

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24年 5月18日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540112

研究課題名（和文）最適ファジィ決定過程における頑健性構造に関する研究

研究課題名（英文）Studies on a robust structure of optimal fuzzy decision processes

研究代表者

中神 潤一（NAKAGAMI JUN-ICHI）

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：30092076

研究成果の概要（和文）：我々の研究目標として、従来の2論文(2003,2006)で応用例として取り扱われた機械取替え問題を詳しく再考することから始めた。1つ目の課題は、従来のスカラー値をもつマルコフ決定過程において最適方程式を解く方法として、従来から線形計画法が用いられてきたが、そこで議論される線形計画法の双対定理をファジィ値マルコフ決定過程に適用すると、主問題及び副問題の変数がファジィ値になる同様の双対定理が成立することがわかり一般化も可能になった。この結果は現在然るべき雑誌に投稿準備中である。2つ目の課題は、機械取替え問題を詳しく計算し直す事により、最適性の逆問題を考察しようとするものである。ある一つ最適政策が多少のパラメータの変動下でも果たして最適となりえるだろうかということである。具体的な個々の問題である程度の結果は得られたので、より一般化した問題設定の下でこの結果を示したいと研究中である。

研究成果の概要（英文）：Our research objectives are initiated with a further reconsideration of the practical examples which deal with a machine maintenance problem in our two papers (2003,2006). The 1st objective is to construct a new fuzzy duality theorem for our fuzzy valued Markov decision processes in the same way as ordinary scalar valued ones between the solutions of an optimal equation and of a linear programming problem. This result is summarized and prepared for a contribution to suitable journals. The 2nd objective is to discuss an inverse problem of the optimality by the detailed calculations of a machine maintenance problem in our two papers. It means that if some particular optimal policy would be also optimal in a certain measure of fluctuations. This result is derived in the individual problem separately, we are now trying to show this results in the general situations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：数学

科研費の分科・細目：数学・数学一般（含確率論・統計数学）

キーワード：(1)多段決定過程 (2)マルコフ決定過程 (3)不完全情報 (4)ファジー最適化
(5)頑健性 (6)凸解析 (7)区間解析 (8)双対定理

1. 研究開始当初の背景：現代社会が当面する諸問題を解明するには、硬直な画一化を排除した手段で、多面的かつ柔軟な物の見方から発想された新しい認識科学が必要となる。多様な価値観の交錯する現代社会での不確実意思決定機構の基盤となる数理的構造理論の構成を緊要な課題としている。

この課題に答えるべく、我々千葉大学計画数学研究グループ「蔵野正美・安田正実・中神潤一・吉田祐治(現:北九州市立大学)(年齢順)」は、1991年からファジーの研究を開始して以来、25年間の間に約50編の国際的に評価された研究業績を得た。取り扱った内容としては、動的ファジーシステムの最適構造について、ファジー演算から導出される数学構造の意味付けを深めることにより、マルコフ決定過程のファジー化を行い、最適方程式の導出とその最適解の存在を示した。また具体例の作成と得られた結果の分かり易い表現法の開発を通じて、ファジー理論の本来の要請である不完全情報構造の解明に研究を拡大継続することを目標としたものである。

2. 研究の目的：本研究課題である「最適ファジー決定過程における頑健性構造に関する研究」を考えるに至った経緯は、我々4人共著である次の2編の論文[1][2]を見直すことで始まった。

[1]Kurano, M., Yasuda, M., Nakagami, J. and Yoshida, Y.

Markov decision processes with fuzzy rewards. Journal on Nonlinear Analysis and Convex Analysis. Vol.4, No.1, (2003), 105-115.

[2]Kurano, M., Yasuda, M., Nakagami, J. and Yoshida, Y.

A fuzzy approach to Markov decision processes with uncertain transition probabilities. Fuzzy Sets and Systems, (2006), vol.157, No.19, pp.2674-2682.

どちらもマルコフ決定過程をファジーに拡張してのものであるが、論文[1]では利得をファジー化し、論文[2]では推移確率をファジー化したものである。結果は共に、定常政策で定まる割引かれた総期待ファジー利得は対応する縮小演算子の唯一の不動点として特徴付けられる最適方程式の解として求められ、さらに凸推によって導かれた半順序の下でパレート最適な定常政策を見つけることが出来た。どちらも数値例として機械取替え問題を考察した。纏めると、マルコフ決定過程を特徴付ける重要なパラメータである利得関数と推移確率を不確定なファジーにしても、パレート最適解とパレート最適政策は存在するということである。

3. 研究の方法 我々は手始めとして、上記2つの論文で扱われた数値例である機械取替え問題を詳しく見直した。そこで新たに2つの未解決の課題を発見した。1つ目の課題は論文[1]についてである。従来のスカラー値を持つマルコフ決定過程において最適方程式を解く方法として線形計画法がしばしば用いられていた。ここでは線形計画法の双対定理が使われ、変数が割引された総費用である主問題に対して、双対問題の変数は占有確率であった。この結果をファジー値を持つマルコフ決定過程にそのまま当てはめると、主問題の変数はファジー値になるのものの双対問題の変数は占有確率のままであると予想される。この予想が正しければ双対問題を解くことによってファジー値を持つマルコフ決定過程の問題が飛躍的に簡単に解けることになる。この予想を機械取替え問題で確かめ、一般的にファジー値を持つ双対定理の成立を証明しようと試みる。幸い我々の研究の中に、ファジーマックス順序という半順序を導入してファジー値のパレート最適性を議論した論文があるのでそれを議論の拠り所とするつもりである。この1つ目の課題は明るい見通しを持っている。2つ目の課題は論文[1][2]についてである。我々は上記[1][2]の結果を踏まえ、最適性の逆の問題を考察する。あるひとつ政策がパラメータの変動及び不確実性の下でも最適でありうるかという問題である。パラメータがある領域内での変動であるならば、その政策が最適であることを示そうというものである。即ち最適政策の頑健性構造を調べようとするものである。この問題が正しい方向と結果で解決されるならば、個々の具体的問題において応用上極めて有益である。マルコフ決定過程を特徴付ける重要なパラメータである利得関数と推移確率は、現実では各種データから近似的に推定されることが多い。「この推定の精度が悪くてもある許容範囲内に収まれば、この範囲内である1つの政策がパレート最適である」ことが示される。

以上上記2つの課題が解決されるならば、不確実なパラメータを持つ現実問題をファジー値を持つマルコフ決定過程へ適用することが盛んになるであろう。

4. 研究成果：我々の研究目標として、従来の2論文(2003, 2006)で応用例として取り扱われた数値例である機械取替え問題を詳しく再考することから始めた。1つ目の課題は、従来のスカラー値をもつマルコフ決定過程において最適方程式を解く方法として、従来から線形計画法が用いられてきたが、そこで議論される線形計画法の双対定理をファジー値マルコフ決定過程に適用すると、主問

題及び副問題の変数がファジィ値になる同様の双対定理が成立することがわかり一般化も可能になった。この結果は現在然るべき雑誌に投稿準備中である。2つ目の課題は、2論文を詳しく計算し直す事により、最適性の逆問題を考察しようとするものである。ある一つ最適政策が多少のパラメータの変動下でも果たして最適となりえるだろうかということである。現在のところ具体的な個々の問題ではある程度の結果は得られるのだが、一般化した問題設定の下でこの結果を示したいと思って努力中である。これが前向きに解決されれば、不確実なパラメータをもつ現実のさまざまな多くの問題に対する最適政策の頑健性が、ファジィ値決定問題としてモデル化され今後とも有益な手段になり得る。

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13件)

- ① F. Dufour, M. Horiguchi and A. B. Piunovskiy; The expected total cost criterion for Markov decision processes under constraints: a convex analytic approach, *Advances in applied probability* (to appear in Vol. 44 No. 3, September 2012). 査読有
- ② M. Horiguchi and M. Sasaki; The prior detection before the occurrence of a nonconforming product by interval Bayesian method, *RIMS Kokyuroku*, Vol. 1734, (2011), pp.156-163. 査読無
- ③ T. Nakai; Partial Maintenance を考慮したマルコフ過程での多段決定問題について, *RIMS Kokyuroku*, Vol. 1734, (2011), pp. 220-227. 査読無
- ④ Y. Yoshida; An Average Value-at-Risk Portfolio Model under Uncertainty: A perception-Based Approach by Fuzzy Random Variables, *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol.15, (2011), pp. 56-62. 査読有
- ⑤ M. Horiguchi; 未知の推移確率行列の事前・事後区間表現とマルコフ決定過程について, *RIMS Kokyuroku*, Vol. 1682, (2010), pp. 70-77. 査読無
- ⑥ T. Nakai; 不完備情報のマルコフ過程における多段決定問題の性質について, *RIMS Kokyuroku*, Vol. 1682, (2010), pp. 78-85. 査読無
- ⑦ T. Nakai; Sequential Decision Problem with Partial Maintenance on a Partially Observable Markov Process, *Scientiae Mathematicae Japonicae*, vol. 72, (2010),

pp11-20. 査読有

- ⑧ Y. Yoshida; Quasi-Arithmetic Means and Ratios of an Interval induced from Weighted Aggregation Operations, *Soft Computing*, Vol.14, (2010), pp. 473-485. 査読有
- ⑨ Y. Yoshida; Weighted quasi-arithmetic means and conditional expectations (pp.31-42) in *Lecture Notes in Artificial Intelligence 6408 'Modeling Decisions for Artificial Intelligence; MDAI2010'*, edited by V. Torra, Y. Narukawa and M. Daumas, Springer, (2010). 査読有
- ⑩ T. Iki, M. Horiguchi, M. Kurano and M. Yasuda; An interval Bayesian Method for Uncertain MDPs, *RIMS Kokyuroku*, Vol. 1636, (2009), pp. 1-8. 査読無
- ⑪ K. Iwamura, M. Kageyama, M. Kurano and M. Yasuda; Product Possibility Space with Finitely Many Independent Fuzzy Vectors, *RIMS Kokyuroku*, Vol. 1630, (2009), pp. 50-54. 査読無
- ⑫ Y. Yoshida; An Estimation Model of Value-at-Risk Portfolio under Uncertainty, *Fuzzy Sets and Systems*, Vol.160, (2009), pp. 3250-3262. 査読有
- ⑬ Y. Yoshida; A Perception-Based Portfolio under Uncertainty: Minimization of Average Rates of Falling (pp. 149-160) in *Lecture Notes in Artificial Intelligence 5861 'Modeling Decisions for Artificial Intelligence; MDAI2009'*, edited by V. Torra, Y. Narukawa and M. Inuiguchi, Springer, (2009). 査読有

[学会発表] (計15件)

- ① 中井達, Monotonic Properties of a Markov Decision Process with Partial Maintenance, 日本数学会 2011 年度秋季総合分科会, 信州大学理学部, 2011 年 9 月 25 日.
- ② T. Nakai, Monotonic Properties of a Sequential Decision Problem with Partial Maintenance on a Markov Process, 16th INFORMS Applied Society Conference, Stockholm, Sweden, 2011, July 23.
- ③ 中井達, Partial Maintenance を考慮したマルコフ過程での多段決定問題について, シンポジウム「不確実性下における意思決定問題」, 京都大学数理解析研究所, 2010 年 11 月 19 日.
- ④ 吉田祐治, Weighted quasi-arithmetic means and conditional expectations, 第 7 回人工知能の決定モデルに関する国際会議 MDAI2010, France, 2010 年 10 月 2 日
- ⑤ 堀口正之, Interval Bayesian method and sequential sampling problem, 日本数学会 2010 年度秋季総合分科会統計数学分科会, 名

古屋大学, 2010年9月21日.

⑥M. Horiguchi, Uncertain Markov decision processes with Bayesian intervals, 34th conference on stochastic processes and their applications (SPA OSAKA 2010), 2010年9月4日

⑦堀口正之, 区間ベイズ手法と適応決定過程について, 日本オペレーションズ・リサーチ学会研究グループ「不確

吉田祐治, A Perception-Based Portfolio under Uncertainty: Minimization of Average Rates of Falling, 第6回人工知能の決定モデルに関する国際会議 MDAI2009, 淡路島, 2009年11月5日.

⑧吉田祐治, Decision Processes with Value-at-Risk Portfolios, 日本数学会年会, 大阪大, 2009年9月26日.

⑨中井達, 不完備情報のマルコフ過程での多段決定問題について, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2009年度秋期研究発表会, 長崎大学, 2009年9月18日.

⑩吉田祐治, An Optimal Value-at-Risk Portfolio Model, 日本オペレーションズ・リサーチ学会年会, 長崎大, 2009年9月17日. 実環境下での柔構造最適化モデリング, 2010年8月研究会「DP部会40年記念シンポジウム」, 千葉大学, 2010年8月12日.

⑪堀口正之, Uncertain Markov decision processes and Bayesian intervals, 日本数学会 2010年度年会統計数学分科会, 慶応義塾大学, 2010年3月29日.

⑫中井達, 部分観測可能なマルコフ過程のある多段決定問題の性質について, シンポジウム「不確実・不確実性下での意思決定過程」, 京都大学, 2009年11月21日.

⑬Y. Yoshida, The minimization of the risk of falling in portfolios under uncertainty, Proceedings of IFSA 2009 (The 13th World Congress of International Fuzzy System Association), Lisbon in Portugal, (July 23, 2009), 137-142.

⑭堀口正之, 安田正實, On bounds for Bayesian estimate intervals in uncertain MDPs, 日本数学会 2009年度秋季総合分科会統計数学分科会, 大阪大学, 2009年9月23日.

⑮吉田祐治, An Optimal Value-at-Risk Portfolio under Uncertainty, 日本数学会年会, 東京大, 2009年3月21日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

中神 潤一 (NAKAGAMI JUNICHI)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 30092076

(2) 研究分担者

安田 正實 (YASUDA MASAMI)
千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 00041244

(3) 連携研究者

中井 達 (NAKAI TORU)
千葉大学・教育学部・教授
研究者番号: 20145808

吉田 祐治 (YOSHIDA YUJI)
北九州市立大学・経済学部・教授
研究者番号: 90192426

堀口 正之 (HORIGUCHI MASAYUKI)
神奈川大学・工学部・准教授
研究者番号: 90366401