

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 9 日現在

機関番号：17104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05003

研究課題名(和文) 非加法的測度による積分を用いた数理モデルの構築とデータ解析への応用

研究課題名(英文) Mathematical model construction and application to data analysis using nonlinear integral with respect to nonadditive measure

研究代表者

本田 あおい (Honda, Aoi)

九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授

研究者番号：50271119

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：3年間の研究期間において、非加法的測度による非線形積分である包除積分を用いた数理モデルの構築とデータ解析への応用に関する成果を得た。数理モデルの構築手法と構築したモデル式が記述している目的変数の決定プロセスの解釈手法を提案した。また、包除積分が単調性を持つための測度や積分に用いる interaction operator が満たすべき十分条件を与えた。さらに、非線形積分が決定する関数空間の線形性と位相的性質の考察を行った。積分の定義の一般化についても部分的な非離散化に成功した。

研究成果の概要(英文)：We have obtained several results on construction of mathematical model and application to data analysis using inclusion-exclusion integral, nonlinear integral with respect to nonadditive measure in these three years. We have given a method of construction of mathematical model and interpreting of decision process to the objective variables described by the model. Moreover, we have given sufficient conditions of nonadditive measures and interaction operators used to define the integral for monotonicity of the integral. We have discussed linearity and topology of L_p -space determined by nonlinear integrals. We have also partially succeeded generalization of the definition to nondiscrete nonadditive measure space.

研究分野：応用数学

キーワード：非線形積分 非加法的測度 多変量データ解析 数理モデル L_p 空間

1. 研究開始当初の背景

非加法的測度による積分は期待効用理論、主観的意思決定問題など経済学や社会学、工学等の分野での応用可能性が期待され多くの研究がなされてきた。一方、インターネットと大容量ストレージの発達でビッグデータの取得が可能になりこれらのデータを社会に役立てるデータ解析手法の重要性が従来に増してますます高まってきた。代表者はこれまで非加法的測度の研究に携わり主に測度論や情報理論の精密化の観点から非加法的測度の研究を行っていた。特に近年は新しい積分の提案を行い、データ科学の視点からの研究に着手していた。

2. 研究の目的

本研究の一番大きな目的は非加法的測度、非線形積分論を利用した応用研究により数学を社会に役立てることである。具体的には非線形積分を用いた数理モデルによる多変量データ解析手法を確立することが本課題の目的である。従来のデータ解析手法では解析が困難な複数の要因の複合的な効果が全体の振る舞いを決定するような複雑な現象について測定したデータを解析対象とする。データ解析手法の確立と並行して、包除積分の性質の解明を通して新しい非加法、非線形な測度積分論の構築を目指す。

3. 研究の方法

代表者らが提案する包除積分を軸として研究を行う。理論と応用の研究が相乗効果を発揮するように相互に作用させながら効率的に発展させる。

数理モデルの構築に関しては、解析方法が明らかでない実データを用いた研究を行い、実際のデータ解析の現場における課題発掘を行う。オープンアクセスの研究用データレポジトリのデータの他に、形容詞やオノマトペの音印象から人間が直観的に想起するイメージのアンケート調査を行う。具体的には

(1) CGアニメーションの動作から想起する印象。動作の測度や角度と印象の関係を表す数理モデルを構築する。

(2) 痛みを表すオノマトペから想起する直観的な印象。音要素との関係を表す数理モデルを構築する。

評価、印象判定における人間の判断の過程が非加法的測度による積分のどの部分に対応するのか、どのような仕組みに基づいて目的変数値が算出されるのかを明らかにし、本モデルを用いた判断の決定プロセスの解析手法を確立する。

理論研究では、非加法的測度による非線形積分の定義を精密化する。積分の定義に用いる演算と積分の性質の関係を明らかにする。さらに、応用研究において非加法的測度空間は離散的な有限集合で十分であるが、理論研

究においてはこの積分を非離散的な一般の空間へと拡張する。

4. 研究成果

(1)に関して[2][7]の2本の雑誌論文と、数件の研究発表にて研究を行った。CGアニメーションの作成のような熟練の技術が必要な作業において、非線形積分の利用の今後の可能性を示すことができた。

(2)に関しては[5]の論文、及び研究発表を行った。単語を音要素に分解したもとのから、人間が直観的に想起する単語のイメージを表す数理モデルを構築し、この積分モデルの有用性を示すことができた。また、派生的な成果として曖昧な事象をアンケート調査する際のアンケート調査手法を提案した。

データ解析手法に関しては、[8]の論文と国内外にて研究発表を行った。解析データの前処理、モデル構築手順や、モデル式構築後の具体的なデータ解析手法を提案することができた。これにより、従来の線形モデルではできない説明変数間の相互作用の表現ができ、さらに決定プロセスを読み取ることが可能になり、現在、データ解析手法として注目されている機械学習にはない利点を示すことができた。

理論研究においては、[1][3][4][9][10]の雑誌論文の他、国内外で多数の研究発表を行った。包除積分が積分汎関数となるための十分条件、非線形積分で決定される関数空間の特徴づけ、複数の非線形積分の性質の比較において、定理を得ることができた。また、包除積分の非離散的空間への拡張にもほぼ成功し、部分的に研究発表を行った。

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10件)

1. Masaki Oshita, Kei Yamamura, Aoi Honda, Expressive human pose deformation based on the rules of attractive poses, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social-Informatics and Telecommunications Engineering, LNICST, Vol. 229, 査読有, pp.162-171, 2018. DOI:10.1007/978-3-319-76908-0_16

2. Aoi Honda, Yoshiaki Okazaki, L1-space for Sugeno Integral, Lecture Notes in Computer Science, Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI2017), 査読有, pp.63-63, 2017.

3 . Aoi Honda, Simon James, Averaging aggregation functions based on inclusion-exclusion integrals, Proceedings of Joint 17th World Congress of International Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS 2017), 査読有, 2017.
DOI:10.1109/IFSA-SCIS.2017.8023353

4 . Aoi Honda, Yoshiaki Okazaki, Theory of inclusion-exclusion integral, Information Science, 査読有 Vol 376, 2017, pp. 136-147.

5 .柴尾一成, 本田あおい, 大木真, 相対評価法を用いた痛みを表すオノマトペの順序関係を調べる手法の提案, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), 査読有, 28 巻, 2017, pp.734-743.

6 . 本田あおい, 岡崎悦明, Quasi-metric on the function space $L_p(0, p)$ for a fuzzy measure, 数理解析研究所講究録, 2041 巻, 査読無, pp.199-208, 2017.

7 . Masaki Oshita, Maho Katsurada, Aoi Honda, Motion interpolation using adjective, NICOGRAPH International 2016, 査読有, 2016.
DOI: 10.1109/NicoInt.2016.7

8 . Aoi Honda, Yoshiaki Okazaki, Inclusion-exclusion integral and t-norm based data analysis model construction, Proceedings of 16th International Conference on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU2016), 査読有, 2016.

9 . Aoi Honda, Yoshiaki Okazaki, L_p -space and its dual for a fuzzy measure, Proceedings of 13th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI2016), 査読有, 2016.

10 . Aoi Honda, Yoshiaki Okazaki, Inclusion-exclusion integral, Proceedings of 12th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI2015), 査読有, 2015.

{学会発表}(計 17 件)

1 . 本田あおい, 岡崎悦明, 包除積分の非離

散化, 実解析学シンポジウム 2017 報告集, 49 巻, pp.59-64, 2018.

2 . 包除積分の非離散化, 本田あおい, 岡崎悦明, 日本数学会年会, 2017.

3 . ファジィ測度の作る関数空間 $L_p(0, p)$ の準距離線形構造, 本田あおい, 岡崎悦明, RIMS 研究集会 関数空間の構造とその周辺, 2017.

4 . 山田将也, 本田あおい, 大木真, 包除積分数理モデルのパラメータ決定手法の検討, 第 21 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 2016.

5 . 西嶋泰樹, 本田あおい, 大木真, 包除積分数理モデルのパラメータ決定手法の検討, 第 21 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 2016.

6 . 本田あおい, 岡崎悦明, ファジィ測度の測度代数および可測関数空間 L_0 , 第 21 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 2016.

7 . 本田あおい, 岡崎悦明, 劣加法的単調測度に対する Shilkret-菅野型積分とその L_p 空間, 日本数学会秋季総合分科会, 2016.

8 . 本田あおい, 岡崎悦明, t-ノルムに基づく包除積分データ解析モデルの構築, 日本数学会秋季総合分科会, 2016.

9 . 非整数階 Shepp 数列空間と L_p の非整数階差分作用素, 本田あおい, 岡崎悦明, 日本数学会年会, 2016.

10 . 劣加法的単調測度の作る L_p 空間と双対 L^*p , 本田あおい, 岡崎悦明, 日本数学会年会, 2016.

11 . モーションデータの合成のための形容詞を用いた直感的なインターフェースの提案, 桂田真歩, 本田あおい, 尾下真樹, 画像電子学会 第 276 回研究会, 2016.

12 . Aoi Honda, Yoshiaki Okazaki, Inclusion-exclusion integral and its application for multi-variate analysis, 13th International Conference on Fuzzy Set Theory and Applications, 2016.

13 .柴尾一成, 池上加那子, 本田あおい, 豊坂祐樹, 大木真, 相対比較による痛みを表すオノマトペの順序関係を調べる方法の検討, 第 20 回曖昧な気持ちに挑むワークショップ, 2015.

14 . 本田あおい, 岡崎悦明, ファジィ測度の作る L_p 空間の準距離, 第 20 回曖昧な気持ち

ちに挑むワークショップ, 2015.

15. 本田あおい, 岡崎悦明, 準距離空間の完備化, 距離付け, およびベールの性質, 実解析学シンポジウム 2015, 2015.

16. 本田あおい, 岡崎悦明, Inclusion-exclusion integral (包除積分) 非加法的単調測度による積分, 日本数学会秋季総合分科会, 2015.

17. 本田あおい, 岡崎悦明, 包除積分 非加法的な測度による積分, 日本応用数理学会 2015 年年会, 2015.

〔図書〕(計 1 件)

1. Modeling Decisions for Artificial Intelligence: 14th International Conference, MDAI 2017, Proceedings (Lecture Notes in Computer Science 10571), Vicenç Torra, Yasuo Narukawa, Aoi Honda, Sozo Inoue (Eds), 2017.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

本田 あおい (HONDA, Aoi)
九州工業大学・大学院情報工学研究院・准教授
研究者番号: 50271119

(2) 研究分担者

乃美 正哉 (NOHMI, Masaya)
九州工業大学・大学院情報工学研究院・講師
研究者番号: 50208302

大木 真 (OHKI, Makoto)
熊本工業高等専門学校・准教授
研究者番号: 10624562

(4) 研究協力者

JAMES, Simon
Deakin University, Lecturer