

交通管制システムにおけるオンライン・リアルタイム交通流シミュレーションの活用*

For Enhanced Use of HEROINE in Hanshin Expressway Traffic Control Center
HEROINE (Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator)

大藤武彦**・小澤友記子***・吉村敏志****・石井康裕*****

By Takehiko DAITO**・Yukiko OZAWA***・Satoshi YOSHIMURA**・Yasuhiro ISHII***

1. はじめに

HEROINE(Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator)は、都市高速道路網を対象とした交通流シミュレータであり、交通流の予測や各種施策評価を行うツールとして開発され、流入調整などの動的な制御手法の研究に活用されてきた^{1), 2)}。また、オンライン・リアルタイムでの交通管制業務の支援や予測情報提供、そして道路管理や保全のための工事規制に伴う事前評価と対策の検討などを目的として、2004年11月に阪神高速道路交通管制システムに導入された³⁾。

本稿では、交通管制システムに導入されたHEROINEの概要を紹介し、今後の交通管制システムにおける活用に向けて、利用者からの強い要求がある予測情報提供の見通しと枠組みを提案する。とくに、従前から提供する検知器速度に基づく同時刻和所要時間は障害渋滞時や激しい渋滞が発生する場合には誤差が大きいことが知られており、精度向上の要求も強く、シミュレーションによる予測所要時間情報提供への期待が高まっていることから、交通流シミュレーションによる短期予測における所要時間予測精度の検証を行い、予測所要時間提供の見通しを検討する。

*キーワード：交通管制、交通流シミュレーション、情報提供

**正員、株式会社交通システム研究所
(大阪市淀川区西中島7丁目1-20、
TEL06-6101-7001、FAX06-6101-7002)

***正員、株式会社交通システム研究所
(大阪市淀川区西中島7丁目1-20、
TEL06-6101-7001、FAX06-6101-7002)

****正員、阪神高速道路株式会社京都建設部
(京都市中京区烏丸通錦小路上ル、
TEL075-223-1871、FAX075-223-5898)

*****正員、阪神高速道路株式会社本社業務部
(大阪市中央区久太郎町4-1-3、
TEL03-6252-8121、FAX06-6252-8433)

2. HEROINEの概要

HEROINEは、需要予測機能、フロー機能、行動選択機能、集計・分解機能、制御機能、そして蓄積加工機能の各サブシステムで構成される(図-1)。

需要予測機能では、阪神高速道路の全入口に対応する出発セントロイドから流入する予定の交通量を予測し、各車両の出発時刻、予定出口に相当する到着セントロイド、そして予定経路などの車両情報を生成する。

フロー機能は、道路上の車両を移動させる機能であり、高速道路上はブロック密度法(Block Density Method)に基づき、一般道路上はインプット・アウトプット法(Input Output Method)に基づいている。

行動選択機能は、入口手前、ジャンクションや出口手前、無料乗継地点手前などの経路選択が可能な地点において経路選択を行う。

制御機能は、流入制御を実行する機能であり、現在実施している「入路閉鎖・ブース制限方式」による交通管制要領を内蔵するとともに、制御を実行する。

蓄積加工機能は、交通流シミュレーションの結果を出力するための加工、および交通管制システムデータの蓄積とあわせて、各種モデルパラメータの管理などを行う。

HEROINE のモデルの詳細については、本稿の主題ではないので概要を示すにとどめる。詳細は、参考文献 3)、4)、5)などを参照されたい。

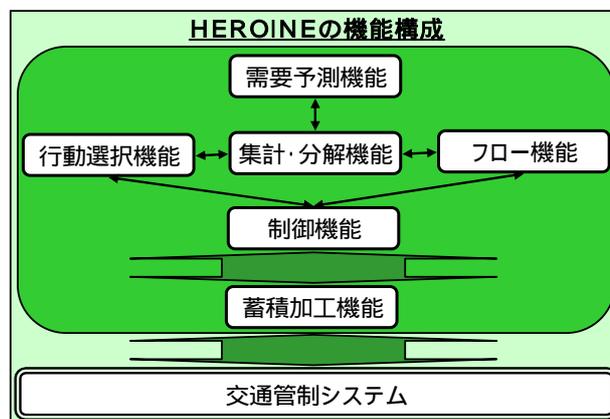


図 - 1 HEROINE の構成

表 - 1 HEROINE のユーザと機能

予測機能	ユーザ			計算タイミングと予測期間
	管制員	職員	ドライバー	
短期				毎5分(90分後迄)
施策介入				要求都度(90分後迄)
長期				毎正時(24時間後迄)
施策事前				要求都度(24時間以内)

： ユーザーが要求して予測
 ： 自動計算した結果を配信
 ： 予測精度検証後に提供

3. 短期予測における所要時間予測精度の検証

(1) 検証の枠組み

検証は、真値が得られる「路線単位に配置されるAVI区間所要時間」とシミュレーションでの予測値を比較することによって行う。また、既に提供している検知器速度に基づく同時刻和所要時間との比較を通して、予測情報提供方法を検討する。

ここで、真値として設定する「AVI区間所要時間(以降、AVI所要時間)」は、各路線の起点と終点近くに設置したAVIで計測される車両の所要時間を「箱ひげ法」に基づいて代表値を設定している。計測区間は、阪神高速の全路線、46区間である。

また、シミュレーションによる予測所要時間は(以降、シミュレーション所要時間)、AVI設置地点に相当するブロックの上流端および下流端を通過する車両の時刻の差の平均値として定義し、検知器速度に基づく同時刻和所要時間は(以降、検知器所要時間)、AVI設置区間内に約500m毎に配置される車両検知器の速度に基づく検知器対応区間の所要時間を累積している。ただし、路線単位の所要時間であることから、恒常的な自然渋滞発生時間帯では、統計的補正を加えている。

所要時間予測精度の検証は、平成18年3月17日(金)から4月16日(日)の1ヶ月間について、当該AVI区間内の交通状態セグメント別に行うこととする。ここで設定する交通状態セグメントは、渋滞種別、障害種別、そして障害程度とする。検証期間中に発生した交通状態別件数は、表-2に示すとおりである。

(2) 所要時間予測精度の検証

渋滞時におけるAVI所要時間に対する誤差と精度を障害原因別程度別に整理すると、表-3に示すとおりである。ここで、非渋滞の領域は分析対象外とした。

まず、全体的には、シミュレーション予測値は検知器所要時間と同程度以上の所要時間予測精度が確保されていることがわかる。

自然渋滞時では、シミュレーション予測値よりも検

表 - 2 検証期間中の障害等発生件数

渋滞種別	原因	渋滞件数 ^{*1}		障害件数 ^{*2}	
自然渋滞		1705	83.9%	-	-
障害渋滞	工事	49	2.4%	853	18.0%
	事故	184	9.1%	994	21.0%
	故障車	26	1.3%	882	18.6%
	脇見	23	1.1%	29	0.6%
	その他	44	2.2%	1985	41.9%
	小計	326	16.1%	4743	100.0%
合計		2031	100.0%	4743	100.0%

*1. 「管制業務日誌」、阪神高速交通管制データ

*2. 「障害日報」、阪神高速交通管制データ

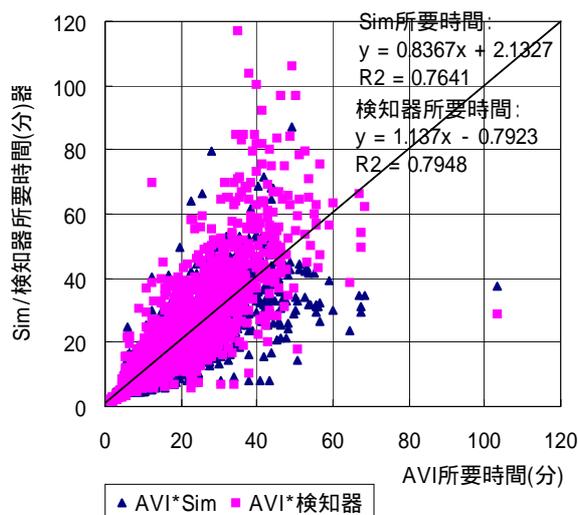


図 - 2 AVI 所要時間との相関図(障害渋滞時の例)

知器所要時間の方が誤差が小さくなっている。これは、検知器所要時間は、出勤、帰宅時間帯での統計的補正を加えているために単純な同時刻和所要時間よりも誤差が比較的小さくなっているとともに、自然渋滞は恒常的に渋滞が継続している場合が多く、交通流は非正常ながら渋滞状況がそれほど急激に変化しないことなどから、いくぶん検知器所要時間のほうが誤差が小さくなっていることが要因として考えられる。ここで、±5分以内の誤差で予測される割合は、検知器所要時間が95.5%、シミュレーション予測値が89.7%であり、絶対誤差もいずれもせいぜい12分程度であることを勘案すると、それほど大きな誤差なく所要時間が予測されているといえる。

一方で、障害渋滞時、なかでも1車線以上の障害渋滞時では、ほとんどの原因でシミュレーション予測値の方が±5分以内の誤差で予測される割合が高くなっており、このような激しい渋滞が発生する局面では検知器所要時間よりもシミュレーション所要時間の方が小さい誤差で予測されることがわかる。なお、1車線未満の障害程度での所要時間は、件数が少ないので断定できないものの、検知器所要時間の方が誤差が小さいようである。

表 - 3 渋滞時の AVI 区間所要時間精度の比較

障害	原因	障害程度	N	AVI計測-シミュレーション予測所要時間					AVI計測-検知器所要時間				
				誤差平均値(分)	絶対誤差平均値(分)	誤差ワカ別分布(%)			誤差平均値(分)	絶対誤差平均値(分)	誤差ワカ別分布(%)		
						±5分以内	±10分以内	±15分以内			±5分以内	±10分以内	±15分以内
非障害	自然		28,497	-0.3	2.3	89.7	8.8	1.2	-0.3	1.4	95.5	3.5	0.7
障害	工事	1車線以上	1,893	-1.0	1.9	93.8	4.8	1.0	-0.1	1.4	93.3	4.2	1.8
障害	事故	1車線以上	2,250	0.4	3.4	80.0	13.0	3.6	-1.8	3.8	79.3	10.4	4.1
障害	故障	1車線以上	255	-0.5	3.7	74.9	18.8	3.1	-0.9	2.8	83.5	10.6	3.9
障害	脇見	-	278	1.4	2.5	89.2	8.6	2.2	-1.7	2.8	82.0	12.6	3.2
障害	その他	1車線以上	23	2.0	2.6	87.0	13.0	0.0	-1.0	1.5	91.3	8.7	0.0
障害	工事	1車線未満	350	0.7	2.8	80.3	14.0	5.4	1.1	1.7	92.6	5.4	1.1
障害	事故	1車線未満	100	-0.7	3.5	76.0	20.0	2.0	-2.3	3.0	82.0	13.0	4.0
障害	故障	1車線未満	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
障害	その他	1車線未満	38	0.0	1.9	94.7	5.3	0.0	0.4	1.1	97.4	2.6	0.0
障害	計		5,187	-0.1	2.8	85.4	10.2	2.6	-0.9	2.6	85.9	7.9	2.9

注) .交通管制データ：所要時間時系列情報，平成 18年 3月 17日(金)~4月 16日(日)

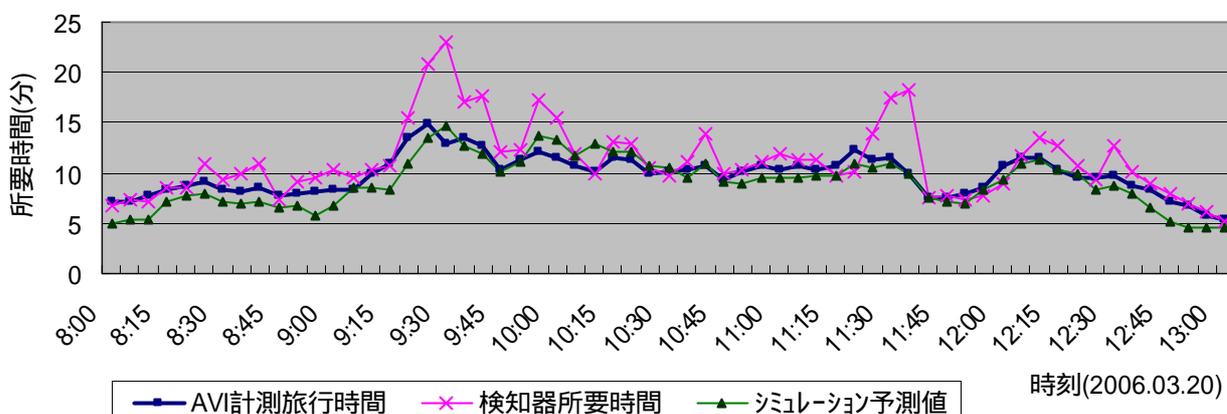


図 - 3 AVI 区間における所要時間比較例(東大阪線上り：長田～森之宮間，4.0Km)

障害渋滞時の予測所要時間をAVI所要時間と対応させて相関関係を眺めると図-2に示すとおりである。相関係数はさることながら、所要時間が長くなると検知器所要時間のほうがより長く算定される場合が多いことがわかる。傾きも1を超えており、散布図から見てもこの傾向は明らかである。

激しい渋滞時には検知器所要時間よりもシミュレーション予測値の方が全体的に予測精度が良いようであることがわかったので、個別の所要時間予測値を眺めて確認する。図-3は、低速度が推定されたときの所要時間を時系列で見たものである。シミュレーション予測値はAVI所要時間を良く追従しているが、検知器所要時間は、渋滞が延伸して所要時間が最も長くなったときに極端に大きな値となることがわかる。これは、同時刻和所要時間である手法に起因する原因とともに、一部の検知器で低速度が計測されているためである。交通管制システムでは、検知器で低速度が推定された場合には最低速度補正(min.4Km/h)がされているが、低速度が推定されるこ

とによる影響もめぐいきれないものと考えられる。

4. 予測所要時間の提供に向けて

(1) 予測所要時間提供局面

一般的には、急激に交通状態が変化する障害渋滞時においては、検知器速度に基づく同時刻和所要時間は渋滞状況の変化に追従することが困難であり時間遅れに相当する誤差が発生することが知られている。一方で、交通流シミュレーションは、車両のフローを再現するアルゴリズムを有しているものの、多くの変数を調整する必要があるために実際の交通状態の再現性を確保することが困難である傾向がある。

本研究では、従前から提供する検知器所要時間の問題点として指摘される障害渋滞時には、シミュレーションによる予測所要時間を使用できるかもしれないという期待をもってシミュレーション予測所要時間の精度検証を行い、次のような結果を得ることができた。

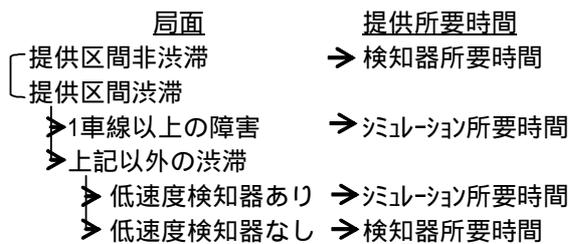


図 - 4 所要時間提供局面と提供所要時間

まず、障害渋滞時の所要時間は、少なくとも1車線障害以上の障害程度に起因する渋滞時、および検知器による速度推定値が低速度の場合には、検知器所要時間よりもシミュレーション予測所要時間の方が精度良く所要時間が予測されることがわかった。また、自然渋滞などの他の渋滞発生時においても、渋滞状況の変化にほぼ追従するとともに、検知器所要時間ほどではないもののほぼ同程度の予測精度が確保されることも確認された。

本研究では、AVI区間のみを対象として1ヶ月間という短期間の検証であるために、全ての障害渋滞発生局面で十分な検証ができたわけではないが、当面は図-4に示すような方針でシミュレーション予測所要時間を採用して提供してもよいと思われる。

なお、今回の検証の対象が約10Km程度の区間であるAVI区間であることから、路線間にまたがる長距離区間の所要時間の精度の検証をしたわけではない。しかしながら、長距離区間に内包される誤差は、距離の長さに起因する誤差の拡大とともに区間内に複数の障害が発生して誤差が拡大するなど、いずれにしてもAVI区間で検証した結論と同様、あるいはそれよりも誤差の傾向が顕著になることは明らかであるため、本研究では定量的な検証はできないものの同様の方針で提供方法を検討してよいと考えられる。

(2) 予測所要時間提供方法

現在、交通管制システムでは、毎5分に管制処理系副処理装置で検知器区間所要時間を生成し、提供系副処理装置で提供媒体毎に提供すべき区間の所要時間を同時刻和旅行時間として生成している。交通流シミュレーションでも、同様に毎5分の提供すべき区間の所要時間を予測することが可能である。

予測所要時間提供方法を検討する際に考慮すべき事項は、提供情報生成場所、提供情報の制御場所と方法、提供情報蓄積方法などであるが、本稿では交通管制システム改築のための設計を目的とするものではないこと、現在提供する検知器所要時間提供方法を変更する必要がないことなどから、シミュレーション予測所要時間の生

成方法と、両者が生成する所要時間をどうマネジメントして提供するかという問題への対応を考察する。

前者については、任意の区間所要時間を予測しようとした場合、提供単位時間：少なくとも5分毎に車両を追跡して所要時間を算定しようとしたときに当該車両が存在しない場合が発生するため、シミュレーション予測結果としての単位時間帯における単位区間所要時間を求め、経過時間とともに経路行列分の所要時間を累積加算する「追跡時刻和旅行時間」を採用することが望ましいと考えられる。

提供所要時間のマネジメント方法は、障害渋滞と検知器速度を元にどちらを提供すべきかを判別するものであるが、管制システム改修影響を最小にすること、制御の単純化、システム内トラフィック量を少なくすること、関連システムへの影響を極力排除してリスクを最小限にとどめることなどを勘案すると、交通流シミュレーション処理装置でマネジメントをすることが望ましいであろう。

5. 今後の課題

今後は、当面の予測所要時間提供に向けた交通管制システム改築に向けて検討を進めるとともに、次のような課題の検討を継続する必要があると考えている。

- ・ ETCデータを用いたランプ間所要時間予測精度の検証
- ・ 渋滞予測情報提供に向けた検証と予測精度向上
- ・ 検証と予測精度向上のためのシステム・アップデートの継続 など

参考文献

- 1) 西林素彦、大藤武彦、奥島政嗣、井上矩之：都市高速道路における流入調整による交通制御手法の事前評価、高速道路と自動車、2005.4
- 2) T.Yukimoto, M.Okushima, N.Uno, T.Daito; Evaluation of On Ramp Metering on Hanshin Expressway Using Traffic Simulator, The 9th World Congress on ITS, 2002
- 3) 大藤武彦、大窪剛文：阪神高速道路交通管制システムへのオンライン交通流シミュレーションの導入、交通工学、Vol.39、2004 No.2
- 4) K.Saita, F.Kurauchi, M.Okushima, T.Daito; “Establishment of HEROINE”, The 9th World Congress on ITS, 2002
- 5) 阪神高速道路公団; 阪神高速道路の交通管制に関する調査研究報告書、2000-2002