

テーラード型 SP 調査を用いた 都市高速道路料金調整時の迂回経路分析

中川 貴文¹・宇野 伸宏²・嶋本 寛³・塩見 康博⁴

¹学生員 京都大学大学院 工学研究科 (〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C クラスター438号室)

E-mail:nakagawa@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

²正会員 京都大学経営管理大学院准教授

E-mail:uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

³正会員 京都大学大学院講師

E-mail:shimamoto@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

⁴正会員 京都大学大学院助教

E-mail:shiommi@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp

現代社会において都市高速道路が直面する課題として交通渋滞が挙げられるが、道路の拡幅や新規道路建設によるハード面の改善はもはや限界に達しており、現在では交通需要そのものをコントロールする交通管制施策に期待が寄せられている。

そこで本研究では、新たな流入制御施策として、情報提供および料金調整を用いた流入制御施策を提案し、各々の利用実態に即したSP調査(テーラード型SP調査)を通して導入効果の分析を行った。テーラード型SP調査の最大の特徴は、各モニターが実際に行った移動に基づき個別でモニターに対応した質問を作成した点である。本研究では、特に、流入制御を行った際に生じる利用者行動変化、ならびに迂回経路としての一般道路への影響を把握することを目的として分析を行った。

Key Words : *Tailor-Made, Stated Preference survey, detour route, urban expressway, inflow control*

1. はじめに

都市高速道路では、渋滞を解消・緩和する手段として、交通需要をコントロールする“流入制御”が有用であり、我が国ではオンランプの閉鎖、料金ブースの制限による制御がこれまでなされてきている。しかし、この種の制御はETCレーンの普及により効率的かつ効果的な実施が難しくなっており、新たな制御手法を検討する必要がある。これらを踏まえて、進藤ら¹⁾は情報提供・料金調整を用いた新たな流入制御手法を提案し、阪神高速道路の利用者を対象として、その反応を利用者個々の利用実態に即して作成したSP調査により把握し、提案手法による利用者行動の変化について考察するとともに、高速道路の渋滞緩和の可能性を示唆した。一般的に流入制御を実施すると、都市高速道路の利用を取りやめ、一般道路に迂回するという行動を行うことも考えられる。すなわち、何らかの流入制御施策を導入する上では、一般道路への影響を考慮することは非常に重要と考えられるが、これまで必ずしも十分に対応されているとは言い難い。

そこで本研究では、料金調整を含む新たな流入制御施策を行った際に生じる迂回行動の特性を把握し、都市高速道路利用者が選択する迂回経路の特性を把握することを目的とする。また、迂回経路に関する基礎分析から得た知見を既存の経路選択モデルに変数として組み込むことで、より説明力の高いモデルを構築できるかを試みた。

2. 調査概要

本研究では、2009年10月26日～11月20日に阪神高速道路利用者93名を対象として実施されたプローブパーソン調査(以下、PP調査)および流入制御に関するSP調査のデータを活用する。PP調査は、GPS携帯電話により個々のモニターの移動軌跡を把握するとともに、WEBダイアリー調査により各トリップの詳細を把握するものである。

次に、今回新たな流入制御として提案された“情報提供および料金調整を用いた流入制御”の基本的な考え方を図1に示す。渋滞流中へと流入する車両に対して一定

額の課金，もしくは迂回して入口変更を行う車両に対して一定額の割引を行うことで，渋滞流中へ流入する車両を抑制することがこの施策の狙いである。つまり，“情報提供および料金調整を用いた流入制御”は車両の流入を物理的に制御するわけではなく，利用者に高速道路利用という選択肢を残しつつ，情報と料金調整により利用者の行動変化を期待するものであり，その効果は利用者の反応に大きく依存する。制御施策の効果を定量的に分析するため，先行研究ではテララーメード型SP調査を実施し，制御施策実施下での利用者の反応および経路選択行動のデータを収集した。

先行研究で行われたテララーメード型SP調査の設計にあたっては，PP調査の観測結果を踏まえて，まずはモニター毎に阪神高速道路利用時の代表的トリップを抽出した。代表的トリップと同じOD，トリップ目的，利用時間帯などを想定した上で，情報提供される渋滞レベル，料金調整（課金，割引）レベルを体系的に変化させ経路選択を問うSP調査を構成する。その際，モニター自身が回答した，利用予定の阪神高速道路に対する一般道路の代替経路の情報と合わせ，次の3つの選択肢を設定した。

1. そのまま阪神高速道路を利用する
2. 入口を変更して阪神高速道路を利用する

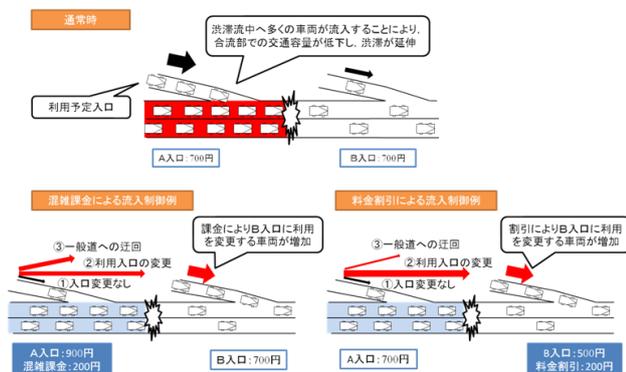


図1 情報提供および料金調整を用いた流入制御の基本的な考え方

利用ルート	利用入口	渋滞を考慮した予想所要時間
阪神高速(現在の入口から)	豊中南	時間 分
阪神高速(別の入口から)		時間 分
一般道路のみ		1 時間 0 分

このとき、どの経路を選択すると思いますか？

- そのまま阪神高速道路を利用する
- 入口を変更して阪神高速道路を利用する
- 一般道のみを利用する

図2 図形情報板の例

3. 一般道路のみを利用する

モニターは図2に示すような図形情報板から，渋滞および料金調整に関する情報を受け取ると仮定し，経路選択について回答する。これにより従来のSP調査で指摘されている，仮想状況下の反応行動と現実場面の意思決定の乖離の解消を試みる。

3. 迂回経路データの概要

テララーメード型SP調査を作成する際に抽出するモニター自身が行ったトリップは，全て大阪市内方面に向かい，阪神高速道路環状線を通じたトリップを対象としている。これらの各モニター自身のトリップを対象として，情報提供・料金調整による流入制御が行われた際に，阪神高速道路の利用を取りやめて，一般道路を利用する場合の迂回経路を図3に示す。web画面上にてモニター自身により，地図上に迂回経路をプロットしてもらい，データとして収集した。この迂回経路は実際にモニターが通った経路ではない。しかしながら，モニターが実際に行ったトリップを対象として，阪神高速道路を利用しないとした場合に，代替的に利用するであろう迂回経路を質問しているので，現実的な迂回経路のデータと考えられる。

4. 迂回経路に関する分析

(1) 迂回経路属性に関する分析

a) 利用経路に関する分析

モニターの選択する迂回経路として，阪神高速道路利用時の経路に沿って直近の迂回経路を選択するモニターと，阪神高速道路利用時の経路とは位置的にも全く異なる迂回経路を選択するモニターに大別された。web上で代替一般道路を選択する際に，各モニターに対して抽出された阪神高速道路利用時のトリップは全て，郊外部か



図3 迂回経路の記入例

ら大阪市内方面向かい、阪神高速道路環状線を通過しているトリップを対象としているため、阪神高速道路利用時の経路に沿った迂回経路を選択した場合、必然的に大阪中心市街地を通過する。ここでの中心市街地の定義としては、大阪市の用途地域を参照して、JR環状線内とした。ここで、目的地が中心市街地であるか、郊外であるか、また、入路線の違いによって、中心市街地を通過するか否かは異なると考えられる。そこで、その点に着目し、選択される迂回経路について分析を行った。

目的地と中心市街地通過の関係を図4に示す。目的地が中心市街地となっている場合、当然迂回経路として中心市街地を通過することになる。目的地が、中心市街地外の場合、53%のモニターが中心市街地を通過しないという結果が得られ、約半数が中心市街地を迂回する可能性があることが示唆された。

次に、入路線と中心市街地通過の関係を図5に示す。今回代表的トリップの抽出対象となったのは、11号池田線、12号守口線、15号堺線の3路線のオンランプ利用時のトリップである。路線ごとにサンプル数の違いはあるものの、池田線を利用予定としていたモニターの70%は中心市街地を通過しない経路を選択しているのに対して、堺線を利用予定としていたモニターについては中心市街地を通過しない経路を選択したものは30%に留まっている。池田線は、各オンランプが比較的、中心市街地から遠い場所にあるものが多く、また、入路線付近に多様な方向へ向かう幹線道路が存在しているため、迂回経路として様々な経路を選択しやすいことが考えられ、逆に堺線は、各オンランプが全て中心市街地に近い場所にあり、また、中心市街地を避ける方向への幹線道路が少ないことが、このような対照的な結果となった一因と考えられる。

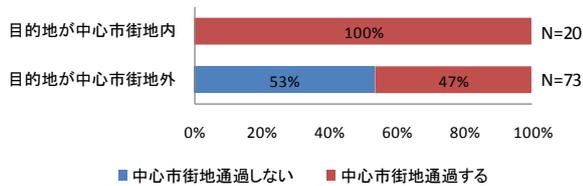


図4 目的地と中心市街地通過の関係

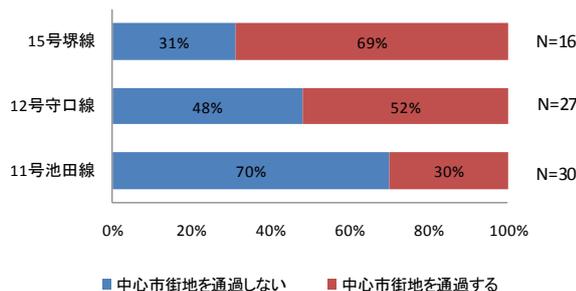


図5 入路線と中心市街地通過の関係

b) 利用道路に関する分析

モニターの選択する迂回経路は、利用する入路、およびオンランプによって異なると考えられる。そこで、利用予定オンランプにより、いくつかのグループに分類し、グループごとに使われる迂回経路の道路属性を分析した。本稿では11号池田線の豊中南、豊中北、大阪空港、池田いずれかのオンランプ（「郊外側オンランプ」と略す）を利用するモニターと、11号池田線の塚本、加島いずれかのオンランプ（「都心側オンランプ」と略す）を利用するモニターを対象とする。豊中南、豊中北、大阪空港、池田の各オンランプは距離的に必ずしも近いわけではないが、近隣に位置する主要一般道路は共通性が高いと考えられる。同様の理由により、塚本、加島の各ランプも一つのグループとした。それぞれのグループが利用しうる一般道路を図6、図7に示される主要道路（オンランプ付近に存在し、道路規格が片側3車線以上ある道路とした）として、その利用率を次のように定義し、結果を図8、図9に示す。

$$\text{道路の利用率} = \frac{\text{道路を選択したモニター数}}{\text{全モニター数}}$$

図8の結果から、郊外側オンランプの利用者については、空港線と国道176号の利用率が48%となり、約半数のモニターが選択していることが分かる。また、国道



図6 豊中南～池田オンランプ付近の主要道路



図7 塚本、加島オンランプ付近の主要道路

479号（以降、「内環」と称す）の利用率は0%である。空港線と国道176号に関しては、11号池田線に沿っていることから、迂回経路として利用されやすい結果に、また、内環については、大阪市内方面に向かうトリップに対する迂回経路を質問したので、全く利用されない結果となった可能性が考えられる。加えて、回答者数としては4名であるが、中央環状線（以降、「中環」と称す）を選択したモニターも含まれていることは留意すべき点である。

次に、図9の結果より、塚本、加島の都心側オンランプの利用者については、淀川通りの選択率が47%と約半数が選択していることが分かる。これは、淀川通りが都心側オンランプ付近で唯一の東西に走っている高規格の道路であり、迂回経路をとして使われる可能性が高かったことが考えられる。また、南北間の幹線道路ではあるが、11号池田線からの距離が幾分離れている国道423号は、全く利用されない結果となった。これは、都心側オンランプ付近の利用者の場合、出発地点から都心との距離が近いいため、市内方面へ向かうのに、国道423号まで迂回する利用者が少なかったことが考えられる。

(2) 最短経路探索を利用した分析

都市高速道路からの迂回経路がどの程度の範囲の一般道に影響を及ぼすかを把握することは、一般道路への影響を加味して都市道路ネットワークとして適切なマネジメントを行う上で必要であると考えられる。ここでは、道路ネットワークデータと最短経路探索アルゴリズムで

あるDijkstra法²⁾を活用して、ネットワーク上で抽出される最短経路と、モニターが回答した迂回経路がどの程度乖離しているかという観点から分析する。道路ネットワークの各リンクコストをリンク所要時間として、各モニターのODごとに最短時間経路を算出した。リンク所要時間は、次のように定義する。

$$\text{各リンクの所要時間} = \frac{\text{各リンク間距離}}{\text{各リンクの実勢速度}}$$

ここで、各リンクの実勢速度は、道路交通センサスに基づき、道路ネットワークデータとして設定されている実勢速度としたが、稀に、実勢速度の定義されていないリンクがあったので、それらのリンク速度は一律に30km/時と定義した。

図10はモニターの迂回経路の所要時間と最短時間経路の時間との差に関して、モニター数の分布を示したものである。図10より、時間差が0分～5分のモニターが多数おり、約半数のモニターが最短時間に近い経路を選択していることが分かる。つまり、最短経路となる一般道路に迂回による影響が比較的集中することが分かる。しかしながら、少ないながらも20分以上最短経路から乖離しているモニターも存在しており、比較的広範囲の一般道路に渡って迂回路として選択される可能性も示唆されている。

また、図11に時間差とOD距離の集計結果を示す。自

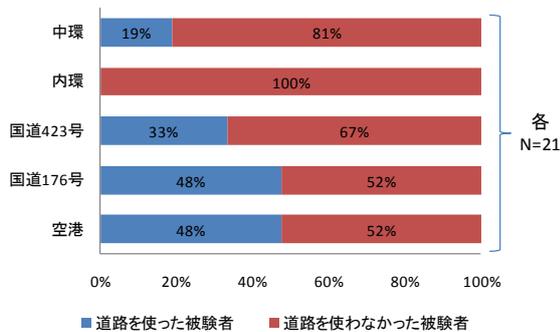


図8 道路別の選択率（豊中南～池田）

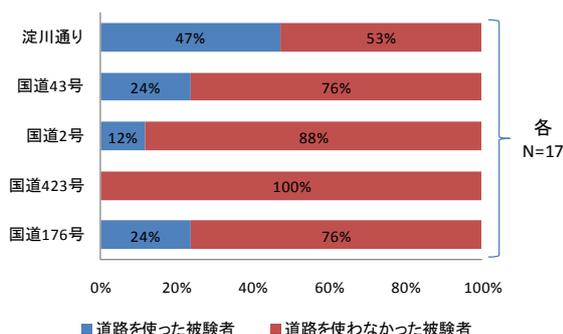


図9 道路別の選択率（塚本、加島）

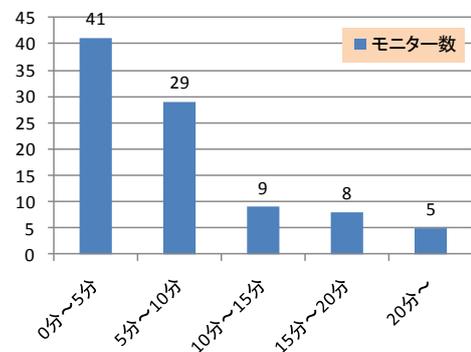


図10 時間差とモニター数の分布

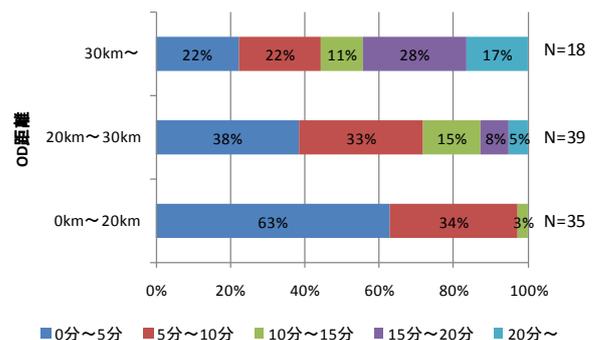


図11 時間差とOD距離の関係

明な点ではあるが、OD距離が短ければ、時間差は小さくなる傾向にあることが伺える。逆に、OD距離が長くなるほど時間差が長くなっているため、迂回経路として時間的な最短経路ばかりが選択されるわけではなく、所要時間の点で多様な経路が選択される可能性が示唆されている。

(3) リンク尤度を活用した分析

交通ネットワーク上の経路選択として捉えると、各ノードの最小交通費用と各リンクのコストの関係から、各リンクの“選ばれやすさ”を表すリンク尤度を計算することが可能である。ここでは、モニターの選択した経路のリンク尤度を見ていくことで、モニターはトリップコストから見てどの程度合理的な（選ばれやすい）経路を選択していたのかという視点で分析する。リンク尤度の計算方法は以下である。

- (i) 起点 r から他の全てのノードへの最小交通費用 $c(i)$ を計算

$$c(i) \leftarrow C \min[r \rightarrow i]$$

- (ii) 全リンクについてリンク尤度 $L[i \rightarrow j]$ を計算

$$L[i \rightarrow j] = \begin{cases} \exp\{\theta\{c(j) - c(i) - t_{ij}\} & c(i) < c(j) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

i, j : ノード番号

t_{ij} : リンク i, j のコスト

θ : 定数パラメータ

リンクコストを各リンクの所要時間としてリンク尤度を計算し、各モニター毎の迂回経路について平均化したリンク尤度とモニター数の分布を図12に示す。リンク尤度が0.9を超えるモニターが多数おり、時間的に見て合理的な経路を選ぶモニターが多いと考えられる。一方、0.9を下回るモニターも相当数おり、代替経路の多様性が示唆されている。そこで、リンク尤度が0.9を下回るモニターは、所要時間的に見て必ずしも合理的とはいえない経路を迂回経路として選択しているが、そういったモニターは、どのような路線に多く存在しているのか詳細を調べた（図13）。図13よりリンク尤度が0.9以下となっているモニターの7割の入路線が11号池田線となっていることが分かる。また、今回のモニターの中で、池田線を入路線としているモニター数の合計は37人であるため、その中の半数以上のモニターの迂回経路のリンク尤度が0.9を下回ったことが分かる。上記の迂回経路属性に関する分析からも示されていたように、池田線は多くの幹線道路が路線に沿って存在しており、迂回経路は多

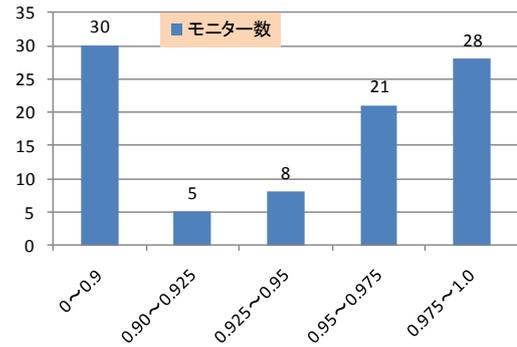


図12 時間による平均リンク尤度によるモニター数の分布

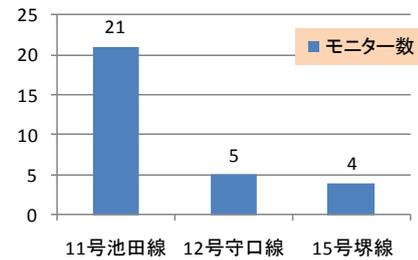


図13 リンク尤度0.9以下のモニターと入路線の関係

岐に渡ると考えられる。この時、合理的な迂回経路を選ぶという観点から見た場合、池田線では、多様な迂回経路が選択できてしまい、モニターが多様な経路を選択した結果、リンク尤度が低くなってしまったと考えられる。反対に、12号守口線や15号堺線の場合、迂回経路として選択できる経路が少ない結果、尤度が高くなった可能性が考えられる。

5. 経路選択モデルの構築

進藤ら¹⁾の研究において、情報提供および料金調整を用いた流入制御施策実施下におけるモニターの経路選択行動を記述し、経路選択に影響を及ぼす要因を明らかにした。この研究の経路選択モデルでは、迂回経路の特性の詳細について把握していなかったため、代替路となる一般道路の効用を説明する変数は限定されていた。この一般道路固有変数に、本研究で分析した一般道路に関する情報を追加することで、モデルが改良されるのか検証してみた。なお、進藤らの研究において構築された経路選択モデルは3肢選択のロジットモデルである。各選択肢の選択確率は次式³⁾で与えられる。

$$P_{V_{in}} = e^{V_{in}} / (e^{V_{1n}} + e^{V_{2n}} + e^{V_{3n}})$$

- $i = 1$ 利用予定入口から阪神高速道路を利用する
- $i = 2$ 入口を変更して、阪神高速道路を利用する

$i = 3$ 一般道路のみを利用する
各選択肢の効用関数は以下の通りである。

$$V_{1n} = b_1 X_{1n} + b_2 X_{2n} + b_3 X_{3n} + b_4 X_{4n}$$

$$V_{2n} = b_5 X_{5n} + a_1$$

$$V_{3n} = b_6 X_{6n} + b_7 X_{7n}$$

ここに、

X_{1n} : 課金情報 (円)

X_{2n} : 割引情報 (円)

X_{3n} : 料金負担・勤務先ダミー (高速道路の利用料金を勤務先が負担している場合:1, それ以外:0)

X_{4n} : 事故渋滞ダミー

X_{5n} : 時間制約ダミー (時間制約有の場合:1, otherwise:0)

X_{6n} : 渋滞情報 (km)

X_{7n} : トリップのOD間距離 (km)

$a_1, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7$: パラメータ

これらの説明変数のうち、一般道路固有変数に新たに、「池田線ダミー」を追加する。これを導入した理由としては、前節の分析より、池田線では迂回経路として選択される道路属性の道路規格は高いものが多く、高速道路の代わりとして使われうる一般道路が多くあるため、経路選択する際に、一般道路を選択することが多くなる可能性があるかと判断したためである。経路選択モデルの結果を表1に示す。修正済み ρ^2 値は進藤らのモデル推定結果と比較して、ほぼ変わらなかったが、新たに導入した池田線ダミー変数は5%有意となった。池田線ダミーのパラメータの値が正值であることは、池田線を入路線としているモニターは、相対的に他の路線の利用者より

表1 経路選択モデルの推定結果 (池田線)

	説明変数	パラメータ	t値
阪高利用固有変数	課金情報	-0.452	-4.952 *
	割引情報	-0.177	-2.201 *
	料金負担・勤務先ダミー	0.898	4.511 *
	事故渋滞ダミー	-0.949	-4.161 *
入口変更利用固有変数	時間制約ダミー	0.599	2.985 *
	定数項	-0.277	-1.411
一般道路固有変数	渋滞情報	0.266	8.161 *
	OD間距離	-0.074	-7.380 *
	池田線ダミー	0.406	1.972 *
	ρ^2 値	0.129	
	ρ^2 値(修正済)	0.114	
	サンプル数	540	

*:5%の水準で有意

表2 経路選択モデルの推定結果 (守口線)

	説明変数	パラメータ	t値
阪高利用固有変数	課金情報	-0.467	-5.111 *
	割引情報	-0.191	-2.377 *
	料金負担・勤務先ダミー	0.851	4.343 *
	事故渋滞ダミー	-0.976	-4.279 *
入口変更利用固有変数	時間制約ダミー	0.653	3.214 *
	定数項	-0.360	-1.850
一般道路固有変数	渋滞情報	0.267	8.167 *
	OD間距離	-0.065	-6.787 *
	守口線ダミー	-0.457	-2.062 *
	ρ^2 値	0.130	
	ρ^2 値(修正済)	0.114	
	サンプル数	540	

*:5%の水準で有意

も、一般道路からなる迂回経路を選択しやすいことを示している。また、他路線についても、路線ダミーが有意となるかを検証した。新たな一般道路固有変数として「守口線ダミー」を導入した結果を表2に示す。守口線ダミー変数は5%有意となった。守口線ダミーのパラメータは負値となり、守口線を入路線としているモニターは相対的に、他路線利用者よりも、一般道路からなる迂回経路を選択しにくいことが示唆された。池田線では、阪神高速道路に沿った大阪市内に向かう一般道路が他路線に比べて多くある一方、守口線では、大阪市内に向かう高規格の一般道路が少ないことも、このような結果となった要因の一つと考えられる。

6. おわりに

本研究では先行研究で実施されたテラーモード型SP調査のデータを活用して、新たな流入制御施策である「情報提供・料金調整を用いた流入制御」の実施を仮定して、利用者の行動変化に伴う一般道路への影響を各モニターが回答した迂回経路に基づき分析した。その結果、多くのモニターがおおよそ最短所要時間となる経路、リンク尤度の高い経路を選択していることが明らかとなった。しかしながら、最短所要時間経路から20分以上乖離した経路を選択したモニターも5%程度は存在し、また、トリップコストに基づき算出されたリンク尤度の低い迂回経路を選択しているモニターも少なからず存在することが明らかになった。これより、的確に迂回行動を把握し、一般道への影響も加味して適切な制御を行うためには、より一般的な利用者を対象としつつ、詳細に迂回経路選択要因について分析をする必要がある。

また、先行研究で構築された経路選択モデルについて、阪神高速道路の利用路線毎の迂回路の選択の特性を加味することで、経路選択行動の説明力を改良できるのか検証した。その結果、入路線により、一般道路へ経路変更の可能性は有意な差異があることが示唆された。これは、都市高速道路の路線ごとに、一般道路ネットワークの形状・道路密度・道路規格等の点で違いのあることが影響がしていることも考えられ、今後詳細に検証する必要がある。

謝辞：本研究の実施に関しては、阪神高速道路(株)、(財)阪神高速道路管理技術センター、(社)システム科学研究所、地域未来研究所(株)、および、(株)交通システム研究所より多大なるご支援、ご協力を賜った。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 進藤隆弘, 宇野伸宏, 塩見康博：都市高速道路の料

- 金調整・情報提供時の経路選択行動分析, 土木計画
学研究・講演集, No.41, 2010
- 2) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析 - 最新の理
論と解法 -, pp133~193
- 3) 土木学会編：非集計行動モデルの理論と実際, pp62
~90

Analysis of Detour Route of Urban Expressway Based on Tailor-Made Type Stated Preference Survey

Takafumi NAKAGAWA, Nobuhiro UNO,
Hiroshi SHIMAMOTO and Yasuhiro SHIOMI

This study proposes a new traffic control scheme for urban expressway composed of toll adjustment and information provision and is aimed at analyzing the influence of detour from expressway upon the non-expressway roads as the alternative routes. The data of behavioral changes of travelers and their alternative routes are provided by Tailor-Made Type of SP survey conducted in our previous research. As results of basic analyses, it is found that characteristics of alternative routes for detour might depend upon the expressway route and on-ramp actually used by the respondents. In addition, the route choice considering detour might be significantly affected by the expressway route actually used by the respondents.