

## 均一ガソリン税率の下でのデッドウェイトロスと利用者便益の計測に関する研究\*

MEASUREMENT OF DEADWEIGHT LOSS AND USER BENEFIT BY IMPOSITION OF GASOLIN TAX \*

栗野盛光\*\*・小林潔司\*\*\*

by Morimitsu KURINO\*\* and Kiyoshi KOBAYASHI\*\*\*

### 1. はじめに

我が国では、自動車関係諸税を原資とする道路整備のための特定財源制度が設けられている。特に、ガソリン税による収入は特定財源のなかでも大半を占め、道路整備財源の中核となっている。現在、ガソリン1リットルの購入に対して53.8円のガソリン税(揮発油税・地方道路譲与税)が課徴されている。特定財源制度の理論的背景はMohring and Harwitzの定理であるが、この定理では混雑税の課徴が前提となっている。しかし、現実には道路混雑の外部不経済とは直接関係のないガソリン税が課徴されており、資源配分上重大なデッドウェイトロスが生じる危険性がある。また、均一なガソリン税率が課されている場合、便益計測においてシステムのバイアスを生じる可能性がある。

従来より、単一の(あるいは集計化された)道路リンクを対象として、道路混雑がもたらす外部不経済や資源配分上の厚生損失(デッドウェイトロス)を計測した研究成果が蓄積されている。しかし、実際の道路ネットワークでは、トリップ需要に関わる厚生損失だけでなく、非効率な経路選択に伴う厚生損失という問題が新たに加わる。ドライバーの自由な経路選択の結果として実現する利用者均衡が、パレート最適な交通量配分と一致する保証はない。

本研究では、均一なガソリン税がもたらすデッドウェイトロスを、1)ガソリン税によるデッドウェイトロス、2)ワードロップ均衡によるデッドウェイトロスに分解する。デッドウェイトロスと便益の関係

を導出する。さらに、大阪府の道路ネットワークを対象として、デッドウェイトロスを具体的に計測する。

### 2. 本研究の基本的な考え方

Walters以来、混雑による外部不経済を内部化する方法として混雑税に関する研究が蓄積されてきた。また、最適混雑税の導出方法や混雑税導入がもたらす厚生変化に関する実証的研究も蓄積されている。これらの先行研究は、いずれも高度に集計化されたデータを用いたり、あるいは単一の道路区間を対象として混雑によるデッドウェイトロスを計測したものである。そこでは、道路ネットワークが明示的に考慮されておらず、ドライバーの経路選択行動により各道路リンクの交通量が決定されることを無視している。従来の研究では、このような交通量配分に伴う非効率性を計測していないという問題がある。

一方、交通工学の分野では、Wardropの等費用原則、費用最小化原則に基づく交通量配分が提案されてきた。Kanafani等は経路誘導によってシステム最適配分を達成した場合と利用者均衡の場合の差額に基づいて経路誘導の便益を測定する方法を提案した。しかし、均一なガソリン税がもたらす資源配分上のデッドウェイトロスを計測した事例はない。

デッドウェイトロスは、1)ドライバーの自由な経路選択行動がもたらすネットワーク均衡の非効率性と、2)利用者均衡で決定されるOD間一般化交通費用が社会的限界費用と乖離することにより生じる。すなわち、1)ワードロップ均衡がもたらす非効率性、2)均一なガソリン税による非効率性により、デッドウェイトロスが生じる。前者は、ドライバーの自由な経路選択がもたらす資源配分上の歪みである。後者は、ガソリン税率が最適な混雑税より乖離していることにより生じる。

なお、デッドウェイトロスの計測は、道路容量と

\*キーワード：整備効果計測法、公共事業評価法

\*\*学生員 工修 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻  
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5073)

\*\*\*正員 工博 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻  
(〒606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL・FAX 075-753-5071)

道路利用量が同時に最適に決定される長期と、道路容量を所与として道路利用量が決定される短期に分けることができる。現実においては、道路ネットワークを構成するすべての道路リンクを最適な水準に整備することは不可能であり、せいぜい逐次的にリンクの道路容量を整備するしかない。そこで本研究では、既存の道路容量を所与とした短期を対象とする。

### 3. モデルの定式化

#### (1) モデル化の前提条件

対象とする地域を  $m$  個のゾーンに分割され、各ゾーンに  $N^r$  ( $r = 1, \dots, m$ ) の家計が居住する。家計は居住地域でガソリンを購入すると考える。デッドウェイトロスの計測は家計部門についてのみ行う。業務交通に関しては、交通需要は非弾力的でありデッドウェイトロスが生じないと仮定する。交通需要の発生ノード集合を  $R$ 、集中ノード集合を  $S$  とで表す。リンクの集合を  $A$  で表す。発ノード  $r \in R$  から着ノード  $s \in S$  を経由して元の発ノードに到着するには、多くの利用可能な経路が存在するが、この往復の経路の集合を  $K_{rs}$  で表す。経路集合  $K_{rs}$  の要素である各経路には番号  $k$  が割り当てられる。 $\delta_{a,k}^{rs}$  は OD ペア  $rs$  の経路  $k$  がリンク  $a$  を通過する時に 1 を、そうでない時 0 をとるダミー変数である。家計は目的地への往復トリップのみを形成すると仮定する。

ゾーン  $r$  に居住する家計がリンク  $a \in A$  を利用する場合の私的費用関数  $c_a^r$  を次のように定義する。

$$c_a^r := \{p^r z(x_a) + \omega t_a(x_a)\} d_a \quad (1)$$

ここで、 $p^r$  はゾーン  $r$  の税込みガソリン価格、 $x_a$  はリンク  $a$  の交通量、 $z(x_a)$  は単位距離当りガソリン消費量、 $\omega$  は時間価値、 $t_a(x_a)$  は走行時間関数、 $d_a$  はリンク  $a$  の距離である。なお、各リンクの私的交通費用はガソリン価格に地域格差があるため、私的交通費用  $c_a^r$  は発ゾーン  $r$  によって異なった値をとる。

#### (2) 家計の交通行動のモデル化

家計は目的地を訪問することにより効用を獲得する。交通トリップはそのための手段である。代表的家計の訪問サービスの生産行動を次のような Dixit 型家計生産関数で表す。

$$v^{rs} = \phi(q^{rs}, Z^s) = (q^{rs})^\alpha (Z^s)^\beta, \alpha + \beta < 1 \quad (2)$$

ここに、 $q^{rs}$  はゾーン  $s$  への交通トリップ数、 $Z^s$  は目

的地  $s$  の魅力度である。家計生産関数は各目的地に対して同一である。ゾーン  $r$  の代表的家計の効用を Samuelson 型準線形効用関数

$$u^r(v^{r1}, \dots, v^{rm}, y^r) = G \left( \sum_{s \neq r} v^{rs} \right) + y^r \quad (3)$$

で表す。ここに  $y^r$  は合成財の消費量である。 $G$  は弾力値  $\epsilon$  が一定な効用関数

$$G(S) = \frac{S^{(1-\epsilon)}}{1-\epsilon}, 0 < \epsilon < 1 \quad (4)$$

とする。家計はトリップを生成する時点で自分の行動が私的交通費用に及ぼす影響を考慮せず、私的限界交通費用を与件と考え行動すると考える。この時、ゾーン  $r$  の代表的家計の交通行動は次のような効用最大化問題 (UI) として定式化できる。

$$\max_{q^{rs}, y^r, f_k^{rs}} \left\{ G \left( \sum_s v^{rs} \right) + y^r \right\} \quad (5a)$$

subject to

$$v^{rs} = \phi(q^{rs}, Z^s) = (q^{rs})^\alpha (Z^s)^\beta \quad (5b)$$

$$\sum_{s \neq r} \sum_{a \in A} \sum_{k \in K_{rs}} \delta_{a,k}^{rs} f_k^{rs} c_a^r + y^r = Y^r \quad (5c)$$

$$q^{rs} = \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} \quad (5d)$$

$$q^{rs} \geq 0, f_k^{rs} \geq 0 \quad (5e)$$

ここに、 $f_k^{rs}$  は経路  $k$  を利用する回数であり、式 (5c) は予算制約式である。問題 (UI) より、代表的家計の目的地別トリップ需要関数が得られる。各家計の需要関数をすべての居住家計に関して集計化すれば、次の集計的需要関数 (分布交通量) を得る。

$$Q^{rs} = N^r q^{rs} = \frac{\alpha^{\eta_3} (C^{rs})^{\eta_1} (Z^s)^{\eta_2} N^r}{\left[ \sum_t C^{rt} \{ (C^{rt})^{\eta_1} (Z^t)^{\eta_2} \} \right]^{\eta_4}} \quad (6)$$

ただし、 $\eta_1 = -1/(1-\alpha) < 0$ ,  $\eta_2 = \beta/(1-\alpha) > 0$ ,  $\eta_3 = 1/\{1-(1-\epsilon)\alpha\}$ ,  $\eta_4 = \epsilon\eta_3$  である。

#### (3) ネットワーク均衡のモデル化

以上の議論では各 OD ペアの私的限界費用を与件として扱っていた。私的限界費用はネットワークにおける経路配分に依存して変化する。ネットワーク均衡における私的交通費用  $C^{rs}$  を定義しよう。ゾーン  $r$  の全ての家計が生成する集計的な経路交通量を  $F_k^{rs} = N^r f_k^{rs}$  と表す。ゾーン  $r$  の家計によるリンク  $a \in A$  の集計的リンク交通量を  $x_a^r$ 、すべての家計によるリンク  $a \in A$  の集計的リンク交通量を  $x_a$  と表せば

$$x_a = \sum_r x_a^r = \sum_{s \neq r} \sum_{k \in K_{rs}} \delta_{a,k}^{rs} F_k^{rs} \quad (7)$$

となる。ネットワーク均衡をワードロップ均衡により定義する。ネットワーク均衡[0]は

$$\begin{aligned} \sum_{a \in A} \delta_{a,k}^{rs} c_a^r(x_a) &= C_0^{rs} \quad \text{if } F_{k,0}^{rs} > 0 \\ \sum_{a \in A} \delta_{a,k}^{rs} c_a^r(x_a) &\geq C_0^{rs} \quad \text{if } F_{k,0}^{rs} = 0 \\ Q_0^{rs} &= \sum_{k \in K_{r,s}} F_{k,0}^{rs} \\ Q_0^{rs} &= \frac{\alpha^{\eta_3} (C_0^{rs})^{\eta_1} (Z^s)^{\eta_2} N^r}{\left[ \sum_t C_0^{rt} \{ (C_0^{rt})^{\eta_1} (Z^t)^{\eta_2} \} \right]^{\eta_4}} \end{aligned} \quad (8)$$

を同時に満足する  $Q_0^{rs}, F_{k,0}^{rs}$  により定義される。以降、ネットワーク均衡を番号で表し、各変数の下付添字で表した数字は対応するネットワーク均衡問題の番号を表す。

#### 4. デッドウェイトロスと便益の定式化

ネットワーク均衡[0]において生じるデッドウェイトロスは、1) 均一なガソリン税率による非効率性、2) ワードロップ均衡がもたらす非効率性という2つの要因により構成される。均一ガソリン税率下でのデッドウェイトロスを、ガソリン税率下での資源配分[0]とfirst-bestな資源配分におけるEV(等価変分)として定義しよう。準線形効用関数を仮定しているので、EVと消費者余剰の差は等しくなる。まず、first-bestな資源配分を総効用最大化問題として求めよう。総効用最大化問題[1]は

$$\max_{y^r, q^r, f_k^r} \sum_{r \in R} N^r \{y^r + G(q^r)\} \quad (9a)$$

subject to

$$\begin{aligned} \sum_{r \in R} \sum_{s \neq r} \sum_{a \in A} \sum_{k \in K_{r,s}} \delta_{a,k}^{rs} N^r f_k^r c_a^r(x_a) + \sum_{r \in R} N^r y^r \\ = \sum_{r \in R} N^r Y^r \end{aligned} \quad (9b)$$

$$q^r = \sum_{k \in K_{r,s}} f_k^r \quad (9c)$$

$$x_a = \sum_{r \in R} N^r \sum_{s \in S} \sum_{k \in K_{r,s}} \delta_{a,k}^{rs} f_k^r \quad (9d)$$

$$f_k^r \geq 0 \quad (9e)$$

$$F_k^r = N^r f_k^r \quad (9f)$$

$$Q^r = N^r q^r \quad (9g)$$

と定式化できる。なお、ゾーン  $r$  の家計の部分効用  $G$  は  $q^r = (q^{r1}, q^{r2}, \dots, q^{rs})$  の関数であるので、 $G(q^r)$  と表す。この問題の1階の最適化条件を整理することにより、ネットワーク均衡問題[1]

$$\sum_{a \in A} \delta_{a,k}^{rs} \left( c_a^r + \frac{\partial c_a^r}{\partial x_a} x_a^r \right) = C_1^{rs} \quad \text{if } F_{k,1}^{rs} > 0 \quad (10a)$$

$$\sum_{a \in A} \delta_{a,k}^{rs} \left( c_a^r + \frac{\partial c_a^r}{\partial x_a} x_a^r \right) \geq C_1^{rs} \quad \text{if } F_{k,1}^{rs} = 0 \quad (10b)$$

$$Q_1^{rs} = \sum_{k \in K_{r,s}} F_{k,1}^{rs} \quad (10c)$$

$$Q_1^{rs} = \frac{\alpha^{\eta_3} (C_1^{rs})^{\eta_1} (Z^s)^{\eta_2} N^r}{\left[ \sum_t C_1^{rt} \{ (C_1^{rt})^{\eta_1} (Z^t)^{\eta_2} \} \right]^{\eta_4}} \quad (10d)$$

を同時に満足する  $Q_1^{rs}, F_{k,1}^{rs}$  である。均一なガソリン

税率下での資源配分[0]とパレート最適な資源配分[1]におけるゾーン  $r$  の代表的家計の等価変分  $EV^r$ 、資源配分[0]での間接効用関数を  $v^r(C_0^r, Y^r)$  とすると、

$$v^r(C_0^r, Y^r + EV_i^r) = u_1^r \quad (11)$$

$$\Leftrightarrow y_0^r + G(q_0^r) = y_1^r + G(q_1^r) \quad (12)$$

が成立する。ただし、 $u_1^r$  は問題(9a)-(9g)により達成される効用水準を表す。式(12)に  $N^r$  を乗じ  $r$  に関して和をとり、資源制約(9b)を用いて  $N^r y_1^r$  を消去すると、デッドウェイトロス  $\rho_1$  は

$$\begin{aligned} \rho_1 &:= \sum_{r \in R} N^r EV^r \\ &= \sum_{r \in R} \{ \{ N^r G(q_1^r) - TC_1^r \} \\ &\quad - \{ N^r G(q_0^r) - TC_0^r \} \} \end{aligned} \quad (13)$$

$$TC_0^r = \sum_{s \in S} \sum_{a \in A} \sum_{k \in K_{r,s}} \delta_{a,k}^{rs} c_a^r F_{k,0}^{rs} \quad (14)$$

と定義することができる。さらに、ゾーン毎のデッドウェイトロス  $\rho_1^r$  は

$$\rho_1^r := \{ N^r G(q_1^r) - TC_1^r \} - \{ N^r G(q_0^r) - TC_0^r \} \quad (15)$$

により定義できる。

つぎに、ワードロップ均衡がもたらす経路配分上のデッドウェイトロス  $\rho_2$  を定義する。 $\rho_2$  は問題(9a)-(9g)で、OD交通量  $Q^s$  を  $Q_0^s$  の水準に固定した問題の解として与えられる。この問題の最適解はそれと等価なネットワーク均衡問題[2]

$$\sum_{a \in A} \delta_{a,k}^{rs} \left( c_a^r + \frac{\partial c_a^r}{\partial x_a} x_a^r \right) = C_2^{rs} \quad \text{if } F_{k,2}^{rs} > 0 \quad (16a)$$

$$\sum_{a \in A} \delta_{a,k}^{rs} \left( c_a^r + \frac{\partial c_a^r}{\partial x_a} x_a^r \right) \geq C_2^{rs} \quad \text{if } F_{k,2}^{rs} = 0 \quad (16b)$$

$$Q_2^{rs} = \sum_{k \in K_{r,s}} F_{k,2}^{rs} \quad (16c)$$

の解  $F_{k,2}^{rs}$  として求まる。なお、下付添字2はネットワーク均衡問題[2]の均衡値を示す。この問題のデッドウェイトロス  $\rho_2$  は

$$\rho_2 := \sum_{r \in R} (TC_0^r - TC_2^r) \quad (17a)$$

$$\rho_2^r := TC_0^r - TC_2^r \quad (17b)$$

と定義できる。次に、システム最適な経路配分が行われるという状況の下で、均一なガソリン税率が交通トリップ生成にもたらすデッドウェイトロス $\rho_3$ 、及びゾーン別のデッドウェイトロス $\rho_3^z$ を定義する。

$$\rho_3 := \rho_1 - \rho_2 \quad (18a)$$

$$= \sum_{r \in R} \{N^r G(q_1^r) - N^r G(q_0^r) + TC_2^r - TC_1^r\}$$

$$\rho_3^z := N^r G(q_1^r) - N^r G(q_0^r) + TC_2^r - TC_1^r \quad (18b)$$

以後、 $\rho_1$ を「総デッドウェイトロス」、 $\rho_2$ を「ワードロップ均衡によるデッドウェイトロス」、 $\rho_3$ を「ガソリン税によるデッドウェイトロス」と呼ぶ。

ガソリン税率下で、ある道路リンクの容量を拡張した際の便益を求めよう。道路投資後のネットワーク均衡を[4]で表す。純便益 $B_4$ は

$$B_4 := \sum_{r \in R} [\{N^r G(q_4^r) - TC_4^r\} - \{N^r G(q_0^r) - TC_0^r\}] - D \quad (19)$$

となる。 $D$ は道路建設費用、 $q_4^r$ はネットワーク均衡[4]でのゾーン $r$ の代表的家計のトリップベクトル、 $TC_4^r$ は式(14)をネットワーク均衡[4]で評価した値である。道路投資後の総効用最大化問題で得られるネットワーク均衡を[5]で表そう。道路投資前後でのfirst-bestな資源配分を測定した純便益 $B_5$ は

$$B_5 := \sum_{r \in R} [\{N^r G(q_5^r) - TC_5^r\} - \{N^r G(q_1^r) - TC_1^r\}] - D \quad (20)$$

と求められる。 $q_5^r$ はネットワーク均衡[5]でのゾーン $r$ の代表的家計のトリップベクトル、 $TC_5^r$ は式(14)をネットワーク均衡[5]で評価した値である。一方、道路投資後に生じるデッドウェイトロス $\rho_5$ は、

$$\rho_5 = \sum_{r \in R} [\{N^r G(q_5^r) - TC_5^r\} - \{N^r G(q_4^r) - TC_4^r\}] \quad (21)$$

となる。よって、デッドウェイトロスの変化 $\delta\rho$ は

$$\delta\rho = \rho_5 - \rho_1 \quad (22)$$

となる。したがって、純便益 $B_4, B_5$ とデッドウェイトロスの変化 $\delta\rho$ の関係について次式が成立する。

$$B_4 \equiv B_5 - \delta\rho \quad (23)$$

## 5. 実証分析

大阪府の国道・高速道路からなる道路網で生じているデッドウェイトロスを実証的に測定した。平成3年度のパーソントリップ調査に基づいて自動車OD表を作成し、需要固定型利用者均衡配分を行った。その結果よりゾーン間の一般化交通費用を得、需要

表-1: デッドウェイトロス(単位: 百万円/日)

ゾーン名	$\rho_1$	$\rho_2$	$\rho_3$
能勢町	1.0	-5.4	6.4
豊能町	2.6	-9.0	11.5
箕面市	19.2	-10.8	30.1
川西市	20.3	7.1	13.2
池田市	13.2	0.3	12.9
豊中市	67.8	-10.6	78.5
吹田市	54.7	14.1	40.6
摂津市	11.8	-1.9	13.7
茨木市	37.3	-17.6	54.9
高槻市	56.6	7.1	49.5
枚方市	62.4	24.9	37.5
寝屋川市	34.8	1.2	33.5
門真市	48.2	22.4	25.8
四条畷市	22.6	1.7	20.9
東大阪市	81.1	15.9	65.3
八尾市	44.6	-32.8	77.4
松原市	22.9	-31.0	53.9
藤井寺市	25.3	-25.6	50.9
富田林市	28.4	-58.7	87.1
河内長野市	13.6	-5.0	18.6
堺市	124.7	-13.2	137.9
和泉市	21.6	-14.7	36.3
泉大津市	22.5	-3.2	25.7
岸和田市	27.9	-8.5	36.4
泉佐野市	18.4	5.3	13.1
泉南市	6.0	1.1	4.9
阪南市	5.4	-1.4	6.8
岬町	1.1	-1.6	2.7
大阪市	372.9	271.3	101.6
大阪府全体	1,268.7	121.4	1,147.3

関数(6)を最尤法を用いて推計した。さらに、ネットワーク均衡[0],[1],[2]を求め、デッドウェイトロス $\rho_1^z, \rho_2^z, \rho_3^z$ を計算した。

表-1に示すように大阪府全体で年間約3800億円程度のデッドウェイトロスが生じており、経路選択の非効率性もたらすデッドウェイトロスが全体の1割程度、ガソリン税が最適混雑税率より乖離することにより生じるデッドウェイトロスが全体の9割程度を占めている。最適でないガソリン税もたらすデッドウェイトロスは無視できない程度大きな値をとっていることが確認できた。なお、 $B_4, B_5, \delta\rho$ の推計結果については紙面の都合上講演時に発表する。

## 6. おわりに

最適でないガソリン税体系の下では、資源配分上大きな歪みが生じていることが判明した。このような資源配分上の歪みは、家計の消費者余剰の配分においても大きな歪みをもたらしている可能性がある。現行のガソリン税の下で費用便益分析を行った場合、便益計測において交通需要の多寡による系統的なバイアスを生じる危険性がある。