

エネルギー問題のオントロジー的考察

新 田 義 彦

1. はじめに

まず本研究の背景について述べる。

去る 2014 年 10 月 23 日 日本大学経済学部産業経営研究所 60 周年記念ジウムが開催され、幸い好評のうちに無事終了した。このシンポジウムの中核に据えられた講演会「エネルギー問題をめぐる考察と提言」の企画と進行を担当し、その動機と背景などを講演会冒頭で報告（新田, 2014）して責務の一部を果たすことができた。しかし、講演会では時間の制約などのためエネルギー問題のすべてを議論することはできなかった。

エネルギー問題が抱える広大なスペクトルを考慮すれば、これは当然の帰結と言えるかもしれない。シンポジウムでは、我が国におけるエネルギー供給の在り様について、政策制度の側面、科学技術そして研究開発の側面から簡潔明快な提言発表が行われ、エネルギー問題を考える有意義な視座が提供された。これらの提言と視座はいわばポジティブなエネルギー問題を扱ったものである。

一方エネルギー問題には、国の境界を越えて取引される石油ガスなどのエネルギー資源に密着随伴する政治経済的競合と利益対立の問題、そして地球環境の保護と維持、あるいは回復などの重篤かつ困難な課題、つまりエネルギー消費の賦課（あるいは負荷）に関するネガティブな問題も鎮座している。エネルギー問題の空間は単業ではない。単純な目的関数最大化（あるいは最小化、最適化）の制御問題として論じることはできない。

このように複雑・複葉なエネルギー問題の全容を論じることは、もとより筆者の力量の遠く及ば

ぬ事柄であるが、関係する諸概念をキーワードとして切り出し、それらの間の関係をオントロジー的に考察した結果を報告して、やり残した責務の仕上げをしたいと考えた。

オントロジーとは、主要概念（キーワード）を、相互関係リンクをもつ語彙空間上に展開した系である。相互関係に函数を導入しつつ諸概念をパラメータ化すれば、極めて雑駁素朴なメタレベルのエネルギー問題の方程式系に接近できる。

オントロジーの構築には、今日さまざまな計算機ツールシステムが開発されているが〔文献溝口（2005）が、包括的な展望を与えてくれる〕、全自動でオントロジーを構築できるわけではない。本研究では、自動化システムの力は借りずに、人手による思考作業によりオントロジーの原型作成に挑戦した。オントロジー構築は、別の見方をすれば膨大な量の「エネルギー問題のレポートや論文・論説」から、構造的知識発掘（テキストマニング）をする作業ともみなせる。著者は簡単な知識発掘の方法論と手段を有しているが（Saraki, M. ed. and Nitta, Y. 2008）、今回はそれも利用せず全行程を手作業と頭脳労働により行った。手作業と頭脳労働に固執する理由は、思考による素朴直観的な原型オントロジーをまず構築すべきと考えたからである。

2. オントロジーとは

オントロジーには、内包的定義と外延的定義があると筆者は考える。

前者はそもそもの哲学的定義であり、歴史的原型といえる。広辞苑（第5版）によれば、ギリシア語の *on*（存在）と *logos*（論）の合成語で17世紀の造語。日本語では「存在論」である。特殊と一般、内因と外因、本質と実在、などの関係を哲学的に分析する。

後者は現代のコンピュータ情報処理の定義。人工知能的定義といえる。種々の重要な概念やキーワード（学術用語）を、体系的に編集した有機的辞書と定義できるだろう。有機性における最重要点は、概念間の上位・下位の関係、包含関係、属性関係、所有関係などが、明示的に提示される構造である。この構造により、種々の情報処理や人工知能の応用などの利便性を得ることができる。

哲学的な概念であったオントロジーを、人工知能や情報処理の基礎的枠組みとして、より柔軟にそして実用性のある方法論へと方向付けしたのは、Tom Gruber の WebPage 論文 (Gruber, T. R. 1993) と見なしてもよいかもしれない。彼はオントロジーそのものには、特定分野の知識体系の記述を含ませず、オントロジーを概念化作業のための有機的形式仕様として定義した。世界知識を記述するためのプログラム仕様として、オントロジーを位置付けたと言ってよい。したがってオントロジーは、一種の形式的知識仕様の記述言語と見なせる。オントロジーによる記述仕様の項目には、Entity (Instance 個体, Object (対象), Class (類), Set [集合], Property (属性), Relation (関係), Condition (条件: 個体の出現環境 (条件など), 制約 (Constraint), Rule (ある特定の主張を出発点とする論理的推論を If Then 形式で記述), Event (事件, 属性や関係の変化) が含まれる。

最近の研究の主流は知識の記述、つまり枠組みの中身まで含めてオントロジーと呼び、情報処理できるオントロジーを、計算機プログラムにより自動構築することに注力している [たとえば、文献溝口 (2005) を参照せよ]。その意味でオント

ロジーは、人工知能の基礎知識ベースとも言える。種々の知的作業は、オントロジーとして提供される知識を参照しつつ行われる。オントロジーの [半] 自動構築は、少し古い人工知能分野の術語に言い換えると、「知識発掘」や「知識抽出」となるが、本質はまったく同型の処理作業を行う。このような意味合いで、オントロジーという研究分野は、独自の新規性を持つものではなく、人工知能による「知識発掘」や「知識抽出」の現在形と言ってよいと筆者は考える。(オントロジー研究の専門家からは異論が出るかもしれないが!)

人手作業と頭脳作業に軸足を置く筆者は、両者の中間に位置する。いわば、哲学と人工知能が交錯し相補的に作用する領域でエネルギー問題のオントロジー構築を進める。

3. エネルギー問題の動的モデル

オントロジーに随伴させるための「エネルギー問題の動的モデル」について検討する。

オントロジーは、その原型が概念語（キーワード）の有機的体系である。つまり概念の包含関係の樹状図がベースになり、静的な索引体系のレベルで停滞してしまう危険性が高い。

エネルギー問題の動的な姿、原因と結果、生成と消費、効用と副作用、利益と損失、などの動的関係を、できるかぎり単純直裁なモデルとして抽出し、このモデルに随伴させる形式でエネルギー・オントロジーの原版（いわばベースキャンプ）を構築する努力をしてみたい。動的モデルと呼ぶときには、関係する要件の間の入力出力関係、原因結果関係などのいわば函数関係を重視した表現を使う。図式で表現すると：

$$x \Rightarrow y \text{ あるいは } y = M(x)$$

写像 \Rightarrow あるいは 函数 $M(\cdot)$ がモデルである。

動的モデルを簡明な短文の箇条書きで、表現した場合には「シナリオ」と呼ばれる場合も多い。本論文でも適宜、短文のシナリオを使うことにする。

当然エネルギー問題の動的モデルは、地球物理学的な視点に立つことになる。太陽光線として供給されるエネルギーを、どのように変形・変換して、人類が利用しているかをまず見る必要がある。本論文は科学論文ではないので、物理学の精密・詳細にはこだわらない。いわば常識的科学水準の域を出ないことを断わっておく。依拠する文献は [Newton2014 年 8 月号] である。

(1) エネルギーの基礎入出力モデル

太陽および月から届く基礎エネルギー

- ⇒ 地球への入力
- ⇒ 利用可能な種々のエネルギー形に変換
- ⇒ 人間による利用消費

但し、人間以外の生物による消費は無視

太陽から 1 秒間に届くエネルギー総量

$$= 1.73 \times 10^{17} \text{ ワット} = 17 \text{ 京 } 3000 \text{ 兆ワット}$$

月から 1 秒間に届くエネルギー総量

$$= \text{推定 } 8 \times 10^{12} \text{ ワット} = 8 \text{ 兆ワット}$$

月の重力（潮汐力）がもたらすエネルギー。潮流発電により利用が実現する。

利用可能な種々のエネルギー形の内訳＝

30% (5.2×10^{16} ワット) 反射で宇宙空間へ逃げるため、利用不可。

47% (8.1×10^{16} ワット) 太陽光（熱）ただし反射や水の蒸発・降雨を除く。大気や地表を直接温めるために消費される。

23% (4×10^{16} ワット) 水力（蒸発と降雨など）。

0.046% (8×10^{13} ワット) 植物に光合成で貯蔵されるエネルギー。バイオマス。

0.019% (3.2×10^{13} ワット) 地熱・火山活動
ただし、すべてが利用可能という

わけではない。

0.012% (2.1×10^{13} ワット = 21 兆ワット)

石炭約 6 兆ワット、天然ガス約 5 兆ワット、石油（原油）10 約兆ワット。これは長年の蓄積結果。太陽からのエネルギー供給からリアルタイムに生成されるわけではない。約 50 年は今の生産量を保持できるが、将来はの枯渇は不可避と予想されている。

注意：バイオマス（biomass）とは：ある時点で任意の空間内に存在する生物体の量。生物量。エネルギーの単位で表すことが多い。バイオマスのうち植物を燃やしてエネルギー利用すると、炭酸ガスが発生し大気汚染に直結するように考えがちであるが、元来炭酸ガスは光合成の際に大気から取り込まれたものである。差し引きがバランスし炭酸ガスを増加させることはないと考えられるべきである。少し日常感覚とのずれがあるが。

このモデルが示すことを約言すると：太陽および月秒間に届くエネルギー総量は、

$$17 \text{ 京 } 3000 \text{ 兆ワット} + 8 \text{ 兆ワット}$$

$$= 17 \text{ 京 } 3008 \text{ 兆ワット}$$

このうち人類が 1 秒間に利用しているのは、わずか 14 兆 (1.4×10^{13}) ワット。つまり太陽や月から供給されるエネルギーの 1 万分の 1 以下である。もちろん供給されるエネルギーのすべてが利用可能ではないが。

石油、石炭、天然ガス、などの化石燃料も、元来は太陽由来のエネルギー源ではあるが、その形成（再生成）には長年月がかかる。将来的な枯渇が不可避の上に、炭酸ガスを発生し地球温暖化の源泉となり得る危険性がある。

風力、波力、水力、そして太陽光を利用する再

生可能エネルギーは、有害の廃棄物を発生せず、無限で枯渇することはない。

故に、再生可能エネルギーの効果的利用法を開発し、これを利用すればエネルギー問題は解決したことになる。しかしこれは、現状では理想的解決目標というべきである。

(2) バイオ燃料オントロジーとその動的モデル (シナリオ)

文献溝口 (2010) および武内、溝口 (2010) に準拠して、この項 (2) を述べる。オントロジー構築自動化システム「法造」大田ほか (2011) を利用しつつ、シナリオに基づくオントロジーを導出している。「バイオマス資源生産においては、物質フローと環境負荷制御 (GHG 排出制御, 水質汚濁防止, 土壌劣化抑止) にばかり注意が行き、見落とされがちな、「人間の労働」、「人間の存在」、「海洋汚染のパス」などが、自動化システムの御蔭で検出できたと指摘している。この指摘は人工知能としてのオントロジー・システムの有効性を指摘していると見なせる。

バイオ燃料オントロジー構築の手順の概略は、次のようになる。

1) 収集したバイオ燃料に関する資料から、バイオ燃料生産と利用が様々な分野に与える影響に関して事例を、44 個の典型シナリオにまとめる。シナリオの例は、“バイオ燃料によって代替できるのは世界のエネルギー供給のわずかなシェアに過ぎず、それだけでは化石燃料への依存は解消できない”、“労働集約型小規模バイオエネルギー生産は、雇用創出の点では有利だが、生産効率や経済的競争力の点では不利となる、というトレードオフがある”、などである [注意：理解のしやすさのため一部シナリオの文言を変更した]。

44 のシナリオが扱う問題は、次の 9 項に要約できるとしている。

- 1.1) 貧困層へのエネルギー供給
- 1.2) 農工業の発展と雇用創出
- 1.3) 健康とジェンダー
- 1.4) 農業の構造
- 1.5) 食糧安全保障
- 1.6) 政府予算
- 1.7) 貿易, 外国為替均衡, エネルギー安全保障
- 1.8) 生物多様性, 自然資源管理
- 1.9) 気候変動

2) これらのシナリオを基にオントロジーを拡充する

- 2.1) シナリオに現れている重要概念をオントロジーに追加する
- 2.2) シナリオの行間 (隠された因果関係) を読みとって、概念関係を明確化しオントロジーに実装する

例として次のものを文献溝口 (2010) は、P.E-0802-5 で示している。

シナリオ：エネルギー作物生産重要が、食糧生産用の土地 (農地) を圧迫し、食糧価格の高騰を招く [注意：明確化のため一部文言を変更した]

- 2.1) により新規に抽出してオントロジーに追加した概念：「バイオマス資源需要」、「食糧用農地」、「食糧価格の高騰」
- 2.2) により明確化した関係：バイオマス資源増加⇒燃料用農地の増加⇒面積一定制約⇒食糧用農地の減少⇒食糧供給の減少⇒食糧価格の高騰

注意：2.2) はまさに筆者が本論文で論じている「エネルギー問題の動的モデル」の具体例の 1 つである。

溝口 (2010) は、2.2) で抽出した関係性をオントロジーに取り込むに際して、概念の上位下位関係、包含関係、入力出力関係などにも留意し、それが記述できる構造をオントロジーに追加したと述べている。これらの概念関係は、まさに動的モデルがあって初めて顕在化できると筆者は主張

したが、それと同型の言明がなされていたことになる。

溝口（2010）は、バイオ燃料オントロジーとその出発点であったサステナビリティ・オントロジーの関係についても言及しているが、本論文では取り上げないこととする。

(3) 我が国のエネルギー資源ミックス

2005年1月30日のTVニュース・ナインから：

- ・火力：88.8%
 - ・水力：8.5%
 - ・再生可能エネルギー：2.2%
 - ・原子力：1%
- ・2030年を目標に 原子力+再生可能エネルギーで50%を目指す。
- ・火力の中心はLNG（液化天然ガス）、火力は発電コストが高い。
- ・再生可能エネルギーは環境面で安全性が高いが、コストと安定供給の面で弱みがある。
- ・ベースロード電源の確保という観点からは、15~20%は 原子力に依存か（？）
- ・化石燃料による火力発電では、COP/MOP《Conference of the Parties serving as the Meeting of the Parties》（気候変動枠組条約締約国会議および京都議定書締約国会合の決定事項に注意する必要がある。

(4) クリーンで無尽蔵な新エネルギーに関するシナリオ

Newton2014年8月号より引用抽出。将来指向で楽天的な面もあるが、新規研究の開発成果の積極的応用として留意すべきシナリオと思われる。

- 1) 風力、太陽光、小水力などの再生可能エネルギーの真の実力
- 2) 風力発電設備（米国カリフォルニア州のウィンドファーム——すでに1億4千万人分の電力を産みだしている）

- 3) パネルで万単位の世帯を支える大規模な太陽光発電所（インドにあるメガソーラ）
- 4) 曇りでも夜でも発電できるソーラ発電所。秘密は熱。
- 5) 洋上風力発電——実証中の“浮く風車”。高層ビルに匹敵する高さ200メートル！
- 6) 再生可能エネルギーの出力変動対策——脱・お天気まかせ！風や日ざしを予測して、発電をコントロール
- 7) 小水力発電——“オーダーメイドで採算をとる”
- 8) 新・リチウムイオン電池——風力や太陽光の出力変動を補える新型リチウムイオン電池、次はナトリウムイオン電池？
- 9) 水素エネルギー——ガソリンと同じように「水素」が貯蔵・輸送されるようになる
- 10) ネット・ゼロ・エネルギー——電力消費量を自動で予測・制御し、エネルギーを“自給自足”

*注意：以上でNewton2014年8月号からの引用抽出終了。

4. エネルギー白書からの基礎的シナリオ（設問）の抽出

資源エネルギー庁が、平成26年6月に発行した「平成25年度エネルギー白書概要」から抽出した基礎的シナリオ（設問）、を以下に提示する。エネルギー問題において考えねばならぬ項目が簡潔に収集表示されていて、問題解決への良いガイドラインとなる。

以下は白書からの抽出した文の列挙であることを断わっておく。（一部読みやすさのために改変している）

エネルギー白書とは、エネルギー政策基本法第11条に基づき、前年度に講じたエネルギーに関する施策の概況を国会に報告するものである。平成25年度エネルギーの白書では、例年記載して

いる、エネルギー動向、前年度においてエネルギー需給に関して講じた施策の状況に加えて、平成26年4月11日に閣議決定されたエネルギー基本計画を踏まえ、国民各層の理解を深めるべく、エネルギーに関する諸課題をデータや情報等を用いて説明している。

(1) 海外の資源に大きく依存することによるエネルギー供給体制の根本的な脆弱性

○我が国の一次エネルギー自給率は、震災前(2010年：19.9%)に比べて大幅に低下し、2012年時点で6.0%。これは、OECD34か国中、2番目に低い水準。

(2) 人口減少、技術革新等による中長期的なエネルギー需要構造の変化

○今後、我が国の人口は2050年には約9,700万人に減少し、また、高齢化が進むと予測されている。
○自動車の燃費向上、次世代自動車等の開発等エネルギー使用合理化や、エネルギー源の利用用途拡大等の技術革新が進む中で、中長期的なエネルギー需要構造の変化も継続。

(3) 新興国のエネルギー需要拡大等による資源価格の不安定化

○世界のエネルギー需要は新興国を中心に拡大し、2035年には2011年比で1.3倍へ増加すると見込まれている(需要増の9割以上は中国・インド・中東諸国等の非OECD諸国)。
○新興国を中心としたエネルギー需要の拡大、地域における紛争、経済状況の変化による需要動向の変動等に伴い、資源価格は長期的な価格の上昇傾向とともに、国際情勢の変化に敏感に反応するようになっている。

(4) 世界の温室効果ガス排出量の増大

○新興国の旺盛なエネルギー需要により、2011年から2035年にかけて、インドが2.2倍、中国が1.3倍になること等により、世界のエネルギー

起源二酸化炭素排出量は、約2割(300億t→357億t)増加すると予測されている。

**エネルギー基本計画にある諸情勢

(1) 東京電力福島第一原子力発電所事故による深刻な被害と原子力発電の安全性に対する懸念
○東日本大震災は、全電源を喪失して原子炉冷却機能を失った東京電力福島第一原子力発電所の深刻な事故を引き起こし、周辺地域の住民は、未だ約13.5万人が避難生活を余儀なくされる状態となっている。

(2) 化石燃料への依存の増大とそれによる国富の流出、供給不安の拡大

○電力の化石燃料依存度は88%と、第一次オイルショック時(80%)より高い水準。
○原発停止、燃料価格の上昇、為替変動の影響から、鉱物性燃料の輸入額は2013年で27兆円と、震災前と比べ、10兆円も増加し、2013年には過去最大となる11.5兆円の貿易赤字を記録した。
○震災後の原発停止分の発電電力量を火力発電の焼き増しにより代替していると試算すると、2013年度における燃料費増加の影響は約3.6兆円と試算される。
○鉱物性燃料の輸入額のGDP比の推移をみると、2013年で5.7%と、資源価格が高騰していた2008年を上回り、第一次石油危機時と同程度の水準となっている。特に液化天然ガスの輸入金額の対GDP比は過去最高となっている。

(3) 電源構成の変化による電気料金上昇とエネルギーコストの国際的地域間格差によるマクロ経済・産業・家計(国民生活)への影響

○東日本大震災以降、高騰する燃料価格等を背景に、一般家庭部門等における電気料金(電灯料金)の平均単価は約2割上昇、工場、オフィス等の産業用に係る電気料金(電力料金)の平均単価は約3割上昇。
○日本のLNG輸入価格は16.6ドルと、米国(へ

ンリーハブ価格)の4.5ドル、欧州(NBP価格)の9.4ドルに比べ割高になっている。(日本のLNG輸入価格は、米国の国内天然ガス価格と異なり、輸入原油価格との連動性が高い。また、液化コスト・輸送コストを含む(注)。)

(注)液化コストは3~4ドル、米国からの輸送コストは3ドルと想定される。

○こうしたエネルギー価格の国際的な地域間格差がエネルギー分野のみならず、各業種の産業活動に大きな変化をもたらし、経済成長と産業構造に大きな影響。

(4) 我が国の温室効果ガス排出量の急増

○原発が停止した結果、電力分野の温室効果ガス排出量は2010年度に比べ、112百万トン増加。これは日本の温室効果ガス排出総量の約1割に相当する水準。一方、電力分以外の温室効果ガス排出量は2010年度に比べ、27百万トン減少。

(5) 東西間の電力融通、緊急時供給など、供給体制に関する欠陥の露呈

○東日本大震災では、太平洋側の多くの発電所が停止し、広域的な系統運用が十分にできなかったことから、不足する電力供給を手当てすることができず、東京電力管内において計画停電を実施。
○東日本大震災により、都市ガスの供給が滞り、石油やLPガスで補完することとなったが、被災地への円滑な供給には課題が存在。

(6) エネルギーに関わる行政、事業者に対する信頼の低下

○東京電力福島第一原子力発電所事故以前から、原子力政策をめぐる多くのトラブルやスケジュールの遅延が国民の不信を招いてきた。
○さらに、東京電力福島第一原子力発電所事故とその後の対応を進める中で、行政と事業者は、情報共有の在り方、地元とのコミュニケーションに関する問題意識の不足など多くの批判を受け、国民からの信頼を著しく低下させる事態に。

(7) 需要動向の変化—コジェネレーションの導入増や節電行動の変化

○東日本大震災後、我が国では経済が成長したにもかかわらず、我が国の電力消費量は2010年から2012年にかけて8.0%減少した。
○東日本大震災後、節電の定着が進み、2013年度夏季の定着節電量は2010年度比で約1,667万kW(2010年度夏季最大電力需要比で9.3%)。

(8) 中東・北アフリカ地域の不安定化等資源供給地域の地政学的構造変化

○近年、「アラブの春」をはじめ、中東・アフリカ地域の政治・社会構造が不安定化し、原油の供給不足への不安から原油市場も不安定化。

(9) 北米におけるシェール革命の進展による国際エネルギー需給構造の変化の兆し

○シェール革命により米国は中東地域を中心とした化石燃料の供給体制から自立し、その結果、中東はエネルギー需要が増大するアジアへの供給を拡大する等国際的なエネルギー供給構造に大きな変化。

(10) 新興国を中心とした世界的な原子力の導入拡大

○エネルギー需要の伸びが見込まれるアジアを中心とした地域は、エネルギー安全保障の観点から、今後、原子力の利用の拡大が見込まれる。

*コラム・トピックス

- ・定置用燃料電池の導入拡大
- ・燃料電池自動車の“世界最速の普及”に向けた取組
- ・水素社会の実現に向けた取組
- ・洋上風力発電
- ・バイオマスを用いた燃料の開発
- ・廃油を活用した地域の取組
- ・革新型蓄電池の開発
- ・大型蓄電池の系統運用への活用

* 以上で「平成 25 年度エネルギー白書概要」からの引用終わり

白書を通覧してみると、海外の資源依存に起因するエネルギー供給体制の脆弱性、エネルギー需要構造の変化、新興国のエネルギー需要拡大等による資源価格の不安定化、世界の温室効果ガス排出量の増大、東京電力福島第一原子力発電所事故による深刻な被害、原子力発電の安全性に対する懸念、化石燃料への依存の増大、エネルギー供給不安の拡大、電気料金上昇、エネルギーコストの国際的地域間格差、マクロ経済・産業・家計（国民生活）への影響、温室効果ガス排出量の急増、電力供給体制の欠陥、エネルギーに関わる行政・事業者に対する信頼の低下、コジェネレーションの導入増や節電行動の変化、中東・北アフリカ地域の不安定化、資源供給地域の地政学的構造変化と資源供給の不安定化、北米におけるシェール革命の進展による国際エネルギー需給構造の変化、新興国を中心とした世界的な原子力の導入拡大、などエネルギーをめぐる重要問題（シナリオ）、重要キーワードが、多数抽出できて、エネルギー・オントロジック構築の基礎データが得られることが分かる。

5. 記念シンポジウム講演の要旨からの術語抽出

注意：本章の文責はすべて本論文の筆者にあることをお断りしておきます。

(1) 江本英史（2014）の講演要旨から

世界のエネルギー動向、オイルショック、エネルギー安全保障、原油価格、気候変動対策、新興国のエネルギー需要、エネルギー価格、シェール革命、欧州の再生可能エネルギー大量導入、エネルギーシステムの変化、マクロ経済、関連産業への影響、2011 年東日本大震災、電力供給体制の変化、2012 年固定価格買い取り制度、太陽光発電、再生可能エネルギー発電、エネルギー事業と投資、電力・ガスのシステム改革、石油精製高度化

法、規制緩和と自由化、電力・ガス・石油産業における相互参入、エネルギーの供給と消費、再生可能エネルギー、コジェネレーション、分散型供給、省エネ投資、消費データ活用、送電網、流通インフラ、エネルギー・システムの効率性・柔軟性・安定性

(2) 松田将省（2014）の講演要旨から

発電技術開発、火力、原子力、自然エネルギー、グローバル研究、オープン・イノベーション、発電技術開発、環境負荷低減、経済性向上、火力発電、高効率発電、経済性向上、省資源化、石油ボイラーとガスタービンの高温化、高温材料、燃焼解析、冷却技術、地球温暖化防止、CO₂ 回収、個体吸着剤、原子力発電、東電福島（＝東京電力福島第一原子力発電所）事故、東電福島の廃炉の安全実現の技術開発、汚染水処理、ロボット技術、併設プラントの再稼働、安全性向上策、新設プラント、固有安全性技術、風力・太陽光利用による自然エネルギー発電、洋上立地拡大、浮体式洋上風力発電、発電量の不安定、電力系統安定化、蓄電池システム、省エネ支援技術、

(3) 高橋努（2014）の講演要旨から

核融合発電、持続可能エネルギー源、サプライチェーン、ロジスティックス、社会インフラ、自然環境への負荷、新エネルギー技術、核融合反応、水素プラズマ、超高温プラズマの封じ込め、ローソン条件、制御熱核融合、人工太陽、臨界状態、熱エネルギー、原子核、質量欠損、原子格エネルギー、重水素－三重水素反応、放射性物質、高速中性子、半減期、原子力発電、健康被害、発電プラント、トリチウム、燃料循環系、核分裂炉、核融合反応の暴走、直接発電、カテゴリの異なる原子力エネルギー、トカマク型閉じ込め装置、国際熱核融合実験炉・ITER、長時間燃焼、核融合炉工学技術、トリチウム、核燃焼プラズマ実験、慣性核融合、地球環境問題、持続可能な原子力エネルギー、核分裂発電、高速中性子、放射性廃棄物

の管理, 東日本大震災, エネルギー問題の構造化, 原発ゼロ, 原発推進, 再生可能エネルギー推進, 火力発電の復活, エネルギーのコスト, エネルギーが変えていく社会,

(4) 塩野光弘 (2014) の講演要旨から

海洋エネルギー, 東日本大震災, 再生可能エネルギー, 原子力発電の停止, 太陽光・風力・水力・地熱, CO₂ 排出ゼロ, 環境負荷, 国産エネルギー, エネルギー調達コスト, エネルギー調達リスク, エネルギー資源の輸入, エネルギー資源の自給率, 再生可能エネルギーの安定性・経済性, 海に囲まれた島国 (日本の立地条件), 潮流発電, 風力発電, エネルギー密度, 天候の影響小, ダリウス型水車, 海上設置型潮流発電装置, 海底設置型潮流発電装置, 浮体型潮流発電装置,

(5) 新田義彦 (2014) の講演導入「エネルギー問題を取り上げた動機と背景」から

エネルギー問題, 活動の源, 精力, 活気, 物理的な仕事, 力学的な仕事, エネルギーの形態, 質量, エネルギー資源, 省エネルギー, 石炭・石油・天然ガス, エネルギー産業, エネルギー革命, eco 活, 持続可能なエネルギー, 再生可能エネルギー, 南極の氷融解, 化石燃料の排出物 地球 (海水) 温暖化, 海水熱膨張, 海面上昇, 二酸化炭素の排出量削減, ロシアからウクライナへのガス供給再開, 自然の力で作った電気, 太陽光発電, 高濃度汚染水, 福島第一原発の汚染水処理, 自然エネルギーつぶし, 太陽光の買い取り停止, 原発再稼働, 送電網限界説の嘘, 原発派と再生エネ派, 地球におけるエネルギーの収支, 太陽から地球への入力, 人類によるエネルギー消費, 反射 (輻射), 太陽光 (熱), 風力・波力, 潮汐, 風力, 地熱, 水力, 物質の化学反応 (原子力 水素), エネルギーの蓄積サイクル, 再生可能 (Renewable) エネルギー, $W = 1$ ジュールの熱エネルギーを消費・供給/秒, $1w$ のコストと対価, 国際間での買い取り価格, エネルギーの流通経路, エネル

ギー問題は産業経営の基盤と深く複雑に関係, 化石燃料ベース (火力発電), 原子力 [核融合] 発電, 再生可能エネルギー (水力, 太陽光, 風力, 地熱, 潮汐, バイオマス, 水力) 等多様なエネルギー源が存在, プラスとマイナスのトレードオフ, 人類による [大量の] エネルギー消費, エネルギー問題は世界経済の動態とも強く連関, エネルギー問題は広範な作用域を政治経済環境・地球環境の上に有す, 妥当な (ある意味で妥協案の) 方策?

6. エネルギー・オントロジーの上位構造の試作

抽出したエネルギー関連術語, およびエネルギー問題の動的モデル (シナリオ) を基礎データとし, それらをオントロジーの典型的観点を参照しつつ, 大まかな概念分類を行った結果を示す. 抽出した術語はここで示す大分類の (時に複数の) 何れかに属することとなる. シナリオにおいて提示した問題・課題は, オントロジー上の概念エントリーを手掛かりにして参考資料に到達できる. オントロジーが, 問題に対する解答を提示する機能は未だ実現していない. 問題への解答は人脳の仕事であり, オントロジーは人工知能を付与されているにせよ, 人間の思考や推論のための参考情報を検索提示するだけである.

エネルギー問題のオントロジーを考える場合, 問題が相当に複雑複葉であることは, すでに述べた. しかし問題がすべてエネルギーの生成加工と購入販売利用などに関係しており, 概念的な具体性・具象性が狭い範囲に絞り込まれていると見なせる. このことは前章までの議論でも示した.

したがってメタオントロジー (上位オントロジー) は考慮する必要がなく, オブジェクト・オントロジーのみを考察すれば十分のように見えるかもしれない. (cf. メタオントロジーとオブジェクト・オントロジーの区別, 両者の関係などについては武田 (2004) に明瞭な解説と議論がなされている.) メタオントロジーは, オントロジー構成要素 (つまり個々の概念や術語) を記述する方

法、様式、観点、属性などに関するオントロジーである。

メタオントロジーにおいては、Entityが最上位。その下位に、Physical EntityとAbstract Entityが位置する。Physicalは、時間と空間（場所）という属性を持つ。Physicalの下位には、ObjectとProcessを置くこともできる。

エネルギー論の場合も、メタオントロジーに準じた考え方で上位のオントロジー構造を定めると、問題点の整理に好都合のように思われる。

- ・エネルギーの形態⇒熱、光、電気、物理的力、
- ・エネルギー源⇒化石燃料（⇒石油、石炭、ガス、）、地熱、樹木、水力（⇒雨、河川、潮汐）、
- ・風力、太陽光、物質（原子力、核分裂）
- ・供給形態⇒自然（⇒再生可能、再生困難）、人為（⇒自国産、外国から購入・輸入、国際情勢）
- ・購入・製造コスト（⇒運搬コスト、原材料費、設備投資）
- ・消費者のコスト
- ・環境負荷（⇒土地利用、廃棄物、環境汚染、）
- ・エネルギーの供給・消費量の計算と制御
- ・産業への影響（⇒雇用促進、生活への負荷）
- ・研究開発（⇒円熟技術、新規開発、研究段階技術（⇒小規模水力発電、浮体式風力発電、・・・）、新規開発製品（⇒電気自動車））
- ・危険性（⇒対処可能（⇒消化鎮火容易）、対処困難（⇒暴走、炉心溶融、チャイナ・シンドローム、・・・））
- ・健康被害（⇒火傷、被爆、発癌、・・・）
- ・・・・

7. おわりに

得られた知見と今後の課題について述べる。

1) エネルギー問題には、大きく分けて地球物理学的な観点、政治経済的な観点がある。

- 2) 地球物理学的な観点は、太陽光線とその恩恵（照射）を受ける地球の関係をエネルギー供給と消費の関係から考察する。人間がエネルギーを使うことにより生成する副産物、特に炭酸ガスなどの大気汚染物質の問題も含まれることに留意する必要がある。
- 3) 政治経済的な観点には、国際間で取り引きされる資源（財）の関係を考察することになるが、多国間の競争、利害の相反、政治的対立、など多様複雑な因子が関与するため、オントロジー的な分析だけでは不十分である。国際政治経済の問題としての分析が必須であり、本論文の守備領域には収まらない。考慮すべきオントロジー的キーワードは抽出したが、そこで分析は止めた。
- 4) 地球物理学的な観点は、太陽光線の恩恵分析であると換言できるが、その直接利用をする再生可能エネルギー、長年年月の変形蓄積結果を利用する化石燃料エネルギーと原子力エネルギーの問題に大別できる。
- 5) 再生可能エネルギーには、太陽光を直接電気エネルギーに変換する太陽光発電、温められた空気や海水が移動する力を利用する風力発電や潮汐発電、などが含まれる。
- 6) 再生可能エネルギーは、無限（無尽蔵）で無公害という短絡的なキャッチフレーズ理解は慎重に遠ざけるべきである。人間の活動に利用できる形態に変換する過程で、望ましくない副産物や副作用が生起する可能性を否定できない。
- 7) 化石燃料（石炭石油）や樹木燃料は、人類が古代から利用してきた、いわば馴染みのある使いやすいエネルギー資源である。しかしながら、炭酸ガス廃棄物の発生と資源量の枯渇（量的限界）という大きな問題を持つ。
- 8) 原子力エネルギーも、太陽から誕生した地球が受理した太陽エネルギーの超長期変形物質の利用と言える。最もエネルギー効率が高いが、副産物（放射性廃棄物）の生成とその処理困難、原子力発電における核反応制御の難しさ（万が

- 一の暴走を古典的火力の鎮火のように直接的に制御できないこと), などの重篤な問題点がある。
- 9) 水素の燃焼エネルギーは、有害副産物ゼロであり有望であるが、生産と保存供給などの運用面でまだ課題が残る。
- 10) 化石燃料には地下・海底内蔵ガスエネルギーも含まれるが、石油と類似の問題を持つ。

以上が、地球物理学的な観点に軸足を置く、エネルギー問題の素描である。

これらの問題項目は、エネルギー問題モデルとして編集（コンパイル）することができる。このモデルに随伴する主要な概念を、オントロジー構築の方法論により収集構成し、提示した。

エネルギー問題をオントロジー的観点から分析して得られた知見は下記のように要約できる。

エネルギー問題の妥当な解答・解決は、まず地球物理学や地球環境学の観点から得られる知見を尊重し、その許容する範囲の中で政治経済的な妥当解・実現可能解を求めべきである。政治経済的な最適化を優先してエネルギーの需給を先行させると、回復不可能な環境破壊や汚染そして資源枯渇の破局に踏み込む危険性がある。

しかしながら、環境破壊・大気汚染の問題が広く指摘されているにも関わらず、炭酸ガス排出量のコントロール、石炭石油資源の利用と再生可能エネルギー利用の最適利用配分など、は未だ十分に達成していない。国際間にまたがる政治経済関係には、不可避的に制御不能もしくは制御困難な要素が随伴するからである。

地球物理学的な観点（つまり地球環境の安全性の保持）を主とし、政治経済的観点を従とすべし、という考え方はもちろん広く学界や国際会議で言われていることであるが、この考え方に基づくエネルギー問題オントロジーの構築試論には、多少の新規性があるかもしれないと密かに考えている。

もう1つ大切な留意点について述べる。

エネルギー問題の動的モデル、あるいはエネルギー問題シナリオにおいては、利害の対立、特に表面に出現していない（出現しにくい）ネガティブな要素、弱者の不利益となる問題、を丁寧に取り出し、選択手段が及ばず陽（+）と陰（-）の効果を慎重に加味せねば、真に人間を幸福にする「有益なエネルギー問題の解決策」は得られない。

人工知能型オントロジーを利用したとしても、全自動でエネルギー問題の解決シナリオが入手できるわけではない。人手や人脳による慎重な目配りがあって初めて有効な問題解決用オントロジーが構成できることに留意すべきである。

すでに述べたように、本論文が取り扱った小規模で論理的な動的モデルだけでは、エネルギー問題の最良解は入手できない。

政治・経済・物理・環境・健康・労務・国際関係・・・ミックスとでも言うべき、超大規模な多次元連立方程式系を解かなければ、有意味の解は得られぬようにも思われる。超大規模方程式系を扱うことは、現状の筆者の力量を大きく超える課題であるが、妥当性を吟味しながら部分問題や局所問題を切り出して、エネルギーの最適利用問題を解く課題には、今後も継続的に取り組んでみたいと考えている。

以上で、2014年10月23日 日本大学経済学部産業経営研究所60周年記念ジウム「エネルギー問題をめぐる考察と提言」の企画立案者としての小生に残された責務を清算できれば幸甚である。

謝辞

日々超多忙な研究・管理・監督業務についておられるにもかかわらず、筆者の唐突なる講演テーマ企画に耳を傾け、講演依頼を御快諾いただき、産業経営研究所60周年記念ジウムにおいて、有意義で示唆に富むご講演をいただいた、日本

政策投資銀行の江本英史課長, 日立製作所・電力システム社の松田将省 CTO (Chief Technical Officer), 日本大学理工学部・物理学科の高橋務教授, 日本大学理工学部・電気工学科の塩野光弘教授, に感謝の意を表明します。特に日立製作所・中央研究所・情報企画部の木下登美子さんには, 長期間にわたり講師の人選で大変お世話になりました。記して謝意を表明します。

産業経営研究所 60 周年記念ジウムの立案と実現をしていただき, その上講演会テーマ「エネルギー問題をめぐる考察と提言」および講演者選抜と講演会の進行管理などを老体の筆者に一任するという英断を下された, 小槻治宣教授 (日本大学経済学部・学部長), 三井泉教授 (産業経営研究所前所長) および小巻泰之教授 (産業経営研究所前所長) に感謝します。

エネルギー問題の扱い方に関して有意義な討論をしていただいた, 産業経営研究所員の平野文彦教授, 江上哲教授, 山崎福壽教授, 佐々木一彰講師, にも感謝します。

参考文献

- Gruber, T. R. (1993), A translation approach to portable ontology specifications, In: Knowledge Acquisition, 5 (1993) pp.199-220
- 溝口理一郎 (2005), オントロジック工学, 知の科学, オーム社
- 大田衛, 古崎晃司, 溝口理一郎 (2011), 実践的なオントロジック開発に向けたオントロジック構築・利用環境「法造」の拡張——実践編, 人工知能学会論文誌, 26 巻 2 号 E (2011) pp.403-418
- 武田英明 (2004), 上位オントロジック, 人工知能学会誌, 10 巻 2 号 (2014 年 3 月) pp.172-186
- Newton 2014 年 8 月号, クリーンで無尽蔵: 新エネルギー, ニュートンプレス (2014-8)
- 佐良木昌, 新田義彦 (2008), *Regular Expression and*

Text Mining: 正規表現とテキスト・マイニング, *Second Printing*, 明石書店

- 江本英史 (2014) (日本政策投資銀行 産業調査部 課長), 国内外のエネルギー動向, 日本大学経済学部産業経営研究所 60 周年記念ジウム招待講演 (2014-10-23)
- 松田将省 (2014) (日立製作所 電力システム社 CTO (Chief Technical Officer)), 最近の発電技術開発について——火力, 原子力, 自然エネルギー, 日本大学経済学部産業経営研究所 60 周年記念ジウム招待講演 (2014-10-23)
- 高橋努 (2014) (理工学部 物理学科 教授), 核融合とエネルギー (核融合発電は, 人類の持続可能なエネルギー源になれるか!), 日本大学経済学部産業経営研究所 60 周年記念ジウム招待講演 (2014-10-23)
- 塩野光弘 (2014) (理工学部 電気工学科 教授), 海洋エネルギーと発電, 日本大学経済学部産業経営研究所 60 周年記念ジウム招待講演 (2014-10-23)
- 新田義彦 (2014), 産経研シンポジウムでエネルギー問題を取り上げた動機と背景——シンポジウムテーマの企画立案の立場から, (日本大学経済学部産業経営研究所 60 周年記念ジウム・モデレータ) (2014-10-23)
- 武内和彦 (2010) (課題代表者) E-0802 アジア太平洋地域を中心とする持続可能な発展のためのバイオ燃料利用戦略に関する研究 (環境省環境研究総合推進費補助事業)
- , 溝口理一郎 (2010) (2) 持続可能な発展を目指したバイオ燃料利用戦略の策定
- 溝口理一郎 (2010), (1) オントロジックを用いた問題の構造化と政策立案支援ツールの開発 (大阪大学) in: Takeuchi, T. (2010)
- 資源エネルギー庁 (2014), 「平成 25 年度エネルギー白書概要」(平成 26 年 6 月発行)
- 【産業経営研究 第 37 号 (2015) より転載】