

N-29 ゼロ収支混雑料金システムによる交通需要の管理効果に関する研究

京都大学大学院 学生会員 太田 勝久
鳥取大学大学院 学生会員 安野 貴人
京都大学大学院 正会員 小林 潔司

1. はじめに

交通情報の提供がドライバーの経路選択行動に及ぼす影響に関する研究が近年進展している。しかし、混雑料金を交通情報としての機能に着目した研究は数少ない。そこで本研究では、混雑料金が有する交通情報機能に着目した経路誘導問題を考える。その際、最適混雑料金システムの下でドライバーの総期待効用を最大にするような分権的に達成される経路配分を定義する。さらに、価格情報の提供により、ドライバーの経路誘導効果が存在することを示す。

2. 分析の枠組み

(1) 混雑料金の情報的役割

ロードプライシング方式として固定料金と変動料金の2種類を考える。固定料金制とは、状況に関わらずある一定料金を徴収する方式、変動料金制は状況の生起状態に応じて徴収する料金を差別化する方式である。混雑料金を価格情報として考えるとき、情報提供のタイミングによってその役割は大きく異なる。例えば、経路選択前に料金を通知する場合、料金自体が状況の生起状態に関する情報の役割を果たすことになる。

(2) ゼロ収支混雑料金システムの考え方

従来は、混雑という外部不経済の内部化を含めた限界費用価格形成原理に基づいた混雑料金の設定方法について考察してきた。この方法は、交通流の効率化を達成できるが、混雑料金を徴収することによりドライバーの総厚生水準は従前の水準より低下する。それは、徴収した混雑料金がドライバーに還元されないからである。そこで本研究では、交通管理者の全体の期待料金収入がゼロになるように、混雑に伴う社会的限界費用の大きい道路から小さい道路の利用者に還付金を支払うような混雑料金システムを提案する。このように状況に応じて異なる経路を利用するドライバーに対して、混雑料金の徴収と還付を組み合わせた料金体制を導入することは、ドライバーの間で走行時間の取引がなされる市場を人為的に導入することを意味する。そして変動料金を適用した場合、状況に応じて差別化された状況依存的な取引市場が導入されることになる。

3. ゼロ収支制約を考慮した交通配分モデルの定式化

(1) モデル化の前提条件

2地点を n 本の経路で結ぶ道路網を想定する。潜在的な総交通需要 M は固定的である。経路で生じる不確実性を K 個の離散的な状況の生起により表現し、各状況に応じて交通費用が変化すると考える。交通管理者は状況 $k(k=1, \dots, K)$ の生起に関して完全情報を持ち生起した k をメッセージとしてドライバーに通知する。 k の生起は外生的に与えられ k の生起確率を π^k とする。また、交通管理者がドライバーを Q 個のタイプに差別化できると仮定し交通需要の異質性を想定する。ここで、ドライバーの質が異なるというのはドライバーが経路走行に関して異なる効用水準をもつことを意味する。状況 k での経路 $i(i=1, \dots, n)$ の走行に関するタイプ $j(j=1, \dots, Q)$ の交通需要を x_{ij}^k 、交通費用を $c_{ij}^k(x_{ij}^k)$ とする。ただし、トリップを生成しないドライバーの行動を表現するために、ネットワーク上に無限大の容量をもつ第0番目の仮想経路を想定する。保留需要はこの経路を利用することにより得られる効用(保留効用) U^0 を、常に獲得すると考える。

(2) 固定料金を課す場合(情報提供なし)

交通情報を提供しない場合、ドライバーは不確実な状況の生起した状態を事前に把握できず、経路走行条件に関して不完全な情報をもつ。ドライバーは経路選択の経験を蓄積した結果、長期的には各状況の生起確率及び実現する交通費用に関して合理的期待を形成する。経路 i の走行に関するタイプ j のドライバーの期待効用を次式のように表す。

$$E[U_j(c_{ij}^k(x_{ij}))] = \sum_{k=1}^K \pi^k U(c_{ij}^k(x_{ij})) \quad (1)$$

E は k に関する期待値オペレータである。交通費用関数 $c_{ij}^k(x_{ij}^k)$ は、 $c_{ij}^k(x_{ij}^k) > 0$ 、 $c_{ij}^{k''}(x_{ij}^k) \geq 0$ を満たす。

情報提供がない場合、交通需要 x_{ij} は状況 k に依存しない。効用関数は基数的で $U'(c_{ij}^k) < 0$ 、 $U''(c_{ij}^k) \leq 0$ を満たす。なお $U'''(c_{ij}^k) \leq 0$ は、ドライバーが危険回避的(等号の時は危険中立的)であることを意味する。固定料金の場合、料金はどのような状況を生起しているかを伝達しないので、固定料金は価格情報として機能し

ない。このとき料金収入をゼロにするような収支制約の下で、ドライバーの総厚生水準を最大にするような分権的ネットワーク均衡を求める問題は以下のように定式化できる。

$$\max \sum_{j=1}^Q \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} EU_j(x_{ij}) + x_{0j} U_j^0 \right) \quad (2a)$$

$$s.t. \quad E[U_j(c_i^k + \tau_i)] - EU_j(x_{ij}) + s_{ij} = 0 \quad (2b)$$

$$s_{ij} x_{ij} = 0 \quad (2c)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^Q \tau_i x_{ij} = 0 \quad (2d)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} + x_{0j} = M_j, \quad \sum_{j=1}^Q M_j = M \quad (2e)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad x_{0j} \geq 0, \quad s_{ij} \geq 0 \quad (2f)$$

$$(i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, Q)$$

ただし、 s_{ij} はスラック変数、 $EU_j(x_{ij})$ は均衡効用水準であり内生的に決定される。 x_{0j} 、 U_j^0 はタイプ j のドライバーの保留需要、保留効用を表す。 U_j^0 は外生的に与えられる。 M_j はタイプ j のドライバー数を表す。 τ_i は経路 i の混雑料金である。式(2b)(2c)は分権的ネットワーク均衡の達成を表現する制約条件、式(2d)はゼロ収支制約条件である。ここで混雑料金には非負条件を課していない。つまり、 τ_i が負の場合にはドライバーに対して対価が支払われることになる。総厚生水準は次のように表される。

$$V_n = \sum_{j=1}^Q \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} EU_j(x_{ij}) + x_{0j} U_j^0 \right) \quad (3)$$

(3) on-trip 情報として変動料金を課す場合

on-trip 情報を提供する場合、ドライバーはトリップ生成時点では未知であった状況の生起状態を経路選択時点で把握できる。そのため、保留需要 x_{0j} は状況 k に無関係であるが、発生需要 x_{ij}^k は状況 k に応じて変化する。つまり、変動料金が経路選択時点で提示されれば、経路選択のための交通情報として役割を果たすことになる。求める問題は以下のように定式化できる。

$$\max \sum_{j=1}^Q \left(E \left[\sum_{i=1}^n x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k) \right] + x_{0j} U_j^0 \right) \quad (4a)$$

$$s.t. \quad U_j(c_{ij}^k + \tau_i^k) - U_j(c_{ij}^k) + s_{ij}^k = 0 \quad (4b)$$

$$s_{ij}^k x_{ij}^k = 0 \quad (4c)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^Q \sum_{k=1}^K \pi_i^k \tau_i^k x_{ij}^k = 0 \quad (4d)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k + x_{0j} = M_j, \quad \sum_{j=1}^Q M_j = M \quad (4e)$$

$$x_{ij}^k \geq 0, \quad x_{0j} \geq 0, \quad s_{ij}^k \geq 0 \quad (4f)$$

$$(i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K; j = 1, \dots, Q)$$

ただし、 s_{ij}^k はスラック変数、 $U_j(c_{ij}^k)$ は均衡効用水準である。 τ_i^k は状況 k に応じて変化する変動料金を表す。ド

ライバーの総厚生水準を次式で表す。

$$V_o = \sum_{j=1}^Q \left(E \left[\sum_{i=1}^n x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k) \right] + x_{0j} U_j^0 \right) \quad (5)$$

(4) pre-trip 情報として変動料金を課す場合

pre-trip 情報を提供する場合、ドライバーはトリップ生成時点で状況の生起状態を把握できるため、状況に応じてトリップ生成および経路選択に関する意思決定を行う。このときトリップ生成時点で変動料金が提示されれば、トリップ生成を選択するための交通情報としての役割を果たすので、状況に応じて保留需要 x_{0j}^k が異なる。また、発生需要についてはon-trip 情報の場合と同様である。求める問題は次のように定式化できる。

$$\max \sum_{j=1}^Q \left(E \left[\sum_{i=1}^n x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k) \right] + E \left[x_{0j}^k U_j^0 \right] \right) \quad (6a)$$

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^n x_{ij}^k + x_{0j}^k = M_j, \quad \sum_{j=1}^Q M_j = M \quad (6b)$$

$$x_{ij}^k \geq 0, \quad x_{0j}^k \geq 0, \quad s_{ij}^k \geq 0 \quad (6c)$$

$$\text{及び } (4b), (4c), (4d)$$

$$(i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K; j = 1, \dots, Q)$$

ドライバーの総厚生水準は以下になる。

$$V_p = \sum_{j=1}^Q \left(E \left[\sum_{i=1}^n x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k) \right] + E \left[x_{0j}^k U_j^0 \right] \right) \quad (7)$$

4. 厚生比較

各ケースそれぞれの総厚生水準を比較すると、以下の二つの命題が成立する。

【命題1】 $V_o \geq V_n$

これは、価格情報を通じてドライバーの経路誘導を行う変動料金の方が、価格情報を提示しない固定料金よりも総厚生水準が改善されることを示す。

【命題2】 $V_p \geq V_o$

命題2は変動料金の中でもトリップ生成前に価格情報を提示した方が、経路選択時点で提示するよりも総厚生水準は改善されることを示す。

5. おわりに

本研究では、混雑料金をもつ交通情報機能に着目し、ゼロ収支制約の下でドライバーの総期待効用を最大化するような分権的なネットワーク均衡を求める問題の定式化と、経路誘導効果について厚生比較を行った。その結果、ゼロ収支制約の下でトリップ生成前の価格情報の提供が他の場合よりも、経路誘導効果をもたらすことが明らかになった。しかし、今回のモデルではドライバーに提供される情報は完全であると仮定している。そこで今後の課題として、情報の不完全性を考慮したモデルについて分析を行う必要がある。なお、数値計算結果は紙面の都合上掲載することができないため、講演時に紹介することにする。