

複数の目的関数を考慮した多ステップ最適化

○太刀岡 勇気 (デンソーアイティラボラトリ)

概要 最適化の際に(単目的問題であっても)複数の目的関数を考慮して最適化する方法を提案する. 複数のステップにわけて最適化を行い,異なる目的関数で最適化された結果を利用することで,初期値にバリエーションを持たせることができ,解の探索の範囲を広げることができた.

キーワード: 多目的最適化, 多ステップ最適化, 経済支援施策

1 はじめに

最適化の際に複数の目的関数を同時に考慮する多目的最適化は,その有用性から盛んに研究されている.一方,単目的最適化においても解の多様性を増すためにランダムネスが導入されている.ただしランダムな初期値を使うと有用でないものが多く含まれるため,最適化にかかる時間が増加する.これは最適化の回数に制約があるような場合に問題となる.ここで対象とする進化計算コンペ¹⁾は,同一の問題に対して複数の参加者で最適化の性能を競うコンペである.このコンペでは評価回数に制限があるため,ランダムなアルゴリズムを用いると十分に探索することができない.そのため,有用な解を重点的に評価しつつ多様性を持たせることが必要となる.

ここでは異なる目的関数を多ステップで用いる方法を提案する.異なる目的関数で最適化された結果を次のステップの初期値とすることで,初期値にバリエーションを持たせると同時に異なる観点で有用な解を探索することができる.これにより,(単目的問題であっても)複数の目的関数を考慮して最適化することができ,対象の目的関数だけを考慮するより解の探索範囲を広げられることが期待できる.

2 進化計算コンペ 2021

進化計算コンペ 2021 では,仮想合成人口個票^{2,3)}を用いた経済支援政策のシミュレーションが題材となった¹⁾.シミュレーションは Fig. 1 の手順で行われるが,内容はブラックボックスである.一回のシミュレーションには1分程度の時間がかかり,回数も1,000回に制約されている.事前準備のためにローカルでシミュレーションが実行できる環境とともに,ベースライン²⁾も提供されている.

最適化の対象は支給対象住民の集合 Q と支給額 m であり,それらをまとめて支給施策 $x = (Q, m)$ とする.住民の集合は, Table 1 に示す属性ごとの対応集合の積集合 $Q = \cap_{k=1}^5 A_k$ である.ここで全員の集合 A に対して,部分集合 $A_k \subseteq A$ ($k = 1, \dots, 5$) を定める.また集合には Table 1 に示す支給の優先関係がある.不等号は左の集合が右の集合に優先して支給を受け取することを示す.各参加者は x をシステムに提出し,システムは評価対象の経済指標を返す.

3 目的関数

目的関数に用いる経済指標は 3.1 と 3.2 の2つである.さらに多様性を持たせるために,我々は 3.3 を導



Fig. 1: シミュレーションの流れ (進化計算コンペのサイトより転載)

入した.

これらの経済指標を2つの都市 c について,3つの仮想人口 P_i ,3つの経済ショックシナリオ(楽観・平均・悲観) $S = \{opt, mid, psm\}$,3つの乱数シード $R (= 42, 256, unknown)$ について平均をとったものが,目的関数 f_j ($j = 1, 2, 3$)

$$\begin{aligned} f_j(x|c) &= \frac{1}{27} \sum_{i=1}^3 \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} F_j(M(x|P_i[c], s, r)) \\ &= \frac{1}{27} \sum_{i=1}^3 \sum_{s \in S} \sum_{r \in R} F_j(Z) \end{aligned} \quad (1)$$

である.ここで M はシミュレーションモデルであり, Z はシミュレーション結果を表す.

3.1 経済指標 1

相対的貧困に該当する世帯を減らすことを目的とした指標である.世帯人数 N に応じた相対的貧困の減少について,対象人数による重み付き和で表す.

$$F_1(Z) = \sum_{n=1}^4 \left(\frac{|B_n|}{|A|} \frac{H_{N=n}^*}{H_{N=n}} \right) \quad (2)$$

$H_{N=n}$ は経済ショック前の相対的貧困である世帯人数 i の世帯数を, $H_{N=n}^*$ は経済ショック後に経済支援施策による給付を実施した後も相対的貧困である世帯人数 n の世帯数を示す. B_n は世帯人数が n である世帯の住人の集合である.

3.2 経済指標 2

失業や収入減少があった世帯の収入を減少分だけ補償することを目的とした指標である.当初の世帯収入に占める支給による前後変動率

$$F_2(Z) = \frac{\sum_{h \in H} |I_h - I_h^*|}{\sum_{h \in H} I_h} \quad (3)$$

である. H はすべての世帯の集合である. I_h は経済ショック前の世帯 h の世帯収入を, I_h^* は経済支援施策による給付後の世帯 h の世帯収入を示す.

¹<https://ec-comp.jp/nsec.org/ja/competitions/eccomp2021>

²https://github.com/yskgt-sim/ec_2021

Table 1: 属性別の優先関係

対応集合	属性	優先関係 (制約条件)
A_1	家族類型	単独世帯 > 女親と子供 > 男親と子供 > その他
A_2	世帯内役割	単独世帯 (男性), 単独世帯 (女性) > その他
A_3	産業分類	非就業者 > その他
A_4	雇用形態	非就業者 > 短時間労働者, 臨時労働者 > 一般労働者
A_5	企業規模	非就業者 > 5~9人 > 10~99人 > 100~999人 > 1000人以上

Table 2: 支給額と f_1 (函館)

支給額	f_1
14	0.561258
14.5	0.562100
15	0.562582
14.5	0.562683
14.5	0.563130
14	0.565382
14	0.565569
14	0.566053
14	0.566081
14	0.566598
14	0.566925
14	0.567006
14	0.567008

Table 3: 支給額と f_2 (那覇)

支給額	f_2
2.5	0.000307
2	0.000309
2	0.000317
2	0.000359
2	0.000401
2	0.000435
2	0.000479
2	0.000483
2.5	0.000550
2	0.000568
2	0.000598
2.5	0.000607
2.5	0.000625

3.3 経済指標 3 (新規に導入)

支給枠をできるだけ使い切ることを目的とする。支給枠は全員に 2 万円を給付する分の枠が設定されているので、

$$F_3(Z) = 20000|A| - m|Q| \quad (4)$$

のようになる。ただし、支給枠はマイナスになれない制約があるので、 $F_3(Z) \geq 0$ である。

4 実験

4.1 実験条件

最適化のアルゴリズムには、ベースラインのもの(単目的 GA, 多目的 NSGA-II) を利用した。ただし、個体数や突然変異の確率などの細かなパラメータ調整を行い、支給額を 0.5 万円単位の 2 進表現 (5bit) に変更 (2~33.5 万円) した。

Table 1 の支給の優先順位の制約を満たすのは困難であり、ベースラインのランダムなものだと多くが優先順位の制約を満たさない。そのため、初期個体は支給の優先順位の制約を満たすものから作成することとした。

4.2 結果と考察 (単目的最適化)

Fig. 2 に単目的最適化の手順を示す。Step1 と 2 は、あらかじめローカル環境で実施しておく。なお単目的最適化の場合は、函館については f_1 を最適化し、那覇については f_2 を最適化することが求められている。

Step1: それぞれの目的関数の最適化 まずはそれぞれの目的関数 f_1 と f_2 の最適化を行う。Table 2 と Table 3 に、 f_1 , f_2 の昇順にソートした結果を示す。それぞれの最適解が異なることがわかるが、支給額はほぼ同じ値になっていることがわかる。なお地域による差はあまりなかった。

Step2: 評価値の良い個体と悪い個体で最適化 評価値の良い個体ばかりから初期値を作ると、最適化の探索範囲が狭まり解の多様性が小さくなる。そこで評価値の良いほうから 9 割、悪いほうから 1 割の割合で混ぜたものから初期値集合を生成し、同じように評価を行った。結果を Fig. 3 と Fig. 4 に示す。これにより評価関数が改善した。

次のステップで複数の目的関数を考慮するために、 f_3 も併せて多目的最適化を行った。そしてそれらの結果を 3:1 で混合して Step3 の初期値集合を作成した。

Step3: 本番環境で最適化 用意した解を初期値として本番環境で最適化を行った。本番環境は、ローカル環境とあまり傾向は変わらなかったため、高い評価値が得られた。

このステップでも次のステップのために、単目的最適化とともに f_1 と f_2 の両方を考慮した多目的最適化も行い、結果を Step2 と同様の割合で混合して初期値集合を作成した。

Step4: さらに最適化 得られた初期値集合をもとにして最適化を行うことで評価値が大きく改善した。これにより多ステップで最適化を行うことが評価回数に限られたタスクにおいて有効であることが示された。

さらに次ステップでは f_1 の最適化に f_2 の評価値の良い個体と悪い個体から、 f_2 の最適化に f_1 の評価値の良い個体と悪い個体から初期値を選ぶ。これにより異なる観点での最適解が得られることを期待する。

Step5: 異なる目的関数で初期化 異なる目的関数で初期化したものは評価関数を改善できなかった。これにより、Step3 → 4 のように混合して初期集合を作成する方法の有用性が示された。どちらの都市でも、Step4 により最良値 0.454958 と 0.000293 を得た。

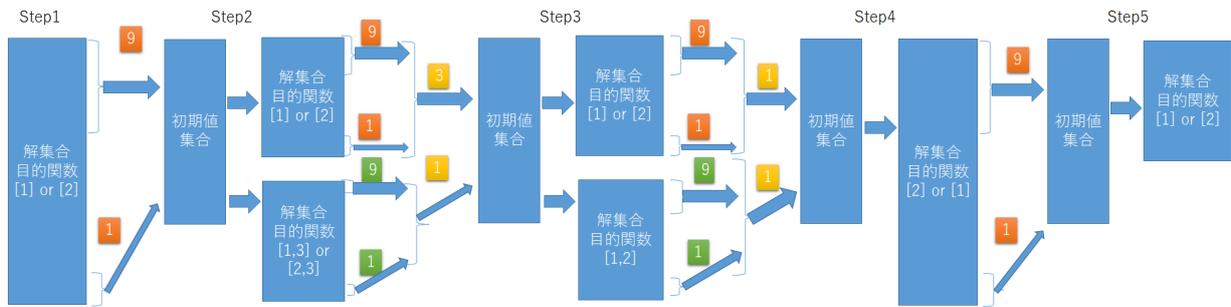


Fig. 2: 単目的最適化の手順

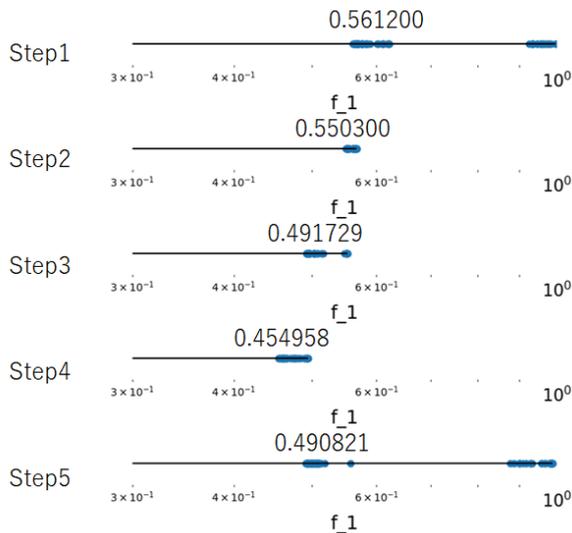


Fig. 3: f_1 の最適化 (函館)

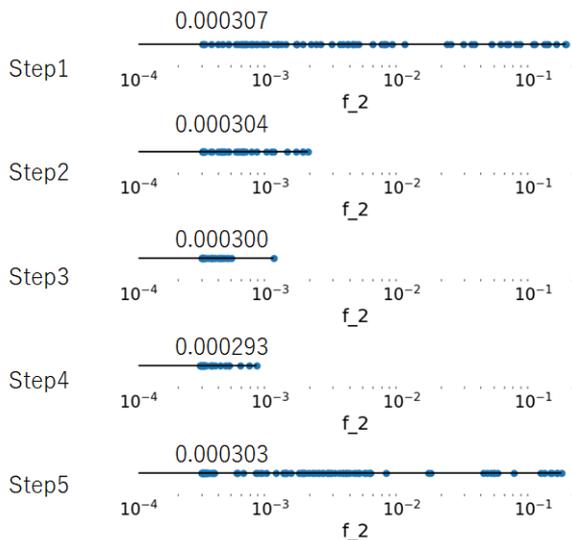


Fig. 4: f_2 の最適化 (那覇)

4.3 結果と考察 (多目的最適化)

Fig. 5 に多目的最適化の手順を示す。Step1 と 2 は、あらかじめローカル環境で実施しておく。多目的最適化では函館・那覇ともに、 f_1 と f_2 の hypervolume の最大化が求められている。

Step1: それぞれの目的関数の最適化 まずは目的関数 $\{f_1, f_2\}$ の最適化に加えて、 $\{f_1, f_2, f_3\}$ の 3 目的最

Table 4: Hypervolume の最大値

都市	hypervolume
那覇	0.10600966710558105
函館	0.09732771008333875

適化と $\{f_1, f_3\}$ と $\{f_2, f_3\}$ の最適化を加えた最適化を行った。パレートフロントを示すために Fig. 6 に函館の、Fig. 7 に那覇の目的関数ごとの分布図を示す。これにより、 f_2 を小さくしていくと、 f_1 が非連続的に変化することがわかる。また f_3 と f_2 はほぼトレードオフの関係である。

Step2: 評価値の良い個体と悪い個体で最適化 単目的最適化と同様に、評価値の良いほうから 9 割、悪いほうから 1 割の割合で混ぜたものから初期値集合を生成し、同じように評価を行った。Fig. 8 と Fig. 9 にそれぞれの結果を示す。Step2 において f_1 と f_2 の双方を改善する解が得られていることがわかる。これにより多ステップ最適化が多目的最適化においても有効であることがわかった。

ここでも、次のステップで複数の目的関数を考慮するために、 $\{f_1, f_2, f_3\}$ で多目的最適化を行い、それらの結果を 3:1 で混合して Step3 の初期値集合を作成した。

Step3: 本番環境で最適化 これら初期集合から本番環境で最適化を行った。単目的最適化のところで見たように、本番環境とローカル環境は同傾向であることから、同じような解の分布が得られた。

Step4: さらに最適化 さらに f_1 と f_2 の単目的最適化の結果も用いて最適化をさらに行った。これにより解の多様性が得られた。最終的に得られた Hypervolume の最大値を Table 4 に示す。

5 まとめ

評価回数の限られた最適化問題において、有用かつ多様性に富んだ初期値を用意するため、複数の目的関数を考慮した多ステップの最適化を行った。初期値を異なる目的関数を考慮して作成することで、評価値を改善できることがわかった。

単目的最適化問題においては、解の多様性が向上し、最適値を更新できた。多目的最適化問題においても、単目的最適化の結果や評価対象外の異なる目的関数の考慮が有効であることが示された。

参考文献

- 1) 後藤, 森田, 白井, 市川, 濱田, 原田: 社会シミュレーションによる経済支援施策の設計, 進化計算学会論文誌, **13-1**, 23/39 (2022)

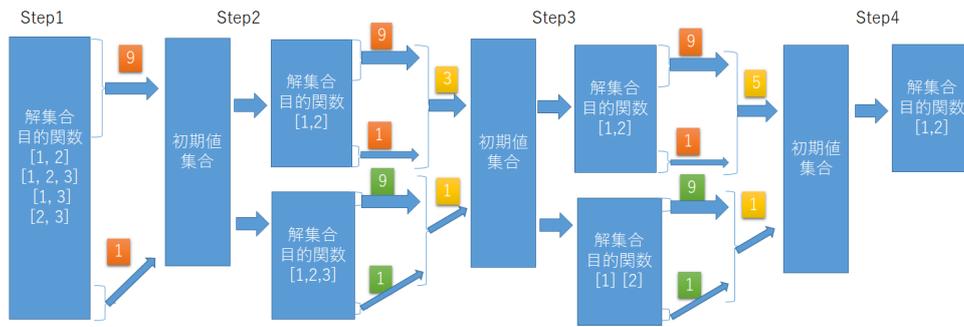


Fig. 5: 多目的最適化の手順

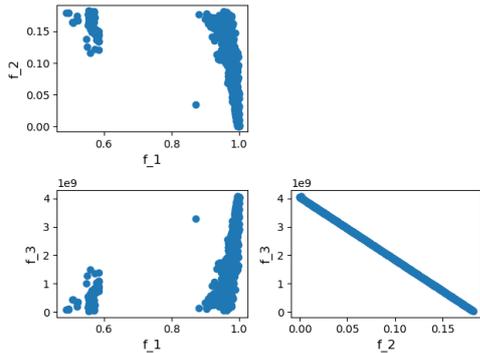


Fig. 6: 目的関数値の分布 (函館)

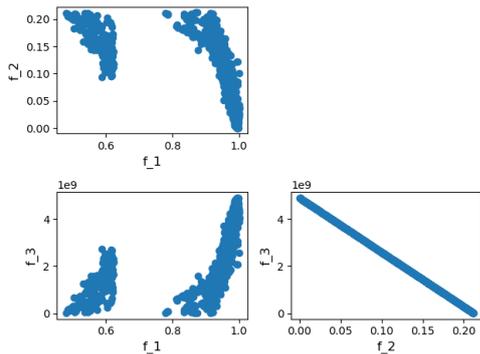


Fig. 7: 目的関数値の分布 (那覇)

- 2) Y Goto: Stylized Fact Analysis of Cash-For-Work Programs in the Disaster Reconstruction Process, In *Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 1140/1145 (2018)
- 3) 杉浦, 村田, 原田: 賃金構造基本統計調査に基づく合成世帯集団の労働者への所得の割当て, システム制御情報学会論文誌, **32-2**, 69/78 (2019)

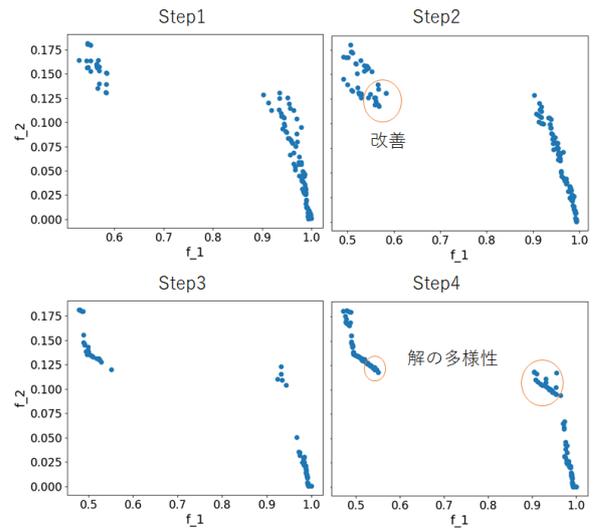


Fig. 8: 最適化の結果 (函館)

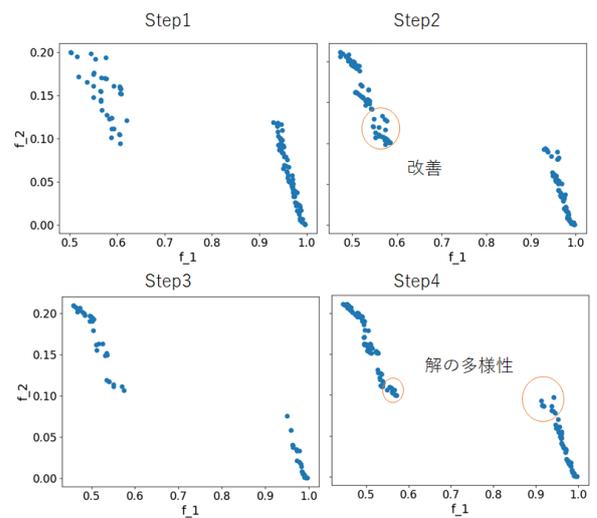


Fig. 9: 最適化の結果 (那覇)