乗継に着目した実利用経路と検索経路の空間分布の比較と利用傾向の把握

小林　佑也[1]・松本　幸正[2]

[1]学生会員　名城大学　理工学研究科社会基盤デザイン工学専攻（〒468-8502　名古屋市天白区塩釜口1-501）
E-mail: kobayashi.yuya@trans.meijo-u.ac.jp

[2]正会員　名城大学教授　理工学部社会基盤デザイン工学科（〒468-8502　名古屋市天白区塩釜口1-501）
E-mail: matumoto@meijo-u.ac.jp

バスのわかりやすさや運行の効率を高めるためには，重複を解消する必要がある．さらに乗継の利便性の向上のために，交通結節点を作る必要がある．しかし，利用者の乗継行動は多種多様である．優れたバスネットワークを求めるためには，乗継行動の把握や評価が不可欠である．
本研究では，2018年に愛知県日進市で行われた，バスにおけるOD調査の結果を用いて，実際の経路とGTFSから計算された経路を，乗継の状況に着目して比較した．それらを分類して乗継の空間特性を把握した．その結果，乗継には所要時間や乗継回数が重要であるが，起点と終点付近の乗継は避けられたり，多少の損失は受け入れられたりする場合が見受けられた．判別分析の結果，時間に制約の少ない利用者が，乗継の有無による多少の所要時間の増加を受け入れている可能性が示唆された．

Key Words : *bus access, OD, transfer, route reconstructure, time table, GTFS*

1.　はじめに

モータリゼーションの進展とともに，特に地方部においては，バスを含む公共交通の利用者は減少し，路線の減便や廃止を招いた．しかし，バスは自家用車を持たない人や運転が困難な人にとっては日常生活の中での移動において不可欠な交通手段であり，超高齢社会に突入した現在では，このような人々はますます増加している．バスの衰退を阻止し，公共交通のネットワークを維持していくには，バスの利便性や魅力を更に高めていく必要がある．

多くのバス路線は，ターミナルとなる駅や公共施設等，人々が集積する場所を起終点として路線網を形成しており，乗り場や時刻表などが複雑でバス利用の心理的負担になる可能性がある[1]．バス路線の重複によるサービス供給の過剰を無くし，わかりやすさや運行の効率を高めるためには，路線や系統を分割して重複を解消し，さらにはバス相互の乗継利便性を確保できるような交通結節点の設定などが求められる．一方で，利用者の乗継行動は多種多様で，その行動の効率性や特性の把握までには至っていないのが現状である．わかりやすくて利便性の高い運行を探るためには，乗継行動の把握や評価は不可欠である．

乗継状況を評価した研究では，Raveauら[2]は，乗継利用者は乗継拠点への移動の方向と運賃に影響され，目的地への方角から外れたルートを嫌う傾向があることを示した．また，Chiaら[3]は，乗継場所の空間特性を相対的に示し，その潜在的な影響をモデル化した．

最近ではGTFS（公共交通機関に関するオープンフォーマット）によるバス情報のオープン化が進み，様々なソフトウェアによる時刻表や経路の検索が容易になりつつある．つまり，路線図と時刻表のみでは気付きにくい理想的な乗継や経路などが容易に見つかるようになった．

その時刻表ベースのGTFSを利用した研究は様々ある．Fransenら[4]は，人口の統計データとGTFSから計算したアクセシビリティを比較し，公共交通サービスの改善を提案した．Farberら[5]は，GTFSを用いてスーパーマーケットへのアクセシビリティを計算し，市内の平均所得の分布と比較した．以上の様に，GTFSを用いて所要時間等を機械的に効率良く計算することが可能となったが，公共交通機関の利用者データと組み合わせた事例はまだ少ない．

そこで本研究では，乗継の状況を把握するために，実際に利用された経路とGTFSから計算された経路を比較する．その違いによって乗継パターンを分類する．また，それぞれの空間特性を把握する．さらに，乗継の有無に

影響する要素を判別分析を用いて明らかにする．

2.　研究対象

(1)　愛知県日進市の概要

日進市は，愛知県のほぼ中央に位置する大都市近郊の都市である．近年，近隣の名古屋市や豊田市のベッドタウンとして人口は増加しており，令和2年2月現在の人口は91,547人（前年比で686人増加）である．現在でも複数の鉄道駅付近において土地区画整理事業が進んでおり，人口はさらに増加すると考えられる．

(2)　「くるりんばす」の概要と選定理由

本研究の対象バス停は，日進市のコミュニティバス「くるりんばす」の全路線（赤池線・米野木線・三本木線・梅森線・五色園線・岩崎線・循環線）と，2017年3月までくるりんばす中央線として運行され，現在は名鉄バスに移管された名鉄バス日進中央線1路線の全バス停とした．**図-1**に「くるりんばす」と日進中央線の路線図を示す．対象バスの概要を**表-1**に示す．「くるりんばす」は市役所バス停でのみ乗継券が発行され，無料で他路線への乗継が可能となっている．

これら路線の選定理由としては，日進市はオープンデータとしてGTFS-JPデータ（日本の事情に合わせた公共交通機関の時刻表と地理的情報に関するオープンフォーマット）を公開しており，バスに関するデータを様々なソフトウェアなどで利用できるためと，乗継を含めたバス停間利用実態データが入手できるためである．

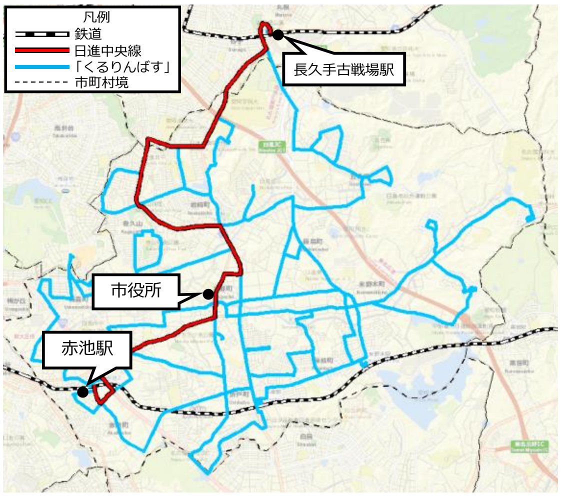

図-1　「くるりんばす」と日進中央線の路線図

表-1　対象バスの概要

	日進市	名鉄バス
	くるりんばす	日進中央線
コース	7コース	1コース
バス停数	134か所	25か所
代表起終点	市役所	赤池駅，長久手古戦場駅
運賃	200円 （循環線のみ100円）	170円～530円
乗継割引	1回無料	なし
循環形態	一方向	双方向
運行間隔	約1時間毎	約1時間毎
平日の便数	11便	15便
休日の便数	8便	15便

3.　乗継の空間分布による分析

(1)　実経路と経路検索経路との差

本研究では，Open Trip Plannerを用いて経路検索を実行した．このソフトウェアの特徴は，オープンソースソフトウェアであり，同じくオープンソースの地図であるOpen Street Mapの地図データと，前述のGTFS-JPデータを公共交通のデータとして組み合わせることができる点である．

バス停間の利用者数としては，2018年10月27日，10月31日，11月1日の3日間，「くるりんばす」で「乗降調査」を行った際に取得したODトリップデータを用いる．この調査では，計2,826のODが得られ，そのうち乗継を行ったODは346トリップであった．

前述のOpen Trip Plannerを用いて調査で得られた各ODの経路を検索した結果，実際の経路が検索経路とは異なっていたのは117トリップであった．それらを，「経路検索上では2回以上の乗継を示すが，実際は1回の乗継を行った場合」，「経路検索上では1回の乗継を示すが，実際は乗継を行わなかった場合」，「経路検索上では乗継を示さないが，実際は乗継を行った場合」の3つに分類した．その分類ごとの「経路検索によって求めた所要時間と実所要時間」をプロットしたものを**図-2**に示す．「経路検索上では1回の乗継を示すが，実際は乗継を行わなかった場合」が分類中で最も多い．グラフ

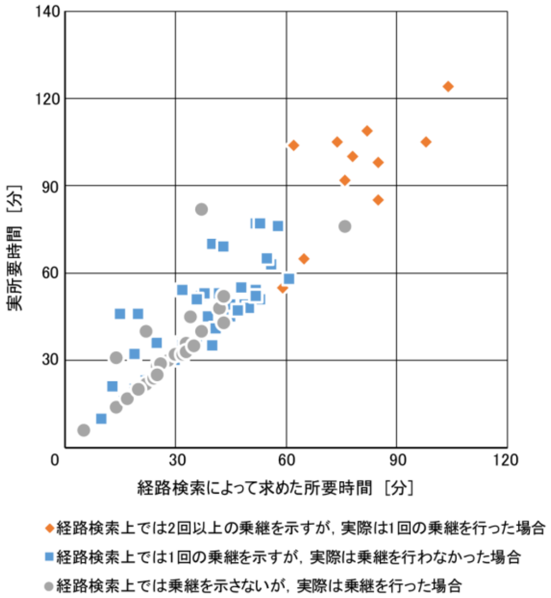

図-2　「経路検索によって求めた所要時間と実所要時間」の比較

の45度線付近に分布している様子が目立つが，これらは実際の所要時間と検索で求めた乗継が含まれる所要時間がほとんど同じであることがわかる．乗継を行わずに済む経路を探してうまく利用している様子をうかがい知ることができる．

「経路検索上では乗継を示さないが，実際は乗継を行った場合」が次に多く，これらは30分程度の所要時間に分布し，時間的に効率の悪い乗継をあえて行っているODも多数存在していることがわかる．これらの経路を見ると，市内の主要地点を短時間で巡回する「循環線」の利用が目立ち，遠回りせずに目的地に近づいていく経路が選ばれている．所要時間も30分程度と長くないことから，多少の乗り継ぎによる時間損失は受け入れながら，時間的には短いものの距離的に遠回りとなる経路を避けている可能性などが考えられる．

「経路検索上では2回以上の乗継を示すが，実際は1回の乗継を行った場合」が分類上最も少なかった．これらは所要時間の長い経路で目立つ．乗継の回数を減少できる経路を探してうまく利用している様子をうかがい知ることができる．

(2) 乗継の空間分布

次に各分類における乗継地点の空間分布を把握する．各ODの起終点となるバス停と乗継が行われた場所をそれぞれ直線で結び地理的に三角形を構成する．その三角形を回転させて，ODの起終点を含む線分とグラフの水平軸を合わせる．さらにODの起終点を含む線分の長さを0から1の長さに基準化して揃える．これにより，そのODに対して，どのように相対的な位置関係で乗継が行われたかが図示される．

図-3に，実際の経路が検索経路と異なっていた117トリップすべての乗継地点の空間分布を示す．放射方向にも点が分布しており，多くの乗継は起点から終点を結ぶ直線から逸脱しなければならないことがわかる．図の背景の濃淡は，点同士の重なりを表すために全セル上の点の数に対する各セルの点の数の割合を表している．さらに，**図-3**の空間分布を前項の分類に従って同様に細分化した．

「経路検索上では1回の乗継を示すが，実際は乗継を行わなかった場合」における，行われなかった乗継の分布を**図-4**に示す．ODの起終点付近の乗継が多く行われず避けられたことがわかる．起終点に近く，空間的に大きく不利にならない場合には乗り継ぎがない経路が優先されると考えられる．また，乗継地点が起終点に近いとバスの乗車時間が短くなり煩わしくなるので，乗継が避けられたとも考えられる．

「経路検索上では乗継を示さないが，実際は乗継を行った場合」における乗継の分布を**図-5**に示す．相対的な乗継地点は，基準化されたOD間の中心上部付近に多く存在する．コースの短い「循環線」を利用している人が多く，乗継出来る場所も限られるために中心から少し離れていても許容している可能性があるといえる．

「経路検索上では2回以上の乗継を示すが，実際は1回の乗継を行った場合」の実際の乗継地点の空間分布を**図-6**に示す．相対的な乗継地点は，基準化されたOD間

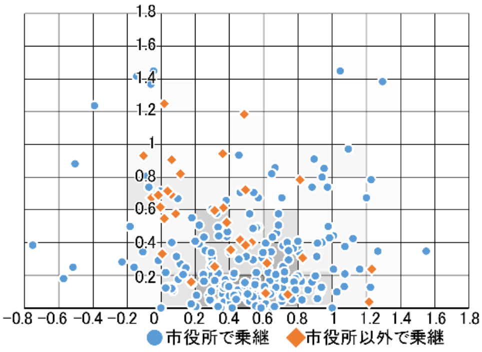

図-3 実際の経路と検索経路が異なっていたODの乗継地点の相対的な空間分布

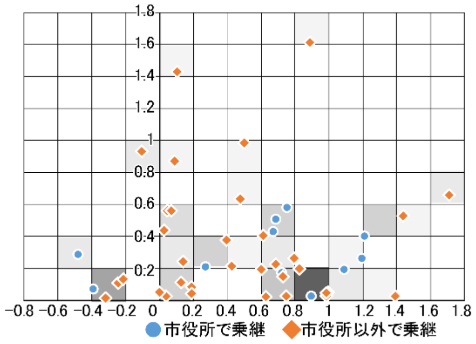

図-4 経路検索上では1回の乗継を示すが，実際は乗継を行わなかった場合

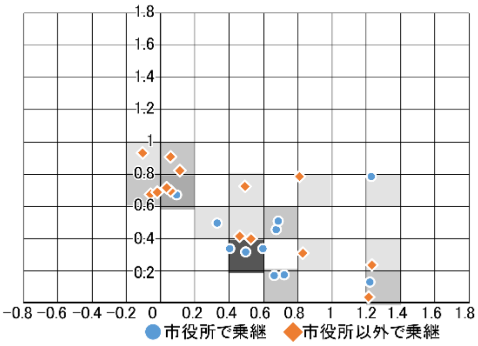

図-5 経路検索上では乗継を示さないが，実際は乗継を行った場合

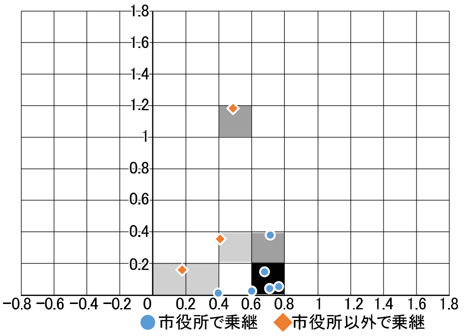

図-6 経路検索上では2回以上の乗継を示すが，実際は1回の乗継を行った場合

の中間付近に多く存在しており，多少の空間的な乗継損失を受け入れ，乗継の回数を減らしたと考えられる．

4. 利用傾向の把握

乗継を行うか否かは，個人の様々な属性に依存すると考えられる．そこで，乗継に影響を与える要素を把握するために，バスを利用した時間帯や支払方法，年齢などの変数を用いて，乗継の有無を外的基準とした判別分析を行った．前章の分類のうち，検索経路と実経路で乗継状況が異なる「経路検索上では1回の乗継を示すが，実際は乗継を行わなかった場合」と「経路検索上では乗継を示さないが，実際は乗継を行った場合」を対象に分析を行った．

「経路検索上では1回の乗継を示すが，実際は乗継を行わなかった場合」の結果を表-2に示す．男性利用者は乗継ぐ傾向があることが判明した．有意性は低いが買物利用者や朝の利用者は乗継がない傾向があることもわかる．買物で荷物が多くなる等の理由であえて乗継が行われない可能性が示唆される．

「経路検索上では乗継を示さないが，実際は乗継を行った場合」の結果を表-3に示す．買物で利用する人や無料対象者で昼に市内に向かう利用者が乗継いでいる傾向があることが判明した．時間に余裕のある昼間の時間帯において，運賃を支払う抵抗のない無料利用者が買物利用であえて乗継を行う可能性が示唆される．

いずれの場合も昼利用者と買物利用者が要因に選ばれており，時間に制約の少ない利用者が，多少の所要時間の増加を受け入れていると考えられる．

5. おわりに

本研究では，乗継利用者の状況を把握するために，実際に利用された経路と経路検索で得られた経路を乗継に着目して比較した．それらのうち，所要時間や乗継回数に差があるODを分類し，その空間特性を把握した．乗継には所要時間や乗継回数が重要であるが，起終点付近の乗継は避けられたり，多少の空間的損失は受け入れられたりする場合も見受けられた．

乗継の有無に関して判別分析した結果，時間に制約の少ない利用者が，乗継の有無によって生じる多少の所要時間の増加を受け入れていることがわかった．

今後は，違うバスネットワークを持つ地域における検討や，空間分布のセル密度と利用者の乗継行動との関係を分析することなどが必要である．

表-2 「経路検索上では１回の乗継を示すが，実際は乗継を行わなかった場合」における判別要因

説明変数	判別係数	F値
男性利用	-1.5922	5.0992 *
買物利用	1.5301	2.9698
市内利用	0.7100	0.9574
昼利用	0.9823	0.5141
回数券利用	0.8618	0.3959
朝利用	2.4829	2.6087
定数項	-1.6007	
判別的中率	66.58%	

*：P<0.05 **：P<0.01

表-3 「経路検索上では乗継を示さないが，実際は乗継を行った場合」における判別要因

説明変数	判別係数	F値
買物利用	1.7354	7.4786 **
無料利用	1.0481	5.9116 *
昼利用	0.8153	5.6525 *
市内利用	0.7023	4.0671 *
定期利用	0.7511	2.2669
高齢者利用	0.3565	0.8041
定数項	-1.5617	
判別的中率	72.27%	

*：P<0.05 **：P<0.01

謝辞：本研究は，科学研究費補助金・基盤研究（C）（18K04399）を受けた研究成果の一部である．本研究を遂行するにあたり，日進市役所生活安全課の方々には調査の実施やデータ提供の面でご協力を頂いた．ここに記して，謝意を表す．

参考文献

1) 林良太郎，原田昇，太田勝敏：分かりやすさを考慮したバス路線網改編に関する研究，土木計画学研究・講演集(CD-ROM)，Vol.49，2002
2) Raveau, S.，Muñoz, J.，de Grange, L.：A topological route choice model for metro，Transportation Research Part A，Vol.45，pp.138-147，2011
3) Chia, J.，Lee, J.：Extending public transit accessibility models to recognise transfer location，Journal of Transport Geography(Online Access)，Vol.82，2020
4) Fransen, K.，Neutens, T.，Farber, S.，De Maeyer, P.，Deruyter, G.，Witlox, F：Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels，Journal of Transport Geography，Vol.48，pp.176-187，2015
5) Farber, S.，Morang, M. Z.，Widener, M. J.：Temporal variability in transit-based accessibility to supermarkets，Applied Geography，Vol.53，pp.149-159，2014

Analyzing Actual Transfer Route of Bus Passengers and Transit Spatial Distribution Compared with Searched Route by Computer Software

Yuya KOBAYASHI, Yukimasa MATSUMOTO