

# ゼロサプレス型二分決定グラフを用いたバス路線選定手法の予備的検討

○芝浦工業大学大学院 学生会員 高根 大毅  
芝浦工業大学 正会員 岩倉 成志  
国際興業株式会社 正会員 小山 真弘

## 1 背景・目的

2011年に発生した東日本大震災により甚大な被害を受けた三陸地域では、仮設住宅の建設や高台移転事業などにより、土地利用が急速に変化していった。復興が進むにつれ、住民の移動パターンや人口分布が大きく変化していったと考えられる。このような急速な土地利用の変化と人口移動に迅速に対応できるバスネットワークの構築は、地域住民の生活利便性の向上、さらには被災地の復興を促進させていく上で重要な課題であると考えられる。

しかし従来のバスのネットワーク計画の多くは、交通需要予測や、利用者の実績 OD データなどは十分活用されておらず、交通事業者の経験則の中で多くの意思決定がなされてきた。そのため最適なバスルートを選定方法は実務では確立されていないのが現状である。

本研究ではバス事業者側の経験則を客観的に表現し、路線バスルート候補の抽出を図るべく、グラフ列挙探索技法「ゼロサプレス二分決定グラフ：zero-suppressed binary decision diagram（以下 ZDD）」を用いてバス路線の始点から終点までの候補となる経路を全て列挙させ、その中から事業者の利得の高いルートを引き出し、バス路線を選定する手法について検討する。

## 2 ZDD の概要

ZDD とは 1993 年に湊<sup>1)</sup>によって考案されたグラフ列挙探索技法である。例として図 1 のような 2×2 の格子グラフで考える。左上の node1 から右下の node9 まで同じノードを 2 度通らず且つ最短経路だけでなく遠回りを許すという条件で経路数を計算すると全部で 12 通りある。これが 3×3, 4×4 と辺の数が増えるにつれて経路数の解の個数は圧倒的な勢いで増えていき、数え上げに要する時間も急増していくが、ZDD の技法（経路数の数え上げの際に使用する場合分け二分木の圧縮）とプログラミング言語 python での計算により、始点から終点までの経路数を瞬時に算出することが出来る。本研究ではこの ZDD の技法を用い、始点と終点を定め

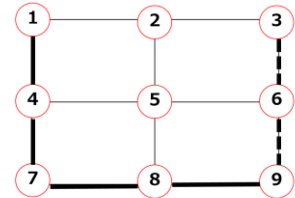


図 1 2×2 格子グラフ

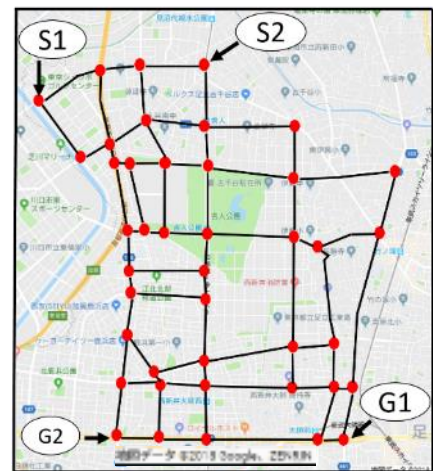


図 2 エリア内の主要幹線道路と交差点

※G1 近傍に東武スカイツリー線西新井駅が存在ルートの候補となる全経路を全て列挙させる。

## 3 分析手法

### 3-1 対象エリアの設定と経路数算出

本研究では被災地における最適ルート抽出の予備検討として都内のバスネットワークで手法の構築を行った。対象エリアは東京都足立区舎人公園周辺とする。図 2 は対象エリア内の国道や都道を含んだ主要幹線道路（黒線）と交差点（赤点）を示した図である。本研究では 2 本のバス路線を考慮する為、始点 S と終点 G をそれぞれ 2 つ定める。ルートの候補となる全経路を算出した結果、S1 から G1 が 5682245 通り、S2 から G2 が 2254006 通りあることが分かった。

### 3-2 説明変数とパラメータ検討

ZDD で全経路の算出を行った後、バス事業者の意思決定を反映した利得計算を行う。利得式に加える説明変数は潜在的利用者数、営業距離、渋滞距離、右左折回数 の 4 つとする。

1 つめの潜在的利用者数はバス会社の収益に大きく影響し、2 つめの営業距離はバスの燃料費や目的地までの速達性に、3 つめの渋滞距離、4 つめの右左折回数はバスの定時性にそれぞれ影響していることから説明変数に選定した。パラメータの値・符号については以下の式(1)のように初期設定した。

$$V_i = 0.0005U_i - 0.1D_i - 0.1C_i - 0.1RL_i \quad (1)$$

$i$ : ルート番号,  $U$ : 潜在的利用者数 (人)  $D$ : 営業距離 (km)

$C$ : 渋滞距離 (km)  $RL$ : 右左折回数 (回)

また病院や学校、公園などの公共施設へと向かう人にとってバスは気軽にアクセスできる交通手段である。その点を踏まえエリア内の公共施設を經由するルート (S1 から G1 が 325133 通り、S2 から G2 が 364100 通り) を対象に上記の利得計算を行う。

### 3-3 LOS データの作成方法

候補経路の潜在的利用者数は H20PT 調査のデータを基に各ノード間のトリップ OD 表を用いて算出する。この潜在的利用者数は途中のバス停で乗降する人数も考慮しており、Nested Logit Model を用いて人数の計算を行う。例として図 1 の太線をバス路線 1、点線をバス路線 2 とし、利用者が node2 から途中のバス停 (node1,3,4,6,7,8) を經由してバスに乗車し node9 までの移動を考える。この時いずれかのバス停からバス路線 1 に乗車する人の効用を式(2)、バス路線 2 に乗車する人の効用を式(3)、バス以外の交通手段で移動する人の効用を式(4)、バス路線 1 の乗車確率 (式(5)) に OD 記号 Q を乗じて最終的な潜在的利用者数を式(6)で表す。

$$V_{bus1} = \beta T_{2 \rightarrow 9} + \mu \ln \sum_{n=1}^4 e^{\gamma acc_n} \quad (2)$$

$$V_{bus2} = \beta T_{2 \rightarrow 9} + \mu \ln \sum_{n=1}^2 e^{\gamma acc_n} \quad (3)$$

$$V_{other} = \beta T_{2 \rightarrow 9} \quad (4)$$

$$P_{bus1} = \frac{e^{V_{bus1}}}{e^{V_{bus1}} + e^{V_{bus2}} + e^{V_{other}}} \quad (5)$$

$$Q_{bus1} = Q \times P_{bus1} \quad (6)$$

$\beta$   $\mu$   $\gamma$ : パラメータ,  $T_{2 \rightarrow 9}$ : node2→node9 の時間距離

$acc_n$ : バス停 n へのアクセス距離  $Q_{bus}$ : 潜在的利用者数 (node2→9)

営業距離 D は Google map の距離測定機能を用いて各ノード間の距離を測定、渋滞距離 C は Google map の交通状況で低速部分を示す距離を測定後、リンクに距離の情報を与えて各経路の距離を測定する。右左折回数 RL はプログラム上で自動判別して計算をした。

### 4 候補バスルートの抽出結果

先述した利得式に各経路の潜在的利用者数、営業距離、渋滞距離、右左折回数の値を代入した後、式(1)の

表 1 各ケースのパラメータ (※パラメータ変更)

|         | 利用者数   | 営業距離  | 渋滞距離 | 右左折回数 |
|---------|--------|-------|------|-------|
| ケース1    | 0.0005 | -0.1  | -0.1 | -0.1  |
| ケース2    | 0.0005 | -0.1  | -0.1 | ※-0.2 |
| ケース3A3B | 0.0005 | ※-0.2 | -0.1 | -0.1  |

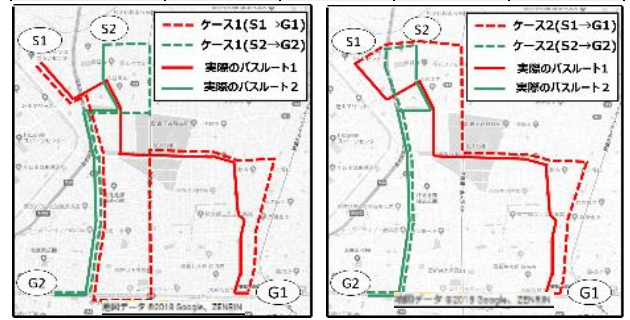


図 3 ケース 1

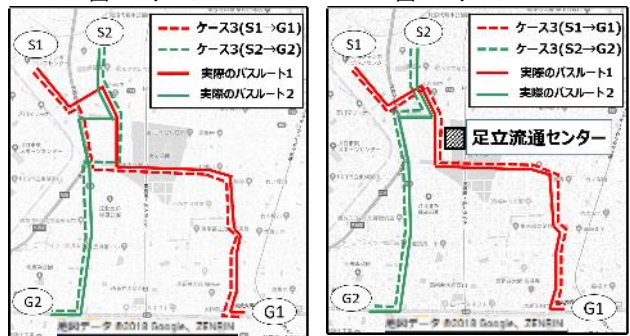


図 5 ケース 3A

図 6 ケース 3B

パラメータを変動させ利得の最も高いルートの抽出を試みる。パラメータ感度を変更してケース設定したものを表 1、各ケースパラメータによる結果を図 3~図 5 に示す。ケース 1 は解析ルート 1 (図 3 赤点線) が舎人地区の南西側を迂回するルートとなり、北西から南東へと至るバス路線 1 (赤実線) とズレが生じた。ケース 2 では解析ルート 1 (図 4 赤点線) が右左折回数の最も少ないルートとなりバス路線 1 とズレが生じた。またケース 3A は 2 路線ともほぼ同一であるが、足立流通センター付近で解析ルート 1 (図 5 赤点線) がバス路線 2 (緑実線) に、解析ルート 2 (緑点線) がバス路線 1 (赤実線) と重複した。バス路線 1 は就業者の利用が多いと考えられる流通センターを經由し、バス路線 2 はその重複を避けるためと考えられる。そこで解析ルート 1 を流通センター経由、解析ルート 2 は流通センターを経由しない制約で再度解析した結果 (図 6)、2 路線とも解析結果ルートと実際のバス路線が同一ルートとなった。

### 5 おわりに

ZDD を用いて全経路を探索した後、バス事業者の利得関数のパラメータを変動させてバス会社が営業するバスルートの再現性を検討した。今後は NTT モバイル空間統計データを用いた利得式関数の推定と、被災地バスネットワークの逐次計画に向けた検討を行う。

参考文献 1) 湊真一: 超高速グラフ列挙アルゴリズム 森北出版 2015