解説

オペレーションズ・リサーチにおける メンバシップ関数設定の重要性†

蓮池 隆*1・片桐 英樹*2

1. はじめに

実社会のあらゆる場面で、人は意思決定を続けながら生活している。「今日のランチはあっさりしたもの食べたい。さあどこに行こうか。」といった日常のさりげない場面から、「未来へ向けた持続的発展のため、大規模な設備投資を行いたい、Goサインを出してもよいか」といった一つの集団の将来を左右するものまで、規模の大小、時間を問わず、至る所に意思決定場面があふれかえっている。このような状況を客観的かつ忠実に評価・検証する、または計算機上で実現・シミュレーションを行うためには、言語情報に代表される非数値情報や人間感性も数理的に表現する必要がある、ファジィ理論が活躍できる領域であると考ええることは、本誌の読者であれば納得いただけるであろう。

しかしながら、意思決定の数理化においては、ファジィ理論の根幹をなすメンバシップ関数の設定にシビアさが求められる。意思決定問題における数理モデルの1つとして数理計画問題が広く用いられており、数理計画問題のパラメータの値にファジィ理論を用いたファジィ数を導入したファジィ数理計画問題に関する研究も幅広く行われている。中でも可能性計画や必然性計画に代表される機会制約条件を用いた手法[1, 2]や、確率論で用いられる期待値や分散に対して、確率密度関数をメンバシップ関数と考え拡張したファジィ数における期待値と分散を利用した手法[3, 4, 5]、およびファジィ数の順序関係を利用した手法[6]など、様々な最適化手法が提案されている。詳細はそれぞれ参考文献に譲るが、いずれもファジィ数（つまりはメンバシップ関数）の設定後における最適性基準の捉え方であり、たとえ最適性基準の設定がその意思決定に

において妥当であったとしても、適切でないメンバシップ関数である限り、得られる意思決定案の妥当性は保証されることはない。よって、本稿ではオペレーションズ・リサーチの中でも特に、意思決定問題とメンバシップ関数に焦点をあてながら、メンバシップ関数設定の重要性について議論を進める。

2. シビアさが求められるメンバシップ関数と意思決定

ファジィ数理計画問題の最適化手法から得られる最適解が妥当であるかどうかを決定するのは、パラメータに設定されたファジィ数の妥当性にあるといっても過言ではない。ここで以下の簡単な例を考える。

（例1：美術品の購入）

現代の若手職人が作った、2つの美術品AとBがある。値段はどちらも100万円で、予算の問題で片方しか買えない。購入者は将来骨董品として高い値打ちが出る方を購入したいと考えているが、どちらの美術品を購入すればよいのか？

この例では、美術品の種類や色、形などの物質的要因のみならず、作った職人が将来有名になるかどうかを考慮した上でどちらかの美術品を購入しないといけない。また美術品のような一点ものの場合、似たような品はあるとしても、完全一致するような品はないため適切なデータが少ないことから、将来価値をメンバシップ関数で表現したファジィ数を利用して意思決定することは一般的である。しかし、例えば美術品AおよびBに対するメンバシップ関数を図1および図2のように設定した場合、可能性計画法を用いて意思決定を行うとすれば、将来価値が高くなる可能性が大きい方を選択する、つまりそれぞれのメンバシップ関数において右側部分に着目し意思決定を行うため、図1では美術品Aを、図2では美術品Bを選択することになる。このように、メンバシップ関数の多少の変化により、購入すべき美術品が異なることがわかる。

† Importance of setting membership functions in operations research
Takashi HASUIKE and Hideki KATAGIRI

*1 大阪大学
Osaka University

*2 広島大学
Hiroshima University

図1 美術品A(実線)とB(点線)のメンバシップ関数. 上記の場合, 将来価値が395万円以上の領域に着目し, どの将来価値においても, 実線の方が点線よりも大きいメンバシップ値をとるため, 可能性測度の観点から美術品Aを選択する.

図2 図1より, Bのメンバシップ関数におけるメンバシップ値が1の範囲を, 区間[310, 405]と正方向へ10移動させた関数. 上記の場合, 将来価値が400万円以上の領域に着目し, どの将来価値においても, 点線の方が実線よりも大きいメンバシップ値をとるため, 可能性測度の観点から美術品Bを選択する.

図3 美術品Bのメンバシップ関数が区間[400, 450]で下に凸な関数形となった場合, 将来価値が400万円以上の領域に着目し, どの将来価値においても, 実線の方が点線よりも大きいメンバシップ値をとるため, 可能性測度の観点から美術品Aを選択する.

図4 美術品Bのメンバシップ関数が区間[400, 450]で上に凸な関数形となった場合, 将来価値が400万円以上の領域に着目し, どの将来価値においても, 点線の方が実線よりも大きいメンバシップ値をとるため, 可能性測度の観点から美術品Bを選択する.

さらに図3や図4において, 例えメンバシップ値の0と1の領域が同じだったとしてもそれ以外の領域の関数形で, 意思決定の結論が変化する場合も存在する.

上記は, 意思決定の範疇が個人レベルで収まるため, 社会的影響はほとんどないと考えられるが, 次の意思決定においては, ある集団の将来を左右しかねないため, メンバシップ関数は個人の自由により決められるとするのは乱暴かもしれない.

(例2: 企業の人事評価)

ある企業において定期賞与のため, 労働者の人事評価を行おうとしている. 人事評価には数値データはもちろんのこと, 文章による自己評価や上司からの評価も加味する. このとき, 各労働者の賞与額をどのように決定すればよいのか?

例2の事例において, 人事評価を誤ると, 職場内の人間関係がこじれたり, 人事評価を上げるためだけに尽力するといった企業の持続的発展とは真逆の状況を引き起こしたりすることも起こりうる.

このように, どのような意思決定場面においても, 客観性・妥当性が保証されない限り, 第3者がその意思決定を納得して受け入れることはないであろう. そして数理計画問題において客観性を有した意思決定を行いたい場合, メンバシップ関数構築法の妥当性の議論から目をそむけるわけにはいかない. 意思決定においてファジ理論(メンバシップ関数)を用いた研究が実応用まで結びつかない根本には, 上記の議論が十分になされておらず, 現在のところ, ファジ理論の研究者のみならず, 他の研究者や実務家が納得するような手法が確立されていないことが1つの原因であると

考えられる。一方で、これまでも多くの研究者がこの重要かつ根本の研究課題に取り組んできており、その研究成果がファジィ理論に懐疑的な研究者に十分認知されていない可能性もある。さらに、これらの研究成果の上に、より納得できるメンバシップ関数構築法を確立することは、今後実現場における意思決定へのファジィ理論の適用範囲の拡大と浸透には必要不可欠である。よって次章において、既存のメンバシップ関数構築法に関する研究を概説する。

3. メンバシップ関数構築法の分類

これまでに提案されているメンバシップ関数を構築する手法はいくつかの手法に分けることができ、大きくは、呈示要素評定法と該当度対応要素応答法に二分される（[7, 8] 参照）。呈示要素評定法は、ある設定集合に対する要素の帰属度（メンバシップ値）そのものを問う手法であり、一方、該当度対応要素応答法は、帰属度の値を与え、それに該当する要素区間（該当領域）を回答させる手法である。

3.1 呈示要素評定法

呈示要素評定法の最も基本的なメンバシップ関数の構築法としては、意思決定者が自ら関数形そのものを作成する、もしくは被験者にアンケート調査や対話を通じて作成する方法が挙げられる。これらは確かに各個人に対応したメンバシップ関数となっているかもしれないが、客観的な構築という観点からは疑問符が付き、極論すれば、メンバシップ関数の与え方によって、意思決定が恣意的に操作される可能性がある。よって、より客観的根拠のある構築法が求められる。

メンバシップ値に客観性を与える一手法として、被験者に提示した事例がある集合に属するかどうかを二値判定させ、その判定に対する確信度をメンバシップ値とする確信度媒介法が挙げられる。この事例として、Hersh and Caramazza[9]の実験を挙げる。

（例2：Hersh and Caramazza[9]）

12種類の正方形を呈示し、「正方形の大きさが「小さい」「大きい」「小さくない」「大きくない」「非常に小さい」「非常に大きい」…といった集合に属するor属さないを強制選択させ、同時にその判断の確信度を5段階で回答させる。また、その確信度 r を用いて、メンバシップ値を次式により表現する。

メンバシップ値 $=0.5 \pm r/10$ （+肯定反応，-は否定反応）

Hersh and Caramazzaの実験では肯定・否定反応の

両方において、5段階でメンバシップ値を決定しているが、二値選択の早さをもって確信度としてメンバシップ値を設定する方法も考えられている。

これらの手法は、ある事例に対する肯定と否定の二値選択という簡便な手法であり、かつ被験者が要点となるメンバシップ値を直接設定できる利点はあるものの、要点以外の細かいメンバシップ値の設定は不可能であり、また細かいメンバシップ関数を実現するためには膨大な被験者実験が必要となる。また実験を重ねていく上で、確信度の設定にもぶれが生じる可能性も否めない。

3.2 該当度対応要素応答法

一方、該当度対応要素応答法の基本的なメンバシップ関数の構築法としては、ファジィグラフ評定尺度図法が挙げられる[10]。この手法は被験者に対し、概念や言葉を最もよく表している範囲、つまりメンバシップ値が1となる集合（1レベル集合）と、概念や言葉を表していると見なせる範囲、つまり台集合を数直線上に回答させ、両集合の端点を直線で結び、台形型メンバシップ関数を構築する方法である。例えば、金融資産配分問題（ポートフォリオ選択問題）における株価予測に投資家の主観を導入しようとした場合に関して、下図5は「半年後の東京証券取引所の日経平均株価」の予測を、数直線の最小値を0、最大値を30000円と設定し、上記の1レベル集合と台集合を設定した一例である。

図5 投資家の主観による「半年後の東京証券取引所の日経平均株価」の1レベル集合と台集合の設定

3.3 被験者実験によるメンバシップ関数構築法の比較

呈示要素評定法と該当度対応要素応答法それぞれで構築されるメンバシップ関数の比較に関する被験者実験として、Chameau and Santamarina [11]における実験が挙げられる。彼らは22名の被験者に『非常に年をとった』という事例に対し、4つのメンバシップ関数の同定法を比較・検証している。各手法の概要は以下の通りである。

①点推定法：被験者はある事象に対し、メンバシップ値を1点の数値で回答し、年齢毎のメンバシップ値を集計したものからメ

ンバシップ関数を設定、二値判断確率充当法と同義。

- ②区間推定法：点ではなく、区間により評定する方法、設定区間以外の領域でのメンバシップ関数は矩形や三角型で表現、上記のファジィグラフ評定尺度図法と同様の手法。
- ③メンバシップ関数例示法：メンバシップ関数形状そのものを被験者に作成させる
- ④一対比較法：事象全ての組合せについて、ある属性に関してどちらがどれだけ強いかを評価する、オペレーションズ・リサーチにおける一対比較の代表例である階層分析法(AHP)と類似。

この実験では、これら4つの同定法により構築されたメンバシップ関数形状に対し、被験者にどのメンバシップ関数が自分の思っている関数形状に近いのか、また同定法の負担度合いなどを評価した結果、区間推定法が最も被験者の感じているメンバシップ関数に近い関数形を示し、かつ負担が少ないと結論付けている。

3.4 該当度対応要素応答法の改良とBASE法

さらに、吉川[12]によるメンバシップ関数同定法であるBoundary ASymptotic Estimation method (BASE法)は呈示要素評定法の1つである多段階直接評定法と該当度対応要素応答法の利点を融合した方法として開発されている。実数直線上の値に対するメンバシップ関数の構築手順は以下の通りある。

- STEP1：二分法的に、ある対象(刺激)が集合に『所属・非所属・どちらとも言えない』で回答を行う。まず実数直線上の両端点に対し、回答を行う。
- STEP2：『所属』という回答を得るまで、未回答区間を二分的に探索。
- STEP3：『所属』回答があった場合、『非所属 or どちらとも言えない』回答の中間の対象を順次回答。
- STEP4：最後はそれを『所属』と『非所属』の端点を台形型メンバシップ関数として設計。

上記のメンバシップ構築過程からもわかるように、BASE法の要点は三択回答(所属・非所属・不明)を繰り返すことにより、所属と非所属の領域を発見することであり、多段階直接評定法の1つである。また完全所属と非所属の領域を設定している点では該当度対応要素応答法とも考えられ、これらのことから、両手法

の利点を上手くとらえているメンバシップ関数構築法である。

しかしながら、利点の多いBASE法にも改良の余地がある。特に意思決定の観点から、1章で示した図3や図4のように、メンバシップ値が0や1でない領域における関数形状が意思決定に大きな影響を与えることから、BASE法のようにメンバシップ関数を台形近似してよいのかといった疑問点が出てくる。また、三択回答を繰り返すことにより、正確に領域を発見する、またはメンバシップ関数を同定するためには、それなりの回答数が必要となるため、回答を重ねるごとに本来導出すべきメンバシップ関数形状の表出にぶれが生じるのではないのかといった修正点が挙げられる。

一方で、BASE法やChameau and Santamarina[11]の論文での構成法比較においても、区間で帰属度を回答させる方法は、被験者実験に沿ったメンバシップ関数が構築されているといった良好な結果が得られていることがわかる。つまり、人が自らの根拠を基に、主観的でありながら客観的説得性を持たすことが可能であると考えられるメンバシップ値が0または1の部分には、人により区間で表現させ、それ以外のメンバシップ値の部分に関しては、客観的データで補足しながら、メンバシップ関数を構築することが求められるのである。よってメンバシップ関数で0または1以外の領域において、いかに妥当性を持って補間するかが重要であり、補間するための数理的基盤がどこまで研究され、確立しているかが焦点となる。

4. メンバシップ関数に関する数理的基盤

ファジィ理論に確率論と同じような演算体系を与える数理的基盤研究も存在し、多くのファジィ理論研究者がメンバシップ関数を理論的側面から検討している。その例として、通常の二項演算を抽象化することで、一般的な集合演算や論理演算を可能にしているt-normやt-conorm[13, 14, 15]が存在する。詳細は参考文献に譲るが、このt-normやt-conormは、ファジィ理論のみを念頭において整備された理論体系ではなく、確率論も含めた様々な不確実・不確定性へ適用可能である。特に[0, 1]の連続値をとるメンバシップ関数との相性がよく、ファジィ理論の根幹をなす演算として利用されている。しかし、t-normやt-conormは演算に主眼が置かれているため、合理的なメンバシップ関数を“実際に構築する”という観点では、より厳密な議論が必要である。

一方、メンバシップ関数は「ある命題Aに対する事象xが含まれる可能性が高い(低い)」といった可能性測度を基盤とした可能性分布と同等とみなすことがで

きる[16]．可能性測度はファジィ測度[17]の一部であり，ファジィ測度は確率測度より緩やかな非加法的性測度のため，確率測度では対処できない不確実性・不確定性も表現可能であると考えられる．またファジィ測度の中でも有用とされている λ -ファジィ測度[18]は上述の t -conormを用いても表現できることから， t -normや t -conormを考える意義を見いだせる．よって，可能性測度からのメンバシップ関数構築の議論も重要である．

さらに，確率論とファジィ測度の融合によりメンバシップ関数を構築する方法も提案されている．例えば，以下のようなファジィ測度を考える．

定義 (確率から導かれるファジィ測度) [19, 20, 21]

ファジィ測度 $\mu: F \rightarrow [0, 1]$ に対して，確率測度 $P(A)$, ($A \in F$) と非減少関数 $f: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ が存在し，かつ任意の $A \in F$ に対して，

$$\mu(A) = f \circ P(A)$$

が成り立つとき， $\mu(A)$ は distorted probability または確率から導かれるファジィ測度と呼ぶ．

確率から導かれるファジィ測度は確率 P を単調非減少関数 f で歪めた測度であり，確率 P と関数 f が決まれば全体が決定される． P は加法的な測度であり扱いやすい． f は非減少関数であるので， P の加法的性は崩れるものの P での測度の大小関係は μ にも適用可能である．よって，確率論をうまく利用することで，メンバシップ関数を構築することも可能である．また既存の融合研究として， λ -ファジィ測度を利用した手法[21]，Zadehによる言語変数の構成法を応用したProbabilistic linguistic uncertainty theory [22, 23]，Fuzzy statistics [24]などが挙げられる．このように3章で扱ったBASE法が多段階直接評定法と該当度対応要素応答法の利点を融合した手法であったのと同様，確率論の客観的構築の観点とファジィ理論の主観性をうまく取り扱える利点を融合した手法は，メンバシップ関数の客観的構築の観点から有望であると考えられる．

5. 情報理論を利用したメンバシップ関数補間の一手法

我々も確率論とファジィ理論の融合によるメンバシップ関数の客観的構築法の研究を行っており，特に情報理論の拡張手法からメンバシップ関数を構築する研究を進めている[25]．情報科学技術の発展により，意思決定者以外の人々に関する，数値・非数値を問わ

ない大量の情報・データを収集することができるようになり，そこから統計的解析でデータの分布等が得られるようになっていく．一方，意思決定者独自の意思は必ず持っており，またその意思は強いはずである．例えば，「この製品に関して，来月1か月間の需要はどのようになるだろうか?」といった需要予測を行う場合，蓄積データから需要を確率変数で表現することは可能であるが，長年培ってきた経験者としての勘により，データには陽に表れない部分を補うことも大いに考えられる．

メンバシップ関数の定義にしたがうと，命題Aとして「製品に関して，来月1か月間の需要は x である．」を設定し，各事象 x に対するメンバシップ値を順次設定していく．ここで設定の合理性の観点から重要なことは，(前章でのBASE法(吉川[12]やChameau & Santamarina [11]の実例でも述べたように)メンバシップ値が1と0になる領域である．メンバシップ値が1であることは「事象 x は命題Aに含まれることは絶対ありうる」ことを意味し，0であることは「事象 x は命題Aに含まれることは絶対ありえない」ことを意味しており，これらの領域は，意思決定者が自信を持って決定することができるはずである(図6における実線部)．よって，このメンバシップ値が1と0になる部分に，意思決定者の心理や主観性を導入することは，合理性の面からも妥当であると考えられる．一方で，それ以外の部分(図6における点線部)に関しては，意思決定者が自信と合理性をもってメンバシップ値が設定できるか，メンバシップ値が0.7と0.8でどう違うのかを説明できるかは不透明である．

このメンバシップ値が0と1以外の領域に関しては，収集されたデータや，確率統計学の考え方で関数補間することを考える．近年の情報科学技術，特にコンピュータやインターネットの飛躍的進化により，情報が少ない，手に入れにくい状況は劇的に改善され，大

図6 確率論とファジィ理論を融合したメンバシップ関数の構築例 [25]

量のデータをどのように扱うかが研究対象となっており、ただ、インターネット上の大量の情報は、その質が玉石混交であり、そのまま盲目的に全てのデータを解析することは短絡的であり、また意思決定者が情報の感覚を取り入れて、その人に合わせた関数形を設計することの重要性は厳然と存在している。つまり、確率統計理論とファジィ理論の良さが融合されたメンバシップ関数の構築は、今後の情報化社会において、必要不可欠な手法となりうる可能性を秘めている。

直近では、著者らが[26]において、メンバシップ値が0または1以外の部分に、取得されたデータに情報理論を適用し、またそのメンバシップ関数構築法に関する数値的研究をベースとして、意思決定者が取得データによる情報理論の結果をどこまで組み込むかを、1つのパラメータのみの設定で表現できる手法を提案している。

6. 終わりに

これまでに、①オペレーションズ・リサーチ、特に意思決定においては、メンバシップ関数の設定がシビアに効いてくること、②意思決定問題にファジィ理論を適用するためには、メンバシップ関数の客観的構築法が必要であることを議論してきた。これ以外にも、ファジィ理論やメンバシップ関数に関して、ファジィ理論研究者以外の方々が抱く代表的な疑問を考える。

Q1：事前に得られている情報から事前確率を主観的に設定するベイズ確率とどのような違いがあるのか？

Q2：メンバシップ関数を基礎とするファジィ理論と確率論との明確な違いはあるのか？

確かに、確率が扱う不確実性は、特定の事象が起き得るかどうかの不確実性を取り扱うもの、つまり事象に対して定義されるものである一方で、言語や心理由来の不確実性は、ある事象そのものの定義に関する不確かさを取り扱う概念、つまり事象の定義可能性存在を問う概念と定式化することができる。よって、言語を媒介とする意思決定プロセスに含まれる主観的要因は、客観的事象に要請される完全加法性などの確率的公理に従わないこととなる。確率論では言語由来の不確かさをモデリングできない。つまり、不確実性と不確実性は根本的に異なるため、異なる数値的モデリング手法が必要となるかもしれない。

一方、ベイズ確率の主観確率の設定方法とメンバシップ関数の設定方法には類似点が非常に多く、ベイズ確率論の枠組みで、言語情報や人間心理由来の不確実性が数値モデリング可能かどうかは考慮しなければ

ならない。この点に関しては、3 囚人問題における考察を著者らが[27]で行っているため、紙面の都合上、詳細はこれらの文献に譲るが、ベイズ確率論では扱えない不確実性が存在していることを示している。よって、上記の数値的モデリング手法の一翼を、ファジィ理論が担えるかもしれない。

最後に、前章でも述べたが、意思決定場面において、従来主張されていた「データが少ないから曖昧である」という論理が通用する現実問題は、情報科学技術の発展により少なくなってきた。一方で、その情報、特に非数値情報の質や解釈は玉石混濁である。意思決定における最適化も含めたデータ解析の質をさらに向上させるために、確率統計科学の研究はもちろん、ファジィ理論の最も基本であり、かつ根本的なメンバシップ関数の研究は、未来永劫継続すべきテーマであると考えられる。

参 考 文 献

- [1] 乾口雅弘, ファジィ数値計画法, 講座ファジィ 6 ファジィ OR, (浅居喜代治, 田中英夫編), 日刊工業新聞社, pp.41-90, 1993.
- [2] ファジィ OR, (石井博昭, 岩本誠一, 坂和正敏編), 朝倉書店, 2001.
- [3] D. Dubois and H. Prade, "The mean value of a fuzzy number", Fuzzy Sets and Systems, 24 (3), pp.279-300, 1987.
- [4] C. Carlsson and H. Fuller, "On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers", Fuzzy Sets and Systems, 122 (4), pp.315-326, 2001.
- [5] B. Liu and Y.K. Liu, "Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models", IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 10 (4), pp.445-450, 2002.
- [6] 古川長太, ファジィ最適化の数値, 森北出版, 1999.
- [7] ファジィ理論と人文・社会科学: 講座ファジィ 14, 日刊工業新聞社, 1994.
- [8] 吉川歩, "ファジィ評定とメンバシップ関数同定法", 日本ファジィ学会誌, 10 (2), pp.184-192, 1998.
- [9] H.M. Hersh and A. Caramazza, "A fuzzy set approach to modifiers and vagueness in natural language", Journal of Experimental Psychology: General, 105, pp.254-276, 1976.
- [10] 吉川歩, 藤本大助, 西村武, "2種のメンバシップ関数同定法の客観的・主観的比較-ファジィグラフ評定尺度図法と境界漸近推定法について-", 第11回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp.405-408, 1995.
- [11] J.L. Chameau and J.C. Santamarina, "Membership function I: Comparing methods of Measurement", International Journal of Approximate Reasoning, 1, pp.287-301, 1987.
- [12] 吉川歩, "対話型同定法が同定されたメンバシップ関数形状に及ぼす影響", 日本知能情報ファジィ学会誌, 19 (1), pp.69-78, 2007.
- [13] K. Menger, "Statistical metrics, Proceedings of the

- National Academy of Sciences of the United States of America”, 28 (12), pp.535–537, 1942.
- [14] E.P. Klement, R. Mesiar, and E. Triangular Norms, Kluwer, Dordrecht, 2000.
- [15] 中島信之, “ t -ノルム, t -コノルム通覧 (1), (2), (3)”, 日本ファジィ学会誌, 11 (4), pp.561–576, 1999; 11 (5), pp.734–744, 1999; 13 (2), pp.155–171, 2001.
- [16] L.A. Zadeh, “Fuzzy sets as the basis for a theory of possibility”, Fuzzy Sets and Systems, 1, pp.3–28, 1978.
- [17] M. Sugeno, “Fuzzy measures and fuzzy integrals: a survey”, in M.M. Gupta, G.N. Saridis, and B.R. Gains, editors, Fuzzy automata and decision processes, pp.89–102, North Holland, Amsterdam, 1977.
- [18] M. Sugeno, “Theory of fuzzy integrals and its applications”, Doctoral Thesis, Tokyo Institute of Technology, 1974.
- [19] 山口真司, 本田あおい, 岡崎悦明, “確率から導かれる FUZZY 測度”, ファジィシステムシンポジウム講演論文集, 12, pp.147–148, 1996.
- [20] Y. Narukawa, and V. Torra, “Fuzzy measure and probability distributions: distorted probabilities”, IEEE Transaction on Fuzzy Systems, 13 (5), pp.617–629, 2005.
- [21] 岡崎悦明, 本田あおい, “ T -コノルム生成関数による distorted probability の構成”, 数理解析研究所講究録, 1630, pp.122–127, 2009.
- [22] B. Kovalerchuk, E. Vityaev, Data Mining in Finance: Advances in Relational and Hybrid Methods, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [23] E. Hisdal, Logical Structures for Representation of Knowledge and Uncertainty, Studies in Fuzziness and Soft Computing, Physica-Verlag, 1998.
- [24] E. Hisdal, “A theory of logic based on probability”, Research Report 64, Institute of Informatics, University of Oslo, 1984.
- [25] 蓮池隆, 片桐英樹, 椿広計: “統計理論に基づく数理的妥当性を有したメンバシップ関数構築法の開発”, 統計数理解析研究所 共同研究リポート 305, (2013).
- [26] T. Hasuike, H. Katagiri, and H. Tsubaki, “Constructive method for appropriate membership function integrating fuzzy entropy with smoothing function into interval estimation”, Proceedings of Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, to appear.
- [27] 蓮池隆, 片桐英樹, 椿広計, “不確定性表現の基盤としてのファジィ理論—未来へ目を向けるソフトコンピューティング—”, オペレーションズ・リサーチ 経営の科学, 57 (10), pp.551–556, 2012.
(2014年10月28日 受付)
- [問い合わせ先]
〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1
大阪大学大学院 情報科学研究科
蓮池 隆
E-mail: thasuike@ist.osaka-u.ac.jp

著者紹介

はすいけ たかし
蓮池 隆 [正会員]

平成17年大阪大学工学部応用自然科学科卒業。平成18年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。平成21年同後期課程修了。博士(情報科学)。平成21年大阪大学大学院情報科学研究科情報数理学専攻助教となり、現在に至る。不確実性・不確定性状況下を考慮した数理計画問題に対する最適化手法の構築および金融資産配分問題、サプライチェーンマネジメント、近年では観光に関わる意思決定問題の研究に従事。

かたぎり ひでき
片桐 英樹 [正会員]

平成7年大阪大学基礎工学部物性物理学科卒業。平成9年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。平成12年同後期課程修了。博士(工学)。平成12年広島大学工学部第二類(電気系)計数管理工学講座助手。平成13年同大学大学院工学研究科複雑システム工学専攻助手。平成17年同助教授。平成19年同准教授となり、現在に至る。確率的不確実性とあいまい性が同時に存在する状況下での数理的意思決定に関する研究に従事。