【土木計画学研究・講演集 No.17 1995年1月】

持続可能な地域経済成長モデル*

Sustainabule Economic Growth Model*

宮城俊彦**・岡　昭二***

By Toshihiko MIYAGI** and Syouzi OKA***

1．はじめに

達成すべき環境基準が与えられているときの、計画目標年までに地域の各生産部門が実現し得る生産量、それによって蓄積される資本ストック及びインフラ整備量を求めるモデルを提案する。本稿で提案するモデルは、岡・宮城(1994)で構想された土地利用・交通・環境モデルのイメージを部分的に実現しようとしたプロトタイプのモデルである。

モデルは生産モデル、需要モデル、環境モデル、交易モデル及び人口移動モデルで構成される。ただし、本稿では人口移動モデルについては、特に取り上げておらず、外生的に与えられるものとしている。

モデルは動的レオンチェフモデル（Solow(1959); Takayama(1985)）を基本とし、多地域・多部門モデルとして構成する。

生産モデルは企業の生産行動を表現する。生産量を制約する要因には標準的な生産要素、すなわち、資本、労働の他に環境基準、希少原材料の利用可能性そしてインフラ整備量を導入する。交易モデルはチェレニー•モーゼスタイプとする。

環境モデルは各生産部門からの汚染物質排出量と家計や政府部門の消費に伴う汚染物質排出量の総量を見積もるモデルである。Rembold（1975）と同様,汚染物質量は生産量や消費量に比例すると仮定する。また、排出量を抑制する装置を導入する事によって規制基準内に抑制できる物質とそうでない物質に分類し、後者は環境基準を達成するよう生産量が抑えられる事になる。

需要モデルは、生産部門の投入財に対する需要、投資需要、家計の需要、政府支出そして輸出・入で構成される。

モデルは、市場条件、資本制約、労働潜在量制約、容量制約、インフラ利用の制約の下で計画目標年での各地域の生産量を最大にする問題となり、線形計画問題として定式化される。

2．動的多地域多部門モデル

（1）生産モデル

期間 t における生産に関連する変数を次のように定義する。

$$x_{ij}^{s}(t) = a_{ij}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) = a_{ij}^{s}(0)\, {}_{a}\lambda_{ij}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) \quad (1)$$

$$K_{ij}^{s}(t) \geq b_{ij}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) = b_{ij}^{s}(0)\, {}_{k}\lambda_{ij}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) \quad (2)$$

$$W_{j}^{s}(t) \geq w_{j}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) = w_{j}^{s}(0)\, {}_{w}\lambda_{ij}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) \quad (3)$$

$$If_{j}^{s}(t) \geq \delta_{j}^{s}\, x_{j}^{s}(t) \quad (4)$$

$$R_{gj}^{s}(t) \geq r_{gj}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) = r_{gj}^{s}(0)\, {}_{r}\lambda_{gj}^{s}(t)\, x_{j}^{s}(t) \quad (5)$$

$x_{ij}^{s}(t)$ ：期間 t における地域 s の生産部門 j への生産部門 i からの投入量

$W_{j}^{s}(t)$ ：期間 t における生産部門 j の現在労働力

$K_{ij}^{s}(t)$ ：期間 t における地域 s の生産部門 j が必要とする i 種の資本

$x_{j}^{s}(t)$ ：期間 t における地域 s の生産部門 j の生産量

$a_{ij}^{s}(0)$ ：地域 s の現在投入係数

$b_{ij}^{s}(0)$ ：地域 s の現在資本投入係数

$w_{j}^{s}(0)$ ：地域 s における現在労働投入係数

$If_{j}^{s}(t)$ ：期間 t における地域 s の生産部門 i にとって有効なインフラ整備量

δ_{j}^{s} ：地域 s の部門 j が 1 単位の生産を行うのに必要なインフラ整備量

${}_{a}\lambda_{ij}^{s}(t)$ ：投入に係わる技術革新パラメータ

${}_{w}\lambda_{ij}^{s}(t)$ ：労働に係わる技術革新パラメータ

${}_{b}\lambda_{ij}^{s}(t)$ ：資本に係わる技術革新パラメータ

---

*キーワード：動的レオンチェフモデル

**正員　工博　岐阜大学教授　工学部土木工学科
（〒501-11　岐阜県岐阜市柳戸１番１　TEL058-230-1111）
***正員　工修　舞鶴工業高等専門学校助教授　土木工学科

なお、各々の添字の次元は次のようである。

$s=1,\cdots,m$; $i,j=1,\cdots,n$

$t=1,\cdots,T$; $g=1,\cdots,h$

$\lambda_{ij}^{s}(t)=1$ならば技術革新のない場合を表す。また、$\lambda_{ij}^{s}(K_{ij}(t))$とおけば、規模の経済や集積の経済を表現することができるが、モデルは非線形動的モデルとなる。詳細は紙面の都合上、割愛する。

次に、$\{K_{ij}^{s}\}$，$\{W_{j}^{s}\}$，$\{If_{j}^{s}\}$，$\{R_{gj}^{s}\}$ に関連する制約を記述する。

資本ストックは各期の設備投資などの投資需要（$I_{ij}^{s}(t)$）に依存する。

$$K_{ij}^{s}(t)=\sum_{t=1}^{T} I_{ij}^{s}(t)+K_{ij}^{s}(0) \tag{6}$$

ただし、

$$I_{ij}(t)=\beta_{ij}\left[x_j(t)-x_j(t-1)\right]+\bar{I}_{ij} \tag{7}$$

β_{ij} ：資本係数， $\bar{I}_{ij}$ ：基礎投資需要

労働供給量は地域内・生産部門内の人口変動率$\mu_j^s(t)$および地域間・産業間の人口移動$W_{ij}^{rs}(t)$によって変動する。

$$\begin{aligned}W_j^s(t) &= w_j^s(0)\,\mu_j^s(t)+\sum_{\varepsilon=1}^{t}\sum_{r=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}W_{ij}^{rs}(\varepsilon)\\ &\quad-\sum_{\varepsilon=1}^{t}\sum_{\substack{r=1\\ r\neq s}}^{m}\sum_{\substack{i=1\\ i\neq j}}^{n}W_{ji}^{sr}(\varepsilon)\\ &= \overline{w}_j^s(t)+\sum_{\varepsilon=1}^{t}\overline{W}_j^s(t)\end{aligned} \tag{8}$$

$W_{ij}^{rs}(t)$ は人口移動モデルによって求められるものとする。インフラ整備量は各期ごとの公共投資 $G_j^s(t)$ に依存する。

$$\begin{aligned}If_j^s(t) &= If_j^s(0)+\sum_{\varepsilon=1}^{t}\eta^s(\varepsilon)\sum_{j=1}^{n}\kappa_j^s(t)\,G_j^s(0)\\ &= \overline{If}_j^s(t)\end{aligned} \tag{9}$$

希少原材料は国が保有する現在量から$\xi_g(t)$の割合で次第に枯渇してゆく。

$$\begin{aligned}R_g(t) &= \overline{R}_g(0)\,\xi_g(t)\\ &= \overline{R}_g(t)\end{aligned} \tag{10}$$

（1）～（5）と（6）～（9）より、次のような制約式を得る。なお，以下において，左辺の$x_j^s(t)$にかかる項及び右辺はすべて定数として与えられる値である。

i）資本制約

$$\begin{aligned}&\left(b_{ij}^{s}(t)-\beta_{ij}^{s}\right)x_j^s(t)\\ &\quad\le K_{ij}^{s}(0)-\beta_{ij}^{s}\,x_j(0)+t\,\bar{I}_{ij}^{s}=\overline{K}_{ij}^{s}(t)\end{aligned} \tag{11}$$

for all i,j,s,t

ii）労働力に関する制約

$$W_j^s(t)\,x_j^s(t)\le\overline{w}_j^s(t)+\overline{W}_j^s(t)=\overline{W}_j^s(t) \tag{12}$$

for all j,s,t

iii）希少原材料に関する制約

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{s=1}^{m} r_{gj}(t)\,x_j^s(t)\le\overline{R}_g(t) \tag{13}$$

for all s,j,t

iv）インフラに関する制約

$$\sum_{j=1}^{n}\delta_j^s\,x_j^s(t)\le\overline{If}^s(t) \tag{14}$$

for all s,t

v）その他の制約

$$\begin{aligned}x_j^s(t)-x_j^s(t-1)&\ge 0\\ x_j^s(t)&\ge 0\end{aligned} \tag{15}$$

for all s,j,t

（2）環境モデル

地域 r において生産部門 i から排出される f タイプの環境汚染物質量 $E_{fi}^{r}(t)$ は生産量に比例するものと仮定する。

$$E_{fi}^{r}(t)=e_{fi}^{r}\,x_i^r(t) \tag{16}$$

ここに、 e_{fi}^{r} は単位生産量当たりの排出量で排出係数と呼ぶ。環境汚染は家計部門、政府部門の消費量

に依存する。消費に伴う環境汚染物質量は各期ごとに確実に増加すると仮定する。

$$E^r_{fc}(t) = (1+c\pi^r_f)^t E^r_{fc}(0) \tag{17}$$

今、$f = f^*$ なる物質については環境基準 $\hat{E}^r_{f^*}$ が与えられているものとする。したがって環境容量制約は、

$$\hat{E}^r_{f^*} \geq \sum_{i=1}^{n} e^r_{f^*i}\, x^r_i(t) + (1+c\pi_{f^*})^t E^r_{f^*c}(t) \tag{18}$$

で与えられる。f^* は企業が排除できないか、あるいは排除に膨大なコストを要する汚染物質である。$f \neq f^*$ となる物質については、何らかの施設あるいは装置によってその排出量がコントロールできるものとする。地域 s の生産部門 j が環境基準を満足するために i 部門に需要する汚染物質排出抑制装置への投資量 $I^s_{ij}(t)$ は、$E^s_{fj}(t)$ に比例的であると仮定する。

$$\begin{aligned} IE^s_{fj}(t) &= \sum_{f=1,\, f\neq f^*}^{k} q_{fi} E^s_{fj}(t) \\ &= \left\{ \sum_{f=1,\, f\neq f^*}^{k} q_{fi}\, e^s_{fj} \right\} x^s_j(t) \\ &= Q^s_{ij}\, x^s_j(t) \end{aligned} \tag{19}$$

q_{fi}：生産部門 i が投資する単位生産量当たりの装置への投資量

Q^s_{ij}：生産部門 j の単位生産当たりの部門 i の環境装置への投資量を表す環境連関係数

環境装置のコストは生産価格に上乗せされる。環境装置のコスト $E^s_{fj}(t)$ が生産価格に占める割合は一定とする。

$$\frac{E^s_j(t)}{x^s_j(t)} = es^s_j \tag{20}$$

（3）需要モデル／交易モデル及び市場条件

財・サービス i に対する需要は、生産部門 j の需要 $x^s_{ij}(t)$ 、家計の需要 $c^s_i(t)$、投資需要 $I^s_{ij}(t)$、政府支出 $G^s_i(t)$ 及び輸出・入バランスから生ずる需要 $H^s_i(t)$ で構成される。すなわち、

$$\begin{aligned} d^s_i(t) &= \sum_{j=1}^{n} x^s_{ij}(t) + \sum_{j=1}^{n} I^s_{ij}(t) \\ &\quad + c^s_i(t) + G^s_i(t) + H^s_i(t) \end{aligned} \tag{21}$$

右辺、第1項及び第2項は式(1)(7)で与えられる。家計の需要はマクロ経済モデルで用いられる次の消費関数を用いる。

$$c^s_i(t) = c_i Y^s(t) + \varphi^s(t) z^s_i(0) \tag{22}$$

ここに、c^s_i は限界消費性向、$Y^s(t)$ は期間 t での地域 s の所得、第2項は基本的消費あるいは独立的消費と呼ばれるもので，人口の増減に応じて変化する。所得 $Y^s(t)$ は、生産の粗付加価値より生産に伴う費用、環境装置投資額及び直接・間接税を差し引いたものになるので、以下のように定式化できる。

$$\begin{aligned} Y^s(t) &= (1-D_{tax}{}^s) \\ &\quad \times \sum_{j=1}^{n} \left[1 - \sum_{i=1}^{n} a_{ij}(t) - \sum_{i=1}^{n} r^s_{gj}(t) - es^s_j - I_{tax\,j} \right] x^s_j(t) \end{aligned} \tag{23}$$

ここに、D_{tax}，$I_{tax\,j}$ は各々直接税率、間接税率を表す。政府支出は、現在値より一定割合で増加するものと仮定する。

$$G^s_i(t) = (1+u^s_i)^t G^s_i(0) \tag{24}$$

輸出入バランスも現在値に比例するものと仮定する。

$$\begin{aligned} H^s_i(t) &= Ex^s_i(t) - IM^s_i(t) \\ &= (1 \pm v^s_i)^t H^s_i(0) \end{aligned} \tag{25}$$

交易係数を t^{rs}_i とおくと、地域 s に供給される財・サービス i の量は次式で表せる。

$$x^s_i = \sum_{r=1}^{m} t^{rs}_i\, x^r_i(t) \tag{26}$$

各地域の各財に対し、財の供給は少なくとも需要を上回る必要がある。

$$x^s_i \geq d^s_i(t) \tag{27}$$

3．環境制約下での最適経済モデル

生産量に制約がある場合の動的レオンチェフモデルの成長経済は一意的に定められない。したがって、ある目的を達成するように成長経路が求められる。本研究で対象とするモデルは、各時期の生産量 $x_i^s(t)$ を変数として記述できるので、目標年次Tにおいて各部門の生産量を最大にすることを目的関数とおく。すなわち、

$$\max \ Z = \sum_{j=1}^{n}\sum_{s=1}^{m} \alpha_j^s x_j^s(T) \qquad (28)$$

制約条件式は、式(11)～(15)及び(18)(27)Tで与えられる。これを行列表示すると図1のような構造を持っている。但し、紙面の都合上、各行列の要素の記述は省略する。いずれにしろ、$\bar{\mathbf{A}}\mathbf{X} \le \bar{\mathbf{b}}$ という構造をもち、$\bar{\mathbf{A}}$ はブロック構造をもつ。この制約式のもとで，Ｚの最適化は線形計画問題となる（Dorfman, Samuelson, Solow, 1958）．ここに未知変数の数は(n× m× T)で与えられる。また、制約条件の数はＩに関して(2× n× m×T － n×m)、**J** に関して(n× m× T)、**B** に関して(n^2×m×T)、**r** に関して(h×T)、**Δ** に関し(n×m)、**e** に関し(k×m×T)の合計 $\left[m\left\{T\left(n^2+4n+k\right)-n\right\}+hT\right]$ である。変数 $\left\{x_j^s(t)\right\}$ の値は(n× m× T)である。なお，価格体系は上述の問題の双対問題として得ることができる.

参考文献

1)Dorfman, R., P. A. Samuelson and R. M. Solow ：線形計画と経済分析Ⅱ（安井，福岡，渡部，小山共訳），岩波書店，1958.

2)岡昭二，宮城俊彦：サステェイナビリティな都市交通モデルの基本的枠組について，土木計画学研究・講演集，1995.1.

3)Rembold, G. : Limitations of regional and sectorspecific economic growth by pollution restrictions and scarcity of raw materials, Proc. of the International Conference on Regional Science, Louvain, 1975.

4)Solow, R. M. : Competitive valuation in a dynamic input-output system, Econometrica, 27, 1959.

5)Takayama, A. : Mathematical Economics (2nd ed.), Cambridge University Press, Cambridge, 1985.

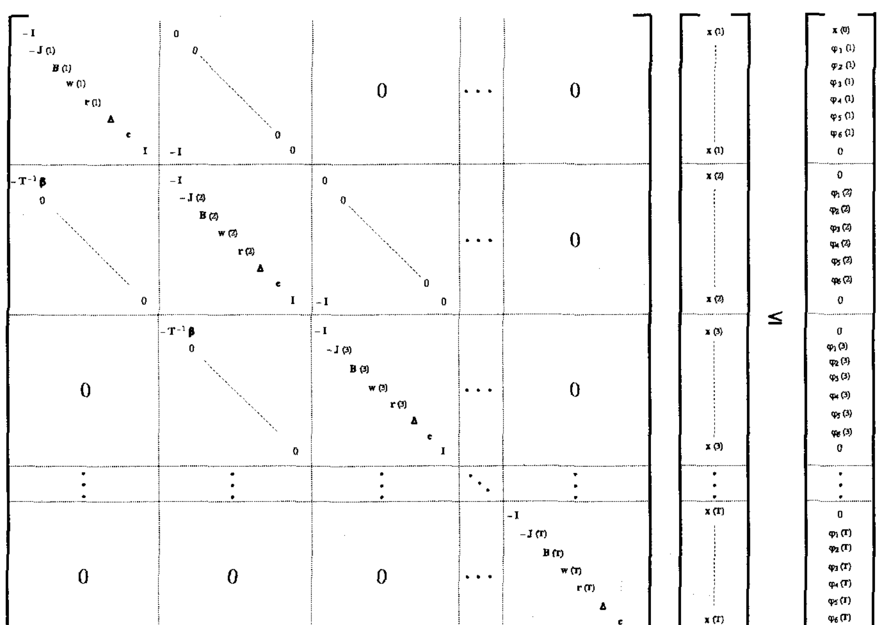

図１　制約条件