

ZDD を用いたバスネットワークの複数抽出手法

○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。復興事業が進むにつれ、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¹⁾。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、更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り、社会的意義が高いと考える。

しかし従来のバスネットワーク計画の多くは、バス事業者の経験則の中で多くの意思決定がなされてきた。本研究ではバス事業者側の経験則を客観的に表現しバスルート候補の抽出を図るべく「ゼロサプレス型二分決定グラフ²⁾ (以下 ZDD)」と呼ばれるグラフ挙探索技法を用いて数百万通りとある起終点間の候補経路を列挙させ、その中から後述する評価関数を用いることで運行経路の最適解及び次善解を抽出する。

本研究のポイントは ZDD で計算された膨大な経路選択枝集合の中から、バス事業者側の観点にもとづく複数の説明変数を組み込んだ評価関数を用いることで、最適解抽出のみならず代替候補の解を得て、事業者が路線計画を行う際に人為的な意思決定の余地を残すことができる点にある。以下では第 2 章では分析手法の概要を示し、第 3 章でパラメータ推定結果と実ルートとの乖離分析、及び利用者効用の考察を行い、第 4 章で本研究の知見と課題をまとめる。

2 分析手法

本研究では、被災地におけるバス NW 構築の予備的検討として対象エリアを埼玉県大宮地区のバス NW として行う。始めに対象エリア内の主要幹線道路(リンク)と交差点(ノード)を地図上に展開させ、ZDD でバス路線の起終点間の経路数算出を行う。図 1 は大宮地区のリンクとノードを示した図で、対象エリア内にある全 43 路線の起終点間の全経路数を列挙させ後述する評

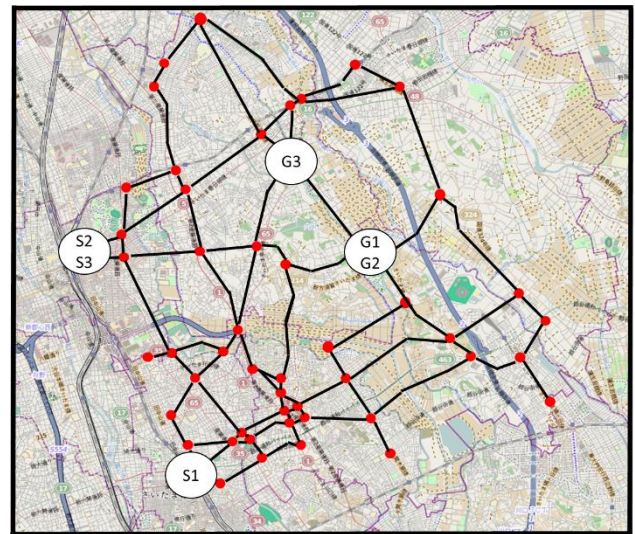


図 1 大宮地区内のリンク・ノード

価関数の選択枝集合として用いる。

次にバス事業者の意思決定を反映した評価関数の設定に移る。ここでは先の選択枝集合から実際のバスルートを再現する離散選択モデルを用いる。ここで選択枝集合の設定方法であるが、今回のような道路 NW では選択枝集合(全経路数)が数百万通りあり、評価関数のパラメータを推定する上で計算負荷がかかる。そこで選択枝集合の中から後述する潜在的利用者数の多い上位 50 通りと 75 通りを抽出して推定を行う。推定する評価関数を式 (1) に示す。

説明変数の潜在的利用者数は仮想バスルートを設定した場合に、交通機関選択モデルによってバスに乗車すると推計した人数である。人数の推計に使用するデータは、500m メッシュ間の OD 量を day-to-day で把握できるモバイル空間統計を用いる。運行費用の代理変数である営業距離は起終点間の距離を、渋滞距離は起終点間の渋滞距離を表し、JARTIC の渋滞統計システムをデータとして用いた。右左折回数は起終点間の右左折回数を表し、デジタル道路地図上で計算した。

$$V_{ij} = \theta_1 Q_{ij} + \theta_2 D_{ij} + \theta_3 C_{ij} + \theta_4 RL_{ij} \quad (1)$$

V_{ij} : 評価値, Q_{ij} : 潜在的利用者数 (人) D_{ij} : 営業距離 (km)

C_{ij} : 渋滞距離 (km) RL_{ij} : 右左折回数 (回)

3 分析結果

3-1 パラメータ推定結果と変動分析

パラメータ推定結果を表 1 に示す。各ケースとも説明変数の符号の整合性を確認できた。次にバスルート選択枝集合の中から 50 通りと 75 通り抽出する作業を複数繰り返してパラメータ推定を行い、説明変数のパラメータの変動と最頻値を分析した。その結果パラメータは一定の値域に収束しており、潜在的利用者数は 0.00025 前後、営業距離は-0.63 前後、渋滞距離は-0.3 前後、右左折回数は-0.56 前後に収束する結果となり、概ねパラメータの最頻値を確認できた。

3-2 実ルートとの乖離分析

表 1 の評価関数式を用いて、ZDD で列挙させた全候補ルートの中で事業者の最適評価値ルート、及び次善解やより評価が低いルートを複数抽出し、バスネットワークの再現性、及び乖離要因の分析をおこなう。図 1 で示した大宮地区内で実際に運行されている 3 路線を同時に推定し、バスネットワーク全体の再現性を俯瞰的に考察する。

3 路線の実ルートと評価関数によって抽出された最適解ルート (NW 評価値 1 位ルート) を図 2 に示す。始点 S1 (浦和駅東口) から終点 G1 (東営業所) を結ぶバスルート (赤実線) では、実ルート (赤実線) と NW 評価値 1 位ルートが始点から終点まで全て重複する結果となった。次に始点 S2 (大宮駅東口) から終点 G2 (東営業所) を結ぶバスルート (緑実線) と、始点 S3 (大宮駅東口) から終点 G3 (大谷県営住宅) を結ぶバスルート (青実線) では、NW 評価値 1 位のルートが、図 2 の赤丸で示された大宮開成高校付近で乖離が生じた。実ルート (緑実線・青実線) は大宮開成高校を経由しているが、評価関数式にこれに関わる説明変数を組み込んでいないため乖離が生じた。尚、実ルート (緑実線・青実線) と重複したのはどちらも評価値 3 位のルートであった。

3-3 事業者評価値と利用者評価値の関係

利用者的観点から全候補経路の中で利用者評価値の高い運行経路を抽出し、評価関数から算出された評価値との相関を考察する。利用者評価値は式 (2) のように各運行経路の潜在的利用者数 Q_{ij} と移動距離 D_{ij} を掛け合わせ、 Q_{ij} の総和で割って、一人当たりの効用とした。相関を図 3 に示す。事業者評価値が高くなるにつれて利用者評価値も高くなるが同じ事業者評価値でも

表 1 パラメータ推定結果

説明変数	選択枝集合 50		選択枝集合 75	
	パラメータ	t 値	パラメータ	t 値
潜在的利用者数 (人)	0.00027	1.06	0.00027	1.37
営業距離 (km)	-0.636	-9.19	-0.665	-9.61
渋滞距離 (km)	-0.032	-3.74	-0.033	-7.68
右左折回数 (回)	-0.563	-7.43	-0.590	-7.51
尤度比	0.284		0.279	
サンプル数	43		43	

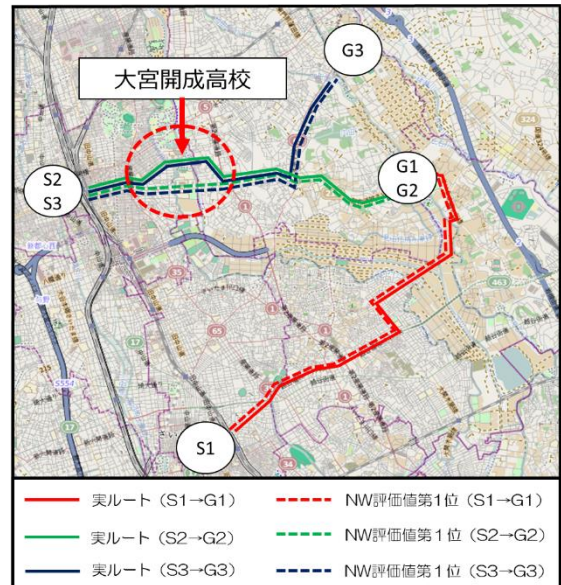


図 2 複数バスルート抽出の図 (大宮地区)

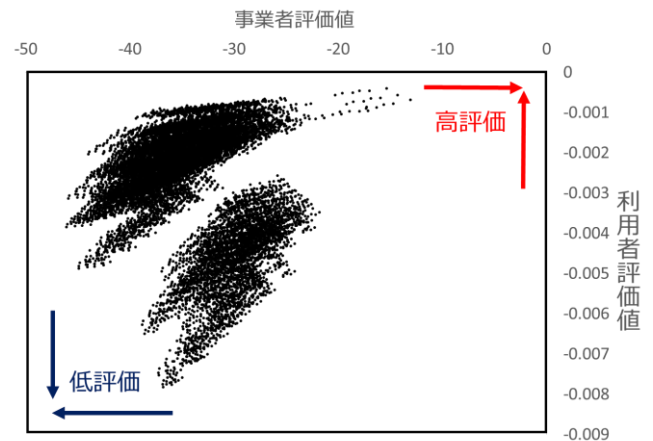


図 3 事業者評価値と利用者評価値の相関図

利用者評価値が低い運行経路も存在する。

$$U_{ij} = \sum_{ij} Q_{ij} D_{ij} / \sum_{ij} Q_{ij} \quad (2)$$

U_{ij} : 利用者評価値, Q_{ij} : 潜在的利用者数 (人)

D_{ij} : 利用者移動距離 (km)

4 おわりに

ZDD と離散選択モデルを組み合わせ、複数のバスルートとその評価順位を示す方法を開発した。モバイル空間統計を用いることで被災後の土地利用に応じて逐次バスルートを見直すことができる。

参考文献 1) 二川健吾, 岩倉成志: 三陸地域復興におけるモバイル空間統計の活用可能性, 第 69 回土木学会年次学術講演会概要集

2) 湊真一: 超高速グラフ列挙アルゴリズム森北出版 2015