

経済メカニズムの学習可能性

川越 敏司
埼玉大学経済学部

〒338 浦和市下大久保255 / TEL: 048-858-3289
E-mail: kawagoe@eco.saitama-u.ac.jp

あらまし

経済メカニズムの設計問題は誘因両立性、個人合理性、それに予算均衡を3つの柱としてきたが、経済メカニズムの実験的検討はこうした条件だけでメカニズムの評価ができないことを示してきた。本研究では、公共財供給問題に対するピボタル・メカニズムと競争市場の実験の成果に基づき、知性ゼロの取引者による学習可能性をメカニズム評価の基準として新たに提案する。

キーワード ピボタル・メカニズム, 知性ゼロの取引者, 実験経済学, シミュレーション

Learnability of Economic Mechanisms

Toshiji Kawagoe
Faculty of Economics, Saitama University

〒338 255 SHimo-Ookubo, Urawa City / TEL: 048-858-3289
E-mail: kawagoe@eco.saitama-u.ac.jp

Abstract

Designing economic institutions or mechanisms usually requires incentive compatibility, individual rationality, and budget balancing condition. But experimental studies of these mechanisms show that it is difficult to evaluate mechanisms according with above three conditions. We propose, based on our experimental studies of pivotal mechanism and market experiment, that it is necessary to add 'learnability' of zero-intelligent traders to the conditions.

key words pivotal mechanism, zero-intelligent traders, experimental economics, simulation

経済メカニズムの学習可能性

川越敏司

埼玉大学経済学部・社会環境設計学科

1 経済メカニズムの設計問題

経済メカニズムの設計問題は、つぎのような3つの目標を重点的に追及するものである。

誘因両立性 (incentive compatibility) 経済主体にとって、自分自身の真の選好（あるいは内部情報）を表明することが最適である

個人合理性 (individual rationality) 経済主体は、メカニズムに参加しても参加する前に所持していた所得を失うことはない

予算均衡 (budget balancing) メカニズムを用いる当局は、メカニズム運営に必要な経費をすべてメカニズムに参加する経済主体から徴収できる

これら3つの要請をすべて満足できるメカニズムを設計することは非常に困難である。ゲーム理論における解概念（支配戦略均衡やナッシュ均衡）に応じて、どのような条件でこうしたメカニズムが設計できるかについては、これまで一般的な議論が行われて、すでに一般的な条件で分かっている¹。メカニズムの設計可能性については一般的に論じることができるが、具体的にメカニズムを設計することはさらに困難である。近年ある種のメカニズムでは、かなりシステムティックにメカニズムが設計可能であることが示された²。

これらのメカニズムは、経済政策や経営組織に関わる問題解決に重要であるだけではない。負荷分散やジョブ・スケジューリングといった分散処理システムの設計にも有用である。例えば、Ephrati [3] は、後で説明するクラークのピボタル・メカニズムを分散処理に応用することを提案している。川越 [10] では、電子商取引における価格決定にセカンド・プライス・オークションを応用している。

現在、メカニズム設計論に関心のある経済学者やゲーム理論家は、理論的にメカニズムを設計したりその性能を検査するだけでなく、統制された環境における人間の被験者による実験（手作業のものもあるし、コンピュータ・ネットワークを用いるものもある）、ならびにコンピュータ・シミュレーションによって、メカニズムの性能を検査することがますます増えてきた³。

本論文では、経済メカニズムに関するこれまで著者が関わってきた実験結果を踏まえて、先に挙げたメカニズム設計問題における3つの追及目標に、もうひとつ学習可能性という要請を追加する必要性を訴えるものである。まず、次の第2節では公共財供給メカニズムのうち支配戦略均衡をもつクラークのピボタル・メカニズムの実験を紹介し、その支配戦略均衡が実験においては達成され得ないことを述べる。第3節では最小限の合理性しかもたない知性ゼロの取引者 (zero-intelligent traders) による市場実験を紹介し、市場均衡の達成に必要な多くの条件が満たされていないにも関わらず、市場均衡が達成され得ることを示す。第4節では、2, 3節の実験結果を踏まえて、知性ゼロの取引者にもとづくメカニズムの学習可能性について議論する。

¹例えば、Kawagoe [8] に簡単な紹介がある。そこに挙げられている参考文献も見よ。

²川越 [11] を参照

³経済学におけるこれらの実験に関しては、Friedman and Sunder [4] を参照せよ。

2 ピボタル・メカニズムの実験

2.1 ピボタル・メカニズムの基本構造

公共財の存在する経済では、経済主体間のフリーライダー行動によって資源配分がゆがめられてしまう。こうしたフリーライダー問題を解決するために開発されたのが、Clarke [2] のピボタル・メカニズムである。

ピボタル・メカニズムでは、まず経済主体に供給される予定の公共財に対する需要を表明させ、つぎに表明された需要の合計が正ならば公共財が供給され、負ならば供給されないものとする。公共財が供給されたなら、それぞれの経済主体に公共財からの便益がもたらされ、そうでなければ何の便益ももたらされない。また、各経済主体について、それぞれの表明した需要量によってそれ以外の主体の表明した需要に基づく社会的意志決定を覆すなら、他の主体が表明した需要合計額の絶対値が税として課される。これは、公共財が供給されるかされないかにはよらない。

このとき、どの経済主体にとっても、公共財に対する真の需要を表明することが支配戦略になる。すなわち、ピボタル・メカニズムは誘因両立性を支配戦略で達成できるメカニズムであり、したがって、フリーライダー問題を支配戦略で解決できるメカニズムなのである。ただし、ピボタル・メカニズムは個人合理性も予算均衡条件もみたさない。また、ピボタル・メカニズムはグループス・メカニズムと呼ばれるメカニズムの特殊ケースであるが、支配戦略のメカニズムはグループス・メカニズムに限られることが知られている (Green and Laffont [6])。そして、一般にピボタル・メカニズムを含むグループス・メカニズムでは、誘因両立性に加えて個人合理性か予算均衡か、どちらか一方しか満足させることはできない (Green and Laffont [6])。

2.2 数値例

いま3人の経済主体がいて、それぞれの公共財に対する真の需要額が $(v_1, v_2, v_3) = (5, -4, -2)$ であるとしよう。このとき、すべての主体が正直に真の需要を表明すれば、その需要の合計は-1であるから、公共財は供給されない。公共財は供給されないので、どの主体にとっても公共財から得られる便益は0である。ここで、もし主体1がいなくても、公共財供給に関する全体の意志決定は変わらないので、主体1の税は0である。主体2および主体3については、どちらがいなくても公共財は供給されるようになることから、どちらも公共財の意思決定を変え得る力を持っていることがわかる。したがって、それぞれ3および1の税金を取られることになる。結局最終的な利得は $(p_1, p_2, p_3) = (0, -3, -1)$ となる。

2.3 実験

ピボタル・メカニズムにおいては、正直に公共財に対する真の需要を表明することが支配戦略であるから、誘因両立性に関するかぎりもっとも望ましいメカニズムである。しかし、実際に人間の被験者が支配戦略を選択するか否かは、実験的な検討がなされるべき実証的問題である。

われわれは数度に渡って学部学生を被験者として、Friedman and Sunder [4] に紹介されているような実験経済学の基本的なメソッドに従って実験を行なった。被験者を1グループ5人として、グループのそれぞれのメンバーに真の評価 $\{-10, -5, -2, 5, 15\}$ を割り当て、被験者が表明できる需要額の範囲は $[-25, 25]$ の整数値として公共財への需要表明を行わせた (これによって支配戦略が変わることはない)。公共財の意志決定は全部で10ラウンド繰り返し行った。

この実験手法で特に注意したことは、上記のメソッドに従うこともさることながら、理論的に想定されている経済環境を可能な限り忠実に再現することである。そのために、つぎのような方法を用いている。

被験者の公募 複数の大学から被験者を公募し、また集まった被験者を無作為に実験グループに割り当てた。

被験者番号/実験回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
6	35	28	30	0	15	35	20	8	18	35
7	0	0	0	5	5	3	3	3	0	5
8	18	23	23	23	23	23	18	3	23	2
9	0	3	5	1	2	4	6	7	15	5
10	8	7	0	10	3	10	10	20	5	10

表 1: 実験グループ 2

真の評価の割り当て 被験者にはあらかじめ公共財に対する真の評価を割り当てて、割り当てられた評価に基づき最善の選択をさせた。このことにより、被験者が真の評価を表明したかどうかが明確にわかるとともに、さまざまな実験統制を行うことが可能になった。

顕著な報酬額 被験者には獲得した利得に応じて十分な額の現金報酬を与えることにより、メカニズム本来のインセンティブに集中させるようにした。

コンピュータ・ネットワークによる通信 この実験のために特別に作成されたネットワーク・プログラムにより、被験者の表明額が直ちに送信・集計されるとともに、被験者間のコミュニケーションを統制した。

テープレコーダによる実験説明 実験者による期待効果を避けるために、実験説明は実験者以外の人間の音声によって録音したテープレコーダで流すとともに、印刷された実験説明を配布した。

これらの注意深い実験統制のもとで実験を行った結果、被験者の選択が系統的に支配戦略から外れることが見いだされた(森・川越・曾山 [12])。表 1 は 16 の実験グループうちの実験グループ 2 の実験結果である。それぞれの被験者の表明額の真の評価からの乖離を、10 回の実験ラウンドにつき、差の絶対値で表したものである。

これらの被験者のうち支配戦略に向かって学習が収束していった被験者はいない。むしろ、かなり真の評価からの乖離の大きい被験者が多いことが目に付く。これは他の 15 のグループについても言える⁴。また、この実験設定のもとでは全員が支配戦略をプレイすれば公共財は供給されるはずであるが、実際には半数以上で供給されないことになっている。支配戦略は見いだされていないというべきだろう⁵。われわれとほぼ同時期にビボタル・メカニズムの実験を行ったアリゾナ大学の Issac 教授たちも、われわれと同様の結果を得ている⁶。またわれわれは、被験者の選択行動から抽出した簡単な適応アルゴリズムによるシミュレーションも行ったが、この場合にも支配戦略からの系統的な乖離が見られることが確認された(森・川越・曾山 [12])。

われわれは、支配戦略の均衡が達成されないという異常事態に対していくつかの説明を試みているが、まだそれらの説明が正しいかどうかについては実証的に検討されていない。これらの異常事態は、理論偏重の経済学やゲーム理論が実証的検討がなされるようになってはじめて現れた、これまで用いられてきた分析ツールでは捉えられていない側面を浮き彫りにしつつあるのだと考えることができるだろう。

⁴ケンドールの順位相関係数による学習のトレンドの検定では、表明額の真の評価からの乖離が減少していくという仮説は棄却されている。

⁵理論的に想定されている状況で実験を行うとともに、自分とグループのそれ以外のメンバーの表明額のそれぞれの組み合わせに対する自分の利得を一覧表にした「詳細な利得表」という意志決定を助ける追加情報を与えた場合でも、やはり支配戦略は学習されないことも確かめている。

⁶Issac 教授の私信による。

3 知性ゼロの取引者による市場実験

市場メカニズムは非常にうまく機能するメカニズムの一つである。新古典派経済学におけるもっとも精緻な理論の一つである一般均衡論は、この市場メカニズムが機能するために次のような仮定が必要であることを示してきた。

主体の数 一人の経済主体が市場全体の動きを左右できないほど無数の主体が存在する。

情報とその処理能力 経済主体はそれぞれの最適な意志決定に必要な情報を完全を知っており、またそれを処理できるだけの十分な合理性をもっている。

時間 市場は十分な時間をかければ均衡に収束する。

実際には、V. Smithをはじめとした実験経済学者が40年あまり前から、(1)ごく少数の経済主体で(2人が最小である)、(2)被験者に十分な情報を与えない環境で、(3)極めて早い段階で、市場均衡が達成され得ることを示してきた(Friedman and Sunder [4])。ハイエクは新古典派の仮定はほとんど必要ないことを早くから喝破していた。また、Beckerは、通常の需要・供給の基本法則がこれらの仮定なしに、ランダムに選択を行う主体や、資産をいつも同じ割合で投資するような非合理的な(irrational)主体を想定しても導くことができることを示してきた。

近年、Gode and Sunder [5]は、これらの研究を総合して知性ゼロの取引者(zero-intelligent traders)のモデルを開発し、市場実験のシミュレーションを行った。知性ゼロの取引者とは、損をしない範囲で(つまり予算を割らない範囲で)ランダムに取引を行う経済主体のことである。市場実験の場合、財の買い手は財に対する留保価格以下の値をランダムにビッドし、財の売り手は財の生産費用以上ある上限価格以下の値をアスクするものとされた。取引は買い手のビッドが売り手のアスクを越えたなら成立し、例えばビッドとアスクの中間の値を取引価格とするのである。実際、こうした知性ゼロの取引者のモデルにおいては、平均価格は理論的に予想される均衡価格に近くなり、また買い手・売り手の取引から得られる余剰の合計が、理論的予想の95%以上を達成できるのである。

われわれは知性ゼロの取引者を用いたシミュレーション市場実験を、知性ゼロの取引者によるモデル(ZIT)と、それと同じ経済環境のもとで、留保価格や生産費用などに関係なく全くランダムに値を付けるランダムな取引者のモデル(RT)とを比較できるように行った。買い手・売り手ともに10名づつで、売り手はそれぞれ1単位の財を所有しているものとした。取引はそれぞれの取引者が10回値を付けたところで終わるようにしている(もちろん、それ以前に取引を終えた取引者は市場から退出するものとした)。それぞれの取引者の留保価格および生産費用は表2の通りである。

表3は、理論的予想値と、知性ゼロの取引者とランダムな取引者による市場実験を行った結果を一覧表にしたものである。知性ゼロの取引者の方が、平均価格は理論的な均衡価格に近く、価格の分散も小さい。また、買い手・売り手双方が獲得した余剰の合計額を理論的に予想される総余剰で割った配分の効率性の尺度でみると、知性ゼロの取引者は97%もの効率性を示しているに関わらず、ランダムな取引者ではわずかに50%を越えるだけである。

買い手の留保価格および売り手の生産費用から導き出された需要・供給曲線と、知性ゼロの取引者およびランダムな取引者によって形成された取引価格の推移をグラフにすると、図1のようになる。ここで、横軸は取引数量 Q であり、縦軸は取引価格 P である。

4 経済メカニズムの学習可能性

経済メカニズムの機能に関して、これまで2つの対照的な実験を紹介してきた。支配戦略というもっとも強い意味での均衡が存在するピボタル・メカニズムでは、注意深く理論モデルの想定する状況を実験室

番号	留保価格	生産費用
1	20	1
2	18.5	3
3	17	5
4	15.5	7
5	14	9
6	12.5	11
7	11	13
8	9.5	15
9	8	17
10	6.5	19

表 2: 買い手の留保価格と売り手の生産費用

	理論	知性ゼロ	ランダム
取引数	6	5	10
平均 (均衡) 価格	11.8	11.3	9.6
価格分散	-	45.2	86.8
総余剰	61.5	60	32.5
効率性	-	97.6%	52.8%

表 3: 取引結果

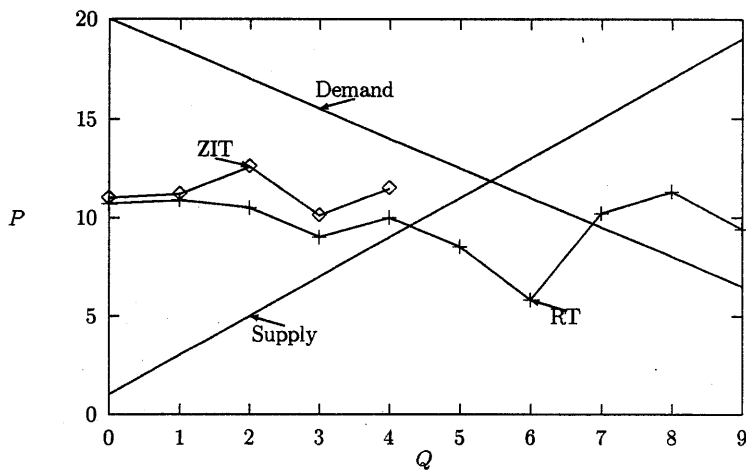


図 1: 取引価格の推移

に構築した上で実験を行ってもその支配戦略が達成されなかった。他方、少数の取引者、短い取引期間、知性ゼロの取引者といった、理論的に想定される条件のほとんど全てが満たされていない環境において、市場メカニズムは極めて良好に機能することが示された。

これらの実験結果は、経済学やゲーム理論において通常想定されている合理的な経済主体という考えが不適切であるばかりではなく、限定合理性のモデルでも説明の付かないものであろう。この問題の根本は経済主体の合理性の仮定にあるのではなく、経済メカニズムそのものに起因するもののように思われる。誘因両立性、個人合理性、予算均衡というよくもちいられる経済メカニズムの評価基準では、こうした結果を予想できないのである。経済メカニズムの実際上の運営に関する評価基準足り得ていないのである。

ピボタル・メカニズムの仕組みが複雑すぎるという議論は成り立たない。なぜなら、より複雑なナッシュ均衡のメカニズムであるグローブス・レジャーのメカニズム (Groves and Ledyard [7]) は、実験において良好に機能することが知られている。また、ある一定の資源を一方のプレイヤーが分け方を提案し、もう一方のプレイヤーがそれを受け入れるか拒否するかを決める最後通牒ゲーム (Ultimatum game) という非常に簡単なゲームでは、実験においてそのサブゲーム完全均衡が達成されないことが知られている (Roth et al. [9])。このように、経済メカニズム自身の複雑さによって経済メカニズムが機能するかどうかが決まっているわけではない。

そこでわれわれは、経済メカニズムの学習可能性という基準を新たに設けることを提案する。

定義 4.1 学習可能な経済メカニズムとは、そのメカニズムの機能をもっともよく表すような尺度が、知性ゼロの取引者によって十分よく達成され得るようなメカニズムのことである。

市場メカニズムについて言えば、「メカニズムの機能をもっともよく表す尺度」としてその配分の効率性をとることが適切であり (厚生経済学の第一定理)、そして「十分よく達成され得る」という基準は、理論的に予想される配分の効率性の9割以上を達成することとするのが妥当であろう。そして、学習可能性に関するこの基準で言えば、市場メカニズムは学習可能なメカニズムなのである。

限定合理性に関するさまざまなモデルがこれまで提案されてきた (Kawagoe [8])。これらのモデルは、経済主体の内部モデルを計算能力や情報処理能力において限界のあるものとしてモデル化してきたものであり、それなりの成果を上げてきたのであるが、本論文で示してきたように、経済主体は同一でも経済メカニズムが変われば達成される均衡もあれば達成されない均衡もあり、それがメカニズムそのものの複雑さによらないというパラドックスを解明するには十分ではない。

われわれの学習可能性の定義は、最小限の合理性しかもっていない知性ゼロの取引者を経済メカニズムの評価基準におくことを提案している。したがって、もしあるメカニズムが知性ゼロの取引者によって学習可能であることを示されたなら、それはより知性のある限定合理的な主体や合理的な主体、人間の被験者によっても学習可能であると推定することができる。逆に、知性ゼロの取引者によっては学習可能ではないメカニズムは、より知性のある主体によっても学習可能ではないかも知れず、現実にそのメカニズムを適用する際に、経済主体がそのメカニズムの構造をよく理解していなかったり、そのメカニズムが提供するインセンティブに十分に反応しない場合には、所存の性能を発揮し得ないと予想されるであろう。このように、知性ゼロの取引者にもとづく学習可能性の基準は、経済メカニズムの性能測定に関する極めて厳しい基準を提案していることになる。逆に、この基準をクリアするメカニズムは、市場メカニズムのようにかなり条件の悪い環境でもうまく機能すると言えるのである。

5 応用：抱き合わせ販売戦略の有効性

いまある独占企業が2種類の財を生産・販売しているものとしよう。それぞれの財を財1および財2と呼び、それぞれの単位生産費用は $c_1 = 20$ および $c_2 = 30$ であるとする。この独占企業の顧客はそれぞれ

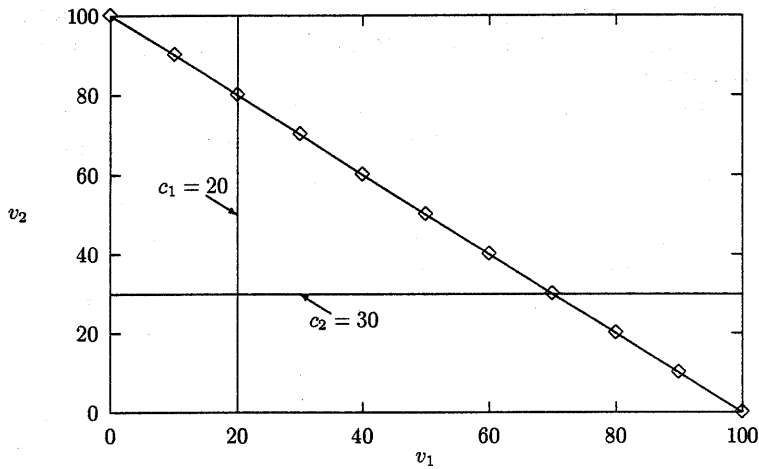


図 2: 留保価格の分布

の財を 1 単位だけ購入するものとする。これらの消費者は、それぞれ財 1 への留保価格 v_1 および財 2 への留保価格 v_2 に関して次のような選好をもっているものとする。

消費者のタイプ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
v_1	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
v_2	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

したがって、どの消費者にとっても $v_1 + v_2 = 100$ である。この選好の分布を横軸を v_1 、縦軸を v_2 としてこれらの消費者の留保価格をグラフ上に表したのが図 1 である。

グラフからわかるように、消費者の留保価格は

$$v_2 = -v_1 + 100$$

の直線上に並んでいる。すなわち、 v_1 と v_2 は負の相関をしており、互いに代替的な財であることがわかる。それぞれの消費者は独占企業によって提示されるそれぞれの価格が自分の留保価格以上ならば購入しない。また、企業はそれぞれの財を生産費用を上回る範囲で最大の利益を生むような価格を設定する必要がある。

これらの条件のもとでは、両方の財を個別に販売するよりも、両者の抱き合わせと個別販売の双方を組み合わせる混合抱き合わせ販売 (mixed bundled selling) の方が企業にとって最適な価格付けであることを、Adams and Yellen [1] が数値例で示している。しかし、消費者の選好に関して情報の非対称性がある場合には、こうして複数の財を販売する企業の最適な価格付けを解くことは非常に難しい問題となる。

この状況で、経済メカニズムの学習可能性を応用してみよう。独占企業が知性ゼロの取引者であると仮定して、個別販売と混合抱き合わせ販売という 2 つの経済メカニズムを比較検討してみよう。独占企業は知性ゼロであるから、その生産費用を下回らない範囲で価格をランダムに付けるものとする。価格の上限は 100 としよう。学習の尺度としては、企業が獲得した消費者余剰の量とするのが適当である。知性ゼロの取引者の成果を比較する基準になるべき理論的に予想される獲得可能な消費者余剰の量は、最適な価格付けを知らなくても独占企業の価格付けであるから、すべての消費者余剰を奪った場合となる。この場合の消費者余剰の 9 割以上を達成できれば、独占企業の販売戦略は学習可能であると言えるだろう。

このような設定のもとでシミュレーションすると、個別販売と混合抱き合わせ販売では、平均的に獲得した消費者余剰の量はほとんど変わらず、約3割から5割の間である。したがって、情報の非対称性のもとでの独占企業の価格付け戦略は、個別販売も混合抱き合わせ販売もともに学習可能ではないと言える。獲得できた消費者余剰の割合の分散は、混合抱き合わせ販売の方が個別販売に比べて圧倒的に大きい。すなわち、個別販売に比べて混合抱き合わせ販売では企業利益の浮き沈みが激しいのである。ただし販売数量から言えば、混合抱き合わせ販売ではすべての財が販売されることが非常に多いのに対して、個別販売では半数以上販売できることはまれである。したがって、最適な価格付けができないという非対称情報下の現実的な状況においては、収益を伸ばすなら個別販売戦略を、シェアをのばすなら混合抱き合わせ販売戦略を用いるべきである、という結論が導かれる。

参考文献

- [1] W.J.Adams and J.L.Yellen(1976) "Commodity bundling and the burden of monopoly", *Quarterly J.Economics* 90, pp.475-498
- [2] Clarke, E.H.(1971) "Multipart pricing of public goods", *Public Choice* 11, pp.17-33
- [3] Ephrati, E. and Rosenschein, J.S. (1991) "The Clarke tax as a consensus mechanism among automated agents", *Proc. 9th National Conference on Artificial Intelligence*, AAAI-91, pp.173-178
- [4] Friedman, D. and Sunder, S. (1994) *Experimental Methods: A Primer for Economists*, Cambridge University Press (内木哲也・川越敏司・森徹 訳・著『実験経済学の方法』NTT出版, 近刊)
- [5] Gode, D.K. and Sunder, S. (1993) "Allocative efficiency of markets with zero-intelligence traders", *J. Political Economy* 101, pp.119-137
- [6] Green, J. and Laffont, J.J. (1977) "Characterization of satisfactory mechanisms for the revelation of preferences for public goods", *Econometrica* 45, pp.427-438
- [7] Groves, T. and Ledyard, J.O. (1977) "Optimal allocation of public goods: a solution to the 'free rider' problem", *Econometrica* 45, pp.783-809
- [8] Kawagoe, T. (1997) "Complexity and Economics of Institutions", in *Complexity and Diversity*, Springer-Verlag, pp.183-192
- [9] Roth, A.V., Prasnikar, M., Okuno-Fujiwara, M., and Zamir, S. (1991) "Bargaining and market behavior in Jerusalem, Ljubljana, Pittsburgh, and Tokyo: An experimental study", *American Economic Review*, 81, pp.1068-1095
- [10] 川越敏司(1996)「電子マネー経済における取引メカニズムの設計」情報メディア・シンポジウム'96招待講演, 同論文集 pp.75-82
- [11] 川越敏司(1997)「変分原理による逆選抜問題の解法」mimeo
- [12] 森徹・川越敏司・曾山典子(1997)「ピボタル・メカニズムの有効性に関する実験的研究」, 帝塚山大学経済学部ディスカッションペーパー, J-107