

選択経路集合生成アルゴリズムの提案と松山市道路網での検証*

An algorithm of choice set generation and validation test in Matsuyama Network

眞浦靖久** 朝倉康夫*** 羽藤英二**** 宗貞孝太郎**

by Yasuhisa Maura, Yasuo Asakura, Eiji Hato and Koutarou Munesada

1. はじめに

交通量配分のアルゴリズムにおいては、経路交通量ではなくリンク交通量が用いられるのが一般的である。実際規模の道路ネットワークでは、膨大な数の経路を管理することが容易ではないことがその理由である。確定的利用者均衡では、経路交通量が一意に定まらないために、収束を早めること以外に経路交通量を変数とすることの意味がないことも他の一つの理由である。

一方、確率的利用者均衡 (SUE) では経路交通量を一意に定めることができるので、たとえば Simplicial Decomposition 法のように経路交通量を変数としたアルゴリズムも魅力的である。経路交通量を変数とすることより、経路固有の変数を扱えることの利点は少なくない。ネットワークの形状に起因する右左折数のような変数や、距離に比例しない複雑な料金体系を表現する変数を取り込むことができるからである。

本研究では一般的ネットワークから OD ペア間の選択可能経路集合を生成する方法を検討する。具体的には、K 番目最短経路探索により経路を抽出 (Screening) し、右左折数など経路に固有の属性により、条件を満たさない経路を除外する方法 (EBA, Elimination by Aspects) である。この方法の妥当性を 1997 年 7 月に松山市道路網で行った経路選択実験の結果を用いて検証する。

2. 経路列挙のアルゴリズムについて

2. 1 Screening method

本研究では経路列挙の方法として Screening method を用いる。Screening method とは OD 間においてコストの小さい順 (距離の短い順) に経路を列挙するアルゴリズムである。任意の OD ペア間での経路距離が K 番目の経路の定義は、「第 1 番目経路, ..., 第 (K-1) 番目経路の各ノードからそれらの経路の集合に含まれる経路の中で距離が最短の経路」である。

2. 2 EBA(Elimination by Aspects)

EBA モデルにはいくつかの手法が存在する。第一に一般的な方法として、選択枝集合を与件とし属性の基準値によって条件を満たさない選択枝を直接除去する方法である。Tversky の提唱した EBA がこれに該当する。第二に、ネットワーク問題における EBA である。これはネットワーク上の全てのノードを対象として、そのノードを経由することによって従属性 (たとえば料金) の条件を満たさない場合はそのノードを除去する EBA である。この考え方は D'Este によって示された。これは選択枝を直接除去する方法ではない。この EBA では経路属性がリンク属性 (コスト、距離など) で表現できなければ用いることは困難である。

本研究のアルゴリズムでは、主属性 (距離) による Screening method で経路を列挙し、選択経路集合を生成する。その時点で選択経路集合に加えられた経路に対し逐次的に従属性 (右左折数、重複距離率など) による EBA を行い、条件を満たさない経路を選択経路集合から除去する。1OD についての選択経路集合生成のアルゴリズムを図 1 に示す。

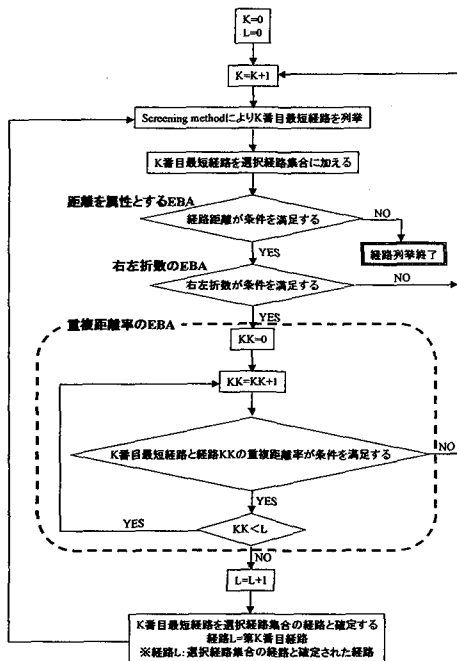
*keywords ネットワーク分析, 経路選択, 配分交通

**学生員 愛媛大学大学院博士前期課程土木海洋工学専攻

(〒790-8577 松山市文京町, TEL089(927)9825, FAX089(927)9843)

***正会員 工博 愛媛大学工学部環境建設工学科 (同上)

****正会員 博(工) 愛媛大学工学部環境建設工学科 (同上)



(注) K=1(最短経路)のとき、距離・重複距離率のEBAは行わない

図1 選択経路集合生成のアルゴリズム

2.3 経路集合生成のアルゴリズムの計算例

生成する選択経路集合を経路集合Sとする。EBAとして表1の3つの属性を用いる。

表1 EBAに用いる属性

EBAに用いる属性(Aspects)

- Aspect1: 距離・・・最短経路距離の1.5倍以下
(ここでは9km以下)
- Aspect2: 右左折数・・・2回以下
- Aspect3: 重複距離率・・・50%以下

重複距離率の計算方法

$$\text{重複距離率} = \frac{\text{K番目最短経路と経路A}_j\text{の重複距離}}{\text{経路A}_j\text{の経路距離}} \times 100$$

経路A_j: 経路集合Sに含まれる経路
(j=1, ..., n: その時点で経路集合Sに含まれる経路数)

アルゴリズムの実行過程は、まず Screening method により K 番目最短経路を列挙し、経路集合 S に加える。K 番目最短経路に対して EBA を距離→右左折数→重複距離率の順で行う。重複距離率による EBA は、経路集合 S に含まれている K 番目最短経路以外の経路と K 番目最短経路の経路距離が 50% 以上重複するならば、K 番目最短経路を経路集合 S から除去するものである。全ての条件を満たせば K 番目最短経路を経路集合 S に含まれる経路と確定し、1

つの属性でも満たさなければ経路集合 S から除去する。距離条件を満たさない経路が列挙された時点で、アルゴリズムを終了する。それ以降に列挙される経路は、距離条件を満たさないことは明らかであるからである。

図2の仮想ネットワークを例にアルゴリズムを説明する。まず、最短経路(1番目最短経路)を列挙し(図3)、経路集合Sに加える。表2に示す属性値によりEBAを行うと、距離は最短経路であるから条件を満たすのは明らかである。右左折数は2回であるので、条件を満たす。重複距離率は、この時点では経路集合Sには最短経路自身しか存在していないので行う必要はない。従って、最短経路を経路A1とし、経路集合Sの経路として確定する。次に、Screening method により2番目最短経路を列挙し(以後図3に示すように3番目、4番目最短経路、...と列挙されていくことになる)、1番目最短経路と同様に経路集合Sに加える。2番目最短経路に対してEBAを行うと、表2より全ての条件を満たすことから、2番目最短経路を経路A2とし経路集合Sの経路として確定する。同様にして、3番目最短経路を列挙し経路集合Sに加えEBAを行うと、表2より距離の条件は満たすが右左折数の条件を満たさないため、重複距離率のEBAを行うことなく経路集合Sから除去する。同様にして、4番目最短経路は表2より全ての条件を満たすため経路集合Sの経路と確定する。5番目最短経路は距離条件を満たさないため経路集合Sから除去し、アルゴリズムを終了する。結果として、経路集合Sに含まれる経路は1番目最短経路(経路A1)、2番目最短経路(経路A2)、4番目最短経路(経路A3)となる。

Screening method と EBA を組み合わせたアルゴリズムは、距離の短い順に経路を列挙し選択経路集合を生成しながら、選択経路集合に加えられた経路を逐次的に EBA で除去するものである。アルゴリズムが終了した時点で、生成された経路集合が選択経路集合となる。

表2 列挙された経路の属性値

	Aspect1	Aspect2	Aspect3		
	距離	右左折数	経路A1	経路A2	経路A3
最短経路	6km	2回	—	—	—
2番目最短経路	7km	1回	33.3%	—	—
3番目最短経路	8km	3回	33.3%	0%	—
4番目最短経路	9km	1回	33.3%	0%	—
5番目最短経路	10km	3回	50.0%	0%	33.3%

実際には
計算不要

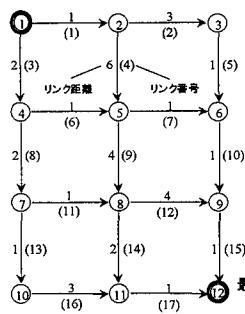


図2 仮想ネットワーク

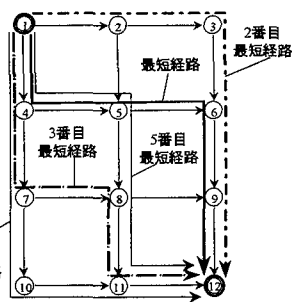


図3 列挙された経路

3. 松山市道路ネットワークにおける選択経路集合生成アルゴリズムの適用

松山市道路ネットワーク（ノード数 913、リンク数 2412）に上述のアルゴリズムを適用する。経路選択実験（サンプル数 83OD ペア）で得られたトリップ前の選択可能経路（選択経路、代替経路）が列挙可能であるかを検証する。

経路選択実験の分析結果から、本研究ではEBAの属性として2.3に示した右左折数、経路距離、重複距離率を用いる。右左折数、経路距離の基準値はそれぞれサンプルの90%タイル値である2.5回(1/km)以下、最短経路距離の1.5倍以下を用いる。また、経路選択実験の約80%のODペアは選択経路集合に含まれる各経路どうしの重複する距離の比率が、（実際の選択経路の経路距離に対して）50%以下であった。そこで経路固有の属性ではないが、列挙された各経路が50%以上重複していた場合には経路距離の長い経路を除去するものとする。

経路選択実験における最も多かった経路選択理由は「わかりやすさ（道が広いから、右左折回数が少ないから等）」(32.2%)であった。このことから、経路距離だけを要因として経路を列挙するのではなく、道の広さを考慮する必要があると考えられる。道の広さの指標としてネットワーク上の各リンクに幹線レベルという属性を設定し、リンク距離に重み付けを行う。

重み付けについて

- ・レベル1(国道、環状線)…重み付けをしない
- ・レベル2(県道)…重み付けをしない
- ・レベル3(レベル1、レベル2以外の主要道)
 - …リンク距離を1.5倍

- ・レベル4(レベル1～レベル3以外の道路)

…リンク距離を2.0倍

各リンク距離に重み付けを行ったに本アルゴリズムを適用するケースをパターン1とする。道路幅員と距離・右左折数のEBAの効果を検証するために、同じアルゴリズムを表3（パターン2）に示す条件で適用した結果と比較しながら再現性を検証する。

表3 適用条件

ネットワーク	EBA		
	道路幅員	距離	右左折数
パターン1	○	○	○
パターン2	×	×	×

※ ○…適用する、×…適用しない

アルゴリズムの終了条件は下記のとおりである。

- ① 距離の条件を満たさない経路が列挙された場合（パターン1のみ）
- ② 選択経路集合の確定経路数が5経路になった場合（実際にドライバーが考える選択可能経路は、限られた経路であることを考慮）
- ③ 700番目最短経路を列挙した時点で、①、②の終了条件を満たしていない場合

【再現性について】

経路選択実験では被験者は最大3つの選択可能経路をあげた。内訳は表4のとおりである。パターン1によって各ODペア毎に生成された経路集合の中に、経路選択実験で被験者があげた選択可能経路を含んでいた（つまり実データの経路を完全に再現できた）ODペア数を表4に示す。

表4 ODペア数でみる選択可能経路の再現性(1)

経路選択実験結果	選択可能経路数別 ODペア数	1経路 2経路 3経路 計			
		29OD	48OD	60D	83OD
アルゴリズムにより実験で 得た選択可能経路と同一の 経路が再現できたOD数	完全再現なし	17OD	25OD	40D	46OD
	1経路完全再現	120D	180D	20D	320D
	2経路完全再現	—	50D	なし	50D
	3経路完全再現	—	—	なし	0OD

被験者があげた経路を
全て再現したOD数

少なくとも1経路は
再現できたOD数

○83OD ペア中 37OD ペア (44.6%) は、実験で得られた選択可能経路のうち、少なくとも1経路は

アルゴリズムによって生成した経路集合中に列挙されている（パターン 2 では 16.9%）。その中で 17OD ペア（20.5%）は被験者があげた選択可能経路の全てが、アルゴリズムで生成した経路集合中に列挙されている。

本研究では、走行前のドライバーは経由する道路や交差点など部分的に決定しているのみで、細部まで詳しく決定していないと考える。このことから、経路選択実験では選択経路を「××道路を通る」など経由する道路や地点を口頭で答えるにとどめている。その結果、実際の選択経路として高レベル（レベル 1、レベル 2）の道路をあげているサンプルは 61 サンプル（73.5%）であった。このことからアルゴリズムによって列挙された経路が実際の選択経路を完全に再現できないとしても、実データ経路に含まれる高レベル道路との重複率が高ければ再現性があるといえる。各 OD ペアで生成された経路集合の中で、実験で得た選択可能経路上の高レベル道路と完全に重複する経路をそれぞれ抽出しまとめたものが表 5 である。

表 5 OD ペア数でみる選択可能経路の再現性(2)

経路選択実験結果	選択可能経路数別 ODペア数	1経路 2経路 3経路 計			
		29OD	48OD	60D	83OD
生成された経路集合に実データ 経路の高レベル道路を完全に 含む経路があるODペア数	完全重複なし	13OD	8OD	3OD	24OD
	1経路完全重複	16OD	27OD	3OD	46OD
	2経路完全重複	13OD	なし	13OD	26OD
	3経路完全重複	—	—	なし	0OD
被験者があげた全ての経路の 高レベル道路を全て含むOD数		少なくとも1経路は高レベル道路 を完全に含むOD数			

○高レベル道路のみに着目すると 71.1%の OD ペアで被験者があげた選択可能経路（少なくとも 1 経路）に含まれる高レベル道路の全てを含む経路がアルゴリズムによって列挙されている（パターン 2 では、26.5%）。

このように、経路の再現性はかなり良好な結果である。

【経路属性の比較】

ここまでは OD ペア単位で再現性を検証してきた。次に経路属性を比較するために、選択経路実験で得られた全選択可能経路とアルゴリズムによって列挙された全経路をそれぞれ集計する。経路選択実験で

得られた全選択可能経路（143 経路）を経路集合 R、パターン 1 で生成された全経路（340 経路）を経路集合 P1、パターン 2 で生成された全経路（355 経路）を経路集合 P2 とする。経路属性の比較項目は幹線レベルの構成比率と平均右左折数とする（図 4）。

○経路集合 P2 の経路は右左折を繰り返し、低レベル道路を走行する経路が多いと考えられ非現実的である。経路集合 P1 は幹線レベルの構成比率が経路集合 R のそれと整合しており、右左折数も経路集合 P2 に比べ少なく経路集合 R に近い。

これらのことから距離だけでなく、道路幅員、右左折数を考慮することで選択経路の再現性が向上するといえる。

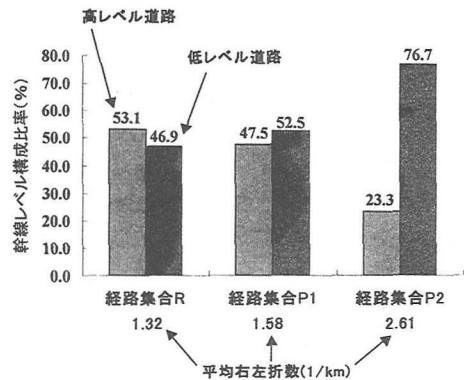


図 4 幹線レベル構成比率と平均右左折数

4. おわりに

本研究では選択経路集合生成のアルゴリズムを提案し、松山市道路ネットワークに適用することにより良好な再現性を示した。今後は、Simplicial Decomposition 法への本アルゴリズムの組み込みを考えたい。

(参考文献)

Glen D'Este:HYBRID ROUTE CHOICE PROCEDURES IN A TRANSPORT NETWORK CONTEXT, The Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.2, No.3, Autumn, pp.737-752, 1997