

博士論文 本審査

人工市場シミュレーションを用いた
金融市場の規制・制度の分析

東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻

37-117365

水田孝信

2014年8月6日13:00～

第Ⅰ部 金融市場の現状と問題意識

1. 本研究の背景と目的

2. 金融研究の概況

第Ⅱ部 人工市場モデルの設定

参照

すべての設定に関して

3. 人工市場モデルの基本的な考え方とモデル化の選択軸

特に重要な詳細設定の各論

4. 簡易型価格決定メカニズムの比例係数とCARA 型発注数量モデルの考察

6. 学習過程の必要性分析

参照

使用

5. 人工市場・ベース・モデルの構築

使用

第Ⅲ部 人工市場モデルを用いた現実の金融市場の規制・制度調査

市場混乱を防ぐ規制・制度の分析

7. ファンダメンタル急落時における
値幅制限, 空売り規制,
アップティックルールの分析

8. 誤発注時の値幅制限, トリガー式
アップティック・ルールの分析

取引市場間競争の分析

9. ティック・サイズの違いによる
取引市場間競争

10. ダークプール出現の影響

第Ⅰ部 金融市場の現状と問題意識

人工市場研究の必要性

これまでの人工市場との違い

第Ⅱ部 人工市場モデルの設定

1. 人工市場モデル

2. モデルの妥当性

3. 学習過程

使用

第Ⅲ部 人工市場モデルを用いた現実の金融市場の規制・制度調査

市場混乱を防ぐ規制・制度の分析

1. ファンダメンタル急落時における
値幅制限, 空売り規制,
アップティックルールの分析

取引市場間競争の分析

2. ティック・サイズの違いによる
取引市場間競争

第Ⅰ部 金融市場の現状と問題意識

人工市場研究の必要性

これまでの人工市場との違い

第Ⅱ部 人工市場モデルの設定・分析

1. ファンダメンタル急落時における
値幅制限, 空売り規制,
アップティックルールの分析

主要な結果

2. ティック・サイズの違いによる
取引市場間競争

第 I 部

金融市場の現状と問題意識

人工市場研究の必要性

これまでの人工市場との違い

金融市場では、金融危機による混乱がしばしば発生
⇒ どのような規制・制度で対応するか議論

取引市場の新規参入により、取引市場間のシェア争いが激化
⇒ どのような制度なら取引市場間のシェア争いに勝てるか議論

実証研究の困難さ

導入したことがない規制・制度変更を議論

→ 実証データが全くない

価格形成に関して規制・制度変更の効果だけを取り出す

→ 実際の市場ではさまざまな要因が複雑

当局や取引市場が規制・制度を策定するときの議論

⇒ 仮説検証型の分析に基づかない定性的な議論のみ
導入した後に副作用を発見し導入したものを廃止するといったことが繰り返される場合も



人工市場シミュレーション

第 I 部

金融市場の現状と問題意識

人工市場研究の必要性

これまでの人工市場との違い

これまでの人工市場

- 金融市場の現象の解明：特にミクロ・マクロ相互作用
バブル現象、投資家の特性、スタイライズド・ファクトの要因、

(Izumi & Okatsu 1996, Arthur et. al. 1997, Lux & Marchesi 1999等)

- 金融市場の規制・制度の新設・変更の与える影響

(Westerhoff 2008, 八木ら 2011,
Thurner et. al. 2012等)

批判

- ・ 調査対象に応じたモデルに必要な要素が特定されておらず、
モデルが過剰に複雑 (Chen et. al. 2009等)
- ・ 規制・制度のパラメータ依存性を調べていない
- ・ 実際に議論されている規制・制度ではない

規制・制度の議論に実務的に使える
知識の獲得になっていなかった

実際の議論であまり参考にされず

今回の人工市場

調査対象に応じたモデルに必要な要素の特定
規制・制度のパラメータ感応度を分析
実際に議論されている規制・制度を分析・設計

規制・制度の議論に実務的に使える
知識の獲得を目指す

過去の特特定事象の再現は目的でない

実際の議論で参考にされることを目指す

コロンブスの
たまご的な
気づき

人工市場研究の必要性

これまでの人工市場との違い

第Ⅱ部 人工市場モデルの設定

1. 人工市場モデル

2. モデルの妥当性

3. 学習過程

使用

1. ファンダメンタル急落時における
値幅制限, 空売り規制,
アップティックルールの分析

主要な結果

2. ティック・サイズの違いによる
取引市場間競争

第Ⅱ部

人工市場モデルの設定

1. 人工市場モデル

2. モデルの妥当性

3. 学習過程

人工市場モデルを用いたシミュレーションとは？

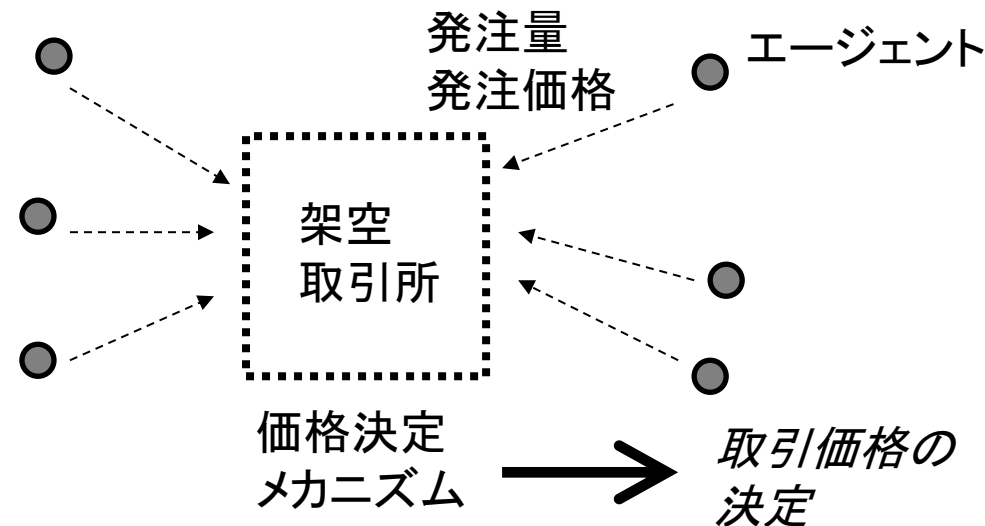
計算機上に人工的に作られた架空の市場
マルチエージェントシステム + 価格決定メカニズム

- エージェント

計算機プログラムで表現された仮想的な取引参加者集団
↑ 同一の戦略を持つ集団で1エージェントとする
各々の売買ルールに従い発注量と発注価格を決定

- 価格決定メカニズム(架空取引市場)

各エージェントが出した発注量と発注価格を集めて取引を成立



規制・制度研究に用いる人工市場：必要な要素の特定

エージェント

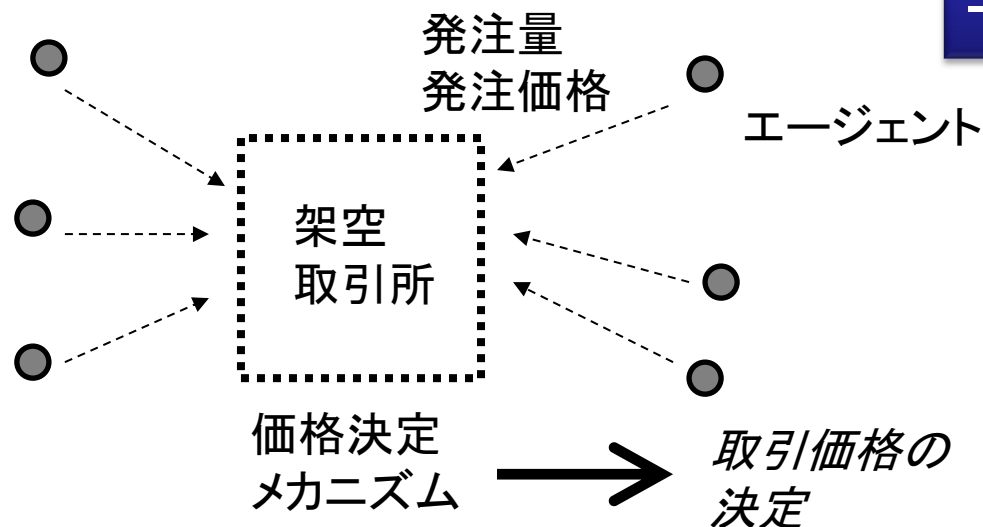
ごく一般的な投資家を再現

特定環境のみに存在する特殊な投資家は再現しない

↑ 過去の特定制象の再現でなく、

規制・制度の一般的なメカニズムの理解が目的

一般的な投資家をモデル化



調査対象の制度・規制を
正確にモデル化

価格決定メカニズム

調査対象の制度・規制を再現する必要がある

本研究：Chiarella et. al. 2009をベースにしてモデルを構築

価格決定メカニズム:現実と同じように複雑
調査対象の制度・規制が再現する必要がある

正確なモデル化

continuous double auction (ザラ場):

注文が入るごとに価格を決定

ザラバ

売り 注文株数	注文 価格	買い 注文株数
10	103	
30	102	
	101	
50	100	
130	99	←ここに注文を入れるとすぐ取引成立
ここも同様⇒	98	150
	97	
	96	70

対等する注文があるとすぐに成立

⇔簡略なモデル

価格変化 $\propto$ (買い注文量 - 売り注文量)

エージェントモデル

j: エージェント番号
(1000体, 順番に注文)
t: 時刻(ティック時刻)

過去リターン

$$r_{h,j}^t = \log P^t / P^{t-\tau_j}$$

テクニカル

予想リターン

$$r_{e,j}^t = \frac{1}{\sum_i w_{i,j}} \left(w_{1,j} \log \frac{P_f}{P^t} + w_{2,j} r_{h,j}^t + w_{3,j} \varepsilon_j^t \right)$$

エージェントの
パラメータ

$w_{i,j}$ τ_j
一様乱数で決定
途中で変わらない

$w_{i,j}$ $i=1,3: 0 \sim 1$
 $i=2: 0 \sim 10$
 τ_j $0 \sim 10000$

ファンダメンタル

P_f ファンダメンタル価格
10000 = 定数
 P^t 現在の取引価格

ノイズ

ε_j^t
正規乱数
平均0
 $\sigma=3\%$

予想価格 $P_{e,j}^t = P^t \exp(r_{e,j}^t)$

価格の予想方法(投資戦略)

* ファンダメンタル戦略

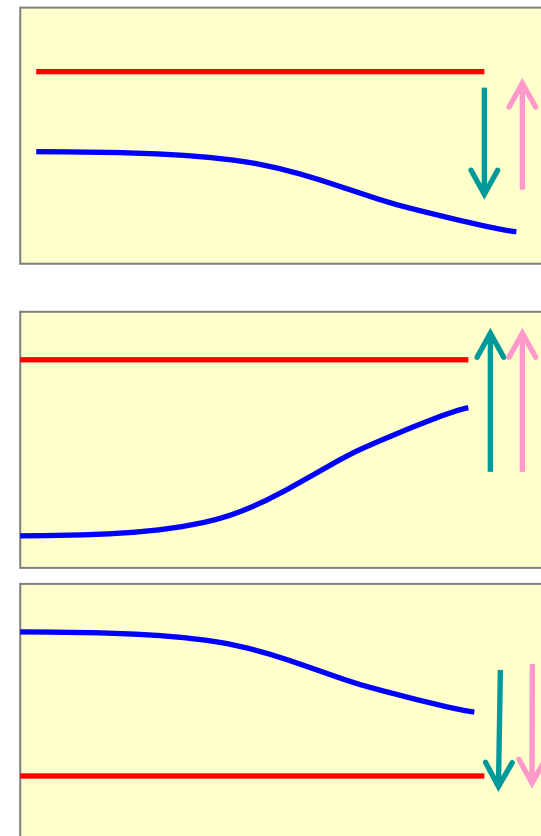
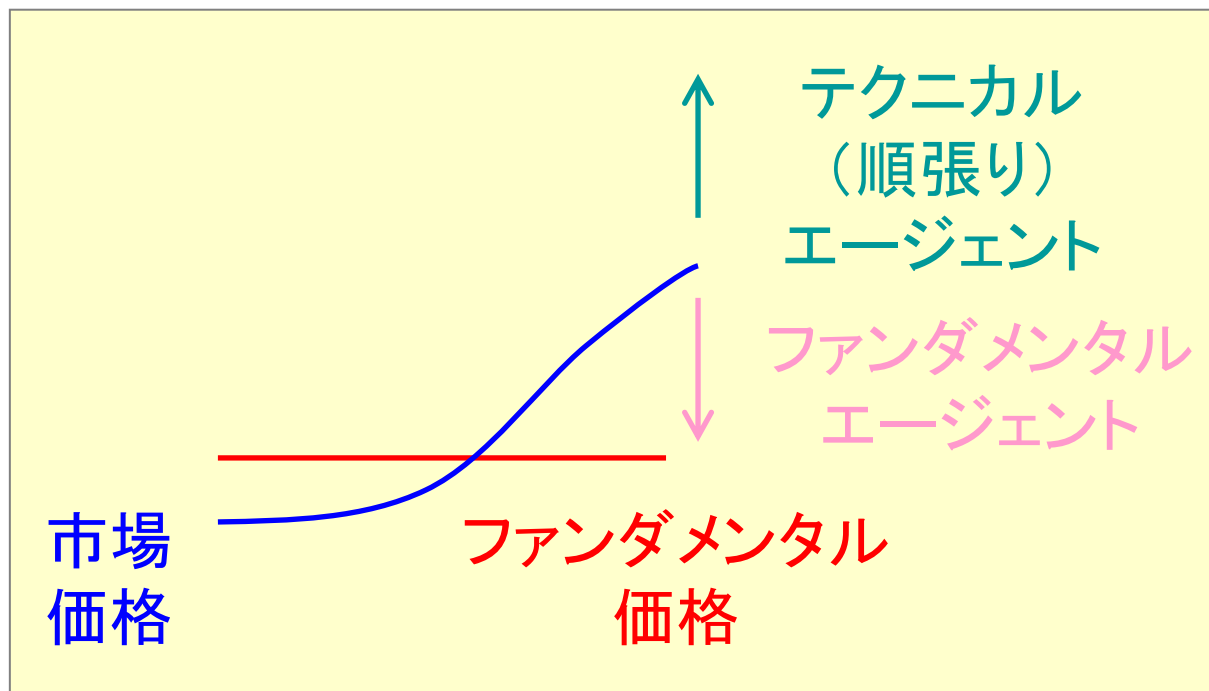
ファンダメンタル価格 > 市場価格 $\Rightarrow$ 上がると予想

ファンダメンタル価格 < 市場価格 $\Rightarrow$ 下がると予想

* テクニカル戦略

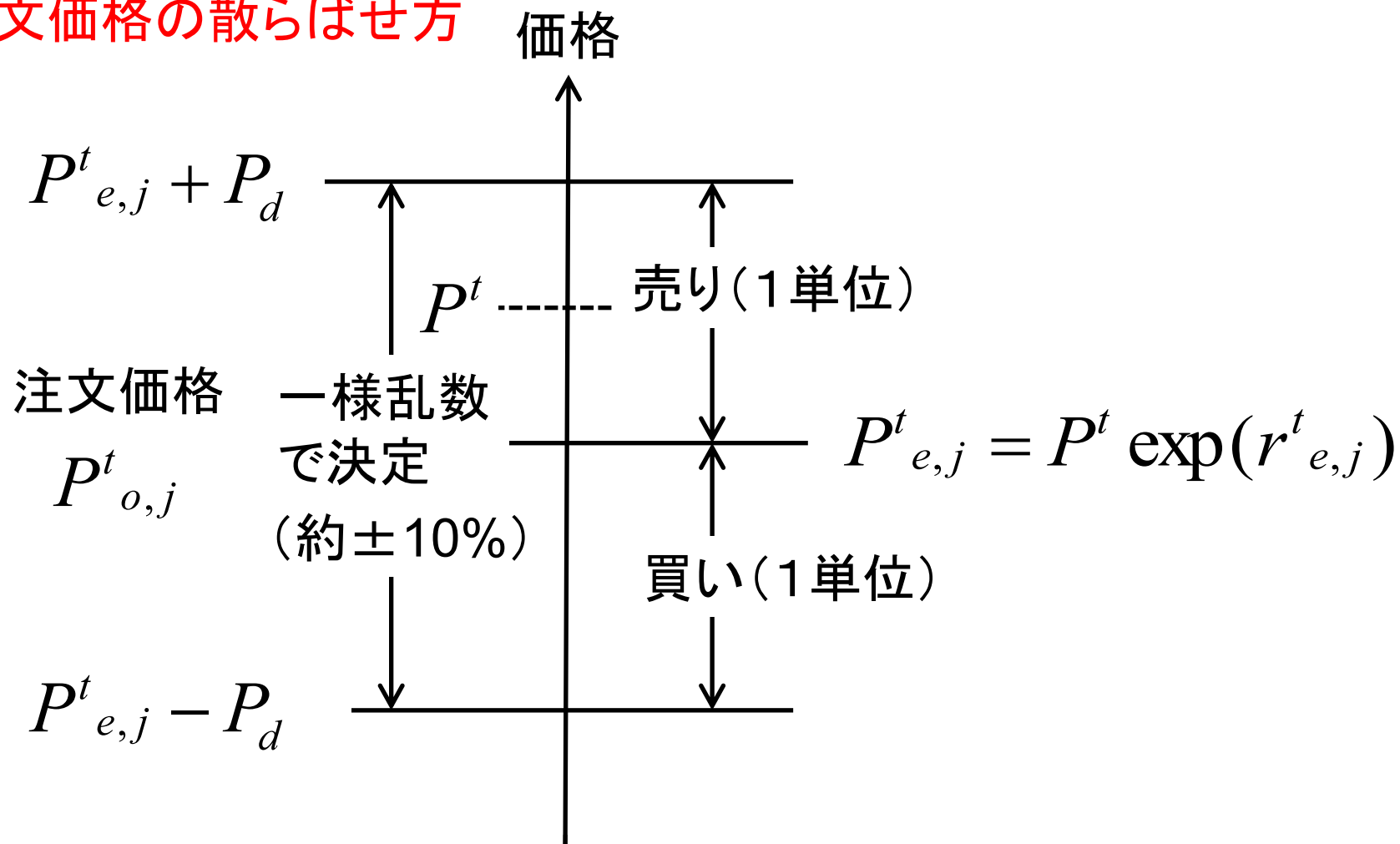
過去リターン > 0 $\Rightarrow$ 上がると予想

過去リターン < 0 $\Rightarrow$ 下がると予想



売り買いの決定

注文価格の散らばせ方



実際のザラバの注文状況を再現するため

⇒ 多くの待機している注文(指値注文)が存在

↑ 高い価格で多くの売り注文、安い価格で多くの買い注文

第Ⅱ部

人工市場モデルの設定

1. 人工市場モデル

2. モデルの妥当性

3. 学習過程

妥当性(1)
現実のマクロを
(必要な部分)再現
スタイライズド・ファクトを再現
ファット・テール
ボラティリティ・クラスタリング
その他目的に応じて
再現するもの

妥当性(2)
実証等で解明された
ミクロにあわせる
ファンダメンタル投資家
テクニカル(順張り)投資家

マクロ
価格変動
積み上げ
ミクロ ← モデル化
エージェント(投資家)
価格決定メカニズム(取引所)

妥当性(3)
調査目的に応じた適切な複雑さ
過去の特定事象の再現か
一般的な市場特性の知識獲得か
エージェントと価格決定メカニズム
各々、どのくらい複雑さが必要か吟味

妥当性(1) 現実のマクロを(必要な部分)再現

知られている全てのスタイライズド・ファクトの再現は目的でない
⇒ 調査目的に応じた適切な複雑さ

★金融市場においてどのような状況でも存在 ⇒ 値には幅あり

(1) ファットテール (Mandelbrot 1963等多数)

価格の騰落率の分布が正規分布に比べ裾が厚い
→ 暴騰・暴落が正規分布で予想されるより多い

尖度: 1~100程度と値には幅がある

(2) ボラティリティ・クラスタリング (Mandelbrot 1972等多数)

価格の騰落率の2乗が大きなラグでも自己相関をもつ
→ 市場が荒れだすと持続する

短いラグで0.1~0.2程度、ラグが長くなると急激に減少
ゼロに近づくもののマイナスにはならない(プラスを維持)

スタイライズド・ファクトの再現

		尖度	3.01
		lag	
100試行 平均	騰落率 の 2乗の 自己相 関	1	0.13
		2	0.10
		3	0.08
		4	0.06
		5	0.05
		6	0.04

ファットテール, ボラティリティ・クラスタリングを再現

(1) ファットテール (Cont 2001, Sewell 2006)

尖度: 1~100程度と値には幅がある

(2) ボラティリティ・クラスタリング (Cont 2001, Sewell 2006)

短いラグで0.1~0.2程度、ラグが長くなると急激に減少
ゼロに近づくもののマイナスにはならない(プラスを維持)

スタイライズド・ファクトの再現

パラメータ決定の例: w2max(テクニカル戦略のウェイト)

		w2max	0	0.1	1	10	100
平均	尖度		-0.33	-0.28	0.15	3.01	17.12
	lag						
	1		0.12	0.12	0.13	0.13	0.06
	2		0.05	0.05	0.07	0.10	0.05
	騰落率の						
	2乗の						
	自己相関						
	6		0.02	0.02	0.02	0.04	0.03
		w2max	0	0.1	1	10	100
標準偏差	尖度		0.03	0.03	0.04	0.22	2.11
	lag						
	1		0.02	0.01	0.01	0.02	0.03
	2		0.01	0.01	0.01	0.02	0.02
	騰落率の						
	2乗の						
	自己相関						
	6		0.01	0.01	0.01	0.01	0.02

w2max=10: ファットテール、ボラティリティ・クラスタリングの両方が成立、試行ごとのばらつきも小さい

第Ⅱ部

人工市場モデルの設定

1. 人工市場モデル

2. モデルの妥当性

3. 学習過程

学習

学習とは？

各エージェントが過去の投資成績や過去の株価の推移から、パラメータを調整したり戦略を切り替えたりする

学習は不要という見解

学習を追加しても新たに説明可能となるスタイライズド・ファクトが無い

(Chen et. al., 2009)

学習なしで主要スタイライズド・ファクトを再現 (Chiallera et. al. 2002, 2009)

⇒ 新しいスタイライズド・ファクト “ハザード・レート” は学習がないと再現できない

(Mizuta & Izumi & Yoshimura 2013)

ハザード・レートはバブルやアンダーシュートなど一時的に大きな価格変動を起こすような現象が含まれているか調べるもの

市場が安定している場合を取り扱う： 学習は必須でない
大きな価格変動を取り扱う場合： 学習は必須

学習

もともと、学習が実装された人工市場のほうが多かった

(LeBaron 2006, Chen et. al. 2009)

サンタフェ・モデル (Arthur et. al. 1997)

学習を実装し、バブルを再現

和泉モデル (Izumi & Okatsu 1996, Izumi & Ueda 1999) :

バブル時におこる取引量に関する現象をも再現

Luxモデル (Lux & Marchesi 1999, Nature) でも学習を実装

←理由の説明はなかった

他、多数

⇒ 学習について明確な議論は無かった

実装する理由が述べられたり、

実装した場合としない場合の丁寧な比較検討したり

比較のための基準を議論したりはされてこなかった

学習

それでも学習が実装されてきた理由

特にバブル形成時に学習が重要であることが広く知られていた
チューリップバブル(オランダ1637年):

ファンダメンタル戦略からテクニカル戦略への変更

実験経済学(例 Hirota & Sunder 2007)

バブル期は、投資家がテクニカル戦略に自信を深め、
テクニカル戦略に傾斜する

実証研究(Yamamoto & Hirota 2013)

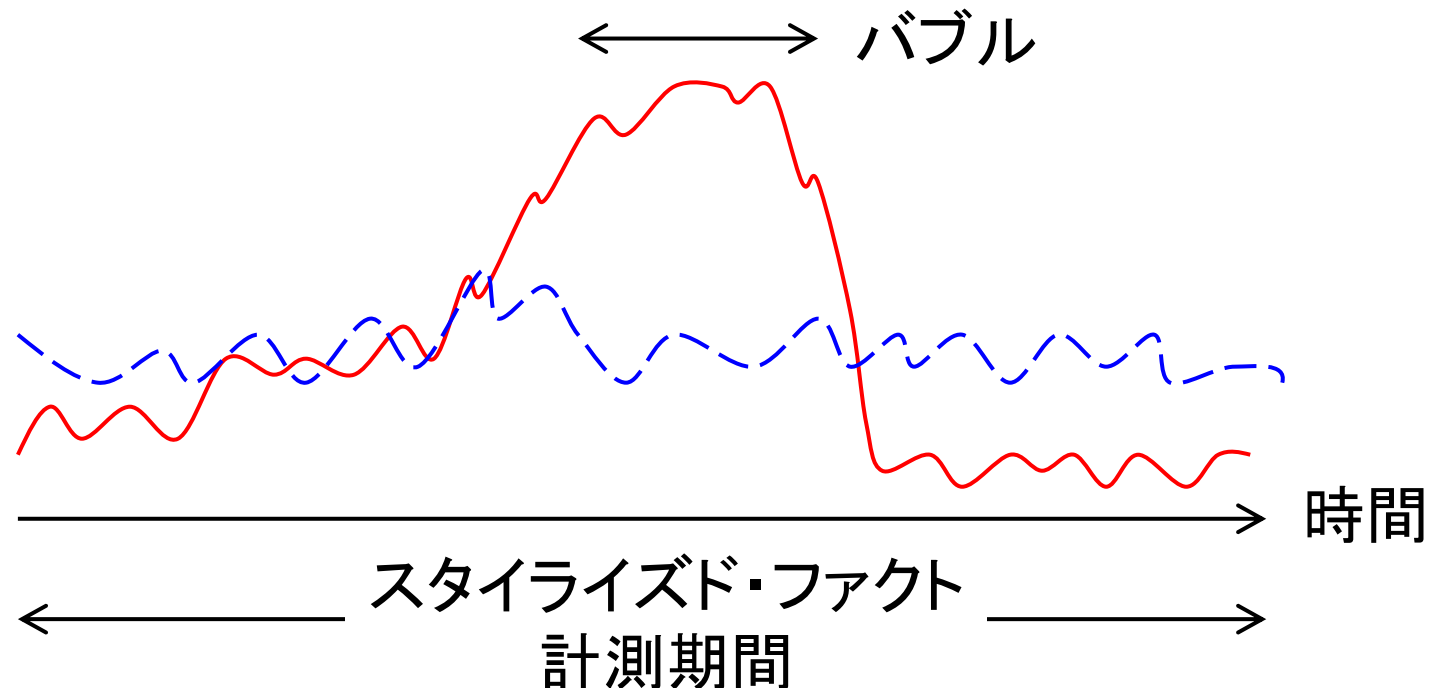
市場価格がファンダメンタル価格から乖離すればするほど、
テクニカル戦略を行う投資家が増える

著名投機家:ジョージ・ソロス(Soros 2003)

学習プロセスという学習こそが価格変動を支配していると主張

これまでのスタイライズド・ファクトで分析できなかった理由

一時的にしか発現しない動的な現象(バブル・アンダーシュート)



これまで検討されてきたスタイライズド・ファクトは計測期間中に満遍なく存在する性質しか抽出できないものばかり

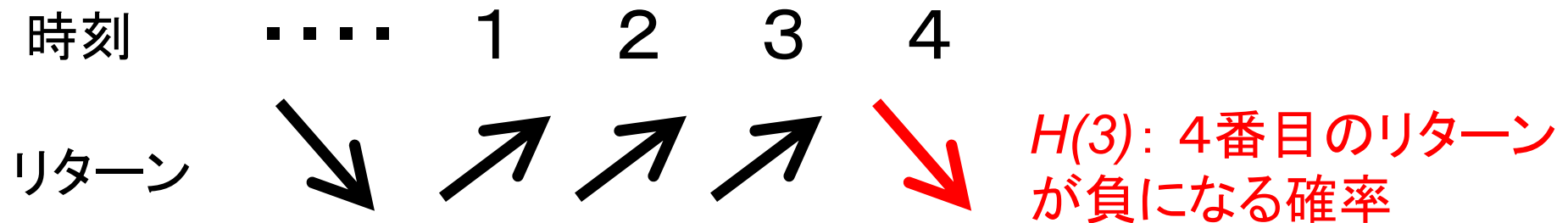
これら動的な現象を再現できるのかどうか分析する
スタイライズド・ファクトが必要

ハザード・レート を提案 (Mizuta & Izumi & Yoshimura 2013)

$H(i)$ 条件付確率

i 回連続で正のリターンが続いた後, リターンが負になる確率

例えば、 $i=3$ 、 $H(3)$ の場合



実証研究:

バブルなどの現象を”含む”期間: i とともに $H(i)$ は急減

(McQueen and Thorley 1994, Chan et. al. 1998)

⇒ バブル時はリターンが正に続きやすい
続けば続くほどその傾向は強くなる

本研究の学習モデル

予想リターン

$$r_{e,j}^t = \frac{1}{\sum_i w_{i,j}} \left(w_{1,j} \log \frac{P_f}{P^t} + w_{2,j} r_{h,j}^t + w_{3,j} \varepsilon_j^t \right)$$

過去リターン

$$r_l^t = \log P^t / P^{t-t_l}$$

それぞれの戦略の
リターンと比較

同符号

良い戦略

$$w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} + k r_l^t [0, (w_{i,\max} - w_{i,j})]$$

ウェイトを上げる

異符号

悪い戦略

$$w_{i,j} \leftarrow w_{i,j} - k r_l^t [0, w_{i,j}]$$

ウェイトを下げる

1%の確率で初期化 $w_{i,j} \leftarrow [0, w_{i,\max}]$ [a,b]: aからbまでの一様乱数

- ・ 戦略切り替えに焦点: メカニズムの分析しやすいモデル
- ・ 比較的シンプルでパラメータが少ない

スタイライズド・ファクトの再現

		バブルを誘発する ファンダメンタルジャンプなし		バブルを誘発する ファンダメンタルジャンプあり	
		学習なし	学習あり	学習なし	学習あり
尖度		3.018	5.394	2.079	3.180
騰落率の2乗の 自己相関	ラグ				
	1	0.134	0.125	0.219	0.325
	2	0.101	0.105	0.164	0.293
	3	0.076	0.087	0.133	0.274
	4	0.060	0.074	0.118	0.261
	5	0.052	0.061	0.108	0.253
	6	0.040	0.054	0.100	0.247
	7	0.036	0.048	0.092	0.241
	8	0.030	0.045	0.087	0.237
	9	0.026	0.039	0.082	0.238
ハザード レート Hi	i				
	1	56%	55%	56%	55%
	2	55%	52%	55%	50%
	3	55%	50%	53%	45%
	4	54%	49%	52%	40%
	5	54%	45%	48%	36%
	6	53%	44%	45%	29%
	7	52%	41%	40%	26%
	8	52%	40%	35%	22%
	9	53%	40%	30%	19%

学習過程を入れるとハザード・レートを再現

●モデルの構築

- ・規制・制度を調査するに適した人工市場モデルを構築

●学習過程の実装

- ・バブルやアンダーシュートなど市場混乱を再現するのに必要
- ・再現できたかどうかをハザードレートを用いて分析

人工市場研究の必要性

これまでの人工市場との違い

第Ⅱ部 人工市場モデルの設定

使用

第Ⅲ部 人工市場モデルを用いた現実の金融市場の規制・制度調査

市場混乱を防ぐ規制・制度の分析

1. ファンダメンタル急落時における
値幅制限, 空売り規制,
アップティックルールの分析

取引市場間競争の分析

2. ティック・サイズの違いによる
取引市場間競争

第Ⅲ部 人工市場モデルを用いた 現実の金融市場の規制・制度調査

市場混乱を防ぐ 規制・制度の分析

1. ファンダメンタル
急落時における
値幅制限, 空売り規制,
アップティックルールの
分析

取引市場間競争の 分析

2. ティック・サイズの
違いによる
取引市場間競争

市場混乱を防ぐ規制について

金融市場では、金融危機による混乱がしばしば発生
例：2008 年 リーマン・ショック、
⇒ どのような規制・制度で対応するか議論

金融危機などで大きな下落が生じたとき、実態の経済状況から考えられる価格よりも更に下落するという市場混乱が生じ、実体経済にも打撃を与える ⇒ アンダーシュート

アンダーシュートを防ぐための 規制を議論

大きな価格変動を
取り扱う

学習過程を実装

市場が効率的であるということ

市場の機能：市場参加者たちの取引を通じて実態価値である
ファンダメンタル価格を発見する

ファンダメンタル価格から大きく乖離していない価格で
取引されることが期待 → **効率的な市場**

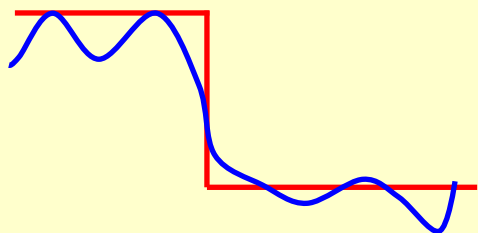
効率的

ファンダメンタル
価格

市場
価格

市場
価格

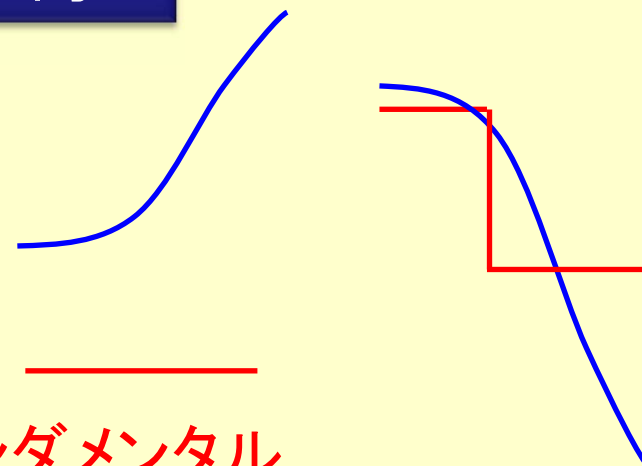
ファンダメンタル
価格



非効率的

市場
価格

ファンダメンタル
価格



規制当局・制度設計者：
どうすれば効率的になるか？

値幅制限・空売り規制・アップティックルール

●値幅制限

価格変動が一定以上を超えた取引を禁止

日本などアジアでは採用が多い ⇒ 特別気配、ストップ安
欧米では不採用が多い

⇒ 市場を効率化するかどうかは議論が分かれている

【モデル化: 次ページ】

●完全空売り規制

空売り(借りてきた株を売る)行為を一切禁じる

先進国で導入されることはまれ、時限的な導入はある

【モデル化: 保有数量がゼロの場合の売り注文を禁止する】

●アップティックルール

直近で約定した価格よりも低い価格で空売りすることを禁じる

日本で導入されていた ⇒ 昨年、実質廃止

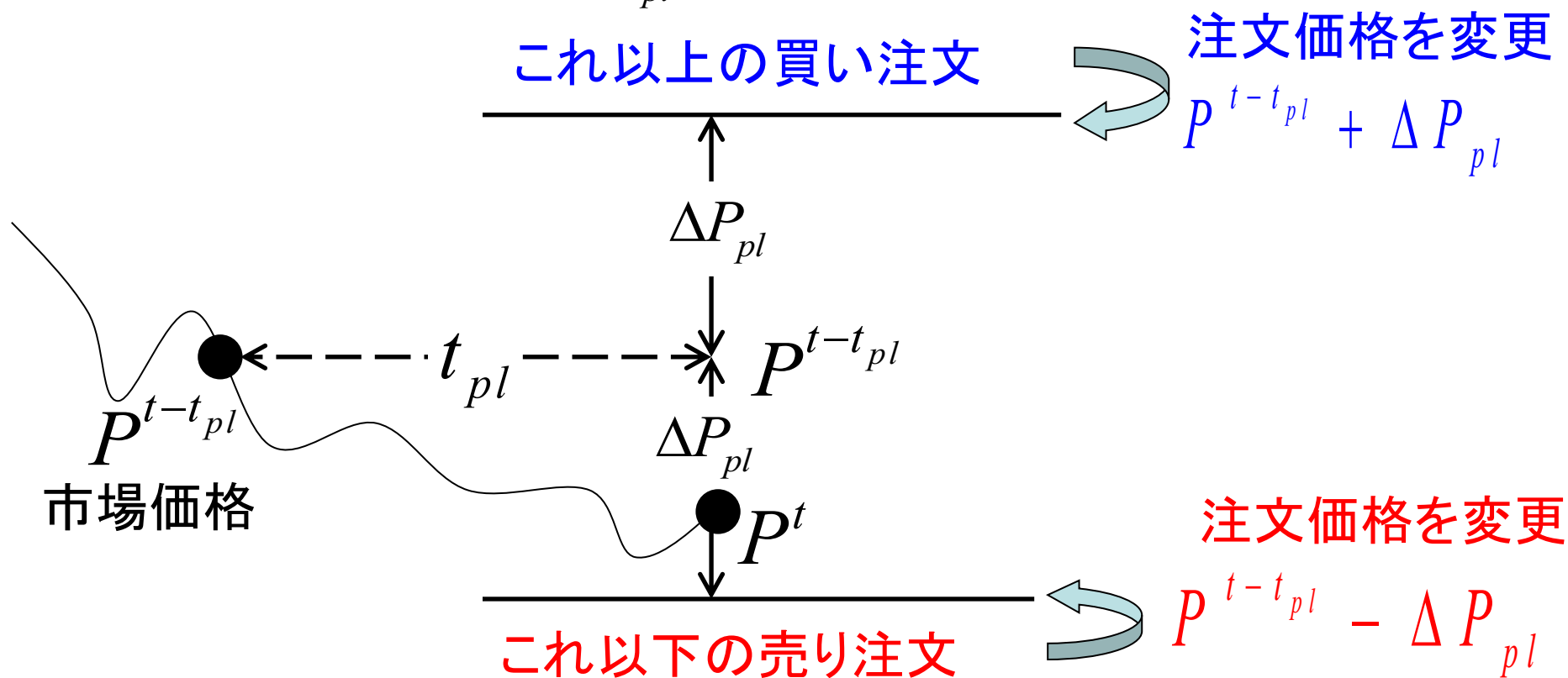
【モデル化: 保有数量がゼロの場合、
即座に成立する注文(成行注文)を禁止する】

値幅制限のモデル化

値幅制限

$P^{t-t_{pl}} \pm \Delta P_{pl}$ の外には注文を出せない

2つの定数
パラメータ: t_{pl} 制限期間
 ΔP_{pl} 制限価格幅



先行研究

● アップティックルールの実証分析

大境 2012: アップティックルール

価格上昇時に上昇を助長する弊害がある

● 人工市場シミュレーション

八木ら 2011: 完全空売り規制

バブルを助長する弊害がある

Yeh et. al. 2010: 値幅制限

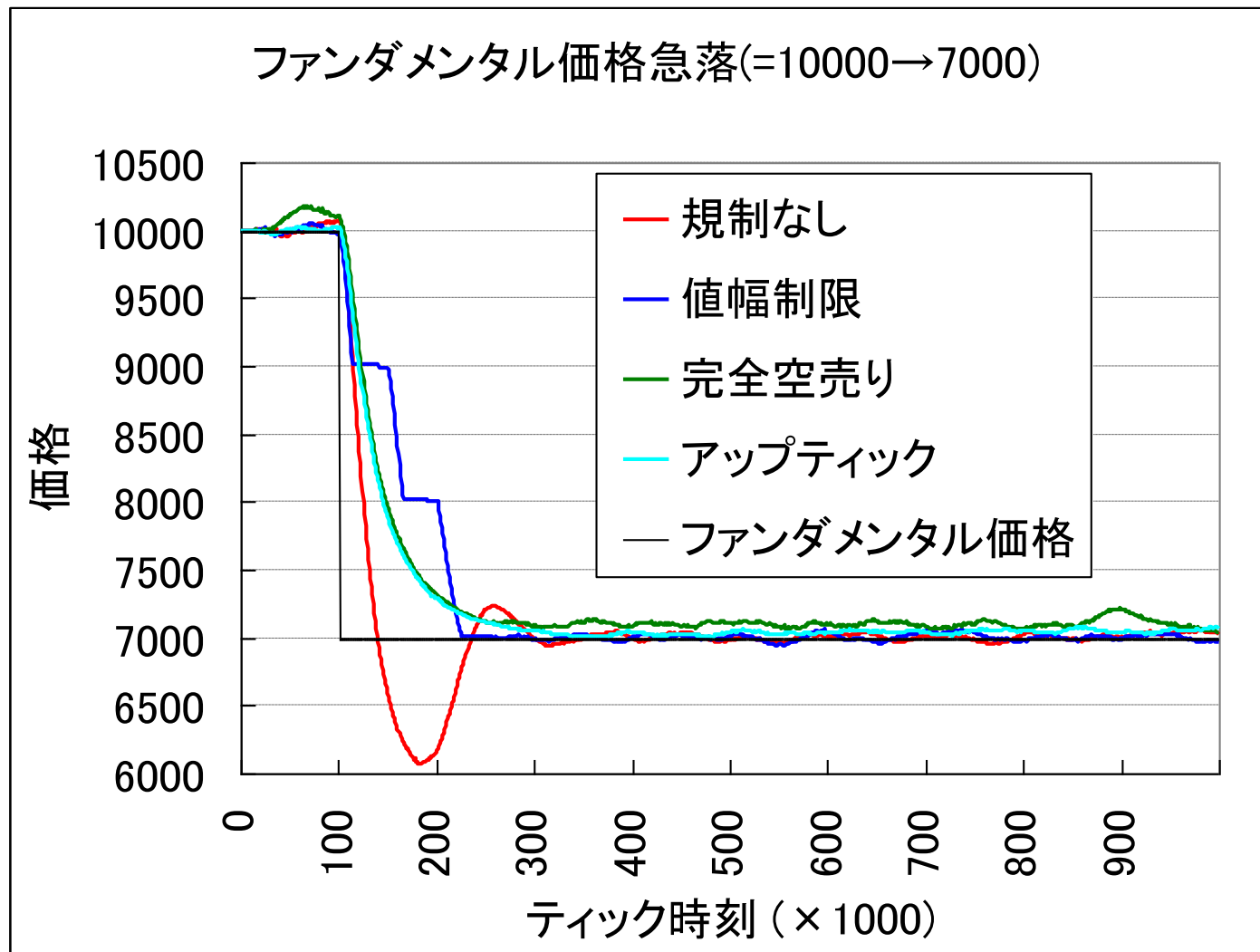
価格変動が穏やかなときを分析

ボラティリティやファットテールに与える影響

本研究: 人工市場シミュレーション:

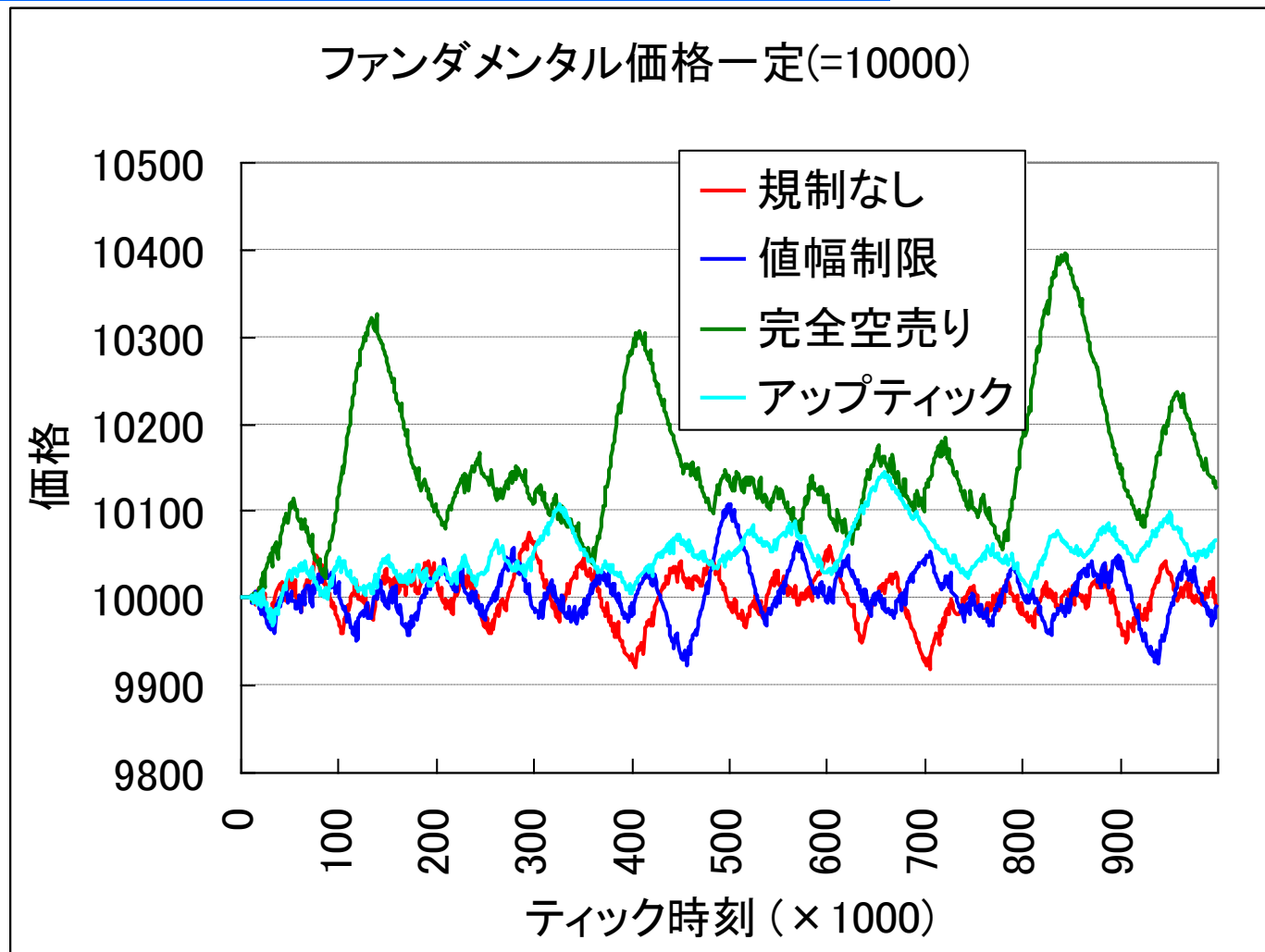
- ・値幅制限、アップティックルール、完全空売り規制を分析対象
- ・各規制が機能することが期待される価格急落時を分析対象

価格の推移：ファンダメンタル価格が急落した場合



規制が無いとアンダーシュートを引き起こす

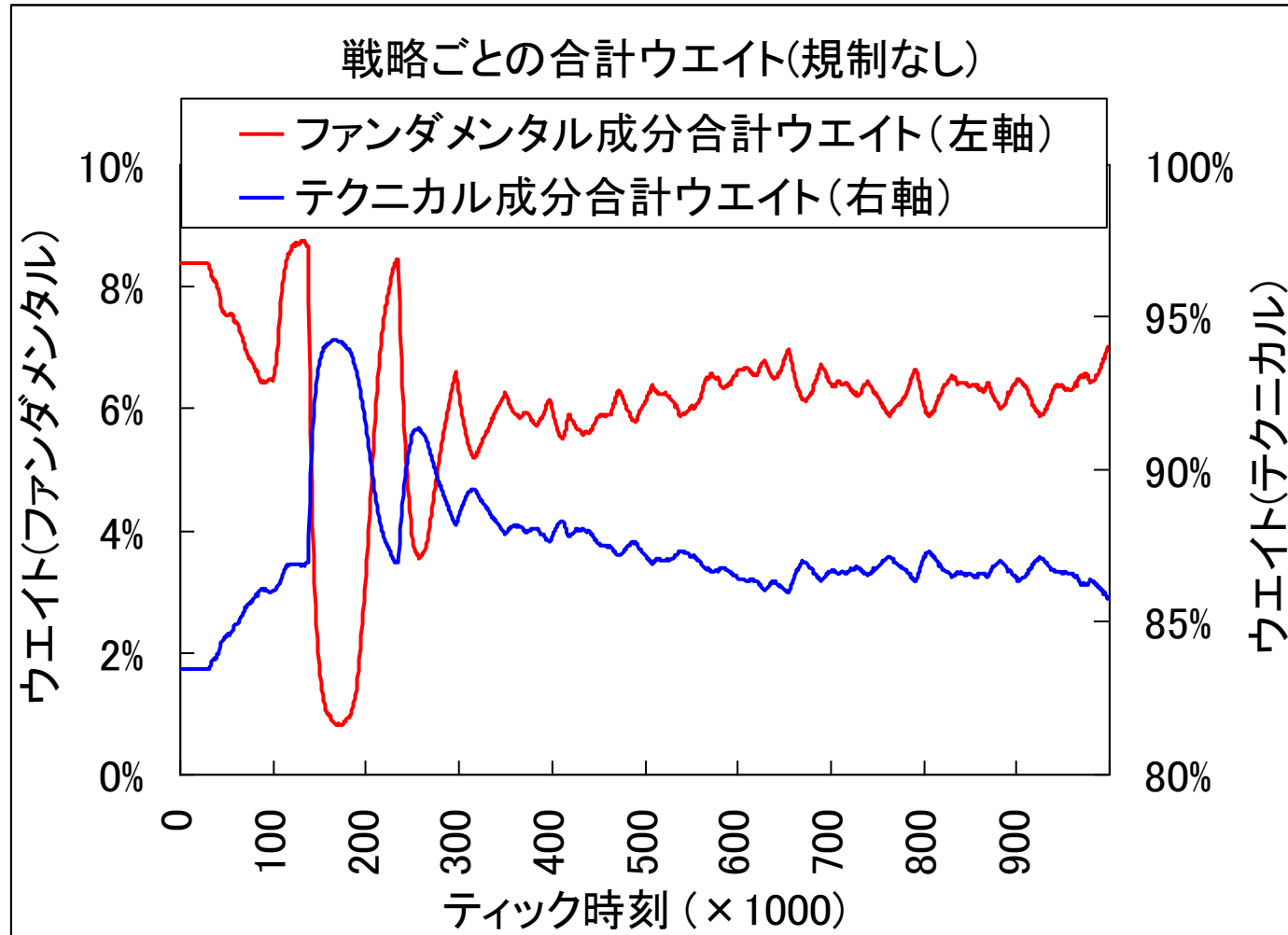
一方、ファンダメンタル価格が一定の場合



完全空売り規制とアップティックルール

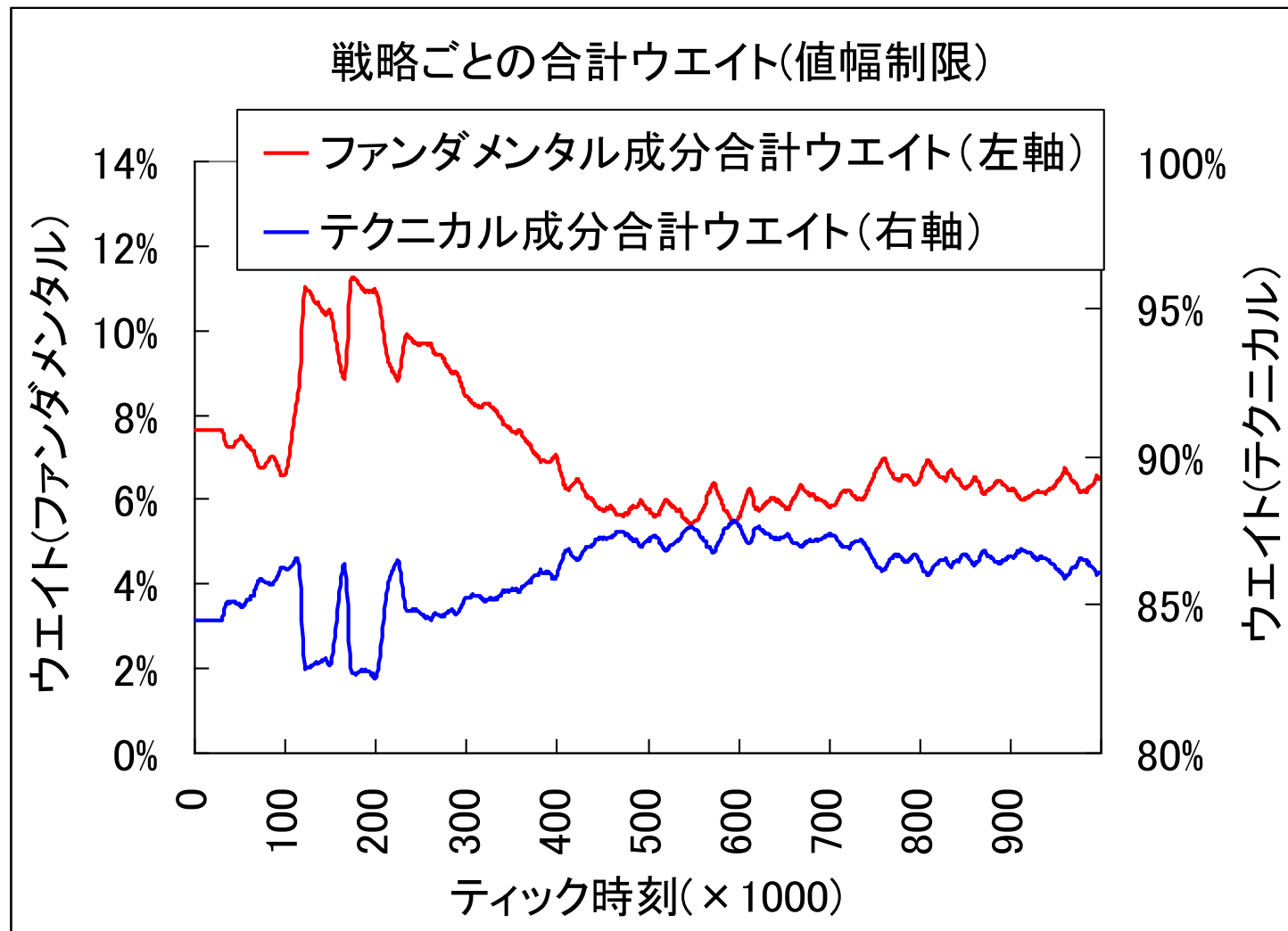
- ⇒ 平常時に常に割高で取引され非効率という副作用
- ⇒ 実証研究(大塚 2012)と整合的
- ⇒ 完全空売り規制: 八木ら 2011と整合的

ファンダメンタル価格が急落した場合：戦略の切り替え：規制なし



ファンダメンタル戦略による取引 ⇒ 損をする
⇒ ファンダメンタル戦略からテクニカル戦略への切り替え
⇒ ますますファンダメンタル価格から乖離したアンダーシュート
実証研究 (Yamamoto & Hirota 2013) と整合的

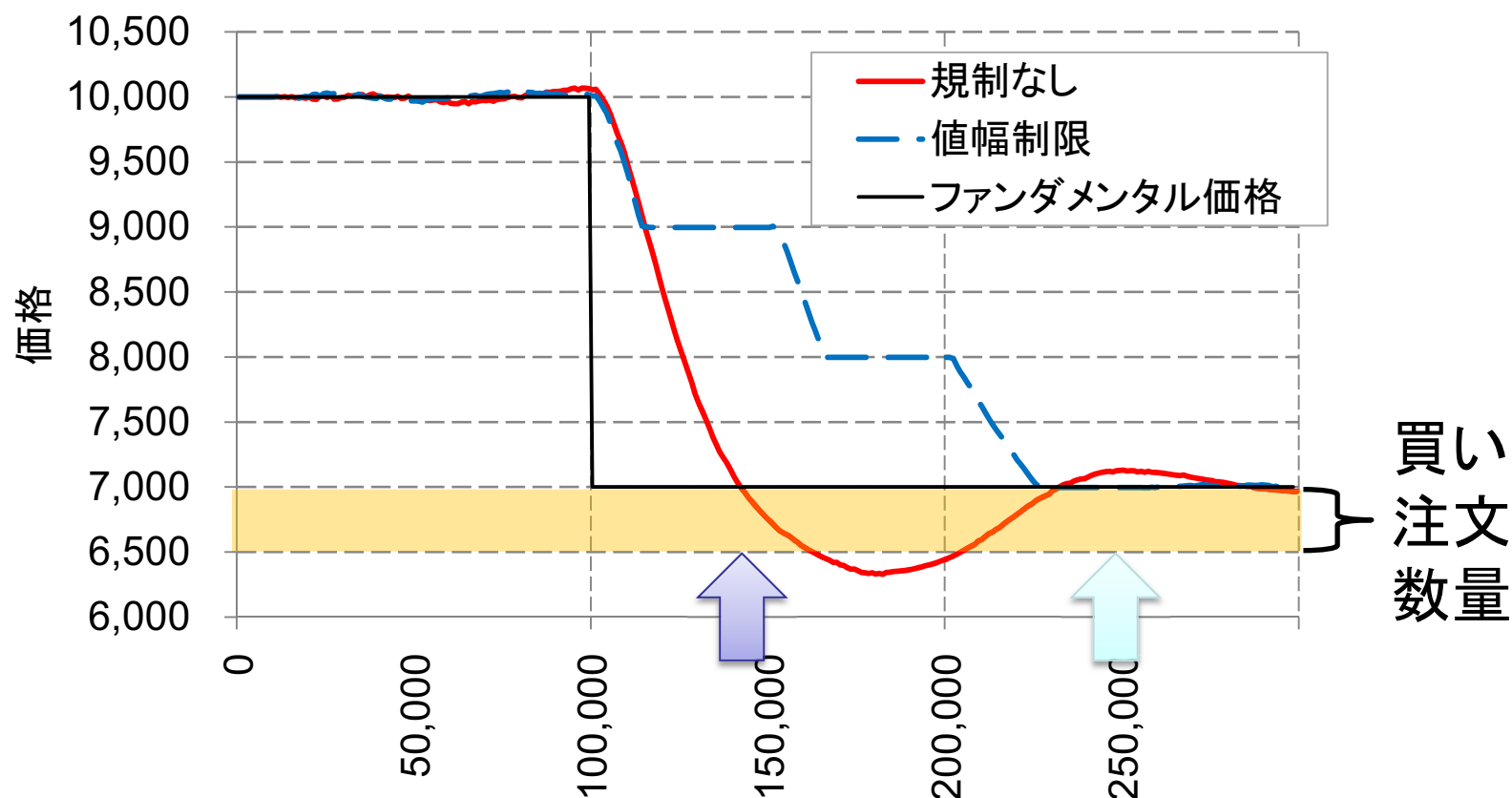
ファンダメンタル価格が急落した場合：戦略の切り替え：値幅制限



テクニカル戦略への切り替えをおさえている
他の規制でも同様の結果

ファンダメンタル価格が急落した場合：買い注文の量

買い注文数量測定時刻と測定範囲



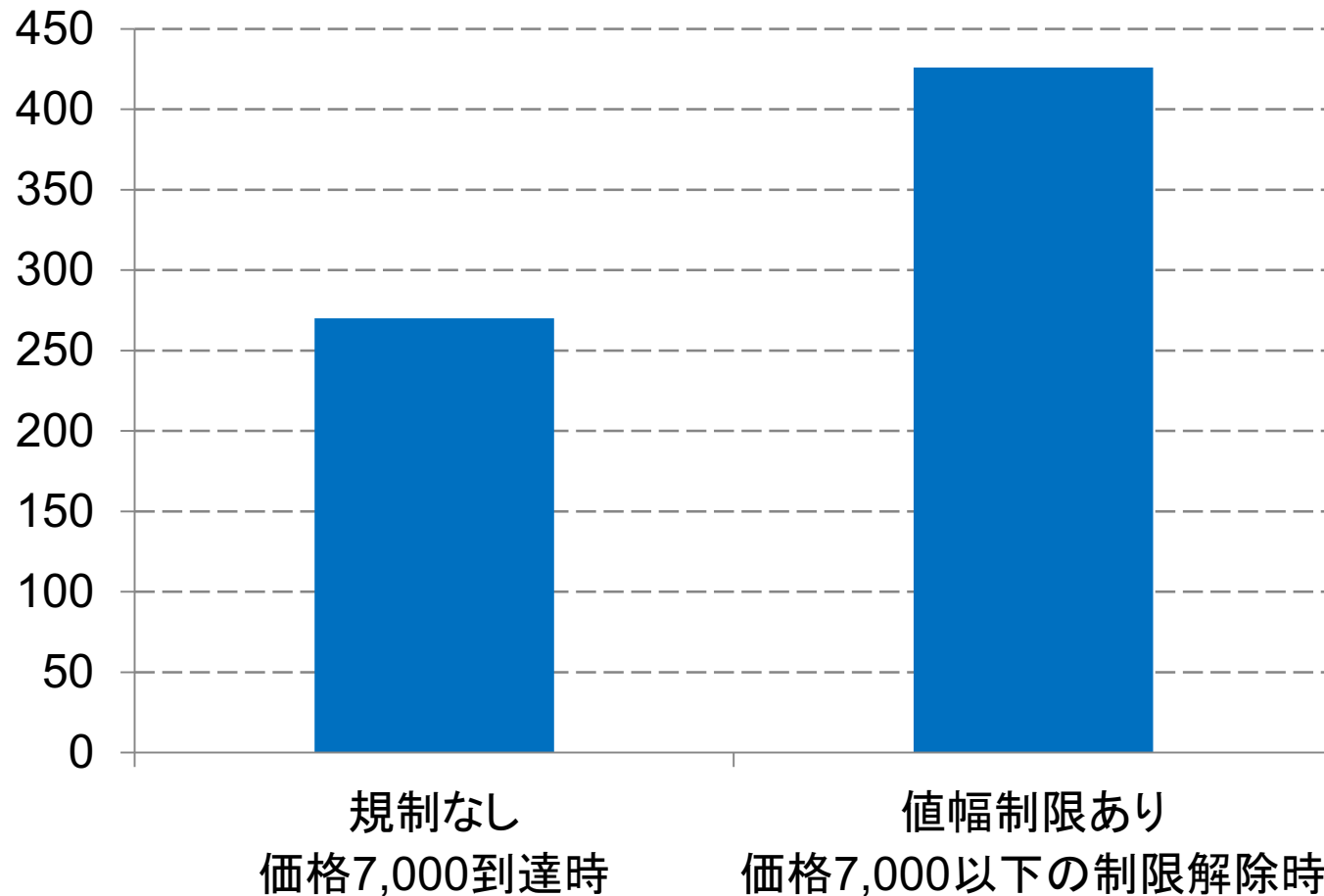
↑ 規制なし：価格7000到達時^{時刻}

↑ 値幅制限あり：価格7,000以下の制限解除時

価格7,000以下へ突入する瞬間の価格6,500～7,000の買い注文数量
→ これが多いと下落には多くの売り注文が必要

ファンダメンタル価格が急落した場合：買い注文の量

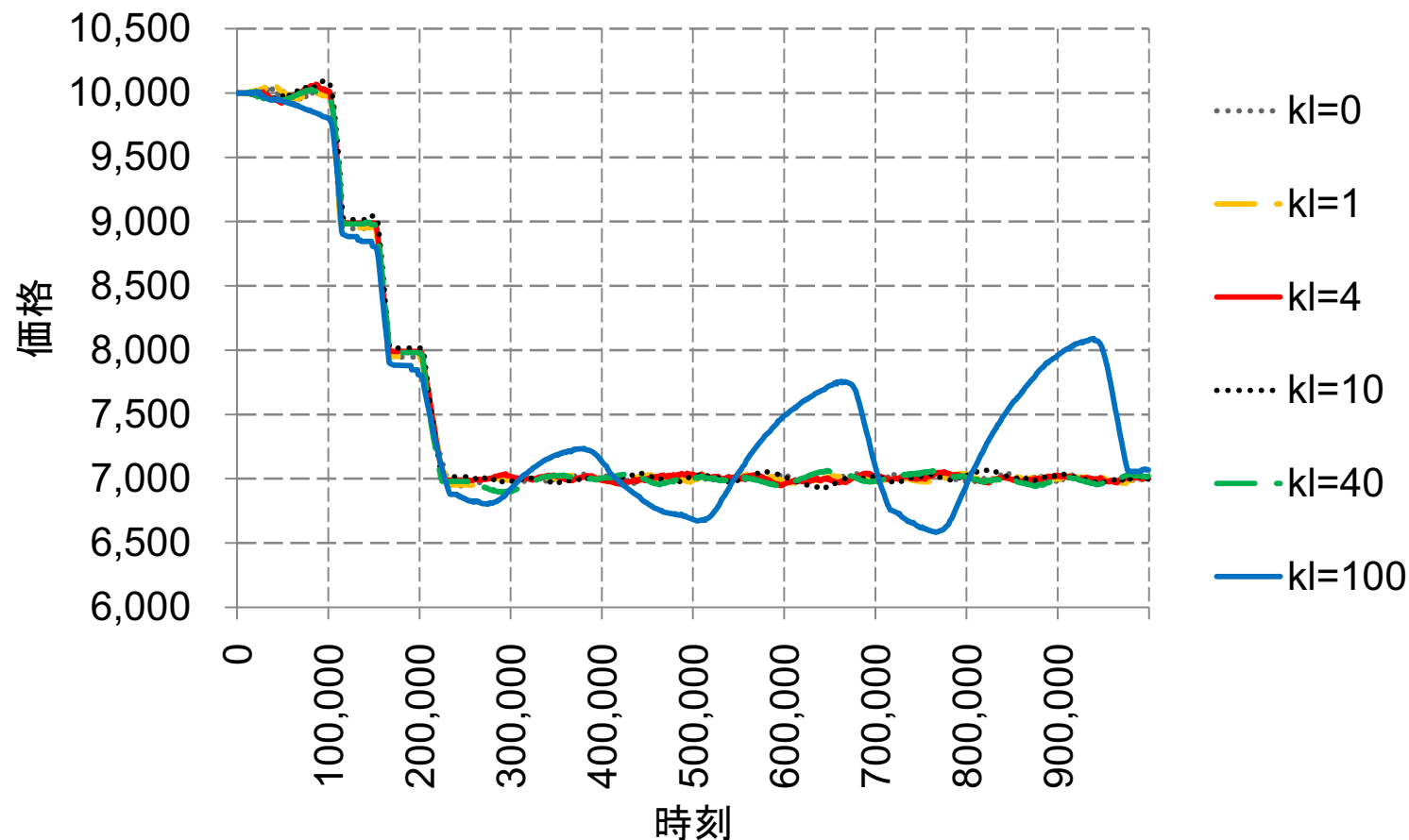
価格6,500～7,000の買い注文の数量



値幅制限により買い注文が集まるまでの時間が稼げている

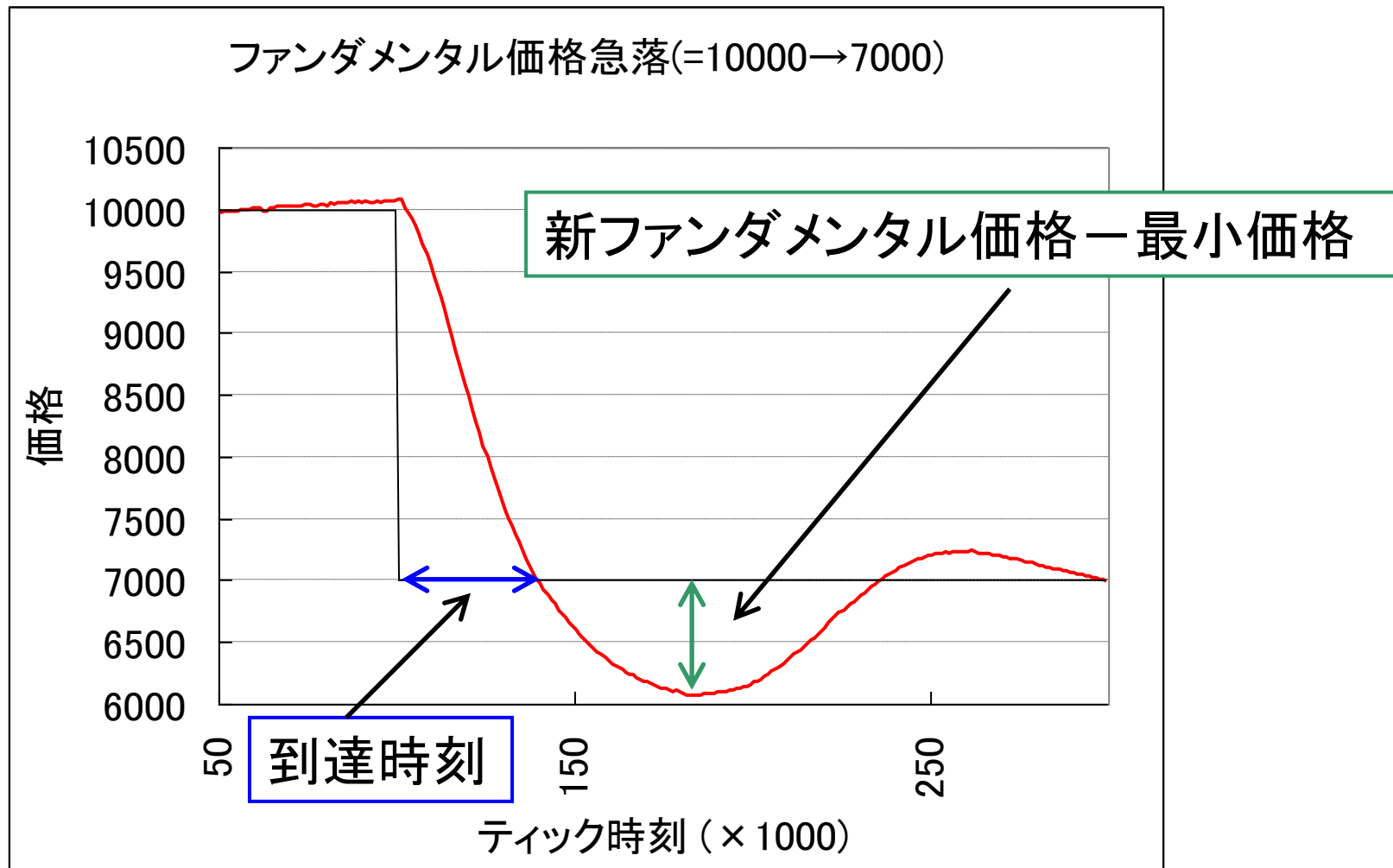
ファンダメンタル価格が急落した場合：学習速度kl依存性

学習速度kl感応度：値幅制限あり



学習速度klによって結果は大きくは変わらない
(klが大きい場合は規制のあるなしに関わらずシミュレーションが不安定)

最適な値幅制限:新ファンダメンタル到達時刻とアンダーシュートの量



到達時刻とアンダーシュートの量はトレード・オフ
アンダーシュートが無く、なるべく到達時刻が短い ⇒ 探す

最適な値幅制限

t_{pl} 前の価格 P^{t-tpl} から $\pm \Delta P_{pl}$ に制限

最小価格 - 新ファンダメンタル価格		t_{pl}										
		1000	2000	3000	4000	5000	7000	10000	15000	20000	25000	30000
ΔP_{pl}	100	-1,064	-546	-312	-214	-155	-111	-69	-46	--	--	--
	200	-1,180	-1,141	-835	-540	-405	-234	-149	-88	-66	-53	-40
	300	-1,213	-1,159	-1,136	-908	-702	-441	-258	-144	-105	-73	-51
	400	-1,154	-1,140	-1,169	-1,175	-958	-632	-399	-156	-105	-78	-74
	500	-1,180	-1,198	-1,151	-1,228	-1,094	-820	-528	-282	-195	-137	-65
	700	-1,134	-1,148	-1,171	-1,170	-1,135	-1,122	-774	-481	-201	-105	-74
	1000	-1,141	-1,112	-1,202	-1,169	-1,148	-1,191	-1,199	-726	-561	-361	-132
	1500	-1,172	-1,196	-1,209	-1,157	-1,181	-1,186	-1,165	-1,189	-841	-755	-379
	2000	-1,157	-1,135	-1,166	-1,169	-1,157	-1,164	-1,147	-1,143	-1,160	-788	-540
	2500	-1,137	-1,172	-1,132	-1,156	-1,120	-1,164	-1,158	-1,112	-1,186	-1,144	-910
	3000	-1,146	-1,188	-1,118	-1,146	-1,160	-1,158	-1,108	-1,126	-1,131	-1,131	-1,149

t_{pl} が長くて、 ΔP_{pl} が小さい方がアンダーシュートが無い

青網:
$$\frac{\Delta P_{pl}}{t_{pl}} < v \cong \frac{3000}{39000} \cong 0.077$$

↑規制なし時の
到達速度

アンダーシュートが少ない領域 = 上式を満たす領域 (青網)

最適な値幅制限

t_{pl} 前の価格 $P^{t-t_{pl}}$ から $\pm \Delta P_{pl}$ に制限

新ファンダメンタル価格 到達所要時間 (x 1000)	t_{pl}											
	1000	2000	3000	4000	5000	7000	10000	15000	20000	25000	30000	
ΔP_{pl}	100	40	65	94	126	159	223	325	479	--	--	--
	200	39	39	50	64	78	109	155	231	306	380	455
	300	39	39	39	46	55	73	103	155	204	254	303
	400	39	39	39	39	44	57	78	120	158	198	236
	500	39	39	39	39	39	48	64	95	124	152	180
	700	39	39	39	39	39	39	48	67	92	117	143
	1000	39	39	39	39	39	39	39	50	64	77	91
	1500	39	39	39	39	39	39	39	39	46	53	61
	2000	39	39	39	39	39	39	39	39	39	45	54
	2500	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	41
	3000	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39

t_{pl} が短くて、 ΔP_{pl} が大きい方が早い

青網: $\frac{\Delta P_{pl}}{t_{pl}} < v \cong \frac{3000}{39000} \cong 0.077$ ← 規制なし時の到達速度

到達が遅い = 上式を満たす領域 (青網)

上式を満たしつつ両辺の大きさが違いすぎない

⇒ アンダーシュート無くなるべく早く到達 = 効率的

最適な値幅制限

$$\frac{\Delta P_{pl}}{t_{pl}} < v$$

V: 規制がないときの株価下落速度

不等式は厳しすぎると
ファンダメンタルになかなか到達しない ⇒ ほどほどが良い

実際の制度の定量的な議論に使える

t_{pl} 前の価格 P^{t-tpl} から $\pm \Delta P_{pl}$ に制限

東証: 日次値幅制限: $t_{pl}=1$ 日、 $\Delta P_{pl}=20\%$ 程度

東証: 特別気配: $t_{pl}=3$ 分、 $\Delta P_{pl}=2\%$ 程度

まとめ

値幅制限制度, 完全空売り規制, アップティックルールの効果を比較

(1) ファンダメンタル急落時

- ・ 規制がない ⇒ アンダーシュートの発生
- ・ 値幅制限、完全空売り規制、アップティックルール
⇒ 効率的な市場

↑ 学習をおさえる & 買い注文が集まる時間稼ぎ

(2) 平常時

- ・ 完全空売り規制、アップティックルール
⇒ 割高な価格でしか取引されないという副作用

値幅制限制度 ⇒ 平常時の副作用なし
ファンダメンタル急落にも対応

機能する値幅制限の条件を導出

今後の課題

- ・ 規制がある場合の学習モデルの妥当性の議論
規制がないときの学習モデルの妥当性の議論は行った
しかし、規制がある場合に同じように学習するか不明
どのような学習をするか議論する必要
↑ アップティック・ルールによる学習過程の変化: 難しい議論
- ・ 平常時と市場混乱時で基本的なパラメータが同じ
市場混乱時はボラティリティが上昇することが知られている
↑ ファンダメンタル価格の予想の幅が大きくなるとの指摘
 σ_ε などのパラメータを調整しこの性質を取り込む必要

第Ⅲ部 人工市場モデルを用いた 現実の金融市場の規制・制度調査

市場混乱を防ぐ
規制・制度の分析

1. ファンダメンタル
急落時における
値幅制限, 空売り規
制,
アップティックルールの
分析

取引市場間競争の
分析

2. ティック・サイズの
違いによる
取引市場間競争

取引市場間競争について

取引市場の新規参入により、取引市場間のシェア争いが激化
⇒どのような制度なら取引市場間のシェア争いに勝てるか議論

ティック・サイズ

競争要因のひとつ

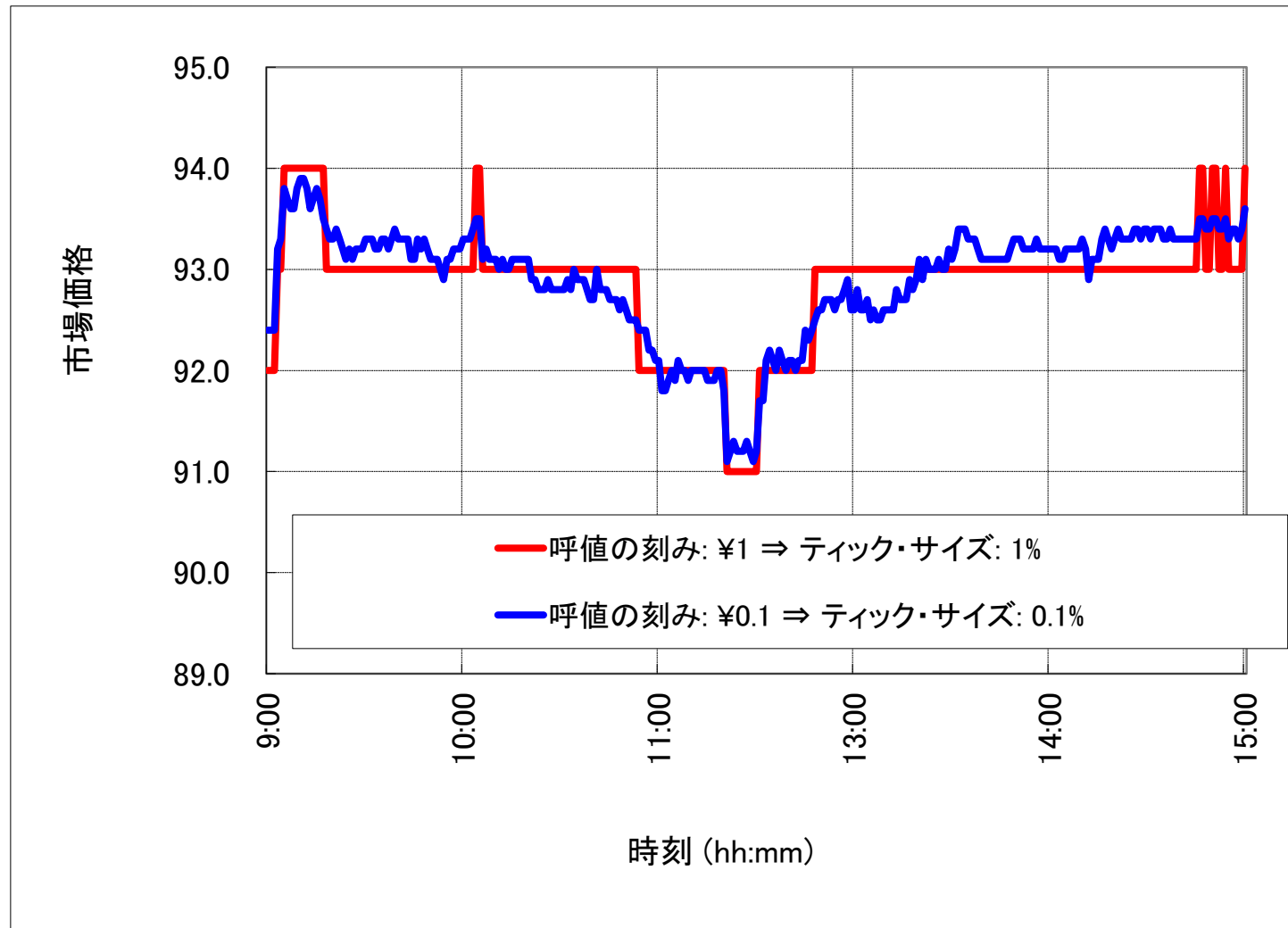
ティック・サイズ：価格の最小変化単位/価格（詳細次ページ）

価格100円：最小変化単位1円 ⇒ ティック・サイズ1%

98円、99円、100円、101円、、と1%ずつ価格が変化できる

ティック・サイズが異なる2つの取引市場での株価の動き

同じ株式の、2つの取引市場での株価の動き



ティック・サイズが大きすぎると騰落率が比較的大きい
⇒投資家が困る⇒他の取引市場で取引⇒取引量シェアが移る⁵⁴

● 実証分析

Bessembinder 2003, Chakravarty et. al. 2004, Chung et. al. 2004

米国:2000年前後にティック・サイズの縮小

1つの取引市場に関して縮小の前後での比較

取引価格付近の注文量が増えるなどの結果

宇野 2012

ティック・サイズの異なる市場同士の市場の特徴の違いを分析

● 人工市場シミュレーション

Darley & Outkin 2007

1つの取引市場に関して縮小の前後で市場の効率性の変化や

有利になる投資家の種類を分析

本研究のモデル

人工市場シミュレーション

ティック・サイズと初期の取引量シェアのみが異なる
2つの取引市場がある場合に、どのような条件の場合に
シェアが移り変わるのか調べた

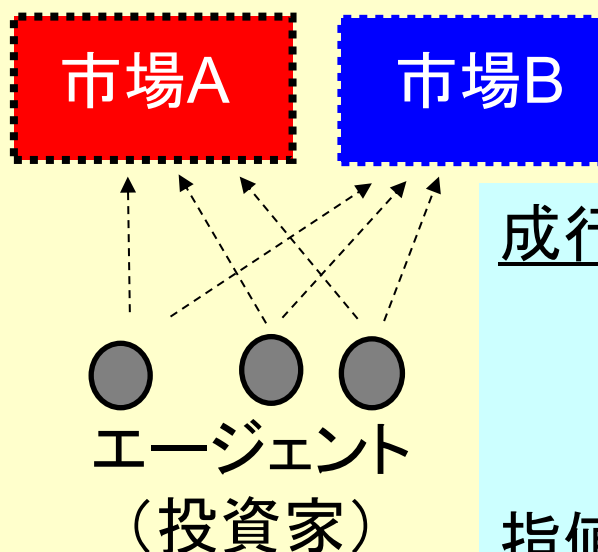
市場A：初期の取引量シェア 90%、ティック・サイズ大きい
市場B：初期の取引量シェア 10%、ティック・サイズ小さい

市場が安定している
場合のみ取り扱う

学習過程は実装しない

市場選択モデル

価格の刻み(ティック・サイズ)のみ異なる市場A、Bで
どのように出来高シェアが移り変わるかを分析



成行注文(即座に成立する注文):

有利な価格で
売買できる市場を選択

指値注文(即座には成立しない注文):

各市場の過去の取引量シェアに
比例して配分

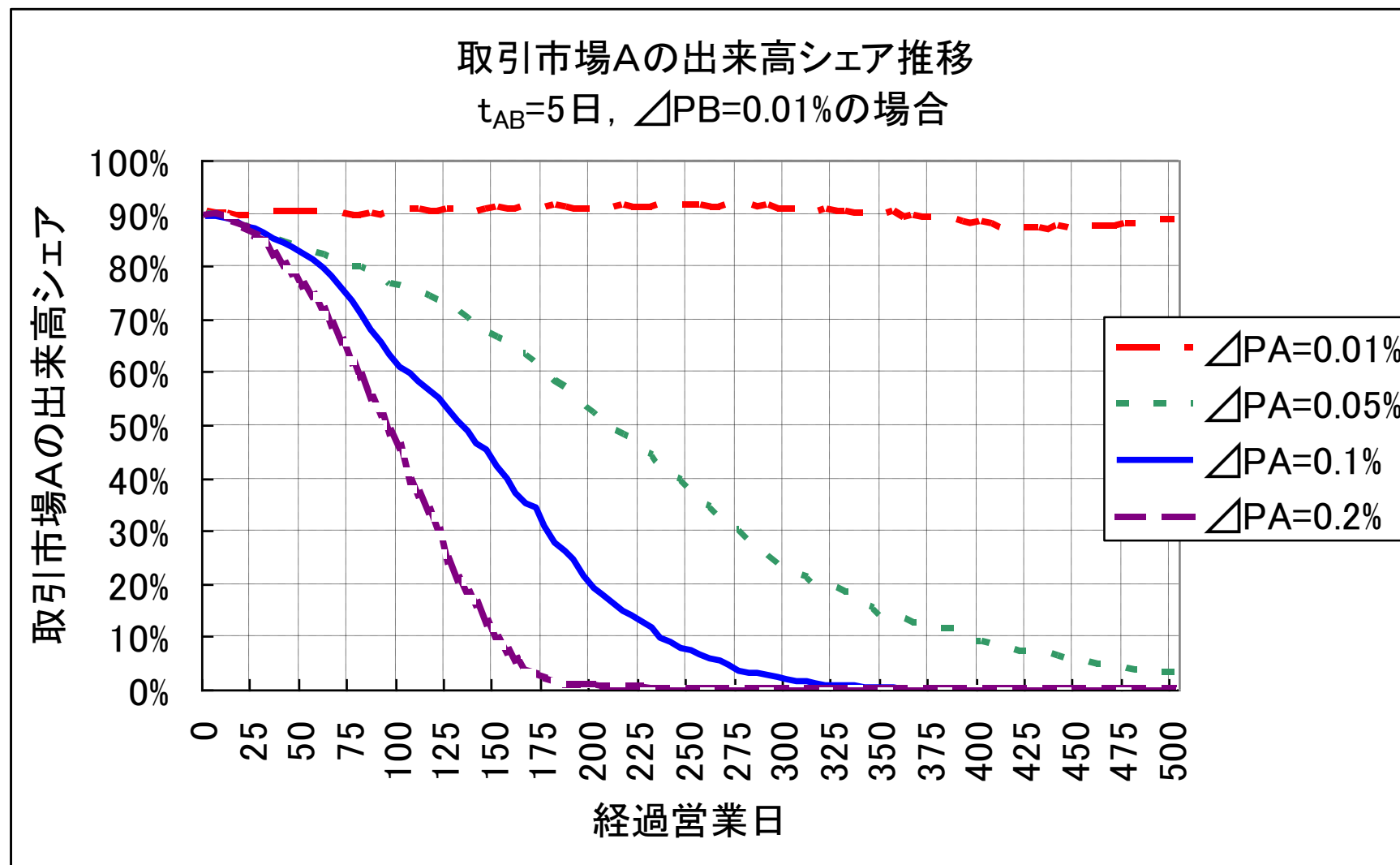
どちらの市場に注文をだすか？

市場 A			市場 B		
売り	価格	買い	売り	価格	買い
84	101		1	99.2	
176	100		2	99.1	
	99	204		99.0	3
	98	77		98.8	1

- (1) 98円の買い: 取引量シェアに応じた確率でAかBを決める
- (2) 99.1円の買い: 市場B ← 99.1円で即座に買えるため
- (3) 100円の買い: 市場B ← 99.1円で即座に買えるため

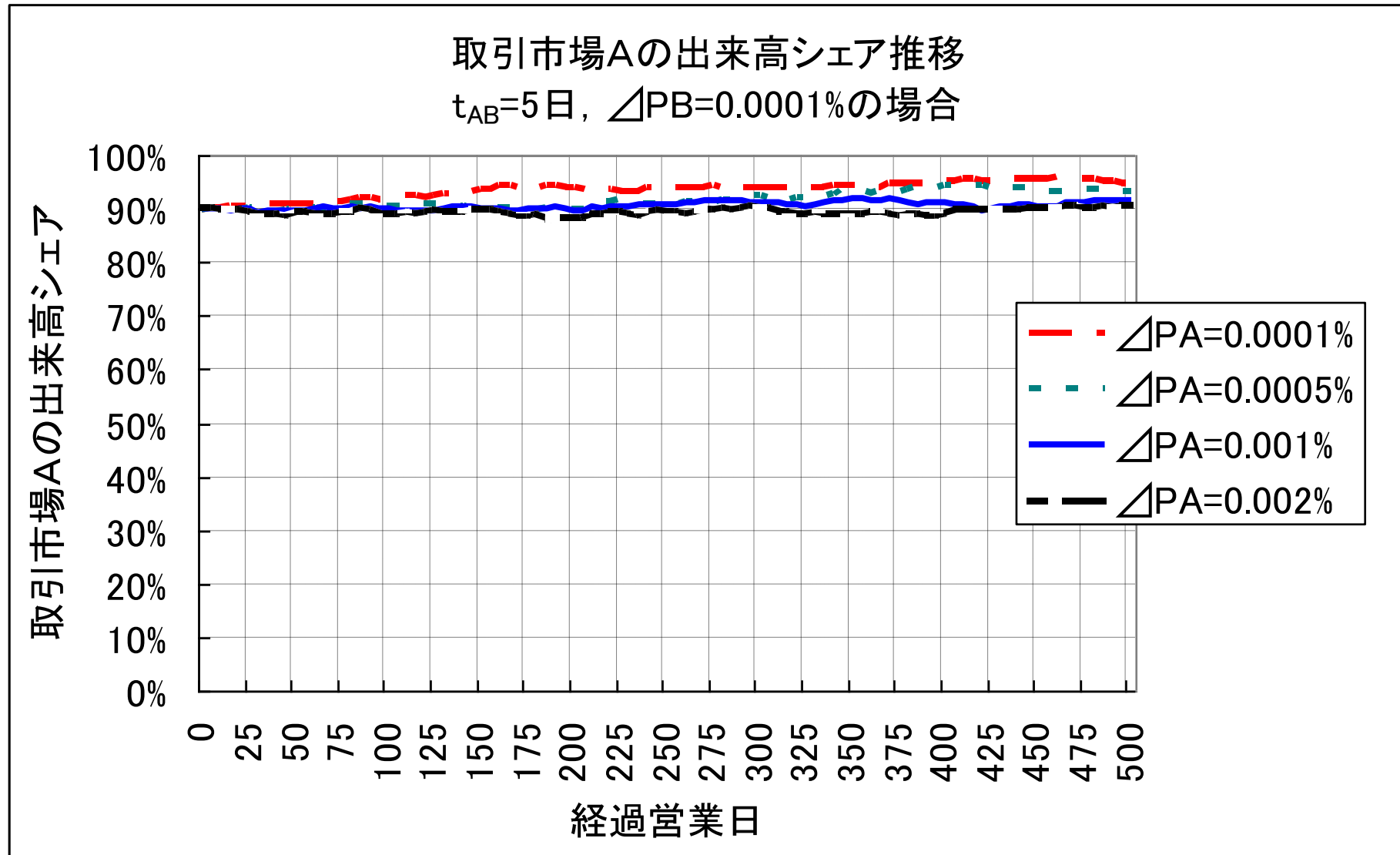
(2)、(3)によりシェアを伸ばすことが可能

ティックサイズが大きい場合



ティックサイズの差が大きいほどシェアが早く移り変わる

ティックサイズが小さい場合



ティックサイズの絶対水準が小さいと、ティックサイズに大きな差があってもシェアを奪えない

500営業日後の取引市場Aの取引量シェア

取引市場A 500営業日後シェア		取引市場B ティックサイズ ΔPB										
		0.0001%	0.0002%	0.0005%	0.001%	0.002%	0.005%	0.01%	0.02%	0.05%	0.1%	0.2%
取引 市場A ティック サイズ ΔPA	0.0001%	90%	90%	91%	91%	92%	94%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.0002%	90%	90%	90%	91%	91%	94%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.0005%	89%	90%	91%	91%	92%	94%	96%	99%	100%	100%	100%
	0.001%	89%	89%	90%	90%	92%	94%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.002%	87%	88%	89%	89%	91%	93%	97%	99%	100%	100%	100%
	0.005%	84%	85%	85%	84%	87%	92%	96%	99%	100%	100%	100%
	0.01%	75%	76%	76%	77%	78%	83%	92%	98%	100%	100%	100%
	0.02%	53%	52%	53%	54%	54%	59%	70%	93%	100%	100%	100%
	0.05%	5%	5%	4%	5%	5%	5%	6%	23%	93%	100%	100%
	0.1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	94%	100%
	0.2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	96%

取引市場間シェアが
移り変わらない条件

$$\Delta P_B > \Delta P_A$$

or

$$\bar{\sigma}_t > \Delta P_A$$

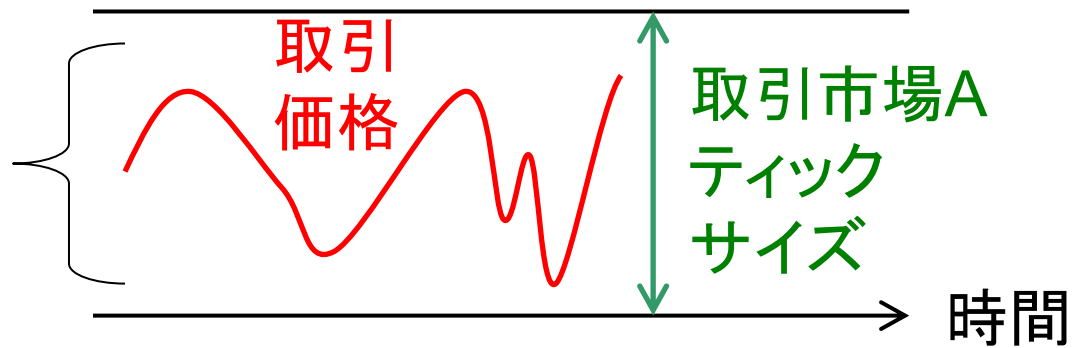
$$\bar{\sigma}_t = 0.05\%$$

騰落率の標準偏差：ボラティリティ

キーパラメーター

$$\bar{\sigma}_i < \Delta P_A$$

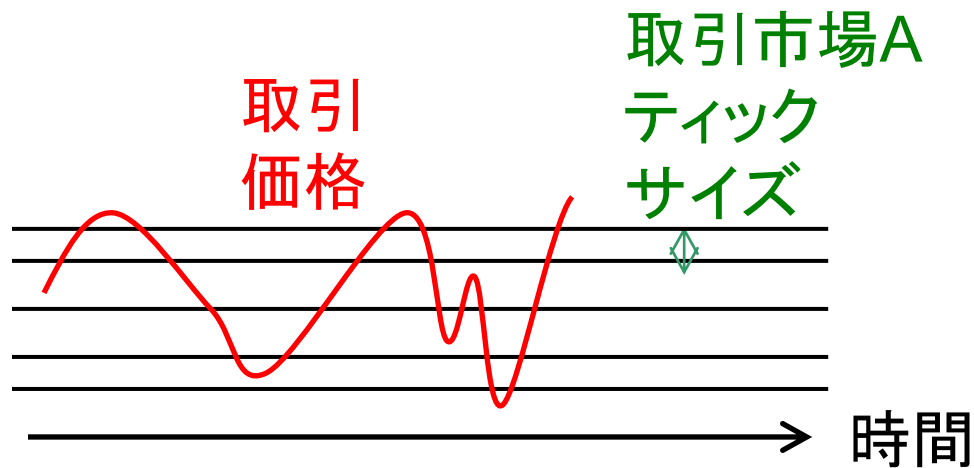
取引市場A
で取引でき
ない領域



取引市場Aの出番がない
→ 取引市場Bの高い約定率
⇒ 素早く取引市場Bがシェアを奪う

$$\bar{\sigma}_i > \Delta P_A$$

取引市場B
の必要性
が薄い



⇒ シェアが動かない

2. ティック・サイズの違いによる取引市場間競争

まとめ

ティック・サイズと初期の出来高シェアのみが異なる
2つの取引市場がある場合に、どのような条件の場合に
シェアが移り変わるのか調べた

取引市場間シェアが
移り変わらない条件

$$\Delta P_B > \Delta P_A$$

or

$$\bar{\sigma}_t > \Delta P_A$$

$$\bar{\sigma}_t = 0.05\%$$

騰落率の標準偏差: ボラティリティ

キーパラメーター

そもそも取引市場が導入すべきティック・サイズは
どれくらいなのかという定量的な議論を、初めて可能とした

まとめ

第Ⅰ部 金融市場の現状と問題意識

人工市場研究の必要性、
これまでの人工市場との違い

第Ⅱ部 人工市場モデル

実際に議論されている規制・制度を
調査するに適した人工市場モデルを構築

使用

第Ⅲ部 人工市場モデルを用いた現実の金融市場の規制・制度調査

市場混乱を防ぐ規制・制度の分析

1. ファンダメンタル急落時における
値幅制限, 空売り規制,
アップティックルールの分析

アップティックルールは非効率
有効な値幅制限を提示

取引市場間競争の分析

2. ティック・サイズの違いによる
取引市場間競争

あるべきティックサイズの提示

参考文献

参考文献 (1/3)

- * Arthur, W.B., J.H. Holland, B. Lebaron, R. Palmer and P. Tayler (1997)
Asset Pricing Under Endogenous Expectations in an Artificial Stock Market . In: Arthur, W.B., Durlauf, S., Lane, D. (Eds.), The Economy as an Evolving Complex System II. Addison-Wesley, Reading, MA, pp. 15-44.
- * Bessembinder, H. (2003)
Trade execution costs and market quality after decimalization, Journal of Financial and Quantitative Analysis, Vol. 38, No. 04, pp. 747-777
- * Chakravarty, S., Wood, R. A., and Van Ness, R. A. (2004)
Decimals and Liquidity: A Study of the NYSE, Journal of Financial Research, Vol. 27, No. 1, pp. 75-94.
- * Chan, K., G. McQueen and S. Thorley (1998)
Are there rational speculative bubbles in Asian stock markets?, Pacific-Basin Finance Journal, 6, 1-2, 125-151
- * Chen, S.H., C.L. Chang and Y.R. Du (2009)
Agent-based economic models and econometrics, Knowledge Engineering Review
- * Chiarella C. and G. Iori (2002)
A simulation analysis of the microstructure of double auction markets, Quantitative Finance, 2, 5, 346-353
- * Chiarella C., G. Iori and J. Perello (2009)
The impact of heterogeneous trading rules on the limit order book and order?, Journal of Economic Dynamics and Control, 33, 3, 525-537
- * Chung, K. H., Chuwonganant, C., and McCormick, D. T. (2004)
Order preferencing and market quality on NASDAQ before and after decimalization, Journal of Financial Economics, Vol. 71, No. 3, pp. 581-612.
- * Cont, R. (2001)
Empirical properties of asset returns: stylized facts and statistical issues, Quantitative Finance , 1, 223-236
- * Darley, V. and Outkin, A. V.: Nasdaq Market Simulation (2007)
Insights on a Major Market from the Science of Complex Adaptive Systems, World Scientific Publishing Co., Inc. (2007)
- * Friedman M. (1953)
The Case for Flexible Rates, Essays in Positive Economics, University of Chicago Press, Chicago
- * Hirota, S. and S. Sunder (2007)
Price bubbles sans dividend anchors: Evidence from laboratory stock markets, Journal of Economic Dynamics and Control, 31, 6, 1875-1909
- * Izumi, K. and T. Okatsu (1996)
An artificial market analysis of exchange rate dynamics, Evolutionary Programming V, 27-36

参考文献 (2/3)

- * Izumi, K. and K. Ueda (1999)
Analysis of dealers' processing financial news based on an artificial market approach, *Journal of Computational Intelligence in Finance*, 7, 23–33
- * LeBaron, B. (2006)
Agent-based computational finance, *Handbook of computational economics*, 2, 1187–1233
- * Lux and Marchesi (1999)
Scaling and criticality in a stochastic multi-agent model of a financial market, *Nature*
- * Mandelbrot, B. (1963)
The variation of certain speculative prices, *The journal of business*, 36, 4, 394–419
- * Mandelbrot, B. (1972)
Statistical Methodology for Nonperiodic Cycles: From the Covariance to R/S Analysis, *Annals of Economic and Social Measurement*, 1, 259–290
- * McQueen, G. and S. Thorley (1994)
Bubbles, stock returns, and duration dependence, *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 29, 3
- * Menkhoff, L. and M.P.Taylor (2007)
The obstinate passion of foreign exchange professionals: technical analysis, *Journal of Economic Literature*, 45, 4, 936–972
- * Mizuta, T., Izumi, K., Yoshimura, S. (2013)
Price Variation Limits and Financial Market Bubbles: Artificial Market Simulations with Agents' Learning Process, *IEEE Symposium Series on Computational Intelligence, Computational Intelligence for Financial Engineering and Economics (CIFER)*, 2013.
- * Sewell, M. (2006)
Characterization of Financial Time Series, <http://nance.martinsewell.com/stylized-facts/>
- * Soros, G. (2003)
The alchemy of finance, Wiley
- * Thurner, S., Farmer, J., and Geanakoplos, J (2012)
Leverage causes fat tails and clustered volatility, *Quantitative Finance*, Vol. 12, No. 5, pp. 695–707
- * Westerhoff, F. (2008)
The use of agent-based financial market models to test the effectiveness of regulatory policies, *Jahrbucher Fur Nationalokonomie Und Statistik*, Vol. 228, No. 2, p. 195
- * Yamada, K., H. Takayasu and T. Ito and M. Takayasu (2009)
Solvable stochastic dealer models for financial markets, *Physical Review E*, 79, 5, 051120

参考文献 (3/3)

* Yamamoto, R. and Hirata, H.

Strategy switching in the Japanese stock market, Journal of Economic Dynamics and Control, Vol. 37, No. 10, pp. 2010–2022.

* Yeh, C. and Yang, C. (2010)

Examining the effectiveness of price limits in an artificial stock market, Journal of Economic Dynamics and Control, Vol. 34, No. 10, pp. 2089–2108.

* 宇野 淳 (2012)

株式取引の市場間競争 —上場株取引の市場分散と価格形成—, 証券アナリストジャーナル, Vol. 50, No. 9, pp. 6–16.

* 大境剛士 (2012)

東証市場における空売りの実態及び空売り規制の影響, 東証ワーキングペーパー, No. 1, 東京証券取引所

* 東京証券取引所 (2010)

arrowhead rowhead(東証株式売買システム)の①IT Japan Award2010 IT Japan Award2010 経済産業大臣賞(グランプリ)受賞
及び②arrowhead arrowhead稼働後6ヶ月の運転状況について

<http://www.tse.or.jp/news/30/b7gie6000000rmw5-att/b7gie6000000rrr5.pdf>

* 橋本文彦 (2008)

人は、過去の株価時系列にどのような未来を投影するのか?, 第1回人工知能学会ファイナンス研究会

* 八木 勲, 水田 孝信, 和泉 潔 (2011)

人工市場を利用した空売り規制が与える株式市場への影響分析, 人工知能学会論文誌, Vol. 26, No. 1, pp. 208–216.