Studies on Dynamic Spatial Equilibrium Model introducing Natural Resource Restriction

狩野, 秀之
九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門

https://doi.org/10.15017/8892

出版情報：九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 62 (2), pp.43-50, 2007-10-29. 九州大学大学院農学研究院

九大農学芸誌（Sci. Bull. Fac. Agr., Kyushu Univ.）
第 62 巻　第 2 号　43–50　(2007)

資源制約を導入した動学的空間均衡モデル

狩　野　秀　之*
九州大学大学院農学研究院農業資源経済学部門農業関連産業組織学講座食料産業システム解析学分野

(2007年 6 月30日受付，2007年 7 月17日受理)

Studies on Dynamic Spatial Equilibrium Model introducing Natural Resource Restriction

Hideyuki KANO*
Laboratory of Food Industrial System Analysis, Division of Industrial Organization of Agribusiness, Department of Agricultural and Resource Economics, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

課　　題

現在，熱帯雨林の過剰伐採，過剰な漁獲，といった自然資源の減少ないし枯渇に関する議論が広くなされている．このことは，資源の管理がうまく行われておらず，農林水産業，鉱業といった天然資源と大きな関わりをもつ産業にとって，適切な資源管理の下での経済活動を行うことが重要となる．つまり，分析にあたっては，資源量を考慮した上で，適切な資源量が確保できるような政策を考慮しなければならない．また，農林水産業の場合，生産開始から収穫可能になるまでに時間がかかる，つまり，成長に時間を要することから，資源量を考慮した上で動学的にモデルを展開することが必要になる．したがって，本稿では，川口・鈴木（1994），前田（2001），庄野（1999），狩野・川口（2004）により展開された空間均衡モデルに資源制約を導入した上で動学的に展開することを課題とする．

本稿の構成はつぎのとおりである．まず，資源制約を考慮した動学的空間均衡モデルを提示し，その後，そのモデルを用いた数値例を示す．そして，最後に本稿の課題を述べる．

モ　デ　ル

記号法

本稿では，0 期から $T-1$ 期までの T 期間，n 地域間における空間均衡モデルを考え，次のような記号法を用いる．

$P_{j,t}$：第 t 期における第 j 消費地の市場価格
$D_{j,t}(P_{j,t})$：第 t 期における第 j 消費地の需要関数
$\rho_{i,t}$：第 t 期における第 i 産地の割引因子
$Y_{i,t}$：第 t 期における第 i 産地の生産物の生産量
$I_{i,t}$：第 t 期における第 i 産地の資源の生産量
$K_{i,t}$：第 t 期における第 i 産地の資源量
$K_{i,0}$：初期（第 0 期）における第 i 産地の資源保有量
$K_{i,T}$：最終期（第 T 期）における第 i 産地の資源保有量
$C^Y_{i,t}=C^Y_{i,t}(Y_{i,t})$：第 t 期における第 i 産地の生産物の生産費用関数
$C^I_{i,t}=C^I_{i,t}(I_{i,t})$：第 t 期における第 i 産地の資源の生産費用関数

*Corresponding Author (E-mail: hkano@agr.kyushu-u.ac.jp)

$C^K_{i,t} = C^K_{i,t}(K_{i,t})$：第 t 期における第 i 産地の資源の管理費用関数
$F_{i,t} = F_{i,t}(K_{i,t})$：第 t 期における第 i 産地の純増殖関数
$X_{ij,t}$：第 t 期における第 i 産地から第 j 消費地への輸送量
$TC_{ij,t}$：第 t 期における第 i 産地－第 j 消費地間の単位輸送費

モデルの前提条件

本稿で展開する空間均衡モデルの主要な前提条件は，つぎのとおりである.

①各消費地における消費者は価格受容者（Price-taker）として行動する.

②各産地における生産者は価格受容者（Price-taker）として行動する.

③各消費地の市場における需要は需要関数によって要約される.

④各産地の生産者は，すべての時点かつすべての消費地の市場価格を知ることができる.

⑤各産地の生産物の生産費用，資源の生産費用，資源の管理費用は，それぞれの費用関数によって要約される.

⑥各産地と各消費地を結ぶ輸送ルートは単純化され，各産地の中心と各消費地の中心を直接結ぶルートだけを用いて商品の輸送が行われる．その際，各ルートの単位輸送費は一定である.

⑦各消費地相互間で転送は行われない.

⑧各期において販売されるものは，その当該期において生産されるものとし，在庫は行われない.

⑨各期において生産される生産物は，当該期において保有される資源から収穫（伐採）することにより生産される．したがって，生産者は，各期において，当該期に保有される資源量の範囲内でしか生産物を生産することはできない.

⑩次期における資源量は，今期の資源量から今期の生産物の生産量を差し引き，今期の資源量からの純増殖量と今期の資源の生産量を加えたものとする.

第 i 産地の生産者の主体均衡条件

第 i 産地は，第 0 期から第 $T-1$ 期までに得られる利潤の割引現在価値の合計が最大となるように各期の生産物の生産量，資源の生産量，資源量，輸送量を決定するものとする．その際の利潤とは，販売収入から生産物の生産費用，資源の生産費用，資源の管理費用，各消費地へ販売するにあたっての輸送費を差し引いたものである．また，第 i 産地では，初期時点（第 0 期）と最終時点（第 T 期）における資源量は固定されているものとする．さらに，産地の制約条件は，実現可能制約である．したがって，第 i 産地の利潤最大化行動は以下のように定式化される.

$$\underset{Y_{i,t},I_{i,t},K_{i,t},X_{ij,t}}{Max} \quad \pi_i = \sum_{t=0}^{T-1} \rho^t_{i,t} \left\{ \sum_{i=1}^{n} P_{j,t} X_{ij,t} - C^P_{i,t}(Y_{i,t}) - C^I_{i,t}(I_{i,t}) - C^K_{i,t}(K_{i,t}) - \sum_{i=1}^{n} TC_{ij,t} X_{ij,t} \right\} \tag{1}$$

$$s.t. \quad \sum_{i=1}^{n} X_{ij,t} \leqslant Y_{i,t},\ (t = 0,\ 1,\ \cdots,\ T-1) \tag{2}$$

$$K_{j,1} \leqslant \overline{K_{i,0}} - Y_{i,0} + I_{i,0} + f_{i,0}(\overline{K_{i,0}}) \tag{3}$$

$$K_{i,t+1} \leqslant K_{i,t} - Y_{i,t} + I_{i,t} + f_{i,t}(K_{i,t}),\ (t = 1,\ \cdots,\ T-2) \tag{4}$$

$$\overline{K_{i,T}} \leqslant K_{i,T\ 1}\ \ Y_{i,T\ 1} + I_{i,T\ 1} + f_{i,T\ 1}(K_{i,T\ 1}) \tag{5}$$

ただし，$Y_{i,t}$，$I_{i,t}$，$K_{i,t}$，$X_{ij,t}$ は非負の実数値をとる変数である.

(1)〜(5)のクーン・タッカー条件を求めると，以下のように表すことができる．なお，$\alpha_{i,t}$, $\beta_{i,t}$ は，それぞれ第 t 期第 i 産地の実現可能性約，資源動態制約式のラグランジュ乗数を表す.

$$\rho^t_{i,t} P_{j,t} \leqslant \rho^t_{i,t} TC_{ij,t} + \alpha_{i,t},\ X_{ij,t} \geqslant 0,\ X_{ij,t}(\rho^t_{i,t} TC_{ij,t} + \alpha_{i,t}\ \ \rho^t_{i,t} P_{j,t}) = 0 \quad (j = 1,\ \cdots,\ n,\ t = 0,\ 1,\ \cdots,\ T-1) \tag{6}$$

$$\alpha_{i,t} \leqslant \rho^t_{i,t} \frac{dC^Y_{i,t}}{dY_{i,t}} + \beta_{i,t},\ Y_{i,t} \geqslant 0,\ Y_{i,t}\left(\rho^t_{i,t} \frac{dC^Y_{i,t}}{dY_{i,t}} + \beta_{i,t} - \alpha_{i,t} \right) = 0 \quad (t = 0,\ 1,\ \cdots,\ T-1) \tag{7}$$

$$\beta_{i,t} \leqslant \rho_{i,t}^{t}\frac{dC_{i,t}^{I}}{dI_{i,t}},\ I_{i,t} \geqslant 0,\ I_{i,t}\left(\rho_{i,t}^{t}\frac{dC_{i,t}^{I}}{dI_{i,t}}-\beta_{i,t}\right)=0 \quad (t=0,\ 1,\ \cdots,\ T-1) \tag{8}$$

$$\beta_{i,t}+\rho_{i,t}^{t}\frac{dF_{i,t}}{dK_{it}}\beta_{i,t} \leqslant \rho_{i,t}^{t}\frac{dC_{i,t}^{K}}{dK_{it}}+\beta_{i,t\ 1},\ K_{i,t} \geqslant 0,\ K_{i,t}\left(\rho_{i,t}^{t}\frac{dC_{i,t}^{K}}{dK_{it}}+\beta_{i,t\ 1}-\beta_{i,t}-\rho_{i,t}^{t}\frac{dF_{i,t}}{dK_{it}}\beta_{i,t}\right)=0 \quad (t=1,\ \cdots,\ T-1) \tag{9}$$

$$\textstyle\sum_{j=1}^{n} X_{ij,t} \leqslant Y_{i,t},\ \alpha_{i,t} \geqslant 0,\ \alpha_{i,t}\left(Y_{i,t}-\sum_{j=1}^{n} X_{ij,t}\right)=0 \quad (t=0,\ 1,\ \cdots,\ T-1) \tag{10}$$

$$K_{i,1} \leqslant \overline{K_{i,0}}-Y_{i,0}+I_{i,0}+f_{i,0}(\overline{K_{i,0}}),\ \beta_{i,0} \geqslant 0,\ \beta_{i,0}\left\{\overline{K_{i,0}}-Y_{i,0}+I_{i,0}+f_{i,0}(\overline{K_{i,0}})K_{i,1}\right\}=0 \tag{11}$$

$$K_{i,t+1} \leqslant K_{i,t}-Y_{i,t}+I_{i,t}+f_{i,t}(K_{i,t}),\ \beta_{i,t} \geqslant 0,\ \beta_{i,t}\{K_{i,t}-Y_{i,t}+I_{i,t}+f_{i,t}(K_{i,t})\ \ K_{i,t+1}\}=0 \quad (t=1,\ \cdots,\ T-2) \tag{12}$$

$$\overline{K_{i,T}} \leqslant K_{i,T\ 1}-Y_{i,T\ 1}+I_{i,T\ 1}+f_{i,T\ 1}(K_{i,T\ 1}),\ \beta_{i,T\ 1} \geqslant 0,\ \beta_{i,T\ 1}\{K_{i,T\ 1}-Y_{i,T\ 1}+I_{i,T\ 1}+f_{i,T\ 1}(K_{i,T\ 1})\ \ K_{i,T}\}=0 \tag{13}$$

第 j 消費地における需給均衡条件

第 t 期における第 j 消費地の需給均衡条件は以下のように表すことができる.

$$D_{i,t}(P_{j,t}) \leqslant \textstyle\sum_{i=1}^{n} X_{ij,t},\ P_{j,t} \geqslant 0,\ P_{j,t}\left\{\sum_{i=1}^{n} X_{ij,t}-D_{j,t}(P_{j,t})\right\}=0 \quad (t=0,\ \cdots,\ T-1) \tag{14}$$

数値例

前節で展開した空間均衡モデルは，生産物の限界生産費用関数，資源の限界生産費用関数，資源の限界管理費用，純増殖関数，需要関数を下記のように線形関数として定式化することにより線形相補性問題として解くことができる.

第 t 期における第 j 消費地の需要関数：$D_{j,t}=a_{jt}\quad b_{jt}P_{jt}$

第 t 期における第 i 産地の限界生産費用関数：$\dfrac{dC_{i,t}^{Y}}{dY_{i,t}}=c_{i,t}^{Y}+d_{i,t}^{Y}Y_{i,t}$

第 t 期における第 i 産地の限界投資費用関数：$\dfrac{dC_{i,t}^{1}}{dI_{i,t}}=c_{i,t}^{I}+d_{i,t}^{I}I_{i,t}$

第 t 期における第 i 産地の限界資源管理費用関数：$\dfrac{dC_{i,t}^{K}}{dK_{i,t}}=c_{i,t}^{K}+d_{i,t}^{K}K_{i,t}$

第 t 期における第 i 産地の純増殖関数：$F_{i,t}=g_{i,t}+h_{i,t}K_{i,t}$

なお，ここでは再生可能資源でかつ資源の生産が可能な場合についての定式化を行ったが，上記の純増殖関数の $g_{i,t}$ と $h_{i,t}$ をともに 0 とし，資源の限界生産費用関数の $c_{i,t}^{Y}$ と $d_{i,t}^{Y}$ を資源の生産が起こりえないような大きな値を与えることにより，鉱物資源のような非再生可能資源の場合を取り扱うことができるようになる．また，資源の限界費用関数の $c_{i,t}^{Y}$ と $d_{i,t}^{Y}$ を資源の生産が起こりえないような大きな値を与えることにより漁業のような再生可能資源でかつ資源の生産が不可能な場合も取り扱うことができる.

数値例

前節までで展開した空間均衡モデルを利用して非再生可能資源の場合，再生可能資源でかつ資源の生産が不可能な場合と再生可能資源でかつ資源の生産が可能な場合の 3 つの場合に関する数値例を示す．なお，その際に利用するデータは以下のとおりで，各期の各線形関数，輸送費に関するデータはすべての期において同じ値をとるものとする．また，計算に当たっては，第 0 期から第 4 期までの 5 期間について実行し，その計算結果は，図 1 ～図18と

して表されている.

第 t 期における第 j 消費地の需要関数（$D_{j,t}$）：

$D_{1,t} = 80 - 0.5P_{1,t}$

$D_{2,t} = 50 - 0.25P_{2,t}$

$D_{3,t} = 90 - 0.5P_{3,t}$

第 t 期における第 i 産地の限界生産費用関数 $\left(\dfrac{dC^Y_{i,t}}{dY_{i,t}}\right)$：

$$\frac{dC^Y_{1,t}}{dY_{1,t}} = 1.0 + 0.05Y_{1,t}$$

$$\frac{dC^Y_{2,t}}{dY_{2,t}} = 1.0 + 0.15Y_{2,t}$$

$$\frac{dC^Y_{3,t}}{dY_{3,t}} = 1.0 + 0.05Y_{3,t}$$

第 t 期における第 i 産地の限界投資費用関数 $\left(\dfrac{dC^I_{i,t}}{dI_{i,t}}\right)$：

$$\frac{dC^I_{1,t}}{dI_{1,t}} = 1.0 + 0.5I_{1,t}$$

$$\frac{dC^I_{2,t}}{dI_{2,t}} = 3.0 + 3.0I_{2,t}$$

$$\frac{dC^I_{3,t}}{dI_{3,t}} = 1.5 + 3.0I_{3,t}$$

第 t 期における第 i 産地の限界資源管理費用関数 $\left(\dfrac{dC^K_{i,t}}{dK_{i,t}}\right)$：

$$\frac{dC^K_{1,t}}{dK_{1,t}} = 0.05 + 0.05K_{1,t}$$

$$\frac{dC^K_{2,t}}{dK_{2,t}} = 1.0 + 1.0K_{2,t}$$

$$\frac{dC^K_{3,t}}{dK_{3,t}} = 1.5 + 1.5K_{3,t}$$

第 t 期における第 i 産地の純増殖関数（$F_{i,t}$）：

$F_{1,t} = 0.1 + 0.15K_{1,t}$

$F_{2,t} = 0.01 + 0.01K_{2,t}$

$F_{3,t} = 0.3 + 0.05K_{3,t}$

第 t 期における第 i 産地の割引因子（$\rho_{i,t}$）：

$\rho_{1,t} = 0.9$, $\rho_{2,t} = 0.9$, $\rho_{3,t} = 0.9$

第 t 期における第 i 産地－第 j 消費地間の単位輸送費（$TC_{ij,t}$）：

$TC_{11,\,t}=0,\ TC_{12,\,t}=2,\ TC_{13,\,t}=3$

$TC_{21,\,t}=2,\ TC_{22,\,t}=0,\ TC_{23,\,t}=4$

$TC_{31,\,t}=3,\ TC_{32,\,t}=4,\ TC_{33,\,t}=0$

初期（第 0 期）における第 i 産地の資源保有量（$\overline{K_{i,\,0}}$）：

$\overline{K_{1,\,0}}=100,\ \overline{K_{2,\,0}}=60,\ \overline{K_{3,\,0}}=50$

最終期（第 T 期）における第 i 産地の資源保有量（$\overline{K_{i,\,T}}$）：

$\overline{K_{1,\,T}}=10,\ \overline{K_{2,\,T}}=15,\ \overline{K_{3,\,T}}=15$

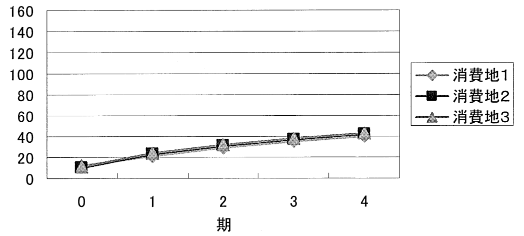

図 1　資源の生産が可能な再生可能資源（市場価格）

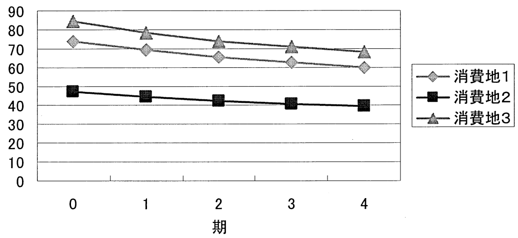

図 2　資源の生産が可能な再生可能資源（需給量）

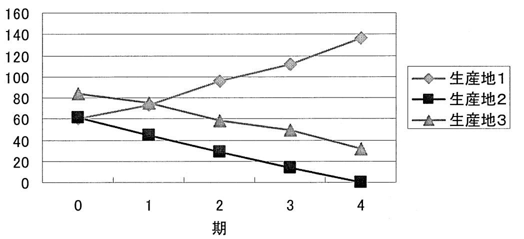

図 3　資源の生産が可能な再生可能資源（生産物の生産量）

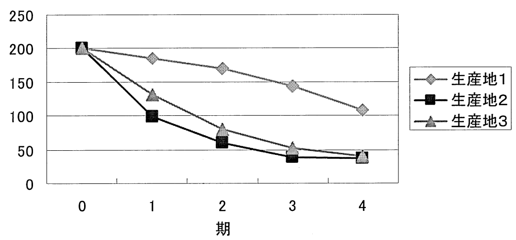

図 4　資源の生産が不可能な再生可能資源（資源量）

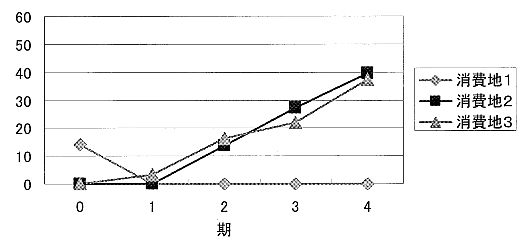

図 5　資源の生産が可能な再生可能資源（輸入量）

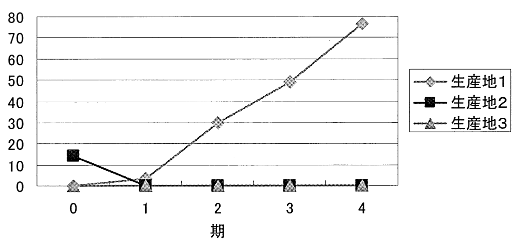

図 6　資源の生産が可能な再生可能資源（輸出量）

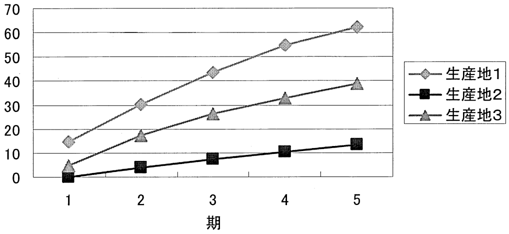

図 7 資源の生産が可能な再生可能資源
（資源の生産量）

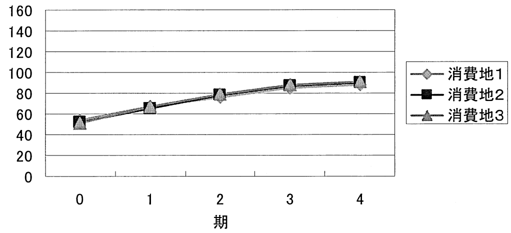

図 8 資源の生産が不可能な再生可能資源
（市場価格）

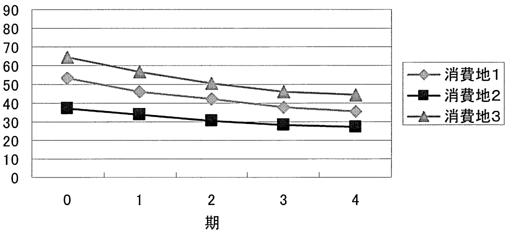

図 9 資源の生産が不可能な再生可能資源
（需給量）

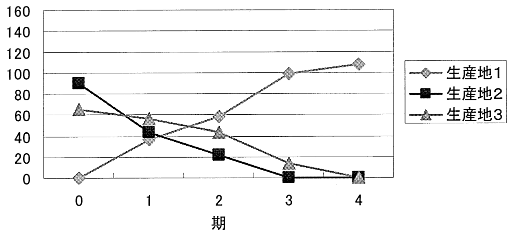

図10 資源の生産が不可能な再生可能資源
（生産物の生産量）

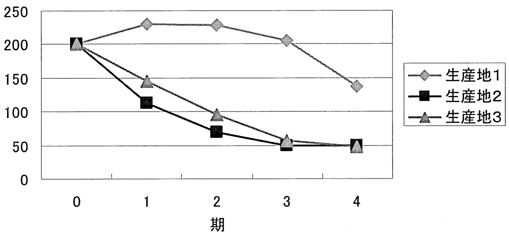

図11 資源の生産が不可能な再生可能資源
（資源量）

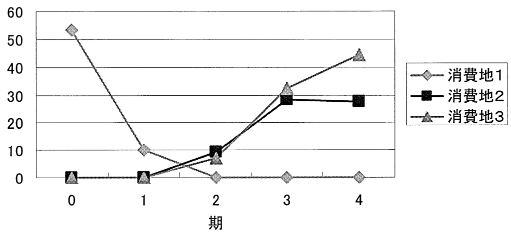

図12 資源の生産が不可能な再生可能資源
（輸入量）

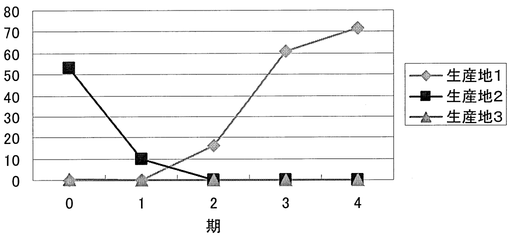

図13 資源の生産が不可能な再生可能資源
（輸出量）

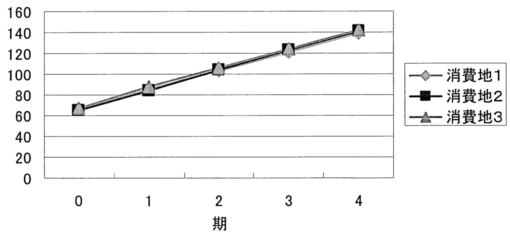

図14 非再生可能資源（市場価格）

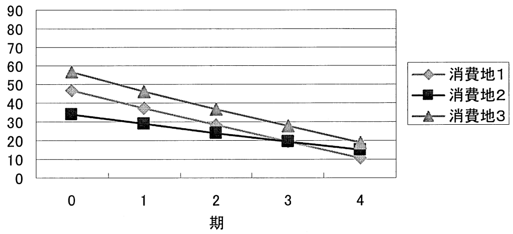

図15　非再生可能資源（需給量）

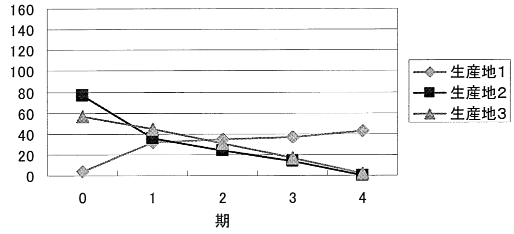

図16　非再生可能資源（生産物の生産量）

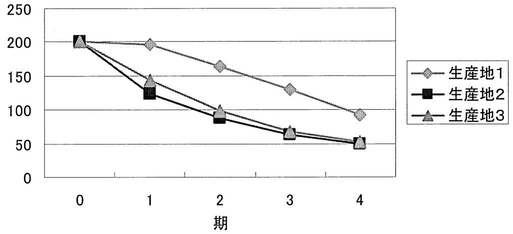

図17　非再生可能資源（資源量）

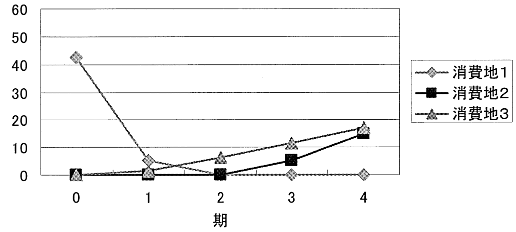

図18　非再生可能資源（輸入量）

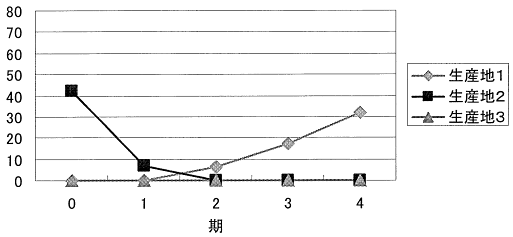

図19　非再生可能資源（輸出量）

結　　　　語

本稿では，資源制約を考慮した動学的空間均衡モデルを展開し，数値例を示したが，最後に本稿の課題を述べる．まず第１に，本稿では国内政策，貿易政策や環境政策といった経済政策を考慮していない．したがって，そのような経済政策を導入する必要がある．第２に，現実のデータに基づいたより実践的な分析を行う必要がある．第３に，本稿では今期の投資が次期の資源ストック量に影響を与えるという定式化を行ったが，自然資源を扱う場合，本稿のような場合はまれで，投資が利用可能な資源ストック量に影響を与えるためにはより長い期間が必要とされるのが一般的と考えられる．したがって，投資を行ってから資源ストックとして利用可能となるのに10期間かかるような場合には，資源動態制約式を $K_{i,t+10} \leqq K_{i,t+9} \quad Y_{i,t+9}+I_{i,t}+f_{i,t+9}(K_{i,t+9})$ のように定式化しなおすことが可能である．第４に，本稿では将来に対する完全予見型といった強い仮定がおかれている．しかし，農林漁業のような場合は，自然環境の影響を受けることから将来に対する不確実性が伴うことが一般的であり，そのような不確実性を導入することが必要となる．最後に，本稿ではすべての期を同時に線形相補性問題として解いたが，この方法では，期間，産地や消費地の数が増大した場合，線形相補性問題の行列の次数が幾何級数的に増加するため，各期をそれぞれに解くような解法を考察する必要がある．

文　　　献

狩野秀之・川口雅正　2004　関税を導入した国際貿易空間均衡モデルへの差額関税の導入に関する理論分析－完全競争市場の場合－．九州大学大学院農学研究院学芸雑誌，**59** (1)：63-70.

川口雅正・鈴木宣弘　1994　一生産物の二重構造不完全競争空間均衡モデルとその生乳市場分析への適用について．農業経済研究，**66** (1)：22-34.

前田幸嗣　2001　不完全競争下における国際貿易の政策シミュレーションモデル－混合相補性問題による国際小麦貿易の空間均衡分析－．農業経済研究，**73** (3)：119-132.

庄野千鶴・川口雅正　1999　関税を導入した国際貿易空間均衡モデルの展開－完全競争市場の場合－．九州大学農学部学芸雑誌，**53** (1～4)：79-88.

Summary

Now Tropical forests are deforested, and a decrease of a natural resource of excessive fishing are discussed. As for this, the resource is not managed well, and doing an economic activity under an appropriate resource control for industry with natural resources like the agriculture, forestry and fisheries industry and mining, etc. In a word, it is necessary to consider the policy for which an appropriate amount of the resource can be secured when analyzing it. Moreover, it is necessary to be going to take time by the time harvesting from the production beginning for the agriculture, forestry and fisheries industry becomes possible, and to develop the model from requiring time in a word to grow up dynamically after the amount of the resource is considered. In this paper, it is a problem to develop dynamically after the resource restriction is introduced into the Spatial Equilibrium Model developed by Kawaguchi, Suzuki (1994), Maeda (2001), Shono (1999), and Kano and Kawaguchi (2004).