(社)日本都市計画学会 都市計画論文集 No. 44-3 2009年 10月
Journal of the City Planning Institute of Japan No. 44-3, October, 2009

79. バス利用計数データに基づく潜在需要分析の試み

Analysis of the Unrealized Demand for Bus Transportation, Based on Passenger Counter Data

フォンセカ カルロス ナバ*・奥村 誠**・塚井誠人***
Calsos, Nava Fonseca*, Makoto Okumura** and Makoto Tsukai***

For the public transportation service design in the decreasing trend of demand after now, resources must be sharply concentrated to the place and time where and when demand is not fully realized due to insufficient supply of service. This paper proposed a statistical method to analyze the unrealized demand for urban bus service based on the passenger counter data. We use the common feature among the time series of passenger counts at several bus stops, grasped through Independent Component Analysis (ICA), in order to estimate the potential demand to be expected when sufficient supply of service were provided. A case study in Sendai City shows that the applicability of the proposed method by unveil the place and date of large unrealized demand due to insufficient supply of bus service.

Keywords: unrealized demand, Independent Component Analysis, capacity constraint, bus service
潜在需要, 独立成分分析, 容量制約, バスサービス

1. これまでの交通計画と需要の潜在化

高度成長期から最近までの交通計画は，交通需要の増大に対応できる交通施設の計画に主眼が置かれてきた．楽観的な社会経済の拡大予測に基づいて計画された大規模な施設の実際の需要が予測値を大きく下回り，無駄遣いの批判を受ける例も少なくなかった．財政制約が厳しくなってきた近年では，社会的便益や事業収入の予測値に基づく整備費用の上限から施設規模やサービスレベルを設定することが求められ，より堅実な需要予測が必要となってきた．

需要予測をより堅実に行うために，過去の交通需要の観測データに基づく手法の活用が望まれる．これまで，観測の困難さや統計処理手法の未熟により，季節，曜日，天候などによる時間的変動の分析は十分になされず，平均交通量や 30 番目交通量といった代表的な数値のみが計画の基準量として用いられてきた．その結果，特定の季節．曜日に発生する高い需要に供給側が対応できず，渋滞，混雑，あるいはバスの積み残しによってサービスレベルが大きく低下するという現象への計画的な対応が立ち遅れていた [1)]．

人口と経済の縮小が進む今後は，交通需要も平均的には減少することになるが，それに合わせて単純に供給量を減少させれば，サービスの低下が需要のさらなる減少を招く恐れが大きい．むしろ，先に維持すべきサービスレベルを決定し，そのコストを回収できるような需要を掘り起こすことが必要である．バス事業を例に取れば，需要が見込める時期と場所を見極め，余剰のバス車両などを一時的に投入して，現有の施設や路線を維持・活用するという運用が求められる．このような施策の実例として，金沢市では「実施年度に得られた収入が基準年度を上回れば次年度以降も継続して実施する」というバストリガー協定を結び，2006 年に同市旭町周辺と金沢大学角間キャンパス間のバス運賃を 100 円に引き下げるという実証実験を開始し，前年比 189%の利用者増加を見せた．その際，ピーク時の積み残しを少なくするために，通常ダイヤの増便のほかに適宜臨時便の増発を組み合わせている [2)]．

サービスの向上による需要の掘り起こしを計画するためには，現状の供給制約のために潜在化した部分を含めて，本来の需要量を把握することが望まれる．このとき，目的地を変更したり移動自体をあきらめる可能性があるため，バス停での積み残し量の調査では不十分である．アンケート形式での調査では具体的な潜在化の場所や日時を調査することは困難で，各種のバイアスの影響が避けられない．

本研究は，近年利用可能となってきた連続的な交通計数データという客観的な数値データに基づいて，供給制約による潜在需要を定量的に把握する方法を提案する．すなわち，利用者に共通性のある複数の地点における本来の需要量の時間変動は類似しており，共通の変動パターンを内包していると考え，独立成分分析（ICA: Independent Component Analysis）を活用した方法を提案する．

2. 潜在需要の定義と分析の考え方

(1) 路線バスにおける需要超過の発生

以下では定期的に運行されている都市内の路線バスをとりあげ，各バス停から乗車する乗客数を需要量と考える．あるバス停における需要量は季節，曜日，天候などによって変動する．例えば大学が沿線にある場合，4 月，10 月などの新学期には需要が大きく，夏休み，冬休みの時期には小さくなる．授業時間割の影響を受け，学期中は曜日ごとに需要量が異なる．雨天時には通常自転車や徒歩で通学する学生がバスを利用するため需要が大きくなる．

一方でバスサービスの供給量も時間的に変動する．まず，

* 正会員 東北大学大学院工学研究科(Tohoku University)
** 正会員 東北大学東北アジア研究センター(Tohoku University)
*** 正会員 広島大学大学院工学研究科(Hiroshima University)

曜日により設定される運行スケジュールが異なり，単位時間当たりの供給量に大きな差が生じる．日によって異なる容量の車両が運用されることもある．さらに運行途中のバス停では，その上流側の需要変動の結果として車内人数が変動し，当該バス停の利用者に対する提供容量が大きく変動する．季節による服装や荷物の量の違い，雨天時の濡れた雨具により，ひとりの旅客が占有する車内のスペースが異なるために容量が変動する可能性もある．さらに道路の交通渋滞の影響で運行に遅れが生じることも，途中のバス停での単位時間当たりの供給量の変動をもたらす．

当該バス停での需要量が供給量を下回れば，その値がバスの乗車人数として観測される．一方，需要量が供給量を上回れば，供給量が乗車人数として観測され，積み残しが発生する．この需要超過が突発的なものであれば，乗客は次のバスを待つためにバス停に留まるため，積み残された人数を事後的に観察して需要の超過量を観測することも可能であろう．しかし，需要超過がそれなりの頻度で発生する場合には，一部の利用者は積み残しの危険性を予想し，利用時刻を変えたり，バイクなどの交通機関に変更するので，バス停に来る人数が減少する．そのため需要超過量を直接的に積み残し量として観測することは困難になる．

(2) 潜在需要の定義

本研究では，もし十分な量のバス容量が供給された場合に，当該バス停から乗車するであろう乗客数を「本来需要」と呼び，その値が供給量を超過したため実現しなかった部分を「潜在需要」と定義する．

先に述べたように，この潜在需要を客観的に観測することは困難である．代替的な調査方法としては，バス利用者の母集団を設定し，そのサンプルに対してバス利用行動に関するアンケート調査を実施するという方法が考えられる．

このアンケート調査には，バス利用を回避する具体的な理由を知ることができる，仮想的なサービスレベルを提供した場合の利用意向を把握できる，などの利点が存在する．しかし同時に，「サービスを改善すべきか」という質問に深く考えることなく賛成したり，調査主体の意向を先読みしてそれに合わせようとする盲従バイアス，非利用者に負担が発生しないことから，本当の利用意向に関わらずサービス改善への期待を述べるという政策誘導バイアスなどの発生が懸念される [3]．また，需要超過の経験が多くなるとバスカードや定期券の購入をやめてバイクを保有してしまい，その後はバス利用に戻る意向を失うという，利用者の長期的な行動変化 [4] をうまくつかめないという問題もある．

各種のバイアスを取り除くためには質問内容が複雑になり，アンケートの回答率が低下して回答者の代表性にも疑問が生じてくる．アンケート調査の改善方法の研究は必要であるが，本研究ではアンケート調査に頼らず，客観的なバス利用者計数データを用いる方法を開発する．

(3) 本来需要の共通変動特性の利用

本研究では，多数のバス停における乗車人員のデータがある程度長期にわたって観測できていることを前提として，異なるバス停の需要の時間変動の中に存在する共通変動特性の活用を考える．

着目するバス停での需要が，個人属性，移動目的や利用特性の異なるいくつかのグループの利用者により構成されていると考える．例えば大学のスタッフと学部・学年ごとの学生のグループはそれぞれ異なる目的を持ち，雨天時の行動パターンや代替交通機関の利用可能性も異なると考えられる．いま一つのグループの需要に着目すると，その需要は当該バス停だけでなく，他の複数のバス停にも存在している可能性がある．例えばある学部の 1 年生は複数のバス停の周囲に居住しているであろう．彼らの時間割の都合で特定の曜日の移動を必要とするならば，需要の増加は彼らの居住が多い複数のバス停で同時に起こる．このように，利用するグループに共通部分が多い複数のバス停は，本来需要の時間変動パターンが類似していると考えられる．

1) 需要超過が起きていない日の各バス停の観測された需要の間には，利用者グループの共通性を反映した変動の共通性が存在し，その関係は需要超過が起きた日の本来需要の間にも存在していると期待できる．同じ日に本来需要がそのまま観測できる別のバス停が多数あれば，それらの観測値との変動の共通性を用いて，需要超過が発生したバス停の本来需要を推定できると考える．

2)一方，上流側のバス停の需要増加が車内混雑による容量低下につながり，潜在化によって当該バス停の観測需要の減少をもたらす場合がある．この場合，当該バス停の観測需要の変動は，上流側バス停の需要変動と逆の傾向を含むことになる．

3)なお，始発バス停の需要量が圧倒的に大きい場合，そのバス停で潜在化が発生するとバスが満員状態となり，下流のほとんどのバス停でも需要超過が発生して本来需要の観測ができない．そのため，需要量が大きい始発バス停の本来需要の推定には限界がある．

(4) 独立成分分析

各バス停で観測された乗車人数の時系列変化のデータ $\mathbf{x} = (x_1,...,x_i,...,x_m)^T$ を，異なる特性を持つグループによる需要が混ざり合った結果と考えて，異なる特性を持つグループの需要変動パターン $\mathbf{s} = (s_1,...,s_j,...,s_n)^T$ と，各パターンが各バス停に与える影響係数ベクトル a_j を各列にもつ混合行列 $\mathbf{A}$ の積として，式(1)のように表す．

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s} \tag{1}$$

この中で既知であるのは $\mathbf{x}$ のみであり，変動成分 $\mathbf{s}$ と混合行列 $\mathbf{A}$ を同時に推定する必要がある．

式(1)のように観測データを構成する変動成分と混合比を同時に求める統計的手法として因子分析がある．因子分析では，因子に正規性を仮定して誤差の 2 乗和を最小にするように計算を行う．しかし，上記の需要変動パターンには特定の季節や曜日にのみピークが現れるものがあり，平均値の周りに対称に分布するという正規性を仮定することには無理がある．

本研究では因子に正規性を仮定しない独立成分分析を適

表1 分析対象バス路線

経由キャンパス	経由バス停
川内cp	仙台駅前→広瀬通一番町→二高・宮城県美術館前→川内郵便局前
川内cp，青葉山cp，宮教大	仙台駅前→青葉通一番町→博物館・国際センター前→扇坂→工学部中央→情報科学研究科前→宮教大前
川内cp，青葉山cp，工大八木山cp	仙台駅前→青葉通一番町→博物館・国際センター前→扇坂→工学部中央→八木山動物公園前→東北工大前
工大八木山cp	(交通局大学病院前)→仙台駅前→青葉通一番町→東北大正門前→霊屋橋・瑞鳳殿入口→八木山神社前→東北工大前
	(交通局大学病院前)→仙台駅前→五橋→愛宕大橋→八木山神社前→東北工大前

用する．これは「相互に独立な確率変数の和は，足し合わせる変数の数を多くすれば正規分布に近づく」という中心極限定理を逆に捉え，非正規的な因子を探索して相互に独立な因子を求める方法であり，3 次モーメントである尖度の最大化により効率的に計算を行うアルゴリズムが Hyvarinen らによって提案されている[5]．データの前処理として行う主成分分析の際に，固有値の大きい主成分のみを残すことで求める独立成分の次元数を減らし，パラメータ推定が不安定になる過学習を起こりにくくする．ただし，求める成分の数の明確な決定基準は無く，試行錯誤の末決められることが多い．

(5) 独立成分分析の適用例

独立成分分析は音声信号処理や医学分野でよく用いられてきたが，最近では社会経済データに対する適用例も増加している．Kiviluoto は，ある小売チェーンに属する複数店舗の売上データに適用し，季節変動や曜日変動などを抽出した[6]．Back は，複数銘柄の株価の時系列データに適用し，全体の当てはまりでは主成分分析に劣るが，低頻度で現れる大きな変動の部分の再現性はより優れていることを示した[7]．本研究の目的は本来需要量が大きく増加し需要超過が起きる日の分析であるから，同様に独立成分分析が適していると考えられる．

さらに交通観測データに対する独立成分分析の適用例として，本州四国連絡橋の複数の橋梁における断面交通量データを複数の目的別交通量に分解する研究[8]，空港に流入する自動車交通量の変動パターンの分析[9]がある．また，航空機の遅れデータに適用し，遅れの伝播・波及パターンを抽出した研究[10]などがあり，Hyvarinen らのアルゴリズムの適用性が確認されているが，潜在需要の分析という目的に沿ったものではない．

3. 仙台市営バス青葉山線への適用

(1) 対象路線の概要

本研究では，仙台市内と東北大学の青葉山キャンパスを結ぶ仙台市営バスの青葉山線を対象に潜在需要の分析を行う．この路線は通学・帰宅のピークとなる朝夕を中心に日常的に混雑が発生し，キャンパス内のバス停では積み残しも発生しており，年度初めはバスを利用していた学生がバイク等の他の交通手段へと移り，年度末に向かって利用者が減少するという傾向がある[4]．

平成 23 年度には東北大学の雨宮・片平キャンパスの一部が青葉山新キャンパスに移転する計画であり，道路混雑の激化が懸念される．平成 27 年度の地下鉄東西線の開業時に公共交通利用者を確保しておく意味からもバス利用の促進が重要な課題となっており，仙台市内の大学生を対象とした市営バス全線乗り放題の学都仙台フリーパスの試験的な導入などを行っている．

これらの施策の効果を十分に発揮させるためには，本来需要を把握し，現在のサービスレベルとの乖離が大きい区間・時間帯に集中的に便数の増加等の対策をとる必要があり，本研究の手法の適用対象として望ましいと考えた．

(2) 使用データ

本研究では，仙台市交通局の 2006 年度のバストラフィックレコーダデータを使用する．この機器は全路線バス車両に搭載され，系統番号と始発出発時刻のほか，各バス停における扉開閉時刻（通過時刻）と，整理券発行，運賃カード投入に基づく乗車人数，降車ドアの光センサーに基づく降車人数が記録される．残念ながら，目視カウント値との比較による乗降者数データの誤差評価は費用の問題もあり実施されていない．本研究では異なる観測方法による乗車人数データと降車人数データを混用をせずに前者だけを用いる．また特定のバス車両の整理券発行機故障の影響を避けるため，一定の時間帯の複数のバス（8 時台に始発バス停を出発する便）について集計した値を用いて分析を行う．この値は始発バス停で特に多く見られる整理券を取らない乗客の存在などにより，実際の乗車人数の絶対値より小さくなるが，日別の増減傾向は十分反映していると考えた．

以下では，東北大学川内キャンパス，同青葉山キャンパス，宮城教育大学などへの通学に利用される 5 つのバス系統を対象とする．対象バス路線の経由キャンパスと主な経由地を表 1 に示す．バス停は 47 であり 2006 年 4 月時点の名称を用いる．以降の図では複数系統の運行順序に合うようにバス停を配列して表示する．

まず，分析対象に該当する系統で，始発バス停を朝 8 時台に出発するバス便を 1 日ごとに特定する．その後，各バス停におけるこれらの便への乗車人数を集計し，1 台あたりの乗車人数の日変動データ(365 日分)を作成する．

(3) 主成分分析による次元の縮約

各バス停の乗車人数に値変動データを平均 0 に正規化した 47 次元の長さ 365 のベクトル $\mathbf{x} = (x_1,...,x_i,...,x_m)^T$ に対し主成分分析を適用した．2%以上の寄与率を持つ 5 つの主成分までで累積寄与率が 90%を超えたため，それらを用い

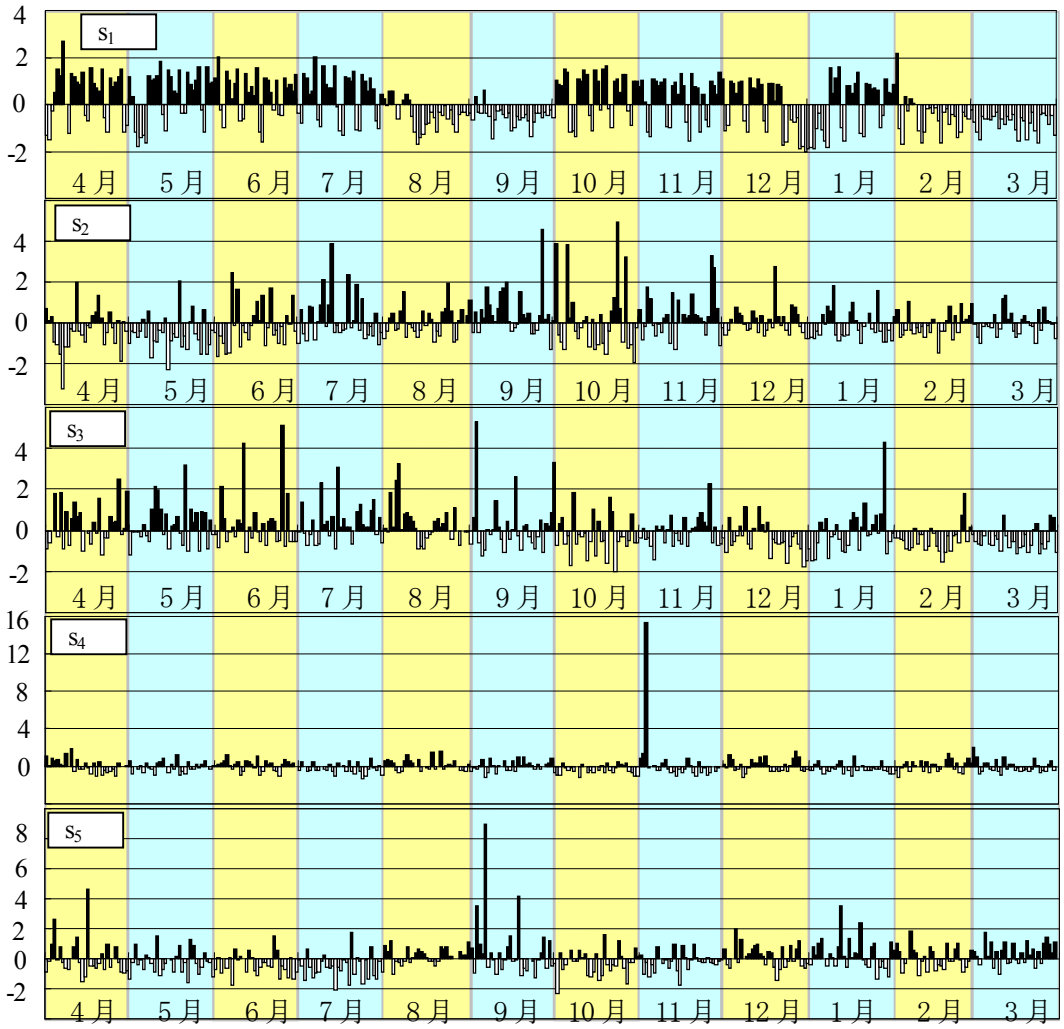

図 1 独立成分として得られた需要の変動パターン

表 2 独立成分の外的条件に対する t 検定結果

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	サンプル数
月	2.911	-0.371	-5.721	0.355	0.113	52
火	3.683	0.740	-0.038	-2.424	2.215	52
水	2.102	2.737	-1.531	1.166	0.585	52
木	2.805	0.522	2.037	1.477	1.401	51
金	4.380	0.521	-3.858	0.869	-0.284	52
土	-13.410	-5.247	0.009	-0.946	-6.846	52
平日	10.668	2.117	-2.647	0.323	1.321	241
日･祝	-22.267	-2.724	2.029	0.079	0.074	72
晴	-0.769	-4.031	-0.727	0.073	0.228	193
曇り	0.527	-1.446	0.592	0.032	-0.569	122
降雨降雪	0.176	4.108	-0.258	-1.467	-0.219	75
積雪	-0.607	1.342	0.255	-0.875	0.932	6

て 5 つの独立成分 $\mathbf{s} = (s_1,...,s_j,...,s_n)^T$ と混合行列 $\mathbf{A}$ を計算することとした．各独立成分は分散が 1 になるように基準化されているため，独立成分と混合行列の単位は無次元で，絶対値に実際的な意味はない．

(4) 独立成分分析の結果

独立成分分析の結果得られた 5 つの需要の日変動パターンを図 1 に，各パターンが各バス停の乗車人数に与える影響の計算値を図 2 に示す．

さらに 5 つの需要の日変動パターンと曜日，平休日，天候などの外的要因との関係を調べるために t 検定を行った．すなわち，各外的要因について複数の水準を設定して，観測日をグループに分ける．次に検定 t 統計量を算出し，このグループの日の独立成分の平均値が，全期間の平均値と統計的に異なるかどうかを有意水準を両側 5%として確認する．検定の結果を表 2 に示す．正負の有意な差異を示した要因を，それぞれ赤，青の網掛けで表示している．

(5) 得られた需要変動パターンの考察

表 2 より，s_1 は平日においては正，休日や長期休暇に対しては負の値をもち，このパターンが各バス停に与える影響を表す a_1 は，ほとんどのバス停において正の値をもつことから，日常的にバスを利用する利用者の需要を表すパターンであるといえる．

s_2 は降雨降雪があるときは正，晴れのときは負の値をとりやすいことがわかる．このパターンに対応する a_2 は広い範囲のバス停で乗車人数が増加する傾向を表している．特に広瀬通一番町や仙台駅前で乗車人数の増加が大きいが，その一方で扇坂では乗車人数が減少する．このパターンは，普段自転車やバイクで通学する学生が，降雨を避けてバスを利用することを表しており，広範囲のバス停で需要が増加する一方で，下流側に位置する扇坂では車内人数の増加が容量制約をもたらし，需要の一部が潜在化することを表している．

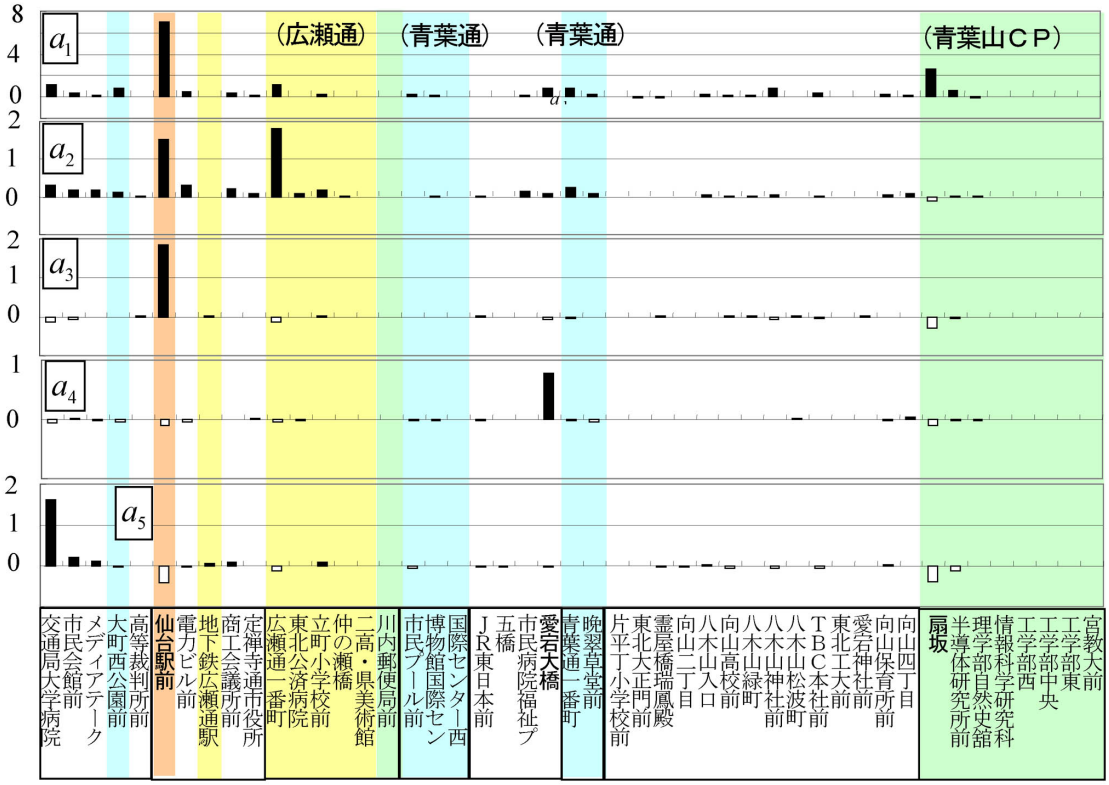

図２　バス停の需要に対する独立成分の影響係数

s_3 は月曜日，金曜日は負の値をとりやすく，木曜日は正の値をとりやすい．これに対応する a_3 は仙台駅前でのみ大きな正の値をもち，その他のバス停では0か負の値をとるものが多い．以上のことから，曜日による授業時間割の違いにより，木曜日は仙台駅からの乗車が増加し，その他のバス停では容量制約の影響を受け，需要の一部が潜在化し乗車人数が減少することを表しているようである．また，大学が長期休暇中の 9 月 3 日に大きな正のピークを持つが，この日は仙台駅前での乗車と，国際センター前および扇坂での降車人数が 1 台あたり 40 人前後と大きくなっており，学会などのイベントに関連する需要の増加を表していると考えられる．

s_4 は11 月 3 日にのみ大きな正のピークを持ち，これに対応する a_4 は愛宕大橋で大きな正の値をもつ．11 月 3 日は愛宕大橋で一台当たり 44 人が乗車し，八木山動物公園前で 45 人の降車が観測されていることから，団体による観光目的のバス利用行動を表すと考えられる．混合係数は仙台駅や扇坂において負であるが，運行順序から考えると容量制約による需要の潜在化であるとは考えにくい．

s_5 は4 月 16 日，9 月 3 日，6 日，18 日，1 月 12 日などに大きな正の値をもつが，このパターンが特に強く影響している交通局大学病院前バス停において，これらの日の乗車人数が大きい値になっている．その結果全バス停での乗車人数観測値の合計は降車人数観測値の合計を 10～40 人上回っていることから，交通局大学病院前バス停の実際の乗車人数が多いのではなく，観測機器の技術上の誤差によるものであると推察され，その影響を強く受けたため に現れた成分であると考えられる．

以上のように，各バス停の乗車人数データに対し独立成分分析を適用することで，s_1 のような日常的にバスを利用する利用者の需要変動パターンや，s_2 や s_3 のような原因の異なる容量制約による需要の潜在化のパターンが把握できた．しかし同時に，s_4 のような団体客による一日限りの行動や，s_5 のような観測時の誤差に起因する成分なども抽出されている．

4. 容量制約を受けない場合の本来需要の推測

(1) 本来需要の推測方法

各バス停の本来需要は，共通的な需要の変動パターン s_j が制約を受けずに乗車人数に反映された時の需要量であり，式(1)を用いて再構成することができる．

1) 当該バス停 i における需要超過の日数が少なければ，独立成分分析で得られた混合行列の第 i 行は，そのバス停の需要変動成分の構成比を表わしていると考えられる．

2) 一方，上流の多くのバス停に共通する需要増加パターン（s_j）が容量の減少をもたらす状況が頻発する場合には，当該バス停 i の影響係数が負の値をとる（$a_{ij} < 0$）．そこで，容量制約を受けないときの本来需要を求めるためには，この負の影響を取り除く必要があるので，s_j が正である日の $a_{ij}s_j$ の計算値を0に置き換える．

なお，影響係数が正の値を持つバス停 i で（$a_{ij} > 0$），s_j が負の値をとる日は，他のバス停と共通する理由でその日における本来の需要が平均値よりも少ないことを意味しているので，$a_{ij}s_j$ の負の計算値をそのまま用いる．

以上のようにして再構成した需要変動に，各バス停の乗車人数の平均値を加えることで，各バス停における本来需要の値を推測できる．ただし，以上の推測値は主成分分析の際に次元を縮約したことの誤差を有しているため，もとの観測値と比較することはできない．需要超過による潜在需要を見るためには，独立成分分析の出力値から再構成し

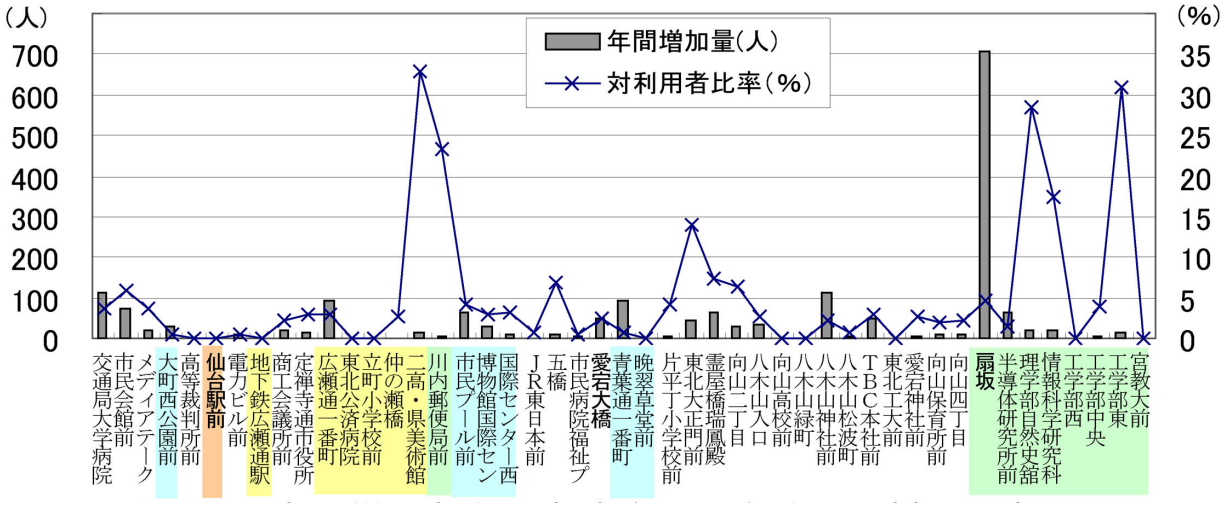

図3 容量制約緩和時の年間乗車人数増加量と現在の年間利用者数との比率

た需要の計算値との差をとる必要がある.

(2) 潜在需要の計算結果

以上の方法で計算した各バス停の潜在需要量を年間集計した結果を図3に示す. これより, 扇坂では年間利用客の約5%に当たる708 人という潜在需要が存在している. また, 青葉通一番町や八木山神社前, 広瀬通一番町などのバス停で年間100 人前後の需要が潜在化している. 潜在化の比率は, 混雑の影響を受ける最下流のバス停で高い.

紙面の制約上省略するが, 個々のバス停における各日の潜在需要を計算することもできる. 扇坂ではs_1の影響を強く受けており, 春から夏にかけては頻繁に需要の潜在化が発生しているが, 秋以降は発生頻度, 量ともに少なくなる. これは, バスのサービスレベルの低さに耐えかねた学生が夏休みの間に代替交通手段を入手し, バスを利用しなくなることを反映している.

なお, 現実には仙台駅前バス停において多客期には積み残しが発生しており, 需要の潜在化が最も激しいと考えられるが, 本方法では2.(3)に述べた理由により, 取り上げた路線の多くの始発地である仙台駅前バス停の潜在需要は計算できない.

この問題を解決するには, 当該バス路線と類似の利用者が存在し, かつ潜在化が起きていないようなバス停を見出して, 上述の路線と一緒に分析することや, 仙台駅の鉄道や地下鉄の利用者数データを用いることが考えられる. その際, 乗車人数の変動幅が大きい仙台駅前の変動に引っ張られてしまうことがないように, 独立成分分析の前段階でバス停ごとの変動の大きさを揃えることが必要となる. この操作が結果にどのような影響をもたらすかについては, 今後の検討課題としたい.

5. おわりに

本研究では, 交通計数データから,利用者の本来の需要量と潜在化の程度を定量的に把握する手法の提案を行った.

具体的には, 各バス停におけるバス1 台あたりの乗車人数の日変動データに対して独立成分分析を適用し, 本来需要のいくつかの変動パターンとそのパターンが各バス停に与える影響力を算出した. その結果, 日常的なバス利用者の需要変動や降雨時にのみ利用する人々による需要変動, 曜日により異なる需要変動, 団体による観光目的の利用に対応する変動などを把握することができた. さらに, 得られた成分を用いて, 容量制約による需要超過の影響を除いて再構成することで, 本来需要変動の推測を行い, 扇坂バス停などにおける潜在需要の存在を確認した.

本研究では, 仙台市交通局からデータの提供を受けた. また東北大学大学院生加藤寛道氏（現在 NEXCO 東日本）には, 計算作業への助力を得た. 感謝の意を表します.

参考文献

1) 中村文彦：都市部のバス交通に関する研究課題, 土木計画学研究・講演集, No. 25, CD-ROM, 2002.
2) 金沢大学施設管理部：旭町周辺～金大角間キャンパス間路線バス 100 円運行, http://www.kanazawa-u.ac.jp/j/info/access/100YenBus/trigger_k.html（2009.4.21 現在）
3) 北村隆一(編著)：交通工学, オーム社, 2008.
4) 徳永幸之・兼田雅晴：トラフィックレコーダデータに基づく. 大学生のバス利用離れの要因分析, 土木計画学研究・講演集, Vol.37, CD-ROM, 2008.
5) A. Hyvarinen, E. Oja: Independent Component Analysis: algorithms and applications, Neural Networks, Vol. 13, pp. 411-430, 2000.
6) Kiviluoto, Independent Component Analysis for parallel financial time series, In Proc. Int. Conf. on Neural Information Processing, 1998.
7) Back et al, A first application of Independent Component Analysis to extracting structure from stock returns, International Journal of Neural Systems, 1997.
8) 加藤寛道, 塚井誠人, 奥村誠：独立成分分析による断面交通量の時間分布特性の分析, 土木学会第 62 回年次学術講演会講演概要集 CD-ROM, 2007.
9) 塚井誠人・井上真一・奥村誠：データマイニングによる広島空港流入車両の時間分布パターンの分析, 交通工学研究発表会論文報告集, No.28.pp.269-272, 2008.
10) 加藤寛道, 木村裕介, 奥村誠, 塚井誠人：仙台空港発着便における遅れ・欠航の分析,土木計画学研究・論文集 No. 25 (3), pp. 723-729, 2008.