

首都高速道路利用者の事故発生時出入口 転換行動の3時点間比較分析

小沢 赳丈¹・小根山 裕之²・石倉 智樹³・割田 博⁴

¹非会員 首都高速道路株式会社（前 首都大学東京大学院博士前期課程）
（〒221-0013 神奈川県横浜市神奈川区新子安1-2-4） E-mail: t.ozawa85@shutoko.jp

²正会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科（〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1）
E-mail: oneyama@tmu.ac.jp

³正会員 首都大学東京大学院都市環境科学研究科（〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1）
E-mail: iskr@tmu.ac.jp

⁴正会員 首都高速道路株式会社（〒100-8930 東京都千代田区霞が関1-4-1）
E-mail: h.warita1116@shutoko.jp

本研究では、首都高速道路内でのネットワークや料金体系などの変化が与える事故発生時入口・出口選択の行動変化を、ETC利用履歴データを用いた3時点間の比較により分析した結果を報告する。首都高速道路などの都市高速道路における事故時の出入口選択行動についてはいくつかの実証的分析はあるものの、経路選択行動に大きな影響を与えと考えられるネットワーク変化や料金制度の変化による事故時利用者行動への影響を分析したものはない。本研究では特に高頻度利用者の年度別の出入口選択行動の変化に着目して分析を行い、ネットワーク変化が入口選択行動に影響を及ぼしていること、利用料金に応じて出口選択が異なる様子などを明らかにした。本研究の結果は今後、都市高速道路内の突発事象発生時による利用者の経路選択行動の変化に関する分析・評価を検討していく場面で有用な知見となる。

Key Words : ETC data, ramp choice behavior, Nested logit model

1. はじめに

首都圏の大動脈の役割を担っている首都高速道路（以下、首都高）では、その重要度に応じた大量の交通量とアクセスコントロールされている状況により、事故発生時の交通に対する影響は非常に大きい。このような都市高速道路における事故時の利用者行動変化を把握することは、事故発生時に有効な交通管制を実施しネットワーク利便性を向上させるために極めて重要である。一方、2007年、2010年には中央環状線が3号渋谷線まで延伸、2012年には区間均一料金から対距離別料金への移行など、ネットワーク、料金体系ともに大きな変化があり、事故発生時の出入口選択行動はこれらの要因に影響を受けることが想定される。これまでにも、首都高などの都市高速道路における事故時のランプ選択行動についてはいくつかの実証分析はあるものの¹⁾²⁾、個別利用者の出入口選択行動に着目しつつ、ネットワーク及び料金体系の時点間の違いを考慮した分析はこれまで行われていない。これらの知見を蓄積することは、都市高速道路における交通運用について実務、学術両面から進展させる上

で、非常に重要であると考えられる。

そこで本研究では、2006年、2010年、2012年の3期間における事故時の入口・出口転換行動をETC利用履歴データ、車両感知器データを用いて分析し比較することで、ネットワーク及び料金体系の違いによる出入口選択行動への影響を定量的に明らかにすることにより、今後の適切な交通管制のための有用な知見を得ることを目的とする。

2. 分析手法

(1) ETC利用履歴データ

ETC利用履歴データを用いて、分析対象利用者の抽出と、分析対象日の行動を把握した。分析対象利用者は、各年度において首都高を20回以上利用している高頻度利用者とし、通勤時間を考慮した5:00~10:00から前後2時間を含んだ3:00~12:00をデータ処理対象時間帯とした。分析対象日は平日とし、利用者毎に帰宅時間（12:00~23:59）にETC利用履歴データにトリップ履歴があ

った日を選定した。各対象利用者はトリップにおいて「メイン出入口」、「その他出入口」、「一般道」のいずれかを選択する。「メイン出入口」は対象期間内にもっとも利用回数の多い出入口、「一般道」については対象日のうち、ETC利用履歴データに利用実績がなかった場合「一般道」を選択したと仮定した（図-1参照）。

帰宅時間にトリップ履歴があった日を対象とした理由は、行きのトリップにおいて自動車を利用した可能性の高い日を抽出するためである。ETC利用履歴データでは、利用履歴のない日のデータや、利用者行動の理由を把握することができない。そこで、帰宅時間に通常通り首都高を利用していたデータを抽出することにより、行きのトリップ履歴がなかった場合や、メイン出入口を利用していなかった場合においても、通常と同様の目的で自動車を利用しているデータを抽出できると考えられる。

(2) 車両感知器データ

車両感知器データを用いて、各ODの最短経路の特定、当該経路の旅行時間の算出及び事故遭遇の有無の判定、事故処理時間の抽出を行った。事故処理時間については、車両感知器で事故フラグが検出されて消えるまでに要する時間と定義した。

(3) 事故遭遇定義

本研究では、各対象利用者についてETC利用履歴データと車両感知器データから得られる無事故日にメイン出入口間のトリップを対象に入口平均流入時刻及び標準偏差を算出し、平均流入時刻±標準偏差に含まれる時間帯を平常時平均流入時間帯とした。つまりこれは各利用者が通常通りトリップを行おうとした場合に流入すると考えられる時間帯を表す。この平常時平均流入時間帯において、最短経路中に事故フラグが検出された場合、その

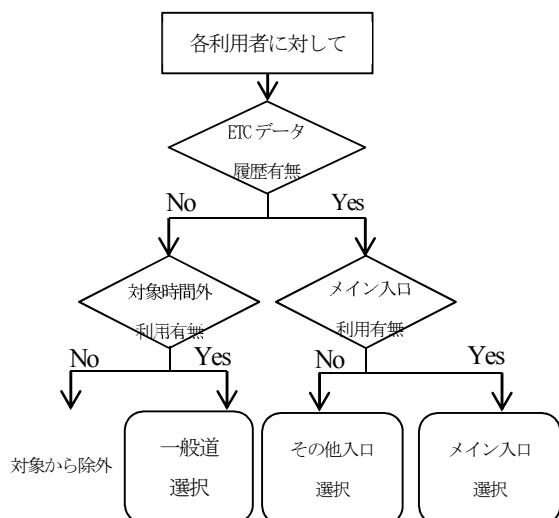


図-1 選択定義フロー図

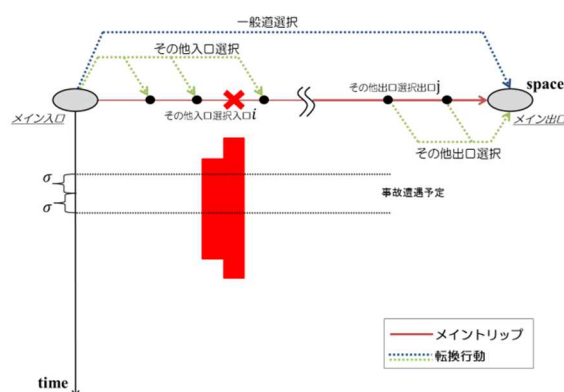


図-2 事故遭遇定義

日は事故に遭遇する予定であったと仮定し、実際の行動履歴をETCデータから把握する（図-2参照）。

3. 対象範囲

本研究で取り扱う環境変化は、中央環状線の延伸（2007年に4～5号線間、2010年に3～4号線間に開通）によるネットワーク変化、2012年に走行距離に応じて料金が決定する対距離別料金制に移行した料金制度の変化の2つとする。

これらの環境変化の事前及び事後の期間をデータに含めるため、分析対象は2006年、2010年、2012年のそれぞれ7月～12月の半年間とした。なお、2006年は中央環状線延伸前、均一料金制のケースであるのに対して、2010年は中央環状線が3号まで延伸後のケース、2012年は加えて対距離料金制を適用したケースに対応している。対象路線、つまり転換範囲として認められる路線内入口は3号渋谷線、4号新宿線、5号池袋線内の入口とした（図-3参照）。



図-3 分析対象路線

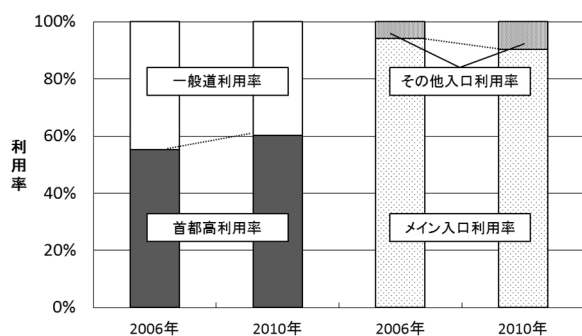


図-4 2006-2010 年各利用率比較

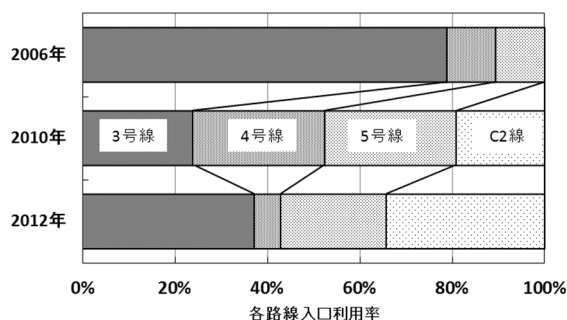


図-5 2006-2010 年各利用率比較



図-6 転換先として選択された入口の位置関係



図-7 事故時間僚気温圏出口利用率比較

4. 分析結果

(1) 時点間出入口利用特性の比較分析

作成したデータセットを用いて事故遭遇有無による行動変化を集計し、事故による出入口選択行動の変化を分析した。対象として、中央環状線延伸による影響を大きく受けると考えられる、三軒茶屋上り入口～5号池袋線下り出口をメインODとしている利用者を取り上げる。

a) 中央環状線延伸前後の入口転換行動比較

まず、2006年と2010年の比較により、中央環状線延伸による変化を分析した。その結果、例えば三軒茶屋上り入口～渋谷上り出口間の事故において、2010年では首都高利用割合の増加、メイン入口利用割合の減少、転換先入口の増加という傾向が見られるなど、中央環状線延伸により、首都高内における入口の転換が誘発され、環境変化によって、各路線への流入割合にも変化があったことが明らかとなった（図-4、5参照）。特に2006年においては、メイン入口である三軒茶屋上り入口の下流に位置する渋谷上り入口、高樹町上り入口が転換入口として集中的に選択されていた。しかし、中央環状線延伸後である2010年では、集中的な転換行動は緩和され、4号線、5号線、中央環状線内入口の利用率が増加した。これは、延伸後、入口の選択肢が増

えただけでなく、経路の選択肢が都心環状線経由に加えて中央環状線経由が増えたことにより事故発生時における首都高利便性が上がったことなどが考えられる。転換先として選択された入口の位置関係を図-6に示す。

b) 距離別料金移行前後出口転換行動比較

次に距離別料金に移行したことによる変化を分析した。ここでは中央環状線延伸による影響変化分析と同様メイン出入口を三軒茶屋上り入口から5号線下り出口としている利用者を対象とした。ここでは中央環状線外回り西新宿JCT～5号線高松出口間で事故が発生した際の出口転換に着目した。対距離別料金制は走行距離約6kmごとに料金が加算されていくシステムである。そこで、2012年時にメイン入口の三軒茶屋上り入口から600円料金圏内にある出口、700円料金圏内にある出口、800円料金圏内にある出口の利用率を2010年のものと比較する。

その結果、2012年では割高となる出口を避け、割安な出口を利用する傾向が見られるなど、対距離料金制により事故時の出口転換先の傾向が変化したことが明らかとなった（図-7参照）。ただ、変化は非常に小さいこと、出入口の位置関係から選択された出口が、たまたま料金が安くなる方向であった可能性があること、などの理由により、距離別料金の効果が現れていると

は言えない可能性もある。

(2) 事故時入口転換需要推計モデル

上記までの基礎集計の結果を踏まえて事故時の入口転換行動に影響を与える要因を定量的に検討するため、事故時入口転換需要推計モデルを構築し、推計されたパラメータを年度別に比較を行う。本モデルの構築から結果の考察までの流れを図-8のフロー図に示す。

モデル構造については、被説明変数にメイン入口選択、一般道選択、各その他入口選択をとるモデルであり、各選択肢間の確率比はそれ以外の選択肢から独立している必要があるが、交通行動の多くには類似性の高い選択肢が含まれることが多く、IIA特性による影響が考えられる。選択肢間の類似性を緩和させるモデルとして3階層のNested Logit Model（以下、NL）型のモデル構造とした。本モデルは、上位レベルにて首都高利用の有無を選択し、首都高を利用する場合にはメイン入口利用の有無を選択、

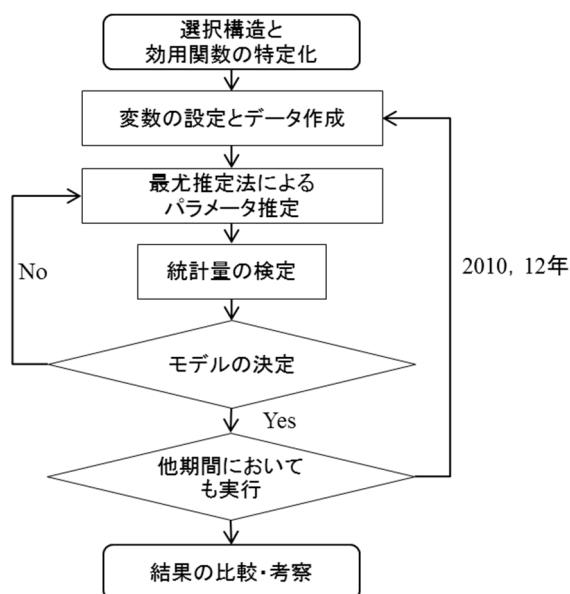


図-8 分析フロー図

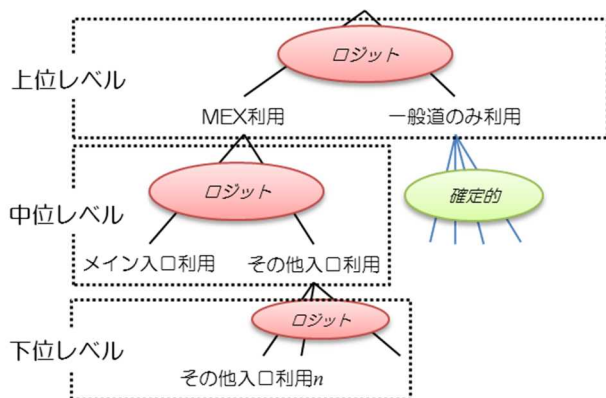


図-8 NL モデル構造

更にメイン入口を利用しない場合にはその他の入口選択を行う（図-8参照）。

続いて本モデルに用いる説明変数を以下に紹介する。

- x_f : 最短経路上の事故フラグダミー変数
- x_{time} : 最短経路間所要時間（分）
- x_{torl} : 最短経路間利用料金
- x_{ldamy} : 一般道利用ダミー変数
- x_{mdamy} : メイン入口利用ダミー変数
- x_{odamy_n} : その他入口 n 利用ダミー変数

これらの説明変数を用いて効用関数 V_{n_i} を以下に表す。
($i=2006, 2010, 2012$ 年)

$i=2006, 2010$ 年

$$V_{n_i} = \theta_f x_f + \theta_{time} x_{time} + \theta_{ldamy} x_{ldamy} + \theta_{mdamy} x_{mdamy} \quad (1)$$

θ_k : 各変数パラメータ

$i=2012$ 年

$$V_{n_i} = \theta_f x_f + \theta_{cost} x_{cost} + \theta_{time} x_{time} + \theta_{ldamy} x_{ldamy} + \theta_{mdamy} x_{mdamy} \quad (2)$$

ここで、 $i=2006, 10$ 年と2012年で説明変数に利用料金を含むか否かの違いがあるが、これは区間均一料金制時には一般道利用の場合利用料金は0円、首都高利用の場合、本研究の対象トリップでは一律700円の区間であるがために、先述した一般道利用ダミー変数と同等の意味合いになることから、2006、2010年では利用料金を説明変数から除外している。以降は2012年を対象にモデル式を記述する。

次に各選択入口の効用関数は以下ようになる。

$$V_{local} = \theta_f x_f + \theta_{cost} x_{cost} + \theta_{time} x_{time} + \theta_{ldamy} x_{ldamy} \quad (3)$$

$$V_{main} = \theta_f x_f + \theta_{cost} x_{cost} + \theta_{time} x_{time} + \theta_{mdamy} x_{mdamy} \quad (4)$$

$$V_{other} = \theta_f x_f + \theta_{time} x_{time} + \theta_{cost} x_{cost} \quad (5)$$

V_{local} : 一般道選択効用

V_{main} : メイン入口選択効用

V_{other} : その他入口選択効用

続いて各階層のログサム変数を示す。

$$LS_{local} = \exp(\mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \ln(\exp(V_{local}))) \quad (6)$$

$$LS_{main} = \exp(\mu_2 \cdot \ln(\exp(V_{main}))) \quad (7)$$

$$LS_{other} = \exp(\mu_2 \cdot \ln(\exp(V_{other}))) \quad (8)$$

$$LS_{mex} = \exp(\mu_1 \cdot \ln(LS_{main} + LS_{other})) \quad (9)$$

LS_{local} :一般道選択ログサム変数
 LS_{main} :メイン入口選択ログサム変数
 LS_{other} :その他入口選択ログサム変数
 LS_{mex} :首都高選択ログサム変数
 $\mu_{1,2}$:ログサムパラメータ

最後に各入口の選択確率式を示す.

P_{local} :一般道選択確率
 P_{mex} :首都高選択確率
 P_{main} :メイン入口選択確率
 P_{other} :その他入口選択確率

$$P_{local} = \frac{LS_{local}}{LS_{local} + LS_{mex}} \quad (10)$$

$$P_{mex} = \frac{LS_{mex}}{LS_{local} + LS_{mex}} \quad (11)$$

$$P_{main} = P_{mex} \cdot P(main|mex) = \frac{LS_{mex}}{LS_{local} + LS_{mex}} \cdot \frac{LS_{main}}{LS_{main} + LS_{other}} \quad (12)$$

$$P_{other} = P_{mex} \cdot P(other|mex) = \frac{LS_{mex}}{LS_{local} + LS_{mex}} \cdot \frac{LS_{other}}{LS_{main} + LS_{other}} \cdot \frac{E_{other_m}}{\sum E_{other_n}} \quad (13)$$

IIA特性緩和を理由に決定した際に下位レベルにおいて膨大な経路選択肢を対象としたロジットモデルを実行する必要があるという課題がある. そこで, 本研究に類似した高速道路を含む経路選択モデルを構築した井上⁴⁾は課題の負担を軽減するため, 一般道のみ利用

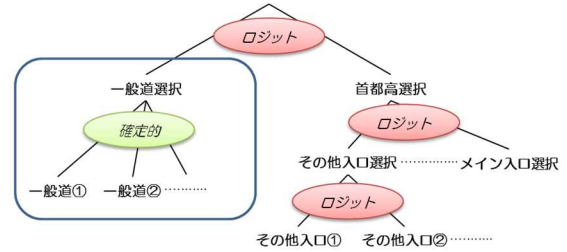


図-9 モデル内確定的選択部分

を選択する場合には, 所要時間最小経路による確定的選択を仮定しており, 首都高利用時についても一般道を走行する区間においては同様の確定的な選択を仮定している

(図-9参照). このように一般道区間では確定的選択, 首都高区間ではロジット式を適用したハイブリッドの経路選択構造とすることによって, 一般道部分では確定的均衡が成立するので明示的に経路選択肢を扱う必要がなくなり, 首都高区間のみで経路選択肢集合を考えればよくなる. 一般道の経路選択肢集合は非常に膨大であるが, 首都高上の経路だけであれば求解が容易になる.

続いて各変数の操作的定義を説明する. まず, 最短経路上の事故フラグダミー変数 x_f は, 各出入口間の最短経路上に車両感知器データから得られる事故フラグが1つ以上検出された場合1をとり, 事故フラグが0個の場合0をとる. 一般道間では無事故の状態を想定しているため0をとる.

次に, 最短経路上所要時間 x_{time} については首都高区間では各出入口間の最短経路上において5分間周期の車両感知器データから得られる区間平均速度から算出された所要時間を首都高利用所要時間とする. 一般道においては各経路間平均旅行速度から算出される所要時間を一般道旅行所要時間と考える. 転換行動があった場合は首

表-1 NL モデルパラメータ推計結果

	toll	time	accident dummy	local dummy	main dummy
2006(0.33)		-0.082**	-0.072**	3.1**	3.6**
2010(0.25)		-0.090**	-0.47	20**	0.98
2012(0.28)	-0.0027**	-0.0092**	0.018	-0.050	1.6

(尤度比) **は1%有意, *は5%有意

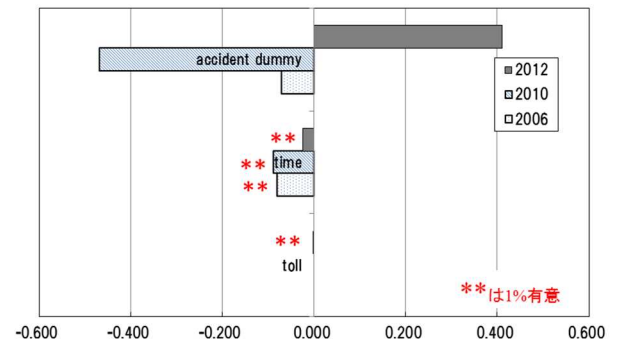


図-10 パラメータ推計結果比較

都高利用所要時間を足し合わせたものが経路所要時間となる。

次に、最短経路間利用料金 x_{torl} については前述したように区間均一料金制では、一般道利用経路は0円、首都高利用経路では均一700円となり、距離別料金制では、走行距離約6kmごとに料金が加算され各種割引を差し引いた料金が値となる。

モデルを実行し得られたパラメータ推計結果を表-1に示す。2006年では最短経路上の事故フラグダミーパラメータが負の値でのt値が有意なことから事故発生経路を避ける傾向が見られたが、他年度では有意ではなく、事故というだけで行動を変えるのではなく、旅行時間に応じた選択行動を行っている様子が窺えた（表-1、図-10参照）。

しかし、本モデルでは、概ねパラメータの符号は常識的なものになっているがt値が有意でないパラメータも多く、モデル構造が適正でない可能性などが今後の課題の課題として挙げられる。

5. おわりに

今回の分析結果によって、基礎集計による年度の比較では以下のことが明らかとなった。

ネットワーク整備では、選択経路の増加によって事故発生時に首都高内における転換行動が増加し、整備以前の特入口への集中的な入口転換が緩和されたことが示された。また、料金制度の変化による出口転換行動では、料金加算前の出口利用率の増加、反対に加算後の出口利

用率は減少となり、高頻度利用者が料金に応じた柔軟な転換行動を行っている可能性が示された。

事故時入口転換需要推計モデルによるパラメータ比較では、ネットワークや、料金制変化後では経路中にある事故よりも所要時間による経路選択行動を行っていることが示された。

今後の課題としては、対象利用者やメインランプの定義などを見直すことによりサンプル数の拡充を図り、基礎集計の結果に説明力を持たせることや、事故時入口転換需要推計モデルでは、その他入口を集計的な選択肢として扱うことにより2階層のNLモデルなどの構築が改善策として挙げられる。

参考文献

- 1) 小根山裕之，秋元健吾，大口敬，鹿田成則，割田博：ETC データを用いた首都高速道路における事故発生時のランプ選択行動に関する実証分析。土木計画学研究・講演集，Vol39，CD-ROM，2009
- 2) 小根山裕之，秋元健吾，大口敬，鹿田成則，割田博：首都高速道路における事故発生時のランプ選択行動に関する実証分析。土木計画学研究・講演集，Vol.40，CD-ROM，2009
- 3) 田村勇二，割田博，桑原雅夫，佐藤光：首都高速道路における流入制御時の入口転換行動分析。土木計画学研究・講演集，Vol37，CD-ROM，2008
- 4) 井上紳一，山口修一，鈴木裕介，円山琢也，森田緯之：高速道路上の経路選択を考慮した拡張型利用者均衡配分モデルの実証的研究，Vol42，CD-ROM，2010