

# 希望利用時刻を考慮した渋滞緩和政策の評価\*

## Evaluation of traffic congestion alleviation considering desired arrival time\*

古川 兼嗣\*\*・井料 隆雅\*\*\*・吉井 稔雄\*\*\*\*・朝倉 康夫\*\*\*\*\*

By Kenji FURUKAWA\*\*, Takamasa IRYO\*\*\*, Toshio YOSHII\*\*\*\* and Yasuo ASAKURA\*\*\*\*\*

### 1. はじめに

近年、慢性化した渋滞を緩和させる方策として、需要を時間的に分散させる「需要分散政策」が提案されている。「管理者側で全道路利用者の行動を決定できる」という理想的な状況を仮定した需要分散政策については、すでにいくつかの理論的研究及び交通シミュレーションを用いた研究により、その有効性が評価されている<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。しかし、全利用者の行動を管理するという実現することは不可能であり、これらの研究で評価された政策がすぐに実行できる状況ではない。

そこで、より現実的な需要分散政策として「一部の利用者の行動を変動させる」というものが考えられる。これは、少数の利用者に渋滞時間外に移動してもらうことにより、渋滞の緩和を図るという政策である。このような政策を評価する場合には「どのような個人特性の利用者に渋滞から退去してもらえば利用者の一般化旅行費用の総和（総費用）が大きく減少するか」ということを知ればよい。例えば、利用者のボトルネック流入時刻が外性的に与えられる場合には、渋滞の開始時刻に近い利用者を移動すれば大きい効果が得られることが知られている<sup>5)</sup>。

一方で、多くの場面では、利用者は目的地への到着時刻に対して制約を持って行動している。このような場合においてどのような利用者を移動すればよいかを考える場合には、各利用者の目的地への希望到着時刻を考慮した理論を用いて評価を行う必要がある。そこで本研究では「出発時刻選択問題」の枠

組を用いる。この理論では、利用者の一般化交通費用が、待ち時間による費用と、希望した到着時刻と実際に到着した時刻とのずれ（スケジュールディレイ）によって発生する費用（スケジュールコスト）からなる、としている。そして、すべての利用者は費用最小化原理に従って行動し、利用者均衡が達成されると仮定している。

本研究では、この出発時刻選択問題を前提とした渋滞緩和政策の評価を行う。どのような個人特性を持った利用者を移動させれば、最も効率よく全利用者の総費用（利用者全体が負担している費用）を減少させることができるかについて分析する。

### 2. 個人差を考慮した出発時刻選択問題による分析

#### (1) 利用者行動の定式化

本研究では、出発時刻選択問題の既存理論のうち、井料および桑原によって作成された理論を用いる<sup>6)</sup>。以下ではこの理論による均衡状態の解法を示す。

この理論では、ボトルネックは単一であり、すべての利用者はこの道路ネットワーク上のボトルネックを通過して OD 間を移動すると考える（図-1）。また、個人特性を示すパラメータは2種類考慮する。すなわち、目的地に何時に着きたいかという希望到着時刻とスケジュールディレイの費用関数に対する寄与度である。各利用者はこれらの個人特性により計算される一般化交通費用を最小化するように行動する。

各利用者の一般化交通費用  $p$  を以下のように定義

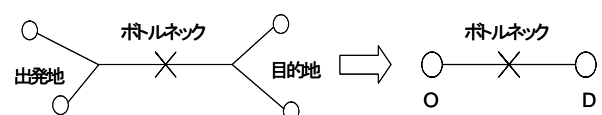


図-1 対象とするネットワーク

\*キーワード：TDM, 出発時刻選択問題

\*\*学生員, 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

E-mail kfurukawa@term.kuciv.kyoto-u.ac.jp

\*\*\*正員, 工博, 神戸大学工学部建設学科

E-mail iryo@kobe-u.ac.jp

\*\*\*\*正員, 工博, 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

E-mail yoshii@termws.kuciv.kyoto-u.ac.jp

\*\*\*\*\*正員, 工博, 神戸大学大学院自然科学研究科地球環境科学専攻

E-mail asakura@kobe-u.ac.jp

する。

$$p = w(t_d) + \gamma(t_w - t_d) \quad \text{ただし} \quad t_d \leq t_w \quad (1)$$

$t_d$ : ボトルネック出発時刻

$t_w$ : 希望ボトルネック出発時刻

$w(t_d)$ : 時刻  $t_d$  にボトルネックを出るときの渋滞での待ち時間

$t_w - t_d$ : スケジュールディレイ (希望到着時刻と実際の到着時刻との時間のずれ)

$\gamma$ : コスト比 (費用関数の個人差を表す値)

コスト比  $\gamma$  は、スケジュールディレイにおける時間価値を渋滞での待ち時間による時間価値で除した 0~1 の無次元数である。したがって、右辺第 2 項は、スケジュールディレイにコスト比をかけたものであり、これがスケジュールコストである。また、遅刻を選択する利用者は存在しないものとする。

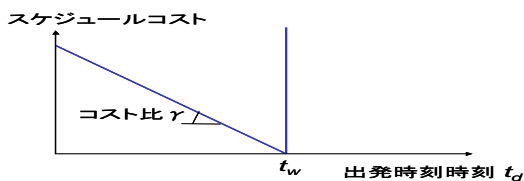


図-2 スケジュールコストの費用関数

## (2) 境界線を用いた分析

本研究で用いる理論では、利用者行動の分析を、横軸に時刻、縦軸にコスト比を配置した平面図「 $\gamma$  図」を用いて行っている。以下では、 $\gamma$  図を用いた分析方法について紹介する。その証明に関しては参考文献を参照されたい。

均衡状態における利用者の行動や渋滞の状況は、すべて「境界線」と呼ばれる  $\gamma$  図上に描かれる 1 本の線によって決定される。すべての利用者を、各利用者の個人特性  $t_w, \gamma$  に依存させて  $\gamma$  図に分布させたとき、図-3 のように  $\gamma$  図上に定時着者と早着者とを区分する「境界線」を定義することができる。このとき、境界線の上側部分に位置する利用者が定時着者、下側部分に位置する利用者が早着者である。

境界線から定時着者と早着者の区別がわかるだけでなく、以下の 3 点を知ることができる。

(a) 早着者の出発時刻  $t_d$  (図-3)

(b) 時刻  $t_d$  にボトルネックを出発した早着者の渋滞での待ち時間  $w(t_d)$  と、スケジュールコスト  $\gamma(t_w - t_d)$  (図-4)

(c) 時刻  $t_d$  にボトルネックを出発した定時着者の渋滞での待ち時間  $w(t_d)$  (図-5)

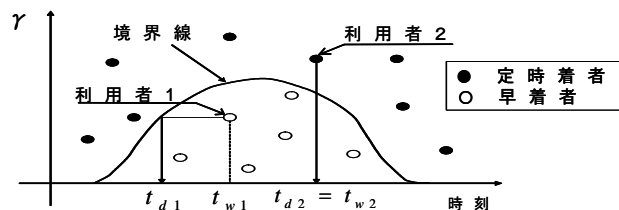


図-3  $\gamma$  図上に引いた境界線、及び各利用者 (早着者, 定時着者) が選択する出発時刻

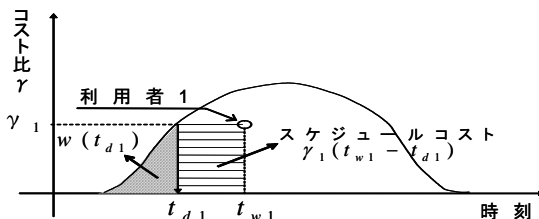


図-4 早着者のボトルネック出発時刻  $t_d$  と渋滞での待ち時間  $w(t_d)$  及びスケジュールコスト

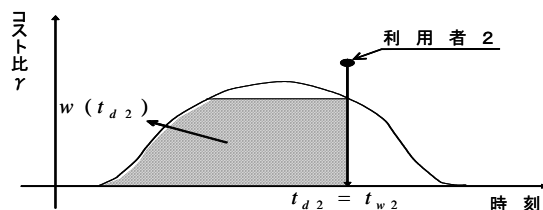


図-5 定時着者の渋滞での待ち時間  $w(t_d)$

## (3) 境界線の決定

$\gamma$  図とボトルネック容量から境界線を決定する方法について述べる。ある時間帯  $t_d \sim t_d + \Delta t$  にボトルネックを流出する利用者数はボトルネック容量  $\mu$  に等しい。すなわち時間帯  $t_d \sim t_d + \Delta t$  を選択する早着者数を  $N_e$ 、定時着者数を  $N_o$  とすると、

$$N_e + N_o = \mu \Delta t \quad (2)$$

が成立する。この式が渋滞中は常に成立するように境界線を定めればよい (図-6)。

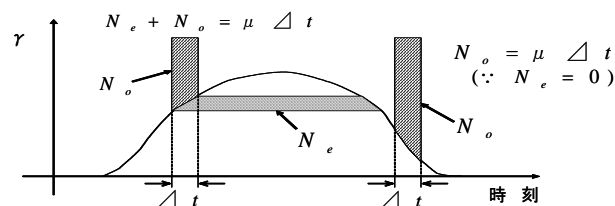


図-6 利用者数とボトルネック容量の関係

#### (4) 利用者を加えることによる総費用の変化

ここでは、ある特定の個人特性を持った利用者を加えたときの総費用の変化量を計算する。これにより、どのような個人特性の利用者を移動させれば総費用が大きく減るかを知らることが出来る。

図-7 の斜線で示す位置の個人特性 ( $t_w, \gamma$ ) を持つ利用者を加えた場合を考える。この利用者は境界線より十分上に位置するため、加えられた後は定時着者として振舞う。一方、すでに式(2)および図-6 で示したように、ある特定の時間帯にボトルネックを流出する利用者の数は容量と等しい。そのため、加えた利用者に代わって、加える前に  $t_w$  を選択していた利用者のうち一部を  $t_w$  から退去して早着に行動を変化させることにより、当該時間帯を選択する利用者の数を一定にする必要がある。図-3 で示した境界線と利用者の行動の関係を考慮することにより、このような行動変化を起こすために、時刻  $t_w$  付近の境界線が、図-7 の赤線のように上方向に変化することが分かる。

この境界線の変化は  $t_w$  付近の待ち時間の変化と結びついている。図-5 で示す方法を応用することにより、待ち時間の変化量  $\Delta w$  は図-7 の横線で塗られた領域の面積として示すことができる。この  $\Delta w$  の大きさは、 $t_w$  から退去して早着に行動を変化させた利用者が選択する時刻を  $t_d$  と置くことにより、

$$\Delta w \cong \Delta \gamma (t_w - t_d) \quad (3)$$

と計算できる。 $\Delta \gamma$  は、境界線付近に存在する利用者の密度と加えた利用者の数によって決まる。ここでは、これら2つがほぼ同じなので、 $\Delta \gamma$  もほぼ一定である。したがって、 $\Delta w$  の大小は  $t_w - t_d$  の大小に比例して決定する。この  $t_w - t_d$  は、希望到着時刻  $t_w$  がより遅い時刻になればなるほど大きくなる。

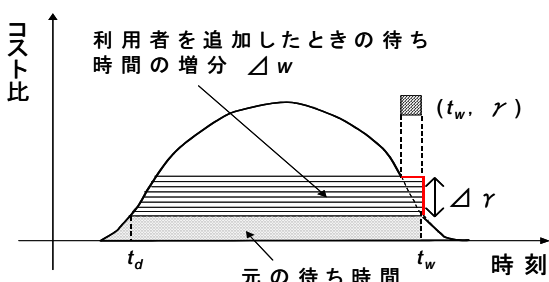


図-7 利用者を加えたことによる待ち時間の増分

以上の結果は、渋滞終了時刻に近い時刻を希望時刻として持つ利用者を他の時間帯に移動させれば、より大きい総費用の減少が期待できることを示している。よって、スケジュールディレイを考慮した場合には、これらの利用者を渋滞終了後の時刻に移動することが、より効果的な渋滞緩和政策であると言えることになる。

### 3. 実データを用いた分析

ここでは実データを基に、前節までの理論を検証する。実際に観測された渋滞を再現する利用者の需要パターン（希望到着時刻とコスト比の分布）を推定し、推定した需要に基づいて現実の渋滞における出発時刻選択問題を前提とした限界費用を計算した。

#### (1) データの概要

今回の分析では、首都高速湾岸線の市川料金所から新木場出口までを対象区間とした。当該区間に配置された車両感知器のデータを基に分析を行っている。分析対象日は2000年1月20日、対象時間は朝のラッシュ時（5時～10時）である。

#### (2) 待ち時間及びボトルネック容量の計算

待ち時間及びボトルネック容量を感知器データより求めた。ボトルネック容量  $\mu$  は、ボトルネック（新木場 JCT）の流出地点における観測交通量から  $\mu = 350$  台/5分 (4200 台/h) とした。感知器で測定された速度データを基に計算した市川～新木場間の旅行時間データを図-8 に示す。この旅行時間からそれぞれ 10 分引いたものを、新木場付近のボトルネックにおける待ち時間であるとした。

#### (3) 需要パターンの設定

(2) で示した実測待ち時間を再現する需要パターンを決定する。まず、希望ボトルネック出発時刻の分布として図-9 で示されるものを逐次計算を行うことにより与えた。コスト比については、 $\gamma = 0 \sim 0.5$  の利用者密度と  $\gamma = 0.5 \sim 1$  の利用者密度の比が 1:3 になるような一様分布を与えた。この需要パターンと (2) で求めた容量を用いて出発時刻選択問題を解くことにより、図-8 に示す通り実測待

ち時間に類似した旅行時間が計算できた。

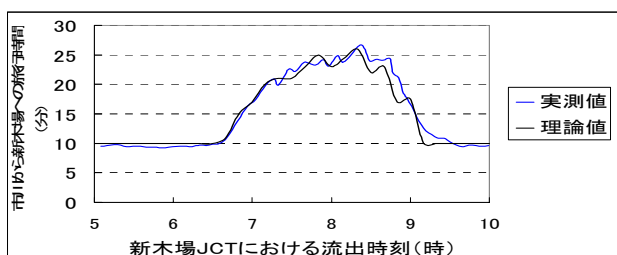


図-8 市川～新木場の旅行時間の実測値と理論値

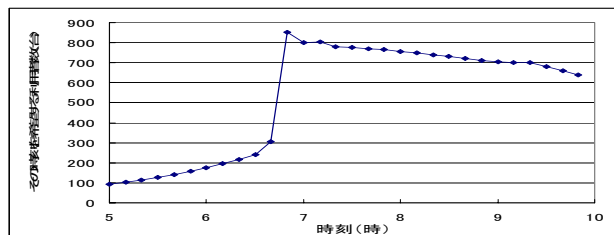


図-9 各時刻を希望する利用者数

#### (4) 需要分散政策の評価

利用者を加えたときの総費用の変化量を計算することで、どのような個人特性の利用者を移動させるのが最も効果的なのかを評価する。本研究では、評価指標として、ある特定の個人特性を持つ利用者が一定量加わったときの総費用の変化量、すなわち「総費用変化量」を導入した。ここで、加える利用者数は、渋滞に巻き込まれた利用者数の1%とした。今回のケースではこの量は112台になる。

各個人特性を有する112台の利用者を順に渋滞に加えたときの総費用変化量を、図-10のように等高線グラフを用いて示す。凡例に示した総費用変化量の単位は時間である。希望ボトルネック出発時刻が渋滞終了時刻直前(9時)で、かつ定時着者が存在するコスト比を持つ利用者を加えたときに、高い値(30時間以上)を示している。これは前節で理論的に示した結果とよく一致する。

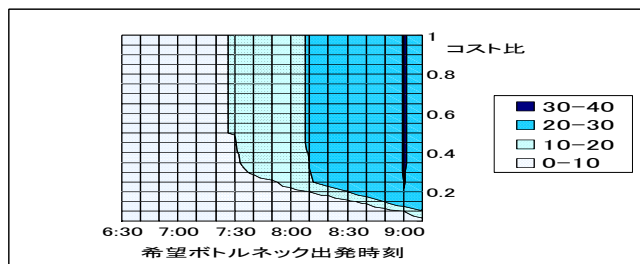


図-10 総費用変化量を表す等高線グラフ(単位は時間)

## 4. 考察

本研究の分析により、渋滞終了直前の時刻にボトルネックを出発することを希望する利用者を渋滞後の時刻に移動させることが最も効果的であるという結果が得られた。このような結果が出た理由としては以下のようなものが考えられる。

今回の問題設定では、ボトルネックを流出する時刻を希望時刻としているが、ある特定の時刻を選択できる利用者数は、ボトルネックの容量によって規定される。その数を越えた利用者は希望時刻以外の時間帯に移動するしか選択肢が無い。遅刻を考慮しないという条件下では、その選択肢は渋滞の前半の時刻に「早着」することだけである。一方、遅い希望時刻を持つ利用者が定時着から早着へ移動する場合には、大きいスケジュールコストを負担して早着に移動する必要がある。均衡状態を確保してその移動を行わせるには、その希望時刻の待ち時間もスケジュールコストに応じて大きく増える必要がある。よって、より遅い時間に利用者を追加することが、より大きい総費用の増加につながる。

本研究の結果を考慮すると、需要分散政策として「遅い時刻にボトルネックを流出する利用者を、渋滞終了後に移動する」という方法が考えられる。今後は、実際の政策についての提案を行うために、遅刻を許すなど、より現実に近い形での分析を行う必要がある。

## 謝辞

首都高速道路の交通データは、首都高速道路公団様よりご提供いただいたものである。この場を借りて感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) 清宮正好, 桑原雅夫, 赤羽弘和: 高速道路の予約制に関する基礎的研究, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集第4部, p. 392, 393, 1996. 9
- 2) T. Yoshii, S. Ajisawa and M. Kuwahara: Impacts on traffic congestion by switching routes and shifting departure time of trips, 5th World Congress on Intelligent Transport Systems Proceedings, Oct. 1998
- 3) T. Iryo and M. Kuwahara: Simulation analyses of traffic congestion alleviation by demand spreading over time, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 4, No. 4, pp. 161-174, Oct. 2001
- 4) 小根山裕之, 井料隆雅, 桑原雅夫: 東京23区を対象とした需要の時間分散施策の効果評価, 第24回土木計画学研究会・講演集, 土木学会, 2001. 11
- 5) 桑原雅夫: 動的な限界費用に関する理論的分析, 土木学会論文集, No. 709/IV-56, pp. 127-138, 2002. 7
- 6) 井料隆雅, 桑原雅夫: 時間価値の個人差を考慮した道路混雑料金の理論的考察, 交通工学, Vol. 36, No. 2, pp. 43-52, 2001. 2