

# SD法における経路選択方法の改良\*

## Improving Road Choice for Simplicial Decomposition Method\*

吉田禎雄\*\*, 原田昇\*\*\*

By Yoshio YOSHIDA\*\*・Noboru HARATA\*\*\*

### 1. はじめに

確率的利用者均衡配分 (SUE) の解法は、確率配分に Dial 法<sup>1)</sup>を用いた部分線形化法<sup>2)</sup> (以後「Dial 法」と記す) と Simplicial Decomposition 法 (以後「SD 法」と記す)<sup>3)</sup> の 2 種類が実務で多く用いられている。確率的利用者均衡配分は、利用者が持っている不完全な情報による経路選択行動のばらつきを考慮できる上に、経路交通量が一意に求められるという優れた特徴を持つモデルであり、道路の整備効果などの評価においては配分モデルと整合の取れた期待最小コスト<sup>4)</sup> が用いられる。しかし、Dial 法や SD 法を適用して得られる期待最小コストを用いた整備効果の計測では、予想されるような効果の計測ができないといった計測上の問題が発生する。このような期待最小コストによる計測上の問題は、主に経路集合に起因することを筆者らは示した<sup>5)</sup>。また、経路を明示的に扱う SD 法では経路集合に含まれる経路数の増加や整備前後の経路集合の変化を抑えることによって問題が解決できる可能性があることを示した<sup>5)</sup>。

そこで、本研究ではSD法による確率的利用者均衡配分を対象として、経路集合の問題点について、Dijkstra法を用いた最短経路探索過程の改良と、整備前後の経路集合を固定化する方法について検討を加えた。その結果、経路を固定する方法にて実用的に十分な精度と安定性を持った期待最小コストを得ることができた。

### 2. SD 法と期待最小コストの問題点

#### (1) SD 法

SD 法は経路交通量を明示的な未知変数として扱い、経路を生成する列生成フェイズと、それまでに生成された経路集合のもとで経路交通量を直接求める限定親問題

\*キーワード：配分交通，経路選択，整備効果計測法

\*\*正員，株式会社インテルテック研究所

(〒169-0075 東京都新宿区高田馬場 2-14-6

TEL : 03-3203-9241 , FAX : 03-3203-9246

E-mail : yoshida@intel-tech.co.jp)

\*\*\*正員，工博 東京大学大学院新領域創成科学研究科  
環境学専攻

を繰り返し、列生成フェイズで新たな経路が生成できなくなるまで繰り返すものである。また、現実の交通量パターンでは最短経路に近い限られた本数の経路に流れていると考えられることから、列生成フェイズでは、限定親問題の解のもとで最短経路を探索し、これを新たな経路として追加する方法が一般的に採用されている<sup>4)</sup>。なお、新たな経路として経路集合に加えるか否かの判定では、ロジットモデルの IIA 特性による問題<sup>4)</sup>を緩和するため、得られた最短経路と既に生成されている経路集合との重複リンクについて適当な基準をもとに決定している。この場合の基準としては、重なり合ったリンク数の割合が予め決めた定数未満ならば経路集合に加え、そうでなければ棄却する方法が取られている。本研究では、高速道路のように卓越した経路となり得る道路は概してリンク延長が長いこと、及びノード設定方法の影響をなくすことを考慮し、判定基準を重なり合ったリンクの延長が経路の総延長に占める割合を求め、この割合が 80% 以下の場合に経路集合に加えることにした。

限定親問題は、得られた経路集合の全てについて経路コストの算定を行い、式(1)に示すロジット式を適用して経路交通量を求め、一次元探索と解の更新を繰り返すことで目的関数が最小となる経路交通量パターンを求めることで実施する。

$$P_k^{rs} = \frac{\exp(-\theta c_k^{rs})}{\sum_{k'} \exp(-\theta c_{k'}^{rs})} \quad (1)$$

期待最小コストは、ログサム関数として知られる次式で求められる。

$$S_{rs}(c^{rs}) = -\frac{1}{\theta} \ln \sum_k \exp(-\theta c_k^{rs}) \quad (2)$$

ここで、 $\theta$  は分散パラメータ、 $c_k^{rs}$  は OD ペア—rs 間の経路 k 経路上のリンクコストの和である。

SD 法では、経路を明示的に扱うため、得られた経路集合に含まれる全ての経路に対し、経路コストが簡単に求められ、式(2)を用いて期待最小コストを算定できる。

#### (2) 期待最小コストの問題点と課題

道路整備効果の計測上の問題を実ネットワークを用いて行った整備効果の算定事例で示すことにする。検討対

象ネットは、沖縄本島の幹線道路網で約 850 リンク、114 ゾーンのものである。また、道路整備として幹線道路に延長 0.8km ~ 10.3km の整備を行った 4 ケースを設定し、総走行台時の減少量を整備効果と考えた。なお、期待最小コストを用いた総走行台時の他に、配分終了後の最短経路上の最小コスト、全経路のコストを配分交通量で加重平均した平均コスト及び従来から実務で行われているリンク毎に旅行時間と交通量を乗じてネットワーク全体の和を求める方法についても総走行台時を算定した。結果は、図-1 に示すとおりである。

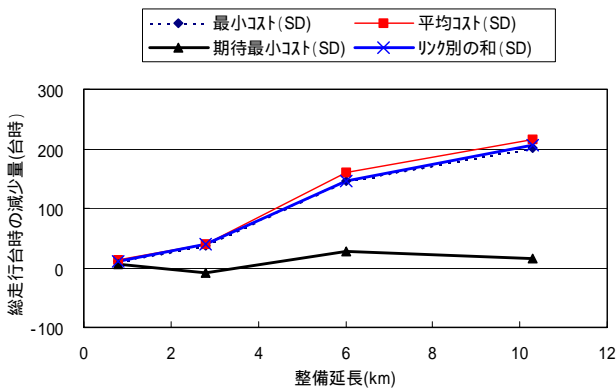


図-1 整備延長別整備効果 (改良前)

これによると、期待最小コストは整備延長 2.8km 以上のケースでは他の指標と比べて小さな値となっているとともに、整備延長の増加に無関係な値を示しており、安定した整備効果が計測できない。

そこで、整備延長の最も長い 10.3km の場合について、整備前後の OD ペア一別の経路数を比較した。結果は、図-2 に示すとおりであり、整備前よりも整備後の経路数が減少する OD ペア一が多く存在することが分かる。これは、道路整備を実施することにより、整備区間を経路の一部とする OD ペア一では、整備区間のリンクコストが小さくなったために、整備前に比べ他の経路が選択されにくくなるからである。この傾向は、整備量が多くなるほど顕著になる。また、期待最小コストは、幾つかの特徴的性質を持っているが、中でも「経路集合のサイズに関して単調減少関数」であるという性質がある。一方、単に最短経路により経路集合を増加させるという計算アルゴリズムでは、整備後に経路集合が小さくなると、期待最小コストが増加し便益がマイナスとなる OD ペア一が出現するようになる。実際に、整備前の経路数と整備後の経路数の差別に走行台時の平均値を求めると、表-1 に示すとおりであり、整備後に経路数が減少した場合には走行台時がマイナスとなっていることが分かる。

また、OD ペア一別に整備前後の経路が完全に一致しているものの割合を式(3)で求め、この同一経路率のリンク別の整備効果として走行台時の平均を求めた。結果は、

表-1 のとおりであり、概ね同一経路を持つ OD ペア一ほど整備効果がプラスで計測されていることが読み取れる。この整備前後での経路集合の相違が SD 法における期待最小コストが不安定となる原因である。

$$\text{同一経路率}(\%) = \frac{|n_{with} - n_{without}|}{\text{Max}(n_{with}, n_{without})} \quad (3)$$

ここで、 $n_{with}$  はある OD ペア一における整備後の経路数、 $n_{without}$  は整備前の経路数である。

以上のことから、SD 法では多くの経路を抽出するか、あるいは整備前後の経路集合の変化を抑えることによって期待最小コストの問題が解決できるものと考えられる。中でも、経路の変化を抑えることが良いといえる。

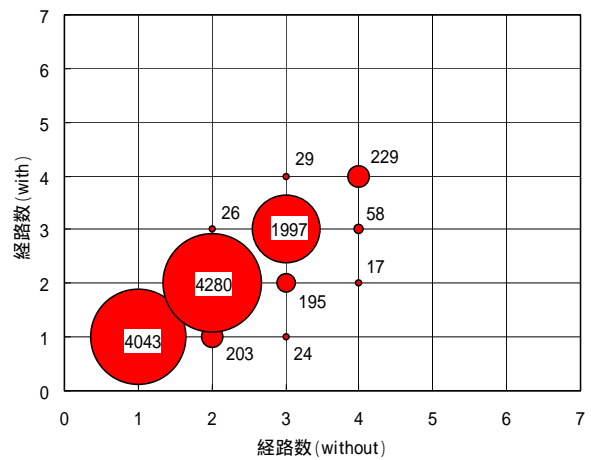


図-2 整備前後の OD ペア一別経路数の変化 (改良前)

表-1 経路差別平均整備効果 (改良前)

単位：台時

経路差	同一経路率 (%)				全体
	20-40	40-60	60-80	80-100	
-2	-0.111	-0.097	-0.057		-0.106
-1	-0.026	-0.057	-0.041		-0.047
0	0.026	0.028	0.010	0.001	0.002
1	0.062	0.052	0.044	0.027	0.048
平均	-0.021	-0.026	-0.008	0.001	0.000

注) 経路差 = Without の経路数 - With の経路数

### 3. Dijkstra 法のプログラミング上の問題

#### (1) プログラミング上の問題

SD 法の列生成フェイズにおいては、限定親問題の解のもとで最短経路の探索を実施し、得られた最短経路を経路集合に追加する方法が一般的に行われている。この最短経路の探索アルゴリズムとしては、Dijkstra 法<sup>6)</sup>が用いられている。

Dijkstra 法による最短経路の探索では、起点より各ノ

ードまでの複数の経路の中で一般化費用が最小である経路のみを残していく方法が取られている。最小であるか否かを判断する場合、一般化費用が等しい場合にはプログラム上で等しい(=)条件を含むか否かで異なる経路が選択される。これは、従来から行われている分割配分においてプログラムが異なるとまったく異なる結果が得られることで知られている問題である。例として簡単なネット上で経路1-2の場合について等しい条件の有無による最短経路探索結果を図3に示す。図3の太線で示した経路が発生点1から全ノードまでの経路であり、等しい条件の有無によりまったく異なる最短経路が選択されていることが分かる。

このことから、経路探索において等しい条件の有無別に最短経路を探索することで、1度に2本の経路が選定できる可能性が高まる。

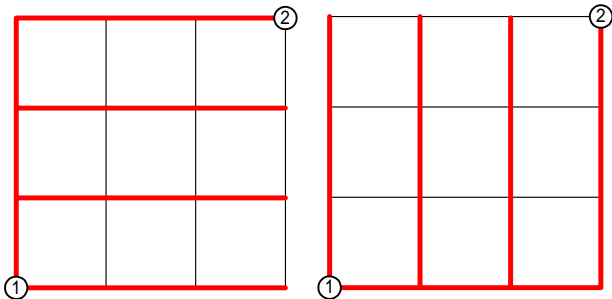


図-3 Dijkstra法に経路探索例

#### (2) 経路探索方法の改良結果(改良1)

列生成フェイズにおいて、Dijkstra法による最短経路探索時にコストが等しい条件の有無により2本の最短経路を追加する方法を適用した場合の結果を図4に示す。

これによると、期待最小コストを用いた場合についても、他の指標と類似した効果が計測できている。

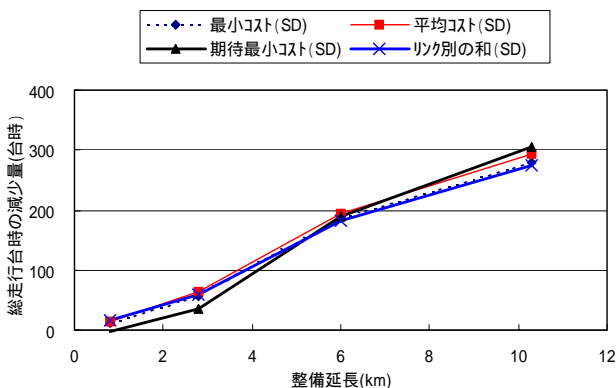


図-4 整備延長別整備効果(改良1)

さらに、整備前後の経路数の変化を示すと図5となる。前述の単に1本の最短経路を採用した場合の図2と比べ

ると、整備前後で経路数が変化しているODペア数が減少していることが分かる。

しかし、経路差別の平均走行台時を求めると、表2に示すとおりであり、整備後に経路数が減少しているODペアについてはマイナスとなっている。このことから、改良1で効果計測ができて見えるように見えるのは、用いたネットワーク等配分条件の特異性による可能性も否定できない。

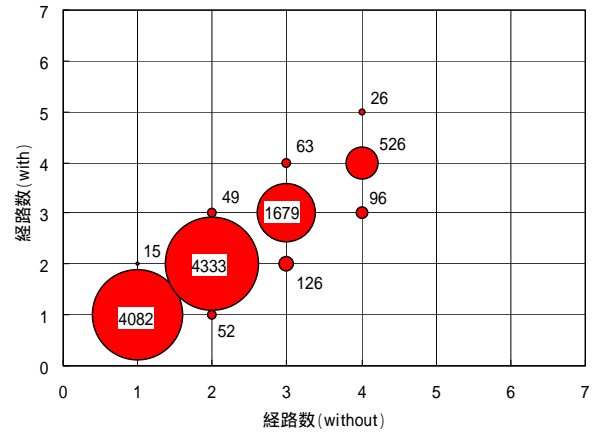


図-5 整備前後のODペア別経路数の変化(改良1)

表-2 経路差別平均整備効果(改良1)

単位：台時

経路差	同一経路率(%)				全体
	20-40	40-60	60-80	80-100	
-2		-0.062			-0.062
-1	-0.035	-0.057	-0.034	-0.012	-0.040
0	0.012	0.013	0.008	0.002	0.003
1	0.070	0.057	0.050	0.039	0.054
平均	0.009	0.011	0.012	0.002	0.003

注) 経路差 = Withoutの経路数 - Withの経路数

#### 4. 経路集合の固定(改良2)

##### (1) 経路集合の固定方法

以上の経路探索方法による改良では、整備前後の経路が完全には一致することはない。そのため、期待最小コストによる評価の問題が改善はされるものの依然として問題が残されたままとなっている。ここでは、整備前後の配分で用いる経路集合を同一のものとする方法を提案する。

SD法の配分では、経路集合の変化を抑える方法が、整備効果の計測上の問題を解決する有効な手段となり得ることを示した。経路集合の変化を抑える究極の方法は、整備前後の配分において同一の経路集合を用いることである。しかし、この同一の経路集合は、整備前あるいは

整備後で抽出される経路集合を含んでいる必要がある。そのため、整備前後の配分において列生成フェイズでそれぞれ抽出された経路の和集合を取ることで経路集合を固定する。この配分方法は、以下の手順となる。

SD 法により整備前後の配分を実施し、それぞれの経路集合を作成する

得られた整備前後の経路集合の和集合を取る

固定された経路集合を用いて、整備前後の限定親問題を解く

なお、固定された経路集合は、リンク番号あるいはノード番号のようなネットワークの情報によって記述されるため、整備前後のノード番号とリンク番号が変化しないようにネットワークを作成することが、経路の和集合を作成する場合に便利である。また、列生成フェイズに追加する経路は、改良 1 で述べた方法が経路集合を大きくする上で有利となる。

## (2) 経路集合固定による改良結果

経路集合を固定する方法を適用した場合の結果は、図-6 及び表-3 に示すとおりであり、全ての指標がほぼ一致する結果が得られた。このことから、経路を固定することで配分モデルと整合の取れた期待最小コストによる評価が可能と考えられる。

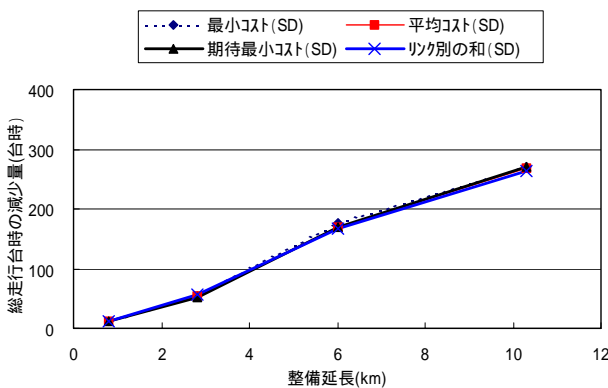


図-6 整備延長別整備効果 (改良 2)

表-3 配分方法別整備効果

配分方法	コストの算定方法	整備延長別整備効果 (台時)			
		0.8km	2.8km	6.0km	10.3km
SD 法 (改良前)	最小コスト	11.1	37.8	145.5	200.4
	平均コスト	12.3	39.6	160.0	216.1
	期待最小コスト	6.2	-9.4	28.5	16.4
	リンク別の和	12.0	39.0	146.0	207.0
SD 法 (改良 1)	最小コスト	11.8	57.9	186.3	278.3
	平均コスト	15.3	64.0	195.3	292.4
	期待最小コスト	-1.5	35.1	188.5	305.5
	リンク別の和	16.0	58.0	183.0	274.0
SD 法 (改良 2)	最小コスト	12.0	54.9	175.8	271.1
	平均コスト	11.5	53.3	170.5	268.8
	期待最小コスト	11.4	52.9	170.6	270.6
	リンク別の和	11.0	56.0	167.0	263.0

なお、表-3 によると、経路を固定しない改良 1 の場合と改良 1 をベースに経路を固定した改良 2 の整備効果に差が見られる。一方、SD 法による解は、限定された経路集合に対しての厳密解を得るものであるが、全ての経路を考慮した元の問題に対しては近似解となっている。このことから、改良 1 よりも改良 2 で用いる経路集合の方が大きいため、改良 2 の方法で得られた解が経路数が多い分だけ元の問題の解に近いと考えられる。しかし、マスタープランの作成時のように多くの配分ケースが存在する場合、整備の有無の組み合わせ毎に経路を固定すると、整備なしの場合に複数の解が得られてしまうという問題が発生する。全てのケースが事前時判明している場合は、全てのケースで得られる経路の和集合をとれば良いが、あらゆるケースを網羅するのは現実的でなく、経路を固定する方法を適用する場合に課題が残されている。

## 5. おわりに

確率的利用者均衡配分による整備効果の計測にあたって配分モデルと整合の取れる期待最小コストが利用されるが、整備量に比べ大きく変動して不安定な状態になることが多い。本研究では、経路集合を明示的に扱う SD 法において、期待最小コストが不安定になる原因が整備前後の経路集合の相違にあることを示した。また、経路集合の抽出方法の改良について検討を加えた、実用的には整備前後の経路集合を固定する方法により整備効果の計測が可能であることを示した。しかし、経路を固定する方法にも適用上の課題が残されていると同時に、あらゆる配分条件下でも適用可能であるか否かを検証する必要があることが判明した。

## 参考文献

- 1) Dial : A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Algorithm Which Obviates Path Enumeration, *Transportation Research* 5, pp.83-111, 1971.
- 2) 赤松隆, 土屋裕二, 河上善博 : 確率的均衡配分のいくつかの計算アルゴリズムとその比較, *土木計画学研究・論文集* 7, pp.89-96, 1990.
- 3) Damberg, J.T.Lundgren, M.Patricksson : An Algorithm for the Stochastic User Equilibrium Problem, *Transportation Research* 30, pp.115-131, 1996.
- 4) 土木学会 : 交通ネットワークの均衡分析, 1998.
- 5) 吉田禎雄, 原田昇 : 確率的利用者均衡配分を用いた整備硬貨の計測に関する実証研究, *土木計画学研究・講演概要集* 講演 No.35, 2003.
- 6) Dijkstra, E.W. : A Note on Two Problems in Connection with Graphs. *Numer Math*, 1, pp.269-271, 1959.