

要 旨

近年、社会的ニーズの多様化や資源の効率的利用などの要求を受けて、多目的最適化問題に対する重要性が高まってきている。本研究では、バス停留所の最適配置を取り上げ、利用者およびバス経営者の立場からその最適な数と配置について、遺伝的アルゴリズムによる探索を試みる。

1. 結 言

最適施設配置問題では、一般に異なる立場での目的を同時に達成することが要求される。ここではその一例としてバス停留問題を扱う<sup>1)</sup>。バス停留所を施設とする場合、利用者の便だけから考えると停留所の数は多ければ多いほどよいが、逆に運行速度と停留所の建設コストは、それぞれ遅く、高くなってしまふ。また、バス経営者の側からすると、他の交通手段と競合しながら多数の乗客を運搬し、最大の利益を上げなければならない。したがって、限られた数の停留所をできるだけ効率よく配置することが必要となり、これらは両者の目的を達成させなければならない一種の多目的最適化問題となる<sup>2)</sup>。本研究では、停留所の最適な配置と数について単純化したバス利用モデルを設定し、遺伝的アルゴリズム<sup>3)</sup> (以下GA)による解法を試みる。

2. 問題設定

図1のような $X \times Y$ の大きさの市街地を想定し、その中に1系統の電車路線(固定)と複数のバス停候補地が存在するものとして、この市街地の通勤現象を考える。いま、電車とバスの始点終点を同一にしてそれぞれ $ts_{N_t}$ ,  $ts_0$ ,  $bs_{N_s}$ ,  $bs_0$ とし、終点に近い方から順序付けをすると、バス路線は以下のように定義される。

$$\begin{aligned}
 BS &= \{bs_i \mid i = 0, 1, \dots, N_s\} \\
 bs_i &= \{(x_i, y_i) \mid 0 \leq x_i \leq X, 0 \leq y_i \leq Y\} \\
 EBS &= \{ebs_j \in BS \mid j = 0, 1, \dots, N_t\} \\
 ebs_0 &= bs_0, \quad ebs_{N_t} = bs_{N_s} \\
 bl_k &= dis(ebs_{k-1}, ebs_k) \\
 k &= 1, 2, \dots, N_t, \quad ebs_{k-1}, ebs_k \in EBS \quad (1)
 \end{aligned}$$

ここで、 $BS$ はバス停候補地集合、 $EBS$ は有効バス停候補地集合、 $bl_k$ は有効バス停間の距離をそれぞれ表す。

次のような仮定をする。

- 1) 図1のように仮想地区を分割し、それぞれの地区ごとに一様な人口密度を割り付ける。
- 2) 全ての通勤通学者は終着点を目的地、あるいは乗換地とする。
- 3) バス路線を2系統発生して電車路線と競合させ、利用者はこのうちの交通手段を選択してもよい。
- 4) 利用者は停留所まで徒歩でアクセスし、途中での

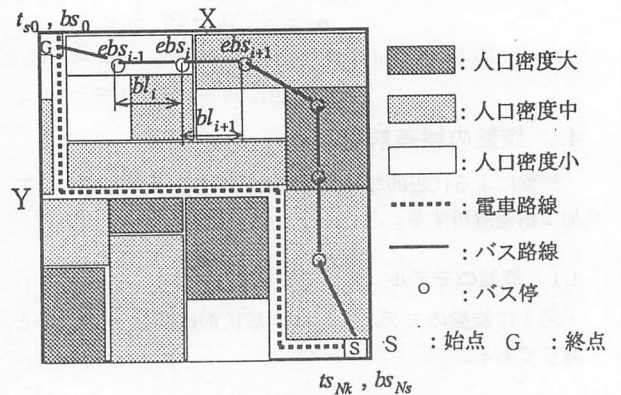


図1 仮想地区と電車・バスルートモデル

乗換はできないものとして、終点まで移動する。

- 5) 各停留所には必ず乗降客がいて、一定時間停車するものとし、渋滞や信号は無視できるものとする。停車時間は一律に $t_s$ とする。
- 6) 各停留所では、待ち時間や利用者が乗れないほどの混雑は起きないものとする。

さらに、電車・バスの運行特性は図2に示す $v-t$ 線図にしたがうものとする。また、電車・バスは出発後それぞれ一定の加速度で速度が $v_v$ になるまで加速し、定速走行後次の停留所で速度が0となるように一定の加速度で減速すると仮定する。バスの場合、それぞれの加速度を $\alpha$ ,  $-\beta$ とすると、停車時間を含む $bl_i$ の距離を走行するのに要する時間 $bt_i$ は以下ようになる。

$$bt_i = \begin{cases} \frac{bl_i}{v_v} + \frac{v_v}{2} \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) + t_s & \text{for } bl_i \geq \frac{v_v^2}{2} \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \\ \sqrt{\frac{2(\alpha + \beta) bl_i}{\alpha\beta}} + t_s & \text{for } 0 \leq bl_i \leq \frac{v_v^2}{2} \left( \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\beta} \right) \end{cases} \quad (2)$$

多目的最適化の観点からは、バス経営者の利益の最大化を含む問題設定にする必要があるが、本研究では交通手段としてバスを利用することを前提に、通勤時間のみの最小化を図る。具体的には、歩行速度を $v_w$ とした乗車停留所までの歩行時間 $t_w$ 、上記の乗車時間 $t_v$ 、さらに終点までの乗車料金(基本料金+追加料金)を設定し、それらの換算時間 $t_f$ との合計時間が最小となるようなバス停数とそれぞれの配置を求めることを目的とする。

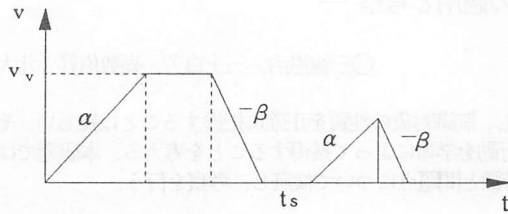


図2 車両の運行特性

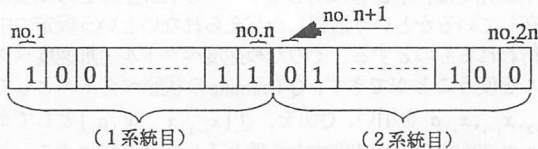


図3 個体のストリング表現

### 3. バス停問題へのGAの適用

#### 3.1 個体表現

地区内にバス2系統分の停留所候補として2n個の候補地をランダムに発生させ、それぞれを個体ストリングの各ビットに割り付ける(始点・終点は含まない)。個体の長さは不変とし、図3のように、有効なバス停として使用するかどうかを1/0の2進数で表現する。

#### 3.2 GAオペレーション

##### (1) 再生

各個体の優劣を評価するために適応度関数を設定し、それにしたがって評価値を算出して存続個体を決定する。本研究では、通勤通学時間の最小化が目的であるから、各個体の適応度関数 $F_i$ を以下のように設定する。

$$F_i = A \times \left( \frac{\max\_t - av\_t_i}{\max\_t} \right) + B \times \left( \frac{\max\_p - pena_i}{\max\_p} \right) + C \times use\_b_i \quad (3)$$

$av\_t_i$ : 各個体の平均時間(各人の要した通勤時間の総和を総人口で除した値)

$\max\_t$ : 初期世代の最大平均時間

$pena_i$ : 各個体の罰則値(バス停間の距離にある有効な範囲を設定し、範囲外のものを対象にその差に係数を乗じ総和を取った値。)

$\max\_p$ : 初期世代の最大罰則値

$use\_b_i$ : バス利用率

$A=10, B=100, C=5$

以上の評価結果にしたがい適応度の低い一定の割合の個体を淘汰し、比例戦略を用いて選択した適応度の高い個体ペアに対して、以下の操作を施す。

##### (2) 交差と突然変異

交差は選ばれた親のペアに対して任意の2点を交差点とする2点交差を、また突然変異はある確率で選んだビットの反転を行っている。

### 4. 計算機実験

以上の問題設定に基づき、GAの有効性を検証するために計算機実験を行った。実験条件を以下に示す。

- ・地区の大きさ  $X=5000m, Y=5000m$

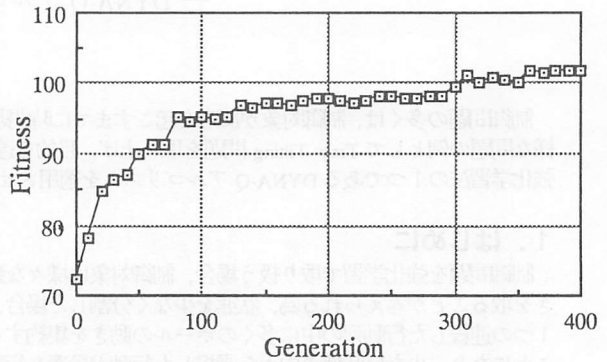


図4 世代ごとの適応度の変化

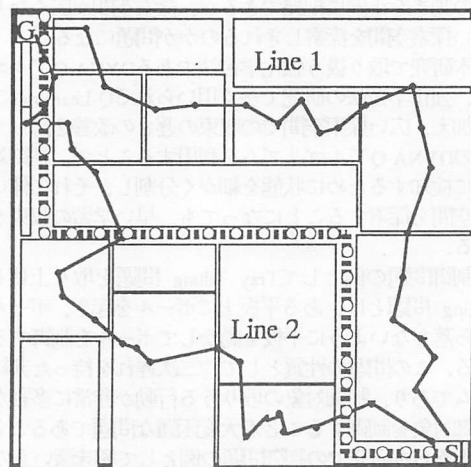


図5 バス2系統の発生結果

- ・解集団のサイズ  $pop\_size : 40$
- ・個体長  $g\_length : 800$
- ・交差率  $c\_rate : 0.5$
- ・突然変異率  $m\_rate : 0.1$

世代ごとの適応度の変化と実際に発生したバス2系統の経路をそれぞれ図4、図5に示す。以上より、適応度が徐々に増大し、最終的なバス停間の距離もほぼ一定である。これは歩行時間の均一化にも関係し、全体的に通勤時間の最小化につながっていると思われる。

### 5. 結言

バス停の配置問題を例にとり、多目的最適化問題へ向け、通勤時間の最小化に着目したGAによる一手法を示した。扱ったモデルは単純化したものであるが、比較的短時間である程度の解が得られ、この種の問題にGAを適用することの有効性を確認した。

#### [参考文献]

- 1) 鈴木: 通勤バス路線上の停留所の最適配置, 日本都市計画学会学術研究論文集, 247/252, 1987
- 2) 西川, 三宮, 茨木: 最適化, 岩波書店, 1982
- 3) 安居院, 長尾: ジェネティックアルゴリズム, 昭晃堂, 1993