

5 高速道路料金収入と最適な高速道容量投資

高速道路料金による収入は、高速道路の建設投資に充てられる。もし仮に、公的資金の調達に厚生損失が発生せず（MCF が -1 となる）、消費者に燃料税も課せられておらず、代替一般道路の混雑を無視した状況下であれば、最適高速道路料金は高速道路混雑に対する First-best 混雑税と考えられる。このとき、First-best 混雑税の収入により、最適な高速道路容量を達成するための建設費用をちょうど賄うことができる（Toll-capital theorem が成り立つ）ことが従来より知られている。本研究では、公的資金調達による厚生損失、燃料税、代替一般道路混雑といった、さまざまな歪みを考慮しているため、この Toll-capital theorem は一般には成り立たないが、条件によっては、最適高速道路料金収入によって、最適な高速道路容量を達成する費用を賄える場合もある。本章では、単一区間モデルを想定した上でまず、高速道路容量を内生変数として、社会的余剰を最大化するような最適高速道路容量 k_H^* となる条件を導く。そして、最適高速道路料金 p^* による収入と、最適高速道路容量 k_H^* を達成するための建設費用を比較し、どのような条件のときに高速道路は、独立採算がとれる（つまり料金収入のほうが高速道建設費用より大きい）か、あるいは公的資金の補助が必要（つまり高速道建設費用のほうが料金収入より大きい）かを調べる。ただし、ここでは、燃料税を与件とした場合についてのみ考える。

5.1 最適高速道路容量となる条件

高速道路容量 k_H を変化させたときにおける、社会的余剰 W の最大化条件を導出する。まず、高速道路容量変化による社会的余剰 W の変化は、次のように表される。

$$dW = \frac{\partial V}{\partial k_H} dk_H + \frac{\partial V}{\partial f} \frac{df}{dk_H} dk_H \quad (5-1)$$

最適料金水準の導出時と同様、道路全体の財政収支 $\Phi \equiv S - I$ は、必ず 0 である。

df/dk_H は、容量変化に対応して財政収支をバランスさせるための燃料税変化を表す。これは、以下のように表される。

$$\frac{df}{dk_H} = -\frac{(\partial\Phi/\partial k_H)}{(\partial\Phi/\partial f)} \quad (5-2)$$

式(5-2)を式(5-1)に代入して、以下の式が得られる。

$$\begin{aligned} dW &= \frac{\partial V}{\partial k_H} dk_H - \frac{(\partial V/\partial f)}{(\partial\Phi/\partial f)} \frac{\partial\Phi}{\partial k_H} dk_H \\ &= \frac{\partial V}{\partial k_H} dk_H - MCF \frac{\partial\Phi}{\partial k_H} dk_H \end{aligned} \quad (5-3)$$

したがって、社会的余剰 W を最大化する条件は、以下のようになる。

$$\frac{dW}{dk_H} = \frac{\partial V}{\partial k_H} - MCF \cdot \frac{\partial\Phi}{\partial k_H} = 0 \quad (5-4)$$

これを詳しく書き表すために、まず、高速道容量変化による消費者の効用変化 $\partial V/\partial k_H$ を求める。これは、ロアの定理を用いると、以下のように表される。

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial k_H} &= \frac{\partial V}{\partial c_H^*} \frac{\partial c_H^*}{\partial k_H} + \frac{\partial V}{\partial c_o^*} \frac{\partial c_o^*}{\partial k_H} \\ &= -D_H^* w \frac{\partial t_H}{\partial k_H} - D_o^* w \frac{\partial t_o}{\partial k_H} \end{aligned} \quad (5-5)$$

次に、高速道容量変化による道路財政収支変化 $\partial\Phi/\partial k_H$ を求める。高速道容量変化は、高速道投資 I_H にのみ影響する。高速道投資 I_H は以下のように定義する。

$$I_H \equiv q_H k_H \quad (5-6)$$

ここで、 q_H は単位容量あたりの建設費用を表す。したがって、 $\partial\Phi/\partial k_H$ を表すと以下のようになる。

$$\frac{\partial\Phi}{\partial k_H} = -\frac{\partial I_H}{\partial k_H} = -q_H \quad (5-7)$$

式(5-5)、式(5-7)を用いて、式(5-4)を書き換えると以下のようになる。

$$\frac{dW}{dk_H} = -D_H^* w \frac{\partial t_H}{\partial k_H} - D_o^* w \frac{\partial t_o}{\partial k_H} + MCF \cdot q_H = 0 \quad (5-8)$$

5.2 高速道路収支の分析

5.2.1 高速道路容量，高速道路料金の同時最適時の高速道路収支

高速道路容量，高速道路料金の同時最適時の高速道路収支を求める．まず，高速道路の収支 Φ_H は以下のように定義する．

$$\Phi_H \equiv pD_H^* - q_H k_H \quad (5-9)$$

式(5-9)に最適料金水準 p^* を代入する．最適料金水準 p^* は以下の通りである．

$$p^* = -\frac{1}{MCF} \left[\frac{D_H^*}{(\partial D_H^*/\partial p)} + D_H^* w \frac{\partial t_H}{\partial D_H^*} + D_O^* w \frac{\partial t_O}{\partial D_O^*} \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right] - \frac{D_H^*}{(\partial D_H^*/\partial p)} - fl \left[1 + \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right] \quad (5-10)$$

式(5-10)を式(5-9)に代入すると，以下のようになる．

$$\begin{aligned} \Phi_H = & -\frac{1}{MCF} \left[\frac{(D_H^*)^2}{(\partial D_H^*/\partial p)} + (D_H^*)^2 w \frac{\partial t_H}{\partial D_H^*} + D_H^* D_O^* w \frac{\partial t_O}{\partial D_O^*} \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right] \\ & - \frac{(D_H^*)^2}{(\partial D_H^*/\partial p)} - fl D_H^* \left[1 + \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right] - q_H k_H \end{aligned} \quad (5-11)$$

一方，高速道路のリンク所要時間 $t_H(D_H, k_H)$ は0次同次であると仮定する．つまり，以下の式が成り立つと仮定する．

$$\frac{\partial t_H}{\partial D_H} D_H + \frac{\partial t_H}{\partial k_H} k_H = 0 \quad (5-12)$$

式(5-12)を式(5-11)に代入すると，以下のようになる．

$$\begin{aligned} \Phi_H = & -\frac{1}{MCF} \left[\frac{(D_H^*)^2}{(\partial D_H^*/\partial p)} - D_H^* k_H w \frac{\partial t_H}{\partial k_H} + D_H^* D_O^* w \frac{\partial t_O}{\partial D_O^*} \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right] \\ & - \frac{(D_H^*)^2}{(\partial D_H^*/\partial p)} - fl D_H^* \left[1 + \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right] - q_H k_H \end{aligned} \quad (5-13)$$

式(5-13)に式(5-8)を代入すると，高速料金，高速道容量をそれぞれ最適化したときの，高速道路収支が導出される．それは以下のようになる．

$$\begin{aligned} \Phi_H = & -\frac{D_H^*}{MCF} \left[\frac{D_H^*}{(\partial D_H^*/\partial p)} + D_O^* w \left\{ \frac{\partial t_O}{\partial D_O^*} \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} - \frac{\partial t_H}{\partial D_H^*} \frac{(\partial t_O/\partial k_H)}{(\partial t_H/\partial k_H)} \right\} \right] \\ & - \frac{(D_H^*)^2}{(\partial D_H^*/\partial p)} - fl D_H^* \left[1 + \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right] \end{aligned} \quad (5-14)$$

5.2.2 各歪みが高速道路収支に与える影響

ここでは、公的資金調達による厚生損失、燃料税、代替一般道路混雑による歪みが、式(5-14)で導出された Φ_H に、それぞれどのような影響をもたらすかを解析する。そして、各歪みに関して、どのような条件のときに高速道路は独立採算がとれる（つまり料金収入のほうが高速道建設費用より大きい）か、あるいは公的資金の補助が必要（つまり高速道建設費用のほうが料金収入より大きい）かを調べる。

まず、式(5-14)で導出された Φ_H について、

a) $\Phi_H > 0$ のとき

→ (最適料金による収入) > (最適高速道路容量を達成する費用)

b) $\Phi_H < 0$ のとき

→ (最適料金による収入) < (最適高速道路容量を達成する費用)

c) $\Phi_H = 0$ のとき

→ (最適料金による収入) = (最適高速道路容量を達成する費用)

となる。まず、公的資金調達による厚生損失、燃料税、代替一般道路混雑による歪みのいずれか1つのみを考慮した以下の3パターンについて、それぞれ上のa)~c)となる条件について考察する。

i) 公的資金調達による厚生損失のみを考慮した場合

ii) 燃料税のみを考慮した場合

iii) 代替一般道路混雑のみを考慮した場合

i) 公的資金調達による厚生損失のみを考慮した場合（燃料税、代替一般道路混雑を無視したとき）

このとき、式(5-14)は、以下のように表される。

$$\Phi_H = -\left(1 + \frac{1}{MCF}\right) \frac{(D_H^*)^2}{(\partial D_H^* / \partial p)} \quad (5-15)$$

式(5-15)は、 $(1+1/MCF) > 0$ 、 $(\partial D_H^* / \partial p) < 0$ より、正となる。したがって、燃料税、代替一般道路混雑を無視し、公的資金調達による厚生損失のみを考慮した場合は必ず、 $\Phi_H > 0$ となり、高速道路は料金収入のみで賄うのが望ましいということが分かる。これは、公的資金調達による厚生損失を考慮することにより、式(5-10)より、 p^* が大きくなり、均衡時の高速道路交通量は一定であるのでそれだけ料金収入が多くなるためである。

ii) 燃料税のみを考慮した場合（公的資金調達による厚生損失、代替一般道路混雑を無視したとき）

このとき、式(5-14)は、以下のように表される。

$$\Phi_H = -f(D_H^*)^2 \left[1 + \frac{(\partial D_O^* / \partial p)}{(\partial D_H^* / \partial p)}\right] \quad (5-16)$$

式(5-16)は、料金変化による、高速道交通量変化が代替一般道交通量変化に比べて大きい（ $|\partial D_H^* / \partial p| > |\partial D_O^* / \partial p|$ ）ことを想定すると、負となる。したがって、公的資金調達による厚生損失、代替一般道路混雑を無視し、燃料税のみを考慮した場合は必ず、 $\Phi_H < 0$ となり、高速道路は料金収入のほか、公的資金からの補助で賄うのが望ましいということが分かる。これは、燃料税を考慮することにより、 p^* が小さくなり、均衡時の高速道路交通量は一定であるのでそれだけ料金収入が少なくなるためである。また、公的資金調達による厚生損失は生じない想定なので、公的資金補助が望ましいという結果は矛盾しない。

iii) 代替一般道路混雑のみを考慮した場合（公的資金調達による厚生損失、燃料税を無視したとき）

このとき、式(5-14)は、以下のように表される。

$$\Phi_H = D_H^* D_O^* w \left\{ \frac{\partial t_O}{\partial D_O^*} \frac{(\partial D_O^* / \partial p)}{(\partial D_H^* / \partial p)} - \frac{\partial t_H}{\partial D_H^*} \frac{(\partial t_O / \partial k_H)}{(\partial t_H / \partial k_H)} \right\} \quad (5-17)$$

式(5-17)は、 $(\partial D_H^* / \partial p) < 0$ 、 $(\partial D_O^* / \partial p) > 0$ 、 $(\partial t_H / \partial k_H) < 0$ 、 $(\partial t_O / \partial k_H) < 0$ 、 $(\partial t_H / \partial D_H^*) > 0$ 、 $(\partial t_O / \partial D_O^*) > 0$ より、負となる。したがって、公的資金調達による厚生損失、燃料税を無視し、代替一般道路混雑のみを考慮した場合は必ず、 $\Phi_H < 0$ となり、高速道路は料金収入のほか、公的資金の補助で賄うのが望ましいということが分かる。これは、代替一般道路混雑を考慮することで、 p^* が小さくなり、均衡時の高速道路交通量は一定であるのでそれだけ料金収入が少なくなるためである。

以上 i) ~ iii) より、公的資金調達による厚生損失、燃料税、代替一般道路混雑の3つの歪みが、高速料金、高速道容量の最適化時の高速道路収支に与える影響は、以下の表5.1のようにまとめられる。

表 5.1 各歪みが高速道路収支に与える影響

歪み	高速道路収支 Φ_H に与える影響
公的資金調達による厚生損失	Φ_H を大きくする
燃料税	Φ_H を小さくする
代替一般道路混雑	Φ_H を小さくする

さらにここで、公的資金調達による厚生損失、燃料税、代替一般道路混雑による歪みのいずれか2つを考慮した(いずれか1つを無視した)以下の3パターンについて、それぞれ上の a)~c)となる条件について考察する。

iv) 公的資金調達による厚生損失のみを無視した場合

v) 燃料税のみを無視した場合

vi) 代替一般道路混雑のみを無視した場合

ただし、v) のとき、公的資金の調達は、「その他の一般道路投資削減」のみによるものとする。

iv) 公的資金調達による厚生損失のみを無視した場合

このとき、式(5-14)は、以下のように表される。

$$\Phi_H = D_H^* [D_O^* w \left\{ \frac{\partial t_O}{\partial D_O^*} \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} - \frac{\partial t_H}{\partial D_H^*} \frac{(\partial t_O/\partial k_H)}{(\partial t_H/\partial k_H)} \right\} - fl \left\{ 1 + \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} \right\}] \quad (5-18)$$

式(5-18)の[]内の第1項目は、 $(\partial D_H^*/\partial p) < 0$ 、 $(\partial D_O^*/\partial p) > 0$ 、 $(\partial t_H/\partial k_H) < 0$ 、 $(\partial t_O/\partial k_H) < 0$ 、 $(\partial t_H/\partial D_H^*) > 0$ 、 $(\partial t_O/\partial D_O^*) > 0$ より、負となる。第2項目は、料金変化による、高速道交通量変化が代替一般道交通量変化に比べて大きい ($|\partial D_H^*/\partial p| > |\partial D_O^*/\partial p|$) ことを想定すると、((-)も含めて) 負となる。したがって、公的資金調達による厚生損失のみを無視した場合は、必ず、 $\Phi_H < 0$ となる。したがって、高速道路は料金収入のほか、公的資金からの補助で賄うのが望ましいということが分かる。

v) 燃料税のみを無視した場合

このとき、式(5-14)は、以下のように表される。

$$\Phi_H = D_H^* \left[- \left(1 + \frac{1}{MCF} \right) \frac{D_H^*}{(\partial D_H^*/\partial p)} - \frac{D_O^* w}{MCF} \left\{ \frac{\partial t_O}{\partial D_O^*} \frac{(\partial D_O^*/\partial p)}{(\partial D_H^*/\partial p)} - \frac{\partial t_H}{\partial D_H^*} \frac{(\partial t_O/\partial k_H)}{(\partial t_H/\partial k_H)} \right\} \right] \quad (5-19)$$

式(5-19)の[]内の第1項目は、 $(1+1/MCF) > 0$ 、 $(\partial D_H^*/\partial p) < 0$ より、正となる。したがって、均衡時の高速道路交通量 D_H^* が比較的大きく、料金変化による高速道交通量変化 $|\partial D_H^*/\partial p|$ が比較的小さい場合、 $\Phi_H > 0$ となりやすいことが分かる。また、公的資金の限界費用 $|MCF|$ が大きい場合も、第1項目の正の影響が大きくなるので、 $\Phi_H > 0$ となりやすいことが分かる。[]内の第2項目は、((-)も含めて) 負となる。したがって、均衡時の代替一般道路交通量 D_O^* が大きければ、 $\Phi_H < 0$ となりやすいことが分かる。

vi) 代替一般道路混雑のみを無視した場合

このとき、式(5-14)は、以下のように表される。

$$\Phi_H = D_H^* \left[-\left(1 + \frac{1}{MCF}\right) \frac{D_H^*}{(\partial D_H^* / \partial p)} - f \left\{ 1 + \frac{(\partial D_o^* / \partial p)}{(\partial D_H^* / \partial p)} \right\} \right] \quad (5-20)$$

式(5-20)の[]内の第1項目は、正となる。したがって、均衡時の高速道路交通量 D_H^* が比較的大きく、料金変化による高速道交通量変化 $|\partial D_H^* / \partial p|$ が比較的小さい場合、 $\Phi_H > 0$ となりやすいことが分かる。また、公的資金の限界費用 $|MCF|$ が大きい場合も、第1項目の正の影響が大きくなるので、 $\Phi_H > 0$ となりやすいことが分かる。第2項目は、料金変化による、高速道交通量変化が代替一般道交通量変化に比べて大きい ($|\partial D_H^* / \partial p| > |\partial D_o^* / \partial p|$) ことを想定すると、((-)も含めて) 負となる。燃料税 f が大きい場合は、第2項目の負の影響が大きくなるが、 f の増加に伴い、燃料税の限界費用 $|MCF|$ も増加するので、 Φ_H がどのように変化するかは一概には述べることはできない。ただし、公的資金の調達を「その他の一般道路投資削減」のみであるとすると、 f が大きい場合、 $\Phi_H < 0$ となりやすい。