

多目的遺伝的アルゴリズムを用いた ユニバーサルデザイン支援システムの構築

Multi-objective Genetic Algorithms for constructing assistance systems of universal design

古田 均* ・ 撰 雅江** ・ 亀田 学広***

Hitoshi FURUTA, Masae ERAMI and Takahiro KAMEDA

*工博 関西大学教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)

**関西大学大学院 総合情報学研究科 知識情報学専攻

***関西大学大学院 総合情報学研究科 知識情報学専攻

It is generally accepted that some people endeavor to make a certain route shorter than it is. Others (confined to wheel chair for example) demand the elimination of different levels on a given floor. Their ambitions are legitimate, however this would involve trade-offs. It is believed that facilities that meet the needs of wheelchair users and pedestrians can be achieved through Multi-objective Optimization Problems. And the problem is solved by Multi-objective Genetic Algorithms. Pedestrians are basically classified into three groups. People in wheelchairs, people who have difficulties walking, and able-bodied people. According to the facts mentioned above, a more efficient plan is proposed to increase elevators and escalators along they needs of all the prospective users. . We will examine the practical effectiveness of the plan at Umeda's underground shopping mall in Osaka city.

Key Words: Genetic Algorithm, Universal design, Multi-objective Optimization

1. はじめに

これまで地下街空間をはじめとする多くの都市環境では、主に健常者をターゲットとした設計がなされており、歩行困難者の意見を十分に採り入れた設計が行われることはあまりなかった。その結果、高齢者や車いす利用者等の肢体不自由者の移動が困難となっており、早急な対応が望まれている。

本研究では、ユニバーサルデザインの観点から限られた予算内で特定の利用者に対してだけでなく、全ての利用者が満足する歩行施設増設計画の策定を目指し、それを支援するシステムを提案する。本システムでは利用者を健常者・歩行困難者・車いす利用者に分類し、各々の利用者の相反する要求を満たす設計を、多目的最適化問題として定式化する。多目的最適化問題手法として様々な分野で応用の進む多目的遺伝的アルゴリズムを用いる。さらに、大阪市梅田ターミナル地区を例に、システムの有用性についての検討を加えた。

2. ユニバーサルデザイン

近年、障害者が障害のない者と同等に生活し、活動する社会を目指す「ノーマライゼーション」の理念が浸透し、身体的特徴の区別なく全ての人々が共用できる「ユニバーサ

ル(=全ての人々の)デザイン(=設計)」の考えが注目を浴びることとなった。これは障害のある者と障害のない者を区別し、障害者用の施設を特別に設置する「バリアフリー」の考え方とは異なり、全ての人々にとって使いやすい設計を目指すという考え方であることに留意したい。

我が国では2015年には国民の4人に1人が65歳以上となり、本格的な高齢社会の到来と言われてきている。2002年に施行された「高齢者、身体障害者などの公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」はそのための対応策の一つである。これは、1日あたりの乗降客数が5000人以上である駅に関し、2010年までにエレベーター・エスカレータを高低差5m以上の駅に設置することをはじめとした段差の解消などを求めるものである。

本研究では、ユニバーサルデザインの理念に基づき、誰に対しても利便性を向上させることを目指しており、各身体的特徴を目的関数と定め、多目的最適化問題として捉える。つまり、一定のコスト制限のもとで、車いす利用者だけではなく、健常者や歩行困難者の利便性をも同時に高める歩行施設増設計画を支援することを目的とする。

3. 多目的最適化によるユニバーサルデザイン

3.1 多目的最適化問題

多目的最適化問題とは、評価項目が複数個あり、これらを一つの目的関数にまとめることができない問題のことである。多目的最適化問題は、一般に次のように定義される。

定義 (多目的最適化問題) : F を R^n 閉集合

$$F \triangleq \{x \mid g_i(x) \leq 0; i=1, \dots, m\} \quad (1)$$

とするとき、 $x(x \in F)$ の範囲で、

$$\min f(x) = (f_1(x), \dots, f_k(x)) \quad (x \in R^n) \quad (2)$$

とせよ。

一般に各目的関数は同時に最小 (あるいは最大) にすることはできず、これらの中にトレードオフ関数があることが問題の本質である。そこでトレードオフをバランスさせる為に「パレート最適性」の概念が重要となる。

パレート最適性を満足させるパレート最適解は次のように定義される。

- 1) $x^* \in X$ に対して、 $f(x) < f(x^*)$ (すなわち $f(x) \leq f(x^*)$ かつ $f(x) \neq f(x^*)$)となる $x \in X$ が存在しないとき x^* をパレート最適解という。
- 2) $x^* \in X$ に対して、 $f(x) \leq f(x^*)$ となる $x \in X$ が存在しないとき、 x^* を弱パレート最適解という。
- 3) すべての $x^* \in X$ に対して、 $f(x) \leq f(x^*)$ となる $x \in X$ が存在するとき、 x^* を完全最適解という。

一般に、複数の目的関数を同時に最適化する完全最適解は、目的関数が相競合する場合には存在しない。多目的最適化問題では、消極的な解として、目的関数のうちいずれか1つを犠牲にすることなしには、他のものを改善することができないような解、パレート最適解を得ることが目的となる。パレート最適解は、他よりも劣っていない解と言う意味で、非劣解とも呼ばれている(図-1)。

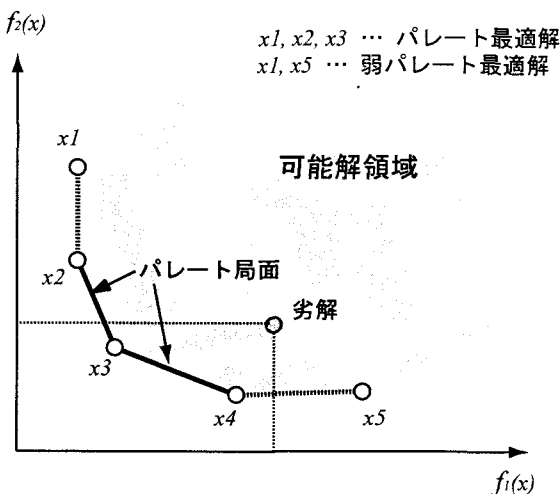


図-1 目的関数のパレート最適解概念図

同図で劣解はすべての目的関数値において優越される解(枠内)が存在するため、この解の存在意義はない。逆にパレート局面の解は、すべての目的関数値を優越する解が存在せず、このような解が複数あるため、唯一の解を決定

できずパレート最適解集合となる。

3.2 多目的遺伝的アルゴリズム

遺伝的アルゴリズム (以下 GA : Genetic Algorithm) とは、生物の進化に着想を得た確率的探索手法の一つである。問題の解候補を個体として GA 空間に写像し交叉、突然変異、自然選択といった遺伝的オペレーターを行う。

- 1) 初期世代発生
- 2) 親の決定
- 3) 交叉・突然変異
- 4) 自然選択

2) から 4) を条件が満たされるまで、あるいは指定回繰り返す。各個体は環境に対する適応度を持つ。環境とは問題空間を表す。各個体は、染色体すなわち DNA としての側面である遺伝子型(Gene Type : GTYPE)と解候補としての側面である表現型(Phenomenon Type : PTYPE)を持つ。各個体は、解候補の側面である PTYPE によって、目的関数の評価値を与えられ、これにより次世代に遺伝子を伝える確率、生き残る確率が左右される。よりよい評価値を得たものが次世代に遺伝子を伝えることで、よりよい個体、よりよい解候補を生み出すことが可能となる。また、交叉、突然変異における新たな個体の生成は、GTYPE に対して行われる。これにより、無作為な解の多様性を簡単に維持し、有用な解の近傍探索を可能としている。

多目的遺伝的アルゴリズム (以下 MOGA : Multi-Objective GA) とは、GA の持つ「集合による探索」の特徴に注目し、パレート最適解の集合を直接的に求めることを目的とするアルゴリズムである。

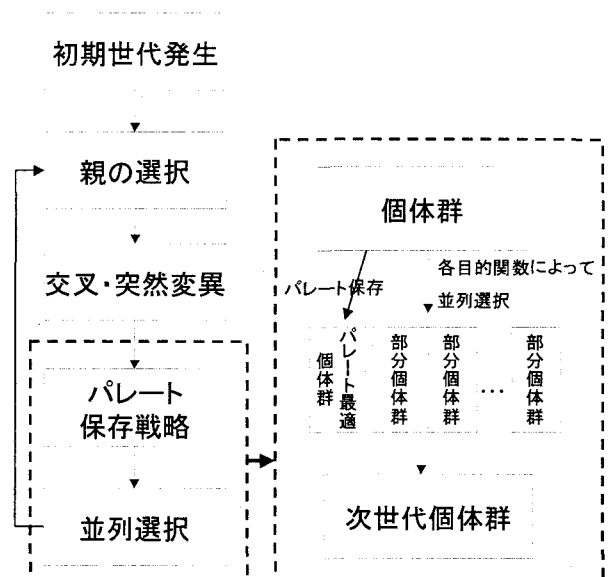


図-2 MOGA のアルゴリズム

MOGA ではそれぞれの目的関数に対してある程度良い値をとる個体を同時に保持しながら、探索を進める。図-2 にアルゴリズムを示す。

3.3 歩行施設増設計画における多目的最適化

増設計画をたてるためには複数の解を比較検討し、計画を策定することが望ましい。本研究ではユニバーサルデザインに基づく増設計画の策定を多目的最適化問題として捉え、システムを構築する。利便性を評価するにあたって、表-1に示す3タイプに利用者を分類する。

表-1 歩行者の分類

カテゴリ	身体的特徴
健常者	自力での歩行に支障がなく 不自由を感じない者
歩行困難者	歩行は可能だが不自由を感じ 段差を移動しにくい者 など (ex.妊婦や重量のある荷物を 持つ者)
車いす利用者	自力での歩行に支障があり、 段差を超えることができない者や 車いす利用者 など

各利用者の要求にはトレードオフ関係が存在する。例えば、車いす利用者は段差移動が不可能なためエレベータの増設が望ましい。一方、健常者にとっては、待ち時間が生ずるエレベータを増設することは時間的距離を伸ばすことになり、必ずしも両者の利便性を高めることにはならない。現在、我が国では利用者の大多数を健常者が占めているが、健常者の利便性を求めるのではなく、急速に増加が予想されている歩行困難者や、移動の制約が強い車いす利用者の利便性を考慮することが今後の都市計画にとって重要な、ユニバーサルデザインの視点であると言える。

4. システムの構築と適用

4.1 目的関数の設計

時間的距離は経路選択の基本的要因の一つであり、人の持つ「最短距離指向」は、遊歩的な場合を除いて我々の生活行動全般の根本にある合理性に基づくものと考えられる。通路の移動に要する時間は通路タイプ（エレベータ・坂など）により、同じ距離でも異なることがある。したがって、本研究における最短経路は、空間的最短距離ではなく時間的最短距離と定義する。また、移動負担は経路特性に応じたパラメータを距離にかけたものとする。

物理的特性における移動負担の度合いを数値に表すのは困難であり、試行錯誤が必要とされるが、本研究では表-2で示す通り、水平歩行を基準に通路タイプごとに次のような重み付けを行った。

健常者は全ての経路を通行可能である。その中で最も負担度が高いのは階段の昇降である。また、エレベータとエスカレータでは、待ち時間のないエスカレータに優位性を持たせ、パラメータ設定を行った。歩行困難者は階段の昇降は可能である。待ち時間がなければエスカレータを利用するが、近くに階段しかなければ迂回を行わず、階段を利用

するものとした。車いす利用者は階段の昇降とエスカレータの利用が不可能である。そのため、両者の優先度を大幅に下げるように設定した。

表-2 経路の負担パラメータ

	水平歩行	階段	ES	EV
健常者	1	3	0.7	0.8
歩行困難者	1	3	0.8	0.9
車いす利用者	1	9999	9999	1.2

増設後の地下街空間を評価する方法を以下に示す。

健常者は、最短経路の負担度を最小化する。歩行困難者は、負担度最小経路を求め、それを最小化する。車いす利用者は通行可能な経路が限られているため、最短経路を最小化する。

4.2 コーディングルール

本研究では、現在階段が設置されている場所をバリアと考え、どのバリアをエレベータもしくはエスカレータによって解消するかを考える。図-3で示す通り、バリアとなる場所を遺伝子とみため、初期世代の各遺伝子を2進数2ビットで表現する。00および11なら現状維持、01ならエレベータを増設、10ならエスカレータを増設することを示す。

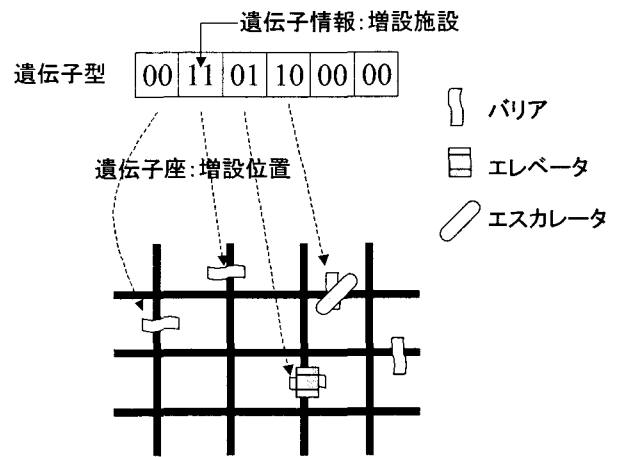


図-3 コーディングイメージ

交叉は2点交叉によって行い、選択はパレート保存戦略と並列選択を組合せた玉置らの方法を用いた。また、最短経路を導き出すためにDijkstra法を用いた。

4.3 システムの適用

大阪梅田ターミナル地区の地下街を対象にシステムを構築、適用した。地下街内は、全ての経路が平地であるわけではなく、起伏に富んでおり、歩行困難者、車いす利用者は、負担が少ない経路へ迂回しているのが現状である。対象とした増設施設位置は、28カ所の階段経路であり、

階段経路に併設して、エレベータ、エスカレータを設置できるものと定義した。また、各箇所それぞれにおいて、増設施設の設置費用の設定を行った。

個体数 100, 交叉率 0.6, 突然変異率 0.01, 世代数 100 としてシステムを実行した結果を図-5 から図-7 に示す。

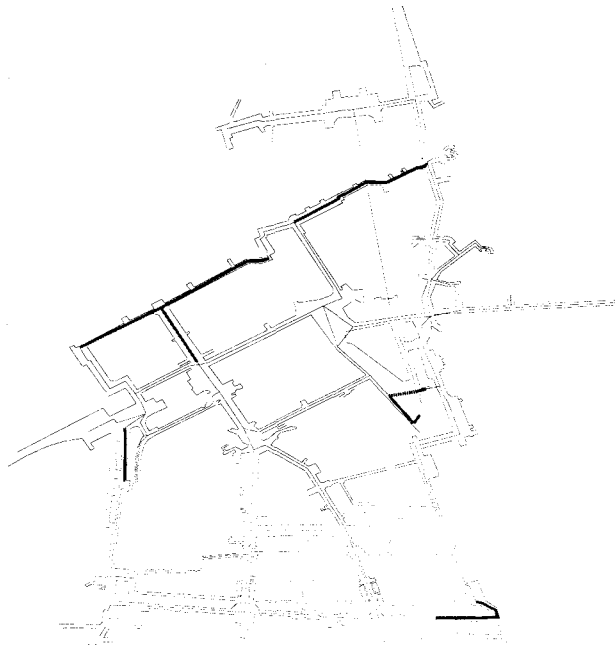


図-5 歩行施設増設プラン

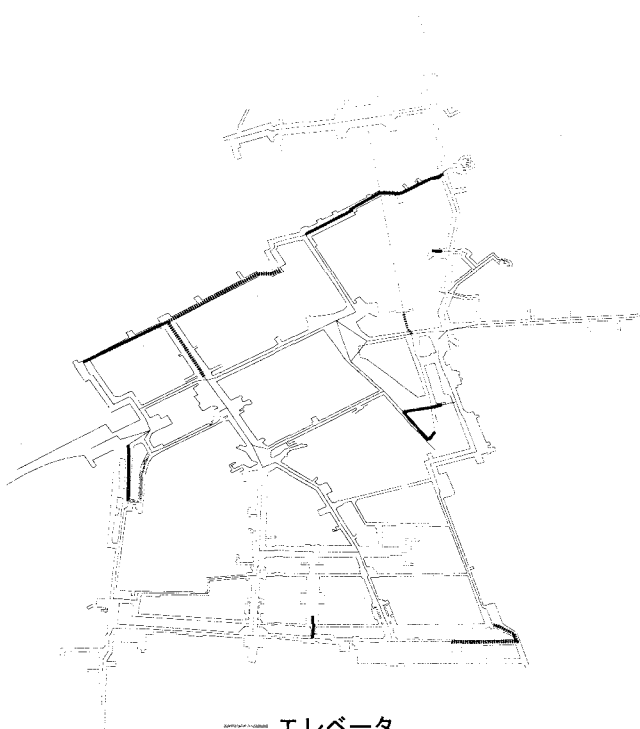


図-6 歩行施設増設プラン

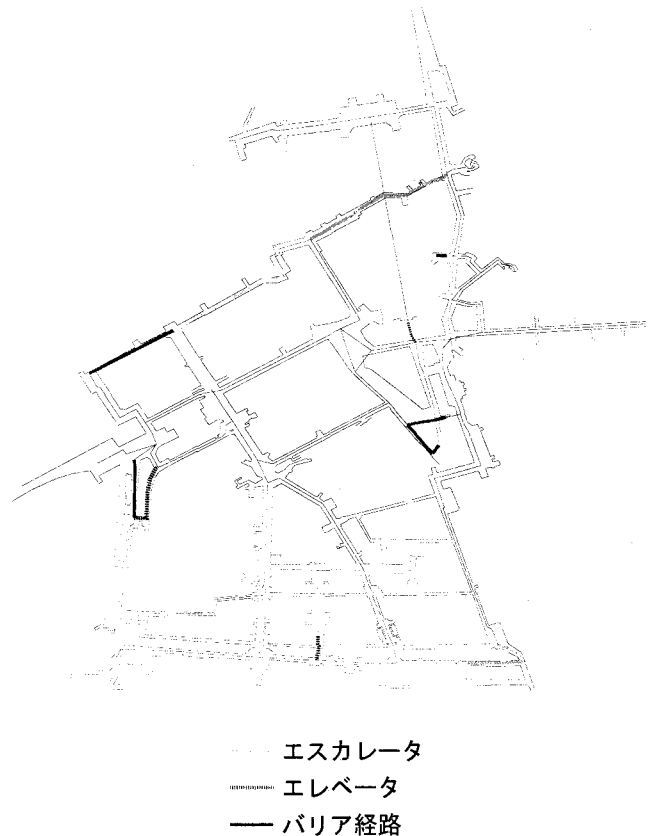


図-7 歩行施設増設プラン

それぞれの解は全く違った増設計画を示しており、全て優劣がつけられないパレート最適性を有する。これらの解を元に住民、事業者、技術者が意見を出し合うことが可能となる。

5. 結論

本研究では、ユニバーサルデザインのコンセプトのもと、全ての利用者が満足する歩行施設増設計画の策定を目指し、増設計画策定を多目的最適化問題として定義し、システムを構築した。その結果、複数の優劣のつけられない様々な解を提示できる可能性を示した。

今後は、最適化アルゴリズムの精度を追求するとともに、地上を含めた、都市全体を対象にシステムを拡張していく必要がある。

参考文献

- 1) 運輸省運輸政策局消費者行政課 他監修：交通バリアフリー法の解説, 大成出版社 2000
- 2) 多目的最適化 伊理正夫, 今野浩編：数理計画法の応用<理論編>, 産業図書, 1982
- 3) 北野弘明編：遺伝的アルゴリズム 2, 産業図書, 1995