

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成23年5月28日現在

機関番号：11601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510134

研究課題名（和文） 順序・組合せ構造制約下における意思決定モデルの構築

研究課題名（英文） Development of models on decision making under ordinal and combinatorial structures

研究代表者

藤本 勝成 (FUJIMOTO KATSUSHIGE)

福島大学・共生システム理工学類・准教授

研究者番号：50271888

研究成果の概要（和文）：例えば、人間関係や航空路線，インターネットのように、ネットワーク状の広がりを持つ関係性に注目した。ここで、人、空港、接続ノード等が、それぞれが属するネットワークの中において、どの程度の貢献をし、どの程度の恩恵（利得）を受けるのかを表現する尺度を提案した。また、これらの恩恵を最大化するような行動基準によって、ネットワーク形成がなされる場合、最終的にどのようなネットワークに行きつくのかについて考察した。

研究成果の概要（英文）：This study focuses on a relations among members in a network(e.g., individuals in social network, airports in airline network, or, connection nodes in the Internet). Some indices which measure a certain type of importance or benefit of each member in the network have been proposed. Moreover, we discuss how networks are formed if each individual seeks to maximize his benefit.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：社会工学, OR, モデリング, 意思決定, ゲーム理論

1. 研究開始当初の背景

多基準（多属性）の下での意思決定の問題を考える際、最も基本となる要素として、評価基準、属性、プレイヤー等の集合としての N ，ならびに、その集合の要素 $i \in N$ ，部分集合 $S \subseteq N$ 等に対する重視度や価値などを計量するなんらかの尺度 $v: 2^N \rightarrow \mathbb{R}$ が考えられる。例えば、

- (1) N が自然の状態の集合の場合： $S \subseteq N$ は不確実性下・リスク下における意思決

定における事象を表し、 $v(S)$ は S に対する確率、確信度、可能性などを表す。

- (2) N が評価基準や属性の集合の場合： $S \subseteq N$ は、多基準（多属性）意思決定問題における、評価基準（属性）のグループを表し、 $v(S)$ は意思決定に際しての S の重視度を表す。
- (3) N が投票者や政党の集合の場合： $S \subseteq N$ は、投票行動における提携・連立を表し、 $v(S) = 1$ は、提携 S の賛成

議案が通過したことを表し、 $v(S) = 0$ は、否決されたことを表す。

- (4) N がプレイヤー、エージェント、企業等の集合の場合： $S \subseteq N$ は、協力ゲームにおける提携を表し、 $v(S)$ は S の全メンバーが、協調行動をとることに合意した際の S による最大獲得可能利得・価値を表す。

この時、一般的には、 $v(A \cup B) \neq v(A) + v(B)$ であり、 AB 間の相補的な関係 ($v(A \cup B) > v(A) + v(B)$) や代替的な関係 ($v(A \cup B) < v(A) + v(B)$) の表現など、評価基準 (属性、プレイヤー、事象) 間の相互作用を考慮したモデルの構築が可能と成っている。しかしながら、通常のこれらのモデル (多基準意思決定、協力ゲーム等) は、「すべての $S \subseteq N$ が形成可能であり、この上で議論する」という、やや非現実的な仮定の上で成り立っている。ここで、その非現実性について、少し注視してみる：

- (1) いくつかの $S \subseteq N$ が実現可能でない場合 (2^N の制限): 例えば、 N が自然の状態の場合、観測し得ない事象 $S \subseteq N$ が存在することがある。また、 N が政党の集合の場合、左翼政党 $l \in N$ と右翼政党 $r \in N$ の連携 $\{l, r\} \subseteq N$ は起こり得ない。その他、空間的、立場的、コミュニケーションチャンネルの有無等の制約により、実現不能な提携が存在する。つまり、何らかの $N \subseteq 2^N$ の上で議論が必要となる。
- (2) N のメンバーの行動が白黒はっきりしない場合 (2^N の一般化): 例えば、多基準の意思決定問題や投票行動においては、「良い」「悪い」「中立 (どちらでもない)」の双極尺度による評価基準や、「賛成」、「反対」、「棄権」などの、3つの選択肢がある場合、 $\{(A, B) \mid A, B \subseteq N, A \cap B = \emptyset\}$ のような定義域の上で考える必要がある。また、それ以上の選択肢がある場合も考えられる。

これらの、問題に対して、これまでに、コミュニケーションゲーム、組合せ構造上のゲーム (プレイヤー間のコミュニケーションチャンネルを無向グラフで表現し、このグラフにおける連結部分グラフのみを実現可能な提携としたゲームおよびこの構造をより一般的な組合せ構造 (特に分配束の直積空間) に拡張したゲーム) や多択肢ゲーム (投票行動における前述の3択肢ゲームや、参加・不参加の2択肢だけではなく、多段階の参加レベルを許容するゲーム) や双極 Choquet 積分モデル。たとえば、同一評価基準であっても、その基準での評価値が "gain" の場合と "loss" の場合とで異なる重視度をもち、

さらに、ある評価基準での評価値が、他の評価基準への重視度に大きな影響を与えるような評価・判断を表現するために開発・提案されたモデル) などが提案・研究されてきている。これらは、同型を含めると、最大・最小元を持つ分配束上のモデルと見做せる。これに対し、本課題申請者らは、コミュニケーションゲームのポセット表現ならびに、1つの解概念を提案するなど、より広いクラスへの拡張を進め始めている。

2. 研究の目的

本研究では、

- (1) 組合せ論、グラフ理論、マトロイド理論的な視点をベースに、意思決定の文脈から解釈可能な (順序・組合せ) 構造を与える (クラスに分類する)。たとえば、自然な分類として、① 対称な分配束、② 分配束、③ 半束 (\vee -半束、 \wedge -半束)、④ 木、⑤ その他のポセットなどが考える。そして、これらの各クラスに対して、意思決定の文脈で解釈を与える。
- (2) これらの解釈をもとに、より本質的かつシンプルなポセットの構造を見出すと共に、このポセットを定義域とする (重視度、利得) 関数を与える。
- (3) 多基準意思決定の文脈においては、上で与えられる関数に関する aggregation operator を提案し、その公理的な特徴付けを行う。
- (4) 一方で、協力ゲームの文脈においては、既存の解概念の一般化概念として、ポセット上で表現できるゲームおよびその解概念を提案し、その公理的な特徴付けを行う。
- (5) ここで提案されたモデルが、広く利用されるように、計算機アプリケーションを作成しインターネット上で公開する。

3. 研究の方法

多基準 (多属性) の下での意思決定問題、または、協力ゲームの理論においては、評価基準またはプレイヤー全体の集合 N 、および、その部分集合上での尺度 (重視度、利得) $v: 2^N \rightarrow \mathbf{R}$ を基本構造として議論している。しかし、様々な理由 (前述) から、すべての $S \subseteq N$ について (または、ついでのみを) 議論することは現実的ではなく、実際には、より制限された状況、または、より拡張された状況を考える必要がある。これについて、① 2^N が N 上の完全グラフ $(N, L(N))$ の連結な部分グラフ全体の集合と同型であることを利用して、定義域を与えられたグラフの連結部分グラフに制限して議論しようというものや、② 2^N がブール束 $\mathbf{B}(N, 1)$ と同型であることを利用して、定義域を一般の分配束に拡張して議論しようというもの

などが提案されている。これを受けて本研究では、大きく分けて次の4つのフェーズから成る研究計画を立てた。

- (1) フェーズ 1: 上の ① による定義域も、② による定義域も、それぞれ、ポセットと見ることができる。これらのポセットに共通する性質を見出し、①、② を統一的にとらえるような、ポセットを通した意思決定の枠組みを構築する。
- (2) フェーズ 2: フェーズ 1 の枠組みを前提とした協力ゲームにおける解概念を提案し、その公理的論的特徴付けを行う。
- (3) フェーズ 3: フェーズ 2 により、導出された解概念による利得配分 (獲得) 下において、①の文脈の下、ネットワーク形成が行われる場合、どのようなネットワークが構成され、どのように安定するのかを明らかにする。
- (4) フェーズ 4: ②の文脈における多基準意思決定問題における統合評価値を導出する 1つ aggregation operator を導入し、その表現力を検証し、その表現形式について明らかにする。
- (5) フェーズ 5: 上記の成果を基にした計算機アプリケーションを構築する。

4. 研究成果

たとえば、プレイヤー (または、属性) の集合を $N=\{1, 2, 3\}$ とした場合について考える。通常、定義域 2^N を考えた場合、実現可能な提携 (属性の組) は、図1のようなポセット (ブール束) の構造を持ち、各頂点 (節点) において利得値 (重視度) を持つ。

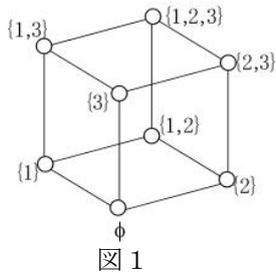


図 1

しかしながら、

- (1) もし、これらのプレイヤー間のコミュニケーション構造が図2のような、ネットワークとして与えられたとき、実現可能な提携は、図3のようなポセットとして表現される。(定義域の制限)

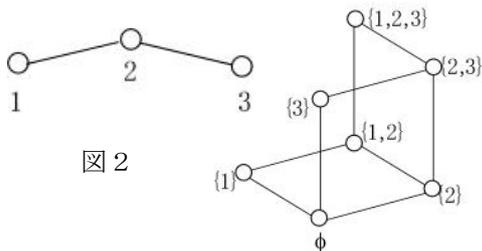
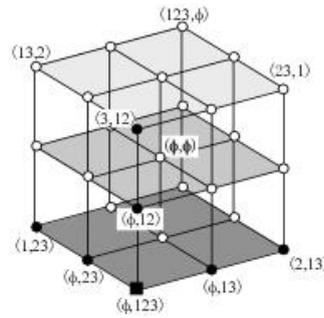


図 2

図 3

- (2) 一方で、各プレイヤー (属性) における提携行動 (評価値) が、①participate, ②abstention, ③opposite (①positive, ②neutral, ③negative) の3つの選択肢を持つとき、図4のようなポセットとして表現される。(定義域の拡張)

図 4



- (3) 上の(1), (2)の場合を、統一的に、ポセット上の意思決定モデルと考え、それぞれのプレイヤー (属性) の重要度を測る1つの尺度を提案した (本課題の研究内容として、申請したが、開始前に成果が得られた)。

しかしながら、この尺度が、どのような特徴をもつ (どのような公理・公準より導かれる) 尺度であるかについては、言及されていなかった。本研究では、ネットワークより導かれるポセットに注目し、この尺度がネットワークにおいて、どのような意味を持つ尺度であるのかを明らかにするとともに、これに対称となる尺度を新たに提案した。以下において、概要を述べる。

図5のようなネットワークにおいて、各接点は何らかの情報または財を持っているとする。そして、それぞれの接点は、ネットワークを通じて、その情報・財を手に入れる。このとき、次のような場合を考える。

- (4) 実際の物流のように、リンクを通過するたびに遅延がおこる。
- (5) インターネットのように、情報の伝達は、事実上、つながっていることが重要であり、ネットワーク上での距離は大きな問題ではない。

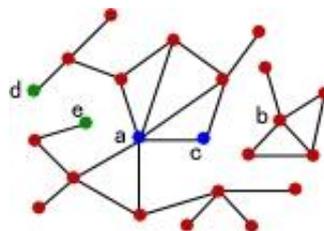


図 5

このとき、

- (6) 節点 a のような節点は、直接、接続している節点が多く、また、多くの節点と比較的近い距離にある。いわゆる**中心性**の高い節点である。このため、(3)の状況下において、多くの情報・財を迅速に集めることができると共に、ネットワーク維持においてきわめて重要な節点である。
- (7) 一方で、節点 e のような節点は、直接、接続している節点が少なく、かつ、多くの点から離れている。いわゆる**周辺性**の高い節点である。このため、(4)の状況下において、少ない接続コストかつ少ないネットワークの維持負担によって、情報・財を集めることができる節点である。

このとき、(3)において提案された尺度は、(6)のようなネットワークにおける**中心性尺度**として公理論的に導かれることがわかった。さらに、その対称な概念として、(7)のような状況を表わす**周辺性尺度**の概念も公理論的に導いた。

ネットワークが、動的に進展していく際に、

- (8) 中心性が高いほど、より高い便益がもたらされる様な状況下(情報の遅延によるロスが、接続コストを上回るような場合)では、節点間での、直接接続が促進され、完全グラフが実現される。

また、

- (9) 周辺性が高いほど、より高い便益がもたらされる様な状況下(情報の遅延がほとんどない場合)では、木構造またはサイクルフリーのネットワークで安定する。

という結果が得られた。

特に、これまでの社会ネットワーク研究においても、ゲーム理論的ネットワーク安定性の研究においても、中心性が、研究の対象になることは多く見られているが、**周辺性に注目した研究は見当たらず、また、安定なネットワーク構造としてよく現れるサイクルフリー構造が、この周辺性によって導かれるという視点は、国内外において例を見ない。**

今後、ネットワーク形成における接続コスト、便益、ネットワークにおける各ポジションの強さ(中心度や周辺度)によって、どのようなネットワークが安定ネットワークとして得られるのか?また、逆に、既存の安定ネットワークがどのような価値基準で安定性を保っているのかの分析が可能となっていく

ことが期待される。

また、研究目的中の(5)に関しては、十分な目的達成には至らなかった。

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 2 件)

- ① K.Fujimoto and M.Sugeno, Obtaining Admissible Preference Orders using Hierarchical Bipolar Sugeno and Choquet Integrals, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, 17(4), 2013, In Press.
- ② 藤本勝成, 周辺性に基づくネットワーク形成とその安定性, 知能と情報, 査読有, 24(4), 2012, 901-908.

[学会発表] (計 8 件)

- ① 藤本勝成, 利得再配分とネットワーク形成に関する一考察, 第 34 回東海フェジィ研究会, 2013. 2. 12, 南知多町.
- ② Katsushige FUJIMOTO and Michio SUGENO, Hierarchical Bipolar Sugeno Integral Can Be Represented as Hierarchical Bipolar Choquet Integral, 9th International Conference, MDAI 2012, 2012. 11. 22, Girona, Catalonia, Spain.
- ③ 藤本勝成 菅野道夫, Admissible な選好と階層型の菅野積分と Choquet 積分, 第 22 回ソフトサイエンス・ワークショップ, 2012. 3. 10, 東京都千代田区.
- ④ 藤本勝成, 限界貢献度ベースの利得配分法下におけるネットワーク形成とその安定性, ゲーム理論ワークショップ 2012, 2012. 3. 7, 浜松市.
- ⑤ 藤本勝成, 周辺性に基づくネットワーク形成とその安定性, 第 16 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 2011. 11. 12, 山中湖町.
- ⑥ K.Fujimoto, A difference in the Shapley values between marginal and cumulative approaches on restricted domains, The 7th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence, MDAI2010, 2010. 10. 27, Perpignan, France.
- ⑦ K.Fujimoto, Probabilistic interaction indices of fuzzy measures, International workshop on advanced intelligent fuzzy systems, 2010. 5. 29, Busan, Korea.
- ⑧ K.Fujimoto, Representations of

Importance and Interaction of Fuzzy Measures, capacities, Games and Its Extensions: A survey, IUM 2010, 2010.4.11, 能美市.

[図書] (計 2 件)

- ① Vicenc Torra, Yasuo Narukawa, Beatriz Lopez, Mateu Villaret (Eds.), Springer, Modeling Decisions for Artificial Intelligence: 9th International Conference, MDAI 2012, Girona, Catalonia, Spain, November 21-23, 2012, Proceedings (Hierarchical Bipolar Sugeno Integral Can Be Represented as Hierarchical Bipolar Choquet Integral), 2012, pp.115-126.
- ② Van-Nam Huynh, et.al. (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Integrated Uncertainty Management and Applications(Representations of Importance and Interaction of Fuzzy Measures, Capacities, Games and its Extensions : A Survey), 2010, 115-126.

[その他]

<http://www.sss.fukushima-u.ac.jp/~fujimoto/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤本 勝成 (FUJIMOTO KATSUSHIGE)

福島大学・共生システム理工学類・准教授
研究者番号 : 50271888