

京都大学大学院 学生員 ○太田 勝久
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、混雑料金の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経路誘導問題を考える。その際、ドライバーの総期待効用を最大にする経路配分を定義するとともに、そのような経路配分を分権的に達成するための混雑料金を求めることとする。さらに、異質な選好を持つドライバーが混在する時、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. 混雑料金の情報的役割

ロードプライシング方式は、固定料金と変動料金の2種類を考える。固定料金制とは、状況に関わらず各経路ごとに設定された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、トリップ生成以前に通知するか、トリップ生成した後の経路選択時点で通知するか、経路選択後に通知するかによってその役割は大きく異なる。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。これより、固定料金は交通情報としての役割を果たさないが、変動料金は交通情報としての役割を果たす。

3. 総期待効用最大化配分の定式化

(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もち生起した 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表現する。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) 情報提供がない場合

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、経路走行に関して不完全な情報をもつ、ドライバーは期待効用が最大になる経路を選択する。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状態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は次式のように表す。

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

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、経路 i の交通需要は状況 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。そこで、固定料金の場合、価格情報はどのような状況を生起しているか伝えられない。つまり、情報提供がない場合として考えることができる。情報提供がない場合の総期待効用最大化配分の均衡条件を次式で表す。

$$E[U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k))] + x_{ij} E[U_j^{k'}(c_{ij}^{k'})] \geq U_j^0 \quad \text{if } x_{ij} > 0, x_{0j} = 0 \quad (2a)$$

$$E[U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k))] + x_{ij} E[U_j^{k'}(c_{ij}^{k'})] = U_j^0 \quad \text{if } x_{ij} > 0, x_{0j} > 0 \quad (2b)$$

$$E[U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k))] + x_{ij} E[U_j^{k'}(c_{ij}^{k'})] \leq U_j^0 \quad \text{if } x_{ij} = 0, x_{0j} > 0 \quad (2c)$$

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

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

ただし、 $E[U_j^{k'}(c_{ij}^{k'}(x_{ij}^{k'}))] = \sum_{k=1}^K \pi^k dU_j / dc_{ij}^{k'} \cdot dc_{ij}^{k'} / dx_{ij}$ である。 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。式(2a)-(2c)の左辺第2項は、経路 i を走行するタイプ j の交通量が1台通過した場合にその経路を利用するすべての利用者の期待効用水準に及ぼす外部効果である。最適な交通量配分は、このような外部効果に応じた料金を各経路で徴収することにより分権的に達成される。混雑料金は次の条件を満

たす τ_i を求めればよい。

$$\sum_{j=1}^Q \left(E[U_j(c_{ij}^k)] + x_{ij} E[U_j^k(c_{ij}^k)] \right) = \sum_{j=1}^Q E[U_j(c_i^k + \tau_i)] \quad (3)$$

混雑料金が課徴された場合とて混雑料金を払わずに達成される総厚生水準を次式で表す。

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

混雑料金が課徴された場合は次式のようになる。

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

(3) on-trip 情報を提供した場合

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。このとき、変動料金が経路選択時点で提示されれば、これは交通情報としての役割を果たす。均衡条件は次のようになる。

$$U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + x_{ij}^k U_j^k(c_{ij}^k) = U_j^k, \sum_{k=1}^K \pi^k U_j^k \geq U_j^0 \quad (6a)$$

if $x_{ij}^k > 0, x_{0j} = 0$

$$U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + x_{ij}^k U_j^k(c_{ij}^k) = U_j^k, \sum_{k=1}^K \pi^k U_j^k = U_j^0 \quad (6b)$$

if $x_{ij}^k > 0, x_{0j} > 0$

$$U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + x_{ij}^k U_j^k(c_{ij}^k) \leq U_j^k, \sum_{k=1}^K \pi^k U_j^k = U_j^0 \quad (6c)$$

if $x_{ij}^k = 0, x_{0j} > 0$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k + x_{0j} = M_j, \quad x_{ij}^k \geq 0, \quad x_{0j} \geq 0 \quad (6d)$$

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

ただし、 $U_j^k = dU_j/dc_{ij}^k, c_{ij}^k(x_{ij}^k) = dc_{ij}^k/dx_{ij}^k$ である。タイプ j のドライバーが状況 k のもとでトリップ生成後に得る効用を U_j^k ととする。それは内生的に決まる。混雑料金は以下の条件より求められる。

$$\sum_{j=1}^Q \left(U_j(c_{ij}^k) + x_{ij}^k U_j^k(c_{ij}^k) \right) = \sum_{j=1}^Q U_j(c_i^k + \tau_i^k) \quad (7)$$

τ_i^k は状況 k に応じて変化する変動料金を表す。混雑料金を払わない場合の総厚生水準を次式に示す。

$$V_o = \sum_{j=1}^Q \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K \pi^k x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + U_j^0 x_{0j} \right) \quad (8)$$

混雑料金が課徴された場合の総厚生水準を次式で表す。

$$W_o = \sum_{j=1}^Q \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K \pi^k x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k) + \tau_i^k) + U_j^0 x_{0j} \right) \quad (9)$$

(4) pre-trip 情報を提供した場合

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、これはon-trip情報と同様に交通情報としての

役割を果たす。このとき均衡条件は次式で表される。

$$U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + x_{ij}^k U_j^k(c_{ij}^k) \geq U_j^0 \quad (10a)$$

if $x_{ij}^k > 0, x_{0j} = 0$

$$U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + x_{ij}^k U_j^k(c_{ij}^k) = U_j^0 \quad (10b)$$

if $x_{ij}^k > 0, x_{0j} > 0$

$$U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + x_{ij}^k U_j^k(c_{ij}^k) \leq U_j^0 \quad (10c)$$

if $x_{ij}^k = 0, x_{0j} > 0$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k + x_{0j}^k = M_j, \quad x_{ij}^k \geq 0, \quad x_{0j}^k \geq 0 \quad (10d)$$

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

混雑料金はon-trip情報の場合と同様に式(7)を解くことにより求められる。混雑料金を払わない場合の総厚生水準を次式で表す。

$$V_p = \sum_{j=1}^Q \sum_{k=1}^K \pi^k \left(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k)) + U_j^0 x_{0j}^k \right) \quad (11)$$

混雑料金が課徴された場合の総厚生水準を次式で表す。

$$W_p = \sum_{j=1}^Q \sum_{k=1}^K \pi^k \left(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k U_j(c_{ij}^k(x_{ij}^k) + \tau_i^k) + U_j^0 x_{0j}^k \right) \quad (12)$$

4. 厚生比較

ドライバーのタイプが同質($j = 1$)で混雑料金を課徴した場合の総厚生水準をそれぞれ W_p^*, W_o^*, W_n^* とする。このとき厚生水準を比較すると次の命題が成立する。

[命題1] $W_p^* = W_o^* = W_n^*$

これはドライバーが同質の場合には、情報提供の有無やタイミングにかかわらず総厚生水準に変わりがないことを示している。しかし、ドライバーの異質性を考慮した場合は次のような命題が成立する。

[命題2] $V_p \geq V_o, W_p \geq W_o, V_o \geq V_n, W_o \geq W_n$

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、混雑料金の課徴の有無にかかわらず価格情報を提示しない固定料金よりも総厚生水準は改善されることを示す。また、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。

5. おわりに

本研究では、混雑料金がもつ交通情報機能に着目し、総期待効用最大化配分原則に基づいた定式化と、経路誘導効果について厚生比較を行った。その結果、異質なドライバーに対する価格情報の提供が経路誘導効果をもたらすことが明らかになった。今回のモデルでは、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。そこで、今後の課題として料金収入をドライバーに還元した場合の定式化と、その経路誘導効果について分析を行う必要がある。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。