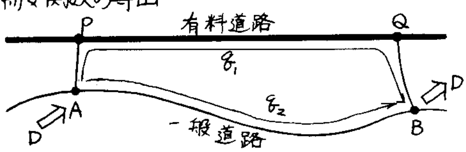
IV－5　有料道路と一般道路の適正交通分担を考慮した有料道路の料金水準について

岡山大学工学部　正員　井上博司

1．はじめに

有料道路と一般道路とが併存している場合，これらの社会資本をいかに有効に機能させるかを考えることは重要である。両道路は互いに代償的機能を有するものであると同時に競合的機能を有するものであり，したがって有料道路の料金水準決定にあたっては採算性と同時に両道路の間の交通分担が適正となるよう考慮される必要がある。本稿においては有料道路と一般道路の間の適正交通分担を樹立するために，有料道路の料金水準はいかなるものでなければならないか，またそのような適正な料金水準が存在しうるための条件等についてモデルにより記述解明することを試みている。

2．需要関数の導出



いま図のように２地点ＡＢ間に有料道路利用と一般道路利用の２経路があるものとし，それぞれの経路を通る交通量をq_1, q_2，ＡＢ間の需要交通量をＤとする。またＰＱ間の有料道路の料金をpとする。ＡＢ間以外の需要交通による有料道路および一般道路の交通量は固定して考える．ＡＢ間の有料道路および一般道路を通る経路の走行所要時間はそれぞれの交通量q_1, q_2に依存するのでこれらを関数$t_1=t_1(q_1)$，$t_2=t_2(q_2)$によって表わす。これらは明らかに単調増加関数であり，また交通量が増大するとき走行時間は逓増的に大きくなるので，$d^2t_1/dq_1^2>0$，$d^2t_2/dq_2^2>0$　であると仮定することができる。

ここで道路の利用者は経路を選択するにあたって経済的に合理的な行動を採るものと仮定しよう。すなわち有料道路を利用することによって得られる節約時間の価値が有料道路の料金と釣り合うまで有料道路が利用されるものと仮定する。このとき交通量の均衡条件は，

$$q_1 + q_2 = D \quad \cdots\cdots (1)$$

$$\lambda\{t_2(q_2) - t_1(q_1)\} = p \quad \cdots\cdots (2)$$

と表わすことができる。(1)，(2)は明らかに独立な関係式であり，これらをq_1, q_2に関する連立方程式と考えると，パラメーターをpとする陰関数$q_1=\eta_1(p)$，$q_2=\eta_2(p)$が存在する。これらは有料道路および一般道路の需要関数と考えることができ，それらの勾配は次のようになる。

$$\frac{dq_1}{dp} = -\frac{1}{\lambda(t_1'+t_2')} \cdots (3) \qquad \frac{dq_2}{dp} = \frac{1}{\lambda(t_1'+t_2')} \cdots (4)$$

ここに$t_1'=dt_1(q_1)/dq_1$，$t_2'=dt_2(q_2)/dq_2$である。

3．最適料金水準

ここでは(1)道路管理者から見た最適料金水準，(2)道路利用者から見た最適料金水準，(3)社会的に見た最適料金水準について考察し，それぞれの料金水準はいかなるものであるかを明らかにする。

(1) 道路管理者から見た最適料金水準

有料道路はその大部分を借入金によって建設され，通行料金による収入をもってその償還が行われるので，道路管理者から見れば償還を早期に完了するためには料金収入がなるべく大きくなることが望ましい。料金収入は

$$F_a = p q_1$$

であり，これを最大にする料金水準は$dF_a/dp=0$より

$$p = \lambda q_1 (t_1' + t_2') \quad \cdots\cdots (5)$$

となる．式(5)はあるいは

$$p = \lambda q_1 \frac{d}{dq_1}(t_1 - t_2) \quad \cdots\cdots (6)$$

と書き表わすことができる。式(6)は"道路管理者から見た最適料金水準は，一般道路から有料道路に１台の交通が転換したとき，有料道路の他の利用者にもたらす混雑費用の増分（限界混雑費用）に等しい"と解釈することができよう。

(2) 道路利用者から見た最適料金水準

道路利用者から見たときには，交通に要する総費用がなるべく小さくなることが望ましい。総費用を走行時間損失と有料道路の通行料金の全利用者に対する総和とすると，総費用は

$$F_u = \lambda q_1 t_1 + \lambda q_2 t_2 + p q_1$$

と書き表わすことができる。総費用F_uの料金pに対する勾配は，式(3)，(4)を考慮すると，

$$\frac{dF_u}{dp} = \frac{(q_1+q_2)t_2'}{t_1'+t_2'}$$

となることが導かれる。ここで $t_1'>0$, $t_2'>0$ であるから $dF_u/dp>0$ となる。すなわち道路利用者の総費用は有料道路の料金に対して正の勾配をもつ。このことは道路利用者にとっては，有料道路の料金は安ければ安いほど望ましいことを意味する。ただし実際には有料道路は償還主義の考え方から通行料金による収入によって道路の建設費の償還が可能でなければならないから，通行料金の水準には下限が存在しよう。このことから道路利用者から見たときの最適な料金水準は，通行料金による有料道路の償還が可能な最も安い料金であるということが言える。

(3) 社会的に見た最適な料金水準

社会全体として見た場合には，道路を建設し管理する公共主体と道路利用者という2つの競合主体の利害を合わせて考えることが必要である。社会全体としての損失は一般道路と有料道路の時間損失であり，これをなるべく小さくすることが望ましい。総走行時間損失は

$$F_S = q_1t_1 + q_2t_2$$

であり，これを最小にする最適な料金水準は，

$$p = \lambda(q_1t_1' - q_2t_2') \qquad (7)$$

となることが導かれる。式(7) はあるいは

$$p = \lambda\left(q_1\frac{dt_1}{dq_1} + q_2\frac{dt_2}{dq_1}\right) \qquad (8)$$

と書き表わすことができる。式(8)は"社会的に見た最適な料金水準は，一般道路から有料道路に1台の交通が転換したとき，全道路利用者にもたらす走行時間の増加の増加の価値の総和（社会的限界混雑費用）に等しい"と解釈することができよう。ただし償還主義の考え方からこのときの料金水準が建設費の償還が可能な料金水準の下限を上回っていることが必要である。

4. 最適料金水準に関する2次の条件

最適料金水準を一意的に決定することが可能であるためには目的関数が凸関数であるかまたは少くとも疑凸関数であることが必要である。社会的に見た最適料金水準についてこのことを検討する。

いま式(3), (4)をさらに p について微分すると，

$$\frac{d^2q_1}{dp^2} = \frac{t_2''-t_1''}{\lambda^2(t_1'+t_2')^3} \cdots\cdots(9) \qquad \frac{d^2q_2}{dp^2} = \frac{t_1''-t_2''}{\lambda^2(t_1'+t_2')^3} \cdots\cdots(10)$$

が得られる。ここで総損失時間 F_S の料金に関する2次の導関数を求めると，

$$\frac{d^2F_S}{dp^2} = \left(t_1'\frac{dq_1}{dp} + \frac{dq_1}{dp}t_1' + q_1t_1''\frac{dq_1}{dp} - 2t_2'\frac{dq_2}{dp} - q_2t_2''\frac{dq_2}{dp}\right)\frac{dq_1}{dp} + (t_1+q_1t_1'-t_2-q_2t_2')\frac{d^2q_1}{dp^2} \qquad \cdots\cdots(11)$$

となるが，最適点においては $t_1+q_1t_1'-t_2-q_2t_2'=0$ が成り立つからこの点では

$$\frac{d^2F_S}{dp^2} = \left\{2t_1'+q_1t_1''+2t_2'+q_2t_2''\right\}\left(\frac{dq_1}{dp}\right)^2 \quad \cdots\cdots(12)$$

である。ここで $t_1'>0$, $t_2'>0$, $t_1''>0$, $t_2''>0$ と仮定されているので，最適点においては $d^2F_S/dp^2>0$ が成り立つ。よって総走行時間 F_S は最適点の近傍においては凸関数である。次に $p>0$ の任意の点においては

$$\frac{d^2F_S}{dp^2} = \frac{1}{\lambda^2(t_1'+t_2')^3}\left\{(t_2-t_1)(t_1''-t_2'')+(q_1+q_2)(t_1''t_2'+t_1't_2'')+2(t_1'+t_2')^2\right\} \quad \cdots\cdots(13)$$

となる。ここで $t_2-t_1>0$ であるから，もし任意の q_1, q_2 に対して $t_1''>t_2''$ であれば常に $d^2F_S/dp^2>0$ が成り立ち，したがって F_S は $p>0$ において凸関数であることがいえる。有料道路の交通容量が一般道路の交通容量に較べてかなり小さい場合にはこのような関係が成り立つものと考えられる。一般には $t_1''>t_2''$ が常に成り立つとは限らない。この場合には総走行時間損失 F_S が $p>0$ において少くとも疑凸関数であることが必要である。

$$\frac{dF_S}{dp} = (t_1-t_2+q_1t_1'-q_2t_2')\frac{dq_1}{dp} \qquad \cdots\cdots(14)$$

であり，ここで $dq_1/dp<0$。最適点 $p=p^*$ における交通量，所要時間をそれぞれ q_1^*, q_2^*, t_1^*, t_2^* とすると，$t_1^*-t_2^*+q_1^*t_1'(q_1^*)-q_2^*t_2'(q_2^*)=0$ である。いま $p<p^*$ のとき $dq_1/dp<0$ より $q_1>q_1^*$，また $t_1'>0$, $t_2''>0$ より $t_1>t_1^*$, $t_1'(q_1)>t_1'(q_1^*)$ が成り立つ。一方 $dq_2/dp>0$ より $q_2<q_2^*$ であり，$t_2'>0$, $t_2''>0$ より $t_2<t_2^*$, $t_2'(q_2)<t_2'(q_2^*)$。よって $p<p^*$ のとき

$$\frac{dF_S}{dp} < \left\{t_1^*+q_1^*t_1'(q_1^*)-t_2^*-q_2^*t_2'(q_2^*)\right\}\frac{dq_1}{dp} = 0$$

同様に $p>p^*$ のときには $dF_S/dp>0$ となることが導かれる。よって総走行時間 F_S は有料道路の料金水準 p に関して少くとも疑凸関数であることがいえ，総走行時間 F_S を最小にする社会的最適料金水準を一意的に決定することが可能である。