

Nicolas Georgescu-Roegen's Economic Process Model and the Sustainability (1)

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/18325

ニコラス・ジョージェスク＝レーゲンの 経済過程モデルと持続可能性（前）

市 原 あ か ね

前編 I はじめに

II ジョージェスク＝レーゲンと経済過程モデル

1. ジョージェスク＝レーゲンとエントロピー増大の法則
2. 経済過程記述のための基本的構成要素

後編 3. フロー＝ファン・デル・モデル

III 持続可能性問題のための展開可能性

IV 終わりに

I はじめに

60年代後半から石油危機の前後にかけて、環境問題や資源問題を取り上げる新しい視点が経済学に登場した。その例として、ボールディングの「宇宙船地球号」やニコラス・ジョージェスク＝レーゲンの経済過程分析など資源と地球の有限性や熱力学第二法則に注目した議論、人間と環境との間での物質のやりとりを総合的に記述しようとするクネーゼらの物質収支分析をあげることができる⁽¹⁾。これらは、経済を物質・エネルギー系として把握し記述しようとする物理学的熱力学的なシステム論であり、エコノミーとエコロジーの統合へ向かう努力の一つとしてとらえられている⁽²⁾。

経済の物質・エネルギー系としての描像は、標準的な経済学（特に新古典派経済学）の前提とはまったく異なる全体像を提起した。まず、環境との間に引かれた境界線によって、“開放システムとしての経済”が見えてくる。開

放システムとしての経済は、物質とエネルギーを、環境中から系内へ投入し系内から環境中へ産出する。経済学が暗黙のうちに前提していたのは、こうした投入・産出には、速度に関しても、規模（総速度）に関しても、物質の種類の数でも、何ら制約はないというものだった。ところが、環境との投入・産出の整理の中から、経済活動の総体を物的に成立させる現実的な諸条件が見えてくるのである。それらは例えば、化学的生態学的に規定される反応速度や輸送速度、物理学的化学的な拡散速度、熱力学的気象学的な熱エネルギー産出速度、地球化学的な物質の循環速度などの限界、生態学的物質変換構造上の制約、そして資源の量と質の低下などである。

ブルントラント委員会報告『わたしたち共通の未来』で一躍脚光を浴びた「持続可能性」は、世代間分配の平等性に言及したものとして知られているが、倫理学的内容とともに自然科学的内容をも盛り込むことができる確定されていない概念であり、これまでの成長指標とはまったく異なる評価視点となり得る⁽³⁾。この「持続可能性」問題に答えるためには、こうした地球生態学的な物的諸過程の中に経済活動を位置づけ直し、経済を物的過程と制御過程とからなる多層構造体としてとらえるモデルを深化させる必要があろう。

マルティネス＝アリエの『エコロジー経済学』は、経済を物的過程としてとらえた知的作業の掘り起こしとして大変興味深い著書である⁽⁴⁾。エネルギー・フローの研究を「エコロジー分析やエコロジーの観点からする経済分析において有用な統一的原理」を解明するものとして重視し、エコロジー的エネルギー論がポドリンスキー、ザッヒャー、グッデスによって1880年代に開始されたことを明らかにしている。エネルギー・コストの分析ではなくエネルギー・フローの分析を行うことによって、近代農業や近代技術、資源輸入などがもたらすエネルギー・バランスやエネルギー効率の悪化が明らかとなり、枯渇性エネルギー資源への依存の問題点を浮かび上がらせることができる。そうした仕事のほとんどがいままで忘れ去られていて、それらの着想を与えてきたのが熱力学だったことを、マルティネス＝アリエは示している。

マルクスは熱力学的な視点の重要性を理解しなかったが⁽⁵⁾、一方では生産諸力の物的な分析や「物質代謝の攪乱」という魅力的な議論を行っていた。マルティネス＝アリエが指摘しているように、生産力を適切に定義しなおすこ

とによって開放システムとしての経済を描き出すことができるであろう⁽⁶⁾。また、「労働は、まず第一に人間と自然との間の一過程である。この過程で人間は自分と自然との物質代謝を自分自身の行為によって媒介し、規制し、制御する」⁽⁷⁾ととらえ、リービッチから学んだ「人間と土地とのあいだの物質代謝を攪乱する」資本主義的農業への批判的視点⁽⁸⁾をもつマルクスからは、物質循環や物質代謝のシステム（エネルギー・フローのシステムではない）としての経済のイメージを引き継ぐことができるとともに、制御対象としての物質代謝と制御システムとしての労働・生産力（一步踏みこんで制度・市場複合体）という発想を得ることができる。

人間と環境との間の「物質代謝」の総過程を制御論として理論的に把握する方法としては、システム論の本質である「構造」と「機能」——いま問題にしているような物質・エネルギー系の場合には「構造」と「速度 rate」あるいは「力」と「流れ」——による分析を行い、適切な物質・エネルギー系としての経済・環境モデルを構築することが考えられる。それは環境との関係を含む物量的産業連関モデルであるが、産業連関把握の方法論は、マルクスの再生産表式、レオンチェフの投入産出分析など、価値や商品や生産の要素の流れを記述する経済総過程モデルとしてすでに存在している。ニコラス・ジョージesk=レーゲンはこれらを踏まえて、人間と環境との「物質代謝」を導入し拡張し再構成した産業連関モデル——制御論の基礎となりうる興味深い経済過程モデル——を提供した。

経済の物的設計要件を明確に示すことができれば、次は物質・エネルギー系レベルと制御システムレベルとのインターフェイスを問題にし、制御システムとしての制度・市場複合体の設計課題を理論レベルで整理することができるであろう。こうした展望のもとに今後一連の検討を行おうと考えているが、ここでは、その出発点としてジョージesk=レーゲンの議論を整理し、その展開の可能性を指摘しておきたい。

(1) Boulding, K.E. (1966), The economics of the Coming Spaceship Earth, in : Jarrett, H. (ed.), *Quality in a Growing Economy*, Johns Hopkins Press, Baltimore.

【公文俊平訳（1975）、「来るべき宇宙船地球号の経済学」、『経済学を超えて』、学研】。

Kneese, A. V. et al. (1970), *Economics and the Environment : a materials Balance*

Approach, Johns Hopkins Press, Baltimore.

- (2) Archibugi, F., Nijkamp, P., Soeteman, F.J. (1989), The challenge of Sustainable Development, in : Archibugi, F. and Nijkamp, P. (eds.), *Economy and Ecology: Toward Sustainable Development*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht / Boston / London.
- また、寺西俊一 (1991), 「物質代謝論アプローチ」, 植田・落合・北畠・寺西『環境経済学』, 有斐閣ブックス。
- (3) World Commission on Environment and Development (1987), *Our Common Future*, Oxford University Press, Oxford. [大来佐武郎監修 (1987), 『地球の未来を守るために』, 福武書店]。
- (4) Martinez-Alier, J. (1987), *Ecological Economics*, Basil Blackwell, Oxford. [ホワン・マルティネス＝アリエ (1991), 『エコロジー経済学』, HBJ 出版局]。
- (5) 室田武 (1990), 「動力則・汚染則・再生則としての第二法則」, 小野・植田・室田・八木編『熱力学第二法則の展開』, 朝倉書店, p-176。
- (6) 上記注4の『エコロジー経済学』(p-23) 参照。
- (7) マルクス, 「資本論」Ia (第5章 労働過程と価値増殖過程), 『マルクス＝エンゲルス全集』23a, 大月書店, p-234。
- (8) 同上 (第13章 機械と大工業), p-656。農業との関わりでは, 椎名重明 (1976), 『農学思想 — マルクスとリービッヒ —』, 東京大学出版会。マルクスの物質代謝論を高く評価し熱力学的視点からの議論を批判したものとしては, 吉田文和 (1980), 『環境と技術の経済学』, 青木書店。マルクスの議論には, 「それ(機械——引用者)は自然的物質代謝の破壊力に侵される。鉄は錆び, 木は腐る」(同上, p-240) といった機械の損耗への注目が存在し, これが重要な役割を果たす。この点は後にみるように, ジョージェスク＝レーゲンの物質の劣化と重なりながら, 両者のちがいが鮮明になる論点である。汚染, 資源枯渇, エントロピー的劣化はマルクスの中心的テーマでなかったし, 資源制約や環境制約が経済の規模を規定するといった把握もない。しかし, 熱力学的な視点と物質代謝論は補い合うことによってより総合的な議論に貢献すると思われる。その点で, ジョージェスク＝レーゲンに対してマルクスは補足的発想を提供している。

II ニコラス・ジョージェスク＝レーゲンの経済過程モデル

1. ジョージェスク＝レーゲンとエントロピー増大の法則

ジョージェスク＝レーゲンが熱力学と経済の関連を本格的に論じた『エントロピーの法則と経済過程』を著したのは1971年である⁽¹⁾。その翌年の1972年は国連人間環境会議(ストックホルム会議)が開催されローマ・クラブの『成長の限界』が出版された年であり⁽²⁾, 73年は石油危機の年であった。つまり,

1970年前後は国際的に環境への関心が高まった時期であり、環境問題やエネルギー・資源問題の解決策を探る上で物質・エネルギー系としての経済の解明が待たれていたのである。

この課題への接近に際して、ジョージェスク＝レーゲンは目指すべき経済学を生物経済学（Bioeconomics）と命名し、市場や経済的関係の内部の分析を越えて、特殊な生物としての人間の活動を開放システムとして把握することを試みた。その際、熱力学的な論点に大きな関心を寄せ、エネルギー問題や資源問題を論じることとなった。その姿勢は、『エントロピーと経済過程』以降出版された『エネルギーと経済学の神話』や『経済学の神話』においても貫かれている⁽³⁾。

熱力学は、エネルギー保存の法則（第一法則）、エントロピー増大の法則（第二法則）、絶対0度でエントロピーは0であるとする第三法則の三つの法則からなる体系である⁽⁴⁾。このうち第二法則は、外界とエネルギーも物質もやりとりしない孤立系ではエントロピーが減少することはなく、こうした系は最終的には巨視的な変化（体積や温度・圧力など）のいっさい消失した平衡状態へ移行することを示している。より一般的な閉鎖系・開放系など外界とのエネルギーや物質のやりとりのある系の場合には、系内のエントロピーの生成が非可逆的な変化の発生を意味し、この点からエントロピーは時間の一方方向性とも関連させて論じられる。エントロピーは、システムが持つ変化の可能性や仕事の能力と深く関わる概念なのである。

ジョージェスク＝レーゲンが注目した点は、熱力学とエネルギーの劣化・物質の劣化との関わりであった。孤立系の平衡状態においてもエネルギーは存在している。しかし、その状態から変化や仕事を引き出すことはできない。つまりエントロピー増大の法則は、エネルギーには利用可能な状態と利用不可能な状態があり、非可逆的に利用不可能な状態に移行することを意味している。こうしたことは、位置、電気、光、化学結合などさまざまな形態のエネルギーが熱エネルギーへと「散逸」する現象によって観察することができる。ジョージェスク＝レーゲンはこの点をエントロピー的劣化として重視し、「エネルギーの尺度で言えば、あらゆるものの費用はそのものがわれわれに對して持つ価値より大きい」⁽⁵⁾し、「熱力学は本質的に経済的価値の物理学であ

る」⁽⁶⁾とした。ここでの「費用」は「投入エネルギー」、「価値」や「経済的価値」は「エネルギーの利用可能性、有用性、使用価値」といった用語を用いる方が正確な表現となるだろう⁽⁷⁾。

こうしたエネルギー散逸への注目とともに、物質散逸の必然性をも「熱力学の第四法則」として強調した⁽⁸⁾。重力等を考慮にいけない場合、第二法則は、エネルギーの「散逸」とともに物質の散逸をも意味している。例えば、物質の拡散や混合などの現象は全体が一様に混ざり合う方向に向い、混ざり合った物質が自然に分離することは決してない。ジョージ・ジェスク＝レーゲンはこうした例として、銅貨、塗料、自動車タイヤのゴム、板書に使用するチョークの摩滅による散逸現象をあげ、有用な形態を持って使用されている物質が、回収不可能で利用不可能な形態、あるいは回収し利用可能な形態に変換するには大きなエネルギーと物質の投入を必要とする形態へと劣化することの不可避な点を強調するために「第四法則」としたのである。

このようにして、エネルギーと物質が利用不可能な状態に非可逆的に劣化していくこと、とりわけあまり注目されていなかった物質の劣化を主張する結果、定常状態経済の達成による資源・環境問題への解決策の提起を、第三种の永久機関ないしエネルギー論のドグマとして否定することになる。ジョージ・ジェスク＝レーゲンの結論は、物質の出入りのない閉鎖系である地球においては、枯渇性資源の利用不可能な形態への散逸は不可避であり完全なリサイクルは不可能だというものである。そして、これに対する唯一の対応策は省資源しかないとし、技術革新がより希少な金属への依存を生み出していくことに警告を発した⁽⁹⁾。また、技術の評価に当たって自立性（viability）という問題を提起した。自立性とは系がその物理的構造総体を再生産する物質的エネルギー的基盤を有しているかどうかという問題で、エネルギー生産部門は自身の過程をまかなうとともに系の仕事に必要なエネルギーを供給しなければならないし、物質を供給する部門は自身の再生産とともにその系での物質の必要に答えなければならないという問題である⁽¹⁰⁾。

こうした内容を反映した経済総過程のモデルをこれから紹介するのだが、以上の議論からわかるように、ジョージ・ジェスク＝レーゲンには生態学的な物質の循環や地球化学的な物質の循環への論及がない。定常状態が可能かどうか

かという物質・エネルギー系の安定性に関わる検討に必要な条件を整理しないまま、抽象的な熱力学の知見によって結論を出してしまった点は、方法論的に問題があるとともに、生態系に深く関わる再生可能な資源をモデルの中で明示的に扱う点での失敗の原因となっている。農地、森林、漁業資源など再生可能な資源は、環境破壊の進行の結果起こる劣化が貧困や先住民の生活圏の破壊と関連するものとして意識されるようになり、持続可能性の確保のために不可欠な生命維持システムの一部としてその管理が注目されている。物質の問題は枯渇性資源の散逸だけでなく、物質代謝・物質循環の総合的なコントロールである。こうした点は今後のモデル展開の際に考慮するつもりだが、ジョージェスク＝レーゲンの関心がエネルギー・フローのみではなく物質にもあったことが経済の物的過程の基本モデルを形成させたことは、高く評価しなければならないだろう。

- (1) Georgescu-Roegen, N. (1971), *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.).
- (2) Meadows, D.H. (1972), *The Limits to Growth*, Potomac Associates/Universe Book, New York. [大来佐武郎監訳 (1972), 『成長の限界』, ダイヤモンド社].
- (3) Georgescu-Roegen, N. (1976), *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*, Pergamon Press, New York.
 『経済学の神話』はジョージェスク＝レーゲンの論文を日本で編集したもの（小出・室田・鹿島編訳 (1981), 東洋経済新報社）。日本においてジョージェスク＝レーゲンの議論を評価し熱力学と経済の関わりを論じたものとしては、玉野井芳郎、室田武らの名をあげることができる。玉野井芳郎 (1982), 『生命系のエコノミー』, 新評論。あるいは (1990), 玉野井芳郎著作集②『生命系の経済に向けて』, 学陽書房。室田武 (1979), 『エネルギーとエントロピーの経済学』, 東洋経済。
- (4) エントロピー増大の法則を、その成立から経済との関わりまで、多様な視点から論じた入門書としては、前出の『熱力学第二法則の展開』が新しい。その他、山本義隆 (1987), 『熱学思想の史的展開』, 現代数学社。熱力学に関する基本文献としては、プランクやプリゴジンの著書があげられよう。Planck, M. (1931), *Einführung in die Theorie der Wärme*. [プランク (1932), 『理論熱学』, 生産技術センター]。Prigogine, I. (1980), *From Being To Becoming*, W.H. Freeman and Company, San Francisco. [小出・我孫子訳 (1984), 『存在から発展へ』, みすず書房]。
- (5) 上記注3の『経済学の神話』, p-28.
- (6) 同上, p-72。同じ論文は『エネルギーと経済学の神話』に収録されている (Energy and Economic Myths, in: op. cit., *Energy and Economic Myths: Institutional*

and Analytical Economic Essays, p-9)。

- (7) 用語には乱暴なところがあるが、ジョージ・ジェスク＝レーゲンの議論は熱力学への還元論ではない。経済的価値がエネルギーに還元できないことを十分意識して議論を展開している（例えば前出『経済学の神話』, p-244）。
- (8) 同上, p-33～36。拡散や混合などの現象は熱力学の対象として論じられてきたが、摩擦による物質の散逸の問題はまだ熱力学的現象としての合意を得られていない。従って、ジョージ・ジェスク＝レーゲンの主張は物理学的な見解ではない。物質が大量に存在しランダムな運動を行っているときには、統計的にしかその運動をとらえることができない。エントロピーの増大はそうした状態へと物質の存在様式が変化することである。そこで問題になるのは、例えばスパイクタイヤによって削られたアスファルト粉じんが、統計的にしかその運動をとらえることのできない存在なのかどうかを何によって判断するかである。物理学の領域ではこの答えはまだ出されていない。
- (9) 同上, p-47, p-35。
- (10) 同上, p-36。また、兵器生産の禁止とその資金の途上国への移転、人口を有機農業によって養える水準にまで減少させること、過剰な速度や照明・暖房・冷房をやめることなどを提案し、近年 UNCED 等で議論となっている環境と資源制約を平等に割り振り負担すべきであるという主張も行っている（p-50）。

2. 経済過程記述のための基本的構成要素

ジョージ・ジェスク＝レーゲンによる投入産出分析の拡張モデルは、フロー要素とファンド要素を持ち、独自の部分過程から構成される。その経済過程の基本的構成要素の検討と部分過程の編成の検討は、マルクスの労働過程分析や再生産論と重なり合う。また、後者に関してはクネーゼの物質収支モデルも同一の領域を扱うので、それらを対比させながら議論を追いかけていくことにしたい。

ジョージ・ジェスク＝レーゲンは、部分過程の境界が、環境と過程との境（frontier）と時間的延長（duration）によって規定されとした後、これによって定められる過程の記述に際しては境界を横切るもののみが対象となるとして検討すべき要素を限定する⁽¹⁾。環境と過程、あるいは過程と過程の境界を横切る投入・産出要素の記述によって、部分過程をブラックボックスとし部分過程間の諸関係から構成される総過程が描かれることになる。またこの際、部分過程の境（frontier）は認識論的な抽象物であるので、工場の塀のような地理的・空間的なものではない点に注意しなければならない。

そして、これらの投入要素と産出要素をまず形式的に3種類に分類する⁽²⁾。第一は、太陽エネルギーや原料、廃棄物など、投入としてのみあるいは産出としてのみあらわれる要素である。第二は、投入かつ産出としてあらわれ過程に参加しても不変のものであり、リカードの意味での土地、ハンマーによるハンマーの生産、種としてのトウモロコシと収穫物としてのトウモロコシがその例とされる。第三は、投入かつ産出としてあらわれ過程への参加によって質的に変化するものである。このタイプの要素は、道具や機械、労働者であり、ここで言う質的な変化とは、これらが新しい状態あるいは元気な状態から中古になった状態あるいは疲労した状態へと変化するものである。

マルクスは労働過程の契機に、労働、労働対象、労働手段の三者をあげ分析したが、それは個々の過程内部に立ち入った検討であった⁽³⁾。ジョージェスク＝レーゲンの目的は、個々の部分過程の内部に立ち入るよりも環境と過程の関係あるいは部分過程間の関係としての総過程にある。どちらも経済と環境との物質のやりとりを視野にいれながら、一方は分業・協業の編成や資本の運動法則の把握へと展開し、一方はやりとり自身に関心を払った。マルクスの生産力論と対比しながら、三つに分類された要素についてみていこう。

第一カテゴリーには、マルクスの労働過程の分析で労働対象とされる天然の物質や過去の労働によって濾過された原料や補助材料、中間製品と、労働過程分析には出てこない廃棄物が属している。もちろんマルクスは廃棄物を知っていたが、物質やエネルギーの廃棄物としての環境への産出は、経済的な価値の運動の分析を目的とするかぎり、部分過程内でも社会的分業という部分過程の編成によっても見えない。この点が、物質の運動に注目し環境と過程の間に境（frontier）をおくジョージェスク＝レーゲンらのモデルの有意義な点である。経済の物質代謝は、このようにしなければその全体をとらえることはできない。

第三カテゴリーはマルクスの用語では労働力と労働手段である。マルクスの場合、労働手段はその機能によって、まず大きく直接的労働手段と間接的労働手段（一般的労働手段ないし労働の一般的条件）に分類され、ついで直接的労働手段が筋骨系労働手段、脈管系労働手段、動力手段の三つに分類される。ジョージェスク＝レーゲンの議論では、こうした分類に関わらず土地

をのぞくすべてが第三カテゴリーにくくられる。

リカードの意味の土地、ハンマー、トウモロコシを例とする第二カテゴリーには問題が多い。古典派は土地を多様な機能を持つものとしてとらえたが、マルクスもそれに習って、直接的労働手段としての土地に対しては、水などの気候風土的な諸要素を含みその豊度が問題になるような容器（農地など）として想定している⁽⁴⁾。ジョージ・ジュスク＝レーゲンは、“リカードの意味の土地”を農業生産の投入として例示するが、その土地に含まれ作物の栄養源となる化学物質を天然資源投入とし土地と切り放して検討する。農地は、實際上、第三カテゴリーに属する労働者や機械同様劣化し、その再生維持のための物質・エネルギーや労働の投入が必要である。この点を考えると、こうした土地の取り扱いが面積に還元された工業的都市的利用にのみ妥当すると考えられる。

またトウモロコシを投入してトウモロコシを生産するためには、さまざまな栄養塩類や二酸化炭素、水、太陽エネルギーを投入し、それを産出としてのトウモロコシに転換することが必要である。そして収穫時には種子としてのトウモロコシは消滅しトウモロコシの茎や葉が収穫物とともに残される。

ハンマーによるハンマーの生産の場合には、鉄や柄とされる木材などが投入され、新しいいくつものハンマーとともに疲弊したハンマーが残される。従って、種子としてのトウモロコシは第一カテゴリーに、道具としてのハンマーは第三カテゴリーに属し、第二カテゴリーには、非常に抽象的な“リカードの意味の土地”のみが妥当する。

さて、これら三要素への分類の後、ストック・フロー、ファン・サービスといった座標系との関わりの中で再吟味し、耐久性があるかどうか（durable, nondurable）、その機能がサービスかどうか、性能を一定に保つ過程が必要かどうかを基準に、フローとファン・サービスの二座標への整理が行われていく⁽⁵⁾。

ジョージ・ジュスク＝レーゲンは、基本的にはフロー・ストック座標系で物的過程をとらえている。フロー・ストック座標系では、フローは輸送量としての投入・産出であり、ストックは部分過程内に存在する量＝状態量である。ジョージ・ジュスク＝レーゲンはフィッシャーの定義をあげそれに反論しながら検討を進めている⁽⁶⁾。フィッシャーは、期間開始時のストックの量を S_0 、終

了時のストックの量を S_1 とし、その時のフロー量を $\Delta S = S_1 - S_0$ と定義したが、この ΔS は投入フローと産出フローの差である。期間中の投入を S_{in} 、産出を S_{out} とすると、ストックとフローの関係は $S_{in} - S_{out} = S_1 - S_0$ と表さなければならない。そしてこの関係式が成立するならば、フローとストックは同一の単位で測定可能な等質の量でなければならない、保存はされるが生成されることのないものである。もっとも、この測定可能性に関しては、重量かエネルギーか価格のレベルに還元しない限り、多様な要素間には存在していない。ジョージェスク＝レーゲンのモデルを定量的に利用する際にはこの点が大きな問題となるが、理論レベルの定性的な分析には一定の役割を果たせると私は考えている⁽⁷⁾。

ジョージェスク＝レーゲンは、耐久性がありサービスを提供し、系全体の再生産のためにその機能を一定に保つことが必要な投入・産出をファンドとし、フローと区別した⁽⁸⁾。ファンドはフローによって一定に保たれる限りではストックだが、投入される過程内での役割は、フローをストックすることではなく、一定の機能を持ってフローを変化させる点にある。この点である種のストックが投入・産出として検討の対象に入るのであり、またその機能がサービスである。この役割を果たす際、ファンド自身は「熱力学の第四法則」から摩耗によって劣化はするが、消費はされず耐久性を持つ。そして、劣化したファンドを再生し一定に維持する（maintaining equipment constant）ことはそれが参加するまさにその過程で行われるとするが、このアイデアは、マルクスの不変資本（constant capital）と単純再生産表式に関する議論から得たものであるという⁽⁹⁾。この点には誤解があるようだ。

マルクスの議論では、不変資本（constant capital）は流動資本（circulating capital）と固定資本（fixed capital）に区別される⁽¹⁰⁾。流動資本は、原料や補助材料や半製品など生産材料であって、これらは生産中に全部消費され、その価値も生産物中にすべて移転する。これに対して、機械や建物などの固定資本は、その価値の一部分を生産物に移転しその部分のみ消費されるが、「一年間の消耗によって価値が減っているとはいえ、相変わらず存在していて機能を続ける」ものである⁽¹¹⁾。ジョージェスク＝レーゲンはこの固定資本（fixed capital）の性質を不変資本（constant capital）のものと誤っ

て理解している。だが、マルクスが機械などの物質的損耗を取り上げた点を、ジョージ・ジェスク＝レーゲンが物質の劣化への論及と読みかえること自体は問題あるまい⁽¹²⁾。

こうしてファンドには、先の三つのカテゴリーのうち、第二のリカードの意味での土地、第三の機械や道具などの資本設備と労働者という古典的な三つの生産要素が対応することになる⁽¹³⁾。そして、フロー＝ファンド・モデル全体としては、廃棄物という産出をのぞいた場合、マルクスの労働対象・労働手段の区別（価値増殖過程のレベルでは流動資本・固定資本の区別）を基礎にした、フローとしての労働対象とファンドとしての労働力・労働手段という構成になっている。このことは、ジョージ・ジェスク＝レーゲンの部分過程分析が、土地の取扱い、過程と環境の関係に関して注意を要する以外は、マルクスの労働過程レベルの生産力論と基本的に同様の枠組みを有しているということである。

(1) op. cit., *The Entropy Law and the Economic Process*, p-213.

(2) *ibid.*, p-215～216.

(3) 前出のマルクス、「資本論」Ia（第5章 労働過程と価値増殖過程），p-234～238.

(4) 例えば同上（第13章 機械と大工業），p-656.

(5) op. cit., *The Entropy Law and the Economic Process*, p-219～230.

(6) *ibid.*, p-221.

(7) 同様の問題は物質収支を検討する場合にも成立する。多様な物質を集計するにはせいぜい重量単位を用いるより仕方がない。しかしそうすれば、例えば汚染の質的側面は捨象せざるを得ない。

(8) *ibid.*, p-225～227, p-229～230.

(9) *ibid.*, p-229.

(10)(11) 前出，マルクス，「資本論」II（第20章 単純再生産），『全集』24，p-487.

(12) マルクスには、損耗が生産活動の継続を最終的に困難にするという観点はない。この点はジョージ・ジェスク＝レーゲンと大きく異なる。

(13) ただし、リカードの意味での土地は、参加する部分過程の中にそれを再生させ性能を一定に保つ過程を持たない。

（以下次号に続く）