

旅行時間予測システムの開発

業務部 交通管制課 松尾 武
同部 同課 角野 正

要 約

交通管制システムの新しい機能として、5分ごとに収集される交通データを用いて、地点間の旅行時間をオンラインリアルタイムで予測するサブシステムを開発した。走行調査による実測値との比較では、予測値の誤差は5分以内であることがわかった。昭和64年度に導入予定の新システムでは、予測された旅行時間を、管制室の画像表示装置や入路、本線に新設する専用の表示板などに表示し、管制業務の支援や利用者への情報提供に活用する予定である。

まえがき

道路情報の提供は、利用者の最適な経路選択を可能とし、街路への迂回を促すことによって渋滞の悪化を防止することに効果がある。阪神高速道路の交通管制システムは、道路情報板と道路情報ラジオによって、渋滞の発生地点、長さ、原因などの情報を自動的に提供している。しかし、渋滞区間の走行速度は、渋滞の原因などによって異なり、同じ長さの渋滞でも通過するのに要する時間は大きく違ってくる。このため、地点間の旅行時間を道路情報として提供することを考え、旅行時間予測システムの開発を行った。

旅行時間の予測は、車群の流れを流体にアナロジーさせたモデルによって行い、予測値と実測値との差が5分以内であることを確かめたので、その概要を報告する。

1. 旅行時間予測システムの構成

旅行時間予測システムは、車両検知器により収集される5分ごとの交通データを用い、中央処理装置で旅行時間の予測計算を行って、管制室の画像表示装置、入路、本線の旅行時間表示板などに表示するものである。システムの構成を図-1に示す。

旅行時間表示板には、放射線上路では環状線合流部までの旅行時間、環状線や放射線下りでは放射線端末までの旅行時間が表示される。旅行時間表示板を写真-1に示す。

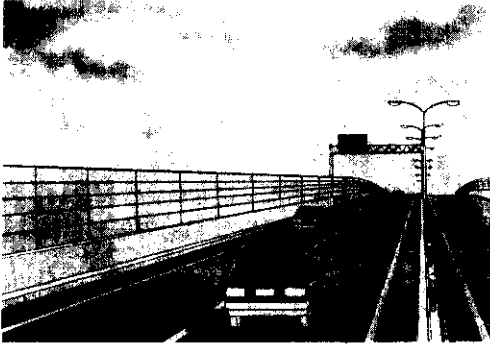


写真-1 旅行時間表示板の一例

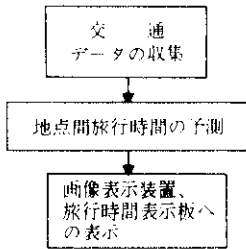


図-1 旅行時間予測システムの構成

2. 旅行時間予測方法

旅行時間の予測方法は、車両検知器データによる方法と、シミュレーションによる方法の2つを併用している。

2-1 車両検知器データによる方法

車両検知器データによる方法は、本線上に500m間隔で設置された車両検知器で全車交通量、高車交通量（高さ2.3m以上の車の台数）、時間占有率を測定し、次式で各区間の旅行時間を算定するものである。

$$T = D / V \quad \dots\dots (1)$$

$$V = \frac{Le(Q - Qh) + LhQh}{300 \cdot Ot / 100}$$

ここで

- T : 区間旅行時間 (sec.)
- D : 区間長
- V : 地点平均速度 (m/sec.)
- Q : 全車交通量 (台/5分)

Qh : 高車交通量 (台/5分)

Ot : 時間占有率 (%)

Le : 低車平均車長 (m)

Lh : 高車平均車長 (m)

この方法では、当該時刻における交通状態が継続するものと仮定して旅行時間を予測していることになる。

2-2 シミュレーションによる方法

シミュレーションによる旅行時間予測方法は、高速道路の交通状況を記述するモデルを作成し、これに当該時刻の交通データを初期値として入力して、将来の交通状況を予測し、さらに旅行時間の予測値を算定するものである。したがって、この旅行時間予測モデルは、旅行時間の予測のほか、渋滞の予測を行うことができ、入路制御や交通障害の状況を入力すれば、制御効果の予測や事故、故障車などの交通障害による影響の予測にも利用することができる。

3. 旅行時間予測モデル

旅行時間予測モデルは、渋滞シミュレーション部、外生変数予測部、旅行時間算定部から構成されている。これを図-2に示す。

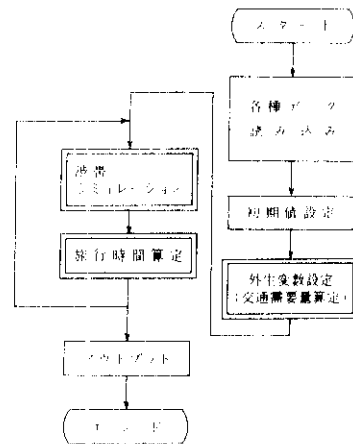


図-2 旅行時間予測モデルの構成

3-1 渋滞シミュレーション

モデルは、高速道路を区間単位で表示し、車群の流れを流体にアナロジーさせて計算を行うものである。シミュレーションは、演算速度を速めるため、路線ごとに分割して行うこととした。路線を約500mの区間に分け、区間内の交通状況は一律であるとして、区間単位で交通状況の変化を計算する。各区間に密度-速度特性を与え、この特性に従って車を進行させる。

ある時刻における当該区間に存在する車両台数は、1単位時間前のその区間の車両台数、上流区間からその区間に流入する台数、その区間から流出する台数によって決定される。車両は1単位時間に下流方向に最大1区間だけ進み、2区間以上は進まないものとする。このため、シミュレーションの単位時間を20秒とした。モデルの内部では、区間を単路部、オンランプ合流部、オフランプ分流部の3種類に分け、交通状況を算出している。計算は、下流区間から上流区間にむかって行う。モデル構造の概略を図-3に示す。

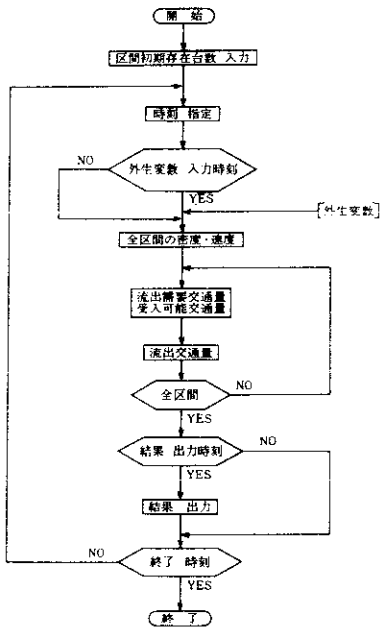


図-3 渋滞シミュレーションモデル構造の概略

3-1-1 単路部 (図-4 参照)

(1) 流出需要交通量 (I(I₀))

時刻 t から t + 1 の間に区間 I₀ から区間 I₁ に流出しようとする流出需要交通量 I(I₀) は、区間 I₀ が非渋滞状態か渋滞状態かによって異なり、非渋滞状態のときは密度-交通量特性に従い、渋滞状態のときは最大交通量 C(I₀) で与えられる。

(図-5、表-1 参照)

$$I(I_0) = \begin{cases} K(I_0) \times V(I_0) \times N(I_0) & K(I_0) \leq KC(I_0) \\ C(I_0) & K(I_0) > KC(I_0) \end{cases} \dots (2)$$

(2) 受入可能交通量 (Q_M(I₁))

時刻 t から t + 1 の間に区間 I₁ が受け入れることのできる受入可能交通量 Q_M(I₁) は、区間 I₁ が非渋滞状態か渋滞状態かによって異なり、非渋滞のときは最大交通量 C(I₁)、渋滞状態のときは密度-交通量特性によって与えられる。(図-6 参照)

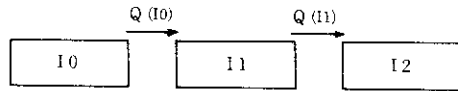


図-4 単路部

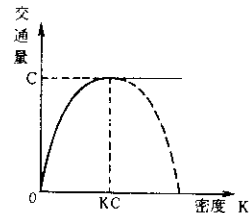


図-5 流出需要交通量

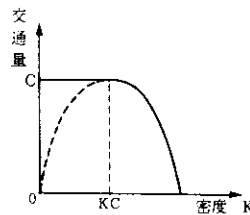


図-6 受入可能交通量

表-1 変数名リスト

K (I)	区間 I の密度
KC (I)	区間 I の臨界密度
V (I)	区間 I の速度
N (I)	区間 I の車線数
L (I)	区間 I の区間長
C (I)	区間 I の交通容量
IM (I)	区間 I の存在台数
I (I)	区間 I から流出しようとする流出需要交通量
QM (I)	区間 I が受け入れることのできる受入可能交通量
Q (I)	区間 I から実際に流出した流出交通量
IN (J)	オンランプ J から本線に流出しようとする流出需要交通量
CN (J)	オンランプ J の料金所の交通容量
CX (J)	オンランプ J の本線との合流部の交通容量
QN (J)	オンランプ J から本線へ実際に流出する交通量
QB (J)	オンランプ J の料金所を通過する交通量
D (J)	オンランプ J に到着する到着交通量
W (J)	オンランプ J の料金所で流入待ちしている車両台数
X (J)	オンランプ J の料金所-合流部間で合流待ちしている車両台数
Y (J)	オンランプ J の料金所-合流部間の待ち台数の上限
IF (J)	オンランプ J へ流出しようとする流出需要交通量
QF (J)	オンランプ J へ流出する流出交通量

$$QM(I_i) = \begin{cases} C(I_i) & K(I_i) \leq KC(I_i) \\ K(I_i) \times V(I_i) \times N(I_i) & K(I_i) > KC(I_i) \end{cases} \dots (3)$$

(3) 流出交通量 (Q (I_o))

時刻 t から t + 1 の間に上流区間 I_o から下流区間 I_i へ進行する交通量 Q (I_o) は、上流区間の流出需要交通量 I (I_o) と下流区間の受入可能交通量 QM (I_i) の小さい方の値となる。

$$Q(I_o) = \text{Min} (I(I_o), QM(I_i)) \dots (4)$$

(4) t + 1 時の存在台数 (IM* (I_i))

時刻 t における区間 I_i の存在台数を IM (I_i) とすると、時刻 t + 1 の区間 I_i の存在台数 IM* (I_i) は、次のように算出される。

$$IM^*(I_i) = IM(I_i) + Q(I_o) - Q(I_i) \dots (5)$$

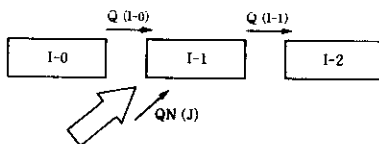


図-7 オンランプ合流部

3-1-2 オンランプ合流部 (図-7 参照)

オンランプ合流部の処理は、合流部の処理とオンランプ部の処理とに分かれる。

(1) 流出需要交通量 (I (I_o)、IN (J))

上流区間 I_o からの流出需要交通量は単路部の場合と同様である。オンランプ J からの流出需要交通量 IN (J) は、時刻 t における料金所-合流部間の待ち台数 X (J) と時刻 t から t + 1 のあいだに料金所を通過しようとする台数の和で表される。

$$I(I_o) = \begin{cases} K(I_o) \times V(I_o) \times N(I_o) & K(I_o) \leq KC(I_o) \\ C(I_o) & K(I_o) > KC(I_o) \end{cases} \dots (6)$$

料金所を通過しようとする台数は、需要交通量が料金所の交通容量に達しているかどうかで異なり、IN (J) の値はこの両者の小さい方となる。

$$IN(J) = \text{Min} (X(J) + CN(J), X(J) + W(J) + D(J)) \dots (7)$$

(2) 受入可能交通量 (QM (I₁))

区間 I₁ が時刻 t から t + 1 のあいだに受け入れることができる台数は、単路部の場合と同様である。

$$QM(I_1) = \begin{cases} C(I_1) & K(I_1) \leq KC(I_1) \\ K(I_1) \times V(I_1) \times N(I_1) & K(I_1) > KC(I_1) \end{cases} \dots\dots (8)$$

(3) 流出交通量 (Q (I₀), QN (J))

時刻 t から t + 1 の間に上流区間 I₀ およびオンランプ J から区間 I₁ に流出する交通量 Q (I₀), QN (J) は、次式で表される。

$$Q(I_0) = \text{Min} (I(I_0), QM(I_1)) \dots\dots (9)$$

$$QN(J) = \text{Min} (IN(J), CX(J), QM(I_1)) \dots\dots (10)$$

すなわち、オンランプ J からの流出交通量は、流出需要交通量、オンランプ交通容量、下流区間 I₁ の受入可能交通量の最小値となる。

上式による計算の結果、区間 I₀ およびオンランプ J からの流出交通量の和が区間 I₁ の受入可能交通量よりも大きくなれば、次の手順で流出交通量の修正を行う。

1) 受入可能交通量 QM (I₁) を区間 I₀ の交通容量 C (I₀) とオンランプ J の交通容量 CX (J) の比で配分する。

$$QM_{I_0} \cdot I_1 = QM(I_1) \times C(I_0) / (C(I_0) + CX(J)) \dots\dots (11)$$

$$QM_{MJ} \cdot I_1 = QM(I_1) \times CX(J) / (C(I_0) + CX(J)) \dots\dots (12)$$

2) 比例配分された受入可能交通量と流出需要交通量とを比較し、流出需要交通量の方が大きければ、受入可能交通量を流出交通量とする。

I(I₀) ≥ QM_{I₀} · I₁ かつ IN(J) ≥ QM_{MJ} · I₁ ならば

$$Q(I_0) = QM_{I_0} \cdot I_1, \quad QN(J) = QM_{MJ} \cdot I_1$$

3) 片方の流出需要交通量が、配分された受入可能交通量より小さければ、以下の処理を行い、流出交通量を決定する。

I(I₀) < QM_{I₀} · I₁ ならば

$$Q(I_0) = I(I_0)$$

$$QN(J) = QM(I_1) - I(I_0)$$

$$IN(J) < QM_{MJ} \cdot I_1 \text{ ならば}$$

$$Q(I_0) = QM(I_1) - IN(J)$$

$$QN(J) = IN(J)$$

すなわち、上流区間 I₀ およびオンランプ J からの流出需要交通量が双方とも十分にあるとき 2) の場合となり、区間 I₀ およびオンランプ J の交通容量の比に配分されることになる。

(4) t + 1 時の存在台数 (IM* (I₁))

時間 t における区間 I₁ の存在台数を IM (I₁) とすると時刻 t + 1 の区間 I₁ の存在台数は、次式で算出される。

$$IM^*(I_1) = IM(I_1) + Q(I_0) + QN(J) - Q(I_1) \dots\dots (13)$$

(5) オンランプ部処理 (図 - 8 参照)

1) 料金所通過台数 (QB(J))

時刻 t から t + 1 の間に料金所を通過する料金所通過交通量 QB(J) は、次の 3 つの場合の最小値で決定される。

- a) 料金所待ち行列がなくなる場合
- b) 料金所 - 合流部間の待ち行列が料金所まで伸びる場合
- c) 料金所待ち行列がなくなる場合

上記の 3 つの場合は、それぞれ次式の第 1 項、第 2 項、第 3 項に対応する。

$$QB(J) = \text{Min} (W(J) + D(J), Y(J) + QN(J) - X(J), CN(J)) \dots\dots (14)$$

2) t + 1 時の待ち台数 (X*(J), W*(J))

時刻 t における料金所 - 合流部間の待ち台数を X (J)、料金所における待ち台数を W (J) とすると、時刻 t + 1 のそれぞれの待ち台数 X* (J)、W* (J) は、次のように算出される。

$$X^*(J) = X(J) + QB(J) - QN(J) \dots\dots (15)$$

$$W^*(J) = W(J) + D(J) - QB(J) \dots\dots (16)$$

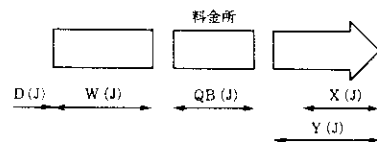


図 - 8 オンランプ部

3-1-3 オフランプ分流部 (図-9 参照)

オフランプJからの流出交通量は、分岐率P(J)を用いて流出させる。区間I₀の交通量のうちP(J)は区間I₁へ進行し、(1-P(J))はオフランプJへ流出する。

(1) 流出需要交通量 (I(I₀), IF(J))

上流区間I₀から下流区間I₁およびオフランプJへの流出需要交通量I(I₀)、IF(J)は、それぞれ次式で表される。

$$I(I_0) = \begin{cases} K(I_0) \times V(I_0) \times N(I_0) \times P(J) & K(I_0) \leq KC(I_0) \\ C(I_0) \times P(J) & K(I_0) > KC(I_0) \end{cases} \dots (17)$$

$$IF(J) = \begin{cases} K(I_0) \times V(I_0) \times N(I_0) \times (1 - P(J)) & K(I_0) \leq KC(I_0) \\ C(I_0) \times (1 - P(J)) & K(I_0) > KC(I_0) \end{cases} \dots (18)$$

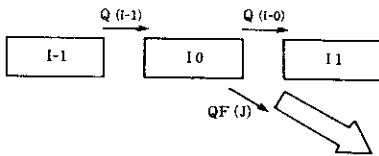


図-9 オフランプ分流部

(2) 受入可能交通量 (QM(I₁))

下流区間I₁の受入可能交通量は、単路部の場合と同様である。

$$QM(I_1) = \begin{cases} C(I_1) & K(I_1) \leq KC(I_1) \\ K(I_1) \times V(I_1) \times N(I_1) & K(I_1) > KC(I_1) \end{cases} \dots (19)$$

(3) 流出交通量 (Q(I₀), QF(J))

区間I₁への流出交通量Q(I₀)は、流出需要交通量I(I₀)と受入可能交通量QM(I₁)との小さい方となり、オフランプJへの流出交通量QF(J)は、Q(I₀)と分岐率P(J)を用いて、それぞれ次式のように表される。

$$Q(I_0) = \text{Min}(I(I_0), QM(I_1)) \dots (20)$$

$$QF(J) = Q(I_0) \times (1 - P(J)) / P(J) \dots (21)$$

(4) t+1時の存在台数 (IM*(I₀))

時刻tにおける区間I₀の存在台数をIM(I₀)とすると、時刻t+1の区間I₀の存在台数IM*(I₀)は、次のように表される。

$$IM^*(I_0) = IM(I_0) + Q(I_1) - Q(I_0) - QF(J) \dots (22)$$

3-2 外生変数予測

旅行時間予測モデルを管制業務や情報提供で利用するときには、おおよそ1時間先の交通状況まで予測できれば十分に実用的であると考えられる。モデルにより予測される交通状況の精度は、渋滞シュミレーションに外生変数として入力するオフランプ到着交通量の予測値の精度に大きく依存する。

オフランプ到着交通量の予測には、1日の交通量の変動パターンを利用した次式が考えられている。

$$Z(t + \tau) = \alpha(\tau)Y_1(t + \tau) + (1 - \alpha(\tau))Y_2(t + \tau) \dots (23)$$

ここに

Z(t + τ): 時刻tにおけるτ時間先の予測値

Y₁(t + τ): 累積交通量による方法で求めた予測値

Y₂(t + τ): 指数平滑を利用した方法で求めた予測値

α(τ): 2つの方法の重み

2つの方法に重みをつけて合成しているのは、累積交通量による方法で求めた予測値は遠い予測時点で、指数平滑を利用した方法で求めた予測値は近い予測時点で精度が良くなるためである。

3-2-1 累積交通量による方法

この方法では、あらかじめ5分ごとの交通量の平均値データを算定し、交通量の変動パターンを作成しておく。ある時点tにおける平均値AV(t)は、次の式によって求める。

$$AV(t) = \sum_{i=0}^n X_i(t) / n \dots (24)$$

ここで

$AV(t)$: 時点 t における平均値

n : データを集積した日数

$X_i(t)$: i 日目の時点 t における交通量

予測日の交通量を逐次加算し、予測時点 T までの交通量の合計を求める。予測日の平均値データに対する増減の程度を調べるため、求めた合計値と平均値データの T 時点までの合計値の比をとる。

$$P(t) = \frac{\sum_{i=0}^T X_{n+i}(t)}{\sum_{i=0}^T AV(t)} \quad \dots\dots (25)$$

ここで

$X_{n+i}(t)$: 予測日における時点 t の交通量

$P(t)$: 時刻 t における補正值

この補正值により、 τ 時点先の予測値を次式で求める。

$$Y(t + \tau) = P(t) \cdot AV(t + \tau) \quad \dots\dots (26)$$

ここで

$Y(t + \tau)$: 時刻 T における τ 時点先の予測値

3-2-2 指数平滑を用いる方法

累積交通量による方法での補正值には、予測日の予測時点までのデータにすべて同じウェイトがかけられているが、指数平滑を用いる方法では、予測時点に近い時刻のデータほど大きなウェイトがかけられる。

予測日には、次式で逐次、かい離率（時刻 t における平均値データと予測日の交通量との比）を求める。

$$F(t) = X_{n+i}(t) / AV(t) \quad \dots\dots (27)$$

$$Q(t) = \beta F(t) + (1 + \beta)Q(t-1) \quad \dots\dots (28)$$

ここで

$F(t)$: t 時点におけるかい離率

$Q(t)$: t 時点における補正值

β : 平滑定数

この補正值を用い、次式で予測時点 T における τ 時点先の予測値を求める。

$$Y(t + \tau) = Q(t) \times AV(t + \tau) \quad \dots\dots (29)$$

ここで

$Y(t + \tau)$: 予測時点 T における τ 時点先の予測値

3-3 旅行時間算定

地点間の旅行時間の算定は、渋滞シミュレーションにおいて、上流地点と下流地点を通過する車両の累積台数が等しくなる時間差として求める。これを図示すると図-10のとおりである。

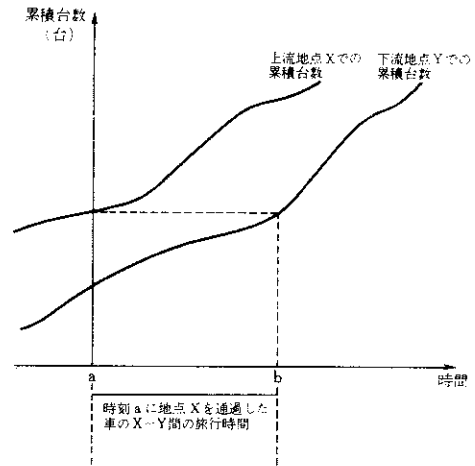


図-10 シミュレーションによる旅行時間の算定方法

4. 旅行時間予測の精度

旅行時間予測の精度を調べるため、試験車による走行調査を行った。調査は、堺入路から環状線合流部までの約12kmを対象地点間とし、第1回目には、午前6時から正午まで毎正時に、第2回目には、午前9時から正午まで20分ごとに試験車を発車させて行った。1回目は、試験車による実測値と車両探知器データによる予測値、2回目は、実測値と車両探知器データ、およびシミュレーションの2つの方法による予測値との比較を行った。結果は、図-11、図-12に示すとおりである。シミュレーションによる方法では、実測値との誤差が5分以内、車両探知器による方法でも、1ケースを除くと、誤差は5分以内となっており、両者とも十分に実用性のある精度が得られた。2つの旅行時間予測方法には、それぞれ表-2に示すよ

うな特長や課題があるため、システムでは、両者を併用しながら、さらに精度の向上を図っていくこととしている。

表-2 旅行時間予測方法の比較

方法	シミュレーションによる方法	車両検知器データによる方法
特長	<ul style="list-style-type: none"> 旅行時間以外の交通状況も予測 モデル構造明確で改良可能 渋滞の延伸衰退時に有効 	<ul style="list-style-type: none"> 計算が容易 演算時間が小 平常時、定常渋滞時に有効 オンライン化が容易
課題	<ul style="list-style-type: none"> 外生データに予測結果が依存 	<ul style="list-style-type: none"> 渋滞変化に追従し難い

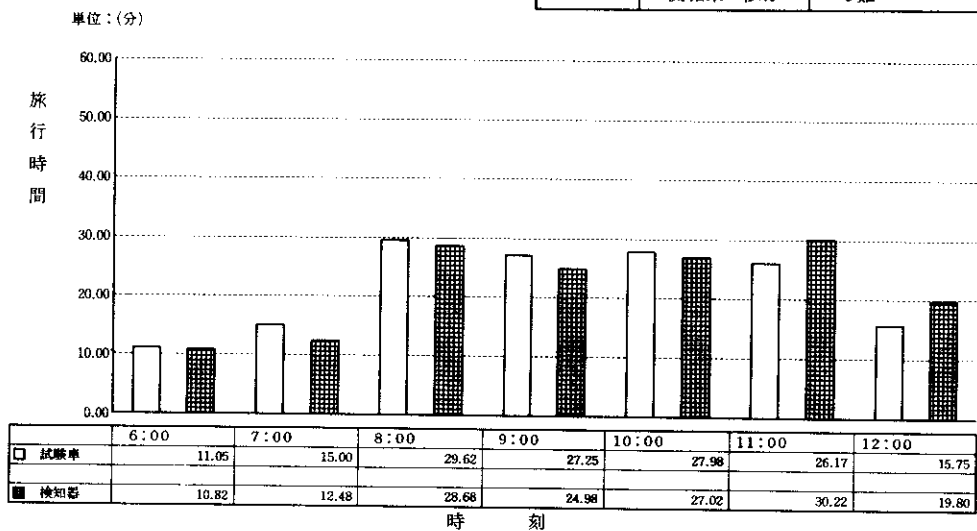


図-11 旅行時間予測の精度調査 (第一回目)

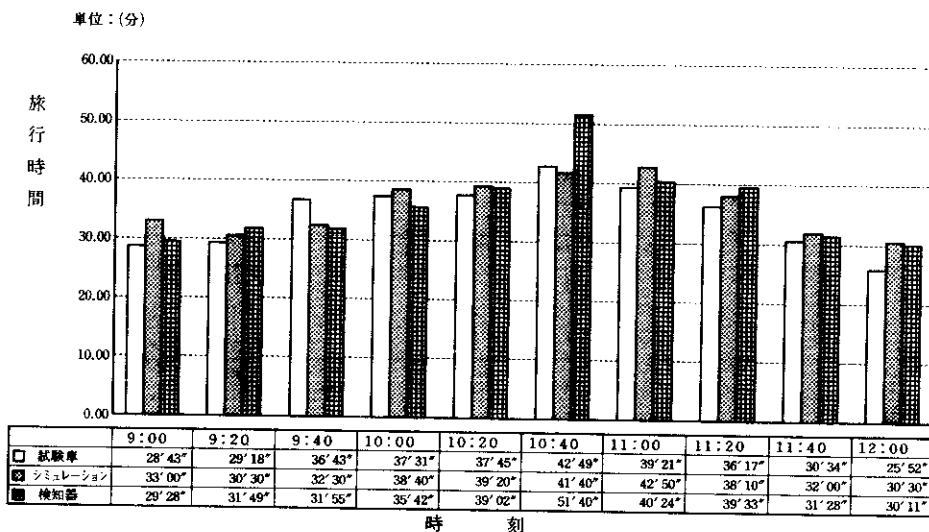


図-12 旅行時間予測の精度調査 (第二回目)

あとがき

交通管制システムの新しい道路情報提供施設としては、主要地点までの旅行時間を表示する旅行時間表示板のほか、道路網図に渋滞区間を表示する図形表示板、自動的に音声情報を提供する自動電話案内、パーキングエリアで画像情報と音声情報を提供する道路情報ターミナルなどが新設される予定である。阪神高速道路網の効率的な運用と、利用者サービス向上のため、交通管制システムによる情報提供機能の充実に、今後も一層努力したいと考えている。

最後に、システム開発をご指導いただいた京都大学の井上矩之助教授、秋山孝正助手、交通施設計画研究室の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 井上、秋山、山西、都市高速道路の渋滞、旅行時間予測オンラインシミュレーションモデル、昭和60年度関西支部年次学術講演概要集
- 2) 井上、松尾、秋山、阪神高速道路の旅行時間予測方法について、昭和62年度土木学会第42回年次学術講演会論文集