名古屋市における交通行動モデル
– 地域特性の違いを考慮して –

M2004MM027 宮花　亜希子
指導教員　伏見　正則

1　はじめに

国内のモータリゼーション化が進んでから半世紀が経つ。モータリゼーションの発達によって人々の生活環境は著しく変化した。廉価で手軽な車を導入することで車社会は急速に発達した。車が人々の生活に身近になるにつれ、人々の生活が便利になる一方で、交通弱者が虐げられる交通環境、環境問題など問題点も数多く発生している。そこで、各自治体では公共交通機関の見直しを行っている。従来、交通機関の見直しは、高速道路の建設や鉄道建設といったハード面での改良をであった。しかし、住居区域などが確立された現在、ハード面での改良は望ましいものとはいえない。そこで重要となってくるものは、料金の改定や走行本数の増加といったソフト面での改良といえる。本研究では、ソフト面での改良を行う際に必要となる交通機関利用者予測を行う。

2　研究対象地域と使用データ

本研究では、名古屋市の全 16 区のうち名古屋市営の交通機関を主として利用する守山区を除く 15 区とする。個人の交通行動は、パーソントリップ調査を用いて分析する。パーソントリップ調査 [1] では、どのような目的でどこ（起点）からどこ (終点) まで移動したかを調査する。交通手段は、徒歩・二輪・自動車・バス・地下鉄のいずれかで主として利用した交通手段を代表交通手段とする。起点や終点は、研究対象地域を 113 に分割してできた一つのゾーンの代表点をさす。交通行動の主体である人は、ゾーンの代表点からゾーンの代表点までを移動するものとする。パーソントリップ調査によって得られた区別代表交通手段を図 1 に示す。

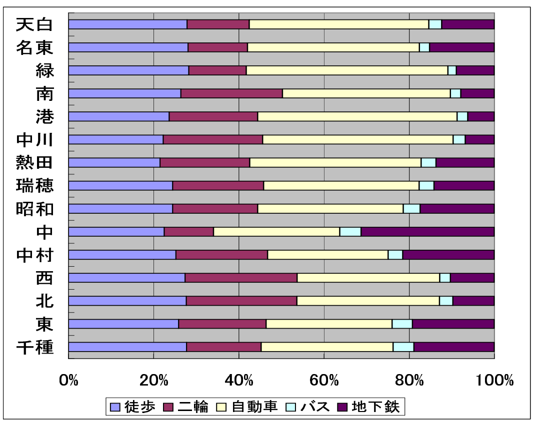

図 1　区別の交通機関利用率

3　交通ネットワーク

代表交通手段を利用して移動するネットワークを作成する。ゾーンの代表点は、ゾーンを多角形と考えた面積の重心とし、ゾーン間の移動には、最短距離を移動するものとする。本研究では、直線距離の 1.25 倍を実際距離とする。徒歩・二輪・自動車の交通手段にはゾーン間を一定速度で移動するとする。バスの選択には、ゾーン代表点から最も近いバス停のうち、最も系統を多く持つバス停を選択するとする。地下鉄の選択においても、最も近い駅を利用し駅までの交通手段には徒歩・二輪・バスを利用するものとする。本研究では、作成したネットワークを用いて所要時間、料金を算出するとする。

4　モデル式

4.1　基本的考え方

交通に関する選択は、交通を行うか否か、どこへ行くかいつ行くか、どの交通手段を用いるか、どの経路を通るか、といった選択肢群の中から 1 つの移動パターンを決定するものである。これらの選択肢群の相互関係は様々であり、通勤トリップの目的地と手段のように意思決定のタイムスパンの異なるものや、買い物トリップの手段と経路のように相互の関連性が強く同時的に決定されるものなど、トリップの目的によっても変化する。
このような移動パターンの決定は、個人によって様々な方法で行われていると考えられる。したがって合理的行動から全くランダムな行動まで、数多くの行動仮説を立てることができるが非集計分析は、適用可能性が高い行動仮説として、「個人等の意思決定者が利用可能な選択肢群の中から合理的な選択により、もっとも望ましい選択肢を選択する」を用いている。すなわち「利用可能な選択肢」から「もっとも望ましい選択肢」を選ぶとしている [2]。

4.2　基本式

ここでは、非集計モデルの基本式を、その基礎理論であるランダム効用理論の考え方に沿って説明する。ある選択肢 j の持つ「望ましさ」、あるいは「効用 (Utility:(U_j))」は、その選択肢の持つ特性 (X_j) と個人 n の社会経済属性 (S_n) によって異なると考えられている。しかし、その原因のすべてを観測することは不可能である。そのため、効用は確率的に変動すると考えることが適切である。個人 n が選択肢 J_n の中から選択肢 i を選択するのは、選択肢 i が J_n に含まれるすべての選択肢の中で効用がもっとも大きい場合であり、次のことが言える。

$$U_i > U_j, \quad \forall j \in J_n \backslash i \tag{1}$$

ここで、個人 n が選択肢 J_n の中から選択肢 i を選択する確率 P_{in} は

$$P_{in} = Pr[U_i > U_j, \quad \forall j \in J_n \backslash i] \tag{2}$$

$$Pr[*] : *\text{の成立する確率}$$

と表せる。次に、効用 U_j のうち、観測可能な要因による確定項を V_j, 観測不可能な要因により確率的に変動する確率項を ε_j とし、その線形性を仮定すると、

$$U_j = V_j + \varepsilon_j \tag{3}$$

と表せる。
式 (3) を式 (2) に代入して整理すると、

$$\begin{aligned} P_{in} &= Pr[U_i > U_j, \quad \forall j \in J_n \backslash i] \\ &= Pr[V_i + \varepsilon_i > V_j + \varepsilon_j, \quad \forall j \in J_n \backslash i] \\ &= Pr[V_i + \varepsilon_i > \max_{j \neq i}(V_j + \varepsilon_j)] \end{aligned} \tag{4}$$

となる。最後の表現は、選択肢集合 J_n の中の i 以外のすべての選択肢 j の最大効用を与える「合成した選択肢」をつくり、選択肢 i の効用がこの合成選択肢効用（U^*）を上回れば、選択肢 i が選ばれることを意味している。

確率項の分布形は、いくつもの観測不可能な要因の同時分布であることから、最も一般的には、正規分布と考えるのが適切である。しかし、確率項を正規分布と仮定して導出されるプロビットモデルは、パラメータ推定が複雑である。このため、プロビットモデルの近似解として、パラメータ推定の容易なロジットモデルが導出されている。具体的には、確率項の分布を正規分布と類似した二重指数分布 (ガンベル分布) と仮定する。ロジットモデルの導出に用いる確率項の分布関数は、次式で表される。

$$\begin{aligned} \psi(\eta) &= Pr[\varepsilon_i \leq \eta] \\ &= \exp[-\exp(-\eta)] \end{aligned} \tag{5}$$

であり、選択肢について独立で同一とする。ここで U^* を

$$U^* = \max_{j \neq i}(V_j + \varepsilon_j) \tag{6}$$

と定義する。選択肢 j の確率項 (ε_j) が式 (5) の二重指数分布の場合には、二重指数分布の性質から、

$$\begin{gathered} U^* = V^* + \varepsilon^* \\ V^* = ln[\sum_{j \neq i} \exp(V_j)] \\ \varepsilon^* = \varepsilon_j \end{gathered} \tag{7}$$

となることが知られている。この時、

$$\begin{aligned} P_{in} &= Pr[\varepsilon_i = \eta, \varepsilon^* < \eta + V_i - V^*] \\ &= Pr[\varepsilon_i = \eta]Pr[\varepsilon^* < \eta + V_i - V^*] \\ &= \int_{\eta=-\infty}^{\infty} \psi'(\eta)\psi(\eta + V_i - V^*)d\eta \end{aligned} \tag{8}$$

また

$$\begin{aligned} Pr[\varepsilon_i = \eta] &= \psi'(\eta) \\ &= \frac{\partial \psi(\eta)}{\partial \eta} \\ &= \exp(-\eta)\psi(\eta) \end{aligned} \tag{9}$$

より、

$$P_{in} = \int_{\eta=-\infty}^{\infty} \exp(-\eta)\psi(\eta)\psi(\eta + V_i - V^*)d\eta \tag{10}$$

となる。ここで、$\psi(\eta)\psi(\eta + V_i - V^*)$ を y とおくと

$$y = \exp[-\exp(-\eta)(1 + \exp(-V_i + V^*))] \tag{11}$$

$$\frac{dy}{d\eta} = y\exp(-\eta)(1 + \exp(-V_i + V^*)) \tag{12}$$

また、

$$\begin{gathered} \eta = \infty : y = \exp[0] = 1 \\ \eta = -\infty : y = \exp[-\infty] = 0 \end{gathered}$$

である。したがって、

$$\begin{aligned} P_{in} &= \int_{\eta=-\infty}^{\infty} y\exp(-\eta)d\eta \\ &= \int_{y=0}^{1} \frac{y\exp(-\eta)dy}{y\exp(-\eta)(1 + \exp(-V_i + V^*))} \\ &= [\frac{y}{1 + \exp(-V_i + V^*)}]_{y=0}^{1} \\ &= \frac{\exp(V_i)}{\exp(V_i) + \exp(V^*)} \\ &= \frac{\exp(V_i)}{\sum_j \exp(V_j)} \end{aligned} \tag{13}$$

を得る。以上より、一般的に利用可能な選択集合 (J_n) から選択肢 i を選ぶ多選択肢ロジットモデル式を得たことになる。

4.3　確定項について

確定項 V_i は要因 $Z_i = (Z_{1i}, Z_{2i}, \ldots, Z_{ki})$ の線形関数で表現される。

$$V_i = \beta_1 Z_{1i} + \beta_2 Z_{2i} + \cdots + \beta_k Z_{ki} \tag{14}$$

$$k : \text{要因の数}$$
$$\beta_1 \sim \beta_k : \text{パラメータ}$$

本研究で用いた確定項は次節以降詳しく述べるとする。

4.4　集計型ロジットモデル

前述した多選択肢ロジットモデルは非集計型データに適用される。本研究で使用したパーソントリップ調査のデータは集計型のデータである。そこで、集計型データでも扱えるようにした集計型ロジットモデルを用いることとする [3][4]。集計型ロジットモデルは以下の式で表される。

$$Prob_i = \frac{\exp(v_i)}{\sum_j \exp(v_j)} \tag{15}$$

$$v_i = \beta_1 z_{1i} + \beta_2 z_{2i} + \cdots + \beta_k z_{ki} \tag{16}$$

$Prob_i$: 交通機関 i の分担率
v_j : 交通機関 j の効用
z_{ki} : k 番目の説明要因

5　交通行動モデル

5.1　モデル式

本研究で使用したモデル式は以下の通りである。

$$Prob_i = \frac{\exp(v_i)}{\exp(W_e) + \exp(N_e) + \exp(C_e) + \exp(B_e) + \exp(M_e)} \tag{17}$$

$Prob_i$:交通手段 i における実際の選択確率
v_i : 選択された交通手段 i の効用
W_e : 徒歩の効用
N_e : 二輪の効用
C_e : 自動車の効用
B_e : バスの効用
M_e : 地下鉄の効用

以下に効用について記す

$W_e = \beta_1 *$ (徒歩所要時間) $+ \beta_2$
$N_e = \beta_3 *$ (二輪所要時間) $+ \beta_4$
$C_e = \beta_5 *$ (車所要時間) $+ \beta_6 *$ (料金)
$+ \beta_7 *$ (名古屋までの距離)
$+ \beta_8 *$ (隣接区のなら 1 その他は 0) $+ \beta_9$
$B_e = \beta_{10} *$ (バス乗車時間) $+ \beta_{11} *$ (バス料金)
$+ \beta_{12} *$ (バスターミナルを含む時 1 その他は 0)
$+ \beta_{13}$
$M_e = \beta_{14} *$ (地下鉄乗車時間) $+ \beta_{15} *$ (乗車外時間)
$+ \beta_{16} *$ (乗車料金) $+ \beta_{17} *$ (乗車外料金)
$+ \beta_{18} *$ (最寄り駅までの距離)
$+ \beta_{19} *$ (中心地への移動なら 1 その他は 0)
$+ \beta_{20}$

β_1からβ_{20} はいずれもパラメータ

5.2　データ

本研究では出発地域の違いに着目し、各交通機関の分担率を予測する。研究対象地域を区ごとの 15 に分割し、15 区の出発地ごとのパラメータを推定する。ただし、中川区については、区全体の面積が広大な上、東西で交通形態が大きく異なるため、二つに分割した。本研究で使用するデータは、全目的データである。

パラメータを推定するに当たり、いくつかのデータを無効としている。パーソントリップ調査でゾーン A からゾーン B の移動にある交通手段が選択された場合、その交通手段を選択した人数をそのゾーン間移動の全人数で除したものを実際選択確率とする。まず初めに、実際選択確率が 1 の場合は、その交通手段しか利用できない特殊な場合が多いため、無効データとした。また、パーソントリップ調査は、調査期間のある一日について述べたもので、特殊な場合の回答が含まれる。よって徒歩での移動距離・二輪での移動距離・バスの所要時間は、有意水準 5% で有意なデータとする。

5.3　パラメータの推定

パラメータを求めるにあたり、残差二乗和最小の原則に基づく最小二乗法を用い、パラメータ推定方法に準ニュートン法によって最適なパラメータを求めるとする。ここで最小化する目的関数は以下の通りである。

$$\mathrm{Min}\left(\sum_i \left(Prob_i - \frac{\exp(v_i)}{\sum_j \exp(v_j)}\right)^2\right. \tag{18}$$

$Prob_i$:実データの交通手段 i の分担率
v_j:モデルによる交通手段 j の効用

パラメータの推定には統計ソフト R を用いた。

5.4　パラメータ

求められたパラメータ値と相関係数を以下の表にまとめる。

表 1-(1) : パラメータと相関係数

		千種区	東区	北区	西区	中区	中村区	昭和区	瑞穂区
徒歩	β_1	−0.09625	−0.11785	−0.12399	−0.12827	−0.15084	−0.16485	−0.10862	−0.10888
	β_2	2.127279	2.146289	2.459121	2.473635	3.158569	3.139883	1.810122	2.259085
二輪	β_3	−0.108	−0.13574	−0.11711	−0.156	−0.11718	−0.13002	−0.13017	−0.11618
	β_4	1.262426	1.306429	2.038524	2.218178	1.416275	1.446076	1.546785	1.770789
自動車	β_5	0.019088	0.00075	0.025544	−0.04202	0.025334	−0.03362	0.034532	−0.0338
	β_6	−0.13036	−0.13332	−0.10994	−0.1019	−0.12781	−0.09651	−0.18129	−0.03977
	β_7	0.033551	−0.02022	0.072418	0.141171	0.036001	0.099121	0.025358	0.052576
	β_8	0.180822	0.141215	0.415074	0.01052	0.126156	0.167429	−0.06778	0.193056
	β_9	−0.17819	0.086791	−0.18587	0.352835	0.237046	0.046215	0.164614	0.233045
バス	β_{10}	−0.00466	−0.05271	−0.00864	−0.03587	−0.01985	−0.02257	−0.00872	−0.03095
	β_{11}	−0.03678	0.020285	−0.00455	0.006663	−0.09766	−0.0123	−0.01943	0.00654
	β_{12}	0.000798	0.067701	0.159734	0.75188	0.228724	0.693744	0.500096	0.562092
	β_{13}	−0.76818	−1.17842	−1.18098	−1.35089	0.815608	−1.60111	−1.74464	−1.25569
地下鉄	β_{14}	−0.01793	−0.03573	−0.0164	−0.01191	0.004681	−0.01615	−0.00549	0.008076
	β_{15}	0.000278	0.005031	0.003177	−0.0002	−0.00153	−0.00182	0.001065	0.001235
	β_{16}	−0.04482	−0.04652	0.027861	−0.03545	0.014525	−0.02484	−0.03988	−0.02329
	β_{17}	−0.017	−0.04484	−0.01098	−0.02502	−0.00995	−0.00966	−0.01517	−0.01241
	β_{18}	0.222709	0.213864	0.149109	0.162283	0.345756	0.355902	0.315798	0.428076
	β_{19}	−0.06651	−0.2047	0.159882	−0.10726	−0.20089	0.208449	−0.25805	0.013347
	β_{20}	0.505195	0.062366	−0.78604	0.026287	−0.82602	−0.28035	−0.07944	−0.53667
相関係数		0.676771	0.673348	0.706951	0.713431	0.714358	0.67499	0.724318	0.730746

表 1-(2) ： パラメータと相関係数

		熱田区	中川区1	中川区2	港区	南区	緑区	名東区	天白区
徒歩	β_1	−0.12802	−0.13865	−0.11857	−0.0769	−0.0388	−0.09309	−0.07739	−0.02968
	β_2	1.495351	2.808588	5.11084	1.843479	0.141748	2.614412	1.85264	0.042729
二輪	β_3	−0.12475	−0.16776	−0.15544	−0.06231	−0.04579	−0.06333	−0.06197	−0.0237
	β_4	0.941112	2.72753	5.072916	0.828447	0.06324	1.323047	0.828533	0.024433
自動車	β_5	0.023687	0.027068	0.066329	−0.02734	0.054027	−0.02655	−0.02725	0.012636
	β_6	−0.13425	−0.19288	−0.21737	0.011223	−0.18482	−0.02196	0.01147	−0.09553
	β_7	0.043487	0.109067	0.209655	0.074864	0.05015	0.08165	0.074835	0.071185
	β_8	0.569163	0.109936	0.103619	0.523821	0.054595	0.483278	0.528491	0.055019
	β_9	−0.91233	0.378965	0.870514	−0.84788	0.062465	−0.32952	−0.84562	0.047272
バス	β_{10}	0.015566	−0.00324	−0.01912	−0.03543	−0.03483	0.049606	−0.03629	−0.02575
	β_{11}	−0.13627	−0.0146	−0.11124	0.013153	−0.0243	−0.14534	0.014178	−0.01787
	β_{12}	1.267703	0.358759	0.987564	−0.43784	0.14713	0.365301	−0.40687	0.005883
	β_{13}	−1.39387	−1.39542	2.516556	−0.66985	−0.3765	−0.54842	−0.66994	−0.01374
地下鉄	β_{14}	0.002138	−0.01746	−0.01466	−0.0288	−0.02235	−0.00899	−0.02891	−0.01925
	β_{15}	−0.00289	−0.00171	−0.00654	0.00485	−0.00357	0.002427	0.004931	0.011503
	β_{16}	−0.0493	0.003537	0.066574	−0.00088	0.004303	−0.00381	−0.00064	0.013023
	β_{17}	−0.01758	−0.002	0.011342	−0.01856	−0.02817	−0.01148	−0.01833	−0.01537
	β_{18}	0.140941	0.333248	0.258227	0.092649	0.012543	0.337303	0.09574	−0.01411
	β_{19}	0.319115	0.086765	0.050485	0.085983	0.095307	−0.03593	0.085585	0.039322
	β_{20}	−0.30985	−0.56356	−0.17573	0.495962	0.113422	0.171024	0.495489	0.004939
相関係数		0.748862	0.771259	0.770164	0.776495	0.768982	0.824199	0.776504	0.771883

5.5　分析

予測確率とは、最小二乗法によって求められたパラメータを用いて算出された確率とする。
以下に予測確率 (yosoku) と実際選択確率 (p1) の相関図を示す。この二つの相関図は、もっとも相関がみられなかった東区と最も相関がみられた緑区である。

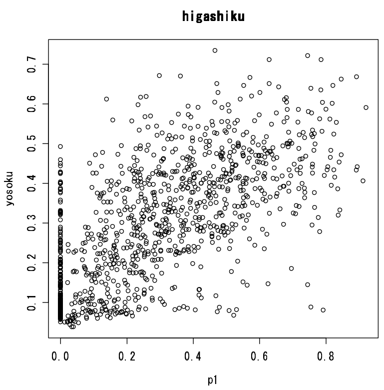

図 2　東区 (相関係数 0.67)

相関があまりみられなかった図 2 であるが、狭い地域ながら地域内で交通の便に大きな差があり、それが予測確率を実際確率に近づけられなかった原因であると考えられる。同様な結果が得られた千種区は、上記の理由に加え、バス利用者が他の地区と比べて非常に多いという特徴が見られた。名古屋市の中心地である栄駅に向かう場合、バスを利用する人が大変多く見られた。この結果を考慮し栄行きのバスにある一定の重みをつけたが、結果が改善されることはなかった。また、ばらつきの原因を考えるため、標準化残差を調べ、2.5 以上のデータを取り出した。すると、時間による効用や料金に関する効用その他原因を探っても予測確率は妥当であるが実際選択確率は全く異なるものもあった。その場合標準化残差が 3 以上のものは不適切なデータとして取り除いたが、それ以外は調査データの結果としてそのまま残し、パラメータの推定を行った。

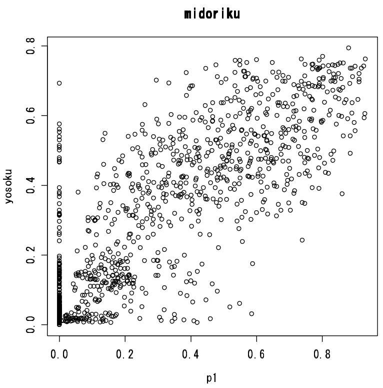

図 3　緑区 (相関係数 0.82)

相関が見られた地域でも図 3 のように実際選択確率が 0 であるにもかかわらず予測確率が高い値を示しているものがある。これらの原因について考察を重ねたが、あるデータについてはバスの運行間隔が大きいことが原因であり、また違うデータでは商業都市間の移動であるため二輪の利用者が多くなり、他の交通機関実際選択確率が小さくなってしまうなど、各ゾーンごとの特徴によって確定項に入れる効用が変わってしまうといったものが多く、これ以上の説明変数を見つけることは不可能であった。
研究の中で、説明変数が多すぎるためにモデルの精度を下げているのではないかと考え、説明変数を減らしたが、いずれもよい結果を導くことはできなかった。今回の推定により、8 割を超える地区が実際選択確率と高い相関を示しているため、このモデルは適切なものであると考えた。

6　おわりに

本研究では様々な要因を用いて予測確率を推定し、実際選択確率と高い相関を示せた。今後満足度なども要因としたさらによいモデルを目指すとよいと考える。

参考文献

[1] 名古屋市：パーソントリップ調査報告書, 将来交通需要予測, 名古屋市, 平成 16 年 3 月.
[2] 交通工学研究会：やさしい非集計分析, 丸善株式会社, 平成 5 年 12 月 .
[3] 伊藤　俊二：桜通線野並・徳重間の延伸に伴う交通手段の変化の予測, 南山大学卒業論文, 2005.
[4] 金坂　智雅：仙台都市圏パーソントリップ調査を用いた交通行動の予測, 中央大学修士論文, 2004.