

## 軌道系交通による持続可能な交通体系の構築に関する研究

## Construction of Sustainable City and Transportation by Rail Transit

北海道大学大学院工学院 ○学生員 宮川香奈恵(Kanae Miyakawa)  
 北海道大学大学院工学研究院 正員 岸 邦宏(Kunihiko Kishi)  
 (株) ドーコン 正員 山本 郁淳(Fumiaki Yamamoto)

## 1. 本研究の背景と目的

札幌はモータリゼーションの進展とともに人口増加と市街地の拡大を続けてきた。しかし、人口増加が進む世の中ではそれが成立していたものの、少子高齢化、人口減少が進む現代では、都心部から人が遠ざかっている。

これに対し、我が国では「コンパクト+ネットワーク」を新たな都市デザインのコンセプトとして打ち出している。これは現在分散している生活に必要なサービス供給の担い手を、一定のエリアに集約し、小さな拠点を構築、そして構築した拠点同士を高密度な公共交通網で結ぶことで、人口密度は低下しても都市の利便性を維持しようとするものである。札幌市もこの集約型都市構造の整備のため、札幌立地適正化計画の中で、都市機能を誘導すべき区域などを定めているが、高密度な公共交通網の構築という面で、軌道系交通機関を持たない清田区にまで整備が進んでいない。清田区への地下鉄延伸を行っても採算が望めないというのが大きな理由であるが、将来を見据えた交通体系を考えるためには、採算性の面だけではなく都市の利用者全体の観点から評価する必要がある。

本研究は、軌道系交通を採算性だけではなく、まちづくりの論点から評価することを目的とする。ケーススタディとして地下鉄東豊線の清田区延伸に着目し、その評価方法を構築する。つまり、地下鉄の延伸により地下鉄やバスといった公共交通を中心とする交通体系が変化していくのか、またそれが清田区の交通行動、さらには札幌の都市構造にどのような効果を生み出すのかを分析し、評価するものである。

## 2. 対象地域

本研究では、札幌市の清田区に着目する。清田区は札幌の10区の中で唯一軌道系交通機関を持たない区であるが、清田区役所周辺の清田地区と呼ばれる場所は、地域中心核に位置づけられており、2000年策定の第4次札幌市長期総合計画において、地域の特性に応じた交通基盤整備を進めるとともに、周辺地域から円滑に訪れることができる交通ネットワークの整備に努めることとされている。また、2010年の道央都市圏の都市交通マスタープランでは、公共交通について、骨格公共交通網を「既存公共交通を活用することを基本としつつ、必要に応じて新たな軌道やバスにより機能向上することで実現」していくこととされているが、進展は見られない。このような提言の中で、たびたび議論されているのが地下鉄東豊線の清田方面延伸である。これは、現在の東豊線終点である福住駅から札幌ドーム駅、東月寒駅、北野駅、

清田駅の4.2km、4駅の延長を行い、清田区の公共交通機能向上をはかろうとするものである。図-1に東豊線の延伸構想案を示す。しかし、利用予想人員が多くなく、採算性が望めないことから現在のところ事業化は難しいとされている。

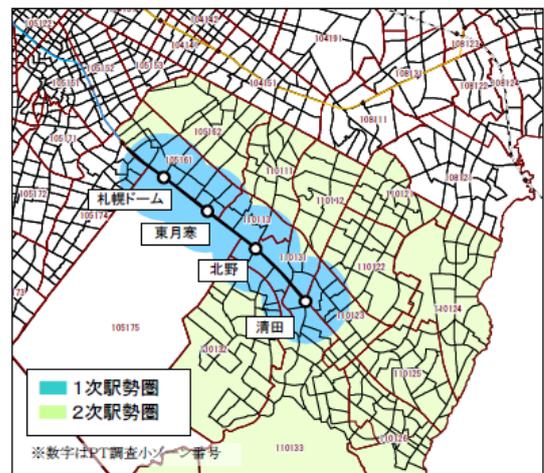


図-1 地下鉄東豊線の延伸構想案(出典:札幌市資料)

## 3. 本研究のフレームワーク

本研究のフレームワークを図-2に示す。まずは、地下鉄東豊線の延伸により、清田区内のバス路線網を再編し、それによって人々の交通行動がどのように変化するかを平日通勤交通行動と休日買い物交通行動に分けて変化を予測する。さらにそれによる環境負荷の低減を予測することにより、東豊線延伸事業を評価する。

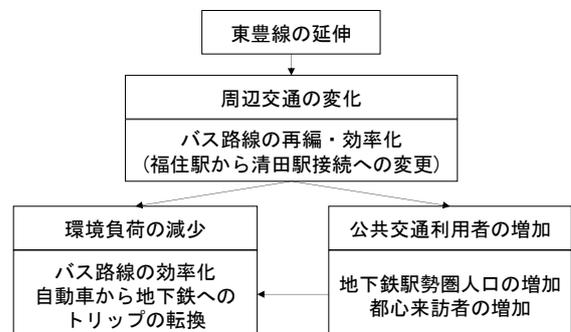


図-2 本研究のフレームワーク

平日通勤交通行動は、現在都心に通勤している人の中で、交通利便性が向上したときどのように交通手段選択が変化するか予測、休日買い物交通行動は、目的地を

都心と郊外型商業施設を想定し、同様に目的地と交通手段選択の変化を予測する。環境負荷に関しては、都心来訪者が増える、もしくは公共交通利用が増えるという点から交通手段ごとに分析することが可能である。例えば、バスや自動車利用から環境負荷の低い地下鉄利用に変化すれば、環境負荷の低減が予測できる。表-1 に旅客輸送における交通機関別の CO<sub>2</sub> 排出量を示す。

表-1 輸送量当たりの CO<sub>2</sub> 排出量(平成 26 年度)

交通機関	CO <sub>2</sub> 排出量g/人-km
鉄道	22
バス	53
自動車	133

(出典：国土交通省交通関係統計資料)

#### 4. 清田区の公共交通網再編と分析の前提条件

##### 4.1 バス路線の再編

現在清田区を走るバス路線は 50 路線あり、そのほとんどが東豊線福住駅、月寒中央駅、東西線南郷 18 丁目駅、大谷地駅、新さっぽろ駅のいずれかに接続されており、区内のいくつかのバス停からは都心直行バスも運行されている。図-3 に現在の清田区バス路線を示す。その中で福住駅に 15 路線ほどが接続しているが、このほとんどが 36 号線を通している。これらの路線を清田駅、北野駅に接続させることで、路線を効率化することが可能であるといえる。このように東豊線延伸後、36 号線を走る福住駅を起終点とするバス路線を路線上に新設される地下鉄駅に接続させる。図-4 に本研究における東豊線延伸後の再編バス路線を示す。

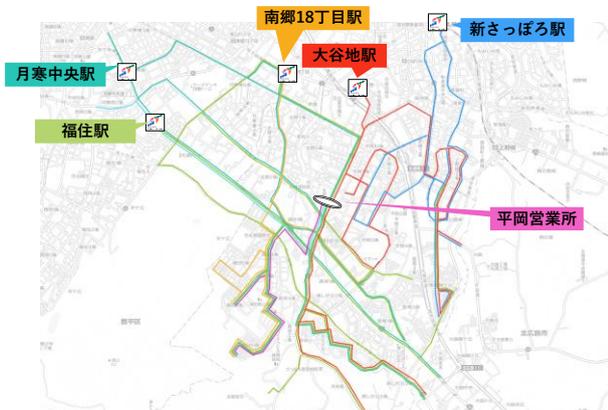


図-3 清田区バス路線図(現状)

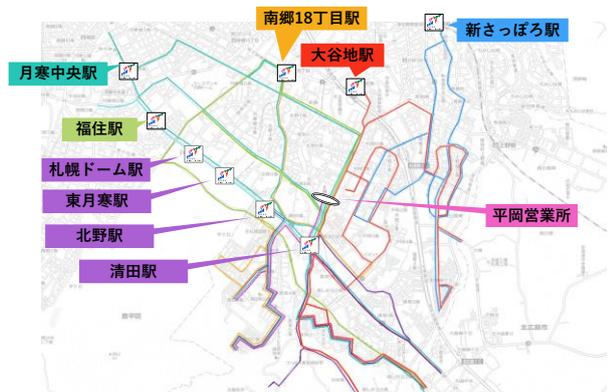


図-4 清田区バス路線図(延伸後)

#### 4.2 使用データ

本研究では、現在と将来の公共交通の利便性を評価するために、交通行動の変化を予測する。そのために、清田区内から都心に向かう際の交通のサービスレベルを取りまとめる必要がある。具体的な交通のサービスレベルの要因を以下に示す。

- 1) 運賃(バス、地下鉄)
- 2) 駅アクセス時間
- 3) 運行頻度(バス、地下鉄)
- 4) 乗車時間(バス、地下鉄、自動車)
- 5) 乗換時間

運行頻度は平日通勤交通に関しては、平日ラッシュ時(7~9 時台)、休日買い物交通に関しては、休日非ラッシュ時(10~16 時)の運行本数から運行頻度を割り出し、そこから平均待ち時間を算出することで時間として取り扱う。乗換時間に関しては、Yahoo 乗換案内を参考に、清田区から都心に向かうバス路線の接続駅ごとに乗換時間を算出した。これらの項目を清田区に存在する 144 のバス停ごとに行い、c ゾーン毎に振り分ける(表-2)。

表-2 バス停毎の地下鉄利用時交通サービスレベル例

	北野中学校前	北野7条5丁目	北野7条4丁目	北野6条5丁目	北野団地	北野3条5丁目	平岡5条1丁目	平岡営業所
駅アクセス時間	13	7.4	7	8.4	8	16	9	19.3
乗換駅	月寒	大谷地	南郷	大谷地	南郷	月寒	大谷地	福住
乗換時間(分)	3	3	3	3	3	3	3	6
乗車時間	10	16	16	16	16	10	16	12
平均待ち時間(地下鉄)	2.6	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6	2.5	2.6
平均待ち時間(バス)	18.0	1.9	30.0	1.9	30.0	18.0	6.9	3.9
合計所要時間	46.6	30.8	58.5	31.8	59.5	49.6	37.4	43.8

また、延伸後の交通サービスレベルに関しては、以下を想定する。

- 1) 福住駅より先、新駅は地下鉄運賃区分が変わる。  
乗継料金  
バス→福住駅→大通駅：360 円  
バス→新駅→大通駅：400 円
- 2) 新駅は乗換のしにくい福住駅の欠点を解消するため、乗換しやすい駅として建設することとする。  
乗換時間  
福住駅：6 分、 新駅：3 分

以上の条件を適用し、同様にバス停ごとに交通サービスレベルをとりまとめる。

#### 5. 平日通勤交通量予測

##### 5.1 清田区内の現状通勤交通行動

平成 18 年度に行われた第 4 回道央都市圏パーソナルトリップ調査(以下 PT 調査)より、清田区の平日通勤交通行動の交通手段割合を示したのが図-5 である。総トリップ数は 5575 トリップであり、7 割弱の人が地下鉄を利用して通勤している。清田区の通常トリップでは 6 割以上が自動車を利用したトリップであるため、通勤で都心に向かう際のトリップは公共交通利用率が高いことがうかがえる。

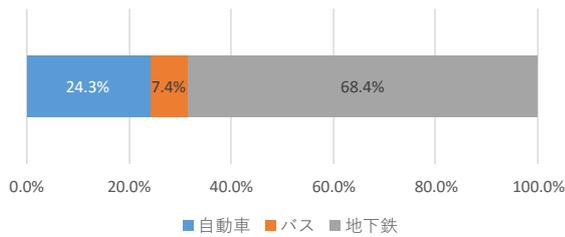


図-5 平日通勤交通手段割合

### 5.2 平日通勤交通モデル

通勤交通行動に関しては、交通の利便性が向上したことによる目的地の変化はないとし、多項ロジットモデルを用いて都心に向かう際の自動車、バス、地下鉄の通勤目的交通分担を推計する。本研究では、第4回PT調査において構築された平日通勤の際の手段別交通機関分担モデルを用いる<sup>1)</sup>。階層図は図-6に、効用関数は以下のように表される。

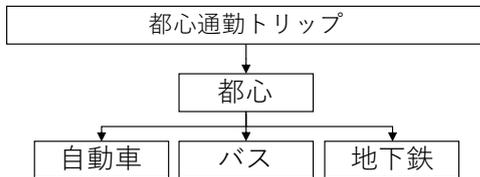


図-6 平日通勤交通手段選択モデル階層図

$$V_{car} = -0.060time_{car} + 2.467license - 4.566$$

$$V_{bus} = -0.060time_{bus} + 1.910citycenter - 3.537$$

$$V_{rail} = -0.060time_{rail} + 1.552citycenter - 0.032access$$

ここで、time：所要時間  
 license：運転免許保有ダミー 有(1)無(0)  
 citycenter：発着都心ダミー変数 都心(1)以外(2)  
 access：駅アクセス時間

また、最尤法によるパラメータ推定は表-3の通りである。

表-3 平日通勤交通モデルパラメータ推定結果

パラメータ推定値	t値
所要時間	-0.06 -39.28 ***
運転免許有無	2.467 42.41 ***
発着都心部ダミー(バス)	1.91 27.24 ***
発着都心部ダミー(地下鉄)	1.552 30.87 ***
駅アクセス時間	-0.032 -19.33 ***
定数項(自動車)	-4.566 -50.96 ***
定数項(バス)	-3.537 -47.89 ***

サンプル数 28649  
 尤度比 0.47  
 - Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

このモデルに4.2で整理した現状データ、延伸後データを適用した結果が図-7であり、これにより現状に比べて4.4%地下鉄の選択率が上昇することがわかった。

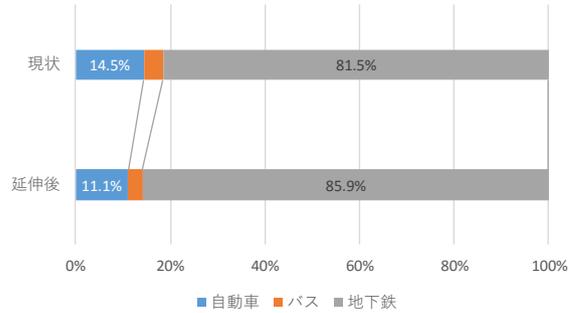


図-7 平日通勤交通モデル現状と延伸後予測

### 6. 休日買い物交通行動予測

#### 6.1 清田区内の現状買い物交通行動

買い物交通に関しては、都心部と清田区内での買い物交通を想定するが、清田区内では日用品の買い物と区別するため、清田区内の大型商業施設である西友とイオンモール札幌平岡に向かうトリップに絞ることとする。平日通勤交通行動と同様に、PT調査から休日の買い物交通行動に関する現状の交通行動を表したのが図-8である。総トリップ数は5260トリップであり、8割の人が郊外型大型商業施設に向かうため、都心に買い物に向かう人は2割程度しかいないということがわかる。

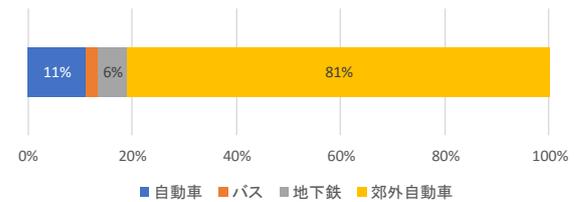


図-8 休日買い物交通手段割合

#### 6.2 休日買い物交通モデル

2014年12月13~16日に札幌市清田区美しが丘・里塚地域、西区宮の沢・発寒地域、北区麻生町の3地域における意識調査からモデルを構築した<sup>2)</sup>。この意識調査は、投函配布、郵送回収により交通サービスレベルの変化による買い物目的の都心来訪意識について尋ねたものである。都心までのバスや地下鉄の運賃などを要因とし、各条件において都心に行くか、郊外に行くか、都心へ行く場合は自動車、バス、地下鉄の3つの中から選択するとした。その概要を表-4に、調査票配布地域を図-9に表す。

表-4 意識調査の概要

調査日	平成26年12月13日、15日、16日		
調査方法	投函配布・郵送回収		
配布場所	美しが丘・里塚	宮の沢・発寒	麻生
配布部数/配布票数	700世帯/1400票	700世帯/1400票	700世帯/1400票
回収世帯数(回収率)	454世帯(21.6%)		
回収票数(回収率)	664票(15.8%)		

この意識調査の結果を用いて、改めて買い物目的都心選択モデルを構築した。非集計行動モデルでIIA特性を考慮し、Nested Logit Modelを適用した。図-10はモデルの階層図である。

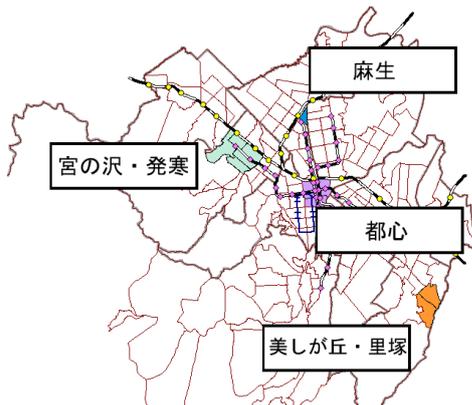


図-9 調査票配布地域

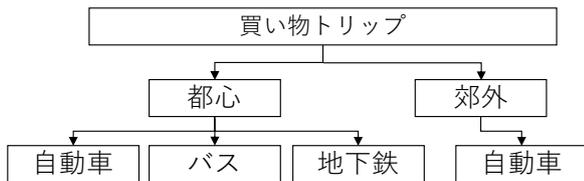


図-10 買い物交通モデル階層図

効用関数は以下のように表される。

$$V_{Cbus} = -0.723fare/100 - 0.844sex - 3.268$$

$$V_{Ccar} = -0.339time + 1.849carhold - 5.661$$

$$V_{Csub} = -0.723fare/100 - 0.339time - 0.333transfer$$

$$V_{Scar} = 1.849carhold - 5.149$$

ここで、fare：運賃 time：所要時間

Sex：性別ダミー 男(1)女(0)

carhold：自動車所有ダミー 有(1)無(0)

transfer：乗換時間

最尤法によるパラメータの推定結果は表-5 の通りである。

表-5 休日買い物交通モデルパラメータ推定結果

パラメータ	推定値	t値
運賃	-0.723	-6.79 ***
所要時間	-0.339	-4.52 ***
性別ダミー	-0.844	-3.8 ***
車所有ダミー	1.849	6.77 ***
乗換時間	-0.333	-4.14 ***
定数項(バス)	-3.268	-9.55 ***
定数項(自動車)	-5.661	-10.7 ***
定数項(郊外)	-5.149	-9.81 ***
ログサムパラメータ	0.802	6.88 ***
サンプル数	965	
尤度比	0.12	

- Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

このモデルに現状データ、延伸後データを適用した結果が図-11 である。現状に比べてわずかではあるが郊外商業施設ではなく、都心選択率が高くなった。また都心選択の中でも自動車の割合が減少し、より地下鉄を選択する傾向がみられる。

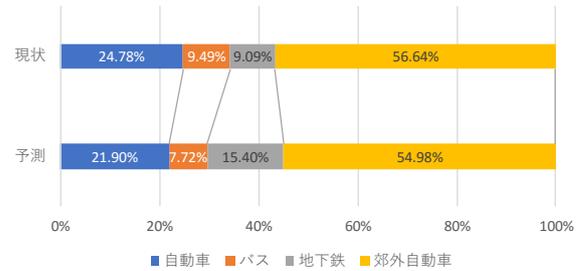


図-11 買い物交通モデル現状と延伸後予測

## 7. 環境負荷の低減

### 7.1 バス路線再編による効果

バス路線の再編によっておこる環境負荷の低減を求めると、バス路線の再編により変化が起きるのは、福 85~福 88、福 96、福 97、福 113、千歳線の 8 路線である。このうち 2 路線は北野駅、それ以外の 6 路線は清田駅に接続させることで、それぞれ 3km、4.2km の営業路線を減らすことが可能である。札幌市内を走るバスの 1 日平均乗車人員は 289,298 人、平日 1 日のバス便数は 13,251 便であるので、1 便あたりの乗車人員を 21.8 人とすると、該当路線の平日 1 日の便数は合計 254 便である。バスの CO<sub>2</sub> 排出量 53g/人-km であるので、バス路線の効率化により平日 1 日で約 9,170kg の CO<sub>2</sub> の排出が削減できる。

また、該当路線が合計 31.2km であるので、実車走行キロ当たりの原価 369.30 円/km より、約 2.9 百万円の営業経費を削減することが可能である。

### 7.2 交通手段選択変化による効果

5.2 の平日通勤交通モデルより、自動車、バス利用が減少し、地下鉄利用が 243 トリップ増加することで、平日 1 日の通勤行動で約 268kg の CO<sub>2</sub> 排出量を削減することが可能である。また、6.2 の買い物交通モデルにより、郊外トリップが減少、都心トリップ、地下鉄利用トリップが増加することで、休日 1 日で約 188kg の CO<sub>2</sub> 排出量を削減することが可能であると算出することができた。

## 8. おわりに

地下鉄東豊線の清田延伸は、現状では採算性を理由に事業化が困難であるとされる。しかし、清田区公共交通の利便性を向上することも重要な課題である。本研究では、地下鉄が延伸されることにより、バス路線が再編、効率化され、路線バスの維持につながる可能性を示した。また、市民の交通行動が変わることによる都市来訪者の増加の可能性、環境負荷の低減も明らかにした。このように、採算性のみで議論するのではなく、まちづくりの観点からも考える必要がある。

## 参考文献

- 1) 道央都市圏総合都市交通体系調査協議会：第 4 回道央都市圏パーソントリップ調査報告書, 2008
- 2) 宮川香奈恵, 岸邦宏：「札幌市の活性化に向けた交通ネットワークと都市構造に関する研究」, 土木計画学研究・講演集, Vol.52, CD-ROM, 2014