

都市高速道路における障害時流出制御の効果と影響事前評価

小澤友記子^{*1}・萩原武司^{*2}・奥嶋政嗣^{*3}・宇野伸宏^{*4}・大藤武彦^{*5}

*1 株式会社交通システム研究所 (E-mail : ozawa@tss-lab.com)

*2 阪神高速道路株式会社保全交通部 (E-mail: takeshi-hagihara@hanshin-exp.co.jp)

*3 徳島大学大学院 ソシオテクノサイエンス研究部(E-mail: okushima@eco.tokushima-u.ac.jp)

*4 京都大学大学院経営管理研究部 (E-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

*5 株式会社交通システム研究所 (E-mail : daito@tss-lab.com)

「流出制御」は、交通事故などの急激に延伸する渋滞を緩和して都市内道路網への影響を防止することを目的として、障害による渋滞が発生した時、上流の高速道路上の車両に迂回推奨情報と料金割引によるインセンティブを提供することで一般道路に迂回させる交通制御である。本稿では、流出制御の概念、方法、そしてプロセスを提案する。また、交通流シミュレータ：HEROINE を活用して、迂回推奨情報提供と料金割引に伴う経路選択行動を予測し、その効果と影響を評価する。ケーススタディの結果、流出制御によって渋滞が緩和することを確認した。

An Evaluation of Outflow Control for Incident Congestion Measures on Urban Expressway

Yukiko OZAWA^{*1}・Takeshi HAGIHARA^{*2}・Masashi OKUSHIMA^{*3}・Nobuhiro UNO^{*4}・Takehiko DAITO^{*5}

*1 Transportation System Studies Laboratory Co., Ltd. (E-mail: ozawa@tss-lab.com)

*2 Hanshin Expressway Company Ltd. (E-mail: takeshi-hagihara@hanshin-exp.co.jp)

*3 Tokushima university, Department of Ecosystem Design (E-mail: okushima@eco.tokushima-u.ac.jp)

*4 Kyoto university, Graduate school of Management (E-mail: uno@trans.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

*5 Transportation System Studies Laboratory Co., Ltd. (E-mail: daito@tss-lab.com)

Abstract (100 words)

"Outflow control" is traffic control which makes local arterials bypass the vehicles on a highway by providing a travel information and charge discount, when traffic congestion occurs under unusual circumstances such as accidents. In this paper, the concept of outflow control, a method, and a process are proposed. And, we estimated the effect and influence of outflow control by the use of HEROINE which is the traffic simulator of Hanshin Expressway.

Keyword: Outflow Control, Traffic simulator, Incident management

1. はじめに

1-1 背景と目的

阪神高速道路では、円滑な都市内交通を確保して道路網全体の機能低下を防止するために交通管制システムが導入され、道路交通情報の提供や交通制御が実施されてきた。このうち交通制御については、新線の建設や施設整備による渋滞対策とともに、渋滞対策の主要施策の一つとして、多くの手法につい

て研究が行われ、その中で「入路閉鎖・ブース制限方式」¹⁾による交通制御が実施されてきた。

しかしながら、交通事故などの緊急時における流出制御の方法については、均一料金であることによる再流入時の料金徴収の問題、迂回経路への交通影響、迂回経路案内方法、さらには迂回経路の所要時間情報を予測することが困難であることなどの理由から、あまり検討が進められてこなかった。

一方で近年は ETC(Electronic Toll Collection)の普及、一般道路交通情報収集技術や所要時間予測技術の進展など、流出制御を取り巻く技術的課題への対応が可能になりつつあり、多様な交通マネジメント施策が要請されるようになってきている。

本研究は交通事故などの急激に延伸する渋滞を緩和し、都市内道路網への影響を防止することを目的として、本線上の車両を一般道路に迂回させるための「流出制御」について整理し、交通流シミュレータ：HEROINE (Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator)を活用して、迂回推奨情報提供と料金割引に伴う経路選択行動を予測し、その効果と影響評価を目的としたケーススタディを実施する。

1-2 本検討のプロセス

まず都市高速道路における障害時の流出制御の概念形成、流出制御の方法を検討する。次に、障害時の迂回推奨情報提供と料金割引施策を行った際の利用者の経路選択行動を予測するため、仮想経路選択調査を実施し、ロジットモデルによる障害渋滞時迂回経路選択モデルを構築する。最後に、構築した障害渋滞時迂回経路選択モデルを阪神高速道路の交通流シミュレータ：HEROINE に適用して、障害発生を想定して流出制御導入時の交通状況を予測し、その効果と影響を評価する。

2. 障害時流出制御の概念形成²⁾

2-1 流出制御に関する研究経緯

高速道路を対象とした交通事故などの緊急時における流出制御の方法については、古くから検討が行われてきている³⁾。

阪神高速道路では、昭和 42 年(1967 年)の初期交通管制システム構築に際して検討が行われ、流出推奨や流出指示などの制御手法が提案されたが⁴⁾、いくつかの技術的な課題への対応が困難であったことから本格的な検討はされてこなかった。

近年の ITS(Intelligent Transport Systems)における利用者サービスにおいては、「交通管理の最適化」における「交通管理ニーズに基づく経路誘導」として位置づけられており、交通事故時に対しては「交通事故時の交通規制情報の提供」、「事象対応交通管理の支援」サービスを検討することとしている⁵⁾。

このような断続的な検討経緯を踏まえ、ETC の普及もあり現行の入路閉鎖ブース制限方式の実効性の担保が難しくなってきたこと、流入調整による制御

実施の見通しがつかないこと、情報通信技術が進展しドライバーへのリアルタイム情報の提供がより容易になってきていること、そして高速道路の交通マネジメントを意識した料金施策が議論実施されるようになってきたことなどを背景として、阪神高速道路では、次期交通管制システムの検討の中で、「障害時流出制御」の基礎的な検討を開始した。これまでの検討では、「流出制御の概念形成」、「流出制御の方法」などの検討を行っている²⁾。

2-2 本稿で検討する流出制御手法の概要

1) 「障害時流出制御」の概要

「流出制御」とは、交通事故などの急激に渋滞が延伸する渋滞を緩和して都市内道路網への影響を防止するとともに、交通事故の削減を図ることを目的として、本線上の車両を一般道路に迂回させるための交通制御である。

しかし、現行の均一料金制度の下では、いったん出口から流出した車両が再び流入する場合には、新たに料金を徴収することが前提であり、この場合は、少なくとも「予定経路所要時間-迂回経路所要時間」が再度徴収される料金に見合う短縮量でなければ、迂回経路を選択するという協力行動はほとんど期待できない。

このため、現在阪神高速道路では、事故等による車線閉塞時に「強制流出」として、車両が下流側で再流入する際に“料金を受け取らない”という運用をしているのと同様に、“迂回”という協力行動の依頼に応じた車両が再び障害発生地点下流側入口から流入する際には、“無料で”流入することを基本として、さらに協力行動を活性化するためのインセンティブ付与など、料金面からのアプローチも検討する必要がある。

具体的な「流出制御」の運用方法としては、障害渋滞発生地点上流側出口手前で、一般道路への迂回流出を推奨する情報を提供する。迂回経路を選択して下流側入口から流入する車両に対しては、再流入の料金を“無料”または“割引”するなどのインセンティブを付与して、障害渋滞時の迂回を促進する。

2) 「障害時流出制御」の方法

流出制御のプロセスは、図-1 のように構成される。

障害渋滞発生当初は、渋滞情報及び所要時間情報を作成して情報提供を行うが、次の段階として迂回推奨開始判別情報を生成して、さらには入路制御実施情報を参照し、それに基づき迂回推奨実施判定を

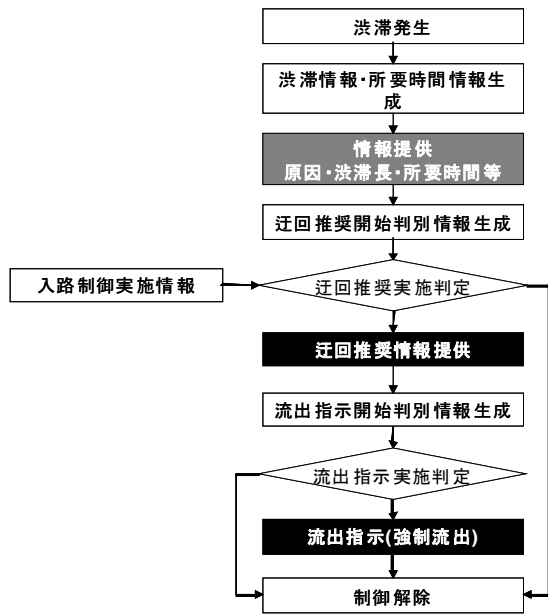


図-1 流出制御のプロセス

行い、迂回推奨をすべき状態か否かを判別して、必要と判定されれば「迂回推奨情報提供」を開始する。

加えて、流出指示開始判別情報を生成して流出指示実施の可否判定を行い、必要と判定されれば「流出指示(強制流出)」をおこなうこととする。解除も同様の判別を行って逆の手順を踏むこととする。

また、「流出制御」時に提供すべき情報の内容は以下に示すとおりである。

- ①交通規制情報
 - ・規制場所：路線区間、入口/出口
 - ・規制内容：閉鎖など
- ②対象となる障害情報
 - ・障害発生場所と原因
- ③対象となる渋滞情報
 - ・渋滞の起点/終点と渋滞長
- ④交通情報
 - ・迂回先入路までの本線経路所要時間、迂回経路所要時間
- ⑤案内情報
 - ・迂回経路情報：迂回先入路情報、迂回経路案内情報
 - ・迂回推奨メッセージ (Word：迂回してください、迂回をお願いします、迂回をおすすめします)

3. 障害渋滞時迂回経路選択モデルの構築

3-1 仮想経路選択調査の概要

障害渋滞時のドライバーの迂回行動を予測する障害渋滞時迂回経路選択モデルを構築するために、表

-1 に示す仮想経路選択調査を実施した。

経路の選択肢は①予定本線経路(迂回しない経路)、②流出迂回乗り継ぎ経路(一般道へ流出して本線へ再流入する経路)、③流出迂回一般道経路(一般道へ流出してそのまま一般道を利用する経路)とする。

調査方法は、迂回経路の所要時間の提供あり/提供なしの2パターンで、表-2 に示す経路選択要因毎に乱数を発生させて抽出した組合せを各5ケース(計10ケース)設定し、3経路を選択していただいた。

利用属性では、阪神高速道路の利用頻度が月に1回以下の被験者が半分以上を占め、阪神高速道路利用者の母集団とは異なるサンプルとなった。

3-2 障害渋滞時迂回経路選択モデルの構築

1) 障害渋滞時迂回経路選択モデルの概要

阪神高速道路の本線上で障害渋滞が発生した場合の経路選択モデルを構築する(図-2)。

説明変数は、料金、本線経路所要時間、迂回経路所要時間、事故渋滞長、迂回比率とした。なお、迂回比率とは流出迂回乗り継ぎ経路を選択した場合の本線予定経路長に対する迂回経路長の比率である。

表-1 仮想経路選択調査の概要

調査方法	WEBを活用した仮想経路選択調査(SP調査)
有効回答数	1,777人(有効回答数)
被験者の設定とリクルート	Thruway Card メールアドレス登録会員:20,000人(大阪府、兵庫県、奈良県居住者)にE-Mailで調査への協力を依頼し、調査サイトを案内してアクセスしていただく。粗品:500人@500円相当のQUOカードを用意する。
調査期間	平成22年10月1日(金)~12日(火)
調査導入部の調査項目	個人属性、阪神高速道路利用状況
調査項目	【障害渋滞時の迂回経路選択】 仮想的な交通状況下での予定本線経路/迂回経路を選択(本線上の原因別渋滞長、所要時間(迂回経路所要時間は提供あり、提供なしを想定)、迂回経路選択時の料金割引インセンティブを説明変数として選択ケースを設定)

表-2 仮想経路選択調査の選択要因

選択要因	要因の範囲
迂回経路選択時(経路②)の料金割引額	0円, 300円, 500円, 700円, 1000円
事故渋滞長	2km, 3km, 4km, 6km, 9km, 10km, 15km
本線予定経路延長	6km, 9km, 15km, 25km
迂回先から目的地までの距離	2km, 3km, 4km, 6km, 9km, 10km, 15km
本線経路所要時間	高速道路自由区間の平均速度60~100km/h, 事故渋滞区間の平均速度:10~20km/hとして算出
迂回経路所要時間	一般道路区間の平均速度:10~25km/hとして算出

障害渋滞時迂回経路選択モデルはマルチロジットモデルを用いて、迂回経路所要時間(一般道情報)がない場合とある場合の2つの経路選択モデルを構築した。なお、本検討ではオンラインリアルタイムの交通流シミュレーションへの適用も視野に入れていることから、個人属性や利用属性に関する変数は使用せず、オンラインで入手可能なデータのみを扱う実用的なモデル推定を行った。

また、仮想経路選択調査の被験者が低頻度利用者に偏っていることから、利用者属性とサンプル属性の構成の差異を補正するために、ロジットモデルのパラメータ推定において利用頻度の構成比率の比を重みとしたウェイト付き最尤推定法を用いている。

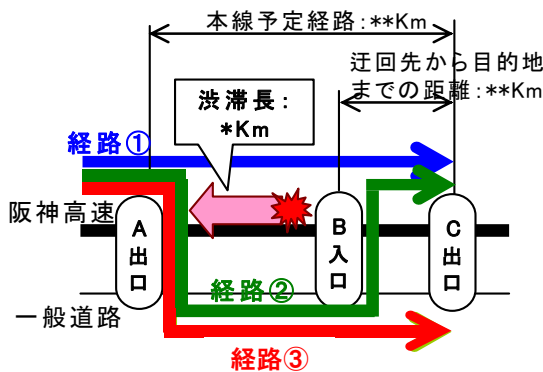


図-2 障害渋滞時迂回経路選択の概要

2) 障害渋滞時迂回経路選択モデル推計結果

障害渋滞時迂回経路選択モデルの推計結果を表-3に示す。一般道路情報がない時よりもある時の方が尤度比が高くなり、精度の高いモデルとなっている。これは、一般道路情報があるために経路選択のばらつきが小さくなり、より経路選択モデルに適合しやすいデータとなっているためであると考えられる。さらに、一般道路情報がない場合は、経路選択に用いられる要因のうち交通状況を示すものは本線所要時間のみであるが、一般道路情報がある場合は、各経路の所要時間に併せて、迂回比率や事故渋滞長なども変数として挙げられている。

一般道路情報提供なしの場合の尤度比でも 0.497 となり、各要因のパラメータの符号も十分に解釈が可能なものであることから、流出制御の影響評価に十分に適用できるモデルとなっていると考える。

4. 障害渋滞時迂回経路選択モデルの構築

4-1 影響評価方法の概要

障害渋滞発生時の流出制御について、阪神高速道路の交通流シミュレーション HEROINE に前章で構

表-3 障害渋滞時迂回経路選択モデル推計結果

要因	要因名称	単位	選択肢	一般道路情報なし		一般道路情報あり	
				β	t値	β	t値
料金	円	共通	-0.004	-38.6	-0.003	-34.6	
本線経路所要時間情報	分	経路1	-0.105	-68.7	-0.028	-19.9	
迂回経路所要時間情報	分	経路2/ 経路3	-	-	-0.053	-43.6	
迂回比率	率	経路2	-	-	-6.129	-41.3	
事故渋滞長	km	経路1	-	-	-0.183	-36.5	
定数項1	ダミー	経路1	4.768	83.2	2.290	42.9	
定数項2	ダミー	経路2	-0.240	-7.6	4.503	47.9	

サンプル数	尤度比	サンプル数	尤度比
8423	0.497	8442	0.537

表-4 適用した入口選択モデル⁶⁾

説明変数	パラメータ	t値
阪高利用固有変数	課金額	-0.005 -5.045 *
	割引額	-0.002 -2.312 *
	料金負担・勤務先ダミー	0.825 4.229 *
	事故渋滞ダミー	-0.961 -4.224 *
入口変更固有変数	時間制約ダミー	0.59 2.949 *
	定数項	0.335 -1.721
一般道路固有変数	渋滞情報	0.258 8.01 *
	OD間距離	-0.069 -7.249 *
	ρ2値	0.126
	ρ2値(修正済み)	0.112
	サンプル数	540

*: 5%の水準で有意

築した障害渋滞時迂回経路選択モデルを適用し、流出制御の効果と影響を評価する。ここでは、交通流シミュレーションによって障害渋滞を外生的に発生させ、障害渋滞時迂回経路モデルを適用する。

制御手法は「情報提供」と「料金」とする。「情報提供」は本線上の所要時間情報であり、一般道路の所要時間情報は提供しない。「料金」は、障害渋滞を迂回して下流側入口に流入する際の料金設定を変化させてその効果を推計する。

交通制御を実施する際には、入口ランプで本線上の渋滞情報を提供し、利用入口の変更を促すことにより本線上の渋滞緩和を目指す対策も実施されている。そこで、入口での情報提供の効果を把握するため、本検討では宇野ら⁶⁾が開発した入口選択モデル(表-4)を活用し、入口で情報提供した際の交通状況を再現した。これは、入口での情報提供によって下流側の入口や一般道路へ迂回する経路を選択するモデルである。本検討では、入口での課金・割引等は行わず、情報提供のみによる行動変化の影響を推計する。これによって推計された交通状況が現況の交通状況を再現しているものとする。

なお、一般の利用者には、どんな状況になっても渋滞の利用経路を変更しない経路固定層が存在する。そこで、実データと経路選択モデルの感度分析結果の比較分析を行った。その結果、本検討では固定層を 0.7 と設定して、シミュレーションに適用した。

4-2 影響評価の内容

1) 予測対象路線

予測する対象路線は阪神高速道路の11号池田線上りと3号神戸線上りとして、各路線に対して、午前・午後1時間の障害を外生で与え、障害渋滞を発生させた。対象路線、障害発生場所、発生時間帯の設定は、図-3 および以下に示すとおりである。

9:00-10:00, 池田線上り福島付近事故1車線規制
15:00-16:00, 池田線上り福島付近事故1車線規制
11:00-12:00, 神戸線上り摩耶付近事故1車線規制
17:00-18:00, 神戸線上り摩耶付近事故1車線規制



図-3 対象路線と障害発生箇所

2) ケース設定

障害渋滞時の流出制御の影響評価のケース設定を表-5 に示す。入口選択モデルのみを適用する Case0 が現況の交通状況を再現するものである。

4-3 影響評価結果

1) 利用経路の選択状況

障害渋滞時の利用経路の選択状況を表-6 に示す。入口選択については、迂回料金の割引額が大きくなるに従って、利用入口を変更した交通量は増加しているが、一方で、一般道へ迂回した交通量は減少している。これは、流出制御によって本線上の渋滞が

表-5 ケース設定 (※阪神高速道路均一料金(700円/1回))

Case	入口選択モデル	障害時迂回選択モデル	迂回・再流入した場合の料金(経路②)
0	モデル適用(割引ナシ)		障害時迂回推奨なし 現況の交通状況
1	モデル適用(割引ナシ)	モデル適用(割引ナシ)	1400円 (700円+700円)
2	モデル適用(割引ナシ)	モデル適用(割引50%)	1050円 (700円+350円)
3	モデル適用(割引ナシ)	モデル適用(割引100%)	700円 (700円+0円)
4	モデル適用(割引ナシ)	モデル適用(割引150%)	350円 (700円-350円)

緩和したことにより、本線を利用する経路を選択する確率が高くなったものと考えられる。

障害渋滞時の迂回経路選択については、迂回料金の割引額が増加するに従って、一般道へ迂回して再流入する交通量が増加し、一般道へ迂回したままの交通量は減少している。

変更経路の出入口となった箇所出入口の交通量について池田線の例を図-4 に示す。池田線では主に上流側の豊中南出口のみから流出し、福島の下流側の入口である梅田入口から流入している。一方で神戸線では、障害発生箇所の直上流側の生田川出口からの流出が最も多いが、その他京橋、柳原出口からの流出も見られた。

2) 交通状況への影響

対象路線の渋滞量の比較を図-5 に示す。池田線では、午前中は流出制御を実施後の9時以降で、渋滞量が流出制御なしの場合よりも減少しており、迂回料金割引額が大きくなるに従って渋滞量も減少する傾向にある。午後では、迂回料金割引額100%時を除き、流出制御を実施した16時では渋滞量がほとんど減少していない。ただし、17時では迂回料金割引額50%と100%の場合では渋滞量が減少しており、流出制御によって障害渋滞が緩和される傾向にある

表-6 障害渋滞時の経路変更した交通量

		Case0 入口選択 (課金なし)	Case1 入口選択 & 迂回料金割引(0%)	Case2 入口選択 & 迂回料金割引(50%)	Case3 入口選択 & 迂回料金割引(100%)	Case4 入口選択 & 迂回料金割引(150%)
流入台数(台) (池田線上り, 神戸線(兵庫)上り)		33,772	33,759	33,968	34,012	34,143
入口選択	利用入口を変更した交通量(台)	2,492	2,278	2,354	2,362	2,471
	(対流入台数比)	0.074	0.067	0.069	0.069	0.072
	一般道へ迂回した交通量(台)	1,359	1,390	1,347	1,367	1,320
	(対流入台数比)	0.040	0.041	0.040	0.040	0.039
障害時迂回 経路選択	一般道へ迂回して流入する交通量(台)(経路②)	0	20	173	470	873
	一般道へ迂回する交通量(台) (経路③)	0	218	200	146	81

※1: 障害渋滞は2路線2時間帯発生(延べ4回)

※2: 障害渋滞(1車線規制)開始から2時間の交通状況を集計

※3: 対象道路・・・高速道路[池田線上り, 神戸線(兵庫)上り]

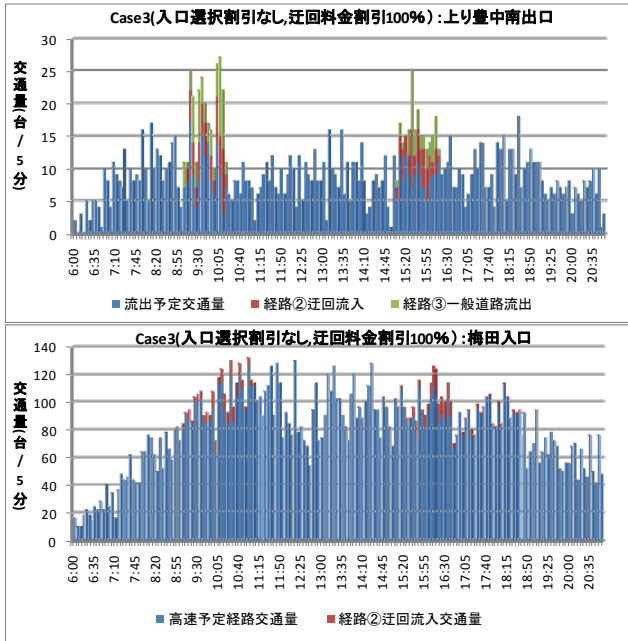


図-4 迂回経路の出入口交通量(上：出口, 下：(再)流入) [Case3, 迂回料金割引100%, 池田線]

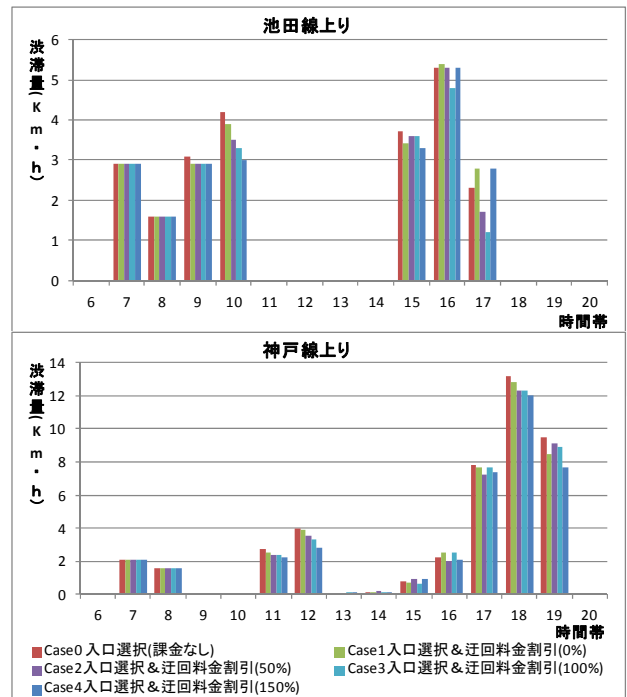


図-5 流出制御実施時の時間帯別渋滞量の比較

ことを確認できた。一方で、迂回料金割引額を 150% とした場合には渋滞緩和の効果がそれほどない結果となっている。これは、通常の利用料金よりもさらに料金を割り引くことにより、再流入する交通量が増えたためと考えられる。このことから、迂回料金の割引額を大きくしすぎても期待する渋滞緩和の効果は得られないことがわかった。

神戸線では、午前・午後とも、流出制御実施後は渋滞量が減少し、その減少量は迂回料金の料金割引額に比例して大きくなっている。

一般道への影響については、一般道の平均速度の変化を見ると、ほとんど影響はないようであった。

5. まとめと今後の課題

本検討では、「障害時流出制御」の概念を整理した。さらに、WEB を活用した仮想経路選択調査にて得たデータを活用して、障害渋滞時の迂回経路選択行動を予測するモデルを構築した。この流出制御の影響を反映できる経路選択モデル交通流シミュレータ：HEROINE に適用することで、「障害時流出制御」の効果と影響を評価した。

シミュレーションの結果、障害時に流出制御を実施することにより、阪神高速道路については、ある程度の渋滞緩和効果が得られることを確認した。また、迂回料金の割引額の設定料金によって、得られる効果が異なることが分かった。また、実施する時

間帯によって効果の大きさも異なっていた。このことから、流出制御の実用化に向けては、料金設定や実施する時間帯についても考慮したうえで検討していく必要があるといえる。

今後は、流出制御の実用化に向けて、平面街路への影響把握、迂回推奨時の所要時間予測方法の検討、迂回推奨情報提供システムの検討、運用方法の検討を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) (社)交通工学研究会：「阪神高速道路の渋滞対策に関する調査研究報告書」1980.03
- 2) 大藤武彦, 吉村敏志, 宇野伸宏：「都市高速道路における緊急時流出制御-理論的構築と実現に向けた考察-」, 第 41 回土木計画学研究発表会, 2010.
- 3) J.T.Duff : Accomplishment in Freeway Operations outside the United States, HRR, No.368, pp9-25, 1971.
- 4) 井上矩之：「都市間高速道路の交通制御に関する基礎的研究」学位論文, 1973.11
- 5) 「ITS に係るシステムアーキテクチャー」警察庁, 通商産業省, 運輸省, 郵政省, 建設省, 1999.11, http://www.its-jp.org/about/arch/doc/sys_main.pdf
- 6) 宇野伸宏, 進藤隆弘, 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-テラーモード型 SP 調査を利用して-」, 第 41 回土木計画学研究発表会, 2010.