

# 道路特性やETC導入の影響を考慮した 高速道路交通需要の料金弾力性の推定

石井 良治<sup>1</sup>・福田 大輔<sup>2</sup>

<sup>1</sup>学生会員 東京工業大学大学院修士課程 理工学研究科土木工学専攻 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)  
E-mail: r.ishii@plan.cv.titech.ac.jp

<sup>2</sup>正会員 東京工業大学大学院准教授 理工学研究科土木工学専攻 (〒 152-8552 目黒区大岡山 2-12-1)  
E-mail: fukuda@plan.cv.titech.ac.jp

本研究では、料金の変化が交通量に与える影響を把握することを目的として、料金弾力性に着目した分析を行う。特に、空間的・時間的な料金弾力性の差異について検討を試みる。料金弾力性は、高速自動車国道の長期にわたる月別交通量データを用いて、計量経済的手法により道路ごとに算出を行う。モデルにおいては、交通量を被説明変数とし、説明要因としては高速道路料金、ガソリン価格、景気等を考慮する。交通量のデータについては、カルマンフィルタを用いて予め月変動を除去することで、料金変化が交通量に与える影響を適切に取り出せるように配慮する。道路特性の影響を明示的にモデルに組み込むことはかなわなかったが、推定した料金弾力性を用いた検討により、道路特性の違いによって料金弾力性に一定の傾向があることを検証することができた。また ETC 導入前後の料金弾力性を比較することで、多くの道路では料金弾力性が有意には変化していないことが確認された。一方で、有意な変化が検出された道路では料金弾力性は低くなっており、ETC 導入によって利用者の料金に対する意識が変化している可能性が示唆された。

**Key Words** : *elasticity with respect to toll, highway traffic demand, econometric model, Kalman filter*

## 1. はじめに

ここ数年の間においても、「首都高速道路の対距離課金制度への移行」や「高速道路無料化」等、有料道路料金に関するトピックは多い。このような料金設定の変化によって、どのような交通需要の変化がもたらされるかという知見は、道路を運用する際や料金施策を行う際の判断材料として有用である。

料金変化に対する需要の変化を巨視的に把握する指標として料金弾力性が挙げられる。この指標自体は直接予測に使えるようなものではないが、需要の変化の傾向を把握するには有用な指標であると考えられる。高速道路における料金弾力性は古くから数多く推定されているが、その結果は必ずしも安定していない。例えば Litman<sup>1)</sup> によるレビューでは、その値は-0.04~4.0と散らばりが非常に大きい。この散らばりの大きさは、分析対象の道路や国の差異だけでなく、分析手法の違いにも起因していると考えられる。

料金弾力性の推定には、

- (1) 料金変化前後の交通量の変化から算出する方法
- (2) 計量経済モデルを用いた推定方法

の二つの手法が主に用いられる。しかし (1) の手法では、景気やガソリン価格等の他の要因が含まれていないため、料金の変化が交通量へ与える影響を正しく抽

出できていない可能性がある。本研究では、(2) の計量経済モデルを用いた分析を行うことで料金変化が交通量へ与える純粋な影響を把握することを試みる。計量経済モデルを用いた分析としては、例えば Matas et al.<sup>2)</sup> が行っており、料金弾力性は-0.209~-0.828 であるとしている。日本においては谷下<sup>3)</sup> が推定しており、その値は道路によって異なり 0~-0.4 である。

料金弾力性は様々な要因によって変化すると思われる。例えば、トリップ目的によって料金に対する感度が異なることは想像に難くない。つまり、時間や場所によってトリップ目的の構成比が変化すれば、料金弾力性も自ずと変化すると考えられる。さらに、支払方法の変化によって、料金弾力性が変化することが Finkelstein<sup>4)</sup>、石井ら<sup>5)</sup> によって指摘されており、この約 10 年の間における ETC の普及によって電子決済が一般化したことで料金弾力性に影響が出ている可能性が考えられる。

以上のような問題意識に基づき、本研究では料金弾力性の時間的・空間的な差異について検討を行うことを目的とする。その際、長期にわたる高速道路交通量の月別データを利用して、道路ごとの料金弾力性を計量経済モデルにより求めることとする。交通量については、カルマンフィルタを用いて月変動を予め取り除いておくことで、料金変化の影響を適切に抽出できるように配慮する。その後、推定した料金弾力性と道路特

性の関連についての検証を行うとともに、ETC 導入前後で料金弾力性が有意に変化したかどうかを検証する。

## 2. 料金弾力性の推定手法

### (1) 料金弾力性の定義

$D$  を需要量、 $p$  を料金とした時、料金弾力性  $e$  は次の式で定義される。

$$e = \frac{\partial D/D}{\partial p/p} = \frac{p}{D} \cdot \frac{\partial D}{\partial p}$$

計量経済モデルによって高速道路交通需要関数  $D(p)$  を推定することができれば、料金弾力性を算出することができる。なお、料金弾力性は基本的に負の値をとるため、本稿中では料金弾力性の絶対値が小さい（大きい）時に「料金弾力性が低い（高い）」と述べることにする。

### (2) 需要関数の定式化

高速道路交通需要関数を推定するための定式化を行う。まず、高速道路交通量の需要関数を以下のように設定する。

$$Q_{it} = f(C_{it}, T_{it}, OC_{it}, OT_{it}, OD_{it}) \quad (1)$$

ここで  $i$  は道路を、 $t$  は時間を表すラベルである。 $Q$  は高速道路交通量、 $C$  は高速道路交通にかかる費用、 $T$  は高速道路交通の所要時間、 $OC$  は代替交通にかかる費用、 $OT$  は代替交通の所要時間、 $OD$  は全交通の発生集中量を表す。代替交通とは、一般道の交通および他のモードの交通を表す。

以上が理想的な高速道路交通量の需要関数であるが、利用できるデータの制約などから式(1)を直接求めることはできない。そこで、各説明要因について次のような仮定をおいていく。

費用としては、料金やガソリン価格や駐車料金等が考えられるが、本研究では料金とガソリン価格のみを明示的に考慮する。所要時間は道路ごとには異なるが、同じ道路であれば時間  $t$  に関しては一定であると仮定する。また代替交通の費用・所要時間に関しても、道路ごとには異なるが同じ道路であれば時間  $t$  に関して不変であると仮定する。また全交通の発生集中量は、道路周辺の景気に依存すると仮定する。

以上のように仮定をおくと、式(1)は次のように書き改めることができる。

$$Q_{it} = f(TOLL_{it}, GAS_{it}, ECO_{it}, ROAD_i, D_{it}) \quad (2)$$

ここで、 $TOLL$  は高速道路料金、 $GAS$  はガソリン価格、 $ECO$  は道路周辺の景気指標、 $ROAD$  は各道路に固有の特性を表現した項、 $D$  は  $ROAD$  の変化を表現した項である。各道路の固有特性を表現する  $ROAD$  には、高速道路の所要時間、代替交通の費用・所要時間、周辺

の景気以外の全交通の発生集中を説明する要因が含まれており、これらは時間  $t$  に関して不変であると仮定している。道路特性に大きな変動があった場合は、 $D_{it}$  を導入することで明示的に表現する。特に、道路ネットワークの変化や震災の影響を大きな変動として考慮した。具体的な  $D_{it}$  の設定については次章で詳述する。

本研究では、式(2)の具体的な関数形として、以下の対数線形モデルを仮定する。

$$\begin{aligned} \ln(Q_{it}) = & \beta_{0i} + \beta_{1i} \ln(TOLL_{it}) \\ & + \beta_{2i} \ln(GAS_{it}) + \beta_{3i} \ln(ECO_{it}) + \beta_{4i} D_{it} \\ & + \beta_{5i} \ln(Q_{it-1}) + \epsilon_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

各  $\beta$  はパラメータ、 $\epsilon$  は誤差項を表す。式(2)中の  $ROAD_i$  は定数パラメータ  $\beta_{0i}$  に含まれているとした。また本モデルは、被説明変数のラグである一期前交通量  $Q_{it-1}$  が説明変数として導入された部分調整モデルとなっている。これは当期の交通量は当期の説明変数によってのみ決定するのではなく、一期前の交通量の影響を受けることを仮定したものである。各変数については対数変換を行っているため、パラメータの値はそのまま弾力性の値を示すことになり、料金弾力性は  $\beta_{1i}$  で与えられる。

## 3. データ

### (1) 使用データ

本研究では、月別データを用いて高速自動車国道の道路別の交通需要関数の推定を行う。長期間の月別データを利用できる道路として表-1に示す13の高速道路を分析対象とした。

式(3)を推定するために使用したデータをまとめたものが表-2である。高速道路交通量としては走行台キロを用いた。高速道路料金としては、以下の式により一台あたり平均支払金額という指標を作成し分析に利用した。

$$\begin{aligned} & \text{一台あたり平均支払金額 [円/台]} \\ & = \frac{\text{道路別日平均料金収入 [円]}}{\text{道路別日平均利用台数 [台]}} \end{aligned}$$

表-1 分析対象道路

道路名	データ期間
東名, 名神, 中央, 東北, 東関東, 新空港, 北陸, 中国, 九州	1990.1~2006.9
常磐, 関越, 関門橋, 宮崎	1994.1~2006.9

表-2 各変数のデータ概要

変数名	データ名	単位	出典	区分
交通量	日平均走行台キロ	km-台/日	高速道路と自動車	道路別
高速道路料金	一台あたり平均支払金額	円/台	※	道路別
ガソリン価格	ガソリン価格	円	石油情報センター	都道府県別
景気指標	鉱工業生産指数	-	経済産業省 HP	都道府県別
その他	路線長	km	高速道路便覧	道路別
	日平均料金収入	円/日	高速道路と自動車	道路別
	日平均利用台数	台/日	高速道路と自動車	道路別

※日平均料金収入と日平均利用台数から作成

表-3 道路特性の大きな変動を表現するための変動ダミー

路線	期間	事象	符号	変数名
東関東	1997.12~	アクアライン開通による交通量の減少	-	$D_{東関東}$
関越	1994.3 ~	東京外環自動車道との接続による交通量の増加	+	$D_{関越}$
北陸	1994.7 ~	路線延長及び磐越自動車道との接続による交通量の増加	+	$D_{北陸}$
中国	1995.1 ~1995.7	阪神大震災による交通量の減少	-	$D_{中国地震}$
	1996.11~	山陽自動車道の路線延長による交通量の減少	-	$D_{中国1}$
	1997.12~	山陽自動車道の路線延長による交通量の減少	-	$D_{中国2}$
九州	1995.7 ~	全線開通による交通量の増加	+	$D_{九州}$
宮崎	1995.7 ~	九州自動車道の全線開通による影響	+	$D_{宮崎}$
阪神	1995.1 ~1995.7	阪神大震災による交通量の減少	-	$D_{阪神}$

ガソリン価格については、都道府県別のレギュラーガソリン価格を取得し、道路ごとに集計を行ったものを分析に用いた。都道府県別データから道路別データへの集計は、各道路が通過する都道府県について平均値をとるという手法で行った。

景気指標としては鉱工業生産指数を利用した。鉱工業生産指数と国内総生産の相関は0.94と高く、月別の景気変動を表現する指標として適当であると考えられる。ただし、鉱工業生産指数については全国データしか入手できなかったため、実際に分析に用いる際には国内総生産を用いて都道府県別に案分した後に、ガソリン価格と同様の方法で道路別に集計をしたデータを使用した。

道路特性の大きな変動として、高速道路ネットワークの変化及び阪神大震災による影響を考慮した。具体的な設定は表-3の通りである。それぞれの要因に対して、該当する期間では1、その他では0とするダミー変数を作成した。

また全ての貨幣ターム変数は、内閣府の国民経済計算から取得した2000年度基準のデフレーターを使用して、物価水準を統一してある。

走行台キロと平均支払金額については月変動の影響が大きいため、次節で示す季節調整を行い、季節調整済み系列を求めてから分析に用いた。

## (2) 季節調整の手順

走行台キロと支払金額の季節調整は、状態空間モデルを用いて行った。ここでは、季節調整を行いたい時系列  $y_t$  について、

$$y_t = t_t + s_t + p_t + w_t$$

という観測モデルを仮定し、トレンド成分  $t_t$ 、季節成分  $s_t$ 、AR成分  $p_t$ 、観測ノイズ  $w_t$  の4成分に分解した。各成分のシステムモデルは

$$t_t = \sum_{i=1}^k c_i t_{t-i} + v_{1t}$$

$$s_t = - \sum_{i=1}^{11} s_{t-i} + v_{2t}$$

$$p_t = \sum_{i=1}^l a_i p_{t-i} + v_{3t}$$

である。ただし、 $c_i$  は階差  $k$  によって決まる係数であり、 $l$  はラグの次数、 $a_i$  は自己回帰係数である。各ノイズは正規分布に従うと仮定し、 $w_t \sim N(0, \sigma^2)$ 、 $v_{1t} \sim N(0, \tau_1^2)$ 、 $v_{2t} \sim N(0, \tau_2^2)$ 、 $v_{3t} \sim N(0, \tau_3^2)$  を満たすものとする。まず最尤法により各ノイズの分散及び自己回帰係数を推定し、その推定値を用いてカルマンフィルタによるスムージングを行い各成分を推計した。階差とラグの次数に関しては、それぞれ  $k = 1 \sim 3$ 、 $l = 0 \sim 3$  の範囲で動かして推計を行い、AICが最も高いモデルの値を採用した。状態空間モデルを用いた季節調整モデルにつ

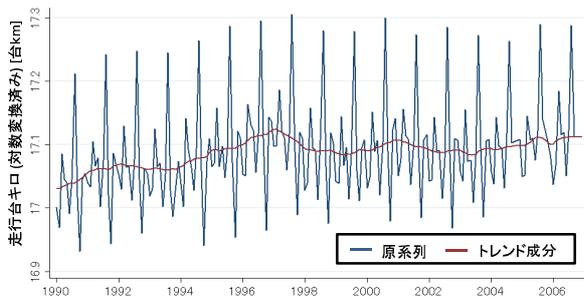


図-1 東名自動車道走行台キロのトレンド成分

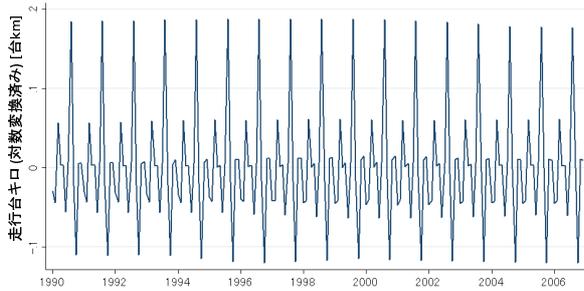


図-2 東名自動車道走行台キロの季節成分

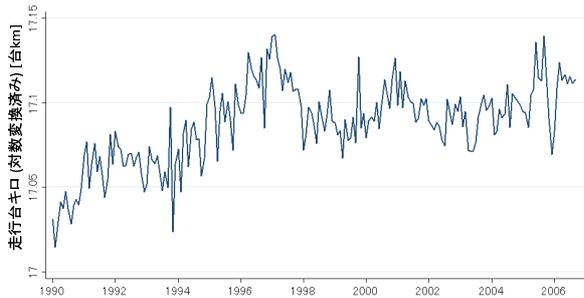


図-3 東名自動車道走行台キロの季節調整済み系列

いての詳細については、北川<sup>6)</sup>を参考のこと。

次章の分析では、推定した季節成分  $\hat{s}_t$  を用いて季節調整済み系列  $\hat{y}_t = y_t - \hat{s}_t$  を作成し、分析に利用した。

一例として、東名自動車道の走行台キロについての季節調整結果を記載する。AICによるモデル選択の結果、 $k=1$ 、 $l=0$ と決定した。カルマンフィルタによる成分分解の結果は図-1および図-2に示すとおりである。分析で利用する季節調整済み系列は図-3に表す系列となる。

## 4. 料金弾力性の推定及び考察

### (1) 推定結果

最小二乗法により式(3)のパラメータの推定を行った。推定結果は表-4に示すとおりである。道路特性の変動ダミーの推定結果に関しては表-5のようになった。全てのダミー変数について符号条件を満たしてお

り、また  $t$  値も有意となっている。

誤差の系列相関については Breusch-Godfrey 検定を行い、その結果は表-4の“系列相関”の列に示している。表中の値は、帰無仮説を「 $H_0$ : 一期の系列相関がない」とした時の  $P$  値を示している。名神、新空港、中国、関門橋以外の自動車道については系列相関の存在が示唆されるため、 $t$  値が過大に評価されている可能性がある。系列相関の有無やモデルの当てはまり具合については、各道路についてより長い期間のラグや移動平均項を考慮したり、より適切な説明変数に入れ替えたりすることで改善する可能性はありうる。しかし、今回は道路間の料金弾力性の値の比較が一つの目的であるため、同一のモデルで推定を行った表-4の結果を用いて以降の考察を行う。

### (2) 道路ごとの料金弾力性の違い

全道路の料金弾力性の平均は-0.119であり、谷下<sup>3)</sup>で算出されている0~-0.4という値と比較しても、妥当な範囲にあるといえる。一方で、本研究での弾力性は道路によって0.236~-0.496とばらつきが大きくなっている。また常磐、中国自動車道では  $t$  値が有意な値になっておらず、これらの道路においては、料金の変化が交通量に対して与える影響がほとんど無いと考えられる。特に、中国自動車道はネットワークの変化が大きいため、料金よりも道路特性の変動による影響が卓越していた可能性が考えられる。また新空港自動車道に関しては、プラスの符号で  $t$  値が有意となっている。これは、新空港自動車道が成田空港へのアクセスのための道路であり、渡航先の影響や飛行機の運賃等、本研究で考慮できなかった要因の支配するところが大きいためと推察される。以下では、料金弾力性の道路比較を行うが、新空港自動車道の料金弾力性の値は省いて行うこととする。

表-5 変動ダミーの推定結果

変数名	符号	推定結果
$D_{東関東}$	-	-0.024**
$D_{関越}$	+	0.041**
$D_{北陸}$	+	0.042**
$D_{中国地震}$	-	-0.023**
$D_{中国1}$	-	-0.557**
$D_{中国2}$	-	-0.010*
$D_{九州}$	+	0.039**
$D_{宮崎}$	+	0.068**
$D_{阪神}$	-	-0.059**

\*5%有意, \*\*1%有意

表-4 道路別の交通需要関数のパラメータ推定結果

	支払金額		ガソリン価格		鉱工業生産指数		一期前交通量		定数項		決定係数	系列相関 P 値
	係数	t 値	係数	t 値	係数	t 値	係数	t 値	係数	t 値		
東名	<b>-0.080</b>	<b>-2.94</b>	<b>-0.038</b>	<b>-3.77</b>	<b>0.093</b>	<b>3.71</b>	0.616	10.71	6.971	6.47	0.686	0.0004
名神	-0.088	-1.49	<b>-0.078</b>	<b>-3.07</b>	<b>0.121</b>	<b>2.28</b>	0.440	6.62	9.885	7.24	0.466	0.1215
中央	<b>-0.188</b>	<b>-2.44</b>	<b>-0.029</b>	<b>-2.08</b>	0.055	1.38	0.682	13.28	5.697	6.01	0.601	0.0018
東北	-0.064	-1.63	<b>-0.048</b>	<b>-2.71</b>	0.016	0.50	0.786	19.11	4.245	4.45	0.847	0.0003
常磐	0.046	0.67	-0.017	-1.05	0.023	0.57	0.936	41.63	0.859	2.28	0.953	0.0000
東関東	<b>-0.125</b>	<b>-4.81</b>	<b>-0.048</b>	<b>-3.69</b>	<b>0.091</b>	<b>3.10</b>	0.653	13.02	6.013	6.76	0.850	0.0007
新空港	0.236	2.54	0.032	1.73	-0.015	-0.28	0.827	18.87	1.024	2.74	0.879	0.2305
関越	<b>-0.192</b>	<b>-2.13</b>	0.001	0.05	-0.007	-0.14	0.758	17.20	4.497	5.42	0.902	0.0016
北陸	-0.153	-1.61	0.006	0.29	0.015	0.31	0.637	12.17	5.663	4.54	0.834	0.0003
中国	0.023	0.16	-0.065	-0.67	0.190	1.67	0.771	19.03	3.721	5.01	0.968	0.3775
関門橋	<b>-0.492</b>	<b>-5.08</b>	<b>-0.135</b>	<b>-4.76</b>	<b>0.186</b>	<b>2.84</b>	0.329	4.70	11.811	9.13	0.420	0.7018
九州	<b>-0.154</b>	<b>-3.22</b>	-0.017	-1.03	-0.010	-0.26	0.810	19.64	4.254	4.27	0.982	0.0000
宮崎	<b>-0.496</b>	<b>-3.12</b>	0.047	1.79	-0.042	-0.69	0.816	21.81	3.885	4.48	0.956	0.0008

支払金額・ガソリン価格・鉱工業生産指数の結果については、期待通りの符号で5%有意であるものを太字で書き表した。

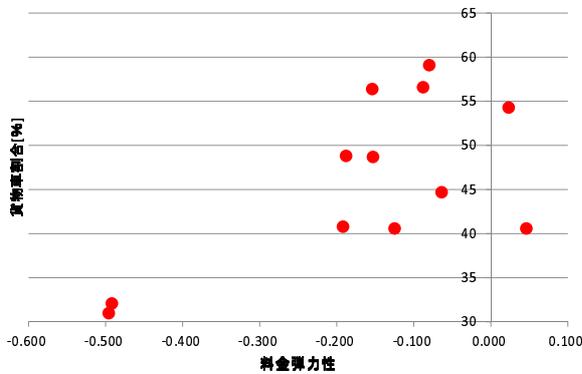


図-4 料金弾力性と貨物車割合との関係性

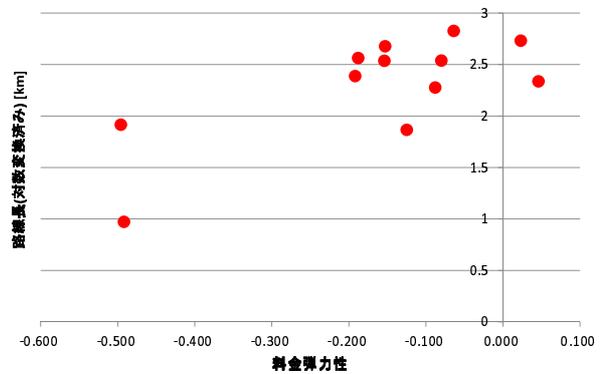


図-6 料金弾力性と路線長との関係性

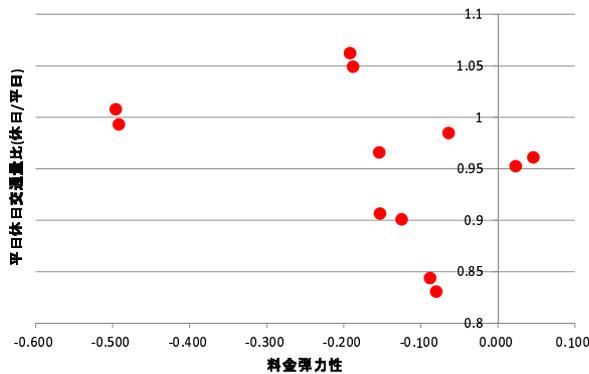


図-5 料金弾力性と平日休日交通量比との関係性

a) 利用目的に着目した比較

まず道路の利用目的と料金弾力性の関係性について検討を行う。利用目的に関連した指標として、平成17年度道路交通センサスに記載されている車種別構成比のデータを利用する。図-4は料金弾力性と貨物車割合の関係をプロットしたものであり、両者の相関係数は0.659である。貨物車が多いほど料金弾力性は低くなる傾向にあることがわかり、乗用車と比較して貨物車は価格に関する感度が低いことが推察される。

同じく道路交通センサスから平日と休日の交通量の比を取得し、料金弾力性との関係をプロットした結果が図-5である。その相関係数は-0.384であり、平日と比べて休日の交通が多いほど、料金弾力性が高くなる傾向にあることがわかる。休日の交通が増加するのは、主に観光目的のトリップが増えることが原因であると考えることができるため、観光目的の料金弾力性は他のトリップと比較して高いことが推察される。

b) 道路規模に着目した比較

道路規模と料金弾力性の関係についての考察を行う。図-6は料金弾力性と対数をとった路線長の関係をプロットしたものであり、両者の相関係数は0.727である。また、道路規模を表す指標として走行台キロを考慮し、料金弾力性の相関係数をとったところ、その値は0.826であった。以上より、道路規模が大きいほど料金弾力性が低くなる傾向が確認できる。本研究で分析対象とした規模の大きな道路は、我が国における主要な幹線道路であり、貨物の比率が全国に比べて高いため、料金弾力性が低くなったと考えられる。また、規模が小さく路線長の短い道路では、一般道が代替交通手段

表－6 ETC 導入前の料金弾力性の推定値と t 検定

	全データ	ETC 導入前 (2001.11 以前)	t 検定
東名	-0.080*	-0.069	-0.22
名神	-0.088	-0.117	0.31
中央	-0.188*	-0.047	-1.19
東北	-0.064	-0.311*	2.58
常磐	0.046	-0.006	0.45
東関東	-0.125*	-0.129*	0.10
新空港	0.236*	0.361	-0.82
関越	-0.009	0.009	-0.12
北陸	-0.153	-0.204	0.33
中国	0.023	-1.053	0.98
関門橋	-0.492*	-0.746*	1.47
九州	-0.154*	-0.161*	0.09
宮崎	-0.496*	-0.483*	-0.05

\*5 %有意

として挙がってくるため、料金弾力性が高くなると考えられることができる。

### (3) 期間での料金弾力性の違い

分析期間内で料金弾力性が一定であるかどうかについて検討を行う。特に、ETC 普及の効果に着目し、ETC 導入前後で料金弾力性が有意に変化しているかどうかを t 検定により確認する。

ETC 導入(2001年11月)以前のデータを用いて、式(3)の交通需要関数の推定を行い、料金弾力性  $\beta_{before}$  を算出した。全データを用いた料金弾力性の推計値  $\beta_{all}$  との間で「 $H_0 : \beta_{all} = \beta_{before}$ 」という帰無仮説が棄却されるかどうかを t 検定により判断する。

結果を表－6に示す。ETC 導入後に料金弾力性が有意に変化したのは、東北自動車道のみであった。その符号はプラスであり、ETC 導入後は料金弾力性が低くなっている。これは、石井ら<sup>5)</sup>らによって指摘された“ETC 導入によって支払方法が電子決済へと変化することで利用者の価格に対する感度が麻痺し料金弾力性が低下する”という仮説とも整合している。しかしながら、大部分の道路においては、ETC 導入前後での料金弾力性の有意な変化はなかったと推察される。

## 5. おわりに

本研究では、カルマンフィルタにより月変動を取り除いた長期間の交通量データを用いて、計量経済的手法により高速道路交通需要関数の推定を行い、料金弾力性の値を道路別に算出した。その結果得られた知見を以下に示す。

- 道路ごとの料金弾力性の値は0.236～-0.496であり、その平均値は-0.119である。
- 料金弾力性は、貨物車割合が多いと低くなり、休

日交通量が多いと高くなることが確認された。また道路規模が大きくなるほど、弾力性は低くなる傾向が示された。

- ほとんどの道路において、ETC 導入前後で料金弾力性は有意に変化していないという結果が示された。有意な変化が確認された道路では、料金弾力性は低下しており、支払方法の電子化による価格感度の低下が示唆される。

本研究では、道路特性や ETC 導入の影響に関しては考察で検討を行ったのみであり、モデル内で明示的に考慮することができなかった。これらの要因を用いて、料金弾力性のパラメータを構造化して推定していくことが今後の課題として挙げられる。また、代替交通手段の費用・所要時間など、分析期間内では不変であると仮定した要因についても考慮する必要があると思われる。

### 参考文献

- 1) Litman, T.: Transportation elasticities: How prices and other factors affect travel behavior, *Victoria Transport Policy Institute* 2010.
- 2) Matas, A. and Raymond, J.: Demand elasticity on tolled motorways, *Journal of Transportation and Statistics*, Vol. 6, No. 2, p. 91, 2003.
- 3) 谷下雅義: 都市間高速道路交通量の料金弾力性, *高速道路と自動車*, Vol. 48, No. 11, pp.38-45, 2005.
- 4) Finkelstein, A.: E-ZTAX: Tax Salience and Tax Rates, *Quarterly Journal of Economics*, Vol. 124, No. 3, pp. 969-1010, 2009.
- 5) 石井良治・福田大輔: 高速道路交通量の料金弾力性に着目した ETC 導入の影響に関する実証的分析, *交通工学研究発表会論文集*, Vol. 31, pp.295-298, 2011.
- 6) 北川源四郎: 時系列解析入門, 岩波書店, 2005.