

$$\begin{aligned}
& L(\eta | B, S) \\
&= \alpha(1-\delta)\theta \cdot e^{-(\mu_b + \varepsilon_b + \Delta_b)} \frac{(\mu_b + \varepsilon_b + \Delta_b)^B}{B!} e^{-(\varepsilon_s + \Delta_s)} \frac{(\varepsilon_s + \Delta_s)^S}{S!} \\
&+ \alpha(1-\delta)(1-\theta) \cdot e^{-(\mu_b + \varepsilon_b)} \frac{(\mu_b + \varepsilon_b)^B}{B!} e^{-\varepsilon_s} \frac{\varepsilon_s^S}{S!} \\
&+ \alpha \cdot \delta \cdot \theta \cdot e^{-(\varepsilon_b + \Delta_b)} \frac{(\varepsilon_b + \Delta_b)^B}{B!} e^{-(\mu_s + \varepsilon_s + \Delta_s)} \frac{(\mu_s + \varepsilon_s + \Delta_s)^S}{S!} \\
&+ \alpha \cdot \delta(1-\theta) \cdot e^{-\varepsilon_b} \frac{\varepsilon_b^B}{B!} e^{-(\mu_s + \varepsilon_s)} \frac{(\mu_s + \varepsilon_s)^S}{S!} \\
&+ (1-\alpha)(1-\theta) \cdot e^{-(\varepsilon_b + \Delta_b)} \frac{(\varepsilon_b + \Delta_b)^B}{B!} e^{-(\varepsilon_s + \Delta_s)} \frac{(\varepsilon_s + \Delta_s)^S}{S!} \\
&+ (1-\alpha)\theta \cdot e^{-\varepsilon_b} \frac{\varepsilon_b^B}{B!} e^{-\varepsilon_s} \frac{\varepsilon_s^S}{S!}
\end{aligned} \tag{6}$$

推定に関しては、PIN の場合と同様に買い約定件数 B_t 、売り約定件数 S_t の日次データを入力として、上記(6)式の尤度関数の積を数値計算により最大化する。そして最尤推定後に、修正された probability of information based trades (Adjusted PIN) と、probability of symmetric order-flow shocks (PSOS) が、それぞれ以下の(7)、(8)式で与えられる。

$$Adjusted\ PIN = \frac{\alpha \cdot ((1-\delta)\mu_b + \delta\mu_s)}{NT} \tag{7}$$

$$PSOS = \frac{(\Delta_b + \Delta_s) \cdot \theta}{NT} \tag{8}$$

ただし(7)、(8)式の右辺分母にある NT は、全約定の到着率の合計であり、以下の(9)式で定義される。

$$NT = \alpha \cdot ((1-\delta)\mu_b + \delta\mu_s) + (\Delta_b + \Delta_s)\theta + \varepsilon_b + \varepsilon_s \tag{9}$$

したがって Adjusted PIN とは、(5)式と同様に、全約定電文の到着率に対する私的情報に基づく約定到着率の割合であるので、情報の非対称性の度合いの正しい指標と考えられる。PSOS の分母は Adjusted PIN と共通で約定電文の総到着率であり、その分子は SOS (公的情報が売り、買いの両方向の注文に与える影響)に基づく約定の到着率である。Duarte and Young(2009)は、この PSOS を情報の非対称性とは相関を持たない流動性の指標であるとしている。ただし PSOS が大きいほど流動性が低いので、正確には illiquidity の指標である。

前述のように、arrowhead の稼働による取引の高速化によって、非情報投資家が目視により情報投資家の保有する私的情報を類推することが、より困難となったのかどうか我々に関心を持っている。仮に情報投資家の持つ私的情報について、非情報投資家が学習することが困難になっているとすれば、その状況を反映してPINはarrowheadの稼働後に上昇していることが予想される。ただしDuarte and Young (2009)が指摘したPINの問題点を考慮して、我々はPINと同時にAdjusted PIN, PSOSについても、それらのarrowhead稼働前後での変化を確認することとする。

4. アローヘッド稼働の取引コストへの影響

本研究での分析では、日経デジタルメディア社が提供する個別銘柄ティックデータ、および金融データソリューションズ社が提供するNPMデータベースに付属する日次リターンデータを使用している。個別銘柄ティックデータのデータ採録期間が1996年3月11日であるため、ここでの分析期間は1996年4月～2012年6月としている。また分析対象とする銘柄は東証一部上場企業に限定した。²

限界取引コストの時間変化の確認に先立って、実証研究において従来から広く使用されてきたビッド・アスク・スプレッド、イフェクティブ・スプレッド、売買回転率等に、少なくとも何らかの変化をarrowheadの稼働がもたらしていたことを確認しておこう。ここで竹原(2012)と同様に、約定電文数、約定金額、非小口取引(約定金額100万円以上)比率、イフェクティブ・スプレッドについて、時価総額加重日次インデックスを作成し、arrowhead稼働前後での構造変化を確認する。図4は、ここで作成したティックデータが使用可能な1996年3月11日以降の加重平均インデックスの時間推移を示したものである。

この図で2010年の位置にある縦線(実線)がarrowheadの稼働した2010年1月4日である。縦線の左右での変化から明らかなように、Panel A.に示された約定電文数はarrowheadの稼働後に大幅に上昇している。その一方で一約定電文での約定金額(Panel B)、ならびに約定金額が100万円以上という意味で非小口の取引と考えられる約定電文の比率(Panel C)の両方が低下していることから、機関投資家による分割執行により約定件数が増加したものと考えられる。またPanel Dに示されているように、イフェクティブ・スプレッドも大きく低下しており、以上の観察事実からarrowheadの稼働が投資家の注文状況と株価形成に対して影響

² LDVモデルを使用した限界取引コスト、ならびにPIN, Adjusted PIN, PSOSの計算は東証一部上場企業に限定せず、マザーズを含む東証全上場企業について実施している。ただし機関投資家、特に年金投資家の国内株式ポートフォリオへの東証二部上場銘柄の組み入れは限定的であるため、分析対象は東証一部上場企業に限定した。

を与えたことは間違いない。³

ただし図 4 に示された時系列が時価加重平均インデックスであることから、こうした変化は大型株の影響を強く受ける傾向を持つことになる。その点で、arrowhead の稼働が価格発見に与えた影響は大型株において特に顕著であり、中小型株はそれほど影響を受けていないとする意見もある。Kubota and Takehara (2008)が明らかにしたように、スプレッドや PIN は時価総額と強い負の相関を持ち、同時に純資産株価倍率(Book-to-Market, B/M)ともある程度の相関が存在する。そこで以降の分析では、時価総額による 10 分位ポートフォリオと、アセット・プライシング・モデルの検証において頻繁に用いられる企業規模(時価総額対数値)と B/M による 25 ポートフォリオと構築し、それにより arrowhead 稼働による取引コスト変化とスタイル(large/Small, Value/Growth)との関係を、より詳細に検証していくこととする。

まず図 5 は限界取引コストを月次推定し、各月で時価同額 10 分位ごとに単純平均を計算し、その時系列をグラフ化したものである。図 5 の 4 本の線のうち、水平軸(限界取引コスト $MCT=OBP$)の上の 2 本が購入時期期待取引コスト、下 2 本が売却時期期待取引コストである。また上下各 2 本のうち、水平軸に近い方(低コスト)が、東証一部での時価総額上位 10%ポートフォリオ、水平軸から遠い方(高コスト)が時価総額下位 10%ポートフォリオである。この図からわかるように、大型株(時価総額上位 10%)と比較して小型株(下位 10%)の限界取引コストは売り、買い両方向ともに平均的には 3~4 倍程度の水準となっている。ただしリーマンショック前の 2006~2007 年のような株式市場全体としての流動性が高かった局面では、両者の差はかなり縮小している。逆にリーマンショック後の数ヶ月では限界取引コストは売り、買い両方向に拡大しており、特に最小型株では往復で最大 6%程度の取引コストを必要としていたと考えられる。Arrowhead の稼働後については、最大型株については限界取引コストは 2006~2007 年よりさらに低下しているものの、東日本大震災後では 2006~2007 と同程度の水準で推移している。一方で、最小型株に関しては、2009 年と 2010 年以降で大きな変化はグラフ上は見えて取れないし、限界コストは 2006~2007 年と比較して明らかに高い。この点から arrowhead の取引コストに与えた影響は、大型株において大きかったと考えられる。

次に図 6 は買い主導、売り主導約定件数の推移である。約定件数は最大型株と最小型株で大きく異なるため、最小型株については図 6 からはアローヘッド稼働前後での変化はほとんどわからない。その一方で最大型株については、図 4、パネル A で確認したのと同様に、arrowhead の稼働後に約定件数が大きく増加していたことがわかる。

それでは投資スタイルと限界コストとの関係についてはどうであろうか。時価総額によ

³ ただしエフェクティブ・スプレッド(Panel D)に関しては、arrowhead の稼働と同時に一部の価格帯でのティックサイズが変更されており、その変化のすべてが arrowhead によるものではない。

る 10 分位ポートフォリオの場合と同様に、まず限界取引コストを月次推定する。そして各月において時価総額により 5 分位ポートフォリオを構築し、さらに時価総額 5 分位ポートフォリオを純資産株価倍率(Book-to-Market ratio, B/M)で 5 分割することにより、Size-B/M Ranked 25 portfolios を得る。25 ポートフォリオのうち、最大型(時価総額上位 20%)の Value Stock (B/M 上位 20%), Growth Stock (B/M 下位 20%), それに最小型(時価総額下位 20%)の Value Stock (B/M 上位 20%), Growth Stock(B/M 下位 20%)の 4 ポートフォリオの限界取引コストの平均値の推移を示したのが図 7 である。水平軸の上 4 本, 下 4 本, 合計上下 8 本の線が, 4 ポートフォリオの購入時, 売却時期待取引コストに対応している。Value Stock と Growth Stock で期待取引コストには差があるものの, 時価同額ほど強い影響は受けていないことがわかる。しかしながら, 1990 年代以降において小型株効果が明確には観察されなくなったものの, いわゆる Value Stock Anomaly は消えていないことを考えると, バリュース株戦略からの期待アルファが, ここでの取引コストの影響をどの程度受けるかについては, 確認しておくべきであろう。表 1 は年 1 回 6 月末の段階で Size-B/M Ranked 25 portfolios を構築し, それを翌 1 年間(すなわち 7 月 1 日から翌年 6 月 30 日まで) buy & hold した場合のリターン(パネル A)と, 6 月末にそれまで保有していた銘柄を現金化して, 新たなポートフォリオを購入する場合の限界取引コストの推定結果(パネル B)である。⁴ 分析期間はティックデータが利用可能であることを条件として, 1996 年 7 月~2012 年 6 月である。

Value Stock (B/M1)と Growth Stock (B/M5)との実現リターンの差(列「リターン Spredd」)は, 最大型株(MV1)を除いてすべて 5%水準で有意となっている。また最大型株についても統計的には有意ではないものの, スプレッドの平均値は月次 0.430% (年次 5.160%)と大きいことから, 限界取引コストが大型株において低いことを合わせて考えれば, バリュース株投資は最大型株においても有効であると考えられる。ここではもっとも高い取引コストが必要となる最小型株(MV5)におけるバリュース株戦略からのコスト控除後リターン獲得の可能性について検討してみよう。最小型株(MV5)において, バリュース株(B/M1)をロングし, 逆にグロース株(B/M5)をショートした場合の月次実現リターンは, 両者のスプレッドから月次 0.569% (年次 6.828%)となる。しかし 6 月末の段階で, 小型バリュース株(MV5-B/M1)をロングするために 1.63% (163BP)のコストを必要とし, 同時に小型グロース株(MV5-B/M5)のショートに 2.03% (203BP)のコストが必要とされることから, コスト控除後のリターンは,

⁴ Buy & Hold の結果, 1 年後に銘柄の構成比率は当初の等ウェイトではないものの, 全銘柄が完全に入れ替えとなるわけではないので, ここでの取引コストの推定はリバランス前後でのポートフォリオの差分に基づくコストよりも過大に推定されている。逆にグロース株のショートポジション構築のための費用(例えば貸し株)については, これを考慮していないことから過小評価となっている。

6.828-(1.63+2.03) = 3.168%であるものと期待される。最小型株におけるバリュー株アノマリーの半分近くはコストにより説明可能であることになる。参考までにビッド・アスク・スプレッドとイフェクティブ・スプレッドの平均値をパネルBに示しているが、これらスプレッドよりも推定された限界取引コストは最小型株では2~3倍の水準にある。これは、イフェクティブ・スプレッド、あるいはビッド・アスク・スプレッドを、マーケット・インパクトを含む広義の取引コストの尺度とすることに問題が無いわけではないことを示唆する。

Lesmond, Ogden and Trezinka (1999)による米国市場の分析においても、LDVモデルを用いた限界取引コストの推定値は、イフェクティブ・スプレッド、ビッド・アスク・スプレッドよりもはるかに大きな値となっており、表1パネルBで確認された傾向は米国市場にも共通したものである。そこで次のステップとして東証一部におけるスプレッドと限界取引コストの関係について調べてみよう。

ここでは時価総額10分位ポートフォリオ別の往復の限界取引コスト($\alpha_2 - \alpha_1$)とイフェクティブ・スプレッド(の平均値を求めるとともに、以下の回帰式

$$(\alpha_{2,jt} - \alpha_{1,jt}) = \delta_0 + \delta_1 \cdot (\text{Effective Spread}_{jt}) + \varepsilon_{jt} \quad (9)$$

により、イフェクティブ・スプレッドと往復の限界取引コストとの関係について調べることとする。ティックデータが利用可能な全期間(1996年3月~2012年6月)について、時価総額10分位ポートフォリオごとの時価総額対数値の平均(lnMV)、往復の限界コスト(MCT)、イフェクティブ・スプレッド、それに回帰モデル(9)における回帰係数(δ_1, δ_2)を示したのが表2である。

表2において、最大型株(Size 1)では限界取引コストが145bpであるのに対して、最小型株(Size 10)では621bpに達している。これに対してイフェクティブ・スプレッドに関しては最大型株では14bp、最小型株では128bpである。ただしここでのイフェクティブ・スプレッドが仲値(mid-point)と約定価格の差、いわゆるハーフ・スプレッドであることを考えると、往復の取引コストであるMCTと対応するのは、イフェクティブ・スプレッドの2倍であろう。そのように考えると、イフェクティブ・スプレッドに対して限界取引コストは、最大型株で5倍、最小型株で約2.5倍程度と考えて良いだろう。また回帰モデル(9)におけるパラメータ δ_0, δ_1 の推定値から、限界取引コストが固定費と変動費から構成されており、それぞれに δ_0, δ_1 が対応すると考えると、固定費部分が1~2%、変動費部分がイフェクティブ・スプレッドの2~3倍ということになる。イフェクティブ・スプレッドがハーフ・スプレッドであることを考えると、 δ_1 が2~3という値となっていることは、実際的な変動的取引コストとして違和感のないところであろう。

さて表2で示された全期間での限界取引コスト、イフェクティブ・スプレッド、そして両者の関係は、その後どのように変化していったのであろうか。前掲の図5より、限界取引コストが市場環境とともに時間変化していることは明らかである。そこで、まず一部の機関投資家により大口注文の分割(order splitting)が一般的に使用されるようになったと言われる2003年からarrowheadが稼働する直前の2009年12月までについて、表2と同じ分析を実施してみよう。この結果を示したのが表3である。

表3と表2を比較した場合、最大型株の限界取引コスト、イフェクティブ・スプレッドはそれぞれ表2での145bp, 13.9bpから、表3での122bp, 10.8bpへと15~20%低下している。また最小型株についても同様に、限界取引コスト、イフェクティブ・スプレッドはそれぞれ表2では621bp, 128bpであったものが、表3では456bp, 105bpへと大幅に低下しており、その減少率はMCTで27%、イフェクティブ・スプレッドで18%と最大型株よりも減少幅が大きい。回帰式(9)のスロープ δ_1 は表2とそれほど大きく変わっていないものの、定数項 δ_0 は特に小型株で低下する傾向にある。

しかしながら、表3の分析期間は、リーマンショックを端緒とする世界金融危機における市場流動性の枯渇とそれに伴う取引コストの上昇時を含んでいることに我々は留意しなければならない。そこで表4では図5において限界取引コストが低い水準で安定して推移していた部分期間である2003年1月~2007年12月について、その傾向を確認することにする。2008, 2009年の2年間が除外されたことにより、最大型株の限界取引コストは表3よりもさらに低い114bp, 最小型株でも405bpという値をとっている。日経平均は2003年1月の9000円前後の株価水準から、方向性として概ね上昇傾向にあり、2007年には一時的に18,000円台を回復した。その後2007年12月末には12,747円まで再度、日経平均は下落したものの、株式市場の流動性は高かったものと考えられる。仮にこの期間と比較して、arrowhead稼働後に限界取引コスト、そしてイフェクティブ・スプレッドがさらに低下しているとすれば、それはarrowhead稼働の影響によるものと考えて良いのではないか。⁵

表5にarrowhead稼働後の2010年1月~2012年6月の30ヶ月間での検証結果を示す。この表から、表4の分析期間(2003~2007年)と比較して、大型株(Size 1, 2, 3)では限界取引コストはさらに低下している。しかしながら小型株(Size 8, 9, 10)では限界取引コストは逆に上昇

⁵ ただし市場流動性、限界取引コストが常に時間変化していることから、限界取引コストが低下していたとしても、それがarrowheadの稼働に依るものであるかどうかを統計的に検定することは難しい。たとえばボラティリティーによって市場環境をコントロールした後に、限界取引コストの時間変化を検証することも検討したが、その場合には限界コストとボラティリティーの内生性の問題が指摘可能である。この取引コストの変化に関する統計的検定方法については解決策が見つかっていない。

している。そして中型株(Size 4, 5, 6, 7)では明確な変化は観察されない。イフェクティブ・スプレッドに関しては、変化の方向性については限界取引コストと同様である。このような観察事実と図5で確認された時価総額10分位ポートフォリオの限界コスト推定値時系列の推移を合わせて解釈すると、arrowheadの稼働によって、大型株に関してはイフェクティブ・スプレッドが縮小し、同時に実務家にとっての実質的な裁定コストであるところの限界取引コストは低下したと考えられる。その一方で、中小型株に関してはarrowheadの稼働が取引コストに変化を与えたかは、本研究の分析をもってしても判断を下すことはできない。これは市場環境とともに流動性と取引コストも常に変化を続けており、arrowheadの稼働というイベントが取引コストに与えた影響だけを分離し、その有意性を検討する方法論が確立されていないためである。この点については、重要な研究課題であると認識しているものの、将来の研究に委ねたい。

5. 投資家間の情報の非対称性への影響

前節において提示した実証結果から、統計的有意性の検証という課題を残しながらも、arrowheadの稼働により、大型株の限界取引コストは低下したものと考えられる。また、その一方で、小型株においては限界取引コストの低下は明確には観察されておらず、約定電文数変化の状況等も合わせて解釈すれば、小型株の取引コストへの影響は限定的であったと考えられる。

それでは次の問題として、投資家間の情報の非対称性の度合いは、arrowheadにより変化したのであろうか。1節でも述べているように、arrowheadの稼働後にHFTが全取引に占める割合が上昇したことにより、他の投資家の持つ情報を注文状況から類推することが困難となり、中小の証券会社はその収益源の大きな部分を失ったとされている。もしそうであるとすれば、それは3節で推定の枠組みを説明したEasley, Hvidkjaer and O'Hara(2002)のPIN、あるいはDuarte and Young (2009)のAdjusted PINといった投資家間の情報の非対称性の尺度を上昇させているはずである。そして限界取引コストの変化が明確であった大型株において、上昇傾向は強く観察されるものと予想される。ここでは、ティックデータから計算された買い主導約定件数、売り主導約定件数の日次時系列を入力として、PIN, Adjusted PIN, そしてPSOSを最尤推定し、それらのarrowhead稼働前後での変化を確認することにする。

ここで、買い主導約定件数、売り主導約定件数の時系列の例として、トヨタ自動車の場合の全期間での推移を図9に示す。この図からわかるように、arrowheadの稼働後にトヨタ自動車の場合には、約定件数が急激に上昇したことは明らかである。PIN, Adjusted PIN, PSOSの

推定において入力となるのは、これら買い主導約定件数、売り主導約定件数のみである。しかしながら、PIN, Adjusted PIN に大きな影響を与えるのは、買い、売り両方向の不均衡であり、約定件数の増加が PIN, Adjusted PIN の変化をもたらすとは限らない。

また前節での限界取引コストの推定結果と比較する上では、PIN, Adjusted PIN, PSOS も月次で推定することが望ましい。しかしながら月次推定の場合には月間の取引日数が 20 前後の有るのに対して、Adjusted PIN, PSOS 推定時のパラメータ数が 9 であることから、自由度の不足と尤度関数(6)の持つ性質から数値的最適化は困難である。このため PIN, Adjusted PIN, PSOS の推定は四半期(この時の日次の観測数 60 程度)ごとに行っている。⁶

図 10 は各四半期末(3, 6, 9, 12 月最終取引日)終値での時価総額により、東証一部上場企業について、規模別 10 分位ポートフォリオを構築し、構成銘柄の単純平均の PIN を計算した結果である。ここでも限界取引コストの場合と同様に最大型株(時価総額上位 10%)と最小型株(時価総額下位 10%)の時系列のみを示している。この図からわかるように、最大型株については、1996 年以降 PIN は低下傾向にあったものの、arrowhead の稼働により一転して上昇している。それに対して最小型株については、2000 年～2009 年まで逆に穏やかな上昇傾向にあり、arrowhead 稼働後については PIN が 25%付近で推移している。

次に Adjusted PIN の変化を確認してみよう。図 11 からわかるように、Adjusted PIN の推移は PIN と大型株については類似の傾向にあり、1996 年以降での下降トレンドから arrowhead 稼働後に上昇している。小型株についても 2005 年の年初から上昇トレンドに入る点は PIN と同じであるが、Adjusted PIN の場合には、上昇トレンドが arrowhead 稼働後も続いているように見える。最後に PSOS についてであるが、図 12 に示されたように明確なトレンドは観察されず、また PIN, Adjusted PIN よりも振れ幅がかなり大きいことがわかる。

図 13, 14, 15 は、Size-B/M Ranked Portfolios のうち、Large/Value, Large/Growth, Small/Value, Small/Growth の 4 ポートフォリオについて、それぞれ PIN, Adjusted PIN, PSOS の四半期時系列を示したものである。PIN, PSOS について、Small/Value, Small/Growth 間の差が arrowhead 稼働後に拡大する傾向が見られるものの、基本的な変化のパターンは図 10, 11, 12 の規模別 10 分位ポートフォリオの場合と同じである。

限界取引コストの時間変化を確認した場合と同様に、PIN, Adjusted PIN についても、arrowhead 稼働以前からトレンドが存在し、各四半期での推定結果が独立同分布とは言い難

⁶ 四半期ごとの推定であっても、Adjusted PIN と PSOS の最尤推定に関しては、Duarte and Young (2009)が指摘しているような、妥当と思われる解に収束しない状況がかなりの頻度で起こる。このため本研究では Duarte and Young (2009)と同様に、PIN, Adjusted PIN, PSOS の推定時に、パラメータの初期点を乱数により変更してから最尤推定を 10 回繰り返す、その中で対数尤度が最大となったケースを推定値としている。

いことから、arrowhead 稼働の純粋な影響だけを検出して、その有意性を統計的に検証することは難しい。しかし図 10, 11 より、最大型株については PIN, Adjusted PIN は上昇したように感覚的には思われる。こうした「感覚的な変化」を統計的に確認することは不可能なのだろうか。この問題に対して、PIN, Adjusted PIN の推定値からではなく、買い主導約定件数、売り主導約定件数の日次時系列から、間接的に変化の存在を指摘することを以下では試みよう。⁷

Kaul, Lei and Stoffman (2008)における設定のもとでは、買い主導約定件数 B_t 、売り主導約定件数 S_t を用いて以下の(19)式により計算される AIM 尺度(Absolute Order Imbalance)は PIN に等しくなる。⁸

$$AIM_t = \frac{|B_t - S_t|}{B_t + S_t} \quad (10)$$

この AIM であれば、最尤推定を必要としないため、買い主導約定件数、売り主導約定件数だけから、しかも日次(およびさらに高頻度で)で計算可能である。そこで、まず日次で AIM を測定して、AIM が arrowhead 稼働前後の部分期間でどのように変化したのかと確認する。ここで分析期間としては、限界取引コストの検証との比較のために、(1) 2003 年 1 月～2009 年 12 月、(2) 2003 年 1 月～2007 年 12 月、(3)2008 年 1 月～2009 年 12 月、そして arrowhead 稼働後の(4) 2010 年 1 月～2012 年 6 月の 4 つの部分期間について日次 AIM を計算し、arrowhead 稼働前の部分期間(1)～(3)に対する、稼働後の期間(4)での AIM の比率を計算する。もし情報の非対称性が拡大しているとするれば、ここで計算した AIM 比は 1 よりも大きな値を取るはずである。

図 16 は部分期間(1) 2003 年 1 月～2009 年 12 月の AIM の日次平均を 1 としたときの部分期間(4) 2010 年 1 月～2012 年 6 月の日次 AIM の値である。このヒストグラムから明らかなように AIM 比が 1 を超えている銘柄の方が多いため、arrowhead 稼働後に情報の非対称性は拡大している可能性がある。しかしながら、特に大型株については arrowhead 稼働前まで PIN, Adjusted PIN が下降トレンドにあったことから、この AIM 比の分布の形状だけから結

⁷ 推定結果としての PIN, Adjusted PIN に変化があるとすれば、それは推定モデルへの入力である買い主導約定件数、売り主導約定件数の不均衡(order imbalance)にも変化が存在するはずであるというここでの考え方は、大屋幸輔教授との討論時の示唆による。同氏に対してここに深く感謝したい。

⁸ 著者自身は Kaul, Lei and Stoffman (2008)における PIN と AIM が等しいとする結果を受け入れるわけではないが、少なくとも PIN, あるいは Adjusted PIN に arrowhead 稼働前後で変化が存在するならば、AIM にも何らかの変化が存在すべきであるとは考える。ただしこの問題は本論文の目的からは外れるので、これ以上の議論は行わない。

論を下すことは危険であろう。そこで部分期間(1)を部分期間(2) 2003～2007 年と部分期間(3) 2008～2009 年に分割して、同様な分析を行った結果が図 17, 18 である。これらの図から仮に arrowhead 稼働前の期間を分割したとしても、AIM 比が 1 を超える、すなわち情報の非対称性の度合いが拡大した銘柄の方が多く、その傾向は期間(3)と期間(4)で強まっていることがわかる。

次にこのような変化と企業規模との関係を見てみよう。図 19 は arrowhead 稼働直前の 2009 年 12 月末時点での株式時価総額(単位 100 万円)の自然対数値と、図 18 で調べた期間(3)と期間(4)の AIM 比の関係を図示したものである。図 19 からわかるように時価総額対数値と AIM 比には正の相関が存在し、両者のピアソン相関係数 0.284 (1%水準で有意)である。これより情報の非対称性は大型株において、より大きく拡大したものと考えられる。

最後に図 19 において確認された規模と AIM 比の変化の状況を確認するために、時価総額 10 分位ポートフォリオにおける AIM 比の変化の状況を確認したのが表 6 である。ここで MV1(最大型株、時価総額上位 10%)では、期間(1)、期間(2)と比較して期間(4)で AIM が上昇した企業は、それぞれ 53.6%、48.5%とほぼ 50%前後の比率となっている。逆に言えば AIM が縮小した企業も半分程度はあることになる。しかし arrowhead 稼働前 2 年である期間(3)と arrowhead 稼働後の 2 年半となる期間(4)では、78.9%の企業で AIM が上昇している。つまりは arrowhead 稼働後に情報の非対称性が拡大したと考えられるのである。

一方で MV10 (最小型株、時価総額下位 10%)では、期間(1)、(2)に対して arrowhead 稼働後の期間(4)では 74.4%、81.0%と AIM が上昇した企業が大きな割合を占めるものの、期間(3)と期間(4)との比較では、AIM が上昇した企業の比率は 43.6%と 50%を切っている。したがって、平均と中央値を尺度とすれば、AIM はむしろ低下したことになる。

こうした最大型株、最小型株において見られた傾向は、他の分位ポートフォリオにおいても比較的単調に推移しており、arrowhead 稼働前後で時価総額が大きい企業ほど、AIM が大きく上昇しており、小型株(特に MV7～MV10)では AIM が 5%水準で有意に上昇した企業の占める割合は 50%を下回っている。

以上の結果から、仮に AIM が PIN, Adjusted PIN と同様に情報の非対称性の尺度であるとすれば、arrowhead の稼働によって、大型株においては情報の非対称性が拡大し、その一方で小型株については情報の非対称性には変化が起きなかったか、あるいは限定的であったものと考えられる。このような観察事実は以下に述べるような 2 つの可能性をもって解釈されるであろう。

第一の可能性は、arrowhead の稼働により大型株においては分割執行と取引の高速化によ

り、注文状況の結果としてのザラバ板からの目視による学習が困難となり、結果として他所の持つ私的情報が公的情報に変換されず情報の非対称性が拡大した状況である。これに対して第二の可能性は、私的情報の大部分を保有しているのは大手機関投資家の一部、ヘッジファンドなど高頻度取引に対応した投資家であり、そうした投資家が売買を活発化させたことにより、相対的に私的情報に基づく取引が占める比率(すなわち PIN)が拡大した状況である。いずれの状況にしても、プログラム売買、アルゴリズム取引を含む高頻度取引の主たる対象は大型株であることから、arrowhead 稼働の情報の非対称性への影響は大型株において顕著であり、その一方で小型株においては限定的であったと推測される。

6. 結論、ならびに年金資産運用へのインプリケーション

本研究では、arrowhead 稼働が取引コストと情報の非対称性に与えた影響について、個別株式ティックデータ、日次株式リターンデータを用いて実証分析を行った。

まず Lesmond, Ogden and Trezcinka (1999)の LDV モデルを用いて限界取引コストを測定した結果、限界取引コスト推定値はイフェクティブ・スプレッドよりもはるかに大きく、アノマリーと呼ばれる現象のかなりの部分が運用コストによって説明され得ることが明らかとなった。また arrowhead の稼働による限界コストへの影響は大型株において大きく、特に時価総額上位 30%に入る企業群については、arrowhead の稼働が限界取引コストを低下させたと考えられる。その一方で、小型株については arrowhead 稼働の前後で限界取引コストに明確な変化は観察されておらず、その影響は小規模であった。

次に Easley, Hvidkjaer and O'Hara (2002)の PIN, Duarte and Young (2009)の Adjusted PIN, PSOS, そして Kaul, Lei and Stoffman (2008) の AIM を使用した情報の非対称性に関する分析からは、限界取引コストの場合と同様に、arrowhead 稼働の影響は大型株に強く表れる傾向が確認された。つまり arrowhead が可能とした高頻度取引の対象は大型株に集中しており、その結果として大型株においては、ザラバ板の目視による私的情報の類推が困難となったか、あるいは arrowhead に対応し、かつ私的情報を保有する先進的投資家が売買の中心となり結果として私的情報に基づく売買比率(PIN)が上昇したと考えられる。

ここでの取引コストと情報の非対称性に関する分析を総合すると、arrowhead の稼働は取引の高速化という目的を達成し、その結果として限界取引コストの低下というメリットを機関投資家にもたらした反面、投資家間の情報の非対称性を拡大させたことになる。もちろん arrowhead の稼働と同時に東証は市場情報提供の拡充を同時に実現しているのであるが、一部の投資家はそうした変化に対応することが出来なかったことになる。

それでは arrowhead の稼働は大手年金投資家の行動について、どのような変化をもたらすのであろうか。いうまでもなく、arrowhead 稼働により最良執行の結果として基金が負うべき総取引コストは低下するであろう。マーケット・インパクトを含む広義の運用コストの低下は、市場に存在するアルファの総量に変化が存在しないのであれば、コスト控除後のアルファを上昇させるため、最終的には運用成果の向上をもたらすであろう。しかしながら竹原 (2012)が予想しているように、arrowhead 稼働後の高頻度取引が一般化した株式市場では、既存のアノマリーの一部が取引コストの低下とともに消滅し、よりアルファが取りにくい市場へと移行する可能性を持つ。簡単に言ってしまうと、取引コストの低下分だけアルファが低下することによって、年金投資家にとってのコスト控除後リターンには変化がないのかも知れないのである。もしそうだとすれば、年金投資家は高頻度取引に対応し最良執行により運用コストを十分に削減可能なファンド・マネージャーを識別し、採用しなければならないだろう。

また株式による運用からのキャッシュアウトについても、今後は検討が必要になってくることが予想される。年金給付を目的としたキャッシュアウトの場合には、私的情報を保有しない状況での株式売却とならざるを得ない。もし非情報投資家が自分以外の投資家の注文状況、約定状況に注視しており、他の投資家の株式売却を 'bad news' と考えてしまうとすれば、キャッシュアウト前に自らの取引が私的情報に基づく取引ではないことを宣言すべきかも知れない。つまりは 'sunshine trade' を年金投資家は選択すべきかも知れない。しかしながら、arrowhead の稼働によって情報の非対称性が拡大しており、私的情報の学習が困難となっているとすれば、別の選択もあり得る。自らの売買行動の意図を隠しながら、取引コストだけを低減できるとすれば、むしろ 'stealth trade' を選択すべきであろう。

Sunshine trade と stealth trade のどちらが年金投資家の株式からのキャッシュアウトについて適切な方法であるのかは、本研究の結果から議論することはできない。ただどちらの戦略を採用するとしても、国内・海外株式運用をインハウスで行う年金投資家などいないのだから、結局はこうした事柄について明確な指針を持った運用機関を選択するしかない。運用コスト削減の問題も含めて、投資環境の変化に対応可能な運用機関を選択することも今後は重要なのである。

参考文献:

Amihud, Y. (2002), "Illiquidity and stock returns: Cross-section and time-series effects," *Journal of Financial Markets*, 5, 31-56.

- Carhart, M. (1997), "On persistence in mutual fund performance," *Journal of Finance* 52, 57-82.
- Duarte, J., and L. Young (2009), "Why is PIN priced?" *Journal of Financial Economics*, 91, 119-138.
- Easley, D., S. Hvidkjaer and M. O'Hara (2002), "Is information risk a determinant of asset returns?" *Journal of Finance*, 57, 2185-2222.
- Easley, D., M. O'Hara (2004), "Information and the cost of capital," *Journal of Finance*, 59, 1553-1583.
- Fama, E. F. and K. R. French (1993), "Common risk factors in the returns on stock and bonds," *Journal of Financial Economics* 33, 3-56.
- Fama, E. F. and J. D. MacBeth (1973), "Risk, return, and equilibrium: Empirical tests," *Journal of Political Economy*, 81, 607-636.
- Kaul, G., Q. Lei and N. Stoffman (2008), "AIMing at PIN: Order flow, information, and liquidity," *Working Paper, Southern Methodist University*.
- Kubota, K. and H. Takehara (2009), "Information-based trade, the PIN variable, and portfolio style differences: Evidence from Tokyo Stock Exchange firms," *Pacific-Basin Finance Journal*, 17, 295-318.
- Kubota, K., K. Suda and H. Takehara (2010), "Impact of quarterly disclosure on information asymmetry: Evidence from Tokyo Stock Exchange firms," *Paper Presented at 2010 American Accounting Association Annual Meeting*.
- Lee, C. M. C. and M. J. Ready (1991), "Inferring trade direction from intraday data," *Journal of Finance*, 46, 733-746.
- Lesmond, D. A., J. P. Ogden, and C. A. Trzcinka (1999), "A new estimate of transaction costs," *Review of Financial Studies*, 12, 1113-1141.
- Liu W. (2006) "A liquidity augmented capital asset pricing model," *Journal of Financial Economics*, 82, 631-671.
- Pastor L. and R. Stambaugh (2003), "Liquidity risk and expected stock returns," *Journal of Political Economy* 111, 642-685.

表 1. バリュース株戦略における限界コスト

パネル A. Size-B/M Ranked 25 ポートフォリオの月次実現リターン

MV1-MV5: 時価総額 5 分位ポートフォリオ. B/M1, B/M5 は各時価総額分位ポートフォリオの中で, 純資産株価倍率(B/M)上位 20%, 下位 20%ポートフォリオの月次実現リターン平均値(単位%). 「リターンズプレッド」はバリュース株(B/M1)とグロース株(B/M5)間の実現収益率の差. p -value はリターンズプレッドに関する paired t -test での有意確率.

	B/M1 (Value)	B/M5 (Growth)	リターンズプレッド	p -value
MV1(時価総額上位20%)	0.275	-0.155	0.430	0.181
MV2	0.282	-0.374	0.656	0.018
MV3	0.372	-0.217	0.588	0.030
MV4	0.614	-0.261	0.875	0.000
MV5 (時価総額下位20%)	0.631	0.062	0.569	0.035

パネル B. Size-B/M Ranked 25 Portfolios の限界コスト

Lesmond, Ogden and Trzcinka (1999)の方法に基づいて推定された売却時限界取引費用(α_1), 購入時限界取引コスト(α_2), ならびにビッド・アスク・スプレッド, イフェクティブ・スプレッドの平均値. (単位はベースポイント, BP)

	MV1-B/M1	MV1-B/M5	MV5-B/M1	MV5-B/M5
MCT-Buy (α_2)	71.214	58.503	163.141	206.822
MCT-Sell (α_1)	-60.961	-66.399	-146.683	-202.536
Bid-Ask Spread	18.460	17.040	71.649	75.302
Effective Spread	15.645	13.802	53.495	58.073

表 2. 限界取引コストとイフェクティブ・スプレッドの関係

Size: 時価総額による分位, lnMV: 時価総額(単位 100 万円)対数値, MCT: 限界取引コスト(売買往復, 単位 BP), ES: イフェクティブ・スプレッド, δ_0, δ_1 : 回帰モデル(9)における回帰係数, その右列(*p*-value)は対応する有意確率, Adjusted R^2 : 自由度修正済決定係数. 分析期間は 1996 年 3 月～2012 年.

Size	Firm-years	lnMV	MCT	ES	δ_0	(<i>p</i> -value)	δ_1	(<i>p</i> -value)	Adjusted R^2
1	33,106	13.601	144.857	13.888	99.162	0.000	3.290	0.000	0.058
2	33,181	12.119	167.624	19.345	118.612	0.000	2.534	0.000	0.065
3	33,166	11.386	186.563	24.672	125.633	0.000	2.470	0.000	0.075
4	33,189	10.828	204.189	31.511	131.261	0.000	2.314	0.000	0.096
5	33,202	10.344	228.971	39.376	139.699	0.000	2.267	0.000	0.108
6	33,150	9.943	258.171	48.060	138.762	0.000	2.485	0.000	0.158
7	33,172	9.569	295.555	59.130	146.286	0.000	2.524	0.000	0.185
8	33,183	9.159	345.127	72.933	168.482	0.000	2.422	0.000	0.188
9	33,164	8.670	421.934	92.015	197.077	0.000	2.444	0.000	0.202
10	33,255	7.820	621.019	128.320	229.054	0.000	3.055	0.000	0.269
All	331,768	10.343	287.502	52.949	122.157	0.000	3.123	0.000	0.330

表 3. 限界取引コストとイフェクティブ・スプレッドの関係

Size: 時価総額による分位, lnMV: 時価総額(単位 100 万円)対数値, MCT: 限界取引コスト(売買往復, 単位 BP), ES: イフェクティブ・スプレッド, δ_0, δ_1 : 回帰モデル(9)における回帰係数, その右列(p-value)は対応する有意確率, Adjusted R^2 : 自由度修正済決定係数. 分析期間は 2003 年 1 月～2009 年 12 月. (Arrowhead 稼働前)

Size	Firm-years	lnMV	MCT	ES	δ_0	(p-value)	δ_1	(p-value)	Adjusted R^2
1	18,429	13.566	122.486	10.863	80.971	0.000	3.822	0.000	0.055
2	18,466	12.082	140.476	13.770	105.117	0.000	2.568	0.000	0.043
3	18,457	11.346	158.056	17.584	111.132	0.000	2.669	0.000	0.057
4	18,474	10.781	167.883	23.480	124.167	0.000	1.862	0.000	0.060
5	18,475	10.297	185.648	29.892	125.060	0.000	2.027	0.000	0.083
6	18,449	9.889	208.698	37.750	118.863	0.000	2.380	0.000	0.152
7	18,466	9.497	240.178	47.802	117.524	0.000	2.566	0.000	0.210
8	18,465	9.072	277.880	60.178	130.333	0.000	2.452	0.000	0.227
9	18,458	8.565	341.467	77.954	138.188	0.000	2.608	0.000	0.267
10	18,505	7.703	456.128	105.827	140.945	0.000	2.978	0.000	0.322
All	184,644	10.279	229.955	42.528	107.718	0.000	2.874	0.000	0.325

表 4. 限界取引コストとイフェクティブ・スプレッドの関係

Size: 時価総額による分位, lnMV: 時価総額(単位 100 万円)対数値, MCT: 限界取引コスト(売買往復, 単位 BP), ES: イフェクティブ・スプレッド, δ_0, δ_1 : 回帰モデル(9)における回帰係数, その右列(p-value)は対応する有意確率, Adjusted R^2 : 自由度修正済決定係数. 分析期間は表 3 の期間からリーマンショックの影響を強く受ける 2008, 2009 年を除外した 2003 年 1 月~2007 年 12 月.

Size	Firm-years	lnMV	MCT	ES	δ_0	(p-value)	δ_1	(p-value)	Adjusted R^2
1	12,937	13.641	114.285	10.746	64.781	0.000	4.607	0.000	0.091
2	12,964	12.183	133.492	13.243	72.331	0.000	4.618	0.000	0.084
3	12,962	11.464	151.894	16.949	84.007	0.000	4.005	0.000	0.087
4	12,969	10.916	162.140	22.017	100.449	0.000	2.802	0.000	0.100
5	12,974	10.449	176.681	26.746	98.570	0.000	2.921	0.000	0.112
6	12,953	10.058	198.275	33.775	96.775	0.000	3.005	0.000	0.177
7	12,964	9.686	218.608	40.349	112.207	0.000	2.637	0.000	0.140
8	12,967	9.273	249.090	50.300	124.172	0.000	2.483	0.000	0.165
9	12,959	8.792	301.107	64.884	152.548	0.000	2.290	0.000	0.165
10	12,993	8.003	405.059	89.644	172.877	0.000	2.590	0.000	0.229
All	129,642	10.445	211.122	36.881	103.393	0.000	2.921	0.000	0.271

表 5. 限界取引コストとイフェクティブ・スプレッドの関係 (arrowhead 稼働後)

Size: 時価総額による分位, lnMV: 時価総額(単位 100 万円)対数値, MCT: 限界取引コスト(売買往復, 単位 BP), ES: イフェクティブ・スプレッド, δ_0, δ_1 : 回帰モデル(9)における回帰係数, その右列(p-value)は対応する有意確率, Adjusted R^2 : 自由度修正済決定係数. 分析期間は arrowhead 稼働後の 2010 年 1 月～2012 年 6 月.

Size	Firm-years	lnMV	MCT	ES	δ_0	(p-value)	δ_1	(p-value)	Adjusted R^2
1	6,141	13.308	94.667	9.228	72.628	0.000	2.388	0.000	0.047
2	6,153	11.841	106.937	11.972	76.881	0.000	2.511	0.000	0.066
3	6,156	11.065	121.773	15.424	90.308	0.000	2.040	0.000	0.085
4	6,152	10.507	144.377	20.542	88.986	0.000	2.697	0.000	0.091
5	6,158	10.027	166.929	28.504	118.199	0.000	1.710	0.000	0.078
6	6,150	9.572	198.284	35.621	107.715	0.000	2.543	0.000	0.131
7	6,151	9.127	224.504	44.342	120.293	0.000	2.350	0.000	0.136
8	6,157	8.706	284.085	59.369	111.337	0.000	2.910	0.000	0.239
9	6,152	8.176	347.336	78.397	88.717	0.000	3.299	0.000	0.309
10	6,167	7.221	478.190	113.063	103.531	0.000	3.314	0.000	0.292
All	61,537	9.954	216.787	41.668	80.488	0.000	3.271	0.000	0.384

表 6. Absolute Order Imbalance の変化

	(4) 01/2010-06/2012	(1) 01/2003-12/2009		(2) 01/2003-12/2007			(3) 01/2008-12/2009			
	AIM	AIM	%Increased	%Increased& Sig.at 5%	AIM	%Increased	%Increased& Sig.at 5%	AIM	%Increased	%Increased& Sig.at 5%
MV1(Large)	0.129	0.120	53.6	45.4	0.125	48.5	43.8	0.105	78.9	69.6
MV2	0.155	0.141	52.6	44.8	0.147	48.5	40.7	0.126	81.4	71.1
MV3	0.175	0.163	52.3	40.0	0.171	41.5	32.8	0.145	76.4	61.5
MV4	0.209	0.194	57.2	47.9	0.203	50.0	37.6	0.173	86.1	73.7
MV5	0.244	0.228	59.0	49.7	0.235	55.4	42.1	0.216	77.4	62.1
MV6	0.293	0.268	63.4	53.6	0.271	62.9	51.5	0.266	74.7	58.8
MV7	0.334	0.309	69.6	54.6	0.307	66.5	52.1	0.319	67.5	49.0
MV8	0.393	0.365	67.2	55.4	0.359	67.7	56.9	0.385	62.1	39.0
MV9	0.447	0.395	73.7	59.3	0.376	77.3	64.4	0.438	57.2	32.0
MV10(Small)	0.495	0.441	74.4	64.1	0.400	81.0	71.8	0.518	43.6	23.1
All Samples	0.288	0.263	62.3	51.5	0.259	59.9	49.4	0.269	70.5	10.2

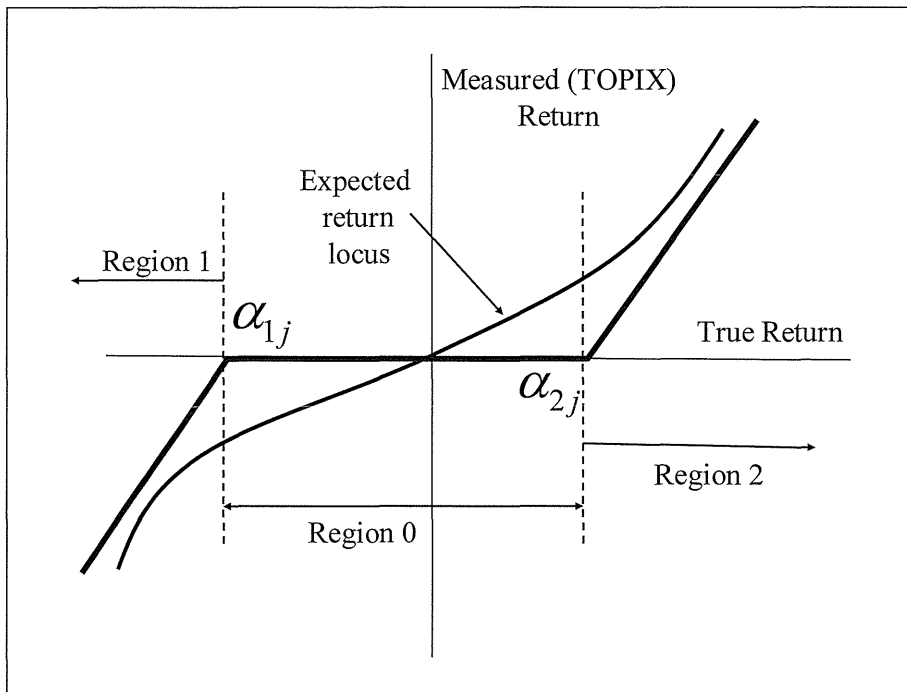
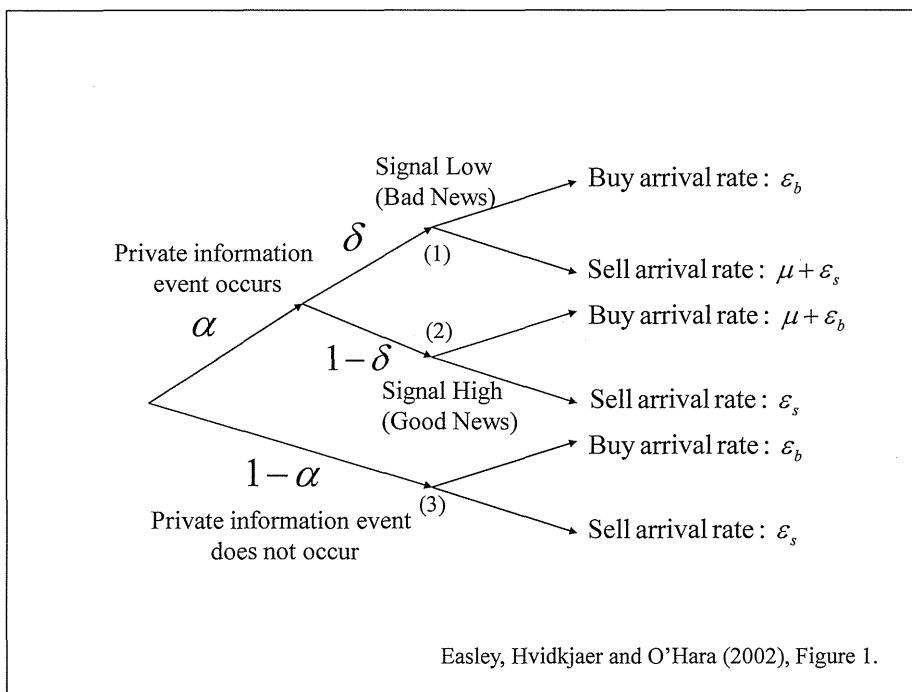


図 1. LDV モデルの基本的アイデア



Easley, Hvidkjaer and O'Hara (2002), Figure 1.

図 2. Easley, Hvidkjaer and O'Hara(2002)モデルの基本構造