【土木計画学研究・講演集 No.20(2) 1997年11月】

内生的成長論から見た交通社会基盤整備政策に関する研究（—モデルの提案—）*

*A Modeling of Endogenous Economic Growth with Transportation Infrastructure Policy**

上田孝行*1・森杉壽芳*2・佐藤尚*3

*By Takayuki UEDA*1, Hisayoshi MORISUGI*2, Takashi SATO*3*

1．はじめに

社会資本整備が経済成長の成否を決める上で果たす役割の重要性については、これまでにそれに関する多くの研究が蓄積されてきている。とりわけ、新古典派経済理論に依拠した経済成長理論はその主流を占めてきた。しかし、それらの経済成長論に限界があったことも事実であり、そのブレークスルーを目指した方向の一つとして、近年では内生的成長論[1)]の名のもとに多くの関心を集めている一群の経済成長理論が発展を遂げている。従来、経済成長は人口増加や外生的な技術進歩によってのみ説明されていたが、そこでは、学習や研究開発による人的資本あるいは知識資本の蓄積が経済成長の原動力となっている。土木計画的な観点からは、このような内生的成長論の発展を受けて、社会資本整備が経済成長に及ぼす影響について分析してみる必要がある。特に、社会資本整備が人的資本（知識資本）の形成にどのような影響を与えるかという点に焦点を当てる必要がある。

そこで本研究では、最近の内生的成長論の代表的なモデルに社会資本整備のプロセスを取り入れて、その経済成長への影響を分析することを試みる。内生的成長の原動力としては時間資源の投入による人的資本の蓄積を取り上げる。特に、内生的成長論のもとでは、交通社会資本の蓄積の遅れによる混雑現象が、第一に、実質賃金としての時間価値が持続的に増大するため混雑に伴う厚生損失も持続的に増大させること、第二に、人的資本形成に当てられるべき時間資源そのものを減少させるために内生的成長を阻害するという二つの現象が生じる可能性がある。これらの二点を分析できる理論的なフレームとして、本稿では一つのモデルを提示する。

*キーワード：システム分析、公共事業評価法、整備効果計測法、財源・制度論

*1 正員　工博　岐阜大学助教授　工学部土木工学科
（岐阜市柳戸 1-1,TEL058-293-2447,FAX058-230-1248）
*2 正員　工博　アジア工科大学教授　土木工学科
*3 学生員　　岐阜大学大学院博士前期課程

2．モデルの仮定

本研究は以下の仮定に基づいている。

①代表的家計と代表的企業および政府からなる国民経済モデルとする。

②内生的成長の源泉としての家計が保有している時間資源の一部を投入して行う人的資本形成の過程を導入する。また、その際には、既に経済全体に蓄積されている人的資本の水準が高いほど同じ経済全体の個々の家計が行う人的資本形成は効率的になるものとし、一種の外部性が存在するものとする。

③家計と企業はそれぞれ交通サービスを需要するものとし、その利用には所要時間に相当する時間資源を投入するものとする。所要時間は経済全体としての交通サービスの需要量と交通社会資本ストックの水準に依存して決まり、混雑現象が生じると増加するものとする。

④政府は交通社会資本形成、運営費用をまかなうために、交通サービスの料金収入、公債発行収入、所得税収入の複数の財源調達方式を持つものとする。

3．動学的経済モデルの定式化 [2),3)]

(1)家計の行動モデル

家計は財消費、余暇、交通サービスの消費に依存した効用の将来にわたって割り引かれた総和である現在価値を最大にするように行動する。以上を次のような無限期間にわたる最適化行動を意味する動的最適制御問題として定式化する。

$$U=\max_{c,s,x,g}\int_0^\infty u\big(c(t),s(t),x(t)\big)\exp(-\rho t)dt \tag{1.a}$$

s.t.

$$c(t)+p(t)x(t)+\frac{da(t)}{dt}=\big(1-\tau_1(t)\big)\{w(t)h(t)l(t)+r(t)a(t)\} \tag{1.b}$$

$$l(t)+s(t)+g(t)+q(t)x(t)=\Omega \tag{1.c}$$

$$\frac{dh(t)}{dt}=G\big(g(t),h(t)\big) \tag{1.d}$$

ここで、

U ：無限時間にわたっての割り引かれた効用の総和

$u(\cdot)$ ：瞬時的効用

t ：時間

c ：一般財消費量

s ：余暇時間

x ：家計の交通サービス消費量

g ：人的資本形成に当てられる時間資源

ρ ：主観的割引率

p ：交通サービスの価格

a ：家計の実物資産

τ_1 ：家計に対する所得税率

w ：実質賃金率

h ：人的資本ストックの水準

l ：労働時間

r ：実物資産の実質利子率

q ：交通サービスの所要時間

Ω ：家計の総利用可能時間

$G(\cdot)$ ：人的資本形成の効率を規定する関数

ただし、ここで以下の関係を仮定する。

$$\frac{\partial G}{\partial h}>0 \tag{2.a}$$

$$\frac{\partial^2 G}{\partial h^2}\geq 0 \tag{2.b}$$

以上の定式化において、主観的割引率ρは、家計の時間選好を表したものであり、これはモデルにおける内生変数の影響を受けないため外生パラメータとして扱われる。

式(1.a)の無限時間にわたっての割り引かれた効用総和の最大化問題を解くため、式(1.b)の予算制約式に式(1.c)の時間制約式を代入して家計の瞬時的な実物資産形成の関係式とした上で、*Hamiltonian* を作成する[4),5)]。

$$\begin{aligned}H(t)=u\big(c(t),s(t),x(t)\big)+\theta_1(t)\{&w'(t)h(t)\Omega+r'(t)a(t)-c(t)\\&-w'(t)h(t)s(t)-\big(p(t)+w'(t)q(t)h(t)\big)x(t)\\&-w'(t)h(t)g(t)\}+\theta_2(t)G\big(h(t),g(t)\big)\end{aligned} \tag{3.a}$$

ここで、

H ：*Hamiltonian*

θ_1,θ_2 ：随伴変数

最大値原理を用いて以下のような最適化のための条件式を得る[4),5)]。

$$\frac{\partial H}{\partial c}=\frac{\partial u}{\partial c}-\theta_1(t)=0$$

$$:\frac{\partial u}{\partial c}=\theta_1(t) \tag{3.b}$$

$$\frac{\partial H}{\partial s}=\frac{\partial u}{\partial s}-\theta_1(t)w'(t)h(t)=0$$

$$:\frac{\partial u}{\partial s}=\theta_1(t)w'(t)h(t) \tag{3.c}$$

$$\frac{\partial H}{\partial x}=\frac{\partial u}{\partial x}-\theta_1(t)\big(p(t)+w'(t)h(t)q(t)\big)=0$$

$$:\frac{\partial u}{\partial x}=\theta_1(t)\big(p(t)+w'(t)h(t)q(t)\big) \tag{3.d}$$

$$\frac{\partial H}{\partial g}=-\theta_1(t)w'(t)h(t)+\theta_2(t)\frac{\partial G}{\partial g}=0$$

$$:\theta_1(t)w'(t)h(t)=\theta_2(t)\frac{\partial G}{\partial g} \tag{3.e}$$

$$\frac{\partial H}{\partial a}=-\frac{d\theta_1(t)}{dt}+\rho\theta_1(t)=\theta_1(t)r'(t)$$

$$:\frac{d\theta_1(t)}{dt}=\theta_1(t)(\rho-r'(t)) \tag{3.f}$$

$$\begin{aligned}\frac{\partial H}{\partial h}&=-\frac{d\theta_2(t)}{dt}+\rho\theta_2(t)\\&=\theta_1(t)w'(t)(\Omega-g(t)-q(t)x(t))+\theta_2(t)\frac{\partial G}{\partial h}\end{aligned}$$

$$:\frac{d\theta_2(t)}{dt}=\theta_2(t)\left(\rho-\frac{\partial G}{\partial h}\right)-\theta_1(t)w'(t)(\Omega-g(t)-q(t)x(t)) \tag{3.g}$$

$$\lim_{t\to\infty}\theta_1(t)a(t)\exp(-\rho t)=0 \tag{3.h}$$

$$\lim_{t\to\infty}\theta_2(t)h(t)\exp(-\rho t)=0 \tag{3.i}$$

ただし、ここでは以下の表記を用いている。

$$w'(t)=(1-\tau_1)w(t) \tag{3.j}$$

$$r'(t)=(1-\tau_1)r(t) \tag{3.k}$$

式(3.b)〜(3.e)は通常の静学的な効用最大化と同様に解釈される。式(3.f)は式(3.b)とあわせて考えれば、**intertemporal** な財消費の調整を意味している。式(3.h)、(3.i)は無限時間の遠方においては保有資産の価値が残存しないことを意味している。

(2) 企業の行動モデル

企業は各時点においてストックとして実現している資本量の下で労働と交通サービスを投入して生産を行う。そして、無限時間にわたっての各時点での税引き後利潤を割り引いた総和として定義される企業の純現在価値を最大化するように行動している。

$$V=\max_{L,X,I}\int_0^\infty (1-\tau_2)\left\{f\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)},\frac{X(t)}{K(t)}\right)-w(t)h(t)\frac{L(t)}{K(t)}-p(t)\frac{X(t)}{K(t)}-\frac{I_K(t)}{K(t)}\right\}K(t)\times\exp\left(-\int_0^t r(s)ds\right)dt \tag{4.a}$$

s.t.

$$\frac{dK(t)}{dt}\Big/K(t)=J\left(\frac{I_K(t)}{K(t)}\right) \tag{4.b}$$

ここで、

V ：無限期間にわたっての割り引かれた利潤の現在価値としての企業価値

$f(\cdot)$ ：財生産の生産関数（実物資本単位量当たり）

L ：財生産への労働投入量

X ：財生産への交通サービス投入量

K ：財生産への民間実物資本投入量

I_K ：民間実物資本形成への投資量

τ_2 ：企業利潤への課税率

$J(\cdot)$ ：民間実物資本形成における投資効率を規定する関数

以上の定式化において、家計の場合の割引率は既述の理由により外生パラメータであるが、企業の場合は、それは市場で決定される内生変数であり、その水準が時間に依存していることを明示するため、式(4.a)中のような表現をしている。

家計の行動モデルと同様、効用総和最大化問題を解くため *Hamiltonian* を作成する [4),5)]。

$$H=(1-\tau_2)\left\{f\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)},\frac{X(t)}{K(t)}\right)-w(t)h(t)\frac{L(t)}{K(t)}-p(t)\frac{X(t)}{K(t)}-\frac{I_K(t)}{K(t)}\right\}K(t)+\theta_3(t)J\left(\frac{I_K(t)}{K(t)}\right)K(t) \tag{5.a}$$

ここで、

H ：*Hamiltonian*

θ_3 ：随伴変数

最大値原理を用いて以下のような最適化のための条件式を得る [4),5)]。

$$\frac{\partial H}{\partial L}=(1-\tau_2)\left\{h(t)\frac{\partial f}{\partial\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)}\right)}-w(t)h(t)\right\}=0$$

$$:\frac{\partial f}{\partial\left(\frac{(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)}\right)}=w(t)h(t) \tag{5.b}$$

$$\frac{\partial H}{\partial X}=(1-\tau_2)\left\{h(t)\frac{\partial f}{\partial\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)}\right)}(-q(t))+\frac{\partial f}{\partial\left(\frac{X(t)}{K(t)}\right)}-p(t)\right\}=0$$

$$:\frac{\partial f}{\partial\left(\frac{X(t)}{K(t)}\right)}=p(t)+w(t)h(t)q(t) \tag{5.c}$$

$$\frac{\partial H}{\partial I_K}=-(1-\tau_2)+\theta_3(t)\frac{\partial J}{\partial\left(\frac{I_K(t)}{K(t)}\right)}=0$$

$$:\theta_3(t)\frac{\partial J}{\partial\left(\frac{I_K(t)}{K(t)}\right)}=1-\tau_2 \tag{5.d}$$

$$\frac{\partial H}{\partial K}=-\frac{d\theta_3(t)}{dt}+r(t)\theta_3(t)$$
$$=(1-\tau_2)\left\{f\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)},\frac{X(t)}{K(t)}\right)-w(t)h(t)\frac{L(t)}{K(t)}-p(t)\frac{X(t)}{K(t)}-\frac{I_K(t)}{K(t)}\right\}+\theta_3(t)J\left(\frac{I_K(t)}{K(t)}\right)+\theta_3(t)\frac{dJ}{d\left(\frac{I_K(t)}{K(t)}\right)}\cdot\frac{I_K(t)}{K(t)}$$

$$:\frac{d\theta_3(t)}{dt}=r(t)\theta_3(t)-(1-\tau_2)\left\{f\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)},\frac{X(t)}{K(t)}\right)-w(t)h(t)\frac{L(t)}{K(t)}-p(t)\frac{X(t)}{K(t)}\right\}-\theta_3(t)J\left(\frac{I_K(t)}{K(t)}\right) \tag{5.e}$$

$$\lim_{t\to\infty}\theta_3(t)K(t)\exp\left(-\int_0^t r(s)ds\right)=0 \tag{5.f}$$

式(5.b)、(5.c)は通常の静学的な利潤最大化行動におけるのと同様である。式(5.d)と式(5.e)は両方あわせて考えると、各時点の投資量を規定しており、企業の intertemporal な資本ストック調整を示している。式(5.f)は家計の場合と同様であり、無限時間の遠方において資本ストックの価値が残存しないという条件を意味している。

(3) 政府の行動モデル

政府は様々な財源調達手段から収入を得て交通サービスの供給と交通社会資本形成のための投資を行う。

$$\tau_1(w(t)h(t)l(t)+r(t)a(t))+\tau_2\left\{f\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)x(t))}{K(t)},\frac{X(t)}{K(t)}\right)\right.$$
$$\left.-w(t)h(t)\frac{L(t)}{K(t)}-p(t)\frac{X(t)}{K(t)}-\frac{I_K(t)}{K(t)}\right\}K(t)+p(t)Z(t)+\frac{db(t)}{dt}$$
$$=C(Z(t),S(t))+r(t)b(t)+I_S(t) \tag{6.a}$$

$$\frac{dS(t)}{dt}\Big/S(t)=M\left(\frac{I_S(t)}{S(t)}\right)S(t) \tag{6.b}$$

ここで、

Z ：交通サービス供給量

b ：公債発行残高

S ：交通社会資本ストック水準

$C(\cdot)$ ：交通サービス生産費用

I_S ：交通社会資本形成への投資量

$M(\cdot)$ ：交通社会資本形成と投資量の関係を表す関数

4．市場メカニズム

経済システムは各時点で以下の市場について採算条件が満たされているものとする。

財市場：

$$c(t)+C(t)+I_K(t)+I_S(t)$$
$$=Q\left[=f\left(\frac{h(t)(L(t)-q(t)X(t))}{K(t)},\frac{X(t)}{K(t)}\right)K(t)\right] \tag{7.a}$$

労働市場： $L(t)=l(t)$ (7.b)

資産市場： $a(t)=b(t)+V(t)$ (7.c)

交通市場： $x(t)+X(t)=Z(t)$ (7.d)

以上の均衡条件より、各時点の賃金率、資産の利子率、交通サービスの価格が同時に決定されるものとする。

5．混雑メカニズム

交通サービスの所要時間は交通サービスの総消費量と交通社会資本ストックの水準に依存しており、平均所要時間が交通サービスの総消費量の増加関数となっていることが混雑現象を表現するものとする。

$$q(t)=q(Z(t),S(t)) \tag{8.a}$$

ただし、

$$\frac{\partial q}{\partial Z}>0 \tag{8.b}$$

$$\frac{\partial^2 q}{\partial Z^2}>0 \tag{8.c}$$

$$\frac{\partial q}{\partial S}>0 \tag{8.d}$$

$$\frac{\partial^2 q}{\partial S^2}<0 \tag{8.e}$$

6．おわりに

本研究では、最近の内生的成長論の代表的なモデルに社会資本整備のプロセスを取り入れて、社会資本整備の経済成長への影響を分析可能なモデルを構築した。なお、数値シミュレーションの結果は講演時に示す予定である。

【参考文献】

1)大東一郎：内生的経済成長の基礎理論、財団法人 三菱経済研究所、1996.

2)上田孝行：不均衡経済下での社会資本整備の影響に関する一考察、土木学会論文集 No.488/Ⅳ-23, pp.67～76、土木学会、1994.4

3)山口利夫：マクロ経済学の展開、財団法人　三菱経済研究所、1995.

4)西村清彦：経済学のための最適化理論入門、東京大学出版会、1990.

5)板垣有記輔：動的最適化と経済理論、多賀出版、1985.