

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20560386

研究課題名（和文） 分散評価型多目的最適化問題の解法とその応用

研究課題名（英文） Solution and applications of multi-objective optimization problems with distributed multiple evaluators

研究代表者

村田 純一（MURATA JUNICHI）

九州大学・大学院システム情報科学研究所・教授

研究者番号：60190914

研究成果の概要（和文）：

本研究は、従来の解法が扱っていなかった種類の多目的最適化問題の解法を開発したものである。複数の選択肢の中から複数の評価項目に基づいて意思決定者が最良の選択肢を選ぶ多目的最適化問題を解く場合、どの評価項目を重視するかという評価者の好み（選好）が必要となる。従来は、意思決定者と評価者が同一の場合を取り扱ってきた。現実にはこれらが別人の場合も多い。このような場合に、評価者の選好を適切に推定しそれに基づいて解を得る方法を開発し、応用例題に適用してその有効性を確認した。

研究成果の概要（英文）：

In this study a solution method was proposed for a class of multi-objective optimization problems which had not been addressed by the existing methods. When solving a multi-objective optimization problem where the decision maker finds the best alternative among a number of alternatives based on multiple evaluation criteria, the preference of the evaluator is necessary which indicates which criterion is more important than the others. The existing methods assume that the decision maker and the evaluator are the same person, while in reality there are problems where they are distinct persons. For this kind of problems, a method was developed which can properly estimate the evaluator's preference and find the solution based on it, and its validity was confirmed by application examples.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	300,000	90,000	390,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
総計	1,400,000	420,000	1,820,000

研究分野：システム工学・制御工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・システム工学

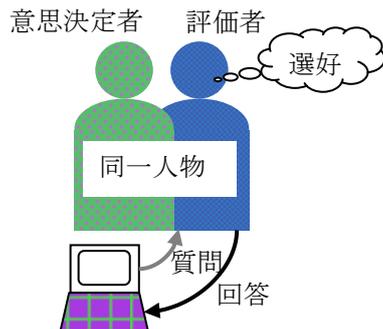
キーワード：多目的最適化，多基準意思決定，対話型手法，社会システム，公共サービス

1. 研究開始当初の背景

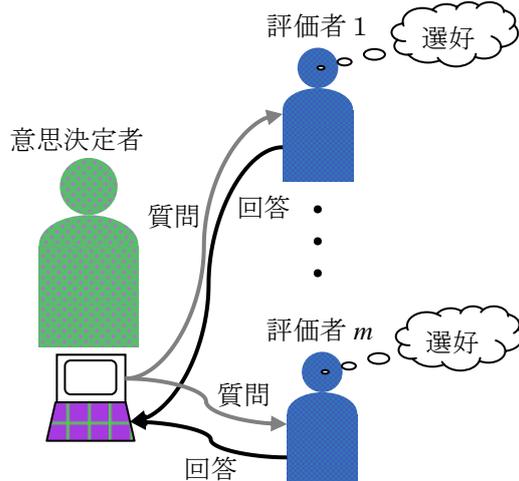
複数の目的関数を最小化する多目的最適化問題、あるいは、複数の評価項目に基づいて最良の選択肢を選択する多基準意思決定問題においては、一般に唯一の最適解は存在しない。ある選択肢について、ある評価項目（ま

たは目的関数）の値を改善しようとして別の選択肢に変更すると他の評価項目の値が悪悪されてしまうという意味、言い換えると、この選択肢よりも全評価項目が優れている選択肢は存在しないという意味で最適解、すなわちパレート最適解が複数個存在する。

複数のパレート最適解の中から一つを選ぶためには、どの評価項目を重視するかという評価者の好み（選好）が必要である。近年のこの分野の研究の多くは、進化型計算を利用してパレート最適解を数多く求めることを主眼としており、その中から最も適切な解を選択することは意思決定者に委ねられていた。一方、評価者の選好を、質問とその回答を繰り返すことによって推定し、それを利用して最も適切な解を見出す対話型の方法も提案されている。しかしそれらは意思決定者と評価者は同一人物であることを前提としている。



従来の対話型多目的最適化手法が扱う問題



本研究で扱う分散評価型多目的最適化問題

これに対し、現実には多くの利用者を対象とした公共サービスのサービス内容決定のように、意思決定者（サービス提供者）と評価者（サービス利用者）が同一人物ではなく、かつ、評価者が複数存在する問題も多い。したがって、このような問題を取り扱うことができる解法の応用対象は多く、その価値は高い。しかし、従来はこの種の問題を対象とした解法が存在しなかった。この種の問題を解く際には、評価者の選好の推定が不可欠であるが、複数の評価者の選好を推定するには、従来の対話型の方法よりも質問への回答が容易で負担の少ない方法が必要となる。

2. 研究の目的

複数の評価者による複数評価項目に基づいた評価を基に、最も適切な選択肢を選択する問題を分散評価型多目的最適化問題と名付ける。この問題の解法を開発することが本研究の目的である。このためには、次のことについて研究を行う必要がある。

- 評価者の選好の適切な表現方法
- 複数の評価者が持つ選好を対話すなわち質問とその回答から推定する方法
- 推定された選好に基づいて、単一の最も適切な選択肢を決定する方法
- 適切な応用例題を用いた提案手法の有効性の検証

上記に関する研究を行う際には次の点について配慮することが重要となる。

- 評価者は現実には公共サービスなどの利用者であり、その選好を正しく推定するには、負担が少なく、かつ正確な回答が得られやすい質問形式とする必要がある。
- 評価者はそれぞれ異なった選好を持っており、それらの評価者が受け入れることができる解の一つを選ぶ必要がある。

3. 研究の方法

(1) 対象とする問題の種類

複数の評価者の評価に基づいて意思決定者が最も適切な選択肢を決定する分散評価型多目的最適化問題は、次のように二通りの基準で分類することができる。

- 選択肢が有限個であるか、あるいは連続値をとる無限個であるか。
 - 評価者の人数が個々の評価者を識別することが可能な程度に少数であるか、あるいは識別が困難な程度に多数であるか。
- したがって、上記を組み合わせると計4通りの問題が存在する。本研究では、公共サービスの内容決定への応用を中心に考え、主として、選択肢が有限個である場合を対象とし、評価者が比較的少数の問題と多数である問題を取り扱う。一方、無限個の選択肢が存在する場合については、評価者が比較的少数の場合のみを扱う。

(2) 問題の設定

選択肢の集合 X に属する選択肢 x の中で、 p 個の評価項目（目的関数） $f_1(x), \dots, f_p(x)$ に基づいた m 人の評価者による評価が最も良い選択肢 x^* を求める。ここで、一般性を失うことなく評価項目の値は小さい方が望ましいとする。選択肢の集合 X は、有限個の要素からなる場合 $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ と、連続値をとる無限個の要素からなる場合とを考慮する。また、各評価者 k ($k=1, \dots, m$) は、評価項目の値に応じて選択肢をどの程度好むかを表す選好

関数 $v_k(f_1(x), \dots, f_p(x))$ を持っているとする。ただし、選好関数は未知である。

(3) 研究の手順

研究は以下の順に行った。

- いずれの場合においても、まず、評価者の選好の適切な表現方法を定める。この表現は実際の選好を良く近似できるものであり、かつ、その推定が容易であるものである必要がある。
- 次に、意思決定者が評価者に対して提示する質問内容を決定する。この質問は、評価者が容易にかつ正確に回答できるものである必要がある。
- さらに、評価者からの回答に基づいて評価者の選好を推定する方法を開発する。この際に、評価者が比較的少人数で評価者の識別が可能な場合は、評価者ごとに選好を推定する。一方、評価者が多数の場合は、個々の評価者の選好を推定することは困難であり、評価者全体をひとまとめにした選好を推定する必要がある。個々の評価者の選好を個別に推定する場合は、さらに、得られた各評価者の選好を総合して評価者全体の選好として表現する方法を開発する。
- 推定された選好に基づいて、最も適切な選択肢を解として得る方法を開発する。選択肢が有限個で数が多くない場合は、総当たりで選好が最も高い選択肢を見出せばよい。一方、選択肢が無制限の場合は、適切な1目的最適化手法を利用する必要がある。
- 応用例題を用いて提案手法の有効性を検証する。

4. 研究成果

(1) 選好関数の表現

評価者の選好関数 $v_k(f_1(x), \dots, f_p(x))$ の関数形は未知である。しかし、人間の好みを表現している関数であるため、複雑な関数ではないと考えられる。また、評価項目 f_1, \dots, f_p の値は小さいほど良く、選好の値 v_k は大きいほど良いとしているので、選好関数は f_1, \dots, f_p についての単調減少関数である。以上のことを反映して、選好関数は十分良い精度で次のように線形近似できるものとした。ただし、 c_0, \dots, c_p はパラメータである。

$$v_k = c_0 + c_1 f_1 + \dots + c_p f_p$$

(2) 質問内容

評価者に対する質問は、評価者が負担なく正確に回答できるものである必要がある。そこで、二つの選択肢を提示し、そのいずれを好むかを質問するものとする。これは、一つの

選択肢を好む程度を尋ねる質問や、多数の選択肢についての順位付けを尋ねる質問と比較して、回答しやすく、したがって誤った回答が発生しにくい。ただ上記の質問は選択肢の相対評価でしかないため、補足質問として、二つの選択肢のうちの好む方について、その良さの絶対評価を「とても良い」、「良い」、「ふつう」、「悪い」、「とても悪い」などの言語的表現で回答してもらう質問も行う。

(3) 選好の推定および統合の方法

評価者への質問は複数回行う。評価者の人数が比較的少数の場合、評価者を識別することが可能であるので、同一人物による各回の質問への回答を掌握することができる。評価者が多数の場合は、どの評価者からの回答であるかを把握することは困難であり、個々の評価者ではなく評価者全体としての取り扱いが必要となる。

① 評価者ごとに選好を推定する場合

評価者全員に同じ二つの選択肢 x_1, x_2 を提示する。ある評価者が x_1 を好むと回答したとすると、それは次の不等式が成り立つことを意味する。

$$c_0 + c_1 f_1(x_1) + \dots + c_p f_p(x_1) > c_0 + c_1 f_1(x_2) + \dots + c_p f_p(x_2)$$

これからパラメータのうち $c_2/c_1, \dots, c_p/c_1$ に関する不等式が得られる。提示する選択肢を変更しながら質問と回答を繰り返すと、 $c_2/c_1, \dots, c_p/c_1$ に関する不等式が複数得られ、その連立不等式の解として $c_2/c_1, \dots, c_p/c_1$ の値が存在する範囲が判明する。この範囲の中心点を $c_2/c_1, \dots, c_p/c_1$ の推定値とする。質問は、このパラメータの存在範囲をより小さくできる質問がなくなった時点で終了する。パラメータ c_0, c_1 については、補足質問の回答を数値化し、それを最も良く再現できる値として最小2乗法を用いて推定する。

以上によって m 人の評価者の選好関数 $v_k, k (k=1, \dots, m)$ がそれぞれ得られる。評価者全体の選好 V は、これらの平均値あるいは最悪値として定義する。最悪値を用いる場合は、著しく選好が低い選択肢を強制される評価者が現れることを抑制することができ、より公平性を重視した解を得ることができる。

② 評価者全体の選好を推定する場合

個別の評価者ではなく評価者全体として一つの選好関数 V を推定する。ここでは、全評価者の選好の平均値を表す選好関数を推定する。

全評価者に同じ二つの選択肢を提示する。一般に評価者によっていずれを好むかの回答は異なる。したがって、①の場合と異なり、選好関数のパラメータが存在する単一の範囲は得られない。その代わりに複数の範囲が得られる。それら複数の範囲それぞれの信ぴょう度は、全評価者の中で対応する選択肢を好

むと回答した評価者の人数比率によって評価できる。そこで、各範囲の中心点の値をこの人数比率によって重みづけ平均した値を選好関数 V のパラメータの推定値とする。

(4) 最も適切な選択肢の発見方法

上記(3)によって評価者全体の選好関数 V が得られると、これを最大にする選択肢 x^* を求めることができる。選択肢が有限個でかつ個数が多い場合、総当たりによって x^* を求めることができる。一方、選択肢 x が連続値をとる場合は何らかの最適化手法を用いる必要がある。この研究では遺伝的アルゴリズムを用いた。

(5) 応用例題による検証

選択肢が有限個の場合についての検証用問題として、公共サービスの一つであるバスを念頭にそれを簡略化した例題を構築した。この例題に対して提案手法を適用するシミュレーションを行い、その有効性を検証した。ある2地点間を結ぶバス路線の20通りの運行内容を選択肢とし、料金、所要時間、運行間隔を評価項目とした。運行内容を決定する意思決定者はバス会社であり、その良し悪しを評価する評価者は乗客である。運行間隔は短い方が利便性が高いが、その場合料金は高くなる。このように、三つの評価項目のすべてを最も良くする運行内容は存在しない。現実の評価者(乗客)は人によって料金を優先したり、所要時間を優先したりと、好みは異なる。この研究では、選好が相互に似ている評価者モデルや、選好のばらつきが大きい評価者モデルなどを人為的に作成して、シミュレーションに用いた。評価者が少人数の場合の例として評価者が3名の場合を取り扱った。一方、評価者が多数の場合の例では1000名の評価者を対象とした。

いずれの場合も5から12回の質問によって、選好を推定し、正しい解 x^* を求めることができた。選択肢は20個存在するので、2個の選択肢を提示する質問は全部で190通りある。これらすべてを質問せず、その6%以下程度の少ない個数の質問から正しい解を得ることができているため、この手法は効率的に解を求めることができることがわかる。また、未知の選好関数を線形関数で近似表現しているが、評価者の真の選好関数として2次関数を設定した場合においても、正しく解を得ることができた。

選択肢が無限個の場合については、多目的最適化問題に関する研究でよく使用される標準的問題を用いて検証を行った。3名の評価者モデルを構築し、提案手法を適用した。この場合においても正しい解 x^* を求めることができ、提案手法の有効性を確認することができた。

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2件)

- ① J. Murata, M. Saruwatari, and S. Hashikawa, Multiple-Attribute Decision Making with Estimation of Preferences of Multiple Evaluators, Proceedings of SICE Annual Conference 2010, 査読有, 2010, 1466-1471
- ② J. Murata and K. Kitahara, Multiple-Attribute Decision Making with Interactive Estimation of User Preference, Proceedings of the Tenth IASTED International Conference on Artificial Intelligence and Applications, 査読有, 2010, 43-49

[学会発表] (計2件)

- ① 橋川聡士, 猿渡将人, 村田純一. 多数の評価者の選好を考慮した多目的意思決定問題の対話型解法, 計測自動制御学会システム・制御部門学術講演会 2010, 2010年11月25日, 京都市
- ② 村田純一, 北原憲太郎, 評価者と意思決定者が異なる場合の対話型多属性意思決定法. 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2009, 2009年11月26日, 横浜市

[図書] (計0件)

[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

<http://cig.ees.kyushu-u.ac.jp/~murata/MADM.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 純一 (MURATA JUNICHI)

九州大学・大学院システム情報科学研究
院・教授

研究者番号: 60190914

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし