

交通流シミュレーションの開発と運用

業務部 交通管制課 野村 正 則
業務部 交通管制課 石井 康 裕

要 旨

平成 15 年 11 月、新交通管制システムの更新とともに開発を進めてきた交通流シミュレーション (HEROINE: Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator) が完成した。HEROINE は、リアルタイムの車両検知器データから将来の交通状況を予測するシミュレーションモデルであり、道路交通情報の高度化及び交通管制や維持補修等の業務の支援を目的として開発された。現在、精度向上に向けパラメータの調整を行っている段階であり、今後はユーザーインターフェイス等、情報提供方法の検討を行い、早期の本格運用を行っていく予定である。

キーワード: リアルタイム, メソシミュレーションモデル, ニューラルネットワークモデル, ブロック密度法

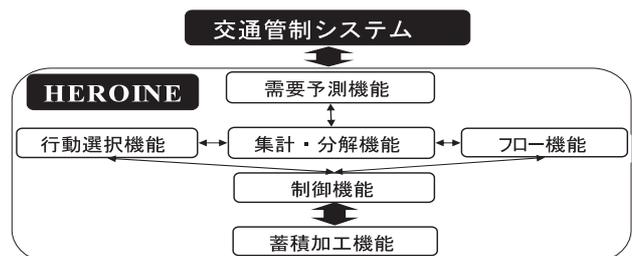
はじめに

2003 年 5 月より大阪地区において新交通管制システムの運用を開始した。この新システムでは、情報提供の高度化やデータウェアハウスの構築など様々な新機能を実現しているが、その一つとして交通流シミュレーション (HEROINE) が同年 11 月に完成した。供用延長 233.8km の阪神高速道路全線を対象としたシミュレーションモデルは、常時稼働するオンラインシステムとしては国内最大規模のものである。

本稿では、システム構成及びそのモデルの概要を述べ、次に、昨年度行ったシミュレーションの精度検証結果から問題点を指摘し、それらの改良検討内容および改良結果を報告し、最後に、今後の課題及び方針を述べる。

1. システムの概要

交通流シミュレーションモデルは、追従理論に基づいて車両 1 台 1 台を移動させるマイクロシミュレーションと区間の交通状況 (速度、密度) に基づいて車群として車両を移動させるマクロシミュレーションに大別される。HEROINE は、両者の中間に位置するメソシミュレーションモデルである。HEROINE のシステム機能から見た構成を整理すれば図-1 のとおりである。



1-1 需要予測機能

需要予測機能は、30分前から現在までの入口交通量の実績値に基づき、時系列予測手法（ニューラルネットワークモデル）（図-2）を用いて90分までの時間帯別流入交通量（5分毎）を予測する。さらに、OD調査から得られたランプ間遷移確率を用いて、オン・オフランプ間交通量を作成し、各車両の行動予定（走行経路等）を決定する機能を有している。

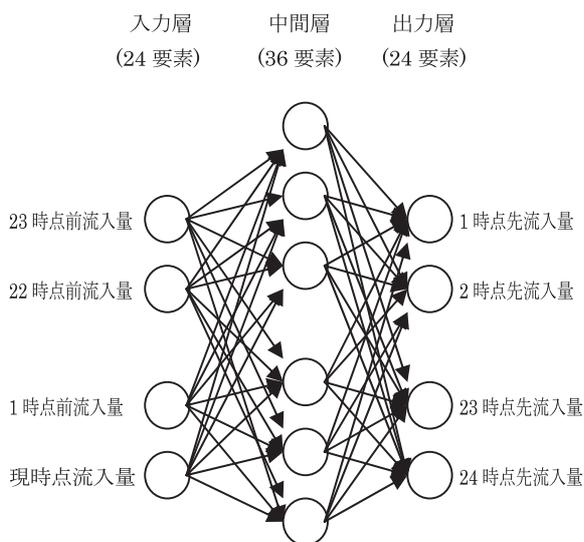


図-2 ニューラルネットワーク概念図

1-2 集計・分解機能

集計・分解機能は、個々の車両管理を行うものである。フローを予測するために、各車両の行動予定データに基づいて、区間単位の車群へと集約する。また逆に行動を予測するために、フロー機能で集約された車群を個々の車両へと分解する機能を有している。

1-3 フロー機能

フロー機能は、各区間の交通状況を算定・管理して、車群（車両）を上流側から下流側へと移動させる。なお、車両の移動は、阪神高速道路上はブロック密度法を、一般道路については、インプットアウトプット法を適用している。

1-4 行動選択機能

行動選択機能では、入路制御実施状況や交通情報提供に基づいて、各車両の行動を決定する。

1-5 制御機能

制御機能は、フロー機能で予測された交通状況に基づいて、入路閉鎖やブース制限などの交通制御を提案・実行する。HEROINEでは、「入路閉鎖制限方式」、「入路流入調整方式」、「LP制御方式」が適用可能である。

1-6 蓄積加工機能

蓄積加工機能では、シミュレーション予測結果を各種指標（交通量、所要時間、渋滞状況など）として出力・蓄積する機能である。

2. HEROINE の運用

まず、HEROINE へのインプットデータおよびアウトプットデータを表-1, 2に示す。

表-1 インプットデータ

分類	データ内容	備考
リアルタイム	交通流データ (交通量、速度、占有率)	車両検知器データ
	交通障害データ (工事、事故等)	交通管制卓
	入路制御データ (開口ブース数、閉鎖等)	交通管制卓
定数	ランプ間遷移確率	起終点調査
	入路制御パターン	管制要領
	KV式パラメータ	
	行動モデルパラメータ	
手動入力	交通障害、制御対象入路	

表-2 アウトプットデータ

項目	短期予測		長期予測	
	予測情報	施策介入	予測情報	施策評価
予測渋滞図	○	○		○
予測渋滞表	○			○
入路制御提案図	○	○	○	
入路制御提案表	○	○	○	○
予測所要時間図	○		○	○
予測所要時間表	○			○
交通予報図			○	
交通予報表			○	
料金所状況表				○
一般道路集計表				○

入力データは、大きく分けてリアルタイム、定数、手動入力の3種類ある。

リアルタイムデータは、車両検知器からの交通流データ、交通管制卓に入力された工事、事故等の障害データや入路制御状況のデータが直接インプットされる。

また、定数としては、第21回起終点調査結果から定められているランプ間遷移確率、入路閉鎖ブース制限方式に基づく入路制御パターン、Drakeの式を用いて路線毎に定めているKV式パラメータ、約2,000通のアンケート調査結果に基づく行動モデルパラメータなどがある。

さらに、手動入力として、施策介入する場合に用いる交通障害や制御入路がある。

運用方法については、表-3のとおりで、当面は交通管制業務の支援として運用することとなる。

表-3 HEROINE の運用方法

運用種別		運用方法	計算タイミング	予測期間	
短期予測	短期予測	オンライン	自動	5分毎	90分後まで
	施策介入		ユーザー入力	ユーザー要求都度	90分後まで
長期予測		自動	1時間毎	24時間後まで	
施策事前予測		オンライン	ユーザー入力	ユーザー要求都度	任意

なお、HEROINE のユーザーインターフェイスは、図-3 に示すとおりである。

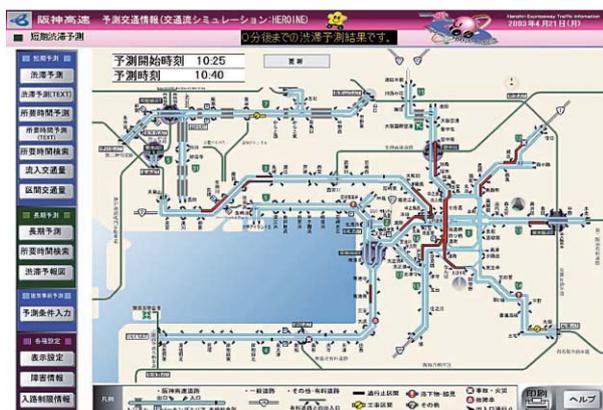


図-3 HEROINE のユーザーインターフェイス

短期予測では、90分後までの交通状況（渋滞状況、所要時間情報）を予測して交通管制員に提供するとともに、入路閉鎖・ブース制限等の制御提案を行って、交通管制員の監視業務や意志決定を支援する。この場合、規制や障害は90分後まで現在と同じ交通状況が継続することを前提としている。また、施策介入予測は、規制や制御などの交通運用施策を実施した場合の交通状況を予測して、施策案の妥当性や有効性について評価を行うためのものである。（図-4）長期予測は、24時間後までの交通状況を予測して、交通管制員の事前作業準備を支援するための機能である。施策事前予測では、工事規制の影響や各種交通施策をあらかじめ評価するため、任意の交通量（過去の特定日、休日平均交通量等指定）に基づいて交通状況を予測することが可能である。（図-5）

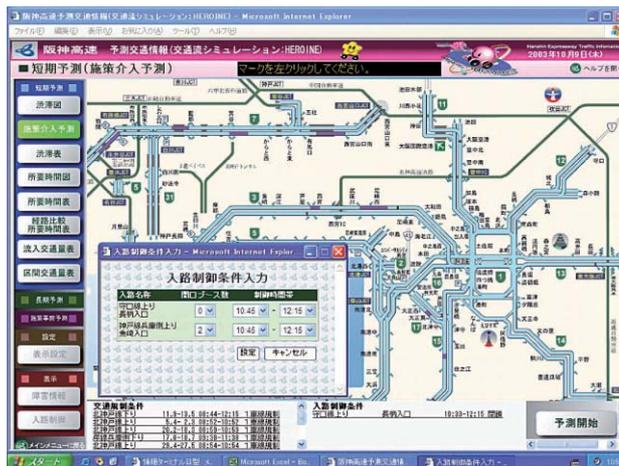


図-4 短期予測 施策介入 入力画面

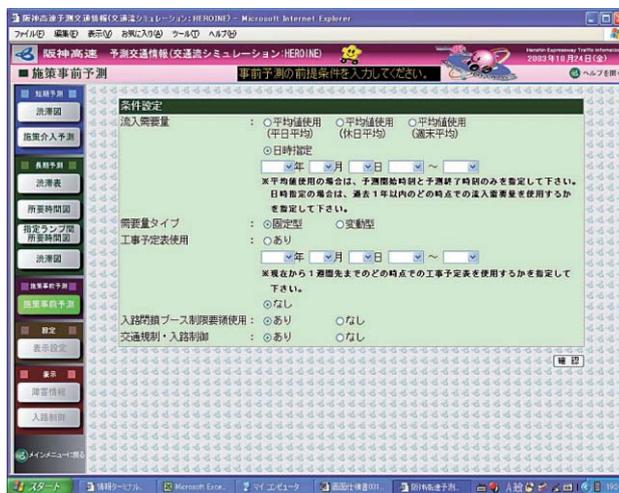


図-5 施策事前予測 入力画面

3. HEROINE の検証

3-1 検討概要

運用開始直後（平成 15 年 12 月 1 日（月）～平成 16 年 1 月 31 日（土）の 2 ヶ月間）のシミュレーション処理装置に蓄積したデータとデータウェアハウスに蓄積したデータを比較することで、シミュレーションモデルの再現性の検証を行った。

検証の対象は、短期予測と長期予測のデータとし、検証項目は、①流入交通量、②区間交通量、③渋滞状況、④所要時間とした。

3-2 流入交通量の検証

短期予測流入交通量は、予測開始時刻直前の流入交通量をもとに 90 分後までの入口から本線上に流入すべき交通量を、ニューラルネットワークによって予測している。ここでは、流入交通流の予測値と実績値を比較することによって予測精度を検証するが、予測単位時間である 5 分間交通量はばらつきが大きいことから、短期予測は 30 分間交通量に集約して比較する。全入路を対象として、交通状態の分類別に 30 分間交通量予測値と実績値の相関係数を見ると表 4 のとおりとなる。

表 4 流入交通量予測値と実績値の相関係数

交通状態	曜日	0-30 分後	30-60 分後	60-90 分後
自然渋滞時	平日	0.919	0.898	0.881
	休日	0.916	0.891	0.847
	週末	0.917	0.897	0.880
障害渋滞時	平日	0.907	0.867	0.847
	休日	0.946	0.934	0.918
	週末	0.880	0.853	0.836
自由流時	平日	0.884	0.853	0.818
	休日	0.899	0.876	0.857
	週末	0.897	0.880	0.860

表から、次のようなことがいえる。

- (1) 予測開始時刻から時間が経つにつれて相関係数は低くなるものの、全体的には相関はよいといえる。
- (2) 自然渋滞時と障害渋滞時ではそれほど相関係

数は変わらないが、自由流時はいくぶん低くなっている。この理由は流入交通量そのものが小さいため、予測値と実績値とでバラツキが大きいと推察される。

(3) 曜日による差は見られない。

また、表にはないが、各入路に着目して時間帯別に相関係数と誤差をみると、個々の入路による差異はあるものの、交通量の小さい夜間の相関係数が低くなっていることがわかる。しかしながら、誤差の平均値も小さく、それほど精度が悪いとは考えられない。

3-3 区間交通量の検証

予測開始後の 5 分間区間交通量の予測値と実績値の比較例を図 6 に、誤差（予測値－実績値）の平均値と分布を表 5 に示す。

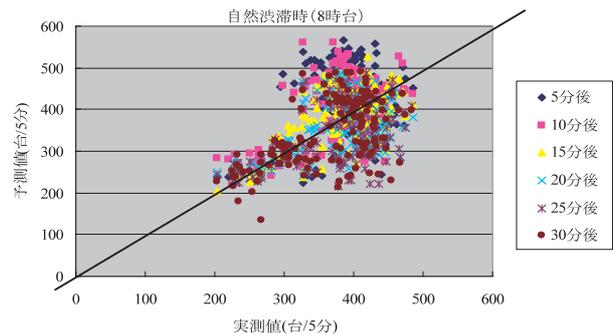


図 6 区間交通量予測値と実績値の比較

（環状線：信濃橋－土佐堀区間、午前 8 時台）

表 5 区間交通量の誤差の平均値と標準偏差

（大阪地区放射線計、自然渋滞時）（単位：台／5 分）

予測時間帯	N	5-10 分後		15-20 分後		25-30 分後	
		誤差平均	標準偏差	誤差平均	標準偏差	誤差平均	標準偏差
7-8	51	-33	58.2	-47	43.3	-18	36.5
8-9	50	5	44.8	-24	54.1	-20	48.4
9-10	98	40	68.8	35	71.9	17	75.6
10-11	145	52	68.7	27	71.0	31	71.1
11-12	95	19	69.8	18	43.8	30	64.2
12-13	56	29	55.4	6	36.8	15	49.9
13-14	41	1	38.8	-16	32.9	7	41.9
14-15	30	70	82.6	37	48.5	44	43.5
15-16	42	24	58.4	18	50.7	27	48.6
16-17	27	25	69.5	20	93.0	18	55.6
17-18	56	64	55.3	37	77.2	32	80.9
18-19	67	14	65.8	-47	65.5	-57	72.2
19-20	7	-8	40.5	-30	15.3	-12	25.1

以上から、次のようなことがいえる。

- (1) 全体的には、誤差の平均値及び標準偏差の実績交通量に占める割合を考慮すると、それほど精度は悪いとは考えられない。しかし、予測開始直後の誤差は相当程度大きい場合があり、時間の経過とともに縮小する傾向がうかがえる。これは、時間の経過とともにより精度の高い予測流入交通量の影響が大きくなるためであると思われる。
- (2) 図表にはないが、交通量の変動が大きい朝の出勤時間帯では、全体的に予測値のほうが過小に予測される傾向がある。これも予測流入交通量の影響を受けているものと考えられる。

3-4 渋滞予測値の検証

短期予測における路線別渋滞量と実績値を30分単位で比較すると、図-7に示すとおりである。

図から判断すると、全体的には、予測開始後90分までの渋滞量は概ね再現されているといえる。しかしながら、個別の渋滞に着目すると、過大もしくは過小に予測されている路線が指摘できる。

(過大に予測されている路線)

- 1 1号池田線 上り (塚本合流の渋滞)

(過小に予測されている路線)

- 1 4号松原線 上り (環状線からの延伸)
- 1 5号堺線 上り (環状線からの延伸)
- 1 6号大阪港線 上り (阿波座合流の渋滞)
- 3 号神戸線 下り (第二神明からの渋滞)
- 1 3号東大阪線 下り (高井田付近の渋滞)

これは、様々な要因が考えられるが、各路線の渋滞発生地点でのKV式のパラメータが適切でないと考えられる。

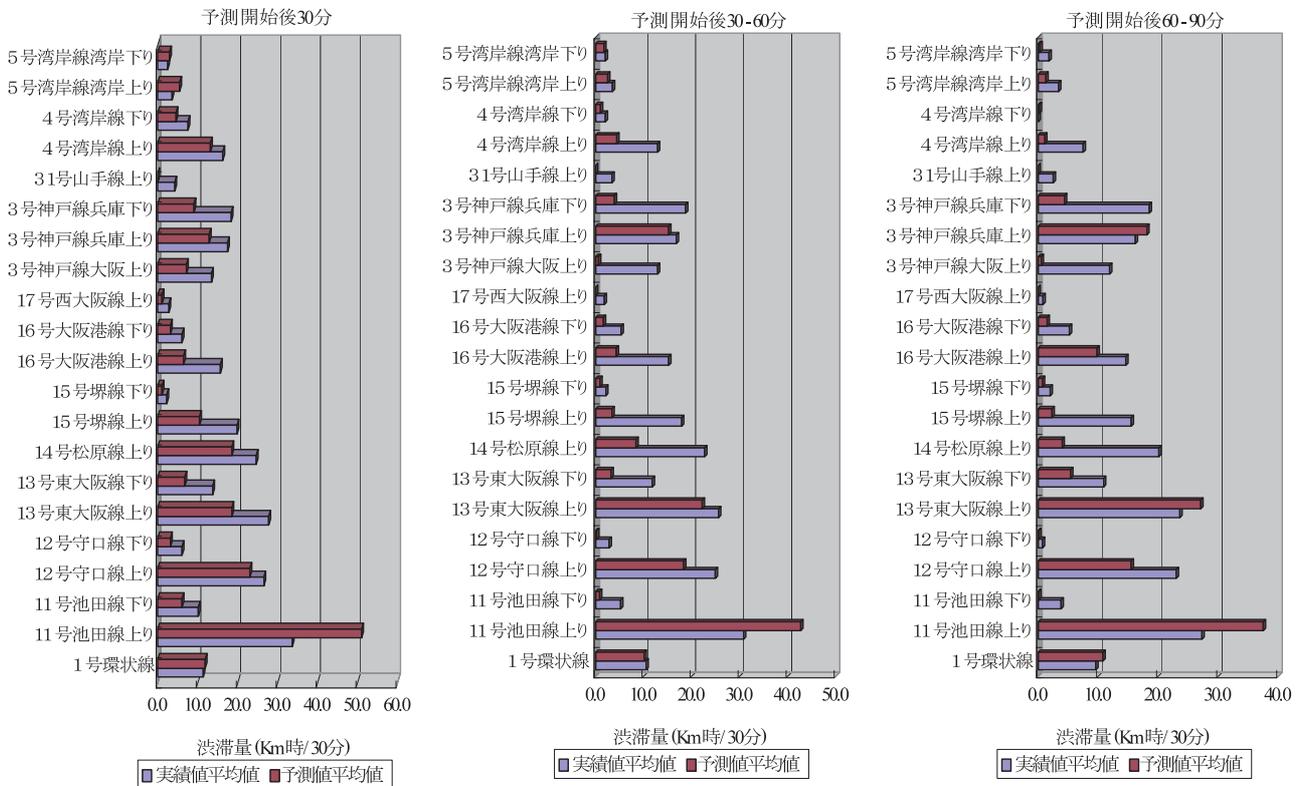


図-7 路線別渋滞量予測値と実測値の比較 (自然渋滞)

3-5 所要時間予測値の検証

所要時間予測値は、基本的には交通状態の予測結果に依存するため、渋滞予測値の検証と同様の傾向であることが容易に推察できるが、AVIによる所要時間計測値を真値として、シミュレーションによる同区間の所要時間予測値と比較することによって検証を行う。自然渋滞時における予測値と実績値の差の平均値が大きい区間をあげると、表-6のとおりである。これらは、渋滞予測結果における予測値と実績値の傾向とほぼ同様である。

表-6 所要時間予測値と実績値の比較
(自然渋滞時)

AVI区間	実績値平均(分)	予測値平均(分)	誤差の平均値(分)	誤差の標準偏差(分)
上豊中-福島	20.8	24.2	3.3	9.8
上堺-汐見橋	10.6	10.5	-0.1	4.2
上長田-森ノ宮	6.5	7.3	0.8	1.3
上守口-長柄	12.0	8.3	-3.6	6.3
上三宅-文の里	10.2	9.4	-0.8	2.8
上天保山-本田	9.8	4.0	-5.7	24.0
上甲子園-上北港	6.6	9.2	2.6	2.9
下湊町-堺	7.4	8.0	0.6	1.1
上柳原-上芦屋	13.6	13.6	0.1	2.9
上月見山-上柳原	5.2	6.0	0.8	1.6
下西宮-京橋	16.3	14.7	-1.6	3.4

4. HEROINE の改良検討と改良結果

4-1 再現性に係る問題点

再現性検証の結果、全体的な再現性は概ね良好であるが、下記の問題点があげられる。

(1) 流入交通量

- ①交通量が急激に変化する時間帯、特に朝の出勤時間帯における再現性が悪い。
- ②予測開始時刻から時間が経過するにしたがって、誤差が大きくなる傾向がうかがえる。

(2) 区間交通量

渋滞領域に係る高密度の場合においては、いくぶん密度が低く設定される傾向にある。

(3) 渋滞及び所要時間

- ①全体的に、予測渋滞量がいくぶん少ない。

②渋滞発生地点によって、誤差が大きく異なる。

4-2 改良検討の方針

それぞれの再現性に係る問題点に対して、次のような視点で精度向上に向けた検討を行う。

(1) 流入交通量

ニューラルネットワークモデルのパラメータ推定方法の改良

(2) 区間交通量

高密度領域におけるQK式の改良

(3) 渋滞及び所要時間

地点固有のKV式のパラメータへの設定

4-3 流入交通量予測方法の改良検討と改良結果

(1) 流入交通量予測方法の改良検討

ニューラルネットワークモデルの入力値を「直前5分間交通量+出力領域の平均値交通量」とし、結合係数を時間区分、教師データの蓄積期間、及び学習回数でいくつか設定して、代表的な入路を対象に予測精度の分析を行った。その結果、次のような条件で精度向上が可能であると評価された。

- ①入力値：直前12時間帯+平均値12時間帯
- ②教師データ：10日
- ③学習回数：2,000回

(2) 流入交通量予測方法の改良結果の確認

ニューラルネットワークモデルの改良を行った結果、実績値によく追従するように改良された。

(図-8)

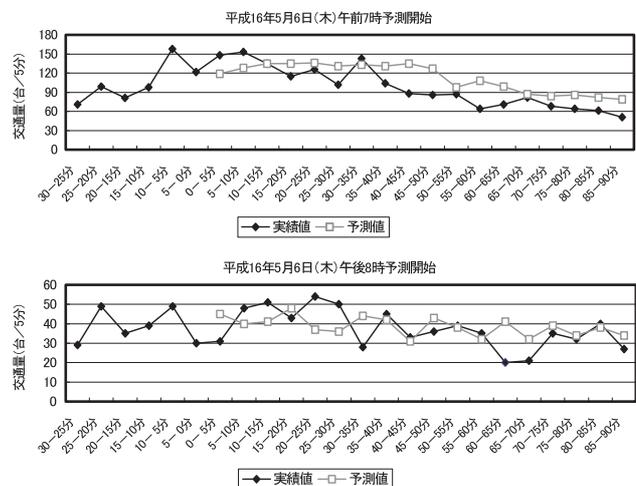
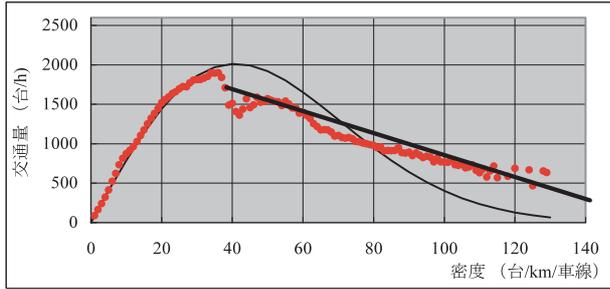


図-8 5分間流入交通量の予測値と実績値

4-3 高密度領域におけるQ K式の改良検討と改良結果

(1) Q K式の改良検討

高密度領域における密度の過小推定の問題を解決するために、非渋滞領域と渋滞領域ではQ Kの関係が非連続であるとして、渋滞領域を再現するモデル式を別途推定し、自由流領域と渋滞領域で別々に設定することとする。(図-9)



自由流領域の場合：Drake式

$$Q = KV \quad V = V_f e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{K}{K_0} \right)^2}$$

- Q: 交通量(台/h)
- V: 速度(Km/h)
- V_f: 自由速度(Km/h)
- K: 密度(台/Km)
- K₀: 基準(臨界)密度(台/Km)

渋滞領域の場合：Q = αK + β

- Q: 交通量(台/h)
- V: 速度(Km/h)
- α, β: パラメータ

図-9 高密度領域のQ K式設定の考え方

推定結果の例を図-10に示す。

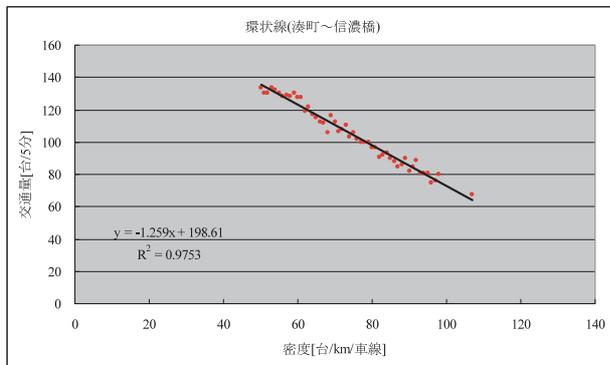


図-10 渋滞領域のQ K関係推定結果の例

(2) Q K式改良結果の確認

渋滞領域のQ K式を改良した後、代表的な渋滞

区間における予測開始後の交通量を比較したものを図-11に示す。検証において確認した区間交通量予測値と実績の乖離を勘案すると、改善されていることが明らかに見てとれる。

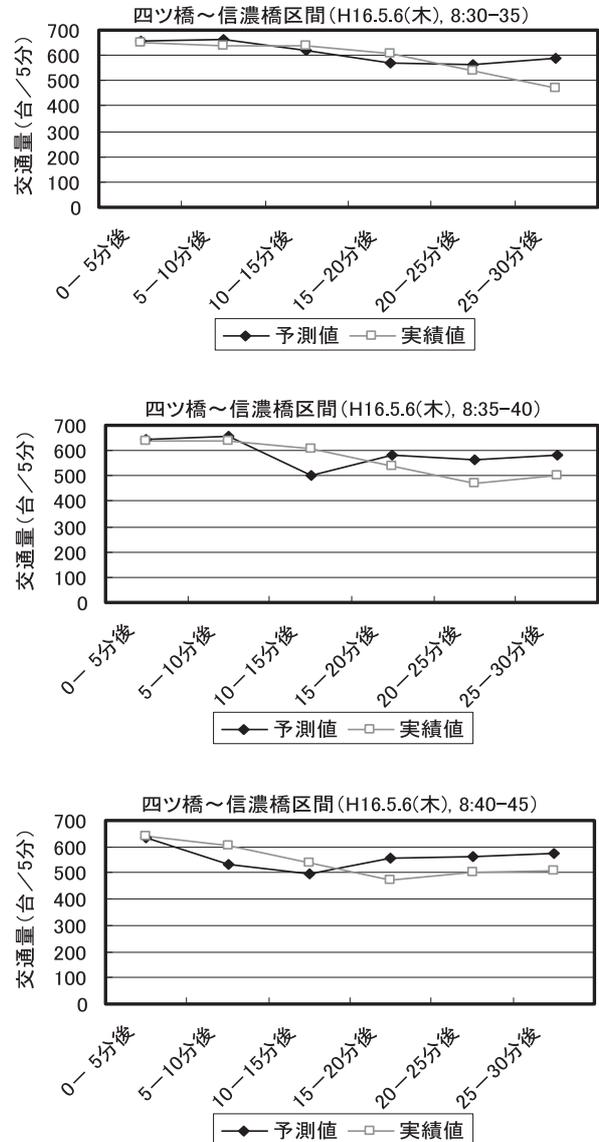


図-11 予測開始後の区間交通量比較

4-4 渋滞および所要時間予測方法の改良検討と改良結果

(1) 渋滞および所要時間予測方法の改良検討

渋滞予測結果に影響を与える要因としては、初期存在台数、流入交通量、ランプ間OD交通量、Q V式等さまざまな要因があるが、ここでは、最新の車両検知器データ(H15.9)に基づき渋滞発生地点に着目して、より望ましいKV式を設

定することとした。

(2) 渋滞予測値および所要時間予測値の確認

渋滞発生地点に着目し、K V式を再設定し所要時間予測値を再度比較した(表-7)。誤差の標準偏差がいくぶん小さくなっており、精度が若干向上したことが窺える。

渋滞予測および所要時間予測値は、初期存在台数設定や流入交通量等さまざまな要因により影響を受けるため、K V式の再設定だけでは、その影響を評価することが難しい。今後は長期間にわたりデータを蓄積し、評価していくことが必要であると考えられる。

表-7 所要時間予測値と実績値の再比較
(自然渋滞時)

AVI区間	実績値 平均 (分)	予測値 平均 (分)	誤差の 平均値 (分)	誤差の 標準偏 差(分)
上豊中-福島	17.0	26.2	9.2	5.2
上堺-汐見橋	6.5	8.8	2.3	0.8
上長田-森ノ宮	6.3	6.0	-0.3	0.8
上三宅-文の里	10.6	9.1	-1.5	1.1
上天保山-本田	11.4	3.4	-8.1	28.6
下湊町-堺	7.4	7.7	0.2	0.6
上柳原-上芦屋	12.0	13.7	1.7	1.0
上月見山-上柳原	4.3	5.8	1.5	0.9
下西宮-京橋	14.7	14.7	0	1.4

おわりに

本稿では、HEROINE による予測結果の検証とその改良方法および改良結果について述べてきたが、今後は、さらなる精度向上に向け、引き続き検証、改良検討を継続していく予定である。当面は、どれくらいの誤差であれば一般のドライバーに提供することが可能かどうかを検討し、その目標値を定める必要がある。まずは、交通障害のない状態での交通集中のみによる渋滞について精度を高め、将来的には、工事渋滞、事故渋滞といった予測の困難な状態でも十分対応できるよう改良を進めていかなければならない。また、ETCから得られるランプ間OD交通量データを活用し、ランプ間遷移確率を実態に近づけることにより、さらなる精度向上が期待される。

参考文献

- 1) 阪神高速道路の交通管制に関する調査研究報告書, 1999-2004.
- 2) Saita, Kurauchi, Okushima and Daito: Establishment of HEROINE (Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator), 9th ITS World Congress Proceedings 2002
- 3) Ishii, Yamaguchi, Fujii and Daito: Online Traffic Simulator (HEROINE) was started running in Hanshin Expressway Traffic control Center, 11th ITS World Congress Proceedings 2004

DEVELOPMENT AND OPERATION OF ONLINE TRAFFIC SIMULATOR ON THE HANSHIN EXPRESSWAY

Masanori Nomura, Yasuhiro Ishii

In November 2003, an online traffic simulator called HEROINE (Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator) was introduced on the Hanshin Expressway. HEROINE is a system to forecast traffic conditions and to evaluate various traffic measures within the Hanshin Expressway, with the purposes being to provide traffic forecasts information services, and to support traffic operations and maintenance operations respectively.