

# 人工市場を用いた株式貸借市場の流動性の変化が 売買市場に与える影響の分析

## Analysis of the impact of changes in the stock lending market liquidity on the stock market using an artificial market

宮崎 文吾<sup>1\*</sup> 中川 慧<sup>1</sup>  
Bungo Miyazaki<sup>1</sup> Kei Nakagawa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 野村アセットマネジメント株式会社  
<sup>1</sup> Nomura Asset Management Co.,Ltd.

**Abstract:** 株式貸借市場は、空売りを通じて株式市場（売買市場）に流動性を提供するとともに、資金調達機会や収益機会を提供するという重要な役割を担っている。空売りやその規制が株式市場にどのような影響を与えるかについて多くの研究が存在しており、人工市場はその分析手法の一つであるが、既存の人工市場を用いた研究は現実の空売りのメカニズムを適切に反映できていない。つまり、貸借市場における供給制約や需給に基づく貸株料も空売りへの制約となり、効率的な株式市場の形成のためには流動性の高い貸借市場の存在が条件となると考えられる。そこで本研究では株式市場に加え、貸借市場も考慮した連成型人工市場を構築し、貸借市場の流動性の変化が株式市場の効率性に与える影響を調べる。分析の結果、貸借市場の流動性が高まると平常時の売買市場の効率性は高まるものの、ファンダメンタル価格が急落した際の効率性は損なわれる可能性があることが分かり、空売り規制の設計の際などに貸借市場の流動性も考慮する必要があることを示した。

## 1 はじめに

株式貸借市場は、空売りを通じて株式市場（取引所売買市場、以下「売買市場」）に流動性を提供するとともに、資金調達機会や収益機会を提供するという重要な役割を担っている。すなわち、空売りを行う投資家にとっては、ネイキッド・ショート・セリングが原則的に禁止されている本邦において貸借市場で株式を借り入れることで決済措置をとることができ、一方で貸株を行う投資家にとっては、短期間で売却する予定のない株式を担保とした資金調達を行ったり、貸株料によって運用効率の向上を図れる（図1）。

空売りやその規制が売買市場にどのような影響を与えるかについて多くの研究が存在しており、[1, 2] などをはじめとして人工市場はその分析手法の一つである。

ところが、既存の人工市場を用いた研究のほとんどは貸借市場での「流動性」の存在を考慮していない。本研究では貸借市場における流動性を表す尺度として、(1) 貸株供給量と(2) 貸株料の2つを対象とする。これらは現実の空売りのメカニズムで考慮が必要な要素であり、空売りに対する自然な制約として存在している。具体的には、貸借市場での貸株供給量が少なく、空売りす

るための株式の調達が困難な場合や、貸株料が空売りを行うことでの期待リターンに見合うほど安くない場合に、空売りの制約となる。これらは貸借市場での需給に基づき発生する制約であり、裁定取引に対する制約条件(裁定の限界)として存在する[3]。したがって、市場分析の際には現実の空売りのメカニズムを適切に反映するように明示的にモデル化する必要があり、このような需給に基づく制約を考慮せず空売り規制などの制度設計をしてしまうと、取引参加者に対して過剰な制約を課し市場の効率性を損う恐れがある。

そこで本研究では株式の売買市場に加え、上記の流動性の制約を持った貸借市場を考慮した連成型人工市場を構築する。そして、貸借市場の流動性の変化、特に貸株料の変化が売買市場の効率性に与える影響を調べる。

## 2 先行研究

貸借市場と売買市場の関係を調査した実証研究としては、[4, 5]などが存在する。これらの研究ではいずれも、貸借市場の流動性（前者では貸株在庫残高に対する貸株残高や貸株料、後者では時価総額に対する貸株在庫残高や貸株料などを指標としている）が売買市場の流動性や効率性（前者では取引件数やビッドアスク

\*連絡先：野村アセットマネジメント株式会社  
〒103-0027 東京都中央区日本橋1丁目12-1  
E-mail: b-miyazaki@nomura-am.co.jp

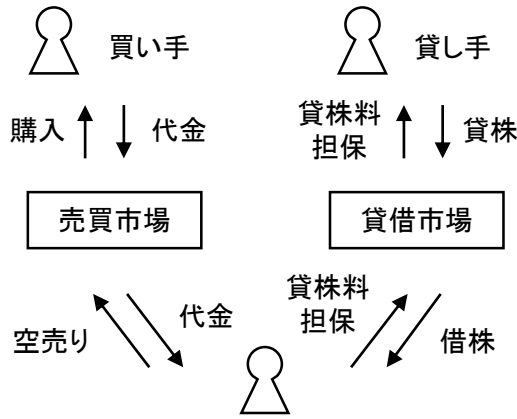


図 1: 売買市場と貸借市場の関係

スプレッド、後者では市場リターンが株式リターンへ織り込まれる速度などを指標としている)に影響を与えることを示している。

本研究において売買市場と貸借市場を考慮するように、複数の関連しあった市場を考慮した人工市場を連成型人工市場といい、例えば原資産市場とオプション市場を調べた [6] や現物と ETF との裁定取引を調べた [7] などが存在する。また、空売り規制の影響を調査するためのエージェントシミュレーションとして、[8] は貸借市場での供給制約や貸株料を考慮した戦略を持ったエージェントを再現した。しかし、この研究での貸株料は、ある値を基準として、過去の市場価格が上昇している場合は一様乱数から定まる値だけ下落、市場価格下落している場合は上昇というように定められ、現実のような貸借市場での需給を反映したモデルとなっておらず、貸借市場の流動性の変化が売買市場に与える影響の調査という目的では不十分である。

### 3 売買市場と貸借市場の連成型人工市場モデルの構築

本研究では [9] をベースとした [2] の人工市場モデルをベースに、貸借市場を導入したモデルを構築する。本章ではまず、[2] でのモデルについて述べ、そのモデルへの貸借市場の導入を行う。

#### 3.1 売買市場のモデル

はじめに売買市場を、[2] と同様に構築する (以下「既存モデル」と呼ぶ)。既存モデルでは、一つの資産を対象とした複数のエージェントによる連続ダブルオー

クションをモデル化しており、 $n$  体のエージェントが以下のプロセスに基づき順番に注文を行くことを繰り返す。

#### 3.1.1 注文の決定

ある時刻  $t$  でエージェント  $j$  は次のステップに基づき注文を行う。なお、既存モデルではエージェントが 1 体注文を出すごとに時刻  $t$  は 1 増えるとしたが、本研究では全エージェントが注文を出した後に 1 増えるものとした。

##### Step 1. 期待リターンの計算

あるエージェント  $j$  が時刻  $t$  において注文を行うおうとしている時点  $t'$  で表す。期待リターン  $r_{e,j}^{t'}$  を次式のように、ファンダメンタル価格と直近約定価格の乖離  $\log(P_f^t/P^{t'})$  (ファンダメンタル成分)、ヒストリカルリターン  $r_{h,j}^{t'}$  (テクニカル成分)、ノイズ  $\varepsilon_j^{t'}$  の加重平均で計算する。

$$r_{e,j}^t = \frac{\left( w_{1,j} \log \frac{P_f^t}{P^{t'}} + w_{2,j} r_{h,j}^{t'} + w_{3,j} \varepsilon_j^{t'} \right)}{\sum_{i=1}^3 w_{i,j}} \quad (1)$$

$$w_{i,j} \in [0, w_{i,max}] \quad (2)$$

$$\varepsilon_j^{t'} \sim N(0, \sigma_\varepsilon) \quad (3)$$

$$P_f^t: \text{ファンダメンタル価格} \quad (4)$$

$$P^{t'}: \text{直近約定価格} \quad (5)$$

$$r_{h,j}^{t'} = \log(P^{t'} / P^{t-\tau_j}) \quad (6)$$

$$\tau_j \in [1, \tau_{max}] \quad (7)$$

なお、各要素の重み  $w_{i,j}$  および過去リターンの参照期間  $\tau_j$  は、エージェントごとにシミュレーション開始時に一様乱数を用いて生成する。また、空売りを意図的に発生させるために、本研究では各エージェントはエージェントに固有のバイアス  $b_j$  をもってファンダメンタル価格を認識するものとし、式 (1) におけるファンダメンタル価格  $P_f^t$  の代わりにエージェント  $j$  が認識するバイアス付きのファンダメンタル価格  $P_{f,j}^t = P_f^t \exp b_j$  を用いた。  $b_j < 0$  となるエージェントは実際のファンダメンタル価格より悲観的にファンダメンタル価格を認識するため、低い価格での売り注文が増え、空売りを行いやすくなる。  $b_j$  はシミュレーション開始時に  $b_j \sim U[-b_{max}, b_{max}]$  で初期化した。

##### Step 2. 注文価格の決定

期待リターン  $r_{e,j}^{t'}$  をもとに、期待価格  $P_{e,j}^{t'}$  の計算を行う。

$$P_{e,j}^{t'} = P^{t'} \exp(r_{e,j}^{t'}) \quad (8)$$

次に、注文価格  $P_{o,j}^{t'}$  を以下の通り決定する。

$$P_{o,j}^{t'} = P_{e,j}^{t'} \exp(r_d^{t'}) \quad (9)$$

$$r_d^{t'} \sim U[-r_{max}, r_{max}] \quad (10)$$

ここで、 $r_{max}$  は期待価格と注文価格の差の最大幅を表す定数である。最後に、 $P_{o,j}^{t'}$  を価格の変化幅の最小単位  $\delta P$  に収まるように丸める。なお、既存モデルでは式 (9) の代わりに  $P_{o,j}^{t'}$  は  $P_{e,j}^{t'}$  から一定幅内の一様乱数で選択されるとしたが、本研究では期待価格の絶対的な値によらずに注文価格を決められるように、このように選択するものとした。また既存モデルでは最小単位  $\delta P$  への丸めの際に切り捨てとしたが、本研究では  $\delta P$  の整数倍のうち  $P_{o,j}^{t'}$  からより近い方に丸めた。

### Step 3. 注文

注文価格  $P_{o,j}^{t'}$  と期待価格  $P_{e,j}^{t'}$  に基づき、次のように注文を行う。

$$1 \text{ 単位の買い注文 } (P_{e,j}^{t'} > P_{o,j}^{t'}) \quad (11)$$

$$1 \text{ 単位の売り注文 } (P_{e,j}^{t'} < P_{o,j}^{t'}) \quad (12)$$

マッチングする注文が板に存在する場合は即座に相手方の価格で約定し直近価格を更新する。そのような注文がなければ板に注文を残す。板に残された注文が  $t_c$  経過しても約定されない場合、その注文はキャンセルされる。

#### 3.1.2 エージェントの学習

各エージェントは自身の注文を出す前に以下の手順で戦略の更新を行う。式 (1) におけるファンダメンタルおよびテクニカルに対応する期待リターンをそれぞれ、

$$r_{e,i,j}^{t'} = \begin{cases} \log(P_f^{t'}/P^{t'}) & i = 1 \\ r_{h,j}^{t'} & i = 2 \end{cases} \quad (13)$$

とする。価格変化の方向を当てている戦略のウェイトを引き上げ、外れている戦略のウェイトを引き下げる学習を行う。すなわち、ファンダメンタル、テクニカルに対応するウェイト  $w_{i,j}$  を  $r_{e,i,j}^{t'}$ ,  $i = 1, 2$  と学習期間のリターン  $r_l^{t'} = \log(P^{t'}/P^{t-t_l})$  のそれぞれの符号を比べて次式のように調整する。

$$w_{i,j}^{new} = \begin{cases} w_{i,j}^{old} + k_l r_l^{t'} \rho_j^t (w_{i,max} - w_{i,j}^{old}) & (\text{同符号の時}) \\ w_{i,j}^{old} - k_l r_l^{t'} \rho_j^t w_{i,j}^{old} & (\text{異符号の時}) \end{cases} \quad (14)$$

$$k_l : \text{定数} \quad (15)$$

$$\rho_j^t \sim U[0, 1] \quad (16)$$

ここで、 $k_l$  は定数、 $\rho_j^t$  は時刻ごと、エージェントごとに与えられる 0 から 1 までの一様乱数である。また、これとは別に各エージェントは小さい確率  $m$  で  $w_{i,j}, b_j$  をシミュレーション開始時と同じ一様乱数に従い再設定する。

## 3.2 貸借市場の導入

つぎに、本研究で導入する貸借市場とそれに対する各エージェントの振る舞いについて説明する。あるエージェントの売り注文が約定する際、それが空売りである場合（自己の保有する株式が 0 以下の場合）、エージェントは貸借市場に対して貸株供給量と貸株料を確認し、条件を満たす場合のみ株式を借り入れて空売りを行い、満たさない場合はその注文はキャンセルされる。

したがって、本モデルでのエージェントは貸借市場での流動性の尺度である (1) 貸株供給量や (2) 貸株料といった制約の存在を考慮しているため、現実の投資家の意思決定をより適切に反映していると考えられる。

具体的には、以下のステップに基づき空売りの可否を判断する。

### Step 1. 総需要量の計算

貸借市場で全エージェントが借り入れている株式の合計である需要量  $D^{t'}$  を計算する。すなわち、

$$D^{t'} = \sum_{j=1}^n si_j^{t'} \quad (17)$$

とする。ここで、 $si_j^{t'}$  は  $t'$  におけるエージェント  $j$  の空売り中の株式であり、 $q_j^{t'}$  を各エージェントの各時点での保有株数（マイナスを許す）として、

$$si_j^{t'} = \max(0, -q_j^{t'}) \quad (18)$$

で表される。

### Step 2. 総供給量の計算

次に、貸借市場にて各エージェントが貸し出すことのできる株式数の合計である供給量  $S^{t'}$  を計算する。すなわち、

$$S^{t'} = \sum_{j=1}^n li_j^{t'} \quad (19)$$

とする。ここで  $li_j^{t'}$  は  $t'$  におけるエージェント  $j$  の貸し出し可能株数であり、

$$li_j^{t'} = \max(0, [\max(0, q_j^{t'}) * lr_j] - us_j^{t'}) \quad (20)$$

とする。ここで、 $[x]$  は  $x$  以下の最大の整数を表す記号、 $lr_j$  はエージェント  $j$  の保有株数に対し

て貸し出し可能な株数の比率を表す  $[0, 1]$  内の実数,  $us_j^{t'}$  は時刻  $t'$  におけるエージェント  $j$  の未約定の売り注文の合計である.

### Step 3. 貸株料の決定

上述の  $D^{t'}, S^{t'}$  を基に単位時間当たりの貸株料  $f^{t'}$  が次式で決定される.

$$f^{t'} = \alpha \exp\left(\beta \frac{D^{t'} + 1}{S^{t'}}\right) \quad (21)$$

ここで,  $\alpha, \beta$  はそれぞれ貸借市場の流動性を表すパラメータであり,  $\alpha$  は全体的な貸株料の高低を表すパラメータ,  $\beta$  は貸株需給の変化に対する貸株料の感応度を表すパラメータである. それぞれ小さいほうが貸株料が低くなり, 貸借市場の流動性が高いと言える.

### Step 4. 空売りの判断

空売りを行おうとした際に, 各エージェントは空売り注文が約定した際の期待リターンと貸株料を比較し, 空売りを実行するかの判断を行う. すなわち,

$$P_{o,j}^{t'} / P_{e,j}^{t'} - 1 > f^{t'} \tau_j \quad (22)$$

を満たす際に空売りは実行され, 満たさない場合はその注文はキャンセルされる. なお, キャンセルされる注文が新規に発注された売り注文であれば, ステップは次のエージェントの注文に移行し, 新規の注文が買い注文で板に残っていた注文が空売りとなってキャンセルされる場合には, その売り注文をキャンセルし, 次に約定の優先順位が高い売り注文と約定可能であるか判定する.

## 4 シミュレーション結果

本研究では, 売買市場の各パラメータを以下の通り設定した.

エージェント数:  $n = 1000$

ウェイト:  $w_{1,max} = 1, w_{2,max} = 10, w_{3,max} = 1$

ノイズの分散:  $\sigma_\varepsilon = 0.03$

過去リターンの参照期間:  $\tau_{max} = 10$

バイアス:  $b_{max} = 0.05$

機体価格と注文価格の差:  $r_{max} = 0.1$

売買価格単位:  $\delta P = 1$

注文キャンセル期間:  $t_c = 10$

学習パラメータ:  $t_l = 10, k_l = 4, m = 0.01$

貸借市場に関するパラメータについては, 各エージェントの貸株比率を表す  $lr_j$  は全エージェントで共通とし,  $lr_j = 0.8$  とした.

以上の設定のもとで流動性を表すパラメータ  $\alpha, \beta$  を変化させ, 貸借市場の流動性の変化が売買市場に与える影響を調べる.

各エージェントには, 初期化の際に初期保有株数  $q_j^0$  を  $U[0, 20]$  で割り当てる. シミュレーションは  $t = 6,000$  まで行い, 状態が安定する  $t = 1,000$  以降の価格を調べた.

### 4.1 ファンダメンタル価格一定の場合

まず, 平常時としてファンダメンタル価格が一定の  $P_f^t = 10,000$  としてシミュレーションを行い, モデルの妥当性と貸借市場の流動性と売買市場の効率性の関係を調べた. モデルの妥当性の検証には, [2] と同様に現実の市場で見られる fat-tail や volatility clustering といった代表的な stylized fact を再現しているかで評価する. 表 1 に, リターンの尖度, 2 乗の自己相関関数について, それぞれのパラメータで 50 回シミュレーションを行った平均を示す. いずれのパラメータでも, 尖度, 自己相関関数共に有意にプラスとなっており, 既存モデルに貸借市場を導入してもこれらの性質が保たれることが分かった.

表 1: リターンの尖度とリターンの 2 乗の自己相関関数

		0.00001							
		$\alpha$	$\beta$	10	20	30	40	50	100
尖度				0.180**	0.190**	0.182**	0.187**	0.191**	0.202**
	1			0.106**	0.105**	0.102**	0.109**	0.102**	0.104**
	2			0.036**	0.032**	0.034**	0.034**	0.029**	0.032**
	3			0.015**	0.015**	0.017**	0.017**	0.015**	0.019**
	4			0.009**	0.006**	0.002	0.006**	0.008**	0.006**
	5			0.000	-0.003	0.001	-0.001	-0.001	-0.001
		0.0001							
		$\alpha$	$\beta$	10	20	30	40	50	100
尖度				0.178**	0.192**	0.190**	0.196**	0.196**	0.192**
	1			0.102**	0.103**	0.107**	0.100**	0.109**	0.104**
	2			0.035**	0.035**	0.033**	0.032**	0.035**	0.033**
	3			0.012**	0.019**	0.015**	0.016**	0.018**	0.016**
	4			0.004*	0.007**	0.005**	0.005*	0.008**	0.006
	5			-0.001	-0.000	-0.004*	-0.002	0.001	0.000
		0.001							
		$\alpha$	$\beta$	10	20	30	40	50	100
尖度				0.192**	0.182**	0.205**	0.208**	0.209**	0.216**
	1			0.107**	0.101**	0.104**	0.102**	0.100**	0.103**
	2			0.032**	0.030**	0.033**	0.028**	0.033**	0.035**
	3			0.017**	0.017**	0.015**	0.015**	0.017**	0.019**
	4			0.005*	0.005*	0.007**	0.007**	0.004	0.006**
	5			0.002	-0.001	-0.000	0.001	-0.001	0.003

\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$

次に、貸借市場の流動性と売買市場の効率性の関係を検証する。売買市場の効率性の指標としては、取引価格とファンダメンタル価格の乖離の平均と乖離の絶対値の平均を用いた。表2にその結果をまとめる。いずれの場合でも、空売りの制約があることにより取引価格は平均的にファンダメンタル価格から上方に乖離し、貸借市場の流動性を表すパラメータ  $\alpha, \beta$  が大きくなるほど（流動性が低くなるほど）その乖離が大きくなることが確認できた。

表 2: 取引価格とファンダメンタル価格の乖離の平均 (カッコ内は乖離の絶対値の平均)

		$\beta$					
		10	20	30	40	50	100
$\alpha$	1e-05	40.43 (48.71)	51.28 (56.20)	55.42 (59.59)	57.81 (61.61)	59.56 (63.03)	62.80 (65.93)
	0.0001	50.18 (55.22)	56.63 (60.57)	59.78 (63.15)	60.95 (64.16)	61.94 (64.98)	64.18 (66.91)
0.001	59.51 (62.69)	62.41 (65.35)	63.65 (66.43)	64.16 (66.96)	64.60 (67.33)	65.52 (68.12)	

#### 4.2 ファンダメンタル価格が急落する場合

次に、[2]と同様に  $t = 3,000$  でファンダメンタル価格を 10,000 から 7,000 に急落させた場合について調べた。図2にこの時の価格推移の例を示す。 $\alpha, \beta$  が小さく貸借市場の流動性が高い状態では、空売り制約がほとんどない場合に相当する。この場合には、取引価格はファンダメンタル価格の急落後にオーバーシュート（ファンダメンタル価格を超えて下落）して、振動をしながらファンダメンタル価格に収束している。これは[2]で示されたような規制なしの売買市場と同様の特徴である。一方、 $\alpha, \beta$  が大きく貸借市場の流動性が低い状態では、空売り制約が強い状態に相当する。この場合の取引価格推移はオーバーシュートすることなくファンダメンタル価格に近づいていき、[2]で示されたような完全空売り規制やアップティックルールの存在する売買市場と同様の特徴である。図3, 4を見ると、ファンダメンタル価格急落時に貸株残高が増えることで貸株料が上昇し、それに伴い  $t = 3,050$  前後で空売りの約定が成立していないことが分かる。このように、貸借市場での需給変動から生じる貸株料の上昇が、急落時に空売りへの制約を自然に強めていることがシミュレーションからも示せた。

貸借市場の流動性とオーバーシュートの大きさの関係を調べるため、表3にファンダメンタル急落後の取引価格の最小値のファンダメンタル価格からの乖離の平均をまとめた。オーバーシュートしていない（価格がファンダメンタル価格を下回らない）場合は乖離

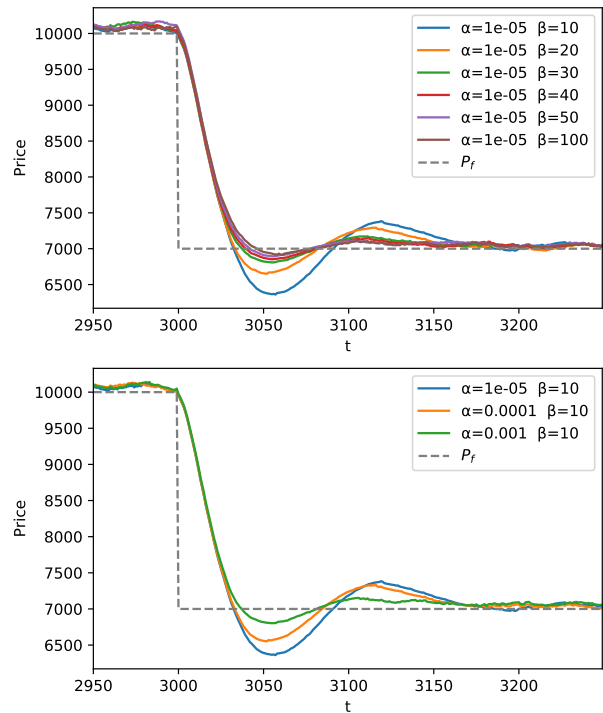


図 2: ファンダメンタル価格急落時の価格推移 (上:  $\alpha$  を固定 下:  $\beta$  を固定)

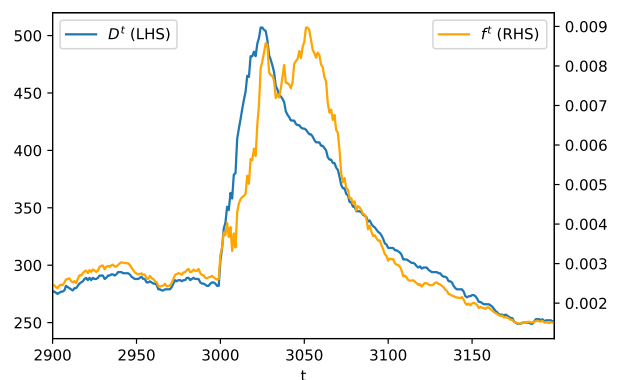


図 3: ファンダメンタル価格急落時の需要量  $D^t$  と貸株料  $f^t$  ( $\alpha = 0.0001, \beta = 50$  の場合.  $t = 3,000$  で  $P_f^t = 10,000$  から 7,000 に下落)

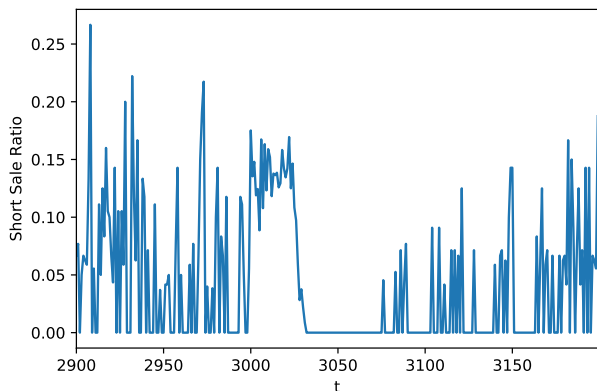


図 4: 各時点での全約定回数に占める空売りの比率 ( $\alpha = 0.0001, \beta = 50$  の場合.  $t = 3,000$  で  $P_f^t = 10,000$  から  $7,000$  に下落)

は 0 とした。この結果から、貸借市場の流動性を表すパラメータ  $\alpha, \beta$  が大きくなるほど（流動性が低くなるほど）、ファンダメンタル価格急落時のオーバーシュートは小さくなることが示せた。

表 3: オーバーシュートの大きさ

		$\beta$					
		10	20	30	40	50	100
$\alpha$	1e-05	771.88	462.84	313.48	243.28	200.86	139.28
	0.0001	572.32	316.62	219.14	175.42	156.62	125.48
	0.001	288.52	174.96	143.82	131.38	122.22	109.78

## 5 まとめ

本研究では株式の売買市場に加え、上記の流動性の観点を貸借市場に加えた連成型人工市場を構築し、貸借市場の流動性の変化、特に貸株料の変化が売買市場の効率性に与える影響を調べた。

ファンダメンタル価格一定（平常時）と急落時の 2 つの条件でシミュレーションを行うことで、貸借市場の流動性が高い場合には、平常時には取引価格のファンダメンタル価格からの乖離が小さいという意味で売買市場は効率性が高まるが、ファンダメンタル価格急落時には自由な空売りが取引価格をオーバーシュートさせてしまうことが分かった。一方、貸借市場の流動性が低い場合には、ファンダメンタル価格急落時に空売りへの制約が自然に強まることで取引価格のオーバーシュートが小さくなるという意味で、空売り規制と同様に市場の効率性を高める一方、平常時には取引価格のファンダメンタル価格からの乖離を大きくしてしまうことが分かった。

本研究の寄与としては、金融市場の制度設計の際などに活用される人工市場に、需給に基づく貸株のメカニズムを導入した点にある。当モデルを用いたシミュレーションからは、貸借市場の流動性による制約は空売り規制と同様の効果をもたらすことが示された。これは、貸借市場の流動性が十分に高い場合には問題にならないだろうが、貸借市場の流動性が低い銘柄においても同様の空売り規制を設けてしまうと空売りに対して二重の制約を課すことになり、予期せず市場の効率性を損なってしまう可能性があることを示している。本研究で提示した貸借市場を導入した人工市場により、貸借市場の流動性を考慮した空売り規制のシミュレーションが可能となり、これは今後の課題として考えられる。また、本研究では一定とした各エージェントの貸株比率の変化の検証についても今後の課題となる。貸株は性質上すぐに売る可能性のある株式に対して行うことは難しいためアクティブファンドで行うことは難しく [10]、貸株を行う主体の多くはアクティブではなくパッシブ運用により運用されている株式だと考えられ、パッシブ運用の比率は市場全体の貸株比率に影響すると考えられる。例えば日本銀行によるパッシブ運用を行う ETF の買い入れは市場の効率性を損なうのではないかという議論があるが、[11] で指摘されているように、パッシブ運用からの貸株の流動性供給は売買市場の効率性向上に貢献する可能性があり、本研究で提案したモデルではそのようなパッシブ運用比率の上昇に伴う貸株比率の変化まで考慮した市場の効率性の変化を検証することができ、今後の課題として考えられる。

## 参考文献

- [1] 八木勲, 水田孝信, 和泉潔. 人工市場を用いた株式市場における空売り規制の有効性分析. 第 4 回 人工知能学会ファイナンスにおける人工知能応用研究会 (SIG-FIN) SIG-FIN-004-02, pp. 7-14, 2010.
- [2] 水田孝信, 和泉潔, 八木勲, 吉村忍. 人工市場を用いた値幅制限・空売り規制・アップティックルールの検証と最適な制度の設計. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 133, No. 9, pp. 1694-1700, 2013.
- [3] GeneD' avolio. The market for borrowing stock. *Journal of financial economics*, Vol. 66, No. 2-3, pp. 271-306, 2002.
- [4] 宇野淳, 梅野淳也, 室井理沙. 日本株レンディング市場の実証分析-株券貸借モデルによる空売り規制効果の測定 (特集 市場流動性). 証券アナリストジャーナル, Vol. 47, No. 6, pp. 19-33, 2009.

- [5] Pedro AC Saffi and Kari Sigurdsson. Price efficiency and short selling. *The Review of Financial Studies*, Vol. 24, No. 3, pp. 821–852, 2010.
- [6] 川久保佐記, 和泉潔. 連成型人工市場によるオプション取引戦略が原資産市場に与える影響の分析. 人工知能学会論文誌, Vol. 31, No. 6, pp. AG–D, 2016.
- [7] 水田孝信. 株式と etf の裁定取引にかかるコストと流動性の関係—人工市場によるシミュレーション分析—. 人工知能学会全国大会論文集 一般社団法人 人工知能学会, pp. 2O1J1302–2O1J1302. 一般社団法人 人工知能学会, 2019.
- [8] 大井朋子. エージェントシミュレーションを用いた「価格規制」と「ネイキッド・ショート・セリングの禁止」の有効性の検証. FSA リサーチレビュー, Vol. 7, , 2013.
- [9] Carl Chiarella, Giulia Iori, and Josep Perell. The impact of heterogeneous trading rules on the limit order book and order flows. *Journal of Economic Dynamics and Control*, Vol. 33, pp. 525–537, 03 2009.
- [10] 水田孝信. 信託報酬ゼロの出現～コスト以上に重要なこと（スパークス・アセット・マネジメント株式会社 スペシャル・レポート 2018/11/07）. <https://www.sparx.co.jp/report/special/2411.html>.
- [11] 明田雅昭ほか. パッシブ運用のエンゲージメントー論点整理と提案ー. CGSA フォーラム, Vol. 16, pp. 13–32, 2018.