

動学的最適化モデルによる環境容量の考察

九州大学工学部 学生員 濱村 剛 正 員 井村秀文

1. はじめに

近年、地球規模の環境問題への関心が高まっている。なかでも地球温暖化が重要な問題となり、1992年6月気候変動枠組み条約が締結され、人類社会全体としての取り組みの第一歩が始まった。しかしながら、地球温暖化は、ただちに人類の生死に関わる問題ではなく、その影響の発現時期や規模については不確実な面がある。このような不確実性の下で、「持続可能な開発(sustainable development)」を達成するためには、将来にわたる資源消費、経済成長、地球環境の相互作用を予測・評価し、何らかの価値基準に基づく規範的視点から、地球環境と人類にとって最適な政策を決定し、計画的にこれを実施する必要がある。

一般に、環境管理においては、環境に対するインパクトをどの範囲内にとどめるべきか、あるいは、どこまで人間活動が許容されるかという「環境容量」の設定が問題になる。しかし、環境容量に関する従来の議論の多くは、地域的な汚染問題に関するものである。この場合には、問題の空間的範囲が狭く限定され、原因と結果の時間的距離も短い。これに対し、地球温暖化問題については、2つの面で大きく様相が異なる。第1は、汚染物質の排出量(フロー)ではなく、汚染物質の蓄積量(ストック)が問題となることである。第2は、環境容量の配分に関して、地球全体(世界の各地域間、各国間)にわたる空間的配分と、現在世代から将来世代までの長期にわたる時間的配分が問題となることである。

本論文では、こうした問題認識に立って、地球環境資源管理のための1つの規範的方法論として、動学的最適化モデルを用いて、地球大気的环境容量(許容可能な排出総ストック)設定の問題について考察する。

2. 解析方法(最適化モデル)

地球の環境容量、例えば地球の平均気温について何℃までの上昇が許容されるかを評価することは極めて難しいが、ここでは経済成長にマイナスの影響がもたらされ、社会的に許容できなくなる限界を環境容量と考える。

最適な資源利用経路は、現在から将来にわたる消費の効用の現在価値の総和を、資源制約条件下で最大化することによって決定するものとする。第*t*期における資源利用量 X_t 、資本ストック K_t 、投資 I_t 、生産 Y_t 、消費 C_t 及び廃棄物ストック Q_t を変数とする被害関数 $D_t=D(Q_t)$ を仮定する。被害関数は、その時点における廃棄物の量だけによって決まるとする。図1はこれらモデルの構成要素間の相互連関を表したものである。そこで最適成長経路問題は次式で表される。ここで、 $F(X_t, K_t)$ は生産関数、 ρ は時間の割引率、 ν は廃棄物の浄化速度、 w は資源1単位の消費によって環境中に排出される廃棄物の量である。

$$\text{Max } W = \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+\rho)^t} U(C_t) \quad (1)$$

$$\text{s.t. } \sum_{t=0}^T X_t \leq S_0 \quad (2)$$

$$K_{t+1} = K_t + I_t \quad (3)$$

$$Y_t = C_t + I_t + D_t \quad (4)$$

$$Q_t = (1 - \nu)Q_{t-1} + wX_{t-1} \quad (5)$$

この最適化問題は、ラグランジアンを用いて、次式のように定式化できる。

$$L = \sum_{t=0}^T (1+\rho)^{-t} U(C_t) + \sum_{t=0}^T \xi_t [F(X_t, K_t) - C_t - I_t - D(Q_t)] + \sum_{t=0}^{T-1} \phi_t (K_t + I_t - K_{t+1}) + \sum_{t=0}^{T-1} \zeta_t [(1-\nu)Q_t + wX_t - Q_{t+1}] + \lambda \left(S_0 - \sum_{t=0}^T X_t \right) \quad (6)$$

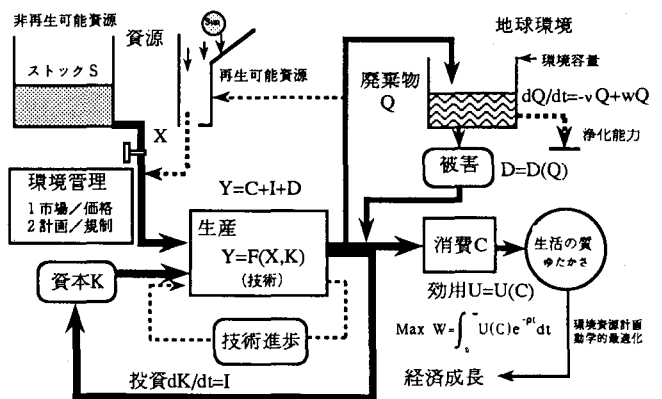


図1 最適化モデルの概念図

上記の最適化問題の解の特性を一般的に論じるのは難しいので、ここでは(7)式のCobb-Douglas型生産関数、(8)式のFelici型効用関数について検討する。ただし、以下では労働 L は一定とする。被害関数は、汚染蓄積量がある量 Q_0 を超えたときにリスクが増大するような関数(9式)を仮定する。

$$F(X,K)=X^a K^b L^c \quad (a+b+c=1) \quad (7)$$

$$U(C)=\frac{1}{1-\eta} C^{1-\eta} \quad (\text{for } \eta > 1) \quad \text{or} \quad U(C)=\log C \quad (\text{for } \eta = 1) \quad (8)$$

$$D(Q)=D_0(1-Q/Q_0)^d \quad (\text{for } Q \geq Q_0; d > 0) \quad (9)$$

3. シミュレーション結果及び考察

(1)図2.1と図2.2は廃棄物の浄化速度 ν を変化させた場合の最適経路を表している。

A. ν 小の場合、環境被害が大きくなり、生産、資本へのマイナスの影響が大きくなる。 ν 大の場合、環境被害が小さくなり、持続可能な開発を達成する。

B. 環境被害が少ない時期は多くの資源を消費することになる。

(2)図3.1と図3.2は時間の割引率 ρ を変化させた場合の資源利用量 X と資本 K 、生産 Y と消費 C を示している。

A. ρ 小の場合、消費が大きくなり投資不足となる。 ρ 大の場合、将来は消費よりも投資に重点が置かれるため生産は増大するが、将来世代の消費は犠牲を受ける。

(3)シミュレーションを実行する場合の問題点として、次のことが挙げられる。

A. 計画のタイムスパンによって、最適経路は変化する。

B. 資源、資本への依存度 a, b の値を一定と仮定して、シミュレーションを実行しているが、産業構造の変化に伴い時系列的な変化が考えられる。

C. 消費の効用和を最大化する政策は、それだけを規範とする場合には、持続的發展に反する政策を提案する恐れがある。

4. おわりに

本論文で提案したモデルは、環境影響を考慮しつつ環境容量の配分を計画的に管理するための1つの規範的考え方である。これにより、地球規模での長期的な環境資源管理について、いくつかのヒントを得ることできた。地球環境の複雑な現象を前にして、不確実性の伴う長期的なリスクよりも、短期的で確実な利益の方が重視され、大きな被害が現実が発生するまで何の対策も取られない恐れがある。従来の地域的、短期的汚染対策から地球規模での長期的な環境資源管理の理念と理論に基づく計画的な政策へと政策をシフトする必要がある。

<参考文献>

- (1)井村秀文：「地球環境と経済成長：エネルギー消費の動学的最適化に関するモデル論的考察」環境システム研究Vol.19, pp.1-7, 1991
- (2)近藤次郎：「最適化法」(コロナ社、1984)、pp.133-159

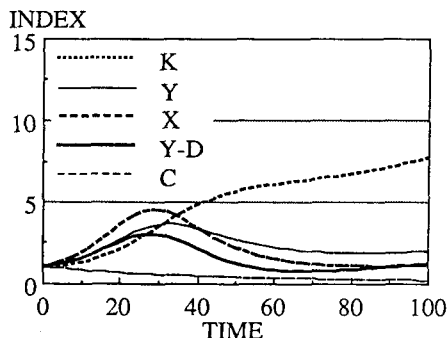


図2.1 最適経路:廃棄物の浄化速度が小
($a=.6, b=.3, \rho=.02, \eta=2, D_0=.1, \nu=.02, w=.05$)

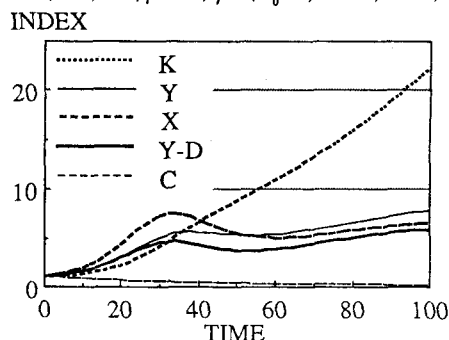


図2.2 最適経路:廃棄物の浄化速度が大
($a=.6, b=.3, \rho=.02, \eta=2, D_0=.1, \nu=.05, w=.05$)

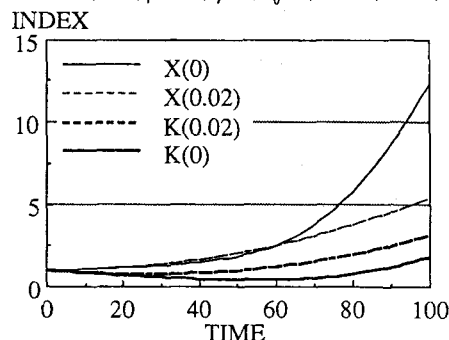


図3.1 割引率 ρ による経路の変化
($a=.4, b=.2, \eta=2, D_0=0, \nu=0, w=.05$)

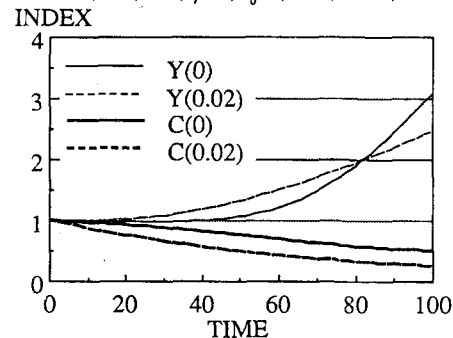


図3.2 割引率 ρ による経路の変化
($a=.4, b=.2, \eta=2, D_0=0, \nu=0, w=.05$)