

生物多様性を考慮した環境・経済統合勘定の導出

-最適経済成長モデルからの視点-

豊橋技術科学大学 学生会員 ○宮田裕規

豊橋技術科学大学 正会員 宮田 謙

豊橋技術科学大学 正会員 渋澤博幸

1. はじめに

近年、一国の経済的豊かさを表す統計概念として、経済活動中の環境保護活動等の状況をも把握することが可能である。環境・経済統合勘定が世界中に普及しつつある。本研究では、経済を動学的に捉え、その社会的最適化問題に現れる *Hamiltonian* を国民純福祉指標とみなし、環境・経済統合勘定を導出するという Mälar の考え方をを用いる。また、3 つの種からなる生態系を社会的最適成長モデルに導入し、生物多様性を考慮に入れた、環境・経済統合勘定の導出を行う。

2. 本研究のモデル

ここでは一つの閉じた経済を考え、そこには同質な多数の家計と企業が存在を仮定する。家計数は時間を通じて変化しないものとし、企業は1種類のみの財を生産する。家計と企業のほか、この経済には4種類の環境財が存在する、1つは環境フロー財であり、自然界より毎期一定の質・量が供給されるが、自然界には蓄積しないものとする。さらに3種からなる生態系を考え、種3を捕食者、種1、2を被食者とした3種が一強の捕食関係にあるとする。

家計は集計化された効用関数を共有し、財消費、余暇、環境から効用を得る。企業活動は集計化された生産関数によって表現され、労働、資本、生態系資源を投入し財を生産する。環境フロー財、生態系の水準は企業生産に正の技術的外部効果を与える。生産活動に伴い企業は廃物を排出するが、それは環境保全活動によって処理され、処理費用は企業が負担する。環境保全活動は労働、資本を投入して廃物を処理するが、中間投入・最終処分段階で環境フロー水準を低下させる。3種からなる生態系は企業により中間財として消費される一方、生態系保全活動によって管理され、中間財、労働を投入して自然成長率をコントロールする。本研究では以上の経済が一元的に管理されるものとして、家計効用現在価値

総和を最大化するような経済成長を考察する。

$$\max \int_0^{\infty} u(c, l_F, \psi(n_0, x_n, l_n), \varphi_1(n_1, n_2, n_3)) e^{-\xi t} dt \quad (1)$$

subject to

$$x = f(l_x, k_x, z_1, z_2, n_0, n_1, n_2, n_3)$$

$$\equiv \varphi_2(n_0) \varphi_3(n_1, n_2, n_3) h(l_x, k_x, z_1, z_2, z_3) \quad (2)$$

$$s = \alpha x \quad (3)$$

$$n_0 = \bar{n}_0 - s/g(l_z, k_z) \quad (4)$$

$$\dot{n}_1 = [\varepsilon_1 + \varepsilon_1(x_1, l_1) - \theta_1 n_3] n_1 - z_1 \quad (5)$$

$$\dot{n}_2 = [\varepsilon_2 + \varepsilon_2(x_2, l_2) - \theta_2 n_3] n_2 - z_2 \quad (6)$$

$$\dot{n}_3 = [-\varepsilon_3 + \varepsilon_3(x_3, l_3) + \eta_1 n_1 + \eta_2 n_2] n_3 - z_3 \quad (7)$$

$$\dot{x} = x_1 + x_2 + x_n + x_n + c + I_x + I_z \quad (8)$$

$$\bar{l} = l_x + l_1 + l_2 + l_3 + l_z + l_n + l_F \quad (9)$$

$$\dot{k}_x = I_x - \delta_x k_x \quad (10)$$

$$\dot{k}_z = I_z - \delta_z k_z \quad (11)$$

u : 効用関数, c : 家計消費, l_F : 家計の余暇需要, ψ : 家計環境保全関数, n_0 : 環境フロー財, x_n : 家計の環境保全中間投入, l_n : 家計の環境保全労働投入, φ_1 : 生態系による家計への外部性, n_i : 種 i の個体数($i=1,2,3$), ξ : 主観的割引率, x : 生産物, f : 生産関数, φ_2 : 環境フロー財による生産への外部性, φ_3 : 生態系による生産への外部性, h : 生産関数, l_x : 生産への労働投入, k_x : 生産への資本投入, z_i : 企業による種 i の使用量, s : 生産に伴う廃棄物, α : 廃物発生係数, n_0 : 環境悪化後の毎期の環境フロー財水準, $\bar{n}_0$: 自然界から供給される毎期の環境フロー財(定数), g : 環境保全企業の生産関数, l_z : 環境保全活動の労働投入, k_z : 環境保全活動の資本投入, ε_i : 種 i の内的自然増殖率, x_i : 種 i を育成するための中間投入, l_i : 種 i を育成するための労働投入, θ_j : 種 j の種間競争係数($j=1,2$), η_j : 種3の種 j に対する種間競争係数, $\bar{l}$: 家計の労働時間保有量(定数), I_x : 企業投資, I_z : 環境保全活動投資, δ_x : 企業資本ストックの減耗率, δ_z : 環境保全活動の資本ストックの減耗率

3. 国民純福祉指標

上述した式(1)~(11)を解くために、*current value Hamiltonian*を導入する。以降、*経済 Hamiltonian*と呼ぶ。モデルの効用関数は一次同次と仮定する。ここで *Euler*の恒等式および最適化1階の条件を用いると、最適軌道上の*経済 Hamiltonian*は以下のよう

$$H_A^* = p(x_1 + x_2 + x_3 + x_n + c + \dot{k}_x + \dot{k}_z) - p(x_1 + x_2 + x_3) + w(l_n + l_F) + \frac{\partial u}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial n_0} n_c + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_1} n_1 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_2} n_2 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_3} n_3 + \lambda_1 \dot{n}_1 + \lambda_2 \dot{n}_2 + \lambda_3 \dot{n}_3 \quad (12)$$

式(12)は、第1項の国民純生産に加え、家計の環境保全活動の価値や、環境フロー・生態系がもたらす家計効用への影響、生態系の純成長の価値などが考慮されていることを示している。以上をまとめて命題1を得る。

命題1.「最適軌道上の*経済 Hamiltonian*は、環境の影響を考慮した国民純生産(エコ国民純生産)を定義する。」

さらに最適軌道上の*経済 Hamiltonian*の時間微分を計算し、それにより得られた微分方程式を解くと以下の表現を得る。

$$\int_t^\infty H_A^*(t) e^{-\xi(\tau-t)} d\tau = \int_t^\infty u^*(\tau) e^{-\xi(\tau-t)} d\tau \quad (13)$$

この関係式(13)は、社会がある t 時点から無限の将来までに毎期に一定の $H_A^*(t)$ が得られるとき、その現在価値の総和が、家計効用の現在価値の総和に等しくなっていることを示している。

命題2.「*経済 Hamiltonian* は家計の現在価値効用総和に等しい静的等価を与える。」

4. 環境・経済統合勘定の導出

最適解が内点解であることを仮定すれば、モデルの制約条件(2)~(11)ではすべて等号が成立する。これに *shadow price* を乗じ価値ベースの等式として制約条件式をすべて合計する。各制約条件式がゼロであるため、その合計値もゼロとなり、そこに互いに相殺されるいくつかの価値ベースの項を加え、家計、企業、環境といった経済主体ごとに整理すると、それぞれの会計等式を得ることができる。それらを表1のような環境・経済統合勘定として表現する。

5. おわりに

本研究では3種からなる生物多様性を考慮した環境・経済統合勘定の導出を行った。これにより、本モデルで想定している環境と経済とがどのように影響し合っているか、その相互作用を表現することが出来た。表1では家計部門から環境部門に向けて支払いが行われているが、これは家計が環境から様々な便益を受けているため、それに対して支払うべきであるという支払い意思価値を示している。また、エコ国民純生産には国民純生産に含まれていない項目が含まれており、環境からの経済的影響を把握できる国民指標となる。

今後の課題として、3種と仮定した生物多様性をより一般的な種数に拡大し、生物多様性と経済との関係を理論的に分析するという点が挙げられる。

表1 生物多様性を考慮した環境・経済統合勘定

	H	L	K	$Pr.$	$E.P.$	S/I	$Env.$	$Total$
H		$w\dot{l}$	$r_x k_x + r_z k_z$				Y_E	$w\dot{l} + r_x k_x + r_z k_z + Y_E$
L	$w(l_F + l_n)$			$w\dot{l}_x$	$w\dot{l}_z$		$w(l_1 + l_2 + l_3)$	$w(l_1 + l_2 + l_3 + l_F + l_n + l_x + l_z)$
K				$r_x \dot{l}_x$	$r_z \dot{l}_z$			$r_x k_x + r_z k_z$
$Pr.$	$p(c + x_n)$					$p(l_x + l_z)$	$p(x_1 + x_2 + x_3)$	$p(x_1 + x_2 + x_3 + c + x_n + l_x + l_z)$
$E.P.$				$q \cdot s$				$q \cdot s$
S/I	S_H			$p\delta_x k_x$	$p\delta_z k_z$			$S_H + p\delta_x k_x + p\delta_z k_z$
$Env.$	$\frac{\partial u}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial n_0} n_0 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_1} n_1 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_2} n_2 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_3} n_3$			$\lambda_1 \dot{x}_1 + \lambda_2 \dot{x}_2 + \lambda_3 \dot{x}_3 + p \frac{\partial f}{\partial n_0} n_0 + p \frac{\partial f}{\partial n_1} n_1 + p \frac{\partial f}{\partial n_2} n_2 + p \frac{\partial f}{\partial n_3} n_3$	$v \cdot z_0$	$\lambda_1 \dot{n}_1 + \lambda_1 (\epsilon_1 - \theta_1 n_3) n_1 + \lambda_2 \dot{n}_2 + \lambda_2 (\epsilon_2 - \theta_2 n_3) n_2 + \lambda_3 \dot{n}_3 + \lambda_3 (-\epsilon_3 + \eta_1 n_1 + \eta_2 n_2) n_3$		$Y_E + \lambda_1 \dot{n}_1 + \lambda_1 (\epsilon_1 - \theta_1 n_3) n_1 + \lambda_2 \dot{n}_2 + \lambda_2 (\epsilon_2 - \theta_2 n_3) n_2 + \lambda_3 \dot{n}_3 + \lambda_3 (-\epsilon_3 + \eta_1 n_1 + \eta_2 n_2) n_3$
$Total$	$w(l_F + l_n) + p(c + x_n) + S_H + \frac{\partial u}{\partial \psi} \frac{\partial \psi}{\partial n_0} n_0 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_1} n_1 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_2} n_2 + \frac{\partial u}{\partial \varphi_1} \frac{\partial \varphi_1}{\partial n_3} n_3$	$w\dot{l}$	$r_x k_x + r_z k_z$	$w\dot{l}_x + r_x \dot{l}_x + q \cdot s + p\delta_x k_x + \lambda_1 \dot{x}_1 + \lambda_2 \dot{x}_2 + \lambda_3 \dot{x}_3 + p \frac{\partial f}{\partial n_0} n_0 + p \frac{\partial f}{\partial n_1} n_1 + p \frac{\partial f}{\partial n_2} n_2 + p \frac{\partial f}{\partial n_3} n_3$	$w\dot{l}_z + r_z \dot{l}_z + p\delta_z k_z + v \cdot z_0$	$p(l_x + l_z) + \lambda_1 \dot{n}_1 + \lambda_1 (\epsilon_1 - \theta_1 n_3) n_1 + \lambda_2 \dot{n}_2 + \lambda_2 (\epsilon_2 - \theta_2 n_3) n_2 + \lambda_3 \dot{n}_3 + \lambda_3 (-\epsilon_3 + \eta_1 n_1 + \eta_2 n_2) n_3$	$Y_E + w(l_1 + l_2 + l_3) + p(x_1 + x_2 + x_3)$	

※注 H : 家計部門 L : 労働 K : 資本 $Pr.$: 生産部門 $E.P.$: 環境保全活動 S/I : 資本勘定 $Env.$: 環境部門