

MSY政策の再生可能資源輸出 及び、対外債務と消費の 動学的最適化

鈴木康夫

Yasuo Suzuki

富士大学 経済学部 / 教授

滋賀大学 / 名誉教授

Rauscher〔1989〕は、渇渴性天然資源を輸出する国の経済モデル（Dasgupta-Eastwood-Heal〔1978〕等）を再生利用可能な資源に依存する国の場合に応用し、その最適輸出問題を、対外債務の最適な蓄積という問題とともに考察している。対外累積赤字を天然資源開発による輸出収入で埋めようとして、天然資源の渇渴等を招く可能性が強まるという持続可能性の資源・環境経済問題は、発展途上の諸国でしばしば見られる。特定の天然資源に依存する主要産業が一国の経済活動を支えているということも多くの発展途上国などで知られている（例えば、外務省のHPで2025年6月現在でも確認できるが、西アフリカ¹⁾や大洋州²⁾の小さな国々でもよく見られる）。

Rauscher〔1989〕の考察は、再生可能な天然資源依存経済に見られがちな持続可能性の問題のための基礎的なモデル分析を展開し、累積の対外債務を天然資源開発の収入で埋め合わせるという経済的方策の合理性を考察することで、そうした方策が、条件付きの無限計画期間で動学的に最適であり得ることを示している。その最適経路に従うと、再生可能な天然資源と、対外累積赤字を伴うマクロ経済の両方の持続可能性と社会的な動学的最適性が確保され得るということがわかる。

鈴木〔1993〕は、Rauscher〔1989〕のモデルで、政府や公社による社会的開発ではなく、零細的で小規模な企業群による競争的開発を仮定した場合の動学的分析を行い、そうした経済の対外債務と再生可能資源は動学的に不安定となるので、何らかの政府による持続可能性の政策や社会的な制御が必要になることを示唆している。また、それらの静学的利潤最大化行動に基づくが、再生可

1) <https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/africa.html>

2) <https://www.mofa.go.jp/mofaj/area/pacific.html>

能天然資源の持続可能性が曖昧なままでの単純化された動学的最適化の分析も展開している。

また、鈴木〔2011〕は、Rauscher〔1989〕や鈴木〔1993〕の後半のモデルで扱われ、最適化の諸条件で特徴づけられ、かつ、1本の最適軌道として求められる、政府による動学的最適化の考察よりも、むしろ動学的な実際の経済運営にとって有用なことがわかるのではないかという認識から、その基本的なモデルのいっそう単純な動学的安定性分析を行い、再生可能天然資源の開発政策の特性等について詳しい考察を行っている。しかしながら、それらの研究では、再生可能天然資源量が動学的に定常状態化可能であれば持続可能であると考えているだけで、その持続可能性自体についてどうあるべきかといった基礎的な考察は十分に行われてこなかった。

本稿では、その問題点について、通常よくある、世界的に広く目安とされている持続可能目標を考慮することで、そうした理論モデルの研究を実践的な方向へ前進させる。そうした目安となる持続可能目標、すなわち、いわゆるMSY (maximum sustainable yield) 政策の導入でいっそう現実的なモデル分析と比較的に実際の考察を以下では展開する。とはいえ、本稿の考察は理論研究に重点が置かれているので、以下の分析や考察では、目標としてのMSY政策を扱うに過ぎず、その具体的な実施の仕方や内容について検討されることはない。次の節では、Rauscher〔1989〕のモデルの手短な要約とMSY政策の簡潔な一般的説明をまとめ、本稿の後の分析と考察の準備を行う。

Ⅱ 再生可能(天然)資源輸出と 対外債務蓄積の基本的な 動学的体系

ここでは、以下の分析の展開に有用なので Rauscher〔1989〕の基本的なモデルの概略を必要最小限で要約する。

Rauscher〔1989〕のモデルは(以下の記号表現は便宜的に一部変更している)、小国を前提し、累積対外債務と再生可能(天然)資源の存在量を主な変数とする単純化された2状態変数の動学方程式に基づく。累積対外赤字、あるいは債務(存在量)を D とし、この時間変化率 $\dot{D}$ が、 D の利子支払い分つまり利払い $R(D)$ と、再生可能資源輸出に伴う貿易余剰との差で決まると想定されている。つまり、財は輸入財をニューメーラルとして計測されると仮定されている。また、総消費量を C とし、再生可能資源の輸出量を Q 、この相対価格を P 、また、その実質費用を $\kappa(Q)$ と表す。当該の対外債務の蓄積方程式は次のようになる(Rauscher〔1989〕, p.58)。

$$(1) \quad \dot{D} = R(D) - \{PQ - \kappa(Q) - C\}, R' > 0, R'' > 0, \\ \kappa' > 0, \kappa'' > 0.$$

ただし、非線型の対外債務利払い関数 $R(D)$ と実質費用関数 $\kappa(Q)$ は、それぞれ C^2 級であり、かつ、それぞれ単調増加的でかつ逓増的と仮定されている。また、総消費 C や生産資材・燃料等の生産投入量は全て外国から輸入され、当該国の輸出はもっぱら再生可能(天然)資源のみと想定されている(人口や労働力は無視されている)。

再生可能資源の動学方程式は、生態学や農林・水産学の分野でも見られる単純化ないし一般化された方程式であり、Plourde〔1970〕やClark〔1976〕(Chap.1)などの応用的な考察でよく用いら

れている。再生可能（天然）資源ストック量を N と表すと、その状態方程式は次のように想定されている。

$$(2) \quad \dot{N} = G(N) - Q, \quad G(0) = 0, \quad G'(\hat{N}) = 0 \text{ for } 0 < \hat{N} < \infty, \quad G'' < 0, \quad N \geq 0, \quad Q \geq 0, \quad G \geq 0.$$

ただし、 $G(N)$ は「再生関数」(regeneration function) または「増殖関数」を表し、 C^2 級であると仮定する。その微分係数 $G' \equiv dG(N)/dN$ は、 N の範囲で正・負・0のいずれの符号も取り得るが、逓減的、つまり、 $G'' \equiv d^2 G/dN^2 < 0$ と仮定されている。 Q は、再生可能資源の開発されるフロー量を表す。

Rauscher [1989] は、これらの2つの蓄積方程式の下で、新古典派最適成長理論などのように、輸入される消費から得られる効用フローの割引現在価値の総和を最大化する C と Q の最適経路を求める動学的最適化問題を扱い、一義的最適経路の存在を証明している。また、その動学的最適条件は、再生資源開発のロイヤリティ($P - \kappa'$)の成長率が $R' - G'$ に等しいことが示され、もし D と N が十分大で $R' > G'$ ならば、そのロイヤリティが時間を通じて上昇し続けるように最適に再生資源開発が行われることが必要になる (Rauscher [1989], p.60 : Proposition 1)。

MSY政策とは、長期的に $\dot{N} = 0$ となるように制御変数を操作して N の何らかの水準を定常化させるまたは持続させる「持続可能な開発」(sustainable yield) 政策に基づき、さらに最適な目標を設定して行う持続可能な開発政策の1つの型のことである。つまり、MSY政策は、再生可能天然資源の個体群の増殖関数の水準が生態学的に最大値となるという意味で最適な持続可能開発のことであり、通常は、最大持続可能開発

(maximum sustainable yield) 政策のことを意味する。

こうしたMSY政策は、再生可能天然資源の代表的存在である魚類等の漁業の分野でよく知られている。実際、MSY政策は、日本だけでなく、海洋で再生可能天然資源の開発を行う多くの国々で採用されている。一般に、漁業研究ではMSYは「最大持続可能漁獲量」と表現され、漁獲対象とされる主な魚種ごとにその量が生態学的な検討に基づいてそれぞれ設定され、さらに、これらの最適水準を標準的な目標にして漁獲規制などの一国の漁業政策が実際に運用されている。

Rauscher [1989] 等の研究テーマでは、最適な開発がMSYと両立するのかどうかという問題が、実際的な問題意識を持っている限りでは極めて重要であり、むしろ真っ先に検討されなければならないことであろう。しかしながら、こうした実際的に重要な問題がこれまで考察されてこなかったのはかなり不思議なくらいだが、これまで、経済学的な基礎研究面の詳細な分析を重視したがために、こうした実際的な問題設定が扱われずに残されてしまったのかもしれない。

本稿では、まさに、実際的に重要なその問題設定に取り組み、MSY政策と動学的最適化が両立するかどうか明らかにされ、小国における、累積対外債務と再生可能（天然）資源の開発輸出の動学的最適化問題を分析し、この最適経路にMSY政策がどのように関係しかつ影響するかを分析し、再生可能天然資源に依存する小国のそうした動学的最適化におけるMSY政策の意義を考察する。

Rauscher [1989] の問題は、 D と N の蓄積量を示す2つの状態方程式の下で、輸入される消費から得られる効用フローの割引現在価値の総和、すなわち割引現在価値の消費効用汎関数、すなわち割引消費効用積分を最大化する動学的最適化問題であり、この動学的に最適解時間経路である C と Q の最適時間経路(D^*, Q^*, C^*, N^*)を求めることである。つまり、効用関数 $U(C)$ と外生的に与えられる割引率 ρ を用いて(正のパラメータと想定)、こうした動学的最適化問題は次のようになる。ただし、 e は自然対数の底であり、 t は時間を表す。

$$(3) \quad \max_{C, Q} \int_0^{\infty} U(C) e^{-\rho t} dt, \quad U' > 0, \quad U'' < 0, \\ \text{s.t. (1) and (2).}$$

この動学的最適化問題の解となる最適時間経路(D^*, Q^*, C^*, N^*)のための必要条件は、随伴変数 ι と v を伴う現行価値(あるいは経常価値)ハミルトニアン $H = U + \iota \dot{D} + v \dot{N}$ から、(1)と横断条件を別にすれば、その必要条件が次のように求められる(動学的最適化の数学的手法の詳細については例えばSeierstad, A., and K.Sydsaeter [1987]を見よ)。ただし、 ι や v の時間微分として $\dot{\iota} \equiv d\iota/dt$ および $\dot{v} \equiv dv/dt$ を用いる。

$$U' + \iota = 0, \text{ and, } \iota(p - \kappa') + v = 0, \\ \dot{\iota} = (\rho - R')\iota, \text{ and, } (\dot{v}) = (\rho - G')v.$$

故に、これらの諸条件を整理すれば、前節で触れた解釈(Rauscher [1989], p.60: Proposition 1)が導かれる。しかしここで、これらの諸条件に加えてMSY政策を新たに考慮する必要がある。そこで、

この場合のMSY政策の特徴を、次のように明示して確認しておく。

$$(4) \quad \dot{N} = 0, \text{ and, } G(\hat{N}) = \hat{Q}, \quad G'(\hat{N}) = 0 \text{ for } 0 < \hat{N} < \infty.$$

このMSY政策を考慮すれば、動学的最適化問題(3)は次のように書き換えられる。

$$(5) \quad \max_{C, Q} \int_0^{\infty} U(C) e^{-\rho t} dt, \quad U' > 0, \quad U'' < 0, \\ \text{s.t. (1), (2) and (4).}$$

したがって、MSY政策によって、 N の値は政策的に G を最大にする値 $\hat{N}$ に制御され、定数化するので、このため Q の値も政策的に G を最大にする値 $\hat{Q}$ に制御され、定数化するから、状態変数は D だけであり、動的制御変数は C のみとなる。結果的に、現行価値ハミルトニアンの定式化で随伴変数は ι だけとなり、 v は必要なくなる。ゆえに、(1)と横断性条件を別にした、最適時間経路(D^*, Q^*, C^*, N^*)あるいは($D^*, \hat{Q}, C^*, \hat{N}$)の諸必要条件も次のように単純化される。

$$(6) \quad U' + \iota = 0, \text{ and, } \dot{\iota} = (\rho - R')\iota.$$

このことから、最適時間経路(D^*, Q^*, C^*, N^*)あるいは($D^*, \hat{Q}, C^*, \hat{N}$)のための条件として $\iota(p - \kappa') = 0$ 、つまり、国際的な企業の利潤最大化などの競争的市場行動($p - \kappa' = 0$)は必要ないことがわかる。実際、 Q がMSY政策で一定水準に固定されてしまつては、生産技術に基づく費用条件を考慮すれば企業による利潤最大化行動は不可能になるので、当たり前とも言える。明らかに、その(6)は次のような式に一本化できる。

$$(6') \quad \dot{C} = \left(\frac{-U'}{U''} \right) (\rho - R').$$

結局のところ、動学的最適化問題(3)の解となる最適時間経路(D^*, Q^*, C^*, N^*)あるいは($D^*,$

$\hat{Q}$, C^* , $\hat{N}$)のための必要条件は、(1)と、この(6')に集約され、いっそう単純化される。すなわち、動学的最適化問題(3)は、別に実施されるMSY政策によってすでに N や Q が政策目標水準($\hat{N}$, $\hat{Q}$)に制御されているので、これらの変数について最適化する必要がないわけで、 D と C だけが動学的に最適化される必要がある。換言すれば、MSY政策の条件(4)は「 $N = \hat{N} \mid G'(\hat{N}) = 0$ かつ $G(\hat{N}) = \hat{Q}$ 」を意味するので、これを考慮して修正された動学的最適化問題(5)は、諸記号の定義から次のように簡素化できる。

$$(5') \quad \max_C \int_0^\infty U(C)e^{-\rho t} dt, \quad U' > 0, \quad U'' < 0, \\ \text{s.t.} \quad (1), \quad N = \hat{N} \quad \text{and} \quad G(\hat{N}) = \hat{Q}.$$

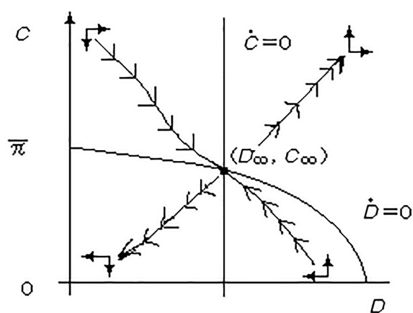
したがって、この問題の動学的解としての最適時間経路(D^* , Q^* , C^* , N^*)あるいは(D^* , $\hat{Q}$, C^* , $\hat{N}$)は、(1)と(6)または(6')の動学的システムに従う軌道上の、あるいは、その軌道に含まれる時間的部分集合としての時間経路であり、 D と C だけの空間のグラフ上で、つまり2次元の D - C 平面上で検討することができる。したがって、それが存在すれば、2次元の位相図上の軌道の、状態変数の初期条件に基づくその一部で表現される。それゆえ、当該問題の最適時間経路の表現もここまでのことに基づき (D^* , $\hat{Q}$, C^*) あるいは (D^* , C^*) と簡素化してもよいだろう。

次に、動学的最適化問題(5)ないし(5')についての横断性条件は、それが無限計画問題なので、通常よく用いられるような形式のものとすると次のようになる。これが当該の最適化問題の必要条件であれば、この最適時間経路(D^* , $\hat{Q}$, C^*) あるいは (D^* , C^*) は初期条件だけでなく次の(7)にも依存することになる。

$$(7) \quad \lim_{t \rightarrow \infty} (t e^{-\rho t}) = 0.$$

この横断性条件は、制御変数値が動学的最適化問題の計画期間中に有界な値に収斂すれば満たされる。したがって、最適化問題(5)ないし(5')の最適時間経路は、これが存在すれば通常は2次元の D - C 平面の位相図(下の第1図)の図上で確認可能で、それらの状態変数と制御変数の運動が停止する点、すなわち、定常点へと向かう軌道で表現される。つまり、それらの変数値が動学的に定常化する点とは当該システムの動学的均衡点または長期均衡点(D_∞ , C_∞)のことであり、この点へと向かう軌道でその問題の最適時間経路(D^* , $\hat{Q}$, C^*) あるいは (D^* , C^*) を示すまたは含む最適軌道が得られる。

次の第1図は、鈴木[1993]の「第2図」に加筆修正したものである。当該の動学的最適化問題(5)の最適時間経路(D^* , $\hat{Q}$, C^*) あるいは (D^* , C^*) は (2)と(6)または(6')の動学的システムに従うが、この動学的なシステムの形式的な表現は、鈴木[1993]の「第2図」と酷似していて、基本的には同様のものとなる。モデルの基本想定の一部に、MSY政策の代わりに、国際的再生(可能天然)資源市場での静学的な競争の開発行動($p - \kappa' = 0$)が採用されているという相違はあるが、いずれにせよ、どちらの想定でも Q の値が決定され、 π の水準も決定されるが、長期均衡点の存在を保証する π の水準が必要となる。鈴木[1993]の「第2図」と次の第1図のどちらの場合でも位相図としては形式的にほぼ同様なので、 $\pi = \bar{\pi}$ の仮定でその長期均衡点が存在する場合の位相図例が描かれている。それゆえ、他の記号表現の相違以外は、どちらの図も論理的には同様のものであり、したがって、位相図の見ただけなら、そのまま当該問題(5)の分析でも利用可能となるので、以下ではその位相図を若干調整したものを用いることとする。



第1図

この第1図は、再生(可能)天然資源の輸出から得られる正のかつある程度の利潤(額) $\bar{\pi} > 0$ を想定して描かれている。第1図で、 $\dot{D} = 0$ かつ $\dot{C} = 0$ となる長期均衡点 (D_∞, C_∞) へ向かう軌道を「鞍点軌道」と呼ぶ。なお、 $C_\infty = P\hat{Q} - \kappa(\hat{Q}) - R(D_\infty) = \bar{\pi} - R(D_\infty)$ で、もしも $\pi = \bar{\pi}$ ならば $(\bar{\pi} > 0$ の定義から) $C_\infty = P\hat{Q} - \kappa(\hat{Q}) - R(D_\infty) = \bar{\pi} - R(D_\infty) > 0$ である。したがって、第1図から次のことが確認される。

補題1 動学的最適化問題(5)の最適時間経路 $(D^*, \hat{Q}, C^*)$ あるいは (D^*, C^*) 上の経済状態は、基本的に、(2)と(6)または(6')の動学的システムに従って運動する。その最適時間経路上の経済状態が時間上で定常的となる、その動学的システムの長期均衡点 (D_∞, C_∞) は、 $R(D) = P\hat{Q} - \kappa(\hat{Q}) - C$ と $\rho = R'$ で決定され、 $\rho > 0$ のとき一義的に決定できる。また、適度な $\rho > 0$ のとき、かつ $\pi = \bar{\pi}$ ならば、 $D_\infty > 0$ かつ $C_\infty > 0$ となる。■

補題2 動学的最適化問題(5)の最適時間経路 $(D^*, \hat{Q}, C^*)$ あるいは (D^*, C^*) は、もし存在すれば第1図の鞍点軌道に含まれる時間経路で、

状態変数の初期条件 $D_0(>0)$ と横断性条件(7)に対応して一義的に決定され、時間に従う軌跡の単調な曲線として得られる(もしも $D_0 < D_\infty$ ならば最適時間経路上で時間に従って D_0 から $D \uparrow D_\infty$ かつ C_0 から $C \downarrow C_\infty$ となり、一方、もしも $D_0 > D_\infty$ ならば最適時間経路上で時間に従って D_0 から $D \downarrow D_\infty$ かつ C_0 から $C \uparrow C_\infty$ となる)。■

この補題2から明らかなように、当該の小国の輸出にとって当該の再生(可能)天然資源の国際的市場が(純粹)競争的でも、長期均衡点の存在を可能にする水準の何がしかの利潤 $\bar{\pi} > 0$ を確保できる場合は、最適時間経路 $(D^*, \hat{Q}, C^*)$ あるいは (D^*, C^*) は存在する。したがって、この場合には、その最適時間経路は一義的に決まり、 D_0 が D_∞ よりも小さいか大きいかによって、第1図で右下がりの軌道に含まれる部分で得られるか、あるいは左上がりの軌道に含まれる部分で得られるかが決まる。

当該国が小国であるという想定と、その国の輸出が関わる当該の再生(可能)天然資源の国際的市場が(純粹)競争的であるということとは、矛盾することはない。また、何がしかの正の利潤が確保できる場合も、少なくとも価格受容者として参加する限り、再生(可能)天然資源の国際的な競争的市場と両立可能である。したがって、長期均衡点の存在を可能にするのに十分な何がしかの利潤水準 $\bar{\pi} > 0$ が確保できる場合と、その国際的な競争的市場は両立可能であると言える。

しかしながら、長期均衡点の存在を可能にするのに十分な何がしかの利潤水準 $\bar{\pi} > 0$ が確保できる場合と、その国際的な競争的市場が常に何時でも両立可能であるかどうか、あるいは、常に無条件に両立するかどうかは明らかではない。ある程度の正の利潤すなわちある程度の超過利潤が可

能になるためには何らかの不完全競争市場を想定する方がむしろ相応しいのかもしれないが、長期均衡点の存在と両立する市場の競争を明確に特徴づけることは難しい。

補題1と補題2から、もしも $D_\infty > 0$ かつ $C_\infty > 0$ となるにしても、これらの長期均衡点の値が十分に0より大きい値でないと、長期均衡点は横軸または原点にかなり近い位置に座標が決まってしまうこともあり得る。この場合、初期条件 D_0 が D_∞ よりもかなり大きいときも考えられ、このとき最適時間経路は経済学的に有意義なものとして見出すことはできない。つまり、第1図で $\dot{D} = 0$ を表す曲線 $C = P\hat{Q} - \kappa(\hat{Q}) - R(D)$ が横軸を切る点の D の値よりも D_0 が小さいことが必要となる。 D_0 がその値よりも大きければ、 C_0 の値をどう決めても明らかに最適経路上に乗る点を見つけることはできない。

換言すれば、当該の小国でMSY政策が実施され、その意味で再生(可能)天然資源量が最適に維持されるとしても、長期均衡点の D_∞ や横軸を切るその点の D の値に比較してあまりに大き過ぎる D_0 にある小国の経済には、そのままでは、つまりその近くには、左上がりの鞍点軌道上の経路の最適時間経路はほぼ存在しないのである。反対に、 D_0 が比較的に低い水準にある小国の経済では、長期均衡点がたとえ横軸にかなり近い所に存在しても、第1図の右下がりの鞍点軌道上の経路の最適時間経路を容易に見つけることができる。

かくして、実際的には当然のことかもしれないが、上記の二つの補題をまとめて、我々は次の定理を得る。

定理1 もしも、適度な水準の $\rho > 0$ と $\pi = \overline{\pi} > 0$ が与えられるならば、MSY政策に基づく当該小国の動学的最適化問題(5)の最適時間経路 $(D^*, \hat{Q}, C^*)$ あるいは (D^*, C^*) は、適度な水準

の初期条件 D_0 に対して単調な鞍点軌道に沿って一義的に存在し、 $D_0 < D_\infty$ ならば最適時間経路上で時間に従って $D \uparrow D_\infty$ かつ $C \downarrow C_\infty$ となり、一方、もしも $D_0 > D_\infty$ ならば最適時間経路上で時間に従って $D \downarrow D_\infty$ かつ $C \uparrow C_\infty$ となる。■

この定理1から、もしも、比較的に小さい $\rho > 0$ と $\pi = \overline{\pi} > 0$ が与えられないならば、MSY政策に基づく当該小国の動学的最適化問題(5)の最適時間経路 $(D^*, \hat{Q}, C^*)$ あるいは (D^*, C^*) は、適度な水準の初期条件 D_0 に対して、形式的には定理2のように、単調な鞍点軌道に沿って、一義的に、 $D_0 < D_\infty$ ならば $D \uparrow D_\infty$ かつ $C \downarrow C_\infty \leq 0$ となり、一方、もしも $D_0 > D_\infty$ ならば $D \downarrow D_\infty$ かつ $C \uparrow C_\infty \leq 0$ となる可能性が十分にあるが、 $C_\infty \leq 0$ となる近傍の経済状況は明らかに経済的に望ましくない(なお、この場合その小国の最適時間経路の終端での長期均衡点は正象限に存在しない)。それゆえ、経済的に有意義な最適時間経路が存在するためには、少なくとも消費者の生活を保障するような水準で $C_\infty > 0$ とならなければならない必要性があるので、やはり、適度に大きい $\rho > 0$ と $\pi = \overline{\pi} > 0$ が与えられる場合でなければならない。

IV 対外債務と 天然再生資源開発依存の小国の 長期均衡点の比較静学効果と解釈

前節で得られた、初期条件に対して一義的に決まる動学的最適時間経路について、関連の主なパラメータの外生的変化による長期均衡点の各値 D_∞ と C_∞ に対する主な比較静学効果は、補題1ないし定理1に注意して、(4)に基づく(1)と(6')の動学的システムの定常点を与える $C = P\hat{Q} - \kappa(\hat{Q}) - R(D)$ と $\rho = R'$ について、その長期均衡点 (D_∞, C_∞)

で全微分して諸仮定を考慮すれば次のように求められる。

補題3 MSY政策(4)に基づく小国の動学的最適化問題(5)の最適時間経路を与える(1)と(6')の動学的システムに関係するパラメータ($P, \hat{Q}, \rho$)の外生的変化による長期均衡点(D_∞, C_∞)への比較静学的効果は、それぞれ、 $dD_\infty/dP=0$ 、 $dD_\infty/d\hat{Q}=0$ 、 $dD_\infty/d\rho=1/R''>0$ 、またこの小国の資源開発者が価格受容者として市場で行動するならば、 $dC_\infty/dP=dC_\infty/d\pi \cdot d\pi/dP=\hat{Q}>0$ 、 $dC_\infty/d\hat{Q}=dC_\infty/d\pi \cdot d\pi/d\hat{Q}=P-\kappa'\geq 0$ 、 $dC_\infty/d\rho=-R'/R''<0$ となる(なお、 π については、 $dC_\infty/d\pi=1>0$ 、 $d\pi/dP=\hat{Q}>0$ 、ないし $d\pi/d\hat{Q}=P-\kappa'\geq 0$)。■

これらのことは第1図から明らかであり、効用割引率 ρ の外生的変化は D_∞ と C_∞ の両方に影響するが、国際的な再生(可能)天然資源価格 P の外生的変化は、 π の変化を通じて C_∞ にのみ影響を与えるに過ぎない。また、 $\hat{Q}$ の外生的変化も収入や κ に基づき π の変化を通じて C_∞ に影響を与えるが、 D_∞ には影響しない。なお、 $G(\hat{N})=\hat{Q}$ なので、 $\hat{Q}$ の外生的変化は、 $\hat{N}$ の外生的変化が生じれば起こりえるが、これは、エコシステムや生態系や生態環境要因の変化が影響すると考えられるが、いずれにせよ増殖関数 G 自体に何らかの外生的な変化が生じない限り起こることはない。

また、効用割引率 ρ が外生的に大きくなれば、将来は、長期的に比較的に過小評価されるようになるから、結果的に C_∞ は減少するが、他方、 D_∞ は増大する。換言すれば、比較的な現在の重視は、将来消費の平均的な評価を低下させ、したがって将来の累積債務を安易に拡大させる。反対に、効用割引率 ρ が外生的に小さくなれば、将来は、長

期的に比較的に過大評価されるようになるから、結果的に C_∞ は増加し、他方、 D_∞ は減少する。換言すれば、比較的な将来の重視は、将来消費の平均的な評価を上昇させ、したがって将来の累積債務を抑え減少させる。

国際的な再生(可能)天然資源市場について、たとえそれが競争的市場だとしても、当該の小国の天然資源ビジネスの利潤 π がどうなるかは先験的には明らかではない。それでも、もしも、 P の水準がその国際的市場で外生的に低下して、結果的に π が減少することになれば、最適時間経路を決定する当該システムの長期均衡点は下方へシフトし、横軸に近づくことになる。このことは、当該小国の初期条件 D_0 が比較的に大きい場合には最適時間経路を見出すことは不可能になる可能性が高くなってしまふ。

反対に、もしも、 P の水準が国際的市場で外生的に上昇して、結果的に π が増大することになれば、最適時間経路を決定する当該システムの長期均衡点は上方へシフトし、横軸から離れることになる。このことは、当該小国の初期条件 D_0 が比較的に大きい場合でも最適時間経路を見出すことが容易になる可能性が高くなる。それゆえ、再生天然資源取引関係諸国の国際経済関係性や、再生天然資源の保護や保全についての国際的な、あるいはグローバルな動きがそうした国際的市場でのその取引価格水準にどのような影響があるかという問題も重要となる。

上記の最適時間経路の長期均衡点について主な比較静学効果を求めた補題3の経済学的意味は重要なので、ここで、それを含めて定理2として明確にまとめておく。

定理2 MSY政策(4)に基づく小国の動学的最適化問題(5)の最適時間経路を与える(1)と(6')

の動学的システムで、関係するパラメータ($P, \hat{Q}, \rho$)の外生的変化による長期均衡点(D_∞, C_∞)への比較静学効果は、 $dD_\infty / dP = dD_\infty / d\hat{Q} = 0$ 、 $dD_\infty / d\rho = 1 / R'' > 0$ 、また、この小国の資源開発者が価格受容者として国際的再生資源市場で行動するならば、 $dC_\infty / dP = \hat{Q} > 0$ 、 $dC_\infty / d\hat{Q} = P - \kappa' \geq 0$ 、 $dC_\infty / d\rho = -\frac{R'}{R''} < 0$ となる。

$$\therefore dU(C_\infty) / d\pi = dU(C_\infty) / dC_\infty \cdot dC_\infty / d\pi = U' > 0,$$

$$dU(C_\infty) / dP = dU(C_\infty) / dC_\infty \cdot dC_\infty / dP = U' \cdot \hat{Q} > 0,$$

$$dU(C_\infty) / d\hat{Q} = dU(C_\infty) / dC_\infty \cdot dC_\infty / d\hat{Q} = U' \cdot (P - \kappa') \geq 0,$$

$$dU(C_\infty) / d\rho = dU(C_\infty) / dC_\infty \cdot dC_\infty / d\rho = U' \cdot (-\frac{R'}{R''}) < 0. \blacksquare$$

このように、当該小国が直面する国際的な再生天然資源市場への供給輸出で、市場環境要因かまたはその小国内の開発環境要因の何らかの外生的変化で利潤 π が上昇すれば、その小国の最適時間経路の終端での長期均衡点の消費水準ないし(社会的)効用水準も増大することがわかる。利潤 π の上昇は、その市場取引価格 P がその市場に関係する外生的な要因の影響で上昇する場合にも生起するから、 P の外生的な上昇でも、その最適時間経路の長期均衡点の消費水準ないし(社会的)効用水準は増大することがわかる。

また、任意の生産量 Q に対する再生天然資源の開発環境要因や生産技術能率向上などの外生的変化によって κ 自体の低下が生じ得るが、この κ の低下が、任意の P に対して π の増大を意味するので、この場合も長期均衡点の消費水準ないし(社会的)効用水準を増大させることになる。(もちろん、反対に、 P に対して κ の外生的な上昇があれば、

π は減少し、かつ、長期均衡点の消費水準ないし(社会的)効用水準は低下する)。

当該小国の再生資源 N の環境要因や生態系ないしエコシステムの変化などでも、 $\hat{N}$ の外生的な上昇は生じ得る。これによって $G(\hat{N}) = \hat{Q}$ の上昇が発生すれば、このとき、 $\pi > 0$ としても、市場価格受容者行動で $d\pi / d\hat{Q} = P - \kappa' > 0$ つまり再生資源開発の価格受容の行動の限界利潤が正であれば、その最適時間経路の長期均衡点の消費水準ないし(社会的)効用水準 $U(C_\infty)$ は増大する。一方、 $d\pi / d\hat{Q} = P - \kappa' \leq 0$ つまり再生資源開発の市場価格受容行動の(競争的なあるいは非競争的な)限界利潤が非正であれば、その最適時間経路の長期均衡点の消費水準ないし(社会的)効用水準は不変のままか、あるいは減少することになる。

したがって、もしも国際的再生資源市場で競争的行動をとることが可能になるならば、 $d\pi / d\hat{Q} = P - \kappa' = 0$ すなわち、その開発の競争的な限界利潤はゼロに等しいから、このとき $G(\hat{N}) = \hat{Q}$ に何らかの外生的な変化が生じても、これと限界効用の積もゼロとなるので、当該の最適時間経路の長期均衡点での消費水準ないし(社会的)効用水準 $U(C_\infty)$ に影響することはない。しかしながら、その小国がMSY政策(4)を堅持する限りにおいては、まず $G(\hat{N}) = \hat{Q}$ を条件とするから、競争的行動で利潤最大化行動の最適な供給水準 Q^* と $\hat{Q}$ が一致するとは限らないので、競争的行動は成立しないから、一見すると、むしろこの場合は、当該小国の企業は市場価格受容者であるとしてもその競争的行動が当該モデルの文脈では現実的でないかのように見える。

しかしながら、 $P - \kappa' < 0$ の場合というのは、市場価格水準に対して $\hat{Q}$ が競争的供給行動に比して過剰生産あるいは過剰供給することを意味する

から、たとえ $\widehat{Q}$ が過剰な供給水準に与えられたとしても、競争的行動をとることは難しくない。むしろ、企業が利潤最大化行動の最適供給水準 $Q^* < \widehat{Q}$ を達成するように行動する方が自然である。なぜなら、通常MSY政策は再生資源開発量の上限を決めるものであり、一種のキャップ規制なのであり、これが $Q \leq \widehat{Q}$ という意味であるならば、企業としては、 $Q^* < \widehat{Q}$ のとき企業の合理的行動は可能だから、企業は利潤最大化した方が良いからである。したがって、こうした場合には、当該の再生資源開発企業は競争的企業行動を行い、その市場に Q^* を供給するが、 $\widehat{Q} - Q^* > 0$ を開発せず、温存して来期以後の開発に残すというのが合理的である。ゆえに、 $P - \kappa' < 0$ という場合はそのまま企業行動として実行されることはなく、 $\widehat{Q} - Q^* > 0$ の未開発分を伴い、 Q^* という競争的供給行動に修正されることになる。

他方、その国際的再生資源市場において、当該小国の資源開発者（産業または企業）の市場競争力が弱いために、それが価格受容者行動をとるとしても、その独占度 $(P - \kappa') / P$ が正值になる可能性、つまり $G(\widehat{N}) = \widehat{Q}$ がその市場で結果的に過剰供給となってしまう可能性は、ある程度考えられる。もしそうならば、このとき、 $d\pi / d\widehat{Q} = P - \kappa' > 0$ となり、つまり価格受容行動の限界利潤も正值となり、企業行動の合理的な修正はないからそのまま実行される。このため、この限界利潤と限界効用の積は正となる。ゆえに、この場合も補題3に基づく定理2から、当該の最適時間経路の長期均衡点での消費水準ないし（社会的）効用水準 $U(C_\infty)$ を増大させることになる。

社会的な効用割引率 ρ の U に対する比較静学的効果も補題3に基づく定理2から簡単に得られる。効用割引率 ρ が外生的に大きくなれば、 C_∞ は減少するので（ D_∞ は増大）、当該の最適時間経路

の長期均衡点での消費水準と共に（社会的）効用水準 $U(C_\infty)$ を減少させることになる。反対に、効用割引率 ρ が外生的に小さくなれば、 C_∞ は増加し（ D_∞ は減少）、その長期均衡点での消費水準と共に（社会的）効用水準 $U(C_\infty)$ を増加させることになる。

かくして、国際的再生資源市場において、当該小国の資源開発者（産業または企業）は市場競争力が弱く、価格受容者行動をとるとしても、その小国がMSY政策(4)の下でも最適時間経路を見出すことは不可能ではなく、価格水準や生産費ないし限界費用によっては長期均衡点を得て可能となることが分かる。それゆえ、漁業生産効率向上のための技術や、個体群の増殖を向上させる先進的生態系管理を可能にする技術を取り入れることは重要である。その前者は、生産費 κ やこの限界費用 κ' に関係し、これらを低下させる外生的な効果が考えられ、この κ の低下は π の増大を可能にし、長期均衡点の消費水準ないし（社会的）効用水準を増大させる効果がある。一方、その後者は増殖関数 $G(N)$ ないし $\widehat{N}$ に関係する。

当該の小国がMSY政策(4)を堅持するだけでなく、時々いつそう天然資源保護的な政策を追加的に実施することは、当該の最適時間経路の維持に幾分かの余裕を与えるかもしれないが、むしろ天然資源の個体群生態系の増殖特性を改善して $\widehat{N}$ の水準を大きくさせることがいっそう重要である。 $\widehat{N}$ の水準が大きくなれば、 $G(\widehat{N}) = \widehat{Q}$ から $\widehat{Q}$ も増大するので、利潤 π を増加させるか、あるいは、競争的行動を取りやすくなるかのどちらかとなるので、この前者は当該の最適時間経路の長期均衡点を見出しやすくと共に $U(C_\infty)$ を増大させる。一方、その後者の競争的行動は (D_∞, C_∞) へ影響を与えず、したがって $U(C_\infty)$ をそのままにするが、特に何の悪化ももたらさない。当該小国が関係する天然

資源の個体群の生態を調査研究して、いっそう増殖しやすい方策を見出しかつ実施できるようにする政策がまさに重要と考えられる。

このために、先進的な生態管理技術やいっそう効率的な水産技術を取り入れるとか、政策実施のための資金援助を得られるように、国際協力を要請することや先進的な諸国が国際援助を行うようにすることは極めて重要であり、関連の国際的機関の働きかけ等の指導的役割もやはり重要である。また、当該小国の初期条件 D_0 が比較的に低い水準となるようにすることは、最適時間経路ないしその長期均衡点を比較的に見出しやすくさせる効果があることから重要であり、当該小国のような諸国の累積債務の金融負担が軽減されるように、場合によっては部分的に債権の放棄も行うように、先進的な諸国の金融面での国際協力かまたは国際援助はいっそう重要である。これについても、やはり、関連の国際的機関の働きかけ等の指導的役割が重要である。

参考文献

- ◎ Clark, C.W., 1976, *Mathematical Bioeconomics: The Optimal Management of Renewable Resources*, Wiley.
- ◎ Dasgupta, P.S., R. Eastwood, and, G. Heal, 1978, "Resource Management in a Trading Economy", *Q.J.E.*, 92, pp.297-306.
- ◎ Plourde, C.G., 1970, "A Simple Model of Replenishable Resource Exploitation", *A.E.R.*, 60, pp.518-522.
- ◎ Rauscher, M., 1989, "Foreign Debt and Renewable Resources", *Metroeconomica*, 40, pp.57-66.
- ◎ Seierstad, A., and K.Sydsaeter, 1987, *Optimal Control with Economic Applications*, North-Holland.
- ◎ 鈴木康夫, 1993, 「対外債務と再生可能資源の零細的輸出についてのノート」『熊本法学』第76号, pp.122-100, 熊本大学法学会.
- ◎ 鈴木康夫, 2011, 「対外債務と再生産可能資源輸出の動学的安定性」『彦根論叢』第387号, pp.166-175, 滋賀大学経済学会.

Dynamic Optimization of Consumption and Foreign Debt, and Renewable Resource Export in MSY Policy

Yasuo Suzuki

The present paper studies the problems of dynamic optimization of consumption and foreign debt, and (natural) renewable resource export in the MSY policy of a small (developing) country. Its fundamental model is formulated by utilizing a dynamic macro-economic model based on the two differential equations of Rauscher [1989] with an extension introducing an ecological management policy, namely the maximum sustainable yield (MSY) policy, and some other alterations.

The basic dynamic system of Rauscher [1989] is the two differential equation system with regard to the population growth of a (natural) renewable resource to be exploited and exported by a firm, and the accumulation of foreign debt through the international trade of exported resources and imported goods (of consumption and users' costs) by a small (developing) country.

The introduction of the MSY policy into the model makes the dynamic system of its fundamental model so simple mathematically that the two equation basic dynamic system is simplified to one differential equation as its basic dynamic system. This means that its main dynamic system consists of one state variable, foreign debt stock (that is the accumulation of foreign debt), and one control variable, consumption flow. The other state variable is controlled directly by the MSY policy.

The main results are two theorems based upon three lemmas earned by the dynamic optimizing study of the fundamental dynamic system which consists of (1), (2), (3), (4), (6), and (7) with concerning assumptions and functions. Theorem 1 is nominally simpler than the result of Rauscher [1989] and asserts that, supposing the levels of two important parameters are moderate values, the long-run equilibrium of the system becomes a saddle point and a unique path to approach monotonically from the initial condition and reach the only equilibrium point. Such a unique path is the optimal time path or the optimal trajectory while maintaining the MSY policy for the small country.

Theorem 2 asserts that there are some comparative static effects of the important parameters upon the only long-run equilibrium of the system. Its foreign debt stock is not affected by the levels of resource price and profit rate, and the MSY at all, but is affected positively only by the utility discount rate over time. And then its consumption level is affected positively by the levels of resource price and profit rate, the effect of the level of the MSY is positive or zero, but is affected negatively only by the utility discount rate over time.