

交通投資の便益評価 - 消費者余剰アプローチ -

金 本 良 嗣

要旨

この論文では、交通社会資本の便益評価で広く用いられている消費者余剰アプローチの理論的な基礎を解説する。ファースト・ベストの世界（経済の他の部門に価格体系のゆがみがないケース）では、発生ベースの利用者便益の中に波及効果の便益も含まれており、それを別個に計測して利用者便益に加えると二重計算になる。しかし、価格体系にゆがみが存在しているセカンド・ベストの経済では、この結論は成り立たない。ただし、セカンド・ベストの経済における便益計測は複雑であり、注意深く分析しなければ便益の過大推定になる可能性が大きい。この論文の後半では、セカンド・ベストの例として交通混雑に対して混雑税が課されていないケースを取り上げ、セカンド・ベストの経済における便益計測手法を解説する。

目次

1. はじめに	1
2. 消費者余剰の計測	2
2.1. 部分均衡分析	2
2.2. 派生需要としての交通と投資	4
3. ファースト・ベスト経済における間接効果の相殺	6
4. 次善の交通投資	11
4.1. 既存道路における価格のゆがみ	11
4.2. バイパス道路における価格のゆがみ	14
5. 数学的分析	15
5.1. ファースト・ベスト	15
5.2. セカンド・ベスト経済における便益評価	19
5.2.1. 既存道路の価格のゆがみ	19
5.2.2. バイパス道路における価格のゆがみ	21
6. おわりに	22

1. はじめに

公共投資の意思決定は政治的メカニズムを通じて行われるので、無駄で非効率な投資が発生する傾向を持ちがちである。これを抑制するための手法として欧米で広く使われているのが、費用便益分析（より広義には、プロジェクト評価）である。費用便益分析の基本はきわめて簡単であり、公共投資に関する費用と便益を計算して、それがあまりに良くないものには投資しないというものである。残念なことに、日本では費用便益分析の利用が一般化していない。費用便益分析が行われないことが多く、行われている場合でもその詳細が一般に公開されることは少ない。これに対して、ほとんどの欧米諸国では大規模な公共投資に関しては必ずきちんとした費用便益分析を行い、その結果を国民に公表することが法律で義務づけられている。

道路、鉄道、空港、港湾等の交通社会資本投資はその利用者の特定が容易であるので、費用便益分析の精度が比較的高い分野である。本稿では、交通投資の費用便益分析において最も重要な利用者便益の計測に焦点を当てて、その理論的な基礎と、具体的な適用に当たって注意しなければならない点を解説する。

交通社会資本投資の費用便益分析では、利用者便益の計測に加えて、環境に与える影響や交通事故の減少等の便益の計測も行わなければならないのは当然である。しかし、利用者が享受する利用者便益が総便益のうちで最も大きな比重を占めることがほとんどである。また、現状では他の便益の計測の信頼性が利用者便益に比べてはるかに劣っている。したがって、利用者便益の計測は交通プロジェクトの評価において第一に取り組むべき仕事である。

利用者便益の計測手法として定着しているのは、発生ベースで交通需要における消費者余剰を計測する消費者余剰アプローチである。このアプローチはすでに何十年も使われており、理論的な整理は済んでいるが、いまだに混乱した議論が見受けられる。特に、地域開発効果などの波及効果（金銭的外部効果や間接効果と呼ばれることもある）の便益に関しては、通常の利用者便益と別個に計測し、利用者便益に付け加えなければならないといった、基本的に誤った主張がある。

この論文では、消費者余剰アプローチの理論的な基礎を解説する。ファースト・ベストの世界（経済の他の部門に価格体系のゆがみがないケース）では、発生ベースの利用者便益の中に波及効果の便益も含まれており、それを別個に計測して利用者便益に加えると二重計算になる。しかし、価格体系にゆがみが存在しているセカンド・ベストの経済では、この結論は成り立たない。ただし、セカンド・ベストの経済におけ

る便益計測は複雑であり、注意深く分析しなければ便益の過大推定になる可能性が大きい。この論文の後半では、セカンド・ベストの例として交通混雑に対して混雑税が課されていないケースを取り上げ、セカンド・ベストの経済における便益計測手法を解説する。

2. 消費者余剰の計測

2.1. 部分均衡分析

消費者余剰アプローチの出発点は、以下のような簡単な部分均衡分析である。

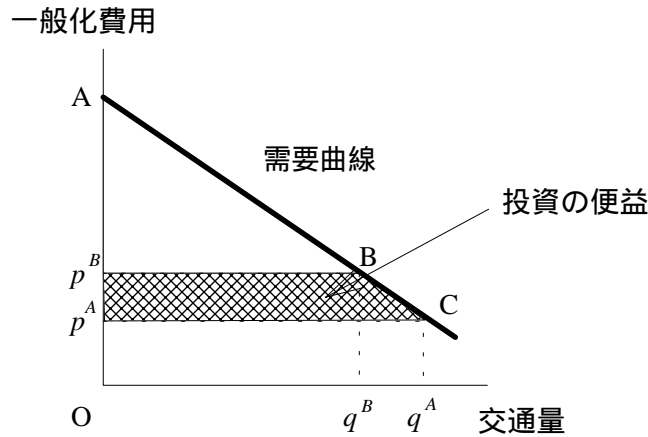
部分均衡分析では、まず交通需要曲線（一般的には、交通需要関数）を推定しなければならない。これは、現在（交通投資前）の交通量 q^B と一般化費用 p^B を計測し、さらに、交通投資後の交通量 q^A と一般化費用 p^A を予測することによって行われる。（添字 B は投資前 Before、添字 A は投資後 After を示すものとする。）ここで、一般化費用とは、運賃、ガソリン代など消費者が直接貨幣で支払う費用に、時間費用、サービス頻度、確実性、快適性などを貨幣換算した額を加えたものであり、通常の市場では価格に相当する。

交通投資の利用者便益は一般化費用を低下させることによって発生する。例えば、渋滞を解消するバイパス道路の建設は車の走行速度を上げて、時間費用やガソリン代を低下させる。これが一般化費用の低下をもたらすことになる。

図 1 のように交通需要曲線が線形であると想定すると、交通投資による利用者便益は、消費者余剰の増加として $\frac{1}{2}(p^B - p^A)(q^A + q^B)$ のように計測できる（図の斜線部分）。また、需要曲線が線形でなく一般的な形をしている場合には、需要関数を $D(p)$ 、消費者の直面する交通サービスの投資前、投資後の価格をそれぞれ p^B 、 p^A とすると、消費者余剰は $\int_{p^A}^{p^B} D(p)dp$ として求めることができる。

消費者余剰によって便益の計測ができることは、以下のように直観的に説明できる。需要曲線を縦に読むと、0 点にいるこの交通サービスの最初の利用者は、このサービスのためには最高 OA 円だけの価格（一般化費用）を支払ってもよいと考えていることが分かる。同様に q^B の点の利用者は最高 p^B 円までの価格を支払ってもよいと考えている。このように、最高支払い許容額は需要曲線の高さに相当する。この意味で、需要曲線は限界評価曲線とも言われる。

図 1 消費者余剰と利用者便益



均衡価格が p^B のときの最高支払い許容額の和は台形 $OABq^B$ の面積である。一方、どの利用者も実際に支払う額は p^B 円で、支払い総額は $O p^B B q^B$ の面積で表される。したがって、消費者余剰は三角形 $AB p^B$ の面積となる。

交通投資によって、価格（一般化費用）が p^B から p^A まで下落したとする。価格が p^A のもとでの消費者余剰は三角形 $AC p^A$ の面積で表される。したがって、交通投資によって生じた便益は、この消費者余剰の増加分であり、台形 $p^B BC p^A$ で表される。このように、投資の便益は消費者余剰の増加分によって計測することができる。

部分均衡分析で用いる需要曲線は他の財の価格や所得を一定として描かれるマーシャルの**需要曲線**であるので、他の財の価格が変動する場合には拡張が必要になる。また、マーシャルの需要曲線を用いた消費者余剰は積分の径路に依存して値が異なるという**径路依存性**の問題を持っている。ヒックスによる**等価変分 (EV)**と**補償変分 (CV)**はこれらの問題を持たないので、理論的にはより望ましい厚生指標である。また、EVとCV以外にもアレーに源を持つ**アレー・デブローの厚生指標 (AD)**も理論的に整合的であり、用途によっては便利な性質を持つことが知られている¹。しかし、これらの厚生指標の計算は若干複雑であり、通常はマーシャル流の消費者余剰で十分な近似が得られることが多い。また、いくつかの特殊ケースには消費

¹ アレー・デブローの厚生指標については、Diewert (1985) を参照。Kanemoto and Mera (1985) におけるCS (compensating surplus) 指標はアレーによって提唱された厚生指標と基本的に同じである。

者余剰は正確な厚生指標となることが知られている²。

2.2. 派生需要としての交通と投資

交通サービスは、他の多くの財と異なり、ドライブのためのドライブなどのごくわずかな例外を除けば、交通自体を目的として需要されることは少なく、商品を輸送するなど、他の財の需要を満たすための中間投入物として需要されることが多い。他の財への需要から派生してくるという意味で、交通需要は派生需要であると言われる。ここでは、交通需要が派生需要である場合の交通投資の便益の計測について考える。その様子は図 2 に示されている。

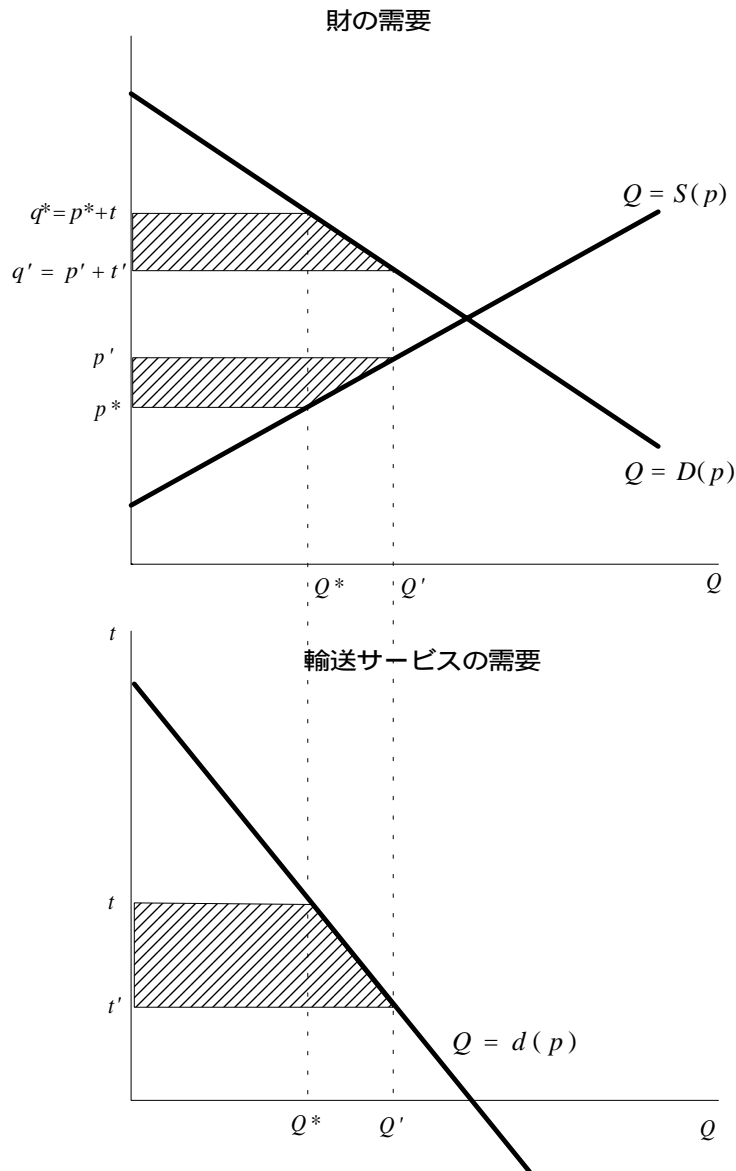
まず上の図には、輸送される財の需要曲線 $Q = D(q)$ と供給曲線 $Q = S(p)$ が描かれている。ここで、 p 、 q 、 Q はそれぞれ財の生産者価格、消費者価格、需要量である。また、財 1 単位の輸送に輸送サービス 1 単位が必要だと仮定し、輸送サービスの価格を t とすると、 $q = p + t$ の関係が常に満たされる。輸送サービスの価格が t のとき、財の生産者価格、消費者価格、需要量はそれぞれ p^* 、 $q^* (= p^* + t)$ 、 Q^* に決まり、輸送サービスの需要量も上の仮定より Q^* となる。

ここで、交通投資が行われ、輸送サービスの価格が t から t' に低下すると、財の生産者価格、消費者価格、需要量はそれぞれ p' 、 q' 、 Q' に変化し、交通需要も Q^* から Q' へと増加する。したがって、交通サービスの需要関数を描くと、図 2 の下の方の図のようになる。

輸送サービス価格を t から t' に引き下げようような交通投資の便益は、上の図の 2 つの斜線部分の面積の合計、あるいは下の図の斜線部分の面積として表すことができる。上の図の台形 $abcd$ の面積は消費者価格が下がることによる消費者余剰の増加、台形 $efgh$ の面積は生産者価格が高くなることによる生産者余剰の増加を表している。下の図の斜線部分の面積は輸送サービスの消費者余剰の増加を表している。下の図の交通需要曲線が上の図の輸送される財の需要曲線と供給曲線の縦方向の差になっているということに注意すると、下の図の斜線部分で表される便益は上の図の斜線部分で表される便益と一致することがわかる。

² 消費者が擬線形の効用関数を持っている場合には、 EV 、 CV と消費者余剰は一致する。また、価格が変化する前と後で（この例では交通投資前と後で）所得が一定であり、しかも価格が変化する財が正常財の場合には、消費者余剰は EV と CV の中間の値を示す。詳しくは Varian (1992) Ch.10 などを参照。

図 2 発生ベースと帰着ベースの便益



上の図の斜線部分で表されるような便益は、輸送される財の消費者と生産者のそれぞれにどの程度の便益が帰着するのかを明示的に表しているため、**帰着ベースの便益**と呼ぶことができる。これに対し、下の図の斜線部分で表されるような便益は、便益が発生する交通市場で便益を評価しているため、**発生ベースの便益**と呼ばれている。

帰着ベースの便益と発生ベースの便益は等しいが、発生ベースの便益の方が計測が容易な場合が多い。帰着ベースの便益の推定のためには、交通投資が経済の他のすべての部門に及ぼす効果を明示的に考慮しなければならないからである。帰着ベースの便益の推定は、**国民所得アプローチ**（あるいは、**指数アプローチ**）と呼ばれており、

実際の推定では大規模地域計量経済モデルを用いて行われることが多い³。しかし、地域計量モデルではデータの制約から、年次の時系列データを用いざるを得ず、サンプルに含まれる情報が小さいので、誤差が非常に大きくなる。また、消費関数が安定的であるなどの理由から、供給サイドの推定に比べ、需要サイドの推定の方が容易であるので、このようなモデルの多くは、供給制約を考慮に入れないケインズ型モデルである。ケインズ型モデルでは、単に穴を掘るだけのような全く利用者便益を生まないようなプロジェクトでも、乗数効果によって国民所得の増加をもたらす。実際には、供給制約が存在するので、ケインズ型モデルによる便益推定は過大になる傾向が強い。この欠点を克服するためには、需要サイドと供給サイドの双方を同時に推定することが必要であるが、それらの同定（アイデンティフィケーション）はデータの制約から困難である。

帰着ベースの便益推定についても一つ重要なのは、発生ベースの便益に帰着ベースの便益を加えると便益の二重推定になることである。発生ベースの便益と帰着ベースの便益は、一つの便益を2つの異なった方法で推定しようとするものであり、これらを加えることをしてはならない。

3. ファースト・ベスト経済における間接効果の相殺

交通投資の便益の計測は発生ベースで行われるのが通例である。しかし、交通投資は様々な波及効果をもたらすので、その便益は交通市場にとどまるものではない。例えば、交通投資による輸送費用の低下は、輸送される商品の生産者や最終需要者に便益を与える。また、交通投資は工場立地パターン等の変化をもたらし、地域経済に大きなインパクトを与える。これらの波及効果は、交通投資の間接効果と呼ばれたり、金銭的外部効果と呼ばれたりしている。ここで問題になるのは、これらの波及効果が発生ベースの便益に加えて新たな便益をもたらすかどうかである。

完全競争のもとでは、すべての財・サービスの価格がそれぞれの限界費用に一致して、効率的な資源配分が達成される。このようなケースをファースト・ベスト(最善)と呼んでいるが、ファースト・ベストの世界では、間接効果（金銭的外部効果）は相殺し合って、間接効果の純便益の合計額はゼロになる。したがって、発生ベースの便益を推定するので十分であり、これに間接効果の便益の推定値を加えると二重計算に

³ 国民所得（指数）アプローチの解説については、常木（1989）を参照。

なる⁴。

間接効果の便益がどうなるかを見るためには、間接効果と直接効果を厳密な形で定義する必要がある。交通投資の例では、交通投資は交通の価格（一般化費用）を低下させる。これが直接効果であるが、間接効果は他の財・サービスの価格を変化させる。このように価格体系の変化に着目すると、**直接効果**は、直接的に影響される市場の価格だけが変化し、他の財サービスの価格が変化しない場合の効果であると定義でき、**間接効果**は他の財サービスの価格が変化することの効果であると定義できる。

直接効果と間接効果をこのように定義すると、間接効果の便益と費用が相互に相殺することは当然であろう。例えば、間接効果で他の財の価格が上昇すると、その財の売り手は利益を得るが買い手は損失を被る。売り手の利益と買い手の損失は貨幣額としては全く同じであるので、需給が均衡しているときには間接効果は相殺してゼロになるのである。

間接効果の便益と費用が相殺し合うことを具体的に見るために、2つの町を結ぶ既存道路とそのバイパス道路があり、そのうちのバイパス道路のみにさらに交通投資を行うケースを考える。このケースの波及効果は2つの道路の間だけで起きることになり、きわめて単純な特殊ケースであるが、より一般的な複雑なケースでも結論は変わらない。

道路に関する費用は、利用者が負担する走行費用、時間費用等の利用者費用と道路建設費用だけであるとし、維持や補修の費用は無視する。したがって、ここでの費用便益分析の課題は、道路建設によって発生する利用者便益が道路建設費用を上回るかどうかを見ることである。以下では、道路建設費用と比較すべき利用者便益をどう測るかを考える。

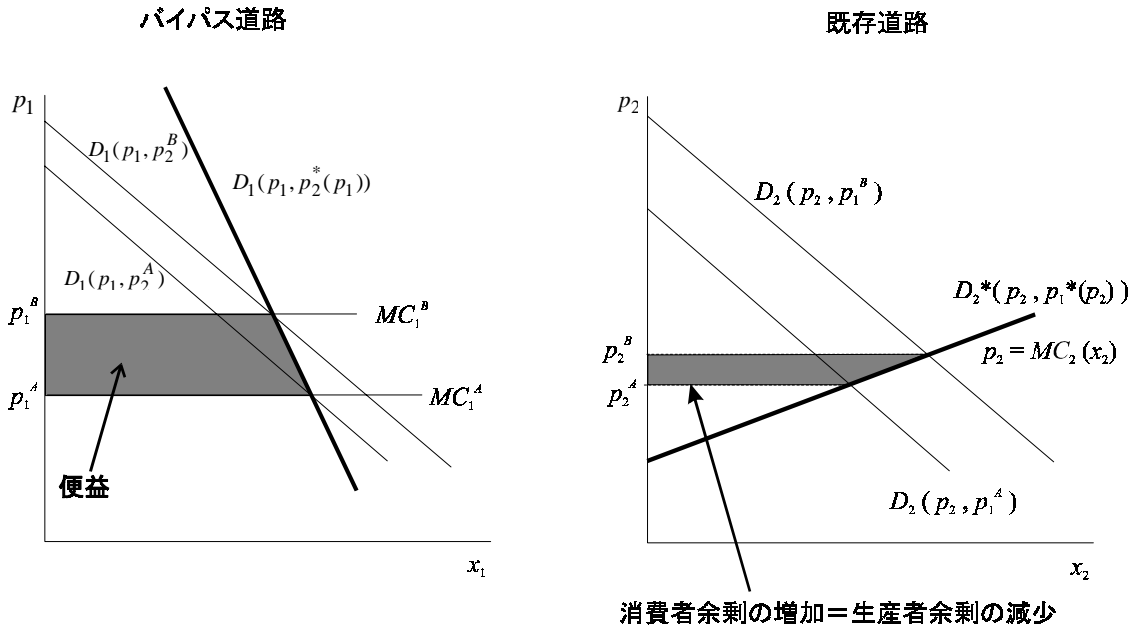
図3の左のパネルにはバイパス道路の、右のパネルには既存路線の様子がそれぞれ描かれている。以下では、交通投資の前と後をそれぞれ上付きの添字 B 、 A で表し、バイパス道路、既存道路をそれぞれ下付きの添字 1、2 で表す。バイパス道路と既存道路の交通量をそれぞれ x_1 と x_2 とする。

簡単化のためにバイパス道路では混雑が発生せず、道路の利用者費用は一定であるとする。この場合には、道路利用の社会的限界費用は各利用者が負担する利用者費用と等しくなるので、最適混雑税はゼロである。バイパス道路への投資は、社会的限

⁴ 間接効果が相殺し合うことは古くは Lesoume (1975) や Mohring (1976) によって指摘されている。この問題に関する理論的な研究については、Kanemoto and Mera (1985) を参照。

界費用 (= 利用者費用 = 一般化費用) を図 3 の $p_1^B = MC_1^B$ から $p_1^A = MC_1^A$ に低下させる効果を持つ。

図 3 バイパス道路への投資の直接便益と間接便益：ファースト・ベスト



既存道路では混雑が発生すると仮定する。したがって、各利用者の負担する利用者費用 $c_2(x_2)$ は交通量 x_2 の増加にともなって上昇していく。この利用者費用をすべての利用者について合計した総費用を $C_2(x_2)$ とすると、最適な混雑料金は社会的限界費用 $MC_2 = C_2'(x_2)$ と私的費用の差

$$t_2^* = C_2'(x_2) - c_2(x)$$

である。利用者費用と混雑料金の和が一般化費用であるが、これは限界費用に等しく、 $p_2 = MC_2$ となる。以下では一般化費用のことを単に価格と呼ぶこともある。道路サービスの供給者の利潤は混雑料金収入 $t_2^* x_2$ に等しいが、これは $\Pi_2 = p_2 x_2 - C_2(x_2)$ を満たす。

図 3 では、バイパス道路の投資前のマーシャルの需要曲線は既存道路の価格 p_2^B を所与として $D_1(p_1, p_2^B)$ で与えられ、価格は $p_1^B = MC_1^B$ で与えられている。既存道路の価格 p_2^B が決まれば、需要曲線 $D_1(p_1, p_2^B)$ が限界費用 MC_1^B と交わる点でバイパス路線の需要量が決まる。同様に、既存道路のマーシャルの需要曲線は $D_2(p_2, p_1^B)$ で、限界費用曲線は $p_2 = MC_2(x_2)$ で与えられている。均衡では、バイパス道路と既存道路の双方で需要曲線と限界費用曲線が交わるように、それぞれの価格と需要量が決定される。

バイパス道路への投資は、バイパス道路の価格を MC_1^B から MC_1^A に低下させる。これは以前からバイパス道路を利用していた人々の需要（利用頻度）を増加させるだけでなく、既存道路の需要をバイパス道路にシフトさせる。すると、既存道路の需要が減り、既存道路の価格が下がるので、逆にバイパス道路の需要を既存道路にシフトさせる。このような調整過程を続けていった結果、新しい均衡は、図 3 の $D_1(p_1, p_2^A)$ と MC_1^A の交点と $D_2(p_2, p_1^A)$ と $p_2 = MC_2(x_2)$ の交点に落ちつく。

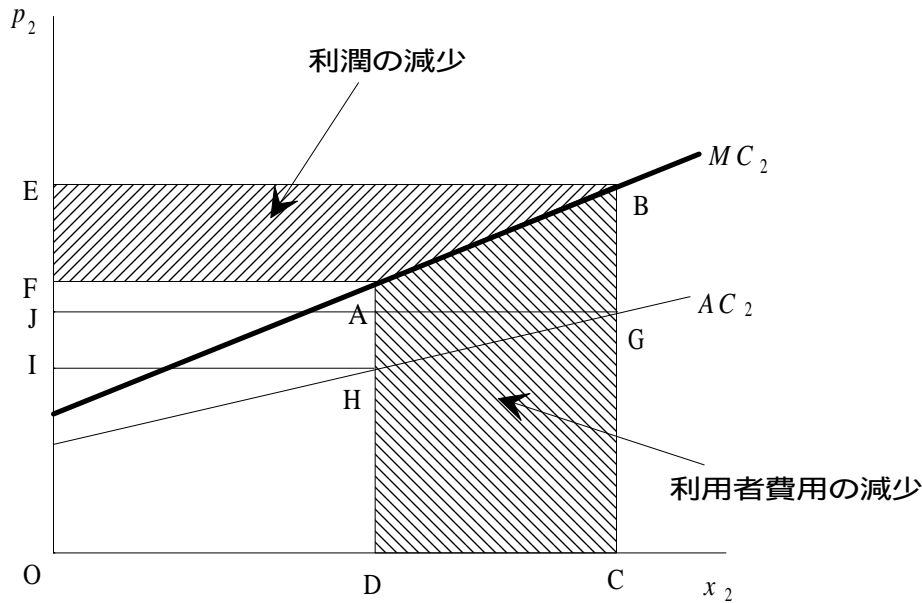
他の市場に波及効果を及ぼすような投資の便益は、一般均衡需要関数を用いて計測できる。バイパス道路の例では、均衡での既存道路の価格 p_2 をバイパス道路の価格 p_1 の関数として表した $p_2^*(p_1)$ （一般均衡価格）を、バイパス道路の需要関数の中に代入した $D_1(p_1, p_2^*(p_1))$ が一般均衡需要関数である。同様にして既存道路の一般均衡需要関数は $D_2(p_2, p_1^*(p_2))$ となる。つまり、他の財の価格を一定とするマーシャルの需要関数と違い、一般均衡需要関数は、注目している財（ここでは、バイパス道路の一般化費用）の価格の変化が他の財の価格を変化させる点を織り込んでいる。図 3 では一般均衡需要曲線が太線で表示されている。既存道路の価格は常に限界費用と等しくなるので、既存道路の一般均衡需要曲線は限界費用曲線に一致していなければならない。

バイパス道路への投資は利用者に便益をもたらすとともに、道路サービスの供給者の利潤を変化させる。投資の総便益はこれらの 2 つを足し合わせたものになる。これらのうち、利用者便益はバイパス道路での利用者便益と既存道路での利用者便益の和であり、図 3 の 2 つの網掛け部分の和である。

供給者便益は既存道路の混雑料金収入 $\Pi_2 = t_2^* x_2$ の増加であるが、これは下の図 4 では以下のように表される。投資前が B 点で投資後が A 点であり、 AC_2 が利用者費用 $c_2(x_2)$ を表すとすると、投資前の混雑料金は B G に等しく、混雑料金収入は四角形 B G F E の面積になる。これが投資後には A H I F に減少する。

一般化費用を用いて混雑料金収入を $\Pi_2 = p_2 x_2 - C_2(x_2)$ と書き換えてやると、混雑料金収入の変化を違った形で表現することができる。この表現での総収入 $p_2 x_2$ は利用者費用を含んでおり、投資前は B C O E であるのが投資後は A D O E になる。したがって、総収入の減少は図の斜線部分全体である。次に、総費用は限界費用の積分であるので、総費用は限界費用曲線の下の方の面積 A B C D だけ減少する。これらを合わせると、利潤は台形 B A F E の面積だけ減少することが分かる。したがって、供給者便益の減少は既存道路の利用者便益の増加と等しく、お互いに相殺する。

図 4 供給者便益：ファースト・ベスト



以上をまとめると，利用者便益と供給者便益は

利用者便益 = バイパス道路の利用者便益 + 既存道路の利用者便益

供給者便益 = - 既存道路の料金収入の減少

を満たすが，

既存道路の利用者便益 = 既存道路の料金収入の減少

が成り立つので，

総便益 = 利用者便益 + 供給者便益 = バイパス道路の利用者便益

が得られる．したがって，投資の便益は一般均衡需要曲線を用いて

$\int_{p_1^A}^{p_1^B} D_1(p, p_2^*(p)) dp$ (図 3のバイパス道路側の網掛け部分) を計測するだけで十分で

ある．交通投資の間接効果である既存道路の消費者余剰の増加は混雑税の減収(これらの双方ともに図 3の既存道路側の網掛け部分に等しい)によって相殺されるので，間接効果は考慮する必要がないのである．

以上の例のように，全ての財の価格がその限界費用に等しいファースト・ベストの世界では，一般均衡需要関数を用いることによって，前節の部分均衡分析とほぼ同様な形で交通投資の発生ベースの便益を測定することができる．

実務で行われている便益の推定では，投資後の交通量を波及効果による交通量増加をも含めて予測することが多い．したがって，実務でも一般均衡需要関数を用いた便益推定が行われているとみなすことができる．

4. 次善の交通投資

前節までは、全ての価格がその限界費用と一致しているファースト・ベストの経済を想定していた。この節では、何らかの理由で価格が限界費用から乖離しているセカンド・ベスト（次善）の経済における交通投資の便益をどのように計測すればよいのかを、前節のバイパス道路モデルを一部変更した例を用いて説明する。

価格が限界費用に一致していない財が存在するときには、価格体系のゆがみによって資源配分が非効率になっている。例えば、ある財の価格が限界費用より低くなっていると、その財は最適な消費量よりも過剰に消費される傾向をもつ。価格体系のゆがみによって発生する資源のロスを死重損失 (deadweight loss) と呼んでいる。次善の経済では、この死重損失の大きさが重要になる。

前節のファースト・ベストの場合に間接効果が相殺し合ったのは、価格が限界費用に等しく設定されていたからである。次善の経済ではこれらの関係が成立しないので、間接効果は相殺しない。

4.1. 既存道路における価格のゆがみ

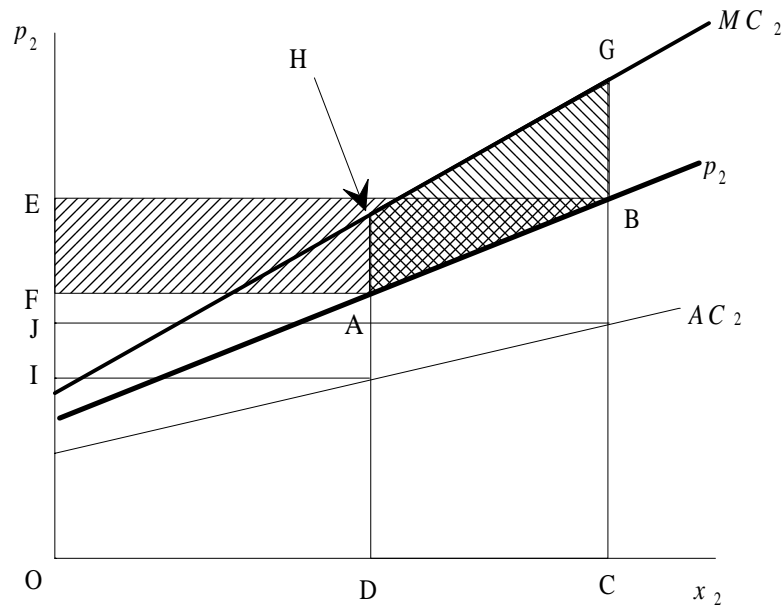
前節と同様に、バイパス道路では混雑が発生せず、価格（一般化費用）が限界費用と等しくなっているが、既存道路では混雑が発生する状況を考える。この節では、既存道路の混雑税の水準が低すぎて、価格が限界費用より低いとする。例えば、既存道路の利用者が負担する一般化費用は平均費用 $c_2(x_2)$ にガソリン税 t_2 を加えたもの ($p_2(x_2) \equiv c_2(x) + t_2$) であるとし、ガソリン税は最適な混雑税の水準より低いものとする。したがって、既存道路の一般化費用は $p_2(x_2) < MC_2$ を満たす。**混雑税がゼロのケースはこの特殊例であり、**

$$p_2(x_2) = c_2(x_2)$$

が成り立つ。ガソリン税のように道路利用に応じた税は混雑税の一種であると解釈することができるが、ここではその水準が最適な混雑税の水準より低いケースを扱っている。

既存道路の一般化費用が、 $p_2 = MC_2(x_2)$ ではなく、 $p_2(x_2) \equiv c_2(x) + t_2$ で与えられることが違うだけなので、一般均衡価格の導出はファースト・ベストのケースと全く同様に行うことができる。したがって、利用者側の便益は、一般化費用を読み替えば、図 3 の 2 つの網掛け部分で与えられる。しかし、価格が限界費用より低く設定されているので、供給者便益は前節と同じにはならない。これは図 5 を用いて以下のように説明できる。

図 5 供給者便益：セカンド・ベスト

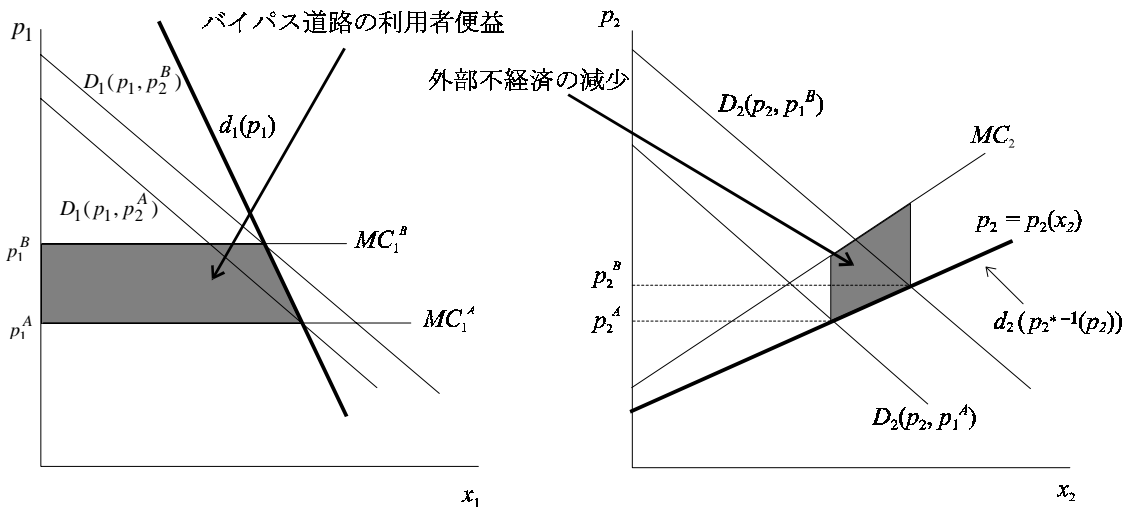


総収入 $p_2 x_2$ は投資前の $BCOE$ から投資後の $ADOE$ に減少する．したがって，総収入の減少分は $BCDAFE$ の面積に等しい．これに対して，総費用は限界費用曲線の下の方の台形 $HGCD$ の面積だけ減少する．これらを合わせると，利潤の減少は台形 $BAFE$ の面積から台形 $HGBA$ の面積を差し引いたものになる．前節との相違は，台形 $HGBA$ の部分であるが，これは限界費用が価格より高いことによって発生する．バイパス道路への投資によって既存道路の交通量が減少し，これが既存道路の総費用を台形 $HGCD$ だけ減少させる．今度は価格が限界費用に等しくないため，この総費用の減少が台形 $ABCD$ を上回り，そのことによる付加的な便益が発生する．

一般化費用が限界費用と等しくないため，既存道路の利用者は外部不経済を発生させている．図 5 の MC_2 曲線と p_2 曲線の縦方向の距離がこの外部不経済を表す．バイパス道路への投資は既存道路の利用者を減少させることによって外部不経済を減少させ，これが付加的な便益をもたらす．

これらの関係を図に表すと図 6 のようになる．既存道路の限界費用曲線と価格曲線はそれぞれ MC_2 と $p_2 = p_2(x_2)$ で表されている．既存道路の一般均衡需要曲線は $d_2(p_2^{*-1}(p_2))$ として太線で示されているが，これは価格曲線 $p_2 = p_2(x_2)$ と一致していなければならない．限界費用曲線と価格曲線との網掛け部分が死重損失の減少分を表しており，交通投資による便益は左と右の図の網掛け部分の合計である．

図 6 代替的道路における混雑緩和の便益：次善ケース



以上をまとめると、

利用者便益 = バイパス道路の利用者便益 + 既存道路の利用者便益

供給者便益 = - 既存道路の料金収入の減少

であることは前と同じであるが、

既存道路の利用者便益 = 既存道路の料金収入の減少 + 外部不経済の減少

が成り立つので、

総便益 = バイパス道路の利用者便益 + 外部不経済の減少

が得られる。

土木学会方式の混雑緩和便益の評価法では、既存道路の混雑緩和による利用者便益を明示的に推定している。この方法は、利用者便益と供給者便益を別々に推定し、その後に両者を足し合わせる手法であると解釈できる。もちろん、注意深く供給者便益を計測すれば、土木学会方式も正しい答えを出すことになる⁵。実際には、ガソリン税等の形で利用者負担がなされているので、既存道路での混雑緩和便益のかなりの部分は税収の減少の形で相殺され、混雑緩和の純便益は外部不経済の減少分に等しくなる。

混雑料金がゼロであるケースでは、料金収入は常にゼロであるので、利用者側の便益だけを考えればよい。つまり、この場合には、

既存道路の利用者便益 = 既存道路の料金収入の減少 + 外部不経済の減少

において、既存道路の料金収入の減少がゼロであるので、

⁵ この点は、上田孝行氏によって指摘された。

既存道路の利用者便益 = 外部不経済の減少

が成り立つ．これから，

$$\text{総便益} = \text{バイパス道路の利用者便益} + \text{外部不経済の減少}$$

$$= \text{バイパス道路の利用者便益} + \text{既存道路での利用者便益}$$

が得られる．つまり，利用者便益の増加が外部不経済の減少とちょうど等しくなるので，外部不経済の減少の代わりに利用者便益の増加を用いることができるのである．

4.2. バイパス道路における価格のゆがみ

次に，既存道路では価格が限界費用に等しく設定されているが，バイパス道路では混雑税の水準が低すぎるケースを考える．簡単のために，バイパス道路の利用者費用は一定であるが，なんらかの補助によって価格（一般化費用）がそれよりも低く設定されているとする．すなわち， $p_1 = p_1(c_1) < c_1$ の場合を考える．バイパス道路への投資は利用者費用を c_1^B から c_1^A に引き下げ，一般化費用も p_1^B から p_1^A に引き下げる．しかし，図 7 のように，投資前も投資後もバイパス道路の一般化費用は利用者費用より低いとする．

既存道路では価格が限界費用に等しく設定されているので，ファースト・ベストのケースと同様に，既存道路では利用者便益の増加と供給者便益の減少が互いに相殺する．したがって，バイパス道路での便益だけを考えればよい．

バイパス道路での利用者費用 c_1 と一般化費用 p_1 が乖離しているので，一般均衡需要曲線をこれらの双方に関して描くことができる．次節の数学的分析では利用者費用を用いて分析を行っているが，利用者便益は利用者が負担する一般化費用に対応して発生するので，ここでは一般化費用 p_1 に関する一般均衡需要曲線を用いる．この一般均衡需要曲線を用いると，バイパス道路での利用者便益の増加は図 7 の斜線部になる．

道路サービス供給者の利潤は $\Pi_1 = (p_1 - c_1)x_1$ であるが，価格が利用者費用より低いので道路サービス供給者は損失をこうむっている．損失額は，投資前には $D B p_1^B c_1^B$ の面積であり，投資後には $C A p_1^A c_1^A$ の面積になる．したがって，供給者便益は $D B p_1^B c_1^B$ から $C A p_1^A c_1^A$ を差し引いたものに等しい．総便益は利用者便益と供給者便益の和であり，

$$\text{総便益} = B A p_1^A p_1^B + D B p_1^B c_1^B - C A p_1^A c_1^A$$

となる．これは図 8 の斜線部の面積から三角形 $A C E$ の面積を引いたものになる．

図 7 バイパス道路で価格のゆがみが存在するときの利用者便益と供給者便益

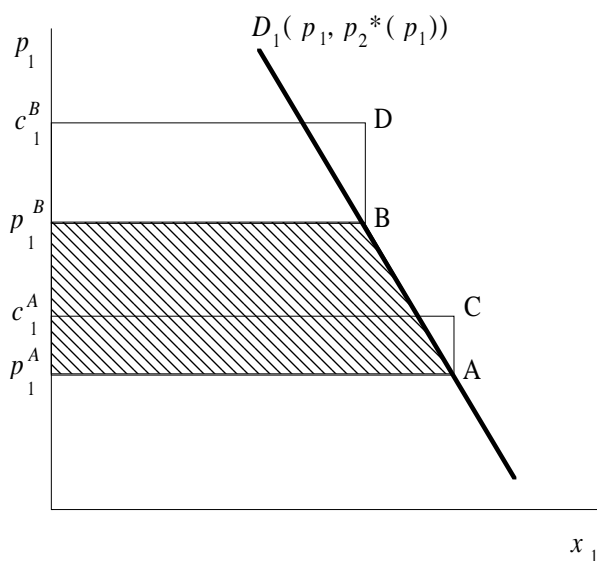
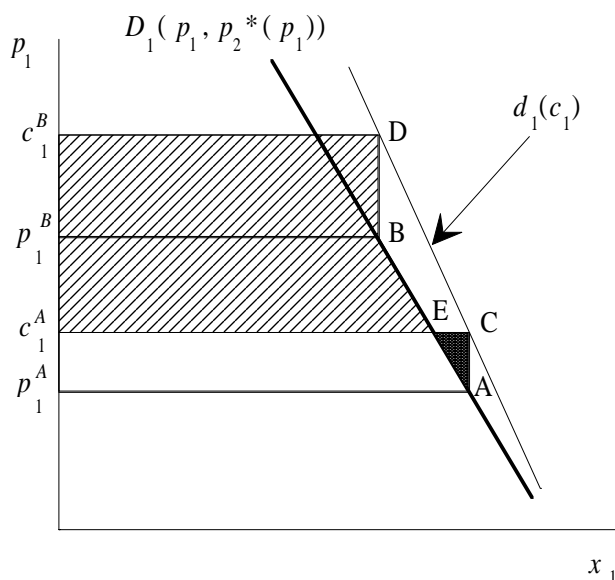


図 8 バイパス道路で価格のゆがみが存在するときの総便益の変化



5. 数学的分析

前 2 節の分析を数学的により厳密な形で行うと以下ようになる。

5.1. ファースト・ベスト

まず、この節では最適な混雑税が課されているファースト・ベストの状態を考える。バイパス道路では混雑がなく、利用者費用 c_1 は一定である。この場合には、混雑税はゼロであり、一般化費用（価格）は $p_1 = c_1$ を満たす。バイパス道路での利潤は当然ゼロになる。

$$(1) \quad \Pi_1 = p_1 x_1 - c_1 x_1 = 0$$

既存道路では混雑が発生する．したがって，各利用者の負担する利用者費用（走行費用，時間費用等）を $c_2(x_2)$ で表すと，これは交通量 x_2 の増加にともなって上昇していく．利用者費用をすべての利用者について合計した総費用は $C_2(x_2) = c_2(x_2)x_2$ である．ファースト・ベストでは限界費用に等しい混雑料金が設定されるので，一般化費用は

$$(2) \quad p_2 = C_2'(x_2)$$

となる．ここで， $C_2'(x_2) = c_2(x_2) + x_2 c_2'(x_2)$ であるので，混雑料金は $t_2 = x_2 c_2'(x_2)$ となっていなければならない．つまり，各利用者は利用者費用 $c_2(x_2)$ と混雑料金 $t_2 = x_2 c_2'(x_2)$ を負担し，その合計が一般化費用 p_2 である．このとき，交通サービスの生産者の利潤は混雑料金に等しく，

$$\Pi_2 = t_2 x_2 = p_2 x_2 - C_2(x_2)$$

を満たす．

すべての消費者が同質であるとし，消費者の数を 1 に基準化する．この消費者は，予算制約

$$(3) \quad z + p_1 x_1 + p_2 x_2 \leq y$$

の下で擬線形の効用関数

$$(4) \quad U(z, x_1, x_2) \equiv z + u(x_1, x_2)$$

を最大化する．ここで， z は交通サービス x_1, x_2 以外の消費財をすべて合わせた合成財であり， y は所得である．合成財 z をニユメールとし，その価格を 1 と置いている．(4)の擬線形の効用関数のもとでは，効用水準は貨幣単位で表されており，そのまま消費者余剰として用いることができる．

効用最大化の 1 階の条件から

$$\frac{\partial u(x_1, x_2)}{\partial x_1} \equiv u_1 = p_1$$

$$\frac{\partial u(x_1, x_2)}{\partial x_2} \equiv u_2 = p_2$$

が成り立つ．この 2 式を x_1 と x_2 について解くことによって，バイパス道路と既存道路の需要関数 $x_1 = D_1(p_1, p_2)$ ， $x_2 = D_2(p_2, p_1)$ が得られる．既存道路の需要関数を (2) 式に代入すると， $p_2 = C_2'(D_2(p_2, c_1))$ となり，これを p_2 について解くと，既存道路の価格 $p_2 = p_2^*(c_1)$ が導かれる．これを需要関数に代入して以下の一般均衡需要

関数を得る .

$$(5) \quad x_1 = D_1(c_1, p_2^*(c_1)) \equiv d_1(c_1)$$

$$(6) \quad x_2 = D_2(c_1, p_2^*(c_1)) \equiv d_2(c_1)$$

既存道路の価格をバイパス道路の価格の関数で表す代わりに , その逆の関係

$c_1 = p_1^*(p_2) \equiv p_2^{*-1}(p_2)$ を用いると , 既存道路の一般均衡需要関数は

$$(7) \quad x_2 = d_2(p_1^*(p_2)) \equiv \hat{d}_2(p_2)$$

と書くことができる . これが図 3の既存道路の側の一般均衡需要曲線 $D(p_2, p_1^*(p_2))$

である . 前に見たように , 既存道路の一般均衡需要曲線は限界費用曲線と一致する .

所得が一定の場合には , 消費者の効用は

$$(8) \quad \begin{aligned} U &= u(x_1, x_2) + y - p_1 x_1 - p_2 x_2 \\ &= u(d_1(c_1), d_2(c_1)) + y - c_1 d_1(c_1) - p_2^*(c_1) d_2(c_1) \end{aligned}$$

となり , これを c_1 について微分すると

$$(9) \quad \frac{dU}{dc_1} = -\{d_1(c_1) + c_1 d_1'(c_1)\} + u_1 d_1'(c_1) + u_2 d_2'(c_1) - \{p_2^{*'}(c_1) d_2(c_1) + p_2^* d_2'(c_1)\}$$

となる . ここで , $u_1 = p_1 = c_1$, $u_2 = p_2$ から ,

$$(10) \quad \frac{dU}{dc_1} = -d_1(c_1) - p_2^{*'}(c_1) d_2(c_1)$$

となる . したがって , バイパス道路の費用が c_1^B から c_1^A に低下することによって利用者が得る便益は

$$(11) \quad U^A - U^B = \int_{c_1^A}^{c_1^B} \{d_1(c_1) + d_2(c_1)p_2^{*'}(c_1)\} dc_1$$

となる．ここで， $c_1 = p_1^*(p_2) \equiv p_2^{*-1}(p_2)$ を用いて変数変換を行い，既存道路側の便益を c_1 に関する積分から p_2 に関する積分に変換すると，

$$(12) \quad U^A - U^B = \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1) dc_1 + \int_{p_2^A}^{p_2^B} \hat{d}_2(p_2) dp_2$$

が得られる．これは，図 3 の 2 つの網掛け部分の和に等しい．つまり，バイパス道路の改善によって利用者が得る便益は，バイパス道路と既存道路の双方で発生する一般化費用低下の便益を足し合わせたものになる．ところが，以下で見るように，既存道路側で発生する利用者便益は，交通サービスの生産者が被る費用の増加に等しくなるので，社会全体としての便益はバイパス道路側だけの利用者便益に等しくなる．

交通サービスの生産者の利潤は

$$(13) \quad \begin{aligned} \Pi &= \Pi_1 + \Pi_2 = p_1 x_1 + p_2 x_2 - c_1 x_1 - C_2(x_2) \\ &= p_2^*(c_1) d_2(c_1) - C_2(d_2(c_1)) \end{aligned}$$

となり，これの変化は，

$$(14) \quad \frac{d\Pi}{dc_1} = \{p_2^* - C_2'(d_2)\} d_2'(c_1) + p_2^{*'}(c_1) d_2(c_1)$$

となる．ここで $p_2 = C_2'(d_2)$ から，

$$(15) \quad \frac{d\Pi}{dc_1} = p_2^{*'}(c_1) d_2(c_1)$$

が成り立つ．したがって，バイパス道路の費用が c_1^B から c_1^A に低下することによって交通サービスの生産者が得る便益は負であり，

$$(16) \quad \Pi^A - \Pi^B = -\int_{p_2^A}^{p_2^B} \hat{d}_2(p_2) dp_2$$

に等しい．

この経済での総余剰 S は消費者の効用水準に交通サービスの生産者の利潤を加えたもの ($S = U + \Pi$) であるので，

$$(17) \quad \frac{dS}{dc_1} = \frac{dU}{dc_1} + \frac{d\Pi}{dc_1} = -d_1(c_1)$$

が得られる。したがって、バイパス道路の費用が c_1^B から c_1^A に低下することの便益は

$$(18) \quad S^A - S^B = \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1)dc_1$$

となる。つまり、価格がそれぞれの限界費用に等しくなっている経済では、価格変化による間接効果は相殺してゼロになるので、バイパス道路の消費者余剰の増加だけを計測すればよい。

5.2. セカンド・ベスト経済における便益評価

前節のファースト・ベストのケースで間接効果が相殺し合ったのは、価格が限界費用に等しく設定されているので、 $u_1 = p_1 = c_1$ と $u_2 = p_2 = C_2'(x_2)$ が成立していたからである。次善の経済ではこれらの関係が成立しないので、間接効果は相殺しない。

5.2.1. 既存道路の価格のゆがみ

前節と同様に、バイパス道路では混雑が発生せず、価格（一般化費用）が限界費用と等しくなっているが、既存道路では混雑が発生する状況を考える。しかし、この節では、既存道路の混雑税の水準が低すぎて、価格が限界費用より低いとする。例えば、既存道路の利用者が負担する一般化費用は平均費用 $c_2(x_2) = C_2(x_2)/x_2$ にガソリン税 t_2 を加えたもの（ $p_2(x_2) \equiv c_2(x_2) + t_2$ ）であるとし、ガソリン税は最適な混雑税の水準より低いものとする。したがって、バイパス道路の一般化費用と既存道路の一般化費用は

$$p_1 = c_1$$

$$p_2(x_2) \equiv c_2(x_2) + t_2 < C_2'(x_2)$$

を満たす。混雑税がゼロのケースはこの特殊例であり、

$$p_2(x_2) = C_2(x_2)/x_2 = c_2(x_2)$$

が成り立つ。

一般均衡価格の導出はファースト・ベストのケースと全く同じであるので、消費者の効用(8)と生産者の利潤(13)は同じであり、それらの c_1 に関する微分も(9)式と(14)式で与えられる。さらに、 $u_1 = p_1 = c_1$ はこの場合も成立するので、(10)式もそのままである。しかし、 $u_2 = p_2 = p_2(x_2) < C_2'(x_2)$ であるので、(14)式の右辺の第1項はゼロにならず、(15)式は成立しない。つまり、この場合に得られるのは、

$$(12) \quad U^A - U^B = \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1)dc_1 + \int_{p_2^A}^{p_2^B} \hat{d}_2(p_2)dp_2$$

と

$$(19) \quad \Pi^A - \Pi^B = -\int_{p_2^A}^{p_2^B} \hat{d}_2(p_2)dp_2 - \int_{x_2^A}^{x_2^B} \{p_2(x_2) - C_2'(x_2)\}dx_2$$

である．ここで，(19)式の導出には，(14)式を c_1 に関して積分したものに， $c_1 = p_1^*(p_2) \equiv p_2^{*-1}(p_2)$ と $p_2 = p_2(x_2)$ を用いて変数変換を行うと，

$$\int_{c_1^A}^{c_1^B} \{p_2 - C_2'(x_2)\}d_2'(c_1)dc_1 = \int_{x_2^A}^{x_2^B} \{p_2(x_2) - C_2'(x_2)\}dx_2$$

が得られることを用いている．

上の 2 つの関係を用いると，バイパス道路の費用が c_1^B から c_1^A に低下することによる総余剰の変化は

$$(20) \quad S^A - S^B = \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1)dc_1 - \int_{x_2^A}^{x_2^B} [p_2 - C_2'(x_2)]dx_2$$

となることがわかる．右辺の第 1 項が図 6 の左側の網掛け部分であり，第 2 項が右側の網掛け部分である．

通常は，バイパス道路に対する投資は既存道路の交通量の減少を招くので， $x_2^A < x_2^B$ である．したがって，

$$S^A - S^B > \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1)dc_1$$

が成立する．この場合には，ファースト・ベストのときのように，バイパス道路の一般均衡消費者余剰のみを用いると便益の過小評価になる．これは，バイパス道路の建設が既存道路の混雑を緩和するので，死重損失が減少するからである．

混雑料金がゼロであるケースでは，交通サービスの供給者の利潤は常にゼロであるので，利用者側の便益だけを考えればよく，

$$S^A - S^B = U^A - U^B = \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1)dc_1 + \int_{p_2^A}^{p_2^B} \hat{d}_2(p_2)dp_2$$

となる．したがって，この場合の総便益はバイパス道路と既存道路の利用者便益の和に等しい．

5.2.2. バイパス道路における価格のゆがみ

次に、既存道路では価格が限界費用に等しく設定されているが、バイパス道路で混雑税の水準が低すぎる場合を考える。このケースでは

$$\begin{aligned} p_1 &= p_1(c_1) < c_1 \\ p_2 &= C_2'(x_2) \end{aligned}$$

が成立する。

まず、既存道路の価格は

$$p_2 = c_2'(D_2(p_1(c_1), p_2))$$

より $p_2^*(c_1)$ と書ける。したがって、一般均衡需要関数は

$$\begin{aligned} x_1 &= D_1(p_1(c_1), p_2^*(c_1)) \equiv d_1(c_1) \\ x_2 &= D_2(p_1(c_1), p_2^*(c_1)) \equiv d_2(c_1) \end{aligned}$$

となる。

これらの関係を用いると、利用者便益と供給者便益は

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dc_1} &= -p_1'(c_1)d_1(c_1) - p_2^{*'}(c_1)d_2(c_1) \\ \frac{d\Pi}{dc_1} &= [p_1(c_1) - c_1]d_1'(c_1) + [p_1'(c_1) - 1]d_1(c_1) + p_2^{*'}(c_1)d_2 \end{aligned}$$

を満たすことが分かる。したがって、総余剰は

$$\frac{dS}{dc_1} = -d_1(p_1) + (p_1 - c_1)d_1'(c_1)$$

を満たす。これを積分することによって、

$$\begin{aligned} S^A - S^B &= \int_{c_1^A}^{c_1^B} [d_1(c_1) - \{p_1(c_1) - c_1\}d_1'(c_1)]dc_1 \\ &= \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1)dc_1 - \int_{x_1^B}^{x_1^A} [c_1 - p_1]dx_1 \end{aligned}$$

が得られる。これは図 8の台形 $DCc_1^A c_1^B$ の面積から台形 $DCAB$ の面積を引いたものであり、4節で求めた総便益と等しいことがわかる。

バイパス道路に対する投資はバイパス道路の交通量の増加をもたらすのが通常であるので、 $d_1'(c_1) < 0$ とすると、

$$S^A - S^B < \int_{c_1^A}^{c_1^B} d_1(c_1)dc_1$$

が成立する。したがって、上式の右辺で表されるバイパス路線の一般均衡消費者余剰を用いると、便益の過大評価になる。これは、限界費用よりも低い価格が設定されているので、バイパス道路の交通量が過剰になっているからである。バイパス道路への投資は、この低すぎる価格を更に低くするので、混雑による外部不経済を増加させる

ことになる。

6. おわりに

最後に、実際に交通投資の便益を評価をする際に留意すべき点をもう一度まとめておきたい。

(1) 先行的な交通投資が大きな地域開発効果を持ち、その便益が非常に大きいことがありうることは否定できない。しかし、この種の間接便益も交通需要の増大に反映されるので、一般均衡需要曲線を用いて便益を推定すれば、間接効果の便益をそれに付け加える必要はない。間接効果を加えれば、便益の2重計算になってしまう。交通投資が他の分野の生産を増加させるという間接的な便益をもたらしても、それは必ず交通量の増加を伴っていて、間接便益は（一般均衡）交通需要関数における消費者余剰の増加の中に既に入っている。

(2) 間接効果の便益が相殺するのは、ファースト・ベストの世界においてであり、経済の他の分野で価格体系の歪みが存在しないことが前提になる。ファースト・ベストの世界では価格が限界費用に等しくなっていないが、それさえ満足されていれば、規模の経済性や金銭的外部経済が存在してもかまわない。特に、マーシャルの金銭的外部経済はファースト・ベストと矛盾しない。

(3) 価格が（社会的）限界費用から乖離しているセカンド・ベストの世界では間接効果が無視できない。セカンド・ベストの世界では、価格体系が歪んでいることによって死重損失が発生している。一般に、交通投資はこの死重損失を変化させるので、間接効果を考慮に入れる必要が出てくる。

(4) この種の間接効果の便益はセカンド・ベストの世界だけで発生するものであり、微妙な問題をはらんでいる。例えば、混雑現象が存在し、しかも混雑税が課されていない場合には、セカンド・ベストの状況になる。ここで交通投資を行うと混雑が緩和されるので、混雑緩和の便益を間接便益として付け加えなければならないという議論がある。この議論は必ずしも誤りではないが、混雑緩和便益の計測には注意が必要である。

交通投資を行うと混雑が緩和され交通費用が低下するのは正しいが、便益評価に付け加えなければならないのは、そのことによってもたらされる外部不経済の変化である。交通投資がかえって外部不経済のゆがみを増加させることもある。その典型的な例は、混雑している道路に対する容量増大投資である。混雑による外部不経済は、混雑税が課されておらず交通の価格が低すぎることによって生じているからである。交通投資は交通の価格を低下させる効果を持つが、混雑している道路における投資は低

すぎる価格を更に低くすることになり，外部不経済の増加を招くのが通常である．したがって，混雑している道路における投資に関しては，（一般均衡）交通需要曲線を用いた便益評価は過大評価をもたらすことが多い．

謝辞

長尾重信氏の研究補助と上田孝行氏の有益なコメントに感謝したい．

参考文献

奥野正寛・鈴村興太郎 (1985) 『ミクロ経済学』，岩波書店

常木淳 (1989) 「交通投資」『交通政策の経済学』（奥野正寛・篠原総一・金本良嗣編）第2章，日本経済新聞社．

Kanemoto, Y. and Mera, K., (1985), "General Equilibrium Analysis of the Benefits of Large Transportation Improvements," *Regional Science and Urban Economics* 15, 343-363.

Lesourne, J., (1975), *Cost-Benefit Analysis and Economic Theory*, North Holland, Amsterdam.

Mohring, H., (1976), *Transportation Economics*, Ballinger Publishing Co. (邦訳『交通経済学』藤岡明房・萩原清子監訳，劉草書房，1987年)

Varian, Hal R. (1992), *Microeconomic analysis*, 3rd ed., W. W. Norton & Co.