

| | |
|------------------|---|
| Title | 内海幸久君学位授与報告 |
| Sub Title | |
| Author | |
| Publisher | 慶應義塾経済学会 |
| Publication year | 2006 |
| Jtitle | 三田学会雑誌 (Keio journal of economics). Vol.99, No.2 (2006. 7) ,p.325(155)- 329(159) |
| JaLC DOI | |
| Abstract | |
| Notes | 学位授与報告 |
| Genre | |
| URL | https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN00234610-20060701-0155 |

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

論文審査担当者

主査 中村 慎助 (慶應義塾大学教授 (経済学部)
Ph.D.)

副査 山崎 昭 (一橋大学経済学研究科教授
Ph.D.
経済学博士)

副査 須田 伸一 (慶應義塾大学教授 (経済学部)
Ph.D.)

学力確認担当者

中山 幹夫 (慶應義塾大学教授 (経済学部)
理学博士)

塩澤 修平 (慶應義塾大学教授 (経済学部)
Ph.D.)

内海幸久君学位授与報告

報告番号 甲第 2490 号

学位の種類 博士 (経済学)

授与の年月日 平成 17 年 10 月 13 日

学位論文題名 Individual Decisions and Co-
operation in Strategic Form
Games

(個別意思決定と戦略形ゲームにお
ける協力について)

内容の要旨

われわれの社会において、利害対立する企業の業務提携、国家間の同盟関係など、人々や組織の間の提携関係の形成がしばしば見受けられる。実際、EU の出現や地球環境問題などの国際会議、外交交渉等に見られるように、経済主体同士がコミュニケーションや協調をしながら利害を調整するという状況は多数存在すると考えられよう。このような社会現象の数理的な分析は経済学やゲーム理論を用いて分析が進んできている。

本研究は、社会現象の数理的な分析の基礎を与える意思決定理論やゲーム理論をめぐる問題に関して、価値基準や価値判断を重視する規範的な接近、心理や行動学の立場を重視する実証的な接近の二種類の分析視角から基礎的な研究を与えるものである。

フォン・ノイマンとモルゲンシュテルンの研究書“Theory of Games and Economic Behavior” (1944) にて具現されているように、意思決定をめぐる研究は、対象となる主体間の関係から大きく三種類に分類されて考えられている。第一は、主体が 1 人のケース、第二は、主体が複数人存在するケース、第三は、複数人の主体間に提携が許されるケースである。

第一のケースでは、選択肢の集合とその上の選好関係から問題を構成し、どのような時に、選好が関数として表現できるのか、また、その関数がどのように表現され得るのか、望ましい価値判断とは何かが中心的課題となっている。第二のケースでは、複数人の意思決定問題になるため、相手がどのような行動をとってくるのかという予想が重要な働きをする。非協力ゲームの用語を借りると、戦略形ゲームと呼ばれ、主体が一人になると第一のケースに帰着される。第二のケース

では、各主体が独立に行動すると想定されている。この独立に行動するという構造を緩め、複数人による提携を許した概念が第三のケースである。グループ内はコミュニケーションを行い、互いの行動を協調することができる。一方で、各グループ同士は非協力的、戦略的な対立状況にある。その為、各主体が提携できないという提携構造によって第二のケースが表現できる。上記の三種類の範疇から本研究は構成される。

1章 Introduction では、個別意思決定と戦略形ゲームにおける協力に関する系譜や問題を明らかにした上で、本研究の目的と意義、結果を要約している。

2章 Decision Theory は、第一のケースに相当する。フォン・ノイマンとモルゲンシュテルンによって提唱された期待効用理論は、不確実性下の意思決定での主要な分析ツールとなっている。この分析手法は、状態に関する確率が意思決定主体に知られている時に有効である。この状態に関する確率が知られていない場合に期待効用の理論を拡張したのが、サベッジやアンスコンベとオーマンらによる主観的期待効用の理論（主観確率の理論）である。この手法は、意思決定主体が状態に対する確率付けを知らなくとも、意思決定をする際には、あたかも事象に確率を割り振り、その期待効用を計算しているというものである。主観的確率の理論は、規範的な解釈としては、どのように意思決定をするべきかを与え、実証的な解釈としては、まさに主観的期待効用の想定するように意思決定されていると考えるものである。

本章では、主観的な確率を割り振るような状況、つまり、状態に関する確率が未知の場合であっても、類似の状況が繰り返し起こることで、主体が真の確率を学習していくということを証明した。具体的には、意思決定主体の学習構造を情報増大列を伴う確率空間によってモデル化する。主体の形成する主観的な条件付確率の推移を追跡することによって、主体の学習によって、どのような確率を形成していくのが分析できる。このような枠組みの下で、主観的な条件付確率が収束するという定理を証明した。このような情報増大列による学習理論のアプローチによって、主観的期待効用理論と期待効用理論の関係を明らかにしたことが主要な貢献である。この帰結によって、実証的な解釈を持つ主観的期待効用の理論と、規範的な解釈を持つ期待効用の理論との関係が明確になる。更に、その関係から、意思決定を繰り返していくうちに、より精度の高い情

報を利用することができるという知見が得られる。

3章 Strategic Form Games は、第二のケースに相当する。戦略形ゲームの状況は、戦略的な依存関係にある状況をモデル化する有用なツールとして広く利用されている。このツールを利用するには、いくつかの重要な仮定が課される。ゲームを行うプレイヤーや分析をする分析者は、どのような戦略があるのか、また、どのような結果になるのかなどの様々な条件を知っていかなくてはいけない。しかし、このような条件を満たすことは、社会現象をモデル化するにあたって、非常に非現実的であると批判されることがある。特に、情報が不完全であるという経済・社会問題を分析するのに有効な手段である不完備情報のゲームは、common prior assumption と呼ばれる、事前確率に関する仮定が必要とされている。この、common prior assumption は、数学的な仮定である等の批判もあり、従来から、多くの正当化が考えられている。例えば、ハルサーニやオーマン、サメットらである。しかし、その多くは、何らかの情報（互いの戦略の情報や確率の構造など）が主体の間で、共有知識になっているということを仮定しなくてはいけなかった。

本章の意義は、common prior assumption を共有知識の仮定を利用せずに正当化することである。それによって、主体が主観的にゲームを予想していても、やがては、common prior assumption のような状態、つまり、主体間で共有の事前確率を持てるという状態が達成されることが正当化され、より、根本的な理由からのアプローチが可能になったといえる。本章では、プレイヤーがゲームを主観的に想定し、繰り返し類似の状況に遭遇すると情報を更新していくことをモデル化して分析を進めた。情報の更新は、数学的には、情報増大列という形で記述される。情報増大列に適合するような確率を考えると、条件付の確率はやがて収束していくことを示すのが本章の基本的な定理となる。

主要な結論は、不完備情報のゲームは、正の確率で各主体にとって共有知識になり、その結果、ゲームに割り振られる確率が、共有の確率になることが分かる。また、完備情報のゲームは、確率1で各主体にとって共有知識になることも分かる。この定理により、共有知識を仮定しなくても、学習という過程を通じて、やがては、不完備情報ゲームを知覚できることが確認される。また、通常のゲーム理論で展開される様々なモ

デルは、不完備情報ゲームの収束先として表現されることがわかる。

4章 Strategic Form games with Coalitions は、第三のケースに相当する。国際会議の開催や貿易交渉、EUの加盟問題にみられるように、各国の代表団はそれぞれ利害が対立するものの、交渉をまとめるべくコミュニケーションを繰り返し、協調的な行動をとることが多々あると思われる。例えば、共有資源が過剰利用されるといふ共有地の悲劇は、利害対立と協力的行動の両方が観察される問題の一例として考えられている。当事者達が非協力的に振舞い続けるのならば共有資源はやがては枯渇してしまう。しかし、当事者達はいつも非協力的に振舞うだろうか。仮に、コミュニケーションが十分になされるならば、協力的な行動をとる可能性も十分にある。実際、4.3にて十分なコミュニケーションがなされるならば協力現象が発生することが示される。本章では、これらの社会現象を説明できるような一般的なフレームワークを提示し、分析を試みる。

4.2では、公共財経済を対象とする。公共財という外部性が存在する経済において、その経済のコアがプレーヤー達のどのような戦略的提携行動によって達成されるかを考察する。そのため、プレーヤー同士の提携と逸脱を考慮した均衡概念である強均衡を利用し、これと公共財経済から構成されるコアとの関係、さらに古典的な α -core や β -core との関係进行分析した。本章では、公共財経済から形成される公共財供給ゲームの自己援助型の強均衡とコアが一致するというを示した。

公共財経済のもとでプレーされる戦略形のゲームを定義する。プレーヤーの戦略は、各人が他人に私的財をどれくらい移転するのかを記述する私的財の取引量と、自分一人でどれくらいの公共財を必要とするのかという公共財量の組から成る。ひとたびプレーヤーたちの戦略(取り引き量)が決定されると、それぞれの取引が整合的であれば取引が成立する、という配分規則によって、財の移転が行われる。プレーヤーたちの利得は、配分規則によって実現する配分からの効用で与えられる。また、提携は自由に許される。このように構成される戦略形ゲームを、ここでは公共財ゲームと呼ぶ。公共財ゲームに SSCE (self-supporting coalitional equilibrium) という概念を導入する。SSCE とは、提携内部での公共財の補填が可能な提携が自由に逸脱することができる状況を考えた強均衡とみなせる。

SSCE から生成される配分と公共財経済のコアが等しくなるという結果を示した。次に、公共財経済のコアと戦略形ゲームにおける古典的な α -core や β -core との関係を明らかにした。主要な帰結は、「SSCE=コア」、「空集合= β -core \subset α -core=弱パレート」のようにまとめることができる。このように、本来、戦略を捨象した協力ゲームの概念であるコアが、戦略形ゲームの自己援助的な逸脱のない均衡として記述されることが明らかとなった。

これらの状況を非対称情報のある状態へ拡張したのが 4.3 である。提携形成が許される戦略形ゲームに非対称情報を導入して協調行動が発生する条件を探る。本節では、より一般的な状況下にて、非対称情報を持つプレーヤー達がコミュニケーションを通して互いに協調を達成するのかについて分析を展開した。最初に、Bayesian ゲームを利用してコミュニケーションと協調の関係について議論する。各プレーヤーが持つタイプを主観的な情報と考え、この情報がコミュニケーションを通してどのように共有されるのかについて考察する。本節の主要な結論は、コミュニケーションを通して互いに情報が正確になるような状況下では、協調行動が達成されるということである。この定理は、水面下でのコミュニケーションによって利害対立を回避しようとする社会現象の説明に一石を投じるものと考えられる。次に、各主体がコミュニケーション時に自分のタイプについて真のタイプを報告しない可能性があることを考慮する。近年、研究が盛んになっている情報の経済学の成果を導入し、誘引両立制約を考慮に入れた協調行動の関係について分析を行う。誘引両立制約がある場合においても、特殊な状況下ではコミュニケーションを通して協調行動が芽生えることが明らかになった。本章の定理は、限定的ではあるが、利害対立の状況を真の情報を述べつつ回避するには、コミュニケーション以外の条件が必要になることを示唆していると解釈できる。本章を通し、コミュニケーションが協調行動という現象の創出にとって重要な役割を果たしていることが明らかとされる。

5章 Conclusion では、以上の結果を総括している。

論文審査の要旨

内海幸久君の学位請求論文「Individual Decision and Cooperation in Strategic Form Games」は、

個別主体の意思決定問題および戦略型ゲームに関する同君の研究をまとめたものであり、その内容によって大きく二つに分けられる。一つは客観的確率分布が主観的確率分布に収束することを示すことにより、期待効用理論の前提とベイジアン・ゲームにおける「共有事前確率の仮定」を正当化するロジックを探る研究であり、ゲーム理論の基礎的研究といえる。他方は、提携を認める戦略型ゲームの研究であり、公共財経済における協力行動の特徴づけと、非対称情報下での α コアの存在定理が主要な内容である。どちらの研究においても新しい結果が得られており、ゲーム理論の経済学への応用という観点からも評価される内容を含むものとなっている。

各章の内容を詳しくみていくと、第1章の序章に引き続き、第2章では個別主体の意思決定問題が取り扱われる。そこではまず2.1節、2.2節において確実性下および不確実性下の決定理論が手際よくまとめられており、とくに主観的期待効用の理論については、シュマイドラー、アンスコンプ＝オーマン、サベッジの定理が紹介されている。そのうち、2.3節において客観的確率分布に基づく期待効用理論と、主観的期待効用理論の関係が考察されるが、そこではつぎのような想定がなされている。すなわち、毎期に所与の確率分布にしたがってある状態が実現し、意思決定主体は状態の実現値を観察するが、その確率分布については主観的に予想するという想定である。このとき、主観的確率分布に関して、所与の確率分布（客観的確率分布）が絶対連続であるならば、各期までの情報に基づく主観的な条件付き確率分布が、客観的な条件付き確率分布に収束するという命題が証明される（定理2.6）。これは、各期における主観的期待効用が「学習」により客観的期待効用に収束することを意味しており、客観的期待効用理論を正当化する条件を示しているといえる。

つぎの第3章ではベイジアン・ゲームの基礎付けが取り扱われる。まず3.1節、3.2節において予備的な考察がなされたのち、3.3節において不完備情報ゲームとベイジアン・ゲームが定義され、ハルサーニによる「共有事前確率の仮定（common prior assumption）」が説明される。この仮定は、すべてのプレイヤーが共通に利用可能な情報のみを用いて予想を形成すれば、彼らがプレイヤーのタイプに関して同一の事前確率をもつであろうという想定であり、ベイジアン・ゲームを定義する上での前提となるものである。本章の主要な

貢献は、前章と同様の手法を用いて、共有事前確率の仮定の正当性を示した点にある。すなわち、プレイヤーが真のゲームに関して主観的な事前確率をもっている場合でも、毎期にプレイされるゲームを観察することにより、主観的な事前確率が客観的な事前確率に収束することが示されるのである（定理3.3）。共有事前確率の仮定を正当化する従来の研究が、ゲームの構造に関する何らかの共有知識を前提としていたのに対し、本章の議論ではそれを必要としないという点が評価される。

第4章は提携戦略型ゲーム、すなわちプレイヤー同士の提携を許した戦略型ゲームの分析を扱っている。4.1節で、提携戦略型ゲームの解概念である α コア、 β コアおよび強均衡が定義され、それらの存在に関する先行研究が紹介されたのち、4.2節で公共財経済への応用が扱われる。そこではまず、公共財経済を記述する提携戦略型ゲームが定義されるが、それは私的財の他のプレイヤーへの移転量と、公共財の追加的生産量を各プレイヤーの戦略とするような戦略型ゲームである。このとき、ある提携による逸脱を考えると、提携に加わらないプレイヤーが生産した公共財であっても、提携内のプレイヤーが消費することが可能になる（公共財の非排除性）のに加え、提携外から当該提携への私的財の移転も発生してしまう。そこで本論文ではまず、そのようなフリーライドを認めない逸脱（自己援助的な逸脱、self-supporting deviation）を定義し、自己援助的な逸脱のみを考えた場合の強均衡をSSCE（self-supporting coalitional equilibrium）と定義する。本節の貢献の一つは、このSSCEが公共財経済のコアに一致することを証明した点にある。これにより、公共財経済における協力行動が、自己援助的な逸脱という概念を通じて提携戦略型ゲームの強均衡として特徴付けられることになる。またこのとき、 β コアは空集合に、 α コアは弱パレート効率的な配分の集合に一致することも示される。

4.2節におけるもう一つの貢献は、戦略変数が非負制約を満たす場合のコアの特徴付けを行った点にある。ここでの主要な結論は、公共財経済のコアが、提携戦略型ゲームの α コアおよび β コアに一致するというものであり、非負制約がない場合の結論と対照的になっている。本節において、提携戦略的ゲームを用いることにより、公共財経済のコアにおける各プレイヤーの行動を明らかにしたことの意義は大きい。

4.3 節は、提携戦略型ゲームのベイジアン・ゲームへの拡張を行ったものであり、非対称情報下でのプレイヤー間のコミュニケーションが新たな考察の対象となっている。本節では、プレイヤーの行動の決定が各自のタイプの観察前に行われると仮定されるので、 α コアが「事前」 α コアと呼ばれている。ここでは、プレイヤーが提携することにより提携内で情報のやり取りが可能となり、それをどのように定式化するかという問題が生じる。実際、これまでの研究においては、情報交換の仕方はかなり特定した上で、事前 α コアが存在するための十分条件を求めるといことが行われてきた。それに対して本論文では、情報交換の可能性をコミュニケーション系として一般的に記述し、その下で事前 α コアが存在するための十分条件を求めており、従来の研究にはない結果が得られている。

本節の主要な結論は、提携内の情報が完全に共有される場合、または情報の共有が全く生じない場合には、事前 α コアが存在するというものである（定理 4.5）。またそれ以外の場合でも、当該のベイジアン・ゲームが「 α 協力効果」と呼ばれる条件を満たすならば、事前 α コアの存在が保証される（命題 4.7）。ここで α 協力効果とは、提携によって有効であるどんな配分も、プレイヤー全体からなる提携によって支配されるという条件である。さらに本節では、誘因両立制約を考慮した上での事前 α コアの存在条件も求められている（定理 4.6）。

以上のように、本論文は期待効用理論とベイジアン・ゲームについて「学習」の観点からの正当化を与え、また提携戦略型ゲームの α コアの存在条件を考察することにより、プレイヤー間の協力的行動に関して精緻な分析を行ったものである。各章は、本文中で用いられる概念の定義や仮定からはじまり論理的に構成されているほか、自発的貢献ゲームなどの数値例が多数あげられて、抽象的な命題の意味を明確化するのに役立つ。ゲーム理論が経済学に応用されて久しいが、本論文の研究によって、産業組織論や情報の経済学への応用可能性が広がることが期待される。なお、本論文の研究の一部は *International Game Theory Review*, *Keio Economic Studies* などの査読付き雑誌に掲載されていることもつけ加えておく。

最後に問題点を指摘すれば、4.3 節において、コミュニケーション系の構造に関してもう少し突っ込んだ議論があってもよかったという点があげられる。提携内

でどのように情報が伝達されるかということは、提携の人数にも依存する可能性があり、それを調べるには展開型ゲームが必要になるかもしれない。また、コア以外の解概念を用いる可能性についても検討の余地があると考えられる。

しかしながら、本論文のゲーム理論と経済学に対する貢献は十分に高く評価できるものであり、審査委員会は全員一致で当論文が博士（経済学）学位付与にふさわしい研究であると判定するものである。

論文審査担当者

主査 須田 伸一（慶應義塾大学教授（経済学部）
Ph.D.）

副査 川又 邦雄（慶應義塾大学名誉教授
Ph.D.）

副査 中山 幹夫（慶應義塾大学教授（経済学部）
理学博士）

学力確認担当者

丸山 徹（慶應義塾大学教授（経済学部）
経済学博士）

尾崎 裕之（慶應義塾大学教授（経済学部））