

年齢階層および空間特性を考慮した 目的地選択モデルの精緻化

山下 慎二¹・柳沼 秀樹²・寺部 慎太郎³・康 楠⁴・田中 皓介⁵

¹学生非会員 東京理科大学大学院 理工学研究科土木工学専攻
(〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:7619528@ed.tus.ac.jp

²正会員 東京理科大学講師 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:yaginuma@rs.tus.ac.jp

³正会員 東京理科大学教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:terabe@rs.noda.tus.ac.jp

⁴正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:kangnan@rs.tus.ac.jp

⁵正会員 東京理科大学助教 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

E-mail:tanaka.k@rs.tus.ac.jp

近年、インフラ整備は、新線整備などのゾーン間移動の向上に資するマクロな交通施設整備から、拠点や街路等のゾーン内の質的向上を意図したミクロな整備に移行しつつある。また、テレワークやフレックスタイム等の個人の活動レベルに変化を及ぼす施策が検討されている。そのため、従来型のトリップベースの需要予測では、これら施策を適切に評価することは困難であり、詳細スケールでのアクティビティベースによる新たな手法が必要となる。本研究では、上記の施策評価に向けたアクティビティベースモデル (ABM) の開発を念頭に、施策の影響による変化が大きい目的地選択モデルの精緻化を目的とする。具体的には、離散選択モデルを基本として、目的地の魅力度やアクセシビリティ等の従来から利用されている変数にくわえて、ゾーン間の隣接距離による空間相関や年齢階層でのセグメンテーション、様々なデータを次元圧縮した変数等を導入したモデリングを試みる。

Key Words : *Spatially Correlated Logit model, Destination choice model, Principal component analysis*

1. 序論

交通政策や地域拠点整備などを行う上で、それらの効果や影響を評価するためには、交通需要予測が必須となる。近年では、新線整備などのゾーン間移動の向上に資するマクロな交通施設整備から、拠点や街路等のゾーン内の質的向上を意図したミクロな整備に移行しつつある。また、テレワークやフレックスタイム等の個人の活動レベルに変化を及ぼす施策が検討されている。そのため、従来型のトリップベースモデルの需要予測では、これら施策を適切に評価することは困難であり、詳細スケールでのアクティビティベースモデル (ABM) による新たな手法が必要となる。

しかしながら、ABM において、活動パターン選択と目的地選択の予測が難しく、精度の高いモデルの作成が

困難となっている。また、昨今の社会問題である少子高齢化問題が今後さらに進行すると危惧されるなか、社会変化に応じた政策や生活基盤施設整備を行うために、高齢者の行動特性を明らかにする必要がある。すなわち、年齢や性別などの個人属性を考慮したきめ細かいセグメンテーションや異質性といった精緻化も必須となる。

本研究では、上記の施策評価に向けた ABM の開発を念頭に、施策の影響による変化が大きいと思われる目的地選択モデルの精緻化を図る。特に、目的地選択に多様性がある買い物行動について着目して、目的地選択モデルの構築を試みる。具体的には、離散選択モデルを基本として、目的地の魅力度やアクセシビリティ等の従来から利用されている変数にくわえて、ゾーン間の隣接距離による空間相関や様々なデータを次元圧縮した変数等を導入したモデリングを試みる。その上で、年齢階層での

セグメンテーションを行い、年齢階層によるパラメータの異質性を分析することで、高齢者の買い物行動の特性を明らかにする。

2. 既往研究のレビューと本研究の位置付け

(1) 既往研究のレビュー

近年、わが国を対象としたABMの開発が金森ら¹⁾、亀谷ら²⁾、澤田ら³⁾により行われている。例えば、亀谷ら²⁾は、首都圏の鉄道利用者に着目したABMの構築を行い、時間選択、目的地選択、経路選択、アクセス手段選択の4階層のABMを構築した。経路選択はC-logit、その他はMNLで記述されている。時間選択、経路選択、アクセス手段選択の再現性は良好であったが、目的地選択の再現性は低く、モデルの改良が課題となっている。

MNLの精度が好ましくない場合の改善策の一つに、ゾーン間の誤差構造を考慮することが挙げられる。C.R.Bhatら⁴⁾は、ゾーン間の誤差構造をゾーンの空間特性を用いて表現したSpatially Correlated Logit model (SCL)を提案し、その有用性を示した。

一方、ゾーン間の誤差構造を考慮すること以外にも、効用関数の説明変数を改善することで、モデルの精度が改善されることもある。前川ら⁵⁾は、機械学習を用いて買い物行動での目的地選択に影響を与える要因を分析した。様々な空間特性を表すデータをクラスタリングすることで、ゾーンの特性を明らかにし、次元圧縮した変数を説明変数に組み込むことで少ない説明変数で精度の高い目的地選択モデルを構築した。

(2) 本研究の位置付け

本研究では、SCLを用いることで、ゾーン間の誤差構造を考慮したモデルを構築する。さらに、地域属性変数を次元圧縮して組み込むことで、モデルの複雑化を防ぎつつ精緻化を図る。また、生産年齢と高齢者でモデルをセグメントすることで、パラメータの異質性を分析し、年齢階層ごとの買い物行動の特性を明らかにすることを試みる。ケーススタディとして、横浜市内での買い物行動についてモデリングを行う。

3. 使用データと基礎集計

本研究では、モデリングにH20東京パーソントリップ調査データ（以下、H20東京PTデータ）を用いた。また、モデルの説明変数となる地域属性変数には、H26商業統計データの産業分類大分類・小売業部門を使用した。

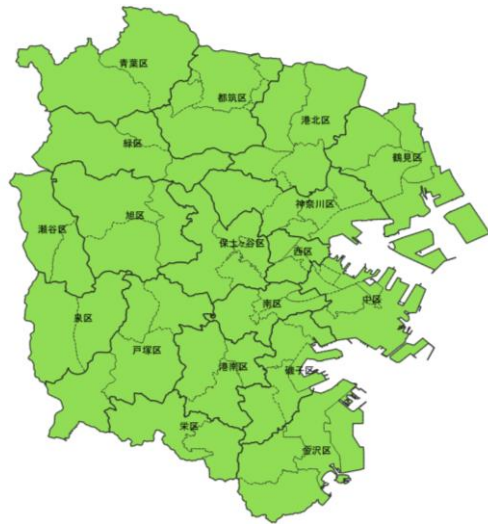


図-1 横浜市の計画基本ゾーン

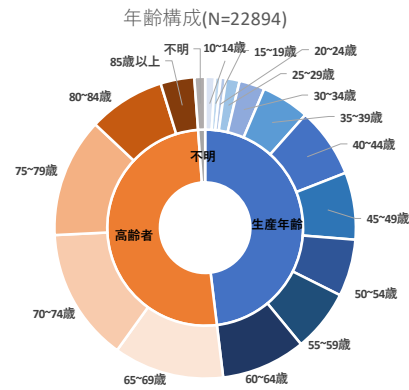


図-2 買い物行動における年齢構成

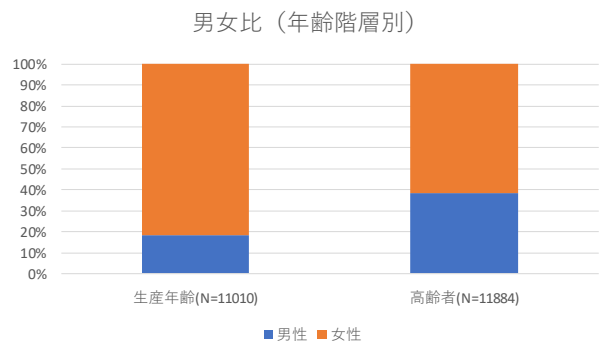


図-3 買い物行動における男女比

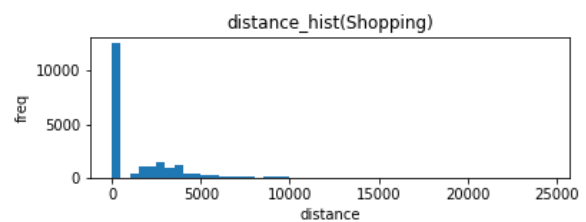


図-4 買い物行動におけるトリップ長のヒストグラム

(1) H20 東京 PT データの概要

H20東京PTデータは東京を中心とする半径約80km圏域を対象とした「人の動き」を調べる調査であり、調査期間はH20年10月~12月である。H20東京PTデータでは4段階のレベルにゾーニングしており、本研究では、計画基本ゾーンをベースに目的地選択モデルを構築する。横浜市の計画基本ゾーンを図-1に示す。

表-1 小売業小分類

小売業小分類
百貨店, 総合スーパー
その他の各種商品小売業
呉服・服地・寝具小売業
男子服小売業
婦人・子供服小売業
靴・履物小売業
その他の織物・衣服・身の回り品小売業
各種食料品小売業
食肉小売業
菓子・パン小売業
その他の飲食物品小売業
自動車小売業
機械器具小売業(自動車, 自転車を除く)
家具・建具・畳小売業
じゅう器小売業
医薬品・化粧品小売業
書籍・文房具小売業
スポーツ用品・がん具・娯楽用品・楽器小売
写真機・時計・眼鏡小売業
他に分類されない小売業
通信販売・訪問販売小売業

(2) H20 東京 PT データの基礎集計

モデリングにあたり、基礎集計を行いデータの傾向を確認した。H20東京PTデータにおける買い物目的のデータ数は、全体の約1割に該当する108824件であり、横浜市内のデータ数は55997件であった。横浜市内の買い物行動について、年齢構成、男女比構成を図-2、図-3に示す。年齢構成において、生産年齢と高齢者はほぼ半数を占めている。高齢者のデータは70代のデータが特に多いことが分かる。男女比は生産年齢と高齢者で大きく異なり、生産年齢では女性が圧倒的に多く、これは女性の方が日々の買い物行動の多くを担っているためと考えられる。高齢者では、男女の差は生産年齢ほど大きくはないが、女性の方が多く買い物に行く傾向は変わらない。また、トリップ長分布は図-4のようになった。トリップ長は実移動距離が観測されていないため、OD間の各ゾーンの重心間の距離を代用した。そのため、ゾーン内交通はトリップ長が0となる。図-4からも分かるように、ほとんどのデータがゾーン内トリップであることが確認できる。すなわち、食品や雑貨などの最寄り品を求める買い物行動が多いと推察される。

(3) H26 商業統計データの概要

H26商業統計データは、産業分類大分類の卸売業・小売業に属する事業所に対して実施される商業実態に関する調査である。本研究では、小売業のデータのみ使用する。小売業のデータには、大分類、中分類、小分類の各々の事業所数、売り場面積、売上データがあるが、売り場面積、売上は非公開である事業所が多いため、分析に耐えうる十分なサンプル数が確保できない。そのため、以降の分析に用いるデータは小分類の事業所数とする(表-1)。

(4) H26 商業統計データの基礎集計

横浜市内の小売業の事業所の分布傾向を図-5に示す。事業所数は西区、港北区、都筑区に多く集まっている傾向が読み取れる。西区には横浜駅、港北区にはトレッサ横浜、都筑区にはたまプラーザと大型の商業施設があるゾーンに事業所数が多いことが分かる。

次に、小分類の事業所数データを用いて、横浜市内の各ゾーンの特性を確認する。クラスタリングの結果とゾーンの特性を図-6、表-2に示す。クラスター1は港北区や青葉区が分類され、トレッサ横浜やたまプラーザなど大型ショッピングセンターのあるゾーンが分類された。クラスター2は市内全域に分布しているが、いずれもアパレルの小売業事業所が少ないゾーンが分類された。クラスター3も市内全域に分布しており、さらにどの小売業事業所も過不足なく存在しており、バランスのとれたゾーンが分類された。クラスター4は他のクラスターに

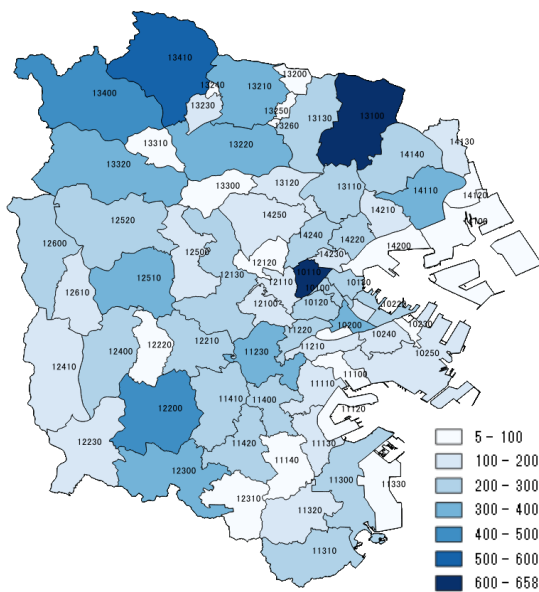


図-5 小売業の事業所の分布

比べ、どの小売業も事業所数が少なく、横浜市内では比較的、小売業事業所数が少ないゾーンが分類された。クラスター5は1つのゾーンのみだが、横浜駅西口周辺が分類されており、他のどのゾーンにも類を見ない商業エリアであるため、1つのクラスターに分類された。

4. モデル構造

本研究ではBechor and Prashker⁶⁾が提唱したSCLを適用する。SCLはPCL(Pared Combinatorial logit model)と同様なモデル構造であるため、本研究ではGNLと同様なモデル構造に改良されたGNL based on SCLによるモデリングを行う。

SCLを用いることで、隣接するゾーンの空間相関構造を表現することが可能となる。本研究では、空間相関を

表-2 クラスターの特性

クラスター番号	特性
1	たまプラーザやトレッサ横浜など大型SCがある地域、買回り品
2	アパレルの小売業以外は充実している
3	様々な小売業がバランスよく存在する
4	小売業事業所過疎地域
5	横浜駅西口周辺

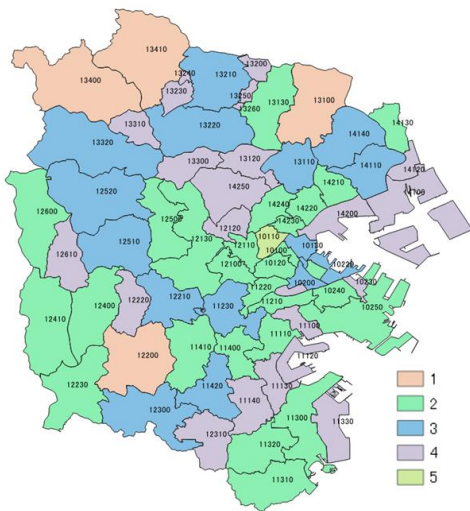


図-6 クラスターリングの結果

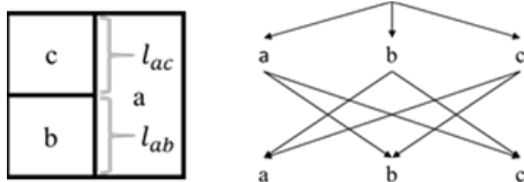


図-7 SCLによる空間相関

表現する変数として、ゾーン間の重複距離を表す隣接距離を用いる。

GNL based on SCLではCNLのような選択肢構造をとるため、アロケーションパラメータ α_{mk} が各ネスト m のゾーン k に割り当てられる。アロケーションパラメータ α_{mk} は式(4)で表され、隣接距離 L_{kj} をゾーン k の総隣接距離で除したものとなる。図-7は各々が隣接している3つのゾーンの例だが、この場合ネスト b の目的地 a のアロケーションパラメータ α_{ba} は式(5)のようになる

$$P(k) = \sum_m P(k|m)P(m) \quad (1)$$

$$P(k|m) = \frac{(\alpha_{mk} e^{V_k})^{\frac{1}{\mu_m}}}{\sum_k (\alpha_{mk} e^{V_k})^{\frac{1}{\mu_m}}} \quad (2)$$

$$P(m) = \frac{\left(\sum_k (\alpha_{mk} e^{V_k})^{\frac{1}{\mu_m}}\right)^{\mu_m}}{\sum_m \left(\sum_k (\alpha_{mk} e^{V_k})^{\frac{1}{\mu_m}}\right)^{\mu_m}} \quad (3)$$

$$\alpha_{mk} = \frac{L_{kj}}{\sum_j L_{kj}} \quad (4)$$

$$\alpha_{ba} = \frac{l_{ab}}{l_{ac} + l_{ab}} \quad (5)$$

ここで、 $P(k)$ はゾーン k の選択確率、 $P(k|m)$ は条件付き確率、 $P(m)$ は周辺確率、 V_k は効用関数の確定項、 μ_m はスケールパラメータ、 α_{mk} はアロケーションパラメータ、 L_{kj} はゾーン k とゾーン j の隣接距離である。

5. H26 商業統計データの主成分分析

目的地選択モデルは、モデルの適合度を向上させるために様々な変数を用いるが、説明変数の多いとモデルが過剰に複雑になる恐れがある。本研究では、説明変数の次元圧縮を行うことで、データの適合度を維持しながらモデルの複雑化を抑えることを目指す。

説明変数には、商業統計データより小売業小分類ごとの事業所数を用いる。これらの商業統計データを次元圧縮するために、主成分分析 (PCA) を行った。表-3に分析結果の一部を示す。固有値が1以上の主成分は第2主成分までであり、また累積寄与率も第2主成分までで0.7以上あるので、第2主成分までを目的地選択モデルの効用変数に組み込む。

表-3より説明変数の特性を考察する。第1主成分はすべての小売業に対して正の固有ベクトルを持つので、「ゾーンの総合的な商業の規模」を表していると考えられる。第2主成分はアパレル業に正の固有ベクトルを持つので、「アパレル業の特化性」を表していると考えら

れる。

6. モデリング

(1)モデルの設定

目的地選択モデルのパラメータ推定を行う。モデル構造は4章で述べた通り、GNL based on SCLを用いる。効用関数には主成分分析より得られた、第1主成分、第2主成分以外にも、トリップ長やゾーン面積・アクセシビリティを表す変数を説明変数に組み込んだ。交通政策審議会の第198号答申で報告されている推定パラメータを用いて、交通機関選択モデルの合成効用を計算し、アクセシビリティを表す変数とした。

また、選択肢集合は横浜市内の計画基本ゾーン（全70ゾーン）を選択肢集合とする。

GNL based on SCLと主成分分析による説明変数の次元圧縮がモデルの精度に与える影響、さらに年齢階層によるパラメータの異質性を比較分析するために、以下の4種類のモデルを作成した。

- ・ Model1 : MNL (説明変数：トリップ長、ゾーン面積、アクセシビリティ)
- ・ Model2 : GNL based on SCL (説明変数：Model1と同様)

- ・ Model3 : GNL based on SCL (説明変数：トリップ長、ゾーン面積、アクセシビリティ、第1主成分、第2主成分)
- ・ Model4 : Model3と同様。

Model1が基本的なモデルであり、Model2、Model3とモデルを改良することで、尤度比が向上していくことが期待される。Model1～Model3は生産年齢の買い物行動についてのモデル、Model4は高齢者の買い物行動についてのモデルとなる。

(2)パラメータ推定結果

各モデルのパラメータ推定結果を表-4～表-7にまとめた。いずれのモデルの説明変数も統計的に1%有意であった。しかし、アクセシビリティのパラメータの符号条件は満たしていない結果となった。ゾーンの規模を表す、ゾーン面積のパラメータは1に固定している。Model2はModel1では考慮しなかったゾーン間の空間相関を考慮することで、尤度比の改善を確認した。Model3では次元圧縮した説明変数を用いることで尤度比のさらなる改善を確認した。ここで、これらのモデルのAICを比較する。

$$AIC1 = 4319(\text{Model1})$$

$$AIC2 = 4129(\text{Model2})$$

$$AIC3 = 3911(\text{Model3})$$

$$AIC1 > AIC2 > AIC3$$

表-3 主成分分析結果

説明変数 (事業所数)	第 1 主成分	第 2 主成分	第 3 主成分	第 4 主成分
百貨店、総合スーパー	0.190	-0.027	-0.453	0.529
その他の各種商品小売業	0.189	-0.019	-0.413	-0.243
呉服・服地・寝具小売業	0.208	-0.047	0.253	0.148
男子服小売業	0.221	0.308	-0.017	-0.135
婦人・子供服小売業	0.233	0.285	-0.059	0.011
靴・履物小売業	0.213	0.351	-0.055	-0.010
その他の織物・衣服・身の回り品小売業	0.205	0.396	-0.010	0.109
各種食料品小売業	0.187	-0.399	-0.203	0.034
食肉小売業	0.192	-0.242	0.351	0.048
菓子・パン小売業	0.245	0.021	0.042	0.267
その他の飲食料品小売業	0.249	-0.090	0.123	0.151
自動車小売業	0.168	-0.258	-0.356	-0.478
機械器具小売業(自動車、自転車を除く)	0.246	-0.184	0.072	0.102
家具・建具・畳小売業	0.218	-0.132	0.077	-0.043
じゅう器小売業	0.198	0.110	0.380	-0.427
医薬品・化粧品小売業	0.241	-0.196	0.054	-0.019
書籍・文房具小売業	0.235	-0.185	0.109	0.142
スポーツ用品・がん具・娯楽用品・楽器小売	0.198	0.324	-0.130	-0.036
写真機・時計・眼鏡小売業	0.253	0.007	-0.042	-0.034
他に分類されない小売業	0.245	0.020	0.200	-0.022
通信販売・訪問販売小売業	0.220	-0.079	-0.129	-0.254
固有値	14.156	2.227	0.930	0.698
寄与率	0.674	0.106	0.044	0.033
累積寄与率	0.674	0.780	0.824	0.858

モデルが改良されるに従い、AICの値が小さくなり、より良いモデルに改良されていることが示されている。また、Model3とModel4を比較してみると、生産年齢の方が高齢者より第2主成分「アパレル業の特化性」のパラメータが1.1倍ほど大きく、買い物目的地を選択する際に、より重要視することが分かる。一方、高齢者の方が

表-4 Model1の推定結果

変数	パラメータ	t 値
ゾーン面積	1	—
トリップ長	-0.549	-36.60**
ログサム変数 (アクセシビリティ)	-0.319	-4.15**
サンプル数	1000	
初期尤度	-3449	
最終尤度	-2157	
修正済み尤度比	0.374	

【**】：1%有意
【*】：5%有意

表-5 Model2の推定結果

変数	パラメータ	t 値
ゾーン面積	1	—
トリップ長	-0.515	-32.60**
ログサム変数 (アクセシビリティ)	-0.344	-5.06**
ネストパラメータ	0.699	12.80**
サンプル数	1000	
初期尤度	-3412	
最終尤度	-2061	
修正済み尤度比	0.395	

【**】：1%有意
【*】：5%有意

表-6 Model3の推定結果

変数	パラメータ	t 値
ゾーン面積	1	—
トリップ長	-0.545	-31.10**
第1主成分	0.0374	4.08**
第2主成分	0.194	10.20**
ログサム変数 (アクセシビリティ)	-0.285	-4.19**
ネストパラメータ	0.704	11.20**
サンプル数	1000	
初期尤度	-3447	
最終尤度	-1950	
修正済み尤度比	0.433	

【**】：1%有意
【*】：5%有意

表-7 Model4の推定結果

変数	パラメータ	t 値
ゾーン面積	1	—
トリップ長	-0.579	-30.50**
第1主成分	0.0438	4.68**
第2主成分	0.175	9.40**
ログサム変数 (アクセシビリティ)	-0.217	-3.28**
ネストパラメータ	0.654	10.40**
サンプル数	1000	
初期尤度	-3380	
最終尤度	-1828	
修正済み尤度比	0.458	

【**】：1%有意
【*】：5%有意

第1主成分「ゾーンの総合的な商業の規模」のパラメータが1.2倍ほど大きく、トリップ長のパラメータも生産年齢より大きい結果が出ていることから、買い物は遠くに出かけずに近場の総合的な商業施設を利用する傾向が示唆される。

7. おわりに

本研究では、GNLにSCLを導入することによりゾーンの空間相関を考慮すること、地域属性変数の次元圧縮を用いること等により、モデルの複雑化を防ぎつつデータの適合度を向上させることで、目的地選択モデルの精緻化を行った。また、年齢階層でモデルのセグメントを行うことで、年齢階層による買い物行動の特性の違いも明らかになった。3章で行ったクラスタリングの結果(図-6)より、クラスター4に属するゾーンは買い物に不便なゾーンであることが示された。現在、横浜市の中では栄区が最も高齢化率が高い(31%)が、栄区東部はクラスター4に分類されてしまっている。そのため、この地域は他の地域に比べて、近場で買い物を済ませたい高齢者が多いが、商業施設が不足していると考えられる。このような需要と供給のバランスが取れていない地域に商業施設を建設することで、今後さらに高齢化が進んだ将来においても、暮らしやすい街を維持していくことが可能になるのではないかと考えられる。

今後の課題として、アクセシビリティの符号条件が満たされていないこと、行動目的が買い物行動のみと限定的であること、対象エリアが横浜市と限定的であることが挙げられる。モデル構造や説明変数を見直すことで、アクセシビリティと目的地選択の関係性を改善させ、行動目的は私事行動に拡張、対象エリアは東京都市圏に拡張することで、より広域的なトリップを含めた分析が可能な目的地選択モデルを構築していく。

参考文献

- 1) 金森亮・森川高行・山本俊行・三輪富生：総合交通戦略の策定に向けた統合型交通需要予測モデルの開発，土木学会論文集D Vol.65 No.4, 503-518, 2009. 12
- 2) 亀谷淳平・福田大輔：鉄道利用者を対象としたActivity-based交通行動モデルに関する研究，第53回土木計画学研究発表会・講演集，pp380-389, 2016
- 3) 澤田茜・川辺拓哉・白須瑛紀・佐々木邦明：パーティクルフィルタを援用した観測ODとシミュレーションを融合したOD推計手法，土木学会論文集D3(土木計画学)，Vol.73, No.5(土木計画学研究・論文集第34巻)，I_579-I_588, 2017.
- 4) Chandra R. Bhat・Jessica Guo：A mixed spatially correlated logit model: formulation and application to residential choice modeling,

- Transportation Research Part B 38 (2004) 147-168
- 5) 前川朝尚・倉内慎也：松山都市圏PT調査データに基づく
平日の買い物行動の類型化と目的地選択特性分析，土木
学会論文集D3(土木計画学), Vol.67, No.5(土木計画学研究・
論文集第28巻), I_749-I_757, 2011.
- 6) Shlomo Bekhor・Joseph N. Prasher：GEV-based destination choice
models that account for unobserved similarities among alternatives,
Transportation Research Part B 42 (2008) 243-262
- (? 受付)

REFINEMENT OF DESTINATION CHOICE MODEL
CONSIDERING AGE HIERARCHY AND SPATIAL CHARACTERISTICS

Shinji YAMASHITA, Hideki YAGINUMA, Shintaro TERABE,
Kang Nan, Kosuke TANAKA