

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 2 日現在

機関番号：14401
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2014～2016
課題番号：26350423
研究課題名(和文) ロバストネスを考慮した柔軟な意思決定支援手法

研究課題名(英文) Robustness Concern in Flexible Decision Aiding

研究代表者
乾口 雅弘 (INUIGUCHI, MASAHIRO)

大阪大学・基礎工学研究科・教授

研究者番号：60193570
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：効率的に合理的な評価を提示する決定支援手法における頑健性を取り上げ、一部の評価基準値が一致しなくとも大きく誤った結果を導かない頑健性をもつ評価ルール群の生成法や、選好情報の不十分さや矛盾をモデルの曖昧さとして取り込み、無理な選好評価を行わない頑健性をもった区間モデルについて考究した。ルール補填やルールの不精密化により評価ルール群の頑健性が向上すること、選好情報から妥当な区間モデルが線形計画法を用いて簡便に同定できることを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：We consider the robustness in methods for flexible decision aiding which suggest rational evaluations efficiently. We studied on the construction of a set of rules which does not provide quite wrong results even when only a part of conditions is satisfied. We also studied on interval models to express the vagueness underlying the insufficiency and conflict in given preference information, so that we avoid forcible evaluations. We have shown that the robustness in the accuracy of class estimation is significantly improved by supplementing and coarsening rules, and that proper interval models are identified from preference information simply by solving linear programming problems.

研究分野：システム計画数理

キーワード：ルール抽出 多基準意思決定問題 ロバスト性 補填ルール 不精密ルール UTA AHP 区間モデル

1. 研究開始当初の背景

数理計画問題におけるロバスト性の扱いは、1970年代前半に遡り、Set-Inclusive Constraint を用いることにより、制約条件に含まれる係数がある程度変動しても許容できる解を求めていた。この概念は直ちにファジィ数理計画法に取り入れられ、ロバスト計画問題として知られている。その後、可能性測度の双対測度である必然性測度が提案され、これが包含の度合を示すことから、目標や制約条件の柔軟性を考慮しつつ制約違反に対する安全性を要求したロバストな取り扱いが可能となった。可能性と必然性の概念は1990年代には選好関係に導入されていたにもかかわらず選好モデリングにおけるロバストネスの扱いは比較的新しく、概ね2007年のGrecoらの研究に始まる。その後、決定者の選好情報に見合ったすべての加法的効用関数について選好が成立するか否かを求めるロバスト順序回帰が2008年に提案され、彼らにより勢力的に研究されている。しかし、選好情報が少なすぎる場合は、あまり有用な情報が得られないという問題がある。また、これらは主に情報やデータの不完全性に対するロバストネスを扱っている。一方、評価問題でよく生じるデータ間の矛盾に対するロバストネスに関しては、未だ十分に研究されていない。データ間の矛盾を扱うラフ集合解析や区間AHPは研究されているが、ロバストネスの面からの考察が未だ十分でない。

2. 研究の目的

本研究課題では、次の三つについて考究する。すなわち、(1) データ間の矛盾を扱うラフ集合解析へのロバストネスの導入、(2) ロバスト順序回帰と通常の順序回帰との中間的な方法である区間順序回帰の考案、(3) 区間AHPにおけるロバスト性の向上を目指した改良の三つである。(1)に関しては、ラフ集合解析により求められるルールのロバスト性を定義し、ロバスト性の低いルールを別のルールを補填することにより推定精度のロバスト性を向上させる方法を検討するとともに、ルールの結論部の不精密化による条件部の単純化を論じ、ロバスト性向上による推定精度の改善効果を調査・考察することを目的とする。(2)に関しては、決定者の選好情報に見合ったすべての加法的効用関数を用いて選好を判断するロバスト順序回帰と、いくつかの加法的効用関数を用いて評価する通常の順序回帰との中間的な性質をもつ区間順序回帰を新たに提案し、ほどよいロバスト性で決定者の選好を推定する手法の構築をめざす。(3)では、従来の区間AHPで推定される区間重要度が決定者の評価の曖昧さを十分に表していないことから、区間AHPを根本的に見直し、より妥当な区間重要度が推定できる手法の構築を目指す。

3. 研究の方法

(1) データ間の矛盾を扱うラフ集合解析へのロバストネスの導入、(2) ロバスト順序回帰と通常の順序回帰との中間的な方法である区間順序回帰の考案、(3) 区間AHPのロバスト性向上を目指した改良の三つの研究課題は並行して遂行できる。

(1)については、ルールの条件部に完全に一致しない場合にどの程度ルールの良さを保存するかを示すロバストネス測度を提案し、これを用いたルール抽出により、ルールによるクラス分類性能が改善するか否かを検討する。また、ルールの結論部を粗くし、ルールの適用範囲を広げることにより、ロバスト性やクラス推定精度が向上することを確認し、その応用について検討する。

(2)については、区間順序回帰を定式化する。通常の区間関数による表現では、各基準で好ましくない案の効用値が好ましい案の効用値より大きくなるという不自然な評価を含むモデルとなるので、属性値の増分に対する効用の増分を区間で制限する形で区間効用関数を表現することにし、選好情報を与えられた下での区間効用関数の同定法を提案する。また、具体的な例を用いて、従来の順序回帰やロバスト順序回帰と比較し、区間順序回帰で推定される選好関係が従来の順序回帰とロバスト順序回帰との中間的な性質をもつことを示す。次にこの拡張として、選好情報に確信度が与えられる場合の取扱いを提案する。さらに、区間順序回帰により推定される選好関係の妥当性について考察する。

(3)については、AHPにおける選好情報の不整合性を評価値の曖昧さに起因すると考え、重要度を区間で求める区間AHPを取り上げ、いくつかの問題点の改善を試みる。まず、推定された区間を重要度の取りうる範囲と解釈し、これに適した代替案間の比較方法を提案する。また、通常の一対比較行列から推定される区間重要度が評価の曖昧さを十分に反映していないことから、区間重要度の推定法の改良を試み、数値実験により妥当性を示す。同様に、区間一対比較行列からの区間重要度の推定法の妥当性を検討し、改良について議論する。

4. 研究成果

(1) データ間の矛盾を扱うラフ集合解析へのロバストネスの導入、(2) ロバスト順序回帰と通常の順序回帰との中間的な方法である区間順序回帰の考案、(3) 区間AHPのロバスト性向上を目指した改良の三つに分けて記す。

(1)では、まず、条件部に部分一致するデータに対するルールの推定精度を示すロバストネス測度を提案し、その測度が大きいルール群の方が小さいルール群より未分類対象のクラスを正確に推定することを確認した。また、ロバストネス測度が小さいルールに対し別のルールを補填し、定められた度合

以上にロバスト性を高めることにより、ルール群の推定精度が改善されることを示した。

次に、ある一つのクラスへの帰属を示す精密ルールではなく、複数のクラスのいずれかへの帰属を示す不精密ルールを抽出する方法を提案した。不精密ルールでは、定められた個数のクラスのすべての組合せに対してルールを抽出するためルール数が増大するものの、抽出された不精密ルール群を用いることにより、クラス推定精度が高くなることを数値実験により確認した。さらにロバスト性を高めるため、アンサンブル学習の導入を検討した。精密ルールによるクラス推定では、アンサンブル学習の導入により推定精度は有意に改善されるものの、不精密ルールによるクラス推定では、推定精度の有意な改善は得られないことがわかった。

一方、不精密ルールが精密ルールより多くの対象をカバーする性質を利用して、個人情報保護への応用を検討した。まず、匿名度(サポート)の低い精密ルールを十分な匿名度をもつ不精密ルールに置き換える方法を提案し、この方法により精度を大きく損なうことなく匿名度が高められることを数値実験により明らかにした。また、所与の匿名度を満たす不精密ルール群を用いて元のデータ表を匿名化する方法についても考究した。不精密なデータ表になるが、匿名性を満足しつつ抽出されるルール群の推定精度がある程度保たれることを示した。

(2)では、与えられた選好情報に整合するすべての効用関数を用いて代替案を絞り込むロバスト順序回帰では、多くの代替案間に選好関係が成立せず、有益な選好関係の推定ができないことがある。そこで、代替案間の選好差に関する比率情報を導入することで、より効率的に代替案の絞り込みができることを示した。

また、選好情報に整合する効用関数を区間モデルにより定める区間順序回帰について考究した。従来法では、モデル同定に0-1混合線形計画問題を解く必要があったが、区間パラメータ間の相互関係を表現できるモデルを適用することにより、モデルの同定問題が近似的に線形計画問題に帰着できることを明らかにした。これによりロバスト回帰より少ない計算量で代替案間の支配関係が推定できる。区間順序回帰では、与えられた選好情報に整合する多くの加法的効用関数の中で、区間モデルとして纏めて表現できるものを考えるので、ロバスト順序回帰より多くの代替案間で選好関係が成立する。一方、区間モデルに含まれる多くの加法的効用関数を考慮しているため、区間順序回帰ではいくつかの加法的効用関数を用いる従来の順序回帰よりロバスト性の高い評価を与える。

この区間順序回帰の拡張として、選好情報の確信度が与えられた場合に確信度付きの選好関係を推定する方法を議論した。これを実現するには、ネスト構造に注意しながら、

確信度が低いレベル、中位のレベル、高いレベルの三つの区間モデル、すなわち、内側、中間、外側の三つの区間モデルを求める必要がある。内側、中間、外側のモデルをどのような順番で求めるか、これらをネスト構造のみに注意して独立に求めるか、初めから三つの区間モデルが満たすべき条件をすべて考慮して逐次的にモデルを求めていくか、三つを同時に求めるかなど、いくつかの同定方法が考えられる。ここでは、ネスト構造のみを考えた独立同定法、すべての条件を考慮する全条件付き同定法、および三つのモデルを同時に求める同時同定法を取り上げる。独立同定法、全条件付き同定法については、内側から外側および外側から内側へモデルを求めていく方法を考える。すなわち、計5手法を数値実験により比較した。その結果、内側から外側への全条件付き同定法が最も高い推定精度を示すことがわかった。

与えられた選好情報の下で、各代替案間の選好の成立確率が数値実験で算出できることを示し、区間順序回帰で推定される選好の成立確率を調べた。その結果、大半は高い確率で成立するが、かなり低い確率でしか成立しない部分があることが判明した。これによりモデル推定に用いる評価関数に改良の余地があるという新たな課題が得られた。一方、区間順序回帰へのファジィ分割を導入した非線形モデルを考案し、線形計画問題を解くことによりモデル同定できることを示した。これにより線形モデルでは扱えない選好情報を取り扱えるようになった。また同時に、ファジィ分割による非線形化と同等のパラメータ数をもつ従来モデルとのいずれを用いるべきかという興味深い課題が発掘できた。

(3)では、まず、基準や代替案間の重要度に関する一対比較行列の不整合性を重要度の曖昧さに起因すると考える区間 AHP をグループ決定に適用する3手法を提案した。

次に、従来の区間 AHP における区間重要度の推定法では、区間重要度の幅が小さく、いくつかの区間重要度の幅が0となり、幅の分布に偏りがあることから、区間重要度の他の推定法について考究した。従来の区間重要度推定法では、重要度が大きいほど幅が小さくなる傾向にあることを示し、これに対処するため、区間重要度の幅をバランスよく求める対数変換法、および対数変換法を正規性条件を扱えるように線形化した幅加重和最小推定法を提案した。一方、従来法で区間重要度の幅が小さくなることから、従来法である幅総和最小法および幅加重和最小推定法において解く線形計画問題の最適性を緩和した緩和法と緩和法を提案した。各一対比較値が二つの真の重要度の区間からランダムに選んだ二つの値の比として得られると仮定して一対比較行列を生成し、各推定法により求められる区間重要度と真の区間重要度との一致度、および区間重要度から求め

られる代替案間の支配関係の一致度を比較する数値実験を行った。なお、この際、 α -緩和法および β -緩和法のパラメータ α , β は予備実験により適当な値に設定した。いずれの提案法も従来法より良好な結果が得られることを示した。また、提案法の中では、 α -緩和法および β -緩和法が他の二つの提案法より良い結果を導くことがわかった。

また、パラメータ α , β を予備実験なく定められるように、100種類の真の区間重要度を用意し、それぞれの真の区間重要度の下で先に述べた方法により1,000の対比較行列を生成し、 α , β をいくつかの値に定めた下で各対比較行列に対する区間重要度の推定を行った。これら10万個の対比較行列それぞれの一貫性指標(C.I.)を求め、良好な一致度を与える α , β の値との関係を定めようとしたが、ばらつきが大きく明確な関係は得られなかった。そこで、C.I.の値により4,000個ずつ一致度の平均を取り、C.I.の値と良好な一致度を与える α , β の値との関係を調べたところ、C.I.値が小さいほど大きい α , β の方が望ましいといった関係が求められた。また、一般には、 α -緩和法の方が β -緩和法より良好な結果を導くことがわかった。この調査結果を用いてC.I.値による α , β の値の定め方を導いた。これにより α , β を定めれば、実験で用いたいずれの α , β の値よりも良好な結果が得られることを確認した。

さらに、 α -緩和法や β -緩和法ではパラメータ α , β を適切に定める必要があることから、パラメータを含まない推定法について考究した。他の項目の区間重要度の幅の総和が最小となる下で、求めたい項目の区間重要度の幅を最大化する最大緩和最小範囲算出に基づく方法、推移性を利用して区間対比較行列に変換する方法などを提案し、数値実験により真の区間重要度との一致度および支配関係の推定精度を比較した。その結果、最大緩和最小範囲算出に基づく方法が、 α , β を適切に設定した α -緩和法よりは劣るものの、パラメータを含まない区間重要度推定法の中では、最も良好な手法であることがわかった。

一方、区間対比較行列が与えられた場合の区間重要度推定法に関して、満たすべき望ましい性質の検討に際してして、整合した区間対比較行列が与えられた場合に、内側からの近似で得られる区間重要度が外側からの近似で得られるものより大きくなるという意外な性質を発見した。また、これが整合した区間対比較行列を共有する複数の正規な区間重要度ベクトルが存在することによることを明らかにした。そこで、この性質を考慮した区間重要度の一推定法を提案した。

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 3 件)

Motoyuki Ohki, Eiji Sekiya, Masahiro Inuiguchi, Role of robustness measure in rule induction, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol.20, 2016, 580-589

DOI: 10.20965/jaciii.2016.p0580

Masahiro Inuiguchi, Keisuke Washimi, Improving Rough set rule-based classification by supplementary rules, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, 査読有, Vol.19, 2015, 747-758

DOI: 10.20965/jaciii.2015.p0747

Tomoe Entani, Masahiro Inuiguchi, Pairwise comparison based interval analysis for group decision aiding with multiple criteria, Fuzzy Sets and Systems, 査読有, Vol. 274, 2015, 79-96

DOI: 10.1016/j.fss.2015.03.001

[学会発表](計 24 件)

Masahiro Inuiguchi, Non-uniqueness of Interval Weight Vector to Consistent Interval Pairwise Comparison Matrix and Logarithmic Estimation Methods, 5th International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making, 2016年11月30日, Da Nang, Vietnam

DOI: 10.1007/978-3-319-49046-5_4

Motoyuki Ohki, Masahiro Inuiguchi, A Clustering Approach for Decision Rule Publishing, The 7th International Symposium of Innovative Management, Information & Production, and The 13th International Symposium on Management Engineering, 2016年10月30日, Matsue, Shimane, Japan

Masahiro Inuiguchi, Rough Sets and Imprecise Modeling (招待講演), The 7th International Symposium of Innovative Management, Information & Production, and The 13th International Symposium on Management Engineering, 2016年10月30日, Matsue, Shimane, Japan

Masahiro Inuiguchi, Rough Set Approaches to Imprecise Modeling (招待講演), International Joint Conference on Rough Sets, 2016年10月11日, Santiago, Chile

DOI: 10.1007/978-3-319-47160-0_5

Masahiro Inuiguchi, Tomo Sugiyama, Roman Slowinski, Salvatore Greco, Nested interval UTA models expressing different confidence levels of

preference data, The 13th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence, 2016年09月21日, Sant Julia de Loria, Andorra

Motoyuki Ohki, Masahiro Inuiguchi, Decision rule clustering for data publishing, The 19th Czech-Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty, 2016年09月07日, Matsumoto, Nagano, Japan

Masahiro Inuiguchi, Keisuke Washimi, Data anonymization with imprecise rules against quick check attacks, The 19th Czech-Japan Seminar on Data Analysis and Decision Making under Uncertainty, 2016年09月07日, Matsumoto, Nagano, Japan

Shigeaki Innan, Masahiro Inuiguchi, Improvement of interval weight estimation in Interval AHP, 2016 Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 2016 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2016年08月27日, Sapporo, Hokkaido, Japan
DOI: 10.1109/SCIS-ISIS.2016.0121

Masahiro Inuiguchi, Variety of rough set based attribute importance, 2016 Joint 8th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 2016 17th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2016年08月27日, Sapporo, Hokkaido, Japan
Masahiro Inuiguchi, Tomo Sugiyama, Roman Slowinski, Salvatore Greco, Interval UTA methods under different self-confidence levels of preference data, 28th European Conference on Operational Research, 2016年7月5日, Poznan, Poland

Masahiro Inuiguchi, Takuya Hamakawa, Seiki Ubukata, Imprecise rules for data privacy, 2015 International Joint Conference on Rough Sets, 2015年11月22日, Tianjin, China

DOI: 10.1007/978-3-319-25754-9_12
Seiki Ubukata, Taro Miyazaki, Akira Notsu, Katsuhiro Honda, Masahiro Inuiguchi, An ensemble learning approach based on missing-valued tables, 2015 International Joint Conference on Rough Sets, 2015年11月21日, Tianjin, China

DOI: 10.1007/978-3-319-25783-9_28
Shigeaki Innan, Masahiro Inuiguchi,

Modified interval weight estimation methods for Interval AHP and their comparisons, The 16th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2015年11月6日, Mokpo, Korea
Masahiro Inuiguchi, Shigeaki Innan, Logarithmic conversion approach to the estimation of interval priority weights from a pairwise comparison matrix, The 4th International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making, 2015年10月15日, Nha Trang, Vietnam

DOI: 10.1007/978-3-319-25135-6_9
Seiki Ubukata, Taro Miyazaki, Akira Notsu, Katsuhiro Honda, Masahiro Inuiguchi, An ensemble learning approach based on rough Set preserving the qualities of approximations, The 4th International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making, 2015年10月15日, Nha Trang, Vietnam

DOI: 10.1007/978-3-319-25135-6_24
Tomoe Entani, Masahiro Inuiguchi, Maximum lower bound estimation of fuzzy priority weights from a crisp comparison matrix, The 4th International Symposium on Integrated Uncertainty in Knowledge Modelling and Decision Making, 2015年10月15日, Nha Trang, Vietnam

DOI: 10.1007/978-3-319-25135-6_8
Masahiro Inuiguchi, Takuya Hamakawa, Seiki Ubukata, Utilization of imprecise rules induced by MLEM2 algorithm, The 10th Workshop on Uncertainty Processing, 2015年9月18日, Moninec, Czech Republic

Masahiro Inuiguchi, Akira Okumura, Roman Slowinski, Salvatore Greco, Semi-robust multiple criteria decision aiding by interval UTA method, The 12th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence, 2015年9月23日, Skovde, Sweden

Masahiro Inuiguchi, Tomoe Entani, Group decision aiding by Interval AHP with compromise and refinement, Joint Conference IFSA-EUSFLAT 2015, 2015年7月2日, Gijon, Spain
www.atlantis-press.com/php/download_paper.php?id=23595

Tomo Sugiyama, Masahiro Inuiguchi, Enhancing robust preference relations

- by ratio data in pairwise comparisons,
The 11th International Conference on
Modeling Decisions for Artificial
Intelligence, 2014年10月31日, Tokyo,
Japan
- 21 Keisuke Washimi, Masahiro Inuiguchi,
Eiji Sekiya, Supplementary rules for
MLEM2 decision rules and their
usefulness in classification problems,
The 2014 IEEE International Conference
on Granular Computing, 2014年10月23
日, Noboribetsu, Hokkaido, Japan
DOI: 10.1109/GRC.2014.6982860
- 22 Takuya Hamakawa, Masahiro Inuiguchi,
On the utility of imprecise rules
induced by MLEM2 in classification,
The 2014 IEEE International Conference
on Granular Computing, 2014年10月22
日, Noboribetsu, Hokkaido, Japan
DOI: 10.1109/GRC.2014.6982811
- 23 Masahiro Inuiguchi, Interval analysis
for decision aiding (招待講演), Sixth
International Conference on Knowledge
and Systems Engineering, 2014年10月
9日, Hanoi, Vietnam
DOI: 10.1007/978-3-319-11680-8_2
- 24 Masahiro Inuiguchi, Necessity measure
representations of decision maker's
preferences on robust constraints,
17th Czech-Japan Seminar on Data
Analysis & Decision Making under
Uncertainty, 2014年9月17日,
Kitakyushu, 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) 連携研究者

円谷 友英 (ENTANI, Tomoe)
兵庫県立大学・応用情報科学研究科・
准教授
研究者番号: 10346702