

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：基盤研究(B)  
 研究期間：2005～2008  
 課題番号：17310098  
 研究課題名(和文) データの不完全性がもたらす多様性と様相概念に基づく  
 システム計画技法の創成  
 研究課題名(英文) The variety induced from incomplete data and the foundation of systems  
 optimization and decision support techniques based on modal concepts  
 研究代表者  
 乾口 雅弘 (INUIGUCHI MASAHIRO)  
 大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授  
 研究者番号：60193570

## 研究成果の概要：

本研究では、不完全なデータの下での最適化、評価、データ解析について研究した。不明確な係数をもつ線形計画問題の新たな最適解やロバスト性を有する解の求解法について提案した。区間入出力データに基づく事業体の効率性評価について考察し、データの不明確性により効率性の質的解析が可能となるとともに、効率度が定量的に求められることを示した。評価が不明確なデータ表や属性値が序数的なデータ表などに対するラフ集合による解析法を提案した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	2,200,000	0	2,200,000
2006年度	900,000	0	900,000
2007年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
総計	5,300,000	660,000	5,960,000

研究分野：システム計画数理

科研費の分科・細目：社会システム工学

キーワード：ファジィ理論，数理計画法，ラフ集合理論，区間解析，データ解析，可能性理論，DEA，証拠理論

## 1. 研究開始当初の背景

精密かつ正確なデータのもとでの厳密で精度よい計算法を確立することにより、工学的手法は進歩してきた。客観性を重視する科学技術のもとでは、主観データや不明確なデータは排除されたり、その利用が制限されたりしてきた。しかし、社会システムなどの非工学的システムにおいては、システムに関与する人的要因の影響は否めず、客観的で明確なデータが得られない場合も少なくない。ま

た、システムの複雑性のため、システムに関与する要因を完全に網羅できるとは限らず、不十分なデータとなる場合もある。明確なデータや十分なデータの獲得は、時間的、経済的負担を伴うので、その制限から不完全なデータしか得られない場合もある。不明確なデータを代表値などを用いて簡易的に取り扱うことも考えられるが、値の変動に対する結果の相違が大きい場合には、リスクを伴うことになり、必ずしも良い方法とはいえない。

感度解析を利用することも考えられるが、解の修正など処方的指示が得られない。これらの理由により、不完全なデータを適切に取り扱えるシステム計画技法の確立が期待される。

従来、システムにおける不確実性は確率により取り扱われてきた。また、不確実性を扱うシステム計画技法のほとんどは、確率論をベースにしたものである。しかし、確率測度は不確実性の一側面に過ぎず、たとえば、無知のように、種々の不確実性を必ずしもうまく取り扱えるとは限らない。システムにおける多様な不確実性に対処するには、確率では取り扱えない不確実性を扱うことができる理論をシステム技法に導入する必要がある。そこで、確率とは異なった不確実性を扱うファジィ理論やラフ集合理論をシステム計画技法に導入し、不確実性に対する従来のシステム計画技法を補完することが考えられる。システム計画技法へのファジィ理論の応用は、ファジィ数理計画やファジィ回帰など一部の分野に留まっている。これらの分野でも未解決の問題が残っている。一方、ラフ集合理論については、人工知能の分野で発展しているが、システム計画技法への応用は少なく発展途上にある。

## 2. 研究の目的

本研究では、ファジィ理論やラフ集合理論などをシステム計画技法へ応用する。ファジィ理論を応用するシステム計画技法としては、線形計画法、DEA、回帰分析などを取り上げる。ラフ集合理論については、システム計画の分野にどのようにラフ集合解析を用いるかを議論する。ファジィ理論もラフ集合理論も、いずれとも「～であるはずだ」(必然性)と「～かもしれない」(可能性)といった様相概念を用いていることから、本研究は様相概念に基づいたシステム計画技法に関する研究ということが出来る。従来の様相概念を用いた手法では、可能性か必然性のいずれかしか考察していないことが多いが、ここでは、これらおよび他の不確実性概念を混ぜて使用することにより、不完全性の根源に応じた妥当な取り扱いと、不確実性に対する意思決定者や解析者の微妙な態度の反映が可能となるように工夫する。この研究を通して、(1) 可能性と必然性という双対な二つの概念によりもたらされる解析方法の多様性、(2) 不完全なデータの解釈による取り扱い方と結果の相違 など、データの不完全性がもたらす解析方法の多様性を示すとともに、これらの性質を活かしたシステム技法を開発し、その特長を明らかにする。特に、(a) 確率論に基づく手法では、不確実性の度合いのみを議論するのに対し、ここで提案する手法では、不確実性の度合いばかりでなく、不確実性の

カテゴリについても議論できること、すなわち、不確実性に対して質と量の解析が可能となること、(b) 一般に、確率に基づいた手法に比べ、解や解析結果が簡便に求められること、(c) 数値データばかりでなく、質的データも取り扱うことができること などの特長が得られると考えられる。

従来、様相概念はあまりシステム技法に応用されてこなかった。本研究が、システム計画技法のみならず種々のシステム技法に広く様相概念が応用され、確率に基づく手法の補完的な手法として活用され始める契機となることを目指す。

## 3. 研究の方法

(1) ファジィ数理計画法への様相概念の導入： 従来のファジィ線形計画問題では、係数の従属性が十分に考慮されていない反面、帰着問題が簡潔になるという利点がある。この利点をできる限り損なわない範囲で係数の従属性が考慮できるモデルを考察していく。また、従来のファジィ線形計画問題における安全な解は Dienes 含意に基づく必然性測度により取扱われており、これにより線形性が保たれてきた。ここでは、研究代表者の含意関数に関する過去の研究成果から、Dienes 含意を一般の含意演算に置き換えることを考察し、線形性を損なわない範囲でどこまで一般化できるかを考察する。以上は満足化に基づくアプローチであったが、最適化に基づくアプローチについては、両極の可能的最適性と必然的最適解性の中間的な性質をもつ最適性概念を考案し、最適性テスト問題を取り扱う。

(2) 区間入出力データに対する Bipolar 包絡線解析(DEA)： 入出力データが区間値で与えられた場合を考え、種々の区間間の大小関係に基づき、活動の支配関係を定義した場合の包絡線解析について研究し、その対極をなす解析法を考察する。

(3) 区間線形回帰： 従来の区間線形回帰と異なり、区間値データと推定区間との乖離の総和の最小化に基づく線形回帰を考案し、従来法との関係を明らかにする。

(4) ラフ集合理論に基づく属性縮約とルール抽出： 種々のラフ集合の上近似や下近似から引き出される構造に着目して、考えられる属性縮約を網羅し、関係を調べ、計算法を議論する。また、従来、各クラスへの帰属を導くルールが抽出されてきたが、複数のクラスの和集合への帰属を導くルールを抽出することにより、簡潔で精度の高いルール群が抽出できるかどうかを検討する。種々の状況下での方法を構成するとともに、数値実験により有用性を確認する。

(5) ファジィラフ集合に関する研究： 条件属性値と決定属性値とに関して対象をファジィ

ィ分割し、条件属性値から決定属性値のファジィ集合への帰属度を求めるルールについて、モダスポネンスやモダストレンスなどの立場から考察する。

#### 4. 研究成果

(1) ファジィ数理計画法への様相概念の導入：係数ベクトルが斜交ファジィベクトルやファジィ凸多面体で制限されるファジィ線形計画問題に対する必然性測度に基づく満足水準最適化モデル、必然性測度最適化モデル、対称モデルが大きく線形性を損なうことなく解けることが明らかにされた。また、単調性をもつ任意の含意演算で定められる必然性測度を用いてファジィ線形計画問題を取り扱っても制約条件数が無限になるものの、線形性を損なわないことが示された。これらにより、確率計画法よりファジィ数理計画法の方が帰着問題が容易になることがわかる。一方、必然性測度を用いるモデルの解は最適性や制約充足性などにおいてロバスト性をもつ。これに加えて、可能性測度を用いることにより、希望的目標も取り扱え、意思決定者が不確実性に対して抱きうる安全性と高い目標充足への期待の双方を取り扱えることが示された。さらに、意思決定者の不確実性への態度をより柔軟に扱うため、必然的最適性と可能的最適性との中間的な最適性の概念がいくつか議論され、与えられた実行可能解のその意味での最適性をチェックする方法が与えられた。

(2) 区間入力データに対する Bipolar 包絡線解析 (DEA)：区間データの不明確さにより、種々の支配関係が定義でき、それぞれの支配関係に基づき効率性が定義できることが示された。25 種類の効率性の連言や選言を考えれば、可能性と必然性の観点から定義できるすべての効率性が表現できることが明らかにされた。これにより、区間の不明確さにより効率性が定性的に判定できることになる。また、25 種類の効率性をテストし、効率値を算出する方法が議論され、いずれも線形計画法あるいは多段線形計画法で効率性が判定できること、14 の効率値が線形計画法で容易に求められることを明らかにした。これにより、定量的にも効率性が議論できる。さらに、効率性ばかりでなく、非効率性の評価も加えた Bipolar 区間 DEA も提案され、悲観と楽観の両極面からの評価が可能となった。

(3) 区間線形回帰：区間線形回帰は誤差を最小化する従来の回帰と異なった観点で定式化されてきた。本研究では、二つの区間間の差として、Minkowski 差を用いることにより、誤差最小化の範疇で区間線形回帰と類似した種々のモデルが得られることを明らかにし、このモデルを介して、区間線形回帰と従来の回帰との関係を説明した。

(4) ラフ集合理論に基づく属性縮約とルール抽出：ラフ集合や可変精度ラフ集合における上近似や下近似から引き出される構造に着目して、考えられる属性縮約の概念を網羅し、それらの相互関係を明らかにした。識別行列による計算可能性が議論され、計算可能なものは、計算法が与えられた。また、支配関係に基づくラフ集合にも同様な議論を展開した。決定クラスの代わりに上和集合や下和集合が近似されてきたが、新たに決定クラスの近似が定められ、考えられるすべての縮約が定義され、従来の縮約を含めた相互関係が明らかにされた。いずれの縮約も二つの識別行列を用いて算出できることも示された。従来の支配関係に基づく可変整合度ラフ集合の問題点を指摘し、支配関係に基づく可変精度ラフ集合を新たに定義し、同様な縮約に関する議論を展開した。さらに、決定属性値が明確に与えられていない imprecise 決定表に対するラフ集合解析を提案し、考えられるいくつかの縮約やルール抽出法が議論された。一方、従来、各決定クラスに対するルールが抽出されてきたが、複数の決定クラスに対するルールを抽出してもクラス分類が可能なことから、すべての決定クラスを階層的にクラスターリングし、各分枝点でルール抽出する方法を提案し、分類精度のよいルール群が得られることを数値実験により示した。また、序数決定属性の場合、ある属性値に対するルールを抽出するより、ある属性値以上、以下に対するルールを抽出した方が良いことが示され、さらに結論部の含意関係を反映したルール抽出法が考案され、その有効性を示された。

(5) ファジィラフ集合に関する研究：決定表の属性に対するファジィ分割を想定した場合、属性値がメンバシップ値で与えられることがある。条件属性と決定属性のメンバシップ値間に単調性があると仮定した場合、条件属性のメンバシップ値から決定属性のメンバシップ値の情報を導く漸次的ルールを抽出することができる。逆に、決定属性のメンバシップ値から決定属性のメンバシップ値の情報を導く漸次的ルールも抽出することができる。これらの漸次的ルールとモダスポネンスやモダストレンスとの関係、二つの漸次的ルールとの関係など、種々の性質が議論された。また、ファジィラフ集合に基づく縮約も考察し、識別行列で算出できることが明らかになった。

#### 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 11 件)

① Y. Kusunoki and M. Inuiguchi: A

- Unified Approach to Reducts in Dominance-based Rough Set Approach, Soft Computing (to appear), 査読有
- ② M. Inuiguchi, Y. Yoshioka, Y. Kusunoki: Variable-Precision Dominance-Based Rough Set Approach and Attribute Reduction, International Journal of Approximate Reasoning (2009), in press, 査読有
- ③ Y. Kusunoki, M. Inuiguchi and J. Stefanowski: Rule Induction via Clustering Decision Classes, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol.4, No.10, pp.2663-2677 (2008), 査読有
- ④ M. Inuiguchi: Necessity Measure Optimization in Linear Programming Problems with Fuzzy Polytopes, Fuzzy Sets and Systems, Vol.158, pp.1882-1891 (2007), 査読有
- ⑤ M. Inuiguchi, S. Greco and R. Słowiński: Toward Monotonicity Analysis between Two Vague Concepts Based on Fuzzy Rough Sets, in: W. Takahashi and T. Tanaka (Eds.), Proceedings of the Fourth International Conference on Nonlinear Analysis and Convex Analysis, Yokohama Publishers, pp.173-183 (2007), 査読有
- ⑥ M. Inuiguchi: A Necessity Measure Optimization Approach to Linear Programming Problems with Oblique Fuzzy Vectors, Kybernetika, Vol.42, No.4, pp.441-452 (2006), 査読有
- ⑦ M. Inuiguchi and T. Tanino: Interval Linear Regression Methods Based on Minkowski Difference: A Bridge between Traditional and Interval Linear Regression Models, Kybernetika, Vol.42, No.4, pp.423-440 (2006), 査読有
- ⑧ M. Inuiguchi: Structure-Based Attribute Reduction in Variable Precision Rough Set Models, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.10, No.5, pp.657-665 (2006), 査読有
- ⑨ M. Inuiguchi: Attribute Reduction in Variable Precision Rough Set Model, International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol.14, No.4, pp.461-479 (2006), 査読有
- ⑩ 乾口雅弘: 斜交ファジィベクトルをもつ線形計画問題の必然性測度最適化, 数理解析研究所講究録 1461, 最適化数理の手法と実際, pp.179-187 (2005), 査読無
- ⑪ M. Inuiguchi, S. Greco and R. Słowiński: Modus Ponens versus Modus Tollens Associated with Rough Gradual Decision Rules Induced from a Decision Table, International Journal of Hybrid Intelligent Systems, Vol.2, pp.311-326 (2005), 査読有
- [学会発表] (計 23 件)
- ① M. Inuiguchi: Fuzzy/possibilistic programming approaches in relations with MCDM, RMO, EMO and IMO, Hybrid and Robust Approaches to Multiobjective Optimization, 2009年1月18日, Dagstuhl, Germany
- ② M. Inuiguchi, Y. Matsumoto: Refinement of Attribute Reduction in the Classical Rough Sets toward Decision Analysis, Soft Computing for Knowledge Technology Workshop 2008, Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence (PRICAI), 2008年12月16日, Hanoi, Vietnam
- ③ Y. Kusunoki and M. Inuiguchi: A Comprehensive Study on Reducts in Dominance-Based Rough Set Approach, 5<sup>th</sup> International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2008), 2008年10月31日, Sabadell, Spain
- ④ M. Inuiguchi and F. Mizoshita: SBM and Bipolar Models in Data Envelopment Analysis with Interval Data, 5<sup>th</sup> International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2008), 2008年10月30日, Sabadell, Spain
- ⑤ M. Inuiguchi and Bingjun Li, Rough Set Approach to Information Tables with Imprecise Decisions, The 6<sup>th</sup> International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing (RSCTC 2008), 2008年10月23日, Akron, Ohio, USA
- ⑥ M. Inoue, Y. Kusunoki, M. Inuiguchi, On Rule Induction in Consideration of Implications among Conclusions, Joint 4<sup>th</sup> International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9<sup>th</sup> International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2008), 2008年9月19日, Nagoya, Japan
- ⑦ M. Inuiguchi and Y. Matsumoto, Reexamination of Attribute Reduction and Importance in the Rough Set

- Theory, The 11th Czech-Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty, 2008年9月17日, Sendai, Japan
- ⑧ M. Inuiguchi and Y. Yoshioka, Several Reducts in Dominance-Based Rough Set Approach, International Workshop on Interval/Probabilistic Uncertainty and Non-classical Logics, 2008年3月26日, Ishikawa, Japan
- ⑨ M. Inuiguchi, Optimality Concepts in Linear Programs with Uncertain Objective Function Coefficients, The 7th International Conference on Optimization: Techniques and Applications, 2007年12月13日, Kobe, Japan
- ⑩ M. Inuiguchi, Linear Programming with Interactive Fuzzy Numbers, 40th Annual Convention of Operational Research Society of India, 2007年12月4日, Delhi, India
- ⑪ Y. Kusunoki and M. Inuiguchi, Rule Induction through Clustering Classes for Nominal and Numerical Data, Second International Conference on Innovative Computing, Information and Control, 2007年9月6日, Kumamoto, Japan
- ⑫ M. Inuiguchi, Possibility and Necessity Indices for Comparison of Interactive Fuzzy Numbers and Their Applications to Fuzzy Optimization, 22<sup>nd</sup> European Conference on Operational Research, 2007年7月10日, Prague, Czech Republic
- ⑬ M. Inuiguchi, On Possibilistic/Fuzzy Optimization, 12th International Fuzzy Systems Association World Congress (IFSA 2007), 2007年6月20日, Cancun, Mexico
- ⑭ Y. Kusunoki and M. Inuiguchi, Rule Induction Via Clustering Decision Classes, 5<sup>th</sup> International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing (RSCTC2006), 2006年11月8日, Kobe, Japan
- ⑮ M. Inuiguchi and Y. Yoshioka, Variable-Precision Dominance-Based Rough Set Approach, 5<sup>th</sup> International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing (RSCTC2006), 2006年11月8日, Kobe, Japan
- ⑯ F. Mizoshita and M. Inuiguchi, Possibilistic Data Envelopment Analysis with Interval Data: Part 2, Efficiency Tests and Scores, Joint 3rd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 7th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2006), 2006年9月24日, Tokyo, Japan
- ⑰ M. Inuiguchi and F. Mizoshita, Possibilistic Data Envelopment Analysis with Interval Data: Part 1, Various Efficiencies and Their Relations, Joint 3rd International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 7th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2006), 2006年9月24日, Tokyo, Japan
- ⑱ M. Inuiguchi, M. Tsurumi, D. Fukuda and K. Yamanaka: LEM2-Based Rule Induction via Clustering Decision Classes, 2005 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2005年10月12日, Waikoloa, Hawaii, USA
- ⑲ M. Inuiguchi, A Necessity Measure Optimization Algorithm for Linear Programming Problems with Oblique Fuzzy Vectors, 8th Czech-Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty, 2005年9月19日, Trest, Czech Republic
- ⑳ M. Inuiguchi, Necessity Measure Optimization in Linear Programming with Oblique Fuzzy Vectors, Eleventh International Fuzzy Systems Association World Congress, 2005年7月29日, Beijing, China
- ㉑ M. Inuiguchi, Structure-Based Approaches to Attribute Reduction in Variable Precision Rough Set Models, 2005 IEEE International Conference on Granular Computing, 2005年7月27日, Beijing, China
- ㉒ M. Inuiguchi, Several Approaches to Attribute Reduction in Variable Precision Rough Set Model, Second International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence (MDAI 2005), 2005年7月25日, Tsukuba, Japan

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

乾口 雅弘 (INUIGUCHI MASAHIRO)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・教授

研究者番号：60193570

(2)研究分担者  
なし

(3)連携研究者  
なし