

ネットワーク効果を考慮した最適道路整備

陶 怡 敏

1 はじめに

道路をはじめとする社会インフラの維持・更新および新設にあたっては、資源の効率的利用と負担の公平、すなわち受益者負担の原則に基づいて費用負担が決定されるべきである¹⁾。Mohring²⁾と Mohring および Harwitz³⁾は、道路容量の拡大が規模に関して収穫一定ならば、社会的限界費用に基づく混雑料金は最適な道路容量を供給するための費用をちょうど償うことを指摘した。Newbery の論文⁴⁾では、道路の建設ならびに利用が規模に関して収穫一定の場合、道路維持費と資本費用の利子を含めた収支均衡が混雑料金によって賄えることが証明されている。Small, Winston および Evans⁵⁾は、Newbery の仮定を利用することなく、トリップ数と累積車軸数という複数生産物のフレームワークを用いて混雑コストと道路損傷のコストを計測し、実証的に同じ結論に達している⁶⁾。

ところが、道路ネットワークの整備ならびに利用による便益は必ずしも道路利用者にもみ帰着するわけではない。すなわち道路ネットワークの整備ならびに利用は、集積の経済に代表されるネットワーク外部性（効果）が生み出している。ここでいうネットワーク外部性は、Marshall の外部経済と呼ばれる現象に他ならない。Marshall の外部経済とは、道路サービス産業全体の産出量拡大による個別道路事業主体（国、地方公共団体、高速道路株式会社、地方道路公社および PPP/PFI 事業者など）の社会的平均費用低下を意味する。

本稿では、道路混雑・自動車交通による環境汚染という外部不経済と道路投資による間接便益（市場の失敗が存在する場合を含めて）というマーシャルの外部経済を取り上げ、複数生産物モデルの考察を通じて、道路整備政策の在り方を示す。

2 混雑税と外部不経済の内部化

道路の混雑や自動車通行による環境汚染は、ともに狭い意味での社会的費用の一種である。そこで、ここではこれら2つを一括して外部不経済ととらえ、それを最適な水準まで抑制する手段として、混雑税・環境税を検討しよう。

図1及び数式を用いて、混雑税の考え方^{7),8)}を簡潔に示すことにしよう。まず、図1で用いる記号を定める。

y : 交通量, $q(y)$: 需要関数, $g(y)$: 私的限界費用, $f(y)$: 社会的限界費用

図1の社会的限界費用 $f(y)$ は交通流に自動車1台追加することによる全走行車両の追加費用の和を表す。私的限界費用 $g(y)$ は自動車1台あたりのガソリン代・自動車の減耗分等の金銭的走行費用に所要時間価値（＝単位距

図1 混雑税の概念図

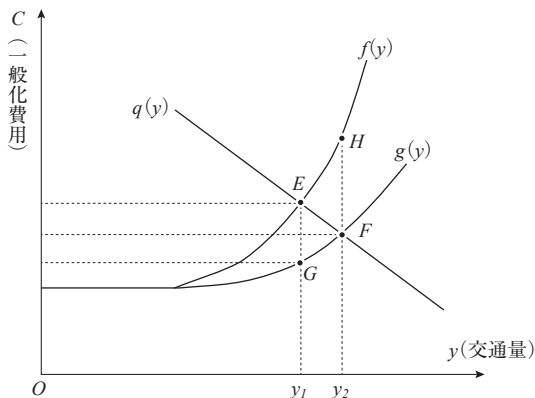


表 1 自動車関係諸税の概要

課税時	税 目	創設年	暫定税率**	本則税率	税 別	配分の比率
購入時	自動車取得税	昭和43年	取得価格の3%*	取得価格の3%*	都道府県税	地方に全額
保有時	自動車重量税	昭和46年	4,100円/0.5t*	2,500円/0.5t*	国税	国に2/3 地方に1/3
使用時	揮発油税	昭和24年	48.6円/ℓ	24.3円/ℓ	国税	国に全額
	地方揮発油税	昭和30年	5.2円/ℓ	4.4円/ℓ	国税	地方に全額
	軽油引取税	昭和31年	32.1円/ℓ	15.0円/ℓ	都道府県税	地方に全額
	石油ガス税	昭和41年	—	17.5円/ℓ	国税	国に1/2 地方に1/2

注) * : 自家用乗用車, ** : 暫定税率の適用期限は平成30年3月末（自動車重量税については30年4月末）

離あたり必要時間×平均時間価値）を足した単位距離あたりの一般化費用（円/km）である。走行台キロ当たりの道路サービス費用（ガソリン税などの燃料税・自動車重量税など保有に関わる税、表1参照）は金銭的走行費用に含まれているので、 $g(y)$ を社会的平均可変費用（social average variable cost）と見なすことができる。すなわち、自動車交通サービスの生産費の全てが可変費用である。したがって、 $g(y)$ で表した社会的総費用（social total cost）と $f(y)$ で表した社会的総費用は同じである。このとき、社会的限界費用と私的限界費用（＝社会的平均費用）との間に次の関係が成立する。

$$\int_0^y f(y)dy = y \cdot g(y) \quad (1)$$

(1)式両辺を y で微分して整理すれば、(2)式が得られる。ただし、 $e(y) = \{dg(y)/g(y)\} / \{dy/y\}$ である。

$$f(y) = g(y) + g(y) \cdot e(y) \quad (2)$$

社会的純便益 W は社会的粗便益から総費用を引いたものであるから、 W は、

$$W = \int_0^y q(y)dy - \int_0^y f(y)dy \quad (3)$$

となる。 W を y で微分してゼロとおけば、(4)式が得られる。

$$q(y) = f(y) \tag{4}$$

(3)式と(4)式から、(5)式が得られる。

$$q(y) = g(y) + g(y) \cdot e(y) \tag{5}$$

(5)式の意味するところは次のとおりである。自動車交通事業主体の判断に基づく最適供給を行うプロセスの中で社会的に最適な自動車交通サービス量を達成するためには、社会的平均費用にその弾力性 $e(y)$ をかけた大きさの混雑税を全ての走行車に課すことが必要である。混雑税額 $g(y) \cdot e(y)$ は図1の EG の長さで示される。

ここで、交点 F における社会的純便益と、交点 E における社会的純便益との差 L 、すなわち混雑を放置した場合の社会的損失 (*dead-weight loss*) を求めよう。交通量 y_1 のときの社会的総費用は $\int_0^{y_1} f(y) dy = y_1 \cdot g(y_1)$ 、交通量 y_2 のときの社会的総費用は $\int_0^{y_2} f(y) dy = y_2 \cdot g(y_2)$ であることに注意して、(6)式が得られる。

$$\begin{aligned} L &= \left\{ \int_0^{y_2} q(y) dy - y_2 \cdot g(y_2) \right\} - \left\{ \int_0^{y_1} q(y) dy - y_1 \cdot g(y_1) \right\} \\ &= \left\{ \int_0^{y_2} q(y) dy - \int_0^{y_1} q(y) dy \right\} - \{ y_2 \cdot g(y_2) - y_1 \cdot g(y_1) \} \\ &= \int_{y_1}^{y_2} q(y) dy - \int_{y_1}^{y_2} f(y) dy = -EFH \end{aligned} \tag{6}$$

混雑税を導出した同じ論理で環境税を導出することができる（排出物に絶対量として総量規制がないとき）。環境汚染による社会的費用を価格メカニズムを利用して内部化するのが炭素税に代表される環境税の役割である。既存税制の中で、最も環境の要素を持っているのが自動車燃料税をはじめとする石油関連諸税である。石油はその消費にあたり CO_2 をはじめ NO_x 、 SO_x などを排出するから、それに賦課し、排出量を削減させようとする発想と

れば、環境税そのものとなる。

混雑税の賦課に代表されるロード・プライシングには、①ゾーン・プライシング (zone pricing)、②エリア・プライシング (area pricing)、③コードン・プライシング (cordon pricing)、④ポイント・プライシング (point pricing)、⑤対距離課金 (distance-based charge) などがある。①の実際例としては、1975年からシンガポールで採用されているエリア・ライセンス・スキームがある。②の具体例としては、2003年からロンドンで導入された混雑課金 (congestion charging) がある。③は、特定の混雑地域を囲むライン（コードン線）を設定し、ここを通過して、混雑地域に進入しようとする自動車に課金するものである。課金の技術としては、ETC (Electronic Toll Collection System：電子料金収受システム) 技術が確立しているので、これを利用してERP (Electronic Road Pricing) を、シンガポールでは1998年から導入し、漸次その地域を拡大している。④は、ある特定の混雑ポイントやルートを通過する自動車に課金する方法である。⑤は、主に道路修繕費用の負担を目的に導入されている（表2参照）。

表2 ロード・プライシングの手法と実施・検討例

実施方法など			実施の程度	
手 法	目 的	課金設定	実施（導入年～終了年）	導入検討中 or 計画中止
zone pricing	混雑緩和・環境改善	ピーク／オフピーク	シンガポール（1975～1998）	香港 ケンブリッジ（英）
area pricing	混雑緩和・環境改善	一律	ロンドン（2003）	
cordon pricing	混雑緩和・環境改善	時間帯別料金	シンガポール（1998）	東京、ランドスタッド
	混雑緩和・収入獲得	ピーク／オフピーク	ベルゲン（1986） トロンハイム（1991～2005）	
		一律	オスロ（1990～2005）	
		時間帯別料金	ストックホルム（2007）	
point pricing	混雑緩和・収入獲得	ピーク／オフピーク	フランス A1 号線（1992） ソウル南山1号 3号トンネル（1996）	
distance-based charge	収入獲得・環境改善	重量車対距離課金	スイス（2001） オーストリア（2004） ドイツ（2005） チェコ（2007）	オランダ スウェーデン フランス、アメリカ

3 外部的な規模の経済と開発利益の還元

道路ネットワークの外部性に深く関連する概念の一つとして道路投資の経済効果が挙げられる。道路投資の経済効果は、直接効果と間接効果に大別される(表4参照)。そして、間接効果は需要創出効果、生産力拡大効果などに分けられる。需要創出効果(フロー効果)に関しては乗数が地域で差がないならば、ここでそれらを取りあげる積極的な意義は存在しないので、ストック効果(直接効果+フロー効果以外の間接効果)を中心に検討することにする。ストック効果(利用効果)は、道路の機能がもたらすインパクトをさすものであり、その波及過程に着目すれば、直接効果と間接効果に分けられる。前者には道路利用者が直接享受できる時間節約便益、走行費用節約便益などがあり、後者には、道路利用者が受けた便益が2次的3次的に波及した生産力拡大効果、地域開発効果、地価上昇効果などがある。各市場が競争市場であるならば、利用者便益の大半は地価の上昇に帰着する。利用者便益が地代に資本化するという仮説はキャピタリゼーション仮説(capitalization theorem)というが、ここでは簡単なモデルと実証データを用いて、道路投資の便益と狭義の開発利益(地価の上昇)の関係を示しておこう。

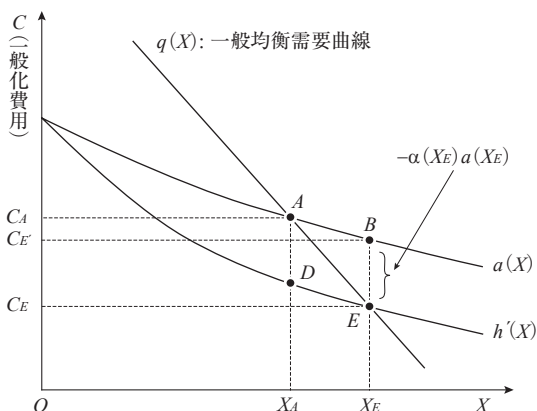
以下、 X を道路事業全体の生産量(累積車軸数)、 x を個別道路事業主体(国、地方公共団体、高速道路株式会社、地方道路公社およびPPP/PFI事業者など)の生産量、 $a(X)$ を個別事業主体の平均費用(=限界費用)とするとき、個別事業主体の費用関数は $a(X)x$ となる。 X を所与としたときの個別事業主体の平均(限界)費用は、 $a(X)$ の水準で一定である^{2),3),4)}。すなわち1OD、1リンクを分析対象とした場合、道路の建設ならびに利用は規模に関して収穫一定である。しかし、個別事業主体の平均費用 $a(X)$ は、外部的な規模の経済(ネットワーク外部性)のため道路事業全体の生産量 X に依存し、 X が増えれば $a(X)$ は逡減するから、 $a'(X) < 0$ が成立する。 $a(X)$ は

$a(X)$ の X に対する弾力性であり、 $a(X) < 0$ を満たしているとする。道路事業全体の総生産費を $a(X)X [=h(X)]$ とすると、

$$h'(X) = a(X) + \alpha(X)a(X) \tag{7}$$

が得られる。ただし、 $h'(X)$ は道路事業全体の限界費用 (=社会的限界費用 = 道路維持修繕費⁹⁾)、 $-a(X)a(X)$ は限界外部便益 (=私的限界費用 - 社会的限界費用)を表す。 X_E のときの限界外部便益を図示すると、図2の BE の長さとなる。

図2 外部経済効果の内部化



いま、道路サービスの効率的供給という観点から、供給量を調整できる場合を考えよう。その場合のパレート効率性の基準は、道路サービスの供給による社会的総便益から社会的総費用を引いた結果の社会的純便益 (NPV) で捉え、それを最大にするように道路サービスの供給量を調整する。したがって、

$$\max_x \int_0^x \{q(X) - h'(X)\} dX \tag{8}$$

を考えればよく、そのためには、(9)式を X で微分してゼロとおけばよい。その結果、道路サービスの効率的供給条件として、

$$q(X) = h'(X) \quad (9)$$

が得られる。(9)式をみたすような供給量は X_E として図2に記されている。

(7)式と(9)式から、

$$q(X) = \{1 + \alpha(X)\}a(X) \quad (10)$$

をみたすような供給量が社会的最適をもたらすことになる。

(10)式の意味するところは次のとおりである。個別道路事業主体自身の判断に基づく最適供給を行うプロセスの中で社会的に最適な道路サービス量を実現するためには、社会的平均費用にその弾力性 $\alpha(X)$ をかけた大きさの補助金を全ての道路事業主体に与えることが必要である。補助金額 (= 赤字) は図2の $C_E' C_E EB$ の面積で示される。

ここで、交点 A における消費者余剰と、交点 E における消費者余剰との差 S (利用者便益)、交点 A における社会的余剰と、交点 E における社会的余剰との差 G (社会的純便益) を求めよう。道路サービス X_A のときの総費用は $\int_0^{X_A} h'(X) dX = X_A \cdot a(X_A)$ 、道路サービス X_E のときの総費用 $\int_0^{X_E} h'(X) dX = X_E \cdot a(X_E)$ はであることに注意して、(11)、(12)及び(13)式が得られる。

$$S = \int_{X_A}^{X_E} q(X) dX + X_A \cdot a(X_A) - X_E \cdot h'(X_E) = C_A C_E EA \quad (11)$$

$$G = \int_{X_A}^{X_E} q(X) dX - X_E \cdot a(X_E) + X_A \cdot a(X_A) = ADE \quad (12)$$

$$S - G = X_E \cdot a(X_E) - X_E \cdot h'(X_E) = -\alpha(X_E) a(X_E) \cdot X_E = C_E' C_E EB \quad (13)$$

(13)式は、社会的限界費用に等しい価格を設定したときの道路事業主体の

赤字 $(-\alpha(X_E)a(X_E) \cdot X_E)$ は地価上昇分（利用者便益－道路維持修繕費）から社会的純便益 G を引いた値に等しいことを示している。

以上の論述に関連して、応用一般均衡（CGE）分析モデルによる便益計測例¹⁰を一つ紹介しておこう。便益計測の対象とするプロジェクトは、岐阜環状線の建設プロジェクトである。全長25km 総建設費544億円（1985年現在価値）の岐阜環状線は1985年供用を開始し、2000年に全線完成予定であった。分析の対象とする地域は岐阜市周辺32市町村であり、1989年現在当該地域の総人口は約126万人、総面積は約1,300km²である。プロジェクトライフを全線開通後30年間と仮定し、部分的供用開始の1985年現在価値換算（社会的割引率5%）してまとめた便益帰着構成表は表3のとおりである。

表3 便益帰着構成表による道路投資の経済効果（1988-2015）
（単位：億円）

項目		部門				
		世帯	企業	地主	政府	合計
道路利用者便益		297	265			562
地価の上昇		-237	-232	469		0
税金	ガソリン税	-14	-12		93	0
	固定資産税			-67		
道路整備費用					-544	-544
合計		46	21	402	-451	18

注）表中の数値は1985年現在価値。

出所）森杉寿芳編著『社会資本整備の便益評価』勁草書房（1997）、89ページに加筆。

表3の横軸の合計をみると、当該プロジェクトの社会的純便益は18億円（=562億円－544億円）であるから、費用便益分析の観点からは、この道路整備は実行に値する。家計部門における走行時間短縮による便益は297億円である。同じく私企業部門も走行時間短縮による便益は265億円である。家計や私企業を土地利用者としてみると、利用者便益の大部分は地価の上昇に

よって減殺されている。一方、地主に地価上昇によるキャピタルゲインが大きく生じており、固定資産税を差し引いても402億円の純便益がある。これに対して、政府部門の赤字額は451億円である。(13)式を表6-2の数値を用いて確認すると、次のとおりである。

$$469\text{億円} = 562\text{億円} - 93\text{億円}, \quad 469\text{億円} - 18\text{億円} = 451\text{億円}$$

集積の経済あるいは外部的な規模の経済が存在する場合は、市場の失敗は避けられない。市場の失敗が存在するケースでは、市場価格が社会的費用や社会的価値と乖離するので、利用者便益より広い便益を考慮する必要がある。

4 道路整備政策のあり方

前節までで、2つのパレート最適条件{(5)式および(10)式}を個別的に論じてきたが、本節では複数生産物⁵⁾モデルを用いて道路整備政策の指針となるパレート最適条件を簡潔に示すことにしよう。

前節と全く同じように、自動車交通サービス Y は外部不経済をもち、道路サービス X は外部的な規模の経済をもっているとしよう。 $X\{Y\}$ を産業全体の生産量、 $x\{y\}$ を個別企業の生産量、 $a(X)\{b(Y)\}$ を個別企業の社会的平均費用(=私的限界費用)とすると、個別企業の費用関数は $a(X)x\{b(Y)y\}$ となる。以上のことにより、 $a'(X) < 0\{b'(Y) > 0\}$ が成立する。さらに、 $h(X) = a(X)X$, $g(Y) = b(Y)Y$, $\alpha(X) = a'(X)X/a(X)$, $\beta(Y) = b'(Y)Y/b(Y)$, $-1 < \alpha < 0$, $\beta > 0$ を設定すると、

$$h'(X) = (1 + \alpha)a(X) > 0 \quad (14), \quad h''(X) = (1 + \alpha)a'(X) < 0 \quad (15)$$

$$g'(Y) = (1 + \beta)b(Y) > 0 \quad (16), \quad g''(Y) = (1 + \beta)b'(Y) > 0 \quad (17)$$

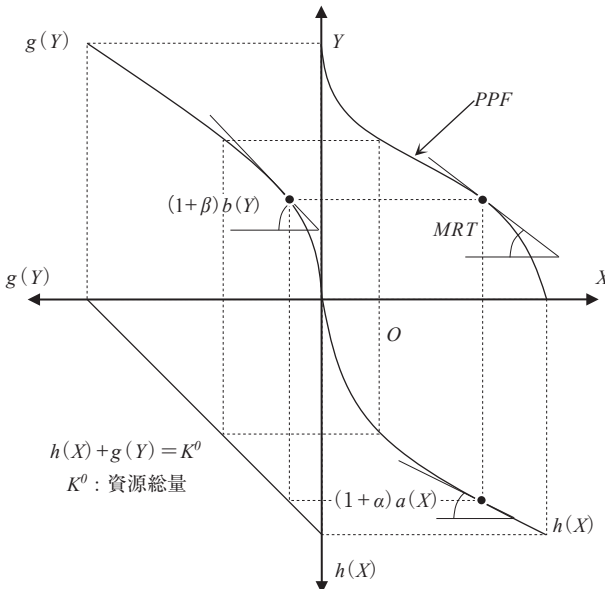
が得られる。したがって道路サービス産業においては、開発利益・集積の便益などの外部経済効果のため個別事業主体の限界費用と産業全体の限界費用が $(1 + \alpha)$ だけ乖離することになる。そして、自動車交通サービス産業においては、混雑及び環境汚染などの外部不経済効果のため個別企業の限界費

用と産業全体の限界費用が $(1+\beta)$ だけ乖離することになる。 $\alpha(X)$ 及び $\beta(Y)$ はそれぞれの部門の私的限界費用の総生産量に対する弾力性であり、それぞれ生産量に依存しない定数であると仮定する。生産可能性フロンティア（PPF：Production Possibility Frontier）は、結合生産の生産可能性条件 $a(X)X+b(Y)Y=K^0$ を満たす (X, Y) の軌跡として表される。以上の関係を図示したのが図3である。さらに生産可能性条件から、(18)式が得られる。ただし、 $\gamma=(1+\beta)/(1+\alpha)>1$ である。

$$MRT = \frac{(1+\alpha)}{(1+\beta)} \cdot \frac{a(X)}{b(Y)} = \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{a(X)}{b(Y)} \quad (18)$$

(18)式の MRT （Marginal Rate of Social Transformation：社会的限界転形率）は、図3の生産可能性フロンティアの傾きの絶対値であり、自動車交通サービス Y で測った道路サービス X の社会的限界費用である。

図3 道路サービスと自動車交通サービス



(1) リンダール=サミュエルソン条件

最適道路整備条件を求めるには、個別企業（道路利用者）1の効用を最大にするような $(Y_1, Y_2, \dots, Y_n, X)$ を、実行可能性の条件と、他の個別企業の効用水準を一定とするという制約の下で求めればよい。この解は、ラグランジュ未定乗数法により、次の条件式の極大値として与えられる。

但し、 L はラグランジュ関数、個別企業1と個別企業 i の効用関数、資源制約条件はそれぞれ(19)式の第1項、第2項、第3項のようになる。

$$L = U_1(Y_1, X) + \sum_{i=2}^n \lambda_i \{U_i^0 - U_i(Y_i, X)\} + \theta \{a(X)X + b(Y)Y - K^0\} \quad (19)$$

上式を変数 X, Y_1, Y_i について偏微分してゼロとおくと、

$$\frac{\partial L}{\partial X} = \frac{\partial U_1}{\partial X} - \sum_{i=2}^n \lambda_i \frac{\partial U_i}{\partial X} + \theta \{(1 + \alpha)a(X)\} = 0 \quad (20)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Y_1} = \frac{\partial U_1}{\partial Y_1} + \theta \{(1 + \beta)b(Y)\} = 0 \quad (21)$$

$$\frac{\partial L}{\partial Y_i} = -\lambda_i \frac{\partial U_i}{\partial Y_i} + \theta \{(1 + \beta)b(Y)\} = 0 \quad (22)$$

の3式を得る。ただし、 $\alpha(X)$ 及び $\beta(Y)$ はそれぞれ生産量に依存しない定数であると仮定する。(20), (21), (22)式からラグランジュ関数 λ_i と θ を消去すると、

$$\frac{\partial U_1}{\partial X} / \frac{\partial U_1}{\partial Y_1} + \sum_{i=2}^n \left(\frac{\partial U_i}{\partial X} / \frac{\partial U_i}{\partial Y_i} \right) = \frac{(1 + \alpha) \cdot a(X)}{(1 + \beta) \cdot b(Y)} \quad (23)$$

を得る。または

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial U_i}{\partial X} / \frac{\partial U_i}{\partial Y_i} \right) = MRT \quad (24)$$

$$MRT = \frac{a(X) + \alpha(X)a(X)}{b(Y) + \beta(Y)b(Y)} = \sum_{i=1}^n MRS_i \quad (25)$$

が得られる。つまり、第 i ($i=1, \dots, n$) 番目の道路利用者（個別企業）の効用関数が $U_i(Y_i, X)$ であるとし、道路サービス X ($=X_i$) と自動車交通サービス Y ($=\sum Y_i$) の生産可能性条件を $a(X)X + b(Y)Y = K^0$ によって表すとすれば、(25)式が得られる。なお、本稿では公共財を外部効果の特殊ケースと見なす¹⁾。(25)式はリンダール=サミュエルソン条件といわれ、公共財と私的財の社会的限界代替率 (MRS : Marginal Rate of Social Substitution) の和が公共財（道路サービス）と私的財（自動車交通サービス）の社会的限界転形率に等しいことを示している。パレート効率的な資源配分は、(25)式を満たさなければならない。

(2) リンダール=サミュエルソン条件の意味

(25)式は各道路利用者の道路サービスの自動車交通サービスで測った社会的限界便益の和 ($\sum MRS_i$) が道路サービスの自動車交通サービスで測った社会的限界費用 (MRT : 社会的限界転形率) に一致するところまで道路サービスを供給すべきである、という基準である。 $U_i(Y_i, X)$ には自動車交通サービスだけでなく道路サービスも含まれているから、道路サービスのパレート最適供給条件である(25)式は応益原則を意味する。応益原則に基づいて、各道路利用者がそれぞれの社会的限界代替率 (MRS_i) に比例して費用を負担し、しかも、パレート最適供給量が達成される場合を、リンダール均衡¹⁾と呼ぶ。リンダール均衡では、各道路利用者の費用負担が、各自がその道路サービスを（限界的に）評価する程度に比例して費用を負担するという意味で公正であり、受益者負担の原則を満たす。したがって、適当な道路サービスの供給を政府が行うには、リンダール均衡を達成すればよいことになる。リンダール均衡点において、最適な道路サービスの供給量とその負担額（租税価格）が同時決定されるので、この場合の受益者負担の原則は疑似的な市場メカニズムであるといえる。よく指摘されるフリーライダーの問題は情報通信

技術の進歩によって回避されつつある。道路サービスのパレート最適供給条件が満たされないとき、すなわち $\Sigma MRS_i > MRT$ ($\Sigma MRS_i < MRT$) となるとき、道路サービスの供給は最適水準よりも過小（過大）であることを意味する。このとき、道路サービスの供給量を増加（減少）させて自動車交通サービスの供給量を減少（増加）させれば、パレート改善する。道路サービスのパレート最適供給条件を、道路整備に適用したのが（社会的）費用便益分析である。道路サービスの供給に伴う社会的費用と社会的便益（社会的価値）を正確に推計できれば、明快で効率的な決定方法である。道路投資の効率性には各種の検討が必要とされるが、ここでは新（第12次）道路整備5カ年計画による経済効果に焦点を当てて検討する。

表4 第12次道路整備5カ年計画による効果

利用者便益（直接効果）	8兆円	平成15年度分
①時間便益（走行時間の短縮）	7.5兆円	（平成9年度価格）
②走行便益（走行経費の節約）	0.5兆円	
国内総生産の増加（間接効果）	200兆円	平成10年度から19年度
①生産力拡大効果（ストック効果）	70兆円	までの10年間の累計
②需要創出効果（フロー効果）	130兆円	（平成9年度価格）

日本では、1973年度に始まる第7次道路整備5カ年計画以降、マクロ経済モデルと地域経済計量モデルを用いてその経済効果が計測されてきた。これらの経済効果計測モデルは徐々に改良され、第12次道路整備5カ年計画（1998～2002年度）では、FORMATIONが開発され、表2のような同計画の効果が計測された。

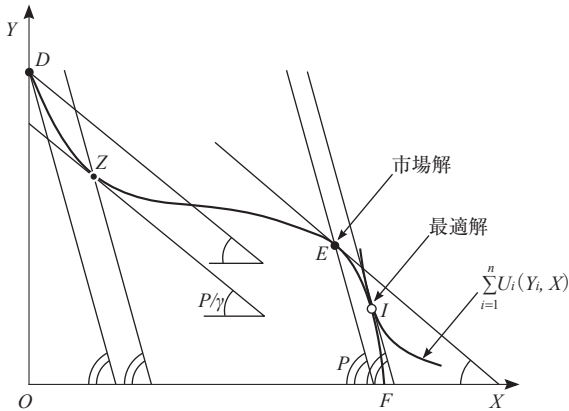
第12次道路整備5カ年計画（新道路整備5カ年計画）の全事業費が78兆円であるのに対し、GDPの増加分は200兆円とはるかに大きく、この計画を実施する価値は十分あることを示している。また、費用便益分析の観点から考察すると、直接効果のみを見ても1年度分で8兆円ということであり、5%の

社会的割引率で計算すると15年以内で便益が費用を上回ることになる。ただし、前節で述べているように、直接効果の大半が間接効果に移転するから、2重計算していることに留意しなければならない。そして、現実の道路整備に関する意思決定は、主として官僚機構内部で、しかも最終的には政治的に決定されるので、広義の受益者負担の原則を貫徹するためには、地域経済計量モデル等を活用して便益の帰属主体を明らかにすることは非常に重要である。さらに、市場の失敗が存在する場合は、集積の経済やネットワーク効果を正當に評価する必要がある。これについては、すでに前節で述べた通りである。

(3) ネットワーク効果と複数均衡

図4の *DZEIF* 曲線は図3の第一象限の生産可能性フロンティアである。生産可能性フロンティアは、所与の資源基礎から達成可能な X と Y の極大量の組み合わせを示している。生産可能性フロンティアは、道路サービスの生産量が小さい間は原点に対して凸で、生産量が次第に大きくなると原点に対して凹となる3次曲線を示すことになる。*DZEIF* 曲線の上の点での接線の勾配は道路サービス自動車交通サービスとの社会的限界転形率 *MRT* である。 P は道路サービスの自動車交通サービスに対する相対価格であり、両産業の私的限界費用の比率は私的限界転形率 $a(X)/b(Y)$ であるので、相対価格が私的限界転形率を下回るとき、道路サービス産業から自動車交通サービス産業に資本が流出し自動車交通サービスの生産量が増える。逆に相対価格が私的限界転形率を上回れば、自動車交通サービスの生産が減少し道路サービスの生産が増えることになる。(18)式でわかるように、私的限界転形率は *MRT* (社会的限界転形率) を $\gamma (>1)$ 倍したものであるので、*MRT* が P/γ を上回ると自動車交通サービスの生産を増やし、下回ると道路サービスの生産を増やすことになる。この場合の競争均衡条件は、 $P = a(X)/$

図4 道路交通経済における市場解と最適解



$b(Y)$ または $P/\gamma = MRT$ である。

したがって、この場合の道路交通経済には3つの長期均衡点 (D 、 E 及び Z) が存在することになる。 D 点と E 点は安定均衡点であるが、 Z 点是不安定均衡点 (critical mass : 閾値) である。 D 点よりは E 点の方が国民経済的な厚生が大きい。 D 点では、生産者が道路サービスを産出することは、その生産者の利潤を低下させるだけなので、この生産者は道路サービスを産出しようとしな。この場合、政府が介入 (道路整備5カ年計画など) して経済を E 点に向かわせることが、経済厚生の観点からは望ましい。ところで、 E 点は狭義の受益者負担の原則を貫徹した場合の市場解ではあるが、社会的費用および社会的価値を考慮した広義の受益者負担の原則を貫徹した場合の最適解ではない。最適解 ($P = MRT$) である(26)式を維持するために、混雑税及び集積の便益・開発利益関連税の税収を道路ネットワーク整備の財源として道路事業主体に与え、図4の I 点 ($-a(X)a(X)X = \beta(Y)b(Y)Y +$ 赤字) に対応する道路投資を行わなければならない ((27)式参照)。

$$P = \frac{a(X) + \alpha(X)a(X)}{b(Y) + \beta(Y)b(Y)} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} & -\alpha(X)a(X)X = \beta(Y)b(Y)Y + \text{赤字} \\ & = \left\{ \int_{X_A}^{X_E} q(X)dX - X_E \cdot a(X_E) + X_A \cdot a(X_A) \right\} \quad (27) \\ & - \left\{ \int_{X_A}^{X_E} q(X)dX + X_A \cdot a(X_A) - X_E \cdot h'(X_E) \right\} \end{aligned}$$

最後にリンダール・メカニズムのもとでは、各道路利用者は租税価格 P_i ($P = \sum_{i=1}^n P_i$) を与件として道路サービスの需要を決めるから、効用最大化条件 ($P_i = MRS_i$) から、

$$P = \sum_{i=1}^n P_i = \sum_{i=1}^n MRS_i \quad (28)$$

が得られる。(26)式を(28)式に代入すれば、道路サービスのパレート最適供給条件(25)式（リンダール＝サミュエルソン条件）が得られ、リンダール均衡が達成される。リンダール均衡における租税価格設定は、各道路利用者の料金を各自動車交通サービスの社会的限界費用（限界外部コスト¹²⁾）と各道路サービスの社会的限界費用（道路の維持修繕費）に等しく設定するものである。

5 む す び

本稿では、ネットワーク効果を考慮した複数生産物モデルを構築し、道路の効率的利用と負担の公平、すなわち受益者負担の観点から、望ましい道路財源制度のあり方について検討した。広義の受益者負担の原則（社会的限界便益＝社会的限界費用）を徹底させるために、混雑税及び集積利益関連税の税収を道路ネットワーク整備の財源として事業主体に与えなければならない。すなわち、道路交通の外部的な規模の経済（開発利益や集積の便益）と外部不経済（交通渋滞・自動車交通による環境汚染）の内部化を促進する諸制度

を整備していかなければならない。固定資産税の実質化などで道路整備財源が確保され、混雑税・環境税が導入される場合には、現行の自動車関係諸税を統廃合し、道路の維持修繕費相当分に軽減しなければならない。そして、一般財源による道路整備分も減らさなければならない。今後ハイブリッド車、電気自動車、燃料電池自動車やCNG車など、ガソリン以外のエネルギーで走行する車が増えれば、ガソリンと道路使用との関係は希薄になってしまうので、外部効果の内部化政策が一層真剣に考慮する必要がある。このような政策の立案にあたって、 X の社会的限界費用（道路維持修繕費）、 Y の社会的限界費用（混雑コスト・環境コスト）および幅広い便益の推計を行う必要がある。本章は、交通経済学・公共経済学の基本的結果を応用した最適解（最善の策）しか示していないが、次善の策を考案する場合も、本稿で述べたような方向に沿って現行の道路整備政策を改善することが望まれる。

参考文献

- 1) 陶 怡敏「道路特定財源と受益者負担の原則」『交通学研究/2002年研究年報』日本交通学会、2002年3月。
- 2) Mohring, H.D. (1976) *Transportation Economics*, Ballinger, Cambridge, MA.
- 3) Mohring, H. & M. Harwitz (1962) *Highway Benefits: An Analytical Framework*, Evanston, Illinois: Northwestern University Press.
- 4) Newbery, D. M. (1989) Cost Recovery from Optimally Designed Roads. *Economica*, Vol.56, No.222, pp.165-185.
- 5) Small, K. A., Winston, C. & Evans, C. A. (1989) *Road Work: A New Highway Pricing and Investment Policy*, The Brookings Institution, Washington, D.C.
- 6) Small, K.A. & Verhoef, E.T. (2007) *The Economics of Urban Transportation*, Routledge, London, p.170.
- 7) Walters, A. A. (1961) The Theory and Measurement of Private and Social Cost of Highway Congestion, *Econometrica*, pp.676-699.
- 8) 小林清晃 (1977)「交通の社会的費用と費用負担」岡野行秀編『交通の経済学』有斐閣。
- 9) David M. Newbery (1988) Road Damage Externalities and Road User Charges, *Econometrica*, Vol.56, No.2, pp.295-316.
- 10) Hisa Morisugi, Eiji Ohno & Toshihiko Miyagi (1993) Benefit Incidence of Urban Ring Road - Theory and Case Study of the Gifu Ring Road. *Transportation*, Vol.20, No 3, pp.285-303.

- 11) David L. Greene, Donald W. Jones & Mark A. Delucchi, eds. (2008) *The Full Costs and Benefits of Transportation*, Springer, p.11.
- 12) Ricard-AEA (2014) *Handbook on External Costs of Transport*, European Commission — DG Mobility and Transport.