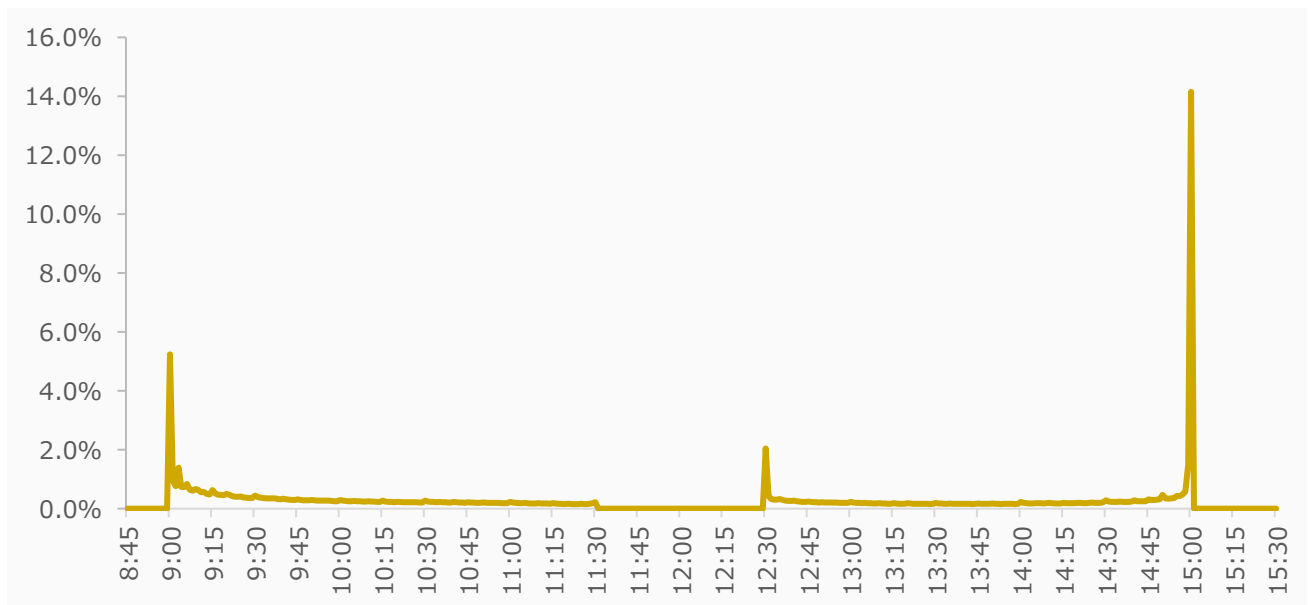


図 2.3.3 東証立会内取引の平均ボリュームカーブ

ダークプールでの各約定価格について、約定時²⁸における東証の BBO のミッドポイントを基準（0%）として、東証の最良買気配値段（Best Bid Price）を-100%、最良売気配値段（Best Offer Price）を+100%とし、東証の立会内時間における約定を対象として、その分布を売買代金ベース²⁹で示したものが図 2.3.4。

ダークプールでの売買代金の約 6 割がミッドポイント付近の価格で約定していることがわかる。2 番目に売買代金が多い価格帯が最良買気配値段/最良売気配値段付近の値段帯（-105%～-95%、95%～105%）であり、2 割弱を占めている。3 番目は東証の最良気配値段の外側の値段帯（-105%未満、105%以上）であり、約 8%が売

²⁸ 図 2.2.1 のとおり、証券会社内のダークプールで対当し、その後東証の ToSTNeT-1 にクロス注文を出し、約定させるという流れであるため、厳密に証券会社内のダークプールでの対当時刻における東証の BBO と ToSTNeT-1 にて約定した時刻の東証の BBO とでは気配値段等が変化している可能性があるが、ここでは、ToSTNeT-1 の約定時における東証の BBO で計算を行うこととする。

²⁹ 全期間（2020 年 8 月～2024 年 11 月）のデータを集計。

方/買い方の一方にとって価格改善のない（悪化する）値段での約定となっている。4 番目はミッドポイントと最良買気配値段/最良売気配値段の 1/2 となる値段帯（-55%～-45%、45%～55%）であり、約 6%を占めている。

このことから、ダークプールでの約定値段は東証の BBO とミッドポイントの価格が基準になっていることがわかる。また、ダークプールでの約定値段はその大半が東証の最良買気配値段から最良売気配値段の間に収まることがわかる。

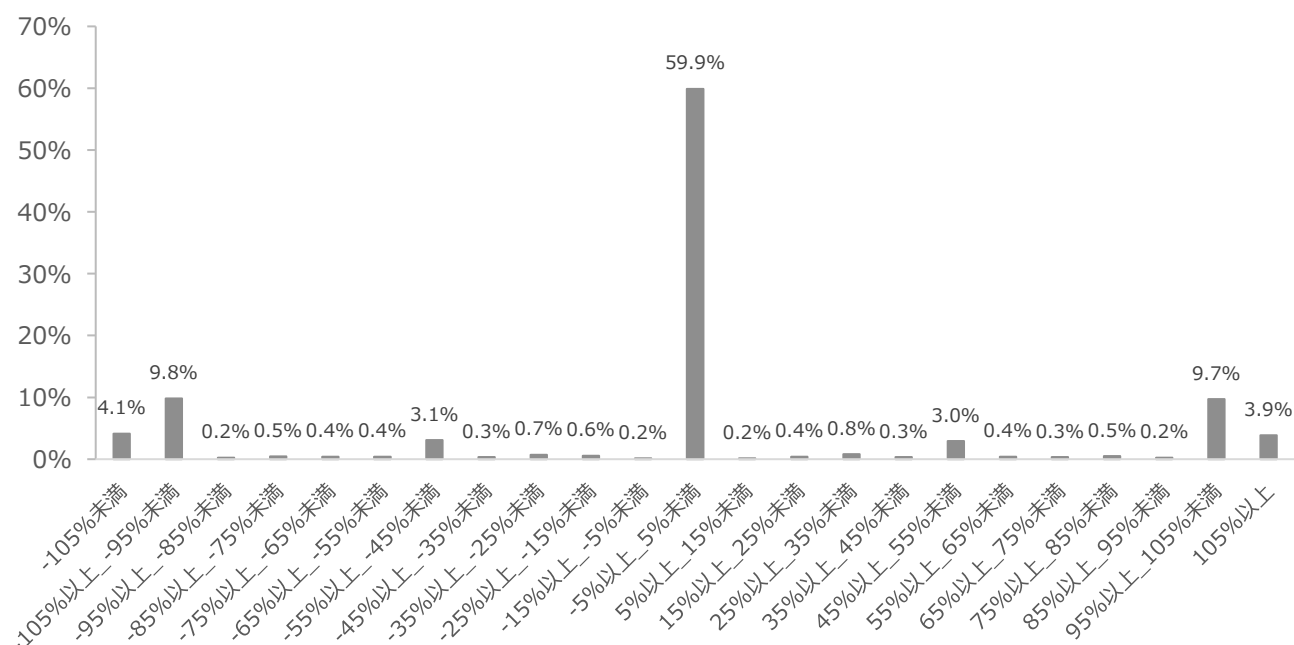


図 2.3.4 ダークプールにおける約定価格分布（売買代金ベース、東証のミッドポイントで基準化）

図 2.3.4 を確認すると、東証の最良気配値段外での約定も一定程度あり、どの時間帯でそのような取引が行われやすいのかを確認する。東証市場における立会時間内における、東証の最良気配値段外（outside）、最良気配値段と同値（at）、最良気配値段内（inside）別のボリュームカーブを示したものが図 2.3.5～図 2.3.7。

最良気配値段外での約定は株価の変動が大きい前場の寄り付きと後場の寄り付き時間帯に集中³⁰していることがわかる。また、図 2.3.8 のとおり、9 時 00 分台における inside, at, outside の 1 約定あたりの約定数量の平均は、inside が約 440 株、at が約 569 株、outside が約 1,079 株と outside の約定数量が比較的大きく、後場を含めた寄り付き時間帯における大口のダークプールでの取引は東証の最良気配値段外での値段で約定しやすい傾向がある。

また、大引け直前の 14 時 59 分台のダークプールの約定について、inside と outside のボリュームカーブは低下しているが、at については上昇している点も興味深い。

³⁰ 9 時 00 分台における outside のボリュームカーブを確認すると、2.9%となっており、at（1.4%）、inside（1.1%）と比較すると 2 倍超。また 12 時 30 分台における outside のボリュームカーブを確認すると、2.0%となっており、at（0.5%）、inside（1.1%）となっており 2 倍程度となっている。

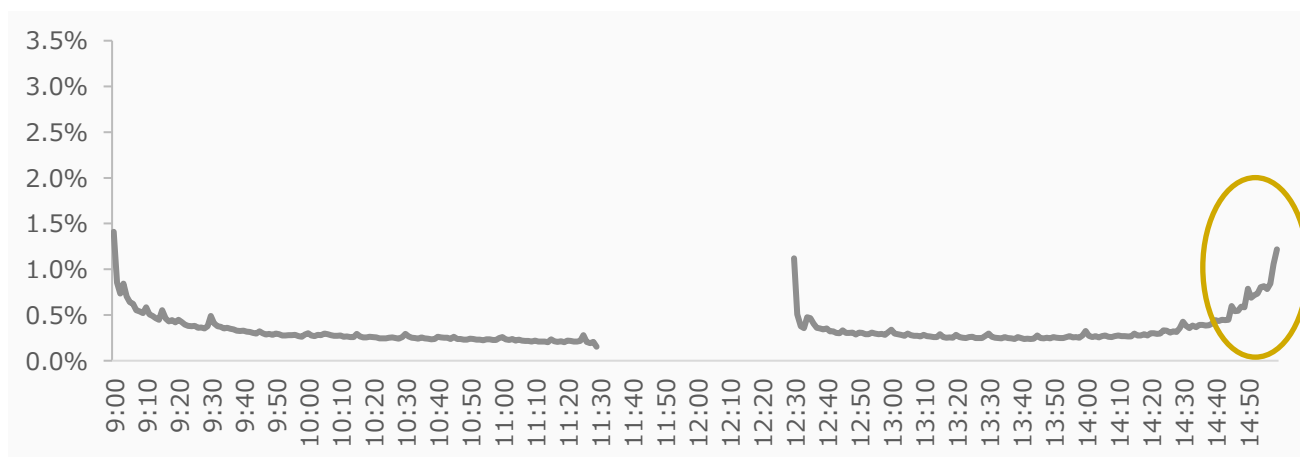


図 2.3.5 ダークプールにおけるボリュームカーブ (at)

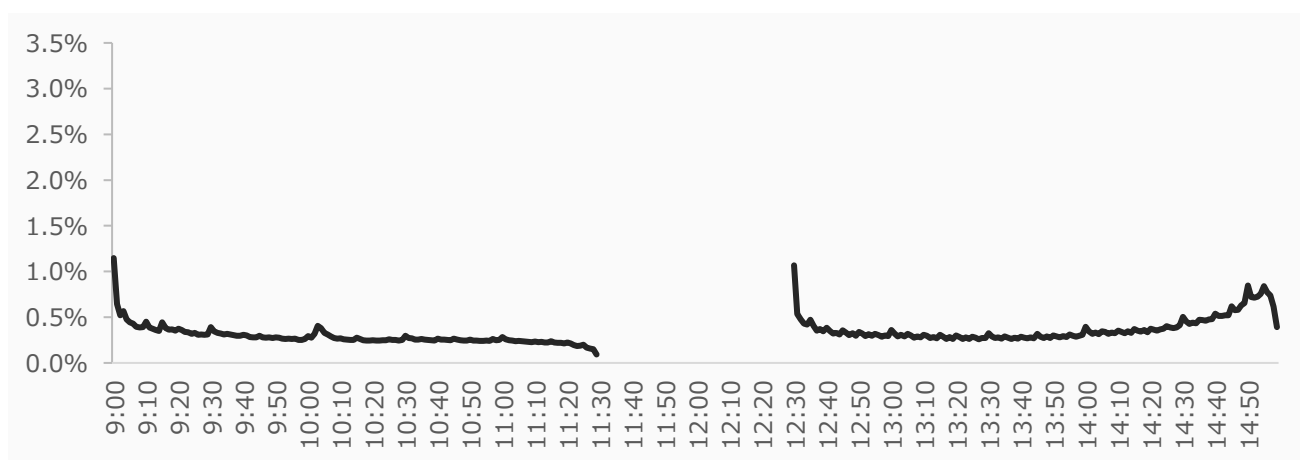


図 2.3.6 ダークプールにおけるボリュームカーブ (inside)

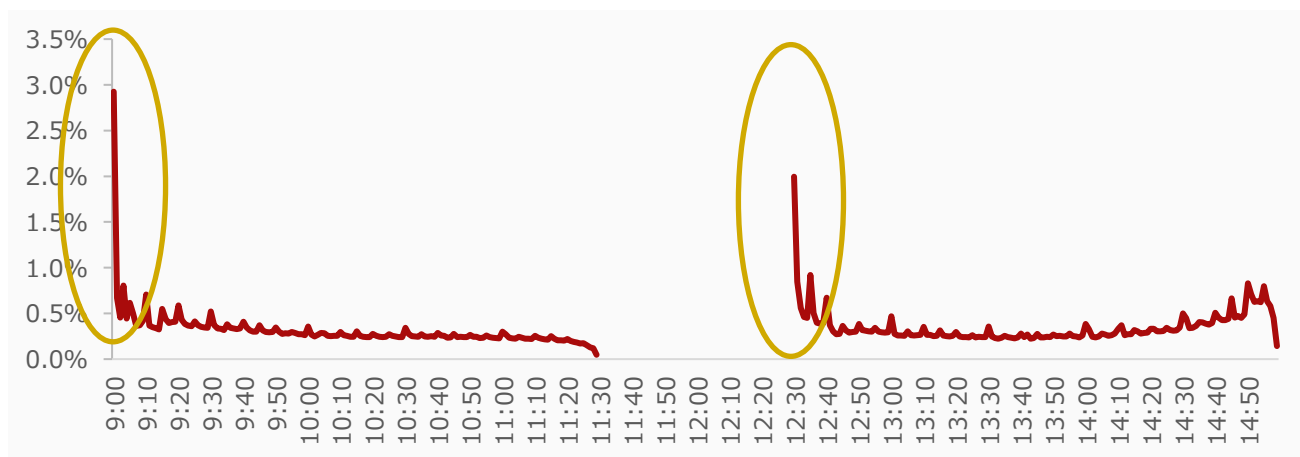


図 2.3.7 ダークプールにおけるボリュームカーブ (outside)

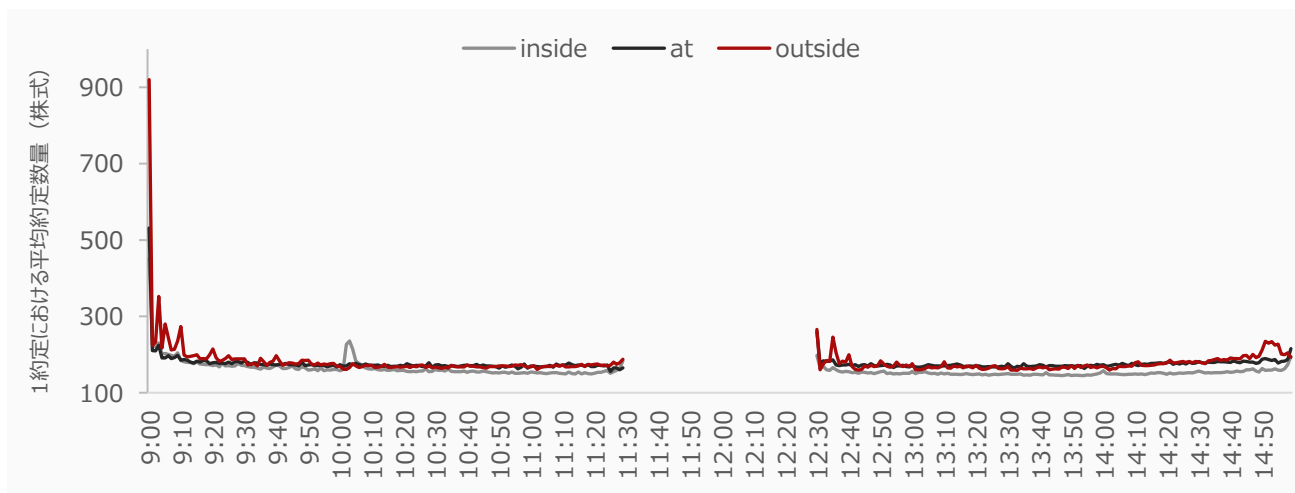


図 2.3.8 時間帯別 1 約定における平均約定数量

続いてダークプールにおける価格改善率の推移について確認する。価格改善率については以下と定義する。

価格改善率（売り手側）＝（約定価格－約定時刻における最良買気配値段（東証））／ミッドポイント

価格改善率（買い手側）＝（約定時刻における最良売気配値段（東証）－約定価格）／ミッドポイント

ダークプールにおける約定毎に価格改善率を計算し、価格改善率の平均値を月単位で計算したものが図 2.3.9。売り手側と買い手側の価格改善率を計算しているが、ほぼ同じ水準となっている。価格改善率について微減傾向にあるようにも見えるが、価格改善率は気配スプレッドや、約定した株式の株価にも依存するため、ダークプールにおける価格改善率が悪化傾向にある等といったことはここからは判断できない。2023 年 6 月に改善率が下落しているのは、TOPIXMid400 構成銘柄における呼値の単位が適正化され、東証の気配スプレッドが縮小したことによる影響と考えられる。また、2024 年 8 月に改善率が上昇しているが、これは 8 月上旬の株価急落を受けその後もボラティリティが上昇し、気配スプレッドが拡大されたことによる影響ではないかと考えられる。

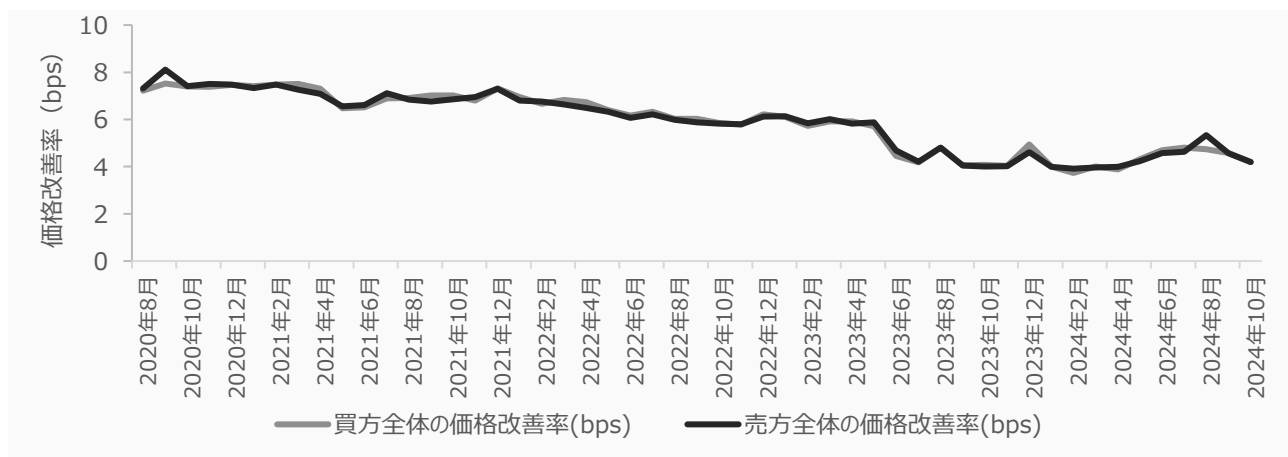


図 2.3.9 ダークプールにおける価格改善率の推移

3 先行研究

3.1 先行研究

Xinkai Huang(2020)によれば、bid-ask スプレッドはダークプールの取引量に影響を与えず、ボラティリティについては、オーストラリア証券取引所（ASX）が提供するダークプールでは負の相関が認められたが、ブローカーが提供するダークプールにおいては、正の相関が認められたとしている。CLOB（Central Limit Order Book）のデプスが大きい場合、ダークプールのマーケットシェアが大きくなることが認められた。このことは、投資家は取引が執行される不確実性を認識してダークプールを選好するという考えと一致している。

Ibikunle and Rzaev(2020)の COVID-19 による影響を強く受けた期間によれば、情報を持つトレーダー（informed trader）は市場のボラティリティが急騰した状況でリットプールからダークプールに取引の場を移し、情報を持たないトレーダー（uninformed trader）は逆選択リスクを警戒し、ダークプールから リットプールに取引の場を移すとしている。2つの影響を加味（ネット）すると、リットプールでの取引が増加するという形になるとしている。

Zhu(2014)によれば、理論モデルを使い、ダークプールの影響について分析を行っている。通常の市場環境下において、ダークプール市場が加わったとしても、Informed trader は取引所での取引を集中（選好）させ、取引所における価格発見機能を向上させるとしている。また、ダークプールが価格発見機能に与える効果については、取引所における流動性の低下、流動性提供トレーダーにとってのデレイコスト（注文が直ちに執行されないことによる取引コスト）が大きい状況、そして情報公開までの時間が長い（市場が情報を織り込むまでの時間が長い）状況等においてダークプールの価格発見機能が低下すると述べている。また注文のインバランスが生じている場合に価格発見機能に悪影響を与える可能性があると述べている。

Comerton-Fode and Putnins(2015)は、ダークプールにおけるトレードはリットプールでの取引と比較すると情報量が少ないとしている。またダークプールにおける取引量が非常に多くなると、リットプールに informed trader が集中しすぎることとなり、それにより逆選択コストが上昇し、価格発見機能を害すると述べている。

Bartlett and McCrary(2015)はダークプールにおける Queue-jumping は取引所における流動性（注文板にある注文数量、デプス）を著しく減少させるが、その影響は HST によるものであり、HST の取引量とダークプールにおける取引量が負の相関を持っていることがあると述べている。また、Queue-jumping を助長する Reg.NMS612 条（最低ティックサイズについて規定）については、以前に懸念されていたほど、市場の質に悪影響を与えないかもしれないと述べている。

Brogaard(2021)はダークプールにおける取引が、投資情報の取り込み(information acquisition)と結びついていると述べている。具体的には、ダークプールにおける取引と決算情報とは関連しており、現在のリターンおよび将来の収益と強い関係があると述べている。

Buti, Rindi and Werner(2022)は 2009 年と 2020 年の米国のダークプールデータを用いて分析を行い、2009 年のサンプルでは、時価総額が大きい銘柄の取引において、リットプールにおける注文数が非常に多い場合に Queue-Jumping を行うためにダークプールを利用し、2020 年のサンプルでは、スプレッドが拡大している銘柄において、当該執行コストを負担することを避けるためにダークプールを利用すると述べている。また、高いダークプールシェアを持つ銘柄については、2009 年のサンプルではスプレッドが狭く、Short-term ボラティリティに影響は与えなかったとし、2020 年のサンプルでは時価総額が大きく、ダークプールシェアが高い銘柄についてはスプレッドが広がり、Short-term ボラティリティが高くなると述べている。

Ye(2016)は取引所に加えてダークプールを加えることにより、価格発見の増幅効果（amplification effect）があると述べており、情報の正確性が高い（information risk が低い）場合、informed trader は取引所で取引を行うことにより価格発見機能は増大し、情報の正確性が低い（information risk が高い）場合、informed trader がダークプールで取引を行うことにより価格発見機能が低下する、と述べている。

Lin et al.(1995)は、株式取引における逆選択構成要素（adverse selection component）と取引サイズの関係について分析をおこなっており、取引サイズの増加に伴い、逆選択構成要素が増加するとしている。また、逆選択構成要素は取引時間帯によっても変化しているとし、取引開始直後が最も高く、取引終了時刻前が最も低くなるとしている。

4 分析内容

4.1 使用データ

ボラティリティが高い環境下でのダークプールにおける売買等について分析を行うため、ヒストリカルの日経ボラティリティー・インデックスを参照し、2020年8月17日～2024年11月1日までの期間のボラティリティが低い期間³¹と高い期間³²とのそれぞれ20営業日（合計40営業日）を詳細な分析の対象期間とする。また、分析対象銘柄は、ダークプールでの売買代金の8割超をカバーしているTOPIX500指数採用銘柄としている。

対象期間における分析データについては2種類あり、1つは銘柄別かつ営業日別のデータ、2つ目はより細かい各銘柄のダークプールでの1約定毎のデータとなっている。分析の目的別に両データを使い分けることとする。

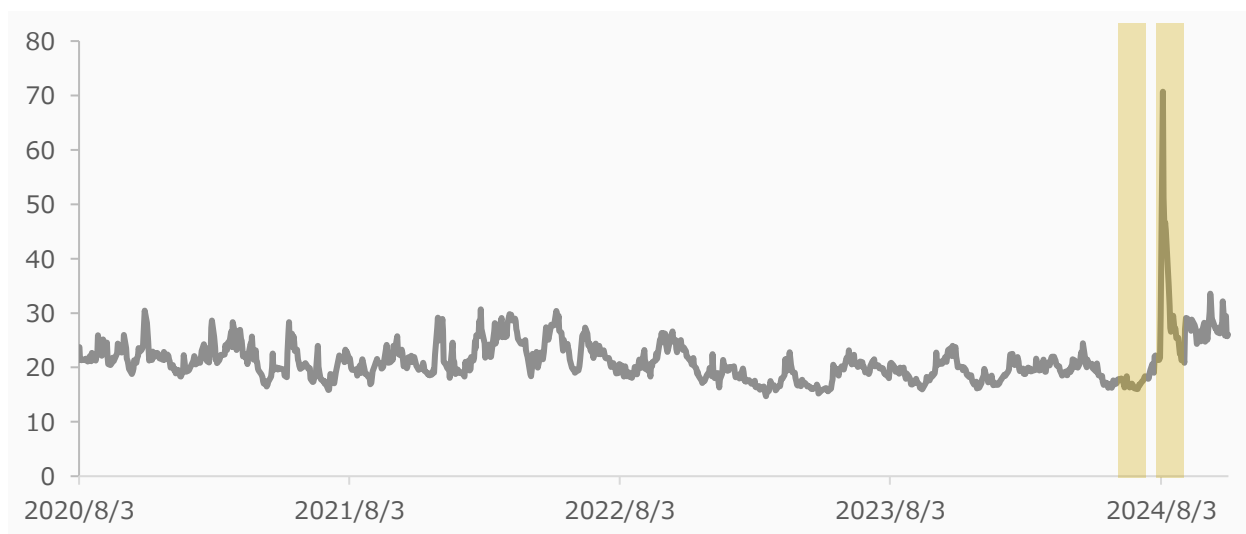


図 4.1.1 日経平均ボラティリティー・インデックスの推移

4.2 分析手法

まず、ダークプールの特徴について分析を行い、各ダークプールについてクラスタリングを行う。次にダークプールの利用のされ方について分析を行う。分析にあたっては、ダークプールにおける約定時の東証市場におけるデプス³³の状況や気配スプレッド³⁴等のデータを用い、どのような条件においてダークプールが利用されやすいかを確認する。また、ダークプールにおける約定値段がどのように決定されるかについて分析を行う。また、ダークプールでの売買代金比率（対東証立会市場）の高まりが、市場の質にどのような影響を与えるかについての分析を行う。

³¹ 2024年6月12日から2024年7月9日

³² 2024年8月1日から2024年8月29日

³³ 各気配値段に登録されている注文数量。

³⁴ 注文板上に表示されている気配値段のスプレッド

気配（ハーフ）スプレッド

注文板上に表示されている気配値段のスプレッドのことであり、流動性が高い銘柄であれば、呼値の 1 単位分だけスプレッドが開いている状態となる。呼値の単位の適正化により、気配スプレッドが縮小するかを確認するために用いる。

取引開始後から最良気配値段が変更する毎に（1 営業日において、気配値段の変更回数を $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ）売最良気配値段 $P_{best\ ask}^i$ と買最良気配値段 $P_{best\ bid}^i$ との差を 2 で割ったものを最良気配値段の中値 P_{mid}^i で除したものに最良気配値段が持続した時間 Δt^i を乗じる。n 回の気配値段が変更された回数分計算を行い、それらを合計し取引時間合計 $(\sum_{i=1}^n \Delta t^i)$ ³⁵ で除することで時間加重平均値を計算する。

$$qs = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{(P_{best\ ask}^i - P_{best\ bid}^i)/2 \times \Delta t^i}{P_{mid}^i} \right)}{\sum_{i=1}^n \Delta t^i} \quad (1)$$

イントラデイ・ボラティリティ及び分散比

イントラデイ・ボラティリティは当日の株価変動の標準偏差を示しており、株価変動が抑制されるといった効果があるかを確認するために用いる。また、分散比は異なる時間間隔で計測した 2 つの株価変動の分散値を、片方の時間間隔に調整（ここでは 10 分毎ボラティリティに合わせるため、1 分毎ボラティリティを 2 乗した値に 10 を乗じる）し、その比としている。分散比が 1 に近付くことは、長期の価格変動が短期的な価格変動の延長上にある、つまり株価はブラウン運動に近い動きとなり、市場の効率性を確認するために用いる。

イントラデイ・ボラティリティについては始値決定後から 1 分毎及び 10 分毎の時点 t ($t=1, 2, \dots, N$ ³⁶) における時点 $t-1$ からの最良気配値段の中値 P_{mid}^t の変動比の自然対数について、当該営業日 d における分散値 $(\sigma_{1,10}^d)^2$ を算出する。ここで、1 分毎ボラティリティを σ_1^d 、10 分毎ボラティリティを σ_{10}^d とする。

$$\mu^d = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\log P_{mid}^t - \log P_{mid}^{t-1}) \quad (2)$$

$$(\sigma^d)^2 = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (\log P_{mid}^t - \log P_{mid}^{t-1} - \mu^d)^2 \quad (3)$$

また、1 分毎ボラティリティ σ_1^d と 10 分毎ボラティリティ σ_{10}^d から分散比 vr^d を営業日 d 毎に算出する。

$$vr^d = \frac{(\sigma_{10}^d)^2}{10 \times (\sigma_1^d)^2} \quad (4)$$

High-Low ボラティリティ

営業日 d における株価変動をとらえる方法として、高値と安値の差分を当日終値で基準化したもので評価するという方法もある。分析に応じて上記のイントラデイ・ボラティリティと使い分けるとする。

³⁵ $\sum_{i=1}^n \Delta t^i$ は特別気配等となっている時間を除いた時間。特別気配等がない場合、18,000 秒（5 時間）程度となる。

³⁶ 1 分毎の場合と 10 分毎の場合とで N は異なる。1 日の立会時間は 5 時間であるため、1 営業日あたり、1 分毎の場合にはおよそ N は 300、10 分毎の場合には N は 30 となる。

$$Volatility_{high_Low}^d = \frac{(P_{high}^d - P_{Low}^d)}{P_{Last}^d} \quad (5)$$

STR (Spread to Tick Ratio)

STR は名目スプレッドが呼値の単位の何倍となっているかを示す指標であるが、最小値は1であり、1に近づく程呼値の単位が粗すぎる状態（呼値の単位がスプレッドの制約となっている状態）と考えられる。

STR^d は各営業日における best ask 価格と best bid 価格の差分の時間加重平均値を呼値の単位（TS）で除して計算する。

$$STR^d = \frac{\sum_{k=1}^n ((P_{best\ ask}^i - P_{best\ bid}^i) \times \Delta t^i)}{\sum_{k=1}^n \Delta t^i} / TS \quad (6)$$

デプス

最良気配値段の値段に登録されている注文数量（ QQ_{ask} 、 QQ_{bid} ）が変更される毎に計算を行い、当該営業日の時間加重平均を算出する。1 営業日における各注文数量（時間加重平均値）について、bid と ask の平均値をとり、これを1番目のデプスとする。また、片側だけのデプスを説明変数に用いる場合は、 QQ_{ask} 、 QQ_{bid} の値を用いることとする。

$$QQ_{ask} = \frac{\sum_{p=1}^n (QQ_{ask} \times \Delta t^p)}{\sum_{p=1}^n \Delta t^p} \quad (7)$$

$$QQ_{bid} = \frac{\sum_{q=1}^n (QQ_{bid} \times \Delta t^q)}{\sum_{q=1}^n \Delta t^q} \quad (8)$$

$$depth = \frac{QQ_{ask} + QQ_{bid}}{2} \quad (9)$$

ダークプール約定値段（相対値）

ダークプールにおける約定値段について、これまで確認してきたように、基本的には東証における売り及び買いの最良気配値段の間の値段で約定している。ダークプールにおける売買代金の約 6 割程度は最良気配値段の中間の値段（ミッドポイント）で約定しているが、東証における注文板の状況により、ダークプールの約定値段は異なってくる可能性がある。そのため、Mid 値段を 0 とし、東証における買い最良気配値段を-1、売り最良気配値段を+1 としてダークプールにおける約定値段の相対値を計算する。

$$Dark\ Price_{relative\ price} = \frac{(Dark\ Price_{execution} - Mid\ Price_{TSE})}{\{(P_{TSE,best\ ask} - P_{TSE,best\ bid})/2\}} \quad (10)$$

マイクロ・プライス

ダークプールにおける約定値段は東証におけるマイクロ・プライス³⁷に影響される可能性もある。例えば買い（bid）に提示されている注文数量が売り（ask）に提示されている注文数量を大きく上回っている状況では、マイクロ・プライスは

³⁷ 売り及び買いの最良気配値段に提示されている注文数量で重み付けを行った値段のこと。ダークプールにおいては、気配情報が開示されないことから、ダークプールにおけるマイクロ・プライスは計算することができない。

上昇し、ダークプールにおける約定値段も上振れする可能性がある。

$$Micro\ Price = \frac{(P_{TSE,best\ bid} \times QQ_{ask}^1 + P_{TSE,best\ ask} \times QQ_{bid}^1)}{(QQ_{ask}^1 + QQ_{bid}^1)} \quad (11)$$

マイクロ・プライス（相対値）

分析にあたっては、株価水準が各株式で異なり、比較が難しいため、ダークプール約定値段（相対値）と同様に、ミッドポイントを0とした相対値³⁸を定義し、分析に用いる。

$$Micro\ Price_{relative\ price} = \frac{(Micro\ Price - Mid\ Price_{TSE})}{\{(P_{TSE,best\ ask} - P_{TSE,best\ bid})/2\}} \quad (12)$$

autocorrelation（自己相関）

ある営業日 d の autocorrelation の計算方法は以下。ここでは 10 秒、30 秒、60 秒毎の autocorrelation を計算する。下の式における t は各間隔におけるミッドポイントの計算時点を示しており、t-1 は各 10、30、60 秒前におけるミッドポイントとなっている。また、 $\overline{Mid\ Price}^d$ は営業日 d におけるミッドポイントの平均値とする。

$$\begin{aligned} & autocorrelation^d \\ &= \frac{\sum_{t=2}^n (Mid\ Price_t^d - \overline{Mid\ Price}^d) (Mid\ Price_{t-1}^d - \overline{Mid\ Price}^d)}{\sum_{t=1}^n (Mid\ Price_t^d - \overline{Mid\ Price}^d)^2} \end{aligned} \quad (13)$$

³⁸ マイクロ・プライス（相対値）は-1～+1 の間の値となる。

5 分析結果

5.1 分析対象期間における市場環境等

本分析においては、市場環境の違いにより投資行動やそれが市場に与える影響等も異なるため、基本的に低ボラティリティ期間と高ボラティリティ期間の2期間について各々分析を行うこととする。

まずは分析対象期間及び株価が急落した2024年8月5日における市場環境（データの対象はTOPIX 500 構成銘柄）について把握をする。まずは気配スプレッドを株価で除した、相対スプレッド³⁹とデプスについて15分毎に計算したものが以下。相対スプレッドをみると、高ボラティリティ期間においては、全時間帯で相対スプレッドが高いことがわかり、また2024年8月5日については、通常と異なり、後場の大引けにかけて相対スプレッドが大きく上昇していることが分かる。2024年8月5日は後場の大引けにかけて、急速に円高が進み、それに伴い株価が急落したことにより、相対スプレッドが上昇したものと考えられる。デプスについては、高ボラティリティ期間において大きく減少している（ボラティリティと逆相関している）ことが分かる。

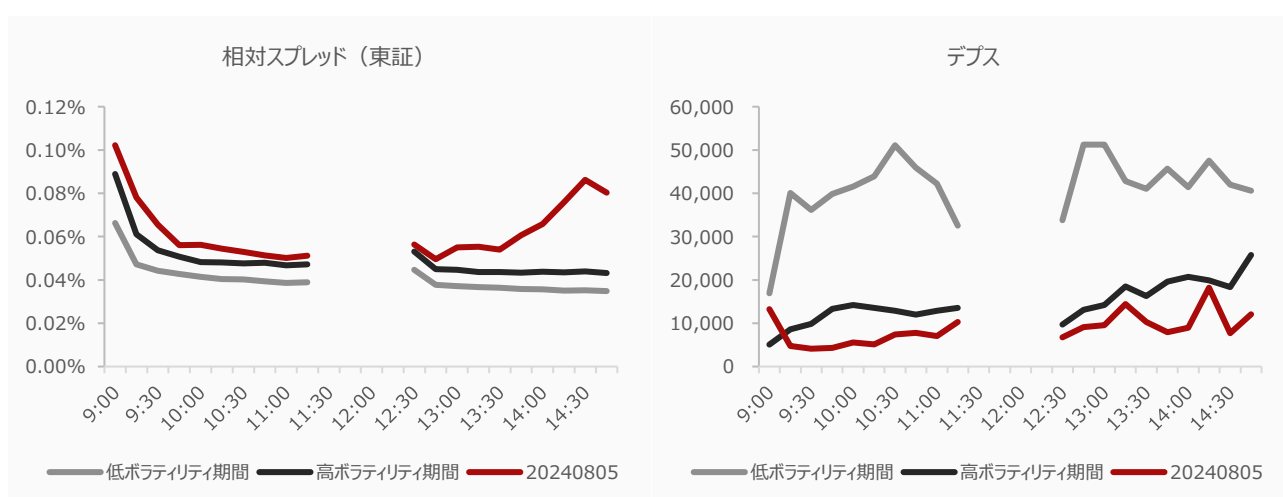


図 5.1.1 相対スプレッド、デプスの時間帯別推移

次にダークプールにおける売買代金（ボリュームカーブ）について確認したものが以下。売買代金については、両期間の平均値についてはほぼ変わらないが、2024年8月5日については、売買代金が大きく増加していることが分かる。ただし、東証市場との比較（ダークプール/東証立会内の比率）で考えると、次節で述べるとおり、高ボラティリティ期間においてはダークプール比率が低下する傾向にある。

³⁹ 相対スプレッドの計算においては、ダークプールで約定が発生した時刻における東証市場の気配スプレッドを計算し、その時刻におけるミッド値で除して計算を行っている。また、他の指標における計算についてもダークプールで約定が発生した都度計算を行っている。

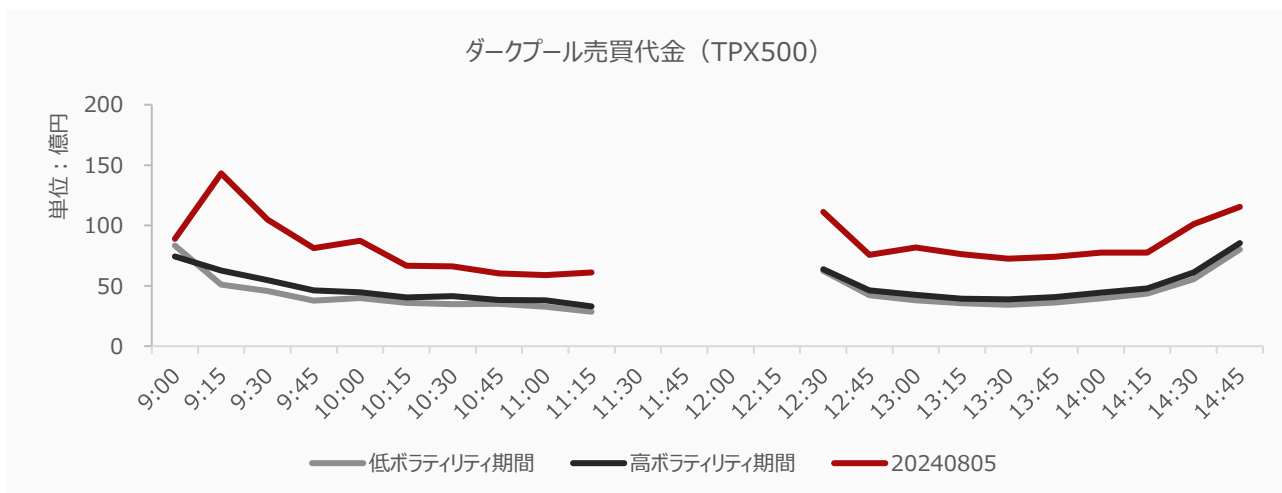


図 5.1.2 ダークプール売買代金の時間帯別推移

東証の最良気配値段外（outside）、最良気配値段と同値（at）、最良気配値段内（inside）別の時間帯別約定比率（件数ベース）を示したものが以下。低ボラティリティ期間と比較すると高ボラティリティ期間においては、inside での約定比率が低下し、outside での約定比率が増加する傾向にあることがわかる。また、at での約定比率も高ボラティリティ期間においては増加傾向にある。

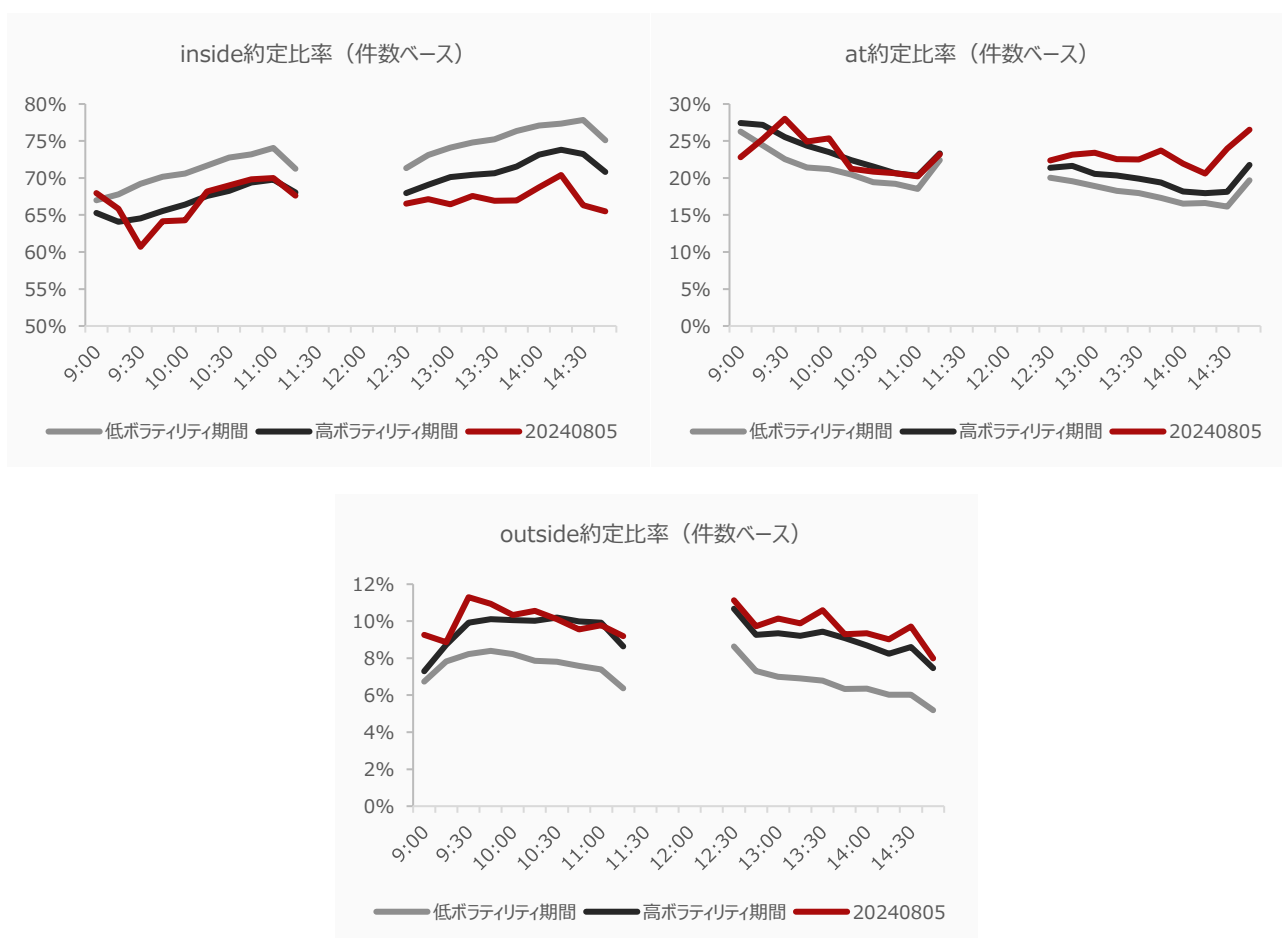


図 5.1.3 inside, outside, at 約定比率（件数ベース）の時間帯別推移

自己関与率について同様に確認した結果が以下。自己関与率については、両期間において大きな差は無いようにも見えるが、高ボラティリティ期間においては低い傾向にあることがわかる。

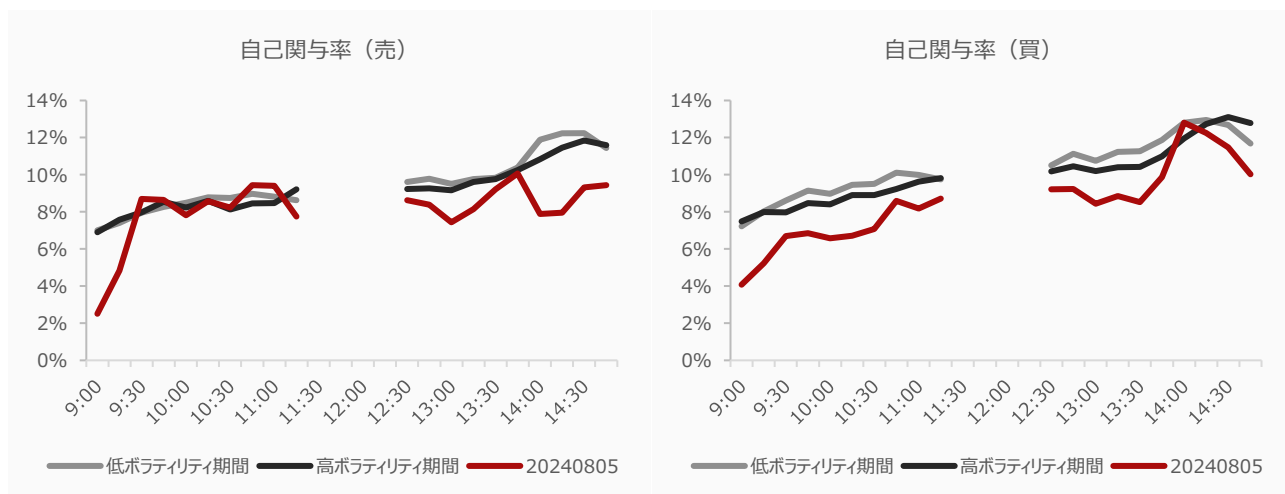
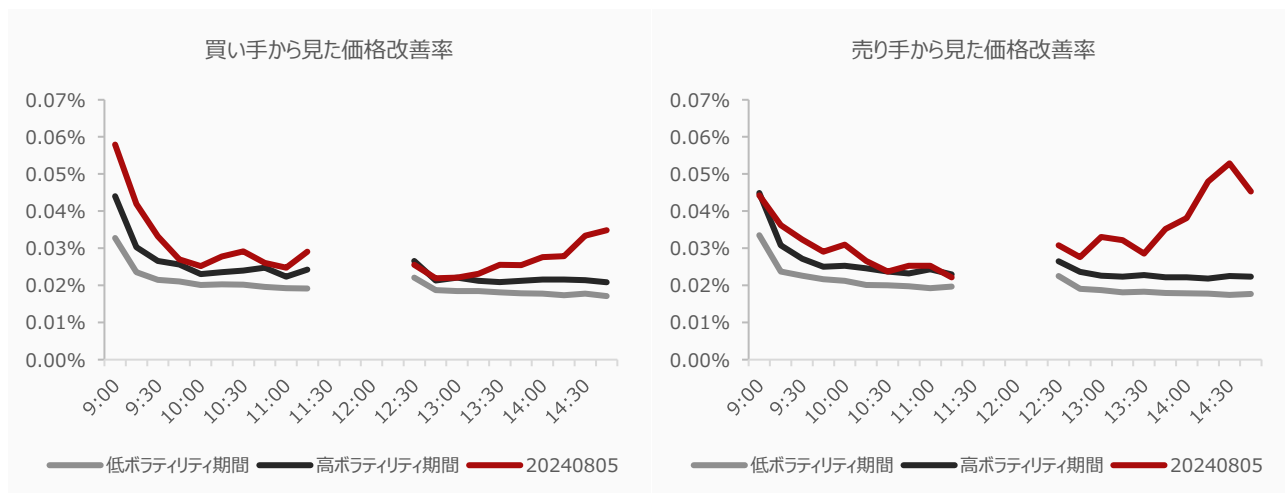


図 5.1.4 自己関与率の時間帯別推移

次に売方及び買方の価格改善率についても確認する。価格改善率については、東証におけるスプレッドに依存するため、ボラティリティが高い環境下においては、スプレッドが拡大する結果として、価格改善率が大きくなる傾向にある。



5.2 ダークプール比率へ与える影響

分析対象期間におけるダークプール比率（対東証立会内）の推移及び期間別のダークプール比率の平均値は以下のとおり。指数区分別に確認しても高ボラティリティ期間においては、ダークプール比率が低下する傾向にあることがわかる。

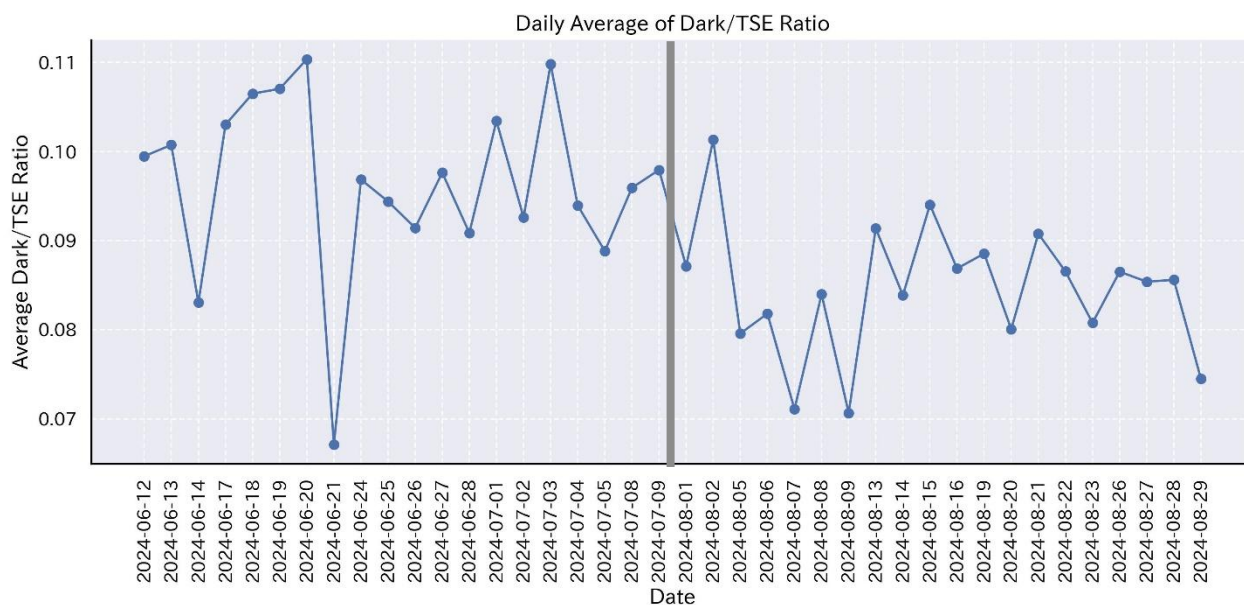


図 5.2.1 分析対象期間におけるダークプール比率の推移

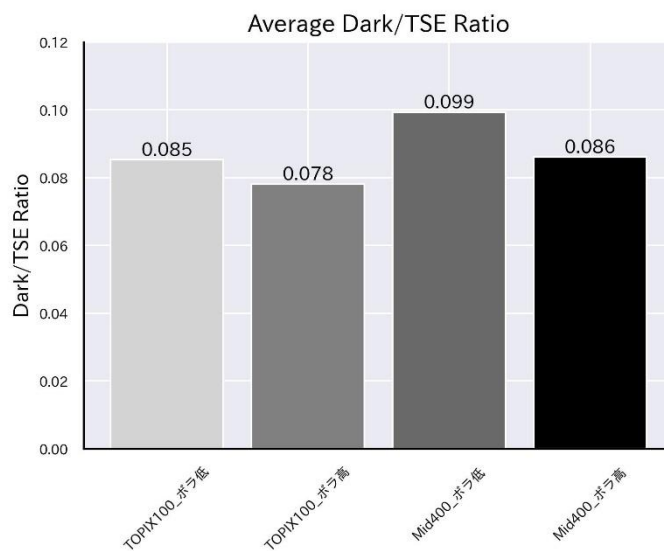


図 5.2.2 期間別、指数区分別におけるダークプール比率の平均値

ここでは、ダークプール比率に影響を与える変数について分析を行い、投資家等がダークプールをどのように利用しているのかについて考察する。高ボラティリティ環境下における影響についても分析を行うため、低ボラティリティ期間⁴⁰と高ボラティリティ期間のデータについて各々分析を行う。変数間の多重共線性⁴¹、外れ値等に気を付けて（以下同様）、銘柄、日付による固有の影響を排除するため、固定効果モデルを用いて分析を行った結果が以下。

上記のグラフで示したとおり、両期間において、ボラティリティが高くなるとダークプール比率が低くなる結果となっており、先行研究（Ibikunle and Rzaev）の結果と整合的なものとなっている。また、デプスについては、低ボラティリティ期間においては正の相関となっており、また発注件数、成行比率⁴²については共に負の相関になっている。デプスが小さく、発注件数が多く、成行比率が高い場合、つまり相対的に注文板が薄く、注文件数、成行注文が多いような状況下ではダークプール比率が低下する傾向にある。先行研究（Xinkai Huang）ではいわゆるリット市場において待ち行列（キュー）が長い（デプスが大きい）状況では、執行の不確実性からダークプールを利用するといった指摘もあったが、高ボラティリティ環境下ではデプスについて有意ではなかったものの、低ボラティリティ環境下においては、正に有意となっており、そのような待ち行列が長い状況下ではダークプールが選好されている可能性がある。

また、Mid 比率⁴³、ダークプールにおける 1 約定あたりの約定数量とダークプール比率が正の相関を持つが、Mid 比率が高いという特徴と、ダークプールにおける 1 約定あたりの約定数量が多いという特徴は機関投資家によるダークプールの利用が多い⁴⁴ということが考えられ、その場合には（当たり前ではあるが）ダークプール比率が増加する、と考えられる。

また、興味深い結果として、ダークプールにおける自己の関与率⁴⁵についてダークプール比率と負の相関となっている。これは、ダークプール比率が低い場合には相対的に自己の関与率が高くなることを示しており、機関投資家等によるダークプールへのフロー（ナチュラルフロー）が低下している場合には自己が相手方となり約定するというケースが増える、という構造なのではないかと考えられる。

これらの結果から、低ボラティリティ期間においては、機関投資家が、デプスやティック・ウェイトが大きく、成行比率や発注件数が相対的に低い、株価の動きが落ち着いている銘柄について、東証市場以外の流動性にアクセスするためにダークプールを利用しているという形ではないかと考えられる。

⁴⁰ 図 4.1.1 のとおり、通常の市場環境は低ボラティリティ期間に近いものと考えられる。

⁴¹ 多重共線性については、Variance Inflation Factor を計算し問題のない範囲にあるか等を考慮している。

⁴² 成行注文の発注数量を全発注数量で除して算出している。

⁴³ ある銘柄において、ダークプールでの約定時における東証の BBO のミッドポイントを基準（0%）として、東証の最良買気配値段（Best Bid Price）を-100%、最良売気配値段（Best Offer Price）を+100%とし、ダークプールでの約定値段が-5%~+5%となったダークプールでの売買代金を当該銘柄のダークプールでの売買代金全体で除した値。

⁴⁴ リテール向けのダークプールについては、その仕組みを見てもリテールフロー同士がダークプールでマッチングするというよりも、ダークプールにおいて流動性を提供するマーケットメイカーとリテールフローがマッチングしていると考えられ、そうした仕組みから Mid でマッチングするインセンティブがあまりないものと考えられる。

⁴⁵ 自己の関与率については、各銘柄におけるダークプール運営者の自己勘定による売買代金について、委託勘定を含めた総売買代金で除して算出している（売、買別に関与率を算出）。

表 5.2.1 ダークプール比率への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
デブス	$2.00 \times 10^{-3***}$	0.00	5.93	1.00×10^{-3}	0.46	0.74
ボラティリティ (1 分毎)	$-3.00 \times 10^{-3***}$	0.00	-4.16	$-1.50 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.79
ティック・ウェイト ⁴⁶	$4.50 \times 10^{-3**}$	0.02	2.30	1.60×10^{-3}	0.25	1.16
HST 比率	9.00×10^{-4}	0.12	1.54	$1.00 \times 10^{-3*}$	0.09	1.70
買方自己の関与率	$-4.80 \times 10^{-3***}$	0.00	-7.83	$-3.20 \times 10^{-3***}$	0.00	-6.89
売方自己の関与率	$-4.50 \times 10^{-3***}$	0.00	-8.15	$-3.30 \times 10^{-3***}$	0.00	-8.00
Mid 比率	$1.10 \times 10^{-2***}$	0.00	15.12	$1.28 \times 10^{-2***}$	0.00	20.52
outside 比率	$3.70 \times 10^{-3***}$	0.00	5.57	$5.70 \times 10^{-3***}$	0.00	11.22
dark 約定数量/約定件数	$1.89 \times 10^{-2***}$	0.00	4.10	$1.03 \times 10^{-2**}$	0.03	2.23
成行比率 (注文数量ベース)	$-2.30 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.90	$-1.40 \times 10^{-3**}$	0.02	-2.28
株価	2.00×10^{-4}	0.97	0.03	$-8.60 \times 10^{-3*}$	0.05	-1.93
発注件数	$-4.70 \times 10^{-3***}$	0.00	-5.01	$-1.60 \times 10^{-3**}$	0.03	-2.23
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,758			9,737		
R-squared (Within)	0.20			0.18		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

⁴⁶ ティック・ウェイトは、呼値の単位÷株価で計算し、ある株価における呼値の単位の相対的な大きさを示す。

5.3 ダークプールが市場の質に与える影響

先行研究においても分析がなされていたように、ダークプールにおける売買が増加することにより、市場の質（効率性等）に影響を与える可能性がある。各銘柄毎の東証の立会内における売買代金とダークプールにおける売買代金の比率（ダークプール比率）をダークプールによる影響度合いとして捉え、当該比率と市場の質との関係について分析を行う。分析においては、低ボラティリティ環境下と高ボラティリティ環境下で各変数の市場の質に対する影響が異なる可能性があることから、それぞれの環境下において同様の分析を行うこととする。

5.3.1 ボラティリティ

各銘柄のボラティリティ（1 分間、10 分間の株価変動の標準偏差）を日次ベースで計算し、ダークプール比率をベースに 10 分割（1 はダークプール比率低、10 はダークプール比率高）し、それぞれのグループ毎に平均値を計算したものが以下。当該図からはダークプール比率の増加と共にボラティリティが減少する傾向にあるように見えるが、他変数による影響の可能性もある。

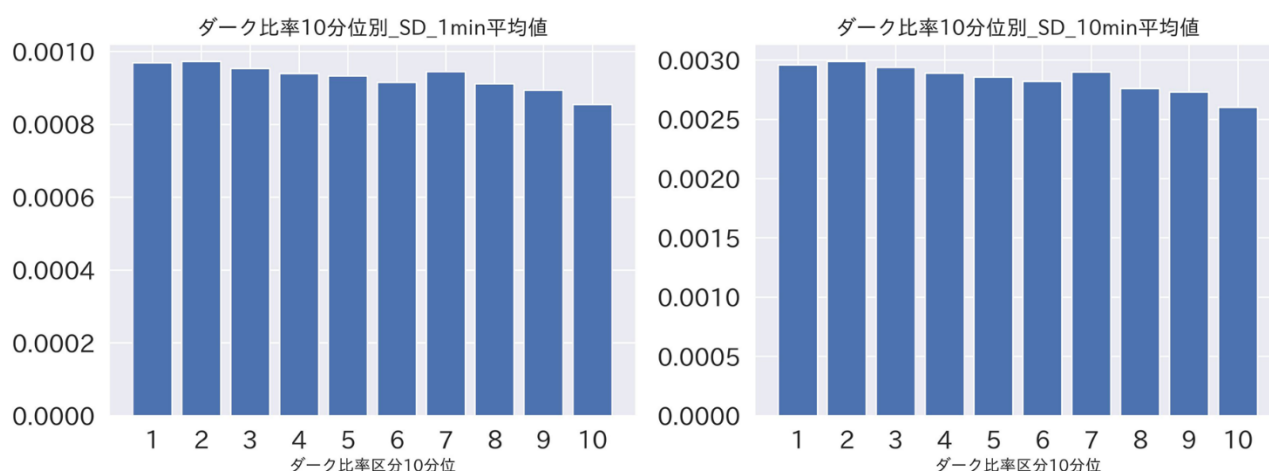


図 5.3.1 ダークプール比率区分別 ボラティリティ

ボラティリティに影響がある変数等を含め、固定効果モデルを用いて分析を行った結果が以下。低ボラティリティ期間においては、ボラティリティ（1 分毎）、ボラティリティ（10 分毎）への固定効果モデルによる分析結果において、ダークプール比率の係数が共に負であり、ダークプール比率とボラティリティが負の相関を持つ。一方、高ボラティリティの期間において同様の分析を行うとダークプール比率が有意とはなっていない。通常時（低ボラティリティ期間が通常の市場環境に近いものと考えられる）はダークプール比率とボラティリティは負の相関を持つが、ボラティリティが高い市場環境下ではそうした関係がなくなることを示唆している。

また HST 比率について、高ボラティリティ期間においては、HST 比率の係数が負に有意となっており、高ボラティリティ期間においては HST の売買代金比率が高くなることでボラティリティが減少するという関係になるのが興味深い（HST が市場に与える影響については、後述の 5.3.5 参照）。

表 5.3.1 ボラティリティ（1 分毎）への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
ダークプール比率	$-1.67 \times 10^{-5***}$	0.00	-7.35	2.09×10^{-6}	0.67	0.42
約定件数	$1.00 \times 10^{-4***}$	0.00	5.78	$3.00 \times 10^{-4***}$	0.00	8.34
STR	$2.45 \times 10^{-5*}$	0.06	1.87	$5.50 \times 10^{-5***}$	0.01	2.60
HST 比率	$3.18 \times 10^{-5***}$	0.00	12.74	$-1.52 \times 10^{-5***}$	0.02	-2.33
dark 約定数量/約定件数	$1.88 \times 10^{-5***}$	0.00	7.51	$1.45 \times 10^{-5*}$	0.10	1.65
成行比率（注文数量ベース）	2.48×10^{-6}	0.22	1.22	$3.15 \times 10^{-5**}$	0.02	2.26
自己関与率	$-4.13 \times 10^{-6***}$	0.00	-2.82	$5.52 \times 10^{-6*}$	0.09	1.71
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,758			9,737		
R-squared (Within)	0.17			0.25		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

表 5.3.2 ボラティリティ（10 分毎）への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
ダークプール比率	$-4.47 \times 10^{-5***}$	0.00	-4.47	6.80×10^{-6}	0.71	0.37
約定件数	$4.00 \times 10^{-4***}$	0.00	4.90	$8.00 \times 10^{-4***}$	0.00	8.15
STR	$7.31 \times 10^{-5**}$	0.02	2.34	$1.00 \times 10^{-4**}$	0.02	2.26
HST 比率	$1.00 \times 10^{-4***}$	0.00	13.21	$-4.43 \times 10^{-5**}$	0.04	-2.09
dark 約定数量/約定件数	$5.38 \times 10^{-5***}$	0.00	4.64	$5.36 \times 10^{-5*}$	0.08	1.74
成行比率（注文数量ベース）	3.30×10^{-6}	0.73	0.34	5.28×10^{-5}	0.19	1.32
自己関与率	$-2.23 \times 10^{-5***}$	0.00	-3.53	$1.97 \times 10^{-5*}$	0.09	1.71
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,758			9,737		
R-squared (Within)	0.11			0.20		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

上記分析結果では、低ボラティリティ期間において、ダークプール比率とボラティリティに負の相関が認められたが、ボラティリティが高い状況下では、投資家がダークプールの利用を抑える結果、ダークプール比率が低下する（ボラティリティがダークプール比率へ影響を与える）といった理由も考えられる。因果方向の推定を行うため、ボラティリティ及びダークプール比率を被説明変数とし、前営業日のダークプール比率、ボラティリティのデータを含めたラグ変数付き固定効果モデルおよびグレンジャー因果検定を実施した結果が表 5.3.3～表 5.3.7。

グレンジャー因果検定とは下記に示しているとおり、t 期の変数 Y が t-1 期（今回の分析においては、1 営業日前と固定^{47）}）の変数 Y により説明されると仮定し、更に t-1 期の変数 X を加え、追加したラグ変数の係数が統計的にゼロでないかを検定するもの。今回は無条件のグレンジャー因果検定に加えて銘柄及び営業日の固定効果を含めたグレンジ

⁴⁷ 基本的には前営業日の影響を最も強く受けると考えられることから、ラグは 1 に固定している。

ヤー因果検定⁴⁸を行い、ワルド検定⁴⁹により検定を行った。

$$Y_t = a_0 + \sum_{i=1}^n b_i Y_{t-i} + \sum_{i=1}^n c_i X_{t-i} + \epsilon_t$$

無条件のグレンジャー因果検定においては、低ボラティリティ期における、ボラティリティ（10 分毎）に対するダークプール比率の負の関係のみが有意であり、高ボラティリティ期では双方向についてグレンジャー因果性は確認されなかった。このことは、低ボラティリティ期間においては、ダークプール比率の上昇がボラティリティの低下（市場の安定化）に寄与することを示しており、その逆（ボラティリティの変化がダークプール比率へ影響を与える）は支持されない結果となった。

一方、ラグ付き固定効果モデルでは、結果を表 5.3.8 にまとめているが、低ボラティリティ期間においては、ダークプール比率とボラティリティ（10 分毎）について、双方向に影響を与えている結果となった。但し、ダークプール比率→ボラティリティ（10 分毎）については、負に有意であり、ボラティリティ（10 分毎）→ダークプール比率については正に有意であった。この結果からは、ボラティリティが低い環境下ではダークプール比率の上昇が、リット市場における価格インパクトを低減することでボラティリティを低下させる方向への作用をすると考えられ、また、リット市場のボラティリティが上昇した場合、ダークプールでの執行を志向するといったことが生じていると考えられる。表 5.3.3 の結果も考慮すると、ダークプール比率がボラティリティに対して影響を与えているという可能性が高いと考えられる。

高ボラティリティ期間においては、低ボラティリティ期間と異なり、双方向ではなく一方向に影響（ダークプール比率がボラティリティに影響）を与える結果となっている。興味深いことにボラティリティ（1 分毎、10 分毎）→ダークプール比率について、共に正に有意となっており低ボラティリティ期間の結果とは係数の符号が逆となっている。このことは、低ボラティリティ期間とは逆にダークプール比率が上昇することで、ボラティリティが上昇する（市場の不安定化）に繋がるということを意味している。これは、高ボラティリティ環境下において、ダークプール比率が上昇することで、リット市場における価格発見機能が低下し、結果としてボラティリティの増加に繋がるという理由が考えられる。

表 5.3.3 グレンジャー因果検定結果

期間	被説明変数 (t 期)	説明変数 (t-1 期)	ラグ	係数	検定統計量	p 値
低ボラティリティ期間	ボラティリティ (1 分毎)	ダークプール比率	1	-2.33×10^{-5}	$\chi^2=1.1913$	0.28
	ボラティリティ (10 分毎)	ダークプール比率	1	$-2.00 \times 10^{-4**}$	$\chi^2=4.1031$	0.04
	ダークプール比率	ボラティリティ (10 分毎)	1	7.06×10^{-1}	$\chi^2=0.7564$	0.38
高ボラティリティ期間	ボラティリティ (1 分毎)	ダークプール比率	1	-5.00×10^{-4}	$\chi^2=0.0656$	0.80
	ボラティリティ (10 分毎)	ダークプール比率	1	3.37×10^{-5}	$\chi^2=0.0002$	0.99
	ダークプール比率	ボラティリティ (10 分毎)	1	8.28×10^{-2}	$\chi^2=0.1159$	0.73

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

⁴⁸ グレンジャー因果検定は構造的因果を明らかにするものではなく、あくまで予測力の変化を確認していることに注意。

⁴⁹ 本分析では銘柄と営業日での固定効果を含めているので、F 検定ではなくクラスターロバスト共分散に基づくワルド検定を行っている。

表 5.3.4 ボラティリティ（1 分毎）へのラグ変数付き固定効果モデル分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
約定件数	$1.00 \times 10^{-4***}$	0.00	5.62	$3.00 \times 10^{-4***}$	0.00	8.35
STR	$2.48 \times 10^{-5**}$	0.05	1.98	$5.70 \times 10^{-5***}$	0.01	2.68
HST 比率	$3.03 \times 10^{-5***}$	0.00	12.62	$-1.35 \times 10^{-5**}$	0.04	-2.01
dark 約定数量/約定件数	$3.65 \times 10^{-6**}$	0.01	2.53	$1.24 \times 10^{-5*}$	0.05	1.93
成行比率（注文数量ベース）	3.24×10^{-6}	0.11	1.62	$2.74 \times 10^{-5**}$	0.05	1.96
自己関与率	$-2.67 \times 10^{-6*}$	0.06	-1.92	$6.94 \times 10^{-6**}$	0.03	2.13
t-1_ダークプール比率	-1.20×10^{-6}	0.41	-0.83	$1.04 \times 10^{-5***}$	0.00	2.94
t-1_ボラティリティ（1 分毎）	$3.16 \times 10^{-5***}$	0.00	9.36	$3.33 \times 10^{-5***}$	0.00	5.29
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,270			9,250		
R-squared (Within)	0.21			0.27		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

表 5.3.5 ボラティリティ（10 分毎）へのラグ変数付き固定効果モデル分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
約定件数	$5.00 \times 10^{-4***}$	0.00	4.92	$8.00 \times 10^{-4***}$	0.00	8.80
STR	$7.76 \times 10^{-5**}$	0.01	2.53	$1.00 \times 10^{-4**}$	0.02	2.43
HST 比率	$1.00 \times 10^{-4***}$	0.00	12.83	$-4.04 \times 10^{-5*}$	0.06	-1.87
dark 約定数量/約定件数	$1.40 \times 10^{-5**}$	0.03	2.21	$4.60 \times 10^{-5*}$	0.07	1.83
成行比率（注文数量ベース）	6.11×10^{-6}	0.55	0.60	4.65×10^{-5}	0.26	1.14
自己関与率	$-1.91 \times 10^{-5***}$	0.00	-2.99	$2.01 \times 10^{-5*}$	0.08	1.77
t-1_ダークプール比率	$-9.94 \times 10^{-6**}$	0.03	-2.13	$4.11 \times 10^{-5***}$	0.00	3.05
t-1_ボラティリティ（10 分毎）	$3.45 \times 10^{-5***}$	0.00	3.15	$1.00 \times 10^{-4***}$	0.00	4.81
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,270			9,250		
R-squared (Within)	0.12			0.22		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

表 5.3.6 ダークプール比率（ボラティリティ（1 分毎）を説明変数）へのラグ変数付き固定効果モデル分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
約定件数	$-7.30 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.98	$-2.20 \times 10^{-3**}$	0.02	-2.35
STR	$-4.50 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.01	-7.00×10^{-4}	0.54	-0.62
HST 比率	-4.01×10^{-5}	0.95	-0.06	4.00×10^{-4}	0.54	0.61
dark 約定数量/約定件数	$2.06 \times 10^{-2***}$	0.00	4.08	$1.09 \times 10^{-2**}$	0.03	2.19
成行比率（注文数量ベース）	$-2.40 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.64	$-2.30 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.14
自己関与率	$-6.80 \times 10^{-3***}$	0.00	-11.01	$-5.30 \times 10^{-3***}$	0.00	-10.57
t-1_ボラティリティ（1 分毎）	9.00×10^{-4}	0.22	1.23	3.00×10^{-4}	0.30	1.03
t-1_ダークプール比率	$2.70 \times 10^{-3*}$	0.05	1.93	$3.50 \times 10^{-3***}$	0.00	4.50
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,270			9,250		
R-squared (Within)	0.15			0.09		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

表 5.3.7 ダークプール比率（ボラティリティ（10 分毎）を説明変数）へのラグ変数付き固定効果モデル分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
約定件数	$-7.40 \times 10^{-3***}$	0.00	-4.00	$-2.20 \times 10^{-3**}$	0.02	-2.36
STR	$-4.60 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.06	-7.00×10^{-4}	0.53	-0.62
HST 比率	-3.26×10^{-5}	0.96	-0.05	4.00×10^{-4}	0.54	0.62
dark 約定数量/約定件数	$2.06 \times 10^{-2***}$	0.00	4.08	$1.09 \times 10^{-2**}$	0.03	2.19
成行比率（注文数量ベース）	$-2.40 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.66	$-2.30 \times 10^{-3***}$	0.00	-3.14
自己関与率	$-6.80 \times 10^{-3***}$	0.00	-11.00	$-5.30 \times 10^{-3***}$	0.00	-10.58
t-1_ボラティリティ（10 分毎）	$1.40 \times 10^{-3**}$	0.02	2.28	3.00×10^{-4}	0.31	1.02
t-1_ダークプール比率	$2.70 \times 10^{-3*}$	0.05	1.93	$3.50 \times 10^{-3***}$	0.00	4.50
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,270			9,250		
R-squared (Within)	0.15			0.09		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

表 5.3.8 ラグ変数付き固定効果モデル分析結果のまとめ

期間	検定方向	主な結果	解釈
低ボラティリティ期間	ダークプール比率 →ボラティリティ（1 分毎）	非有意	ダークプール比率によるボラティリティに対する統計的に有意な影響はなし
	ダークプール比率 →ボラティリティ（10 分毎）	負に有意	ダークプール比率上昇がボラティリティを抑制 （市場の安定化）
	ボラティリティ（1 分毎） →ダークプール比率	非有意	ボラティリティによるダークプール比率に対する統計的に有意な影響はなし
	ボラティリティ（10 分毎） →ダークプール比率	正に有意	ボラティリティ上昇がダークプール比率を上昇 （投資家はボラティリティの影響を避けるためダークプールを選好）
高ボラティリティ期間	ダークプール比率 →ボラティリティ（1 分毎）	正に有意	ダークプール比率上昇がボラティリティを増幅 （市場の不安定化）
	ダークプール比率 →ボラティリティ（10 分毎）	正に有意	ダークプール比率上昇がボラティリティを増幅 （市場の不安定化）
	ボラティリティ（1 分毎） →ダークプール比率	非有意	ボラティリティによるダークプール比率に対する統計的に有意な影響はなし
	ボラティリティ（10 分毎） →ダークプール比率	非有意	ボラティリティによるダークプール比率に対する統計的に有意な影響はなし

5.3.2 Variance Ratio（分散比）

Variance Ratio については、図 5.3.2 のとおりダークプール比率区分間で比較しても特段変化はなかった。また、ダークプール比率が最も高い区分と最も低い区分とで Variance Ratio の分布密度関数を比較したものが図 5.3.3。両グループにおける分布密度関数はほぼ変わらず、両グループの平均値について t 検定を実施したが有意な差は存在しなかった。

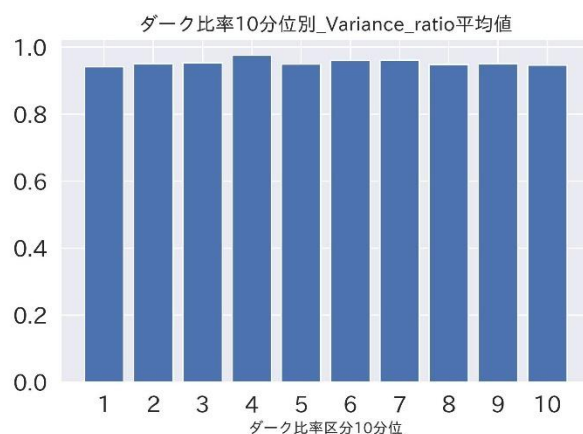


図 5.3.2 ダークプール比率区分別 Variance Ratio

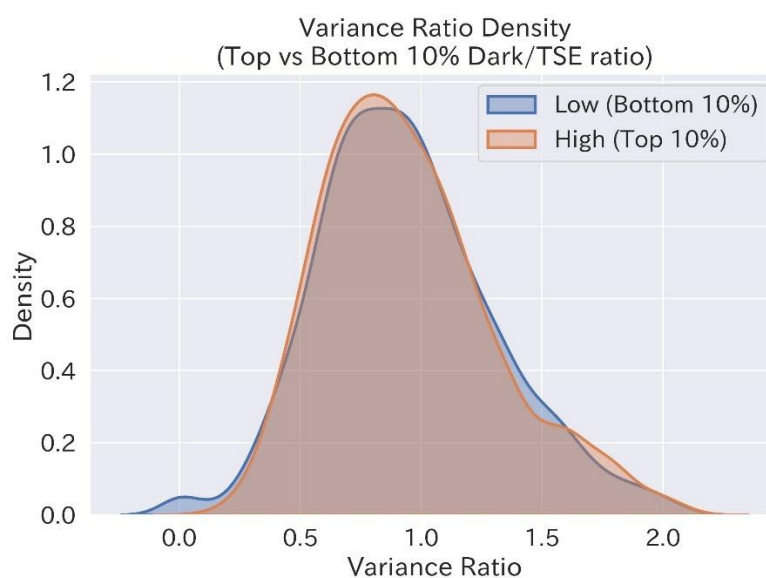


図 5.3.3 Variance Ratio の分布密度関数の比較

5.3.3 autocorrelation（自己相関）

autocorrelation について、10 秒毎、30 秒毎、60 秒毎に銘柄、営業日別に計算を行い、ダークプール比率をベース

に 10 分割し、それぞれのグループ毎に平均値を計算したものが、以下。10 秒毎、30 秒毎では、ダークプール比率が増加する毎に Autocorrelation が増加傾向にあるが、60 秒毎の場合そういった傾向は見られない。

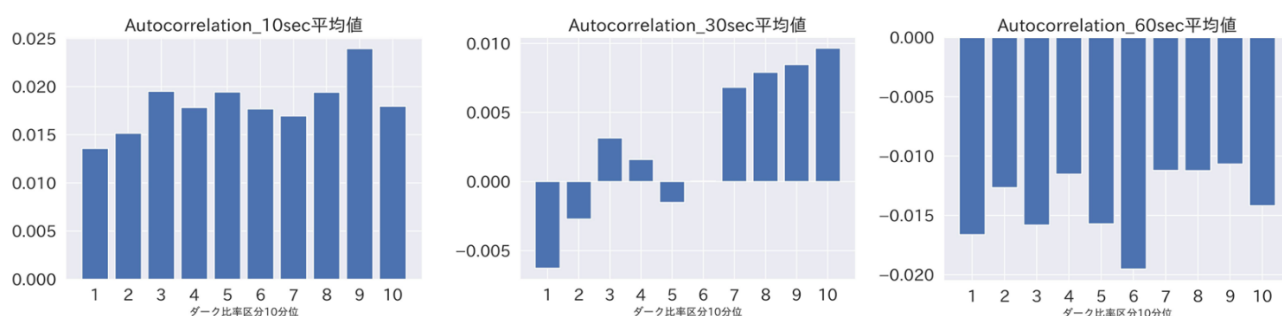


図 5.3.4 ダークプール比率区分別 autocorrelation

上記図のとおり、autocorrelation については、その計算の期間幅で正・負が異なるため、営業日別、銘柄別の autocorrelation の絶対値について分析する。autocorrelation の絶対値が 0 から乖離するほど、市場効率性が低下していると解釈できる。

autocorrelation の絶対値について、これまでと同様に固定効果モデルにより分析を行った結果が以下。ダークプール比率については、10 秒、30 秒については、高ボラティリティ期間においてのみ正に有意となっており、低ボラティリティ環境下では、ダークプール比率は有意ではない。このことから高ボラティリティ環境下において、ダークプール比率の上昇が市場の質に負の影響を与える可能性がある。

HST 比率について、今回の分析においても、低ボラティリティ期間（10sec, 30sec）と高ボラティリティ期間において、符号が逆転している。低ボラティリティ環境下であれば、HST 比率が上昇すると自己相関の絶対値が増加する傾向（市場の質にマイナスの影響）にあり、高ボラティリティ環境下では逆の影響（市場の質にプラスの影響）を与えるという結果にあり、ボラティリティにおける分析結果と同様、市場環境によって影響が異なるという結果となっている。

表 5.3.9 autocorrelation の絶対値への分析結果（低ボラティリティ期間）

	10sec		30sec		60sec	
	非標準化係数	t 値	非標準化係数	t 値	非標準化係数	t 値
デプス	$-5.70 \times 10^{-3}*$	-1.68	4.23×10^{-5}	0.06	$-2.10 \times 10^{-3}***$	-5.42
High-Low ボラティリティ	$1.90 \times 10^{-3}***$	3.36	$2.50 \times 10^{-3}***$	3.43	1.50×10^{-3}	1.51
STR	-2.10×10^{-3}	-1.00	1.70×10^{-3}	0.85	3.10×10^{-3}	1.40
ティック・ウェイト	$-7.10 \times 10^{-3}***$	-3.84	6.00×10^{-4}	0.23	2.30×10^{-3}	0.67
dark 約定数量/約定件数	-9.00×10^{-4}	-1.16	-9.00×10^{-4}	-1.02	1.10×10^{-3}	0.88
ダークプール比率	5.00×10^{-4}	0.78	7.00×10^{-4}	0.87	-1.40×10^{-3}	-1.24
HST 比率	1.82×10^{-5}	0.03	1.50×10^{-5}	0.02	8.00×10^{-4}	0.81
約定件数	-6.00×10^{-4}	-0.77	1.30×10^{-3}	1.01	8.00×10^{-4}	0.46
Stock fixed effects	Yes		Yes		Yes	
Time fixed effects	Yes		Yes		Yes	
No. Observations	9,758		9,758		9,758	
R-squared (Within)	0.00		0.00		0.00	

*** $p < 0.01$, ** $p < 0.05$, * $p < 0.10$

表 5.3.10 autocorrelation の絶対値への分析結果（高ボラティリティ期間）

	10sec		30sec		60sec	
	非標準化係数	t 値	非標準化係数	t 値	非標準化係数	t 値
デブス	$4.60 \times 10^{-3}***$	3.89	2.40×10^{-3}	0.99	3.50×10^{-3}	1.35
High-Low ボラティリティ	$6.30 \times 10^{-3}***$	6.10	$5.50 \times 10^{-3}***$	4.36	$4.10 \times 10^{-3}***$	3.04
STR	-1.80×10^{-3}	-1.33	3.00×10^{-4}	0.14	2.40×10^{-3}	1.61
ティック・ウェイト	$-3.60 \times 10^{-3}**$	-2.04	-3.30×10^{-3}	-1.24	5.00×10^{-4}	0.21
dark 約定数量/約定件数	$-2.00 \times 10^{-3}***$	-3.62	$-1.60 \times 10^{-3}**$	-2.08	-4.00×10^{-4}	-0.39
ダークプール比率	$1.50 \times 10^{-3}***$	2.95	$1.20 \times 10^{-3}*$	1.76	6.00×10^{-4}	0.68
HST 比率	$-4.30 \times 10^{-3}***$	-6.83	$-3.80 \times 10^{-3}***$	-4.86	$-2.40 \times 10^{-3}***$	-2.33
約定件数	$-3.10 \times 10^{-3}***$	-3.47	$-5.40 \times 10^{-3}***$	-3.75	-1.50×10^{-3}	-1.13
Stock fixed effects	Yes		Yes		Yes	
Time fixed effects	Yes		Yes		Yes	
No. Observations	9,737		9,737		9,737	
R-squared (Within)	0.03		0.01		0.00	

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

5.3.4 当日終値と翌営業日 10 時の株価との乖離率

上記と同様にダークプール比率をベースに 10 分割し、当日終値と翌営業日 10 時の株価との乖離率⁵⁰の平均値をグラフ化したものが以下。ダークプール比率が最も高い区分の平均値が相対的に低いようにも見える。

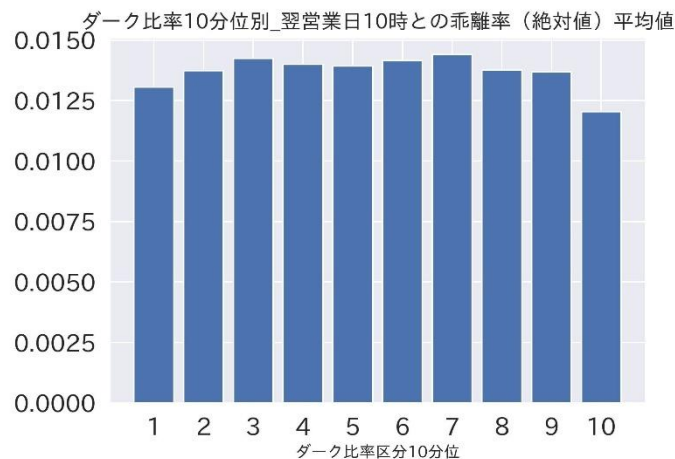


図 5.3.5 ダークプール比率区分別 当日終値と翌営業日 10 時の株価との乖離率

同様に翌営業日 10 時の株価との乖離率に影響を与える変数等を含めて固定効果モデルによる分析を行った結果が以下。ダークプール比率の係数が低ボラティリティ期間及び高ボラティリティ期間においても、有意ではなく（低ボラティリティ期間においては 10%有意で負）、当該乖離率に対しては、ダークプール比率が影響を与えていないという結果となった。

⁵⁰ |当日終値 - 翌営業日 10 時の株価|/当日終値により計算。翌営業日 10 時の株価とした理由は、東証における取引開始時刻近辺はボラティリティが高く、株価が安定していないため、比較的株価が安定する 10 時の株価を採用した。

表 5.3.11 当日終値と翌営業日 10 時の株価との乖離率への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
ダークプール比率	$-1.00 \times 10^{-4*}$	0.08	-1.74	9.89×10^{-5}	0.59	0.54
High-Low ボラティリティ	1.00×10^{-4}	0.19	1.31	$5.00 \times 10^{-3***}$	0.00	11.74
成行比率（注文数量ベース）	$6.00 \times 10^{-4***}$	0.00	5.74	$1.40 \times 10^{-3***}$	0.00	5.09
発注件数	1.00×10^{-4}	0.72	0.36	$1.10 \times 10^{-3**}$	0.01	2.54
株価	-8.00×10^{-4}	0.44	-0.77	$7.90 \times 10^{-3*}$	0.08	1.76
呼値の単位	-4.48×10^{-5}	0.79	-0.26	$-1.20 \times 10^{-3**}$	0.01	-2.54
デプス	$-1.00 \times 10^{-4***}$	0.00	-5.17	$1.10 \times 10^{-3***}$	0.00	4.91
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	9,758			9,737		
R-squared (Within)	0.01			0.19		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

5.3.5 （補足）低ボラティリティ期間、高ボラティリティ期間における HST の取引について

両期間における HST による売買代金比率⁵¹を計算したものが以下の図。高ボラティリティ期間においては、HST 比率が上昇する傾向にあることがわかる。また、HST 比率が最も高かったのは 2024 年 8 月 7 日であり、株価が急落した 2024 年 8 月 5 日の 2 日後となっている。

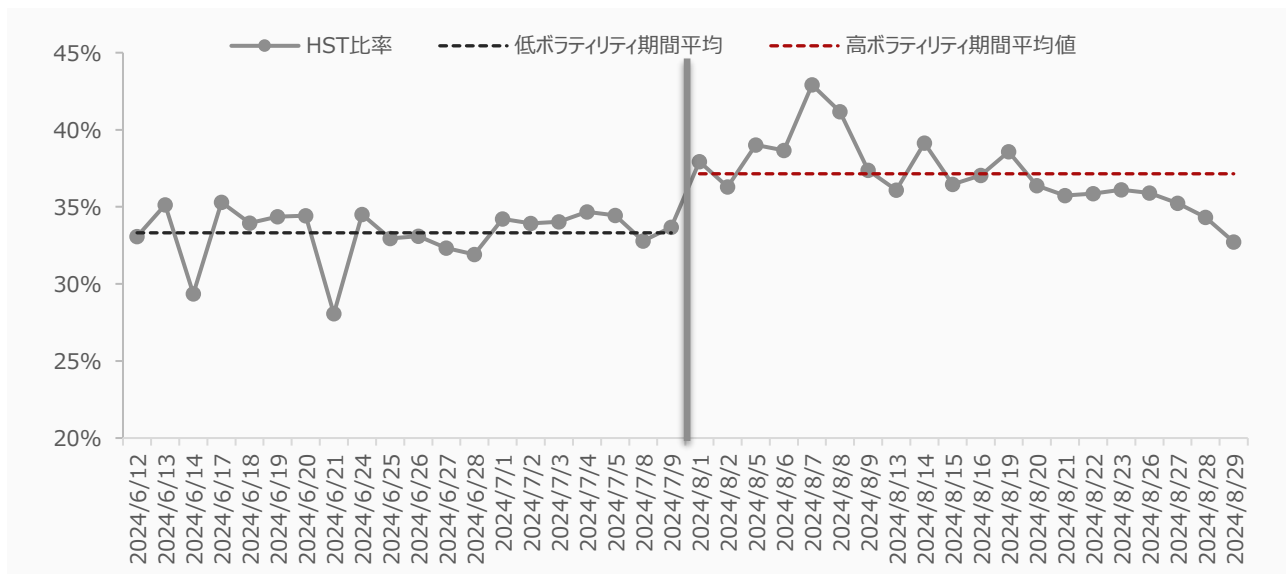


図 5.3.6 HST 比率の推移

⁵¹ 東京証券取引所の呼値に関する規則において、高速取引行為に係る注文を行う際には、マーケットメイク戦略、アービトラージ戦略、ディレクショナル戦略又はその他戦略の別を明示する必要があり、上記戦略が明示された注文による約定をここでは HST による売買代金としている。ここでは対象の銘柄を絞ってはならず、東証市場に上場する全銘柄で計算を行っている。

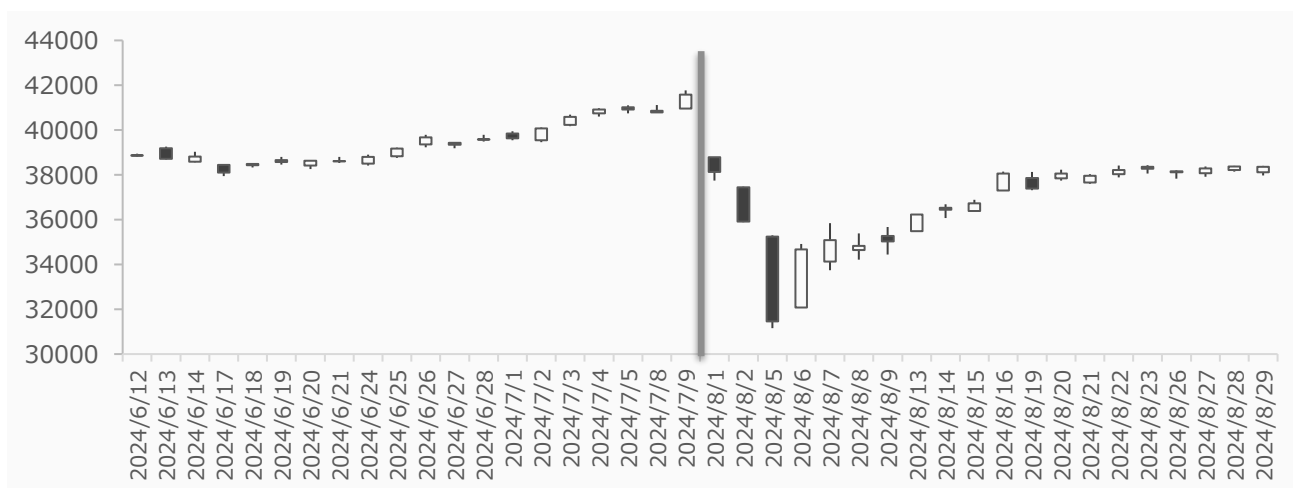


図 5.3.7 日経平均株価指数の推移

これまでの分析において、低ボラティリティ期間においては、HST 比率の上昇が、ボラティリティや autocorrelation といった市場の質に対して負の影響を与え、高ボラティリティ期間においては、HST 比率の上昇が、市場の質に対して正の影響を与える結果となっている。

これらの結果から、両期間において、HST による取引（約定形態）が変化している可能性がある。具体的には、東証市場において HST が積極的に注文板上に存在する注文を取る形（take 注文）での約定なのか、HST が既に注文板上に出している注文（make 注文）が他の注文により約定する形での約定なのか、について確認を行う。make 注文による約定が増加する場合、株価の変動を抑制する形での約定となり、市場の質にプラスの影響を与える可能性があると考えられるためである。

取引時間を 15 分毎に区切り、各々の時間帯における HST による売り、買い別にそれぞれ take/make 注文による売買代金を算出し、それらの売買代金を当該時間帯における全体の売買代金で除して HST による make 買い、make 売り、take 買い、take 売り比率を求める。それらのデータを低ボラティリティ期間、高ボラティリティ期間、そして株価が急落した 2024 年 8 月 5 日について示したものが図 5.3.8。上段の make 買い、make 売りの比率については、高ボラティリティ期間において上昇しており、特に 2024 年 8 月 5 日については、make 買い、make 売り共に、全時間帯をとおして、高い水準にあることがわかる。また、take 買い、take 売りについては、低ボラティリティ期間と高ボラティリティ期間を比較すると高ボラティリティ期間が少し高いようにも見えるが、make 買い、make 売りと異なり、その差は明確ではない。

これらのデータからは、高ボラティリティ期間には、HST による make 注文による約定が増加し、それらの約定がボラティリティを抑制する影響、autocorrelation の絶対値を低下させる影響を与えたということなのではないかと考えられる。

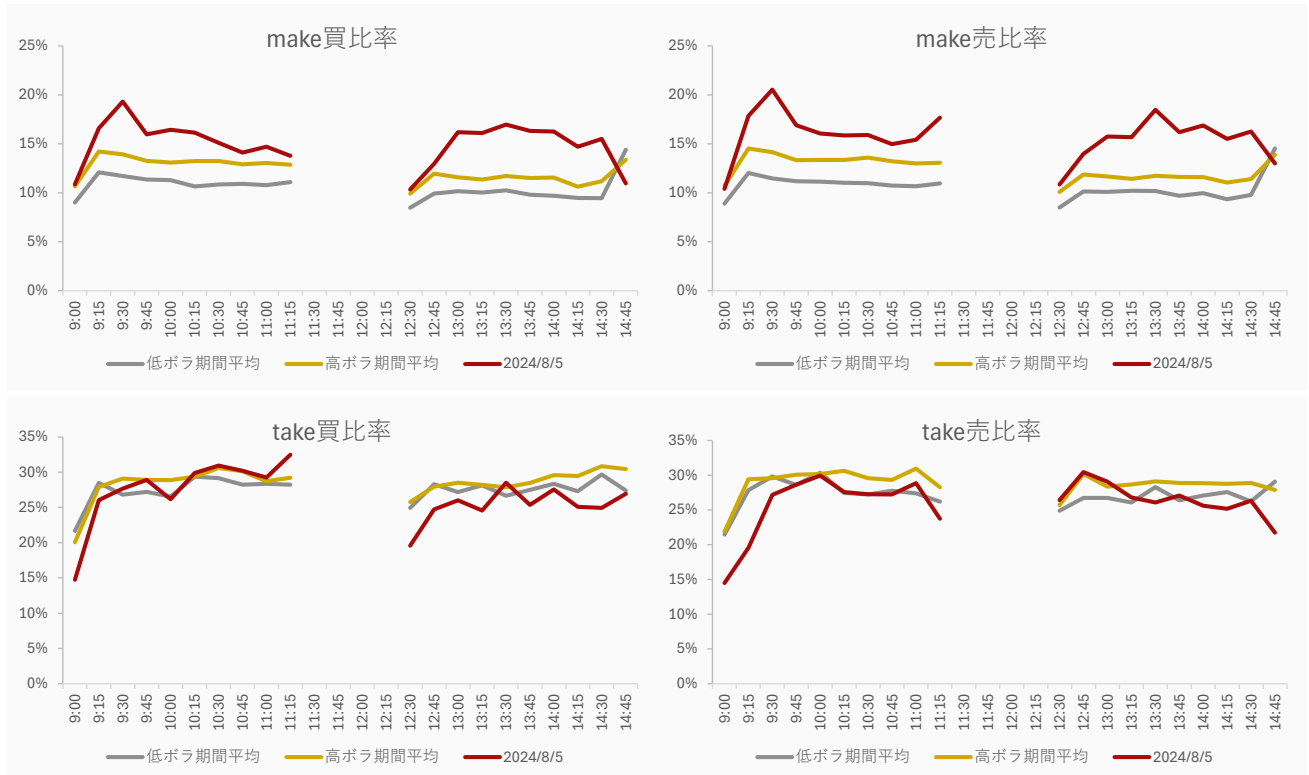


図 5.3.8 HST による make/take 注文による売買代金比率

5.3.6 市場の質に関する分析結果のまとめ

市場の質についての分析を行ってきたが、結果についてまとめたものが以下の表。市場の質に対してプラスの影響があった項目を+、マイナスの影響があった項目を-としている。結果はプラスとマイナスの影響が混ざり合っているが、ボラティリティに関する分析で確認したとおり、低ボラティリティ期間と高ボラティリティ期間では、ダークプールでの取引が市場の質に与える影響は変化していると考えられる。

低ボラティリティ環境下においては、ダークプールでの執行がマーケット市場に与える価格インパクトを減少させ、市場の価格の変動等を抑制する働きがあるが、高ボラティリティ環境下においては、ダークプールでの執行が価格発見を遅らせ、市場を不安定化する働きを持つということではないかと考えられる。

表 5.3.12 ダークプール比率と市場の質に関する分析結果

	低ボラティリティ期間	高ボラティリティ期間
ボラティリティ (1 分毎)	+	-
ボラティリティ (10 分毎)	+	-
Variance Ratio		
autocorrelation (10 秒)		-
autocorrelation (30 秒)		-
autocorrelation (60 秒)		
翌 10 時の株価乖離率	(+)	

5.4 ダークプールの特徴

分析期間においてダークプール・フラグを付して取引が行われた取引参加者（ダークプール）の数は19社であり、ダークプールにおける取引データ（ダークプールにおける1件1件の約定データ）からダークプールの特徴で分類（クラスタリング⁵²）を行った結果が以下。下記のとおり、ダークプールによりその特徴が異なっていることがわかる。

クラスター1は自己関与率及びmid比率が高く、outside比率も比較的高いダークプール。クラスター2は、1約定あたりの株式数が非常に大きく、自己関与率がなく、デプスが低い銘柄で約定しており、inside比率、Mid比率が非常に高いダークプール。クラスター3はat比率が高いダークプール。クラスター4はクラスター1と似た特徴を持つが、inside比率が高く、outside比率はクラスター1よりも低いダークプールとなっている。

ダークプール毎にその特徴は異なるため、これ以降の分析（ダークプールの約定毎の分析）において、クラスター番号をダミー変数として用い、その影響をコントロールすることとする。

表 5.4.1 各クラスターにおける主要なデータ（クラスター毎の平均値）

	1 約定あたりの株式数	自己関与率	デプス	at 比率	inside 比率	outside 比率	Mid 比率
クラスター1	204	8.6%	24,741	20%	69%	11%	52%
クラスター2	11,252	0.0%	3,031	4%	92%	4%	83%
クラスター3	348	6.2%	50,963	81%	19%	1%	15%
クラスター4	141	8.5%	20,717	17%	80%	3%	56%

5.5 ダークプールにおける約定値段（相対値）

ダークプールの約定値段について、どのような条件で決まるか、分析を行う。分析対象のデータは、ダークプール約定値段が東証の最良気配値段内（inside）のもので、Mid 値段での約定は除く。ダークプール約定値段（相対値）⁵³について、分析対象銘柄の分析対象期間における各ダークプールでの約定毎に計算を行い、ダークプール約定値段（相対値）を被説明変数として固定効果モデルによる分析を行った。

分析結果を確認すると、マイクロ・プライス相対値は正の相関を持ち、また、東証における最良売気配値段におけるデプスが各銘柄のその日の時間加重平均値よりも大きい場合（相対的に売り圧力が高い状況下）では、ダークプール約定値段が相対的に低くなる（東証における最良買気配値段におけるデプスについてはその逆の結果）ことから、ダークプールにおける約定値段（Mid 値段での約定を除く）は東証における板状況の影響を受けていることがわかる。

また、ダークプールにおける約定について、自己による約定値段は自己側にとって不利な値段での約定となる傾向（売り方が自己の場合はダークプールにおける約定値段（相対値）が低くなる傾向）があることを示している。

⁵² K-means 法により、クラスタリングを行った。クラスタリング数はシルエット分析、エルボー法等を用いて決定している。

⁵³ ダークプール約定値段（相対値）は東証の最良気配値段内の約定においては、-1～+1 が取り得る値。東証の最良買気配値段に近い場合は、-1 に近付き、東証の最良売気配値段に近い場合は+1 に近い値をとる。東証における最良気配値段のスプレッドを基準に、ダークプールにおける約定値段が Mid 値段に対して高いのか、低いのかを示す。

表 5.5.1 ダークプールにおける約定値段（相対値）への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
平均デプス以上（両側） ダミー	$2.20 \times 10^{-3} **$	0.02	2.42	3.00×10^{-4}	0.69	0.40
平均デプス以上（Ask） ダミー	$-1.47 \times 10^{-2} ***$	0.00	-3.55	$-1.43 \times 10^{-2} ***$	0.00	-7.04
平均デプス以上（Bid） ダミー	$8.00 \times 10^{-3} **$	0.01	2.45	$1.13 \times 10^{-2} ***$	0.00	8.03
マイクロ・プライス（相対値）	$4.46 \times 10^{-2} ***$	0.00	9.87	$3.08 \times 10^{-2} ***$	0.00	13.07
売方自己 ダミー	$-3.70 \times 10^{-3} **$	0.01	-2.49	$-1.40 \times 10^{-2} ***$	0.00	-5.92
買方自己 ダミー	$1.02 \times 10^{-2} ***$	0.00	6.15	$1.19 \times 10^{-2} ***$	0.00	7.32
クラスター2 ダミー	5.00×10^{-4}	0.16	1.41	-3.04×10^{-5}	0.91	-0.11
クラスター3 ダミー	4.00×10^{-4}	0.28	1.08	8.00×10^{-4}	0.11	1.58
クラスター4 ダミー	$9.60 \times 10^{-3} **$	0.01	2.45	2.40×10^{-3}	0.52	0.65
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	2,193,731			3,058,281		
R-squared (Within)	0.02			0.01		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

5.6 ダークプールにおける価格改善率

ダークプールにおける価格改善率について、どのような要因で変化するかについても分析を行う。分析にあたっては、Mid 値段で約定したものを除き、買方の価格改善率と売方の価格改善率を被説明変数に対してそれぞれ固定効果分析を行う。また、説明変数で用いるデプスについて、Bid 側（買側）と Ask 側（売側）のデプスについて相関が存在することから、Bid 側のデプス、Ask 側のデプスについて別々に説明変数として加え、分析を行うこととする。

5.6.1 買方の価格改善率

買方の価格改善率についての分析結果が表 5.6.1。上記のとおり、説明変数について Bid 側のデプス、Ask 側のデプスを加えたもので別々に分析を行っている。

Bid 側のデプスを説明変数に加えた結果を確認すると、高ボラティリティ期間における Bid 側デプスの係数は負に有意となっている。このことは東証における最良買気配注文数量が増加するとダークプールにおける買方の価格改善率が低下することを意味している。また、Ask 側のデプスを説明変数に加えた結果を確認すると、Ask 側デプスの係数は正に有意となっている。このことは東証における最良売気配注文数量が増加するとダークプールにおける買方の価格改善率が上昇することを意味している。これらの結果は、上述のダークプールにおける約定値段（相対値）における、ダークプールにおける約定値段がマイクロ・プライスに比例するという結果と整合的である。

また、売方が自己である場合は、買方の価格改善率が正となり、買方が自己である場合は、買方の価格改善率が負となることから、ダークプールにおける自己の約定は相対的に不利な価格で約定している傾向にある。約定数量については、約定数量が大きい場合には価格改善率は負の影響を受けると考えられるが、買方の価格改善率に正の影響が認められた。この理由については不明である。売方の価格改善率の分析結果においては、低ボラティリティ期間において、売方の価格改善率に負の影響がある。約定数量が大きい場合、買方の価格改善率は良くなるが、売方の価格改善率は悪くなる、と言う点については、今回の分析に含まれない別の変数等の影響による可能性はある。

東証における相対スプレッド（最良売気配値段から最良買気配値段を引いたものを株価で除し各銘柄のスプレッド

を基準化したもの）は価格改善に正となっているが、これは、東証におけるスプレッドが広い場合には、ダークプールにおけるマーケットメイカー等が提示できる価格の自由度が高まる（ミッドポイントから乖離する値段で約定しやすい）結果として、価格改善率が高くなる傾向にあるのではないかと考えられる。

表 5.6.1 買方の価格改善率（デプス_Bid を説明変数）への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
平均デプス以上（両側） ダミー	$1.98 \times 10^{-6}***$	0.00	5.62	1.08×10^{-7}	0.88	0.15
デプス (Bid)	$-7.51 \times 10^{-7}*$	0.05	-1.95	$-7.19 \times 10^{-6}***$	0.00	-6.32
売方自己 ダミー	$2.41 \times 10^{-5}***$	0.00	31.24	$2.70 \times 10^{-5}***$	0.00	23.33
買方自己 ダミー	$-2.51 \times 10^{-5}***$	0.00	-26.63	$-4.08 \times 10^{-5}***$	0.00	-33.26
クラスター2 ダミー	$4.50 \times 10^{-7}**$	0.02	2.25	2.31×10^{-7}	0.27	1.10
クラスター3 ダミー	$-5.92 \times 10^{-6}**$	0.05	-1.98	-2.97×10^{-6}	0.12	-1.55
クラスター4 ダミー	8.47×10^{-7}	0.55	0.60	$9.46 \times 10^{-6}***$	0.00	5.50
約定数量	$2.70 \times 10^{-6}***$	0.00	5.08	$4.92 \times 10^{-6}***$	0.00	3.73
相対スプレッド	$1.00 \times 10^{-4}***$	0.00	26.36	$1.52 \times 10^{-5}***$	0.00	2.91
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	4,324,531			6,315,261		
R-squared (Within)	0.11			0.02		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

表 5.6.2 買方の価格改善率（デプス_Ask を説明変数）への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
平均デプス以上（両側） ダミー	$1.36 \times 10^{-6}**$	0.02	2.27	-1.28×10^{-6}	0.19	-1.32
デプス (Ask)	$1.23 \times 10^{-5}***$	0.00	6.22	$1.33 \times 10^{-5}***$	0.00	8.18
売方自己 ダミー	$2.41 \times 10^{-5}***$	0.00	31.22	$2.69 \times 10^{-5}***$	0.00	24.00
買方自己 ダミー	$-2.51 \times 10^{-5}***$	0.00	-26.45	$-4.09 \times 10^{-5}***$	0.00	-34.03
クラスター2 ダミー	$4.46 \times 10^{-7}**$	0.03	2.22	2.32×10^{-7}	0.26	1.12
クラスター3 ダミー	$-6.00 \times 10^{-6}**$	0.05	-1.97	-2.87×10^{-6}	0.12	-1.56
クラスター4 ダミー	8.96×10^{-7}	0.53	0.63	$9.36 \times 10^{-6}***$	0.00	5.54
約定数量	$2.81 \times 10^{-6}***$	0.00	5.22	$4.83 \times 10^{-6}***$	0.00	3.66
相対スプレッド	$1.00 \times 10^{-4}***$	0.00	26.36	$1.51 \times 10^{-5}***$	0.00	2.91
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	4,324,531			6,315,261		
R-squared (Within)	0.11			0.02		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

5.6.2 売方の価格改善率

売方の価格改善率について、買方の価格改善率と同様の分析を行った結果が以下。上述の買方の価格改善の分析結果とは逆に Bid 側のデプスについては正に有意に、Ask 側のデプスについては、負に有意となっている。このことから、東証における板状況に依存して、ダークプールにおける価格改善率も変化することがわかる。

また、自己による取引による価格改善率への影響についても、売方が自己である場合は、売方の価格改善率が負となっており、買方が自己である場合は売方の価格改善率が正となることから、売方の価格改善率の分析においても、自己側の価格改善率は相対的に不利な価格で約定する傾向にあることがわかる。

表 5.6.3 売方の価格改善率（デプス_Bid を説明変数）への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
平均デプス以上（両側） デプス (Bid)	-1.25×10 ^{-6***}	0.00	-3.75	6.14×10 ⁻⁷	0.37	0.91
	7.73×10 ^{-7**}	0.05	2.00	9.15×10 ^{-6***}	0.00	9.46
売方自己 ダミー	-2.37×10 ^{-5***}	0.00	-30.83	-3.98×10 ^{-5***}	0.00	-32.09
買方自己 ダミー	2.51×10 ^{-5***}	0.00	28.27	2.66×10 ^{-5***}	0.00	29.31
クラスター2 ダミー	-8.57×10 ⁻⁸	0.66	-0.44	5.87×10 ^{-7**}	0.02	2.39
クラスター3 ダミー	5.44×10 ^{-6*}	0.06	1.87	9.70×10 ^{-6***}	0.00	7.17
クラスター4 ダミー	4.24×10 ^{-6***}	0.00	3.08	1.38×10 ^{-5***}	0.00	8.09
約定数量	-2.84×10 ^{-6***}	0.00	-7.34	-1.45×10 ⁻⁶	0.13	-1.51
相対スプレッド	1.00×10 ^{-4***}	0.00	58.62	1.23×10 ^{-5**}	0.04	2.10
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	4,324,532			6,315,262		
R-squared (Within)	0.11			0.02		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

表 5.6.4 売方の価格改善率（デプス_Ask を説明変数）への分析結果

	低ボラティリティ期間			高ボラティリティ期間		
	非標準化係数	有意確率	t 値	非標準化係数	有意確率	t 値
平均デプス以上（両側） デプス (Ask)	-6.31×10 ⁻⁷	0.29	-1.07	1.74×10 ^{-6*}	0.08	1.77
	-1.21×10 ^{-5***}	0.00	-6.30	-7.93×10 ^{-6***}	0.00	-7.11
売方自己 ダミー	-2.36×10 ^{-5***}	0.00	-30.80	-3.98×10 ^{-5***}	0.00	-32.37
買方自己 ダミー	2.51×10 ^{-5***}	0.00	28.04	2.67×10 ^{-5***}	0.00	29.91
クラスター2 ダミー	-8.17×10 ⁻⁸	0.68	-0.41	5.86×10 ^{-7**}	0.02	2.39
クラスター3 ダミー	5.52×10 ^{-6*}	0.06	1.86	9.63×10 ^{-6***}	0.00	7.36
クラスター4 ダミー	4.20×10 ^{-6***}	0.00	3.04	1.39×10 ^{-5***}	0.00	8.19
約定数量	-2.95×10 ^{-6***}	0.00	-7.48	-1.38×10 ⁻⁶	0.15	-1.45
相対スプレッド	1.00×10 ^{-4***}	0.00	58.63	1.23×10 ^{-5**}	0.04	2.10
Stock fixed effects	Yes			Yes		
Time fixed effects	Yes			Yes		
No. Observations	4,324,532			6,315,262		
R-squared (Within)	0.11			0.02		

*** p < 0.01, ** p < 0.05, * p < 0.10

5.6.3 （補足）ダークプールにおける自己による約定に関する分析

これまでの価格改善率にかかる分析より、自己での約定については、自己側の価格改善率が相対的に悪いことがわかった。一方でなぜ自己側の価格改善率が悪化しているのかについて疑問が残る。ダークプールにおける自己の約定がどのような状況下で生じやすいかを分析することにより、なぜ自己側の価格改善率が劣化する形での約定となっているのかについて、理解する手がかりとなり得る。

ダークプールにおける自己の約定がどのような状況下で生じやすいかについては、自己での約定を 1、委託での約定を 0 として、これまでと同様に低ボラティリティ期間と高ボラティリティ期間のそれぞれについてロジスティック回帰分析を用いて買方が自己の場合と売方が自己の場合について分析することとする。

ダークプールによっては自己による約定比率がない若しくはほぼ 0 となっているダークプールも存在し、そうしたダークプールのデータを分析対象として含めた場合、適切な結果を得られないと考えられる。そのため、当該分析においては、ダークプールにおける自己の約定比率（件数ベース）が 0.1%以上のダークプールのデータのみを分析対象とする。また、ダークプール固有の影響をコントロールするため、ロジスティック回帰分析モデルにおいて、各ダークプールのダミー変数をモデルに組み入れる。また、当該分析においては、すべての説明変数のデータを標準化（平均 0、分散 1）して行っている。

ロジスティック回帰分析モデル

被説明変数が 0 or 1 になる 2 値データ Y ($Y=1$ or $Y=0$) が $Y=1$ （当該分析では自己による約定）となる確率を p として、 n 個の説明変数 (x_1, x_2, \dots, x_n) 及び $n+1$ 個 $(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n)$ の偏回帰係数（定数項含む）を用いてモデルを構築した場合は以下のとおり。

偏回帰係数の推定については、最尤法を用い、最尤法により得られた最尤推定値を用いることとする。

$$\log(p(Y=1)/1-p(Y=1)) = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_n x_n$$

ロジスティック回帰分析モデルによる分析結果は以下のとおり。モデルの評価を行うため、学習用データとして全体の 85%を割り当て、検証（テスト）用データとして 15%を割り当てた。学習用データを用いてモデルを作成し、当該モデルを検証用データに用い、モデルの適合性について、Accuracy⁵⁴、F1 スコア⁵⁵、ROC（Receiver Operating Characteristic）曲線の AUC（Area Under the Curve）⁵⁶を用いて数値化したものを記載している。

結果を確認すると、平均デプス以上（両側）ダミー（ダークプールでの約定タイミングにおいて、東証市場における Bid 側、Ask 側デプスの両方がダークプールにおいて約定した日の当該銘柄における時間加重平均デプス以上であった場合は 1、それ以外は 0）についてはオッズ比が 1 を下回っており、東証市場における Bid 側、Ask 側のデプスが大きい

⁵⁴ 正解率と呼ばれる指標であり、混同行列「TP (True Positive): 実際が正で、予測も正 (真陽性)、TN (True Negative): 実際が負で、予測も負 (真陰性)、FP (False Positive): 実際が負で、予測が正 (偽陽性)、FN (False Negative): 実際が正で、予測が負 (偽陰性)」を用いて表すと計算式は $Accuracy = (TP + TN)/(TP + TN + FP + FN)$ となる。

⁵⁵ 不均衡な ($y=1$ の割合が偏っている) データセットにおいて、モデルの性能をよりバランスよく評価するために使用される。適合率 ($Precision = TP/(TP + FP)$)と再現率 ($Recall = TP/(TP + FN)$)を用いて、 $F1 \text{ スコア} = 2 \times (Precision \times Recall)/(Precision + Recall)$ により計算を行っている。

⁵⁶ 受信者操作特性。X 軸を偽陽性率 ($FP/(FP + TN)$)、Y 軸を真陽性率 ($TP/(TP + FN)$)とし、今回は二値問題なので、ある閾値を設定した場合（例えば閾値=0.5）、閾値を超える値（例えば 0.6）の場合は $Y=1$ と分類されるが、その閾値を 0 から 1 まで変更し、それに対する、偽陽性率、真陽性率をプロットすることで ROC 曲線を作成することができる。もし、モデルの予測がランダムであれば、閾値を 1 から 0 に動かした場合、偽陽性率と真陽性率は共に同じ割合で上昇していくこととなり、ROC 曲線と X 軸で囲まれた面積（AUC）は 0.5 に近い値となる。またモデルの予測が正確になるほど、ROC 曲線と X 軸で囲まれた面積（AUC）は 1 に近付くこととなり、1 に近い程、モデルの予測精度が高いと評価できる。

場合には、自己での約定確率が低下することを示している。一方、買方が自己である場合は、デプス（Bid）、売方が自己である場合はデプス（Ask）のオッズ比は1を上回っており、自己での約定と同じサイドのデプスが大きい場合に自己での約定確率が上昇することを示している。マイクロ・プライス（相対値）についても、マイクロ・プライス（相対値）が高くなると買方が自己の約定確率が増加し、売方が自己の約定確率が低下することを示している。

このことから、自己での約定と同方向のデプスが大きい場合に約定が生じやすいことが分かり、また自己での約定確率はマイクロ・プライス（相対値）が高い時には、自己での買い約定確率が上昇（自己での売り約定確率が低下）することから、自己での約定値段が相対的に不利な値段と見える、ということではないか。

約定時刻については、オッズ比が1を上回っており、時間帯が遅くなる程、自己での約定確率が増加することを示している。一般的に株式市場におけるボラティリティは、前日からの情報を織り込むため前場寄付時間帯が最も高く、後場の大幅引けにかけてデプスが減少しボラティリティが低下する傾向にある（図 5.1.1 参照）。自己での約定はボラティリティの高い時間帯を避け、市場が相対的に安定している時間帯に行われやすいのではないかと推察される。

東証における気配スプレッドについてはオッズ比が1を下回っており、気配スプレッドが大きい場合には自己での約定確率が低下する。また約定数量についてもオッズ比が1を下回っており、約定数量が大きくなると自己での約定確率が低下する傾向にあることがわかる。

以上のことから、ダークプールにおける自己の約定については、東証市場の注文板状況等を勘案し、リスクをコントロールしたうえで約定を行っていることが伺える。価格改善率については、マイクロ・プライス等を参考に、約定を行った結果として、自己側の価格改善率が悪化しているように見える、ということではないか。

表 5.6.5 買方自己にかかるロジスティック回帰分析の結果

	低ボラティリティ期間		高ボラティリティ期間	
	オッズ比 ⁵⁷ (95%CI)	有意確率	オッズ比 (95%CI)	有意確率
平均デプス以上（両側） ダミー	0.858 (0.857 - 0.86)	0.00	0.86 (0.858 - 0.861)	0.00
デプス (Bid)	1.111 (1.109 - 1.114)	0.00	1.096 (1.094 - 1.098)	0.00
約定時刻 (秒)	1.221 (1.219 - 1.223)	0.00	1.257 (1.255 - 1.259)	0.00
気配スプレッド (東証)	0.894 (0.892 - 0.896)	0.00	0.854 (0.851 - 0.858)	0.00
マイクロ・プライス (相対値)	1.038 (1.036 - 1.039)	0.00	1.028 (1.026 - 1.03)	0.00
Mid 値約定 ダミー	0.993 (0.991 - 0.995)	0.00	0.995 (0.992 - 0.997)	0.00
約定数量	0.776 (0.771 - 0.781)	0.00	0.682 (0.677 - 0.687)	0.00
No. Observations	7,030,313		7,514,399	
y=1 の割合	0.17		0.18	
Mcfadden 疑似決定係数 ⁵⁸	0.43		0.41	
対数尤度	-3,891,050		-4,246,926	
Accuracy	0.71		0.68	
F1 スコア	0.45		0.44	
ROC_AUC	0.74		0.74	

⁵⁷ オッズ比は、モデルから算出した偏回帰係数から計算可能であり、例えば約定数量の偏回帰係数が-0.254 であったとするとオッズ比は $e^{-0.254} = 0.776$ となる。オッズ比はある変数が1単位変化した場合に y=1 となる確率（ここでは自己での約定が生じる確率）がどの程度変化するかを示す。約定数量のオッズ比が0.776 であるとする、標準化後の約定数量が1単位増加するとした場合、y=1 となる確率は22.4%減少する。

⁵⁸ ロジスティック回帰分析においても重回帰分析における決定係数のような0から1の間に収まるモデルの適合度を示す指標を McFadden (1974)により提案されたもの。データから最尤推定法に基づき計算された偏回帰係数を用いて計算した尤度を L_{full} とし、偏回帰係数全てを0と置いた尤度を L_{null} として、 $Mcfadden\ pseudo\ R^2 = 1 - L_{full}/L_{null}$ で計算を行う。

表 5.6.6 売方自己にかかるロジスティック回帰分析の結果

	低ボラティリティ期間		高ボラティリティ期間	
	オッズ比 (95%CI)	有意確率	オッズ比 (95%CI)	有意確率
平均デプス以上 (両側) ダミー	0.854 (0.852 - 0.855)	0.00	0.838 (0.836 - 0.839)	0.00
デプス (Ask)	1.193 (1.191 - 1.194)	0.00	1.316 (1.314 - 1.319)	0.00
約定時刻 (秒)	1.213 (1.211 - 1.216)	0.00	1.151 (1.149 - 1.153)	0.00
気配スプレッド (東証)	0.864 (0.862 - 0.866)	0.00	0.877 (0.873 - 0.88)	0.00
マイクロ・プライス (相対値)	0.949 (0.948 - 0.951)	0.00	0.98 (0.978 - 0.982)	0.00
Mid 値約定 ダミー	0.99 (0.988 - 0.992)	0.00	0.927 (0.925 - 0.929)	0.00
約定数量	0.623 (0.618 - 0.628)	0.00	0.581 (0.577 - 0.586)	0.00
No. Observations	7,030,313		7,514,399	
y=1 の割合	0.15		0.17	
Mcfadden 疑似決定係数	0.43		0.44	
対数尤度	-3,977,799		-4,158,020	
Accuracy	0.69		0.66	
F1 スコア	0.40		0.44	
ROC_AUC	0.72		0.75	

6 おわりに

2020 年 8 月 17 日以降のダークプール・フラグが付与された後のデータについてその概要と、市場環境が異なる状況下におけるダークプールが市場に与える影響等について分析を行った。

ダークプール比率（対東証立会内）は高ボラティリティ環境下では低下する傾向にある。ボラティリティが高い環境下（そもその市場環境として全体的にボラティリティが高い状況以外にも例えば、銘柄固有のボラティリティの高さや発注件数が多い状況、成行注文比率が高い状況下など）においてダークプール比率が低下する傾向にある。このことは、投資家（個人投資家は取引参加者が提供する SOR を通じてダークプールで取引を行っていると考えられることから、主には機関投資家等と考えられる）はボラティリティが高い状況又は銘柄においては、気配情報が不明なダークプールにおける執行の不確実性（デイレイコスト）が意識され、ダークプール比率が低下するのではないかと考えられる。

ダークプールが市場の質に与える影響については、低ボラティリティ環境下においては、ダークプール比率が上昇することにより価格へのインパクトが抑制され、相対的に市場の質に対してプラスの影響を与える傾向にあるのではないかと考えられる。一方、高ボラティリティ環境下においては、ダークプール比率が上昇することにより、価格発見機能が低下し、その結果として市場の質へマイナスの影響を与えるのではないかと考えられる。今後、ダークプール比率が今よりさらに高い水準まで上昇した場合には、市場全体の価格発見機能が低下するなどの弊害が顕在化し、低ボラティリティ環境下においてもダークプール比率が市場の質に悪影響を与えるといった可能性がある。

ダークプールにおける約定値段においては、東証における注文板の状況、つまりデプスを加味したマイクロ・プライスとダークプールの約定値段が正の相関があることから、東証の立会内市場における注文板の状況がダークプールの約定値段に影響を与えていることが分かった。

ダークプールにおける価格改善率についても、ダークプールにおける約定値段と同様に、東証の立会内市場における注文板の状況の影響を受けている。価格改善率と約定数量との関係について、買方の価格改善率については、約定数量と正の関係が認められたのに対し、売方の価格改善率については、約定数量と負の関係が認められた。基本的には約定数量が大きい場合には、価格改善率は低下するものと考えられるが、実際にはそうはなっていない。この理由については、今回考慮している変数以外の要素が関係している可能性がある。

また、ダークプールにおける自己の約定については、反対側の約定よりも相対的に不利な価格で約定していることが分かった。これは東証の立会内市場の注文板において、自己による売買と同サイドのデプスが大きい場合に、自己の約定が発生しやすいことが理由の一つとして挙げられる。そのような状況下においては、例えば東証市場において Bid のデプスが大きい場合には、マイクロ・プライスは高くなり、それにマイクロ・プライスに基づいて自己が買いの約定を行っているとするれば、Mid 値と比較して相対的に不利な価格で約定するということについては説明がつくように思われる。また、東証市場におけるスプレッドが大きい場合や約定数量が大きくなると自己の約定確率が低下すること、ボラティリティが落ち着く後場以降で自己による約定が増加する傾向等を踏まえると、リスク等を抑えながら自己で約定している様子が伺える。

参考文献

- 大墳剛士 (2017). "日本におけるダーク・プールの実態分析." JPX ワーキング・ペーパー, vol.21.
- 川本 隆雄 (2018). "MiFID II の適用開始と欧州株式市場構造の変化." 月刊資本市場, (396), 36-43.
- "金融審議会「市場ワーキング・グループ」(第2回)議事録." 金融庁, (http://www.fsa.go.jp/singi/singi_kinyu/market_wg/gijiroku/20160615.html).
- "金融審議会「市場ワーキング・グループ」(第19回)議事録." 金融庁, (https://www.fsa.go.jp/singi/singi_kinyu/market_wg/gijiroku/20190219.html).
- "金融審議会「市場ワーキング・グループ」(第24回)議事録." 金融庁, (https://www.fsa.go.jp/singi/singi_kinyu/market_wg/gijiroku/20190603.html).
- "金融審議会 市場制度ワーキング・グループ 第二次中間整理." 金融庁, (https://www.fsa.go.jp/singi/singi_kinyu/tosin/20221221/houkoku.pdf).
- 西岡 伸・鳥居 拓馬・楠本 拓矢・松本 渉・和泉 潔 (2017). "マーケットメーカーがダーク・プールの存在する市場の効率性に与える影響：人工市場アプローチによる分析." 特集論文「エージェント技術とその応用 2017」.
- 矢澤 健太郎 (2016). "ウォール街の現在—ダークプールによる超頻度取引 (HFT) の問題点—." 第 87 集 日本の経営学 90 年の内省と構想【日本経営学会 90 周年記念特集】.
- Aquilina, M., Foley, S., O'Neill, P., Ruf, T. (2016). "Asymmetries in Dark Pool Reference Prices." FCA occasional papers.
- Bartlett, R. P., III., McCrary, J. (2015). "Dark Trading at the Midpoint:Pricing Rules, Order Flow and Price Discovery." NBER Working Papers.
- Brogaard, J., Pan, J. (2021). "Dark Pool Trading and Information Acquisition." The Review of Financial Studies, 35 (5), 2625-2666.
- Buti, S., Rindi, B., Werner, I. M. (2017). "Dark pool trading strategies, market quality and welfare." Journal of Financial Economics, 124, 244-265.
- Buti, S., Rindi, B., Werner, I. M. (2022). "Diving into dark pools." Financial Management, 51, 961-994.
- Comerton-Forde, C., Putniņš, T. (2015). "Dark trading and price discovery." Journal of Financial Economics, 118 (1), 70-92.
- Ganchev, K., Kearns, M., Nevmyvaka, Y., Wortman Vaughan, J. (2012). "Censored Exploration and the Dark Pool Problem." Proceedings of the Twenty-Fifth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, 185-194.
- Hendershott, T., Jones, C. M. (2005). "Island Goes Dark: Transparency, Fragmentation, and Regulation." The Review of Financial Studies, 18 (3), 743-793.
- Ibikunle, G., Rzaev, K. (2020). "Volatility, dark trading and market quality: Evidence from the 2020 COVID-19 pandemic-driven market volatility." Centre for Economic Policy Research.
- Lin, J. C., Sanger, G. C., Booth, G. G. (1995). "Trade Size and Components of the Bid-Ask Spread." The Review of Financial Studies, 8 (4), 1153-1183.

Petrescu, M., Wedow, M. (2017). "Dark pools in European equity markets: emergence, competition and implications. " Occasional Paper Series.

Ye, L. (2016). "Understanding the Impacts of Dark Pools on Price Discovery. "

Zhu, H. (2014). "Do Dark Pools Harm Price Discovery?. " The Review of Financial Studies, 27 (3), 747–789.