

首都高速道路全域を対象とした事故発生時 時空間転換行動パターン分析

佐藤 理久斗¹・柳原 正実²・小根山 裕之³・割田 博⁴

¹非会員 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: satou-rikuto@ed.tmu.ac.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: yanagihara@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: oneyama@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

首都高速道路ではその緻密なネットワーク構造に非常に多くの交通が流れており、さらには出入口間の一般道ネットワークも充実している。そのため、事故が発生した際の転換行動や、首都高速道路利用の取りやめなどの行動が存在することがこれまでの研究で確認され、事故等突発事象発生時の入口交通量変動予測についての研究も行われている。しかしながら、利用者個々の通常利用からの転換行動を考慮した転換行動を予測するモデルの構築には至っていない。

そこで本研究では、転換行動予測モデルのさらなる精度向上に寄与するべく利用者特性を考慮した転換行動傾向を明らかにすることを目的とし分析した。具体的には、利用者の行動をパターン分類しそれを用いて転換行動を捉えることによって平均所要時間と利用パターンの関係や、利用頻度や利用出入口による事故発生時転換行動特性の違いを分析した。

Key Words : ETC date, ramp choice behavior, root choice, metropolitan expressway

1. はじめに

首都圏の交通を支えている首都高速道路では非常に多くの交通が流れている。ネットワークの拡充によって渋滞は減少しているが、時空間的な交通集中や年間約1000件の事故による渋滞の発生は続いている¹⁾。これらの交通は首都高速道路内の入口や都市間高速から流入するが、緻密なネットワーク構造を有し出入口間一般道ネットワークも充実している首都高速道路では、事故が発生した際に入口の転換行動や首都高速道路利用の取りやめなどの行動がとられることが、車両感知器ベースでの分析²⁾や、ETC-ODデータを用いた実証分析⁴⁾などにより確認されている。

田村らは転換行動と渋滞末尾までの距離が関連しているとの知見を得たが、そのみでは入口交通量変動を説明することはできず、さらなる要因があることが示唆されるとの知見を得た⁹⁾。小沢らは事故時転換行動と料金体系・ネットワークの変化との関係を明らかにし⁷⁾、筆者らは通常時に利用している入口と事故時転換行動に関

係性があるとの知見を得た⁸⁾。さらに出入口間OD交通量は独立性を持つことが明らかになっており⁹⁾、西内らはそのODの持つ特性を考慮した交通量推計モデルの構築を行っている¹⁰⁾。

このように高速道路利用者による事故発生時出入口転換行動についての分析や予測は、多く行われており事故発生時の適切な交通管制や情報提供などを行う上で重要となることが明白である。田村ら¹¹⁾は首都高速道路で行われているリアルタイム交通状況予測シミュレーション(Real time traffic Information by dynamic Simulation on urban Expressway : 以下、RISE)の適用拡充を図り、突発事象発生時の交通状況予測に対応するためのモジュールである突発事象対応モジュールの重要性を確認した。これを用いて行われる事故時の交通状況予測に関して統計的には良好な精度を得ているが、通常時と比較すると若干精度が低くなっている。RISEの改良に関しては、時間帯別JCT係数の実装¹²⁾やインプットデータである事故等突発事象発生時の入口交通量を直前の交通量や渋滞要因と渋滞量から推計するモデルを開発するなど¹³⁾、精度の向上

が進められている。

しかしこれまでの研究では分析対象が限定的であるなど、利用者の個々に着目し各々の流入特性を考慮できていないなどの課題が考えられる。そこで本研究では事故時転換行動予測モデルの精度向上に寄与するべく、首都高速道路全域を対象とし、利用者個々の流入パターンを算出することにより事故時転換行動を捉え、出入口ごとの特性や頻度との関係性に関する知見を得ることを目的とする。

2. 分析手法

(1) 分析の基本的な考え方

本研究では、日々の行動パターンを ETC データから把握される「流入時刻」と「利用出入口」によって分類した。この行動パターンを設定する際に、利用者ごとの「平常時に最も利用される入口(以下、メイン入口)」、「平常時に最も利用される出口(以下、メイン出口)」と「平均流入時刻±全利用時刻の標準偏差(以下、メイン流入時間帯)」を算出して、それらとの違いを考慮している。

その行動パターンの割合を事故時と通常時で比較し、その差分をとることによって事故発生時の利用者の転換行動の傾向について把握できるという仮説のもとに分析を行った。行動パターン割合の差分は、利用者の行動変化の傾向によって異なると考え、このデータを用いて利用者を分類し、その傾向を明らかにしようとしている。このような分析手法をとるため、対象期間内で一定数以上の利用回数がある利用者を対象として分析を行った。後述する頻度区分においては、高頻度利用者と超高頻度利用者を分析対象としている。

以下、分析手法の詳細について説明する。

(2) 分析に用いるデータ

本研究では 2012 年 7 月から 12 月までの半年間の首都高速道路全域における ETC データと車両感知器データを用いた。対象ネットワークを図-1 に示す。なお、当該期間の 2012 年においては中央環状線が完成しておらずその路線の大井ジャンクション～品川ジャンクション間は開通していない。また、料金制度については 2012 年 1 月より「6km 毎の料金距離に応じて加算される料金体系」へ移行していた。しかしながら、2017 年現在行われているような都心流入・湾岸線流入割引などは実施されていない。

ETC データには利用者の ID、流入日時、利用入口などが記録されている。この ID はスクランブルがかけられており個人を特定することはできないが、半年間を通

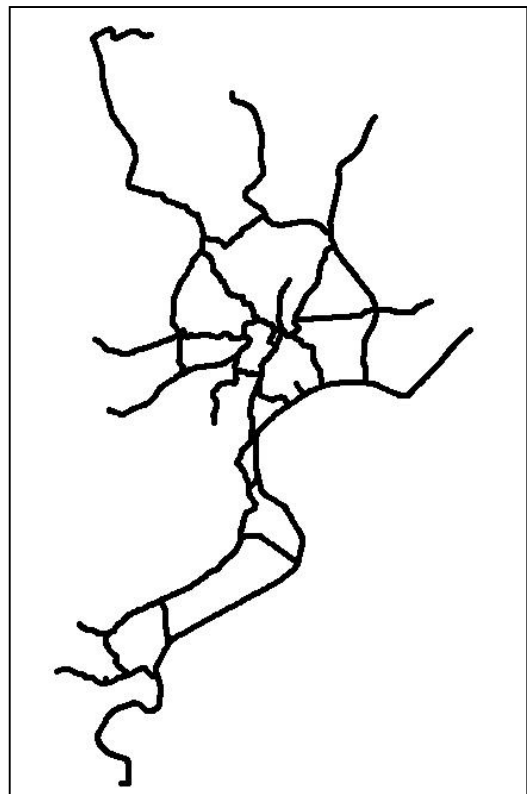


図-1 対象ネットワーク

じて変わることがないので、利用者の対象期間全体にわたる利用履歴を把握することができる。

車両感知器データから得られる交通状況を用いて各 OD 間最短経路の特定、並びに事故渋滞有無の抽出を行った。

(3) 対象とする首都高利用

ETC データを用いて分析対象とする首都高利用と対象利用者の抽出と分類を行った。以下にそれぞれの詳細を示す。

a) 分析対象利用

通勤目的のような午前中に発生する往路トリップを念頭に置いて、3:00~12:00 を分析対象時間帯とし、その時間帯での最初の一回を分析対象利用とした。

また、平日を分析対象とする。暦上での土・日・祝日を除くが、これではお盆や年末の暦上平日であるが流入特性の異なる日を除外できていないため、後述する頻度分類によって得られる超高頻度利用者の日別合計流入数を用いて補完した。具体的には、超高頻度利用者全体による日別合計流入数は暦上での土日祝日は必ず半年間の平均値を下回っていたため、超高頻度利用者全体による日別合計流入数が平均値以下の日を休日とした。この休日を除いたものを本研究では平日と定義し、分析対象日と設定する。

b) 頻度分類と分析対象利用者

半年間の利用日数が 23 日(平均月 2 日程度)以下の利用

者を“低頻度利用者”，24日～72日(平均週1～3日程度)の利用者を“高頻度利用者”，それ以上の利用を“超高頻度利用者”と設定した。商業利用など通常時の行動パターンが一般的な利用者とは異なる特殊な利用者を除外するため，半年間の対象期間内の対象時間帯において首都高を1日5回以上利用したことの無く，かつ1日3回以上利用した日が4日以内のIDを分析対象として抽出した。

更に，事故時と通常時の行動パターンの差を算出するため，事故時の利用が3回以上ある利用者を対象とした。これらにより抽出あるいは除外されたID数，およびそれぞれ頻度別に分類された利用者による利用回数とその割合を表-1に示す。

表-1 対象ID・利用回数

	ID数	利用回数
元データ	3988,746	32,433,709
	(100%)	(100%)
超高頻度利用者	96,998	8,192,198
	(2.42%)	(25.26%)
高頻度利用者	360,070	11,567,810
	(8.97%)	(35.67%)
低頻度利用者	3,531,678	11,205,683
	(78.47%)	(34.55%)
非対象利用者	25,762	1,468,018
	(0.64%)	(4.53%)

(4) 行動パターン分類

本研究では，各利用者における流入時刻，利用出口，利用入口の三項目で流入を分類する。具体的には前述したメイン入口・メイン出口・メイン時間帯か否かによって対象時間帯に首都高速道路を利用した日の行動を分類した。

また，対象時間帯に利用がなかった場合も，その日の午後(12:00-24:00)に利用が，午前のメイン出入口以外を利用した履歴があるか否かによって“一般道利用想定”，“首都高利用無し”の二つに分類した。“一般道利用想定”に関して，午後に利用した出入口に着目し，午前中のメイン入口及びメイン出口を利用していない場合を抽出し，これを帰宅利用と想定すると，午前中は一般道など首都高速道路以外の経路を使った自動車での移動と考えられるので“一般道利用想定”とする。

よって，利用者はすべての分析対象日において10通りある行動パターンの内のどれかに必ず分類されることとなる。分析対象日数で各行動パターンの日数を除すと，そのパターンの出現確率が求まる。

以上10の行動パターンに分類したが，この行動パターン分類を表-2に示す。

表-2 行動パターン分類表

行動パターン番号・名	入口	出口	時刻
1 通常利用	メイン	メイン	メイン
2 他入口利用	その他	メイン	メイン
3 他出口利用	メイン	その他	メイン
4 他時刻利用	メイン	メイン	その他
5 他出口・他時刻利用	メイン	その他	その他
6 他入口・他時刻利用	その他	メイン	その他
7 他入口・他出口利用	その他	その他	メイン
8 非メイン利用	その他	その他	その他
9 一般道利用想定	首都高	午前利用無し 午後利用有り	
10 利用無し	首都高	午前利用無し 午後利用無し	

31-60分，61分以上の三グループに分類する。

次に各所要時間増加割合ごとにとられる行動を比較するため，所要時間増加割合ごとの行動パターン割合を算出したが，本分析での行動パターン割合とは，所要時間増加割合ごとの頻度・平均旅行時間別の合計行動観測数で，各行動パターンの観測数(“通常利用”，“首都高非通常”，“首都高以外”)を除いたものとする。この割合の意味としては，所要時間増加割合での各行動パターンの発現確率であり，この値が低いとその行動パターンは発現されにくく，すなわちその行動パターンがとられにくいことになる。通常時と比較して行動パターン割合が変化しているとき，所要時間増加による転換行動が発生していると考えられる。

以下，超高頻度利用者と高頻度利用者について所要時間増加割合と転換行動との関係进行分析する。

(1) 超高頻度利用者

超高頻度利用者における平均所要時間別での所要時間増加割合の観測数を図-2に示す。この図-2すべての平均

3. 所要時間変動と転換行動の関係

各IDのメイン流入時刻・メインOD間の平均所要時間と実所要時間を比較し増加割合5%ごとに，“通常利用”・“首都高非通常”(通常利用以外の首都高利用行動パターン)・“首都高以外”(“一般道利用想定”と“利用無し”)を合わせたものの簡易行動パターン分類で集計した。なお，本章での行動パターンは3つに分けた簡易行動パターンを指すこととする。所要時間が平均以下の場合には転換行動とは関係がないと考えられるので合計した。また，平均所要時間の違いによって所要時間増加割合の意味するものが異なるので，平均所要時間0-30分，

旅行時間グループにおいて、平均所要時間からの増加割合が大きくなるにつれて、観測数が減少することがわかる。また、平均所要時間の増加割合が 20%付近から 0~30分グループと 31~60分グループの大小関係がごく若干ではあるが逆転する。メイン OD 間の旅行時間が求められるもののみを対象としているので全グループの合計値が表-1 の ID 数と一致しない数値となっている。

超高頻度利用者における所要時間増加割合ごとの行動パターン割合をその図を図-3 図-4 図-5 に示す。データ数確保のため、平均以下~平均+100%(平均所要時間の二倍)までを分析対象とした。まず平均所要時間 30 分以下のグループの図-3 より、所要時間の増価割合が大きくなるにつれて、+0%~+25%の区間で通常利用の割合が減少し、首都高非通常の割合が増加していることがわかる。これは、所要時間の増加により通常利用での利用を取りやめていることに起因していることが考えられる。

しかし、それ以上所要時間が増加した際には通常利用の利用が微増しており、首都高以外の利用が減少している。これらの変動特性の原因としては通常利用で使用するメイン OD の混雑と他 OD 間・一般道での混雑と相関があり、全ネットワークが混雑していると考えた時に転換行動ではなく慣れた通常利用を選択していると考えられる。

図-4 で示される所要時間 31~60 分のグループでは、上記の+0%~+25%の区間で通常利用の割合が減少する傾向と、+25%以上所要時間が増加した際には通常利用の利用割合が増加する傾向が他のグループと比較して顕著

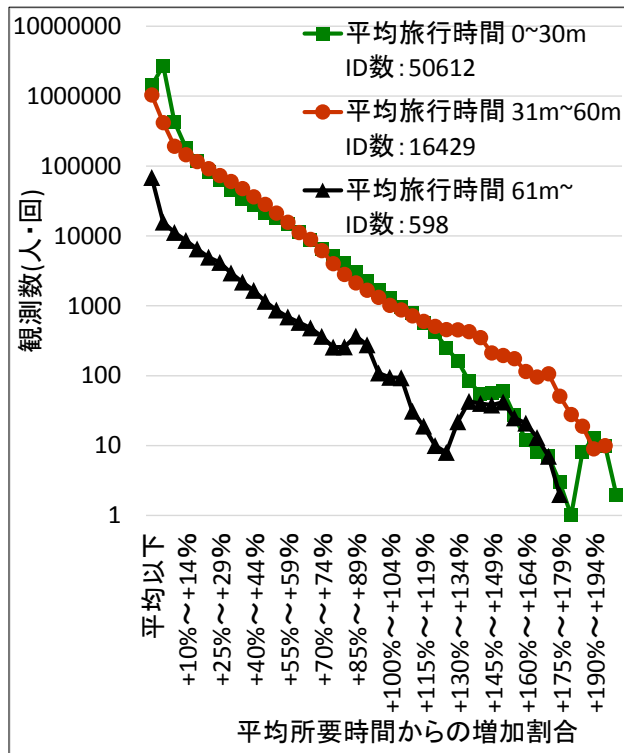


図-2 超高頻度利用者平均旅行時間グループ別観測数

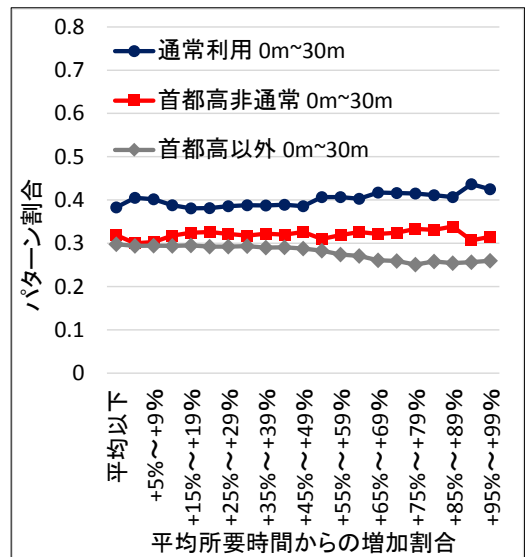


図-3 平均旅行時間 30 分以下の超高頻度利用者による旅行時間増加割合と行動パターン割合

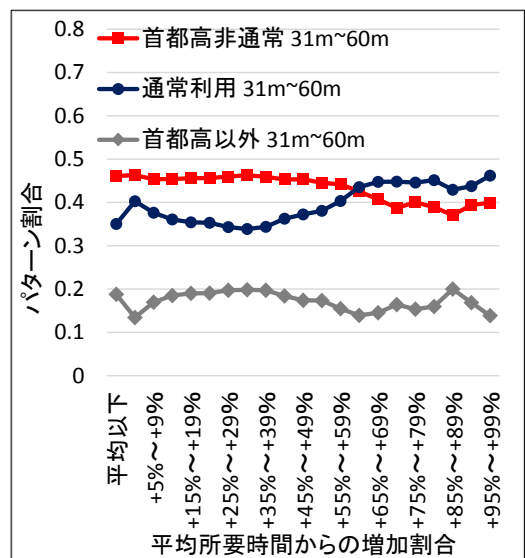


図-4 平均旅行時間 31~60 分の超高頻度利用者による旅行時間増加割合と行動パターン割合

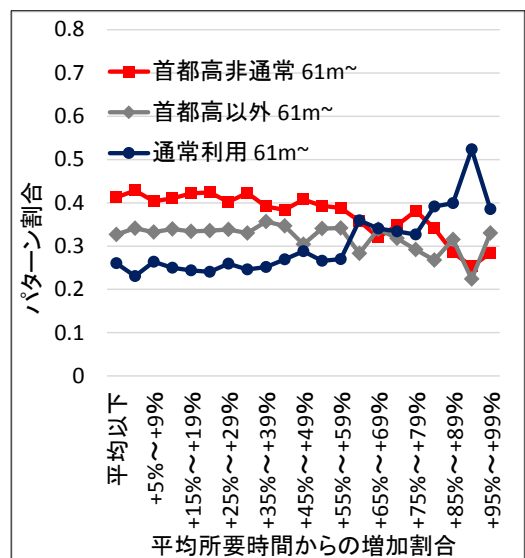


図-5 平均旅行時間 61 分以上の超高頻度利用者による旅行時間増加割合と行動パターン割合

に見られる。同様の傾向が図-5 より平均旅行時間 61 分以上のグループでも若干見られる。

次に、平均所要時間グループ間で比較すると、平均所要時間の増加に伴い、通常利用の利用割合が低下する傾向が見受けられる。これは、経路が長いので多くの入口・出口の選択肢を持ち、様々な OD を利用しているものとみられる。更に、平均旅行時間 30 分以下と 31 分～60 分で通常利用割合の変動を比較すると、30 分以下のグループの変動が小さいことが見受けられる。これは、平均旅行時間の増加割合の意味合いの違いが表れていて、メイン OD 間の平均旅行時間が短いと旅行時間の変動に影響を受けにくく、逆に長くなると影響を受けやすくなることが考えられる。

(2) 高頻度利用者

高頻度利用者においても(1)と同様の図を図-6、図-7、図-8、図-9に示す。

図-6に関しては、データ数の違いはあるが超高頻度利用者とおおよそ同じような傾向が見られる。

平均旅行時間グループごとの各行動パターン割合を示した図-7、図-8、図-9に関しては超高頻度利用者と比較して首都高速道路利用の利用割合自体が小さく変動がわずかであるが、グループ間で傾向に違いがあることが超高頻度利用者同様見受けられる。

平均旅行時間 31～60 分の利用者による図-8 においては、通常利用の割合において、超高頻度利用者と同様旅行時間の増加に伴い通常利用率に極値を持つことが確認される。

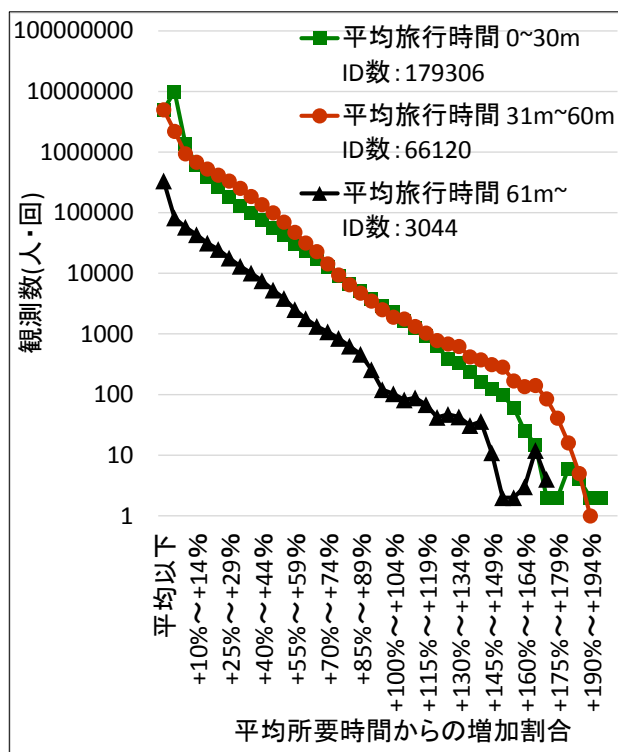


図-6 高頻度利用者平均旅行時間グループ別利用回数

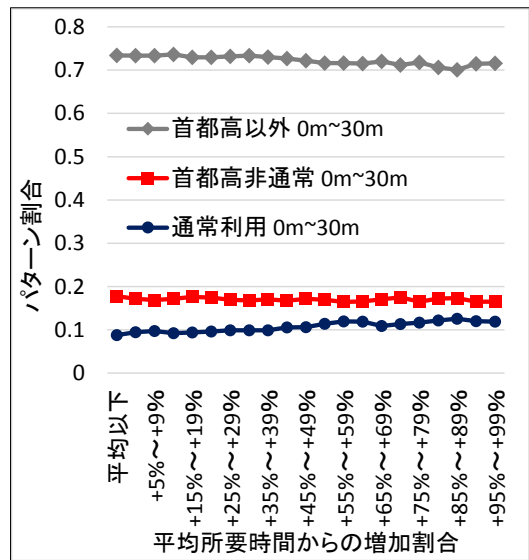


図-7 平均旅行時間 30 分以下の高頻度利用者による旅行時間増加割合と行動パターン割合

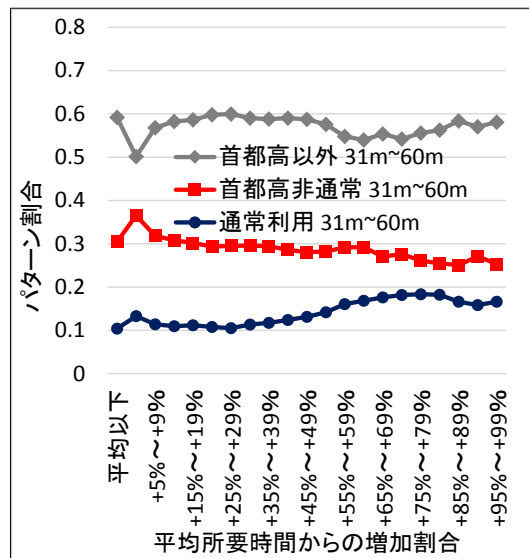


図-8 平均旅行時間 31～60 分の高頻度利用者による旅行時間増加割合と行動パターン割合

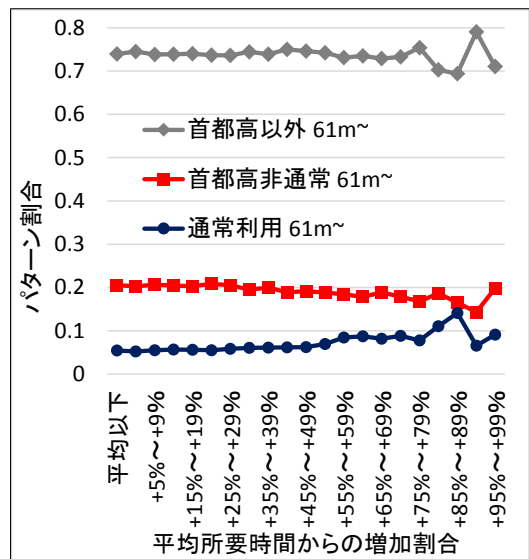


図-9 平均旅行時間 61 分以上の高頻度利用者による旅行時間増加割合と行動パターン割合

(3) 回帰分析

旅行時間増加割合と行動パターン割合において、最も変動が見られる平均旅行時間 31分~60分のグループにおける通常利用の、説明変数(x)を平均所要時間からの増分(%), 被説明変数 f(x)を通常利用率とした 3次式の回帰曲線を図-10に、その回帰曲線において x=0 の点(平均旅行時間+0%)を 1 とした時の比、すなわち

$f(x) = (a_n x^3 + b_n x^2 + c_n x + d_n) / d_n$ を図-11 に示す。また、近似曲線の係数等を表-4 に示す。なお、平均以下の割合については集計のため除外した。

まず、係数を比較すると、すべてにおいて符号が等しいことから、おおよそ変動の傾向が等しいと考えられる。更に、両頻度の極値をとる x の値である α と β は 2 つとも正の値をとっており、単調減少でなく、極値を持つことが明らかとなった。β1 と β2 を比較すると、差分は 3.50、二値の平均に対し誤差は 4.1% と非常に似た値であることが見受けられる。しかし、α1 と α2 に関しては、差分は 4.91、誤差は 22.6% と少し大きくなったため、頻度間で傾向が異なることが考えられる。これについて図-11 より、平均旅行時間時での行動パターン割合よりも小さくなる区間、すなわち平均時に対するパターン割合の比が 1 を下回る区間は、超高頻度利用者は +58.6% まで、高頻度利用者は +44.0% までとなっており、超高頻度利用者の方が長いので、メイン OD 間の所要時間の増加に対して転換行動をとりやすいと考えることができる。

しかし両頻度において、平均旅行時間+90%以上の部分で実測値では再び極値を持つような変化をしており、本稿での回帰曲線はこの変化はとらえられておらず、これについてはさらなる分析が必要である。

(4) まとめ

本分析より、所要時間の増加が全ての利用者に対して転換行動を促すと一概にいうことはできないと推察される。転換行動には所要時間の増加だけではなく、利用者個々の特性や、利用する出入口にも関連があることが考えられる。そこで次章では利用者ごとに行動パターン割合を求めて事故と転換行動の関係を分析する。

4. パターン分析

(1) 事故遭遇定義

メイン流入時間帯において、メイン出入口間の最短経路中に事故フラグが検出された場合、その日には事故に遭遇する予定であると仮定する。この定義に沿って“事故時”と“無事故時”を判定する。

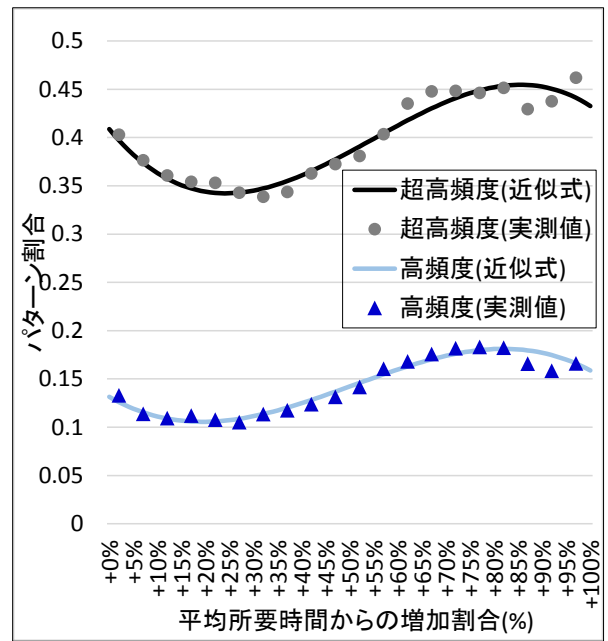


図-10 平均旅行時間 31分~60分のグループにおける通常利用割合の近似曲線

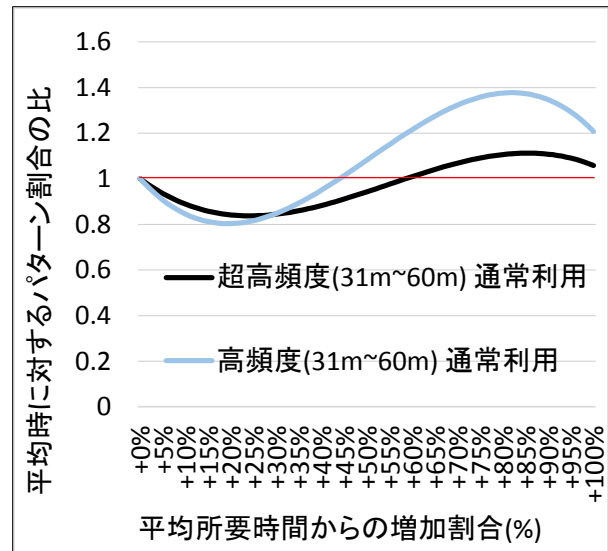


図-11 近似曲線における平均旅行時間のパターン割合に対する比

表-4 近似曲線におけるパラメータ

超高頻度(31m~60m) 通常利用		高頻度(31m~60m) 通常利用	
$f_1(x)=a_1x^3+b_1x^2+c_1x+d_1$		$f_2(x)=a_2x^3+b_2x^2+c_2x+d_2$	
重決定 R2	0.842054	重決定 R2	0.826884
a_1	-9.77E-07	a_2	-6.1E-07
b_1	0.000161	b_2	9.32E-05
c_1	-0.00607	c_2	-0.00291
d_1	0.408685	d_2	0.13149
極大をとる値 α_1	82.0 ($f(\alpha_1)=0.181$)	極大をとる値 α_2	85.5 ($f(\alpha_2)=0.455$)
極小をとる値 β_1	19.3 ($f(\beta_1)=0.106$)	極小をとる値 β_2	24.2 ($f(\beta_2)=0.342$)
※パラメータはすべて 1%有意			

(2) 評価指標の定式化

本分析では事故時と無事故時の行動パターン割合を用いて評価をしているが、評価指標やそれに関する仮定・解釈を以下に示す。

a) 評価指標の定義及び評価指標に関する仮定

まず、各 ID の日々の利用において、利用経路上の事故有無に関する情報がない段階で希望している行動パターンがあるとし、これを“希望パターン”と定義する。また、実際に ETC データから観測される、実際に各 ID が実行した行動パターンを“実行パターン”と定義する。これらの希望・実行パターンが各 ID において日々存在しているとする。実行パターンは ETC データから観測できるのに対し、希望パターンは観測ができないものである。これに関して、例を表-5に示す。

表-5ある ID 各日の希望・実行パターン例

	希望パターン	事故	実行パターン
7月1日	1		1
7月2日	1	有り	9
7月3日	5		5
7月4日	3	有り	3
7月5日	2		2
7月6日	10		10
7月7日	2		2
7月8日	1	有り	3
・	・	・	・
・	・	・	・
・	・	・	・

これらの定義を用いてある ID による無事故時（事故時）の希望パターン j 、行動パターン k の日数を以下のように示す。

$$d_{i,j,k}^N \quad (d_{i,j,k}^A)$$

d : 日数, N : 無事故時, A : 事故時, i : ID,
 j : 希望パターン, k : 行動パターン

ここで、無事故時には希望パターンを変更するべき理由がなく、希望パターンを実行すると仮定する。すなわち、無事故時には希望パターンと実行パターンが等しいと仮定する。これについて式 1.0 に示す。

$$d_{i,x,x}^N = \sum_j d_{i,j,x}^N = \sum_k d_{i,x,k}^N \quad (1.0)$$

これに対して、事故時には無事故時と異なり、事故の影響を受けて希望パターンを実行せず、別のパターンをとる可能性が予測される。事故時の希望パターンと実行パターンの差異を事故影響による転換行動と考えることができる。

しかし、日々の利用で考えた時に事故時の希望パターンは観測できない。そこで本研究では半年間通じて観測された事故有無別の各行動パターンの割合を用いる。この実行パターン割合の差分を本研究の評価指標として用いる。事故有無別の割合を式 1.1 及び式 1.2 に、評価指標を式 1.3 に示す。

$$\sum_j r_{i,j,k}^N = \sum_j d_{i,j,k}^N / \sum_{j,k} d_{i,j,k}^N \quad (1.1)$$

$$\sum_j r_{i,j,k}^A = \sum_j d_{i,j,k}^A / \sum_{j,k} d_{i,j,k}^A \quad (1.2)$$

$$\sum_j r_{i,j,k}^A - \sum_j r_{i,j,k}^N \quad (1.3)$$

r : 割合

本研究ではこの式 1.3 によって表される評価指標を用いて転換行動を評価するが、この評価指標の意味合いと転換行動との関係を、仮定を置いて示す。

b) 評価指標の特性

各利用者には行動目的があり、それによって事故影響を受けて転換行動をとるなどの判断をするトリップ(分析目的トリップ)と、異なる目的であり事故影響をうけないトリップ(その他目的トリップ)があると仮定する。

この分析目的トリップ及びその他目的トリップを考慮すると、事故影響による転換行動として考えられるものは、事故時における分析目的トリップ時の希望パターンと行動パターンの差異である。

分析目的トリップ及びその他目的トリップそれぞれで行動パターン割合があることを仮定し、そのことを考慮すると観測される日数($d_{i,j,k}^N, d_{i,j,k}^A$)は式 1.1 及び式 1.2 を用いて以下のように示される。

$$d_{i,j,k}^N = (r_{i,j,k,p}^N * P_{i,p}^N + r_{i,j,k,o}^N * P_{i,o}^N) \sum_{j,k} d_{i,j,k}^N \quad (2.1)$$

$$d_{i,j,k}^A = (r_{i,j,k,p}^A * P_{i,p}^A + r_{i,j,k,o}^A * P_{i,o}^A) \sum_{j,k} d_{i,j,k}^A \quad (2.2)$$

P : トリップ割合

p : 分析目的トリップ, o : その他目的トリップ

以上を考慮すると本来用いるべき真の転換行動評価指標とは、分析目的トリップにおける希望パターンの割合と行動パターンの割合の差異とするのが適切であると考えられる。真の転換行動評価指標について式 2.3 に示す。

$$\sum_j r_{i,j,k,p}^A - \sum_k r_{i,j,k,p}^A \quad (2.3)$$

真の評価指標と本研究で用いる評価指標との関係を明らかにするために、以下の仮定を置く。

I. 分析目的トリップとその他目的トリップの割合は事故時と無事故時で等しい。

$$P_{i,p}^N = P_{i,p}^A \quad (P_{i,o}^N = P_{i,o}^A) \quad (3.1)$$

II. その他目的トリップでの行動パターン割合は事故

時と無事故時で等しい。

$$r_{i,j,k,o}^N = r_{i,j,k,o}^A \quad (3.2)$$

III. 事故によって希望パターンは変化しないので、事故時と無事故時で希望パターン割合は等しい。

$$\sum_k r_{i,j,k}^A = \sum_k r_{i,j,k}^N \quad (3.3)$$

式 1.1, 2.1 と 1.2, 2.2 より、以下の式 4.1 及び式 4.2 が示される。

$$\sum_j r_{i,j,k}^N = r_{i,j,k,p}^A * P_{i,p}^A + r_{i,j,k,o}^A * P_{i,o}^A \quad (4.1)$$

$$\sum_j r_{i,j,k}^A = r_{i,j,k,p}^N * P_{i,p}^N + r_{i,j,k,o}^N * P_{i,o}^N \quad (4.2)$$

更に、式 3.1, 3.2, 3.3, 4.1, 4.2 より式 1.3 によって示される事故時と無事故時の行動パターン選択割合である本研究での評価指標は式 5.0 のように示される。

$$\sum_j r_{i,j,k}^A - \sum_j r_{i,j,k}^N = (\sum_j r_{i,j,k,p}^A - \sum_k r_{i,j,k,p}^N) * P_{i,p}^N \quad (5.0)$$

これにより、本研究で用いる転換行動評価指標は、式 2.3 で示される真の転換行動評価指標を分析目的トリップ選択率で縮小したものであることがわかる。

c) 転換行動に関する特性

本研究では、転換行動に制約があると仮定する。具体的には、事故時に希望パターンでの利用を変更し他のパターンを行動パターンとして実行、または希望パターンをそのまま実行するが、この時の組み合わせを表-6 に示す。*部はある未知の割合、0 部は発生しないと仮定する。

パターン 1 について表-6 より、

$$\sum_k r_{i,1,k}^A = r_{i,1,1}^A + \sum_{k=2}^{10} r_{i,1,k}^A \quad (6.1)$$

$$\sum_j r_{i,j,1}^A = r_{i,1,1}^A \quad (6.2)$$

これら式 6.1, 6.2 と、式 1.0 及び式 3.3 より、式 1.3 で示される本研究での評価指標は、式 7.1 のようになり、事故影響によってパターン 1 を取りやめたものの割合となる。

表-6 事故時希望・行動パターン仮定表

		行動パターン (k)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
希望 パ タ ー ン (i)	1	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	2	0	*	0	0	0	*	*	*	*	*
	3	0	0	*	0	*	0	*	*	*	*
	4	0	0	0	*	*	*	0	*	*	*
	5	0	0	0	0	*	0	0	*	*	*
	6	0	0	0	0	0	*	0	*	*	*
	7	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*
	8	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	*	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	*

$$\sum_j r_{i,j,1}^A - \sum_j r_{i,j,1}^N = -(\sum_{k=2}^{10} r_{i,1,k}^A) \quad (7.1)$$

同様にパターン 2, 3, 4 についての評価指標は以下のようになり、これは希望パターン 1 から各パターンへ転換してきた割合と、各パターンを取りやめた割合の差分となる。

$$\sum_j r_{i,j,2}^A - \sum_j r_{i,j,2}^N = r_{i,1,2}^A - (\sum_{k=5}^{10} r_{i,1,k}^A) \quad (7.2)$$

$$\sum_j r_{i,j,3}^A - \sum_j r_{i,j,3}^N = r_{i,1,3}^A - (\sum_{k=5}^{10} r_{i,1,k}^A) \quad (7.3)$$

$$\sum_j r_{i,j,4}^A - \sum_j r_{i,j,4}^N = r_{i,1,4}^A - (\sum_{k=5}^{10} r_{i,1,k}^A) \quad (7.4)$$

更に、他のパターンについてもいかに示す。表-6 に示される希望パターンと行動パターンの制約に関する仮定があるため式形に違いはあるものの、意味するものとしてはパターン 2 らと同様に転換して対象パターンを取りやめた割合と対象パターンへ転換してきた割合の差分である。

$$\sum_j r_{i,j,5}^A - \sum_j r_{i,j,5}^N = r_{i,1,5}^A + r_{i,3,5}^A + r_{i,4,5}^A - (\sum_{j=8}^{10} r_{i,j,5}^A) \quad (7.5)$$

$$\sum_j r_{i,j,6}^A - \sum_j r_{i,j,6}^N = r_{i,1,6}^A + r_{i,2,6}^A + r_{i,4,6}^A - (\sum_{j=8}^{10} r_{i,j,6}^A) \quad (7.6)$$

$$\sum_j r_{i,j,7}^A - \sum_j r_{i,j,7}^N = r_{i,1,7}^A + r_{i,2,7}^A + r_{i,3,7}^A - (\sum_{j=8}^{10} r_{i,j,7}^A) \quad (7.7)$$

$$\sum_j r_{i,j,8}^A - \sum_j r_{i,j,8}^N = \sum_{j=1}^7 r_{i,j,8}^A - (\sum_{j=9}^{10} r_{i,j,8}^A) \quad (7.8)$$

$$\sum_j r_{i,j,9}^A - \sum_j r_{i,j,9}^N = \sum_{j=1}^8 r_{i,j,9}^A \quad (7.9)$$

$$\sum_j r_{i,j,10}^A - \sum_j r_{i,j,10}^N = \sum_{j=1}^8 r_{i,j,10}^A \quad (7.10)$$

また、式 5.0 を考慮するとこれら式 7.1 から 7.10 は真の転換行動評価指標の縮小された割合が求められていることに留意されたい。

(3) 頻度別事故有無別パターン割合

上記の事故遭遇定義を用いて、各利用者の事故時・無事故時別にパターンを頻度ごとに集計し、その割合を図-12 に示す。更に、評価指標である各実行パターンの割合の差分を(事故時-無事故時)でとったものを図-13 に示す。

これらより、事故時には無事故時と比較して通常利用が減少するが、高頻度と超高頻度では頻度が大きい超高頻度の方がその傾向があることが見受けられた。更に、割合の差分を示した図-13 より、超高頻度利用者は差分が正の値になっているものが高頻度利用者と比較して多いので、超高頻度利用者の方が転換行動のバリエーションが多い傾向が見られることが確認された。これはメイン出口を考慮しても筆者らの先の研究⁸⁾と同じ結論であることが確認されたこととなる。

超高頻度利用者においては、出口転換行動の増加が大きいですが、高頻度利用者においてはそのような傾向が見られず、頻度によってとられる転換行動とそのとられやすさが異なることが明らかとなった。

しかし、事故時に利用無しが大きく増加していることに対して、事故発生によって経路でなく交通手段の変更、またはトリップ自体のとりやめ等を行っていることになるが、これに対しては検証が必要である。

(4) メイン出入口別転換行動傾向

上記のパターン割合の差分を、利用者ごとに算出しメイン入口、メイン出口ごとに集計・平均を求める。これにより、各出入口ペアにおいて発生しやすい転換行動を求めることができる。本稿では、入口転換行動を想定し

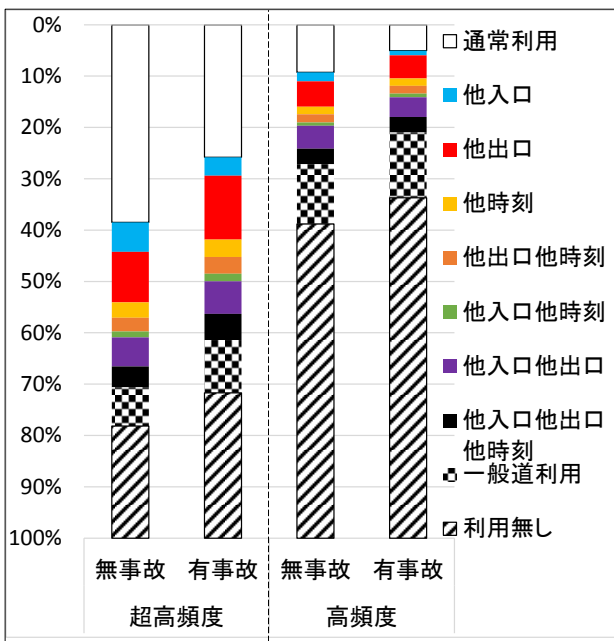


図-12 頻度別パターン割合

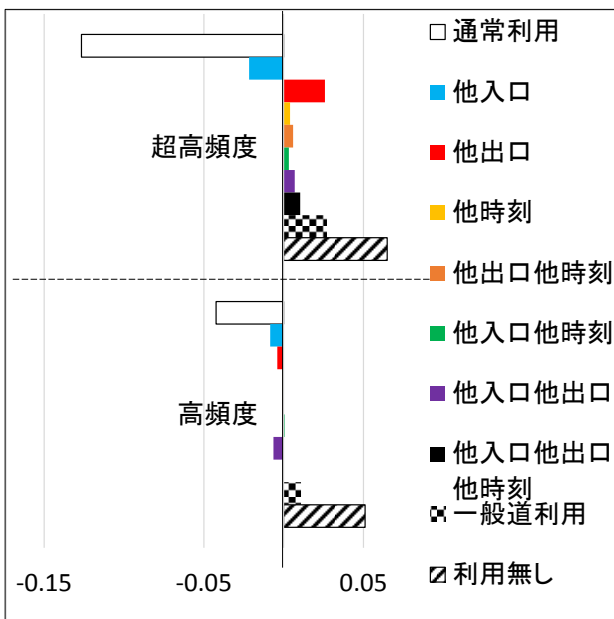


図-13 頻度別パターン割合差分

た“他入口・他時刻利用”のメイン入口別平均割合、出口転換行動を想定した“他出口利用”のメイン出口別平均割合、時刻転換行動を想定した“他時刻利用”のメイン出口別平均割合を分析する。他のパターン・出入口の組み合わせに関しては、上記の3つと比較して特筆すべき傾向は見られなかった。なお、本分析は超高頻度利用者を対象として行い、割合の大きさを円の大きさとし、負の値の場合は逆三角形の大きさでその値の絶対値の大きさを示す。

a) “他入口・他時刻利用”のメイン入口別平均割合

図-14に対象となる図を示す。これより、入口転換行動は首都高全域である程度発生していることが見受けられる。

また、路線ごとに他入口・他時刻利用の差分の平均値を求めると、5号池袋線・埼玉新都心線・埼玉大宮線が比較的大きな値を示した。それらを除いた全入口の平均が+0.002856に対し、それらの平均が+0.01024と有意水準1%で有意差があり、4倍ほど大きくなった。これより、5号池袋線・埼玉新都心線・埼玉大宮線では入口転換行動が首都高全域の中では起きやすい路線であることが明らかとなった。原因としては、メイン入口から入口を転

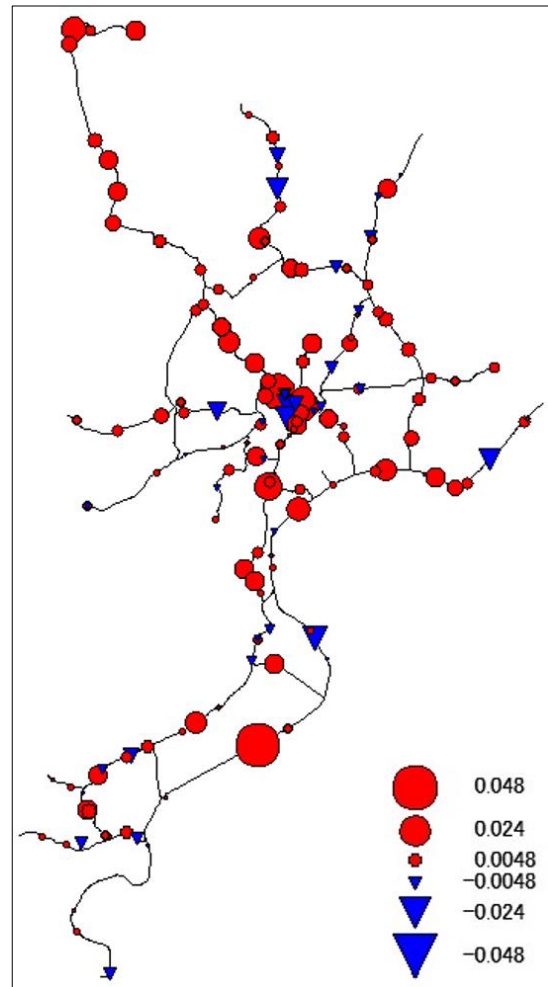


図-14 “他入口・他時刻利用”のメイン入口別平均割合

換するために利用する一般道の混雑や、他の高速道路への転換が見込めず、首都高速道路内での転換行動がとられやすいなどが挙げられるが、他にも複雑な要因があるように考えられる。

しかし、本分析としては平均流入時刻±標準偏差の範囲外でなければこのパターンにカウントされないが、入口間の距離が近い首都高ネットワークでは、その範囲内で転換できる入口が多く存在している可能性もあり、入口転換行動の発生特性や分析方法に関してはより一層の検討が必要である。

b) “他出口利用”のメイン出口別平均割合

図-15に対象となる図を示す。これより、都心環状線でも若干見られるが、埼玉新都心線及び生麦ジャンクション以南をメイン出口としている利用者は、事故時に“他時刻利用出口”をとりやすい傾向にあることがわかる。埼玉新都心線及び生麦ジャンクション以南をメイン出口としている利用者の他出口利用割合の事故時無事故時の差分の平均は+0.03428、それら以外の平均+0.01061となり、約3倍の数値となっているが有意水準1%で有意差があった。

出口転換行動によって真の目的地へ首都高出口から向かう際にはメイン出口以外から一般道を用いて向かって

いるが、この時の一般道の状況が出口転換行動に関係していると考えられる。通常時には、真の目的地に最も近い出口を利用していると仮定すると、転換時にはより長く一般道を走行することになる。道路交通センサスによると人口集中地区における混雑時平均旅行速度は東京都と比較し埼玉県・神奈川県の方が速い¹⁴⁾。

さらに、埼玉新都心線と、生麦ジャンクション以南の出口は首都高速道路に存在している出口のなかでは都心部から離れており、一般道の状況が都心部と異なることが推察される。これらのことを考慮すると、一般道での移動が容易であることが、転換行動に影響を与えていることが考えられる。

c) “他時刻利用”のメイン出口別平均割合

図-16に対象となる図を示す。これより、大師ジャンクション以南の出口をメイン出口としている利用者は事故発生時に“他時刻利用”がとられやすい傾向があることがわかる。大師ジャンクション以南の出口をメイン出口としている利用者の他時刻利用割合の事故時無事故時の差分の平均は+0.03273、その他の出口の平均が+0.1044となり、有意水準1%で有意差が認められた。

これらの出口において、考えられる“他時刻利用”がとられやすい原因としては、平行する湾岸線と横羽線で

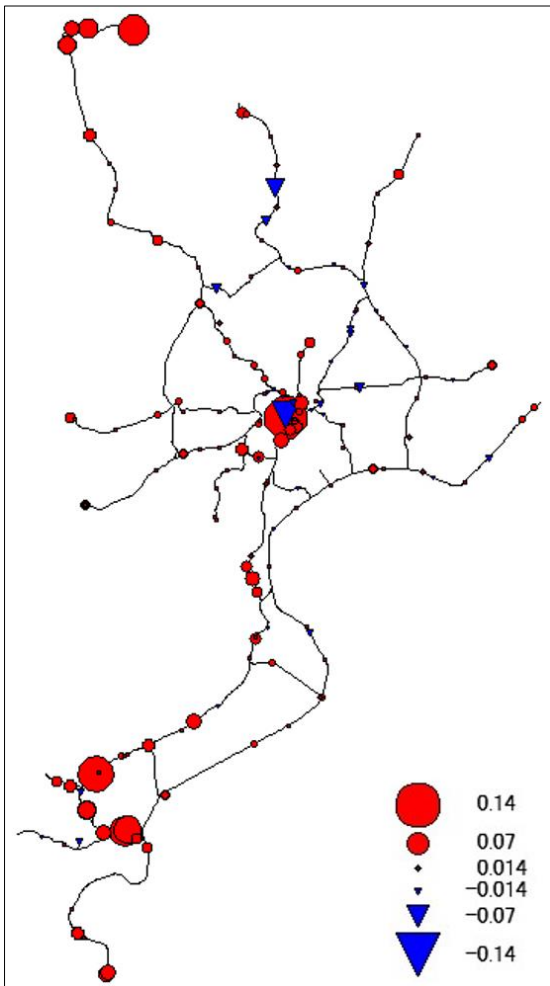


図-15 “他出口利用”のメイン出口別平均割合

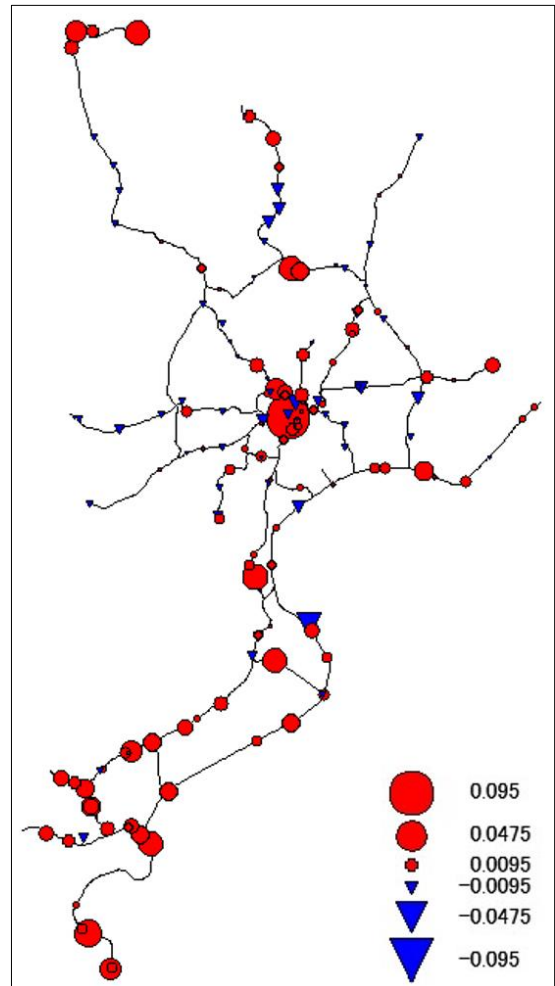


図-16 “他時刻利用”のメイン出口別平均割合

の補完関係により、出入口を変更せずに経路を変更し事故による混雑を回避できることが考えられるが、この迂回行動のために時刻を早めて流入していることが挙げられる。

しかし、平行する路線が首都高内では存在せずそれによる経路変更が考えにくい埼玉新都心線をメイン出口にしている利用者も他時刻利用の割合が大きくなっており、これに関しては上記の考察が当てはまらないので、さらなる検討が必要である。

5. おわりに

本研究において、利用者ごとの利用出入口や所要時間に着目し、ETC 流入データを用いた交通行動分析を行った。結果として、所要時間と転換行動の間には単調な関係ではなく極値を持ち、大きく所要時間が増加すると転換行動をとりにくいこと、メイン入口・出口ごとに転換行動特性が異なることが明らかとなり、さらにいくつかの転換行動パターンは路線やエリアごとに傾向が類似していることが確認された。

今後は、一般道の交通状況を加味した出入口特性分析や、低頻度利用者における集計分析の結果を踏まえた高頻度利用者だけでなく総合的な特性分析を行っていく必要がある。それらを考慮したうえで転換行動推計モデルを構築し、転換行動における出入口特性の重要性を確認する必要があり取り組んでいく所存である。

参考文献

- 1) 首都高速道路(株)HP：<http://www.shutoko.jp/>
- 2) 田村勇二，割田博，桑原雅夫，佐藤光，岡田知朗：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
- 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を見据えた入口転換行動のパターン化への挑戦土木計画学研究・講演集，Vol.39，CD-ROM，2009
- 4) 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転換行動に関する実証分析，土木計画学研究・講演集，Vol39，CD-ROM，2009
- 5) 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
- 6) 田村勇二，割田博，桑原雅夫，佐藤光：首都高速道路における入口交通量変動要因に関する分析，土木計画学研究・講演集，Vol.41，CD-ROM，2010
- 7) 小沢赳丈・小根山裕之・石倉智樹・割田博：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，土木計画学研究・講演集，Vol51，CD-ROM，2015
- 8) 佐藤理久斗・小根山裕之・柳原正実・石倉智樹・割田博，首都高速道路全域を対象とした事故発生時における入口転換行動の特性分析，土木計画学研究・講演集，Vol53，CD-ROM，2016
- 9) 西内裕晶，吉井稔雄，桑原雅夫，Marc Miska，割田博：首都高速道路におけるランプ間 OD 交通量の独立性，土木計画学研究・講演集，Vol.38，CD-ROM，2009
- 10) 西内裕晶，Marc Miska，桑原雅夫，割田博：ETC-OD データを用いた首都高速道路における短期的な OD 交通量予測手法に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.42，CD-ROM，2010
- 11) 田村勇二，割田博，稲富貴久，船岡直樹，佐藤光，堀口良太，白石智良，桑原雅夫：首都高速道路における突発事象発生時の交通状況予測に関する感度分析，ITS シンポジウム 2013，pp.187-193，2012
- 12) 田村勇二，割田博，小山周一，白石智良，桑原雅夫：首都高速道路におけるオンライン予測シミュレーションの精度向上に関する一考察，土木計画学研究・講演集，Vol.49，CD-ROM，2014
- 13) 田村勇二，西内裕晶，割田博：首都高速道路における突発事象発生時の入口交通量予測手法に関する研究，土木計画学研究・講演集，Vol.51，CD-ROM，2015
- 14) 国土交通省 HP 交通センサス
<http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/index.html>