

Paper

システム思考における目的論理の構造と社会倫理について VII
カルステン・ヘルマン・ピラース「熱力学と経済学を統合化する方法論的枠組み
としての構成的説明」

**On System Thinking, Teleological Structure and Social Morality VII
Carsten Herrmann-Pillath “ Constitutive Explanations as a Methodological
Framework for Integrating Thermodynamics and Economics”**

Yasumasa Arai

Minami-Tsukushino, Machida, Tokyo, Japan

E-mail: araraiypol1a@nifty.com

荒井康全

東京都町田市南つくし野

042-795-3348

Abstract:

General System Thinking is a theory of an object under concern to be taken as organized fundamental frame with objectives and constraints. This author looks into the meaning of decision making taken into account as "human free will" and "natural causality", so-called, that is to be said. He enquires into the concept of purpose in its human and social dimensions. In this context he takes here,

Carsten Herrmann-Pillath's paper which is the conceptual frame-work in terms of “ Constitutive Explanations as a Methodological Framework for Integrating Thermodynamics and Economics””. Major concerns here are put as focused on a common approach to integrating thermodynamics and economics is subsuming thermodynamic aspects among the set of constraints under which economic activity takes place. The causal link between energy and growth is investigated via aggregate econometric analysis.

Keywords: constitutive explanations; causal mechanisms; energy and growth; rebound effect; urbanization

要約: 一般システム思考は、目的と制約条件をもつ対象に関する理論である。著者は、これを人間自由意志と自然因果関係とに還元して意思決定の意味を展開し考察してきた。これらは、システム思考と一般目的論の論理構造と社会倫理への「構成的説明」であり、とくに異なる価値体系との共約不可能性への解明に焦点が当てられてきた。

本報は、その思考枠組み一環としてカルステン・ヘルマン・ピラースの論文である「熱力学と経済学を統合化する方法論的枠組みとしての構成的説明について」の概説紹介と考察をおこなうものである。

キーワード: 構成的説明; 起因的機構; エネルギーと成長; リバウンド効果; 都市化

目次

This author's Summary

はじめに

1. 原論文の章節から

1.1. 序論”人間行為結果系経済学 “Economics of the Anthropocene”に向けて

1.2. エネルギーと成長：総合的解析の方法論的な落とし穴

1.2.1. GDP によって経済活動を測ること

1.2.2. 生起（原因）メカニズムの同定

1.2.3. 人間の意思と設計の役割

1.3. エネルギー - 成長連鎖の分析での生起機構

1.3.1. 構成的説明：基本原理

1.3.2. リバウンド効果、構成的説明のひとつのケース

1.4. 結論

2. 本稿著者の考察と Hermann-Pillath との交信

2.1 本論著者の考察

2.2 Hermann-Pillath 氏との交信

ヘルマン・ピラース氏の略歴

参考文献(原著者)

This author's Summary:

General System Thinking is a theory of an object under concern to be taken as its own fundamental frame regarding on objectives and constraints. This author has looked, so far, into how and what the meaning of decision making taken into account as "human free will" and "natural causality", so-called, that is to be said. He enquires into the concept of his or her purposes into its human and social dimensions. My major concern in my thinking, so far, is set on its general structure of Objectives and Constraints frame, especially on the boundary-limit of the 'Objectives' setting. This thinking will make us to "wandering" far and more fundamental world.

In this line, he takes this time, Carsten Herrmann-Pillath's paper which is the conceptual frame-work in terms of "Constitutive Explanations as a Methodological Framework for Integrating Thermodynamics and Economics". Pillath's major expression on concerns here are put as focused on ;

~The common approach to integrating thermodynamics and economics is subsuming thermodynamic aspects among the set of constraints under which economic activity takes place. The causal link between energy and growth is investigated via aggregate econometric analysis.

~The common approach to integrating thermodynamics and economics is subsuming thermodynamic aspects among the set of constraints under which economic activity takes place. The causal link between energy and growth is investigated via aggregate econometric analysis.

His paper discusses methodological issues of aggregate analysis and proposes an alternative framework based on recent developments in philosophy of science, in particular of the life sciences.

This paper pays a focus on this his paper on the early part, and is added with my comments and communications with Pillath on later part.

I sincerely acknowledges Dr. Carsten Herrmann-Pillath, who gave me series of his original paper. I thank also Dr. Aoki, Masahiko (in his past way) for my happily incidental connection through his group social net.

はじめに

一般システム思考は、目的と制約条件をもつ対象に関する理論である。著者は、これを人間自由意志と自然因果関係とに還元して意思決定の意味を展開し考察してきた (Arai(2013-2016)ⁱ)。これらは、システム思考と一般目的論の論理構造と社会倫理への「構成的説明」であり、とくに異なる価値体系との共約不可能性への解明に焦点が当てられてきた。

本報は、その思考枠組み一環としてカルステン・ヘルマン・ピラースの論文である「熱力学と経済学を統合化する方法論的枠組みとしての構成的説明について」(Herrmann-Pillath(2016)ⁱⁱ)の概説紹介と考察をおこなうものである。ここで該論文の表題を敬意を表して記載する；

論文著者：Carsten Herrmann-Pillath

論文名：“Constitutive Explanations as a Methodological Framework for Integrating Thermodynamics and Economics”

掲載著書名：Entropy 2016 18, 18

熱力学と経済学とを総合化する一般的なアプローチは、ある制約条件の群のもとで経済的行為が行われているとする熱力学的な視点を想定するものである。

エネルギーと成長との間の起因連鎖 causal link は、総合的な経済学での測度論的な分析を経て明らかになるものである。

本論文では総合的分析の方法論的項目を論じ、さらにひとつの代替思考枠を提案する。その思考枠とは科学哲学、就中、生命科学において近来展開されたものに基礎をおいている。

“構成的説明 Constitutive explanations” は、科学的説明として法則的な包括を目指すのではなく、現象として発生する起因的な機構についての多水準的な構造を同定することに集中するものである。

この方法論は相互交流的な学際的研究を組織するために積極的に使われてきたのである。

原著者ヘルマン・ピラースは熱力学と経済学を総合するための思考枠を提案する。なぜなら、このことはいくつか複数の科学領域の結合をも要求するからである。

原著者は構成的説明のひとつとして“リバウンド効果 rebound effect “の例を説明する。これは物理学的意味での経済成長の定義的な様相を複雑系機構としてとらえ、都市化 urbanization をその文脈として取り上げるものである。

説明のながれとしては、節 1. で、Herrmann-Pillath の原論文を和訳にそって紹介する。

節 2. は 本稿著者の本論への考察と 原著者との交信内容である。参考文献は、原論文のものを掲載している。

1. 原論文の章節から

1.1. 序論”人間行為結果系経済学 “Economics of the Anthropocene”に向かって

熱力学が経済的なプロセスの解析の基礎であるかという命題はふたつの経済学；エコロジー経済学 Ecology Economics と、“主流経済学 main stream economic”とよばれている経済学との間に深刻な分離が存在している[1,2]ⁱⁱⁱ。もしわれわれがエコロジー経済学の現在の地位を直視するなら、残念ながら標準的な経済モデルと定量的解析法の適用という意味において主流経済学との収束が進んでいるとは言えない[3]^{iv}。この状況は、環境経済学でのより先鋭な立場から批判を受けている。それはしばしば倫理的論議を基礎に置いている[4]^v。

本論文では、著者はひとつの代替的にして、また補足的な見解を展開する；これは、これまで熱力学的な観方が、科学哲学とその方法論のなかでの基盤が弱い状態にあったこと、また、熱力学を経済学につなげるということを理解納得させる総合化も遅れていることを論じたい。したがって、この論文の貢献するところは、それ自体がオリジナルな研究としてではなく、相互学際的な総合化という課題への哲学的アプローチを提供するものとして位置づけるものである。

著者は、いくつかの事例を現在の研究から引用し、この方法論的な見解が重要な帰着性 consequence をもつことを説明したい。この帰着性とは、経済学と熱力学が結合したパラダイムの確立のうえでの知識にすべく調整し、翻訳することを意味するものである。かくして、ここでの熱力学的見解は、経済学的な意味で、経済成長に関するエネルギー的、および環境的な制約条件に関わるものを含んでいる[5,6]^{vi}。事実、有効なエネルギーは生産“production”という意味において、経済的行動にすべてにわたって必要な資源であり、もっとも普遍的な資源として見ることができる[7]^{vii}。そこで、(一般的に)研究の焦点は、如何なる、また如何ばかりのエネルギーが、経済成長を決めるのに有効であるか置かれてきたのである。

方法論的な項目の範囲としては以下である；何が、エネルギーを測るのに適しているか、何が生産機能（関数）としての適した形式であるか、そして何が経済的方法として、エネルギーと成長の起因関係 causality を証明するのに正しいものかである。著者は、これらの項目についての詳細には立ち入らず、むしろ、より基本的な質問に立つ：

この総合的 aggregate で、なおマクロ水準でのアプローチに着目するとき、それが経済現象と熱力学の現象とを繋げる起因的なプロセスとして見なすために最良のものでありうるかである。

これまでの慣用的な経済学的方法論は、経済での起因的なプロセスを理解するうえで、

人間の意図へつなげる役割りを担わされていたのである。

経済現象はつぎの二つの人間の応答で説明される。ひとつは、最適化手順に従っての、制約条件への応答であり、もうひとつは、これらの制約条件を変更するための人間努力の結果としての応答である。(前者は、不完全な情報のもとでの制限が課せられているときの現実的な説明に至らしめることをもとめる。後者は、外部からの導入やそれ自体の革新である) 必然的に、エネルギー - 成長連鎖に関するかぎり、熱力学は経済成長を説明しないであろうが、しかし、成長を起こすエネルギーの制約条件を説明するであろう。成長は人間行為からの出現であるが、成長が、作動起因 **causation** という意味で、目下進行している物理的な原理を直接に作用しているわけではない。換言すれば、エネルギーは人間経済行動の手段ではあるが、その関連する物理的理論は その作動原因としての第一義的な説明に帰する地位を獲得しえないものである。

この論文では、これまでとは異なる方法論的な観方をつかい、熱力学と成長の分野でのたくさんの有効な方法と研究の結果を再整理することができることを示したい。ひとつの結果として、熱力学は成長につながる制約条件の合理性を与えることになり、そればかりでなく成長を後押しする起因プロセスを理解するための基礎を提供している。この内的視察は、構成的説明“**constitutive explanations**” の方法論を適用することにより、実りが期待できるものである。これは、生命科学分野での理解や研究整理用として、哲学者たちによって開発されたものであり、現今においてもっとも適切な方法論的思考枠組み **methodological framework** である [11]^{viii}。アイディアは単純である：経済成長を、非常にたくさんの数の相互作用機構から構成されるひとつの機械 a “**machine**”からの出力として捉える方式である。この機械は、人間個人、技術的人工物 **artefacts**、これらの相互作用を統制する制度 **institutions** によって構成され、生命圏の一部、さらに地球圏をも含むものである。

エネルギー～成長の連鎖 **energy-growth link** についての上述の研究は、この機械についての明確な経験的見通しを提供する。それはこの機械をブラックボックス **black box** として扱い、エネルギーを入力として、成長を出力として扱う。

しかしながら、この構成的説明からの視点にもとづき、このリンクでの規則性を説明することになる。そのためにつぎのことが要求される。すなわちブラックボックスを開き、これらのパターンを一緒になって発生に至らしめる特定の機構を同定することである。

著者は人間経済 **human economy** を出現する現象として見ていくのであるが、それにもっとも適した観方として、「人間行為系”**Anthropocene**”」 [12]^{ix}という概念を中核的にしていくことを要求する。ハイエク **Hayek** の言葉を借りるなら、**Anthropocene** の観方とは「人間行為の結果 **result of human action** であり、人間設計の結果ではない **not of human**

design」とするものである。

エネルギーについての経済的な観方（視点）を、制約条件 **constraint** としてとらえることを提案するものであり、エネルギー～成長の連鎖 **energy-growth link** は、もともと人間設計を反映とするものであるが、ここでは、エネルギーと成長とが繋がっている機械系として捉えるのである。ここでは異なる水準をもつ複雑な進化系が、プロセスとして相互作用するものとするのである。ここでいうプロセスの異なる水準とは、構成的説明思考枠組み **constitutive explanations framework** で物理学、生物学や経済学といった総合化されるべきさまざまな専門知識によってカバーされるものを意味している。

つぎの三つのステップで論を進めたい。

著者はエネルギー～成長連鎖 **energy-growth link** にむけての慣用的なアプローチについての方法論的問題とそれに対する挑戦を論ずることを始める。

著者は、つぎに、構成的説明思考枠組み **constitutive explanations framework** を説明する。これはこれまで自然科学および社会科学において多岐にわたる学際的研究を組織化するうえで、もっとも採用されてきた方法である。これによって熱力学と経済学との総合化への見通しが新たに開けることになる。

都市化 **urbanization** として、より大きな思考設定を考えた、これを物理的なプロセスとしてリバウンド効果の役割わりを典型例として説明したい。すなわち人間生存のための支援構造の蓄積と維持という意味での役割わりである。

都市化を駆動する原因メカニズムを調査することは、エネルギー～成長連鎖を理解するための適切なアプローチである。このアプローチは然るべき測定を定義して開始されるのである。

1.2. エネルギーと成長：総合的解析の方法論的な落とし穴

この節で、著者は、総合的な解析 **aggregate analysis** の共通のアプローチがなぜ価値があるのか、そのいくつかの理由を述べるが、しかしエネルギーと成長との間を生起する連鎖を理解するには十分とはいえない。熱力学と経済学とを統合 **integrate** を試みることは、重要な懸題である。著者は、熱力学的に適合する尺度としてまた、経済的生産の現象として **GDP** に着目して、その成長の限界を論ずるところから始める。

つぎに総合的解析が第一義的にエネルギーの貫流 **throughput** がなぜ増大するのかの原因を見積もることができないことを論ず、おわりに、標準的な経済学観方が、人間意思性に対して、成長の起因者として、中心的な役割わりを課していることを論じる。これには、制度（論）的 **institutional** にして、なお技術的 **technological** な進化が、人間による設計 **human design** によって、部分的に自律性のあることも論じる。

1.2.1. GDP によって経済活動を測ること

エネルギー - 成長連鎖に関するほとんどの研究では、GDP データがその経済成長を測るという理念を受け入れている：たとえば、物理学者によるもっとも進んだアプローチのひとつでは、エネルギー - 成長連鎖理解として、GDP が経済活動の適正な手段であること、そしてそのエネルギーは、GDP の成長に関する制約条件のひとつであることを、明示的に論じている Ayres and Warr ^x ([6]: 133ff, 197ff)。

一方、エコロジー経済学者は、GDP データに焦点をおくことに、常に批判的であるである [13]。それは主として規範的な観方からくるもので、GDP が生物圏での人間の存在と地位を決して十分に反映していないという意味からである (Ayres and Warr は、GDP が福祉の考慮を明示的に含まない事由から、GDP に好意的な支持をしている)。

GDP データに関わるよりおおきな標準的な問題は存在していない：定義では、GDP は市場を媒介にして、したがって市場価格において評価をうけている経済活動のみを測定するとしている。そこで、たとえば、政府活動は GDP には十分に反映されていない (価格でのみが評価されていて、付加された価値ではない)、またそこでは、家庭生活系での生産は除外されている。このことは、たとえば、家庭生活系での生産の市場化“marketization”や、異なる経済構造をもつ国との間の比較を含むような、長期トレンドの問題を発生させる。このことはつぎのことを意味している；エネルギー貫流 (投入) throughput は、経済の全体的なエネルギー消費をカバーする物質データの項目として測ることを意味しているが、ここでの GDP データは、市場価格によって重み付けられた熱力学的活性の経済プロセスのごく一部のみを反映していることになるのである。

GDP データのこの使用は、総合的 aggregate 経済活動に他にこれといった代替もなく、TINA (“there is no alternative”他に代わらざる) アプローチとみられている。したがって、測定案件については、エネルギー - 成長連鎖を考えるとときにめったに反映されない (たとえば Stern による権威あるレビューもこの設問を扱っていない [14]^{xi})。なおかつ、この設問として、GDP での経済活動の固有の統計的表現が、どのくらいの大きな誤差マージンなり、それがエネルギー - 成長連鎖を測る経済数量結果のロバスト性に影響するかについては、依然として考慮外にある。

しかしながらここに、より基本的な問題がある。研究者は、成長におけるエネルギーの役割りを明らかにしようとしたが、彼らは市場価値を使わず、エネルギー入力である物質を測定手段にしたのである。かくして実際に異なる尺度標準の混合となった。(相当する生産関数において、資本は金額の項で測り、労働は年間時間で、そしてエネルギーは物理量

で測る、つまり異なる仕様となった。たとえば以下を見よ、[16]^{xiii}; [5]: 197ff, 334ff; [6]: 205ff, 262ff,これらは基準年を参照して無次元量に翻訳したのである)

事実、経済成長にエネルギーの寄与を推定しようとするときに、文献では経済的活動を測定するときの GDP の限界に注意をあたえている：エネルギーは、マーケット価格で評価されるので、エネルギー部門で付加された価値の項目でのみ代表されであろうし、したがって成長の駆動者としては他の経済入力項目、特に労働にくらべて非常にちいさな意義でしか現れてこないのである。なぜなら全体の GDP に対するエネルギー産業の貢献は小さいからである；この理由づけとしては、新古典的な価格配分理論が適用されることを想定するならば、理論的に装備されよう（問題はおおいいが）[15]^{xiii}。

興味あることであるが、このことによって、労働を測るときに起ったように、エネルギーにも類似の問題が起こってくる：にもかかわらず、見かけ上ではあるが、Kümmel は、彼の総合的推定で、測定の部分的な質の均質性を達成するために、出力の物理的測定を開発した。ここでの重要な事例は、物理的生産の形としての人口成長である。

もし、人口成長の熱力学的な部分を着目するならば、農業からの寄与分は、食糧セクターの中に現れず、GDP には表現されて来ないのである。この結果、人間のメタボリックエネルギー学のもつ相対的な意義を減じてしまい、誤った示唆をあたえていることになっている。このことはエンゲルの法則 *Engel's Law* が対応している。この法則では、収入が成長することによって食糧支出が減少することを述べているのであるが、それが結果的に GDP での農業の重要性を減じた結果にもなっている。しかしながら、人間メタボリックエネルギー学[17]で、日常的なエネルギー貫流 *throughput* を計算すると、世界人口で $0.7\text{--}4.9 \times 10^{12}\text{W}$ のエネルギー量になっている。これは、大洋循環系でのエネルギー変換量(推定 $2\text{--}7 \times 10^{12}\text{W}$)に拮抗していることを教えてくれる[18]^{xiv}。このことは地球システム系の熱力学での実質的な要素として留意されるべき項目である。

この観測は、熱力学 - 経済学連鎖を考えるときに基本となる要素であることを意味してくる：多くの貢献が輻射熱流に焦点があてられてきたが、これらは経済成長とエントロピー生成との間の相対的寄与の評価を見積もることを許すことになる。この見通しから、大洋と大地の輻射熱流は、人為にもとづいて発生するエネルギー流よりも量としての次数が大きいことがわかっている。このことは総合的解析の別の版 であり、つぎのことを示唆するであろう；適正な技術手段によって（殊に、ソーラーエネルギーの効用）地球系の熱力学において、人間経由からのインパクト *human impact* は無視できる程度へと近づいていくというものである[19]^{xv}。しかしながら、もしわれわれが第一義的に経済的生産において変換プロセスに注目するならば、人間からのインパクトが、すでにとつてもないスケールに達していて、これは新しい地学的時代、*the Anthropocene* への移行の位置にあると認識されるのである。別な言葉でいえば、熱力学と経済学との間の関係性を明かにすることは

必要なことであり、そのみではなく熱力学的解析の視点は、生起（原因）インパクトを表現するのに適正である。これは GDP の項での成長についての総合的経済解析から、構造解析への解析へシフトしていることに相当する。これに対して、熱力学的視点での人口成長は、もっとも基本的な形式であり経済成長と生産の基本要素である。ここではこれまで、しばしば GDP と一人当たりの GDP を区別する必要がなくなるのである。

この課題は非常に長期の成長の経路を考えるとときに重要である：エネルギー - 成長連鎖の研究は産業時代におけるもっとも際立った焦点である。しかし気を付けなければならないのは GDP が焦点としているかぎり、データの有効性には限界があるという点にある [20]^{xvi}。しかも、このことは化石からの炭素資源の消費によって形成されている時代にあるということでもある。新石器時代の初期において農業の革命があったが、これによって一人当たりの GDP への引きがねにはならなかったが、人口は成長し続けた。人口成長が、エネルギー - 経済成長の連鎖を基盤としていて、これが絶対的に GDP 成長にも反映されていくのである。中国の事例がその典型となるものである [17,20,21]^{xvii}。人口転換 **demographic transition** のおこる以前から、産業革命もまた人口成長を与えていた、特に農業の生産性の改良によるものであった。そして、そのあとに引き続く人口転換は人間の実質主要生産性の適正性（HANPP、植物による実質炭素同化を参照しての主要生産性である）の膨張は止まなかったものであった [22,23]^{xviii}。ここで、エネルギー変換技術を伴う場合にも、これと似た効果をわれわれは広く知っている：ひとは資源使用の効率では大きな進歩しているが、それにもかかわらず、絶対的意味でのエネルギー資源の人間適正性は成長を続けている。これらの開発は GDP データではカバーしていない：実際には 効率改良は市場での付加価値でのものを反映するものである。そして GDP での農業のシェアは減少している。しかしながら、このことは成長の熱力学に関する現実の観方を深刻に歪めている：農業は HANPP を構成する三分の二よりも、依然として大きい（実質主要生産のおよそ 30%の量である）この節のまとめとして、エネルギー - 成長連鎖を経験的に決定するための GDP データの使用は次の点で問題を含むようである。つまり、GDP データはそれがもつ包括性と構造の意味において、経済的生産の熱力学的視点を十分に反映していないのである。このことによって、総合的水準でのエネルギー - 成長連鎖を統御する生起的（原因的）な規則性を同定する試みのための原理的課題がうまれる。この課題の解決によって、実際的な目的のために、経済成長によって引き起こされる地球温暖化の未来予測のような経済プロセスの詳細なモデリングの必要性を取り除くことができる [24,25]^{xix}。これは大きな利得のひとつのひとつである。したがって、われわれは GDP の限界を克服する経済活動の施策をいかに見つけ出すかという挑戦に直面するのである。著者は節 3.3 において、構成的説明の方法論に立って、ひとつの解を描くことにしたい。

1.2.2. 生起（原因）メカニズムの同定

第二の問題は、現在流布しているアプローチに関わる問題である。これはエネルギーからの成長への想定生起（原因）性の十分な説明を与えていないことについての問題である。一般的な経済計量課題では、相関性は、生起（原因）性を反映していないかもしれないということと、一般には **Granger** の生起性の計量か、共同的総合性技術 **co-integration technique** のような上級経済計量法の採用で解かれている。これらの改良はこれまでの生起（原因）メカニズムの理論を置き替えるまでには至っていない。これまでのものは第一義的に、経済計量的根拠で装備されたものである[26]xx。換言すれば、経済計量根拠では、エネルギーが何故、そして如何に成長を駆動するかをわれわれは知ることができないのである。これは経済計量的相互従属性の複雑性を反映している。制御変数の役割り、サンプルサイズ、時間的期間や地理的エリアに亘っての結果の変動などに相互従属性がある。

これらの結果をわかりやすくすること、および事実上、成長の生起（原因）としてエネルギーが作動していることが動かしがたい事実根拠として、採用しなければならない。

そのためには、生起（原因）メカニズムのブラックボックスの蓋をあけることが、絶対的に必要である。この観測性は生起（原因）性を同定する二つの異なる段階を参照する。

最初は、単純に、特定の生起の筋 **track** をたどることである。この筋が成長をとまなうエネルギー貫流 **throughput** を繋げる：全体としてみると、ソビエト連邦はエネルギー貫流を継続的に拡大したが、長期において、成長を維持することに失敗した、かくして、資本主義国に比較して、継続的に後塵を拝したのであった（この比較は、もちろん、基本的に異なる経済システムに亘って、**GDP** データを比較することが難しいことも留意すべきである。

このことは制約条件の角度からの熱力学的視点にアプローチするという根源への遡及を意味する；エネルギーと成長との間の関係性は、主に、制約条件が、成長への引き金となるに十分であることを事前仮定し、その制約条件を緩和した反映がどうなるかとして見るというものである。明らかに、十分な説明が要求される。精確なメカニズムによって、この生起（原因）的帰着が、ある場合には生起し、他の場合には生起しないことを同定されなければならない。この意味で、ひとつの制約条件としてエネルギーにアプローチすることは、総合的経済プロセスにおける制約条件として貨幣の量を扱うことと類似している：綱を引き続けなさい、緩めてはいけない。

特定の生起（原因）性メカニズムが明示的 **explicit** になされないかぎり、経済量論的解析の結果は多様になり、多義的な結果からは逃れられない。

エネルギーに関する限り、このことはつぎのような最も簡単な筋で説明されるよう；ある然るべき時点で結合しているエネルギー制約条件を緩和することは、経済量論的相関を強めるかもしれない、一方、たとえばエネルギー転換と省エネルギーの技術的改良の結果のように、制約条件として、より弱い結合にいたらしめるもとでは、この量論的相関性は、十分な時間期間にわたりその有意義性が弱くするかもしれない。

それでも、後者（弱い相関性）の場合においてエネルギーと成長を結ぶ生起（原因）性メカニズムがないということを意味していることにはならない。

このことはわれわれをして、生起（原因）性解析の第二段階を考えることに導く：何故 **why**、エネルギー貫流 **throughput** が全体として増大するのか？ もし、エネルギーが制約条件であるのならば、如何 **how** にして、この制約条件を緩和するようなことが起きるのか？ もしエネルギーと成長が強く相関しているのであれば、何故 **why**、成長が経済の必要状態として現れてくるのか、また、何故 **why**、それがエネルギーの貫流 **throughput** の成長を経て実現されるのかという質問が上がってくるのである。

この点について素朴な仮説的な例で、できるかぎり明解にしよう：狩猟民の定常的社会“**stationary**” **society** を想像しよう。ただし、この狩猟民は文盲ではない。その社会は福祉と個人の生活安寧の尺度とし詩歌の新しい芸術創作を賞揚している。そこでは、詩歌の増大成長の結果、芸術的革新による成長は完全に可能である。しかしここでは、エネルギー貫流を増大することなしに、その経済は、安定状態を続けている（類似の種の現実的例として[27]^{xxi}をみよ） エコロジー経済では、この課題はしばしば資本主義者の動力学に沿って答えられる。しかしながら、この点においては、人口（個体数）に関しての前述の論議は新鮮な観方を提供している。

経済学が、なぜ経済が、経済システムとして維持（**sustainable**）するがために、必然的に成長しなければならないのかを説明することが十分に説明できていない。しかし、エコロジー的維持 **sustainability** にともなう力学的緊張のもとで、生物学は人口（個体数）の成長の必然性の理論をもつ。進化生物学では、人口（個体数）増大 **growth** は生物学的システムの必然的様相である。なぜなら、これによる再生産的戦略が、唯一の進化的安定であるからである。このことは、人口（個体数）の成長は、利用できるエネルギー資源を使い尽くす方向に向かう性向があることを意味している、すなわち、長期にわたって 所与の制約条件を十分に切り崩していくであろう。この視点から、それは、制約条件の拡大を、直裁的にもまた、説明する。つまり新しいエネルギー資源を確保することが、常に、進化上の優位となり、そのことが更なる人口（個体数）の成長へ帰還することになる。必要なエネルギー - 成長連鎖のための生物学的な論議は、人類歴史でも、ほとんど同様に当てはまり、特にこれは新石器時代の農業革命と産業化第一次との間の時に顕著である。それでも、経済学者は、これを規範的な手段として、経済成長への自動的な移行とはしていない。この文脈では、ふたつの偉大な経済革命である、新石器と産業革命は成長と個人生活安寧 **well-being** のリンクに関する限り、非常に異なる必然性がある。

ふたつの間での全体を通じて、農業革命では、生活安寧の個人水準を低めさせた（事実、失樂園“**fall from paradise**”であったのである）、一方で産業時代での成長のお墨付きが、長期に亘って、個人の福祉の増大となった、これが個人あたりの **GDP** の成長のなかに反映したのである。

このことは、つぎの設問を提起する；様態 **mode** の変化が何故起きたのか、また、基本的メカニズムとして、エネルギーと出力との結合が変わったのかである。この点での重要な事例は中国である。この国では特定の文化と制度システムをすでに確立していたのであった。そのシステムは生物系エネルギーと再生エネルギーを 労働集約的技術の適用によって収奪する方向に向かうそれであった。そして結果として 20 世紀の中葉まで強い人口成長の結果となったのである。 全面的な規模での産業化は、1949 年にはじめてスタートした。そして 1978 年以降は成長の指導的勢力になったのである。これには一人っ子政策の政治的施行が伴っている。

まさに三十年以内に、一人当たりの GDP を増大する成長モードに、急激な舵を取った結果であった。

中国を見ることは、高度に発展した文明のケーススタディを見ていることになる。ここではマルサスのエネルギー - 成長連鎖“**Malthusian**” **energy-growth link** は作動しているのである。ここでは行き渡った社会的規範、道徳価値そして社会 - 政治機関によって装備され、また市場ベース経済での進化的成長パターンが維持され、そして馴染んだエネルギーと低廉の労働力の体制で、労働者の自立的雇用需要のもとで安定化されている。

結論として、制約条件としてのエネルギー“**energy as constraint**” の観方は、成長の熱力学を決定する精確な生起（原因）メカニズムについては、ここでは成功していない。

特に、もし経済計量的なブラックボックスが、エネルギー支配での成長ということで、然るべき証拠をもっているなら、われわれは、第一義的にエネルギー貫流が何故増大するのか説明をし得ないのである。ここで、生物学が、説明向きの型紙を提供する。つまり人口（個体数）の成長は、エネルギー貫流によって駆動され、それは進化の特定メカニズムの文脈においての駆動である。すなわちダーウィン選択である。

著者は第 3.3 節にこのトピックに帰るのであるが、成長の簡単な測定を提案する。この成長の測定は基本カテゴリーとしての人口（個体数）を参照するが、成長の二つのモードはカバーしない。

1.2.3. 人間の意思と設計の役割

第三の項目は、直接的に 前述の議論つまり中国の例が、産業化以前の世界経済の実質的なシェアを顕わしているものであり、また中国は、今日ふたたび、この役割りを演じるようにみえる。 中国の歴史においてわれわれが見たのは、メカニズムの複雑なシステムである。このメカニズムは、エネルギーと成長連鎖の特殊な形式を、その過程で創造してきたのである。 このシステムはひとりの熟達した人間の設計を伴わずに、その過去において進化的に出現したのであった。沢山のエコロジー経済学者は、つぎのように論じる；成長は、人口成長も含めて経済の必要な状態ではない。なぜならこれは、人間の決定と意

図に関するものである。

人間は、生物学的進化から自立していると見られる、したがって、人間は、エネルギーと成長との間にある生起（原因）連鎖から切れていることになる。この議論は 経済への熱力学的アプローチを拒絶する試みのなかで顕著である。その試みは、人間個人と社会の行動が物理法則に還元できないという一般的な点に関係しているからである [9,29]^{xxii}。この議論は物理的法則が、制約条件として作用することを否定することではない：結局、われわれは空を飛びたいと願っても、飛べないのである。

それでも、制約条件は、自律的な人間行動のための十分な余地を残して、制約条件を克服することに向かわされる：われわれは飛行機を造ることができる。同じ論議がひとつの制約条件として適用できる：物理法則があって、エネルギーと成長を生起的に繋げる、あるいは成長命題を我々に課すという、然るべき行為を、われわれに課すことはありえないのである。そこで、制約条件としてのエネルギー視点“energy as constraint” view は、實際上 思考の全く反対のふたつの筋を、調整することになる：

エコロジー経済学者は、われわれはその制約条件を受け入れ、そして、脱成長 degrowth の戦略を設計すべきであると議論する：新古典派経済学者たちは、人間発明が、技術的革新によって、その制約条件を拡大することを論議するであろう。双方のパーティーはかれらの論議の中心的な条件については一致している：人類は自らの運命を選び、そして設計する自由がある。その運命は、自然法則によってのみ容赦なしに決められないものである。その方法論的な課題は、この見解によって、それが人間の意図性と生起（原因）性にたいして、非透明に、対立していること、そして経済的進化を駆動している前者 the former つまり意図性への中核的役割を課すものである。しかしながら、事実、経済学においてさえ、異なる見解が存在している。実際に経済学者の多数は、人類は、人間運命の主人であるという理念に同意するであろう。このことが経済システムの複雑性を否定するものではなく、特に政治と経済の境界ではそうである。かくして、政治－経済要素が制約条件への合理的応答を支配するかもしれないが、原理的にはわれわれは、最良の解を実施することが可能ということになる。制度論的設計についての楽観主義は、それを同意しない思想学派によって疑義が提示されてきた。たとえば Hayek の学理がそうである [31]。かれらの見解では、制度論的進化は、人間の設計によっては、十分には制御されず、そして人間知識に限界があるので、完全な制御を狙った試みは、ときに破滅的な帰着へとつながるかも知れないというものである。もし、エネルギー - 成長連鎖について思考の線を適用するならば、最初のステップで、生起（原因）性が人間の意思によって十分には媒介されないかもしれないこと、しかしその自律的生起連鎖が、超個人構造の水準において作動し、かくして、事実上も人間の選択の制約条件のもとにあるということを示唆しているともいえる。たとえば、ひとりのハイエク派が問いかけるのは、脱成長 degrowth の制度論的体制への移行が、この件についての合意に到達しないような（多分到達不可能である）競合状態をともなう世界でも、それが実現可能 feasible であると問いかけてくる。

資本主義の成功物語が恰好の例を提供している：資本主義制度（論）では沢山の制度（論）的な代替が輩出され、非資本家の活動のための小さな余裕を残している。これは NGO 分野のようなニッチとして存在している。そこでは、エネルギーから成長への生起性のパスはグローバルシステムの競争によって媒介され、それが人間による選択による展望のもとにあるとは見えないであろう。

中国のケースがこの意味ではもっとも教訓的である：その帝国において、個人はエネルギーと成長との間の特定連鎖を破壊することを合理的に選択することができたであろう（ときに、これを高度水準の平衡陥穽“high-level equilibrium trap”と呼んでいる[32,33]^{xxiii}）帝国主義者の侵攻によって、システム間競争が引き金となりこの旧システムは破滅的破壊を生起したのである。経済成長は、政治的優先であり、個人の生活安寧 *well-being* は、第二義的にのみ解釈され、さらに経済成長が、グローバル競争での政治的力と地位の政策として第一義と見られたのである。中国を、CO₂放出を含むグローバル体制に組み込むことの困難さは、エネルギー - 成長連鎖についての明確な施行を生み出すこの国の固有の力学としての政治および経済プロセスを反映しているのである。換言すると、この設問は、自律的な力 *autonomous forces* によって駆動される制度（論）的進化が存在しているかどうかである。このような制度 *institution* のもとで活動する人間機関 *agent* が、制度論的な進化に対する制御が十分に働いていないのである。もちろん、この理由づけについては、政治的見解と制度論的選好上でのグローバル規模での収束性について、われわれは楽観的になっていることにも拠っている。しかしながら、エネルギー - 成長連鎖により多く直接に関わっているもう一つのおおきな領域があるがある：それは技術 *technology* の領域である。

エコロジー派および新古典派経済学者は、技術が人間行為によって設計されるものであるということと、人間行動と独立した生起（原因）動力をあたえることはないという理念には同意するであろう。しかしながら、この理念は *Science and Technology Studies to Evolutionary Biology*（進化生物学への科学と技術研究）からの影響を受けている経済学の指導的な展望の外で認証されたものでは決してない。これは 代替となる見解である。技術的進化は人間設計 *human design* からは独立に進行し、人間行為 *human action* によって媒介され、引き金とし作動するという見解である。この位置は、たとえば、進化論の最近の拡大で、人間が産んだ人工物の水準、*aka Darwinism* アカ - ダーウィン主義が適用されることを意味する（沢山の動物での、拡張したフェノタイプの部分であるとしての意味である）[35–38]^{xxiv}。

人工物 *artefacts* は、進化的ニッチ *evolutionary niches* を生み出す。したがってこのような人工物は生物学および文化的進化へのフィードバックをするそれ自身の適応力を生み出すのである。換言すると、技術は部分的には、自律的に進化し、人間の環境の一部となる、したがって、生物学的および文化的な進化をさらに駆動する独立な力を獲得する。さらに付け加えるならば、そのような生物学の見解は、また科学と技術研究でのある地位

と整合し、技術的進化は、それ自身の規則性と力学に追従する意味で、部分的には自律となる。ここでは、人間行動 **human actions** は、まさに、引き金の役を演じるのである。

ひとたび、特定の発明が現れると、それは必然的に構造化されて、さらなる開発への方向化された軌跡を開いていく、そして個人的な人間設計 **individual human design** は、その未来でのこれらの軌跡を見過ごすことができず、かくして十分な制御に獲得ことに失敗する。これらの見通し見解は、過激な質問をおこす：技術的進化の設計者は、現実的にわれわれであるのか、あるいは、技術的進化によって定義された機能条件のもとでの、我々の意思志向性であるのか？

著者は、標準経済的アプローチは事実的に、後者を仮定するのである。その彼らは、経済学で行き渡っている思想のおよび哲学的枠組みの表現としては、前者の方の見解を保持しているのかかわらずである。

再び、中国のケースに帰る：産業革命の時代のイングランドと比較してみよう。熱力学的見通し見解から、われわれは、物理的メカニズムとして技術を翻訳するのであり、ここでのこのメカニズムとは、生起（原因）的に、有効エネルギーという蓄積体 **reservoir** と、そのエネルギーが逸散していく吸収体 **sink** を繋げるものである。石炭はここではエネルギーの蓄積体である。産業革命で現れた技術システム（蒸気機関、鉱山技術、鉄道など）は、エネルギー源へのアクセス能力を広く確保した。これは市場価格を経て厳然として現実化するポテンシャルである。この市場価格は、特定労働とエネルギーという入力相対的な不足性を変える信号を与えたのである[41]^{xxv}。中国との主な違いは、次の事実である；この技術的システムが、彼ら自身で内発できうる理性として部分的にも顕現しなかったのである（非常に高い輸送コストの石炭を如何に考えるかという意味である）[33]^{xxvi}。一方、イングランドでは、市場競争が、石炭に蓄積しているエネルギーの普及促進を加速するための個人的な決定に導いたのである。前述したように、ヨーロッパ全体にわたり、炭素経済の広がり、システムの競合（つまり、政治と軍事）によって決定的に駆動されたのであった。著者の指摘のポイントは、この経済行為は 経済機関によって、自由に選択 **“freely” chosen** しなかったのである。なぜなら、彼らは競合的資本家システムによって、経済機関自体も、例外なく最適化計算に追従したからである。事実、新技術の初期のユーザーは、ほとんど全体的に未来への帰着については無知であったし、そのポテンシャルについては高い不確定さがあったのである。合理性と最適性は、しかるべき行為を導入するのである、なぜなら価格ベクトルで定義された勾配に追従ないこれら機関は、競争から脱落するからである。

かくして、市場での進化の動力学は 事実として、産業的行為が、技術の出現によって基本的に、エネルギー普及拡散プロセスに相対的につながったのであった。そこでは、産業革命の過激な異論として、人間社会と経済システムに関する誘惑的な刺激、そして然るべき人工物への急速な拡散への引き金、そして強制システムへの親近性があったのである。さらに、一歩進めよう、われわれはつぎに言ってよいだろう、つまり、技術は、他のいか

なる自然現象のように進化する。これらのプロセスは、特定のメカニズム *specific* “mechanisms”である：技術は、エネルギーの拡散普及の勾配を活性化するメカニズムである [42]^{xxvii}。人間行動は、技術を場所に置くが、その行動はコストの勾配とエネルギー利用の便益によって駆動される。これらは、経済システムのなかで定義され、直接に、資源の相対希少性について、その状況下での物理的条件を反映している。この議論での方法論的な基本点は、われわれは、人間行為が自然法則 “law of nature”に包接していないと想定する点にある。この自然法則とは、ここでは熱力学であるが、特に第二法則での意味で、直接に人間行動を決定することを意味しないということである。しかしながら、熱力学のみが、これらの行動のしかるべき制約条件を説明するのではない。そのかわりに、生起（原因）への説明のかなり複雑なパターンを導入する。ここでは人間を、ある機能を仮定している広域を包接するシステムのなかでの一つの要素としてアプローチするのである。この機能（関数）は、制度論的ならびに技術的な構造によって媒介され、その駆動は、「人間行動による、人間設計によってではない」“by human action, but not by human design”のもとで、つまり人間行動によって、自律的な進化力学を遂行するのである。われわれは、「技術圏“technosphere”」を生物圏の延長としてアプローチするであろう。そしてこのアプローチは地球システムでのエネルギー逸散（普及）を究極的に駆動する複雑システムのインターロック・メカニズムのかたまり（part and parcel）として行うのである [34,44]。

1.3. エネルギー - 成長連鎖の分析での生起機構

1.3.1. 構成的説明：基本原理

著者は先の節でそのアウトラインを述べたが、困難ではあるが、熱力学－経済学関係への新鮮な方法論的な接近を必要としている。著者はこれが、構成的説明の見通しであり、また生起機構の同定であることを提案する。これはひとつの代替として、生起（原因）性の規則性をベースにした記法として展開されてきたが、それは基本的にはつぎの二つに従っている、ひとつは科学的説明をカバーする法則モデルであり、もうひとつは、規則性記法に依存するのではなく、独立の生起（原因）の機構的記法を導入するものである。前者は、生起性は普遍法則によって支配される因果生起の規則的な共発性 *co-occurrence* である。科学哲学での一貫した議論はつぎのことを明示化してきた。つまりこの方法論的思考枠組みは物理学のしかるべき部分が適用できる場合のみであり、この枠組みは、しばしば化学がそうであるように、他のたいていの科学の方法論を記述することには成功しない [45,46]^{xxviii}。このことは、複雑なシステムをあつかう科学では特に真である。典型的な例としては脳神経科学があげられる。ここでは、代替的な思考で、生起の機構的なモデルが開発され、もっとも詳細に精査されるが、基本的に普遍法則を参照はしていない [47,48]^{xxix}。著者は、この説明モデルは、熱力学と経済学との関係のための方法論的思考枠組みを定義するのにもっとも適切であると考え。さらに、社会科学においてもこの機構説明がまた好んで採用されていて、それは重要な開発になっている [49,50]^{xxx}。これは次のことを意

味する、科学と社会科学の方法論を、単一の思考枠組みのなかに一体化することが可能である。かくして前者の領域と後者の領域の両者とも、構成的説明の特定の総合モデルにおいて密接な相互作用現象としてその機構によってブラックボックスの蓋が開けられるのである。たとえば、神経科学では、感情移入（共感）の説明は、感情移入行為を発生する特定の神経生理学的な機構の同定の上に存する。しかし同時に、人間社会学での指標的な領域を参照することなしに問題対象領域の規則性を同定するのは不可能である。たとえば、その指標のなかで、仲間と仲間のそとの間の違いが明確にされ、感情移入の機構を活性駆動するからである。

以下に、著者はつぎの議論をする：熱力学－経済学連鎖のために上の同一性が適用される：構成的説明は、ひとつの筋としてつながるシステムに、異なる水準の機構を結合する。先の節ではヨーロッパでの産業化の時期を通じての中国とイングランドとの間の比較の例を見た。ここでは、それらがより大きなエコロジー構造、エネルギー効用の為さしめる物理とエンジニアリング視点、そして、これらの経済的なパラメータへの反映を含むであろう。具体的には、価格や技術の効用のための社会的組織の特定のパターン、基本的な宗教性や自然に対する哲学的な観方のような観点 **aspect** をも含んでいる。この観察は一般化され得る。問われているそのシステムは存在論的な意味で多水準 **multi-level** のものである：神経科学では、人間脳での分子水準での化学的メカニズムがある、神経の結合性の高位の水準がある、脳エリア間での相互干渉がある、そして最後に感覚的センサー受容を経での媒介された信号のような外的身体現象 **extra-somatic** の直接的生起の取り込みがある。したがって、神経科学は、実際に多 - 学際的努力のものである：現象の複雑性は相互に関係している、および分散している学際的な説明の複雑性に反映している。これは上述のイングランドと中国を比較する場合に行った注意点のなかにもそれらが現れている。必然性として、構成的説明は、非還元主義でもある（：共通の哲学的立脚は還元主義へのゴールとして生起（原因）性の記法につながり、それが社会現象の自然現象への究極還元をも示唆するので、構成的説明を生起的説明の自然（学）的存在論に適応するのであるが、ここでの構成的説明は、この還元主義を採用しない立脚点をもつことになる[52]^{xxxii}）。もっとも単純な意味では、構成的説明は特定の機構を記述する。その機構としかるべき入力のもとでは然るべき結果を発生すること、そしてこれらの機構での相互作用を統制する明示的な構造的仕組みを形成すること、これにより、共同に至らしめるような特定の機構のことである。このことは生起（原因）と効果が特定の時間点でのシステムの状態の視点であること、ならびに、この共同発生事態を直接説明するに、普遍的法則はなんら引用しないものとして見なされることである。（単純にして要素的な生起プロセスが、より大きな機構構成での法則部分として存在するということは保持するとする）

このことはつぎのことを強調する：もしわれわれがエネルギー - 成長連鎖を構成的説明でしようとするなら、われわれは実際には主役“**prime movers**”について意識しないが、直接かかわるエネルギー（つまり入力）と成長（つまり出力）は、生産的システム“**economy**”

での機構の内部作動の共同的（動的状態）として意識する。これは、非線形の現象を操作することかもしれないし、またボトムアップとトップダウンの生起（原因）プロセスの間の相互作用を操作することかもしれない。このような二つの例は構造的仕組み（建築学的）複雑性とよぶことができる。例えば、エネルギーが成長を駆動するのか、成長がエネルギーを駆動するかを高度な総合的ブラックボックスモデルにおいて異論なくつくりあげるのは、あきらかに困難である[8]^{xxxii}。生起（原因）性についてのシステム見解は、生起（原因）と効果との間の関係性について還元主義者流の翻訳の過ちを避ける、ここではそれか、そうではないかの二律背反“either-or” dilemmaを採用する。かくして、構成的説明は入力と出力との間のブラックボックスの蓋を開くことになる。したがって、経済解析は、結論的な説明力をもつものとしては見られない。このことは、複雑にして進化のシステムにおいて、総合での高度な水準の相関が、何故そして如何にして入力と出力の規則的な共起性を実際にそのシステムによって産みだされるかを説明しない。特に、事態が発生しないことの役割りと、生起力としての役割りの取り外しを同定したり、また役割りを割り当てることに困難な問題がある。また、さらに高い入力確率と高い出力確率との間の必要な関係性がなにも存在していない。したがって、統計的相関はヒュウリスティックステイック（問題解決発見唱導的）な価値を持つが、目下進行している機構の詳細な同定によって常に、事態が監視されるべきである。これは一般の経済方法論と、基本的な違いを定義する。構成的説明はその一般構造は、つぎの四つのステップから形成される[54]^{xxxiii}。最初のステップは、特定の存在論的水準での個人的な現象の解析である。たとえば神経科学では、これはシナプスでの操作をする化学的機構であるような場合で、これらは個人的決定であろう。第二のステップはある文脈での、異なる個人現象間の相互作用を解析するステップである。脳のしかるべき構造セグメントでのシナプス間での作用、あるいはマーケットでの個人取引のような状況での現象である。第三は、総合的現象で、以下のような相互作用からの発生するようなものを説明するステップである。これには、然るべき感覚受容や市場のしかるべき価格トレンドのような状態のような、しかるべきより高位の水準の現象に関係するかもしれないしかるべき脳状態がこれである。第四のステップは、総合的水準から個人水準に働くフィードバック機構を理解するステップである。これは脳の状態が、個人のシナプスの活動水準に作用している状態や個人的な意思決定にインパクトが懸っている状態である。

これらすべてのステップでは、観測された現象を説明する具体的で特定の機構を、経験的に同定するのが基本である。かくして、この機構は、特定の機能構造の結果であり、その構造は、構成的説明の概念的な枠組みのものである。最後に、構成的説明は生起性の操作可能量へ傾く。特定の効果に達するために、相応しい現象を操作することができるかを判別するための生起原因を同定することである；したがって、このアプローチは科学の実験がもつ中心的な役割りと直接結びつくのである。操作性は、自然実験“natural experiments”を同定することをも含む。この実験では、われわれは、あきらかに構成的セ

ット一式を記述し、重要な現象のトレースをするのである。この現象は、さらなる開発の生起（原因）として操作される重要性をもつのである。そこで、ふたたび中国の例にもどろう。すでに見たように、この国の内部発生的な産業化の失敗に関するさまざまに可能と思われる生起（原因）について広範で、詳しい検討があったが、それは、エネルギーの資源としての石炭の中心的な役割りと、イングランドと中国でのエネルギーと労働について、誘発された相対価格の間の違いにますます焦点が当てられている。この文脈では、社会科学での操作性もまた沢山のプロセスの局所的な自然とともにあって進行する、したがって普遍法則に対抗して、中間範囲の理論化の重要性にひかりが当てられている[56]^{xxxiv}。その例として、ヨーロッパでの産業革命の起こりは、炭鉱に限られた地域での局所的な価格構造によって初期に駆動され、そして爾後の拡散の力学が、上に述べたように沢山のその他の要素によっても決定されたのであった[41]^{xxxv}。

1.3.2. リバウンド効果、構成的説明のひとつのケース

構成的説明のもモデルは、熱力学と経済学を総合するためになにを含むか？

ここではひとつの重要な例をつかって機構の論理を説明したい。これはエネルギー経済におけるリバウンド効果 *rebound effect* と呼ぶものである。エネルギー - 成長への総合的なアプローチでは、リバウンド効果は限効用的 *marginal* な役割りを演じるものとし、構成的説明の方法では、リバウンド効果とその精確な生起構造を仮定したもとの中核的な位置をもつことになる。(as in [5]), 実際には、多くの著者はこの事実を認識しているが、明解な方法論での指針は不足していて、適正な理論的な結論にまで達していない。したがって単なる経験的な案件としてこの現象に近づいているといえよう（例えば以下を見よ、[17]^{xxxvi}: 271f）。このリバウンド効果は、経済とエコロジーの力学のもっとも普遍的なパターンに関係していて、それはすでに、HANPP の簡単な議論にでも触れた。すなわち HANPP は *human appropriation of net primary production*（実質的第一義的意味での生産としての適正性の意）であるが、これによる継続的な効率の改良は未達であるが、しかし HANPP の適正性は絶え間なく成長をしているのである。エネルギー使用の効率を確保することは個人の行動様式を誘因するかもしれない。この行動様式は絶対的なエネルギーの節約 *save* にはならないが、エネルギーフローの絶対的な量は大きくする。需要は供給よりもいつも強く現れる、それは物の希少性の感覚を先鋭化させるからである。これは英国の経済学者 *Jevons* によって同定された効果である。かれはその著名な著「石炭設問”The Coal Question”」で、イングランドでの石炭の資源貯蔵量と採炭での技術的プロセスからこれを論じたのである[57]^{xxxvii}。

研究者はエネルギー効率の向上が、絶対的に成長するエネルギー使用量 *throughputs* を起こす効果があるかについて調査研究した。そこでの構成的な説明見解では、原因と結果とも、複雑系システムの様相があり、このようなパターンを発生させるのに、沢山のメカ

ニズムがあるというものである。これは、リバウンド効果の議論であり、前節で検討した起因性の同定と同じ困難さにもわれわれは遭遇するのである。リバウンド効果を探るための異なる場がある。ひとつは狭い意味でのアプローチの場である。これはそのリバウンド効果が普遍的な規則性として起こるのであろうとする成長理論モデルの表現である [58,59]^{xxxviii}。

その基本理念は、エネルギー効率を維持していくには、全体ファクターの生産性をも増大させるというもので、その生産性が成長とエネルギー需要増大を起こす引き金になるというものである。しかしながら、このような規則性が理論的に確立できるかどうかは、たとえば生産機能（関数）に関する数学的形式のようないくつかの付加的な仮定に依存している。別の理由としては、経済的デリング効果への取り入れがし得ていない状態であり、これを Sorrel はつぎのように指摘する：リバウンド効果は、結果としてエネルギー効率の改良からくるエネルギーの節約可能分を減じるメカニズムのひとつであり、傘のようなひろがりの意味範疇のものである。リバウンド効果について解析するなら、構成的説明の四つのステップモデルの項目で行われよう。まず個人レベルからはじまる、すなわち石炭の製造と消費をする個人的決定（これは“直接リバウンド効果 **direct rebound effects**”に対応する。つぎにあるのが個人レベルでの活動として、代替と補足的な活動が反映する。

（“間接リバウンド効果 **indirect rebound effects**”）そのつぎに、われわれは、市場での個人的な決定間の相互作用を見ることになる。これは石炭や、そこに現れた技術などその市場での特殊な結果である。これは時間経過の経済的適応結果である（“経済的ひろがりのリバウンド効果 **economy-wide rebound effects**”）。

このように、リバウンド効果は相互に干渉する機構の複雑な集合である [60]^{xxxix}。ここには、たとえば嗜好、価格と意思のような、個人の意思決定に属するメカニズムがある。

このようなメカニズムは、たとえば未来での価格を予想したいときには、一転して複雑なものとなる。

つぎに、個人との間での相互作用のメカニズムがある：これらは、その市場での仕様形式を作り、相互作用としての確定的な規則に帰着するという意味で、制度“**institutions**”という用語でしばしば記述される。たとえば、エネルギーの使用を統制する契約がその例である。その市場において相互作用するような取引メカニズムは沢山ある：ここでは、市場それ自体が、組織として、より高度な水準での複雑なメカニズムとなる。その市場レベルでの特定の効果としては、市場価格の発生である。市場価格は、個人意思による基本的な決定行為である。ここでは、個人意思として、ループが閉鎖系となる。われわれは、リバウンド効果を考えるときに、メカニズムのタイプとしてもあつかうことができる。メカニズムのひとつのタイプが理論仮説を搭載したものであるが、それが普遍理論に基づいたものでない場合がしばしば遭遇する。それは、中位範囲の理論概念のものである：このようなものは時空間の特定領域で適用されるが、普遍的に有効な働きをしない場合である。同時に、リバウンド効果はエネルギーと経済成長の関係において将来トレンドを予測する

ために基本的なものには至らない。 現今の文脈では、もっとも意義あることは、つぎの事実である。経験的なリバウンド効果は大抵の場合に、1より低い。これは、いま単一のメカニズムを考える場合である。この場合は ある単一の製品の便益のためにエネルギー節約装備の効果を考えるときにはそうであろう。しかし、十分な規模の技術システムを考えたときは、この単一のメカニズムは 1より大きくなることになる（たとえば蒸気機関とその拡張応用である）。 したがって、リバウンド効果もまた、構成的説明において基礎となる挑戦に向かう：このことは空間と時間の両方で、関わっている機構の固有（適切な）の境界を同定する。リバウンド効果の事例として、その状況としては、単一の技術デバイスが、より大きな技術システムのなかに組み込まれる内包性である。そこでは、一般目的技術“**general purpose technologies**”とよばれる重要な事例がある。これは膨大な数の応用の特定領域にわたっての拡散があり、また、一方では国際経済連携を経て異なる経済システムとの間での空間的相互作用がある。

たとえば、情報通信技術(ICT)は一般目的技術を定義する技術デバイスの複雑なアマルガムである。単一デバイスを見てみよう、そこには省エネルギーに対する強い能力 **potential** があることをひとびとは知っているが、一方、ICT の応用の全体的なパターンが進化していくためには、この省エネルギーの絵はかなり貧困である[61]^{xi}。この ICT の例は、わかりやすい。なぜなら、それが、また、機構の解析もまた普遍的理論に基づくことが要求されていることを示しているからである。 ICT と成長との間での関係を理解するためには、ICTによるエネルギー消費の生起（原因）を適切に同定することが絶対に必要である。この案件の中核として、基本的な存在論と物理的問題提起がある、すなわち、エネルギーと情報の間の関係性は何であるか、およびこれが特定の技術的条件のもとで如何に働いてくるかという問題である[62,63]^{xii}。 この中心的にして、目下論争中の設問は、情報の記憶 **memory** と抹消 **erasure** と宛先 **superscription** が、第二法則に従う熱力学的コストに整合していくのか、あるいは、目下どのようにあるのかである；もしそうであるなら、ICTの拡大が、効果値1より大きいリバウンド効果に沿っていくべき理由についての最も普遍的合理性に帰着することになる。それは当然ながら全体の ICT 技術システムがグローバル・スケールとして考慮することを前提としてのことである。

これは、将来の開発についての基礎的予測をするために、現在の省エネルギーと現在の特定の ICT デバイスを考えることではまったく、不十分である。

そこでは、機構解析とは異なる構成現象を精確に理解することを基本とすることが必要である。この構成現象とは、究極的には基盤的な物理法則から参照されるものも含むものである。 とはいえ、これらの法則が、エネルギー、情報、そして成長との間の関係性についての生起（原因）説明を直接には与えることが可能であるということを含んでいないのである。 この生起（原因）的な説明は、機構の相互作用のもとにある完全な多段水準のシステムの解析に存している。 そこで、この構成的説明の枠組みにおいては、リバウン

ド効果はこのアプローチの力をわかりやすく示してくれるすぐれた事例となる。ここでは経験的なエネルギー経済での受け入れられている実践的アプローチとシステム的方法論基盤でのそれらについての試験を意味している。そればかりでなく、それがさらにエネルギー - 成長連鎖を決定する機構のタイプについて、より多くの一般的仮説を提案することになるかもしれないことを顕わしている。そこで、方法論上の受け入れは、理論的にして経験的な研究のために直接的な必然性をもつのである (Sorrell [57]^{xliii}によるアセスメントを比較せよ。Ayres and Warr [5]^{xliii}の研究でのマージナル処理での効果 ; Kümmel [6]^{xliv}だけが引用列挙の文脈でリバウンド効果に言及している)。

つぎの節では、著者は、この方法論的展望へのシフトが、この論文の第2節で取り上げた案件のいくつかに対して、如何に、新鮮なアプローチを提案するかを示すことにする。

1.3.3. 成長のメカニズム：物理現象としての都市化

リバウンド効果についてのひとつの重要な例は、電気使用の成長が、電気を生産するコストの低減によって、反復的にひきおこされてきた。

この文脈では、ひとつの、特に興味のある現象は、照明用のエネルギー貫流 (投入量) の絶対成長である。これはエネルギーや他の価格が下がることによって駆動するのである。

一方、照明デバイス単独については、リバウンド効果はもっとも直裁的に確立している、明らかに、1より小さく、負になることさえある。かくして、より高いエネルギー効率のみでなく、絶対的節約からの結果でもある (最近の例として[64]^{xlv})。]

しかしながら、照明の拡散について、もしわれわれは長期でのトレンドをみて、さらに視点を広げてグローバル次元に立つなら、リバウンド効果は少なくとも 1 もしくは 1 よりも大きくなって現れる [65,66]^{xlvi}。このことは、照明単体が、経済成長でのエネルギー貫流の拡大の重要な駆動者になっている (全グローバルエネルギー消費の、およそ 7 パーセントの消費である)。この現象を説明するにあたって、異分野間での学際的な観方がある。これは照明にたいする人間のニーズについて生物学的および文化的な決定性として、そして飽和点に未だ達していないというあきらかな事実としてである。しかしながら、とくに夜間に人間活動の延長について、生産性と創造性の効果が、照明の改良によってあるという観察もまた、存在する。この議論は、リバウンド効果の働いているメカニズムに十分に広げるものである。ここでは、成長から需要へのフィードバックが存在するが、コスト配慮がこの結果への、直接的なトリガーとはなっていないのである。事実、夜間照明の志向性の変化とトレンドは、グローバル規模での衛星経由観測として、GDP と GDP per capita のもっとも信頼性の高い指標のひとつとして最近、同定されたのである [68]^{xlvii}。現在の合理的な観方として、経済活動の膨張は、仕事や余暇を含んで、夜間への活動延長を含むものである。

この近接な関係は、経済活動を測る代替の手段を定義する興味ある可能性を提供するのである。この経済的活動性は、熱力学への直接的な命題の親近性を持ち、金融価値化と熱力学的測定間の調整化からおこる困難さを避けてくれるのである。換言すれば、もし経済学者がこの証明を GDP の間接指標として使うことができるなら、われわれは、この関係を換算し、経済活動の成長を物理的な量で計測することができるので、照明を一つのパラメータとして取り扱うことができる。このときには GDP をまったく参照しないことになる。同時に、われわれは、リバウンド効果は、エネルギーと成長を結び付ける生起（原因）プロセスを切り分ける、中心的な役割りを演ずることを、直裁的に確立することができる。照明は、また、直接に人口のサイズと成長を繋げる理由が、また二つの成長視点の間の問題的な区分けを克服することになるので、そのためにも重要な現象である。換言すれば、われわれは人間エネルギー学の拡張解析の手段によって、経済成長測定の視覚化を得たのである。そこでは、生産の意味ではない技術も含めるが、人間表現型 **human phenotype** の拡張的な意味技術を含むのである。この筋は、生物学的組織の記法における外的人工物を取り入れる生物学の最近の理論化に沿ったものである。

延長は、服飾や食提供の技術のような人工物などがあるが、人間定住の全体技術がもっとも重要な人工物である。照明は、この定住性の視点である。人間定住による消費エネルギーは、つまり、すなわちインフラストラクチャーに伴う建設であるが、全体の間人間エネルギー消費を顕著に、代表するのである。これは産業や輸送によるエネルギー消費をはるかに上回っている。このことから次のことがつながる；熱力学的意味での経済活動の可能な手段は資本蓄積の成長である。これが全体としての人間拡張現象型 **human extended phenotype** を作り上げる。構成的説明枠組み **constitutive explanations framework** での方法論的な筋道化がこの議論によって可能にする。

中心点は、如何にわれわれがリバウンド効果一般的に開示し、そして地球での人間生活の光景に対して特別な参照をするシステムを、感覚し、同定し、境界を仕切り、特性化するかにある。これは、つまり人工環境であり、この中に人間はいま生き、ここにある照明がひとつの基本的な光景である（もうひとつの基本的なものは、加熱と冷却である）。この方法論的な焦点は、現在、一般進化理論を基盤とするものである。ここでは、生物学の学理において、進化論が、物理（熱力学）的な、社会的な、および文化的な現象との間を媒介している。この見解において、どういう意味になるかといえば、技術的人工物によって人間は、彼ら自身の生物的機能を改良すること、その結果に適応性についての新たな構造のおよび行為の様相に進化し、また技術哲学でもまた見解探求されるのである[71]^{xlvi}。

われわれはいま その問題にするシステムについての精確な記述をする。そのシステムは機構的説明の意味からのアプローチをするというものである。ここでの問題にする特定プロセスは「都市化“**urbanization**”」である、そしてそのシステムは人間都市定住 **human urban settlements** である。経済学では、都市化は、GDP の成長源として主に見られて

いて、いわゆる「新経済地理 “New Economic Geography”」と特に強調されているように事実、それは駆動力である[72]^{xlix}。

熱力学的な見解では、しかしながら、経済活動の第一義的表現は、都市化である。これは農業とは別のものであって、人間現象型 **human phenotype** の広範な拡張の結果としてとらえる。それは資源とエネルギーの流れを強化する複雑な都市技術システムとインフラストラクチャである。 イングランドと中国について振りかえると、ロンドンのとびぬけた成長は、エネルギー供給としての石炭の需要を駆動する決定的な要素であった。

経済成長は、都市化の膨張において実現される。ここでは、沢山の数の複雑な自己強制的なメカニズムと規模の経済（もしくは、別の用語で、超線形的相互作用 **superlinear interactions**）が働き、経済成長をさらに推進している[73–75]^l。ここでは、高効率と高生産性はあるが、基本的にはエネルギーの貫流の絶対量によって成長駆動されるのである。この現象を理解するためには、作動しているメカニズムの複雑な構造に注目して、重要なアプローチをしていく都市システムに焦点が置かれることになる。特に、第一としては資源の流れで、究極には、エネルギーの流れであるが、これを組織化するシステムであり、そして第二としては人々の相互作用の動的なネットである。

これらのシステムは解析的アプローチの大きな **array** によって解析することができる。これは経済学ではネットワーク解析として、および都市成長のメカニズムを明らかにするといった付加的にのみ採用された。もっとも重要なことは、これが ひとつの研究領域であることで、ここでは物理的研究と社会科学とが同じ方法において収束を見せることである。これはさらに理論的仮説さえにも当てはまるのである[78]^{li}。そこで、われわれは、総合的水準での経済成長へのアプローチにもはや、GDP のデータで表すのではなく、都市化 “**urbanization**” に、機構の複雑な進化システムとして、その地位を与えるのである（歴史科学との相性については、[79]^{liii}をみよ）。」

ここで、リバウンド効果の件に帰ると、エネルギーと成長の間には総合的な相互依存性をみることはできないようである。しかし、照明の例での議論が示唆的であるが、都市化のメカニズムが、どのように、リバウンド効果の結果であるかを理解する目的には向いている。このことは、実質的な一般化を達成する可能性の道を開くのである。

Bettencourt が最近、示しているように、都市のながれ **flow** のエネルギー学と社会ネットワークの生産性に対して、超線形性 **superlinearity** が適用できるようである。これは入力、貫流 **throughputs** と出力との間との安定な関係性の結果から予想される（換言すれば、都市化の技術革新はエネルギー消費の絶対的な減少の結果にはならないのであろう）。このような理論的關係性は、特定のリバウンド効果について、より詳細なメカニズム解析のためのシステムの基礎を提供するであろう。同時に、エネルギー - 成長連鎖を理解しようとするときに、このリバウンド効果の基軸的な役割りは、確認されるであろう。

これらの考察にもとづいて、著者は、経済的活動と成長を測るための代替的なアプローチのスケッチを以て、結論としている。このアプローチは、人間組織に焦点を当てた進化

理論に強く内包されている、したがって基本的パラメータとして、人口成長を含むであろう。しかしながら、人間の拡張した現象型の進化として、課題性として鎮静化してしまうかもしれないが、経済成長もまた、人口の定性的成長に関係しているようにも見えるようである。拡張した現象型は、人工物すべてをとおして定義される。それは、人間組織機能のさらなる把握と能力を、したがって、もっとも一般的意味での人間組織の適応性機能を把握するという意味となる（適応性の測定の拡張としては[80]^{liii}をみよ）。

このように論じてきたが、人間適応性は社会的“social”であって、超社会的“ultrasocial”ではないという事実を考慮しておくことは必要である。技術的人工物を考えることがない場合でも、自然資源人間適正化は、労働の社会部門を基礎にしている[20]^{liv}。しかしながら、われわれは、また、集合的な現象としての労働部門は、技術のインフラストラクチャによってのみ可能となることを主張する。技術のインフラストラクチャは都市化現象ではもっとも顕著である。したがって、われわれは、経済成長の尺度を可視化することができる。これは都市のインフラストラクチャの測定の上に築かれるのである。そこには、インフラストラクチャを保つために必要なすべての支援構造を含むのである。すでに示したが、これは、たとえば、都市のビルディングの資本蓄積と、照明のようなビルディングでの住まいを保持する流れである（これは文献での比較アプローチがある。ここでは蓄積された GDP を熱力学的に適正な出力の測定としての、文献の参照である[24,25]^{lv}）。

この資本蓄積を、総合的量として測ることは、しかしながら、金銭的価格の使用を実質的に含むであろう。しかしながら、ここでの困難さは GDP データを使うのとは違うのである。資本蓄積は、個人と公共の両方の蓄積を含んでいること、そして、この蓄積に対する経済価値の指定を許す沢山のアプローチとデータベースあることである。しかしながら、第一次近似として、人口数に戻って引用することもできる：全体の都市インフラストラクチャは、人々の生活を保持するにあるからである。

したがって、著者は都市人口の成長で、絶対的と相対的な観方を提案する。これは、熱力学と経済学の統合的な枠組みでの経済成長の尺度としてである。これは、もっとも節約的な道である。ここでは、熱力学的見通しと直接に整合する尺度での成長を二つのモードで見ることになる：拡張した現象型を、人間エネルギー学の拡大としての人工物を介して取り扱うのである。この人工物は人間メタボリズムを考慮したエネルギー学としてであり、拡大した全人口の一部としての都市人口の成長のシェアを保持する都市技術的メタボリズムを含むことを狙うものである。興味あることであるが、この見通しもまた、HANPP の手段によって人間活性化のエコロジー的インパクトを測定することでつながるのである。ここで HANPP はまた、土地使用の形式としてのインフラストラクチャのための土地使用を含むのである。われわれは、この観察から規範的にして、設計的な結論を推測することができ、かくしてエコロジー経済学の論説に首尾よく結合を果たすことになる。ひとつの簡単なエコロジー命題は、都市成長による土地の使用は可能な限り小さく保つべきである

こと、したがって三次元“third dimension”への都市インフラストラクチャが好ましい膨張である。すなわち冷房や暖房でのエネルギー効率を高くするためには高層ビルがよい；これは郊外化 suburbanization のグローバル化に抗することを言っている[81]^{vi}。

再び、著者の中国の例に帰れば、成長モードについての先に述べた二つのモードは、直接支配的な都市化のパターンに反映され、これが二十世紀の半ばまで続いたのである。

中国は中世期に都市化の水準で比較的高い水準に達していた、これは農業と市場組織での中世的な革命を反映している。

この農業レジームは世紀をこえて維持されて、都市の構造の膨張への成長するエネルギーの資源に投資することなしに効率の高い水準にまで達していたのである。西側の国では、化石資源の巨大な量の受け入れと活用に対して、都市という物理的構造の構築に投資することを許すのである（資源の余裕と都市化固定コストに対して農業構造との関係についての理論的論議は[83]^{vii}をみよ）。中国の最近の爆発的な経済成長は、都市と都市中心地区の急速な膨張の同時進行である。これは、われわれが、直接にこの膨張に見ることができるほどであるが、経済成長の手段として、都市のインフラストラクチャへの投資が極端に高い割合を反映している。興味あることは、中国もまた、貯蓄と投資の極端に高い率を伴って成長を達成している点の特異である：これらの投資のかなりの部分は、不動産、つまり都市化にあてられている。

中国の過去と現在では、人口動態の違いがある、これは GDP の意味での異なる成長パターンに対応して、全体の人口での都市人口の爆発的なシェアとなっている。一方で、現在では全体の人口成長は低い。これは成長の二つのモードとの間の切り替えがあったことを示している。われわれは、また前述の設計配慮（の概念）を直接に適用できるのである。現在の中国の都市化について、その意味で疑念を抱かせる様相として、都市の空洞化と土地の非効率的使用がある[84]^{viii}。

1.4. 結論

構成的説明の方法論は、熱力学と経済学とを、ひとつの単一説明パラダイムの内に結びつけることへのジレンマの解を提供する。これにはこのジレンマの裏にある基本的な哲学的苦悩が反映されている。つまり人間行為は自然法則によっては決められないのであり、それらは制約条件としてのみあるというこれまでの広範なる信念からくるものである。

この見解は、究極的に人間は、彼らが住む世界での技術的ならびに社会的システムの進化を設計する力を所有するものという理念からくるものであり、これは丁寧に伝承されてきたものである。

構成的説明の思考枠組みでは、人間行為は、それ自体が組み込まれたより大きなシステムの部分や塊であるとする。これらのシステムは、多水準であり、したがって物理的機構と

ともに、生物学的ならびに文化的機構をも（同時に）含むものである。

この機構の観方においてそれらを考えることはつぎの事実を認めることである、すなわちこれらのシステムの進化は、部分的には、人間行為によって生起するが、全体的には人間による設計からとはならない。この機構の観方はしかしながら、自然法則が直に人間行為を決めることを意味しないが、しかし、物質世界での現象としての因果生成を考えるとという意味では、人間行為についての自然学的観方として馴染む。

この方法論的見解の実用的な含意は、この論文において展開されてきた。著者は、たとえば成長についてのエネルギーの直接的インパクトをGDPで測るといったことのような、高度に総合的な規則性の意味において、熱力学と経済学連鎖を考えれば十分性があるといった理念には反論をしてきた。

これを越えて、構成的説明からの見解は、経済的現象を発生するときに関連して相互作用するたくさんの機構からの構築（構造）を同定する狙いがある。単純な機構のために、たとえば技術機構として、物理法則が直接適用されるとはいえ、人間の技術 - 経済システムの特長となる存在論的な水準を越えて、その法則が、そこに存在する複雑な相互作用を説明することはできないのである。

著者はこの成長の中核となる機構を同定する見通しのよい手段から成長 **growth** を考えること、および、その（切り口が）都市化 **urbanization** であることを論じてきた。研究戦略のための多くの含意がある、それは、技術的システムを理解するのにつかう総合的な解析的な方法のなかに、人間社会現象への適用、さらに戦略的測度へも適用していくというものである。

結論としては、構成的説明思考枠組みは、人間行為の経済学 **Economics of the Anthropocene** のために、適切な方法論を定義したと考える。それは自然科学と社会科学とのスムーズな統合を許すことになる。経済学者は、地球システムでの異なる存在論的水準（階層）について進化論的プロセスの複雑な相互関係のなかで関与することを認識しなければならない、そして 経済的なプロセスを説明するにあたって、技術 **technology** をひとつの独立的な力 **force** として、これに接していかなければならない。これはこれまで技術が単に経済的行為の制約を克服する手段であるという慣習的な見解を越えることを意味するものでもある。

2. 本稿著者の考察と Hermann-Pillath との交信

2.1 本論著者の考察¹⁾

先年亡くなられた世界的な経済学者である青木昌彦氏のネットで、青木氏たちの推奨論文のなかに、経済学と熱力学との統合を扱っている論文に目が留まった。筆者自身が、科学技術系の専門背景でもあったことによるものであったろう。その論文の著者が、今回の論説の主人公であるドイツのエアハルト大学マックス・ウェーバー研究所の経済学者カル

ステン・ヘルマン・ピラー教授(以下、Pillath)である。

本稿のなかでも詳しく説明されるが、熱力学と経済学とを総合化する一般的なアプローチは、ある制約条件の群のもとで経済的行為が行われているとする熱力学的な視点を想定するものである。 エネルギーと成長との間の起因連鎖 causal link は、総合的な経済学での測度論的な分析を経て明らかになるべきものであろう。

Pillath の原論文では総合的分析の方法論的項目を論じ、さらにひとつの代替思考枠を提案する。その思考枠とは科学哲学、就中、生命科学において近来展開されたものに基礎をおいている。

彼が使う“構成的説明 Constitutive explanations”は、科学的説明として法則的な包括を目指すのではなく、現象として発生する起因的な機構についての多水準的な構造を同定することに集中するものである。この方法論は相互交流的な学際的研究を組織するために積極的に使われてきたのである。Pillath は熱力学と経済学を総合するための思考枠を提案する。なぜなら、このことはいくつか複数の科学領域の結合をも要求するからである。

彼は、現在の本流の経済学(Standard Economics)に対して、エコロジー経済学(Ecology Economics)に注目する。その出発点は、GDPにみられるように経済活動が、なぜ成長を追求する結果となるのか。そしてなぜ、特に、その資源であるエネルギーの消費を増大に向かしめ、それがまたフィードバックしてGDPの成長に向かわしめるのかにあった。人間のもつ効用追及(自由と機会均等)という前提で、これを思考の外においてしまうことに関してしまうのではなく、経済測度論的な視点からの統一的な価値尺度を求める。これを物理学、就中 熱力学のエントロピー(その派生の自由エネルギー)に求めたのである。

Standard Economics は、市場での通貨(money/時間)と労働(時間数/時間)、エネルギー(カロリー/時間)とそれぞれ、単位が異なっている。このために、労働やエネルギーは市場での付加的な money 価値に転換して辻褄を合わせているのみといえよう。したがって人間が生きていくうえで、それらが本質的な価値基準に立つものではないと考えたのである。(図 1)

Figure 1 Why is Our Economy for Growth?



図 1 なぜ、われわれの経済は成長に向かうのか？

Pillath は、つぎのように考えた：

(1) 人間が本来的に生存していく根拠のひとつをグリーンエネルギー収支として捉え (HANPP) これを実現する経済系を **Ecological Economics** として設定した。そして、これを **Standard Economics** と二つをペアな系として価値論理の構成を考えた。

(2) **Standard Economics** では、市場経済での利益追求型のもつ目的関数 (Max or Min) でそれを実現する制約条件が伴う (資源利用の効率化や質料的制約を追及する)

(3) 一方、**Ecological Economics** は、再生的グリーン収支の制約条件として 成長もそれ以内として成長を論理的に切り離して (脱成長) DeGrowth を設定する。

(4) かれはこの二つの制約条件間の質料的バランスをめざすのである。(図 2)

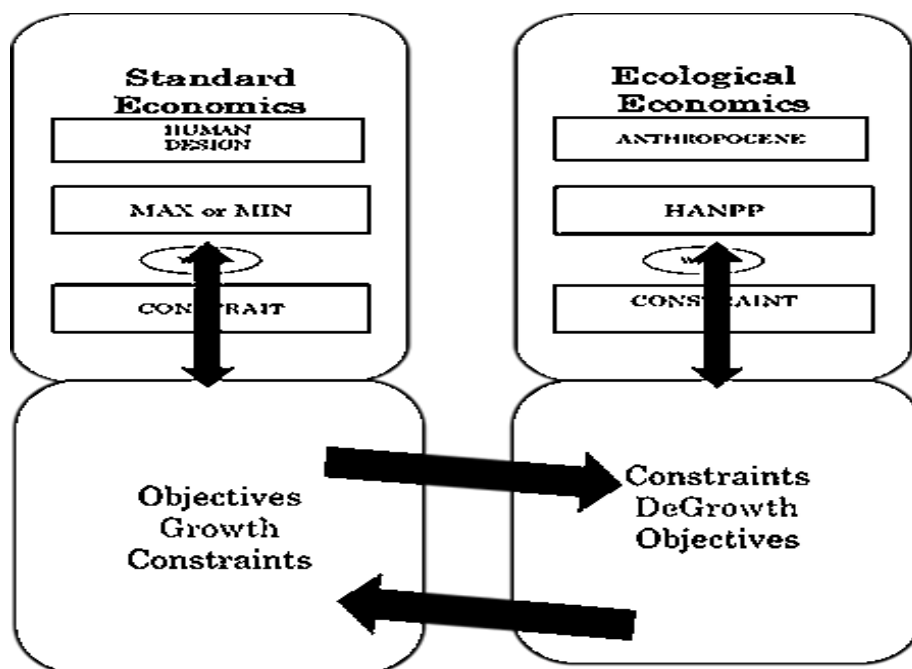


図 2 並列領域と干渉

(5) 「質料的バランス」つまり価値の異なる系との間の共約不可能性の解決のために物理学上もっとも人間価値に付帯した力学として熱力学に注目し、就中 エントロピーに統一尺度を求めたのである。(図 3)

(6) J a y n e s の最大エントロピー理論による異なる価値系と間の統一尺度の可能性がある。エントロピーの概念は、エンジンの効率を考える指数、分子の運動状態を表す指数、情報通信の信号の解釈を考える指数など科学の歴史的な解釈背景によって統一された表現になっていない。

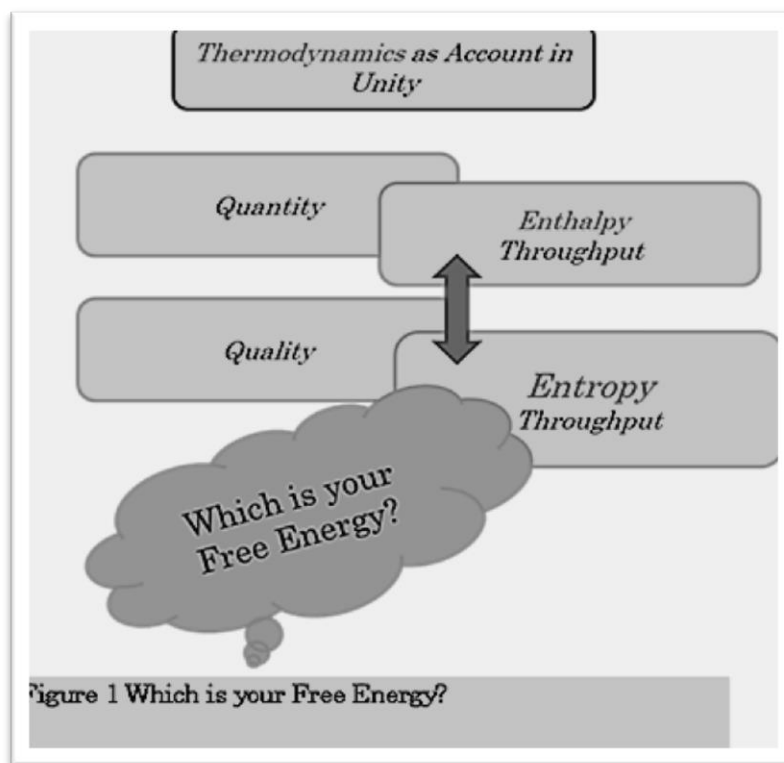


図3 どちらが我々にとっての自由エネルギーであるか？

(6) Jaynesの最大エントロピー理論による異なる価値系と間の統一尺度の可能性がある。エントロピーの概念は、エンジンの効率を考える指数、分子の運動状態を表す指数、情報通信の信号の解読を考える指数など科学の歴史的な解釈背景によって統一された表現になっていない。

(7) Pillathは、アメリカのプラグマティズムの源流であるPeirceの三元記号論(対象—信号—観察者)からの機能(関数)からの階層的な巣網(ネスト・ニューロン系)をなす情報系を志向しているが、本稿では直接には触れない。

(8) 一方、物理化学就中 化学熱力学と化学反応運動論からのヒントとして、後者の時間遷移的な運動学的な視点も残されており、ピラースの広い意味での「経済物理学」の今後の発展を予感せしめるものがある。

以上が原論文からの考察である。

2.2 Hermann-Pillath氏との交信

(荒井からピラース氏へのコメント)

April 25, 2017

Theme; comments and questions

Professor Pillath,

I am a retired chemical engineer in Tokyo, male, born in 1938.

I am very glad incidentally to have an opportunity to have read your papers, after Blog of Dr, Masahiko Aoki (past way). Then, at my academic society , names as Multi-disciplinary Knowledge¹ meeting, I have introduced your papers as one of aspects on a social institutional treatment matter.

Sorry, in short, I am at this moment, encouraging myself to hope to contact with you on the matter below with you:

I have much concerned to paragraphs of the Introduction of your paper² as follows:

1. “I argue that the thermodynamics perspective has been weakly grounded in philosophy of science and methodology, and that this is mostly responsible for the slow integration of thermodynamic reasoning into economics”

2. “Correspondingly, as far as the energy-growth link is concerned, thermodynamics would not explain economic growth, but only the energetic constraints under which growth occurs. “

I have quite agreed with you on item 1 as your thermodynamics perspective weakly and slow connection to economics.

As for item 2, you have some pessimistic feeling on power of thermodynamics for covering ability with economic dynamics in terms of growth.

Thermodynamics has, as you mentioned, multiple routes of science history, such as mechanical engineering, chemical engineering and information engineering, etc.. It may be thought a history of hard struggling themselves for unifying format from different ones of definition on it.

I also agreed with you, that Jaynes theorem of Maximum Entropy Production, which you have touched it in detail connotation, is a really promising theory for the purpose for its unification to accommodation to working ability.

By the way, I dare to talk here to you about thermodynamics and chemical kinetics along the standard textbook of Physical Chemistry.

Under knowledge of them, the following two of methodologies are well facilitated

¹ Multi-disciplinary Knowledge
<https://www.facebook.com/groups/sougouchi/?fref=ts>
<http://www.sougouchi.org/blog/>

² Carsten Herrmann-Pillath; Constitutive Explanations as a Methodological Framework for Integrating Thermodynamics and Economics, Entropy 2016,18, 18:103390/e18010018, www.mdpi.com/journal/entropy

with respect to process or phenomena of reactions between matters with energy consumption(or release):

1. Chemical reaction kinetics as standard knowledge on physico-chemical dynamics(;time dependent) to change both of matter state and energy. For instance, nuclear material radio activity decaying, CO2 green effect decaying, Polymer chemical reaction ,etc.
2. Chemical thermodynamics scientific knowledge on physico-chemical potentiality to change of state of matter and corresponding state of energy.

I am, therefore, recommending you to pay both of kinetics and thermodynamics.

These are under theoretically strong connection.

Theoretically, you take both of them into consideration, thermodynamical and economics are getting to stand close each other. Yes, I remember, Walrath's economical equilibria theory is in the same category with chemical kinetics.

I think entropy is quite promising index which connect technologically each other between physical states and human state(as your term, Anthropocene)

Because it should exactly be notified that is an important physical index as connection of potentiality (or availability) from human intentionality.

Supposedly, multi-connected neuronal synapse link is a key idea to make open 'black box' how it works. Fundamentally, experimental measurement of neuro signals are necessary handled to implementation. As easy to imagine, conventional control technology talks us dynamical signal treatment (which is time proceeding process) are indispensable.

I can also say chemical kinetics modelling are power full and far reach one for unifying multi level of phenomena which will get together in the mathematical forms.

Very naturally, entropy is promising us to have a core role of potential affinity to link with quality index of human activity , such as economics as being treated in your previous paper [3]

Thanks. With my Best Regards.

Yasumasa Arai April 25, 2017

(ピラーズ氏から荒井へのコメント)

From: Carsten Herrmann-Pillath [mailto:cahepil@online.de]

Sent: Monday, May 08, 2017 10:32 PM

To: araraiypoll1a@nifty.com

Subject: AW: Sie haben ein Feedback

Dear Professor Arai,

My sincere apologies that I did not reply earlier.

I think that applying chemistry notions in economics would be most promising, but I never had time doing that. The papers that you cite are not my most recent work on these issues, I think I improved a lot. Firstly, there is my book 'Foundations of Economic Evolution', where I elaborate on the Peircian approach (see review attached), which is compressed in the joint paper with Salthe, and I attach three more papers on energy and growth. Hope to stay in touch! Best wishes Carsten

~~~~~

#### 謝辞

原著者ヘルマン・ピラース氏とは、2017年5月に直接のメール交換から交流が始まったのであった。本著者からのコメントおよび質問に対して、氏は冷静に対応され、なお友愛的に対応されたことに感謝するものである。また、本論での翻訳については以下原文で記載するように、快諾を得ていることを付記するものである。

Dear Arai sensei,

you may have noticed that my family was on leave for vacations, therefore you did not receive a reply to your questions regarding the translation of my paper. Of course, I am happy to agree with the publication!

It was highly inspiring to meet you at Hibiya park, thank you for all your comments and support! I will soon work on a new paper tentatively entitled 'Ontology of the Technosphere', and I will share the draft with you!

Best wishes CHP

2017/08/22 (火) 18:25

#### ヘルマン・ピラースの略歴 (Wikipediaより)

Carsten Herrmann-Pillath (1959年2月24日 ドイツ Dessau, Saxony-Anhalt 生まれる) はドイツ人の経済学者・支那学者。彼はドイツ、エアハルト大学の進化経済学教授でありマックス・ヴェーバー先進文化社会研究センターの終身フェローである。<sup>3</sup> <sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Faculty of Economics and Management, Witten/Herdiye University, Alfred-Herrhausen-Strasse 50, Witten 58448, Germany; cahepil@online.de; Tel: +49-2302-926542

<sup>4</sup> Maxweber Center for Advanced Cultural and Social Studies, Erfurt University, Erfurt 99105, Germany

彼の基本的な哲学源はヘーゲルとパースである。進化とエコロジー経済学の分野で、経済成長の理論を提唱している。これは、エネルギーと情報の概念を基本的構築ブロックとして取り込んでいくものである。彼は制度(論)の自然学的理論について、貨幣を中核的な役割りを考え洗練させた。この考えは、青木昌彦の制度(論)理論を使つての近代ニューロ経済学と行動経済学を結合したものである。

彼の制度(論)の焦点は 遂行性 *performativity* にあり、社会学と哲学での昨今の進展と結びついている (行為者ネット理論、科学と技術研究)

国際経済学の分野では、彼は、WTO での適用と、'深慮ある貿易政策' *deliberate trade policy* という新しいパラダイムを提唱している。

中国に関する長期にわたる研究は中国経済の文化的理論に凝縮されてきた。それは '儀式' *ritual* の概念が中核にある。現在は、'経済の臨界理論' *critical of the economy* について研究している。

参考文献 ( [アラビア数字]は原論文の参考文献番号である) :

---

<sup>i</sup> Arai(2013-a); Yasumasa Arai, Essays and Briefings on "Human Free Will" and "Natural Causality"  
-Reflection on Kant's Critique of Pure Reason-, Volume.2013/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge.2013 ISSN 1345-4889 E (【研究ノート】 目的論理の構造としての「自由意志」と「因果性」を考える), (総合知学会誌) Volume.2013/1, 2013,) [http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2013/SJ2013-08\\_yasumasa\\_arai.pdf](http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2013/SJ2013-08_yasumasa_arai.pdf)

Arai(2013-b); Yasumasa Arai, On System Thinking, Teleological Structure and Social Morality-Reflections on Kant's Critique of Judgement, Vol. 2013/1. Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge. ,2013, ISSN 1345-4889 E  
([論文]荒井康全; システム思考での目的論理の構造と社会倫理についてー序論カント「判断力批判」を読んでー、Vol.2013/1, 総合知学会誌 2013) [http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2013/SJ2013-05\\_yasumasa\\_arai.pdf](http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2013/SJ2013-05_yasumasa_arai.pdf)

Arai(2014-a); Yasumasa Arai, System Thinking, Teleological Structure and Social Morality II  
On Frame-work Seeking onto Upper-Bounds of Objectives, Volume.2014/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge. , 2014, ISSN 1345-4889 E  
([論文] システム思考での目的論理の構造と社会倫理について II ー目的性論理の価値認識の「上限境界線」を考えること, Vol.2014/1, 総合知学会誌 2014) [http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2014/SJ2014-08\\_yasumasa\\_arai.pdf](http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2014/SJ2014-08_yasumasa_arai.pdf)

Arai(2014-b); Yasumasa Arai, Prefatory Note As Metaphysical Mind, , Volume.2014/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge.2014, ISSN 1345-4889 E  
(【巻頭言】 「形而上学への意識」、Vol.2014/1, 総合知学会誌 2014)

---

[http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2014/SJ2014-01\\_prefatory.pdf](http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2014/SJ2014-01_prefatory.pdf)

Arai(2015-a); Yasumasa Arai, System Thinking, Teleological Structure and Social Morality V,

Social Institution, and System Pluralism, ,Volume.2015/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge.2015, ISSN 1345-4889 E,

(【論文】システム思考における目的論理と社会倫理について V— 制度(論)からみたシステムの多元的目的論理、Vol.2015/1,総合知学会誌 2015)

[http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2015/SJ2015-08\\_yasumasa\\_arai.pdf](http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2015/SJ2015-08_yasumasa_arai.pdf)

(Arai(2015-b); Yasumasa Arai, On System Thinking, Teleological Structure and Social Morality IV

Essay on Frame work on Value Incommensurability and Value, ,Volume.2015/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge. 2015, ISSN 1345-4889 E,

(【論文】システム思考での目的論理の構造と社会倫理について IV— 価値の共約不可能性と多元主義について、Vol.2015/1,総合知学会誌 2015)

[http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2015/SJ2015-07\\_yasumasa\\_arai.pdf](http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2015/SJ2015-07_yasumasa_arai.pdf)

(Arai(2015-c); Yasumasa Arai, Prefatory Note On the Adam Smith Problem and

Morality, ,Volume.2015/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge.,2015, ISSN 1345-4889 E,

(【巻頭言】アダム・スミス問題と道徳性について、Vol.2015/1,総合知学会誌 2015)

[http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2015/SJ2015-01\\_prefatory.pdf](http://www.sougouchi.org/blog/wp/wp-content/uploads/sj/2015/SJ2015-01_prefatory.pdf)

(Arai(2016-a); Yasumasa Arai, On System Thinking, Teleological Structure and Social Morality VI

On Carsten Herrmann-Pillath To Explanations to Entropy, Function and Evolution: Naturalizing Peircian Semiosis,

(under publishing for, Volume.2016/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge. ,2016, ISSN 1345-4889 E),

(【論文】システム思考における目的論理の構造と社会倫理について VI— ヘルマン・ピラース「エントロピー、機能(関数)および進化」、Vol.2016/1,総合知学会誌 2016 (掲載申請中))

(Arai(2016-b); Yasumasa Arai, On System Thinking, Teleological Structure and Social Morality VII

Herrmann-Pillath “Constitutive Explanations as a Methodological Framework for Integrating Thermodynamics and Economics”, , (under publishing for, Volume.2016/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge.2016, ISSN 1345-4889 E),

(【論文】システム思考における目的論理の構造と社会倫理について VII— ヘルマン・ピラース:熱力学と経済学を統合化する方法論的枠組み、Vol.2016/1,総合知学会誌 2016 (掲載申請中))

(Arai(2016-c); Yasumasa Arai, Public Comment “About recruiting opinions for the formulation of “basic way of thinking about nuclear energy use”, , (under publishing for, Volume.2016/1, Journal of the Society of Multi-disciplinary Knowledge.2016, ISSN 1345-4889 E),

(【パブリックコメント】「原子力利用に関する基本的な考え方」策定の向けたご意見の募集について、Vol.2016/1,総合知学会誌 2016 (掲載申請中))

ii Carsten Herrmann-Pillath, “Constitutive Explanations as a Methodological Framework for Integrating Thermodynamics and Economics”

by Reiner Kümmel and Kevin H. Knuth Reference : Entropy 2016 18,

---

18;doi:10.3390/e18010018

[www.mdpi.com/journal/entropy](http://www.mdpi.com/journal/entropy)

- iii [1] Spash, C.L. New Foundations for Ecological Economics. *Ecol. Econ.* 2012, 77, 36–47. [CrossRef]
- [2] Costanza, R.; Cumberland, J.H.; Daly, H.; Goodland, R.; Norgaard, R.B.; Kubiszewski, I.; Carol, F. *An Introduction to Ecological Economics*, 2nd ed.; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2014.
- iv [3] Spash, C.L. The Shallow or the Deep Ecological Economics Movement? *Ecol. Econ.* 2013, 93, 351–362. [CrossRef]
- v [4] Brown, P.G.; Timmerman, P. *Ecological Economics for the Anthropocene*; Columbia University Press: New York, NY, USA, 2015.
- vi [5,6]
5. Ayres, R.U.; Warr, B. *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity*; Edward Elgar Publishing: Cheltenham, UK, 2010.
6. Kümmel, R. *The Second Law of Economics: Energy, Entropy, and the Origins of Wealth*; Springer: New York, NY, USA, 2011.
- vii [7] Bünstorf, G. *The Economics of Energy and the Production Process: An Evolutionary Approach*; Edward Elgar Publishing: Cheltenham, UK, 2004.
- viii [11] Craver, C.; Tabery, J. Mechanisms in Science. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter 2015 Edition ed. Available online: <http://plato.stanford.edu/archives/win2015/entries/science-mechanisms/> (accessed on 28 December 2015).
- ix [12] Haff, P.K. Technology as a Geological Phenomenon: Implications for Human Well-Being. *Geol. Soc. Lond. Spec. Publ.* 2014, 395, 301–309. [CrossRef]
- x ([6]: 133ff, 197ff)  
See above 6.
- xi [14] Stern, D.I. The Role of Energy in Economic Growth: Energy and Growth. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 2011, 1219, 26–51. [CrossRef] [PubMed] *Entropy* 2016, 18, 18 17 of 19
- xiii [16] Stern, D.I.; Enflo, K. Causality between Energy and Output in the Long-Run. *Energy Econ.* 2013, 39, 135–146. [CrossRef]
- xiii [15] Ayres, R.U.; van den Bergh, J.C.J.M.; Lindenberger, D.; Warr, B. The Underestimated Contribution of Energy to Economic Growth. *Struct. Chang. Econ. Dyn.* 2013, 27, 79–88. [CrossRef]
- xiv [18] Kleidon, A. *Thermodynamic Foundations of the Earth System*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2016.
- xv [19] Kåberger, T.; Månsson, B. Entropy and Economic Processes—Physics Perspectives. *Ecol. Econ.* 2011, 36, 165–179. [CrossRef]
- xvi [20] Gowdy, J.; Krall, L. The Ultrasocial Origin of the Anthropocene. *Ecol. Econ.* 2013, 95, 137–147. [CrossRef]
- xvii [17,20,21]
17. Smil, V. *Energy in Nature and Society: General Energetics of Complex Systems*; The MIT Press: Cambridge, MA,

---

USA, 2008.

20. Gowdy, J.; Krall, L. The Ultrasocial Origin of the Anthropocene. *Ecol. Econ.* 2013, **95**, 137–147. [CrossRef]

21. Debeir, J.-C.; Deléage, J.-P.; Hémerly, D. *Une Histoire de L'énergie*; Flammarion: Paris, France, 2013.

<sup>xviii</sup> [22,23] 22. Haberl, H.; Erb, K.H.; Krausmann, F.; Gaube, V.; Bondeau, A.; Plutzer, C.; Gingrich, S.; Lucht, W.;

Fischer-Kowalski, M. Quantifying and Mapping the Human Appropriation of Net Primary Production in

Earth's Terrestrial Ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2007, **104**, 12942–12947. [CrossRef] [PubMed]

23. Krausmann, F.; Erb, K.-H.; Gingrich, S.; Haberl, H.; Bondeau, A.; Gaube, V.; Lauk, C.; Plutzer, C.;

Searchinger, T.D. Global Human Appropriation of Net Primary Production Doubled in the 20th Century.

*Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2013, **110**, 10324–10329. [CrossRef] [PubMed]

<sup>xix</sup> [24,25] 24. Garrett, T.J. Are There Basic Physical Constraints on Future Anthropogenic Emissions of Carbon Dioxide?

*Clim. Chang.* 2011, **104**, 437–455. [CrossRef]

25. Garrett, T.J. No Way out? The Double-Bind in Seeking Global Prosperity Alongside Mitigated Climate

Change. *Earth Syst. Dyn.* 2012, **3**. [CrossRef]

<sup>xx</sup> [26] Woodward, J. Causation and Explanation in Econometrics. In *On the Reliability of Economic Models*; Springer:

Dordrecht, The Netherlands, 1995; pp. 9–61.

<sup>xxi</sup> [27] Annala, A.; Salthe, S. Economies evolve by energy dispersal. *Entropy* **2009**, **11**, 606–633.

<sup>xxii</sup> [9,29] 9. Cullenward, D.; Schipper, L.; Sudarshan, A.; Howarth, R.B. Psychohistory Revisited: Fundamental Issues in

Forecasting Climate Futures. *Clim. Chang.* 2011, **104**, 457–472. [CrossRef]

29. Khalil, E.L. The Three Laws of Thermodynamics and the Theory of Production. *J. Econ. Issues* 2004, **38**,

201–226.

<sup>xxiii</sup> [32,33] 32. Elvin, M. *The Pattern of the Chinese Past: A Social and Economic Interpretation*; Stanford University Press:

Redwood City, CA, USA, 1973.

33. Pomeranz, K. *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*;

Princeton University Press: Princeton, NJ, USA, 2000.

<sup>xxiv</sup> [35–38] 35. Dawkins, R.; Dennett, D. *The Extended Phenotype: The Long Reach of the Gene*; Oxford University Press: Oxford,

UK, 1999.

36. Aunger, R. *The Electric Meme: A New Theory of How We Think*; Free Press: New York, NY, USA, 2010.

37. Danchin, É.; Charmantier, A.; Frances, A.; Champagne, F.A.; Mesoudi, A.; Pujol, B.; Blanchet, S. Beyond

DNA: Integrating Inclusive Inheritance into an Extended Theory of Evolution. *Nat. Rev. Genet.* 2011, **12**,

475–486. [CrossRef] [PubMed]

38. Mesoudi, A. *Cultural Evolution: A Review of Theory, Findings and Controversies*. *Evolut. Biol.* 2015.

---

[CrossRef]

- xxv [41] Allen, R.C. *The British Industrial Revolution in Global Perspective*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2009.
- xxvi [33] Pomeranz, K. *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*; Princeton University Press: Princeton, NJ, USA, 2000.
- xxvii [42] Annala, A.; Salthe, S. Economies Evolve by Energy Dispersal. *Entropy* 2009, 11, 606–633. [CrossRef]
- xxviii [45,46] 45. Dowe, P. Causal Processes. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall 2008 Edition ed. Available online: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2008/entries/causation-process/> (accessed on 28 December 2015).
46. Van Brakel, J. *Philosophy of Chemistry: Between the Manifest and the Scientific Image*; Leuven University Press: Leuven, Belgium, 2000.
- xxix [47,48] 47. Craver, C.F. *Explaining the Brain: Mechanisms and the Mosaic Unity of Neuroscience*; Oxford University Press: Oxford, UK, 2009.
48. Harbecke, J. The Role of Supervenience and Constitution in Neuroscientific Research. *Synthese* 2014, 191, 725–743. [CrossRef]
- xxx [49,50] 49. Demeulenaere, P. *Analytical Sociology and Social Mechanisms*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2011.
50. Hedström, P.; Ylikoski, P. Causal Mechanisms in the Social Sciences. *Annu. Rev. Sociol.* 2010, 36, 49–67. [CrossRef]
- xxxi [52] Bhaskar, R. *The Possibility of Naturalism: A Philosophical Critique of the Contemporary Human Sciences*, 3rd ed.; Routledge: London, UK, 1998.
- xxxii [8] Bruns, S.B.; Gross, C.; Stern, D.I. Is There Really Granger Causality between Energy Use and Output? *SSRN Electron. J.* 2013. [CrossRef]
- xxxiii [54] Schmid, M. The Logic of Mechanistic Explanations in the Social Sciences. In *Analytical Sociology and Social Mechanisms*; Demeulenaere, P., Ed.; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2011
- xxxiv [32,33]
32. Elvin, M. *The Pattern of the Chinese Past: A Social and Economic Interpretation*; Stanford University Press: Redwood City, CA, USA, 1973.
33. Pomeranz, K. *The Great Divergence: China, Europe, and the Making of the Modern World Economy*; Princeton University Press: Princeton, NJ, USA, 2000.
- xxxv [41] Allen, R.C. *The British Industrial Revolution in Global Perspective*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2009.
- xxxvi [17] (See above)
- xxxvii [57] Sorrell, S. Jevons' Paradox Revisited: The Evidence for Backfire from Improved Energy Efficiency. *Energy Policy* 2009, 37, 1456–1469. [CrossRef]
- xxxviii [58,59]
58. Saunders, H.D. The Khazzoom-Brookes Postulate and Neoclassical Growth. *Energy J.* 1992, 13, 131–148. [CrossRef]
59. Saunders, H.D. Fuel Conserving (and Using) Production Functions. *Energy Econ.*

- 
- 2008, 30, 2184–2235. [CrossRef]
- xxxix [60] Sorrell, S.; Dimitropoulos, J.; Sommerville, M. Empirical Estimates of the Direct Rebound Effect: A Review. *Energy Policy* 2009, 37, 1356–1371. [CrossRef]
- xl [61] Sadorsky, P. Information Communication Technology and Electricity Consumption in Emerging Economies. *Energy Policy* 2012, 48, 130–136. [CrossRef]
- xli [62,63]
62. Maroney, O. Information Processing and Thermodynamic Entropy. In *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall 2009 Edition ed. Available online: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/information-entropy/> (accessed on 28 December 2015).
63. Bérut, A.; Arakelyan, A.; Petrosyan, A.; Ciliberto, S.; Dillenschneider, R.; Lutz, E. Experimental Verification of Landauer’s Principle Linking Information and Thermodynamics. *Nature* 2012, 483, 187–189. [CrossRef] [PubMed]
- xlii [57] Sorrell, S. Jevons’ Paradox Revisited: The Evidence for Backfire from Improved Energy Efficiency. *Energy Policy* 2009, 37, 1456–1469. [CrossRef]
- xliiii [5] See above.
- xliv [6] See above
- xlv [64] 64. Schleich, J.; Mills, B.; Dütschke, E. A Brighter Future? Quantifying the Rebound Effect in Energy Efficient Lighting. *Energy Policy* 2014, 72, 35–42. [CrossRef]
- xlvi [65,66]
65. Tsao, J.Y.; Waide, P. The World’s Appetite for Light: Empirical Data and Trends Spanning Three Centuries and Six Continents. *LEUKOS* 2010, 6, 259–281.
66. Fouquet, R.; Pearson, P.J.G. The Long Run Demand for Lighting: Elasticities and Rebound Effects in Different Phases of Economic Development. *Econ. Energy Environ. Policy* 2012, 1, 83–100. [CrossRef]
- Entropy* 2016, 18, 18 19 of 19
- xlvii [68] Henderson, J.V.; Storeygard, A.; Weil, D.N. Measuring Economic Growth from Outer Space. *Am. Econ. Rev.* 2012, 102, 994–1028. [CrossRef] [PubMed]
- xlviii [71] Mitcham, C. *Thinking through Technology: The Path between Engineering and Philosophy*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 1994.
- xlix [72] Fujita, M.; Krugman, P.R.; Venables, A.J. *The Spatial Economy: Cities, Regions, and International Trade*; MIT Press: Cambridge, MA, USA, 2001.
- l [73–75] 73. Glaeser, E.L.; Gottlieb, J.D. The Wealth of Cities: Agglomeration Economies and Spatial Equilibrium in the United States. *J. Econ. Lit.* 2009, 47, 983–1028. [CrossRef]
74. Bettencourt, L.M.A.; Lobo, J.D.; Helbing, D.; Kuhnert, C.; West, G.B. Growth, Innovation, Scaling, and the Pace of Life in Cities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2007, 104, 7301–7306. [CrossRef] [PubMed]
75. Bettencourt, L.M.A. The Origins of Scaling in Cities. *Science* 2013, 340, 1438–1441. [CrossRef] [PubMed]
- li [78] Scott, J. *Social Physics and Social Networks*. In *The SAGE Handbook of Social Network Analysis*; Scott, J., Carrington, P.J., Eds.; SAGE Publications: Thousand Oaks, CA, USA, 2011.
- lii [79] McNeill, J.R.; McNeill, W.H. *The Human Web: A Bird’s-Eye View of World*



History; W.W. Norton & Company:

New York, NY, USA, 2003.

liii [80] Corning, P.A. *Holistic Darwinism: Synergy, Cybernetics, and the Bioeconomics of Evolution*; University of Chicago Press: Chicago, IL, USA, 2005.

liv [20] See above

lv [24,25] See above

lvi [81] Glaeser, E.L. *Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier*; Penguin Books: New York, NY, USA, 2012.

lvii [83] Chen, J.; Galbraith, J. *Institutional Structures and Policies in an Environment of Increasingly Scarce and*

*Expensive Resources: A Fixed Cost Perspective*. *J. Econ. Issues* 2011, 45, 301–308.

[CrossRef]

lviii [84] World Bank and the Development Research Center of the State Council, P. R. China. *Urban China: Toward*

*Efficient, Inclusive, and Sustainable Urbanization*; World Bank Group: Washington, DC, USA, 2014.

lix 荒井康全 総合知学会月例研究会 2017年5月発表資料、総合知学会、2017.

