

構造化 GNL による目的地選択モデルと 圏域を考慮した選択肢集合の導入

近松 京介¹・羽藤 英二²

¹学生会員 東京大学 工学部社会基盤学科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: chikamatsu@bin.t.u-tokyo.ac.jp

²正会員 東京大学 工学部社会基盤学科 (〒 113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1)
E-mail: hato@bin.t.u-tokyo.ac.jp

ここ 50 年で首都圏は様々なインフラが整備され、都市構造を大きく変容させてきた。目的地選択の分野においては、交通ネットワークが高密度化・複雑化し、移動速度が大きく変化したため、人々の行動においても目的地を選択する際に認知レベルでの変化が起きていると思われる。本研究では、そのように近年変化しつつある人々の目的地選択を表現するモデルとして、単純な交通ネットワークの幾何関係から選択肢間の相関を記述し、アロケーションパラメータを構造化したモデルを提案する。また、適切な目的地選択肢集合を生成するために、移動目的ごとの圏域を考慮し、スケーリング指数を用いてそれを評価することで選択肢集合の限定できることを示した。

Key Words : 分布交通, 圏域多重性, Gravity Model, GNL

1. はじめに

ここ 50 年間で首都圏の交通インフラはめまぐるしい勢いで整備されてきた。東京都 23 区では鉄道・地下鉄の路線があらゆるところを通っており、外延部においても中心へとアクセスするための鉄道網が整備された。路線が高密度に整備されることで、その利便性は向上し、都心では多くの人々が鉄道を利用して移動している。東京は世界でも有数の公共交通指向型都市と言える。

首都圏ではこのように交通ネットワークが概成しつつある一方、交通需要予測による政策評価において、交通需要予測精度が問題となっている。既存の交通需要予測は四段階推定法を用いているものの、分布交通量の予測や経路選択において少なからず誤差が生じてしまうことが挙げられよう。分布交通量はパーソントリップ調査で得られたデータをもとに現在パターン法で求められることが多い¹⁾。現在パターン法では、調査で得られたトリップパターンに成長率を乗じて交通量分布を求めており、サンプリングできていないパターンは拡大されないため、分布交通が 0 の OD ペアでは、誤差がそのまま残ることになる。この問題はゼロセル問題と呼ばれており、推定分布交通量を歪ませる主要な要因の一つである。ゼロセル問題を解決する手法として、分布交通量推定に目的地選択モデルと呼ばれる非集計モデルを利用することが考えられる。目的地選択モデルは選択肢を生成する過程を取り入れることが可能であることから、分布パターンを拡大する手法と

違いゼロセル問題が発生せず、より精度の高い交通量分布推定が期待できる。ただし、目的地選択モデルにおいて、ゾーン間の空間相関を適切に記述する必要がある。選択肢集合に認知されていない目的地まで含めてしまうことで、バイアスが発生するといった問題にも対処しなければならない。

首都圏における目的地選択の構造を記述するに当たり、交通ネットワークの認知プロセスを考慮すべきと考える。日本では近年駅ナカ、駅チカといった開発が多くなっており、都市において駅の中心性が高まっている。23 区内の主要な駅の求心力は高く、都内のみならず他県からも多くの人々が目的地としていることから、一つ一つの駅が幅広い圏域を有していると考えられる。さらに、路線が高密度であるため、目的地へのアクセス経路はネットワーク構成に依拠して、様々な経路・路線選択が可能であり、路線の複雑化が目的地選択に大きく影響しているといえよう。主要な駅の持つ圏域は互いに重なりあい、また一部では駅の圏域が他の大きな駅の圏域に取り込まれるといった現象が起きている可能性が高い。これは次の例を考えれば分かりやすいであろう。ある人が買い物をするために渋谷に向かっているとすると、その人は渋谷から原宿に移動して買い物するかもしれないし、代官山に行くかもしれない、あるいは新宿まで移動することも考えている。しかし、現時点ではとりあえず渋谷に向かっている。このような目的地の意思決定において、渋谷の圏域内にいる人が、原宿や代官山、新宿といった渋谷からすぐア

アクセス可能なエリアと併せて目的地選択を行っている
と説明が可能であろう。隣り合う駅と一体となって構
成される目的地の認知は、交通ネットワークによって
引き起こされているといえよう。

そこで、本研究では交通ネットワークを考慮した首都
圏における目的地選択モデルの構築および圏域概念
を用いた選択肢集合の限定を試みる。以降、まず第 2 章
において目的地選択モデルに関する既往研究を整理し
たうえで、3 章では目的地選択モデルの構築を行い、モ
デルの感度分析を行う。4 章では、選択肢集合となっ
ていであろう圏域に関して、2008 年のパーソントリ
ップ調査のデータを用い、その抽出・可視化を行い、選
択肢集合限定の手法について触れる。そのうえで、5 章
ではまとめとして、本研究で構築したモデルの将来性
について議論する。

2. 既往研究の整理と本研究の位置づけ

既存の目的地選択モデルは、Multinomial
Logit(MNL) モデルが一般に用いられる。MNL
モデルは Luce(1959)²⁾、McFadden(1973)³⁾ によって
効用最大化理論と合致した離散選択モデルとして提案
されており、それぞれの選択肢の誤差項に独立で同一な
(identically and independently distributed; IID) ガン
ベル分布を仮定し、IIA(Independence and Irrelevant
Alternatives) 特性を有している。IIA 特性は、選択肢
集合を確定せずに部分集合のみで推定してもパラメー
タ推定値にバイアスが生じないという長所と同時に選
択肢間の相関が考慮できないという短所を持つ。実際
は、目的地選択において空間的に近接するゾーン間は
類似性が高いことから、効用の誤差項に相関が生じると
考えられる。選択肢間の相関を考慮した目的地選択
モデルとしては、Spatially Correlated Logit(SCL) モ
デル及び Generalized Nested Logit(GNL) モデルを
利用した目的地選択モデルが存在する。どちらのモ
デルも目的地をネストによって記述し、アロケーショ
ンパラメータやスケールパラメータを用いて空間相
関を表現するモデルである。SCL モデルは Bhat and
Guo(2004)⁴⁾ によって提唱されたモデルで、隣接す
るゾーン i, j ごとにネスト ij を形成している。一方、
GNL モデルを用いた目的地選択モデルは Bekhor and
Prashker(2008)⁵⁾ によって提唱されたモデルであり、
ネスト m をゾーン m が隣接しているゾーン n によ
って構成している。図-1 に仮定したゾーンと仮定された
ゾーンに対応するそれぞれのモデルとネスト構造を表
す。目的地選択モデルでは選択肢集合のサイズが大き
いため、アロケーションパラメータを用いてこれを構
造化して与えることが多い。アロケーションパラメー

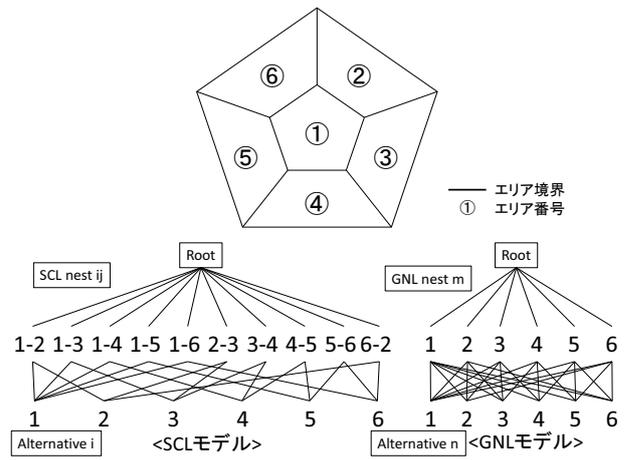


図-1 目的地の仮定と各モデルのネスト構造

タの定義とネスト構造によって選択率は大きく影響を
受ける。SCL モデルでは、Bhat and Guo⁴⁾ らはアロ
ケーションパラメータ $\alpha_{i,j}$ を以下の式 (1) で定義した。

$$\alpha_{i,j} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_k \omega_{ik}} \quad (1)$$

ω_{ij} はゾーン i とゾーン j が接する場合に 1、そう
でない場合には 0 と定義されている。一方、GNL
モデルを用いた目的地選択モデルでは、Bekhor and
Prashker(2008)⁵⁾ らはアロケーションパラメータ α_{nm}
を以下の式 (2),(3) のように 2 通りで定義した。

$$\alpha_{nm} = \frac{L_{nm}}{L_n} \delta_{nm} \quad (2)$$

$$\alpha_{nm} = \frac{A_n}{A_m} \delta_{nm} \quad (3)$$

L_n はゾーンの外周距離、 L_{nm} はゾーン n と m が接し
ている距離、 A_n は選択肢 n の面積、 A_m はネスト m に
含まれる面積の合計、 δ_{nm} はそれぞれ、ゾーン n と m
が接する場合 1、そうでない場合は 0、ネスト m が選
択肢 n を含む場合 1、そうでない場合 0 と定義されて
いる。

ここで先ほどの渋谷を目的地とする例を考えてみよ
う。交通ネットワークのつながりによって目的地となる
場所の選択肢の認知が相関していると考えerことは妥
当のように思われる。一方、既存の研究では交通ネット
ワークを加味したネスト及びアロケーションパラメー
タの設定を行っている例はない。本研究では、首都圏
の人々の目的地に対する認知を、交通ネットワークの
接続条件によってネスト及びアロケーションパラメー
タを構造化することで表現したモデルを構築すること
を試みる。

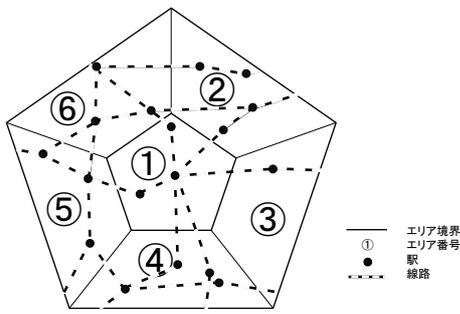


図-2 仮定されたゾーンと交通ネットワーク

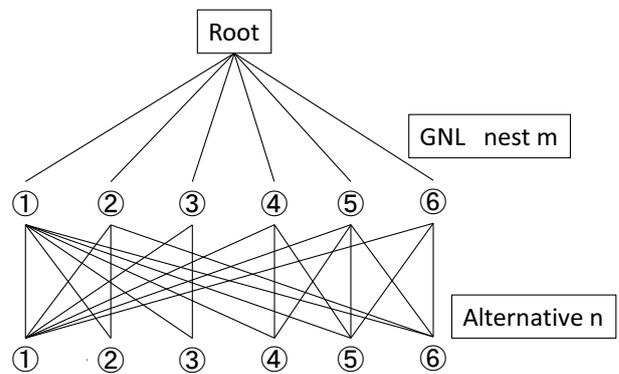


図-3 本研究で構築したモデルにおけるネスト

3. 都市構造を考慮した目的地選択モデル

(1) 一般的定式化

本研究で提案するモデルは2章で触れたGNLモデルを用いた目的地選択モデルを基礎としたうえで、隣接関係でネストを構成するのではなく、ネスト m をゾーン m が交通ネットワークで接続しているゾーン n によって構成する。交通ネットワークで接続しているとは、基本的に交通ネットワーク上のモビリティを用いて、ゾーン間を円滑に移動できることを意味する。従って、交通ネットワークで関連づけられないゾーンはネストを持たず、単一の選択肢となる。ただし、こうした条件のみを考慮すれば、東京のように高密度な交通ネットワークを持っている地域においては全てのゾーンが一つのネストに含まれることになることから、ネットワーク接続範囲について以下の制約条件式(4)を付加する。

$$D_{ij} \leq b_d \quad (4)$$

制約条件は、交通ネットワークでの接続条件を規定するものであり、ゾーン i とゾーン j 間の移動時間や駅数、乗換数などの指標 D_{ij} の値が閾値 b_d 以下までは交通ネットワークが接続していることと定義する。この閾値 b_d によって、ネストに含むゾーンの範囲が決まる。ネットワーク接続範囲制約条件としては多様な指標が考えられる。以上の条件の下で、目的地選択モデルを一般的なGNLモデルとして記述する。このとき選択確率は以下の式(5)~(7)で与えられる。

$$P(n) = \sum_m P(n|m)P(m) \quad (5)$$

$$P(n|m) = \frac{(\alpha_{nm}e^{V_n})^{1/\mu_m}}{\sum_{n \in N_m} (\alpha_{nm}e^{V_n})^{1/\mu_m}} \quad (6)$$

$$P(m) = \frac{(\sum_{n \in N_m} (\alpha_{nm}e^{V_n})^{1/\mu_m})^{\mu_m}}{\sum_m (\sum_{n \in N_m} (\alpha_{nm}e^{V_n})^{1/\mu_m})^{\mu_m}} \quad (7)$$

m はネストを指し、 N_m はネスト m に含まれる選択肢集合を表している。また、 μ_m はネスト m に定められるスケールパラメータ ($0 < \mu_m \leq 1$) である。 α_{nm} は、ネス

ト m に対する目的地ゾーン n の割合を占めるアロケーションパラメータであり、 α_{nm} は非負で $\sum_m \alpha_{nm} = 1$ という制約のもとで設定される。

(2) 具体的なモデルの構造化

図-2のようなゾーンを想定し、一例として次のような圏域条件およびアロケーションパラメータを構造化することを考える。ネットワーク接続範囲制約条件として、ネスト m をゾーン m に接続している路線を使ってゾーン m 外に向かって1駅までで接続するゾーン n によって構成する。このとき、ネストは図-3のように表せる。また、アロケーションパラメータを以下の式(8)で与える。

$$\alpha_{nm} = \frac{C_{nm}}{C_n} \delta_{nm} \quad (8)$$

ただし、 α_{nm} は以下の式(9)を満たす。

$$\sum_m \alpha_{nm} = 1 \quad (9)$$

C_n はゾーン内の駅の数とネットワーク接続範囲制約条件内で接続している駅の数合計を、 C_{nm} は、ゾーン m において、ゾーン n からのネットワーク接続範囲制約条件を満たす駅の数を表すものとし、 δ_{nm} はゾーン n と m がネットワーク接続範囲制約条件内で接続する場合1、そうでない場合は0と定義する。このように定義するとアロケーションパラメータの値 α_{nm} は表-1のようになる。また、SCLモデルのアロケーションパラメータを表-2に示す。

以上のような構造化だけでなく、駅の接続条件を2駅に設定することや、移動時間でネットワーク接続範囲制約条件を設定することも可能となる。アロケーションパラメータにおいて、駅ごとにポロノイ分割を行い、駅数の代わりに面積を使うことで、実数値を与えることも可能であろう。ただし、ネットワーク接続範囲制約条件に対応したアロケーションパラメータの適切な設定が必要となる。

表-1 アロケーションパラメータの値

選択肢	ネスト						駅数
	1	2	3	4	5	6	
1	3/9	1/9	1/9	2/9	1/9	1/9	9
2	1/7	4/7	0	0	0	2/7	7
3	1/2	0	1/2	0	0	0	2
4	1/6	0	0	4/6	1/6	0	6
5	1/6	0	0	1/6	3/6	1/6	6
6	1/8	2/8	0	0	2/8	3/8	8

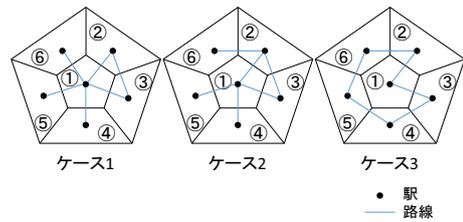


図-4 簡単な都市構造を持つ三種類のケース

表-2 SCL モデルのアロケーションパラメータの値

選択肢	ネスト											隣接数
	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	2-3	3-4	4-5	5-6	6-2		
1	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	1/5	0	0	0	0	0	5
2	1/3	0	0	0	0	1/3	0	0	0	1/3	0	3
3	0	1/3	0	0	0	1/3	1/3	0	0	0	0	3
4	0	0	1/3	0	0	0	1/3	1/3	0	0	0	3
5	0	0	0	1/3	0	0	0	1/3	1/3	0	0	3
6	0	0	0	0	1/3	0	0	0	1/3	1/3	0	3

(3) 提案モデルの感度分析

提案したモデルについて、複数の簡単な都市構造を仮定し、それぞれの選択確率を比較する。仮定する都市のネットワーク構造は図-4 に示した 3 通りとする。いずれのケースについてもネットワークのリンク数は 6 に固定し、ケース 1 は中心がハブを持つ構造、ケース 2 は中心ともう一つハブがある構造、ケース 3 はハブがない構造とする。効用の確定項はどのゾーンも 1 とし、スケールパラメータ μ は全て 0.5 とし、アロケーションパラメータを式 (8) によって定義する。以上より求められるネストの選択確率とゾーンの選択確率をケースごとに示したのが表-3 である。

表-3 より、ハブ機能を持つゾーンのネストの選択確率が高い値を示していることが分かる。各ゾーンの効用の確定項がすべて 1 で固定されているため、ゾーンの選択確率はゾーン数に比して低い値を示しているものの、ネットワークの接続方法が変化することで、他ゾーンに比して、選択確率が相対的に増加していると思われる。また、実際のゾーンではゾーン一つに駅一つではなく、複数あると考えられる。ハブ機能を持つゾーンは複数の駅を持つことが予想されるため、アロケーションパラメータも大きくなることから、選択確率の増加が見込まれる。したがって、渋谷のようなゾーンを考えたときに、恵比寿や代官山などのゾーンとの隣接関係が寄与し、渋谷の選択確率が高くなるといった意思決定が表現可能ということになる。一方、ケース 3 のハミルトン閉路のようなネットワークを有する地域では全ての駅は対等であり、目的地選択確率は等しい値を示している。ケース 2 ではゾーン 5 とゾーン

表-3 ケース毎のネスト及びゾーン選択確率

		1	2	3	4	5	6
ケース 1	ネスト m	0.28	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15
	ゾーン n	0.08	0.16	0.16	0.20	0.20	0.20
ケース 2	ネスト m	0.23	0.19	0.13	0.15	0.15	0.15
	ゾーン n	0.09	0.11	0.15	0.21	0.21	0.22
ケース 3	ネスト m	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
	ゾーン n	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17

6 は同じ次数であるが、選択確率が異なる。これは、空間的な隣接関係だけでは表せないゾーン間の分断やどの所属ハブの次数によって選択確率が変化することを表現できていると考えられる。

4. 選択肢集合の圏域による限定

首都圏において、駅は中心性の高い施設になっている。特に求心力の大きい駅は広い圏域を持つと考えられ、人々はこうした圏域の中で選択肢集合を限定していると考えられる。本章では、東京都市圏パーソナリティ調査のデータを用い、可視化によって圏域の存在を示し、次に、主要駅に関してトリップの集中の仕方を分析することを試みる。そのうえで主要駅の持つ圏域の基本特性を考察し、圏域を用いた選択肢集合限定の手法について考察する。

(1) データ概要

利用するデータに関して概要を説明する。東京都市圏では 1968 年から 10 年毎に PT 調査を行っており、50 年分のデータの蓄積があることから、首都圏の圏域分析には非常に有用なデータであると考えられる。本研究では 2008 年に行われた東京首都圏 PT 調査のデータを利用する。調査範囲は東京都・神奈川県・埼玉県・千葉県・茨城県南部、調査方法は調査対象である東京都市圏居住世帯 1600 万世帯のうち 140 万世帯に対する往復郵送によるアンケート調査となっている。2008 年 PT 調査の有効回収率は約 24%であった。

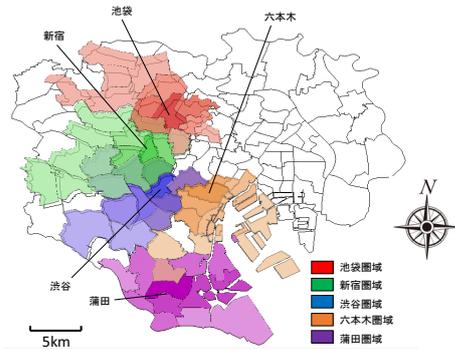


図-5 抽出された 2008 年の圏域

(2) データを用いた圏域抽出

a) トリップ数による都市拠点および圏域の定義

圏域を定量的に記述するうえで、PT 調査データを用いた分析を行う。分布交通量 Q_{rs} を発生交通量 Q_r で除した値を他ゾーン選択確率 P_{rs} を以下の式 (10) で定義する。

$$P_{rs} = Q_{rs}/Q_r \quad (10)$$

このとき閾値 b_p を導入し、 $P_{rs} \geq b_p$ となると、出発ゾーン r は到着ゾーン s の圏域内であると定義する。さらに、比較的大きい圏域のみの可視化のために、閾値 b_n を導入し、ゾーン s の持つ圏域に含まれるゾーン数が b_n より小さい場合、その圏域の可視化は行わない。

b) 圏域の可視化

a) で導入した圏域の概念を用いて、実際に拠点と圏域を抽出し、その可視化を行う。今回分析を行うのは、東京都 23 区とする。東京都 23 区内は特に鉄道ネットワークの密度が高く、山手線上には求心力が高いと予想される拠点多いと考えられる。

図-5 は閾値によって抽出された圏域を示している。選択率の閾値 b_p は 0.02(2%)、圏域であるゾーン数の閾値 b_n は 10 と設定してある。求心力の高いゾーンとして、渋谷・新宿・池袋・六本木・蒲田が抽出された。圏域は、池袋は東武東上線沿い、新宿は中央線沿い、渋谷は東急東横線沿いに広がっており、圏域も交通ネットワークの影響を強く受けている。また各圏域の重なりについても 10 以上のゾーンで確認された。山手線上での重なりが多く、路線接続によるゾーンの相関を示唆する結果となっている。首都圏単位で同じ分析をすると、各県中心部で同じような現象が起きていることが分かり、特に横浜は東京 23 区と同等数の圏域を所有しており、これは横浜駅を中心とした充実した鉄道ネットワークが与える影響が大きいためと予想される。

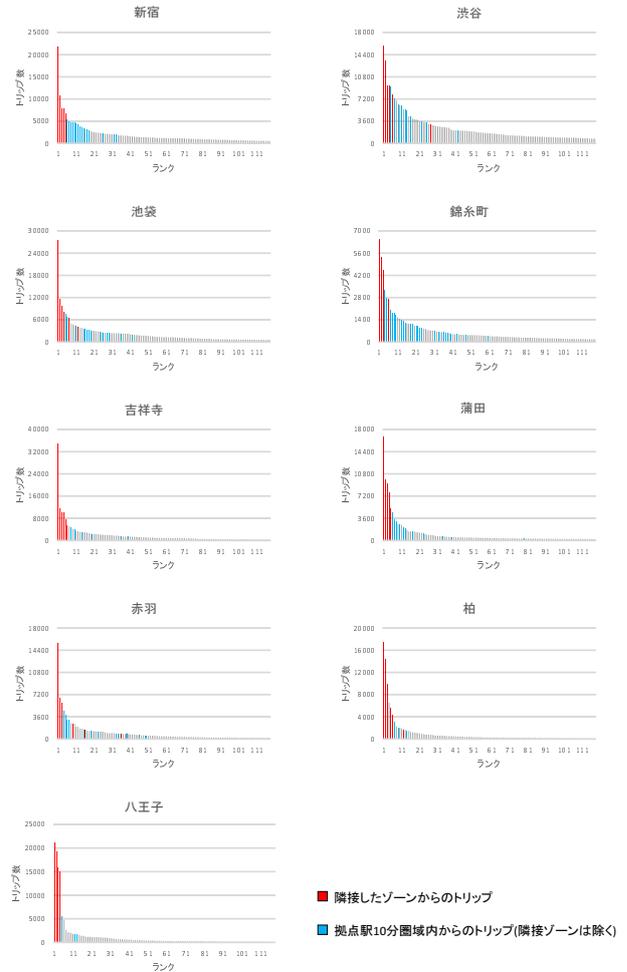


図-6 主要駅を含むゾーンへのランク順出発トリップ数

(3) 圏域の持つ基本特性

図-6 に主要駅を含むゾーンへの発トリップをランク順に並べた結果を示す。赤の棒グラフは隣接したゾーンからのトリップ数を示しており、青の棒グラフは鉄道利用時の 10 分圏域内のゾーンからのトリップ数を示している。どの駅においても赤と青の棒グラフが上位を占めてはいるものの、新宿、渋谷、池袋といった拠点はそれ以上に幅広いゾーンからトリップを集中させていることが分かる。一方、八王子、柏などは近隣のゾーンからのトリップ数は非常に多いものの、幅広いゾーンからトリップを集中させているわけではない。また、全てのグラフにおいてロングテール現象を示しており、べき乗則に従う形状をしている。べき乗則を満たす関数はべき関数と呼ばれ、べき関数の累乗部分の係数はスケーリング指数と呼ばれている。図-6 のグラフを累乗近似し、スケーリング指数を求め、大きいものから表 4 に示し、同時に、代表駅があるゾーンにささる路線数をネットワーク次数として示す。

表-4 各ゾーンのスケーリング指数

ゾーン代表駅	ネットワーク次数	スケーリング指数
新宿	14	-0.747
渋谷	10	-0.780
池袋	10	-0.812
錦糸町	4	-0.869
吉祥寺	6	-0.964
蒲田	7	-0.981
赤羽	9	-0.987
柏	3	-1.162
八王子	5	-1.222

表の並びは、駅の利用者数の大きい順の並びと一致しており、スケーリング指数は PT データを用いた求心力の簡単な評価指標となりうる。一方で、ネットワークの次数に関しては、スケーリング指数が比較的小さい場合は外れているものの、次数が大きいほどスケーリング指数が大きい傾向にある。

(4) スケーリング指数を用いた選択肢集合の限定

スケーリング指数が大きいゾーンは求心力が高いゾーンであることを表し、図-6 から読み取れるようにスケーリング指数が大きいゾーンほど近隣以外のゾーンからもトリップを集めていることがわかるので圏域は大きいと考えられる。ゾーンのスケーリング指数の値に対応して圏域の広さを定めることで、圏域の重なりとその選択肢構造の記述が可能となる。また、スケーリング指数は各ゾーンで PT データから簡単に求めることができ、かつ移動目的ごとに集計した PT データを用いることで、各ゾーンの移動目的ごとのスケーリング指数を求めることも難しくない。選択肢集合は移動目的ごとに異なることから、移動目的ごとのスケーリング指数を用いることが望ましい。

5. まとめ

本論文では、交通ネットワークによる空間相関の考慮した目的地選択モデルを提案し、その具体例として路線と駅というネットワーク要素から選択肢の構造化を行った。本研究で提案した目的地選択モデルは、人々の目的地選択の認知構造と対応づけることが可能である。また、適切な選択肢集合の生成のために圏域という概念を導入した。PT データから東京 23 区の圏域を可視化し、その存在を示したのちに、ゾーンへの発トリップの集計・ソートによって、圏域の大きさを表す指標を導出した。スケーリング指数と呼ばれるこの指標は、移動目的ごとに算出することができ、移動目的ごとに異なる選択肢集合を記述することが可能であると示した。

今後の課題としては、一般的に定式化された目的地選択モデルにおいて、アロケーションパラメータの構造化による目的地選択モデルの精度検証を行う必要がある。また、選択肢集合の生成においては、スケーリング指数と圏域の広さの関係式の記述、将来のスケーリングパラメータの算出手法の確立が求められる。以上を踏まえ、最終的には統合的なモデルを構築し、より正確な分布交通の推定を目指したい。

参考文献

- 1) 佐佐木綱：道路交通量の推定について，道路・交通工学における最近の諸問題，土木学会関西支部，1966．
- 2) Luce, R. : Individual Choice Behavior, A theoretical analysis, John Wiley, New York, 1959.
- 3) McFadden, D. : Conditional logit analysis of qualitative choice behavior, Frontiers in Econometrics ed P.Zarebka, Academic Press, New York, pp.105-142, 1973
- 4) Bhat, C.R. , Guo, J. : A mixed spatially correlated logit model: formulation and application to residential choice modeling, Transportation Research Part B 38, pp.147-168, 2004
- 5) Shlomo Bekher, Joseph N. Prashker: GEV-based destination choice models that account for unobserved similarities among alternatives, Transportation Research Part B, Vol42, pp. 243-262, 2008.

STRUCTURAL GNL-BASED DESTINATION CHOICE MODEL USING MULTIPLE ZONES IN CHOICE SET GENERATION

Kyosuke CHIKAMATSU and Eiji HATO