

一橋大学博士学位請求論文 要旨

論文題目: Coordination, Cooperation, and Collective Decision

(邦題: 協調, 協力, および集団的意思決定について)

中田里志

2018年2月20日

1 研究の目的と背景

社会的に望ましい帰結が達成可能か否かは, 人々の間での協調・協力が達成可能か否かに大きく依存する. ある集団において, もし共有された目的が存在すれば, 人々の自発的な行動によって協調・協力を達成することは比較的容易のように見える. しかし, しばしば個人の目的と集団の目的は対立するため, 人々の中の協調・協力の達成は容易ではない. このような個人と集団の利益が対立する時に, どうすれば協調・協力を達成できるかを分析することは経済学の中心的な課題と言える. 本論文では, 人々の中での協調・協力はどのような場合に達成されるのかという問題に関して, 特に (1) 望ましいルールを自発的・戦略的行動の結果として人々に達成させるにはどのように制度設計を行えば良いのか, (2) どのような資源配分ルールが規範的に望ましいか, という点について考察する.

1.1 論文の構成

本論文は, このような二つの観点に基づき, 人々の協調・協力の達成に関して分析した以下の五つの研究からなる.

- Chapter 1: Risk and Ambiguity in the Twin Crises
- Chapter 2: A Shapley Value Representation of Network Potentials
- Chapter 3: Two-sided Matching under Irrational Choice Behavior
- Chapter 4: The Weighted Egalitarian Shapley Values
- Chapter 5: Robust Voting under Uncertainty

Chapter 1 から Chapter 3 での研究は一つ目の観点である, 人々の自発的な協調・協力を達成するためにどのように制度設計を行えば良いかについて考察している. Chapter 4 から Chapter 5 では, 二つ目の観点である, 規範的な観点から資源配分ルールと投票ルールの望ましきについて考察している. 以下では, 各章の研究について概説する.

2 各章の内容

2.1 Risk and Ambiguity in the Twin Crises

本章では, ナイト的不確実性下において, 情報の精度が金融危機の発生にどのような影響をもたらすかについて研究する.

銀行取付や通貨危機などの金融危機は, その後の経済活動の停滞など, 社会的に望ましくない帰結を生むため, 金融危機の発生メカニズムを特定し, それを防ぐための手立てを探る研究が精力的に行なわれている. ゲーム理論的には, このような金融危機はしばしば戦略的補完性を満たす協調ゲームとして分析され, 金融危機の起きる悪い均衡と, 金融危機の起きない良い均衡の二つが現れる. どちらの均衡が生じるかは, 人々の自己実現的信念によるが, 経済のファンダメンタルズに関して不確実なシグナルを受け取り意思決定を行う場合には, そのシグナルにより金融危機が生じるか否かを特徴づける唯一の均衡が存在し, 優れた理論予想が得られることがグローバル・ゲームと呼ばれる研究の応用として知られている (Carlsson and van Damme, 1993; Morris and Shin, 2003).

どのようなシグナルを受け取るかについて, 人々は複数の可能性を考えることがありうる. 例えば, ECB や日本銀行などの中央銀行は, ファンダメンタルズがどう推移するかといった情報を公開する際, 複数のシナリオを提示するファン・チャートというものを公開している. 一つ一つのシナリオは, 異なる確率分布を理論的に推計し割り出されたものだが, どれが正しい確率分布であるかというとは, この情報を受け取った人々の個人的な解釈によるというのが自然である. この時, 必ずしもベイズ的に各シナリオに重みをつけて信念形成を行うだけでなく, それぞれのシナリオを個別に考え, 最悪なケースに注目して意思決定を行うこともありうる. このような意思決定者をナイト的不確実性に直面した意思決定者と呼ぶ.

具体的に, 次のような場面を考える. 人々の受け取るシグナルは, 真のファンダメンタルズの値からバイアス分だけずれた値 $\mu_i \in [-\eta, \eta]$ を平均とし, 分散 σ^2 の正規分布に従うとする. μ_i の真の値は $[-\eta, \eta]$ のいずれかであるが, どれが真の値はわからないため, その大きさが不確実性の大きさであると定義する. 同様に, リスクの大きさは σ^2 の大きさを用いて定義し, 二つのパラメーターの組 (σ, η) により情報構造を記述する. また, 人々は意思決定において, 相手の行動を所与とした下で最悪の結果を考えて行動するマキシミン型の意思決定者であるとする (Gilboa and Schmeidler, 1989). ナイト的不確実性下のグローバル・ゲームにおいて, 不確実性の程度が増大すると, 人々は自分の利得が相手の行動の結果に依存しないより安全な行動を取るようになることが, Ui (2015)

により示されている。この結果が含意するのは、銀行取付のように金融危機を発生させる協調が安全行動である場合にはより金融危機が起こりやすくなり、通貨危機のように金融危機を発生させない協調が安全行動である場合には金融危機が起こりにくくなるということである。このような金融危機は、単一で起こることもあれば、双子の危機と呼ばれる現象のように両者が伴って起こることもある。では、不確実性は双子危機にはどのような影響を与えるであろうか。Kaminsky and Reinhart (1999) が実証的に明らかにしているように、双子危機の経済損失は個別の危機に比べ大きい。このような場合に情報がどのような影響を与えるかを分析することは重要である。

本研究の主要な結果は、Goldstein (2005) による双子危機の分析をナイト的不確実性下に拡張し、双子危機が生じる確率を減少させるためには、リスクと不確実性をどのようにコントロールすれば良いかを明らかにしたことである。Ui (2015) では、単一の危機においては不確実性の程度の増減がもたらす帰結は真逆であった。双子の危機の下では、市場間の波及効果を示すパラメーターが適切に定義でき、銀行市場から通貨市場への波及効果が大きければ不確実性がより小さい方が双子危機の発生確率を下げ、逆に、通貨市場から銀行市場への波及効果が大きければ不確実性がより大きい方が双子危機の発生確率を下げることを示した。不確実性の程度と同様に、双子の危機の発生確率を下げるためには、リスクが大きい方が良いのか、小さい方が良いのかについての特徴づけも行った。二つの分析を総合し、現在の情報構造を所与とした時に、どのようにリスクと不確実性をコントロールすれば良いのかに関して最適な組み合わせを求め、これがゲームのパラメーターに依存し十二パターンに分類できることを示した。

2.2 A Shapley Value Representation of Network Potentials

人々が戦略的にネットワーク形成を行うネットワーク・ゲーム (Jackson and Wolinsky, 1997) と呼ばれるゲームにおいて、安定的なネットワークが存在するか否かはゲームの構造に依存する。必ず安定的なネットワークが存在するゲームのクラスとして、ゲームがネットワーク・ポテンシャルという関数を持つクラスがある。本章では、ネットワーク・ポテンシャルを持つネットワーク・ゲームのクラスの特徴づけを行う。

ネットワーク・ポテンシャルという概念は、Jackson (2003) でインフォーマルな形で導入され、厳密な定義は Chakrabarti and Gilles (2007) により与えられた。もし注目しているゲームがネットワーク・ポテンシャルを持てば、この関数はあたかも代表的プレイヤーの利得関数のように機能し、各プレイヤーの利得に関する情報はポテンシャル関数に集約される。その結果、この関数の最大化問題を考えることで、安定的なネットワークの存在が保証される。このように、分権的な意思決定に秩序をもたらす制度としての役割を担うことがポテンシャル関数の大きな特徴である。

ネットワーク・ポテンシャルがどのような場合に存在するのかについて、協力ゲームの配分ルールの一つであるシャープレー値 (Shapley, 1953) と密接な関係があることが Jackson (2003) と Chakrabarti and Gilles (2007) の結果により知られている。しかし、完全な関係性は示されておら

ず未解決のままであった。本研究では、「ネットワーク上の協力ゲーム」という新たな概念を導入することで、ネットワーク・ポテンシャルとシャープレー値との関係を明らかにし、ネットワーク・ポテンシャルが存在するための必要十分条件を与えている。本研究の主要な結果は「ネットワーク・ポテンシャルが存在することの必要十分条件は、あるネットワーク上の協力ゲームが存在して、各プレイヤーの利得関数がこの協力ゲームのシャープレー値と一致することである」という特徴づけである。Jackson (2003) と Chakrabarti and Gilles (2007) が発見したネットワーク・ポテンシャルとシャープレー値の関係性に関する考察は、この結果の系であり、それに関する簡便な別証明を与えた。

Chakrabarti and Gilles (2007) もネットワーク・ポテンシャルが存在するための特徴づけを与えているが、この結果は、ネットワーク・ポテンシャルが存在するか否かを検討するために一度非協力ゲームに分析を置き換えることを要求しており、直接ネットワーク・ゲームに適用可能な形になっていないという欠点がある。一方、本研究の結果はネットワーク・ポテンシャルが存在するか否かを検討するためには各プレイヤーの利得構造がどうなっているかのみに着目すればよく、直接適用可能であるという利点がある。

メインの結果の証明のアイディアは、非協力ゲームのポテンシャルとシャープレー値および協力ゲームのポテンシャルとの関係を考察した Ui (2000) に由来している。重要な点は、Ui (2000) に基づき相互作用ネットワーク・ポテンシャルという関数の族を定義し、「ネットワーク・ポテンシャルが存在することの必要十分条件は、人々の利得関数が相互作用ネットワーク・ポテンシャルにより表現できることである」という Ui (2000) と類似した結果が成立すること、および相互作用ネットワーク・ポテンシャルがネットワーク上の協力ゲームのシャープレー値として表現できることを示す点である。これにより、「ネットワーク・ポテンシャルが存在することの必要十分条件は、あるネットワーク上の協力ゲームが存在して、各プレイヤーの利得関数がこの協力ゲームのシャープレー値と一致する」という特徴づけを与えている。さらに、本論文の結果と Ui (2000) の結果を合わせると、ネットワーク・ゲーム、非協力ゲームおよび協力ゲームというそれぞれ異なるゲームのポテンシャルが一致することがわかり、それらの関係がシャープレー値を介して統一的に理解できる。

2.3 Two-sided Matching under Irrational Choice Behavior

本章では、通常仮定される人々の合理性の仮定を外し、一般的な選好の下でのマッチングメカニズムの設計について研究する。

マッチング理論は、就職市場における労働者と企業、もしくは結婚市場における男女などを、各主体の選好を考慮した上でどのようにマッチさせることが社会的に望ましいかを研究する分野である。ここで問題となるのは、事後的にあるペアにおいて、既存のマッチング相手との関係を解消し新たにそのペアの間で関係を構築するといった「駆け落ち」のような状況が発生する可能性で

ある。もし駆け落ちするペアが存在するマッチングが実現すれば、それはとても不安定な結果であると言える。駆け落ちするペアが一切存在しない状態は、安定マッチングと呼ばれている。マッチング理論の最初の問題は、「人々がどのような選好を持っている下でも安定なマッチングが実現可能か」というものであった。この問題に対し、Gale and Shapley (1962) は受け入れ保留方式 (ゲール＝シャープレーアルゴリズム) というアルゴリズムを提案し、安定マッチングの存在を示した。

通常のマッチング問題では、人々の持つ選好は完備性・推移性を満たす合理的なものであると仮定する。一方、このような合理性の仮定は、集団の人数が非常に多い場合など、満たすことが困難である場合がありうる。選好の合理性を仮定しない時には、従来の方法により安定マッチングを求めることはできず、また存在も保証されとは限らない。本研究では、このような一般的な選好を持つ人々がいる下でも安定マッチングが存在するためにはどのような条件が満たされなければならないか、そして性能の良いメカニズムは構成可能であるかについて考察している。

まず、人々の持つ選好関係が「非循環性」という性質を満たすときには、従来用いられてきた受入保留式アルゴリズムを一般化することで、安定マッチングの存在を保証することができることを示した。そこで用いた発想は、人々の選好関係が非循環性を満たせば、選好関係から選択対象上に閉路を持たない有向グラフを定義することができることに注目し、そのグラフから擬似的なランキングを構成するというものである。このランキングは、比較不能な選択肢どうしは同一順位と考え、そこからあたかも無差別を許した選好関係を構成することができる。そこで、この無差別選好にタイ・ブレイクルールを外生的に与え、最終的に手に入れた選好をもとに受入保留方式アルゴリズムを適用すれば、当該環境でも安定マッチングの存在が保証できる。この結果は、一般に選好の完備化と言われる主に社会選択理論で用いられる手法の一つとして理解できる。この手法がこの環境下でも、選好が非循環性を満たせば適用可能である。この結果をもとに「任意の完備化ルールを適用し、その後受入保留方式で得られるマッチングは元の選好関係の下で安定である。すなわち、選好が非循環性を満たせば安定マッチングが存在する」という上記の結果をさらに一般化した結果を示した。しかしながら、完備化ルールというものは一般的にそのようなものが存在するということが保証されておらず、実際にどのように構成すれば良いかについてはほとんど知られていない。この章で考察している、人々の選好から構成した有向グラフを用いるという方法は一つの具体的な完備化方法であり、簡便な構成法を与えてる。

受入保留方式の重要な性質として、提案者側は自身の選好を偽って申告しても得することはないということが知られている (提案者側耐戦略性)。この点に関して、上記の完備化ルール+受入保留法式アルゴリズムという方法により、本環境下でも提案者側耐戦略性が成り立つことを示した。

また、選好が合理的であれば、受入保留方式アルゴリズムは提案者側にとって、安定マッチングの中で最適なものであることが知られている (最適安定性)。本環境下では、最適安定マッチングは存在することも存在しないこともありうるため、この結果は一般に成立しないことがわかるが、さらに「仮に最適安定マッチングが存在したとしても、そのマッチングはいかなる完備化ルール+受入保留法式アルゴリズムという方法でも手に入らないことがある」ことを示した。この結果と提

案者側耐戦略性に関する結果を合わせると、「完備化を用いたいかなる方法によっても提案者側耐戦略性と最適安定性を同時に満たすメカニズムは存在しない」という、通常は起こりえないトレード・オフが存在することを示した。

2.4 The Weighted Egalitarian Shapley Values

本章では、協力ゲームの新たな利得配分ルールとして、協力への貢献度と人々の間の異質性の両者を考慮した「重み付き平等型シャープレー値」というルールを考案し、その公理的基礎づけを行う。

協力ゲームの代表的な利得配分ルールとして、シャープレー値 (Shapley, 1953) がある。シャープレー値の特徴は、各個人が協力から得られる余剰の配分を、どれだけ協力に貢献したかのみに基づき配分するというものである。この意味で、シャープレー値は完全成果主義的なルールであり、仮に貢献度がゼロであるような場合 (このような個人をナルプレイヤーと呼ぶ) には、その個人の取り分はゼロとなる。また、シャープレー値は、同じ貢献度を持つ個人同士には同じ配分を行うという性質を持つ。言い換えれば、貢献度以外の人々の間の異質性は全く考慮されていない。シャープレー値のこのような性質は、強単調性 (Strong Monotonicity) と対称性 (Symmetry) と呼ばれるものであり、Young (1986) はこの二つの性質と効率性を満たす利得配分ルールはシャープレー値以外には存在しないことを示した。

これに対し、現実には、完全に貢献度のみで配分を決めるということばかりではなく、ベースの賃金を保証した上で貢献度に応じてボーナスを支払うなど、より平等な配分を行うことが良くある。さらには、資格の有無や職場におけるポジション、所得の再配分のような場面では、各家計の構成員の特色に基づいて各種控除項目が設けられるなど、直接貢献度とは異なる人々の間の異質性も考慮することが良くある。Young (1986) の結果から、このようなシャープレー値では考慮されていない性質を持つ利得配分ルールを考案するには、強単調性と対称性をより弱い要請に置き換える必要がある。そこで、本章ではこの二つの性質を弱めることにより、このようなシャープレー値が捨象している点を考慮した新たな解を考案し、その基礎づけを行っている。

提案したルールは、ちょうどシャープレー値と重み付き分配ルールという総余剰を比例分配するルールとの凸結合という形で表される。凸結合の重みがシャープレー値側に大きければ、より貢献度を重視したルールであり、反対に重み付き分配ルール側に大きければ、より人々の間の異質性を考慮したルールであると解釈できる。このルールでは、ナルプレイヤーであっても一定の配分を受け取ることができる。

本章の主要な結果として、人々の間の異質性が外生的に決まっている場合と、内生的に決まるケースの二つの特徴づけを行っている。この結果は、各プレイヤー間の重みが対称な場合、すなわち実質的には全てのプレイヤーが対称である場合の「平等型シャープレー値」と呼ばれる配分ルールの一般化である (Joosten, 1996; van den Brink et al., 2013; Casajus and Huettner, 2014)。

2.5 Robust Voting under Uncertainty

本章では、人々の選好がどのような確率分布に従っているかがわからないもとであっても、一定のパフォーマンスを示す投票ルール設計について研究する。

選挙において二人の候補者のどちらに投票するか、法案の採決に関して新法案を採用するか現状を取り否決するかといった二択の問題を考える。人々は自分の意見と投票の結果が一致すれば正の、一致しなければ負の効用を得るとし、その絶対値は同じであるとする。この時、もしも設計したルールがどの個人の期待効用も負にするようなものであるならば、そのようなルールを集団は採用しないであろう。また、このようなルールは平均的にマイノリティーの意見を社会の結果とするものであり、この意味で不公平なルールである。人々の意見が従う確率分布がわかっているならば、期待効用の計算も可能であり、このような望ましくないルールをあらかじめ排除することが可能である。しかし、どのような確率分布が真の分布であるかが判明しないナイト的不確実性 (Knight, 1921) の下では、そのような計算はとても困難である。

本章では、このように人々の意見に関してナイト的不確実性に直面している時、「どのような確率分布が実現したとしても、少なくとも一人の期待効用は正になるようなルールは何か」という、最悪のケースでも満たされるべき最低限の要求を満たすルールは何かという問題を考える。この基準をロバストネスと呼ぶ事にすると、問題はロバストな投票ルールは何かというものである。

この研究の主要な結果は、ロバストな投票ルールは、タイのない重み付き多数決であるという特徴づけである。この結果の一つの重要なインプリケーションとして、憲法改正に関するルールとして様々な国で用いられている、2/3ルールを含むスーパー・マジョリティールールはこの基準を満たさないということがわかる。

人々の期待効用に注目し、与えられた確率分布に対して人々の期待利得の平均値を最大化するルールは何かという問題は、古くは Rae (1969), Taylor (1969) が考察し、単純多数決であるという結果を示した。Fleurbaey (2008) はこれを一般化し、期待利得の重み付き平均値を最大化するルールは重み付き多数決であるという結果を示した。これらの結果はいずれも期待利得の重み付き平均値を最大化することを最適なルールの基準としているが、本研究では、最悪のケースに着目している。この意味で両者は異なる観点から重み付き多数決の特徴づけを与えている。

ロバストな投票ルールは、効率性を満たすことを示すことができる。さらに、効率的なルールはタイが存在することも許すが、ロバストなルールはタイを許さない。この意味で、ロバストネスは効率性の要求よりも強い要請である。特に、ロバストなルールは重み付き多数決しかないことから、ロバストな単純多数決にフォーカスすると、しばしば用いられる議長権の発動といったタイ・ブレイクルールに関しての理論的な根拠を与えることができる。