# 遺伝的アルゴリズムへの適用を目的とした均衡配分の代理モデルの検討

八千代エンジニヤリング株式会社　正会員　○加藤 直樹　石井 明　菊池 恵和　菅原 宏明

## 1．背景・目的

自動走行技術の進展や移動・輸送ニーズの複雑化に伴い，モビリティは今後も一層多様化していくことが想定される．しかし，サイズや性能が異なる多様なモビリティが同じ道路空間に混在すれば流動性や快適性の低下，事故リスクの増大といった課題が生じる．筆者らは，これらの課題への対応策として，道路ネットワークを高速と低速にモード分離する手法の確立に取り組んでいる．モード分離の条件としては，流動性や快適性，明解さに関する指標が考えられるが，その中でも総移動時間は最も基本的な指標である．一方，総移動時間を求めるには均衡配分の計算が必要となるが，均衡配分は計算の負荷が高く，膨大なモード分離のパターンすべてに適用することは現実的ではない．そこで，本研究では均衡配分の代理モデルを検討し，その適用可能性を検証することを目的とする．

## 2．代理モデルの検討

### (1) 代理モデルの適用

本研究では，道路ネットワークの各リンクを高速と低速にモード分離する問題を 0-1 整数計画問題として捉え，アルゴリズムは遺伝的アルゴリズム（以下，「GA」という）の適用を想定している．GA では遺伝的操作によって生成された複数の個体を評価し，評価値の高い個体を次世代に残すという処理を繰り返す．この個体とは１つのモードパターンであり，その評価値である総移動時間の計算に均衡配分を使うが，評価すべき個体数は膨大であり，均衡配分の適用は計算時間の観点から現実的ではない．よって，個体の評価には均衡配分の代理モデルを適用する．代理モデルを用いた GA の概念を**図-1** に示した．

### (2) 代理モデルの検討

(1) で述べた計算時間の課題や GA の計算フローの特性から，代理モデルが満たすべき要件を次の通り設定した．

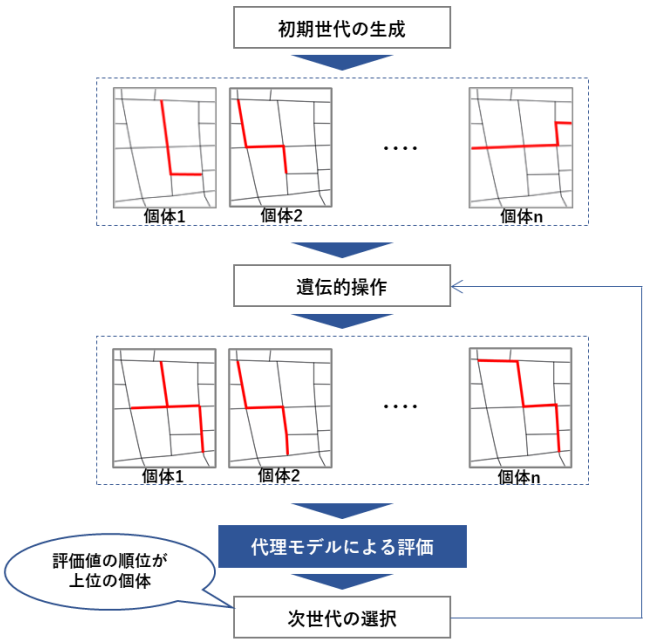



**図-1．代理モデルを用いた GA の概念**

**要件①**：均衡配分に対して計算時間が短い

**要件②**：各個体の均衡配分による評価順位と代理モデルによる評価順位が相関する（次世代に残す個体が概ね一致する）

ここで，代理モデルの対象である均衡配分は，交通容量を反映したリンクパフォーマンス関数の基で等時間原則を求める手法であることから，代理モデルもこの考え方を踏襲していれば**要件①②**を満たす可能性が高い．従って，本研究では，均衡配分の代理モデルとして分割配分を用いることとした．分割配分は理論的な厳密性は持たないものの考え方が均衡配分を近似したものであり，計算ロジックが均衡配分とほとんど同じであることから計算時間の短縮効果を見当しやすいというメリットもある．

## 3．検証方法

検証は，OD ペアおよび OD 交通量は固定として，交通容量が異なる 20 パターンの道路ネットワークに対して均衡配分と分割配分をそれぞれ適用し，その結果を比較した．なお，**要件①**については計算時間の

キーワード　モード別道路ネットワーク，代理モデル，順位相関
連絡先　〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8　CS タワー
八千代エンジニヤリング株式会社　技術創発研究所　TEL03-5822-6563

20 パターンの平均値の比較により，**要件②**については総移動時間の 20 パターンの順位相関（スピアマンの順位相関を適用）により評価を行った．**表-1** に検証条件の詳細を示した．

**表-1．検証条件の詳細**

| 大項目 | 小項目 | 仕様･条件 |
|---|---|---|
| 検証ﾃﾞｰﾀ | OD 交通量（固定） | 道路ﾈｯﾄﾜｰｸから任意にﾉｰﾄﾞﾍﾟｱ 100 ﾍﾟｱを選択，交通量は 100～500 台の任意の値に設定 |
| | 道路ﾈｯﾄﾜｰｸ（20 ﾊﾟﾀｰﾝ） | ﾘﾝｸ数 375，ﾉｰﾄﾞ数 264<br>交通容量は 1000 台を基本とし，任意に選択した 50%のﾘﾝｸについては 500 台に設定． |
| 計算条件 | 均衡配分 | ﾘﾝｸｺｽﾄ関数には BPR 関数を適用（$\alpha$=0.15，$\beta$=4.0）<br>収束条件はﾘﾝｸ交通量の変化率の最大値が 1%以下または反復回数 100 回 |
| | 分割配分 | ﾘﾝｸｺｽﾄ関数は均衡配分と同一<br>OD 交通量の分割数は 1～5 分割（等分割）の 5 ﾊﾟﾀｰﾝを設定 |
| 評価指標 | 要件①<br>計算時間 | 均衡配分と分割配分の各ﾊﾟﾀｰﾝの計算時間の平均で評価 |
| | 要件②<br>順位相関 | 均衡配分と分割配分の総移動時間の順位の相関をｽﾋﾟｱﾏﾝの順位相関で評価 |

## ４．検証結果

**表-2** に総移動時間の順位（昇順），均衡配分との順位相関および平均計算時間を示した．表中では均衡配分を UE，分割配分を IA で表記し，IA の後の 1～5 の数字は OD 交通量の分割数を表している．また，UE と IA4 の 1～10 位を薄赤でハッチングした．

### (1) 計算時間

いずれの IA でも UE に対して大幅に時間短縮しており，最も計算時間が長い IA5 でも UE の 1/13 以下，最も計算時間が短い IA2 では 1/45 であり，**要件①**を満たしている．ただし，道路ネットワークのサイズが小さく計算時間が微少なため，OS のオーバーヘッドの影響が含まれることには留意が必要である．

### (2) 順位相関

IA5 と IA4 および IA2 については高い相関を示しており，**要件②**を満たしている．一方，IA3 と IA1 は 0.6 未満と低い相関にとどまった．また，IA は分割数が大きいほど総移動時間が UE に近づくことが想定されるが，今回の検証では IA3 が IA2 を下回る結果となった．

### (3) 総合評価

IA5 と IA4 および IA2 は**要件①②**を満たしていると考えられる．特に IA4 は，上位 50%（薄赤）の組合せの 9/10 が UE と一致し，代理モデルとしての精度と計算時間の両面でバランスが最も良い．

**表-2．総移動時間の順位および UE との順位相関**

| 交通容量 | UE | IA5 | IA4 | IA3 | IA2 | IA1 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| pt01 | 19 | 19 | 19 | 12 | 20 | 18 |
| pt02 | 1 | 1 | 7 | 2 | 1 | 12 |
| pt03 | 2 | 3 | 1 | 9 | 7 | 8 |
| pt04 | 10 | 10 | 16 | 13 | 11 | 17 |
| pt05 | 15 | 12 | 15 | 5 | 9 | 9 |
| pt06 | 18 | 16 | 11 | 16 | 17 | 3 |
| pt07 | 8 | 7 | 6 | 4 | 13 | 11 |
| pt08 | 16 | 17 | 12 | 15 | 10 | 19 |
| pt09 | 7 | 14 | 8 | 14 | 6 | 6 |
| pt10 | 17 | 18 | 17 | 20 | 19 | 13 |
| pt11 | 5 | 6 | 2 | 11 | 4 | 4 |
| pt12 | 9 | 9 | 10 | 10 | 12 | 5 |
| pt13 | 11 | 15 | 13 | 8 | 16 | 10 |
| pt14 | 20 | 20 | 20 | 18 | 18 | 20 |
| pt15 | 13 | 11 | 9 | 17 | 2 | 15 |
| pt16 | 6 | 4 | 3 | 6 | 8 | 1 |
| pt17 | 3 | 5 | 5 | 7 | 3 | 7 |
| pt18 | 12 | 8 | 18 | 19 | 14 | 14 |
| pt19 | 4 | 2 | 4 | 1 | 5 | 2 |
| pt20 | 14 | 13 | 14 | 3 | 15 | 16 |
| UE との順位相関 | -- | 0.91 | 0.83 | 0.59 | 0.77 | 0.57 |
| 平均計算時間（秒） | 2.732 | 0.202 | 0.117 | 0.133 | 0.060 | 0.066 |

## ５．今後の課題

### (1) 分割配分の不安定性

IA は UE のように数理モデルにより厳密解を求める手法ではなく，道路ネットワークの微少な変化に対しても結果に大きな差異が生じることがある．一方，GA は，後半世代になると徐々に個体間の差異が収斂して小さくなることから，代理モデルには結果に対する安定性が要求される．従って，一部の世代や個体に対しては UE を用いる等，IA と UE を組み合わせた評価方法についても検討が必要である．

### (2) IA 以外のモデルの検討

本研究ではモードパターンの静的な評価を前提として UE の代理モデルに IA を用いた．一方，モードパターンを動的に評価する場合には動的な代理モデルが必要となることから，今後は，プローブデータと観測交通量およびモードパターンから機械学習により総移動時間を推定するなど，交通シミュレーションを対象とした代理モデルについても検討していく必要がある．

### 参考文献

福田大輔，壇辻貴生：近未来交通システム導入時の道路空間再配分に関する数理モデル研究，第 23 回 JICE 研究開発助成成果報告会，助成受付番号 第 21004 号，研究課題番号⑦，2023