

# ダークプールでのHFTの取引

清水 葉子

## 1 はじめに

ハイ・フリクエンシー・トレーディング（高頻度取引、HFT）の取引行動は、気配が公表される「明るい」市場（通常の取引所など）での研究が多く行われているが、気配が公表されないダークプールでHFTがどのような取引行動をしているかを示した研究は多くない。本稿では、ダークプールでHFTがレイテンシー・アービトラージを行い、通常の参加者から利益を得ている可能性を示した研究を紹介したい。

## 2 プライマリー市場の中値で執行するダークプール

本研究が対象にしているのは、イギリスのダークプールでのHFTの取引である。イギリスのダークプールでは、プライマリー市場（ロンドン証券取引所などのいわゆる主市場）で出されている売り気配と買い気配の中値を使って、取引を執行しているところが多い。

こうした中値を利用するダークプールは、大口取引を行う投資家からのニーズがあるとされる。すなわち、機関投資家などの大口取引を行う投資家にとっては、通常のプライマリー市場でそのまま大口取引を市場に出すと、それを見た他の取引参加者が取引行動を変化させるので、自らに不利益となる方向の価格インパクトを生じさせてしまうおそれがある。これに対して、ダークプールでは、発注の事実や注文内容が他の取引参加者や他市場の

参加者に知られることがない。注文内容がお互いに分からない状態で、プライマリー市場の中値で機械的に執行されるので、大口注文を出したとしても価格インパクトにつながる可能性が原理的になく、取引コストを抑えることができるのである。

もちろん、ダークプールでは発注状況をお互いに見ることができないわけであるから、取引を希望する相手方がいるかどうか分からず、執行が不確実であるというデメリットは残る。

さて、プライマリー市場の中値での執行を行っているダークプールで、HFTはどのような動きをするのだろうか。プライマリー市場の価格の動きが速い時などには、ダークプールの中値の更新が遅れて、執行価格が古い価格 (stale price) になることがある。HFTは、こうした価格更新の遅延が生じた時に、遅延を利用して裁定取引を行い、事実上ノーリスクで利益を上げているとされる。具体的には、HFTは、プライマリー市場の価格更新をいち早く入手し早く反応して、古くなったダークプールの中値とプライマリー市場との間の裁定取引を行っている。こうした裁定取引は、中値の更新の遅延 (レイテンシー) を利用したレイテンシー・アービトラージの一種と理解されている。

### 3 ダークプールでのレイテンシー・アービトラージ

イギリスのダークプールでHFTが行っているとされるレイテンシー・アービトラージを図表1の模式例を使って見てみよう。

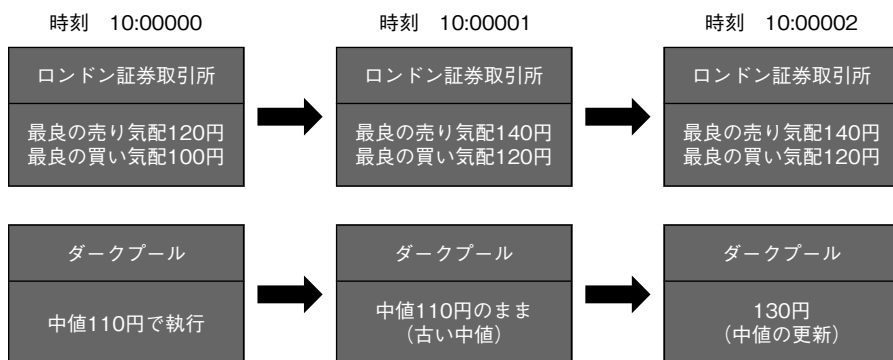
時刻10:00:00に、ある証券のロンドン証券取引所での最良売り気配が一二〇円、最良買い気配が一〇〇円であるとしよう。この時、ダークプールでは、プライマリー市場の最良売り気配と買い気配の中値である一一〇円で

取引を執行する。

こうしたダークプールはプライマリー市場の中値での執行を約束していることから、大口取引を行う機関投資家にとって便利な市場であるとされる。プライマリー市場で取引を行う場合には、潜在的に売り気配と買い気配の差額であるスプレッドを取引コストとして負担することになることに加え、他の取引参加者が大口取引の発注を知って、証券価格を自らに不利な方向に動かしてしまう価格インパクトが発生してしまう。これに対して、ダークプールはその名前の通り、取引意図を他の参加者に知られることなく、また中値で取引が執行されるので、価格インパクトの心配がない。

模式例で、時刻10:00001にプライマリー市場での証券価格が上昇し、最良の売り気配が130円、最良の買い気配が120円になったとしよう。市場の動きが早くて、ダークプールの中値の更新が追いつかない場合、ダークプールの中値は直前の110円のままである(古い中値)。このことをいち早く察知したHFTが、中値が110円のまま

図表1 ダークプールでのレイテンシー・アービトラージ(模式例)



ダークプールでは、プライマリー市場(ロンドン証券取引所)の売り気配と買い気配の中値で取引を執行する。時刻10:00000では、プライマリー市場の価格を受けて、ダークプールの中値は110円である。直後にロンドン証券取引所の気配が動き、ダークプールの中値の更新がわずかに遅れた場合、中値は古い110円のままとなる。この場合、HFTが十分迅速に対応できれば、ダークプールで110円で証券を買って、プライマリー市場の買い気配120円に対して売り注文を出すことで、事実上ノーリスクで裁定取引を行い、利益を得ることができる。ダークプールの中値は、時刻10:00002に遅れて更新され、裁定機会が閉じられる。

(出所) 参考文献をもとに、著者作成。

遅延している間にダークプールで証券を購入し、ロンドン証券取引所の新しい買い気配一二〇円に対して売り注文を出して取引を執行すれば、差額の一〇円を裁定取引の利益として得ることができる。

この裁定取引は、HFTの対応速度（および取引市場等の処理速度）が十分迅速であれば、事実上リスクゼロの裁定であり、中値更新の遅延（レイテンシー）を利用したレイテンシー・アービトラージである。

時間が経過して、ダークプールの中値の更新が追いつくと（時刻10:000002）、中値は一三〇円となり、プライマリー市場との間の裁定機会は終了する。

なお、この事例では、プライマリー市場の価格が二〇円上昇しているので、ダークプールの古い中値一一〇円で証券を買ってプライマリー市場の買い気配一二〇円に対して売ること、現実的な裁定機会が生じている。しかし、プライマリー市場の価格上昇が一〇円だけであれば（最良売り気配二三〇円、最良買い気配一一〇円）、ダークプールの古い中値一一〇円とプライマリー市場の買い気配一一〇円は同じであり、現実の裁定機会には届かない。ただし、計算上は、プライマリー市場の中値（一一五円）との間に潜在的な（計算上の）裁定機会が発生しており、本研究では便宜上この計算で裁定機会を測っている箇所がある（後述）。

#### 4 ダークプールでのレイテンシー・アービトラージの実態

本研究では、プライマリー市場のデータとしては、Financial Conduct Authority (FCA) が市場監督を目的に持っているデータを元に、注文板の情報と、取引情報（出来情報）を利用している。このデータは、FTSE350の全取引所取引量の九九・六%をカバーしている。

一方、ダークプールのデータは、トムソン・ロイター・ティック・ヒストリーのダークプール取引データを利

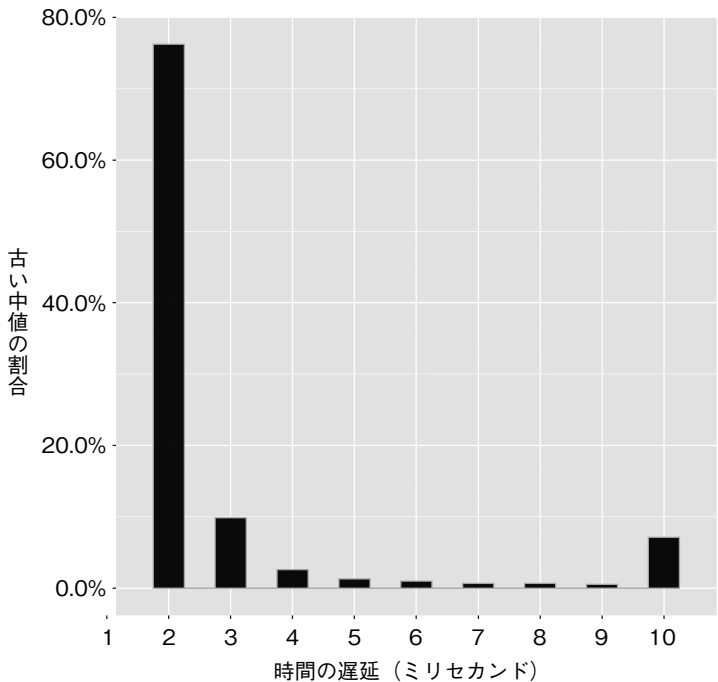
用しており、一部の小規模ダークプールや、（中値で取引しない）個別交渉型ダークプールを除外している。ダークなMTF (Multi Trading Facilities) の九四%をカバーしている。

以上のソースを利用して、FTSE100から五七銘柄、FTSE250から五七銘柄をランダム抽出し、二〇一四年から二〇一五年までの期間で、二ヶ月半の間の間隔をあげた五週間を分析したものである。また、HFTの特定方法は、コロケーションを利用するなどいくつかの特性をもとに識別しており、イギリスのHFTの団体のメンバーとほぼ一致している。

データは一ミリ秒ごとのタイムスタンプを元に行っているため、これより小さな時間単位では観察することはできない。

図表2は、分析対象となったデータで、中値の更新に何ミリ秒の遅延が起きていたかを示したものである。グラフを見ると、二ミリ秒以下の遅延が圧倒的に多い。なお、このデータは前述のとおり一ミリ秒のタイムスタン

図表2 古い中値の古さの分布

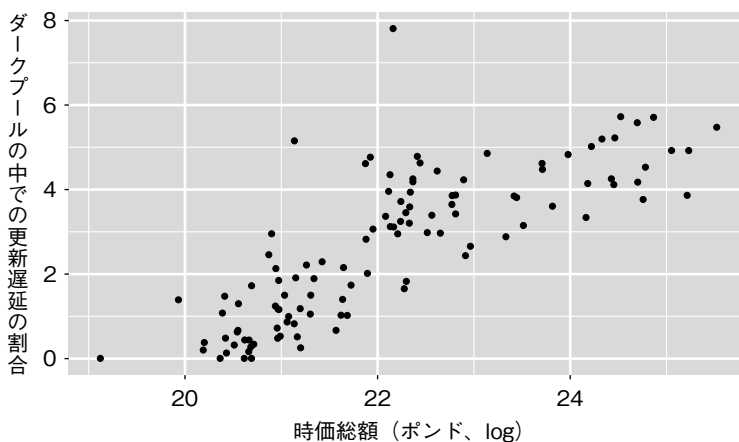


(出所) Aquilina et al. (2023). 以下同じ。

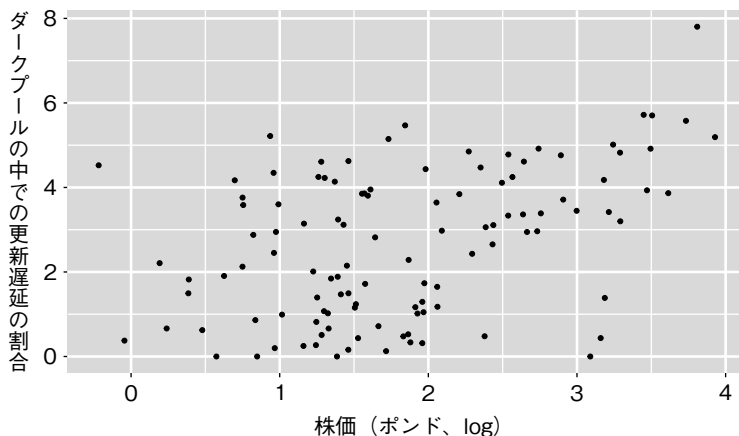
プで分析しているので、これより小さい単位での遅延の分布を見ることはできない。

中値が更新遅延する割合（古い中値が発生する割合）は、ダークプールの全取引の三・九四％であること、遅延の時間は平均五・九八ミリ秒であることが示されている（最頻値は図表1の通り二ミリ秒）。本研究で引用されているカナダの事例では、ダークプールの取引の約四％に更新遅延（古い中値）が発生しており、また、別のアメリカの調査では約一％で更新遅延が発生しているとされる。

図表3 時価総額と中値の更新遅延との関係



図表4 株価と中値の更新遅延との関係



ているが、株価との相関はそれほど明確であるように見えない。

古い中値が生まれる原因は、メッセージ・トラフィックの増加で、発注、注文の修正、キャンセル等が増えると、メッセージ・トラフィックが増加して、中値の更新遅延が発生しやすくなるとしている。また、メッセージ・トラフィックの増加が一律な影響を与えるのではなく、メッセージが多い時にさらにメッセージが増えると、更新の遅延が発生しやすいことも示されている。

図表5は、中値の更新が遅れて古い中値になった時に、プライマリー市場の売買気配と古い中値との間に発生する裁定機会の金額規模を示したものである。これは、ダークプールを利用する非HFT取引者の立場に立って、ダークプールの「コスト」と表現されている。

図表1の説明と併せて見ていただくと、プライマリー市場の最良売買気配の外側にダークプールの古くなった中値がある場合には（プライマリー市場の価格と古い中値の乖離が大きい場合）、プライマリー市場の気配との間に現実の裁定機会が発生するが、プライマリー市場の最良売買気配の内側に古くなった中値がとどまっている場合は（プライマリー市場の価格と古い中値との乖離が小さい場合）、裁定機会は潜在的にしか存在しない（前述）。後者でコストを計測するとコストは大きく評価されることになることに注意が必要である。

いずれにしても、イギリスの全ダークプールで同じ割合（三・九五％）の古い中値が発

図表5 裁定機会の規模（2014年）

| 推計            | 合計       | 最良売買気配の内側 | 最良売買気配の外側 |
|---------------|----------|-----------|-----------|
| 1取引あたりの平均bps  | 2.36     | 1.97      | 4.31      |
| 合計推計コスト       | £44,793  | £30,915   | £13,878   |
| 1年あたりコスト      | £453,000 | £313,000  | £140,000  |
| FTSE350で見たコスト | £1.4m    | £928,000  | £417,000  |
| 全英ダークプールでのコスト | £4.2m    | £2.9m     | £1.3m     |

生するとして推計すると、現実の裁定機会として一三〇万ポンド、潜在的な裁定機会として二九〇万ポンド、合計で四二〇万ポンドの裁定機会が発生していると推計されている。

また、本研究では、中値の更新遅延が発生している場合、HFTと非HFTとを比べると、HFTの方がより多く流動性を消費する側に回っており、かつ、その取引から利益を得ているのは九六―九九%がHFTの側であること、ダークプールで流動性を供給しているのは、コロケーションを利用する非HFTが中心で、HFTが流動性を供給している時間が非常に少ないことも示されており、イギリスのダークプールでは、HFTはレイテンシーアービトラージから利益を得つつ、流動性を消費する側に回っていることが示されている。

## 5 おわりに

HFTが「速いこと」を利用して複数市場間の裁定取引で利益を得ていることは、主に気配が開示される「明るい」市場を中心に分析されてきた。気配が開示される市場では、ある市場での注文の出され方をもとに、HFTが他市場に出されるであろう注文を予測し、その予測に基づいて先回りして他市場で待ち受けておくことで利益を得るといった裁定取引がもっぱらである。

こうした取引は、確かに「速いこと」を利用して他の参加者を寡奪しているように見えるケースもないわけではないが、他市場で予測通りの取引が出されとは限らないので、HFTも予測に基づいて自らリスクをとって取引していることができる。

これに対して、今回示されたイギリスのダークプールでのレイテンシー・アービトラージでは、HFT自身と市場側の注文処理が十分速く行われさえすれば、事実上ノーリスクで裁定取引ができてしまうというケースであ



る。この裁定取引の相手方になってコストを負っているのは、圧倒的にダークプールにいる非HFTである。また、HFTは、ダークプールではほとんど流動性を供給しておらず、中値が古くなっていることを利用して流動性を消費しており、気配開示のある市場では、HFTが流動性を供給しているとされることが対照的である。

紹介した論文では、ダーク市場でのHFTの寡奪的な行動を抑制するには、ダークプールでの執行時間をランダム化することが効果的で、ダーク市場での流動性供給者を保護することができるほか、スピードバンプやバッチオークションなども検討の余地があるとしているようである。

#### 参考文献

・ Matteo Aquilina, Sean Foley, Peter O'Neill and Thomas Ruf (2023) "Sharks in the dark: quantifying HFT dark pool latency arbitrage", BIS Working Papers No. 1115

(しみず ようこ・客員研究員)