

平成 31 年 5 月 6 日現在

機関番号：37111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K17031

研究課題名(和文) 公平性を中心とした集団的意思決定における配分・評価の理論分析

研究課題名(英文) Theoretical analysis of fair collective decision-making

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) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：数字データを評価する科学計量学におけるg指標を公理的に特徴付けた。より具体的には、この分野でしばしば用いられるh指標を特徴付ける公理と対になる公理を定式化し、それを含めた公理の組でg指標を特徴付けた。また、協調の成果を配分する提携型ゲーム理論においていくつかの新しい公平性の概念を定式化し、それらを満たす解を様々に特徴付けた。新しい公平性概念は既存の公平性概念を吟味する形で定式化され、それらとの関係も明示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

科学計量学については、既に様々に特徴付けられている代表的な指標であるh指標との類似点、相違点がより明確になったことで、適切な評価指標の選択の際に役立てられることが見込まれる。また、提携型ゲーム理論については、協調成果の配分において、様々な新しい公平性の視点を提示し、さらに、その視点を含んだ具体的な配分方法も明示したことで、集団的意思決定問題の協調的手段による解決が促されることが見込まれる。

研究成果の概要(英文)：I axiomatically characterize the g-index in scientmetrics. Scientmetrics investigate the method to evaluate the numerical data. One of the well-known methods is the g-index. In order to characterize the index, I formalize a new axiom. The axiom can be seen as a parallel one which characterizes an alternative well-known method of the h-index. In addition, I axiomatically characterize some solutions for cooperative games with transferable utilities. In the games, multiple agents allocate economic surplus generated by their cooperation, and many allocation methods have been introduced. I investigate existing fairness criteria, and formalize several new fairness axioms. Those axioms characterize some existing solutions in diverse ways.

研究分野：ゲーム理論

キーワード：公理的特徴付け 提携型ゲーム 科学計量学 公平性 対称性 均等分配 シャープレイ値 g指標

## 1. 研究開始当初の背景

様々な天然資源や人的資源を適切に配分することは、エネルギー・環境問題や少子高齢化問題といった、現在わが国が直面している深刻な問題に取り組むにあたって極めて重要である。このような大規模な問題の解決にあたっては、多くの人々の集団的・協調的な取り組みが有効である。しかしながら、その取り組みは容易ではない。なぜならば、限られた資源を配分するという際には、参加者間での利害対立が避けられないためである。利害対立のもとで協調を達成・維持するには、参加者が不満を抱かず、一定の公平感を得ることが不可欠である。

こういった配分問題では、まず配分にかかわる参加者を評価し、そしてその評価に基づいて財を参加者の集団内で配分することがある。前者の評価については(1)科学計量学に研究蓄積がある。(1)では研究者の業績(執筆してきた各論文の被引用回数を並べたもの)のように自然数ベクトルで表されるデータを比較・評価する。その研究蓄積の中で、特に評価の公平性に関連するアプローチとしては以下のものが挙げられる。まず、様々な評価方法をそれぞれ自然数ベクトルの集合上に定義された関数と見なす。そして、その関数もつ特徴を数学的な条件(公理)として定式化する。さらに、公平であると解釈可能な公理やその他の望ましい公理の組と評価方法である関数の一意な対応関係を数学的に証明する。この評価方法の公理的特徴付けにより、SCOPUS や google scholar で実際に用いられている(2019年3月時点)h指標(Hirsch 2005、引用文献)は既に様々な特徴付けられている。そういった研究を通じて、特定の指標と他の指標との類似点、相違点が浮き彫りになる。その結果、適切な評価方法とは何かという問いへの回答の一助となっている。

また、後者の集団で得られる成果を集団内で配分する問題については、(2)提携型ゲーム理論に研究蓄積がある。(2)では、問題にかかわる主体が(部分的な)集団を形成した際に達成可能な結果がそれぞれ与えられる。そしてその結果をもとに、どのような集団が形成され、その集団で達成された結果が集団内でどのように分配されるかを考察する。形成された集団の下での分配は、達成可能な結果の関数と見なせる。さらに、その関数もつ特徴が公理として定式化されるため、この分野でも公理的的手法による公平な分配方法(解)が広く分析されている。その中で、公平性と解釈される公理は対称性、貢献の均等、限界貢献度(差)依存性など様々な形で提案されている。また、そういった性質を中心とした公理の組で特徴付けられる代表的な解としてシャープレイ値(Shapley 1953、引用文献)が挙げられる。こういった研究を通じて、シャープレイ値や他の分配方法との公理的な視点による比較が可能になる。その結果、適切な分配方法とは何かという問いに対する回答の一助となっている。

## 2. 研究の目的

前述の背景を踏まえ、特に公平性に注目し、集団的意思決定を理論的に考察する。より具体的には、科学計量学、および提携型ゲーム理論のそれぞれにおいて、公平性として解釈できる新しい性質(公理)を定式化する。この定式化については、それぞれの分野での既存の公平性の性質の議論を踏まえ、それらとの関係を吟味する。さらに、新しく定式化された公平性の公理によって特徴付けられる評価方法、分配方法(解)を明らかにする。これにより、既存の評価、分配方法の公平性にかかわる新たな側面を明らかにする。あるいは、公平性をもつと解釈される新たな評価、分配方法を具体的に提案する。それらを通じて、より納得感が得られやすい集団的意思決定方法を明らかにする。

## 3. 研究の方法

前述のように、具体的なモデルとして、(1)(2)に注目する。それぞれのモデルにおいて、公平性に基づいた評価基準、利益分配方法(解)を公理的手法に基づき考察する。(1)では、最も著名な指標であるh指標については既に様々な研究蓄積がある一方で、それ以外の指標についてはまだ研究の余地がある。そこで、h指標の代替として提案されたg指標(Egghe 2006、引用文献)を公理的に特徴付ける。そしてその結果をh指標の特徴付けと比較することで両者の性質を公理的な視点から比較する。

(2)については、既に様々な公平性の公理で特徴付けられているシャープレイ値を中心とする。シャープレイ値を新しい公平性の観点から特徴付けることで、その公平な分配方法としての視点を多様化する。また、シャープレイ値を含んだ多様な解のクラス、あるいはそれと関連する解(のクラス)を特徴付ける。これらの結果を通じて、より豊かな視点から分配の公平性を捉え直す。

## 4. 研究成果

(1)研究者の業績評価に用いられるg指標を公理的に特徴付けた。SCOPUS や google scholar などでは、研究者の業績は、研究者が執筆した各論文の被引用回数を並べた自然数のベクトルとして表現される。その自然数のベクトルを一つの自然数で評価する指標が様々な提案されており、例えば、google scholar では2019年3月時点でh指標とi10指標が利用されている。

しかしながら、これらの指標では被引用が莫大な回数の論文と被引用が莫大とは言えないもののそれなりの回数の論文が同価値として評価される。こういった論文の価値を区別し業績を評価する指標として  $g$  指標がある。この  $g$  指標を含んだあるクラスの指標を、既存の二つの公理 (T1, T2, Woeginger 2008、引用文献 ) に加え、本研究で新たに定式化した Tail independence の三つの公理を満たす唯一の指標として特徴付けた。Tail independence は被引用回数が相対的に少ない論文は評価に影響しないことを要求し、Kongo (2014、引用文献 ) が  $h$  指標を特徴付けた際に定式化した Head independence と対になる公理と考えられる。さらにこの結果を基に新たな公理を追加することで、前述のクラスの中から  $g$  指標のみを一意に特徴付ける結果を三種明らかにした。

( 2 ) 提携型ゲーム理論において新たな公平性の性質を定式化し、その性質と既存の公平性との関係を明らかにした。提携型ゲーム理論でよく知られた公平性として対称性と貢献の均等 ( Myerson 1980、引用文献 ) がある。前者は生産能力が同等である主体は同じ配分を得ることを要求し、後者は任意の二主体間で一方の他方への影響が均等になる配分を要求する。この両者に深く関連する概念として、生産能力が同等である任意の二主体間の方に一方の他方への影響が均等になる配分を要求するという新しい公理を定式化した。この公理は貢献の均等よりも弱い性質である。また、この公理は対称性とは独立の性質であることが、解の基本的な公理である効率性を前提とした上でも示される。そのように新しい公平性は対称性とは独立ではあるものの、既に知られている多くの ( 効率性と ) 対称性に基づいた解の特徴付けは、対称性を新しい公平性に入れ替えても成立することも明らかにしている。

( 3 ) 提携型ゲーム理論において新たな公平性の性質を定式化し、よく知られた解を含んだ解の集合を特徴付けた。提携型ゲーム理論でよく知られた公平性の一つである貢献の均等は任意の二主体間で一方の他方への影響が均等になる配分を要求する。この公理より弱い公理として、全体への貢献が等しい二主体間の方に一方の他方への影響が均等になる配分を要求するという新しい公平性を定式化した。なお、この公理は ( 2 ) の研究で定式化した性質よりも強い要求である。貢献の均等と解の基本的な性質である効率性を同時に満たす解はシャープレイ値のみであるというよく知られた結果と比較すると、新しい公平性と効率性を同時に満たす解は、シャープレイ値以外にも均等分配、( 一般化 ) solidarity 値 ( Nowak & Radzik 1994、引用文献 )、Casajus & Huettner 2014、引用文献 ) 等様々に存在する。それら二つの公理に加え、弱い covariance を満たす解は、 $r$ -egalitarian Shapley 値とよばれる解のクラスのみであることを明らかにした。このクラスに含まれる解は、元のゲームを一定の手続きで変換し、その変換したゲームで均等分配とシャープレイ値の凸結合を解とするものに対応する。

( 4 ) 提携型ゲーム理論において既存の公平性の性質である貢献の均等の双対版を定式化し、それを用いてシャープレイ値を特徴付けた。提携型ゲーム理論において、双対性はしばしば重要な役割を果たす。与えられたゲームの双対ゲームでは、各提携が、自分たちがいなくなることで元のゲームの全体提携から失われる差分を得られる状況を考察する。この双対ゲームは marginal ゲームといわれる、ある提携が自分たちだけで得られる値を常に得る代わりに、他の提携に必ず協力する状況を考えるゲームと一定の関係があることを示した。その関係に基づいて、既存の公平性の公理である貢献の均等を、marginal ゲームを用いて新たに定式化した。元の貢献の均等と同様に、この公理は効率性と共にシャープレイ値を特徴付ける。また、 $n$  人ゲームのシャープレイ値をそれ以下の人数のゲームのシャープレイ値を用いて表すシャープレイ値の再帰表現 ( Hart & Mas-Colell 1989、引用文献 ) についても、既存の結果を marginal ゲームに置き換えた ( つまり、既存結果の双対と見なせる結果 ) が得られる。

( 5 ) 提携型ゲーム理論において新たな公平性の公理を定式化し、それを用いて、余剰均等分配 ( Driessen & Funaki 1991、引用文献 ) と均等分配の凸結合を特徴付けた。まず、ある主体が生産能力を完全に失い、ナルプレイヤー化することが他のすべての主体に等しい影響を与えるという性質を新たに定式化した。これは、ナルプレイヤー化した主体以外を均等に扱うという意味で公平性的一种と見なせる。こうした性質をもつ解として、余剰均等分配や均等分配が挙げられる。この新たな公平性に効率性、ナルゲーム性、ある種の単調性を加えることで余剰均等分配と均等分配の凸結合を特徴付けた。また、単調性を強めることで、余剰均等分配のみや均等分配のみを特徴付けた。

( 6 ) 提携型ゲーム理論において貢献の均等と貢献の循環均等 ( Kami jo & Kongo 2010、引用文献 ) の中間に位置する新たな公平性を定式化し、それを用いてシャープレイ値を特徴付けた。貢献の均等は任意の二主体間で一方の他方への影響が均等になる配分を要求する。この貢献の均等を弱めた性質として、集団内の任意の循環する順序で後ろの人の前の人への影響の和と、前の人の子の人への影響の和が均等する配分を要求するという貢献の循環均等を定式化した。貢献の均等は任意の二主体間で直接の貢献の差が均等するという条件と見なすことができ、また、貢献の循環均等は任意の二主体間で、直接の貢献の差と他の一主体を介した間接的な貢献差が一致する条件とも見なせる。そこで、任意の二主体間で、他の一主体を介した間接的な貢

献差が均等するという新しい公理を定式化した。この性質は、貢献の均等よりも弱く、貢献の循環均等よりも強い公理に対応する。この性質は効率性に加えて、ナルプレイヤーの等影響という性質と共にシャープレイ値を特徴付ける。貢献の均等は効率性と共にシャープレイ値を特徴付け、貢献の循環均等は効率性に加えて、ナルプレイヤーの無影響(Derks & Haller 1994、引用文献 )と共にシャープレイ値を特徴付けるという既存の結果と比べると、公平性に関する公理とナルプレイヤーに関する公理のトレードオフが明確になる。

(7) 提携型ゲーム理論において対称性と限界貢献度差依存性(Casajus 2011、引用文献 )の両者を包含する新たな公平性の公理を定式化し、既存の性質との関係を吟味した。対称性は生産能力が同じ二主体が同じ配分を得ることを要求し、限界貢献度差依存性は二つのゲームで限界貢献度差が等しい二主体は、それぞれのゲームでの配分の差が等しくなることを要求する。新たな性質は対称性とは異なり、生産能力が同じ二主体が異なる配分を得る可能性を許容する。また、限界貢献度差依存性とは異なり、二つのゲームでともに生産能力が同じ(限界貢献度差がゼロ)である二主体のみにそれぞれのゲームでの配分差が等しくなることを要求する。この新しい性質は、近年提案されている公平性や限界貢献度差依存性の符号の一致に基づいた拡張とは独立であることが示される。また、よく知られたナルプレイヤー性や加法性を加えると、それぞれ対称性と限界貢献度差依存性を含意する。したがって、これらの公理を含んだ既存の解の特徴付けの対称性と限界貢献度差依存性は、新たな公平性に弱められることを示した。

#### <引用文献>

- Hirsch JE, An index to quantify an individual's scientific research output. In Proceedings of National Academy of Sciences, 102, 2005, 16569-16572.
- Shapley LS, A value for n-person games. In: Kuhn H, Tucker AW (Eds.), Contributions to the Theory of Games II. In: Ann. Math. Stud., vol. 28. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1953, 307-317.
- Egghe L. An improvement of the h-index: g-index. ISSI Newsletter, 2006, 8-9.
- Woeginger GJ, An axiomatic analysis of Egghe's g-index. Journal of Informetrics, 2, 2008, 364-368.
- Kongo T, An alternative axiomatization of the Hirsch index. Journal of Informetrics, 8, 2014, 252-258.
- Myerson R, Conference structures and fair allocation rules. International Journal of Game Theory 9, 1980, 169-182.
- Nowak AS, Radzik T, A solidarity value for n-person transferable utility games International Journal of Game Theory, 23, 1994, 43-48.
- Casajus A, Huettner F, On a class of solidarity values. European Journal of Operations Research. 236, 2014, 583-591.
- Hart S, Mas-Colell A. Potential, value and consistency. Econometrica 57, 1989, 589-614.
- Driessen T, Funaki Y. Coincidence of and collinearity between game theoretic solutions, OR Spektrum 13, 1991, 15-30.
- Kamijo Y, Kongo T. Axiomatization of the Shapley value using the balanced cycle contributions property, International Journal of Game Theory 39, 2010, 563-571.
- Derks JJM, Haller HH, Null players out? Linear values for games with variable supports. International Game Theory Review 1, 1999, 301-314.
- Casajus A. Differential marginality, van den Brink fairness, and the Shapley value, Theory and Decision 71, 2011, 163-174.

#### 5. 主な発表論文等

##### [雑誌論文](計6件)

- Takumi Kongo, Balanced contributions based on indirect claims and the Shapley value, Economics Letters, 査読有, Vol.167, 2018, 48-50  
DOI: 10.1016/j.econlet.2018.03.008
- Takumi Kongo, Effects of players' nullification and equal (surplus) division values, International Game Theory Review, 査読有, Vol.20, 2018, 14pages  
DOI: 10.1142/S0219198917500293
- Takumi Kongo, Yukihiro Funaki, Marginal Games and Characterizations of the Shapley Value in TU Games, In: Li DF., Yang XG., Uetz M., Xu GJ. (eds) Game Theory and Applications. China-Dutch GTA 2016, China GTA 2016. Communications in Computer and Information Science, 査読有, Vol.758, 2017, 165-173  
DOI: 10.1007/978-981-10-6753-2\_12
- Koji Yokote, Takumi Kongo, Yukihiro Funaki, The balanced contributions property for equal contributors, Games and Economic Behavior, 査読有, Vol.108, 2018, 113-124

DOI: 10.1016/j.geb.2017.08.007

Koji Yokote, Takumi Kongo, The balanced contributions property for symmetric players, Operations Research Letters, 査読有, Vol.45, 2017, 227-231

DOI: 10.1016/j.orl.2017.03.005

Tsuyoshi Adachi, Takumi Kongo, Further axiomatizations of Egghe ' s g-index, Journal of Informetrics, 査読有, Vol.9, 2015, 839-844

DOI: 10.1016/j.joi.2015.07.001

[学会発表](計5件)

Takumi Kongo, Differential symmetry, symmetry, and differential marginality for TU games, UECE Lisbon Meetings in Game Theory and Applications, Instituto Superior de Economia e Gestao da Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal, October 25-27, 2018

Takumi Kongo, Koji Yokote, Yukihiro Funaki, Balanced contributions and null player out for the Shapley, equal surplus division, and equal division values, UECE Lisbon Meetings in Game Theory and Applications, Instituto Superior de Economia e Gestao da Universidade de Lisboa, Lisbon, Portugal, November 9-11, 2017

Takumi Kongo, Marginalism and egalitarianism under the equal effect of players ' nullification on the others, European Meeting on Game Theory (SING 12), University of Southern Denmark, July 11-13, 2016

Tsuyoshi Adachi, Takumi Kongo, Further axiomatizations of Egghe ' s g-index, East Asian Game Theory Conference 2015, Waseda University, Tokyo, Japan, August 24-26, 2015

Tsuyoshi Adachi, Takumi Kongo, Further axiomatizations of Egghe ' s g-index, Joint Conference on Logic, Game Theory, and Social Choice 8 and The 8th Pan-Pacific Conference on Game Theory, Academia Sinica, Taipei, Taiwan, May 19-21, 2015

## 6 . 研究組織

### (1)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：7 0 5 7 9 6 6 4

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、研究者個人に帰属されます。