

道路網交通安全対策の多段階計画問題に関する検討

Multi stage planning problem for traffic safety project for the network*

秋山孝正**・奥嶋政嗣***

By Takamasa AKIYAMA**・Masashi OKUSHIMA***

1. はじめに

通常の道路交通安全対策立案においては、五カ年計画などの複数年次の継続的な安全施策導入プロジェクトを前提とする場合が多い。このとき、道路網の交通安全対策は、複数年次の予算制約に基づき、交通安全対策の実施箇所と交通安全対策の内容を時系列的に設定する問題として定式化できる。すでに交通安全対策立案を「組み合わせ最適化問題」として定式化し、免疫アルゴリズム (IA) を用いた解法が提案されている^{1), 2)}。本研究では既存研究の成果を踏まえて複数年次の交通安全対策立案問題を定式化する。これより、交通安全対策個別代替案の組み合わせに加えて、交通安全対策の実施順序、合理的予算配分の有効性を検証することが可能となる。

2. 交通安全対策立案問題の定式化

(1) 多年度計画問題の定式化

本研究では、既存研究の交通安全対策代替案の組み合わせ最適化問題を拡張し、複数年次の段階的計画問題を定式化する^{1), 2)}。

$$\max TB(x_{ijt}) = \sum_{i \in T} \sum_{i \in L} \sum_{j \in N_i} x_{ijt} \cdot \sum_{s \in S} b_{ijs} (p_{is}(\mathbf{v}(\mathbf{x}), x_{ij})) \quad (1)$$

s.t.

$$TC(x_{ijt}) = \sum_{i \in T} \sum_{i \in L} \sum_{j \in N_i} c_{ij} \cdot x_{ijt} \leq Budget \quad (2)$$

$$\sum_{i \in L} \sum_{j \in N_i} c_{ij} \cdot x_{ijt} \leq Budget_Year \quad (3)$$

*キーワード：交通安全対策、IA、多段階計画問題

**正員、工博、岐阜大学工学部社会基盤工学科（岐阜市柳戸1-1、TEL:058-293-2443、FAX:058-230-1528）

***正員、工修、岐阜大学工学部社会基盤工学科（岐阜市柳戸1-1、TEL:058-293-2446、FAX:058-230-1528）

$$\sum_{i \in T} \sum_{j \in N_i} x_{ijt} \leq 1 \quad x_{ijt} = 0 \quad \text{or} \quad 1 \quad (4)$$

$$\min Z_p = \sum_{a \in A} \int_0^{v_a} t_a(w) dw \quad (UE \text{ condition}) \quad (5)$$

ここで、式(3)をのぞく各式（ただし、式(5)は道路網での UE 条件を代表している）で構成される代替案の組み合わせ最適化による「交通安全対策立案問題」について、複数年次を前提に拡張したものである。したがって、式(3)では、Budget : T 年間の総予算制約を Budget_Year : 1 年次ごとの予算として配分する制約条件が付加されている。

(2) 多年度計画問題の基本的事項

前項で定式化された「交通安全対策立案問題」の具体的事項はつぎのように整理することができる。

計画年度数は初期設定され、各年度の交通安全対策の具体的内容と実施順序が算定される。

計画全年度の交通事故減少による「総有効度」(effectiveness) の最大化を目的関数とする。

総予算額は計画時に先決され、各年次の予算額の使用範囲（上限値）が設定されるとする。

各地点（交差点）で実行可能な個別交通安全対策代替案の内容は選択肢集合として規定される。

各年度の各交通安全対策は、前年度までの交通安全対策に対して追加的に実施される。

各交通安全対策は、時間経過に伴い交通事故減少効果が低下する（有効性の減少）。

各交差点の交通安全施設整備に伴い、道路網での交通流動変化が生じる（もぐらたたき効果）。

経年的な交通需要は、OD交通量変化として推定されているものとする。

いずれの設定も交差点別の交通安全対策の内容・実施順序・予算配分の決定に対応している。

3. 具体的な交通安全対策立案の検討

(1) 交通安全対策立案問題の概要

本研究で検討する具体的な問題の概要について述べる。ここで「対象道路網」として岐阜市中心部の都市道路網を取り上げる。この都市道路網では、交差点を中心に岐阜市の交通事故の約6割が発生している。したがって交通事故多発地点として交差点24箇所を交通安全対策の検討地点とする。

これらの道路網は岐阜市環状線を含む都市内幹線道路で構成される。セントロイド数13、ノード数69、リンク数238のネットワークで記述される。つぎに、具体的な「個別交通安全対策」は、新型信号機の設置、導流標示の修正、明色滑り止め舗装、歩車分離信号の設置、排水性舗装の5種類の通常の交通安全施設整備と、高度な交通安全施策として、AHS導入を設定した。また「交差点交通安全対策」は、各交差点で上記の個別安全対策で構成される交通安全対策代替案として設定される。したがって、交差点ごとに異なる交通安全対策案が選定される。さらに「計画年次」を3箇年として、「総予算額」は、3年間の交通安全対策に対して先決され総額10,000万円とする。このとき「各年度予算」は、2,500万円～5,000万円の範囲で設定可能とする。さらに「交通安全対策実施順序」は交差点ごとの優先順位で規定され、各年度の設定予算を超えない範囲で計画・実行されるものとする。

(2) 基本的な最適化手順

本研究の問題は、複数年次の交通安全対策を前提として多段階化された問題であり、基本的な交通安全対策評価手順は図-1に示すとおりである。ここでの主要な部分を整理する。交通安全対策実施時の道路網交通流は交通量配分(UE)を用いて推計される。各交差点事故件数はファジィ推論を用いた「交通事故件数予測モデル」により各種条件変化から算定される³⁾。交通事故件数の減少分から「交通事故費用算定モデル」より交通安全対策の有効度が算定される。各年度の予算配分を考慮して、交通安全対策の構成・実施順序に対応する代替案が作成される。各年度の有効度算定を繰り返し、最大有効度を与える交通安全対策案を最適解とする。

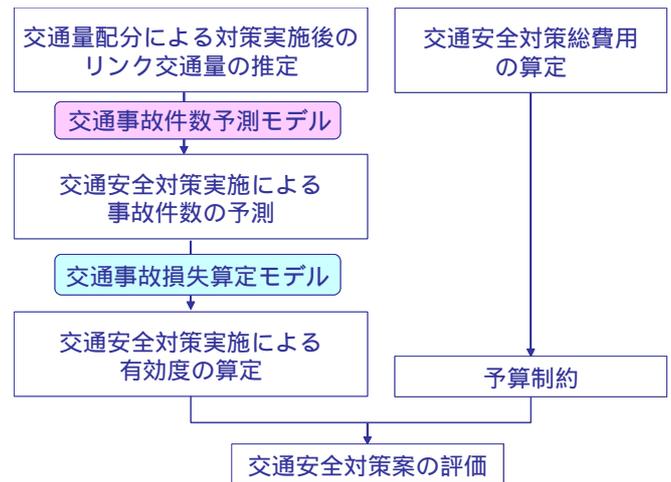


図-1 交通安全対策の基本的評価手順

(3) 免疫アルゴリズムの適用

前項の多段階計画問題の解法として免疫アルゴリズム(Immune Algorithms; IA)を適用する。ここでIAは、生体の免疫系システムを模倣した記憶学習的アルゴリズムである⁴⁾。最適化手法としては、GAと類似した算定プロセスを「抗体」「抗原」の生体防衛機構の形式に従って作成したものである。

ここでIAにおいては、記憶学習能力により抗体を容易に生成することが可能である。またGAと同様に、抗体遺伝子の再構成による解探索をおこなう。さらにIAでは、抗体の産生の促進と抑制を調節により、多様な解候補が維持され、効率的な解候補の探索が可能である。本研究での複数年度多段階計画問題では交通安全対策に対して、具体的構成、実施順序、予算配分の3項目の組み合わせ問題となる。この場合、IAで用いられる「抗体」のコーディング方法と演算処理方法を検討する必要がある。

本研究の場合、「抗体遺伝子」は図-2に示すように、大きく3種類の部分に分割して考える。

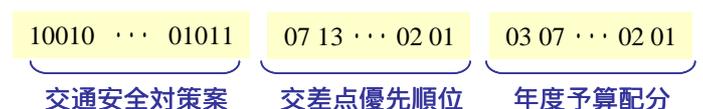


図-2 抗体遺伝子のコーディング方法

ここで、具体的構成は個別交通対策の有無(0, 1)の組み合わせとして表現する。また、実施順序

は交通安全対策を実施する交差点の優先順位の決定に対応するため、交差点番号の順列として記述される。さらに、予算配分は各年度の最低予算額から何単位の付加予算が設定されるかを、単位予算の配置位置として記述する。したがって、ここでは順序関係を考慮したコード化が必要となる 4), 5)。

4. 具体的な交通安全対策立案の検討

(1) 最適組み合わせ算定結果の検討

免疫アルゴリズムによる算定では、GAを用いる場合と同様に、初期設定と最適解探索に関連性が高い。ここでは、5種類の異なる初期設定を用いた最適解探索状況を図-3に整理した。収束程度は相違するもののいずれのケースにおいても世代数増加に対して順次解が更新されることがわかる。近似的最適解として最大有効度を与える場合(ケース3)の解集合を求めた。この解を構成する交通安全対策集合を「最適交通安全対策案」とする。

最適解に対応する各年度の交通安全対策を地点別に整理したものが図-4である。各交通安全対策内容のうち「AHS導入」は交差点3、5、14、17、19、21、22の7箇所で開催される。一方で「新型信号機設置」は環状線の交差点1、2、13および国道21号の交差点21で開催される。全般的には、中心市街地に位置する交差点では、各種交通安全対策の組み合わせ内容が相違し、多様な形態の交通安全対策が設定されることがわかる。

また3年間の交通安全対策効果に関して、「総費用」では総予算がほぼ充足されており(9,927万円)、一方で「総有効度」は33,827万円で、費用有効度比は3.44である。ここでAHS導入は相対的に高費用であるが、交通事故削減効果が高いため比較的多数の箇所で開催されている。

(2) 多段階最適化の有効性

段階的な総有効度最大化により最適組み合わせが設定された。このとき、経年的に有効性を「交通安全対策実施なし」の場合と比較して算定する。当該3箇年の総交通事故推計件数は3,091件である。これに対して「最適組み合わせ」においては、754件の交通事故減少が推計され、交通事故件数で

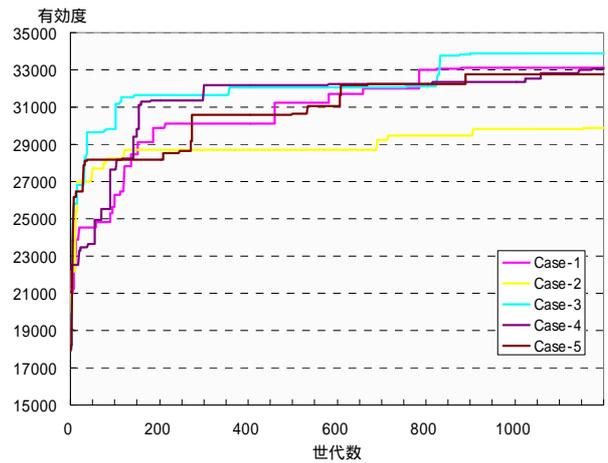


図-3 各ケースの最適解探索状況

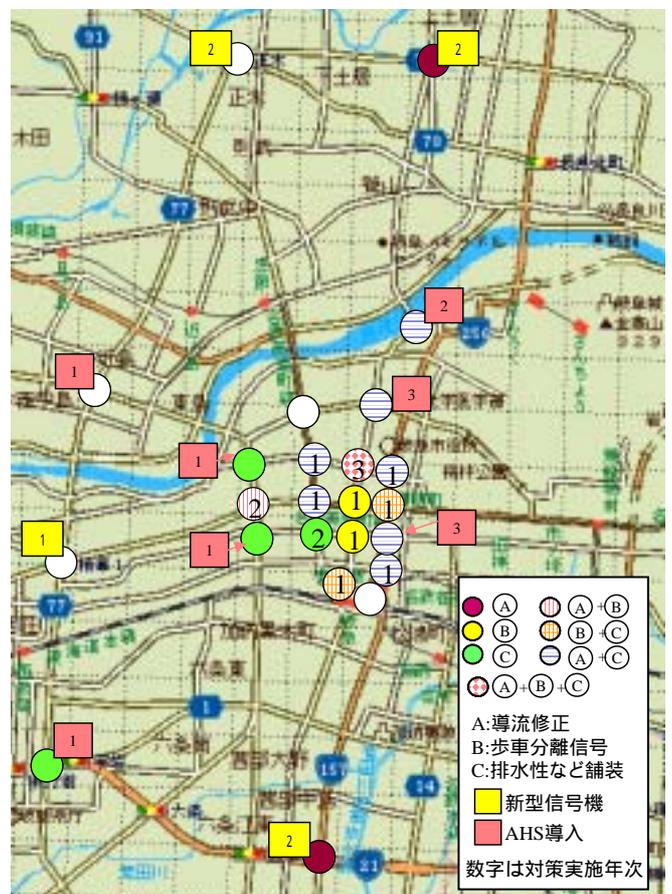


図-4 各交差点の最適交通安全対策案

24%の削減効果が期待できることがわかる。

つぎに、最適交通安全対策案の予算配分では、初年度が最大の予算配分であり、早期の交通安全対策実施を意図する案が策定されたことになる。

ここでは、交差点ごとの交通安全対策の実施順序を検討した。これは「交通流動変化による交通事故危険度の変化」と「交通安全対策の効果の減少」の両者バランスによって、総有効度が決定される。具体的な比較のため、最適交通安全対策案の構成要

素である交差点別交通安全対策を同じものとして、優先順位・予算配分を単純化した場合を想定する。具体的には、同じ交通安全対策を設定するが実施順序の判断を行わない(記載番号順)。予算配分は等分割(1/3)を基本とする(3300万円/年)。すなわち「実施順序と予算配分に関して、最適化を行わず機械的な設定を用いる」場合に対応している。

図-5に総費用の各年次配分を示した。配分比率を考慮しない均一予算配分に対して、最適交通安全対策では、初年度に全予算の高い割合の設定が望まれる。これは有効性の期待できる初期時点においては、できる限り多数の交通事故多発地点に対して交通安全対策を実施することを示唆するものである。

このとき、交通安全対策効果として各年次の交通事故減少件数を示したものが、図-6である。これより、実施順序・予算配分を考慮した最適交通安全対策では、すべての年度で交通事故減少効果が顕著に大きい。したがって、複数年次の道路網交通安全対策立案においては、交通流動変化、有効性の減耗を配慮した計画とするため、実施順序・予算配分についての検討が重要であることが示された。

5. おわりに

本研究では、組み合わせ最適化問題としての交通安全対策立案に関して複数年を前提とした多段階計画問題を検討した。岐阜市道路網の交通事故多発地点を対象として、具体的な問題設定から交通安全対策の実施順序と予算配分の有効性を検討した。

本研究の成果はつぎのように整理できる。複数年次の多段階計画問題に対して、コーディング方法・算定方法を修正することで、IAの適用が可能である。組み合わせ最適解において、交通安全対策の実施順序と予算配分の最適化を併せて検討することで、総有効度を向上することが可能である。

今回の問題設定にしたがい、さらに交通流動変化と交通事故の関係、交通安全対策実施順序の傾向、交通安全対策の空間化配置などの検討が可能であり、これらを今後の検討課題としたい。

なお最後に本研究は平成15年度土木学会「ITS社会に向けた交通事故分析に関する研究小委員会」における研究成果の一部であることを付記する。

交通安全対策予算(万円)

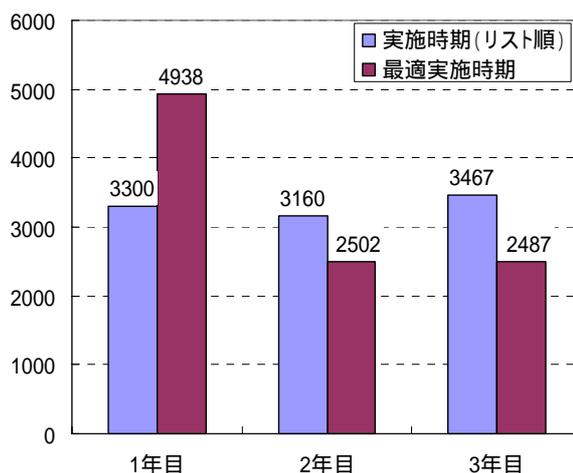


図-5 各年度の最適予算配分案
交通事故削減件数

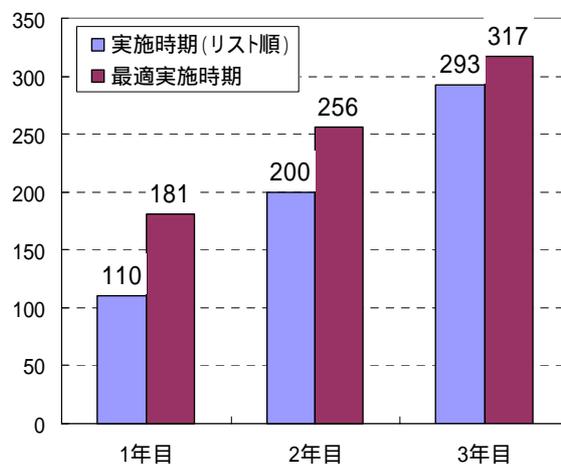


図-6 最適対策案による交通事故減少数の推移
参考文献

- 1) 秋山孝正, 小川圭一, 寺嶋真穂: 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性の検討, 土木計画学研究・論文集, Vol. 20, No. 4, pp.975-982, 2003.
- 2) Keiichi OGAWA, Takamasa AKIYAMA: Application of Immune Algorithms to Combinatorial Optimization for Traffic Safety Countermeasures, Proceedings of SCIS & ISIS 2002, CD-ROM, No. 20605, 2002.
- 3) 村瀬満記, 秋山孝正, 奥嶋政嗣: 交通事故推計のためのファジィ推論モデルの作成, 第19回ファジィシステムシンポジウム講演集, pp. 429-432, 2003.
- 4) 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.
- 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.