

# 多目的最適化のための説明変数と目的関数の連携可視化

久保田真季（指導教員：伊藤貴之）

## 1. 概要

現在多くの分野で利用されている多目的最適化問題は、個々の目的関数がトレードオフの関係によって結びついているため、非常に複雑な数値空間を探索することが多い。本研究では、多目的最適化問題における個体群を可視化することにより、その数値空間の直感的理解を促すことを目指す。本研究が提案する可視化手法では、画面を左右に二分して、各々に説明変数と目的関数の両方を表示することによって、両者の関係性を明確に表現する。また、その一方において興味のある数値領域を指定操作することで、それに該当する個体群が説明変数と目的関数の両方においてハイライトされる連携機能を有する。これによって興味領域を簡単に絞り込むことができるので、将来の最適化プロセスの改善につながると考えられる。

## 2. 関連研究

### 2.1 多次元データの可視化手法

多目的最適化問題を可視化する際、説明変数と目的関数はどちらも多次元変数であることから、一般的に多次元データの可視化手法が適用される。

もっとも多く用いられる手法は散布図であり、2次元または3次元であればその各次元を散布図の各座標軸に割り当て、4次元以上である場合には、次元削減手法を用いて寄与度の高い2個または3個の次元を散布図の各軸に割り当てるか、任意の2つの次元を2軸割り当てて形成される散布図群を格子状に配列表示する Scatter Plot Matrix を用いる。また散布図に割り当てる次元を対話的かつ効果的に選択させる手法も増えている[1]。

それに対して、4個以上の次元を直接的に表現する多次元データ可視化手法も多数発表されている。多次元データを構成する各次元を所定の規則にそってアイコン等のデザインに置き換える手法[2]や、すべての軸を並行に描画して各個体を折れ線表示する Parallel Coordinate Plot (PCP)[3]などが知られている。

散布図とそれ以外の手法には原理的に一長一短の関係にある。散布図は広く普及しており、さらに各個体を点で表現することから相対的に多数の個体を表現可能であるが、2,3次元を超える多変数の各値を同時に読み取るのは困難である。それ以外のアイコンベースの手法や PCP などは、2,3次元を超える多変数の各値を同時に読み取ることができるが、個体を線や図形で表現することから数千個単位の個体を一画面領域に表現するのは難しい。また散布図ほど普及していないことから、利用者に訓練を要する場合がある。

### 2.2 多目的最適化問題への可視化手法の適用

多目的最適化問題における個体の振る舞いや分布は複雑であり、この理解を可視化によって支援しようという研究は近年になって増えている。

Eddyら[4]は、Cloud Visualization という散布図の一種を用いてパレート解を可視化している。大林ら[5]は、自己組織化マップ(SOM)を用いてパレート解をクラスタリングおよび可視化している。これらの可視化結果は目的関数の分布を表示しているだけであり、それをもたらした説明変数を直接表現しているものではない。また、多目的最適化の可視化の中でもパレート解を可視化するのではなく、パレート解が存在する限界領域(パレートフロンティア)を可視化する手法[6]も提案されている。しかし、この手法も目的関

数空間を描いたものであり、それをもたらした説明変数を直接表現しているものではない。

## 3. 説明変数と目的関数の連携可視化

本章では説明変数と目的関数を連携可視化する手法を提案する。

図1に本手法の概観を示す。本手法ではウィンドウを左右に分割し、左側に説明変数を、右側に目的関数を、それぞれ多次元データとみなして可視化する。

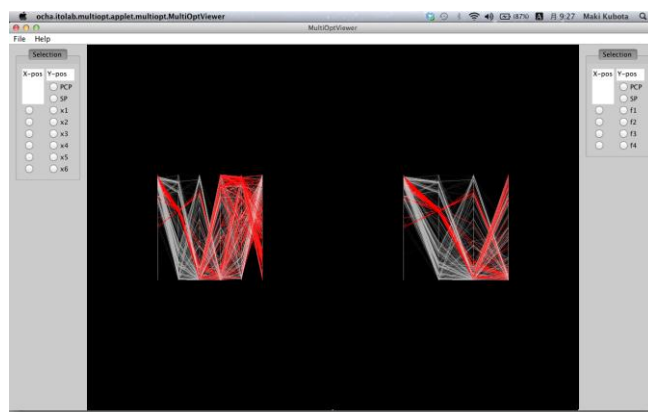


図1：可視化手法の概観

### 3.1 可視化手法の選択

2.1節でも前述のとおり、多次元データ可視化手法は一長一短の関係にあり、利用者の習熟度や目標設定によって望ましい手法の選択も変わってくる。そこで我々は複数の多次元データ可視化手法を統合的に扱えるのが望ましいと考えた。現時点の我々の実装では、Parallel Coordinate Plotと2次元の散布図(Scatter Plot)を可視化手法として搭載している。そして画面両側のボタン選択によって、利用者が必要に応じてそれらの可視化手法を選択できる。

### 3.2 個体の選択操作と連携可視化

本手法では、利用者のマウス操作によって画面上の特定の矩形領域を指定することで、その領域に描かれている個体だけを選択してハイライト表示させる機能を有する。このとき、説明変数側で選択操作をしたら目的関数側も、逆に目的関数側で選択操作をしたら説明変数側も、というように両方が連携してハイライト表示する。このようにして説明変数と目的関数の両側から興味範囲を絞りこむことができる。図1では赤の折れ線が興味範囲を示している。

この機能によって、例えば将来的に類似したデータセットを分析する際に、最初から数値範囲を絞り込んでおくことで計算量の削減を狙うことができる。

## 4. 適用事例

本研究は企業から提供頂いた業務上の多目的最適化のデータを題材にして進めている。しかし、そのデータでは企業の機密に関わるものであるため、本研究ではそのかわりに、著者自身で作成した以下の簡単な例題を可視化した例を示す。

パーティーの男女別会費を決定する問題を考える。男性および女性の参加者数を  $m_1$  および  $n_2$ 、男性および女性の1人当たりの会費を  $p_1$  および  $p_2$ 、会場に支払う参加者1名(男女問わず)あたりの代金を  $c$  とする。本章では以上の5変数を説明変数とする。それに対して我々は以下の3つの目的関数を設けた。

1) パーティ主催者の利益  $f_1$  以下の式で算出する.

$$f_1 = (p_1 n_1 + p_2 n_2) - c (n_1 + n_2)$$

2) 男性参加者の満足度  $f_2$ . 料理の質への不満度 ( $c$  の減少に対して単調増加する関数  $g_1(c)$ ) と, 男性に対して女性が少ないことへの不満度 ( $n_1 \cdot n_2$  の増加に対して単調増加する関数  $g_2(n_1 \cdot n_2)$ ) を用いて, 以下の式で算出する.

$$f_2 = 1.0 - (g_1 + g_2)$$

3) 女性参加者の満足度  $f_3$ . 料理の質への不満度 ( $c$  の減少に対して単調増加する関数  $g_3(c)$ ) を用いて, 以下の式で算出する.

$$f_3 = 1.0 - g_3$$

この3つの目的関数は, 会場に支払う代金  $c$  が大きいほど  $f_2$  と  $f_3$  が下がるが  $f_1$  が上がる, というトレードオフを含んでいる. また会費は男性のほうが高く設定されると仮定すると,  $n_1$  が大きいほうが  $f_1$  が上がるが,  $n_1 \cdot n_2$  が大きいほど  $f_2$  が下がる, というトレードオフを含んでいる.

以下, これらの説明変数と目的関数を PCP で可視化して連携操作した結果を示す. 説明変数の軸は左から順に  $n_1, p_1, n_2, p_2, c$  を示し, 目的関数の軸は左から順に  $f_1, f_2, f_3$  を示す.

図 2(a) は 5 種類の説明変数の値を数段階に変化させて各目的関数の値を算出した結果である. これに対してマウス操作で利益  $f_1$  がゼロに近い範囲を指定した結果が図 2(b) である. これを見ると  $f_1$  の軸では赤い折れ線が指定された範囲にのみ描かれているのに対して, 他の全ての軸において赤い折れ線は上下に分散されている. そこで次の条件として, マウス操作で男性の満足度  $f_2$  が十分高い範囲を指定した結果が図 2(c) である. これを見ると説明変数の 3 番目の軸である  $n_2$  において, 赤い折れ線は上部に集中していることがわかる. このことから, 男性の満足度をあげるには女性を多数集めることが必須であることが示唆される.

一方で図 2(d) は, 説明変数側の範囲を指定した結果である. この結果では  $n_1$  が小さい範囲を指定して, さらに  $p_1$  が大きい範囲を指定している. その結果として女性の満足度  $f_3$  の軸において, 赤い折れ線が下部に集中した. この結果から, 女性の満足度を上げるためには男性の会費だけでなく人数も集める必要があることが示唆される.

## 5. まとめ

本研究では, 説明変数と目的関数の両方を 1 画面に表示して互いに連携操作させることにより, 両者の関係性を視覚的に認識しやすくし, 多目的最適化問題の数値分布の理解を支援する手法を提案した.

今後の課題として以下があげられる.

- 可視化手法の拡張と改善
- 最適化手法との連携
- さらなる適用事例とユーザーテスト

## 参考文献

- [1] N. Elmqvist, P. Dragicevic, J. Fekete, Rolling the Dice: Multidimensional Visual Exploration using Scatterplot Matrix Navigation, IEEE transactions on Visualization and Computer Graphics, 14(6), 1141-1148, 2008.
- [2] D. A. Keim, Information Visualization and Visual Data Mining, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 8(1), pp. 1-8, 2002.
- [3] A. Inselberg, B. Dimsdale: Parallel Coordinate: A Tool for Visualizing Multi-Dimensional Geometry, IEEE Visualization, 361-370, 1990.
- [4] J. Eddy, K. Lewis, Visualization of Multidimensional Design and Optimization Using Cloud Visualization, ASME Design Engineering Technical Conferences, DETC02/DAC-2006.
- [5] 大林茂, 多目的最適化と情報可視化データマイニング, 豊田研究報告, 58, 109-116, 2005.
- [6] G. Agrawal, K. Lewis, K. Chugh, C.-H. Huang, S. Parashar, C. L. Bloebaum, Intuitive Visualization of Pareto Frontier for Multi-Objective Optimization in N-Dimensional Performance Space, Tenth AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis and Optimization Conference, Albany, AIAA-2004-4434, 2004.

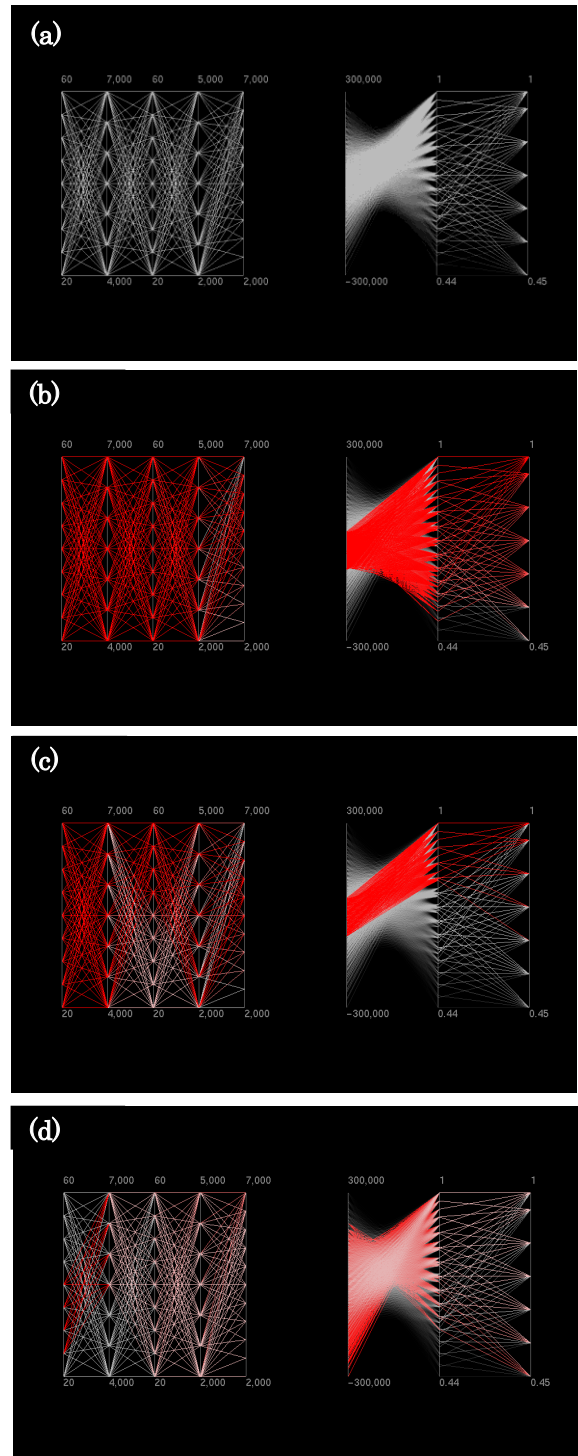


図 2 : 適用例