

pre-trip 情報の提供による交通需要の管理効果に関する研究

日本建設コンサルタント(株) 正員 ○四辻裕文 鳥取大学工学部 正員 小林潔司

1..はじめに

ドライバーの経路誘導問題において、経路選択時点での交通情報 (on-trip 情報) の提供はドライバーの厚生を常に改善するとは限らない。この意味で on-trip 情報システムの導入は不完全性を有する。本研究では、この代替手段として、トリップ生成の事前の段階で潜在的な交通需要に対して経路情報を提供する pre-trip 情報システムに着目する。分権的に達成される交通需要の均衡配分状態 (ネットワーク均衡) において、pre-trip 情報の提供がドライバーの厚生の改善に資するか否かを分析する。異質な交通需要が混入するネットワークの効率性を分析する。

2. 分析の枠組み

(1) on-trip 情報と pre-trip 情報

on-trip 情報と pre-trip 情報は、不確実な経路走行に関する情報を提供するタイミングが異なる。on-trip 情報の提供は、既にトリップを生成した後のドライバーの経路誘導を目的とする。一方、pre-trip 情報は、経路選択の事前のトリップ生成段階で潜在的ドライバーに提供される。

(2) 弾力的交通需要と非弾力的交通需要

トリップが義務的で交通需要が非弾力的な場合、情報提供の時点が on-trip 段階か pre-trip 段階かによって経路誘導効果に違いはない。一方、トリップが義務的でなく交通需要が弾力的な場合、状況によってトリップを行わないドライバーには情報提供のタイミングが重要となる。

(3) 交通需要の異質性

ネットワーク均衡の効率性を厳密に分析するため交通需要の異質性を考慮する。異質な交通需要とはドライバーが経路走行に関して異なる効用をもつことを意味する。

3. ネットワーク均衡の定式化

(1) 交通情報を提供しない場合

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。状況の不確実性をもつ確率的な変動を K 個の離散的な状況の生起で表現し、各状況に応じて各経路の交通費用が変化すると考える。交通管理者は外生的な状況 $k (k = 1, \dots, K)$ の生起に関して完全情報を有し、ドライバーに k に関する情報を提供する。ネットワーク均衡では、各ドライバーは k の如何を問わず選択した経路を変更する誘因をもたない。 k の生起

確率を $\pi^k (k = 1, \dots, K)$ とする。状況 k のもとでの経路 $i (i = 1, \dots, n)$ の交通需要を x_i^k 、交通費用を $c_i^k(x_i^k)$ とする。トリップを生成しない保留需要は、自宅に留まることから得られる効用 (保留効用) U^0 を常に獲得する。

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状態を事前に把握できず、経路走行に関して不完全情報をもつ。ドライバーは期待効用が最大と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 の走行に関するドライバーの期待効用を次式で表す。

$$E[U(c_i^k(x_i))] = \sum_{k=1}^K \pi^k U(c_i^k(x_i)) \quad (1)$$

E は k に関する期待値オペレータである。交通費用関数 $c_i^k(x_i^k)$ は $c_i^k(x_i^k) > 0$ 、 $c_i^k(x_i^k) \geq 0$ 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 $U(c_i^k)$ は基数的で $U'(c_i^k) < 0$ 、 $U''(c_i^k) \leq 0$ を満たす。ここで、交通需要の異質性を考慮しよう。交通管理者はドライバーを Q 個のタイプに差別化できると仮定する。状況 k での経路 i の走行に関するタイプ $j (j = 1, \dots, Q)$ の交通需要を $x_{ij}^k (i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, K)$ とする。タイプ j のドライバーの効用は $U_j(c_j^k(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k))$ となる。ネットワーク均衡では次式が成立する。

$$E[U_j(c_j^k(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k))] = U_j^0 \text{ if } x_{ij} > 0 \quad (2a)$$

$$E[U_j(c_j^k(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k))] \leq U_j^0 \text{ if } x_{ij} = 0 \quad (2b)$$

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

$$x_{0j} \geq 0, x_{ij} \geq 0 (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, Q) \quad (2d)$$

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。異質の場合、タイプにより義務的トリップを行う誘因をもつドライバーも出現するため、 $x_{0j} \geq 0$ となる。等号は交通需要が非弾力的な場合を表す。以下、ドライバーの異質性に関して次式を仮定する。

$$U_j(c_j^k(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k)) \geq U_{j+1}(c_j^k(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k)) \quad (3)$$

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

等号は同質性を表す。ドライバーの総厚生を次式で表す。

$$W_1 = \sum_{j=1}^Q (\sum_{i=1}^n x_{ij} E[U_j(c_j^k(\sum_{i=1}^n x_{ij}^k))]) + U_j^0 x_{0j} \quad (4)$$

(2) on-trip 情報を提供する場合

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。タイプ j ($j = 1, \dots, Q$) のドライバーのトリップ発生数 x_j^k は実現する状況の如何を問わず一定となる。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 ($k = 1, \dots, K$) とする。トリップ生成時点では、ドライバーは経路走行による期待効用 $\sum_{k=1}^K \pi^k U_j^k$ が保留効用より大きい限りトリップ生成の誘因をもつ。ネットワーク均衡では次式が成立する。

$$U_j(c_i^k(\sum_{j=1}^Q x_{ij}^k)) = U_j^k \text{ if } x_{ij}^k > 0 \quad (5a)$$

$$U_j(c_i^k(\sum_{j=1}^Q x_{ij}^k)) \leq U_j^k \text{ if } x_{ij}^k = 0 \quad (5b)$$

$$\sum_{k=1}^K \pi^k U_j^k = U_j^0, \quad \sum_{i=1}^n x_{ij}^k = \bar{x}_j, \quad \bar{x}_j + x_{0j} = M_j \quad (5c)$$

$$\sum_{j=1}^Q M_j = M, \quad x_{0j} \geq 0, \quad x_{ij}^k \geq 0 \quad (5d)$$

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

U_j^k は内生的に決まる。ドライバーの総厚生を次式で表す。

$$W_2 = \sum_{j=1}^Q \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K \pi^k x_{ij}^k U_j(c_i^k(\sum_{j=1}^Q x_{ij}^k)) + U_j^0 x_{0j} \right) \quad (6)$$

(3) pre-trip 情報を提供する場合

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、ドライバーは状況に応じてトリップ生成及び経路選択に関する意思決定を行う。ネットワーク均衡では次式が成立する。

$$U_j(c_i^k(\sum_{j=1}^Q x_{ij}^k)) = U_j^0 \text{ if } x_{ij}^k > 0 \quad (7a)$$

$$U_j(c_i^k(\sum_{j=1}^Q x_{ij}^k)) \leq U_j^0 \text{ if } x_{ij}^k = 0 \quad (7b)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k + x_{0j}^k = M_j, \quad \sum_{j=1}^Q M_j = M \quad (7c)$$

$$x_{0j}^k \geq 0, \quad x_{ij}^k \geq 0 \quad (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, Q) \quad (7d)$$

x_{0j}^k ($k = 1, \dots, K; j = 1, \dots, Q$) は状況 k でのタイプ j の保留交通需要を表す。ドライバーの総厚生を次式で表す。

$$W_3 = \sum_{j=1}^Q \sum_{k=1}^K \left(\sum_{i=1}^n \pi^k x_{ij}^k U_j(c_i^k(\sum_{j=1}^Q x_{ij}^k)) + U_j^0 \pi^k x_{0j}^k \right) \quad (8)$$

トリップ生成が義務的で交通需要が非弾力的な場合、保留需要はゼロとなり、on-trip 情報と pre-trip 情報ではドライバーの経路誘導効果に本質的な違いがない。

4. 数値実験

実験環境を $(n, K, Q) = (2, 2, 2)$ 、 $(\pi^1, \pi^2) = (0.2, 0.2)$ 、 $(M_1, M_2) = (1000, 2000)$ とする。交通費用を $c_i^k = \alpha_i^k + \beta_i^k \sum_{j=1}^Q x_{ij}^k$ と表す。タイプ j のドライバーの効用を次式で表す。 Y_j 、 $\bar{u}_j$ は所得、トリップ属性の効用を表す。

$$U_j(c_i^k) = Y_j - c_i^k + \bar{u}_j \quad (9)$$

次に在宅需要の保留効用を表す。 $c_0 = 0$ 、 $\bar{u}_0 = 0$ とおく。

表-1: ネットワーク均衡の交通需要と総厚生

Case1 $\beta_1^2 = 0.0018, \beta_2^2 = 0.0008$				
無情報	$x_{11} + x_{12}$ 266.7	$x_{21} + x_{22}$ 538.5	$x_{01} + x_{02}$ 2194.8	W_1 3000.0
on-trip 情報	$x_{11}^1 + x_{12}^1$ 249.6 $x_{11}^2 + x_{12}^2$ 300.8	$x_{21}^1 + x_{22}^1$ 554.2 $x_{21}^2 + x_{22}^2$ 503.0	$x_{01} + x_{02}$ 2196.2	W_2 3000.0
pre-trip 情報	$x_{11}^1 + x_{12}^1$ 200.0 $x_{11}^2 + x_{12}^2$ 400.0	$x_{21}^1 + x_{22}^1$ 388.9 $x_{21}^2 + x_{22}^2$ 875.0	$x_{01}^1 + x_{02}^1$ 2411.1 $x_{01}^2 + x_{02}^2$ 1725.0	W_3 3000.0
Case2 $\beta_1^2 = 0.0010, \beta_2^2 = 0.0006$				
無情報	$x_{11} + x_{12}$ 266.7	$x_{21} + x_{22}$ 875.0	$x_{01} + x_{02}$ 1858.3	W_1 3000.0
on-trip 情報	$x_{11}^1 + x_{12}^1$ 235.1 $x_{11}^2 + x_{12}^2$ 329.8	$x_{21}^1 + x_{22}^1$ 910.5 $x_{21}^2 + x_{22}^2$ 815.8	$x_{01} + x_{02}$ 1854.4	W_2 3000.0
pre-trip 情報	$x_{11}^1 + x_{12}^1$ 200.0 $x_{11}^2 + x_{12}^2$ 400.0	$x_{21}^1 + x_{22}^1$ 700.0 $x_{21}^2 + x_{22}^2$ 1000.0	$x_{01}^1 + x_{02}^1$ 2100.0 $x_{01}^2 + x_{02}^2$ 1600.0	W_3 3100.0
Case3 $\beta_1^2 = 0.0006, \beta_2^2 = 0.0004$				
無情報	$x_{11} + x_{12}$ 266.7	$x_{21} + x_{22}$ 1000.0	$x_{01} + x_{02}$ 1733.3	W_1 3400.0
on-trip 情報	$x_{11}^1 + x_{12}^1$ 187.5 $x_{11}^2 + x_{12}^2$ 291.7	$x_{21}^1 + x_{22}^1$ 1041.7 $x_{21}^2 + x_{22}^2$ 937.5	$x_{01} + x_{02}$ 1770.8	W_2 3245.8
pre-trip 情報	$x_{11}^1 + x_{12}^1$ 200.0 $x_{11}^2 + x_{12}^2$ 400.0	$x_{21}^1 + x_{22}^1$ 1000.0 $x_{21}^2 + x_{22}^2$ 1250.0	$x_{01}^1 + x_{02}^1$ 1800.0 $x_{01}^2 + x_{02}^2$ 1350.0	W_3 3300.0

$$c_1^1(x_{11}^1 + x_{12}^1) = 1.0 + 0.006(x_{11}^1 + x_{12}^1)$$

$$c_2^1(x_{21}^1 + x_{22}^1) = 1.5 + \beta_1^1(x_{21}^1 + x_{22}^1)$$

$$c_1^2(x_{11}^2 + x_{12}^2) = 1.0 + 0.003(x_{11}^2 + x_{12}^2)$$

$$c_2^2(x_{21}^2 + x_{22}^2) = 1.5 + \beta_2^2(x_{21}^2 + x_{22}^2)$$

$$U_j^0 = Y_j - c_0 + \bar{u}_0 \quad (10)$$

$(\bar{u}_1, \bar{u}_2) = (2.2, 2.0)$ 、 $Y_1 = Y_2 = 1.0$ とした。表-1 は経路特性 β_j^k を変化させた場合の数値実験結果を表す。Case1 では、トリップを行ったドライバーは全てタイプ1となり、タイプ2のドライバーは自宅に留まる。Case2,3 では、情報提供下でタイプ1の交通需要が非弾力的となり、このとき、ドライバーの消費者余剰が生まれる。

5. おわりに

本研究の結果、1) 交通需要が同質で非弾力的な場合、経路誘導情報の提供はドライバーの厚生の悪化を招く可能性がある。2) 同質で弾力的な場合、保留需要が存在するならば pre-trip 情報の提供は経路誘導効果をもたない。3) 異質で弾力的な場合、保留需要が存在しても非弾力的需要を内包すれば、pre-trip 情報の提供はネットワーク均衡の効率性を改善できる。しかし、pre-trip 情報が常にドライバーの厚生の改善に資するとは限らないと判明した。