

# 救急車再配置問題に対する 遺伝的プログラミングを用いた効果的手法の設計

山下 真

キーワード：救急車配置問題, 救急車再配置問題, 遺伝的プログラミング

本稿は、勝元 義史さんによる 2015 年度東京工業大学卒業論文をもとに加筆修正したものです。

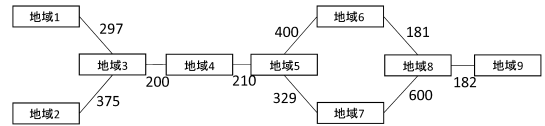


図 1 地図の具体例

## 1. 救急車再配置問題とは

救急要請への対応は時間との勝負の側面があり、たとえば呼吸停止などの状況では 10 分程度で死亡率が約 50% に達してしまう [1]。救急車をどう配置すべきかという問題は、救命率向上のためにさまざまなアプローチで検討されているが、一つの視点として、救急車配置問題と救急車再配置問題とに分類することができる。「救急車配置問題」は常態的にどの消防署に何台の救急車を配置するかを考える問題であり、対して「救急車再配置問題」は病院への搬送が完了するなど救急要請への対応が終わった時点で次に向かうべき消防署を選択するルール（移動ルール）を考える問題と捉えられる。たとえば、「他の救急車が別地域に出動し空となっている地域をカバーするように移動しておく」などが考えられる。

本研究では、遺伝的プログラミングを用いることで、この移動ルールの設計を行った。数値シミュレーションによる結果では、救急要請頻度が低い場合には既存手法と比較して、遅延率に関して 5% から 27% 程度の改善を得られた。

## 2. 問題設定と既存手法

ここでは、サンプル地図を考えることで、救急車再配置問題の設定を述べることにする。図 1 では、地域間ごとの移動時間が示されている。たとえば、地域 1 にいる救急車が地域 5 で発生した要請に対応するには、 $297 + 200 + 210 = 707$  秒の移動時間が必要である。

また、地域ごとに要請発生確率は異なり、たとえば地域 7 は地域 4 の 3 倍の頻度で要請が発生する。

また移動ルールについては、以下の遅延率を指標とし、遅延率が低いほど優れたルールとして評価する。

$$\text{遅延率} = \frac{\text{10 分以内に到着できない要請回数}}{\text{全要請回数}}$$

Jagtenberg ら [2] は、各救急車の「貢献度」を最大にするという方針で移動ルールを設定することを提唱している。「貢献度」の定義は厳密には数式で与えられているが、大まかには「他の救急車だけでは間に合わない地域に、この救急車を予め移動するように指示することで、時間内に要請に対応できるようになる確率の上昇度」という意味である。

## 3. 遺伝的プログラミングによる移動ルールの設計

本研究では、移動ルールを設計するにあたって、遺伝的プログラミングを用いた。遺伝的プログラミングは、遺伝的アルゴリズム同様に解を複数生成し、それら解の集団の中で交叉・突然変異・自然淘汰という自然界のメカニズムを模倣することで、解の集団全体を改善させていく最適化計算手法である。遺伝的アルゴリズムは配列をデータ構造として計算を行うが、遺伝的プログラミングでは木構造を利用することが可能であり、移動ルールの設計に適している。

本研究で用いた木構造の例を図 2 に示す。図 2 における菱形は条件分岐を示しており、長方形は消防署の選択を示している。具体的には、条件分岐には

- ・ (C1) 要請が最も発生しやすい地域に、他の救急車

やました まこと

東京工業大学 情報理工学院数理・計算科学系

〒 152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1-W8-29

Makoto.Yamashita@c.titech.ac.jp

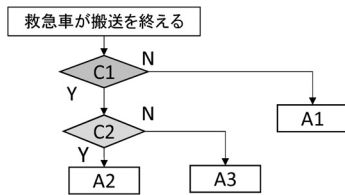


図2 木構造（移動ルール）の例

は待機しているか？

- ・ (C2) すべての救急車が 10 分以内に到着できない地域は存在するか？
- ・ (C3) 現時点で要請対応可能な救急車は一定台数以上か？

などを含む項目があり、移動先となる地域の選択には

- ・ (A1) 現時点で要請があった場合に救急車が到着するのに最も時間がかかる地域
- ・ (A2) 現時点の地域よりも (A1) の地域のほうに一つ近づいた地域
- ・ (A3) 計算対象の救急車が貢献度を最も向上させることができる地域

などがある。たとえば、図2の木構造を移動ルールとして解釈すると、要請が最も発生しやすい地域に他の救急車が待機しており、すべての救急車が10分以内に到着できない地域が存在する場合は、現時点の地域から (A1) で選択される地域のほうに一つ近づいた地域（もし図1で「地域4」にいて (A1) の地域が「地域8」であれば「地域5」のことを指す）へと、要請への対応が終わった救急車を移動させることとなる。

本研究の遺伝的プログラミングでは、条件分岐や消防署選択を乱数により選択することで、図2のような移動ルールを複数生成する。そのあとで、遺伝的プログラミングの3要素である交叉・突然変異・自然淘汰を行って、移動ルールの改善を行っていく。たとえば、交叉では図3のように二つの移動ルールから、条件選択の菱形を適当に選んで置換することで新しい移動ルールを生成する。

#### 4. シミュレーション結果

前節の遺伝的プログラミングの性能を評価するために、図1の地図上で要請発生の時刻と救急車が到着にかかる時間についてコンピュータでシミュレーションを行い、遅延率に基づいて Jagtenberg らの手法と比較したのが図4である。横軸は平均発生間隔を表しており、右にいくほど救急車の要請頻度は低下する。また、縦軸は遅延率である。遺伝的プログラミングについて

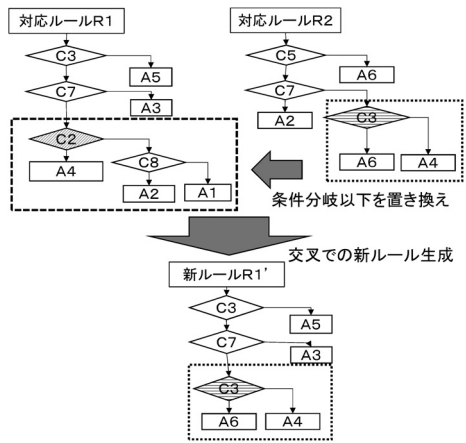


図3 移動ルールの交叉の例

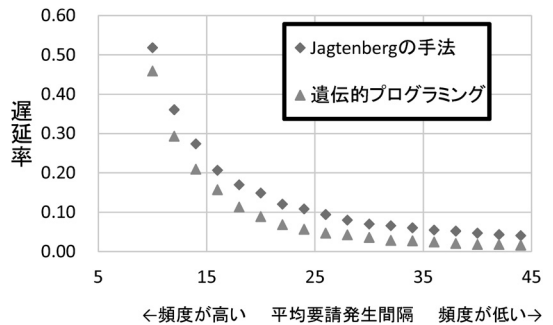


図4 遅延率による比較

は、一定数の交叉・突然変異・自然淘汰を行って、遅延率が最も低くなった移動ルールを比較に用いている。

図4を見るとわかるように、遺伝的プログラミングの移動ルールは救急車の要請頻度が高い場合には Jagtenberg らの手法に比べて大きな改善は見られないが、要請頻度が低い場合には5%から27%程度の遅延率の改善を得ることができる。

なお、今回の遺伝的プログラミングで得られた移動ルールの特徴としては、「要請に対応可能な救急車が一定数以上いる場合に、貢献度を最も高くできる地域に一つ近づいた地域」という指示が含まれていた。このような移動ルールをある程度は自動的に得られる、という点がこの研究の面白い点の一つである。

#### 参考文献

[1] 総務省消防庁, FDMA Chapter 2 救助・救急, [http://www.fdma.go.jp/en/pdf/top/en\\_03.pdf](http://www.fdma.go.jp/en/pdf/top/en_03.pdf) (2016年6月10日閲覧)

[2] C. J. Jagtenberg, S. Bhulai and R. D. van der Mei, "An efficient heuristics for real-time ambulance redeployment," *Operations Research for Health Care*, 4, pp. 27-35, 2015.