

都市における避難所割当てパターンの列挙と評価

中野 浩太郎¹ 斎藤 寿樹² 加藤 直樹³ 瀧澤 重志⁴
 京都大学 神戸大学 京都大学 大阪市立大学

1.はじめに

本研究では、大阪市住吉区を事例として、優れた避難所割当てパターンを発見するための二つの手法を提示し、その適用結果を示す。

避難所割当てとは、どの地域の避難者がどの避難所へと避難するかを規定したものであり、それぞれの避難者がアクセスしやすいように、かつ特定の避難所に避難者が集中しすぎないように設定する必要がある。このように、避難所割当てパターンに対しては多様な評価基準が存在するため、一義的に優れた避難所割当てパターンを定義することは難しい。そこで、本研究では優れた避難所割当てを多目的の最適化問題として定式化し、その解として複数のパレート解或いはそれに近い出力し、意思決定者に提示することで避難計画の策定の支援を行うことを目的とする。

本稿で提示する手法の一つは、可能な避難所割当てパターンを全て列挙したのちに、個々の解を評価して優れた避難所割当ての抽出を行う列挙-評価手法である。一般に列挙問題は領域計算量・時間計算量ともに膨大であるため、可能な解を全て列挙することは困難であるため、本稿では列挙する避難所割当てパターンに制約を設けることによって、可能な全ての解を出力するのではなく、優れた解のみを含む解集合を出力する。その解集合の各解を評価することによって、より優れた解を複数個抽出し、提示する。

第二に、多目的最適化手法におけるメタヒューリスティクスである粒子群最適化法 (Particle Swarm Optimization :PSO)の基本的な考え方とアルゴリズムを追うような手法を提示する。これによって、パレート最適解の近傍の解となるような避難所の割り当てパターンを探索する。

2.避難所割当てパターン

本稿において求める避難所割当てパターンとは、それぞれの町丁目割りされた地域 (以後小地域と呼ぶ) に存在する避難者がどの避難所に逃げるか、という割当てである。

対象地域は大阪市住吉区とする。大阪市住吉区は人口が約 16 万人であり、小地域数は 104、避難所は 36 箇所存在する。小地域の集合 $R = \{r_1, r_2, \dots, r_{104}\}$ 、避難所の集合 $C = \{c_1, c_2, \dots, c_{36}\}$ とするとき、避難所割当てパターン A とは $A : R \rightarrow C$ となる関数である。

3.PSO

PSO は 1995 年に Kennedy と Elberhart[1]によって提案された個体群に基づく最適化アルゴリズムである。解は多次元空間における位置と速度を持つ粒子としてモデル化され、初期解として与えられた複数の粒子が超空間内を動き回りながら評価値 $F(X)$ が最小となる位置を探索する。

避難所割当て問題への応用に際しては、粒子は一つの割当てパターンを表す。粒子のパラメータは $X = \{x_1, \dots, x_{104}\}$ とし、次元数は小地域の数と同じであり、 x_i は小地域 r_i がどの避難所に割り当てられているかを表す。 t 回パラメータを更新した時の x_i を $x_i(t)$ と表す。

(a) 初期解

初期解には多様性が重要であること、また、最適解からかけ離れた解を初期解として採用しないために、ルーレット選択を用いた。小地域 r_i がどの避難所に割り当てられるかを決定する過程を記す。まず、 r_a と各避難所 c_b との最短経路距離 l_{ab}^g を算出する。 r_a が c_b に割り当てられる確率 $Prob_b^a$ を(1)のように設定する。

$$Prob_b^a = \frac{1}{l_{ab}^g} / \sum_{c_j \in C} \frac{1}{l_{aj}^g} \quad (1)$$

これにより、初期解においてそれぞれの地域は近い避難所に割り当てられやすく、遠い避難所に割り当てられにくくなる。

(b) 評価関数

評価関数 $F(X)$ には避難距離の総和 $F_1(X)$ および容量比の標準偏差 $F_2(X)$ の線形和を用いる。

$$F(X) = \beta_1 F_1(X) + \beta_2 F_2(X)$$

β_1 と β_2 は、 F_1 と F_2 を正規化するパラメータであり、初期解において避難距離の総和の平均と容量比の標準偏差の平均が同じになるように設定する。

小地域 r_i が避難所 c_j に割り当てられている、つまり $x_i = c_j$ のとき、小地域 r_i の代表点から避難所 c_j までの最短経路距離を s_i とする。経路距離 s_i は GIS 道路ネットワークデータより算出する。このとき、避難距離の総和 $F_1(X)$ は $F_1(X) = \sum_{x_i \in X} s_i$ とする。

容量比を避難所に割り当てられた小地域の総人口と避難所の収容可能人数の比と定義したとき、全ての避難所の容量比の標準偏差を $F_2(X)$ とする。

(c) 解の更新

解のパラメータの更新にはプライベートベスト $x_{i,j}^{Pbest}(n)$ 、グローバルベスト $x_j^{Gbest}(n)$ という概念を用いる。プライベートベスト $x_{i,j}^{Pbest}(n)$ とは、 j 番目の粒子の単位時間 n 経過後までの最も評価値が高くなった時の i 番目のパラメータである。グローバルベスト $x_j^{Gbest}(n)$ とは、全粒子中で単位時間 n 経過後までに最も評価値が高い解の i 番目のパラメータである。

解のパラメータは単位時間毎に確率的に更新する。更新後の候補は(2)に示す。 $x_{i,j}^{Pbest}(n)$ はプライベートベスト、

Research of Enumeration and Evaluation of Region Partitioning for Evacuation Planning

1 Hiroto NAKANO, Kyoto University

2 Toshiki SAITO, Kobe University

3 Naoki KATOH, Kyoto University

4 Atsushi TAKIZAWA, Osaka City University

$x_j^{Gbest}(n)$ はグローバルベストであり、 $x_{neighbor(i)}$ は地域 i の隣接地域に割り振られているパラメータである。

$$x_i^j(n+1) = x_{i,j}^{Pbest}(n), x_j^{Gbest}(n), \text{or } x_{neighbor(i)}^j(n) \quad (2)$$

本稿では、プライムベスト $p_i^j(n)$ に更新される確率を 0.2、グローバルベスト $x_j^{Gbest}(n)$ に更新される確率を 0.2 としている。隣接地域のパラメータに更新される確率は、そのパラメータの出現回数によって按分している。

(d) 結果

大阪市住吉区において、初期粒子数を 500 個、解の更新を 100 回として提案手法を実行した。それぞれの解を(1)容量比の標準偏差(2)避難距離の総和を評価軸としてプロットしたものを図示する。

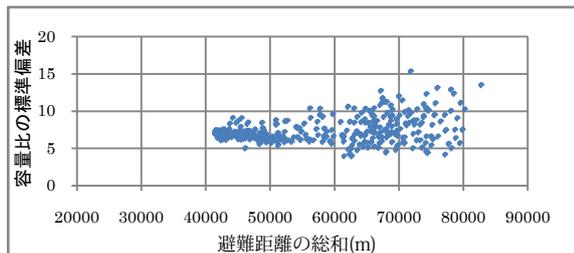


図1 500 個の初期解を 100 回更新した結果

図示した 500 個の解の中から、バランスのとれた優れた割当てパターンを選択することになる。Intel(R) Core(TM) i7-4770 CPU 3.40GHz(8CPUs)を搭載した計算機上で 0.165[s]で計算が完了した。

4. 列挙

列挙-評価手法は 2 つのステップからなる。ある避難所 c_j に割り当てられた小地域の集合を $Piece_j = \{r_i | A(r_i) = c_j\}$ とする。ステップ 1 では、まず各避難所 $c_i, i = 1, \dots, 36$ を対象として制約条件を満たす全ての可能な $Piece$ を列挙する。本研究では reverse search を用いて列挙を行う。reverse search では、根となる解を除く全ての解に親の解を一意に定める関数を定義することで全域木を構成し、それを探索すること s で列挙を行う。

次に全ての $Piece$ の集合 $PieceSet_j$ から、対象地域全体をもれなく、重なりなくカバーする $Piece$ の組を全て求める。これは ZDD(Zero-suppressed Binary Decision Diagram)を構築する手法を用いる。ZDD は[集合族を表す効率的なデータ構造であり、JST ERATO 湊離散構造処理系プロジェクトの成果である演算処理系を利用し解を列挙する[3]。これによって、各避難所が割り当てられる領域の制約条件を満たすような避難所割当てパターンを列挙する。

(a) 列挙アルゴリズム

STEP 1:。reverse search によって各避難所 c_1, \dots, c_{36} に対して、後述の制約条件を満たす全ての領域パターンを列挙する。

STEP2: STEP1 で生成された $PieceList_j (j = 1, \dots, 36)$ より、ZDD を構築する。

(b) 制約条件

距離制約：小地域の代表点と避難所の最短経路の長さを

一定以下とする。

容量制約：避難所容量とその避難所に割り当てられた人口との比を一定以下とする。

経路制約：小地域 r_i が避難所 c_j に割り当てられたとき、 r_i の代表点と避難所 c_j の間の最短経路と交差する小地域は全て避難所 c_j に割り当てられているとする。

(c) 結果

大阪市住吉区に対して、複数の距離制約・容量制約の場合においての避難所割当てパターンの列挙を行った。結果を図 2 に示す。

| 距離制約 | 容量制約 | 解の個数 |
|-------|------|---------------------|
| 1000m | 9 | 39,605,600 |
| 1000m | 15 | 13,681,787,690,416 |
| 1300m | 9 | 318,209,920 |
| 1300m | 15 | 258,842,460,571,816 |

図2 列挙した解の個数

列挙した全ての解の評価値を 3 章(b)と同様に計算することで、優れた避難所割当てを発見することが可能となる。距離制約 1000m、容量制約 9 として列挙した解のうち 1 万個をランダムに選び、図 3 に示す。

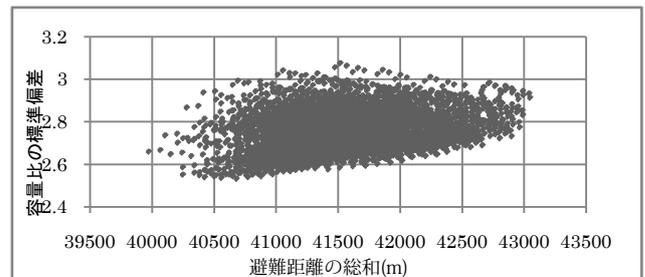


図3 距離制約 1000・容量制約 9 で列挙される解の一部

この手法を用いた場合、PSO で出力した解より二つの評価値がともに優れた解を出力できた。この条件の場合の計算時間は 3 章(d)と同じ計算機を用いた場合、STEP1 に 5.370[s]、STEP2 に 0.131[s]、評価値の計算に 2740.656[s] かった。

5. まとめ

本研究では、優れた避難所割当てを発見するために二つの手法を示した。各手法において、多数の避難所割当てパターンを複数の評価軸に基づいて評価することを可能にした。その評価値に基づいて優れた避難所割当てを抽出することで意思決定者の支援が可能になると考えられる。より多くの評価関数の考慮や、効率的な解の抽出は今後の課題としたい。

[参考文献]

[1] J.Kennedy and R.C.Eberhart : "Particle Swarm Optimization", Proc. IEEE International Conference Neural Networks, pp.1942-1948, 1995
 [2] D.Avis, and K.Fukuda: Reverse Search for Enumeration, Discrete Applied math, Vol. 6, pp.21-46, 1996
 [3] S.Minato: Zero-suppressed BDDs and their applications, Int. J. Softw. Tools Technol. Transf. (STTT), vol.3, no.2, pp.156-170, Springer 2001.