

経済実験における計算機の利用： チープトークゲームと仲介市場実験

西野成昭*，上田完次†

1 はじめに

本稿では、近年注目を集める実験経済学における計算機利用の実際について、筆者らがこれまでに起こった実験を例にして述べる。

経済学における実験は、研究の対象となる経済活動をモデル化し、1人または複数の被験者に実際に意志決定をおこなってもらうことでその経済現象の理解を目指すものである。被験者実験は経済理論やモデルの想定する環境下で、経済主体としての人間の行動を実際に観察・分析できるという大きな利点を持っている。しかし、被験者実験で観察できるのは被験者がおこなった行動とその結果であり、被験者が実際どのような意図や戦略をもってその行動を選択したのかをじかに見ることはできない。また、実験に参加する人数や繰り返し回数には限度があり、観察する経済活動の規模は制約されざるをえない。

このような問題点に対し、計算機を援用する研究は以下のような利点を持っている。第一に、被験者に相当するエージェントの戦略はプログラムであり、その行動原理は直接観察することが可能である。第二に、被験者実験では困難な大規模な実験が可能であり設定を変更しての追試や確認も容易に実現できる。第三に、被験者実験自体を計算機化することで従来の紙と鉛筆を使用した実験に比べて実験の手間を大幅に省き、データの管理や処理も容易になる。

以上のような利点から、実験経済学における計算機の利用法として以下のようなものが挙げられる。

- 計算機実験による被験者の戦略の推定：エージェントの戦略が観察可能であることから、被験者実験を再現するプログラムを作成し、様々な環境下で実験を実施することによって被験者の戦略を推測できる。
- エージェントによる被験者の代替：市場実験など多数の被験者が必要な実験では物理的な制約が多く、また意志決定者の行動が多様になるほどその影響は観

*東京大学大学院工学系研究科、〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1、nishino@race.u-tokyo.ac.jp

†東京大学人工物工学研究センター、〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1、ueda@race.u-tokyo.ac.jp

察しにくくなる。エージェントを導入することによって時間や費用を節約し、特に観察したい意志決定者のみを人間にさせることができる。

本稿では、上記 2 点の方法で筆者らがこれまでにこなった研究について述べる。第 2 章では計算機実験による被験者実験の再現について、チープトークゲームを例に述べる。第 3 章ではマーケットマイクロストラクチャー理論にもとづく仲介市場実験について、被験者の一部を計算機によるエージェントで代替させた例を示す。全体のまとめと今後の展望については第 4 章で述べる。

2 チープトークゲーム

チープトークゲームは「囚人のジレンマ」や「共有地の悲劇」といったジレンマにおいて、ゲームをプレイする前のコミュニケーション (Pre-play Communication) がプレイヤ同士の協力を達成させるかどうかというゲームの 1 つとして研究されてきた。例えば、表 1 で与えられる 2 人のゲームを考える。プレイヤの行動 L, H がある生産過程におけるプレイヤの努力の程度を表すとする。このとき、2 人のプレイ

表 1: コーディネーション・ゲーム

		Player 2	
		L	H
Player 1	L	1,1	1,0
	H	0,1	2,2

ヤがともに高い努力を選択し生産性をあげる、すなわち (H,H) が望ましい。しかし相手の利得が見えない不完全情報下のゲームを仮定すると、(H,H) を選択することはどちらのプレイヤにとってもリスクを伴うので、うまく協力するのが困難となる。一般に、これをコーディネーション・ゲームと呼ぶ。ここで協力を促すにはお互いの私的情報を共有させる何らかの仕組みが必要となる。その中の 1 つが、実際に意思決定を行なう前にコミュニケーションを導入することである。とくにプレイヤ間のコミュニケーションをある種のシグナルを交換するシグナリング・ゲームが研究されてきた (Cho and Kreps 1987)。さらに実際に意思決定を行なう前のインフォーマルなコミュニケーション (チープトーク) でも協力を促すのに十分であると主張したのが Farrell (1996) である。一般にシグナルは学歴のようにコストがかかるものと定義され、ゲームの構造に直接影響を与える、一方チープトークはコストのかからない、ごく簡単なやりとりを想定し、ゲームの構造を直接変えることのないものとして定義される。

しかし、こうしたコミュニケーションをどのようにプレイヤの意思決定に組み込むかは十分確立されていない。また、実験経済学にもとづくアプローチによる研究

はしばしば実際の経済主体の行動とナッシュ均衡による予測が一致しない場合があることを報告している (Farrell 1993, Kawagoe and Takizawa 2000)。

2.1 チープトークゲームの設定

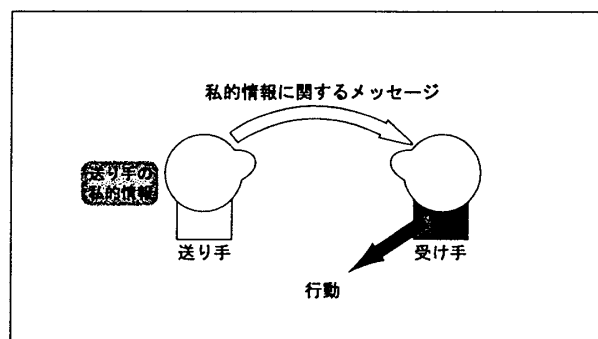


図 1: Cheap-talk game

本章で扱うチープトークゲームは純粋戦略均衡をもつ2人ゲームである(図1)。まずメッセージの送り手となるプレイヤーが自分の私的情報(タイプ A か B)にもとづいてメッセージ(α か β)を選択する。次に受け手となるプレイヤーは受けたメッセージにもとづいて行動(a, b もしくは c)を選択する。ここでプレイヤーの利得は送り手のタイプと受け手の行動に依存し、メッセージには依存しない。

川越と瀧澤 (Kawagoe and Takizawa(2000))は3種類の利得表、Game #1, #2, #3 に対してチープトークゲームの実験を行なっている。そこで、本実験では3種類のゲームのうち Game #1 を採用した(表2)。Game #1 は送り手と受け手の利害が一致する構造をもつ。

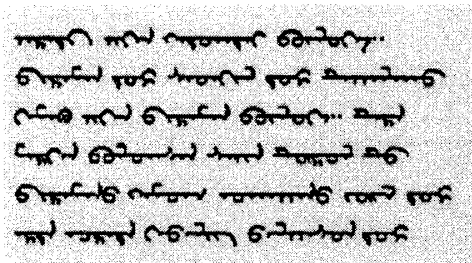
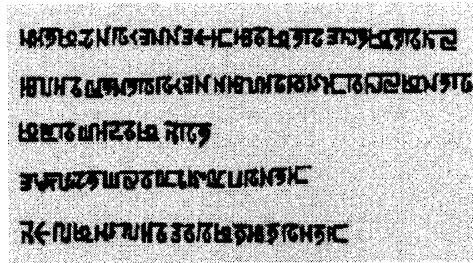
また、本実験ではメッセージ(α か β)として、以下のようなメッセージに意味がある場合とない場合の2種類を用いた：

意味がある場合： メッセージ α = 「私はタイプ A です。」、メッセージ β = 「私はタイプ B です。」

意味がない場合： 以下の画像

メッセージに意味のある場合は自分のタイプを示したメッセージに対し、意味のない場合タイプには全く関係のない画像を用いた。

次に Game #1 の均衡について述べる。まず、送り手のメッセージが何であれ、受け手は行動 c を選択する戦略の組合せを BE と定義する。一方、(α もしくは β) のメッセージに応じて、送り手のタイプが (A) のとき受け手が行動 (c) をとり、送り手のタイプが (B) のとき受け手が行動 (b) をとる場合の戦略の組合せを SE と定義する。

図 2: メッセージ α 図 3: メッセージ β

このとき、BE と SE の両方がベイジアンナッシュ均衡になる。一般に BE が均衡の条件を満たす時、それはバブリング均衡 (Babbling Equilibrium) と定義される。これはチープトークが意味を持たない場合の均衡である。一方、SE の場合は分離均衡 (Separating Equilibrium) と定義され、チープトークが意味をもつことで成立する均衡となる。

表 2: 利得表 (Game #1)

		receiver's action		
		a	b	c
sender's type	A	(4, 4)	(1, 1)	(3, 3)
	B	(1, 1)	(4, 4)	(3, 3)

2.2 計算機実験のモデル

計算機上にチープトークゲームを構築し、強化学習を行うエージェントによって被験者実験の結果の再現を試みる。強化学習の強化関数は Erev and Roth(1998) による関数をもとに定式化した。

ある試行 t におけるプレイヤー i が行動 k をとり、利得 x を得た時、行動 j への性向 (propensity) q_{ij} は以下の式にしたがって更新される。

$$q_{ij}(t+1) = \begin{cases} q_{ij}(t) + mR(x) & \text{if } j = k, \\ q_{ij}(t) & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

ただし $R(x) = x - x_{\min}$ で、 $x_{\min}$ はプレイヤー i にとっての最小の利得である。 m はあらかじめ与えられる定数であり、本実験では $m = 5$ とした。

各プレイヤーの行動は確率的選択規則に基づいて決定される。ある試行 t においてプレイヤー i が行動 k をとる確率は

$$p_{ik}(t) = \frac{q_{ik}(t)}{\sum_j q_{ij}(t)} \quad (2)$$

となる。

また、任意の i, k に対する初期確率 $p_{ik}(0)$ が与えられる時、初期性向 $q_{ik}(0)$ が次の式で決定される:

$$q_{ik}(0) = p_{ik}(0) \cdot s \cdot X_n. \quad (3)$$

ただし、 X_n はプレイヤー i の利得の絶対値の平均を表す。また s は学習の強さを示すパラメータである。例えば s が小さい時、計算機上のプレイヤーにとって1回の試行による学習の効果は大きくなり、一方で s が小さい場合、その効果は小さくなる。本実験では、 $s = 54$ とした。

また、初期確率を与えるために以下のパラメータを導入した。

- タイプ A (B) の送り手がメッセージ α (β) を送る u :

$$u = \frac{p_{\alpha|A}^S(0)}{p_{\beta|A}^S(0)} = \frac{p_{\beta|B}^S(0)}{p_{\alpha|B}^S(0)}. \quad (4)$$

- メッセージ α (β) を受けた受け手が行動 a (b) を送る v :

$$v = \frac{p_{a|\alpha}^R(0)}{p_{b|\alpha}^R(0)} = \frac{p_{b|\beta}^R(0)}{p_{a|\beta}^R(0)}. \quad (5)$$

- メッセージが何であれ、受け手が行動 c をとる確率 w :

$$w = p_{c|\alpha}^R(0) = p_{c|\beta}^R(0). \quad (6)$$

例えば、 $u = v = 2, w = 0.333$ のとき、タイプ A の送り手がメッセージ α を送る確率は β を送る確率の2倍になる。また、メッセージ α を受けた受け手が行動 a を選択する確率は行動 b の2倍になる。さらに受け手が行動 c をとる確率は w で表される。

2.3 メッセージに意味がある場合

2.3.1 被験者実験

図4に被験者実験の結果を示す。図より SE への急速な収束が確認できる。

2.3.2 計算機実験

メッセージに意味がある場合のこのゲームでは、被験者が嘘をついたメッセージを送らない限り、メッセージ α に対して行動 (a) を、メッセージ β に対して行動 (b) をとればよい。また、この Game #1 のゲーム構造では送り手が嘘をついたメッセージを送るインセンティブは無い。よって、このゲームはゲームの開始の段階で

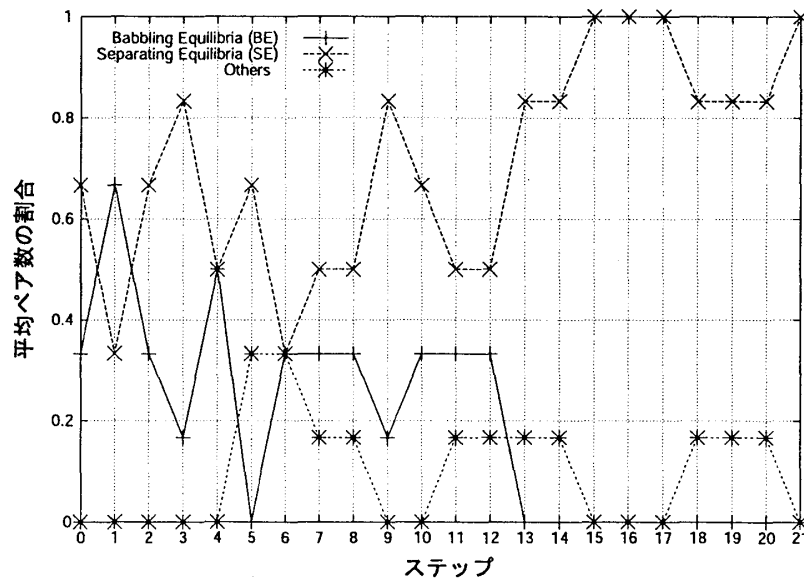


図 4: メッセージに意味がある場合の被験者実験の結果

すでにゲームの定性的な性質は決まっています、メッセージ α に対しては行動 (a)、メッセージ β に対しては行動 (b) を取れば良い。

そこで、その定性的な性質を計算機に導入するためにエージェントの行動の初期確率 u, v, w に偏りを与える。図 5 には、 $u = v = 9, w = 0.2$ を初期確率として与えたときの結果を示す。計算機実験は 50 セット行ない、それぞれセット平均をとった 200 試行のうち、10 試行ずつをブロック平均した結果を示している。図の黒の部分には SE が成立した頻度を、濃灰色の部分には BE が成立した頻度を示す。薄灰色はそれ以外の頻度を示す。図から被験者実験と同じ分離均衡 (SE) への収束が確認できる。

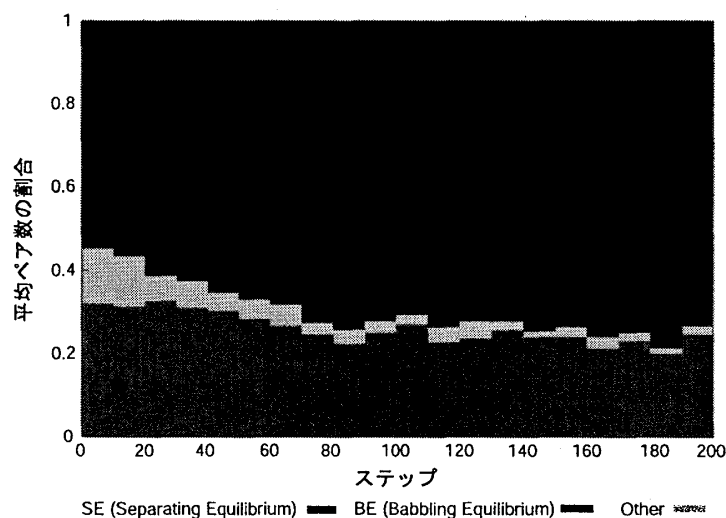


図 5: 行動の初期確率に偏りを与えた場合 ($u = v = 9, w = 0.2$)

2.4 メッセージに意味がない場合

2.4.1 被験者実験

図6に被験者実験の結果を示す。メッセージに意味ある場合と比べるとすこし時間がかかっているが、結果的にSEへ収束していることが確認できる。

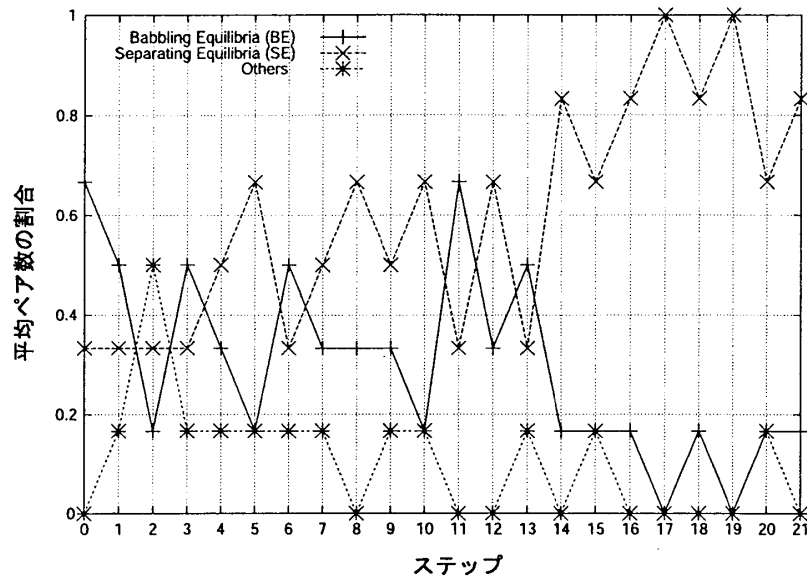


図 6: メッセージに意味がない場合の被験者実験の結果

2.4.2 計算機実験

メッセージに意味のないこのゲームでは、ゲームを始める前ではメッセージの意味付けはまったくできていない。つまり、どちらの画像がどちらのタイプであるのか、被験者は経験によって対応づけしていくのである。つまり、ゲーム中に定性的な性質が決まるのである。意味がある場合の実験とこの点で大きく異なり、ゲームの構造が複雑になっている。

そこで、今回は計算機上のエージェントの行動の初期確率を均等に等しく与えた。図7にその結果を示す。前回と同じく計算機実験は50セット行ない、それぞれセット平均をとった200試行のうち、10試行ずつをブロック平均した結果を示している。図の黒の部分はSEが成立した頻度を、濃灰の部分はBEが成立した頻度を示す。薄灰色はそれ以外の頻度を示す。図より、今回は収束は見られなかった。被験者は画像メッセージにタイプに対応した意味付けを行うことができたのに対して、計算機実験では結果的に対応づけはできず、分離均衡への収束も見られない。このメッセージに意味のない場合では、強化学習のアルゴリズムでは被験者の行動を表現することができない。

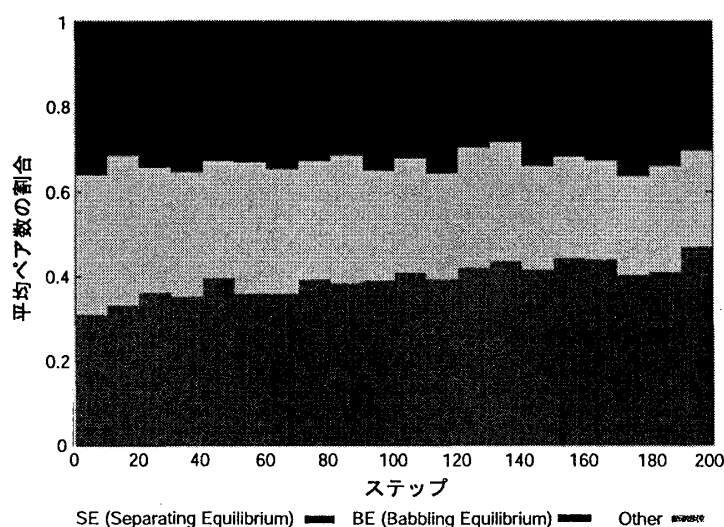


図 7: 行動の初期確率が等しい場合 ($u = v = 1, w = 0.33$)

2.5 考察

チープトーク実験では、メッセージに意味がある場合と意味がない場合で2種類の実験を行った。意味がある場合では、「私はタイプ A です。」というメッセージに対しては、受け手は行動 (a) (「私はタイプ B です。」には行動 (b)) をしていればいいが、メッセージに意味がなくなると、送り手は自分のタイプを相手に伝えるには、どちらかの画像がタイプ A であることを意味し、どちらかの画像がタイプ B であることをゲーム中に対応づけていかなければならない。ゲームの構造ははかかなり複雑化する。

被験者実験の結果からは、被験者はメッセージに意味があるときはもちろん、無いときでもメッセージに意味を含め、分離均衡へ収束することができている。一方、被験者実験ではゲームの構造があらかじめ決まっている場合にはうまく再現できているが、ゲーム中にその構造を形成していくようなゲームではうまく再現しきれない。しかし、メッセージに意味がない場合の計算機実験でも、何十万回と学習させれば、徐々に分離均衡へ近づくという結果を示しているが、完全にはなかなか収束しない。

以上より、強化学習による被験者行動の再現に関しては、ゲームの構造が複雑な状況であったり、ゲーム中のメッセージの対応づけのような状況は、計算機では再現が困難であるということが分かる。

3 仲介市場実験

Spulber (1999) は、消費者・サプライヤー間を仲介する企業の経済的役割に基づいた理論を提案し、企業が市場を清算する価格をどのように選択するかということをも明らかにし、マーケットがどのように形成されるかを説明している。

従来の新古典派の経済理論では消費者・企業は共に価格受容者であり、そのシステムの外に仮定されるワルラスのオークションの価格調整により需給の一致する点として外生的に均衡が決まる。新古典派理論では、市場内で行われる取引のプロセスは無視されているのである。一方、Spulber による理論では仲介企業が価格決定者、消費者やサプライヤーは価格受容者として定式化され、その企業によって市場が形成される。

さらに、Gehrig (1993) は、売り手と買い手を仲介する仲介企業が、売り手と買い手の直接取引と競争するモデルを構築している。売り手と買い手は、取引相手を求め直接にお互いを探すか、労せず仲介企業と取引するか選択する。売り手・買い手は、直接取引を求めて探索する場合は、探索コストを負うので、売り手・買い手が低コストで取引できるとしても、仲介企業はその市場で存続することが可能である。本節では、Gehrig の市場モデルの被験者実験について述べる。

3.1 仲介市場の理論モデルと均衡解

Gehrig による探索市場を含む仲介市場の理論モデルについて説明する。買い手と売手はそれぞれ異なる支払い意思額と機会費用をもっていて、その値により均衡では仲介取引を行う人と、探索市場へ行く人、取引を行わない人の3分割される。つまり、高い支払い意思額を持っている買い手と低い機会費用を持っている売手は仲介と取引を行い、中間の値の買い手・売手は探索市場で直接取引を行い、残りの低い支払い意思額と高い機会費用をもつ人は取引をすることができないという均衡になる。その時の均衡価格は独占価格と競争均衡価格の間に存在する。以下より詳しく説明する。

買い手と売り手は、直接取引するか仲介企業と取引するかという2つの選択肢を持っている。直接取引する場合は、探索過程を必要とし取引相手を見つけるには探索市場に行くと仮定する。探索市場では、取引相手をうまく見つけることができないかもしれないし、見つけたとしても売り手の機会費用や買い手の支払い意思額の情報の非対称性により取引が成立しないこともある。

買い手の支払い意思額を v とすると、価格 p で取引したときの効用は

$$U(v) = v - p \quad (7)$$

で表される。ここで、 v は $[0, 1]$ に一様分布していると仮定する。このとき、買い手全体としての集計した需要は $D(p) = 1 - p$ となる。同様に売り手の機会費用を c とすると、価格 w で取引すれば売り手の利益は

$$R(c) = w - c \quad (8)$$

となる。 c は $[0, 1]$ に一様分布しているとする。このとき、売り手全体としての集計した供給は $S(w) = w$ となる。買い手の支払い意思額 v と売り手の機会費用 c は私的情報で、集計された需要・供給は共通の情報である。

次に、探索市場での売り手と買い手の手順について説明する。売り手と買い手は確率 λ で出会うものとし、一度出会うと、売り手と買い手のうちどちらかがランダムで選ばれ、価格を提示する。もう一方がその価格を受け入れれば取引が成立で、もしも受け入れなければその場で取引が終了し、その後の取引機会を失い、探索市場から立ち去るものとする。

探索市場での取引で得られる期待利得が正をもつものだけが、探索市場に行くものとする。そこで、 $\phi(v)$ を探索市場にいる買い手の支払い意思額 v の分布、 $\psi(c)$ を売り手の機会費用 c の分布とする。また、 $z(v)$ を買い手の価格提示の戦略、 $y(c)$ を売り手の価格提示の戦略とする。買い手・売り手の探索市場での期待利得はそれぞれ、

$$U(v) = \frac{\lambda}{2} \int_{c \leq z(v)} (v - z(v)) d\psi(c) + \frac{\lambda}{2} \int_{y(c) \leq v} (v - y(c)) d\psi(c), \quad (9)$$

$$R(c) = \frac{\lambda}{2} \int_{v \geq y(c)} (y(c) - c) d\phi(v) + \frac{\lambda}{2} \int_{z(v) \geq c} (z(v) - c) d\phi(v). \quad (10)$$

となる。

市場均衡では、4つの境界値 $v_0, \bar{v}, \bar{c}, c_0$ が定まる。 $[0, v_0)$ の範囲の低い支払い意思額を持つ買い手と、 $(c_0, 1]$ の範囲の高いコストを持つ売り手は活動を行わず、 $[v_0, \bar{v}]$ 、 $[\bar{c}, c_0]$ の中間の値をもつ買い手・売り手は探索市場に行く。そして、 $(\bar{v}, 1]$ の高い支払い意思額を持つ買い手と $[0, \bar{c})$ の低いコストを持つ売り手は仲介企業と取引を行う。

この4つの値によって分割される理由を説明する。まず、活動を行わない売り手・買い手を分ける v_0, c_0 ついて考える。もしも v_0 を持つ買い手が活動を行わないならば、それよりも低い v を持つ買い手も活動を行わないはずである。そうでなければ、 v_0 の買い手が v の買い手の行動を真似ることによって少なくとも、 v の買い手と同じだけの利得が保証され、明らかに矛盾を生じる。よって、 v_0 の買い手は活動を行わない。売り手に関しても同様の説明が適用できる。次に、 $\bar{v}, \bar{c}$ がマーケットを分けることを証明する。 $\bar{v}$ を持つ買い手が、探索市場へ行くと仮定する。探索市場で買い手が売り手よりも多く、ある確率 γ で探索市場で制限される場合、仲介取引よりも探索市場に行くほうを選択したので、

$$\gamma U(\bar{v}) > \bar{v} - p \quad (11)$$

である。さらにここで、 $v > \bar{v}$ を持つ買い手を考え、 v の買い手が v' を持っているかのように行動したときの効用を $U(v', v)$ と定義する：

$$U_S(v', v) = \frac{\lambda}{2} \int_{c \leq z(v')} (v - z(v')) d\psi(c) + \frac{\lambda}{2} \int_{y(c) \leq v} (v - y(c)) d\psi(c). \quad (12)$$

$z(v)$ という価格提示戦略は v を持つ買い手にとっては最良の戦略であるから、 $U(v) \geq U(\bar{v}, v)$ である。さらに、 $U(v)$ の定義から

$$\begin{aligned} U(\bar{v}, v) &\geq U(\bar{v}) - \frac{\lambda}{2} \left[\int_{c \leq z(\bar{v})} (\bar{v} - v) d\psi(c) + \int_{y(c) \leq \bar{v}} (\bar{v} - v) d\psi(c) \right] \\ &\geq U(\bar{v}) - (\bar{v} - v) \end{aligned}$$

上式の両辺に γ をかけると

$$\gamma U(v) \geq \gamma U(\bar{v}) - \gamma U(\bar{v}, v) \geq \gamma U(\bar{v}) - (\bar{v} - v) > v - p \quad (13)$$

となる。よって、 $\bar{v}$ よりも小さい v を持つ買い手は仲介取引よりも探索市場を好む。これは $\bar{v}$ よりも大きい値を持つ買い手はすべて仲介企業と取引するということを示す。売り手に関しても同様のことが言える。

上記のとおり、均衡では4つの境界値が定まることがわかった。さらに、均衡では探索市場での制限がないはずなので、 $v_0 = \bar{c}$, $c_0 = \bar{v}$ であり、探索市場の分布 $\phi(v)$ 、 $\psi(c)$ は等しく $[\bar{c}, \bar{v}]$ 区間の一様分布となる。売り手の最適な価格提示戦略は

$$\int_{\bar{c}}^z (v - z) \frac{dv}{\bar{v} - \bar{c}} \quad (14)$$

を最大化する z であり、 $z(v) = (v + \bar{c})/2$ と求まる。同じように、売り手の最適な価格提示戦略は

$$\int_y^{\bar{v}} (y - c) \frac{dc}{\bar{v} - \bar{c}} \quad (15)$$

を最大にする y であり、 $y(c) = (\bar{c} + c)/2$ が得られる。

$U(v)$ 、 $R(c)$ に戦略価格を代入すると

$$U(v) = \frac{\lambda}{8} \frac{1}{(\bar{v} - \bar{c})} [(v - \bar{c})^2 + (2v - \bar{v} - \bar{c})^2], \quad (16)$$

$$R(c) = \frac{\lambda}{8} \frac{1}{(\bar{v} - \bar{c})} [(\bar{v} - c)^2 + (\bar{v} + \bar{c} - 2c)^2] \quad (17)$$

を得、さらに

$$U(\bar{v}) = R(\bar{c}) = (\lambda/4)(\bar{v} - \bar{c}) \quad (18)$$

となる。

仲介企業は市場を清算する価格を、直面する需要と供給を一致させるように選択する：

$$1 - p^* = w^*. \quad (19)$$

仲介企業と取引する買い手は $v - p^*$ の効用を得、売り手は $w^* - c$ を得る。境界値の $\bar{v}, \bar{c}$ では、

$$U(\bar{v}) = \bar{v} - p^* \quad (20)$$

$$R(\bar{c}) = w^* - \bar{c} \quad (21)$$

となるはずである。以上より、

$$1 - \bar{b}^* = \bar{c}^* = [4(1 - p^*) - \lambda]/2(2 - \lambda) \quad (22)$$

が導かれ、ここで $\bar{c}$ は仲介企業の取引量を表す。

仲介企業の利益は

$$\Pi = (p^* - w^*)\bar{c}^* \quad (23)$$

となり、利益を最大化する価格が均衡価格で以下ようになる。

$$p^* = 3/4 - \lambda/8, \quad w^* = 1/4 + \lambda/8. \quad (24)$$

そのときの取引量は

$$1 - \bar{v}^* = \bar{c}^* = 1/4 \quad (25)$$

となる。

3.2 被験者実験の設定

実験は以下のプレイヤーで構成される。

- 売り手 100 人（コンピュータ）
- 買い手 100 人（コンピュータ）
- 仲介業者 1 人（被験者）

売り手・買い手はプログラム化されたエージェントであり、被験者は売手から商品を仕入れ、買手にそれを販売する仲介業者である。ここで扱われている商品は 1 種類とする。

各売り手は商品を 1 つだけ持ち、売ることを考えており、同様に、各買手は商品を 1 つだけ買いたいと考えている。売り手・買い手は仲介業者である被験者と取引することもお互いに直接取引することもできる。買い手はそれぞれ異なる支払い意思額 v を、買い手はそれぞれ異なる機会費用 c を持っていて、 $[1, 100]$ で一様に分布するようにしている。売り手・買い手エージェントは仲介取引と直接取引したときの効用を計算し効用の大きい方を選択する。ただし、マッチ率は $\lambda = 1$ としている。

この状況で被験者は、仕入れる価格と販売する価格を決定する。各売り手は被験者が決めた仕入れ価格を見て、売るかどうかを判断し、仲介で売りたいと思った売り手の合計人数が仕入個数になる。同様に、買い手は被験者が決めた販売価格を見て買うかどうか判断し、仲介で買いたいと思った買い手の合計人数が販売個数になる。図 8 のような取引が行われることになる。

被験者がこの取引によって得られる利益は以下の式となる：

$$\text{利益} = (\text{販売価格}) \times (\text{販売個数}) - (\text{仕入れ価格}) \times (\text{仕入れ個数}). \quad (26)$$

実験は、価格決定を 1 ターンとし、繰り返し 100 ターンまで行った。

この設定においては、均衡における価格・取引量と利益は

$$\text{仕入れ価格} = 38, \quad \text{販売価格} = 63, \quad \text{取引量} = 25, \quad \text{利益} = 625 \quad (27)$$

となる。

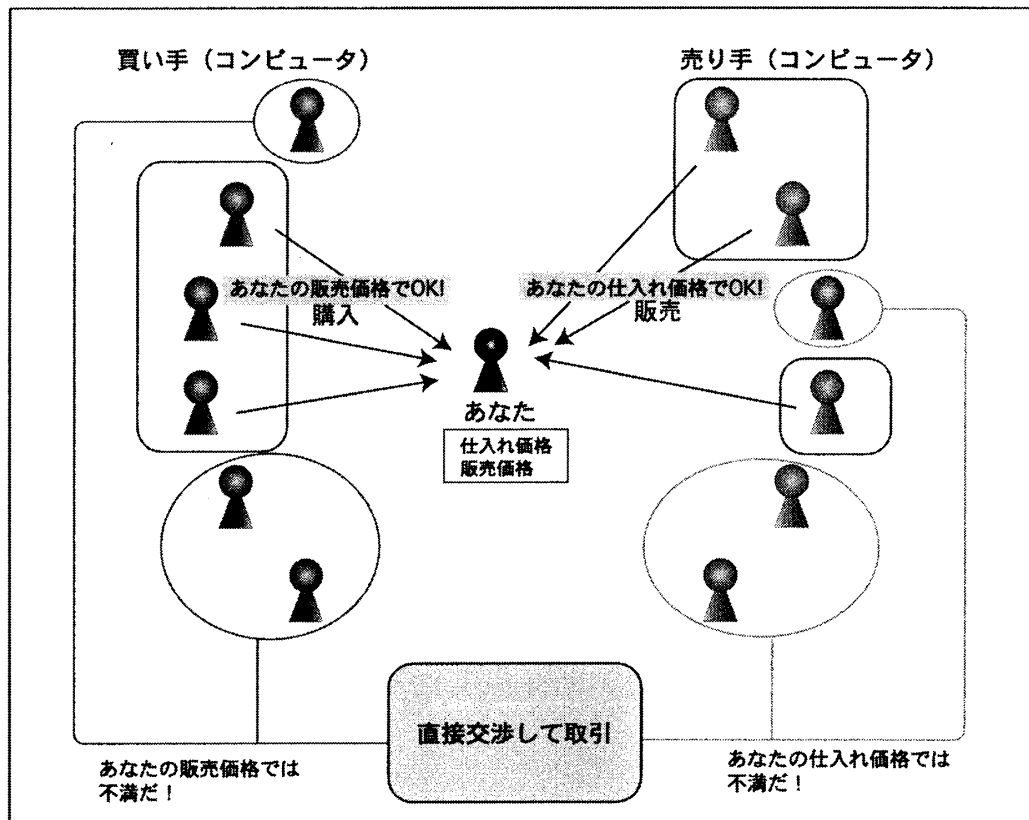


図 8: 実験の概要

3.3 被験者実験の結果

京都産業大学学部生 47 人を対象に実験を行った。

被験者 47 人中 44 人は数十ステップの後一定の値に収束したが、3 人は最後まで価格の変動を続けていた。表 3 は、その収束が見られた 44 人に関して、どれぐらいの被験者が利益最大値の何%を実現したかを表にまとめている。表より、3/4 の被験者は 90%以上の利益最大化を実現しており、被験者はほぼ均衡点を見つけていることが分かる。また残りの 3 人についても、均衡付近の値を見つけながらも探索を続け、変動を繰り返していた。

図 9 は、利益の変化で典型的なものを示す。被験者の多くはこれに似たパターンで、途中まで探索を繰り返しある程度すれば探索を終了し収束するという場合である。また、図 10 には、収束が見られなかった場合の利益の変動を示す。一方、図 11 には、かなりの初期段階で探索をやめて収束した場合の結果である。大きく分けると、図 9 から図 11 のように分けられる。

次に、社会全体の総余剰についての結果を示す。図 12 と図 14 に、ある 2 人の被験者の総余剰と利益の変化を示し、図 13 と図 15 にはそのときの価格の変動のグラフを示している。2 つの結果はともに均衡に向かっていくが、薄利多売から均衡点に向かう探索（図 15）と、反対の独占的価格から向かう場合（図 13）で、総余剰の

表 3: 実験の結果

利益最大化の割合	被験者数
100 %	17
99 % - 90 %	16
89 % - 80 %	5
79 % - 70 %	2
69 % - 60 %	2
59 % - 50 %	2

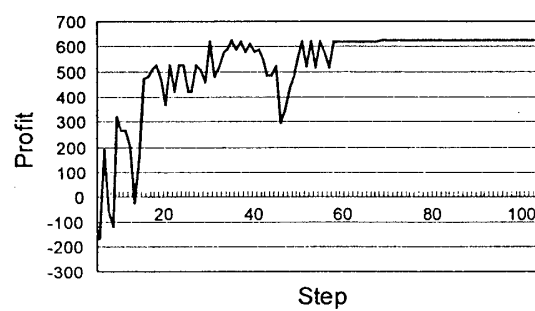


図 9: 典型的なパターン

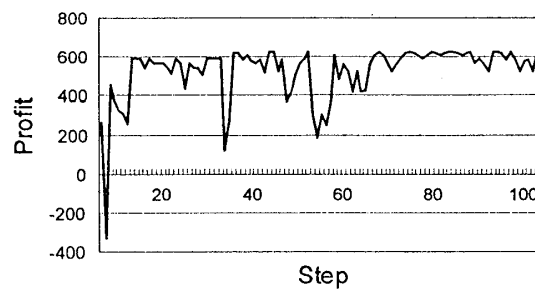


図 10: 絶えず探索するパターン

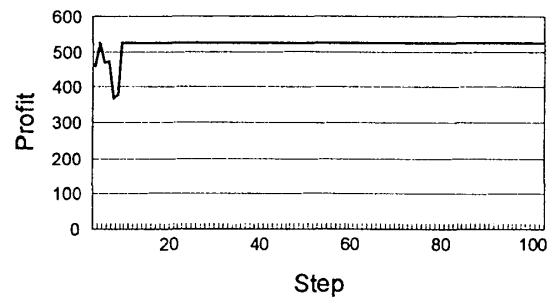


図 11: 早くに探索を終えるパターン

変化は大きく異なる。図 12 の場合は、総余剰がしだいに増加していくのに対して、図 14 では減少していく。被験者の価格の探索方向の違いにより、総余剰は大きな違いを生じる。

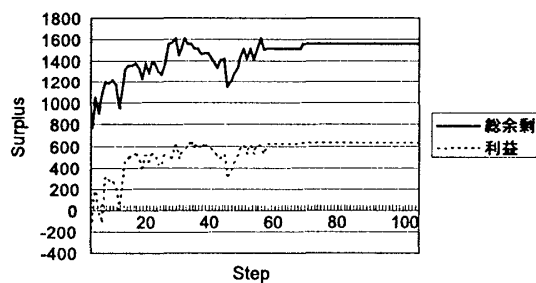


図 12: 総余剰（増加）

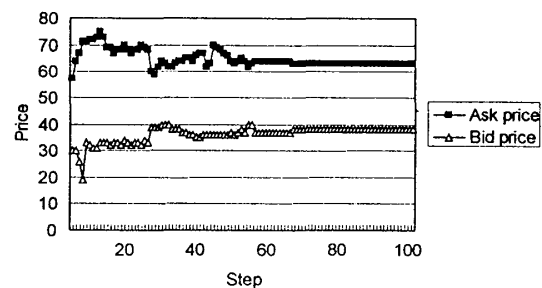


図 13: 価格変化（外側から）

3.4 考察

仲介企業と探索市場間の競争の理論モデルを表現した被験者実験を行ったが、売り手と買い手をプログラムエージェントとして実験内に配置し、完全に合理的な行動をとらせるようプログラム化した。これにより、被験者を売り手・買い手の行動から孤立化させて分析することが可能となった。特に、被験者は仲介企業が利益最大化する均衡点をほぼ発見できることを示し、仲介企業の価格探索方向により総余剰はまったく異なる性質も知ることができた。これは、被験者を仲介企業だけにし、残りをエージェントにするという孤立化によるところが大きい。

また、この被験者実験を計算機で再現するには、いくつかの点で困難が生じるであろう。例えば、チープトークの実験と同じように強化学習を行うエージェントに最適価格を探索させると、ほぼ最適な点を見つけてしまうだろう。しかし、その場合ランダムに価格を探しそのときの利得によって、行動が強化されるために、今回の被験者実験の結果のような均衡価格の外側（独占的価格）から均衡へ収束する行

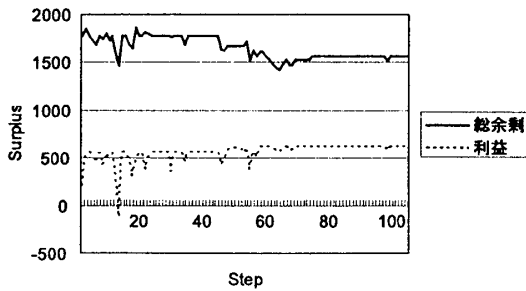


図 14: 総余剰 (減少)

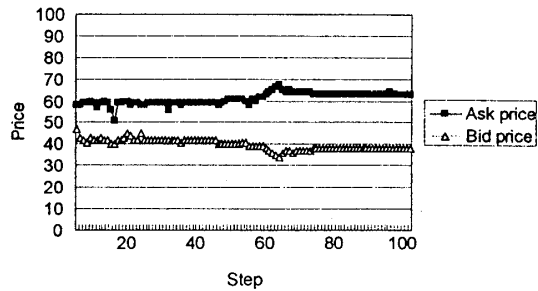


図 15: 価格変化 (内側から)

動や、内側（競争均衡）から均衡へ収束するといった行動は表現しきれないだろう。エージェントがどれぐらいの利益最大化を実現できたかという定量的な部分では再現できても、外から内からという定性的な性質は再現しきれないと推測される。しかし、行動に関するパラメータや条件の設定を変えることでそのような性質が再現できるならば、被験者の行動の戦略に関してその定性的な性質を定量的に説明することができるかもしれない。

4 おわりに

本稿では、経済実験における計算機の利用について、筆者らがおこなった研究を例にして述べた。

経済学における実験は、理論と現実社会を結びつけるうえで今後ますます重要になってくるであろう。しかしあくまでも人間を対象とする被験者実験には多くの制約と分析の困難さがあり、より複雑で現実的な実験をおこなうためには新たな実施と分析の手法が必要である。計算機を用いることにより、まず実験の手続き自体を簡略化してより多くのデータを分析しやすい形で得ることができる。また、計算機実験はそれぞれの行動主体の戦略を直接観察できることから、被験者の行動戦略の推定の一手法として確立されてくるであろう。さらに大規模な実験では、計算機上のエージェントに被験者の代わりをさせることによって手間と費用を省き、特に観察したい意思決定者のみを人間にさせて観察と分析をおこなうことができる。

今後の経済学の発展において実験の必要性和重要性がますます高まってくるのは確実であり、また実験自体はより現実近づけてゆく必要がある。その際に計算機を利用することはもはや必要不可欠である。今後は本稿で述べた2つの利用法をいっそう大規模に用いて現実的な実験をおこなう方向へ進んでいくだろう。

参考文献

- [1] Camerer, C.F. and Ho, T.H. : “Experience-Weighted Attraction Learning in Games : A Unifying Approach”, *Econometrica*, 67, pp.827-874 (1999)
- [2] Charness, G: “Self-serving Cheap Talk and Credibility: A Test of Aumann’s Conjecture”, *Games and Economic Behavior*, Vol.33, No.2, pp.177-194 (2000)
- [3] Cho, I. K. and Kreps, D.M.: “Signaling Games and Stable Equilibria”, *Quarterly Journal of Economics*, 102, pp.179-221 (1987)
- [4] Davis, D.D. and Holt, C.H.: *Experimental Economics*, Princeton University Press (1993)
- [5] Erev, I. and Roth, A. E.: “Predicting How People Play Games: Reinforcement Learning in Experimental Games with Unique, Mixed Strategy Equilibria”, *American Economic Review*, Vol.88, No.4, pp.848-881 (1998)
- [6] Farrell, J.: “Cheap talk”, *Journal of Economic Perspective*, 10, pp.103-18 (1996)
- [7] Farrell, J.: “Meaning and credibility in cheap talk games”, *Games and Economic Behavior*, 5, pp.514-31 (1993)
- [8] Feltovich, N.: “Equilibrium and Reinforcement Learning in Private-Information Games: An Experimental Study”, *Journal of Economic Dynamics and Control*, 23, pp.1605-1632 (1999)
- [9] Feltovich, N.: “Reinforcement-Based vs. Beliefs-Based Learning in Experimental Asymmetric-Information Games”, *Econometrica*, 68, pp.605-641 (2000)
- [10] Gehrig, T., “Intermediation in Search Markets”, *Journal of Economics and Management Strategy*, 2, pp. 97-120 (1993)
- [11] Kawagoe, T. and Takizawa, H.: “Instability of Babbling Equilibrium in Cheap Talk Games: An Experiment”, in *the Fourth Annual Conference of The Japan Association for Evolutionary Economics*(Tokyo, 25-26 March), pp.108-111 (2000)
- [12] McKelvey, R.D. and Palfrey, T.R. : “Quantal response equilibria for extensive form games”, *Experimental Economics*, 1, pp.9-41 (1998)
- [13] Oda, S. H., Iwasaki, A. and Ueda, K.: “Simulating cheap-talk games”, presented at The Economic Science Association Meeting, New York City, USA (2000)

- [14] Ostrom E., Gardner R. & Walker J. : *Rules, Games, & Common-Pool Resources*, Michigan University Press (1994)
- [15] Spulber, D.F., *Market Microstructure: intermediaries and the theory of the firm*, Cambridge University Press (1999)