

交通手段選択における所要時間の信頼性と出発時刻を考慮した通勤行動分析*

Combined Travel Time Reliability/Departure Time Mode Choice Model *

浅岡克彦**, 若林拓史***, 亀田弘行****, 飯田恭敬*****

By Katsuhiko ASAOKA **, Hiroshi WAKABAYASHI ***, Hiroyuki KAMEDA **** and Yasunori IIDA *****

1. はじめに

通勤には始業時刻等の到着時刻制約があり、通勤者は、それらを含めた各交通手段の利害得失を総合的に判断して利用交通機関を決定している。交通手段選択行動の分析については、従来より非集計行動モデルにより平均所要時間等を用い説明されてきた。しかし、各交通機関の所要時間は確定的ではなく、その信頼性は各々異なっている。所要時間の変動に関する研究としてHall¹⁾は、所要時間の変動が正規分布に従うと仮定し、通勤ドライバーの交通行動を実効旅行時間と遅刻確率の不効用の和の最小化問題としてモデル化した。Hall¹⁾では分析の枠組みが提案され定量的な検討は行なわれていないが、Hall論文の枠組みに基づいて通勤者の交通行動を定量化した研究はいくつか存在している。例えば飯田・柳沢・内田²⁾は、公共交通機関を含めた手段選択や経路選択と出発時刻決定の同時推定を通勤者の効用関数としてモデル化し、実例を用いてNLモデルを適用して交通行動を説明している。しかし、明示的に所要時間の変動や出発時刻、到着時刻に関して利用者の実態を調査した上での研究は少なかった。

筆者らは、従来の説明変数の他に所要時間の信頼性を組み込んだ手段選択モデルを提案した。そして利用者を対象にアンケート調査を実施し、それを用いて平均所要時間と最小所要時間や最大所要時間の差の影響を明らかにした³⁾。本研究ではこれに加え、

通勤者は、出発時刻とこれに伴う余裕時間、遅刻率ならびに通勤手段の時間信頼性を考慮したうえで交通手段を選択すると考え、NLモデルを用いてモデルを構築しパラメータを推計した。そして余裕時間と遅刻率の関係を明らかにするとともに、文献3の信頼性を考慮したMNLモデルを用いた分析結果とNLモデルによる分析結果の違いを考察した。

2. 通勤行動モデル

(1) 手段選択プロセス

モデルの基本的な考え方を述べる。実効旅行時間と遅刻確率の不効用の和を最小化する点に関してはHall¹⁾と同じある。しかし、本研究の大きな特色は、所要時間の分布形状に正規分布を仮定するのではなく、所要時間の変動を交通手段それぞれに関して、さらに通勤者個人個人に対してその知覚を直接調査して得られた分布を用いている点である。

したがって、次のような選択プロセスを提案する。

通勤者は、各種条件を考慮し交通手段を選定したうえで出発時刻を選定し、総不効用が最小となる行動をとると考え、今回は飯田・柳沢・内田²⁾の結果等を参考に図-1のようなツリー構造とする。分析対象は、大阪南港ポートタウン地区である。利用可能交通手段は、次章で述べるように、車、ニュートラム、路線バスの3種類があり、この行動を2レベルのNLモデルで説明する。この場合、交通手段 m と出発時刻 r の同時選択確率 $P(rm)$ は以下のように表現される。

$$P(rm) = P(r|m)P(m) \quad (1)$$

$P(m)$: 手段 m を選択する確率

$P(r|m)$: 手段 m を選択したという条件下で出発時刻 r を選択する確率

*キーワード: 交通手段選択, 交通行動分析, 公共交通需要, 所要時間信頼性

**正員, 工修, 大阪市(〒550大阪市西区九条南1-12-52 TEL 06-585-6642 FAX06-585-6617)

***正員, 工博, 名城大学都市情報学部(〒509-02可児市虹ヶ丘4-3-3 TEL0574-69-0131 FAX0574-69-0155)

****正員, 工博, 京都大学防災研究所(〒611宇治市五ヶ庄 TEL0774-32-3111内3220 FAX0774-33-0963)

*****正員, 工博, 京都大学大学院(〒606-01京都市左京区吉田本町 TEL075-753-5124 FAX075-753-5907)

レベル2

レベル1

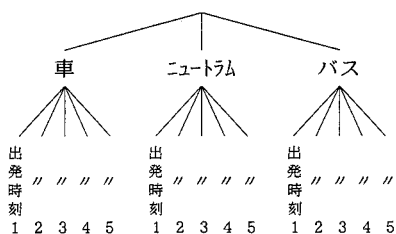


図-1 出発時刻と手段の選択プロセス

(2) 効用関数及び通勤行動モデル

レベル1では、通勤者は、交通手段を選定した後、余裕時間と各交通機関の信頼性を考慮した遅刻の可能性（遅刻率）を考慮の上、出発時刻の選定を行っていると考えられる。余裕時間と遅刻率は、トレードオフの関係にあるので、レベル1の効用関数は以下のように表現できる。

$$V_{(r|m)} = \beta \cdot X_{(r|m)1} + \gamma \cdot X_{(r|m)2} \quad (2)$$

X_1 : 余裕時間 (分), X_2 : 遅刻率 (%)
 β, γ : パラメータ

レベル2の効用関数は、文献3とほぼ同様に共通変数には平均所要時間($Y_{(m)1}$)と最小時間差($Y_{(m)2}$) [=平均所要時間-最小所要時間]を、車利用の固有変数には高速利用の有無($Y_{(車)3}$)を、社会属性変数には免許保有の有無($Y_{(車)4}$, $Y_{(NT)5}$)と車所有の有無($Y_{(車)6}$, $Y_{(NT)7}$)を採用し、これにレベル1の効用関数をログサム変数として加えた。そしてこのスケールパラメータを λ とし、以下のように表現する。

$$V_{(m)} = \theta_1 Y_{(m)1} + \theta_2 Y_{(m)2} + \theta_3 Y_{(車)3} + \theta_4 Y_{(車)4} + \theta_5 Y_{(NT)5} + \theta_6 Y_{(車)6} + \theta_7 Y_{(NT)7} + \lambda \ln \sum \exp(V_{(r|m)}) \quad (3)$$

$\theta_1 \sim \theta_7$: パラメータ
 λ : スケールパラメータ ($0 \leq \lambda \leq 1$)

なおパラメータの推計は、NLモデルの段階推定で行う。

3. データについて

分析対象とした南港ポートタウン地区（大阪市住之江区）は、1990年国勢調査では、31,966人(9,771戸）の常住人口を有している。本地区の交通手段は、新交通システム（ニュートラム）を主とし、これに自家用車

表-1 各手段の実利用者の出発時刻分布

出発時刻	車	ニュートラム	バス	計
6:30以前	3 (1)	9 (3)	0	12 (4)
6:30～7:00	12 (1)	21	1	34 (1)
7:00～7:30	7	70 (5)	13	90 (5)
7:30～8:00	12	130 (5)	20	162 (5)
8:00～8:30	9	91 (6)	20	120 (6)
8:30～9:00	3 (1)	36 (8)	2 (1)	41 (10)
9:00以降	0	18 (8)	2 (1)	20 (9)
計	46 (3)	375 (35)	58 (2)	479 (40)

()内はフレックスタイム制の通勤者で内数である

表-2 発地大阪南港の市区町村別目的地（515件）

市町村名	車	ニュートラム	バス	市町村名	車	ニュートラム	バス
北区	1	58	5	枚方市		1	
中央区	4	84	15	寝屋川市		3	
西区	4	50	14	守口市		3	
浪速区		21	1	門真市	1	3	
天王寺区		12	1	東大阪市		7	
都島区	1	3		八尾市	2		
旭区		3		藤井寺市		2	
鶴見区		1		柏原市		1	
城東区		1	1	羽曳野市	1		
東成区	1	1	2	松原市		1	
生野区		4		河内藤市	1		
平野区		6		堺市	4	4	
東住吉区	1	4		高石市	2	1	
住吉区		5		泉大津市	2		
阿倍野区		17		忠岡町		1	
西成区	1	11	1	岸和田市	1		
住之江区	7	14	3	泉佐野市		1	
大正区	1	1		岬町	1		
港区		2	12				
此花区	1	1	1				
福島区	1	8	2	神戸市		3	
大淀区				西宮市		3	
西淀川区	1	1	1	尼崎市	1	2	1
淀川区	1	13		宝塚市		1	
東淀川区	1	4		大津市		1	
豊中市		3		京都市		4	
吹田市	2	10		奈良市		2	
箕面市		2		香芝市		1	
茨木市		3		無記入	3	19	0
根岸市	1			合計	48	407	60

と港大橋を経由する路線バスを従とする形態となっている。当地区の交通体系を把握するため1994年に全戸を対象にアンケート調査を実施し、そのデータをもとに分析を行った。

アンケートにおいては、利用可能交通手段である車・ニュートラム・バスの各々について平均所要時間のみならず、過去に経験した最小の所要時間や最大の所要時間等について調査し、その他、フレックスタイム制の有無や始業時刻及び出発時刻についても調査した。

式(2)、(3)における説明変数について合理

的な回答をしているデータは、回収 1,034 件のうち 479 件であった。ただし通勤後の業務等で必ず車を使用する人は、手段選択が固定している Captive 層と考えられ、これらの通勤者は除外している。

479 件の有効データを 実際の利用手段の出発時刻で分類したものを表-1 に、515 件（文献 3 でのデータ数）のデータを市区町村別目的地に分類したものを表-2 に示す。表-1、2 より、実際に車を利用する者は、ニュートラムと比較して出発時刻が早く、また目的地は都心部が少ない傾向があることが分かる。

レベル 1 の分析では、合理的な出発時刻であり 3 つの交通手段とも出発する通勤者が存在すること等を考慮して、出発時刻を 6:30～9:00 とし、これを 30 分毎で区分して、6:30～7:00 の間に出発する場合を 出発時刻 1、以下同様に、8:30～9:00 の間に出発する場合を 出発時刻 5 とした。この出発時刻帯のデータ総数は 447 件である。

余裕時間については、図-2 に示すように出発時刻に平均所要時間を加えた時刻と始業時刻の差を余裕時間と定義した。

遅刻率について Hall¹⁾ は、所要時間の確率密度関数として正規分布を仮定し、飯田・柳沢・内田²⁾ は P T 調査より得られた平均所要時間や分散から正規分布を仮定し、両者とも想定する始業時刻を越える面積を遅刻確率としている。

本研究では、各自の始業時刻や各利用者がそれぞれ認識している各交通機関の最大の所要時間や最小の所要時間等を調査により把握しているので、確率密度関数として、図-2 に示すように各通勤者毎に平均所要時間を頂点とし、最小所要時間と最大所要時間を底辺とする三角形分布を仮定し、各通勤者の始業時刻を越える面積を遅刻率とした。なお確率密度関数の分布形状については、改善の余地があり、今後検討を加えていく必要があると考えている。

説明変数データについては、本モデルのレベル 1 の解析に必要な 3 手段×5 出発時刻=15 通りの全てのデータは得られていないため、実出発時刻を 30 分単位で変化させて、実際の出発時刻以外の余裕時間と遅刻率を算出した。

本研究では、フレックスタイム制の通勤者も分析対象としており、該当者は、表-1 に示すように出

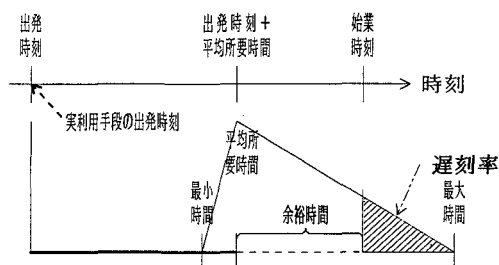


図-2 余裕時間と遅刻率の算出

表-3 レベル 1 の実利用者の余裕時間と遅刻率の平均

出発時刻	車	ニュートラム	バス	計
6:30～7:00	44.55分 6.71%	32.57分 0.00%	30.00分 0.00%	36.49分 2.25%
7:00～7:30	25.00分 10.32%	22.60分 6.52%	33.00分 0.00%	24.39分 5.84%
7:30～8:00	26.67分 0.79%	16.02分 3.96%	19.70分 6.51%	17.30分 4.04%
8:00～8:30	19.11分 8.94%	10.44分 6.40%	10.44分 8.94%	11.12分 7.05%
8:30～9:00	10.00分 33.33%	10.32分 20.31%	0.00分 50.00%	10.00分 22.11%
計	28.71分 7.39%	16.46分 6.27%	19.29分 6.53%	計420件

（上段：余裕時間；下段：遅刻率；フレックスタイム制の通勤者除く）

発時刻 6:30～9:00 の間では 27 人（全体の 6%）存在する。フレックスタイム制でもコアタイム等の制限は存在するが、今回解析範囲としているような出発時刻の場合、到着時刻に制約はないと考え、フレックスタイム制の通勤者は、レベル 1 のデータを各出発時刻とも余裕時間 0 分、遅刻率 0% として解析を行った。

通勤者が実際に利用した交通手段及びその出発時刻におけるレベル 1 の余裕時間、遅刻率の平均を表-3 に示す。なおフレックスタイム制の通勤者のデータは除外している。

同表より各交通手段の計を見ると車利用者は、余裕時間を 28.71 分と最大に見積もっているにも拘わらず、遅刻率が 7.39% と大きく、逆にニュートラム利用者は、余裕時間が 16.46 分と最小であるが、遅刻率は 6.27% と一番小さい。通勤者は鉄道の定時性を考慮し、交通行動を起こしていることが分かる。

なお、レベル 2 においては、解析に必要な説明変数は、全てアンケートで得られているので、そのデータをそのまま採用している。平均・分散等は、データ数の差異のため微妙な差はあるが文献 3 の結果とほぼ同じである。

4. 推計結果と考察

推計結果を表－4の右に示す。レベル1の不効用の項である余裕時間と遅刻率のパラメータはともに負になっており、符号条件の問題はない。

このパラメータを比較すると、余裕時間が1分増加すると、遅刻率が1.3%減少することが分かる。非集計分析では、データが変化すると全体のパラメータ値も変化するので、パラメータ間の安易な比較は出来ないが、説明変数が2つの場合では、このような比較は問題がないと思われる。一方、レベル2のパラメータも符号は整合しており、 t 値も良好な値である。またスケールパラメータ λ も $0 \leq \lambda \leq 1$ の範囲にある。ただ $\lambda=0$ に対する t 値は、1.12となっている。

これらの結果より、図－1のツリー構造は現実的であること、つまり出発時刻選択よりも交通手段選択がより効用に大きな影響を及ぼすこと、もしくは通勤者は、所与の条件を考慮した上で交通手段を選択し、日常的に起こる所要時間の変動に対しては、出発時刻を考慮し対応していることが分かる。この傾向は、文献2の結果とも一致する。

このNLモデルによる分析結果をMNLモデルによる分析結果と比較する。このため文献3の分析結果を表－4左に示す。なおNLモデルでもレベル2で最大時間差[=最大所要時間-平均所要時間]を含めた解析を行ったが、パラメータ、 t 値とも大変小さな値となったので解析から除外した。

MNLモデルの分析結果より、平均所要時間の重要度と最小時間差の重要度がほぼ等しく、一方、最大時間差は、平均所要時間の20%程度の重要度しか持たない。つまり利用者は、交通手段選択にあたり、早く到着する可能性を平均所要時間と同程度に重視するのに対し、遅延する可能性は、早く到着する可能性の約1/5程度しか考慮しないという結果が得られている。

表－4を比較すると、両手法のパラメータ、 t 値とも良好で大差はない。また的中率も、また各手段毎の的中率も大きな変化は見られない。このためMNLモデルの最大時間差は、NLモデルの余裕時間と遅刻率のログサム項に匹敵するとも考えられ、今回の結果では、レベル1で出発時刻にて分類し多数

表－4 NL・MNLモデルのパラメータ推定結果

		MNLモデル		P(r m)P(m)型NLモデル	
		タミー変数無	P(m)[λ^2]	P(r m)[λ^2]	
共通	1. 所要時間	-0.105760+00 (-9.5510)	-0.11093E+00 (-9.0432)		
	2. 最小時間差	0.114060+00 (6.2618)	0.11665E+00 (6.0347)		
変数	3. 最大時間差	-0.180410-01 (-2.0025)			
	4. 遅刻の有無	0.292370+01 (6.6554)	0.27306E+01 (5.8839)		
社	5. 免許の種別	-0.515990+01 (-4.8150)	-0.52547E+01 (-4.6120)		
	6. " :NT	0.930200+00 (3.3033)	0.90577E+00 (3.0541)		
会	7. 車の所有	-0.156200+01 (-2.3613)	-0.13743E+01 (-2.0838)		
	8. " :NT	0.635160+00 (2.5194)	0.65080E+00 (2.5032)		
変数				1. 余裕時間	-0.52838E-01 (-16.2429)
				2. 遅刻率	-0.70863E-01 (-18.2188)
スケールパラメータ $0 \leq \lambda \leq 1$			0.23328E+00 ($\lambda_2=0; 1.1237, \lambda_2=1; -3.6931$)		
L*(0)		-338.6807	-304.1260	L*(0)	-943.3486
	L*(C)	-225.7026	-201.0201	L*(C)	-360.5046
尤度比		0.3335	0.3390	尤度比	0.6178
	的中率	82.14%	82.33%	的中率	27.52%
SHARE(%)		車 7.4 87.8 4.9	車 7.6 86.8 5.6		
	PREDICT	7.4 87.8 4.9	7.6 86.8 5.6		
ACTUAL		9.3 79.0 11.7	9.6 77.9 12.5		
	データ数	515	447		

注1: 高速利用=1, 一般道利用=2 注2: 所有=1, 非所有=2

のデータを収集・計算せずとも、信頼性を考慮したMNLによるモデルでNLモデルと同等な効果を得られることが分かる。

5. おわりに

今回の分析で通勤者は、所与の条件を考慮した上で交通手段を選択し、日常的に起こる所要時間の変動に対しては、出発時刻を考慮し対応していること、信頼性を考慮したMNLによるモデルでも同様な説明が可能なことが分かった。今後、遅刻率の算出における確率密度関数の分布形状の検討を進め、精度を向上させるとともに、図－1のツリー構造とは逆のツリー構造についても検討を進めていきたいと考えている。

謝辞：NLモデルの検討に当たり、有益な助言をいただいた長野高専講師柳沢吉保先生に厚くお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) Hall, S.: Travel Outcome and Performance, The Effect of Uncertainty on Accessibility, Transpn Res.-B Vol. 17B, No.4, pp. 275-290, 1983.
- 2) 飯田恭敬・柳沢吉保・内田敏：通勤者の出発時刻と経路を考慮した機関選択に関する行動分析，土木計画学研究・講演集No17, pp441-444, 1995.11
- 3) 若林拓史・浅岡克彦・亀田弘行・飯田恭敬：交通手段選択における所要時間の信頼性の影響について，土木計画学研究・講演集No18(2), pp341-344, 1995.12