

# 現状の交通行動調査にもとづく JAIST—金沢間バスの需要推計

## Forecasting Travel Demand of JAIST-Kanazawa Bus Based on a Travel Behavior Survey

戴 海敏, 藤村 大樹, 藤原 正幸, 日高 昇平, 佐々木 康朗  
DAI Halmin, FUJIMURA Hiroki, FUJIWARA Masayuki, HIDAKA Shohei, SASAKI Yasuo  
{s1550038, s1550041, m-fujiw, shhidaka, sasaki}@jaist.ac.jp

北陸先端科学技術大学院大学  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

【要約】本研究では、北陸先端科学技術大学院大学 (JAIST) —金沢間で様々な条件でバスが導入された場合の需要推計を行う。JAIST 関係者を対象として交通行動調査を実施し、その結果をもとに需要推計モデルを構築して、需要予測シミュレーションを行う。また、需要推計にあたり、標準的な需要推計手法に比べて簡便な手法を開発する。

【キーワード】需要推計, 交通行動調査, 地域交通

### 1. はじめに

現在、北陸先端科学技術大学院大学 (JAIST) は、鶴来および小松方面へのシャトルバスを運行している。しかし、金沢方面へのシャトルバスは運行しておらず、JAIST から金沢への公共交通による移動は、鶴来を經由して複数回の乗り換えを要し、自動車で移動する場合の倍に近い時間がかかる。なお、JAIST と金沢を結ぶバスが民間のバス事業者により運行されているが、一日に一便しかないうえに途中で多くのバス停に停車するため、利便性が高いとは言えない。(これらの交通サービスの現況に関する情報は、本稿執筆時点 (2016 年 2 月) のものである。なお、以前は鶴来方面のシャトルバスさえもない状況であったが、シャトルバスが導入された経緯については國藤 (2006) を参照。)

2015 年 3 月開業の北陸新幹線も加わり、金沢へのアクセスの重要性は増しており、新たに JAIST と金沢を結ぶ路線の検討が求められている。しかし、著者らの調べでは、これまでに JAIST-金沢間の交通需要推計は行われていない。これを踏まえて、本研究では、JAIST—金沢間で様々な条件でバスが導入された場合の需要推計を行う。これにより、大学あるいはバス事業者にとって、バスの設置判断 (または運行条件の改変) に必要となる情報を提供することを目的とする。JAIST 関係者を対象として交通行動調査を実施し、その結果をもとに需要推計モデルを構築して、いくつかの条件でバスを導入した場合の需要をシミュレーションする。また、需要を推計するにあたり、標準的な需要推計手法に比べて簡便な手法を開発する。この考え方は、本研究の事例と同様に未知の需要の推計という問題を抱えつつも、大規模な調査・分析を行うスキルや費用を持たないような地域や組織にも応用が可能である。

本稿の構成は以下の通りである。2 節では本研究における需要推計の概要を述べる。3 節では、需要推計のために行った JAIST 関係者を対象とした交通行動調査について、その内容と結果を示す。4 節では、モデルの定式化とパラメータ推定結果について述べる。5 節でシミュレーション分析結果を示し、6 節で結論を述べる。なお、本稿の分析内容についての責任は著者らが負うものであり、北陸先端科学技術大学院大学及びそのいかなる関係組織等も責任を持つものではない。

### 2. 需要推計の概要

#### 2.1 本研究におけるモデル構築の特色

本研究では、一般的な交通需要予測 (たとえば土木学会編, 1996) と同様、交通行動調査をもとにした非集計行動モデルを構築し、JAIST—金沢間バスを様々な条件で導入した場合の需要推計を行う。

ただし、通常の需要推計では、交通ネットワークを構築し、任意の二地点を起点及び終点として交通量の推計を行うのに対して、本研究では、JAIST を起点とするトリップにのみ着目し、モデル構築を行

う。これは、JAIST—金沢間バスは、基本的には JAIST 関係者向けの交通サービスであり、JAIST を起点とする移動の目的地選択や交通手段選択には影響を与えないが、それ以外の地域を起点とする移動の発生交通量及び目的地選択には影響を与えない（例えば、金沢から野々市へ移動している人が、バス導入を理由に行き先を JAIST に変更することはない）という仮定に基づいている。もしこの仮定が現実と著しく乖離するならば、通常需要推計のように、他の任意の地点から JAIST を目的地とする交通需要の増加分を推計し、さらにそれらが JAIST から他の場所へ移動するトリップも、JAIST を起点とする交通量として考慮しなければならない。本研究では、このような JAIST における発生交通量の増分は無いと仮定して、現状、JAIST で発生している交通量のみに着目し、バス導入による目的地選択及び交通手段選択への影響を分析する。もちろん、厳密にはこの仮定が成立するとは言えないが、上記の通り、導入を想定する交通サービスが、基本的には JAIST 関係者向けのものであると考えるのは、近似的な仮定としては妥当であろう。これにより、交通行動調査およびモデル構築・分析の作業負担を大幅に軽減することができる。このように、他地点からの目的地選択における代替性が相当に小さい場所において、そこを起点とする交通需要の推計を行うための簡便な手法を開発したのが、本研究の新規性の一つである。

## 2.2 モデルの概要

本研究で構築するモデルの概要は、以下の通りである。まず、目的地の分類は、「金沢駅（周辺含む）」「香林坊（片町、金沢城周辺含む）」「その他金沢（市内）」「野々市・松任」「鶴来」「小松・能美」「その他県内」「県外・海外」の 8 つである（図 1）。「野々市・松任」「鶴来」「小松・能美」については、目的地選択における金沢との代替性が比較的高いと思われるエリアとして特に設定した。移動目的については、「通勤・通学・帰宅」「業務・出張」「私事・その他」の 3 つを考慮し、それぞれについてモデル構築（パラメータ推定）を行う。

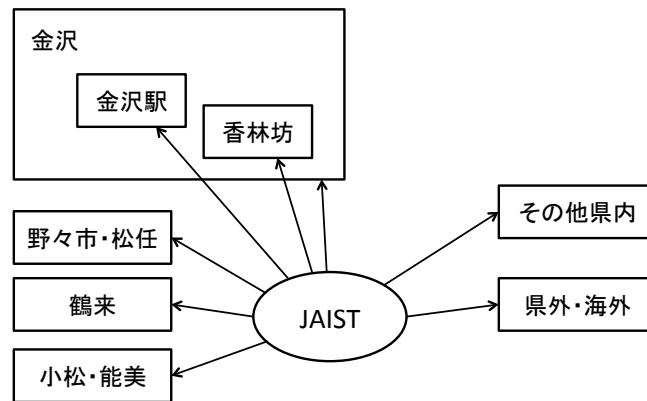


図 1：目的地の分類

石川県内での移動に着目し、各目的について、「その他県内」を除く 6 つの目的地に関して、目的地選択及び交通手段選択の二段階ネステッドロジット（NL）モデルを構築する（図 2）。（NL モデルについては、たとえば城所・金本（2006）を参照。）交通手段は、「自動車」「電車・シャトルバス」「バス」の 3 つを考慮する。このうち、「電車・シャトルバス」は、電車または JAIST シャトルバス（またはその両方）を用いた移動である。「バス」は、（電車もシャトルバスも利用しておらず）バス事業者運行のバス（北陸鉄道株式会社運行のバスまたは能美市運営「のみバス」）を利用した移動である。

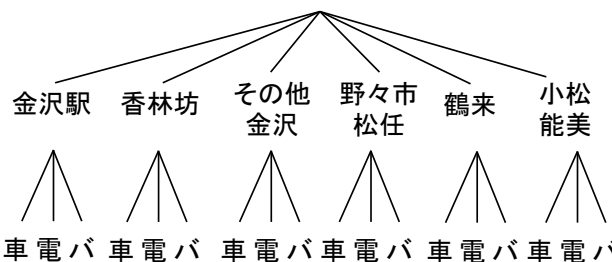


図 2：モデル構造（車：自動車，電：電車・シャトルバス，バ：バス）

### 3. 交通行動調査

#### 3.1 調査の実施概要

モデル構築に必要な交通行動のデータを収集するため、JAIST 関係者を対象とした交通行動調査を実施した。調査の母集団は、JAIST の教職員及び学生（ただし東京サテライトキャンパスの学生を除く）全員である。実施概要は、以下の通りである。

調査期間：

2016 年 1 月 21 日～26 日

調査方法：

- ・ウェブアンケート（学内メーリングリストにより、調査対象者へ URL を送信し、回答を依頼）
- ・JAIST 関係者には多数の外国人が含まれるため、日本語、英語、中国語の 3 言語で実施

調査項目としては、まず回答者の属性として年齢、性別、国籍、JAIST における身分を尋ね、さらに交通行動に影響を与えそうな属性として、JAIST の駐車場契約の有無、（JAIST 所在地である）能美市旭台在住か否かを尋ねた。

次に、交通行動について、各目的について、各目的地への移動頻度および移動の際の交通手段を尋ねた。移動頻度は「月に 5 回」等の形で回答してもらい、交通手段はその内訳として、「8 割は車、2 割は電車」等の形で回答を得た。通常の交通行動調査（パーソントリップ調査等）では、調査対象日を設定して、その日の実際の移動パターンについて回答してもらうのが一般的である。しかし、今回は母集団が比較的小さいうえに回答率も低いことが事前に予想され、そのような形式だとトリップの標本が十分に収集できないことが想定されたため、本調査では、特定の日の具体的なトリップについて尋ねるのではなく、上記のように移動の頻度を尋ねる形式を採用した。

#### 3.2 調査結果

77 人の有効回答が得られた。回答者の内訳は以下の通りである。

年齢：「20 代」40 人、「30 代」25 人、「40 代」6 人、「50 代」6 人

性別：「男性」51 人、「女性」26 人

国籍：「日本人」45 人、「日本人以外」32 人

身分：「教職員」30 人、「学生」47 人

駐車場契約：「有り」35 人、「無し」42 人

旭台在住：「該当」46 人、「非該当」31 人

#### 3.3 標本の拡大と現況交通量の推計

実際に JAIST を起点とする交通量を推計するため、公表されている実際の構成人数に基づいて、得られた標本データを拡大する。標本の拡大には、「身分」（教職員か学生か）と「居住特性」（旭台在住か否か）の属性を用いることとし、これらの組合せで標本を 4 つのセグメントに分けて、各セグメントで拡大係数を設定する。これは、各セグメントの標本数と実際の総数との比率であり、表 1 に示す通りである。なお、「実際の総数」の出所について、教職員数及び学生数はともに大学の公式データであり、それぞれ 2015 年 5 月、2016 年 1 月時点の数である。旭台在住か否かは、教職員については職員宿舍入居者数、学生については学生寄宿舍入居者数をもとに判断し、いずれも 2016 年 2 月時点の数である。

表 1：拡大係数

セグメント	標本数 (A)	実際の総数 (B)	拡大係数 (B÷A)
教職員・旭台在住	10	111	11.1
教職員・旭台非在住	20	212	10.6
学生・旭台在住	36	589	16.4
学生・旭台非在住	11	132	12.0

この拡大係数を用いて、各標本の移動頻度を拡大し、月ベースでの現況交通量を算出した。その結果、

JAIST を起点とするトリップの総数は、25,110 であり、目的地別の内訳は図 4 のようになった。(目的地別に四捨五入しているため、各目的地のトリップ数の和と合計は一致しない。)

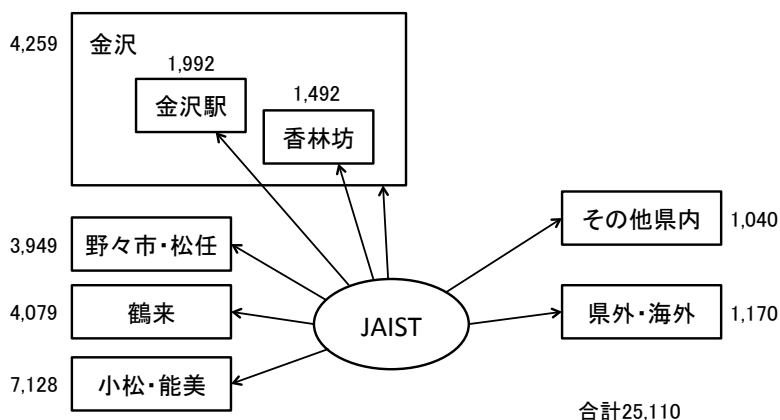


図 4 : JAIST を起点とする交通量 (月あたり)

## 4. モデル構築

### 4.1 モデルの定式化

2.2 項で述べた通り、各目的地について、旅行者はまず目的地を選択し、次に交通手段を選択するという二段階の NL モデルを採用した。上位レベルの目的地選択には、下位レベルの交通手段選択の合成効用(交通手段選択における効用の期待値)が反映され、目的地選択におけるこの合成効用の係数を  $\lambda$  (0 から 1 の実数、ログサムパラメータと呼ばれる) で表す。各段階の選択確率は、各選択肢の効用の多項ロジスティック関数に従うが、理論的にはランダム効用理論に基づいている。

効用の要因としては、大きく以下の 3 つを考える。一つ目は、「目的地の選好」であり、目的地選択において、目的地毎に設定される定数項である。これは、各目的地についてダミー変数を導入した場合の、各ダミー変数の係数と考えてもよい。ここでは、「金沢駅」の定数項を 0 とし、他の五つの目的地について定数項を設定した(つまり、「金沢駅」に対する相対的な選好を表現している)。二つ目は「手段の選好」であり、交通手段選択において、手段毎に定数項として設定した。自動車の定数項を 0 とし、他の二つの手段の定数項を設定した。三つ目は、「手段の利便性」であり、具体的には移動の所要時間(単位: 時間)及び費用(単位: 円)を説明変数として交通手段選択に導入する。パラメータ推定では、これら説明変数の係数及び以上の各定数項を、上述の交通行動データに基づき推定する。

ここで、各目的地・交通手段についての所要時間及び費用は、代表的と考えられる経路を適当に設定し、その所要時間及び費用を用いた。目的地によっては、利用不可な手段もあるが、その場合には、非常に大きな値(最大所要時間を 10 時間、最大費用を 3,000 円)を設定した。

### 4.2 パラメータ推定

パラメータ推定は、最尤推定法により行った。3.3 項で述べた 4 つのセグメントに関して、セグメント毎にパラメータを推定した方が適切かどうかを判断するため、「目的地の選好」「手段の選好」「手段の利便性」の各要因に関して、パラメータ及び定数項が、「全員共通」「身分毎に異なる」「居住特性毎に異なる」「身分及び居住特性毎に異なる」の 4 つの場合を考慮したモデルを構築し、比較検討した。すなわち、各目的地について、4 の 3 乗 = 64 通りのモデルを検討した。モデルの解釈可能性を考慮して、所要時間及び費用のパラメータは非正值に制約して推定を行った。

各目的地についてのモデルの比較検討の結果の要約を表 2 に示す。目的ごとに、64 通りのモデルのうち、AIC が最も小さいモデルを採用した。ただし、モデル選択では、標本の独立性を保持するため、拡大前のトリップ数と同等になるように尤度および AIC を縮小した。表 2 では、採用したモデルについて記載している。各目的地について推定されたパラメータ及び定数項の値を表 3~5 に示す。これらの推定結果から、JAIST 関係者の交通行動に関して、以下のようなことが考察される。まず、「手段の選好」に関して、すべての目的地の手段選択において、バスの選好が最も小さいが、これは所要時間及び費用以外に旅行者の効用を小さくする要因の存在を示唆している。現状の JAIST 発金沢行きのバスを考えると、具体的には、運行本数が少ないこと(1 日 1 往復)、そもそも認知度が低いことなどが主な要因として想

定される。また、「通勤・通学・帰宅」目的の学生、また「私事・その他」目的で旭台在住の学生は、電車の定数項が正值であることから、自動車よりも電車に対する選好が大きい。自動車の保有率等が影響していると思われる。一方、この例外を除けば、自動車、電車、バスの順に手段選好が高い。JAIST 周辺の交通手段として主たるものは自動車であり、また既存のバス路線の利便性は低いことから、この結果は妥当であろう。また、「手段の利便性」に関しては、所要時間にかかわるコスト係数が、いずれの場合も 0 またはそれに近い値と推定され、費用の方が手段選択の主な要因となっていることも示された。また、「私事・その他」目的について、教職員のほうが学生よりも時間コストに敏感であるのは、既存研究の知見とも一貫性がある。以上の点から、現状の JAIST 関係者の移動を反映したモデルを構築できたと判断する。

表 2：モデルの比較検討の結果（分析に採用するモデル）

目的	尤度, 自由度, AIC	目的地の選好	手段の選好	手段の利便性	$\lambda$
通勤・通学・帰宅	-1,160.66, 27, 2375.32	身分・居住	身分	共通	1
業務・出張	-227.84, 14, 483.67	共通	身分	住居	0
私事・その他	-1915.53, 23, 3877.06	居住	身分・居住	身分	0.965

表 3：「通勤・通学・帰宅」目的のパラメータ推定結果

	目的地の選好				手段の選好			手段の利便性	
	学生・旭台外	教職・旭台外	学生・旭台	教職・旭台		学生	教職員		共通
片町・香林坊	0.749	-0.036	-3.265	7.265	電車	0.237	-1.484	所要時間	$>-10^{-3}$
その他金沢	2.739	5.507	-0.813	7.37	バス	-4.608	-3.055	費用	-0.481
野々市・松任	0.57	3.799	-1.211	7.72					
鶴来	0.072	1.437	-3.564	3.22					
小松・能美	3.241	3.33	0.896	6.744					

表 4：「業務・出張」目的のパラメータ推定結果

	目的地の選好		手段の選好			手段の利便性		
	共通			学生	教職員		旭台外	旭台
片町・香林坊	-0.502		電車	1.18	-0.821	所要時間	$>-10^{-3}$	$>-10^{-3}$
その他金沢	-1.204		バス	-4.718	-6.207	費用	-0.069	-0.785
野々市・松任	-3.372							
鶴来	-0.82							
小松・能美	0.689							

表 5：「私事・その他」目的のパラメータ推定結果

	目的地の選好		手段の選好				手段の利便性			
	旭台外	旭台		学生・旭台外	教職・旭台外	学生・旭台	教職・旭台		学生	教職員
片町・香林坊	-0.627	-0.235	電車	-0.479	-0.899	0.553	-3.162	所要時間	$>-10^{-3}$	-0.08
その他金沢	0.796	-0.683	バス	-1.887	-8.561	-7.654	-10.313	費用	-0.357	-0.174
野々市・松任	1.073	0.651								
鶴来	-0.656	-0.65								
小松・能美	0.983	0.867								

## 5. シミュレーション

4 節で構築したモデルを基に、JAIST-金沢間バスの新規条件での導入を想定し、現状のバス路線について、(1) 利便性（移動時間及び費用）が向上した場合、および(2) バスの選好が向上した場合の

シミュレーションを行った。

まず前者の(1) 利便性(移動時間及び費用)が向上した場合であるが、現状のバス路線は JAIST から金沢駅まで約1時間で、760円かかる。これに対し、新たなバス路線として、いずれも500円で、「40分で金沢駅へ直行」、「50分で香林坊経由して金沢駅(香林坊までは40分)」、「60分で野々市と香林坊を経由して金沢駅(野々市までは30分、香林坊までは50分)」という、3つのシナリオを考える。ここで考慮する3つの目的地・経由地への最短移動時間(金沢駅40分、香林坊40分、野々市30分)で移動する場合に、それぞれを目的地とする移動がどの程度増加するか、モデルベースの試算を行った。その結果、「金沢駅(周辺含む)」「香林坊(片町、金沢城周辺含む)」「野々市・松任」のそれぞれについて、「通勤・通学・帰宅」目的で10.6%、14.8%、6.3%の増加、「業務・出張」目的で16.5%、8.7%、1.6%の増加、「私事・その他」目的で14.8%、14.8%、6.25%の増加という結果となった。既存のバス利用のトリップ数が極めて小さいことを考慮すると、いずれも数としては微々たる増加である。

そこで、(2) バスの選好が向上した場合を考える。4.2項で述べた通り、「手段の選好」に関して、全ての目的でバスの選好が最も小さい。これには、上述のように、現状のバスの運行便数の少なさや認知度の低さが反映されていると考えられる。したがって、逆に言えば、(1)のシミュレーションのように時間や金銭的成本を改善した場合や、また運行頻度を増加させた場合に、利便性向上に伴う認知度の向上も伴って、そもそもバスの選好も変化すると考えられる。実際、今回の交通行動調査においては、シャトルバスを含むいくつかのバス路線の優先度(回答者が有用と考える度合い)に関する問いを設けたが、JAIST-金沢間の移動に関して、現状でバスを電車より選好する回答者は9.1%にとどまったが、仮に上記の条件でバスが存在する場合、49.4%の回答者がこのバスを電車より優先するとの結果が得られている。

したがって、新たな条件でのバスの選好は、現状のバスの選好の推定値からさらに増加すると見込まれる。最大で現状の電車の選好の推定値程度に改善するものとして、どのように手段選択確率が変わるか感度分析を行った。利便性に関する条件は、(1)と同じで、所要時間は金沢駅40分、香林坊40分、野々市30分、費用は500円とした。図5は最もトリップ数が多い「私事・その他」目的の結果を例として示したものである。図の「バス選好と電車選好の類似度」は、現状のバス選好を0、電車と同等の選好を1とした値である。図5には、この間で線形に選好(定数項)を変化させた場合の手段選択確率が示されている。

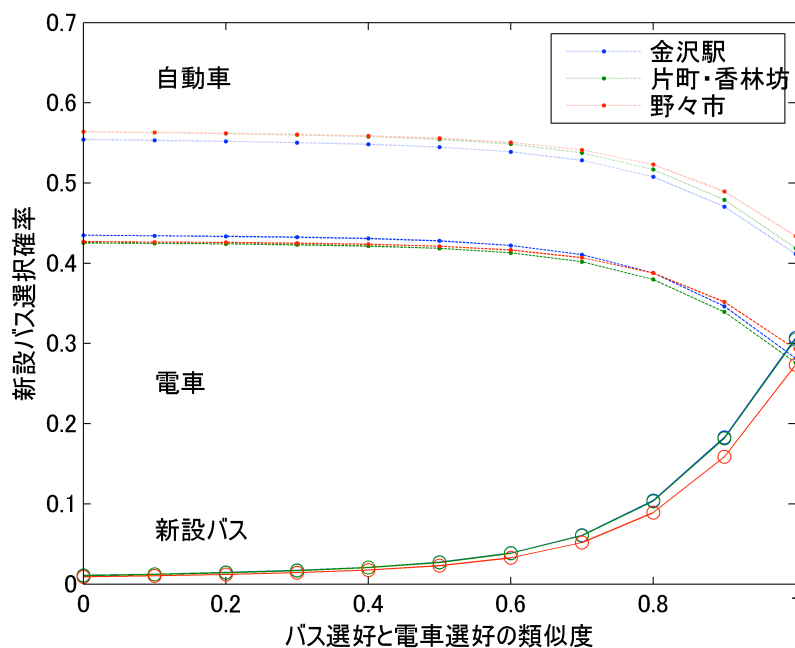


図5: 「私事・その他」目的のバス選好に応じた各手段選択確率の変化

バスの選好が電車と同程度になった場合、目的地によっては電車と同等かそれ以上の選択確率があることがわかる。この場合、「通勤・通学・帰宅」目的については、「金沢駅(周辺含む)」「香林坊(片

町, 金沢城周辺含む)」「野々市・松任」のそれぞれについて, 現状バスの 44.0 倍 (推定トリップ数/月: 2.0→90.3), 4.28 倍 (同: 1.9→10.1), 2.41 倍 (同: 18.3→62.4) の増加が見込まれる. 同様に, 「業務・出張」の場合は, 121.6 倍 (同: 0.6→70.8), 74.8 倍 (同: 0.4→28.3), 48.1 倍 (同: 0.0→1.1) の増加が見込まれる. 「私事・その他」では, 28.6 倍 (同: 12.0→356.6), 56.0 倍 (同: 4.9→278.0), 23.8 倍 (同: 28.5→705.3) の増加が見込まれる. (いずれも, トリップ数は小数点以下第二位以下を四捨五入している.) 3つの目的を合計すると, 「金沢駅 (周辺含む)」「香林坊 (片町, 金沢城周辺含む)」「野々市・松任」を目的地とするバス利用の移動はそれぞれ 14.6, 7.2, 46.75 回/月の現状から, 517.7, 316.4, 768.8 回/月に増加するという試算結果となった. (表 6)

表 6: 新設バスの選好が現状の電車と同程度の場合のトリップ数 (月あたり) の変化 (通勤: 「通勤・通学・帰宅」, 業務: 「業務・出張」, 私事: 「私事・その他」)

	トリップ数 (現状推定値)			トリップ数 (選好改善時)		
	通勤	業務	私事	通勤	業務	私事
金沢駅	2.0	0.6	12.0	90.3	70.8	356.6
香林坊	1.9	0.4	4.9	10.1	28.3	278.0
野々市・松任	18.3	0.0	28.5	62.4	1.1	705.3

## 6. 結論

本研究では, JAIST 関係者を対象とした交通行動調査を実施し, その結果に基づいて構築した需要推計モデルをもとに, 金沢方面バスの条件を改善した場合の需要予測シミュレーションを行った. 分析結果については, 構築したモデルをそのまま用いたシミュレーションでは, バスの利便性を改善してもバス利用トリップの増加はわずかであったが, これは現状のバスの選好が著しく低いことによると考え, 利便性向上に伴いバスの選好が改善された場合の感度分析もあわせて行った. 感度分析では, バスの選好の改善度合いに応じて, 非線形的にバス利用者が増加することが示された (図 5).

本研究の分析には, 以下に挙げるようにいくつかの限界がある.

- JAIST 起点の発生交通量は固定としている.
- 教職員及び学生以外への影響を見ていない.
- ゾーニングが粗い.
- 教職員や学生の居住地選択への影響を考慮していない.
- 県外への移動 (特に東京方面への移動) で, 飛行機から鉄道 (新幹線) への切り替えの潜在需要を考慮していない.
- 5 節の感度分析においては, 実際のバス選好の改善と対応付けるのは困難である.

一方で, 簡便な調査・推計のプロセスを開発し, 実際にシミュレーションを行ったのが本研究の特色である. 通常の交通需要予測では, 大規模な交通行動調査を行う必要があるが, 本研究では, 目的地選択における JAIST の代替性が小さいという想定のもと, JAIST を起点とするトリップに関してのみ調査を行い, モデルを構築した. これにより, 通常の手続きに比べて, かなり調査・推計のプロセスを簡便化し, そのコストを軽減している. この考え方は, 同様の条件を満たす地域や組織等において, 大規模な調査・分析を行うスキルや費用を持たない場合に, 応用可能であると考えられる. 典型的には, 過疎地域でのコミュニティバスや, 郊外拠点のシャトルバス等である. 例えば, 福本・加藤 (2006) では, 商業施設の事業者が運行するシャトルバスを地域公共交通の観点から捉えているが, 本調査のような簡便な手法でも, 需要予測を活用して細かい地域や事業者単位でバスの運行計画を整備していくことは, 地域公共交通計画の観点からも重要であろう.

## 参考文献

- 國藤進 (2006) 「ナレッジマネジメント: 6. ナレッジマネジメントによる “知の共鳴”」 『情報処理』 47(9), pp. 1021-1027.
- 土木学会編 (1996) 『非集計行動モデルの理論と実際』 丸善.
- 城所幸弘・金本良嗣 (2006) 「ロジック型モデルと費用便益分析」 『環境問題に対応する道路プライシングと自動車関係税制の研究』 (日本交通政策研究会) 第 2 章.
- 福本雅之・加藤博和 (2006) 「商業事業者が主導するバスの現状と地域公共交通維持に果たす可能性に関する研究」 『土木計画学研究・講演集』 34 (CD-ROM), 2006.

## 知識共創第 6 号 (2016)

住所：〒923-1211 石川県能美市旭台 1-1 北陸先端科学技術大学院大学  
名前：佐々木康朗  
E-mail：sasaki@jaist.ac.jp