

交通安全対策の組み合わせ最適化に対する免疫アルゴリズムの適用*

Application of Immune Algorithms to Combinatorial Optimization for Traffic Safety Countermeasures*

秋山 孝正**・小川 圭一***・寺嶋 真穂****

By Takamasa AKIYAMA**, Keiichi OGAWA*** and Maho TERASHIMA****

1. はじめに

都市道路網の交通安全対策の検討では、実施すべき交通安全対策とその実施箇所に関する「組み合わせ最適化問題」を規定できる。このとき、交通安全対策実施による交通条件変化は、交通流動の変化を与える。したがって、この場合の交通安全対策策定問題は、交通均衡状態の変化を考慮して交通安全対策の有効度を最大化する、2段階の構造をもつ「組み合わせ最適化問題」として定式化できる。

本研究では、上記の最適化問題の解法として、免疫アルゴリズム (Immune Algorithms; IA) の適用性の検討をおこなう。具体的には、岐阜市の道路網を対象とした交通安全対策策定モデルを作成する。そして最適化問題の解法として GA と IA を取り上げ、比較検討をおこなう。これより、交通安全対策策定問題の実用的解法として IA の適用性を検証する。

2. 交通安全対策策定モデルの構築

本章では GA との比較から IA の特徴を明確にするため、GA を適用した交通安全対策策定モデルに関する既存研究を取り上げる¹⁾⁻³⁾。

ここでは、岐阜市中心部の岐阜駅周辺市街地を対象とする。また地域内の幹線道路での主要交差点中 24 箇所を交通安全対策の検討対象地点とする。こ

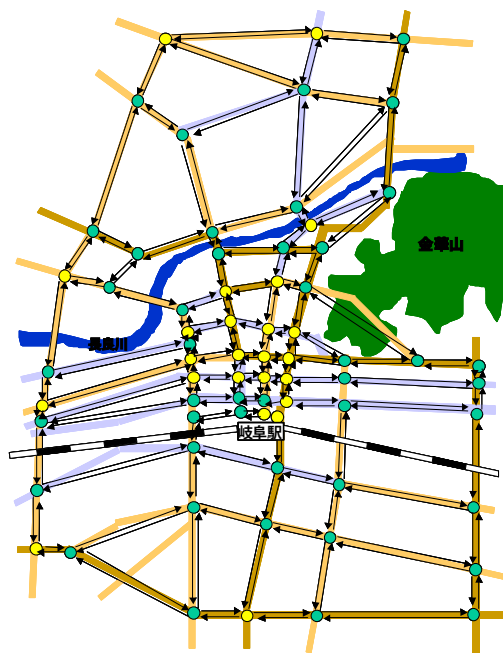


図-1 対象地域と対象ネットワーク

れらは、過去 4 年間（平成 7 年～平成 10 年）の交通事故多発地点として頻出する交差点である。

また対象地域内の幹線道路網を、図-1 に示すように、ノード数 69、リンク数 238、セントロイド数 13 のネットワークとして記述した。

本研究で用いる交通安全対策策定モデルは、交通安全対策の実施にともなう交通事故件数の変化と交通流動の変化を考慮するため、「交通量配分サブモデル」、「交通事故件数推計サブモデル」、「交通事故損失算定サブモデル」を内包している¹⁾⁻³⁾。

①交通量配分サブモデルでは、交通安全対策の実施による交通条件変化をリンク条件として記述するとともに、交通量配分により交通安全対策実施後の交通流動変化を算定する。また、②交通事故件数推計サブモデルでは、各交差点の物損事故件数、人身事故件数および死亡事故件数を、交通量と交通安全施設に関する条件などから、「ニューラルネットワーク」を用いて算定する。さらに、③交通事故損失

* キーワード：交通安全，交通管理，免疫アルゴリズム

** 正会員，工博，岐阜大学工学部社会基盤工学科 教授
〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

TEL: 058-293-2443, FAX: 058-230-1528

*** 正会員，博(工学)，
立命館大学理工学部環境システム工学科 講師
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

TEL: 077-561-5033, FAX: 077-561-2667

**** 正会員，(株)都市交通計画研究所
〒540-0035 大阪府大阪市中央区釣鐘町 1-1-11

TEL: 06-6945-0144, FAX: 06-6946-1069

交通安全対策策定問題は、有効度が最大となる交通安全対策の組み合わせを求める、対策交差点と対策種類との組み合わせ最適化問題である。ここで、交通安全対策実施による交通流動変化やそれにもなう交通事故件数の変化を考慮することが必要であるため、交通均衡制約を含む2段階の非線形組み合わせ最適化問題となる。

(1) アルゴリズムの概念と特徴

生体の「免疫系システム」とは、生体に侵入してくる多種多様な抗原に対応するための、複雑で巧妙な生体防衛機構である。具体的には、侵入してくる抗原を認識し、細胞遺伝子の再構成をおこなって抗原に対応する「抗体」を産生することにより、「抗原」を排除する。さらに、一度排除した抗原に対しては、これを排除する抗体をすばやく生成する記憶学習能力がある⁵⁾。また、免疫反応を支援する「サイトカイン」という活性蛋白質によって、抗体の産生の促進と抑制を調節できるという特徴がある。これにより多様な抗体を生産することができる。こうした「免疫系システム」の概念を図-2に示す⁶⁾。

すなわち、最適化手法として GA と比較した IA の特徴としては、①有効な解候補の記憶機構、②

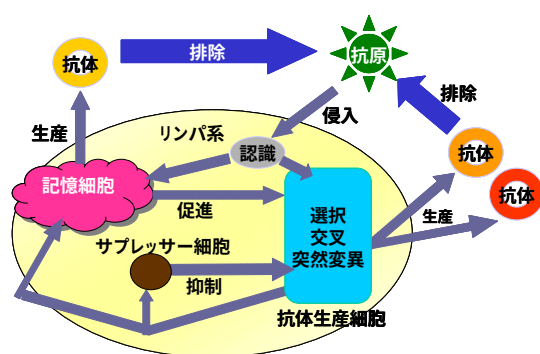


図-2 免疫系システムの概念図

(2) アルゴリズムの演算手順

- ① 抗原の認識：システムが抗原を入力情報として認識する。ここで、「抗原」は最適化問題の制約条件と目的関数、「抗体」は最適化問題の解、抗原と抗体の親和度は解の評価値に対応する。
- ② 初期抗体群の生成：記憶細胞から、過去に有効であった「抗体群」を生成する。
- ③ 親和度の算定：抗原と抗体 v の親和度（以下、「適応度」） ax_v と、抗体 v と抗体 w の親和度（以下、「類似度」） $ay_{v,w}$ を算定する。〔ここで適応度 ax_v は、抗原と抗体 v との結合力の評価値であり、解の評価値を 0 から 1 までは規格化したものである。また、抗体 v と w の類似度は、2 個の抗体遺伝子間のハミルトン距離である。〕
- ④ 記憶細胞への分化：手順③をもとに、抗原との適応度の高い抗体を記憶細胞に追加する。このとき、データベースの各抗体の中で最も類似度が大きい抗体を追加する抗体に置き換える。
- ⑤ 抗体産生の促進と抑制：抗体の生存期待値を算定し、期待値の低い抗体を消滅させる。このとき、「抗原との適応度が高い抗体ほど、次世代に残る確率が高く」、かつ「他の抗体との類似度が高い抗体ほど、次世代に残る確率が低い」形式とする。
- ⑥ 抗体の産生：手順⑤で消滅させた抗体に代わる新しい抗体の遺伝子をランダムに産生する。さらに、あらかじめ設定した確率、操作法によって「突然変異」を実行する。
- ⑦ 適応度の評価：③～⑥の操作により、改良され

た抗体について適応度の評価をおこなう。

- ⑧ 終了判定：終了条件を満たせば、そのときに得られている最良の抗体を「準最適解」とする。そうでなければ、③の操作に戻る。

これらの IA での処理手順を整理して図-3 に示す。

以上のように IA の計算手順は、GA の計算手順に類似している。表現（用語）の相違として、GA での「個体」が IA での「抗体」に対応し、GA での「適応度」が IA での抗原・抗体間の「親和度」に対応する。計算手順での GA との相違点は、①解の評価方法（手順③）、②記憶機構（手順②と④）、③解の選択方法（手順⑤）である。これらにより、生体の免疫系システムでの 3 種類の特徴が模倣され、抗体の多様性が確保されるため、GA と比較してより効率的な解探索を可能とする。

4. 交通安全対策策定モデルへの適用

（1）交通安全対策および予算の設定

つぎに、IA を前述の組み合わせ最適化問題に適用して、具体的な交通安全対策の策定をおこなう。

交通安全対策案としては、信号機の大型化（対策 1）、導流標示（対策 2）および交差点付近の明色・滑り止め舗装（対策 3）の 3 種類を想定した。また、それぞれの安全対策実施にともなう具体的な道路条件の変化を、以下のように設定した。

- ① 信号機の大型化：視認距離が大きくなり、運転者はブレーキを手前で操作する。この減速効果から、横断所要時間が増加する。すなわち、信号機の整備水準が 1 ポイント上昇するとともに、交差点手前のリンク初期所要時間が 3 秒増加する。
- ② 導流標示：運転者の注意が喚起されるとともに、交差点内の交通流の錯綜が減少する。したがって、「注意を喚起する対策」が 1 ポイント上昇し、交差点内の交通容量を 10%増加させる。
- ③ 交差点付近の明色・滑り止め舗装：路面の状況を改良すると同時に運転者の注意を喚起する。したがって、注意を喚起する対策および路面条件が 1 ポイント上昇するとともに、交差点手前のリンクの初期所要時間が 20%増加するものとした。

交通安全対策は複数の対策の相乗効果が期待されることから、複数の対策が同時に実施されることが

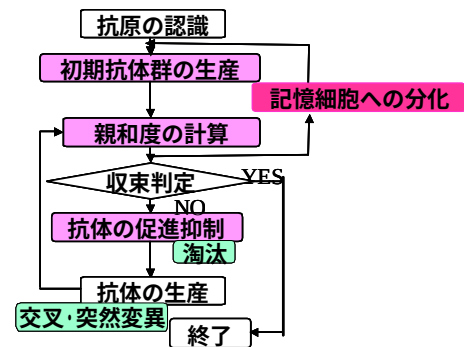


図-3 免疫アルゴリズムの処理手順

ある。そのため、各対策の実施の有無をそれぞれ独立に選択肢とする。したがって、交差点 1 箇所につき、 $2^3=8$ 種類の代替案が存在することになる。

各対策の費用については「第 6 次交通安全対策等整備事業 7 箇年計画」の事業実績を参考に設定した。また予算は、最大で 3,000 万円と設定した。

（2）計算アルゴリズムの設定

ここでは、GA および IA で用いる、アルゴリズム上の各種設定に関する基本的事項を整理する。

染色体（個体）は 1 次元文字列とし、各遺伝子は 0, 1 の 2 数を用いる。各遺伝子の値が対策案の実施の有無（1：安全対策採用，0：安全対策採用なし）を示す。したがって各個体長は 72 ビットとなる。

1 世代の個体数（集団サイズ）は 80 とする。また世代数は、最大 1,200 世代で計算を終了する。

淘汰段階における選択方法には「ルーレット型」を用いた。また交差については「2 点交差」、突然変異は「1 点突然変異」とした。また、淘汰率、交差率、突然変異率などのパラメータは、比較のため各試行に対して、「GA と IA で同一」の値を設定し、それぞれ 7 回の試行をおこなった。

（3）算定結果とその考察

ここで GA と IA の演算過程における各世代の最大有効度の変化を、図-4 および図-5 に示す。

合計 14 回の試行から得られた解の中では、IA の第 4 回目の試行で得られた解が、最大の有効度を示した。また最大有効度の変化をみると、GA では演算過程で偶発的に最大有効度が上昇する場合が多い。一方で、IA では順次段階的に有効度が上昇することがわかる。このことは、IA では局所的最適解に

陥りにくい多様な解候補が産生され、効率的な解の探索が可能であることを示している。

また、GA と IA の演算結果を有効度の高い順に整理すると、GA は「6 回目、4 回目、5 回目、7 回目、1 回目、3 回目、2 回目」の順、IA は「4 回目、6 回目、7 回目、5 回目、1 回目、3 回目、2 回目」の順である。このうち GA で 5 回目と 7 回目は同一、IA の 4 回目と 6 回目は、ほぼ同一の有効度の値である。したがって、全体的な GA と IA では有効度の大きい試行の順序はほぼ同様であるといえる。

各回の試行では、初期集団、淘汰率、交差率、突然変異率を同一の設定にしている。したがって、これら初期設定値が解の探索経過に大きく影響する可能性が認められる。すなわち IA においても、GA と同様に、効率的な解探索の実行には適切なパラメータの設定を検討する必要があることがわかる。

これらの検討から、組み合わせ最適化問題に対する IA の解探索能力は、GA と同等か若干優越することが示された。また最適化での局所解回避のための近似法として、今回の交通安全対策策定問題などの非線形問題への適用可能性が高いことがわかる。

また、IA により推計された有効度の最も高い交通安全対策の組み合わせ（第 4 回目の試行）では、総有効度は 27 億 588 万円、総費用は 2,409 万円である。このとき、対象道路網に対する具体的な交通安全対策案としては、「導流標示の改良」と「明色・滑り止め舗装」の対策が重複して採用される交差点が多く見られた。これは、交差点部で複数の交通安全対策を組み合わせることにより、相乗的な効果が発生することに起因するものと思われる。

5. おわりに

ここでは、交通安全対策策定モデルとして、交通安全対策の実施による交通流動の変化を内生化した交通事故件数の推計から、交通安全対策の評価をおこなう方法を示した。特に、このような大規模な非線形組み合わせ最適化問題に対して、IA の有効性を検証するとともに、実証的な面から GA と比較を行い、効率的な解探索に関する特徴を整理した。

今回の試行範囲では、一般的な意味で十分に IA の有用性が示されたとはいえない。このため、①多

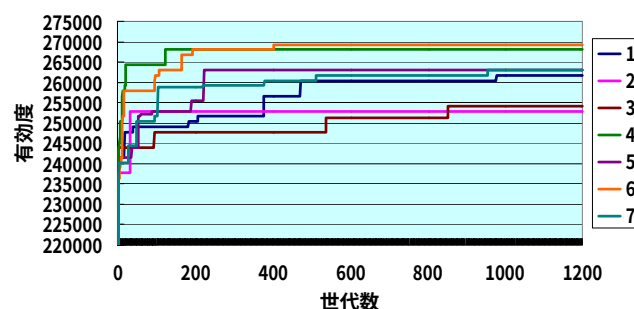


図-4 GA の演算過程における最大有効度の変化

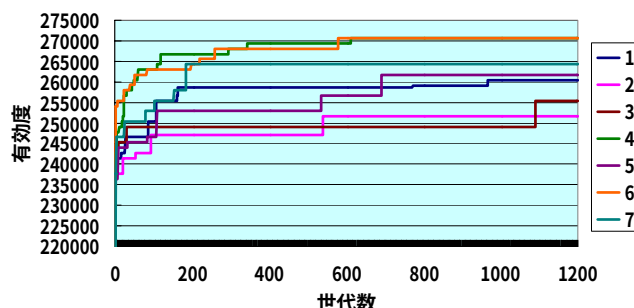


図-5 IA の演算過程における最大有効度の変化

数のケース設定による比較分析、②アルゴリズム面での効率化の検討が今後の課題として挙げられる。

謝辞

本研究は、土木学会土木計画学研究委員会「ITS 社会に向けた交通事故分析に関する研究小委員会」における研究課題「経済評価に基づく交通安全対策の組み合わせ最適化についての研究（研究代表者：秋山孝正）」の一部である。研究助成をいただいた同小委員会に対し感謝の意を申し上げる。

参考文献

- 1) Akiyama, T. and Suzuki, T.: Transport Safety Management and Cost-Effectiveness Optimization Problem, Urban Transportation, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.1, No.3, pp.951-962, 1995.
- 2) 小谷ゆかり，鈴木崇児，秋山孝正：類型別事故予測モデルを内包した交通安全対策策定方法，第 19 回交通工学研究発表会論文報告集，pp.225-228, 1999.
- 3) Akiyama, T., Kotani, Y. and Suzuki, T.: The Optimal Transport Safety Planning with Accident Estimation Process, Proceedings of the Second International Conference on Traffic and Transportation Studies, pp.99-106, Beijing, 2000.
- 4) 日本交通政策研究会：道路交通事故の社会的・経済的損失 -1991 年の事故を中心として-，交通安全研究プロジェクト，1994.
- 5) 森一之，築山誠，福田豊生：多様性を持つ免疫的アルゴリズムの提案と負荷割り当て問題への応用，電気学会論文誌，C, Vol.113, No.10, pp.872-878, 1993.
- 6) 當間愛見，遠藤聡志，山田孝次：nTSP と免疫アルゴリズムの親和性に関する基礎研究，<http://www.ie.u-ryukyu.au.jp/ie/mirror/www.eva.ie.u-ryukyu.au.jp/tanl>, 2001.
- 7) 石田好輝 編著：免疫型システムとその応用 -免疫系に学んだ知能システム-，コロナ社，1998.