

スケジューリングアプローチによる新名神開通による旅行時間信頼性向上便益の算出*

Benefit of Travel Time Reliability Improvement by Opening Shin-Meishin Highway Using Scheduling Approach*

倉内文孝**・伊藤秀昭***・古市英士***・宇野伸宏****・永田順宏*****・田中哲也*****

By Fumitaka KURAUCHI **・Hideaki ITO***・Eiji FURUICHI***・Nobuhiro UNO****・Nobuhiro NAGATA*****・Tetsuya TANAKA*****

1. はじめに

成熟社会を迎え、個人の移動に対する時間価値が大きくなっており、予期せぬ時間遅れに対する損失が莫大となっている。高速道路に対しても、ただ単に所要時間が短縮されるだけでなく、常に一定時間内に到達できるという安定的なサービスが求められている。従来、我が国の高速道路整備効果においては、走行時間や渋滞損失時間を用いて道路のサービス水準の評価及び費用便益分析を行ってきたが、今後は所要時間信頼性による評価が必要とされてくる。筆者らは、新名神高速道路の開通前後における旅行時間信頼性向上による便益の算定方法について検討してきた¹⁾が、ETCデータを活用していることなどにより、その便益評価は部分的なものにとどまっていた。また、その算定方法に関する理論的根拠が希薄でありその整理の必要があった。本稿においては、スケジューリングアプローチによる旅行時間信頼性向上便益の算出方法に関して理論的な考察を加えるとともに、新名神高速道路、亀山～草津JCT区間の開通による信頼性向上効果について、実証分析を行った結果を報告する。

2. 旅行時間信頼性向上便益の算出方法

(1) 平均分散アプローチとスケジューリングアプローチ

道路交通における時間信頼性価値の算出を目的としたモデリングの方法は、平均分散アプローチとスケジューリングアプローチの2つに大別される^{2), 3)}。平均分散アプローチとは、金融工学においてしばしば用いられる考え方であり、期待効用を、期待利得 (= 平均所要時間) とそのばらつき (= 所要時間の標準偏差) の線形和にて表現するものである。これは、所要時間のばらつき具合が一定の所要時間の長さに関係する、という仮定に基づくものといえる。一方、スケジューリングアプローチは、到着時刻制約を持つドライバーが所要時間の変動を考慮した期待不効用を最小にするような出発時刻選択を行う、

*キーワード：旅行時間信頼性、便益評価、スケジューリングアプローチ

** 正員，博（工），岐阜大学工学部社会基盤工学科（岐阜市柳戸1-1，058-293-2443, kurauchi@gifu-u.ac.jp）

*** 正員，（社）システム科学研究所

**** 正員，博（工），京都大学大学院経営管理研究部

***** 西日本高速道路株式会社 関西支社

という仮定の下に定式化されている。旅行時間信頼性向上便益が利用者に帰着するため、その計測は利用者の行動結果をベースに行う必要があるという視点に立ち、スケジューリングアプローチによる便益評価手法を適用する。以降においては、ある出発地と目的地をもつあるトリップメーカーの移動について考えることとする。

(2) スケジューリングモデルの定式化⁴⁾

定式化にあたって、まず次を仮定する。

- 早着 / 遅刻のペナルティは、早着分、遅刻分に対して線形に変化する。
 - 旅行者は、早着 / 遅刻ペナルティを考慮しながら最適な出発時刻を選択している。
- 到着制約時刻=0 とすれば、トリップの出発時刻が t_d である場合の期待コストは次のように記述できる。

$$EC(t_d) = \alpha \int_0^{\infty} t f(t) dt + \beta \int_0^{t_d} (t_d - t) f(t) dt + \gamma \int_{t_d}^{\infty} (t - t_d) f(t) dt \quad (1)$$

ただし、 α ：時間価値、 β ：早着に関するペナルティ、 γ ：遅刻に関するペナルティ、 EC ：早着 / 遅刻ペナルティを考慮した期待総コスト、 $f(t)$ ：所要時間関数の確率密度関数、 $F(t)$ ：所要時間関数の累積分布関数、 t_d ：出発時刻（実効旅行時間）である。

(3) 最適出発時刻と最小期待コスト

トリップメーカーは、上記で定められる期待コストを最小化するように出発時刻を決定しているとすれば、(1)式が最小となる時刻が最適時刻になる。今、(1)式で t_d で微分すると、次を得る。

$$\begin{aligned} \frac{d(EC(t_d))}{dt_d} &= -\gamma + (\beta + \gamma)F(t_d) + (\beta + \gamma)t_d f(t_d) \\ &\quad - (\beta + \gamma)t_d f(t_d) \quad (2) \\ &= -\gamma + (\beta + \gamma)F(t_d) = 0 \end{aligned}$$

これより、最適出発時刻 t_d^* は次のように記述できる。

$$\begin{aligned} -\gamma + (\beta + \gamma)F(t_d^*) &= 0 \\ \Leftrightarrow t_d^* &= F^{-1}(\gamma / (\beta + \gamma)) \quad (3) \end{aligned}$$

(3)式より、旅行時間分布がどのような形状であったとしても、最適出発時刻は早着・遅刻ペナルティの値と、累積分布関数の逆関数から決定されることがわかる。この関係式は、Small⁴⁾、あるいは日下部ら⁵⁾によりすでに

示されているが、その際の期待コストと t_d^* の関係を個々では求めたい。最適出発時刻が t_d^* と記述できることから、これを式(1)に代入して最小期待コストをえる。

$$EC(t_d^*) = (\alpha + \gamma)\mu - (\beta + \gamma) \int_0^{t_d^*} tf(t)dt \quad (4)$$

ただし、 μ ：期待所要時間である。第2項の積分は、期待値計算と同様であるが、すべての所要時間で積分するのではなく、0 から最適出発時刻まで積分している。また以下は常に成立する。

$$\begin{aligned} \mu &= \int_0^\infty tf(t)dt = \int_0^{t_d^*} tf(t)dt + \int_{t_d^*}^\infty tf(t)dt \\ &= p_e t_e + p_l t_l \end{aligned} \quad (5)$$

ただし、 t_e, t_l ：それぞれ早着時/遅刻時の条件付き平均旅行時間、 p_e, p_l ：遅刻確率である。(5)式より、(4)式は次のように変形できる。

$$EC(t_d^*) = (\alpha - \beta)\mu + \beta t_l \quad (6)$$

以上より、 α, β, γ と μ, t_l が与えられれば、期待コストが簡単な式で表現できることが明らかとなった。

3. 最小期待コストの解釈

(1) 到着時刻制約のないトリップに関する期待コスト

到着時刻制約がない場合は、早着・遅刻ペナルティがゼロであるケース、すなわち $\beta = \gamma = 0$ と仮定できる。これを式(6)に代入すると次をえる。

$$EC(t_d^*) = \alpha\mu \quad (7)$$

すなわち、到着時刻制約のない場合の期待コストは平均旅行時間に時間価値を乗じたものになり、出発時刻は不定(いつ出発しても期待コストは変化しない)になる。

(2) 到着時刻制約があり早着時に時間を活用できないトリップに関する期待コスト

到着時刻制約があるケースについては、 α, β, γ の値を式(3)および式(6)に代入することで期待コストが求められるが、ここでは $\alpha = \beta$ を考えてみよう。これは、早着すればその分時間を無駄に過ごすことを仮定していることになる。このとき、式(6)は次のようになる。

$$EC(t_d^*) = \alpha t_l \quad (8)$$

これは、到着時刻制約があり、かつ早着時に時間を有効利用できない場合、期待コストは時間価値に遅刻時平均所要時間を乗じたものであることを意味する。なお、国土交通省「国土交通省道路事業の評価指標に関する検討委員会」の試算⁶⁾においては、到着時刻制約のあるドライバーに関する所要時間コストとして、平均所要時間ではなく、実効旅行時間 t_d^* を用いている。式(8)より、スケジューリングアプローチによれば、 t_d^* ではなく t_l を用

いるべきであることがわかる。

4. 便益算定手法

3. ではひとりのトリップメーカーに関する検討を加えたが、我々が計測したいのは、全体としての便益評価額の算定である。そのために、以下の仮定を設定する。

- 時間価値および早着/帰着ペナルティパラメータは、車種により一定で同一の値をとり、これら値は別途調査により得られている。
- 車種ごとの到着時刻制約のあるトリップの割合も所与である。

また、今回の便益算定方法では、交通需要が変動することを前提とする。便益計測の一般的な方法は、図1に示す台形の面積を求めることである。この図では空間的な広がりを示しておらず、各ランプ IC 間の交通量およびそのサービスレベルを活用して計算し、車種ごとにそれを全てのランプ間 IC ペアの和として求めなければならない。また、到着時刻制約のあるドライバーにのみ所要時間信頼性の向上効果が期待できることを加味すると、所要時間信頼性向上便益は次のように記述できる。

$$B_r = \frac{1}{2} \sum_w \sum_h \alpha_h r_h (x_{wh}^{bef} + x_{wh}^{aft}) (t_{l,w}^{bef} - t_{l,w}^{aft}) \quad (9)$$

ただし、 B_r ：所要時間信頼性向上便益、 α_h ：車種 h の時間価値、 r_h ：車種 h の中で到着時刻制約のある車両の割合、 $x_{wh}^{bef}, x_{wh}^{aft}$ ：それぞれ IC ペア w 、車種 h の施策実施前後の交通量、 $t_{l,w}^{bef}, t_{l,w}^{aft}$ ：それぞれ IC ペア w の施策実施前後の遅刻時期待所要時間である。なお、遅刻時期待所要時間は、車種別の早着/遅着ペナルティより式(3)を用いて算定される。ここで示した展開においては、分布形状に何の仮定もおいていない。したがって、実測分布を用いることで便益算定が可能となるため、少なくとも事後評価においては信頼性の高い結果が得られるものといえる。次節では、新名神高速道路(亀山~草津 JCT) 開通前後のデータを用いた旅行時間信頼性向上便益の算出手順を報告する。

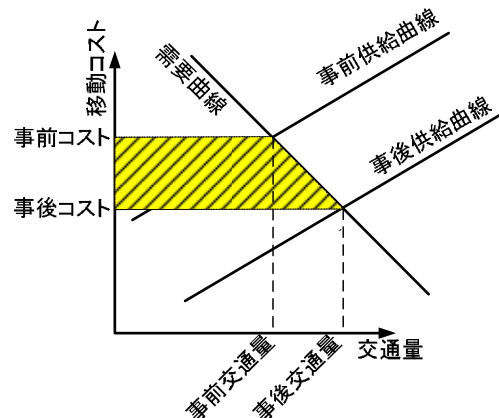


図-1 便益計測の考え方



図-2 対象区間

5. 新名神開通前後における便益の発生状況

(1) 算定条件

対象道路及び対象期間は以下に示す通りで、便益の算出はIC間(又はJCT間)毎、上下方向毎に実施する。

対象道路

- 東名高速道路：豊田JCT～小牧IC (14区間)
- 名神高速道路：小牧IC～吹田JCT (38区間)
- 京滋バイパス：瀬田東JCT～大山崎JCT (16区間)
- 中国自動車道：吹田JCT～神戸JCT (12区間)

対象期間

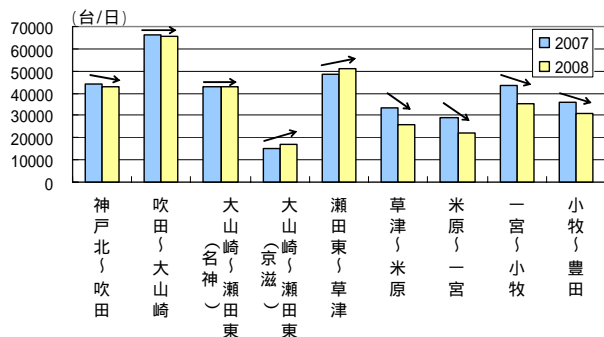
開通前：2007年3月～10月の平日(138日)

開通後：2008年3月～10月の平日(135日)

注) 名神リフレッシュ工事期間、GW、お盆を除く

(2) 開通前後における交通状況の変化

新名神高速道路開通後、新名神高速道路と併走区間となる草津JCT以東では交通量が減少傾向、草津JCT以西では増加傾向にあることが交通量観測結果より明らかになっている。



(3) 旅行時間分布の算定方法

旅行時間は、トラフィックカウンタ(以下、トラカン)データを用いて算出を行った。トラカンは、高速道路本線上に約2km間隔で設置され、5分毎の交通量(大型・小型別)、平均旅行速度、OCCを1レコード

として記録されている。

今回の集計では、この中の平均旅行速度を用いて、5分毎に出発時間をずらしながらタイムスライス法(図3)により旅行時間を算出し、1区間あたり

$$(\text{平日日数} \times 24 \text{時間} \times 60 \text{分} / 5 \text{分})$$

新名神開通前：138日、開通後：135日

のサンプルを得た。次に、このサンプル群を時間帯(24時間区分)毎に集計することにより、時間帯別旅行時間分布を算定した。また、今回の便益算定方法のインプットの一つとなる t_l (遅刻時の条件付き平均旅行時間)は、T95よりも大きい旅行時間の平均値として設定した(図4)。

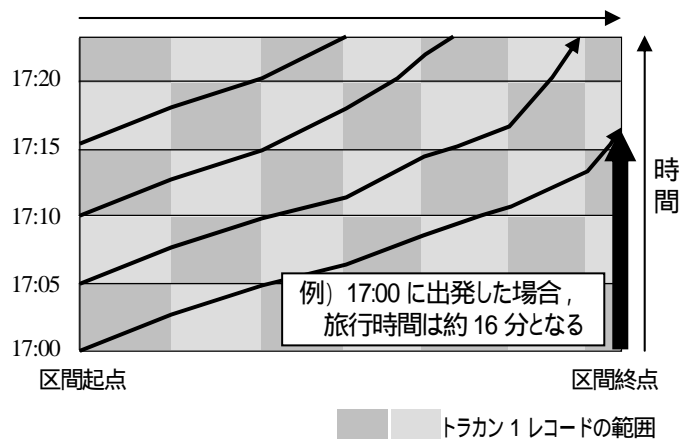


図-3 タイムスライス法による旅行時間算出イメージ

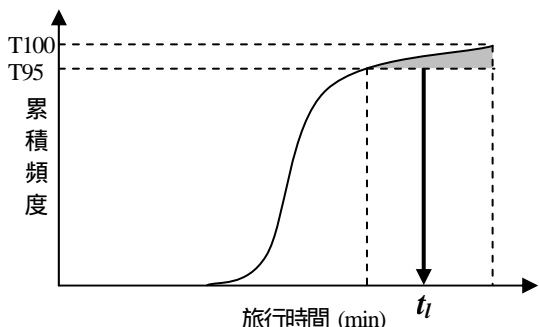


図-4 t_l の算出イメージ

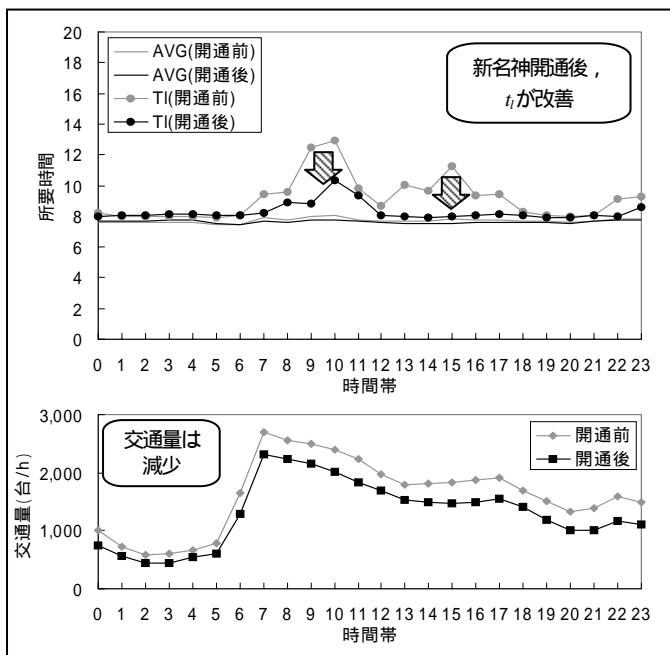


図-5 新名神開通前後における平均旅行時間及び t_i の変化
(名神高速上り 栗東 竜王間)

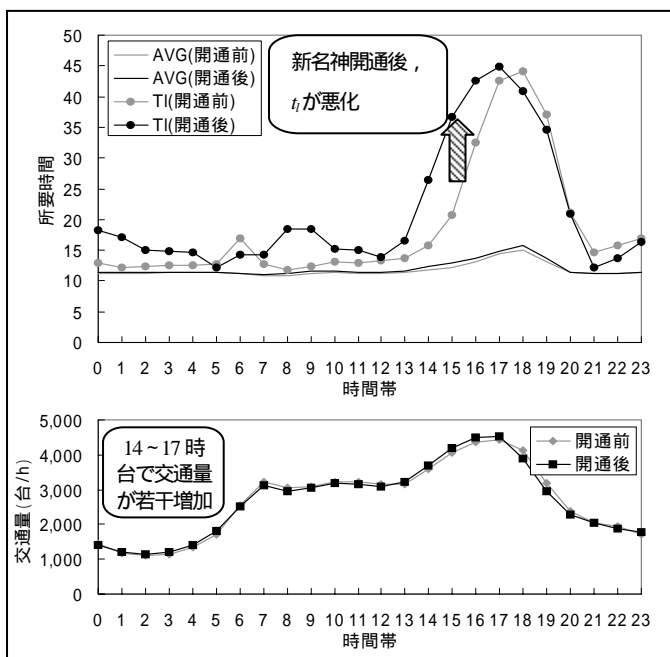


図-6 新名神開通前後における平均旅行時間及び t_i の変化
(名神高速下り 大山崎JCT 茨木間)

(4) 開通前後における t_i の変化状況

図-5 及び図-6 は、新名神開通前後における平均旅行時間及び t_i の変化を示したものである。新名神開通により交通量が減少した栗東 竜王間(図-5)では、ほぼ全ての時間帯で t_i が改善しており、旅行時間の信頼性が向上している。大山崎 JCT 茨木間(図-6)の例では、交通量が若干増加した 14~17 時台を中心に t_i が大きく悪化しており、旅行時間の信頼性が低下している。時間帯別に見ると、19 時台では平均旅行時間が悪化したのに

対して t_i が改善している。こういった現象は混雑の激しい区間・時間帯で多く見られ、旅行時間信頼性の向上による便益は、従来の平均旅行時間の変化から算出した便益とは異なる傾向となる。

5. まとめと今後の課題

本稿では、スケジューリングアプローチによる旅行時間信頼性を考慮した便益の算出方法を提示し、

- ・到着時刻制約があり、かつ早着時に時間を有効利用できない場合、期待コストは時間価値に遅刻時平均所要時間を乗じたものであること
- ・遅刻時平均所要時間 (t_i) の短縮幅は、平均所要時間の短縮幅に比べて比較的大きな値となることを明らかにした。

今後は、名神高速道路等における到着時刻制約や車種別の早着/遅着ペナルティ等について、調査を行い、本手法にインプットすることにより、具体的な便益額の算出を行う予定である。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、NEXCO西日本・高速道路整備効果評価研究会(会長：飯田恭敬京都大学名誉教授)にご参加の皆様より貴重なご意見・ご示唆を多数頂戴した。記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 山崎浩気, 倉内文孝, 宇野伸宏, 伊藤秀昭: 「旅行時間信頼性向上便益の算定方法に関する研究」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 38, CD-ROM, 2008
- (2) 中山晶一郎, 高御堂順也: 「道路利用者行動からの時間信頼性評価のレビュー」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 39, CD-ROM, 2009
- (3) 福田大輔, 松本治之, 市川強: 「トリップスケジューリングモデルに基づく時間信頼性の経済評価」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 39, CD-ROM, 2009
- (4) R. B. Noland, K. A. Small, Travel-time uncertainty, departure time choice, and the cost of morning commutes, Transportation Research Record 1493, 150-158, 1995.
- (5) 日下部貴彦, 井料隆雅, 朝倉康夫: 「出発時刻選択と旅行時間信頼性」, 土木計画学研究・講演集, Vol. 37, CD-ROM, 2008.
- (6) 国土交通省道路事業の評価指標に関する検討委員会 第2回検討委員会(2008/9/5開催) 資料 (<http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/hyouka-syuhou/2s.html>)