

令和 6 年 5 月 6 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K01569

研究課題名（和文）公平な順位決定ルールと利益分配ルール

研究課題名（英文）Fair ranking and profit-sharing rules

研究代表者

近郷 匠（Kongo, Takumi）

福岡大学・経済学部・教授

研究者番号：70579664

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：異業種コラボ商品（共同開発商品）の利益分配のように、複数の参加者が集まって協調的行動をとることで発生した経済的余剰をその参加者間で公平に分配する方法について理論的に考察した。そのような状況を適切に表現する一つの経済モデルである提携型ゲーム理論に注目し、その状況における各参加者のパフォーマンスと利益配分を適切に結びつける形の様々な公平性とそれぞれの公平性に立脚した解（利益配分方法）の全容をそれぞれ明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究結果は異業種コラボのようなビジネスの現場に限らず、利害の対立と一致が併存する様々な社会問題において、利害対立を乗り越えた解決策の検討に有益である。とくに、協調の前提となり得る公平性を複数の視点から吟味し、また、それぞれの公平性に立脚したあらゆる解決策をそれぞれ明確にした研究結果から、提携型ゲームとして表現できる社会問題の解決は、今回明確にされた解決策の中から社会的に何を選択するかという点に還元されたと解釈できる。

研究成果の概要（英文）：Problems such as the distribution of profits from cross-industry collaboration products were discussed. In other words, methods for fairly distributing the economic surplus generated by multiple participants taking coordinated action among them was considered. One economic model that adequately describes such a situation, coalitional game, is the focus of this study. The various forms of fairness that appropriately link the performance of each participant in the situation to the distribution of profits, and the full range of solutions (profit-sharing methods) based on each of these forms of fairness, were each identified.

研究分野：ゲーム理論

キーワード：提携型ゲーム 公理的特徴付け シャプレー値 均等分配値 余剰均等分配値 ナルプレイヤー 公平性

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

わが国における少子高齢化に伴う社会保障への影響や人口減少に伴う公共サービスの維持といった重要な社会問題の多くには、その問題にかかわる意思決定主体の間に利害対立がある。その一方で、その問題の一部あるいは全ての主体の間には同時に利害の一致もあり得る。この利害対立と一致が併存するという状況は他にも例えば、あるスポーツのプロリーグに参加するチーム間でも同様である。こういったチーム同士はそのスポーツのプロリーグ内で競技成績を競い合い、その結果はそれぞれのチームの利益に影響することが多い。したがって、その成績を競う場面においては利害の対立がある。その一方で、そのスポーツ自体が多くの人から注目を集めることにより関わるすべてのチームが利益を得るということがある。したがって、この面においては利害の一致がある。もし利害の一致によるメリットが十分に大きければ、利害の対立を乗り越え、関係者間による協調の結果、それぞれの状態が改善される余地がある。そしてこの視点は、冒頭に言及した同様の構造をもつ社会問題の解決策となり得る。

スポーツの結果は数字のデータとして表されることが多い。同様に、現実の社会で起こっている様々な事象も数字データとして表すことが可能なものがある。数字データとして置き換えられた現実の問題(経済モデル)の中で、特に前述のような複数の意思決定主体の間で利害の対立と一致が併存する状況を適切に表すものの一つに提携型ゲーム理論がある。提携型ゲーム理論では、それに対応する現実の状況におけるそれぞれの意思決定主体のパフォーマンスを表した数字を用いることで、ある観点から見たそれぞれの意思決定主体の優劣が評価される。なお、この意思決定主体間の優劣の評価は、それら主体間の(部分的な)順序付けとも解釈できる。その評価・順位付けに基づいて、複数の意思決定主体間で一致する利害から得られる利益(協調のメリット)を分配する方法が様々に考察されている。

提携型ゲーム理論を通じた、複数主体の協調のメリットの分配による社会問題の解決には、そのモデルにおける意思決定主体間の優劣の評価・順位付けが説得的なものである必要がある。それらにおいて不当な評価を受けた意思決定主体は協調に参加するとは限らず、撤退、離脱が生じ得る。その結果として、その意思決定主体の参加をも前提としていた協調が実現せず、これはすべての意思決定主体に分配されるはずだった協調のメリットが不足する、つまり社会問題の解決が実現不可能になることにつながり得るためである。したがって、意思決定主体間の優劣の評価・順位付けが説得的であるかどうかは社会問題の解決という観点から極めて重要であり、文献において様々な観点から検討されている。

### 2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ、社会問題の解決を前提において、提携型ゲーム理論における意思決定主体間の優劣の評価・順位付けとその解(利益配分ルール)の対応関係を理論的に分析することを目的とする。意思決定主体が不当な評価を受けたと感じる状況は、自身の利益配分と他者の利益配分との比較においてである。この点は両者の利益配分額と提携型ゲームにおける数字データを用いた数式による条件、つまり、利益配分ルールの性質(公理)として定式化できる。こういった公理として表された公平性に注目し、その公理を満足する利益配分ルールを理論的に明らかにする。なお、前項で述べたように、公平性を担保することで多くの意思決定主体の協調を実現し、その協調の結果として得られる(最大限の)利益をそれら意思決定主体間で分配するという論理構造が前提である。したがって、公平性に加えて効率性についても利益配分ルールの基本的な公理と捉えている。

### 3. 研究の方法

前述のように、具体的な経済モデルとして提携型ゲーム理論に注目する。そして、公平性および効率性を中心としてそれらの公理を兼ね備える利益配分ルールの全容を数理的に検討する。提携型ゲーム理論の既存文献を踏まえると、効率性についてはいわゆるパレート効率性が中心的役割を果たしており、本研究でもそれに倣う。なお、この文脈におけるパレート効率性とは、意思決定主体の利益配分額の総和とそれら主体が協調によって達成した利益の総和が一致する、つまり、協調の成果を無駄なく配分し尽くしているという条件である。一方、公平性については定式化が多様である。それら多くの公平性の公理に共通する視点は、ある意思決定主体の利益配分額と他の意思決定主体の利益配分額の比較がその利益配分のもととなる状況における前者のパフォーマンスと後者のパフォーマンスの比較と適切に結びついていることである。これはもしそうでない状況を考えてより明確である。つまり、数字として表された前者のパフォーマンスが後者のパフォーマンスより優れているにもかかわらず、前者の利益配分が後者の利益配分より少ないという状況は明確に不当であろう。

公平性については、提携型ゲームで表された数字データである各意思決定主体のパフォーマンスをどう評価・活用するかに応じて様々な定式化が並立し得る。こういった状況を踏まえて、それぞれの公平性とそれぞれの利益配分ルールの対応関係を明確化する。つまり、この公平性の立場に立つとこの利益配分ルールが対応する、別の公平性の立場に立つとまた別の利益配分ル

ールが対応するという結果をそれぞれ得る。すると、それらの比較を通じて、利益配分ルールの差異が公平性の観点の違いとして理解される。

#### 4. 研究成果

(1) 提携型ゲーム理論における利益配分ルール(解)である加重分配値を公理的に特徴付けた。また、同様の手法で、異なる解である余剰加重分配値についても公理的に特徴付けた。これらの解は、それぞれより基礎的な解である均等分配値および余剰均等分配値を、ゲームのプレイヤー間に外生的な重みを導入することで一般化したものである。これらのより基礎的な解については、Kongo (2018a、引用文献)において、前者は効率性、ナルゲーム性、ナルプレイヤー化の等影響、全体提携値単調性の4つの公理で、後者は同じ3つの公理と個人提携値および全体余剰単調性の4つの公理でそれぞれ特徴付けられていた。この結果をもとに、それぞれの特徴付けに用いられた公理のナルゲーム性を一次同次性に強め、また、ナルプレイヤー化の等影響をナルプレイヤー化の同方向影響に弱めることで、冒頭に記したそれぞれの解の一般化がそれぞれ特徴付けられることを明らかにしている。これらの結果の鍵となるのはナルプレイヤー化の等影響をナルプレイヤー化の同方向影響に弱めたことにある。ある変化が生じた際に、任意の二者間で、前者はその影響量が完全に一致することを要求している一方で、後者はその影響の方向(正、負、またはゼロ)が一致することのみを要求している。また、これらの結果は、異なる解であるシャプレー値の特徴付けである Shapley (1953、引用文献)および Casajus (2011、引用文献)を基にして、それにプレイヤー間の外生的な重みを導入した加重シャプレー値の特徴付けに一般化した Casajus (2019、引用文献)と Casajus (2018、引用文献)と並列的なものとして位置づけられる。

(2) 提携型ゲーム理論の解である余剰均等分配値をゼロ単調なゲームのクラスにおいて、また、オークション理論におけるルールである第一価格オークションを一般的な選好の定義域においてそれぞれ並列的に特徴付けた。前者は個人合理性、効率性、ナルプレイヤー化の等影響の3つの公理を用いている。一方、後者は、個人合理性、無羨望、ナルプレイヤー化の同方向影響の3つの公理を用いている。なお、後者における無羨望は効率性を意味することが知られている。また、それぞれの経済モデルにおいて、対応する公理は対応する解釈が可能である。すなわち、両モデルにおいて個人合理性は共にプレイヤーの自発的参加を促し、(無羨望から含意される)効率性は結果に無駄がないことを要求し、ナルプレイヤー化の等(同方向)影響は第三者がいてもいなくても変わらない存在に変化した際に他の任意の二者間に同量(同方向)の影響があることを要求する。これらの結果は、異なるモデルにおける異なる解・ルールという本来直接は比較できないもの同士を、それらの性質である公理という共通の側面から比較し、その類似性を明らかにしている。

(3) 提携型ゲーム理論において効率性と比較的弱い公平性の二つの公理のみで特徴づけられる解の全容を明らかにした。用いている比較的弱い公平性は Kongo (2018b、引用文献)において、新たに定式化されたものである。この公理は広く知られた公平性である貢献の均衡(Myerson 1980、引用文献)を一般化したものである。貢献の均衡では、任意の二者間で、一方の他方への影響が均等化されるように解を定める。この一方の他方への影響を、第三者を介在した形で定式化し、その影響が任意の二者間で均等化されるという形でより弱い公平性を定式化した。公平性とこの公理の二つによって特徴づけられる解の全容は多様であり、陽に表現することができない。しかしながら、非常に弱い公平性の公理として解釈できるナルゲーム性を追加することで、元の提携型ゲームをある関数を用いて変換したゲームのシャプレー値という形で解を表現できる。これらの結果は、効率性と公平性という多くの現実の経済問題でも重要な公理がどのような配分ルールを排除するかを明らかにし、また、公平性の程度を強めることがさらにもどのような配分ルールを排除するかについても明確にした。したがって、公平性をどの水準に保つかとその水準で許容可能な配分ルールの幅を具体化している。

(4) 提携型ゲーム理論において効率性、線形性、対称性、ナルプレイヤー排除の等影響の4つの公理を満たす解の全容を明らかにした。最初の3つの公理は該当分野において基本的な公理である。4つ目の公理は広く知られたナルプレイヤー排除の無影響(Derks & Haller 1999、引用文献)を一般化したものであり、van den Brink & Funaki (2004、引用文献)によって定式化された。前者の公理は余剰を追加的に一切生み出さないプレイヤー(ナルプレイヤー)をゲームから排除しても他のプレイヤーの配分額には何ら影響しないことを要求する。後者は同様の状況で影響があってもすべてのプレイヤーで同量の変化となることを要求する。これらの公理はある状況の変化に関して、残されたプレイヤーを同様に扱うという意味で一種の公平性と解釈できる。これらの4つの公理を満たす解は、ある無限次元の実数ベクトルと、そのベクトルを用いて、均等分配値、余剰均等分配値、シャプレー値などがある自然数をとる一つのパラメータに基づいて同時に一般化した解のアフィン結合として表現できることを示した。さらに、線形性を既存の単調性に置き換えることで、また、対称性をより強めることで、あるいはほかの既存の公理を追加することで、解の基準となる無限次元の実数ベクトルに制限が加わり、特徴付けさ

れる解が具体的にどう変化するかを明らかにしている。ナルプレイヤー排除の等影響をより強いナルプレイヤー排除の無影響に置き換えると、得られる解はシャプレー値のみになることが知られている。これらの結果を踏まえると、この研究の結果はシャプレー値では何も得られないナルプレイヤーへの利益の再分配という文脈において、効率的で公平な解を吟味する際に有益な示唆を与える。

(5) 提携型ゲーム理論において効率性、貢献の循環均衡、ナルプレイヤー排除の等影響の3つの公理を満たす解の全容を明らかにした。貢献の循環均衡は Kamijo & Kongo (2010、引用文献)によって定式化された公理であり、前述の貢献の均衡を弱めた条件に対応する。具体的には、任意の三者 A, B, C 間で A の B への影響に B の C への影響と C の A への影響を加えたものが、A の C への影響に C の B への影響と B の A への影響を加えたものと等しいことを要求する。なお、貢献の循環均衡は(3)で注目した性質よりもさらに弱いものになっている。また、線形性、対称性およびナルプレイヤー排除の等影響の3つを組み合わせることで貢献の循環均衡が含意される。これらの3つの公理を満たす解は、ある提携型ゲームに外部からナルプレイヤーが新たに加わった際にそのプレイヤーが受け取る配分額を特定することで定めることができる。なお(4)同様に、ナルプレイヤー排除の等影響をより強いナルプレイヤー排除の無影響に置き換えると、得られる解はシャプレー値のみになることが知られている。したがって、この結果も(4)と同様にまたそれ以上に広い形で、再分配の文脈で有益な示唆を与え得る。

#### <引用文献>

- Kongo T, Effects of players' nullification and equal (surplus) division values, *International Game Theory Review*, 20, 2018a.
- Shapley. LS. A value for n-person games, In: Kuhn H, Tucker A, (Eds.), *Contributions to the Theory of Games II*, Princeton University Press, Princeton, 1953, 307-317.
- Casajus A, Differential marginality, van den Brink fairness, and the Shapley value, *Theory and Decision*, 71, 2011, 163-174.
- Casajus A, Relaxations of symmetry and the weighted Shapley values, *Economics Letters*, 176, 2019, 75-78.
- Casajus A, Symmetry, mutual dependence, and the weighted Shapley values. *Journal of Economic Theory* 178, 2018, 105-123.
- Kongo T, Balanced contributions based on indirect claims and the Shapley value, *Economics Letters*, 167, 2018b, 48-50.
- Myerson RB, Conference structures and fair allocation rules. *International Journal of Game Theory* 9, 1980, 169-182.
- Derks JJM, Haller HH, Null players out? linear values for games with variable supports, *International Game Theory Review*, 1, 1999, 301-314.
- van den Brink R, Funaki Y, Axiomatizations of a class of equal surplus sharing solutions for TU-games, *Theory and Decision*, 67, 2009, 303-340.
- Kamijo Y, Kongo T, Axiomatization of the Shapley value using the balanced cycle contributions property, *International Journal of Game Theor.* 39, 2010, 563-571.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kongo Takumi	4. 巻 24
2. 論文標題 Similarities in axiomatizations: equal surplus division value and first-price auctions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Review of Economic Design	6. 最初と最後の頁 199 ~ 213
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10058-020-00233-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takumi Kongo	4. 巻 183
2. 論文標題 Players' nullification and the weighted (surplus) division values	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Economics Letters	6. 最初と最後の頁 108539
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.econlet.2019.108539	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Takumi Kongo
2. 発表標題 Efficient and linear values that satisfy the equal treatment and weak null player out properties for cooperative games
3. 学会等名 The European Meeting on Game Theory (SING17) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takumi Kongo
2. 発表標題 Efficient and linear values that satisfy the equal treatment and weak null player out properties for cooperative games
3. 学会等名 2022 Asian Meeting of the Econometric Society in East and South-East Asia (AMES2022) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takumi Kongo
2. 発表標題 Efficient and fair solutions in cooperative games
3. 学会等名 International Conference on Distributive Justice and Fair Allocation (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takumi Kongo
2. 発表標題 Efficient and fair solutions in cooperative games
3. 学会等名 政治経済学会第14回研究大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Takumi Kongo
2. 発表標題 Similarities in axiomatizations: equal surplus division value and first-price auctions
3. 学会等名 The 20th Annual SAET Conference (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Kongo
2. 発表標題 Efficient and fair solutions in cooperative games
3. 学会等名 The European Meeting on Game Theory (SING16) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takumi Kongo and Masayuki Saito
2. 発表標題 A balanced contributions approach to a partially privatized firm in a mixed duopoly
3. 学会等名 The Lisbon Meetings in Game Theory and Applications #11 (国際学会)
4. 発表年 2019年～2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関