

# 旅行時間消費の個人間変動及び個人内変動の経年変化\*

## Changes in Inter-Individual and Intra-Individual Variations in Travel Time Expenditure\*

力石真\*\*・藤原章正\*\*\*・張峻屹\*\*\*\*

By Makoto CHIKARAISHI\*\*・Akimasa FUJIWARA\*\*\*・Junyi ZHANG\*\*\*\*

### 1. はじめに

旅行時間短縮は、交通施設整備により生じる便益項目の中でもとりわけ影響の大きい項目であり、交通施設整備の主要な目的の1つとなっている。これに対しMetz<sup>1)</sup>は、これまで莫大な道路整備への投資が行われてきたにも関わらず、観測された1日の旅行時間消費は過去30年間概ね一定であるという事実を根拠に、道路整備によって短縮された旅行時間は追加の移動に使われているに過ぎないとし、旅行時間短縮ではなくアクセス価値の変化をもって投資効果を評価すべきだと主張している。

Metz論文は、さらに交通施設整備によってもたらされる便益とは何かという問題を提起し、実現象の観測結果とミクロ経済理論からの演繹との剥離を明確にしようとする試みがなされている。一方、交通施設整備により生じるであろう交通発生や目的地選択に関する行動変化については未だ明らかになっていない部分も多く、実際の観測に基づいた長期的変化を把握するための研究が必要である<sup>2)</sup>。また、Metz論文の根底にある、旅行時間消費が経年的に安定しているという事実も、個々人の行動結果を見れば、その日々の変動は極めて大きいことは容易に想像できる。このような旅行時間消費の変動及びその経年変化の理解が、理論と観測結果を一致させていく上で重要になってくるものと思われる。

以上のことを踏まえて、本研究では、連続時間—離散時間パネルデータ (multi-day and multi-period panel data) であるGerman Mobility Panel (GMP) データを用いて、過去15年における旅行時間消費の変動とその経年変化に関する予備的な分析を行い、観測サイドから得られる基礎的情報を提供することを目的とする。以下、2章では旅行時間消費に関する既往研究を整理し、3章において旅行時間消費の変動及びその経年変化を定量化するための分析手法について記述する。その後、4章における実

証分析にて使用するGMPデータについて概説し、基礎的な集計分析の結果を示す。5章では、実証分析の結果に対して考察を加える。6章にて本研究により得られた知見をまとめ、今後の研究の方向性について議論する。

### 2. 既往研究のレビューと本研究の位置付け

旅行時間消費の安定性仮説が議論されはじめた背景として、四段階推定法に基づく伝統的な需要予測手法への批判が挙げられる<sup>3)</sup>。特に、サービス水準が改善したとしてもトリップ発生及び目的地選択に関する行動は変化しないという仮定が非現実的であるとされた。このような背景の中、Zahavi and Ryan<sup>4)</sup>やZahavi and Talvitie<sup>5)</sup>によって「旅行時間消費は、世帯の社会経済属性や交通システム、都市構造が与えられたもとで時間的にも空間的にも移転可能」であることが実証的に示された。この旅行時間消費の安定性仮説に基づき、これまで、旅行時間消費が不変であることを考慮した需要予測手法や、旅行時間短縮に伴うトリップ発生率の変化を予測する手法が提案されている<sup>6)</sup>。

一方で、旅行時間消費の安定性仮説に対する批判も複数存在する。例えば、旅行時間消費の安定性は集計レベルでのみ成り立つこと<sup>3) 7)</sup>は容易に想像できる。また、Goodwin<sup>8)</sup>は、個人が一定の旅行時間消費のもとで交通行動を決定しているとした場合に想定し得る行動仮説は非現実的なものであるとし、集計値での旅行時間消費の安定性仮説に基づく記述的な分析よりも、旅行時間消費の日々の変動を観測し理解することが重要であると指摘している。また、Gun はこのような行動理解を通じて、目的地での活動を遂行することによる便益と移動費用との関係を明らかにした上で、交通施設整備による便益とは何であるのかを議論する必要性を指摘している<sup>9)</sup>。交通は活動の派生需要であるという考えに基づく Activity-based モデル<sup>10) 11)</sup>や応用一般均衡モデル<sup>12)</sup>によるアプローチは、方法論こそ異なるものの、交通サービス水準の向上による影響を帰着ベースで捉えようとする代表的な方法といえる。一方、ドライブ等の移動そのものが目的となるトリップの存在<sup>13)</sup> (すなわち、本源的需要としての移動) や、移動中に行われる活動から得られる正の効用の存在<sup>14)</sup>など、移動そのものの質に関する議論も存在

\*キーワード：旅行時間消費、変動・変化、交通行動

\*\*正会員，博（工），広島大学大学院国際協力研究科  
(東広島市鏡山1丁目5番1号, Tel&Fax: 082-424-5971,  
E-mail: chikaraishi@hiroshima-u.ac.jp)

\*\*\*正会員，博（工），広島大学大学院国際協力研究科  
(東広島市鏡山1丁目5番1号, Tel&Fax: 082-424-6921,  
E-mail: afujiw@hiroshima-u.ac.jp)

\*\*\*\*正会員，博（工），広島大学大学院国際協力研究科  
(東広島市鏡山1丁目5番1号, Tel&Fax: 082-424-6919,  
E-mail: zjy@hiroshima-u.ac.jp)

する。ただし、このような交通そのものから得られる効用も、換言すると、移動中に景色や会話を楽しんだり、読書をしたりすることによる効用と捉えることができ、基本的には帰着ベースの便益として議論することが可能であると考えられる。

まとめると、交通施設整備によりもたらされる便益を再考するにおいては、旅行時間消費の安定性仮説の根源となる「節約された移動時間は、より長距離を移動することに費やされている」という事実をどのように理解するかが極めて重要である。上述したように、少なくとも1) 一定の旅行時間の制約のもと、移動距離を最大化するように移動するという見方（本源的需要）と、2) より魅力度の高い目的地への移動を求めた結果として旅行時間が一定となる見方（派生的需要）の2種類の見解が存在する。先行研究の議論を集約すると、後者の見解のもと便益評価の議論を行うことが望ましいと考えられるものの、その評価方法は十分に確立されているとは言い難い。

以上を踏まえて、本研究では、移動そのものの便益ではなく、個々人がより魅力度の高い目的地への移動を求めた結果として旅行時間が一定となっていると考える。より具体的には、交通施設整備に伴い、目的地選択肢集合が拡大し、個々人の交通行動の自由度が高まると考える。さらに、交通行動の自由度の増大は、意思決定時の文脈に応じたニーズを満たすような移動を促し、結果として、（同一個人であっても日々の行動パターンは異なるという意味での）個人内変動の増大を促すものと考えられる<sup>15)</sup>。換言すると、交通行動の自由度の増大は、旅行時間消費の平均値の変化は促さない（すなわち、旅行時間短縮は促さない）ものの、その日々のばらつきを増大させるという仮説を立てる。本仮説の検証は、便益評価手法の改善に直接的に資するものではないが、改善の際に必要な基礎的情報の提供という観点から重要と考えられる。次章において本仮説を検証するための分析手法を述べる。

### 3. 分析手法

本研究では、1日の旅行時間消費の個人間変動及び個人内変動の変化をモデル化することにより、上述の仮説の検証を行う。なお、以下に提案する手法は、個人内変動と個人間変動を識別できる連続時間パネル調査（時間軸上に連続して行う複数日調査）と、交通行動の経年的変化を捉えることのできる離散時間パネル調査（いくつかの離散時点を抽出して行う複数期間調査）を合わせた、連続時間—離散時間パネル調査データ（multi-day and multi-period panel data）を必要とする。

本研究では、旅行時間消費が0分のケース（当該日に外出を行わないケース）を考慮して以下のトビットモデルを仮定する。

$$\ln(TTB_{idt}) = \begin{cases} y_{idt}^* & (\text{if } y_{idt}^* > 0) \\ 0 & (\text{if } y_{idt}^* \leq 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここで $TTB_{idt}$ は、離散時点 $t$ において調査された、日付 $d$ における個人 $i$ の旅行時間消費であり、 $y_{idt}^*$ は潜在変数である。 $y_{idt}^*$ が0より大きい場合、個人 $i$ は当該日 $d$ に移動を実行すると考える。 $y_{idt}^*$ は、以下の式で定義する。

$$y_{idt}^* = \alpha_0 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2 + \gamma_i + \varepsilon_{idt} \quad (2)$$

ここで $\alpha_0$ は定数項、 $\alpha_1$ 及び $\alpha_2$ は旅行時間消費の経年変化を表すパラメータである。また、 $\gamma_i$ は個人間変動を表すランダム変数、 $\varepsilon_{idt}$ は個人内変動を表すランダム変数であり、以下のように定義する。

$$\gamma_i \sim N(0, \sigma_\gamma^2) \quad (3)$$

$$\varepsilon_{idt} \sim N(0, \sigma_\varepsilon^2) \quad (4)$$

ただし $\sigma_\gamma^2$ 及び $\sigma_\varepsilon^2$ は分散であり、以下のように離散時点 $t$ の情報を用いて構造化する。

$$\sigma_\gamma^2 = \exp(\alpha'_0 + \alpha'_1 t + \alpha'_2 t^2) \quad (5)$$

$$\sigma_\varepsilon^2 = \exp(\alpha''_0 + \alpha''_1 t + \alpha''_2 t^2) \quad (6)$$

ここで $\alpha'_0$ 及び $\alpha''_0$ は定数項であり、 $\alpha'_1 \cdot \alpha'_2$ 及び $\alpha''_1 \cdot \alpha''_2$ はそれぞれ個人間変動及び個人内変動の経年変化を表すパラメータである。

なお、上述した仮説が支持される場合、パラメータ $\alpha''_1$ 及び $\alpha''_2$ は、 $t$ の増加に伴い個人内変動 $\sigma_\varepsilon^2$ が増大する方向に有意になると考えられる。また、旅行時間消費の安定性仮説が支持される場合、パラメータ $\alpha_1$ 及び $\alpha_2$ は有意とはならないと考えられる。また、個人間変動 $\sigma_\gamma^2$ が増加（減少）傾向にあるかどうかは、旅行時間消費の個人間の異質性（同質性）の変化を計測する目安となる。

## 4. 使用データ：German Mobility Panel (GMP)

### データ概要

本研究では、連続時間—離散時間パネルデータ(multi-day and multi-period panel data)であるGerman Mobility Panel (GMP) データ<sup>16)</sup>を用いた実証分析を行う。GMPデータは、連続する1週間の交通行動を1994年以来毎年尋ねている変動・変化に関して豊富な情報を有するデータセットであり、本研究において設定した仮説検証を可能とする数少ないデータセットの1つである。なお、GMPでは、各被験者は連続する3回の調査に参加した後ドロップアウトする仕組みとなっており、意図的にサンプルの更新が行われている。

表1に本分析において使用するGMPデータのサンプル数、平均トリップ数及び外出率を示す。本研究では、調査対象地域がドイツ全土に拡張された1999年以降のデー

表1. 使用データ

	サンプル数			平均トリップ数	外出率
	人	人・日	トリップ数		
1999	1887	13209	46386	3.51	92.1%
2000	1618	11326	38262	3.38	91.5%
2001	2009	14063	49594	3.53	93.1%
2002	1769	12383	43254	3.49	91.7%
2003	1996	13972	49407	3.54	92.2%
2004	1838	12863	44373	3.45	91.7%
2005	1727	12087	42168	3.49	91.5%
2006	1555	10885	38246	3.51	91.5%
2007	1567	10969	37520	3.42	91.7%
2008	1783	12481	43029	3.45	91.8%
合計(平均)	17749	124238	432239	(3.48)	(91.9%)

タのみ使用する。サンプル数は、毎年1500-2000人程度であり、観測されたトリップ数は40000トリップ前後である。平均トリップ数は約3.5、外出率は約92%であり、これらについては、特定の傾向を持った経年変化は見られない。

**基礎集計結果**

平均旅行時間消費、平均移動距離、平均移動速度の経年変化を図1～3に示す。図より、旅行時間消費については増加／減少のトレンドは観測されないものの、移動距離・移動速度は微増傾向にあることが分かる。平均トリップ数の増加は観測されていないことから(表1参照)、移動距離の増加は、1トリップ当たりの移動距離が延びることによるものと考えられる。言い換えると、交通行動の変化は、発生段階ではなく分布段階において生じている可能性が高い。

図4に曜日別の旅行時間消費を示す。図より、月曜日から金曜日にかけて旅行時間消費は増加していること、また、土曜日・日曜日は比較的低い傾向にあることが確認できる。これより、旅行時間消費は、既往研究において指摘されているように、集計値でみると経年的に安定している可能性はあるものの、曜日間での安定性は成立していないものと考えられる。また、図5に曜日別旅行時間消費の標準偏差を示す。図より、旅行時間消費の標準偏差は月曜日から日曜日にかけて大きくなっていることが確認できる。これより、土曜日・日曜日については、ある個人はほとんど移動に時間を配分しない一方で、ある個人は移動に多くの時間を配分する傾向にあるといった状況が想定できる。

移動目的別の1トリップ当たり移動時間・移動距離・移動速度を図6～8に示す。移動時間については、仕事目的の移動のみ経年的に移動時間が増加する傾向にあることが示された。一方、移動距離について見てみると、仕事に加えて買物活動の移動時間が微増していることが確認できる。これは、交通施設整備等に伴う移動速度の改

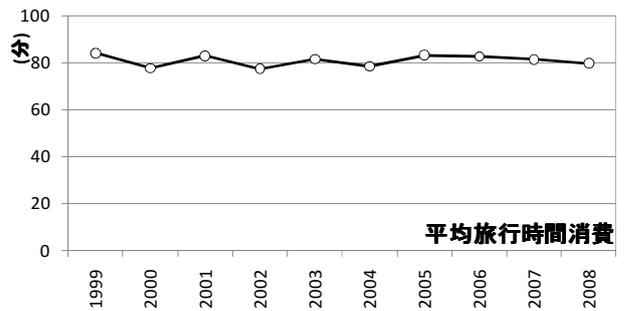


図1. 平均旅行時間消費の経年変化 (日/人)

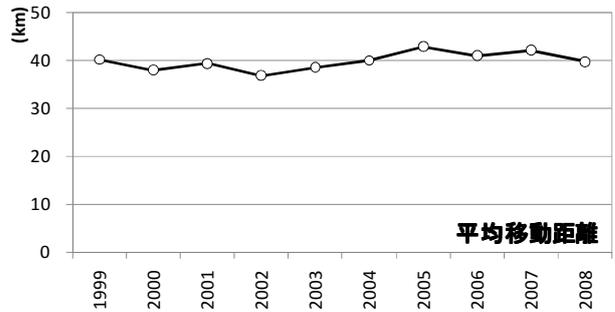


図2. 平均移動距離の経年変化 (日/人)

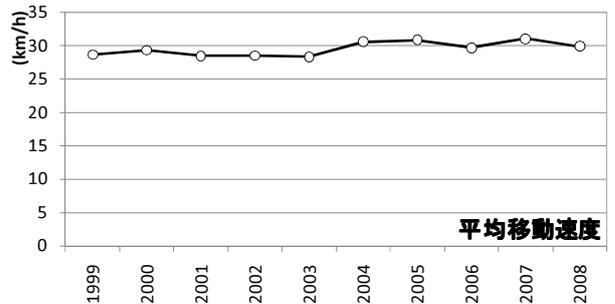


図3. 平均移動速度の経年変化 (日/人)

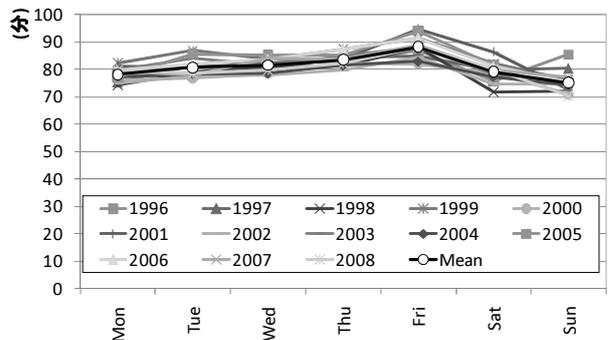


図4. 曜日別旅行時間消費 (平均値)

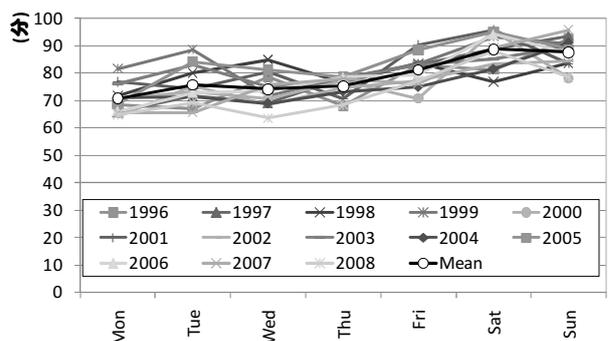


図5. 曜日別旅行時間消費 (標準偏差)

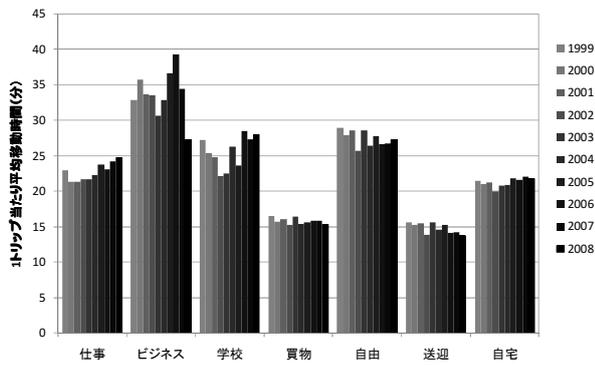


図6. 移動目的別平均移動時間の経年変化

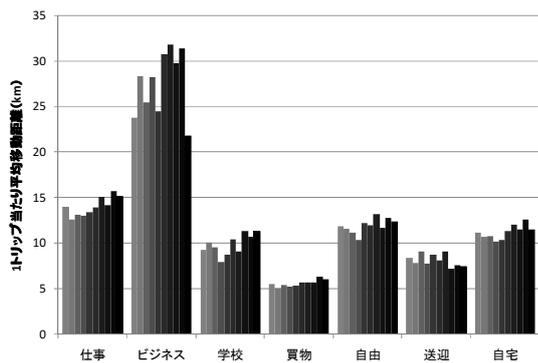


図7. 移動目的別平均移動距離の経年変化

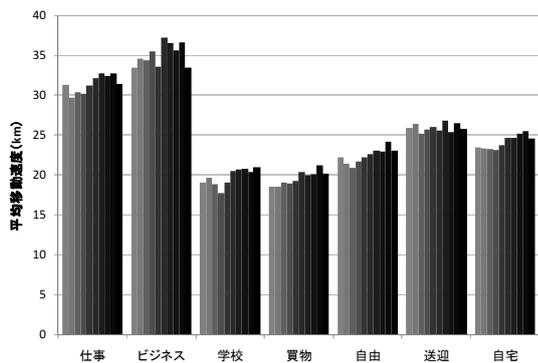


図8. 移動目的別平均移動速度の経年変化

善(図8)により、同一の時間内でより遠くの(恐らくは魅力度の高い)目的地に移動していることを示唆している。また、移動速度(図8)に着目すると、ビジネス・送迎目的の移動を除いた全ての活動目的において移動速度が改善されていることが確認できる。

また、交通手段別の1トリップ当たり移動時間・移動距離・移動速度を図9～11に示す。特徴的な結果として、道路を利用する私的交通(自転車、車(運転)、車(同乗))の移動速度が経年的に増加傾向にあることが指摘できる。この理由として、移動速度改善につながるような軌道系交通システムの整備は、膨大なネットワーク整備が必要であると考えられる一方、道路整備については、現存する道路ネットワークが既に高密度であるため、比較的細切れに整備を行ったとしても移動速度の改善につ

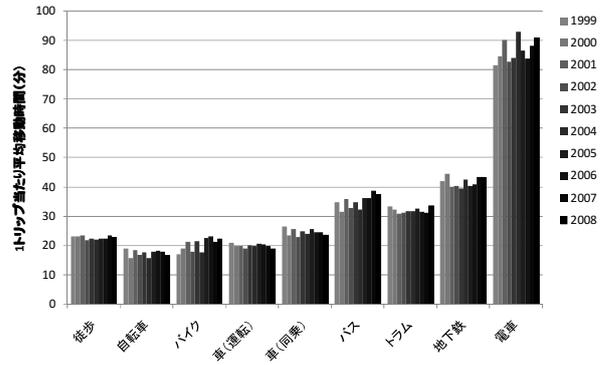


図9. 交通手段別平均移動時間の経年変化

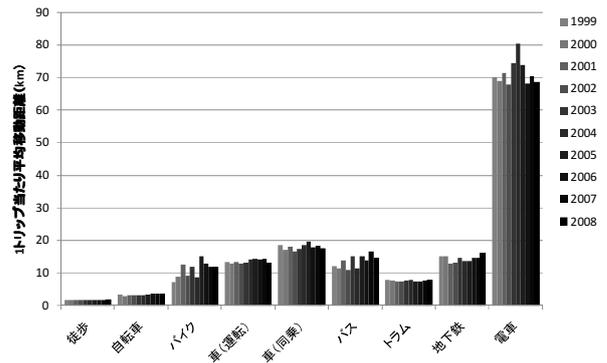


図10. 交通手段別平均移動距離の経年変化

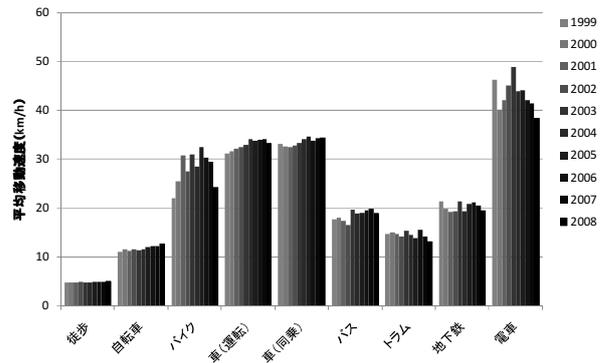


図11. 交通手段別平均移動速度の経年変化

ながる可能性が高いと考えられる。この点については、今後、実データを用いて更に検討を重ねる必要がある。

以上の基礎集計分析の結果を以下にまとめる。

- 1) 移動速度改善によって短縮された旅行時間は、更なる移動(誘発交通)のために費やされる傾向にある。また、ここでの誘発交通とは、トリップ数の増加というよりは、目的地の変更による1トリップ当たりの移動距離の増加であることが示唆された。
- 2) 集計レベルでは旅行時間消費のトレンド変化は観測されないものの、曜日等による分類の下ではセグメント間の差異が観測された。また、トリップ当たりの移動時間を見ると、特に仕事目的の移動時間が増加傾向にあることが示され、旅行時間消費は一定であっても、その内部構造を見ると一定の傾向を持った変化が生じ

ている可能性が示された。

## 5. 分析結果

表2に3章において記述したモデルの推定結果を示す。表より、パラメータ $\alpha_1$ 及び $\alpha_2$ は有意とはならず、多くの既往研究の指摘と同様に、旅行時間消費の平均値のトレンド変化は観測されない結果となった。その反面、個人間変動及び個人内変動の経年変化を表すパラメータ（分散構造化係数 $\alpha'_1, \alpha'_2, \alpha''_1, \alpha''_2$ ）は全て有意な結果となり、旅行時間消費の平均値まわりのばらつきについては、一定の傾向を持った変化が生じていることが明らかとなった。個人間変動及び個人内変動の変化の方向は、推定パラメータを式(5)-(6)に代入することにより把握できる（図12）。図より、個人内変動は経年的に増加する傾向にあることが分かる。これより、2章において述べた仮説「交通施設整備に伴うサービス水準の向上は、旅行時間消費の平均値の変化は促さない（すなわち、旅行時間短縮は促さない）ものの、旅行時間消費の個人内変動を増大させる」は支持された。ただし、個人内変動の増大が、個人間の意思決定時の文脈に応じたニーズを満たすような移動の増加を表現しているかどうかについては、今後更に検討していく必要がある。また、道路総延長や路線総延長といった交通施設整備の変化を直接表現するマクロ変数を用いて変動構造の変化を捉えることにより、より直接的に変動構造の変化の理由を交通施設整備状況に求めることが可能となる。この点についても、今後検討を重ねていく予定である。

次に図12より個人間変動の変化を見ると、経年的に減少する傾向にあることが読み取れる。この結果は、旅行時間消費を決定する要因は、自動車保有や居住地、年齢といった個人特有の要因から、意思決定時の状況によって変わり得るような文脈要因へと移行している可能性があることを示唆している。文脈要因として、例えば知人

や家族とのコミュニケーションによる移動等が考えられるが、今後、どのような文脈要因の影響が存在しているのかを明らかにしていく必要がある。

## 6. おわりに

本研究では、交通施設整備により生じる便益評価手法の再考のためには、更なる交通行動の変化の理解が必要であるとの認識のもと、旅行時間消費の変動及びその変化を定量化するための分析手法を提案し、German Mobility Panelデータを用いた実証分析を行った。具体的には、「交通施設整備に伴うサービス水準の向上は、旅行時間消費の平均値の変化は促さない（すなわち、旅行時間短縮は促さない）ものの、旅行時間消費の個人内変動を増大させる」という仮説を検証した。本研究で行った実証分析は、2章において述べたような仮定を設けた上での条件付きの仮説検証であるものの、実証分析の結果、上の仮説は支持された。これより、平均値としての旅行時間消費は経年的に変化しないものの、その内部構造を見ると一定の傾向を持った変化が生じている可能性が示された。便益評価手法再考に向けた基礎情報を提供することに当たっては、引き続き、過去の交通施設整備に対して

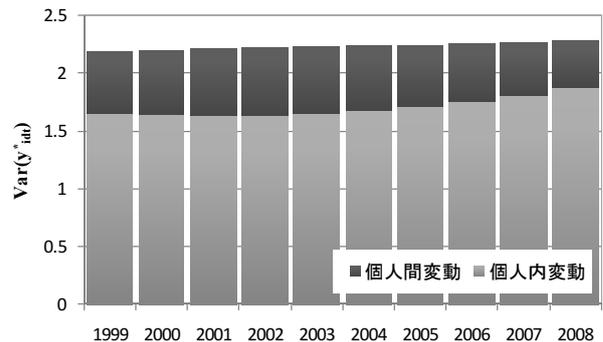


図12. 旅行時間消費の個人間変動及び個人内変動の変化

表2. モデル推定結果

		mean	s.d.	t 値	2.5%, 97.5% quantiles	Geweke
<b>説明変数</b>						
定数項	$\alpha_0$	3.829	0.022	170.33**	3.789, 3.875	-0.956
t	$\alpha_1$	-0.011	0.009	-1.23	-0.031, 0.005	0.546
t <sup>2</sup>	$\alpha_2$	0.001	0.001	1.18	-0.001, 0.003	-0.366
<b>分散構造化変数</b>						
定数項	$\alpha'_0$	-0.727	0.060	-12.05**	-0.841, -0.605	1.533
t	$\alpha'_1$	0.090	0.026	3.50**	0.036, 0.138	-1.219
t <sup>2</sup>	$\alpha'_2$	-0.011	0.002	-4.60**	-0.015, -0.006	0.940
定数項	$\alpha''_0$	0.523	0.017	30.91**	0.490, 0.556	-1.179
t	$\alpha''_1$	-0.019	0.007	-2.73**	-0.034, -0.006	0.761
t <sup>2</sup>	$\alpha''_2$	0.003	0.001	4.74**	0.002, 0.004	-0.389
log{ $\pi[x \text{mean}(\theta)]$ }				-200916		
log{ $\text{mean}[\pi(x \theta)]$ }				-206970		
サンプル数				124,238		

モデル推定にはマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いた。ここでは、サンプルの生成回数を300,000回、稼働検査期間（棄却したサンプリング数）を100,000回とし、20回毎にサンプリングを間引くことにより、最終的に10,000回のサンプルを事後分布として用いた。なお、表中のlog{ $\pi[x|\text{mean}(\theta)]$ }は推定パラメータの平均値を代入した際の対数尤度を、log{ $\text{mean}[\pi(x|\theta)]$ }は、対数尤度の平均値を表す。

敏感に変化してきた事象を見つけていく作業が必要と思われる。今後、1)セグメントごと（個人・世帯属性等）の旅行時間消費の変動の経年変化の特定、2) 交通施設整備状況を示すマクロデータの利活用、3) Travel time ratio<sup>17)</sup>の概念を用いた移動と活動の関連性分析等を行っていきたいと考えている。また、以上の観測サイドから得られた知見を便益評価の理論構築の基礎材料として利用していくことも重要と考えられ、今後、実現象の観測に根差した交通施設整備効果の評価手法確立のための更なる研究の蓄積が望まれる。

#### 謝辞

German Mobility Panelデータの利用に関して様々な便宜を図っていただいたKay W. Axhausen教授(Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Switzerland)及びDirk Zumkeller教授(Karlsruhe Institute for Technology, Germany)に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) Metz, D: The Myth of Travel Time Saving, *Transport Reviews*, Vol. 28, pp. 321-336, 2008.
- 2) 加藤浩徳: 交通時間短縮効果の神話, *運輸政策研究*, Vol. 11, No. 2, pp. 64-65, 2008.
- 3) Mokhtarian, P. L., Chen, C.: TTB or not TTB, that is the question: a review and analysis of the empirical literature on travel time (and money) budgets, *Transportation Research Part A*, Vol. 38, pp. 643-675, 2004.
- 4) Zahavi, Y., Ryan, J. M.: Stability of Travel Components over Time, *Transportation Research Record*, 750, pp. 19-26, 1980.
- 5) Zahavi, Y., Talvitie, A.: Regularities in travel time and money expenditures, *Transportation Research Record*, No. 750, pp. 13-19, 1980.
- 6) Chumak, A., Braaksma, J. P.: Implications of the travel-time budget for urban transportation modeling in Canada, *Transportation Research Record*, No. 794, pp. 19-27, 1981.
- 7) Supernak, J.: Travel-Time Budget: A Critique, *Transportation Research Record*, 879, pp. 15-25, 1982.
- 8) Goodwin, P.: The usefulness of travel budgets, *Transportation Research Part A*, Vol. 15, pp. 96-106, 1981.
- 9) Gunn, H. F.: Travel budgets: A review of evidence and modelling implications, *Transportation Research Part A*, Vol. 15, pp. 7-23, 1981.
- 10) Kitamura, R.: An evaluation of activity-based travel analysis, *Transportation*, Vol. 15, pp.9-34, 1988.
- 11) Kitamura, R., Fujii, S., Pas, E. I.: Time-use data, analysis and modeling: toward the next generation of transportation planning methodologies, *Transport Policy*, Vol. 4, pp. 225-235, 1997.
- 12) 上田孝行(編): Excelで学ぶ地域・都市経済分析, コロナ社, 2010.
- 13) Mokhtarian, P. L., Salomon, I.: How derived is the demand for travel? some conceptual and measurement considerations, *Transportation Research Part A*, Vol. 35, pp. 695-719, 2001.
- 14) Zhang, J. and Timmermans, H.: A Scobit-based panel analysis of public transport users' multitasking behavior, *Transportation Research Record*, 2010 (in press).
- 15) Chikaraishi, M., Zhang, J., Fujiwara, A. (2009) An analysis of the long-term changes of cross-sectional variations in Japanese time use behavior using multilevel multiple discrete-continuous extreme value model, Paper presented at the 12th International Conference on Travel Behaviour Research, December 13-18, Jaipur, India (CD-ROM).
- 16) Zumkeller, D.: The Dynamics of Change – latest results from the German Mobility Panel, Paper presented at the 12th International Conference on Travel Behaviour Research, Jaipur, India, December 13-18, 2009.
- 17) Dijst, M., Vidakovic, V.: Travel time ratio: the key factor of spatial reach, *Transportation*, Vol. 27, pp. 179-199, 2000.