

研究ノート

日本におけるエントロピー経済学の展開

西 淳

目次

- I はじめに
- II 玉野井芳郎
- III 室田武
- IV 樋田敦
- V 彼らを学派たらしめたもの
- VI おわりに

I はじめに

ここにいうエントロピー経済学とは、物理学のエントロピー理論を経済だけでなく生態系や地球の自然現象に応用し、従来の経済学が見逃してきた経済システムが物理法則に従うことから生じる様々な問題を明らかにしようとする経済学のことである。

エントロピー経済学はいつ誕生したのか。おそらくではあるが、その先駆者はイギリスの化学者フレデリック・ソディであろう。ソディは原子核崩壊の解明や同位体の発見によってノーベル化学賞を受賞した有名な学者であるが、そのソディが正統派経済学の批判に乗り出したのである。その理由は従来の経済学が経済を永久機関のようなものとしてとらえ、そこにある物理法則、つまり系の外部からエネルギーや物質を取り入れ外部へ廃物や廃熱を捨てるという側面を考慮してこなかったからである。

生命と同じように、経済にも二つの側面がある。一つは、内部で生産や分配、消費や補填・蓄積を行なうことにより生産のための前提条件を形づくるという再生産の側面である。これは生命でいえば循環器系といってよいであろう。だが、もう一つある。それは、物質やエネルギーを系に取り込み、廃棄物や廃熱を出すという消化器系の側面である。これまでの経済学はこの消化器系の側面を無視してきたわけである。

それがなぜ重要なのか。それは経済系の持続可能性と関係しているからである。先にも述べたように、経済学は系が再生産すると考える。つまり再生産ということは自らの運動の前提条件をその運動の結果が生み出し続けるということである。

たとえば商取引という人間の欲望行動が、例えば農民であれば作ったものを販売しそのお金で

再び種や肥料を購入し、それによって翌年の収入が期待できるし、農産物の購入者は労働力を再生産して賃金を得て、再び農産物を購入できるようになる。つまりすべてが再生される、つまり元の状態に戻るものであり元のエントロピー水準に戻ることになるのである。

だが、すべてのものが経済系の内部で再生産できるかといえばそうではない。それは生物でいえば、自らの排泄物を再び導入し代謝することによって生命が持続すると考えるようなものであるが、これがありえないことは自明であろう。つまり、系は外部から何かを取り入れ、内部のエントロピーを減少させるために外部に何かを排出しなければならない。

だが、それでは外部に排泄されるもの（排泄物）が生命の維持再生産、つまり持続性とまったく関係がないかといえばそうではない。例えば、排泄物を畑にまいて野菜を作りそれを食べれば（もちろん、野菜だけではだめであり、その野菜を食べた動物を食べるなどして）生命を維持することは可能である。つまり、ここで重要なのは物質循環（Metabolism）である。

また、経済の中には物質的な側面と金融的なそれがあるが、金融は熱力学の法則には従わない。金融資産の価値は算術級数的に増加していく。だが、物質的な面はそういうわけにいかず、物質やエネルギーによる熱力学の法則に従わなければならない。そして金融も最終的には物質に規定されている。物質世界と金融世界にそのような対称性があるにもかかわらず、経済学はそのことを無視し、その結果、金融バブルを放置し、その崩壊を引き起こすことになるのである。

だが、ソディの研究は当時ほとんど無視され、変わり者扱いされるだけだった（唯一の例外はソディの書の書評をものしたフランク・ナイトであった）。ソディはケインズをも批判の対象としたが、ケインズはそれを相手にすることはなかったのである。

その後、戦後になるとジョージesk・レーゲンが現れ、エントロピー概念を中心とした経済学を構築しようとした。だが、不幸なことにレーゲンがソディの業績を取り上げなかったため、その再評価は1970年代における日本の室田武の先駆的な業績（室田（1979））を待たなければならなかったのである。

さて少し話がそれてしまったが、本稿はソディやレーゲンの研究ではなく、日本におけるそれに焦点を合わせる。日本におけるエントロピー経済学の先駆者はなんといっても玉野井芳郎である。玉野井はマルクス経済学、宇野理論の研究から出発したが、アメリカ留学によって近代経済学にも理解を示しマルクス経済学の相対化に乗り出すようになる。だがその後、玉野井（1971）を執筆し、従来の経済学全般の批判に乗り出した。

玉野井は量子力学の創始者であるシュレディンガーやベルタランフィの生命有機体論、槌田敦の物質循環論より学びながら、自らの理論を構築していった。そして生命系と循環をキーワードとして、また、それらを経済・社会で実現するためのものとしての地域主義などの研究、あるいは調査に専心することとなったのである。

さて、そしてほぼ同時にエントロピー経済学研究に加わったのが室田武である。室田は大学では理学部出身であったが、アメリカに留学して正統派経済学の情報理論を研究した。だが、その後エントロピー経済学者に転じ日本におけるエントロピー経済学研究の記念碑ともいべき著作『エネルギーとエントロピーの経済学』（室田（1979））を公刊することになる。

この著作の重要性については追々論じていくが、世界に先駆けてのソディの再評価を始め、エネルギー価値論による原子力発電の分析やコモンズ論など、その内容は、重要論点の枚挙にいと

まがないほど豊かである。

また樋田敦は、元々は化学出身であるが、日本の原子力発電開発の問題などをきっかけに現代社会の批判に乗り出した。樋田の父は樋田竜太郎であり、大阪大学教授で著名な化学者であった。樋田竜太郎の思想は樋田（1975）で記されているが、樋田も父の思想を受け継ぎ、既成の、そして体制迎合的な学問を批判したのである。

その後1983年になるとエントロピー学会が設立され、その趣旨に賛同する人々がエントロピー経済学を展開していくこととなる。

本稿は以下のように展開される。

Ⅱでは玉野井芳郎の研究を取り上げる。玉野井の研究は広範囲にわたるのでここでは生命系と地域主義に焦点を絞る。

Ⅲでは室田武の業績について論じる。室田の業績も広範囲にわたるため、本稿では、雑木林の問題をはじめとする林業、農業のあるべき姿や原子力発電の問題、そして地域主義と貨幣、つまり地域通貨の問題を取り上げる。

Ⅳでは樋田敦を取り上げる。樋田は、玉野井や室田の議論に大きな影響を与えている。また樋田の物質循環論を重要視する学者は多く、実践面でも反リサイクル運動や原発についての訴訟を起こすなど、社会的な影響力も大きいのである。

Ⅴでは、彼らが共通に問題としたものは何だったかについて考える。それは水土の重要性であり、捨て場の枯渇の問題であり、最先端のエネルギー源であった原子力発電の非効率性や廃棄物の処理の困難の問題、などである。

本稿は以上のような順序で展開される。

Ⅱ 玉野井芳郎

玉野井芳郎はマルクス経済学、宇野理論の研究から出発している。

玉野井は1958年にハーバード大学に留学した。マルクス経済学の研究者がアメリカに留学するというのは異色だったようで、なぜ、という思いを持った教え子も多かったようである。1960年に帰国した時にはアメリカの大恐慌に関する資料をたくさん持ち帰った。またアメリカ留学で近代経済学に理解を示すようになると同時に、マルクス経済学や宇野理論を相対化するようになった。実際、その成果は教え子たちと執筆した玉野井編著（1958）という形に結実している。

1960年代初めにアメリカのインディアナ大学に留学した弟子の公文俊平からK. ポランニーのことを知った。そこで玉野井は、労働市場の扱いなどについてポランニーと宇野理論との類似性を知ることになる。

さらに1970年代になると、玉野井はこれからの世界が進むべき方向を示しているものとして中国の文化大革命を高く評価するようになる。それは玉野井にはそれがエコロジー的な側面を持っているように映ったからであった。だが、玉野井の周囲の人間はそれに対して否定的な思いを持っていたようである。公文俊平は次のように述懐している。「それにしても、便所の下が鯉の養殖場になっている、これこそエコロジー経済の模範だという式の感動には、白けてしまわざるを

えなかった」（公文（1986），233ページ）。

さて、玉野井は東京大学定年後、沖縄国際大学の教授となる。そして沖縄を中心としてエコロジー運動や研究を進めていくこととなるのである。

さて、玉野井の研究史に入ろう。先に述べたように、アメリカから帰国しマルクス経済学を相対化する仕事をしてきた玉野井は、1975年くらいから「広義の経済学」を主張するようになるが、それは1971年の論文「ボールディングが示唆するもの」（玉野井（1975）所収）ですでにそのヴィジョンが打ち出されている。よってこの論文を見ていくこととする。

玉野井はK. ボールディングが進歩の意味を問い直しているということから始める。日本では戦後、完全雇用の実現のために経済成長が至上なものとなされ、消費や投資といったフローが重要なものとされた。また日本では昔から国民の生活における充足パターンは衣→食→住の順であったが、欧米では異なっていたという。例えばアダム・スミスは富を重視したが同時に富を生み出す社会的富、つまり道路、橋、港、運河などの建設と維持を重要なものとし、それを行うことが政府の義務であると考えた。つまりフローを生み出すストックを重視したわけである。

ボールディングは早くからGDPあるいは国民所得を福祉の経済的指標とすることに批判的であった。生産や消費というのは資本ストックへの追加あるいは削除ということの意味する。これを資本ストックの使用や享受という意味での所得とは混同してはならない。そして重要なのはストックの維持であってフローの拡大率ではない、とボールディングは主張したのである。

だが、ボールディングは指摘していないが、このような視点を逸早く提起したのはソディであった。彼は、フロー（有効エネルギーや植物が合成するグルコースなど）を生み出す絶対的富、つまり生態系や社会環境という常に更新され続けるストックに注意を向けるべきだと述べた。これは経済学では漸く1970年代に取り上げられた論点であった。

それではボールディングの後はどうか。例を挙げれば、宇沢弘文は「社会的共通資本」という用語で生態系も含めた社会的ストックのことを表わし、この維持や管理が重要であるとした。またレーゲンやハーマン・デイリーはストック・フロー体系に対してファンド・サービス体系を対置し、これらの維持や管理こそが循環型の持続可能な社会を実現するためには不可欠であることを示した。このようにフローよりもストック重視の思想は1970年代になると世界中の学者が主張するようになったが、日本ではその先鞭を玉野井がつけたといっても過言ではない。

ではなぜ、このような豊かさのみを追い求める世界になってしまったのか。またそれを転換する兆しはなかったのだろうか。

玉野井はポランニーから学び次のように述べている（玉野井（1985），139-140ページ）。

17～18世紀以前は、経済的活動は地域社会の多様で豊かな生活のなかで社会的・文化的活動と¹⁾いっしょに行われていた。つまり、経済は社会のなかに埋め込まれていたのである。だがそれ以降、経済が社会から分離し地域社会でも市場原理が強くなっていく。すべてのものが商品化されるようになり、人々はできるだけ効率的に生産し利潤をあげ、企業の規模を拡大し、完全雇用に常に達成しなければならないと考える、そのような社会に変化していく。つまり経済が社会から飛び出る（dis-embed）ようになり、逆に社会を規定するようになるのである。

このような状況を転換するために再び経済を社会に、つまり生活世界に再び埋め込む（re-embed）必要がある。そして実際ポランニーは第一次大戦後の経済の動きのなかにその転換の兆

候を見た。この兆候をボランニーは「大転換」と呼んだのである。

あるいは同じ問題を哲学の観点から考察して、玉野井は大森莊蔵から学び次のように考える。

現在は世界全体が人間の認識対象、あるいは制御の対象として捉えられ、対象世界の死物化と心の内心化が起こっている。これはガリレオの目的因を排した力学的世界観あるいはデカルトの物心二元論から生まれてきた。その結果、対象世界は人間から切り離されもっぱら人間のためのものになってしまっているのである。

よって、死物化した世界と内心化した心の分離の極にある両者をふたたび生きた自然として一体化する必要がある。そして玉野井はこの一体化を生命系という言葉で呼ぶのである。

それでは、このような社会を生ぜしめるのに大きな影響を与えたものは何だったのか。経済では、それは工業化にあったと玉野井は考え現代社会における工業の変容について述べている。昔は農業が中心であったが、そこでの生産は循環型が基本であり、またそのための社会的ストック（例えば、コモンズの共同管理や水稲耕作における水系の維持、管理など）の維持に最大限の注意が払われていた。玉野井はストックを「ストックはここで、人間の生活環境にかかわる、自然ばかりか文化構築物をもふくむ広義のものとみなしたい」（玉野井（1975），189ページ）と定義している。

だが日本の場合、急速な近代化が目指されたため、そのような旧来の社会機構が反故にされてきた。強い中央指向性と集権的傾向のもとに都市中心の工業化が目指される結果、ストックの維持、管理をしてきた地方が地域単位としての機能を失いつつあると玉野井は主張する。

その問題は、技術的な面と政治的な面と両面から玉野井は考察しているが、まず技術面から考えてみよう。

現代工業は従来型の農業とは異なっている。

経済の再生産を根本的に制約している問題は自然法則である熱力学の第二法則、つまりエネルギー利用と物質の流れの問題である。熱エネルギーは高温から低温になってしまえば再利用することはできず（むつかしく）、もとに戻すことはできない。だが、物質については経済活動で用いられた物質は散逸したりなどするため100パーセントではないが再利用（リサイクル）が可能である。

だが、現代工業は循環ではなく直線的な流れの中で活動がなされる。つまり廃熱を出し、廃棄物を再生して資源として使うのではなく、そのまま廃棄してしまう。

「ところが石炭、石油などの化石燃料によるエネルギー利用にもとづいて加工・製造を行なう工業生産では、本来的に物質の再循環を特徴とする自然・生態システムとは対照的に、まず資源物質の採取、ついでその加工・消費をとおしての老廃物質という、一方交通の物質の流れがつくりだされている。また同じ加工・製造の孤立化された過程がそれ自身エントロピー増加過程となってあらわれている」（玉野井（1975），191ページ）。

つまり、経済システムのなかで生産されない希少資源を大量に用い、かつ、捨てることの難しい廃棄物、例えば有機塩素系の廃棄物やプラスチックごみ、さらには核廃棄物など自然の物質循環のなかでは処理されないような廃棄物を大量に生みだしている。このことがエネルギーの供給源の枯渇と廃棄物の捨て場の枯渇を生み出すことは明らかであろう。

よって、廃棄されたものも微生物によって分解されるものやリユースできるものであれば、つまり廃棄物が資源になるような循環型のシステムに転換できればよいことになる。

「それゆえ、このような特徴をもつ工業化社会の変容、または「脱工業化」を考えるとすれば、一方でなるべくエネルギー消費を抑制するとともに、他方で物質資源をも節約し再利用することが望ましい。通説に反して、生産の迂回度の上昇はもはや望ましくない。この点では、生産および消費過程から生じる廃棄物を回収したり、再循環させたりする新たな産業部門の意義が高く評価されるべきである」（玉野井（1975）、191-192ページ）。

つまり廃棄物が資源になるような状態を復活させる必要があるのである。だが、現代では工業だけでなく農業すら、工業化してしまっていると玉野井は指摘する。

「農業、すなわち穀物、青果物、畜産物、水産物、薬草などの育成と採取の活動は、そのどれをとっても、ほんらい自然・生態システムのサイクルの過程で行なわれるものである。ほんらい農業生産は、地表に振りそそぐ太陽放射線のエネルギーも利用を特徴としている。農作物の光合成作用は、太陽放射線のエネルギーをとらえて、低エントロピー物質である有機物質をつくりだす。工業における孤立化された生産過程とは異なって、そこにはほんらい孤立系の成立しえない生態のシステムが存在する」（玉野井（1975）、193ページ²⁾）。

ところがそこへ、経済社会の工業に同じ効率性原則が導入され、所得の最大化をめざして農業の工業化が進展するにいたった。エントロピー増加現象があらわれ、また物質の流れも、科学肥料、殺虫剤のチャンネルをとおして、工業と同じく一方交通化が行なわれつつある（玉野井（1975）、193ページ）。

それではどうすればよいのであろうか。それに対して、

「それゆえ、当面考慮されねばならないことは、自然・生態システムのサイクルの中にあるはずの農業活動を、都市と工業の論理の中に巻きこむことをやめることである。いいかえると、工業的農業が進行しつつある農村を自然・生態システムのサイクルの中に復位させることである。しかも、ここにいう農業は、たんに食料供給と原料供給を行なう生産活動としてだけでなく、緑色植物による温度調節、空気の浄化、水素の循環、自然的景観など、人間生活の審美的・文化的側面に貢献しうる活動空間としてとらえられるべきである。いいかえると、狭い意味の農業だけでなく、広く農・林・牧畜・漁業がワンセットとして考えられねばならない。そのように考えることのできる法則的根拠は、この広義の農業がいずれも緑色植物の光合成に依拠しているという厳然たる事実にある。ところが一方、都市を中心とする工業活動の拡大が、従来のフロー中心の経済成長の延長上に、土地の投機と自然の蚕食を伴う私的なレジャー活動の増大を生み出しつつあるのが現状である。農村の活動空間は、このような都市と工業の論理の支配から公共的に防護されなければならないだろう」（玉野井（1975）、193-194ページ）。

そこで玉野井は当時の中国に注目する。そしてそこにエコロジーの観点から優れたものが見出されると指摘するのである。

「すなわち中国は、開かれていた市場システムを閉じたシステムにつくりかえることから経済建設を開始した。革命前の植民地的な国際経済の中で形成された特化農業を主とする帰住の農業地理が、水利建設→植林→有機肥料づくりの運動と土壌改良の運動をとおして大きく塗りかえられた。それと同時に、経済計画も中央レベルから地方レベルへとおりてきて、各地域ごとの非市場的な農耕システムを土台とする工業化がデザインされることとなった。すなわち、「県-公社-生産大隊」は中・小型工業を管理し、「省」が大型工業を管理するという重層的な分業体制

である。この体制のなかで農業と工業との接点をなす最も重要な環は、おそらく「県」のレベルの地域経済論であろう。こうしてソ連型の集権的工業化方式とは異なるリージョナリズムを基礎とする史上最初の分権的社会主義の実験が中国で試行されているようにみえるのである。これは資本主義諸国の将来にとって、とりわけ集権的行政システムを特徴とする日本資本主義の将来にとって、興味ある挑戦的参考例を提供しているように思われる」（玉野井（1975），196ページ）。

もちろんこのような評価は、鄧小平政権による改革確報路線が始まるとなくなってしまうのであるが、ともかく玉野井は文革時における経済システムの変革を高く評価したのであった。

いずれにせよ、地域を中心とした、そして農業を中心とした経済構造を復活させなければならないということである。

さて、1975年あたりから玉野井は「広義の経済学」を展開し始める。関根（1986）によると、広義の経済学は「生命系」、「現代文明の批判」、「地域社会」がキーワードである。

関根友彦は次のようにその要点をまとめている。

第一に生命系として経済をとらえるという視点である。生命系として経済をとらえるということは、それを孤立系でも閉鎖系でもなく開放系をとらえるということの意味する。そして多様性を保障する経済システムを重視した。

第二には現代文明の批判である。とりわけL. シューマッハーの指摘によると農業から工業への転換が経済を非生命系の論理で運営されるようにしてしまい、そのことが現在のさまざまな問題（環境破壊等）を生んでいることの指摘が重視される。

第三は、「地域社会」論である。農業を基本とした地域社会の復活こそが生命系を取り戻す活路であるということである。

最初に生命系という論点について検討する。玉野井は生命を始めとするシステムの問題について考察する。システムには三つのものがある。孤立系、閉鎖系、開放系である。孤立系とは物質もエネルギーも外部とのやり取りがないような系である。閉鎖系は物質のやり取りはないがエネルギーはある系である。

そして開放系は物質もエネルギーも両方、外部とのやり取りがある系であり、これが玉野井にいわせれば生命系なのである。生命とはいわば平衡の中の非平衡状態なのであるが、それを維持するためには、外部環境にエントロピーを排出することで内部のエントロピーを減少させ続けなければならない。もちろん、系内と外部環境を含めた全体でのエントロピーは増加することはいうまでもない。よって生命は必然的にエントロピーを増加させるのである。

さて、生命系の問題を生産の側面で考える。農業は本来的に生命系の世界である。なぜならば、外部から物質やエネルギーを取り込んで廃棄物を排出するのだが、その廃棄物はまた物質やエネルギーとして再利用されるからである。つまり高エントロピーが排出されても系外の自然がそれを再び低エントロピーに更新することになる。このような生産の形態の中で人類は持続可能な社会を構築してきた。

だが、現代社会における工業の論理はそれとは異なる。工業も農業同様、外部から物質やエネルギーを取り込むが、それが廃棄するものは自然が低エントロピーに更新できないものばかりである。また、大量生産大量消費の中で、ともかくたくさん生産してたくさん消費しなければ経済が成長しないという前提に立つため、どんどん生産され廃棄される。またリサイクルは生産増加

の足かせになるため、それは否定されることとなる (過去にはなった)。

また工業だけでなく、農業の工業化も進む。近代農業の特徴は、リカードの時代のように耕作地の拡大によってではなく、一定の土地面積からの収穫量を大きくするという点である。そのため、土地には化学肥料が散布されることになるが、化学廃棄物によって土壌が汚染される。またトラクターやコンバインが導入されるが、それが用いる石油が温室効果ガスを増加させる³⁾。

このように工業はあきらかに生命系とは異なる論理で動く。そのために環境破壊や公害、あるいは公害病の問題が生じるのである。玉野井は現代の工業化を批判し、農耕を中心とする経済に戻す必要があると考えた。

それでは玉野井はこのような生命系についての思想をどう獲得したのであろうか。次に玉野井による生命系の学説史に入っていこう。

玉野井は、E. シュレディンガーに注目する。それはシュレディンガーは量子力学の創始者の一人でありシュレディンガー方程式の発案者として有名であるが、晩年は生命とは何かという問題に興味を示したからである。シュレディンガーは、玉野井の考えでは不適切な表現ではあったが、生命が内部に低エントロピーを取り入れ内部のエントロピーを外部に排出することによってエントロピーを減少させていると考えたのであった。これは卓見であり、現代の非平衡開放系の議論に発展していく。

さらに、玉野井はベルタランフィーにも注目している。周知のようにベルタランフィーはシュレディンガーの考察を推し進め、非平衡系としての生命論を展開した。ベルタランフィーは次のように述べている。

「生きている生命体は外に向かって閉じられたシステムではなく、開放系なのであって、構成素材をたえず外部に与え、また外からうけとる。システムはこのようにたえず交代しつつも、ある定常状態 (すなわち流動均衡) を保ち、またこの状態への移行してゆく」(Von.Bertalanffy (1949), 邦訳132ページ)。

つまり、生命は定常開放系であり熱平衡にいたることはない (あるとすればそれは死滅した時である)。そのような有様をベルタランフィーは流動均衡と名づけた。つまり、変化しながらも均衡状態を保ち続けているということである。このような考え方はのちにI. プリゴジンによって散逸構造と呼ばれたものであろう⁴⁾。

玉野井はシュレディンガーやベルタランフィーの学説から生命とは何かという思想を獲得し、それを経済や社会現象に適用しようとしたのである。

その他、玉野井は、またエネルギー論的に人類史を考察し、純エネルギーの視点から社会や経済、生態系を分析したオダムを高く評価した (玉野井 (1979a), 第6章)。また、ジョージエスクレーゲンからハーマン・デイリーへのエントロピー社会論の展開には興味を示さなかったようである。

ところで、のちに取り上げることとなる槌田に生命も熱機関であるということを示唆したのは玉野井であった。そしてそのヒントがシュレディンガーの『生命とは何か』にあることを指摘したのも玉野井であった⁵⁾。玉野井は槌田とシュレディンガーの勉強会を行い、そこで槌田は玉野井から大いに啓発されることとなったのである。

次に現代文明への批判ということであるが、この点については玉野井 (1978) を参照しつつ議

論していくこととしよう。

先にも述べたように、工業化の進展は社会構造そのものが大きく変化させることとなった。元々の農業は解体され、生産主体と消費主体が分離され、それを市場が結びつけることとなる。そして労働力が商品化されるのであるが、それと同時に家庭内でも男女の役割の変化が起こってくる。つまり、男は外に働きに出、女は家庭内にいるということになる。

さてそのような状態の中で女性解放をいうとすれば、いうまでもなく女性も家庭という非市場領域から市場経済にある職場に入る以外にはなかり。だがそれは、女性の男性化というにすぎず、根本的な女性解放にはつながっていない。つまり女性も商品化されるだけである。

関根がまとめているように、玉野井は女性の解放を考えたが、それは、「女はとうぜん非市場経済の領域にある家庭から出てきて、市場経済の領域にある職場に入る以外にない。しかし、それは単なる女性の男性化に終わり、真の解放にはならない、というのが玉野井先生の所説であった」（関根（1986）、251ページ）。

つまり真の解放とは、市場を再び社会に埋めなおさなければ達成されないのである。

最後に地域主義である。工業化の進展により都市が中心となり、それぞれの地域の多様性が崩壊し画一化してしまった現代社会を玉野井は批判した。そして地域と農を中心とした国家を取り戻すべきだと主張したのである。そしてそれは、理論的にだけでなく、実践活動に玉野井を駆り立てることとなる。

実践活動としては、玉野井は「地域主義研究集談会」を組織した。地域主義は近代批判であり、中央政府からみたいわゆる地方ではなく、自立した地域を重視した。そして、いのちと農、海を生かす地域、まちづくりを基本原則とした。

江戸時代には日本は地方分権型社会であった。しかし明治以降、近代化を成し遂げるために政治体制は中央集権的なものに改められ工業化が推し進められることとなる。そして都市にあらゆる機能を集中させることとなった。そのため戦後、地方分権が叫ばれながらもなかなかそれが進まなくなったのである。

玉野井は「内発的地域主義」を国が上から提唱し組織する「官制地域主義」と対立させて次のように定義している。

「地域に生きる生活者たちがその自然・歴史・風土を背景に、その地域社会または地域の共同体にたいして一体感をもち、経済的自立性をふまえて、自らの政治的・行政的自律性と文化的独自性を追求することをいう」（玉野井（1979b）、19ページ）。

そして地域主権を取り戻すためには第一次産業を再生させることが重要であると玉野井は述べる。

「ここではまず、いわゆる第一次産業を再構成することが根本的に重要である」（玉野井（1979b）、50ページ）。

工業化によって地方はいわゆる中心に労働力を供給する周辺としてとらえられてきた。だが玉野井は、むしろ都市を周辺化するべきだと述べる。

19世紀後半以降の近代化によって生命系としての農が失われ、第二次産業が推進されてきた。そして科学と技術が相互に作用することによって完全雇用と余暇の増大が同時に起こったのである。完全雇用を維持するためには、あるいは社会保障制度の持続性のためにもたえざる経済成長

が必要であるという名のもとに、GDPの拡大のみが志向された。そしてそれはあくまで、都市が中心であり地方はむしろ都市に資源やエネルギーを供給する場所として位置づけられることとなり、地方が切り捨てられるようになる。

よって、地域をもっと見直す必要がある。そこで最初の論点であった「生命系」と地域主義を玉野井は結びつける。

「現在の社会・経済システムに自然・生態系を導入することは、社会システムに“地域主義”を導入するにひとしいのである。ここに地域主義とは、一定地域の住民が風土的個性を背景に、その地域の共同体にたいして一体感をもち、自らの政治的・行政的自律性と文化的独自性を追求することをいう。それはもはや論理的構築というよりも実践的・歴史的構築の対象といてよい」（玉野井（1979b）、181ページ）。

さて、生命系と地域主義を結びつけるうえで重要となるのが水の存在である。玉野井は水の重要性について語っている。水は生産要素なのかということである（玉野井（1982）、86ページ）。

あらゆる活動（生産、消費など）に水は必要となるが、それは決して原料や消費するものとしてではない。例えば、生産では、特に工業用水を考えると、玉野井があげている例でいえば、鉄鋼一トンを生産するには、一キロリットルをこえる石油のほかに百キロリットルの水が必要であり、また原料の石油精製のために一リットルの原油を製錬するためには淡水十リットルが必要される。また工業用水の水はほぼ機械の冷却水であり、やがて廃棄されることとなる。また人間が飲む水は口から入るとやがては人体から尿や汗といった形をとって排出される。つまり生産や消費で単に系を通過するスループットなのである。

水は物質の中では極めて特異で比熱が一番高く融解熱や気化熱が極めて高い。食物連鎖や生産者、消費者、分解者という生物サイクルが存在しうるのは水のサイクルが存在するからであり、それを生命系システムの観点から考察しなければならないと玉野井は考える。そして、「では、マクロレベルでの水サイクルと、ミクロレベルを含む生物サイクルという、二つの開放定常系を連結するものは何か。それは、われわれがそれをふまえて立ちあがることのできる大地である—ここでは、“母なる大地”といった文学的表現を抑制して、もっと厳密に「表層土壌」と呼ぶべきである—をおいてほかにはない。そこには土壌を土壌として完成させる有機物が存在する。こうした土壌の登場とともに、水もまた、生命を育くむ地域の水として登場することになる。この水は、 H_2O で表象される“純粋な”水ではない」（玉野井（1982）、82ページ）。

この視点から、玉野井の「地域主義」が現れることとなる。

「使用価値ポテンシャル」としての物を更新する母胎は、一定地域における水と土にほかならない。“開かれた共同体”のエネルギー論的な基礎—更新性エネルギー—はこの点にのみ求めることができるし、また求められなければならない。いかなる経済・社会システムも、それが人間的な生命活動の名に値する組織であるなら、大気系と水系と土壌生態系よりなる一定の地域空間を抜きにして存立しうるものではない」（玉野井（1982）、84-85ページ）。

つまり、循環型社会の実現の鍵は地域にある⁶⁾というのである。

以上のように、玉野井は従来の学説を批判、摂取しながら「生命系」、「現代文明の批判」、「地域社会」を重視しつつ、日本におけるエントロピー経済学の礎を作り上げたのであった。

Ⅲ 室 田 武

次に室田武を取上げる。室田がどのようにして経済学に行きつたのかについては西村・室田(1990)で述べられているのでそれを参照する。

室田は京都大学理学部出身であり、理系の出身である。大学時代はベトナム戦争が泥沼化していた頃であり、かつそれに日本も加担しているという状況であった。そのような中で、室田は社会問題に対して何か異議申し立てをしたいと考えたようである。そして経済学へと導かれることとなる。

大学院では近代経済学を専攻するようになるが、それは理系出身だったため数理的な分析などで近代経済学のほうが向いていると室田は考えたからであった。そしてミネソタ大学に留学し、レオニード・ハービッチを指導教官の一人として比較経済体制論を研究するつもりであったが、最終的には情報経済学を専攻することとなった。⁷⁾

室田の経済学者としての初期の業績では代替弾力性についての研究が重要である。彼は久賀清と共著で森嶋の代替弾力性についての論文を書いている。さらにロビンソンの弾力性概念についても単独で論文をものしている。

森嶋の代替弾力性とは森嶋通夫が、当時京都大学教授であった佐波宣平の著書『弾力性経済学』(佐波(1966))に対する書評の中で示したものである。⁸⁾通常、技術的代替弾力性は一次同次の生産関数で考えられ、宇沢は二財モデルで代替弾力性を考えた。さらにそれを n 財に拡張したのがアレンであった。

それに対して森嶋は、アレンの n 要素の定義(偏弾力性)に対してこの定義が宇沢の二財モデルでの定義と形式的な同一性を保っているということで評価しつつも、「しかしそれと同時に、この定義は、どういう限界代替率の変化にたいする要素比率の変化を問題としているかが不明であるという短所をもっている」(森嶋(1966), 149ページ)と批判した。そして、それに対して提出されたのが森嶋の代替弾力性である。

室田は最初に久我清と共同で論文を提出し(Kuga and Murota (1972))、その後単著論文(Murota (1977))を執筆するにいたる。前者では森嶋がおいた生産関数の一次同次性の仮定をゆるめ、後者ではその議論がJ. ロビンソンがRobinson (1933)で議論した定義の一般化(つまり多くの投入要素を許す)になっていることを示している。

さて、西村・室田(1990)の記述に戻ると、この書で涸渇性資源の問題が取上げられているが、これはいわゆる新古典派経済学とエコロジー経済学の見方の対立が現われていてたいへん興味深いものである。西村が資源の枯渇は技術革新や技術代替によって解決し得ると述べているのに対して、室田はそれでは不十分であるとのべている。

室田によれば、昔は例えば気象というのは人間の経済活動から独立した自然現象であったのであり、気象学はその客観的法則を解明しようとした。だが、現在では人間の活動自体が大きくなりすぎて気象の法則そのものを変えてしまっているのである。

これは自然科学と社会科学との性格の違いを述べている。自然科学は客観的世界の法則性を明

らかにするものであるが、社会科学は主観的要因、さらに言えば人間の主体的行為が重要となる。なるほど微視的物理学の世界が原子や分子の運動法則の解明をするのに対して、社会科学は目的意識的に行動する人間の集団現象を分析する。室田は、社会科学では客観そのものは主体の側に内在していてそれを道具として経済社会を解明しようとするのが経済学であると述べている。

さて、先にも述べたように、社会問題に対して積極的にかかわることを志向した室田は1970年代に議論されるようになったエネルギー問題や化石燃料に代わる代替エネルギーとしての原子力の問題、循環型社会を実現するためのライフスタイルの問題などを論じるようになる。そのような理論的営為は1979年に記念碑的労作『エネルギーとエントロピーの経済学』（室田（1979））に結実することとなる。

この書は W. S. ジェヴォンズや F. ソディといったエネルギーやエントロピーの問題に逸早く取り組んだ先駆者らの議論の紹介から始まり、玉野井が強調した生命系としての経済、原子力発電は本当にエネルギー的に考えて効率的なのかという問題、循環型社会を実現するための地域主義と有機農業の問題、そしてそれを支えるコモンズの問題が議論されていく。これらはすべて室田が終生取り組み続けた問題であり、それらがすべてこの最初の著作に現れているということは、彼の問題意識がずっと一貫したものであることを示しているのであり、これは驚嘆すべきことである。

さてその後室田は、原子力発電の問題に入っていく。先にも述べたように、1970年代になると化石燃料がCO₂を排出し、それが地球温暖化の原因になるとして、それに代わるクリーンなエネルギーとして核エネルギーが推奨されるようになる。そして原子力発電所の建設ラッシュが起ころることとなった。だが、果たして原子力は石油の代替エネルギーとなりうるのか、というのが室田の疑問であった。

室田は原子力発電の発電効率について考察している。さらに、ジョージesk = レーゲンにしたがい「拡大再生産しうるエネルギー」を自立した技術と考え、核エネルギーは自立した技術とはなりえないとした。自立した技術というのは、例えばある化学エネルギーを投入してそれ自身を拡大再生産しうるような技術のことである。

例えば火は燃え広がることによって自らの力で自らを拡大再生産する。あるいは石炭は、石炭を掘ると湧水がたまるのでそれを取除かなければならないが、石炭を用いてタービンを回すなどしてそれ以上の石炭を掘り出すことができる。つまり、1トンの石炭から1トンより多量の石炭を採掘できるのであり、よって石炭利用も拡大再生産可能な技術である。石油も同様である。1ガロンの石油から1ガロンより多い石油をくみ出し、精製することができるのである。

だが、核エネルギーはそれによって核エネルギーを拡大再生産することができるであろうか。それはできない。核エネルギーを取り出すために用いられているのは石油である。つまりそれは他のエネルギーに依存しており、決して自立的であるとはいえないのである。

さらに核エネルギーはその廃棄物が問題となる。周知のようにウラン235をプルトニウムに精製して核エネルギーを生み出すのであるが、その後には放射性廃棄物が残る。これは自然の物質循環によっては処理されない廃棄物であり、その半減期は25000年である。地球には重力があるので廃棄物は宇宙に放出されることはないから、地表にとどまり続けることとなる。そのため地下300メートルのところ埋める必要が生じるが、それが地震などで漏れ出さないという保証は

ない。

実際、室田はアメリカのスリーマイル島の原発事故、さらにはソビエトのチェルノブイリの事故などを見て、原発事故は起こってしまうものであり完全になくしてしまうことは不可能だと考えた。そしてそれはもちろん、日本でも起こり得ると室田ははやくから警鐘を鳴らしたのである。

そして実際にそれは大規模な形で起きた。東日本大震災で生じた福島原発事故である。

室田によれば現代の技術は様々な問題を引き起こしている。石油はあらたな環境破壊をもたらし、原子力は大量の石油に依存しているという点で実行可能な技術ではあるが、自立可能なそれではないということが明らかになった。そこで室田は、原子力に代わるべき新たなエネルギーとして自然エネルギー、つまり再生可能エネルギーに着目する。もちろんそれにはいろいろなものがあるが、特に室田が彼のライフワークとしたのは水車であった。

室田は水車については室田（1983）、（1985）、（1989）などの著作を出版している。室田（1983）は全国の、自然エネルギーによって1年中動き続ける水車のありようを写真によって紹介している。さらに室田（1985）では水車のエントロピーの観点からの考察や製材水車が生態系の循環と如何に調和しているかの分析、石油を使った農業からの離脱のための有機農業が水車を必要とすることの指摘などがなされている。このようにこれまでのエネルギー政策をあらため、再生可能エネルギーを中心にしていくべきであると室田は考えた。

そしてそれとの関係でいえば、室田は戦後の日本の林業の歴史について考察している。雑木林は生態系保全のためのエコシステムなのであるが、それが戦後の石油文明の到来とともに大きく変質する。

「その内容は、「固体燃料から液体燃料への転換」であり、具体的には産業と家庭から国産の石炭及び薪炭を排除し、安価な原油を海外から輸入し、石油、ガス製品の生産、消費を急速に拡大させるというもので、そうした下準備に基づいて1960年代に入ると「所得倍増計画」が打ち出され、高度経済成長にはずみがかかることになるのである」（室田（1985）、19ページ）

雑木林は打ち壊され、

「このことは別の言葉でいえば、雑木林が薪炭林としての経済的価値を喪失したことを意味する」（室田（1985）、20ページ）。

それだけではない。農政でもいわゆる減反政策がとられるようになり、山村の棚田などもつぶされ、広葉樹にかわり針葉樹林が植樹されるようになる。もちろんそれは緑であることはいうまでもないのだが、やはりそれは人工的なものであり、

「…、その緑は樹齢の同じ針葉樹林の緑であり、野生生物が棲みにくく、人間に数々の山の幸をもたらすこともあまりない緑である」（室田（1985）、23ページ）。

雑木林は単に、治水を行くヌギやコナラは炭や木炭を供給し、多様な植物や昆虫、爬虫類、鳥類、微生物の生活環境をはぐくんできただけではない。地元の人々の人間関係を結びつける非常に強力な紐帯であり続けてきた。だが石油文明はそれを解体してしまった。

このように日本の石油文明化は日本の原風景を解体し様々な問題を引き起こしたと室田は指摘する。

かつては牧草として、堆肥減として、あるいは民家の屋根葺き材料として必要になる草をとるための草山についても植樹が進んでいくこととなる。だが、そうした草山の多くは入会山であり、

地元の住民が共同管理していたのだが、草の利用の停止によって、市場経済から自立して存在した入会制度が弱体化していくこととなる。つまり、⁹⁾ コモンズの解体である。つまり、共有地が解体されることによって地域というまとまりが、一行政の区画になってしまったのである。

さて、それでは日本の生態系を復活し、生命系としての経済を復活させるにはどうすればよいのであろうか。それは我々の生活スタイルから改め、ほどほどの生活水準に戻すことである。そしてそれには経済成長至上主義から脱却する必要がある。

日本がまだバブルに浮かれていた1987年に室田は、室田（1987）でマイナス成長の経済という概念を提起した。これは脱成長がいわれる昨今ではそれほど驚くべきではないかもしれないが、バブル経済期であり成長至上主義であった日本社会で到底、受け入れられる考えではなかったであろう。

また、生命系の経済を復活させるためには、物質循環の正常な機能を取り戻すことが重要となる。そのため、室田はリサイクル運動に力を入れた。次節で述べる樋田敦はリサイクルの重要性を指摘しつつも、その問題点をも強調していた。日本は、元はといえりサイクル社会であった。つまり廃棄されるものも再び資源となったのである。

例えばゴミは浅い地中に埋めることによって微生物によって自然と分解されて土にかえることになる。また現代では人間の排泄物も今は下水処理場に送られて、川に入りやがて海に入ることとなる。だが、人間の排泄物は農作物や魚介類を食しているため非常に栄養価が高いものであり、それは本来、再び土に返すべきものである。それによって再び土地にリンや窒素、カリウムが戻ることになりそれが植物を育てることとなる。このような物質循環や養分循環を経済循環に結び付けなければ持続可能な社会は実現することができないと室田は考える。

また、熱エネルギーは炭から得られるものをを用いることが一番、自然的である。そのため室田は生活のなかで炭焼きをもっと行うべきだと主張した。そして、その実践活動として自ら炭焼きの会の顧問を務めることとなる。石油文明ではなく、これまでの再生可能社会を取り戻すために、炭によってエネルギーを獲得するべきだと考えたのである。また、人間の生活にはもちろん収入が必要であるから、農業に従事するものは冬場は農閑期であるので、炭を焼いて収入を得ることが重要だと室田は考えた。

さて、以上のこととも関係するが、次に地域主義の問題に移る（地域主義の問題は生態系や物質循環などさまざまな問題と関係しているが、ここではそれらは省略する）。それでは、地域主義はどのようにして実現されるのであろうか。

資本主義以前では、商品交換ではなく贈与が基本になって社会が成り立っていた。だが、市場がそれを侵食していくこととなる。そしてすべてが商品化され、貨幣があらゆる交換の媒介として流通するようになる。貨幣は信用貨幣を除くなら国家が独占的に供給するようになり、地域の互酬的な関係も商品所有者同士の関係に変わってゆく。

だが、それによって地域のネットワークが崩壊することとなった。そして市場はそれまでになかったさまざまな問題（環境問題など）を生み出すことになったのである。

それでは地域主義は何によって実現されるのか。室田は、玉野井の地域主義の理念を地域通貨の導入によって現実化しようとしたのである。¹⁰⁾

室田はある講演で次のように述べている。

「…いま金融面で日本経済が極度に行き詰まっていること、そういう状況下で環境保全への諸地域の取組みを考える際、日本円のみを頼っていたのでは展望がなく、地域の金融面での自立度上昇が大切であること、などである」（室田（2004）、4ページ）。

室田が最終的に地域通貨の問題にたどり着いたのは興味深いことである。なぜ室田は地域通貨に注目したのであろうか。室田の考えには、地域通貨を流通させることによって地域の福祉などを拡充しネットワークを生み出していくということもあったが、さらには経済学の教科書に書かれているような中央銀行による金融政策にそれほどの効果がないということに対する危機感があった。

地域通貨は単に、地域における経済活性化の手段というだけではない。つまり、地域通貨が地域経済を活性化させるだけでなく、人々のつながりや福祉を充実させていくこととなる。つまり互いの利用可能時間を交換し合うのである（時間預託）。また使い方によっては環境問題の解決にもつながる。互酬的な人間関係の構築によって世代間の交流も進み、人的ネットワークが豊かになる。以上のような事実を室田は実際に現地（国内、海外を問わず）に足を運んで調査したのである。

また室田は貨幣の歴史を考察している。日本では江戸時代までは、地域通貨が藩札などの形で流通し、それがそれぞれの地域の経済を回していた。だが、明治政府は中央集権的に統一的な貨幣制度に変更した。アメリカでもフーバー政権時には地域通貨が存在したが、ルーズベルト政権になると国家の強権的な指導によりそれらが廃止されることとなる。

さて、日本における地域通貨は1970年代にさかのぼる。福祉目的での互いの時間の互酬を組織化した「ボランティア労力銀行」の創始は1973年であり、これはアメリカのタイム・ダラーよりも早い。また「ふれあい切符」のようにボランティアの時間を預託する団体はその後、全国に拡大していると室田は述べる。つまり、日本は「ふれあい切符」のような地域通貨をいち早く定着させたのである。そして世界でも地域通貨が流通するようになった。

「こうした近年の世界の状況を見るとき、いわゆる一国一通貨制を絶対普遍的通貨制度とする必要はないことがわかる」（室田（2004）、はしがきiiiページ）。

それでは、地域とはどのような位置づけとなるのか。地域は公的領域と私的領域に還元することのできない、第三の領域であると室田は考える。

「伝統的な経済学では、現代社会を公的領域、私的領域の二部門から成り立っているかのように把握し、様々な分析を展開する。私の考えでは、そうではない。もう一つ、共的部門、あるいはコモンズの領域といってもよいものがある。室田（1979）で、公・共・私の三部門がそろう人間社会であるという見方を展開したが、どうやらカーンさんのいうコ・プロダクションやコ・エコノミーは、これに近いことを指しているようだ。私の理解では、地域通貨は、共的な領域内のモノやサービスのやり取りを媒介する道具である」（室田（2004）、14ページ）。

カーンとは、タイム・ダラーの創始者であるエドガー・カーンのことであるが、このように室田は共的領域というものの復活を主張したのであった。¹¹⁾

さらに室田は、経済活性化という側面からゲゼルのスタンプ貨幣、つまり減価する貨幣に注目している。スタンプ貨幣とは時間がたつにつれて価値が減っていく貨幣のことである。減価する貨幣はいわば利子を利用者が支払うものであり、それならば積極的に利用することによってその

損失を減少させようとすることになる。いずれにせよ、室田は地域通貨を経済的な問題としてだけでなく、社会的文化的な意味を持つものとして重視したのである。

もちろん、室田が述べているように貨幣には銀行貨幣もある。よって、深尾光洋のように銀行貨幣に課税するという方法を主張する学者もいた。つまり銀行貨幣に課税すれば預金者に早く貨幣を使おうとするインセンティブが生まれるからである。

だが、室田は今のような景気低迷期では銀行貨幣に対する課税はさらに消費や投資を冷え込ませる可能性が高いとして、その案を否定する。

あるいはスティグリッツは、政府が国債の発行ではなく直接政府通貨（紙幣）を発行することで景気を刺激することを主張した。これに室田は基本的に賛成しつつも、新しい政府通貨も人々は貯蓄してしまう可能性が高いと考え、減価する政府通貨こそが重要であると考えた。

それ以外にも、室田は郵貯や財政投融资の資金を使うことを主張したのである。

以上のように、室田は玉野井の精神を引き継ぎ、生命系としての経済の復活やそのためのコモンズの再建などの社会活動、そして地域主義実現のための通貨改革など、様々な問題を考察したのであった。

IV 槌田 敦

槌田敦は1957年に大学を卒業したが、それは物理ではなく理学部の化学であった。卒業後に物理に転身し、大学院は物理学を専攻したようである。研究テーマは分子構造論、つまり水やアンモニアの電子構造であった。だが当時は、物理学科では物理帝国主義というような風潮があったようで、そのような化学についての物理学内での理解はそれほど高くなかった。

槌田が問題としたのは次のようなことである。リサイクル至上主義に対する批判、太陽光発電の非効率性の指摘（石油の無駄遣いにすぎない）、二酸化炭素の排出が地球温暖化の主因であるとする学説のあやまり、細胞も身体も地球もすべてエンジン、つまり熱化学機関であることの指摘、文明社会の維持のためには炭素循環や水循環、養分循環、大気循環、海の流れ、などの自然のさまざまな循環が重要であるということ、そしてその自然の循環をどうすれば豊かにすることができるかということ、などである。

槌田は正統的な物理学者を批判した。例えば、エネルギーという用語にしても、物理学者が理解するものと一般の人々が望むものは異なっているという。

「例えば、エネルギー開発を志す物理学者を例にとってみる。彼は、社会が石油涸渇後の代替エネルギーを要求していることを知っている。そして、その研究開発することに誇りを持っている。しかし彼は、社会が要求している“エネルギー”と、彼が開発しようとしている“エネルギー”が同じものだと信じて疑っていない。だが、それは同じ言葉を使っている、実は違ったものなのである。エネルギーという言葉は、元々物理学の言葉である。そこでは、“エネルギーは保存する”ということの基本にして論理が組み立てられている。これに対し、社会が要求しているエネルギーは“消費するためのエネルギー”なのである。“保存する”と“消費する”はまったく対立した概念である。これを放置したまま、エネルギー開発すると、見当違いになってしまう

う」（樋田（1980），170ページ）。

熱力学の第一法則によればエネルギーは保存される。つまりエネルギーは使ってもなくなることはないのである。例えば、自動車に使われたガソリンのエネルギーは消えてしまうのではなく、位置エネルギーや運動エネルギーに変換されるだけであり、エネルギー自体は（特殊な場合を除き）保存される。

だが、なくなることがないものをなぜ省エネなどといって節約しなければならないのであろうか。それは実際に消費できるのが利用可能エネルギーであるからである¹²⁾。にもかかわらず、「さらに、エネルギー開発の物理学者は“消費とは何か”について少しも研究していない。つまり、社会が要求するものに依って、何かをしようというのであるから、社会の要求の真意を理解しなくてはならないのである」（樋田（1980），171ページ）。

つまり樋田が考えるのは、物理学者が考えるのは保存されるエネルギーであるが、経済学的に消耗するエネルギーを考えなければならないということである。

さらにこれまで科学は、客観的な自然法則を解明することが目的だとされてきた。そしてそこに人間の価値観を入れてはならないと考えられてきた。だが、本来、科学は人間を幸福にするために研究されるものではないか。

「これまで、科学では人間の価値観から離れて、純粹に自然の法則を見出そうと努力して来た。だが、その路線は修正しなければならなくなった。“何が、人間にとって幸福か”と常に問いつづける科学でありたいし、そういう科学者でありたい」（樋田（1980），173ページ）。

このように樋田は述べている。

さて、1982年に樋田は『資源物理学入門』（樋田（1982））を出版する。ここで樋田は、その後の理論展開にとって重要な論点をいくつも指摘している。つまり、先に述べたこれまでの物理学者が消費についての検討を怠ってきたこと、生産をエントロピーの観点からいかに理解すべきか、動力文明の変遷、地下のエネルギー資源や物質（鉱物）を使うことによってさまざまな人体に悪影響をもたらす有害物質が地上にまき散らされ、酸性雨が降り注ぎ、環境が毀損されるということ、さらには原子力利用による核廃棄物の放射能問題など、現代は廃物、廃熱の捨て場の枯渇が重要になっていることの指摘、玉野井も興味をもった生命論、つまり生命とは何かという問題、地球はどのようにして系で発生したエントロピーを廃棄しているのか、などである。

これらはいずれも、エントロピー経済学にとって本質的な問題である。これは非常に重要な問題を提起しているのだが、個々の論点についての検討は省略する。

さて、ここでより原理的な問題を考察しよう。つまりエントロピーとは何かという問題である。ここでは樋田（2014）を参照しよう。なぜ今エントロピーの問題が重要となるのか、それは有史以来、現在がエントロピーがもっとも増大している時代だからである。

「この意見は、地球を観察すると正しいことが分かる。地球表面のエントロピー状態は、1億年の単位で考えると大きく変化したが、1万年の単位で考えるとほとんど変化していない。しかし、古代文明以後、地球表面のエントロピー状態は激しく変化している」（樋田（2014），190ページ¹³⁾）。

熱機関が継続的に機能するためには再生産の仕組みがなくてはならない。それを樋田は次のように説明する。再生産が行われるためには系のエントロピーは周期 t の後、一定でなくてはならない。つまり、

$$\Delta S=0$$

このことは、熱エンジン内部で発生するエントロピーと流入するエントロピー f_1 の合計は、系から出ていくエントロピー f_2 と等しいことを示す。これをエントロピー収支式として示すと、

$$g+f_1=f_2$$

となる。

さて、熱エンジンの代表は蒸気機関であるが、その作業物質は水（水蒸気）である。

蒸気機関のような熱エンジンでは、高い温度 T_1 で熱 q_1 を得ているので、入ってくるエントロピー f_1 は q_1/T_1 である。さらに低い温度 T_2 で熱 q_2 を出すので出ていくエントロピー f_2 は q_2/T_2 であるから、これをエントロピー収支式に代入すると、

$$g+q_1/T_1=q_2/T_2$$

通常の熱機関は閉鎖系であるため、エネルギー収支とエントロピー収支だけを考えればよい。この1サイクルの間のエネルギー収支式は、ポンプを動かす排除仕事を除いて正味する仕事を w とすれば、

$$q_1=q_2+w$$

となる。この二つの収支式を連立させて、出ていく熱 q_2 を消去すると、

$$w=(1-T_2/T_1)q_1-T_2g$$

がえられる。

ただしここで T_1 は燃焼温度ではなくボイラーの温度であり、 T_2 は環境の温度ではなく復水器の温度である。

この式では、仕事 w が右辺の第一項はこの熱機関によって得られる理論仕事であり、第二項は、仕事が熱機関内部で発生するエントロピーに比例して低下することを示している。つまり、熱の一部分は仕事にはならずエントロピーとして排出されることとなるのである。

いずれにせよ、外部からエネルギーを取り入れると内部で化学反応が起こりエントロピーが廃熱という形で排出される。それでは地球の場合はどうであろうか。

地上で発生する熱エントロピーはわずかな温度上昇によって赤外線形で宇宙に排出されるということは先に述べた。だが問題は物のエントロピーのほうである。地球は閉鎖系であるため、物質の出入りは基本的にはない。ということは廃棄物をどう処理するかということが問題となる。

つまり槌田によればエネルギー不足の問題よりも捨て場の枯渇こそが重要なのであるが、元来、ほとんどの廃棄物は自然の循環を豊かにし、別の生命の資源となっていた。よって人間の廃棄物は自然に返されるべきなのである。よって、生ごみや糞尿はそのまま生態系に返し、動植物が利用できない廃棄物は完全に燃やしてしまう。そして下水道は縮小し廃棄不可能な廃棄物（核廃棄物、有機塩素系廃棄物など）の発生を禁止する、などの措置が必要であると槌田は主張する。

つまり、地球でのすべての活動を持続するには、資源の導入やその作業物質の循環、廃物・廃

熱の廃棄と物質系の中の物質循環だけでなく、物エントロピーを熱エントロピーに変換する生態系の循環、地球規模での養分の大循環、さらには生態系の遷移が必要であると槌田は述べている。

槌田は地球は熱化学機関であると述べる。

地球が熱化学機関であるということはどういうことか。それは地球が水循環、養分循環、炭素・酸素循環の複合体としてとらえられるということである。

例えば、養分循環について述べるなら、最初に独立生産者としての植物が太陽エネルギーと二酸化炭素から光合成をおこない酸素とグルコース（炭水化物）を生産する。消費者としての動物はその酸素を呼吸によって取り込み、さらに炭水化物を摂取してエネルギー源とする。さらに食物連鎖の中で草食動物を肉食動物が食べ、タンパク質を補給する。だが動物はいずれ死んでしまう。植物や動物の死体（デトライタス）は分解者である微生物によって分解されそこになる養分は土にかえることになる。養分を含んだ土はやがて植物を育むことになる。このような生態系の循環（エコサイクル）があってこれを槌田は養分循環と呼んでいる。

また、養分循環で重要な役割を果たしているのが動物、とりわけ鳥のような高いところへ飛ぶことができる動物であると槌田は述べる。鳥は山頂に行きそこで糞をすることによって土壤の養分を播くことになる。それによって木が成長する。つまり、地球の重力は養分を低い所に降ろし、動物が重力に抵抗して高い所に養分を揚げるのである。

そしてここには炭素と酸素の循環あることも明らかであろう。植物が酸素を供給し動物が供給した二酸化炭素を取り込み、動物はその逆である。

次に、微生物が分解した炭素は土のなかのいわゆる肥やしになるが、その際に発熱する。その周囲にある水がエントロピーを吸収し、水が気化熱を吸収し蒸発することで処分される。つまり物質のエントロピーは熱エントロピーに変換されることになる。そしてその熱は大気循環によって宇宙に放出されることとなる。そのため地上の気温は生物が生きていくことができるくらいに保たれているのである。¹⁴⁾

日光によって水蒸気は上空に向かって上昇する。そして断熱圧縮が行なわれることによって気体である水蒸気は液体にかわる。¹⁵⁾つまり上空で冷やされ水に戻るが、それは重くなるため再び雨として大地に降り注ぐことになる。つまり水循環によって余分のエントロピーは宇宙に放出されることになるのである。

水は雨として降り注ぐが太陽エネルギーの作用によって再び蒸発し、また水はダムに貯められることでその位置エネルギーを獲得しそれによって水車を動かしたり、電気を発生させたりすることとなる。

さらに1980年代に入ると槌田はエコシステムとしての海の役割に注目するようになる。海の中の海洋循環が生態系の存立に大きい役割を果たす。海は、海面が凍ることはあっても海底が凍ることはない。そのことによって海底の微生物などが生存できるようになる。それが魚介類を育てることになる。

また水循環についても同様に太陽エネルギーの媒介により水も循環することによって地球は持続可能なものとなっている。

このように水も養分もすべて循環することによって地球は存在できているのである。

それでは地球の平均的な熱収支はどのようなものか。宇宙から太陽エネルギーが光エネルギー

の形で照射される。宇宙はほぼ真空であるため熱を伝導することはできないが、光は真空でも通過するため、光は地上で熱エネルギーにかわる。さて、日射を100としよう。そのうち30は大気によって反射され宇宙に戻る。上空の大気中には23が吸収される。よって、地上に降り注ぐのは100から $30 + 23 = 53$ を引いた47である。これが日光の地表による吸収である。さらに温室効果がありそれが96の熱を地表に与える。よって地表に届くのは143である。

さて次に地表からの熱放射であるが、143の熱のうち24は蒸発する。先にも述べたように水が熱を吸収し蒸発するわけである。さらに空気の対流による空気への伝導が6あり、そして143から $24 + 6 = 30$ を引いた113が熱放射として上空へ放射されることとなる。そのうち107は大気中の水循環のなかに取り込まれ、残りの6が放射される。さらに大気中から放射される熱が64あり、合計 $64 + 6 = 70$ が熱放射として宇宙に出されることとなる。このようにして、地球が熱を宇宙に適度に放出することによってすべての生命はその生存が維持されることとなる。

だが、地球は閉鎖系である。つまり宇宙とのエネルギーのやりとりはあるが物質のそれはほとんどない（質量保存則）。重力のため廃棄物は宇宙に出ていくことはないので物質のエントロピーを宇宙に放出することはできない。そのために人類は廃棄物の処理に悩まされるのである。特に、廃棄されるものが生態系の物質循環のなかで資源に変えられるものばかりであれば問題は生じないが、有機塩素系の廃棄物やプラスチックごみ、また核廃棄物などは問題を引き起こす。

とくに核廃棄物は自然にその放射能レベルは減少していくのだがその半減期が26000年であるため、それを廃棄するための場所が必要となる。だが、その確保が難しい。放射能汚染の可能性があるからである。

また周知のように、放射性原子核には半減期がある。つまり、今の半分が崩壊するのにかかる期間である。周知のように、最初の原子の数を N_0 とすると、時刻 t で残る放射性原子核の数 N は $N = N_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$ となる（ただしここで T は半減期）。そして半減期が26000年だとすると、その放射能が0に限りなく近づいていくのに、

$$\left\{ \frac{1}{2} + \left(\frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{2} \right)^4 + \left(\frac{1}{2} \right)^8 + \dots \right\} \times 26000 \approx 21501.77 \text{ 年}$$

もかかることとなる。¹⁶⁾つまり、2万年以上かかることとなるのである。その間、放射能漏れがないという保証がどこにあるのか。このように榎田は考え、原子力発電の危険性を指摘するのである。

あるいは、廃棄物を少なくするためにはできる限りリサイクルしたほうがよいのではないかという問題がある。だが、榎田はその限界をしてきた。

榎田は1990年代に大流行したリサイクル運動を批判した。それはリサイクルがさまざまな問題を引き起こしたからであった。例えば、リサイクルするために古紙を回収するのだが、リサイクルが声高に叫ばれる結果、大量の供給過剰が起こり古紙の価格が低下し、従来からあったリサイクル業者が倒産するというような事態が生じたのである。

またジョージ・レーゲンも指摘したように、リサイクルではエントロピーの高いものを低くするという必要が生じるためそのための追加のエネルギーが必要となる。例えばバラバラに

存在しているあき瓶はエネルギー支出によって一か所に集めなければならない。そのために追加のエネルギーを要し、それは省エネと矛盾することとなる。つまり、人為的なリサイクルはさまざまな問題を引き起こすのであり、そのため槌田はリサイクルの限界を指摘し、それに対する過度の期待を戒めたのである。

さて次に、地球も動物も植物もすべて生命系としてとらえなければならないという論点にふれておこう。槌田は槌田 (1992) の第5章で生命論を展開しているが、それはボルツマンの「ゆらぎ説」やベルグソンの「エントロピー増大遅延説」に対する言及から始まる¹⁷⁾。だが、ここではシュレディンガーの問題から始めよう。

槌田はシュレディンガーの生命論を検討し、批判している。それはシュレディンガーの有名な負のエントロピー (ネゲントロピー) 論についてである。周知のようにシュレディンガーは次のように述べた。

「生物体というものがはなはだ不思議にみえるのは、急速に崩壊しても自分の力では動けない「平衡」の状態になることを免れているからです。…生きている生物体はどのようにして崩壊するのを免れているのでしょうか。わかりきった答をするなら、ものを食べたり、呼吸をしたり、(植物の場合には) 同化作用をすることによって、と答えられます」(Schrödinger, E (1944), 邦訳 141ページ)。

そしてその答えをシュレディンガーは生命体が内部に発生する正のエントロピーを外部から負のエントロピーを取り入れることによって消していると主張するのである。

「死の状態を意味するエントロピー増大という危険な状態に近づいていく傾向があります。生物がそのような状態にならないようにする、すなわち生きているための唯一の方法は、周囲の環境から負のエントロピーを絶えずとり入れることです」(Schrödinger, E (1944), 141ページ)。

シュレディンガーのこのような発想は、生命を非平衡開放系としてとらえる現在の生命論の先駆けであった。さて、このようにシュレディンガーは述べるのだが、最後にさらに敷衍して、「生物体が生きるために食べるのは負エントロピーなのです。このことをもう少し逆説らしくなくいうならば、物質代謝の本質は、生物体が生きているときにはどうしてもつくり出さざるをえないエントロピーを全部うまい具合に外へ棄てるということにあります」(Schrödinger, E (1944), 141ページ)。

だが、槌田によれば、正確には負のエントロピーを取り込むのではなく、低エントロピー取り込み高エントロピーを出すのである。なぜならば、熱力学ではエントロピーは常に正だからである。

さて、それでは先に玉野井のところで述べたベルタランフィの生命論について槌田はどのように考えているのであろうか。槌田はベルタランフィの議論を評価しつつ次のように述べている。ベルタランフィが流動均衡について述べたことについて、

「その根拠とするところは、平衡に近い定常的变化で成り立つプリゴジンの「エントロピー生成速度極小の法則」」(槌田 (1992), 86ページ)。

であるということである。つまり平衡状態から大きく乖離した非平衡状態では成り立たない議論だというわけである。

だが、後にベルタランフィは Von. Bertalanffy (1968) で、このエントロピー生成速度極小の法

則では生命を説明することができないことに気がついた。

「そしてなお、いっそう強く「生きているシステムが開放システムである」ことと、「定常状態が著しい調節を示す」ことにより、「動的平衡」論を主張したのである」（槌田（1993），86ページ）。

さて、2007年に槌田は槌田（2007）を上梓する。これは槌田のエントロピー経済学をわかりやすく説明したものであると同時に、これまでの研究の集大成の意味ももっている労作である。すべての論点についてふれるわけにはいかないがそのいくつかの論点を拾ってみよう。

まず、特筆すべきは槌田が公正な商取引、つまりすべての人が自由な商取引に参加することのできる社会を実現するべきであると考えていることである。つまり、市場や資本主義を否定するのではなく、市場を公正なものにすることによって大多数の人々がほどほどの豊かさとはほどほどの暮らしを実現できる、そのような社会を実現するべきだということである。そして、これまでの経済学は強者がより強者になることを推し進めるものであり、弱者の利害を無視するものであった。そのため、エントロピー経済学による「倫理経済学」（槌田（2007），はじめに）が再興されるべきであると述べている。

槌田は、これまでの経済学を批判しながら自らのエントロピー経済学を展開する。これまでの経済学は経済系を循環する系としてとらえはしたが、熱化学機関としてとらえることはしなかった。生態系も生命も地球もすべて熱化学機関、つまりエンジンである。エンジンは系の外部から資源を取り入れ、内部で作業物質を循環させながら、そこで生まれて廃棄物や廃熱を系の外部に排出することによって内部のエントロピーを減少させることで系を持続させる。

地球生態系についてみると、これもエンジンである。だが注意しなければならないのは、熱エントロピーは地球の外部に捨てることができるが、物エントロピーは宇宙に捨てることのできないということである。

「このたくさんの生命反応で生じた物エントロピーはこの生態系の循環によってすべて熱に変換されて、排水と水蒸気として地域生態系の外に排出されている。…地域生態系は物エントロピーを熱エントロピーの形にして大気に渡すことで、物エントロピーを宇宙に捨てることのできるのである」（槌田（2007），45-46ページ）。

人間社会も同様にエンジンなのであるが、人間社会は先に藻下生生態系や気象といったエンジンに囲まれながら再生産を繰り返している。

市場はエントロピーを自動的に処理することのできないシステムである。そのために経済学ではそれを外部性として扱い市場に内部化することで解決しようとしてきた。だが、それだけでは不十分なのである。

環境問題の解決も政治に大きく依存するため、政権の交代によって持続性がなくなってしまう。

また槌田は、物質循環と金銭循環との関係を指摘し、商取引の重要性について述べている。商取引があるから物質が循環し、もとの状態に復帰することが可能となる。金銭への欲望はいやしいことだと考えるむきもあるが、それがあからこそ、経済における物質循環が可能となるのであり、それはむしろ肯定されるべきだと考えられる。問題はそれが生態系の循環と矛盾しないということである。このように槌田は玉野井とは異なり、むしろ、市場のもつ価値を重視するのである。

それでは、健全な社会を取り戻すにはどうすればよいのであろうか。それは廃棄されるものか

ら余分のエントロピーを抜き取るしくみを持続させる必要があるということになる。例えば、経済行為による廃棄物によって環境が汚染される場合や、経済的格差が拡大し争いが絶えないようになる場合などはエントロピーが高い状態であると解釈される。例えば最近の事例でいえば、一部の富裕層に富が集中することや社会内部の対立の激化、ポピュリズム政治の台頭、などである。また SNS などによって、自らに近い意見しか受け入れなくなるような結果、社会の意見が多様化した意見の対立が激化することとなる。もちろん意見の多様性は健全な民主主義に必要ではあるが、民主主義の機能が弱まり対立だけが続くということになる。

また、科学技術と貿易が世界に格差と貧困をもたらしたと槌田は主張する。1990年代以降の規制緩和が、経済的な格差を拡大させたというのである。

「要するに、「規制緩和」とは、強者である貪欲な金持ちがさらに利益をあげて、より強者となり、弱者から安定した生活を奪うことなのである」（槌田（2007）、185-186ページ）。

それは世界的にもそうである。新自由主義的な政策がグローバルノースとグローバルサウスの格差を拡大させることとなった。¹⁸⁾

また、貿易も失業と貧困の原因だと槌田は主張する。例えば日本は安い穀物を輸入するようになり、そのため企業は安い穀物により安い賃金で労働者を雇うことができるようになり、それが工業製品の価格を低下させると考えた。その結果、穀物の自給率は大幅に低下することとなった。

だが、かつてヨーロッパ諸国の植民地であったアフリカ・アジア諸国では安い穀物を輸入してコーヒーなど換金作物を生産して収益を上げようとしたが、他国も同様に行動したため換金作物が供給過剰となってしまったのである。そのため、農民の大量失業が生じ、都市のスラム街に失業者があふれることとなった。

このように、

「アメリカやヨーロッパなど先進国の失業対策が、アフリカやアジアの途上国への失業を輸出したのである。つまり、先進国による穀物輸出は、途上国の失業という外部不経済を生み出したのであった」（槌田（2007）、132ページ）。

もちろん、途上国の失業には気候変動の問題など、さまざまな問題が関係しているであろうが、槌田はこのように自由貿易の弊害を指摘する。

いずれにせよ、これまでの経済学がこのような政策を推し進めるよう政治に影響力を及ぼした結果、強者はますます強者となり弱者はますます弱者にされてしまうという状況が生み出された。槌田は考える。そしてこの不公正の問題を放置してきたため、資源が過剰に使用されて経済は膨張することとなった。だが現代経済学はこの膨張を成長と勘違いしてきたというわけである。

戦後、日本は高度成長することができたが、それは豊かな生態系があったからである。だが、成長はそれを破壊してきた。よって、それを回復する必要がある。

歴史的に今から500年前には日本ははげ山ばかりだった。それは草や柴を肥料とする刈り敷農業で、里山の栄養素が取奪されたからだという。だが、漁業、農業、商業が森林を復活させたという事実がある。それは、細かいことは省略するが、それらが物質循環や養分循環を復活させたからであった。さらに糞尿をまくことによって都市周辺が雑木林になり、また生ごみは動物のえさとなった。このようなことによって、豊かな生態系ははぐくまれたのである。槌田によるまとめを参照すると、

「近代日本の生態系が豊かになった過程をまとめると、主流は、海から得た干鰯を投入して米などを作る。その米を食べて糞尿ができる。その糞尿で野菜を作る。この流れは漁民、商人、商人、農民の商取引でなされる。漁業、農業は商業によって連携した産業となった。

副流は、干鰯や糞尿を投下した田畑に、虫や草が繁殖する。これを野鳥などが食べて、田畑の周辺に糞をして肥料付きで植林する。その結果、森林が豊かになって、木材や燃料や山菜などが得られ、新たな林業が成立する。

そして、森林から流れ出た水は水田に注がれ、栄養素を田畑に供給する。これで米が取れる。田畑や都市から川に流れだした栄養素は川を豊かにして川魚が取れる。そして海へ流れて、前浜を魚介や海藻の産地にし、漁業が発達する。干鰯を作った漁業に始まって、たくさんの産業を経て、また都市の前浜の漁業まで産業の連鎖が成立したのである」（槌田（2007）、230-231ページ）。

それでは豊かな生態系はいつまでに快復すればよいのであろうか。それは石油や石炭、天然ガスが枯渇してしまうまでであると槌田は主張する。地球に残っているそれらを経済成長のためではなく、地球生態系を豊かにするために使うべきなのである。

以上のようなことを通じて、公正で平等な社会が実現できると槌田は考えるのである。¹⁹⁾

V 彼らを学派たらしめたものはなにか

最後に、彼らを学派たらしめたものはなにかについて考えてみよう。

玉野井、室田、槌田はそれぞれが専門分野の強みを生かし、共通の課題、つまり地球の持続可能性とそのため理論、そして実践的課題の構築のための共闘したのであった。もちろん、彼らの間には本稿でも取り上げたように若干の違いがある。

玉野井は経済学者としての能力を生かし、経済系を生命系としてとらえたうえで、再生可能な循環型社会を創るためにはどのようなことが必要かを、政治制度、産業のあり方、等の検討を通じて明らかにした。

室田は理系出身の経済学者としての強みを生かし、エントロピー論をより具体的に現実の問題と結びつけ、それらの解決を図ろうとした。例えば、原発問題や里山の問題、あるいは環境を守るものとしての地域通貨の役割などについてである。

槌田は物理学者としての能力を活かし、玉野井や室田の議論の根底にある思想、つまりエントロピー増大の法則の理論的側面を拡充し、さらにエントロピー経済学についての入門書を執筆し、エントロピー経済学の普及にも尽力したのである。

さらに彼らは、日本におけるエントロピー経済学に発展のためにさまざまな貢献をしている。例えば、日本にジョージ・レーゲンやハーマン・デイリーを招待し、議論を行った。またエントロピー学会を創設し雑誌『エントロピー』を創刊した。独自の雑誌を作るということは学会の存在にとって非常に重要なことであり、またエントロピー経済学を発展させるためにも非常に重要なことであった。

さらには文中でも述べたが、リサイクルに関する運動、原発推進反対運動、里山の保全、改善の試みなどさまざまな実践活動も行ったのである。

以上のような活動が彼らを結びつけ、強固な学派が形成されたのである。

もちろん、彼らだけが日本におけるエントロピー経済学の発展に貢献したのではない。内山隆、華山謙（はなまるゆずる）のような学者も貢献した。だが、その核は彼らが作ったといっても過言ではないのである。

VI おわりに

本稿では、日本におけるエントロピー学派がどのような理論を展開し、またどのような社会が持続可能であると考え、その実現にはどうしなければならないと考えたかについて検討してきた。

残念ながら、玉野井と室田はもうこの世にはいない。だが、彼らが残したものは確実に次の世代に受け継がれていっているといえる。例えば、斎藤幸平はもちろんエントロピーの理論について述べているわけではないが、里山の重要性やコモンズの重視、あるいは循環型社会の実現のための社会問題に対する視線などが彼らと共通しているといえる。もちろん、彼らはそれをコミュニズムとはいわないであろうが、それは重要なことではない。コミュニズムとはキャピタリズムの後にくる経済体制というよりも、キャピタリズムを出来るかぎり自然の法則に沿うように導いていくという運動であり、キャピタリズムが、あるいは人間社会が自壊することのないように考え続けるという思想であると思われるからである。

脱成長もまたそうである。ラトウーシュも述べるように脱成長とは現実に経済の成長を止めようとする運動ではなく、永続的な指數的成長は現実問題として不可能であるのだから成長を目標とするのではなく、生活の質を高めることを目標とするものである。

植田（2007）で述べられているように「ほどほどの生活を目標にする」ということである。

【注】

- 1) ボランニーの思想を受け継ぎ、それを現代社会の分析につなげていったのはマーク・グラノヴェッターであった。Granovetter（2017）を参照。
- 2) ここで光合成について考えてみよう。光合成をエネルギー論的に考察すれば次のようになる。ここでは小林（2022）、Phillipson（1966）、邦訳4章の解説を参考にみていく。

太陽エネルギーが地球に降り注ぐが、それが地表で熱となって吸収されエントロピーが生成される。吸収された熱エネルギーは、やがて地球からの赤外線での熱輻射として宇宙に放出されそれによってエネルギー収支のバランスが保たれることとなる。地球のエントロピーがほぼ30億年にわたって一定であったとされるのはそのためである。生物はこの太陽エネルギーで光合成をおこなう。光合成の化学反応式は次のようである。



水と二酸化炭素からグルコースと酸素を作る反応である。小林（2022）では熱関数であるギブスの自由エネルギーの概念を用いて説明が行われているので、それを参考にする。ギブスの自由エネルギーとは、等積条件のもとで定義されるヘルムホルツの自由エネルギーと異なり、等圧条件のもとでのそれである（どちらも等温過程であることが前提される）。また、以下のエントロピーやエンタルピー、自由エネルギー等は状態量である（状態量とは、熱力学で系の巨視的な状態によってのみ決まり、熱のような経路には依存しない物理量のこと）。

ギブスの自由エネルギーは次のように定義される。今、内部エネルギーを U 、摂氏 (セルシウス) 温度を T 、エントロピーを S 、圧力を P 、体積を V 、エンタルピー H を $H:=U+PV$ 、ヘルムホルツの自由エネルギー F を $F:=U-TS$ で定義すると、ギブスの自由エネルギー G は、

$$G=H-TS=U+PV-TS$$

と表わされる。

重要なのは、等温等圧過程では $\Delta G=-T\Delta S$ となるので、 $\Delta G\leq 0$ となる。つまり自由エネルギーは時間と共に減少しエントロピーが増大する (少なくとも減少しない) ことを示している。

植物は有機物を合成する場合仕事を行うが、このためのエネルギーは呼吸の過程で酸素を取り入れ有機物を分解して得ている。その際のエネルギー収支は次のように書くことができる。

$$\Delta G=\Delta H-T\Delta S$$

ここで ΔH は代謝可能なエネルギーであり、系に同化された物質の熱含有量 (エンタルピー) であり、エネルギーの吸収量から放出量を差し引いたものである。 $T\Delta S$ はエントロピー項であり、熱の増分すなわち高位の状態から低位の状態 (熱) へと変質する分のエネルギーで系の成長・維持 (仕事) には使えない部分である。呼吸の際の酸化によって熱として質が低下したエネルギーである。そして ΔG は正味のエネルギーであり、系の成長・維持 (仕事) のために実際に使い得る自由エネルギーである。さて、エントロピーの問題でいえば、このように光合成の過程でエントロピーが増大するが、小林 (2022) によればこれは仮に生物がいなくても発生するエントロピーであるという。「しかし、ここで発生するエントロピーは、もし生物がいなければ、太陽光が直接地表で吸収されて、生成するはずのエントロピーです。それを生物という別ルートで生成しているだけですから、特に余分に環境に負荷をかけているわけではありません。したがって生物がそれに対して責任を感じる必要はないものと思われまます」(小林 (2022), 53-54ページ)。

それでは人間が責任を感じる必要のあるエントロピーとはどのようなものであろうか。

「ただ、人間が化石燃料を燃やして発生するエントロピーは、過去に蓄えられた自由エネルギーを解放するわけで、追加で環境に放出していることになります。年間の化石燃料の消費量は、光合成で固定されるエネルギーの10%近くになると見積もられるので大変な量ですが、発生するエネルギーそのものは、わずかな温度上昇で宇宙空間に捨てることができますので、それほど大きな問題はないとも言えます。問題は発生する二酸化炭素による温室効果であって、この影響は単純な熱力学では答えが出ません」(小林 (2022), 54ページ)。

- 3) 玉野井が述べたことではないが、食という観点から言えば肉食が進むと飼料用の穀物生産が必要となるためさらに生産を拡大させなければならなくなる。それがさらに温室効果ガスの増大につながることはよく知られている。
- 4) プリゴジンの散逸構造については北原 (1999) を参照。
- 5) ここで玉野井の生命論と近年良く取り上げられている福岡伸一の動的平衡論との関係を考えてみたい。玉野井の生命論はシュレディンガーのネゲントロピー論に由来しているが、福岡のそれはドイツの生物学者シェーンハイマーの動的平衡論からきている。「つまり、環境は常に私たちの身体の中を通り抜けている。いや「通り抜ける」という表現も正確ではない。なぜなら、そこには分子が「通り過ぎる」べき容器物があったわけではなく、ここで容器物と呼んでいる私たちの身体自体も「通り過ぎつつある」分子が、一時的に形作っているにすぎないからである。つまり、そこにあるのは、流れそのものでしかない。その流れの中で、私たちの身体は変わりつつ、かろうじて一定の状態を保っている。その流れ自体が「生きている」ということなのである。シェーンハイマーは、この生命の特異的なありようをダイナミック・ステイト (動的な状態) と呼んだ。私はこの概念をさらに拡張し、生命の均衡の重要性をより強調するため「動的平衡」と訳したい。英語で記せば dynamic equilibrium (equi=等しい, librium=天秤) となる (福岡 (2017),

261-262ページ)。

- 6) ここでケイト・ラワースの議論を参照することは理解のために有益であろう。ラワースは、玉野井が述べた工業のようなあり方を芋虫経済、元々の農業のもつような循環性を蝶経済と述べた。芋虫というのはいうまでもなく一方向的直線的な流れであり、物質やエネルギーが投入され廃物・廃熱が出るといふ生産構造である。それに対して、蝶経済とは自然由来のものや人工的な物質やエネルギーが循環をなしているような生産構造である。玉野井が述べているような農業も工業も芋虫経済のようになってしまっているのであり、それを再生可能エネルギーやリサイクル、リユースなどを通じて蝶経済にしなければならないということである。
- 7) だが、この時の確率論の研究が後にエントロピーの問題を考える際に役に立ったものと思われる。20世紀における熱力学はマクロではなくミクロの量子論との関係が出てくるからである。
- 8) 森嶋の代替弾力性は、例えばよく知られている経済数学の教科書である Berck, P and Sydsæter (1991) でも取り上げられている。邦訳20ページを参照。
- 9) 西尾・西尾 (2005) によると、「自然林や材木用に植林した人工林以外に、農村には薪や堆肥財をとるためのコナラなどの広葉樹、アカマツ、生活のために管理した雑木林があった。山あいの土地では谷間の低地に作られた水田や畑と小川、それを囲む傾斜地にある雑木林や野草地などをまとめて里山と呼び、里山にある雑木林を里山林と呼んでいる。谷戸山林は傾斜地だけでなく、関東平野では平地にも存在し、平地にあっても「ヤマ」と呼ばれている。

里山林では落ち葉などを運び出すので、林床は藪化していない。広葉樹の里山林の林床には春になると光が届き始め、カタクリ、フクジュソウなどが一斉に花を咲かせる。春を過ぎると、樹木の葉が茂って、林床に光が届かなくなる。夏には広葉樹の樹林にクワガタムシ、カブトムシなどの項虫類が集まり、オオムラサキやミドリシジミなど蝶類が飛んでいる。また、秋になれば、マイタケ、しめじ、なめこなどのキノコが採れる。

だが、高度経済成長以後、都市近郊の里山林は宅地になって消滅し、残っている里山林も変わった。化学肥料やプロパングスが普及して落ち葉や薪が不要になったため里山林を管理する必要がなくなったからである。林床には鳥のふんから落ちた灌木の種が芽生えて藪化した。それ以前は林のなかに自由に歩ける広がりがあったが歩ける隙間もなくなって光が届かなくなり、カタクリなどの林床の草花は消失した。やがては樹木や虫の種類も変わりキノコもとれなくなる。そのため里山林を管理して昔の姿を復活させる取り組みが各地で起きている」(西尾・西尾 (2005), 196ページ) という。

このような激変が生じたため、室田はコモنزの重要性を指摘し雑木林や里山を地域住民が共同で維持管理しなければならないと考えるようになったのである。

- 10) 西部 (2002) によると、地域通貨とは次のような目的を有した通過だという。
1. 信頼を基盤として互酬の交換 (二者間の贈与と返礼というやりとりでなく、多数の自発的な参加者が必要なモノやサービスをお互いに提供しあうということ) をめざす。
 2. 地域通貨の域内循環により地域経済の自立的な成長を確立し、インフレや失業の問題を解決する。
 3. ゼロないし負の利子率により信用創造、投機、独占的な資本蓄積を阻止し、財やサービスの取引を活性化させる。
 4. 個人の福祉・介護、救済などの非市場的サービスを多様な観点から評価する仕組みを提供し、それらを活発にする。
 5. 労働、消費、福祉、環境に関わる、さまざまな非政府組織 (NGO) や非営利組織 (NPO) の活動をお互いに結びつけるための理念や枠組みを提示する。
 6. 人々にただ安心感や一体感を与えるのではなく、人々の間に協同や信頼の関係を築き、貨幣交換へと一元化しているコミュニケーションを多様で豊かなものにする。

また、松尾 (2001) では、地域通貨を相互扶助型と相互貢献型に分類し、それぞれの利点、欠点が分析されている。さらに、地域通貨が普通の通貨と違う点は、

1. 市民ないし市民団体による自由発行と運営コストの共有。
2. 比較的小規模な流通圏と国家通貨への換金不可。
3. 無利子または原価 (マイナス利子)。

である。

- 11) 室田 (2004) によるとカーンのいう「コ・プロダクション」とは次の四つの核からなるという「資産：この世の中に役に立たない人間はいない。仕事の再定義：女性、子供や家族、移民の人たちが無償でする仕事を当然のことと考えてはならない。また、従属関係や差別、搾取によって引き出される市場経済に甘んじていてはならない。相互扶助：依存者を生むような政策はやめよう。問題を抱えた人たちを手助けすることで利益をあげながら受益者たちを価値のないもののように扱うのはもうやめよう。ソーシャル・キャピタル：家族や近隣、地域をないがしろにするのはもうやめよう。社会や、経済でも根こそぎ使い尽くすようなやり方はもうやめよう」(室田 (2004), 15ページ)。
- 12) 消費可能なエネルギーはエンタルピーと呼ばれる。エンタルピーとは系に入るエネルギーのことであり、それは有効エネルギーと束縛 (無効) エネルギーに分かれる。
- 13) 岩井 (2022) では「…生物が存在してもいなくても、人間が存在していてもいなくても、人間が産業活動を行っても行わなくても、地球全体を一つの開放系と捉えれば、大気圏を含めた地球全体におけるエントロピーの総量は基本的には一定である」(74) と述べている。だがこれは表現が正確ではないと思われる。実際、物理学者がいうように地球上のエントロピーは増大しているからである。もちろんエントロピーの増加はその前で小林 (2022), 54ページが述べているようにわずかな温度上昇によって宇宙に捨てることができるという議論を受けたものであろう。だが、その「わずかな温度上昇」が問題である。果たしてそのような温室効果が人類にとって耐えられるものなのかということである。そして今や、それが耐えられない温度まで上昇しているとすれば、それはもはや地球が過剰なエントロピーを捨てることのできないところまで追いつめられているということであろう。
- 14) 周知のように、水は物質の中で一番比熱が高く (熱しにくく冷めにくい)、摂氏 0 (絶対温度 273 K) で個体から液体へ、摂氏 100 (絶対温度 373 K) で液体から気体へ相転移する。
- 15) 断熱圧縮とはカルノーサイクルの用語である。つまり熱化学機関は断熱膨張、等温膨張、断熱圧縮、等温圧縮を繰り返すことによってサイクルを繰り返すことになる。ただしこれは理想気体などを仮定している理想状態である。さらには準静的過程、つまり平衡状態を維持しながら熱を加えていくという、時間的には無限にかかる過程が仮定されている。
- 16) この左辺の積の第一項は、 $S = \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{1}{2}\right)^{2^n}$ という無限等比級数であり、その値は大体、0.8164215… となり無理数である (つまり循環しない無限小数となる)。ただし、この級数の閉じた形での解は知られていない。またこの数値によって放射能がほぼゼロになる時間が測定できる。
- 17) ここで、ボルツマンのエントロピー理解とそれに対する樋田の批判を簡単にみておこう。ボルツマンのエントロピー理解とは次のようなものである。

$$S = k_B \ln W$$

ここで S はマクロレベルでのエントロピー、 k_B はボルツマン定数 (分子の数をアボガドロ定数、つまり $6 \times 10^{23} = 1 \text{ mol}$ で測ったもの)、 \ln は自然対数 (ナチュラルログリズム)、 W はミクロレベルでの分子の状態数である (状態数については平山 (2007) の解説がわかりやすい)。

19世紀の熱力学はまだ分子の存在などは確証がなかった。したがって、熱が分子の運動によって生じるということは知られていなかった。つまり考察がマクロ (巨視的) なレベルにとどまっていたのである。よってカロリック (熱素) という物質が熱を伝導させているのだと考えられていた。カルノーでさえそうだったのである。そして、エントロピー概念を確立した L. クラウジウスは熱力学の第二法則としてそれを必然的な法則だとしたのである。つまりエネルギー、物質の出入りのない閉鎖系ではエントロピーは必ず増大するということである。

だが、ボルツマンは分子レベル、つまりマイクロ（微視的）なレベルでエントロピー法則を考えなおそうとした。

ボルツマンは次のように主張する。例えばインクを水槽の水に入れるとする。そうするとインクの分子は拡散していくが、逆のことは起こらない。つまり再びインクと水が分離することはなんらかの科学的な操作を外部から施さない限り起こらないであろう。だが、であろうである。逆も実は起こり得るのだが、それは限りなく小さな確率でしか生じないため実際に起こっていないということである。つまりエントロピー法則を確率論的に理解するわけである。

インクの例ではなく、最も単純な例として、二つのサイコロをふって出る目を考える。そうすると2の場合は1通り、3の場合は2通り、4の場合は3通り、5の場合は4通り、6の場合は5通り、7の場合は6通り、8の場合は5通り、9の場合は4通り、10の場合は3通り、11の場合は2通り、12の場合は1通りである。出る目の組み合わせの数は36通りあるので確率分布でいうならば、それぞれ $\frac{1}{36}$, $\frac{2}{36}$, $\frac{3}{36}$, $\frac{4}{36}$, $\frac{5}{36}$, $\frac{6}{36}$, $\frac{5}{36}$, $\frac{4}{36}$, $\frac{3}{36}$, $\frac{2}{36}$, $\frac{1}{36}$ となる。サイコロを数回振っただけでは二つの目の和がどうなるかは、不確実である。だが、試行を増加させていくと、それは合計7の場合がもっとも多くなっていく。つまり場合の数が一番多い（あるいは、確率分布が一番大きい）場合がもっとも多く表れるようになるのであり、これがボルツマンの解釈した確率論的エントロピー増大の法則である。だが、このような理解に対して榎田はこのような解釈には不可逆性の問題がないと批判している。

- 18) もちろん、それはグローバルサウスの人々の生活水準を低下させたということではない。そのためノルベリのような論者は、それによってグローバルサウスの人々の生活水準も向上したのだからそれは資本主義が人類最高の制度であると主張するのである。Norgerg. J (2016) を参照。あるいは Norgerg. J (2016), Norgerg. J (2020) も参照。
- 19) さてそれ以外の論点で、榎田の通説批判について述べておこう。それは地球温暖化の原因をめぐる問題である。

榎田は地球温暖化の原因がCO₂によるものであるという見解を批判した。それについては榎田(2006)で年来の見解がまとめられている。実際、古代文明では平均気温は今よりも高かった。5000年前には平均気温は現在よりも2度高く、1000年前には1度高かったのである。適当に温度が高かったため植物はよく育ち、食糧生産から解放された人々が都市文明を発展させることとなった。

また地球の気温は高低を繰り返しており、そのような温度変化の一環として今の温暖化があるのであり、温室効果ガスによって温暖化が起こっているというのは科学的根拠に欠ける、と榎田は主張する。そして気温上昇が原因であり、CO₂の増加は結果にすぎないと考える。つまり、大気中のCO₂濃度は主として気温によって決まるのであり、その逆ではないというわけである。

もちろん、この榎田の見解の是非は今日で十分懐疑的に考える必要があろう。だが、榎田は、さまざまな地球温暖化対策が、ほとんど功を奏さなかったと考える。そもそも実現不可能な目標を立てられたり、太陽光発電も石油の過剰消費につながり

また温暖化説の仕掛け人は原発業界であると榎田は主張する。原発業界はCO₂の問題から化石燃料から原子力発電へということを強調してきた。だが、原子力発電は大量の電力を消費するのであり、それは大量の石油を消費しているということになる。

榎田の見解の是非はともかく、このように既成の学説を批判するのは、父竜太郎の影響が大きであろう。竜太郎は既存の学説におもねることなく、自らの頭で考え自らの意思によって行動することが重要であると考えたからである(榎田(1975))。

【参考文献】

- 岩井克人(2022)「コメント-エントロピーと人間」『日本学士院紀要』77(1):73-84。
エントロピー学会編(2003)『循環型社会を創る 技術・経済・政策の展望』藤原書店。

- 大石進編 (1986) 『エントロピー読本Ⅲ エコロジーとエントロピー』別冊経済セミナー, 日本評論社。
- 大崎正治 (1981) 『「鎖国」の経済学 オルタナティブ・エコノミクスを求めて』JICC 出版局。
- 北原和夫 (1999) 『プリゴジンの考えてきたこと』岩波化学ライブラリー。
- 公文俊平 (1986) 「玉野井先生の思い出」大石進編『エントロピー読本Ⅲ エコロジーとエントロピー』230-233。
- 小暮陽三 (1995) 『絵でわかる熱力学』オーム社。
- 小林誠 (2022) 「エントロピーと生命・宇宙」『日本学士院紀要』77(1): 49-60。
- 佐波宣平 (1966) 『弾力性経済学』有斐閣。
- 塩沢由典 (1997) 『複雑系経済学試論』NTT 出版。
- 塩沢由典 (2020) 『増補 複雑系経済学入門』ちくま学芸文庫。
- 柴谷篤弘・槌田敦 (1992) 『対談 エントロピーとエコロジー』創樹社。
- 関根友彦 (1986) 「玉野井理論の構造」『エントロピー読本Ⅲ』246-252。
- 高岡えい子 (2012) 『シャノンの情報理論入門』講談社ブルーバックス。
- 玉野井芳郎 (1977) 『地域分権の思想』東経選書。
- 玉野井芳郎 (1979a) 『市場志向からの脱出』ミネルヴァ書房。
- 玉野井芳郎 (1979b) 『地域主義の思想』農村漁村。
- 玉野井芳郎 (1985) 『科学文明の負荷』論創社。
- 玉野井芳郎・清成忠男・中村尚司共編 (1978) 『地域主義 新しい思潮への理論と実践の試み』学陽書房。
- 玉野井芳郎・坂本慶一・中村尚司編 (1984) 『いのちと“農”の論理 都市化と産業化を超えて』学陽書房。
- 玉野井芳郎 (1978) 『エコノミーとエコロジー』みすず書房。
- 玉野井芳郎 (1982) 『生命系のエコノミー』新評論。
- 槌田敦 (1980) 『エネルギー 未来への透視図』日本書籍。
- 槌田敦 (1981) 『石油文明の次は何か』農村漁村文化協会。
- 槌田敦 (1982) 『資源物理学入門』日本放送出版協会。
- 槌田敦 (1986) 『エントロピーとエコロジー』ダイヤモンド社。
- 槌田敦 (1992) 『熱学外論—生命・環境を含む開放系の熱理論—』朝倉書店。
- 槌田敦 (1993) 『エネルギーと環境』学陽書房。
- 槌田敦 (1998) 『エコロジー神話の功罪』ほたる出版。
- 槌田敦 (1999) 『気とエントロピー』ほたる出版。
- 槌田敦 (2002) 『新石油文明論』農文協。
- 槌田敦 (2006) 『CO₂ 温暖化説は間違っている』ほたる出版。
- 槌田敦 (2007a) 『環境保護運動はどこが間違っているのか?』宝島新書。
- 槌田敦 (2007b) 『エントロピー経済学入門』ほたる出版。
- 槌田敦 (2009) 『「地球生態学」で暮らそう』ほたる出版。
- 槌田敦 (2014) 「エントロピー経済学の基礎と展開」『経済学論叢』65(3): 189-214。
- 槌田敦・岸本重陳編 (1990) 『玉野井芳郎著作集② 生命系の経済に向けて』学陽書房。
- 槌田竜太郎 (1975) 『化学者 槌田竜太郎の意見』化学同人社。
- デイリー・H (2014) 『「定常経済」は可能だ!』岩波ブックレット。
- 藤堂史明 (2016) 『「原子力防災」の経済学—「望ましい」被ばく量はあるのだろうか—』ブックレット新潟大学68, 新潟日報事業社。
- 藤堂史明 (2020) 『環境とエントロピーの経済学—宇宙人としての人間の視点から—』ブックレット新潟大学72, 新潟日報事業社。
- 中野佳裕 (2019) 「玉野井芳郎の地域主義—人新世におけるその現代性と可能性」, 日本平和学会2019年度秋季研究集会。

- 中村慎吾 (2002) 『里山学入門』
- 西淳 (2024) 「エコロジーと価値論」『季刊理論経済学』61(1): 92-97.
- 西尾道徳・西尾敏彦 (2005) 『図解雑学 農業』ナツメ社。
- 西部忠 (2002) 『地域通貨とは何か』岩波ブックレット。
- 西村和雄・室田武 (1990) 『ミクロ経済学・入門』JICC 出版局。
- 平山令明 (2008) 『熱力学で理解する化学反応のしくみ』講談社ブルーバックス。
- 平山令明 (2023) 『教養としてのエントロピー法則』講談社。
- 福岡伸一 (2017) 『新版 動的平衡 生命はなぜそこに宿るのか』小学館新書。
- 松尾匡 (2001) 「地域「通貨」の二大目的間の矛盾と対策」『産業経済研究』41(1): 81-97。
- 松田次生 (2022) 『エントロピー的反差別論』海鳥社。
- 室田武 (1979) 『エネルギーとエントロピーの経済学』東経選書。
- 室田武 (1981) 『原子力の経済学—くらしと水土を考える—』日本評論社。
- 室田武 (1983) 『水車の四季』日本評論社。
- 室田武 (1983) 『君はエントロピーを見たか?—地球生命の経済学』創拓社。
- 室田武 (1985) 『雑木林の経済学』樹心社。
- 室田武 (1985) 『技術のエントロピー—水車からの発想—』PHP 研究所。
- 室田武 (1987) 『マイナス成長の経済学』農村漁村文化協会。
- 室田武 (1988) 『天動説の経済学—日常生活を熱学的に考える—』ダイヤモンド社。
- 室田武 (1989) 『水土復活—脱原発社会をめざして—』冬樹社。
- 室田武・赤星たみこ (1993) 『赤星たみこ、わたしは趣味のエコロジスト』KADOKAWA メディアファクトリー。
- 室田武 (1993) 『電力自由化の経済学』宝島社。
- 室田武 (1995) 『地球環境の経済学』実務教育出版。
- 室田武 (2001) 『物質循環のエコロジー』見洋書房。
- 室田武 (2004) 『地域・併行通貨の経済学』東洋経済新報社。
- 室田武 (2006) 『エネルギー経済とエコロジー』見洋書房。
- 室田武 (1991) 「地球破壊と経済的再生産の諸問題」杉原・公文・新田編『柴田経済学と現代』日本経済評論社, 117-153。
- 八木紀一郎 (1986) 「自由な「探究者」—玉野井先生の学史研究」『エントロピー読本Ⅲ』234-239。
- Berck, P and Sydsæter (1991) *Economist's Mathematical Manual, Second Edition*, Springer Verlag (鈴木興太郎監訳, 丹野忠晋訳『エコノミスト数学マニュアル』日本評論社, 1996年)。
- Von.Bertalanffy, L (1949) *Das Biologische Weltbild I, Die Stellung des Lebens in Natur und Wissenschaft*, A. Frank A. G. Verlag (長野敬・飯島衛共訳『生命 有機体の考察 (第二版)』みすず書房, 1974年)。
- Von.Bertalanffy, L (1968) *General System Theory, Foundations, Development, Applications*, George Braziller (長野敬・太田邦昌訳『一般システム理論』みすず書房, 1973年)。
- Granovetter, M (2017) *Society and Economy: Framwork and Principles*, The Belknap Press of Harvard University Press (渡辺深訳『社会と経済 枠組みと原則』ミネルヴァ書房)。
- Kuga, K and Murota T (1972) "A Note on Definitions of Elasticity of Substitution in Many Input Case," *Metroeconomica*, 24(3): 285-290.
- Murota, T (1977) "On the Symmetry of Robinson Elasticities of Substitution: Three Factor Case," *Review of Economic Studies*, 44(1): 173-176.
- Tamanoi Yoshiro (2020) "Economy and Ecology Translated by Robert Chapeskie and Kiichiro Yagi. The History of Economic Thought, 62(1): 51-75.
- Illich, I (1984) *Gender*, Marion Boyars Publishers (玉野井芳郎訳『ジェンダー 女と男の世界』岩波現

- 代新書, 1984年).
- Illich, I (1984) *Shadow Work*, Marion Boyars Publishers (玉野井芳郎・栗原彬訳『シャドウ・ワーク』岩波現代選書, 1982年).
- Iwakuma Fumino (2023) "Ecology and the commons in Yoshiro Tamanoi, Easy Chair Preprint, No. 10879.
- Latouche, S (2019) *La décroissance*, (Collection QUE SAIS-JE ? N°4134)/Humensis, Paris (中野佳裕訳『脱成長』白水社).
- Norgerg. J (2016) *Progress Ten Reasons to Look Forward to the Future*, David Higham Associates Ltd. (山形浩生訳『進歩』晶文社, 2018年)。
- Norgerg. J (2020) *Open THE Story of Human Progress*, David Higham Associates Ltd. (山形浩生・森本正史訳『「開く」ことができる人・組織・国家だけが生き残る』ニューズピックス, 2022年)。
- Norgerg. J (2016) *The Capitalist Manifesto: Why the Groval Free Market Will Save the World*, David Higham Associates Ltd. (山形浩生訳『資本主義は人類最高の発明である グローバル化と自由市場が私たちを救う理由』ニューズピックス, 2024年)。
- Okabe Kayo and Maruyama Makoto () "Influences of Polanyi's thought on Yoshiro Yamanoi and the friendship with Ivan Illich.
- Phillipson, J (1966) *Ecological Energetics*, University of Oxford (清水誠訳『生態系とエネルギー』朝倉書店, 1980年).
- Polanyi, K (1957) *The Great Tranfomation-The Political and Economic Origins of Our Time-*, Beacon Press (吉沢英成・野口建彦・長尾史郎・杉村芳美訳『大転換』東洋経済新報社, 1975年).
- Polanyi, K (1977) *The Livelihood of Man*, Academic Press (玉野井芳郎・栗本慎一郎・中野忠訳『人間の経済』岩波書店).
- Robinson, J (1933) *The Economics of Imperfect Competition*, Macmillan (加藤泰男訳『不完全競争の経済学』文雅堂銀行研究社刊, 1956年).
- Schrödinger, E (1944) *What is Life ? The Physical Aspect of the Living Cell*, Cambridge University Press (岡小天・鎮目恭夫訳『生命とは何か 物理的にみた生細胞』岩波文庫, 2008年).