

交通安全対策の費用・有効度からみた計画立案方法

Transport Safety Planning in terms of Cost-Effectiveness

*

秋 山 孝 正

By Takamasa AKIYAMA

The safety planning should be considered in terms of cost-effectiveness mainly because certain budget constraints usually exist in the real world. The concept of formulation for the problem is discussed with estimation of cost and benefit. There are useful techniques such as Incremental Benefit-Cost Analysis (IBCA), Dynamic Programming (DP) and Integer Programming (IP). The advantages and disadvantages of these methods are summarized from the point of practical use. Modified types of formulations are introduced to consider the fuzziness in decision making. Genetic Algorithm is applied to obtain the solutions more efficiently.

Key Words: Traffic Safety Planning, Mathematical programming, Fuzzy Sets Theory, Genetic Algorithm

1. はじめに

都市道路網における交通安全確保には、交通規制、安全教育などの短期的、長期的な広域的安全施策の検討が必要である。したがって総合的な交通安全対策には各方面の方策が含まれる。しかし都市高速道路・幹線国道などの高速走行を意図した道路において交通安全施設の設置はなお重要な方策である。こうした計画は通常、予算の制約を持つ特定地点、特定路線での個別安全対策の組み合わせとして計画が立案されることが多い。そして経済的な安全対策の提示のため効率的で有効な対策案作成の定式化と求解に関して数理計画法の応用が提案されてきた¹⁾。

一般に数理計画法から最適解が得られ、安全対策立案時の計画条件に適する方法を用いた修正が可能であれば現実的な有効性がある。ここではまず、

*正会員 工博 京都大学講師 工学部交通土木学教室 (〒606 京都市左京区吉田本町)

ファジィ理論を用いた現実的な改良手順をのべる。つぎに対象道路網が大規模となった場合の数理計画法の取り扱いについて、実用的見地から遺伝的アルゴリズムの利用について提案する。

2. 交通安全対策の費用と有効度

2-1 安全対策立案の経済価値

交通安全対策の構成要素である個別対策による費用と効果の経済価値を計上することは、予算制約内で最も有効な安全対策を構成するうえで、まず必要とされる事項である。

ここで費用は、安全施設設置に要する経費と考えることができる。したがって、現実的な安全対策においても比較的容易に妥当な値を導くことができる。しかしながら、交通安全対策の便益を規定することは難しい。交通安全対策の施行により期待される交通事故の減少量を推定し、これに交通事故損失額

(Accident Cost) を乗ずるという方法が最も現実的である。現状では交通事故コストの算出は、たとえば、英国交通省などで、支払容認額 (Willingness to pay; WTP) あるいは許容補償額 (Willingness to accept compensation; WTA) の指標により行われているが²⁾、一般に認められた方法はない。したがって有効な経済効果を持つ安全対策を評価する際にも、本項は重要な要因であり、社会的費用として交通事故の計測方法を検討することは今後の課題である。

2-2 各種の安全対策作成方法

何らかの方法で、個別に考えうる道路地点ごとの安全対策の費用／便益が試算された際に必要となる手順は「交通安全対策予算の範囲内で最も効果的な代替案を求める」ことである。こうした経済的な交通安全施設の計画に関しては、米国 F H W A (Federal Highway Administration) の報告書に具体的な検討結果が示されており、計算法に関する基礎的整理も行われている。ここではそれらの交通安全対策作成の概要を検討する。都市道路網では各種原因の交通事故が発生するが、事故多発場所が知られている場合、個別安全対策は具体的には表-1 に示すようなものである^{3),4)}。

表-1 地点別安全対策の例

番号	路線	代替案	費用	便益
1	環状線	(a)	1,820	19,200
		(b)	3,340	21,700
		(c)	2,440	25,600
2	守口線	(a)	1,420	13,300
		(b)	502	6,400
3	空港線	(a)	1,090	10,520
		(b)	930	6,750
		(c)	2,340	22,520
4	神戸西宮線	(a)	380	3,000
		(b)	1,390	12,300
		(c)	2,410	24,710
5	松原線	(a)	1,180	7,200
		(b)	2,540	24,890
		(c)	840	5,980
6	大阪堺線	(a)	4,000	40,400
		(b)	2,740	44,100
		(c)	1,220	11,590
7	東大阪線	(a)	760	7,300
		(b)	1,020	9,420

各対策は個別の道路施設整備（たとえば、1-(a)では赤色点滅燈10箇所、注意標識設置10箇所、分岐部路面表示20箇所、合流部路面表示20箇所）で構成される。この表中に挙げられている各対策案から路線ごとにたかだか1案を選択するとともに予算内で適当な対策案を組合せて代替案を作成する。

この問題解決の方法として「増分費用便益分析法」「動的計画法」「整数計画法」を取り上げた。

表-1の対策案集合で予算制約が7,900万円であるとき、便益最大の組合せ解は[採択案: 1-(c), 2-(b)4-(c)5-(b), 便益: 81,600万円／費用: 7,892万円]となる。いずれの方法からもこの解を得ることができ、実際の計算法の採否は計算の厳密性と効率性、計算結果の表現形式等から判断される。以下に簡単に各方法の特徴を整理する。

【増分便益費用分析】

この方法は、各対策案相互の關係に着眼して、ある対策案を選択に必要な費用増分 (ΔC) に対して、どの程度の便益増分 (ΔB) が見込まれるかという点から開発されたアルゴリズムである。すなわち、「費用の増加にしたがって、より便益を増加させることが可能な対策案を抽出する」ものである。これには以下のような特徴が挙げられる。

(1) 表現上の利点として、演算結果から増分便益費用比のワークシート（一覧表）が得られることである。この表は増分便益費用比 ($R_{ij} = \Delta B / \Delta C$) の順位により作成され、選択順序が容易に把握できる。

(2) 当該予算額が変更されても、総費用値を基に実行可能性を（予算制約の範囲内で）検討することで、新たな対策案の組合せを知ることができる。

【動的計画法】

この方法は、「一定の予算内で実現される便益を最大にする」という点から数理計画問題として定式化したものである。特に各地点個別の対策案の中から順次適当な対策を抽出するという決定問題を表現するのに適している。具体的には以下のように定式化できる。

$$f_n(S_n) = \max\{r_n(S_n, d_n) + f_n(S_{n-1})\}$$

$$S_{n-1} = S_n - C(d_n)$$

S_n : nステップにおける総費用

d_n : nステップでの選択対策案

$f_n(S_n)$: nステップにおける最大総便益

$r_n(S_n, d_n)$: 総費用 S_n で d_n 案を採用した際の便益

$c(d_n)$: d_n 案実施に要する費用

この方法の特徴は以下のである。

- (1) 定式化から計算ステップ幅として、単位費用増加分を考慮することができる。計画上の最小投資単位額が設定されている場合に有効である。
- (2) 近似解を求めるために、ステップ幅を利用することができる。計算効率および必要とする解の厳密性から検討することができる。

【0-1 整数計画法】

この方法は0-1計画問題として定式化されたものであり解法アルゴリズムの複雑さはあるが、数式的表現は明解である。

$$\begin{aligned} \max \quad & \sum_i \sum_j b_{ij} x_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \leq B \\ & \sum_k x_k = 1 \\ & x_{ij} = 0 \text{ or } 1 \end{aligned}$$

ここに、i: 各路線での案、j: 検討路線、k: 各路線での実行可能案、b: 便益係数 c: 費用係数、B: 予算制約である。この方法の特徴は以下のである。

- (1) 組合せ最適化問題として基本的な定式化がなされているので、厳密解が通常の整数計画法の解法手順によって得られる。
- (2) 定式化が数理的に簡潔であるので、制約条件、便益額その他の計画条件の変化を定式化の若干の変更で対応することができる。
- (3) 整数計画法のアルゴリズムは比較的複雑であり、大規模演算を行うと、多大な演算時間がかかる。

3. ファジィ理論を用いた立案方法

交通安全対策の立案において、すべての要因を確定的に規定しておくことは困難である。したがって、さきに述べた数理計画問題をより現実的なものとするため、ファジィ理論の援用が考えられる。

このとき考慮される主要な問題はつぎのようなものである^{4),5)}。

- (1) 都市道路網の交通安全対策に利用可能な経費は、

普通「維持管理費」等の関連経費に内包されていることが多い。つまり安全対策予算を概略的には計上できるが、確定的に規定することは難しい。実際の運営面でも計画変更に対する柔軟性を持たせた方法を用いることが現実的である。

- (2) 経済効率から最適な安全対策案を立案する場合に、各対策案の費用・便益が中心的な資料となる。しかし、実際には定量的・画一的に計測が困難な要因もある（快適性の向上など）。したがって予測便益値等に若干の判断の幅を含めて検討することが現実的である。

第1の問題は制約条件に対するファジィ性を考慮して「ファジィ制約をもつ数理計画問題」として計算できる。具体的には、ファジィ目的とファジィ制約による意思決定問題として「ファジィ数理計画法」が利用できる。ファジィ数理計画の解法には α カットを用いた反復計算が行われる。このアルゴリズムには「通常の数理計画問題」の部分が含まれるため拡張は容易である。

第2の問題は「ファジィ便益係数を持つ数理計画問題」として定式化できる。本研究のような問題で各対策から予測される便益を実際には、事前に厳密に算定することは難しく、クリスプ数として定義するよりもある程度の幅を持ったファジィ数として表現することが実用的であるといえる。

一例として、個別安全対策案の便益パラメータ(式(1)の b_i)たとえば「クッションドラムの設置」による便益係数に着目する。このとき最終的な便益への影響の大きさを「クッションドラム設置費用が対策案全費用に占める割合」と同じであるとする。この個別対策のファジィ便益を与えるとき、総便益がどのようになるかを考えるものである。

この計算は図-1のようにファジィ集合に関する「分解原理」を用いて演算できる。つまり α カット集合を用いて、分解された個別の区間値集合に対する最適解を求める。この α レベルの設定に依存して算出結果は異なる。図中の各レベルに対応した区間が、期待される総便益の可能性の範囲を示している。つまり α は、計画立案時の決定変数と考えることもできる。厳密な諸条件値の規定が難しい予測便益に対して、ファジィ数を設定した場合にも解にある程度の幅を許せば判断が可能であることを示すものである。

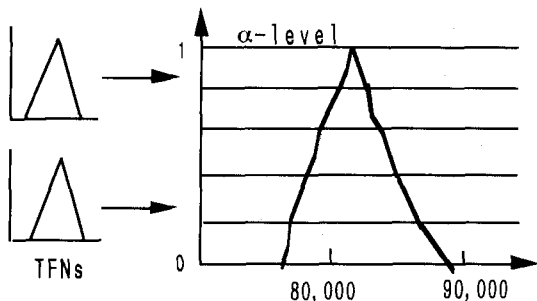


図-1 ファジィ便益の算出結果

4. 遺伝的アルゴリズムの利用

ここでの交通安全対策の作成は、結局「組合せ最適化問題」として表現できる。問題の規模が大きくない場合には、前述のように通常の数理計画法で解を求めることができる。しかし現実の大規模な多地点問題を考える場合には、近似解を効率的に求める方法を考える必要が生じる。

このような問題に対して遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm:GA) を用いることができる。遺伝的アルゴリズムは図に示すように、進化論的な計算手順をもつ近似計算法である⁶⁾。

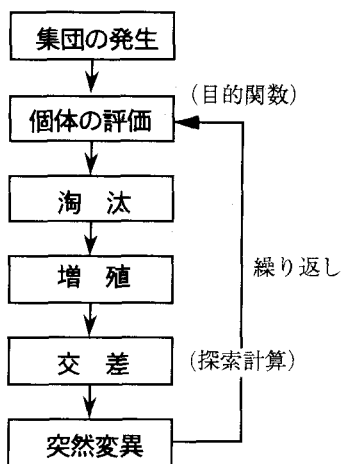


図-2 遺伝的アルゴリズムの基本フロー

本研究では、同一の問題をGAによって解くことを試みた。この場合、3路線（守口線、大阪堺線、東大阪線）の選択結果は既知として、若干変数の数を減らした問題として考えた。この場合、制約条件をペナルティ関数として目的関数にGAの評価関数に加える制約式変換法を用いた。

発生集団数、淘汰比率、突然変異の比率などの設定により最適解への収束性は異なる。しかしながら、本例の場合、集団数10で計算を行ったところ、最大の場合でも、数十世代までに最適値にいたる遺伝子（組み合わせ）を抽出できることがわかった。この方法は、さらに大規模な問題を取り扱う場合に一層有効であると思われる。

5. おわりに

本稿では交通事故安全対策の策定問題において数理計画法による定式化とその修正法を中心に議論した。ここでは特に土木計画に内在するファジィネスとして予算の余裕、予測便益の幅の2方面から計算方法を示した。また本研究の主な研究成果として以下の点が挙げられる。

- (1)都市道路網における安全対策の合理的作成方法には数理計画的ないくつかの方法が知られており、それぞれに方法論的な利点を持っている。
- (2)ファジィ理論の導入によって予算の余裕分を与えることや期待される便益の不確実性を考慮できる。こうした検討から新たな効果的組み合わせを持つ安全対策案を見いだすことができる。
- (3)現実的な多数の事故多発地点を持つような問題に対して、数理計画問題を解くことは実用的な問題が生じる。この点は遺伝的アルゴリズムを用いることで、その効率化を図ることができる。

参考文献

- 1)National Technical Information Service: Assessment of Techniques for Cost-effectiveness of Highway Accident Countermeasures, 1979.
- 2)Dalvi, M. Q., The Value of Life and Safety: A Search for a Consensus Estimate, Department of Transport, 1988.
- 3)秋山孝正・邵春福・佐佐木綱：都市高速道路における交通安全対策の作成方法についての方法論的考察，交通工学，Vol.25, No.6, pp.9-19, 1990.
- 4)秋山孝正・邵春福・内田敬・佐佐木綱：都市高速道路交通安全対策立案へのファジィ理論の応用，土木学会論文集，第425号，pp.91-98, 1991.
- 5)Akiyama, T. and Shao, C. , Fuzzy Mathematical Programming for Traffic Safety Planning on an Urban Expressway, Transp. Planning & Technology, Vol. 17, pp.179-189, 1993.
- 6)宮沢丈夫：現代科学の最先端をあなたのパソコンで！遺伝的アルゴリズムと最適化問題，ASCII, Vol. 15, #6, pp.301-308, 1991.