豊田工業高等専門学校 情報工学科
NATIONAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, TOYOTA COLLEGE
DEPARTMENT OF INFORMATION AND COMPUTER ENGINEERING

卒業研究論文
GRADUATION THESIS
平成 28 年 2 月 24 日

マルチエージェントモデルを用いた IPO の株価変動要因の分析

石塚天
江崎研究室

あらまし　新上場株式 (IPO) の初値が公開価格より高値を示すことは経験的に知られている．この問題に対して，先行研究では公開価格の時点で株価が過小に評価されていると示唆されている．これに対して，IPO の初値の変動要因には公開価格の決定の他にも投資家の行動が絡んでいることは容易に想像出来る．本稿では，投資家同士の情報交換に注目し，単純なマルチエージェントモデルを用いたシミュレーションを通して投資家たちの情報交換が IPO の初値変動の要因と成り得るか否かを検証した結果，限定的な二種類の情報交換のモデルではあるが，情報交換による初値の上昇が誤差の範囲内であると結論付けられた．また，検証実験には株式会社構造計画研究所の artisoc を採用した．

キーワード　artisoc, 株価，新規上場株式，マルチエージェントモデル，ゲーム理論

1　はじめに

新規上場株式 (以下，IPO) の初値が公開価格より高値を示すことは経験的に知られている．事実として，20014 年に新規上場した 77 社の中で初値が公開価格を上回った企業は 59 社に上り，逆に下回った企業は高々 15 社に留まった．仮に全ての銘柄で 1 単元 (100 株) ずつ購入したと仮定すると，約 1500 万円の収益が得られる結果となり [1], IPO 株が高い収益率を示すことがわかる．しかし，"なぜ，そのような高い収益率を示すのか" という問題に対しては未解決問題である．

この問題に対して先行研究では，IPO 株とはいえ，相場を逸脱することは考え難いことから，公開価格が何らかの理由で実際の価格よりも低く設定されているとする,「株価の過小値付け論」を中心に研究がなされている [2].

一方で，公開価格後の投資家の行動に関する研究は発展途上である．ここで，投資家の行動が初値の上昇に影響を与えていると仮説を立てる．

本研究では投資家の行動の一つとして，情報交換に着目した．近年，インターネットの普及に伴い，誰でも安易に情報を得られる状況である．これは株式市場においても例外ではなく，企業の評価などを載せるインターネットサイトも実在する．以上の点を考慮し，投資家同士による情報交換が IPO の株価変動の要因となっているのか否かを検証する．ここで，本研究では投資家同士による 1 対 1 の情報交換と，大衆向け情報交換の 2 種類について分析を行うこととする．

また，本研究では，株式市場における情報交換の有無が与える影響を分析するため，現実世界での実証実験は極めて困難である．したがって，検証実験にはマルチエージェントシミュレーションを採用する．ここで，検証実験で行うマルチエージェントシミュレーションには株式会社構造計画研究所から artisoc を無償提供していただき，検証実験を行う運びとなった．過去の artisoc の研究報告では，株価変動について分析，及びシミュレーションを行った事例は見られなかった [3].

2　IPO における投資家の行動と初値上昇についての仮説

本節では，IPO における投資家の行動と初値上昇に関する仮説を提唱する．まず，2.1 節で基本となるプレイヤーの初期提示額及び最終提示額を定義する．本研究では二種類の情報交換の形態を想定し，それぞれの情報交換に応じてプレイヤーの行動を定義する．2.2.1 節で 1 対 1 の情報交換の定義し，2.2.2 節で大衆向け情報交換の定義する．また，情報交換のない場合については 2.2.3 節で定義する．最後に 2.3 節で情報交換がある場合の初値の方が情報交換のない場合の初値を上回ることを証明する．

2.1　提示額の定義

IPO 市場にはプレイヤー，すなわち投資家が存在する．本小節では，投資家が決定する株価の評価額の定義を行う．

今，IPO 市場には n 人のプレイヤーが存在するとする．ここで，プレイヤー集合を $N = \{1, 2, 3, \ldots, n\}$ とおく．このとき，時刻 t におけるプレイヤー $i (i \in N)$ の初期提示額を b_i として，その集合を

$$\mathcal{B}_t = \{b_1, b_2, \ldots, b_n\}$$

とする．ここで,

$$\forall i, j \in N : i < j \Rightarrow b_i \leq b_j$$

としても一般性を失わない．このとき，プレイヤー i の提示額 b_i とは，IPO 企業の類似企業との比較評価で得られた提示額である．

ここで，簡単化のため，IPO 市場では 1 単元のみで取引を行い，IPO 取引に参加したプレイヤーの中で，最高値を示したプレイヤーただ一人が IPO 株を獲得する．IPO 市場上のプレイヤー i は IPO 株式を購入することを最大の目的としているので，常に他者の提示額より高い提示額を示そうとする誘因が働く．すなわち，プレイヤーの戦略を考える際，価格を引き下げる戦略を無視することができる．

初期提示額を決定した後に情報交換が行われるものとする．各プレイヤーは情報交換を行った後，自らの初期提示額を更新する．プレイヤーが初期提示額を更新する際，取り得る戦略は提示額を上昇させるか，維持するかのいずれかである．前述のプレイヤーの定義より，価格を減少させる戦略を無視することができる．このとき，更新後の提示額を最終提示額とし，IPO 取引は最終提示額で行うものとする．したがって，最終提示額が最も高いプレイヤーが IPO 株式を手に入れることができる．ここで，プレイヤー i の最終提示額を $\bar{b_i}$ とし，最終取引額全体の集合 $\bar{\mathcal{B}_t}$ を

$$\bar{\mathcal{B}_t} = \{\bar{b_1}, \bar{b_2}, \ldots, \bar{b_n}\}$$

とおく．このとき，順序が保存されるとは限らない．以上より，IPO 市場における情報交換を函数 $\varphi : \mathcal{B}_t \to \bar{\mathcal{B}_t}$ と定義することができる．

2.2 情報交換による最終提示額の変化

2.2.1 1 対 1 の情報交換 φ_{i-j}

本小節では 1 対 1 の情報交換について定義し，1 対 1 の情報交換を函数 φ_{i-j} とおく．1 対 1 の情報交換では，あるプレイヤー $i, j (i, j \in N)$ がお互いの初期提示額を教えるものとする．したがって，プレイヤー i とプレイヤー j で情報交換が行われた時，プレイヤー i はプレイヤー j の初期提示額 b_j を知ることができる．プレイヤー j についても同様である．前小節のプレイヤーの行動の定義より，情報交換を行ったプレイヤーは相手の提示額よりも少しでも高い提示額を示そうとする．このとき，情報交換を行ったプレイヤー i, j の戦略に対する利得について考える．仮に $i < j$ であるとすると，プレイヤー i, j の利得は表 1 の通りである．

表 1: 情報交換があるときの利得行列

		j	
		維持	上昇
i	維持	(0,1)	(0,1)
	上昇	(1,0)	$(\delta, 1-\delta)$

ただし，δ は $0 \leq \delta \leq 1$ を満たす任意の実数である．表 1 の利得行列より，プレイヤー i にとって，提示額を上昇させることは支配戦略 [4] である．プレイヤー j もまた，提示額を上昇させることが支配戦略となる．したがって，情報交換が行われるとき，初期提示額の大小関係に関係なく，プレイヤーは自らの初期提示額を上昇させて最終提示額を決定する．

ゆえに，各プレイヤー i の上昇率を $\eta_i (\eta_i > 1)$ とおく．すると，情報交換は函数 $\varphi_{i-j} : \mathcal{B}_t \to \bar{\mathcal{B}_t}$ を用いて，

$$\varphi_{i-j}(b_i, b_j) = \eta_i \max(b_i, b_j)$$

となることが言える．このとき，函数 $\varphi_{i-j}(b_i, b_j)$ とは，プレイヤー i がプレイヤー j の情報を得たときの最終提示額を示す．

2.2.2 大衆向け情報交換 φ_{public}

次に，大衆向け情報交換について考える．ここで，大衆向け情報とは不特定多数のプレイヤーに対して発信される情報のことである．例えば，あるプレイヤーが IPO 企業に対する評価をインターネットサイト上に載せたとする．IPO 取引に参加しているプレイヤーは誰もがその情報を閲覧することが可能であり，自らの価値判断の基準とすることも可能である．しかし，インターネット上は情報が溢れているため，前述の評価を閲覧できないプレイヤーがいることも想定できる．

以上の点を考慮し，大衆向け情報交換を函数 $\varphi_{public} : \mathcal{B}_t \to \bar{\mathcal{B}_t}$ を定義する．

大衆向け情報 φ_{public} は誰が発信した情報か判断することができないので，大衆向け情報 φ_{public} は IPO 市場のプレイヤー $i (i \in N)$ とは異なるプレイヤー $\aleph$ が発信した情報として考える．このとき，大衆向け情報 φ_{public} はプレイヤー $\aleph$ の IPO 企業に対する評価額 $b_\aleph$ である．また，プレイヤー $\aleph$ は IPO 取引には参加せず，ただインターネットサイト上に自らの評価額を示すだけの存在である．ここで，プレイヤー i は確率 ϕ で大衆向け情報を取得するとする．プレイヤー i が大衆向け情報を得たとき，最終提示額 $\check{b_i}$ を次のように定義する．

$$\check{b_i} = \varphi_{public}(b_i, b_\aleph) = \eta_i \max(b_i, b_\aleph)$$

ここで，プレイヤー i が大衆向け情報 φ_{public} を得られなかった場合，情報交換が存在しない場合の方法でプレイヤー i は最終提示額を決定するとする．

2.2.3 情報交換がないときの最終提示額

最後に，情報交換が存在しない場合について考える．このとき，すべてのプレイヤー $i (i \in N)$ は自身の初期提示額 b_i 以外の評価額，及び初期提示額を知ることができない．したがって，各プレイヤーは自分自身というプレイヤーと情報交換を行うものとする．利得行列は表 2 の通りである．

表 2: 情報交換がないときの利得行列

		i	
		維持	上昇
i	維持	(0.5,0.5)	(0,1)
	上昇	(1,0)	(0.5,0.5)

表 2 の利得行列では支配戦略が存在しない．混合戦略 [4] において，$((0.5, 0.5), (0.5, 0.5))$ が最適戦略となる．すなわち，提示額を上昇させる戦略を確率 $\frac{1}{2}$ で選択する．

2.3 最終提示額の比較

本小節では，情報交換のある場合の初値の方が情報交換のない場合の初値より高い値であることを示す．2.3.1 節で，1 対 1 の情報交換が行われる場合について示し，2.3.2 節で，大衆向け情報交換が行われる場合について示す．このとき，期待値を用いた最終期待提示額によって評価を行う．

2.3.1 1 対 1 の情報交換 φ_{i-j}

1 対 1 の情報交換が行われたとき，プレイヤー $i(i \in N)$ の最終期待提示額を $\bar{E}_i$ とおく．ここで，プレイヤー i が IPO 市場上のプレイヤー j と情報交換を行う確率を $\theta_i(b_j)$ とする．また，プレイヤー i の上昇率 η_i はある一定の確率密度関数 $\rho(\eta_i)$ に従うものとし，密度関数 $\rho(\eta_i)$ の期待値を ϵ_i とする．関数 $\varphi_{i-j}(b_i, b_j)$ について，$i \geq j$ が成り立つ時，最終投資額 $\bar{b}_i$ は常に $\bar{b}_i = \eta_i b_i$ が成り立つ．したがって，プレイヤー i が $i \geq j$ を満たすプレイヤー j と遭遇する確率を $\theta_i(b_i)$ とすると，

$$\sum_{k=i}^{n} \theta_i(b_k) = 1$$

が成り立つ．

以上より，1 対 1 の情報交換が行われたときの最終期待投資額 $E_i(\forall i \in N)$ は次式で表される．

$$\bar{E}_i = \epsilon_i \sum_{k=i}^{n} b_k \theta_i(k)$$

同様にして，情報交換が存在しないときの最終期待投資額 $E_i(\forall i \in N)$ は次式で表される．

$$E_i = \frac{1+\epsilon_i}{2} b_i$$

このとき，次不等式が成り立つことを示すことができれば，情報交換が存在する時，IPO 取引の投資額が増加したということができる．

$$\max_{i \in N}(\bar{E}_i) > \max_{j \in N}(E_j) \tag{1}$$

ここで，あるプレイヤー $i, j(i, j \in N)$ について以下が成り立つとする．

$$\bar{E}_i = \max_{k \in N}(\bar{E}_k)$$

$$E_j = \max_{k \in N}(E_k)$$

$i = j$ の時，提示額集合 $\mathcal{B}$ の定義より，任意の $t, s \in N$ について，$t < s$ ならば $b_i \leq b_j$ である．したがって，次のことが言える．

$$\begin{aligned}\bar{E}_i &= \epsilon_i \sum_{k=i}^{n} b_k \theta_i(k) \\ &\geq \epsilon_i \sum_{k=i}^{n} b_i \theta_i(k) \\ &= \epsilon_i b_i\end{aligned}$$

ここで，$\eta_i > 1$ を満たすことから，$\epsilon_i > 1$ を示すことが分かる．ゆえに次のことが言える．

$$\begin{aligned}\bar{E}_i &\geq \epsilon_i b_i \\ &> \frac{1+\epsilon_i}{2} b_i \\ &= E_i\end{aligned}$$

ここで，$i = j$ より，

$$\bar{E}_i \geq \bar{E}_j > E_j$$

が成り立つ．

次に，$i \neq j$ の時，前提条件より $\bar{E}_i \geq \bar{E}_j$ が成り立つことから，

$$\bar{E}_i \geq \bar{E}_j > E_j$$

である．以上より，不等式 (1) を示すことができた．

したがって，投資家同士による 1 対 1 の情報交換によって，IPO の初値が上昇することが示された．

2.3.2 大衆向け情報交換 φ_{public}

大衆向け情報による情報交換が行われたとき，プレイヤー $i(i \in N)$ の最終期待提示額を $\check{E}_i$ とおく．ここで，プレイヤー i が IPO 市場上で，大衆向け情報 φ_{public} を得る確率を ϕ とする．また，プレイヤー i の上昇率 η_i はある一定の確率密度関数 $\rho(\eta_i)$ に従うものとし，密度関数 $\rho(\eta_i)$ の期待値を ϵ_i とする．ところで，プレイヤー $\aleph$ の評価額 $b_\aleph$ とプレイヤー i の初期提示額 b_i との大小関係は実際に情報を得ない限りは分からない．したがって，場合分けを行って最終提示額の比較を行う．

$b_i \leq b_\aleph$ のとき，最終期待提示額 $\check{E}_i$ は次式で得られる．

$$\check{E}_i = \phi \epsilon_i b_\aleph + (1-\phi) \frac{1+\epsilon_i}{2} b_i$$

ここで，プレイヤー i, j について次のことが成り立つとする．

$$\check{E}_i = \max_{k \in N}(\check{E}_k)$$

$$E_j = \max_{k \in N}(E_k)$$

このとき，次不等式が示されれば，大衆向け情報情報交換によって IPO の初値が上昇したということができる．

$$\max_{i \in N}(\check{E}_i) > \max_{j \in N}(E_j) \tag{2}$$

$i = j$ のとき，前提条件より，次のことが成り立つことが言える．

$$\begin{aligned}\check{E}_i &= \phi\epsilon_i b_\aleph + (1-\phi)\frac{1+\epsilon_i}{2}b_i \\ &\geq \phi\epsilon_i b_i + (1-\phi)\frac{1+\epsilon_i}{2}b_i \\ &= \frac{1+\epsilon_i}{2}b_i + \frac{\epsilon_i - 1}{2}\phi b_i\end{aligned}$$

ここで，$\eta_i > 1$ が成り立つことから，$\epsilon_i > 1$ である．したがって，

$$\frac{\epsilon_i - 1}{2}\phi b_i > 0$$

である．ゆえに次のことが成り立つ．

$$\begin{aligned}\check{E}_i &\geq \frac{1+\epsilon_i}{2}b_i + \frac{\epsilon_i - 1}{2}\phi b_i \\ &> \frac{1+\epsilon_i}{2}b_i \\ &= E_i = E_j\end{aligned}$$

したがって，

$$\check{E}_i \geq \check{E}_j > E_j$$

が成り立つ．

$i \neq j$ のとき，前提条件より $\check{E}_i \geq \check{E}_j$ が成り立つことから

$$\check{E}_i \geq \check{E}_j > E_j$$

が成り立つ．以上より，不等式 (2) が成り立つことが示された．

次に，$b_i > b_\aleph$ のとき，最終期待提示額 $\check{E}_i$ は次式で得られる．

$$\check{E}_i = \phi\epsilon_i b_i + (1-\phi)\frac{1+\epsilon_i}{2}b_i$$

ここで，プレイヤー i, j について次のことが成り立つとする．

$$\check{E}_i = \max_{k \in N}(\check{E}_k)$$

$$E_j = \max_{k \in N}(E_k)$$

同様にして，不等式 (2) が成り立つことが示されれば，大衆向け情報交換によって IPO の初値が上昇したということができる．

$i = j$ のとき，

$$\begin{aligned}\check{E}_i &= \phi\epsilon_i b_i + (1-\phi)\frac{1+\epsilon_i}{2}b_i \\ &= \frac{1+\epsilon_i}{2}b_i + \frac{\epsilon_i - 1}{2}\phi b_i \\ &> E_i = E_j\end{aligned}$$

$i \neq j$ のとき，前提条件より $\check{E}_i \geq \check{E}_j$ が成り立つことから

$$\check{E}_i \geq \check{E}_j > E_j$$

が成り立つ．以上より，不等式 (2) が成り立つことが示された．

したがって，大衆向け情報交換が行われるとき，IPO の初値は上昇することが示された．

3 検証実験

2.3 節より，情報交換が存在することによって IPO の初値が上昇することが示された．本節では，IPO の初値の上昇が有意差を与えているのか否か，すなわち，2.3 節で示した仮説の検証を行う．

3.1 節，3.2 節で本実験で用いるマルチエージェントモデルの作成を行う．詳しい実験方法については，3.3 節以降で述べる．

3.1 株式取引モデル

株式取引における，マルチエージェントモデルを文献 [5] に倣って定義する．

時刻 t における株価を $P(t)$ とおく．ここで，簡単化のため株式市場モデルでは，単一銘柄のみを取り扱うとし，株式市場内に n 人の投資家が参加しているとする．このとき，$N = \{1, 2, 3, \ldots, n\}$ を投資家集合とする．投資家は時刻 t ごとに提示額 B_i を示す．ここで，各投資家は買手もしくは売手のいずれかの立場に分かれる．立場による投資家の行動を次のように定義する．買手となった投資家は株が購入できるまで提示額を上昇させる．一方で，売手となった投資家は株が売れるまで提示額を減少させる．投資家 $i (i \in N)$ の提示価格 $B_i(t)$ を次のように定義する．

$$B_i(t+1) = B_i(t) + \alpha_i(t) + c\Delta P_{rev}$$

ここで，α_i は投資家の価格変動幅，ΔP_{rev} は直前の株価変動幅，c は任意定数である．

買手 i と売手 j の取引成立条件を

$$B_i(t) - B_j(t) \geq \Lambda$$

とする．ここで，時刻 t で取引が行えるのは 1 組のみとする．したがって，買手の最高値と売手の最安値の差が閾値 Λ を超えた時に取引が行われる．市場において，株式の取引が成立することによって株価は変動する．取引が成立したとき，株価は売値と買値の平均値で決まると仮定し，取

引が行われなかった時は株価は変動せず維持されるものとする．以上より，時刻 t における株価 $P(t)$ を次のように定義できる．

$$P(t) = \begin{cases} \frac{1}{2}\left(max\{B_i\} + min\{B_j\}\right) & (L(t) \geq \Lambda) \\ P(t-1) & (L(t) < \Lambda) \end{cases}$$

ただし，$L(t) = max\{B_i\} - min\{B_j\}$ である．

ここで，投資家の価格変動幅 α は投資家の立場によって異なる値を示す．条件より，投資家 $i (i \in N)$ が買手であるとき提示額は上昇するので，α_i は正値をとる．一方で，投資家 i が売手であるとき提示額は減少するので，α_i は負値をとる．また，取引が成立したとき買手の立場は入れ替わる．すなわち，買手である投資家 i が時刻 t で取引を成立させたとき，時刻 $t+1$ では売手となる．同様に，売手である投資家 i が時刻 t で取引を成立させたとき，時刻 $t+1$ では買手となる．ここで，立場が入れ替わっても価格変動幅 α_i の絶対値は一定であるとする．以上より，時刻 t における価格変動幅 α_i の更新は次のように示せる．

$$\alpha(t+1) = \begin{cases} -\alpha(t) & (\text{取引が成立した時}) \\ \alpha(t) & (\text{取引が成立しなかった時}) \end{cases}$$

マルチエージェントシミュレーションを行う上で必要となるパラメータは初期提示額 $B_i(0)$，初期価格変動幅 $\alpha(0)$，閾値 Λ，任意定数 c の 4 つのパラメータのみである．

3.2 IPO 取引モデル

本小節では，IPO 取引のマルチエージェントモデルを作成する．ここで，IPO 取引において売手側は提示額を示さないとし，最高値を示した投資家と取引を行うものとする．この場合，売手側の行動について無視することができる．

前述より，売手側の行動を無視するため IPO 市場には売手プレイヤーが存在しないと考えることができる．IPO 市場で取引を行う n 人の投資家の全てを買手プレイヤーとする．IPO 取引市場の投資家を以後プレイヤーと呼称する．また，$N = \{1, 2, 3, \ldots, n\}$ をプレイヤー集合とする．

プレイヤー $i (i \in N)$ の戦略は投資額 b_i の決定である．ここで，プレイヤー i の戦略集合を S_i とおく．投資額 b_i は分割可能な実数値をとる．一般に，プレイヤー i は無尽蔵の資金を持っている訳ではない．したがって，すべてのプレイヤー i は投資可能な上限額を有している．この上限額を限界投資額 M_i とおく．以上より，プレイヤー i の戦略集合 S_i を次のように定義する．

$$S_i = \{p_i \mid p_i \in [0, M_i]\}$$

ここで，取引が成立するための最低売却額が存在する．これは全てのプレイヤーの提示額が最低売却額より低かった時，取引は成立せず，株式は売手の手元に残ったままとなる．

このとき，プレイヤー i が投資額 p_i を提示する．総投資額 $p = \sum_{k \in N} p_k$ とおく．総投資額 p が増加するとは，株式の価値が増加したことに等しい．したがって，単位提示額で得られる株式の割合が低下することを意味する．よって，利得函数 $f(p_i)$ を次のように定義する．

$$f_i(p_i) = \frac{1}{\bar{v} + p}(p_i - \bar{v})$$

このとき，利得函数 $f(p_i)$ はプレイヤー i が株式を獲得可能な確率を示す．ここで，$\bar{v}$ は最低売却額であるが，前述より売手の戦略は無視される．ゆえに，売手が最低売却額を $\bar{v} = 0$ とする．

利得函数 $f(p_i)$ を元にプレイヤーの最適戦略を求める．利得函数 $f_i(p_i)$ は p_i に関する増加函数である．また，投資額 p_i は凸集合である．ゆえに，ナッシュ均衡 [4] [6] は存在し，プレイヤー i の最適戦略は $p_i = M_i$ となる．したがって，プレイヤー i の最適戦略は限界投資額 M_i に等しいと結論付けられる．

次に，限界投資額 M_i を定義する．IPO 企業は初取引が行われるまで株式市場に存在しないため，相場額を有さない株式である．一般に，企業は幾つかの類似企業で分類することが可能である．IPO 企業の評価額は類似企業との相対評価によって決定され，本研究では株価倍率評価モデル [7] を採用し，得られる IPO 企業の相対評価額を $R(\lambda, \mu)$ とおく．ここで λ とは，IPO 企業の企業パラメータであり，μ とは株式市場に存在する類似企業の企業パラメータである．このとき，限界投資額 M_i を次のように定義する．

$$M_i = R(\lambda, \mu) + h_i + \gamma$$

h_i は IPO 取引に参加するプレイヤーの個性を示すパラメータであり，個人的選好度と呼ぶ．これは同じ企業に対しても，人によって価値観が異なることを示すパラメータである．IPO 市場上のプレイヤーは IPO 株を購入することを最大の目的とするため，個人的選好度 h_i は正値とする．また，IPO 企業も少なからず，相場の影響を受けることが想定される．直前の株式相場の変動による影響を示すパラメータを γ とし，相場変動因子と呼ぶ．

3.3 実験方法

検証実験では，3.1 節で作成したマルチエージェントモデルと 3.2 節で作成した IPO 取引モデルを組み合わせて行う．artisoc3.5 において，銘柄ごとにシミュレーション空間を別のものとし，仮想空間は株式市場として 3 つ，IPO 市場として 1 つの計 4 つの空間を設けた．図 1 に今回の検証実験で用いるマルチエージェントモデルのツリー構造を示す．ツリーにおいて，空間 Market,Market1,Market2 が仮想取引をを行う株式市場である．各空間１つにつき，１つの株式の取引を行う．Universe 空間で平均株価を計算し，IPO 取引の結果も示す．

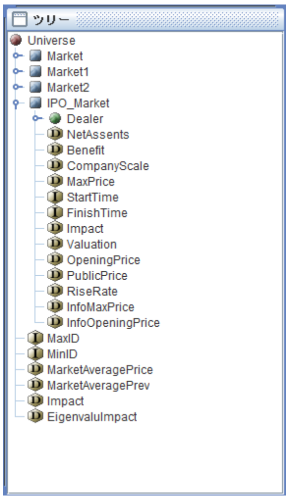

図 1: 検証実験におけるツリー構造

3 つの株式市場における株価の平均値を平均株価とする．相場変動因子 γ に影響を与えるのは，平均株価の変動幅である．また，株式市場を形成する企業のうち 1 つを IPO 企業の類似企業とする．ここで，各取引市場では 100 人のエージェントが取引を行っているものとする．また，マルチエージェントモデルにおける価格変動幅 α や，IPO 市場モデルにおける個人的選好度 h_i など，シミュレーションでは乱数を多用する．したがって，同じ条件下におけるシミュレーションを 20 回行い，その平均値を実験値として採用する．なお，実験では各種パラメータは一貫して下の表のものを使用した．ここで，個人的選好度 h_i は $h_i = \hat{h}_i b_i$ で定義する．このとき，パラメータで示すのは $\hat{h}_i$ である．

表 3: 実験パラメータ

変数名	パラメータ
価格変動幅	[-5.0,5.0]
閾値	10
個人的選好度	[0,0.1]
上昇幅	[1.0,1.8]

3.3.1　マルチエージェントモデルの妥当性

3.2 節で述べたように，本研究では IPO 企業の評価額の決定に株価倍率評価モデルを採用した．これにより，株価の決定に企業の利益，資産などのパラメータが必要となる．一般化モデルでは再現が困難であると判断したため，本研究では，実際に新規上場した企業のデータを用いる．ここではモデルの正確さの確認を行うため，実企業によるシミュレーションを事前に行い現実値との誤差を調べる．IPO 企業の公開価格は株価倍率評価モデル $R(\lambda, \mu)$ で与えられるとし，類似企業の株価と公開価格の双方が現実値から逸脱していないことを検証する．ここで，IPO 企業のサンプル企業として (株) アルファポリス，類似企業として (株) スクウェア・エニックス・ホールディングスを採用した．

(株) アルファポリスは 2014 年 10 月 30 日に新規上場した企業の 1 つである．実際に (株) アルファポリスの公開価格が決定されたのは 10 月 22 日であった．シミュレーションでは 1 ステップを 1 分と定義する．また，株式市場では公開価格の差異を確認するため，1 日前から取引を行わせる．株式市場における 3 つの企業は類似企業の (株) スクウェア・エニックス・ホールディングスの他，(株) ヤマハ，(株) コロプラを使用した．以後，シミュレーションにおける期間及び企業データは他のシミュレーションでも同一とする．

3.3.2　1 対 1 の情報交換 φ_{i-j}

次に，情報交換の有無による検証実験を行う．投資家同士による 1 対 1 の情報交換が初値に及ぼす影響を検証する．ここでは，現実値との比較を行わず，情報交換がある場合の初値と情報交換がない場合の初値の実験結果を比較する．比較方法には，分散分析を用いることによって，情報交換が初値の上昇に有意差を与えているか否かを検証する．

ここで，3 節で示したマルチエージェントモデルに 1 対 1 の情報交換のモデルを組み込む．特に 1 対 1 の情報交換を実現するためには，IPO 市場に参加しているエージェント同士が何らかの理由で出会う必要がある．本研究ではこれを仮想空間上を移動するエージェント同士が衝突することで再現する．

このとき，仮想空間の大きさを $[X, Y] = [50, 50]$ とし，エージェント同士が遭遇するとは，あるエージェントから異なるエージェントが距離 1 以内に居ることとして定義する．ここで，IPO 取引に参加するエージェントの総数は 100 人であることから，少なくとも一組のエージェントが遭遇する確率は 87.4% であるので，1 回のシミュレーションで約 9000 回の衝突，すなわち情報交換が行われることが推定される．図 2 は実際にエージェントが仮想空間上を移動している時の様子を示す．

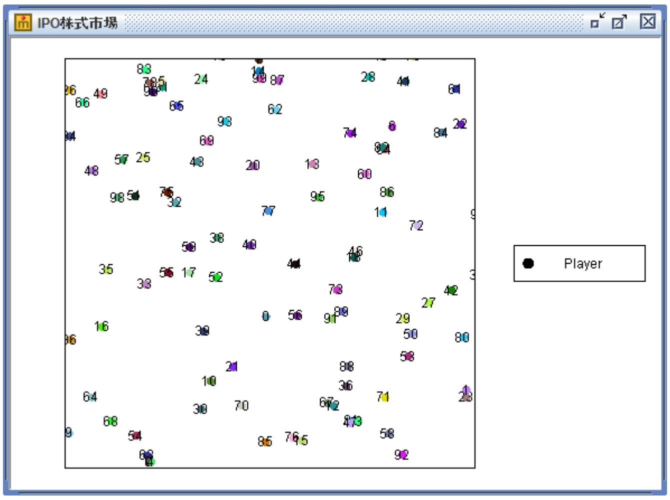

図 2: 仮想空間上を移動するエージェントの図

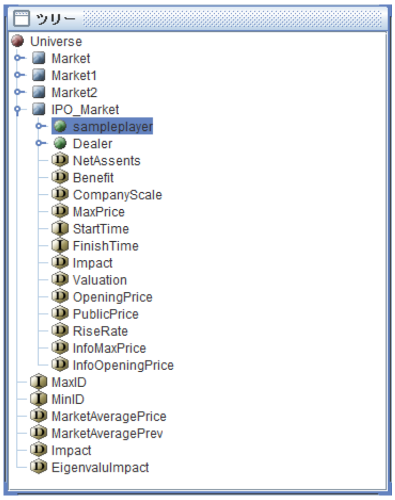

図 3: 大衆向け情報交換のツリー構造

なお，各エージェントの移動速度を区間 $(0, 1]$ の乱数で与え，エージェントの初期位置はランダムに配置及び，移動方向もランダムに決定する．また，情報交換を終えたエージェントは移動する方向を変え，再び移動を始める．なお，シミュレーションを実行する際，情報交換範囲内に 2 人以上のプレイヤーが入ることが想定される．このとき，本実験ではより高値を示したプレイヤーの提示額を情報として採用する．シミュレーションを行う上での注意点として，エージェントが得られるのは情報交換を行ったエージェントの初期提示額のみであり，提示額更新後の最終提示額は知ることができないものとする．また，情報交換を行わないエージェントは，自分自身と情報交換を行ったものとし，戦略としては必ず初期提示額を上昇させる．

シミュレーションでは，エージェントの個性を示す個人的選好度 h_i が乱数により与えられる．本実験では，情報交換の有無による影響を検証するため，その他の情報は統一する必要がある．したがって，1 回のシミュレーションで情報交換のあるモデル，ないモデルの 2 種類の実験を同時に行う．

3.3.3 大衆向け情報交換 φ_{public}

次に，大衆向け情報交換が与える影響について検証を行う．1 対 1 の情報交換同様，現実値との比較は行わず，情報交換がある場合の初値と情報交換がない場合の初値の実験結果を比較する．比較方法についても同様に分散分析を用いる．

大衆向け情報交換のマルチエージェントモデルを作成する．2.3.2 節より，大衆向けの情報を発信するエージェントは IPO 取引には参加しない．したがって，IPO 取引を行うエージェント集合とは別のエージェント集合を定義する．図 3 に大衆向け情報交換のツリー構造を示す．

このとき，大衆向け情報を発信するエージェントを図 3 において sampleplayer とし，以後これをプレイヤー $\aleph$ と呼ぶ．プレイヤー $\aleph$ は初期提示額 $b_{\aleph}$ を決定する．IPO 取引に参加するエージェントは誰でも，この初期提示額 $b_{\aleph}$ を情報として得ることができる．しかし，すべてのエージェントが情報を確認するとは限らないので，エージェントが情報を得る確率を定義し，本研究では確率を 70%, 80%, 90% と変化させて実験する．

また，投資家同士による 1 対 1 の情報交換のシミュレーションと同様に，エージェントの個性を示す個人的選好度 h_i など乱数により決定されるパラメータを統一するため，1 回のシミュレーションで情報交換のあるモデル及び，情報交換のないモデルの 2 種類のシミュレーションによる実験を同時に行う．

3.4 実験結果

前小節で示した実験方法に則り，各種シミュレーションを行った．各実験の実験結果を以下に示す．

3.4.1 マルチエージェントモデルの妥当性

表 4 にマルチエージェントモデルの妥当性に関する実験結果を示す．ここで，株価とは類似企業 (株) スクウェア・エニックス・ホールディングスの 10 月 30 日の始値を示す．また，公開価格は IPO 企業 (株) アルファポリスの公開価格を示す．この結果より，有意水準 5% で現実値と実験値が一致している．

表 4: モデルの誤差検証

	実験値 [円]	現実値 [円]	誤差率 [%]
株価	2252.999	2250	0.1
公開価格	2204.316	2200	0.2

3.4.2 1 対 1 の情報交換 φ_{i-j} の実験結果

表 5 に 1 対 1 による情報交換の実験結果を示す．分散分析の結果，有意水準 5% で提示額の上昇に有意差はない [8].

表 5: 実験結果

	初値 [円]	上昇率 [%]	標準偏差
情報交換なし	4543.98	105.8	336.13
情報交換あり	4586.51	107.8	321.89

3.4.3 大衆向け情報交換 φ_{public} の実験結果

以下に実験結果を示す．表 6 に示す結果は，IPO 取引を行うエージェントのすべてが 70%, 80%, 90% の確率でそれぞれ大衆向け情報を得たときのものである．分散分析を行った結果，いずれも有意水準 5% で初値の上昇に有意差はない．

表 6: 実験結果

		初値 [円]	上昇率 [%]	標準偏差
70%	情報交換なし	4601.00	91.5	868.60
	情報交換あり	4759.16	98.1	590.76
80%	情報交換なし	4446.94	99.9	442.37
	情報交換あり	4502.60	102.4	437.72
90%	情報交換なし	4465.15	88.4	420.98
	情報交換あり	4519.53	90.7	405.71

4 考察

表 4 より，類似企業の株価，IPO 企業の評価額ともに有意水準 5% で現実と一致する結果を示すモデルであることが示されたことから，本研究で用いるマルチエージェントモデルは株式市場モデルとして妥当であると判断できる．一方で，今回の実験において，(株) スクウェア・エニックス・ホールディングスの株価は IPO 企業 (株) アルファポリスの初取引時の株価のみを検証しており，仮想取引を始めてから終了するまでの間の正確性は検証できていない．

2 節より，投資家同士による 1 対 1 の情報交換，及び大衆向け情報交換ともに情報交換がある場合の方が情報交換がない場合よりも初値が高いことが示された．しかし，表 5，表 6 の実験結果より，双方とも IPO の初値は情報交換のある場合の方が高い値を示しているが，分散分析の結果，情報交換により生じる初値の上昇は誤差の範囲内であることがわかった．

ここで，本実験において，公開価格の「過小値付け」が懸念される．文献 [7] によれば，類似業種比準法（株価倍率評価モデル）と割引超過利益モデル以外が未公開株式の評価に適さないことが述べられている．本研究では，前者の株価倍率評価モデルを採用したため，公開価格の「過小値付け」については十分に考慮されていると考えられる．ゆえに，情報交換による初値の上昇は有意差を与えなかった．

本研究では，1 対 1 による情報交換という限定的な情報交換の形態について検証し，実験を行った．一方で，1 対 1 の情報交換より複数人グループの方が現実味が強いと考えられる．本研究ではあるプレイヤーと情報交換を行い，即座に提示額を更新した．しかし，提示額を更新する 1 ステップの間に複数回の 1 対 1 による情報交換モデルを取り込むことにより，複数人グループによる情報交換は 1 対 1 による情報交換モデルと同一視できる．

本研究では，公開価格の決定手法として株価倍率評価モデルを採用した．株価倍率評価モデルでは，適切な類似企業を選定することが困難であることが指摘される．もう一つの評価方法として，割引超過利益モデルが挙げられる．したがって，本研究の範囲において情報交換が IPO の初値上昇の要因と成り得ないと結論付けるには検証実験のデータ数が少ないと判断する．今後は，割引超過利益モデルを用いた実験についても行う必要があると考えられる．

謝辞

本研究を遂行するにあたり，株式会社構造計画研究所から artisoc3.5 を提供していただき，この場を借りて感謝の意を述べさせていただきます．

参考文献

[1]「やさしい IPO 株のはじめ方」, http://www.ipokiso.com , (2016 年 2 月 2 日閲覧)

[2] 金子隆：「IPO の過小値付け現象」, 三田商学研究第 52 巻第 2 号 pp. 81-97, (2009 年 6 月)

[3] 構造計画研究所：「MAS コミュニティ」, http://mas.kke.co.jp , (2016 年 2 月 2 日閲覧)

[4] 鈴木光男：「新装版　ゲーム理論入門」, 共立出版株式会社, (2009 年 2 月 15 日)

[5] 佐藤彰洋，高安秀樹：「価格変動モデル：マルチエージェントモデルから統計モデルへ」, Infomation Processing Society of Japan, pp. 43-50, (2000 年.)

[6] 都築治彦：「遂行理論とゲーム理論」, 創成社, (2010 年 10 月 12 日)

[7] 鵜崎清貴：「新規株式公開における公開価格の決定」, 大分大学経済論集, 第 56 巻第 3 号, pp. 46-69, (2004 年.)

[8] 小森尚志, 森下護, 水野正一：「統計学の基礎と演習」, 東海大学出版会, (2013 年 9 月 20 日)