

エネルギーギークを 考える

学の融合と拡散

金子務・鈴木貞美編

エネルギーを考える／目次

第一部 科学技術の基本問題から 9

1 エネルギー論の形成と風土
——学の融合と拡散としての結節概念と学派の役割 金子 務 10

2 エネルギーの起源について 池内 了 49

3 風の歴史——人類との共存を考える 廣田 勇 65

4 科学史・技術史におけるエネルギー概念 橋本毅彦 74

5 湯川秀樹たち物理学者と原子力 小沼通二 90

6 福島県におけるエネルギー開発の盛衰史 荒川 紘 129

第二部 生命とエネルギーの観点 159

7 一九世紀末の物理科学的世界観と生命論

——Vitalismとは何であったか 米本昌平 160

8 心身一元論者からみたエネルギー 斎藤成也 171

9 労働とエネルギー 小木和孝 184

10 生命エネルギーと修行の原理

——宗教体験におけるミクロコスモスとマクロコスモス 正木 晃 201

第三部 文化史・学問論の立場から 219

11 エネルギーの文化史へ——概念変容をめぐる覚書 鈴木貞美 220

12 二一世紀のための教養——学術の連環 赤木昭夫 272

あとがき 金子 務 296

エネルギーを考える

——学の融合と拡散

本書「エネルギーを考える」は、総合研究大学院大学・学融合推進センターの研究費助成を受けたプロジェクト「日本における諸科学の編成と基礎概念の検討―文理融合の有効性をさぐる」の最初の成果報告である。当プロジェクトは、今日、人文社会科学系・自然科学系の研究者が協同して研究を行うのに効果的と思われる「エネルギー」「生命」「情報」「科学政策」の四つの課題をあげ、それぞれにチームを編成、三年計画で、二〇一一年夏にスタートした。最終的には「科学政策」の在り方、ないしは文理統合型研究の在り方に対して、提言を行うことを目標にしたものである。

「エネルギー」班は、大阪府立大名誉教授・金子務氏にチーム・リーダーをお願いし、二〇一〇年内から準備を進めていた。地球環境問題が問われる時代に人類の生活にとつてエネルギーとは何か、という根本的な問題と取り組み、検討すべき課題は何か、を鮮明にすることを当初の目的にしていた。だが、二〇一一年三月一日の東日本大震災が呼び起こした福島第一原子力発電所事故は、日本のエネルギー政策、それを推進してきた産官学の体制、また科学技術の在り方そのものに対する疑問を広範に巻き起こさずにはおかなかつた。フクシマは、高度な科学技術を誇る日本に起こった事故として国際的にも衝撃をもたらし、フクシマがいわば我々の背中を押すように働き、エネルギー班の作業は金子務氏の指揮の下で予想した以上に順調に進んだ。

原発事故以来、わたしの胸の内に去来してやまない思いがある。かつて国際日本文化研究センターの共同研究「日本の科学と文明」(代表、伊東俊太郎教授。成果報告書、伊東俊太郎編「日本の科学と文明―縄文から現代まで」)同成

社、二〇〇〇)の幹事をつとめていたとき、原子力資料情報室代表、高木仁三郎氏を招いて原発をめぐる国際情勢について話を聞いたことがある(一九九五年三月二四日)。高木氏はまず、そこに参加していた村上陽一郎氏と自分が東大教養学部で同じクラスでありながら、四〇年振りに顔を合わせたと切り出した。それは自分が「反アカデミズム」を生きてきたことの静かな姿勢の表明だった。そのときの記憶が鮮明にわたしの脳裏に刻まれている。

高木氏は、原発をめぐる国際情勢を淡々と語った。日本の原子力行政の在り方を問い、誰かが危険性に警告を発しなければならぬと決意し、その道を歩いてきたこと、ひとりの科学者として、当然のことをしているだけだという姿勢が滲み出ていた。

高木仁三郎氏も津波による被害を「想定」していたわけではない。だが、原発全般について、電源が失われたら冷却機能が喪失し、水素爆発が起きることの危険性を指摘し、建屋が吹き飛んだときの放射能汚染の範囲などまで、逐一「想定」したデータを発信していた。そのことは、関心を寄せる人びとにはよく知られていた。そのひらりは国際的であり、かつ、その事実が消えない。そして、彼が「想定」したことが現在も進行している。

そのとき、高木仁三郎氏がなぜ、アカデミズムの外部に立つこと、反アカデミズムの立場を強調したのか。門外漢のわたしにも、エネルギー班の二回にわたるシンポジウムによつて、ようやくその意味がわかりかけている。たとえ外部に立つ者であろうと、確たる根拠をあげての批判に耳を貸さないアカデミズムは、その名に値しない。いや、そもそも体をなしていなかったのだ。もちろん、それは核科学に限らない。

本書は、二回にわたるシンポジウムの企画立案から運営まで、すべて金子務氏のご尽力のたまものである。そして参加された方々、論文を寄せていただいた方々、さらには、このような試みに助成費を認めてくださった総研大・学融合推進センターに深く感謝したい。

第一部 科学技術の基本問題から

1 エネルギー論の形成と風土

——学の融合と拡散としての結節概念と学派の役割

金子 務

はじめに

日本の明治近代化は、技術史的に言えば、蒸気の時代を飛び越えていきなり電化問題に突入したといつてよい。明治期の琵琶湖疎水の大事業も、水力発電所建設と結びつくことによつて、大きな意味を持った。世界的にも電気の技術体系は、明治維新が始まる一九世紀後半に立ち上がったばかりだから、日本にとつて幸いだつた、と思つてきた。そこにこの三・一一、東日本大震災と福島原発事故である。停電騒ぎも加わつて、電化生活の危うさを感じ知らされた。産業革命の起点にあるワットの蒸気機関が、迫り来る高圧蒸気の時代につないでいくのだが、ここが大気圧から蒸気圧へ、自然力から人工力（この彼方に原子力がある）への分水嶺になつてゐるのでは、と思ふようになった。この熱機関の研究からエネルギー概念も誕生する。

「エネルギー」は資源的には潤沢で選択可能な時代をあとにして、いまや地球上で選択の幅が限られ競争に晒される時代に入つてゐる。一方、「エネルギー」の言葉の意味は拡大融合して、すべての事象・価値・行動の源泉でもあり制約にもなつてゐる。かつて貝原益軒が萌えいずる草木の息吹に「氣」をあて、朱子学の「氣」を変化生成

の説明原理としたように、いまや「エネルギー」は、われわれの生活、文化、経済、政治、軍事などあらゆる局面が、それによって説明され制御される時代になっている。

「エネルギー」の科学的概念は一九世紀半ばに熱力学の成立とともに転換可能な保存量として定立された。しかしその世紀末には、すでにこの概念は変容しつつ他領域に浸透していた。一例を挙げれば、一八九二年の時点で、エンゲルスは、「物質と運動、すなわち今日のいわゆるエネルギーは、創造されることも破壊されることもない」といつつ、当面の敵である不可知論者を攻撃するのに「エネルギー」を使って、彼らは「精神はエネルギーの様式であり頭脳の一機能である」と言うが、それはいわゆる史的唯物論の立場と違ふと断定した（『空想から科学へ』英語版序文、一八九二年）。しかし不可知論者の言うように、ベルグソンの「エラン・ヴィタール」やフロイトの「リビドー」を指摘するまでもなく、「エネルギー」概念は物質世界を飛び越えて、精神世界や深層領域へと潜入していった。

自然科学的世界では、前世紀末を挟んで、放射能の発見（ベクレル、一八九六年）、エネルギー量子の導入（プランク、一九〇〇年）、質量・エネルギー等価則の発見（アインシュタイン、一九〇五年）、量子力学の形成を通して、エネルギーとその保存則が物理学の最も重要な基本量であり基本法則であることは揺るぎないものになっていく。この間、エネルギー一元論者すなわちエネルギーテイク（Energetik）のオストヴァルト（Friedrich Wilhelm Ostwald, 1853-1932）と、原子論者すなわちアトミスティック（Atomistik）のボルツマン（Ludwig Boltzmann, 1844-1906）との間に熾烈な論争があったが、原子の存在がトムソン（Joseph John Thomson, 1856-1940）のイオン研究やペラン（Jean Baptiste Perrin, 1870-1942）のブラウン運動研究によって白日のものになるに及んで、オストヴァルトも一九〇九年には原子論を承認した。しかしオストヴァルトは、原子論者の力学的機械論的自然観にはマツハ（Ernst Mach, 1838-1916）同様、生涯承伏しなかった。論争の根には世界観の趣向の問題があったのである。

このように「エネルギー」という概念は、文系理系を問わず、諸々の学問や社会文化の領域に浸透し、通用す

る便利な鑑札になっていくのである。

ところで一八世紀一九世紀を産業革命の時代、二〇世紀を情報革命（IT）の時代とすれば、二一世紀はエネルギー革命の時代になるかもしれない。地上ではエネルギー問題が人類と地球の危機に直結して深刻化している。今世紀に入ってから、シェール・ガスやシェール・オイルの登場で世界のエネルギー・ポリテックスは劇的に変わろうとしているし、再生可能な自然エネルギーと原子力や蒸気力に代表される人工エネルギーの対峙が進み、地球温暖化とエネルギーの省力化が叫ばれている。また天上では、前世紀末の一九九八年発見の加速膨張する宇宙（ほぼ一〇〇億年ごとに倍になる）を産み出すと考えられているダーク・エネルギー（宇宙全体の質量の七四%を占める）の問題は、現代宇宙論に突きつけられた最大の謎である。二一世紀にこの「ダーク・エネルギー」の正体が明らかになれば、今日抱くわれわれのエネルギー概念そのものが変革を迫られるかもしれないのである。

「エネルギー」概念の歴史を見れば、その身分や出自は明らかに物理学的工学的なものである。

そこで本稿では、まず現代の科学的な視点から、数節にわたって「エネルギー」概念の多面性や隣接概念との複雑な絡み合いを取り上げて概観し、いくつかの注意点を指摘し、それから本論に立ち戻って、「エネルギー」概念の初期形成を吟味して、科学界における普遍的な融合科学概念である「エネルギー」概念出現の背景と融合化の諸条件を考えてみたい、と思う。

第一部 今日視点から見たエネルギー概念の拡がり

I-1 エネルギー概念と言葉としての「エネルギー」

「エネルギー」の科学的定義はさまざまあろう。一例をあげれば、「自然において起こる多様な変化を通じて不変なある数量が存在し、それがエネルギーである」というのがある。物理学者フラインマン (Richard Phillips Feynman, 1918-88) の『物理学講義』によるものである。さりげなく、よくできた定義だと思う。アインシュタインによる質量・エネルギー等価則 $E=mc^2$ の発見 (一九〇五年) 以来、全エネルギーはその物理系の質量とエネルギーの結合物であり、それが保存される、といえるようになった。エネルギーを語ることはエネルギー保存則を抜きにしては考えられない。と同時に、自然諸力の相互転換を保証する破壊されない根源的な「不変なある数量」である。相互転換の量的関係も含めて、エネルギーは現代科学を横断する根本概念になっている。

ここで、エネルギーの言葉としての使用で、量子力学のいう「高エネルギー」と非量子的な日常の古典的物理学でいう「大(規模)エネルギー」とは、はっきり区別する必要がある。エネルギーの高低と大小との区別が意識されなければならない。放射性原子一個の崩壊は、大地震のエネルギーよりも小規模だが、高エネルギーである。大アンテナから出る電波は強力ではあるが、ライターの火より低エネルギーである。光電効果は、アインシュタインがその研究で一九二一年度のノーベル賞を獲得した現象で、金属片に光を当てると、電子がたたき出される効果である。このときの光はエネルギーの塊(光子)である。いくら明るい(エネルギー規模の大きい)赤色光を当てても電子は飛び出さないが、それより暗い(エネルギー規模の小さい)青色光を当ててやると、電子が飛び出す。それは波長の短い、つまり振動数が大きい青色の光が、波長の長いつまり振動数が小さい赤色の光よりも、高エネルギー量子を持つからである。椰子の実落としての例でいえば、青の光子は高エネルギーの重い球でそれを椰子の実である電子にぶつければ落とせるが、赤の光子は軽い球でそうはいかない。一般に波のエネルギー

は振幅と振動数によって決まる。振動数 ν の波動は、エネルギー $e = h\nu$ (h : プランク定数、 ν : 振動数) をもち、時空を記述するときの分解能は、その波長以上のものしか識別できない。

もともと「エネルギー」という言葉は一九世紀科学の造語である。

英語のエネルギー (energy) は、ギリシア語の $\epsilon\nu$ (中に ϵ) + $\epsilon\rho\gamma\omicron$ (活動 activity) から成るエネルギー (energeia) からの造語であり、エネルギーは、アリストテレスの、「可能態」(dynamis) に対する「現実態」を指す用語であった。光の波動説を唱えたイギリスの物理学者トーマス・ヤング (Thomas Young, 1773-1829) が、一八〇〇年に『自然哲学講義』で活力 $m\dot{v}$ (m は質量、 v は速度) を「エネルギー」と呼んだのが最初とされる。ヤングはその後も異なった光線の強さを表すのに使った(初出は一八〇七年)。ヤングの使用法は熱流体という熱の物質説を否定し、熱も波動であるという、熱とエネルギーの同等という大原理に飛躍するのを予感させるものであったが、「エネルギー」という術語はただちに科学用語として普及はしなかった。もう数十年を要するのである。すなわち、一九世紀半ばの熱力学の成立を待たねばならなかった。熱力学とともに、「エネルギー」概念は一般に流布する。熱力学の第一法則がエネルギー保存則と呼ばれ、熱力学の第二法則がエントロピー増大則である。

I-2 ポテンシャル・エネルギーと自然エネルギー

エネルギー保存則は、運動エネルギーと位置エネルギーの和が一定、という力学的用語のかたちで親しまれてきた。

「位置エネルギー」すなわち「ポテンシャル・エネルギー」(potential energy) という言葉は、グラスゴー大学のラッキン (William John Macquorn Rankine, 1820-1872) によって提示された。初出は一八五三年である。まず重力場

の位置エネルギーから出発、運動中の物体が持つ運動エネルギーと区別された。なお運動エネルギー (Kinetic energy) の用語は、フランスの物理学者コリオリ (Gaspard Gustave de Coriolis, 1792-1843) による。初出は一八二九年である。

崖にある石はその重力場における位置故にポテンシャル・エネルギーを持ち、その大きさは石の重量(質量 \times 重力加速度 $\cdot mg$)に落下距離(崖の高さ $\cdot h$)を掛けたもの、 mgh である。

科学界では、重力場の振り子の例に見られるように、落下する物体の最終速度は重さと無関係で高さだけに關係する(ガリレオの発見である)ことから、力学世界では高低差と運動量との關係が注目されてきた。津波被害が甚大になるのも、押し寄せる海面の運動エネルギーが狭隘な地形でせき止められ高所に押し上げられて位置エネルギーに変換するからである。振り上がった振り子の位置エネルギーは降下点に向けて運動エネルギーに転換していく。

この考えが高低差という重力場の世界から解放されて物理的な場一般に、ポテンシャル・エネルギーとして適用されるようになってきた。場の中で粒子が $A \rightarrow B$ に動けば、新しい配置の結果、場または粒子にポテンシャル・エネルギーが蓄積し、 $B \rightarrow A$ に戻せば、このエネルギーは解消する。バネは伸ばすとその状態故にポテンシャル・エネルギーを持つ。電場にある電荷もその位置故にポテンシャル・エネルギーをもち、それはしばしばポルトで表す。一エレクトロン・ポルト(e^- :電子ポルト)は、電子一個分の電荷(正負あり)を一ポルトのポテンシャル差だけ動かす能力である。X線発生装置に始まる加速器の高エネルギー化は、キロ電子ポルト(keV)から、一〇〇万電子ポルトのメガ電子ポルト(MeV)や一〇億電子ポルトのギガ電子ポルト(GeV)を越えて(電子と陽電子を加速・衝突できるCERNの超大型シンクロトロンLEPは九〇〇億電子ポルト)、一兆電子ポルトのテラ電子ポルト(TeV)まで、一〇桁以上も高まっている。

こうして今日においては、ポテンシャル・エネルギーは、物体がその位置および状態故にもつエネルギーの総

称となる。物質のさまざまな状態に関するエネルギー（化学エネルギー）はみなポテンシャル・エネルギーである。電磁場や素粒子論の場合一般、化学結合（イオン結合、共有結合は原子の外殻電子の状態故にポテンシャル・エネルギーを持つ）、物質構造にも適用される。

位置に関する力学的エネルギー概念がこのような再解釈を経て、さまざまな場の状態に関わるポテンシャル・エネルギーとして適用領域を拡大してきたのである。

人類が産業革命以前において利用してきたのは、自然エネルギー、いわゆる再生可能エネルギーである。自然エネルギーは主として太陽熱によって海洋と大気が暖められ、水や空気の循環がおこり、ポテンシャル・エネルギーとして蓄えられたものである。すなわち、海水を蒸発させて雨や雪などとして大地に降らせ、川の流れを生み、大気の運動エネルギーに転換されて、風となつて船の帆を動かす風車を回してきた。今日でもグライダーやハングライダー、各種の気球はこれを動力としている。流水を直接使う水車は水の運動エネルギーで動くのだが、これは下掛け水車の場合である。上掛け水車を回すのは、主として高い位置にある水のポテンシャル・エネルギーによつてであり、上掛け水車は下掛け水車の二倍の効率を持つ。

尽きることのない太陽エネルギーの恵みのもと、普遍的でしかも限りない重力が働いて、ポテンシャル・エネルギーを作り出す能力も無限に再生される。例えば世界中の川を流れ落ちる水のエネルギーを全部あわせれば人類に必要なエネルギーの半分以上はまかなえる、といわれるが、残念ながら、河川の多くは動力を必要とする需要先の立地条件に合わないことも多い。中小河川に注目した中小型水力発電は、補完エネルギー源として開発活用が望まれる。潮の干満は月の引力によるが、これに風と波が加わると硬い岩をも砕く。波力や潮汐力を使つて発電する試みも一部実現している。しかし適地は限られている。一方でポテンシャル・エネルギーも動力として使われてきた。くい打ち機は、高く巻き上げたハンマーにポテンシャル・エネルギーを蓄えて落とし、一気に運

動エネルギーに変える。揚水ダムの水のように持ち上げられた物体はすべてポテンシャル・エネルギーをもつ。

日本の地形・気候・風土は自然エネルギー資源には恵まれている。降水量は世界平均の二倍以上、河川勾配は急峻、森林率は六七%（スウェーデン並み）、活火山は世界の10%が世界の面積比0・3%の国土の日本にある。海岸線の長さは世界六位、長さ／面積比でいえば世界三位である。二〇〇二年「電気事業者による新エネルギー等の利用に関する特別措置法」で、わが国においても、順次、太陽光発電、風力発電、小水力発電、地熱発電等の電気を電力事業者が買い上げることが義務付けられ、実行中である。

1-1-3 動力・仕事と活力、エネルギーの単位を巡って

人類の歴史においては、まず仕事（work）や動力（power）としてエネルギーが意識されてきた。

動力は機械を動かす力だが、天然にある動力資源、水力・風力・石炭・石油・原子力から得られるエネルギーを機械の仕事に変換させて、自然に働きかける大本の力が動力である。古代ギリシアの哲学者アリストテレス（Aristoteles）は、建築の例を引いて、建物を建てる四原因の一つを動力因とした。建築材料（質量因）、設計（形相因）、目的（目的因）、大工の作業（動力因）である。もし大工が柱を自分の筋力を使って建てるなら、その時の動力は人間の筋力であり、馬や牛などを使えば畜力になる。

ワット（James Watt, 1736-1819）が、ある時間にある重量をある高さを持ち上げる能力（仕事率、工率という）として「馬力」を定めた。粉挽き車を動かす荷役馬の仕事量を計測して、イギリスの単位法でいえば、一分間に三三〇〇〇フート・ポンドの仕事率を一英馬力（horse power, HP）とする単位を一七八三年に定めた。フランスがメートル法で定めた仏馬力（PS）の単位は重さ七五キログラムのものを一秒間に一メートル持ち上げる仕事、すなわち一仏馬力＝75kgm/sであり、一英馬力よりわずかに大きい。日本の馬力も仏馬力を用いる。従来から使わ

れてきた馬がする仕事の量は工場主なら皆知つていて、ワットが織維工場に導入しようとした回転式蒸気機関の能力を馬の頭数の力で表したことが、回転機関の急速な普及をもたらしたのである。

今日の国際単位系 S I に採用されている「ワット」は「一秒間に一ジュールの仕事をするときの仕事率」がワットである。(なお、一ジュールは一ニュートンの力が力の方向に物体を一メートル動かすときの仕事、一ニュートンは一キログラムの物体を毎秒一メートル動かす力の単位。)一仏馬力は七三五・五ワット、一方、持続可能な人力は一〇〇ワット程度だから、これは〇・一三六馬力、一〇分の一馬力強となる。電流による仕事率が電力である。東電管内の富津の新鋭火力発電所などは五〇〇万キロワットの発電能力をもつ。熱量の単位に使われるカロリー (calorie) は、水一キログラムの温度を一度上げるのに必要な熱量を指して、一八二四年に、フランスのニコラス・クレメント (Nicholas Clément, 1779-1842) がパリで開かれた熱機関の講演の中で使ったのが初出とされる。ラテン語の calor (温熱) からの造語で、今日、食品や栄養関係で使われる大カロリー (Cal、頭文字が大文字、一キロカロリーの約) $1 \text{ Cal} = 1000 \text{ cal} = 1 \text{ kcal}$ である。一グラムを温度一度だけ高めるのに必要な熱量がその物質の比熱である。

エネルギー概念成立前の一九世紀前半までは、また「力」(force, Kraft) や「活力」[ウイス・ウィーフ] (living force) 「活きている力」のラテン語 vis viva。「死んだ力」の vis mortua に対して) がよく使われていた。一七世紀以来の「活力」論争がそれだけ記憶に新しかったためである。それはデカルト—ニュートン路線の運動量学説とホイヘンス—ライブニッツ路線の活力学説の長い対立であった。

すなわち、デカルト (René Descartes, 1596-1650) にいわせれば、運動物体の持つ力は質量と速度の積、「運動量」 mv で表され、神によって宇宙の全運動量は一定に保たれている (運動量保存則) とされ、ニュートン物理学にもそれが中心概念として引き継がれた。それを批判したのがライブニッツ (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646-1716) である。こう論じた。デカルト説では、質量 4、速さ 1 の物体 A が質量 1 の物体 B に衝突してすべての力

が物体Bに移されると、Bは速さ4を得る。しかしガリレオの落下法則（落下距離は落下所要時間の二乗に比例する： $v = gt$ 、 $S = gt^2/2$ ）によれば、ある物体の上昇できる高さは、初速度の二乗に比例するから、Aは1、Bは16になる。こうした矛盾を解決するには、物体が「活きた力」すなわち「活力」(vis viva) mv^2 を持ち、これが衝突の前後において保存されるべき量（活力保存説）だと論じた。

しかしこの世紀の大論争も、一八世紀フランスの百科全書派ダランベール(D'Alembert, 1717-83)らの数学的解釈によつて、両派の観点の違いから生じたこと、と裁定された。すなわち力がどれだけの時間作用するか(力積)に着目すれば「運動量」 mv ($F = mv$)になり、力がどれだけの距離作用するか(仕事)に着目すれば「活力」 mv^2 ($S = mv^2/2$)になるからである。この「力×距離」(S)に「トラヴァーユ」(travail, work, 仕事)の概念を当てたのは、一九世紀フランスのコリオリであり、こうしてニュートン力学に活力も整合的に取り込まれることになった。

1-4 エネルギーの流れ、エコ社会とネガワット

二一世紀はエネルギーの時代といえる指摘したが、まさにエネルギーによつて社会のかたちも決まる、と考えられる。再生可能なエネルギー(自然エネルギー)と再生不可能なエネルギー(石油・石炭・ガスなど)を基盤に出発した社会は、それらを利用して最初に爆発的成長が起こり、やがてエネルギー水準が低下して新エネルギー開発コストに資本が食われ、停滞・衰退に陥り、定常化社会になる。産業革命の前後のイギリスにその典型例が見られよう。

こういうエネルギーの流れと社会の問題をいち早く指摘したのは、アメリカのエコシステム生態学者、ユージン・オダム(Eugene Plesants Odum, 1913-2002)であり、オダムはわが国の生態学者・吉良竜夫や化学物質システ

ムの島津康男らと交流があつた。オダムによれば、エネルギー社会を律するものに三法則がある。そのうち最初のもものは、熱力学の第一法則と同じ「エネルギー保存則」であり、第二法則は熱力学第二法則と同じ内容だが、ただ、エントロピー増大則といわずに、秩序だったもの、凝集や配列はすべて壊れ行くという意味の「エネルギー転換則」とされている。特徴的なのはオダムの第三法則である。それは「エネルギーを最高に利用する系は存続する」という意味での、「最大能力原理」といわれる。

エネルギー資源を最大限に効率よく使う経済システムが最良の経済社会なのである(オダムの第三法則)。しかし利用可能エネルギーの種類によつて、その地域社会の特徴と活動が決定されるならば、社会は生存を賭けてエネルギーの質を高め、良質エネルギーを備蓄し、エネルギー特性をフィードバックさせて、より多くのエネルギー資源を獲得(資本の形成・蓄積・投資に相当)しようとする。しかしエネルギー資源は競争資源であり、シェール・オイルなどの新資源の開発が続かない限り、コストアップによる制約を受け、停滞が始まる恐れがある。しかもプラント建設に必要な資本を生み出す経済成長がなかつたら、新プラントの建設は出来ない。オダムはエネルギー流の基本をなす再生可能エネルギー(自然エネルギー)、とりわけ太陽エネルギーの活用を本命としていた。ここでエネルギー危機対策に、省エネルギーがきわめて有効であることが改めて指摘されている。低質エネルギーで出来ることに高質エネルギーを使うのは無駄である。一単位の電気を発生するのに三・六単位の化石燃料が要る。家庭暖房とオール電化などに見られる無駄を省く省エネルギーが重要である。

近年、米国のエイモリ・ロビンズ(Amorv Robins)提案の「ネガワット」(negawatt)という概念が注目される。これは省エネによつて、消費されなかつたエネルギーを他のエネルギーと同価値があると見なしてカウントしよう、という考えである。三・一一以後、すでにわが国でも電力会社は、大口需要者との間でこの種の契約を結び、エアコンなどの使用電気機器の効率改善によつて、無駄になる電力(無効電力)の量を減らせば電気料金を割引くという「ネガワット」制度を導入している。また同じくアーサー・ローゼンフェルド(Arthur H. Rosenfeld)教

授の「ローゼンフェルドの法則」(二〇〇一年)によれば、「産業革命期の一八四五年以来、GDPの一ドルを生産するのに必要なエネルギーは年率1%の割合で減少してきた」という。もしこれを年2%に高める省力に成功すれば、それから二〇年後には八〇億人のエネルギー需要をまかなえる、という計算もある。

1-5 画期としての原子力のエネルギーと $E=mc^2$ の意味するもの

核エネルギーの歴史は新しい。一般に原子核がもっているエネルギーが核エネルギーである。古代原子論によれば物質を分割していけば元素にたどり着くが、元素は特有な原子からなり、原子はアトム、すなわちそれ以上は分割できないもの、不生不滅とされた。一八九六年にベクレル(Antoine Henri Becquerel, 1852-1908)がウラン鉱から放射線が出ていることを発見、これを端緒にして元素の不変性が疑問になり、ウラン放射線に α 線(ヘリウムの原子核)と β 線(電子線)の二種あることがわかった。やがてラザフォード(Ernest Rutherford, 1871-1937)やボーア(Niels Bohr, 1885-1962)らが一九一一年から一三年にかけて、原子モデルとして、中心に原子核がありその回りを電子たちが取り巻く構造を明らかにし、放射能はこの原子核が変化することから起こるとした。

ラザフォードはさらに、一九一九年に原子核を人工的に破壊するのに成功する。すなわち α 線を窒素原子核に当てると、水素の原子核(後の陽子)が飛び出して、窒素から酸素が生まれたのである。この反応の前後の質量を調べると、原子核の崩壊に際して質量が保存されないことが分かった。この質量欠損分こそ、アインシュタイン(Albert Einstein, 1879-1955)が、すでに一九〇五年に明らかにしていた式、エネルギーは質量に光速の二乗をかけたものに等しい、いわゆる質量・エネルギー等価式、 $E=mc^2$ (c は光速)によつて、核エネルギーとして放出されたことが説明された。この式は、アインシュタインが樹立した特殊相対性理論の式から、静止質量の計算をすると導かれることを、アインシュタイン自身が発表していたのである。

アインシュタインは一九〇五年の奇跡の五週間に、光子仮説、ブラウン運動理論、相対性理論という三大論文を仕上げ、それらはベルリンのマックス・プランクらが編集していた『物理学年報』第一七巻を飾っている。この三大論文はテーマこそ違え、その考究態度において内的に関連している。すなわち光子論文はローレンツ理論と力学の限界を問ひ、ブラウン運動論文は熱力学と力学の限界を探り、相対性理論論文では力学の限界を突き抜けて、原物理学の構成モデルを目指した。さらにいわゆる放射問題がこの三つ組論文の隠しテーマであった。そして質量とエネルギーの等価性 $E=mc^2$ を述べた記念碑的な第四論文が同じ一九〇五年の『物理学年報』第一八巻に載る。「物体の慣性はそのエネルギー含有量に依存するか？」であるが、質量減少・含有エネルギー・ラジウム放射といった概念をめぐって、ここに隠しテーマが顕在化したといつてもよい。

さらに一九一九年頃から、質量分析計を使って同位体の原子核質量を求め、一九三二年二月のチャドウィック (James Chadwick, 1891-1974) による中性子の発見で、原子核が陽子と中性子からなること、その質量からすべての原子核(核種)の結合エネルギーが明らかになった。核の結合エネルギーはきわめて大きく、核変換のさいには大きなエネルギーの発生消滅があると推定された。

原子核物理学における奇跡の年 (annus mirabilis) は一九三二年である。

ペリリウムなどの軽い元素に α 線を当てたときに出てくる未知の放射線を研究して、まずイギリスのチャドウィックが、一九三二年二月に、中性子を発見する。さらに八月には、アメリカのアンダーソン (Carl David Anderson, 1905-91) が、霧箱によつて宇宙線を研究中に、電子と同質量で電荷の符号が違ふ反粒子の陽電子を発見する。(このアンダーソンは一九三七年にネグーマイヤーとともに宇宙線中から μ 中間子を発見、一九四二年には湯川秀樹予言の π 中間子発見に繋げた。)

一方、チャドウィックの発表二週間後には、同じラザフォード門下のロッキンクロフト (John Douglas Cockcroft, 1897-1967) とウォルトン (Ernest Thomas Sinton Walton, 1903-95) が、多数のコンデンサーと整流器を組み合わせ

た高電圧発生装置「コッククロフト・ウォルトン型」による陽子加速装置を発表、ほぼ同時に、アメリカのローレンス (Ernest Orlando Lawrence, 1901-58) が、「サイクロトロン」と呼ぶ新型の加速器を使って、高エネルギー陽子の産出に成功、と発表する。これ以降、各国で競って加速器の建設が進み、実験核物理学の幕が切つて落とされるのである。

コッククロフトとウォルトンは、実験の予備報告を一九三二年四月一六日に送り、フル・ペーパーを二カ月後に提出した。そこでは、一個のリチウム原子核が陽子の衝突によつて崩壊して、二個のヘリウム原子核という α 粒子になることを確認していた。そのさい、 α 粒子として 17.2MeV (1MeV は一〇〇万電子ボルト) のエネルギーが放出されたのである。この観測値と、リチウムの原子量 7.0104 という値、ならびにアインシュタインの $E=mc^2$ の式を使って、二人は質量減少分を算出した。しかしコッククロフトらは、あくまでも加速器の製作に関心があつたため、アインシュタインの式の検証を意図していなかつたのである。一年後、一九三三年四月に、アメリカのフランクリン研究所のベインブリッジ (Kenneth Tompkins Bainbridge, 1904-96) が、さきの二人の実験と、みずからの世界最大級の質量分析計 (重さ二トンの磁石があつて) によるデータを併せて解釈した結果、それが、アインシュタインの質量・エネルギー等価式を検証するものであると指摘した。

アインシュタインは一九四六年まで、この式 $E=mc^2$ を六、七回にわたつていろいろ理論的な方法で導いているが、この式が初めて実験的に証明されるようになるには、この一九三三年まで待たねばならなかつたのである。また、質量が余すことなくエネルギーに替わり得るか否か、という問題が肯定的に解決されるのも、電子の対発生・対消滅現象が見つかる一九三三年になつてからである。

このように、質量・エネルギー等価式が普遍的同一性を獲得するまで、長い道のりがかかつた。しかしこれが理論的に成立することが承認されると、相対論以前の物理学と以後の物理学では、保存則が整理されることになる。

すなわち、それまでは三つの保存則が重要とされてきた。一つは運動量保存則(重心保存に関するニュートンの法則)、二つは質量保存則(ラヴォアジエの法則)、三つはエネルギー保存則である。運動量は三次元物理量であるため、三つの保存則を使って物理過程を記述するには、計五個の方程式を必要とした。ところが相対性理論では、ただ一つの保存則があればよい。すなわち、運動量-エネルギー四元ベクトルという量が保存されるとして、一つの保存則に統一されることになったのである。質量とエネルギーは同一の物理学的実体を示す同義語になったとして、かつてエディントン(Arthur Stanley Eddington, 1882-1944)が波と粒子の側面をもつ電子を指して「ウェイヴィクル」(wavicle)と呼んだように、「マッセルジー」(massery)と呼ぶことも一部では提案されている。こういう言葉の問題はともかく、古典力学の体系が一段と整理統合され、理論的に一つの概念に統一・融合したことは、間違いないのである。

この等価式が、いわゆる核開発に結びつくには、ハーン(Otto Hahn, 1879-1968)らによる一九三八年の実験、すなわち、ウラン235の原子核に中性子をぶつけたときに起こる原子核の分裂現象の発見、さらにフェルミ(Enrico Fermi, 1901-54)らによる一九四二年の連鎖反応の発見、という積み上げがあつて、初めて可能になるのである。一九〇五年の時点で、このような歴史を予見できるものは、アインシュタインに限らず、どこにもいなかったであろう。

核エネルギーには核分裂と核融合の二種がある。原子核は核力という結合エネルギー(ポテンシャル・エネルギーの一種)と陽電荷同士の反発力のバランスで成り立っているが、原子量のほぼ中央値九〇近くの鉄元素で、最も核子あたりの結合エネルギーが高く安定している。そのため安定した鉄元素より軽い核の元素は融合してエネルギーを発生し、重い核は分裂することでエネルギーを発生する。核融合する星の燃えかすとして鉄元素までの軽い元素ができるが、燃料が尽きた星は重力でつぶれて高密度になり、陽子が電子を吸収して中性子となり、その照射で鉄より重い元素が形成されていく。収縮したコアは中性子星やブラックホールになる。核分裂物質は

天然では重いウラン235しかないが、これは、超新星爆発で飛び散った中性子星の重力エネルギーの缶詰が地球形成時に取り込まれたかたちである。人工元素のプルトニウム239、ウラン233なども分裂する。一方、水素や重水素などの軽い元素では、超高温超高压下で原子核同士が融合してヘリウム原子核になるさい、エネルギーを放出する。

第Ⅱ部 学問集団から生まれたエネルギー論の風土を巡って

さてここでエネルギー概念の初期形成の場面に話題を移して、諸学問の融合深化拡大の一事例として、エネルギー概念をもたらした社会的諸条件と風土的環境とを考察しよう。

Ⅱ-1 なぜ一九世紀イギリスなのか

すでに指摘したことだが、熱力学の第一法則はエネルギー保存の法則、第二法則はエントロピー増大の法則である。ここでは主として、エネルギー概念と第一法則の成立を含む初期熱力学が、どうして広い意味でのイギリスにおいて成立し、他の諸国が後れを取ったのかを考えてみたい。結論を先に述べておけば、それは蒸気機関の研究開発がほぼ独占的にイングランドとスコットランドの仕事であったこと、並びに気象学への関心が大航海時代の勝利者となった海上貿易国のイギリスで強く、大陸陸軍国のフランスではあまり科学者の関心を引かなかつた事情も加わろう。ニュートンの親友で遠洋航海の体験が豊富なエドモンド・ハリー(Edmund Halley, 1656-1742)は、貿易風やモンスーンと太陽の関係を見抜き、水の蒸発や大気大循環に着眼した。フランスがナポレオン戦争前後から一九世紀初頭まで、西欧科学界の指導的地位にいたことは認めねばならないが、カルノー・サイ

クルでおなじみの、気体の断熱昇温や断熱冷却の問題は、フランス科学界では一八世紀末まで話題にもならなかった。気象学者がそもそもフランスにおらず、大部分はスイス人かイギリス人であったことが大きい。

それにしても、フランスの科学界には、基礎的な熱学の関係だけでも多くの優秀な研究者がいた。体系的な熱学『熱に関する覚え書き』(一七八三年)を共同執筆した化学者のラヴォワジエ(Antoine Lavoisier, 1743-94)と物理学者のラプラス(Pierre Simon Laplace, 1749-1827)を初め、フーリエ(Francois Marie Charles Fourier, 1772-1837)、『ゲイ・リュサック』(Louis Joseph Gay-Lussac, 1778-1850)、『アンペール』(Andre Marie Ampere, 1775-1836)らがついて、科学水準は群を抜いていた。気体の膨張法則をドルトンと独立に発見し、気体の比熱問題を弟子たちと解明したゲイ・リュサック、一九世紀初頭には、大気の圧縮と膨張に伴う音速変化やさまざまな物質の熱伝導率を研究したビオー(Jean Baptiste Biot, 1774-1862)、『これらをもとに熱伝達の解析理論を作ったフーリエなど、枚挙にいとまない。このフーリエに刺激されたドイツ物理学者が電気伝導の研究に着手するオーム(Georg Simon Ohm, 1789-1854)などである。

第二法則を巡る後期熱力学の形成は、イギリスだけでなくドイツやフランスで大きく進展するが、そのことは、蒸気機関の後継機関である内燃機関の研究開発が一八六〇年代に主にドイツ人やフランス人によって始まり、一九世紀末にカルノー機関に似通った高効率のディーゼル機関の出現に極まった、という事情を反映している。合理的な内燃機関を追求したディーゼル(Rudolf Diesel, 1858-1913)の偉業は理論と実践の上に成り立っている。

ナポレオン戦争が終わった一八一五年に戻ってみよう。軍への動員も解除され人々が自由に旅行し始めると、フランス初めヨーロッパ大陸の人たちは、全く新たな社会システムが、あの島国のイギリスに現出しているのに驚嘆する。

すでに産業革命による新時代が展開していたのである。鉄と蒸気の時代であった。なにしろ、イギリスでは、

一七九〇年までにはまったく新たな産業景観が出現していた。コークスを使う製鉄用高炉、木綿工場、運河、蒸気機関小屋、動き出した馬車鉄道、有料道路などである。世界最初の鉄橋「アイアンブリッジ」は、イギリス中部シュロンプシャーの峽谷ゴージを流れるセヴァーン川に一七七九年に架けられたが、ここは、高炉製鉄法の元祖ダービー(Abraham Darby, 1711-63)や鉄鋼王ウィルキンソン(John Wilkinson, 1728-1808)が活躍した隣接区のコーブルックデイルと合わさって、いまでも初期製鉄の産業遺跡として多くの観光客を引きつけている。なにしろ一八〇〇年までに両岸の斜面には一六もの鉄工場群があつて、絶えず炉のてっぺんから炎を上げ、一面は赤黒いスモークで覆われていた。馬車鉄道が忙しく石炭や石灰石を運び込む一方、鑄鉄の塊や製品を運びだす活況には、さぞかしだれもが目を見張つたことだろう。

産業革命以前、新石器時代以降の農業革命が人口の増大と富の蓄積を可能にし、地球上の人口は五〇〇万人から五億人へと一〇〇倍になつたが、それでも一人あたりの国民総生産でいえば、BC五〇〇年からAD一六〇〇年まで四〇〇ドルから五〇〇ドル(一九九〇年次のドル価格で)あたりで停滞していたといわれる。その後の産業革命を経て、この値はAD二〇〇〇年において六〇〇〇ドルになつたのだから、ここ三〇〇〇四〇〇〇年の変化がすさまじい。この中核のハブ技術が蒸気であつた。それはワット機関に始まり、蒸気機関車ロケット号に象徴される。ロケット号は、ステイヴンソン父子(George and Robert Stephenson, 1781-1848, 1803-56)が一八二九年に造り、マンチェスターからリバプールまで初めて走つた世界最初の実用蒸気機関車である。蒸気の登場によつて、単に筋力や水車・風車さらには大気圧といった自然力機関に頼らなくてよくなつたといふことだけではなく——一八〇〇年の時点では、アークライトの水力紡績機の名が示すように、イギリスの水車総出力はまだ蒸気機関総出力の三倍もあつた——、一八世紀以降の主要産業要素である石炭と鉄と綿を結びつける蒸気というハブ技術の思想が、ロケット号に濃縮している。歯車・輪軸・ボイラーを生み出す製鉄用高炉と、熱源である石炭を掘り出す排水用蒸気機関の動く炭坑、蒸気回転力蒸気機関で動く紡績工場、これらがコンパクトな高出力の高圧回転蒸気機関

のイノベーションによつて、インドからイギリスまで綿を運ぶ蒸気船、工場から市場へと運び出す蒸気機関車といった一連の輸送革命で結びついた。

ロンドンのケンジントン科学博物館には、地下一階に往時の実物蒸気機関の大群が集結しているが、ある時、大きな垂れ幕を出して、改めて蒸気の時代の意義を問いかけていた。「蒸気が産業革命を産み、電気の時代のいまでも電気の七五％は蒸気が産み出している」とあつた。まさにそうである。石炭や石油、液化天然ガスの火力発電所も原子力発電所も、最後は蒸気頼みなのである。

その蒸気の世界からエネルギー概念も登場し、非ニュートン力学であるもう一つの古典物理学、「熱力学」という学問世界を拓くのである。

この蒸気の時代を真つ先に切り拓いたのがイギリスなのである。

同時代に無関係に進行している学問的諸活動が一つの知的活動に融合するということが、熱科学の成立において顕著なのである。とりわけスコットランド南部の産業と交通の要衝グラスゴー（やエディンバラ）に拠つたスコットランド学派と、世界の産業革命の中心都市マンチェスターに拠るマンチェスター学派は、エネルギー概念を含む初期熱力学の形成に重要な役割を果たしたのである。

II-2 スコットランドの産業風土：グラスゴー、グリノック、ニュー・ラナーーク

スコットランドは一七〇七年にイングランドに統合されたが、独自の文化を保持している。たとえばスコットランド教会は新教の一つプレスビテリアン（長老派）系だが、英国国教会よりも民主的だ。一八世紀の統合以来、国内の人種差別を嫌つて、世界に流れたスコットランド人は多く、ユダヤ人のディアスポラに比せられる。教育熱心で、上昇志向が強く、医者、弁護士などの専門職が目立つのもユダヤ系と似ている。グラスゴー大学に一五

歳で入り、オックスフォードに進んだ経済学者のアダム・スミス (Adam Smith, 1723-90) でさえ、イングランド系から差別された。それでも英国連邦の首相に上り詰めたスコットランド人にはバルフォア、キャンベル、マクドナルドがいるし、ほかにも、グラッドストーン、マクミラン、トニー・ブレアも生まれは違うが両親はスコットランド人であり、それらを併せると首相が一人に上る。イギリス国王が治安や身辺警護をスコットランド・ヤードというスコットランド人の衛兵に委せたのも、統一後の両国人の融和のためである。

グラスゴーはクライド川の中流にあるスコットランド最大の工業都市である。首都エディンバラは東方四〇キロメートルと近い。クライド川は、ロウザーヒルの源流から河口のグリノックまで約一六〇キロメートル、標高差六〇〇メートルを下る、全英で一〇番目の川である。グラスゴー中央駅から、鉄道で西に四〇分もクライド川沿いに下れば、クライド湾に広がるグリノックの町に出る。かつてのグリノックは造船と砂糖精製と毛織物で栄えた町だが、いまはその面影はなく、産業といえは二〇世紀半ばにIBMが進出して以来、電子情報センターの一つになつていく程度である。しかしその歴史は栄光に満ちている。

一九世紀から二〇世紀にかけてのグリノック港は、南北西アメリカと三角貿易で結ぶ一大拠点であり、巨大造船基地を持つていた。一八世紀にはいると本格的な港が整備され始めていた。ワットはこのグリノックの船大工で貿易商の家に一七三六年に生まれた。祖父は漁村で航海術や数学を教え、叔父はクライド川の測量調査をし、その地図を残している。やがてワット自身が蒸気機関の開発と並行して、土木技師としてグラスゴーと結ぶ運河を開発するようになるきっかけは、この叔父の影響もあるのだろう。一七六九年から一七七四年まで、ワットはグリノック港湾改良の責任者であり、ポート・グラスゴーのドライ・ドック造りに必要な馬力ポンプを考案している。ヘンリー・ベル (Henry Bell, 1767-1830) がワットの援助を受けて、ヨーロッパ最初の蒸気船「コメット号」を一八二二年に造つたのもこの地であり、それまで一日半もかかったグリノック―グラスゴー間を二時間強でつないだ。アメリカのフルトン (Robert Fulton, 1765-1815) が、やはりワット回転機関を購入して、新大陸のニュ

ヨークとアルバニー間を蒸気船でつないだ偉業の五年後のことであった。

そのクライド河の上流をグラスゴーから東南に一時間も下れば、終着のラナーク駅に出、そこから車で三〇分も行くとクライド峡谷となる。ここが一九世紀に入つてロバート・オウエン (Robert Owen, 1771-1858) によつて産業理想郷のニュー・ラナークへと変貌し、活気溢れる繊維工場と児童教育施設・宿舍・協同組合店・病院のコンプレックスを持つにいたる。いまでもクライド川の流水を使つて展示用の大型水車が動いていた。またワットの回転機関もいち早く導入された。

一八〇〇年から一八二九年まで、オウエンは、このスコットランドの大紡績工場の総支配人として活躍した。ついに二五〇〇人にも増加するニュー・ラナークの「住民を一変して、模範的なコロニーにした」のである。こう書くのは、空想的社会主義者としてフランスのサン・シモンやフリーエには手厳しい批判をしたマルクスの友人、エンゲルスである。企業家オウエンの功績も空想的としながらも、その一部は認めざるを得なかつた。「一八〇七年の」綿花恐慌のために四ヵ月間の休業を余儀なくされたときも、休業労働者に賃金の全額がひきつづき支払われた。それでもなお、この企業はその価値を二倍以上に増加し、そしてその所有者たちに十分の所得をもたらしした(エンゲルス著『空想から科学への社会主義の発展』より)、と。

オウエンが実践的博愛主義者から、社会改良主義者として一歩進み、機械によつて産み出された富をすべての人々の共有財産にしようと提言したとたん、激しい社会的抵抗にあう。アメリカでの壮大な社会実験にも失敗し、全財産を失つてもまだ三〇年間も、イギリスで労働環境の改善や協同組合の普及に大きく貢献していった。初期産業革命下で、先進社会に広がる貧困対策には、何よりも階層間の公正な分配が必要、とオウエンは考えた。この時代のイギリスで、科学を取り込んだ生産諸力はほとんど無限であり、「最近三〇年間、科学から得られた新供給諸力は二億五〇〇〇万人の成人の労働を越えることが確かめられている」と、オウエン自身が記している(現下窮乏原因の一説明)『エコノミスト』一八二二年九月一日号)。この時代、いかに科学への信頼が厚く、地球環境問題

もない時代の楽天的進歩史観が強かったことか、がわかる。しかし同時に、オウエンの試みは、二〇〇六年ノール平和賞を受賞したムハマド・ユヌス(Muhammad Yunus, 1940-)氏の「ソーシヤル・ビジネス」の先駆、ともいえるであろう。バングラディッシュでグラミン銀行を創設、貧困層に少額貸し付けで夢を植え付ける(Shall Loans, Big Dreams)ことで救貧対策の事業化を試みて成功している。オウエンとユヌスの二人に共通しているのは、利潤追求型の資本家に対峙しながら、社会問題の事業的解決を提案・実行したことである。

II-3 ワット式蒸気機関の登場・安全性と効率性を重視

多様な知的ネットワークが当時のグラスゴーにあつて、その結節点として、数学器具製造人のワットによつて蒸気機関が形成されたことが重要である。まさにそこには学の融合があつたのである。

数学器具とは天文や航海に不可欠な精密機械のことである。この新興分野を習得するよう、船大工の息子にロンドン行きを勧めたのは、グラスゴー大学自然哲学教授で医者の子バート・ディック(Robert Dick)教授時代は(1721-49)であつた。ロンドンから北のグラスゴーまで、空を飛ばば一時間半もかからない。しかしまだ乗合馬車もなかった一七五五年に、一九歳のワットは馬に乗つて、グラスゴー郊外のグリノックを出発し、ロンドンの数学器具製造人の親方の許に辿り着くのに一二日もかかった。そこで昼夜を分かたず働いて、普通なら七年かかるところをわずか一年で資格を習得し、グラスゴーで開業しようとした。しかし地元のグラスゴー・ギルド制職人世界から締め出され、開業できなかつた。

ここで救いの手をさしのべたのがグラスゴー大学であつた。ディックと同僚になる経済学者アダム・スミス(Adam Smith, 1723-1790)は、一七五一年に母校の、はじめは論理学、のち道徳哲学教授に就任、大学行政にも携わつていた。おそらくディック教授から相談を受けたスミス教授らは、ワットを擁護して、学内に職場を与える

のに尽力した。また、ワットの職場によく現れた医者で化学者のジョゼフ・ブラック (Joseph Black, 1728-99) 教授は、のちエディンバラに移るまで、一連の熱学的考察(潜熱の発見も含む)の講義や実験でワットを大いに刺激した。ワットは水の物理的性質や蒸気の問題の実験をすすめた。さらにブラック教授の紹介で知り合う経営能力の優れたローバック (John Reobuck, 1718-94)、ローバックを介して共同経営者となるボウルトン (Matthew Boulton, 1728-1809)らとの出会いが、蒸気機関の実用化に大きく関わった。スミス教授は一七六八年にグラスゴー大学学長候補となり、分業こそが富の源泉と主張して『国富論』を一七七六年に刊行、一七八七年にグラスゴー大学学長になっている。

グラスゴー大学付き数学器具製造人であるワットは、たちまち自然哲学科の先生方と親しくなった。一七六三年冬のある日、アンダーソン (John Anderson, 1726-1796) 自然哲学教授から、ある模型の修理を頼まれた。それがニューコメン機関の精密模型であつた。修理しても二、三回ストロークを打つだけで止まつてしまふ。ワットはその原因はスケール効果にあることに気づいた。いくら蒸気を入れても、ボイラーの容積が長さの三乗に比例して縮尺されるため、蒸気の絶対量が足りないのである。ワットは实地調査も重ねて、ニューコメン機関を徹底的に調べ、やがてこの機関にある根本的のディレンマに気がついた。その解決策がワット最大の「発明中の発明」といわれる「分離凝縮器」(separate condenser, 一七六九年特許)である。

すなわちニューコメン機関では、シリンダーのピストン下部にまず蒸気を導きそれを凝縮させて真空をつくり、ピストン上面に大気圧を呼び込んで仕事をさせるのだが、蒸気でまずシリンダーを加熱し、そこに冷水を直接注入することでシリンダーを冷たくして凝縮させねばならない。熱効率を最大にするにはいつもシリンダーは熱くあらねばならず、出力を最大にするには一回ごとにシリンダーを冷やす必要があつた。熱効率最大と出力最大という二つの要請が相容れないのである。ワットの解決は、いつも熱い作業用シリンダーといつも冷たい凝縮用シリンダー(凝縮器)に分離して、ボイラーからの蒸気を高温部の作業用シリンダーから低温部の凝縮器に導き、そ

ここで凝縮させるといふものであった。この発明は、ワットが一七六五年の「晴れた祝日の午後」グラスゴー・グリーンを散歩中、古い洗濯小屋から噴き出す蒸気を見て思いついた、という。

一七世紀初頭、イタリアのトリチェッリ (Evangelista Torricelli, 1608-47) の水銀柱実験によつて初めて大気圧と真空が発見された。さらにフランスのパスカル (Blaise Pascal, 1623-62) やドイツのフォン・ゲーリッケ (Otto von Guericke, 1602-86) などの一連の大気圧や真空をめぐる実験に刺激されて、世の発明家たちは、無限と思われ大気圧に着目し、大気圧に仕事をやらせる無限動力機関を夢見てきた。

フランスのドニ・パパン (Denis Papin, 1647-1712) によるピストン式機関や、イギリスのセイヴァリ (Thomas Savery, 1650頃-1715) による吸水・排水型機関「鉱夫の友」(Miner's Friend 特許一六九九年)などは、もつとも古典的な大気圧機関であった。当時は鉱山とりわけ炭坑開発が進み、坑道からの排水問題が深刻で、事故の絶えない人力に代わつて大気圧にポンプを作動させる動力機械が求められていたのである。初の実用型大気圧機関が、イギリスのニューコメン (Thomas Newcomen, 1663-1729) によるものであった。一七〇五年頃出現したというが、記録に残る最古のものは一七一二年製である。自然力の一種である大気圧に原動力がある大気圧機関では、蒸気は大気圧を呼び込むための真空造りの手段にすぎなかった。その蒸気を作るのに大量の石炭がいるのである。

しかしワットは大気圧と明確に絶縁して、それまで外気に開いていたシリンダーをピストンごと閉じて、人工的な蒸気圧に主役を与えた。繰り返すが、ワット機関の登場で、真の意味の蒸気機関になったのである。ただワット機関は、安全性を第一にして、大気圧相当の蒸気圧という抑制は堅守した。そのさい、蒸気の供給を途中で断つてもその自然膨張力という慣性でピストンを押させることができ、その結果蒸気量を節約できるという「膨張原理」を導入している。このワット機関の分離凝縮法と膨張原理が、後に、カルノーの熱力学研究の出発点になる。ワットはつねに安全性と効率性にこだわっていた。さらに、ピームの円弧運動とピストン桿の直線運動を有効に連結する太陽惑星歯車連結装置、蒸気量を自動調節して一定の出力を保つ遠心调速器などを装備していっ

た。

一七七五年から一八〇〇年までの二五年間に、ワットたちがバーミンガム郊外のソホーで造った蒸気機関は、国内向け往復機関一八三基、回転機関二六八基で計四五一基、一基平均二五馬力で総出力一万一二五一馬力に及んだ。これに海外からの注文二四基、七七三・四馬力が加わる。最初の二〇年間は、機関の部品の多くは外部の業者に発注し、組み立てた。例えばシリンドラーのボーリング技術の特許を持っていたウイルクソンその他に頼んだが、一七九〇年代には、バーミンガム郊外のソホー鑄造所で半分以上は自製した。一八〇二年時点で従業員五四人、上級技師三人には収益のうちから一、二%のコミッションを払った。その一人で、事実上の蒸気自動車の発明者でソホー地区のガス照明も考案し、コーンウォール地方の鉱山でボウルトン・ワット商会の代理人も務めたマードック (William Murdoch, 1754-1839) は、三〇〇ポンドの給料の他一%の配当を受けている。

ワットの二五年間独占特許が切れる一八〇〇年になると、蒸気機関の蒸気圧は、大気圧程度から高圧蒸気へとテイク・オフして、ボイラー爆発などの事故を見ながら、高圧蒸気機関の開発競争が各地で進んだ。高圧蒸気を多段階にわたって膨張させて効率を上げる機関も出現する。陸上輸送用の蒸気機関車はまずイギリスの「トレヴィシック (Richard Trevithick, 1771-1833) が工場内で一八〇四年に試験走行に成功し、やがて実用型の「ロケット号」がイギリスのステイヴンソンによって一八二九年に製造された。基本的に、横置き多管式ボイラーにし、シリンドラー排気によってボイラーを強制通風し、ピストン運動は直接動輪に伝える、というロケット号方式は、一五〇年ほどつづく蒸気機関車の時代に踏襲された。大出力を要求される船用機関には一九世紀後半になってから蒸気タービンが採用され、一挙に広まっていった。

II-4 グラスゴー大学工学系と明治近代化の日本

ここで、お雇い外国人の問題をグラスゴー大学と関連して見ておこう。

明治政府が工部省を設置して、工学・勸工・鉱山・鉄道・土木・灯台・造船・電信・製鉄・製作の一〇寮と測量司を置いたのは、新設一年後の一八七一年(明治四)八月である。工学寮に工学校が設けられ、一八七七年(明治一〇)には工部大学校と改称され、二年後には三三人の一期卒業生を出す。うち一名は直ちに外国留学を命じられた。そのうち南清(土木)・高山直質(機械)・志田林三郎(電気)・高峰讓吉(化学)・三好晋六郎(造船)の五人はグラスゴー大学で学んだ。一九一〇年までなら同大留学生は一人を数える。教師陣の多くは工部省お雇い外国人で、その人数は、一八七一年(明治四)が二一三人以上、ピークは一八七四年(明治七)の二五五人である。うち一九〇人の国別集計ではイギリスがダントツで半数を占め、中でもグラスゴー大関係者が目立つ。

それは一八七二年(明治五)岩倉使節団副使の伊藤博文がグラスゴー大学を訪ね、ウィリアム・トムソン教授(William Thomson、後のケルヴィン卿)と技師出身で工学系のランキン教授(William John Macquorn Rankin, 1820-72)の助言で、鍛冶屋出身で大学を卒業して間もない二四歳の俊秀ダイエル(Henry Dyer, 1848-1918)を、日本の工学教育の指導者として選んだからである。ダイエルはランキン教授の弟子で、山尾庸三の友人であった。山尾は一八六三年(文久三)に井上馨、井上勝、遠藤謹助、伊藤博文らと渡英、一八七〇年(明治三)まで七年間もイギリス工業界を实地調査し、帰国後、横須賀製鉄所、官営釜石製鉄所など工部省の工部大輔として計画事業責任者になった。伊藤はこの山尾から、ダイエルの名を聞いていたに違いない。ダイエルは伊藤と会った翌一八七三年六月三日付けで工部省教師になり、やがて工部大学校都検(教頭)として一八八二年(明治一五)まで大いに腕を揮った。帰国後、グラスゴー教育委員会の教育長として活躍した。

こういう大学史でいえば、グラスゴー大学において、ランキン教授の扱いが粗略であるのは残念である。工学畑、熱学畑での顕著な貢献があるにも係わらず、大学正門の創立五〇〇年記念の扉には、アダム・スミスはもちろん、ワットやケルヴィン卿の金文字名はあっても、ランキンの名は見あたらない。四歳下で世紀を跨いで八三

歳まで生きたケルヴィン教授に比べ、わずか五二歳で、理学部発足の二一年前、伊藤と会ったその年には若死にしていた工学畑のランキン教授は、影が薄い。にもかかわらず、一八五三年にエネルギーの一般理論を提出して、顕在エネルギー(actual energy)と潜在エネルギー(potential energy)とを区別し、後者の例として、力学・化学・熱・光・電気・磁気などすべてについてエネルギー転換法則が適用されると説いたランキン教授の先見性は、熱史上、その名声を不動にするものであつた。さらに同教授による応用力学やシヴィル・エンジニア(土木を含む民生技術)、機械学、蒸気機関のマニユアル(便覧)やテキストは、工部大学校でも採用され、世界的なロングセラーにもなつた。

ケルヴィン卿はアイルランド人だが、父がグラスゴー大学数学教授であつた。八歳の時スコットランドに来て、一〇歳で同大に学び、ケンブリッジ大を経て、二六歳の一八四六年に、グラスゴー大学の数学および自然哲学の教授になつた。以後、五〇年以上も同大の教授であつた。その間、仕事と熱の相互転換を見つけたジュール原理をいち早く認め、一八五一年にはクラウジウスとは独立に熱力学第二法則を定立して、熱力学の大御所になつていた。また電信研究に関連して、電位計や電気秤など多くの測定器を考案した。ケルヴィン卿は、物理現象の力学モデル的理解を強調した最後の古典物理学者であり、ウェストミンスター寺院のニュートンの墓の側に葬られている。ケルヴィン卿が考案した数々の実験装置は、いまグラスゴー大学ハンテリアン博物館二階に展示されている。

グラスゴー大学に英国初の欽定工学教授職(Regius Professor of Civil Engineering and Mechanics)が設置されたのは一八四〇年のことである。初代はゴードン教授(Lewis Dunbar Brodie Gordon)で、一八四〇年八月に赴任した。

欽定講座は古くはヘンリー八世がオックスフォード、ケンブリッジとスコットランドのいくつかの大学に導入したが、近代の欽定講座は一八〇七年に始まり、産業革命の進展とともに、工学系の講座の必要性が認められた。

のである。しかし受け入れる大学側は保守系トリー派の勢力が占めていて、革新系のホイッグ派政権の決定に冷淡だった。それは、講座が新設され、卒業に必要な講義が増えれば、それだけ新設講座に学生を奪われ、学生が直接教授たちに支払う受講料が減るからである。ゴードンが王から支給される年俸は二七五ポンド、宿舍は自弁であったし、そもそも講義室を大学側は用意しなかった。欽定教授というと聞こえはよいが、二級教授を意味し、大学行政に無関係な無任有給職 (sinecure) の扱いであった。ゴードン教授は、同僚の理解者に融通してもらって、夕刻の七時から、シヴィル・エンジニアと機械学原理の二講義をやった。学生は技術助手や工場労働者などわずかだったが、この中にランキンの後任として一八七三年に第三代教授になるジェームズ・トムソン (James Thomson) がいた。

英国全体を見ても、当時の工学教育はさまざまであった。ケンブリッジのジャックソン教授職を一八三七年から一八七五年まで務めたウィリス教授 (Robert Willis) は、機械の分類を語っていたし、エディンバラ大学に五〇〇〇ポンドの寄附講座で一八六八年にできた「シヴィル・エンジニア」の教授職に就いたジェンキン教授 (Fleeming Jenkin) は、現場教育と経済性 (economy) に力点を置くものであった。工学教育と言っても、まったく先例がない模索時代であった。したがって、ランキン教授がグラスゴー大学第二代欽定講座教授に一八五五年一月に赴任し一八七二年に病死するまで、大学内外で尽力した工学教育の新たな展開には刮目すべきものがあつた。

まずグラスゴー大学理工系改革四人組が結成された。ランキン始め、ケルヴィン卿 (自然哲学教授一八四六年就任)、ブラックバーン (Hugh Blackburn: 数学教授一八四九年就任)、アレン・トムソン (Allen Thomson: 解剖学教授一八四八年就任)、グラスゴー哲学協会会長に一八五五年一月就任の四人組で、抵抗勢力の学部 (College) 教授会 (Principal) の学部長と二人の教授) の説得にあつた。こうして、工学系の学生賞 Walker Prize を新設し、奨学金 Breadalbane Scholarship の選定権を握っている。

来日して明治日本の工学教育を定めたダイエルの手本になったのが、恩師ランキン教授の「アカデミック・エ

ンジニアリング」(academic engineering) という教育理念である。三点ある。大学における工学教育は、まず第一に、在来の徒弟制 (apprenticeship) を新たな実践的知に置き換えるのではなく、経験知を尊重しながら「重要な補完」(essential complement) の機能を発揮すべきである。第二には、つねに「効率性」(efficiency) を追求すべきである。効率性とは、精密性 (precision) 、確実性 (accuracy) 、経済性 (economy) を統合する概念であった。第三には、「理論と実践との調和」(harmony of theory and practice) をさまざまなレベルで追求し、大学の理論家と社会の実践的技術者の社会的調和を図る、としていた。

ランキン亡き後、グラスゴー大学に理学部が設立されたのは一八九三年(明治二六)である。数学、自然哲学、天文学、化学、自然誌、植物学、解剖学、生理学の八分野、教授八人であった。スコットランドでは同時にアバディーンとエディンバラ両大学にも理学部が誕生した。この制度改革の中心にケルヴィン卿がいた。理学部発足の前年、ウィリアム・トムソン教授は、アイルランドとニューファウンドランド間に海底電線を敷設した功により、男爵に叙勲され、ケルヴィン卿 (Baron Kelvin of Largs) と呼ばれる、科学者最初の貴族院議員になっていた。グラスゴー大学では、芸術と法律と医学には学位制度があったが、理学部発足一年前の一八九二年になって、初めて、学位制度が理学にも適用された。わが国初の理学博士はシーボルトの愛弟子伊藤圭介であった。一八八一年(明治一四)、七八歳で東大教授になった圭介は理学博士になったのが一八八八年であるから、先生格のグラスゴー大学をかたちの上では追い抜いたことになる。

II-5 マンチェスター文芸哲学協会の役割

イギリス北部にあるマンチェスターは、中世までは小さな町だった。手工業のギルドは一つもなく、ただ、広く豊かなマンチェスター教区には、その荘園領主の館が設けられ、やがて神学校もできた。この校長に、エリザ

ペス女王の顧問で博学の占星術家ジョン・デュー(John Dee, 1527-1608)がいた。しかし一八世紀末の一七九〇年代には、すでにマンチェスター地区(南東ランカシャーと北部チェシャーの二帯)は全英綿生産の七〇%を占め、一九世紀にはいると一八三五年には九〇%になっていた。名実ともにイギリス産業革命の中心地であり、綿織物業の主要集散地として、人口も急増した。一八〇一年から一八五一年までの五〇年間に、人口は四倍にふくれあがり、三二万人になろうとしていた。一八五一年はロンドン万博の年、イギリスが産業革命の栄華の絶頂期にあつた年でもある。この一九世紀半ばの年月は、熱力学が成立する時期でもあるが、マンチェスターは大都市問題に喘いでいた。社会問題も深刻になり、労働争議も頻発した。

父が共同経営する綿工場の仕事を助けるため、ドイツからこのマンチェスターに移住してきたエンゲルス(Friedrich Engels, 1820-95)は、階級ごとに住居区域が同心円状に分かれていく悲惨な状況を、『イギリスにおける労働者階級の状態』(二八四四年)に纏め、報告している。中心部にもつとも貧しい人たちの劣悪な小屋がひしめき、周りを労働者階級のテラス群が取り囲み、その周縁には中産階級の郊外ヴィラが広がる。

しかしまた一八世紀以来、マンチェスターには運河が発達し、河川交通の要所となり、一八三〇年には英国で初めて乗客を乗せる列車が海港リバプールとマンチェスター間に走り始め、ロンドンに次ぐ商業交易の地になっていた。こうして運河倉庫や鉄道倉庫群が発達し、町中にも商業用倉庫が建てられた。今日見られるその「ウェアハウス」と呼ばれる倉庫群は、最盛期である一八二五年頃から一九世紀後半にかけてのものが多く、他のイギリスの都市とはずいぶん異なる景観を与えている。当初はわずかな装飾しかない殺風景なものが、富と信用を示す豪華なイタリヤ・ルネッサンス貴族のパラッツオ様式に変わる。それらがいまはホテルや博物館、オフィスやアパートメントに変わってはいるが、中心街のプリンセス・ストリートなどに目白押しに並ぶのは壯観である。

この一八世紀のマンチェスターに、一つの科学研究集団が誕生した。「マンチェスター文芸哲学協会」(Manchester

Literary and Philosophical Society)である。宗教や政治的信条を離れて、科学や自然物の「合理的探求」とその成果発表を目指す科学の学会として、一七八一年に設立された。イギリスではこの協会は、一七世紀の二六六二年に設立されたロンドン王立協会に次いで古い。その時からオウエンス・カレッジ(今日のマンチェスター大学の前身)が開校される一八五一年まで、マンチェスターの科学技術を中心とする知的交流のフォーラムになっていく。マンチェスターの大発展期の一八九世紀には、ほかにも文化的科学的団体が結成された。自然誌協会(設立一八二一年)、植物協会(一八二七年)、建築協会(一八三七年)、地学協会(一八三八年)などだが、とりわけ注目を呼ぶのは一八三三年設立のマンチェスター統計協会である。これはイギリス初の社会科学系の学会であり、銀行家や綿工場主、法律家、医学者など地元の名士が多数参加した。この集会で最初の報告は、社会事業家で文筆家のグレッグ(William Rathbone Greg, 1809-81)による「犯罪統計について」であった。こうして、マンチェスターのジエントルマンたちは、自然や芸術だけでなく、社会問題も取り上げたのである。

ところでマンチェスター文芸哲学協会に集まった人々には、スコットランド系医学者のパーシヴァル(Thomas Percival, 1740-1804)・化学者ドルトン(John Dalton, 1766-1844)・電気技師スタージョン(William Sturgeon, 1783-1850)・物理学者ジュール(James Prescott Joule, 1818-1889)らがいたし、また腕利きの技術屋たちも加わっていた。民生技師で発明家のロバーツ(Richard Roberts, 1789-1864)・蒸気ハンマーで著名なスコットランド技術者ナズミス(James Nasmyth, 1808-1890)・同人社ロットランド技師のフェアバーン(Sir William Fairbairn, 1789-1874)らである。さらに市内外から商人や工場主らが参集して会を盛り上げた。マコーネル家(McConnells)やスコットランド系事業家のグレッグ家(Gregs)・銀行家のヘイウッド家(Heywoods)やフィリップス家(Philipses)の人たちである。

なかでもドルトンは、マンチェスター学派の始祖というべき存在であった。地方出身で、一七九八年にマンチェスターの非国教派学校の数学教師に招かれたのだが、その才気と人格でマンチェスター文芸哲学協会を拠点に

科学者グループを作り上げていった。化学者トマス・ヘンリー (Thomas Henry, 1734-1816)、『同ウィリアム・ヘンリー (William Henry, 1775-1836)』、技術者でボウルトン・ワット商会代理人ピーター・エワート (Peter Ewart, 1767-1842)、『教育者トマス・バーンス (Thomas Barnes, 1747-1810)』らであった。ドルトン自身は、その原子論モデルと記号法によって一九世紀化学の基礎を据え、大気や気体の研究を推進して気象学にも貢献する。ドルトン記号はすべての原子表記に同じ大きさの丸印○を使い、重さは違っても粒子の体積は等しい、と考えた。この考えを複合粒子にも当てはめ、たとえば二酸化炭素なら、二個の酸素原子○が互いに反発し一個の炭素原子●と引き合うとして、○●○と表した。ピンと穴あき球を使って今日もよく見られる立体モデルまで作っている。

一八〇三年一〇月の文芸哲学協会の会合でドルトンが読み上げた論文の一節に、「水表面を押す気体の一粒子は、あたかもきちんと積み重ねた粒子の最上層をひと突きしている銃弾のようなものだ」とある。ガリレオ、ニュートン以来の物理学に見られる原子論哲学は機械論的であるが、それがドルトンらの気体研究を通して明確に化学と結びつくのである。新たな学の融合である。気体の物理学は、固体・液体を扱うよりも、熱を加えたときその効果が容易に数量化できる。蒸気ないし空気の考察がエネルギー論成立の前提になる理由でもある。

近代化学の父ドルトンが化学的原子モデルを確立して、初めて原子の実在性が明らかとなり、その原子の未知の運動機能が一九世紀に確立するエネルギー概念によって説明されるようになるのである。

このドルトンを二年ほど家庭教師にして数学や化学の基礎を学んだ若者が、ジェームズ・プレスコット・ジュールである。マンチェスター近郊の醸造家の出身で、生涯、研究職に就かず醸造所や自宅で実験した。水に入れた導線にヴォルタ電池で電流を流すと水温が上昇する。この時の熱量は、流した電流の二乗と導線の電気抵抗に比例することを見つけた(ジュールの法則、一八四〇年)。

重さ一ポンドの水を華氏一度上げるのに要する仕事の熱当量を水中の羽根車実験で確定する有名な実験も、一八四三年に八三八フィート・ポンドと発表したが無視された。四年後の一八四七年、英国科学振興協会のオック

スフォード集会でジュールは二度目の発表をしたが、これをたまたま聴いていたのが、グラスゴー大学自然哲学教授に就任したばかりのウィリアム・トムソン、後のケルヴィン卿であつた。素人のジュールの仕事が、初めて専門家の目を引いたのである。その後も、二人の共同実験は四年も続いた。その間、マンチェスター文芸哲学協会においてピーター・エワートが以前に発表した一八二三年の論文「活力の測定について」についての報告を耳にして、ジュールは大きな刺激を受けている。今日、エネルギー保存の法則は、ドイツのヘルムホルツ(Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821-94)の一八四七年の定義によつて確立され、ドイツの医者マイヤー(Julius Robert von Mayer, 1814-78)とジュールに名誉が与えられている。マイヤーの功績は、生理学から出発して仕事の熱当量を独立に計算し、エネルギー概念を生物世界にまで広げたことにある。

おわりに——新概念と新学派

マンチェスター学派の学問のスタイルには、哲学的難解さがなく、自由で、直接的で、産業と容易に結びつくことに特徴がある。この外縁に熱の仕事当量を定めたジュールがいる。グラスゴー学派は伝統的にヒューム哲学の懐疑力に鍛えられたためか、論理性に優れ、実証主義が強い傾向がある。この中心部に初めはブラックやスミス、後にはランキンやケルヴィン卿がいて、ワットはその周辺部にいた。どちらの学派も経験的な場と強くつながっているのが、イギリス科学の特徴である。

しかもこの二つの学派が、ジュールとケルヴィン卿を介して手を組んで、エネルギー保存の法則を産み出した。二つの学派を裏で支えていたのは、グラスゴーからバーミンガム郊外のソホーに移り、小教研究グループの「ルナー・ソサイエティ」(月光協会)をボウルトンと共催していたワットであり、その代理人がマンチェスターで活躍したエワートであつた。社会改良事業に転身したロバート・オウエンもマンチェスター文芸哲学協会の会員で

あつた。このような知的環境が、ジュールやケルヴィン卿の思考力、実験力に大きな刺激を与えたことだろう。

もともと熱力学に貢献したワットもランフォードもジュールもカルノーもマイヤーも、科学の学会外にいたアマチュアであり、非正当派であつた。ジュールは運良く好意的目利きであるケルヴィン卿の目に止まり、マイヤーは絶望に追い込まれていたが、愛国的同国人のヘルムホルツにすくい取られた。天才カルノーは一人認められずに死んだ。こう見ると、職人ワットの幸運が目立つ。初めにオール・スコットランド学派の応援団がつき、パーミンガムに行つてからは誠実な企業家ボウルトンや優れたマードックらの技術者群に囲まれていた。ワットがいたグラスゴー大学やパーミンガムのソホーには、多様な知的ネットワークがあつて、その結節点として、ワットの「特許の中の特許」といわれる「分離凝縮器」の根本特許が形成されたことが重要である。まさにそこには「学の融合」があつたのである。

このように見ていくと、新概念を産む学の融合・統合にはいくつかの要件があることがわかる。第一に、新概念や新分野の提出者は、周辺を説得するだけの、合理性と有効性を明示できなければならない。第二に、開放的な研究集団が存在していて、その集団は、異質な外部の見解であつても積極的に取り上げ、提案者を受け入れる用意がなければならない。第三に、提案者は自分の成果をレフェリーに当たるより大きな学会や学会誌、あるいは図書で公開せねばならない。

新概念「エネルギー」は、既述のように、使用例としてはヤング(Thomas Young, 1773-1829)が最初とされる。ヤングはロンドンで医師を開業、王立協会会員となり、一八〇一年に王立研究所の教授に就く。外部から科学界内部にうまく入り込んだ人物である。見事な干渉実験や回折実験を通して光の波動説を打ち立てたことで知られる。そのヤングが、異なる光線の強さを表すために「エネルギー」を使ったのである。ヤングの思想を突き詰めていけば、光がエーテル中の波動ならば熱の放射線も波動であつて、この波動という運動から熱はエネルギーである、という考えへと飛躍しようとしていた。その基礎には原子論的運動論があつた。

しかし一九世紀初頭においてもなお、一七八三年にラヴォワジエが建てた熱のカロリック説、熱素説が権威あるフランス科学に支えられて、大方の科学者に認められていた。熱素あるいは熱流体の考えは、固体や液体の熱膨張を説明し、融解熱や気化熱といった潜熱現象や気体の圧縮昇温や膨張冷却の現象とうまく調和した。

しかしこうした考えを根底から揺るがす事件が起こる。アメリカ生まれで英国に亡命、政治家ランフォード伯ベンジャミン・トンプソン (Benjamin Thompson von Rumford, 1753-1814) の実験であった。ミュンヘンの兵器工廠で大砲の砲身をくりぬく作業中、膨大な摩擦熱が発生するのを目撃、ランフォード伯は水槽に砲身を浸し、鈍い中ぐり棒で削ると二時間半で水は沸騰した。削る運動さえつづけていれば熱の供給は無尽蔵であり、この事実が熱の物質説に反する、というのだ。砲身に伝達される唯一のものは「運動」(Motion) だとした。しかしランフォードの熱運動説はいかにもアマチュア的で精密さがなく、説得力に欠けていた。専門家筋のドルトンもアヴォガドロもまたフランス人科学者の多くも、運動説でなく熱素説を支持しつづけた。四面楚歌のランフォードにとって、ヤングの光の運動論は力強く見えたことだろう。

一九世紀初頭、まだ広い意味での物理学者は存在していなかった。数学、ニュートン物理学、惑星天文学、産業機械学はあったが、エネルギー論、熱力学、場の物理学、原子構造論といった新分野はこれからの出番を待っていた。物理学は化学とは別路線で、熱放射や熱伝導の問題に挑んでいた。エディンバラ大学のジョン・レスリー (John Leslie, 1766-1832) が率先し、解析数学が得意なフランスのフリーエ (Francois Marie Charles Fourier, 1772-1837) やポアンソンの (Simeon Denis Poisson, 1781-1840) が精緻な熱伝達の理論化に成功する。

にもかかわらず、熱力学がフランスで成立しなかったのは、なによりも、産業革命の主役に躍り出た無骨な蒸気機関が押し出していた根本問題、「熱と動力の関係」という生産現場からの問いかけが欠けていたからである。フランスの数学的解析力はずば抜けているが、蒸気機関と航海術がもたらした気象学、気体と蒸気の研究、大気の大循環が宇宙的な熱機関であるという認識はフランスには抜け落ちていたし、政治的分裂下にあったドイツは

まだ途上国で動力や熱学への貢献は限られていた。フランスの例外は、天才サディ・カルノー (Nicolas Leonard Sadi Carnot, 1796-1832) が公刊した『熱機関の研究』(一八二四年)である。この公刊によって、学界の孤児であったカルノーは熱力学という新領域の学問を形成した一人になった。

カルノーは、エコール・ポリテクニークに学んだ工兵士官で、休職中に工場などの産業現場を視察、ワット機関に始まる熱機関の作動原理を理論的に解析して、熱効率の最大化を目指す熱機関の一般理論を一八二四年に提出した。カルノーは天才的直感力で、ワット機関に明白であった温度差のある二つの熱溜、高温部(ボイラー)から低温部(分離凝縮器)への熱流体の流れに注目し、さらにワットが燃料節約のために導入した「膨張原理」を取り込んだ。カルノーはまだ熱素説に与していたが、それは幸い彼の推理を妨げることにはならなかった。

まずカルノーは、水車が水位差を利用するように熱を仕事に変える熱機関には温度差が必要、温度差がなければ仕事を生み出せない、と要請した。これを「カルノー原理」と呼ぶ(この原理はエントロピー概念を先取りしている)。あわせて熱と仕事が相互に変わりうるという要請も立てた。これを「ジュール原理」という。さらに出力を最大にする理想機関では、いかなる無駄な熱の流れもあつてはならない、つまり異なる温度の物体が接触してはならない、という禁止則も導入した。こうしてワットの膨張原理や断熱膨張、圧縮昇温などを使って動かす理想的カルノー機関は、熱をもれなく機械的仕事に変える効率一〇〇%の可逆式サイクル機関であることを、明らかにした。ただこの理想機関の作動速度は無限にのろく、実用性はまったくない。逆に熱効率〇%の機関は単なる熱伝導装置であるともいえる。ワット機関もディーゼル機関もすべての実用的な機関の熱効率はこの間にはいる。

ケルヴィン卿は、ジュール原理からいえば僅かな温度をもつ海水の熱を汲み上げ高熱にして、機械的エネルギーに変える準永久機関が考えられるが、カルノー原理が禁止していることに気づいていた。この相克する二つの原理、カルノー原理とジュール原理を調和させたのは、ドイツのクラウジウス (Rudolf Julius Emanuel Clausius,

1832-1888)であった。ベルリン大学で学び、チューリッヒ工科大学教授となる正当派の理論物理学者である。一八五〇年に熱力学の第二法則を定式化した。さらに一八五四年にエントロピー(仕事に変わる熱量をその時の絶対温度で割った値)という概念を導入した。クラウジウスは、完全なカルノー機関ではこのエントロピーの総和は〇になるが、現実の機関や自然過程では必ずエントロピーは増大する、と結論した。エントロピー概念は、近年、その増大を情報の雑音化、秩序の無秩序化、形態の崩壊などの現象に結びつけて拡大・再解釈されている。

一九世紀末にバルト地方出身のドイツのオストヴァルトが、永久機関の夢を永遠に絶つた。無から有の仕事を生み続ける第一種の永久機関と、海水などの無尽蔵に近い低温源から熱を汲み上げて仕事に変える第二種の永久機関が考えられてきたが、いずれも、エネルギー保存則(熱力学第一法則)とエントロピー増大則(熱力学第二法則)によって、原理的に不可能であると唱えた。すなわち無から有の仕事を生じることが、エネルギー恒存則によって禁止され、第一種永久機関不可能定理と呼び、低温から高温にして仕事を生み出すことは、エントロピー増大の法則(熱力学第二法則)によって禁止されるので、第二種永久機関不可能定理と呼んだ。ここに、一七世紀初頭の大気圧の発見に始まった壮大な無限動力源獲得の夢は、術語「エネルギー」の成立と深化・融合を見ながら、三〇〇年足らず後の一九世紀末に終わつたのである。

(大阪府立大学名誉教授)

〔参考文献〕

本稿を書くにあたって多くの文献、ネット資料に眼を通したが、公刊された主要なもののみを上げる。

D.S.I. Cardwell, *Technology, Science and History*, 1972 (D・S・L・カードウェル著「技術・科学・歴史」金子務訳、河出書房新社、一九八二年)。

Idem, *From Watt to Clausius*, 1971 (同カードウェル著「蒸気機関からエントロピーへ」金子務監訳、平凡社、一九八

九年)。

William Rosen, *The Most Powerful Idea in the World, A Story of Steam, Industry and Invention*, London, 2010.

H.W.Dickinson, *James Watt, Craftman and Engineer*, 1935 (チャッキングソン著「シエームズ・ワット」原光雄訳、創元社、一九四一年)。

Jenny Uglow, *The Lunar Men*, London, 2002.

Ord-Hume, Arthur W. J. G., *Perpetual Motion*, 1985 (アーサー・オードヒューム著「永久運動の夢」高田紀代志・中島秀人訳、朝日新聞社、一九八七年)。

金子務著「アインシュタイン・ショック」第二巻、河出書房新社、一九九一年、岩波現代文庫、二〇〇五年所収、「アインシュタインにおける平和と原爆」に文献も併せて書いた。

金子務著「アインシュタイン劇場」青土社、一九九六年、第九章「悪魔の法か、解放の式か」。

金子務「古くて新しい蒸気問題の旅から」、『科学』二〇一二年五月号。

山本義隆著「熱学思想の史的展開」Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、ちくま学芸文庫、二〇〇八、二〇〇九年。

Roger S. Stuewer, "Mass-energy and the neutron in the early thirties", *Science in Context* 6-1, 1993, pp.195-238.

Reynolds, Terry S., *Stronger than A Hundred Men, A History of the Vertical Water Wheel*, 1983 (T・S・レイノルズ著「水車の歴史」末尾至行・細川敬延・藤原良樹訳、平凡社、一九八九年)。

Gimbel, Jean, *La Revolution Industrielle du Moyen Age*, 1972 (J・ギャンベル著「中世の産業革命」坂本賢三訳、岩波書店、一九七八年)。

寺尾宏二著「琵琶湖疏水の1000年・叙述編」「琵琶湖疏水の1000年・資料編」京都市水道局、一九九〇年。

出水力著「水車の技術史」思文閣出版、一九八八年。

坂井洲二著「水車・風車・機関車」法政大学出版局、二〇〇六年。

牛山泉著「風力エネルギーの基礎」オーム社、二〇〇五年。

平田寛著「失われた動力文化」岩波新書、一九七六年。

Chales Singer et al, *A History of Technology* vol.4, 1968 (C・シンガーほか著「技術の歴史 増補版」第四巻、平田寛・

- 八杉龍一訳編、筑摩書房、一九七八年。
- Smith, Crosbie (1998). *The Science of Energy-a Cultural History of Energy Physics in Victorian Britain*. Chicago, 1998.
- Howard T. Odum, Elisabeth C. Odum, *Energy Basis For Man and Nature*, 1976 (H・ホム／E・オダム著「人間自然エネルギー」市村俊英監訳、共立出版、一九七八年)
- 宇沢弘文・細田裕子編『地球温暖化と経済発展』東京大学出版会、二〇〇九年。
- John McDermott, *Glasgow*, 2010
- Michael Sanderson, *The Universities and British Industry 1850-1970*, London, 1972.
- Ed.J.Tann, *The Selected Papers of Boulton & Watt Vol.1*, pp.6-7.
- 湯浅光朝著『日本の科学技術100年史』下巻、中央公論社、一九八四年所載の「外人技術者・留学生年表」。
- Ed.R.Y.Thomson, *A Faculty for Science: A Unified Diversity*, Glasgow, 1993 ⑥『The History of the Faculty, pp.7-18.
- J.Durkan, J.Kirk, *The University of Glasgow 1451-1577*, Glasgow, 1977.
- James Coutts, *A History of the University of Glasgow*, Glasgow, 1909.
- C. Smith, M.N.Wise, *Energy and Empire. Biographical Study of Lord Kelvin*, Cambridge, 1989.
- Ben Marsden, Engineering science in Glasgow:economy, efficiency and measurement as prime movers in the differentiation of an academic discipline, *British Journal for the History of Science*, 1992, 25, 319-46.
- Alan Kidd, *Manchester, a History*, Lancaster, 1993, 2006.
- 杉山中平著『私のマンチェスター』未来社刊、一九七六年。

2 エネルギーの起源について

池内 了

はじめに

いま紹介がありましたように、私は総合研究大学院大学学融合推進センターのセンター長をさせていただいております。

私たちは戦略的プロジェクトと呼んでいるのですが、文理融合を目指して、三年なり四年なりの長期にわたって、根本的なところから問題を提起するプロジェクトを進めるべきだろうということで、二件立ち上げました。

一件は、二〇一一年から行っている、斎藤成也先生が研究代表者のもので、遺伝子と文化の進化と拡散です。人類史の中で遺伝子がどのように世界的に拡散していったかと同時に、さまざまな文化、言語など、そういうものがどのように広がっていったか。あるいは現在、文化や言語の消滅の多い時代でもありますが、そのようなことも取り上げられると思います。これは文理融合の一つの重要なテーマです。

もう一つは、二〇一二年から、鈴木貞美先生が代表者の、まさにこの研究テーマにあるような、諸科学の編制と基礎概念の検討です。これは文系的な側面から、しかし科学そのもの、特に自然科学、今日のエネルギーもそ

うですが、その概念がどのように変遷していったか。それが科学をなりわいとする私たちにどのような影響を与えてきたか、私たちはどのような取り組みをしているか、そういうようなことを研究するものです。

実は「戦略的」という言葉は軍隊用語であるので、今度の会議では叱られそうですが、いまやいろいろなところで戦略という言葉は使われており、トップダウンが特徴的です。我々の戦略的プロジェクトでも、いまの斎藤先生や鈴木先生は、ある意味ではトップダウンで決めました。むろん応募していただいたのですが、その中でわれわれとしては、これは重要であろうとセンターで議論して、指名的に行つたものです。

そういうこともありまして、今日のシンポジウムも学融合推進センターが主催になつており、スポンサーがそこだということ、センター長である私が一番、バッターとして指名されたのだと思います。

エネルギーについて何を話そうかといういろいろ考えたのですが、物理屋なので物理屋的な発想、かつ天体物理学を専攻しておりましたので、宇宙論に絡めた話にしようかなと考え、「エネルギーの起源」ということにしました。

たぶん、物理を専攻されている方にとつては実に当たり前の話ですが、おそらくそのような方はそう多くないと見込んで、当たり前の話を単に当たり前のごとく話すことになると思います。

私たちは、地上でさまざまな形態のエネルギーを扱っています。そのエネルギーはそもそも何によつてつくられているか、どのように形を変えていつているかを見ることによつて、そのエネルギーを生み出した素は何であるかを、どんどんさかのぼっていきますと、最終結論ですが、結局のところはビッグバンに行き尽きます。ビッグバンの特に解放されたエネルギーが、現在の地球上の全てのエネルギーの根源である。そういう単純な一元論になるわけですが、その話をしたいと思います。

地上のエネルギーと四つの力

地上のエネルギーには、運動物体を持っている運動エネルギーがあり、それから位置エネルギーがあります。地球あるいは太陽といった重力源があつて、その高いところから低いところに移動し近づくことによつてエネルギーが稼げるといふ位置エネルギーです。水力発電や潮力発電などいろいろありますね。

それから、化学エネルギー。これは別の言葉では熱エネルギーといいますが、生命体を構成し、駆動するエネルギーです。私たちが生きていることそのものが化学エネルギー、つまり化学反応によつてつくられているエネルギーです。その典型が化石燃料で、石油、石炭、天然ガスです。

それから、いまの原発問題に象徴される原子力エネルギー。それに付随して核反応によつて生じたさまざまな不安定な原子核が放出する放射線エネルギーもあります。これは原子核物理学の範囲で、原子核が関与しています。基本的に、私たちの生活は電気エネルギーがほとんど、さまざまなところを占めておりますが、その根源の最も単純なものは位置エネルギーで、水力、風力、潮力、潮汐力によつて電気タービンを回転運動させ、それによつて電気を取り出しています。

あるいは、化石燃料の石油や石炭を燃やすことによつて水を水蒸気に換え、その水蒸気の運動エネルギーで電気タービンを回す。原子力は核反応によつて、これも水を水蒸気に換えて、その水蒸気の圧力で電気タービンを回す。結局、みんな電気タービンを回して電気エネルギーをつくり出していく、そのような流れになつていくわけです。

そもそもエネルギーは、物理学でどのような定義なのでしょう。力によつて、どれぐらい物事を動かしたか、つまり力×仕事＝エネルギーです。だから、エネルギーの根源を探ることは、結局、自然界の力を探ることになります。力がどのような条件、あるいはどのような物理量で生じているかということですね。

現在、私たちが知つている力は、これから申し上げる四つしかありません。自然界におけるさまざまな物質間に働く基本的な力は四つしかない。例えば、手をこすり合わせると摩擦が生まれ、これもむろん力が働いているわけですね。これは摩擦力とわれわれは言っています。

しかし、これをミクロに見ると、原子同士、分子同士が、お互いに擦り合わされて形がゆがみ、ゆがんだのが元に戻ろうとして熱エネルギーが発生するのですが、基本的には電磁力です。分子同士の摩擦による力は電磁力です。最も根源的なところに立ち戻ると、自然界には四つの力しかないことが分かっております。ひよつとしたら五つ目があるかもしれませんが、非常にミクロな世界、第五の力と言われたこともありえますから。私たちが力を測っている物理領域は無限に広いわけではありませんね。調べられている空間の大きさは有限です。

例えば万有引力の法則は、距離の二乗分の一（つまり距離を R として $1/R^2$ ）と言っておりますが、それはどれぐらいのサイズで確かめられたのか。現在はせいぜい太陽系ぐらいでしょう。探査機を飛ばして計測していますから。それより向こうは、実は測れないわけですね。それ以上の大きさについては、私たちは R の二乗分の一であると仮定して議論を進めているのです。

だから、ひよつとしたら、もつと大きい距離のところなら、 R の二乗分の一の法則からずれているかもしれない。あるいは、もつと小さいミクロの世界も、同じようなことが言えますね。しかしながら、現在知っている物理量の範囲内では四つの力であろうと仮定することにします。

四つの力を古い順に挙げますと、まず万有引力があります。これはニュートンが発見しました。一般的には重力と言ひ、距離によつて弱くなつたり強くなつたりしますが、基本的には質量が関与しています。重さという言葉の方はよくなくて、質量です。重さは、一般には、重力の働く大ききによつて決めております。質量は運動によつて決めておりますから、質量と言つた方がいいと思います。

その次に発見されたのが電磁力です。これは、光を交換することによつて生じている力です。電荷を持つもの、あるいは電荷が動くとき電流が流れ磁気モーメントという磁場を伴うもの、そのような物理量の間に働きます。

実は、化学反応、原子の中の電子がいろいろ組み交わつたり、取れたり、くつついたり、そういう反応が化学反応であり、基本的には電磁力で進んでいるものなのです。だから、私たち生きとし生けるものは、基本的に電

磁力の作用によつて生きていけると言えます。

それから三つ目の強い力は、もともと核力と呼ばれ、一九三五年に湯川秀樹が出した理論が、強い力の出発点です。これは原子核内部で働く力で核力と呼ばれました。現在はより一般的に強い力と呼ばれています。四つ目の弱い力も、ほぼ同じころにフェルミが発見しました。実にいい加減な言い方と言えがいい加減な言い方ですが、電磁力よりは強いので強い力、電磁力よりは弱いので弱い力と呼んだので、相対的なものです。電磁力がメルクマールになつて、それより強いかわいかなだけの言い方ですから、本来の特徴を捉えているというわけではないのです。

電磁力には電気または磁気が働きます。万有引力の万有とは、質量を持つもの全てという意味です。だから強い力とか弱い力は、いい加減な付け方と言えればいい加減な付け方です。しかし、この四つの力に区別されます。

エネルギーと力の対応

その四つの力が仕事をすることによつて、エネルギーが生じる。だから、エネルギーの根源を探っていくと、どのような力が働いているかということに行き着くことになりますね。

もう一度、地上のエネルギーを整理し直すと、化学エネルギーは、植物が光合成によつて太陽からの光エネルギーを定着させ、さまざまな化学反応の基になるものですね。でんぷんとか炭水化物をつくり、それを動物が食べるわけです。これは、電磁力の作用によるものということがお分かりかと思えます。

電磁力の作用によつて、太陽の光エネルギーが定着する。逆に言うと、太陽の光エネルギーは、原子の中の電子を動かすのにエネルギー的にちょうどよくマッチしているのです。太陽の光エネルギーがやってきて、それを物質中の電子が吸収するということが出発点になつて、さまざまな反応が次々起こつて炭水化物ができる。これ

が光合成ですね。

二番目の位置エネルギー。これは物質が質量を持つことに由来し、重力エネルギー、あるいは万有引力によるものです。重力エネルギーが本質的に利くのは、質量が巨大になることが必要です。素粒子のレベルでは、重力はほとんど無視することができます。重力が重要になってくる目安として丸い（球形の）物体かどうかで判断できます。小惑星探査で、「はやぶさ」が小惑星のイトカワに行つて、七年ぶりに帰つてきて、すごいブームになり、映画が三本もできているそうです。そのイトカワはジャガイモみたいな格好をしていて、まだ重力が本質的に利いていません。

重力が利いて、本質的な役割を果たすようになると、重力は距離だけに依存する力ですから丸くなります。方向にはよりませんから。電磁力がまだ十分作用していると、ジャガイモ型になったり、へしやげた格好になったりします。

だいたい、富士山ぐらいか、五キロぐらい、それより大きくなると重力が勝つて丸くなる。地球も丸くなる。星も丸くなる。それぐらいが、重力が本質的に利く目安であると考えていいと思います。

原子力エネルギーは、いまのところはウランなどの原子核の分裂反応がほとんどで、これは強い力によるものです。水素爆弾の場合も、むしろ原子力エネルギーですが、後でちよつと言いますが、弱い力を通じて強い力に受け渡され、軽い原子核が融合して重い原子核が形成されていきます。これも強い力で原子力ですが、水爆以外はいまのところ民生用には使われていないので、核分裂反応だけとします。

それから、放射線のエネルギーは核崩壊に伴うもので、強い力が作用した場合には、アルファ線や陽子線や中性子線が出ます。あるいは、弱い力が作用するとベータ線、つまり電子が飛び出す。あるいは、電磁力が作用した場合はエックス線やガンマ線が出る。核放射に伴うときは、ミクロの世界に働く三つの力が、それぞれ働いて、それぞれ特徴的な粒子を放出するのです。

このように整理してみると、われわれが知っているエネルギーと力が、非常にうまく対応していることがわかると思えます。

つまり、地上のエネルギーの流れを見ますと実に単純で、ほとんどが太陽からのエネルギーです。そのエネルギーが植物に吸収され、光合成で炭水化物になる。その炭水化物を動物が食べる。これは生命世界ですね。その生物の遺骸が地下に閉じ込められると化石燃料になります。われわれはいま、それを掘り出してエネルギー源として使っているわけですね。

それから、太陽光のエネルギーを海水が吸収し、水蒸気になって上空に上がり、今度は雨となって降ってくる。山の上に降った水をためて、水力発電する。これは、基本的には、太陽光エネルギーが仕事をしているわけですね。太陽の光のゆらぎがあります。太陽光は雲によつて、ある方向が強まったり弱まったりしますから、空気のゆらぎが生じる。それによつて圧力差が生じ風が生じます。

そういうふうな、私たちの日常的な領域のほとんどは、太陽光エネルギーがコントロールしています。

それから、地球と月の重力、これ以外に地球の自転によつてコリオリ力という別の力も働くのですが、それが潮流や潮汐力（大潮、小潮など）になります。また、空気の循環流、例えばハードレー流などで、赤道方向からの熱を中緯度地域に運ぶ、あるいは極域の冷たい空気が中緯度地域に流れるという、非常に大きなスケールの循環流があります。その通り道に当たっているのが、いま風力発電が非常に盛んな北海のデンマークなどの国の辺りです。風力発電は日本でも行われています。

もう一つは原子力エネルギーです。これは核分裂による原子爆弾、原子力発電です。それから、核融合による水素爆弾で、核融合発電は現在実現しておりません。

地上のエネルギーの流れを見ると、これぐらい単純化できるのです。物理屋はどんどん単純化したがるどころがありますので。

星のエネルギー源

では、太陽のエネルギーは何から出ているのかを考えてみます。太陽は、一般に恒星です。星、お星さまです。星は核融合反応で輝いています。その過程でさまざまな原子核を形成していきます。特に、重い星が最終段階になると、超新星爆発というかたちで大爆発を起こします。そのときは、非常に短い間ですが、物質が高温状態、高密度状態になりますから、核反応がものすごいスピードで進行し、ウランのような非常に重い原子核が形成されるのです。

基本的には、太陽の内部では原子核反応がエネルギーをつくり出している。核エネルギーですね。原子力エネルギーという方はあまりよくなくて、核エネルギーと言うべきではないかと思えます。

むろんのことながら、重力はこれに非常に重要な役割を果たしています。太陽の中心温度は七千万度ぐらいです。もつと重い星だと一億度以上の温度になりますね。そのままですごい圧力ですから膨張してしまうでしょう。それを自分の重みで閉じ込めているのです。重力が作用することによって、それを閉じ込めている。

重力によってちよつとずつ縮んでいけば、それで熱エネルギーも出るのですが、星が輝くのは原子核反応のエネルギーの方が圧倒的に大きいのです。つまり、エネルギーを生み出すのは、原子核と、重力として働く質量が本質的です。

もつと単純に言いますと、実は、質量一元論です。質量には二面的な使われ方があります。一つは、質量そのものが重力を通じて内部へ押し込めていく力、収縮しようとする力として働く。それがエネルギーを生み出すこと。それからもう一つは、アインシュタインが相対性理論で発見した「 $E=mc^2$ 」をご存じだと思えますが、つまり、質量とエネルギーは等価、同じものであるというわけですね。

ここで言う原子核は、結局のところ、原子核の質量が一部エネルギーに転化するのです。原子核反応によって、反応前の全質量よりも反応後の全質量の方がちよつとだけ軽くなるわけで、その質量差分だけエネルギーが出てくることになります。質量の使い方も、重力として働く場合と原子核のような核反応として働く場合があるわけですね。

だから、単純に言うとなら質量一元論でいいのですが、二つの使われ方があるので、二つ別々のものとして、原子核と質量が本質的であると言えらると思います。要するに、太陽のエネルギーは、重力として働く側面と、「 $E=mc^2$ 」の、質量とエネルギーが等価であるという側面の、両面がうまく働いており、星からのエネルギーが出されているということなんです。

銀河で起こっていること

もうちよつと進めます。銀河という、星が一十億個も集まった集団が、この宇宙を構成する基本単位となっております。この宇宙には、銀河という単位で物質が点々と分布しているのです。

銀河の中で何が起きているかということ調べてみますと、皆さんを子ども扱いしているわけではないのですが、私は、いつも子どもたちに話すときに「私たちは宇宙の子どもである」と言っています。

星と星の間の空間には、星間ガスがあります。それがゆつくりゆつくり縮んで雲になります。星間の雲です。その雲の中で一番密度の高い部分から星が生まれるのです。星が生まれて、その星が進化する。つまり、星の中で核反応が進んで、さまざまな元素をつくる。最後に星が大爆発を起こす。

星間ガスが星間の雲になって星が誕生するまでのプロセスは、重力の作用で進んでいきます。星の進化は核反応がどんどん進んでいくことですから、原子核の作用です。この場合は、原子核および重力の両方の働きにより

星が大爆発を起こすわけですが、それによって星がばらばらに壊れてしまう。星の内部でつくられた重い元素が、星間ガスと混ぜ合わされていく。そうすると、再び出発点に戻って、星間ガスになり、それが固まって、という循環を繰り返しているのです。

地球や太陽を含め太陽系が誕生したのは四六億年前と言われています。宇宙は一三七億年ということになっておりますから、宇宙が誕生して太陽系が生まれるまで九一億年ぐらいの時間がたっているわけです。その九一億年の間、ほとんどこのフェーズで、このような循環が常に進行していたのです。それによって星間ガス中の重い元素が増えてきました。その重い元素が固まったものが地球である。地球は岩石惑星ですから、重い元素の塊みみたいなものですね。

そういうことで、鉄、炭素、酸素、窒素などいろいろな元素で、私たちの体は構成されています。体だけでなく、回りも全部そうです。それらの重い元素は全て、星の中でできたことになるわけですね。そして、おそらく一〇回以上はこの循環を起こしたに違いありません。何回も循環する中で、重い元素がどんどん増えて、やがて地球という塊になったということです。

つまり、星は、重力と原子核エネルギーの実に絶妙な組み合わせで成り立ち、進化していると言えるのです。まず重力が作用して星をつくる。そして原子核がバトントッチを受けてエネルギーを発生させる。エネルギー源がほとんど絶えてしまうと、今度は重力で縮んで、最後に大爆発を起こす。それでまたガスになり、ガスが塊になる。重力と原子核がバトントッチしながら進んできたと言えるかと思えます。まさにそれが、宇宙のエネルギーの流れと言ってもいいかもしれません。

そうすると、原子核と質量はどこから来たのかということになります。いま、太陽の話をしました。地球という塊の重力も、いまの質量のことを言っているわけです。だから結局は、全ての質量がどこから来たかということに帰してしまいます。この宇宙にはさまざまなエネルギーがあるけれども、結局、エネルギーを出すのは、

重力と原子核の絶妙な組み合わせなのです。

言い忘れました。化学反応の熱エネルギーというのは、地球上のわれわれにとっては基本的に、非常に重要なものですが、宇宙の星の世界から見れば、取るに足らないぐらいのエネルギーしか出さないので。だから、基本的には原子核エネルギーと重力が宇宙のエネルギーをコントロール、支配しているわけです。

少し余談になりますが、原発を扱うことは、核エネルギーを扱うということですね。ところが、原発、原爆、水爆以外の地球上の全ての営みは、化学反応の営みです。逆に言うと、化学反応の技術で核エネルギー、これはエネルギーの桁で言うと一億倍ぐらい違います。おおよそ一億倍も違うエネルギー源をコントロールできるのかという問題に帰すると、私は思っています。

エネルギーの起源

寄り道から元に戻って、質量はどこから来たのかということですが、どんどんたどっていくと、ビッグバン宇宙の灼熱の時代、ビッグバンでエネルギーが解放された時代に戻らざるを得ないですね。

ビッグバンの仕掛けについては、後で簡単に解説しますが、ビッグバンで巨大な光のエネルギーがまず解放された。光です。質量はゼロ。質量を持たない光エネルギーがまず飛び出していった。その光エネルギーによって、有限の質量を持つ物質と反物質が同じ量だけつくられました。

物理法則を自然に適用すれば、そうならざるを得ないのです。基本的には、物質と反物質を重ね合わせると光に戻ってしまう。逆に、光から物質と反物質が、反物質は電荷の性質が反対のようなものなのですが、対生成される。そこまでは普通の物理法則どおりです。

問題は、物質が優勢になった時代があることです。物質と反物質がまったく同じ量であれば、全て光に戻って

しまい、この宇宙には物質は存在しなくなる、形づくるものは存在しなくなるのです。だから、ちよつとだけ物質が優勢になる仕掛けが必要なのです。ちよつとだけとはどれぐらいかというところ、一〇億分の一ぐらいだけの差です。

一〇億分の一個分だけ物質が余計にあつて、それ以外は全て物質と反物質が光に戻つてしまふ。一〇億分の一個分だけの物質が残されて、その物質は、初めはどんなものか分かりません。分からない粒子をXとして、X粒子と反X粒子ができて、そのほとんどが対消滅、お互いに消えてしまい、一〇億分の一だけ物質が残る。そのXという粒子からクオークがつくられる。クオークから原子核が形成されたというストーリーになるのです。

強い力が働いている物質は全て、クオークを含んでいる。つまり、クオークが強い力を利かせる基なのです。だから、強い力と言わずにクオーク力と言つた方がいいのかもしれない。原子核が形成され、原子核の空間分布がゆらぐ中で、密度の高い部分が重力の作用で固まつて天体ができた。現在、宇宙論で考えているのはこういうストーリーです。

そうすると問題は、今度は、ビッグバンのときはどのようにしてエネルギーがつくられたのか。その根源、つまり、ビッグバンのエネルギーはどこから来たのかというわけですね。

これに関しては一〇〇%証明されているわけではないので、ほとんどの宇宙物理学者が「そう考えるしかしようがないね」というところをお話ししたいと思います。

何かあれば、その起源を考えないといけないでしょう。そうすると、あらゆるものの根源をずつとたどつていき、何も無い状態に行かないといけないわけですね。何も無い状態から何かをつくるかということですね。手品みたいなことです。

問題を非常にミクロな世界で考えてみます。ミクロの世界では量子論的な取り扱いが必要で、量子論の世界では絶対静止はあり得ないのです。絶対温度をゼロにしても、ゼロ点振動といつていますが、必ずゆらぎが生じます。「無」の状態ですが、「無」といつても何も無い状態ではないのです。というのは、ゼロ点振動といつて、物質と反

物質が生まれたり消えたりしている状態があります。これは不確定性関係のためです。絶対に静止させることはできません。何もない状態だけれども、物質と反物質が生まれて消えて、生まれて消えてを繰り返しているのです。これを直接証明する実験があります。真空といったら本当に何も無い空っぽではなく、真空から物質と反物質が絶えず生成、消滅しています。真空は、いわばいろいろな小さな波、波のプラス分が物質、マイナス分が反物質として、それらが生まれて消える、生まれて消え、こういう状態であると考えられます。これにはいろいろな粒子が考えられます。あるいは、いろいろな波が考えられます。

これは本当かということですが、これを証明するのがカシミア効果といえます。単に、完全な真空中に金属板を置くと、この金属板の間にちよつと引力が働くのです。何もないところですよ。

これはなぜ起こるのか。無限の領域を取ってみると、そこに存在するのが、無限個の波長の波です。いろいろな波長の波が存在します。ところがもし、ここで有限で切ってしまうと、この間に存在する波が、ちょうどこの金属板のところ節にならないといけないですから、節になれる波の数は制限されてしまいます。

無限に大きいと無限に数があるけれども、有限の幅で縮めていくと数が制限されてきますから、波の数が少ない分だけ内と外のエネルギー差が生じますね。内側の方は波の数が少ないから、エネルギーは小さくて、金属板が引き寄せられるということです。これは現実に証明されています。だから、真空中で物質と反物質が生成・消滅されていることは事実なのです。

そうすると、このような真空の状態、真空は何もないことではなく、ひよつとしたら無限の波が存在するだけ豊かかもしれないですね。何らかのきっかけで、この真空の状態が転移した。実世界になった、そう考えるのです。単純すぎるのですが、逆に言うと、無限に離れた二点間A Bでは、波の数が無限にあるでしょう。その間隔を縮めると、波の数が減ります。そのように、宇宙が、無限の間隔から有限間隔へとぱつと変わったら、ゼロ点振動のエネルギー量が変わりますね。

いまのは単純な例ですが、真空はエネルギーを持つています。何も無い無限の空間だと全然区別がつきません。われわれは、直接エネルギーを持つていられるかどうか分からないけれども、いまのようにカシミア効果で検出してみると、ある限られた領域にある限られた数の波しか存在しないから、真空のエネルギーに制限が加わると考えざるを得ないので。

そうすると、ひよつとしたら真空はエネルギーに満ち満ちていられるのかもしれない、それをうまく取り出すことができるかもしれないというわけです。これこそが「色即是空」の世界、あるいは「空即是色」ですね。真空、何も無い世界は、実は実体のある世界であり、実体のある世界は、実はむなし、何も無い世界だと、そういう仕掛けなのです。

これを「真空の相転移」と呼んで、何らかのきっかけでというのは、相転移みたいなものだろうと思われると思います。相転移というのは、水蒸気の場合が典型的ですね。水蒸気から水に戻る、水が氷に戻るときを考えられます。水蒸気の状態では、その状態の最低エネルギーはある高さになる。水に相転移を起こした段階では、最低エネルギーの状態はこの高さから下がる。下がったこの差分が潜熱として放出されます。

夏の暑い盛りに水をまいたら、蒸発して涼しくなるでしょう。その場合は、水から水蒸気になるために、今度はエネルギーを吸収しなければならぬ。そのために回りのエネルギーを吸収してくれるので涼しくなるわけですね。これは水という物質が状態変化を起こしたのですが、真空も同じことが起こせるのではないかというのです。先ほどのように、真空にはエネルギーが満ちていると考え、その境界条件しだいを持つていられるエネルギーの量が変わり得ると考えると、真空のエネルギーもひよつとすると変わるでしょう。

宇宙の始まり

いままでほだいたい確かな話ですが、ここから先はちよつと眉唾です。

要するに真空の初めのゼロ点はいくらぐらいいである。それで、ここに何か分らないことが契機となつて、「何らかの」と言わざるを得ないので、何らかの相転移が起こつて、ゼロ点が下がりエネルギーが放出された。

そのエネルギーが光エネルギーとしてビッグバンの最初の閃光であつたというわけです。「何らかの」という辺りから、だんだん怪しくなつてきますけれども、ストーリーとしてはそういうことです。

こういう真空の状態を組み込んで、宇宙がどのように進化するかを解いてみると、山の形をしたポテンシャルの中を動くのです。

サイズがゼロの状態から有限サイズまでは、山より低いエネルギーなので禁止される領域です。普通では禁止されるのですが、まさにこれは量子論的な状態で、トンネル効果が起こるといふわけです。普通の状態では、ボールを投げても山の上を越せないけれども、波だと通過できるわけですね。トンネルのように通過して、ここで宇宙は姿を現す。それ以後ずつと膨張する。

だから、宇宙は有限のサイズで生まれたのです。宇宙は半径ゼロで生まれたのではなく、有限のサイズで姿を現した。一〇のマイナス三三乗センチメートルぐらいです。それから、時間にして有限の時間で生まれた。これをプランクタイムといつて、一〇のマイナス四四乗秒というちよつと信じがたい数値です。数値の大きさそのものよりも、一〇のマイナス四四乗秒という有限の時間で、一〇のマイナス三三乗センチメートルという有限のサイズで宇宙は生まれたことを強調したいのです。

それについてうまい言い方をしたのはステイヴン・ホーキングで、「ベビー・ユニバース」と言いました。赤ん坊はゼロのサイズで生まれるのではなく、有限のサイズで生まれる。われわれは便宜上ゼロ歳と言つていますが、赤ん坊はゼロ歳で生まれるのではなく、お母さんのお腹の中でそれなりに成長過程があり、ある時間を過ごし、ある有限の年齢で生まれるのです。

この仕掛けは、「何らかの」という分からない過程で真空の最低状態が変化して、それによってエネルギーを取り出す。それが全ての根源であるというわけだ。

整理しますと、全てのエネルギーの起源は、真空が持っていた「潜熱」のようなものがビッグバンの時点で相転移で放出されました。順序が逆で、相転移を起こしてビッグバンになったと言わなければならないが、それでエネルギーが放出された。

それが光エネルギーとなり、質量を持つ物質と反物質がつけられ、物質が優勢となつてクオークができ、さらに原子核ができて、多量の物質が重力によって固まつて天体になつた。銀河になり、星になつたというわけですね。

だから、まったくビッグバン一元論です。私たちの全存在の摂理はビッグバンにあるというわけだ。あるいは、全てのものがビッグバンによつて、一元的かつ必然的に形成された。その意味では、私たちは本当に宇宙の子どもののです。

先ほどは、原子核のレベルで見て、さまざまな原子核が星をつくつて、それが私たちの体を作っているという意味では、私たちは宇宙の子どもであると言いましたが、その原子核そのものがどのようにつくられたのか、元へ元へとたどつてみると、宇宙の始まりの真空の相転移という、訳の分からないものに行かざるを得ないというわけです。

そういう訳で、エネルギーの起源は、結局のところ、私たちはビッグバンによつて生かされているということ、下手な言い方をすると宗教になりますから、これ以上は言いませんが、物理屋として極めて単純思考で突き詰めていくとこのようになります。

私の話はこれで終わります。どうもありがとうございました。

3 風の歴史——人類との共存を考える

廣田 勇

1 はじめに

地球上に吹く風をエネルギーの一形態として捉えるために、この小論では長い歴史の中で人々が様々な風とどう付き合ってきたかを、次の四つの視点から概観する。すなわち、風の文化、風の科学、風の活用、そして本シンポジウムの主眼である風力発電の諸問題である。このプロジェクトの謳い文句である「文理融合」の言葉を借りるなら、大学の学部名に対応して、文・理・工・政経の四つの色合いを総合することに相当しよう。それゆえ、通常の科学論文とは形を変えて、図表や数式は一切用いず常識的な言葉による議論を行う。専門知識の切売りという意図はもとよりない。

2 風の文化

地上および上空に吹く風が日々にもまた季節によって様々な振舞いを示しながら、なおかつそこにある種の規則

性があることは古くから経験的に知られていた。

このような自然の摂理が種々の神話と結びついて親しまれてきたことは、たとえば紀元前二世紀頃に建てられたアテネの「風の塔」に見られる風の名称からも良くわかる。Apeliotes (東風)・Notos (南風)・Zephyros (西風)・Boeas (北風)などの名前はどこかで聞いたことのある人も多からう。たとえばルネッサンス期のポッティエリの名画「ヴィーナスの誕生」や「春」には、西風ゼフィロスが愛の象徴として花びらを撒き散らす姿が描かれている。我が国では菅原道真の「こち吹かば……」の歌のように東風が春の象徴のように思われているが、それは中国大陸の南の季節感であり、ギリシャのような地中海地域では低気圧の東進に伴う西風が春の季節を代表しているのである。

風の吹き方を人智を超えたものとして神話と結び付ける発想は洋の東西を問わない。時代が下がるが、我が国では俵屋宗達の「風神雷神図」が有名である。このように、歴史上、美術・音楽・文学などの題材として風が扱われている例は枚挙に暇がない。俗に花鳥風月と謂われるように、和歌の世界の一例として小倉百人一首には風を詠んだものが「あまつ風……」をはじめとして一四首もある。さらに身近な例を挙げるなら、風に因んだ日常的な慣用語は、「風の便り」、「風の噂」、「どこ吹く風」等々、小中学生でも直ぐに幾つか挙げられるであろう。それだけ風は人々の生活文化に深く根を下ろしている自然現象なのである。

3 風の科学…その1 古典論

ヴァチカン美術館にあるラファエロの大作「アテネの学堂」には、ギリシャ・ローマ時代の名だたる哲学者・科学者が綺羅星の如く描かれている。画面中央のプラトンがイデアの象徴として天を指差しているのに対し、その隣に立つ弟子のアリストテレスが手を水平に伸ばしているのは、彼が天上のみならず地上の世界をも見ている

ことを表していると言われている。事実、アリストテレス(紀元前四世紀)は、地球上の様々な事物の論理的解釈説明を行なったなかで、風を空気という物質の運動として科学的に捉える「気象学」を創立した元祖としても良く知られている。

彼はエーゲ海に落ちる流れ星の詳細な観察から、それが恒星や惑星の存在する「天界」と「地上界」の中間の世界で生ずる空気の燃焼現象であることを推論した。中間の世界の現象という意味で彼が名付けたギリシャ語のメテオロギカの名称は現在の国際学術用語の Meteorology (気象学) にそのまま引き継がれている。いま小型の英和辞書を開くと、meteor は流星や隕石の meteorite と記されているが、mete の語源はあくまでもアリストテレスの論じた「中間の世界」の意味なのである。

神学に支配された中世の暗黒時代が終ったルネッサンス期には近代科学も夜明けを迎えた。すなわち、ガリレオ、デカルト、ニュートンの系譜に代表される新しい自然観の確立である。そしてそれを生み出した背景として、人々が様々な立場から地球上の自然現象に触れた結果としての豊富な知識と経験が蓄えられてきたことを忘れてはならない。

その意味で、科学以前の知識としての風の吹き方は、一五一一六世紀の帆船大航海時代の船乗り達の経験によつてもたらされた。一四九二年のコロンブスによる新大陸発見の航路を見ると、当時のポルトガルの船乗りによつて知られていた低緯度の偏東風を利用し、西向きの往路は北緯二〇度あたり、復路の東向き航海は中緯度偏西風の吹く北緯四〇度あたりを選んでいる。すなわち、現在の常識である熱帯低緯度の偏東風(俗に謂う貿易風)と中高緯度の偏西風の恒常的な卓越は一五世紀ころ既に良く知られていたのである。

このような地球上の風系を大規模な空気の運動として物理学的に考えた最初の人物はルネ・デカルトであった。デカルトはその著『方法序説』(一六三七年)の付録として具体的に三つのテーマを応用例に挙げている。ひとつは虹の理論に代表される光学(Dioptrique)、三番目は後にデカルト座標などの名で親しまれた図形表示の幾何学

(Geometry)」、そして意外に知られていないのが二番目の気象学(Meteores)である。ここでも気象学にアリストテレス以来の言葉“Meteores”が使われていることは興味深い。

デカルトの「気象学第四講・風について」のなかで彼は地球規模の空気の運動、特に赤道の東風について、昼間の太陽からの加熱、それを受けた水蒸気の膨張、夜間の冷却による水蒸気の凝縮、の諸過程が地球から見た太陽の西向き移動に引きずられるように空気の動きを作り出すこと、すなわち東風の卓越がもたらされることを説明した。この考え方は現在の目からみても大筋において間違つてはいない。

このような地球全体の風の振る舞いに関する議論は、その後、ニュートンと同時代の天文学者エドモン・ハレー(有名なハレー彗星の発見者)によつて更に詳細に議論された。彼は天文観測のため広く世界を航海した知識経験をまとめて「ハレーの風系図」を作つた。これは、太平洋を除けば現在の観測値から作つた海上の平均風系図と極めてよく一致している。これをもとにハレーは低緯度偏東風・中緯度偏西風の原理を太陽加熱と地球自転の組み合わせから解釈した。

ニュートン力学が一般原理として定着した一八世紀に入つて、ロンドンの法律家であつたジョージ・ハドレーは一七三五年の王立協会での講演のなかで、デカルトやハレーの議論を回転(自転)する地球上の空気運動としてニュートンの角運動量保存則から見事に説明した。その内容は大気の「ハドレー循環」の名で現在も大気大循環論の祖として歴史に刻まれている。

4 風の科学…その2 観測の発展

二〇世紀に入ると風の観測技術は一気に進展した。それまでは主として地上付近の気象にのみ関心が向けられていたが、一九〇二年にフランスのテイスラン・ド・ポールによる気球観測から上空約一〇キロメートルで気温

分布が急激に変る「成層圏」が発見された。その後、気球による気温と風の観測は現在でも使われているラジオゾンデによつて各国気象台の業務として行なわれるようになった。さらに第二次世界大戦後は戦時中に軍事目的で開発されたロケット技術を科学目的の高層気象観測に活用し、高度七〇—八〇キロメートルまでの中間圏の気温・風が知られるようになった。

一九五七—五八年に行なわれた国際地球観測年（I.G.Y.）には、純粹に科学研究のための新観測に加え、従来の個別的な観測データの統計も国際協力のもとで組織的に行なわれ、北極から南極に至るまでの地球大気の様相がかなり良く明らかにされた。

当時の風系図（風速の緯度高度分布図）を見てすぐにわかることは、赤道熱帯地域の観測が極めて乏しいことである。これは俗に言う「文明国」の地理的分布を考えれば止むを得ないことであつた。そのような状況下で、いわゆる南方植民地での限られたラジオゾンデ観測データを掘り起こす解析作業から、赤道成層圏の風系は従来の常識を根底から覆す独特の振舞いをしていることが明らかにされた。一九六一年にアメリカのリードとイギリスのエブドンが明らかにしたところによれば、赤道域成層圏では東風と西風が約二六—二七ヵ月という奇妙な周期で繰り返されている。風速変動の振幅は約30m/sec。この周期は二年よりやや長いので「準二年周期振動」略称QBO」と呼ばれるようになった。QBOの発見は二〇世紀気象学における最大の発見であつたと言つても過言ではない。現在の大気力学ではこのQBOの原理そのものはかなり良く理解されているが、地球温暖化等の影響で将来どう変るかなど、未解明な問題も多々残されている。

ここに述べたような地球上の大気の振舞いを理解する目的で二〇世紀後半の観測技術も多大の進展を見せた。そのひとつが気象衛星観測である。初期の衛星は主として（現在の気象庁ひまわり衛星のように）天気予報目的で雲の分布とその発生発達移動を監視するものであつたが、近年は成層圏も含めて気温・風の観測も可能となりオゾン等の大気組成の測定と組み合わせて長期気候変動ひいては地球環境問題の研究に活用されている。

もう一つの重要な手段は大型大気レーダーである。電子工学的技術の詳細にここでは触れないが、雨雲を検出する通常の気象レーダーとは異なり、地上から高周波の電波を上空に打ち上げその反射・散乱波を受信することによって上空の大気の運動(すなわち風)を高精度かつ連続的に測定するものである。我が国では京都大学が一九八四年に滋賀県信楽町の山中に設置したMUレーダー、その発展として二〇〇一年に赤道直下のスマトラ島に設置した赤道レーダー、最近東京大学と国立極地研究所が共同で南極昭和基地に設置したPANSYレーダー、などが大気の様々な運動特性に関する観測を通して大気科学として優れた貢献を続けている。

5 風の活用

この節では自然科学とは異なるエンジニアリング(工学技術)の観点から風と人間との関わりを概観する。

人類が風を活用する方法として、古くは「観天望気」があり、中世には先に述べた帆船大航海時代があった。海上の船舶航行は現在でも風と無縁ではない。大規模海流は本来地球規模の風系(大気大循環)によって強制励起されたものであるし、波浪や高潮もまた海上の風と密接に繋がっている。生活に密着したものとしては、川の水車と同様に、オランダやスペインなどでは古くから風車が農家の動力源として用いられていた。

上空の風についてみれば、航空機の発達とともにその重要性は増してきている。地形に伴う上昇流を巧みに利用するグライダー技術は現在でも健在である。とりわけ、戦争における飛行機の運用は風の活用の代表例とも言える。たとえば太平洋戦争末期に米軍の高高度爆撃機B29が日本本土を攻撃したとき、中緯度対流圏上部に恒常的に吹く強い偏西風(いわゆるジェット気流)を利用すべく富士山を目標に西側から本州上空に入り追い風に乘つて東進して首都圏を目指したと言われている。日本上空の西風ジェットの速さは最大で秒速一〇〇メートル以上にも達するから、時速五七〇キロメートル(秒速一六〇メートル)のB29にとってその風の知識利用は不可欠であ

った。

この日本上空の強い偏西風の存在は、実は大正時代の末期に既に日本人によつて明らかにされていたものである。館野（現在のつくば市）の高層気象台にいた大石和三郎はドイツ留学で学んだ技術を生かして上空の強い西風を観測し論文として発表した。その論文は当時流行していたエスペラント語で書かれていたため国際的に評価されるには至らなかったが、彼の観測結果はこれまた戦争中に太平洋を横断し米国土土を攻撃する「風船爆弾」に活用されたことで知られている。

今ここで戦争の是非を問う必要はない。戦争は国家の死活問題である以上、その軍事技術に風をはじめとする自然現象の知識を利用しようとするのは極めて当然のことである。現在でも長距離ミサイルの弾道計算には高層風が深く関与しているし、平和利用の衛星打上げ時のロケット発射もその場の風に強く規定されている。

6 風力発電の諸問題

最後に本シンポジウムの主題であるエネルギー問題との関連で、「風力エネルギー」の活用のご体例である風力発電の功罪について考察しよう。これは科学や技術とは全く別次元の政治経済的視点からの議論である。

二〇一一年三月の東日本大震災に伴う福島原発事故を契機として、我が国における原子力エネルギー利用に反対する意見が一拳に高まった。たしかに福島県民のみならず、一般市民感情からの「放射能は怖い」という声は無視できない。しかしながら、原発廃止の対案として如何なる具体的な方法を取り得るかという点に関して政治経済的な議論は殆どなされていないのが現状である。

早い話が、我が国の原子力発電を総て廃絶しその代替エネルギー（電力供給）を従来の火力発電に任せるとした場合、これまで長年に亘つて議論されてきたCO₂排出と地球温暖化の問題はどうなるのか。脱原発をスローガン

に掲げる政治家たちは、無知なのか意図的なのか、この矛盾点に一切口を噤んでいる。事実、地球大気中のCO₂濃度は現在でも増加の一途を辿っている。京都議定書のと き大騒ぎをした化石燃料使用規制の問題はどこに行つてしまったのか。

誤解の無いようにお断りしておくが、筆者は原発賛成論者でもなければ温暖化反対論者でもない。原子力と化石燃料の二者択一は現在のところ単純な正解など存在しない大問題であることを指摘しているだけである。

そこで出てくるのが所謂「再生可能エネルギー活用」である。太陽光発電や風力発電等がそれに当たる。風車による発電は確かに放射能や温室効果ガスの排出とは無縁であるが、全く問題がないわけではない。現在指摘されているマイナス面としては、低周波騒音による近辺住民の健康被害、渡り鳥の大量衝突死による生態系破壊、自然の美観を損ねる見苦しさ(つまり環境破壊)等々が挙げられている。風車の設置場所に関しては、風況(平均風速やその季節変動等)の見地から北日本の海岸が適当と考えられるが、上記の諸欠点への対策として沖合(海上)の設置も考慮されている。しかし、海上の場合は特に、設置および維持に多大の費用を要することが危惧されている。機器の寿命も現在の技術では二〇年が限界であるという。俗な言葉でいえばソロバンが合わない。クリーンエネルギーなどという美名だけで済まされるような事柄ではない。

現在の日本の発電は火力が六割強、原子力が約三割、残りの僅かを水力、太陽光と風力に頼っている。政治目標としては二〇二〇年までに風力発電を現在の1%から2%程度に増やす計画と聞く。風力発電の先進国である欧州でも現在は2%強に過ぎず、EUの二〇二〇年の目標は13%という程度に留まっている。

これらの事実から考えると、特に我が国においては、代替エネルギー対策の裏付けなしの「脱原発」は全く現実性に欠ける議論としか言いようがない。暴言の誇りを承知で断言するなら、原発廃止論者にとつての風力エネルギー利用とは体裁だけの「免罪符」に過ぎない。もちろん、たとえ数%でも無いよりはマシだと考える向きもある。しかしながら現実問題として脱原発により化石エネルギーへの依存度が増えるなら、いま以上の地球温暖

化は避けられない。そのとき、温暖化は止むを得ないと腹を括るのか、或いは自動車や冷暖房など一切やめて産業革命以前の生活でも良いと我慢できるのか。「エコ」などという言葉で誤魔化せるような甘い問題ではない。

7 むすび

前節では風力エネルギーの活用についてやや否定的なことを述べた。しかしそれは、高々ここ一〇年ないし二〇年という短期的視野での政策の話であった。それに対し、本論の前半で述べた人間と風との関わりは、まさに人類の歴史全体を通して数千年に亘り培われてきたものなのである。

エネルギー問題に関して如何なる政策を取るべきか今すぐ多くの国民を納得させるような短期的解答は存在しない。それは人類の歴史を踏まえたより長い時間スケールで考慮すべき問題である。本シンポジウムがこのような問題意識を明らかにさせるきっかけとなるならば敢えて本論を提示した意義があるろう。

(京都大学名誉教授・元日本気象学会理事長)

〔参考文献〕

廣田勇『地球をめぐる風』中公新書、中央公論社、一九八三年

廣田勇『気象の遠近法』成山堂書店、一九九九年

牛山泉『風と風車のはなし』成山堂書店、二〇〇八年

4 科学史・技術史におけるエネルギー概念

橋本毅彦

橋本毅彦と申します。

東大で、科学史、技術史を教えております。今回「エネルギーを考える」というテーマでお招きいただき、少々考えあぐねましたが、科学史と技術史からの話題提供、それぞれやや独立別個の話をさせて頂こうと思っております。

科学史に関しては、エネルギー保存則が発見され、エネルギー概念が確立されていく、そのあと原子物理学が生まれていきますが、その時代推移の中でエネルギー概念が出てくる辺りのことをお話しようと思いません。

それから技術史に関しては、エネルギーということを、もう少し広くとりまして、動力、その燃料となる資源、そういうふうには拡大解釈することを許して頂こうと思えます。戦前、一九二二年に創設された燃料協会、その機関誌に『燃料協会誌』というものがあります。現在インターネット上で誰でも見られるようになっていました。それを参考にしまして、戦前におけるエネルギー問題とはどのようなものであったか、どのように認識されていたのか、ということをお話ししようかと思えます。

と、申しますのも、現在、航空工学の歴史について勉強し、本を準備したりしている事情もありまして、少しバランスが悪くなってしまうかもしれませんが、この科学史の話と、それから航空燃料につながる燃料・資源の

話、二つ話題を提供するということにさせていたかどうかと思います。

まず、科学史の話、物理学史の話ということで、エネルギー概念が出てくる事情を話そうと思います。まずは、いわゆる「エネルギー保存則」の成立の話、続いて、「エネルギー」という言葉そのものが導入され、物理学の基礎概念として定着していく話を致します。

金子先生が十数ページにわたるレジュメをご準備頂きました、その中で物理学史におけるエネルギー概念、あるいは力の概念の流れというのをまとめていただきました。私がここでお話しするのは、先生のご説明への補足ということになります。まずエネルギー保存則について、一八四〇年代半ばに、重要な論文が出てくることになります。

エネルギー保存則の成立に関しては、この法則が何人もの人物によつて「同時発見」がなされたということで、科学革命の概念で有名なトーマス・クーン(Thomas Kuhn)が論文を書いております。その中で、同時発見者として一二人の候補者を挙げ、その時期にいかなる考え方が出てきたのか分析しています。

中でもキーパーソンと見なされる人たちが、ジュール(James Prescott Joule)・マイヤー(Julius Robert von Mayer)・ヘルムホルツ(Hermann von Helmholtz)と呼ばれる人物ですけれども、ジュールの研究の場合には、熱の仕事当量といいますが、水の中で羽根車を回転させて、それで熱がどれくらい出てくるのかと、温度の上昇を非常に綿密に測定して、仕事と熱との等価的関係を確定しました。

マイヤーは別の角度、生理学の観点から研究をしまして、熱帯で静脈の血液の色を観察したときに、それが赤いままで青くなっていないことに気づきまして、そこから熱と運動、仕事との等価性ということまでに考えが及んでいきました。

ヘルムホルツも医者出身ですけども、物理学が非常によくできる人物で、こういうエネルギー保存則に相

当するような概念を出してくるということになりました。

エネルギー保存則などというのは、本当に当たり前のことに、われわれには思えるわけですが、そのエネルギー保存則が成立する前提としては、熱というものが分子の運動なんだということが、前提として成立しないと成り立たない考えでありました。

またそれ以前には、エネルギーに相当する概念として「活力」という概念がありました。活力というものは本当に保存されるのか、あるいは散逸して消失してしまうのかということも議論されました。「永久機関」というのはどうもなさそうだと分かってきている、しかし活力というものはなくなる傾向があるのではないか。そのように考えられたりもしました。

一九世紀前半に熱の運動説が確立します。それ以前はといいますと、熱の物質、カロリック(caloric)というのが存在し、それが熱の担い手になっていたと考えられていました。ですから、ワット(James Watt)が活躍した一八世紀というのは、熱の出し入れというのは、カロリックが入り出すということの説明がついていたわけです。われわれとはずいぶん違う考え方をもち、熱機関の開発や改良がなされていたことになりました。

ずいぶん前になりますが、このようなことを勉強して発表したことがあります。熱運動説ができるときに、大砲のくりぬきをするとうどんどん熱が出てくるという実験があったことが知られていますが、摩擦から熱が出てくるなんていうことは、手をこすれば分かることで、「そんなことは原始人だって分かっていたんじゃないですか」というふうに哲学者の大森荘蔵先生に一言言われて、二の句が継げなくなったことがあります。

後になり気付いたのですが、下敷きで頭をこすると摩擦電気が出てくる。ですから、摩擦によって電気がどんどん出てくるのも、熱物質が出てくることも、それほど不思議ではない。そのようにも言えるのではないか。そのように一八世紀や一九世紀初期の人たちは思ったりしていたということですね。

別の分野になりますが、光に関してその本性は波動であるという考えが一九世紀前半に確立していきます。そ

れとともに放射熱と光とが非常に似ている性質を持つているので、熱というのも物質ではなく、運動に存しているのではないかと考えられるようになりました。

「エネルギー保存則」の成立とよく言われますが、ジュールもマイヤーもヘルムホルツも「エネルギー」という言葉は使いませんでした。彼らは、フォース (force) とかクラフト (Kraft) という言葉を使い、力の保存、恒存という言い方をしていました。

そのすぐ後に、ヤング (Thomas Young) という人物が「エネルギー」という言葉を言い出したことが知られています。だがすぐには使われず、最初のうちは「力」という言葉を使い「エネルギー保存則」が成立し、引用されることになりました。

このエネルギーという言葉ですが、これは古代ギリシアの哲学者アリストテレスの「エネルギー」からつくり出したと思われます。もともとアリストテレスのエネルギーという概念は、自然現象における変化や運動を説明するときに導入された概念であるとされています。ちよつとこみ入った説明になりますが、「デユナミス」すなわち「可能態」と呼ばれる状態と、「エネルギー」すなわち「現実態」と呼ばれる状態の二種類の状態を考え、変化や運動とは可能態から現実態への移行である、アリストテレスは定義しました。その持つて回つたようなアリストテレスの変化なる概念の再定義は、それ以前のパルメニデス (Parmenides) という人物が言い出した、変化というのは不可能だといった難問、パラドクシカルな哲学的主張に応答したものでした。

このデユナミス、エネルギーという言葉は、日本語でそれぞれ可能態、現実態と訳されますが、英語ではポテンシャル・ステート (potential state) とアクチュアル・ステート (actual state) と訳されます。ですからエネルギーイアというのは、アクチュアルなステートのことを意味する言葉として使われていたということになります。

一方、デユナミス (dynamis) というのは、ダイナミズム、ダイナミックという語句に通じ、「力」に相当する意味合いをもっています。ですから、「力の恒存則」と言ったときに、デユナミスの保存と言った方がむしろぴった

りとするのです。それなのに、そうではなく「エネルギーの保存」だという。どうしてヤングは「エネルギー」という言葉を使ったのでしょうか。ヤングの論文を見ますと、彼が「エネルギー」と名付けましたのは、我々が「運動エネルギー」と呼ぶ概念、すなわち質量と速度の二乗を乗じた量(目下)に對してでした。そのような量が保存される、そういうことを彼は論文で論じているのです。ですので、エネルギーという言葉が一九世紀半ばにヤングによつて導入された際、それが意味したことは我々の言う「運動エネルギー」であり、それだけを意味していたこととなります。エネルギー保存則を提唱し、各種のエネルギーの轉換に注目する物理学者たちが、その後になり、その意味を拡張していったわけです。

一九世紀の後半には、熱力学、統計力学、そして電磁気学といった物理学の重要分野が確立していきました。熱力学は、エネルギー保存則(力の恒存則)を第一の法則、エントロピー増大の法則を第二の法則として作り上げられた理論であるとされています。その骨格はドイツの物理学者ルドルフ・クラウジウス(Rudolf Julius Emmanuel Clausius)によつて作られました。彼と同等の貢献をした人物として、イギリスの物理学者ウィリアム・トムソン(後のケルヴィン卿)(William Thomson, Lord Kelvin)がいます。

トムソンは、ジュールの実験に感銘し、彼が実験的に立証した力学的仕事と熱との等価性ということに注目しましたが、等価性という言い方に違和感を覚えました。確かに力学的仕事の量は熱の量に換算することができますが、ジュールが主張するように、力学的仕事と熱とは互いに変換可能であるとまで言えるのかどうか。

エネルギー保存則が提唱される以前に、フランスの物理学者サディ・カルノー(Sadi Carnot)は、蒸気機関などの熱機関の一般理論を記した小さな論考を仕上げていました。不幸なことにカルノーは伝染病で亡くなり、そのこともあり彼の論考は出版されず、彼の考えも広まることはありませんでした。数式と文章だけで論じられた彼の理論をグラフ——圧力と体積を縦横の軸に示したグラフ——を用いて表現したのが、フランスの物理学者・技術者だったエミール・クラペイロン(Emile Clapeyron)でした。カルノーの理論の中に論じられるいわゆる「カ

ルノー・サイクル」は、このように図示されることで理解されやすくなりました。

トムソンはその後、ジュールの実験を知り、さらにカルノーの原論文「エネルギー転換の一般法則について」という論文を提出し、その中でジュールやヘルムホルツが提唱していた法則を「エネルギーの保存則」として表現します。運動エネルギーを意味する「アクチュアル・エネルギー（現実的エネルギー）」とそれ以外の形態の「ポテンシャル・エネルギー（潜在的エネルギー）」という用語を導入し、全宇宙のアクチュアル・エネルギーとポテンシャル・エネルギーの総和は一定不変である、として保存則を定式化することになります。アクチュアル・エネルギーは、ご存じの通り、その後すぐに「運動エネルギー（kinetic energy）」と呼ばれるようになりました。

ウィリアム・トムソンの友人であり、彼から大きな影響を受けた物理学者としてジェームス・クラーク・マックスウェル（James Clerk Maxwell）がいます。マックスウェルと言えば「マックスウェルの方程式」、現代的な電磁気学の提唱者として有名ですが、彼は電磁場概念に基づく電磁気現象の一般理論を、力学的モデルに基づいて定式化しました。マイケル・ファラデー（Michael Faraday）の提唱した電気力線や磁力線といった概念を参考に、その線に沿って小さな渦が並んでいるという力学的モデルを構想し、そのモデルに基づいて数学的理論を作り上げていくことになりました。渦は運動していますので、電荷や磁石が存在するだけで、そこにはエネルギーが蓄えられている、という描像がもたれることになります。マックスウェルは、一八六〇年代に提出した論文の中で、「エネルギー」という言葉を使うようになり、このような電場、磁場のもつエネルギーを議論していくことになりました。（以上の、「エネルギー保存則」の成立以降、「エネルギー」という言葉がいかに導入され、それに基づく物理学が生まれたかについては、クロスビー・スミスという科学史家の論文を参考にしました。現時点での科学史の研究をふまえた教科書として、ケンブリッジ大学出版局から「ケンブリッジ科学史（Cambridge History of Science）」という本が時代ごと、分野ごとに出版されています。私が参考にした論文は、その一九、二〇世紀の物理科学の巻に載っている論文です。また彼は「エネルギーの科学（Science of Energy）」という本も出版しています。また、エ

（ネルギー概念導入にあたってランキンの重要性については、講演後オーガナイザーの一人鈴木先生からご指摘され、補足いたしました。）

そのあとに一九世紀の終わりから二〇世紀にかけて放射能が発見されて、原子に関する物理学が成立していくことになりました。

一八九六年に放射能、放射性物質というものが発見されると、それがきっかけになって、原子の構造、原子には核があるんだということが、十数年かけて突き止められていくことになりました。

ベクレル (Antoine Henri Becquerel) が放射能を発見して、キュリー夫妻 (Maria Curie, Pierre Curie) が放射能の研究をしました。キュリー夫人が書いた論文のなかに、そのエネルギー源は何なのかと問うている箇所があります。放射能は大きなエネルギーを出しますが、放射性物質自身はあまり姿を変えずにエネルギーを出し続けている。そうするとひよつとして、エネルギー保存則は成り立たない事態が生じているのか？ そうではなく、放射能というのは、実は外から未知の線を吸収し、その二次線を放出しているのか。キュリー夫人は、そのような可能性を考えたりしています。

もう一つの考え方は、原子そのものが実は変換しているという考え方で、それが主流の考え方になっていくということになります。この原子の変換説というのを立証して、さらにその先に、原子の構造として、原子核があり、その周りを電子が飛んでいるということを立証したのが、ラザフォード (Ernest Rutherford) でした。

ラザフォードは最初、ケンブリッジのキャヴェンディッシュ研究所 (Cavendish Laboratory) で研究していました。けれども、その所長 J・J・トムソン (Joseph John Thomson) は、原子の構造について、マイナスの電荷をもつ電子が中心に存在し、その周りにプラスの電荷をもつものが存在するというような説を出していました。ラザフォードはそうではなく、原子核が中心にあるということを実験的に立証しました。

そのあと原子の現象が検討され、量子力学が一九二〇年代に確立していきます。一九三二年に中性子が発見され、原子核は陽子と中性子から成り立っていることが分かります。そしてこの中性子を使って、原子核を調べることが精神的に進められることになります。それまで使っていたアルファ線の代わりに、中性子を原子核に当てる。そうするとどのような現象が生じるか、調べていこうとしたわけです。

キュリー夫人の娘のイレヌア・キュリー、ジョリオ・キュリー (Joliot Curie) 夫妻、イタリアの物理学者フェルミ (Enrico Fermi)、それからドイツの研究者ハーン (Otto Hahn) とマイトナー (Lise Meitner) らが、そのような研究をして、ハーンとマイトナーにより一九三八年の暮れにウランの原子核の核分裂が確認されるということになります。それからあとは原爆の話、それから原子力の話になりますが、それはまたあとで話をしようと思います。

科学史の話はここまでにしておきまして、次に技術史の話をしようと思います。

技術史におけるエネルギーということで、エネルギーの意味を広くとらせてもらい、「動力」や「資源」のことに話を広げようと思います。日本産業技術史学会という学会がありまして、同学会が編集した『日本産業技術史事典』というしばらく前に刊行された事典があります。⁽¹⁾ その事典で「動力」の部門を担当することを依頼されまして、日本における動力関係の技術の発展について総括的な記事を書いたことがあります。

動力といえますと、近代以前では水力、近代以降は、蒸気機関、電力、そして原子力などが出てくるわけですが、それらの動力技術が日本でどのように導入され、発展し、転換していったかというようなことを解説しました。たとえば明治期には、予想以上に水力が依然よく使われていたこと。渋谷あたりにも水車がいくつもあり、近代の先駆けとなる製造事業の動力源として水力が使われていたことを既存の文献を参照しながら述べました。

もともとこの「エネルギー」というテーマを金子先生からいただいたいて、エネルギーについて何を話そうかと考えたときに、いまわれわれはエネルギーという言葉を非常によく使っていますが、戦前まで遡るとそれに相当す

そのような言葉は何であったか。それは、「動力」という言葉になるのではないか。今日の「エネルギー」に相当する言葉は、戦前では、いや戦後もしばらくの間は「動力」という言葉だったんじゃないか。そう思ったわけです。「日本産業技術史事典」に「動力」の解説記事を執筆したときに、まったく触れなかったのが燃料の問題でした。現在、航空工学の歴史、空気力学の歴史について研究しており、本を準備中ということもあり、航空燃料との関係で燃料ということに興味をひかれ、調べてみました。この講演の後半は、この簡単な調査のご報告をするということになります。

先ほど言いましたように、燃料協会は一九二二年に創立されますが、「燃料協会誌」の内容が、いまインターネット上で全て閲覧できます。それをせっせと二〇〇編ほどダウンロードしまして、面白そうなのを見ていくというようなことを、この二カ月ぐらいやっておりました。

それでこの「燃料協会誌」が一九二二年から一九四五年ぐらいまで、どういふうなことが論じられ話題にされていくかということ、かいつまんで見ていこうと思います。

創設当初ということで、一九二二年の吉村萬治会長の「我國に於ける燃料問題概説」という論文があります。⁽²⁾ これを見ますと、石油は出てくることは出てきますが、それよりも石炭が重視されていたことがうかがえます。その背景として、人口の増大がある、交通機関、それも高速の交通機関が出てきているという事情の存在が垣間見える。鉄道、船舶、自動車、航空機の登場により、速度がどんどん向上していく。交通手段の加速ということが認識され始めているということを感じました。

それから、万国地質会議、国際地質会議が一九一三年に開催されますが、そこで世界各国の石炭資源がどのくらいあるのか、各国で報告することになりました。その一九一三年の報告は大きな三巻からなるもので、そこに世界各国の石炭の採掘や埋蔵の状況を知ることができます。

日本の報告については、地質調査所の方によって書かれています。三池炭鉱ではどのような地質層があり、

一八七四年からどのように出炭されているかといったデータが記されています。日本関係では、台湾、満州に関する報告もあります。もちろんほかにヨーロッパの各国もあるし、オセアニア、アメリカなどもあるわけですが、それらの調査結果を合算することによって、世界中の石炭がどのくらいの埋蔵量になるのか求められることになります。それは大変な作業で、精密性が求められる、調査方法の標準化も求められる（それ自体が面白い科学史上の疑問です）。ともあれ、このような膨大な地質調査のデータに基づく計算結果が出てきて、それが燃料に関心をもつ人々に引用されるようになります。一九二四年の片岡安の講演では、万国地質会議の報告では五千年ぐらい持つといった数字が出てきます。当時の人々は、エネルギー資源に関して、このようなタイムスパンでものを見ていたかのと、読みながら思ったりしました。

一九二二年の吉村会長の記事には、液体燃料の話も出てきますけれども、新燃料についても少し叙述があります。化石由来の燃料は結局、枯渇をしよう、だから再生可能なエネルギー——「エネルギー」という言葉は使いませんけれども——にも目を配るべきだと、いまから思うと傾聴に値するようなことが書かれています。しばらくすると、こういう言い方は消えてしまいましたが、この時点ではそういう報告がありました。

一九二三年に、「撫順産の頁岩の研究」というのがあります。日本が満州にも手を伸ばし始めますけれども、この撫順というところに非常に広大な炭鉱がある。そこに頁岩があり、そこから燃料を抽出できる。そこに期待が向けられることもありました。

一九二四年になりますと、イギリスが着々と石油が取れるところを確保しているという報告が出されます。報告の中には「なりふり構わず」といった言葉も出て、海外の動向、現状を伝えています。

同じ年に、自動車、航空機の燃料問題が紹介されています。別の図説の記事で、燃料についての展覧会があったときの絵を集めたものがありますが、船、航空機、そして自動車について、各国でこれだけつくっているという統計が出てきます。その中で、自動車に関する統計数字の違いは非常に印象的でした。この一九二四年の時点

で書かれた論文では、日本が一万四千台なのに対して、アメリカが一五〇〇万台生産し、それだけの台数のクルマが使われている。圧倒的な違いですね。

フォードの大量生産は一九一〇年から始まりますが、フォード社は量産とともに、価格を低く抑え、従業員には比較的良好な給料を与えて、自社の車をどんどん買わせようとした。同じタイプのものをどんどん量産し、どんどん販売するということをしました。

このように自動車の量産をしてみたわけですが、量産を支えるその前提として、石油も取れていたことを指摘できます。アメリカで、相当量の石油が取れていて、自動車も走らせることができたのだと思います。一九三〇年以降になつてきますと、航空機が非常に注目され、重視されていくということになります。航空機に使われる航空燃料には、自動車よりも質の高い燃料が必要になってきます。質の高さとは、現在の観点では、要するにオクタン価が高いということになります。

原油からいろいろな軽油、重い油まで、いろいろと取れるわけですが、航空燃料に使われるものというのは、あまり軽いものではなくて、炭素の数が八個くらいあるような炭化水素が好ましい。構造的にはいろいろな並び方をしていますが、そのくらいの数の炭素が最も適当な燃料だということで、オクタン価というものが設定されました。それよりも軽いと燃焼が早く、どうも爆発するようなこと、ノッキングと呼ばれる現象が起こってしまう。それよりも重いと、また燃焼がしにくい。そういうわけで、オクタン価というものが重視されることになりました。

このオクタン価という概念が定着していくのが、一九三〇年頃のことです。この事情も科学史の研究対象として面白いなと思いました。エンジンの燃焼でノッキングというのが起こってしまう。そのノッキングを起こさないような燃料を精製していきたいのだが、そのためにどのような指標を設ければいいのか。一九三一年の論文にそのような問題が論じられていますが、オクタン価というのは、いくつかある指標の中の一つだったようです。著

者である陸軍航空本部の技術者遠藤栄二郎は、この論文では、オクタン価ではなくベンゼン価を指標として、ノッキングの実験を行い、その結果を論じています。一方、オクタン価というものが、非常に一般的な指標として普及することになります。これはアメリカで開発されて出てきた指標という事です。

そのようなアンチ・ノック性をもつ航空燃料をつくらなければなりませんので、分子量が小さいものを高めるといふこともされましたし、石炭から液体燃料——人造石油——をつくれなかつたということに、大きな関心が集まつていくこととなります。

一九三三年に液体燃料問題に関する座談会が開かれたり、特集号として人造石油とか航空燃料がテーマとして選ばれたりしました。この座談会の記録を見ますと、わりとフランクに語られた会だつたようで、ところどころで「×××」という伏せ字が出てきたり「ここの〇〇字削除」などと記されたりしています。第二回の会議では「ジャーナリストの方は、ちよつと遠慮してください」ということになっています。そのような会議で、「まあ十年遅いんじゃないか」といつた発言がざつぱらんに出てくる。燃料問題についてはそのような状況認識が専門家の間ではなされていたということであつたようです。

一九三七年には環太平洋の平和博覧会というのが開催されました。そこで燃料館というものが建てられて、いろいろ燃料に関する展示がされたことがありました。そのときの呼びものとして、燃料研究所の石炭液化およびガソリン合成装置の紹介がありました。それがかなり人気を得ていたと、記事は記しています。

人造石油のつくり方として、石炭を液化していく方法もありますが、それとともに、植物由来の物質ブタノールと呼ばれるものから、オクタンを縮合してつくっていくことも取り組まれていました。その際にブタノールをアルコール発酵させたりしますが、そのような工程作業のために、現協和発酵の前身、協和会という組織が設立されて、そのための技術が開発されたりしていきました。

あるいはまた、陸軍も燃料研究所というものを設立しまして、いまでは府中の森公園になつてるところです

が、そこに陸軍の燃料廠（ねんりょうしょう）が建てられ、そこで航空燃料生産のための研究が進められていました。

京都大学からそこに派遣された学生が福井謙一でした。喜多源逸という優秀な化学者の研究室に所属していましたが、そこでは短い分子から長めの分子をつくっていくための研究をしていました。そのような研究に福井も関わっており、戦時中にこの燃料廠に派遣されたわけです。彼の伝記を見ますと、ここに派遣されたとき、いっぱい物理学の本、量子力学の本が置いてあって、そういう基礎研究も盛んにやりましたというようなことを言っています。航空燃料を増産するという大目的があつたわけです。彼は二年ぐらいここに在籍し、その後京大に戻されて、燃料化学科で研究を続けることになりましたが、こういうふう短いところに炭素をどのように付けるのか、付けられないのかという研究が、後の「フロンティア理論」というものにつながっていくことになりました。どうしたら付けることができるか、なかなか理論的説明が難しいわけですが、フロンティアの電子という概念を導入してくると、それが理解しやすくなります。そこからフロンティア電子論というのを、戦後発展させていくことになりました。燃料の研究が、ノーベル賞の研究につながっていったということですね。

燃料の話はこのくらいにしまして、簡単に原子力の話をちよつとだけして、話をまとめようと思います。

核分裂が発見されたあとに、すぐに原爆開発が始まつたわけではありません。ウランの濃縮というアイデアが出て、小型の爆弾ができるという計算がイギリスでなされることで、米国でマンハッタン計画が始まることになります。陸軍の管轄下で計画は進められ、ウラン濃縮の方針とともに、ウラン濃縮では不用なウラン238から生まれるプルトニウムを使うという方針も出てくることになりました。

オッペンハイマー（J. Robert Oppenheimer）が、ロスアラモスの研究所（Los Alamos National Laboratory: LANL）の所長に就任し、そこでウラン型、プルトニウム型の原爆がつくられていきます。ウラン型爆弾を一個作るために、大変大きな規模の濃縮工場が建設され、稼働しましたが、当時のアメリカだけがそのような資材をもつてい

たということができません。

このことを追いつつ、ふと思ったのですが、石油資源の乏しい日本は石油を確保し、飛行機を飛ばすための航空燃料をつくることに相当の力を集中していたわけですが、それでも、アメリカではそのようなことに力を集中する必要はなかった、その代わりに、原爆の開発という巨大プロジェクトにかなりの力を投入することができた、ということになります。非常に大きな差だと改めて感じました。

戦争が終わったあとに、原子力をどのように使うことができるのか、そのような議論はすでに戦時中に始まっています。原子力は兵器として利用できます。その後原爆とは根本的に異なる反応を利用する水爆が誕生し、米ソが競争しながらこれら核兵器の開発を進めていくことになりました。

原子力の軍事利用としては、原爆の他に潜水艦に利用するという方法が開発されました。海軍のリックオーバー（Hyman Rickover）提督がイニシアチブをとり、原子力を利用した潜水艦を建設することが進められました。後には航空母艦に原子力が応用されることになりました。原子力発電は、このような潜水艦への応用から転用され、実用化されていくことになります。

初期には、原子力の発電の方式に関していろいろなタイプが考案されました。米国の原子力の歴史に関する公的な解説書には、多くのタイプの方式が模式化された図が掲載されており、その中の一つとして、福島発電所にも利用された沸騰水型が含まれていたことが見て取れます。軍だけでなく、企業に一定の情報を与えて、そこで設計と開発を進めてもらうという体制がとられました。

原水爆の開発競争が進み、そのための核実験が遂行されていきます。ビキニ諸島の水爆実験で日本の第五福龍丸が被爆するという事件が一九五四年に起こります。その後、大気中の核実験を禁止する、核兵器を削減する、そのような目的のための科学者による国際的な運動が繰り広げられることになります。

その一つの成果としてパグウォッシュ会議（Pugwash Conference）という会議が一九五七年に開催されました。

ここではアメリカだけでなくヨーロッパ、ソ連から科学者だけが集まって、どうすればいいかと、どうやって削減をしたらいいのかと議論を交わしました。大気中の実験の代わりに、地下の核実験が提唱され、その検証手続きなどが検討されていきました。

パグウォッシュ会議の報告を見ますと、やはり一番念頭にあったのは、核兵器をどうやって削減していけばいいかということになります。核兵器自体が使われないためには、戦争が起こらないようにしなければならぬ。では、そもそも戦争が起こらないようにするには、どうすればいいか。戦争が勃発してしまう原因をたどつていくと、資源の不足が生じ、資源の争奪から戦争が起こる、それが戦争の一因だと指摘しています。(戦前の燃料の話を見ると、まさにそのような念を強くします。)また資源争奪の原因は、人口の増加にあるとも分析し、それに応えるためには食料の増産、そのための開発が必要だと論じます。原子力を平和利用し、巨大開発に利用していくことが望ましい、そのように科学者たちの報告書は結論します。

これは一九五〇年代の末に書かれていることですが、その後原子力発電が登場して普及するようになっていくわけです。その背景として、このような原子力平和利用への過度とも思える期待があったこと。またそのような期待が、一九五〇年代末という冷戦時代の状況下で共有され、語られたものだと言うことができます。

もう一度、燃料の話に戻りますが、一九二〇年代の初めぐらいは、数百年というタイムスパンで展望をもてていました。それが石油の時代になり、数十年あるいは数年というようなタイムスパンで考えざるを得ないようになってきました。その一方でアメリカでは、大量生産・大量消費で自動車を乗り回し、そのために石油を使用するという体制が出現しました。ヨーロッパも日本もそのような状況を意識せざるを得なかったということがあるかと思えます。航空機を飛ばすには、高性能の燃料が必要であり、それに伴い石油渴望の時代がやってくるということになりす。

そういうふうには立ち位置が変わると、科学技術が何とかしてくれないかというように、科学技術への期待が非常に色濃く出てきたような気がします。第一次世界大戦ではドイツでアンモニアの合成に成功した、そして今、石油を合成しようとしている、それもできるのではないか。そういう期待ですね。

その延長で、原子力とそれへの期待も出てきたのではないかと思えます。原子力がそのままよくいけばよかったですけれども、それがそのような代物ではなかったということに気づかされた。そのような反省が強くなってきたということがあるかと思えます。

(東京大学大学院総合文化研究科教授)

註

- (1) 日本産業技術史学会編『日本産業技術史事典』思文閣出版、二〇〇七年。
- (2) 吉村萬治「我国に於ける燃料問題概説」、『燃料協会誌』第一巻、一九三二年、一一一三頁。
- (3) 栗原鑑司、上原恵道「撫順産油頁岩の研究」、『燃料協会誌』第二巻、一九三三年、三四〇―三三八〇頁。
- (4) 小山利光「大英国と石油業」、『燃料協会誌』第三巻、一九二四年、二〇九―二一九頁。
- (5) 田中芳雄「本邦に於ける自動車及び航空機の燃料問題」、『燃料協会誌』第三巻、一九二四年、三二一―三二二頁。
- (6) 遠藤栄二郎「発動機のノッキング性及其防止に関する研究(第一報)」、『燃料協会誌』第一〇巻、一九三二年、九五―九九六頁。

5 湯川秀樹たち物理学者と原子力

小沼通二

1 はじめに

今日はいろいろな学問分野の方々がお集まりで、学問の融合だということですから、簡単に自己紹介をさせていただきます。まず一九三一年に東京で生まれました。専門は物理学で、その中でも、素粒子理論、物理学史、さらに科学と社会についても書いたり、話したりしてきました。

おかげさまで、大先輩の先生たちにはずいぶん長い間親しくお付き合いいただきました。朝永振一郎先生には、一九五〇年からお亡くなりになった一九七九年まで直接お世話になりました。湯川秀樹先生は一九五五年から一九八一年にお亡くなりになる三週間前までの関係です。武谷三男先生とは一九五六年から最晩年まで。坂田昌一先生とのお付き合いは一九五七年からお亡くなりになったその日まで。伏見康治先生は、私が学部四年の時に初めて一方的に見た場所と日付は分かっているのですけれど、お付き合いがいつから始まったのかは、全然覚えていません。最後はお葬式で弔辞まで読ませていただいた関係でした。(ところで、直接お会いする時は先生とお呼びしたのですが、我々の分野では、湯川さん、朝永さん……と呼ぶのが普通だし、歴史上の人物として、

■図1:自己紹介

- 1931年 東京生まれ
- 物理学(素粒子論、物理学史)、科学と社会
- 多分野の先輩・友人とともに
- 朝永振一郎(1950年～)、湯川秀樹(1955年～)
武谷三男(1956年～)、坂田昌一(1957年～)、伏見康治(?～)
- 1957年～ 日本学術会議原子核特別委員会
- 1957年～ バグウォッシュ会議・科学者京都会議
- 1983年～1996年 慶應義塾大学
- 2003年～ 世界平和アピール七人委員会

湯川、朝永……とも言いますから、今日もそうさせていただきます。(

振り返ってみると、私は、多分野の先輩、友人とずいぶんお付き合いしてきたというのを、あらためて感じています。一九五七年に、総理大臣の諮問機関である日本学術会議の原子核特別委員会の委員に選出されまして、翌年の初めに委員長の高田さんから幹事をやれと言われ、一九七〇年代初めには委員長を務めました。学術会議にはありとあらゆる分野の人がいました。桑原武夫さんとは委員会を代表してけんかして個人としては仲良しになるということを含めて、いろいろなことがありました。

一九五七年に、バグウォッシュ会議が始まりました。ご存じない方もいらつしやるかもしれませんが、世界の科学者が核兵器をなくそう、戦争もなくそうということを議論してきた組織です。この年に日本のグループが発足して、その時から一員でした。

一九六二年に湯川・朝永・坂田の三人が、バグウォッシュ会議の初心に沿った国内組織である科学者京都会議を発足させたときから、そのお手伝いもしてきたので、文系の指導的な方々ともお付き合いがありました。

一九六七年から湯川さんが所長をしていた研究所におりましたけれども、一九八三年に慶應義塾大学に移りました。慶應大学の執行部にも参加していたものですから、ここでもずいぶんいろいろな分野の人とお付き合いがありました。

二〇〇三年から、伏見さんのご依頼で世界平和アピール七人委員会のお手伝いをするようになりました。一番最近のアピール(原発ゼロを決めて、安心・安全な世界を目指す以外の道はない)二〇一二年九月一日、<http://worldpeace7.jp/>)を持つてきましたから、差し上げたいと思います。後でお読みください。今日

■図2:はじめに 朝永振一郎の言葉

- 1958年5月14日(第2回バグウォッシュ会議のひと月後)東京教育大にて参会者13人 議事録を手にして
- 核兵器の問題は、政治家や外交官だけでは判断できない。物理学者も考えるべきだ
- 手始めに、第2回バグウォッシュ会議への提出論文と記録を読もう。僕もやるから、一緒にやろう

のテーマにも関係があります。

若いときからいろいろなことに関心を持つことになったのは、朝永さんの影響です。私が一九歳のときに朝永さんのところに物理の質問に行つて、一日でファンになつて一生付き合つたという関係です。その話はすでに書いたことがありますし、始めるときりがないのでやめますけれども、今日の話とのつながりだけ言います。

一九五七年、バグウォッシュという名前のカナダの村で、冷戦のさなかに、敵対する東西の陣営に属する国々や中立国の科学者二二人が個人の立場で集まつて、核兵器の問題、科学者の責任の問題などを議論しました。大部分は物理学者でした。帰つてきて日本グループができたのです。先ほども言いましたが、そのときからのメンバーです。

その翌年、第二回の会議に対して、私も含む日本の物理学者の意見を送りました。会議が終わつた一カ月後に、かなり厚い議事録を送ってきました。東京教育大学の学長だつた朝永さんが周りの人を集めました。朝永さんが言うには、核兵器の問題は大きな問題だ。従来なら外交問題であり、政治の問題だけれども、自然科学が関係しては決められないというか、判断ができない。物理学者も考えるべきだということを言われたのです。

朝永さんはすぐれた教育者でもあつたものですから、第二回の議事録を手にして、取りあえずこれを勉強しよう。僕も読むから一緒にやろうではないかと言われて、私は以前から朝永ファンでしたから、このときは二七歳で東大の助手になつた直後ぐらいの年ですけれども、こういうことに踏み込むようになりました。

2 原子核と原子力

2・1 原子力開発利用は原子核物理から始まった

■図3:原子力は原子核物理から生まれた 1/2

- 1895年 X線の発見(レントゲン、独)
- 1896年 放射能の発見(ベクレル、仏)
- 1896年 X線による皮膚炎(放射線障害)
- 1898年 ラジウムの発見(キュリー夫妻、仏)
- 1911年 原子は小さな芯(原子核)と周囲にある電子からできている(ラザフォード、英)
- 1932年 中性子の発見(チャドウィック、英)
原子核は陽子(水素の芯)と中性子からできている(ハイゼンベルク、独)

物理学者が何で原子力の問題に口を出したのかということ、最近も言われたことがあります。原子力は、確かに原子力工学だったり、原子力ムラだったりしていますが、もともとは物理から出てきたものでした。化学の人にもちよつと関係がありました。そういうわけで私にとつては、言われる方が不思議です。

一九世紀の末にX線の発見、放射能の発見が続きました。それから核分裂の連鎖反応が発見される一九三八年の末から一九三九年の初めあたりまでの原子核の解明について、説明します。

X線が発見されたすぐ後に、医学への利用が始まり、それとともに放射線が生物体に害を与えるということも分かってきました。

一九一一年に、原子の中には非常に小さな芯、原子核があることが発見されました。原子の大きさの一万分の一です。原子の大きさは一億分の一センチ程度なのですが、仮に原子の大きさを一〇〇メートルとすると、原子核の大きさは一センチ。そのぐらいの違いがあります。そして原子全体の重さが小さな芯

のところに集まっています。ここまではわかったのですが、原子核は、謎だらけでした。

一九三二年まで飛んでしまいませんけれども、中性子という粒子がイギリスで見つかりました。中性子は陽子の親戚ですけれども、電氣を持っていない。陽子は普通の水素の原子核です。この発見のすぐ後に、原子核は、陽子と中性子からできているということが分かりました。

ここで日本の湯川が出てきます。陽子と中性子が、何でそれほどしっかりとついているのか。考えてみれば、原子の場合、一億分の一センチ離れたマイナスの電氣を持った電子と、真ん中にあるプラスの電氣をもった原子核がしっかりと電氣の力で引き合っていて簡単には壊れないのです。原子核では、プラスの電氣を持った陽子同士が、それよりはるかに近い、一万分の一の距離で反発しあうことなくしっかりとついているのです。電氣の力は、距離の二乗に反比例する力です。距離が十分の一になれば、百倍の力で引つ張り合ったり、跳ねのけ合ったりする。では一万分の一の距離になったら、プラスとプラスの電氣ですから、一億倍の強い力で跳ねのけ合っています。

そういうものがしっかりと原子核の中に、閉じ込められています。陽子が九二個もくつついたのがウランです。あるいは酸素だったら、八個の陽子がしっかりとついているのは、どうしてかという話です。

未知の強い引力の原因を解明したのが湯川です。しかもその力に関係する中間子という粒子があるはずだという予言でした。

一九三七年には日本でもサイクロトロンという加速器ができ、放射性のアイソトープを作って、利用が始まりました。最初は生物学です。例えば放射能を持ったリンを植物に吸い込ませると、どのくらいの時間で、どの組織に集まるか、動物だったらヨードは甲状腺にどのように集まるとか、カルシウムやストロンチウムはどのくらいの時間で骨に行くとかいうのも分かってきたのは、放射性アイソトープの利用が始まってからです。日本では理化学研究所がそれを始めました。

■図4:原子力は原子核物理から生まれた 2/2

- 1934年 陽子と中性子に働く力と、それに関する中間子(これらは素粒子)の予言(湯川)
- 1934年 核融合(オリファント、オーストラリア)
- 1937年 日本での放射性アイソトープ利用開始(仁科)
- 1938年 核融合が太陽のエネルギー源(ペーテたち、米)
- 1938年 原子核分裂(エネルギーと放射性物質、中性子放出)(ハーン、シュトラスマン、独)、(マイトナー、フリッシュ)
- 1939年 連鎖反応(ジョリオ・キュリー、仏)

太陽のエネルギーの元が核融合だということが分かったのもそのころです。

原子核が二つに割れることがあるという発見は一九三八年の年末です。これを見つけたのは、化学者のハーンとシュトラスマンです。化学的な分析を行ってバリウムができたということを見つけました。しかしどういふ反応が起こつてバリウムが出てきたのか、彼らは全然分らない。この反応がどういふ意味を持っているのかを見つけたのは、ハーンとずっと共同研究をやつていて、ユダヤ系のオーストリア人だったから、ヒトラーがオーストリアを併合した時に、オランダ経由で北欧に逃げた物理学者マイトナーと、その甥のフリッシュ。彼もドイツの物理学者ですけれども、協力して原子核が二つに割れたのでバリウムができたということを見つけた。

一九三九年のお正月に、原子核が割れるときに中性子が二つ出て、その中性子がすぐに隣のウランに吸い込まれる結果、連鎖反応がねずみ算のように広がつていくという事実を最初に見つけたのがジョリオ・キュリー。一週間ぐらいの差でアメリカにいたイタリア出身のフェルミも見つけました。

ウランの研究は、ちょうどそのころ非常に注目されていて、どこでもやつていましたから、言われてみればうちでも核分裂が起きていたと、世界中で分かったのです。一年たつた後で、アメリカの物理の雑誌に、一年間に核分裂関係の論文がこれだけ出たというレビューが載っていますけれども、本当に世界中でやつていました。もちろん日本も含めてです。

先ほど湯川理論の話をしましたけれども、日本では原子核実験もそのころから始まっています。アジアで一番早かったのです。最初は、イギリスでコッククロフトとウォルトンがやったことを、台北帝国大学という日本の植民地時代の

■図5:1934~1939年の日本

- 1934年 湯川の間中子論
- 1934年~ 日本でも原子核実験開始 荒勝文策(台北→京都)、菊池正士(大阪、伏見が協力)、仁科芳雄(理化学研究所)
- 1937年 米・日(仁科たち)が湯川粒子(?)発見
- 1937~1938年 坂田、武谷たちが湯川に協力
- 1939年6~10月 湯川の渡欧、米国視察
- 1939年9月 第2次世界大戦勃発

■図6:核兵器研究・開発

- 1939年6月 ドイツ フリュッケ「原子核のエネルギーは技術的に利用できるか」軍事利用の可能性 *Naturwissenschaften*
- 1939年8月 米国 シラード→アインシュタイン ルーズベルトへの書簡
- 1940年3月 英国 フリッシュ・バイエルス覚書
- 1942年 米英加 マンハッタン計画発足
- 同時期、ドイツ、日本、ソ連でも

られることをお勧めいたします。そんなわけで、日本もこの分野で活躍していたのです。

今度は兵器の話に移ります。原子核分裂とその連鎖反応が分かったあと、一九三九年六月には、原子核のエネルギーは技術的に利用できるかという論文が、ドイツの『*Naturwissenschaften*』という自然科学の雑誌に出ました。著者は物理学者のフリュッケです。その論文の最後に軍事利用の可能性があると、ちらつと書いたのです。

これでイギリスにいた人も、アメリカにいた人もみんな、「そうだったのか」と分かる。ところがこの時代のド

大学にいた荒勝文策さんが、イギリスの実験の二年後に、実際に加速器を見よう見まねでつくって、重水も自分のところで作って実験をして、結果を出しました。日本では、台北と大阪大学と理化学研究所がほとんど同時に始めたのです。荒勝さんは間もなく京都大学に移ってきます。そのときに、使っていた機械を解体して運んできて京都で実験を始めたので、台北に残った台湾出身の人たちを含む日本人が第二号の加速器をつくりました。

この第二号を解体した一部が残っていたことが分かって、それをもとに加速器を再建して、いまから七年前だったか、いまの国立台湾大学の中に物理のヘリテージルームという記念室を作りました。そこに行くから見られます。機会があれば、ぜひ訪ねてみ

■図7:日本の原爆開発計画

- 陸軍、仁科(理化学研究所)に委託。武谷(熱拡散法によるウラン濃縮研究)
- 海軍、荒勝(京都大学)に委託。湯川たちが参加、坂田(遠心分離法によるウラン濃縮研究)
- 1945年4月 空襲により理研の熱拡散分離塔焼失
- ウラン入手難
- 第2次大戦中ではどの国も作れないだろう(仁科も荒勝も)

イツの指導者はヒトラーです。もうユダヤ人の強制収容所も、国外追放も始まっていた時代です。

アメリカでもすぐに、一九三九年八月にアインシュタインが大統領に手紙を書き、軍事利用の可能性が伝わる。第二次世界大戦がはじまったのは一九三九年九月のことでした。一九四〇年三月にはイギリスでドイツからの亡命者のフリッツシュとパイエルスが、爆弾づくりにとつての決定的な、こうやれば実際につくれるという方法を見つけたのです。シカゴで実際に原子炉が組み立てられて、連鎖反応が自発的に続くことが確かめられたのは一九四二年一月二日のことでした。秘密中の秘密ですからこれらは論文などにはなりません。アメリカでも、

ドイツでも、日本でも、原理は分かっています、なかなかうまく行っていない。イギリスが秘密にしていたことが、ちよつとしたことでアメリカに漏れます。それがもたくなって、アメリカとイギリスとカナダの協力が発足して、爆弾づくりが本当に始まり一九四五年七月のプルトニウム原爆のテストに続き、八月に広島にウランの原爆、長崎にプルトニウムの原爆が投下されたのでした。

2・2 日本の原子力開発の始まり

日本でも戦争中には、原子爆弾の原理は分かっていました。「原子爆弾」という言葉も第二次世界大戦が始まるころから世界中で知られていて、日本でも戦争中に書かれた雑誌などに、この言葉が出てきます。

日本では陸軍と海軍が、理化学研究所と京都大学にそれぞれ委託して研究・開発をはじめます。そのときの中心は、仁科芳雄と荒勝文策です。それに対して、理論家では、湯川秀樹とか、坂田昌一や武谷三男などが名前を連ねています。けれども、

■図8:日本の原子力マイルストーン

- 1945年 広島、長崎
- 1952年 日本学術会議における茅・伏見提案
- 1954年 原子炉築造予算
- 1954年 ビキニ水爆実験
- 1956年～ 原子力委員会
- 1957年～ 原発導入計画拡大へ
- 2011年 東京電力福島原発事故

■図9:物理学者のかかわり

- 仁科芳雄
- 湯川秀樹
- 朝永振一郎
- 坂田昌一
- 武谷三男
- 伏見康治
- 菊池正士
- 田島英三
-

陸軍と海軍は協力しない、日本にはウランがない。ウラン濃縮の装置をつくったけれども、空襲を受けて燃えてしまった。仁科も荒勝も第二次大戦中はどの国もできるはずがないだろうと判断して終わりました。敗戦後、日本では、占領期間中、原子力研究は一切禁止されていました。

3 日本の物理学者と原子力

日本の原子力利用の流れを見ておこうと思いましたが、よく分かっていることだと思えますし、時間の関係もありませんから、図8は後で見てください。

次の図9に名前が出てくる人たちが、どのように原子力とつながりがあったのか見ていきましょう。

3・1 仁科芳雄

仁科芳雄は、先ほど申し上げたように、原子核の理論も実験もやったし、宇宙線研究もやった。広島原爆のすぐ後に、陸軍から調査するように言われて、所沢から飛行機で行くのです。そのときに協力者の玉木英彦に残していった手紙があります。われわれはアメリカの研究者に負けたと。腹を切るとまで思いつめるのです。一九四九年一月二〇日に総理大臣への諮問機関として日本学術会議ができます。仁科芳雄は副会長になりました。その日の発言を書いたも

■図10:仁科芳雄(1890~1951年)

- 1945年8月7日(広島原爆投下の翌日) 玉木英彦への書簡 吾々「二」号研究の関係者は文字通り腹を切る時が来たと思う。……米英の研究者は日本の研究者……に対して大勝利を得たのである
- 1949年1月20日(日本学術会議発足の日、仁科は副会長)「原子力について」原子力の恐怖時代をもたらしたことに對して、科学者はその責の一半を免れることはできない。その罪亡ぼしとして科学者は戦争を再び起ら[さ]ないように努力をせねばならぬ
平和利用：動力源、気象の制御、これらには困難も。放射性同位元素の製造、生物体内における動きを明らかにでき、生物学の長足の進歩

のがあります。

「原子力の原爆という恐怖時代をもたらしたことに對して、科学者には責任がある。その罪滅ぼしとして、戦争を再び起こさないように科学者は努力をしなければいけない」。これが学術会議の第四回総会の決議につながっていきます。これから日本の科学者は軍事研究をやらない。

一方、平和利用に關しては、原子力を平和の目的に使おうと思えば、動力源にも使える可能性があるし、気象学の話などもありました。気象制御にも使える可能性があるが、実際にはまだまだ困難もいろいろあると。

まだこの時代は夢です。具体的な話が出てきたわけではありません。

仁科の頭にあつたのは、戦前から自分でやっていた放射性同位元素をつくって利用する、これによつて生物学はものすごく進歩を遂げるであろう、すでに大きく進歩をしているのだということでした。しかし、仁科は一九五一年に急にガンで亡くなります。おそらく原子核の実験からきたガンだと思えます。

3・2 湯川秀樹

次は、湯川秀樹です。理論物理学者で偉い人ですけれども、社会的な意味では戦争中は普通の人でした。戦争中から非常にしっかりと戦争に距離を置いた見方をしていたということではなかつたのです。

戦時中にだした、戦争とまったく関係ない物理学の本のまえがき

■図11:湯川秀樹(1907~1981) 1/4

- [第2次大戦中には、戦争を肯定的に受け入れた。]
- 1945年11月 週刊朝日 国家目的とそれを達成する手段は、人類全体の福祉の増進と背馳しないことが必要である。戦争は常に人類の幸福の破壊者である
- 1945年 原子雲「今よりは世界ひとつにとことには平和を守るほかに道なし」、「この星に人絶えてはし後の世の永夜清宵何の所為ぞや」

に戦争を賛美した文章を書いています。本心から書いたのか、あるいは本を発行してもらうために、前書きにそういう話を勇ましく書かなければ、出せなかったのかわかりません。

若いときから著名人でしたから、戦争前からいろいろとものを書いていました。アメリカなどの戦争が一九四五年八月に終わってすぐに、この事態をどういうふうにご覧になりますか、これから日本はどうしたらいいでしょうと問い合わせが来しました。これに対して三カ月間、断固として発言を拒否して、考えて一一月に初めて『週刊朝日』と『科学朝日』にものを書く。

そこでは、国家目的とそれを達成する手段には、人間全体の福祉の増進と矛盾しない範囲で協力すべき問題だ、戦争というのは常に人類の幸福の破壊者であると言います。

この先生は和歌をつくりまします。歌として上手か下手かを私は評価できませんけれども、この年につくった和歌に、世界中が一つになつて、けんかをしないで行く以外にないという歌があります。図11の一番下にある和歌では、人類の絶滅、こういうことで行くと核兵器によって人類がなくなる可能性もあるということを見極めた上で、人がいなくなってしまう後の夜に、こうこうたる月が出てきてもどういう意味があるのだろうかとまで言います。

「湯川は全然平和運動をしていなかったし、考えてもいなかったのだけれども、アメリカに行つてインシユタインに会つてから平和運動を始めた」という人がいますが、考えていなかったというのは間違いです。

平和利用について、湯川が一九四七年に書いたものが見つかっています。原子力の平和利用は、人間の福祉にどんなに大きな貢献をするか。おそらく想像以上だろうと。平和利用には、いいことがいろいろとあるだろうと

■図12:湯川秀樹(1907~1981) 2/4

- 1947年5月 「知と愛とについて」
原子力の平和利用が人間の福祉にどんなに大きな貢献をするか、おそらく私どもの想像以上であろう
- 「未来」の中には多くの可能性が実現を待っているのである

思ったのです。

「未来」の中には多くの可能性が実現を待っているというのですが、湯川は、一九三〇年代に、実験の手掛りが全くなかった中で中間子論をつくった後で、物理学について同じことを言っています。それまでの理論ではまったく想像もできなかったいろいろなことがどこかにひそんでいるのだと。

後に米ソの冷戦で核兵器競争が激化した中でも、「だいたいこんな冷戦が永久に続くなどは考えられない。これは必ず終わるはずだ。核兵器の競争も終わるはずだ」ということを言うのです。もちろんベルリンの壁の崩壊よりもずっと前の話です。そういうことで一生を貫いた人です。

一九五六年に原子力委員会ができたときに、初代の原子力委員になります。これも原子力委員になりたかったとか、原子力を進めるためになったということではありませんでした。

ぜひにと勧められても、周り中は「先生、やめておきなさい」と言ったのです。それでも、これだけ頼まれて拒否すると、学界が協力的ではないという影響を社会に対して与えるだろう、だから私としては断るわけにはいかななくて引き受ける。けれども、軌道に乗ったらできるだけ早く辞めさせてほしいということを、原子力委員会が発足した一月月上旬に周囲の物理学者たちに書きます。

実際には一年ちよつとたったところで、病気で辞めます。本当の病気ですけれども、病気になった理由は、私はおおきな心因があったと思うのです。

何しろ原子力委員会第一回が終わった後、全然議論していないのに、正力松太郎委員長が、五年以内に原子力発電をやるのだと郷里へ帰る列車の中で記者たちにいったのです。これに対して委員全体が委員会の議論と違うと怒りました。正力は取り消す

■図13:湯川秀樹(1907~1981) 3/4

- 1956年1月 原子力委員就任に際して
- 「基研(基礎物理学研究所)所長としての職責が果たせる限りにおいて非常勤の原子力委員をお引き受けするが、(委員会が軌道に乗ったら)できるだけ早い機会に基研所長だけに専心できるようにしてほしい」という希望条件を申し入れ諒解を得た……
- 委員となることを拒否しますと、学界が協力的でないという一般的印象を与える恐れ

のですけれども、今日の話からは脱線ですからこのくらいで止めます。

そんなわけで、日本で初めてノーベル賞をもらった科学者としての責任感が湯川を動かしていたように思います。

戦争中に話を戻すと、核兵器開発計画に名前を連ねていたのですが、素粒子論を考えていて、本当にほとんど何もやっていないのです。弟子たちはいろいろやります。例えば坂田昌一が何をやったかは分かっています。武谷三男が何をやったかも分かっている。脱線ばかりしていると先に行かないからやめた方がいいのですけれども、もう少しだけ。

戦後アメリカ軍が日本に来たとき、仁科とか湯川は戦時中何をやってたかというのとは当然、最も重要な調査対象でした。湯川の所には、モリソンという若い物理学者が軍服を着てきたのです。彼は後にコーネル大学で偉い物理学者になるのですけれども、湯川は、占領軍の将校に、「モリソン君、僕がコーネル大学に行つたときは」なんて話をするものだから、固くなってしまつて何も聞けないで帰つてしまつた。あとで、湯川がいなくてときに捜査令状を持ってきて部屋に入つて、

書類の写真を撮つてワシントンに送つたのです。調べてみた結果は、戦争中、湯川は「物理学をやつていた」と。それは昭和二〇年九月上旬か何かの話ですが、戦争中に物理の話をやつていたことは、論文が出てきたり、学会の講演があつたり、証拠がある。東大の教授を兼ねていたから、空襲の中で東京にやつてきて、途中で前夜の空襲によつて夜行列車が止まつてしまつたから、品川から東大まで、とことこ歩いて行つて講義をして帰る。戦争中はこんなことをやつていたのでした。

政治家やら一部のマスコミが、確かな裏付けもなく外国から原発を買つてきて電気を起こそうなどという中で、

■図14:湯川秀樹(1907~1981) 4/4

- [1957年 基礎物理学研究所で天体核現象研究の萌芽を支援]
- 1957年10月 核融合(反応)懇談会初代会長 研究者の自由参加 研究段階と位置付け
- 1958年4月 原子力委員会核融合部会長(初代)
- 1959年8月 湯川裁定 原子力予算による核融合中型装置建設計画は見送り、基礎研究の充実を図る

病気になって原子力委員を一九五七年に辞めたのですから、嫌気がさしたとも見えるのですが、その後も、日本で核融合研究を開始しようというときに決定的に重要な役割を果たしています。

湯川は、自分の仕事もゼロから芽を出したのですけれども、新しい分野の研究の芽を育てるということについて、ほかの分野でもずいぶんいろいろな支援をしました。その一つが天体の原子核現象です。星のエネルギーというのは核融合ですから原子核反応です。そこには分かっていないことがいろいろあるものですから、その援助を始めた。

そのころ、ちょうど地上で核融合の平和利用を始めようというので、ジュネーブであった平和利用会議との関係などが出てきます。ジュネーブで第一回の原子力の平和利用会議で、バーバーというインド人、これも物理学者ですけれども、彼は核融合のエネルギー利用は一〇年以内を実現するだろうなんてことを言うものですが、世界中でまたみんなが、かつかとなる。日本でもどうしようかというので研究グループができてきます。そういう研究の支援をしてきた関係で、湯川が最初から自主的な研究グループの会長になります。

その少し後で原子力委員会が核融合部会というものを、いよいよ日本でもつくります。科学技術庁関係では、アメリカから機械を買ってきて運転を習うかという話を始めるのですけれども、物理学者たちは、「いやいや、基礎の現象が分かっているのだから、その説明をするのが先で、急がば回れだ」ということを言う。意見が合わなくなります。

原子力委員会の部会長であり、研究者としても重みがあるものですから、一九五九年に、ではこれからどうするかという話で、湯川に裁定してもらおうことになりま

した。湯川は、中型装置を買ってきて運転の見習いから始めるといふのはやめて、基礎研究から始めるという裁定をして、原子力予算で買ってくることは見送る。もつとも科学技術庁が後で別の予算を出したりはするのですが。

それで名古屋大学にプラズマ研究所ができ、いまは土岐というところに核融合科学研究所が、今日もおいでの方がいらつしやいますけれども、できてくる。こんなことがあつたわけです。

湯川と核兵器の関係、今日はやめておきましょう。話が広がりすぎますから。いろいろあるのですけれども。

3・3 朝永振一郎

次に登場するのが朝永振一郎。朝永振一郎と湯川秀樹は中学も同じで、旧制高校、大学も同級生です。朝永振一郎は一九三六年から一九三九年までドイツにいました。ヒトラーのドイツに行きます。物理の研究がなかなかうまくいかないと、主観的には、なかなかつらい時期だったのです。ノイローゼ寸前まで行くのですけれども、実際にはドイツでした仕事は後に非常に大きな芽を出します。

ドイツにいた朝永は非常に詳しい興味深い日記をつけています。本人も編集して本に出していますし、いまではそれ以上にかんりの部分が著作集にのっています。

その日記はいろいろな読み方ができるのですけれども、私はあるとき、ナチス・ドイツとの関係ということですつと読んだことがあるのです。それまでそういう視点で読んだ人はないので、どこかで話もしたし、書いたこともあるのですけれども、面白いのです。これも脱線かな。言つてしまつたから続けることにしましょう。ユダヤ人の学者を次々に追放しているのは、やり過ぎだと思ふけれども、国家存亡のときにはしょうがないと肯定的に捉えます。ドイツが周辺のコチェコやオーストリアなどのいろいろな国を攻めていきますね。第二次大戦はポー

■図15:朝永振一郎(1906~1979) 1/2

- 1936年6月~1939年8月 ドイツ留学
[ナチス政権の情報操作下で現状肯定]
- 1954年3月 初めての原子力予算に対して、原子核特別委員会委員長として、「原子力平和利用3原則」を提唱
- 1954年8月 「暗い日の感想」原子力の悪用の害悪はあまりに大きい。世界国家ができれば話は別かもしれないが…

ランドを攻めるところからはじまります。その前にも周りの国を侵略します。それについて朝永の日記には、これまでその国のドイツとの国境にいるドイツ系の人がいじめられ続けてきた。ドイツがそこを占領して、これで彼らが安全になって安定してよかったという感想を書く。後になってみると考えられないことですけれども、やはり情報操作の中にあると、そういう判断をする。ある意味では普通の人であつたということです。情報操作の下で見方がいろいろゆがむというのは、決して過去のことだけではなく、いまでもわれわれも考えるべきです。戦後の話になりますけれども、原子力予算が初めて出てきたのが一九五四年の三月です。中曾根氏が中心と言われておりますけれども、中曾根氏一人ではないです。一方ではちょうど同じ日に、

水爆実験被害のビキニ事件が起こる。

これから日本の原子力をどう進めるかについて個人的な意見としては、武谷の意見とか、伏見の意見が前からあつたのですけれども、軌道に乗せるときに決定的な役割を果たしたのが朝永です。朝永はそのころ学術会議の原子核特別委員会の委員長でした。

学術会議全体から、原子核の委員会は一番専門が近いのだから、これからの日本の原子力をどうしていったらいいのかを議論して提案してくれと言われて議論しました。学術会議からは伏見康治の書いたものを参考にして検討してと言われたのですけれども、伏見が言ってきたことの中で、これだけを取り上げ、それ以外の問題は後回しというか、朝永は整理をして脇に置く。そのようにして、平和利用に限り、公開で民主的にすすめる、日本の自主性を損なわないようにするという三原則を、この委員会の議論として整えたのは朝永委員長でした。

これが基になって学術会議の原子力の三原則になり、現在まで「原子力基本法」に

基本方針として載るといふことになりました。

その年には、アメリカとソ連は水爆開発競争をして、水爆実験も続けています。ビキニ被災もあるなかで、原子力の悪用の害悪はあまりにも大きい。世界国家ができれば悪用が止められるかもしれないがと書きました。

もう一つだけ言います。いよいよ初めての原子力予算が、どきどきで通るのです。根拠なしに通る。積み上げではないのです。前の年にアメリカに行ってきた代議士が聞いてきたり何かしたことが基になっています。一九五三年一二月にはアイゼンハワーが国連演説で、これからは「アトム・フォー・ピース」という演説をしたりすることがバックにあるものですから、日本では浮き足だっている人もいます。

だいたい中曾根氏は、このときは野党議員で、しかも懲罰対象で、国会から懲罰される寸前のところでしたが変わり身上手にして、つぶれかけていた吉田内閣と妥協して自分の懲罰が帳消しになる。超党派の野党の言うことを丸のみする当時の吉田内閣でした。最近もそんな話がありそうですけれども。

予算は通してしまつた。通つたけれども、使い道が何もないものですから、大慌てで大蔵省がつつま合わせをして中身をいろいろ積み上げる。その時に積み上げた結果が二億三五〇〇万円になっている。「二三五」というのは、核分裂するウランの重さが二三五です。中曾根氏は自叙伝を書いて、学者を皮肉るために自分が二億三五〇〇万円にしたと得々と書いています。私は当時の新聞で確かめたのですけれども、最初は数字が違ふのです。これは歴史の事実に反する中曾根氏の、後からのフィクションです。

いよいよ政府が「原子力利用準備調査会」というものをつくります。これは原子力委員会に後で発展していくものですけれども、最初の予算をどう使うかという中で、副総理が調査会長になり、メンバーは大臣クラスですけれども、実際には専門家がいませんから、総合部会というものをつくつて、そこに政府の役人、学者、財界、日銀の副総裁などが入るのです。

大学の専門家というのとは四人です。その一人が朝永です。部会のメンバーは全員、専門委員という肩書が付く。

■図16:朝永振一郎(1906~1979) 2/2

- 1954年9月~1955年12月 原子力利用準備調査会総合部会において、専門委員として
- 1954年9月24日「原子力平和利用の根本原則」申し合わせ
- 1955年4月30日 日本学術会議の1954年10月総会からの「原子力の研究・開発・利用に関する措置について(申し入れ)」7項目を了承
- 1955年12月 日本学術会議で、原子力委員会学界代表候補人選に参加

原子力委員会の専門委員というのは、いまでも同じ言葉を使っています。

その年の九月に動きだしてすぐに「日本の原子力平和利用の根本原則」の申し合わせをします。専門家は朝永しかいないのです。先ほど言った学術会議の議論をまとめた人ですから、その朝永が中心にいてつくれば平和利用三原則にもとづいて進めようという結論に決まってしまう。結局そういうことが重なって、ほかにもまだあるのですけれども、「原子力基本法」の中に入っていくわけです。

翌年の一二月には、今度は学術会議で、やはり学界の代表を誰にするかの相談を受けるのですが、そのときも、原子核特別委員会の委員長として参加して結論を出すということに貢献しています。その後、朝永は表に出てきたことはありません。

3・4 坂田昌一

坂田昌一は戦争中の原爆研究でウラン235の濃縮について、既発表論文などを調べていました。戦後の連合軍の占領中には、サイクロトロンが破壊され、原子核研究が制限されていたので、サンフランシスコ講和条約発効を前にして、学術会議の学問思想の自由委員会において、羽仁五郎委員長から指示を受けて、武谷三男と講和条約の発効後の原子核物理研究の制限の有無を調査しました。その結果、制限はなくなることがわかりました。講和条約発効により独立を回復した直後の一九五二年五月に、中日新聞に、「日本にも原子炉をつくれ」という文章を書きます。

これは、ノルウェーに研究用の原子炉ができたことが報じられたのが、きつ

■図17:坂田昌一(1911~1970) 1/2

- 1949年か1950年 学術会議「学問・思想の自由保障委員会」で、「占領下における原子核物理学の研究の自由」を武谷とともに調査
- 1952年5月 中日新聞「日本にも(研究用)原子炉を」
- 1952年10月 茅・伏見提案に反対
- 学術会議第39委員会(1952~1954)、原子力問題委員会(1954~1960)委員→委員長

けでした。日本の経済は全然力がありませんから、アメリカとソ連がつくっただけという時代には、日本がつけられるはずがないと考えていたのですが、ノルウエーのような小国でつくれるのだったら、日本でもそのぐらいのことをやるうではないかと主張したのです。研究の自由という角度からの発言です。

ところが、その年の一〇月になって茅誠司と伏見康治、両方とも物理屋ですけれども、学術会議に「政府の中に原子力の調査の委員会を作る」提案をする。坂田は提案が出てくると、進め方にひっかかるところがあり、政府の中に原子力委員会をつくってもうまくいくはずがないというので反対に回ります。その提案は取り下げになるのですけれども、実際には学術会議自身が、これから原子力をどうしたらいいかの検討を始めるための臨時委員会として「第三九委員会」を作つて、それが後で「原子力問題委員会」になる。坂田は、問題委員会委員長になって、学術会議の原子力関係の議論の中心人物になります。

その学術会議で日米の原子力協定をどうするかとか、動力協定、いまの原発の協定をどうするか、最初にイギリスから買ってきたコールドホール改良型という原子炉の実際の導入計画についての問題、関西に、研究用原子炉を置く、こういう検討をずっと中心になつて行つ。特に原発については、学術会議の中の原子力問題委員会だけでなく五つの委員会が関係しました、その一つが「原子核特別委員会」。この時代に私はこの特別委員会の幹事でした。「放射線影響調査特別委員会」は、ビキニ事件後における太平洋の放射能の調査などを始めるところから活動してきた委員会です。

原子力研究者が増えてきたので「原子力特別委員会」もできたし、「長期研究計画調査委員会」は日本の原子力研究を長期的にどうするかを考えていた委員会です。

■ 図18:坂田昌一(1911~1970) 2/2

- 1955~1960年 学術会議における、日米の原子力協定、米英との動力協定、最初の前導導入計画、関西研究用原子炉設置問題の検討と批判
- 動力炉(原発)について原子力問題委員会、原子核特別委員会、原子力特別委員会、放射線影響調査特別委員会、長期研究計画調査委員会の合同役員会が中心になり取り組み
- 1958年5月~1959年11月 原子力委員会原子炉安全審査専門部会専門委員 責任が持てないと辞任

これら五つの委員会の合同役員会が中心になって学術会議が取り組みます。私も坂田原子力問題委員会委員長に協力して、一九五〇年代後半に、この問題に深く巻き込まれました。

そのときに出てきた議論を二、三紹介します。

日本は地震の国だから、イギリスでいくら耐震工事をしてあると言っても、自主的に確認できなければそのままでは駄目だと言いました。そうしたら日本原子力発電会社はすぐに専門家の調査団を組織してイギリスに行つて設計変更をしました。

経済性も問題に取り上げました。軍事利用の技術の応用でやっているのだから、独立した採算にはなっていないと。こういう議論は無視されました。

原子力発電所で後始末がちゃんとできる計画になっていないではないかという議論もしたのです。いまでもその問題の答えは出ていない。これに対して推進側から言われたことは、技術というのは全部でき上がってからやるのではないのだと。動きだしてから技術の進歩はあるのだというのです。一般論はそのとおりです。これは水掛け論の議論になりました。見切り発車をして、そのころからムラができてきて、学術会議はだんだん袖にされてきた。

私は去年(二〇一一年)の三月一日の後で思ったのは、嫌がられても言わなければならぬことは言い続けなければならなかったのだということでした。というのは、みんな昔出ていた問題ではないか。こういう感じがいたしました。

坂田さんは、原子力委員会のコールドホール安全審査専門部会にも参加するのですけれども、実際に作業している小委員会の情報を出してもらえないようになり、都合がつかないといっておいた日に結論を出してしまうものですから、

責任が持てないと言って辞任しました。

3・5 武谷三男

武谷三男のことも、いろいろあります。戦争中には仁科さんが中心の原子力の二号研究に参加していました。その一方で、思想問題で二回逮捕されるという経験もしました。フランスの人民戦線に非常に引かれていた。一言で言ってしまうえば、武谷を動かしていたのはヒューマニティーだと思えます。

学術会議の第一期会員で、坂田と一緒に講和条約後の日本の原子核研究について調査をした人です。武谷三男は、原子力の平和利用に十分に注目をしないと世界に遅れるという立場でした。

一九五二年一月に『改造』という雑誌の増刊号に、日本の原子力研究開発を進めるには平和利用に限らなければならぬ。そのためには公開でやっていく以外にないのだと主張しました。

この時代のアメリカでは、マッカーシズムが吹き荒れて、非米活動調査を進めて、追放が続きました。オツペンハイマーが査問され、公職追放になるのは少しあとの一九五三年から五四年でした。そういう時代ですから、武谷が、民主的に進めなければいけないといったのは、具体性があり、とても大事なことでした。外国から買ってきてまねするだけでは駄目なのだということで、自主性ということも言いました。

もう一人、伏見康治も同じことを言うのです。ほとんど同時に同じことを言ったものですから、私は武谷さんに、伏見さんの発言を知っていたか聞いたのです。ほとんど同時に別の場所でしたが、伏見さんにも武谷さんの発言を知っていたか聞きました。二人とも、まったく同じ答えをしました。相手の発言は知らなかったと。そうだろうと思います。

武谷さんは素粒子論グループの指導者としての発言もありましたが、それだけでは収まりきれませんでした。

■図19:武谷三男(1911~2000)

- 1951年8月 毎日新聞 原子力平和利用に十分な注目をしないと世界に遅れる
- 1952年2月 読売新聞 実験用原子炉を作れ
- 1952年11月 改造増刊号 日本の原子力研究の動向 平和利用3原則の萌芽
- 素粒子論グループの指導者の一人として
- 『死の灰』(1954)、『原水爆実験』(1957)、『安全性の考え方』(1967)、『原子力発電』(1976)ほか多数の著書によって警鐘

最初、原子力利用への期待も書くのですが、核戦争の危険性、放射能の甚大な被害、原子力発電の問題点など次々に本を出すことによって社会に警鐘を鳴らし続けるという役割も大きかったのです。

その一つ、放射能の許容量はその値までは問題ないというものではない、利益との兼ね合いで我慢する量なのだ、したがって、利益がない時には、余分な放射能は受けてはいけないといい続けました。

3・6 伏見康治

伏見康治は何といつても好奇心の塊でした。それが伏見を一生突き動かしている。戦前、大阪大学が始めた原子核実験のときに、もともと伏見は理論物理学者ですけれども、菊池正士が、手が足りないから実験をやらないかと声を掛けたら、もともと手先が器用な人だから喜んで中性子の実験を手伝うのです。論文もたくさんあります。それがあつたものですから、戦後原子力に深く関係したのは、自分が戦前にやった研究をぜひまた周りの人と一緒にやりたい。それが伏見康治を突き動かしたのだと、私は思っています。これは本人と話したこと、書いたものも読んでの私の見方です。

講和条約発効後の原子力をどうしたらいいか、調査をしこしこと始めるのです。それに対して、物理の若手が、伏見さんが怪しげな動きをしているというので、来て話をしてくれと言うものですから、伏見さんは、東大、神戸大、大阪大学で若い物理学者との会に出席します。伏見さんが後で書いたものでは、若い連中からつるし上げを食ったとあります。確かに伏見さんの説明も聞いたのですが、そういう場面もありました。

■図20:伏見康治(1909~2008)

- 1952年9月 東大、神戸大、阪大で若い物理学者から「つるし上げ」
- 1952年10月1日「原子力問題調査委員会設置について、諸兄の御意見を聞きたい」平和利用3原則の萌芽
- 1952年10月 学術会議総会茅・伏見提案→三村剛郎(おしむら)(1898~1965) 反対→取り下げ→第39委員会発足
- 1954年3月「原子力憲章伏見案」平和利用3原則の具体化へ
- 1957~1958年 関西研究用原子炉設置問題との取組み
- 原子力開発支援、プラズマ科学、核融合研究推進、核兵器反対
- 晩年六ヶ所村再処理工場批判

て、一九五四年三月に、突然原子力予算が顔を出した。それに対して学術会議では三月一日に原子力問題委員会が開かれます。

伏見は三月一〇日に学士会館に泊まり、夜書いた文章が「原子力憲章伏見案」です。寝られないので、一晩もんもんとして書いたと語っています。これは、科学史家の山崎正勝さんの「日本の核開発」に全文が載っています。全文が活字になったのは初めてです。

伏見さんは、先ほど言ったように「やりたい」というのが中心でした。好奇心を持って取り組みますから、核

私は実はこの時、一九五二年の九月六日に東大であった会で、初めて伏見を五メートルぐらいの近い距離で見ました。会議室に入りきれないから、廊下からのぞき込んでいた。私はまだ学部の子生ですから部屋に入って議論する関係ではありません。

この時には、理学部の自治会から、今度の自治会の総会で原子力の問題が何であるかを報告せよと言われて、勉強してその会をのぞいた。これが伏見康治を一方的に見た初めてです。お付き合いが始まるのはもつと後です。

伏見さんは、三つの会で出た議論などを参考にして、一〇月一日付で「原子力問題調査委員会」、これは政府に設置させようという話ですが、この設置について諸君のご意見を聞きたいという文章を書いて関係者に回す。この中に原子力平和利用三原則の芽があります。

それから学術会議の総会があつて、提案があつて、取り下げたの話は、先ほど出たのですが、比較的あちこちに書かれていますから飛ばしまし

■図21:菊池正士(1902~1974)

- ・第2次大戦中軍事研究に邁進
- ・1952年「科学」に「原子力研究に進め」3年間で設計、組み立て、運転第2期(5年)の目標
イ)原子力発電の完成 口)原子力船舶の完成
- ・1958~1959年 原子力委員
- ・1959~1964年 日本原子力研究所理事長
- ・1973年 日本原子力学会誌「原子力発電の安全性とパブリック・アクセプタンス」最大事故の災害評価を行い、理解を求めることが推進に必要な条件

融合をやらうと言うと、その基礎を調べるプラズマ研究所の初代の所長になったり、原子力発電が始まると東電の顧問になったり、いろいろ協力もします。

原子力平和利用の推進についての見方は、技術というものは進歩するものだという信念があったと思います。ただ最晩年になって、六ヶ所村の再処理工場だけは無条件に反対でした。この時には九〇歳代ですから、ものを書いたり講演したりということとはしなかったのです。

私は、では先生、一緒にもの申しましょよと言ったのです。それは、先ほど私が関係しているといった世界平和アピール七人委員会の場合でした。あそこに私を引き込んだのは伏見先生ですけれども、一度その問題でアピールを出そうと準備をしていたら伏見先生が亡くなりまして、その直後に、今度は三・一一の事故になってしまったのです。時期を失って大変残念だったと思っています。

3・7 菊池正士

菊池正士は、戦争中も軍事研究に一生懸命旗を振った人です。戦後には一九五二年にアメリカから帰ってきて岩波書店の「科学」に「原子力研究に進め」という呼びかけを書きました。三年間にこれだけのことをやる。次の五年間に原子力発電をやる。原子力船舶は日本で作るという勇ましい人で、原子力委員もやったし、原子力研究所の理事長もやりました。

ところが菊池さんが最晩年に書いた文章が、「日本原子力学会誌」に載っています。「原子力発電の安全性とパブリック・アクセプタンス」。ここでは当時の

■図22:田島英三(1913~1998)

- 理化学研究所の仁科の下でサイクロトロン建設に従事
- 核兵器実験による放射能汚染調査
- 1972~1974年 原子力委員として、安全問題の専門家を委員にと提案、科学技術庁長官の前例を無視した運営に抗議して辞任

動きに対して非常に冷静な批判を加えています。

最大事故の災害評価をもっと徹底的にやって社会の理解を求めるということが原子力を推進していくためには、絶対に必要だと言うのです。ところがそれはやはり通りません。認めてもらえません。このころは実は病気で、ガンですけれども、この人もおそらく実験のときに吸い込んだ放射能のガンだったと思います。結局原子力学会で代読してもらおう。本人は伏見さんに「ちよつと来て。この話を相談したいから」と言つたそうですけれども、翌年に亡くなりました。

3・8 田島英三

田島英三さんのことを言います。この人は戦前から仁科の下で原子核実験をやつていた人で、米軍によるサイクロトロン破壊に立ち会っています。それからずっと核実験の放射能汚染の、海の汚染とか、空気の汚染などを調査したりして、国連の放射能委員会の委員をやつたりしていました。一九七二年に原子力委員になるのです。

ところが原発設置認可の問題で、安全審査体制の不備が露呈されます。そこで田島は、空席の原子力委員に安全の専門家を入れるよう強く主張します。

そのころ、佐世保で科学技術庁がデータを捏造することも起きた。アメリカの原子力潜水艦が入港するたびに、放射能の検査をして異常がないことを確かめていたのに、同じデータを何度も使うというデータ改造が発覚してしまつた。

田島提案に対して、原子力委員長兼科学技術庁長官の森山欽司氏が相手にしてくれない。非常に独善的な大臣でした。

森山大臣は、それまでの原子力委員会の慣習、習慣を一切無視。というのは、それまでの原子力委員会は一九五六年からずっと続いているのですけれども、次の委員を決めるときには、みんなで議論して、異論が出た人は委員にしないという習慣でやってきた。

ところが、森山大臣が安全問題と全く関係ない人を、ほかの委員の意見を聞かないで委員に任命してしまう。実際の任命は総理大臣がするのですけど。原子力委員会の運営が民主的に行われていないということに抗議をして辞任します。

これは実は病気を理由とした湯川の辞任より深刻でした。当時の原子力委員会にとつて。原子力委員会の運営方法自身について正面からとりあげて、一身上の都合や健康上の理由でなく辞職してしまうわけですから。

この辞任の教訓を生かしておけば、福島事故の時の対応も違っていたらと思うます。実際には原子力行政が、どんどんおかしくなつてしまつたと思います。

4 核兵器と原発のない社会に

あとは時間の関係で簡単に言うつもりです。核兵器は、ピキニ事件から科学者の世界の運動も市民運動も始まつたし、世界の世論も核兵器廃絶だし、オバマも演説をした。しかしその一方で、強固な抵抗勢力もいる。

オバマ大統領のプラハ演説は比較的有名ですけれども、去年(二〇一二年)ソウルで開かれた核の安全保障の第二回会議でオバマがやつた演説も、主張が非常にはつきりしている。日本ではそれほど報道されませんでした。

世界中の元高官たち、高官の発言によつてオバマが影響を受けたことも本当だし、オバマも大きな影響をあつたことも本当です。世界中のいろいろな国が、核兵器のない世界を本当につくつた方がいい世界になると言ひだしている。そういう意味でも、核兵器の旬は終わつています。

■図23:核兵器廃絶へ

- ・ ビキニ事件(1954)以来の原水爆禁止の世論
- ・ ➡ラッセル・アインシュタイン宣言(1955)の「核兵器と戦争の廃絶か人類滅亡か」の指摘
- ・ ➡世界の科学者のバグウォッシュ会議(1957年発足、1995年ノーベル平和賞)
- ・ オバマのプラハ演説とソウル演説
- ・ 世界の元高官の、相次ぐ「核兵器のない世界」志向

原発もそうです。一九七九年におこったスリーマイル島の事故の後、これもグラフを後でちよつとお見せしますけれども、伸びが遅くなりました。チェルノブイリの事故があつた後で、原発の増加は世界中で止まりました。新しいのもできるけれども、古くなつて廃炉にするのもあるものですから伸びなくなつたのです。

日本の原発関係者はそのときに、よその国はお粗末だから事故を起こすので、日本は科学技術が進歩した国だから絶対に日本では起きないと言つて、立ち止まりもしないで、検討もしないで進めて来てしまつた。

福島事故が起きたときに、世界中で原発路線にブレーキがかかり、減り始めました。もつともこれがどこまで減り続けるかどうかは今後の問題ですけれども、少なくとも、二〇一一年の間に世界の原発は、福島の四基も含めて一三基減りました。世界中で四基増えましたから差し引き九基減つたのです。今年(二〇二二年)の一月一日現在、全体で四二七基ですから、その中で九基減少は決して無視できる数字ではないのです。

世界中で、だいたい二〇〇ぐらいの国が国連に入つてゐるわけです。日本から見ると、世界中で原子力をやつていて、その中でドイツなどわずかの国だけがやめるようなイメージで考える人がいますけれども、実際に世界中で原発が動いてゐる国の数は二九しかないのです。

後で時間がないと思うのでいま言つてしまうと、例えばこれから原子力を大いに伸ばすと言つてゐる中国が、いま何をしているかというところ、自然エネルギーの研究開発で、世界中で一番予算と人数をつぎ込んでゐます。中国は自然エネルギーの研究で世界一です。

そういう国は、原子力をやめるとなると、やめられるのです。日本みたいに制度上、ほかのエネルギーを圧迫

■図24:脱原発へ

- スリーマイル事故(1979)で世界の原発拡大が鈍り、チェルノブイリ事故(1986)で原発増加が止まった
- 日本はこれらを見逃し、増加を続けた
- フクシマ事故(2011)の影響で、2011年中に世界の原発は+4-13、2012年初めに原発は29か国427基
- 政府と東電の対応のまずさの連続が表面化し、日本の脱原発世論が決定的高まり
- 世界平和アピール七人委員会
2011年7月11日「原発に未来はない：原発のない世界を考え、IAEAの役割強化を訴える」
2012年9月11日「原発ゼロを決めて、安心・安全な世界を目指す以外の道はない」
- <http://worldpeace7.jp>

して進めないでいると、やめようとしてもなかなかやめられない。風力などが伸びないのも、技術的な理由ももちろんありますけれども、一つには制度上の理由もあるわけです。

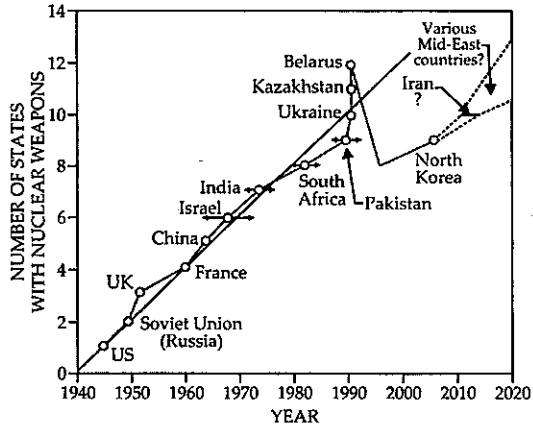
もう一つは、やはり事故の結果を見てまいりますと、それ以上に日本の政府と東電の対応のまずさの繰り返しです。それが表面化した。これが日本の世論が決定的に原発ゼロに傾いた理由だと、私は思います。

世界平和アピール七人委員会のことをいいましたが、事故から四ヵ月たった去年(二〇一一年)七月一日に、原発はこういうわけ
〇〇三年から関係があるのですが、事故から四ヵ月たった去年(二〇一一年)七月一日に、原発はこういうわけ
でもう未来はないという意見を発表しました。やめる順番も言い
した。直ちに全部止めるという簡単な議論をしたのではなくて、や
るならば、こういう条件を満たして続けなさいと。それができない
ならやめる以外にない。やめる場合には、こういう順序でやりな
さいということまで言いました。

先日の九月一日(二〇一二年)には、一年半たったものですから、
あらためて原発ゼロを決めて、安心して、安全な世界をつくる以外
に世界に道は残されていないのだといいました。実際には一直線で
行くのではなくて、前に行ったり、後ろに行ったりしながら動くだ
ろうけれども、それ以外の道はありません。

もう一度核兵器のことを見てみましょう。NPTができれば何が
だろうが、歴史を見ると、五年に一つずつ核兵器保有国が増えてき
たのです(図25)。これを止めるのに何が問題か。やはりアメリカ、
ロシア、中国などを含めて、持っている国は、うちは持っているけ

■図25:核兵器保有国の増加



が、日本の雨の中の放射線量、下が、空気中の放射能がどれぐらい増えたかというグラフです。世界のどこかで核実験をやるたびに増えたのです。

図27は、アメリカの物理学会の『科学と社会』という機関誌に、アメリカの物理学者が載せたグラフです。真ん中に一つぼつと点がありますが、これは第二次世界大戦中に爆発した、広島も長崎も含めた全爆発力を表しています。高性能爆薬に換算して積み上げると三〇〇万トン分です。中国大陸も、ヨーロッパも、太平洋も含めてあります。これに対して一九八〇年代初めの核兵器の爆発力は、このグラフの点全部です。世界中にこれだけの攻撃目標はもろろんないのです。ということに気が付いて一九八〇年代半ばからどんどん減らしたのです。

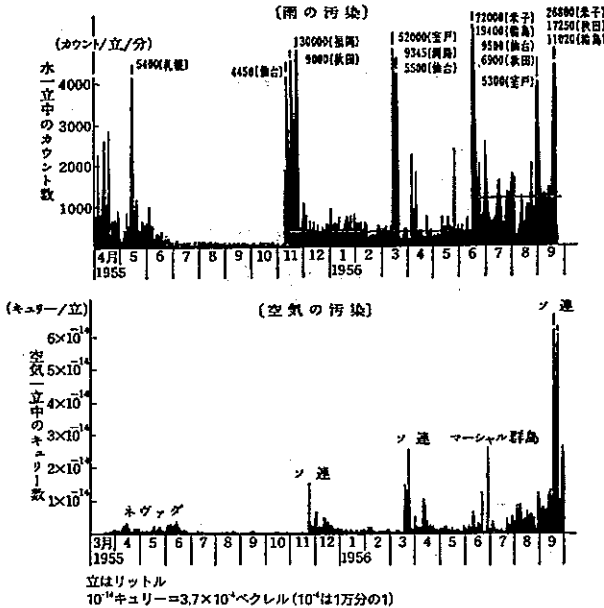
れども、よその国は持つてはいけない、持つていい国といかない国があるという限り解決しません。

日本はプルトニウムをつくってもいいし、濃縮ウランをつくつてもいいけれども、イランは駄目だ、北朝鮮は駄目だと言うから、なかなか通らないので、アメリカとソ連の核兵器数が圧倒的に多いわけですから、保有国がやめると言つて実施すれば、北朝鮮がつくりたいと言はずがしないと、私は思つています。

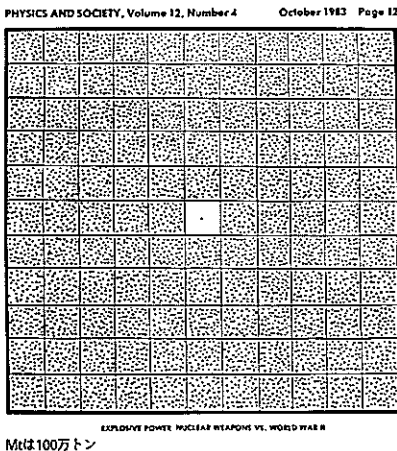
これは別の角度ですけれども、だいたい核兵器というのは、実験を昔はやつていましたけれども、空気を汚すし、雨の中に降ってくる。核戦争が起きたときは、福島どころではなくなるわけです。核戦争が起きたら逃げる場所はないのです。そういうようなことに人間の安全を懸けていいのかという問題がある。

図26は、核実験が大气中であつたときの日本への影響です。上

■図26:地球環境破壊

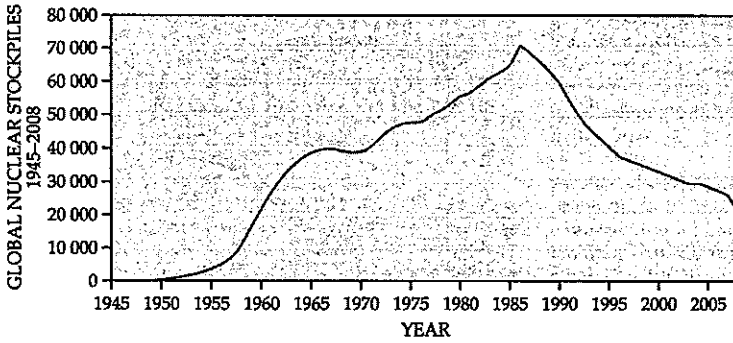


■図27:第2次世界大戦中の全爆発力(3Mt)と1980年代初めの核兵器の爆発力合計(18000Mt)

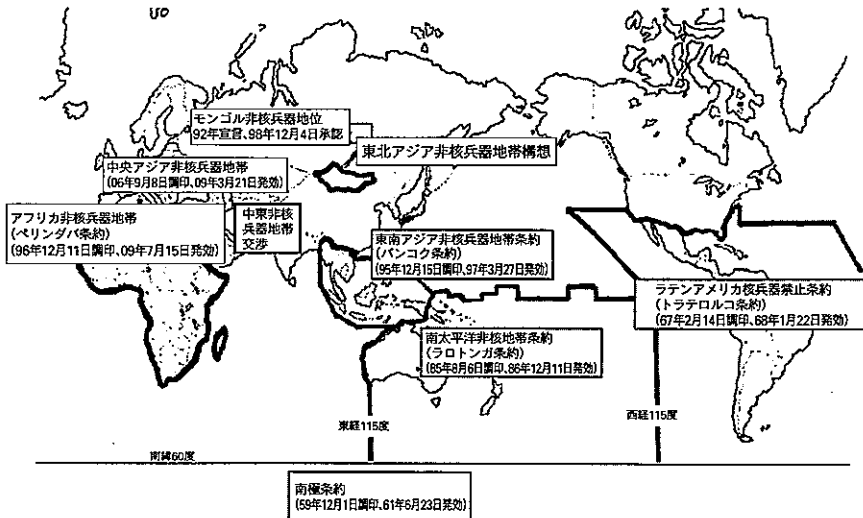


核兵器を幾つもっているかは、二〇一〇年の核兵器不拡散条約(NPT)再検討会議で発表することに踏み切りました。図28に示されているように冷戦が終わる前からどんどん減る時代になっていきますが、このままゼロになるかどうかはわかりません。ヨーロッパの核兵器数がわかつていっているのでそれを見ると、冷戦が終わった後のヨーロッパにまだアメリカの核兵器が五〇〇発ぐらいあって、いまでも二〇〇発ぐらい残っている。しかもヨーロッパの核兵器は、かなりの部分が、ボタン一つで飛んでいくような条件にいまでもなっているのです。

■図28:世界の核兵器保有量



■図29:世界の非核兵器地帯等



■図30:非核都市、非核国、非核地帯から非核の世界へ

・ 成立	発効	非核兵器地帯、範囲、条約成立地(国名)
・ 1959年	1961年	南極条約
・ 1967年	1967年	宇宙条約
・ 1967年	1968年	Treaty of Tlatelolco ラテンアメリカ メキシコ
・ 1971年	1972年	海底条約
・ 1979年	1984年	月その他の天体の協定
・ 1985年	1986年	Treaty of Rarotonga 南太平洋 クック諸島
・ 1995年	1997年	Treaty of Bangkok 東南アジア タイ
・ 1996年	2009年	Treaty of Pelindaba アフリカ 南アフリカ連邦
・ 1998年	(2000年)	モンゴルの非核地位確認
・ 2006年	2009年	Treaty of Semipalatinsk 中央アジア カザフスタン
・ 構想	交渉	北東アジア 1992年/中東 1994年

これはおかしいのではないのでしょうか。どこへ向かってなのか、イランに向かって投げられるのか、ロシアともう一回戦争をするのか知りませんが。

世界中では、いまや核兵器を持たない地域がどんどん増えていきます(図29、30)。南極から始まったのですけれども、南半球はほとんど全て核兵器なしです。北半球もじわじわと広がっています。月も駄目、海底も駄目というわけで、核兵器を置いていいところはますます少なくなっていく。

図31は時間とともに日本の原発数が増えてきた様子です。日本はスリーマイル島が起ころうが、チェルノブイリの事故が起ころうが、立ち止まって考えることもしないで建設を続けてきた。

上の方で平らになったのは、古い原発の解体が、東海村で始まったのと、もう一つは、もう新しい場所は取れなくなってしまったためです。新しく原子力発電所を建てる場所がない。古い所は隙間、隙間に埋めていって、福島だったら六基を第一発電所に置いた。もう隙間はなくなってしまったのです。

超過密にしたことが、福島事故をひどいことにしてしまった一つの原因です。あれがもし一つだったら、もっと早く食い止められたことは間違いないのです。ところがこちらを一生懸命やっているうちに、隣がひどくなってしまう。隣の放射能がひどいから、その向こうはいじれない。こういうわけで、超過密は駄目です。去年、世界平和アピール七人委員会も、そのもの申したのですけれども、これが日本で

■図31:日本の発電用原子炉

- 1966年 東海 コールドターホール改良型 166
- 1970年 敦賀1 BWR 357
- 1971年 福島I-1 BWR 460
- 1971年 美浜1 PWR 340
- 1972年 美浜2 PWR 500
- 1974年 島根1 BWR 460
- 1974年 福島I-2 BWR 784
-

運転開始年 名称 炉型 電気出力 (MW)
 [MWは1000キロワットの出力のこと]

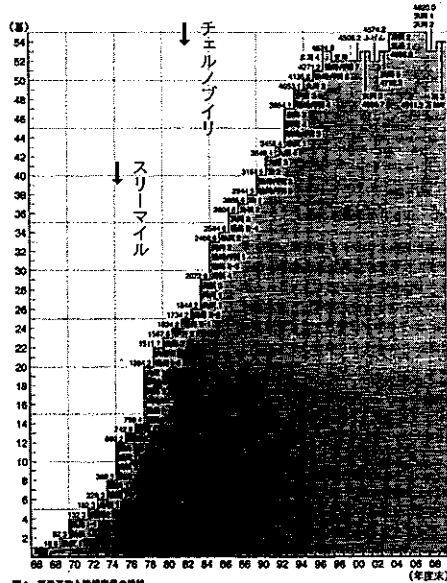
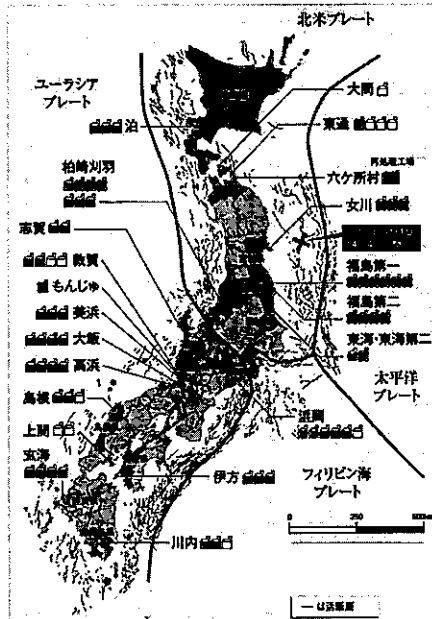


図1-東海原発と美浜原発の経緯

■図32:日本の原発所在地と活断層

日本の原発は、54基から福島第一原発4基の廃炉決定によって50基になった。日本の下で、地球全体にある十数枚のプレートのうちの4つが集まって、力を及ぼしあっている。そのためもあり、日本の下には無数の活断層がある。



す。

図32を見ると、日本は、北海道から関東まではアメリカからつながってきているプレートという大きな巨大な地球上の岩盤に載っています。中部地方から西はヨーロッパからアジアまで来ているプレートの先端です。ハワイからつながっている太平洋のプレートとフィリピンから来ているプレート、あわせて四つが押し合い、へし合い、日本のところであっています。二枚のプレートの境目はあちこちにあるのですけれども、四つのプレートとは大変な場所です。

図32に小さい曲線がいっぱい描いてあるのは活断層。力が加わっているから活断層がいくらでもできてしまう。日本の原子力発電所は活断層の上に置いてはいけないというのを法律でつくったのですけれども、調べてみると出てくるものです。いまある発電所の下に活断層があるということが分かってきて、第三者の調査が始まつたりしている。そういう意味でも、日本は原子力に向かないのです。

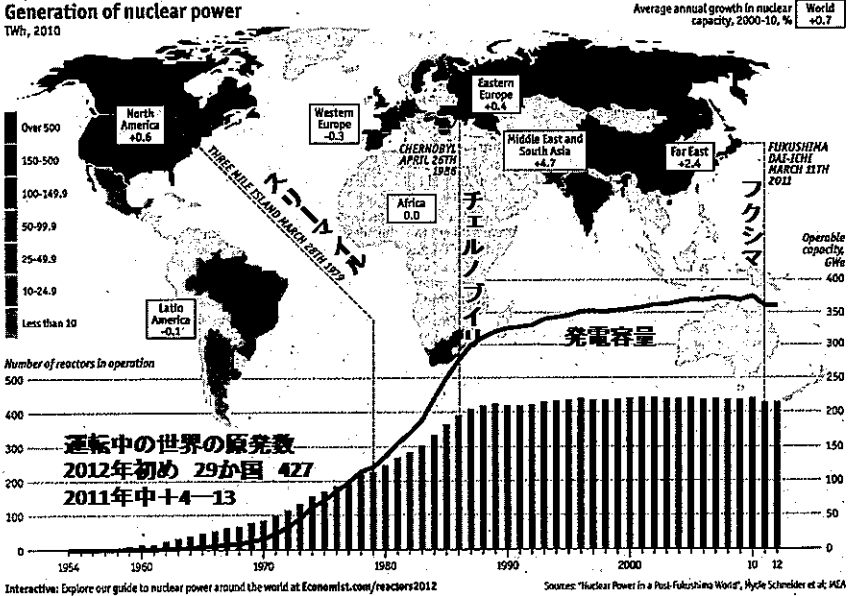
図33を見てください。時間の関係で、下の縦の線とその上の右の緩やかに上がっている線だけ見ることにしましょう。横軸は一九五四年から二〇一二年まで。縦は世界の原発数です。最初に世界中で増えてきたのに、スリールマイル事故によつて、米国では原発増加が止まり、ほかでもわずかですが伸びが緩やかになったと思います。

チェルノブイリからは後は平らでしょう。ちよつとでこぼこしていますますが平らです。世界中で、もう増えていないのです。日本だけです、増やしてきたのは。それにもかかわらず増えていないのは、他の国で廃炉があつたからです。福島からは後は、一年間で九基減つたということを先ほど言いました。これからは昔のような右肩上がりになるという動きは出てこないと思います。

世界の発電容量がわずかに伸びているのは、原発の規模の拡大によるものです。

図34の絵は、「風が吹くとき」というグラフィック・ノベルで、イギリスの映画にもなつたのでご存じの人もあるかもしれませんが。イギリス政府の言うとおりにシエルターをつくつて、保存食品を用意しておいた老夫婦が、

■図33:運転中の世界の原発数

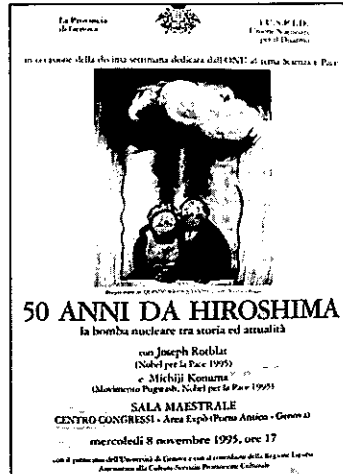


The Economist March 10th 2012

■図34:ブリッグス『風が吹くとき』

R. Briggs, 1982, 1986

ロートブラットと小沼のイタリア講演旅行(1995年バグウォッシュ会議ノーベル平和賞発表直後)ポスターにも使われた「核戦争の放射能による緩慢な影響」を描いた英国のグラフィック・ノベルと映画(日本ではあすなろ書房1998刊と映画1987)



■図35:核兵器と原発の廃絶から戦争廃絶へ 理想か現実か

- ・もしも人が絶望から逃れようとしたならば、未来とは過去の単なる延長ではなく、過去と現在の間には、いまだ顕在化していない全く新しい可能性が実現される場があるという信念を、再び取り戻さねばならない
- 湯川秀樹1968年

■図36:安心して生活できる安全な社会に向かって

- ・村の対立から藩の対立へ 明治維新・西南戦争以後日本国内の戦争はない
- ・ヨーロッパ内での長年の争いの歴史から、今日のヨーロッパ連合へ
- ・南北戦争、その後の人種差別 オバマ大統領
- ・困難を数え続けるだけでは、社会の進歩に取り残される

第三次大戦が始まって、ソ連の水爆がイギリスに降ってきたと言うので、政府の言うとおりにしているけれども、結局は放射線の影響がどうしようもなくなっていくという絵ですが、この絵ののっているポスターの話は時間の関係でやめます。

図35は、湯川の言葉です。先ほども言いましたけれども、未来というのは、いろいろな可能性があるのだという信念を持っている人でした。だから絶望しては駄目なのだ。原発をやめるわけにはいかないのではないかとか、冷戦が終わらないだろうとか、戦争なんてやめられないなどと思っていると時代遅れになるということを、湯川は昔から警告しておりました。

図36で最後です。時間もちょうどになりました。もう一枚あるかもしれないけれども。だいたい戦争というのは、昔は村ごと、藩ごとにやっていて、南北戦争があったり、ドイツとフランスは二千年も戦争をやったり、日本国内でも、本当に最近の明治の始めまで戦争をやっていたのです。しかしこれらの場所ではもう武力対決はないのです。だから核兵器を使って国と国がけんかをし合うような話は、時代の流れへの逆行であろうと、私は信じています。

困難を数えはじめれば、本当に困難はあります。簡単ではないのです。けれども、だから駄目だと言っていると、決して改革はできないし、チャンスが巡ってきたときに捕まえることはできないと私は思うのです。

■図37:まとめ 核兵器と原発の時代を超えて

- 核兵器と原発の最盛期は終わった
- 核兵器解体は続いている
- 核兵器と原発は相互に依存し合っ、今日に至った
- 核兵器禁止条約の実現へ
- 自然エネルギー研究・開発・利用の拡大

5 まとめ

最後の図37はまとめですが、時間が来ましたから、後で見てください。これで止めます。ありがとうございました。

付録 核兵器、原子力潜水艦、原子力発電所の関連

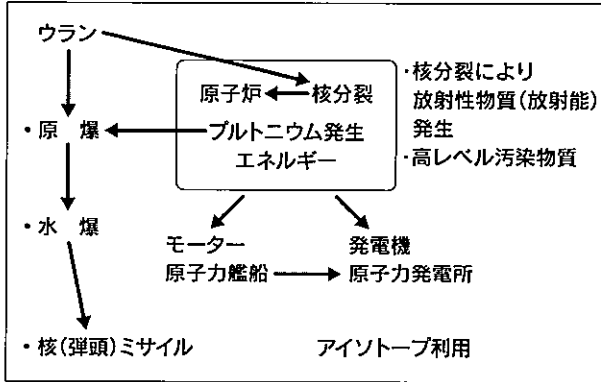
図38の一番左上にウランと書いてありますが、ウランには重さの違うウラン238とウラン235があります。ウラン235は二つに割れる核分裂反応を起こします。ウランの分裂をコントロールしながら連鎖反応をさせる原子炉が一九四二年にできました。原子炉を運転するとウラン238はプルトニウムという天然には存在しない九四番目の元素に変わっていきます。プルトニウムの中にウランと同様に核分裂の連鎖反応を起こすプルトニウム239があることがわかりました。

そこでウランの原爆のほかに、プルトニウムを使う原爆も作られました。一九四五年八月に広島に落とされた原爆はウランの原爆で、長崎に落とされたのはプルトニウムの原爆でした。

水爆ができ、ミサイルが発達して、ミサイルの先に水爆をのせて、現在の核ミサイルという時代になってきたのです。

図38の中央に書きましたが、核分裂でウランが二つに割れるときに、大量のエネルギーが必ず出てきます。右の欄外にありますように、もう一つ、核分裂で必ずできるものは放射性物質(放射能)です。安定の元素に割れる

■図38:核兵器・原潜・原発



ということはないのです。非常にレベルの高い放射能であり、後でそれが汚染物質になり、原子炉の後始末をするのに十万年以上かかるなどと言われています。

でてくるエネルギーを使ってモーターを回すとか、発電機を回すことが考えられました。モーターを回すとか発電機を回すというところだけを見れば、火力発電だろうが、水力発電だろうが、原子力発電だろうが、同じ仕掛けです。元がウランの分裂からエネルギーができたというだけです。

そのモーターを動力に使うって潜水艦ができました。それまでの潜水艦は、何時間か海の中にいると、金魚ではないけれども酸素欠乏になるので、浮き上がって空気を取り入れないとならなかったのですが、原子力潜水艦は原子力で発電し、飲料水もつくれるし、空気もきれいにできるということで長期間もぐり続けることができます。明らかに潜水艦の性能が変わったのです。

原子力空母や、原子力潜水艦が次々につくられました。最初は商船もできませんでしたけれど、これは続きませんでした。原子力艦船の発電機を応用したのが、いまのアメリカの発電炉です。

こういうわけで、原子力発電は全部、軍事的なものからつながってきたし、原子力発電所で原子炉を運転すると、必ず核兵器の材料のプルトニウムができてしまう。実際に、インドにしても、北朝鮮にしても、平和利用と軍事利用の境が曖昧になって、つながっているわけです。

一番右下に書いてあるアイソトープ利用というのは、原子力利用の

もう一つのタイプです。天然に存在する酸素や炭素と異なる、放射能を出す酸素や炭素をつくり、それを使って、いろいろな研究ができます。産業にも応用されています。がんの治療のような医学利用にもつながります。こういう意味で、全部がひとつながりで、今日の社会に存在しているのです。

(慶應義塾大学名誉教授)

【図の出典】

- 図 25' 図 28 S. D. Drell: *Working toward a world without nuclear weapons*, *Physics Today* July 2010 p.30
- 図 26 武谷三男『原水爆実験』岩波新書 一九五七年 一〇五頁
- 図 27 American Physical Society, *Physics and Society*, Vol. 12, No.4, (October 1983) p.12
- 図 29 黒澤満：北東アジア非核兵器地帯の設置に向けて『アシエンズ』第2号 二〇〇三年秋号 四四頁
- 図 31 井野博満：老朽化する原発―特に圧力容器の照射脆化について『科学』二〇一一年七月号 六五八頁
- 図 32 日本の原発所在地と活断層 週刊朝日臨時増刊 二〇一一年五月二十五日号 一八頁
- 図 33 *The dream that failed*, *The Economist*, Special Report Nuclear Energy, March 10th 2012, p.3
- 図 34 イタリアのジェノヴァ市と「軍縮のための科学者連盟」が作成した一九九五年二月八日の I. Rotblat と小沼の講演会ポスター

6 福島県におけるエネルギー開発の盛衰史

荒川 紘

1 原子核(力)との出会い

荒川です。静岡市から東電福島第一原発の事故に見舞われた故郷の福島県に家内とともに戻りました。埴町という中通り南部の田舎で、この地に生まれ育った九九歳の母と暮らしています。この機に大学の勤務も辞めましたが、それでも、学生するとき物理学と一緒に学んだ友人たちと連絡をとりあつて原発について勉強をしながら、発言をしていこうと考えています。ですから、このような発言の機会をあたえられたことに感謝しております。今日は前置きとして、私と原子核・原子力との関わりを語り、つづけて、原発との関連で福島県におけるエネルギー開発の歴史について、主に故郷で手にできる材料をつかつて話をさせていただきます。

私が生まれたのは太平洋戦争のはじまる前年の一九四〇(昭和二五)年です。ちょうど紀元二六〇〇年というところで、盛大な国家的な祝賀行事がおこなわれています。そのころのスローガンが「八紘(やっし)一宇」、私の名の紘も「八紘(やっし)一宇」からとられたようです。ですから、名前から私のだいたいの年齢が分かかってしまいました。私の世代以前には紘はほとんど使われず、戦後には国家主義的だという理由で人名漢字から外されておりました。

戦後の一九四七(昭和二二)年三月三十一日に「教育基本法」と「学校教育法」が公布されて戦時中の国民学校は廃され、翌日の四月一日には新制の小学校が発足しました。私はその新制の小学校に第一期生として入学しています。入学前に母から「国民学校の一年生」という唱歌を覚えさせられたのですが、学校でそれを歌うことはありませんでした。

貧しい時代でした。甘いものがなかなか食べられません、だから、掌いっぱいの黒砂糖をもらったこと、鮮明に覚えております。貧しい時代のなかで、明るいニュースだったのが水泳の古橋廣之進の世界新記録「一八分一九秒〇」の達成と湯川秀樹のノーベル賞の受賞です。古橋やもうひとりの名選手の橋爪という名を刻んだベイゴマをもっていましたし、湯川秀樹については小学校の先生が湯川の伝記を朗読してくれたのを記憶しております。中学生のころには日本の経済も復興し、高校に入学してからは小遣いでアンパンを買うことができるようになりました。

私が原子力と出会ったのは、高校一年のときです。水戸で開かれた原子力平和利用博覧会に茨城県の太子町に住む叔父に連れられ、水戸と郡山をむすぶ水郡線に乗って出掛けています。茨城県の太平洋に面した東海村に原子力研究所が設立されることになり、全国を巡回していた原子力平和利用博覧会が水戸でも開催となったのです。すごい人出でした。大人が多かったようです。原子力発電所の原理のことはよくわからなかつたかもしれませんが、原子力飛行機とか原子力列車の図像からうけたインパクトは大きいものでした。これからは発電だけでなく動力のエネルギーもすべて原子力でやれるようになる、そう思ったものです。

高校二年生のときにはソ連によって人類最初の人工衛星スプートニクが打ち上げられる。原子力以上に衝撃的なニュースでした。私も夕刻の南の空をスーと飛ぶスプートニクの光跡を見ております。翌年にはアメリカの人工衛星エクスプローラーも打ち上げられました。

そして世は高度成長の時代、大学は理工学系ブームです。進学をするならばまず工学部でした。でも、高校で

の授業では文系も理系もまんべんなくおこなわれており、私も文系とか理系とかを意識することはあまりなかったようです。それでも、時代の影響をうけていたのだと思います。数学と物理への関心が強くなつて、仙台にある東北大学の理学部に入学しました。

二年間は教養教育です。理学部でもいくつもの人文・社会系の科目を受講しております。でも、その科目間の関連など考慮しておりませんでした。マルクス経済学を専門とする教師の講義を受ける一方で孔子の研究者が教える中国思想史の話を聴いていました。当時はいまのような講義案内（シラバス）などはなく、担当者がどのような教師であるかも知らず、ただ科目名だけで選択をしたものです。自然系の科目もありましたが、文理融合などとても考えられませんでした。それでも、印象に残っている講義がいくつもあります。教養教育はずっと後になつて役立つことがあるものです。私は三〇年もたつてから中国思想史を担当していた吉田賢抗^{けんこう}先生が著わした『論語』（明治書院）の愛読者になり、賢抗先生の話をもつて反芻することになりました。

数学も印象に残った講義でした。というのは、高校のときの数学とまるでちがう、代数学は群論から教えられ、解析学ではまず ϵ と δ をつかつた連続性の議論にはじまつたのに戸惑つたものでした。私には数学の能力がないのを自覚することになります。数学と物理学に興味を抱いていた私に残るのは物理学、三年生のとき物理学科に進学しました。四年生になると研究室への配属になりますが、私の選んだのは開設されたばかりの森田^{すけだ}右といふ原子核物理学の教授の研究室でした。反戦・平和運動に熱心な教員と大学院生が集まっていたようです。

研究室ではバン・デ・グラフという加速器を組み立てておりましたが、学部^がの学生がそれに関わることはありません。週一回の論文講読のゼミに参加するだけでした。軽い原子核をあつかつた論文の内容は忘れましたが、そのなかのある論文について、大学院生からこれはアメリカ海軍の資金援助をうけた論文で、水爆の基礎研究だと教えられたのはよく覚えています。

私は学部に進学すると、自修会という理学部の学生と教員から構成された一種の自治会の委員に選ばれました。

戦前からの組織ですが、それまで活動が不活発だったようで、予算がだいぶ余っている。文化部に属していた私たちは湯川秀樹か朝永振一郎を招き、地球上から核兵器を無くそうとする科学者の運動であるバグオッシュ会議をとりあげた講演会を開催することを委員会と総会に提案、了承されました。それを森田研の人たちに話したら、森田先生に相談するのがよいという。そこで先生に相談すると、朝永先生のほうが話は面白いだろうということ、朝永先生に電話を入れてくれました。当時東京教育大学の学長をしていた朝永先生は学長職が六月で終わるので、そうしたら仙台に来てくれるということになったのです。

ところが、それまで顔をみせなかつた委員の教員が委員会に出席して、講演会に賛成できないと述べ出したのです。学生が学長を呼ぶなど失礼だ、などともいっておりました。バグオッシュ会議には批判的な教員だったので、学部長も強硬に反対する。そこで自修会主催の講演会は開けなくなり、新しく組織された実行委員会のもとの開催となりました。仙台の西公園にあつた公会堂を会場としたバグオッシュ会議についての講演会は大盛況でした。

こうして私は物理学だけでない、原爆や水爆への問題にも関心をもつようになっておりました。私だけではありません、多くの学生が二年前の六〇年安保闘争では挫折感を味わいながらも、反核と平和運動の大切さを認識していたのだと思います。

2 教養課程——関心は宇宙へ

物理の学生には就職のすごく楽な時代でした。森田右研究室には四人の学生が配属されましたが、そのなかの二人は日立製作所と日本電気への就職が決まり、もう一人は大学院への進学が予定されておりました。ところが、私は卒業できるかどうかが問題、三年生のときにとるべき単位もだいぶ不足していたのです。そこで、四年生の

後半は三年生分の敗者復活戦となり、開講されている講義は片端から受講したので。物理数学Ⅲの受講生は私一人だったので、先生から、似たような講義を工学部の電気通信学科の大学院で開いているからそのほうに出席してほしいといわれ、そうしたこともあり。特殊関数の授業でした。

それでなんとか卒業に漕ぎ着け、東洋大学工学部教養課程の物理学教室で助手の公募があつたので応募をして採用されました。週三回の学生実験を担当すれば、後は自由だという勤務条件でした。たしかに自由な物理学教室で、私は及川浩先生のラマン分光計の実験を手伝いながら、物理だけでなく化学の勉強会にも参加し、数学の先生が開いたり群の勉強会にまでつきあうようになります。学生時代に教養の代数学で戸惑った群論の重要性がわかつてきました。哲学の先生からは東大教養学部山崎正一先生が主宰する哲学会を紹介され、それにも真面目に出席するようになっていきます。哲学の最前線の研究に接することができました。教養というところのいい点ですね。

そういうことで、原子核からは遠ざかり、私の研究のテーマは時間空間論や宇宙論史となり、科学基礎論学会などで研究を発表をしていました。学生時代から宇宙論には興味を抱いておつたのです。宇宙背景輻射はまだ発見されておらず（発見は一九六五年）、ガモフのビッグバン理論は仮説の時代でしたが、高エネルギー物理を専門としていた北垣敏男先生が、授業の余味は忘れましたが、あるとき物理学は基本的には宇宙論と素粒子論と生命論の三つなのだと話してくれたのに共感ができた学生でした。

私は三七歳のとき東洋大学を退職し、浪人となりますが、そのとき海鳴社という出版社から勧められて『古代日本人の宇宙観』という本を書くことになりました。宇宙とはいっても、『古事記』や『日本書紀』に見られる日本神話の宇宙観を分析したものです。私の関心は現代物理学と対極にある日本の神話にも広がっていたのです。

3 原爆と原発の授業

翌年から私は長崎大学教養部で科学史の非常勤講師（集中講義）をつとめました。原爆を投下された長崎です。紹介をしてくれた長崎大学の常石敬一先生とも相談をして原爆の話も入れることにし、そこで大学卒業後離れていた原子核・原子力の歴史を勉強することになりました。

原爆の話には学生も興味をもってくれ、もうすこし話を聞きたいといつて、私が宿泊している長崎大学の敷地の中にあつた宿舎を訪ねてくる学生もおりました。姉が被爆二世を理由に婚約を破棄されたという学生の話も聞いています。長崎のもの同士では理解していても、外ではそうはいかない。だから長崎の女性には長崎を出たがらない、出るならば遠方の大阪や東京に出てしまうという。はじめて聞いたことです。教師生活を振り返って考えると、学生から教えられたこともよくありました。

原発の話もしています。北の佐賀県に九州電力の玄海原発が建設されてまもないころでした。私とおなじ時期にもうひとつの科学史の講義を担当していた山口大学の鈴木善次さんとで原発についての合同授業をもつたこともありました。不本意ながら鈴木さんには原発の賛成論者になってもらい、反対者の私とやり合った後、学生の意見をもとめる授業です。うまくいった授業だと思っています。

こういうことで私はふたたび原子核・原子力の世界とのつながりをもつようになりました。森田研の仲間で大学院に進学、山形大学で原子核を研究、平和運動にも取り組んでいる上野博昭君とは付き合いがつついていました、森田研を継いだ藤平力先生（ついでに）の教えもうけるようになりました。このころ私は東京の小川町にあつた東京職業訓練短期大学校に勤めるようになり、物理学と数学と科学技術史の講義ももつていましたが、学校の性格から原爆や原発の話はしませんでした。ニュートン力学と解析学を科学史的な観点から融合させた授業を試みてい

たのです。

その後、静岡大学教養部で総合科目の科学史を担当する教員の公募があり、応募して採用され、一九八三年から講義をもちました。その就職で役に立ったのが浪人時に出版した『古代日本人の宇宙観』でした。文系科目と理系科目を総合する科目としての科学史の公募でしたので、神話と物理学をむすびつけたということが評価されたようです。文理総合の書だったので。

ご存知のようにアメリカのピキニの水爆実験で被爆した第五福龍丸の母港の焼津港は大学のある静岡市の隣の焼津市にあります。反核運動の地です。三月一日のピキニデーには毎年久保山愛吉さんの墓前祭や原水禁の講演会がおこなわれ、静岡大学も会場になりました。私も何回か参加しております。

焼津市の西には御前崎市に中部電力の浜岡原発があり、私が赴任したときには一九七六年に運転を開始した一号機と一九七八年運転開始の二号機が稼働していましたが、一九七六年には地球物理学者の石橋克彦さんが東海地震説を発表、世界でもっとも危険な原発といわれるようになります。ところが、その後、三、四、五号機が建設されました(二〇〇九年に一、二号機の廃炉が決定)。その危険性を訴え、その研究をしていた同僚の話も聞くようになります。東海地震説についての最新研究もうかがうことができました。

ですから静岡大学の科学史でも原水爆と原発の話には長い時間を割くことになりました。ピキニの実験の被害と原発の危険性には学生もつよい関心をもつてくれました。父が浜岡の原発で働いているという学生からは私の講義の内容にたいしてきつい抗議をうけたこともありました。その学生の真剣な表情をいまでも忘れることができません。その後、教養部の解体や国立大学の法人化があつて、カリキュラムも改編され、科学史の担当時間は減りましたが、二四年間原水爆と原発の話をしつづけることになりました。

静岡大学の定年後は名古屋の愛知東邦大学に勤めますが、ここでも「物質のしくみ」という科目で原水爆と原発の話をしています。モンゴルからの留学生にモンゴルの学校でも反原爆の教育がおこなわれているのを教えら

れるようなことがありました。その在職中に「教師・啄木と賢治」(新曜社)を刊行しましたが、それでも広島と長崎の原爆をとりあげ、そのことで、卒業後ご無沙汰をしていた森田右先生に手紙を書き、長崎原爆が投下された直後に調査に入ったときの状況を尋ね、詳しい返事をいただいたこともありました。

そして、愛知東邦大学では自然エネルギー発電についての勉強をし、学生にその話をおこなうようになりました。その最後の講義をおこなった一月後に東電福島第一原発の事故が起こったのです。

4 東電福島第一原発の事故

その日私は静岡岡の自宅におりました。戦前に建てられた建物は倒壊するかと思われ、ふだん学生には慌てて飛び出してはいけないといっていた私が外に逃げたのです。ついに東海地震の襲来か、浜岡原発のことが頭を過つたのはいうまでもありません。家にもどりテレビをつけると実家の近くの白河市で崖崩れが起き、何人かが生き埋めになっているとの放送でした。震源は三陸沖、マグニチュードは九・〇。岩手、宮城、福島、茨城の各県で大地震が発生し、海岸には大津波が襲い、人と家を呑み込む。そして福島県双葉郡の大熊町と双葉町にまたがる東電福島第一原発の事故です。福島県は地震の少ない地域で、私も日本で最初の原発の事故がおこるとは考えておりませんでした。

やつとのごとくで実家と電話連絡がとれて留守をしていた弟に聞いたところ、母はちょうどディサーピスの日、施設の方に助けられて無事でした。弟も家を飛び出し、揺れのひどさに庭の松の木に抱きついていましたが、門の屋根の瓦が大きく波打つのは見て近くの畑に逃げ出したということでした。土蔵の漆喰が落ち、庭の石灯籠が池に飛ばされ、墓では墓石の頭の部が落下するなどの被害がありました。江戸時代に建てられた母屋には被害はありませんでした。大工さんは古くても昔の柔構造の木材建築は被害が少なかったといっておりました。漆喰や石

の構造物はだめでした。

東電福島第一原発から流出する放射能については、雨に濡れないように、洗濯物は外に干さないようになどの連絡が町からあったということでした。私が実家にもどつたのは三月一八日、前年に亡くなった父の法事の準備がありましたので、東北新幹線も常磐線も水郡線も動きませんでした。東京からはバスとタクシーを乗り継ぎ、なんとかたどり着きました。途中、茨城県に入ると地震で破壊された多数の家の瓦屋根や石塀が目に入りました。それから、静岡と福島を行き来する生活となりました。静岡の知り合いが福島にゆくなら線量計を持参したほうがよい、といつて捜してくれましたが手に入りません。静岡大学の元同僚は放射科学研究施設（第五福竜丸の曝を機に設立された）からガイガーカウンターを借り出そうとしてくれましたが、福島大学に貸し出しているのです。その余裕がないと言われたという話でした。その後、友人がインターネットで調べてくれ、夏になって簡単なガイガーカウンターを入手しています。

ご存じのように、事故の後かなりたつて判明したのですが、風の向きと地形の関係で被害は原発のある大熊町と双葉町と、浪江町、飯館村など北西方向の地域がとくにひどくやられたのです。その方向に位置する福島市にも流れ、阿武隈川をさかのぼり郡山、白河も放射線量が高くなりました。SPEEDIが生かされず、福島県に届いたSPEEDIのメールも県によつて消去され、市町村には伝えられませんでした。その結果、被災者は放射能の高い地域に避難していったのです。

風の方向と阿武隈山系のおかげで実家の付近は中通りでも低いほうで、米や野菜は線量検査の上出荷できるようになっています。でも、この辺りの名産の松茸は摂取・出荷が禁止です。猪の肉も販売ができなくなり、そのため、猪の数が増加、豚の農作物への被害も増えているということです。野放しにされた豚も野生化してその数を増やしています。名物の久慈川の鮎も一時期禁漁となりました。現在は解除され釣り人が見られるようになってきます。

もちろん深刻なのは原発の立地町の大熊町と双葉町と周辺の浪江町、飯館村、南相馬市、川俣町、葛尾村、川内村、富岡町、楢葉町などの市町村です。被災者の一五万人以上が避難したまま、家には戻れず、福島県全体の人口も万の単位で減少しています（二〇一二年だけで三万二三八一人）。

事故は収束などしていません。原子炉を冷却しつづけねばならず、それによって生じた汚染水は保管場所がなくなるほどに増えております。廃炉の見通しもたつていません。原子炉建屋はきわめて高い線量で容易に人が近づけず、一―三号機で核燃料は溶融していることが分かっているだけです。その溶融の状態も明らかになつておらず、それをどう取り出すかは未知の技術、これから開発しなければなりません。東電は三〇―四〇年で廃炉を完了するといつておりますが、どのような計算からこの数字が導き出されたのでしょうか。

除染も遅れています。住居周辺の生活空間の除染さえまだまだで、いまの作業は「移染」にしかすぎないといわれています。避難者の帰還のメドはまったくたつておりません。使用済み燃料がプールに収蔵されている四号機は崩落の危険性が海外からも指摘されてきました。

市町村は頑張つていますが、事故の被災地に故郷を取り戻すのは容易ではありません。事故後もそうでしたが、いまでも責任のある国や東電は被災地に冷たいように思われてなりません。

5 江戸時代の福島県

最初にのべたように私は福島県で暮らすようになって、物理の友人たちと連絡をとりあい、福島原発事故について考えてきました。素粒子物理学や保健物理学を教えていた友人が中心となつて低線量レベルの放射線の影響を研究していますが、私もその仲間に入れてもらつています。科学史の教師だった私は歴史的な観点で福島原発問題を探らねばならないと考えており、今日の話もそれがもとになつております。

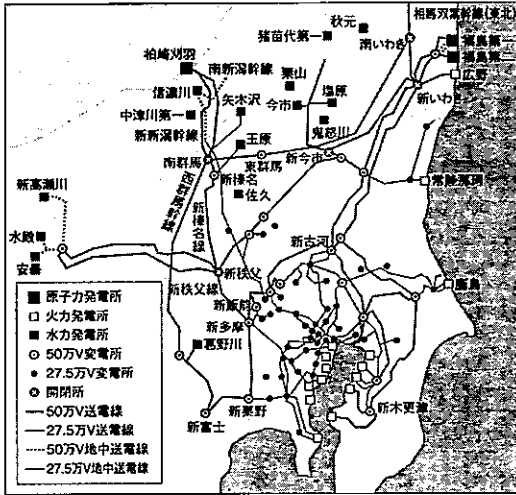


図1 東京電力の発電所と送電網(小出裕章「原発はいらない」幻冬舎、東電の冊子による)

福島県には東京電力の原発が一〇機もつくられ、その電気がすべて送電線で東京に送られていました(図1)。実家の近くにも東電福島第一原発の電気を送るための送電塔が林立しています。写真は私の家から見える送電塔です(図2)。この自然環境にはまったく不似合の施設です。もちろん、いまは電気が流れていません。

なぜ、そんな東京電力の原発がエリアの外である福島県に身で当時東電の副社長(後社長であった木川田一隆氏の働きかけに県が同意し、貧しさに苦しむ大熊町や双葉町が導入を希望したのだといわれてきました。それに国や電力会社の原発は絶対安全との説明を信用もしていたのです。

でも、それだけでは説明ができない。私は福島県の歴史から考えねばならないと思っています。私の話はその福島県の歴史からはじまります。

江戸時代の福島県の政治的な特徴についていえば、一一もの藩が存在していたということです。二八万石の会津藩をのぞけば一〇万石以下の藩です。それに反して北の宮城県は仙台藩の一藩だけです。石高は公式には六二万石ですが、実高は一〇〇万石、江戸で消費される米の三分一は仙台藩の廻米であったといわれていました。藩士も三万七〇〇〇人にのぼります。

それに会津藩、白河藩、棚倉藩、福島藩、磐城平藩などほとんどが親藩と譜代大名でした。それに幕府の直轄領も多く、いくつもの代官所がありました。豊臣秀吉もそうで



図2 わが家から見える東電福島第一原発の鉄塔と送電線(筆者撮影)

したが、徳川家康も伊達政宗の仙台藩を警戒しており、福島県の藩には仙台藩、それに北の外様大名の藩にたいする見張り役を担わされていたのです。幕府の息のかかった土地だったので(図3)。

福島県は山の国で、仙台平野のような広大な水田地帯はありません。幕末、北の旅に出、水戸で会沢正志齋ら水戸学の学者に会った吉田松陰は、陸奥国にはいり、御齋所街道を植田から山田・根岸・齋所(さいしょ)以上いわき市をへて松川・竹貫(たかぬき)・鎌田・仙石(以上石川郡古殿町)、石川・赤羽(以上石川郡石川町)を通り白河にむかっています。そのときの印象を『東北遊日記』に、「上田(植田)より白川(白河)に至る、山簀(やまざ)え道(みち)窄(せま)く、田圃(でんぼ)極めて少なし。鎌田以北は少しく田地あれども亦礪礪(こわごわ)石(いし)がごろごろしている)瘠鹵(せきろ)やせている)なり。其の山水は或は吟人墨客の観に適すと雖も、其の農桑の業に於ては困苦も亦何如ぞや。奥の棚倉は天下の瘠地(やせち)と称す。今過ぎし所は棚倉を距ること甚だしく遠からざれば、則ち造り(つく)観(み)ずと雖も亦推して知るべきなり」と記しています。水田が少

なく、あつても石の多い土地だといひ、そこから南にある棚倉藩の土地は見なくても、世にいわれるように痩せていると推察できるといふのです。棚倉藩は私のところですよ。

たしかに棚倉藩と周辺には山が多く、水田も肥沃とはいえないという松陰の見解は間違つてはおりません。でも、棚倉藩の久慈川の流域の平坦部には米作に適した土地が広がっており、棚倉の南は埜代官領となつていました。久慈川の上流の山地では杉の林業が盛んでした。

麦用、製粉用です。

動力用の水車の発祥は関西です。室町時代に淀川などで使われていた揚水用の水車が製油業者によって菜種を磨り潰すために転用されるようになりますが、灘の酒造業者はそれをさらに精米用にも転用します。清酒を造るには米を十分に精白しなければならず、それまでは足踏みかきふみの唐臼かまゆの精米機をつかつていたのですが、それでは人件費もかかるというので、灘の造り酒屋は六甲山から流れる落差のある水を利用したのです。

灘の現地には多くの造り酒屋が健在です。もちろん今は水車はありませんが、現場を見ると水車に適した場所であったことがわかります。よく六甲の宮水が灘の銘酒を産んだといわれますが、水車を動かした六甲の水が銘酒を産んだともいえるのです。この灘の清酒が江戸をはじめ各地に運ばれて人気を博しますが、水車精米の技術も江戸時代のうちに全国各地に広がります。少年時代には足踏みの唐臼で精米をしながら読書をしていた吉田松陰は平戸への旅の途中で精米や製粉につかわれている水車を見て、その様子を『西遊日記』に記しています。萩では水車精米は珍しかったのでしよう。福島県でも白河藩では藩士の副業に水車の精米を営ませており、城の南を流れる谷津田川やんたがわに四〇もの水車が存在してありました。

明治時代には水車は生糸の製造にも利用されました。政府が模範工場として導入した器械製糸の富岡製糸場の動力は蒸気機関でしたが、器械製糸で成功したのは水車を動力につかった長野県の諏訪の製糸業者でした。蒸気機関は高価であり、燃料の石炭も安くなく、高給なお雇い外国人技術者を雇用する必要もありました。ところが、水車の製造や修理は地元大工がやってくれるし、諏訪湖に注ぐ川や諏訪湖から流れ出る天竜川の水を無料で利用できる。

有数の生糸産地であった福島県でも明治のはじめに二本松や白河に水車を動力とする器械製糸の工場が設立されました。白河では阿武隈川の支流の堀川から引かれた用水に水車が架けられました。図は一度閉鎖され、再開された製糸工場の白清館の図です。白河駅の近くにありました(図4)。

7 安積疎水

祖父の代まで使われていました。水車製材の工場もありません。かげであったのはいうまでもありません。



図4 白清館(『白河市史3』)

製材用の水車も登場します。諏訪湖から流れ出たところでは製糸工場の水車が動いていた天竜川の水は静岡県に入ると、製材工場の動力につかわれる水車を動かしていました(荒川紘「伝統技術と近代化」『日本の科学と文明』伊東俊太郎編、同成社)。福島県にも水車製材が導入されます。江戸時代から水車精米が盛んで、水車の器械製糸工場が設立された白河では製材工場が燎原の火のように広がったといわれています(末尾至行「水力開発Ⅱ利用の歴史地理」大明堂)。

私の故郷である常豊村(現塙町)の常世中野地区にも多数の水車がありました。二〇年ほど前に『世界を動かす技術Ⅱ車』(海鳴社)を書いたときに集落の古老に尋ねたところ、四〇戸ほどの集落に二〇の水車があったということでした。江戸時代の初期につくられた農業用水が利用されました。多くは自家用の水車でしたが、うち二つは酒造の精米用、一つは味噌・醤油の醸造用で、精米や精麦を請け負う賃揚ぎ用の水車もありました。酒造の精米用水車のひとつはわが家のものです。

福島県で最大規模の農業用水が安積疎水です。この国家的事業は一八七九(明治一二)年に起工、一八八一年に

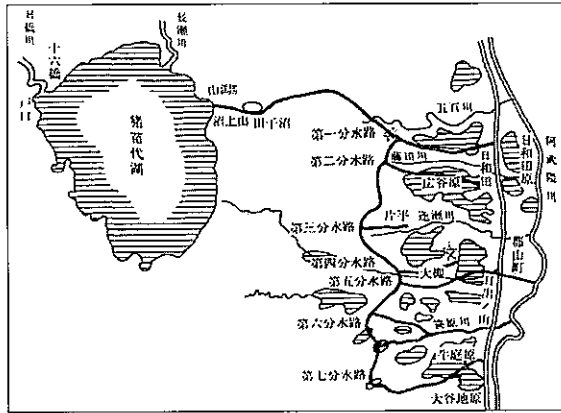


図5 安積疎水の水路(渡辺春也『安積開拓物語』福島中央テレビ)



図6 熱海付近の安積疎水(筆者撮影)

まれない平野に水を注ごうとするものです。約五〇キロメートルの主水路から分路された水が三〇〇〇ヘクターの水田を潤しました(図5)。

写真は磐梯熱海付近の水路です(図6)。管理事務所の方は灌漑用の水が不必要な時期で水量はふだんより少なくなっていると話してくれました。この福島県の「熱海」も有名な温泉地です。伊豆の伊東氏が源頼朝から安積の地をあたえられたとき、伊豆の熱海にあやかっつて、この温泉地を熱海と名付けたといわれています。

開拓には二本松藩につづき、久留米藩、棚倉藩、岡山藩、鳥取藩、高知藩、会津藩、松山藩、米沢藩の士族の

完成しました。京都の琵琶湖疎水の五年前です。

もともとは稲作だけでなく二本松の製糸工場に必要な原料の桑を生産するために二本松藩の士族を安積平野の開拓に入植させることにはじまった事業は、水田の開発のために猪苗代湖の水を安積平野に導く安積疎水の開削に発展しました。猪苗代湖の東にある沼上山にトンネルを掘削、五百川に落とすとして、熱海付近に堰を設け、そこから水路で南に引き、分水路で水にめぐ



図8 久留米水天宮のバス停(筆者撮影)

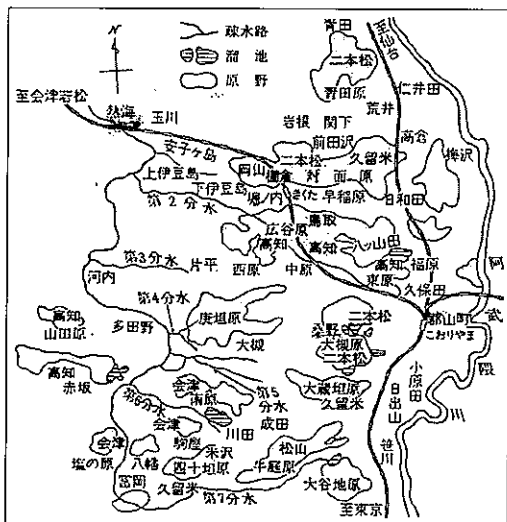


図7 各藩士族の入植地(『郡山市史4』)

約四五〇戸、三〇〇〇名が送り込まれました(図7)。最大は久留米藩の一五〇戸、尊王攘夷運動で活躍した水天宮神官の真木和泉の藩です。久留米藩士族の入植地には水天宮が建てられ、地名も久留米となりました。写真は郡山の久留米水天宮のバス停の写真です(図8)。福島交通の名がなかったならば、九州の久留米水天宮のバス停と思うのではないのでしょうか。

安積疎水にも水車が架けられます。安積疎水工事の責任者であった中条政恒の孫である中条ユリ(宮本百合子)の『貧しき人々の群』は開拓民の苦難を描いた小説ですが、そこには正直者で自殺をしようとする「水車屋の新さん」が登場します。

8 水力発電所——電気エネルギーの時代

一八九七(明治三〇)年に郡山絹糸紡績を設立した永戸直之介は安積疎水の水利権を手に入れて沼上トンネルから五百川に落ちる水の落差を利用する水路式の出力三〇〇キロワットの沼上発電所を建設しました。電気は郡山に送られ、郡山絹糸紡績の動力用につかわれ、郡山の町の住宅の電灯



図9 東京電力丸守発電所(筆者撮影)

も灯すようになりました。一八九五年に営業を開始した福島電灯につづいて県内で二番目の発電所でした。その後安積疎水の下流には竹ノ内発電所と丸守発電所が増設されます。写真は丸守発電所です(図9)。最初に建設された沼上発電所の写真を撮りたかったのですが、駅から遠く、磐梯熱海駅の近くにある丸守発電所を見ていただきます。

明治時代には福島と郡山のほかに、若松、喜多方、須賀川、二本松、川俣、三春、伊達、平、白河、相馬、本宮など主要な町に電灯会社が設立されます。明治の一八年間に一五社、平の一社をのぞき水路式の水力発電です。規模は六五キロワットから九〇〇キロワットまでさまざま、電灯のほか工場の動力にもつかわれました。

大正時代は水力発電所ラッシュの時代でした。大正一五年間に四七の電力会社が生まれます。一年に三社以上です。石城地方の二社をのぞいて水力発電、後であげる猪苗代水力発電を例外として一〇〇〇キロワット以下の発電所です。大半は数一〇キロワット、数キロワットの発電所もありました。こうして山間部にも電灯会社が設立され、急速に電灯が普及します。一般家庭では一〇燭光の電灯が一個か二個です。村の発電所には数キロワットの出力でも間に合ったのです。

水車の村だった私の故郷の常豊村(現塙町)にも一九二〇(大正九)年に水力発電所が生まれました。久慈川の支流である渡瀬川の上流から取水して水路で水を運び、鉄管で落として発電する。出力五二〇キロワット。わが家



図10 東北電力雨谷発電所(筆者撮影)

から一キロメートルほど渡瀬川をさかのぼったところにあつて東北電力の雨谷発電所として現役です。タービンも発電機も当時のままで動いているとのこと。出力もいまでも五二〇キロワットです。私の村にも電気がつきます。祖母は茨城県の高萩町(現高萩市)の実家には電灯があつたが、明治四五年にわが家に嫁いだときはランプだったといつておりました。写真は現在の雨谷発電所の建屋です(図10)。ここに写っている人物は九州の大牟田市で人形問屋を営みながら、反原発の活動に献身している沖牟田龍雄さんです。東日本大震災救援のボランティア活動で岩手県に出掛けた帰りにわが家に立ち寄り、自然エネルギーの水力発電所を見たいというので案内したときのものです。

この発電所の設立については一九一八(大正七)年に白石禎美と荒川常次郎が福島県知事に提出した渡瀬川の「水利使用願」を『埼玉史3』に見ることが出来ます(図11)。水力発電で電気を発生し、その電気によって「電気化学工業」を興したいという願い書です。水力発電を興すには川の利用権の許可が必要だったので、目的はカーバイドなどの製造工場を設立となっておりますが、もちろん、電気は電灯にも使用されました。白石禎美氏はすでに隣村の笹原村(現塙町)に川上発電所を設立しておりました。その後塙町長となります。荒川常次郎は私の祖父です。

この工事の設計と測量はアメリカ人の技師によっておこなわれました。当時のことを知っていた近所の根本末吉さんは子どもころアメリカ人の後について山を歩きまわつたと話してくれたことがありました。大正二年生まれの母はその母から大勢の外国人

〔長〕
「渡瀬川水利使用願」
渡瀬川水利使用願
今般私共俵、本郡内渡瀬川ノ河水ヲ利用シ、電気ヲ発生セシメ、開郡常産村大字下流井地内ニ工場ヲ建設シ、電気化学工業ノ経営ニ關係ニ付、右水利使用ノ儀、何卒特別ノ御承諾ヲ以テ、至急御許可按座下度、別紙關係書類相添ヘ、此段常願候也。
大正五年二月九日
東白川郡常産村大字川上字地ノ内百廿二番地
白石 禎 英徳
同 郡常産村大字常世中野字開卷八郎地
荒川 常次郎
福島県知事 川崎 卓吉殿
起案計画説明書(略)
〔福 白石禎英徳文書〕

図 11 常豊電気工業の水利使用願(『埴町史 3』)

契約証
常豊電気工業株式会社ヲ、新設榎倉電気株式会社へ譲渡シニ付、契約スル事左ノ如シ。
一 常豊電気工業株式会社大正九年四月一日現在ノ総財産及ビ一切ノ権利ヲ金銭拾万四也ニテ、新設榎倉電気株式会社へ譲渡ス事。
一 右譲受ケ金銭拾万四也へ、新会社設立上同時ニ、常豊電気工業株式会社へ支払フモノトス。
右契約書相違無之、其証トシテ左ニ署名捺印候也
大正九年一月十日
福島県東白川郡常産村大字下流井地ノ百廿二番地
常豊電気工業株式会社
専務取締役 荒川 常次郎
前榎倉郡南村大字下流井地ノ百廿一
(新設)榎倉電気株式会社
發起人総代 白石 禎 英徳
〔福 白石禎英徳文書〕

図 12 常豊電気工業の譲渡契約書(『埴町史 3』)

同時に、開業が予定されていた水郡線の磐城埴駅の近くには常豊電気工業が設立されました。江戸時代には埴代官がおかれていた集落、わが家から西に三キロメートルほどのところへです。

『埴町史 3』の「常豊電気譲渡契約証」によると、白石禎美氏は榎倉電気を設立、荒川常次郎が専務取締役をしてきた常豊電気工業は榎倉電気に譲渡されます。雨谷発電所も譲渡されました(図 12)。それで常次郎は電力事業の経営からは離れたようです。水力タービンを動力とする製材所を雨谷に所有していましたが、発電所を設立したのを機に電気を動力とする製材工場を常豊電気工業近くに設立しています。常次郎は酒造の権利と設備は知人に譲りましたが、その酒造会社は酒米の精白を電気モーターでおこなっています。

農村部でも発電所が設置され、家庭の電灯を灯しただけでなく、電気化学の工場が生まれ、水車にかわって精

労働者(工事に動員された朝鮮人のことです)が来ているから近くには行つてはならない、といわれていたそうです。このような発電所でも外国人の手を借りて設立されたのです。日本人も関わっています。常次郎の従弟は測量の助手をしていたが、その後測量技師として自立し、北海道で鉄道の建設に当たった、との話を孫の荒川安弘さんがしてくれました。発電所の建設と

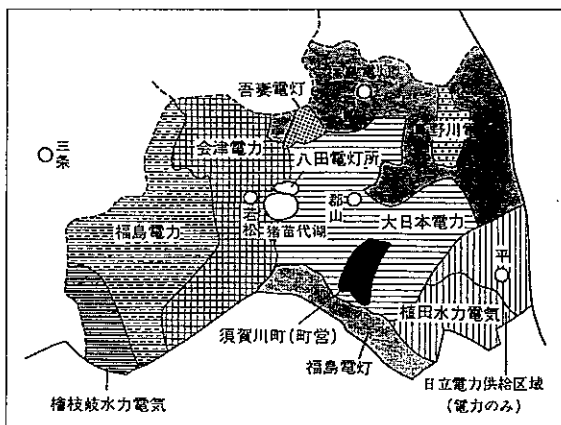


図13 福島県の電力会社の区域図〔大系日本福島3〕コーキ出版

米や製材に使用されるようになります。電気の時代となりました。電気はその土地と周辺の町村で消費される、地産地消です。

常次郎は新しいもの好きで、家業の酒造業を続けるのは気がすすまなかったようです。そのへんのことには祖母からも聞かされてきました。事業は成功とはいええなかつたようですが、私は塙町を製材の町とするなど、地域の近代化に貢献した人間であつたと思つております。木材業を中心にホテルや劇場の経営にもたずさわりました。建物も近代的なのが好きで、製材工場の事務所のほかいくつもの木造洋館の建築に関わつていきます。材木の取引

で東京の木場によく出掛けましたので、その機にも近代的な建築の見聞を広めたようです。私が知っていた常次郎は事業を離れ、療養もあつて白河の町に住んでおり、私はよく呼ばれて白河にでかけています。初孫の私を事業家にしたかつたのかもしれないませんが、このような仕事をする人間となりました。新しいもの好きは共通していたようで私は大学で原子核物理学を専攻したのですが、いまでは歴史に関心をもつ人間になっています。

常次郎は木材業から離れましたが、後継者に引き継がれたようです。製材工場を経営していた中学校の同級生の松本吉弘君が一〇年ほど前、常次郎の製材機は性能がよいので今でも使用していると話してくれたことがあります。雨谷のわが家近くにあつた水力タービンを動力とする製材所は常次郎の弟の昌司が引き継ぎ、小学生だった私も友だちと遊びにいったものです。タービンとノコギリの轟音が耳に残っています。



図14 猪苗代第一発電所（『湖育む』猪苗代湖の自然と歴史・文化を考える会発行）

大正時代には常次郎のような人間が各地にあり、中央の資本からは自立した事業を展開、地方に活気をあたえていたのです。しかし、資本と企業の集中化が進みます。棚倉電気も白河電灯と合併して解散され、白河電灯も福島電灯と合併します（図13）。全国的には東京電灯、東邦電力、大同電力、宇田川電気、日本電力の五大電力の寡占化の時代となります。とくに、工部大学校に学び教えた藤岡市助が創設した東京電灯が最大の電力会社に成長しました。東京電灯は東京電力の前身の会社です。

9 猪苗代湖の電気は東京電力のもの

猪苗代湖から流れ出る日橋川（にっばしがわ）を利用する発電所が設置されたのは一九一一（明治四四）年、日橋川の下流の日橋村（河東町、現会津若松市）で電気化学工業用の日橋川発電所（出力二七〇〇キロワット）です。しかし、落差の大きな上流での発電所は地元の石田千之助と八田吉多によって計画されましたが実現しませんでした。なにしろ黒川城（現会津若松市）の城主だった芦名義広の兵士が伊達政宗の軍に追われて逃げ帰ろうとしたとき多数溺死したという激流です。それを実現させたのは一九一四（大正三）年に財界の大御所だった渋沢栄一らが発起人となって設立された猪苗代水力電気の猪苗代第一発電所です（図14）。出力は三万七五〇〇キロワット、当時東洋一、世界でも第三位でした。しかし、この電気は地元のためにつかわれたものではありません。東京電灯に卸され、鉄塔と装電線で東京に送られました。一九二三（大正一二）年には下流に二万四〇〇

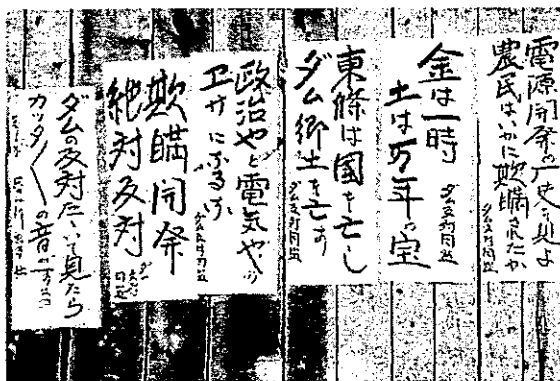


図 17 田子倉ダム反対のピラ(『只見町史 2』)



図 18 水没前の田子倉集落(『只見町史 2』)

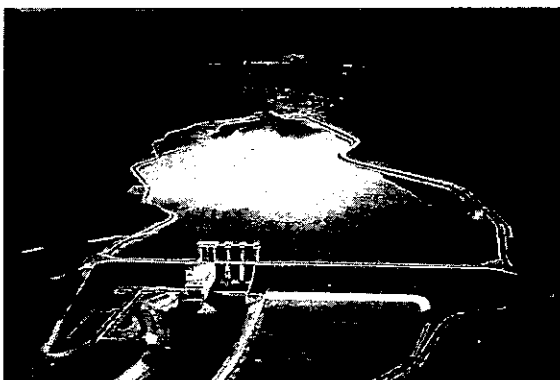


図 19 田子倉ダム(『只見町史 2』)

六一年に完成しました。その後、滝(九万二〇〇〇キロワット)、大鳥(九万五〇〇〇キロワット)、大津岐(三万八〇〇〇キロワット)の発電所が建設されました。只見川の総発電力は一二六万キロワットでしたが、電源開発の発電所の出力は九六万五〇〇〇キロワットにのぼりました。七六パーセントが電源開発、二四パーセントが東北電力となつていきます。

はげしい反対運動もおこりました。写真は「只見町史」に載るダム建設反対のピラです(図17)。「金は一時、土は万年の宝」、賠償金に騙されないという抵抗です。まだ戦後も間もないころです、「東條は国を滅ぼし、ダム郷

土を滅ぼす」とのピラもあります。数戸の人はぎりぎりまで戦いましたが、最後には当時の県知事大竹作摩の斡旋に応じました。田子倉や奥只見の集落はダムの湖底に沈みました(図18、19)。奥只見に「人口五万の都市」が生まれるというのがうたい文句でしたが、一九五五年に一万三二〇〇人だった只見町の人口は一九七七年には七五七〇人と半減したのです。

11 東電福島第一原発

原子力発電についてもこのような水力発電における福島県と東電の歴史を見逃してはならないと思います。すでに大正のはじめに猪苗代湖から流れる日橋川は東京電力のものとされ、戦後には猪苗代湖の全体がそうなり、奥只見の電気も四分の三は東電のものとされたのですが、太平洋に面した双葉郡に東電の原発がつくられたのもその延長線上にあったように思われます。発電方法は変わっても、猪苗代湖や奥只見の電気と同様に、原発の電気もすべて東京に運ばれる。福島県の原子力発電は水力発電に連続しているのです。奥只見の巨大な発電所が完成するころから、原発の設立の議論がはじまりました。奥只見の発電所が「人口五万の都市」を生み出すといわれたように、原発は「仙台のような街」を生み出すともいわれていました。

福島第一原発は六機設立されました。総出力は四七〇万キロワット、平均、七八万キロワットです。二機で只見川の全発電所の総出力一二六万キロワットを超えます。福島第一原発の南につくられた福島第二原発は四機ですが、出力はすべて一一〇万キロワット、総出力は第一とほとんど変わりありません。第一と第二機を併せると、只見川の全発電所の出力の七倍以上です。原発は巨大な電気を生み出します。

しかし、原発からは放射能の危険性を原理的に除去できません。放射性廃棄物の処理や廃炉は技術的に困難だけでなく、その経済的な負担は巨大なものになると見られています。除染の困難さは私も連日見聞きしておるこ



図20 ふれあい科学館(筆者撮影)

とです。

稼働後にもしばしば事故を生じていたのに、東電と国は原発の絶対安全の宣伝につとめ、事故の隠蔽やデータの捏造までおこなつてきました。福島県の住民は原発の危険性を指摘し、福島第二原発では建設差し止めの裁判も起こしていますが、司法の判断は東電と国を擁護するものでした。今回の大事故後でも東電と国、それに県当局もが住民への対応はきわめて不誠実なものであることはご存知のとおりです。

そのとおりですが、福島県の姿勢も見過ぎてはならないと思つています。東電の福島支配をどこかで容認していたように思われます。第一原発の設置のときにはほとんど反対がありませんでした。とくに県当局には東電支配が情性となつていたことを否定できません。今回の事故にたいする振る舞いを見て、福島県民は忍耐強いといわれることがあります、そこには中央の権力への従属意識が底流しているのを認めないわけにはいきません。

原爆とはちがう、「平和利用」だとの気持ちも強かつたと思われ、私もでかけた原子力平和利用博覧会もそうしたキャンペーンの催し物でした。もちろん、原発の立地には莫大なカネも介在しました。賠償金だけでなく、多額の交付金が立地市町村に落とされるようになり、豪華な庁舎などの施設が建設されるようになりました。立地市町村だけではないのです、安積疎水で発電した郡山市には原発はありませんが、郡山の駅のちかくには東電から渡された三〇億円の寄付金をつかつて建てられた「ふれあい科学館」というビルがあります(図20)。駅前には太陽電池に作動している線量計があるのですが、私が出掛けた

ときには一時間あたり〇・二七五マイクロシーベルトを示していました。郡山の線量はもつと高いと思つていたのですが、東電の寄付でできた「ふれあい科学館」ならではの遠慮をしていたのでしょうか。

権力への従属ということでは、福島県の大名のほとんどが親藩や譜代大名であり、幕府の直轄地が多かつたことにもさかのぼれると考えております。江戸幕府から北の仙台藩など外様大名にたいする見張り役を負わせられていたのです。もつとさかのぼれば、東北の支配者となつた平泉の奥州藤原氏を征伐した源頼朝は伊達・芦名・相馬・結城(白河)氏らの御家人を福島県に配したのです。伊豆の熱海にちなんで郡山近くの温泉を熱海と命名した伊東氏も福島県に領地をあたえられた御家人です。福島県は鎌倉幕府の直轄的な土地でもあつたのでした。

12 福島県を再生させるのも民主主義と自治

講演の題を「福島県におけるエネルギー開発の盛衰史」としましたが、地元の間人によつてはじめてられた電気エネルギーの開発は明治・大正時代に隆盛のときをむかえたが、中央の資本や国家の介入によつて衰退していきました。福島の電気エネルギーは東京の隆盛に大きく寄与してきました。東京は盛んとなり、福島県は衰えていった歴史であつたともいえます。

いま私たちにもとめられているのは、事故の原因解明と責任の追及です。東電、国、福島県はもとより、専門家、マスコミへの責任追及を曖昧にしての再出発はありえません。同時に、除染と廃炉とあわせて、新しいエネルギーへの転換とエネルギーの使われ方を考慮しなければなりません。

だが、それだけで終わつてはなりません。東京が盛んになるが福島県は衰えるようなことであつてはならず、そのためには、まず福島県の資源が福島県民のためにつかわねばなりません。江戸時代や明治・大正時代に学ぶことが大切です。福島県は山と水の国、エネルギーも地元資源が生かさねばならないのです。

私は、デンマークの国民は原発を排して、風力発電で成功しましたが、そのとき風車の伝統が生かされたというところに学ぶべきと考えています。といって、日本に風力発電を薦めるものではありません。デンマークは平坦な国土を流れる偏西風が風車に適した風を生んでいたのです。地形が複雑で、台風に襲われるような日本には風力発電はデンマークのように有効であるとは思われません。日本でも国土に適した発電法を生かすべきといいたいのです。その点で日本全体がそうでありますが、福島県は山と水の国です。水力発電と木質バイオマスを生かさねばなりません。木質バイオマスについては木材の輸入を制限することで国産木材の利用を拡大し、製材業と一体のものとしてバイオマス発電を振興させることが必要です。火山県である福島県では地熱発電も有望です。

歴史は福島県にも多数の起業家のいたことを教えてくれます。電気のエネルギーだけでない。人的エネルギーも豊かな県であったのです。

でも、もつとも重要なことは、経営は住民中心でなければならぬことです。外部の資本支配は排されねばなりません。東京による福島県支配が福島県の悲劇を生んだのです。水力発電や木質バイオマスや地熱発電でも住民参加の経営であることがもとめられます。場所によっては風力発電や太陽光発電も否定しませんが、それが中央の資本による支配となるのでは、東電による福島県の支配と変わるところがありません。

この点で想起されるべきであるのは、デンマークでの風力発電の成功を支えているのは、風は住民の共同財産であるという意識と住民による協同組合方式による運営であったということです。住民にとっては景観も地域の貴重な財産なのです。風力発電や太陽光発電でも軽視されてはなりません。なによりも民主主義と自治が大切だということです。それは自由民権運動の主張でもありました。福島県は西の高知県にたいして東の福島県といわれた自由民権運動の先進県でもあったのです。福島県の自由党の撲滅を使命として送られてきた県令の三島通庸みしまとむねと敢然と戦った歴史ももっているのです。

原発は原子核物理学はもとより、化学、電気工学、機械工学、地質学、地震学などの関係する巨大で総合的な

技術なのです。原発問題は経済はもとより政治を抜きには論じられません。それに、私は歴史にも学ばねばならないと考えておりました。日本の歴史だけでない、原発を排し、新しい国造りにつとめている世界の国々の歴史にも目を向けるべきです。あらゆる学から切り込まねばならない人類史的な課題なのです。

(静岡大学名誉教授)

第二部 生命とエネルギーの観点

7 一九世紀末の物理科学的世界観と生命論

—— Vitalism とは何であったか

米本昌平

1 一九世紀生物学Ⅱ「大因果論化」への衝動

一九世紀後半の自然科学者の多くは、いづれ古典物理学によつて世界のいつさいは説明されうるだろう、という多幸的な雰囲気の中にあつた。ただし、生物界は依然として、神による個別創造説や生命独自の原理によつて説明される場面が多々ある領域であつた。生命観に関してわが国では、「mechanism には「機械論」、vitalism には「生氣論」という訳語をあてるのを常としているが、一九世紀ドイツにおいて Mechanismus とは、古典力学を動員すれば生命現象も説明しつくせるとする自然思想の立場であり、対して、Vitalismus はこの見解を否定する立場を意味した。つまり、Mechanismus と Vitalismus はそれぞれ、「力学主義」と「生命主義」とした方が、内容としては当を得ている。

また、「古来より生命の解釈には、生氣論と機械論の対立があり、近代科学が発達するにつれて前者が後退し、後者が勝利を収めるようになった」という教科書的な史観は、二〇世紀初頭にハンス・ドリーシュ（一八六七—一九四二）が提唱した「新生氣論」を、知的主流派が批判するなかで生まれてきた反射的産物と見なしてよい。今日、

生氣論者とされるのは、ドリーシユが出版社の求めに応じて一九〇五年に著した『生氣論の歴史』の中で列挙した人物とほぼ一致する。Vitalismus という概念に対して、われわれは、正統派の眼差しを介して拒絶的に見すぎている、と言つてよい。

一九世紀においては、物理学的手法を生命現象に適用する生理学は、最先端科学であつた。むしろそれは Mechanismus に立脚しており、そこでは「機械論 vs 生氣論」とほぼ同型図式として「因果論 vs 目的論」があり、言うまでもなく、因果論的説明が科学的なものであつた。ただし、生命現象を因果論的に説明しようとする、生命現象には特有な作用因があると、これを生命力 (Lebenskraft) と名づけて説明とする立場がほぼ必然的に登場してくる。これは方法論的に悩ましい問題であつた。そんな中、生理学者のデュ・ボア・レイモン(二八一八—一八九六)は、一八四八年に発表した『動物電気の研究』の序論において、この問題をとりあげ、定式化されたばかりの「力の保存則」を基準に置いて、さまざまな生命力の存在を否定してみせたのである。デュ・ボア・レイモンのこの見解は、その後の自然科学者の生命観に強い影響を与えた。

因果論的説明の科学的、目的論的説明の中世的という図式を、生物界に対して、体系的に描き出してみせたのがエルンスト・ヘッケル(一八三四—一九一九)であつた。ヘッケルは、ダーウインの『種の起原』(一八五九)の発刊直後にこれを読み、衝撃を受けた。そして一八六六年に大著『一般形態学』を著し、ダーウイン進化論の観点から、生物の全形態の由来と形成に網をかぶせ、一大体系として描いてみせたのである。この本のフルタイトルは『有機体の一般の形態学』Ch・ダーウインによって再建された進化論を通して力学的に基礎づけられた有機体の形態科学の全概容』というものであり、彼の自然哲学が端的に表されている。実際、この本には、その後展開される彼の思想のほぼすべてが、先行的に提示されている。ヘッケルにおいては、ダーウイン進化論は、全生物に対して因果論的説明をもたらすものであり、これじたいが即「力学的」説明に相当するものと考えた。ヘッケルは、『カントのラプラスの星雲説』の空白部分を埋めることを、自らの使命と考えていた節がある。自然界のいつさい

は、初源的な「もの」の進化・生成・発展によって自律的に生まれてきたと考え、この立場を一元論(Monismus)と呼んだ。一九〇六年にはヘッケルを名誉会長として一元論同盟が結成される。

ヘッケルの視点からの生物界の体系化からすると、系統発生と自然分類と個体発生は同型の法則、いわゆる「ヘッケルの法則」に従うことになる。ただし、この眼差しの下では、個体発生は系統発生を反映するものであり、個体発生の原因は系統発生の時間に支配されており、比較発生学が唯一の研究手段となる。今日的な意味での発生学が成立するためには、ヘッケルの解釈を批判的に濾過し、個体発生における因果概念を再抽出しなくてはならなかった。その知的作業を行ったのがW・ルー(一八五〇—一九二四)である。ルーはこの新領域を「発生力学(Entwicklungsmechanik)」と名づけ、実験発生学の哲学的基礎を築いた。

2 エンテレキーと情報概念

この時代、生物における形態形成を因果論的に説明するために多くの学説が提案されたが、なかでも抜群に体系だった仮説を展開したのがA・ワイズマン(一八三四—一九一四)であった。ワイズマン学説によると、生殖質細胞のみが、すべての形質の原因である「デテルミナント」を全部受け継ぐ。これ以外の体細胞は細胞分裂を繰り返すごとにデテルミナントが不均等に分配されていき、個々のデテルミナントの支配によって器官や組織が発現していく。この説によると、初期胚を二つに分けるとナイフで切ったような半分の幼生が生まれてくることになる。一八九一年にドリーシュは、ウニの二細胞期の胚を試験管に入れ強く振るという簡単な手法で二つに分離した。すると一つ一つの細胞が小さいながら完全な形をした幼生に育ったのである。この結果はワイズマン学説の否定を意味した。ドリーシュは、長い考察のはてに生氣論に立つことを決断し、その根拠として「調和等能系」概念を提出する。

■図1:調和等能系の定式化の推移

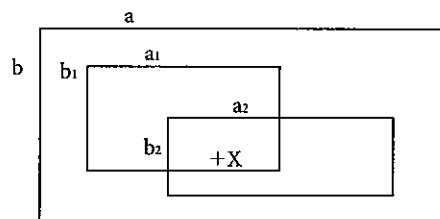
$$(xyz) = \psi[G, R]$$

ただし

G: 大きさ

R: 正常な位置関係

初期位置関係の状態(1899年での表現)



$$B(X) = f(S, I, E)$$

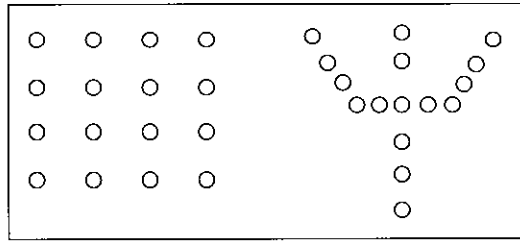
ドリーシュの代表的著作『有機体の哲学 *Philosophie des Organischen*』(一九〇九)における調和等能系の表現はこうである。

系内の任意の点Xが現実にとどる発生運命 $B(X)$ は、系全体の抽象的な大きさS、境界からその点までの距離I、および予定潜在能に含まれる秩序Eによつて決まる。ここで、予定潜在能とは点Xがとりうる可能な運命の一切であり、Eとはエンテレキーの頭文字である。言い換えれば、最大の長方形が正常な調和等能系であり、まがいち何かの理由でその一部が欠けたとしても系内の各点は新たな大きさの位置関係に見合う運命を自動的にとり、小さいながらも正常な形態形成をなしうる系である。ドリーシュは、このような系に該当する機械はありえないとし、以降、彼の自然哲学の基盤とする。

調和等能系は典型的なエンテレキー現象である。エンテレキーは、物質でも力でもエネルギーでもない。それは現象空間には存在せず、空間外から空間内へ、全体的・合目的に作用する自然的な因子である。これはたいへん非合理的な主張のように響く。しかし、今日から見ると、彼は情報に近い概念に気づいたのであり、エンテレキーとは、情報を供給し、その支配下にある系を制御する自然因子であることになる。彼の用語で、今日の情報概念に近いものは「多様度 *Mannigfaltigkeitsgrad*」である。一九一四年の二著作、英語版『生氣論の歴史と理論』と『個性の問題 *Problem of individuality*』の中でこの概念を明確に述べている。次頁の図の説明で、彼はこう言っている。

「存在しているもの間の関係の種類の数、左の状態より

■図2:『個性の問題』p.51



も右の状態の方が多。一つ概念とみなして右の状態を確定するためには、より多くの素概念が必要である。これが『より高い多様度』で本当に意味しているところのものである[『個性の問題』五一ページ]

エンテレキーとは、秩序、多様性、情報性そのものであると同時に、未発現の情報性として、現象空間の中に情報性を供給する作用因であり、各要素の無機的な進行を留保させているものを個別・合目的に弛めて、系全体の要素配分の多様度を高める作用を担う、自然内の因子である。エンテレキーは物質でもエネルギーでもない。しかし、この否定的性格は、当時の自然科学のなかでは突飛な概念ではなかった。同じように否定的性格のみをもつエーテルは、この時代の物理学の枠組では中心的な位置にあった。ただし、ドリーシュを情報概念の発見者と言うことはできない。なぜなら彼は、情報性・配列・秩序は計測できる対象だとはまったく考えなかったからである。ドリーシュは、忠実な古典物理学的世界の住人であった。その

ため、量とはあくまで延長とか強度とか強度という測定によって得られるものであり、彼の言う「多様度」は他の物理的量と同様な意味では測定不可能のものと見えたのである。

ドリーシュの自然的世界観はこうである。現実の現象空間を統御する古典力学が、個々の原子の運動は記述しても多くの原子の相互関係については何ら語らず、熱力学が提示するのはランダム運動のみであり、それが世界の「無意味性 Sinnlosigkeit」をのみ主張するのだとしたら、現実はこの世界に存在する秩序・多様性・個性・意味・目的性はどこからどのようにして生来するのか。ドリーシュは、この難問にとり組むことに一生をささげたのである。ダーウニニズムは、自然選択を仮定するだけで、それ自体は、生物の多様性の起源を説明するもの

ではなく重要性は低いものと考えた。

ドリーシュがエンテレキーを持ち出した一つの要因に、「充足理由の原理」を重視したことがある。生物の発生は、ルーが定式化したように、見えない多様性が見えてくる過程だと考えることができる。ここにも充足理由の原理が適用されるとすれば、見えてきた多様性に見合うだけの多様性の原因群が、あらかじめどこかに存在しなくてはならない。古典力学が占有する三次元の現象空間に、多様性の起源が組み込みえないとすれば、空間の外から空間の中へ、情報性を供給する自然因子が存在しなくてはならない。この意味で、世界は、物理学を超えた超物理学的 (metaphysical) な構造を成しているのであり、生命現象で顕現する秩序は、どこか別象限にあらかじめ与えられているはずだと考えた。彼は、エネルギー恒存則に似た、エンテレキー (秩序) 恒存則を考え、「秩序の力学」の確立を夢見ていたらしい。

ドリーシュのエンテレキーは、発生力学の哲学的枠組みに厳格に従い、発生過程における因果関係の分析から、生命特有の作用様式として抽出されたものである。このような目で見ると、現実の世界では、秩序が増大する例として人間の行動が典型である。それゆえに、心理学を自らの研究対象からはずすことはできなかった。彼の秩序一元論では、倫理・道徳は、個人を超えた人間集団の秩序である。こうしてドリーシュは、個々人の行動による秩序の創出と、個人を超えた「超心理学」次元の秩序の出現の双方の研究に関与した。こうして物理・化学を超えた問題、すなわちメタフィジック (ドリーシュ「形而上学」一九二四、岩波文庫に訳あり) に進んでいく。その哲学は、世界の全秩序を包含するイデー的な存在としてのエンテレキーと、ランダムな存在のみを許す古典力学との葛藤として、いつさいはたち現れ、具体的な「個性性」を獲得するといふものであった。ただし『有機体の哲学』以降、彼の文章は格段に難解となる。晩年には、超心理学研究では重要メンバーとなった。

ドリーシュは、一九〇九年にハイデルベルク大学の自然科学部の私講師になり、一九二一年にライプチヒ大学哲学教授に栄転し、一九三三年まで留まった。ドリーシュは全体性を力説したが、それゆえに全体主義やナチズ

ムに協力したというのは全くの誤解である。彼の秩序一元論とは、倫理が有効に機能する理想世界であり、戦争・ナショナリズム・人種差別・反ユダヤ主義などは、反秩序として排除されなければならない。その論理的帰結として絶対平和主義者である彼は、公然とナチズムを批判した。このため、ヒトラー政権が成立すると、定年を待たず大学を辞職させられた。彼は、『Acta Biotheoretica』(Bd. I, 1935) 及び J. C. スマッツと A. メイヤの全体論を、論理と実証性に欠けるものと批判した。

3 論理実証主義によるドリーシュ攻撃

『有機体の哲学』は成功を収め、ドリーシュは二〇世紀前半の、生命の哲学の大流行の引き金を引いた一人として、第一級の知識人となった。一方で、若い L. ベルタランフィー(一九〇一—一九七二)は『形態形成の批判的理論』(一九二八)を著し、機械論と生氣論とを批判して第三の道として有機体論を主張した。戦前の日本においても、ドリーシュが提示した問題は生物学の中心に位置づけられ、たとえば、丘英通の『岩波講座生物学 生物学概論』(一九三二)、戸坂潤の『岩波講座生物学 生物学論』(一九三二)などは、この問題を中心に論じている。

しかし一九三〇年代に入ると、ドリーシュのような形の哲学を徹底的に批判する学派が登場してくる。論理実証主義派である。一九二九年にウィーンで、M. シュリック(二八八二—一九三六)と R. カルナップ(二八九一—一九七〇)は、「マッハ協会 Verein "Ernst Mach"」を結成し、自然科学全般が危機にあるようにみえる現状に対し、物理学を科学の統一的基盤に置き、「あらゆる形の形而上学・神学的立場に対して断固闘うこと」(マッハ協会設立趣意書)を宣言した。かくして、ドリーシュがウィーン II シカゴ学派の攻撃対象となるのは必然であった。ベルタランフィーは、論理実証学派の理論誌『Erkenntnis』第一巻(一九三〇/三二)に載せた論文「生命問題への道としての有機体における形態形成の事実と理論」のなかで、「神秘的なエンテレキー」と表現してドリーシュ批判の態

度を明確にした。ベルタランフィーはその後、「エンテレキー抜きの有機体論」からシステムへ進み、知的社会の中での地位を獲得した。

論理実証主義派からのドリーシュ批判としては、P・フランク（二八八四—一九六六）の「因果法則とその境界」（一九三二）が決定打とされている。実際、ここでのドリーシュの扱い方は、その後、定番のものとなり、広まった。フランクはこの本の中で、ドリーシュの主張をいったんは正確にレビューした上で、「エンテレキーは旧いアニミズムの現代的な表現以外の何物でもない」のであり、「スピリチュアリズムを基盤とする説明を妥当なものとはみなすもの」であると表現した。その一方で、ベルグソンはあくまで思想家であり、科学的主張ではない、として攻撃の対象からはずしている。

ドリーシュは第二次大戦開始直後の一九四一年に死去したが、戦後は一転して知的世界の憎悪を一身に集める、非科学の象徴的存在とされてしまった。正統派にしてみれば、ドリーシュは、目的論・形而上学・全体論・思弁的・ダーウィニズム批判・唯物論批判・エンテレキー・超心理学など、非科学的な素材がすべて揃った亡者と映った。ドリーシュの著作はすべてが破産財とみなされ、系統的黙殺の対象になった。知性的社会におけるドリーシュに対する憎悪はすさまじく、正統派による啓蒙の残酷さ、罪深さは、それ自体、冷酷な歴史の一面と見るより他ない。知識人も時としては、不利とみえる者にさらに石を投げつける凶暴さを示すことがあるのだ。第二次大戦後はまるで思想次元での「ニュルンベルク裁判」があつたかのように、「全体論Ⅱ悪で危険」、「生命論Ⅱ形而上学的墮落の一步」という価値観が蔓延し、思想的殺菌が行われた。生物学者たちは、形而上学的・思弁的・觀念的、あるいは「生氣論者」というレッテルを貼られるかも知れない恐怖にかられて、自ら実験と観察に忙殺される風をよそおい、消極的実証主義の殻に閉じこもつた。生命論は忌避され、生命現象からの直接的な抽象化の試みはほぼ壊滅した。

4 ドリーシュの仕事と生命現象の認識論

だが、第二次世界大戦で軍事研究に従事した者にとっては、目的論的な思考は、とくに情報に関わる研究に不可欠な概念であることは常識であった。A・ローゼンブルース、N・ウィナー、J・ビッグロウは、科学哲学の理論誌『*Philosophy of Science*』に、「行動」目的および目的論』(Vol.10, 1943)という論文を発表し、「フィードバック」概念を提出して、これに「目的論的 teleological」という形容詞をあてることの正当性を論じた。同じ時期、E・シュレディンガーは名著『生命とは何か』(一九四四)で、「生命は負のエントロピーを食べて生きている」と表現し、課題のありかを指し示した。戦時下の予測理論の研究は、戦後に情報科学として花開き、ウィナーの『サイバネティックス』(一九四八)、シャノンの『コミュニケーションの数学的理論』(一九四九)として結実した。なかでもシャノンの著書は、記号伝達の理論研究から、情報の量を負エントロピーとして数学的に定義したものであり、ここに、ドリーシュ問題の一部は決着をみたことになる。エンテレキー抜きに生命論を展開したベルタランフィーは、より一般的な理論化をめざし、「一般システム論」(一九六八)を著した。

一方、一九六〇年代半ばになるとつじよ、生気論批判の思潮がわきあがってきた。DNA二重らせんモデルの発見者の一人であるF・クリック(一九一六—二〇〇四)は、一九六六年に『分子と人間』を著し、その冒頭に「正確な知識は生気論の敵である」という標語を掲げた。クリックをはじめとする有力な分子生物学者らは、その成功を生命現象のすべては物理・化学によって説明できたことの証しだとして、機械論の全面的勝利とみなそうとした。だが、分子生物学の成功を機械論の勝利へと回収しようとする想いとは裏腹に、分子生物学の成果によって変質したのは、科学者の分子観の方であった。分子生物学の内容は、それまで生化学が前提としてきた、触媒反応などの特異性を一気に深化させ、度はずれに高度な機能性と合目的性をまとう「生体高分子」観の地平を

開くものであった。分子生物学の到来とともに、分子が物質を「認識」したり、情報を「転写」したり、「自己複製」する、という表現を当然のことにように使用し始めたが、粒子的分子を想定してきた古典的物理学の伝統からすれば、かくも擬人的な表現を分子に充てることなど、かつては絶対的な禁忌手であった。

たとえば、DNAの二重らせん構造は、それ自体は伝統的な分子科学の延長線上にありながら、二〇世紀前半の科学的常識からは想像もつかない高度な機能を、分子そのものが体現している。古典物理学の前提では、分子はランダムに動き回る存在であり、隣り合った分子や残基は一般的な化学反応の関係以上のものは担わない。ところが分子生物学の内容は、DNA分子の内側に並んだ塩基配列そのものが意味をもつという、それまでとはまったく異質の考え方を強要するものである。分子を構成する塩基の配列が任意でありえ、かつ隣り合った塩基の並びが意味を持つ、すなわち、構成分子そのものが情報の担体となっているのである。二〇世紀前半までの自然科学には、こういう発想は存在しなかった。

近年、DNA分子が担う意味は重層的であることが明確になり、DNA分子は複数象限の生命現象の引き金が、二重三重に編み込まれた巨大な情報の地平という認識に変わってきている。実際、一九八〇年代にホメオボックス遺伝子が発見されたことで、発生における分化と調節という問題は、DNA上に並ぶ制御遺伝子の研究へと再編されていった。ホメオボックス遺伝子とは、体節分化を司るスイッチング遺伝子である。こうして、形態形成・発生分化の研究は、階層的な制御遺伝子の研究へと姿を変え、同時に比較発生学や進化の問題とも出会うことになった。九〇年代末には、DNA自動解読装置が商品化されたことで、二一世紀人の眼前には、広大な「ゲノムの自然」が展開し始めている。こうした大規模なゲノム解読によつて、これまで沈黙領域とみなされていたDNA配列が大量にRNA転写され、調節機能を担っている事実も明らかにされ始めている。ゲノム時代の到来によつて、*evo-devo* (進化と発生を同時に視野に入れること) という視点が獲得され、二一世紀の研究者は、発生・遺伝・進化の概念がまだ未分化であった一九世紀のヘッケルや、カール・フォン・ベアの比較発生学などの

視点に回帰し始めている。

○二年三月一日付「Science」の特集「システム生物学」の序文のタイトルは「全体主義的な生物学 Whole-istic Biology」であった。そこでは、ベルタランフィーの「一般システム論」の冒頭を引用し、二二世紀のシステム概念が三五年前のそれと寸分違わぬことを指摘した後、こう言っている。「ハンス・ドリーシュが観察し、自然科学の概念では説明できないものとして、彼が生氣論を信奉するに至った現象が、遺伝子レベルでの調節ネットワークとして説明できるようになったことに、ベルタランフィーは満足するに違いない」。

このような思想史の延長線上に、現在の生命科学の光景をおくとどうなるか。格段に進んだ解析技術によって桁外れに大量の情報が蓄積され、とくに細胞内反応系の強靱で複雑なネットワークが明らかになり始めている。この膨大な生体情報を人間が理解するためには、情報の的確な縮約と抽象化の作業を方法論として採用することはもはや不可避である。これまで「形而上学的」だとして封印されてきた、生命現象から直接抽象化を行う作業が解除される日は、目前に迫っていると考えてよい。

(詳細については、米本昌平「時間と生命」書籍工房早山、二〇一〇年を参照)

(総合研究大学院大学教授)

8 心身一元論者からみたエネルギー

齋藤成也

総研大の遺伝学専攻の齋藤と申します。この鈴木先生のプロジェクトと並行して、われわれも「現生人類の拡散による遺伝子と文化の多様性創出に関する総合的研究」というものを立ち上げておりまして、その主催で今月三月三〇日に一橋記念講堂で「考古学における年代測定の重要性」というものをやりますので、興味のある方は来ていただければ幸いです。

今日は「心身一元論者からみたエネルギー」ということで、もうすでに、ちょうど丸一年の時間が、鈴木先生がお話しされているときに過ぎましたけれども、大震災の日である三月一日ということで合掌をささげたいと思います。

私の世界観としては、すべては有限である。宇宙も有限。すべては偶然に左右される。これは後でも述べます中立進化論から出発した考え方であります。それから、すべては時間の流れの中にある。すべては歴史であるということであります。

実は今日お話しすることの一部は、ウェッジで出しました『生物学者と仏教学者 七つの対論』という本の中に書いたもので、そこを読んでいただければ幸いです。仏教学者の花園大学の佐々木閑さんと一緒に書いたものであります。

先ほど米本先生から、いろいろお話がありましたけれども、アリストテレスは、われわれ現在の進化学者の目から見ますと、いろいろ問題はあるものの、人間から無生物まで全部をまとめて考えて、ある意味での連続性を示したというところで一元論と見なすこともできるんじゃないかと思えます。もちろん、彼はいろいろな生氣論的なことも言っておりますが、やはり偉大な最初の動物学者。彼は動物学の祖と言われております。

先ほどのドリーシュの話にちよつと関係してくるんですけれども、これはラファエロが描いたバチカンにある絵ですけれども、ダビンチがモデルと言われているプラトン、ミケランジェロがモデルと言われているアリストテレスで、それぞれの手の方向で当時のルネサンス時代の考え方を端的に示していると思えます。プラトンはイデアの世界、アリストテレスは大地が重要だと言っているわけですね。ですから、弟子が先生にちよつと盾突いているという感じで非常がいいと思えます。

私も紅衛兵時代に育つたものですから、造反有理、これ、いいですね。私、大好きです。ですから、私の学生には常に私に齒向かえといっています。もちろん、論理的にだけです。論理的がすべてですから、論理的なもので論理的に私を打ち負かせば、それはそれでいいと思うということでは言っております、造反有理。

さて、ここで現代風に言いますとモノは物質です。コトは情報と考えることができます。ではないかと思えます。一方、論理世界ではイデアを情報と考えることができます。こういう安っぽい言葉でイデアを言つてはいけないうと哲学の方がいらつしやるかもしれません、ざつくり言えば、そういうことであります。ですから、ルネサンス、あるいは、この古代ギリシャの時代から、物質と情報というのは非常に重要な二項対立であつたのではないかと思えます。

先ほど白上先生の名前を懐かしくお聞きしたんですけれども、私はG・G・シンプソンの『動物分類学の基礎』というタイトルの本の翻訳者としてだけ存じ上げていたんですが、数年前に、現在は京都大学を定年で辞められて、沖繩のOIST（沖繩科学技術大学院大学）にいらつしやる佐藤矩行先生にお聞きしたことがあります。何か

のときにドリーシュの話になったら、佐藤先生が、実は白上先生から聞いたんだけど、「あの当時は情報概念というものがなかったので、ドリーシュは仕方なくエンテレヒーと言ったけど、あれは、いまから見れば情報だよと先生はおっしゃっていた」とお聞きしましたので、今日、米本先生がお話しされたことと軌を一にしたいと思います。

ただし、われわれ遺伝学者から見ると、もうメンデルが、ある親から子に伝える何か、まだ当時は分からなかったからブラックボックスですが、何かの物質が親から子に伝わって、それが遺伝子であると考えていました。

ですから、メンデルのときからモノ、ある微小な物体、実際ではDNAですけども、それに遺伝子という情報に乗っているというものは、ある意味で明らかでした。ダーウィン自身が descent with modification (継承を伴った変更(変更に伴う継承))と呼んでおります。

Descent は親から子へ継承されるということで、これは、ダーウィン自身がパンゲン説ということで、体中のいろいろなところから集まって子どもに伝わるといって獲得形質の遺伝を説明するための、間違っではいまいたけれども、非常に美しい理論をつくっておりますので、彼も認識しておりました。

ですから先ほどお話を聞いていて、ちよつと思つたんですが、ドリーシュが否定した前成説。ある意味で現代の遺伝学者は前成説の継承者ですね。だって、DNAは親から子に伝わって、もう受精卵の中にありますから。

そのドリーシュが否定した前成説ですけども、それが実は、後成説、つまり、それから発生が起るわけですから、それにつながっているということで、後成説のある意味での現代版の継承者は発生学者ではないかと思えます。

現在でも発生学者と遺伝学者は、実は仲が悪い。結局、DNAを中心にしている遺伝学者は、それが親から子に伝わっていつて、遺伝物質だから当然それが中心であると考えます。ところが発生学者は、いろいろなマクロな形態が出てくること自体が重要なので、そちらの方がより本質であると考えてるわけですね。これは、古代ギリ

シャのモノとコトの対立にまで、さかのぼると思っております。

現在、これも先ほどご指摘があつたように、コンピュータが二〇世紀の後半に広がつて、人類文明のバックボーンになつてきているわけですが、そこで、ますます情報ということが前面に出てきておりますけれども、それでいいのか。

結局、AI (artificial intelligence) の研究からは、いまだに、おそらく原理的にも全然、人工能がつくられておりませんし、あるいは論理的な相互関係で物質世界を含めたすべての世界、この宇宙を説明できるのかということ、現在でも哲学的、あるいは自然科学の中で大きな問題となつておりまして、対立は続いていると思ひます。

私は南方熊楠が大好きなんです。彼は「南方ロンドン書簡」の中で、筆でベン図 (Venn diagram) を描いているんですが、「こと」の世界を、「ところ」の世界と「もの」の世界の共通集合として彼は捉えております。

彼の前に、こういうことを言つた人がいるかどうか私は知りません。ひよつとしたら科学史、あるいは哲学の世界では、もうそういう方がいらつしやるかもしれませんが、日本人では初めてだと思ひます。これは明治時代ですから。

これは、結局、われわれの心というのは、ここが自意識、あるいは意識に上ることができ、われわれの心ですね。コトでない心というのは無意識の世界です。彼が仏教者に宛てた手紙ですから、無意識があるというのは仏教では当たり前で、別にフロイトに言われなくなつて、もう二千年前から分かつているわけです。

次にモノ。モノの中の一部分がコトだということは、われわれがモノを認識しているという状況がコトだと考えます。したがつて、認識できないものがまだいっぱいあるということ、これが自然科学のターゲットであつて、われわれは、このコトの部分、なるべく広げていこうというのが、実際に自然科学でやっていることになるかと思ひます。

このように、「こと」と「もの」は、南方の考えでは、「もの」の中に包摂されるということ、これはある意味で唯物論でありますけれども、また一方で、「もの」と「ところ」を、このように対立させているということ、心身二元論にも見えますが、非常に秀逸な世界観であると私は非常に高く評価しております。

ルネサンスが出たついでにダビンチを挙げます。ダビンチが描いた絵からわかるのですが、動物の骨の相同関係に彼はもう気が付いていた。残念ながら彼は公開しませんでしたので、もし彼がこういうことをちゃんと公開して発表していたら、比較解剖学の祖として、キュビエなんかよりも、もうはるか何百年も前に進んでいたかもしれないですが、残念ながら、そういうことにはならなかったわけですね。

リンネですが、彼は進化の考え方は言っておりませんが、宗教的に非常に敬虔だったと思われるリンネが、なぜか、われわれ人間を霊長類(Primate)、サル仲間に入れております。非常に現代的で、やっぱり素直に考えたら、そうならざるを得ないということで、彼はデータに従ったんだと思っております。

そして、一八世紀には、ビュフォン、エラスムス・ダーウィン(チャールズ・ダーウィンの祖父)、それから、ラマルク、こういう人たちが出てきます。ラマルクの本は一九世紀の初頭ですが、いろいろ考えたのは一八世紀です。それで、進化論の萌芽が出てきて、チャールズ・ダーウィンになるわけです。

先ほどウィリアム・ペイリーの本の話も、ちよつと出てきてまいりましたけれども、ダーウィンはケンブリッジ大学で学んだときに、ペイリーの本がテキストだったそうです。ですから、私もちよつと今日まで知らなかつたんですが、結局、目的論を否定してということが当時モダンだったとすれば、それはそれで非常に進歩ですよね。

でも、ペイリーたちのあの考え方では、現在のわれわれから言いますと、負の自然淘汰、つまり悪いもの、有害な突然変異を切り落とすというところは、つまり、天地創造から生じている生物の不動の分類体系と言いますか、生物の世界を維持するための重要な要素として、当時から受け入れられておりましたけれども、ダーウィンは、

そのマイナスをプラスに変えて、正の自然淘汰を発明したわけであります。

でも結局、私の目から見れば、私は二〇一一年に『ダーウィン入門』を書いたのですが、そこを読んでいただければ分かりますけれども、正の自然淘汰は実は神様の力というものをすり替えただけで、結局、目的論的なものに陥ってしまっているということを私は主張しております。

物理学者をちよつとばかにさせていただきますと、ケルヴィン卿ですね。彼は宗教を信じていたらしいですけども、いろいろ計算して、ニュートン力学で計算すると、地球の歴史は、せいぜい一億年だと。それで、ダーウィンは当時、困ったそうです。ダーウィンと同時代ですから。

つまり、当時の地質学の知識では最低でも三億年、現在では四〇億年ということになっています。カンブリア紀、カンブリア爆発が五億年以上前ですから、当時の地質学の知識では五億年よりもさかのぼるのは、まず間違えなかつたんです。ところが一億年と言われると困ってしまつて。結局、彼の後に発見された放射性物質によつて、実は地球が暖まつているということ、ざあつと伸びたということ、やはり現在の、知られている知識だけものを言うということは、いかに危険かという、いい例であると思います。

つまり、彼が批判した方は五億年より古いという、これは客観的なデータがあるわけですから、やつぱり、それをちゃんと認めなくてはいけないと思ふんですね。データと法則に基づいた予言が矛盾していれば、それはデータが悪いのではなくて法則が悪いのだ、あるいは、未知のものがあるのだということ、放射性物質の発見まで待たないといけなかつたのではないか。やつぱり僕は、彼は傲慢だつたと思ひますね。

先ほど出てきたヘッケル。ヘッケルがナチスドイツに、いろいろ利用されたというのは聞いてはいたんですが、いまでもヨーロッパで非常に大きな敵意があるというのは、ちよつとびっくりしました。

というのは、生物学では、もうヘッケルは素晴らしい方です。彼の描いた系統樹は、ダーウィンが描いたそつけないのと比べれば素晴らしい系統樹で、しかも、お話があつたように、「生態学」という名前をつくつたという

ことで、ヘッケルは少なくとも進化学の中では非常に尊敬された存在であります。

それから、これは佐藤勝彦先生が本に書かれたものをちよつと紹介させていただきます。私は昨日、参加しておりませんでした。池内先生がすでに紹介された「四つの力」を、まだ、これは仮想的ではありませんけれども、これを出したときに、佐藤先生によれば、「これがヒトで、これはチンパンジーで、これがゴリラで、これがオランウータンみたいに思つて描きましたよ」とおっしゃつた。

なるほど、物理学の力にも系統樹があるということ、すべては歴史であるということは物理法則にも言える。法則自体が進化しているわけですから、いくら短くても宇宙に歴史があつてということ、これで明確ではないかと思ひます。

それから、ダーウィンですけれど、やつぱり非常に素晴らしい方で、「ダーウィン自伝」は現在では文庫本になつてゐるようですが、これはノラ・バロウという孫娘の一人がきちつと編集して、一九五一年に出版したものの翻訳だそうです。

ダーウィンが死んだ後に出たこの自伝は、ダーウィンの奥さんのエマがいろいろ削除してしまつて、宗教に反することは、けしからんというので夫婦の対立があつたようですけれども、現在では、ちゃんと載つております。

ダーウィンはその中でいろいろなことを言つておりますが、「宗教上の信仰」という章があります。このようなチャプターがあること自体、素晴らしいと思つてますが、もちろん彼は無神論者でした。

彼の若き親友であつたトマス・ヘンリー・ハクスリーがつくり出した「不可知論者」、英語では agnostic の反対で agnostic に、とどまらざるを得ないと言つておりますけれども、結局、彼は実は若いころから、もうおかしいなと思つていたらしくて、そういう意味で、やつぱり、まっとうな進化化学者ですね。

私はいままでに、いろいろな欧米の進化学の研究者に聞いてきましたけれども、みんな、「キリスト教、何ぞれ」とかいう感じで全員、無神論者です。残念ながら私の研究室に最近来たナイジェリアからの留学生はパプテ

イストなので、彼を何とかキリスト教の影響下から外そうと思っただけでも、そういうことがあります。とにかくキリスト教的な考え方は私にとって徹底的に攻撃する対象であります。

『ダーウィン入門』は、震災の一日前の三月一〇日に出しましたので全然、売れていませんけれども、読んでいただければ幸いです。ダーウィン信奉者から見ると、とんでもない本ということのようです。私は非常に注意深く、ダーウィンの世界観もダーウィンが研究した他の分野も、ちゃんと書いて、ダーウィンを尊敬しているつもりなんですが、先ほど言いましたように、正の自然淘汰については、いまだに中立進化論が置き換わっているで、徹底的に攻撃しております、そこはかなり、おかんむりの方がいるようであります。

ということでも中立論です。私が研究しております国立遺伝学研究所で、ずっと研究された木村資生さんが一九六八年に『Nature』に出した短い論文と、その次の年の一九六九年に『Science』に出された『Non-Darwinian Evolution』というタイトルで、キングとジュークスが出した論文、この二つの論文がきっかけとなって広まっています。

要するに、こういうことであります。突然変異は膨大な数がありますけれども、大部分は消えていきます。これは中立論も淘汰論も認めているのですが、意外とこら辺が、ぴんときていらつしやらない方が多いと思うんですけれども、これは膨大です。

ごく一部が残るんですが、残るのが、ほとんどすべては生存に有利な突然変異だというのが、いわゆる進化の新総合説の考え方で、一九六〇年代の中頃から一九八〇年代ぐらいまでは一世を風靡した考え方でありました。それに対して、それはごく一部で、大部分は偶然による中立突然変異によつたものだというのが中立論で、現在の少なくともゲノムレベル、あるいはタンパク質レベルの進化論の、進化のメカニズムの中核となつております。発生学者が興味のある肉眼で見える骨、あるいは動物行動とか、そういうものに関しては、まだまだ、そう思っていない方がいらつしやいますけれども、それは研究が進展すれば、どうなるか決着がつかます。

自然淘汰。これは個体数が無限を仮定した、つまり、中立があり得ない場合は、ちよつとでも有利であれば必ず増えていきます。ですから、銀行に複利で利息1%とか2%で預金を預けておけば、一千年ぐらいたつたら、それは何千億円になるというのは計算すれば、すぐ分かることで、そういうようなことであります。

ちなみに、ダーウィンは非常にそういう利殖が上手だったそうで、ダーウィンのお父さんも非常に大金持ちでしたけれども、ダーウィンが死ぬころには彼の子どもたちに、ものすごく莫大な財産が継承されたということがあります。

ところが、実際の一個一個の細胞を見てみると、細胞分裂が起こって、これは全部、有限の世界ですから、実際には有限世界の現象を考えないといけないということになります。

それは遺伝的浮動でも同じです。これは単純な二項分布ですけれども、最初の状態から偶然に減つたり増えたりする。別に生存に不利だから、あるいは有利だから減つたり増えたりするのではなくて、偶然が全部、左右しているということがあります。

それをコンピュータでシミュレーションすると。コンピュータというのは、全部、計算しかできないので、擬似乱数を生じさせた、いわゆるモンテカルロ・シミュレーションを使うと、偶然に増えたり減つたりすることがあるということは簡単に示すことができます。

そういうことで、ダーウィンの時代のハーバート・スペンサーは「最適者生存 (survival of the fittest)」という標語を定着させましたけれども、一九八三年に、カナダのトロントで開催された国際遺伝学会で木村資生さん本人が「survival of the luckiest」、最幸運者生存とでも訳すのでしょうか、そういうキャッチフレーズを提唱されまして、中立進化論のキャッチフレーズとしては割といいのではないかと私は考えております。

ハーバート・スペンサーは社会進化論を出したそうですが、当然、社会中立論というのがあるはずで、もつとそういうのが出てきたらいいと思います。

自分の一生の間に運が非常に重要だというのは、ある意味では当たり前だと思っただけですね。

遺伝子世界に戻りますと、同義置換と非同義置換という非常にかつちりと定義されたものがありまして、近似的ですけども、アミノ酸が変化しない場合は、ほぼ中立だけで、非同義置換の場合はアミノ酸が変わるので、中立だけではなくて淘汰もあると。こういうことで二つを比較するというのは、ゲノムのデータが出てきたら、ごく普通にやられております。

非同義置換の例は、これは「耳垢型」と言いまして日本の研究者が発見したんですが、アミノ酸がグリシンからアルギニンに一個変わっただけで、タンパク質の働きが壊れてしまう。

日本人は壊れた形が大部分なので、皆さん大部分の方は、このあまり役に立たないタンパク質を持っておられます。これは中立進化のいい例だと思っただけですが、アジア人は乾型が多いのですが、アフリカ人は、一〇〇%、湿型なんです。同じ人間集団なのに大きく頻度が異なるので、自然淘汰だという結果も出ておまして、まだ決着がついておりません。ただ、どちらの方でも、ぴんぴん生き残っているという意味では、ある意味では中立だと私は思っております。

では、正の自然淘汰。ダーウィンの言ったものはどうなるかというと、それはちゃんとチェックできまして、普通は突然変異と同じ同義置換に対して、有害な突然変異の場合は消えていきますから、そういうときはプレキがかります。これは進化速度が低いと見ることができません。非同義置換は通常は低い。ところが、生存に有利な突然変異がどんどん蓄積していく場合には、この同義置換の進化速度よりも高くなる。アクセルを踏むということですね。こういうことが予想されます。ですから、この同義と非同義を比較すればよろしいということになります。

そうしますと、これはさっき言った通りでして、実際のデータを見ます。マウスとラットのゲノムを比較して一つ一つのタンパクの遺伝子の同義置換と非同義置換でプロットすると、ほとんどの遺伝子は同義置換の方が大

きい。ですから、たいていは中立論が予言する純化淘汰、つまり、ブレイキだけがかかっている、正の自然淘汰はほとんどありません。

非同義置換の方が大きいものに関して論文がにぎわっているわけです。いろいろな雑誌に投稿されて、よし、意味があるというので出るのはこちらです。正の自然淘汰がひんぱんに生じる遺伝子は少数派ですから。

まれな現象がニユースになるといふのと同じように、雑誌も、newspaperではなくてジャーナル、ペーパーですから、結局そういうことで、大部分の遺伝子間の中立進化というのは、よく知られたことなので論文にならないですね。ゲノムですと、さすがになりますけども。

それで最近の研究者はちよつと勘違いしてしまつて、中立進化論は間違っている、自然淘汰が多いのだということになつていますが、実際にはそうではない。

ここまでタンパク遺伝子の話でしたけれども、遺伝子と遺伝子の間の領域を調べても、やはり進化速度が同じぐらいになつておりまして、結局ゲノムの大部分は中立進化をしているということになります。

ただし、これは真核生物だけでして、バクテリアは大部分がタンパク質の遺伝子ですので、中立進化をしている部分がより少ないです。ただ、彼らでも中立進化は確かにやつております。

ここまで簡単に、偶然が大事だというお話をしてきましたけれども、偶然が大事だというのは、地質学的な長い年代を考えると、ますます明らかです。チチュルプ・クレーターは重力異常があるということから、ユカタン半島に巨大なクレーターがあるということが分かりました。

これはもう、まずほぼ確定的だと思えますけれども、六五〇〇万年前に、中生代から新生代へ変わったのですが、これは小惑星が激突したからであると。つまり、自然淘汰とは何の関係もありません。これは明らかだと思います。

生物のいままで營々と培ってきたものとは全然関係のない、まあ、占星学者とか、そういう人たちは、ひよつ

としたら、これも関係あるとおっしゃるかもしれないけれども、このような天文学的な事象が、実は生命の歴史の中で非常に大きなメルクマールとなっているということで、これも、われわれから見たら偶然であります。

もちろんニュートン力学の中の話ですので、これは、そういう意味では偶然ではありませんが、われわれは、そういうことに無知だということから言えば、偶然と言っているのではないのでしょうか。

それで、先ほどからお名前が出ておりますけれどもジャック・モノー。鈴木先生によれば、欧米の研究者、あるいは哲学者の中で偶然ということ、ばしつと本のタイトルにまで出しているのは非常に珍しいとお聞きしております。

私の師匠である根井正利さんが書いた分子進化学の教科書の、最後の章の最後の段落で引用しているのですが、『偶然のみが生命系におけるあらゆる核心、すべての創造の源泉である。全き偶然、絶対的に自由で、しかも盲目なもの、それこそが進化という驚嘆すべき建造物の根底に横たわっているのだ』と書いてあります。

彼は、オペロン説でノーベル賞を受賞されておりました、必然の方で非常に大きな貢献はしておりますが、その彼が偶然が重要だということを明確に述べておりました、われわれ中立進化論者にとつて非常に大きな味方があります。

宇宙も全部、銀河系も、最初の量子揺らぎという偶然から始まっておりますので、すべてとは言いませんが、ほとんどが偶然ではないのでしょうか。

ということ、ゲノムのデジタル情報、ACGTGという文字情報が、転写装置、翻訳装置という非常に複雑な、しかし、物理科学的法則にのっとった複雑な装置を経て細胞になって、六〇兆の細胞が意識を与えているということ、両者は非常に迂遠ではありますけども、つながっております。

ですから、チンパンジーのゲノムとヒトのゲノムは一・二・三%の違いですけれども、チンパンジーの意識がちゃんとあるということになるわけであります。

これらのことは、二〇一二年刊行の『進化学事典』（共立出版）を見ていただければ幸いです。日本進化学会の総力を挙げて書いたものであります。

ご静聴ありがとうございました。以上です。

（総合研究大学院大学・国立遺伝学研究所教授）

9 労働とエネルギー

小木和孝

はじめに

「エネルギーを考える」会議に参加して、労働とエネルギーが密接に関係し合っていることを、あらためて感じています。エネルギーという言葉に、*ergon*、つまりギリシャ語の仕事ないし労働を意味する部分が組み込まれていて、労働に伴う物理的な仕事エネルギーの語源になっていることがそれを象徴しています。

この仕事 *ergon* の学問には、興味ある背景があります。労働科学の名は、私たちの労働科学研究所が一九二一年に大原孫三郎によつて年若い女性の労働条件解明のために設立されたときに使われ出したのですが、当時のヨーロッパの新しい分野の呼び方から採用されました。戦中の困難な時期をこえて、民間研究所として産業労働改善に取り組んでいます。そして、*ergon* をもとにした *ergology* は「働態学」と呼ばれ、人類学、労働科学、人間工学などの学際学会が活動しています。このエルゴロジーは、マルクスと同時代のヘッケルがエコロジーと対話となる分野として設定しました。エルゴは人の能動的な行為、エコはその行為が行われる家や環境を意味し、エルゴロジーとエコロジーは、きょうだい関係にあります。エコロジーは自然生態系の営みを扱い、エルゴロジー

は、人間自身が行う日常の営みを扱いますから、労働生活の生態学とみることができます。この両者の関係は、労働をどう見るかを教えてくれます。

労働科学研究所ができたときから取り組んできた主要分野の一つが、労働中のエネルギー研究です。産業にとつてエネルギー効率の良い労働形態がすすむ一方、その労働の強度はエネルギー代謝の大きさと表わされ、その大きさに応じた疲労対策と改善がテーマでした。戦後は、産業のエネルギー政策が労働分野に大きな影響を及ぼす一方、このエネルギー代謝をもとにした労働研究は重要なテーマとして引き継がれています。エネルギーの大きさだけでなく、その使われ方の差による労働改善が今に続くテーマです。

したがって、労働とエネルギーの関係に焦点を合わせると、「エネルギーからみた労働」と「労働におけるエネルギー」の二つの面がともに大事です。この両面が労働の移り変わりに、その改善に、興味深く反映されています。一方の「エネルギーからみた労働」は、エネルギーの側の産業利用と環境観の変遷による労働の多様化としてみることができ、他方の「労働におけるエネルギー」は、人の労働の側からみたエネルギーの変遷をみることとなります。この両面の捉え方の変遷をみながら、労働とエネルギーの相関関係を検討したいと思います。

1 エネルギーからみた労働の変遷

エネルギーの社会的利用は、産業におけるエネルギー源の使い方に従って時代を築いてきました。地域社会内の協業の始まりでは、エネルギー利用は初歩的でしたが、工業化により大きく変容し、その後のエネルギー源の制約と環境観変化により省エネルギー主導となつて、今の資源見直し時代にいたっています。この変遷に対応して、労働する人におけるエネルギーの見方も転換してきており、工業化とその後の見直しにそれぞれ対応した変化をみてとることができます。このエネルギーと労働両者の関係の変遷を表1に示します。

■表1:「エネルギーからみた労働」と「労働におけるエネルギー」の変遷

「エネルギーからみた労働」	「労働におけるエネルギー」
(1) 地域社会内の協業 限られたエネルギーの共同利用を目的とした協業	(1) 総エネルギー消費への関心 労働時のエネルギー支出の大小で決まる分業体制
(2) 工業化による労働の多様化 産業エネルギー源導入に伴う多様化し効率化した労働態様	(2) エネルギー消費過程の多様化 労働態様別に多様化する労働負担を考慮した労働改善
(3) 省エネルギーとグリーンジョブへ 資源制約と地球環境に触発された産業構造と雇用の変革	(3) 現場適合式の労働改善へ 多層化就労と変革するエネルギー利用プロセスに応じた労働再設計

「エネルギーからみた労働」については、この表に示したような三期にわたる変遷を容易にみとることができません。第一期の地域社会内の協業の時代は、エネルギー利用は目に見えるかたちの分業で行われ、さまざまな需要と便益に応じた分業体制で推移しました。産業活動が活発になるにつれて、第二期ではエネルギー利用の差が産業形態の差となり、とくに産業革命の動力導入後にそれまでと違った多様なエネルギー利用がすすんで、労働態様を大きく変えたことは、周知の事実です。エネルギー利用技術の進展とともにそれと裏腹の関係で労働が多様化して現在に至ります。そして第三期とみられるのは、二〇世紀から今世紀にかけて、資源制約と環境保護の必要に触発された省エネルギー、低炭素経済への産業構造の変革との絡みで労働態様の変化が大幅に起こってきた時期です。今、この第三期に当たります。

この三期について、それぞれと並行するかたちで、「労働におけるエネルギー」の見方と労働改善が進行したことが注目されます。第一期の協業体制のもとで、労働時の各人の総エネルギー消費の大小に応じた分業がまず行われます。重筋作業ではエネルギー消費が特に大きいことから、重筋作業とそれ以外の中等度ないし軽作業の職種を仕分けて、重筋作業を十分にこなせるように体力の優れた人びとを当てるとともに、その作業を支える体制と対策を講じてきました。そして、第二期では、工業化と動力利用に根ざした労働の多様化に伴い、個人別総エネルギーの

観点で職種を仕分けるだけでなく、もつと多様化した見方が必要となり、局所の筋力使用や反復作業と過重労働への対策が労働改善の主眼となります。そして第三期には、資源制約に応じた労働再設計、中小企業などの現場適応式の労働改善が課題となります。この資源制約に対応する「グリーンジョブ」を重要と考えて取り上げる方向がそれを象徴した例となっています。

グリーンジョブの考えでは、環境影響を持続可能な水準にする経済的に存立可能な雇用による労働に焦点が当てられていて、エネルギー資源の節減と廃棄物・公害発生への極小化が目的とされる雇用が推進されています。例として、低炭素経済への組み換え、再生可能エネルギー開発、環境に優しい運輸、持続可能な資源利用、廃棄物管理・再利用のジョブ群が挙げられます。広くとらえれば、製造・建設・運輸・エネルギー部門の新たな雇用、エネルギー・資源利用の転換による雇用の置き換えがグリーンジョブ増加に寄与します。東日本震災に伴う節電体制から、今私たちはさらに多くを学んでいます。地球環境に力点をおく国際協力が、労働のあり方にこれからも深く関わっていくとみることができそうです。

こうしたエネルギー・労働間の相関関係の変遷で、もう一つ視野に入れておきたいのが、その変遷に、エネルギー利用と労働双方の主役である人びとの参加を軸とした努力がエネルギー利用転換・労働改善に同じく深く関わっていることです。

2 労働における総エネルギー

労働によるエネルギー代謝の大小は分かりよい事実なので、重筋作業に着目する分業体制にも、また産業労働中のエネルギー消費のより少ない職種が増えてエネルギーの使い方が多様化する変革にさいしても、問題点に着目する第一の要因として作用しました。エネルギー支出の大きい仕事は体力のある人たちにまかせる分業に依存

$$\text{エネルギー代謝率} = \frac{\text{作業時代謝量} - \text{安静時代謝量}}{\text{基礎代謝量}}$$

することから地域内協業が始まっています。工業化、とくに動力利用の進展と機械化・自動化のもとで、いわゆる肉体力労働が軽労働・知的労働に置き換えられてきた長い歴史でも、それぞれの産業で、エネルギー代謝の大きさをまず見て職種の特徴を考える接点となってきました。

労働のエネルギー代謝量は、呼吸を採取して酸素と炭酸ガス濃度を測定して呼吸量が分かれば算出できます。ダグラスバッグと呼ばれる大きなバッグを背負って呼吸を採取し、酸素と炭酸ガスを分析する方法は、ヨーロッパ諸国と同じくわが国でも、第二次世界大戦前から産業現場で広く行われました。戦後すぐから労働時のエネルギー代謝量に基づく労働強度の測定が広く行われて、職務評価に応用されました。重筋作業、中等度作業、軽作業の区分がそのよい例です。

この区分に代表的に使われたのが「エネルギー代謝率」です。このエネルギー代謝率は、労働科学研究所の発案で日本で使われ出した労働強度の指標ですが、第二次世界大戦後に全産業で使われるようになり、日常生活におけるエネルギー概念が定着したのは、特筆すべきことです。上の式によります。

人のエネルギー消費は、体格により当然異なりますが、その差は、食後一定時間経過後の臥位安静時の「基礎代謝」の大きさに測られます。労働強度を、労働による代謝量(労働中のエネルギー消費から基礎代謝の一・二倍に当たる安静時エネルギー消費を差し引いたもの)が基礎代謝の何倍に当たるか計算したのが「エネルギー代謝率」です。Relative Metabolic Rateの頭文字をとってRMRと呼ばれます。このRMRは、労働分野で職務設計から安全衛生、栄養分野まで広く使われています。スポーツ分野でもそうです。RMRが大きい場合の体への負担は誰の目にも明らかで、負担の大小による分業の区分や休息の必要性をRMRをもとに理解することが容易にできます。このためRMRは広く使われ、労働時エネルギーの考えが社会全体に普及するのに大いに役立ち

■表2:エネルギー代謝率(RMR)による労働強度の区分

軽作業	中等度作業	重筋作業
RMR 0~2 座位事務・通信、組み立てなど の四肢作業	RMR 2~4 一般の工業作業など、移動を伴 い持続的な作業	RMR 4 以上 重量物運搬、シャベル作業など 大きい力を使う
<ul style="list-style-type: none"> ・多くは座位、遅い立位移動 ・仕事量少なく、速い作業も呼吸循環反応少なく安定 ・精神的作業が多く含まれる 	<ul style="list-style-type: none"> ・ほとんど立位か歩行移動 ・恒常的テンポで、長く続く ・ほぼ一定の呼吸循環反応 ・回復時間要し、姿勢疲労も 	<ul style="list-style-type: none"> ・全身作業、大きい上下移動 ・短時間に大きい力を発揮 ・酸素負債生じ、長い回復時間 ・長時間の作業は普通困難

ました。

エネルギー代謝の総量が、労働強度の区分になるのは、重労働では一定時間以上持続できず、強度が大きいほど長い休息時間が必要になるからです。労働中のエネルギー代謝を基礎代謝の倍数で表わすのがRMRですが、男性の場合に体格が中位の人は、基礎代謝量が毎分約一キロカロリーとなるので、RMRに安静時代謝に相当する一・二を加えた数が毎分当たりのキロカロリーにほぼ相当します。

RMR 2未満を軽作業、二〜四を中等度作業、四以上を重筋作業と区分されます。座位の休息や談話はRMR 〇・二程度、一般事務が〇・五、電子機器使用で〇・六〜〇・八、立位の機器操作が一・〇〜一・六、食器洗い一・八、バイク運転・草むしりが二・〇などと軽作業の範囲です。中等度作業の例では、普通歩行の移動二・五、レンガ積み三・二、掃除三・五、ガラス拭き四・〇程度です。重筋作業の域にはマキ割り五・三、テニスやおそいジョギング六・〇、階段昇り六・五、ハンマー打ち七・三、なわとび八・〇などがあります。この労働時エネルギー代謝率による区分は、表2に示すように分かりやすいものです。

この労働強度の区分で重要な点は、エネルギー代謝量が大きいと、それだけ回復時間が延び、実働率が低くなることです。軽作業なら、実働率は八〇％ぐらいで、根をつめた反復作業でなければ一時間ほどの休憩が入ることで一労働日を終わられますが、中等度作業で実働率は七〇％前後に下がり、途中休憩が

■表3:1日エネルギー消費量の計算例(kcal/日)

行動	時間(分)	RMR	kcal
記入事務	238	0.5	408
金銭受入れ事務	79	0.6	144
書類発送	28	0.8	57
原簿移管	4	0.7	8
机上事務	7	1.0	16
食事と休憩	60	0.4	97
通勤	60	1.5	164
用便	4	0.5	7/小計 901
植木いじり	52	0.5	89
交際	32	0.4	52
新聞・テレビ	126	0.2	178
雑談	95	0.4	153
休養	60	0.2	85/小計 557
就床	475	基礎	479
食事と休憩	71	0.4	115
身の回り	49	0.5	84/小計 678
1日計	1440		2136

表3にRMRをもとにした一日のエネルギー消費量の計算例を示します。一日は一四四〇分ですから、それぞれの行動区分に何分を使ったかを生活時間記録から知ることができれば、計算できます。生活時間記録は、一分おきの行動をスナップリーディングと呼ばれるタイムスタディ法で記録していきます。睡眠や食事、休憩中は、始まりと終わりの時刻が分かれば、毎分記録する必要はありません。この例の場合、基礎代謝は身長と体重から計算できる体表面積をもとに算出して、毎分当たり一キロカロリー弱でした。表のRMR値に安静相当の一・二を加えてから基礎代謝値を掛けてキロカロリー値を算出します。一日、一四四〇分で二二三六キロカロリーでした。

必要です。重筋作業になると実働率は五〇％以下にもなり、作業時間中も頻繁な回復時間がとられます。こうした回復の様子は、酸素消費量が大きくなる場合の顕著な呼吸循環反応で観測されます。心拍数で観測すると、重筋作業で心拍数が次第に上昇し、毎分一二〇拍以上など安静時に比べて五〇％以上上昇した後は、数分では回復せず、長い回復時間が必要なことが分かります。スポーツでもよく経験していることです。したがって、重筋作業において実働率が下がる事実から、一日のエネルギー消費の総量については、重筋作業でも軽作業者の倍を大きく超えるような事態にはなりません。

■表4:1日エネルギー消費の計算例(kcal/日)

性	労作強度	20~29 歳	30~39 歳	40~49 歳	50~59 歳
男性	軽い労作	2200	2100	2000	1950
	普通労作	2500	2400	2300	2200
	やや重い労作	3000	2900	2800	2650
	重い労作	3500	3300	3200	3050
女性	軽い労作	1800	1750	1700	1600
	普通労作	2000	1950	1900	1800
	やや重い労作	2400	2350	2300	2150
	重い労作	2800	2750	2700	2550

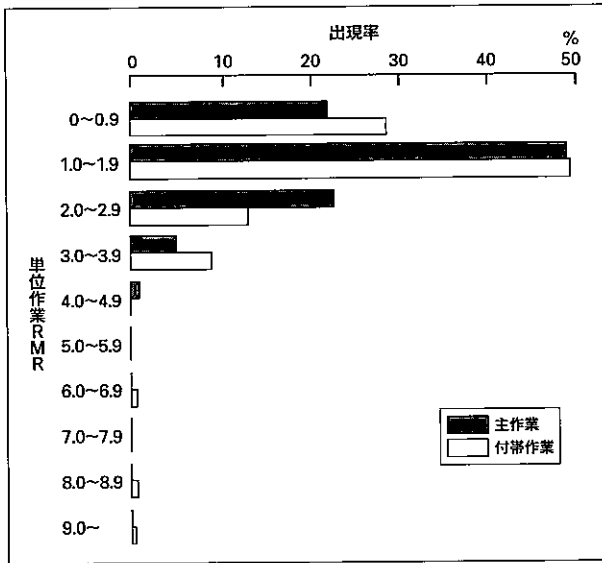
表4に一日のエネルギー消費量を性別、年齢別に示します。もちろん体格差がありますし、具体的な作業や移動・食の習慣差もありますから、ごく概略を表しています。表に示すように、一日の総エネルギーがある範囲内に収まることから、食生活を含む労働生活設計が成り立つことになりました。

職種により動作別のエネルギー支出に大きな差がある一方で、一日で見ると、ある範囲に収斂していることが分かります。このように、労働生活における総エネルギー量が、どの職種についても一日の総量としてみると、一定範囲内に収まる通則が成り立つことは、興味ある事実です。個別の作業にエネルギー面で大きな差がありながら、実働率にそれが反映し、一日の総エネルギーがせいぜい二倍以内に収まっていて、ごく常識的に了解可能な範囲になるのです。このことから、家庭や地域社会の生活設計と分業体制が互いに分かりやすい形で可能となります。食料の配給制が成り立つたり、初任給の職種差は極端に大きくはならなかったりすることにも反映されています。地域社会や産業現場における分業・協業の長い歴史をエネルギー面から跡付けて、より良く理解できると考えられます。

3 労働時エネルギー対策の多様化

労働によるエネルギー総量への関心は、エネルギー強度別の職務の区分

■図1:オートバイ製造における作業のエネルギー代謝率の分布



けとして、依然産業現場の基礎知識として大切に扱われています。とくに重筋作業の比重が大きい職種ではエネルギー代謝率測定を入れた職務給評価の代表として戦後にかなり普及したことがよく知られています。しかし、その後の高度成長のなかで産業現場に機械化、自動化が広がる中で、労働時エネルギー対策は、エネルギー総量よりも、機械化・自動化の入り込んだ労働様式の中のエネルギーの細かい使い方への関心に移行しました。

産業労働の主流はエネルギー代謝率が大きくない中等度ないし軽作業になり、重点をおく労働改善の見方が多様化します。この中等度作業・軽作業中心の例として、

図1にオートバイ製造における作業のRMR分布を示します。主作業でも、付帯作業でも、作業中の平均エネルギー代謝率はおおむねRMR1ないし2の範囲内にあります。RMRが二・〇以上の中等度作業は全体の二割ほどです。

こうした作業の改善には、中等度作業・軽作業でも必要な休憩時間の確保と労働時間短縮、反復作業のやりやすさと手指や腕など局部の負担軽減、作業姿勢などによる腰部負担の軽減、操作エラーの防止などが必要になります。これらの点は、さまざまな業種に共通した改善点となります。

幅広い業種に共通した取り組みの例として、反復作業における筋群への過負担や拘束作業姿勢による疲労・健康障害予防策の進行と、他律的な作業リズムや

柔軟さを欠いた作業責任によるストレスへの対策の普及とが挙げられます。

反復作業や拘束姿勢による筋負担は、エネルギー代謝がむしろ小さいのですが、一部の筋群に余分の負担がかかります。手指や前腕を動かす筋群と腕を支える頸部、肩まわりの筋群に痛みやこり、しびれが生じる頸肩腕症候群、不自然な作業姿勢による腰痛が典型的な例です。その予防には、局部の筋群の負担の軽減、自然な作業姿勢が必要です。筋収縮による作業もその筋群の中のエネルギー代謝にほかなりませんが、エネルギー代謝を多めに行う組織が限定されるため、その筋群に限られた疲労感・筋痛が進行することが確かめられています。当の筋群を使つて発揮できる最大筋力に比して二〇%を超える筋力を使い続けると数分で疲労感が進行し、そのまま収縮を続けると痛みに至ります。この急性の影響は、負担が取れば回復しますが、反復作業では、毎回の疲労感には比較的小さくても、反復により筋内の組織に損傷がおこり、慢性の痛みやしびれに至ります。腰痛の場合、発生の時の作業内容としてよく挙げられるのが、男女とも、物を持ち上げて、中腰で仕事していて、屈んで仕事していて、不自然な姿勢が続いて、立ち仕事をしていてなどであり、腰部のエネルギー負担の過重による影響です。

他方、労働ストレスの影響は、局所のエネルギー負担が大きい場合とは異なり、作業編成とチーム作業のあり方によるので、単なるエネルギー負担対策ではない、もつと組織的な予防策が必要になります。しかし、労働におけるエネルギーのあり方が時代と共に変わってきたことに対する現場技術対策の遅れによるとみることができ、また、広い意味で労働エネルギー関係の波及効果とみることができ、また、

例として、表5に、鑄造工業で問題とされている働きやすさの多要因を挙げておきます。必要な対策が作業動作・操作と作業ゆとり・編成の両面に及ぶことが見て取れます。

共同で計画するチーム作業が、総エネルギー対策の次の段階の労働改善で重要となつて、よく示すのが、コンピュータ作業の波及と共に問題となつたキー打ち作業の負担対策です。キー打ち作業負担は、最初にキーパンチ作業による頸肩腕部の障害、次いで、ビジュアルディスプレイ端末(VDT)作業の筋骨格系障害の原因

■表5:職場で取り上げられる働きやすさの多くの要因(鑄造工業の例)

働きやすさ要因	改善例	力点
作業動作	・局部負担の少ない多様な軽動作 ・自然な姿勢	少負荷
操作内容	・調整しやすい柔軟な操作 ・分かりやすい操作手順	順応できる操作
作業環境	・適切な照明・換気・温熱条件 ・十分な有害要因対策	快適環境
作業ゆとり	・自律的な作業 ・職場内の相互支援	余裕ある作業
作業編成	・共同で計画するチーム作業 ・休息余裕の十分ある勤務時間制	自主計画

として、多くの労働災害補償事例もあつて全国で問題となりました。その解決策として表5とほぼ同様な改善策が広く行われるようになり、とくに、キー打ち作業一時間につき一〇ないし一五分程度の小休憩が必要との認識が広まって、休憩挿入が広く採用され、そのことが予防に貢献しました。局所にかかるきついエネルギー負担による障害を小休憩制度で予防する典型例として、歴史に残る事実となり、広く知られています。

このように局所負担やチーム作業に目配りした労働改善が、総エネルギー対策の次の段階でどの産業でも、広く共通して取り上げられてきたことは、エネルギー対策の奥の深さを表しています。つまり、労働におけるエネルギー使用が総量として少なくなると、部分に負担が集中しやすいこと、またチーム作業の不具合が表面化しやすいことは、重要な点です。労働による総エネルギー量が大きい場合、あるいは比較的大きい場合は、重筋作業や典型的な中等度作業のように、実働率は低く抑えられますから、労働時間内の余裕が生まれます。一方、局所に負担が集中する作業や軽作業の連続の場合には実働率は高いのでこの余裕が著しく少なくなり一連続作業時間が長くなります。このため、頸肩腕部や腰部の過重負担が起きやすくなったり、チーム内の柔軟な過重負担予防策が二の次となったりして、問題解決が遅れるのです。エネルギーの負担様式で分業・協業の実践的な知恵の発現が新し

い段階を迎えたことは、得難い教訓となりました。

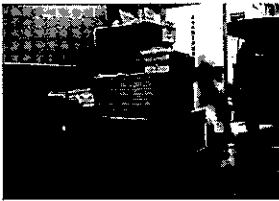
4 現場適合式のエネルギー対策

労働によるエネルギー負担への対策を講じていく上で、主作業・付帯作業ともにエネルギー強度が軽作業主体になって多様化するのに伴い、現場ごとに適合した改善策が必要になってきました。機械化や自動化、チーム作業分担で局所負担なり労働ストレスが新しい様式の過重労働、健康障害を起こしていることが明らかとなつてきたからです。どの労働も情報入力をもとした負担の結果を筋出力として作業形態が決まるので、相対的には少ないエネルギー代謝を伴つて遂行されますから、この現場適合式の労働改善は、労働・エネルギー関係変化の現状に合わせて、現場適合式のエネルギー対策を講じているというふうにみることが出来ます。

現場適合式の労働改善をよく体現しているのが、今日日本を含めた各国で普及しつつある参加型労働改善のすずめ方です。経済成長を支えてきている技術革新のもとでの労働様式が重筋作業とは異なる労働改善策を必要としたわけですが、そうした革新技術自体は現場ごとの問題解決にはすぐには役だつてこなかつた事情が、システム災害や新しい健康障害からみてとれます。この、いわば技術ギャップをうめるかたちで、現場適合式の参加型労働改善が進行しているのは、興味深い経緯です。この参加型労働改善は、中小企業でも大企業でも、また建設現場や農業などのインフォーマルな場でも効果を上げています。労働科学研究所では、国内、韓国、東南アジア諸国と参加型労働改善のネットワークを組んで二〇年来交流していますが、現代産業で働く人の安全・健康に参加型労働改善が大きな役割を果たしていると実感しています。

身近なよい例として、東京の中央区の製本事業所群とタイアップして行つた職場環境改善があります。中小製本事業場を訪問して、職場環境の問題点を聞くと同時に、自分たちで行つて改善事例を集めることから始め

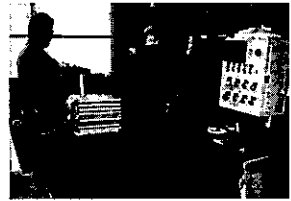
■図2:製本事業場の自主的な改善事例



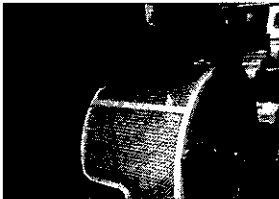
台車の活用



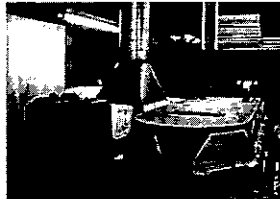
肘高での作業



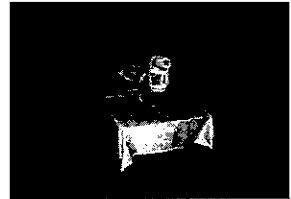
脇スタンドの利用



機械の安全装置



有害物排気装置



休憩室の設置

ました。問題点は、軽作業に重量物運搬作業が加わる製本作業特有の多彩なものでした。長い間立ったままで作業するのが疲れる、厳しい納期に合わせる作業がきつい、といった訴えが共通していました。重量物取扱い、その逆の単調な作業、立位のままの長時間残業、機械操作の危険、環境の騒音、作業中に頻繁にとる不自然な姿勢などです。今、他業種の中小企業にも共通している多面の問題点です。他方、作業姿勢、運搬作業、機械操作に多くの改善を行っていることもすぐ分かりました。そこで、そうした現場適合の良好事例を集めて、それをもとに現場で実施可能な改善策を提案しやすくした改善用の提案式「製本作業アクションチェックリスト」を作成し、現場の人びとのグループ討議で改善策を決めてもらい、実施しました。低コスト策に力点をおきました。

この製本業で取り組まれた改善は、図2に示すように、多面にわたりました。台車を使う、置き場を工夫する、肘の高さで作業する、すぐそばにスタンドをおいて取りやすくするなど作業をやりやすくするほか、安全装置、環境、休養施設、チームワークをよくするといった多様な対策が報告されました。こうした多面の改善は労働現場でふつうに行われていて、その良好実践に学びながら集団討議すると、同じように多面に改善され

■表6:医療、自治体職場の提案式の改善チェックリスト6領域

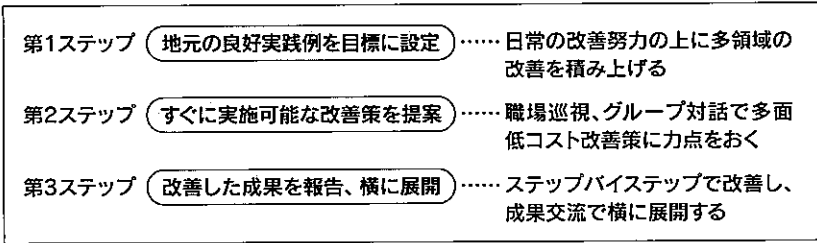
A. 作業計画と情報の共有	過大な作業量の調整、少人数単位の裁量範囲、掲示板などによる情報の共有
B. 勤務時間と作業編成	ノー残業デーなどの目標、ピーク作業時の作業変更、休息時間、休日のとりやすさ
C. 円滑な作業手順	物品の取り扱いやすさ、情報入手、反復作業の改善、作業ミス防止
D. 作業場環境	空調設備の改善、音環境、有害物質対応、受動喫煙の防止、休養設備、緊急時対応
E. 職場内の相互支援	相談しやすさ、チームワークづくり、よい仕事の評価、職場間の相互支援
F. 安心できる職場のしくみ	ストレス対策の研修、仕事の見通し共有、昇格機会の公平化、心のケアの窓口設置

ていくことがわかります。

良好実践の実例を挙げていく形のチェックリストをグループ討議に使う現場改善は、アジア諸国を含めて、多くの業種で行われています。日本の最近の例でも、中小企業を含む製造業、建設現場、医療・介護、自治体職場など多彩です。チェックリストは良否を判断するのではなく、どの改善を取り上げるかを聞く提案方式であるのが使いやすいことも確認できました。具体的な仕事のやりやすさとよいチームワークの両面を同時に取り上げることができるようにも、多業種の改善事例から確かめられています。多くの業種で同じように取り上げられている多重対策を表6に示しました。

これらの多重対策を実地に活かすやり方が、業種が異なっても共通している事実が注目されます。多面にわたる要因を同時に取り上げて、改善提案をそのいくつかの側面で行い、現場の人たちの工夫で実際のな問題解決をすすめる点で共通しているのです。工夫していく際に、同じ業種、類似の職場で行われている良好実践を参考にします。そうした良好実践は、表6のような多重対策に相応して認められます。良好実践から学んで、それらの対策をチェックリストなどにも盛り込んでいくので、同様な多重対策を提案しやすくなるのです。日本だけでなく、

■図3:日本国内とアジア地域協力で共通した参加型労働改善の3段階



アジアで調べても、ヨーロッパで報告している良好実践例をみても、同じような多重対策が進行していることを確かめることができます。

私たちの経験でも、中小企業でも、医療・介護でも、自治体職場でも、ファッショリテーターに当たる労働者がいて、提案式チェックリストを使って各職場でグループ討議をして、提案されたもののうち優先項目を選んで実施していきます。改善報告会を開くことで、実際的な改善が他の類似職場にも採用されていきます。アジア地域の保健センターや大学・研究所、労働組合とネットワークを組んで交流しているのですが、アジア諸国でも、同様のすすめ方で中小企業、農村に労働改善が広まっています。こうした参加型労働改善の特徴的なすすめ方を図3に示します。

つまり、日常的に多面に行われている改善努力の上に積み上げて、多重要因を同時に取り上げて実施可能策をステップバイステップに取り上げていく方式です。良好実践を示す写真を活用し、提案式チェックリストを使い、集団討議で進めていく形で改善が波及していくことが分かります。

多領域の内訳けが、共通していることも注目されます。エネルギー代謝に最も直結する運搬と作業台が、まず大きな話題となります。台車やリフターを使う、肘の高さの作業台にする、手元で作業できるようにする、分かりやすいラベルやカラーを利用するなどです。作業場環境では、照明・換気と機械安全・有害物取扱いがよく取り上げられ、それから休息・衛生施設とチームワークの改善もよく取り上げられます。こうした多面の改善は、容易に横展開して、改善活動を行う他の職場に広まっていきます。

こうした多面の改善は、労働におけるエネルギー代謝の変遷を背景にしているとみることができません。重筋作業と一部の中等度作業にみられるようなエネルギー代謝率の特に大きい作業をなるべく減らし、局所負担と作業密度の大きい作業をやりやすくするように努めます。そして一見軽作業に見える場合もそうした多年の経験を生かしながらさらにやりやすい、作業中にも余裕の保てる作業に改善するように努めます。こうした一連の努力には、明らかに地域内協業や産業成長期とその後の過重負担・ストレス重視時代のそれぞれの経験が加味されています。アジア地域協力にもそうした背景を読み取ることができると、感銘を覚えます。

参加型改善のアジア地域協力には、私自身の一九八〇年代以降のILOアジア太平洋地域勤務のころからの努力が実ってきた実感があります。参加型労働改善は、私も参画して、まず東南アジアの中小企業で始められ、図3の方式を採用したワイズ方式(WISE、つまりWork Improvement in Small Enterprises)として国際的に知られるようになりました。ワイズ方式はアジアから中南米やアフリカにも広まりつつあります。日本と韓国でも産業現場で応用されるようになりました。このワイズ方式を農村の小規模農家に応用した参加型労働生活改善法がウィンド方式(WIND、Work Improvement in Neighbourhood Development)で、今二〇数か国に広まっています。この両方式は、ILOの支援もあって、国際的に有名ですが、日本の過重労働・ストレス対策のすすめ方と共通しているのは、それなりの労働改善の歴史をふまえているからだと考えられます。

5 まとめ

まとめとして、二点を挙げたいと思います。

まとめの一是、労働とエネルギー相互の関係の変遷が、時代的に相互に密に関連し合っていることです。それぞれの語源が関係深いことに象徴されているように、エネルギーの社会利用の形態と産業技術、生活技術として

行われる労働様式とが密に結びつきあっていることが根幹にあるからだと思います。第一期のエネルギー総量からみた協業から、第二期のエネルギー利用形態別の労働編成の多様化へ進んで、現在は第三期の柔軟な問題解決型の労働改善へと移行してきているとみることができません。この三つの時代区分は、エネルギー利用がそれだけ芸が細かくなつたとみることができませんが、実は、実際のエネルギー利用の結果に着目する視点から、そのエネルギー利用のプロセス自体を見る視点へと動いてきたと考えられます。

まよめの二としては、健康に働く技術の変遷がエネルギー特性への対応に見合ってきたことが特筆できると思います。産業成長にみるエネルギー特性ごとの進展は、科学技術の専門分化に應じてきたようにみえながら、実際は、おおもとから、エネルギー利用と有限資源利用とに根差した柔軟な「地域社会生活技術」として進展してきているのです。日本でもアジア地域でも、さらに他の経済域でも、生活技術に應じた労働改善プロセスを重視した参加型現場改善が広く進行中です。この共通の参加型労働改善プロセスから、実生活に生かせる多くのヒントが得られると実感しています。

(公益財団法人労働科学研究所主管研究員)

10 生命エネルギーと修行の原理

——宗教体験におけるマイクロコスモスとマクロコスモス

正木 晃

最後になりましたして、私だけ、ほかの先生方とだいぶ方向性が違うというか、変わったことになるかもしれない。

最初に、先ほど(8章)斎藤先生がおっしゃった南方熊楠の二つの絵が重なったというお話から、はじめさせていただきます。私の考えでは、これは、真言密教の両部マンダラ、つまり金剛界マンダラと胎蔵マンダラという二つのマンダラから、熊楠はヒントを得たのだろうと思います。

熊楠という人は真言密教に非常に詳しい方でした。この領域の通説では、胎蔵マンダラの方が物質世界であり、金剛界マンダラは精神の世界だということになっています。そして、その両者が重なったところに生命が発するという解釈をします。そのあたりを指して、熊楠は「こと」と言ったのかもしれない。

修行と生命エネルギー

そもそも、私は密教を専門領域としています。密教は、インドで生まれた大乘仏教の最終的な形態です。今回の課題は、その密教において、悟るためには何が必要かという話です。

ご存じのとおり、ブツダは長年にわたり修行をして悟りました。これが仏教の原点です。いいかえると、修行なしには仏教はなりたちません。例外的に日本では、親鸞を開祖とする浄土真宗がひたすら念仏を唱えるだけで、悟れる——正確には極楽浄土へ往けると主張しましたが、仏教全体からみれば、いちじるしい異端です。主流はあくまで修行をして、初めて悟れるという立場です。

当然ながら、修行法の開発が進みました。ブツダが在世した二四〇〇年ほど前からこんにちにいたるまで、仏教の歴史は修行法開発の歴史、あるいは修行法開発にまつわる試行錯誤の歴史とみなしていいくらいです。

結論を先に言ってしまうと、悟るためには、やはり尋常ならず、大きな生命エネルギーが必要です。仏教は、原則として、「心身一如」すなわち精神と身体は一体であつて、分かちがたいという見解ですので、生命エネルギーは精神的エネルギーでもあれば、身体的エネルギーでもあります。

それから、話の順番が逆のようにもおもわれますが、悟りの内容はいったい何かという問題があります。

仏教が面倒くさいのは、悟りを求めているくせに、肝心の悟りの内容が明らかになつていないという点です。なにしろ、ブツダという方は、悟りは、少なくとも言葉では表現できないと主張したのです。

ようするに、悟りという最終目標がいったい何かわかつていないのに、悟りを求めるという、矛盾した関係があるのです。

その結果、悟りとは何かをめぐつて、さまざまな見解が交差しました。私は、さきほど述べたように、密教が専門ですから、密教における悟りについてお話しします。

密教では、マクロコスモスとミクロコスモス、いいかえれば宇宙全体と私は、仏と私は、本質的に同じものだということを体得することこそ、悟りと考えてきました。専門用語を使うなら、「梵我一如」^{ぼんがいつたよ}です。じつは、インド型の宗教はおおむねこういう考え方を採用していて、密教もその例に漏れないということでもあります。

もちろん、「梵我一如」の体験といつても、そう簡単には実現しません。そのために開発された方法がヨーガで

す。やや硬い表現をつかうなら、呼吸を中心とする身体操作のことです。

ヨーガという言葉の本来の意味は「溶融」です。ですから、ヨーガを実践して、宇宙全体なり仏なりと自分を溶かして、一つにしてしまうことがヨーガということになります。そして、そういうぐあいに、何らかの対象と自分を溶かして、一つにしてしまうには、ひじょうに大きな生命エネルギーが必要だということがわかってきました。

もつとも、仏教の修行が最初から大きな生命エネルギーを指向していたわけではありません。むしろ、最初は、ブツダ自身がそうであつたように、生命エネルギーを極限まで減らすことで、悟りを求めようとしていました。この方向を「寂靜の道」といいます。日本の禪宗は、いまでもこの方向です。

ところが、西暦の五く六世紀ころになると、一転して、生命エネルギーを増加させる方向へ転換しました。これを「増進の道」といいます。転換の理由はよくわかっていません。ただ、インドの宗教界で、精神と身体の関係にまつわる考察に、大きな変化が生じた可能性は否めません。

密教はこの方向を選択しました。というより、仏教のなかで、この方向を選択した勢力が、密教という新たなタイプの仏教を生み出したといつたほうがいいかもしれません。

いったん、「増進の道」を進み始めると、生命エネルギーを増加させる方向は、加速度的に大きくなっていきます。そして、最後には、人間がもつ根源的なエネルギーのなかでいちばん強力なもの、すなわち性のエネルギーを修行に導入しようということになったのです。いいかえれば、セックスを修行に使うことになったのです。

チベット仏教には男女の仏が抱き合っている絵があります。これは、いま述べた修行法と深いかわりがあります。

チベット仏教の名譽のために申し上げておきますが、現行のチベット仏教が、セックスを修行に使うことはありません。男女の仏が抱き合っている絵は、多くの場合、男性は方便(実践)を、女性が般若(智慧)を、それぞれ

れ象徴しているとみなしたうえで、方便と智慧が一つになるとき、仏教の理想が実現すると解釈されるのです。

ダルマとダルミン

いずれにしても、密教では、マクロコスモスとミクロコスモスの合一をめざします。そして、それが実現したとき、エコロジカルな発想が出てくる可能性があるという話をいたします。

まず最初に、インド人の考え方について、お話ししなければなりません。特に、存在ということにかんする考え方について、理解しておく必要があります。

ここにペットボトルがあります。プラスチックでつくられていて、こういう形状をしていて、液体が入れられて、こういう硬さで、こういう透明度でというぐあいに、さまざまな特性があります。

哲学用語でいえば、これらは「属性」です。いいかえれば、これらの属性が寄り集まって、ペットボトルを成り立たせているわけです。

では、このペットボトルから、ペットボトルをペットボトルたらしめている属性を全部とり去ってしまったときに、なにかが残るでしょうか、残らないでしょうか。こんな七面倒くさいことを、日本人は考えてこなかったでしょうが、インド人は考えてきたのです。

ちなみに、もし残るとすれば、その残るものは「基体」とよばれます。その基体の上に、さまざまな属性が乗っていると考えられます。インド宗教界の公式原語であるサンスクリットでいえば、属性はダルマ、基体は「ダルマを所有するもの」という意味で「ダルミン」とよばれ、この両者の関係をダルマ・ダルミンの関係と称します。

結論を急ぐと、何も残らないと考えたら、その方は仏教徒です。何か残ると考えたら、その方はヒンドゥー教徒です。

では、何かが残るとしたら、いったい何が残るのでしょうか。ヒンドゥー教徒に言わせれば、それこそが神です。

この世界の根底にあつて、触れることも認知することも一切できませんが、この世界を根底から支えている何か、それがヒンドゥー教徒が考える神なのです。

反対に、それを否定するのが仏教です。仏教はそういうものを一切認めないのが、原則です。

ただし、これはあくまで原則です。仏教では、真理は二種類、想定されています。勝義諦と世俗諦といって、早い話が最高真理と二義的な真理です。そして、最高真理においては何もものも実在しないが、二義的な真理においてはとりあえず現象としてはあると認め、一般の人たちには、そのレベルで説得しなさいというわけです。

仏教の生命観

一方、仏教の生命観は、『俱舍論』という書物に定義が見られます。この書物は、仏教にとつてもっとも基本的な文献の一つで、五世紀ころに成立したと考えられています。

この『俱舍論』では、「体温と意識を保持するもの」であるとか、「個体の生存を継続させる原因が生命であり、体温と意識にほかならないものである」とか、「生存が持続されるその限界がすなわち生命」と書かれています。

日本仏教でも、この『俱舍論』にもとづいて、生命が語られてきました。たとえば、曹洞宗の開祖、道元禪師は著書の『正法眼蔵』付巻第三十八「生死」に、以下のように書きしるしています。

生より死にうつると心うるは、これあやまりなり。生はひとときのくらゐにて、すでにさきあり、のちあり。かるがゆゑに、仏法の中には、生すなはち不生といふ……。

この生死は、すなはち仏の御いのちなり。これをいとひすてんとすれば、すなはち仏の御いのちをうしなはんとするなり。これにとどまりて生死に著すれば、これも仏のいのちをうしなふなり。

仏教では、とりわけ後発の大乗仏教では、仏は、ある意味で永遠の存在であつて、しかも神ではないという、なかなか難しいところがあります。しかも、その中には、あらゆる生命体の生と死を両方含んでいるというのです。この場合の仏は、先ほど申し上げたように、マクロコスモス、すなわち宇宙全体を指すと考えるのが通説です。道元自身の悟り体験は、一果明珠といつて、自分が丸い球になつてしまい、どこまでも、どこまでも、地平の彼方まで転がっていったという内容です。この体験も、マクロコスモスとミクロコスモスの合一の、特殊なヴァージョンといえなくもありません。

仏教の根本原理は、よく言及されるとおり、永遠不滅の実体を認めないということです。ですから、当然ながら、不滅の靈魂も否定されることになります。そして、この点が、不滅の靈魂を認めるヒンドゥー教やジャイナ教との決定的な違いといわれます。

しかし、仏教、特に大乗仏教は輪廻転生を前提としています。つまり、この世のありとあらゆる生命体が、悟りを開いて、輪廻転生から解脱しないかぎり、永遠に生まれ変わり死に変わりするとみなされてきたのです。ということとは、生と死を貫いて存続する何かを想定せざるを得ません。

あるいは、こういうことも想定せざるを得ません。それは、悟りを求めている自分自身という存在です。それもないということになると、話が始まりません。そこで、悟りを求める自分自身は「大我」というかたちで認めるのです。

では、生と死を貫いて存続する何かとは、いったい何か。仏教では「不滅の靈魂」を認めません。ここでいう「不滅の靈魂」は、永遠不変の実体という意味です。仏教では、この世の森羅万象はつねに変わり続けて止まない

とみなされず。逆にいうと、変わり続けるのであれば、その存在は認めても良いということになります。

私のチベット仏教の師でもあるツルティム・ケサン先生は、ダライ・ラマに近い方で、チベット仏教の世界的な権威ですが、そのツルティム先生に尋ねると、チベット仏教では、業（行為）の影響を受け、つねに変容しつづける何かが心臓のなかで飛び跳ねていて、それは「ミシクペー・ティクレ（微細な粒）」とよばれるといいます。

「ミシクペー・ティクレ」は、私が認識している範囲では、やはり生命エネルギーとしか表現できないようです。この変容し続ける「エネルギー」のようなものが、生と死を超えて相続していくのです。さきほど引用した箇所が道元が主張していることも、おそらく同じなのです。

梵我一如

インドの宗教哲学にとつて、ひじょうに重要な概念の一つに「梵我一如」があります。この場合、「梵」はブラフマンの訳語で大宇宙、「我」はアートマンの訳語で自我を、それぞれ意味しています。

最後の「如」は、なかなか微妙です。「一つのようなもの」ということですが、厳密な意味で完全にイコールなのかどうかについては、さまざまな見解があります。通常は、ゆるやかなイコールくらいに解釈して、「梵我一如」を、マクロコスモスとマイクロコスモスは、その本質において、同一という意味にうけとつています。

「梵我一如」、いまから二六〇〇〜二五〇〇年くらい前に成立した「チャンドーギヤ・ウパニシャッド」という、たいそう古い文献の中に、「tat tvam asi」というかたちで語られています。直訳すれば、「あなたはそれだよ」というだけの意味です。

問題は「それ」が何を意味しているのか、です。バラモン教やその後継者であるヒンドゥー教の伝統では、「それ」は神を意味していると解釈されてきました。バラモン教やヒンドゥー教では、神は大宇宙そのものですから、

「あなたは大宇宙そのものなのだ」ということになります。

これこそがバラモン教やヒンドゥー教における究極の真理であり、それを語る「tat tvam asi」は「大文章」とよばれて、尊崇されてきました。

ただし、文献学的な厳密さを考慮すると、「tat tvam asi」を「あなたは大宇宙そのものなのだ」と解釈するのは、九世紀の初頭に在世していたシャンカラという人物が、そう定型化して以降のようです。では、それ以前はどうだったのかというと、疑問の余地はあります。ちなみに、このシャンカラという人物は、ヒンドゥー教史上、最大の天才といわれ、わずか三二歳でこの世を去つたにもかかわらず、こんにちにいたるまで、その影響力は絶大です。

呼吸する身体

興味深いのは、「我」と訳される「アートマン」という単語が、もともと「呼吸する」という言葉から派生した点です。つまり、呼吸する存在、息をしている存在、呼吸する身体が「我」なのです。なお、「アートマン」という単語はサンスクリット（梵語）で、『原始仏典』を表記しているパーリ語では「アッタナ」といいます。

インドの宗教世界では、生命エネルギーを「プラーナ」とよびます。この「プラーナ」もまた、「氣息」とか「呼吸」と訳されることがあるくらいで、呼吸と深いかわりがあります。

一方のブラフマンは神であり大宇宙です。したがって、「梵我一如」は、我という呼吸する身体と、神なり大宇宙なりが、その本質において同一という意味になります。

この原理は、私の本来の専門である密教でも、ずっと貫かれています。具体例をあげれば、後期密教経典の『ヘーヴァジュラ・タントラ』に、「汝は汝自身の父である」という表現で登場してきます。

「ヘーヴァジュラ・タントラ」は、ありとあらゆる仏典のなかで、もつとも性的なメタファーが多いといわれるもので、ようするに性にまつわるエネルギーを最大限に駆使して、悟りを得ようとしたのです。ややくわしいことは、のちほどお話します。

その「ヘーヴァジュラ・タントラ」に、第四灌頂という項目があります。灌頂というのは、文字どおり、頭の上から水を注ぐことです。キリスト教の洗礼と同義です。古来、密教の修行者になるためには絶対、灌頂を受けなければならぬと規定されてきたのです。

密教の場合は、なにしろ最終段階のインド仏教ですから、なにごとにもひじょうに複雑化しました。「ヘーヴァジュラ・タントラ」では、灌頂もつこう四回、おこなわれました。

その最後の灌頂が、第四灌頂です。第四灌頂は、別名を「言葉による灌頂」ともいい、三回目までの灌頂が身体操作を中心に行っていたのに対し、その名のとおり、師匠から授けられる特別な言葉で灌頂されるのです。そして、その特別な言葉こそ、「[at Yamasi]」の密教版ともいうべき「汝は汝自身の父である」だったのです。

修行の原理

そもそも、なぜ修行するのでしょうか。

仏教における修行の目的を、ひとことでいってしまえば、ブツダの悟り体験を追体験することに尽きます。この目的を達成するためには、身体的なエネルギーを宗教的あるいは霊的なエネルギーに変容させなければなりません。そのための継続的な行為が、修行なのです。もう少し具体的にいうと、身体操作をとまなう瞑想、すなわちヨーガの実践になります。

二四〇〇年以上にも達する仏教の伝統において、さまざまな修行法が開発されてきました。そのなかには、こ

くごく簡便な念仏のような修行法もあれば、これからご説明する密教のような複雑な修行法まで、多種多様をきわめます。以下では、密教の修行について、その内容をかいつまんで述べます。

『ヘーヴァジュラ・タントラ』には、「この身体をおいて、どこに悟りの場が得られようか」という文言が登場します。これはひとり『ヘーヴァジュラ・タントラ』のみの見解ではなく、仏教の基本原則として、通用してきました。すなわち、仏教における修行は身体を離れてありえません。

ここで問題になるのは、ブツダの悟り体験です。ご存じのとおり、ブツダは真理は言葉では表現できない、体験するしかないと述べています。まさに言語道断です。

そこで、歴代の仏教者たちは、ブツダの悟りの内実をなんとかきわめようと格闘してきました。大乘仏教では、多くの場合、それは「空」というかたちで言及されてきた歴史があります。かの有名な『般若心経』に、「色即是空」という表現で出てくるものです。

もつとも、「空」とはいったい何か、となると、これまた見解はいろいろに分かれます。しかし、少なくとも密教では、空は身体的快樂として体験できるとみなしました。それも尋常一様の快樂ではなく、ありとあらゆる快樂を超える至高の快樂として、体得できるとみなしたのです。

正確を期せば、人間が体験できる快樂は、どこまでいっても快樂という領域にとどまります。密教が求めた快樂は、人間が体験できる快樂を、さまざまな方法を駆使して、極限まで高め、そこで体験した快樂を、いわば跳躍台として飛躍し、一挙に悟り体験までもつていこうと考えたのです。

二つの方向性

そのために何が必要かという点、より強靱なエネルギーが必要になつてきます。さきほど述べたとおり、仏教

の修行はヨーガです。そして、そのヨーガがもし理想の状態になったとき、そこには精神性と存在性と快楽性があるというのが、インド宗教界の伝統的な見解でした。

この三つの条件を説明するのはまことに難しいのですが、あえていうなら、身体を基盤としていながら、身体からまったく自由な感覚があるとか、それでいて確固として自分がここにいるというような感覚があるとか、しかもとてつもなく気持ちが良いという感覚があるということのようです。早い話が、修行の究極の境地は気持ちが良いものであって、気持ちの悪い修行は駄目な修行なのです。

そもそも、仏教の修行法は、その方向性において、二つに分類できます。寂静の道と増進の道です。わかりやすくいえば、寂静の道は、生命エネルギーを低下させる方向の修行法で、そのためには性的な要素を可能なかぎり排除することになります。増進の道は、その反対に、生命エネルギーを活性化させる方向の修行法で、最終的には究極の生命エネルギーといっていい性的エネルギーをも利用することになります。

歴史的には、寂静の道が先行し、増進の道は後発でした。したがって、寂静の道は古典ヨーガともよべれます。増進の道は、おもに密教が採用したこともあって、密教ヨーガともよべれます。その境界は五く六世紀だったと推測されています。

もちろん、ブッダ自身が採用した修行法は、前者でした。かれが弟子たちに指導した修行法が「梵行」といって、いつさいの性的な要素を排除するものでした。

現在、日本の禅宗で実践されている座禅はこの系統の修行法です。わかりやすくいえば、座るときに、かかとで会陰部を刺激しないのです。会陰部には性的なエネルギーがあるということになっていますので、そこを刺激しない座り方をするのです。同時に、呼吸をどんだん落としていきます。とにかく生命エネルギーを低下させることが、肝心なのです。

しかし、生命エネルギーを低下させるからといって、精神状態が弛緩して、ぼおつとしてはいけないのです。む

しろ、感覚がひじょうにクリアになると言われています。大きな部屋の片隅に針一本を落としても音が聞こえるとか……。私を知っている範囲でも、うそではありません。ほんとうに研ぎ澄まされた状態が出現します。これが寂靜の道です。

この寂靜の道でも、真に深い体験が実現するならば、強烈な快楽をとまいません。その例証を、釈宗演の悟り体験に見てみましょう。

釈宗演は明治から大正時代にかけて大活躍した臨済宗の僧侶で、鎌倉の円覚寺の中興の祖とされる人物です。夏目漱石が円覚寺に参禅したときの師であり、漱石の葬儀でも導師をつとめました。明治以降の近代化のなかでもっとも有名なお坊さんだった人です。

この方が明治二〇年から三年間、真の仏法を求めて、スリランカに留学しました。その帰り道、バンコクで船に乗っているときに、悟り体験をしたのです。そのときのことを、「楞迦窟洪嶽演禪師示衆」という文章に残しています。

夜愈々深くして、人既に定まり、満船閑として、只舷灯の僅かに河底を射るあるのみ。此時蚊軍更に一層の魔力を振り……。今此の一鱗の頑肉を以て、此の蚊軍の犠牲となし、飽くまで彼等の口腹を満たしむることを得ば、衲が意亦た足りなん。

是の如く観じ来つて、中夜陰に甲板上に於いて、総に衣帯を脱し裸体赤條々にして、兀然として危坐して海印三昧に入る。始は蚊軍の喊声、耳辺に喧しきを覚え、中ごろ蚊軍と自己と相和して、溽熱飢渴亦た身に在ることを省せず。終に五更に至つて、寤寐髣髴、胸中豁然として羽化して、太虚空界に翱翔するが如く、爽絶快絶、殆んど名状す可からず。那時一刹那、迅雷霹靂、電光一闪、驟雨沛然として至り、滂沱たる点滴頭より背に瀉いて、恰も瀑布をなす。時に徐ろに眼を開いて身邊を顧視すれば、時ならざるに真紅の茱萸菜

黄粒々相重りて面前に落不在。知る、是れ夜来蚊軍の血に飽きて、自ら死地に陥りたるものなるを。

ようするに、座禅をしていたが、熱帯のことなので、蚊がわんざか飛んできて、もう体中めちゃくちゃ刺された。しかし、そのうちに深い瞑想の境地に入った。それは、まさに羽化登仙のごとき、すばらしい快感だったというのです。

しかも、ものすごいスコールが降ってきたにもかかわらず、気付かずにずっと瞑想を続け、まさに究極の快楽を味わって、ふっと目覚めると雨はやんでいて、自分の周りに血を吸ってグミのようになった蚊が、ばらばらと落ちていたという話です。

ですから、先ほどから申し上げているように、深い悟り体験には快楽がともなうのです。古典的なヨーガでも、それは可能だという例証の一つです。

霊的生理学

それに対して、増進の道はそれでは限界があると見切つて、逆にそのエネルギーを増進させることで悟ろうという方向にいきました。そして、最終的にセックスを導入する方向にいきました。

この場合、重要な要素が二つあります。一つは、すでに何回も言及している生命エネルギーです。インドでは「プラーナ」、チベットでは「ルン(風)」、中国では「気」などとよばれてきたものです。

もう一つは、生理学です。生理学といっても、近代的な意味の生理学ではありません。インドの宗教において究明された、霊的な生理学とでもよぶしかないものです。それによれば、私たち人間の身体内部には、脈管、チヤクラ、滴とよばれる器官があるというのです。

会陰部から頭頂に至るまで、身体の中央に太い脈管があり、その左右にやや細い脈管が通っています。しかも、左右の脈管は、中央の脈管に、特定の箇所でかたく絡んでいます。その絡んでいる箇所はチャクラとよばれます。

中央の脈管の内部は、チャクラに絡まれているので、通常は真空状態になっています。しかし、何らかのテクニックを使って解きほぐしていくと、そこが通るようになります。そして、会陰部にわだかまつている性的なエネルギーを、上に向かつて燃え上がらせていくと、性的なエネルギーは上がるにしたがつて浄化をされます。かくして、頭頂に至ったときに完全に浄化をされ、絶大な快樂とともに、修行者は悟りの境地に到達するということです。

もちろん、これはあくまでも霊的な身体です。具体的にいまの解剖学で、これが、ここだと言うことは絶対にできません。しかし、ある種の境地において、指定された場所にそれらしきものが現れるという体験が得られることは、確かなようです。少なくとも、感覚的に出ることは、私もあまり疑っていません。

このような想定は、日本密教でもありました。平安末期に活動し、真言宗の二大流派の一つの祖となつた覚鑿（一〇九五―一四四）が書いた『五輪九字明秘密釈』に、ほぼ同じ内容のことが見られるのです。覚鑿の方法では、まず自分自身を五輪塔に見立て、それを自在に伸縮させるという瞑想をおこないます。小さくするときには、鼻の頭にぶら下がっている芥子粒ほど、大きくするときには宇宙大に拡大させるのです。こうして、自分自身が、宇宙そのものとされる大日如来という本尊と、同一の存在であると悟れというわけです。

ここでもつとも必要になるのは、エネルギーの強度です。性的エネルギー、人間がもつエネルギーのなかでも飛び抜けて強度の高いものですが、それでも足りない場合がないとはいえません。

そうになると、もつと強度の高いエネルギーが求められることとなります。結論は異性がもつ性的エネルギーの導入です。すなわち、性行為そのものを修行に導入するのです。これが、いわゆる性的ヨーガです。さきほどふれた「ヘーヴァジュラ・タントラ」は、その典型例です。

ただし、性行為は戒律で厳禁されています。したがって、僧院内では実践できません。じつは、性的ヨーガが開発された八世紀以降のインド仏教界、あるいはその忠実な後継者であつたチベット仏教界では、悟りを優先するか戒律を優先するかをめぐる、さまざまな葛藤がありました。

日本でも、性的ヨーガの実践はかなりあつたようです。室町から江戸時代で大弾圧されて、歴史の表舞台からは姿を消しましたが、真言宗系では立川流、天台宗系では玄旨帰命壇とよばれる流派が、平安末期から江戸初期にかけて、跳梁跋扈していました。

身体のマングラ化

以上の方法をさらに精緻にととのえ、戒律にも触れないように配慮して、実践してきたのがチベット密教のマングラ瞑想法です。

マングラは、尊崇する仏菩薩や神々を、幾何学的な基盤の上に図示したものです。その意味は、精神界の航海図、宇宙の航海図とも、いろいろな解釈が可能です。

このマングラを利用する修行法もいろいろ開発され、最終的には自分の身体そのものをマングラにしてしまうという修行法が登場します。これがマングラ瞑想法です。

具体的には、自分の身体全体に、あまたの仏菩薩や神々を、布置します。簡単にいえば、特定の場所に配置するのです。そして、布置が完成すると、今度は自分自身を宇宙全体と一体化させる瞑想をおこないます。その実践には、すさまじいエネルギーが必要だと伝えられてきました。

結局、こういう修行を成就するためには、やはり女性の性的なエネルギーが必要になつたのです。ようするに、性的な行為をいとなみ、男女が抱き合つたままで、瞑想するのです。

さらに、この先の段階にまいりますと、常識ではとても考えられない行為まで登場してきます。男女の修行者がたくさん集まって墓場に行き、死体から腸を引きずり出して、その腸で地上に区画線を引き、マンガラを描きます。ついで、男女がペアになって、性的ヨーガを実践するのです。その時間も尋常ではありません。三日三晩にわたります。しかも、天体の運行に合わせて、パートナーを変えていくのです。もちろん、大宇宙と一体化するためです。

この修行法は過去の遺物ではありません。現在でもネパールの首都、カトマンドウで、秋の終わりから冬の初めにかけて、どこかで実践していると聞いています。なんとか実態を把握しようと追いかけている研究者の知人もいますが、現時点では、残念ながら、成功していません。

聞くとここでは、ものすごく厳しいタブーがあつて、見たらたぶん殺されるだろうといわれていますから、見つかからないほうがいいかもしれません。いずれにせよ、「梵我一如」を体得するために、密教はこういうさまざまな局面までいきました。

この種の行為を、荒唐無稽と言ってしまうのは、簡単です。しかし、そこまで人々を駆り立ててきたものはいったい何だったのか、を考えると、荒唐無稽と断じてしまうことに、少なくとも私は躊躇します。人間の身体が秘めるエネルギーについて、これほど真摯に追求してきた事例は、他には見出しがたいのですから。

(宗教学者)

【主な参考文献】

【覚禅鈔】(大日本仏教全書、名著普及会)

【大正新修大藏経】(大正新修大藏経刊行会)

【弘法大師空海全集】(筑摩書房)

- 【原始仏典Ⅱ…相應部經典Ⅰ】(春秋社)
【インド宇宙誌】(定方晟 春秋社)
【反密教学】(津田真一 春秋社)
【密教の思想】(立川武蔵 吉川弘文館)
【シリーズ密教 インド密教】(立川武蔵+頼富本宏編 春秋社)
【ヒンドゥー神話の神々】(立川武蔵 せりか書房)
【女神たちのインド】(立川武蔵 せりか書房)
【マンガラ瞑想法】(立川武蔵 角川書店)
【シリーズ密教 チベット密教】(立川武蔵+頼富本宏編 春秋社)
【癒しと救い】(立川武蔵編著 玉川大学出版部)
【性と死の密教】(田中公明 春秋社)
【チベット密教】(田中公明 春秋社)
【曼荼羅イコノロジー】(田中公明 平河出版社)
【初期仏教の修行道論】(田中教照 山喜房佛書林)
【増補チベット密教】(ツルティム・ケサン+正木晃 筑摩書房)
【裸形のチベット】(正木晃 サンガ)
【性と呪殺の密教】(正木晃 講談社)
【チベット密教 図説マンガラ瞑想法 増補版】(ツルティム・ケサン+正木晃 ビイニング・ネット・プレス)
【チベットの「死の修行」】(ツルティム・ケサン+正木晃 角川書店)
【マンガラとは何か】(正木晃 NHK出版)
【密教の歴史】(松長有慶 平楽寺書店)
【インド密教の仏たち】(森雅秀 春秋社)
【仏像学入門】(宮治昭 春秋社)

第三部 文化史・学問論の立場から

11 エネルギーの文化史へ——概念変容をめぐる覚書

鈴木貞美

1 エネルギー概念の文化史へ

一九七〇年代から、これ以上、生産力の向上をはかり続けられ、地球資源、とりわけ化石燃料の枯渇が近い将来の日程に上るとされ、また地球環境問題が浮上し、とりわけ大気の温暖化に対して、エネルギー消費を抑えることに先進国間の国際的な合意形成がなされた。が、開発途上国が反発し、「持続可能な発展」がスローガンにされ、「自然力」エネルギーへの転換の追求もはじまった。とはいえ、先進国と開発途上国のあいだ、また開発途上国間の調整が進展を見ないまま、埋蔵資源の発掘権の「買いあさり」や原子力発電への依存度を高める傾向もつき、地球温暖化を回避する方向へ舵は切られていない。そこへ二〇一一年三月一日、日本の関東・東北を襲った大地震と津波により、福島第一原子力発電所の事故が起こり、再び三度、国際的にエネルギー問題に対する関心が高まっている。

ここでは、エネルギーが、人類にとって、どのようなものとして考えられてきたのか、そして、それが東アジアでは、どのように受容され、独自に展開してきたのか、それらを問い直すきっかけを得たい。これまで近現代

のエネルギー概念についての研究は、欧米の哲学辞典、思想史事典などを眺める限り、まず物理学のそれに限られ、精神文化史における研究は、ほとんど行われていないと思われる。

まず、エネルギー概念とその受容について、諸辞書における意味の変遷について、一渡り眺めておこう。エネルギーの概念は、遠くギリシア時代に淵源をもつ。*ἐνεργία* (*energeia*) は、ギリシア語の *en* (前置詞) + *ergon* (仕事) の合成語 *ἐνεργός* (*energos*) に由来する語で、働いている状態、勢力、活力を意味し、これがラテン語で *“energia”* になり、英語では *“energy”*、フランス語では *“energie”* になった。ドイツ語では *“Energie”* で、日本語「エネルギー」は、この発音を写したものである。

OED初版(一九三三年)で、*“energy”* は、①古い用法として、力 (*force*) や力強い表現 (*vigour of expression*) の意味を記し、一六世紀からの用例を並べ、遅い例にエマソン『代表的人物』(*Ralph Waldo Emerson, Representative Men*, 1850) 中のシエイクスピア (*William Shakespeare*) の章から一文を引いている。次に②「力の働き」(一七世紀から) や「効果的な操作」(一八世紀から)、③意志の強さ(一九世紀から)、④外に表れた(人や馬などの)活動力(一七世紀からだ)が、一九世紀の用例が多い。チャールズ・ディケンズの小説「われわれの共通の友人」(*Charles Dickens, Our Mutual Friend*, 1855 など) をあげている。個々人の実行力の意味は、一八世紀からだ)が、ラスキン『建築の七灯』(*John Ruskin, The Seven Rumps*, 1949) などを用例にあげている。⑤潜在的な能力、⑥自然科学における「仕事する力」と並べ、⑥のブランチに (b) モーメント、(c) 植物学という成長力、(d) 心理学上の「力」を設け、そして⑦を *“energy-change”* などの連用語の項目としている。第二版(一九八九年)でも、この構成は変わらない。*“energy”* が多様な意味、概念をもつ語であり、自然科学における意味の登場は比較的遅いことは一目瞭然である。東アジアでは、英語 *“energy”* が、他の語と同様、中国南岸部で漢語に翻訳されたのが受容のはじまりである。その時期の英華辞典を代表するロブシャイド『英華字典』(*W. Lobscheid*, 1879, 元版 1866-69, Hongkong) は、意味として *“inherent power”* と記し、訳語には「力、勢力、心力、精力、キリヨク(気力)、リキリヨウ(力量)、チ

カラ(力)、剛毅、剛決——()内は引用者——を並べている。物理学的エナジーを先頭に立て、そのあとに精神力に類する意味を並べている。

OEDの記述とあわせて、このロブシャイド『英華字典』の“energy”の項目について考えてみると、一八四〇年代にイギリスの産業革命が一段落したのち、英語で、物理学的な用法が盛んになってきたのを反映したものと推測される。ロブシャイド『新增英華字典』(一八九七年版)では、一八七九年版の説明に加えて、用例として“no act with energy”をあげ、訳語として「剛烈作事」、用例として“no energy”に「柔弱、軟弱、無力」の訳語を付すなどし、“constitutional energy”には「丹田力」の訳語を与えている。これは用例の範囲をよりひろげたものだろう。

次に、井上哲次郎他編『哲学字彙』を参照すると、一八八一年版では“energy”を「勢力、元氣」、一八八四年版では「勢力、元氣、氣力」、一九一二年版ではギリシア語起源、ドイツ語、フランス語を記し、「勢用、勢力、元氣、氣力」の訳語を宛て、*わらひ* “Conservation of energy”(勢用不滅)、“Dissipation of energy”(勢用放散)、“Mechanical energy”(力学的勢用)、“Potential energy”(將成的勢用)など物理学の用例が増えている。「勢力」が物理学的エナジー、「元氣」、「氣力」は精神力にあたるものと見られ、二〇世紀に入り、知識人のあいだに「エネルギー」を物理学用語とする意識が強まり、「エネルギー保存則」などの知識がひろまることを反映していると推測される。

ただし、「元氣」にあたる訳語および用例は、ロブシャイドには見られない。道教系の「氣」は、ロブシャイドでは、*わび* *わび* “constitutional energy”(丹田力)という用例をあげてある。この「元氣」は、精神力の意味ではなく、宇宙の「氣」の可能性もあるが、これだけでは判然としない。

それはともかく、以上からも、「エネルギー」概念の変容を知るには、精神文化と生活文化の両面、そして、自然科学にわたって見てゆかなければならないことはいうまでもない。本稿は、エネルギー概念を受け取ることによって、日本近代の精神文化史に、どのようなことが起こったのかを探ることを目的に置くが、そのためには、

一九世紀半ばの中国の南岸での受容の様子、その背景としての一九世紀における英語“energy”の用例にふれることが不可欠になる。いわばエネルギー概念の文化史への第一歩を踏み出してみたい。

第二節では、一九世紀における英語「エナジー」の用法のひろがりを確認するために、産業革命のただなかでそれに反対したトマス・カーライルと、その系譜を引くジョン・ラスキンの「エナジー」の用法を見、ついでカーライルと親交のあったアメリカのラルフ・ウォルド・エマソンとそのグループと見なされているヘンリー・デイヴィッド・ソロー、ウォルト・ホイットマンらの用法を眺めることにする。

第三節で、一九世紀の自然科学における「エネルギー」概念の統一について常識的なことをまとめたのち、第四節で、それと前後する時期のドイツおよびフランスの哲学の変容、第五節で、社会科学におけるエネルギー概念の変遷について、まとめておく。第六節で一九世紀半ばに東アジアにエネルギー概念が伝播したときの様子、第七節で日本におけるエネルギー概念およびエネルギー二元論の受容の概観を得ることにしたい。

2 一九世紀における英語圏の用法

OEDでは、英語「エナジー」は「力」一般、「意志の力」などの用法が先行していた。いま、試みに、産業革命に背を向けたグループに着目してみる。イギリスのヴィクトリア朝を代表する言論人、トマス・カーライル(Thomas Carlyle, 1795-1881)は、目立つほどではないが、しばしば“energy”, “energies”, “energetic”, “energetically”を用いている。いくつか例示してみたい。たとえば、雑誌発表した初期のエッセイ「時の徴」(“Signs of the Times”, 1829)では次のように登場する。

To speak a little pedantically, there is a science of *Dynamics* in man's fortunes and nature, as well as of

Mechanics. There is a science which treats of, and practically addresses, the primary, unmodified forces and energies of man, the mysterious springs of Love, and Fear and Wonder, of Enthusiasm, Poetry, Religion, all which have a truly vital and infinite character; as well as a science which practically addresses the finite, modified developments of these, when they take the shape of immediate "motives," as hope of reward, or as fear of punishment. (volume three of *The Collected Works of Thomas Carlyle*. 16 volumes. London Chapman and Hall, 1858) (傍線引用者。以下同様)

少しばかり銜学的にいうなら、人間の運命と性格のメカニックス(仕掛け)についてと同様に、それらのダイナミックス(躍動)についての一種の学知があるのだ。変形をこうむらない人間の力とエネルギー、愛や恐れ、また不可思議、熱狂、詩、信仰の神秘の泉を、みな真に生きたもの、「無限」の性格をもつものとして、原初のままに扱い、実際に訊ねる学知があるのだ。それらが、報われることを望むにせよ、罰を恐れるにせよ、即座に何らかの「動き」のかたちをとるとき、それらの発展を変形し、実際に限定してかかる種類の学知とは別に。(引用者による訳。以下同様)

「*energies*」は「*forces*」と並列され、学知(*science*)の対象とされている。一方に、愛や恐れ、また不可思議、熱狂、詩、信仰などの感情や精神を変形してしまう学知があるのに対して、それらの湧き出るところが「神秘の泉」となれ、真に生きたもの、「無限」の性格をもち、「*energies*」や「*forces*」をもち、人を実行に誘うものとなれ、それを、変形をこうむることのない姿のままに、いわば生け捕りにする学知が目指されている。カルヴァン派プロテスタンティズムの倫理を保持したまま、キリスト教を離れたトマス・カーライルが「英雄崇拜論」(*On Heroes, Hero-Worship, and the Heroic in History*, 1841)で歴史をつくった英雄たち——神、預言者、詩人、僧侶や王などを称えたことは、日本では明治中期から知られていたが、それは、産業革命の進展が人間のすべてを機

械化してしまふことに反対してのことだった。また、たとえば「特性」(“Characteristics”, 1831)の第一章の最後に次のようにある。

We may now say, that view man's individual Existence under what aspect we will, under the highest spiritual, as under the merely animal aspect, everywhere the grand vital energy, while in its sound state, is an unseen unconscious one; or, in the words of our old Aphorism, 'the healthy know not of their health, but only the sick'. (The Edinburgh Review, Edinburgh, Vol. LIV, December, 1831)

こゝで、「こういってよいだろう。最高の精神の外見からであれ、単に動物の外見からであれ、いずれにせよ大いなる生命のエネルギーが鳴り響いているあいだは、我々が個々人の「存在」を見ようと意図しても、それは見えず、意識されないものなのである。つまりは、古いアフォリズムに「健康は健康な人には知られず、病人のみが知る」というがごとくである。

そして、架空のドイツの哲学者に仮託して記された『衣装哲学』(Sartor Resartus: The Life and Opinions of Herr Teufelsdröckh, 1831)中には、次のように登場する。

In our wild Seer, shaggy, unkempt, like a Baptist living on locusts and wild honey, there is an untutored energy; a silent, as it were unconscious, strength, which, except in the higher walks of Literature, must be rare. (e-books no. 1051)

バッタと野生の蜂蜜で暮らすバプティストのように、毛むくじやらでもじゃもじゃ頭の野蛮人の預言者は、文芸の高級な歩みの内で示されるほかにはありえない無意識と強靱さに似た、たわめられていないエネルギー

―と沈黙とを具している。

これらの例からわかるように、カーライルにおいてエネルギーは、人間が内に保有するものとされ、しかも、人工的な変形を受けない自発性、無限性をもつ力とされている。なお、『衣装哲学』では、無限性は目に見えない神秘的なものの属性をいい、それに具体的な形を与えることが「象徴」とされる。

In the Symbol proper, what we can call a Symbol, there is ever, more or less distinctly and directly, some embodiment and revelation of the Infinite; the Infinite is made to blend itself with the Finite, to stand visible, and as it were, attainable there. (Chapter III. Symbols)

我々が「象徴」と呼んでいるもの自体において、明瞭で直接的であろうが、そうでなかろうが、「無限的なるもの」の何らかの具象化や顕現がなされている。「無限的なるもの」とは、それ自体が目に見える、つまりそこに存在し、手に入れられる有限性と混じりあって存在しているのである。

キリスト教圏において、象徴は、長く古代エジプトなどの原始宗教の偶像崇拜と結びついたものとされてきたが、ここでは、それがその枠を取り払って神聖な永続性を示すものとされている。このカーライルによる「Infinite」の称賛は、のさばられるようにジョン・ラスキン(John Ruskin, 1819-1900)やアーサー・シモンズ(Arthur William Symonds, 1865-1945)らによつて、ルネサンスやロマン主義が「芸術」の枠内で享受を可能にしたギリシア神話やゲルマン神話、インド神話などの「原始宗教」に、その宗教的尊厳までも復活させる契機として働くことになる。

カーライル「時代の徴」は、フランスのルネ・デカルト(René Descartes, 1596-1650)やヴォルテール(Voltaire,

1694-1778) やアイザック・ニュートン (Isaac Newton, 1642-1727)、『シモン・ロック (John Locke, 1632-1704)』、デイヴィッド・ヒューム (David Hume, 1711-1776) の機械論、啓蒙主義、経験主義などをみな、形而下への志向とまとめ、形而上学、すなわち精神世界の衰退を嘆く。その調子は進歩派から見れば、まるで後ろ向き、反動そのものに映る。だが、カーライルが『過去と現在』(Past and present, 1843)で「現金支払い」(Cash Payment)のみが社会の惟一の紐帯になったと告発したことをフリードリッヒ・エンゲルス (Friedrich Engels, 1820-1895) がその書評「イギリスの状態：トマス・カーライルの『過去と現在』」(“A review of Past and Present, by Thomas Carlyle, London, 1843”, *Deutsch-Französische Jahrbücher* 1844)で激賞したことはマルクス主義者のあいだではよく知られている。

「時代の徴」の翌年、カーライル「歴史について」(“On history”, 1830)——『ドイツ文学の歴史』(A History of German Literature, 1851)を執筆中に、その一部を切り出して雑誌発表したもの——では、歴史は「永遠の生命をもち、永遠に働きつづける『存在するものの渾沌』であって、そのなかで、無数の要素から、次から次へと新しい形態が生成される」(It is an ever-living, ever-working Chaos of Being, wherein shape after shape bodies itself forth from innumerable elements.)と述べている。

ゲーテ (Johann Wolfgang von Goethe, 1749-1832) の唱えた植物の形態変化(花は葉の変形)を人間の歴史に翻訳したような歴史観である。カーライルにはゲーテ論もあり、晩年のゲーテと文通していたことはよく知られる。「衣装哲学」は、ドイツ人の哲学者に擬して書かれており、彼がドイツ観念論に関心が深かったことは知られるし、歴史を英雄らの行為と見ることもどヘーゲル (Georg Wilhelm Friedrich Hegel, 1770-1831) の『歴史哲学講義』(Vorlesungen über die Philosophie der Geschichte, 1840)と共通する点も多い。ゲーテを尊敬していたヘーゲルが歴史の形態変化を強調するのもゲーテの植物形態の変化論の影響を受けたと考えてよい。だが、ヘーゲルにはカーライルのように、産業革命とそれを導いた機械論的な世界観に対する反発から歴史を「カオス」と見る考えはない。へ

「ゲルの「エネルギー」の語の用法については、のちに述べる。

カーライルより二四歳年下の、だが、固く親交を結んでいたジョン・ラスキンは、その「永遠の生命」を建築労働者の生命の量という科学的思考に引き寄せた。ロシック・ルネサンス運動のなかで書かれた『建築の七灯』(The Seven Lamps of Architecture, 1849, With illustrations drawn by the author, London Waverley Book Co. ca.1920)は、日本では明治後期からよく読まれたが、そこには“energy”, “energies”の名詞のみ、一四カ所用いられている。第三章「力の灯」(The Lamp of Power)には、次のように現れる。

IV. Let us, then, see what is this power and majesty, which Nature herself does not disdain to accept from the works of man; and what that sublimity in the masses built up by his coralline-like energy, which is honorable, even when transferred by association to the dateless hills, which it needed earthquakes to lift, and deluges to mould.

四、それでは、大自然のもつ人間のつくる作品に恥じない力強さと威厳、また珊瑚のような自然のエネルギーによって築かれた塊のもつあの崇高さ——地震によって持ち上げられ、洪水によってしか形づくられない、いつごろ出現したともわからないような丘陵に連想を移しても、なお立派さを感じさせるものとは、何であるかを考えよう。

“coralline-like energy”は、自然のなかで最も美しいとされる珊瑚がその姿を営々とつくりだすのに要するエネルギーという意味だろう。第四章「美の灯」(The Lamp of Beauty)には「人は直接自然形を模倣することなしに美の創意に進むことは出来ない」とあり、ここに付されたアフォリズム一九には「美はすべて自然の形態の法則に倣う」とある。これを受けて、第五章「生命の灯」では、「人間のつくる美の本質的特性」として「有機物に於ける生命

のエネルギーを表現すること」をあげる。人間の「心の印象」を描いたり、刻みつけたりした作品のことだが、「それらは、目に見えてそれらに使用された心のエネルギーの量に比例して、尊くも卑しくもなる」と述べられている。

I. Among the countless analogies by which the nature and relations of the human soul are illustrated in the material creation, none are more striking than the impressions inseparably connected with the active and dormant states of matter. I have elsewhere endeavored to show, that no inconsiderable part of the essential characters of Beauty depended on the expression of vital energy in organic things, or on the subjection to such energy, of things naturally passive and powerless.

And this is especially true of all objects which bear upon them the impress of the highest order of creative life, that is to say, of the mind of man: they become noble or ignoble in proportion to the amount of the energy of that mind which has visibly been employed upon them. But most peculiarly and imperatively does the rule hold with respect to the creations of Architecture, which being properly capable of no other life than this, and being not essentially composed of things pleasant in themselves,—as music of sweet sounds, or painting of fair colors, but of inert substance,—depend, for their dignity and pleasurable in the utmost degree, upon the vivid expression of the intellectual life which has been concerned in their production. (p.135)

「自然の形態の法則」という用語や、人間の制作物の美を「心のエネルギーの量」に換算するところにラスキンの博物学(自然科学)志向がうかがえる。ラスキン『近代画家論』第一巻(*Modern Painters*, 1943)では、「神秘的な雰囲気をたたえるターナー (Joseph Mallord William Turner, 1775-1851) の大気と雲の描写が精緻な観察に基づくこと

を、雲の高度による形のちがいを従来の三層から五層に分けて示し、その「科学性」を称揚したことで知られる。「心のエネルギー」も計量化できるものとして扱われているように思えるが、すぐあとのところで、労働者が真剣にとりくむか、そうでないかで、“true life”(真正の生命)と“false life”(虚偽の生命)とが分けられている。もちろん、前者が建築美の源泉とされる。

このような考えからラスキンは、労働者が、自分自身がつくった生産物から疎外されることに反発し、職人の工房仕事を礼賛し、生産物の有用価値(使用価値)を尊重する経済学や産業社会に対して中世の職人組合的な結びつきを理想とする社会主義への傾きを示してゆくことになる。そして、それはウィリアム・モリス(William Morris, 1834-1896)の社会主義的思想、とりわけ民衆工芸運動に受けつがれていった。また、その自然のかたちの模倣という考えは、植物のかたちを好むアール・ヌーボー(art nouveau)の流行を生みだしました。そのどちらも、日露戦争後の日本で、かなりのひろがりをもつことになる。

ラスキンのゴシック建築への礼賛は、もちろんルネサンス建築へのリアクションのなかで生じたものであり、キリスト教の崇高さへの賛美を伴ったものだった。ラスキンは『建築の七灯』の時期には福音主義の立場に立っていたが、一九五八年にトリノでキリスト教から決定的に離れ、『近代画家論』第五卷(二八六〇)以降は、長く無神論とのあいだを揺れ動いたとされる⁽³⁾。彼がキリスト教信仰から離脱するに至るには、ギリシア神話のもつ神秘性に深い関心を寄せていることを見逃すべきではないだろう。

その宗教的神秘性への賛美が、やがてウォルター・ペイター『ルネサンスの歴史の研究』(Walter Horatio Pater, *Studies in the History of the Renaissance*, 1873, *The Renaissance: Studies in Art and Poetry*, 1877)の結論部に登場する瞬間の官能の焰の輝きを永遠のものに定着した美術への礼賛 “To burn always with this hard, gemlike flame, to maintain this ecstasy, is success in life.”(この恍惚を保ちつつける硬い宝石のような焰として燃える芸術こそが、この世における成功)という一文に変奏され、芸術至上主義を惹き起こしてゆく。そのようにして登場した芸術

至上主義は、オカルティズムをふくむあらゆる宗教性、科学性をも包含して展開する新たな「芸術」概念の誕生を予告していた。

アーサー・シモンズ『文芸における象徴主義運動』(Arthur William Symons, *The Symbolist Movement in Literature*, 1899)は、その序文で、先のカーライルによる「象徴」の定義を引きながら、それを意識的に用いた芸術を象徴主義(Symbolism)とし、パリの詩人たちの交友をもとに、デカダンス(decadence)の喧騒の波に飲み込まれていたフランス象徴主義文芸の動きを神秘への崇拜、一種の宗教(a kind of religion)としてまとめた。ここでは、たとえばオノレ・ド・バルザック(Honoré de Balzac, 1799-1850)にも、象徴主義に向かう動きが探られ、小説中の人物描写に、その人物の発するオーラが周囲の空間を歪めて描かれていることなどに“energy”の語が用いられている。メスマリズム(mesmerism)を信奉していたバルザックが、「動物磁気」の放散を文章に示そうとしたことを“energy”の語を用いて説明することは了解できる。が、シモンズがとりわけ“energy”の語を駆使して、その不可思議な魅力を論じているのは、ジェラルド・ド・ネルヴァル(Gérard de Nerval, 1808-1855)の狂気に歪んでゆく詩句の世界である。それによつてネルヴァルを象徴主義の先駆者と見なしている。ここでは、物理とは無縁な「精神のエネルギー」が想定されているにちがいない。

次に、カーライル『衣裳哲学』を雑誌発表の翌一八三六年に、まずニューヨークで出版するようにことを運んだラルフ・ウォルド・エマソン(Ralph Waldo Emerson, 1803-1882)に目を転じる。カーライルとエマソンの応答関係は明治中後期の日本でも知られていた。

エマソンは力学も化学も認めているが、彼が超越的スピリチュアリストであるのは間違いない。彼は出来事に出合うたびに、絶えず、自分のものとされる意志からではなく、どこか高いところに隠れている源から自分のなかへ流れこんでくるものを感じている。エッセイ「大霊」“The Over-Soul, 1841”より引く。

Man is a stream whose source is hidden. Our being is descending into us from we know not whence. The most exact calculator has no prescience that somewhat incalculable may not balk the very next moment. I am constrained every moment to acknowledge a higher origin for events than the will I call mine.

As with events, so is it with thoughts. When I watch that flowing river, which, out of regions I see not, pours for a season its streams into me, I see that I am a pensioner; not a cause, but a surprised spectator of this ethereal water; that I desire and look up, and put myself in the attitude of reception, but from some alien energy the visions come.

「人は源の隠れた流れである。われわれの存在は、何処からか知らないうつからわれわれのなかに降りてくる」とエマソンはいう。どこからか流れ来る水を眺めているとき、その動きの精妙さに驚くのは、自分の態度によるのではなく、見知らぬエナジーから幻影が運ばれてくるからだとはいう。そのエナジーをもたらすのは、全体性、普遍性をもつ「かの統一」「かの大霊」「永遠なる唯一者」(“that Unity”, “that Over-soul”, “the eternal ONE”)、と、しばしばを交えて呼ばれる。次の文の“it”は、それを受けている。

Only itself can inspire whom it will, and behold! Their speech shall be lyrical, and sweet, and universal as the rising of the wind. Yet I desire, even by profane words, if I may not use sacred, to indicate the heaven of this deity, and to report what hints I have collected of the transcendent simplicity and energy of the Highest Law.

それだけが目指す者に靈感を与え、そして見守ることが出来るのだ！ 彼らの演説は抒情的で甘美で、吹きおこる風のように普遍的になるだろう。たとえば、神聖なことはを用いることができなくとも、俗人の語によ

つてでも、それでもわたしは、この神の天国を指し示し、「至高の法律」のもつ超越的な単純さとエネルギーとについて、これまでに集めた限りのことを報告したい。

第二エッセイ集（一八四四年）の「詩人」“the poet”でも、言葉と行為を呼び起す“energy”は神聖なものとなっている。

Words and deeds are quite indifferent modes of the divine energy. Words are also actions, and actions are a kind of words.

そして、それは知性のもつ力とされる。万物の本性に身をひらくとき、新たな“energy”が獲得され、知性それ自体が倍化される。そして「宇宙」の生命のなかに捕まえられたとき、その知性は普遍的なものになるのである。

It is a secret which every intellectual man quickly learns, that, beyond the energy of his possessed and conscious intellect, he is capable of a new energy (as of an intellect doubled on itself), by abandonment to the nature of things: that, beside his privacy of power as an individual man, there is a great public power, on which he can draw, by unlocking, at all risks, his human doors, and suffering the ethereal tides to roll and circulate through him: then he is caught up into the life of the Universe, his speech is thunder, his thought is law, and his words are universally intelligible as the plants and animals.

「大自然」は、その創造物を詩人に具象化した言葉として差し出す（Nature offers all her creatures to him as a picture-

language)。「大自然」はその全体であれ、部分であれ、魂の象徴なのである。なぜなら、「宇宙」は、魂が外に現れた姿だから (The Universe is the externalization of the soul.)。

このロンコードの巨人に私淑したヘンリー・デイヴィッド・ソロー (Henry David Thoreau, 1817-1862) は、しかし、「energy」の語を神聖なもの、知性にかかわるものとしては用いていない。『ウォールデン—森の生活』(Walden, Or Life in the Woods, 1854) 中「音」(Sounds) より。

Or perchance, at evening, I hear him in his stable blowing off the superfluous energy of the day, that he may calm his nerves and cool his liver and brain for a few hours of iron slumber.

あるいは、ときどき夕刻に、わたしは彼が厩の中で、その日のエナジーの余りを吐き出すのを聞く。神経を鎮め、内臓と脳を冷やすのだろう。鉄の眠りの二、三時間のうちに。

彼とは、当時しばしば「鉄の馬」「火の馬」に喩えられた蒸気機関車のこと。ソローがウォールデン池畔の森の中に丸太小屋を建て、自給自足の生活を送った二年二カ月の間に汽車がロンコードの森をポストンに向けて、あるいはポストンから走り抜けるようになったらしい。「より高き法則」(Higher Law)の章の冒頭近く、彼は精神生活に向かう本能とともに、原始段階の野蛮な生活に向かう本能を見出している。

I found in myself, and still find, an instinct toward a higher, or, as it is named, spiritual life, as do most men, and another toward a primitive rank and savage one, and I reverence them both. I love the wild not less than the good.

ソローは銃を捨てて森に入り、肉食を絶ったが、釣りは楽しみ、魚は食った。そして、その章には「生殖エネルギー」が登場する。

The generative energy, which, when we are loose, dissipates and makes us unclean, when we are continent invigorates and inspires us.

そして、ソローはいう。人間は、半分、獣であるフアンやサティリスとちがわないのだと。

I fear that we are such gods or demigods only as fauns and satyrs, the divine allied to beasts, the creatures of appetite, and that, to some extent, our very life is our disgrace. —

ソローは、そのほかには、赤リスのすばしい動きを“energy”の浪費といい、また土砂の流出にも“energy”を用いている。“energy”を内在するもので、計量化できない物理的なものとして考えていることがわかる。エマソンのように神聖なもの、どこからかやってくるものとして扱っていない。

エマソンの超越哲学の影響下に出発した詩人、ウォルト・ホイットマン「草の葉」(Walt Whitman, *Green Leaves*, 最終バージョン一八九二)には、“energy”, “energies”, “energetic”の語がそれぞれ一カ所ずつ見出せるにすぎない。が、まず、『草の葉』初版(一八五五年)の巻頭詩、よく知られる「私自身の歌」(*Song of Myself*) 1の最後の連の四行目に登場する。

Creeds and schools in abeyance,

Retiring back a while sufficed at what they are, but never forgotten,

I harbor for good or bad, I permit to speak at every hazard,

Nature without check with original energy,

あれこれの宗旨や宗派には休んでもよい、

今はそのままの姿に満足してしばらくは身を引くが、やはりとてなれてしまうことになく、

良くも悪くも港に帰来し、ぼくは何でも許してやる、

「自然」が拘束を受けずに原初の活力のままに語ることを。(酒本雅之訳)⁽⁴⁾

“original energy”は、東アジアでいう「大自然」の「元氣」の意味と大差ない。“Song of Myself”の冒頭は、

I CELEBRATE myself, and sing myself,

And what I assume you shall assume,

For every atom belonging to me as good belongs to you.

ぼくはぼく自身を賛え、ぼく自身を歌う。

そして君だとしてきくとぼくの思いが分かってくる。

ぼくである原子は一つ残らず君のものでもあるからだ。(同前)

とはじまり、途中には“My tongue, every atom of my blood, form'd from this soil, this air”（ぼくの舌も、ぼくの血液のあらゆる原子も、この土、この空気から作り上げられ）とある。“atom”は物質の根元をなす最小単位の微粒子くらいの意味で、当時、広く受け入れられていた自然哲学の匂いがしよう。

“Rise O Days from your Fathomless Deep” (のぼりていつい、おお、昼たちよ、君らの底しれぬ深みから) 3には、次の詩句も見える。

Hungering, hungering, hungering, for primal energies and Nature's dauntlessness,
I refresh'd myself with it only, I could relish it only.”

原初の活力と大自然の不屈さが欲しくて、欲しくて、こらえきれなかったのだ

それだけがわたしを元気にし、それだけがわたしの味覚を喜ばせた(同前)⁵⁾

「大自然の不屈さ」と並べられている、この“primal energies”も、宇宙の「元気」に近い。もうひとつの“energetic”は、詩“Years of the Modern”中に民主主義の担い手として登場した民衆の魂(soul)を形容する「精気に満ちた、神にも似た」と用いられている。

このように見ると、“energy”の語を、エマソンが彼の超越論的スピリチュアリズムによって、神聖なものとして用いているのは当然としても、ソローは自然科学的な用法に接近し、ホイットマンは、いわば民間哲学のように用いていることになりそうだ。一九世紀の後半、アメリカでは自然科学の啓蒙が盛んだったといわれるが、ピューリタニズムと距離をとった知識人たちの“energy”の用法の分布について、探ってみた。

3 物理化学界におけるエネルギー概念の統一

最初に“energy”の語を“inherent power”の意味で用いたのは、イギリスの物理学者、トマス・ヤング(Thomas Young, 1773-1829)とされる(一八〇七年)。ルネ・デカルト(René Descartes, 1596-1650)は『哲学の原理』(Principia

philosophie, 1644) で、物体の衝突をめぐる、物体の重さと速さの積 (mv) を “*quantitas motus*” (運動の量) とし、それが保存されるとした。が、ライブニッツ (Gottfried Wilhelm Leibniz, 1646-1716) は、静力学 (*statics*) にある “*vis mortua*” (潜在的な力) に対して、重さと速さの二乗の量を “*vis viva*” (活力) と呼び、その数式化を試み (mv^2)、両派のあいだで長く論争がつづいた。その問題は、一八世紀半ばにダランベール「動力学論」(Jean Le Rond d'Alembert, *Traité de dynamique*, 1743) が、物体の運動の効果をその持続時間からみる見方と移動距離からみる見方とのちがいをとして一応の解決をつけた。なお、ダランベールはニュートン力学がキリスト教の母斑をつけていたのを払拭し、無神論に道をひらいたことでも知られる。よく知られるように、アイザック・ニュートン (Isaac Newton, 1643-1727) は、神の唯一性を強調するユニテリアン (Unitarianism) で、宇宙の法則性の解明も神の摂理の精妙さを解き明かそうとする情熱とともにあった。なお、彼が万有引力の法則を説いた『自然哲学の数学的諸原理』(*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, 1687) では、「力」は物体に由来するものではない、つまり内在するものではないとされていた。

そして、一八〇七年には、フランス革命軍の将軍、ラザール・ニコラ・マルグリット・カルノー (Lazare Nicolas Marguerite Carnot, 1753-1823) によつて、位置エネルギー、潜在エネルギーの考え方が「隠れている活力」として唱えられた。ヤングの “*energy*” の使用は、その三年後のことである。が、ヤングの用例が影響力をもっていたわけではなく、同様の意味で “*power*” などの語も使われつづけた。

実のところ、カルノーはポテンシャル・エネルギーを「利潤」を生み出すものとのアナロジーで語っていた。後にふれるルドルフ・ユリウス・エマヌエル・クラウジウス (Rudolf Julius Emmanuel Clausius, 1822-1888) も、熱力学を「能率」「効率」「支出」など産業社会の用語によつて論じていた。つまり、熱力学の創始者たちは、それを産業勃興期の「経済」とアナロジーしながら論じていたのである。のちに、フリードリッヒ・エンゲルスは未完のノート『自然弁証法』(*Dialectics of Nature*) のなかで、「仕事」の概念は、熱力学によつて経済学から物理学に持ち

込まれたと指摘している。⁽⁶⁾ “energy”の語源の“ergon”が人間が肉体で行う「仕事」を意味していたのだから、こうした相互の借用関係は、ある意味で、当然かもしれない。

それはともかく、英語圏において、物理学的な「エナジー」の語が広く用いられるようになるのは、水力や風力に代わって、蒸気機関(steam engine)が普及することによっていと見られる。内燃機関が発現する力、すなわち内在的な力とされていった経緯が推測されるだろう。スコットランドでエンジンニアだった、ジェームズ・ワット(James Watt, 1736-1819)が一七六九年、それまで炭鉱の水の汲み上げに用いられていた蒸気機関に新方式を開発し、一七八一年にはピストン運動を回転運動に変換する装置を開発し、さまざまに普及させたことが産業革命・工業化社会の原動力となり、燃料である石炭を時代の主役に押しあげたことはよく知られる。

なお、「エンジン」(engine)は、ラテン語のインゲニウム(ingenium)を語源とし、「生まれながらの才能」「賢さ」を意味していたが、一四世紀に入るところ、フランス語で、戦争に使われる「機械」(machine)の意味が加わり、やがて「仕掛け」(trick)、「器具」(device)を指して用いられるようになっていた。それが、この時期に「エネルギー」を動力(power)に変えるものを含意するようになり、「エンジン」はもっぱら原動機の意味で用いられるようになっていった。同時に「エネルギー」は、原動機が生み出すもので計量化できるものを含意する用法が盛んになったのだろう。

そして、この間に熱力学が発展し、エネルギー概念が統一される。熱力学の世界では、熱量保存則に立つ熱素(カロリック、流体)を想定する説に対して、熱は波動によるとする説が起こっていたが、一八四三年、ドイツのユリウス・ロベルト・フォン・マイヤー(Julius Robert von Mayer, 1814-1878)は、運動のエネルギーが熱に、あるいは逆に熱が運動のエネルギーに変わり得ることを明らかにし(一八四二年)、イギリスのジェームズ・プレスコット・ジュール(James Prescott Joule, 1818-1889)が実験をもとに熱の仕事当量を算出し(一八四四年)、ドイツのヘルマン・フォン・ヘルムホルツ(Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz, 1821-1894)は、それを参照して、熱

と仕事の等価性を論じた(一八四七年)。これらにより、熱力学第一法則(エネルギー保存の法則)が確立し、この法則が広い範囲で成立することが明らかにすると、カロリック説は失墜し、すぐに熱は分子の運動とされる。

スコットランドの初代ケルヴィン男爵ウィリアム・トムソン(William Thomson, 1st Baron Kelvin, 1824-1907)は、ジュールが発表していた「熱はエネルギーの一形態である」という論文を高く評価し、一八四八年に「温度が物体中のエネルギー総量を表す」という絶対温度の概念を導き、一八五一年に「熱を全て仕事にすることはできない(トムソンの原理)」という熱力学の第二法則を導いた。そして、一八五四年にグラスゴウのエンジニア、ウィリアム・ランキンが熱力学や電磁気学の成果をまとめ、熱、力、仕事量に関するエネルギー概念を統一した。潜在的(potential, latent)エネルギー、また位置(position, static)エネルギーまでふくむものに拡大したのである。ランキンは、一八五五年に学位を受け、ケルヴィン男爵の後を襲って、終生、グラスゴウ大学の理学部にあたる学部内の欽定教授の任にあった。

これによって「工学」が科学(science)の一分野として認められたことになるが、当時は「工学」(engineering)にあたる学位はなかった。イギリスの大学制度で“professor”は伝統的に今日までいわば講座の長であり、「工学」自体は長く総合大学の外の単科大学(college)が受け持つことになる。技術開発に高い社会的地位を与えるアメリカでも、大学の制度においては、その秩序は変わらなかった。

他方、クラウジウスは、ベルリンで熱力学の第一法則(エネルギー保存則)、第二法則(高温物体から低温物体に移動する)を定式化し、チューリヒに移ったのち、一八六五年に「エントロピー」という単語を用い、熱の放散の不可逆性を、対数を用いる関数で示した。そして熱力学の第一法則を「宇宙のエネルギーは一定である」、第二法則を「宇宙のエントロピーは最大値に向かう」と示した。宇宙が閉鎖系であることが前提になっている。

なお、ウィーンのルートヴィヒ・エドゥアルト・ボルツマン(Ludwig Eduard Boltzmann, 1844-1906)は、気体の熱力学を研究、分子運動に確率計算を導入し、ミクロ・レヴェルの分子運動がランダムさを増大する不可逆

反応を示すことを明らかにした。クラジウスのエントロピーはマクロ・レヴェルで、その平均値を意味するもので、それによって統計力学の端緒を開いた。が、一九世紀後期の物理学界を率いたウィーンのエルンスト・マツハ(Ernst Waldfried Joseph Wenzel Mach, 1838-1916)やドイツの化学者で、触媒作用・化学平衡・反応速度など物理化学という新領域を拓いたオストヴァルト(Friedrich Wilhelm Ostwald, 1853-1932)らはエネルギー一元論の立場から、アトム存在は仮説にすぎないとし、原子論に対して激しい論争を繰りひろげた。オストヴァルトは『一般化学教程』二巻(一八八五、八七年)で、これを明言している。ボルツマンは最後の原子論者と呼ばれるほど孤立し、鬱病で一九〇六年に自殺した。その前年の一九〇五年、アインシュタイン(Albert Einstein, 1879-1955)が、花粉内から流れでる微粒子が不規則な運動をするブラウン運動は熱運動する媒質の分子の不規則な衝突によって引き起こされる現象であるという理論を発表、フランスの物理学者、ジャン・ペラン(Jean Baptiste Perrin, 1870-1942)が一九〇八年から精密な実験を繰り返し、分子理論を実証し、一九一三年には『原子』(Atoms)を出版、一九二六年にノーベル物理学賞を受賞した。これで原子および分子の存在が公に認められたことになる。

その間、オストヴァルトは『エネルギー』(Energie, 1908)を著し、一九〇九年にはノーベル化学賞を受賞、いよいよエネルギー一元論の啓蒙に乗り出し、経済や文化領域にもその適用範囲をひろげていった。霊魂の本質もエネルギーとするので、死後の霊魂も不滅とする。ただし、晩年には、アトム存在を認めたという。

4 ドイツの「生の哲学」とエネルギー

ヨーロッパ大陸に目を転じる。ドイツでは一八九〇年代に、ルドルフ・オイケンが近代文明を批判し、「自然主義」とデカダンスに向かう「ロマン主義」の双方に対して精神生活の復権を訴え、人間の「共同の創造と生への本質的な統合」を「新理想主義」として提唱し(一九〇八年、ノーベル文学賞を受賞)、「生命エネルギー」という観念

を伴いながら展開するドイツの「生の哲学」の潮流を育てることになった。ドイツの「生の哲学」については、しばしば先駆けとして、シヨールペンハウアー『意志と現象としての世界』(Arthur Schopenhauer, *Die Welt als Wille und Vorstellung*, 1819)とニーチェ(Friedrich Wilhelm Nietzsche, 1844-1900)の哲学があげられる。そのふたつの影響はまちがいに大きくない。だが、シヨールペンハウアーの哲学は、「宇宙の意志」が「生の盲目的意志」として現れ、人間を苦悩に陥いれることからの解脱を説くもので、世界の原理としては、「宇宙の意志」が立てられている。ニーチェの哲学はかなりの変貌を遂げたが、遺稿『力への意志』(*Wille zur Macht*, 1901)では、エネルギー保存則にふれ、永遠帰帰の観念を得たことが啓示を受けたかのように語られている。「エネルギー保存則は永遠帰帰を要請する」(Fragment, 1063)。

ドイツの「生の哲学」の淵源というなら、むしろ、ヨハン・ヴォルフガング・フォン・ゲーテやゲオルク・ヴィルヘルム・フリードリヒ・ヘーゲル(Georg Wilhelm Friedrich Hegel, 1770-1831)を考へるべきだろう。ゲーテの生物の形態変化論がイギリスのカール・ライルやヘーゲルの歴史観に影響を与えたことはすでに述べた。ゲーテの自然学では、「色彩論」(*Zur Farbenlehre*, 1810)に「強いエネルギーの光は純粹に白く見える」と登場するが、形態変化論に「エネルギー」概念は大きな役割を果たしていない。

ヘーゲル『自然哲学』(『エンツィクロペディー』*Enzyklopädie*, 1817, 第二巻)には「エネルギー」の語も“inherent power”に相当する概念も登場しない。『哲学史講義』(*Vorlesungen über die Geschichte der Philosophie*, 1833)第一巻では、何についても原因を「力」に求める風潮を批判し、「力」は物質の属性でなく、物質の属性としては靈魂と同じに「自ら動く」性質を付与している。⁽⁹⁾ヘーゲルは物活論の系譜に立っていたといつてよい。『歴史哲学講義』(*Vorlesungen über die philosophi der Geschichte*, 1822-31, 1840)の「序論」は、a「事実そのままの歴史」、b「反省を加えた歴史」に対してc「哲学的な歴史」を立て、哲学的認識によれば、「理性」(Reason)が世界の「実体」であり、「無限のエネルギー」であり、自然界と精神界の生命をつくる「無限の素材」であり、かつ、その内容を活性化する「無限の

形式」であることが証明されるという。⁽¹⁰⁾

ヘーゲルの場合、その体系の至高点に、この「理性」が据えられている。それは一切の原理であり、源泉なのだ。そして、たとえば「論理学」(Wissenschaft der Logik, *Lehre vom Begriff*, 1816) 第三篇第一章「生命」では「生命は即且向自的に絶対的な普遍性である」と述べられている。つまり、それ自体においても、意識の対象としても、「生命」は「生命」なのであり、個別性、多様性をもちながら、しかし、どこまでいっても「生命」である。他の何ものにも還元できないし、何ものにも変化しない、すなわち概念化できない第二原理とされているといつてもよい。ヘーゲルの歴史観を批判したレオポルド・フォン・ランケ(Leopold von Ranke, 1795-1886)は『フランス史』(Französische Geschichte, *vornehmlich im sechszehnten und siebzehnten Jahrhundert*, 1852-1861)などで歴史を動かす原動力として「モラリッシェ・エネルギー」を想定した。

カーライルのように歴史の無秩序な流動性を強調する考え方は、ドイツでは、むしろ二〇世紀に入ったところで現れてくるらしい。歴史の発展段階の法則性を説くマルクス主義に対抗して、人間が主体的に選びとる倫理的実践の志向、「エートス」の分析によって、価値観を考慮した「社会科学」をひらく方法の可能性を提示したマックス・ヴェーバー「社会科学と社会政策にかかわる認識の「客観性」」(Die 'Objektivität' sozialwissenschaftlicher und sozialpolitischer Erkenntnis, 1904)は、その初めから三分の二ほどのところに「計りがたい生起の流れは、永遠にかぎりなく転変を遂げていく。人間を動かす文化問題は、つねに新たに、異なった色彩を帯びて構成される。したがって、個人的なもの、つねに変わりなく無限な流れのなから、われわれにとつて意味と意義とを獲得するもの、すなわち『歴史的個体』となるもの、の範囲は、永遠に流動的である」と述べている。先に引用したカーライル「歴史について」の一節に似ている。ヴェーバー「プロテスタントイイズムの倫理と資本主義の「精神」」(Die protestantische Ethik und der 'Geist' des Kapitalismus, 1904-05)は、カルヴァン派を中心に考察しており、カーライルの言の引用もある。⁽¹¹⁾カーライルがカルヴァン派の倫理から、機械化の様相を呈する産業社会に立ち向かったこと

は、先に述べた。そして、ヴェーバーは、この立場からオストヴァルトがエネルギー還元主義を文化理論にも適用したことに対して、エネルギーに文化的価値はないと徹底的に批判した(『Energetische, Kultur-theorien, 1909』)。歴史観ではなく世界観の歴史を取りあげたゲオルク・ジンメル『カントとゲーテ—近代世界観の歴史への一寄与として』(Georg Simmel, *Kant und Goethe. Zur Geschichte der modernen Weltanschauung*, 1906)は、カントは外部の素材に形式を与える主観を論じたが、ゲーテは主客の対立をはじめから超えており、その思想の核心には自然の「生命」という観念があるという。

エドゥアルト・ハルトマンが絶対精神を戴くヘーゲルの哲学体系とショーペンハウアーの哲学の止揚をする考えとして、無意識を、個人を超えた普遍性に通じるものとして説いた『無意識の哲学』(Karl Robert Eduard von Hartmann, *Philosophie des Unbewussten*, 1869)にエネルギー概念を結びつける傾向も見られる。ジグムント・フロイト(Sigmund Freud, 1856-1939)は無意識の領域に性欲エネルギー(Libido, リビドー)を想定した(『性理論に関する三つのエッセイ』*Drei Abhandlungen zur Sexualtheorie*, 1905)。

実際、エネルギー保存則は、一九世紀後期から二〇世紀前期の生物学をも変貌させた。エルンスト・ヘッケル(Ernst Heinrich Philipp August Haeckel, 1834-1919)は、逸早くダーウィン説をドイツに紹介し、ゲーテの自然科学の核心をなす生物の形態を強調した『一般形態学』(Generelle Morphologie der Organismen: allgemeine Grundzüge der organischen Formen-Wissenschaft, mechanisch begründet durch die von C. Darwin reformirte Descendenz-Theorie, 1866)を著し、ドイツの生物学界に君臨するが、彼が「ダーウィンよりもダーウィニスト」と呼ばれるゆえんは、エネルギー保存則とともに生物進化論を宇宙の最高原理に掲げたからである。一般向けの『宇宙の謎』(Die Weltwäitzel, 1899)では、ふたつを並べて「永久の自然法則」としている。スピノザの万有神論を「上品な無神論」と呼んだショーペンハウアーを引用している。ヘッケルの場合、物理化学的には「プラズマ」という生命物質(Lebensstoff)を、生物としては「モネラ」という無機界と有機界の結び目をなす原生生物の系統を想定し(今日では無核生物

の存在は否定されている)、無機界と有機界に階層的秩序を想定し、一般向けの『生命の不可思議』(Die Lebenswunder, 1904)では、『万物有生論』を唱えている。鉱物が結晶するのは、分子が列をつくることができるからで、感覚能力をもつと説明している。ヘッケルが一九〇六年にドイツ一元論者同盟(Deutscher Monistenbund)を創始したことはよく知られるが、それに加わったオストヴァルトが「エネルギー一元論」を唱え、分子の存在も仮説としたのに対し、ヘッケルは分子の存在を仮説とするわけではない。このようなしくみによって、ヘッケルは、おそらく一八六〇年代後半から、宇宙を循環する「生命エネルギー」のシステムを考え、その経済学を「オイコロジー」と名づけ、形態論、生理論、系統論など多岐に分れた生物学を統一することを構想していたと推測される。それが今日では、「エロロジ」(生態学)の祖形とされる体系である。

ヘッケルは『宇宙の謎』で、中枢神経の発達した高等動物を優れた国家とアナロジし、「人種」にも優劣を説くなどし、彼の理論がナチスに利用されたので、第二次大戦後、ヘッケルの名前さえ嫌う傾向が強くなったが、ヘッケルはさまざまな生物の新種の発見でも知られ、当時は「個体発生は系統発生を繰り返す」などの理論も実際に支持されていた(今日では、いくつかの経路があるとされている)。エンゲルスも『自然弁証法』に引用し、レーニンも『宇宙の謎』の書評を読んで、ヘーゲルの観念弁証法を唯物論的に転倒するヒントにしている(『哲学ノート』)。

* エンゲルスは『反デュリング』(Herr Eugen Dühring's Revolution in Science, 1878)から無機質と有機質の連続性の結節点としてタンパク質に関心を示している(第八章)。このことは、ソ連における発生学の研究を盛んにしたと推測される。そして、今日では、アミノ酸やデオキシリボ核酸などに生物特有の反対称性(キラリティ、鏡像異性体)の発生を探る研究が行われている。

ヘッケル『宇宙の謎』は岡上梁・高橋正熊共訳で有朋館より一九〇六年に、『生命の不可思議』は大日本文明協会編、後藤格次訳、上下巻で一九一四年に刊行され、それぞれ版を重ねた。

ドイツの「生の哲学」を代表するヴァイル・ヘルム・ディルタイは、端的にいえば、ヘーゲルの「絶対精神」を「生命」に置き換えることを目論み（「生の客観態」*Die Objektivierung des Lebens. Eine Auswahl aus seinen Schriften*, 1867-1910）⁶¹、歴史を生成発展する生命の流れとしてとらえ（歴史主義）、また文化的事象を「生の記号」として読むことを提案した（解釈学）。

世界の諸文化圏の歴史的変遷を生物個体の盛衰になぞらえ、国際的に大きな反響を呼んだオズワルト・シュペングラー『西洋の没落—世界史の形態学の素描』（Oswald Arnold Gottfried Spengler, *Der Untergang des Abendlandes, Umriss einer Morphologie der Weltgeschichte*, 1st vol.1, 1918, 2nd vol.2, 1922）は、その序文でゲーテとニーチェに感謝を捧げ、「固結した形式は生命を否定する」といい、ゲーテ『ファウスト』の一節を引いている。「幻の解き放たれた国で／形を創り出し、形を変えるもの／永遠の生命の永遠の戯れ／あらゆる生き物の形象がそれをめぐって漂っている」。

やがて、ドイツの「生の哲学」の流れの集大成というべき書物が現れる。人間の文化がますます根源的な「生命」から遠ざかり、精神科学が諸分野に分裂してゆくことに危機を感じたエルンスト・カッシーラーが世界観の統合に挑み、大著『象徴形式の哲学』（Ernst Cassirer, *Die Philosophie der Symbolischen Formen*, Bd. I, Die Sprache, 1923, II, 1925, III, *Phänomenologie der Erkenntnis*, 1929）を著す。その第一巻序論には、様々な文化事象を、精神のもつ根源的で自立的なエネルギーの発現、すなわち「象」世界（Bildwelt）の形成として把握し、それが展開してゆく種々の形態を考察するという視角が明確に示されている。そして、そのようにして形づくられる文化が、生の根源からますます乖離してゆかざるをえないという宿命を負っていることが述べられ、それを、いかに解決するか、という根本的な課題を提示している。

5 フランスの場合

「フランスのニーチェ」とも呼ばれる詩人で思想家のジャン・マリイ・ギユイユイ (Jean-Marie Guyau, 1854-1888) は、『倫理学—義務及び制裁なき道徳の考察』(La Morale d'Epicure et ses rapports avec les doctrines contemporaines, 1885)で知られるが、遺稿『社会学より見たる芸術』(L'Art au point de vue sociologique, 1889)では「芸術的感情はもともとその本質において社会的なものであり、個人的生命を更に大いなる普遍的生命と結合せしめて、之を拡大する」と説いた。このように「普遍的な生命」を原理として立てたことがアンリ・ヘルクソン (Henri-Louis Bergson, 1859-1941)の哲学の先駆とされる。

アンリ・ヘルクソンの『創造的進化』(L'évolution créatrice, 1907)は、生物進化の根本に突然変異を唱える生物学をヒントに、宇宙の生命エネルギーの突然の跳躍こそ、世界の創造的発展のおおもとと唱え、ヨーロッパの社会運動、芸術運動に大きな刺戟を与えた。ただし、彼はカトリックを離れておらず、「生の跳躍」(élan vital)は、いわば第二原理にあたる。

ヘルクソン『物質と記憶』(Matière et mémoire, 1896)の序文では、錯覚をふくめた認識の全体を神経の働きによって脳につくりだされるイメージと論じており、計量化しえない「精神のエネルギー」を重んじ、一九一三年、イギリス心霊研究(サイキック・リサーチ)協会の会長に就任、講演「意識と生命」(La conscience et la vie, 1911)では、死者との交信も現象として否定しえないと述べている(所収「精神のエネルギー」L'Energie spirituelle, 1919)。

* ヘルクソンの『物質と記憶』をバートランド・アーサー・ウィリアム・ラッセル『ヘルクソンの哲学』(Bertrand Arthur William Russell, *The philosophy of Bergson*, 1914)は唯心論と攻撃した。その批判は、ヘルクソンが知性を空間に関するものに限定してゐる」と、また数の概念についての誤りを指摘するところにはじまる。これはヘルク

ソンがデカルト的延長——静止的絶対空間しか想定していないこと（歴史的限界）、イマージュの抽象度に言及していないことを突いているが、ラッセルはベルクソンがイマージュと物理的・物質的事物とを混同していると結論する。「要するに、ベルクソンの持続や時間の説は記憶の現在における現象と記憶せられていた過去の現象そのものとの混同の上に立つものである。彼は知覚と記憶——共に現在の事実——との区別を説明して、それで自らは過去と現在との区別を説明しえたと信じている。しかしこの混同を意識する時は彼の時間説は全く時間を除外した時間説であることが分かるであろう。／＼けれどもこの現在における記憶と過去の事件との混同は、更に一般的な混同、すなわち知る作用と知られる物との混同の一例にすぎぬ。記憶の場合には、知る作用は現在にあるが、知られるものは過去にある。これを混同するが故に現在と過去の区別が不明になってしまう。知覚の場合に知る作用は精神的であるが、知られるものは物理的・物質的事物である。二者を混同するとき物心の別が不明になってしまう。かくてベルクソンは知覚は物質の部分であるといいうることになる」。「思うに、ベルクソンの考えているのは事物そのものとその事物のあらわれる姿との区別であって、主観と客観、思惟し想像しまた記憶する心と、思惟せられ想像せられまた記憶せられる事物との間の区別は、全然彼の哲学に欠けている。この主客の区別の欠けているのは彼が結局唯心論者であるからである」（高橋里美訳、「法華」一九一五に掲載）。

ベルクソンが、当代の哲学の動きに促され、神経系の刺激が生む知覚と意識の領域に起こっていることを論じているのに対して、ラッセルのここでの結論は、意識の外在的事物の存在を認めていないということに尽きてしまう。ラッセルは明らかにアリストテレスの「形相」を出発点においているが、数学やパラドックスをふくむ「論理」の問題と取り組むため、外在的な事物の「形相」は意識においていかに把握しうるか、ということが課題にのぼらない。なお、レーニン『唯物論と経験批判論』（Vladimir Lenin, *Materialism i empiriokrititsizm*, 1909）は「エルンスト・マッハ『感覚の分析——物理的なものと心理的なものとの相関』（*Die Analyse der Empfindungen und das Verhaltnis des Physischen zum Psychischen*, 1886）を無理やり唯心論に閉じ込めてしまったが、知覚の問題を扱わねを得ず、自己運動する物質が、その最高所産たる人間の意識において自らの姿を開示するという物活論的な円環構造を考え

一九世紀後期には国際的に予知や透視現象、心霊の交信などに関心が寄せられ、アメリカの哲学者で、途切れることのない意識の流れの底に「*Sub*」を想定したウィリアム・ジェイムズ(William James, 1842-1910)は、一八八五年にアメリカ心霊現象研究協会(ASPR)を創設している*。それに関心を抱いた東京帝大哲学科助教教授・福来友吉は、御船千鶴子らの透視・念写の能力の実験をはじめ、一九一三年、「透視と念写」を著して世間の耳目を集めた。公開実験でトリックを用いたため辞職したが、心霊研究を続け、「生命主義の信仰」(一九三三)で、原子や電子が散乱する宇宙を根源的な「生命」のマンガラと論じている。

* エンゲルス『自然弁証法』は、この時期の心霊研究の流行はアメリカからイギリスに持ち込まれたものといいつつ、だが、もともとイギリス経験主義の流れに息づいており、フランシス・ベーコン(Francis Bacon, 1561-1626)やアイザック・ニュートンにも見うけられるとし、一九世紀後半の心霊狂いの代表格として、ダーウィンのよきライヴァルだったアルフレッド・ラッセル・ウォレス(Alfred Russel Wallace, 1823-1913)や、タリウムの発見、陰極線の研究に成果を残すウィリアム・クルックス(William Crookes, 1832-1919)らあげている。⁽¹⁷⁾

なお、ベルクソン哲学や、ジグムント・フロイトのリビドー理論がヨーロッパの前衛芸術に与えた影響は大きい。たとえば写真にシュルレアリスムを導入したフランスのマン・レイ(Man Ray, 1890-1976)は、次のように語っている。「欲望につき動かされてなされる努力というものは、どんなものであれ、その実現を助ける自動的な意識下のエネルギーに支えられているにちがいない。このエネルギーから、われわれは無尽蔵の資源を手に入れる。つまり、われわれ自身の中に貯えられ、用意されていながら、せき止められている感情をすべて吐き出しさえすればよいのだ。まるで手品師のように、多くの自然現象を扱い、いわゆる偶然性や法則をすべて利用する学者と同じように、創造者は、人間の価値に傾注し、自分自身の人格の色のついた無意識の力、すなわち人間の普遍的な欲望が浸み出すにまかせる」(『光輝く時代』L'âge de la lumière, Minoature, Paris, décembre, 1933, No.314)。⁽¹⁸⁾

このようにして、しばしば「無意識」の領域を想定する考えによって、「生命」と「エネルギー」、また両者が結びついた「生命エネルギー」が二〇世紀ヨーロッパ文化全般のキーワードになっていったのである。

6 マルクス主義におけるエネルギー

カール・マルクス(Karl Heinrich Marx, 1818-1883)は、彼の最初の賛同者の一人で、ロシアからイタリアに逃れたセルゲイ・アンドロヴィッチ・ポドリンスキー(Sergi Andreivitch Podolinski, 1850-1911)が「社会主義と物理的エネルギーの単位」(“Il socialismo e l'unità delle forze fisiche”, 1881)という論文を発表したことに関心を寄せていた。エネルギーを社会問題の解明に用いようとしなかった。フリードリッヒ・エンゲルスが、その必要を認めなかったことは、カール・マルクス宛の書簡に示されている。「経済的な関係を物理学の測定単位で表現することは、僕の意見では、まったく不可能なのである。(略)仕事をする人間は、たんに現在の太陽熱を固定するだけでなく、それよりもはるかに多くの過去の太陽熱を消費している、ということだ。われわれが石炭や鉱石や森林などをエネルギーとして濫費できていることについては、僕よりも君の方がよく知っている」(一八八二年二月一九日付)⁽¹⁹⁾。

エンゲルスは、いわゆる天然資源のすべてを「過去の太陽熱エネルギー」が固定されたものと考えていたらしいが、それを計量化することは不可能だから、労働者の問題を考える際に、考慮の外に置くことをマルクスに勧めているのである。数日後に、少し意見を変えた手紙を送っているが、結論は同じである。「仕事によるエネルギーの貯蔵は、本来は、ただ耕作によってのみ行われる。牧畜では、植物のなかに貯蔵されているエネルギーがために、全体に動物のなかに移されるにすぎず」云々と述べ、そして、こう言っている。「すべての工業生産者が農業や牧畜や狩猟や漁労の生産物によって生活しなければならぬという事実は、もしそうしなければ、物理的領域に翻訳できるが、そうしたからといってあまりたいしたことにはならないのだ」(一八八二年二月二二日付)。

このようにして、マルクス主義において、エネルギーの問題は閉ざされてしまい、専ら階級闘争に専念する途がつけられてしまった。

エンゲルスは『反デューリング』第一編第六章では、当時の熱力学について一応の知識を披瀝している。ガス状星雲が固まって惑星ができるとしたイマニエル・カント『天界の一般的自然史と理論』(Immanuel Kant, "Allgemeine Naturgeschichte und Theorie des Himmels" 1755)に全面的に依拠しているのが、地球自体がいわば太陽エネルギーの産物という理解だろう。なお、カントの説は、ピエール・シモン・ラプラス『天体力学概論』(Pierre-Simon Laplace, *Traité intitulé Mécanique Céleste*, 1799-1825)でかなり充填されるが、カントーラプラス説に対抗し、恒星の接近により、太陽からガスが引き出されたとする潮流説が出されたのは一九一〇年代のことで、引きだされたガス体は固まらないとされ、潮流説が否定されるのは一九六〇年代である。

エンゲルス『自然弁証法』は、力学、熱力学、電磁気学などの展開を熱心に検討しているが、当代の理論水準の進行に追いついていないためか、クラジウスの説などの理解にかなりの混乱が見受けられる。ただし、そこでは「仕事」(ドイツ語 Arbeit, Werk, 英語 work, labour)の概念上の差異を混同する議論を警戒し、人間の身体と蒸気機関との差異などをあげ、同列に扱う議論に疑義を述べている。²⁶⁾

7 「電気」の「気」はエネルギーの訳語

序節で述べたように、井上哲次郎他編『哲学字彙』は、“energy”の訳語として、ロブシャイド『英華字典』には見えない「元氣」を当てていた。翻訳語「電気」の成立についての先行研究が、この問題に解決を与えてくれると思えるので、見ておきたい。

英語“electricity”は、擦ると静電気を起こし、物体を引き寄せる琥珀が古代ギリシアでは“λεκτρον”(elektron)

と呼ばれていたことにちなみ、イギリスの医師で、物理学者のウィリアム・ギルバート (William Gilbert, 1544-1603) が近代ラテン語の琥珀 “electricus” から、「電気」の意味で、これを用いたことが大きく響いたとされている。日本の一八世紀後期、オランダ渡りのガラスを摩擦する静電気起電装置を模造した平賀源内は、オランダ語に入ったラテン語 “elektricität” (電気、電流) を「ゐれきせゑりていと」と表記し、「越歴」(エレキ)の文字も用いられた。

訳語「電気」の成立については、八耳俊文^{やつみな}「漢訳西学書『博物通書』と『電気』の定着」(青山学院女子短期大学紀要「四六号、一九九二年)および「電気のはじまり」(誌上科学史博物館「学術の動向」二〇〇七年五月号、日本学術協力財団)が詳しい。中国・寧波で一八四三年から、電気実験などを行い、活動していたアメリカ人宣教師、ダニエル・J・マッゴウアン (Daniel Jerome Macgowan, 漢名、瑪高温, 1814-93) が、電信技術のしくみを伝えることを主眼にして著した「電気通標」あたりから定着したと推察している。博物学年鑑を意味する『博物通書』一八五一年版の本論をなすもので、「電気通標」のみの写本も幕末の日本でつくられていた。その『博物通書』第一章「引言」に「雷電之氣、磅(礪)乎宇宙万物、一氣流通」(雷電之氣、磅(礪)乎として、宇宙万物一氣に流通す)とあり、八耳俊文氏は放電管の現象などから、「雷電」のうち、音を示す「雷」より稲妻を伴う雨を示す「電」の方が選ばれて “electricity” の訳語に「電気」が用いられたと推測している。

明末からの中国の開港地、十三行はやがて香港に移り、東インド会社との貿易が続いていたが、一九世紀半ばの上海ではプロテスタント系宣教師たちが、中国民間の多神教を破り、超越的絶対神がつくった宇宙の摂理を説くために自然科学の知識を盛んに用いた。寧波のマッゴウアンの活動は、その流れを受けたものである。とりわけ、イギリスのマイケル・ファラデー (Michael Faraday, 1791-1867) らの活躍によつて電磁気学が急速に発展した時期にあたる。ファラデーは実験を重んじたことで知られるが、長老派系のスコットランド国教派の一分派・サンデマン派の司祭にあたる職を務めるほどの敬虔なプロテスタントで、一般向けの講演も多く行っていた。『ロウ

ソクの科学』としてよく知られる *A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle* (1861) は、彼のクリスマス講演をクルックスがまとめたものである。そういう時代だった。いや、現在も、広州の旧租界地域・沙面シャミンの教会の鉄柵には、自然科学が神の摂理を解き明かすものとして発達したことを説く大きなパネルが掲げている。

もちろん、電気より以前に、蒸気船が中国の南岸に出入りしていた。“steam engine”が「蒸気機関」（現代中国語では「蒸気机」と翻訳されたのは、“steam”が中国語「熱気」「蒸気」にあたるので、ごく自然のことに思える。石炭を燃料とする蒸気船は一九世紀への転換期に実用化され、外輪式が主流で、プロペラ式は一九世紀半ばにつくられたが、まだ中国南岸には現れていない。蒸気タービンの開発は一九世紀末のこと。

だが、電気は気体ではない。雷電の「電」が用いられたことについては、八耳俊文氏の説明で納得がゆくが、「氣」が用いられたことについては、『博物通書』第一章「引言」にいう、琥珀などの薄い石片から「宇宙万物」に至るまで「氣流通」という説明がすべてを語っている。宣教師たちから“electricity”の説明を聞いた中国知識人が、それを宇宙の「元氣」として了解し、そして、それを宣教師に語り、まるで電気一元論のような説明になったのである。つまり、「電気」の「氣」は、エネルギーの訳語として宇宙の「元氣」が用いられたものだった。あるいは「電気」エネルギー論の定着には、エネルギー一元論に向かう物理学の動きが反映しているかもしれない。なお、上海に電信施設がつけられるのは一八七一年のこととされるが、日本では一八六九年九月一日に横浜で官用通信が開始されている。一八七二年には馬関海峡に海底線を敷設し、翌一八七三年には東京―長崎間が竣工し、通信網の全国化が進んだ。これについてはのちに述べる。

「蒸気」「電気」については、これでほぼ解決したが、“radioactivity”は、目に見えない「光線」の働きから説明されていったために、「氣」で翻訳しにくかったのだろう*。「放射能」と翻訳された。一八九五年一月にドイツのレントゲンがX線を発見したことは、日本では、すぐに新聞で報道され、詳しいしくみは帝国大学文科大学史学科に在学中の村上直次郎が「人体内部写真術」として紹介した（『太陽』一八九六年三月中旬号）⁽²⁾。「放射能」の「能」は

“activity”の翻訳だろう。今日の中国語では“energy”の翻訳語に「能」を当て、石炭、石油などを「能源」と呼んでいるが、そうなった経緯は詳らかでない。

* 一八九六年、X線の発見にヒントを得たフランスのベクレル (Antoine Henri Becquerel, 1852-1908) が、ウランの鉱石がガラスや黒い紙で隔てられているにもかかわらず、写真乾板を感光させること、この「光線」が電荷をもち、検電器が感知することを発見。これが自然放射能の発見で、一八九八年、ポーランド出身でフランスのマリー・キュリー (Marie Curie, 1867-1934) とピエール・キュリー (Pierre Curie, 1859-1906) が「放射能」(radioactivity) (マリー・キュリーによる命名) が原子の化学的狀態によらず、原子そのものに関係していることを確かめ、ピッチブレンド(瀝青ウラン鉱)からポロニウムとラジウムという放射性元素が発見されるに至る。そして、イギリスのフレドリック・ソディ (Frederick Soddy, 1877-1956) はラジウムが崩壊してラドンになることを発見し(一九〇三年)、元素が放射線を出して、別の元素になる放射性崩壊を明らかにした(一九二一年、ノーベル化学賞)。放射能や放射性崩壊の発見によつて、原子が究極の粒子ではなく、さらに小さい基本物質から成り立っていることが予見され、原子の組成と構造に関心が集まるようになってゆく。

8 「エネルギー」概念と帝国大学工科大学の創立

幕末にヨーロッパに出た日本の知識人は、スコットランドを中心にしたエネルギー工学の動きをつかんでいた。西周が幕臣として、オランダ・ライデン大学に留学した(一八六二―六五年)ことはよく知られるが、講義録『百学連環』(刊行は一八九〇年)に「イギリスでエネルギー還元論が盛ん」「生力説は破れている」などと説いている。²²⁾西周は「生性発蘊」(一八七三年脱稿)で、「オタリズム」(Vitalism)に「生力学」の訳語をあてている。²³⁾「生命」のものを物質以外のものに求める傾向が「エネルギー還元論」によつて捨てられたと考えたのである。西周が朱子学の「天理」を離れ、自然と人為の混同を迷信と退け、無神論ないし唯物論に立つて、宗教を心の産物としたことにも、

それは働いていよう。²⁴西周が明治政府で学問の編制に力を注いでゆくのは、天理と人為とを截然と区別することに文明発達の鍵があると考えたからこそである。西周が朱子学の「天理」を破ることが出来たのは、キリスト教から最も自由な学風のオランダに学んだこと、古来、説かれてきた天の「氣」と人間の身体の関連の密接さに隙間を入れた伊藤仁斎―荻生徂徠の古学、古文辞学の系譜を学んでいたことなど理由が重なったことだが、朱子学の「天理」は明治知識人にも長く働きつづけた。

江戸時代のほとんどの知識人は蘭学を学んでも朱子学の「窮理」で受けとめるしかなかった。三浦梅園もそうだし(『帰山録』下、一七七八年)、天保一三(一八四二年)の上申書「海防八策」で洋式大砲と鋼鉄の軍艦による強力な海軍の編成を提言していた佐久間象山も「文久二年九月の上申書」に、こう書いている。「朱子格致の補伝に、凡天下の物に即て其理ヲ窮ると御座候(略)左候へば当今の世に於て、五世界に涉り其あらゆる学芸物理を窮め可申事本より朱子の本意たるべく候 去る故に当今の世に出で善く大学を読み候者は必ず西洋の学を兼申すべきと有無之論に及ばざる義と奉存候」。

明治になつても、福沢諭吉「西洋事情」諸篇(一八六六―一八六七年)のように、キリスト教の神の摂理を民間哲学の「天道」思想で受けとめ、あるいは、それに訴えることによつて近代思想を民間にひろめようとした人もいれば、初期の加藤弘之のように、個人の尊厳を強く説く陽明学で、自然権などの近代的諸権利の思想を受けとめ、「天賦人權論」の先頭に立つて「真政大意」(一八七〇年)や「国体新論」(一八七五年)などを著し、幕末から維新时期にかけて大きな勢力となった平田篤胤の神道や藤田東湖ら後期水戸学の神がかった国体論を鋭く批判した人もいる。それゆえ当時の加藤弘之の主張は、自ら回想しているように共和主義への傾きを強くもつていた。加藤弘之のエネルギー概念受容には、のちにふれる。

ここでは、「エネルギー一元論」が盛んになっていた時期に実践的に西洋の技術の導入がはかられたことを見ておきたい。西周に遅れること一年、一八六三年に長州・萩藩の命でイギリスに密航した志道聞多(井上馨、二九

歳)、伊藤俊輔(博文、二三歳)(ともに一八六四年帰国)、遠藤謹助(二八歳、一八六六年帰国)、山尾庸三(二七歳)、野村弥吉(井上勝、二二歳)(ともに一八六八年帰国)の五人組は「長州五傑」(Five)と称される。彼らは、広東に本店(一九四二年)、横浜に事務所(二八五九年)を開いたスコットランド系のジャーディン・マセソン商会(Jardin Matheson Holdings Limited)の世話で渡英し、ロンドン大学等でそれぞれの分野を学び、帰国後、維新政府にあって、井上馨は外務、大蔵、農商務、内務大臣を歴任、遠藤謹助は造幣、井上勝は鉄道敷設を担い、殖産興業、富国強兵の道を切り開いていった。

山尾庸三は、ロンドン大学を経て、イギリスの産業革命が起こった地、グラスゴーのネピア造船所で見習い工として働き、また各種工学をアンダーソンカレッジ(現・ストラスクライドStrathclyde大学)の夜学で学び、帰国後、工部省および省内に工部学校の設立を強く訴え、実現させた。

伊藤博文は、一八七〇年には初代工部卿(工部省長)となり、一八七一年二月二三日〜一八七三年九月には岩倉使節団に加わり、山尾庸三の要請により、マセソン商会を介して、グラスゴー大学のランキン教授らに、日本で技術教育にあたる「お雇い外国人」の来日を依頼。帰国後、一八七三〜七八年は工部卿を務め、一八七三年には工部寮を設置し(六年制)、ランキンの弟子、ヘンリー・ダイアー(Henry Dyer, 1848-1918)ほか八名の技師を雇い入れた。一八七六年には工部大学校に改称。

ダイアーもアンダーソンカレッジの夜間学校で学んだが、当時、山尾と知己のあいだ柄だつたわけではないらしい。ダイアーは工部寮の初代都検(実質的な校長)として、学科編制などにスコットランドのエンジニア精神を発揮し(専門技術によって国家を支え、当時は大英帝国のなかで地位を認めさせるように働いた。ドイツのテクノクラートとほぼ同じ)、それを日本の下級武士出身者の学生にもたたきこんだといわれる(一八八二年離日)。土木工学(civil engineering)にも力を注ぎ、博士号を取らせたのも日本の実情にあわせた彼の考えによるものだろう。²⁶⁾

そして、伊藤博文は一八八五年二月に初代内閣総理大臣に就任するや、憲法を整える前に、まず旧幕府の洋

学系学問所を集めて創設された東京大学（一八七七年創設）を官吏およびテクノクラート養成のための大学として位置づけなおし、一八八六年に抜本的に改革した帝国大学に工科大学を設置した（工部省は廃止、一八八四年に東京大学内に設立した工芸学部と合併）。三年後には、農科大学を農商務省から移管。これは、今日、当時の総合大学としては極めて「実用主義的」で、「先進的」なものと評価されている。²⁷ ドイツでは専門大学の創設が相次いでいたが、当時のヨーロッパやアメリカのアカデミズム全体は、工学はカレッジが担うものとし、工学の博士号は出していなかった。

この制度改革には、伊藤博文が一八八二年に憲法事情研究のためにヨーロッパを訪れ、ウィーンに二カ月ほど滞在し、ローレンツ・フォン・シュタイン (Lorenz von Stein, 1815-1890) にヨーロッパ諸国の国法および国家体制について事情を聴いたことが響いていることは、すでに定説といえよう。が、そこに至る道筋を考えるなら、ヨーロッパにおけるエネルギー一元論の台頭が直接、そのドライヴィング・フォースとして働いたことになる。

帝国大学発足後、三年で農科大学を設けたことは、ドイツの総合大学内に化学と生物学を基礎とした学部が置かれていたことにならったもので、農商務省は早くからドイツ人の農学者を迎え入れていた（農商務省管轄の駒場農学校は小農経営とドイツ農法による。一八七八年開校。一八七六年開校のアメリカ式大農法による札幌農学校も一八九五年に北海道庁から文部省に移管）。しだいに農業政策は、冷害対策などをふくめ、化学肥料を中心とした農芸化学に依存してゆくことになる。²⁸

9 明治期知識人の「エネルギー」概念受容

福沢諭吉らと同じ明六社に属した加藤弘之が陽明学によってキリスト教思想を「天賦人權論」として受け取り、『真政大意』や『国体新論』などを著したことは先にふれた。が、加藤は『人権新説』（一八八二年）で、一転して、

自由党系の共和主義がよりどころとする「天賦人權論」を「妄想」と切り捨てた。イギリスの哲学者、ハーバート・スペンサー（Herbert Spencer, 1820-1903）流の進歩史観を、チャールズ・ダーウィン（Charles Robert Darwin, 1809-1882）やドイツの生物学者、エルンスト・ヘッケルの進化論で裏付け、「生存闘争」（struggle of existence）が人權を生み、社会を進歩発展させると主張した。これも自ら「これからは自然科学の時代」と感じてと回想しているが、いわば信仰から自然科学に乗りかえたのである。だが、それが容易にできたのは、「天」すなわち自然に「理」があるとする儒学の考えがベースにある。スペンサーの実験主義は、神の存在もエネルギー保存説も実験で確かめられないもの、ともに不可知（unknowable）とする。とすれば、「天理」も不可知になるはずなのだが、加藤弘之は、それには無頓着である。^{*}

* 加藤は「人權新説」を説く以前に、ダーウィン『種の起源』（*On the Origin of Species, by Means of Natural Selection*, 1859）もヘッケルのドイツ語訳で、ざっと読んだらしい。²⁹ このときには、スペンサーやスペンサー流の歴史発展論³⁰、ダーウィンもヘッケルもみな、進化論として同一視していたようだ。

ただし、のち、井上哲次郎が「哲学より見たる進化論」（一九一〇年）で、不可知論に立つスペンサーと無神論に立つエルンスト・ヘッケルの考えをともに退ける議論をしたのに対し、「進化学より見たる哲学」（一九一〇年）で、主にヘッケルに依拠し、「宇宙の本体」を「マテリアとエネルギーとの合一³¹体」と説いている。「マテリア」はラテン語“*materia*”に由来するドイツ語“*Materie*”（マテリエ、物質）だろう。

この加藤の『人權新説』に、イギリスで法学や物理学などを学んで帰った馬場辰猪が食ってかかった。加藤は「適者生存」にも「良正」のものとして「不良正」のものがあると述べるなど、ご都合主義で、内外情勢の把握も誤っていることを徹底的に突き、天賦人權論は進化論と必ずしも矛盾しないと論じた（説加藤弘之君人權新説「一八八二年、天賦人權論」一八八三年）。ここでは世界の根本を「太陽の力」に代表される「自然力」としている。一九世紀後半に

ヨーロッパ物理学に台頭したエネルギー二元論(エネルギー還元主義)によることは明白だろう。だが、馬場は「元素無尽」の説(元素は変化しない)も併用している。もちろん、元素崩壊が解明される以前のことだが、その後も日本では、アトムを仮説とするオストヴァルト流のエネルギーテイク(エネルギー学)は、拡がりをもたなかつたらしい。そして、馬場の議論が、粗密を別にすれば、自然科学をベースに社会進化を説くのは加藤弘之と同じである。

そして、ヨーロッパでは創造主の知性のすばらしさを証明する情熱とともに発達した自然科学を、唯物論のように見なす傾向も強い。東京大学哲学科を卒業し、一八八七年に哲学館(現・東洋大学)を創設した井上円了(一八五八—一九一九年)の『哲学一夕話第二篇 神ノ本体ヲ論ズ』(一八八九年)は、円了先生のもとで、円東(唯物論的無神論)、了西(唯心論的無神論)、円南(物心外的有神論)、了北(物心内的有神論)の四人の弟子が対話する形で進められるが、円東が「天神ノ如キハ全ク古人ノ空想ニ出タルモノ」と実験主義の立場を代表し、「万物ハ同一ノ物質ヨリナリ万物ノ変化ハ物質内ニ含有セル勢力ヨリ生ズ」と力説する。「勢力」はエネルギーの訳語。ここにも朱子学の「天理」、自然が法則性をもつという考えが働いている。実のところ、出発期の井上円了は、これに近い立場から迷信の打破を訴えていた。

ところが、この『神ノ本体ヲ論ズ』では、四人の問答を聞いていた円了先生が、最後にそれぞれの立場を包む『大般涅槃經』の「不生不滅不増不減」と『法華經』から得たものだろう「無始無終無涯無限」の境地を説いて終わる。それは宇宙の内外という区別をも超える境地とされている。その境地は井上円了の発明したもの、どんな「理」をも超えているのだから、とうてい理解しがたい。

のち、井上円了は『破唯物論——一名、俗論対退治』(一八九八年)を著すが、そこで述べられているのは、この『神ノ本体ヲ論ズ』の最後に述べられている有神、無神、物心の内外という考えのすべてを超える境地と大差ない。ただ、このとき、日本の知識人の一部に、唯心論「対」唯物論の対立を超えるような何某かの「論理」を考えよう

とした気配は感じられる。

明六社の結成に加わり、他方で漢学者の集まりである洋々社を結成し、長く文部省編輯局長として『古事類苑』の編集を建議し、教科書の編集や教育制度の確立に尽力した西村茂樹（一八二八—一九〇二年）は、退職したのちに『自識録』（一九〇〇年）を記している。「宇宙間唯一ノ元氣アルノミ」と最初に「氣」一元論を打ち出し、その「氣」の内に「精」と「質」があり、「精」は「万物ノ靈ヲ作り」、その「質」ハ万物ノ形ヲ作ル、形成リテ力之ニ寓ス（第二章）という。「元氣」を唯一の原理とし、その下に「精」(spirit)と「質」(matter)を置く三項の構図を考え、「質」が「形」をつくり、これに「力」(energy)が宿ると考えている。第三章に「身死スル時ハ、心ハ宇宙ノ大靈ニ還リ、形ハ宇宙ノ大質ニ帰ス」とある。「身」において「靈」と「質」は統一されている。このように靈と質の二元論を「元氣」で統一することによって、唯物論と唯心論の対立の解消を図っているのである。東洋思想と西洋思想を組み合わせ、新たな概念編制をつくるアイデアだが、エネルギー一元論の台頭を知って、エネルギーの概念をふたつに割り、おおもとの「元氣」と形而下の「物理力」に配当することでつくられたようにも感じられる。逆にいうと、宇宙の原理としての「元氣」は極めて抽象的な觀念に留まるのではないか*。

* エネルギー概念とは無縁だが、民友社の論客のひとりで、メソジスト教会に入信した山路愛山は、キリスト教の神の摂理も、宋学も仏教や老子の思想もみな「天」の「一理」をもって「万物に超絶する」ものとする点では同じと説いている（『支那思想史』一九〇六年）。儒学も道家思想も仏教も同列に置き、みな、宇宙を貫く「理」を説いているかのように考えている。よほど朱子学の「理」の觀念が強く響いていたとも考えられるが、東洋思想ではそれぞれの至高の存在が、宇宙内に想定されていることを度外視し、キリスト教の神と同様に宇宙に外在する超越的絶対者を見なすような議論である。このようにして「宇宙の真理」という觀念によって諸宗教、諸科学をまとめあげる考え方は、キリスト教に発した日本の宗教者のあいだでは、一九〇〇年代から盛んになる。日本女子大学校を創始した成瀬仁蔵（一八五八—一九一九年）、道会を創始した松村介石（一八五九—一九三九年）、それに連なつた押川方義（一八五二—一九二八年）らに見られる。

日清戦争期に刊行された志賀重昂「日本風景論」(一八九四年)がベストセラーになったことはよく知られる。志賀は、日本の気候、海流、動植物が変化に富み、水蒸気が多く、やはり変化に富むことをもって、「朝鮮、支那」を超える風景美を誇るが、とくに火山岩が雄大な風景をつくっていることを力説している。その(二)「日本の火山」「名山」の標準」では、まず、春日潜庵という明治初期の陽明学者の言を引いて、「能く大極の妙を悟り、胸中に造化を融会する」ことを言い、「人性を点化し、高邁にし、神聖にするもの実に山岳に過ぐるなく」云々という。陽明学では胸中に全宇宙をおさめることをいう。「人性」は人間の本性。「点化」は改めて新たにすること。山岳を胸のなかにのみ込むことで高邁にして神聖な人格を得ようというのだが、それは、のちにこう受けられている。「人間に在りて自然の大活力を認識せんと欲せば、之れを看破するに過ぐるなしとす、請ふ往きて火山に登臨せんか」と。自然のエネルギーが活発に活動しているゆえに、日本の風景が素晴らしいというだけでなく、そのエネルギーを我が物にすることが言われているのである。引用されている詩歌、文章に江戸時代のものが多いため、江戸時代の漢籍の調子を持ち越したものと説く人もいるが、それだけではなかった。志賀重昂は、漲る「気」を「水蒸気」に置き換えただけでなく、自然の「エネルギー」という科学知識をもつて、戦時のナショナリズムの高揚に与する姿勢が露わだったのである。

夏目漱石も、二〇世紀への転換期にエネルギー一元論の台頭を受けとめていたと思える。「現代日本の開化」(一九一一年)にいう、「元来人間の命とか生とか称するものは」「活力の示現とか進行とか持続とか評するより外に致し方のないもの」と。この「活力」がエネルギーの訳語である。のちの東京高等工業学校における講演「おはなし」(一九一四年)で、「現代日本の開化」のこの条にふれて“energy”と英語を用いている。「持続」には、しばしば漱石が講演で引用するベルクソン「時間と自由」(「意識に直接与えられたものについての試論」*Essai sur les données immédiates de la conscience*, 1889)のキイワード“durée”(間断のない意識の流れ)が匂う。そして、人間の「活力」の

発現には「義務」と「道徳」の二面があるが、ともに文明開化によって満たされるようになったはずなのに、「生存の苦痛」が減じていないことを「開化のパラドックス」という。

欲望が満たされれば、さらなる欲望を生むのは、いつでもどこでも変わらないが、漱石は、そこここで「活力」の自由な発現に警戒を怠らない。漱石が求めたのは「生活欲」から自由になり、道義を守り、自分で責任をとる主体だった。それが「道義上の個人主義」(「私の個人主義」一九一四年)³⁶の意味である。その道義は天道思想と変わらない。とすれば漱石が晩年、座右の銘とした「則天去私」の意味も明らかだろう。漢語の「私」は「公」の義に対して私利私欲を意味する。

また、この時期、三宅雪嶺『宇宙』(一九一一年)は宇宙を「大生物」といい、「生命の力」がその芯を貫くというしくみで、古今東西思想のアマルガムを展開しているが、「生命の力」は、ヘッケルの万物有生論などにヒントを得たものだろうか。

この時期、最もよくヨーロッパのエネルギー論を咀嚼したものに、幸田露伴『努力論』(一九一二年)がある。流行する修養論の依頼に応じたものだが、とくに刊行の際に付した「進潮退潮」の章に、見識がうかがえる。露伴も原理として「一氣流行」を掲げるが、伝統的な「氣」を「粒子」の流体と解釈している。はたして露伴以前に、このような解釈があるのかどうか、寡聞にして知らない。生存競争説は、全体の一部分だけを見る人間の浅知恵と退け、太陽熱によって植物が光合成によって葉緑素をつくり、それを動物が食べ、栄養にしていることなど、すべての現象は「力の移動の相」と説く。そして「宇宙の大動力」による「生々活動」、その盛衰が循環する世界観を説く。この「力」はエネルギーの訳語である。ただし、「力不滅」説については懐疑的で、自然科学は、その「圏」内の、またその時代の水準に限った真理でしかない³⁷と、限界を指摘している。「圏」はおそらくカテゴリーの訳語で、科学の領域や分野のこと。時代によって、いわばその枠組に変化が起ることをいっている^{*}。

*これは、ごく当たり前のことなのだが、トマス・クーン『科学革命の構造』(The Structure of Scientific Revolutions, 1962)が、天文学や物理化学史における飛躍的变化に着目し、一時期、流行したのが「パラダイム・シフト」(paradigm shift)論である。ニュートンの万有引力説が万能と考えられていた時代には、その影響が生物学などにも及んだようなことを考えれば、支配的な「パラダイム」がはたらくことはよくわかるような気がする。ところが、ニュートン力学でもアインシュタインの相対性理論でも、物理学という学問の目的、物理的法則性を明らかにするという話の本来の意味のパラダイムは不変であり、語の誤用を指摘され、クーンはそれを「ディシプリナリー・マトリックス」(disciplinary matrix, 原理的共通分母)と言い換えた。言い換えても、「パラダイム」間の非共約性(incommensurability)をいう議論の自身が変わったわけではない。しかも、クーンのいう「パラダイム」はきわめて曖昧で、『科学革命の構造』内で二通りもの用法があることを指摘し、「形而上学的」「社会的」「手続きの」の三種に大別してみせた人もいる。³⁸これでは、とても学術上の概念足りえない。

このような意味で学説上の原理が転換したよい例として、エネルギー一元論の台頭があげられるだろう。ルネ・デカルト『宇宙論』(De mundo, 1630-33)第一部以来、支持されてきた宇宙内の運動量が一定に保たれるという原理が、力、熱、仕事量を統合した「エネルギー」保存則に転換したのだから、これは革命的な「パラダイム」転換といつてよい。が、「運動量」保存則と「エネルギー」保存則は、必ずしも断絶していない。宇宙内に保たれている何かの量が一定という考えは、宇宙が閉鎖系のシステムと想定されて、そのまま保持された。むしろ、横滑りしたかのようにある。またデカルトの空間は絶対的な静止したものだったが、時間・空間が相対的な関係でとらえられるようになって、エネルギー保存則は絶対仮説のまま今日の物理学を支えている。

実際には、さまざまな水準で考えの枠組みは変化しているので、どの分野のどの水準で考え方の変化が起こったのかを明確にすることに努めるべきなのだと思う。わたしはとくに人文科学に应用する際には、根本概念とそれに伴う価値観の変化、概念構成の再編を明確化することに努めている。個別のテーマをめぐる研究でも、たとえば「近代の超克」思想について、どの領域の何を「近代(性)」と規定し、それをどのように超えようとするのか、その内実を明らかにすることが肝心になるだろう。

露伴は東京府第一中学（現・都立日比谷高校）正則科に入学したが、家計の事情により、一年余で中退、数え年一四歳で東京英学校（現・青山学院大学）へ進む。が、これも一年で退学し、私塾や東京府図書館に通つて漢籍を独学していたが、数え一六歳の一八八二年八月、工部省電信局修技学校（本校）に入学した。^{*}多くのイギリス人教師が英語や技術の教育にあたつており、科学基礎論も習つたにちがいない。翌年には本局で実習、その翌年、一八八四年に北海道・余市の分局に勤務につく。だが、坪内逍遙「小説神髓」（一八八五―一八八六年）に煽られ、矢も盾もたまらず、東京に帰り、文芸の道に邁進し、尾崎紅葉と並ぶ明治の文豪の地位を築いてゆくことはよく知られる。

* 大阪には小規模な分校があつた。「工部省沿革」（一八八九年、六〇―一六〇三頁）によれば、修技生は一八七三年に六〇〇人近くが入学。以降、毎年五〇〇―六〇〇人から二〇〇名を超える年もある。自費通学して、三ヵ月で振り落すしくみらしいが、授業料は無償、日給支給。この年は青年八〇名、幼年二〇名（一八八〇年から取り始めた）が入学し、それぞれ一八〇名、四五名が在校となつた。毎年、ほぼ八割が卒業している。

なお、工部省の廃止に伴い、電信局修技学校は、一八八六年に通信省に移管、「電信修技学校」と改称したのち、翌一八八七年に「東京電信学校」が設置され、高等専門課程へ発展した（修業年限二年、在学中は徴兵猶予の特典付きで、卒業後の奉職義務三年）。

露伴は、算術はもととかなり出来たという。「努力論」にも初歩的な数式は出てくる。「努力論」にいう「一気流行」は、エネルギー一元論を『易』で受け止めて述べたものかもしれない。粒子は、電子からの着想かもしれない。東アジアにおける「エネルギー」概念受容については、一九世紀半ばの寧波で、電気の「気」がエネルギーの訳語として成立したところからはじめて、二〇世紀の転換期の日本におけるエネルギー概念の受容の様子を探つてみた。これ以降の日本では、エネルギー保存則を抱き込んだ、あるいはエネルギー概念を全く伴わない、「宇宙大生命」を原理とする大正生命主義が渦巻く精神文化が展開してゆく。そして、エネルギーの語は、大別して、物

理学的な用法、生命観や生命感と結びついたスピリチュアルな用法、卑俗な日常的用法の三種に用いられる時代に入つてゆく。たとえば宮澤賢治の詩や童話は、その三種類の用法を見せている。今日までつづく用法である。⁴⁹⁾

10 今日の「エネルギー」概念

いわゆる国民経済の計算に、その総エネルギーが俎上にのぼるのは、アメリカのニューディール(New Deal, 1933)のころかららしい。一九三二年、今後の社会経済は資本家ではなく、事務官僚(ビュロクラート)に対していう技術官僚(テクノクラート)が支配管理し、科学的・合理的に運営すべきであるという主張が賛同の嵐を巻き起こしたといわれる。テクノクラシー(technocracy)と呼ばれるが、このような主張自体は、第一次大戦以前のドイツで、高度な専門技術者こそが多発する社会矛盾を解決しようという考えによってドイツ民族の生命体としての新たな創出をめざす運動が先鞭をつけていた。⁴⁰⁾一九三〇年代のアメリカの場合は、「社会機構の機械的作用に関連して起こる諸現象を測定する」「エナジー測定(energy yardstick)」を基礎理論に置くもので、アメリカン・プラグマティズムの国家政策への表れのひとつといえよう。これをコロンビア大学内の機関などが担い、北アメリカのエネルギー調査が計画され、埋蔵天然資源の計量も計画されていた。⁴¹⁾

それが実施され、一九四〇年にはエネルギー効率の試算が出された。アメリカが一九四一年末に第二次世界大戦に参戦する以前のことである。ただし、埋蔵天然エネルギー源鉱脈の新たな発見、エネルギー源そのものの開発など、変動要因も多いため、このような試算自体が理論的にも絶えず変更を要することはいうまでもない。だが、これによって、第二次大戦後、国際的なエネルギー消費料に關しても算定が行われることになった。たとえば、一九七〇年代後期において、世界の一次エネルギー消費料のうち、世界人口の五%を占めるアメリカが世界全体の六〇%のエネルギーを消費しているというように。⁴²⁾ちなみに、二〇〇七年の上位六カ国のエネルギー消費

アメリカ	23.6億TOE(21%)	人口(5%)
中国	18.6億TOE(17%)	人口(22%)
ロシア	6.9億TOE(6%)	人口(2.3%)
日本	5.2億TOE(5%)	人口(2.1%)
ドイツ	3.1億TOE(3%)	人口(1.4%)
フランス	2.6億TOE(2%)	人口(1.1%)

TOE：エネルギー消費量
IEA(国際エネルギー機関)のデータによる

量(%)と人口(%)比率を示すと上のようになる。

この上位六カ国で世界のエネルギー消費の過半数を占め、OECD四カ国は人口一〇%でエネルギー消費三二%、中国・ロシアは人口二四%でエネルギー消費二三%。先進国と開発途上国間のバランスの悪さがよく示されている。

そして、人類は、地球資源の枯渇への道をひた走り、また地球環境の汚染と破壊を招き、自分で自分の首を絞めつつあるが、人類は自然環境なしに生きることができず、他の生物とともに生き延びるしか道はないという認識が一九七〇年代からひろがり、国際連合などを通じて国際的に合意されるに至った。今日では中国の大気汚染が問題になっている。

だが、人びとの関心は地球資源よりも地球温暖化、すなわちCO₂の排出の問題に集中し、しかも先進国と開発途上国の格差、途上国間の資源保有の問題などが絡み、国際間の駆け引きが行われていることは周知のとおりである。依然として、地球環境の汚染と破壊に対する明確な歯止めはかかっていない。

本稿では、エネルギー概念とその受容、エネルギー一元論の台頭とその受容過程、生命主義思潮との関連にもふれながら、エネルギーの文明文化史に一步踏み込んでみた。もちろん、地球環境問題、今日の科学技術の在り方と密接に関連する領域である。

今日、生物機械論も新しい段階に入っている。開放系におけるエネルギー理論に触発されて、生物のエネルギー代謝、諸組織系の形態研究が、ともにオートポイエシス(自己組織化する生命)論を盛んにしている。生物、すなわち生きている自働装置論である。

他方、通信工学と生理学の自働装置論とが結びついて生まれたサイバネティクスは、脳や諸社会組織のコンピ

ユータとのアナロジを盛んにしてきた。これらは若い人びとのロボットへの親近感と混じりあいながら、新たな生命観を用意しているかのように感じられる。だが、それは個々人をコンピュータの内臓プログラムにインプット、アウトプット、フィードバックされる「情報」のように見えず新たな疎外を生みだしかねない。

それゆえ、今日、「エネルギー概念」は「情報」概念と関連づけられて論じる必要がある。が、いまだに「情報」概念が定義されたことは一度もない。

人間が他者に向けて発信する記号およびその媒体というのが最も狭い定義だろうが、人間は、そうでないものをも「情報」としても受け取る。そして、通信のためのコードを外れたものを「ノイズ」として処理するわけだが、別のコードでは「ノイズ」の範囲が伸縮する。それよりも大きな問題は、人為的に発信されることを前提にしてつくられた情報概念が、そうでないものに転用される場合、そのアナロジの有効性と無効性が議論に上っていないことである。

フランスのミッテラン大統領の補佐官（一九八一―九一年）を務めたジャック・アタリ（Jacques Attali, 1943-）は、それ以前、「エネルギー」と「情報」を対概念として扱う新しい窓から近現代の社会科学と社会の展開を見渡し、自主管理社会への展望を拓いた『話し言葉と道具』（*La Parole et L'outil*, 1979）で、次のように言っていた。「科学というものは、それがはじまるときには、^{メタフォール}比喩をもぐもぐ語るものだ。類比というものが概して露骨なカモフラージュとでつちあげの起因となってきたとしても、真の科学的進歩はすべて類比からやってくるのである」と。アタリは第二次大戦後に基礎がつけられた情報理論のふたつのうちのひとつに学び、「情報」をエネルギーとアナロジし、そのエントロピーをいう理論を活用するので、このような言辞を吐いている。そして「こんにち、とくに興味をそそののは、生命体との類比である」とつづく。

まだ冷戦体制が存続していた時期に記された書物であり、情報産業もその後、比較にならない展開を示しているが、『話し言葉と道具』というタイトルは、人間と道具、人間と言語の関係を根本から徹底的に問い直すことを

提案している。

一八三〇年代、トマス・カーライルは人間が自らの手足を機械のように見なし、自らつくりだす集団を機械じかけのように運営しはじめたことを告発した。一九七〇年代には人間が自らの頭脳を自らつくりだしたコンピュータのように見なし、そこに内臓プログラムがしかけられているかのような言語理論がアメリカに登場し、アメリカの言語学者の半分ほどには首を傾げさせたが、ほとんどの自然科学者たちはそれを支持した。

新たな学問体系がつけられる際、その基礎概念は既存の分野から借りるしかない。エネルギー工学も、そのようにして作られた。そこにはアナロジが不可避に生じる。その意味でアナロジは新たな思考法に不可欠だが、弊害も大きい。「エネルギー」にせよ、「情報」にせよ、とりわけ「生命」とむすびついて議論されるとき、水準の混同を起しやすい。そして、どのような生命観も個々人の実感と直接、容易に結びつき、実践に駆り立てる。かつて、国家（社会）生命体論は、個々人を細胞とアナロジし、個々人を新陳代謝する国民国家論、すなわち民族全体主義論を生んでいた。しかも家族国家論と結びつけられ、日本の美風のように論じられた（外山正一「人生の目的に関する我信界」『哲学雑誌』第一一四号、一八九六年八月⁴⁴）。

今日の分子生物学では、遺伝現象は遺伝情報の伝達として了解されている。人為的に発信されたものではないものに「情報」概念を転用しているわけだが、このアナロジに無効なところは生じないのだろうか。いや、このような事例をあげなくとも、すでに人間は「全世界が発信する情報」を受け取って生きている、というような世界観が静かにひろがっているのかもしれない。

「エネルギー」「情報」「生命」をめぐって概念構成が組み替えられてきた様相を一望のもとにとらえる概念編制史をまとめることは容易でない。だが、挑戦する価値は十分にあるだろう。

（総合研究大学院大学・国際日本文化研究センター名誉教授、清華大学偉倫特任教授）

註

- (1) Thomas Carlyle, 'On History', *Critical and Miscellaneous Essays*, Boston, Brown and Taggard, 899, Vol. II, p.238
- (2) 『建築の七灯』高橋松川訳、岩波文庫。一九三〇年、一一二頁―、および杉山真紀子訳、鹿島出版会、一九九七年を参照。
- (3) ジョージ・P・ランドウ『ラスキン―眼差しの哲学者』(George P. Landow, *Ruskin*, 1985) 横山千晶訳、日本経済評論社、二〇一〇年、九六頁、一五〇―一五二頁を参照した。以下、同様。
- (4) 酒本雅之訳『草の葉』(上) 岩波文庫、一九九八年、一〇七頁、一〇八頁。
- (5) 同前(中)、二七五頁。
- (6) 『マルクス・エンゲルス全集35』大月書店、一九七四年、六一一頁。
- (7) ジャック・アタリ『情報とエネルギーの人間科学―言葉と道具』(Jack Attali, *La Parole et L'outil*, 1979) 平田清明、齊藤日出治訳、日本評論社、一九八三年、一〇一頁を参照。
- (8) 『ゲーテ全集14』潮出版社新装普及版、一九八〇年、三三三頁。
- (9) 武市健人訳『哲学史』上巻、『ヘーゲル全集11』岩波書店、一九九六年。
- (10) ヘーゲル『歴史哲学講義』、長谷川宏訳、岩波文庫、一九九四年、二四頁。
- (11) 富永祐治、立野保男訳、折原浩監訳『社会科学と社会政策にかかわる認識の「客観性」』岩波文庫、一九九八年、一〇〇頁。
- (12) 大塚久雄訳『プロテスタンティズムの倫理と資本主義の精神』岩波文庫、一九八九年、一二頁。
- (13) 『マルクス・エンゲルス全集20』大月書店、一九六八年、六〇四頁―。
- (14) 加藤博子訳・久野昭監訳『生の哲学』以文社、一九八七年を参照。
- (15) 高橋里美『ラッセルのベルグソン哲学批評』(一九一五年)、『高橋里美全集第七巻』福村出版、一九七三年、一四―二二頁。
- (16) 鈴木貞美『生命観の探究―重層する危機のなかで』作品社、二〇〇七年、第三章二節を参照されたい。以下、『探

究」と略称する。

- (17) 『マルクス・エンゲルス全集20』前掲書、三六八頁。
- (18) 『身体と表現 1980-1980』展覧会カタログ、東京国立近代美術館、一九九六年。
- (19) 『マルクス・エンゲルス全集35』前掲書。
- (20) 『マルクス・エンゲルス全集20』前掲書、四一七頁、六二二頁。
- (21) 金子務「初期『太陽』に見る明治写真術の展開」(鈴木貞美編『雑誌「太陽」と国民文化の形成』思文閣出版、二〇〇一年)を参照。
- (22) 『西周全集4』宗高書房、一九六〇年、一九八一年、二六〇頁―、二七三頁―、二八五頁―。
- (23) 『明治文学全集80』筑摩書房、一九七四年、一四頁。
- (24) 『西周全集4』前掲書、一四七頁、一―三頁。
- (25) 『象山全集2』信濃毎日新聞、一九三四年、一八一―一八二頁。
- (26) 兼清正徳『山尾庸三傳―明治の工業立国の父』山尾庸三顕彰会、二〇〇三年を参照。
- (27) 寺崎昌男『東京大学の歴史―大学制度の先駆け』講談社学術文庫、二〇〇七年、二二―三七頁。
- (28) 鈴木貞美『帝国大学制度とその伝播―概念編制史研究の立場から』『第三―回国際研究集会報告書』国際日本文化研究センター、二〇一三年を参照された。
- (29) 山下重一『スペインサーと近代日本』御茶の水書房、一九八三年を参照。
- (30) 『探究』第一章四節を参照された。
- (31) 『明治文学全集80』前掲書、三三頁。
- (32) 『探究』第一章を参照された。
- (33) 『志賀重昂全集4』志賀重昂全集刊行会、一九二八年、五一頁、五三頁。
- (34) 『漱石全集16』岩波書店、一九九五年、四二―頁。
- (35) 『漱石全集25』岩波書店、一九九六年、七三頁。
- (36) 『漱石全集16』前掲書、六〇―八頁。

- (37) 『探究』第五章九節5を参照されたい。
- (38) M. Masterman, 'The Nature of a Paradigm': I. Lakatos & Musgrave ed., *Criticism and the Growth of Knowledge*, Cambridge Univ. Press, 1970, p.59.
- (39) 鈴木貞美「エネルギー」『宮澤賢治イーハトヴ学事典』弘文堂、二〇一〇年を参照されたい。
- (40) 小野清美「テクノクラートの世界とナチズム」『近代超克』のユートピア』ミネルヴァ書房、一九九六年を参照。
- (41) 三枝博音「技術の哲学」岩波全書、一九五二年、一三九頁を参照。
- (42) ジャック・アタリ「情報とエネルギーの人間科学—言葉と道具」前掲書、一二四頁。
- (43) 同前、二二頁。
- (44) 『探究』第一章六節6を参照されたい。

12 二一世紀のための教養——學術の連環

赤木昭夫

1 出版——學術衰退の症候群

日本の書籍の年間売上げ額は、九〇年代半ばの一兆一〇〇〇億円から二〇一〇年の八〇〇〇億円へと、ピークの約七割に落ちた。日本のアメリカからの書籍の輸入額も、一九九六年の一億三八九万ドルから、二〇一一年には九八三一万ドルへと低下した。また日本のアメリカからの科学技術医学専門書の輸入額も、一九九六年の七六五九万ドルから二〇一一年には三一三〇万ドルへと半減した。¹⁾

国立大学財務経営センター理事長の豊田長康の調べによれば、Elsevier社のScopusによって主要国の科学論文の発表数の推移を見ると、日本の科学論文の発表数は二〇〇六年から低下の一途をたどる。二〇〇六年のアメリカ、中国、イギリス、ドイツ、フランス、カナダの発表論文の概数は、四三万、二〇万、一二万、一〇万、七・五万、六万であった。二〇一〇年にはそれぞれ四七万、三三万、一二・五万、一二万、八・五万、七・五万へと増加した。それに反し日本は、二〇〇六年の一・五万から二〇一〇年の一一万へと減少を続けた。

日本の科学論文の発表数の低下の原因を折から始まった国立大学の法人化に求める向きが多いが、果たしてそ

れだけが原因であろうか。

學術出版は、学会論文誌（ジャーナル）と専門書（モノグラフ）とに二分される。最近ではとくに自然科学・技術・医学で専門の細分化が進み、学会誌の種類が激増し、一誌当たりの制作コストが上昇し、しかも印刷版と電子版の双方を備えねばならず、購読料が膨張し、大学図書館は専門書の購入予算の削減を強いられている。これを「シリアル・クライシス（定期刊行物による危機）」と呼ぶようになった。

化学分野の学会誌を例に挙げると、年間購読料は平均で約三八〇〇ドル、高いのでは二万〇九三〇ドルも請求される。経営学の学会誌で八二〇ドル、社会学の学会誌で五二八ドルである。一九八〇年代半ばから二〇年間に平均で三倍も値上がりした。価格上昇には三つの原因がからむ。第一は研究者が権威ある学会誌への掲載を望むからである。ブランド代を払わされる。第二は有力出版社が安定した利潤を求めて乗り出してきたことである。第三は一学会一誌という制度につけこみ独占利潤を得るように図つたことである。

学会誌発行の三大手は、オランダのエルゼヴィア、ドイツのシュプリンガー、アメリカのワイリーで、学会誌の四二％を握る。残りを二〇〇〇あまりの中小の出版社が分け合う。エルゼヴィアの二〇〇〇年の利潤率は三六・四％に達したことが、ドイチェバンクによつて暴露された。どうしても電子版の論文が読みたい場合、ワイリーでは一篇当たり四二ドルを払わされる。

その結果、大学図書館の資料費のなかで学会誌の占める率が、イギリスで六五％、日本で四六・五％（洋雑誌が一七・六％、電子雑誌が二八・九％）へと上昇した。日本の場合、和雑誌を加えると、イギリスと同じように、学会誌が過半を占めるのは明らかである。世界でもっとも豊かな大学のハーヴァード大学図書館でも、学会誌購読料が年間資料費の一〇％に相当する三七五万ドルに達し、悲鳴をあげるようになった。ついに二〇二二年七月に、教員や研究者にたいして、なるべく無料で閲覧可能なオープン・アクセス誌へ論文を投稿するようにとの要望が出された。

出版の電子化によって最後にしわ寄せを受けるのは、学術専門書である。一九七〇年代まで、英語の学術専門書は世界で二〇〇〇〜三〇〇〇部は確実に売れた。しかし一九八〇年代の半ばから、発行から一年間で六〇〇〜一〇〇〇部しか売れなくなった。三年から七年かけて売り尽くせるかどうかと言われる。

二〇〇〇年から二〇〇一年にかけての売上げ額は、オックスフォード大学出版局が約六億ドル、ケンブリッジ大学出版局が二億ドル、アメリカの九つの大学出版局それぞれが六〇〇〇万〜四〇〇〇万ドルで、残りの五五の大学出版局はいずれも六〇〇万ドル以下であった^③。

これについては二つの原因が挙げられる。第一は、論文誌購読料高騰によって大学図書館が学術専門書を買わなくなり、単価を上げねばならず、ますます売れなくなる悪循環のためである。第二は、研究者が論文誌を読むので精一杯で、専門書をあまり読まなくなったからである。後者の原因のほうか、はるかに重大で深刻であろう。

論文は、文理を問わず、限られた問題について、限られた前提を設定して、限られた結論を出す。つまり、狭くて、閉じている。そこに研究者は安住する。それは日本で言う「タコ壺」である。アメリカで言う「サイロ（穀物貯蔵塔）」である。

それにはたいし専門書では、結論が出ない主張（サステインド・アーギュメント）を展開する。一時は言い切れたと思われても、やがて反論される。それが学術の常道である。

しかし一九七〇年代から分野を問わず、世界中の学界がますます重箱の隅をつつくようになった。その傾向を出版の電子化が促進している。このように出版から見ても学術は重大な危機に見舞われている。

2 タコ壺とサイロ——一二歳で文系と理系に分ける制度

現代人は、一二歳の頃に、たいへんきびしい関所を通らねばならない。そこで文系と理系に分けられてしまう。

中学に入るまでは、具体的にものを考える。誰もが、どちらかと言えば、文理兼帯、総合人間である。しかし中学になると、少しずつ抽象的思考を求められる。例えば小学校の算数では、「リンゴが五つあり、三つを食べると、残りはいくつですか」という具合だが、中学になると、「A マイナス B イコール C」となる。

抽象的な数学に馴染む子、好きな子が理系志望になる。やはり同じ頃、言語でも具体から抽象へ移る。それが外国語である。母語では、生まれ育つ世界と具体的対応によって裏付けられている。それに反し外国語を習うときは、結局は頭のなかで逐語的に母語に置き換えるので、どうしても抽象的に理解することになる。それが面白い子もいれば、苦手な子も出てくる。面白いと感ずる子が文系志望になる。必ずそうなるわけではないが、傾向としては頷ける。

頭脳の発達段階として一二歳の頃に、具体的操作から抽象的操作へ移る関所を通ると、ピアジェ（スイスの心理学者、一九八〇年没）が提唱した。これが今では広く世界の教育界で認められている。

文系と理系の選択（選別）は、小学校から中学校へ、高校から大学へと進むたびに積み重ねられ、就職で決定的になる。総合人間が専門人間になっていく。分野によって抽象化に得意不得意が生ずる。どの分野でも同時に抽象化に習熟できないからである。そうした個人差を社会が増長させ、効率的に人間を使うため利用する。念のためだが、この由々しい現象は、日本に限らず世界中で生じている。そして學術の在り方、とくに異なる分野間の関係に決定的な影響を及ぼしてきた。

3 二つの文化——學術の反目

抽象的操作によって、考えをあてはめる範囲と深さが格段に増した結果、対象も多岐になり、それに応じて考え方（抽象的操作の方法）も分化して行った。

自然科学は「関係」によつて物事の成り立ちや成り行きを説明し予測する。温度が上がると気体の分子の運動が激しくなり、気体の圧力が高まる、というように現象を構成する要素の関係（関数）で考へる。数量と数量との関係として捉へる。そのため数学と常に密接な連携を保つてきた。自然科学は数学という言語で記述されるとき主張される。

それになりたいし人文学は、人間の感覚や考えを対象にする。言語も歴史も、人間の感覚や考えの一環であるとして、統一できるとする。対象が複雑なので「類似（アナロジー）」を手がかりにして、広く通用する考え、つまり「概念」で説明しようとする。例えば音楽と数学の類似の一端を、美しさという概念で捉へる。類似がまったく見出せなければ、新しい概念を發明してきた。ドゥルーズ（フランスの哲学者、一九九五年没）は、新しい概念の發明が哲学の最大の課題であると喝破した。¹⁾

大まかであるが、社会科学は、人間集団（社会）の振る舞い相互の間に関係を見出し、またそれらについて概念やモデルや数理で説明する。対象は人文学的で、方法は半ば自然科学的である（より正確には、自然科学的でありたいと志向する）。技術は、物事を関係づけ、人間の目的に役立てる。長く技術におけるものごとの関係づけはもつぱら経験的であつたが、とくに産業革命からは自然科学全般を応用して理論化された。それが工学となつた。テクニクがテクノロジーに昇格した。対象と方法は自然科学的かつ社会科学的方法である。そして芸術は、人々の感覚、知覚、意識と呼ばれるものを前例を超える形で表現する。そのため芸術は、他の四つの分野（文化）、人文学、自然科学、社会科学、技術のすべてと、自身の「表現」という深いところで繋がる。

対象と方法をすこしずつ違えていくうちに、まるで単細胞生物から多様な生物へと進化したように、芸術や技術から始まつて、人文学、自然科学、社会科学の順に枝分かれしてきたと、振り返ることができる。このような系譜からして、哲学から自然科学が生まれ、自然科学から技術が派生したとするのは歴史的に誤りであつて、特殊な技術として、つまり、自然について説明し予測する技術として、自然科学が培われ、科学は技術から派生し

たとするのが正しい⁽⁵⁾。したがって、日本での「科学技術」という呼称は妥当性を欠くが、言語では慣用を優先するので、まかり通っている。ちなみにTechnologie (技術) は一七六九年に、Scientist (科学者) は一八三四年に、それぞれ Johann Beckmann と John Whewell によつて造語された。

五つの分野の關係はきわめて重要だが、その割には論じられてこなかった。とくに日本ではそうであつた。それには政治的な因縁がからんでいた(後述)。

一九世紀末になつて、対象と方法の違いが甚だしくなつて、ついに二〇世紀の半ばには、世界的に自然科学と人文学の間で話を通じなくなつた。人文学者には熱力学が、自然科学者にはシェークスピアの劇が、理解できなくなつた。人文学者と自然科学者は反目するようにさえなつた。これでは世界の貧困の問題などを解決できるわけがない。これこそ文化の危機であると、スノー(イギリスの評論家・小説家、一九八〇年没)が「二つの文化」で批判した。そもその骨子は一九五九年五月のケンブリッジ大学での彼の講演に発する。好評につき同年に小冊子として出版されたが、二〇一〇年には、スノー自身による増補と解説付きで第一三版が発行されているから、半世紀も読み継がれてきたことになる。その理由は、米ソの冷戦と中国やインドの興隆という背景のもとで、イギリス知識人の憂慮を率直に披瀝したためであらう。当のイギリスは今や経済的に落ち目で、その原因は「二つの文化の反目」ではなく、イギリスの學術の階級性から、イギリスの人文学と自然科学の双方が技術(工学)を軽視した、というよりも蔑視したためであらう。最近この点を反省して、イギリスは人材の養成から出直すかしないとの提言が、ロンドン・スクール・オブ・エコノミックスのグループによつて発表された⁽⁶⁾。

4 三つの文化——學術の階層

自然科学と人文学に社会科学を加えれば、「三つの文化 The Three Cultures」となる。この題名で、二〇〇九年

四月に、ハーヴァード大学の心理学の教授であった Jerome Kagan が評論を出版した。アメリカでは電子本が二〇一二年春から離陸した。資料になるかと思われるので売価を記録しておく。三二四ページのハードカバー版の書店での価格は八一・〇〇ドル、ペーパーバック版ならば二四・九九ドル、それがアマゾンならば一八・一七ドル、電子版 (Kindle) ならば一二・八一ドルであった。

副題は *Natural Science, Social Science, and the Humanities in the 21st Century* とあるように、諸学の間の隔たりは半世紀前の「二つの文化」よりも大きくなり、それぞれ一層謙虚であらねばならないというのが、建前的な主題になっている。しかし著者がもつとも指摘したいのは、社会科学の内情である。とくにマクロ経済学の方法における混乱を論難するのに力が注がれる。なお社会科学には、著者の専門の心理学のほか、言語学、社会学、人類学、政治学、経済学などが含まれる。現在アメリカでは、かつては人文学として括られていた心理学と言語学が社会科学へと移ったことが注目される。両者が、対象における社会的要素の重視、そして方法における自然科学への接近を、明らかに志向した結果に他ならない。もちろんそこには研究費の多寡も関係していた。

本書の書評のいずれにおいても触れられたが、著者は、諸学の関係を太陽系に譬える。中心の太陽から遠ざかるほど、太陽の引力が小さくなる（太陽の引力は距離の二乗に反比例する）。物理学が太陽で、その中核が数学である。化学と生物学が太陽の近くを回る。外側に向かって順に、経済学、言語学、心理学、人類学、社会学、政治学の軌道がある。さらに、はるか外側を歴史学と哲学が回る。そのまたさらに外側に文学や芸術が位置する。しかし、そんな外側でも、太陽の引力を免れることができない。

またしても、技術や工学が検討の埒外に置かれていることが問われるべきであろう。さらに言えば、スノーではとにかく自然科学と双璧をなした人文学が、ここでは比重をいちじるしく落としているが、そのことの重大性は氣遣われていない。著者の専門の心理学がさっさと社会科学へ引越したので、問題ではなくなつたとも言えるであろうか。この両点については後述する。

アメリカでなくても、自然科学について、社会科学の筆頭として経済学が幅をきかせる。国ごとの経済、そして世界の経済について、景況の判断と採るべき政策の提言を、政府や世界機関から求められるためである。ひとつの企業なり業界の経済、たとえば商品の生産と消費について、いわゆるミクロ経済学の枠内では、かなりの確度で変動も予想できるようになった。それに反しマクロ経済学の分野、つまり国ごと、あるいは世界の経済となると、成否は別として、変動がごく小幅である限りは修正のための若干の政策を提言できても、それを除くと事実上まったく予測能力に欠けると断言して差し支えない。それが証拠に、二〇〇八年秋から表面化した世界的な経済の大停滞（恐慌）を、世界の主要国の中央銀行も含め、経済学界には予期すらできなかつたのである。⁷

著者ならずとも、能力の割に経済学の処遇が高過ぎる点にルサンチマンを抱くのは無理もない。そこで（マクロ）経済学なり金融論への批判が始まるわけだが、実態にそぐわない玩具のようなモデルをふりかざしていることに、経済学の貧困の主因を求め、著者もその点では月並みである。⁸ただし、脇ではあるが経済学に近い立場にある彼ならではの提言として、短くかつ穏やかにではあるが、経済学にたいして、物理学のような時空を超えた普遍的モデルを基に経済現象を予測しようとするよりも、生物学ないし歴史学の方法の採用を模索するように勧める。⁹

なお日本の人文学と社会科学の振興のための提言が、二〇〇九年一月に科学技術・学術審議会から発表された人文学と社会科学は「対話」という点で繋がるから連帯可能であり、ともに日本で創造された知を世界に向けて発信していくべきである、というのが提言の趣旨と読める。主に取り上げられている対象は、人文学の代表として歴史学、社会科学の代表として政治学であり、肝心の経済学の問題点はほとんど触れられていない。¹⁰

5 一つの文化——学術の統合

学術の分野は多岐にわたるが、根は人間の営みとして「一つの文化」であるなどと安直に措定してかかると、現在の学術のタコ壺状態にたいする懸念からとして、心情的には無理からぬと同情と斟酌が得られても、論理的にはたちまち詰まるため、きびしく戒められるべきであろう。

学術は一つである、ないしは一つに統合されるべきである、とする思想の源は、古典ギリシアのパルメニデス——存在するものは連続一体であると説いた——まで遡られ、その近代の変種として、フランスの実証主義哲学者のコント（一八五七年没）による学術の発展段階説——学術は神による説明、概念による説明、実証を旨とする三段階を経るとする説——などが挙げられるが、ここでは他山の石として、二〇世紀の欧米の論理実証主義者たちの提唱と、その破綻の経過を簡単に振り返っておこう。

一九二〇年末から、ひとつにはファッシズムの台頭を予感して、「ウィーン学団」の面々が、マッハからの影響のもとで、「形而上学なしの科学のユニティ（統合・統一）」を唱えた。代表者として、カルナップ（一九七〇年没）とノイラート（一九四五年没）が挙げられる。

徹底していたのは、物理学から哲学に転じたカルナップで、自然科学も社会科学も含め、すべての科学の方法と言語の統一——一つの学、早く言えば物理学への還元——を唱えた¹⁾。他方のノイラートは、社会科学系で百科全書の知識の持ち主であったため、より緩やかでプラグマティックな統合を推進した。彼の主導によつて、一九三〇年代後半には、ヨーロッパとアメリカの知的センターとなるいくつかの都市で、運動を具体化するための国際会議が開かれた。物理学者のボーア、哲学者のラッセル、論理学者のタルススキも含め、多くの支持者を集めた。ノイラートの思想には、今もなお傾聴すべき点が多い。それを伝えるのが、「ノイラートの船（一九三二年）」と

呼ばれる譬えである。「われわれは、自分たちの船をいったんドックに入れて解体し、最上の部品を用いて新たに建造することはできず、大海上でそれを改造しなければならぬ船乗りのようなものである」と彼は述べ、「いかなる検証も必要としない基礎的な命題の存在（それによる諸学の統一）」を主張するカルナップをたしなめた。

彼の新しい百科全書編纂の構想が、非合理主義と反科学に対抗する運動の一環として、一九三四年に認められ、第一部は「科学の統一の基礎」（二巻）、第二部は「特殊科学の体系化のための方法」（六巻）、第三部は「特殊科学の間の結びつき」（八巻）、第四部は「第三部までの応用」（一〇巻）が計画されたが、ノイラートの死によつて第一部のみが一九六九年に出版されただけで終わつた。もし完成していれば、分野を超えての相互交流（クロス・フアータリゼーション）の促進に役立てられたかもしれず、未完で終わつたのが惜しまれる。

他方、學術の還元的統一についてのカルナップの生一本な提唱は、一九五〇年代に入ると、まず歴史学、ついで歴史的経過に依存する地質学や生物学などの分野から、論理実証主義が要請する經驗的に実証可能な普遍的法則は達成不可能であるとして、激しい批判の火の手があがつた。一九六〇年代に批判の先頭に立つたのがファイヤアーベント（一九九四年没）、そしてクーン（一九九六年没）であつた。クーンは「パラダイム」で有名であるが、「通約不可能性（インコメンシュラビリテイ）」として説くところは、ファイヤアーベントのほうが精緻で痛烈である。しかし、とくに彼らの分析を待つまでもなく、方法は言うに及ばず、術語においてすら、分野が異なれば、また同じ分野内でも旧と新では、意味が異なり、通約不可能なことは昔から明白であつた。

ごく最近になつて特別な条件を設定しての論理の可能性が追究され、それらを基に科学の統一が再検討されているようだが、実効性については疑問が多い。

だからと言って、學術統一の主張が完全に論破されたわけではない。究極のすべてを説明し予測する学の体系は在り得るか。それがないとすれば、いかなる学の体系の取り合わせによつて可能か。学の統一と言うとき、それは理論間なのか、概念間なのか、術語間なのか、そして学と学とを関係づけるとき、還元によるのか、

翻訳(変換)によるのか、類似(アナロジー)によるのか、分化ないし進化に譬えるのか。このように問題は尽きない。これらの問いに答えることによつて、次に述べる学術の連環を保つ上で、何が必要かが明らかになると期待される。

6 五つの文化——学術の連環

五つの文化は、芸術・技術・人文科学・自然科学・社会科学から成り立つ。今や対象と方法を異にする五つの文化は、それぞれ真理により近いと優位を主張し、一般社会から他よりも役立つと評価されることを求め、国の助成予算の分捕り合戦に及び、内輪もめの「サイエンス・ウォー」を繰り広げる。哲学者カント(一八〇四年没)が最後に発表した著作は、いみじくも『学部争い』であった。

確かに表向きは争っているが、実は裏では互いに支え合つて、学術が総崩れに見舞われるのを防いできた。その目に見える証拠のひとつが、アメリカのインディアナ大学のポーレンたちによつて、「サイエンス・マップ(学術地図)」として発表されている⁸⁾。

地図が示すのは、小さな丸で表わされる多くの学術誌の配置である。学術誌の間は線で結ばれるが、それは「クリックストリーム」を表す。それをたどるならば、ある研究者がデータベース中のある学術誌をクリックして読み、そのあと別の学術誌をクリックして読み、また別の(分野の異なる)研究者が同じ学術誌をクリックしたというように、データベースの相互利用の履歴(マルコフ連鎖)を知ることができる。つまり、分野の異なる研究者が同じ学術誌を読み合い、助け合った跡がわかる。各分野の内側では、当然その分野の学術誌が他の分野の学術誌よりもはるかに多く読まれるので、そのことは丸の濃密な集まりで示され、クリックストリームの線は、学術誌を表わす丸でマスクされる。換言すれば、同分野内の読み合いは捨象され、他分野との交流のほうがより明瞭

に浮き上がることになる。

データは、カリフォルニア州立大(二三キャンパス)とテキサス州立大(九キャンパスと六病院)、そして四つの大きな学術誌のデータベース(Thomson Scientific, Elsevier[Scopus], JSTOR, Ingenta)、合計で六つのポータル(二〇〇六年のログ(交信処理記録、約一〇億件)から取られた。高等な専門研究に重きを置く大学院大学を選ぶと、分野に大きな偏りが出るのは目に見えていたので、意図的にアメリカでの標準的な大学を対象としたと思われる。学術のおよその配置は、アナログ時計の文字盤の数字の位置で示すと次のようになる。まず文字盤の中央近くに芸術(とくに表現法)の分野が陣取る。それと繋がって一〇時と一一時の方向に向かつて、人文学と社会科学が隣り合った二つの群として位置する。巨視的に言えば、芸術と人文学と社会科学の三つはほとんど一体として存在する。

一〇時から九時にかけては医学・薬学・看護学などが占める。八時から七時にかけては脳・神経・栄養などの基礎医学が並び、それらと中央寄りの人文学との中間に、哲学・教育学・心理学・言語学・認知科学が介在する。これらの間はクリックストリームを示す多くの線で結ばれる。六時には生物学(生態学・環境科学・遺伝学)が、五時には生理学・農学が、四時には微生物学・バイオテクノロジーが位置する。六時の生物学は、環境科学(環境設計)を通じて中央の芸術と繋がる。ここまでで時計文字盤の左半分と右の三分の一が説明されたが、こうした分布から、現在のアメリカにおける学術の重点が、生物学の急速な進歩に先導された医薬・環境・バイオテクノロジーの展開、それにたいする人文学ないし社会科学からの評価、そして哲学・言語学・認知科学との交流、という広範な協働的研究開発(教育を含む)に置かれていると見てとることができる。一〇時から四時にかけて時計盤の外周に沿って自然科学として医学そして生物学が隣接するが、これらの間はもちろん相互にクリックストリームの線で結ばれる。

三時に化学(基礎と応用)が来て、二時に物理学(応用)が位置し、一時から一二時にかけて工学や管理技術が

並び、そこからクリックストリームの線が一時に近い位置を占める経済学へと伸びる。

なぜこのような学術の配置になるのであろうか。他の分野からもっとも多く読まれる分野として、芸術(表現法)・人文学・社会科学などが中央に、周りに自然科学と技術というように、近い関係にある分野が隣り合うように位置づけられているが、この位置取りはデザインに因るのではない。それぞれの学術の特質と相互関係が、こうした位置取りとして現れたわけである。これは恣意的な図ではなく、学術が支え合いによってからも成り立っている証となる、まさに「地図」なのである。論文引用の頻度統計とは違う。この地図は学術の展開と発展、つまり進行中の研究(教育)過程そのものを表しているのである。

実はこの学術地図と、フランスの『百科全書』(一七五—一八〇年)につけられた「ダランベールの学問分類図」¹⁶とは、トポロジカル(図形的)には同じことに気づくであろう。ダランベールの図は、(逆立ちした)系統樹として描かれた。根に当たる最上部に悟性(理解する能力)が来て、その下に記憶(その下に歴史など)、理性(その下に哲学、自然、人間など)、想像(その下に芸術など)が来る。悟性から記憶・哲学・芸術までを一群として中央に置き直し、それらの下に置かれた人間と自然にかんする学と技術とを周辺に配置すれば、上記の現在のアメリカの代表的な学術地図になる。今も色濃く残っている学術分野の上下関係を棄却して、各分野を平等に位置づけるならば、学術はひとつの連ねられた環を成す。

百科全書の前語のアンシクロペディは、「児童を学問の環のなかに入れて教育する」を意味した。それを明治初期の啓蒙家の西周(一八九七年没)は「百学連環」と訳し、それを推進するのが「フィロソヒー」であると意義づけ、訳語として「哲学」を造語した。明治三年(一八七〇年)に「百学連環」を説いた西であったが、イギリス的な議会制度の提案を排除するための明治一四年の政変を経て、学術のドイツ化が明治一六年に山縣有朋によって建議された際、下書きしたのは他ならぬ西であった。そこには「要するに、今の政論は、従来の教育より生ず。故に、今の政論を一変せんと欲せば、唯だ従来の教育を一変するに在るのみ。即ち、当時大・中学に用ゆる英学を廃し、

独逸学を用ふる事」と記されていた。西の愛心に代表されるように、明治一〇年代から日本の學術は国家のための學術という枠をはめられ、學術の在り方を學術の立場から自主的に検討する構えを奪われ、學問の専門化(個別化)へ走り、今もその宿弊が続いている。その狙いは伊藤博文の明治一二年の「教育議」に、つぎのように明快に述べられていた。「高等ノ學ニ就カント欲スル者ハ、専ラ實用ヲ期シ、精緻密察、歲月ヲ積久シ、志嚮ヲ專一二シ、而シテ浮薄激昂ノ習ヲ暗消セシムヘシ。蓋シ科学ハ実ニ政談ト消長ヲ相為ス者ナリ」

つまり、科学に没頭させることでノンポリにするのが高等教育の目的であった。何をかいわんやである。今なお続くこのような文化風土のもとでは、真の「百学連環」による學術の健全化は容易ではない。⁽¹⁾

なお、上述のアメリカの學術地図において、数学や基礎物理学が出てこないが、どこに消えてしまったのかと思ふ向きも少なくないであろう。これら二つの学は、人文学すらも含め、すべての學術の基礎の基礎を成す。したがって、クリックして學術誌を読むのと同じわけには行かない。印刷本によつて、じっくりと学習される。そのため上述の地図には数学や基礎物理学は出てこなくなる。強いて言えば、中央の芸術(表現法)の底部に数学が、また二時の応用物理学の底部に基礎物理学が、ひそんでいると考えるべきではなからうか。

7 失われた人文学の役割を求めて——二世紀に活かすフーコーの『言葉と物』

かつては學術のそれぞれの分野が、分野の成果を絶対の真理だと主張した。今でも分野のタコ壺に閉じこもる面々は、平然として自説の真理性を標榜するかもしれない。しかしそれは今では論理的に不可能であるとして、承認されない。

どの分野も學術の根柢の前提を問われ始めると、前提の前提は、さらにその前提は、……と追及されて、無限遡及に落ち込む。窮地に落ち込む前に、所詮それぞれ一知半解(生分かり)でしかないと限界を認め、各學術は互

いに支持し合つて、大前提を追及される無限遡及から免れることを、社会から許してもらうしかない。とりあえずの範囲に限つてではあるが、説明なり予測ができるから、その範囲内で妥当であると承認してもらおうわけである。ボーレンたちの学術地図は、学術の協力と依存の関係(連環)を示す一方で、各学術のそうした不完全性を証拠立ててもいることになる。しかし、だからと言つて、学術の連環を否定的にのみ捉えるべきではない。学術は分立するからこそ、遠く離れた他の分野から示唆を受けたり、成果を移入したりして、別の分野でまったく新しい意義づけが与えられたりするのである(次節参照)。

学術がいかなるものであるか、その存在根拠は何か、果たして健全なのか、これらの問題に答えることは、ヨーロッパでは主として人文学に負わされてきた。近代(一九世紀)の半ばまで確かにそうであった。学術のすべては人間の活動であるから、人間の活動と経験の意味づけが本来の務めである人文学——哲学・歴史・言語・文学・心理学などからなる総合的人文学——がその責を負うのは、当然とされてきた。フランスの『百科全書』なども、その精神で編纂された。しかし、おそくとも一九世紀後半に至つて、人文学それ自体の前提が大きく揺らいで、以後は学術を横断して総覧し総合的評価をくだす活動は衰弱し、今では放棄されたと言つても過言ではなくなつた。総合評価に代わつて、分野ごとの哲学(たとえば科学哲学)が、分野ごとの妥当性を検討するので精一杯である。その種の哲学は「Xの哲学」と呼ばれる⁽¹⁸⁾。他方では、総合的評価は不要であり、そもそもそれは不可能であると、主張されるようにさへなつた。それがポスト・モダンズムの云い分であろう。

この間の経緯についてもつとも示唆に富む一書となると、ミッシェル・フーコー(一九八四年没)の『言葉と物』(一九六六年刊、邦訳は一九七四年)が選ばれることが多い。なお彼の所説は、アメリカの大学などで French Theory⁽¹⁹⁾の核心として評価され、それが本国に逆輸入され、また彼の晩年の著作が一九九〇年代になって出版されたこともあつて、最近またフランスでも注目され読まれるようになってゐる。以下において彼の所説の要点を紹介するが、はつきり言つて原典は晦渋なので、筆者の解釈を基にやさしく言いなおした概説であることを断わ

つておく。⁽²⁰⁾

一九六〇年代の反論理実証主義者たちと共にというよりも、はるかに徹底的に、フーコーは知における時代の断絶を主張する。彼によれば、一七世紀末までのクラシック(古典時代)、一九世紀初めからのモダン(近代)とに、整然と分けられる。なおフーコーは、一九世紀末以降は取り上げていない。そこで作業仮説としてであるが、筆者は二〇世紀以降を現代として若干の捕捉を試みた(文末に付けた表を参照)。

彼の所説の独特さの第一は、知の時代的断絶である。つまり、「知の不連続性」であるが、それ故に時代の學術を横断し共通の底流としてアプリアリとなり、やがて逆説的だがアプリアリではなくなつて行く認識の範型(彼は「エピステーメ」と呼ぶ)が、フーコーの所説の第二の独特さを構成する。⁽²¹⁾ 第三は「権力(暴力)」が知に及ぼす影響」の強調である。

クラシックのエピステーメは、「分類」である。それが顕著であつたのは、自然を動物・植物・鉱物、さらにそれらを綱とか類に分けた「博物学」であつた。言葉においては「一般文法」、経済においては「富の分析」が重きをなしたのは、いわば分類がエピステーメであつたからである。

モダンのエピステーメは「統一」である。顕著であつたのは、まさに時代の境目の一八〇〇年に新しく造語された「Biology(生物学)」の名を冠する分野で、統一のためことごとく生物は細胞によつて調べられ、説明された。それにならつて言葉では「言語学」、経済では「労働」が鍵とされた。

残念ながら具体的な分野としてフーコーが取り上げたのは、以上のように、生物学と言語学と経済学の三つだけに限られた。三つのなかでは、どうやら生物学が基準になつていふと思われる。物理学ではなかつたことが注目される。彼には医学の素養があつたこと、師のカンギレム(一九九五年没)の専門が科学史(生物学史)であつたことも影響しているかもしれない。しかし根本的には、人間の関心の核心としてのヒト、それなるが故の生物一般にたいする深い関心、それなるが故の生物探究に適した枠組みや方法の精力的な検討、その成果の広範な応用な

だが、エピステーメのなかのエピステーメをもたらしたと、フーコー自らが洞察したために違いない。フーコーのこの洞察は、二〇世紀以降の現代のエピステーメを検討する際にも尊重するほうが賢明と考えられる。事実、上述の現在のアメリカの学術地図においても、そうすべきであることが顕著に現れていた。なお筆者は、二〇世紀以降の現代のエピステーメとして、進化生物学から始まる「進化的ないし創発(エマージェンス)」を候補として考えている。

ところで、フーコーが言うモダン、つまり、一九世紀に入つて、人間をヒトとして他の生物並みに統一的に捉えようとしたことによつて、人間の絶対的優位性が否定された。その結果、他の学術を評価する人文学の役割が疎んじられるようになった。人文学も自信をなくし消極的になった。ここでフーコーの追究は終わつている。一九六〇年代末のフランスの知的環境としては、それも已むを得なかつたと思ふべきかもしれない。

しかし「言葉と物」が刊行されてから半世紀近く経つた現在、学術の中身も学術を取り巻く状況も一変した。人文学がかつて果たした役割の復活は不可能なのであろうか。人文学も他の学術も、自己完結が不可能な点では、相い身互い身である。それを前提に再出発はできないのであろうか。人文学に限らずすべての分野が、それぞれ互いに評価し合うのはどうであらうか。それぞれにかつての人文学の役割を果たすことはできないのであろうか。哲学カフェや科学カフェにならつて、全国規模の学術カフェが各縣もちまわりで毎年開かれ、市民と専門研究者を交えて学際的交流が展開されるべきではなからうか。アメリカ学術振興協会(AAAS)は、それを年間行事として続けてきた。「国民体育大会」が開催され、なぜ「国民学術大会」が開催されないのであろうか。

最後に、二〇世紀前半の学術を通じてカテゴリーに準ずる役割を果たしてきた「エネルギー・生命・情報」の三つの概念の絡み合いのいくつかの例を振り返つて、それらの個々の分野においてどのように追究を重ねてきたか、それを通じて何が現代のエピステーメとなるのか、それについて試みとして簡単に考察し、最後に代えた

8 現代の(準)カテゴリー——エネルギー・生命・情報——

明治日本の代表的知識人である夏目漱石(一九一六年没)の著作(講演を含む)では、「情報(information)」という語はまったく使っていない。他方、福沢諭吉(一九〇一年没)は、「民情一新」(二八七九年刊行開始)のなかで「智とは……英語にていへば『インフォルメーション』の義に解して可ならん」と述べていた。ただしそれ以上の展開はなかった。

自宅近くの本郷三丁目まで市電がきていたが、漱石は石油ランプのもとで「吾輩は猫である」(一九〇五年)を書いた。彼は建築家を志したぐらいで、いわば文理兼帯であったが、近くに寺田寅彦がいたため「勢力保存法則」も心得ていた。書くときは、片仮名の「エネルギー」は使わず、「勢力」ないし「活力」を使った。講演では英語のままの「energy」や片仮名の「ポテンシャルティ」を口にした(「創作家の態度」と東京高等工業学校での講演)。この使い分けは相手に依った。両講演の聴衆は準専門家と想定されたためらしい。

現在の生命科学などと言う際の「生命」の意識はなく、「生命(せいめい・らいふ・いのち)」の用い方の多くは「命(いのち)」と同義で、まれに「人生、生涯、生きていくこと」の意で用いられた。例外として「吾々の生命は意識の連続であります」と、講演の「文芸の哲学的基礎」で語られた。なお亡くなる四カ月前の大正五年八月(推定)に、手帳に「Entropy 力学の行キツマリ」と書き残したのは要注意であるが、背景の吟味なしの深読みは慎むべきであろう。

漱石における三つの言葉——「せいめい・らいふ・いのち」——の使い方は、概括すれば、百年後の現代の一般市民とほとんど変わらない。漱石が進んでいて、現代人が遅れていると、評価されるのではなからうか。

だが、明らかに漱石の脳裡において、三つの言葉の絡み合いが時代の認識のモチーフ、つまり、エピステーメ

というようには、まだ意識されていなかった。

ダーウィンの『種の起源』（一八五九年）については、原語版のコンコードダンスが利用できる。それによれば、energy も information も使われていない。

ところで、注目すべきはベルクソン（一九四一年没）の『創造的進化』（一九〇七年）である。邦訳のタイトルは誤訳に近い。内容に合致するのは「進化とは創造なり」であろう。

Information が出てくるのは第四章の「一か所で、ここで問うているところとは無関係である。核心の第三章「生命の意義について 自然の秩序と知性の形式」では、当然ながら「ラ・ヴィ（生命）」の使用頻度は高いが、それを数え上げて意味がないので略する。「エネルギー」は八回、そして「アントロピー」は一回を数える。これら両概念は、ボルツマンの『気体論講義』（一八九八年）などから得た。

ベルクソンは、エネルギー保存則とエネルギー散逸則（エントロピー増大則）とだけから、まったく思弁的であったが、「生命には物質のくだる坂をのぼろうとする努力がある」、そして「生命は落下する錘を持ちあげる努力のようなものである」の二つのエノンセ（言表）を發した。エントロピーの増大によつて、利用できるエネルギーが減るなかで、それに逆らう努力がなければ、生命が在り続けることは論理的に不可能と論理演算（思弁）したわけである。

それから三七年後の一九四四年に『生命とは何か』を、量子力学の波動方程式を考え出したシュレーディンガー（一九六一年没）が公刊した。そこでは「生きているための唯一の方法は、周囲の環境から負エントロピーを絶えずとり入れることです」、そして「生物が自分の身体を常に一定のかなり高い水準の秩序状態に維持している仕掛けの本質は、実はその環境から秩序というものを絶えず吸い取ることにあります」と語られていた。

これら四つのエノンセは、分野を異にし、三七年のへだたりがあるにも拘わらず、エピステーメを構成する。この場合のように、エノンセは縦方向や横方向だけでなく、ドゥルーズが指摘したように、思いがけない斜め

方向へも移つて行くのである。²⁴⁾

いずれのエノONSEにおいて、「生命」、「生物」、「生きてゐる」が表面的には主部(サブジェクト)になつてゐるようであるが、論理的には実は逆で、いずれも述部(プレディカト)である。見出されるさまざまな(生物の)属性が主部であり、それを最上級の概念、つまり、そのさらなる前提が指定できない概念、即ち「カテゴリー」である述部(生命)へ、繫辭によつて結びつけられてゐる。「生命」、「生物」、「生きてゐる」は、「時空」とか「状態」とか「性質」などと並んで、哲学の伝統にしたがえば、(準)カテゴリーであると位置づけるべきであらう。「生命」、「生物」、「生きてゐる」は、自明のようでは自明ではなく、何も説明してくれないが、これらの(準)カテゴリーを仮に使うことで、発見(ヒューリスティックス)に役立ててゐるわけである。ここでは例証を省略するが、エネルギーも情報も生命と同じ位置づけを受け、広く學術のさまざまな分野において同様の役割を果たす。

なおコンコードダンスを利用できるため、参考までにドゥルーズとガタリの共著(英訳)について挙げると、エネルギー・生命・情報の三語の使用箇所は、『アンチ・オイディプス』(一九七二年)では三、八八、八、他方、『千のプラトー』(一九八〇年)では二〇、九八、三三である。世紀前半の『創造的進化』などにくらべて、エネルギーが減少し、生命と情報が増加した。²⁵⁾

*

連環する學術の全容を評価するのは容易ではない。だが、シュレーディングガーは、『生命とは何か』の序文で次のように述べた。

「ただ一人の人間の頭脳が、学問全体の中の一つの小さな専門領域以上のものを十分に支配することは、ほとんど不可能に近くなつてしまつたのです。

この矛盾を切り抜けるには(われわれの真の目的が永久に失われてしまわないようにするためには)、われわれの中の誰かが、諸々の事実や理論を総合する仕事に思い切つて手を着けるより他には道がないと思ひます。たと

えその事実や理論の若干については、又聞きで不完全にしか知らなくとも、また物笑いの種になる危険を冒しても、そうするより他には道がないと思うのです」(なお傍線の部分の原文は、Synthesisである)。

(元慶應義塾大学教授 英文学・学説史)

註

- (1) 日本のデータ出所は「二〇一一年出版年報」、アメリカからの輸入書のデータの出所は US Trade Data Online.
- (2) 「あまりにも異常な日本の論文数のカーブ」 <http://blog.goo.ne.jp/toyodang/>
- (3) 米欧の学術出版に関するデータの出所は John Thompson, *Books in the Digital Age*, 2005, John Thompson, *Merchants of Culture*, 2011. 日本に関するデータの出所は文部科学省「平成二三年度学術情報基盤実態調査の結果報告について」。出版の将来については、赤木昭夫「書籍文化の未来——電子本か印刷本か」岩波ブックレット 一〇一三年。
- (4) Gilles Deleuze et Felix Guattari, *Qu'est-ce que la philosophie?* 1991. (邦訳あり)
- (5) James Feibleman, *Technology and Reality*, 1982.
- (6) LSE Growth Commission, *Investing in Prosperity: Skills, Infrastructure and Innovation*, 2013.
- (7) 恐慌の原因と経済学の無力さについては、拙論のうちのノート「「インスキー・モーメント」と「DSGEモデル」を参照。「失われるか 世界の二〇年〜一九二九年と二〇〇八年〜大停滞の発端」世界 二〇一二年三月
- (8) 経済学の在り方について検討する際には、近刊ではつぎの二書が参考になるであろう。Mary Morgan, *The World in the Model: How Economists Work and Think*, 2012. Donald Mackenzie, *An Engine, Not a Camera: How Financial Models shape Markets*, 2006.
- (9) John Gaddis, *The Landscape of History: How Historians Map the Past*, 2004. 単純なモデルに依存するしかない従来の経済学の方法と「一回性の事象を扱う歴史学の方法の差異について論ずる」ことを通じて、経済学の方法を批判する。

- (10) 科学技術・学術審議会「人文学及び社会科学の振興について(報告)——対話と実証を通じた文明基盤形成への道——」二〇〇九年一月。
- (11) Rudolf Carnap, *The Unity of Science*(English translation), 1934.
- (12) Nancy Cartwright et al., *Otto Neurath: Philosophy between Science and Politics*, 2008.
- (13) Paul Feyerabend, *Explanation, reduction, and empiricism*, in H. Feigl and G. Maxwell, eds., *Minnesota Studies in the Philosophy of Science*, Vol. 3, 1962.
- (14) Sahid Rahman et al. eds, *Logic, Epistemology, and the Unity of Science*, 2009.
- (15) J. Bollen et al., *Clickstream Data Yields High-Resolution Map of Science*, PLoS ONE 4(3), 2009. 著者の好意によって日本における複製が許されたお蔭で、筆者の解説も次においてカラー印刷版を見ることができ、一文と理は哲学を通じて連環する」Graphication(Xerox), No.183, 2011.11. なおアメリカにおける学術地図は次に集められている。Katy Bonner, *Atlas of Science, Visualizing What We Know*, 2010.
- (16) デイドロ、タランヌール編、桑原武夫訳編『百科全書』一九七一年、岩波文庫。参考のため併載されるハーコン(二六二六年没)の「学問の分類」の図と比較して見ると、ハーコンからの思想の流れが「百科全書」をもたらしたことが知られる。
- (17) 河原美耶子「西周と独逸学協会学校の創設」教育学雑誌三四号、二〇〇〇年。瀧井一博「伊藤博文滯欧憲法調査の考察」人文学報八〇号、一九九七年。森川潤「井上毅のドイツ化構想」二〇〇三年。寺崎昌男「東京大学の歴史——大学制度の先駆け」講談社学術文庫、二〇〇七年。Byron Marshall, *Academic Freedom and the Japanese Imperial University, 1868-1939*, 1992.
- (18) Mario Bunge, *Philosophical Dictionary*, 2003.
- (19) Francois Cusset, *French Theory: Foucault, Derrida, Deleuze & Cie et les mutations de la vie intellectuelle aux Etats Unis*, 2003.
- (20) 『言葉と物』の理解には、次が助けになる。ジル・ドゥルーズ著、宇野邦一訳『フリーコー』一九八七年。ガリー・ガッティング著、成定薫・金森修・大谷隆昶訳『理性の考古学—フリーコーと科学思想史』一九九二年。

- (21) フーコーのエピステーメは、デイルタイなどが言う世界観やクーンのパラダイムなどとは違う。異なる分野に属する個々の言表(エノンセ)の集まりである。それを分かなりやすく一語では述べようがないので、世界観と誤解される危険を冒して、その中身を「分類」とか「統一」などと、敢えてここでは要約した。ドイツ流の History of ideas では世界観に帰着させる向きが多いが、それに反対するフーコーは、エノンセを収集し、それをエピステーメとするので、彼は成果を「知の考古学」と呼ぶ。その意味において、親しかったドゥルーズと同じように、フーコーは反プラトンで、反統一であった。
- (22) ……Dans la vie un effort pour remonter la pente que la matiere descend. Elle (la vie) est comme un effort pour relever le poids qui tombe.
- (23) It can only keep aloof from it, i.e. alive, by continually drawing from its environment negative entropy. The device by which an organism maintains itself stationary at fairly high level of the orderliness (= fairly low level of entropy) really consists continually sucking orderliness from its environment.
- (24) 前出『フーコー』の「新しい古文書学者(「知の考古学者」)」。
- (25) 利用した三つのコンコルドランスは
Paul Barret, et al., A Concordance to Darwin's Origin of Species, 1981.
http://www.academia.edu/1903400/A_Concordance_to_Anti-Oedipus
http://www.academia.edu/1903410/A_Concordance_to_A_Thousand_Plateaus

■学術の連環の表

斜体はフーコーの『言葉と物』による。ゴチは赤木の試案。2012/04/08 作成
 古典期と近代のエピステーメは夫々の時代において見出され、現代のそれと共存する。

時代/分野		古典時代(17-18世紀)	近代(19-20世紀)	現代(20世紀末~)
認識の枠組み (エピステーメ)		差異による特徴把握 (分類)	有機的機能体系 (統一)	進化・創発 カオス・秩序の交差反転
生物学		博物学	生物学(細胞)	進化生命科学(生命) 環境 生態学
言語学		一般文法	文献学	発話過程(脳)
経済学		富(重農・重商) スミス	価値(労働) ワルラス	政治経済:厚生福祉 シュンペーター、ケインズ 経営経済:革新 ゲーム・情報不均衡
物理学 化学		力 元素	エネルギー エントロピー 分子の反応	作用($\Delta E \times \Delta t$) 3力の統一 電子(量子)
工学		機械力学	材料力学 熱力学 流体力学 (4力)	制御工学 サイバネティックス
哲学		理性への批判 カント	現象の成り立ち ヘーゲル フッサール メルロ=ポンティ	言語 Xの哲学 (不完全性定理) ウィトゲンシュタイン ドゥルーズ
芸術	小説	『若きウエルテルの悩み』 (1774) 自我の発見	『ボヴァリー夫人』 (1856) 状況に対抗する形象	チェホフ『悲しみ』 (1885) 意識の流れ(カオス)
	演劇	『ロミオとジュリエット』 (1595?)	イブセン 『民衆の敵』 (1882)	ベケット 『ゴドーを待ちながら』 (1952)
	絵画	ベラスケス 『官女たち』 (1656)	セザンヌ 『サン・ヴィクトワール山』 (1904)	ポロック 『ラヴェンダー・ミスト』 (1950)

あとがき

本書「エネルギーを考える」は、総合研究大学院大学学融合推進センターの戦略的研究プロジェクト「日本における諸科学の融合と基礎概念の検討——文理融合の有効性を探る」(研究代表者鈴木貞美)の四テーマ(エネルギー・生命・情報・科学政策)の一環として、三年にわたって推進してきたエネルギー班(リーダー金子務)の研究成果報告を意図している。と同時に、テーマのもつ今日的緊急性から見て、一般社会にその成果を還元し、同時に広いスペクトルからエネルギー問題を考えるために、その歴史的文化的背景の深度を反映した手懸かりを提供したい、との願いから編まれている。

具体的には、東日本大震災一年後の二〇一二年三月一〇日、一一日に東京(T K P 東京駅八重洲カンファレンスセンター)における二日間にわたる講演会並びにシンポジウム、同二〇一二年九月二九日、三〇日に京都(京都駅前メルパルク京都)における同じく二日間にわたる研究発表会という二つの公开发表(いずれもプロジェクト研究参加者を初め総研大の教職員・院生ならびに一般聴講希望者を対象に公開とした)の中から、討議内容やその後の資料調査などを含めて、それぞれ自由にご寄稿願った。事情により本書に載せられなかった二名を除けば、エネルギー班のほぼ十全な成果が本書に纏められることになった。新たに新稿を用意された方々や発表記録に加筆された方々など、論稿は話し言葉や文章言葉が入り交じってさまざまだが、各界の経験豊かなリーダーたちによる質の濃い報告を反映して、エネルギー問題を考えるための一般書、基本書になっっている。

以下研究発表の研究者名(当時の肩書き)発表テーマの一覧を記録のために上げておく。

二〇二二年三月一〇日、一一日(東京)の発表者テーマ一覧(発表順)。

池内 了(総合研究大学院大学・学融合推進センター長)「エネルギーの起源について」、

松井孝典(千葉工業大学・惑星探査研究センター所長)「人間圏のエネルギーについて」、

瀬名秀明(日本SF作家クラブ会長)「〈未来〉はエネルギーをいかに描いてきたのか——SFの想像力とエネルギー」、

金子 務(大阪府立大学名誉教授)「エネルギーの史的展望」、

赤木昭夫(元慶應義塾大学教授)「異分野交流——南部陽一郎のノーベル賞講演」、

橋本毅彦(東京大学総合文化教授)「科学史・技術史におけるエネルギー概念」、

鈴木貞美(総合研究大学院大学・国際日本文化研究センター教授)「エネルギーと生命観」

米本昌平(総合研究大学院大学教授)「一九世紀末の物理学世界観と生命論——Vitalismとは何であったか」、

正木 晃(慶應義塾大学非常勤講師・宗教学)「心的エネルギーと心身環境——神秘体験におけるマイクロコスモスと

マクロコスモス」、

斎藤成也(総合研究大学院大学・国立遺伝学研究所教授)「心身一元論者からみたエネルギー」。

二〇二二年九月二九日、三〇日(京都)の発表者テーマ一覧。

廣田 勇(京都市大学名誉教授・元日本気象学会理事長)「風の歴史——人類との共存を考える」、

小沼通二(慶應義塾大学名誉教授・元日本物理学会会長)「原子力をめぐる湯川秀樹と素粒子論グループ」、

荒川 紘(静岡大学名誉教授)「福島県におけるエネルギー開発の盛衰史」、

小本和孝(公益財団法人労働科学研究所主管研究員、元同所長)「労働とエネルギー」。

当初から、エネルギー班としては、いろいろな角度から「学融合概念としてのエネルギー」について吟味してみる計画であった。「エネルギー概念」をめぐる on や through、with という立場を意図していけば、エネルギー概念（+ エントロピー概念）の成立の基礎問題に始まり、エネルギー資源や宇宙論のダーク・エネルギーにいたる理学・工学的分野の吟味を必要とする。さらに広く深く文化と社会におけるエネルギー概念の拡張と変容について比較思想史から考えねばならず、また、生命論と関連して気の思想や生命エネルギー、深層心理学における精神エネルギーも見逃せず、エネルギー収支の政治経済学や文明におけるエネルギーとエコロジーなども大テーマとしてある。まことに広大な学融合概念であるエネルギーの世界は、果てしなく広く深い。本書ではこれらの多くを扱っているが、時間的制約もあり、なお多くの問題を残している。今後の研究の進展を待ちたい。

最後に、本書がこのような形になったのは、プロジェクト代表者鈴木貞美先生の熱意と構想力のおかげであり、また各界の有力者たちの惜しみないご協力の賜でもある。深く関係各位に感謝申し上げます。また日文研内・学融合プロジェクト事務局の堀まどかさん（現在、韓国大邱・嶺南大学校専任講師）並びに本書を見事な形に仕上げてくださいました作品社の高木有氏に御礼を申し上げます。

二〇一三年九月一〇日

金子 務

エネルギーを考える——学の融合と拡散

2013年10月30日 初版第1刷発行

〈非売品〉

編著者 金子 務
鈴木 貞美

発行者 総合研究大学院大学・学融合推進センター研究助成プロジェクト
「日本における諸科学の編制と基礎概念の検討；
文理統合研究の有効性を探る」

代表(平成23～24年度) 鈴木貞美

国際日本文化研究センター 京都市西京区御陵大枝山町3-2
TEL: 075-335-2100

制作 株式会社 作品社
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋2-7-4
TEL: 03-3262-9753
FAX: 03-3262-9757
<http://www.sakuhinsha.com>