

行動の変化を明示的に考慮した交通機関選択モデルの提案*

A Mode Choice Model Considering Behavior Dynamics Explicitly*

張 峻屹**・杉恵頼寧***・藤原章正***

By Junyi ZHANG**・Yoriyasu SUGIE***・Akimasa FUJIWARA***

1. はじめに

ランダム効用理論が提案されてから約30年が経った。効用最大化（個人が自分にとって最も望ましい選択肢を選ぶ）という仮説に基づき開発されたロジットモデルやネスティッドロジットモデルは現在多くの分野において適用されている。これらのモデルは実用性が高いが、効用最大化仮説について以前から心理学の分野などからその問題点が指摘されている。例えば、そもそも合理的な人間は存在しないとか、人々の選択は状況依存であるため、ランダム効用理論で仮定するような安定的な行動が成立しないとかなどである。

人間の心理や選択行動に関する意思決定のメカニズムは確かに複雑である。それを追求することはいろいろな意味において価値が大きい。一方、現実の計画や政策の実施に際して遭遇している問題（例えば、需要予測の精度や信頼性が低い）に対して、モデルの精緻化とその実用性とのトレードオフを考え、ランダム効用理論の枠組みの中で問題視されている人間の行動メカニズムを近似的に表現できれば、実際の社会問題の解決への貢献が期待される。

本研究ではこのような視点に立って、既存ロジットモデルの枠組みの中で交通行動の時間的変化を明示的に取り入れた新たなダイナミックモデルを提案する。具体的には、交通機関選択に関する選好意識（SP：表明選好とも呼ばれる）及び行動実態（RP）パネル調査データを用いて、提案したダイナミックモデルのパフォーマンスを検証する。

そこで、本研究は以下のように構成される。まず、第2章ではダイナミックモデルについてレビューする。次に第3章では新たなダイナミックモデルを説明する。第4章ではモデルの推定結果を

E-mail: ysugie@hiroshima-u.ac.jp)

示し、モデルのパフォーマンスを検証する。最後に、第5章では研究の成果をまとめ、今後の研究を述べる。

2. 離散ダイナミックモデルに関するレビュー

(1) 行動変化の本質について

選択行動の意思決定プロセスは個人の記憶に基づく知覚と信念によって形成され、態度、動機/情緒と選好から影響を受ける。そして、選択行動は局所的で、適応性・学習性を持ち、文脈に依存して変わりやすく、さらに、知覚/信念・態度・動機/情緒の間の複雑な相互作用関係に影響される¹⁾。このような観点から、選択行動が元々時間的に変化しやすいものであると解釈することができる。

確率効用最大化理論の枠組みの中で、交通機関選択行動の変化を引き起こす原因を以下のように挙げることができる。

- ・ 交通サービス水準
- ・ 個人嗜好（説明変数パラメータ）
- ・ 交通の本源的需要である活動：例えばフレックスタイムの導入による出社時刻の変化が交通機関選択に影響する可能性がある。
- ・ 行動習慣：例えば今まで公共交通を利用した人は、車を保有・使用すると、車の利用に慣れ、公共交通機関の選択層から車利用の固定層に変わることがありうる。
- ・ 将来行動：例えば車は現在の活動遂行に勿論利用されるが、今後の活動や生活などのためにも利用される。車保有という共通要素の存在は将来の行動が現在の行動に影響することをもたらす。
- ・ 選択肢への評価重み：交通機関選択の意思決定において各選択肢を個人が同一視しない。つまり、評価の重みは選択肢によって異なる。この評価重みは時間が立つにつれ変化する²⁾。
- ・ 選択肢集合または交通機関の利用可能性
- ・ 意思決定方法の変化：今まで独身の人は結婚すると、配偶者との共同意思決定（集団意思決定³⁾）を強いられることがその例である。

*キーワード：交通行動分析，交通手段選択，嗜好の時間的変化

**正員，工博，パシフィックコンサルタンツ株式会社

（東京都新宿区西新宿2-7-1新宿第一生命ビル20F，

TEL: 03-3344-1109, FAX: 03-3344-1549

E-mail: syunkitsu.chou@tk.pacific.co.jp)

***正員，工博，広島大学大学院国際協力研究科

（東広島市鏡山1-5-1，TEL: 0824-24-6921

- ・個人を取り巻く環境：新規政策の導入や就職に伴う職業の変化がその例である。
- ・意思決定要因の変化：例えば今までの子供がいなかった人は子供が生まれると、外出時の移動手段が変わることがありうる。

(2) 既存研究のレビュー

ダイナミック離散選択モデルは1980年代に入ってから、その開発が本格化されるようになった。ここで、特筆したいのはHeckmanモデル⁴⁾である。

$$u_{ijt} = v_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (1)$$

$$v_{ijt} = \beta' x_{ijt} + \sum_{k=1}^{\infty} \gamma_{t-k,t} d_{ij,t-k} + \sum_{k=1}^{\infty} \lambda_{k,t-k} \prod_{q=1}^k d_{ij,t-q} + G(L)u_{ijt} \quad (2)$$

ここで、 u_{ijt} は個人*i*・選択肢*j*・時間*t*の効用関数、 v_{ijt} は確定項、 x_{ijt} は説明変数ベクトル、 ε_{ijt} は誤差項、 $d_{ij,t}$ は選択結果ダミー変数、 $G(L)$ は遅れ操作子である。、 β 、 γ 、 λ とはパラメータである。

式(1)と(2)では、 u_{ijt} と $d_{ij,t}$ に関する初期条件は外生的に与えられる。式(2)の第2項は真の状態依存効果、第3項は累積効果、最後の項は行動の惰性をそれぞれ捉える。このように、Heckmanのモデルでは過去、現在及び将来の行動情報をすべて取り入れている。また、説明変数のパラメータは嗜好パラメータとも呼ばれ、個人や時間によって変化すると仮定すれば、嗜好の異質性をも表現することができる。

Heckmanモデルが提案されて以来、多くの研究がなされている⁵⁾。Swaitら(2000)⁵⁾はHeckmanのダイナミック効用関数の考え方を援用し、GEVモデル⁶⁾のG関数を

$$G(y_{it} / I_{it}) = \sum_{j=1}^J \prod_{s=0}^t (\alpha_{ijs} y_{ij,t-s})^{\mu_{it}} \quad (3)$$

$$y_{ijt} = \exp(V_{ijt}) \quad (4)$$

のように定義することにより、確率効用最大化理論の枠組みの中で以下のようなダイナミックGEVモデル(DGEV)を導き出した。

$$P_{ijt} = \frac{\exp(\mu_{it} \tilde{V}_{ijt})}{\sum_j \exp(\mu_{it} \tilde{V}_{ij't})} \quad (5)$$

$$\tilde{V}_{ijt} = (1 + \phi_{ijt}) v_{ijt} + \sum_{s=1}^t (v_{ij,t-s} + \ln \alpha_{ijs}) \quad (6)$$

ここで、 \tilde{V}_{ijt} は今までの効用関数と区別するため、meta-utilityと呼ばれる。 ϕ_{ijt} は状態依存性(習慣持続性、多様性追求: variety-seeking)を表す

パラメータ、 $(1 + \phi_{ijt})$ は将来行動の影響(将来の期待)を捉えるパラメータ、 $\phi_{ijt} \geq 0$ である。

このダイナミックGEVモデルでは初期条件、将来行動の影響、状態依存性(習慣持続性、variety-seeking)、時間的に変化するスケールパラメータ・共分散構造・嗜好を同時に表現することができる。

また、式(6)のmeta-utility \tilde{V}_{ijt} をどのGEVタイプモデルにも適用できるとされている⁵⁾。

DGEVモデルは離散選択行動のダイナミックなメカニズムの解明に大きく寄与すると評価できる。しかし、今までの離散選択モデルに共通する未解決の課題が1つある。それは、どのモデルも個人の非集計データを取り扱うが、真の個人モデルになっていない。つまり、モデルの説明変数パラメータが個人によらず母集団全体またはセグメントごとに共通となっている。この問題を解決しない限り、せっかく集められてきた貴重な個人情報をフルに活用することができず、選択行動における異質性の影響も満足に表現することができない。

本研究ではダイナミック離散選択モデルを対象に、選択行動の変化を明示的に考慮した真の個人モデルを提案する。

3. 新たなダイナミックモデル

式(1)の確定項 v_{ijt} を以下のように書き換える。

$$v_{ijt} = \beta_{it} x_{ijt} + \varepsilon_{ijt} \quad (7)$$

注目したいのは、嗜好パラメータ β_{it} は個人*i*、そして時間*t*によって異なる(なお、選択肢によって異なっても構わない)。このことを考え、ここでは式(7)を取り入れた離散選択モデルを真の個人モデルと呼ぶことにする。

式(7)の嗜好パラメータ β_{it} について、今まではその確率分布に基づくモデリング手法^{7),8)}が主流であった。しかし、得られた β_{it} の推定値は母集団全体またはセグメントごとの平均値であるため、異質性の表現が不十分である。

本研究では、嗜好パラメータの個人間の、そして時間的な変化特性に着目し、真の個人型ダイナミック離散選択モデルを提案する。

β_{it} の時間的変化構造を以下のように仮定する。

$$\beta_{it} = \beta_{it-1} + \Delta\beta_{it} \quad (8)$$

つまり、時点*t*のパラメータ β_{it} は時点*t-1*のパラメータ値とそれからの変化量の合計である。

式(8)をさらに以下のように書き換えられる．

$$v_{ijt} = \beta_{it-1}x_{it-1} + \beta_{it}\Delta x_{ijt} + \Delta\beta_{it}x_{ijt-1} + \varepsilon_{ijt} \quad (9)$$

式(9)の第1項は過去の選択効用を，第2，3項は行動調整（第2項：t時点における選択肢属性値の変化量の影響；第3項：過去の行動に対するt時点での行動調整）をそれぞれ表す．この式をみる限り，このモデルはDGEVモデルの特殊ケースとなっている．

しかし，ここでは，実用性の高い真の個人モデルを開発するため，式(8)を以下のように変形する．

$$\beta_{it} = \beta_{it-1} + \rho_{it}\Delta\beta, \quad t=1, \dots, T \quad (10)$$

ここで， ρ_{it} は単位時間あたりの嗜好変化， $\Delta\beta$ は時間の経過に伴う β の影響力を表すものである．

式(10)に対して，初期時点0を基準に以下のように変形することができる．

$$\beta_{it} = \beta_{i0} + \Delta\beta \sum_{s=1}^t \rho_{is} \quad (11)$$

なお，式(10)では，嗜好パラメータ β は誤差項を伴わないと仮定する．

について経過時間の影響を表すものであるが，個人によってその影響度合いは異なると考えられるため，本研究では，モデルの実用性を考えて以下のような関数で表すことを提案する．

$$\rho_{it} = \tau^{a_{it}}, a_{it} = \kappa Z_{it} \quad (12)$$

ここで， t は初期時点からの経過時間で，初期時間を0とする場合， $t = t$ となる．そして， Z_{it} は時間tにおける個人の属性， κ はそのパラメータである．

式(12)を式(7)に代入し，誤差項がワイブル分布に従うと仮定すれば，以下のような離散選択モデルを得ることができる．

$$p_{ijt} = \frac{\exp(\beta_{it}x_{ijt})}{\sum_{j'} \exp(\beta_{it}x_{ij't})} \quad (13)$$

$$\beta_{it} = \beta_{i0} + \Delta\beta \sum_{s=1}^t \tau^{\kappa Z_{is}} \quad (14)$$

このように，嗜好パラメータの個人間の，そして時間的な変化を明示的に考慮し，実用性が非常に高いダイナミックモデル（TIDモデル: True Individual and Dynamic discrete choice model）を提案することができた．

このモデルでは過去の選択効用をもって状態依存性（習慣持続性，variety-seeking）を表現すると同時に，行動の調整過程も明示的に取り入れている．

本研究では，TIDモデルの有効性を検証すると同時に，式(14)をDGEVモデルに取り入れる際のモデルパフォーマンスについても検証する．

4．モデルのパフォーマンス検証

(1) 利用データの概要

広島市新交通システム開業後における通勤通学者の交通機関選択行動の予測を目的に，1987年から90，93，94年にかけて計4時点にわたって自家用車(CAR)、バス(BUS)と新交通システム(NTS)を対象にSPパネル調査が広島大学交通工学研究室によって実施され、自家用車とバスの利用実態(RP)についても調べられた。結果的に各時点においてそれぞれ226パネルサンプルが得られた。本研究では87，90と93年のSPとRPパネルデータを用いてTIDモデルの検証に利用する。

用いたSP調査データではNTSの交通サービス水準として，所要時間，料金，待ち時間及びアクセス時間が設定された。

(2) TIDモデルの推定結果及び考察

TIDモデルの有効性を検証するため，以下の3つのモデルをそれぞれRP，SPそしてRP/SP融合モデルについて推定してみた。RP/SP融合モデル⁹⁾はSPデータのバイアスを修正するもので，そのためスケールパラメータを導入している。

Model1：式(7)に基づくダイナミックモデル

このモデルはパラメータの時間的な変化を統計的に検証するために使う。

Model2：個人属性を考慮しないTIDモデル

式(12)の a_{it} を a_i に置き換え，時間的な変化のみを考慮する。

Model3：TIDモデル

モデルの推定結果をそれぞれ表1～3に示す。

Model1 について (表1)

Model1における各時点のパラメータ変化量が統計的に有意な値を得ているかどうかをみて，以下のように考察を行う。

- ・パラメータ値とt値から判断すると，費用と時間パラメータは時間的に変化し，NTSの待ち時間とアクセス時間パラメータはあまり変化していない。また，移動時間パラメータは年々減少し，費用パラメータは増える傾向がある。
- ・定数項はあまり変化しない。つまり，選択肢に対する嗜好性があまり変化しない。
- ・スケールパラメータは年々減少するため，SP

表1 式(7)に基づくダイナミックモデルの推定結果

説明変数	RPモデル		SPモデル		RP/SP融合モデル	
	ハ°ラメータ推定値	t 値	ハ°ラメータ推定値	t 値	ハ°ラメータ推定値	t 値
BUS定数項						
1987年ハ°ラメータ(μ_{it})	0.1910	1.0823	-0.9830	-3.0419	0.1397	0.6656
1990年変化量(μ_{it})	0.1204	0.5056	1.0567	2.3796	0.1918	0.7327
1993年変化量(μ_{it})	-0.3062	-1.1868	0.3177	0.7298	-0.2602	-0.8787
1990年ハ°ラメータ(μ_{it})	0.3114	1.9466	0.0737	0.2419	0.3314	1.8648
1993年ハ°ラメータ(μ_{it})	0.0052	0.0256	0.3914	1.2583	0.0713	0.2919
NTS定数項						
1987年ハ°ラメータ(μ_{it})			0.5760	0.7962	4.0534	3.6425
1990年変化量(μ_{it})			-0.1565	-0.1458	-0.0322	-0.0324
1993年変化量(μ_{it})			0.5936	0.5725	-0.0096	-0.0096
1990年ハ°ラメータ(μ_{it})			0.4196	0.5293	4.0211	2.6827
1993年ハ°ラメータ(μ_{it})			1.0132	1.5160	4.0116	2.2181
費用(円:共通)						
1987年ハ°ラメータ(μ_{it})	-0.0064	-7.7218	-0.0021	-3.5374	-0.0067	-5.5548
1990年変化量(μ_{it})	0.0029	2.8512	0.0020	1.8321	0.0031	2.0512
1993年変化量(μ_{it})	-0.0004	-0.5230	-0.0005	-0.3646	0.0000	0.0257
1990年ハ°ラメータ(μ_{it})	-0.0035	-6.2628	-0.0001	-0.1265	-0.0037	-5.0145
1993年ハ°ラメータ(μ_{it})	-0.0040	-6.7348	-0.0006	-0.6312	-0.0036	-5.0583
時間(分:共通)						
1987年ハ°ラメータ(μ_{it})	0.0281	1.5799	-0.0417	-2.9754	0.0188	0.8897
1990年変化量(μ_{it})	-0.0484	-2.2315	0.0483	3.0669	-0.0304	-1.1978
1993年変化量(μ_{it})	-0.0773	-3.5521	-0.0069	-0.6632	-0.0831	-2.7860
1990年ハ°ラメータ(μ_{it})	-0.0203	-1.6363	0.0067	0.9222	-0.0116	-0.7945
1993年ハ°ラメータ(μ_{it})	-0.0975	-5.4525	-0.0002	-0.0320	-0.0947	-4.2272
待ち時間(分:NTS)						
1987年ハ°ラメータ(μ_{it})			-0.0515	-0.4649	0.8005	1.4595
1990年変化量(μ_{it})			0.2218	1.4593	0.7089	0.9542
1993年変化量(μ_{it})			-0.0924	-0.6671	-0.1700	-0.1790
1990年ハ°ラメータ(μ_{it})			0.1703	1.6360	1.5095	2.3183
1993年ハ°ラメータ(μ_{it})			0.0779	0.8536	1.3395	1.4549
アクセス時間(分:NTS)						
1987年ハ°ラメータ(μ_{it})			-0.0922	-2.5294	-0.0266	-0.1497
1990年変化量(μ_{it})			0.1061	1.6282	-0.1821	-0.6563
1993年変化量(μ_{it})			-0.0537	-0.7076	-0.1846	-0.5314
1990年ハ°ラメータ(μ_{it})			0.0139	0.2568	-0.2087	-0.8284
1993年ハ°ラメータ(μ_{it})			-0.0398	-0.7475	-0.3934	-1.1259
スケールハ°ラメータ						
1987年ハ°ラメータ(μ_{it})					0.1734	8.3194
1990年変化量(μ_{it})					-0.0660	-1.7156
1993年変化量(μ_{it})					-0.0295	-0.7888
1990年ハ°ラメータ(μ_{it})					0.1074	3.6458
1993年ハ°ラメータ(μ_{it})					0.0780	5.3757
初期対数尤度	-469.95		-744.86		-1214.80	
最終対数尤度	-304.22		-674.83		-993.431	
尤度比	0.3527		0.0940		0.1822	
サンプル数	678		678		1,356	

表2 個人属性の影響を考慮しないITIDモデルの推定結果

説明変数	RPモデル		SPモデル		RP/SP融合モデル	
	パラメータ推定値	t 値	パラメータ推定値	t 値	パラメータ推定値	t 値
BUS定数項						
1987年パラメータ(β_{it})	0.2593	1.6668	0.1220	0.3621	0.2553	2.8013
年間変化量()	-0.0511	-0.5534	-0.0978	-0.3809	-0.0071	-0.5700
経過時間の影響(a_t)	0.2806	0.5555	-0.2996	-0.4501	1.6660	2.6045
1990年パラメータ(β_{it})	0.1896	1.9763	0.0516	0.2232	0.2109	2.9131
1993年パラメータ(β_{it})	0.1051	0.5810	-0.0056	-0.0233	0.0701	0.3807
NTS定数項						
1987年パラメータ(β_{it})			1.1321	2.4463	13.148	3.6747
年間変化量()			-0.0526	-0.1755	-3.3310	-1.9896
経過時間の影響(a_t)			-0.0477	-0.2067	0.1256	0.4865
1990年パラメータ(β_{it})			1.0822	2.6978	9.3246	3.5060
1993年パラメータ(β_{it})			1.0340	1.9922	5.1530	2.1436
費用(円：共通)						
1987年パラメータ(β_{it})	-0.0053	-9.5581	-0.0018	-3.3777	-0.0059	-9.5713
年間変化量()	0.0008	1.8089	0.0007	1.1731	0.0018	3.0067
経過時間の影響(a_t)	0.0693	0.5632	0.0978	0.5667	-0.2905	-1.5416
1990年パラメータ(β_{it})	-0.0045	-13.439	-0.0010	-2.1644	-0.0046	-13.217
1993年パラメータ(β_{it})	-0.0036	-7.1910	-0.0002	-0.2577	-0.0035	-8.3693
時間(分：共通)						
1987年パラメータ(β_{it})	0.0332	2.0663	-0.0156	-1.6294	0.0227	1.9790
年間変化量()	-0.0477	-1.8304	0.0117	1.5697	-0.0140	-2.3217
経過時間の影響(a_t)	0.1599	0.4441	-0.0024	-0.0239	0.9120	3.0820
1990年パラメータ(β_{it})	-0.0236	-2.3076	-0.0039	-0.7794	-0.0154	-1.7147
1993年パラメータ(β_{it})	-0.0871	-5.5081	0.0077	1.1204	-0.0871	-6.8110
待ち時間(分：NTS)						
1987年パラメータ(β_{it})			-0.0664	-1.9208	-0.3637	-2.0120
年間変化量()			0.1664	3.7571	1.1444	5.2384
経過時間の影響(a_t)			-0.4876	-2.0922	-0.5131	-2.1358
1990年パラメータ(β_{it})			0.0310	1.0556	0.2875	2.0531
1993年パラメータ(β_{it})			0.1005	2.1870	0.7439	2.6311
アクセス時間(分：NTS)						
1987年パラメータ(β_{it})			-0.0517	-1.6323	-0.3498	-1.6056
年間変化量()			0.0165	0.5530	-0.0086	-0.2138
経過時間の影響(a_t)			-0.1440	-0.4608	0.0473	0.0980
1990年パラメータ(β_{it})			-0.0376	-1.2609	-0.3589	-1.7962
1993年パラメータ(β_{it})			-0.0249	-0.5994	-0.3682	-1.9278
スケールパラメータ						
1987年パラメータ(β_{it})					0.1152	6.1016
年間変化量(μ)					0.1262	1.4431
経過時間の影響(a_t)					-4.6535	-5.3725
1990年パラメータ(β_{it})					0.1159	6.0286
1993年パラメータ(β_{it})					0.1160	6.0209
初期対数尤度	-469.95		-744.86		-1214.80	
最終対数尤度	-307.80		-678.63		-991.560	
尤度比	0.3450		0.0889		0.1838	
サンプル数	678		678		1,356	

表3 TIDモデルの推定結果

説明変数	RPモデル		SPモデル		RP/SP融合モデル	
	パラメータ推定値	t 値	パラメータ推定値	t 値	パラメータ推定値	t 値
BUS定数項：1987年パラメータ(β_{it})	0.0208	0.1902	0.4296	1.3582	0.2638	2.4690
年間変化量()	0.0002	0.8677	0.6725	5.2167	4.8579	6.3589
時間の影響()：定数項	-1.2056	-1.1321	0.2917	0.3065	0.2041	0.2037
性別	-2.5175	-2.6519	3.1620	3.8279	9.2122	4.3736
年齢	0.1275	7.6726	-0.0866	-2.9627	-1.7442	-6.1919
職業	1.3150	1.0520	0.2702	0.2832	2.3992	2.1901
世帯人数	-0.7080	-2.3217	0.0115	0.0543	0.4232	0.4280
NTS定数項：1987年パラメータ(β_{it})			2.0859	4.5447	9.3601	7.0393
年間変化量()			0.1255	3.7278	-0.2344	-5.9716
時間の影響()：定数項			-4.1020	-2.9159	0.3628	0.4224
性別			1.7136	2.5061	-4.9598	-5.9784
年齢			-0.1863	-6.2261	0.1623	5.4176
職業			1.0570	1.0859	-2.5412	-2.2958
世帯人数			2.8888	7.4926	-1.5389	-6.0630
費用(円：共通)：1987年パラメータ(β_{it})	-0.0052	-9.1804	-0.0030	-5.6635	-0.0058	-11.883
年間変化量()	0.0010	2.8069	0.0002	0.7087	0.0046	9.7265
時間の影響()：定数項	0.7439	1.0599	0.2670	0.3311	-0.4393	-0.5409
性別	0.0132	0.0291	2.1485	5.7721	0.0143	0.0540
年齢	0.0587	3.1550	-0.0681	-6.3868	0.0005	0.0565
職業	-3.2265	-3.2284	0.4861	0.6327	1.2353	1.3324
世帯人数	-0.5160	-4.1264	0.5702	3.1476	-1.2321	-6.0155
時間(分：共通)：1987年パラメータ(β_{it})	0.0309	2.0323	-0.0068	-1.2598	0.0035	0.3539
年間変化量()	-0.0896	-7.6381	0.0007	0.9421	-0.0618	-3.2475
時間の影響()：定数項	-5.5316	-4.8477	0.0193	0.0249	0.9037	1.1886
性別	-0.0468	-0.2205	0.1459	0.2461	-0.4534	-1.7898
年齢	0.0275	1.5040	-0.0376	-2.0072	-0.0614	-4.3230
職業	3.6288	4.1830	-1.6032	-1.9121	4.0909	4.9955
世帯人数	0.1910	1.4360	1.2982	5.2254	-1.4224	-4.6791
待ち時間(分：NTS)：1987年パラメータ(β_{it})			-0.0548	-1.8875	-0.2319	-4.4321
年間変化量()			0.0804	2.7996	0.0920	3.1671
時間の影響()：定数項			0.7131	0.7862	0.6409	0.7825
性別			0.6903	1.8625	1.7002	5.2690
年齢			-0.0671	-3.9576	-0.0768	-6.0502
職業			1.4874	1.6376	3.1431	3.8272
世帯人数			0.0023	0.0111	-0.0199	-0.1525
アクセス時間(分：NTS)：1987年パラメータ(β_{it})			-0.0884	-3.3633	-0.3473	-3.5502
年間変化量()			0.0063	0.9299	0.1167	3.2849
時間の影響()：定数項			0.1704	0.2001	-7.0271	-3.7618
性別			3.0612	4.7710	3.2080	3.3521
年齢			-0.0642	-4.0559	-0.1623	-4.7240
職業			1.1336	1.3705	2.0789	2.0096
世帯人数			-0.3031	-2.0798	2.6587	5.7872
スケールパラメータ：1987年パラメータ(μ_{it})					0.1829	5.5828
年間変化量(μ)					-0.1227	-4.1414
時間の影響()：定数項					-0.1740	-0.2661
性別					-0.0111	-0.1091
年齢					-0.0241	-3.1836
職業					1.1637	2.0159
世帯人数					-0.3362	-3.5082
初期対数尤度	-469.95		-744.86		-1214.80	
最終対数尤度	-287.89		-640.48		-950.938	
尤度比	0.3874		0.1401		0.2172	
サンプル数	678		678		1,356	

データの分散が大きくなっていることを示唆する。これは SP パネル調査への参加疲労による影響だと考えられる。

Model2 について (表2)

- ・ RPモデルについて、尤度比が0.3450と非常に高い。そして、費用と時間パラメータについて、その変化量と経過時間の影響が有意な結果を得ていないが、式(11)の β_{it} は統計的に有意であった。
- ・ RP/SP融合モデルの尤度比が0.1838で、SPモデルと比べて倍以上高い。そして、スケールパラメータの変化量に関する経過時間の影響が有意であったが、各時点のスケールパラメータの大きさに大きな差が見られない。また、他のパラメータの変化量及びそれに対する経過時間の影響パラメータの多くは統計的に有意な値を得たため、式(11)を導入することの有効性が実証された。さらに、時間パラメータとNTSの定数項が時点間において顕著な差が見られる。

Model3について (表3)

- ・ どのモデルもModel2のそれより、精度が高い。
- ・ 嗜好パラメータの時間的変化量を説明する多くの個人属性が経過時間の影響を有意に説明できている。また、個人属性は交通サービス水準パラメータと定数項によって異なる影響パターンを示す。
- ・ 変化量パラメータのほとんどは統計的に有意であった。そして、NTSの定数項、時間パラメータとスケールパラメータの変化量はマイナスの値を得たため、時間への抵抗が年々増加し、一方、NTSへの嗜好性が年々減少し、パネル調査への参加疲労が年々増大していることが読み取れる。他のパラメータは逆の傾向を示す。

このように、Model1～Model3に関する検討の結果、提案したTIDモデルの有効性を確認することができた。

(3) TID と DGEV との統合モデルの推定と考察

本研究で提案したTIDモデルは主に実用性の観点から嗜好パラメータの個人間・時点間の変化に着目して開発されたが、選択行動のダイナミックなメカニズムを包括的に取り扱っていない。これについて、第2章でレビューしたDGEVモデルとの統合により対処が可能であると考えられる。これ

表4 TIDとDGEVとの統合モデルの推定結果

説明変数	RPモデル	
	パラメータ値	t 値
BUS定数項		
初期値	-0.4126	-1.086
年間変化量()	0.0145	0.905
1987年の影響 ^{a)}	-2.0978	-2.106
経過時間の影響		
定数項	-1.7172	-1.721
性別	1.5011	1.509
年齢	0.3120	8.420
職業	-17.050	-17.09
世帯人数	-0.1956	-0.362
費用(円：共通)		
初期値	-0.0038	-2.678
年間変化量()	0.0021	1.796
1987年の影響 ^{a)}	0.4190	0.588
経過時間の影響		
定数項	-5.5386	-6.471
性別	-0.0346	-0.060
年齢	-0.0025	-0.099
職業	5.9711	7.087
世帯人数	-0.3813	-1.482
時間(分：共通)		
初期値	0.0128	1.562
年間変化量()	-0.0042	-3.000
1987年の影響 ^{a)}	0.4105	0.411
経過時間の影響		
定数項	-0.0549	-0.064
性別	-0.6806	-1.877
年齢	0.0323	1.633
職業	0.4330	0.514
世帯人数	-0.0048	-0.051
初期効用 (V_0)		
バス	0.3748	0.462
自動車	-0.4036	-0.577
習慣持続性の影響 (β_j)		
バス	0.0508	10.35
自動車	0.0622	14.59
将来行動の影響 (β_{ijt})		
バス : 87年への影響	0.2217	1.021
90年への影響	0.0024	0.255
93年への影響	0.0000	0.146
自動車 : 87年への影響	0.9280	13.32
90年への影響	0.7417	3.330
93年への影響	0.5928	1.903
初期対数尤度 ^{b)}	-707.94	
最終対数尤度	-244.51	
尤度比	0.6546	
サンプル数	678	

^{a)} 当該変化量への初期時点の影響を表す

^{b)} 習慣持続性パラメータ初期値を推定値に固定する場合の値

を実証するため、式(5)、(6)と(14)を統合したモデル(TIDとDGEVとの統合モデル)を推定する(RPデータについてのみ)。なお、推定にあたり、式(6)の α_{ijs} を以下の式で定義した。

$$\alpha_{ijs} = \alpha_{js} = (\rho_j)^s \quad (15)$$

モデルの結果を表4に示す。表1~3と違って、表4では初期値・初期効用、状態依存性(習慣持続性)及び将来行動の影響についても推定されている。

推定結果について、以下のように考察することができる。

- ・モデルの精度が非常に高い。
- ・DGEVモデルでは初期条件(パラメータの初期値及び選択の初期効用)を明確に考慮しているため、統合モデルの推定結果はTIDモデルと顕著に違う。
- ・初期条件について、選択の初期効用はどの交通機関においても有意ではなかった。パラメータの初期値について、費用パラメータのみが有意であった。
- ・習慣持続性(状態依存性)パラメータはCARについてもBUSについても有意な値を得ている。
- ・将来行動の影響について、CARについてのみ有意な結果となっている。しかも、その影響は年々減少する。これは、将来に近づけるにつれ、当初の期待と実際の結果とのギャップの実態が少しずつ明らかになるため、将来期待の影響が薄れていくことを示唆する。

ここでの結果はTIDモデルとDGEVモデルの両方の有効性を示している。

5. 結論と今後の課題

今までのダイナミック離散選択モデルでは個人から得られる非集計データがフルに活用されず、選択行動の異質性を満足に表現することができていなかった。そこで、本研究では離散選択のダイナミックなメカニズムを明示的に考慮した真の個人モデルの開発を試みた。そして、交通機関選択のパネルデータを対象に検証した結果、提案した個人型ダイナミックモデルの有効性と実用性が示された。さらに、確率効用最大化原則を満たすDGEVモデルと組み合わせることにより、離散選択行動

をより詳細に記述できることが分かった。

今後、提案したモデルによる交通需要予測の精度を検証すると同時に、特に実用性の観点から嗜好パラメータの確率的な変動や初期条件における不確実性の影響を表現する手法の開発が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) McFadden, D.: Disaggregate Behavioral Travel Demand's RUM Side: A 30-year Retrospective, IATBR'2001, CD-ROM.
- 2) 張峻屹・杉恵頼寧・藤原章正・玉置善生: 相対性効用に基づく交通機関選好意識パネルデータの分析, 土木計画学研究・講演集, 24, 2001 (CD-ROM)。
- 3) 張峻屹・A. Borgers・H. Timmermans: グループ意思決定メカニズムを取り入れた世帯時間配分モデルの構築及び実証的分析, 土木計画学研究・講演集, 24, 2001 (CD-ROM)。
- 4) Heckman J.J.: Statistical Models for Discrete Panel Data, in C. Manski and D. McFadden (eds.), The Structural Analysis of Discrete Data, Cambridge: MIT Press, 114-178, 1981.
- 5) Swait J., Adamowics and van Bueren M.: Choice and Temporal Welfare Impacts: Dynamic GEV Discrete Models, Staff-paper 00-03, University of Alberta, 2000.
- 6) 非集計行動モデルの理論と実際, 土木学会, 26-31, 1995。
- 7) 杉恵頼寧・張峻屹・藤原章正: Mass Point 手法により非観測異質性を考慮した交通機関選択のダイナミックモデル, 土木計画学・論文集, No.13, 623-632, 1996。
- 8) Boxall P.C. and Adamowicz W.L.: Understanding Heterogeneous Preferences in Random Utility Models: The Use of Latent Class Analysis, Staff paper 99-02, 1999。
- 9) Zhang J., Sugie Y. and Fujiwara A.: A mode choice model separating taste variation and stated preference reporting bias, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 4(3), 23-38, 2001.