

## 予測誤差を考慮した予測情報提供効果についての分析 Influence of Prediction Errors in Traffic Conditions on Dynamic Route Guidance

吉井稔雄\*\*, 赤羽弘和\*\*\*, 桑原雅夫\*\*\*\*

Toshio YOSHII\*\*, Hirokazu AKAHANE\*\*\*, Masao KUWAHARA\*\*\*\*

### 1. はじめに

ITS技術が普及する中で、ドライバーに提供される情報が交通状況にどのような影響を及ぼすかについて把握することが急務となっている。

そこで、本研究では1時間先までの交通状況の予測を行い、その予測に基づいた動的な予測交通情報を提供した場合に、予測情報が交通状況に与える影響について、予測精度との関係を考慮した分析を行った。具体的には、過飽和ネットワークでの交通状況の再現が可能なシミュレーションモデル(SOUNDモデル)<sup>(1)</sup>を首都高速道路ネットワークに適用し、情報をどの程度利用して経路選択行動を行うかというドライバーの属性と予測情報の精度が、交通状況にどのような変化を及ぼすかについて定量的な評価を行った。

### 2. 既往の研究と本研究の特徴

予測交通情報を提供した場合の交通への影響について研究した例として、吉井ら<sup>(2)</sup>により、高精度の予測情報を提供した場合にはおおむね交通状況が改善されることが報告されている。しかし、実際には正確に交通状況を予測して情報を提供するのは不可能であり、さまざまな誤差要因による予測誤差が含まれることになる。そこで、本研究では、提供される予測情報の精度を考慮した上で、その精度の違いによる比較ならびに現況情報を提供した場合との比較を行い、予測情報の提供が交通に与える影響を評価するものである。

本研究の特徴は、現実のネットワークと調査により推定されたOD交通量を用いて評価を行った点にある。これにより、一般的な仮想ネットワークによる分析を行った場合と比較して、より現実的な条件下で、予測

情報提供の可能性・必要性についての議論が可能になった。

### 3. シミュレーションモデルの概要

#### 3.1 シミュレーションの概要

シミュレーションの詳細については、文献<sup>(2)</sup>に記述されているので、ここでは簡単に説明する。

シミュレーションモデルは、現況再現モデルと予測モデルの2つのモデルで構成される。現況再現モデルにおける経路選択は、予測モデルから得られる予測情報を基に行われる。すなわち、現況再現モデルから、各経路改定時刻(間隔 $\Delta T = 5$ 分)に交通状況データが予測モデルに引き渡され、経路選択を除いては現況再現モデルと同じロジックを有する予測モデルを用いて、各改訂時刻から1時間先までの交通状況を予測する。この予測交通状況を現況再現モデルに返し、それに基づいて各車両の経路を決定した後、次の経路改定時刻まで現況再現モデルを実行させる仕組みである(図1)。

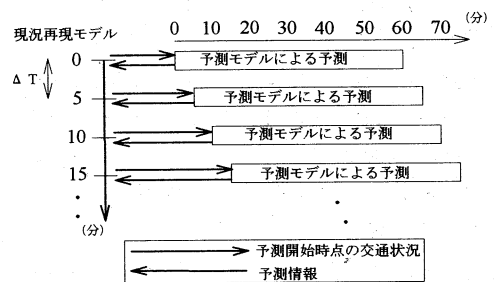


図1 モデルの概要

#### 3.2 経路選択モデル

本研究では、ドライバーの属性を以下の2種類に分類した。

##### 1. 経路固定層

この層は、情報による経路選択を行わないドライバー群である。この層には分岐点において目的地別に設

\*キーワード: 交通情報, 経路選択

\*\*正会員、工修、東京大学生産技術研究所  
(〒106 港区六本木 7-22-1, TEL 03-3402-6231, FAX 03-3401-6286)

\*\*\*正会員、工博、千葉工業大学  
(〒275 習志野市津田沼 2-17-1, TEL 0474-78-0444, FAX 0474-78-0474)

\*\*\*\*正会員、Ph.D、東京大学生産技術研究所  
(〒106 港区六本木 7-22-1, TEL 03-3402-6231, FAX 03-3401-6286)

定された経路選択率に基づいて分岐させる。なお、その経路選択率は、自由走行時における旅行時間に基づき、ロジットモデル（パラメータ  $\theta$ ）を用いて計算される。

## 2. 経路選択層

この層は、車載器を介してネットワーク全体の情報を得ることができるドライバー群であり、各分岐点到達時に情報により旅行時間が最短と判断される経路を選択する。

### 3. 3 予測誤差について

現実にはシミュレーションモデルを用いて交通状況の予測を行い、予測情報を提供する状況を想定すると、以下に示す要因により予測誤差が生じる。

- ① 予測時間帯に新たにネットワークに流入するOD交通量の予測誤差
- ② 予測モデルの現況再現の精度に起因する誤差
- ③ 予測開始時点における現況把握の誤差
- ④ 経路選択行動の予測誤差

本解析においては、要因①②③による誤差をまとめて予測誤差として考慮し、予測シミュレーションから得られる予測情報に誤差を付加した場合と、付加しない場合（以後誤差なしと表現する）、ならびに現在情報を提供した場合についてシミュレーションを実行し比較検討した。

#### 予測誤差の与え方

経路選択モデルでは、各経路の中から最短の旅行時間と予測される経路を選択するので、予測情報の誤差を各経路の予測旅行時間に与えた。

この誤差の与え方について、大きく分けて以下の二つの方法が考えられる。

- a) リンク単位で誤差を与える方法
- b) 対象とする経路ごとに誤差を与える方法

#### a) リンク単位で誤差を与えた場合

リンク  $a$  の予測旅行時間を  $t_a$  とし、その誤差  $\epsilon_a$  は正規分布  $N(0, (\alpha t_a)^2)$  に従うものと仮定すると、各リンクの誤差を含ませた予測旅行時間  $\hat{t}_a$  は、

$$\hat{t}_a = t_a + \epsilon_a \quad (1)$$

となり、リンク数  $n$  からなる経路  $p$  を考えた場合に

は、その経路の予測誤差を考慮した予測旅行時間  $\hat{T}_p$  は

$$\hat{T}_p = \sum_a \hat{t}_a = \sum_a t_a + \sum_a \epsilon_a = T_p + \epsilon_p \quad (2)$$

$$\epsilon_p \sim N(0, (\alpha \sqrt{\sum_a t_a^2})^2)$$

となる。

経路  $p$  の旅行時間に含まれる誤差  $\epsilon_p$  の標準偏差が経路の旅行時間にしめる割合は、

$$(\alpha t_a) / t_a = \alpha > (\alpha \sqrt{\sum_a t_a^2}) / T_p \approx \alpha / \sqrt{n} \quad (3)$$

$T_i$ : 経路  $i$  の予測旅行時間

となり、経路上のリンクの数が多くなると誤差の割合は小さくなってしまう。

#### b) 対象とする経路ごとに誤差を与えた場合

ほぼ同じ傾向の誤差を持つと考えられる2つの経路  $i$  と  $j$  (図2) にも、それぞれ独立に誤差を与えるので、誤差の傾向が異なるという問題が生じる。

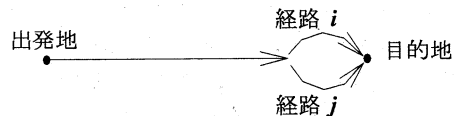


図2 矛盾を生じる例

このように、いずれの方法にも問題が残されているので、本研究においては以下のような方法で誤差を設定した。

各リンクごとの予測旅行時間  $t_a$  に正規分布  $N(0, (\alpha t_a)^2)$  に従う予測誤差を与え  $\hat{t}_a$  とし、誤差を含んだ経路の予測旅行時間  $\hat{T}_p$  を、

$$\hat{T}_p = T_p + \epsilon_p = T_p + (\sum_a \hat{t}_a - \sum_a t_a) / (\sum_a t_a / \sqrt{\sum_a t_a^2}) \quad (4)$$

とする。このとき、

$$\begin{aligned} \text{Var}\{\epsilon_p\} &= \text{Var}\{(\sum_a \hat{t}_a - \sum_a t_a) / (\sum_a t_a / \sqrt{\sum_a t_a^2})\} \\ &= \{(\sum_a t_a)^2 / (\sum_a t_a^2)\} \cdot \text{Var}\{\sum_a \hat{t}_a - \sum_a t_a\} \\ &= \{(\sum_a t_a)^2 / (\sum_a t_a^2)\} \cdot \alpha^2 \cdot (\sum_a t_a^2) \\ &= (\alpha T_p)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

となり、同じ区間を持つ経路どうしは同じ傾向の誤差が与えられ、経路単位では、同じ程度の誤差が含まれることになる。

しかし、この方法により誤差の設定を行った場合にも、加法則が成立しないという問題点が残っている。例えば図3に示すリンク  $a$  と  $b$  からなる経路  $p$  では、 $\hat{T}_p \neq \hat{t}_a + \hat{t}_b$  となる矛盾を生じる。

今後、誤差の与え方についてはおおいに議論の余地

が残されているといえる。

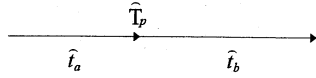


図3 矛盾する例

#### 4. 首都高速道路への適用

##### 4.1 対象ネットワークおよび交通需要

図4は、シミュレーションを適用した首都高速道路のネットワークを示したものである。表1にネットワークの詳細ならびにシミュレーションの設定条件を示す。なお、情報提供による効果をより明確にさせるため、図中の★印の地点に事故を想定した。事故は、交通容量の低下をもって表現し、7時～8時の1時間継続したものとした。

表1 対象ネットワークと計算条件

ネットワーク		シミュレーション設定条件	
総延長	約240k	パケットサイズ	3台
リンク数	820	スキャン Δt	3秒
ノード数	778	経路更新間隔 ΔT	5分
発生ノード数	142	シミュレーション対象時間	午前4～11時
集中ノード数	149	発生交通量	約35万台
		経路選択層の割合	50～100%

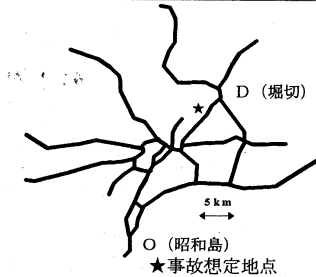


図4 首都高速道路ネットワーク

##### 4.2 予測誤差

提供される情報として、以下の4種類を想定した。

1. 現在情報
2. 予測情報 (誤差なし)
3. 予測情報 (誤差の標準偏差が旅行時間の10%)
4. 予測情報 (誤差の標準偏差が旅行時間の20%)

なお、予測誤差を与える場合には、誤差の与え方によって計算結果が変化するので、予測誤差を与える乱数に、異なる乱数系列を用いた複数回のシミュレーションを実行し、その複数回のシミュレーションの平均値で評価を行う。

##### 4.3 適用結果

図5は、1トリップあたりの平均旅行時間を経路選

択層の占める割合別に示したものである。

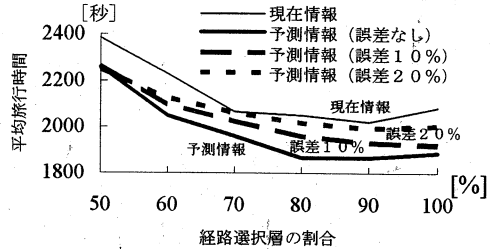


図5 平均旅行時間の比較

図より、以下の結果が読み取れる。

- ① 多少の予測誤差があっても、現在情報よりも予測情報を提供した方が、経路選択層の割合に依らずに、交通状況が改善されること
- ② 100%が経路選択層の場合を除いては、経路選択層の割合が大きくなるに従い、誤差の影響が強く現れること
- ③ 誤差なしの場合には、経路選択層の割合が80～90%を超えると、経路選択層の割合が増えることにより交通状況が悪化に転じるという現象が読みとれるが、予測誤差を考慮した場合には、この逆転現象はほとんど認められないこと

以下、それぞれについて説明を加える。

- ① 表2は、経路選択層80%で、現在情報および予測情報 (誤差なし) を提供した場合ならびに予測誤差10%とし、乱数列を変えて20回分のシミュレーションを実行した場合の計算結果 (平均旅行時間) を示したものである。このように、誤差がある場合の結果は当然ばらつきが生じるが、10%程度の誤差であれば、予測情報を提供することにより、計算を行った20回すべてにおいて、現在情報を提供した場合よりも交通状況が改善された。

表2 平均旅行時間の比較

現在情報提供	
平均旅行時間	2050
予測情報提供 (誤差なし)	
平均旅行時間	1868
予測情報提供 (誤差10%, 20回)	
平均旅行時間	1936
標準偏差	53
最大値	2025
最小値	1850

(単位 秒)

- ② 図6は、予測誤差10%の予測情報を提供した場合の、昭和島から堀切に至る交通 (図4参照) について、経路固定層と経路選択層との旅行時間差を各時間帯ごとに示したものである。

すなわち、各時間帯に起点 (昭和島) を出発した交

通について、経路選択層が経路固定層と比較して、平均的にはどの程度短い旅行時間で目的地（堀切）に到達しているのかを示したものである。また、この時間差は、選択される経路が異なることによって生じるので、この時間差が大きければ、異なる経路間の旅行時間の差が大きいと判断できる。

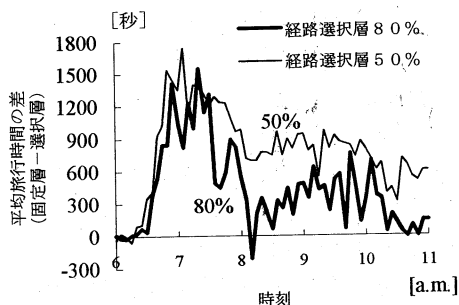


図6 平均の旅行時間差（固定層－選択層）

図より、経路選択層の割合が50%の方が、80%の場合と比較してその差が大きいたことが確認された。すなわち、経路選択層の割合が大きき場合には、経路間（例えば最短の経路と2番目に短い経路）の旅行時間差が小さくなるので、予測誤差により最短経路がその他の経路の旅行時間よりも長くなってしまいう可能性が高くなり、誤差がない場合に選択する経路（最短経路）とは異なる経路を選択する可能性が高くなる。このため、経路選択層の割合が大きくなるに従い、経路選択層と固定層の旅行時間差が小さくなり、誤差の影響が現れやすいものと考えられる。

③現在情報を提供した場合だけでなく、予測情報を提供した場合でも、

1. 予測情報が正確に今後の旅行時間を与えるものではないということ
2. 仮に利用者均衡状態が再現してきたとしても、それは必ずしもシステム最適な状況を実現するものではなく、少数の利用者が多少のロスを被る状況がシステム最適な状態を生み出しているということ

を原因として、経路選択層の割合が80～90%を超えると、経路選択層の割合が増えることにより交通状況が悪化に転じるという現象が認められる。

一方、予測誤差を考慮した場合には、100%が経路選択層とした場合でも、経路選択の際に予測誤差による誤りが生じ、ロスのある経路を選択する可能性が

有るため、上記2点目の原因が取り除かれるので、この現象が起こりにくいものと考えられる。すなわち、予測誤差を考慮にいれると、車載器の普及に伴い、経路選択層が増えても、交通状況が悪化するという現象は起こりにくいという傾向があることが確認された。

## 5. まとめと今後の展望

本研究では、予測情報を提供した際の、交通状況の変化について、予測情報の精度と関係づけた分析を行い、以下のような知見を得た。

1. 予測情報の提供により、予測情報に多少の誤差が含まれる場合でも、現在情報を提供した場合と比較しておおむね交通状況は改善されること
2. 経路選択層の割合が大きくなるに従い、予測誤差の影響が大きくなること
3. 予測情報を提供する場合には、予測情報そのものに誤差が含まれるため、車載器の普及により交通状況が悪化するという現象は回避されるか、または緩和されるものと考えられること

また、今後の研究の方向を以下に示す

1. 本研究は、首都高速道路ネットワークを対象にした適用結果であり、得られた結果すべてが一般のネットワークにあてはまるものではない。そこで今後は、さまざまなケースを想定したシミュレーションによる検証に加えて、理論面での裏付けを進める。
2. 予測誤差の考え方について、各要因と予測誤差との関係について詳しく吟味する。
3. 動的な情報を得たドライバーの経路選択行動についての分析を進める。

最後に、本研究を進めるにあたり、資料の提供などご協力頂いた、首都高速道路公団の森田紳之・交通管制部長ならびに計画部、交通管制部の方々に心から感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] 吉井稔雄, 桑原雅夫, 森田紳之, 都市内高速道路における過飽和ネットワークシミュレーションモデルの開発, 交通工学 第30巻 1号, pp.33-41, 1995
- [2] T. Yoshii, H. Akahane & M. Kuwahara, An Evaluation on Effects of Dynamic Route Guidance on an Urban Expressway Network Proceedings of the Second World Congress on Intelligent Transport Systems '95 YOKOHAMA, Vol 4 pp.1995-2000