

貨幣価値とエネルギー量的価値の両面から見た経済過程の分析

－日本の電力産業の構造的分析を通じて－

青木秀和

目次

各章初出一覧	iv
要旨	v
序章 背景・目的・構成	1
1 背景	1
2 目的	5
3 構成	6
第1章 エネルギー量的価値を用いた経済過程の構造分析	9
1.1 本研究の理論的基礎	9
1.1.1 ジョージesk=レーゲンの問題提起	9
1.1.2 フレデリック・ソディの理論的洞察	11
1.1.3 実質的富Ⅰと実質的富Ⅱの関係とレーゲン/デイリー・モデル	14
1.1.4 EROI (エネルギー投資効率) と Net Energy Cliff (正味エネルギーの崖)	15
1.1.5 ハバート理論	16
1.1.6 エネルギー消費と経済活動の関連に関する先行研究	18
1.1.7 仮想的富及び負債	19
1.1.8 ソディ理論の現代的意義	19
1.2 「エネルギー量的価値」	20
第2章 日本の電力産業における需要先別事業収支	22
2.1 目的	22
2.2 方法	23
2.3 日本の電力産業の需要構造分析	24
2.3.1 日本における需要別電力需要と収益	24
2.3.2 日本における電力料金決定方式：レートメイク	25
2.3.3 二重価格の推移	26
2.4 費用分析の結果	26
2.4.1 「家庭用」及び「産業用」売上単価と「総費用」単価の推計	26
2.4.2 家庭用部門及び産業用部門から上げた利益の推計	28
2.5 財務会計ベースで見た需要先別利益	29
2.6 完全小売り「規制緩和」後の営業構造	30
2.7 結論	32
第3章 日本の電力産業における発電部門別事業収支	34
3.1 背景、目的	34
3.2 方法	35
3.2.1 発電部門ごとの発電端から需要端に至る各段階の電力量算定	36
3.2.2 発電部門別の電気事業収益の算定	37
3.2.3 営業費用算定における二つのアプローチ	38
3.2.4 損益計算書ベース・アプローチでの費用算定	38

3.2.5	現金支出ベース・アプローチでの費用算定	41
3.3	解析結果	44
3.3.1	発電部門ごとの発電端から需要端に至る各段階の電力量	44
3.3.2	発電部門別の電気事業収益	44
3.3.3	損益計算書ベース・発電部門別収支	45
3.3.4	損益計算書ベース・費用算定の解析	45
3.3.5	現金支出ベースでの算定結果	46
3.4	損益計算書ベースと現金支出ベースの算定結果の比較対照	47
3.4.1	収支総括	47
3.4.2	収益率	48
3.4.3	送電端単価	48
3.5	原子力発電が抱える固有の問題の確認	49
3.6	結論	52
第4章	エネルギー量的価値に基づく発電部門別エネルギー収支	54
4.1	目的	54
4.2	方法	54
4.2.1	発電部門別1次エネルギー投入量の推計	54
4.2.2	エネルギー量的価値への換算係数	55
4.2.3	発電部門に投入されたエネルギー量的価値の推計手法	55
4.2.4	共通部門に投入されたエネルギー量的価値の推計手法	56
4.3	分析結果	56
4.3.1	発電部門別1次エネルギー投入量	56
4.3.2	エネルギー量的価値への換算係数	57
4.3.3	設備利用率	58
4.3.4	エネルギー量的価値による発電部門別投入・産出効率の推計結果	59
4.3.5	設備投資額・設備投資の利用に要したエネルギー量的価値・発電電力量・設備利用率・エネルギー量的価値レベルでの投入・産出効率の比較	60
4.4	発電部門別の投入・産出効率の推移	61
4.5	貨幣価値ベースでの収支推計との比較・対照	62
4.6	結論	63
第5章	エネルギー量的価値の理論	64
5.1	目的	64
5.2	1次エネルギー供給（PES）と全産業産出（TIO）	64
5.3	「エネルギー量的価値」による評価・分析フレーム	67
5.4	結論	69
第6章	エネルギー量的価値を評価・分析フレームとするケーススタディ	70
6.1	目的、方法	70
6.1.1	1次エネルギー国内供給（PES）の推計方法	70
6.1.2	全産業産出（TIO）の推計方法	70

6.1.3 国内総生産（GDP）の推計方法.....	71
6.2 日本の1次エネルギー供給（PES）、全産業産出（TIO）と国内総生産（GDP）の推移.....	72
6.2.1 時間軸に沿った分析.....	72
6.2.2 2010年代に表れたPESとTIOの「逆相関」の兆候について.....	74
6.2.3 時点で対比した分析.....	76
6.3 エネルギー量的価値（ECV）による鉄道建設事業の評価.....	78
6.4 結論.....	80
第7章 考察.....	83
7.1 「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立	83
7.2 日本の電力産業に埋め込まれた営業構造の解析.....	85
7.3 経済過程とエネルギー消費.....	86
第8章 結論.....	93
参考文献.....	96
謝辞.....	101

各章初出一覧：

第 2 章 The Business Structure of Japan’s Electric Industry for 1963-2016:
Analysis on the Revenues and Expenditures throughout before and after
the “Deregulation” 【1963-2016 年における日本の電力産業の営業構造：
「規制緩和」前後を通じた収入と支出の分析】（青木秀和・河宮信郎）
“International Journal of Energy Economics and Policy (IJEEP)”
Volume 9, No 1, pp.316-25, 2019.

第 3 章 日本の電力事業における発電部門別収支の研究（青木秀和）
『財政と公共政策』第 38 巻, 第 1 号, 52-67 頁, 2016 年

第 5 章 A Structural Analysis of Economic Processes by the Use of “Energy
第 6 章 Content Value” 【「エネルギー量的価値」を使った経済過程の構造分析】（青
木秀和・河宮信郎）
“Sustainability” Volume11, Issue6, 2019.

要旨

近代経済学は、貨幣の持つ【一般的価値尺度(standard of value)】という機能を使い、貨幣数量によって経済過程を“価値表示”する。近代経済学は、この貨幣数量を唯一無二の価値尺度として採用してきた。それを最も象徴する指標が、“国内総生産”(GDP)である。

ところが、GDPは、付加価値の総計(Gross Added Value)であって、経済過程の全体を表すものではなく、これを捉えるには、GDPに「中間投入」を加えなければならない。この大前提が、ともすれば置き去りにされているという問題がある。

さらに、近代経済学は、伝統的にGDPを投入された資本と労働という「生産要素」への見返りと見做している。このため、エネルギーは「生産要素」として明示的に取扱われない。確かに、多くのエネルギーが消費されることで生産力が増強されたとしても、その改善による所得の増分が自然界に配分されることはあり得ない。しかし、この取扱いでは、エネルギーの使用効率改善や消費拡大がもたらす経済過程への寄与が「技術進歩」のごく一部に取り込まれてしまい、明確に認識されることはないという問題が残る。

本研究は、この二つの問題意識に基づき、<「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立>を最大の研究課題とする。

本論文は、序章と8章から構成される。序章は、序論であり、本研究の背景を詳述し、研究目的を明確にし、構成を提示する。

第1章においては、富を実質的富と仮想的富に区分するフレデリック・ソディの富の理論を中心に本研究の理論的基礎を述べ、現実の経済過程には、(A)財の交換プロセスを構成する仮想的富(貨幣システム)の側面、(B)社会における全てのエネルギーと物質の変換を構成する実質的富の側面、という内在する二つの様相が装備されているとの認識をまず示す。そして、(A)と(B)を同時に取り扱うことができる、経済-資源・エネルギー問題に対する二元的または二重焦点(「両建て」)アプローチを採用することが不可欠であると提起する。そのうえで、「エネルギー量的価値(Energy Content Value)」というもう一つの価値概念の導入を提唱する。その意味するところを電力産業に基づき説明し、「ある財または経済行為の価値を、投入(=消費)された1次エネルギー量に対応させて評価したもの」と位置づける。

次に第1章の提起を受けて、第2章から第4章では、日本の電力産業の営業活動を取り上げ、(A)と(B)を同時に取り扱う両建てアプローチの実際例とする。

第2章では、「家庭用」と「産業用」の二重価格制度のもと電力産業に埋め込まれた営業構造分析を進め、第3章では、この分析で利用した電力産業の損益計算書と貸借対照表に基づき現金支出レベルの費用推計に進む。

そして第4章においては、この推計結果に、別途算定した発電実績に基づく1次エネルギー投入量の推計を投影し、水力、火力、原子力という各発電部門と送・配電部門のそれぞれに投じられた費用を「エネルギー量的価値(ECV)」による評価に置き換える。そのうえで、この各発電部門に投入されたECVと需要電力量を比較して、エネルギーレベルの投入・産出効率を導く。この一連の操作により<「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立>が可能であることを証明する。

なお、第2章では、大口電力が規制緩和された以降においては、(電力需要の2/3を占める)「産業用電力」の一貫した赤字を、(需要の1/3しか占めない)「家庭用電力」の大幅な黒字が補填して、電力産業全体の営業利益が確保される営業構造となっている、という知見を得ている。

また、第3章の「損益計算書ベース」「現金支出ベース」の収支推計では、水力発電が好成績を収めており、原子力発電が火力発電に優位性を保っているが、第4章で、エネルギー量的価値(ECV)ベースまで含めて投入・産出効率を比較すると、水力発電は、設備利用率の低さが反映されて ECV ベースでの投入・産出効率は低水準に止まっており、金額ベースではほぼ同等の投資効率となっている火力発電と原子力発電は、ECV ベースでは火力発電が圧倒的に優位となっている、という知見が得られている。

第5章では、両建てアプローチを国民経済レベルに導入する方法の開発に取り組む。この課題解決のために、中間需要に最終需要を加えた「全産業産出(Total Industrial Output)」と「1次エネルギー供給(Primary Energy Supply)」という二つのマクロ統計が、同一の経済過程の二つのアспектであることに着目して、両者を対照させ換算係数を設定し、それを使って TIO の各要素を PES に投影することにより、当該要素を貨幣価値からエネルギー量的価値(ECV)に変換するという具体的な方法論を展開する。

次いで第6章では、第5章の変換方式を使って求めた「エネルギー量的価値(ECV)で表示した全産業産出(TIO)」の推移を示すとともに、日本の3鉄道事業の ECV レベルの事業評価を行い、国民経済レベルでも「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立ができることを立証する。

第7章では、研究課題の解明状況の確認と本研究の意義についての考察を深める。ここでは、貨幣価値次元の産出額をエネルギー次元の産出量に変換可能とすることで、例えば、電力産業が社会経済に提供した電力量の反対給付としての受取り(売上)を、貨幣価値からエネルギー量的価値に変換して、その結果と実際の供給電力量とを物理量レベルで比較可能にした、という本研究の成果を具体的に示す。

最後の第8章で、残された課題と今後の展望を述べて本研究を結ぶ。

序章 背景・目的・構成

1 背景

「貨幣は交換手段であることから、一般的価値尺度となる。交換のなかだちであるから、財貨の相対的価値関係を一身に引き受けて示す価値基準となる。貨幣が価値尺度として機能するのは、それが計算単位であるからであって、この計算単位によって、他の財の価値を表示することができる。」（長谷田 1994）

近代経済学は、この貨幣の持つ【一般的価値尺度(standard of value)】という機能を使い、貨幣数量によって経済過程を“価値表示”する。近代経済学は、この貨幣数量を唯一無二の価値尺度として採用してきた。それを最も象徴する指標が、“国内総生産”（GDP）である。

しかし、「GDP はガバナンスシステムに私たちの実感している以上に強い影響を与える。政治家は GDP の成果を評価し、選挙を行うか否かを定めることができる。高い GDP 成長率を誇る国々は、G20 から世界で最も裕福な国を含む OECD（経済協力開発機構）に至る独占的な国際クラブに加わるよう招かれる。ビジネスリーダーたちに生産量の増大が期待されているのは、それが GDP に取り込まれ、国家経済の成功に向けてカウントされるためである。投資の選択肢は、GDP の現在および将来の予測で決まり、国際信用格付けの力がそれを示している。国、企業およびその他の組織は、低い GDP 成長率にもとづくマイナスの格付けによって破滅的なダメージを被る可能性がある」。（Lorenzo 2017 p.15）

すなわち、「GDP は単なる統計以上に強力なものになった。それは、世界レベルおよび国家レベルにおける成功の総合的な指標、序列化の原理となり、経済的および政治的な『ゲームのルール』を確立した。これは、20 世紀の社会主義と資本主義のすべての型に当てはまる。なぜなら、GDP 成長に関するコンセンサスは顕著にイデオロギー超越的であり、したがっていかなる政治イデオロギーよりも広範に普及しているからである」。（Lorenzo 2017 p.16）

要するに GDP はもはや経済指標を超える存在となっているということである。

ところで GDP は、市場で取引される産出物に付加された価値を貨幣量で計測する。このため、市場取引の増加が「成長」とみなされる。それ故、「市場の失敗」が引き起こす交通渋滞や健康被害、環境汚染などの社会問題をマイナス勘定に入れない。それどころか、公害対策や病気治療などへの支出は「産出」として加算されてしまう。

このような GDP が内包する問題は、日本でも比較的早い時期から意識されていた。

例えば、1970 年に朝日新聞は「くたばれ GNP：高度経済成長の内幕」¹という連載を

¹ この当時、国民経済計算の指標として GDP ではなく国民総生産（GNP）が用いられていたため、このタイトルとなったものである。

開始した。（朝日新聞 1971）この連載の背景には、1967 年の「新潟水俣病（阿賀野川水銀事件）」を皮切りとした「四日市喘息（四日市公害訴訟）」、「水俣病」、「イタイイタイ病」のいわゆる四大公害訴訟があった。日本は驚異的な高度経済成長を達成したが、それは深刻な環境破壊や回復不能な健康被害と引き換えにもたらされたものだった。しかも、その修復や治療への支出が GNP を名目的にさらに嵩上げする。このような経済発展のあり方や GNP に対する疑問が噴出した。渋谷他（2008）は、「GNP の拡大に象徴される経済成長至上主義への疑問が生じた時期といえる」としている。

こうした GDP が多くの問題を内包していることを踏まえて、とくに「豊かさ」の指標としてこれのみを採用することは必ずしも妥当でないとの問題意識から、GDP 概念を補正する指標の開発もかなり早い時期から取り組まれている。その最初の試みとして、1970 年代初頭に、ノーベル経済学賞受賞者のウィリアム・ノードハウスとジェイムズ・トービンが提唱した「経済福祉尺度（Measure of Economic Welfare）」が上げられる。（Nordhaus and Tobin 1973）

1980 年代後半には、エコロジカル経済学者の Herman Daly と神学者の John Cobb は、持続可能な経済厚生指数（Index of Sustainable Economic Welfare）を発表し、後に真の進歩指数（genuine progress indicator）に修正した。（Daly and Cobb 1989）

国連開発計画（UN Development Program）は人間開発指数（Human Development Index）を開発しており、ブータンの「国民総幸福度（Gross Domestic Happiness）」も有名である。

経済協力開発機構（OECD）は、2011 年から 2 年毎に“*How's Life?*”を刊行し、OECD and partner countries の‘*Better Life*’水準を示す 50 の“*ECD Well-being Indicators*”を公表している。（OECD iLibrary）

2015 年 9 月には、国連開発計画（UNDP）の「持続可能な開発目標（SDGs）」が採択されている。これは貧困や地球環境劣化といった問題を解決するための 17 項目の目標を提示したものである。

GDP 統計に内在する別の問題として、「基準自体の改定」がある。現在の SNA は国連が国際的な共通基準を作成し、加盟各国にそれを導入するよう勧告している。最初に公表されたのは 1953 年であり、53SNA 若しくは旧 SNA（Old SNA）と呼ばれている。1968 年に大きく改定され（68SNA）、その後も 1993 年（93SNA）、2008 年（08SNA）と改定が重ねられている。日本は 1978 年、2000 年、2016 年にそれぞれの基準に移行している。

じつは最新の 08SNA に移行することによって、2015 年の名目 GDP は、500.6 兆円から 532.2 兆円と約 32 兆円も増加した。このことから、明石（2017）は、基準改定に乗じて意図的に「かさ上げ」する統計操作が行われたのではないかとの疑念の声を上げている。

では、これら改定が日本においてはどのようなものであったか、具体的に対比してみよう。図 1 は、68SNA、93SNA、08SNA のすべての推計が出揃っている 1995 年（暦年）における各基準の国内総生産（GDP）の推計値に、総務省の産業連関表に推計され

ている国内総生産を比較対象として並べて表示したものである。

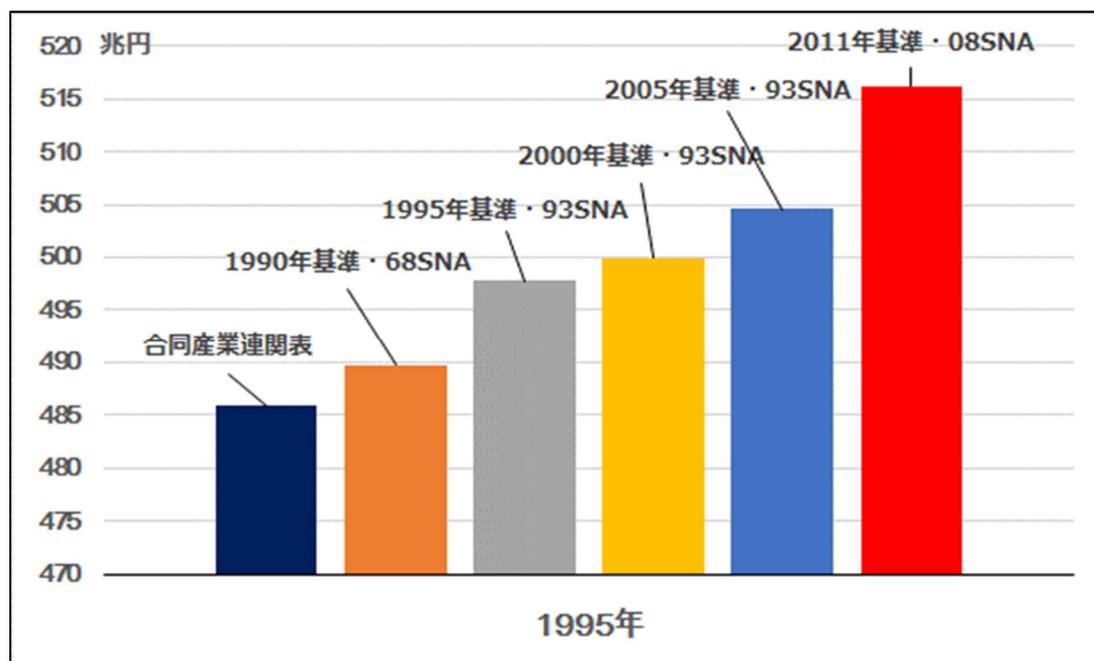


図1 1995年国内総生産（GDP）の68・93・08SNAにおける推計値の比較

出所：総務省（2019a）、内閣府（2019b）を基に筆者作成

これらの改定は統計の精度を高めるために行われたと説明されているが、この図1には、日本の場合、いずれの改定においても、改定後のGDPはそれ以前のGDPに比較して「大きく」なっていることがはっきり示されている。

少なくともGDP統計というものは、度量衡と違い、「絶対的、安定的なものではない」ということを前提にしておく必要がある。

その上で、GDPは経済の総体を表していない。このことをしっかり確認しておくべきである。家事やボランティア活動などの無償労働、賭博や麻薬、売春など違法な経済取引、課税を逃れる目的の地下経済などがGDPに加算されないことは、多くの論者が指摘している。しかし、ここで確認しておきたいのは、もっと基本的なことである。

いま一度確認すべきは、国内総生産（Gross Domestic Product）の意味するところは、付加価値の総計（Gross Added Value）でしかないということである。企業会計でいえば「売上高」から「売上原価」を引いたもの、すなわち「粗利」もしくは「売上総利益」に相当するのが、GDPなのである。従って、GDPをどのような角度から見ても、それだけでは経済の総体は捕まえられないことになる。

社会全体が財・サービスを需要するためになした「総支出」の裏返しである「総売上」を算出するには、粗利であるGDPに、売上原価である「中間投入」を加えなければいけない。

このことは、社会経済の総体を捉えるために、欠くべからざる原理としていくら強調し

ても、し過ぎることはない。そして、この「総売上」を産出する過程こそが、言葉の正しい意味での「経済過程」となる。

加えて、貨幣基準による尺度はエネルギー資源や鉱物資源など物質的な富とは無関係に自律的に膨張ないし変動する可能性がある、ということを含め認識しておかねばならない。

現状の貨幣システムである「管理通貨制」の下では、貨幣は負債から作り出される。フレデリック・ソディは、貨幣的富を”Virtual Wealth & Debt”という対概念で提示した（Soddy 1921）が、まさしく本質をついていた。現代の通貨は、中央銀行によるマネタリーベースの増加や市中銀行における預金通貨の創造によって、同額の負債と引き換えに「幾らでも」（意図的に）作り出すことができる。歯止めと期待できるのは、通貨当局者や銀行家の「良識」か「恐怖心」くらいなものである。それ故、貨幣的富の増大をひたすら追い求めるバブル経済に一度突入すると、実物資産に想像を絶する高値が付けられたり、それが破裂した途端、逆に徹底的な安値で負債弁済に供されたりする。最悪な場合、国家破産状態に至ることもある。実物資産の生産力が一切変化していないにもかかわらず、こうしたことは起こる。Galbraith（1994）が描くように重症の「Euphoria（陶酔的熱病）=バブル」を罹った挙げ句、これを「This time is Deferent（今回ばかりは違う）」（Reinhart and Rogoff 2011）と嘯きながら経済大崩壊に突き進んだ事態を、人類は何度となく経験している。

さらに、外国為替の「変動相場制」を採用している現行システムにおいては、自国通貨の価値は外国通貨との相対でしか決まらない。管理通貨制と変動相場制が共鳴して、各国の通貨価値は絶えず変動している。

果して貨幣経済の暴走と通貨価値の揺らぎを計算入れて、貨幣を安定的で信頼できる価値尺度として機能させることができるのか。そのためにはどうすれば良いのか。根源的な考察が必要である。

一方、経済活動はエネルギーの変換・消費と一体不可分である。

Morgan（2013）は「経済が現実に機能する（really works）メカニズムを理解するためには、＜エネルギーの普遍性（commonality）という概念＞が不可欠（critical）である。エネルギーのことを考える場合、我々は、石油・石炭・天然ガスや電力など自明な形態のものに思考を限定しがちである。しかし、＜エネルギー＞はそれよりはるかに広範な概念であることを理解しておく必要がある。人間の活動はエネルギーであり、そのエネルギーは我々が食べる食糧（これ自体も一種のエネルギーである）から得られる。食糧の栄養分はカロリー（熱の単位）で計られ、人間労働はワット（電力の常用単位）で量的に計測できる」といっている。（pp.11-12）

このように「物理量」として計測可能な＜エネルギー＞を「価値量」に置き直した評価指標の定立は出来ないか。

そして、それを使うことで、国内総生産（GDP）とその算出方法を規定するSNA（国民

経済計算体系)に内在する問題を補正する評価手法の確立が出来るのではないか。

このような動機を持ったことが、本研究に取組んだ背景にある。

2 目的

本研究は、<「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立>に到達すべき研究目標をおく。さらに<その評価指標を経済社会の持続可能性や社会資本の更新可能性を図る尺度としても機能させる>という課題解決を目的とする。

何故なら、繰り返しになるが「エネルギー」は人間活動の全てにおいて要求されるものだからである。

前節でも述べたが、GDPは、最も重要視される経済指標となっている。しかし、それが経済の全過程を表しているわけではない。一国の産業的産出の総額を算出するためには、<GDPに中間投入を加える>必要がある。

そして、この「全産業産出 (Total Industrial Output)」はエネルギー供給なしに実現することはあり得ない。

つまり、一国の全産業産出と供給 (=消費) されたエネルギー総量は、コインの表裏のように切り離せない関係にあると考えてよい。

このような前提のもとに、本研究では、次の諸課題を解明する。

- A: 「貨幣価値で表示された経済過程」(A)は、「それを実効的にサポートするエネルギー量」(B)と密接に対応している。この対応関係に着目し、両者を照合しつつ追究することによって、一国経済の発展段階をより正確に把握することが可能になると期待される。このアプローチを観察可能な事実にもとづいて検証することができるか？
- B: そのために、(A)と(B)の関係に着目すると、「貨幣価値で表示された経済過程」(A)を構成する各要素を「それを実効的にサポートするエネルギー量」(B)に投影するという方法論を導入する可能性が開けてくる。ここにおける研究課題は、この方法を現実の経済に適用して、その妥当性を立証することである。
- C: このようなアプローチは、「それを実効的にサポートするエネルギー量」(B)の次元において、経済過程にエネルギー量的評価を与える(貨幣価値的評価をエネルギー量的評価に置き換える)ことを意味する。この方法を適用すると、現実の経済活動をエネルギー次元で評価・分析することができる。その結果が有効かつ的確であると確認されれば、このアプローチ(エネルギー次元における経済表示)は、貨幣と並ぶ「もう一つの価値基準」として成立する。ここでの課題は、実際の経済過程をこの方式で具体的に説明することである。
- D: Cの価値基準を使えば、貨幣価値での比較に必要な時点修正(デフレーター、割引現在価値など)や為替レートを介することになしに、時間と空間を超えて経済的パフォーマンスの直接的な比較が可能になる。ここでの問題は、この考察を実際の経済過程に適用して検証することである。

以上の諸課題の解明に日本の電力産業の構造的分析を通じて取組むが、この構造的分析において解明すべき電力産業固有の課題もある。

日本の電力産業は、2016年4月以降、小売り電力料金が完全に規制緩和され、2020年には、発電部門と送配電部門を法的に分割する「発送電分離」が図られるなど、大きな産業構造変革のただ中にある。

電力供給は営利事業でありながら、社会に大きな効用をもたらす公益事業でもある。電力の安定供給は電力産業の健全性に依るところが大きい。この健全性を判断する前提として、＜電力産業が歴史的に形作ってきた営業構造を客観的に捉える＞という課題がある。

何故ならば、日本の電力産業は、1951年に9電力体制が敷かれて以来、認可料金により一定の利潤が保証される「総括原価」方式のもと、水力、火力、原子力といった発電部門構成を組立て、人員を配置し、設備投資を実施してきており、電力産業がこの営業構造を変えることは、構造変革の有り無しにかかわらず容易ではないからである。

そこで、本研究では次の課題解明に取り組む。

①「家庭用」「産業用」という需要先別の営業収益とそれを稼ぎ出すために支出した営業費用はどれほどで、需要先別にどれほどの「利潤」を獲得したのか？

次に水力、火力、原子力という発電部門別に、

②電力産業はどれほどの商品（電力）を「生産」したのか？（発電電力量の解析）

③需要者はどれほど電力を「消費」したのか？（需要電力量の解析）

④電力産業は電力生産のためにどれほどの「経費」を支出したか？（営業費用の解析）

⑤需要者は電力の「購入」にどれほどの負担をしたか？（営業収益の解析）

⑥電力産業はその結果どれほどの「利潤」を上げたのか？（営業利益の解析）

3 構成

まず、第1章において、本研究の理論的基礎であるジョージ・スクレーゲンの問題提起を入り口に経済過程の産物である富を物理次元（Wealth I・Wealth II）と心理次元（Virtual Wealth）に分離するというフレデリック・ソディが最初から採用していた二元論的構成を紹介する。

次に、ソディの提起したこの二元論的構成に基づいて、「経済過程を物理次元（エネルギー・フロー）と制度次元（貨幣・フロー）という二つの次元で複眼的に捉え直す」必要性和、その実現可能性があることを提起する。

そのうえで、両者の対応関係、すなわち「貨幣価値で表示された経済過程」(A)と「それを実効的にサポートするエネルギー量」(B)に着目し、(A)を構成する各要素を(B)に「投影」という方法により「エネルギー量的価値」に置き直し、この価値基準により経済活動を評価・分析するというフレームを提案する。

この評価・分析フレームは、当然ながら、現実の経済過程に即して実証的に検証されるべきものである。

この課題を果たすために、まず電力産業を対象として分析を進める。

電力産業は、1次エネルギーから電力（エクセルギー）を、発電設備、送電設備、配電設備という膨大な実物資本を介して、つくり出すこと（エネルギー変換過程）を業態としている産業部門である。

この産業分野では、エネルギー的な入出力に関するデータと財務会計データが長期的に完備され、継続的に公表されている。このため、エネルギー消費と経済過程の定量的な照合が特異的に容易である。（相互参照が可能）

また国民経済のエネルギー・フローの4割を単独で消費する最大の基幹産業である。

エネルギー的な投入・産出効率を推計するためには、「発電・送配電に要するエネルギー量」を把握する必要がある。

しかし、取得できるのは生産に要した「費用」に関する財務会計データのみである。

この財務会計データから、「発電・送配電に要するエネルギー」に対応する「発電・送配電に要する費用」部分を抜き出し、エネルギー量に評価し直すことを試みる。

これが出来れば、投入・産出効率を近似的ながら解明することが可能となる。

本研究では、電力産業におけるエネルギー収支を最終的に導くために、次のような段階的アプローチを採る。

- ①需要先別事業収支の把握：まず、電力供給の全体構造を把握するために、「価格」と「原価」の関係を整理する。日本では電力価格が「家庭用」と「産業用」で二重となっている。それぞれに供給した電力量と売上からそれぞれの販売単価を求め、これに要した費用単価を求めて、これを比較する。（第2章）
 - ②発電方式別の発電電力量及び需要電力量の把握：発電等エネルギー的な入出力に関するデータから、発電端から需要端に至る発電方式別の実績を推計整理する。（第3章）
 - ③損益計算書ベースの発電部門別事業収支の把握：年間の事業収支を把握する通常の財務会計的アプローチである。本研究ではこれを発電部門別に行う。（第3章）
 - ④現金支出ベースの発電部門別事業収支の推計：損益計算書だけでは、発送電設備に投じられた設備投資額を把握できない。本研究では(a)損益計算書データから減価償却費相当額を控除し、これに(b)貸借対照表データから抽出した新規設備投資額を加えて、現金支出ベースの事業収支を推計する。（第3章）
 - ⑤発電部門別エネルギー量的収支の推計：③からエネルギー（物理量的）発電コストを求め、これと需要電力量を比較してエネルギー（物理量的）収支を推計する。（第4章）
- さらに、上記から得られた知見、結果を踏まえて、第5章以下で国民経済全般への展開を試みる。

第5章においては、前章までに提示した評価・分析フレームの国民経済への展開を試みる。第1章では、「貨幣価値で表示された経済過程」(A)と「それを実効的にサポートするエネルギー量」(B)という概念提示に止まっていたが、後者(B)はエネルギーバランス表に示される「1次エネルギー供給」にあたり、前者(A)は産業連関表のデータから導く「全産業産出」に当たる。そして、「1次エネルギー供給」は一年間に経済過程で商品生産のために消費された総価値をエネルギータームで表し、全産業産出は1年間に経済過程で産出された商品の総価値を金銭タームで表す。つまり、これらマクロ統計は同一の経済過程の二つのアспектである。この関係に着目して、全産業産出の構成要素（貨幣表示）を1次エネルギー供給（エネルギー表示）に投影することによって、経済活動の総体を「エネルギー量的価値」で評価する、という評価・分析フレームが定立できることを提示する。

第6章では、それまでに提起してきた経済過程を貨幣価値とエネルギー量的価値の両面から評価するというアプローチに立脚して、日本経済をケーススタディして、その有効性の確認を試みる。まず日本における1次エネルギー供給、全産業産出、国内総生産の年次推移を一表に並べて対比し、第1章で述べた「経済過程を物理次元（エネルギー・フロー）と制度次元（貨幣・フロー）という二つの次元で複眼的に捉え直す」ことを実践する。次いで、第5章の変換方式を使って求めた「エネルギー量的価値（ECV）で表示した全産業産出（TIO）」の推移を示す。さらにリニア新幹線、東海道新幹線、愛知高速鉄道東部丘陵線の3鉄道事業を、エネルギー量的価値レベルで比較して、第5章で提示した評価・分析フレームの実際の適用例とする。

第7章では研究課題の解明状況の確認と本研究の意義についての考察を深め、第8章で結論を述べて本研究を締めくくる。

第1章 エネルギー量的価値を用いた経済過程の構造分析

1.1 本研究の理論的基礎

1.1.1 ジョージェスク＝レーゲンの問題提起

伝統的経済学の論述は「有用性に価値を見だし、それを貨幣量で表現する」という原理にもとづいている。つまり、伝統的な経済学における経済過程は、生産（効用の新規の創出）と消費（効用の消滅）のバランスで成り立つ。「消滅」が「創出」分を超えないかぎり、この「循環」システムは論理的に自己維持可能である（外部からの新規投入を必要としない）。

これに対して、ニコラス・ジョージェスク＝レーゲンは、1971年に『エントロピー法則と経済過程』（Georgescu-Roegen 1971）にて、経済過程が「エントロピー法則—有用性を生む物質・エネルギーの質が劣化し、しかも再利用できないという法則」に従うプロセスであることを指摘した。（Daily 1996, p.195）

このアプローチを採ることによって、彼は伝統的な論述法—経済フローを効用の産出過程とみる—における根源的な欠落を正そうとした。

デイリーの表現を借りると、エントロピーとは「有用な資源と無用な廃棄物との間の質的なちがいを表す尺度」（Entropy is the measure of the qualitative difference

between useful resources and useless waste.）ということになる。（Daily 1996, p.194）

これに、エントロピーとは「分子論的な拡散の度合い（測度）を表すものであり、それゆえに<有用性の減耗>の尺度となる」という要件を補うと、より正確な定義となる。

レーゲンの指摘は、主流派経済学が長年依拠してきた「循環的フローモデル」が観念上の虚構に過ぎないこと、したがって、実在の時空における物財の移動や変換という次元では成り立たないことを明確にしていた。

レーゲンの熱学的経済学は、経済過程を物的に駆動する動因は有効エネルギー（エクセルギー）と捉える。

エクセルギーたとえば電力の「創出」は不可能であり、燃料（化学的エクセルギー）からの「変換」によってのみ得られる。経済過程一巡の後当初投入されたエクセルギーはすべて消滅して無効エネルギー（アネルギー）に転じる。したがって、つぎの経済サイクルはエクセルギーを全量更新（外部から注入）してはじめて可能になる。外部からの注入を必要としない自律的な経済システムの「循環」はあり得ない²。

このように、彼のエントロピー論的・熱学的アプローチは、伝統的経済学における価値・効用論的アプローチの対極に立つ。この両者は容易に架橋しえないだけでなく、熱学的なアプローチに徹すれば徹するほど、既存経済学からの理解可能性は狭まってしまう。

² エネルギーは創出も消滅もなく、常に量的に保存される（エネルギー保存則）。しかし「保存」というと質的变化が見えにくい。じつは、エネルギー保存則は<当初の投入エクセルギー→最終的な排出アネルギー>の変換過程において、等量条件がたもたれていることを表す。一言で言うと、エネルギー保存則とは、段階的なエクセルギー→アネルギー変換がつねに等量条件を満たすことにほかならない。

すなわち、レーゲンのアプローチが物理学的な論理を徹底すればするほど、それは伝統的な「効用の産出・循環」の思考フレームから乖離していく。このため彼のアプローチは、通常の経済学的思考から隔絶した論考となり、大多数の経済学者にとって理解不能なものとなった。

しかし、ジョージェスク＝レーゲンの問題提起は、経済学に原理的変革をもたらす可能性を秘めていた。これを承けて、貨幣数量一辺倒の経済学にく物理学的価値尺度を導入する必要がある>という命題を正面から受け止める経済学者が少ないながら現れた。

日本においては、エントロピー論的な社会理論が物理学者から提起され、それに触発された経済学者がジョージェスク＝レーゲンの問題提起と相即する考察を進展させてきた。

まず、榎田（1976）は、資源の条件を地球のエネルギー収支から求める論文を物理学会で発表し、後日、榎田（1982）にまとめる「開放定常系」の考え方を提示した。「開放定常系」とは、地球は物質的には閉じているが、熱に対しては開放されており、これにより廃熱となったエントロピーが代謝可能となっているという理論である。

次いで室田（1979）が、ジョージェスク＝レーゲン、フレデリック・ソディ、スタンレー・ジェボンズなどの理論を紹介した上で榎田の理論を加えて、地球環境にかかる熱力学的（エントロピー）制約を無視するかたちで石油エネルギーと原子力発電に依存を強める現代文明を批判的に考察し、「エコロジカルな共生の論理を活かす経済学の方向性を模索」した。なお、特筆すべきに「スリーマイルアイランドで起こったこと³、あるいはそれを上回る終末世界は、明日にでも、福島県で、あるいは茨城県で、また静岡県、福井県、島根県、愛媛県で発生しうる」としていたことがある。室田は、この書籍において早くも今日の事態を予見していたのだった。

そして、これらを受けて玉野井（1979）は、「産業あるいは社会の根底には、人間と自然との物質代謝を繰り返される基礎的な領域、開放定常系の世界があり、その中に生態系のいとなみがある。」「そういう生きた系（living system）を社会科学がこれからさきどうしても原理的に問題としなければならない、おそらくそういう方向へと広義の経済学は眼を向けざるをえないだろう」と提起した。

これらと平行して、小出・室田・鹿島（1981）は、未発表を含むジョージェスク＝レーゲンの著作のうち「エントロピー法則と生物経済学に関係した」論文を訳出し、彼の思考の普及に努めた。

こうした試みは、物質循環の重要性や地球のエントロピー代謝機構を解明することについてはある程度成功した。とはいえ、成長志向的・市場原理主義的な主流的思潮に対しては原理的な異議申し立てを表明するにとどまっていた。つまり、具体的な経済過程（価格表示体系）を熱学的／計量的に解明するところまで進めなかった。

ところが、この状況を打ち破る理論視座が（1920年代後半には）フレデリック・ソディによってつとに提起されていた。彼は、核化学の創始者の一人として、現実の国民経済・世界経済にエントロピー論的分析を施す一方、それを伝統的な経済学における貨幣表

³ スリーマイルアイランド原子力発電所2号炉の炉心溶融事故は、1979年3月28日に発生した。

示的アプローチと意識的に対照することを試みた。すなわち、ソディは「両方の理論体系の乖離・その原因・乖離自体の限界」に理論的分析のメスを入れたのである。

1.1.2 フレデリック・ソディの理論的洞察

ソディは、レーゲンより約半世紀も先行して、同じくエントロピー概念を明示的に取り入れ、具体的な経済過程の説明にこの概念を適用すべく苦闘した。

ソディはまず“Available”という語を次のように定義する。

「ここで定義する“有効な”という表現は、熱力学第二法則で使われるのと同義である。同法則はエネルギーを、〈利用可能・有効なエネルギー、つまり「自由」エネルギー〉および、〈利用不能な・無効な、または「束縛」エネルギー〉という二つのカテゴリーに区分し、後者はエントロピーとも呼ばれる。」 (Soddy 1921, pp.108-109)

ソディは、このような前置きのうえで、「富の物理的定義は、生活を可能にし、賦活化するエネルギーまたは仕事の形態あるいは産物である」とした。(Soddy 1921, p.118)

そして、これを説明するのに、次のような数式的表現を用いた。(Soddy 1921, pp.118-119)

$$\text{Raw Materials} + \text{Available Energy} = \text{Wealth I.} \quad (1)$$

$$\text{Wealth I} = \text{Life-Energy} + \text{Waste Energy and Materials.} \quad (2)$$

$$\text{Raw Materials} + \text{Available Energy} = \text{Wealth II} + \text{Waste Energy.} \quad (3)$$

これらをソディの言葉で詳しく説明すれば、以下のようになる。

「富の生産は、負債の生産とは異なり、物理学的な保存則に従う。そこには、物理的科学的の厳密な論理が適用できる。富は支出 (expenditure) なしには生産されえない。富の継続的な供給は、なんらかの一回的な (消尽性の) 支出の結果としてのみ実現できる。なぜなら、富はエネルギーの様態であるか、またはエネルギーを知的な指示にもとづいて支出した結果だからである。

富には二つの異なるカテゴリーがあり、一方は消耗性、他方は耐久性という反対の特性において価値付けがなされる。両者は生産の様式は似ている。しかし、消耗性の富・カテゴリー I では、必要なエネルギーが後日実際に消費されるときに備えて貯蔵される。それはすべて、食糧、燃料、爆薬、肥料、その他、使用時の変化に価値があるものである。それらの利用は一回限りであり、それらの機能は通常、パワーや熱の給付や実際の生命維持である。

耐久性の富・カテゴリー II では、製造に要するエネルギーは製造過程で消尽され、製品中に残存していない。もし残存していれば、それは製品の耐久性を損なう。それは生活を可能にし、便利にするが、活力を与えるものではない。それは生活時間の支出をなにほど

か節約するが、生命を支えるものではない。この富Ⅱは、あらゆる種類の持続的所有物を含む（実際の耐久度はさまざまであるが）。カテゴリⅠと明白に異なり、富Ⅱの損耗は有用性の理由にはならない。それは、偶発的でまったくの損失である。このカテゴリは、本書で用いた意味における資本、すなわち製造に使用される生産の機関をすべて含む。」（Soddy 1921, pp.294-295）

ソディによるこれらの規定は、「生活」や「経済活動」を熱物理学・熱化学の次元で整合的に記述するために導入された。

ソディの提起したコンセプトの理解を深めるために、これを図示してみよう。

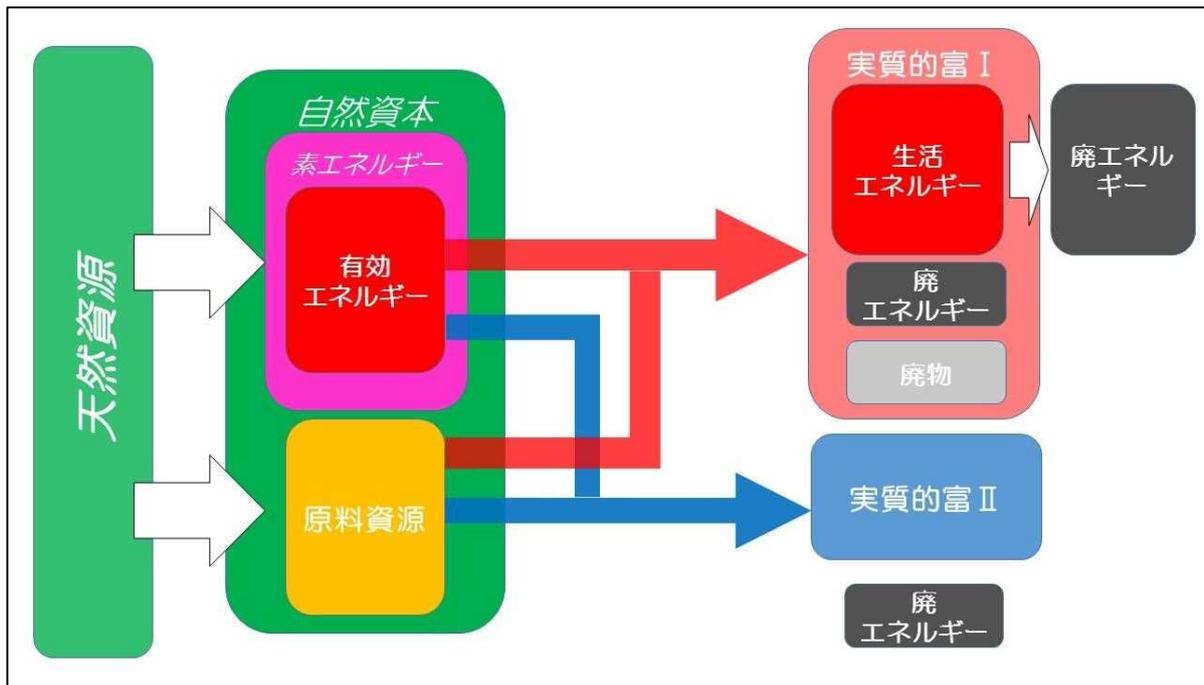


図 1.1 ソディの提起した実質的富の産出過程詳解

出所：筆者作成

この図 1.1 において、赤系統のフローはソディの(1)式及び(2)式に対応する。これは、原料資源が有効エネルギーにより生活エネルギーに精製される過程を示す。

青系統のフローは(3)式に対応する。これは、原料資源が有効エネルギーを使って富Ⅱに製造される過程を示す。

ソディの(1)式と(3)式の左辺は、(Raw Materials + Available Energy) と同一の表現となっているが、内容を異にする。

赤系統の変換過程=(1)式はエネルギーベースであり、青系統のそれ=(3)式は物質ベースである。

ただし、ソディは明示的には述べていないが、(3)式で使われた Available Energy は Wealth II に「体化」される（埋め込まれる）と考える。

ソディがここで述べた「物理学的な保存則」とは、いうまでもなく熱力学第 1 法則＝

エネルギー保存則のことである。エネルギー変換はすべてエネルギー保存則に従う。「有効エネルギー」(Available Energy)は、利用(=消費)の際に、“消滅する”のではなく、「無効エネルギー」(Waste or Unavailable Energy)―廃熱など―に“転化する”のである。しかし、我々にとって重要なのは有効エネルギーなのであって、それが使えなくなる(無効になる)という側面に限定すれば、あたかも「消費」しているように見える。ただし、そのとき無効エネルギーという廃物が同時に生ずる。このことをソディは強調したのである。

そのうえでソディは、「実質的富」(Real Wealth)⁴には二つの範疇があることを明確にする。

実質的富 I (Real Wealth I)は、食料や燃料など社会生活を営むうえで必要なエネルギーを賄うために天然資源から取り出される物資からなる。この富は消耗性で、消耗(エネルギー変換)過程でこそ効用を発揮する。われわれは自然資本の中にある有効エネルギー(Available Energy)と原料資源(Raw Materials)から生活エネルギー(Life-Energy)を獲得して、同時に無効エネルギーと廃物(Waste Energy and Materials)を排出する。両者は不即不離の関係にあり、獲得した生活エネルギーも無効エネルギーに転化する。

この実質的富 I に対して、実質的富 II (Real Wealth II)は、衣服・住居や機械・器具など直接・間接に実質的富 I を利用するのに役立つ媒体(資本財・耐久消費財)を意味する。

実質的富 II においては、原料資源(Raw Materials)の加工に支出された有効エネルギー(Available Energy)は、形態としては残存しないが実態としては生産物自身に「体化」されることになる。例えば、金や白金は原鉱から精製までに莫大なエネルギー投入を必要とするが、製品の金・白金は化学的に不活性で内包エネルギーはゼロである。

実質的富 I も実質的富 II も物質保存則(エネルギー保存則の 1 形態)の制約下にある。

また、その両者を得るためには、有効エネルギー(Available Energy)と原料資源(Raw Materials)の投入を要する。ソディが「富は支出(expenditure)なしには生産されえない」とした所以である。ただし、それを獲得してしまうと、「無効エネルギーと廃物」(Waste Energy and Materials)もしくは「無効エネルギー」(Waste Energy)のみが必然的に残る。ソディの示した数式表現は、実質的富の「生産」および「消費」は熱力学第 2 法則、即ちエンエトロピー増大則に厳密に従うことを意味している。

ソディ理論は、そのユニークな着眼点により画期的しかも先行的な意義をもっていた。

ソディは、既存の経済学が<経済過程の熱学的実体は無知である>こと、そしてそれ故に<経済学的な効用(価値・価格)と物理学的な有用性との乖離が不可避となる>ことを洞察した。

⁴ この研究では以下において、Wealth I・Wealth II に当たる富を「実質的富」(Real Wealth)と呼ぶことにして、ソディの提起したもう一つの重要な概念である「仮想的富」(Virtual Wealth)と区別にする。

ところが、その後、ソディは〈両者の乖離構造を解明する段階〉を飛び超えて、〈乖離構造を解消する制度的な仕組み〉をひたすら追究した。これはいわば、明白な「手順前後」であり、ここに彼の挫折の大きい一因があったと考えられる

1.1.3 実質的富Ⅰと実質的富Ⅱの関係とレーゲン／デイリー・モデル

当時ソディは、実質的富をカテゴライズして、その存在様態を指摘するにとどめ、富Ⅰと富Ⅱの関係にまで踏み込んで論じることをしなかった。

これに対してデイリー（Daily and Farley 2011, p.72）は、レーゲンの提起を踏まえて資源概念を以下のように整理している。

ストック・フロー資源

- ・生産物に物質的に変形される（質量因）。
- ・ほぼどんな速度でも好きに使うことができ（変形のために必要となるファンド・サービス資源が使えることが条件）、それを変形して作られるものの物理的な数量によって生産性が測られる。
- ・貯蔵することができる。
- ・消費されるものであって、消耗するものではない。

ファンド・サービス資源

- ・生産物中に物質的に変形されない（始動因）。
- ・一定速度で使うことしかできず、時間当たりの産出によって生産性が測られる。
- ・貯蔵することはできない。
- ・消費されるものであって、消費されるものではない。

このレーゲン／デイリー・モデルをソディ理論に導入すると、富Ⅰと富Ⅱの関係をより一層明確に説明できる。

レーゲン／デイリー・モデルにいう「ストック・フロー資源」とは、自然資本の中にある〔〈有効エネルギー〉と〈原料資源〉〕のことである。これらは〔質量因〕として作用する。

実質的富Ⅰは、自然資本の中にある〈有効エネルギー〉を使って〈原料資源〉から〈生活エネルギー〉を取り出すと同時に〈無効エネルギーと廃棄物〉（＝エントロピー）を排出する「フロー」として発現する。

これに対して実質的富Ⅱとは、〈有効エネルギー〉を使って〈原料資源〉を加工して作り出された「製品」のことである。これをレーゲン／デイリー・モデルでは「ファンド・サービス資源」と規定する。これは〔始動因〕として作用する。

富Ⅱの存在理由は、いま述べたように「富Ⅰを利用するのに役立つ媒体」というところにあり、現代都市工業文明では、富Ⅱ（＝始動因）を介在させることなしに、富Ⅰへのフロー（＝質量因）は実現しえない。また、富Ⅱ（＝始動因）に対しては、その機能を維持するためには〔〈有効エネルギー〉と〈原料資源〉〕（＝質量因）の継続的投入が不可避となる。

例えば、電力産業においては、原燃料（石炭・石油・天然ガス・ウランなど）から、発電設備という富Ⅱを介して、電気エネルギー形態の生活エネルギーという富Ⅰのフローを実現する。一方、発電設備・送電設備という富Ⅱは、維持・更新のための設備投資を不断に要求する。電力産業はこれらに要した費用に企業利潤を加えて「価格」をつけて需要者に販売し、需要者は、ソディが「仮想的富（Virtual Wealth）」と規定した貨幣と交換に、この生活エネルギーを取得する。

以上を図示すると、図 1.2 のようになる。

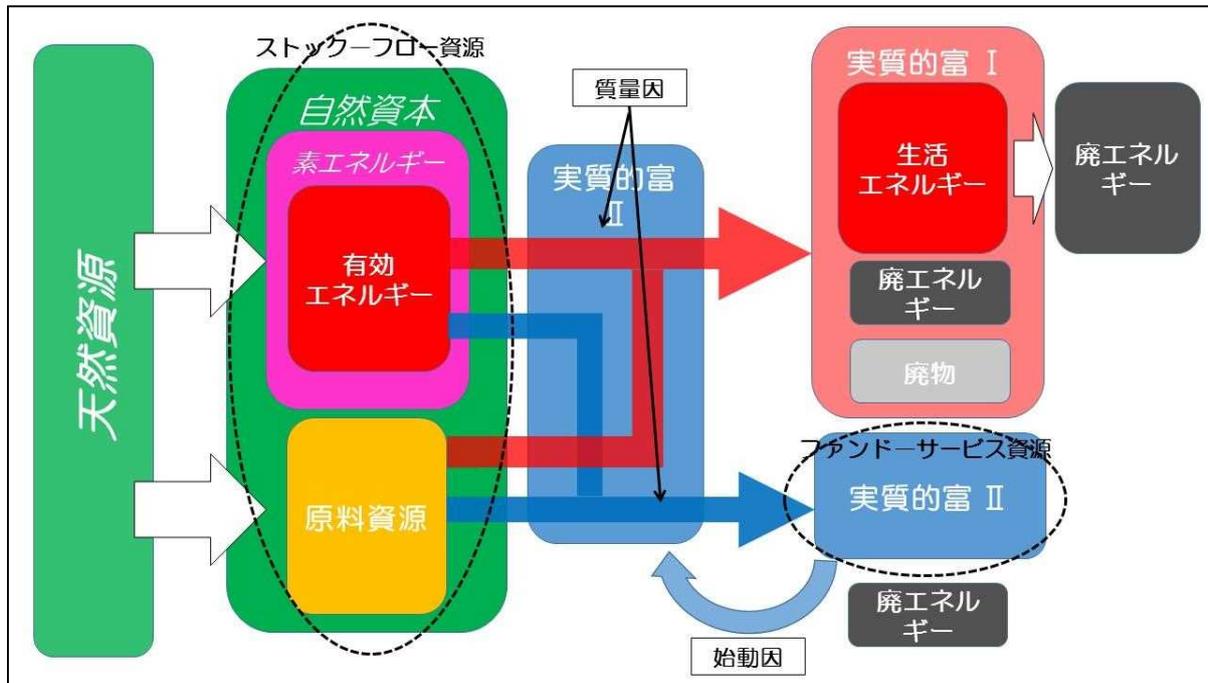


図 1.2 富Ⅰと富Ⅱの関係を加味したソディ・コンセプト

出所：筆者作成

1.1.4 EROI（エネルギー投資効率）と Net Energy Cliff（正味エネルギーの崖）

ソディは、1.1.2 項で紹介したように「富は支出（expenditure）なしには生産されえない。富の継続的な供給は、なんらかの一回的な（消尽性の）支出の結果としてのみ実現できる。なぜなら、富はエネルギーの様態であるか、またはエネルギーを知的な指示にもとづいて支出した結果だからである」と規定している。

後日の資源経済学、エコロジー経済学などでは、エネルギー獲得において「EROI：Energy Return on Investment（エネルギー投資効率）」という概念を導入している。これは、ソディの提示をより精緻に整理したものと考えられる。

EROI とは、エネルギー資源の獲得に要したエネルギー量と獲得したエネルギー量の比を示す。例えば、原油 100 トンを獲得するのに要したエネルギーが原油換算で 2 トンであったとすると、EROI は、 $100 \div 2 = 50$ となる。また、この場合の「Net Energy（正味のエネルギー）」の獲得率は、 $(100 - 2) / 100 = 98(\%)$ である。この Net Energyこそが、社会経済が実質的に使えるエネルギー量的な余剰となる。

この関係の推移を、横軸に EROI の減少、縦軸に Net Energy の獲得率を取って表すと、図 1.3 によるになる。

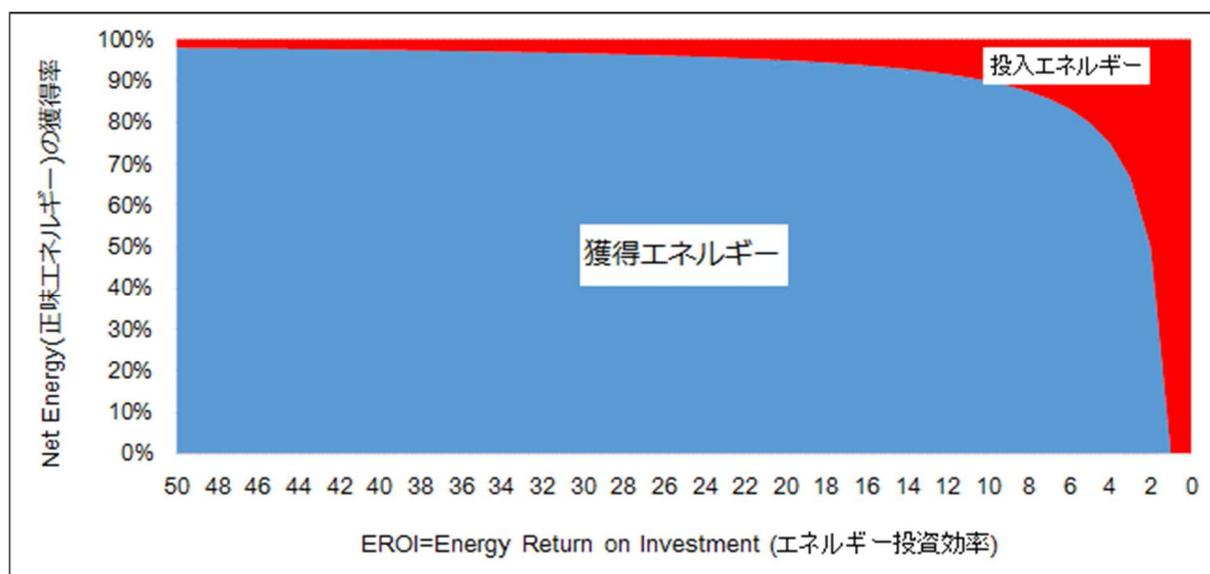


図 1.3 EROI と Net Energy の獲得率の関係と Net Energy Cliff

出所：Cobb(2008)に基づき筆者作成

EROI と Net Energy の獲得率の関係は、EROI=40 で $(100-2.5) / 100 = 97.5(\%)$ 、EROI=30 で $(100-3.3) / 100 = 96.7(\%)$ 、EROI=20 で $(100-5.0) / 100 = 95.0(\%)$ と EROI の値が大きいうちは重大な影響を受けない。しかし、EROI が 10 を切るあたりから、Net Energy の獲得率は急速に減少していく。EROI=10 で $(100-10.0) / 100 = 90.0(\%)$ 、EROI=5 で $(100-20.0) / 100 = 80.0(\%)$ 、EROI=4 で $(100-25.0) / 100 = 75.0(\%)$ 、EROI=3 で $(100-33.3) / 100 = 66.7(\%)$ 、そして、EROI=2 では $(100-50.0) / 100 = 50.0(\%)$ となる。つまり、EROI=2 では投入エネルギーと獲得エネルギーが同量となり、これ以下では投入エネルギーが獲得エネルギーを上回ることになる。この状況を迎えると、いくらエネルギー資源が残っていても、実際に使うことは出来ない。

山本 (2016) がいうように、「EROI の大きいエネルギーが優れているのは、ひとえに余剰エネルギーとして社会が使える割合が大きいためであり、逆に EROI の小さいエネルギーは仮に大量の埋蔵量があったとしても実際に社会で使用可能な余剰エネルギー量は少なくなってしまう」。

さらに、EROI の高いエネルギー資源を使い尽くしてしまうと、次第に EROI の低いエネルギー資源に依存せざるを得なくなり、やがて実際に使えるエネルギーが急減する事態、「Net Energy Cliff」 (正味エネルギーの崖) に直面することは避けられないという論理的帰結に至る。

1.1.5 ハバート理論

このような資源理論が組み上げられる背景には、M.K.ハバートの大きな学術的貢献が

ある。Hubbert (1956) は、米国南部の原油生産が左右対称のベル型のカーブ（ハバート曲線）を描いて推移し、そのピークが 1960 年代後半頃にあると、史上初めてエネルギー資源の産出ピークを予測した。その後の米国の原油生産がハバートの予測にほぼ近い経過をたどったことから、一躍その分析は資源生産予測の嚆矢と目されることになった。

ハバート曲線は、基本的に枯渇性資源の「年産量」の推移を表す。この曲線を導出するために用いたのが「ロジスティック関数の時間微分」である。数式自体は昔から存在していたが、ハバートは成長論ないし成長終焉論の文脈で縦横に活用した。「ハバート関数・曲線」という呼び名もここに由来する。彼は、化石燃料の累積産出量（≒究極可採埋蔵量）がロジスティック関数にほぼ従うと想定し、したがって、年産量はその微分になると推定したのである。

では、ハバート関数とは何であり、在来の成長関数とどこが異なっているのか。それを端的に示すのが次の図 1.4 である。

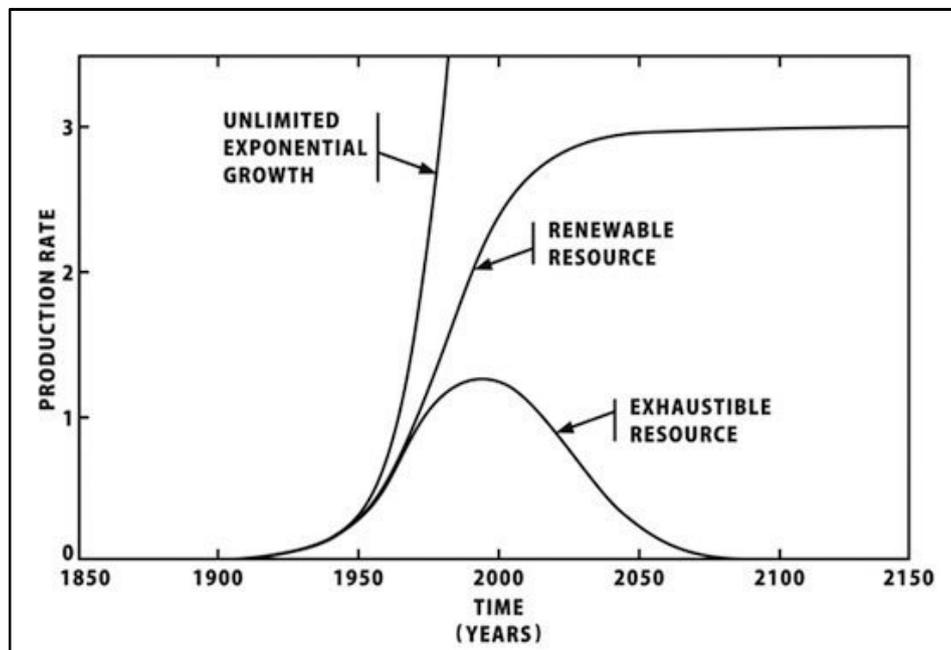


図 1.4 成長関数の 3 類型

出所：Hubbert(1976)から転載

この図 1.4 で、「無限成長 (unlimited exponential growth)」の曲線は指数関数、「更新性資源 (renewable resource)」の曲線はロジスティック関数、「枯渇性資源 (exhaustible resource)」の曲線はロジスティック関数の時間微分（ハバート関数）である。

図から明らかなように、第 1 類の指数関数と第 2 類のロジスティック関数はともに単調増大であり、第 2 類型は頭打ちになるものの、第 1 類型とともに本質的に増大一途の様態を表すものである。＜ピークを経て減少に向かう＞傾向を表しうるのは、第 3 類型の関数だけである。

これまでの人類文化では、成長＝増大が支配的であった。そこでは、第 1 と第 2 の類

型しか認識されず、成長テンポの議論は、最高～指数関数、最低～ロジスティック関数の一方ないし両方を論じることで十分だとされてきた。

これに対して、Hubbert (1976) は、第3類型、〈増大・山・減少〉モードもまた「成長形態」（経年変化）の仲間に入れるべきだと主張した。そして彼は、むしろ無限成長（指数関数型）こそ人類史における一時的・過渡的な現象にすぎないことを立証した。

そもそも〈成長・増加〉の過程を扱うかぎり、成長ペースは指数関数以上になることはなく、ロジスティック以下になることもないと考えてよい。実際に起こり得る成長がみな両曲線の間に入るとすれば、両側で考えておくことはそれなりに意味があった。ちなみに、第3類のハバート曲線でさえ、相当の期間、第1類・第2類と同様の急伸を示す。つまりこの期間内では、当該システムが3コースのどれに乗っているのか判別できない。このことをハバートは当初から認識しており、だからこそ過渡的（transient）には指数関数型成長が一般的に（モデルによらず）成り立つことを指摘したのである。

ところが、石油ピークの到来を予期するハバートの最初の問題提起は、無限成長論の全盛期（1956年）になされた。そのため、彼の先駆的な問題提起は当時の主流派経済学者から猛反発をうけ、学術誌の一隅に押し込まれたままになっていた。

本格的に再評価されるのは、21世紀に入り、「ピークオイル」が現実問題として認識されだしてからである。

1.1.6 エネルギー消費と経済活動の関連に関する先行研究

近代経済学が抱える問題として、国内総生産(GDP)がじつは「生産活動の全てを表す指標ではない」という大前提がほとんど無視されていることに加えて、「エネルギーを【生産要素】として明示的に取り扱っていない」ということがある。

このことは根本的な疑問を生じさせるが、何人かの研究者は、エネルギー消費を経済活動の要素に取り入れようとする、いくつかの先行研究を行っている。

その一人に、英国の物理学出身の研究者であるピーター・チャップマンがいる。彼は、生産コストを分割していくと、最終的には「全コストは四個の基本インプット、【労働】【土地】【利潤および利子】【燃料】への分割が得られる」と提起した。

一方、ライナー・キュンメルは、主流派経済学で普遍的に用いられている生産要素である「資本」「労働」に「エネルギー」を加えた KLEC(capital-labor-energy-creativity) モデルを提唱し、「経済成長をより精密に理解しよう」と試みた。

次いで、ロバート・エアーズとその共著者は、発電所や製造工程、輸送、暖房など主要なエネルギー消費部門について熱力学の効率の推移を調べ、経済のなかで有効な仕事量（熱力学的な有効エネルギー：エクセルギー）を測る指標を開発し、これをキュンメルの開発した手法に基づくモデルに投入して「理論値」を計算し、それが20世紀中の米国と日本の実際の経済成長率の実績値に、何ら再修正することなしに、ほぼ完全に一致することを示した。

これらの先行研究は、本研究の意義と密接に関連するので、第7章の7.3節において、詳細に取り上げる。

1.1.7 仮想的富及び負債

ソディ理論のもう一つの核心は、貨幣は「仮想的富」(Virtual Wealth)に過ぎず、これは負債(Debts)と表裏一体の存在である、という根源的な洞察にある。

貨幣を‘Virtual Wealth and Debt’(「仮想的富及び負債」)という「対概念」として提示したソディのコンセプトは、「貨幣を負債から作り出す」(=債務マネー)という信用創造と管理通貨制の本質をまさしくついている。

さらにソディは、この貨幣という仮想的富が実質的富の増加に直接リンクしてはいないが故に、実質的富と乖離して膨張することが起こりやすいことを指摘し、この弱点の発現を防ぐために、1)政府が通貨価値の維持と物価安定に責任をもつこと、2)銀行の信用創造を禁じること、3)通貨を国際的な完全変動相場制の下におくことを提唱した。

ソディの時代にあっては、通貨当局が行う通貨発行は未だ「金準備」(Gold Reserve)という実物資産に束縛されていた。このため、ソディの矛先は、市中銀行が行う過剰な信用創造を禁止する方向に専ら向かったのだった。

しかし、貨幣システムはソディにとっては不完全なものであっても、当時でも現実に機能し、広く受容されていた。

ソディの限界は、その理由を深く考察することなしに、自身の問題意識(WealthとVirtual Wealthの乖離とその危険性)を一方的に主張し、Myers(1940)が批判的に解説していような「通貨改革(Monetary Reform)」を熱心に説いて回るのみだったところにある。その結果、彼はほとんど理解されることなく、単なる変人扱いの処遇に終わった。

1.1.8 ソディ理論の現代的意義

貨幣はエネルギーと違い1回の使用で価値を失わず、その流通が支持される限り、それに備わる購買力を取引の都度何回でも再現できる。貨幣は、「効用」の購入という人間独特の経済行為を繰り返し行うことを可能にする。

例えば、貨幣の交換方程式 $M \times V = P \times T$ は、アービング・フィッシャーが貨幣数量説に基づき定式化したものであるが、貨幣の持つ購買力が何度でも再現できるということを前提としている。この式は M (Money:貨幣量)に V (Velocity:貨幣の流通速度)を乗じたものは、 P (Price:物価)に T (Transaction:1期間における財・サービスの取引量)を掛け合わせたものに事後的に一致することを示している。(Fisher 1916)

左辺の M は貨幣総量で、 V はそれが何度使われたかを表す回転率なので、この式はドル、ユーロ、円など通貨が単位となる。通貨総量というのは、「マネタリーベース」または「ベースマネー」称されるマネー量と考えて差し支えないだろう。要するに、中央銀行が作り出したマネーのことである。

右辺は少々注意を要する。 $(P \times T)$ という式は一種の集合的概念である。 P と T という各単一の項があるわけではなく、個別の財の価格(物価)に(取引量)を乗じたもの(=売上)を全集計したものである。従って、この式も通貨が単位となる。

このように、貨幣は基本的に購買力の維持・再現という「機能」をもつ。この特性が大きな力となって、<人々が貨幣を普遍的富とみなすこと、そして経済学が経済過程を循

環的とみなすこと>が可能（かつ現実）になったと考えてよいのではないか。

また、レーゲンが経済過程をエントロピー概念で一元的に説明しようとして、その理論を貫徹させることができなかつたのも、彼の視点が貨幣の機能まで及んでいなかったことに最大の原因があったと考えられる。

このレーゲンのエントロピー一元論的理論構成に対して、ソディは経済過程の産物である富を物理次元（Real Wealth I・Real Wealth II）と心理次元（Virtual Wealth）に分離するという二元論的構成を最初から採用していた。そのうえで、富の物理的定義を「エネルギーの態様であるか、またはエネルギーを知的な指示にもとづいて支出した結果」としたのである。

ソディの提起した二元論的構成に基づけば、我々は経済過程を「制度次元（貨幣・フロー）」と「物理次元（エネルギー・フロー）」という二つの次元で複眼的に捉えなおすことができる。

そこで、「貨幣価値で表示された経済過程」(A)と「それを実効的にサポートするエネルギー量」(B)に着目し、(A)と(B)の両面からのアプローチが導入可能であることを提起する。

1.2 「エネルギー量的価値」

ソディは、「富の物理的定義はエネルギーの様態であるか、またはエネルギーを知的な指示にもとづいて支出した結果」としている（前者が実質的富Ⅰ、後者が実質的富Ⅱに相当する）。このことは、<経済過程は、エネルギー量という物理的な尺度によっても計測可能である>と示唆していると考えてよい。

本研究において最も重要な取組みは、このソディの<エネルギー量という物理的な尺度によっても計測可能>という示唆を方法論として確立することである。

これまでは、経済過程を計量すべき物理的尺度が提起されていなかった。このため、エネルギーレベルでの投入・産出効率の計測やエネルギー量を基準とした事業評価を行うことが困難であった。

本研究では、この物理的尺度として「エネルギー量的価値」概念を導入し、それを使った計測方法を提示する。

そして、日本の電力産業を題材に、実際に金銭レベルとエネルギー量的レベルでの価値評価を行うことで、この「エネルギー量的価値」という概念の導入とそれを活用した評価方法の確立が可能であることを、実証する。

さらに、これを国民経済に展開する方法を具体的に提起するとともに、日本経済をケーススタディして、その有効性を示す。また、それを通じて、「エネルギー量的価値」が社会資本の更新可能性を図る尺度としても機能することを示す。

では、「エネルギー量的価値」とは何か？

電力産業を例に簡単に説明しよう。

電力の流過程は、発電設備・変電設備・配電設備を使って電力という財を需要者まで届ける過程であるが、それは水力、石炭、石油、天然ガス、ウラン燃料といった「1次エ

エネルギー」から電力という「有効エネルギー」を取り出す過程でもある。

ここから、相互に補完的な二つの見方をとりだすことができる。

ひとつは、貨幣を基準として<交換価値が付加されていく>という見方であり、もう一つは、物量を基準として<1次エネルギーが継続的に変換され、有効エネルギーに精製(refine)され、不純成分が除去される>という見方である。

ここで、電力量 1kWh に家庭用、産業用を平均して約 21 円の価格が付けられているとしよう。この価格は需要者に届けられたエネルギーの「経済価値」を示す。

一方、電力の取引単位“kWh”が表すエネルギー量は、いま述べたように投入された1次エネルギー総体の一部でしかない。もちろん、ここでいう「1次エネルギー総体」は現存する量ではない。たとえば、それは過去(e.g. 現実の配電以前)における関連投入分を含む。

しかし、「価値」の側からみることによって十分把握可能である。需要者は、じつは 21 円でこの1次エネルギー総体に対応するエネルギーの「量的価値」を購入しているのである。

このような関係に着目して、「エネルギー量的価値」というもう一つの価値概念の導入を図る。それはすなわち、「ある財または経済行為の価値を、投入(=消費)された1次エネルギー量に対応させて評価したもの」を意味する。

本研究は、1.1.5 項で述べた「貨幣価値で表示された経済過程」(A)と「それを実効的にサポートするエネルギー量」(B)に着目し、(A)を構成する各要素を(B)に「投影」して、この「エネルギー量的価値」に置き換えるという方法と、この価値基準により経済活動を評価・分析するというフレームを提案する。

この方法とこの評価・分析フレームの有効性を、現実の経済過程に即して実証的に検証するべく、まず電力産業を対象として研究を進める。

第 2 章 日本の電力産業における需要先別事業収支

2.1 目的

第 2 章から第 4 章においては、<「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立>を実証的に図るために、電力産業を対象として研究を進める。

最初に本章で、分析を展開する大きな前提として、電力産業に埋め込まれた収入面と費用面における営業構造の解明に取り組む。

これは、第 1 章の図 1.1 に示す、実質的富 I (Wealth I) の電力産業における産出過程を貨幣価値的に捉えることになる。

2016 年 4 月以降、日本の小売り電力料金が完全に規制緩和された。これは、日本の電力政策において大きな転換を意味する。

日本の電力料金は、政府認可を必要とする「家庭用」規制料金と 2000 年から部分的に認可が不要となった「産業用」規制緩和（規制なし）料金の二重構造をとってきた^{5 6}。

それ以前においては、ほぼ 20 世紀全般を通じて、「産業用」にも認可制が敷かれて、日本の電力産業は、地域市場の独占を長らく享受してきた。いわゆる「総括原価」方式で元々利益を上げており、通常市場での価格競争を避けることができた。しかし、そのような営業体制には、かねてから疑問や批判が投げかけられてきた。

室田（1993）は、「（総括原価方式が）利潤の最大化ではなく、資産の一定割合を利潤と定めて規制するのは、無制限な独占力の行使を抑止するうえでは良い方法であると思われる。しかし、これだけでは、巨額の設備投資を要する原発などの開発に傾けば傾くほど電気料金は高くなり、また、そのことが次期の巨額の投資にとって資金調達を容易にするという構造への傾斜を助長することになるのではないだろうか」と根源的な疑問を提起した。

吉岡（2004）は、「総括原価方式の下では、電力会社は不適切な経営上の判断に伴う損失やリスクを免除される。たとえばいかに巨額の核燃料サイクルコストを負担しても、電力料金による損失補填を享受することができる」と総括原価方式が電力産業の営業リスク回避を可能にさせていると批判している。

内橋（2011）は、「おなじ発電所をつくるなら、『事業報酬』も『適正原価』もともに大きくなる原発を選んだほうが、『総括原価』が大きくなる。『総括原価』が大きくなれば、（販売電力量が一定ならば）それだけ電気料金を高くきめることができる。料金が高くなれば、電力会社の収入（売上高）はふえ、業績は上がり、収益は好転する」と総括原価方式が電力産業にもたらす収入構造を批判的に解き明かしている。

⁵ 1995 年からは、卸発電市場には独立系発電事業者（Independent Power Producer）の参入が可能となっていた。

⁶ 「家庭用」には、50kW 未満の小規模の供給を受ける、商店、事務所、工場等が含まれる。

金森（2016）は、東京電力を事例に「総括原価方式によって黒字経営が保証されているうえに、規制当局による検討が不十分だったことにより、歴史的に東電において高コスト体質が招来されていることが立証されている」としている。さらに「固定費の割合が高く、変動費の割合が低い原子力発電は、総括原価方式のもとでは、電気料金の安定については電力会社の財務的安定を意味する。このため、原子力発電は、火力発電に比して、総括原価方式のもとで選好されたといえる」と批判的に分析している。

このように、総括原価方式は電力産業に高コスト体質を根づかせ、原子力発電推進の原動力として機能したとの批判が加えられてきた。

日本の電力供給の地域独占を担ってきた電力産業は、しかし、この総括原価方式のもとに、「家庭用」「産業用」という「二重価格」制度を採用し、その収入を前提に設備投資と人員配置といった経営資源を配置してその営業構造を組み立ててきた。この構造を変えることは、電力産業にとって規制緩和の有り無しにかかわらず容易ではない。

いっぽう、電力供給は営利事業でありながら、社会に大きな効用をもたらす公益事業でもある。電力の安定供給は電力産業の健全性に依るところが大きい。電力産業が過去の呪縛から逃れない以上、この健全性を判断する前提として、電力産業が歴史的に形作ってきた営業構造を客観的に捉えておく必要がある。

このようなことを踏まえて、本章においては「家庭用」「産業用」という料金体系のもとで構築された電力産業経営の基本構造を、料金収入と費用負担の観点から歴史的に解明することを目的とする。

2.2 方法

この研究を進めるためには、まず需要先別の営業収益とそれを稼得するために支出した営業費用を把握すること、さらに需要先別の営業利益を推計する必要がある。

そのために本研究では、需要家が負担する「実勢価格」の水準(A)を「家庭用」「産業用」の部門別に割り出し、これと電力産業が支出した「実勢費用」の水準(B)と比較するという分析アプローチを考案した。

具体的には、電気事業連合会（電事連）が加盟各社から集めた発電および需給実績、損益計算書や貸借対照表などの財務諸表といった電気事業に関する統計データを使う。これは電事連（2018）の web サイトで公開されている。このデータベースから得たデータを使い、電力需要を「家庭用」と「産業用」に区分し、その需要別の収支の推計を試みる。

推計方法の詳細については、手法の説明と推計結果を近接させたほうが分かりやすいと考え、後述することとした。

なお、本研究における「家庭用」とは、電力統計で「電灯」に区分にされる電力需要とそれに対応する収益（売上高）を指す。また「産業用」とは同じく「電力・特定規模」に区分にされる電力需要とそれに対応する収益のことである。

また、電力各社の 2016 年度の「有価証券報告書」を用いて、小売り完全「規制緩和」直後の事業活動の分析し、規制状態における企業活動と対比しつつ、その特徴や課題抽出

を試みる。

2.3 日本の電力産業の需要構造分析

2.3.1 日本における需要別電力需要と収益

日本の電力産業は、構造的には、(1)発電・高電圧送電システムと(2)低電圧配電システムから構成されている。前者(1)は、産業用電力を直接に供給し、かつ後者(2)を介して家庭用電力を供給する。

まず、2015年度のデータを用いて「家庭用」、「産業用」それぞれの電力需要とそれぞれの収益を見てみよう（図 2.1）

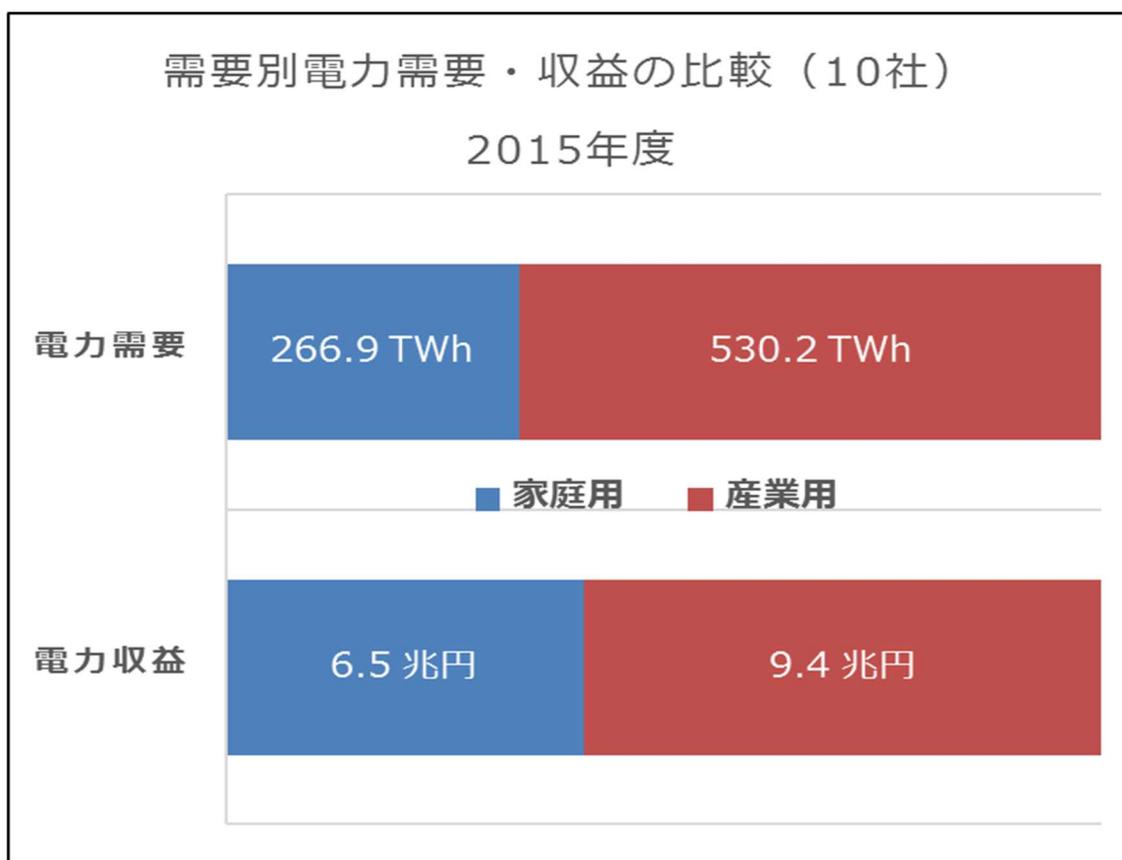


図 2.1 需要別電力需要・収益の比較（2015年度）

出所：電事連（2018）を基に筆者作成

2015年度に日本で消費された電力総量は、797.1 TWhであり、このうち「家庭用」にあたる電灯需要は266.9 TWh、「産業用」にあたる電力需要と特定規模需要を合わせた需要は530.2 TWhであった。需要シェアで見ると、家庭用33%、産業用67%である。

ここにおいて、「家庭用」部門からの電灯料金収入は6兆4601億円であり、「産業用」部門からの電力料金収入は9兆3556億円、両者を合わせた電力料金収入総計は15兆8157億円であった。収入側でみたシェアは、家庭部門41%、産業部門59%となる。つまり、日本の家庭は、全電力の33%しか消費していないにもかかわらず料金総額の41%を

負担していることになる。これに対して産業部門は電力の 67%を消費しながら料金負担は総額の 59%に止まっているのである。

要するに、現在の日本の電力料金は「家庭用」規制料金が「産業用」に比してより負担の重い「二重価格」となっている。

2.3.2 日本における電力料金決定方式：レートメイク

「家庭用」規制料金の算定法は、資源エネルギー庁の公表資料によれば、つぎのようなものであった。(資源エネルギー庁 2013) (資源エネルギー庁 2011)

- (1)人件費、燃料費、修繕費、減価償却費、公租公課、購入電力料、その他経費を加えて「営業費」を積算し、これに「事業報酬」を加える。
- (2)前項(1) から他社販売電力料や託送収益など電気事業を行う上で得られる料金収入以外の収益(「控除収益」)を除いて、「総原価」を算定する。
- (3)総原価を各発電費(水力、火力、原子力、新エネ等)、送電費、変電費、配電費、販売費、一般管理費等の9部門への整理した後、(A)送電・高圧配電関連費用と(B)それ以外の費用に整理し、(C)低圧需要関係費用のみを集計した上で、小売規制料金を決定する。

以上が「電気事業法」で規定される規制部門の電気料金単価の設定手順である。これがいわゆる「総括原価方式」と呼ばれる料金決定方式であり、そのうち規制料金の設定を「レートメイク」と称している。(資源エネルギー庁 2013)

料金構成における「家庭用」と「産業用」の部門区別それ自体は経済合理性に背くものではない。なぜなら、両部門のコスト構造が異なっており、それを料金に反映することは十分に経済合理的だからである。すなわち、「家庭用」低圧電力は、発電所から高圧送電網を経由し、さらに低圧配電網を通して需要家に届けられる。したがって、その料金算定にこれらの要因を加算し、その結果、「産業用」の高圧需要料金より割高に設定すること自体は、決して不合理ではない。むしろ、そのほうが受益者負担の原則(公平性)に適っている。

ところが、その「レートメイク」による料金設定の運用が真に「妥当かつ合理的に実施される」という保証はない。むしろ、実際の料金設定にさまざまな政策的思惑が競合的に持ち込まれるというのが実態である⁷。

⁷ 高野(2004)は、料金規制下の電気通信事業における認可料金について、政策的な恣意的誘導が持ち込まれた可能性について論じている。

2.3.3 二重価格の推移

料金水準の歴史的推移をみておく。つぎの図 2.2 は、料金水準の歴史的変動を示す政府の公開資料である。(資源エネルギー庁 2011)

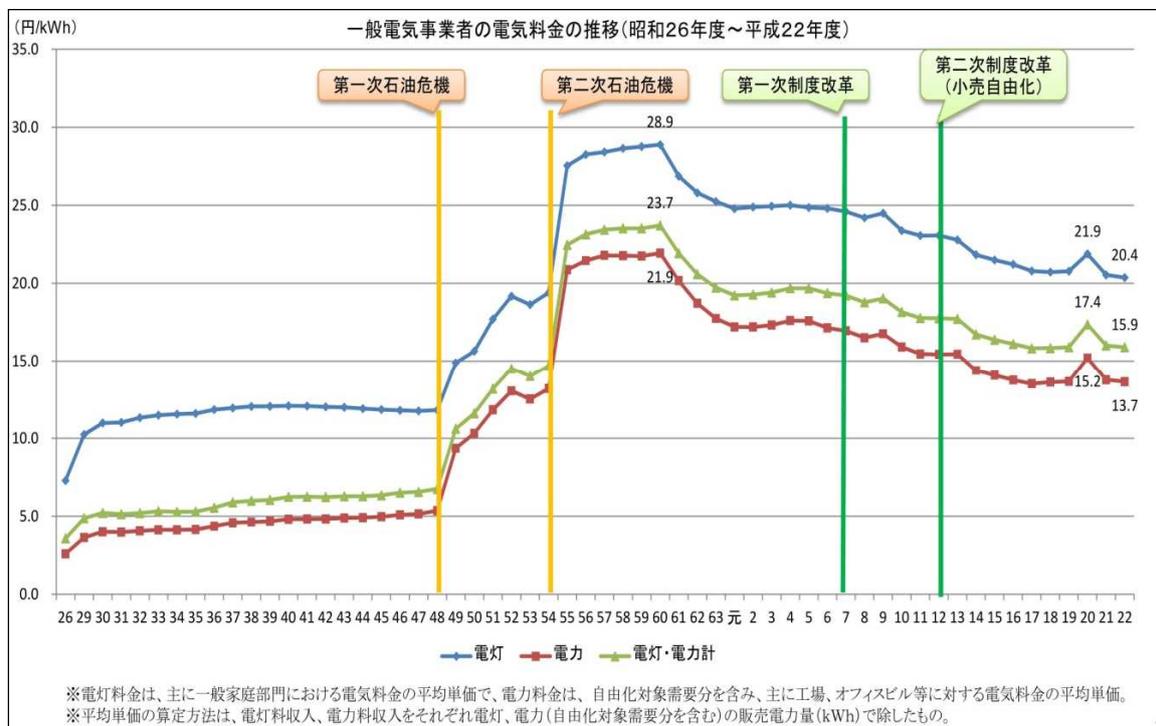


図 2.2 一般電気事業者の電気料金の推移 (1951 年度～2010 年度)

出所：資源エネルギー庁 (2011)

図 2.2 が示すとおり、日本の電力政策は、上記の二重価格構造を第 2 次世界大戦後一貫して実施してきたのであり、<産業用料金を規制対象外に移す>という (部分的) 改変のほうがむしろ最近のできごとである。ここから明らかなように、電力産業の営業構造にはこのような「家庭用」と「産業用」の 2 階建ての価格体系がしっかりと組み込まれている。

しかし、電力産業の営業構造とその歴史的推移を知るためには、図 2.2 の情報 (電力料金水準) だけでは足りず、このほかに費用面の情報を取得しておかなければならない。

2.4 費用分析の結果

そこでまず、発電、変電、送電を通じて最終的に需用者が受電するまでに支出された「総費用」を推計し、この「総費用」単価(a)と図 2.2 に示された「家庭用」販売単価(b)および「産業用」販売単価(c)という三要因の関係を明らかにしよう。

2.4.1 「家庭用」及び「産業用」売上単価と「総費用」単価の推計

本研究の分析は、基本的に電事連データベースにもとづいている。ここでは、そこから損益計算書と電灯・電力需要を抽出する。

まず損益計算書に記載される「電気事業営業収益」のうち、「電灯料」収入を電灯需要で除して「家庭用」収益単価を求め、「電力料」収入を電力需要と特定規模需要の合計で除して「産業用」収益単価を求めることとした。これは、図 2.2 で資源エネルギー庁が採用した推計方法と同様である。ただし、データベース収載が 1963 年度からとなっているので推計のスタートもそこになっている（以下同じ）⁸。つぎに「総費用」単価は、同じく損益計算書に記載される「電気事業営業費用」を電力総需要（電灯需要、電力需要、特定規模需要の合計値）で除して求めている。

ただし、損益計算書の「電気事業営業収益」には他社販売電力料や託送収入、貸付設備収入などの電力料金収入以外の収入も含まれているため、これらは例えば他社購入電力料や送電費、貸付設備費用など相応する費用から控除することにした。

なお、「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（再エネ特措法）」による「交付金」については直接的な電力事業収益ではない。同じく同法に基づく「納付金」についても発送電に要する費用と見なすことができない。このため、交付金は収益から、納付金は費用から、それぞれ差し引いておく。

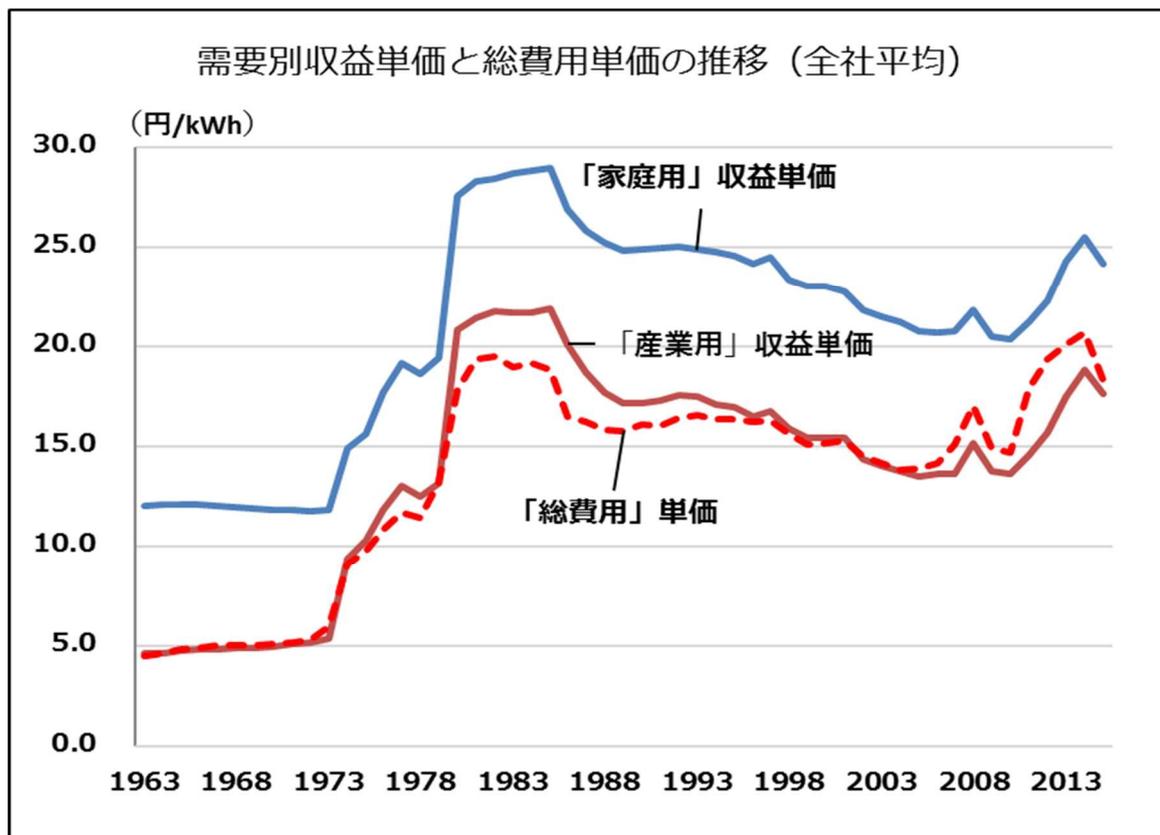


図 2.3 需要別収益単価と総費用単価の推移

出所：電事連（2018）を基に筆者作成

⁸ 電事連のデータベースでは、沖縄電力のデータ収載は 1889 年度以降となっている。従って、本研究で扱う全社合計および全社平均は 1988 年度までは沖縄電力を除く 9 社としている。

以上のように整理したうえで、「家庭用」収益単価、「産業用」収益単価そして「総費用」単価を推計し、その推移を図示したものが、図 2.3 である。この図から、「産業用」収益単価は、20 世紀中「総費用」単価と同一ないしやや上回る水準で推移していたが、今世紀に入ると「総費用」単価を下回る水準に陥ったこと、しかもその損失がトレンドとして定着し、年とともに増大する傾向にあることが分かる。

2000 年 3 月までは「産業用」料金も認可制のもとにあり、実際の収益単価も認可料金と同水準にあったとみなせる。全量規制の時代には、「産業用」収益単価の認可基準は「総費用」単価のレベル、すなわち採算割れを生じる直前の水準に設定されていたことがわかる。

図 2.3 に表れたもう一つの重要な事実は、「家庭用」収益単価が「総費用」単価を大きく上回り、しかも両単価の差がほぼ一定の幅を保って推移していたことである。このことから、日本の電力産業は、結果的に、認可料金制度の下で利潤の大半を「家庭用」電力需要から継続的に確保していたといえる。

つまり、経年的な実績で見ると、日本の電力産業は「産業用」の料金を、総費用を丁度回収する水準に抑え、専ら「家庭用」の料金収入から大きな利益を上げる営業構造を構築してきたとみてよい。

2.4.2 家庭用部門及び産業用部門から上げた利益の推計

「家庭用」と「産業用」それぞれの需要先別の営業利益は、前節で示した「家庭用」「産業用」それぞれの収益単価と「総費用」単価の差額に、それぞれの需要量を乗ずれば推計できる。しかしこの方法は、推計値(単価差額)に実績値を乗ずる操作であり、ある種の曖昧性を免れない。

その曖昧さを除く方法がある。すなわち、まず年度毎の「総費用」を「家庭用」・「産業用」の各部門の需要量に比例配分して、部門別の費用支出を算定する。そして、この部門別費用支出を、「家庭用」・「産業用」の部門別収益から差し引いて、電力需要が部門別に上げた営業利益を求めることにした。これによって、すべて実績値による評価となる。この推計方法で得られた結果を図示すると、図 2.4 のようになる。

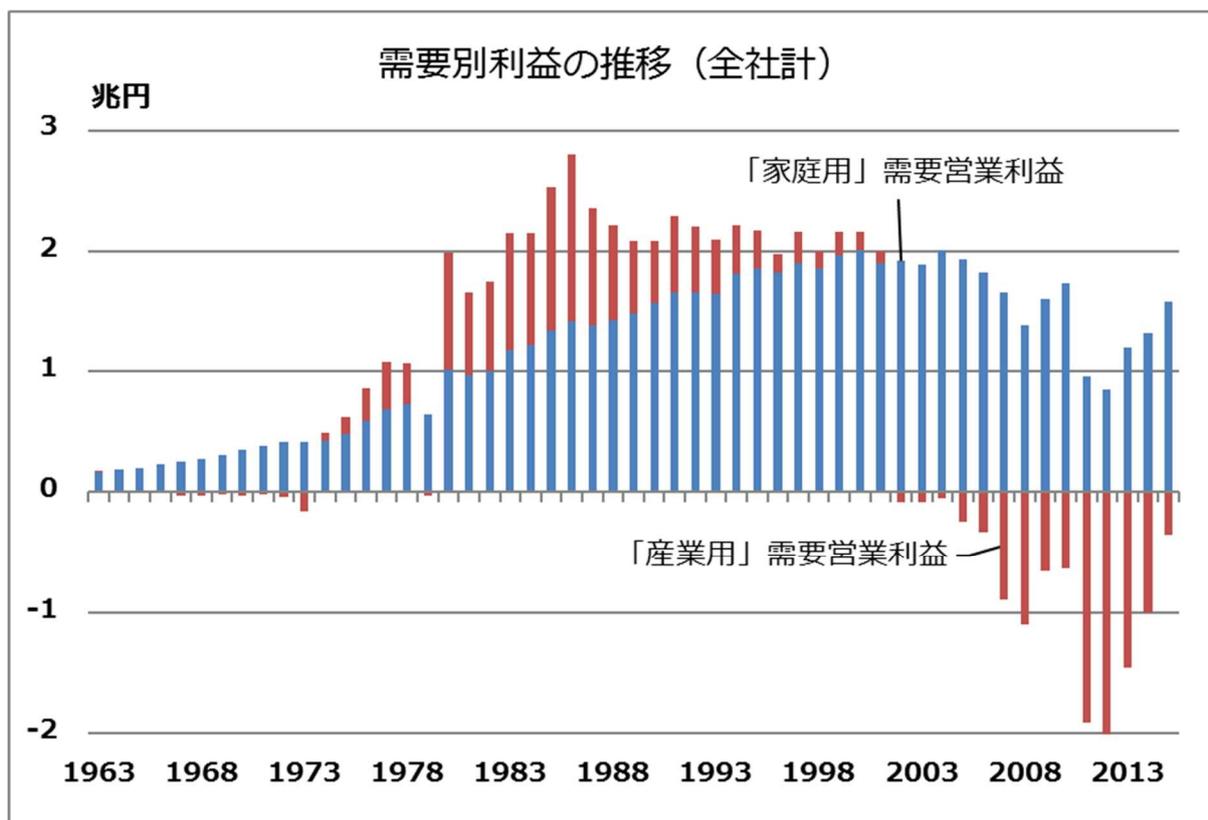


図 2.4 需要別営業利益の推移

出所：電事連（2018）を基に筆者作成

図 2.4 から、日本の電力産業は「家庭用」需要から持続的に大きな営業利益を得てきたことが見て取れる。それに対して、「産業用」への売電は、かつてかなりの営業利益をもたらした時期（主に 1980 年代）もあったが、「家庭用」需要に比して比較にならないほど利幅が薄く、21 世紀に入ってからはずいぶん損失を生じるに至った。

要するに電力会社にとって家庭部門への売電は、かつては利益を一層厚くするための方途であったが、いまや産業部門への売電（全体の 2/3）で生じる損失を補填した上で、企業総体の黒字を確保するための唯一の収入源となっているとみなせる。

2.5 財務会計ベースで見た需要先別利益

前節では、総費用を「家庭用」と「産業用」に需要量に比例して配分して、営業利益を求めた。本節では、財務会計で一般的に行われる「費用」と「収益」を対応させて損益計算を行う場合を考えてみる。この場合、総費用がここでは「家庭用」部門には割高に、「産業用」部門には割安に配分されることになる。

すなわち、2.2.2 の「レートメイク」で説明したとおり、「低圧配電費用」分は「産業用」コストから控除され、それを「家庭用」コストが負うことになる。この結果、総費用のうち「家庭用」需要に充当される費用が相対的に高くなる。したがって、「家庭用」・「産業用」部門別の需要に計上される営業利益も、この上乗せ分（費用移転分）に応じて「家庭用」が減り、「産業用」が増えることになる。

このような収支分析は事業経営に必要不可欠であって、電力各社の内部では日常的に行われているはずだが、これまで外部に公表されることはなかった。しかし近年、資源エネルギー庁は、「一般電気事業部門別収支計算規則」において義務づけられた規制緩和部門での「当期純損失額」の公表に併せて、部門別収支を web サイトで公表するようになった。(資源エネルギー庁, 2018)

ただし、そこには直近の 6 年度分しか載っていない。そこで、この公表データに、資源エネルギー庁が内閣府「消費者委員会」に提出した資料(資源エネルギー庁, 2012) から得られるデータを加えて、2006 年度以降の通算 10 年間における推移を再現してみた。その結果を示したものが図 2.5 である。

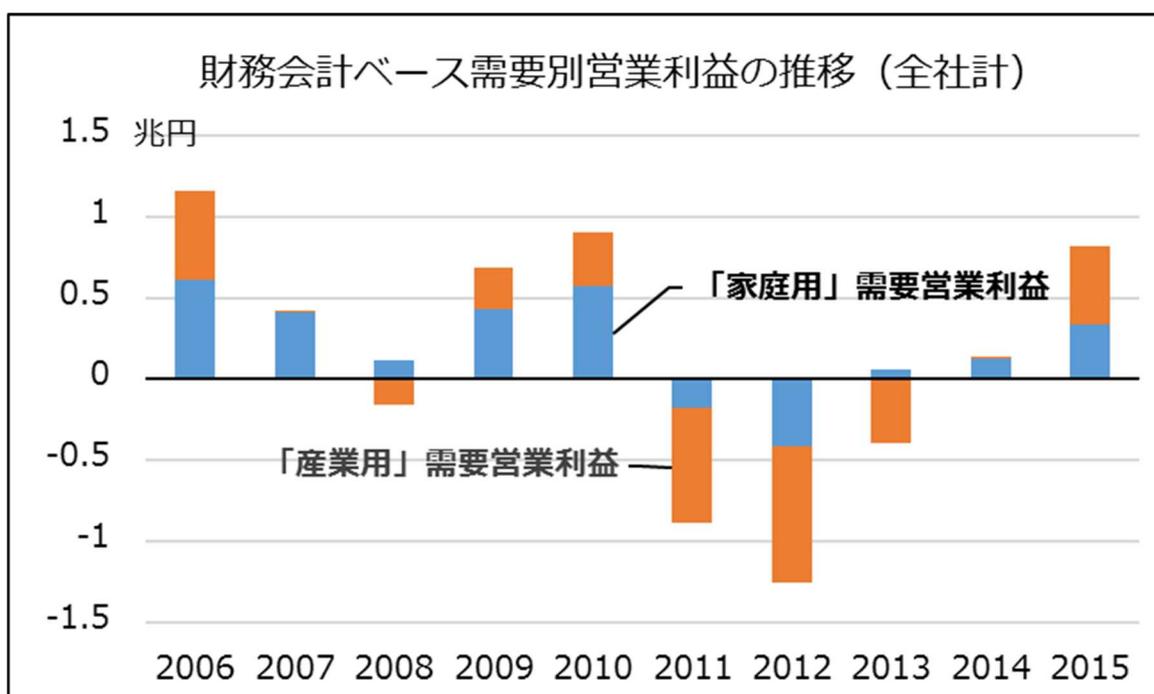


図 2.5 財務会計ベース需要別営業利益の推移

出所：資源エネルギー庁 (2018)、資源エネルギー庁 (2012) を基に筆者作成

財務会計ベースの分析でも「産業用」は「家庭用」に比べて大きな利益は上げていない(2015 年度は格別)。(東日本大震災のあった) 2011 年から 2013 年においては重大な損失生成部門になっていることは明らかである。このような現状に至った根本的な原因は、すでに述べたように、「産業用」単価が総費用単価を下回るところにある。

2.6 完全小売り「規制緩和」後の営業構造

では、2016 年 4 月 1 日以降どのような変化が電力産業に起きたのか？完全規制緩和の圧力はいかなるものだったのか？この問題に焦点を当てて、規制緩和前の 2015 年度と直後の 2016 年度の営業業績を比較してみよう⁹。

⁹ 2016 年度は東京電力を除く 9 社平均。東電は 2016 年に分社化して、以後東京電力ホールディングスの財務諸表のみが公表され、全体のデータは公表されなくなった。

販売単価では、「家庭用」単価が 24.2 円/kWh→21.1 円/kWh となり、3.1 円/kWh の大幅下落となった。これに対して「産業用」単価は 17.6 円/kWh→16.0 円/kWh と 1.6 円/kWh の下落に止まっている。この両者の加重平均である平均販売単価は 19.8 円/kWh→17.7 円/kWh となり、全体の下落幅は 2.2 円/kWh となっている。

以上に対して、「総費用単価」はどうなったか。これも 18.3 円/kWh→16.7 円/kWh と 1.6 円/kWh 縮減している。この下げ幅は「産業用」単価のそれと同じである。

結果的に、既存の電力産業は、総体として、それまで稼いでいた「家庭用」から大きな営業利益を吐き出した。しかし、総費用を削減したことによって、電力産業はかろうじて利益を確保できた。これが完全小売り「規制緩和」直後の営業構造であったといえよう。

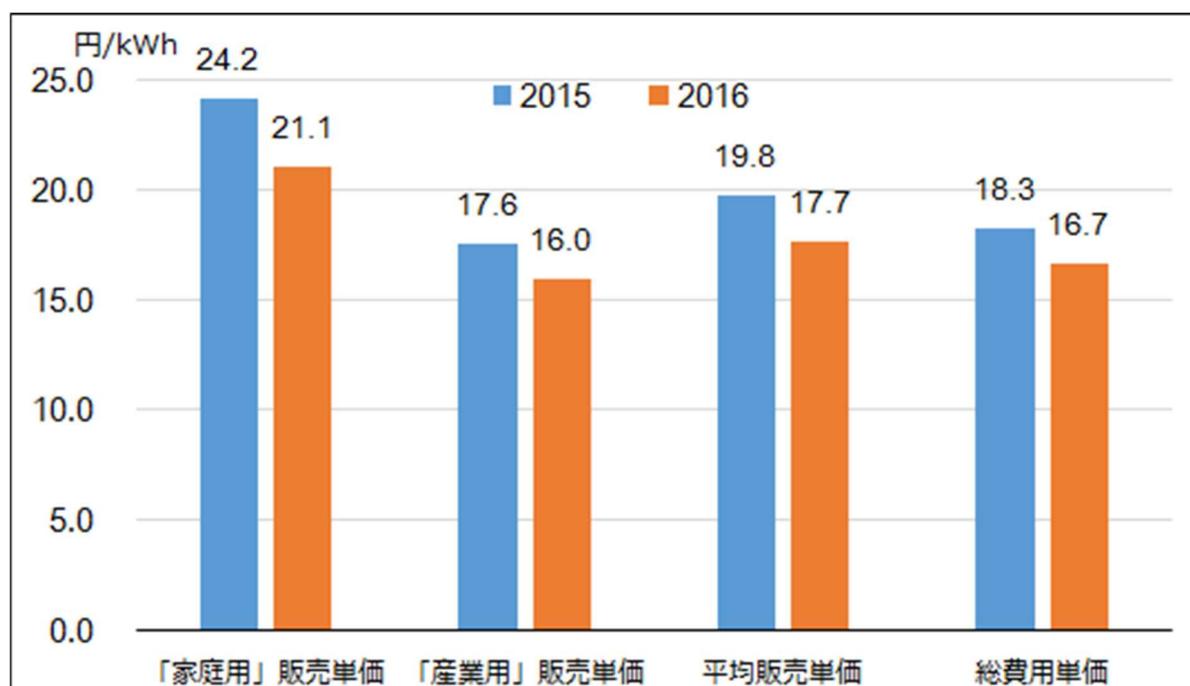


図 2.6 2015 年度と 2016 年度の営業実績の比較

出所：電事連（2018）、電力各社「有価証券報告書」を基に筆者作成

ところが、この急速なコスト低下には問題がある。関西電力株を対象として費用の下落を考察すると、その主要因は火力発電費（6.8 円/kWh→5.5 円/kWh）の低下であることが分かる。この下落は、天然ガス、石炭、原油というエネルギー資源価格の低迷を反映したものと考えるべきである。

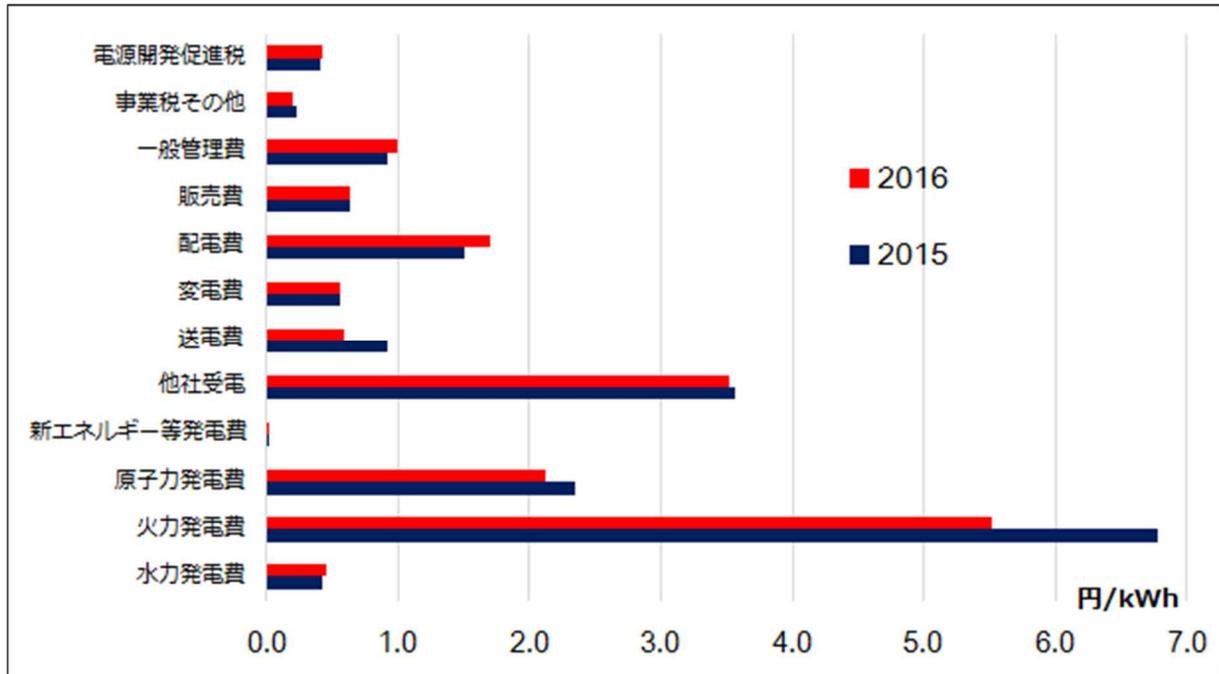


図 2.7 2015 年度と 2016 年度の発電単価内訳の比較（関西電力）

出所：関西電力「有価証券報告書」2015 年度及び 2016 年度版を基に筆者作成

さらに、「家庭用」の大幅下落が、直接「家計」に恩恵を与えたわけでもなかった。経済産業省（2017）によると、完全規制緩和から 1 年経過した、2017 年 3 月 31 日時点で、規制緩和の「進捗状況」は、大手電力が 2016 年 3 月末に持っていた一般家庭等の通常の契約口数（約 6,253 万件）をベースとして、＜大手電力から新電力への契約先の切替え（スイッチング）＞の件数は約 4.7%（約 295 万件）、＜大手電力の自社内の契約切替え＞（規制→自由）の件数は約 4.1%（約 258 万件）、合わせて約 8.8%（約 553 万件）となっている。

販売価格の大きな下落は、これらの契約のうち、＜自社内の契約切替え＞（規制→規制緩和）で起こっていた。「家庭用」の範疇には、50kW 未満の低圧需要の「産業用」も含まれている（脚注 6 参照）。東京電力と関西電力は、これらの低圧需要を含む大口顧客（日本郵便や大手コンビニチェーンなど）の電力調達をめぐって、壮絶な「値引き合戦」を演じた。就中、日本郵便の競争入札では、前年度（低圧規制下）の販売額を約 3 割も下回る驚異的な落札額となった、と山根（2017）は報道している。

「家庭用」の販売価格の下落にはこうした背景があったのである。

2.7 結論

本章の目的は、「家庭用」「産業用」という料金体系のもとで構築された電力産業経営の基本構造を歴史的に解明することであった。

完全規制下においては、経年的な実績で見れば、日本の電力産業は「産業用」の料金を、総費用を丁度回収する水準に抑え、専ら「家庭用」の料金収入から大きな利益を上げる営業構造を構築してきたとみてよい。（図 2.3）

さらに、電力産業にとって家庭部門への売電は、かつては利益を一層厚くするための方途であったが、大口電力が規制緩和されて以降 2003 年度からは、「産業用電力」（電力需要の 2/3 を占める）の収支が一貫して赤字であり、「家庭用電力」（需要の 1/3 しか占めない）の収支が大幅な黒字となっている。そして、後者が前者を補填して電力産業全体の営業利益が確保される営業構造となっている。（図 2.4）

ただし、日本と同様な電力価格体系をもつ国がないのではない。例えばヨーロッパ諸国においては、ドイツでは徹底した産業優先の料金体系が敷かれている。これに対し、イタリアでは「家庭用」「産業用」の負担格差はほとんどみられない。英国はその中間の料金体制となっている。（資源エネルギー庁, 2011）

電力供給は、通信、交通、鉄道、上下水道、医療など基幹となる社会資本を十全に機能させるために必要な「社会資本中の社会資本」である。さらに、産業界も固定動力はほぼすべて電力に依存している。このため「安定供給」が最大の使命とされ、需給は千分の 1 秒ないしそれ以下の時間幅で一致している必要がある。この安定供給を実現するには、発電所から変電所、高圧送電網、低圧配電網に至る膨大な「設備」を必要とする。これら設備を維持し更新していくためには、電力産業の事業体としての健全性の確保が必須となる。

一方で、電力の購買価格には、雇用者所得と企業利潤からなる国民所得（～支払い能力）に応じた負担限界が厳然と存在する。その枠組のなかで、日本の電力産業においても、“事業体としての収益性確保”と“購買価格に対する制約”との調整を「市場」に委ねる試みが本格的に始まっている。

価格破壊の圧力にさらされた既存の電力産業が、必要最低限の安全化投資やメンテナンス費用などまで削ることになると、安定供給自体が脅かされる。この段階に至ると、需要者としては、規制時代にいや増して電力価格の「適正」性に最大限の関心を払う必要がある。

第3章 日本の電力産業における発電部門別事業収支

3.1 背景、目的

本章は、第1章の図1.1を電力産業において描くための前段階として、電力産業における実質的富Ⅰ（WealthⅠ）と実質的富Ⅱ（WealthⅡ）を貨幣価値的に把握することを目的とする。

日本の電力産業は、国際エネルギー機関（International Energy Agency）の示すところによれば供給されたエネルギーの約4割を需要する¹⁰基幹産業中の基幹産業であり、その態様いかんによって、日本の産業活動と国民生活は多大な影響を受ける。また、電気エネルギーというエクセルギー（有効エネルギー）そのものを「商品」として取り扱うために、ミリ秒単位の需給ミスマッチさえ許されない特殊な産業部門である。

一方、電力産業は、地域独占の公益事業として市場的価格競争を免れ、いわゆる「総括原価」にもとづいて一定の利潤が予め保証されてきた。このような業態については、かねてからさまざまな疑問が提起されてきた。さらには福島原発震災以降、その損害賠償や収束策、原発再稼働などをめぐって世論の厳しい批判を浴びるに至ったが、改善は遅々として進んでいない。

第2章で見たように、日本の電力料金は、認可を必要とする「家庭用」規制料金と、それが不要な「産業用」規制緩和（規制なし）料金の二重構造をとってきた。これが2016年4月からは「家庭用」も認可制を解かれ、完全に規制緩和されるという大きな政策転換が図られた。

電力供給は営利事業でありながら、社会に大きな効用をもたらす公益事業でもある。その場合、電力の安定供給は、電力産業の財務的健全性に依るところが大きい。

日本の電力産業は「産業用」にも認可制が敷かれていた時代から、電力供給の地域独占を担うことを前提として設備投資と人員配置という経営資源を配置し、その営業構造を組み立ててきた。このため、電力会社が規制緩和に対応して経営安定化のために資本構成の効率化を図ろうとしても、過去から形作られた営業構造が容易にそれを実施させない阻害要因になる可能性がある。こうしたことを踏まえて、電力産業の経営的健全性を判断する前提として、電力産業が歴史的に形作ってきた営業構造を客観的に捉えておく必要がある。

果たして、電力産業にはどのような営業構造が埋め込まれているのだろうか。

これを解明するためには、次の基本的な設問にすべて答えるだけの分析が必要である。

- ①電力産業はどれほどの商品（電力）を「生産」したのか？（発電電力量の解析）
- ②需要者はどれほど電力を「消費」したのか？（需要電力量の解析）
- ③電力産業は電力生産のためにどれほどの「経費」を支出したか？（営業費用の解析）
- ④需要者は電力の「購入」にどれほどの負担をしたか？（営業収益の解析）

¹⁰ IEA（2019）には、2016年に日本で生産又は輸入されたエネルギー454.2MTOEのうち、発電部門は189.6MTOEを需要していることが示されている。

⑤電力産業はその結果どれほどの「利潤」を上げたのか？（営業利益の解析）

ところが不思議なことに、これらの諸課題を意識的に設定した実証的解析が、筆者の知る範囲ではこれまで現れなかった。この欠落の影響は大きく、たとえば原子力発電をめぐる推進、反対の両論とも「事実認識のレベルでの共通了解」さえ形成することなく推移してきたように思われる。

本研究は、上記の設問に水力、火力、原子力という主要な発電部門に即した解析結果を与えることを目的とする。これによって、可否論議の基礎となる実態分析を提供し、さらには発送電分離による電力小売り「完全規制緩和」以降、電力産業がどのような動向を示すかに関しても有効な分析視座を与えることを期したい。

3.2 方法

電力産業の業績評価については、主に株式投資や債券格付けなどを決定することを目的とした膨大な分析結果が残されている。したがって、これらは全社的な財務分析の観点からなされており、当然のことながらその分析視野は発電部門別の実績を解明する段階には及んでいない。

他方、発電部門別のコスト分析は、企業経営の観点からではなく、専ら発電部門各々の「効率性を計測する」という観点から以下に挙げたような研究がなされてきた。

この分析の測定基準として用いられたのが「均等化発電原価（LCOE：Levelized Cost Of Electricity）」といわれるものである。これは発電所の設計、建設から運営、廃止に至るまでのすべてのコストを算定し、生涯発電量で除して求める。

これを求める手法として、発電規模を「想定」し、LCOEを算定するモデルプラント方式が先行していた。これは現在でも経済協力開発機構（OECD, 2015）や電気事業連合会（電事連, 2013）が採用している。

これに対して、室田（1993）はこのLCOEを求めるための画期的な手法を開発した。彼はLCOEを「有価証券報告書」から抽出した電力量や決算値などの「実績値」を使って求めたのである。これによって、OECDや電事連が採用する、発電規模を「想定」し原価を推計する従来のモデルプラント方式に比べ、推計値が「実勢価格」により近づくことになった。

室田の推計方法は、大島（2010）の研究にも引き継がれ、社会的費用を加えるなどより精緻化され、より長期間にわたる分析も行われている。また、松尾・山口・村上（2013）グループもこの方式でコスト算定に取り組んでいる。

たしかにこの分析方式は、水力発電、火力発電、原子力発電といった発電部門固有のコストパフォーマンスを算定するのに適している。

しかし、この算定方式にもなお限界があり、分析対象は事業報酬込みの「送電端」単価の段階にとどまる。それがなぜ不十分かという点、このLCOE段階の送電端単価だけでは、実際に需要者が支払う費用の負担総額を把握することができないからである。すなわち、送電端価格に、送電、変電、配電という経路を経て需要端に至るまでに投じられた費用をすべて上乗せしてはじめて、需要者が実際に負担する費用総額になるからである。

この問題点をカバーするために、本研究では次のような分析アプローチを採った。

- ①電事連が web サイトで公開している、加盟各社から集めた発電および需要実績、損益計算書や貸借対照表などの財務諸表といった電気事業に関する統計データと各社の有価証券報告書を用いて、
- ②発電および需要実績から、発電量、送電端電力量、需要端電力量に整理して各段階の電力量を把握する。
- ③さらに、財務諸表から需要家が負担する「実勢価格」の水準(a)を割り出し、
- ④これと電力産業が支出した「実勢費用」の水準(b)と照合する。
- ⑤(a)と(b)の差として、営業利益(c)を算定する。

3.2.1 発電部門ごとの発電端から需要端に至る各段階の電力量算定

電事連が web サイトで公表する電事連（電力統計情報）には、沖縄を除く北海道・東北・東京・北陸・関西・中国・四国・九州の電力各社と 9 社計のデータが 1963 年度から、また沖縄電力および 10 社計のデータが 1989 年度から保存されている¹¹。

ここからまず他社受電を含む発電電力量と供給電力量を抽出し、以下の方法で、発電から需要端での供給に至るまでの各段階の電力量を発電部門別に算定することとした。

なお、算定期間は、電事連加盟企業での原子力発電の本格稼働を考慮して 1970 年度から最後のデータが取得できる 2015 年度までの 45 年間としている（以下同じ）。

①発電電力量・受電電力量：

- ①－A水力発電電力量：「自流式発電」と「貯水池式発電」の合計発電電力量を計上
- ①－B火力発電電力量：「汽力発電」「ガスタービン発電」「内燃力発電」の合計発電電力量を計上
- ①－C原子力発電電力量：発電電力量を計上
- ①－D新エネルギー等電力量：発電電力量を計上
- ①－E他社受電電力量：「他社受電」電力量に「一般電気事業者間融通（差引）」分を加算または減算した電力量を計上

②所内消費電力量：①－A～①－Dのそれぞれの発電方式において発電所内で消費した電力量（＝発電に要した電力量）を計上

③発電端電力量：①－A～①－Dで計上した発電方式それぞれの「発電電力量」から②で計上した発電方式それぞれの「所内消費電力量」を控除した電力量と、①－Eの他社受電電力量を計上

④発電端分担率：③で求めたそれぞれの発電受電部門の電力量の比率

⑤揚水式純消費電力量：「揚水式発電電力量」から「揚水用電力量」を控除した電力量を計上（ここで電力の消費＝純損失が生じるために、送電端電力量が発電電力量より減衰する。）

⑥送電端電力量：③で求めた「発電端電力量」の総量から⑤で求めた「揚水式純消費電力量」を控除した電力量を、④で求めた「発電端分担率」で比例案分して求めた発電受電方式それぞれの電力量を計上

¹¹ 従って、本研究で扱う全社合計および全社平均は 1988 年度までは沖縄電力を除く 9 社としている。

- ⑦総合損失電力量：「送電損失電力量」と「変電所内消費電力」の合計電力量（＝⑥「送電端電力量」合計と⑧「需要電力量」の差）を計上
- ⑧需要電力量：電力統計で示される「需要電力量」を実量で計上
- ⑨需要端電力量：⑧で求めた「需要電力量」を④で求めた「発電端分担率」で比例案分して求めた発受電部門それぞれの電力量を計上
- ⑩発電端→需要端変換率：⑨で求めた「需要端電力量」を③で求めた「発電端電力量」で除した比率

なお、本項の分析は、第1章の図1.1に示す、実質的富I（Wealth I）の電力産業における産出過程にエネルギー量的な評価を与えることになる。

3.2.2 発電部門別の電気事業収益の算定

電力産業が需要者に届ける電力は、昼間の高需要時から深夜の低需要時に及ぶ電力の需要変動に対応しながら、かつ十分な事業収益が確保できるよう電源構成を選択するとの建前（いわゆる「ベストミックス」）のもと、設備投資を行って各発電部門が産出した電力を合成したものである。

これらの事実を踏まえると、3.2.1項の④において示したように発電端における発電部門別の発電実績から部門別の分担率が求められる。この部門別シェアに応じて、需要端における電力総需要（＝供給実績）を分配すれば、発電部門別の需要端における供給電力量となる。この計算結果を使って以下の手順で各発電部門が上げた電気事業収益を推計することとした。なお、ここにおいても電気事業者ごとに年度を区切った発電部門別発電量に即して当該発電部門の収益をまず算定し、それを合計して集計値を求めている。こうすることで、各電気事業者の発電部門ごとの収益を、当該年度の電源構成に則したかたちで算定することとした。

- ①「損益計算書」から次の「経常収益」を抽出する。
 - ㉑電灯料 ㉒電力料 ㉓地帯間販売電力料 ㉔他社販売電力料 ㉕託送収益
 - ㉖事業者間精算収益 ㉗再エネ特措法交付金 ㉘電気事業雑収益 ㉙貸付設備収益
- ②「経常収益」を「電気事業収益（㉑電灯料＋㉒電力料の合計）」と「附帯収益（それ以外の㉓地帯間販売電力料～㉙貸付設備収益）」に分離する。
- ③②で求めた「電気事業収益」に、3.2節の④で求めた「発電端分担率」（前節表1の④）を乗じて、発電部門ごとの電気事業収益を算定する。
- ④附帯収益については、その収益勘定（科目）に応答する費用勘定（科目）と相殺して費用側に計上する。（3.5.1項の②、③参照）
- ⑤③で求めた「電気事業収益」を3.2の⑨で求めた「需要端電力量」で除して、「収益単価」を算定する。

本項の分析は、前項で把握した電力産業が社会経済に提供した電力という実質的富I（Wealth I）の反対給付として受け取った貨幣価値を推計することになる。

3.2.3 営業費用算定における二つのアプローチ

本研究においては、電気事業の営業費用を算定するにあたり、「損益計算書」から営業費用を抽出する標準的な算定手法に加え、「貸借対照表」のデータも活用する算定手法を考案し、二段階の縦深的分析アプローチを用いることにした。

その理由は、各発電方式に要した「実勢費用」のうち「設備投資に要した費用」と原子力発電に固有な「核燃料の購入に要した費用」を算定するためには、損益計算書のデータだけでは不十分という問題点があるからである。この制約を超えた解明こそ本章の基本的な目標である。

電力事業の財務会計システムでは、設備投資と核燃料購入に投じた先行投資を①いったん「貸借対照表」の「資産」に計上しておき、②後年度に「減価償却費」と「核燃料費（＝核燃料減損額）」という項目で費用化し、順次（分割的に）回収する、という処理を行う。

本研究ではここに着目して、設備投資と核燃料資産の購入にどの程度の先行支出があったか推計することにした。それには損益計算書の「減価償却費」及び「核燃料費」のデータに、「貸借対照表」の「固定資産」及び「核燃料資産」のデータを組み合わせることにより、先行支出の額そのものを評価できると考えた。本研究ではこれを【現金支出ベース】のアプローチと呼ぶことにする。

さらに、この損益計算書ベースと現金支出ベースの二つのアプローチから得られた算定結果を比較することによって、「先行投資をどこまで回収し得たか」を推定することができると考えて、この課題にも取り組むこととした。

3.2.4 損益計算書ベース・アプローチでの費用算定

3.2.4.1 発電部門別の直接費用と共通費用の解明

本目では、水力、火力、原子力といった発電部門がどの程度の営業費用を負担して需要先まで電力を届けているか算定することをめざす。このため、営業費用を各発電部門に固有に発生する「直接費用」と、送電、配電に要する費用など発電部門から需要先に至るまで発生する「共通費用」に区分けし、次の手順で解明することとした。

①損益計算書から、次の電気事業「経常費用」を抽出する。

- ①水力発電費 ②汽力発電費 ③原子力発電費 ④内燃力発電費
- ⑤新エネルギー等発電費 ⑥地帯間購入電力料 ⑦他社購入電力料
- ⑧送電費 ⑨変電費 ⑩配電費 ⑪販売費 ⑫休止設備費 ⑬貸付設備費
- ⑭一般管理費 ⑮再エネ特措法納付金 ⑯電源開発促進税 ⑰事業税
- ⑱電力費振替勘定（貸方）

②発電部門別「直接費用」（以下）と

- ①水力発電費：①水力発電費
- ②火力発電費：②汽力発電費＋④内燃力発電費の合計
- ③原子力発電費：③原子力発電費
- ④新エネルギー等発電費：⑤新エネルギー等発電費
- ⑤他社購入受電費：⑥地帯間購入電力料－（3.2.2 項の①） ⑦他社購入電力料＋

- ⑦他社購入電力料－（3.2.2 項の①） ⑧他社販売電力料の合計
- ③電気事業「共通費用」に分離し、
- ④収益側に充当する勘定があるものは、相殺して費用側に計上する（以下）¹²。
- ⑥送電費：③送電費－（3.2.2 項の①） ⑨託送収益の合計額
- ⑦変電費：④変電費
- ⑧配電費：⑩配電費
- ①販売費：⑪販売費
- ②休止設備費：⑫休止設備費
- ③貸付設備費：⑬貸付設備費－（3.2.2 項の①） ④貸付設備収益の合計額
- ④一般管理費：⑭一般管理費－（3.2.2 項の①）（⑤事業者間精算収益＋⑥電気事業雑収益）の合計額
- ⑤事業税：⑰事業税
- ⑥電力費振替勘定（貸方）：⑱電力費振替勘定（貸方）
- ⑤「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法（再エネ特措法）」による「⑮再エネ特措法納付金」とこれに対応する収益である第3項の①「⑯再エネ特措法交付金」については、直接的な電力事業費用及び収益ではないので、それぞれ費用と収益に別途計上する。
- ⑥⑱電源開発促進税は、発電部門別配賦額を別途に算定する。（3.2.4.3 目を参照）

3.2.4.2 電気事業「共通費用」の発電部門への配賦

前項③で抽出した電気事業「共通費用」を合計（前項⑥⑦～⑱の合計）し、3.2.1 項の④で求めた「発電端分担率」（表 3.2 の④）を乗じて、各発電部門への配賦額を求める。

3.2.4.3 電源開発促進税の発電部門別費用への配賦

電源開発促進税は、「原子力発電施設、水力発電施設、地熱発電施設等の設置の促進及び運転の円滑化を図る等のための財政上の措置並びにこれらの発電施設の利用の促進及び安全の確保並びにこれらの発電施設による電気の供給の円滑化を図る等のための措置に要する費用に充てるため」と用途が特定された、「一般電気事業者の販売電気に」課される目的税である（電源開発促進税法第1条）。

その税率は算定時点で 1,000kWh 当たり 375 円（1kWh 当たり 0.375 円）であり、内税方式で需要者が負担し、電気事業者が納税することになる（同法第3条）。このため、電気事業者の損益計算書には「費用」として計上されている。

いっぽう、その用途については、毎年度の政府当初予算で特定されることになる。

本研究では、電源開発促進税が上述のように政府予算によって用途が特定される従量間接税であること及び損益計算書に費用計上されることに鑑み、これを特定の発電部門を

¹² いわゆる「総括原価方式」では、次の算式で「総原価」を算定することになっている。「総原価」＝「適正費用」＋「公正報酬」－「控除収益」

計上の相殺分はこの「控除収益」にあたる。なお、資源エネルギー庁（2011）を参照。

維持するために需用者が負担する費用と位置づけて、各発電部門に次の手順で配賦することとした。

- ①源開発促進税を「立地費用」と「開発費用」に区分して、発電原価に加えるという整理をした大島堅一（2010）の研究成果を応用し、同書の39ページに示された表1-3の数値により、各年度の同表の左欄に示された項目の予算構成比率を算出する。また大島研究にない2008年度～14年度までは、同研究と同様な分類で仕訳をする¹³。
- ②「立地」については、同じく同書36ページの表1-2に示された比率で、同表の左欄に示された項目にさらに再分配し、修正比率を算出する。
- ③①と②を合計して、合成比率を算出する。
- ④③に各年度の電源開発税納付額を乗じて、各項目の配賦額を算定し、発電部門別に整理して配賦する。

以上の算定手順を経て算出した結果は、表3.1のようになる。

このように電源開発促進税を配賦すると、水力発電部門と原子力発電部門を持たない沖縄電力にもこの部門の費用が発生することになる。しかし、これは国の電力政策による費用発生であり、沖縄電力管内の需用者にはその分の超過負担が生じていると考えることができる¹⁴。このため、本研究では補正を加えず、沖縄電力においても両部門に電源開発促進税を配賦する取り扱いとした。

表 3.1 電源開発促進税配賦総括表

	電源開発促進 対策特別会計 (億円)	① 予算構成比率 (%)	立地比率		③ (①+②) 合成構成比率 (%)
			(%)	② 立地修正比率 (%)	
原子力	2,118	45.2%	原子力	68.4%	66.3%
石炭	11	0.2%	火力	27.3%	8.7%
水力	148	3.2%	水力	3.9%	4.4%
新エネルギー	622	13.3%	地熱	0.1%	13.3%
省エネルギー	62	1.3%			1.3%
立地	1,443	30.8%			
その他	277	5.9%	その他	0.3%	6.0%
計	4,681	100.0%	計	100.0%	100.0%

	電源開発促進 税納付額 (億円)	③ (①+②) 合成構成比率 (%)	④	
			配賦額 (億円)	経費計上区分
原子力	3,729.21	66.3%	162.74	→ 原子力発電直接費用へ計上
石炭		8.7%	322.60	→ 火力発電直接費用へ計上
水力		4.4%	2,473.67	→ 水力発電直接費用へ計上
新エネルギー		13.3%	496.68	→ 新エネルギー等発電直接費用へ計上
省エネルギー		1.3%	49.39	→ 共通費用へ計上
その他		6.0%	224.13	
計		100.0%	3,729.21	

注) 実際の算定は各年度毎に行い、配賦額はその積算値である。このため、ここで算出した合成構成比率は参考値となっている。

出所：筆者作成

¹³ 該当する予算項目については、大島堅一（2010）巻末付録1（pp.265～275）を参照した。

¹⁴ 沖縄における電源開発促進税に関しては、2013年7月の第180回通常国会において質疑が行われている。（衆議院, 2013a）（衆議院, 2013b）

3.2.5 現金支出ベース・アプローチでの費用算定

3.2.5.1 現金支出ベース・アプローチの必要性

各電源や送配電の主要な設備に実際に投じられた資金額を把握するためには、損益計算書をベースとしたデータから支出の実額をベースとするデータへの組み替えが必須となる。

損益計算書に含まれている「減価償却費」と「除却損」は、現金ベースでは支出されない費目である。したがって、損益計算書の「費用」から、一方でこの減価償却費と除却損を控除し、他方で設備投資額（現金ベースでの支出）を加えるという操作を行う場合にのみ、固定資産取得のために実際に行った現金支出を含んだ費用総額を把握することが可能になる。

本研究では、この組み替え操作を施した算定手法を「現金支出ベース・アプローチ」と規定し、本節においてそれを実施する。

3.2.5.2 核燃料関係の費用計上にみられる特殊性

原子力発電に固有な「核燃料棒」は、冷媒や触媒などと並び法人税法上の「劣化資産」とされている。劣化資産とは「生産設備の本体の一部を構成するものではないが、それと一体となって繰り返し使用される資産で、数量的に減耗し、又は質的に劣化するものをいう」。(基本通達・法人税法 7-9-1)¹⁵

定期点検時に概ね 1/3 を入れ替える核燃料棒は、「全量を一時に取り替えないで随時補充する劣化資産」(同 7-9-4) に該当する。

いっぽう、電気事業会計規則¹⁶は「発電に使用するため取得した核燃料（使用済及び再処理中のものを含む。以下同じ。）は、核燃料勘定をもつて整理し」(第 24 条)、「核燃料が燃焼により減損したときは、当該核燃料の燃焼度合に応じて適正に減損価額を算定し、その金額を当該核燃料勘定から減額しなければならない」(第 28 条) と定めている。

要するに、核燃料は固定資産と同様いったんは貸借対照表の資産の部に「核燃料」として計上され、減損分が燃料費として費用化されて損益計算書に組み込まれることになる。

核燃料の場合、確かに、一度に費用を計上するとその期の費用計上が過大となる。使用期間を通じて費用・収益を対応させるという意味では、劣化資産として財務処理するのは一応合理的である。

しかし、この「劣化資産として取り扱う」方式では、実際上、投資の実額が非常に把握しにくくなる。ここに核燃料についても固定資産と同様な現金ベース・アプローチを採用して、投資額を算定する必要性が生ずる。

いっぽう、核燃料には「装荷」中のものと「加工中等」のものがある。

どちらも「総括原価方式」において、「事業報酬」を算出する際のレートベースを構成する。燃料費として「減損額」が計上されるのは、いうまでもなく「装荷」核燃料である。

¹⁵ https://www.nta.go.jp/shiraberu/zeiho-kaishaku/tsutatsu/kihon/hojin/07/07_09.htm を参照。

¹⁶ <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S40/S40F03801000057.html> を参照。

電気事業会計規則では「加工中等」の核燃料にあたるものとして、①「加工中核燃料」、②「半製品核燃料」、③（未装荷の）「完成核燃料」、④「再処理核燃料」⑤「雑口」が上げられている。（電気事業会計規則別表第1）

④の「再処理核燃料」のように現金支出を伴わない核燃料も含まれるが、それを分離することは非常に困難であることから、本研究では現金支出があったと見なすこととした。

3.2.5.3 設備投資等の状況

電力産業各社の「有価証券報告書」には「設備投資等の状況」として、核燃料投資を含め各年度の投資額が掲載されている。これは設備投資の実額と捉えることができる。

しかし、これには以下の問題がある。

①2003年度までは、発電部門や送配電部門など設備種別ごとに投資額が記載されていたが、これは拡張工事に限られ、改良工事は一括して計上されている。

②2004年度以降は、実績値を採用する企業と計画値を採用する企業に分かれている。

このような状況であることから、本研究では「設備投資等の状況」記載の投資額を採用することを断念した。

3.2.5.4 実投資額の算定

以上を踏まえて、本研究では以下の考察のもとで新規投資額を算定することとした。

①固定資産の期末残高は、基本的に次の部分から構成される。

(a)期末残高＝期首残高－（減価償却額＋除却損）＋新規投資額

すなわち、新規投資額を算定するには、

(b)新規投資額＝期末残高－期首残高＋（減価償却額＋除却損）

②本研究では(b)の算式を採用して、新規投資額を算定する。

③ただし、この値がマイナスとなる場合は、固定資産の純減を意味するので、新規投資額をゼロとみなす。

④核燃料も同様に算定し、原子力発電の直接費用に加算する。

3.2.5.5 直接費用及び間接費用への新規投資額の加算

直接費用及び間接費用への新規投資額の加算は、次の手順で行うこととした。

①貸借対照表から次の電気事業固定資産と核燃料を抽出する。

①水力発電設備 ②汽力発電設備 ③原子力発電設備 ④内燃力発電設備

⑤新エネルギー等発電設備 ⑥送電設備 ⑦変電設備 ⑧配電設備 ⑨業務設備

⑩休止設備 ⑪貸付設備 ⑫装荷核燃料 ⑬加工中等核燃料

②発電部門別直接設備（以下）と

①水力発電設備：①水力発電設備

②火力発電設備：②汽力発電設備 ④内燃力発電設備

③原子力発電設備：③原子力発電設備（⑫装荷核燃料 ⑬加工中等核燃料）

④新エネルギー等発電設備：⑤新エネルギー等発電設備

③電気事業共通設備（以下）に分離する。

- ⑥送電設備：⑥送電設備
 - ⑦変電設備：⑦変電設備
 - ⑧配電設備：⑧配電設備
 - ⑨業務設備：⑨業務設備
 - ⑩休止設備：⑩休止設備
 - ⑪貸付設備：⑪貸付設備
- ④直接設備、共通設備および核燃料のそれぞれについて、前節(b)の算式を用いて、それぞれの年度毎の「新規投資額」を算定する。
- ⑤3.2.4.1 で抽出した直接費用および共通費用のうち「減価償却費」が存在する費用から、「減価償却費」と「除却損」を控除する。
- ⑥「直接費用と直接設備」及び「共通費用と共通設備」の対応関係（以下）に留意して、④で求めた新規投資額を⑤で求めた直接費用及び共通費用に加算する。
- ①水力発電費：①水力発電設備
 - ②火力発電費：②汽力発電設備 ④内燃力発電設備
 - ③原子力発電費：③原子力発電設備 （⑫装荷核燃料 ⑬加工中等核燃料）
 - ⑤新エネルギー等発電費：⑤新エネルギー等発電設備
 - ⑥送電費：⑥送電設備
 - ⑦変電費：⑦変電設備
 - ⑧配電費：⑧配電設備
 - ⑨一般管理費：⑨業務設備
 - ⑩休止設備費：⑩休止設備
 - ⑪貸付設備費：⑪貸付設備
- ⑦共通費用については、3.2.4.2 目と同様に、3.2.1 項の④で求めた「発電端分担率」（表 3.2 の④）を乗じて、各発電部門へ配賦する。

以上の推計を通じて、電力産業が所有する図 1.1 に示す実質的富Ⅱ（WealthⅡ）の貨幣価値を把握することになる。

3.3 解析結果

3.3.1 発電部門ごとの発電端から需要端に至る各段階の電力量

3.2.1 の手順を踏んで算定した結果を示すと、表 3.2 「段階別電力量総括表（全社計）」のようになる。

表 3.2 段階別電力量総括表（全社計）（1970 年度～2015 年度）

部門	① 発電 電力量 (TWh)	② 所内 消費 電力量 (TWh)	③ 発電端 電力量 (TWh)	④ 分担率 (%)	⑤ 揚水 純利得 電力量 (TWh)	⑥ 送電端 電力量 (TWh)	⑦ 総合損失 電力量 (TWh)	⑧ 需要 電力量 (TWh)	⑨ 需要端 電力量 (TWh)	⑩ 発電端→ 需要端 変換率 (%)
水力	2,555	-14	2,541	8.1%	-110	2,533	-1,753	29,665	2,388	93.5%
火力	17,865	-797	17,067	54.1%		17,012			16,062	89.9%
原子力	7,127	-345	6,782	21.5%		6,752			6,377	89.5%
新エネルギー等	63	-5	58	0.2%		58			55	86.8%
他社受電	5,079		5,079	16.1%		5,062			4,783	94.2%
計	32,688	-1,161	31,527	100.0%		31,417			29,665	90.8%

出所：電事連（2018）を基に筆者作成

これは、電事連加盟各社の電力供給実績を積み上げたものであり、当然のことながら、個別企業の実績は別途算定してある（以下同じ）。

このように整理して改めて鮮明に認識される要因が、他社受電の存在である。これは基本的に卸電気事業者である電源開発(株)と日本原子力発電(株)から購入する電力を意味する。これらが占めるシェアが業界全体の約 16%に達している。この 2 社が、日本の電力供給において大きな役割を担っていたことが確認できる。

3.3.2 発電部門別の電気事業収益

3.2.2 の手順を踏んで算定した結果を示すと、表 3.3 「電気事業収益総括表（全社計）」のようになる。

表 3.3 電気事業収益総括表（全社計）（1970～2015 年度）

部門	電灯・電力 料金収益 (億円)	需要端 電力量 (TWh)	分担率 (%)	電源別収益 (億円)	加重平均 収益単価 (円/KWh)
水力	5,298,922	2,388	8.1%	415,890	17.9
火力		16,062	54.1%	2,855,453	
原子力		6,377	21.5%	1,165,556	
新エネルギー		55	0.2%	9,713	
他社受電		4,783	16.1%	852,311	
計		29,665	100.0%	5,298,922	

出所：電事連（2018）を基に筆者作成

※ 新エネルギー等発電については、発電実績は1993年度から計上されているのに対して、発電費用および発電設備として資産計上がされたのは2009年度からとなっている。

このため、新エネルギー等発電については、1993年度から2008年度までは、発電端分担率により収益のみが案分されている。経費については一般管理費の研究費もしくは研究開発費において負担し、固定資産については業務設備に計上されていると思われるが、電力各社の有価証券報告書から当該額を分離することはできなかった。

このような経緯から、新エネルギー等発電は、収益・費用算定においては、「参考」扱いとする。

3.3.3 損益計算書ベース・発電部門別収支

3.2.4.1目から3.2.4.3目までの手順で抽出した発電部門別の費用を、3.3.2項で算定した発電部門別の収益と対照させると、表3.4のようになる。

表 3.4 損益計算書ベース・発電部門別電気事業収支総括表（全社）（1970～2015年度）

部門	電気事業 収益 (億円)	費用				収支差額 (億円)
		直接費用 (億円)	共通費用 (億円)	電源開発 促進税 (億円)	計 (億円)	
水力	415,890	146,130	128,954	3,699	278,784	137,106
火力	2,855,453	1,680,265	888,974	12,503	2,581,742	273,711
原子力	1,165,556	524,349	395,718	77,852	997,919	167,637
新エネルギー	9,713	1,643	3,296	9,962	14,901	-5,188
他社受電	852,311	486,745	267,922	0	754,666	97,645
再エネ特措法交付金	24,196	19,380	0	0	19,380	4,816
計	5,323,118	2,858,512	1,684,864	104,016	4,647,391	675,727

出所：電事連（2018）、電力各社「有価証券報告書」を基に筆者作成

3.3.4 損益計算書ベース・費用算定の解析

3.3.4.1 発電部門別利益率

表3.4に示した収支差額（利益）を電気事業収益で除して利益率を求め、これを主要発電部門別に整理すると、表3.5のようになる。

表 3.5 損益計算書ベース・発電部門別利益率（全社）（1970～2015年度）

水力	火力	原子力	他社受電	平均
33.0%	9.6%	14.4%	11.5%	12.7%

出所：表3.4から筆者作成

水力発電は、全面的設備更新の必要性がなく燃料費がかからないため、電力事業者に大きな利益をもたらしている。しかし、新規の大規模なダム建設は環境面と立地に対する地元の同意など条件整備に難点を抱え、電力事業者にとって現実的ではない。このことから発電事業者が、この発電方式で今以上の利益を確保するのは難しいと判断できる。

火力発電は、立地も設備投資も容易に行えるが、その反面燃料費が嵩み、不断の設備更新も要求される。このため、これは電力事業者にとって大きな利潤を期待できない発電方式という解析結果が得られた。

原子力発電は、利益率で見ると、水力発電と火力発電の中間に位置する。算定時点までは発電事業者にとってかなり有利な発電部門であったといえる。

ただし、福島原発事故以降、原子力発電は安全投資を高度に要請されていること、放射性核廃棄物の処理コストを現実に負担する場合などを考え合わせると、これまでの利益率を確保していくことは困難になると判断せざるを得ない。

3.3.4.2 発電部門別の送電端単価、需要端単価の比較

次に表 3.2 に整理してある「送電端」と「需要端」における費用単価を発電部門別に算定し、収益単価と比較してみよう。なお、送電端単価は直接費用を送電端電力量で、需要端単価は費用合計を需要端電力量で除して求めたものである。

表 3.6 損益計算書ベース・発電部門別の送電端単価、需要端単価及び収益単価

(円/kWh)						
	水力発電	火力発電	原子力発電	他社受電	平均	収益単価
送電端単価	5.7	9.4	7.4	9.6	8.7	17.9
需要端単価	11.7	16.0	15.2	15.5	15.4	

出所：表 3.2、表 3.3 及び表 3.4 から筆者作成

損益計算書ベースで算定した送電端単価は、水力 5.7 円/kWh・火力 9.4 円/kWh・原子力 7.4 円/kWh であり、松尾・山口・村上（2013）の算定値（水力 6.2 円/kWh・火力 9.3 円/kWh・原子力 7.0 円/kWh）と同水準である。

この算定結果からも、原子力発電が水力発電を除く他の発電部門に比べて発電事業者にとって有利な発電方式であることがよくわかる。

しかし、送電端単価に共通費用単価を加え、次に発電部門別に仕分けした電源開発促進税単価、水力 0.2 円/kWh、火力 0.1 円/kWh、原子力 1.2 円/kWh を加えると、需要者の負担コストは、水力 11.7 円/kWh・火力 16.0 円/kWh・原子力 15.2 円/kWh と算定された。需要者から見ると原子力発電の優位性はかなり薄れる。

3.3.5 現金支出ベースでの算定結果

3.2.5.5 目の手順で抽出した発電部門別の費用を、3.3.2 項で算定した発電部門別の収益

と対照させると、表 3.7 のようになる。

表 3.7 現金支出ベース・発電部門別電気事業収支総括表（全社）（1970～2015 年度）

部門	電気事業 収益 (億円)	費用				収支差額 (億円)
		直接費用 (億円)	共通費用 (億円)	電源開発 促進税 (億円)	計 (億円)	
水力	415,890	166,657	145,380	3,699	315,737	100,153
火力	2,855,453	1,709,891	963,987	12,503	2,686,382	169,071
原子力	1,165,556	579,498	421,691	77,852	1,079,041	86,515
新エネルギー	9,713	2,326	3,260	9,962	15,548	-5,835
他社受電	852,311	486,745	284,519	0	771,263	81,048
再エネ特措法交付金	24,196	19,380	0	0	19,380	4,816
計	5,323,118	2,964,497	1,818,837	104,016	4,887,350	435,768

出所：電事連（2018）、電力各社「有価証券報告書」を基に筆者作成

次に現金支出ベースでの収益率を求めたところ、次の表 3.8 のようになった。

表 3.8 現金支出ベース・発電部門別利益率（全社）（1970 年度～2015 年度）

水力	火力	原子力	他社受電	平均
24.1%	5.9%	7.4%	9.5%	8.2%

出所：表 3.7 から筆者作成

さらに損益計算書ベースと同じ手法を用いて算定した送電端、需要端のそれぞれの単価は以下の表 3.9 のとおりである。

表 3.9 現金支出ベース・発電部門別の送電端単価、需要端単価及び収益単価

(円/kWh)

	水力発電	火力発電	原子力発電	他社受電	平均	収益単価
送電端単価	6.5	9.6	8.1	9.6	9.0	
需要端単価	13.6	17.4	16.7	16.6	16.8	

出所：表 3.2、表 3.3 及び表 3.7 から筆者作成

3.4 損益計算書ベースと現金支出ベースの算定結果の比較対照

本節では、3.3.4 項及び 3.3.5 項で得られた算定結果を比較対照してみる。

3.4.1 収支総括

損益計算書ベースと現金支出ベースの直接費用を比較すると、

- (a)水力発電 : 14兆6130億円→16兆6657億円
(b)火力発電 : 168兆0265億円→170兆9891億円
(c)原子力発電 : 52兆4349億円→57兆9498億円
となる。

ランニングコストは、どちらの算定においても同一である。したがって、この算定結果を現金支出ベースから見ると、この対照は先行投資（各部門の設備投資および原子力発電部門の核燃料投資）の回収水準を表すと考えられる。

なぜかという点、現金支出の時点での「費用」は単なる支出である。ところが、損益計算書における「費用」は単に支出であるだけでなく、電気料金からの補填が完了しているという点で「回収」済みの費目である。

このように見直すと、実支出と補填済み費用の関係はつぎのようになる。

- (a)水力発電 : 16兆6657億円→14兆6130億円
(b)火力発電 : 170兆9891億円→168兆0265億円
(c)原子力発電 : 57兆9498億円→52兆4349億円

この観点から3部門を対照すると、原子力発電部門における投資回収が、額面上も比率的にも遅れていると評価せざるを得ない。

3.4.2 収益率

次に収益率、すなわち、{収支差額÷事業収益}を両方式で対照してみよう。

損益計算書ベースと現金支出ベースの収益率を比較すると、

- (a)水力発電 : 32.6%→23.7%
(b)火力発電 : 8.9%→5.2%
(c)原子力発電 : 14.4%→7.4%

となる。

収益率で見た場合、現金支出ベースでもなお原子力発電は火力発電より電力事業者にとって有利な発電方式となっている。しかし、利益率自体は損益計算書ベースから半分程度に減っている。ここからも、先行投資の回収遅れが収支差を圧迫している状況が見てとれる。

3.4.3 送電端単価

最後に送電端単価を比較してみよう。

送電端単価では

- (a)水力発電 : 5.7円/kWh→6.5円/kWh
(b)火力発電 : 9.4円/kWh→9.6円/kWh
(c)原子力発電 : 7.4円/kWh→8.1円/kWh

となっている。

送電端単価は、いうまでもなく発電部門単体の発電原価と見てよい。さらに損益計算書ベースより現金支出ベースのほうが実際の発電単価をより正確に表示する。

現金ベースで見ても水力発電が抜群に安価であり、原子力発電は火力発電を上回るコス

トパフォーマンスを一応発揮している。ところが、原子力発電の優位性は、損益計算書ベースで 2.0 円/kWh であったのに、現金支出ベースでは 1.5 円/kWh に縮小している。

この上に、東日本大震災以降の耐震設備補強の負担や稼働率の低下、そして最終的には廃炉費用という損失要因が重なったらどうなるか。

3.5 原子力発電が抱える固有の問題の確認

3.4 節で述べたように、本研究の分析によって、原子力発電では先行投資の回収が、火力発電に比して遅れていることが明らかになった。その理由としては、以下のことが考えられる。

- ①固定資産の減価償却期間が、原子力発電では 40 年、火力発電では 15 年と原子力発電のほうが圧倒的に長い。
 - ②燃料費について、火力発電では燃料費の実額をただちに（速効的に）計上できるのに対し、原発では「減損額」という費目で部分的に（遅効的に）計上するにとどまる。
- この状況は一見、財務処理のタイムスケジュールにおける若干の特異性にすぎないように見える。しかし、これは原発の存在理由を揺るがしかねない重大要因なのである。
- じつは、①と②の財務処理上の費用計上によって原子力発電の年間運転コストが引き下げられ、損益計算書上では〈原子力発電電力が火力発電電力より安価である〉という要件が確保される。翻って、この要件が火力発電に対する原子力発電の優位性～存在理由とされてきた。

ところが、その代償として、電力各社の貸借対照表には、未償却の固定資産および核燃料（資産）が膨大に積み上がる。これらの「巨額資産」が、「不良資産」化を免れるためには、すべての原子力発電所が 40 年間支障なく稼働する必要がある。

後者の核燃料（資産）について電力各社がどの程度の残高を抱えるか、2015 年度末の残高を表 3.10 に確認しておこう。

表 3.10 電力各社の核燃料（資産）残高（2015 年度末）

	(億円)									
	北海道	東北	東京	中部	関西	北陸	中国	四国	九州	合計
装荷核燃料	0	347	1,235	400	748	262	70	0	755	3,819
加工中等核燃料	1,455	1,046	6,597	1,997	4,553	788	1,795	1,415	2,051	21,697
計	1,455	1,393	7,832	2,397	5,301	1,050	1,866	1,415	2,806	25,515

出所：電事連（2018）、電力各社「有価証券報告書」を基に筆者作成

もし電力会社が原子力発電から撤退するとなると未償却の固定資産とこれらの核燃料（資産）がすべて埋没費用となる。先行投資の償却を完遂するためには、運転を継続していくしかない。

このような埋没費用と未償却資産が、電気事業者の経営スタンスを金縛りにしており、原子力発電からの撤退を峻拒させ、「再稼働」に邁進するしかない状況に陥らせているように思われる。

しかし、稼働を続けることにもリスクが伴う。まず「再処理を要する核燃料」（加工中等核燃料の一部を構成する）という名目の使用済み核燃料が際限なく堆積していく。もし核燃料サイクルが未完のままに終われば、これがまるごと途轍もない「不良資産」に転化することになる。しかしそうなったとしても、その実体がプルトニウムである以上、電気事業者としてはこれをコスト度外視で環境から遮断しつつ、またその存在を秘匿しつつ、護持していかなければならない。加えて、実際的に処理不能な放射性核廃棄物もまた莫大に発生し、発電設備総体も稼働履歴の積み上げに応じて汚染度が上がり、最終的には「廃炉」費用を見積もり不能なほどに高騰させることになる。

では、これらのリスクに対して現時点でどの程度の「準備」がなされているのか。

原子力発電に関してバックエンド費用として電力各社に法律が拠出を要請しているのは、①使用済み核燃料再処理等費¹⁷、②特定放射性廃棄物処分費¹⁸、③原子力発電施設解体費¹⁹の3つである。

①使用済み核燃料再処理等費は、電力各社が引当金として貸借対照表の負債の部に計上するとともに、「公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター」へ外部積立し、再処理業者である日本原燃（株）が必要に応じてこの積立を取崩す方式で、管理されることになっている。

②特定放射性廃棄物処分費は、電力各社が発電実績（暦年）に応じて「原子力環境整備機構（NUMO）」に拠出し、NUMOがこれを①と同じく「公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター」へ一旦外部積立し、必要の都度取り戻して、運営経費に充てることとされている。

③原子力発電施設解体費については、電力各社は運転開始から解体が本格化するまでの期間を50年間として、解体費用を定額法で引当てることを要請されている。（中部電力、2013）

③については、電力各社の貸借対照表では、負債の部の「資産除却債務」として計上されている。

また、各社とも「使用済み核燃料再処理準備積立金」を別途積み立ており、これは資産の部で処理されている。

なお、東京電力のみの引当金として「原子力損害賠償引当金」が存在する。

これら電力各社と原子力環境整備促進・資金管理センターに積立てのあるバックエンドコストの準備状況を示すと表3.11のようになっている。

¹⁷ 原子力発電における使用済み核燃料の再処理用等のための積立金の積立て及び管理に関する法律

¹⁸ 特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律

¹⁹ 原子力発電施設解体引当金に関する省令

表 3.11 電力各社と原子力環境整備促進・資金管理センターのバックエンドコスト準備状況（2015 年度末）

(百万円)

	北海道	東北	東京	中部	関西	北陸	中国	四国	九州	資金管理 センター※1	合計
使用済燃料再処理等引当金	49,333	73,362	923,725	194,921	558,266	6,124	54,485	107,111	279,585		2,246,912
使用済燃料再処理等準備引当金	9,205	15,214	73,489	16,662	53,174	6,107	7,761	9,066	30,009		220,687
原子力発電施設解体引当金※2	75,925	116,423	761,653	196,644	418,705	59,153	75,265	100,892	211,447		2,016,107
原子力発電所運転終了関連損失引当金	0	0	0	10,851	0	0	0	0	0		10,851
原子力発電工事償却準備引当金	0	0	6,103	0	0	0	77,555	0	0		83,658
使用済核燃料再処理等積立金	48,678	69,340	894,547	177,673	526,080	5,369	46,057	97,213	270,095		2,135,052
第一種最終処分積立金										989,744	989,744
第二種最終処分積立金										39,824	39,824
合計	183,141	274,339	2,659,517	596,751	1,556,225	76,753	261,123	314,282	791,136	1,029,568	7,742,835

※1公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター

※2資産除去債務の計上分

原子力損害賠償引当金	0	0	837,882	0	0	0	0	0	0		837,882
------------	---	---	---------	---	---	---	---	---	---	--	---------

出所：電力各社「有価証券報告書」及び
原子力環境整備促進・資金管理センター（2015）を基に筆者作成

しかし、この 7 兆 7000 億円を上回る「準備」でも、電事連が、2004 年 1 月に資源エネルギー庁に提出した「原子燃料サイクルのバックエンド事業コスト見積もり」（電事連 2004）、18 兆 8000 億円の半分にも満たない。

河北新報（2018）によれば、再処理の要となる六カ所再処理工場は、建設費だけでも 3 兆 3700 億円、これに運転・保守費、工場の解体・廃棄物処理費など合わせた総事業コストは 13 兆 9300 億円（2018 年 6 月時点）もの巨費が最低限かかるとされている。しかし、「完成」の目処はまったく立っておらず、この先、どれほど費用がかかるか、本当のところ見当もつかない。

さらに核燃料サイクルのもう一つの柱とされた高速増殖炉原型炉「もんじゅ」も、冷却用ナトリウム漏れ事故や炉内中継装置落下事故等のトラブルを引き起こし、ほとんど稼働実績がないまま、ついに 2016 年 12 月 21 日に廃炉が正式決定されている。ここでも運転機関の日本原子力研究開発機構（2018）が自ら明らかにしているように、1980 年度から 2018 年度までの事業費 1 兆 768 億円が用費されている。

仮に、バックエンドコストが電事連の見積もり以内に収まると仮定し、現時点の準備を控除すると、不足は約 11 兆円となる。

これに対して、原子力発電が 2015 年度までに 16 兆 7564 億円の収入超過を稼得して

いる（表 3.4 参照）が、ここから先行投資の未償却分 5 兆 5149 億円（現金ベースと損益計算書ベースの直接費用の差額）をまず引き当てると、11 兆 2415 億円が残る。

つまり、原子力発電の 45 年間の収支はトントンであり、バックエンドコストが増大すると、純損に転落していくことになる。しかも、この費用積算には福島原発事故の事故処理費用や「廃炉」費用、損害賠償は入っていない。東京電力（2018）がその p.132 で見積もる損害賠償費用（除染費用を含む）は、2017 年度末時点で 8 兆 4641 億 77 百万円となっている。

これを加えただけで、原子力発電は国民経済的には「丸損」になるのである。

3.6 結論

本章は、財務諸表をソースデータとして電力産業の発電部門別の収益、費用そして利益を算定し、貨幣価値（金銭ターム）に基づいてその収支構造を解明することを目的とした。

その結果まず明らかになったのは、「水力発電」の営業利益稼得能力の卓越性である。これは、ほとんどの大型ダムで初期投資の回収が完全に完了しており、発電設備の更新も容易に行えるという利点に依っている。日本に大規模ダムの立地適所が枯渇している現状では、電力産業が今の以上の利潤を期待することはできない。さらに、ダムは堆砂による容積減衰を不断に被っており、多くのダムが今世紀中に寿命が尽きるリスクを抱える。

これに対して「火力発電」は他の発電方式に比べて相対的にも絶対的にも利幅が薄く、電力産業にとってあまり魅力的な発電方式といえないことが明らかとなった。これは、資源国への先行的所得移転分を、事後的に需要端から回収することの困難性を示した結果ともいえる。

この二つの発電方式の中間のパフォーマンスを示すのが「原子力発電」である。原子力発電は、損益計算書レベルではかなりの営業利益をもたらしている。ところが、電源開発促進税を支払う末端需要者にとっては、その納付金は実質上原子力発電を支えるための費用負担にほかならず、発電方式として安価だとはもはやいえなくなる。

また、再生可能エネルギーについては、原子力発電に遜色ない開発実績が上がっていても不思議でなかった。電源開発促進税は、3.2.4.3 目にあげたように、原子力発電のみならず再生可能エネルギーを含めて電源開発一般に使われる建前となっている。その税収は、本来ならば、原子力発電と比べて圧倒的に環境負荷が低い再生可能エネルギーの開発、普及にも十分に活用されてしかるべきであった。そして、そういう対応が取られていれば、今日のように電源開発促進税の負担と平行して「固定価格買取賦課金」を課されるという（最終需要者にとってみれば二重の負担になるような）状況は避けることはできたのではないか。その段階に到達しえなかったのは、この法律による助成が原子力発電を過度に偏重していたからに他ならない。

さらに、電力各社は、既存の設備と人員配置を抱えて電力小売り完全規制緩和を迎えた。つまり、先行投資の減価償却をしながら、規制緩和環境における新規の設備投資に備える必要がある。このため減価償却負担を負っていない新規参入企業に対して不利な状況となる。そのうえ、先行投資が見込んだ需要を、新規参入企業に奪われるとなると、その

先行投資の回収は難しくなる。

本研究では、損益計算書ベース・現金支出ベースという二段階の分析により、原子力発電部門では「先行投資の回収が制度的に遷延されている」状況が明らかになった。原子力発電部門こそ、まさにこの二重の不利を抱え込んでいるのである。

これに加えて、バックエンドコストの引当準備が甚だしく不足している現状を考え合わせると、これら費用計上の齟齬は設備寿命の末期に電力企業を一挙に追い込むことになるであろう。

電力産業はこの発電方式に固執すればするほど、自縄自縛の袋小路に陥る公算が高い。

以上の諸点が本研究の主要な結論である。とくに、本研究で用いた縦深的アプローチにおいて、損益計算書ベースの分析ステージで認識可能なことと、現金支出ベースの分析ステージにおいてはじめて認識可能になることのあいだに構造的な差異があることを確認していただきたい。

第4章 エネルギー量的価値に基づく発電部門別エネルギー収支

4.1 目的

本研究は、第1章において、現実の経済過程には、内在する二つの様相が装備されているとの認識を示した。

(A)財の交換プロセスを構成する仮想的富（貨幣システム）の側面、
(B)社会における全てのエネルギーと物質の変換を構成する実質的富の側面（ソディによれば、この側面はさらに実質的富Ⅰ・実質的富Ⅱにさらに細分される。）

本研究においては、(A)と(B)を同時に取り扱うことができる、経済-資源・エネルギー問題に対する二元的または二重焦点（これを両建てとよぶ）アプローチを採用することが不可欠であると提起した。

ここで、特に強調しておきたいのは、(B)の側面で問題を取り扱うためには、熱物理学タームにおける評価というコンセプト（あるいはエントロピー論的価値のコンセプト）の導入を図る必要があるということである。

そこで提唱したのが「エネルギー量的価値」というもう一つの価値概念の導入である。その意味するところを電力産業に基づき説明し、「ある財または経済行為の価値を、投入（＝消費）された1次エネルギー量に対応させて評価したもの」と位置づけた。

本章においては、この概念を適用した具体的な評価を示すため、水力・火力・原子力という発電部門別の「エネルギー収支」＝エネルギーレベルでの「投入・産出効率」の推計を行う。

これを行うことによって第3章で求めた電力産業の実質的富Ⅰ（WealthⅠ）と実質的富Ⅱ（WealthⅡ）の貨幣価値がエネルギー量的に置き直され、第1章の図1.1が電力産業において描けることになる。

4.2 方法

本章の目的を達するために、まず発電部門別に投入された1次エネルギーを推計する必要がある。

次に、貨幣価値で示された電力産業の営業活動を、「エネルギー量的価値」に置き直すためには、換算係数を設定しなければならない。

そのうえで、三番目の課題として、各発電部門と配電、送電、一般管理など共通部門に区分して、それぞれが費消したエネルギー量的価値を推計する必要がある。

これらの段階を経て発電部門別に投入されたエネルギー量的価値を推計し、これと発電部門別の需要電力量と対比させれば、エネルギー量的価値による「エネルギー収支」＝「投入・産出効率」を近似的ながら解明することが可能となる。

4.2.1 発電部門別1次エネルギー投入量の推計

日本における代表的なエネルギー統計である「エネルギー・経済統計要覧」における電力部門への1次エネルギー投入は、地熱、火力、原子力については、火力の発電効率41.46%を用いて一律に推計されている。これに対して、国際エネルギー機関（IEA）においては、

原子力 33%、水力他 100%、地熱 10%と計算されている。(日本エネルギー経済研究所 2017 解説)

この違いは、発電方式別の 1 次エネルギー投入推計の精密さに影響を与える。

このため、本研究は、原則として IEA 方式を採用し、火力発電については、電力各社、電事連が各年度の発電時熱効率の実績値を公表しているため、これによることとする。

なお、国際的にはエネルギー量は J (ジュール) もしくは TOE (Ton Oil Equivalent: 石油換算トン) で表示することが標準となっていることから、本研究においても、以下において、評価単位として「原油 1 トンを燃焼させたとき得られるエネルギー」である TOE を採用する。

4.2.2 エネルギー量的価値への換算係数

1970 年~2015 年までの電灯・電力料金収益は第 3 章の表 3.3 に示したように、529 兆 8922 億円である。この集計に利用した年度毎の料金収益と前項で算出した 1 次エネルギー投入量 (TOE ベース) から、[金額 (貨幣価値) →エネルギー量的価値 (ECV)]、[ECV →金額 (貨幣価値)] の「換算係数」を求める。

4.2.3 発電部門に投入されたエネルギー量的価値の推計手法

需要電力 (エクセルギー) は、1 次エネルギーという「原料」を、発電「設備」を「運転」して電力を取り出し、需要者に届けられる。このため、投入量を推計するためには、「設備」コストと「運転」コストに分離して、それぞれのコストを推計する必要がある。

① 設備コストは、実際に発電に使われた設備の設置に要した費用ということとなるが、これを正確に求めることは不可能である。このため、本研究においては、発電部門別に、年度当初と年度末の固定資産残高から平均残高を推計し、これを設備費用として取扱う。そのうえで、これに設備利用率を乗じて、年間の設備コストを推計する。設備利用率は、3.2 で推計した発電部門別の発電量を、(定格設備容量×24h×年度日数[365 日又は 366 日]) で除して求める。

※設備コスト = 平均固定資産残高 × 設備利用率

設備利用率 = 発電電力量 ÷ (定格設備容量 × 24h × 年度日数[365 日又は 366 日])

② 運転コストに関しては、まず原料である 1 次エネルギー相当分を 3.2.4.1 目で整理した「直接費用」から分離しなければならない。水力、新エネルギーについては、本来このコストはかからない。火力発電については、「燃料費」がこれに相当する。原子力発電については、3.2.5.4 目において「減損額」及び「濃縮関連費」を燃料費として扱っているので、これを控除する。

また「減価償却費」と「除却損」は、実際に支出される費用ではなく、先行投資の回収分と残存価値の喪失分にあたるため、これも直接費用から控除する。

※運転コスト = 直接費用 - (燃料費 + 減価償却費 + 除却損)

③ ②、③を 4.3.2 項で算出したエネルギー量的価値への換算係数を乗じて、それぞれのエネルギー量的価値を推計する。

4.2.4 共通部門に投入されたエネルギー量的価値の推計手法

送電、変電、配電および業務という共通部門においても、発電部門同様、設備コストと運転コストに分離して推計する必要がある。

- ①設備コストについても、発電部門と同様に平均固定資産残高を基準に推計する。ただし、発電部門のように「利用率」を一義的推計できない。安田（2018）では送電線の実際の設備利用率が求められているが、過去の実績にこれを反映させるのは論理的でない。そこで本研究では、電事連の電力統計の燃料実績には送電における熱効率が年度別に推計されていることから、これを設備稼働係数として採用し、設備コストを推計する。

※設備コスト＝共通費用の各費目の平均固定資産残高×設備稼働係数

- ②運転コストに関しては、発電部門と違って「燃料費」控除は必要がない。このため、3.5.1項で求めた共通費用の各費目別に、費用から「減価償却費」と「除却損」を控除し、これを合計して求める。

※運転コスト＝（共通費用の各費目）－（減価償却費+除却損）の合計

- ③①+②を 4.2.2 項で算出したエネルギー量的への価値換算係数を乗じて、共通部門のエネルギー量的価値を推計する。

- ④③を 3.2.1 項の④で求めた「発電端分担率」に基づいて、発電部門に配賦する。

4.3 分析結果

4.3.1 発電部門別 1 次エネルギー投入量

1TOE に相当する電力量は 11.62 MWh なので、MWh→TOE の換算率は 0.086 となる。
（日本エネルギー経済研究所 2017 エネルギー換算表）

これと 4.2.1 項の熱効률을組み合わせると表 4.1 の変換係数が求められる。

表 4.1 MWh から TOE への変換係数

部門	熱効率	MWh→TOE	変換係数
需要	100%	0.086	0.086
水力	100%		0.086
火力	40%		0.215
原子力	33%		0.258
新エネルギー等	100%		0.086
火力は、年度の実績値を採用			

出所：エネルギー換算表を基に筆者作成

1970 年～2015 年までの発電方式別（他社受電を含む）の累積発電量は、第 3 章の表 3.2 の「①発電電力量」として示しているが、この集計に利用した年度毎の発電量に、表 4.1 の換算率を乗じて求めたものの累計は、表 4.2 のとおりとなる。

表 4.2 1次エネルギー投入量の推計

10社計（1970年度～2015年度累計）			
	発電・受電電力量	変換係数	一次エネルギー投入量
水力	2,554,721,656 MWh	0.086	219,706,062 TOE
火力	17,864,656,943 MWh	0.215	3,846,115,267 TOE
原子力	7,126,688,164 MWh	0.258	1,838,685,546 TOE
新エネルギー等	63,092,125 MWh	0.086	5,425,923 TOE
他社受電	5,078,856,611 MWh	0.086	436,781,669 TOE
合計	32,688,015,499 MWh		6,346,714,467 TOE

出所：表 3.1 及び表 4.1 から筆者作成

4.3.2 エネルギー量的価値への換算係数

4.2.2 項で示した方法で求めた換算係数は、表 4.3 のようになる。

表 4.3 金額⇔エネルギー量的価値換算係数

10社計（1970年度～2015年度累計・加重平均）			
項目		単位	数値
電気事業料金収益		百万円	529,892,237
1次エネルギー投入量		TOE	6,346,714,467
換算係数	金額→ECV	百万円/TOE	0.083
	ECV→金額	TOE/百万円	11.977

出所：表 3.3 及び表 4.2 から筆者作成

4.3.3 設備利用率

4.2.3 項の算定式によって推計した、1970～2015 年度までの設備利用率（加重平均）は表 4.4 のとおりである。

表 4.4 設備利用率

10社計（1970-2015年度加重平均）	
部門	設備利用率
水力	25.60%
火力	46.67%
原子力	61.02%
新エネルギー等	52.15%
全部門平均	45.61%

出所：電事連（2018）を基に筆者作成

これと比較するために、3.1 節で取り上げた「均等化発電原価（LCOE）」を求める場合に OECD（2015）と電事連（2013）それぞれが想定する設備利用率を表 4.5 に示す。

表 4.5 均等化発電原価（LCOE）の算定上想定する設備利用率

	大規模水力	石炭火力	LNG火力	石油火力	原子力
OECD	45%	85%	85%	N.A	85%
電事連	N.A	80%	80%	50%	70%
	風力（陸上）	風力（洋上）	地熱	太陽光（住宅）	太陽光（大規模）
OECD	20%	N.A	N.A	12%	14%
電事連	20%	30%	80%	12%	N.A
	小水力	バイオマス			
OECD	N.A	N.A			
電事連	60%	80%			

出所：OECD（2015）、電事連（2013）を基に筆者作成

水力発電、火力発電、原子力発電とも、現実の発電過程では、LCOE で想定する設備利用率に達していない。新エネルギー等発電については、高い利用率となっているが、これについては、3.3.2 項に上げたように、発電実績と発電費用および資産計上の計上時期が大きく異なっていることが反映されおり、ここでも「参考」値とする。

原子力発電は、2011 年 3 月の福島事故以降、極端に利用率を下げているが、それでも一番高い利用率となっている。出力調整が容易でないため、昼夜の需要変動に関係なく一定の電力提供するベースロード電源としてこれまで活用されてきたことが表れている。

これに対して火力発電は容易に出力を変動させられることから、もっぱら需給調整局面で用いられ、水力発電は原則的にバックアップ電源として用いられてきたことが、この利用率に反映されていると考えられる。

4.3.4 エネルギー量的価値による発電部門別投入・産出効率の推計結果

4.2.3 項と 4.2.4 項の手法を使って算出した発電部門別にエネルギー量的価値に換算した投入量と、表 3.2 に集計した需要端電力量を TOE に変換した産出量を対比させた、「投入・産出効率」は表 4.4 のようになる。

表 4.6 エネルギー量的価値による発電部門投入・産出効率とエネルギー変換効率

10社計（1970-2015年度累計）						
部門	単位	① 1次エネルギー投入量	② 発電設備	③ 運転	④ 送電・配電・業務	⑤（②+③+④） 投入計
水力	TOE	219,706,062	1,845,436	808,278	2,235,935	4,889,649
火力	TOE	3,846,115,267	5,600,622	2,739,496	15,838,365	24,178,483
原子力	TOE	1,838,685,546	5,642,240	2,263,303	6,787,520	14,693,063
新エネルギー等	TOE	5,425,923	17,859	6,175	58,721	82,755

部門	単位	⑥ 需要端供給量	⑦（⑥/⑤） 投入・産出効率（倍）	⑧（⑥/①） エネルギー変換効率（%）
水力	TOE	205,342,367	42.00	93.5%
火力	TOE	1,381,364,587	57.13	35.9%
原子力	TOE	548,450,873	37.33	29.8%
新エネルギー等	TOE	4,710,252	56.92	86.8%

出所：筆者作成

発電部門別の投入・産出効率は、57.13 倍の火力発電がいちばん優位となっている。

これに対して原子力発電は、37.33 倍と火力発電の 65%の投入・産出効率しか得られていない。

これは、原子力発電は発電設備を利用するために投じられた費用のエネルギー量的価値が火力発電を上回る規模であるにもかかわらず、需要端供給量は火力発電の約 4 割に止まっていることが大きな要因と考えられる。

なお、新エネルギー等発電については、3.3.2 項の「発電部門別の電気事業収益」のところで注釈したように、発電実績と発電費用及び発電設備の計上時期が乖離しており、それがエネルギー量的価値への換算にも反映されるため、ここにおいても「参考」扱いとする。

4.3.5 設備投資額・設備投資の利用に要したエネルギー量的価値・発電電力量・設備利用率・エネルギー量的価値レベルでの投入・産出効率の比較

4.3.4 項の分析結果をより明確に見るために、3.2.5.5 目で抽出した新規設備投資額に、発電設備を利用するために投じられたエネルギー量的価値、発電量、設備利用率そしてエネルギー量的価値レベルでの投入・産出効率を比較対照させてみよう。(表 4.7)

表 4.7 設備投資額・設備投資の利用に要した ECV・発電電力量・設備利用率・ECV レベルでの投入・産出効率の比較

項目	設備投資額	設備に要したECV	発電電力量	設備利用率	投入・産出効率
水力	7,535,723百万円	1,845,436TOE	2,554,721,656MWh	25.60%	42.00倍
火力	23,287,954百万円	5,600,622TOE	17,864,656,943MWh	46.67%	57.13倍
原子力	26,294,214百万円	5,642,240TOE	7,126,688,164MWh	61.02%	37.33倍
新エネルギー等	105,350百万円	17,859TOE	63,092,125MWh	52.15%	56.92倍

出所：表 3.7 の基礎データ、表 4.2、表 4.6 から筆者作成

原子力発電は重厚な装備を必要とするため、初期投資が大きく膨らむ。そしてそれ故、設備投資に要するエネルギー量的価値も必然的に大きくなる。このため、営業成績を確保するには、設備利用率を高く保つことが至上命題となる。しかし、日本の原子力発電の設備利用率は事故や故障などもあって 6 割程度に終始した。それが発電電力量に作用して、結果としてエネルギー量的価値 (ECV) レベルの投入・産出効率が高められなかったと整理できる。

4.4 発電部門別の投入・産出効率の推移

投入・産出効率の年次推移を見ると、第1次オイルショック（1973年）、第2次オイルショック（1979年）に見舞われた翌年に、火力発電も水力発電も原子力発電も投入・産出効率を大幅に下落させている。（図4.1）

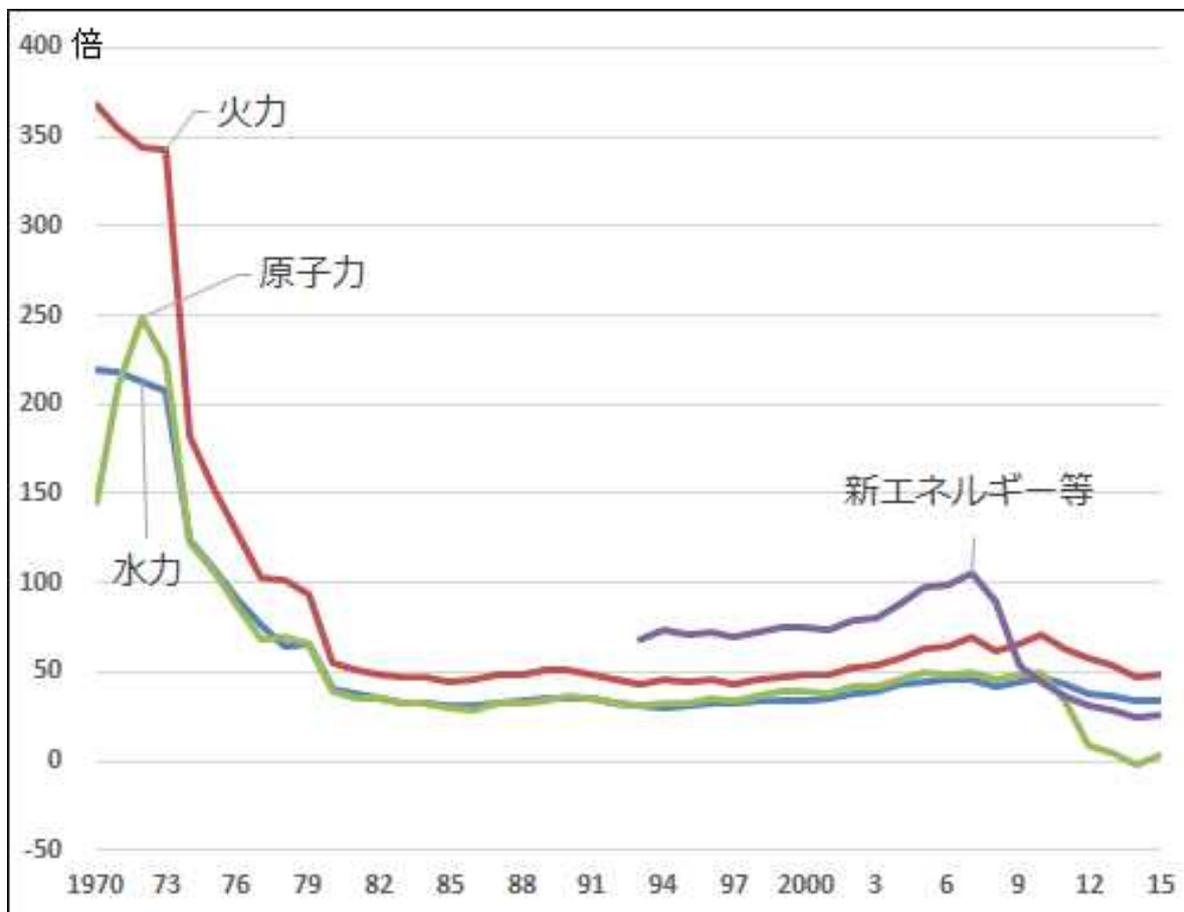


図4.1 発電部門別の投入・産出効率の推移

出所：表4.6の年度データから筆者作成

火力、水力、原子力の3部門に共通する投入・産出効率の低下は、オイルショックがもたらしたコストプッシュインフレにより、燃料費のみならず人件費を含む全ての生産コストが上昇し、エネルギー量的価値（ECV）に換算した投入量にそれが反映されたということである。要するに、火力発電も水力発電も原子力発電も設備、運転に要するコスト構造は大差が無く、しかもそのコストは営業費用の大きな部分を占めているということになる。（逆にいえば、燃料費の占める割合は相対的に小さいということである。）

電事連（2013）は、原子力発電の採用理由として、「化石燃料による発電と比べて発電コストに占める燃料費の割合が小さいため、燃料価格の変動による影響を受けにくいという特長がある」ことを上げている。

しかし、原子力発電も水力発電、火力発電と同様のコスト構造に拘束されているため、火力発電に対する優位性、代替能力をそもそも持たず、今後においてもこの構造から脱せ

ない限り、持ちえないといえる。

4.5 貨幣価値ベースでの収支推計との比較・対照

まず、発電部門別に収支差額（利益）に対する発電部門別の「生産性」を推計してみる。
（表 4.8）

表 4.8 発電部門別の対収支差額（利益）生産性

部門	収支差額		発電電力量	生産性	
	損益計算書ベース	現金支出ベース		損益計算書ベース	現金支出ベース
水力	137,106 億円	100,153 億円	2,554,721,656 MWh	537 円/MWh	392 円/MWh
火力	273,711 億円	169,071 億円	17,864,656,943 MWh	153 円/MWh	95 円/MWh
原子力	167,637 億円	86,515 億円	7,126,688,164 MWh	235 円/MWh	121 円/MWh
新エネルギー等	-5,188 億円	-5,835 億円	63,092,125 MWh	-822 円/MWh	-925 円/MWh

出所：表 3.2 の基礎データ、表 3.4、表 3.7 から筆者作成

表 3.5「損益計算書ベース・発電部門別利益率」及び表 3.8「現金支出ベース・発電部門別利益率」にも表れていたが、水力発電が好成績を収めており、原子力発電が火力発電に優位を保っていたことが、ここでも確認できる。

しかし、エネルギー量的価値（ECV）ベースまで含めて投入・産出効率を比較すると、火力発電の効率性の良さが一気に浮上してくる。（表 4.9）

表 4.9 投入・産出効率の金額ベース、エネルギー量的価値（ECV）ベースの比較

部門	収益	費用		投入・産出効率（金額）		投入・産出効率（ECV）
		損益計算書ベース	現金支出ベース	損益計算書ベース	現金支出ベース	
水力	415,890 億円	278,784 億円	315,737 億円	1.49 倍	1.32 倍	42.00 倍
火力	2,855,453 億円	2,581,742 億円	2,686,382 億円	1.11 倍	1.06 倍	57.13 倍
原子力	1,165,556 億円	997,919 億円	1,079,048 億円	1.17 倍	1.08 倍	37.33 倍
新エネルギー等	9,713 億円	14,901 億円	15,548 億円	0.65 倍	0.62 倍	56.92 倍

出所：表 3.4、表 3.7、表 4.6 から筆者作成

水力発電は、金額ベースでは高い投入・産出効率を上げているが、設備利用率の低さが反映されて ECV ベースでの投入・産出効率は低水準に止まっていると考えられる。

火力発電と原子力発電は、金額ベースではほぼ同等の効率性となっているが、ECV ベースでは火力発電が圧倒的に優位となっている。その理由は、4.3.5 項で述べたように原子力発電は大きな先行投資に見合うだけの発電量を確保できなかったため、と分析できる。

なお、新エネルギー等発電部門は、設備投資の回収が進んでいないために金額ベースでは 1 を割り込み赤字となっている。

4.6 結論

電力産業は電気エネルギーというエクセルギー（有効エネルギー）そのものを「商品」として取り扱う特異的な産業である。実際、電力産業では、製品たる電力量も、電力「生産」に要するエネルギー投入も直接に“kWh”（=3600 和ジュール）というエクセルギー形態（の量）で表示される。

この特性に着目すると、電力産業の事業活動を、(A) 貨幣価値レベル（財務会計上の記述）での取り扱いと (B) 熱力学的価値（エネルギー）レベルでの取り扱い、という複眼的な視角から分析することができる。

こうした特性を生かして第 3 章の 3.3.1 項において発電部門ごとに発電端から需要端に至る各段階の電力量を算定したが、第 3 章においては、その算定結果を、〈収益と共通費用を各発電部門に配賦するためのパラメータ〉として付随的に利用したにとどまる。

ところが、この算定に加えて、発電時に投入するエネルギー資源量（primary energy）を計上すれば、それが「商品としての電力量」（=エクセルギー形態にあるエネルギー量）に転換されるまでのエネルギー収支総体（全過程）を捉えることができる。

本章では、この課題解決に取り組んだ。

まず、発電部門別に発電電力量を基に 1 次エネルギー投入量を求め、表 4.2 にその推計結果を示した。

次いで、これを第 3 章の 3.3.5 項の「現金支出ベースでの算定結果」に投影する具体的な手法を開発して、発電部門別の発電設備、運転コスト、配送電に要する設備及び運転コストを金銭価値からエネルギー量的価値に換算した。

そして、この推計結果と発電部門別の需要電力量と対比させることで、エネルギー量的価値による「エネルギー収支」＝「投入・産出効率」を推計することを可能とした。

さらに、この段階において可能となった熱力学的価値（エネルギー）ベースの収支算定と、第 3 章で行った貨幣価値ベースの収支算定を比較・対照し、その構造的対応性を探った。

その結果、「損益計算書ベース」「現金支出ベース」の収支推計では、水力発電が好成績を収めており、原子力発電が火力発電に対して優位を保っていたが、エネルギー量的価値（ECV）ベースまで含めて投入・産出効率を比較すると、火力発電の効率の良さが一気に浮上してくる、という知見が得られた。

また、以上を投入・産出効率に組み替えて比較すると、水力発電は、金額ベースでは高い投資効率と上げているが、設備利用率の低さが反映されて ECV ベースでの投入・産出効率は低水準に止まっており、火力発電と原子力発電は、金額ベースではほぼ同等の投資効率となっているが、ECV ベースでは火力発電が圧倒的に優位となっている、という知見が得られた。

第5章 エネルギー量的価値の理論

5.1 目的

第3章においては、電力産業の損益計算書の営業収支から出発して、設備投資を含めた現金支出を求め、これと営業収入を比較して現金支出レベルの収支を推計した。さらに第4章で、この推計結果に、発電に要した1次エネルギー量を推計のうえ、これを投影させて発電過程・送配電過程におけるエネルギー量的価値を求め、これと需要電力量を対比して、エネルギーベースでの投入・産出効率を発電方式別に求めた。

本章においては、このアプローチを国民経済レベルに導入する方法を具体的に展開する。

5.2 1次エネルギー供給（PES）と全産業産出（TIO）

エネルギー資源も原料資源も、当然のことながら最初から「価格」が付いているわけではない。価格が付くのは、図1.2に示した産出過程を通して「生活エネルギー」もしくは「実質的富Ⅱ」に変換されて「商品」として取引される時点である。

ここで価格の構成要素となるのは、この産出過程に投入される労働力と資本装備を賄うのに要する費用である。企業家はこれに利潤を乗せて価格を算定し商品を市場に送り出す。もちろん市場経済の下では、価格は需要者の支持がなければ成立しない。従って、市場経済で一般的に流通している商品価格には産出過程で費やされた費用（と利潤）が反映されていると考えてよい。

われわれは既に商品価格を産業別に集計した年次マクロデータを持っている。産業連関表データがそれである。そこでは、中間投入（＝中間消費）、雇用者所得、営業余剰、資本減耗、最終消費、資本形成そして輸出、輸入などが縦横のマトリクス形式で推計されている。

産業連関表では、タテ方向の計数の並びを「列」という。各列では、その部門の財・サービスの生産に当たって用いられた原材料、燃料、労働力などへの支払の内訳（費用構成）が示されており、産業連関表では、これを「投入」（input）という。

一方、ヨコ方向の計数の並びを「行」という。各行では、その部門で生産された財・サービスの販売先の内訳（販路構成）が示されており、産業連関表では、これを「産出」（output）という。（総務省・産業連関表の仕組み）

「列」に示された「雇用者所得」、「営業余剰」、「固定資本減耗」、そして「間接税マイナス補助金」の合計である「付加価値部門合計」は、「国民総所得（＝分配面のGDP）」に一致する。

「行」に示された「消費支出」、「国内総資本形成」、「在庫品増加」そして「純輸出」を合計した「最終需要合計」から「輸入」を引いた合計が、「国内総支出（＝支出面のGDP）」に一致する。

このように見ると、GDPが経済活動の全てを表すものではないことが、改めて確認される。つまり、GDPに中間投入（中間産出）を加えなければ、国内の経済活動の総額は算出できない。

中間産出に最終需要合計を加えたものを産業連関表は「需要合計（Demand total）」と

呼んでいるが、本研究では生産面に着目して、全産業産出 (Total Industrial Output) と
いうことにする。

他方、この産出過程は、1次エネルギー供給 (Primarily Energy Supply) (=消費) に
重なる。ここで、そのことを提起したい。(図 5.1)

PES は通常、「エネルギーバランス表」形式で表示される。PES に関しては、長期か
つ正確な年次データの蓄積もあり、これを自由に利用できるほか、トレンド予測にも使え
る。さらに年次の PES フローを表すエネルギーバランス表から、有効エネルギーとして
活用されたエネルギーと無効エネルギーとして廃棄された量が算定できる。

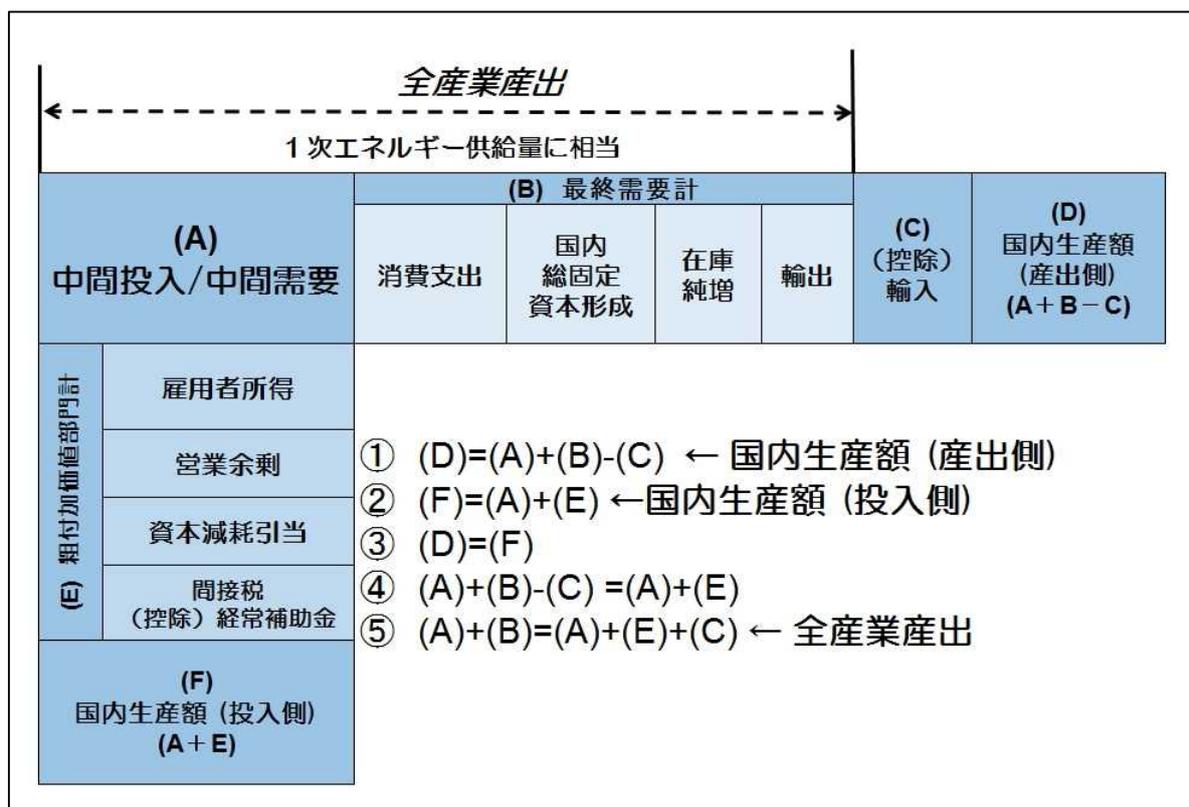


図 5.1 産業連関表の概念と1次エネルギー供給の関係

出所：筆者作成

産業連関表は「経済波及効果」の測定などに積極的に用いられている。

エネルギー経済学や環境経済学においては、エネルギー・コストを評価する方法とし
て産業連関表の利用が考案された。ここでいうエネルギー・コストとは、例えば自動車運
行に要する燃料代といった貨幣的な費用ではなく、一定の仕事や出力を得るために必要な
物理的なエネルギー量を意味する。1.1.4 項で取り上げた EROI (エネルギー投資効率)
を測るときの投入 (Investment) 側の物理量と同じ趣旨と考えて良い。

Chapman (1974) は、その方法が開発された初期段階で、工業統計表その他の統計表
による積上げ方式とプロセス分析に並んで、産業連関表を活用したエネルギー・コストの
推計方法を紹介している。これを解説した室田 (1979) によると「産業連関表に示され

る逆行列投入計数表を参照し、そのうちエネルギー部門にあたる部分を解析することによって、各産業の生産物の貨幣価値一単位あたりのエネルギー・コストをキロワット時（あるいはキロカロリーなど）の尺度で算定することができる。また、必要に応じて、このデータを生産物の数量一単位あたりのエネルギー・コストの値へと変換することもできる」ようになる。

この方法の最大の利点は、一定の値を入力すれば、機械的に推計結果が得られることにある。このように汎用性が高いため、以後、多数の研究者がこの方法を産業別エネルギー消費量や炭酸ガス排出量などの推計に活用し、また、推計方法の洗練化にも取り組んでいる。

近年の研究から一例を上げると、Rocco (2016) は、エクセルギーが化石燃料の特性評価に最も適した熱力学的測定基準であると位置づけ、商品およびサービスの 1 次エクセルギーコストを評価するためのツールとして、通常（通貨価値ベース）の産業連関表を用いる包括的な方法論を提案している。

日本では、国立環境研究所地球環境研究センター(CGER)が「産業連関表による環境負荷原単位データブック”Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input/output Tables (3EID)”」を作成、公表している。(国立環境研究所地球環境研究センター, 3EID)

また、日本エネルギー経済研究所(2005)は、内閣府が国民経済計算の付表として作成する SNA 産業連関表の金額ベースの投入比率を原則として利用して、これとエネルギーバランス表から得たエネルギー源毎の国内需要計（＝転換部門での投入計＋最終需要計）と組み合わせて「経済、産業、エネルギー・環境の分析に資する産業部門別エネルギー投入表の推計」を行っている。

これらの推計が求めているのは、エネルギーや炭酸ガスなどの「実量」である。投入された有効エネルギーやエントロピーとなって拡散した物質の物理量を推計するのであれば、十二分に活用できる。

ただし、エネルギー・コスト論的アプローチは基本的に経済活動を構成する成分としてのエネルギー量を把握しようというものである。これに対して、本研究は、経済活動全体にエネルギー量的な価値評価を与えようとしている。ソディの提起した「経済過程を物理次元（エネルギー・フロー）と制度次元（貨幣・フロー）という二つの次元で複眼的に捉え直す」必要性和、その実現可能性の立証という目的を達するためには、エネルギー・コスト論的アプローチとは別の手法を確立する必要がある。

また、これまでは、社会資本や生産設備、耐久消費財（ソディの Real Wealth II）の生産に投入されたエネルギーも同列に扱われていた。たしかに、このエネルギーは完全に消滅しているが、本研究ではそれがこれら生産物に「体化」されているとするのが至当であると考えられる。これは既に示したとおりである。

特定の商品ないしは企業活動へのエネルギー投入量は、ライフサイクルアセスメントで使われるインベントリ分析によって、把握可能である。とはいえ、一連の社会資本のような膨大な物量となると、ライフサイクル的な分析は極めて困難となる。知る限り、これまで取り組まれていない。

そこで、よりマクロな視点から、産業連関表から得られる全産業産出（TIO）と、1次エネルギー供給（PES）の関係に着目して、以下のような理論的整理を試みる。

PESは一年間に経済過程で商品生産のために消費された総価値をエネルギータームで表す。一方、TIOは1年間に経済過程で産出された商品の総価値を金銭タームで表す。

以上のことから、この〈全産業産出（TIO）と1次エネルギー供給（PES）〉という二つのマクロ統計は同一の経済過程の二つのアスペクトである。すなわち、1次エネルギー供給（PES）は、経済活動総体をエネルギーの観点からとらえる。全産業産出（TIO）は同じプロセスを通貨評価で表す。

両者を明示的に照合することによって、オルタナティブな「評価・分析フレーム」を立てる可能性が開けてくる。

5.3 「エネルギー量的価値」による評価・分析フレーム

「全産業産出（TIO）」＝「貨幣価値で表示された経済過程」（A）と「一次エネルギー供給（PES）」＝「（A）を実効的にサポートするエネルギー量」（B）は、お互いに密接に対応している。

そこで、TIO（A）の構成要素をPES（B）に投影することによって、経済活動の総体を「エネルギー量的価値」で評価する、という評価・分析フレームを提案したい。

この評価・分析フレームは、次の原理と仮定から成り立つ。

①原理：全産業産出（TIO）と1次エネルギー供給（PES）の全体的対応

いかなる産業産出（IO）も相応のエネルギー供給（ES）を必要とし、いかなるESも相応のIOをもたらす。したがって、たとえ個々の対応性が一様でなくても、総和は必ず対応する。

②仮定：全産業産出（TIO）と1次エネルギー供給（PES）の構成要素ごとの対応

上記の場合とは異なり、この場合、自動対応は必ずしも保証されない。

そこで、TIO因子（コンポーネント）ごとに

$$\text{「エネルギー含有量」} = \text{PES} \times \text{TIO 因子} (= \text{IO 値}) / \text{TIO}$$

があると仮定する。

これを「詳細な対応の原理」と呼ぶことにする。

こうして求められた個別ES項はエネルギーの次元（TOEやkWhなど）をもつ物理量であり、同時に、対応するIOを正確に表す価値量である。これを当該ESのエネルギー量的価値（ECV）とする。

③定義：すなわち、エネルギー量的価値（ECV）とは、「原理①と仮定②から導かれた、経済活動（価値量）のエネルギー次元における表示」である。

以上を図示すると、図5.2のようになる。

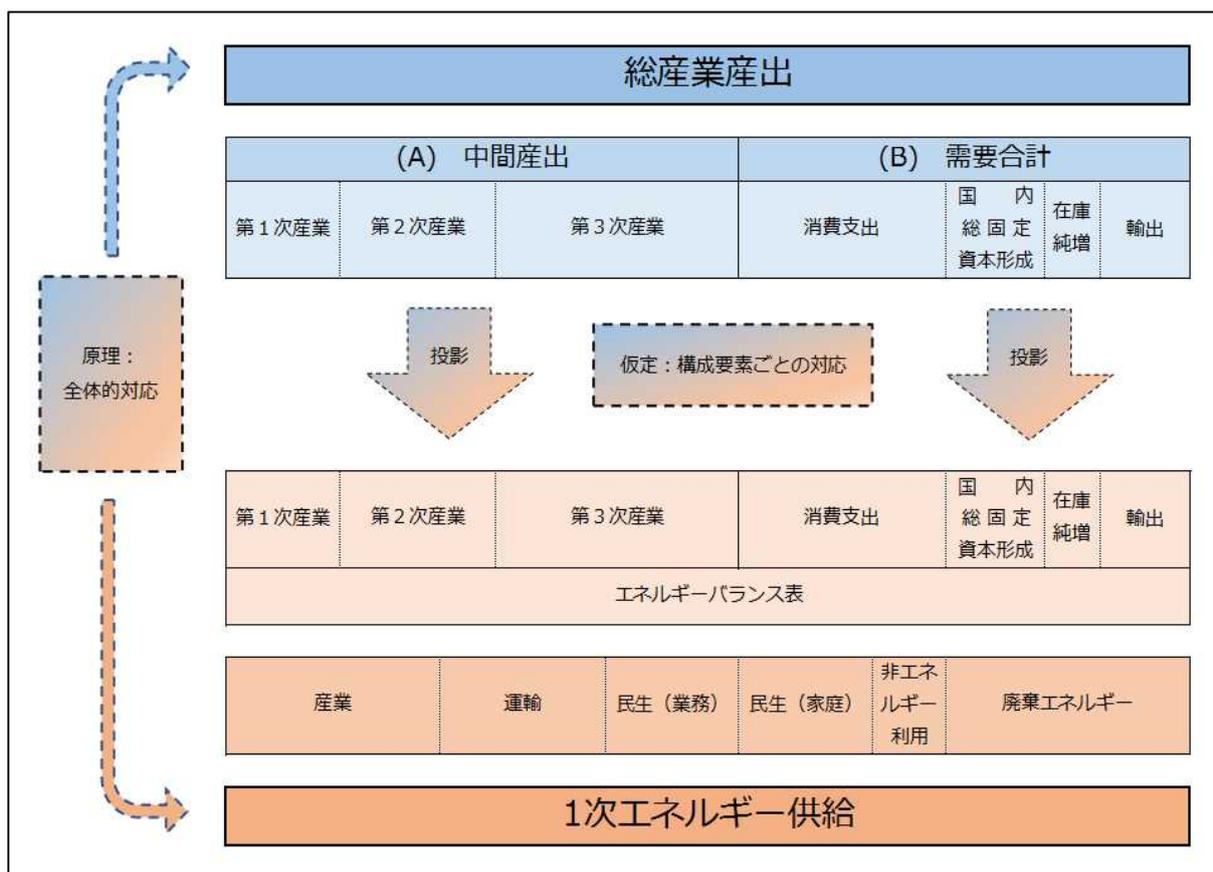


図 5.2 エネルギー量的価値による評価・分析フレーム

出所：筆者作成

ここで規定された値は、貨幣価値ベースで表示された全産業産出額を、1次エネルギー供給に「投影」したものである。この「投影」において、原像は貨幣価値次元、写像はエネルギー次元にある。

例えば、経済産業省（2019）から2015年の「延長産業連関表」を抽出し、同年の日本の全産業産出を図5.1に示した方法で算定すると、1,073.0兆円となる。いっぽう、資源エネルギー庁（2019）に示される2015年度の日本の1次エネルギー国内供給は、石油換算トン（TOE）換算で478.2MTOEであった。

したがって、この時点で、全産業産出額（TIO）を1次エネルギー供給（PES）に投影する際の換算係数（conversion coefficient）は、 $478.2 \div 1,073.0 = 0.45$ [TOE/百万円]となる。

この値をそれぞれ産業部門の産出額に乗ずることで、エネルギー量的価値に置き直すことができる。

$$1,073.0 : 478.2 = 1[\text{百万円}] : 0.45[\text{TOE}]$$

$$= \text{各産業産出額 [in 百万円]} : \text{当該産業産出量 [in TOE]}$$

この最後の項、当該産業産出量がエネルギー量的価値（ECV）表示[in TOE]にほかならない。

この操作を施すことによって、産業産出額（貨幣価値次元）をエネルギー次元の産出

量で表すことが可能になる。その結果、＜産業部門の産出額をエネルギー・スケールで表した値（エネルギー次元）＞と＜当該産業が実際に消費したエネルギー量（エネルギー次元）＞とを対比することが可能となる。貨幣価値次元にとどまるかぎり、このような対比は不可能である。

この対比がどのような意義を持つかについては、第 7 章で詳細に考察を加える。

5.4 結論

本章においては、1)「エネルギー量的価値（ECV）」という「概念」を定立し、社会経済に供給された 2)「一次エネルギー供給（PES）」と「全産業産出（TIO）」とを対照させ、3) TIO を PES に投影することによって、4)経済過程をエネルギー量的側面から分析するというアプローチを提案した。

ここにおいて、まず GDP が一国の経済過程の全てを表すものではないことが確認できる。GDP に中間投入を加えなければ、経済過程の全貌は見えてこない。一般にエネルギー統計では、エネルギー需要と GDP 弾性値が示されている。しかし、PES と直接対応するのは、GDP ではなく TIO であることを見逃してはならない。

本章で提案したアプローチによれば、我々は経済過程を貨幣価値に加え、エネルギー量的価値からも評価することができるようになる。

加えて、これまでフローとしてのみ取扱われていた 1 次エネルギー供給のうち、固定資本や耐久消費財の建造に投入されたエネルギーが把握可能となり、それらに「体化」したエネルギーが分離できるようになる。

さらに、供給された 1 次エネルギー量を全産業産出に投影することで、「人間が賃金労働の形で支出したエクセルギー」を含めた「産出」全てを、エネルギー量的価値として評価できることになる。本研究で提示したアプローチを採用すれば、人間活動（労働）にエネルギー量的評価を加えることができる。

第6章 エネルギー量的価値を評価・分析フレームとするケーススタディ

6.1 目的、方法

本章においては、ここまで提起してきた経済過程を貨幣価値とエネルギー量的価値の両面から評価するというアプローチに立脚して、日本経済をケーススタディして、その有効性の確認を試みる。

これに要する、日本の1次エネルギー国内供給（PES）、全産業産出（TIO）そして国内総生産（GDP）については、以下の方法で推計する。

6.1.1 1次エネルギー国内供給（PES）の推計方法

資源エネルギー庁（2019）には、直近の年度から1953年度までの「総合エネルギー統計（エネルギーバランス表）」が掲載されている。本研究においては、2019年4月12日公表時点の各年度の統計から1955～2015年度の「国内供給」を抽出して、推計値とする。

また、総合エネルギー統計に用いられているJ（ジュール）²⁰から石油換算トン（TOE）への換算は、次の係数を用いる。

$$1 \times 10^{15} \text{ J} [\rightarrow \text{PJ}] = 0.023889 \times 10^6 \text{ TOE} [\rightarrow \text{MTOE}]$$

6.1.2 全産業産出（TIO）の推計方法

全産業産出（TIO）の推計には、第5章で述べたように産業連関表を用いる。日本においては、現在、二種類の産業連関表が存在する。

一つは、総務省はじめ10府省庁²¹が合同で作成する「産業連関表」（以下「合同産業連関表」と、これを基本として経済産業省が毎年作成し公表している「延長産業連関表」のグループである。

もう一つは、内閣府が国民経済計算の付表として公表する「SNA 産業連関表」である。

本研究で総産業産出を推計するにおいては、以下の理由から、合同産業連関表と延長産業連関表を原則として採用し、これらから推計値が得られない年に関しては、国民経済計算統計から推計値を算出する。

合同産業連関表は、沿革をたどると1951年の試算表まで遡れるが、その公表は毎年連続ではなく、2011年を例外として、1955年から5年おきとなっている。延長産業連関表は、この間隔を補う目的で作成されており、1973年から公表されている。ただし、2000～03年は休止となっているが、この間は簡易延長産業連関表で補充されている。

これに対してSNA 産業連関表は、内閣府（2018）によれば、「我が国国民経済計算の計数を基に、一定の技術仮定（商品技術仮定、産業技術仮定）に基づいて作成」とされて、その公表は1995年からとなっている。

このように、合同産業連関表及び延長産業連関表から連続的に得られる推計値は、SNA 産業連関表に比べ圧倒的に長い。このことから、原則的にこれを採用することとする。

²⁰ 1Jは102gの物体を1m持ち上げるのに必要な仕事量であり、1PJ=10¹⁵J=1000兆J

²¹ 総務省・内閣府・金融庁・財務省・文部科学省・厚生労働省・農林水産省・経済産業省・国土交通省・環境省

ところが、この方法では、1956～59年、61～64年、66～69年、71～72年の推計値が欠落する。この間は、日本の高度成長期にあたり、この欠落を放置するのは好ましくない。そこで、本研究においては、次の方法により国民経済計算統計から、この欠落を補う。

国民経済計算のフロー編付表「経済活動別国内総生産・要素所得」には「中間投入」が推計されおり、1955年から掲載されている²²。この「中間投入」に、フロー編統合勘定の「国内総生産と総支出勘定」に掲載されている「国内総支出」のうち、「民間最終消費支出」、「政府最終消費支出」、「国内総固定資本形成」、「在庫品増加」及び「財貨・サービスの輸出」を加算すれば、原理的には全産業産出を推計できる（図 5.1 参照）。上記の期間は 68SNA1990 基準によって推計されているので、これを使用して、この方法によって推計値を算出する。

なお、本研究が採用した推計方法による推計と合同産業連関表及び延長産業連関表から抽出したデータの乖離度合いを検証するために、本研究の推計方法に推計を 68SNA1990 基準の最終年である 1998 年まで 1973 年から延長して比較したところ、表 6.1 に示すように、乖離幅は 3.5%以内となっていることが確認された。

表 6.1 本研究の推計方法による推計の合同・延長産業連関表からの推計との乖離度合い

単位：10億円

年	本研究の推計方法	合同・延長産業連関表	乖離額	乖離幅	年	本研究の推計方法	合同・延長産業連関表	乖離額	乖離幅
1973	258,453.0	264,270.7	-5,817.7	-2.20%	1986	700,477.7	695,568.6	4,909.1	0.71%
1974	324,384.7	321,739.0	2,645.7	0.82%	1987	718,708.4	718,189.3	519.1	0.07%
1975	342,674.4	352,876.5	-10,202.1	-2.89%	1988	770,211.6	775,156.1	-4,944.5	-0.64%
1976	387,272.6	377,627.0	9,645.6	2.55%	1989	839,463.8	833,810.5	5,653.3	0.68%
1977	422,721.7	437,650.9	-14,929.2	-3.41%	1990	909,015.7	918,045.5	-9,029.8	-0.98%
1978	451,150.3	465,474.4	-14,324.1	-3.08%	1991	956,995.2	948,771.4	8,223.8	0.87%
1979	507,411.1	525,251.2	-17,840.1	-3.40%	1992	962,400.1	950,565.6	11,834.5	1.24%
1980	577,661.5	593,412.6	-15,751.1	-2.65%	1993	943,273.4	926,195.8	17,077.6	1.84%
1981	604,720.2	616,247.4	-11,527.2	-1.87%	1994	945,889.0	916,248.7	29,640.3	3.23%
1982	626,015.0	623,960.9	2,054.1	0.33%	1995	964,685.4	980,824.3	-16,138.9	-1.65%
1983	642,886.9	640,145.1	2,741.8	0.43%	1996	998,098.9	995,692.8	2,406.1	0.24%
1984	684,154.8	681,385.1	2,769.7	0.41%	1997	1,029,729.4	1,011,065.0	18,664.4	1.85%
1985	710,013.6	716,162.2	-6,148.6	-0.86%	1998	998,250.2	973,004.5	25,245.7	2.59%

出所：内閣府（2019b）、総務省（2019a）、経済産業省（2018）を基に筆者作成

6.1.3 国内総生産（GDP）の推計方法

国内総生産（GDP）については、内閣府（2019b）のフロー編統合勘定の「国内総生産勘定」に掲載されている推計を抽出することとする。ただし、SNA 統計は、序章でも触れたように数次にわたって改訂されており、複数の「基準年」と「基準 SNA」が存在する。本研究では、時系列最終年の 2015 年に近接する順に、表 6.2 のように採用する「基準年」と「基準 SNA」を選択することとする。

²² 内閣府（2019）の web 上の電子データは 1970 年までだが、内閣府（2001）には 1955 年から書籍上のデータとして収載されている。

表 6.2 国内総生産（GDP）の推計に採用する基準年と基準 SNA

区間	基準年	基準SNA
1955年～1979年	1990	1968
1980年～1993年	2000	1993
1994年～2015年	2011	2008

出所：内閣府（2019b）を基に筆者作成

6.2 日本の1次エネルギー供給（PES）、全産業産出（TIO）と国内総生産（GDP）の推移

6.2.1 時間軸に沿った分析

前項の推計方法によって抽出した、1955年から2015年までの、日本の1次エネルギー国内供給（PES）、全産業産出（TIO）そして国内総生産（GDP）の年次推移を一覧してみよう。それを表したのが、図 6.1 である。

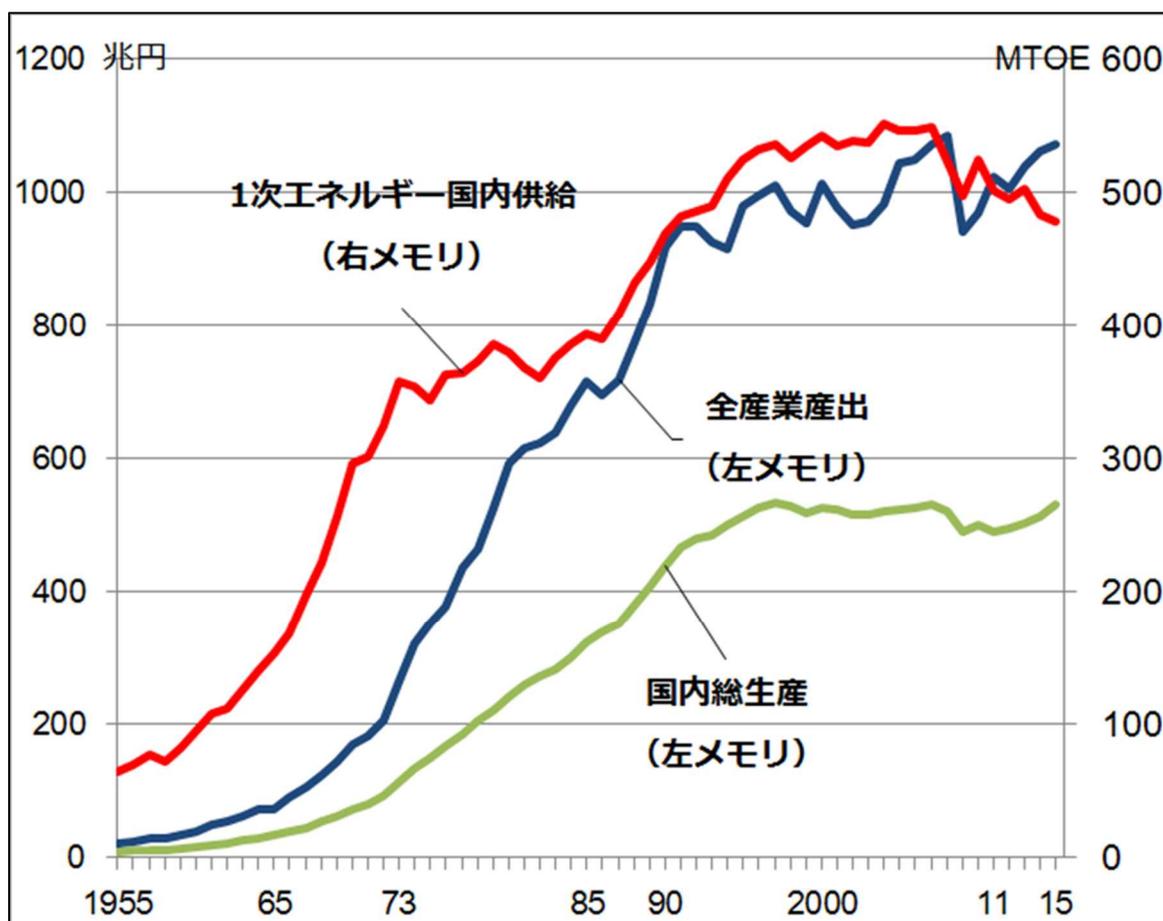


図 6.1 日本の1次エネルギー国内供給（PES）、全産業産出（TIO）と国内総生産（GDP）の推移（1955年～2015年）

出所：資源エネルギー庁（2019）、総務省（2019a）、経済産業省（2019）及び内閣府（2019b）を基に筆者作成

まず、時間軸を横に取ってみる。

1945年8月15日にアジア・太平洋戦争は日本の無条件降伏で敗戦を迎えた。この戦争における米軍の空爆によって、日本の工業生産基盤は壊滅的打撃を受けていた。その戦後復興として日本政府がまず構想したのが「傾斜生産方式」だった。

経済企画庁（1952）は、これを「輸入重油—鉄鋼増産—炭鉱へ鋼材の傾斜配給—石炭増産—鉄鋼への石炭増配という経路を通じて、石炭、鉄鋼の生産を相互循環的に上昇させ、それによって縮小再生産を食止めようとするものであった」としている。

日本政府は1947年度の石炭生産3千万トンなどの目標を置いたが、これを実現するための重要な梃子として期待されたのが、占領軍を介する重油8万klの緊急輸入だった。そして、実際、「生産が順調な増加を見せ始めたタイミングは、アメリカの援助による重油の緊急輸入が始まったあとである」。（大来洋一/エルビラ・クルマナリエバ 2006）

傾斜生産方式の成果については、否定的な見解も多いが、日本の戦後復興にはエネルギー供給の拡大が必要条件であったことは、事実として認識すべきである。

その後、日本政府は、大規模水力発電を主力とした「電源開発政策」によりエネルギー供給体制を整えていく。日本の経済高度成長には、このような前段階があった。

以上の段階を経て、日本の1次エネルギー国内供給（PES）は、1950年代初期から最初の石油危機に見舞われる1973年まで、驚異的發展を遂げた。この間、約6千万TOE（石油換算トン）から4億TOE近くまで拡大し、その20年間におよそ6.5倍となったことを意味する。その後、約10年間停滞したが、1985年あたりから再び増勢に転じた。しかし、その勢いは1990代中頃に止まった。以降は5億TOEを超えるラインで停滞している。

一方、日本の全産業産出（名目）は、1次エネルギー国内供給（PES）拡大に対して10年度程度の遅れで急拡大の過程に入った。この遅れは、設備投資が先行したことの現れだと考える。

設備投資に要するエネルギー需要がまず拡大し、次に生産設備が拡充され生産高が増加し、結果として国内総生産（GDP）が増大したと理解することができる。

PESの拡大は、第1次オイルショック（1973年）以降、かつての勢いを取り戻していない。かたやTIOの拡大はPESとは対照的に、オイルショックを乗り越えてその後約20年間その粘り強さを持続した。この背景には、設備投資による生産性の拡充とバブル期（1985～91年）の固定資本投資があったと考える。ところが、全産業産出（TIO）の拡大は1990年代に完全に頭打ちとなった。要するに1990年以降、PESとTIOの拡大がもたらす経済成長という過去のパターンは停滞しているということである。

さらに1次エネルギー国内供給（PES）は、2004～07年の間でピークの550MTOE水準に達したあと、2008年から縮小が始まり、リーマン・ショック（同年）の翌年の09年に大きく落ち込み、10年には08年の水準に回復したものの、11年からは縮小傾向となっている。これに対して、2012年まではほぼPESと同期した動きであった全産業産出（TIO）は、2013年以降も拡大を維持しており、PESと「逆相関」の兆候を示している。

図6.1から以上のような分析ができる。

6.2.2 2010年代に表れた PES と TIO の「逆相関」の兆候について

6.2.1 項で取り上げたように、2013 年を境に 1 次エネルギー供給 (PES) と全産業産出 (TIO) に「逆相関」の兆候が表れている。

ところが、日本エネルギー経済研究所 (2018) によれば、国内総生産 (GDP) との比較では、2000 年代からエネルギー供給 (消費) の弾性値はマイナスとなっており、TIO に先立ちすでに逆相関となっていることが示されている。(表 6.4)

表 6.3 エネルギー供給 (消費) の GDP 弾性値

	1965-73	73-79	79-90	90-00	00-10	10-16
GDP (2011年連鎖価格)	9.5%	3.8%	4.4%	1.2%	0.6%	1.0%
1次エネルギー国内供給	11.3%	1.3%	1.7%	1.4%	-0.4%	-1.8%
最終エネルギー消費	11.8%	0.9%	1.3%	1.5%	-1.0%	-1.4%
1次エネルギー国内供給弾性値	1.18	0.33	0.39	1.15	-0.61	-1.70
最終エネルギー消費弾性値	1.24	0.23	0.30	1.26	-1.76	-1.39

出所：日本エネルギー経済研究所 (2018) から転載

この PES と GDP の逆相関をどのように捉えるべきか。まず考えられるのは、エネルギー利用効率が格段に改善され、投入された 1 単位のエネルギーに対する付加価値生産がこれまで以上に高まっているという見方である。つまり、PES の縮減以上に効率改善が効いて GDP の拡大が可能となっていると見るのである。

これには、インターネットの活用による無店舗販売など物流の劇的変革、製造業から金融・サービス業へと経済活動の中心の大規模移行などによって、対付加価値エネルギー生産性に革命的な改善がもたらされたと考えることもできよう。また、エコカーや省エネ家電が普及したことで、同じ効用を得るために要するエネルギー消費そのものが抑制されていることも加味されるだろう。

現時点においては、このような定性的な見解しか述べることができない。これらの改善効果を計測するには、さらに詳しい定量的分析が必要である。このため、産業構造、流通機構の革新や技術的要因による影響については、ここでは判断を保留することとする。

これに対して、序章で見た国民経済計算体系 (SNA) の改定による GDP の増大は、1 次エネルギー供給 (PES) との対比に、より直接的な影響を確実に与えていると判断できる。

内閣府 (2016) によれば、08SNA では、「研究・開発 (R&D) に要した費用」と「防衛装備品」が資本化され、「総資本形成」に取り込まれることになった。これらは、93SNA までは中間消費 (投入) に計上されていた。つまり、08SNA ではそれ以前の基準と比較して、研究・開発投資と防衛装備品の分だけ GDP は「大きく」算出されていることになる。

これは、全産業産出 (TIO) と PES が相関していたとしても、それとは無関係に GDP が増大したと計測されるようになったことを意味する。もはや、PES と GDP の関係性は切断されていると考えても良いのではないか。少なくとも、統計データはそれを示唆している。

ところが、経済産業省 (2015) は、最新の「長期エネルギー需給見通し」でも将来のエ

エネルギー需給推計の基本に「経済成長」を置き、そこからエネルギー需要を類推し、それに基づき電力の発電構成（エネルギー・ミックス）を導くという、従来の手法を踏襲している。この手法の論理的な説得力、妥当性に大きな疑問を投げざるを得ない。

それはさておき、1次エネルギー供給（PES）と総産業産出（TIO）の逆相関に対象を戻そう。これを説明するには、産業構造の変化や技術革新といった要因に別の要因を加える必要があるように思う。その要因の第一候補となるのが「人口」である。何故なら、稲葉（2008）が指摘するように、日本は「世界最高の長寿命のもとでの持続的人口減少という人類未踏の社会に足を踏み入れつつある」からである。

このような日本の人口動態と1次エネルギー国内供給（PES）の推移を2000年から対比させると、図6.2のようになっている。

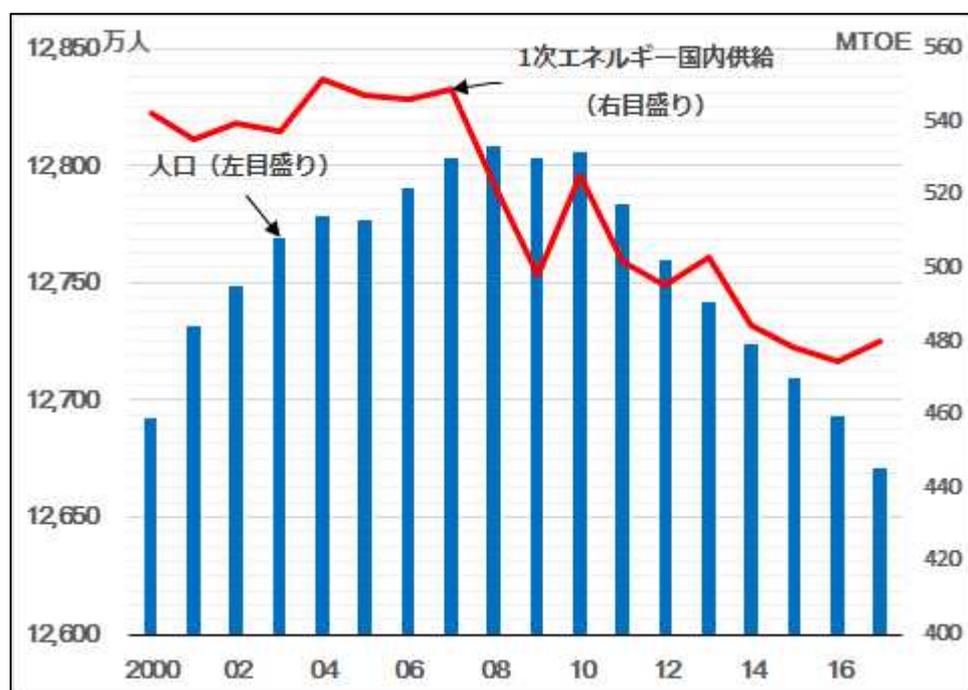


図 6.2 日本人口動態と1次エネルギー国内供給（PES）の推移（2000年－2017年）

出所:総務省（2019b）、資源エネルギー庁（2019）を基に筆者作成

人口は、2008年の1億2,808万人をピークに減少を始め、17年には206万人減の1億2,671万人となっている。なお余談になるが、この206万人は、2018年10月時点の長野県の人口に匹敵する。

これに対して1次エネルギー国内供給は、6.2.1項で述べたように2004～07年の間でピークの550MTOE水準に達したあと、2008年から縮小が始まり2016年には475MTOEまで下がっている。要するに、日本の人口減少と1次エネルギー国内供給（PES）の縮小は、人口減少が本格化した以降はほぼ相関しているように見える。

日本の人口減少の原因は、人口置換え水準を大きく下回る少子化の進行にある。人口構成は高齢側が極端に肥大し、労働適齢の人口は減少の一途をたどっている。もし、この状況がエネルギー消費に影響を及ぼしているとするれば、日本のエネルギー需給の分析には経

済要因に先んじて、この視点から検討する必要が出てくる。

ただし、2017年には前年比 5.5MTOE と若干ではあるものの 1 次エネルギー国内供給が伸びており、もしかすると PES と TIO の逆相関は一過性のものであるかもしれない。

いずれにせよ、今後においても、1 次エネルギー供給 (PES) と全産業産出 (TIO) に人口動態を加えて、その動向を把握し、詳細な分析を加える必要がある。

これもまた、本研究に残された課題の一つである。

6.2.3 時点で対比した分析

次に、時間軸を垂直に取って、PES と TIO を時点对照してみる。すると、これによってエネルギー量的価値 (ECV) への換算係数が得られる。それを示すのが、表 6.4 である。

表 6.4 1 次エネルギー国内供給 (PES)、全産業産出 (TIO)、国内総生産 (GDP) 及びエネルギー量的価値 (ECV) への換算係数の推移

項目	単位	1955	1965	1973	1985	1990	2000	2011	2015	
1次エネルギー国内供給 (PES)	MTOE	64	152	358	393	470	542	502	478	
総産業産出 (TIO)	兆円	22	73	264	716	918	1,013	1,023	1,073	
国内総生産 (GDP)	兆円	8	33	112	324	440	527	491	531	
換算係数	PES→TIO	100万円/TOE	0.34	0.48	0.74	1.82	1.95	1.87	2.04	2.24
	TIO→PES	TOE/100万円	2.98	2.08	1.36	0.55	0.51	0.54	0.49	0.45

出所:資源エネルギー庁 (2019)、総務省 (2019)、経済産業省 (2019) 及び内閣府 (2019b) を基に筆者作成

第 1 章において「エネルギー量的価値 (ECV)」とは、「ある財または経済行為の価値を、投入 (=消費) された 1 次エネルギー量に対応させて評価したもの」を意味すると定義した。

さらに前章において、まず①全産業産出 (TIO) と 1 次エネルギー供給 (PES) の全体的対応という「原理」を確認した。次いで②「エネルギー含有量」= PES×TIO 因子 (= IO 値) / TIO があるという「仮定」を立てた。その上で③この原理と仮定から「経済活動 (価値量) のエネルギー次元における表示」という、より実践的な定義を導いた。

そして、ここにおいて、全産業産出額 (TIO) の各因子を 1 次エネルギー供給 (PES) に投影し、エネルギー量的価値 (ECV) に置き直す。このために、換算係数 (conversion coefficient) を用いる必要があることを提示した。

全産業産出 (TIO) も 1 次エネルギー供給 (PES) も年々変動することから、換算係数も当然変動する。表 6.4 は、それを示している。

この換算係数の変動が意味するのは、例えば、1955 年の百万円は 1TOE の 2.98 倍、2.98TOE と等価であったものが、2015 年の百万円は 0.45TOE まで低下しているということである。

逆に、この 60 年間に 1TOE のエネルギー量的価値と等価の貨幣価値は、34 万円から 224 万円に上昇したということでもある。それだけ、エネルギー量的価値の貨幣価値に対

する評価が上がったと考えられる。

しかし、1TOEが「原油1トンを燃焼させたとき得られるエネルギー」という物理的定義は60年前であっても同じである。エネルギー量的価値が表す実質的富と貨幣価値が表す仮想的富の乖離がそれだけ広がったと見ることもできる。

6.2.4 エネルギー量的価値（ECV）で表示した全産業産出（TIO）の推移

本節のまとめとして、全産業産出（TIO）を1次エネルギー供給（PES）に「投影」し、エネルギー量的価値（ECV）で表示した全産業産出の年次推移を示す。（図6.3）

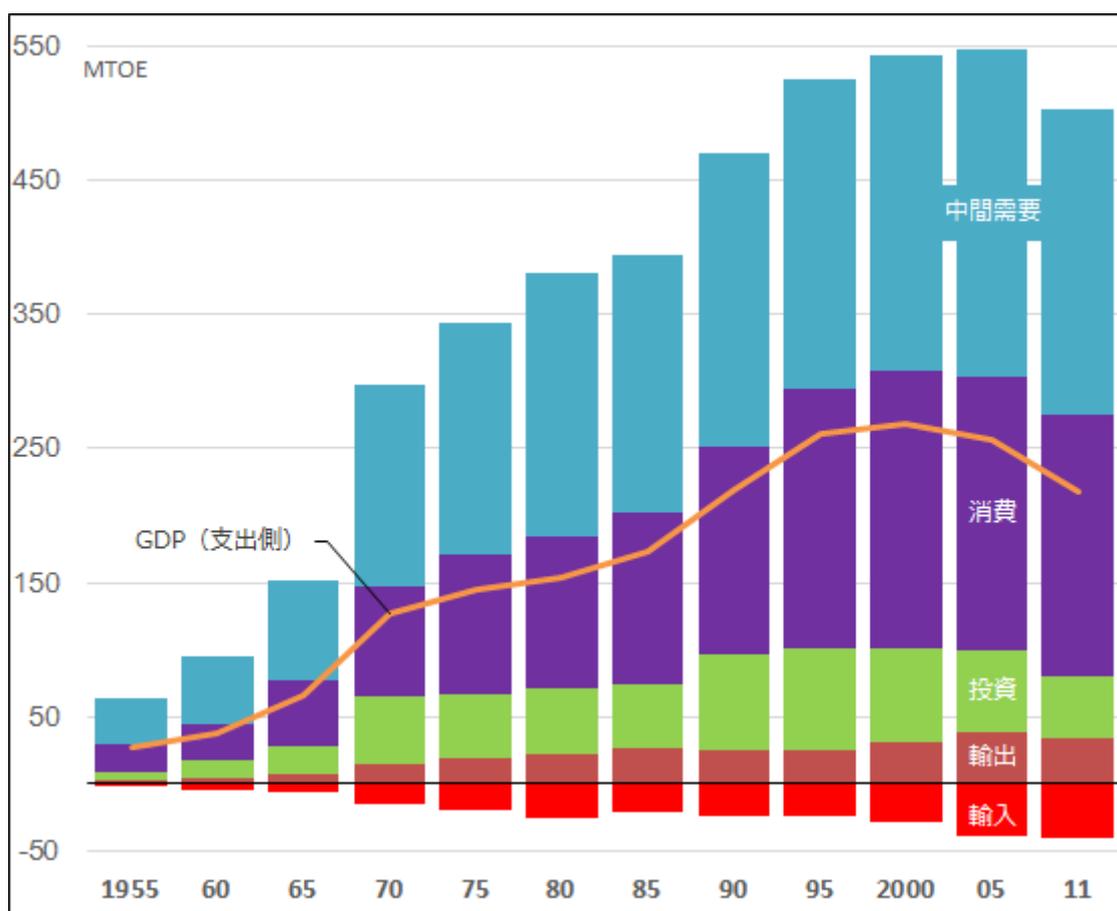


図 6.3 エネルギー量的価値（ECV）で表示した全産業産出（TIO）の推移

出所:筆者作成

この図 6.3 においては、制度次元（マネー・フロー）のアプローチから得られた貨幣価値次元の産出額（TIO）を、物理次元（エネルギー・フロー）からのアプローチである PES に投影して、「中間需要」、「消費」、「投資」、「輸出」、「輸入」のそれぞれを、ECV で表示したエネルギー次元の産出量に変換している。これは、両建て分析の視点を一つに結実させようとする試みでもある。

そして、ここでこの図 6.3 に示されたエネルギー量的価値の総量は、1次エネルギー国内供給（PES）として確定した「絶対値」であるということを強調しておきたい。

これにより、年次比較するために、デフレーターや物価指数などの補正係数を用いる必要

がなくなる。

このことがどのような新たな視点をもたらすのか、変動の激しい「投資需要」を抜き出して、貨幣表示とエネルギー量的価値（ECV）表示で比較してみよう。（表 6.5）

表 6.5 投資需要の「貨幣表示」と「エネルギー量的価値（ECV）表示」の比較

	単位	1970	75	80	85	90	95	2000	05	11
貨幣表示	兆円	28.6	48.6	77.8	87.9	141.3	141.8	130.3	115.9	93.9
ECV表示	MTOE	50.0	47.3	49.9	48.3	72.3	75.9	69.8	60.7	46.1

出所：図 6.3 のデータを基に筆者作成

貨幣表示、エネルギー量的価値（ECV）表示とも一見すると同様なトレンドを辿っているように思える。しかし、例えば、1970年と2011年を比較すると、貨幣表示では、28.6兆円→93.9兆円と約3.3倍となっているが、これに対して、ECV表示では、50.0MTOE→46.1MTOEと逆に低下していることが示されている。

ECV表示で見ると、2011年の投資需要は、オイルショック（1975年）からバブル経済前夜（1985年）まで抑制された水準を下回る、過去40年間で最低となっていることが分かる。

そして、この投資需要の減少が国内総生産 GDP の縮減の大きな要因となっていることが、図 6.3 から読み取れる。

このように、ECV表示を採用すると、名目値で表した貨幣表示の限界を超えて、国民経済の実態により正確に迫れるようになる。

6.3 エネルギー量的価値（ECV）による鉄道建設事業の評価

本節では、表 6.4 に示した換算係数を使って、リニア新幹線、東海道新幹線、日本における唯一のリニア鉄道である愛知高速鉄道東部丘陵線（愛称 Linmo）のエネルギー量的価値（ECV）による事業評価を試みる。

まず、三つの事業の概要を示す。

リニア新幹線は、東京－大阪間 438km を超伝導磁気浮上方式、最高速度 505km/h で運行し、直行便 67 分で結ぶ計画である。総工費は 9.03 兆円。2045 年の東京－大阪全線開業を目標とするが、当面は東京－名古屋間 286 km を、5.43 兆円をかけて建設し、2027 年の開業を目指すとしている。（橋山 2014 p.19 表 1 より）

東海道新幹線は、最初の東京オリンピック開幕の 10 日前、1964 年 10 月 1 日に開業した東京－大阪間を結ぶ世界最高水準の高速鉄道である。路線延長は、515km、総工費は 3800 億円、うち 8000 万ドル当時の為替レート（1 米ドル＝360 円）で日本円に換算すると 288 億円の融資を世界銀行から受けている。

愛知高速交通東部丘陵線（愛称 Linmo）は、日本で最初に開業したリニア鉄道である。駆動方式がリニモは常電導吸引型磁気浮上式（HSST）、リニア新幹線は超伝導磁気浮上方式

式という違いはあるが、日本唯一のリニア鉄道であることに間違いはない。その総工費 1008 億円は、2005 年当時の為替レート（1 米ドル=110.22 円）で 9 億ドル程度となる。この額は、東海道新幹線の竣工時の米ドル建て価格（1 米 \$ = 360 円）10.6 億ドルと僅差である。

この 3 建設事業の貨幣価値表示のコスト比較を示すと表 6.6 のようになる。

表 6.6 3 鉄道建設事業の貨幣価値での比較

項目	単位	リニア新幹線 (計画)	東海道 新幹線	リニモ
① 開業	年	2045	1964	2005
② 路線距離	km	438	515	9
③ 最高時速	km/h	505	285	100
④ 総工費	億円	90,300	3,800	997
⑤ 消費者物価指数(2015年=100) (持ち家帰属家賃を除く)		100	23.7	96
⑥ 消費者物価指数倍率		1.00	4.22	1.04
⑦ 総工費現在価値(④×⑥)	億円	90,300	16,034	1,039
⑧ 1km当たり工費 (⑦÷②)	億円/km	206	31	117
⑨ 対米ドル為替レート	Yen/\$	105	360	110
⑩ ドルベース総工費(竣工時) (④÷⑨)	億ドル	861.2	10.6	9.0
⑪ ドルベース総工費(現在価値) (⑦÷104.85円/\$)	億ドル	861.2	152.9	9.9

出所：筆者作成

表 6.6 に示したように、総務省（2019c）の消費者物価指数で東海道新幹線の総工費を現在価値に直すと 1 兆 6,034 億円程度となり、9 兆 300 億円とされるリニア新幹線はこれと比較して最低でも 5.6 倍もの建設費が投じられることになる。

要するに 1km 当たり 206 億円もかかるとされるリニア新幹線の工費は、これまでの新幹線と比較にならないのである。もし強引に比較を取ろうとすれば、地下鉄の工費と比べるしかないだろう。地下鉄協会（2018）によると、福岡市営地下鉄七隈線橋本～天神南（2005 年全通）は 12.7km の路線距離を 2,811 億円かけて建設されたから、1km 当たりの単価は 221 億円となる。

リニア新幹線の路線距離 438km は、東京と大阪を合計した地下鉄総延長 431.9km（東京メトロ：195.1km、東京都営地下鉄：109km、大阪地下鉄：137.8km）（地下鉄協会，2018）に正しく匹敵する。リニア新幹線というのは、東京と大阪の地下鉄のトンネルをすべて連結して、東京・大阪間に並べたくらいのスケールになると考えればよい。

ここでは貨幣価値による事業スケールの比較を試みた。この場合、過去の事業については「現在価値」に換算し直す必要がある。ここで、いかにして適切な換算係数を得るのかという新たな問題が生じる。

必然的に係数の設定次第で推計結果に大きな違いが生ずることになる。

例えば、日本銀行（2019）の国内企業物価接続指数（2015 年平均=100）で比較すると、1964 年は 48.7 だから、倍率は 2.05 程度となり、これで 1964 年当時の 3,800 億円を現在価値換算すると 7,803 億円となる。これを基準とすれば、リニア新幹線の建設費

は東海道新幹線の 11.6 倍にも達する。このように消費者物価指数と企業物価指数とでは二倍の開きが生じてしまう。ところが、どちらが「正しい」と判定することはできない。「相対比較」の限界である。

これに対して、建設に要したコストを一旦「エネルギー量的価値」という単一の価値形態に置き換えておけば、このような時価換算そのものが不要になる。

そこでリニア新幹線、東海道新幹線、リニモの 3 建設事業の比較を、6.3 節に示したエネルギー量的価値を用いて再考すると、表 6.7 のようになる。

表 6.7 3 鉄道建設事業のエネルギー量的価値での比較

	項目	単位	リニア新幹線 (計画)	東海道新幹線	リニモ
①	開業	年	2045	1964	2005
②	路線距離	km	438	515	9
③	最高時速	km/h	505	285	100
④	総工費	億円	90,300	3,800	997
⑤	全産業産出	兆円	1,072.9565	71.1374	1,044.4978
⑥	1次エネルギー国内供給	MTOE	478.242	139.530	547.188
⑦	換算係数 (⑥÷⑤)	TOE/100万円	0.45	1.96	0.52
⑧	エネルギー量的価値 (④×⑦)	TOE	4,024,885	745,336	52,231
⑨	1km当たりエネルギー量的価値 (⑧÷②)	TOE/km	9,189	1,447	5,869

出所：筆者作成

この表 6.7 が示しているのは、リニア新幹線は建設段階で 1km 当たり東海道新幹線の 6 倍 (=9,189TOE÷1,447TOE) ものエネルギー量的価値を費やさなければ実現されないということである。しかもこれは「計画」段階で見積もった最低限の建設費（通例、意図的に下算される）をもとにした試算にすぎない。

そのうえ安倍（2013）は、リニア新幹線は、運行時に東海道新幹線の 4～5 倍の電力（=熱物理的価値）を消費するという技術的な試算結果を示している。

つまり、リニア新幹線は、エネルギーを大量消費する、過去に例のない、プロジェクトであることが明白になっているのである。

6.4 結論

ソディ理論の核心は、「人類の経済過程はすべて有効エネルギー（エクセルギー）の変換過程である」という事実を明示的（explicit）に記述し、分析するところにある。

ソディの実質的富は、1次エネルギー供給（PES）を表す統計、エネルギーバランス表によってかなりの程度、推計されている。ところが、このデータには大きな限界がある。というのは、このデータはエネルギー・フローの経路を示すのみであり、そのうち実質的富Ⅱに体化されたエクセルギーの分量については別途に算定する必要がある。これを実行できないと、社会が利用したエクセルギー支出の態様総体を定量的に把握することは不可能である。

これに対して、全産業産出（TIO）を表す統計には、産出された実質的富Ⅱである「総固定資本形成」が貨幣価値表示で把握されている。つまり、〈PESとTIOという二つのマクロ統計を照合する〉という方法論を採ることによって、〈実質的富Ⅱに体化されたエクセルギー量を適正に推計できる〉という可能性が開けてくる。

実質的富Ⅰの主力を占めるエネルギー資源には、農林水産物、水力、風力、地熱、太陽熱などの「フロー型資源」と化石燃料という「ストック型資源」がある。産業革命の最も基本的な意義は、エネルギー資源の大部分を、フロー型資源からはるかに潤沢なストック型資源に転換したところにあった。とはいえ、ストック型資源はいちど使ってしまうとなくなる。したがって、これに依存して社会生活を営むことになったときから、人類は「資源の枯渇」という宿命を背負い込むことになった。

ソディもこのことを十分認識していて、19世紀から20世紀にかけてという「自分たちの過ごしている”The flamboyant era”（金ピカの時代）は、自分たちの功績（発見や発明のこと）によってではなく、石炭紀の太陽光エネルギーを固定した蓄積を相続してきたために実現したのであり、それゆえ、現世は一回だけはその収入を超えて生計を成り立たすことができたのである」（Soddy 1921 p.30）と記している。

いっぽう実質的富Ⅱは寿命（耐用年数）を持つ。ソディは実質的富Ⅱに”permanent”（永続的）という語を当てたが、正確には”durable”（耐久的）、というべきであろう。

ジョージesk＝レーゲンが『エントロピー法則と経済過程』を著した翌年、1972年に『成長の限界』と題するローマクラブのレポートが発表された。それ以降、実質的富Ⅰの持続可能性についてはつよい危機意識が形成された。それに比して、実質的富Ⅱの維持可能性については、まったく等閑視されてきた。実質的富Ⅱの寿命は、実質的富Ⅰの持続可能性が損なわれる時点のはるか手前で尽きるのに。

企業の生産設備が更新されなければ生産力は直接的に減殺される。これが全企業にわたって起これば、雇用や所得が一気に失われ国民経済はたちまち萎縮する。全国的に張り巡らされた電力ネットワーク、鉄道ネットワーク、道路ネットワークなど社会資本がきちんと更新されないと、社会生活は大混乱に陥る。

Daily (1996) は、「現行国民所得勘定における奇妙な非対称性—人工資産が減価するのに応じてわれわれは当期の生産から人工資産の価値を償却するのに、自然資産の減耗についてはそうした控除をおこなわないという奇妙な非対称性—」を指摘している。この指摘はたしかに重要であるが、そもそも固定資産の「減価償却」は〈先行投資を後の収入から回収するために、分割し費用として計上する〉という会計処理上の技術に過ぎない。実際、定額または定率による減価償却というのは会計学的便法であって、実質的富Ⅱの物理的劣化を考慮することなく設定されている。

より具体的にみると、ある財の減価償却が〈適正に実施された〉場合でも、その引当金が、その財の寿命が尽きたときそれを物財的に更新するに足る権能をもつとは限らない。過去の投資が無事に回収されたことはたしかだが、その資金が更新投資に確実に当てられる保証がなく、さらに更新時に必要な更新費用が暴騰しているリスクも大きい。

しかし、経済価値を貨幣価値からエネルギー量的価値に置き直すことによって、(A)異なる時点の経済状態を直接的に比較することが可能になり、(B)デフレーターや割引現在価値

という「時点修正」（これも恣意性・不確実性を含む）を施す必要がなくなる。(C)固定資本がその修復や更新のために将来的に要求するコストもエネルギー量的価値の次元において推計可能になる。さらに(D)国際間の経済比較も、為替レートの変動を排して行うことが可能になる。

このことを、6.3節で行った「エネルギー量的価値（ECV）による3鉄道建設事業の評価」によって示した。

この方法論アプローチには、広範な応用可能性があると考えられる。

第7章 考察

7.1 「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立

本研究は、第一番目の研究目標を、＜「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立＞においた。

この研究目標に対して、まず第1章において、現実の経済過程には、内在する二つの様相が装備されているとの認識を示した。

(A)財の交換プロセスを構成する仮想的富（貨幣システム）の側面、

(B)社会における全てのエネルギーと物質の変換を構成する実質的富の側面（ソディによれば、この側面はさらに実質的富Ⅰ・実質的富Ⅱにさらに細分される。）

そして、(A)と(B)を同時に取り扱うことができる、経済－資源・エネルギー問題に対する二元的または二重焦点（これを両建てとよぶ）アプローチを採用することが不可欠であると提起した。

ここで、特に強調したのが、(B)の側面で問題を取り扱うためには、熱物理学タームにおける評価というコンセプト（あるいはエントロピー論的価値のコンセプト）の導入を図る必要があるということである。

そこで提唱したのが「エネルギー量的価値」というもう一つの価値概念の導入である。その意味するところを電力産業に基づき説明し、「ある財または経済行為の価値を、投入（＝消費）された1次エネルギー量に対応させて評価したもの」と位置づけた。

次に、日本の電力産業の営業活動を取り上げ、(A)と(B)を同時に取り扱う両建てアプローチの実際例とした。

第2章において、「家庭用」「産業用」と二重価格制度のもと組込まれた営業構造を押さえた。次いで、第3章においては、まず発電等エネルギー的な入出力に関するデータから、発電端から需要端に至る発電方式別の実績を推計整理した。さらに、電力産業の損益計算書レベルの営業収支から出発して、これを基に設備投資を含めた現金支出全般に組み替え、これと営業収入を比較して現金支出レベルの収支を発電方式別に推計した。さらに第4章で、第3章の推計に活用したデータから、発電に要した1次エネルギー量を推計し、これに発電過程・送配電過程を投影させて、両過程におけるエネルギー量的価値を求めた。そのうえで、これと需要電力量を対比して、エネルギーベースでの投入・産出効率を発電方式別に求めた。そして、このエネルギーベースでの投入・産出効率を、第3章で行った金銭価値評価の収支推計と比較した。

このようにして、「(A)財の交換プロセスを構成する仮想的富（貨幣システム）の側面」と「(B)社会における全てのエネルギーと物質の変換を構成する実質的富の側面」の両者を照合しつつ追究することによって、経済活動をより正確に把握することが可能になるということを証明した。同時に「このアプローチを観察可能な事実にもとづいて検証する」という研究課題を解決した。

第5章においては、第4章で採用したアプローチを国民経済レベルに導入する方法を具体的に展開するという研究課題を解決した。この課題を解決するために、1)「エネルギー量的価値（ECV）」という「概念」に「経済活動（価値量）のエネルギー次元における表示」

という、より実践的な定義を導入し、社会経済に供給された 2) 「一次エネルギー供給 (PES)」と「全産業産出 (TIO)」とを対照させ、3) TIO の各要素 を PES に投影することによって、4) 当該要素にエネルギー量的価値を導入するという具体的なアプローチを考案した。

第 6 章においては、ここまで提起してきた経済過程を貨幣価値とエネルギー量的価値の両面から評価するというアプローチに立脚して、日本経済をケーススタディして、その有効性を確認した。まず、日本の 1 次エネルギー供給 (PES) と全産業産出 (TIO) の歴史の変遷を同一平面に並べて比較、対照することで、<(A)財の交換プロセスを構成する仮想的富 (貨幣システム) の側面>と<(B)社会における全てのエネルギーと物質の変換を構成する実質的富の側面>を同時に取り扱うことができることを示した。

次いで、1 次エネルギー供給 (PES) と全産業産出 (TIO) を時点对照することで、PES から TIO へ、TIO から PES へと相互に変換可能なことを示し、その換算係数の設定方法と実際の換算係数の歴史的な推移を提示し、エネルギー量的価値 (ECV) で表示した全産業産出 (TIO) の推移を示した。

最後に、この変換方式を使って 3 鉄道事業のエネルギー量的価値レベルにおける事業評価を行い、国民経済レベルにおいても「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立>ができることを立証した。

この日本における 3 鉄道事業のエネルギー量的価値 (ECV) による事業評価を通じて、これまでフローとしてのみ取扱われていた 1 次エネルギー供給のうち、固定資本や耐久消費財などのストックに投入されたエネルギーが把握可能となり、それらに「体化」したエネルギーがフロー計算から分離できることを立証できたと考える。

これにより、<エネルギーを基準とした評価指標を経済社会の持続可能性や社会資本の更新可能性を図る尺度としても機能させる>という第二の課題解決に一步近づけたと思う。今後には、どのようにこれを活用するのかという具体的方法論の樹立が残されている。

また、ストックに「体化」したエネルギーを量的価値として把握する方法を考案したことで、エコロジー経済学の「スループット」概念を実在的な次元において定量化し、その“見える化” (Visualization) に体系的な基礎を与える道を開いたと考える。

エコロジー経済学は、「スループット」を「原料の投入に始まり、原料の財への転換がおこなわれ、最後に廃棄物の産出に終わるフロー」 (Daily 1996, p.28) と定義する。

全産業産出 (TIO) は、じつはスループットの構成と大きさを貨幣数量的価値で表示している。これを「エネルギー量的価値」に換算すれば、スループットの物理量的な大きさと構成が見えてくることになる。本研究はこの具体的な方法を考案した。

エコロジー経済学は「定性的であっても、定量的でない」という批判をかねてから受けてきたが、エネルギー量的価値の概念を導入することによって、この批判を克服することが可能になると考える。

7.2 日本の電力産業に埋め込まれた営業構造の解析

電力供給は営利事業でありながら、社会に大きな効用をもたらす公益事業でもある。電力の安定供給は電力産業の健全性に依るところが大きい。この健全性を判断する前提として、＜電力産業が歴史的に形作ってきた営業構造を客観的に捉える＞という研究課題を三番目に設定した。

この研究課題の解明を目指して、第2章では「家庭用」「産業用」と二重の価格体系を採用した電力産業の需要別収支を歴史的に検討した。その結果、以下の知見を得た。

①大口電力が規制緩和されて以降 2003 年度からは、「産業用電力」（電力需要の 2/3 を占める）の収支が一貫して赤字であり、「家庭用電力」（需要の 1/3 しか占めない）の収支が大幅な黒字となっている。

②後者が前者を補填して電力産業全体の営業利益が確保される営業構造となっている、次いで、第3章においては、電力産業の損益計算書レベルの営業収支から出発して、これを基に設備投資を含めた現金支出全般に組み替え、これと営業収入を比較して現金支出レベルの収支を推計した。

その結果、以下のような分析結果を得るところとなった。

①まず明らかになったのは、「水力発電」の営業利益稼得能力の卓越性である。しかし日本に大規模ダムが立地適所が枯渇している現状では、電力産業が今の以上の利潤を期待することはできない。

②これに対して「火力発電」は他の発電方式に比べて相対的にも絶対的にも利幅が薄く、電力産業にとってあまり魅力的な発電方式といえないことが明らかとなった。

③この二つの発電方式の中間のパフォーマンスを示すのが「原子力発電」である。原子力発電は、損益計算書レベルではかなりの営業利益をもたらしている。ところが、電源開発促進税を支払う末端需要者にとっては、その納付金は実質上原子力発電を支えるための費用負担にほかならず、発電方式として安価だとはもはやいえなくなる。

④原子力発電部門では「先行投資の回収が制度的に遷延されている」状況となっている。

さらに第4章で、第3章の推計に活用したデータから、発電に要した1次エネルギー量を推計し、これに発電過程・送配電過程を投影させて、両過程におけるエネルギー量的価値を求めた。そのうえで、これと需要電力量を対比して、エネルギーベースでの投入・産出効率を発電方式別に求めた。

その結果、以下のことが判明した。

①発電部門別の投入・産出効率は、火力発電がいちばん優位となっている。

②これに対して原子力発電は、火力発電の 65%の投入・産出効率しか得られていない。

③これは、原子力発電は発電設備を利用するために投じられた費用のエネルギー量的価値が火力発電を上回る規模であるにもかかわらず、需要端供給量は火力発電の約 4 割に止まっていることが大きな要因と考えられる。

④水力発電は、設備利用率が低いことが反映されて、投入・産出効率を落としている。

そして、最後にこのエネルギーベースでの投入・産出効率を、第3章で行った金銭価値評価の収支推計と比較した。

その結果、「損益計算書ベース」「現金支出ベース」の収支推計では、水力発電が好成績

を収めており、原子力発電が火力発電に優位性を保っていたが、エネルギー量的価値 (ECV) ベースまで含めて投入・産出効率を比較すると、火力発電の効率の良さが一気に浮上してくる、という知見が得られた。

また、以上を投入・産出効率に組み替えて比較すると、水力発電は、金額ベースでは高い投資効率と上げているが、設備利用率の低さが反映されて ECV ベースでの投入・産出効率は低水準に止まっており、火力発電と原子力発電は、金額ベースではほぼ同等の投資効率となっているが、ECV ベースでは火力発電が圧倒的に優位となっている、という知見が得られた。

日本の電力産業には、以上のような営業構造が埋め込まれており、これを抜本的に解消できないまま、さらなる規制緩和局面を迎えるとなると、相当厳しい経営状況に置かれると考えられる。特に原子力発電は、電力会社の経営に考えられている以上に重荷となることは、確実に予想できる。

詳しくは次節で述べるが、エネルギー産業の使命、存在意義は熱力学的剰余を社会に提供するという点にある。これに対して原子力発電は、発電時には剰余を提供できても、それによって発生した核廃物を自然界から隔離するために、未来に永劫にエネルギー投入を要求する。それは提供した剰余価値を優に上回る可能性があるうえ、剰余価値を取得するのは現在世代であり、核物質を封じ込めるためのエネルギー提供を強いられるのは将来世代になる。つまり、原子力発電は世代間搾取を組み込んだ発電方式ということになる。

いっぽう、第3章の3.8節において、原子力発電のバックエンドコストの準備状況を概観し、これが不足していること明らかにした。この資金準備もさることながら、エネルギーに関しても引当準備を持たなければいけない。むしろこちらにほうがはるかに重大である。いくら資金準備があっても、エネルギー価格が高騰するならば、核物質の封じ込めに必要なエネルギーの確保は危うくなる。

つまり、原子力発電による電力供給を受けた現在世代は、どの国であっても、自分たちの使えるエネルギーを節約して将来世代に引き渡す「エネルギー準備」を積み立てておく必要がある。

本研究で提唱する「経済過程を、貨幣価値とエネルギー量的価値の両面から捉える」というアプローチを応用すれば、この構造と準備の必要性を明らかにする糸口が開ける。

7.3 経済過程とエネルギー消費

一般に、経済成長をもたらす要因として生産性の改善があり、特に「全要素生産性 (Total Factor Productivity) ²³」の改善は重要な役割を果たすと理解されている。滝澤 (2019) が示すところでは、日本生産性本部においては、TFP の上昇率は次の算式で算定することになっている。

$$\text{TFP 上昇率} = \ln(Y_t/Y_{t-1}) - 0.5 \times (\alpha_t + \alpha_{t-1}) \times \ln(KSt/KSt-1) - 0.5 \times ((1-\alpha_t) + (1-\alpha_{t-1})) \times \ln(LHt/LHt-1)$$

²³ 滝澤 (2019) は TFP を「広い意味で技術進歩を表す指標と考えられるため、この変化率はしばしば技術進歩率と呼ばれる」としている。

Y：実質 GDP 内閣府「国民経済計算確報」
K：実質資本ストック 内閣府「民間企業資本ストック確報」
S：稼働率 製造業 経済産業省「鉱工業生産指数」
非製造業 経済産業省「第三次産業活動指数」
L：就業者数 総務省「労働力調査」
H：労働時間 厚生労働省「毎月勤労統計調査」
 α ：資本分配率 内閣府「国民経済計算確報」

資本分配率 = $1 - (\text{雇用者報酬} + \text{生産・輸入品に課される税}) / \text{国内総生産(生産側)}$

このように経済分析の主流においては、エネルギーの経済過程に対する寄与はほとんど考慮されていない。これは、Solow (1957) がいわゆる「ソロー残渣」を「発見」して以来の伝統的取扱いとあって良い。

ソローは、コブ・ダグラス型生産関数を米国全体のマクロ経済に拡張した際に、「総所得は、労働の取り分と資本の帰属分に分配される」と「各生産要素は限界生産物に等しい報酬を受け取る」という二つの仮定を置いた。確かに、多くのエネルギーが消費されることで生産力増強がもたらされたとしても、その改善による所得の増分が自然界に配分されることはあり得ない。経済学的常識としては、それは全て労働者か資本家に還元されると考えるのだろう。

しかし、それではエネルギーの使用効率改善や消費拡大の経済過程にもたらず寄与が「技術進歩」のごく一部に取り込まれてしまい、明確に意識されることはない。

何人かの研究者は、近代経済学が「エネルギーを生産要素として明確に取り扱えていない」ことの重大性に気づいていた。

その一人に、ピーター・チャップマンがいる。

Chapman (1979) で、「例えば、自動車の金銭的な生産コストは、労働、原料、輸送、燃料および資本装備に対する支払いに分割される。『資本』に対する支払いはさらに三つの型、すなわち、実際の機械ならびにプラントの購入、土地の購入、および『利潤及び利子』への支払いに細分される。この『要素インプット』は図 (7.1) の左側の棒グラフで示されている。図 (7.1) にはこれに加えて、輸送、原料などへの支払い項目を、さらにその各項目に対する『要素インプット』に細分した結果が、小さな棒グラフとして書き込まれている。このような分割をどんどん進めていくと、最後に全コストの四個の基本インプット、『労働』、『土地』、『利潤および利子』、『燃料』への分割が得られることになる」と提起している。

チャップマンは、ここで『燃料』と呼ぶのは、「技術的に有用なエネルギー」と定義している。これは 1.1.2 項でソディが「生活を可能にし、賦活化するエネルギー」すなわち「食糧、燃料、爆薬、肥料、その他、使用時の変化に価値があるもの」と定義した消耗性の富のうちの「燃料」に正に同じと考えて良い。

そして、『燃料』のエネルギー・コストを集計する方法として、工業統計表その他の統計表による積上げ方式とプロセス分析に並んで、産業連関表を活用した推計方法を紹介したことは、5.3 節で述べたところである。

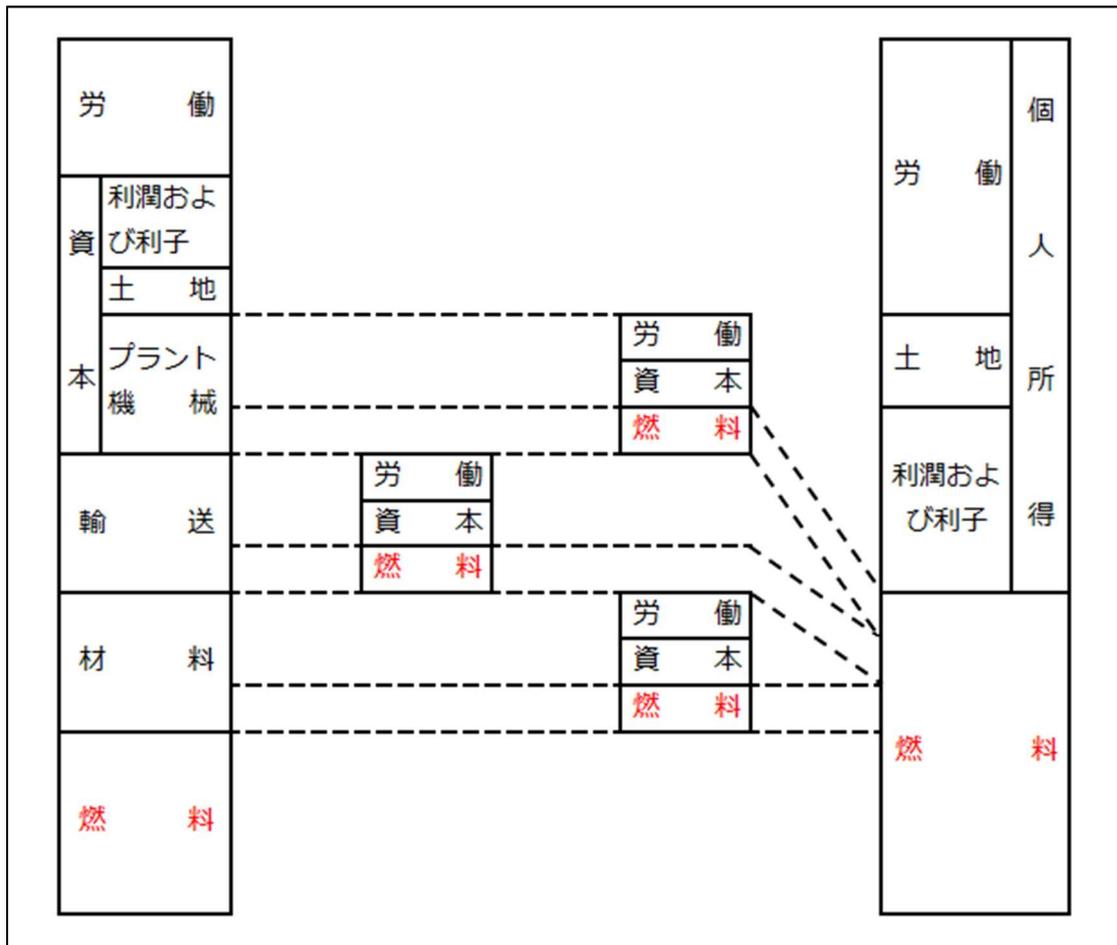


図 7.1 Chapman の「要素インプットの 4 個の基本インプットへの分割」

出所:Chapman (1979) (日本語訳版) から転載、一部色付けは筆者

一方、Kümmel (1982) は、生産活動の構成要素に資本と労働に、生産活動に投入されたエネルギーを加えた、KLEC(capital-labor-energy-creativity) モデルの構築を志向する。まず、石油、ガス、石灰、原子力、水素エネルギーの年間消費量を、ペタジュール (PJ) に換算し、これを合計してエネルギー投入量を設定する。次に、LINEX という生産関数を開発して、資本、労働とエネルギーという計測単位を異にする要素の相対的な比重の設定という難題の解決に当たったのである。

Strahan (2007) は、この LINEX 生産関数を次のように紹介、評価している。

「初年度の資本、労働、エネルギーの量を指数化し、その後の変化を比率で示し、比較可能にする。(中略) きわめて優れているが、ごく一般的な計算式が使われており、ある結果のなかで、いくつもの異なる要素が同時に変化していた場合、それぞれの相対的な重要性がわかるようになっている」。

確かに、これは、労働と資本に、エネルギー生産性改善とそれに起因するエネルギー消費の増大を加えることができる数式モデルとなっている。

キュンメルはその後も KLEC モデルに基づき考察を進め、最終的には Kümmel, Henn, Lindenberger (2002) において、「米国 (1960~93 年)、日本 (1965~92 年)、西ドイツ

(1960～89年)の3国は、計測期間においては1960年を1と置いた経済成長を示す指数の経験値とKLECモデルの理論値がほぼ同期し、GDPの増減に対するエネルギーの寄与は、米国：0.51(±0.02)、日本：0.61(±0.15)、西ドイツ：0.64(±0.15)と認められる」との推計を公表している。

この論文でキュンメルとその共著者は、「厳密に言えば、生産要素(としての)Eはまさにエクセルギー消費である。エクセルギーはエネルギーの有効な部分であり、他のエネルギー、特に仕事に変換することができる。Eを構成する化石燃料および原子力という主要なエネルギー形態は、有力なエクセルギーの担い手である」と位置づけている。

エクセルギーとは1.1.1項で述べているが《有効エネルギー》のことである。エアーズは、このエクセルギーの増加が経済成長に与える影響はキュンメルらの示唆するところより大きいと考えた。そこで、発電所や製造工程、輸送、暖房など主要なエネルギー消費部門について熱力学的効率の推移を調べ、エクセルギーを測る指標を開発した。そして、これをLINEX関数に基づくモデルに投入し「理論値」を計算したところ、それが1900年から1970年半ばまでの米国と日本の実際の経済成長率を高精度で再現することを突き止めたのである。ただし、20世紀の第4四半世紀中の成長率とは約12%の乖離が認められるとしている(Ayers and Watt 2009)。これは、情報技術の発達にあるとエアーズらは見ているが、私見では、序章で触れたSNAの基準改定も影響していると考えられる。

Strahan (2007) は、エアーズは「熱効率が向上すれば、コストが低下し、価格が低下する。価格が低下すれば需要が刺激され、利益が押し上げられる。その結果、設備投資が拡大する。それがさらなる効率の向上につながる」という「熱力学の効率の向上が引き起こす正のフィードバック・ループ」仮説を立て、それで「経済成長の要因のかなりの部分を占めることを示した」としている。

GDPは、消費と投資で構成されるが、それは取りも直さず、電力などのエクセルギーの利用(消費)やエクセルギー消費を土台に提供されたサービス、さらにエクセルギーが「体化」した住宅や生産設備、社会資本などへの貨幣価値の支払いである。これを前提にすれば、エクセルギーの獲得効率の改善がGDPの増大に繋がるという関係性が理解できる。この関係性に理論的な光を当てた功績は大きいと考える。

ここで、1.1.2項で示したソディの数式的表現とそれを図示した図1.1を再掲しよう。

$$\text{Raw Materials} + \text{Available Energy} = \text{Wealth I.} \quad (1)$$

$$\text{Wealth I} = \text{Life-Energy} + \text{Waste Energy and Materials.} \quad (2)$$

$$\text{Raw Materials} + \text{Available Energy} = \text{Wealth II} + \text{Waste Energy.} \quad (3)$$

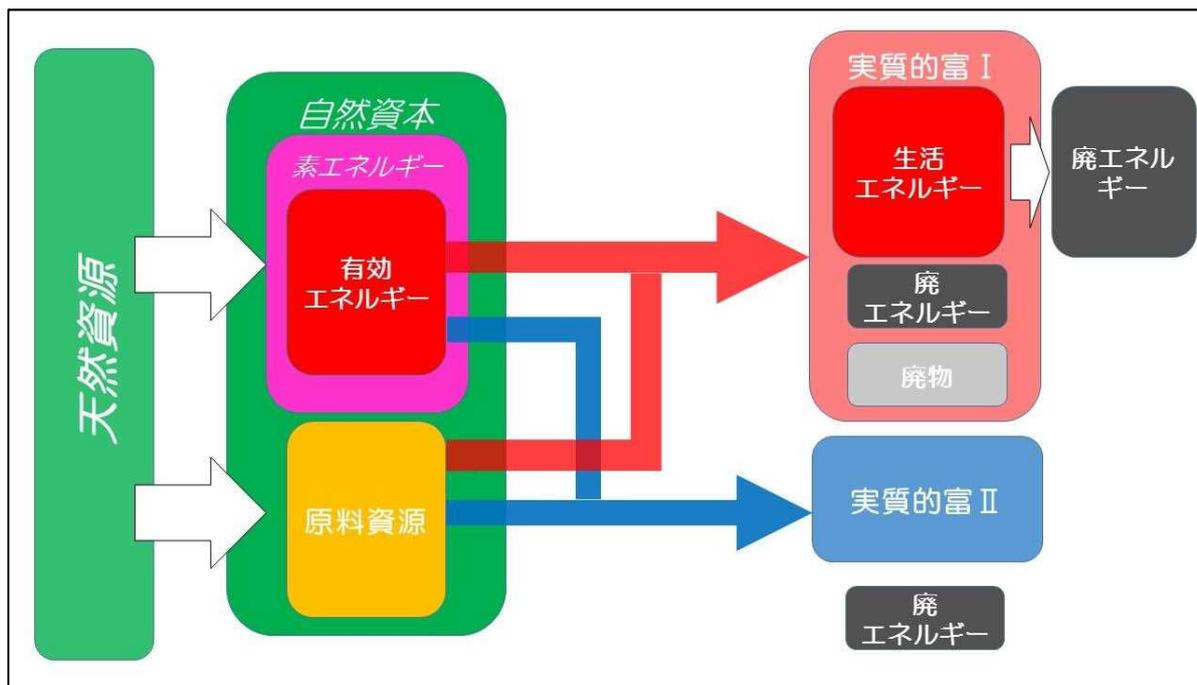


図 1.1 ソディの提起した実質的富の産出過程詳解（再掲）

出所：筆者作成

これを見ると、キュンメル、エアーズらの研究成果は、この数式的表現に現代の息吹を吹き込んだと考えて良いのではないか。

さらにキュンメル、エアーズらの研究は拡張の余地を残していることが分かる。

ジョージesk＝レーゲンが『エントロピー法則と経済過程』にいう「経済過程」には、エントロピーとなったエネルギー（Waste Energy）までが含まれている。これはまたソディの3式すべてを満たす「経済過程」でもある。社会に投入されたエネルギーは、フローで見れば、家計部門と政府部門への配分を除いて、産業部門において全て利用されエントロピー（廃熱）に転化する。したがって、このジョージesk＝レーゲンの意味における「経済過程」を捉えるためには、エアーズのGDPとエクセルギーの関係性を照射したモデルからさらに一步踏み込んで、GDPに中間投入を加えた、エントロピー生成も包摂するモデル設定が必要になる。

本研究の最大の課題設定は、これに取り組むことにあった。

これに対して本研究では、経済過程を「制度次元（貨幣・フロー）」と「物理次元（エネルギー・フロー）」という二つの次元で複眼的に捉えなおす必要性を提示し、具体的には制度次元の全産業産出（TIO）と、物理次元の1次エネルギー供給（PES）を同時に参照し、TIOをPESに「投影」することで、エネルギー量的価値（ECV）として経済過程を表示するという方法論を組み立てた。

これにより、どのような評価が可能になったか、日本の電力産業を題材に明らかにしてみよう。

まず物理次元で捉えると、2015年度の日本の1次エネルギー国内供給は、6.2.3項に示

したように、478.2MTOEである。電力産業は、このうち 166.5MTOE を使って、70.4MTOE の電力を提供している。(資源エネルギー庁 2019)

これに対して、制度次元で見ると日本の全産業産出は、同じく 6.2.3 項のとおり 1,073.0 兆円であり、このうち、電力産業の受取りは 22.5 兆円、2.1%となっている。(総務省 2019a)

この 22.5 兆円をこの 5.3 節で示した方法で「投影」して、エネルギー量的価値に置き直すと、10.0MTOE となる。

これを視覚的に示すと、次の図 7.2 のように整理できる。

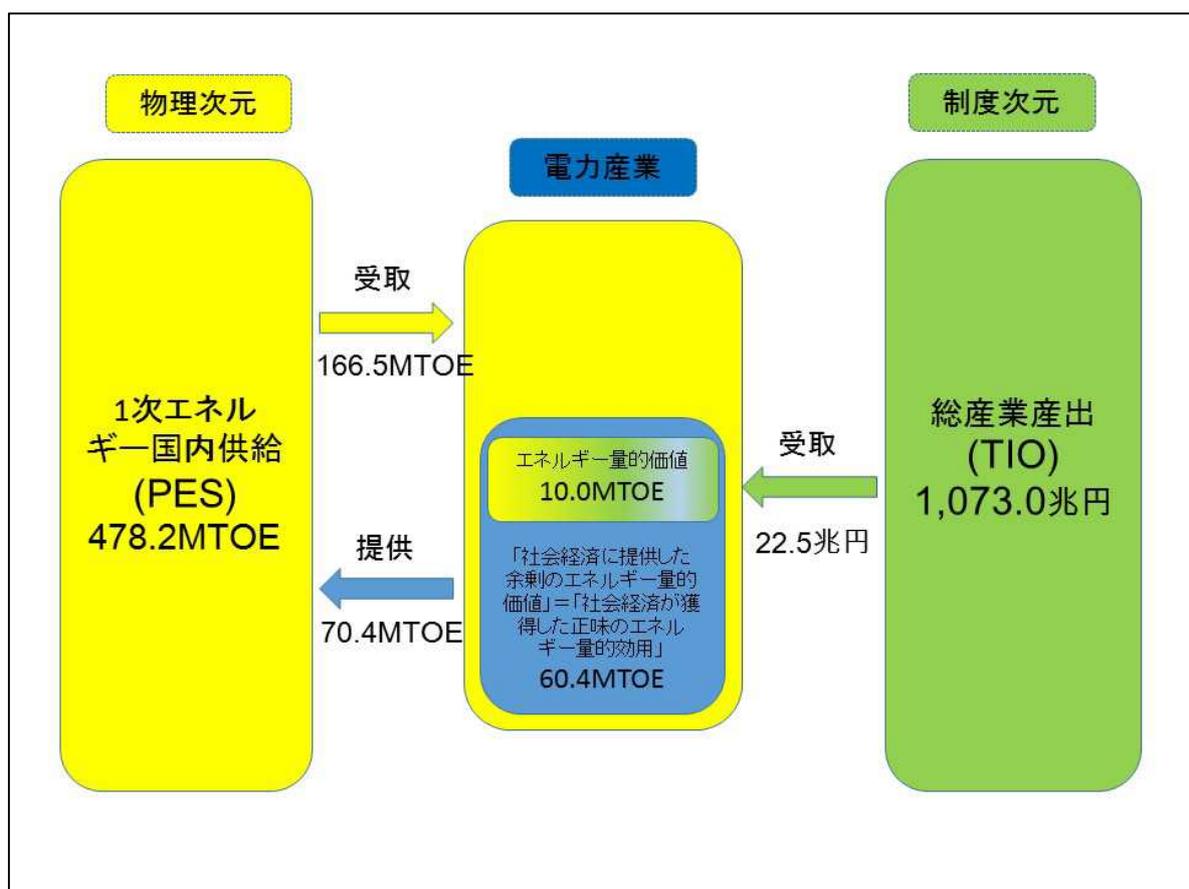


図 7.2 両建て分析から見えるもの

出所：筆者作成

要するに、日本の電力産業は実量として 70.4MTOE の電力を社会経済に提供しながら、貨幣価値を置き換えたエネルギー量的価値としては、10.0MTOE しか受け取っていない。

その差 60.4MTOE は、どう扱うべきか。

これは、電力産業が「社会経済に提供した余剰のエネルギー量的価値」、また「社会経済が獲得した正味のエネルギー量的効用」に当たると考える。

もし、電力産業が実量に等しいエネルギー量的価値を社会経済から取り込んでしまっ

たら、他の産業や家庭が使えるエネルギー量的価値は残らない。

Morgan (2013) は「究極的には、経済は余剰エネルギーの方程式であり、[歴史的にも] つねにそうであった」といっているが、余剰のエネルギー量的価値の提供こそが、電力産業をはじめとするエネルギー産業の存在意義である。

今後、1.1.4 項で触れたように EROI (エネルギー投資効率) の低い、従って「原価」の高いエネルギー資源に依存するようになるならば、電力産業の社会経済に提供する余剰のエネルギー量的価値は縮小するしかない。逆に社会経済は、電力産業から得られる正味のエネルギー量的効用を減らすことになる。あるいは、同じエネルギー量的効用を獲得するためには、他の効用の購入を断念するという形のより高い「機会費用」が要求されることになる。

本研究が採用した方法論は、それが、どれほどの価値としてのエネルギー量に当たるのか、推計可能としたのである。

第 8 章 結論

本研究は、＜「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立＞を最大の研究課題とした。この課題を解明するために、まず「ある財または経済行為の価値を、投入（＝消費）された 1 次エネルギー量に対応させて評価したもの」と位置づける「エネルギー量的価値」という概念の導入を図った。

電力産業に埋め込まれた営業構造分析を進めながら、この分析で利用した電力産業の損益計算書と貸借対照表に基づき現金支出レベルの費用推計に進んだ。そしてこの推計結果に、別途推計した発電実績に基づく 1 次エネルギー投入量の推計を投影し、水力、火力、原子力という各発電部門と送・配電部門のそれぞれに投じられた費用に「エネルギー量的価値」による評価を与えた。そのうえで、この各発電部門に投入されたエネルギー量的価値と需要電力量を比較して、エネルギーレベルの投入・産出効率を導いた。この一連の操作により、＜「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立＞が可能であることを証明した。

次いで、このアプローチを国民経済レベルに導入する方法を具体的に展開するという課題に取り組んだ。この課題解決のために、全産業産出 (TIO) と 1 次エネルギー供給 (PES) という二つのマクロ統計が同一の経済過程の二つのアспектであることに着目して、両者を対照させ換算係数を設定し、それを使って全産業産出 (TIO) の各要素を 1 次エネルギー供給 (PES) に投影することによって、当該要素をエネルギー量的価値に変換するという具体的なアプローチを導入した。

この具体的な変換方式を使って、「エネルギー量的価値 (ECV) で表示した全産業産出 (TIO)」の推移を示すとともに、日本の 3 鉄道事業のエネルギー量的価値レベルの事業評価を行い、国民経済レベルでも＜「エネルギー」を基準にした評価指標の定立とそれを活用した評価方法の確立＞ができることを立証した。

地球環境学に課せられた使命の一つに、地球環境に対立しない持続可能な社会経済システムへの移行を研究することがある。しかし、現実の社会経済には、歴史的に構築された大規模な社会資本が存在しており、それを無視してシステム転換を図ることはできない。このため、まず、現状の社会資本の様態を詳細に分析し、理解しておく必要がある。

本研究においては、電力産業という最大のインフラ産業に埋め込まれた営業構造を明らかにした。この点において地球環境学へ一定の貢献ができたと考える。

それにも増して「エネルギー量的価値」という概念を定立したこと、そのものが大きな貢献になると考える。

本研究の題材にした「電力」は、かつては照明や局所的な熱源に用いられる程度であった。しかし、現代では、照明、冷暖房はもとよりパーソナルコンピュータから電気自動車など輸送機器にいたるまで、日常生活のほぼすべてカバーする用途の動力として活用されている。電力 1kWh がもたらす効用はかつてなく高まっている。これは、電力の利用価値が格段に高まっていると考えても良いだろう。

しかし、1kWh の電力を同時に多用途に使うことは出来ない。必ず「何に」使うかとい

う選択がついて回る。エネルギー需給のひっ迫や地球温暖化防止など環境保全対策の深化に従って、この優先順位の選択は厳しいものになる。地球環境学の見地からは、エネルギー利用効率が高い用途から優先することが望ましいことになる。

この判断基準として、「エネルギー量的価値」という概念が大いに生きてくる。

本研究において提案した推計方法は、端的にいうと、各産業部門の産出や実現した付加価値を、国民経済における貨幣価値基準のシェア（占有率）に基づいてエネルギー量的価値に置き直したものである。

通常の経済学的理解では、エネルギー生産性とは、投入エネルギー対する売上げないしは利潤の大きさをいう。これが大きければエネルギー生産性が高いと評価される。

本研究にも、この対比構造は引き継がれる。このため、消費したエネルギーに比して売上げが大きければ、あたかもエネルギーレベルにおける投入・産出効率も高いかのような結果が出てくる。

ここに本研究の限界があると思われるかもしれない。

しかし、この経済学の一般認識で投入ないしは消費と捉えられているエネルギーは、あくまで（エネルギーバランス表に表示された）フローレベルのエネルギーである。

これに対して、本研究のアプローチによれば、生産設備や家屋、耐久消費財（ソディの Wealth II）に「体化」したエネルギーに量的評価を与えることができる。

これら固定資産に体化したエネルギー量的価値に利用率を乗じたもの(A)に、その資産の運用に要したエネルギー量的価値(B)を加えたもの{(A)+(B)}が、真に投入ないしは消費したエネルギー量的価値と考えるべきである。

本研究のアプローチを採用することで、第4章で示したように、水力、火力、原子力、新エネルギーという発電部門別に{(A)+(B)}を推計し、これを需要電力量と対比させて、エネルギーレベルでの投入・産出効率を求めることを可能とした。

さらに、第7章の7.3節で電力量というアウトプットの反対給付としての受取りを貨幣価値からエネルギー量的価値に置き直して、物理的アウトプットと比較した。このことで、電力産業が社会経済に提供するエネルギー量的価値の余剰を示した。これは制度次元（貨幣価値レベル）でのアウトプットにエネルギー量的評価を与え、物理次元のアウトプットと比較するという操作であった。

このような操作を可能としているのは、電力産業においては物理次元のアウトプットが一義的に明白に捉えられるからである。都市ガスなどエネルギー供給産業を除いて他産業においては、このような一筋縄ではいかない。

おそらく、資源制約や環境制約が大きくなる中、今後は同じ「効用」を実現するために如何に投入エネルギーを抑制するかが課題となる。本研究のアプローチからは、貨幣価値ベースのアウトプットにエネルギー量的価値を与えられる。一方、エネルギー・コスト論的アプローチにより投入エネルギー（ないしはエクセルギー）推計が求められる。これらの組み合わせを考えることで、各産業部門におけるエネルギータームでの入力・出力を比較できるところまで進む可能性が開けてくる。本研究の発展型としてこの課題に取り組んでいきたい。

さらに、エネルギー量的価値で評価した **Wealth II** に、適正な減衰曲線を算定することが出来れば、物理的に有意な耐用限を推定することが可能になる。そして、更新時期を迎えた固定資産の投入されたエネルギー量的価値に換算係数を乗じて現在の貨幣価値を求めれば、更新費用がほぼ正確に推計できることになる。このような推計は、過去において莫大な社会資本投資を行ってきた日本のような国においては、非常に大きな意味を持つことになる。

これを具体的に推計する方法論を確立することも次なる課題である。

これから先、日本において人口減少による経済縮小が懸念されている。それに対して、人工知能、ロボット技術、自動車の自動運転、より進化した IoT などの導入によって一人当たりの GDP を拡大し、そのことによって、経済縮小を補えるかも知れない。もしかすると、Rifkin (2014) がいう「限界費用ゼロ社会」の実現に近づけるかも知れない。

一方、近代経済学は、GDP を投入された資本と労働への見返りと見做してきた。そして、この GDP を増加させるために技術装備が高度化し、その結果、エネルギー消費が増大してきた。しかし、技術的重装備がエネルギー消費を今以上に拡大してしまうと、環境制約と資源制約から、社会経済を持続可能とするのは困難になる。

このような明確な危機認識が、近代経済学には形成されないという状況が生じている。経済活動のエネルギー量的側面からの評価がより一層必要となっている。

本研究で提示した「エネルギー量的価値」というもう一つの価値概念は、今後の経済における評価基準になり得ると考える。そのような状況に鑑みて、本研究が先行的な役割を果たせれば幸いである。

参考文献

- 明石順平 (2017) 『アベノミクスによろしく』 インターナショナル新書・集英社
- 朝日新聞社経済部編 (1971) 『くたばれ GNP：高度経済成長の内幕』 朝日新聞社
- 安倍修治 (2013) 「エネルギー問題としてのリニア新幹線」 (『科学』 2013 年 11 月号) 岩波書店)
- 稲葉寿 (2008) 「人口問題－人口学的アプローチ」 (東京大学大学院数理科学研究科)
http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~inaba/inaba_gendaishakai_2008.pdf
(Accessed 2018.12.27)
- 内橋克人 (2011) 『日本の原発、どこで間違えたのか』 朝日新聞出版
- 大来洋一/エルピラ・クルマナリエバ (2006) 「傾斜生産方式は成功だったのか」 - 政策研究大学院大学 GRIPS Policy Information Center, Research Report : I-2006-0008 2006 年 11 月) <http://www3.grips.ac.jp/~pinc/pdf/I-2006-0008.pdf> (Accessed 2018.12.27)
- 大島堅一 (2010) 『再生可能エネルギーの政治経済学』 東洋経済新報社
- 金森絵里 (2018) 「電力自由化時代の総括原価方式の維持」 『立命館経営学 第 55 巻第 2 号』
http://r-cube.ritsumeai.ac.jp/repo/repository/rcube/7611/be55_2_kanamori.pdf
(Accessed 2018.12.20)
- 河北新報 (2018) <再処理工場>総事業費 700 億円増 完成延期が影響
https://www.kahoku.co.jp/tohokunews/201806/20180613_23055.html
(Accessed 2018.12.20)
- 経済企画庁 (1952) 『昭和 27 年度年次経済報告』
- 経済産業省 (2015) 「長期エネルギー需給見通し」
https://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/pdf/report_01.pdf (Accessed 2019.4.18)
- 経済産業省 (2017) 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 電力・ガス基本政策小委員会 (第 4 回) - 配布資料 3 「電力小売全面自由化の進捗状況- 経済産業省」 (2017 年 7 月 7 日)
- 経済産業省 (2019) 「延長産業連関表 集計結果又は推計結果」
<https://www.meti.go.jp/statistics/tyo/entyoio/result.html#menu01> (Accessed 2019.4.18)
- 小出厚之助・室田武・鹿島信吾編訳 (1981) 『経済学の神話－エネルギー, 資源, 環境に関する真実 (Economics of Natural Resources Myths and Facts)』 東洋経済新報社
- 公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター (2015) 『平成 27 年度事業報告書』
https://www.rwmc.or.jp/disclosure/file/H27_jigyohoukoku.pdf (Accessed 2018.12.20)
- 国立環境研究所地球環境研究センター (3EID) 「産業連関表による環境負荷原単位データブック」 http://www.cger.nies.go.jp/publications/report/d031/eng/index_e.htm
- 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 (2018) 「もんじゅについてお答えします」 「2.1 「もんじゅ」の研究開発にかかった事業費 (予算額) はいくらか?」
<https://www.jaea.go.jp/04/turuga/anncer/page/kaitou/kaitou2-1.html>
(Accessed 2018.12.20)
- 資源エネルギー庁 (2011) 「電気料金制度・運用の見直しに係る有識者会議 (第 1 回)」 -

配付資料6「電気料金制度の経緯と現状について(資源エネルギー庁)」(平成23年11月1日)

http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/energy/denkiryoukin/001_06_00.pdf
(Accessed 2017.10.31)

資源エネルギー庁(2012)「質問への御回答」

https://www.cao.go.jp/consumer/iinkai/2012/090/doc/090_120529_shiryou2.pdf
(Accessed 2017.10.31)

資源エネルギー庁(2013)「総合資源エネルギー調査会・総合部会・電気料金審査専門委員会(第31回)」-配布資料5「個別の原価等について(公租公課、費用の配賦・レートメーク)」(平成25年6月14日)

http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/sougou/denkiryokin/pdf/031_h2_05_00.pdf (Accessed 2017.10.31)

資源エネルギー庁(2017)「平成28年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2017)第2部エネルギー動向、第1章国内エネルギー動向、第1節エネルギー需要の概要

<https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2017html/2-1-1.html> (Accessed 2019.4.18)

資源エネルギー庁(2018)「部門別収支について」

http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/fee/revision/departmentalization/ (Accessed 2018.10.31)

資源エネルギー庁(2019)「総合エネルギー統計」「集計結果又は推計結果」

https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/total_energy/results.html#headline2
(Accessed 2019.4.18)

渋谷往男・野口和彦・井上隆一郎・木根原良樹・高橋寿・永野譲(2008)「『豊かさ論』の変遷～豊かさの追求から幸せの追究への過渡期～」『所報 No.47』三菱総合研究所

https://www.mri.co.jp/NEWS/magazine/journal/47/_icsFiles/afieldfile/2008/10/21/jm06111503.pdf (Accessed 2018.12.20)

衆議院(2013a)「原発のない沖縄と電源開発促進税に関する質問主意書」

http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_shitsumon.nsf/html/shitsumon/180344.htm
(Accessed 2017.10.31)

衆議院(2013b) 同答弁書

http://www.shugiin.go.jp/internet/itdb_shitsumon.nsf/html/shitsumon/b180344.htm
(Accessed 2017.10.31)

総務省(2018)産業連関表の仕組み「1 産業連関表の構造」

http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/system.htm (Accessed 2018.10.31)

総務省(2019a)「産業連関表」

http://www.soumu.go.jp/toukei_toukatsu/data/io/index.htm#2 (Accessed 2019.4.18)

総務省(2019b)総務省統計局「人口推計の結果の概要」

<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/2.html#annual> (Accessed 2019.4.18)

総務省 (2019c) 総務省統計局「消費者物価指数 / 2015 年基準消費者物価指数 / 長期時系列データ 品目別価格指数 全国 月次 持家の帰属家賃を除く総合指数 (1946 年 8 月～最新月)」

https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=dataset&toukei=00200573&stat_infid=000031431697 (Accessed 2019.4.18)

高野学 (2004)「電気通信の料金設定と原価計算」『明治大学商学研究論集第 20 号』

https://m-repo.lib.meiji.ac.jp/dspace/bitstream/10291/8565/1/shougakuronshu_20_105.pdf (Accessed 2019.3.20)

滝澤美帆 (2019)「全要素生産性の定義・算出方法」

https://www.jpc-net.jp/jamp/data/JAMP01_2.pdf (Accessed 2019.6.4)

玉野井芳郎 (1979)『市場志向からの脱出—広義の経済学を求めて』ミネルヴァ書房

中部電力株式会社 (2013)「原子力バックエンド費用」(平成 25 年 11 月)

https://www.chuden.co.jp/resource/ryokin/one_shiryoku_05_8.pdf (Accessed 2018.10.31)

槌田敦 (1976)「核融合発電の限界と資源物理学ノート」日本物理学会第 31 回年会提出論文

槌田敦 (1982)『資源物理学入門』日本放送出版協会

電気事業連合会 (2018)「電力統計情報」<http://www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi> (Accessed 2018.10.31)

電気事業連合会 (2004)「原子燃料サイクルのバックエンド事業コストの見積もりについて」https://www.fepc.or.jp/about_us/pr/sonota/1191731_1511.html

(Accessed 2018.12.20)

電気事業連合会 (2013)『原子力コンセンサス 2013』

<http://www.fepc.or.jp/library/pamphlet/pdf/consensus2013.pdf> (Accessed 2018.10.31)

東京電力ホールディングス (2018)「第 96 期有価証券報告書 (平成 29 年度)」p.132

http://www.tepco.co.jp/about/ir/library/securities_report/pdf/201806-j.pdf

(Accessed 2018.12.20)

内閣府 (2001) 内閣府経済社会総合研究所「長期遡及主要系列国民経済計算報告 (昭和 30 年～平成 10 年)」財務省印刷局

内閣府 (2016)「国民経済計算の平成 23 年基準改定に向けて」

https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/seibi/2008sna/pdf/20160915_2008sna.pdf

(Accessed 2019.4.18)

内閣府 (2018) 内閣府経済社会総合研究所国民経済計算部「平成 23 年基準 SNA 産業連関表の概要」

https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sangyou/files/contents/pdf/h23/snaio_gaiyou_b23.pdf (Accessed 2018.12.20)

内閣府 (2019a)「統計表 (国民経済計算年次推計)」

https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/files_kakuhou.html

(Accessed 2019.4.18)

内閣府 (2019b)「統計表 (SNA 産業連関表)」

https://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/sangyou/files/files_sangyou.html
(Accessed 2019.4.18)

日本エネルギー経済研究所 (2005) 平成 17 年度内閣府経済社会総合研究所委託調査「経済・エネルギー・環境分析に資する産業部門別エネルギー投入表の推計」

<http://www.esri.go.jp/jp/prj/hou/hou019/hou19.pdf> (Accessed 2018.12.20)

日本エネルギー経済研究所 (2017) 計量分析ユニット編『エネルギー・経済統計要覧 2017』

日本エネルギー経済研究所 (2018) 計量分析ユニット編『エネルギー・経済統計要覧 2018』

日本銀行 (2019) 「物価、資金循環、短観、国際収支統計データの一括ダウンロード」

<https://www.stat-search.boj.or.jp/info/dload.html> (Accessed 2019.4.18)

日本地下鉄協会 (2018) 「平成 30 年度地下鉄事業の現況」

<http://www.jametro.or.jp/upload/data/bUaApeclKxbx.pdf> (Accessed 2018.12.20)

橋山禮治郎 (2014) 『リニア新幹線』集英社新書

長谷田彰彦編 (1994) 完全体系『経済学事典』新版・富士書店

松尾雄司・山口雄司・村上朋子 (2013) 「有価証券報告書を用いた評価手法による電源別長期発電コストの推移」『IEEJ 2013 年 8 月号』

室田武 (1979) 『エネルギーとエントロピーの経済学—石油文明からの飛躍』東洋経済新報社

室田武 (1993) 『電力自由化の経済学』宝島社

安田陽 (2018) 「コラム連載 送電線空容量および利用率全国調査速報 (その 1)」京都大学経済学研究科再生可能エネルギー経済学講座

http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/renewable_energy/occasionalpapers/occasionalpapersno059 (Accessed 2019.1.22)

山根小雪 (2017) 「入札現場で見た大手電力の猛攻、電気代 3 割引！」『日経ビジネスオンライン』2017 年 6 月 2 日

<http://business.nikkeibp.co.jp/atcl/report/16/022700115/060100020/?P=1> (Accessed 2017.10.31)

山本達也 (2016) 「エネルギー環境の構造的変化と民主主義に関する一考察」清泉女子大学人文科学研究所紀要第 37 号 2016 年 3 月

https://seisen.repo.nii.ac.jp/?action=repository_uri&item_id=895&file_id=18&file_no=1 (Accessed 2019.6.4)

吉岡斉 (2004) 「原子力発電に対する政策」『電力自由化の経済学』東京経済新報社

Ayers, R. U. and Watt, B. (2009) *The Economic Growth Engine: How Energy and Work Drive Material Prosperity*, Edward Elgar Publishing Limited.

Chapman, P. (1974) 'Energy costs: a review of methods' *Energy Policy* Volume 2, Issue 2, June 1974, Pages 91-103

Chapman, P. (1979) *Fuel's Paradise: Energy Options for Britain*, Penguin Books Ltd. (中西重康訳『天国と地獄: エネルギー消費の三つの透視図』1981 年、みすず書房)

Cobb, K. (2008) "The net energy cliff", *Resource Insights, Independent Commentary on Environmental and Natural Resource News*.

- <http://resourceinsights.blogspot.com/2008/09/net-energy-cliff.html> (Accessed 2019.6.4)
- Daily, H.E. (1996) *Beyond Growth*, Beacon Press. (新田功・藏本忍・大森正之共訳『持続可能な発展の経済学』2005年、みすず書房)
- Daily, H.E. and Farley, J. (2011) *Ecological Economics*, Island Press. (佐藤正弘訳『エコロジー経済学 原理と応用』2014年、NTT出版)
- Fisher, I. (1916) *The Purchasing Power of Money: Its Determination and Relation to Credit, Interest and Crises*, Macmillan.
- Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*, Harvard University Press. (高橋正立・上里公他訳『エントロピー法則と経済過程』1993年、みすず書房)
- Galbraith, J. K. (1994) *A Short History of Financial Euphoria*, Penguin Books. Kindle. (鈴木哲太郎訳『新版バブルの物語』2008年、ダイヤモンド社)
- Hubbert, M.K. (1956) 'Nuclear Energy and Fossil Fuel', presented a paper before the Spring Meeting of the Southern District. Division of Production. American Petroleum Institute. <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/1956/1956.pdf> (Accessed 2019.6.4)
- Hubbert, M.K. (1976) 'Exponential Growth as a Transient Phenomenon in Human History,' presented a paper before the World Wildlife Fund's Conference, *The Fragile Earth: Towards Strategies for Survival* in San Francisco. <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/print.htm> (Accessed 2019.6.4)
- International Energy Agency (2019) *Japan Balance* <http://www.iea.org/Sankey/index.html#c=Japan&s=Balance> (Accessed 2019.1.10)
- Kümmel, R. (1982) 'The impact of energy on industrial growth' *Energy* Volume 7, Issue 2, February 1982.
- Kümmel, R. Henn, J. and Lindenberger, D. (2002) 'Capital, labor, energy and creativity: modeling innovation diffusion' *Structural Change and Economic Dynamics* 13 (2002)
- Lorenzo, F. (2017) *The World After GDP: Politics, Business and Society in the Post Growth Era*, Wiley. Kindle.
- Myers, M. G. (1940) *Monetary Proposals for Social Reform*, AMS Press (Reprint 1970)
- Morgan, T. (2013) *Life after Growth: How the global economy really works - and why 200 years of growth are over*, Harriman House. Kindle.
- Nordhaus, W. D. and Tobin, J. (1973) 'Is Growth Obsolete?' reprinted from M. Moss (ed.), *The Measurement of Economic and Social Performance*, special issue of *Studies in Income and Wealth* 38, NBER: 509–32.
- Organization for Economic Co-operation and Development (iLibrary) "How's Life? Measuring Well-being" https://www.oecd-ilibrary.org/economics/how-s-life_23089679 (Accessed 2018.10.31)
- OECD (2015) OECD/International Energy Agency (IEA), OECD/Nuclear Energy Agency (NEA), "Projected Costs of Generating Electricity 2015 Edition". <https://www.oecd-nea.org/ndd/pubs/2015/7057-proj-costs-electricity-2015.pdf>

(Accessed 2019.1.10)

- Reinhart, C. M. and Rogoff, K. S. (2011) *This Time Is Different: Eight Centuries of Financial Folly*, Princeton Univ Press. (村井章子訳『国家は破綻する—金融危機の800年』2011年、日経BP社)
- Rifkin, J. (2014) *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*, St Martins Press. (柴田裕之訳『限界費用ゼロ社会 〈モノのインターネット〉と共有型経済の台頭』2015年、NHK出版)
- Rocco, M. V. (2016) *Primary Exergy Cost of Goods and Services: An Input – Output Approach*, Springer.
- Soddy, F. (1921) *Wealth, Virtual Wealth and Debt: The Solution of the Economic Paradox*, George Allen & Unwin Ltd (New print 1983).
- Solow, R. M. (1957) 'Technical Change and the Aggregate Production Function' *The Review of Economics and Statistics*, Vol.39, No.3
<http://www.jstor.org/stable/1926047> (Accessed 2019.6.4)
- Strahan, D. (2007) *The Last Oil Shock -A Survival Guide to the Imminent Extinction of Petroleum Man*, John Murray. (高遠裕子訳『地球最後のオイルショック』2008年、新潮社)

謝辞

本論文を取りまとめるに当たっては、京都大学大学院地球環境学舎前教授の植田和弘先生と同准教授の森晶寿先生、そして中京大学名誉教授の河宮信郎先生に、非常に長い年月にわたりご指導と激励を受け続けた。とても言葉に尽くせぬ学恩であるが、ここに記して、心から感謝を申し上げる。