

(続紙 1)

京都大学	博士（経済学）	氏名	石井 良輔
論文題目	Optimal Trading in Markets with Market Impact		
(論文内容の要旨)			
本論文は、証券市場における価格形成と取引量の関係を、大口かつ取引執行の責務を負った、もしくは、情報を持つ「機関投資家」による取引行動を中心に、戦略的相互依存と合理性の限界という視点から理論分析を試みた成果をまとめたものである。これらの分析においては、マーケット・インパクトと呼ばれる取引量と価格の関係が、外生的に与えられた分析が中心であった。これに対して、本論文では、投資家間の、さらには、マーケット・メーカーを含むゲームを考察するモデルを構築し、それをもとにした相互依存関係の観点から、マーケット・インパクトを内生的に捉えて、そのもとでの証券価格形成を分析したものである。分析ツールは、ゲームの均衡分析を中心としながら、実証的な観察結果との整合性を導くために、合理性の仮定を弱める設定を導入したりしている。大口取引執行問題ではなく、競争的マーケット・メーカーのもとでの価格形成という、伝統的な課題の一つを扱った第4章も、この意味ではマーケット・インパクトの分析を取り上げていると言え、かつ、進化ゲームのアイデアを中心に分析しているという意味で、第3章の分析と共通する視点によって、理論の結果を現実との整合性を保持させようという試みとして位置づけられる。 具体的には、第2章では、メインとなる大口取引執行問題を抱える機関投資家と、合理的に行動する小口投資家の間のゲームが分析される。大口取引執行問題は、一定量の証券を一定期間内に売却しなければならないという問題であり、実務的にも有用な問題として所与のインパクト関数に対応する解が導出され、提案されてきた。本論文では、小口投資家の行動も内生的に組み込むことによって、インパクト関数そのものを導出し、そのもとでの執行戦略を求めてその性質を検証することが可能になる。モデル上の必要性から、ノイズ・トレーダーと呼ばれる投資家の存在を前提にし、バックワード・インダクションの手続きによって解が求められる。導出された解の性質は、定性的には扱いにくいものとなるため、もっぱら数値解を用いて分析されている。パラメーターにも依存するが、機関投資家のリスク中立性と、小口投資家のリスク回避を反映して、多くの場合、売買が最終期に向かって急増するパターンとなる。これは、経験的に知られている、初期の段階で多くの執行が遂行されるというパターンとはかなり異なるものであり、さらなるモデル前提の一部修正の必要性を物語る結果となっている。 以上の限界をふまえて、第3章においては、投資家の合理的行動に対して、変更が施されたモデルが導入される。連日の取引のように、一定の有限期間の取引ラウンドが繰り返される状況を取り上げ、まず、1ラウンドのみの場合の「線形均衡解」が分析される。次いで、動学的状況が取り上げられ、機関投資家と小口投資家の“合理的行動”は、ラウンド内ではフィードバックのない戦略によって実行されるものと修正される。さらに、小口投資家は、合理的投資家と非合理的投資家に分類され、非合理的投資家は、価格の上下に伴って機械的に指値注文を出し、合理的小口投資家は、前ラウンドの価格情報に基づいて価格の先行きを予想して指値注文を、そして、大口取引執行問題に直面している機関投資家は、成り行き注文を、前ラウ			

ンドの注文情報を参照しながら出すものと仮定される。非合理的な投資家を導入する代わりにノイズ・トレーダーはこのモデルでは存在しない。

このプロセスが継続されるような動的過程は、マルコフ過程となり、その吸収状態が、検討の対象とされる。結果としては、期待通りに、取引は初期の段階で多くが執行されるというものとなる。これに対応して、価格は逆に低下することが観察される。

第4章のモデルにおいては、市場での取引量と価格調整の関係を、非対称情報の下で分析し、価格スプレッドの指数的収束から価格の情報効率性を確認した Easley and O'Hara のモデルが取り上げられる。そこでは、資産の将来価値に関する情報を持つ投資家が一定比率で存在し、競争的なマーケット・メーカーが逐次的に情報を持つか持たないかがわからない投資家と取引を行ってゆく。このモデルにおいて、情報の内生的取得を導入し、これを内生的市場参入とみなして、そのもとでの価格の市場効率性の検証を試みたのが本章である。

この問題に、先行論文のモデルをそのままそこで用いられた解法によって取り組むことは著しく困難をとまなう。そのため、ここでもマーケット・メーカーの記憶容量が有限であるという仮定を導入すること、また、繰り返しによって、毎回一人のトレーダーが情報獲得の意思決定を行うと言う動学的モデルに仕立て、それを進化ゲームの手法による解法を利用するというアイデアを用いている。投資家は、一定価格で情報を購入することが可能であるが、資産価値に影響するような情報が発生しているかどうかはあらかじめわからない。マーケット・メーカーの行動は、約定後の期待利益が0になるという競争条件によって与えられ、情報を得た投資家は確率1で売買いいずれかを行い、情報のない投資家は、微小確率で取引を行う。マーケット・メーカーの売買取引量に関する記憶が有限であるとき、過去の取引情報と情報に関するマーケット・メーカーの予想とを状態としてみなせばマルコフ過程となり、最終的には既約マルコフ過程の定常状態を求めるという方法によって、答えが求められる。

得られた解の性質として、売買価格の差であるビッド・アスク・スプレッドは、情報を得る投資家の比率と比例し、この関係を用いて、強い意味での情報効率性がこの場合でも成立することが確認された。また、この関係は価格差益が小さくなるにつれて、情報を獲得しようとする投資家が少なくなるという関係がここでも成立することを意味する。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、証券取引市場における取引数量と価格形成にかかわる課題を、ゲーム理論的手法を用いて分析した3つのマイクロ・マーケット分析から構成されている。最初の2つのモデルでは、大口取引執行問題と呼ばれる、機関投資家などによる、市場にとって無視できない大きさの一定数量の売却（購入）を最適に行う問題が取り上げられ、3つ目のモデルでは、マーケット・メーカーを介する取引市場における情報効率性が取り扱われている。また、最初のモデルではバックワード・インダクションの手法で解が求められているのに対して、後2者では、進化ゲーム的手法が取り入れられて、マルコフ過程を用いた解の特徴づけが採用されている。

大口取引執行問題においては、もっぱら、他の市場参加者との相互依存関係が取り上げられることがなく、超過需要関数と同等のマーケット・インパクト関数が、外生的に与えられたものとして分析されることが多かった。この問題に対して、大口取引執行問題を抱えた投資家の存在とその要執行証券量や期限などの内容が零細投資家との間で共有知識となっており、また、機関投資家は危険中立的であり、一人しか存在せず、ノイズがガウシアンであることなどの仮定に大きく依存してはいるものの、第2章での研究においては、ゲーム理論的設定を導入し、解を導くことに成功したことは、十分画期的なことだと評価できる。とくに、バックワード・インダクションによる解の導出は、膨大な計算作業を求めるものであり、この分野の特徴であるとはいえ、高く評価されるものである。結果の検証では、経験的事実と合致するような解のパターンが多くケースでは得られていないが、これを実現できるようなモデルへと進む重要な一步を提示したものとみなすことが出来る。

第3章における研究では、上述の大口取引執行問題のゲーム理論的分析において、バックワード・インダクションによって得られた解が示す取引の動学的特質が、数値分析上の妥当と考えられる多くのパラメーター値において、必ずしも適合しないという問題に答えるために、合理性仮定を一部修正し、進化ゲーム的手法によって解の性質を求めたものである。複数期から構成されるラウンドを単位として、最適反応をラウンドを単位とするという想定のもと、零細投資家群を合理的プレーヤーとそうでないプレーヤーに分割し、機関投資家を含めて、ラウンドごとに最適反応を計算する、そして、零細投資家は指値注文、機関投資家は成り行き注文によって取引を行うという着想は、自然なものと受け止めることが出来る。線形均衡に絞っていることに加えて、合理的でない零細投資家の行動に関する想定には、やや限定的な仮定が設けられているが、そのもとで解を導くことができるという見通しをつける上で必要な想定であったと考えられる。結果は、期待に沿うものであり、進化ゲームの分野での研究を手がけてきた、著者の洞察力がここにおいて有効に発揮されているといえよう。

第4章では、よりファイナンスの分野において広く認知されている、マーケット・メーカーの下での市場取引と、市場価格の情報の効率性の課題を取り上げている。キーとなるマーケット・メーカーの記憶の対象が取引量にかかわる情報であり、さらに、この記憶の容量が有限であるという想定を設けることによって、進化ゲーム的手法が用いられるような設定になっている点で、前章の論文と構造的に結びついている。情報のあるトレーダーともないトレーダーが区別されずに市場に登場する逐次取引モデルでの強い意味での情報効率性を示した先行研究において、情報の取得が内生的でない点を取り上げて、著者は、情報の取得を内生

化した上で、分析のために、マーケット・メーカーの記憶が有限であるという仮定を設けて、モデルに進化的設定を導入する。ここでも、著者の進化ゲームに関する洞察力と技術が有効に機能している。結果は、予想される通りに、情報取得を内生化した上でもなお、強い意味での市場の情報効率性が成り立つというものである。

以上の分析結果は、上でも一部ふれているように、強い仮定に依存している側面が多々ある。また、現実との整合性を求めるために進化ゲームの諸想定に解決を求めるのは、いささか性急にすぎるという批判もありえる。また、大口取引執行問題への答えという観点からは、実務者の要求に応えられるような執行戦略を提示する（先行論文では、期間を無限小にすることから、当てはめて計算すれば直ちに答えが求めることの出来る公式が導かれていた）という、本来の課題に答える段階にまで至ってはいない。しかしながら、ここで取り上げられた問題の多くは、分析の緒に就いて間もない問題が多い。したがって、このような問題点は、すべては将来にむかって取り組むべき課題であり、この研究において先鞭をつけたという点や、進化ゲーム分析をマイクロ・マーケット研究に取り入れたなどの点において、本論文の価値は依然として高いものである。

よって本論文は、博士（経済学）の学位論文として価値あるものと認められる。なお、平成22年1月21日、論文内容とそれに関連する試問を行った結果、合格と認めた。