

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：32689

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730146

研究課題名(和文) 意思決定問題における最適解の数理的な妥当性を保証するメンバシップ関数構築法の開発

研究課題名(英文) An objective approach to construct the appropriate membership function in optimal decision making

研究代表者

蓮池 隆 (Hasuike, Takashi)

早稲田大学・理工学術院・准教授

研究者番号：50557949

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：数理計画問題を利用して実社会の意思決定を行う場合、言語情報や人の感性といった非数値情報を表現できるメンバシップ関数を用いることが多いが、既存研究の多くでは主観性のみで設定がなされていた。本研究において、メンバシップ関数を意思決定者が第三者を、自信をもって納得させられる部分と、それ以外の部分に分割し、前者は主観性により設定し、後者の部分は、特定の関数形を事前設定することなく、確率統計や情報理論を応用した関数設定法を構築した。さらに高速に関数設定が可能な、動的計画法を基にした効率的解法へと拡張を行った。これにより、意思決定場面を問わない非数値情報の客観的数値表現が可能となった。

研究成果の概要(英文)：Appropriate decision making is most important in terms of academic research and real-world application. In order to obtain the appropriate decision in mathematical programming, the decision maker needs to represent uncertainty mathematically, particularly ambiguity and fuzziness. One of the standard approaches is Fuzzy theory, and the most important mathematical element is to set a membership function. However, in many previous studies, the membership function was only subjectively constructed. In decision making, it is important to set parameters not including subjectivity. Therefore, in this study, I develop a more objective approach to construct the membership function from membership values 0 to 1 using statistics and information theory without assuming the specific form of membership function. Furthermore, I also improved the proposed approach to a more efficient approach based on dynamic programming.

研究分野：オペレーションズ・リサーチ、不確実性下での意思決定

キーワード：ファジィ理論 メンバシップ関数 情報理論 不確実性下での意思決定

1. 研究開始当初の背景

実社会の意思決定では、言語情報や人の感性などの非数値情報も判断材料として取りこむ必要がある。その数値化データを意思決定問題の基本モデルである数理計画問題に取りこみ、問題を解くことで得られる最適解をもって意思決定とする場合、数値化の妥当性が意思決定の妥当性に直結する。非数値情報の数値化手法の1つとして、ファジィ理論のメンバシップ関数が利用される。メンバシップ関数とは、ある状況(例えば、「この場所は騒々しい」)に対して、事象(騒音の例においては、80 デシベルなどの音の数値データ)が状況にどのくらい含まれるかを、0 から 1 の値で当てはめていったものである。このメンバシップ関数を構築する際に、これまでは主観性のみでの構築されることが多く、解の妥当性が保証されないため、未だ意思決定への応用は非常に限定的である。よって、情報理論などの理論的保証のある手法を拡張・適用することで、理論的妥当性を有するメンバシップ関数構築法を開発し、実問題への適用、解の検証を行い、理論・実用の両面からファジィ理論の意思決定分野における応用可能性を拡充させる必要がある。

2. 研究の目的

(1)ファジィ理論が提唱されて以来、メンバシップ関数構築に関する研究は多数なされている。これら既存研究に対し、その構築法が理論的妥当性の有無、定性的・定量的観点から分類することができる。その中でも、す Civanler と Trussell の研究に注目する。この研究では、メンバシップ関数の形状を仮定せず、不確かさを数理的に表現可能な情報エントロピーを利用したメンバシップ関数構築法が提案されている。しかし、この既存研究では、解析がしやすい特殊なエントロピーのみを取り上げており、シャノンエントロピーのような一般的なエントロピーでの議論は皆無である。よって、本研究では一般的なエントロピーを導入し、主観性を有効したメンバシップ関数構築法へと拡張する。さらに、ベイズ確率論や心理学的側面における主観性の数値化手法とどの程度適用可能性があるかを確認する。

(2)上記(1)で開発されたメンバシップ関数構築法の妥当性をさらに向上させる。平成 25 年度に開発された手法では、S-curve 関数特有の性質を用いた解法となっており、より一般的に、関数を特定しない方法論を開発する必要がある。そこで、一般的な非線形関数を区分線形関数として近似することで、特定の関数形を想定しないメンバシップ関数構築法を開発する。さらに、本研究成果の応用として、観光政策意思決定に焦点をあて、観光地の選定や観光経路設計、効果的な観光イベント立案に本手法を適用させ、人間感性と大きく関わる意思決定問題への応用研究を進

める。

(3)上記(1)および(2)で特定の関数を想定しないメンバシップ関数構築法を妥当性も考慮しながら開発してきた。意思決定の妥当性を保証する上では、この開発された手法は有効であるが、これまでの構築法は非線形計画問題を解くことを主としており、現実世界における迅速な意思決定においては、開発してきた構築法のさらなる効率化が必要となる。よって、非線形最適化法における最適性条件を利用しながら、意思決定者の情報を入力すれば、自動的かつ効率的に結果を導き出せる、動的計画法を基にした構築法へと改良を加える。

3. 研究の方法

(1)本研究の核となる Civanler and Trussell の数理計画問題を基にしたメンバシップ関数構築法に対し、目的関数を一般的な Shannon エントロピーに置換した非線形計画問題の最適化を行う。特にメンバシップ関数の形状として、その際、既存研究として標準的なベイズ確率論や心理学的状況設定を制約条件として組み込みながら、目的関数の構築を行う。さらに実際に得られたメンバシップ関数が、既存研究とどのくらい差異があり、本研究でのメンバシップ関数の方が、意思決定者の主観性を表現できていることを、数値例を基に検証する。

(2)上記(1)で利用した S-curve 関数は、メンバシップ関数の中では標準的であるものの、この関数群に入らないものも多々存在する。そこで、非線形関数の一般的な近似として広く用いられている区分線形関数と、関数を滑らかに設計するために必要な平滑化法を導入することで、どんな関数形にも対応可能な構築法へと改良を加える。さらに観光経路作成へ応用する場合、満足度最大化の観光経路を作成する観点から、各観光地の満足度を設定する必要がある。一方で、アンケートやウェブ上の情報から階層分析法を用いて、観光地人気ランキングを求める方法も提案されており、これを用いて観光地満足度の客観的設定を行う。

(3)上記(1)および(2)で開発されたメンバシップ関数構築法は非線形最適化問題を解く必要があることから、効率的に求めることが難しかった。一方で、非線形最適化問題の最適性条件から求められる性質は、動的計画法と呼ばれる高速でかつ貪欲的な解法が利用可能な形であることから、開発手法を改良し、入力情報から自動的かつ計算途中のメンバシップ関数形状が見える構築法の開発を進める。形状変化が見えることで、意思決定者の気づきを促し、より正確なメンバシップ関数が取得可能となる。

4. 研究成果

(1)情報エントロピーにより客観性を担保しつつも、意思決定者がメンバシップ関数構築過程において、最も自信をもって設定可能である、完全所属・日所属部分を設定させ、その区間と連続性を保って関数構築できるように、一般的なメンバシップ関数として開発研究がなされている S-curve 関数を導入したメンバシップ関数構築法を提案した。これにより、より人間の感覚に近いメンバシップ関数が、客観性もある程度保証しながら構築可能となった。またメンバシップ関数1つに定まらない状況も想定した意思決定問題を提案し、最適性条件を付加することで、1つの意思決定案を導出可能な手法を開発した。

(2)上記(1)S-curve 関数という一般的な関数を用いているとはいえ、関数形を設定することなく、妥当なメンバシップ関数を構築できることが、最もりそうてきである。このことから、メンバシップ値が0から1の部分の関数補間に一般平滑化関数を導入し、エントロピーだけでなく平滑化も考慮した目的関数を設定し、両方を最適化することで、特定の関数形に依拠しないメンバシップ関数構築法を開発した。これにより、ある人の非数値情報に関する感性を柔軟に関数として表現することが可能となった。さらにこれらの研究成果を、人が主体的に意思決定を行い、かつ今後意思決定支援の必要性が増すと考えられる観光分野へ適用を行い、個人観光経路における意思決定支援モデルを構築した。

(3)これまでに開発してきた関数形状を陽に仮定しない手法における、効率的解法に開発を行った。具体的には、非線形最適化手法を利用して、最適性条件を導出するとともに、非線形関数のパラメータを昇順にかつ動的に決定できる手法を開発した。これにより、パラメータの微調整が容易となるだけでなく、意思決定者の主観部分の情報が入力されるとすぐに、その意思決定者の感性に即したメンバシップ関数が得られるようになり、開発手法の適用範囲が格段に拡大された。

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4件)

Takashi Hasuike and Hideki Katagiri, "An Objective Approach Constructing a Membership Function Based on Fuzzy Harvda-Charvat Entropy and Mathematical Programming", Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, 採録決定済み, 2016年発行予定.
Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, and

Hiroe Tsubaki, "An Interactive Algorithm to Construct an Appropriate Nonlinear Membership Function Using Information Theory and Statistical Method", Procedia Computer Science, 査読有, 61, pp. 32-37, 2015.

10.1016/j.procs.2015.09.140

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, and Hiroe Tsubaki, "A Constructing Algorithm for Appropriate Piecewise Linear Membership Function based on Statistics and Information Theory", Procedia Computer Science, 査読有, 60, pp. 994-1003, 2015.

10.1016/j.procs.2015.08.140

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, and Hiroe Tsubaki, "Constructing an appropriate membership function integrating fuzzy Shannon entropy and human's interval estimation", ICIC Express Letters, 査読有, 8(3), pp. 809-813, 2014.

[http://www.ijicic.org/el-8\(3\).htm](http://www.ijicic.org/el-8(3).htm)

[学会発表](計12件)

Takashi Hasuike and Hideki Katagiri, "Construction of an Appropriate Membership Function Based on Size of Fuzzy Set and Mathematical Programming", The International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2016 (IMECS2016), March 16-18, 2016, Hong Kong, China.
Takashi Hasuike, "Fuzzy Programming Problems with Appropriate and Flexible Membership Functions Based on Statistic and Information Theory", International Conference on Recent Advances in Optimization Theory and Applications (RAOTA2016), January 31-February 1, 2016, Delhi, India.

Takashi Hasuike, "Interactive and efficient algorithm to construct a membership function with objectivity", FUZZY51, December 18, 2015, Kitakyushu, Japan.

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, and Hiroe Tsubaki, "Constructive Method for Appropriate Membership Function Integrating Fuzzy Entropy with Smoothing Function into Interval Estimation", Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS2014), December 3-6, 2014, Kitakyushu, Japan.

Takashi Hasuike, "Intelligent Decision Making in Supply Chain Management under Uncertainty", IEEE

7th International Workshop on Computational Intelligence and Applications (IWCIA2014), November 7-8, 2014, Hiroshima, Japan.

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, Hiroe Tsubaki, and Hiroshi Tsuda, "Route planning problem with groups of sightseeing sites classified by tourist's sensitivity under Time-Expanded Network", 2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2014), October 5-8, 2014, San Diego, USA.

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, Hiroe Tsubaki, and Hiroshi Tsuda, "Fuzzy linear programming problems with appropriate and flexible membership functions", 20th Conference of the International Federation of Operational Research Societies, July 13-18, 2014, Barcelona, Spain.

蓮池隆, 片桐英樹, 椿広計, "メンバシップ関数設定の柔軟性を考慮したファジィ数理計画問題", 京都大学数理解析研究所「不確実性の下での数理的意味決定の理論と応用」研究集会, 2013年11月11日~13日, 京都.

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, Hiroe Tsubaki, and Hiroshi Tsuda, "A Flexible Tour Route Planning Problem with Time-Dependent Parameters Considering Rescheduling Based on Current Conditions", 2013 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC 2013), October 13-16, 2013, Manchester, United Kingdom.

蓮池隆, 片桐英樹, 椿広計, "数理計画問題における妥当なメンバシップ関数構築法の一考察", 第29回ファジィシステムシンポジウム(FSS2013), 2013年9月9日~11日, 大阪.

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, Hiroe Tsubaki, and Hiroshi Tsuda, "Flexible Route Planning for Sightseeing under Uncertain Conditions", EURO/INFORMS2013, July 1-4, 2013, Rome, Italy.

Takashi Hasuike, Hideki Katagiri, Hiroe Tsubaki, and Hiroshi Tsuda, "Route planning problem under fuzzy sightseeing times and satisfaction values of sightseeing places", 2013 Joint IFSA World Congress NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS2013), June 24-26, 2013, Edmonton, Canada.

[図書](計1件)

蓮池隆, 片桐英樹, 椿広計, "統計理論

に基づく妥当なメンバシップ関数構築法と意思決定", 統計数理解析研究所, 共同研究レポート 305, pp.1-43.

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

蓮池 隆 (HASUIKE, Takashi)

早稲田大学・理工学術院・創造理工学部・
准教授

研究者番号: 50557949