

平成22年 5月25日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20830095
 研究課題名（和文） エージェントの認識過程を含んだ新しい意思決定理論の経済学・ゲーム理論における展開
 研究課題名（英文） Advance of a new decision theory involving cognition process of agent in economics and game theory
 研究代表者
 佐藤 崇（SATO TAKASHI）
 東洋大学・経済学部・助教
 研究者番号：30511331

研究成果の概要（和文）：量子論の考え方および圏論の概念を用いて、エージェントの認識を含んだ意思決定過程を定式化した。研究の過程で産業組織論のモデルにおける量子ゲーム理論の応用研究を行い、物理情報の分野で一定の評価を得た。

研究成果の概要（英文）：In this research, I formulated decision process involving cognition of agent by utilizing of some ideas of quantum theory and concepts of category theory. In the course of the research, I studied application of quantum game theory to some models of industrial organization and it was appreciated in the field of quantum information.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	500,000	150,000	650,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,000,000	300,000	1,300,000

研究分野：社会科学

科研費の分科・細目：経済学・理論経済学

キーワード：意思決定理論 チャンネル理論 量子ゲーム理論 圏論

1. 研究開始当初の背景

ある社会的な現象を社会科学的に捉えようとする際にわれわれはほとんどの場合、選択肢の集合とその上に定義された選好関係をプリミティブとし、多くは実数値関数によって表現されるエージェントの振る舞いを分析する。これは経済学であれゲーム理論であれ、すべての数理的な社会科学が用いる分析手法であり、その基盤となっているのが、選好関係における最大元、あるいは、選好関係を表現する実数値関数の最大値を与える

要素を選択することをもって合理的な選択と見なす意思決定理論（以後「合理的意思決定理論」と呼ぶ）である。

しかし、合理的意思決定理論の上に展開された諸理論が導く結論が必ずしもわれわれの現実の選択行動を説明しないということは、近年注目を浴びた行動経済学や実験経済学の成果に言及するまでもなく、われわれ自身の素朴な実感に照らしてみても明らかであるように思われる。ところが行動経済学や実験経済学の結果を説明しようとする意思

決定理論(以後「行動意思決定理論」と呼ぶ)としては、従来の合理的意思決定理論の枠組みに時としてアドホックな変更を加えただけのものがバラバラに唱えられ、統一的な理論体系を備えるには至っていないように見える。

他方で、合理的意思決定理論の本質的な困難を指摘する研究者も存在する。たとえば、同一のエージェントが同一の意思決定問題で異なる選択を行なうタイプの問題に関連して、Arrow は、選択肢の集合に属する要素がどのように記述されようが、同じ選択肢の集合から選出される選択肢は常に同一であること、この暗黙の仮定を(合理的意思決定理論の)「あまりに基礎的であるがゆえに意識することが難しいほど基礎的な要素」であると、この「あまりに基礎的な」仮定の問題を指摘している。

これに対し、研究代表者は、坂原樹麗東京大学特任研究員による論文“Construction of Preference and Information Flow: I. General Theory,” COE-DP F-215 (2008)において、既存の枠組みが欠いていたのは「エージェント自身の認識」であるとして、意思決定問題におけるエージェント自身の認識過程を形式化した。従来の合理的意思決定理論においては、選択肢の集合とその要素の外延上の選好関係をプリミティブとして予めリサーチャーが定義する。これに対し、上記論文では、たとえば「選択肢 A よりも選択肢 B を好む」という選好関係は、「エージェントが内包的に表現された選択肢 A よりも B の方が好ましいと認識した」結果として形成されるとするのである。

以上のような背景の下に本研究は行われた。

2. 研究の目的

本研究の目的は、上記論文によって提示された、エージェントの認識過程を含んだ新しい意思決定理論の枠組みをエラボレートし、伝統的な合理的意思決定理論の上に展開されてきた経済学やゲーム理論と、その枠組みでは整合的に説明できないとされてきた「非合理的」な選択行動の説明の双方に適用し、合理的意思決定理論/行動意思決定理論という分割を超えて、両者を特殊ケースとして含むような、人間行動の一般的かつ説得的な理論構築のための基盤を整備することである。

3. 研究の方法

上記論文においては、論理学者・計算機科学者である Barwise と Seligman によって考案された「チャンネル理論」を用いて、エージェント自身が選好を形成する様相を記述した。人間の認識は、常に「何かについての」

認識である。つまり、認識の「対象」と「内容」を要素として含む。哲学において「志向性」とも呼ばれるこの性質を捉えるために、認識の対象としての「トークン」、認識の内容としての「タイプ」、およびそれらのあいだの関係の「二項関係」の三つ組みである「分類」を基本的構成要素とするチャンネル理論は、エージェントの認識をモデルするために適している。当初はこの数学的枠組みのみを用いることを考えていたが、研究の進展に従って、この道具立てのみでは不十分であると感じられたことから、新たに量子力学・量子情報理論の数学的構造や、数学・計算機科学で用いられる圏論を学習・導入して研究を進めた。

4. 研究成果

上記論文の枠組みにおいては、エージェントは選択問題に際して選択肢を「観察」し、エージェントが持つ「欲求」を多く「満たす」と「推論される」選択肢をより「選好する」とされる(「」内のそれぞれについて、数学的定式化がなされている)。しかし、この枠組みにおいては、われわれ自身が日常経験し、また、ある種の選択実験においてもしばしば重要な役割を担う、「観察」によって「欲求」が変化する、あるいは喚起されるという事態の記述が困難であるという問題が生じ、この問題を解消するために量子論の数学的枠組みが必要とされた。量子論においては、量子状態は複数のありうる「状態」が同時に重なり合っており、状態を「観測」することによって、重なり合っている状態の一つが確率的に実現する、とされる。このアイデアを選択問題に適用し、外延的には同じ選択肢であっても、内包的に異なる選択肢を「観察」することによって「状態」としての「欲求」が変化し、それが異なる選好を形成し、選択行為において「観測」されると考えるのである。

量子論の学習の過程で、ゲーム理論における「戦略」の概念を量子論の枠組みで表現することで数学的に拡張した「量子ゲーム理論」の分野で価値を認められる成果を得たので、以下にそれを記す。

「5. 主な発表論文等」の“Uniqueness of Nash Equilibria in a Quantum Cournot Duopoly Game,” (2010) Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical, 43, 145303 (with Yohei Sekiguchi and Kiri Sakahara)において、研究代表者は、複占市場で2つの企業が数量競争をする状況で、量子ゲーム的拡張がもたらす帰結を考察した。この論文では、上記の状態の「重ね合わせ」の他に、もう一つの重要な量子論の特徴である「エンタングルメント」を導入した。これは、エンタングルした2つの粒子の一方

を「観測」すると、両者が物理的に離れていても他方の観測結果に影響するという、2つの粒子のあいだの相関を表す概念である。本論文では、2つの企業の生産量がエンタングルしている、すなわち、片方の企業の生産量が他方の企業の生産量に影響を与えるという設定の下で、その影響の程度をパラメータ化して、そのパラメータの変化がもたらす帰結を考察した。パラメータの値がゼロのときは全く相関がなく、パラメータの値が大きくなるにつれて相関の程度も強くなるとし、パラメータの値がゼロのとき、3つのナッシュ均衡が存在する、複数均衡のモデルを考察した。結果として、(1)エンタングルメント・パラメータの値が大きくなるにつれて、均衡の数は $3 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ と変化する、つまり、相関がある程度大きくなると複数均衡は消え、均衡は唯一になること、(2)エンタングルメント・パラメータの値が無限大に発散すると、唯一の均衡においては、2つの企業の利潤の合計が最大になること、が示された。これは、パラメータの値が大きくなるにつれて、2つの主体がまったく独立に意思決定していた状態から、あたかも1つの主体が意思決定している状態へと連続的に移行することを意味している。本論文の意義としては(1)複数均衡の状況における均衡選択、(2)意思決定における複数主体の「内的な」相関をエンタングルメント・パラメータによって特徴付けしたこと、(3)従来はゲーム理論的な基礎付けがないと言われてきた、産業組織論における conjectural variation という概念の基礎付けの可能性などが挙げられる。

また、現在同じく物理学の英文雑誌に投稿中である “Existence of Equilibria in Quantum Bertrand Edgeworth Duopoly Game,” arXiv:1003.4649 (2010) (with Yohei Sekiguchi and Kiri Sakahara) は、2つの企業が価格競争を行なうベルトラン競争のモデルで、エンタングルメント・パラメータの変化によるナッシュ均衡の存在条件の変化を考察した。企業が市場需要よりも十分小さな生産能力しか持たない場合、均衡の存在条件は、片方の企業によって満たされなかった市場需要をどのように他方に割り当てるかという割り当ルールによって影響を受けることが産業組織論において知られている。「比例的割当 (proportional rationing)」は「効率的割当 (efficient rationing)」よりも現実の市場を説明するのに適した割り当ルールであり、後者はより理想化された市場モデルであるが、前者の方が後者よりも均衡の存在条件が厳しいという結果は、Bertrand Edgeworth paradox として知られている。本論文においては、エンタングルメント・パラメータが大きくなるにつれ

て、前者の存在条件が後者の存在条件に近づいていき、無限大に発散するとき両者は完全に一致することを示した。

以上2つの研究成果については、何よりも経済学者が量子物理の枠組みを利用して経済学の研究をおこなったことの意義が大きいと思われる。量子ゲーム自体は10年ほどの歴史があるが、ほとんどが物理学者や情報科学者によって量子情報理論の一分野として研究されてきたもので、量子ゲームの研究を行っている経済学者は世界でも数人、国内には知る限りは他におらず、経済学におけるゲーム理論研究のフロンティアを拓くものとしてとして価値があると思われる。

最後に、意思決定理論における研究成果について述べる。先述の量子論のアイデアに加えて、圏論の概念を用いて選択行動の変化を表現する図式の構築を試みた。「圏」とは、「対象(object)」と呼ばれるものの集まりと、「射(arrow, あるいは morphism)」と呼ばれる、ある性質(結合則と恒等射の存在)を満たす対象間の関係からなる数学的概念であり、抽象的な構造を表現するのに適している。また、複数の圏のあいだの特定の関係を表す概念として「関手(functor)」がある。本研究のベースとなる Sakahara and Sato(2008)に、量子論の考え方に着想を得た「観察」による「欲求」の変化の構造を導入し、それによって選好を形成する行為を、「観察」と「欲求」の構造を含んだ圏から、対象が射によって前順序の構造をもつような選好を表す圏への関手として表現することで、エージェントが外延的には同一の対象に異なる解釈を与え、選好を変化させる様相を定式化した。つまり、選好の圏の「対象」は同一であるが、「観察」と「欲求」の圏からの「射」の写し方が異なる結果として選好の圏の順序構造が変化すると考えるのである。この研究成果は2009年度中に理論の構築を終え、現在、6月中の発表を目処に論文を執筆中である。この論文では、合理的意思決定理論のアノマリーとして知られてきたいくつかの例を上記の枠組みにて説明する予定である。このような、人間の認識や推論といった知的行為の構造を圏論の考え方を使って抽出するという研究は、近年認知心理学などでも出始めてきたところであり、従来の経済学や意思決定理論が考慮してこなかったエージェントの認識を取り込むといった点においてもフロンティアを切り拓く研究として価値があると考えられる。

今後の展望としては、本研究を、量子意思決定理論と呼ばれる、本研究の開始と時を同じくして研究成果が出てきた、量子論の考え方に基づいた本研究とは別の新しい意思決

定理論との摺り合わせを行い、それを元にゲーム理論を量子論的にエラボレートしたいと考えている。現在の量子ゲーム理論は「戦略」を量子化したものであるが、直感的には、「ペイオフ」「信念」といった、ゲームのルールの構成要素のなかでも心的なものこそ、状態の「重ね合わせ」と「観測(=ゲームのプレイ)」による1つの状態の実現、というプロセスによる表現に適していると考えられるからである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計1件)

Yohei Sekiguchi, Kiri Sakahara, Takashi Sato. Uniqueness of Nash Equilibria in a Quantum Cournot Duopoly Game. Journal of Physics A:Mathematical and Theoretical, 43 145303, 2010.

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

出願年月日:

国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

取得年月日:

国内外の別:

〔その他〕

ホームページ等

arXiv.org

http://arxiv.org/find/quant-ph/1/au:+Sato_T/0/1/0/all/0/1

東京大学 READ

http://www.read-tu.jp/dp/sato_takashi/index.html

6. 研究組織

(1)研究代表者

佐藤 崇 (SATO TAKASHI)

東洋大学・経済学部・助教

研究者番号: 30511331