

生物多様性と環境経済評価

リスクと保険の観点から

田島正士

Masashi Tajima

滋賀大学 経済学部附属リスク研究センター /
客員研究員

京都外国語大学 外国語学部 / 非常勤講師

I はじめに

本稿の目的は、各種の環境経済評価を特徴によって分類し、その特徴を明らかにすることである。環境価値において生物多様性は外すことができない価値であると筆者は考えるが、その重要性を示す。環境経済評価をどのように生かすことができるのか、さらには、生物多様性と保険の関わりについて言及する。そして、生物多様性とマクロの関係を中心として、経済学における環境指標を再検討し、少しでも新しい観点を提供したい。まず、Iでは前提となる諸概念を確認する。IIでは、各環境評価手法の特徴と問題点を明らかにする。IIIでは、生物多様性のフローをどのように考えることができるか、そして、その試算を行う。IVでは、まとめと結論、今後の課題を述べる。

1.1 環境評価の諸概念

GNP・GDPは自然資本や生態系サービスの価値を経済価値として評価しない。それは、環境が経済の外部として扱われてきたことを意味する。そして、もちろんGNP・GDPは福祉指標ではないので、それを基に幸福度やゆたかさを計測するのは間違っているのであるが、GNP・GDPで計測される経済成長が、長年、それに比例するゆたかさをもたらすかのように捉えられてきた。したがって、GNP・GDPに対するアンチテーゼとして、後述の福祉指標が発展してきた。その意味を考えると、それらの福祉指標は、GNP・GDPと比較可能であることがまず重要であり、比較するためには、GNP・GDPの計測方法を踏襲することが適切である。つまり、付加価値の総計という考え方であり、その付加価値の修正という様々な試みであると考えることができる。そこでの論点は、GNP・GDPとして算出される付加価値がゆたかさに結びついて

いるか、また、付加価値として算出されないゆたかさがあるのではないかということである¹⁾。それは、治安や悪臭・騒音などの公害、水源涵養林などにいたるまで様々である。そして、もう1つ指摘するならば、GNP・GDPは国民・国内を扱う指標であるため、地球環境のような、よりマクロ的視点がかもとも欠けている。

次に、持続性の論点について触れる。自然資本や生態系サービスに関する持続性は、弱い持続性と強い持続性に大きく分けられる。弱い持続性とは、人工の財に代替可能であり、人工資本への投資によって技術水準が高まるなどによって効用が維持されるならば、その環境を含めて考えた経済が持続的であるとする考え方である。一方の強い持続性とは、人工の財によって代替不可能な価値が自然資本や生態系サービスにはあるとする考え方である。それらは人工の財で代替できないため、自然資本や生態系サービスが維持されなければ、環境を含めた経済が持続的ではないという考え方である。ただし、何を代替できない原因・理由とするかは様々であり、例えば、ジョージ・ジェスク=レーゲンなどは、エントロピーによる制約を挙げているし、ターナーはレジリアンス (Resilience, 復元力や安定性) の維持を挙げている。前者は熱力学が論点であり、後者は生態系が論点であるため、「環境」を扱っていることが共通点であるが、論点や解決方法が大きく異なる可能性がある。

以上から言えることは、人工資本への投資で解決可能な「人工の財で代替可能な環境」であれば投資をすれば解決するという結論になりやすい。しかし、そんな簡単な結論で解決するのだろうかという疑問が1つ目の論点である。この問題に関して述べるならば、エントロピーの制約があるから、それでも解決は限られていると言えるのであるが。他には、経済活動によって出される廃棄物の論点

が重要である。廃棄物問題では、生態系による浄化機能が安上がりで有効な解決手段になり得る。そのように考えれば、数式化して代表的な汚染物を定義すれば、その汚染物が一定以上になれば問題ないという制約条件と、その条件下で最も効率的な経済成長の経路はどれかが計算できる。しかし、そもそもこんな軽い自然資本の捉え方で自然資本を捉えたことになるのであろうかということが2点目の論点である。どちらも、解決するはずがないというのが結論であるが、解決するはずがない理由は、(もしかすると故意に) 生態系の価値を捉え損ねており、本質を無視していると考えられるからである。これらの論点と十分に評価がなされていない論点は、主に3点である。すなわち、エントロピーの論点、物質循環の論点、生物多様性の論点である。エントロピーの論点は、乱暴に述べると、地球上に降り注ぐ太陽光のエネルギーが1年間に地球上で用いることができるエネルギーのフローの量の上限ということになるが、その制約が論点である。2点目の物質循環の論点は、化学の視点でいえば物質は無になったり、無から物質が現れたりしないので循環しているだけである。物質自体に「枯渇」などないのである。問題なく循環している物質の循環を経済活動などで変えてしまうと問題が起こるという話である。3点目の生物多様性の価値の大きなものは新規性とレジリアンスだと考えられる。そもそも、エネルギーそのものや無生物から得ているヒトの効用は非常に小さい。ヒトの生存にとって最も重要な食料をはじめ、衣食住で直接触れるものの多くが生物が関わっている。それらの商品の多様性を支えており、エネルギーや無生物と経済価値の間に介在しているのは生物であり、その多様な価値を生み出している根底にあるのが生物多様性である。つまり、生物多様性を介して、エネルギーや無生物の物質循環を

¹⁾ 環境評価の諸概念についての説明は、環境経済・政策学会編(2006)の主に第4章に出ているので、特に言及しない場合はそれに従っている。また、自然資本の考え方のアプローチの歴史は籠橋(2016)によくまとめられているので、これも特に

言及しない場合はそれを前提として考えている。ここでは、それらの簡単な説明と以降の章に関する考え方を述べるにとどめる。

利用することの付加価値(効用)が大きく高まるのである。一方のレジリアンスの問題は非常に長い説明が本来必要であるが、こちらも乱暴に述べることにする。生物種の集団にとって重要な環境条件を生物自身が安定化させる仕組みがなければ、構成する生物種が長期にわたって存続することはできない。結果的に、全体として生存環境を安定化させてきたから何十億年も生態系が存続しているのである。そして、ヒトもその一員であるから、生態系を一定以上に破壊すればヒトの生存環境が破壊される。それを無視している経済モデルの方が多いが、現実にはその考慮なしには経済成長どころではないのである。以上より、次節ではそれらの3点について扱う。

1.2 環境問題のストックとフロー

1.1で挙げた概念は、フローとストックに分類できる。そのフローとストックについて、前節で述べた3点についてここでは扱う。

まず、地球環境全体のエントロピーの観点で述べると、地球は定常開放系であると言える。すなわち、太陽エネルギーのインプットがあり、一方で廃熱を赤外線放射により宇宙に捨てることで、地球のエネルギー収支はほぼ一定を保っている。だから、赤外線放射を妨げるガスが増加すれば温暖化する。また、金星のように大気の組成が異なることで、大気の下層と上層の熱移動の関係が地球と異なれば、金星の地表のように廃熱ができなくなり灼熱になる。生物のようなものの存在を想定しても高エントロピー(廃熱)を捨てられないので金星の地表では存在することができない。それらは、植田(2006)に具体的な数字などによって説明されているとおりである。これは、エントロピーのフローの観点であり、経済以前に、理論的に地球上の生物が生存可能かどうかを決定する重要な観点であ

る。また、その変化は、地球温暖化や海水温度の変化、間接的には氷河の量や低地の水没などに影響し、経済活動に大きく影響する概念である。次に、エントロピーのストックの観点について述べる。先述のように、地球への低エントロピーのインプットは太陽光によるものがほぼすべてである。それはフローであり直接に蓄えることはできない。それを主に植物が利用することでセルロースや脂肪などの形で蓄えられる。その一部が地下で長い時間を掛けて石炭や石油になり、地下資源として蓄積されたと考えられる。これらが低エントロピーのストックと呼ばれるものである。物質の形で保存されるので、物質のストックとして見た方がわかりやすいとは言える。

第二に、物質循環についてであるが、地球上の物質は、隕石の落下などの宇宙との出入りが多少はあるがさほど多くはない。人類の歴史程度の期間ではほぼ一定である。そして、地球上の大部分を占める化学の世界における物質は、化学反応や循環をしているだけであって、質量保存の法則の通り、消滅したり無から現れたりすることはない。「資源」とか「廃棄物」と分類しているのは、化合物の種類や濃度による物質の有用性によるものである。そして、基本的には、低エントロピーの形態ほど利用価値が高く、高エントロピーの形態ほど利用価値が低い。例えば、メタンガスを酸素と化合すれば二酸化炭素と水になるが、メタンガスと酸素の方が、エントロピーが低く、二酸化炭素と水の方が高い。発熱反応のエネルギー準位の変化とも言える。しかし、反応前後の元素の数は変わらないのである。そして、二酸化炭素や水が再びメタンと酸素になるには、太陽光を由来とする低エントロピーが必要なのである。地下に貯まったメタンは低エントロピーのストックと言えるが、有用な物質のストックとも言える。メタンの例のような炭素、

水素、酸素のような物質循環がフローであり、エネルギー準位が高い状態で貯められている炭素や水素(や酸素)の化合物がストックである。

第三に、生物多様性に関するストックは、種の絶滅問題でよく取り上げられる。IUCN (2018) では、哺乳類の25%、鳥類の13%、爬虫類の24%、両生類の42%、魚類の18%がレッドリスト、すなわち、絶滅危惧種に入れられている(パーセントは筆者による計算)。絶滅のスピードが加速している原因の多くは、熱帯雨林の開発、持続可能な漁獲量を超えている漁業など、人為的な地球環境の劣化が関係していると思われる。また、木村資生による突然変異の中立進化説があり、後に、太田朋子が「ほぼ中立説」に修正している(Ohta, 1973)が、いずれにしても、分子レベルでは遺伝子変異が大体中立であるということである。細胞分裂を行えば、大体決まった割合でDNAの塩基配列に変異を起こすわけであり、それがゲノムの変化につながり、最終的には形質の変化につながり、目に見える形の多様性が生まれるわけである。これらのことから言えることは、まず、絶滅と新規に造られる種が平衡することで生物多様性が保たれるわけである。種内においても、生物は世代を経るごとに多様になる一方、食われたり死んだりすることで多様性が失われる。その平衡を保つことができれば、生物種内の多様性のストックが維持されるわけである。ここで注意しておきたいのは、このメカニズムの根底にあるのはDNAの突然変異であり、それは分裂回数にほぼ比例することである。つまり、細胞分裂の「量」が生物多様性のストックを支える根底にあるということである。

次に、生物多様性のフローについて述べる。生物というものは、細胞膜によって環境から隔てられ、物質や高エネルギーの光線によるエネルギー(低エントロピー)を取り入れて、不要になった物質や

質の悪い熱(高エントロピー)として捨てることで、エネルギーを消費することができ、それによって膜で環境と隔てられた細胞内の低エントロピーを維持している存在である。そして、細胞分裂や生殖により数を増やすことで、生物全体としてはある意味一定の状態を保っているわけである。それにも当然、エネルギーの消費が必要である。利用できるエネルギー量が小さくなれば、多様性を生み出す活動もそれに準じて小さくなり、生物多様性は減少すると考えられる。その年間あたりの多様性を生み出す量をフローと呼ぶことができる。上にあるレッドリストや絶滅問題では、角を売るために哺乳類を殺す違法ハンターなどがセンセーショナルに取り上げられるが、その根底にあるのは、経済活動などで押しのけられて人間以外の生物種のフローが生み出せないことにあると考えられるのではないだろうか。

ところで、なぜ、物質循環、エントロピー、生物多様性の3つの概念を取り上げたかという点、物質循環については、地球温暖化や公害問題などの従来から環境問題における重要な概念であり、エントロピーは、ジョージ・スクレーゲンをはじめとするエントロピー経済学の中心概念であり、生物多様性は、人間の効用と直接関係する重要な概念だからである。

1.3 環境経済学のモデルの問題点

従来の環境経済モデルでは、生態系サービスとして環境を扱ってきた。ここでの生態系サービスとは、廃棄物浄化のような人工的に代替可能なサービスの価値のことである。従来のモデルの環境価値の主な論点は、浄化能力と生産能力のバランスについてである。これらの生態系サービスは、技術変数を用い、技術の向上を考えれば、(表面上は)環境の経済価値は低下すると考えられる。

従来の環境経済モデルを扱くと、環境の価値はこれほど軽薄なものであろうかという疑問がわく。そこで、経済モデルではなく現実について見ると、生存に必要な多種多様な物質の化学合成から、新薬のメカニズムの発見、発想や発明のアイデア、人生の価値のような文化の根底に至るまで、多様な環境が経済やそれを支える生存条件に大きな影響を及ぼしている。多様な環境とは、人類の居住空間を中心とした生物圏のことである。つまり、多様な環境の中心は生物多様性なのである。

以上のように、環境の本質的な価値は、代替不可能である独自の価値であり、それは、生物多様性を中心とした価値である²⁾。なぜならば、工業的な技術と同類の環境代替的な技術のパラメーターを入れるだけなら、単に、汚染が増加するならば技術開発すればよいという結果にしかならない。モデルに本質的な新しさもなければ、環境特有の難しさもそれほどない。それに対し、環境ならではの制約ないしは可能性であれば、人工的な代替技術では当面解決しそうでないからである。人類が本格的に宇宙で生活できないことを考えれば自明である。宇宙船では、水以外リサイクルできていないので、生活に必要な物質は一方通行であり、生命維持にかかる費用は天文学的に高い。地球上での生活では、生物多様性による物質のリサイクルシステムにただ乗りしているだけであり、物質のリサイクルについて自己完結的なシステムとして人工的な代替技術は存在しない。生物多様性の機能はそれだけではないが、少なくとも当面の間、人工的な技術では生物多様性の代替が実現不可能であることを示している。

経済学では、多様な自然を含む「環境」を、廃棄物処理についての環境浄化サービスというよう

な無料もしくは安価な財（サービス）として考えられてきた。しかし、そのような価値は、「技術進歩」により、徐々に人工の財で代替可能になると考えられる。つまり、そのような考え方に立つと、技術進歩が可能であれば、将来的には、環境価値の重要性は失われていくことになってしまう。つまり、価値が低下する代替可能な財と考えられるのである。しかし本来は、それよりもむしろ、生物多様性のような代替不可能な財としての環境価値が重要なのである。そして、むしろ知的概念の観点で見れば、生活環境や概念が拡大するほど価値は高まると考えられる。したがって、概念が拡大される前では、概念の変化分だけが過小に評価されるということである。

生物多様性を捨象しては環境の本質的な価値は測ることはできない。その意味で、歴史的に見ると、経済学はその「環境」の本質を外して環境を取り扱ってきたのである。その本質から外れた議論が長年続いた後、1990年以降になってようやく、本格的に生物多様性を扱う指標が示されてきている。しかし、それらは、先ほど述べたように、ミクロ的なアプローチにとどまっている。そこで以降の章では、環境の価値を生物多様性の観点から本質的にとらえるとともに、その経済的な価値をマクロ的に評価する手法を示し、その有効性を検討する。

本論文での主題の1つである「生物多様性のフロー」は、生物多様性のストックである種の多様性を生み出す源泉というべきものである。ここで示す生物多様性のフローとは、遺伝的多様性が生み出される基となるフロー（本論文では中立突然変異のフローと呼ぶ）のことである。フローがあることにより、環境変化による種の減少からの回復、つ

2) Georgescu-Roegen, 1971, pp.358-408(邦訳)にあるエントロピー経済学の枠組みは、低エントロピーから高エントロピーへの不可逆的な変換過程であり、絶えず低エントロピーを取り入れなければ、システムとして存続することはできないという主張であり、不可逆性と非代替性を示している。ただし、地球環境は定常開放系であるから、エントロピーのスルー

プットの範囲内であれば、地球環境についてエントロピーの観点で言うならば不可逆ではない。ボールディングの指摘のように、GNPの増大は大量生産に支えられているので、無尽蔵なGNPの拡大が不可能であるという点では正しい。しかし、人工財との非代替性を考えると、生物多様性が最も代替できない環境の価値と考えられる。

まり、環境適応が可能になる。また、環境の安定性が保たれていると考えられる。本稿では、そのフローとストックの概念が分類・整理可能であることを示す。

また、倫理の観点でも、生物多様性のフローを扱うことには特長がある。従来の倫理観では、生物を殺して食べるということについて、苦痛を感じるかという観点で種の区別をすることがある。それが正しいかどうかを抜きにしても、目につきやすく感情移入しやすいことから、動物愛護に同意を得やすいことが、人間に近く「苦痛を感じる動物」を優遇しがちになる傾向を助長していると考えられる。一方、「苦痛」を重視する人々から軽く扱われる植物については、どのような伝達機能を持っているかなど、未だ不明な点が多い。仮に、植物が殺されまいと体内や同種個体間で情報のやりとりをしていたとしても、人間が普段考える「苦痛」や「神経系」という概念とは異なるメカニズムである可能性が大きい。不明なことを明らかにせぬまま「神経系の発達」というような1つの価値基準で判断することが正しいとは言えない。ましてや、未来にどういった生物に進化するかという可能性は、より不確実である。例えば、家畜化した動物を殺して食肉として食べることに、大豆を商品作物として栽培し殺して食べることに比較について、大豆を食べるべきであるという結論を得るとしよう。理由付けはいろいろ考えられるが、多くの人の合意が得られる可能性のある理由としては、「環境負荷の少なさ」くらいであろう。つまり、1つの倫理観を持ち出して価値観の異なる人々の合意を得るのは難しい。また、新たな科学的発見や概念の拡張があった後も正しいとは限らない。ミクロ的に、この種は苦痛を感じるとか、あの種は発展の可能性があると

とは、説得力や確実性の点で難がある。そこで、押しつけている生物多様性の量(フロー)で測ることが、一つの解決法になり得る。生物多様性の量での計測は、非常に大雑把な測り方ではあるが、修正の必要があれば修正できる。また、客観的に他の選択肢と比較可能であり、数値化できることにより、大きく判断を間違える可能性は低いという特長がある。この大まかであるが大きく間違わず、比較可能な数値化が可能という特徴は、環境のような不確実性の高い事象を扱う場合においては、非常に重要である。

II 環境評価手法

経済評価・環境評価の指標としては、代表的なものをいくつか挙げると表1のようなになる。表1は、各指標が扱っている項目を○で示し、大まかにまとめたものである。本章では、経済評価・環境評価指標について扱う。

2.1 経済評価・環境評価指標の概要

表1で扱っているのは、1970年代のノードハウスとトービンの経済福祉尺度 (MEW, Measure of Economic Welfare)、日本の経済審議会による国民純福祉 (NNW, Net National Welfare)、1980年代のH. デイリーとジョン・B. コブ・ジュニアによる持続可能な福祉尺度 (ISEW, Index of Sustainable Economic Welfare)、ISEWを進化させたグリフォード・コブらによる真の進歩指標 (GPI, Genuine Progress Indicator)、1993年の国連による国民経済計算ハンドブック (SEEA, Handbook of National Accounting: Integrated System of Environmental and

表1 包括的福祉指標の概要比較

	個人消費	政府消費	純投資	輸出	家事	個人耐久財	犯罪	余暇	不完全雇用	家庭崩壊	都市化の損失	環境汚染	湿地・農地の損失	再生可能資源	地球環境	森林
GDP	○	○	○	○												
MEW	○	○	○		○	○	○	○			○	○				
NNW	○	○	○		○	○		○			○	○				
ISEW	○	○	○	○	○	○					○	○	○	○		
GPI	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
SEEA	○	○	○	○								○	○	○	○	○
HSM	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
EF												○	○	○	○	○

(大橋(2005) 第3章の内容から筆者が表を作成)

Economic Accounting)、大橋の人間満足度尺度 (HSM, Human Satisfaction Measure)、ワケナゲル、リースらによるエコロジカル・フットプリント (Ecological Footprint, 以下EF) である。

これらの指標は、GNPやGDPに欠けていた豊かさの質的側面を評価することで発展してきた。そして、これらの指標の目的の一つは、質的側面の評価により、経済活動に生活の質や周辺環境の向上を反映させることであると言えるであろう。これらを見ると、経済以外のゆたかさについての論点整理と評価手法の拡大が時間を追って行われてきたことがわかる。また、これらの指標には、金銭的評価の指標と非金銭的評価の指標とがある。表1では、上の6種類が金銭的評価、下の2種類が非金銭的評価である。金銭的評価のものは、経済的観点で比較することが可能であり、例えば、GDPではある期間において成長しているが、MEWやGPIなどのその他の福祉指標でみると貧しくなっている、などということが示される。一方の非金銭的指標の特徴は、多国間で比較しやすいということが挙げられる。

基本的には、新しい指標ほどGDPでは反映されない生活上重要な価値の反映について改善が見られる。一方、項目が複雑になることで、離婚の不効用の扱いのように、それぞれの社会的価値観

によって評価が分かれる項目がある。また、環境を弱い持続性の立場で扱っている評価手法が多いという問題点もある。

2.2 環境の経済価値評価

環境価値評価 (environmental valuation) は、森林の例がわかりやすく、表2のように分類できる。また、価値を評価する手法として表2のように分類される。

まず、森林の価値で見る環境価値について、図2を見ていく。まず挙げられるのは、木材としての価値といった直接的利用価値がある。これは市場で評価される。間接的利用価値は、レクリエーション、水源涵養、国土保全などが挙げられ、それらには、間接的に経済的利益がある。オプション価値は、将来のレクリエーション、遺伝子資源といった将来の選択肢として残すべき価値である。遺産価値は、100年後の環境安定化のために役に立つといった、恩恵を受けるのが将来世代となる価値である。存在価値は倫理的な価値観と言うべきかもしれない。例えば、原生林を現在も将来の世代からも使わないかもしれないが「守るべき」と考えられることによる価値である。

次に、それらの価値の評価について見ていく。利用価値のうちの直接的利用価値は、GDPに反

表2 森林の利用価値

	価値		計測方法
	森林価値	利用価値	直接的利用価値
間接的利用価値			顕示選好法
非利用価値		オプション価値	表明選好法
		遺産価値	
	存在価値		

(林(2010) pp.148 図7-1、林(2010)pp.150-154より筆者作成)

映されるので特に言うべきことはない。間接的利用価値を含めた環境価値評価については、顕示選好法が用いられる。代替法は市場財で代替した場合の金額、トラベルコスト法は旅行費用、ヘドニック法は地代や賃金による代替金額から求める。短所としては、代替法は代替財が存在しないと評価できない、トラベルコスト法はレクリエーションに限定される、ヘドニック法は地域的制約があることが挙げられる。

非利用価値を含めた価値については、表明選好法が用いられる。表明選好法はアンケート調査である。CVMは支払意思額・受取意思額から、コンジョイント分析は複数の代替案の選択による好ましさの比較から環境評価を行う。CVMは特定の環境対策の価値を評価するのに用いられ、コンジョイント分析は代替案別の評価に用いられる。非利用価値の評価ができる一方、どちらもアンケート調査であるからバイアスの影響とコストの問題がある。また、コンジョイント分析は研究蓄積が少ないので信頼性が確立していないことも考えられる。

2.3 経済価値評価手法の問題点

まず挙げられる問題点は、EFを除く上記のような経済評価指標が、環境の価値を十分に評価で

きていないことである。GDPが生活の質や環境の価値を含まないことは有名である。他の手法については、生活の質や環境の価値を反映しているが、環境価値の非利用価値を含んではない。環境評価の手法としてもまた、個別の価値を足していき、総計で価値を表すというミクロ的な手法の問題点がある。この問題点は、把握されない、認識されない、金銭化できないといった価値が必ず抜け落ちるとのことである。また、主観に基づく価値については、個人の主観の差が何桁も違うということも十分起こりうる。また、地域によって何百倍にもなりかねない。同じような森が地域によって何百倍も価値が異なるということについては、検討する必要がある。

その価値が抜け落ちる問題に対応するには、マクロ的に考える経済価値評価手法の必要性が考えられる。つまり、全体の数値が把握でき、個別にある程度比較可能な指標が必要ということである。

III マクロ的に考える生物多様性の経済価値評価手法

生物多様性を考える上で、現在の生物分野の主流であるダーウィニズムの自然淘汰の考え方は、ミクロ的であり、マクロを考えるのには非常に都

合が悪い。特に偏狭なのが、弱肉強食のような概念であり、自然選択における「強い者が生き残る」といった非常にミクロ的な考え方である。自然界の原理は、存在できるものが存在し、存続できるものが存続しているというものである。生存「競争」や弱肉強食は、たまたまそのような状況にある生態系の一部をミクロ的に捉えたにすぎない。それは山に分け入ってみればわかる。何かに襲われる危険よりも、食料が調達できるかどうかの方が遙かに切実である。弱肉強食ではなく、生存できる程度に餌が得られれば、生き残ることができることを示しているだけである。そして襲われる危険についても、襲われる生物は小型のものが多く、そもそも必要とするエネルギーが小さいので、何割かが食われても種としては問題ない存在なのである。つまり、ミクロ的な生存リスクとしては、たまたま何らかの理由で餌がない、たまたま天敵に遭遇するというような偶然が殆どではないか。その何らかの理由の一つが、たまたま大きくなりすぎると、同種間の競争が起こるということである。そして、歴史的には、干上がった湖の魚のように種として生存を脅かされない限り、何かの機能が発現して「戦略的に」進化するということはないようである。そこで、本章では吉村(2009)に基づいて生物多様性について考察する。

3.1 生物多様性のサイクル

図1のように吉村(2009) p.70では、環境の変化について、中立突然変異、遺伝的多様性、種が多様性、表現型の多様性、自然選択との関係について説明している。そこでは、ダーウィンに始まる自然選択の考え方と、木村資生の中立説が矛盾しないように合理的に説明されている。吉村の説明では、シーン0から4に分けられている。それぞれ安定期(シーン0)、環境激変(シーン1)・絶滅、適応

放散(シーン2)、適応(シーン3)、安定期(シーン4(0))というサイクルで描かれている。圧倒的に時間が長いのがシーン0の安定期である。短い順に2,1,3,0となる。少し考えればわかることだが、環境が激変ばかりしては、自然選択ははたらくが、適応できない種が絶滅するばかりで、多様性は減少する一方である。中立進化の考え方を取り入れるとすべてとは言わないまでも多様性を含めて説明できる。木村(1986)の中立説は、ゲノムのレベルでは時間あたりの中立突然変異はほぼ一定の割合で起こるというものである。木村の中立説を引き継いだ太田(2009)によると、ほぼ中立で突然変異が起こるようである。ここでの「中立」というのは、形質に影響しない突然変異について選択的でないことを示す。紙面もないので結論だけ書くと、生物多様性全体について考えると、分子レベルでは中立説に基づく遺伝子浮動がはたらく、環境激変に対しては不利な形質や種の淘汰があると考えればつじつまが合うということである。そして、上記の安定期では、自然選択は少ないので形質的には現れないが、中立突然変異によって多様な遺伝子が作られ蓄積していくと考えられる。

ここで、生物多様性を生み出す量について考える。上記の通り、中立突然変異は、時間あたり一定で起こる。そうすると、時間あたりの量が問題になる。時間あたりの量は何によって決められるかというと、単位あたりの生物生産力を考えてみるのが適当であろう。極相の状態にある生物群集を考えた場合、生物生産力を決定する要因は、エネルギー、水などである。エネルギーは低エントロピーと言っても良いが、生物を生きた状態で維持するには不可欠である。水は、物質を移動させるために不可欠な溶媒として重要であり、地球上の生物にとって水に代わる優れた溶媒は存在しない。

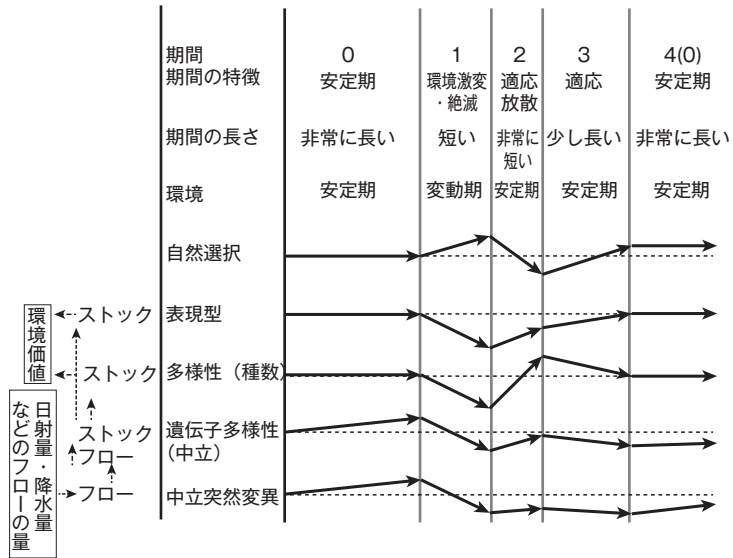


図1 中立突然変異と生物多様性の関係
(吉村 (2009) p.70を基に筆者が加筆)

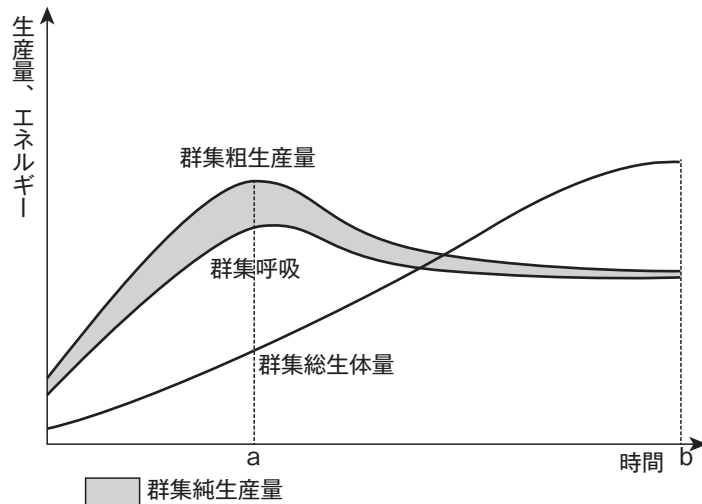


図2 最大呼吸仮説
(鷺田 (1994) p.62を参照に、筆者が加筆)

効率的な生産としては、人工的な畑が考えられるが、図2の点aがその状態である。群集純生産力が最大の点であり、それが作物の生長や果実などになる。しかし、放置すれば安定的な極相(点b)へ向かうので、点aを維持するには絶えず肥料などを外部から投入する必要がある。一方、点bの極相では、生産量と呼吸量がほぼ等しく、生産された物質は一方で分解され、安定的に循環している。そこでは、生体量が最大になる。生物多様性について考えれば、総生体量が最大の状態が最も活発な状態である。したがって、極相で考えることにした。

3.2 生物多様性のストック、フローの関係

上記で、生物多様性、中立突然変異、生物生産力、低エントロピーと水の関係を示した。以下では、その生物多様性について、ストックとフローの概念で見ていく。生物多様性について議論される場合、主にストックの価値について語られる。ストックの保存はもちろん重要であるし、ストックとしての種の個別の価値については重要であるが、生物学的な希少性や生態的地位などの知識が不可欠である。これらの価値については、生物学の分野で議論されていることであるし、生物学の専門知識であるから、本論文では扱わない。いずれにしても、生物多様性のストックについては、生物学的見地から重要性の軽重が示される。それによって経済的価値も、ある程度は推察ができるのである。一方、生物多様性のフローについては、将来における偶然的要素が大きく、非常に不確実性が高い。したがって、事前に「この形質や種に関するフローが重要である」などと示すことができない。したがって、「新規性の量」によって推察するしかないと考える。このことを踏まえて以下では、生物多様性のフローについて議論する。

上で述べたように、遺伝子・種・生態系のストックを維持するには水やエネルギーなどが必要である。上で述べたように、遺伝子・種・生態系のストックを維持するには水やエネルギーなどが必要である。このことを無視すると、希少な生物の死体や種を長期保存できる容器に保存すれば十分であるなどという考えが出てくる。その考えに基づくなら、多少の費用がかかるだけで、生物多様性と経済の「両立」はたやすい。私が以下で展開するのは、フローについてであるが、エネルギー資源や水資源の奪い合いが増している現在、生物多様性と経済は競合関係にあると言える。生物多様性を熟慮せずに開発すれば、生物多様性と経済の両立は非常に難しいのである。

図3は、生物多様性のストックとフローの概念について簡略的に示したものである。四角の中がストックであり、残りがフローである。低エントロピーと水と、生物生産力の関係は、後に述べるように正の関係にある。生物生産力と中立突然変異の関係も、生物生産力が大きいほどより多くの細胞分裂が行われるので、正の関係と考えるのが妥当である。以下で示すのは、非常に大雑把なモデルであるから、低エントロピーと水以外の条件を考慮しない。以上より、低エントロピーと水によって、極相時の生物多様性のストックの量は規定される。

3.3 生物生産力による生物多様性のフローの考え方

生物生産力は、以下の式のように示すことができる。

生物生産力 = g (太陽光, 降水量, 滞留水, 気温, 湿度, 肥料, 土地の勾配による太陽光の差, ...)

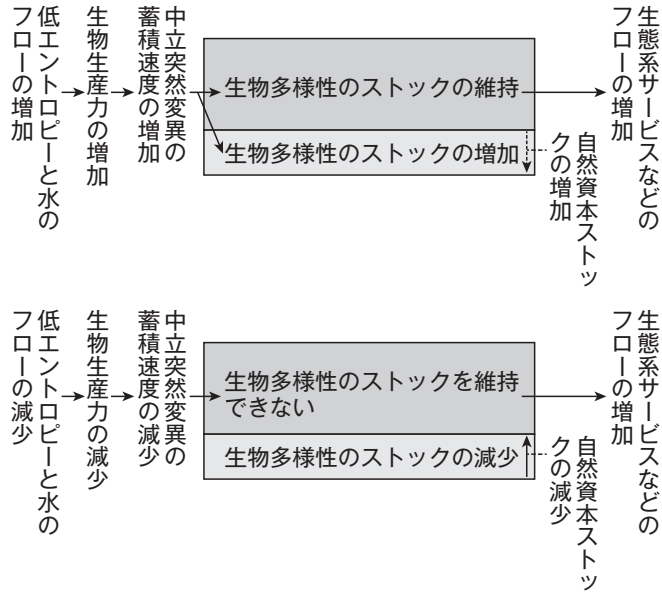
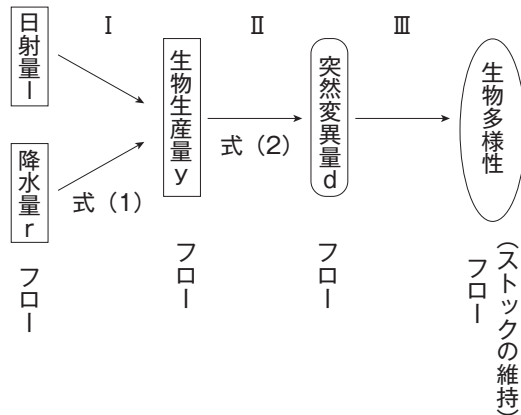


図3 生物多様性のストック・フローとエントロピー・水との関係を示した簡略図
(筆者作成)



突然変異量を d 、生物生産量を y 、日射量を l 、降水量を r とおくと、

$$y = g(l, r)$$

$$\text{(例) } y = a + bl + cr$$

$$d = f(y)$$

$$d = f(g(l, r)) \quad \text{(式2)}$$

$$d = d\phi(l, r), \quad \phi = f \circ g$$

と表すことができる。

図4 日射量・降水量と生物多様性の関係
(筆者作成)

生物多様性のフローは、生物生産力に比例していると考え、以下のように示される。

生物多様性のフロー = f (太陽光, 降水量, 滞留水, 気温, 湿度, 肥料, 土地の勾配による太陽光の差, ...)

ただ、この式のように、無限に近い条件を並べ立てても複雑になるばかりで、利用を考えるとあまり現実的ではない。そこで、この論文では最も単純なモデルを示し、その有効性を考えたい。

生物生産力の式のうち、特に重要なのは、太陽光と降水量である。残りをこの2項目に従属的であると考え、以下の式の様に2変数で表すことができる。

$$\text{生物多様性のフロー} = f(a_1, a_2) \quad (\text{式1})$$

ただし f は生物生産量に基づく関数、 a_1 は太陽光、 a_2 は降水量を表す。

土地の勾配については、勾配によって太陽光の量が変化する。しかし、単独の山が1つある例を考えれば分かるように、北向きの勾配があれば、必ず南向きの勾配がある。そうでなければ麓が同じ高さにならないからである。つまり、ある程度広い土地全体を考えるのであれば、勾配はそれほど考慮する必要はない。

滞留水や湖沼など、降水量だけではなく利用できる水量の観点も必要である。しかし、降水がなければ地下や地上に水が貯まらない。また、滞留水や湖沼の水を、流入量以上に使えば持続性がない。つまり、蒸発分を引いた後は、基本的に降水量に基づく変数と見ることができる。

湿度については、降水量は当然関係する。また、蒸発に気温や太陽光の影響もあるので、太陽光と降水量の変数と見なせる。

肥料がなければ確かに生産量が落ちるであろう。しかし、その土地特有の生物多様性を考慮しない条件ならば、他から肥料を輸送することができ、肥料は制約条件にはならない。また、水の輸送と比較すれば、遙かに少ないエネルギーで可能である。

表3 純一次生産速度(生物多様性のフロー)、年間降水量、日射量の関係

場所	期間	気候区分	年間日射量	一次生産量	年間降水量
パプアニューギニア(マダン)	(200201-08,200309-12)	熱帯林	73165	2200	137.2
オーストラリア(ダーウィン)	(200203-200302)	草原	120277	900	58.7
アメリカ(アラスカ)	(199801-6,8-12,9907)	ツンドラ	1752	140	4.3
アメリカ(オクラホマ)	(200801-12)	温暖湿潤	104787	1300	30.9
サウジアラビア(リヤド)	(1999 01-12)	砂漠	148486	90	3.2

(各データから筆者作成)

年間日射量は、BSRN(2011)により、単位は[kW/m²/year]。

一次生産量は、村井・後藤・本多(1992)p.350の表1により単位は[g/m²/y]。

年間降水量は、noaa(1991)により単位はインチ。

年間日射量と年間降水量の場所が異なる観測地については、同一の場所のデータがない場合は、近くの観測地のデータを用いた。BSRN (Baseline Surface Radiation Network, <http://bsrn.awi.de>) については、Long and Charles (2009a), Long and Charles (2009b), Dutton and Ellsworth (2007), Sisterson and Douglas (2009), Al-Abbadi and Naif (2007) のデータなど12か月分の直接日射量を用いた。

気温については、太陽光の少ない地域の気温が高いはずはなく、太陽光の影響が主な影響である。ただ、海流の影響や内陸か沿岸かにより気候が違っているので、完全には直接太陽光と降水量に集約できなさそうである。

以上より、多少乱暴ではあるが、太陽光と降水量に変数を集約できるとしよう。太陽光の制約条件は、エネルギー源としてのものであり、降水量の制約条件は、動植物に必須な唯一の溶媒としての役割からである。その役割から、必要な量も多く、その必要量を満たすような水の大量輸送はエネルギー的な制約から難しいという条件から来ている。肥料や微量必須元素のようなその他の物質的条件は、エネルギーの観点からは、水よりも遙かに解決が簡単である（だからこそ、肥料により生育条件を改善することができる）。太陽光については、太陽光以外にもエネルギー源が考えられる。しかし、例えば、炭素燃料、原子力は、太陽光ほど

の量を賄うことを考えると、それぞれ、物質循環を乱し枯渇の可能性がある、根本的に不可逆であり枯渇するという理由から、どちらも持続性がない。そもそも、ただでさえ永続的に使うことができないエネルギー資源についての利用過多が問題になっている現状で、生物多様性の為にそれらの資源を使うことは、経済的に不可能である。したがって、生物多様性のフローのエネルギー源は太陽光に限られる。

3.4 生物生産力による生物多様性のフローの試算

生物多様性のフローは、上記のように、生物生産量で示すことができると考えられる。毎年の生物生産量のひとつの指標として、純一次生産速度で示すことができる。日射量は、BSRN³⁾に世界各地のデータがあり、その中から植生に合わせて直接放射量を抜き出している。年間降水量は、

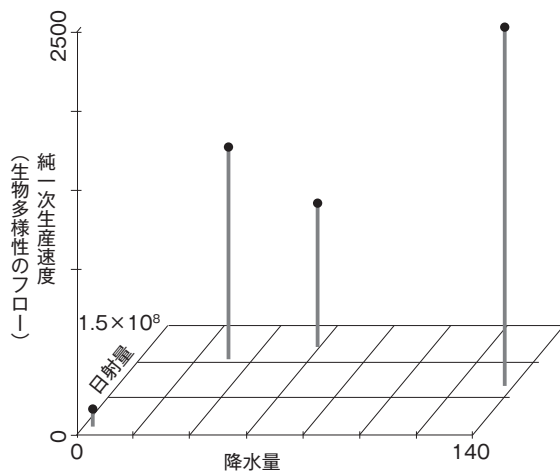


図5 純一次生産速度（生物多様性のフロー）、年間降水量、日射量の関係
単位は、純一次生産速度はg/m²/year、日射量はW/m²/year、年間降水量はインチ
(BSRN (2011)、NOAA (1991)、村井・後藤・本多 (1992)のデータにより筆者作成)

3) BSRN (Baseline Surface Radiation Network) <http://bsrn.awi.de>から入手できる。

NOAA(1991)に1931-60年の30年間の平均が示されており、それをを用いた。その結果は、図表の通りであり、回帰分析により以下の式で示される。

$$\begin{aligned} \text{純一次生産量} = & 1.961 \times 10^2 + 5.244 \cdot 10^{-7} \\ & (0.398) \quad (0.121) \\ & \times \text{年間日射量} + 1.457 \cdot 10^1 \\ & (3.319) \\ & \times \text{年間降水量} \end{aligned}$$

()内はt値

その特徴としては、以下が挙げられる。降水量、日射量と生産速度は正の関係にある。日射量、降水量のどちらかが極端に少ない地域での生物生産性は極めて低い。日射量は熱帯雨林では低緯度にもかかわらず、砂漠や草原ほど高くなく、最適なバランスがあると推察される。

結論としては、純一次生産速度を生物多様性のフローとして考えると、日射量、降水量に正の関係がある。降水量や日射量をコントロールすることは経済的にほぼ不可能であることから、特に増加の方向の生物多様性のフローのコントロールはできないと考えられる。

IV まとめ

以上のことから、生物多様性のフローと日射量、降水量との関係が一応示された。各指標や保険との関係を含めて全体をまとめる。

4.1 生物多様性の指標のまとめ

前章では、生物多様性のフローについて量的な概念で扱えることを示した。生物多様性のストックとフローは、性質が大きく異なる。性質が異なるので、ストックとフローは別々に取り扱うべきである。ストックについては、生物学的知見に基

づき様々な指標が存在する。そこで、前章では主にフローについてマクロ的に扱った。生物多様性のフローを生み出すものは、主にエネルギーたる低エントロピーと、優れた溶媒である水である。この単純な特徴が意味することは、生物である人間に必要な要素でもあるエネルギーと水が、本質的なところで生物多様性と衝突せざるを得ないということである。「環境と経済の両立」が近年言われている。しかし、両立のメカニズムに、エネルギーと水に関する衝突を回避するメカニズムがない限り、両立のメカニズムに疑問の余地があるということである。

これまでの視点では、生物多様性のストックに注目がいきがちであり、その保存に目が向けられてきた。しかし、ストックを支えるには、経済と同じく一定のフローが必要である。また、生態系はフローを基にした試行を繰り返しており、その成果はフローに比例して日々蓄積している。それが、中立突然変異に基づく考え方から導き出した結論である。そうした生物多様性を理解し価値を見いだすのは経済の役割であろう。

しかしながら、この試算には様々な問題点がある。まず、前章の「生物多様性のフローと降水量、日射量の試算」はデータの入手に問題があり十分に関係が示されていない。また、生物多様性のフローの代替として用いた純一次生産速度は、現在の生産速度であり、環境破壊が進んでいる地域では本来の生産速度よりもかなり小さくなっていると考えられる。つまり、本来扱うべき適切なデータは、本来の純一次生産速度である。これをどのように扱うかが今後の課題である。

以上の大きな問題点はあるもののまとめることにする。EFは地球全体の生物生産力からして、どれくらい人類の経済活動や生活活動が押しのけているかという観点では非常にわかりやすい。そ

の俯瞰的立場を維持したまま、個別の人類の活動を見ると、例えば、都市を造り上げるのに何を押しのかたかが重要になる。都市部の生物生産力はほとんどゼロであることはEFからもわかるが、もともと生産力の高い森林であったか、砂漠であったかが本来重要である。豊饒の地を潰して踏みつけているか、不毛の地を踏みつけているかでは、生物多様性の生産力の落差が大きく異なる。残念ながらEFからはわからないし、都市化後の「現在の純一次生産速度」からでもわからない。だから、降水量、日射量などから本来の生物生産力を類推することが重要である。

EFはともかく、他の各経済価値評価手法について、かなり批判的に述べてきたが、それらは元々GNP・GDPに対するアンチテーゼであり、もともと福祉指標ではないGNP・GDPを福祉指標のように用いることに対する対案と言える。そして、アンチテーゼであるからには、GNP・GDPと比較する観点が必要である。つまり、説明するまでもないが、付加価値の総計であるGNP・GDPは積み上げ式の計算方法であり、国民もしくは国内すべての付加価値を積み上げることでマクロ的な統計を作り上げている。従って、各経済価値評価手法も同様の手法を取ることに意味があると考えられる。そこには重要な意味があるが、生物多様性のフローやストックの価値を測るにはあまり適切であるようには見えない。生物多様性のフローやストックの価値を測るための別の提案が必要であり、そこが乱暴ながら前章の試算の意味である。その前章の試算の結果からは、一応、太陽光と水と生物多様性の関係を示されたと考えているが、その結果が意味することは、経済活動の拡大と生物多様性のゆたかさの関係は、本質的に水資源と太陽光エネルギー資源の取り合いであるということである。両立し得ないとは言わないまでも、本質的に両立は

非常に困難である。砕けた言い方をすれば、現在のエコ活動には、こっそりと見えないところで、水や太陽光を大いに利用しながら、見えるところで省資源や低環境負荷を謳っている例が少なくない。それを正確に測らずして、本当に低環境負荷の商品と見えるところだけ低環境負荷の商品の比較は成り立たない。だからこそ、乱暴な計算であることは理解しつつも、本稿で生物多様性のフローという概念を扱った次第である。

4.2 保険との関係

非常に蛇足的ではあるが、タイトルにもある保険との関係を述べることにする。しかし、筆者は現状として保険に関する深い知識も洞察も持ち合わせていない。したがって、現在理解している範囲で保険の有用性と疑問点を簡潔に述べることにする。自動車保険や火災保険と異なり、自然災害は人為的に確実に引き起こすことができる例が稀であり、その点でモラルハザードが起きにくい。したがって、環境破壊によって自然災害をもたらしかねないような事例では、保険が社会にとって有益であり、利用できる分野はまだまだあるだろうと考えられる。また、福島第一原発事故の際に、愕然とするほど保険が掛けられてこなかったことによる惨状を日本人の多くが目撃したわけであるが、その原発事故を受けて書かれた久保他(2012)からは、本来、原発事故でさえも保険を掛けることができると読み取れる。そこで挙げられている有効な手段の1つがキャットボンド(cat bond, catastrophe bond)である。本稿で主に取り上げた生物多様性は、新規性の観点から経済発展にとってますます重要になってくると考えられるが、社会的に何が有用であるかさえ不確定であり、どこに経済価値があるかは更にわからないため、保険の観点では非常に扱いにくい。生物多様性と保険の関係を考えると、レ

ジリアンスの観点の方が密接であると考えられる。キャットボンドは名前の通り大災害を対象に考えられたものであり、その手法を原発事故と同様に考えると、生態系の崩壊などにも利用可能であると考えられる。生物多様性の崩壊を想定した場合でも、種の絶滅をトリガーにすることが十分に可能である。しかし、その被害総額は原発事故よりもさらに桁違いな巨大な金額になる。そこには、巨大なリスクに対するスプレッドの支払いが可能なのかという問題と、崩壊後に支払われる貨幣に価値もしくは意味があるのかというモラルに関する疑問が残る。今後、どの程度までキャットボンドが理論的に利用可能であるか、検討してみたい。

4.3 終りに

本論文で明らかにされたことは、生物多様性を支えるフローの基になるエネルギー・水が量的なものであり、また、人間にはコントロール不可能な所与の数値であるということである。ただし、生物多様性のフローを日射量のような「量」で計算できているが、生物多様性そのものを量で測られると述べているのではない。生物多様性のフローが測られるのである。

マクロ的アプローチによる生物多様性のフローの計算の長所は、ある土地に本来どれくらい生物多様性のフローを生み出す能力があるかが計算できることである。つまり、その土地を他の用途に利用することと引き替えにどれくらい生物多様性のフローを減少させるかがわかるということである。その減少量の比較により、稀少価値になりつつある生物多様性のフローについて効率的な利用を考えられる。それにより、生態系からの搾取の量を抑えることが可能になる。それは、非効率な利用による生態系からの大量搾取よりは遙かに利点があり、生活基盤の長期的安定につながる。生活の

「ゆたかさ」を求めることを考えるならば、このことは非常に重要である。この重要性は、アマゾンを開拓して大豆畑にすること、牧草地に太陽電池を敷き詰めることが行われている現在、大豆や太陽光による電気の価値づけに対して、生物多様性を失う価値の算出や比較を行っているとは言いがたいからである。つまり、EFのような表現をするならば、同じ面積を踏みつけるにしても、生物多様性にとって大いに必要なフローが大きい土地か、フローがさほどでもない土地かによって、踏みつける環境の生態系へのダメージが大きく異なる。また、前者の経済開発は容易であり、後者は困難であるため、前者の方が見かけ上環境負荷が小さく見える。しかし、開発後の維持・管理のエネルギーコストなどだけでなく、開発以前のその土地のゆたかさを見ることも重要であり、両面を見る必要がある。十分とは言えないが、本稿ではその視点を提供したつもりである。

今後の課題としては、未開発な土地の生物多様性に関するより正確なデータの収集、生物多様性のフローのより詳しい指標の作成、地球規模で見たときの生物多様性のフローの総額の算出、その算出から導かれる開発によって失われる価値の算出とその代替案との比較、生物多様性のフローの価値の創出方法が挙げられる。

参考文献

- ◎ Al-Abbadi and Naif (2007) : Basic measurements of radiation at station Solar Village (1999-01) . King Abdulaziz City for Science and Technology, doi:10.1594/PANGAEA.671394
- ◎ BSRN (2011) Baseline Surface Radiation Network, <http://bsrn.awi.de>
- ◎ Dutton and Ellsworth G (2007) : Basic and other measurements of radiation at station Barrow (1998-01). Climate Monitoring & Diagnostics Laboratory, Boulder, doi:10.1594/PANGAEA.668484

- ◎Georgescu-Roegen, N(1971), THE ENTROPY LAW AND THE ECONOMIC PROCESS, Harvard University Press
(訳本) 高橋正立・神里公・寺本英・小出厚之助・岡敏弘・新宮晋訳(1993)『エントロピー法則と経済過程』, みすず書房
- ◎原司郎・酒井泰弘(1997)『生活経済学入門』, 東洋経済新報社
- ◎林希一郎編(2010)『生物多様性・生態系と経済の基礎知識』, 中央法規
- ◎IUCN (2018)「The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2017-1」, http://cmsdocs.s3.amazonaws.com/summarystats/2017-1_Summary_Stats_Page_Documents/2017_1_RL_Stats_Table_1.pdf, 2018年11月26日閲覧
- ◎籠橋一輝(2017)「クリティカル自然資本と持続可能性—到達点と課題—」, 環境経済・政策研究Vol.10, No.2 pp.18-31.
- ◎環境経済・政策学会編・佐和隆光監修(2006)『環境経済・政策学の基礎知識』, 有斐閣ブックス
- ◎木村資生著・監訳、向井輝美、日下部真一訳(1986)『分子進化の中立説』, 紀伊国屋書店
- ◎栗山浩一(1997)『公共事業と環境の価値—CVMガイドブック』, 築地書館
- ◎村井俊治・後藤真太郎・本多嘉明(1992)「地球生物圏における二酸化炭素固定量に関する研究」, 生産研究44巻8号, pp.349-355
- ◎中野桂・和田喜彦(2007)「エコロジカル・フットプリント指標分析の方法論的進歩と最近の論点」, 滋賀大学環境総合研究センター研究年報 Vol.4 No.1
- ◎Long and Charles (2009a) : Basic measurements of radiation at station Darwin (2002-03) . Pacific Northwest National Laboratory, Washington, doi: 10.1594/PANGAEA.725081
- ◎Long and Charles (2009b) : Basic measurements of radiation at station Momote (2002-01) . Pacific Northwest National Laboratory, Washington, doi: 10.1594/PANGAEA.724895
- ◎NOAA (1991) Climates of the World. Asheville, NC. Historical Climatology. Series 6-4.
- ◎大橋照枝(2005)『「満足社会」をデザインする第3のモノサシ』, ダイヤモンド社
- ◎太田朋子(2009)『分子進化のほぼ中立説—偶然と淘汰の進化モデル』, 講談社
- ◎Ohta (1973) Slightly Deleterious Mutant Substitutions in Evolution. *Nature* 246: 96-98.
- ◎レッドクリフト著, 中村尚司・古沢広祐訳(1992)『永続的発展』, 学陽書房
- ◎Sisterson and Douglas L (2009) : Basic measurements of radiation at station Billings (1998-01) . Argonne National Laboratory, doi:10.1594/PANGAEA.723513
- ◎植田敦(2006)『CO2温暖化説は間違っている』, ほたる出版
- ◎鷺田豊明(1994)『エコロジーの経済理論—物質循環論の基礎—』, 日本評論社
- ◎WWF(2008) "Living Planet Report", WWF
- ◎吉村仁(2009)『強い者は生き残れない—環境から考える新しい進化論—』, 新潮社

On Biodiversity and the Economical Valuation of the Environment

A Risk and Insurance Perspective

Masashi Tajima

The economic valuation of the environment has been more or less ignored in the field of economic science. One of the reasons is that it is hard to measure the value due to its environmental complexity. Revealed preferences and stated preferences are commonly used as methods to measure environmental assessment. However, these methods tend to underevaluate biodiversity. This paper provides a new macro perspective to avoid the underestimation of biodiversity, relating an economic value to a biodiversity flow. This relation is connected with the neutral theory of molecular evolution. The value of environment is calculated from the amount of entropy and water. Applying the method adopted in this paper, environmental economic value can be measured, avoiding measurement errors and low estimate of the value.

Key words: environment evaluation method (環境評価手法)、Biodiversity (生物多様性)、Biological Productivity (生物生産力)

